ISSN 2433 – 9776

平成 30 年度

群馬高専レビュー

第　37　号

2018

THE GUNMA-KOHSEN REVIEW

No. 37

目　　次

計量経済学における相関有無の判定基準への疑問
……大嶋 一人‥1

モンゴル語-日本語翻訳のための支援ツールに関する検討
……大平 栄二・上谷 恵里奈・河本 美月‥7

Progress in research and education project in collaboration with UEC
……平井 宏‥17

ポーラ・ホーキンズの書きたかったこと――*The Girl on the Train* から *Into the Water* へ――
……横山 孝一‥21

Foundations Reading Library 案内――高校が舞台のグレイディッド・リーダー――
……横山 孝一‥33

Maxwell 分布に基づく反応速度の温度依存性のシミュレーション
……中島 敏‥45

乱数生成による誤差評価の教材の開発
……中島 敏‥53

ビジュアル型言語からテキスト型言語への橋渡し教材の開発
……中島 敏‥65

ブラックボードを用いたアンケートの設置と集計
……中島 敏‥75

低学年混合学級における物理試験形式の変遷
……宇治野 秀晃‥83

アントシアニジン合成系遺伝子 DFR の系統解析
……大岡 久子・浦部 健気・古川 一実・高原 美規‥91

野球用スコアボードの試作
……布施川 秀紀‥99

群馬高専ものづくり人材育成講座における機械加工シミュレーションの活用
……矢口 久雄・岡本 邦夫・浅見 博・須永 修司・金子 忠夫‥103

機械加工シミュレーションを用いた多軸加工教育の展開
……岡本 邦夫・矢口 久雄・浅見 博・須永 修司・金子 忠夫‥109

歴史叙述の中の党派対立――『グレート・ヤーマスの歴史と古事』をめぐって――
……宮川 剛‥115

音声モーフィングにおける基準点付与の自動化
……川本 真一・鶴見 智・滝澤 照太‥123

アクティブ・ラーニングに関する群馬高専の現状と取り組み
……熊谷 健・渡邉 悠貴・矢口 久雄・五十嵐 睦夫・雑賀 洋平・
出口 米和・先村 律雄・中島 敏・木村 清和‥127

通電による異常増殖した藻類の除去
……谷村 嘉恵‥139

測量実習の充実化への取り組み
……谷村 嘉恵・伊藤 成樹・小林 雅人・宮本 正雄‥143

フラクタル符号化特徴量を用いた類似画像検索およびオブジェクト検出手法の検討
……鶴見 智‥147

漢字学習の実態と対策
……田貝 和子‥153

『讃岐典侍日記』史料的価値とその限界
……太田 たまき‥二

『鞠之縁起』について
……大島 由紀夫‥一

CONTENTS

Study of Criteria for the Presence or Absence of Correlation in Econometrics
Kazuto Oshima . . 1

Study on a support tool for Mongolian-Japanese translation
Eiji Ohira, Erina Jyotani, Mizuki Komoto . . 7

Progress in research and education project in collaboration with UEC
Hiroshi Hirai . . 17

What Paula Hawkins Really Wanted to Write about: From *The Girl on the Train* to *Into the Water*
Koichi Yokoyama . . 21

A Guide to Foundations Reading Library, a Unique Graded Readers Series Set in High School
Koichi Yokoyama . . 33

Simulation of Temperature Dependence of Reaction Rate Based on Maxwell Distribution
Satoshi Nakajima . . 45

Development of Teaching Materials in Error Evaluation by Random Number Generation
Satoshi Nakajima . . 53

Development of Teaching Materials for Mediating from Visual Programming Language to Text-type Programming Language
Satoshi Nakajima . . 65

Setting and Count Technique of a Questionnaire Using Brackboard Learn™
Satoshi Nakajima . . 75

History of Physics Examinations for the First- and the Second-Year Students in the Mixed-Department Classes
Hideaki Ujino . . 83

Phylogenetic Analysis of DFR Genes Involved in Anthocyanidin Synthesis Pathway
Hisako Ooka, Tatsuki Urabe, Kazumi Furukawa, Yoshinori Takahara . . 91

Making of the Baseball Scoreboard
Hideki Fusegawa . . 99

Human Resources Development of NC Machining by Using of Computer Simulation
Hisao Yaguchi, Kunio Okamoto, Hiroshi Asami, Shuji Sunaga, Tadao Kaneko . . 103

Educational Development of Multispindle Machining with CNC Simulation
Kunio Okamoto, Hisao Yaguchi, Hiroshi Asami, Shuji Sunaga, Tadao Kaneko . . 109

Factional Disputes in a Seventeenth-Century Provincial Town described in an Eighteenth-Century Urban History:
In the Case of Great Yarmouth.
Tsuyoshi Miyagawa . . 115

Automatic Reference Point Placement Technique for Voice Morphing
Shinichi Kawamoto, Satoshi Tsurumi, Shota Takizawa . . 123

Current Situation and Efforts of National Institute of Technology, Gunma College on Active Learning
Takeshi Kumagai, Yuki Watanabe, Hisao Yaguchi, Mutsuo Igarashi, Youhei Saika, Yonekazu Deguchi, Ritsuo Sakimura, Satoshi nakajima, Kiyokazu Kimura . . 127

Removal of Abnormally Proliferating Algae by an Electrochemical Method
Yoshie Tanimura . . 139

Efforts to Improve Surveying Practice
Yoshie Tanimura, Shigeki Itou, Masahito Kobayashi, Masao Miyamoto . . 143

Study on Image Retrieval System and Object Detection Method Using Fractal Coding Feature
Satoshi Tsurumi . . 147

On a Method of Kanji Education: Its Real Condition and Measures against the Problems
Kazuko Tagai . . 153

The Historical Value and Limit of *The Dairy of Sanuki no Suke*
Tamaki Ota . . —

A Report on *Mari no Engi*
Yukio Oshima . . —

計量経済学における相関有無の判定基準への疑問

大嶋　一人*

(2019年1月7日受理)

１．まえがき

計量経済学 [1] の分野においては特定の２変量に相関があるか否かを検定することがよく行われている。相関の有無を検定する方法としては、２変量の相関係数を算出し、相関係数から、統計学における t 分布に従う量を構成し、t 検定を行うものがよく使われている。この解析方法は、２変量が、２つの独立な正規分布に従うと仮定した場合に証明される数学の定理に基づいていると考えられる。しかしながら、経済学に現れる２変量がともに正規分布に従うという保証があると考えることは難しいように思える。そこで、本論文では２変量が別の分布、具体的には独立な２つの有限区間の一様分布、に従うと仮定したときに、２変量の相関の有無に関する相関係数に対する判定基準がどのように変更されるかを見る。そのことにより、計量経済学の標準的な教科書で行われている相関係数を用いた t 検定が妥当なものか否かを検討する。

２．統計学における相関係数に対する定理

計量経済学において相関の有無を検定する際に使う数学の定理は次の２つのものであると考えられる。

定理１ [2]　２つの独立な正規母集団より大きさ n の標本をとりその相関係数を r $(=\frac{s_{xy}}{s_x s_y})$ とすれば r の確率密度関数 f(r)は次の形となる。

$f(r)=c(n)(1-r^2)^{(n-4)/2}/\pi^{1/2}$,

ここで

$c(n)=\Gamma((n-1)/2)/\Gamma((n-2)/2)$

ただし、Γ(n)はガンマ関数である。

定理２ [3]　r が定理１の確率密度関数に従うとき、変量 $T=(n-2)^{1/2}r/(1-r^2)^{1/2}$ は自由度 n-2 の t 分布に従う。

３．正規分布と一様分布

このセクションでは大きさ n の標本をとりだすときの元の母集団が２つの独立な正規母集団であるときと、２つの独立な有限区間で一様分布をする場合とで相関係数 r の確率密度関数に差異が生ずるか否かを検討する。有限区間で一様分布をする場合については、理論的解析は困難と考え、数式処理ソフト Mathematica5 が発生する区間[0,1]の一様な疑似乱数を用いて、数値的シミュレーションを行う。有効数字については考慮しないことにする。

n=4 の場合

母集団が正規分布に対しては f(r)=1/2 (-1<r<1)と一様分布となる。一方、母集団が区間[0,1]の一様分布の場合は Mathematica の疑似乱数により、１０万個の相関係数 r を発生させた。区間[-1,1]を４０等分して（区間幅 0.05)、値の小さい方から区間に１から４０の名前を付ける。例えば、区間１は区間[-1,-0.95]を表す。r の分布の様子を表 1 に示す。結果はほとんど一様であり、正規母集団の場合とほとんど差異はないと考えられる。

n=8 の場合

母集団が正規分布に対しては $f(r)=15(1-r^2)^2/16$(-1<r<1)となる。表２に f(r)を区間[-1,1]を４０等分して区間積分した値と、母集団が区間[0,1]の一様分布の場合に mathematica の疑似乱数により、１０万個の相関係数 r を発生させ、区間[-1,1]を２０等分した時の、r の分布のシミューレーション値を載せる。この場合も両者にはほとんど差異はないと考えられる。

n=11 の場合

n=4,8 の場合と同様に表 3 に結果を示す。r=∓1 付近以外では正規分布の場合と一様分布の場合とで大きな差は生じないと考えられる。r=∓1 付近は度数が少ないため、相対的ズレが大きくなっているとも考えられるが、r=∓1 付近では若干の考慮が必要になる可能性のあることがわかる。

n=20 の場合

同様に表４に結果を示す。この場合は、正規分布と、一様乱数とで r の分布の仕方が大きく異なることがわかる。一様分布の場合は、正規分布の場合に比べて r は 0 付近により多く集まっている。従って、r の絶対値の大きい方から 5%の値は正規分布の方がより大きくなると考えられる。

＊電子メディア工学科

表－１　n=4 の場合の度数分布の割合

区間名	正規分布	一様分布	相対ズレ%
1	0.025	0.02488	−0.48
2	0.025	0.02581	3.24
3	0.025	0.02472	−1.12
4	0.025	0.02452	−1.92
5	0.025	0.02496	−0.16
6	0.025	0.0239	−4.4
7	0.025	0.02525	1
8	0.025	0.02498	−0.08
9	0.025	0.02486	−0.56
10	0.025	0.0254	1.6
11	0.025	0.02408	−3.68
12	0.025	0.02483	−0.68
13	0.025	0.02536	1.44
14	0.025	0.02541	1.64
15	0.025	0.02516	0.64
16	0.025	0.02527	1.08
17	0.025	0.02519	0.76
18	0.025	0.02454	−1.84
19	0.025	0.0248	−0.8
20	0.025	0.02474	−1.04
21	0.025	0.02485	−0.6
22	0.025	0.02514	0.56
23	0.025	0.0251	0.4
24	0.025	0.02479	−0.84
25	0.025	0.02492	−0.32
26	0.025	0.02423	−3.08
27	0.025	0.02495	−0.2
28	0.025	0.02526	1.04
29	0.025	0.02518	0.72
30	0.025	0.02501	0.04
31	0.025	0.02543	1.72
32	0.025	0.02626	5.04
33	0.025	0.02508	0.32
34	0.025	0.0254	1.6
35	0.025	0.02401	−3.96
36	0.025	0.02506	0.24
37	0.025	0.02501	0.04
38	0.025	0.02535	1.4
39	0.025	0.02476	−0.96
40	0.025	0.02555	2.2
計	1	1	0（平均値）

表-2　n=8 の場合の度数分布の割合

区間名	正規分布	一様分布	相対ズレ%
1	0.0001504	0.00019	26.29
2	0.0010077	0.00115	14.12
3	0.0026003	0.00299	14.99
4	0.0048016	0.00512	6.63
5	0.0074923	0.00796	6.24
6	0.0105596	0.01078	2.09
7	0.0138983	0.01356	−2.43
8	0.0174098	0.01673	−3.9
9	0.0210028	0.0204	−2.87
10	0.0245928	0.0238	−3.22
11	0.0281026	0.02806	−0.15
12	0.0314618	0.0319	1.39
13	0.0346071	0.0345	−0.31
14	0.0374823	0.03767	0.5
15	0.0400381	0.03943	−1.51
16	0.0422325	0.04358	3.19
17	0.0440301	0.04315	−2
18	0.045403	0.04542	0.04
19	0.04633	0.04614	−0.41
20	0.046797	0.04736	1.2
21	0.046797	0.04751	1.52
22	0.04633	0.04694	1.32
23	0.045403	0.04513	−0.6
24	0.0440301	0.04497	2.13
25	0.0422325	0.04124	−2.35
26	0.0400381	0.03931	−1.82
27	0.0374823	0.03761	0.34
28	0.0346071	0.03424	−1.06
29	0.0314618	0.03138	−0.26
30	0.0281026	0.02787	−0.83
31	0.0245928	0.0243	−1.19
32	0.0210028	0.02074	−1.25
33	0.0174098	0.01713	−1.61
34	0.0138983	0.01447	4.11
35	0.0105596	0.01052	−0.38
36	0.0074923	0.0076	1.44
37	0.0048016	0.00474	−1.28
38	0.0026003	0.00309	18.83
39	0.0010077	0.00118	17.1
40	0.0001504	0.00014	−6.94
計	1	1	2.1775

表-3　n=11 の場合の度数分布の割合

区間名	正規分布	一様分布	相対ズレ%
1	0.0000038	0.00001	-163.15789
2	0.00007618	0.00009	-18.141244
3	0.00038008	0.0005	-31.552983
4	0.00109515	0.00139	-26.923253
5	0.00237098	0.00277	-16.829328
6	0.00430929	0.00483	-12.083429
7	0.00695749	0.00667	4.13209361
8	0.0103086	0.00971	5.80680209
9	0.0143054	0.01482	-3.597243
10	0.0188464	0.01851	1.78495628
11	0.0237946	0.02275	4.3900717
12	0.0289862	0.02848	1.74634826
13	0.0342401	0.03488	-1.8688614
14	0.03963	0.03817	3.68407772
15	0.0441803	0.04206	4.79919783
16	0.0485009	0.04878	-0.5754532
17	0.0521685	0.05229	-0.2328992
18	0.0550463	0.0566	-2.822533
19	0.0570267	0.05669	0.59042519
20	0.0580358	0.05855	-0.8860048
21	0.058036	0.05868	-1.1096561
22	0.0570267	0.05852	-2.618598
23	0.0550463	0.05594	-1.6235424
24	0.0521685	0.05316	-1.9005722
25	0.0485009	0.04899	-1.0084349
26	0.0441803	0.04326	2.08305512
27	0.03963	0.03964	-0.0252334
28	0.0342401	0.0339	0.99327981
29	0.0289862	0.02782	4.02329384
30	0.0237946	0.02276	4.34804535
31	0.0188464	0.01901	-0.8680703
32	0.0143054	0.01388	2.97370224
33	0.0103086	0.0104	-0.8866383
34	0.00695749	0.00673	3.26971365
35	0.00430929	0.00421	2.30409186
36	0.00237098	0.00272	-14.720495
37	0.00109515	0.00126	-15.052733
38	0.00038008	0.00044	-15.766625
39	0.00007618	0.00013	-70.648464
40	0.0000038	0	100
計	1	1	-6.449

表-４　n=20 の場合の度数分布の割合

区間名	正規分布	一様分布	相対ズレ%
1	0	0	-
2	0.00000003	0	100
3	0.00000101	0	100
4	0.00001042	0	100
5	0.00005858	0	100
6	0.00022499	0	100
7	0.00066485	0.00001	98.4958968
8	0.00162159	0.00008	95.0665705
9	0.00341343	0.00024	92.9689491
10	0.00638989	0.00095	85.1327644
11	0.0108633	0.00234	78.4595841
12	0.0170288	0.0056	67.1145354
13	0.0248905	0.01134	54.4404492
14	0.0342115	0.02096	38.7340514
15	0.0445027	0.03501	21.3306159
16	0.055055	0.05146	6.5298338
17	0.0650138	0.07098	-9.1768209
18	0.0734853	0.08827	-20.119262
19	0.0796561	0.10342	-29.83312
20	0.0829083	0.1103	-33.03855
21	0.0829083	0.11156	-34.558301
22	0.0796561	0.10155	-27.485528
23	0.0734853	0.08761	-19.221123
24	0.0650138	0.06979	-7.3464403
25	0.055055	0.05271	4.25937699
26	0.0445027	0.03413	23.308024
27	0.0342115	0.02165	36.7171857
28	0.0248905	0.01117	55.1234407
29	0.0170288	0.00568	66.644743
30	0.0108633	0.00189	82.6019718
31	0.00638989	0.00086	86.5412394
32	0.00341343	0.00037	89.1604632
33	0.00162159	0.00006	96.2999278
34	0.00066485	0.00001	98.4958968
35	0.00022499	0	100
36	0.00005858	0	100
37	0.00001042	0	100
38	0.00000101	0	100
39	0.00000003	0	100
40	0	0	-
計	1	1	-

n=4, 8, 11, 20 の場合の解析から正規分布と一様分布とで r の分布の仕方が必ずしも同じではないことがわかった。そこで正規分布と一様分布とで上位 2.5%となる r の値を n=4 から n=20 まで求めてみる。表５において、正規分布とあるのは$\int_r^1 f(r)dr = 0.025$となる r の値であり、これは t 分布における上位 2.5%を与える T の値$t_{n-2}(0.025)$と同じものである。一様分布とあるのは Mathematica による１万組の一様分布の疑似乱数$x_1, x_2, \cdots, x_n$と$y_1, y_2, \cdots, y_n$から作った１万個の r のうち、大きい方から２５０番目の r の値である。同様に１０万個とあるのは同様に作成した１０万組の r のうち、大きい方から２５００番目の r の値である。n=11 あたりまでは正規分布と一様分布とでほとんど差はないが、n=12 からは両者で無視できない差があることがわかる。なお、表５の Mathetica によるシミュレーションは SeedRandom[n]なる疑似乱数発生のための種を各 n に対して与えてあるので再現可能である。n=20 では正規分布の上位 2.5%に対応する r の値は一様分布１０万個の場合の上位約３５０番目に相当しこれは全体の 0.35%に相当する。

表-５　上位 2.5%となる r の値

n	正規分布	一様分布	10万個
4	0.95	0.94917	0.951455
5	0.8783393	0.891548	0.885194
6	0.811401	0.807051	0.812652
7	0.7544924	0.753817	0.759711
8	0.706734	0.710232	0.705412
9	0.6663838	0.667059	0.669485
10	0.631897	0.630183	0.635067
11	0.6020689	0.603257	0.601
12	0.575983	0.557351	0.554823
13	0.5529425	0.501279	0.509538
14	0.532413	0.474213	0.472945
15	0.5139775	0.436332	0.444536
16	0.497309	0.417143	0.416123
17	0.482146	0.386996	0.39404
18	0.4682774	0.363005	0.374223
19	0.4555305	0.354283	0.351806
20	0.4437635	0.330753	0.336694

４．まとめと考察

計量経済学の教科書において、２つの変量の相関の有無を判定する基準として、相関係数の値から、t 分布による帰無仮説により、相関の有無を判定するものがあった。これは、母集団として独立な２つの正規母集団を仮定したときの相関係数の値の分布に対する数学の定理に基づくものと考えられる。現実の変数は正規分布に従うものばかりとは限らないと思われるため、２つの独立な一様分布を母集団としたときの相関係数の分布をコンピュータシミュレーションにより調べた。データ数 n が小さいときは、２つの分布においてほとんど差異は見られなかったが、n=12 以上では両者に無視できない差異があることがわかった。２つの変量の相関を判定するときに、相関なしと仮定する帰無仮説を棄却する 5%棄却域はデータ数 n が１２以上では正規母集団の方が一様分布の場合よりも狭いことがわかった。データ数 n=20 の一様分布に対して、正規分布の 5%両側棄却域を設定したならば、相関なしという帰無仮説棄却した場合に間違っている確率は 0.7%以下である。従って、計量経済学の教科書に書いてある相関有無の判定基準は、現実の変数の分布が仮に一様分布に近いものであるとすると、データ数 n がある程度大きい場合には、かなり厳しめのものである可能性がある。つまり、 t 検定で相関なしという帰無仮説が棄却されたならば、棄却された場合に間違っている確率はかなり小さいと考えられる。計量経済学の教科書に書かれてある相関の有無に関する t 検定による判定基準に関しては疑問が残る。

謝辞

中村充氏（現九州大学経済学部経済工学科学生）には、初期の段階において、プログラムのミスに気付かされてくれたことを感謝します。

参考文献

１）白砂堤津耶、初歩からの計量経済学、日本評論社、２００７年.
２）丸山儀四郎、確率および統計、共立出版、１９５６年.
３）国沢清典、確率統計演習２、培風館、１９６６年.

Study of Criteria for the Presence or Absence of Correlation in Econometrics

Kazuto Oshima

In econometrics it is important to distinguish whether two variables are correlated or not. Distribution of correlation coefficient of n pairs of samples from two independent normal populations is theoretically known. Based on the distribution and the value of the sample correlation coefficient we decide whether the two variables are correlated or not. We compute distribution of correlation coefficient of n pairs of samples from two independent uniform populations by computer simulation. We see that we cannot distinguish the two distributions of the correlation coefficients when $n<11$. When $n>11$, however, the two distributions are different definitely.

モンゴル語–日本語翻訳のための支援ツールに関する検討

大平 栄二* 上谷 恵里奈** 河本 美月**

(2019 年 1 月 7 日受理)

１．はじめに

モンゴル語はいわゆる「アルタイ語族」に属し，文法構造の面で日本語に類似するところが多い. 例えば，日本語と同様に語順類型が SOV 型であり，必ず修飾語が被修飾語の前に置かれる．また，語幹に語尾をつけてどんどん拡大していくタイプの言語であり, 類型的にも日本語と同じ膠着言語である. 膠着言語とは, 文法的な意味を表す助詞や活用語尾などの接辞が, 実質的な意味を表す名詞や活用語の語幹などの語に膠着する言語のことである.

このように，両者には共通点が多く，モンゴル語は日本人にとって学びやすい言語であると思われるが，他の言語と同様に，複雑な正書法があり，習得が容易ではないことが知られている[1]. 例えば，モンゴル語は，英語などと同様に単語（正確には日本語の文節に相当）がスペースなどで分かち書きされるため，日本語に比べ処理が容易である．本論文では，以降この分かち書きされた単語をワード[2]と呼ぶことにする．しかし，モンゴル語の母音には，短母音，長母音，さらに，男性や女性，中性母音など様々な種類があり，名詞と格語尾が接続してワードを作る際，母音調和（ワード内に現れる母音の組み合わせの制約）により，接続する語尾が変化する．さらに，母音の挿入や削除[1,3]も加わり，特に初心者にとっては，単語辞書で単語を検索できない場合も少なくない．これが，モンゴル語学習の大きな壁の一つになっている.

モンゴル語などの言語リソースが十分でない言語の研究や学習においては, 言語ツールが有効であるとの報告[4]がある. 現在, インターネット上で利用できる単語辞書は増えつつある. しかし, 語幹や語尾の変形に対応した，モンゴル語-日本語の検索ツールは現時点で存在しない．モンゴル語-日本語の自動翻訳を目指した研究[5-7]が進められているが, 他の言語と同様に, すぐには実現困難であると考えられる．また，この技術をインターネット上で利用可能とするには多くの工数や費用を要する.

われわれは，このような問題を解決して，インターネット上などで，人が手軽にモンゴル語文章を日本語に翻訳するのを支援するツールの開発を進めている[8,9]. 本論文では，モンゴル語から日本語への翻訳に特化することにより，CGI を実現するプログラム言語 Perl などで実装できる簡易な変換規則とそれに伴う単語辞書を提案し，その有効性を検証する．以下，2 章でモンゴル語の名詞の特徴，3 章で動詞の特徴について説明する．そして 4 章で，その特徴に基づいたモンゴル語-日本語変換法を提案し，情報関係の専門テキストを用いて行った検証結果について述べる.

２．モンゴル語名詞の特徴

２．１　モンゴル語文法

モンゴル語には，様々な文字や方言があるが[10,11]，本論文では，現在，モンゴル国で用いられているキリル文字表記のハルハ方言を対象としている．モンゴル語の表記は，ロシア語のアルファベットにモンゴル語特有の 2 文字「ө」と「ү」を加えた 35 文字であり，母音 12 字，子音 20 字，半母音 1 字（й）の計 33 文字と記号文字「ъ（硬音符)」と「ь（軟音符)」の 2 つからなる[3,11]. 母音と子音を以下に示す.

母音：а，о，у，э，ө，ү，и，
　　е，ю，я，ё，ы
子音：б，в，г，д，ж，п，р，с，т，ф，
　　з，к，л，м，н，х，ц，ч，ш，щ

このうち，а，о，у，э，ө，ү，и の 7 つが短母音で, 短母音を 2 つ並べると長母音となる. たとえば，аа，оо である．ただし，и の長母音は，ий または ы の 1 文字で書かれる．また，二重母音は，ай，ой，уй，үй の 4 つで，短母音において，а，о，у が男性母音，ү，э，ө が女性母音，и が中性母音である.

モンゴル語と日本語は，前述したように，語順類型が SOV 型である点が共通している．他の言語，例えば英語（語順類型は SVO 型）との比較のため，以下に例を示す.

＊電子情報工学科
＊＊元津山工業高等専門学校　情報工学科

（例）

モンゴル語：би тэр номыг авав

日本語：　私は　あの 本を　買った

英語：　I bought that book

上記において би は「私」，тэр は「あの」，номыг は「本を」，авав は「買った」に対応する．述語が必ず文の最後に置かれ，修飾語は必ず被修飾語の前に置かれる．また，モンゴル語と日本語は膠着言語であり，名詞などの語幹に，格を表す語尾（「は」や「を」）や数を表す語尾が接続され名詞句を形作る．以下に，その例を示す．

「номыг」本を

＝語幹「ном」本＋「ыг」を

「өдрийн」日の

＝語幹「өдөр」日 ＋「ийн」の

２．２　名詞とその変形

（１）名詞の語尾

前述したように，モンゴル語は，語幹にさまざまな語尾を付けて名詞などのワードを形作る膠着言語である．表１に代表的な表層格の観点から名詞の変形について整理した結果を示す．モンゴル語は，日本語と異なり，語尾が接続すると名詞や動詞の語幹の形が変形することがある．また，逆に語幹により語尾が変形することがある[3]．その変形は，一定の規則にしたがって起こる．

表１において，○印は，項目に対応する語幹の変形が生じることを示す．また，点線の上段は原型の語尾，下段が変形後の語尾を示す．一部例を説明すると，日本語では主格助詞として，「は」または「が」が使われるが，モンゴル語では，主格の語尾は，形のないゼロ語尾である．すなわち，語幹には何も付かない．この点は英語と似ている．対格もゼロ語尾になる場合がある．

同じ奪格でも，名詞の母音構造に応じて使う語尾を「аас，оос，ээс，өөс」の中から選択して変える必要がある．以下に例を示す．これが母音調和と呼ばれるもので，翻訳を複雑にしている．

төхөөрөмжөөс（設備から）

программаас　（プログラムから）

ここで，モンゴル語では，主語との関係を表す再帰語尾「аа，оо，ээ，өө」があり，表１の語尾の後に追加されるが，対格語尾の後に再帰語尾が置かれる場合，対格語尾が省略される場合がある[3]．このため，文法的には適切ではないが，再帰語尾も対格の語尾として扱うことにした．

なお，方位格は他の語尾と異なり，名詞に接続するのではなく，後置詞としてスペースで区切られた１つのワードとして表記される．英語の前置詞と似た表記である．

表-1 名詞の語尾の一覧

Table 1 List of particles of the noun

分類	モンゴル語	日本語	交　代		脱落	追加
			г	н		
主格	なし	は/が				
対格	ыг, г, ийг, (аа, ээ, оо, өө)	を	○		○	
	(гаа, гээ, гоо, гөө, а, э, о, ө)					
属格	ын, ы, н, ийн, йн	の	○	○	○	
与位格	д, т, нд	に		○		○
	ад, ат, эд, эт, од, от, өд, өт ид, ит анд, энд, онд, өнд, инд	時に				
奪格	аас, оос, ээс, өөс	から	○	○	○	
	гаас, гоос, гээс, гөөс ас, ос, эс, өс					
造格	аар, оор, ээр, өөр	で	○		○	
	гаар, гоор, гээр, гөөр ар, ор, эр, өр					
共同格	тай, той, тэй (正書法で төй は無い)	と/もつ/ある				
欠如格	гүй	無で				
方向格	руу, луу, рүү, лүү, уруу, үрүү	へ				

（２）語尾の変化

先頭が長母音からなる奪格や造格および再帰語尾のような語尾は，語幹によって表１の点線の下の語尾に変化することがある．例えば，語尾「аас」を例にとると，先頭が短母音になった「ас」（語幹末尾が「и」や「я」の場合）や先頭に文字「г」が接続された「гаас」（語幹末尾が「и」以外の短母音の場合）も用いられる[3]．このため，これらも語尾として登録することにした．

（３）語幹の交代

モンゴル語では，特定の語尾を接続するときにだけ現れる別の形の語幹を交代語幹[3]と呼ぶ．交代語幹には，「хөдөөн」や「уулан」のように末尾に「н」が出てくる Н 交代語幹と，「санг」のように末尾に

「г」が出てくる Г 交代語幹とがある．

（a）H 交代の例

「хөдөөнөөс」田舎から

＝「хөдөө」田舎（H 交代語幹：хөдөөн）

＋「өөс」から

ただし，以下に示すように，H 交代語幹を持つにも関わらず，属格の場合にだけ交代しない語がある．このように，不規則な活用をするため，ひとつずつ覚えるほかないようである．

「номын」本の

＝「ном」本（H 交代語幹：номон）

＋「ын」の

（b）Г 交代の例

「сангаас」募金から

＝「сан」基金（Г 交代語幹：санг）

＋「аас」から

対格の語尾「г」が接続するときに，Г 交代語幹の末尾の「г」は脱落する．すなわち，元の語幹にそのまま語尾「г」を接続したのと同じ綴りになる．例を示す．

「дэнг」ランプを

＝「дэн」ランプ（Г 交代語幹：дэнг）

＋「г」を　　（г 脱落）

交代語幹[3,12]は，古いモンゴル語の形の名残である．現代のモンゴル語では，ふつうの語幹ではなく交代語幹を使うことによって，語の意味を区別したりする新たな用法が発達しているようである[3].

（4）末尾母音の脱落

対格，属格，奪格，造格語尾が付く際には，末尾の母音が脱落する[3]．これは，末尾母音の脱落と呼ばれ，「и」以外の短母音で終わる単語に長母音で始まる語尾が接続される際は，最後の母音が脱落する．用法の例を以下に示す．

「хөрөнгийн」財産の

＝「хөрөнгө」財産

＋「ийн」の　　（ө 脱落）

（5）末聞母音の脱落

末聞脱落とは，子音で終わる単語に，長母音で始まる語尾が接続される際に，末尾（子音）の前の母音である末聞母音が脱落する変形である[12]．用法の例を以下に示す．

「олноос」多数より

＝「олон」多数

＋「оос」より　　（о 脱落）

（6）末尾短母音の追加

語尾の接続により，文字の脱落のみでなく，文字が追加される場合がある．与位格語尾が付く際に追加される．このため，語尾として，この追加される母音と語尾を合わせた表 1 に示す語尾も登録している．

「улсад」国に

＝「улс」国

＋「д」に　　（а 追加）

（7）複数形

名詞語幹に「уд」か「үүд」を接続することにより複数形となる．　複数形をとる場合も，前述した末聞母音や末尾短母音の脱落が生じることがある．

「хэлүүд」言語（複数）

＝「хэл」言語

＋「үүд」

（8）複合語

モンゴル語でも他の言語と同様，複数単語で元の単語と異なった意味を表す単語となる複合語がある．例えば，「санах（覚える）」と「ой（記憶）」の 2 語で，記憶装置「санах ой」という単語となる．したがって，翻訳支援には複合語の処理が不可欠である．複合語では，語尾は最後の単語の語幹に接続する．このため，複合語は，上記の例の様に，単語間に小文字のスペースを挟んだ形で 1 つの単語として辞書に登録する．また，今回作成した辞書には，2 語の複合語が約 6000 単語，3 語が約 600 単語，4 語以上が 50 単語あったが，4 語以上の複合語は，ほとんどが説明文の形態であった．このため，3 語までの複合語を処理の対象とした．

３．モンゴル語動詞の特徴

３．１　動詞の構造

辞書には，動詞の語幹に「x，ax」などが接続されたものが見出し語として登録されている．これを不定形と呼ぶ．以下に例を示す．ハイフン（-）の前が語幹である．ここで，ハイフンは，分かりやすくするためにつけたもので，実際の単語には付かない．

гүй-х 走る　　алх-ах 歩く

унш-их 読む　　ид-эх 食べる

動詞のワードも日本語と仕組みが似ており，「動詞語幹」＋（補助語幹）＋「語尾」で構成される[3]．日本語の動詞「する」が，「した」，「している」，「すれば」と活用するように，モンゴル語も語幹に語尾を接続することにより，さまざまな形に活用し変形する．「食べる」の不定形「идэх」を例に説明する．

現在	иднэ	食べる
過去	идсэн	食べた
否定	идэхгүй	食べない
仮定	идвэл	食べれば

モンゴル語では，接続する語尾により，終止形，希求形，副動詞形，形動詞形の 4 種類の形のうちの一つを必ずとる[3]．表 2 に終止形と希求形，表 3 に副動詞形の語尾を示す．表 1 と同様に，点線の上段は原形の語尾，下段が変形後の語尾を示す．2.2 節

表-2 動詞の語尾の一覧
Table 2 List of particles of the verb

分類	モンゴル語	日本語
過去	сан, сэн, сон, сөн, жээ, чээ, в, лаа, лээ, лоо, лөө	～した
	ав, эв, ов, өв, ив	
現在・未来	на, нэ, но, нө	～する
	ана, энэ, оно, өнө, ина, инэ, ино, инө	
習慣	даг, дэг, дог, дөг	いつも～する
否定	хгүй, аагүй, ээгүй, оогүй, өөгүй, сангүй, сэнгүй, сонгүй, сөнгүй	～（し）ない
	гаагүй, гээгүй, гоогүй, гөөгүй, агүй, эгүй, огүй, өгүй, ахүй, эхүй, охүй, өхүй, ихүй	
意志	я, ё, е, сугай, сүгэй, сугой, хаас, хээс, хоос, хөөс	～（し）よう
	ъя, ья, ъё, ьё, ъе, ье, ая, эя, оя, өя,	
願望・希望	аасай, ээсэй, оосой, өөсэй, маар, мээр, моор, мөөр тугай, тугэй, тугой	～したい
	гаасай, гээсэй, гоосой, гөөсэй, асай, эсэй, осой, өсэй,	
依頼・命令	аарай, ээрэй, оорой, өөрэй аач, ээч, ооч, өөч,	～してください
	гаарай, гээрэй, гоорой, гөөрэй, арай, эрэй, орой, өрэй, гаач, гээч, гооч, гөөч, ач, эч, оч, өч,	

(2)で述べた名詞の語尾と同様に，動詞でも先頭が長母音からなる否定や願望・希望および依頼・命令の語尾は，語幹によって点線の下段に示す語尾に変化することがある．

さらに，動詞の場合，子音で始まる語尾が接続する時，動詞語幹の末聞母音位置に短母音が追加される変形が生じることがある．

「хосолж」ペアになって
＝「хослох（хосл-)」ペアになる
＋「ж」 （o 追加）

３．２ 終止形

述語として文を終わらすことができる形である．表2における過去，現在・未来，習慣および否定が該当し，語幹に接続する語尾によって時制やアスペクトを表す．

（1）過去

モンゴル語では，過去を表す時制として一般過去，伝聞過去，体験過去，文書的な過去の 4 種類がある．

（a）一般過去

「動詞語幹」＋「сан（сэн, сон, сөн）」で構成される．用法例を以下に示す．なお，（）の中は動詞の語幹を示している．

「ирсэн」来た
＝「ирэх（ир-)」来る
＋「сэн」一般過去

(b) 伝聞過去

「語幹」＋「жээ（чээ)」で構成され，人から聞いたことや歴史的な出来事などを表す．

「иржээ」来たようだ

(c) 体験過去

「語幹」＋「лаа（лээ，лоо，лөө)」で構成され，話し手が自身で体験したときや見聞したことを表す．

「сонслоо」聞いた
＝「сонсох（сонс-)」聞く
＋「лоо」過去

「нүүх боллоо」引越しをすることになった
＝「нүүх（нүү-)」引越しする
＋「боллоо（「бол」なる＋「лоо」体験過去)」

後者の例に示すように「不定形」＋「боллоо」で，日本語の「何々をすることになった」という意味を表す．後述するが，このような場合には，不定形が使われる．

(d) 文書的な過去

「語幹」＋「в」で構成され，比較的中立的で客観的な文章的過去または近い過去に起こった動作を表す．語幹が子音で終わるときは短母音が挿入される．

「харав」見た
＝「харах（хар-)」見る
＋「в」過去 （a 追加）

また，語幹末が ь で終わる場合は，語幹末の ь の部分が母音字 и に変形する．

「урив」招いた
＝「урих（урь-)」招く
＋「в」

（2）現在・未来

モンゴル語では，現在と未来の区別はなく，過去ではないものは非過去と呼ばれ，語尾「на（нэ, но, нө)」が接続する．この語尾でも，語幹が子音で終わるときは短母音が挿入される場合がある．

Энэ загас мах иднэ.：
この魚は肉を食べる． （恒常的な動作）
「идэх（ид-)」食べる＋「нэ」

Аав маргааш ирнэ.：
お父さんは明日来る． （未来）
「ирэх（ир-)」来る＋「нэ」

（3）習慣

習慣は，時間と関係ない一般的な出来事を表すときに用いられ，「語幹」＋連体形の語尾「даг（дэг，дог，дөг）」で構成される．用法の例を以下に示す．

Би байнга номын санд хичээл хийдэг.

日本語：私はいつも図書館で勉強をする．

「хийдэг」（いつも）する

＝「хийх（хий-）」する

＋「дэг」習慣

（4）否定形

否定形の語尾は 3 つあり，過去の否定形には，「ааГүй」と「сангүй」の語尾を，非過去の否定形では語尾「хгүй」を用いる．前述したように，否定形の語尾「ааГүй」は，長母音で始まる語尾であるため，語幹の種類によっては変形が生じる．

語尾「ааГүй」や「хгүй」が接続する場合，語尾「в」と同様に，語幹末の ь が母音字 и に変わる．また，語尾「хгүй」では，語幹が子音で終わる場合は ，それら語尾の直前に必ず短母音を挟む．

「уншихгүй」読まない

＝「унших（унш-）」読む

＋「хгүй」　（и 追加）

3．3　その他の形

（1）希求形

終止形と同様に，述語として文を終わらすことができる．希求系は，表 2 における意志，願望・希望，依頼・命令が該当し，話し手の希望や意思，聞き手に対する要求などを表す．語尾の変形が生じる一部例を示す．

(a)　命令形

「яваач」行け

＝「явах(яв-)」行く

＋「аач」命令

2 人称に対する口語調の文では，語尾をとらず，語幹のみの形をとる場合がある[3].

(b)　意志

話し手の意志を伝える場合に用いられる．主語が一人称の場合は，「～しましょう」となる．語尾「я（ё，е）」を用いるが，子音で終わる語幹の場合，「ъ」または「ь」の文字が挿入される．

「явъя」行こう

＝「явах(яв-)」行く

＋「я」　（ъ 追加）

（2）副動詞形

副動詞形は，主文の述語を修飾する連用節の述語や重文を作る．表 3 に示す語尾を接続するか，または，後置詞をとることによって表される．

(a)　接続助詞

語尾「ч（ж，н）」は，日本語の接続助詞（～して）に相当し，重文の作成時によく現れる．終止形でアスペクトを表す際にも複合的に用いられる．例えば，現在進行中の動作を表す場合，「ж」語尾の単語に現在時制の補助動詞「байна（いる）」を付け加える．

表-3　連用形の語尾の一覧

Table 3 List of particles of the continuative form

分類	モンゴル語	日本語
原因	снаар, снээр, сноор, снө ө р	～せいで
時間 1	хад, хэд, ход, хө д	～するとき
	ахад, эхэд, оход, ө хө д ахдаа, эхдээ, охдоо, ө хдө ө，　ихдаа, ихдоо	～するために
時間 2	тал, тэл, тол, тө л	～するまで
時間 3	саар, сээр, соор, сө ө р	～してから
目的	хаар, хээр, хоор, хө ө р	～するために
接続助詞	ч, ж, н	～して
	ач, аж, ан,　эч, эж, эн, оч, ож, он,　ө ч, ө ж, ө н, ич, иж, ин ааД, ээД, ооД, ө ө д, гаад, гээд, гоод, гө ө д	
逆説	вч, ивч, авч, эвч, овч, ө вч	～しても
仮定	бал, бэл, бол, бө л, вал, вэл, вол, вө л	～すれば

Захиа бичиж байна.

日本語：手紙を書いている．

「бичиж」書いて

＝「бичих（бич-）」書く

＋「ж」～して

語尾「ч（ж，н）」は，次のように文字が追加される場合がある．

「идэн」食べて

＝「идэх（ид-）」食べる

＋「н」～して　（э 追加）

また，語尾「ааД」が用いられることがある．

(b)　仮定形

「орвол」降れば

＝「орох（ор-）」降る

＋「вол」仮定

(c)　時間

①　直ぐに動詞が続く時，次の語尾が使われる．

「идэхэд」食べるとき

＝「идэх(ид-)」食べる

+「хэд」～する時

また，この例ように，語尾の先頭に短母音が挿入される場合がある．

②　後に文が続くときは，「ахдаа」という形の語尾となる．

「идэхдээ」食べるとき

(d) 後置詞をとる場合

「ирэхээс өмнө」来る前に

＝「ирэх(ир-)」来る

+「хээс өмнө」～する前に

（3）形動詞形

名詞類を修飾する連体節の述語を作る．形動詞形も語尾を付ける場合と後置詞を続ける場合がある．

形動詞形の一つに，動詞を名詞化する名詞節[3]がある．英語における動名詞であり，日本語の「～すること」に相当する．モンゴル語では，形動詞形がそのまま名詞になり，その後に表 1 の語尾が接続して 1 つのワードを作る．時制が現在の形動詞形は動詞の不定形や表 2 の習慣の語尾が用いられる．3.2 節(1)(c)の体験過去の例で示した不定形「нүүх」がこれに相当する．時制が過去の場合は，一般過去が多く用いられる．

習慣や一般過去の語尾に長母音で始まる語尾が接続される際は，末聞母音が脱落してそれぞれ「дг」「сн」に変形する．

（4）補助語幹

補助語幹[3]は，アスペクトや使役，受身，協同などを表すときに用いられる．語幹の後に補助語幹をはさみ込むことにより，それぞれの形の動詞となる．

使役の語幹　（「уул, лга (лгэ, лго, лгө, лги), га (гэ, го, гө, ги), аа (ээ, оо, өө)」）

受け身の語幹（「гд, д」）

協同の語幹　（「лц, лд, цгаа (цгээ, цгоо, цгөө)」）

用法の例を以下に示す．

使役　：　хүр-эх　届く→ хүр-гэ-х　届かせる

受け身　：　хар-ах　見る→ хара-гд-ах　見られる

協同　：　ор-ох　入る→　оро-лц-ох　参加する

なお，受身の語幹「гд」や協同の語幹は，直前に短母音の追加が生じる場合がある．

よく用いられるアスペクトを表す補助語幹として「чих（完了）」や「схий」[13]がある．

完了：ид-эх　食べる→　ид-чих-эх 食べてしまう

4．モンゴル語−日本語翻訳支援機能

4．1　機能の概要

処理の概要を図 1 に示す．入力されたモンゴル語テキストから 1 行読み込み，スペースやカンマ（,）でワードを 1 つ 1 つ切り出す．そして，まず切り出された連続したワード（各ワード間に小文字のスペースを挟んだ文字列）が，辞書に登録された 2 単語または 3 単語の複合語か否かのチェックを行う．複合語でなければ，先頭の単独のワードのみの解析を行い，その後，次のワードを先頭とした複合語のチェックを行う．この処理を繰り返す．

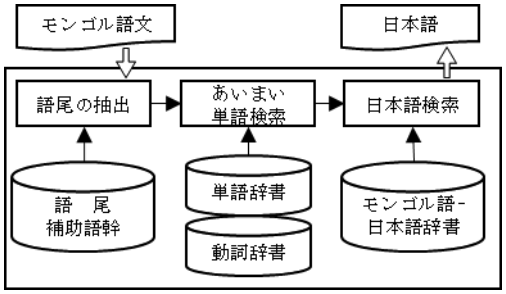


図-1　変換処理の概要

Figure 1　Flow of translation

表-4　モンゴル語-日本語辞書の例

Table 4 Example of mongolian- japanese dictionary

Mongolian	Japanese	English	Parts
авах	買う	buy	4
авах	得る	get	4
авга	おじ	uncle	0
авга ах	おじ	uncle	0
авдар	箱	chest	0

ワード → 語幹｜不定形｜名詞 WF｜動詞 WF

名詞 WF → 語幹　複数形｜語幹　語尾｜語幹　複数形　語尾｜動詞 WFV　語尾

動詞 WF → 語幹　語尾｜語幹　補助語幹　語尾｜語幹

ここで，動詞 WFV は，動詞 WF のうち 3.3 節(3)の形動詞形の名詞節に示したものである．

単語辞書データベースとして，次の 6 つの単語辞書テーブルを作成した．モンゴル語の見出し語（名詞，形容詞，副詞の語幹と動詞の不定形など）を格納したモンゴル語単語辞書，モンゴル語の動詞を格納したモンゴル語動詞辞書，表 1 の名詞の語尾，表 2 と 3 の動詞の語尾および補助語幹をそれぞれ格納する 3 つの語尾辞書，モンゴル語と日本語の対応を示した表 4 のモンゴル語-日本語辞書の 6 つのテーブルである．

切り出されたワードに対して，動詞ワードと名詞ワードの両者の場合を想定して処理を行い，両者の結果を表示する．

（1）まず，切り出されたワードでモンゴル語単語辞書を検索し，一致すればモンゴル語-日本語辞書から対応する日本語訳を出力する．

（2）一致する単語がない場合，まず名詞の解析を行う．末尾に 2.2 節(7)の複数形の文字列があれば削除したのち，モンゴル語単語辞書を母音の脱落を考慮したあいまい検索する．

（3）一致しなければ，ワードの末尾に表 1 の語尾が付いているか調べ，語尾を確認したのち削除する．ただし，表 1 の語尾の後に再帰語尾が接続されている場合は，再帰語尾も削除する．さらに，複数形の文字列があれば削除したのち，モンゴル語単語辞書のあいまい検索を行う．ここでは，動詞 WFV の検

表-5　モンゴル語動詞辞書の例
Table 5 Example of Mongolian verb dictionary

Entry word（不定形）	Word stem（語幹）
авах	ав
урих	ури
урих	урь

索も行う．

（4）次に，動詞処理を行う．単語の末尾に表 2 と表 3 の語尾が付いているか調べ，語尾を削除する．

（5）さらに，3.3 節(4)で説明した補助語幹が存在している場合は，補助語幹を削除したのち，モンゴル語動詞辞書から語幹をあいまい検索する．一致すればモンゴル語-日本語辞書を検索し，対応する日本語訳を出力する．文末のワードのときは，命令形を想定して，動詞の語幹を検索する．動詞，名詞ともに該当単語がなければ未知語とする．

４．２　単語辞書と検索

（1）モンゴル語－日本語辞書

表 4 にモンゴル語単語辞書の内容の一例を示す．辞書には，名詞や副詞，形容詞などの単語の語幹とともに動詞の不定形を登録している．さらに，表 1 に示した方位格の語尾などの後置詞も登録している．また，2.2 節(3)で述べた交代語幹も登録することにした．主格や一部対格は語尾がつかないことがあるため，この辞書とのマッチングにより検出される．なお，表 4 の Parts は，品詞番号である．

この辞書は，モンゴル国立科学技術大学のウブルハンガイ校から提供を受けた英語-モンゴル語電子辞典を基に作成した．本辞典は，英語単語に対するモンゴル語の説明が書かれたもので，この中から辞書として使える部分を取り出し，記載の英単語に基づいて日本語の見出し語の登録を行った．これをベースに公開辞書[3,14-17]を参考に日本語の見出し語の修正や新規単語の追加を行っている．現在，モンゴル語-日本語辞書には，多義を含めて約 20,000 単語を収録している．

（2）モンゴル語単語辞書

モンゴル語-日本語辞書から，モンゴル語見出し語のみを取り出した辞書テーブルである．現在，約 14600 単語収録している．前述したように，辞書には 2 単語以上からなる複合語が約 6600 単語含まれている．複合語は，単語間にスペースを挟んだ形で１つの単語として辞書に登録している．また，210 単語の専門用語を登録している．

（3）モンゴル語動詞辞書

モンゴル語単語辞書から動詞だけを取り出したテーブルである．表 5 に内容の一例を示す．動詞辞書は，属性として動詞の見出し語と語幹を持つ．検索時には，辞書の語幹とのマッチングを行い，検出された単語の見出し語に基づいてモンゴル語-日本語辞書を検索することにより，対応する日本語訳を得ることができる．

ここで，3.2 節(1)(d)で示したように，動詞の語幹が ь の文字で終わる場合は，語幹末の ь が и に変わるという変形規則がある．このため，本来の語幹と変形後の語幹を登録することにした．例えば，似合う「зохих」の場合，本来の語幹「зохъ」と変形後の語幹「зохи」を登録した．現在，約 3150 単語収録している．

（4）語尾および補助語幹

語幹の母音の追加や語尾の変形に対しては，表 1，2，3 に示す全ての語尾を追加することにより対応する．ここで，3.3 節で述べたように，動詞の希求形で，語尾「я」が接続するとき，語幹の種類によって硬音符「ъ」または軟音符「ь」を挿入させたうえで，語尾を接続する．このため，「я」のみではなく，「ъя」と，「ья」の三種類の語尾を登録し，文字の追加の変形に対応させた．

補助語幹は，3.4 節(4)に示す補助語幹を登録した．ただし，協同は我々にとっては，元の単語に対して意味が大きく異なるため，単語辞書に登録する方針とした．受身，使役についてもよく使われる単語は，できるだけ変化後の単語を単語辞書に登録する．

（5）あいまい検索

2.2 節で述べた母音の脱落に関しては，モンゴル語単語辞書を正規表現による文字列検索を行うことにより対応した．具体的には，切り出された文字列の末尾あるいは末聞母音位置に，1 文字の母音を挿入した正規表現の文字列パターンを作成して検索を行う．例えば，切り出された文字列が「”олн”」であれば，「”ол(а|э|о|ө|и)н”」と「”олн(а|э|о|ө|и)”」の正規表現により，モンゴル語単語辞書の単語を検索する．

４．３　評価実験

評価プログラムは，Microsoft® Visual Studio® .NET™ 2010 の Visual C++により開発した．また，単語辞書データベースは，Microsoft® Access® を用いて作成した．

モンゴル語のパソコンのアーキテクチャーについて書かれた専門書（日本語訳タイトル「IBM PC のアセンブラ言語」）を用いて有効性の検証を行った．対象は，本テキストの序文を含む 14 ページ，3047 ワードである．

以下に，プログラムの解析結果の例を示す．カギ括弧内（[+～]）が検出したモンゴル語の語尾で，--の後が語尾の日本語訳である．

（原文）Санах ой ба оролт гаралтын төхөөрөмжүүдийг хаяглахад хэрэглэгдэнэ.

表-6 動詞の出現頻度
Table 6 Appearance frequency of verbs

分類	頻度	分類	頻度
過去	40	原因	1
現在・未来	70	時間（とき）	20
習慣	36	時間（まで）	0
接続助詞	72	時間（から）	0
否定	2	目的	0
意志	5	逆説	0
願望・希望	0	仮定	12
依頼・命令	0	名詞節	2

(1) Санах ой: 記憶,○記憶装置--
(2) ба: ○および,○と,○そして--
(3) оролт: 入場,○入力,継承--
(4) гаралтын төхөөрөмж[+ ийг]: ○出力装置 --を
(5) хаяглах[動：○住所を書く
[助動 ＋хад--～する時]:
（名詞）хаяглах[ад]: ○住所を書く--に
(6) хэрэглэгдэх[動： ○使う
хэрэглэгдэх[動： ○運用する
хэрэглэгдэх[動： ○消費する
хэрэглэгдэх[動： ○応用する
хэрэглэгдэх[動： ○適用する
хэрэглэгдэх[動： ○利用する
[助動 ＋энэ--(受身)＋する]

このフレーズは，パソコンのアドレスバスに関する記述で，「記憶装置と入出力装置のアドレスを指定する（書く）ときに利用される.」との訳になると思われるが，「хаяглах」が「アドレスを書く」という動詞なので，その目的語である「記憶装置」に対格の語尾が接続するものと思われる．このような対訳の扱いは今後の課題である．

上記の様に，各ワードの解析結果では，変形前の単語の見出し語が表示されるため，他の辞書による確認も可能である．また，○のついた日本語訳は，公開辞書等で確認済みの訳であることを示す．(5)のワード「хаяглахад」は，名詞 WF と動詞 WF の両方に判定されている．

3047 ワード中，固有名詞を除く 13 ワード（0.4%）が未知語とされ解析できなかった．原因の一つに登録していない語尾「ийнх」があった．属格語尾「ийн（の）」と同じであるが，修飾語が被修飾語の後に置かれるときは，この語尾が使われるようである．

また，今回の変換処理では，原則，最長一致法を取っているため，動詞仮定形である「дурдвал（述べると）」が，単独の単語「すなわち」と判断された例があった．同様に，「гэрээс」（家から）が，単独の単語「遺言」に変換された．また，辞書には動詞の一般過去が形容詞として多く登録されていたため，これに該当する動詞が形容詞と判定されてしまった．文末のワードでは，動詞の解析を優先することにより，平叙文に限れば解決可能であるが，今後の課題である．

名詞 WF と動詞 WF の両方に判定された別の例として，「босоод」が，動詞「бос-оод（起きて）」と名詞「босоо-д（垂直に）」に，「хүртлээ」が，動詞過去「хүрт-лээ（得た）」と名詞「хүртл-ээ（～でさえ／まで）」に判定される例があった．

表 6 に動詞の分類別の出現頻度を示す．序文やテキスト前半のパソコンの歴史に関する記述において，過去形や接続助詞が多かったが，解説が始まると現在形が増えている．全体的に，接続助詞や習慣の語尾が多く用いられることが分かった．過去，現在，習慣，接続助詞のみで全体の 8 割を占める．過去形においては一般過去がほとんどで，体験が 1 例，伝聞が 2 例のみであった．

また，複数形も多くみられ，программууд（プログラム программ），хэлүүд（言語 хэл），битүүд（ビット бит）など欧米圏の言語と同様，単数と複数を使い分けている．

５．むすび

本論文では，人がモンゴル語文章を日本語に翻訳するのを支援する機能の検討を行い，そのために必要となる単語辞書や変換法を提案した．本論文では，モンゴル語から日本語への翻訳に特化することにより，文法上の厳密性には多少欠けるが，母音調和に伴い語尾が複数の形に変化する問題や母音が脱落あるいは挿入される問題を解決し，比較的簡単な処理で原形の単語を検索可能であることを示した．そして評価実験を行った結果，言い回しなどがある程度限られる技術系などの文章であれば十分有用であると思われる．

現在，本評価プログラムを Perl に移植し，Web 環境において 10 ワード程度の文なら数秒で処理可能であることを確認できた．この Web 環境でのツールの利用は，研究や学習の効率を非常に向上させることができると感じた．例えば，文献[3]の例文や，文献[14]に記載された英語の単語や例文を説明した 5 単語前後からなるモンゴル語の文の変換結果は，複合語やモンゴル語の意味や使い方を確認する上で非常に有効であった．そして，変換結果から語尾の使い方や対格の語尾のゼロ語尾化，母音の脱落挿入，母音調和などについて実感することができ，モンゴル語学習のツールとしても有効であると考える．

また，モンゴル語に限ったことではないが，本検

討を通して，学習や翻訳支援のためには，複合語が重要であることが確認できた．名詞や動詞のみでなく，例えば，副詞「юу ч болсон（とにかく）」や語尾の言い回し「юу ч биш（何でもない）」などの変換が不可欠である．本ツールでは，複合語を辞書に登録することにより実現できる．

今後の大きな課題として辞書の整備がある．本文で述べたように，今回作成した辞書の日本語見出しは，英語見出しをもとに登録したため，モンゴル語単語の日本語訳として適切な訳になっていないことも少なくなく，変換結果からうまく翻訳できない大きな原因の一つになっている．公開されている辞書[3,15-17]などで確認済みの単語が，現在約 9000 単語で，半分以上の日本語見出しが確認できていない．今後，単語の新規登録とともに，日本語見出しの見直しも含めて整備を検討していく必要がある．

もう一点は解析結果や日本語訳の候補の削減である．モンゴル語-日本語間にも多くの多義が存在するが，隣接単語の関係だけでも候補を削減できる場合もある．また，モンゴル語の助詞の対格は、日本語の「を」に対応するが，動詞「勝つ」の場合は「に」なるような例外がある[3]．今後、構文解析処理を組み込むことにより，曖昧性の削減や助詞の正しい変換を実現していく予定である．

謝辞

英語-モンゴル語電子辞典や評価用テキストを提供していただいたモンゴル国立科学技術大学のウブルハンガイ校に感謝致します．また，本研究の立ち上げに尽力いただいた Nurul Sakinah Binti Kamaruddin さん，辞書の整備やテキスト入力などに協力いただいた TUMENBAYAR BYAMBADŌRJ さん，MUNKHTSŌG MUNKHZUL さんには心から感謝致します．また，本研究を進めるにあたっては，参考文献 3 から文法や正書法に関して多くの知見を得ました．提供に対して心から感謝致します．

参 考 文 献

1） 内田孝: モンゴル語学習者に対する効果的な各語尾の指導法研究，NEAR Conference Proceedings Working Papers，NEAR-2000-10，国際大学，pp.1-18 (2010).

2） Atro Voutilainen, Tanja Purtonen and Kristiina Muhonen: FinnTreeBank2 Manual, University of Helsinki, Department of Modern Languages (2012). http://www.ling.helsinki.fi/kieliteknologia/tutkimus/treebank/sources/FinnTreeBankManual.pdf

3） TUFS 言語モジュール（東京外国語大学 21 世紀 COE プログラム「言語運用を基盤とする言語情報学拠点」）モンゴル語・文法モジュール，東京外国語大学，http://www.coelang.tufs.ac.jp/mt/mn/gmod/courses/c02/

4） Mohmoud El-Haj，Udo Kruschwitz and Chris Fox: Creating language resources for under-resourced languages: methodologies, and experiments with Arabic, Language Resources and Evaluation, vol.49, Issue 3, pp. 549-580 (2015).

5） 江原暉将，早田清冷，木村展幸: 茶筅を用いたモンゴル語の形態素解析，言語処理学会第 10 回年次大会論文集，pp.709-712 (2004).

6） 江原暉将，早田清冷，木村展幸: 茶筅を用いたモンゴル語から日本語への機械翻訳，言語処理学会第 11 回年次大会論文集，pp.534-537 (2005).

7） Enkhbaya Sanduijav，宇津呂武仁，佐藤理史: 音韻論的・形態論的制約を用いたモンゴル語句生成，情報処理学会研究報告 2004(2004-NL-162)，pp.87-93 (2004).

8） 大平栄二，上谷恵里奈，Nurul Sakinah Binti Kamaruddin: モンゴル語-日本語変換に関する基礎的検討，津山工業高等専門学校紀要，第 56 号，pp.65-70 (2014). http://www.tsuyama-ct.ac.jp/honkou/kyoukan/kiyou/pdf/kiyou2014k02.pdf

9） 河本美月，大平栄二，上谷恵里奈: モンゴル語-日本語翻訳支援ツールに関する検討，平成 27 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集 (2015).

10）竹嶌志起，Sarenqimuge，松本忠博: 日本語から伝統的モンゴル語への機械翻訳システムの試作とその機能語の翻訳処理，言語処理学会第 18 回年次大会(NLP2012) 発表論文集 P3-38，pp.1220-1223 (2012).

11）モンゴル語正書法，http://homepage3.nifty.com/itako/mon_jiten019.html

12）アルタイ，http://ameblo.jp/kharkhorin/

13）MANDAKH OYUNCHIMEG: 英語及びモンゴル語の時制、アスペクトに関する対照研究，京都大学，p.28 (2015). http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/199382/2/dnink00711.pdf

14）Mongolian English Dictionary，http://www.bolor-toli.com/

15）モンゴル語実践会話入門，http://www.aa.tufs.ac.jp/documents/training/ilc/textbooks/2008mongolian.pdf

16）橋本勝，エルデネ.プレブジャブ: 現代日本語モンゴル語辞典，春風社 (2001).

17）長岡技術科学大学工学辞典編纂委員会: 日本語モンゴル語工学用語辞典，春風社 (2011).

Study on a support tool for Mongolian-Japanese translation

Eiji OHIRA, Erina JYOTANI and Mizuki KOMOTO

Mongolian and Japanese are classified as agglutinative languages. Moreover they have the same sentence structure called SOV. However, some combinations of Mongolian word stems and particles have letter addition or elimination. Mongolian also has many types of vowels and vowel harmonies. These features of Mongolian make it hard to learn Mongolian and to translate into Japanese.

This paper reports on a support tool for Mongolian-Japanese translation and proposes simple rules of grammar. We made an electronic dictionary based on these rules and evaluated the tool experimentally.

Progress in research and education project in collaboration with UEC

Hiroshi Hirai*

（Received January 7, 2019）

1. Introduction

In March 2018, I launched a cooperative research project with the University of Electro-Communications (UEC). Its purpose is not only to gain access to experimental equipment at the UEC, but also to engage in discussions with academic staff and graduate students. Here, I report the current status of this project and its future direction.

2. The University of Electro-Communications

The UEC is a national university located in Chofu in Tokyo Metropolis. Figure 1 shows the front gate of the UEC. Chofu is located almost at the center of Tokyo Metropolis, in the southeastern part of Tama District, and 15 km from Shinjuku. This area is served by the Keio Line, running east-west, National Highway 20, and the Chuo Expressway. The UEC is about five minutes walk from Chofu station on the Keio Line.

Fig.1. Front gate of UEC

The UEC was originally the Technical Institute for Wireless Communications, which was founded by the Wireless Association in 1918. It was then transferred to the Ministry of Communications in 1942. Finally, it was transferred to the Ministry of Education and set up as a national university in 1949.

The UEC consists of a faculty and a graduate school. The faculty of Informatics and Engineering consists of three Clusters: Cluster I (Informatics and Computer Engineering), Cluster II (Emerging Multi-interdisciplinary Engineering), Cluster III (Fundamental Science and Engineering). In Cluster I, the students learn the fundamentals of information science. In Cluster II, they learn the fundamentals to study the new academic field by fusion of information science and engineering. In Cluster III, they explore the creation of materials and devices with completely new functions and study the origin of their characteristics. The faculty has about three thousand students.

The educational policy of the faculty is to cultivate a wide range of fundamental capabilities and the level of expertise required to support an advanced communication society. The overall goals are to provide students with the ability to think scientifically on a wide range of topics, to cultivate scientific and engineering ethics and social and international awareness, and to master logical communication skills.

Many graduating students go on to graduate school to carry out more advanced studies and research. The resulting human resources are highly valued in various fields because they have acquired advanced professional skills, a broad education and an international frame of mind.

The Graduate School of Informatics and Engineering consists of the Department of Informatics, the Department of Communication Engineering and Informatics, the Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems and the Department of Engineering Science. The number of graduate students is about a thousand.

I am collaborating with Dr. H. Shimada, who belongs to the Department of Engineering Science, and is a full-time academic staff member in charge of education in Cluster III. In his laboratory, he supervises about ten students in their research, which is mainly related to small Josephson junctions. In order to clarify the relation between his research and mine, I provide an outline of his studies below.

*Department of Electronic Media Technology

Generally, when tunnel junctions are made very small, the effect of the charge associated with a single electron can be significant. If the electrostatic potential on both sides of the junction is initially the same, tunneling of a single electron will introduce a charge of $+e$ and $-e$ on either side. The electrostatic energy in this situation is $E_C = e^2/2C$, where C is the capacitance. When the area of the junction is reduced to less than about 0.1 μm × 0.1 μm, E_C will be as large as 1 K in terms of thermal energy. This has a large effect on the tunneling behavior at cryogenic temperatures. Studies on single electron charging effects are often carried out using devices with more than two tunnel junctions. The most typical device is a single electron tunneling (SET) transistor.

Such SET transistors can be either metal- or semiconductor-based. In a metal-based SET transistor a Coulomb island, separated from leads (source and drain electrodes), is formed by two small tunnel junctions, and a gate electrode is placed beside it. Aluminum is often used, since the surface aluminum oxide film is a very good insulator for forming a tunnel junction. Aluminum becomes a superconductor at low temperature, and a superconducting SET transistor is typically composed of two small Josephson junctions. It is an interesting system in which the Josephson effect and the single electron charging effect compete with each other. These types of Josephson junctions are used in the quantum computers currently being studied globally.

Such devices are typically fabricated using a process involving photoresist deposition, electron beam lithography and metal deposition in a vacuum. All of the equipment required for this fabrication process is available either in Dr. Shimada's laboratory or in shared facilities at the UEC. To investigate the weak Josephson effect, it is necessary to measure the electrical resistance at temperatures of less than 1 K using liquid helium. Fortunately, a helium gas liquefier is available at the UEC, so that liquid helium can be obtained very inexpensively. Dr. Shimada's laboratory also contains several dilution refrigerators, which are required for experiments at such low temperatures. Therefore, all processes from device fabrication to low-temperature measurements can be performed in a single location.

3. Transporting equipment and setting it up

In March 2018, I loaded equipment including a cryostat, a sample holder, and an XY recorder at the National Institute of Technology, Gunma College (NITGC) onto a light truck and transported it to the UEC. The route was along the Kanetsu Expressway, Sasame dori, Ring Road No.8 and the Koshu Highway, and took about 2.5 hours. The cryostat had been disassembled at NITGC into components including two glass dewars, a superconducting magnet, and a metal flange, and these were reassembled at the UEC.

In August 2018, I set up the laboratory at the UEC, as shown in Fig. 2. First, the cryostat was connected to a helium gas recovery system. It consists mainly of a rotary pump, a three-way valve, two leak valves, two additional valves, a vacuum gauge, and a helium gas purity meter. The handles for the three-way valve and leak valve 2 can be seen on the yellow plate in the figure.

Fig. 2. Helium gas recovery system

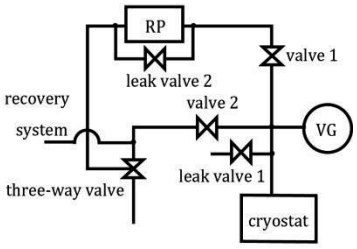


Fig. 3. Schematic drawing of helium gas recovery system

Figure 3 shows a schematic diagram of the recovery system. If valve 1 is closed and valve 2 is opened, the cryostat is connected to the recovery system. If valve 2 is closed, and valve 1 is opened, and the three-way valve is connected to the side of the recovery system, the cryostat can be pumped by the rotary pump and helium gas can be sent to the recovery system.

Figure 4 shows the rack carrying the instruments for measuring the magnetoresistance. From the top, these are an NF 5610B lock-in amplifier, a Lake Shore 647 magnet power supply, and a Yokogawa 3022 XY recorder. The current flowing in the superconducting magnet can be determined based on the output voltage of the magnet power supply, which is proportional to the current. This voltage was input to the X terminal of the XY recorder. Lock-in detection was used to measure the voltage in order to determine the electrical resistance. This was performed using a lock-in amplifier and an NF LI-75A differential preamplifier. The measured voltage was input to the Y terminal of the XY recorder.

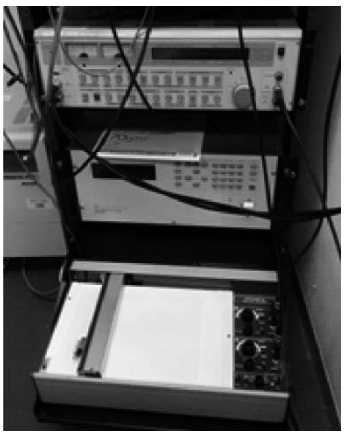


Fig.4. Rack with measurement equipment

In September 2018, I performed an experiment using liquid helium to measure the magnetoresistance of a GaAs/AlGaAs epitaxial wafer formed into a Hall-bar shape using photolithography and wet etching. As shown in Fig. 5, a two-dimensional electron gas is generated at the interface in the heterostructure.

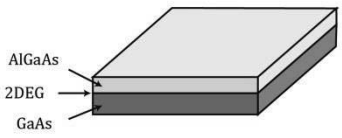


Fig.5. AlGaAs/GaAs heterostructure

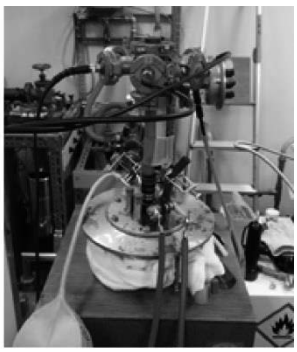


Fig. 6. Sample holder

The sample was mounted on a sample holder, which was inserted into a cryostat cooled to 4.2 K, which is the boiling point of liquid helium. As shown in Fig. 6, frost formed on the metal flange at the top of the cryostat at this low temperature. The two thick red lead wires provided electrical current to the superconducting magnet. Black BNC cables for supplying current to the sample were connected to each terminal at the top of the sample holder. The orange balloon seen at the bottom left of Fig. 6 was designed to rupture and ensure safety if the pressure inside the cryostat rose suddenly due to quenching of the superconducting magnet.

The magnetoresistance in a two-dimensional electron gas can be qualitatively explained as follows. The kinetic energy of the two-dimensional electron gas in an applied magnetic field is given by the Hamiltonian, $H = \frac{1}{2m^*}\left(\vec{p} + e\vec{A}\right)^2$, where m^* is the effective mass of the conduction electrons, and $\vec{p}$ is their momentum vector. The Landau gauge $\vec{A} = (0, Bx)$ is used for the vector potential corresponding to a uniform magnetic field in the z direction, where B is the magnitude of the magnetic field. Based on elementary quantum mechanics, this Hamiltonian formally describes a one-dimensional harmonic oscillator, and its energy is quantized into the Landau levels, $\varepsilon(N) = \hbar\omega_c\left(N + \frac{1}{2}\right)$ $(N = 0, 1, \cdots)$. Here, $\omega_c = eB/m^*$ is the cyclotron angular frequency, N is the Landau quantum number, e is the elementary charge of an electron, and $\hbar = h/2\pi$ is the reduced Planck constant. The orbital motion for a Landau quantum number N classically corresponds to cyclotron circular motion with a radius $(2N+1)^{1/2}l_B$. Here, $l_B = (\hbar/eB)^{1/2}$ is referred to as the magnetic length, and equals 8.11 nm for $B = 10$ T. The quantum states $eB/h = 1/2\pi l_B^2$ per unit area are degenerate for each Landau level, which corresponds to the fact that the energies are the same regardless of the center coordinates of the cyclotron circular motion.

Since the electrostatic potential randomly fluctuates in a real system, the density of states for each Landau level has a non-zero width Γ. This is due to the fact that because of the fluctuating potential, the degeneracy regarding the center coordinates of the cyclotron circular motion partly disappears. That is, the energy associated with cyclotron circular motion with center coordinates in the vicinity of the peak of the electrostatic potential becomes higher than the average value. Since electrons are scattered and the cyclotron circular motion is disturbed, the quantized levels are blurred to some extent, leading to a non-zero Γ, given by $\Gamma = h/\tau$, where τ is the average scattering time for conduction electrons. In a real electron system, the density of states at the Fermi level shows periodic oscillation with respect to the reciprocal of the magnetic field. A similar oscillation is also observed for the electrical resistance, and this is referred to as the Shubnikov-de Haas effect.

In order to observe the Shubnikov-de Haas effect, the interval between adjacent Landau levels, $\hbar\omega_c$, must be sufficiently larger than Γ. This condition is equivalent to $\omega_c\tau \gg 1$. In a high-mobility two-dimensional electron gas, this condition is satisfied even for relatively low magnetic fields, and quantum oscillations in the magnetoresistance

can be observed as the magnetic field is increased. The amplitude of these oscillations increases with increasing magnetic field, and eventually the minimum value of the oscillating magnetoresistance becomes zero. Under a sufficiently strong magnetic field, the longitudinal resistivity ρ_{xx} becomes zero over an extended magnetic-field range, while the Hall resistivity ρ_{xy} becomes constant, forming a plateau. Moreover, this constant value equals the physical constant, $h/e^2 = 25.81$ kΩ, divided by an integer. In terms of conductivity tensor components, this is expressed as $\sigma_{xx} = 0$, $\sigma_{xy} = i(e^2/h)$, $(i = 1,2,\cdots)$, and is referred to as the integer quantum Hall effect.

Below are my experimental results for the GaAs/AlGaAs heterostructure sample described above. The temperature of the sample was 4.2 K. As can be seen in Fig. 7, Shubnikov-de Haas oscillations are observed in the longitudinal resistivity ρ_{xx}. In addition, plateaus are observed in the Hall resistivity ρ_{xy}. These plateaus are experimental evidence of the integer quantum Hall effect.

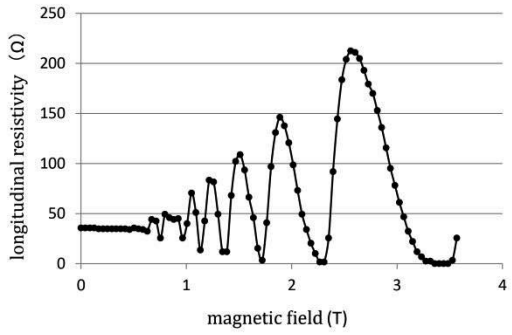


Fig. 7 . Longitudinal resistivity as function of magnetic field

The classical Hall resistivity is given by $\rho_{xy} = B/ne$, where n is the number of conduction electrons per unit area. As described above, since the eigenstates of eB/h per unit area are degenerate for each Landau level, the equation $n = i(eB/h)$ is satisfied when the i-th Landau level is completely filled with electrons. When $i(eB/h)$ is substituted for n, the Hall resistivity becomes $\rho_{xy} = (1/i)(h/e^2)$, and quantization of the Hall resistance can be derived formally. However, this argument only holds when the i-th Landau level is completely filled with electrons. However, a surprising aspect of the quantum Hall effect is that the Hall resistance remains at its quantized value even when the number density, n, is slightly changed.

In order to understand the plateaus in the Hall resistance, the localization of electrons in a strong magnetic field has to be considered. As described above, Landau level broadening occurs due to random fluctuations in the potential. In a strong magnetic field where the quantum Hall effect is observed, the magnetic length l_B is sufficiently smaller than the characteristic length for the spatial variations of the potential. Therefore, electrons move along the contour lines of the potential fluctuations while undergoing cyclotron circular motion with a radius of about l_B. The high-energy side of the broadened Landau levels corresponds to trajectories in the peak regions of the fluctuating potential, whereas the low-energy side corresponds to trajectories in the valley regions. Both types of trajectories are localized states because they are closed curves surrounding local maxima or minima.

The quantum Hall effect will be observed when the field strength becomes sufficiently high. Only when the Fermi level is in the localized states, the longitudinal conductivity of the sample at low temperature will be $\sigma_{xx} = 0$ and the Hall conductivity will be constant. This is a simplified explanation of the quantum Hall effect.

4. Future prospects

It is now possible to carry out experiments at low temperature using liquid helium, and fabricate samples using techniques such as photolithography at the UEC. In future work, I would like to attempt to carry out experiments to investigate hot spots in the quantum Hall regime, and the phase coherence of conduction electrons in metallic thin films at low temperature. In addition, I would like the students at NITGC to make use of the experimental facilities at the UEC for their graduation research.

5. References

(1) National University Corporation, the University of Electro Communications, “Annai” (2018).

(2) National University Corporation, the University of Electro Communications, “Gaiyou” (2017 – 2018).

ポーラ・ホーキンズの書きたかったこと
――*The Girl on the Train* から*Into the Water*へ――

横山　孝一*

（2019年1月7日受理）

はじめに――*The Girl on the Train*の衝撃

「心理サスペンス」作家ポーラ・ホーキンズ（Paula Hawkins）の登場は、無名だったイギリス人女性が小説によって世界中で注目されるようになったという意味で、『ハリー・ポッター』シリーズの J・K・ローリングを髣髴させる。2015 年に全米デビューした *The Girl on the Train*（『ガール・オン・ザ・トレイン』）のすばらしさは、インターネットで語りぐさとなり、英語で書かれた原書のペーパーバックはわが国の丸善でも平積みになっている。

あらすじはこうだ。毎朝、ロンドンへ電車で通勤するバツイチ女性レイチェル 33 歳は、別れた夫トムに未練があり、子供ができなかったことに劣等感を抱いてアルコール依存症に陥っている。唯一の楽しみとして、信号で止まるとき車窓から見える家のカップルに、叶わなかった理想の夫婦像を投影する。（四軒先には５年過ごしたトムとの家があり、今トムは、再婚したアナと赤ん坊のイーヴィと暮らしている。）ところがある日、幸せであると思い込んでいた理想の女性が夫とは別の男とキスしているところを目撃してショックを受ける。しかも、メガンというその 29 歳の女性が失踪し、無残な死体となって発見される。実はレイチェルは、会社を首になっていて、部屋を貸してくれている友人の手前、毎日会社に行っているふりをして、幸せそうに暮らすトムとアナ夫妻にストーカー行為を繰り返していたのだった。７月 13 日土曜日の晩にメガンはいなくなったが、翌朝目を覚ましたレイチェルは、頭に負傷し、晩の記憶を丸ごと失っていた。記憶は徐々に戻り、完全に思い出したとき、衝撃の事実を知ることになる。

この物語はホラー小説の巨匠スティーヴン・キングも「アル中の語り手」に魅了されて夜通し頁をめくったという(King)。2013 年 7 月 5 日現在から、一人称でレイチェル、メガン、アナの三人が自分の日常を語る。レイチェルの目には幸せそうに見えたメガンにもつらい過去があり、その秘密が明らかになっていくのも読みどころだ。レイチェルが犯人と見なした一緒にいた男カマルの正体がわかってくるのも楽しい。また、赤ん坊をレイチェルにさらわれそうになったアナの不安感や、トムとの不義の出会いをアナ本人の口から聞けるのも興味深い。むろん主人公はレイチェルだ。空白の記憶をめぐって、通勤電車のごとく行きつ戻りつするうちに徐々に、驚愕の出来事が明らかになってくる。アルコール中毒で被害妄想の気もあるレイチェルの記憶は、当然ながら主観的で曖昧で欠落もあって信用できない。レイチェルの的外れな想像と推理によって、読者は、意外と単純な真相になかなかたどり着くことができず、真相を知って初めて、ポーラ・ホーキンズが採用した「信頼できない語り手」の手法のうまさに感銘を覚えるのである。

この本は 2015 年『サンデー・タイムズ』で新記録の 20 週連続ベストセラー・リスト第 1 位となり、全世界で 2,000 万部以上が売れている。ハリウッドのドリームワークスが、エミリー・ブラント主演で映画化もした。映画版がヒットしなかったのは、上記で述べた小説技法が映像に勝るからで、ポーラ・ホーキンズの本のおもしろさを改めて実感させる結果となった。わが国でも池田真紀子訳『ガール・オン・ザ・トレイン』として講談社文庫から 2015 年 10 月に出版され、表紙に追加された宣伝用の帯には、「空前のベストセラー、早くも映画化! 11 月 18 日全国ロードショー　世界 50 ヵ国で出版、累計 1500 万部」と記されていた。今どきこれほど売れる小説が現われるのは珍しいことだ。出版界の熱気が感じとれよう。

それから２年が過ぎ、2017 年、ポーラ・ホーキンズ待望の第２作が発表された。*Into the Water* である。わが国でも、シドニー・シェルダンの「超訳」で有名なアカデミー出版が、社長の天馬龍行訳で『魔女の水浴』という奇抜な邦題で同年 12 月に発売している。東京都内では、前作を意識してか「通勤電車」に翻訳出版を予告する広告を出す力の入れようだった。原書は注目作としてよく売れている。大判のペーパーバックは出版されてすぐ都内の洋書売り場から消え、今（2018 年 8 月現

*人文科学系・英米文学/比較文学

在）は、普通サイズになって *The Girl on the Train* と共に平積みになっている。ホーキンズのファンなら買わずにはいられまい。しかし、伝説と化した第１作と比べると評価は芳しくなく、インターネットをにぎわせているレビューで前作を凌ぐと書いている者は皆無に近い。

わが国の『魔女の水浴』のほうは、アマゾンのカスタマーレビューを見る限り、あまり売れていないようだ。原文と比べてみればすぐわかることだが、誤訳や省略が多く、登場人物の名前の表記に不自然なところが目立ち、警察の階級もなぜか改変されている。重要な役割を果たすパトリックが「元警視長」で息子が「警視」なのは、アカデミー出版自慢の「超訳」なのだろうか。ヘレンが校長(headteacher)から「教頭」に変わっているのは単なる誤訳に思えるが。2018 年 1 月 10 日に「読むに値しない」と書き込みをしている読者は、電車の中吊り広告を見て買ってしまったそうで「翻訳も良くありません。意味がわからないところも多いし、笑ってしまったのは、ブレスレットがペンダントに入れ替わっちゃってたところ。お粗末すぎです。これってちゃんと校閲してるんですかね？」（あいあい）と手厳しい。世界待望の書として出版を急いだのだろう。この読者が指摘するとおり、下巻 130 頁で Lena（訳書ではレーナになっている）の目に留まった死んだ母のブレスレットが２行後には「ネックレス」に替わっている。おそらく、同じ川で死んでいる、リーナの親友ケイティのネックレスと混同したのだろう。サスペンス小説としては重要な小道具なので絶対に間違ってはならない所だ。筆者としては、冒頭に据えられた、Nel（訳書ではダニエラ）のタイプ原稿（訳者は上巻 56 頁以降は点線の枠で囲って本文と区別している）に、余計な説明をつけ加え本編自体のプロローグに改変してしまっているところに仰天した。リーナの母 Danielle が町の人々の間では愛称のネルで呼ばれているのに「ダニエラ」に統一して、章題となっている視点人物の名前のあとに内容を示す副題を追加しているのは、「超訳」を発明した者としてのお客様サービスなのだろう。しかし、先ほどのカスタマーは「はっきり言って、つまらないです。誰にも感情移入できないし、登場人物それぞれの短い章が続き、あわただしいです」と酷評している。これは、超訳者・天馬氏のせいではない。「32 頁までに、数えたら視点人物(POVs)が７人も入れ替わっている。混乱する！（中略）おもしろいと期待したのに、結局、退屈した」（Book of Secrets　拙訳）と原書の読者も英語のブックレビューに遠慮なく不満を書き込んでいるのだ。

Into the Water とはどんな小説なのか。本当につまらないのか。超訳『魔女の水浴』は読む価値がないのか。本論で検討してみたい。

１．推理小説が嫌いなポーラ・ホーキンズ

出版不況ながら、評判の洋書の日本語版をすぐ出せるわが国の翻訳業界は、まだまだ捨てたものではない。しかし、世界的ブームにしては、わが国におけるポーラ・ホーキンズの知名度はいまひとつだ。翻訳書を読んだ人でも、作品の背景と意義がよくわからず、彼女のことが印象に残らないのではないか。というのも、翻訳の契約条件なのだろうか、『ガール・オン・ザ・トレイン』と『魔女の水浴』には共に、「解説」も「訳者あとがき」もついていないのだ。アカデミー出版のほうは「英国発、ご近所ミステリー　止まらない面白さ！ N.Y.タイムズベストリスト *No.1* 」と広告帯をつけて、著者の写真と簡単な経歴を載せているが、読者には不十分だろう。

ポーラ・ホーキンズは、1972 年、アフリカ南部にあるジンバブエで生まれ育った。父親は経済学の大学教授。ロンドンに渡ったのは 17 歳の時で、オックスフォード大学で政治経済を学び、タイムズの経済記者になる。『魔女の水浴』の表紙裏には *The Girl on the Train* が「処女作」と書かれているが、女性向けに投資を指南する『お金の女神』(*The Money Goddess*)を書き、小説も、エイミー・シルバー(Amy Silver)の筆名でエージェントに勧められるまま、自分の性格に合わないロマンチック小説を書いていた。軽い小説でも、登場人物の深刻な死を描き、喜劇より悲劇が向いていることを知ったという。そして、金銭的にも行き詰まって、自分が読みたい売れる本を書こうと腰を据えて完成したものが、アル中女が主人公の大ヒット小説になったというわけだ。「『ガール・オン・ザ・トレイン』は、小説家としての私の最後の賭けでした」(‘The Girl on the Train’ was a last roll of the dice for me as a fiction writer.)と述べている(以上、Alter 参照)。

ここで注目したいのが、ポーラ・ホーキンズは初めてのベストセラーによって「心理サスペンススリラー」の作家として知られるようになったが、それは、偶然そのような小説を書いただけで、自分では推理作家とは思っていないということだ。おもしろいエピソードがある。ロンドン市内を歩く成功後のインタビューで、たまたまベイカー・ストリートのシャーロック・ホームズ博物館の前を通りかかったとき、ポーラ・ホーキンズはむっとして「すみませんが、これは予定外ですので」(Sorry, this wasn’t planned.)と観光客の列を尻目に素通りしたという(Alter)。ファンの期待に反して、イギリスが誇る世界的に有名な名探偵とのツーショットは、彼女の関心の外だったのだ。いやそれどころか、推理作家と見られることをひどく嫌っているふしさえある。ちなみに、出版権を得たアメリカの有名出版社リバーヘッドの編集

長サラ・マクグラスが「普段私は、スリラーを読んだり買ったりしませんが、ホーキンズさんの小説は例外でした」(Alter)と語っているのも意味深長だ。便宜上スリラーに分類されているが、ポーラ・ホーキンズの作品はジャンルを超えたすぐれた小説と言えるのではないか。

２．*The Girl on the Train* と女性読者

問題の日に居合わせた赤毛の男から話を聞いて、レイチェルは、失われていた記憶を取り戻す。トムは、再婚したアナと一緒だったのではなく、ベビーシッターとして知っていたメガンを連れていた。かつてレイチェルをだましてアナとつき合っていたように、アナを裏切って愛人にしていたのだ。レイチェルは、駅のそばの地下道でトムに殴られこの記憶をなくした。メガンは、17 歳のとき、同棲相手との赤ん坊を入浴中に寝て溺死させてしまったことがトラウマになり、夫スコットにも話せず、精神科医カマルのセラピーを受けていた。レイチェルが電車の窓から目撃した光景は、電話で駆けつけたカマル医師がメガンを勇気づけるためにしたキスだった。彼がメガンを殺したと思い込んだレイチェルは、警察ばかりか、世間からメガン殺しの犯人と疑われる夫のスコットの家にまで押しかけて、カマルが怪しいと訴える。周囲に迷惑をかけるこの的外れな言動こそ、作者ホーキンズの成功に寄与した「信頼できない語り手」の手法だ。読者はレイチェルに振り回され、彼女と共に間違えながら、事件の真相にたどり着く。トムは、メガンの妊娠を知り、彼女を殺して森に埋めたが、降りつづく雨のため死体は発見されたのである。

レイチェルを中心とする三人の女性による語りの構成がみごとで、本は大いに売れたが、こうして真相をまとめてみると、ありきたりの不倫殺人でその陳腐さに驚く。筆者の私見では、真相を明かすことが作者のいちばん書きたかったことではない。ポーラ・ホーキンズの本領が発揮されるのは、その後だ。真相を知ったレイチェルは、トムの自宅で殴り倒され、囚われの身となる。トムは赤ん坊のイーヴィの面倒を見て、殺人犯と知ったアナをなだめて味方につけようとする。レイチェルは電車が通る外へ逃げ出し、ケータイで警察に通報しようとするが、トムにまた捕まってしまう。取っ組み合いとなり、レイチェルは持ってきたコルクスクリューでトムの首を刺す。警察が来ると、トムは死んでいた。正当防衛だったと、意外にもアナが証言し、レイチェルはあっさり自由の身となる。この小説でもっとも衝撃的なオチを池田真紀子訳と原文で見てみよう。レイチェルの一撃を受けとき、トムはまだ生きていた。

あの日、電車が通り過ぎたあと、背後で物音がして、アナが家から出てきた。まっすぐこちらに歩いてくると、トムの傍らの地面に膝をつき、彼の喉に両手を当てた。

彼の顔には、驚いたような、感情を害したような表情が張りついたままだった。私はアナに言いかけた。“無駄よ、もう手遅れだから”。でもそこで気づいた。アナは出血を止めようとしているのではなかった。そうではなく、念を入れていた。コルク抜きをひねって、彼の喉にさらに深く、もっと深く押しこんでいた。そのあいだ、ささやくような小さな声で彼に何か話しかけていた。何を言っているのかは聞き取れなかった。（『ガール・オン・ザ・トレイン』下 285 頁、以下この本の訳文は、池田真紀子訳）

The train had passed. I heard a noise behind me and saw Anna coming out of the house. She walked quickly towards us and, reaching his side, she fell to her knees and put her hands on his throat.

He had this look on his face of shock, of hurt. I wanted to say to her, *It's no good, you won't be able to help him now*, but then I realized she wasn't trying to stop the bleeding. She was making sure. Twisting the corkscrew in, farther and farther, ripping into his throat, and all the time she was talking to him softly, softly. I couldn't hear what she was saying. (*The Girl on the Train*, 474)

愛する夫を早く楽にしてやったのか。あるいは愛想が尽きてとどめを刺したのか。アナ自身に語らせることもできたのに、作者のホーキンズはレイチェルに語らせて、アナの心情を読者の想像に委ねて余韻を残している。

「メガンは充分すぎるほどの罰を受けた」（下 281 頁）とレイチェルはメガンの子殺しを許して、メガンの遺灰が娘リビーの隣りに埋葬されるのを喜ぶ一方、自分たちが殺したトムは「嘘の一生だった」と責めている。わが国のカスタマーレビューを見ると、男女の読後感がまるで違うことに驚く。「ヒロインの日常がくどくど描かれ、ありふれたサスペンスがよけいに退屈に思えた。エンディングのハリウッド的オチも飽きたな」（イップー）は男の反応だ。物語の筋を追うだけの粗い読み方ではこう思うしかない。対して女性読者は、同性が書いた女性登場人物に感情移入している。「登場人物の自虐さやダメさと、恐ろしさや、不幸のスパイラルは、他人事に思えず、恐怖に引き込まれてしまいました。近年の女

性が抱えがちな悩みが網羅されていると思いました。そして最後は強さも、陰鬱な描写で読んでいる間は面白辛かったですが、最後はすかっとしたのは、私が女性だからかな？」(Amazon カスタマー)。その通りである。これが女の典型的読みだ。『魔女の水浴』について誰にも感情移入できずつまらなかったと書いた辛辣なレビューが思い出される。あれは男性読者が書いたのではないか。ポーラ・ホーキンズは女性のために書いている小説家と思われるのだ。

私たちは互いに結ばれている。事情聴取に応じてした釈明によって、永遠に結ばれている。私は自分の身を守るために彼の首を刺すしかなかった。アナは彼を救おうと全力を尽くした。（下 285 頁）

We are tied together, forever bound by the stories we told: that I had no choice but to stab him in the neck; that Anna tried her best to save him. (*The Girl on the Train*, 474-475)

トムの嘘を断罪しながら、この二人の女性の露骨な嘘に「すかっとした」のは、女性読者ならではの反応だ。そして当のポーラ・ホーキンズも、女性読者がそのような読後感を持つことを期待して書いている。こう考えると、失敗作と見なされている最新作 *Into the Water*（『魔女の水浴』）の執筆意図と読みどころがはっきりと見えてくる。

３．*Into the Water* /『魔女の水浴』

3-1)“into the water”の繰り返しと文学的効果

アカデミー出版から出た翻訳書の邦題自体は魅惑的で、この題名につられて購入する人もいるにちがいない。が、そういう人は連想した内容とまるで違うことにがっかりするだろう。確かに「魔女」は冒頭に登場するが、死んだネルが残した生原稿の一部に過ぎず、しかも本物の魔女ではなく、妻子ある男と愛人関係になって村の男たちにリンチされたことが書かれているだけだ。*The Girl on the Train* とのつながりで言えば、「魔女」として殺された若い未婚女性の名前が Libby であることは注目に値する。池田真紀子氏は「リビー」と普通に訳しているのに、天馬龍行氏はなぜか「リッビー」としたため、日本語訳の読者には同名だと気づきにくい。メガンの不注意で浴槽で「溺死した」赤ん坊と同じリビー(Libby)なのである。「わたしの腕とバスタブの縁のあいだにはさまれて、顔は水中に沈んでいた」（下 21 頁 her body wedged between my arm and the edge of the tub, her face in the water. 252 以下、下線は筆者）。「水の中」と女性の死の結びつきはポーラ・ホーキンズのこだわりなのか、メガンの死も次作への橋渡しになっている。「コーリー・ウッドの奥の草地にあふれた水の中から若い女性の遺体が発見された」（上 296 頁　筆者が池田訳の「奥」を原文どおり「中」に改めた。the body of a young woman has been found submerged in flood-water in a field at the bottom of Corly Wood, 238)。

Into the Water の本文１頁目(*Into the Water*, 1 以下、原書の引用頁のみを記す)で、薄幸のリビーがまたも溺死させられるのは、一見まったく違う小説に見えるホーキンズの新作が、*The Girl on the Train* の紛れもない発展形であることを示している。“This time, they carry her into the water.”(1)「今回、男たちは彼女を水の中へ運んだ」（以下、すべて拙訳）。魔女として殺されるリビーは序の口に過ぎない。今度は、多くの女性が川の「水の中」で死ぬ。作者は、読者を小説中に引き込むかのように、*Into the Water* という書名を本文中に意識的に書き込んでいる。

この小説は 10 人以上の視点登場人物によって一人称または三人称で語られるので、読者自身が主人公を選ぶことも可能だが、間違いなく主人公の一人と数えられるのは、子供時代に住んだ家に帰ってくるジュールズだ。彼女による１回目の語りにも、書名“Into the Water”が重要な意味を持たせて繰り返されている。ここで言う“water”（水）とは、物語の中心舞台となる“river”（川）のことだ。

私が４歳か５歳の頃、パパは大喜びではしゃぎながら私を水の中へ連れて行った。姉さん、あなたはだんだん高い岩に上がっては、そこから川の中へ飛び込んでいたわね。

Dad carrying me, squealing and squirming with delight into the water when I was four or five years old; you jumping from the rocks into the river, climbing higher and higher each time.(11)

これがジュールズの川との出会いだ。楽しい幼年時代の回想だが、物語の伏線にもなっている。姉のネルはついには崖のてっぺんまで上がって、水の中へ飛び込んで死ぬことになった。残されたネルの一人娘リーナの世話をするために、ジュールズは仕方なく帰ってきたのである。

ずっと帰りたくなかった家の中を歩く場面に、次のような一節がある。

突然、目に入ったものに、私はぎょっとなった。巨大な窓のすぐそばに川があった。川の上というより、川の中にいるようだった。もし窓を開けたら、下にある木のベンチにどっと水が押し寄せてきて、そのまま部屋を沈めてしまうのではないか。

I came across it so suddenly it threw me, beside the enormous windows giving out onto the river—*into* the river, almost, as though if you opened them, water would pour in over the wide wooden window seat running along beneath. (14)

ジュールズにとって川は恐怖の対象になっている。なぜこの家を去ってずっと避けていたのか、なぜ「水の中」が怖いのか。姉の水死とは別に、彼女自身の過去の体験が関わっている。姉の仕事場に貼られた「溺死プール」の写真を見るジュールズの語りの締め括りにも、題名が現われる。

まるでその場にいる感じがした。崖のてっぺんに立って、水の中を覗き込んでいるのだ。私は、恐ろしいスリルと忘却の誘惑を感じていた。

I felt as though I were *there*, in that place, as though I were standing at the top of the cliff, looking down into the water, feeling that terrible thrill, the temptation of oblivion. (15)

このように見ていくと、やはり、*Into the Water* は『水の中へ』もしくは『川の中へ』と訳すべきだった。著者のポーラ・ホーキンズは思い入れたっぷりに、読者の関心を問題の「水の中へ」引き込もうと、本文中で効果的に題名を繰り返しているのだ。これは、多くの登場人物による悪評高い視点の転換、前作でも使った記憶の変容などと同様、文学的技法である。ホーキンズは原書の冒頭に、「記憶は固定されているものではなく思い出すたびに変容するものだ」というオリバー・サックスの *Hallucinations*（思い違い、錯覚）の一節を掲げている。シドニー・シェルダンなどの娯楽作が専門のアカデミー出版にとって、こんな文学的エピグラフは邪魔なだけだ。『魔女の水浴』では、超訳の一環としてあっさり省いている。娯楽を第一に求める多くの一般読者の便宜を図ったのだろうが、文学作品として見た場合、作者の工夫やこだわりをあまりにも無神経に破壊しているように思われる。

3-2) *Into the Water* のあらすじ

普通のスリラー小説よりも文学的だということがわかってきたところで、あらすじを紹介したい。しかしまず知っておくべきことは、その書き方である。10 人以上の登場人物が一人称または三人称で物語の視点となる。短いときは 1 頁、長くても 10 頁前後、たいていは２、３頁で各章が終わる。英語を学ぶために原書のペーパーバックを読みたい者には、理想的な長さだろう。翻訳本で読む一般読者は、休日に一気に読むつもりの人が多いだろうが、この小説は何日もかけてゆっくり読むべきだ。気短な人に先に注意しておくと、ガイドなしでは１回で理解することは相当難しい。結末を知ったうえで読み返すことが必要である。２回目でようやく、そうだったのかと納得できるところが多い。ジグソーパズルのように各人物の物語（思い込みや錯覚や誤解以外に、意図的な嘘も多数混じっている）を組み合わせて全体像を作り上げるのだ。たいていのスリラー小説は読み返すことはまずないが、*Into the Water* は再読を楽しむ小説なのだ。それを面倒と思う人は、読まない方がいい。あるいは、以下のわかりやすく再構成したあらすじを参考に、自分の目で本編を確かめていただきたい。

2015 年、イギリスの閉鎖的な田舎町ベックフォード。その町を貫く川には、水泳プール(a swimming pool)ならぬ「溺死プール」(The Drowning Pool)と呼ばれる、自殺もしくは殺人の名所がある。魔女狩りの時代から、問題を抱える多くの女性が死んでいるのだ。ネル・アボットは作家として野心を抱き、嫌がる町の人々を取材して、それぞれの女性が川で死ぬまでの経緯を本にまとめようとしていたが、完成前に溺死プールの崖から落ちて死んでいるのが発見された。

ネルと不和になっていた妹のジュールズは、少女時代のトラウマから、ずっとこの町を避けていたが、母子家庭のネルが残した 15 歳の娘リーナの面倒を見るため、かつて過ごした川辺の家にやってくる。ジュールズは母が癌で孤独な少女期を送り、13 歳のとき過食症で太り、美人の姉ネルにコンプレックスを抱いていた。ある夜、姉の寝室を覗いて劣等感が増し、キッチンでカクテルを作って飲んでいるところを、泊まりに来ていたネルの恋人でプレイボーイのロビー（ロバート・キャノン）に見つかり、犯されてしまう。川で自殺しようとして姉に助けられるが、ロビーと共犯と思い込んで、ネルが死ぬまで恨みつづけ、電話で話すのも拒絶していた。リーナが行方不明になり、実の父親らしいロビーをやっと訪問。トラウマの元となったセクハラ行為を責める。ネルが何も知らなかったと聞き、ジュールズは、死んだ姉とよう

やく和解し、リーナを代わりに育てる決心をする。

ネルの謎の死の数か月前には、リーナの親友ケイティが川で自殺していた。ケイティは、リーナと一緒に男性教師を誘惑して赤面させるゲームを始めて、ハンサムなマーク・ヘンダーソン(29 歳)に本気で恋してしまった。ヘンダーソンは 16 歳になっていない教え子との関係がイギリスでは「犯罪」になり、刑務所に入れられて囚人たちの慰み者になることを怖れた。ケイティは自分たちの関係がずっと知られないように、リーナに秘密を守るよう頼み、甘美な自殺を遂げたのだった。

リーナは約束を守って、ケイティの死後、マーク・ヘンダーソンのことは黙っていた。だが、愛する親友を失ったことを恨み、ケイティの弟ジョッシュと、ヘンダーソンの借家の窓ガラスに石を投げつける。ジョッシュが口を割ったと聞き、リーナはショーン・タウンゼンド警部補に秘密を明かす。そして夜、ヘンダーソン宅に侵入し、帰ってきたところを襲撃するが、押さえ込まれてしまう。ヘンダーソンは、元恋人の海辺の別荘へリーナを車で連れ去る。そこで、ヘレン・タウンゼンドの校長室から何気なく持ち出したブレスレットがリーナの目に留まり、母が身に着けていたものを持っているヘンダーソンを殺人犯かと怪しむ。彼は潔白を訴えてなだめようとするが、リーナは、ケイティのことを思い出し、またも逆上する。

その後、リーナは自力で脱出して保護され、心配するジュールズの元へ帰る。以後、マーク・ヘンダーソンは行方不明となり、学校ではリーナが殺したと噂される。ネルの事件を捜査していた地元警察のショーン・タウンゼンド警部補の父親で元警官のパトリックの家に、上司ショーンとネルの関係を疑うエリン・モーガン巡査部長と、ブレスレットのことを知ったジュールズが押しかけ、息子の嫁のヘレンが間に入ってかばおうとするが、パトリックは、ブレスレットをもぎとって崖からネルを突き落としたと自白して、逮捕される。家父長を自認する老人は、息子を誘惑して、川で母親を亡くしたショーンのつらい過去を聞き出そうとするネルが許せなかったと言う。パトリックは妻のローレン殺しも認め、6 歳だったショーンは何も知らないと断言して、刑務所に入る。

ローレン殺しの真相をショーンは悪夢として記憶していた。父パトリックは、母ローレンの不貞を疑って家で殴り、瀕死の彼女を川に捨てに行った。幼いショーンは知らずに車の後部座席に乗り込み、死の淵にある助手席の母を見て、父親の犯罪に立ち会うことになってしまった。パトリックは罪を隠して息子を育てあげ、ショーンはトラウマを抱えつつも、警察の仕事にまじめに打ち込んでいた。そこにネルが現われたのだ。ローレンの死の真相を知ろうと、ネルはショーンの愛人になった。二人の関係を知ったパトリックは、息子を殴りつけたが、実際のところ、ネルは殺さなかった。

ショーンはネルと酒を飲んで一緒に過ごしたあと、溺死プールの絶壁に上った。当時の状況を知りたいネルに対して、うわの空の彼は、車の中で見た助けを求める母の姿を思い出し、幻影を振り払うつもりで、崖から下を覗き込むネルを後ろから押してしまうのである。

つまり、ネルは真っ逆さまに水の中へ落ちて岩に激突して死ぬわけだが、下に落ちて行ったことをつけ加えた超訳と違い、オリジナルの原文では、「両手でネルの腰のくびれを押し、私は幻影を押しのけた」(With my hands in the small of Nel's back, I pushed her away.”(386)で終わっている。以上が、多くの枝葉(他の登場人物や様々な挿話)をばっさりカットした、*Into the Water* の簡単なあらすじだ。

ネルの前にケイティが川で死んでいたことは、初めて読む人にはわかりにくく、彼女の場合は青い鳥のネックレスを身につけていたので、天馬氏が取り違えたような混乱が起こる。ネルの原稿に書かれた他の女性たち(たとえば、第一次世界大戦に出征して暴力をふるうようになった夫を殺すアン・ウォード)や、ネルにヒントを与える霊媒のニッキー・セイジ、母ローレンの死の直後、幼いショーンの面倒を見た婦警ジェニー、最愛の娘ケイティが死んだことでリーナを恨みつづけるルイーズなど、主筋と直結しない人物は、おもしろくてもとりあえず省略した。ヘレンとよりを戻してベックフォードを去るがすぐに姿を消すショーン、ロンドンのアパートで二人だけの新生活を始めるジュールズとリーナのエピローグも読者の記憶に残ると思うが、あらすじからはあえて切り離した。

3-3) 推理小説としての *Into the Water*

リバーヘッド版で 388 頁ある *Into the Water* のあらすじからわかることは何だろうか。推理小説としては、二人が川で謎の死を遂げており、いったい何があったのかが興味の中心になる。ベックフォードの町の汚点である「溺死プール」を本にしようとしたネル・アボットは、当然、町の人々に嫌われており、誰に殺されたのかが、最大の謎となる。登場人物が多いことから、その中の誰が犯人なのか推理しながら読むことが期待される。犯人は意外な人物で最後の最後で明らかにされる。あらすじに書いてしまったとおり、ショーン・タウンゼンド警部補が真犯人だ。ネル・アボットの水死事件の捜査を指揮していた人物なので、まさに意外な犯人でインパクトもありそうだ。なにしろ、謎の真相をいちばん知りたがっ

ているジュールズとリーナの家にいち早くやって来て、次のように検死結果を述べているのだ。

「ネルは落ちた衝撃で亡くなったのです。誰かと争った形跡はありません。血液中にアルコールも検出されました」さらに穏やかな声で言う。「判断を誤るにはじゅうぶんな量です。足元がふらついたのでしょう」

"Nel was killed by the impact. There's no indication that anyone else was involved. There was some alcohol in her blood." His voice grew softer still. "Enough to impair her judgement. To make her unsteady on her feet." (82-83)

再読すると、「よく言うよ」とあきれるか、それとも、これはみごとな伏線だと感心するか、のどちらかだろう。

ショーン・タウンゼンド自身の語りにも伏線がある。霊媒師ニッキー・セイジ（Sage は「賢人」の意）が面と向かってこう言う。

「わかっているんだろう。これはこの前の事件とは違うんだ。ケイティ・ホイッテカーのときとは違う。これは、おまえさんのおっかさんの事件に似ているんだよ」

"You know, don't you, that this wasn't like the last one? This wasn't like Katie Whittaker. This was like your mother." (118)

もちろん真犯人の警部補は「それはどういう意味だ？何か知ってるなら、教えてほしい。どうなんだ。ネル・アボットの死について何か知ってるのか？」（118）と、しらを切る。アガサ・クリスティが『アクロイド殺し』(*The Murder of Roger Ackroyd*, 1926)でやった犯人が語り手というトリックだが、作者のホーキンズは読者に対してフェアに振る舞っているように見える。次の頁では大胆にも、最近母をよく思い出すと語り、「母の顔が現われる。ほほ笑んでいる時もあるが、そうでない時もある。私のほうに手を伸ばしてくることもある」"Her face comes to me; sometimes she is smiling, sometimes not. Sometimes she reaches for me."(119)と最後のどんでん返しに直結するヒントを与えている。

目を閉じると、車の中の母が見えた。私のほうに手を伸ばしてくる。私は、母から逃れたかった。のけぞったが、なおも、私めがけて手を伸ばしつづけるので、私は押しのけようとした。

I closed my eyes and I saw her in the car, reaching out for me, and I wanted to get away from her. I shrank back, but she kept coming at me and I tried to push her away. (386)

この直後に先に引いた最後の一文「両手でネルの腰のくびれを押し、私は幻影を押しのけた」が来るのだ。さりげない一行「私のほうに手を伸ばしてくることもある」を記憶する読者はまれだろうが、1983 年のローレン・タウンゼンドの死については、このショーンの章の次(124-127)に、ネルがタイプした生原稿（取材不足で、ローレンは溺死プールまで歩き、崖から投身自殺したことになっている）を掲げており、作者による、謎解きの鍵の配置はかなり工夫されている。ネルの原稿自体が信頼できないことは、もちろん、町の人々の批判によってほのめかしてある。

作者はさらに、ショーンとネルの関係についても伏線を張っている。ショーンと別居して舅と暮らす不眠症のヘレンの章だ。

それはショーンと共に始まった。最初に彼女が疑い、それからパトリックによって、最悪の事実が確定した。昨年の秋に、自分の夫、意志の強いしっかりした不動の道徳家である夫が、思っていたのとは全然違う人であることを発見してしまったのだ。

It started with Sean. First with her suspicions and then—via Patrick—the awful confirmation. Last autumn she had discovered that her husband—her solid, steadfast, resolutely moral husband—was not at all what she thought him to be. (186)

ここまで来ると、ショーンの不倫相手は誰か想像がつく読者もいよう。1983 年のローレン・タウンゼンドの死に関するネルのタイプ原稿の続きは、100 頁以上あとの 297 - 300 頁に「ローレン、再び」(LAUREN, AGAIN)として掲げている。幼いショーンが母親の事件直後に婦警のジェニーに語った話で、母親が虐待されていたことと、父親に口止めされていたことがほのめかされている。つづくショーンの章で、ようやく、取材に来たネルとの出会いが語られる。あとは、あらすじに書いたとおり、息子を守るパトリックの自白で一件落着したように見せて、どんでん返し。最後のショーンの章で、真犯人本人の口からネル・アボットの死の真相を語らせている。

以上、誰がなぜネル・アボットを殺したのかという犯人探しのプロットは、ミステリー小説の条件を満たしているように思われるが、実際は、楽しみにしていた要素が足りないと感じた読者が多かった。「書評：ポーラ・ホーキンズ著 *Into the Water*―本の犯罪」によると、犯罪小説の専門家は以下のような評価を下している。

残念ながら、*Into the Water* には、*The Girl on the Train* をいやおうなく楽しく読ませた迫力と活力が欠けている。正直言って、犯罪小説よりも純文学か女流小説を探している読者のほうが好みに合うと思う。*Into the Water* はキャラクター研究と見なすことができるが、ここでいう「キャラクター」とは、暗い過去を持つ町のことだ。これを好みとする読者もいるだろうが、私は、ミステリーとサスペンスの要素が *Into the Water* では二の次と知ってがっかりした。この本を手に取り、心をわしづかみにするミステリーを期待した読者として、私はひどく失望した。*Into the Water* は美しく書かれているかもしれないが、物語の進行は遅く、不必要と言っていいくらい多くの視点の転換や語り手の交代があって、読むのが煩わしい。これらの要素は、純文学や女流小説では創意や実験として評価されるのだろうが、ファンを引きつける犯罪小説にはならないのである。

Unfortunately, INTO THE WATER lacks the drive and energy that made THE GIRL ON THE TRAIN so compulsively readable. Truly I think readers looking for literary fiction or women's fiction might find INTO THE WATER more up their alley than crime fiction readers will. INTO THE WATER can be considered a character study, where the "character" is a town with a dark past. This might suit some readers, but I was disappointed to discover that the mystery and suspense elements of this story take a backseat in INTO THE WATER. As a reader picking this book up and hoping for a gripping mystery, I was sorely disappointed. INTO THE WATER might be beautifully written, but it moves slowly, and drags the reader through an almost unnecessary amount of perspective-changes and narrator-swaps. These elements that might be inventive or experimental in literary fiction or women's fiction just do not translate into compelling crime writing. ("Crime by the Book")

要するに、犯罪小説として読むと、つまらないということだ。犯罪小説ファンが、*The Girl on the Train* でミステリーとサスペンスを楽しんだことがわかる。なるほど、登場人物は多くないのに、カマルもスコットも怪しく感じられ、レイチェルが衝撃的真相にたどり着くまでの物語は、失った記憶に象徴されるようなサスペンスとミステリーが濃厚だった。登場人物が多い分、*Into the Water* は犯人探しが楽しめるはずだが、書評の評者が書いているように視点や語り手が替わりすぎて、不慣れな読者は、下手をすると、何が起こっているかもわからず、犯人探しどころではなくなってしまう。日本語版の『魔女の水浴』も、超訳を施したとはいえ、アカデミー出版の従来の訳書よりも高度な読みと忍耐力を課す。複雑な語りについて行けない読者、単なる娯楽を期待する男性読者が、カスタマーレビューで「つまらなかった」と叫ぶことになる。引用した書評でも指摘されているように、*Into the Water* はまさに女流文学作品と呼ぶのが適切だ。シャーロック・ホームズの生みの親で娯楽小説の雄コナン・ドイルよりも、ポーラ・ホーキンズは、「信頼できない語り手」をよく採用したハーマン・メルヴィルや、「視点人物」の効果を意識的に利用したヘンリー・ジェイムズ、常に実験的で女性の意識に敏感だったヴァージニア・ウルフといった英米文学の代表的作家たちのほうが好きにちがいない。

3-4) #MeToo 運動と *Into the Water*

それでは、ポーラ・ホーキンズが文学的手法を使っていちばん書きたかったこととは何だろうか。

ショーンがネルと不倫していたかもしれないと的確に推理できても、確認できるのは 100 頁以上先である。その間何があったかといえば、もう一つの死、ケイティの自殺をめぐる物語が語られているのである。*The Girl on the Train* で、わが子リビーを殺してしまったメガンの過去の物語を思い出そう。夫スコットに秘密にして彼女の心を蝕んでいくこのトラウマは、文学的素材であり、レイチェルの失われた記憶を追うミステリー・サスペンスとは一線を画していた。浴槽におけるリビーの死が *Into the Water* の冒頭の魔女狩りで男たちにリンチされるリビーの溺死につながっていることはすでに述べた。赤ん坊のリビーはメガンが殺したことになっているが、作者ホーキンズは、好意的に描いている精神科医のカマルにこう言わせている。

「いまの話を聞くかぎり、マックという男性は責任ある行動を取っていない。まだ少女のような年齢の世間知らずな女の子と同棲したうえ、そばに寄り添

っているべきときにその少女を一人きりにしたんです。おそらく、自分にも責任はあるとわかっているでしょう。彼はその責任から逃げたんです。あなたからではなく」（『ガール・オン・ザ・トレイン』下、97頁）

"From what you have told me, he isn't a man who behaved responsibly. He took in a very young, very vulnerable girl and left her alone when she needed support. Perhaps he knows that what happened is your shared responsibility. Perhaps that's what he ran away from."（*The Girl on the Train*, 316）

ここを押さえておけば、*The Girl on the Train* が唯の心理スリラーではなかったことがわかる。責任を取らなかったばかりか相手を無残に殺して幸せな結婚生活を続けようとした、トムに象徴される男性の横暴を告発し、女性の連帯を呼びかけたフェミニズム小説だったのだ。水に浸かったメガンの死体は、*Into the Water* に引き継がれ、女性を蔑視するパトリックに代表される家父長的な男性が告発されている。表面上、パトリックは妻を亡くしても地域社会に貢献しつづけた優秀な警察官("a highly decorated officer" 128) としてベックフォードの町の人々から尊敬されている。ところが、この老人は、逮捕に来た巡査部長(DS = Detective Sergeant)のエリンを「汚い売女」("dirty bitch" 351)と呼び、ジュールズには「あんたは若かったとき、肥満体だったんだろ？」(Obese, weren't you, when you were younger? 354)と聞き、「むかつくほどのデブだったんだ、この女は」 (Disgusting fat thing, she was. 354)とあからさまに侮辱する。もちろん、ホーキンズが創造した強い女性たちは、黙っていない。エリンは、ショーンの不倫とネルの不審死を持ち出して対抗する。喉をつかまれると、胸を殴りさえする。ジュールズのほうは、「むかつくじじい」(Disgusting old man, 354)と言い返している。パトリックの妻ローレンに代表される、溺死プールでの女性の死は、男性の暴力によってもたらされていると言いたいのだ。

作者の絶望は深く、カマルのような女性に理解のある男性はもはや登場せず、エリンはレズビアンであり、ジュールズは男性と結婚するよりもリーナとの共同生活に希望を見出している。アメリカでは史上初めて独身女性の数が既婚女性を上回り、それがポーラ・ホーキンズの人気につながっているという指摘もある(Henley)。*Into the Water* が出版された2017年は、男性による過去のセクハラを告発する#MeToo 運動が盛り上がった年でもある。「もしあなたがこれまでにセクハラや性的暴行を受けたことがあったら、このツイートに「わたしも」と返事を書いてください。2017年、10月16日、午前5時21分」(If you've been sexually harassed or assaulted write 'me too' as a reply to this tweet. 5:21AM—Oct 16, 2017)と女優兼歌手のアリッサ・ミラノが呼びかけたことが思い出される(Milano)。彼女は、奇しくもポーラ・ホーキンズと同じ1972年生まれで、現代女性の切実な思いを共有している。

わが国でも呼応して、政治家や官僚によるひどすぎるセクハラが問題視されるようになった。ジュールズの少女時代の体験はそれがレイプと認識されにくいので、この小説の呼びかけに被害者たちは世界中で共感を示しているかもしれない。その意味で、*Into the Water* は男性ではなくフェミニストが翻訳すべきだった。女性なら「魔女」という差別的な言葉を嫌って『魔女の水浴』などという超訳の題名はつけなかっただろう。しかし、筆者は高校生のときアカデミー出版の *The Chase* で英語を楽しく学ばせていただいた者として、『魔女の水浴』でも、ポーラ・ホーキンズの訴えは堪能できると強調しておきたい。原書もそうだが、とりあえず、あらすじをきちんと押さえたうえで、ミステリーよりもケイティの物語に注目して読むと、作品の本質が楽しめるはずだ。実際、作者も、ショーンの物語より筆に勢いがある。推理する必要もなく明かされるケイティの自殺の真相とリーナの熱い思いにこそ、*The Girl on the Train* から *Into the Water* へと発展させたホーキンズの執筆目的がしっかり込められているのだ。

おわりに――作者の完全犯罪

ケイティの自殺は、リーナといたずらのつもりで始めた、男性教師を色気で赤面させるゲームがきっかけだった。マーク・ヘンダーソンはちゃんと恋人がいて女性に不自由しないハンサムな人気教師で、他の男性教員と違って、少女のからかいはまるで通じなかった。そんな彼がリーナの知らない所で、まだ15歳のケイティと愛し合うようになる。恋愛小説にもなりえる題材だ。当のケイティは小説が始まるときにはすでに亡くなっているが、その純粋で熱烈な恋愛感情は、リーナが語る回想に垣間見ることができる。ところが本書で焦点を当てるのは、教え子に手をつけてしまったマークの醜さと刑務所で格好の標的にされることを怖れる小心ぶりだ。留守宅に忍び込んだリーナは、キッチンの流しに汚れた食器や調理済み食品の食べ残しが放置され悪臭を放っているのを見つける。これは恋人に自殺された精神的ダメージの

表われと考えるのが普通だろうが、リーナは、学校での清潔なしゃれたイメージが虚像で、これこそがヘンダーソン先生の本性と見なす。「病気のけだもの」(a sick animal, 267)のような汗臭い寝室で「茶色いしみ」(a brown stain, 267)を見つけて、吐き気を催す。そこへ、何も知らない衰弱しきった当の本人が帰宅する。“Good-looking.”(207)と校長のヘレンも太鼓判を押している、ハンサムなはずのヘンダーソンは、リーナには「醜く見えた」(He looked ugly, 267)。「あたしは、すぐさま奴めがけて駆けだした。醜い顔から両目を爪でえぐり出して、奴が悲鳴をあげるのを聞いてみたかった」(I just went for him. I wanted to scratch his eyes out of his ugly face, I wanted to hear him scream. 267)。リーナは、ハサミを武器にしてかかっていくが封じられ、車のトランクに入れられて海辺の別荘へ運ばれるが、そこでもまた攻撃を仕掛ける。

ここまで読んで気づくのは、これが、ジュールズの体験のバリエーションだということだ。ネルの葬式で久しぶりに見たロビー（ロバート・キャノン）を醜いと思ったのは、歳月の流れも関係しているだろうが、リーナと同じく心理的な要因が大きい。仕事場に訪ねて再会する場面では、「振り返ると、そこに彼がいた。葬式の日よりもさらに醜く見えた」(I turned around, and there he was, uglier even than he had looked on the day of the funeral. 252)が、先ほど一部引用した「そしてそのあとドアがバッと開いて、そこに彼がいた。彼は醜く見えた。顔と目が赤く、口を開けていた」(And then the door swung open and there he was. He looked ugly, his face and eyes red, his mouth open. 267)ときれいに対応する。

ロバート・キャノンはベックフォードの女の子の半分を物にできたと豪語する（254）が、これはマーク・ヘンダーソンが「ぼくは、女を手に入れるのに苦労したことは一度もない。みんな始終言い寄って来る。きみはいま首を横に振ってるけど、きみだって見ているだろ。ちくしょう、きみ自身が言い寄って来たじゃないか」(“I’ve never had any trouble getting women. They come on to me all the time. You shake your head now, but you’ve seen it. Christ, you did it yourself.” 288)と対応する。もてる男と言えば、*The Girl on the Train* のトムがそうだった。ハンサムな彼も、レイチェル、アナ、メガンという小説の語り手全員と関係している。そしてどうなったか？　レイチェルとアナの完全犯罪で首に穴をあけられて殺されたのである。作者はそれを良しとして、女性読者もその結末に共感した。そして今度も、ポーラ・ホーキンズは、同じことを繰り返すのだ。

トムのときはコルクスクリューだったが、今度は釘だ。ケイティから「どうか、リニー、わたしのために、この秘密を守ってちょうだい。彼のためじゃないのよ、彼が嫌いなのはわかってる。わたしのために秘密を守って」(Please, Lenie, keep this secret for me. It’s not about him, I know you hate him. Do it for me. 202)と頼まれていたのに結局、警察に秘密の関係を明かしたばかりか、ケイティの入水自殺について教師ヘンダーソンを激しく責めたてて、“I’m sorry, I’m sorry, I’m sorry,” he was saying. “Forgive me. God forgive me.”(311)と本気で謝っているのに、「それって少し遅すぎるんじゃない？」(“Bit late for that,” I said. “Don’t you think?” 311) と容赦しない。３行上には、「手に釘を持って、あたしはテーブルのところまで歩いて行った」(With the nail in my hand, I walked over to the table. 311)とあり、この後どうなったかは読者の想像に委ねられている。

マーク・ヘンダーソンは崖上の別荘の前に赤い車を残したまま忽然と姿を消すが、作者は読者に手がかりを与えている。次のリーナの語りでは、母のブレスレットを取り戻した彼女が、ヘンダーソンに追われることなく崖の道を下りる場面となる。冒頭、「罪悪感が入り込む余地はなかった」(There was no room for guilt. 316)と言い、その後で「あたしに罪悪感が入り込む余地はなかった」(I’d no room for guilt. 317)と言い換える。そして自宅に戻ると、ヘンダーソンがどうなったかについて口を閉ざし、シャワーを浴びながら、「あたしは、彼のすべてがあたしから洗い流されることを望んだ。彼の不潔な家と彼の拳骨と彼の悪臭、彼の息、彼の血」(I wanted *him* washed off me, his filthy house and his fists and the stink of him, his breath, his blood. 326)と最後が血であることから、釘が使われたことがわかる。リーナはあの世(an afterlife, 326)でマークとケイティが幸せに暮らすことも夢想しており、彼女が殺人を犯したことは明白である。リーナは何も話さないが、ケイティの弟ジョッシュは、本書で省略された場面を噂として次のように語っている。

> たくさんの噂がある。――学校では、リーナが先生を殺して海に突き落としたんだ、と言ってる。でたらめだと思うけど、たとえ本当でも、ぼくは彼女を非難しないだろう。
>
> There’s been lots of rumours―people at school are saying that she killed him and pushed him into the sea. I think it’s rubbish, but even if it isn’t, I wouldn’t blame her. (367)

これがポーラ・ホーキンズの思いであろう。作者に代わって真相をほのめかし、許しを与えているのだ。“into the sea”は、本書の題名 “Into the Water”の言い換え表現と解釈できる。

ベックフォードの溺死プールで死ぬのは女性ばかりだった。みな、男性の虐待と横暴に苦しんでいた。愛に殉じたつもりのケイティでさえ、そうだったと作者は言いたいのだ。夫の不倫で妻が愛人を責めるのは間違いで、夫を責めるべきと主張するリーナは、レズビアンを肯定して女性の共闘を願う作者ポーラ・ホーキンズの考えを代弁しているように思われる。否定しようとするジュールズに、リーナはこう言う。

> 「いいえ、そうでしょ。誰かが浮気したら、なんで、いつでも奥さんが、相手の女性を憎むのよ？ なんで、旦那を憎まないの？ 彼が裏切ったのよ、彼が永遠に愛して大事にするって誓ったんじゃないの。糞いまいましい崖から突き落とされるのは、なんで彼じゃないのよ？」

> “Yes, it is. It’s, like, when someone has an affair, why does the wife always hate the other woman? Why doesn’t she hate her husband? *He’s* the one who’s betrayed her, *he’s* the one who swore to love her and keep her and whatever forever and ever. Why isn’t *he* the one who gets shoved off a fucking cliff? (332)

やはり、リーナは、マーク・ヘンダーソンを「崖」から突き落として殺したのだ。この主張は、前作でトムを愛しつづけてアナを憎んだレイチェルを想起させるが、実際に最後は、元夫を憎んで、愛人だったアナと和解して一緒にトムを殺した。リーナに反論しようとした *Into the Water* の重要人物の一人であるジュールズは、最後の語りで、自分をかつてレイプしたロバート・キャノンに立ち向かったときの「恐れを知らぬ自分」(the fearless version of myself 378-379)を思い出して、リーナのように強い女になろうと決心する。

以上が、ポーラ・ホーキンズがミステリー・ファンの期待を裏切ってまで書きたかったことである。#MeToo 運動について作家のマーガレット・アトウッドは「女性は、悪事を働くことができない天使ではない」(They’re not angels, incapable of wrongdoing.)という女性観を披露し、盛り上がりを見せるこの運動が、女性によるリンチや魔女裁判につながりかねないと懸念を表明した(Atwood)。小説とはいえ、司法制度を無視した女性による男性殺しを肯定するポーラ・ホーキンズは、男性読者にとっては怖い作家だ。特に *Into the Water* の場合、マーク・ヘンダーソンは校長が高く評価するほどの人気教師だったのに、罠にかけて、「溺死プール」で死んだ女性たちを弔うための生贄のごとく殺してしまった。しかも、殺人犯のリーナに希望に満ちた未来を約束しているのだ。筆者は、ポーラ・ホーキンズという特異な女流作家の私的怨念をひしひしと感じながら、奥深い文学的サスペンス・スリラーとしてこの本を堪能することができた。その意味で、*Into the Water* は、*The Girl on the Train* を凌駕する忘れがたい小説である。

参考文献

Alter, Alexandra. “Welcoming the Dark Twist in Her Career: Paula Hawkins’s Journey to ‘The Girl on the Train’.” https//www.nytimes.com/2015/01/31 books/paula-hawkinss-journey-to-the-girl-on-the -train.... (2018 年 2 月 5 日最終閲覧)

Atwood, Margaret. “Am I a bad feminist?” Special to the Globe and Mail. January 13, 2018.

Begley, Sarah. “Review: Paula Hawkins’ Into the Water.” http://time.com/4766640/the-girls-off-the-cliff/ (2018 年 6 月 15 日最終閲覧)

Book of Secrets. May 25,2017. https://www.goodreads.com/book/show/33151805-into-the-water (2018 年 2 月 5 日最終閲覧)

“Book Review: INTO THE WATER by Paula Hawkins ― Crime by the Book” http://crimebythebook.com/ blog/2017/4/18/book-review-into-the-water-by-paula-hawkins (2018 年 2 月 5 日最終閲覧)

Corrigan, Maureen. “Does Paula Hawkins’s new novel ‘Into the Water’ live up to the hype?” https://www.washingtonpost.com/entertainment/ books/does-paula-hawkinss-new-nov... (2018 年 6 月 15 日最終閲覧)

Flood, Alison. “Into the Water by Paula Hawkins review―demanding thrills from Girl on a Train author.” https://www.theguardian.com/books/2017/ may/16/paula-hawkins-into-the-water-review (2018 年 6 月 15 日最終閲覧)

Hawkins, Paula. *The Girl on the Train*. New York: Riverhead Books, 2015. (『ガール・オン・ザ・トレイン』上・下巻、池田真紀子・訳、講談社文庫、2015 年)

―― *Into the Water*. New York: Riverhead Books, 2017. (『魔女の水浴』上・下巻、天馬龍行・超訳、アカデミー出版、2017 年)

Henley, Tara. “Dive into Paula Hawkins’ new thriller Into the Water.” Special to the Star Sun. May 7, 2017.
King, Stephen. twitter.com/stephenking/status/559683663810797568（2018年9月7日最終閲覧）
McDermid, Val. “Into the Water by Paula Hawkins review—how to follow Girl on the Train?” https://www.theguardian.com/books/2017/apr/26/into-the-water-paula-hawkins-review（2018年6月15日最終閲覧）
Milano, Alyssa. twitter.com/alyssa-milano/status/919659438700670976（2018年6月15日最終閲覧）
あいあい（2018年1月10日）「『魔女の水浴』Into the Water(上) カスタマーレビュー」 https//www.amazon.co.jp...（2018年6月15日最終閲覧）
Amazon カスタマー（2016年12月25日）、イップー（2016年3月31日）「『ガール・オン・ザ・トレイン』（上）（講談社文庫）カスタマーレビュー」 https://www.amazon.co.jp...（2018年6月15日最終閲覧）

What Paula Hawkins Really Wanted to Write about: From *The Girl on the Train* to *Into the Water*

Koichi YOKOYAMA

Paula Hawkins’s sensational world bestseller *A Girl on the Train* (2015) was accepted as a psychological thriller as soon as it appeared. Her eagerly-awaited second novel *Into the Water* (2017), however, seems to have disappointed most of her fans who expected a still more exciting and mysterious thriller than her first one. In fact, one crime novel critic did not conceal his utter disappointment, mentioning it would not be the best choice for crime readers because “the mystery and suspense elements of this story take a backseat.” Interestingly enough, he could not help admitting that the novel in question is beautifully written, and he even recommended this book he disliked to those who love literary fiction or women’s fiction. After all, he is a good critic, correctly pointing out *Into the Water* is a novel which satisfies academic readers much more than crime fiction lovers.

Despite the fact that many readers undoubtedly regard Ms. Hawkins as a crime writer, it is doubtful that she thinks of herself as one. Reportedly she has no interest in Sherlock Holmes, and her editor of Riverhead usually avoids such genre. Which shows that Paula Hawkins is a serious writer who, I imagine, likes great authors of English and American literature such as Henry James, Virginia Woolf, and even Herman Melville. Her notorious techniques in the new novel, like the frequent changes of more than ten point-of-view characters, appear to derive from the l9th-20th centuries’ literary experiments. Perhaps a large number of people who want just an entertainment for a weekend night will be unexpectedly at a loss to find the book they bought so complicated that they can hardly understand what is going on and cannot afford to reason who killed Nel Abbot, although Ms. Hawkins prepares a lot of hints.

If you want to enjoy *Into the Water* to your heart’s content, you should read it at least twice. Contrary to your first impression, the novel is quite similar to *A Girl on the Train*: Libby (the same name of the unfortunate baby drowned in the bathtub) is drowned again by a mob of hateful men this time at the opening of the new book. Paula Hawkins’s common theme becomes clear due to this repetition. The death of the first Libby was brought by Mac, the irresponsible man who left the young Megan when she most needed him. Tom, another egoistic man, killed Megan when he knew she was pregnant. The heroines Rachel and Anna, though they were ex-enemies, took revenge on him with a corkscrew. *Into the Water* is a double–plot novel consisting of Nel’s mysterious death and Katie’s pathetic suicide. The former is a real whodunit which reminds me of Agatha Christie’s *The Murder of Roger Ackroyd* (1926), but Ms. Hawkins prefers the latter with a strong, feministic massage somewhat related to #MeToo trend.

Katie’s story is not a mystery at all. She loved secretly Mark Henderson, a good-looking teacher very popular among female students. Since Katie was still a fifteen-year-old girl, Henderson was afraid of being arrested and put into jail where he would probably be the target of manly convicts. Katie drowned herself, trying to prevent their forbidden relation from being known to the public. Lena, her best friend who loved her, exacted revenge on Henderson, stabbing him with a “nail” (a variation of the corkscrew in the first novel) and pushing him off a cliff. This bloody killing is not narrated, the scene intentionally omitted but alluded with enough hints. Seemingly, Paula Hawkins is disappointed in men completely in *Into the Water*, where there is no Kamal. Again she succeeds in letting her heroine kill unpunished another handsome man as the scapegoat for the violent men who have abused women for many years.

Foundations Reading Library案内
――高校が舞台のグレイディッド・リーダー――

横山　孝一*

(2019年1月7日受理)

はじめに

2018 年 3 月、新宿にある Books Kinokuniya, Tokyo のグレイディッド・リーダーのコーナーで Foundations Reading Library (Heinle, Cengage Learning 2008)が表紙が見えるようにずらりと陳列されているのを見た。八重洲ブックセンターでは普通のペーパーバックの厚さにした合本も見かけたが、薄い小冊子で１冊ずつ売られていた。

このような初級レベルの本は、Macmillan や Pearson の入門レベルにもあるが、本誌で以前取り上げた Oxford Reading Tree や Info Trail のように圧倒的に子供向けが多い。その意味で、アメリカの高校を舞台にした、同年代の英語学習者を対象とするグレイディッド・リーダーは画期的といえる。基礎から本場の英語を勉強したいが童話は読みたくないと思っている高校生にとって、理想的なシリーズかもしれない。

読み方としては、独立した本からなる通常のグレイディッド・リーダーと違って、LEVEL 1 の第１話から順番に読んでいくとよい。厳密に言うと続き物ではないのだが、主要登場人物が再登場し、その成長を読み取ることができるからだ。会話も多いので、音声ＣＤを使えば、英会話の勉強にもなる。

本稿の最後には参考として、従来の発想でつくられた同じ英語レベルから始まる子供向けの小さなシリーズ Delta Adeventures in English も紹介した。おそらく、中高生の男子は、幼稚な感じがして敬遠するにちがいない。たしかに主人公は年下だが、英語がわかると、意外におもしろいと感じるものだ。Foundations Reading Library が 42 冊もあるのに対して、こちらはたった６冊。とりあえず１シリーズを読破したい英語学習者にはお奨めだ。すぐ読めてしまうだろうが、勉強には何度でも使える。こちらもＣＤ付なので、情景を思い浮かべながら繰り返し聴いたり、朗読を何度もまねたりして、最終的には、全文まるごと暗唱できるのではないか。工夫次第で、総合的に英語を学習できるだろう。

*人文科学系・英米文学

Foundations Reading Library

Foundations Reading Library (Rob Waring と Maurice Jamall の共著)は、アメリカの架空の Bayview 市を主な舞台として、Bayview High School の生徒たちの生活を描いた７段階 42 冊からなるグレイディッド・リーダーである。高校生たちは、黒人の Hayes 夫妻が経営するカフェ The Lagoon をたまり場として、動物園と遊園地のある Bayview 公園でスケートボードやラジコンで遊んだり、すぐ下の海水浴場で泳いだりする。美しい海には、古い難破船が沈んでいて、イルカも泳いでいる。周りには無人島まであって、有名な歌手がミュージックビデオを撮りに来たりする。繁華街には、ミュージックショップのほかスケートボードやギターの専門店も並んでいる。学校生活も魅力的だ。選択授業では、カンフーや絵画を学ぶことができ、有名人の講演会もある。運動会では、車椅子と健常者の競走まであって、バレンタインデーのダンスパーティーでは、新たなカップルが誕生する。

フルカラーのアニメ風挿絵が頁の半分以上を占める。絵本というと幼稚な印象を与えるので、グラフィック・ノベルと考えるとよい。キャラクター・デザインがしっかりしているので、付属のＣＤを聴きながら読んでいくと、アニメを見ているような感じがする。特に主役は決まっていないが、個性的な登場人物たちが再登場する。シリーズの最初を飾る LEVEL 1 の 第 1 話 “Sarah’s Surprise”で、カフェ The Lagoon でアルバイトを始める Sarah は、学校で男子が付き合いたいと思うような女の子だ。LEVEL 7 の “Love Online”では、学校一のプレイボーイ Scott に誘われるが、一緒にアルバイトをする韓国系の Ji-Sung を選ぶ。彼は、LEVEL 1 の “Bad Dog? Good Dog!”では、姉の Yoon-Hee に買い物を任せっきりでゲーム機に夢中になり、LEVEL 4 の“Do I Tell?”では、Scott と Mike の悪事を黙認して一緒に補導された人物である。あまり魅力的には見えないが、LEVEL 3 の “Quiz Night”では知性と一途な正義感を示しており、

Sarah は寡黙なひたむきさに惹かれたのかもしれない。

しかし、Rob Waring と Maurice Jamall がすべての物語を書きながら、性格付けが今一つ定まっていない場合もある。ネイティブ・スピーカー以外の英語学習者を対象としたシリーズなので、日本人の生徒も二人登場する。Yoon-Hee と Eric の三人でバンドをやっている Kenji は、LEVEL 7 “Do It”で、理科のプレゼンテーションを勉強嫌いの Ryan と組まされ、自分は苦手なのに、Ryan が大好きなバスケットボールを研究テーマに選ぶ。和の精神を重んじる日本人の典型を感じさせる性格づけだ。同様に、夕方 Eric に誘われ、母親に内緒で海辺に密会に行った Yoko （それ以前は一緒に公園でスケボーをしていた）の行動も、ひょっとしたら日本的と見なされているのかもしれない。それはいいとして、この LEVEL 3 “A Good Friend”で、砂浜で足をけがした Yoko を病院に必死で運んで好青年ぶりを発揮する Eric が、LEVEL 6 の “The Lost Wallet”では、Harris 先生の落とした財布の金を勝手に使ってしまう卑劣な若者になり下がっている。顔は同じに描かれていても、同一人物とはとても思えないだろう。

性格が一貫しているのは、悪役の白人たちだ。Scott は学校一のイケメンで女性にもてるが、性格が悪すぎる。動物園を訪れたときは注意を聞かず、動物にちょっかいを出す。カンフーの授業では弱い者いじめをする。LEVEL 5 “Who’s Best?”では、ニューヨークからの転校生 Kate とデートの約束をするが、彼女は Adib を選ぶ。この肌の浅黒い生徒は、LEVEL 3 “Kung Fu Kid”において、すでにカンフーの試合で Scott を負かしており、伏線もしっかりしている。Scott の女版ともいえる Gemma は、さらに強烈な悪印象を与える。LEVEL 2 の “Singer Wanted”では、美人で歌もうまいが、バンドのオーディションに受かると、バンド名を “Gemma and Hot Rock” に変えようとしたり、LEVEL 3 の “Quiz Night”では、クイズの答えを金で買って優勝を狙ったりと、性格はずうずうしくずるい。LEVEL 7 の“Let’s Party”では、文字どおり、招かれざる客として悪役ぶりを存分に発揮している。しかし、最後の登場となる “My Mom, the Movie Star”では、先生と母親を騙すものの、最後の頁で挿絵に描かれる、元女優の母と肩を組んで帰る姿はさわやかで、救いがある。ちなみに彼女の弟は、悪がきの Ryan だ。壊れたボートを海岸に不法投棄したり、自転車レースで反則して優勝したりする陰には、父 Don Walsh の存在があった。本物の悪党で、LEVEL 6 最後の “The Old Promise”では、100 年前の書類を偽造して、イルカが来る Mr. Jenkins の海辺の家を横取りしようとして警察に逮捕されてしまう。以上の悪役たち（その他、バッグのひったくりなどの犯罪者たち）全員が白人であるのは、白人のアメリカ人にとってはおもしろくないだろう。しかし、第１話の “Sarah’s Surprise”で、黒人は犯罪者という先入観を最初に戒めており、異なる人種はもちろん、車椅子の障害者も共生する、理想の学園が描かれているのだ。(Jimmy が校長に直訴して、運動会で競技用の車椅子に乗って、サッカーが得意な Anthony に挑む LEVEL 4 の“Go Jimmy Go!”は、本シリーズ屈指の感動作になっている。）白人にとっては逆差別的なところもあるかもしれないが、英語を国際語として学ぶ世界中の学習者を意識した配慮といえよう。

それぞれの物語は主人公も異なりとりとめもないが、Mr. Walsh と Ryan が捨てたボートを黒人の Tyler が見つけ、遊び仲間の John, David, Faye, Daniela と改修する LEVEL 2 “Old Boat, New Boat”以後、現実離れした〈冒険もの〉が本シリーズを活性化する。つづく “The Cave”で冒険を予感させ、LEVEL 4 で“Lost at Sea” “The Shipwrek” “Mystery on the Island”が３部作としてつづき、ハリウッドのアクション映画ばりの LEVEL 6 “Trouble at Sea”で最高潮に達する。なかでも David は、名案を出して実行する人物として確立し、Bear Mountain Camp を舞台にした LEVEL 3 後半でも、食料をまいてクマを追い払ったり、旗を見つける競争に勝つなど、頭脳明晰ぶりを発揮。LEVEL 7 の最終話 “The Golden Monkey”では、美術館に長年隠されていた中国の秘宝を発見するきっかけを作る。

以上は、冒険ファンタジーとしてはおもしろいが非現実的で、好みの分かれるところだろう。筆者としては、Jenny を主人公とする物語が楽しめた。LEVEL 1 第２話 “Goodbye, Hello!”で、Alex が一目惚れして付き合うことになる女の子だ。LEVEL 6 の “Does He Love Me?”は、Alex と Yoon-Hee が自分の誕生日を祝うサプライズ・パーティーを企画しているとは露知らず、嫉妬して Yoon-Hee の日記を盗み見て自己嫌悪に陥る。LEVEL 7 の “Let’s Party”は、意に反して自宅で騒がしいパーティーをするはめになった彼女が、両親の突然の帰宅を前に怒りを爆発させる話で、ロマンチックな愛も吹き飛ぶような Jenny の怒りの表情を描いた挿絵は一見の価値がある。“Goodbye, Hello!”で Alex の妹として早々と登場した Daniela は、シリーズ中、Jenny よりも多く描かれている。Gemma に代わって Hot Rock のボーカルとなり、改修したボートで冒険に出かけるメンバーの一人だ。友人は多いが、オーディションで見せた自信のなさと頑張りは、キャンプ地での失敗と名誉挽回の活躍を描いた LEVEL 5 の“Think Daniela!”でも反復されており、性格付けに着目して読むと、おもしろさは格別だ。このシリーズは、特に主人公はいないので、好きなキャラクターを見つけて読むと、より楽しめるにちがいない。

使われている英語は、LEVEL 5 まで現在形で書かれている。ネイティブ・スピーカーからすると、英語学習者にとって過去形は難しいという考えがあるらしく、グレイディッド・リーダーの早い段階ではよく見られる配慮だ。LEVEL 1 の “Rain, Rain, Rain!”を見ると、

“Oh, no! It’s Monday today. And I have school,” thinks Faye.
She is looking at the rain. “I don’t like the rain. And it’s raining today.”
She thinks, “I don’t want to go to school.”
（3　以下、頁数のみを記す。下線は引用者。）

と始まっている。「きょうは月曜日。学校がある」に対応する英語は簡単そうでも、日本人には、なかなか言えない表現なので、とても勉強になる。 「フェイは服を着る（Faye gets dressed.）」「自転車に乗る（Faye gets on her bike.）」「毎日、電車に乗って学校に行く。駅までは自転車だ(Every day, Faye takes the train to school. She rides to the train station on her bike.)」「おはようママ（“Morning, Mom”）」「行ってきます（“See you!”）」「きょうは学校は休みだった（“There’s no school today.”)」。日常生活の英語表現を覚えるには最適のテキストだろう。

現在形は臨場感を出す効果もある。現在形の総仕上げとなる LEVEL 5 第 6 話の “The Bear’s Mouth”では、

The loud sound comes from the cave again. “Listen, that’s a bear!” says Gemma. David is listening carefully.
Nobody wants to go in the cave. “You like animals, David,” says Kerry. “Why don’t you go?”
“Wait. I’m thinking. Wait,” says David. “Be quiet.”
He thinks and listens again to the bear’s sound.
“Okay. I’m going,” he says.
“David, no!” shout Faye and Jenny. “Don’t! You’ll be hurt! Come back.”
It is too late! David walks slowly into the cave. They are all very surprised. (21-22)

といった具合だ。今起こっていることなので、先がどうなるのか、登場人物たちと共にハラハラする。そして、じっくり読むと、オチの伏線に気づくかもしれない。

これが、LEVEL 6 の第 1 話から、過去形の語りになる。Eric と John が、テストばかりして大嫌いな先生、Mr. Harris の財布を拾う場面を見てみよう。

Eric and John went to look at it. “What is it?” asked John.
“It’s Mr. Harris’s bag,” replied Eric. He picked it up. “Let’s look inside it.”
“No,” said John. “We shouldn’t.”
Eric did not listen to his friend. He opened the bag and looked inside. “Hey, there’s a wallet. Maybe there’s some money in it,” he said.
“No,” said John again. “Don’t open it. It’s not ours.” But Eric opened the wallet. (9)

一般の小説と同じ過去形で、浮ついた Eric と道徳心を守ろうとする John の緊迫したやりとりが語られている。同じレベルの “A Helping Hand”では、

Tyler replied, shouting, “Hurry up, Daniela! We don’t have time.” (8)

Suddenly, Tyler and David came racing back down the hill. (10)

They could hear the dogs barking behind them. (11)
There were some dolphins playing at the beach. (32)

といった分詞を使った構文も散見できる。

最終レベルはどんな英文か？ LEVEL 7 の “My Mom, the Movie Star”から、端役しかもらえなかったママを同名の大女優だと学校を騙した Gemma が、イベントに呼ばれて喜ぶママを見てやましい気持ちになる箇所を引く。

Later, Gemma was watching her mother. Her mother was looking at pictures of her acting days many years before.
“Those were good times,” said her mother. “It’s so good that people remember me. It makes me feel good. I really want to be an actress again.”
Gemma’s face went red. She knew Mr. Harris thought her mother was Anita Hamilton. “I must tell her,” she thought.
“Anita Hamilton can’t come so I must tell Mom that it was a joke.”
Then she thought, “But Mom’s so happy, I can’t tell her now. Maybe it’ll be okay on Sports Day.” (17)

この頁の上部にはカラーのイラストがついている。キッチンのテーブルで古い白黒写真のアルバムを見る母親に対し、立ったまま話すGemmaは浮かない顔をしており、文章の内容をよく伝えている。読む分量もLEVEL 1と比べると増えているが、自然な増え方なのがいい。英語が苦手な学習者も、挫折せずに読み通せそうだ。紹介した文章はもちろん教員には簡単に見えるだろうが、その簡単な英文でこれだけの葛藤を描き出すことができるのだ。文科省検定済の英語教科書では味わえない読書の醍醐味を学生たちにこのFoundations Reading Libraryでぜひとも味わっていただきたいものだ。

以下は、Foundations Reading Library の全7レベル合計42冊の概要である。

LEVEL 1

① Sarah's Surprise

Sarah がカフェ The Lagoon でアルバイトをすることに。Mrs. Hayes から説明を受け、彼女の留守中、同じ学校の男子Ji-Sungと働く。スキンヘッドの黒人の大男が勝手にサンドイッチとリンゴを持って行ってしまい、警察を呼ぶ騒ぎとなるが、Mrs. Hayes が戻り、共同経営者の夫と判明する。（シリーズ初回らしく、"How do you do, Mrs. Hayes?" "Hi Sarah, it's nice to meet you. I'm Ji-Sung."といったあいさつ表現を学ぶ。）

② Goodbye, Hello!

母の誕生日プレゼントを妹のDanielaと買いに来た青年 Alex は、自分の誕生日に欲しいスノーボードを見ているときに、幼いJessicaが押すショッピングカートにぶつかり、腹を立てる。しかし、美人の姉が謝り、一目惚れ。名前を訊けずに別れ、学校で消沈していると、先生が転校生を紹介。"I'm Jenny. Hello !"と、当の彼女が隣りの席に来る。

③ Rain, Rain, Rain!

月曜日の朝、Faye は雨で憂鬱になるが、９時からの授業に間に合うよう、何か言おうとするママを振り切って出かける。散歩中の犬とぶつかって自転車を壊し、電車は線路に木が倒れ不通。バスを待って車に水をはねかけられる。ずぶぬれで8：59に到着するが、校門には、「本日休校」の張り紙。

④ Bad Dog? Good Dog!

母親の Mrs. Lee に買い物を頼まれた姉弟。Yoon-Hee は途中、子犬を生んだ母犬の世話に忙しい Farina から父犬の Dingo の散歩を引き受ける。ゲーム機に夢中のJi-Sung は、買い物にも犬にも無関心。Dingo は買った肉をくわえて逃げだし、"You bad dog!"と Ji-Sung は罵って姉と追いかける。Farina 宅へ戻った Dingo は、子犬たちに肉を与えている。Yoon-Hee は、"you are a very good father!"と褒める。

⑤ Get the Ball!

サッカーの試合。Jenny はボーイフレンドの Alex の The Blues を、友達の Kerry は Anthony の The Reds を応援している。この二人の選手はライバルで、激しくボールを奪い合い、険悪なムードになる。Anthony が蹴ったボールを建設現場に取りに行った Alex は、Anthony が突進してくるのを見てうろたえるが、落下物から守ってくれたと知り、友情が生まれる。("The Reds are playing the Blues." "Alex scores a goal for the Blues! The score is 1-0 to the Blues." "Now the score is the Reds 1, the Blues 1."といったサッカーの試合を語る表現や、 "Come on, Anthony!" "Come on, the Blues!"のような応援の表現が学べる。）

⑥ The Tickets

車椅子の Jimmy が、Jenny の誕生日に The Bandits のコンサートへ Alex と行くようにチケットを２枚プレゼント。ファンの Kerry は「私も行きたい」と羨む。授業へ行く Jenny がチケットを落とすと、Kerry はそれを拾って自分の財布の中へ。昼休みに渡してあげるつもりだったが、昼食を買う時にこのチケットを見てしまった Jimmy は、彼女が盗んだと思い込む。 "That's really bad of you."と責めたところへ Jenny がやって来る。目の前で Kerry が "Here are your tickets."とあっさりチケットを渡して"That's very nice of you."と感謝されるのを見た Jimmy は、怒った理由を訊かれて赤面する。（"Happy birthday, Jenny! These are for you."と、プレゼントを渡すときの表現が学べる。）

LEVEL 2

① Sk8 for Jake

公園のベンチを使ってスケートボードを楽しむ三人（John, Eric, and Yoko ）は、黒人の管理人 Mr. Walker に "No skating here. Go away."と追い払われる。スケボーの第一人者(the number one skateboarder in the world)Jake Montoya の公演が Bayview 公園で行なわれる日。観客が集まっているのに、Montoya の到着が１時間も遅れる。Mr. Walker のアイデアで三人が前座を務め、公演は無事終了。お礼に Mr. Walker は、公園内にスケートボード場をつくってくれた。

② The New Guitar

Eric, Kenji, Yoon-Hee のバンドの練習を見る黒人の Ray は、ギターを持っていない。誕生日に買ってもらいたかったが、父親はギターの本しか買ってくれない。Ray は、自分の貯金で Eric がよくないと言ったギターを買って仲間に加わるが、演奏中に落として壊してしまう。家で修理しようとすると、猫が接着剤をひっくり返して床に足跡がつき、両親から叱られる。

③ Trouble at the Zoo

Bayview 動物園を訪れた Bayview 高校の生徒たち。管理人の Mr. Jenkins が注意事項を守るよう促したが、Mike は調子にのってライオンやクマを挑発。注意されて謝るが、悪いとは思っていない。Jenny がカンガルーの子と一緒に写真を撮りたいと言ったのを聞いて、Mr. Jenkins がいなくなると、柵に入ってカンガルーの子を抱き上げる。Jenny は柵を越えて止めようとする。そこに怒った母親のカンガルーがやって来る。Mike はさっさと逃げて、カンガルーの子を任された Jenny は、Mr. Jenkins の指示でなんとか柵の外へ逃れる。Mike は二人に謝罪する。

④ Singer Wanted

バンド Hot Rock がボーカルを募集。Daniela が興味を示しオーディションを受けるが、Gemma にはかなわず、落選。すっかり自信をなくしてしまう。一方、自信過剰の Gemma は、バンド名を Gemma and Hot Rock に改名すると勝手に決めて衣装までつくってきた。一同の不興を買い、晴れて Daniela が招かれる。

⑤ Old Boat, New Boat

Mr. Walsh と息子の Ryan が壊れた古いボートを浜辺に不法投棄。その後、黒人の Tyler が見つけ、David と Faye と修理して自分たちのボートにすることに決める。市清掃局(CITY GARBAGE COLLECTION)の男性も “That's a great idea.”と賛同。アルバイトで費用を稼ぎ、着手。完成品を見た Ryan が取り戻そうとするが、清掃員に不法投棄の罰金を請求され断念する。

⑥ The Cave

John, Daniela, Tyler, David, Faye の五人がボートで洞穴を探検。なかには、1979 年の古新聞が置かれたテーブルやハンモックがあった。人が住んでいたらしい。調べているうちに水位が上がって、出られなくなる。はしごを昇ると、丸いドアがあり、戸棚で見つけた鍵で開いた。外は森の中。ずっと気乗りしなかった Daniela は、“I'm not comning back!”と洞穴探検はもうこりごり。

LEVEL 3

① Slam Dunk for Mark

バスケットボールの試合。Bayview 高校のスター選手 Mark のスラムダンクで逆転勝ち。“Great job, Mark!”と仲間たちから感謝され、先生の Mr. Harris からも “Good job, Mark, and good luck in tomorrow's game. With you on the team, we'll win the cup again!”と激励される。しかし、二人きりで暮らしている祖母の具合が悪くなる。「決勝戦には出られない」とだけ言って、Gemma ら友人たちの不興を買うが、病院に祖母を連れて行って心は満たされる。

② Kung Fu Kid

カンフーのクラスに Adib が初めてやって来る。白人の Mike と Scott は、弱いものいじめをして楽しんでいる。中国系の先生が、Adib を Mike と対戦させる。Adib のほうが小柄だが動きがすばやく、Mike を簡単に負かしてしまう。続いて“number one student”の Scott が気乗りせず渋々対戦。勝てないとわかると、脚をけがしたふりをして退場。Adib は “You are a good student, and a good teacher, too.”と褒められる。

③ A Good Friend

Eric が小川家の Yoko に浜辺で夕陽を見ようと誘うが、母親の Mrs. Ogawa が許さない。Yoko は試験勉強をしてから寝ると嘘をつき、たき火のそばでギターを弾く Eric のもとへ。ところが割れた瓶で足をけがし、日が暮れて雨が降る中、Eric が病院に連れて行く。電話をもらって駆けつけた Mrs. Ogawa は Eric を責めるが、Yoko が “I'm the bad one.”と自分の非を認める。

④ Quick Thinking

John と Tyler がラジコンの車や飛行機で遊んでいる。David と Faye は、露店でアルバイトをする Daniela からアイスクリームを買い、浜辺に泳ぎに行く。そこで、女性のバッグを奪って逃げる白人の男を目撃する。とっさの判断で、ケータイを使い、仲間たちと連携。逃走を妨害し、ラジコンをぶつけて犯人を湖に落として、警察を呼ぶ。

⑤ I Always Win!

Bayview の自転車大会。毎年、父親から新しい自転車を買ってもらって優勝している Ryan に、黒人の Tyler が挑む。“I want you to win. Our family always finishes first.”と勝利にこだわる父親の Mr. Walsh の影響で、Ryan は競り合う Tyler を突き飛ばしてゴール。

しかし、父にすべてを告白。脚を骨折して入院したTylerに優勝カップを手渡す。

⑥ Quiz Night

クイズ大会に出場した Ji-Sung は、the Petronas Towers は Malaysia の Kuala Lumpur にある、*Yesterday* を歌ったのは The Beatles、と当てる。問題と答えを金で買ったGemmaと優勝を争うことになり、買収された出題者の John が Ji-Sung を勝たせようと問題を先に教えてしまう。Ji-Sung は不正を嫌い、わざと “I don't know!”と言って負け、John はひとり反省することになる。

LEVEL 4

① I Spy

ワシントンＤＣ。Edgar は極秘文書を女スパイに売り渡す仕事に就くが、電話で聞いたのと偶然同じ服装をした Yoon-Hee を見て、違うバスに乗ってしまう。赤いカバンをすり替えて、金を手に入れた気になって下車したEdgar は、間違いを知り、他人の自転車を奪ってバスを必死に追いかける。自転車の持ち主、自転車に犬をはねられそうになった男、驚いてアイスクリームを落とした女が怒ってその後を追い、まぬけな男は逮捕される。

② Go Jimmy Go!

運動会(Sports Day)の 800 メートル走に出る Anthony は、車椅子の Jimmy が “I'm in that race, too.”と言ったとき、本気にしなかった。実際、他の走者の邪魔になると黒人教師の Mr. Williams が反対したが、Jimmy は金髪の校長(principal)Mr. Roberts に直訴し、二人分のレーンを使ってレース用の車椅子で出場。結局 Anthony には勝てず、２位(second place)になるが、“Next year I will *win*!”とあきらめない。

③ Do I Tell?

Ji-Sung は、バス停で Scott と Mike の二人組に出会う。金髪の Scott は持ってきたペンキスプレーでポスターに落書きし、現場を見ていない黒人警官にやっていないと嘘をつく。子供料金で乗れなかった二人は、バスの後ろの席を占領して、老人にも座らせない。今度は、Mike がシートに落書きする。公園では、ごみ箱を蹴り倒して、ガラス瓶を投げて割る。二人は、湖の鳥めがけて石を投げているところを白人の警官に補導されるが、内心ずっと批判的だったJi-Sungもこの婦警から「一緒にいて止めなかったわね」と責任を問われ、警察に連れて行かれる。

④ Lost at Sea

Faye, Daniela, David, Tyler, John の五人が、自分たちのボートでダイビングに出かける。ところが嵐になり、海に落ちて一同ずぶ濡れに。Faye の新しいケータイも、ボートのエンジンも役に立たなくなる。なんとか小島にたどり着くと、避難所をつくって火を焚き、夜をあかす。翌日、砂浜に石で SOS の文字を並べ、Faye の母と David の父が乗る警察のヘリコプターに助けられる。

⑤ The Shipwreck

John, Daniela, Faye, David, Tyler の五人が再び自分たちのボートで出かける。John と David はダイビングを楽しむ。Faye がサメを見つけ、John に戻るよう知らせる。先に戻っていたDavidは逆にサメのほうへ泳ぐ。サメではなく、イルカだったのだ。二人はイルカにつかまって海底に潜り、古い難破船と宝箱を発見。箱の中には大きなタコがいて、David の脚にからみつく。突進して救ってくれたのは、もちろんイルカだ。

⑥ Mystery on the Island

土曜日の午前中、Bayview の繁華街にＣＤを買いに行った Daniela, David, John の三人は、乱暴な運転をするリムジンに注目。屈強な男が女を船で連れ去るのを目撃して通報するが、警官に相手にされず、自分たちで調べようと Shark Island へ。古い屋敷をサングラスの男たちが猟犬を連れて見張っている。女性が監禁されていると思いきや、ポップシンガーの Patti Sanders が極秘でミュージック・ビデオを撮影しているのだった。彼女の歌が大好きな Daneila は、夢の共演を果たす。

LEVEL 5

① Who's Best?

ニューヨークから来た転校生 Kate は、The Lagoon で財布が見当たらず、ドリンク代を出してくれた Scott と映画に行く約束をする。しかし、車椅子の Jimmy にぶつかって罵倒する彼の醜い姿を見てしまう。“All the girls want to go out with Scott!” “All the girls are in love with him.”と Gemma と Yoon-Hee が褒めそやすが、印象が悪くなる。その後、Mrs. Chen の美術の授業でシカゴ出身の Adib と絵画の話で意気投合。映画の約束を忘れて、“He's nice and very easy to talk to.”と思う。Adib がくれた似顔絵を Scott がけなして破るのを見た Kate は、コンサートへ行く約束をしたものの、結局、見た目よりも、性格の良い Adib を選び、誘ってくれた画廊へ出かける。そこには、彼女を描いた絵が一等賞をとって飾られていた。

② The Big Test

他の生徒たちと違って、図書館で明日の試験勉強をする気のない Ryan は、廊下で「 脚が痛い」と騒ぎ、Mr. Harris に保健室へ連れて行ってもらう。その間に相棒の Steve が先生のＰＣに送信機を取りつける。歴史の問題と答えをまんまと盗み出した二人は、Mike らに販売。翌日、勉強せず余裕でテストに臨んだ生徒たちは、問題が違うのでうろたえる。Mr. Harris は Ryan と Steve を教員室に呼んで、本棚の防犯カメラがとらえていた映像を見せる。They are in big trouble now!

③ Where's Lorena?

４歳の妹 Lorena と人形遊びなんかできない。しかし、Alex は、母親の Mrs. Oliveira から子守りを厳命され、しかたなく遊園地(the fairground)へ。友人と夜 The Lagoon で会う約束をしている間に妹は行方不明になる。海の方へ行ったと聞き、不安になって捜しまわるが見つからず、帰宅。Lorena は母親に電話して婦警の助けで無事に家へ戻っていた。母親に叱られるが、うれしかった。夜に出かけるのはやめて、自分から “Let's play with your dolls.”と、幼い妹の相手をする。

④ Boys vs. Girls

Bayview 高校の生徒たちが週末を Bear Mountain Camp で過ごす。Mr. Woods の指導で牛の乳搾り(milk a cow)からキャンプ生活を始めるが、Gemma がふざけて弟の Ryan と Eric に牛乳をかけ、男女の争いになる。男子は飼われていたネズミを Girls' Cabin に放して怖がらせ、女子は Boys' Cabin に放水する。Mike は仕返しに、売店で買ったハチミツを玄関前に流してハチを呼ぼうとするが、森からクマが３頭出現する事態に。David は食べ物を集めて、それをまいてクマたちを森に帰す。“Boys, that was very bad of you.”と引率した黒人女性教師 Mrs. Brown は叱る一方、 “Well, it's good nobody was hurt.”と生徒たちの無事を喜び、 “And good job, David. You did very well!”と David の気転を褒める。

⑤ Think Daniela!

長い散歩から戻り、Daniela は、ぬれたスニーカーを乾かそうと火のそばに置いて自分のばかりか Gemma の靴まで燃やしてしまい、ひんしゅくを買う。名誉挽回のために重たいジュースを運んで、John にかけてしまい、怒鳴られる。ただ一人怒っていない Faye がクマに襲われそうなのを見て大声で “Run away, Faye.”と叫ぶが、剥製だった。びっくりして落としたカメラが壊れ、Faye にまで嫌われる。すっかり自信をなくしたところで、吊り橋から女の子が転落。とっさの判断でロープを川の両側の木につなぎ、滝に落ちる寸前で救出。“Daniela, that was very smart of you.”と Faye たちの信頼を取り戻し、John と Gemma も、“We're sorry for being angry with you.”と謝罪する。

⑥ The Bear's Mouth

Mr. Woods の説明を聞き、地図をもとに旗を捜し集めてその数を競う “a flag race”を行なう。David, Jenny, Kerry が緑チーム。Ryan, Faye, Gemma が赤チーム。持たされたロープを使って緑チームが木の枝から旗を取る。Gemma は仲間内で地図の取り合いをして崖から落ちながらも、川辺の旗を取る。６対６で終点の洞穴 The Bear's Mouth へ。先に着いた赤チームの Gemma はクマがいると言って断念。しかし、緑チームの David は耳を澄まし、奥へ入り、旗を持って戻る。ＣＤプレイヤーを持った Mr. Woods と共に。流していたのはライオンの咆哮だった。 “Good job! The green team wins!”

LEVEL 6

① The Lost Wallet

Mr. Harris から来週またテストを行なうと聞き、抗議する Eric。放課後、スケートボードで競争し、親友の John は石につまずいてスケボーを壊してしまう。店で直せないと言われ、ギターを見た後、二人は、バスに急いで乗る先生が財布を落とすのを目撃。拾った Eric は、“Nobody saw us, so we can keep it. It's ours now.”と返す気なし。一方 John は “I don't want to steal from anybody. It's not fair.”と非難する。「明日返すよ」と言った Eric の家を気になって訪ねてみると、先生のお金で買ったギターを弾いており、John のために新しいスケボーを買っていた。John は正義を貫き、中身が半分になった財布を翌日、先生のカバンに戻そうとして、Mr. Harris に捕まってしまう。母親が呼び出されて叱られる中、Eric が真相を告白。先生は、半年間、二人に自宅の庭の掃除を命じる。

② No, You Can't!

Anthony はバイクに夢中でレースを見に行きたいが、母親が反対する。ガレージの掃除を引き受けて許してもらうが、やはり危ないと禁止され、バイクマニアの祖父に内緒で連れて行ってもらう。祖父の知り合いのレーサーの後ろに乗せてもらったあと、単独でもコースを走り、大喜び。ところがそこへ母が止めに来て、木に激突。脚と腕を骨折するはめに（He had a broken leg, and a broken arm.）。母は 16 歳のとき、父親がバイクで瀕死の重傷を負い、バイク嫌いになったのだ。 “I love you

very much. But my love for you made me worry. And my worry made you have an accident."と反省した母は、バイクの安全な乗り方を学ぶことを許す。

③ Does He Love Me?

Jenny は、図書館で日記を書く親友の Yoon-Hee が何かを隠していることに気づく。ボーイフレンドの Alex も同様で、嫌われ者の Gemma から二人が映画館に入るのを見たと聞き、ショックを受ける。Yoon-Hee の日記を盗み見て二人が付き合っていると確信した Jenny は、約束どおりカフェへ行き、Yoon-Hee と談笑する Alex に、飲み物をぶちまける。その直後、誕生日プレゼントを持った友人たちが姿を現わす。二人は、Jenny の誕生日のためにサプライズ・パーティーを準備していたのだ。逃げ出して泣く Jenny に、今夜 Alex と一緒に行く映画の券を見せ、誤解が解けた。三人は会場へ戻る。

④ A Helping Hand

Jenkins Beach へ自転車で出かけた David, Daniela, Tyler。その浜辺に出るには、町の人と交流せず変わり者と恐れられている Mr. Jenkins の私有地を通らねばならない。"DOGS KEEP OUT"の警告どおり、放し飼いの猟犬が向かってくる。慌てて逃げ出すが、David が血痕を残して行方不明になってしまう。Daniela と Tyler は古い屋敷の中で、動かぬ David を発見し、猟犬に吠えられる。Mr. Jenkins が戻ってきて絶体絶命と思いきや、"Away!"と犬に命じた老人は意外にもやさしく、自転車から落ちて気を失っていた David の手当てをしてくれた。ジュースとパンケーキを出して、人々を近づけない秘密も明かしてくれた。浜でイルカの世話をしているのだ。

⑤ Trouble at Sea

Faye, Tyler, John, David, Daniela の五人がいつものボートで Jenkins Cove へ出かける。海上で油まみれの鳥を発見し、Mr. Jenkins に助けを求めに行くと、同様に油で汚れたイルカをきれいにしているところだった。近くに停泊する高そうなレジャーボートからドラム缶の石油を流しているのを目撃。海を汚して Jenkins の家を安く買ってホテルを建てる計画だった。Daniela のケータイが鳴って見つかってしまうが、証拠写真を撮って、イルカに助けられる。悪人たちの乗った船は座礁して、警察が逮捕に来る。船の下に消えた Faye と Tyler は、イルカと共に岸に戻ってくる。

⑥ The Old Promise

Ryan の宿題を手伝う Faye は、彼の父 Don Walsh と玄関でぶつかり、大事な書類が落ちて罵倒される。その後、Mr. Jenkins 宅で、Mr. Walsh が 100 年前に祖父同士が交わしたという契約書を出し、海辺の家を返すよう迫ったことを知る。女性弁護士の Mrs. Dale と美術館の Mr. Harding は書類は本物だと証言したが、Walsh 宅に忍びこんだ Faye と John は、動かぬ証拠を発見。紙は古いが、文字はホテルを建てるために Walsh が偽造したものだった。Mrs. Dale と Mr. Harding の三人で撮った写真もあった。動揺する Mr. Walsh の言動を John が録音。外で待つ警察が逮捕する。

LEVEL 7

① Let's Party!

Jenny は両親と妹が出かける土曜日の夜、Daniela と Alex を家に呼んで映画を見る予定だったが、Daniela がパーティーをしようと主張。気乗りしなかったが、Faye, John, David, Tyler ばかりか、嫌いな Gemma や Ryan もやって来る。音楽を流し、家具を動かしてダンスを始め、冷蔵庫の食料にまで手を出す。家じゅうが散らかって、妹の Jessica の具合が悪くなって急きょ帰宅すると母から電話があると、Jenny はついに怒り狂って掃除を指示し、話していたとおり三人で映画を見ていたふりをする。ところが母は言う。「私も、若い頃は内緒でパーティーをしたものよ」。

② Do It!

体育のバスケットボールの授業で、苦手な Kenji は、得点できず、Ryan からなじられる。勉強が得意な彼は、Ryan に間違った答えを教えて、さらにいがみ合い、Mrs. Ho から、理科のプレゼンを一緒にやるよう命じられる。Ryan はまったくやる気がなく、用意した紙を丸めて、ゴミ箱へシュート。Kenji がひらめき、二人は効果的なシュートを科学的に検証する。発表後、Kenji が体育館でボールをみごとバスケットに入れて、理論を実証。Ryan と喜び合う。

③ My Mom, the Movie Star

Gemma は、アメリカ映画を授業で教える Mr. Harris を April Fool's Day にからかおうと、母は先生が崇拝する Anita Hamilton だと言って騙す。端役の経験がある綴りが違う母 Anitta 旧姓 Hamilton は、大女優と間違えられていることを露知らずに、先生の依頼で講演を引き受けて、リムジンに乗って Bayview 高校へ。テレビ局も来ている会場の壇上に立つ。そこへ Gemma が最初に依頼した大女優が現われる。先生は老けた彼女には見向きもせず、まだ美しい Gemma の母を本物と疑わなかった

が、本人が名乗ったため、Gemma は、真相を打ち明けて謝罪せざるをえなくなる。しかし、歩いて帰るとき、“But I did have a good time.”と母は喜んでいた。

④ The Secret Tunnel

Bayview Hall 美術館を訪れた John, David, Daniela, Faye, Tyler の五人は、銅像の位置が微妙にずれて、ガラスケース中の飾り箱のダイヤモンドがはずれていて、肖像画の絵の具が乾いていないことに気づく。調べると、展示室には秘密の扉があり、トンネルの先に、贋作制作をしている部屋があった。展示品を偽物とそっくり入れ替えて箱に詰めて売りに出そうとしている Mr. Harding の陰謀を知り、警察に通報する。

⑤ Love Online

学校で男子に人気のある Sarah をバレンタイン・デーのダンスに誘いたい Scott は、同じ気持ちの Ji-Sung が用意した Sarah へのバレンタインカードを破り捨てる。Ji-Sung は怒って机の教科書を床に投げ捨てるが、それは Sarah のもので、彼女の不興を買ってしまう。Scott は、“Would you like to go with me to the dance tomorrow?”と彼女を誘う一方、とどめを刺すべく Sarah のふりをして Ji-Sung をその気にさせる偽メールを送り、さらに Ji-Sung の名で中傷メールを Sarah に送る。結局、悪事はばれて、Ji-Sung の真剣な思いを知った Scott は、仕方なく身を引く。楽しく踊る二人を見て、“I'm a fool!”と反省する。

⑥ The Golden Monkey

昔、Bayview Hall 美術館をつくるため世界中から美術品を集めた Henry Sutton は、中国の古い寺から黄金のサルを手に入れ、現地の人々の怒りを買い、返還要求を受けたが、拒否。その後、宝物は行方不明になっている。Faye の祖父 Mr. Wang は、中国からやって来る関係者に明日返還する美術品の梱包作業を孫とその友達に手伝わせている。David がうっかり割ってしまった花瓶に鍵と紙片が入っているのを Tyler が見つける。David が紙をもう一つの花瓶の模様に巻きつけると、“The best is here.”の文字が浮かび、その花瓶の中に隠されている地図を Faye が割って取り出す。それを元に書棚の壁の裏に金庫を発見。鍵だけでは開かず、地図をあぶると、レモン汁で描かれていた動物の絵が浮かび上がる。干支のダイヤルを順に回すと、中に、黄金のサルと本物の花瓶二つが保管されていた。長年、空になっていた専用のケースに収め、Mr. Wang は、中国から訪れた僧たちにやっと返還することができた。

Delta Adventures in English

これほど小さなシリーズも珍しい。レベルは３段階で、各２冊ずつ、合計わずか６冊からなるグレイディッド・リーダーである。ＣＤ付なので、繰り返し聴いて、何度も音読して英文を暗記するには最適かもしれない。Foundations Reading Library と比べると、各頁の半分がイラストであるつくりは同じで、ほぼ同じ英語レベルから始まっている。大きな違いは、読者対象が“for children in the 7 to 12 age group”と明記されているように小学生である点だ。高校が舞台の Foundations Reading Library に対して、主人公も少年少女なので、一見、幼稚な感じがするかもしれない。しかし、冒険ファンタジーとしては、最後の *The Time Twins* がタイムマシンで時空を超える旅に出るので、Foundations よりもはるかにスケールが大きい。往年の名画『E. T.』を思い起こさせる *Stranger in the Snow* は、宇宙人との遭遇を描き、特にお奨めできる。

LEVEL 1 の英文は予想どおり現在形で統一されている。*The Chariot Race* のエピローグとなる最後の頁は次のように書かれている。

Himaar is old now,
but he is happy.
He eats the green grass under the trees.
He likes eating and sleeping!
He sees Bak every day.
Bak is a tall young man now.
He likes the Senator.
He likes looking after his horses.
Today there is a new chariot race.
Bak has a new team.
Come on, the Greens! (30)

普通ならつづけて書くところを改行して、右側にわざと空白をつくって、英語に不慣れな読者に圧迫感を与えないよう配慮している。過去形は、Foundations Reading Library よりもずっと早く LEVEL 2 の *Danny's Blog* から使われるが、最初の頁は現在形で語られる。

Pumai is a beautiful place in Borneo.
It's quiet and there are lots of trees.
It's a good home for the orangutans.
Danny Miller lives there too, with his mum.
She works at the Pumai Orangutan Reserve. (2)

と舞台と登場人物を紹介したうえで、４頁目から過去形

を使用している。

One Saturday, a family of tourists came to Pumai.
Danny's friend, Paul, showed them the animals.
"There aren't many orangutans in the world now,"
said Paul. "When people cut down the trees,
these beautiful animals lose their homes.
At Pumai, we try to help them."
The tourists were sad when they heard that.(4-5)

Foundations Reading Library で LEVEL 6 からようやく過去形が使われていることを考えると、過去形の使用が早い Delta Adeventures は、LEVEL 3 で Foundations の最終レベルに達するかそれ以上だろうと思ってしまう人もいるかもしれない。しかし、LEVEL 3 はあくまで LEVEL 3 だ。急に英文が難しくなるわけではない。タイムマシンで、双子のきょうだいが、英国の有名な劇作家シェイクスピアに思いがけず遭遇する場面を *The Time Twins* から引いてみよう。

This time, two men were looking at them.
"Who are they?" asked the older man.
"Have they come to see me?"
"I don't think so, Mr Shakespeare,"
said the older man. "And I don't understand.
How did they get here?"
"Wow," said Sophie. "Are you really
the famous writer, William Shakespeare?
How exciting! My name's Sophie,
and this is Tom —"
"Sorry," said Tom. "We can't stay.
We must go home."
He pressed the red button. (25)

本のレイアウトをそのまま写した。ご覧のように右側に空白ができ、読みやすく、英語がぎっしり詰まった感じがないので、英語が嫌いでもあまりストレスを感じないだろう。英文も短く単純で、やはり Foundations の７のほうがレベルが上である。とはいえ、会話が多用されていてＣＤ付なので、読解だけでなく、日常英会話のリスニングの勉強にもなる。"This series is an ideal start to reading in English for children in the 7 to 12 age group." と本の裏表紙で宣伝しているように、早期に英語を読みはじめる小学生には最適の教材かもしれない。

以下は、Delta Adeventures in English 全３レベル計６冊の概要である。

LEVEL 1 (Starters)

①Where's Toto?(Elizabeth Laird /絵 Leighton Noyes)
幼い Susie は、兄の Simon と 従姉の Julie とサーカスを見に行くが、空中ブランコの出し物の最中に、逃げ出した愛犬 Toto を追って舞台裏を捜しまわる。やっと見つけるが、大きな黒い犬に追いかけられて、またいなくなる。穴の中に隠れているのをようやく見つけて中に入ると、穴自体が動きだす。Martine が出演するはずだった「人間大砲」の中にいるのだ。Susie は、Toto を抱えたまま発射され、大男に受け止められる。観客は "Wow! Great!" と大喜びしたが、サーカスはもうこりごり。ところが、Toto は黒犬の Rex と仲良くなっている。

②The Chariot Race (Lynne Benton /絵 Tom Sperling)
古代ローマ帝国が舞台。Julius の元でこき使われている Bak 少年は、戦車レースを見に行きたいが、相棒のロバ Himaar と水瓶を取りに行く仕事がある。帰り道、Himaar はレースにまぎれ込み、大奮闘。水瓶を落として割ってしまうが、大観衆を熱狂させ、優勝。Bak は、元老院議員(the Senator)に気に入られ、Julius の目の前で、馬の世話係の仕事を与えられる。その後、Himaar は引退して幸せな老後を過ごす。Bak は立派に成長して、戦車レースで新チームを率いるようになる。

LEVEL 2 (Movers)

① Danny's Blog (Stephen Rabley /絵 Martin Ursell)
ボルネオ(Borneo)の the Pumai Orangutan Reserve で、森林を守り、オランウータンを保護している母と暮らす Danny Miller 少年。母親から、5 万ドルの運営資金が必要なこと、the Borneo Wood Company の Sol Coram 社長が保護区の森を買い取りたいとメールを送って来たことを聞く。この危機をどう乗り越えるか悩んでいるとき、学校の授業で「ブログ」を知った。早速、全世界に窮状を訴えると、Sol Coram へ苦情のメールが殺到。Danny はもう一つの作戦を思いつく。買収するつもりで 5 万ドルを持ってきた Sol Coram は、かわいいオランウータンの子 Gloria を抱かされ、知らずに、テレビカメラが待つ室内へ。その場の状況から、5 万ドルを寄付して計画を断念せざるをえなくなる。Danny はブログをつづけ、世界中から寄付金が届くようになった。

② Red Rock (Stephen Rabley /絵 Bob Moulder)
有名な映画スターJohn Jones はめったにシドニーの家に帰らない。娘の Lara は、撮影現場のレッドロックに招かれる。赤いスポーツカーに乗った父のアクション

シーンを見物し、一緒にランチを食べる約束をした後、父は誘拐されてまう。二人の不審者がいたことを思い出し、話していた“Hooper's Farm”へ撮影スタッフの Sam に連れて行ってもらう。そこに父が監禁されているのを見つけ、撮影用の煙を使って救出。映画は大ヒット。賞を受賞した John Jones は、大観衆の前で、“The greatest star”である娘に感謝の言葉を述べる。

LEVEL 3 (Flyers)

① Stranger in the Snow (Lynne Benton /絵 Ollie Cuthbertson)

作家の父が森のそばに家を建てた。会いにやって来た兄妹 Paul と Anna は、父が手紙を出しに出かけた留守中に、雪だるま (a snowman) をつくる。偶然見つけた不思議な笛を吹くと、家全体が白い光に包まれて、外にエイリアンが出現。Anna が笛を返すと、この stranger は不思議な曲を吹き、巨大な宇宙船(a spaceship)が迎えに来る。エイリアンは腕を振って別れを告げ、星空に帰って行った。子供たちは、宇宙船ゲームを買ってきてくれた父に、本の題材を提供する。

② The Time Twins (Stephen Rabley /絵 Elisabeth Eudes-Pascal)

双子の Tom と Sophie は両親と車で祖父の家へ。発明家の Grandpa は、製作中の腕時計型 time-machine を見せてくれた。二人はうっかりスイッチを入れてしまい、3,350 年も時間を遡る。エジプトの王家の谷(The Valley of the Kings)でツタンカーメン(Tutankhamun)の埋葬に立ち会い、秘密を知ったからと一緒に閉じ込められてしまう。石棺の中に落とした time-machine を取り戻し、適当にボタンを押して、古代ローマの大観衆の前でライオンに食われそうになったり、劇場で打ち合わせをする William Shakespeare と会ったりして、祖父の家に戻ってくるが、Sophie の脚が消えてなくなっていた！　というところで、Sophie は目を覚ます。まだ車の中で、ちょうど到着したところだった。祖父から、time-machine のアイデアを記したノートを見せられる。

おわりに

挿絵入りの本というのも悪くない。グレイディッド・リーダーは進化をつづけて、マンガ版まで出るようになっている。（拙論「Helbling Young Readers と e-future Graded Comic Readers―グレイディッド・リーダーの新しい形」と「*Vera the Alien Hunter*―英語マンガ教材紹介」を参照。）キャラクター設定とデザインがしっかりしていれば、登場人物たちは頭の中でアニメ映画のように動きだす。Raketshop Design Studio が担当した、Foundations Reading Library のフルカラーのイラストは、なかなか魅力的なキャラが多く、読めば必ず印象に残る。各イラストレーターがそれぞれ個性を生かして腕を振るう Delta Adeventures in English の趣向も悪くないが、同じキャラクターが再登場する Foundations の 42 冊をきちんと読破した者には、Bayview 高校の生徒たちが、なつかしい友のように感じられるのではないか。

興味を持ったら、ぜひとも現物を手にとって、読みはじめていただきたい。挿絵を楽しみながら音読を繰り返すとよい。新鮮な物語世界が堪能できるだろう。英語の本を通じて外国人の登場人物に共感するのも、貴重な体験だ。この種の感動は、大学入試や TOEIC の受験勉強では絶対に味わえないはずである。

A Guide to Foundations Reading Library, a Unique Graded Readers Series Set in High School

Koichi YOKOYAMA

This paper is a guide to Foundations Reading Library, the 1-7 level graded readers series of 42 full-color illustrated books, whose characters are mainly fictional “Bayview High School” students of diverse origins including Japanese and Koreans in the United States. This series is quite unique since many of introductory graded readers generally tend to be children’s books, or fairy tales written for children. Of course, it cannot be denied both Grimm’s and Andersen’s masterpieces are still worth reading for young adults, and even the graded readers for English-speaking children like Oxford Reading Tree and Info Trails are also readable and informative for high school students learning English as a foreign language. In reality, however, ordinary, Japanese high school students, especially male students, avoid those books probably because they look too childish for them to choose. Although there are stories retold or newly written for such students, they do not seem interesting enough to attract their attention. As for Foundations Reading Library, the main characters of the series are ordinary, American high school students, whom the Japanese counterparts can easily sympathize with. American high school life always looks so attractive to them, for example, part-time jobs, skateboards, rock concerts, rock bands, basketball, sports meets, bike races, summer camps, and dances. Furthermore, this series includes some extraordinary adventures such as fights against gangsters and robbers. Far from boring, Foundations Reading Library provides ideal textbooks to those who want to enjoy learning English from the basics by themselves.

Maxwell 分布に基づく
反応速度の温度依存性のシミュレーション

中島　敏*

（2019 年 1 月 7 日受理）

1. はじめに

本高専の低学年で使用している化学の検定教科書[1]では、「化学反応の速さと平衡」の章の中で、反応の速さを決める条件のひとつとして温度を上げ、「一般に、温度が 10 K 上昇すると反応速度は 2〜4 倍になる場合が多い。このように温度が高くなると、反応速度は著しく大きくなる」と述べている。また、このようなことの生じる背景として、「活性化エネルギーを超える運動エネルギーをもつ分子の数の割合が急激に増え、分子が衝突した際に反応物が活性化状態になりやすくなるためである」と述べている。これを説明するための図では、横軸に「分子の運動エネルギー」をとり、異なる 2 種の温度（低温と高温）の条件で、縦軸に「分子の数の割合」を確率分布としてプロットしたグラフを模式的に示しながら、一定のエネルギー（活性化エネルギー）より右側でグラフが囲む面積について「反応する可能性のある分子の数の割合」であると説明している。また、平成 30 年度の改訂からは、分子の運動エネルギーの確率分布のグラフの形状がより正確になるとともに、発展の項でアレニウスの式についても触れ、反応速度定数の温度依存性についての説明が書き加えられた。特に、化学反応速度の温度効果の測定から、アレニウスプロットにより活性化エネルギーを見つもる実験を紹介している点は、非常に大きな前進だと思われる。

以上の内容は、もちろん正しいのであるし、指数関数についての数学的な理解を深めれば、アレニウスの式から読み取れる情報だけであっても、一気に増えるだろうが、高校低学年のレベルでの授業において、数学的な面からの煩雑な説明を避けながらできる必要十分な説明であるとも思われる。

一方で、ごく一部の、もっと踏み込んだ説明が欲しいと思う学生にとってはおそらく不十分である。たとえば理論的背景として説明している「運動エネルギーの確率分布」の説明から、温度が低いよりも温度が高い方が活性化エネルギーを超える分子の割合が増えることを図的に理解することはできても、それがどのように定量的に反応速度の上昇につながるのかなどが理解しがたい。実際に、筆者が過去に高専 2 年生を対象に行った授業において、上記の説明の部分は数学的、理論的にはどのようになるのか、と問われたことがある。その質問を受けたときには、少々詳しい説明を書いたハンドアウトを刷って渡したが、必ずしもその学生の好奇心に対して完全に答えることができたとは言えないと思う。

昨今、数値計算による式のグラフ化やシミュレーションは、学生にとってもさほど閾の高いものではなくなってきたように思える。そこで、今回、数式的な理論の展開を、数値計算によるグラフ化、シミュレーションと組み合わせることを提案したい。この方法により、学生自身が実験を行うのと同じように試行錯誤しながら反応速度の温度依存性を確かめることができる。

今回、プログラミング言語には「十進 BASIC」[2] を用い、数値計算の際には JIS Full BASIC に準拠した十進 15 桁モードを用いた。

2. 背景

この章では、反応の温度依存性についての一般的な議論をまとめておく。

先に挙げた教科書の中の説明においても、「一般に」と書かれているように、化学反応の速度の温度依存性はただ一様ではない。もちろん、温度によって反応の機構が変わるようなものは例外になり得る。たとえば酵素などが触媒するような反応では、温度上昇で酵素が失活すれば反応は遅くなるだろう。それ以外でも、例えば

$$A \rightleftarrows B \rightarrow C$$

のような複雑な機構で進行する反応であるような場合、B から C を生成する反応の活性化エネルギーよりも、A に戻る逆活性化エネルギーの方が大きいなど、温度が上昇したときの反応速度の上昇が、B が C を生成する場合よりも A に戻る逆反応で大きいならば、A が C を生成する見かけ上の速さは温度の上昇とともに小さくなる

* 物質工学科

こともあり得る。このような場合には、見かけ上の活性化エネルギーが負であると表現されることがある[3]。

また、素反応であっても、活性化エネルギーが十分に小さい場合には、反応の温度依存性はほとんど見られない。これは、ある温度における反応速度定数 k を与えるアレニウスの式から導かれる結論の一つである。アレニウスの式は次式で示される。

$k = A \exp(-Ea/RT)$

ここで、k はその温度における反応速度定数、Ea がその素反応における活性化エネルギー、R は気体定数、T が絶対温度である。A は頻度因子などと呼ばれる反応ごとに決まる定数であり、$Ea \to 0$、または $T \to +\infty$ の極限で k がとる値である。また、$\exp(-Ea/RT)$ の項は、ボルツマン分布に基づいて、活性化エネルギーEa を超えるエネルギーをもつ分子の割合と解釈できる量である。

アレニウスの式は経験式であり、ある温度における反応速度の活性化エネルギーに対する依存性と、狭い温度範囲においては温度依存性を見積もることができるものである。そのため、アレニウスの式は、反応速度の温度依存性について調べるための最初の手がかりになる。

分子衝突論[4]の扱いでは、頻度因子 A は $\sqrt{T}$ に比例する。運動エネルギー $1/2mu^2$ が温度上昇に比例して大きくなるため、衝突する分子間の相対速度 u は$\sqrt{T}$ に比例して上がり、衝突頻度が増すことに由来する。しかし、狭い温度範囲においては、頻度因子 A の温度依存性を無視することもしばしば行われる。これは、たとえば 300 K から 350 K までの変化では、$\sqrt{T}$ の項が 1.08 倍になるだけであり、それ以降の $\exp(-Ea/RT)$ における変化の方が一般的にずっと大きな影響をもつからである。

プログラムソース①は、アレニウスの式において頻度因子に温度依存性が無いことを仮定し、活性化エネルギーを指定した時に、温度毎に反応の相対速度（反応速度定数 k(T) の比）がどのように変化するのかを繰り返し処理で印字するものである。数値の詳細は表 8 にまとめたが、活性化エネルギー 50 kJ/mol のとき、300 K での相対速度を 1 とし、310 K では 1.91、320 K では 3.50.、330 K では 6.19 の結果を与える。$1.91^2 = 3.65$、$1.91^3 = 6.97$ であることを考えると、10 K の温度上昇毎に同じ倍率で速度上昇があると近似してもよさそうであることが簡単に確認できる。また、たとえば、Ea = 100 kJ/mol としたときに、k(310)/k(300) = 3.64 であることより「典型的な(すなわち、活性化エネルギーがおよそ 40 ～ 100 kJ/mol 程度の）素反応において、室温付近 300 K で温度を 10 K 挙げるごとに反応の速さが 2～4 倍速くなる」という記述に矛盾が無いことを確認できる。

アレニウスの式から導かれるこのような温度依存性を「反応速度が、温度上昇に対して指数関数的な増加をする」と表現する場合もある。しかしながら、これは活性化エネルギーの大小にも依存するが、相対的に低温（40～100 kJ/mol の活性化エネルギーの場合には、300 K は十分に低温）の領域でのみ成り立つのであって、温度が高いときには温度上昇に伴う速度の上昇が頭打ちになる。そのため、安易に「指数関数的な増加をする」と表現するべきではない。朝倉[5]は、「化学反応速度の温度依存性を、感情的に「指数的」とか「加速度的」と単純にとらえるのではなく、一歩認識を深めて「アレニウス的」あるいは「逆数減衰的」などと呼ぶ方がよいのではないだろうか」と述べている。

アレニウスの式は、式の単純さから、反応速度の温度依存性を理解しやすいという利点があるが、経験式であり、頻度因子の温度依存性があいまいなままで、理論的な背景が乏しいという欠点がある。また、今回の教科書で理論背景として挙げている、分子速度のマックスウェル分布に基づく運動エネルギーの確率分布との対応も、必ずしも直感的ではないように思われる。そこで、本稿では、次章以降で、マックスウェル分布式を展開することにより、任意に定めた活性化エネルギーを超える分子の割合を算出するようなシミュレーションを行うこととする。

3. マックスウェル速度分布式の展開

マックスウェル速度分布式は次式で表される[4]。

$$f(u)du = (4/\sqrt{\pi}) \times u^2 (m/2k_BT)^{1.5} \exp(-mu^2/2k_BT)\, du \quad \cdots (1)$$

ただし、u は分子の併進運動の速度、f(u)du は u ～ u + du の範囲の速度を持つ分子の割合（確率）である。また、m はその気体分子の質量、k_B はボルツマン定数、T は絶対温度である。

このままでは式の形が煩雑なので、

$v = u/(2k_BT/m)^{0.5}$ （∴ $dv/du = (m/2k_BT)^{0.5}$ ）

となるように定義した v を用いると、次式を得る。

$$f(v)dv = (4/\sqrt{\pi})\, v^2 \exp(-v^2)\, dv \quad \cdots (2)$$

分子の速度 u は、実際には、分子の質量や温度によって変化するが、$u_{mp} = (2k_BT/m)^{0.5}$ は、マックスウェルの速度分布における最大確率速度（The most probable speed）である。そのため u を u_{mp} で除して得た (2) 式は、温度 T、分子質量 m に依存せず、常に v = 1 で極大を取るように規格化されている。また、v の定義からも分かるように、例えば温度が 2 倍に上がると、極大は右に$\sqrt{2}$ 倍シフトする。このグラフが確率分布を表すことから、全面積は 1 で保存されるので、極大における高さも $1/\sqrt{2}$ 倍になる。

横軸を、分子の速度の代わりに運動エネルギーになるようにグラフを描くようにしたいので、

$e_r = mu^2/k_BT = 2v^2$ （∴ $de_r/dv = 4v$ ）

となるように定義した e_r を用いると、次式を得る。

$$f(e_r)de_r = (e_r/2\pi)^{0.5} \exp(-e_r/2)\, de_r \quad \cdots (3)$$

この (3) 式は、温度 T、分子質量 m に依存せず、常に $e_r = 1$ で極大を取るが、反応速度に対する分布とは異なり、例えば温度が 2 倍に上がると、極大は右に 2 倍シフトし、値も 1/2 となる。

(2) 式および (3) 式に従い十進 BASIC で作図した確率分布のグラフを図 1、2 に示した。

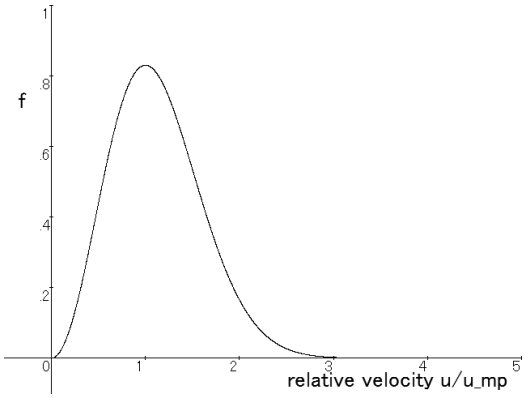


図 1　速度の確率分布

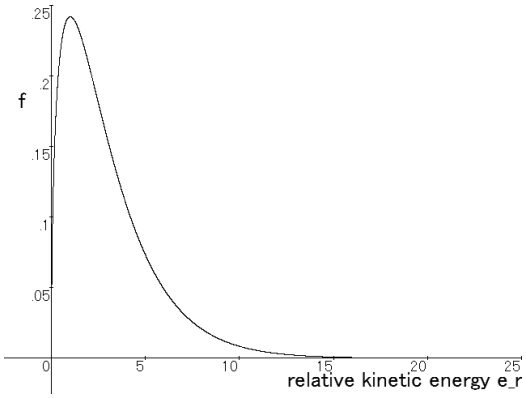


図 2　運動エネルギーの確率分布

速度の確率分布（図 1）は、最確値（極大値）に対して左右対称性が高い形をしているのに対し、運動エネルギーの確率分布（図 2）では、その対称性は失われ、最確値よりも高エネルギー側では、近似的に指数関数的な減衰であるように見える。これは、式 (3) の形からも明らかで、高エネルギー側では $\exp(-e_r/2) = \exp(-v^2)$ による減衰が支配的となる。

式 (3) において、e_r は分子の運動エネルギー $mu^2/2$ と $k_BT/2$ の比で与えたのであるから、300 K において極大が 1 になるようなプロットでは、$e_r = 1$ のエネルギー間隔は、$RT/2 = 1.25$ kJ/mol 程度に相当している。

ここで、独立変数である e_r 温度に依存しない相対運動エネルギーを、再び温度に依存する運動エネルギーに変換する。このために次の関係式を用いる。

$e = mu^2/2 = e_r k_BT/2$　（∴ $de/de_r = k_BT/2$）

この関係式により、式 (3) を変換すると

$$f(e)de = (2/k_BT)(e/\pi k_BT)^{0.5} \exp(-e/k_BT)\, de \quad \cdots \quad (4)$$

を得る。ここでさらに k_B を気体定数 $R\ (=N_Ak_B)$で置き換えると、気体 1 分子のエネルギーから気体 1 mol のエネルギーに置き換えることができる。

$$f(e)de = (2/RT)(e/\pi RT)^{0.5} \exp(-e/RT)\, de \quad \cdots \quad (5)$$

図 3(a) 〜 (c) に、(5) 式に基づき、300 K から 600 K まで 30 K 刻みで温度を変えたときの、分子の運動エネルギーに対してプロットしたグラフ、および、同じグラフの高エネルギー側の裾部分を拡大したものを示す。

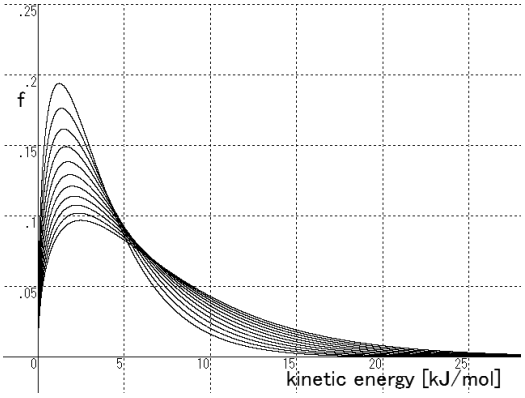


図 3(a)　300 K から 600 K まで、30 K 刻みでの分子の運動エネルギー確率分布

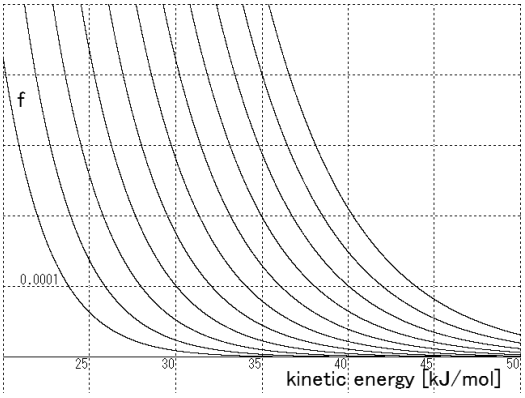


図 3(b)　高エネルギー側の裾の部分拡大
縦軸の拡大率 500 倍

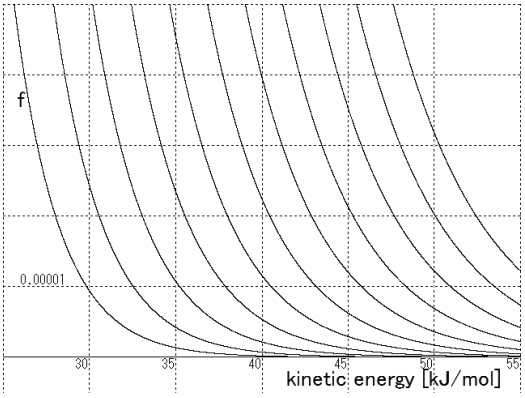


図 3(c)　高エネルギー側の裾の部分拡大
縦軸の拡大率 5000 倍

異なる温度でプロットした運動エネルギーの確率分布は、図 3(a) に示されるように、グラフが交差する点が存在する。活性化エネルギーがこの点より大きい時は、高温側のグラフがそれより右側で常に上側に存在しているため、グラフが右側で囲む面積は必ず高温側で大きくなる。活性化エネルギーがグラフの交点より低い場合は、高温側のグラフの方が常に下側に存在しているために、左側で囲む面積が高温側で小さい。つまり、確率分布のグラフで全面積は等しく 1 であるのだから、右側で囲む面積は、やはり必ず高温側で大きい。すなわち、「活性化エネルギーの大小にかかわらず、常に温度を上げれば上げるほど、その活性化エネルギーよりも大きい運動エネルギーをもつ分子の割合が増える（ために反応が速くなる）こと」がわかる。

指数関数的減衰 $y = \exp(-x)$ のグラフは、その特徴として、縦軸を同じ倍率で拡大していったとき、相似な形が右へ平行移動しながら現れてくる（その様子は、たとえばプログラムソース⑤の実行で確認することができる）。図 3(b)、(c) は、縦軸の倍率を変えて示しているが、横軸の目盛り間隔は同じである。同じ温度のグラフが、図 3(b) と図 3(c) でほぼ相似な形のグラフとして現れていることからも、図に示された領域では、すでに確率分布が指数関数的に減衰しているいう近似が十分に成り立っていそうである。

また、同じ 30 K の間隔で温度を上げていったときにも、この指数関数的減少のグラフはほぼ等間隔で右へ平行移動しているように見えること、そしてその間隔が、高エネルギー側で縦軸を大きく拡大したときほど広くなっている様子が見てとれる。このことからは、より大きい活性化エネルギーの値に着目したときほど、温度を同じだけ上昇させたときに見られる関数値の増大がより高倍率になることを読み取ることができる。次の章で議論するように、この関数値は、このグラフが右側で囲む面積と見做すことができるので、「活性化エネルギーが大きいときほど、同じ温度上昇幅でも反応の速さの上昇倍率が大きくなる」という意味になる。

4. 反応速度の温度依存性のシミュレーション

反応速度に直接影響を与える主要因は、活性化エネルギーを超えた分子の割合であり、つまり、このグラフがある活性化エネルギーより右側で囲む面積である。グラフを与える式が分かっているのであるから、グラフが活性化エネルギーより左側で囲む面積については、数値積分を取ることが可能である。たとえば、300 K のとき、40 kJ/mol より左側で囲む面積は、0.9999995 に及ぶので、右側で囲む面積は、これを 1 から差し引いて 5×10^{-7} 程度である [6]。0.5 ppm という割合は随分小さいように見えるが、アボガドロ数 6.02×10^{23} を掛けると十分に大きい値になるため、実際には活性化エネルギーが 40 kJ/mol 程度の反応も、室温付近、数分から数十分単位の時間経過で反応の進行を確認できる程度になり得る。

また、指数関数的減衰 $y = \exp(-x)$ の形のグラフの特徴として、$x = a$ より右側の面積、a から ∞ の範囲の定積分は、$\exp(-a)$の値に等しくなる。そのため、この関係を用いると、裾に近い部分では、ある閾値を超えた分子の相対的な割合を、その右側の面積というよりも、直接その閾値にあたる関数値から読みとることができる。

以下に、この 2 つの方法について、シミュレートした結果を基に考察を行った。なお、計算に用いた十進 BASIC のソースは、末尾にまとめて示した。

4-1. 数値積分による計算

表 1 は、プログラムソース②を用い、台形求積法を用いた数値積分により左側で囲む面積を S として求め、1 から差し引いたものを右側で囲む面積とした。

表 1　各活性化エネルギーにおける 300 K を基準とした反応の相対速度（活性化エネルギーより左側で囲む面積を台形求積法により求める方法、プログラムソース②、xstep = 1×10^{-3} での実行結果に基づく）

Ea [kJ/mol]	300K	310K	320K	330K	340K	350K
10	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.67
20	1.00	1.28	1.60	1.99	2.43	2.93
30	1.00	1.42	1.98	2.71	3.67	4.88
40	1.00	1.10	1.27	1.55	1.97	2.57
50	1.00	0.96	0.92	0.89	0.88	0.88
60	1.00	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80
70	1.00	0.95	0.91	0.87	0.83	0.79

表 1 では、一見しただけで Ea が 50 kJ/mol より大きいとき、反応速度に温度依存性がほとんどなく、また高温ほど遅くなるといった矛盾した結果になっていることがわかる。これは、S の計算時の誤差の蓄積が、1−S に比して大きいことを反映していると考えられる。上述したように、Ea > 40 kJ/mol では、室温付近における 1−S の値が 1 ppm 以下の非常に小さい値になってしまっているためである。

これに対し、後述する関数値を用いて 1−S の値を近似する方法を用いると、Ea = 70 kJ/mol、300 K の条件でも、1−S は約 1.5×10^{-12} 程度なので、変数の精度（10 進 15 桁）上は問題なく 1−S の値に 2 から 3 桁以上の精度を持たせることができる。

数値積分における S の計算精度を上げるため、部分求積における刻み幅を小さくした結果を、以下の表 2、3 に示す。xstep が小さいほど、S の計算精度が高くなり、

表 2　各活性化エネルギーにおける 300 K を基準とした反応の相対速度（活性化エネルギーより左側で囲む面積を台形求積法により求める方法、プログラムソース②、xstep = 1×10^{-4} での実行結果に基づく）

Ea [kJ/mol]	300K	310K	320K	330K	340K	350K
10	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.67
20	1.00	1.28	1.60	1.99	2.43	2.94
30	1.00	1.45	2.06	2.85	3.88	5.18
40	1.00	1.58	2.46	3.77	5.65	8.31
50	1.00	1.09	1.27	1.60	2.16	3.06
60	1.00	0.96	0.92	0.89	0.88	0.89
70	1.00	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80

表 3　各活性化エネルギーにおける 300 K を基準とした反応の相対速度（活性化エネルギーより左側で囲む面積を台形求積法により求める方法、プログラムソース②、xstep = 1×10^{-5} での実行結果に基づく）

Ea [kJ/mol]	300K	310K	320K	330K	340K	350K
10	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.67
20	1.00	1.28	1.60	1.99	2.43	2.94
30	1.00	1.45	2.06	2.86	3.89	5.19
40	1.00	1.65	2.64	4.10	6.20	9.16
50	1.00	1.73	3.01	5.12	8.54	13.87
60	1.00	1.06	1.24	1.60	2.29	3.50
70	1.00	0.96	0.91	0.88	0.84	0.86

より正しい値に収束すると仮定すると、表 1 に示した xstep = 1×10^{-3} の計算結果では、Ea ≤ 20 kJ/mol 程度までの範囲については正しく評価できていると考えられる。一方で、表 3 の xstep = 1×10^{-5} まで小さくした結果においても、Ea > 50 kJ/mol に対しては十分な精度ではないように思われる。S の計算精度は、数値計算における求積の刻み幅（xstep）を小さくすると上がるが、計算の時間が 1/xstep に比例して長くなってしまうため限度がある。

そこで次に、二次のシンプソンの公式を用いて数値積分の精度を上げることを試みた。計算結果を表 4 に示す。表 4 を、同じ刻み幅での計算結果である表 3 と比較すると、計算の精度が改善されていることが示唆されるものの、依然として Ea > 60 kJ/mol の値に対しては十分な精度とは言えないことが分かった。

表 5 には、活性化エネルギーが小さい領域の計算結果を示す。計算には二次のシンプソンの求積公式を用い、xstep = 1×10^{-5} で計算した。xstep = 1×10^{-4} で計算した時に、すべての値で、小数点以下 2 桁目まで一致していたことから、すでに十分な計算精度であったと考えられる。

表 4　各活性化エネルギーにおける 300 K を基準とした反応の相対速度（活性化エネルギーより左側で囲む面積をシンプソン法により求める方法、プログラムソース③、xstep = 1×10^{-5} での実行結果に基づく）

Ea [kJ/mol]	300K	310K	320K	330K	340K	350K
10	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.67
20	1.00	1.28	1.60	1.99	2.43	2.94
30	1.00	1.45	2.06	2.86	3.89	5.19
40	1.00	1.65	2.64	4.11	6.22	9.19
50	1.00	1.86	3.33	5.79	9.74	15.90
60	1.00	1.45	2.40	4.17	7.37	12.93
70	1.00	0.97	0.95	0.92	0.90	1.15

表 5　各活性化エネルギーにおける 300 K を基準とした反応の相対速度（活性化エネルギーより左側で囲む面積をシンプソン法により求める方法、プログラムソース③、xstep = 1×10^{-5} での実行結果に基づく）

Ea [kJ/mol]	300K	350K	400K	450K	500K	550K
1	1.00	1.03	1.06	1.07	1.09	1.10
2	1.00	1.08	1.14	1.19	1.23	1.26
3	1.00	1.14	1.25	1.34	1.41	1.47
4	1.00	1.20	1.37	1.51	1.63	1.74
5	1.00	1.26	1.50	1.71	1.89	2.05
6	1.00	1.33	1.65	1.94	2.20	2.43
7	1.00	1.41	1.82	2.20	2.56	2.89
8	1.00	1.49	2.00	2.50	2.99	3.45
9	1.00	1.58	2.20	2.85	3.49	4.11
10	1.00	1.67	2.43	3.25	4.08	4.91
11	1.00	1.76	2.68	3.70	4.77	5.86
12	1.00	1.87	2.96	4.22	5.58	7.00
13	1.00	1.97	3.27	4.81	6.53	8.37
14	1.00	2.09	3.61	5.49	7.65	10.01
15	1.00	2.21	3.98	6.26	8.96	11.98

表 5 から、活性化エネルギーがゼロに近づいても、温度の上昇により反応速度がたとえわずかであっても加速されるという結果を正しく再現できていることが分かる。なお、Ea = 0 の時は、S = 0 となるため、いずれの温度においても 1−S の比で算出される反応速度比は常に 1 である。

活性化エネルギーがこのように小さい範囲で、昇温による反応の加速効果が小さくなるのは、低温でも十分に速い反応が起きるためである。

なお、数値計算に必要な時間はコンピュータなどの性能に依存するので一概には言えないが、活性化エネルギーの低い領域では、繰り返し処理をする上限が小さくな

るため、刻み幅を小さくして計算精度を上げても、処理に必要な時間が比較的短く、長時間の処理待ちをせずに済んだ。

4-2. 関数値を用いて 1-S の値を近似的に求める方法

次に、確率分布式 (5) を、指数関数的減衰と近似し、ある閾値 x = a より右側の面積 1−S を関数値 f(a) で近似できるものと仮定して求めた反応の相対速度の予測結果を示す。この近似は、活性化エネルギーが大きく、また、高温であるようなグラフの裾に近いほど正しいと予想される。

まずは、この方法の限界を端的に示すために、表 5 と同じ範囲での計算結果を表 6 に示した。

表 6　各活性化エネルギーにおける 300 K を基準とした反応の相対速度（関数値を用いる方法、プログラムソース④の実行結果に基づく）

Ea [kJ/mol]	300K	350K	400K	450K	500K	550K
1	1.00	0.84	0.72	0.62	0.55	0.48
2	1.00	0.89	0.79	0.71	0.64	0.58
3	1.00	0.94	0.88	0.81	0.75	0.70
4	1.00	1.00	0.97	0.93	0.88	0.84
5	1.00	1.06	1.07	1.06	1.04	1.00
6	1.00	1.12	1.19	1.21	1.22	1.20
7	1.00	1.18	1.31	1.39	1.43	1.44
8	1.00	1.25	1.45	1.59	1.68	1.73
9	1.00	1.33	1.60	1.81	1.97	2.08
10	1.00	1.41	1.77	2.07	2.31	2.49
11	1.00	1.49	1.96	2.37	2.71	2.99
12	1.00	1.58	2.16	2.71	3.18	3.59
13	1.00	1.67	2.39	3.09	3.74	4.31
14	1.00	1.77	2.64	3.54	4.39	5.17
15	1.00	1.87	2.92	4.04	5.15	6.20

300 K から 550 K まで温度を変えてプロットした確率分布のグラフは、活性化エネルギー 5 kJ/mol 前後で交差するが、これと対応して、表 6 において、Ea < 6 kJ/mol 程度の領域では温度が上昇するほど反応が遅くなるという誤った結論を示した。Ea > 10 kJ/mol の領域の数値には大きな矛盾は見られないものの、表 5 の値よりも倍率が小さめに見積もられていることがわかる。その程度は、主に温度に比例しており、高温側でより顕著であった。これは、より高温のグラフほど、裾から遠く極大値に近い位置で比較することになり、指数関数的な減少と見做したときの誤差が大きいためである。

活性化エネルギーを 10 kJ/mol 以上、表 1 と同じ範囲での計算結果を表 7 にまとめた。また、比較のため、アレニウスの式に基づいた反応の相対速度の予測結果を表 8 にまとめて示した。

表 7　各活性化エネルギーにおける 300 K を基準とした反応の相対速度（関数値を用いる方法、プログラムソース④の実行結果に基づく）

Ea [kJ/mol]	300K	310K	320K	330K	340K	350K
10	1.00	1.08	1.17	1.25	1.33	1.41
20	1.00	1.23	1.50	1.80	2.13	2.49
30	1.00	1.40	1.93	2.59	3.41	4.42
40	1.00	1.60	2.47	3.72	5.47	7.84
50	1.00	1.82	3.18	5.36	8.76	13.91
60	1.00	2.07	4.08	7.72	14.05	24.66
70	1.00	2.35	5.24	11.12	22.51	43.73
80	1.00	2.68	6.74	16.00	36.08	77.54
90	1.00	3.05	8.66	23.04	57.82	137.50
100	1.00	3.47	11.12	33.18	92.67	243.80

表 8　各活性化エネルギーにおける 300 K を基準とした反応の相対速度（アレニウスの式に基づいて計算、プログラムソース①の実行結果に基づく）

Ea [kJ/mol]	300K	310K	320K	330K	340K	350K
10	1.00	1.14	1.28	1.44	1.60	1.77
20	1.00	1.30	1.65	2.07	2.57	3.14
30	1.00	1.47	2.12	2.98	4.12	5.57
40	1.00	1.68	2.72	4.30	6.60	9.89
50	1.00	1.91	3.50	6.19	10.57	17.53
60	1.00	2.17	4.50	8.91	16.95	31.08
70	1.00	2.47	5.78	12.82	27.16	55.11
80	1.00	2.81	7.42	18.46	43.53	97.72
90	1.00	3.20	9.54	26.58	69.77	173.26
100	1.00	3.64	12.25	38.28	111.81	307.22

表 7 の数値を表 8 と比較すると、すべての範囲で同じ傾向を示しており、これらの表の領域においては、確率分布式 (5) の関数値で近似する方法で概ね正しく評価できていることが分かる。

確率分布式 (5) は、アレニウスの式と共通の指数項 exp(−Ea/RT) を持つ。表 8 を算出したプログラムソース①では、前指数項である頻度因子 A に温度依存性が無いことを仮定したのに対し、確率分布式 (5) において、前指数項が温度の −1.5 乗に比例する点が異なっている。この前指数項の温度依存性部分があることで、表 7 の値は、表 8 より小さめに算出された。これは、アレニウス式がボルツマン分布に基づいているのに対し、確率分布式 (5) がマックスウェル分布に基づいていることの差を反映している。その結果として、アレニウスの式は、活性

化エネルギーが非常に小さい場合でも、温度の上昇に伴って反応速度が遅くなるような逆転領域を持たず、すべての温度範囲で一貫した振る舞いを説明できる代わりに、高温側で反応速度の上昇幅を少々大きめに見積もってしまっていると結論できる。その大きさは、室温付近 10 K ごとに約 5 %（$(310/300)^{1.5} = 1.05$）程度なので、一般には無視しても構わない。

また、表 7 の値を、信頼できる精度で数値積分できていると考えられる 表 4 の $Ea \leq 40$ kJ/mol の範囲で比較すると、ずれの程度は主に温度に依存し、350 K の値は数値積分により求めた値のおよそ 85 % であった。更に活性化エネルギーの大きい範囲については、基準として用いることのできる数値積分の値がないが、原理的に式 (5) が指数関数的減衰に近づくので、相対的な誤差の程度は小さくなることはあっても、大きくなることはないと考えられる。

数値積分を用いる方法とは異なり、得られる数値が系統的な誤差をはらむ可能性を否定はできないが、刻み幅といった計算精度に影響を与えるパラメータを考慮する必要のないこと、いくら活性化エネルギーを大きくとっても計算の処理時間が増えないこと、また、より大きな活性化エネルギー側での計算の方が、グラフが活性化エネルギーより右側で囲む面積（1−S の値）の系統誤差の値が原理的に小さくなること、などから、典型的な活性化エネルギーの範囲、40〜100 kJ/mol 程度での比較のためには、数値積分法よりも、関数値による近似法の方が優れているといえる。

5. まとめ

マックスウェル速度分布式を展開し、運動エネルギーの確率分布式 (5) を求めた。この式に基づき、ある活性化エネルギーを上回った運動エネルギーをもつ分子の割合を、2 つの方法で算出し、反応速度の温度依存性をシミュレートした。

計算精度に問題なければ、原理的にはもっとも正しい値を与える方法である数値積分法を用いると、活性化エネルギーが 40 kJ/mol 程度より小さい範囲では充分な精度で結果を得ることができた。さらに活性化エネルギーの大きい領域でも十分な結果を得るためには、台形求積法ではなく二次のシンプソン法を用いること、求積の刻み幅を小さくすることが有効であることが示唆されたが、特に後者は計算時間の大幅な増加につながるため、必ずしも実際的な解決法ではないと考えられる。

そのため、典型的な素反応の活性化エネルギーである 40〜100 kJ/mol の領域での温度依存性を比較するためには、確率分布式 (5) を、指数関数的減衰と近似して、ある閾値 $x = a$ より右側の面積を、直接その閾値にあたる関数値 f(a) で近似することが適切であり、定性的には十分に満足できる結果を与えることが示された。この方法では、数値積分とは異なり、関数値を読み取るだけであるので計算処理の時間は短くて済み、ほとんど待ち時間を感じなくて済むので、諸条件を変えたりしながら学生が試行錯誤するのに優れた方法であると言える。

アレニウスの式を用いると、活性化エネルギーがゼロに近い領域から活性化エネルギーが大きい領域まで、一貫して矛盾の無い傾向の数値を得ることができる。しかし、アレニウスの式の頻度因子 A が温度依存性を持たないと仮定した場合の表 8 の値は、高温、高活性化エネルギー側での見積もり時に、温度上昇に伴う反応の加速がやや大きめに現れた。これは、確率分布式 (5) では、前指数項が、温度の −1.5 乗に比例して依存しているのに、アレニウスの式ではこの温度依存項が近似的に無視されているためである。

なお、今回の議論では、一貫して、ある活性化エネルギーを閾値とし、それを超える分子の割合を求めた。しかしながら、アレニウスの式を用いる場合であっても、運動エネルギーの確率分布式 (5) の数値積分、または、関数値を用いるどの場合であっても、活性化エネルギーを超える分子の割合以外に、衝突する分子間の相対速度が上がることに由来する頻度因子の温度依存性$\sqrt{T}$ を考慮に入れるようにするのは、プログラムソース上容易な変更で済む。

6. 十進 BASIC のプログラムソース

ソース①

```
! アレニウスの式による相対反応速度の表示
DEF k(T) = A * EXP(-Ea/R/T)
LET R = 8.314/1000  ! kJ/K/mol
LET A = 1
LET Ts = 300        ! K , 基準温度
PRINT Ts; "K の時の反応速度を 1 とした相対値"
PRINT
FOR Ea = 10 TO 100 STEP 10
   PRINT Ea; "kJ/mol"
   FOR T = 300 TO 350 STEP 10
      PRINT T; "K "; k(T)/k(Ts)
   NEXT T
   print
NEXT Ea
END
```

ソース②

```
! 左側で囲む面積を数値積分により求める
DEF f(E,T) = 2/R/T*SQR(E/R/T/PI)*EXP(-E/R/T)
LET R = 8.314/1000    ! kJ/K/mol
LET xstep = 1E-3      ! 部分求積の刻み幅
FOR Ea = 10 TO 100 STEP 10
   PRINT Ea ;
   FOR T = 300 TO 350 STEP 10
      LET S = 0       ! 部分求積値の和      ※↓
      LET b = 0       ! 1 つ前の関数値      台形求積法
      FOR x = 0 TO Ea STEP xstep
```

```
        LET S = S + (f(x,T)+b) * xstep/2
        LET b = f(x,T)
      NEXT x
      PRINT 1 - S ;                    !  ※↑
   NEXT T
   PRINT
NEXT Ea
END
```

ソース③

```
! 左側で囲む面積を数値積分により求める
! ソース② の LET S = 0 から 7 行を以下に置き替える。
LET S = 0      ! 部分求積値の和              ※↓
LET a = 0      ! 1 つ前の変数値    二次のシンプソン公式
FOR x = 0 TO Ea STEP xstep
   LET S = S +(x-a)/6 * (f(a,T) + f(x,T) + 4*f((a+x)/2,T))
   LET a = x
NEXT x
PRINT 1 - S ;                          !  ※↑
```

ソース④

```
! 右側で囲む面積を関数値で近似する
DEF f(E,T) = 2/R/T*SQR(E/R/T/PI)*EXP(-E/R/T)
LET R = 8.314/1000     ! kJ/K/mol
LET Ts = 300           ! K
FOR Ea= 10 TO 100 STEP 10
   PRINT "Ea=" ; Ea ; "kJ/mol"
   FOR T = 300 TO 350 STEP 10
      PRINT T; "K "; f(Ea,T) /f(Ea,Ts)
   NEXT T
   PRINT
NEXT Ea
END
```

ソース⑤

```
! 指数関数的減衰の特徴の確認
DEF f(x) = EXP(-x)
LET y = 1          ! 縦軸の拡大率
SET WINDOW -2.5, 25, -y/10, y
DRAW grid (10, 0.2)
FOR t = 1 TO 10
   SET WINDOW -2.5, 25, -y/10, y
   CALL pl         ! サブルーチン呼び出し
   LET y = y/10
NEXT t
SUB pl             ! グラフ描画サブルーチン
   FOR x = 0 TO 30 STEP 0.01
      PLOT LINES : x, f(x);
   NEXT x
   PLOT LINES
END sub
END
```

7. 参考文献、註釈

1) 竹内敬人 他, "改訂 化学", 東京書籍, ISBN 978-4-487-16553-7.
2) "十進 BASIC のホームページ", http://hp.vector.co.jp/authors/VA008683/ (検索日 2018.03.14).
3) 近畿大学 神山　匡,"温度と反応速度", http://www.chem.kindai.ac.jp/class/reaction/temp.htm (検索日 2018.03.14).
4) 妹尾学 他, "大学院 物理化学", 講談社サイエンティフィック, 1992, ISBN 4-06-153340-1.
5) 朝倉祝治, "化学反応速度の温度依存性に対する我々の感性は正しいか", 安全工学, vo1.23, No2, pp 112-113, (1984).

6) ソース③による数値積分を行った結果による。刻み幅 xstep = 1×10^{-6} のとき、1−S = 5.0479×10^{-7}、刻み幅 xstep = 1×10^{-7} のとき、1−S = 5.0475×10^{-7} であったので、ほぼ収束したものと見做した。

Simulation of Temperature Dependence of Reaction Rate Based on Maxwell Distribution

Satoshi NAKAJIMA

A particle kinetic energy probability distribution eqn. (5) is lead from Maxwell distribution. Based on the eqn. (5), the proportion of number of the molecules bearing kinetic energy above a certain activation energy is calculated by two methods, and is used to simulate the temperature dependence of chemical reaction rate.

By performing numerical integration of the eqn. (5), it was possible to obtain the result with sufficient accuracy in the range where the activation energy is less than about 40 kJ/mol. However, it was difficult to obtain calculation result with enough precision in the region of activation energy of about 40 kJ/mol or more, from limitation of the time necessary for a calculation practically.

Since the formula (5) is able to be approximated to exponential decay in the high energy region, it could be considered that it was appropriate to approximate the area on the right side of a certain threshold value x = a to the function value f(a) directly. This approximation gave satisfactory results qualitatively in the range of wide activation energy. In this method, it is unnecessary to perform repetitive processing to enlarge processing time, and it is only necessary to read the function value at once. Therefore, for any students, it is effective to examine various conditions while making trial and error.

乱数生成による誤差評価の教材の開発

中島　敏*

（2019 年 1 月 7 日受理）

1. はじめに

真の値を知るために実験や測定を繰り返すと、誤差を含む数値が得られる。ほとんどの学生は、なにも教えなくても同じ条件での測定を繰り返して、その平均を算出するというような操作は当たり前のようにこなすことができるが、その平均値がどの程度の誤差をもつのかなど、数値の精度を考慮した扱いがはじめからできる学生は、必ずしも多くないように感じられる。

このような精度の扱いについて、実験などで得られた数値を実際に解析しながら必要に応じて学ぶのが最も良いのであろうが、測定値の集合を標本として扱うとき、この標本が正規分布に従うとみなせるほどの大きなものを準備するのはかなり大変である。

そこで、十進 BASIC[1] を用いて正規分布に従う乱数を発生させ、Microsoft(R) Excel(R)（以下、「エクセル」と表記する）のアドインを用いてデータ処理をすることで、簡便に平均値の分布や、その信頼区間について学習することを目的とした教材の開発を行った。

2. 背景

2-1. 測定値と誤差について

測定により得られた数値がもつ誤差には、大きくわけて 2 つの種類があると言われている。ひとつは、たとえばスケールの間違ったものさしで長さを測ってしまった場合のようなもので、系統誤差と呼ばれ、ずれの大きさがわかれば補正が可能なものである。もう一つは偶然誤差と呼ばれ、真の値の前後に数値がばらついて生じる原因となるものである。これ以外に、人為的なミスなどによる過失誤差を測定値のもつ誤差の分類に含める場合もある。

偶然誤差によるばらつきについて、次に示すような「誤差の公理」が知られている。符号が正負の誤差は均等に生じる。絶対値の大きい誤差は、絶対値の小さい誤差よりも生じにくい。また、ある程度以上絶対値が大きい誤差はほとんど生じない。この誤差の公理に従うならば、多数の測定値で平均をとることにより誤差を相殺し、真の値を推定することが可能になる。

多くの場合、偶然誤差によるばらつきは、誤差の公理に従い、真の値と測定値の間の差からなる数値の集合が正規分布に従うものとして扱う。また、その場合、有限の n 回の測定により得られた測定値がもつ誤差を、正規分布に従うような誤差の母集団から抽出された大きさ n の標本として扱うことが可能である。

そのため、実験を通して得られたいくつかの測定値から導出されようとするものは、真の値に対する推定値であり、過失誤差を疑わせるような極端な外れ値を除いたあと、ばらつきを均すために平均をとるなどの手順で処理するのが一般的である。

たとえば、11.80、12.00、12.20 という 3 つの測定値があった場合は、標本平均は μ_s = 12.00、標本標準偏差 σ_s = 0.20 であるので、推定値は 12.0、この推定値の持つ標準誤差は（母集団のもつ標準偏差 σ_0 の推定値である）標本標準偏差 0.20 を $\sqrt{3}$ で割って、σ_m = 0.12 である。そのため、12.0(1) と表現してもよい。ただし、このようにして求めた標準誤差は、推定値の 68.27 % の信頼区間を表しているわけではない。これは、標本の大きさが小さいため、推定値が真の値の周りで、正規分布ではなく t-分布に従っているとみなさなければならないからである。正規分布と t-分布の差は、分布の裾の部分で相対的に顕著であるから、95 % 信頼区間を正規分布に相当する 1.96 σ_m で求めることができない。つまり、p 値が 0.05 となるのは、t-分布表より、自由度 2 の時の値を参照して 4.30 σ_m = 0.497 である。すなわち、この 3 つの測定値から求まる平均値の 95 % 信頼区間は、およそ 11.5 から 12.5 の間である。つまり、この 3 つの測定値から導いた 12.0(1) という数値は、11.6 や 12.4 といった別の数値と比較したとき、それらの値がばらつきの幅を持たない数値だとしても、p = 0.05 で有意差があるとみなすことはできない。

同じ平均値の周りに同じ標準偏差でばらついている測定値、つまり、同じ母集団から抽出した標本であっても、標本の大きさが大きくなる（測定値の数が増える）と、推定値の精度は上がる。たとえば、11.70、11.80、11.85、11.95、12.00、12.05、12.10、12.25、12.30 という 9 つの測定値では、μ_s = 12.00、標本標準偏差 σ_s = 0.20 で同じばらつきでの分布であるが、推定値の持つ

* 物質工学科

標準誤差は（母集団のもつ標準偏差 σ_0 の推定値である）標本標準偏差 0.20 を $\sqrt{9}$ で割って、$\sigma_m = 0.067$ である。また、p 値が 0.05 となるのは、t-分布表より、自由度 8 の時の値を参照して 2.31 $\sigma_m = 0.153$ である。つまり、測定値平均は 12.00(7) であり、3 つの数値の平均では差があるとみなせなかった 11.6、12.4 という値はもちろん、より近い 11.8 や 12.2 との間にも p = 0.05 で有意の差があると見なすことができる。

もちろん、これらの議論に際しては、測定値の精度にあらかじめ十分な注意を払うことが必要となる。統計的な処理により算出された数値の精度が、測定値そのものの精度を上回ることはできないことにも学生の注意を促すべきである。

たとえば、先の 9 つの測定値が、測定精度の関係で、12、12、12、12、12、12、12、12、12 として得られていたとしよう。これを統計処理すると、標本標準偏差は $\sigma_s = 0$ となり、従って、平均値 $\mu_s = 12$ のもつ標準誤差も $\sigma_m = 0$ となる。とはいえ、これは平均値 $\mu_s = 12$ が真の値を無限に正しく推定しているという意味ではない。算出された標準誤差が、そもそもの測定値のもつ誤差範囲を下回る場合には、意味を持たない。

また、当然のことであるが、9 つの測定値の和が 108 と 3 桁の数値になり、平均をとる際の分母の標本の大きさ 9 が誤差を含まないからと言って、平均値が 3 桁の精度の 12.0 になると結論することも誤りである。

仮に、12 という測定値が系統誤差を全く含まないと解釈してよい場合は、次式[2]により誤差の伝播を考慮することが可能となる。

$$\delta q = \sqrt{\left(\frac{\partial q}{\partial x}\right)^2 (\delta x)^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial y}\right)^2 (\delta y)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial q}{\partial z}\right)^2 (\delta z)^2}$$

ただし、測定値 x, … , z の測定誤差が δx, … , δz であり、その測定値を用いた関数 q(x, … , z) の誤差を δq とする。今回のケースでは、測定値を 12±0.5 とすると、x = 12、δx = 0.5 などであり、また、q = (1/9) ×(12 + … + 12) より、$\delta q = \sqrt{((1/9)^2 \times 0.5^2 \times 9)} = 0.17$ となり、推定値は 12.0±0.2 である。

しかしながら、真の値が［11.5, 12.5）の区間に一つだけ存在しており、測定精度の関係で 1 の位までしか値が得られないのであれば、得られた測定値 12 には（その絶対値や符号は未知で、測定精度以下の）系統誤差が含まれると解釈しなければならない。そして、系統誤差は統計処理によって打ち消すことはできない。

たとえば、真の値が 12.3 であったものを 1 の位までの測定を繰り返し、12 を何度も得たとするなら、測定値における誤差は常に -0.3 であり、誤差の公理に従わない。つまり、偶然誤差とみなすことのできない系統誤差である。そのため、上述したような処理で、平均で求めた推定値が 12.0±0.05 や、12.0±0.2 などであると結論すると間違いである。

以上のように、目的に応じた精度の推定値を得るためには、測定そのものの精度や、数値のばらつき具合に応じて測定の回数を適切に定める必要がある。

2-2. エクセルのアドイン「データ分析ツール」

偶然誤差によるばらつきをもつ数値の処理は、公式に則って標本標準偏差 σ_s を求め、平均値の推定誤差 $\sigma_m = \sigma_s/\sqrt{n}$ を求めることができる。また、t 分布表があれば、任意の幅の信頼区間を求めることもできる。

しかしながら、エクセルのアドインを用いると、「基本統計量」として、これらの計算を行った結果を簡単に表示させることが可能である。また、アドインには基本統計量の表示以外にもさまざまな目的に応じたものが準備されている。詳細は Microsoft サポートのウェブページ[3]に譲るが、たとえば、「ヒストグラム分析」では、対象となるデータに対し、自分で定めたデータ区間ごとの出現頻度を表示させることができる。また、「回帰分析」では、最小二乗法で関数を近似するとともに、傾きや切片の信頼区間を表示することができる。他にも、分散分析、相関分析、共分散分析、t 検定、z 検定などに対応した分析ツールが準備されている。

このように非常に便利な機能であり、測定値を多用する工学者にとっては必須のツールともいえるが、エクセルの初期設定のままでは使用できないため、これを授業などで使用する際には、アドインを有効にするための手続きの説明からはじめる必要がある。

2-3. 乱数について

標準的なプログラミング言語では、一様分布に従う疑似乱数を得る手段が与えられている。表計算ソフトであるエクセルも、RAND() 関数により、疑似乱数系列を生成することが可能[4]であるが、より質の高い疑似乱数列を生成できる Mersenne Twister 法[5] を用いるためには、あらたにサードパーティー製のアドイン[6] を必要とする。一方、十進 BASIC では、RND 関数により、Mersenne Twister 法により、50 ビットの精度を持ち、0 以上 1 未満の範囲で一様分布に従う擬似乱数が生成される。以下、疑似乱数を単に乱数と表記することにする。

なお、十進 BASIC では、一様分布に従う乱数以外に、これを加工することにより、標準正規分布、二項分布、ポアソン分布、超幾何分布、負の 2 項分布(パスカル分布)、カイ 2 乗分布、t 分布、幾何分布、指数分布といった、さまざまな分布に従う乱数を発生させるような外部関数定義がライブラリとして用意されており、そのライブラリを読み込むことで必要に応じて使用することができる[7]。

3. 正規分布に従う乱数の発生と検証

今回の教材開発にあたっては、Mersenne Twister 法を採用している十進 BASIC により乱数を発生させることとした。一様分布に従う乱数を、標準正規分布に従う乱数に変換するために、いくつかの方法が知られている。

その一つは、十進 BASIC の RND 関数についてのヘルプ表示からのリンク先[7]で紹介されている簡易法である。ここでは、区間［a, b］の一様分布について、平均が (b-a)/2 であり、分散が $(b-a)^2/12$ であることを利用する。すなわち RND 関数が［0, 1）の区間の一様分布を与えるので、その平均は 1/2、分散は 1/12 となる。つまり、独立に生じた 12 個の［0, 1）の区間の一様分布の和は、平均が 6、分散が 1 であるため、近似的に標準正規分布に従う乱数として使用することができる。この方法では、-6 未満および +6 以上の数値（すなわち、母平均から −6σ 未満および +6σ 以上離れた数値）は原理的に生じないが、標準正規分布に厳密に従う場合でも、これらの極端な値が生じる確率は、9.87×10^{-10} しかない[8]ため、ほとんど問題にならないと考えられる。この簡易法を用いて乱数を出力するようなプログラムとして、ソース②のようなものを書くことが可能である。

もう一つは、Box-Muller 法である[9]。互いに独立でともに (0, 1］の区間に一様に分布している 2 つの確率変数を u, v としたとき、次の変換で生じる 2 つの確率変数 x, y は、互いに独立でそれぞれ標準正規分布に従うというものである。

$x = (-2\ \log(u))^{0.5}\times\cos(2\pi v)$

$y = (-2\ \log(u))^{0.5}\times\sin(2\pi v)$

証明の詳細はここでは省略するが、これらの変換式が $R = -2\ \log(u)$ で決まる半径 $\sqrt{R}$ と、$\Theta = 2\pi v$ で決まる回転角を用いた極座標上の点をデカルト座標 (x, y) で表すための変換に相当しており、更に R が平均 2 の指数分布に従うことを用いることができる[10]。

ここで、u は 0 をとれない（log(u) の計算ができない）ため、［0, 1）で一様分布する u’ を用いる場合、(0, 1］で分布する u = 1 − u’ に変換してから用いる必要がある。

この方法では、2 つの独立した一様分布の乱数から、2 つの独立した標準正規分布に従う乱数を得ることができるため、無駄な計算が一切ない点で非常に優れている。

もとの一様分布の乱数に十分な精度があると仮定すると、中央値から大きく離れた乱数も（確率密度関数に応じて小さな確率であるものの）生成する可能性があるが、実際には、離散値しか扱えない計算機では、限界がある。十進 BASIC のように、生成できる乱数の精度が 15 桁（厳密には、十進モードで 50 ビットの精度）をもつプログラムを用いた場合、$u = 1/2^{50}$、v が 1/4 の整数倍のときに x または y のいずれかで絶対値が最大となり、8.3255… を与えることになる。

十進 BASIC に附属するライブラリ[7]を利用した関数定義を用いると、Box-Muller 法を利用して標準正規分布に従う乱数を発生させることができる。しかし、今回、既存のライブラリをブラックボックスとして用いるのではなく、学習者にとってより直感的で、数学の証明を経由しなくても正当性が判断できるアルゴリズムを採用することとし、あらたにプログラムソースを書き起こした。これがソース①である。

このアルゴリズムの要点は、一様に分布する乱数として生成した k の値を採用するか棄却するかを、確率密度関数 f(k) の値に比例した確率で決定することである。また、乱数の出力にあたり、エクセルシートへの貼り付けを想定して、カンマ区切りテキストとして行数、列数を指定することが可能な設計とした。

ソース①の最初の行は、正規分布における確率密度関数を定義している。疑似乱数の系列の出発点を予測できないものとし、教材として用いる際に、複数の試行に対して同じ結果を繰り返さないようにするため、※2 において RANDOMIZE 文を実行する。また、Do 〜 Loop 内の※3 において、［μ−10σ, μ+10σ）の区間内に一様に分布する乱数を発生させ、変数 k に代入する。この時点で k の数値の精度は 15 桁である。※4 では、この k を正規分布に従う乱数として採用するかどうかを判定するために必要な［0, 1）の区間で一様に分布する乱数を発生させ、変数 m に代入する。乱数 k の採用棄却の判定は、※5 において行う。この判定の際、f(k) の値を確率密度関数の最大値 Fmax で除しているのは、標準偏差の指定により Fmax が 1 以上になった場合でも、m との比較で正しく判定できるようにするためであると同時に、Fmax が 1 と比して小さい場合でも、発生させた乱数 k に対し採用の効率を最大にするためである。乱数 k を棄却した場合には、Do 〜 Loop に従って、再び※3 に戻り、新たに乱数 k を生じたのち、同様の判定を行う。乱数 k を採用する場合には、※6 でフラグを立て、所定の印字出力を行ったのち、Do 〜 Loop の繰り返しから脱出する。

このようなアルゴリズムであるため、比較する確率密度関数の定義さえ書き下ろすことができれば、原理的にどのような確率分布にも対応可能である。とはいえ、たとえば自由度の小さい t-分布などのように、確率密度が無視できるほど小さいとみなせない範囲が広い場合には、※3 において発生させる k の区間について、あらためて吟味する必要がある。

また、判定に用いる乱数 m は［0, 1）の区間で一様に分布するため、Box-Muller 法では生成しなかった ±8.3255…×σ より離れた値を乱数として採用する確率

も小さいながら存在する。ただし、f(k)/Fmax = 1×10^{-15} 以下（※4 の行を置かずに※5 における判定条件を（ f(k)/Fmax ＞ m ）の代わりに（ f(k)/Fmax ＞ RND ）とした場合には f(k)/Fmax = 1/2^{50} 以下）となるような k 、すなわち k の絶対値がおよそ 8.32σ 以上の値が乱数生成後に採用される確率は、標準正規分布の確率密度 f(k) に比例するというよりは、m = 0 となる 1/2^{50} ≒ 1/10^{15} で一定でしかない。これは、離散値しか扱えない計算機の限界である。とはいえ、いま、発生させる乱数の全体数を n とする。k の区間の幅を dk = 0.1 として、期待値としてその区間の乱数が一つは生じるような程度の量を閾値として考えるとき、この k = 8.3σ では、f(k) ≒ 4.38 ×10^{-16} であるので、 n×dk×f(k) ＞ 1 より、n ＞ 2.28×10^{16} となる。すなわち、±8.3σ 程度より外側に乱数が生じるかどうかが問題になるのは、10^{16} 個に匹敵するか、これより多数の乱数を生じさせるような系であると言える。

なお、Do ～ Loop 内にカウンタを設置して、1 つの乱数を採用するために、必要な乱数発生と採用棄却の試行回数を測定したところ、平均して 8.0 回であった（1×10^{6} 個の乱数を発生させるために行ったある試行においては、7979340 回であった）。これは、f(0) = 0.3989 、(10-(-10)×f(0) = 7.979 であることと照らし合わせて、期待値の通りである。

比較する確率密度関数を正規分布としているソース①では、※3 において、乱数 k を［μ−10σ, μ+10σ）の区間内に一様に分布するものとして発生させているが、たとえばこの区間を狭めてやり、［μ−6σ, μ+6σ）などとしてやれば、1 つの乱数を採用するために必要な乱数発生と採用棄却の試行回数を平均して 4.8 回程度に下がるので、その場合には処理時間を 6 割程度に短縮することが可能である。とはいえ、授業に用いる PC の性能に依存するが、2～3 万個の乱数を発生させるだけであれば、プログラムソース①のままで 1 秒程度以内に処理が終わることが確認できたので、今回はそのままとした。

それぞれの方法で生成する乱数の分布を検証する目的で、十進 BASIC のプログラムソース①およびソース②を用いて 1×10^{6} 個の 15 桁の精度の乱数を発生させたものを、それぞれ標本 1、標本 2 とし、これらをエクセルシートに貼りつけたのち、エクセルのアドインを用いてデータの解析を行った。その結果（エクセルのアドイン「データ分析」の「基本統計量」により表示された数値）を表 1 に示す。また、以下に引用する基本統計量について、標準的に用いる記号につけた添え字の 1、2 は標本 1 および標本 2、また 0 は標本を抽出した母集団の意味で用いることとする。

今回生成した乱数を標本とすると、その標本を抽出した母集団は、乱数の発生方法が妥当であるなら、標準偏差 σ_0 = 1、平均 μ_0 = 0 の標準正規分布であることを想定できる。

表 1．異なる 2 種類の方法で生成した正規分布に従う乱数の標本の基本統計量

	標本 1	標本 2
乱数発生法	ソース①	ソース②
平均	-0.000435616	0.002003233
標準誤差	0.000999495	0.001000366
中央値	-0.001053396	0.000907668
最頻値	#N/A	#N/A
標準偏差	0.999495037	1.000365777
分散	0.998990329	1.000731688
尖度	-0.008446365	-0.102014791
歪度	-0.001045221	0.000366559
範囲	9.613111052	8.418577904
最小	-4.804708282	-4.19274659
最大	4.808402771	4.225831314
合計	-435.6159774	2003.23285
データ個数	1000000	1000000
信頼度(95.0%)	0.001958977	0.001960683

標本 1、標本 2 のいずれにおいても、最頻値（モード）が「#N/A」（Not Available）であることから、重複したデータは存在せず、どちらの標本においても 1×10^{6} 個の数値がすべて一意であることが読み取れた。

標本平均のもつ標準誤差 σ_m は母集団の標準偏差 1 を用いて $\sigma_0/\sqrt{n} = 1/\sqrt{n}$ で求められ、理論値は σ_m = 1×10^{-3} となる。母集団の標準偏差の推定値として標本標準偏差 σ_1 = 0.999495、σ_2 = 1.000366 を用いて算出した標準誤差は、いずれの標本においてもこの理論値と良い一致を示した。

標本平均 μ_1 = -0.00044 は、この標準誤差の範囲内で母平均 μ_0 = 0 と一致している。一方で、標本平均 μ_2 = 0.002003 は母平均との差がおよそ $2\sigma_2$ あり、およそ 20 回に 1 回生じる程度の偏りを示したが、歪度も十分にゼロに近く、この 1 回の解析結果のみからソース②の乱数発生法に片寄りがあることを示すデータであるとは言えない。

このようにほとんどの基本統計量において、母集団が標準正規分布であることと矛盾しない値が得られている中で、標本 2 の尖度に有意な差が見られた。図 1 に標本 1 について、区間の幅を 0.1 として作成したヒストグラムを示す。分布の形がほぼ典型的な標準正規分布に従っているように見える。標本 2 についても同様にヒストグラムを作成したところ、見かけ上、差はほとんどわからなかった。各階級について、頻度分布の差（標本 2 − 標本 1）を算出してプロットしたものを図 2 に示す。標本 2 では、標本 1 と比べて ±1σ_0 内の範囲における乱数の出現頻度が 1～2 % 程度下がり、逆にその周辺の

$\pm 1.5\sigma_0$ 付近をピークとして中央付近における減少と同程度の絶対値で出現頻度が上がっている。このような分布の違いが標本 2 における尖度の低下に反映されていると解釈できる。また、$\pm 3.0\sigma_0$ 付近より外側では、わずかではあるが、再び出現頻度が下がる傾向がみられている。このことが、標本 2 における最大値と最小値の差（範囲）が、標本 1 とくらべてやや狭くなっていることに反映されている可能性がある。

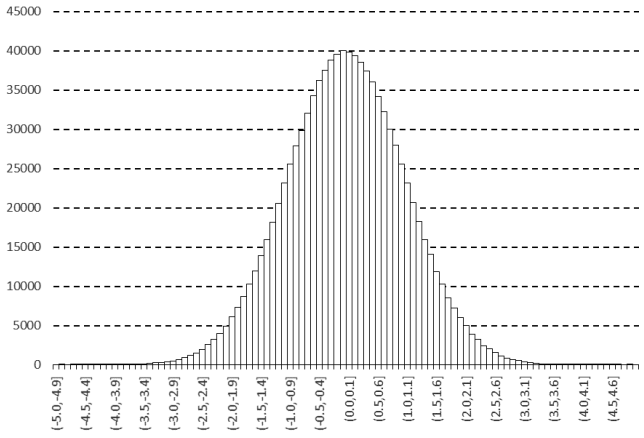


図 1. 標本 1（$n_1 = 1\times10^6$）における乱数の分布図

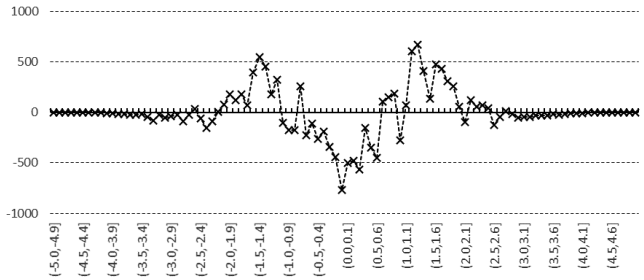


図 2. 階級ごとの標本 1、標本 2（$n_1 = n_2 = 1\times10^6$）における乱数の出現頻度の差（標本 2 − 標本 1）

以上よりまとめると、標本 1 は、基本統計量が標準正規分布の値とほぼ一致するため、ソース①における乱数の発生が妥当であり、標準正規分布を母集団として標本を抽出することができたとみなすことができるものと考えられる。一方、標本 2 は尖度が小さく、厳密には、その母集団は標準正規分布であるとは言えない。標本 1 と標本 2 における階級ごとの乱数出現頻度の差は、標本 1 の出現頻度を基準として、中央値付近で 1〜2 %程度、また $\pm 1.5\sigma_0$ では 4〜5 %程度に相当する。$\pm 3.0\sigma_0$ より外側の減少は、割合として表現すると 10 % を超え、また、$\pm 4.0\sigma_0$ 付近では 50 %程度に達している。そのため、大きな標本を扱う場合や、$\pm 3.0\sigma_0$ より外側の値を考慮するような系においては、標本 2 を生成した乱数生成とは別法を選択する必要があると思われる。

4. 教材の内容と学習の狙い

この章では、授業用の教材（学生配布資料）の構成および内容について述べる。

4-1. 統計用語の概説

母集団、標本、平均値、標本標準偏差、標準誤差、信頼区間、などの基本的な概念について概説した。

4-2. アドインを有効にする手順の説明

初期設定のままでは使用できない分析ツールを利用するための手順を示した。具体的な指示内容は以下の通り。［ファイル］タブより、一番下の［オプション］を選択し、表示されるウィンドウより、［アドイン］メニューを選択すると、同ウィンドウ内に選択できるアドインのリストが表示される。このリストの中から、「分析ツール」を選んで、下方の［設定］ボタンを押す。表示される別の［Excel アドイン］ウィンドウより、［分析ツール］チェックボックスをオンにして［OK］する。

4-3. 乱数の生成と分布の確認

十進 BASIC によるソース①を示し、これに基づいて、正規分布に従う母集団より抽出した標本として 500 個の乱数（GroupNumber = 1、SampleSize = 500）を発生させた。出力結果は、500 個の乱数による 500 行のテキストとなっている。これをコピーし、エクセルシート上にペーストすると、A1:A500 の範囲に乱数が貼りつけられる。この手順で発生させた乱数を、標本 3 とした。

4-3-1. 散布図による分布の確認

標本 3 における 500 個の乱数について、およその分布を簡単にチェックするために、散布図を利用することができる。本来、散布図は独立変数 x、および従属変数 y のデータの組を用いて、二次元のデカルト座標上に点をプロットする際に用いるものである。その一方で、例外

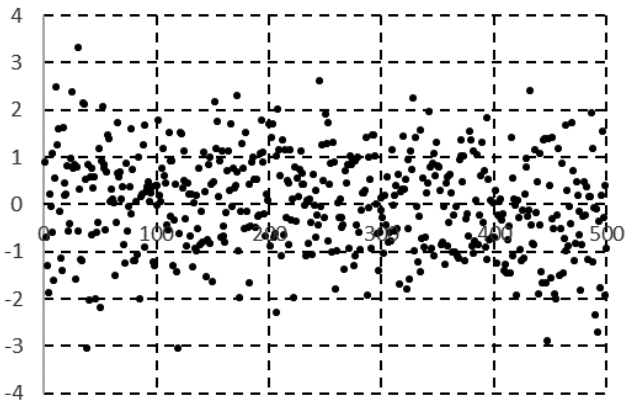


図 3 標本 3 に対する「散布図」、横軸は行番号

的な使用法ではあるが、A1:A500 のように一系列のみのデータを選択してからグラフの挿入により図 3 のような散布図が表示される。ここでは「系列 X」の指定が空きとなり、データの入っている行番号を横軸にとったプロットとなる。この作図による確認を行った時点で、発生させた乱数が正規分布に従っているはずであるため、およそ ±3 の範囲内に数値が分布しており、また外側ほど分布の密度が小さくなっていることがすぐに見てとれる。

散布図の作成は、数値データの入っているセルの領域を指定してから「グラフの挿入」をするだけの操作なので、時間を掛けずに実行できる。授業において学生に試行させたところ、十進 BASIC のソース①の入力時の間違いによるもので、±10 の範囲内に一様分布となるようなものが数例あった。これは、発生させた乱数の棄却採用の判定の付近での間違いによるものであった。散布図の作成を通して発生させた乱数のおよその分布を確認することで、このようなミスを初期に発見でき、演習の時間を有効に利用できるようになる。

4-3-2. 箱ひげ図による分布の確認

エクセル 2016 では、グラフの挿入のメニューに、箱ひげ図が加えられた[11]。そこで、箱ひげ図についても作成例を示し、概要を解説した。箱ひげ図は、数値のばらつきの程度を視覚的に表すことのできる統計グラフの一つである。分布の仕方に規則性がない場合にも広く利用でき、また、複数の系統間の比較を行う場合などは、ヒストグラムよりも便利である。そのため、品質管理をはじめとしたさまざまな分野で利用される。

図 3 と同じ 500 個の乱数（標本 3）について作成した箱ひげ図を図 4 に示す。

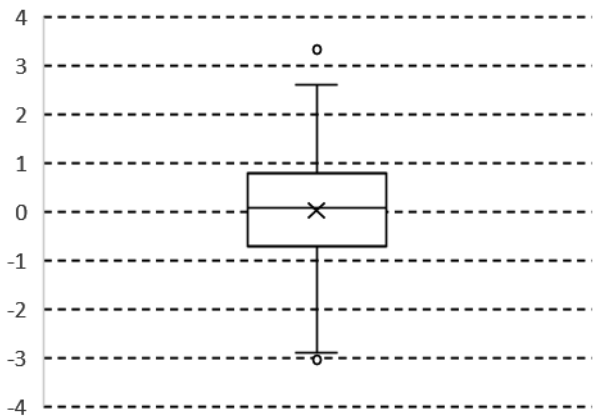


図 4 標本 3 に対する「箱ひげ図」

中央付近の箱を形成する 3 本の横線は、下からそれぞれ、第一四分位点、第二四分位点(=中央値)、第三四分位点である。そのため全データのうち半数がこの箱の内側にあることを意味する。すなわち、正規分布に従っていた場合は、第一および第三四分位点は μ±0.674σ の公算誤差の範囲に相当する。また、× は平均のマーカである。エクセルの図の設定によりすべての測定値のある位置にマーカを表示したい場合には、データ系列の書式として「内側のポイント」を表示させればよい。ここでは 500 個の数値をすべて表示しても無意味なので非表示の設定とした。箱の上下に伸びているひげは、数値の範囲（最小値および最大値）を示すが、第一および第三四分位点（箱の下端および上端）からこれらの四分位点の差（つまり箱の高さ）の 1.5 倍を超えて離れた数値は外れ値(特異ポイント)として、ひげの範囲に含めず、その外側に点で示される。また、この場合のひげの端は、外れ値を除いて存在する最小値または最大値の位置である。このひげの長さの上限は、正規分布を考えた場合にはおよそ ±2.70σ に相当し、その内側に全データの 99.3 % が分布することを意味する。

4-3-3. ヒストグラムによる分布の確認

エクセル 2016 では、グラフの挿入のメニューからヒストグラムを選ぶことも可能となった[12]。ただし、その場合、階級の数や、その区間の幅は自動で決められ、必ずしも切りのよい数値は選ばれないので、自分で調整[13]しなおす必要がある。授業では、データ分析ツールを用いて階級ごとの出現頻度表を作成してから、ヒストグラムを得る方法を用いることとした。

階級数の選定には、スタージェスの公式を参考にすることができる。$k = 1 + \log_2 n$ を参考にして、切りのよい数値を選べばよい。この公式からは、n が 512 で k = 10 を与える。外れ値を除くと ±3 の間にほとんどすべての数値が分布していたので、この区間を 0.5 で刻むと階級数が 12 となり、ほぼ適当である。はずれ値もあるため、±4 の範囲でヒストグラムを作成することとした。実際には、任意に選んで作成したヒストグラムにおいて、階級数が少なすぎてデータの傾向がわかりにくくなったり、また、逆に階級数が多すぎて極端に歯抜けになってしまうなど不具合があるときに、階級数を調整してグラフを作り直す必要がでてくる。

A 列に標本 3 の数値が入力されているので、階級区間の下限値と上限値を B 列、C 列に入力した。データ分析ツールを使用して階級ごとの出現頻度表を作成するためには、階級区間の上限値のみを指定する必要がある。しかし階級の区間名を明示させるためには、区間の下限値の情報も必要である。D 列に区間を表す文字列を関数の戻値として返すためには、たとえば、D2 には =″(″ & TEXT(B2,″0.0″) & ″, ″ & TEXT(C2,″0.0″) & ″]″ などのように指定する。ここで、TEXT 関数は、2 番目の引数

としてセルの表示形式の指定で用いる文字列（ここでは、"0.0"）をとる。

ここで、データ分析ツールから「ヒストグラム」を選択し、「入力範囲」としてたとえば「A1:A500」またはもっと単純に「A:A」などと指定し、「データ区間」として各階級の上限値の数値が入力された範囲（C2:C17）を指定する。更に「出力先」としてE1 などを指定する。OK を押すと、E 列には「データ区間」（の上限値）が、F 列に各区間の出現頻度が表示される。

これをもとにヒストグラムにする際には、E 列、F 列のデータを選択の上、グラフの挿入より「縦棒グラフ」を選択する。ただし、ヒストグラムは頻度分布を表すものであり、グラフの面積が意味を持つので、縦棒グラフのデータ系列の書式設定において「要素の間隔」を 0 %にしておかないとならない。また、このグラフの横軸のラベルについては、先に D 列にて生成した文字列を指定する。

このようにして作成したヒストグラムを図 5 に示す。500 個程度の乱数では、きれいな対称な正規分布曲線のからのずれが無視できないものの、正規分布に従う母集団から抽出した標本としては妥当である。

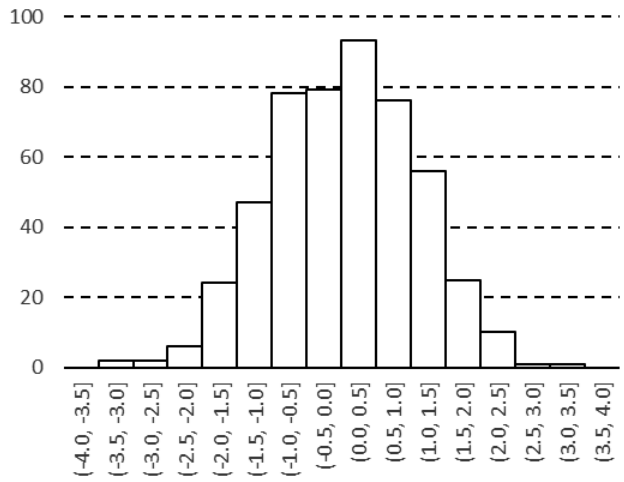


図 5　標本 3 に対する「ヒストグラム」

なお、データ分析ツールを用いなくても、出現頻度表を作成するために、COUNTIF 関数、COUNTIFS 関数、FREQUENCY 関数などを利用することも可能である。ただし、これらの方法では、学生が躓きがちなポイントが多いので、授業での演習では、意図通りの表示ができなかった学生への対応に時間がとられることがある。

たとえば、COUNTIF 関数は、指定された範囲に含まれる検索条件を満たすセルの数を返す。しかしながら、この検索条件の式は、論理式ではない（TRUE/FALSE の値をもつものではない）ために AND や OR 関数でつなぐことができないため、同時に 1 つしか指定できない。そのため、COUNTIF 関数のみが使用できる場合（エクセルのバージョンが 2002、 2003 など）では、階級の上限値などにもとづいて累積出現頻度を算出したあと、階級間の差分をとる必要がある。エクセルのバージョン 2007 以降では、COUNTIFS 関数を使用することができる。例として、A 列に出現頻度を調べたい数値が入力されており、階級区間の下限値と上限値が B 列、C 列に入力されているものとしたとき、たとえば G2 に =COUNTIFS(A:A, ">"&B2, A:A, "<="&C2) のように入力するとよい。しかし、この場合も検索条件式の書き方に互換性が少ない。例えば、テキストの接合子である「&」を書き忘れた場合はもちろんのこと、「">"&B2」と書くべきところを「B2&"<"」のように比較演算子を右に書いた場合は認識されないし、等号を含む不等号を「"<="&C2」の代わりに「"=<"&C2」と書いた場合も認識されなくなる。

また、FREQUENCY 関数は他の関数とは異なる入力方法を用いないと意図しない出力結果になることがある。出現頻度表を作成する目的では「配列数式」（複数のセルに対して同じ引数を持つ同一の関数、エクセルのバージョン 2007 以降で対応）として指定する必要があるためである。具体的にはウィンドウズ系の PC 上のエクセルの場合、入力範囲を予め選択し、数式の入力後に Ctrl + Shift + Enter キーを押下する。

たとえば、A 列に出現頻度を調べたい数値が入力されており、階級の上限値が区間配列 C2:C17 に入力されているものとしたとき、はじめに H2:H18 など、区間配列よりひとつ広い範囲を選択してから = FREQUENCY(A:A, C2:C17) の入力を行い、Ctrl + Shift + Enter キーを押下する。「配列数式」として指定されるので、H2:H18 の各セルの数式バーでは {= FREQUENCY(A:A, C2:C17)} と波カッコ付きで表示され、区別できる。ここではじめに区間配列より広い範囲を指定する必要があるのは、一番下の区間の最大値を超えた数値の個数をカウントしなければならないためである。

しかし、この配列数式としての入力を意識しなかった場合、たとえば、I2 に = FREQUENCY(A:A, C2) と入力し、下方向にオートフィルによるコピーを行うと、C 列の値を上限とする累積出現頻度の表を与える。また、区間配列のつもりで、J2 に = FREQUENCY(A:A, C$2:C$17) と入力してからコピーしても、J3 以降に J2 と同じ値が並ぶのみとなり、出現頻度表にはならない。

4-4. ヒストグラムの正規分布曲線による近似

ヒストグラムは度数分布を表すので、縦軸には区間毎の数値の出現頻度（Frequency）をとることが多い。しかし、この説明だけでは縦の棒グラフとの差異が理解しにくい。

ヒストグラムにおいて、各階級のもつ値を出現頻度で

はなく、その階級の柱の面積がその区間に数値が出現した確率となるように規格化して表示することが可能である。このような描き方をする場合には、横軸にとる階級間に隙間があってはならないし、また、階級ごとに描かれる柱も隣の柱との間に隙間があってはならないことも自明となる。この方法を用いると、十分に大きな標本について作成した場合、区間幅を狭くした極限では、ヒストグラムの包絡線は確率分布関数を与える。

このようなヒストグラムの確率表示に対し、その標本の持つ平均、標準偏差に基づいた正規分布曲線を重ねて示すことで、標本分布においてこれらのパラメータを求める意味を図的に理解しやすくなると期待できる。

授業においては、十分な時間を確保できなかったため、配布資料において、十進 BASIC によるプログラムソース③を示し、いくつかの実行結果例を示すのみにとどめることとした。※7 の行で行っているように、頻度を確率となるように規格化する際には、各階級の頻度を頻度の和で除すことでその階級の柱の面積が決まるため、さらにその階級の幅で除すことによりプロット時の柱の高さを決めることができる。この処理により、通常のヒストグラムでは行わないが、特定の隣接する柱同士を合併することも簡単に行えるようになる。このためには

```
Data 0.0, 0.5, 93
Data 0.5, 1.0, 76
```

のような Data 文を

```
Data 0.0, 1.0, 169
```

のように、単純に出現頻度を足し合わせてまとめればよい。それぞれで生じるグラフを比較すると、この柱同士の合併は、区間の幅に対して出現確率を平均化する処理に相当することがわかりやすい。このような処理は区間幅を狭くとりすぎて歯抜けが生じてしまったヒストグラムを整理しなおすために適していると考えられる。

このソース③では、Data 文の先頭に標本平均、標本標準偏差の 2 つの数値を置き、これ以降、区間の下限、上限、出現頻度の順に数値を繰り返して並べる。標本平均、標本標準偏差は、エクセルの分析ツール「基本統計量」の表示で数値が得られるほか、下限、上限、出現頻度の数値は、エクセルで作成した出現頻度表を加工（テキストエディタなどで、tab 記号をカンマ区切りに検索置換したり、行頭に「Data 」を一律に挿入するなど）することで簡易に得ることができる。

以下図 6(a)～(c) に、各種分布に対するこのソース③を利用した実行結果を示す。

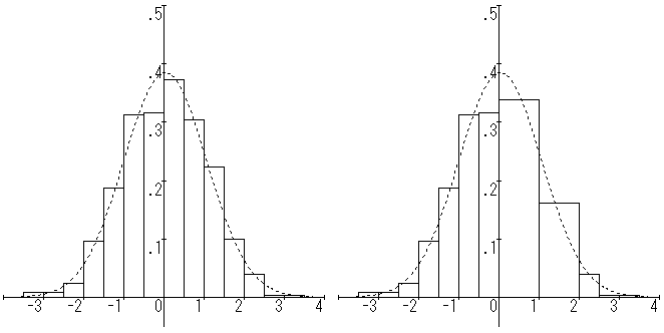


図 6(a)　（左）標本 3 に対するヒストグラムの確率表示と正規分布、（右）いくつかの柱を合併した例

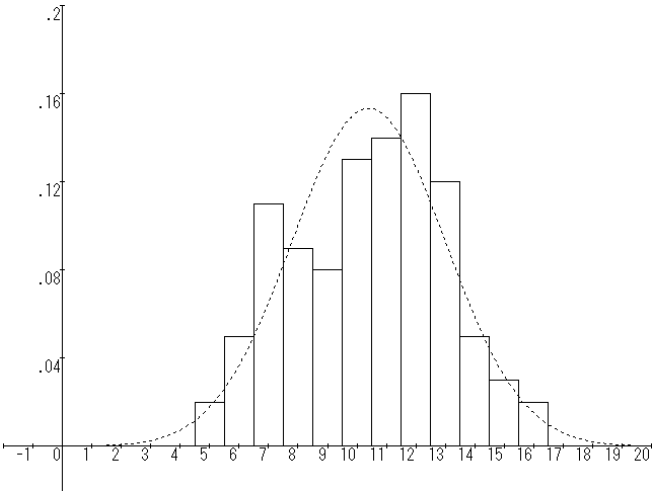


図 6(b) 3 個のサイコロの和の分布、100 回試行結果
（標本平均 μ_3 = 10.40、標本標準偏差 σ_3 = 2.6015）

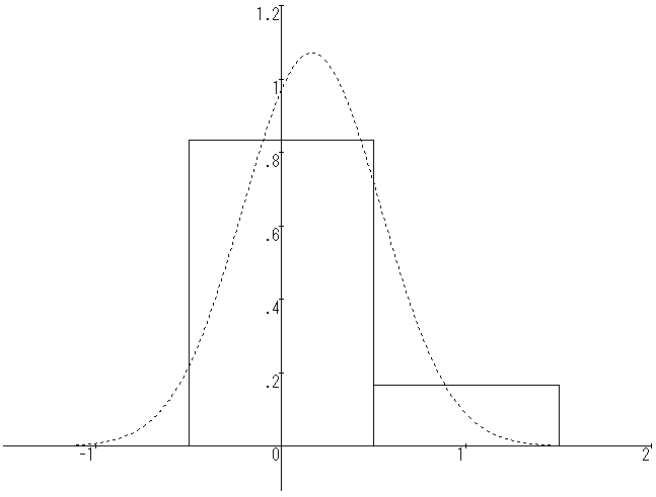


図 6(c)　サイコロの特定の目の出現（事前に定めた目が出た場合 1 点、それ以外を 0 点としたときの出現頻度）
（理論平均 μ_0 = 1/6、標準偏差 σ_0 = 0.3727）

4-5. 標本平均の分布の作成、信頼区間の確認

ここまでの段階で、標本そのもののばらつきや、母集団のばらつきの推定値として、標本標準偏差 σ_s で示すことが可能であることを学習した。しかし、偶然誤差によるばらつき　σ_s と、その誤差を平均により打ち消した結果である標本平均 μ_s （実験などにおける真の値の推定値）のばらつき、すなわち標準誤差 σ_m との間には本質的な差異がある。そこで、演習課題を設定し、これを

通し、標準誤差 σ_m の概念と、信頼区間の意味を理解させることを目的とした。

この演習課題では、まず、ソース①を用い、標本の数 GroupNumber = 30、標本のサイズ SampleSize = 25 として 750 個の乱数を生成させた。これは、偶然誤差によるばらつきを標準正規分布に従うものとし、25 回の測定結果をひとつの標本として扱うことに相当する。この標本に対して、平均値（つまり、真の値に対しての推定値）μ_s を算出することができるが、標本の大きさが有限であるため、真の値（標本を抽出した母集団が標準正規分布であるので、その平均値 $\mu_0 = 0$ ）とは一致しない。今回の実験では、標本の数が 30 あるので、標本平均 μ_s の分布を調べることができ、主要なパラメータは基本統計量として表示させることができる。

次いで、測定値を含む誤差の母集団の近似として 750 個の乱数全体を用い、その分布をヒストグラム化する。このステップは、時間の関係で初めに行った 500 個の乱数についてのヒストグラムで代用してもよい。また、30 個の標本平均がもつ分布を、これと同じ階級幅でヒストグラムにすることで、σ_0 と σ_m の比較を行い、$\sigma_m = \sigma_0/\sqrt{n}$ の関係にあることを視覚的に確認する。ここでは、$n = 25$ であるので、$\sigma_m = 0.2$ が期待値である。すなわち、25 回の測定結果の平均値 μ_s が多数あった場合、そのうちの約 68.3 % が ± 0.2 の範囲に収まることが期待される。

正規分布表において $p = 0.05$ を与えるのは 1.960 である。すなわち、正規分布をする母集団から抜き出した $n = 25$ の標本平均の 95％ 信頼区間は、$\mu_s \pm 1.960\sigma_m = \mu_s \pm 0.392$ である。いわばこれは「真の値が算出した標本平均の値の ± 0.392 にあった確率が 95 % 」ということなので、逆に見ると、標本平均が多数あった場合、既知の母平均 $\mu_0 = 0$ の周囲 ± 0.392 の範囲内にその 95 % が存在していることを示す。

とはいえ、実際の測定実験では、母平均（すなわち真の値）は未知であるのが普通である（もし既知なら、実験によって決める必要がない）し、母標準偏差 σ_0 についても同様に知る手段がないことが多い。母分散未知の母集団から抜き出した標本平均の区間推定では、標準誤差の推定に母標準偏差の代わりに標本標準偏差を用いるため、この平均値が t-分布に従うとみなさなければならない。t-分布表において自由度 24 で確認すると、$p = 0.05$ を与えるのは 2.064 であった。すなわち、それぞれの標本ごとに算出された標本標準偏差 σ_s に基づいて、$\sigma_m = \sigma_s/\sqrt{n}$ として標準誤差が算出され、95％ 信頼区間の幅が $\pm 2.064\sigma_m$ となる。

ある試行においては、30 個の標本に対して、標本標準偏差 σ_s の最大値と最小値は 1.291、0.782、平均 0.997 であった。そのため σ_m も最大値、最小値が 0.258、0.156 となる。そのため、95％ 信頼区間の幅も ± 0.533 から ± 0.323 まで変動した。

これらの計算は、いずれもそれぞれの標本について、エクセルのアドイン、データ分析ツールにより「基本統計量」を表示させることで一括して行うことができる。エクセルの分析ツールでは、複数の列に貼りつけられた数値を範囲してしたとき、それぞれの列ごとを標本とみなして解析結果を与えるため、計算に必要な時間はごく短時間ですむ。そこで、演習課題として、これらの処理結果に基づき、それぞれの標本の 95 % 信頼区間内に母平均が含まれるかどうかの確認を行い、近くの学生と比較させることとした。自分の結果を周囲の学生と比較させるように指示しているのは、次の理由による。すなわち、各学生は互いに独立に 30 個の標本についての解析を行っているため、期待値としては各学生ともに 1.5 個の標本において、推定値の 95％ 信頼区間内に真の値が存在しない。しかしながら、$0.95^{30} = 0.2146$ なので、およそ 5 人に 1 人は、偶然の偏りにより、すべての標本の推定値の 95 % 信頼区間内に真の値が含まれるという結論を得てしまうことになる。偶然によりそのような結果を得た学生も、おそらく周囲には、1 個以上の標本において推定値の 95 % 信頼区間内に真の値が存在しないという結論を得る学生がいるだろう（事前に指定した 3 人がともに 0.95^{30} の確率に従う結果になる確率は、約 1％ しかない）。一方で、一人当たりの扱う標本の数を仮に 60 個まで増やしたとしても、$0.95^{60} = 0.0461$ なので、40 人クラスにおいて期待値として 1.8 人程度が例外的に、偶然の偏りについて、すべての標本について標本の推定値の 95 % 信頼区間内に真の値が含まれるという結論を得てしまうことになる。そのため、標本の数を増やすのではなく、（確率的には必ず生じることが予測される）例外的な結果を得た学生が、周囲の学生の結果を参照することとした。

なお、配布資料においては、ほぼ期待値である 2 個の標本において 95 % 信頼区間内に真の値が含まれないような試行結果例を挙げ、30 個の標本の基本統計量に基づいた 95 % 信頼区間の解析と、真の値がその範囲内に含まれているかどうかの判定の表を例として示した。

5. まとめ

十進 BASIC のプログラムソース①により生成した乱数が、標準正規分布に従う母集団から抽出した標本であると十分にみなせることを確認した。一方でソース②により生成した乱数は、標本の大きさが 10^6 の時、厳密には母集団が標準正規分布に従うとはみなせなかった。

ソース①により発生させた乱数を、誤差を含む測定値とみなし、エクセルのアドイン「分析ツール」を用いて解析する授業教材を作成した。この教材においては、統

計用語の概説、アドインを有効にする手順の説明したのち、「散布図」、「箱ひげ図」および「ヒストグラム」によって乱数の分布を確認させた。また、基本統計量、主に平均値と標本標準偏差の意味を図的に理解させるため、ヒストグラムを確率分布に対応させるような規格化を行った。

また、演習課題を準備し、生成した 30 個の標本について、その基本統計量を解析標本平均の分布における標準偏差 σ_m が母標準偏差 σ_0 や標本標準偏差 σ_s とは異なること、さらには、それぞれの標本のもつ標準偏差 σ_m に基づいた推定値の 95 % 信頼区間が、期待値として 20 回に 1 回程度は真の値を含まない場合があることを確認させた。

6. 十進 BASIC のプログラムソース

ただし、※1 の先頭の「&」と前行末尾の「&」は、表示上の都合で改行されているが、行継続の記号である。それ以外の ※については本文中で註釈を加えた。

ソース①

```
! 正規分布に従う乱数を PRINT 文で出力する例
DEF f(x) =1/(SQR(2*PI)*sigma) * EXP(-(x-mu)^2/2/sigma^2)
LET sigma       = 1             ! 標準偏差
LET mu          = 0             ! 平均
LET SampleSize  = 25            ! 標本の大きさ、行数
LET GroupNumber = 30            ! 標本の数、列数
LET DataNumber  = GroupNumber * SampleSize
LET Fmax = F(mu)                ! 関数の最大値
RANDOMIZE                       ! ※2
FOR j = 1 TO DataNumber
   LET flag = 0
   DO
      LET k = (RND-0.5)*2 *10 * sigma + mu  ! ※3
      LET m = RND               ! ※4
      IF f(k)/Fmax > m THEN     ! ※5
         LET flag = 1           ! ※6
         PRINT k;
         IF INT(j/GroupNumber)=j/GroupNumber THEN
            print
         ELSE
            PRINT ",";
         END IF
      END IF
   LOOP UNTIL flag = 1          ! ※6
NEXT j
END
```

ソース②

```
! 正規分布に従う乱数を PRINT 文で出力する例、その２
! 十進 BASIC ヘルプからのリンク先で紹介されている簡易法
RANDOMIZE
FOR k = 1 TO 1000000
   LET nrandom = RND+RND+RND+RND+RND+RND+RND+RND+RND+ &&
&       RND+RND+RND-6  ! ※1
   PRINT nrandom
NEXT k
END
```

ソース③

```
! ヒストグラムの確率表示と正規分布曲線による近似
DEF f(x) =1/(SQR(2*PI)*sigma) * EXP(-(x-mu)^2/2/sigma^2)
! Data 文として用意された区間の数 (d) を数える
LET d = 0
DO
   READ if missing then exit do : dummy
   LET d = d + 1
LOOP
LET d = INT((d-2)/3)  ! はじめの 2 つは平均、標準偏差
! 配列の宣言 (区間下限、区間上限、頻度)
DIM Ll(d), Ul(d), Fr(d)
! 配列への代入と、頻度の和 FrSum の算出
RESTORE
READ  mu, sigma  ! 標本平均、標本標準偏差
LET FrSum = 0
FOR k = 1 TO d
   READ Ll(k), Ul(k), Fr(k)
   LET FrSum =  FrSum + Fr(k)
NEXT k
! 頻度を規格化し、同時に最大値を探す
LET FrMax = 0
IF FrSum <> 0 THEN
   FOR k = 1 TO d
      LET Width = Ul(k) - Ll(k)
      LET Fr(k) = Fr(k)/FrSum/Width    ! ※7
      IF FrMax < Fr(k) THEN LET FrMax = Fr(k)
   NEXT k
END IF
! 描画の範囲の決定
LET Xmin =  Ll(1)   ! はじめの区間の下限
LET Xmax =  Ul(d)   ! さいごの区間の上限
LET Ymax = CEIL(MAX(f(mu), FrMax)*1.1/0.1)*0.1
LET Ymin = -Ymax/10
! 座標軸の描画
SET axis COLOR 1
SET WINDOW Xmin, Xmax, Ymin, Ymax
LET Yscale = CEIL(Ymax/(10^CEIL(LOG10(Ymax/24)))/6) * &&
&            10^CEIL(LOG10(Ymax/24))   ! ※1
DRAW axes (1, Yscale)
! ヒストグラムの描画
FOR k = 1 TO d
   PLOT LINES : Ll(k),0; Ll(k),Fr(k); Ul(k),Fr(k); Ul(k),0
NEXT k
! 正規分布曲線の描画
SET LINE STYLE 3
FOR x = Xmin TO Xmax STEP (Xmax-Xmin)/500
   PLOT LINES : x, f(x);
NEXT x
! Data 文 を以下の形式で置く
!   平均、標準偏差
!   区間下限、上限、頻度
END
```

7. 参照、註釈

1) ″十進 BASIC のホームページ″. http://hp.vector.co.jp/authors/VA008683/, (検索日 2018.03.14).

2) 化学同人編集部, ″実験データを正しく扱うために″, 化学同人, 2007, pp 64-67.

3) マイクロソフトオフィスのサポートページ, ″分析ツールを使用して統計学的および工学的分析を行う″, https://support.office.com/ja-jp/article/分析ツールを使用して統計学的および工学的分析を行う-6c67ccf0-f4a9-487c-8dec-bdb5a2cefab6, (検索日 2018.07.13).

4) エクセルにおける疑似乱数列の生成については、以下の情報から判断すると、バージョンにより異なるアルゴリズムを用いているらしい。また、使用目的によっては、生成する乱数に問題があることを指摘するサイトもあった。ただし、エクセル 2016 で、=RAND という式を入力したセルの書式設定（少数点以下の数値の表示桁数）を変更して確認したところ、15 桁目までゼロ以外の数値を持っていることを確認できた。なお、Visual Basic の Rnd 関数は 24 ビット線形合同法を用いているという記述があった。

a) Okumura's Blog, ″Excel 使うな″. https://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/blog/node/2287, (検索日 2018.03.14).

b) Colorless Green Ideas, ″主要な統計解析ソフトの擬似乱数生成アルゴリズム″. http://id.fnshr.info/2017/02/26/prng/, (検索日 2018.03.14).

c) ″Excel の統計機能は不正確″. https://it.srad.jp/story/08/10/27/0444200/, (検索日 2018.03.14).

d) ″良い乱数・悪い乱数″. http://www001.upp.so-net.ne.jp/isaku/rand.html, (検索日 2018.07.13).

5) ″Mersenne Twister Home Page″. http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m-mat/MT/mt.html, (検索日 2018.06.24).

6) ″NTRand 3.3 (Mersenne Twister による FREE Excel 乱数生成アドイン)″. http://www.ntrand.com/jp/, (検索日 2018.06.24).

7) ″標準正規乱数″, (「十進 BASIC のホームページ」の下位コンテンツ). http://hp.vector.co.jp/authors/VA008683/RNorma1.htm, (検索日 2018.03.14).

8) この確率値は、正規分布表、または、エクセルの計算式 =1-NORMSDIST(6) で求めることができる。

9) G.E.P. Box and M.E. Muller, "A note on the generation of random normal deviates″. *Annals Math. Stat*, Vol. 29, pp. 610-611, (1958).

10) 高校数学の美しい物語, ″ボックス=ミュラー法（正規乱数の生成）の証明″. (更新日 2015.11.06), https://mathtrain.jp/boxmuller, (検索日 2018.07.05).

11) マイクロソフトオフィスのサポートページ, ″Office で利用可能なグラフの種類″, https://support.office.com/ja-jp/article/office-で利用可能なグラフの種類-a019c053-ba7f-4c46-a09a-82e17f3ee5be, (検索日 2018.07.05).

12) マイクロソフトオフィスのサポートページ, ″Excel でヒストグラムを作成する″, https://support.office.com/ja-jp/article/excel-でヒストグラムを作成する-85680173-064b-4024-b39d-80f17ff2f4e8, (検索日 2018.07.05).

13) エクセル 2016 において、グラフの挿入の動作によって自動的に作成したヒストグラムの階級区間の区切りを自分で設定するためには、グラフの横軸の書式設定を行うとよい。ここで「ごみ箱の幅」(区間の幅) および、「ごみ箱のアンダーフロー」などを指定する。特に、後者を指定しないと、区間の下限値として範囲内に存在する数値が指定されてしまう。また、存在する数値より下の値を指定しても無視されるという仕様になっている。

Development of Teaching Materials in Error Evaluation by Random Number Generation

Satoshi NAKAJIMA

I developed the teaching materials for the purpose of a student learning such as the meaning of confidence interval, and the difference between standard deviation of a sample and the standard error of the mean, and so on, by analyzing numerical data by his own hand.

By performing data analysis by the Excel, it is shown that a set of pseudo random numbers (the sample-1, $n = 10^6$) generated by the programming source code ①, which is written in "Decimal BASIC", could be regarded as equal to a sample which is sampling from the population with the standard normal distribution. Therefore it turns out to be possible to treat the random numbers generated by the source code ① as hypothetical measurements including errors obeying the axioms of error.

At first, a set of random numbers (sample-3, n = 500) is generated by the source code ①, and then, copied onto the Excel sheet, in the teaching materials. A learner makes scatter diagrams, box-and-whisker plots, and histograms based on these data, and visually recognizes the distribution of the random numbers. Fitting Gaussian line to the histogram will aid in geometrical understanding of the meaning of the statistics such as mean and the standard deviation of the sample. Finally, 30 samples of n = 25 are generated, and analyzed. Comparing the basic statistic of each samples shows that there is possibility of the true value (the mean of the population) being not included in the range of 95 % confidence interval of the mean of the samples.

ビジュアル型言語からテキスト型言語への橋渡し教材の開発

中島　敏*

（2019 年 1 月 7 日受理）

1. はじめに

本校では、本年度より、小・中学校の生徒さんたちに群馬高専のポテンシャルを広く知ってもらい、生徒さんたちが将来を考える際の選択肢に群馬高専を入れてもらうようにするという「入試 PR の一環」としての位置付けで「出前授業」を展開することとなった。従来から行っている「出前セミナー」との大きな違いは、出前授業が、小・中学校からの依頼を受け、ゲスト講師として小・中学校の授業を行うものであるという点にある。このため、出前授業の各テーマにおいては、現行および改訂予定の小・中学校における学習指導要領などに基づいた授業内容を計画に盛り込むこととなっている。

特に、小学校では 2020 年度よりプログラミング教育が全面的に実施されることとなった。このような状況を受け、小学生高学年から中学校低学年を対象とし、「プログラミング的思考」を育むことを目的とした出前授業に用いる教材を開発した。

2. 背景

2-1. 新学習指導要領における情報処理教育について

文部科学省の新学習指導要領では、本年度を含めた移行期間を経て、小学校においては2020年度よりプログラミング教育が全面的に実施されることとなった[1)]。文部科学省の中学校学習指導要領解説「技術・家庭」[2)]の中で、「今回の改訂で小学校では、自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらよいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていくことのできる力であるプログラミング的思考等の育成を目指した学習活動を（中略）計画的に実施することが求められている」と述べている。

中学校においても、小学校から 1 年遅れの 2021 年度より新学習指導要領の全面実施に伴い、技術・家庭の科目の中で、「情報の技術」についてより踏み込んで学習することとなる。文部科学省の中学校学習指導要領解説「技術・家庭」[2)]の中では、「技術分野としては、小学校において育成された資質・能力を土台に、生活や社会の中からプログラムに関わる問題を見いだして課題を設定する力、プログラミング的思考等を発揮して解決策を構想する力、処理の流れを図などに表し試行等を通じて解決策を具体化する力などの育成や、順次、分岐、反復といったプログラムの構造を支える要素等の理解を目指すために、従前はソフトウェアを用いて学習することの多かった「ディジタル作品の設計と制作」に関する内容について、プログラミングを通して学ぶこととした」などと述べている。

このように新学習指導要領においては、小・中ともに、プログラミング教育の比重が高くなり、小学校ではその導入を行い、そして中学校以降ではプログラミング的な思考により課題解決に応用できる力へと育てていくことになる。

森田秀一氏のまとめ[3)]によると、小学校における「学習指導要領におけるプログラミング教育の目的は『情報活用能力の育成』。狙いは『コンピュータに意図した処理を行うように指示することができる、ということを体験させる』こと」であり、そのための教科は新設せず、従来の科目の中で対応することとなっている。

「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」は、「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論の取りまとめ）」[4)]において、「第３章 各教科等の目標・内容を踏まえた指導の考え方」の中で、「小学校段階のプログラミングに関する学習活動の分類（例）」として、以下の 6 項目を挙げている。

A 学習指導要領に例示されている単元等で実施するもの
B 学習指導要領に例示されてはいないが、学習指導要領に示される各教科等の内容を指導する中で実施するもの
C 各学校の裁量により実施するもの（A,B,D 以外で、教育課程内で実施するもの）
D クラブ活動など、特定の児童を対象として、教育課程内で実施するもの
E 学校を会場とするが、教育課程外のもの
F 学校外でのプログラミングの学習機会

* 物質工学科

Aの例としては、数学において、正多角形の図形を描くプログラミングであったり、理科において、コンデンサに蓄えた電力を夜間照明として使用する際のセンサからの応答に対しての制御をするプログラミングであったりする。Bに対しては、音楽の時間内に、リズムのパターンを予め用意しておいて、その組み合わせによりまとまりのある音楽をプログラムするという課題などが例示された。

ここで全てを挙げなおすことが目的ではないので部分の引用にとどめるが、小学校においてはどの教科の中で行うのかについての選択肢が広い。群馬高専で提供する小学校プログラミング教育についての出前授業は、上記分類のAからDのいずれかで活用してもらえるような受け皿を提供することに意義があると考えられる。

また、同「議論の取りまとめ」[4]において、この時期のプログラミング教育について、「将来どのような職業に就くとしても、時代を超えて普遍的に求められる力としての「プログラミング的思考」などを育むことであり、コーディングを覚えることが目的ではない」と述べている。また、同とりまとめにおいて、プログラミング的思考という言葉を「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」と述べている。

「小学校プログラミング教育の手引（第一版）」[5]では、子供たちにコンピュータに意図した処理を行うよう指示することができるということを体験させることが「コンピュータに意図した処理を行うよう指示をする活動を通して、コンピュータはプログラムで動いていること、プログラムは人が作成していること、また、コンピュータには得意なこととなかなかできないこととがあることを、体験を通して気付かせること」であると言い換えている。

2-2. 構造化定理

コンピュータに意図した処理を行うように指示する際、現時点では、人間を相手にするような曖昧な表現では目的を達することが難しい。しかしながら、非常に複雑に見える問題であっても、その論理構造を紐解いていくと、最終的には単純な処理の組み合わせでできていると考えることができる。

いくら複雑に見えても、全ての処理は「順次、反復、分岐」の3種類の要素の組み合わせで表現できるという考え方を、構造化定理と呼ぶ。この3つの要素は、中学校学習指導要領解説「技術・家庭」[2]の中でプログラムの構造を支える要素として例示されているものである。この構造化を意識するとき、プログラミングの書き手は、ひとつずつの処理について入口と出口が一つずつになるようにする。

「順次」（順接、などと呼ばれることもある）では、記述された順に処理が行われることとなる。もっとも単純な構造でもある。この処理のみで構成された手順では、物語を初めから順に読むように処理が進められるので、あらかじめ決められた処理を決められた通りに行うことになる。

「反復」は、同じ種類の処理を何度も並べる代わりに、その並べられた処理が同じ種類であるということに気づき、一般化、抽象化する作業と言える。たとえば、矩形の部屋の中で、南東の頂点の位置から壁に沿って動くことで対角線上の頂点の位置に移動することを考える。部屋の大きさが分かっていれば、たとえば北へ進む処理を5回記述し、西へ進む処理を8回記述する。この計13行の処理の記述に代わり、北へ進む処理を5回繰り返し（北へ5歩進み）、次いで西へ進む処理を8回繰り返す（西へ8歩進む）と記述するとき、はじめの記述よりも抽象化、一般化が進んでおり、より見通しがよくなっている。

更に抽象化、一般化を進めるためには、「壁にぶつかるまで北に進み、ついで向きを変え、更に壁にぶつかるまで西に進む」としてやれば、矩形の部屋の大きさに依存しない。「壁にぶつかったかどうか」を判断して行動を変えるためには、次の「分岐」処理が必要となる。

条件により異なる処理を行わせる「分岐」（選択、などと呼ばれることもある）は、センサなど外部からの応答に応じて行動を変えるような処理の記述には不可欠である。あらかじめ地図が分かっていれば、その地図上の動きを事前に決定してプログラミングすることもできるが、この条件分岐を用いることで、より抽象化し、地図が変化した場合でも対応できるような一般化したアルゴリズムの記述をすることが可能となる。その例は、後述するが、迷路の脱出のアルゴリズムの一つである「右手法」について、教材の中で取り上げる。

2-3. アルゴリズムの図的表現

一般に、アルゴリズムの構造を図的に表現することが可能である。事実上の標準としてフローチャートが使用されているが、これに代わる構造化チャートとして開発されてきたものが多数ある。

PAD（Problem Analysis Diagram）[6,7]は、日立製作所で発明され、1979年に公表された。要素の組み合わせでプログラム構造を表現するための方法である。この方法を用いると、横軸方向に構造化のレベルの深さを表し、縦軸方向に処理の大きさを表すことになる。ここで、構造化のレベルの深さとは、要素となる一つずつの処理

（ここでは、モジュール、セグメント、サブルーチンなどと呼ばれるようなもの）が、更にどのよう小さな処理の集合でできているのかを分解していく作業の一段に相当するものである。

また、NS チャート(Nassi-Shneiderman diagram)[8]は、1 枚のチャートの中で構造化のレベルを直接的に表すようには設計されていないが、要素となる一つずつの処理を矩形の「ブロック」で表し、隙間なく平面内を埋め尽くすことで一つの大きな処理を記述する。すなわち、縦軸方向には処理の時間軸があり、横軸方向には条件分岐で生じたパラレルワールドが、その数だけ並ぶイメージの二次元図を与える。そのため、直感的に理解しやすい。また、処理の間をつなぐ矢印線は全く使用せず、隙間なく処理を並べていく点で、後述するビジュアル型プログラミング言語である Scratch や Google Blockly との間に共通点がみられる。

2-4. ビジュアル型プログラミング言語の例

Scratch[9] は、マサチューセッツ工科大学（MIT）で開発された環境であり、プロトタイプは 2002 年に発表され、2006 年には一般公開された。ソースコードは GPLv2 ライセンスと Scratch Source Code License の下で公開されている[10]。ウェブブラウザ上でも利用できるほか、シングルボードコンピュータである Raspberry Pi の OS である Raspbian に「Scratch Pi」として搭載されているため、電子工作に応用したり、Raspberry Pi 版の Minecraft「Minecraft Pi」と連動させることも可能である[11]。

Google Blockly[12] は、オープンソースソフトウェアとして 2012 年に公開された JavaScript のライブラリであり、ウェブブラウザで動作する。ユーザインターフェイスは Scratch によく似ているが、Blockly 上で作成した実行プログラムについて、JavaScript、Python、PHP また、Dart などのコードを生成することが可能である[13]。

Scratch、Google Blockly ともに、ほぼ同じ GUI を備え、「ブロック」として用意された命令を並べてプログラミングするよう設計されている。これは設計思想として、コーディングにおける文法などを意識せず、小さな子供でも、コンピュータ上で図形などを意図通りに動かしたり、試行錯誤するなかでプログラミング的思考を会得させようとするためであると思われる。

これは、ひとつずつの「ブロック」として用意された処理や命令については、背景でどのような処理が行われているのかを、利用者が全く意識する必要がないということを意味し、より直感的でわかりやすい環境を与えることができる。

また、ブロックをマウスによる操作で Blockly の用語でいうところの「ワークスペース」内に配列するだけでプログラミングができるので、文法エラーを生じる余地が無い点も初心者に優しいと言える。

これらのビジュアル型プログラミング言語において定義済みの「ブロック」を並べていく作業は、分岐後の処理を if 文における then 区画と else 区画を順に並べるのと同じように縦に並べる点を除けば、上述した NS チャートを作成する作業と類似している。また、定義済みのブロックを一つの処理として、別の処理を記述したり、更にはそのように記述した一連の処理を一つの処理として別の処理の記述に使用するので、必然的に構造化を意識したプログラムができあがるように思われる。

また、これらはいずれもウェブアプリとして動作するので、汎用性が高いこともあり、プログラミング教育の導入場面として使われることが多い。Code.org[14]が世界的に主唱するプログラミング教育活動である「Hour Of Code」において、Scratch や Blockly を利用したチュートリアルプログラムが多数用意されており[15]、だれでも無料で利用することができる[16]。

図 1 に、ビジュアル型プログラミング言語（Blockly）で記述した（画面上に表示されたロボットの）操作のプログラム例を示す。

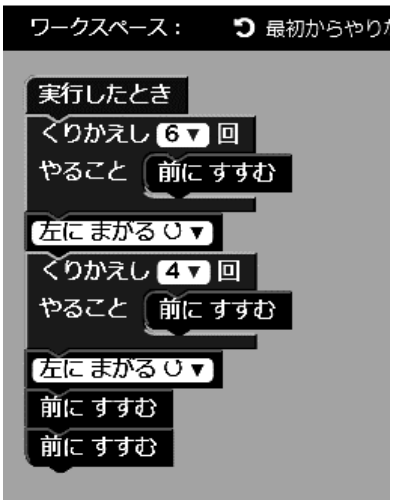


図 1 ビジュアル型言語によるプログラムの例

2-5. テキスト型プログラミング言語への橋渡しの意義

Scratch や Google Blockly のようなビジュアル型プログラミング言語は、初心者にとってプログラミング的思考を学修するために適切な言語であるといえる。

しかし、そもそも「小学校プログラミング教育の手引（第一版）」[5] の中で、「子供たちがコンピュータを用いて情報を活用したり発信したりする機会が一層増えてきている一方で、その仕組みがいわゆる「ブラックボックス化」してい」ることを背景として挙げ、「コンピュ

ータに意図した処理を行うよう指示をする活動を通して、コンピュータはプログラムで動いていること、プログラムは人が作成していること、また、コンピュータには得意なこととなかなかできないこととがあることを、体験を通して気付かせること」について学ばせることを提言しているのに、導入教育の場面では仕方ないとはいえ、解決策として「ブラックボックス化」された処理ブロックを並べるようなビジュアル型プログラミング言語に頼るというメタ的な構図が出来上がっている。

またこれらのビジュアル型プログラミング言語は、仕様上、機能に制限もあり、万能ではない。そのため、目的に応じて、いずれかの段階で、従来からあるテキスト型（ソースコードが文字列であるようなものを指す）のプログラミング言語に移行することが求められる。

同手引き[5]の中でも、「プログラミング言語や教材選定の観点」として、プログラミング言語を学ぶことが目的ではないとしながら、「文字により記述する言語（テキスト型プログラミング言語）にも様々なものがあります。キーボード操作が多く、それぞれの言語の文法の理解も必要となりますが、英数字だけでなく日本語で記述できるものや、文法的な誤りがあった場合には間違いを指摘してくれるものなど、児童でも比較的取り組みやすい言語もあります。ある程度の授業時数を確保して取り組む場合や、プログラミングに強い興味・関心を示す児童については、こうした言語を活用することも考えられます」と述べており、テキスト型言語が、発展的な学習としての位置づけとなり得ることを示している。

2-6. テキスト型プログラミング言語の選択

テキスト型プログラミング言語としては、構造化に対応した記述が可能なものとして、確立されたものが多く存在し、選択の幅は広い。ここでは、「十進 BASIC」[17]を選択した。

これは、十進 BASIC が、Windows、Mac、Linux、Raspberry Pi など、プラットフォームを選ばずに無料で使用できるソフトウェアであること、国際規格の JIS Full BASIC に準拠しており、行番号や無条件分岐（GOTO 文）は原則として廃止されており、また、変数にスコープが導入されているなど、構造化プログラミングに対応していること、また、コンピュータを計算の道具として用いることを目的として設計されており、数値計算などを行うためにも十分な機能と精度を備えていること、などを理由とする。ただし、十進 BASIC は、使用規定の中に「十進 BASIC は教育研究を目的として作成されたプログラムです。本 BASIC を利用して得られた研究結果は必ず公開してください。」の文があるため、商用の非公開のプログラムの設計には向いていない。

また、BASIC（Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code）という言語は、初学者用に設計された高水準語であり、C 言語などの低水準語にくらべて導入がやさしいと思われる。なお、旧課程（2012 年度まで）の数学 B「数値計算とコンピュータ」で、BASIC を言語として利用しており、センター試験でも BASIC の文法に則った問題が出題されていたことなどから、学校教員においても慣れている方が多い可能性がある。

BASIC は英語ベースの命令文から成り立っているものの、英語そのものについては、小学校高学年において、2011 年に「外国語活動」として必修化されている[18]ほか、2020 年度からは学習時間の増加が諮られるなどの背景をうけ、一部の命令文に用いられているような内容の限られた英単語であれば、導入に際し大きな困難を伴わないと想像されることから、発展的な学習の範囲であれば差し支えないと判断した。

3. 教材の内容と学習の狙い

今回の出前授業用の教材として、対象を小学校の高学年および中学 1 年生を対象とし、次のように計画した。ただし、次の第 4 段階以降は、発展的な学習としての位置づけとした。

1) ビジュアル型プログラミング言語を用いて、簡単なプログラミングを体験する。ここで処理のブロックを順序に従って並べることを学ぶ。
2) 目的を達成するためのプログラムを作成したり、そのプログラムを実行して、結果に応じてプログラムを直すなど、試行錯誤することを体験する。目的通りに動かない場合に工夫することを学ぶ。
3) プログラムの抽象化、一般化について学び、簡単な繰り返しなどを記述できるようにする。
4) ビジュアル型プログラミング言語で行っていた処理を、テキスト型のプログラミング言語で記述し、ビジュアル型プログラミング言語の「ブロック」を、テキスト型プログラミング言語のサブルーチンに対応づけするとともに、どのような処理を行っているのかが記述されていることを示す。併せて、変数やパラメータといった抽象概念をパソコン画面上のオブジェクトの制御に結びつける。
5) あらかじめ地図がわからないような場合にも対処できるよう、条件分岐を含む、やや複雑だがより一般化されたアルゴリズムとして、右手法を例に挙げ、これを記述するための考え方の過程を示す。

ここで、第 3 段階までについては、Hour of Code に用意されたチュートリアル[15]より、「画面上に表示されたロボット」（以下、単純にロボット）を目的地に移動させるという教材を選んだ。命令の「ブロック」として

予め用意されているのは、「前に進む」「右に曲がる」「左に曲がる」「～を指定回数繰り返す」などである。

第4段階として、十進BASICを用いて、図1のビジュアル型言語によるプログラムおよび動作を再現したものを教材に印刷して示した。その具体的なプログラムソースと解説は、プログラム例1として次章に示す。

このプログラム例1では、メインルーチン内には、ロボットを動かすためのサブルーチンを置くように設計し、ビジュアル型言語での記述に倣い、このためのスペースを"Work Space"として確保した。またこの"Work Space"に引き続き、STOPを置き、メインルーチンの終了を明示的に示したが、制御的に実質の意味合いはない。

ビジュアル型言語ではマウス操作によるドラッグでブロックを置く作業に代わり、テキスト型のプログラミング言語では、サブルーチンを呼び出す命令を書く(例: Call MoveForward)という対応を含めて、視覚的にもほぼ完全に相似であると言える。ビジュアル型言語において、ブロックの構造として繰り返し区画を挟み込んで表示する(図1参照)のに対し、テキスト型のスクリプトではDo文とLoop文、または、For文とNext文によりこの区画を挟み込むことになる。また、この相似性はNS図との間にも保たれている。

テキスト型のプログラミング言語では、綴り上の間違いなどによる文法エラーが生じやすい。しかしながら、予め準備されたサブルーチン名をマニュアル等に列挙しておけば、あとはそのサブルーチン名をコピー、ペーストして並べるだけで、ビジュアル型プログラムと同等の操作性を担保できると考えられる。

また、上述したように、ビジュアル型のプログラミング言語では、それぞれのブロックの命令が、裏で何をしていることによって画面上のオブジェクトが動いたりするのかが見えにくい。言い換えれば、テキスト型のプログラミング言語に比べて、ビジュアル型のプログラム言語の方が、高水準化の度合いが高いともいえる。

とはいえ、初学者にとっては煩雑で、はじめ包括的な理解には不要であるように見えるこの部分の理解が、プログラミングをより一般化していく過程では、必要になると考えられる。

テキスト型のプログラミング言語では、そのサブルーチンの記述が同じ階層内で見ることができ、更には必要に応じて自分で書き換えたりしながら操作できるという点がある。

たとえば、ロボットの移動で考えると、プログラム例1内では、ロボット(オブジェクト)に、位置情報(座標x, y)および向き(x軸方向を基準として反時計周りの角度 t、0度から90度刻みで270度まで)というプロパティが付与されており、これに基づいて画面上に表示をしている。そのため、この位置情報を書き換えることがロボットの移動に相当している。プログラム例1では、表示上の工夫として、位置の変更の前後で、連続的に位置をずらしながら表示を繰り返す移動のアニメーションも実装し、位置の移動をイメージしやすくした。

向きの情報 t と x, y 方向の移動量 Δx, Δy の関係は、三角関数を用いて、Δx = cos(t), Δy = sin(t) で表すことができるが、高校または高専で学習する内容として紹介し、以下のような表で結果を示すにとどめた。

表1　ロボットの向きと角度 t、三角関数の値の対応

向き	t	Δx = cos(t)	Δy = sin(t)
東	0	1	0
北	90	0	1
西	180	-1	0
南	270	0	-1

今回教材として用いるHour of Codeに用意されたチュートリアル[15]では、ロボットが動ける範囲は、縦横10×10マスのフィールド内である。そのフィールド内に、川や橋、ゲート、ロボットが踏むとゲートが開くスイッチなどが表示されている(「スイッチをロボットが踏む」=「ロボットの座標がスイッチの座標と一致する」状態であるときに「ゲートが開く」という因果関係は、プログラミングの中では、条件分岐で記述する)。

実在するロボットを制御する場合でも、適切なセンサ等を用いて、壁の存在や床面に描かれた線などを検知し、これら周囲の状況によって行動パターンを変えるようなプログラムを書く場合が多い。

このように「周囲の条件によって行動を変える」という考え方自体が、構造化定理の示す3つの要素の中のひとつ、分岐の処理に相当し、プログラミング的思考について学ぶ際に、避けては通れないものである。

単純化のために、プログラム例1では周囲の状況の情報を得るような部分は実装していないが、このプログラム例1をもとに、更に地図情報を付加したり、周囲の状況を調べたり、行動を分岐させるなど、種々の機能を追加した十進BASICによるプログラムを準備した。そのプログラム「RoboSteering.bas」[19]の一部のみを、プログラム例2(部分)として示す。ソースコードが長くなるため、プログラム自体の解説は授業の範疇外とし、行わないものとしたが、興味をもった生徒がゲームとして遊ぶことができるような工夫を盛り込み、教員ウェブサイトに公開した。ソースコードは、たとえば、関係個所のみを引用したように、プログラム例1の中では12行で記述したサブルーチン「MoveForward」だけでも、約4倍の長さとなった。これは、ロボットを置くフィールドの地図情報によって動作を変えたり、移動時にロボッ

トの位置の再表示のみに終わらず、フィールドのロボットの移動した後の位置に、地図情報に応じた再表示させたりする必要が生じているためである。

今回用いる Hour of Code に用意されたチュートリアル[15]に状況は近いが、例えば、地図中に目的地が存在するとき、そこに至る経路を考えるものとする。最初の段階で地図に沿った動きを計画し、これをプログラミングすることができるようになったとする。さらに、問題を一般化、抽象化すると、あらかじめ地図がわからない場合であっても目的地に達することができるような処理とすることもできる。

第 5 段階では、はじめに、壁があったときの回避として、単純に「前方に進めるなら前へ一歩進め。前方に進めないなら右を向け」という命令を、分岐を用いて構築するところから始める。これは、If 文により、then 区間と else 区間に異なる動作に対応する処理を書けばよい。ついで、「右手を壁につけて、それを離さないようにして進め」という迷路解法の有名なアルゴリズムである「右手法」を紹介し、これをプログラミングするための過程の説明を行う。この際、「右手を壁につけて離さない」という、人間にとってはわかりやすい（と思われる）指示を、コンピュータにとって理解できる「具体的、かつ、単純な」命令に置き直す必要がある。そこで、指針として、図を描いてこれを参照しながら、現在の位置、向きと、周囲の壁の有無に応じて、場合分けして考えてみる必要があると説明する。また、この際、90 度回転させて重なる図形は、相対的に同じであるものとして考えると場合の数が少なくなることを示す。

結論として、右手法は「右側に壁がないなら、右を向いて前へ一歩進め。右側に壁があれば、周囲を調べ、前、左、後ろの優先順で進める方向に一歩進め。」と等価であることを説明する。

このように組んだアルゴリズムは、RoboSteering.bas の ″WorkSpace″ 内に記述して、組み込まれた迷路において動作を確認することができる。

4. 十進 BASIC のプログラムソースと解説

教材配布資料として配布し、説明に用いるプログラムソースを以下「プログラム例 1」に示す。プログラム例 1 にさまざまな機能を追加して、それぞれが遊びながら学習に使用できるように公開する別のプログラムも用意した。ソースが長くなるので、資料としての配布は行わないが、この「RoboSteering.bas」は、筆者の教員ウェブサイトに公開した。このソースの一部のみ抜粋して「プログラム例 2」に示す。

これらのプログラムでは、メインルーチンとして、″Work Space″ 内に、ロボットの移動などに関するサブルーチンの呼び出し命令を並べて実行させることができる。また、必要なサブルーチンは、すべてプログラム後半に列挙した。また、″Work Space″ には図 1 に示すビジュアル型プログラミング言語によるプログラム例と同じ処理を記述した。

以下、ソースコード中に、※1 ～ ※5 を付記した点について述べる。これらは、プログラム実行時の動作が綺麗に見えたりするための工夫であり、プログラミングの本質部分とは無関係である。

※1 ： 十進 BASIC では、画像にレイヤーは準備されていない。そのため、アニメーションにおいてはレイヤーの移動や消去ではなく、画像位置への背景色での上書きを用いる。簡易的に、ロボットは色付きの文字で丸を表示しているため、サブルーチン ClrRobo では、白色で同じ文字を上書きする。この際、同じサイズのままだとわずかに輪郭が残ってしまうことがあり、画面が汚くなるので、少し大きめの指定を行っている。

※2、3 ： ロボットの移動のアニメーションとして、サブルーチン ClrRobo の呼び出しによる画面上のロボットの消去と、サブルーチン SetRobo の呼び出しによる新しい座標上での表示を行う。これを滑らかに連続して動いているように見せるため、20 分の 1 マスずつ移動させている。

※4 ： Draw Mode について、Hidden は、グラフィックスの特殊処理であり、内部にあるビットマップメモリにのみ描画するモードに移行する命令である。これにより描画に伴うばたつきを抑えることができる。このビットマップメモリの情報を画像として反映させるためには、Draw Mode を Explicit に戻す。

※5 ： ロボットの向きを表す角度 t は、0 ～ 360 以外の任意の値をとっても問題ない。たとえば、表 1 のような計算過程において、t = 90 と t = 450 は同じ結果を与える。また実質的には、このプログラムの実施に当たって t の値が ±1e16 に達して数値演算の桁あふれが起きることはないだろう。そのため、Mod をとる必要性は低い。ここでは、論理的な美しさと表 1 との整合性を保つために、t の範囲を [0, 360) に限ることとした。

また、プログラム例 2 の、行末の「&」と、続く行頭の「&」は、本来，一行に書くべき文を複数行に分けて書くための行継続の記号である。

```
! 十進 BASIC プログラム例 1
CALL Init
pause       ! 一時停止して OK を待つ
! When Run =====  ″Work Space″ ここから  =====
! ″Work Space″ 内は、自由に書き換えることができます。
! マニュアルを参考にして、この ″Work Space″ 内に
! ロボットを操作する命令を並べてから「実行」して下さい。
! 以下、図 1 に示したロボット操作と同じ操作の例
```

```
FOR k = 1 TO 6
   CALL MoveForward
NEXT k

CALL TurnLeft

FOR k = 1 TO 4
   CALL MoveForward
NEXT k

CALL TurnLeft

CALL MoveForward

CALL MoveForward


! ======= "Work Space" この上まで ============
STOP
! プログラム本体ここまで
!
! ============ マニュアル ====================
! ● サブルーチンを Call で呼び出せます。
!   コピーペーストする場合は、その行をペースト後、
!   先頭の ! を外してください。
!
! 例： Call MoveForward
!
! MoveForward   ! ロボットを１歩前へ進めます。
! TurnRight     ! ロボットの向きを 90 度右へ回転します
! TurnLeft      ! ロボットの向きを 90 度左へ回転します
!
! ● 同じ処理を繰り返すために、計数ループを使用できます。
!     ※ 単純ループ Do ～ Loop も使用できます。
!
! 例：
! For k = 1 To 3        ! この例では 3 回繰り返します。
!    Call MoveForward
! Next k                ! ← Next の後ろには、計数の
!               ための変数名（ここでは k）を書きます。
!
! ==========================================
! 以下、サブルーチンの記述

SUB Init      ! 初期画面の表示
   SET WINDOW 0.5, 10.5, 0.5, 10.5
   DRAW grid
   SET TEXT HEIGHT 0.8
   SET TEXT JUSTIFY "center", "half"
   OPTION ANGLE DEGREES
   ! ロボットの初期位置と向きの情報
   LET x = 7      ! ロボットの座標 x
   LET y = 1      ! ロボットの座標 y
   LET t = 90     ! 向き、x 軸方向から反時計周り
   CALL SetRobo
END SUB

SUB SetRobo  ! ロボットを表示
   SET TEXT COLOR 2          ! 青色
   PLOT TEXT ,AT x,y : "●"
   CALL ShowDirection
END SUB

SUB ShowDirection  ! ロボットの向きを矢印で表示
   SET TEXT COLOR 6   ! 黄色
   SELECT CASE t
   CASE 0
      LET Direction$ = "→"
   CASE 90
      LET Direction$ = "↑"
   CASE 180
      LET Direction$ = "←"
   CASE 270
      LET Direction$ = "↓"
   CASE ELSE
      LET Direction$ = ""
   END SELECT
   PLOT TEXT ,AT x,y : Direction$
END SUB

SUB ClrRobo  ! ロボットを非表示
   SET TEXT COLOR 0          ! 白色
   SET TEXT HEIGHT 1.0       ! ※1
   PLOT TEXT ,AT x,y : "●"
   SET TEXT HEIGHT 0.8       ! 元に戻す
   DRAW grid
END SUB

SUB MoveForward  ! ロボット移動のアニメーション
   FOR FootSteps = 1 TO 20    ! ※2
      SET DRAW MODE HIDDEN    ! ※4
      CALL ClrRobo            ! ※3
      LET x = x + COS(t)/20
      LET y = y + SIN(t)/20
      CALL SetRobo            ! ※3
      SET DRAW MODE EXPLICIT  ! ※4
      WAIT DELAY 0.05
   NEXT FootSteps
   WAIT DELAY 0.3
END SUB

SUB TurnRight  ! ロボット進行方向右へ 90 度回転
   LET t = MOD(t-90, 360)     ! ※5
   CALL SetRobo
END SUB

SUB TurnLeft   ! ロボット進行方向左へ 90 度回転
   LET t = MOD(t+90, 360)
   CALL SetRobo
END SUB

END

! 十進 BASIC によるプログラム例 2（部分）
SUB MoveForward  ! ロボット移動のアニメーション
   CALL SearchFront
   IF Destination$ = "empty" THEN
      DO
         LET LPx = x
         LET LPy = y
         FOR FootSteps = 1 TO  20
            SET DRAW MODE HIDDEN
```

```
            Call ClrRobo
            CALL LastPoint
            LET x = x + COS(t)/20
            LET y = y + SIN(t)/20
            CALL SetRobo
            SET DRAW MODE EXPLICIT
            WAIT DELAY 0.05
         NEXT FootSteps
         CALL LastPoint
         CALL SearchFront
      LOOP WHILE map(x,y) = 8 AND ( SerchResult = 0 &
&             OR SerchResult = 6 OR SerchResult = 7 &
&             OR SerchResult = 8)
   ELSE
      WAIT DELAY 1
   END IF
   WAIT DELAY 0.3
END SUB

SUB LastPoint   ! 移動後にもとのマップ色を置く。
   IF map(LPx, LPy) = 6 THEN
      SET TEXT COLOR 6
      PLOT TEXT ,AT LPx, LPy : "★"
   END IF
   IF map(LPx, LPy) = 7 THEN
      SET TEXT COLOR 7
      PLOT TEXT ,AT LPx, LPy : "■"
   END IF
   IF map(LPx, LPy) = 8 THEN
      SET TEXT COLOR 8
      PLOT TEXT ,AT LPx, LPy : "■"
   END IF
END SUB

SUB SearchFront     ! 前方のマップデータを読み取る。
   LET SerchResult = map(x + COS(t), y + SIN(t))
   IF SerchResult < 1 OR SerchResult > 5 THEN
      LET Destination$ = "empty"
   ELSE
      LET Destination$ = "occupied"
   END IF
END SUB
```

5. まとめ

小学校に導入されるプログラミング教育では、課題を解決するための論理的な思考の組み立てにより解決策を構想する力、処理の流れを図などに表し試行等を通じて解決策を具体化する力などの育成や、順次、分岐、反復といったプログラムの構造を支える要素の理解を目指している。とはいえ、そのため、具体的なコーディングの技術を求めるのではなく、アルゴリズムを構造的に捉えることが求められている。

そのような導入学習に最適なのは、広く普及している Scratch や Google Blockly に代表されるようなビジュアル型のプログラミング言語である。しかしながら、学習者全員に必要であるわけではないが、関心の高い生徒たちが、より複雑な処理を行うプログラムを作成しようとしたとき、いずれかの段階でテキスト型のプログラミング言語に移行することが必要となる。一部のビジュアル型の言語では、自分で組み上げたソースを、文字列によるコードとして吐き出す機能をもつものもある。とはいえ、それぞれのブロックに相当するサブルーチンの中で、どのような内部処理が行われているのかまでを理解させるようなところまでは、対応していないように見受けられる。

そこで今回、テキスト型のプログラミング言語として十進 BASIC を選択し、ビジュアル型のプログラミングの形態を模写する形で、ビジュアル型の言語からテキスト型の言語への橋渡しとなる教材の開発を試みた。同時に生徒の興味を引くために、出前授業などにおいて配布資料として用いることのできる短いコードの他に、ゲーム性を盛り込んだコード「RoboSteering.bas」も開発し、筆者の教員ウェブサイト上で公開した。

6. 参照

1) 文部科学省、初等中等教育局教育課程課「改訂のスケジュール」平成 29 年 4 月登録、http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384662.htm よりリンク（最終閲覧日 2018.08.06）.
2) 文部科学省、初等中等教育局教育課程課「中学校学習指導要領解説」平成 29 年 6 月登録、http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1387016.htm よりリンク（最終閲覧日 2018.08.06）.
3) 森田 秀一、「小学校でのプログラミング必修化、どの教科でどう教えるかは学校・教員の裁量、細部はこれから議論」2017 年 4 月 26 日 https://internet.watch.impress.co.jp/docs/news/1056922.html, （最終閲覧日 2018.08.06）.
4) 文部科学省、小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議 「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論の取りまとめ)」平成 28 年 6 月 16 日 http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm, （最終閲覧日 2018.08.06）.
5) 文部科学省、生涯学習政策局情報教育課「小学校プログラミング教育の手引（第一版)」平成 30 年 3 月登録、http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm よりリンク（最終閲覧日 2018.08.06）.
6) 二村良彦,「PAD の開発」日立評論 vol.68 No.5 1986, pp 7-11.

7) 日立製作所、COBOL85　言語文法書より「2.3　プログラム構造表記法（PAD)」、http://itdoc.hitachi.co.jp/manuals/3020/3020378270/LANG0027.HTM,　(最終閲覧日 2018.08.06)．
8) Wikipedia（英語)、「Nassi-Shneiderman diagram」（最終更新 2018.04.18)、https://en.wikipedia.org/wiki/Nassi-Shneiderman_diagram,　(最終閲覧日 2018.08.06)．
9) M. Resnick et al., "Scratch: Programming for All", *Communications of the ACM*, vol. 52, no. 11, pp. 60-67 (Nov. 2009).
10) Wikipedia（英語)、「Scratch（programming language)」(最終更新日 2018.07.29)、https://en.wikipedia.org/wiki/Scratch_(programming_language),　(最終閲覧日 2018.08.06)．
11) 薬師寺国安、「プログラミングを学習する意義、Scratch の基本的な使い方超入門（1/3)」 2016 年 3 月 21 日公開、http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1603/21/news012.html,　(最終閲覧日 2018.08.06)．
12) 「Google for Education > Blockly」、https://developers.google.com/blockly/,　(最終閲覧日 2018.08.06)．
13) Wikipedia（英語)、「Blockly」(最終更新 2018.01.27)、https://en.wikipedia.org/wiki/Blockly,（最終閲覧日 2018.08.06)．
14) Code.org 公式ウェブサイト, https://code.org/,（最終閲覧日 2018.05.18)．
15) Code.org,　「Hour of Code アクティビティ」, https://hourofcode.com/jp/learn,　(最終閲覧日 2018.05.18)．
16) Ascii 倶楽部,　「Hour of Code で学ぶプログラミング基礎の基礎 ― 第 1 回」,（最終更新 2016.08.13)、http://ascii.jp/limit/group/ida/elem/000/001/194/1194772/,　(最終閲覧日 2018.05.18)．
17) "十進 BASIC のホームページ", http://hp.vector.co.jp/authors/VA008683/,（最終閲覧日 2018.03.14).
18) 文部科学省、初等中等教育局国際教育課、「小学校外国語活動について」（登録 平成 21 年以前) http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gaikokugo/index.htm,　(最終閲覧日 2018.08.11)．
19) プログラミング導入学習　ロボット操縦ゲーム RoboSteering.txt 2018.05.05 登録, http://www.gunma-ct.ac.jp/staff/nakajima/Lecture/Joho/Programs/RoboSteering.txt,（最終閲覧日 2018.12.25)

Development of Teaching Materials for Mediating from Visual Programming Language to Text-type Programming Language

Satoshi NAKAJIMA

For the introduction to learn algorithm structurally, a visual programming language represented by Scratch or Google Blockly spreading over widely seems to be suitable.　It may not be all the learners, but a certain student would need the knowledge of text-type programming language, when an enthusiastic student is going to make a more complex program.　Therefore, I tried the mediation from a visual language to a text-type language by copying the form of the blocks in a visual language working as a subroutine, with a text-type program language.　Other than the short source code that I could use as a distribution document in a catered lecture, I made long program "RoboSteering.bas" which included game characteristics to attract the interest of the student at the same time.

ブラックボードを用いたアンケートの設置と集計

中島　敏*

（2019 年 1 月 7 日受理）

1. はじめに

費用削減などが必要となっている折、大規模なアンケートを紙媒体で行って、集計を業者に委託するような設計は、必ずしも正解とは言えなくなってきている。

Blackboard Learn(TM)（以下、ブラックボード）[1)]を用いたアンケートの実施と、Microsoft(R) Excel(R)（以下、エクセル）を用いた集計は、1 学年の学生全員を対象とした実態調査や、各教員が授業単位で行うような個別のアンケート等については、コースの設置、コースへの学生のユーザ登録、端末等の回答環境の問題さえクリアできれば、費用的、また集計解析結果を得るまでの時間の短縮などの観点より、実効的な解のひとつとなる。

しかしながら、不慣れなままでなにかをしようと思っても、敷居が高い。実際に、筆者が立場上の必要にかられて、ブラックボードを用いたアンケートの設置とエクセルによる集計を行った際にも、かなりの調査を必要とした。とはいえ、この準備段階は、情報を共有していくことで簡略化できるはずである。そこで、いろいろな場面において、今後の作業の効率化に資することを目的とし、筆者が業務上の必要に応じて調べ、情報蒐集した内容をいったんまとめておくことを目的とした。

本来、ブラックボードは、アンケートの実施以外にもさまざまな目的に対応した機能を有している。とはいえ、筆者自身もブラックボードに精通しているとは言い難い。そのため、ブラックボードを使ってアンケートを構築し、集計する方法についての最低限の部分に限って、簡易のマニュアルとしてとりまとめを行い、いくつかの実施上の注意点を併記することとした。

ブラックボードでは、授業科目や、プロジェクトなどごとに「コース」が設置される。コースは、コース ID（16 桁の英数字）とコース名で識別される。ブラックボードの利用者は、登録されたユーザ ID とパスワードに基づいて認証される。コースの作成者がコースに登録する際に作成することができるユーザ ID とパスワードの組み合わせ以外に、本校の教員と学生は、デフォルトで、学認の ID とパスワードで（学認の認証を利用して）認証をうけることができる。

コースの利用者は、コンテンツの編集を行い、アンケートや成績ファイルの取りまとめを行う教員権限と、利用者としての学生権限などに分けられる。

2. ブラックボードへのアンケートの設置手順

コースの管理者（そのコースに教員権限で登録されたユーザ）は、以下の手順でコース内にアンケート（や、テストなど）を設置することができる。

① ブラックボードのコースを開いたウェブページにおいて、左のメニューから「コンテンツ」を選択する。
② リボンメニューから「テスト/アンケート/課題」を選択し表示されるプルダウンから「アンケート」を選ぶ。
③ 「アンケートの作成」ページが表示される。「アンケートの追加」において「新しいアンケートの作成」より「作成」ボタンを押す。
④ 「アンケートの情報」ページが表示される。アンケートの名前、説明文、手順説明文等に必要な文言を書き入れて「送信」する。
⑤ 「アンケートキャンバス：(アンケートの名称)」が表示される。ここで可能なことは、1 問ずつアンケート項目を書き入れていくこと、別に作成した一括してアンケート項目をアップロードすること、アンケート項目の編集や順序を入れ換えたりすること、などである。

リボンメニューの「質問の作成」では、アンケート項目をひとつずつ追加できる。「質問の検索」では、「プール」として保存してある質問群から選択してコピーすることができる。「質問のアップロード」では、別に作成したタブ区切りテキストファイルをもとにアンケート項目を一括してアップロードすることができる。このためのアップロード用のテキストファイルについては、次章にまとめた。

⑦ アンケート項目のアップロードや編集等が終了したら、画面右下の「OK」を押すと、再び「アンケートの作成」ページが表示される。「送信」を押す。
⑧ 「アンケートオプション」が表示される。ここでは、アンケート回答時の動作などについて、各種設定を行う。設定の仕方は、それぞれ表示されている件について、ラジオボタンまたはチェックボックスで選択をするだけの項目がほとんどである。

「アンケートの利用可否の設定」では、「利用可能にする」で「はい」を選択することで学生が回答可能になる。アンケートの目的では、「複数回の実施」を選んでおくとよい。回答途中で誤って送信してしまったような場合でも、もういちど回答しなおすことが可能になる（ただし、その場合でも、すべてのアンケート項目に対

* 物質工学科

して答え直しを要求される)。アンケートの場合には不要であることが多いと考えられるが、制限時間を決めることもできる。これは、ブラックボードではアンケートと試験を共通の設定項目で管理しているためである。また、アンケートの回答の制限として、コンテンツとして表示される期間や、アンケートを開始するためのパスワードを設定することも可能である。ただし、一般的には特別に高いセキュリティを必要とするような場合を除き、アンケートにパスワードを掛ける必要はないと思われる。ブラックボードにログインする段階で、認証が行われているからである。同ページ内「アンケート結果/フィードバックの学生への表示」の設定では、たとえば、利用者がアンケートに回答した（提出した）直後に、回答の内容を表示するようにするなどの設定が可能である。また、「アンケートの表示設定」では、いちどに設問1つずつ表示したり、すべての設問を一度に表示するなどを切り替えることができる。これらに従い、各種設定が終了したら「送信」を押す。

⑨ 「アンケートオプション」で「利用可能にする」を選択していない場合、学生権限のユーザがみた場合、コースのコンテンツページにおいて、該当のアンケートは表示されない。また、教員権限（コースの管理者）からは「編集モード」がオンになっている場合に限って、灰色のアイコンとしてアンケートが表示される。「利用可能にする」が選択されている場合は、学生権限でも、また、教員権限の場合は編集モードがオンでもオフでも、黄色のアイコンとして表示される。

なお、編集モードがオンの場合は、そのアイコン右のアンケート名にマウスを載せたときに表示されるコンテキストメニュから、アンケートの編集やアンケートオプションの再編集に移行することが可能である。

3. 質問（アンケート項目）の作成

ブラックボードでは、アセスメントとして、アンケートおよびテスト用が用意されている。

テストでは、ユーザの誰の回答であるのかが判るとともに、選んだ回答に応じて採点をする機能も付加されている。一方、アンケートでは、採点機能はもちろんなく、また、無記名式となるため、回答者と個々の回答が紐づけられることはない（各ユーザの一群の回答は、エクセルシートの1行内に表示される形式とすることができるので、同一の回答者の複数の設問に対する回答間で相関を調べることもできる)。

テスト、アンケートのいずれにおいても、設問の形式を多数の中から選択することができる。アンケートでは、主に「多肢選択問題」（複数の選択肢から一つを選ぶもの)、「複数解答問題」（複数の選択肢から該当するもの複数を選ぶもの)、「記述問題」（自由記述）を利用すれば、ほとんどの場合に十分であると考えられる。

上述（手順⑤）したように、アンケート項目をひとつずつ編集しながら書き込むこともできるが、事前にエクセルシートなどを利用して、アップロードファイルを作成しておくと便利である。以下、その方法をまとめる。

3-1. アップロード用のファイル

アップロードファイル[2)]はUTF-8 BOM付きのタブ区切りテキストファイルとなる。1つのアンケート項目は、1行内に並ぶ。つまり、40問の設問からなるアンケートのアップロードファイルは､1行から40行までとなる。また、1つの行内には、次の順で要素が並ぶ。ただし要素間はタブ区切りとなる。そのため、エクセルシートでは、セルごとに要素を並べて記述しておき、これをもとに編集等を加え、必要に応じてタブ区切りテキストとして保存すればよい。

1行内の要素の並び順は典型的には以下の通りである。「問題の形式を表す記号」「問題文」「選択肢1」「選択肢1に対する採点基準」「選択肢2」「選択肢2に対する採点基準」、以下選択肢の数だけ繰り返し。

以下、設問の種類ごとに規格の詳細について述べる。

「多肢選択問題」の場合、形式を表す記号は「MC」である。また、選択肢に対する採点基準は「correct」または「incorrect」である。ただし、アンケートなので、採点は行われないため、correct, incorrect のいずれの文字列であっても影響はない。

「複数解答問題」の場合、形式を表す記号は「MA」である。選択肢に対する採点基準の扱いは、上述と同じである。

「記述問題」は、形式を表す記号は「SR」である。選択肢は用意されないので、問題文の次の要素が上2つの質問とは異なる。ここでは模範解答例を置くことになっているが、テストではないため、模範解答も示されないため、どのような文字列でも構わない。問題作成者がわかりやすいように「自由記述」などと書いておけばよい。

以下、一例を示す。ただし、タブ区切り位置（エクセルシート上ではセルの区切り位置)を「／」で表示した。

MC／あなたの所属する組を教えてください。／1組／correct／2組／correct／3組／correct／4組／correct／5組／correct（改行）
MA／高専に関する情報は、主にどこから得ましたか。3つ以内を選んでください。／群馬高専の学生や保護者／correct／中学校の先生／correct／塾の関係者／correct／あなたの保護者・親戚等／correct／あなたの兄弟姉妹／correct（以下省略、改行）
SR／要望や希望があれば書いて下さい。特にない場合は空欄のままで結構です。／「自由記述」（改行）

なお、問題文および選択肢等の記述においては、htmlタグをつけた場合、ブラウザの設定に従ってそのまま表示されるので、たとえば、文字に色を付けたい部分を、「 」で括ったり、表示上で強制改行したい位置に「
」を挿入したりすることができる。

ただし、上のアップロード用のテキストファイルの例では、複数解答問題で「3つ以内を選んでください」と指示しているが、アンケート回答時に回答数に制限を設ける機能はない。そのため、回答者が4つ以上の選択肢を選択することを実際に制限できるわけではない。

4. 成績管理からアンケート回答のダウンロード

回答の済んだアンケート結果は、タブ区切りテキストとしてダウンロードすることができる。

教員権限をもつユーザは、ブラックボードの該当のコースの左側に表示されている「コース管理」「コントロールパネル」より「成績管理」を選択する。すると、同コントロールパネル内に、下位のメニューが展開され、「要採点」「成績管理全体」「テスト」「課題」などが表示される。ここで、いちど設定[3)]を行っておくことで、「テスト」などと同列に「アンケート」を表示させることもできる。同じコース内で、テストやアンケートなどを多数行う場合には、別々に表示される方が便利である。

表示されている場合は「アンケート」を、そうでない場合は「成績管理全体」をクリックする。

この時表示されている内容は、表の形式になっており、デフォルトでは、順に「氏名（姓）」「氏名（名）」「ユーザ名（ユーザID）」「学籍番号」「最終アクセス」などが並んでいる。水平スクロールバーを使用して右側を探していくと、コース内に設置してあるテストやアンケートの名称が並んでいる。

同表の縦方向は、コースにアクセスして利用したユーザが1人1行で並ぶ。本校の学生について、学認を利用した認証を経由するユーザIDは、学科の記号、学籍番号を先頭に持つので、ユーザ名でソートすることで、学科クラス内の学生の学籍番号順に、アンケート回答の有無を確認することができる。具体的なアンケート回答の有無の確認は、確認したいアンケート名の列において、そのユーザの行のセル位置のステータスを確認する。レ点がついていれば「完了」となっている。

アンケートの回答結果（ブラックボードでは「答案」と表記される）を調べるためには、以下の手順に従う。

表タイトル行内のアンケート名の右に、丸に「∨」の記号が表示され、これをクリックするとオプションのサブメニューが表示される。その中から、「答案の統計」を選ぶと、画面が切り替わり、各問と、その選択肢ごとに全有効回答に対して選択された割合などを表示できる。このとき、自由記述の設問では、未回答者の数と、回答の列挙が表示される。

サブメニューより「答案のダウンロード」を選ぶと、やはり画面が切り替わり、設定をしたのち、必要なデータをダウンロードすることができる。まず、この設定についての説明を加える。

このとき、区切り文字の選択として「カンマ」「タブ」が選択できるが、後でエクセルを用いて開きなおすときの手順として、タブ区切りを選ぶ方が簡単だと思われる。

答案のダウンロード形式は「ユーザ別」と「質問およびユーザ別」が選択できる。ここでは、目的に応じてでよいが、同一の回答者の複数の設問に対する回答間で相関を調べるためには、質問ごとにわけずに単に「ユーザ別」を選ぶ必要がある。次章の集計作業については、ここで「ユーザ別」を選択した前提で説明を行う。

ダウンロードする答案として「有効な答案のみ」と「すべての答案」を選択することができる。あるユーザが回答途中で誤って送信してしまい、はじめから答え直した場合などでも、最後に回答したもののみが有効な答案となる。

この後、右下の「ダウンロード」ボタンを押すと、データが、エクセルで表示可能なファイルとして、ダウンロードされる。1行目が表タイトル、2行目以下がユーザごとの回答データ（ただし、ユーザIDとの紐づけはなされていない）である。つまり200人の有効な回答を得られた場合、201行で構成されている。

「多肢選択問題」に対する「解答」（アンケートなので「回答」であるが、ブラックボードではテストと同じ「解答」と表記している）は、選択肢として表示された全文がそのままコピーされる。

「複数解答問題」で複数の選択肢を選んだ場合、同様に選択肢として表示された全文のそれぞれが、半角カンマ（「,」）で区切られ、連続して表示される。

また、問題の種類に依らず、選択肢のいずれも選ばれなかった場合、または自由記述で何も記述されなかった場合は、「<未解答>」と表示される。

以下にダウンロードしたデータをエクセルで開いた場合の表の例を示す。ただし、タブ区切り位置（エクセルシート上ではセルの区切り位置）を「／」で表示した。

質問ID 1／質問 1／解答 1／質問ID 2／質問 2／解答 2／質問ID 3／質問 3／解答 3（以下、設問の数だけ繰り返し、改行）
質問ID 1／あなたの所属する組を教えてください。／1組／質問ID 2／高専に関する情報は、主にどこから得ましたか。3つ以内を選んでください。／群馬高専の学生や保護者／質問ID 3／要望や希望があれば書いて下

さい。特にない場合は空欄のままで結構です。／特になし（以下、設問の数だけ繰り返し、改行）
質問 ID 1／あなたの所属する組を教えてください。／2組／質問 ID 2／高専に関する情報は、主にどこから得ましたか。3つ以内を選んでください。／群馬高専の学生や保護者,中学校の先生,あなたの保護者・親戚等／質問 ID 3／要望や希望があれば書いて下さい。特にない場合は空欄のままで結構です。／<未解答>（以下、設問の数だけ繰り返し、改行）
（以下、アンケートの有効回答数だけ繰り返し）

なお、カンマ区切りテキストを選択した場合は、ひとつずつのセルがダブルコーテーションで括られた形となる（例：″質問 ID 1″,″質問 1″,″解答 1″ …）。これは、「複数解答問題」の選択肢間の区切りのカンマと区別するためである。エクセルでカンマ区切り位置でセルを区切る設定で開きなおした場合、タブ区切りで保存して開いた場合と同じとなる。

5. エクセルを利用した集計

以下の関数を使用すると便利である。

countif(範囲 , セル(検索文))
countif(範囲 , ″*″ & セル(検索文) & ″*″)
indirect(セル(シート名) & ″!″ & セル(位置))

また、ブラックボードからダウンロードした回答ファイルをエクセルで開いたもの（以下、集計ファイル）について、集計作業の様子を図で示した（ただし、前述の説明とは設問の順序が異なっている）。

	A	B	C	D	E	F
1	質問ID 1	質問 1	解答 1	質問ID 2	質問 2	解答 2
2	質問ID 1	あなたの所属	物質工学科	質問ID 2	混合学級で	1組
3	質問ID 1	あなたの所属	環境都市工学	質問ID 2	混合学級で	5組
4	質問ID 1	あなたの所属	機械工学科	質問ID 2	混合学級で	3組
5	質問ID 1	あなたの所属	環境都市工学	質問ID 2	混合学級で	2組
205						
206						
207						
208	総回答数		203			203
209						
210	集計	機械工学科	44		1組	47
211		電子メディア	41		2組	40
212		電子情報工学	40		3組	40
213		物質工学科	41		4組	39
214		環境都市工学	37		5組	37
215		<未解答>	0		<未解答>	0
216						

図 5.1 集計ファイルの一部の例

集計ファイルの1行目は、タイトル行である。2行目から204行目に掛けての計203行からなる有効回答があった。B列の210行目からには、設問1の回答の選択肢を羅列した。そして最下行には「<未解答>」を追加している。以下、E列には設問2の選択肢、H列には設問3の選択肢、と3列おきに繰り返されている。選択肢が20ある場合には、210行目から230行目まで使用している、といった具合になっている。208行目には、それぞれの列ごとに、選択肢ごとにカウントした有効回答の総和を示すため、たとえば C208 では = SUM(C210:C215) としている。

5-1. countif 関数

countif 関数は、数値の範囲が指定された条件内であったり、特定の文字列（検索文）そのものが入力されたセルの数を数える。このとき countif(A:A, ″1組″) などのように検索文を直接書かなくても、検索文が入力されたセル位置で指定できる。また、検索文にはマイクロソフトの指定するワイルドカード（? 任意の1文字、* 任意の文字列）も使用できる。

そのため、たとえば B210 から B214 に、機械工学科、電子メディア工学科、電子情報工学科、物質工学科、環境都市工学科、<未解答>のように、C2 から C204 に現れるはずの選択肢を列挙しておけば、セル C210 に対し、= countif(C$2:C$204, B210) と計算式を入力し、下方にコピーすれば、それぞれの選択肢の出現数をカウントできる。

また、複数解答問題では、この方法をそのまま用いると、選択肢を1つしか含まないセルのみをカウントすることになるため、ワイルドカードを用いる必要がある。具体的には、たとえば E210 から E216 に、群馬高専の学生や保護者、中学校の先生、塾の関係者、あなたの保護者・親戚等、あなたの兄弟姉妹、<未解答> のように F2 から F204 に現れるはずの選択肢を列挙し、セル F210 に対し、= countif(F$2:F$204, ″*″ & E210 & ″*″) と入力し、下方にコピーすればよい。これによりセル F210 には、「群馬高専の学生や保護者」と答えたセル以外に、「(他の選択肢),群馬高専の学生や保護者,(他の選択肢)」のように複数の選択肢を選んだものも集計できるようになる。

「1組、2組、…、5組」のような選択肢から1つだけを選択する「多肢選択問題」に対しても、ワイルドカードの指定があっても問題なく集計できるが、ここで、例えば「非常に良い、良い、普通」のような選択肢から1つを選ばせるような「多肢選択問題」の時には、ワイルドカードを用いて「非常に良い」を文字列として含むセルの数は正しくはじめの選択肢を選んだ数を集計できるものの、「良い」の選択肢の集計のつもりで「良い」を文字列として含むセルの集計を行ってしまうと、「非常に良い」の選択を行ったセルも併せて集計してしまう

ことになるので注意が必要である。ただしこのようなミスは、「多肢選択問題」であるのに回答数の合計である208行の数値が全有効回答数（ここでは203）を超えることなどから判別できる。

なお、4つ以上の選択肢を選んだ回答者数が知りたければ、countif(F$2:F$204, ″*,*,*,*″) とすればよい（条件式中で * がカンマも含む任意の文字列としてカウントされるため、カンマが4つ以上のものもマッチするため、4つではなく4つ「以上」がカウントされる)。

また、必要であれば、回答者数（行数、すなわち上の例では、204人）から「<未回答>」の数を差し引いた有効回答を分母として、各選択肢の集計数を除してやれば、割合表示にすることも容易である。

なおここで、本年度1年1組の人数は42名であるが、集計上は47名となっている。これは、2〜5組のいずれかに属する学生が、誤った回答をした結果である。アセスメントの形式として「テスト」ではなく「アンケート」を選択しているため、回答者のIDと集計用にダウンロードするファイルとの間に紐づけができない仕様であるため、個々のどの回答（集計ファイル上のどの行）に回答の誤りがあるのかを確認することはできない。

5-2. 部分集計の作成

全体集計以外に、組ごとや学科ごとのクロス集計も行う場合がある。一般的には、エクセルのクロス集計では、ピボットテーブルを用いるのが便利である。しかし、直感的には次にようにすると簡単である。

まず、上記のように全体集計を行い、シートに「H30(全員)」 などの名前を付ける。次いで、データ全体（2行目から205行目まで）を組番号の回答（上記例では、設問2の回答なので、F列）の昇順などでソートする(当然、このソートによって集計結果に影響はない)。

この全体集計のシートを同じエクセルのブック内にコピーする。コピーしたシートにはそれぞれ、「H30(1)」から「H30(5)」、「H30(M)」から「H30(C)」などのように名前を付け直す。たとえば「H30(1)」のシートでは、2組から5組の回答をすべて「数式と値のクリア」する。これにより、1組のみの部分集計が得られる。

ここで、2組から5組に相当する行の削除をしても、集計結果に影響はない(集計に用いた数式は自動的に修正される）のだが、削除ではなく「数式と値のクリア」で対応した方が良いのは、全体集計を1枚のシートにまとめる際に、集計結果の表示されたセル位置がずれてしまうと指定が面倒になるためである。

同様の操作を繰り返すことで、全体集計、各組の部分集計、さらに各学科の部分集計も含めると、同じブック内に11枚のシートがある状態となった。

5-3. indirect 関数

ついで、この11枚のシートから必要な数値を、それぞれのシートから参照して別のシート上に表示させながら、1つの表にまとめれば良い。もちろん、単なるコピーペーストでも対応は可能であるが、数式で指定する方が、ミスも少なく、また、データ集計時の数式の修正などに対しての対応も楽である。そのために「集計」という名前のシートを準備した例を次図に示す。

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1		シート名	H30(全員)'	H30(1)'	H30(2	H30(3	H30(4	H30(5	H30(M	H30(E	H30(J	H30(K	H30(C)'				
10															checksum		
11			全体	1組	2組	3組	4組	5組	M	E	J	K	C		組	科	セル位置
12																	
13	質問1：あなたの所属する学科を選んでください。																
14		○ 機械工学科	44	11	8	8	9	8	44	0	0	0	0		44	44	C210
15		○ 電子メディア	41	9	9	9	8	6	0	41	0	0	0		41	41	C211
16		○ 電子情報工学	40	8	8	9	7	8	0	0	40	0	0		40	40	C212
17		○ 物質工学科	41	9	8	8	9	7	0	0	0	41	0		41	41	C213
18		○ 環境都市工学	37	10	7	6	6	8	0	0	0	0	37		37	37	C214
19																	
20	質問2：混合学級で、あなたの所属する学級をえらんでください。																
21		○ 1組	47	47	0	0	0	0	11	9	8	9	10		47	47	F210
22		○ 2組	40	0	40	0	0	0	8	9	8	8	7		40	40	F211
23		○ 3組	40	0	0	40	0	0	8	9	9	8	6		40	40	F212
24		○ 4組	39	0	0	0	39	0	9	8	7	9	6		39	39	F213
25		○ 5組	37	0	0	0	0	37	8	6	8	7	8		37	37	F214
26																	
27	質問3：あなたが郡馬高専に志願することを決めた時期を選んでください。																
28		○ 中学3年生になる	72	17	15	12	15	13	14	17	13	15	13		72	72	I210
29		○ 中学3年生の夏休み	51	13	9	9	11	9	14	12	13	4	8		51	51	I211
30		○ 中学3年生の夏休み	72	17	14	16	12	13	16	10	12	20	14		72	72	I212
31		○ 高専への出願の直前	8	0	2	3	1	2	0	2	2	2	2		8	8	I213

... | H30(C) | H30(K) | H30(J) | H30(E) | H30(M) | H30(全員) | 集計 | ⊕

図 5.2 設問ごとのクロス集計結果の表示例

この「集計」シートでは、例えば以下のようにルールを定めているものとする。

エクセルのセル区切りは、ワードの上にタブ区切りとして貼りつけることができ、ワード上でルーラーを用いてインデントの調整ができる。そこで、A列には、「質問1：あなたの所属する学科をえらんでください。」などと入力しておく。選択肢は、次行のB列に列挙する。C列には、全体集計、E列からI列には1組から5組の部分集計を置く。J列からN列は、学科ごとの部分集計結果を置く。P列およびQ列には、それぞれの部分集計の小計を、誤り検出用の checksum として計算しておく。

この時、たとえば1行目にシート名を入力しておくこととし、C1には「'H30(全員)'」、E1には「'H30(1)'」などのシート名を引用符で括った文字列を値として入力する。ただし、エクセルでは、「セル書式設定で文字列を指定」していないセルにおいても簡単に文字列を入力するための方法として、先頭の「'」があった場合にはそれ以降の部分を文字列として認識する機能がある。たとえば、「=1+2」という文字列を入力したい場合、通常だと計算式と認識されてしまうところを「'=1+2」と入力するという意味である。逆に、文字列として書式設

定のされていないセルにおいては、「'で始まる文字列」を入力する場合、意識して「'」の後に「'で始まる文字列」を書く必要がある[4]。そのため、実際には、C1 のセルには「''H30(全員)'」、E1 には「''H30(1)'」などと入力しておく必要がある。これによってセルの値が「'H30(全員)'」、「'H30(1)'」などとなる。

たとえば 13 行目に質問 1 があり、B14 から B18 に選択肢（1 組、2 組、…、5 組）が並んでいるとする。先の集計例では、H30(全員)、H30(1)、H30(2)、…、H30(5)、H30(M)、…、H30(C)の各シートの C210 から C215 にこれらの集計値が並んでいる。そこで、R 列にはそのセル位置を指定することとし、R14 に = C210 と入力し、R18 まで下方にコピーする（その結果、C211,…、C215 と表示される)。

各セルには、1 行目で指定したシートにおいて、R 列で指定したセルの数値を参照して表示させたい。そのために、集計シートの C14 に、= indirect(C$1 & "!" & $R14)と入力すればよい。この数式を右方向 N14 までコピーした後、下方の任意の行までコピーする。

実際には、質問を表示する行もあるため、if 文と組み合わせて、C14 は、= if($R14="", "", indirect(C$1 & "!" & $R14))としておくと、これを右方向 N 列までコピーしたものを、シートの最下部（たとえば、370 行目）までコピーして用いることができる。この式の場合、R 列が空白になっている場合（図の 19 行目など）では、数式自体の計算結果として空白文字列("")が返される。

以上の操作で、選択肢ごとの集計を一枚のシートに簡単に表示できる。ただし、ピボットテーブルを用いた場合とは異なって、全体集計の中の特定のデータに差し替えが生じた場合、対応する部分集計のシートの内容も更新しなければならないことには注意が必要である。

indirect 関数は、同じブック内のシートのみならず、別のブックのシートのセルの値も参照して表示することが可能である。さらにはセルの位置を、行と列をそれぞれ別のセルで指定することもできる。たとえば、= indirext("'["&$A10&"]"&$B10&"'!"&$C10&TEXT(D$1,"0"))　で指定すると、A10 に指定したブック名、B10 に指定したシート名、C10 で指定した列、D1 に指定した行番号のセルの内容を参照して表示させることが可能になる（参照したいセルの行番号の数字（D1 の値）を文字列としてから列の記号（C10 の値）と連結していることに注意)。ただし、indirect 関数は、同時に開いていないファイル上の値は参照できないため、異なるブック間での参照時には注意が必要である。また、いちど参照した数値を「数値としてコピー」したシートを作成しておくなどしないと、毎回すべてのブックを開かないと参照結果が表示できないなどという状況になるので注意が必要である。しかしながら、同一のフォーマットのエクセルシートであれば、異なる入力者による入力結果を、簡単に 1 枚のシート上に表示し、これにもとづいて集計できるため、非常に強力な計算式であると言える。

5-4. 自由記述

自由記述の設問の答えは、以下の点に気をつけて全体集計のシートより、対象となる回答のみをコピーすればよい。まず、未回答の場合には〈未回答〉と表示されている。通常は、これは除いてよい。そのため、データの範囲をソートしてから、〈未回答〉のセルは削除する。

ただし、自由記述において、回答時にブラックボードの機能を利用して書式が設定されていた場合、html タグが付加される。たとえば、色指定、フォントサイズの指定などである。これについては、正規表現などを用いた検索置換で一括削除するか、ワードなどに貼りつけたあと、タグの内容にそってあらためて書式設定をするかなど、集計時の方針に従って編集すればよい。

6. まとめ

今後の作業の効率化に資することを目的とし、筆者が業務上の必要に応じて調べ、情報蒐集した内容として以下の内容を記述した。

まず、アセスメントとしてのテスト/アンケートをブラックボードの任意のコース上に設置する手順を示した。また、その解答（回答）ファイルをダウンロードし、エクセル上で集計するための方法を示した。エクセル上では、検索条件に合致したセルの数を数えるために countif 関数を使用することができる。また、全体集計したシートをコピーしてから、条件を満たす以外の行の数式と値をクリアすることで、部分集計を作成できる。これにより、ピボットテーブルを用いなくてもクロス集計をすることができる。全体集計と部分集計の結果は、それぞれ別のシート上に作成されているので、これを indirect 関数により 1 枚のシート上に参照して示すことができる。

また、この方法を応用すると、同一フォーマットで作成された複数のエクセルシート上のデータを、1 枚のシートに参照でとりまとめて表示させ、集計することが容易になる。

7. 参照および註釈

1) a) Blackboard Learn(TM), http://www.blackboard.jp/platforms/learn/, (最終検索日 2018.12.29), b) 高専の教職員および学生からの Blackboard Learn 利用時のアクセス先, https://bb.kosen-ac.jp/, (バージョン表示は「Q2 2017」, 最終検索日 2018.8.5), c) サポート TOP（はじめにログインすることが必要。ログイン後、コース

「01-qaaproj ： Blackboard 活用サポート（高専版）」を選択すると表示される，https://bb.kosen-ac.jp/webapps/blackboard/content/listContent.jsp?course_id=_1302_1&content_id=_18658_1）には、サポートブラウザの種類と必要なバージョン等が示されている（例：Google Chrome(36 以上)、Microsoft Internet Exlorer(11 以上、Windows のみ)、Mozilla Firefox(31 以上)，等。「2018/3 に Q2 2017 にバージョンアップしたことに伴い情報を更新しました。(2018/6/6)」の表示あり。）(最終検索日 2018.12.29)

2）ブラックボードにログイン後、サポート TOP → 利用マニュアル → 各高専からの提供マニュアル → Bb の質問一括登録ファイル書式について、(「Blackboard Cheat Sheet vol.4 v1.2 質問一括登録書式」)，https://bb.kosen-ac.jp/bbcswebdav/pid-92710-dt-content-rid-1531400_1/courses/01-qaaproj/マニュアル/Bb チートシート vol4 Bb サポート用 v1.2.pdf，(最終検索日 2018.12.29)

3）成績管理に「アンケート」の項を表示させる方法。以下、BBS（ブラックボードにログイン後、サポート TOP → お問い合わせフォーム）にて、質問件名「アンケートの作成に関して」(質問投稿日 2017.3.30)のスレッドで、管理者の SCSK 瀧様から回答いただいた情報です。

1. *成績管理全体画面を開きます。*
2. *上部の水色のバーのから「管理」＞「スマートビュー」を選択します。*
3. *ここで「お気に入りとして追加」列で黄緑の星マークになっているものが現在左のコースメニューに表示されているものです。*
4. *上部の水色のバーから「スマートビューの作成」をクリックします。*
5. *スマートビューの作成画面を入力し送信します。*
   - *名前に成績管理全体の下に表示させたい名前を記入します。(例：アンケート)*
   - *お気に入りとして追加にチェックを入れると「成績管理全体」の下に名前が表示されるようになります*
   - *カテゴリおよびステータス＞基準の選択（カテゴリ：アンケート、ユーザ：すべてのユーザ）を選択します*
   - *送信ボタンをクリックします*
6. *成績管理の部分に 5 で作成したメニューが表示されます。クリックするとアンケートのみが表示されるようになります。*

4）エクセルのバージョンに依るのかも知れないが、Excel 2016 では、事前に選択してセルの書式設定で「文字列」を指定したセルについて、「'」の入力なしで「=」で始まる文字列を入力したとき、正しく、計算式ではなく文字列として扱うことができるものの、「'」で始まる文字列を入力したとき、セルの書式設定に無関係に先頭の「'」が文字列を指定する記号として扱われ、セルの値には先頭の「'」の削除された文字列が入力された。

Setting and Count Technique of a Questionnaire Using Brackboard Learn™

Satoshi NAKAJIMA

I described the following contents that I checked out as it is needed in the work, for contribution to efficiency of the future work. At first, I showed a procedure to set up a test or a questionnaire as the assessment on a course of the Blackboard Learn™. Then, I showed a method to download a result file, and to sum it up on Excel(R). In the processing with Excel, it is able to use "countif" function to count the number of cells in line with search condition written in a certain cell. For the first, the answers are added up entirely in this way to make the whole total sheet. After the sheet is copied, by erasing the values of the answer lines those are in disagreement with the conditions, it'll be the partial total sheet. To assemble the whole and partial total of the answers written down on separated sheets to one sheet, it is effective to use an "indirect" function to refer the values in the target cells of separated sheets. The functions is able to refer to a value of a target cell with a pointer to a certain cells containing the address of the target cell.

低学年混合学級における物理試験形式の変遷

宇治野 秀晃*

(2019 年 1 月 7 日受理)

1 はじめに

低学年における混合学級が 2006 年度入学生から導入され，今年で 12 年が経過した．かつて学科別クラスで低学年の共通教育が行われていた時代を知る教員も減り，物理担当の常勤スタッフに限っても，混合学級導入前後の低学年物理教育の歴史を全く知らない教員が，今日では半数を占める．そこで本稿では，2006 年度の混合学級の導入後，群馬高専における低学年物理教育が現行形式に落ち着いていった経緯を，私の個人的な記憶と，手元に残る資料に基づき，特に試験問題のフォーマットを固めていく過程に焦点を絞ってまとめておく．加えて，現在抱える課題や懸念についても述べておきたい．

2 学科別クラス時代の低学年物理教育と混合学級導入

混合学級導入前の低学年物理教育は，学科別に編成されたクラス毎の講義で行われていた．低学年物理教育に充てられた講義時間数も，学科によってまちまちだった上，高校物理の内容の全てをカバーするには不十分でもあった．また学科別クラス間の平均学力の差も，ざっくり無視できるほど小さくはなかった．こういった背景もあって，講義内容についても，学科ごと，あるいは教員ごとに，決して小さくはない差異が生じていた．別の見方をするならば，各担当教員が，それぞれの教育観に基づいて判断し，独立に対応せざる得ない部分が比較的多かった，といってもよいだろう．

また，成績評価についても，各教員が各々思い思いに作成した試験問題によって，それぞれ独立に行われていた．合格率についても，学科ごと，あるいは教員ごとに，バラツキがあり，現実的な準備の上で試験に臨んだ学生であればほぼ合格し，準備不足あるいは物理が苦手で，理解度が極端に不足している学生には不合格となるリスクもそこそこあると期待される，「常識的な」試験が本当に行われているのか，あからさまに批判されることはそう多くはなかったものの，疑問視する空気の感じられたことはしばしばあった．

混合学級の導入と，これに伴う低学年物理カリキュラムの見直しによって，高校物理の全内容をカバーすることもどうにか可能な講義時間が確保され，全クラス全学科で進度を揃えて講義できる環境が与えられた．また，全クラス共通の問題で試験を行う「試験問題の共通化」も同時に決まった．混合学級導入は，学科別クラスで行われていた時代の低学年物理教育を標的として決まったものではないとは思うが，混合学級の導入に伴って行われたカリキュラムと試験の見直しは，当時の低学年物理教育が抱えていた，バラツキの大きさという「問題」を解消できる可能性の高い方策の一つであったことは間違いない．

しかし，別の見方をするならば，この見直しは，混合学級導入前には，各教員がそれぞれのびのびとやってきた低学年物理教育に，突然，講義内容・進度・試験問題の一斉共通化という「たが」をはめる，ということでもあった．感じ方の程度には差があると思うが，各々の教員の教育観には，決して小さくはなく，時に理解し合うことすら難しい相違がある．このどうにもならない現実は，同調圧力の強さが格段に増大することになる，混合学級における物理教育を実際に回していく上で，深刻な障害になりかねなかった．担当者の多くがそれなりに納得でき，互いに協力することの可能な枠組みが必要であった．

3 混合学級導入初年度

ではどのような枠組みであれば，混合学級での物理教育をうまく回せるのか? 当時の物理担当教員がそれぞれやってきたやり方のどれか一つを採用するというやり方では，枠組みを固めていく上で必要な，多くの担当者の理解を得ることは難しい．特にバラツキの大きい成績評価の仕組みについては，これを何か一つの方式に揃えるのであれば，これまでのどの担当者のやり方とも異なり，かつ先に述べた意味で「常識的な」試験であることが必要であった．

幸い，と言ってしまってよいのか，混合学級導入初年度の 1 年力学基礎を私自身は担当しなかった．混合学級の導入は，カリキュラム改定と同様，導入初年度入学生の学年進行に合わせて，年度進行で進められる．初年度の力学基礎を担当された，MEJC 自然から 1 名ずつ，合計 5 名の方々の，試験問題共通化の枠組み立ち上げの様子を，当事者とし

* 一般教科 (自然科学)

て関与することなく，気楽な傍観者として 1 年間，じっくり勉強させていただけたことは，混合学級導入 2 年目の 2 年物理 I・II の枠組みを考える上で，大変ありがたかった．後述するように，全教員の目に触れる成績報告に現れる形で，難易度調整に困難を生じていた様子を窺い知ることができたことは，成績処理の透明性が担保されていたことの証左と考えることができ，この点について，個人的に強く共感を覚えたことは，特記しておきたい．

細かいところはあまり自信がないが，初年度の力学基礎の試験フォーマットは次のようなものであったと記憶する．

- 解答時間 50 分
- A4 で 3 枚，1 枚につき 5 題出題
- 3 名の出題者がそれぞれ 1 枚ずつ，輪番で出題
- 出題者が，出題部分について全クラスの答案を，それぞれ独立に採点

配点については記憶していないが，おそらく全部で 100 点分の出題だったのだろう．いずれにせよ，このフォーマットの最大の特徴は，複数の教員が持ち寄った問題をセットにして出題する「持ち寄り出題」と，出題者自身による「分担採点」であり，この点については，当時の担当者の一人**からも確認が取れたので確実と信じる．

出題・採点を輪番としたのは，採点の公平性と，出題者の違いによる問題のクセ，偏りを生じないようにするための配慮であったのだろう．またこのやり方であれば，運用によっては，複数の担当者の間で，なるべく調整をせずにすむよう，それぞれの教員が分担した業務をほぼ独立に，各々の教育観に従って進められる仕組みになっている．教育観の相違による担当者間の衝突のリスクも回避しやすい．さらには「抜け番」も各回の試験ごとに 2 名あり，試験関連業務の負担感の軽減も期待できる．協力によって生じるメリットを共有する仕組みを組み込み，教育観の齟齬の調整を要する共同作業をほぼなくすことで，無用の軋轢を生じさせない仕組みになっている．しかし，このやり方で難易度の調整については，どうするつもりなのだろうか，という疑問を禁じ得なかった．何らかの申し合わせをおそらくするのだろうが，それでは曖昧すぎて，結果について見通しが立たないのではなかろうか．

私の主観にすぎず，また厳しい言い方かもしれないが，持ち寄り出題・分担採点方式の力学基礎の試験では，不合格者の割合がかなり高い結果となった試験が，4 回の成績報告のうち，2 回あった．このうちの 1 回については，現実的な準備の上で試験に臨んだであろう学生でさえ，控えめに言ってかなりの割合で不合格となった，と感じられるものであった．当事者だけにしか分からない，様々な葛藤もあったのかも知れないが，4 回の試験に課題の状況なども総合した学年末の最終的な成績報告では，「常識的な」の範囲の結果となってはいた．しかし，「事故」に近いこのような大ブレは，なんとしても避けたい．

原因として，傍目に当時感じたのは，以下のようなものであった．

- 解答時間に対し，問題数が多すぎる
- ただでさえ容易ではない難易度調整を，持ち寄り出題によって，さらに難しくしている
- 1 題あたりの配点が小さすぎる

これらの要因が組み合わさった結果，難易度調整の失敗につながったのではないか．初年度の力学基礎における最大の困難は「常識的な」試験フォーマットの作成にあった，と私には感じられた．

4 A 問題・B 問題方式の導入

混合学級導入後，2 年目となり，2 年物理 I・II において，とうとう私も混合学級のクラスを担当することになった．非常勤教員も含む 5 名の教員で，この科目を回す算段を，いよいよ待ったなしで立てねばならない．

混合学級導入初年度における力学基礎試験問題の持ち寄り出題方式は，担当者間に軋轢の生じるリスクの回避と出題クセの違いの平準化を同時に狙ったものだったが，難易度調整失敗の最大の要因ともなった．同じ轍を踏まぬよう，持ち寄り出題方式ではなく，1 回の試験では，全ての問題の出題を一人の担当者に任せる方式を前提に，軋轢の回避，出題クセの平準化，適切な難易度設定を同時に実現したい．そのような方法として考えた試験フォーマットが，A 問題・B 問題方式である．

- 解答時間 100 分
- 1 題 6 点の A 問題 12 題，1 題 4 点の B 問題 12 題出題
- A 問題は傍用問題集のもっとも易しい難易度のカテゴリーから，原則そのまま出題
- B 問題は傍用問題集の標準的な難易度のカテゴリーから，原則そのまま出題．ただし 2 題程度は，やや難しい問題の出題も可
- A 問題・B 問題とも，出題範囲の全単元から，問題数が原則均等になるよう，バランスよく出題
- 点数 $= \min(100, \text{B の合計点} + \min(60, \text{A の合計点}))$
- 各試験ごとに 1 名の担当者が全ての問題を原則輪番で出題

** 環境都市工学科：木村 清和

- 4 名の担当者が，受け持ちの問題 6 題について，全クラスの答案を，それぞれ独立に採点

合否については，もっとも易しいカテゴリーの問題の出来不出来で，合格点以上の成績の良し悪しについては，標準的な難易度の問題の出来不出来で，それぞれ判定しよう，というのが，この方式の基本的な考え方である．合計で 100 点分を超える出題となっているのは，物理の苦手な学生に影響を与えない形で，一部の熱心な学生のために，やや難しい問題も出題したい，という思いがあった．

問題集からの問題選択の自由度はまだ残っているものの，出題者の出題自由度をかなり厳しく制限しているのが，A 問題・B 問題方式の特徴である．この制限によって，出題者の個性やクセがかなり排除されるのと同時に，配点の設定も合わせて，難易度も適切に設定されるのではないか，というのが目論見であった．と同時に，担当教員サイドに不満が生じるとするならば，ここが原因となるだろうとも思った．ただ，採点と出題が分業化されることで，個々の教員の試験関連業務の負担感が軽減されることが期待できる．「窮屈になった分に見合ったご褒美」という表現が適切かどうかはともかく，共同作業によって生じるメリットを共有することで，軋轢の回避も図れるのではないかと考えた．解答時間あたりの問題数は，初年度の力学基礎のそれに対し 8 割程度と，少なめにしている．

min 関数を用いて定義された点数には，違和感があるかもしれない．つい最近知った言葉なのだが，日本テスト学会の基本条項 1), 2) によれば，テストで測定しようとする特性を表現できるよう，採点結果から意味を持たせた尺度に換算した数値を，尺度得点という．本校の成績評点では，最低 (0 点)，合格点 (60 点)，最高点 (100 点) と設定されているため，試験に対する尺度得点を決定する手続きでも，これらの数値の意味付けが，物理 I・II の到達目標から定まる基準と整合する必要がある．前述の方法で定めた点数は，この要求を満たす尺度得点になっている，というのが，A 問題・B 問題方式の主張である．

A 問題・B 問題方式で実施する初めての試験は，2007 年度 2 年物理 I 前期中間試験であり，私が出題を担当した．初めてのことでもあり，難易度を決定する A・B 各問題の配点をどう定めれば常識的な結果になるのか，予想・推測するための材料がなく，実験的な側面があることは否定できない．学生に迷惑をかける訳にはいかず，また試験を実施する側から見ても疑問に感じられるような，大量の不合格者を出す事態はなんとしても避けたかった．そこで初回は，A 問題 1 題 8 点，B 問題 1 題 4 点のように，かなり「安全」側に振った配点で実施することとした．この設定であれば，心配するような結果にはきっとならないだろう，と思ってはいたものの，その前年，混合学級導入初年度の力学基礎の試験で，非常に苦戦した学生達ということもあり，大量の不合格者の影に内心怯え，ドキドキしながら採点を待ったことが思い出される．結果は，ヒストグラムが高得点側に偏った，過去の物理の試験で見たことのない，非常に「良い」出来であり，それでいて，不合格者も少数ながらきっちり出る結果となった．ただし普段の授業や課題への取組みと理解度を考えると，不合格の判定がむしろ適切と感じられる学生が少なからず，あまり良くはない点数で，きわどく合格ラインに達していた．A 問題を 1 題 8 点とした配点では，目論見通りではあったが，甘すぎた．そこで採点結果を用いて，配点を変えた場合のシミュレーションを行い，もっとも「しっくりとくる」結果を与えた A 問題 1 題 6 点，B 問題 1 題 4 点の配点を，次回以降の配点として採用することに決めた．

5　力学基礎への移植

A 問題・B 問題方式の力学基礎への移植は，私が 1 年生のクラス担任として，力学基礎を担当した 2008 年度から，段階を踏む形で進めた．まず，2008 年度は，持ち寄り出題方式をやめ，見かけは初年度の力学基礎の試験問題とよく似たフォーマットを踏襲しつつも

- 1 題 6 点の A 問題相当の問題を 10 題，1 題 8 点の B 問題相当の問題を 5 題出題

のように，出題自由度への制限を導入した．しかしながら，A 問題・B 問題方式のような，素点とは異なる点数 (尺度得点) という発想への理解が得られなかったこともあり，年度当初の話し合いでは，素点をそのまま尺度得点としての点数に採用することとなった．日本テスト学会の基本条項に，尺度得点という考え方が示されていることを当時知っていれば，他の担当者から理解を得るのも，もう少し容易だったかもしれない．

個人的には，この方法では，かなりの数の不合格者が出ることを危惧していた．また，解答時間あたりの問題数もやや多すぎるのではと感じていた． 幸い，前期中間試験の出来は非常によく***，課題の評点も入る前期末の成績では，「常識的な」結果の範囲に収まったが，前期期末試験の出来そのものは，私の危惧していた通りのものであった．後期中間試験でも，やはり危惧したような結果となり，このフォーマットで素点そのものを点数とするのは，適切とは考えにくい，ということで，全担当者の意見が一致し，合格に必要な正解問題数の解答時間に対する比率を，2 年生で実施している A 問題・B 問題方式と比較して，ほぼ同じ基準となる

*** 例年，力学基礎の前期中間試験では，良すぎるくらいに良い結果が出る．

ような点数への換算法を採用することとなった．その結果，後期の成績においても，全担当者納得の「常識的な」結果が得られた．

素点とは異なる点数という発想への理解は得られたものの，2008 年度後期から採用した換算法はやや複雑であった．このため，2009 年度は

- 1 題 6 点の A 問題相当の問題を 8 題，1 題 4 点の B 問題相当の問題を 8 題出題
- 点数 $= 2\times\min(50, \text{B の合計点}+\min(30, \text{A の合計点}))$

のように，解答時間あたりの問題数がやや多い A 問題・B 問題方式を採用することとなった．この方法では年間を通して，常識的な結果を安定して得られたが，未着手のまま残った，白い解答欄の目立つ答案が多かった．解答時間に対して問題数がやや多すぎるという認識は，こうして共有された．

以上のような経緯で，移植開始から 3 年目の 2010 年度になって，物理 I・II における試験フォーマットにおける A 問題・B 問題の問題数をちょうど半分にした，次の形式に落ち着き，移植プロセスは終了した．

- 解答時間 50 分
- 1 題 6 点の A 問題 6 題，1 題 4 点の B 問題 6 題出題
- A 問題は傍用問題集のもっとも易しい難易度のカテゴリーから，原則そのまま出題
- B 問題は傍用問題集の標準的な難易度のカテゴリーから，原則そのまま出題．ただし 1 題程度は，やや難しい問題の出題も可
- A 問題・B 問題とも，出題範囲の全単元から，問題数が原則均等になるよう，バランスよく出題
- 点数 $= 2\times\min(50, \text{B の合計点}+\min(30, \text{A の合計点}))$
- 各試験ごとに 1 名の担当者が全ての問題を原則輪番で出題
- 2 名の担当者が，受け持ちの問題 6 題について，全クラスの答案を，それぞれ独立に採点

試験の結果を共有し，結果からどういった対策が必要なのかを一つ一つ確認することで，混合学級導入初年度から継続して力学基礎を担当された MJC 各科の担当教員の理解を得ながら移植プロセスを進めることは，時間はかかったが，より多くの担当教員の理解と協力を得る上で必要であった．

その後，A 問題・B 問題方式による試験は，力学基礎，物理 I・II において 2011 年度まで続いた．入学年度や試験範囲間の難易度の差による変動，中間試験で成績に余裕ができたと「勘違い」した学生による期末試験での「集団手抜き」と思われる現象等，A 問題・B 問題方式でも合格率や平均点にそこそこの変動は見られたものの，混合学級前に各教員が個別に成績評価を行っていた時代と比べ，「常識的な」試験を続けることができたように，個人的には考えている．

6 現行方式への移行

安定して「常識的な」結果の出る試験という意味では，比較的成功した A 問題・B 問題方式ではあったが，実際にこのやり方で試験を実施する教員の目には，導入当初から，不自然な方法という認識があった．物理の問題では，誘導として小設問を組み合わせ，複雑な議論を組み立てる，大問仕立ての出題が標準的である．しかしながら傍用問題集から原則そのまま選んで，A 問題 12 題，B 問題 12 題とする拘束の下で，そのような問題を出題するのは，やや窮屈で難しい．出題側の意識には，そのような不満もあった．

そういった不満への対応という意識を担当者が共有していたわけではなかったとは思うが，傍用問題集の問題から「原則そのまま」出題するという出題自由度の制限も，次第にかなり緩めに運用するようになっていった．傍用問題集における A 問題・B 問題に対応するカテゴリーの問題と，同じではないものの「ほぼよく似た」問題を出題することが，2010 年度までにはかなり当たり前になっていた．学生が取り組みやすい問題と，やや苦手に感じるらしい問題にどういったものがあるのか，担当者が経験を積んだこともあって，それでも「常識的な」結果を出せていた．A 問題・B 問題方式における難易度調整の肝である「出題自由度の制限」ルールの，このように弾力的な運用もあり，また他にうまくいく方法に当てがあるわけでもなかったこともあって，他の方法に変える積極的な理由を持たなかった，というのが，違和感を感じつつも，この方式を 5 年間続けた理由である．

A 問題・B 問題方式をやめて，2012 年度から現行方式に移行するきっかけ与えたのは，学生の答案であった．導入後 3 年目あたりから，A 問題だけに手を付け，B 問題には全く手を出さない答案が目立ち始めたのである．非常勤教員も含め，当時の他の担当者の中では，事実として，そのような答案が目立つという認識を共有していた．

どうしても物理の苦手な学生が一定数いて，本当に手が出せなかっただけと考えるのも自然な解釈である．しかし，ほぼ完璧な A 問題の答案と，真っ白な B 問題の答案を同時に見つつ，そういった答案を書いた学生の顔を思い浮かべると，私にはそう思えなかった．A 問題・B 問題方式が，誤った物理の勉強の仕方を学生に促す，間違ったメッセージになってはいないだろうか? 学生は「必要な」成績を取る上で，試験の形式に合った，時間コスト的に「最適な」方法を見出すものである，という現実を突きつけられた思いだった．

効率の良い勉強法を工夫することそれ自体は，学生が力を伸ばす上で適切なものであれば，むしろ褒められるべきことではある．しかし，それなりに力のある学生にまで，A 問題対策だけで十分と考えられては困る．そんな懸念まで共有していたかどうかは分からないが，A 問題・B 問題方式を，そろそろ見直しても良いのではないかという空気が，2011 年度末には担当者の間で強くなっていた．

こういった背景もあり，力学基礎，物理 I・II の試験で 2012 年度から導入したのが，次の現行方式である．

- 力学基礎
  - 解答時間 50 分
  - 配点・出題数 5 点× 12 題
  - A 問題相当の問題を 7 題，B 問題相当の問題を 5 題 (内 1 題程度は，やや難しい問題も可)
  - 点数 $= 2 \times \min(50, \text{合計点})$
  - 各試験ごとに 1 名の担当者が全ての問題を原則輪番で出題
  - 2 名の担当者が，受け持ちの問題 6 題について，全クラスの答案を，それぞれ独立に採点
- 物理 I・II
  - 解答時間 100 分
  - 配点・出題数 5 点× 24 題
  - A 問題相当の問題を 14 題，B 問題相当の問題を 10 題 (内 2 題程度は，やや難しい問題も可)
  - 点数 $= \min(100, \text{合計点})$
  - 各試験ごとに 1 名の担当者が全ての問題を原則輪番で出題
  - 4 名の担当者が，受け持ちの問題 6 題について，全クラスの答案を，それぞれ独立に採点

A 問題・B 問題方式では，配点の異なる A 問題，B 問題を，それぞれ「これは A」「これは B」と，学生に明示する形で出題したのに対し，現行方式では，全ての問題で配点を同一とし，難易度を明示しないことが最大の違いである．大問の中に自然に易しい問題も組み込む形の，物理の問題としては自然な出題も，これで容易になった．難易度については，かつての A 問題・B 問題方式をある程度踏襲し，それぞれのカテゴリーの問題数を，配点の変更に伴って新たに指定することで調整することとした．根拠というほどのものではないが，A 問題 14 という数は，A 問題全体の配点を，A 問題・B 問題方式における 6 点 $\times$ 12 題 $=$ 72 点 に比較的近い，5 点 $\times$ 14 題 $=$ 70 点 となるようにしただけのことであった．どうしても実験的な側面の否定できない，現行方式初回の試験で，結果がしっくりこなければ，次回以降変更するつもりでいたのだが，幸い A 問題・B 問題方式の結果と大差のない結果が出た．以来この設定が，そのまま今日まで続いている．

7　情報共有・高校教員 OB の視点

物理 I・II の担当教員は，受け持ちクラスだけではなく，全クラス分の採点データを，採点後に見つかったミスなどの訂正情報も含めて共有している．これは分担採点方式を採用したことからの自然な流れで，A 問題・B 問題方式を導入したときからずっと続いているやり方である．採点後の成績処理において，何らかの間違いを，担当者の誰かがどこかでやってしまったとしても，他の担当者が指摘でき，結果として成績処理の透明性を確保される仕組みになっている，といった意味合いも，もちろんあることはある．しかし，そういった成績処理の手続きとしての意味以上の気付きやノウハウを，担当教員に与え，採点・返却資料作成等の共同作業やその際の雑談を通じて，自然に共有される仕組みになっていることが，個人的にはより大きな意味があるものと考えている．さらに，県内のトップ進学校における教育経験の豊富な高校教員 OB を，非常勤講師として，最も多かったときで 3 名同時にお願いしていたことも大きかった．高校教員 OB の先生方と比べれば教育経験の「貧弱」な常勤教員からはなかなか出てこない，共有すべき気付きやノウハウ，ヒントをいろいろと与えていただいた．

低学年物理の試験においても，この仕組みを通じて，高校教員 OB の先生方から気付かせていただくことが多かった．中でも重要だったと感じているのが，難易度の設定と，付随して得られた，クラスごとの集団的な特性に対する試験の「感度」という視点への気付きに関するものである．

A 問題・B 問題導入後 2 年目に，新たに非常勤をお願いした高校教員 OB の先生に，初めて物理 I・II の試験問題の出題をお願いした時のことである．いただいた試験問題案を確認した私ともう一人の常勤教員の目には，前年度から非常勤をお願いしていた別の高校教員 OB の先生や，常勤の教員がそれまでに出題してきた問題と比べ，見た目にやや易しめに映った．その時の私の率直な印象は，長い教員生活の中で，様々な生徒を見てこられた高校教員 OB の先生の目には，本校のカリキュラムや学生にとって，適切な試験問題の難易度設定は，それまで私が考えてきたものよりもやや易しめであるべきと考えておられるのではないか，といった感じのものであった．採点の結果，学年全体の平均点は，それまでの平均的な平均点と比べてやや高めであった．ただし，それまでの試験の平均点においても，その程度の揺らぎは見られたことであり，しかも問題の難易度以外の要因と考えるのが妥当なケースが多かった．私の目にはやや易しめに見える試験問題ではあったが，学生にとって易しすぎる問題ではなかったと言えよう．翌年度，また新たに 1

名の高校教員 OB の先生が非常勤として加わり，初めて出題をお願いした試験でも，同様に見た目にはやや易しめに感じられる問題が出題され，結果も同様に平均的な平均点と比べてやや高めであった．

お二人の出題された試験問題とその結果を突きつけられて初めて，学生にとって取り組みやすいという意味で易しい問題を適切に出題することは思ったほど簡単ではなく，私には見えていない，見落としている点が，まだまだたくさんありそうだと痛感した．振り返って考え直すと，高校教員 OB の先生方の出題は，易しめの難易度の出題というよりも，むしろ傍用問題集を中心に勉強してきた学生にとって，問題の意味をつかみやすい，素直な出題，と考えるほうがしっくりとくるように思う．試験は，もちろん成績をつけるために行われるものではあるが，学生自身が復習をし，講義を通じて学んだことを整理するきっかけを与えるものでもある．学生が自らの理解度を確認する材料を与えるものでももちろんあるが，教員の立場からすれば，そこからさらに進んで自ら学んでいく動機を与えるものでもあってほしい 3)．私の想像に過ぎないが，高校教員 OB の先生方は，本校の学生にとって取り組みやすく，かつ望ましい高校物理の勉強法として，傍用問題集中心の復習を，学生に対して望んでおられるのではなかろうか? だから，そういった努力が成果として表れやすい試験問題をイメージして，出題されているのではないか? 当時の私には，そんな想像力は働かず，そのように整理することもできなかったが，その時の気付きが，こういった想像を膨らませるきっかけになったことは間違いない．

学生にとって取り組みやすい，素直な問題への意識が，常勤の教員の間にも自然に共有されていったのか，その後，常勤教員の出題する試験問題にも，このお二人の高校教員 OB の出題される試験問題にならったと感じられるものが増えていった．こうして現行フォーマットの試験における難易度調整の安定性が向上し，試験の採点データに対する信頼感は，担当教員の間で，さらに確かなものになっていった．

信頼できる「ものさし」は，新たな気付きのきっかけにもなる．試験の回数を重ね，蓄積した採点データを眺めると，平均的な平均点と比べてやや高めの結果の試験と，逆にやや低めの結果の試験の比較において，クラス間の平均点の差は，前者が後者よりも大きくなる傾向があることが見えてきた．この観察事実は，平均点の高めの試験が，クラスの状態を反映する指標であるクラス平均に対して鋭敏に反応する，別の言い方をすれば，「ボリュームゾーン」の学生の集団としての状態に対する感度の高い試験である，という解釈を許す．クラスの状態と，そのクラスの担当教員による教育効果を同一視することには議論の余地があると思うが，それでも教員であれば，担当クラスのクラス平均を，自らの教育の効果をある程度反映する指標と捉え，どうしても気にしてしまうものである．試験を測定手段の一つと見るのであれば，測定の主な対象の典型的な測定値のレンジに，感度とダイナミックレンジが合ったものであることが望ましい．それまでにも，物理の得意な学生も不得意な学生も点差の出ない，得点分布の下振れや上振れには悩まされてきたこともあって，学生の個人成績にある程度の差を出すのに適した，試験のダイナミックレンジという視点は，以前から持っていた．一方で試験の結果は，教員にとっても，自らの実践する教育について考え直すきっかけを与えるものでもある．そう認識はしていたものの，教員側の手応えを見るのに適した，クラスごとの集団的な特性に鋭敏に反応する試験の感度という発想を，少なくとも私はそれまで持っていなかった．

他の教員のやり方や工夫に触れる機会もなく，一人だけで独立に試験をやっていたとしたなら，ここに上げたような気付きに至ることができたかどうか，全く自信がない．白状するならば，A 問題相当 14 題，B 問題相当 10 題，うち 2 題はやや難しめの問題も可と制限しておけば，合格基準を決めるには十分で，もうこれ以上考える必要は多分ない，そんなことよりも，一部の熱心な学生の頑張りに応えられる問題をどうやって出すか，もっとよく考えなければと思い込んでいた．情報共有の仕組みと高校教員 OB の先生方の頼りになる目がなければ，独りよがりの視野狭窄と，思考停止に陥っていたままだったのではないかと思う．

8 難易度調整スキル継承における課題

導入当初の A 問題・B 問題方式と比較すると，現行フォーマットにおける出題の自由度は非常に大きいことに気づくのではなかろうか．A 問題相当 14 題，B 問題相当 10 題，問題の意味をつかみやすい素直な出題，とは言っているものの，表現そのものは非常に曖昧で，それまでの経緯を知らない人に，具体的に内容を説明をするのは，そう簡単ではない．それでも，非常勤教員も含めて担当教員の入れ替わりがなかったしばらくの間は，特に問題と感じられるような難易度調整の失敗はなかった．事前に特に確認をしなくても，出題担当者がそれぞれ「いつもの感じで」出題すれば，ほぼ一定の難易度の試験問題が，ごく当たり前のように出てくる状況が続いていた．そんな状況の中で，いつしか現行フォーマットの難易度設定について，細かい数字を，はっきり意識しなくなっていったような気がするのは，多分私だけではないと思う．冷静に振り返ってみれば，こんな曖昧な，はっきりとした申し合わせというほどのものでもない，なんとなくの共通認識だけで，うまく難易度調整できていることを，むしろ不思議と考えなければならなかっ

たと思う．ただ，常勤，非常勤を含め，担当者同士のチームワークが比較的うまく機能していることもあり，難易度調整ノウハウを持った出題担当者の人数が，輪番で出題担当者を回すのに十分であった間は，そのような危機感を感じることはなかった．教員であれば誰でも，この出題フォーマットにおける難易度調整スキルを初めから身につけている，とまではもちろん考えていなかったが，ノウハウを持った教員のチェックを入れながら出題経験を積めば，数回の出題でスキルを身につけることができるだろう，といった程度に，楽観的に考えていた．

教員の入れ替わりに伴い，新しい教員を新たに迎えることが続く中で，そのような見通しが甘すぎたことに気付かされた．現行フォーマットにおける難易度調整スキルは，誰でも数回の経験で身につけられるほど簡単なものでは，どうやらなかったようである．

最も難しい点は，A 問題相当，B 問題相当，やや難しい問題という，3 段階の難易度判定にある．難易度調整スキルのまだ十分ではない，経験の浅い教員は，問題の難易度評価が甘めの傾向にあり，ベテラン教員が B 相当と評価した問題を A 相当と評価する率が高い．B 相当と評価すべき問題を例えば 4 題，A 相当と判断して出題すると，経験上，「事故」レベルの難易度調整ミスにつながる．試しに，経験の浅い教員に出題を依頼した問題案を，他の教員 4 名で難易度判定したところ，経験の浅い教員の判定と，ベテラン教員の判定との間には，上に述べた程度のズレがあった．24 題中 4 題の判定ミスが事故につながってしまうような，微妙な調整を安定して実行するスキルが，実はそう簡単なものではないことを，この時あらためて実感した．

出題者本人が「正しく」難易度を判定できないとしても，ノウハウを持ったベテラン教員がチェックすれば，「適切に」難易度調整された問題で試験に臨むことができると思われるかもしれない．しかし，実際にはそう簡単なものではない．ベテランによるチェックの結果，経験の浅い教員に出すコメント・訂正意見は，伝え方をどのように配慮したところで，どうしても「ダメ出し」に近いものになってしまう．まして，そのまま試験をやったら，経験上「大事故」レベルの結果になりかねないことが強く「感じられる」場合は，なおさらである．出題者にはそれぞれの教育観があり，出題した問題に対するこだわりは，その強さに違いはあったとしても，ないはずがない．従って，出題者に訂正意見を納得してもらうための説得は，そもそも難しい．比較的うまく動いている担当者同士のチームーワークの輪にヒビを入れたくないともなると，なお一層，説得も慎重にならざるを得ない．これがベテランのチェックによる難易度調整を難しくする第 1 の要因である．

第 2 の要因は，ベテラン教員にも，試験結果の事前予測について，確かなことは言えないということである．過去の経験によれば，ベテラン教員による予想に，今のところ大外れはない．特に，事故レベルの低平均点の事前予想については，ハズレがない．とは言うものの，同じ科目で，同じ学年の学生を対象に，フォーマットを揃えた試験を実施し続けたところで，実施年度が異なるのだから，対象は同じ学生ではないし，全く同じ問題で試験をするはずもない．これから実施する試験を，過去の試験と条件を全て揃えて実施することは，細かいことを言えばありえないことである．試験の持つ，この避けがたい性質上，これはやむを得ない．過去の経験に基づき，平均的な平均点と比べて，高めか，低めか，どちらとも言い難いか，といった予想を事前にして，採点の結果と比較することを繰り返す中で，なんとなく掴んできた感覚に基づくとは言うものの，「当てずっぽう」に過ぎない，と言われてしまえばそれまでである．経験の浅い教員のこだわりの出題も，ベテラン教員の予想も，採点後の結果を見なければ，確かなことは何も言えないという点では，何も変わらない．

ただし，一言「結果論」と片を付け，堂々と何も手を打たなければ，あからさまな批判はともかく，少なくとも好意的な反応は得られそうにもない．あまり想像もしたくはないが，特に「大事故」が起きてしまった場合については，なおさらそうであろう．非常に悩ましい．

振り返ってみれば，私を含めたベテラン教員も，10 年近い年月をかけ，高校教員 OB という強力な助っ人の協力も仰ぎつつ，色々と試行錯誤を重ねながら，採点結果とじっと向き合う中で，難易度調整スキルを掴んできた．それだけ時間をかけても「上手下手」の個人差はあり，大外しはないとはいえ，上手な教員であっても，小さなハズレは避けられない．現状では判断基準の数値化はおろか言語化さえも満足にはできていない，非常に微妙な感覚といってもよいようなスキルである．難易度調整スキルの継承問題の解決に，ある程度の時間と労力を要するのは仕方がない，と考えたほうがよさそうである．非常勤講師削減の流れもあり，今後は経験豊富な高校教員 OB の協力を得ることが難しくなることが見込まれる．これまでよりも利用できる人的リソースが限定される虞もある中，なにか良い解決はないものかと考えはするものの，なかなかこれはというアイデアが出てこないのが現状である．

9　おわりに

このところ物理教員の内輪の打合せにおいて，私のような比較的「古株」の教員が，なんとなく「感覚」として理解していることが，比較的「新入り」の教員になかなか伝わらないことを，しばしば感じる．その最たるものが，問題の

難易度判定に関する感覚である．これも順番というものなのかもしれないと思う一方，数値化や言語化の難しい「感覚」を，私も含めた「古株」の教員が獲得していった過程で，「低学年物理教育の歴史」に関する経験知が，実は良い教材となっていたのではないか，という思いもあった．

本稿は，私個人の備忘録としての意味しか持たないかもしれない．またその中身についても，他の当事者の視点からは，私の見方とは異なる見え方をするものも含まれるであろうことも，否定はできない．

しかし，そうであったとしても，今後新たに考えなければならない教育上の様々な問題に関する考察や議論における，何らかのヒントや疑問のきっかけといった程度の意味は持っていてほしい．そう願うばかりである．

参考文献

1) 日本テスト学会：テストの開発，実施，利用，管理にかかわる基準 基本条項 Ver. 1.1 (online), http://www.jartest.jp/test_basic_articles.html, 2018 年 12 月 19 日アクセス.
2) 日本テスト学会：基本条項の解説 (online), http://www.jartest.jp/test_basic_articles.html, 2018 年 12 月 19 日アクセス.
3) 池田輝政，戸田山和久，近田政博，中井俊樹：成長するティップス先生 授業デザインのための秘訣集，玉川大学出版部，2001.

History of Physics Examinations for the First- and the Second-Year Students in the Mixed-Department Classes

Hideaki UJINO

At the same time as the mixed-department classes for the first- and the second-year students were introduced in 2006, physics examinations for the first- and the second-year students were required a big change — all teachers giving lectures on the same course must do examinations using the same problems. The trial-and-error process of adaptation to such an environmental change is summarized, which finally determined the present format of physics examinations for the first- and the second-year students in the mixed-department classes.

アントシアニジン合成系遺伝子 DFR の系統解析

大岡久子 *　浦部健気 *　古川一実 **　高原美規 ***

（2019 年 1 月 7 日受理）

１．はじめに

植物は多種多様な色を持つが，これらの色の発色団となる色素は，クロロフィル類，カロテノイド類，フラボノイド類に大別することができる．多くの植物の緑葉に含まれるクロロフィルやカロテノイドは，光合成色素として植物のみならず生態系全体において重要な役割を果たしている．一方で，花や果実，葉や茎に含まれるフラボノイド色素は，２つの芳香環が３つの炭素で結合した基本構造をもつフェノール性化合物であり，種類によってさまざまな色調を示す．フラボノイド色素としてもっとも広く存在しているのがアントシアニンである[1]．

果実や花に含まれるアントシアニンは，動物との相互作用において重要な役割を果たしている．植物は生産者であり，動物にとって摂食の対象となる一方で，植物も花粉の媒介や種子の散布に動物を利用している．アントシアニンの色素は，視覚的に動物を誘引する役割を担う色素である[1]．さらに，アントシアニンの種類は，園芸的価値において重要な花色を左右し，青いバラを代表としてその色調の改変が近年産業的にも重要となっている[2]．

アントシアニンのアグリコンはアントシアニジンと呼ばれ，３分子のマロン酸由来の A 環とフェニルアラニン由来の B 環から構成されている．B 環の水酸化やメチル化などの修飾パターン，糖や有機酸の付加，蓄積している液胞の pH などによって，アントシアニンの色調は影響を受ける[1)3)]．一般的に，ペラルゴニジン系アントシアニンは橙色～赤色，シアニジン系アントシアニンは赤色～深紅，デルフィニジン系アントシアニンは赤紫色～藤色～青色を呈する[3)4)]．このようにアントシアニンの色調には，その基本となるアントシアニジンの構造が大きく影響している．この３種類のアントシアニジンの合成経路を**図１**に示す．それぞれの反応を触媒する酵素を略号で示し（CHS；カルコン合成酵素．CHI；カルコンイソメラーゼ．F3H；フラバノン 3-ヒドロキシラーゼ．F3’H；フラボノイド 3’-ヒドロキシラーゼ．F3’5’H；フラボノイド 3’,5’-ヒドロキシラーゼ．DFR；ジヒドロフラボノール 4-レダクターゼ．ANS；アントシアニジン合成酵素．FGT;フラボノイドグルコシルトランスフェラーゼ.）[3)4)5)]，点線の四角で囲んだ．３種類のアントシアニジンは，クマロイル CoA と３分子のマロニル CoA からいくつかの段階を経て合成されるが，どの種類のアントシアニジンが合成されるかは，DFR がどのジヒドロフラボノールに対して高い基質特異性を示すかによる[6]．この DFR の基質特異性についてはいくつかの知見があるもののその分子生物学的メカニズムは明らかにされていない[5)7)]．しかし，最終的なアントシアニンの色調を決定する因子として，アントシアニジン合成系における DFR の役割は非常に大きいと考えられる．

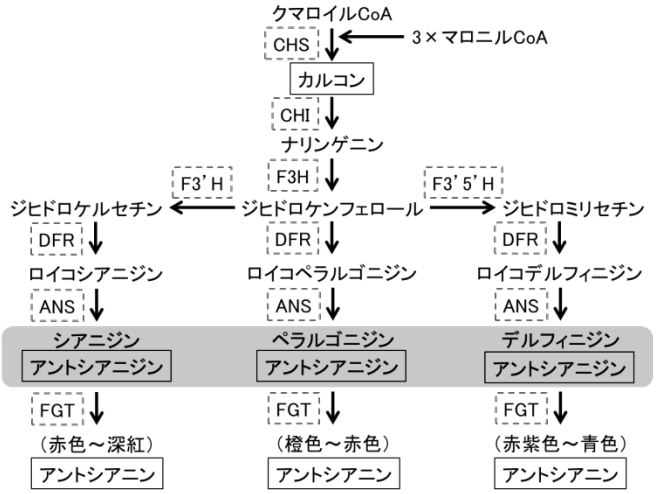


図１　アントシアニジン合成経路

*物質工学科　**沼津高専物質工学科　***長岡技科大生物機能工学専攻

そこで本研究では，植物の色素合成系の鍵となる酵素の１つであるDFRについて，多くの植物種から単離された既知遺伝子のアミノ酸配列をもとに系統解析を行った．

２．研究方法

２．１　DFRの配列情報の収集

DFRのアミノ酸配列情報はNCBI[8]より収集した．これまでに花色に関する研究が進められている品種を中心に62種類の植物から，170クローンのアミノ酸配列を収集し解析に用いた．収集したクローンは植物種名に従いクローン名をつけた．クローン数などの情報を**表１**に示した．収集したクローンのうち，エキソン-イントロン情報があるものには，クローン名の最後に“+”を表記した．また**表１**のLOCUSとSOURCEはNCBIに登録されている情報である．

２．２　アライメント解析と系統解析

アライメント解析と系統解析は，CLUSTAL X（ver.2.1）[9]を用いて行った．系統解析は，近隣結合（Neighbor Joining；NJ）法を用いて，ブートストラップ解析は1000回のサンプリングにより行った．また，平均距離（Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean；UPGMA）法でも解析を行った．系統樹の描画は，NJplot（ver.2.3）を用いた．

CLUSTAL Xによるアライメント解析後，GeneDoc（ver.2.7.000）のConservedモードを用いて，共通配列を示した．

３．結果と考察

収集したクローンのアミノ酸配列をアライメント解析した結果，収集した170クローンのうち，アミノ酸配列が同じものがあることが分かった．これらを整理して１つのアミノ酸配列とし，重複がない139のアミノ酸配列について再度アライメント解析を行った．この結果から得られたNJ法による系統樹を**図２**に示した．重複のあるクローンはスラッシュにより区切り並列して示した．**図２**の系統樹より，各クローンの結合距離が近く，多くの植物でDFRの相同性が高いことが明らかにされた．これらのDFRのクローンを，相同性の高さ，ブートストラップ値，UPGMA法による系統解析を考慮して，10のグループに分類し，Group I～Group Xと名付けた（**図２**）．

Group IとVに属するDFRは，*Fragaria*属のみからなるグループであることが分かった．また，Group IIは*Rosa*属のみからなり，Group IIIは*Prunus*属のみからなることが分かった．このようにいくつかのグループは同属のみからなり，それぞれの属の特徴を示していることが推測される．しかし，その他のグループは，いくつかの植物種からなるグループであり，属を超えてDRFの保存性が高いことが示された．

次に，グループごとにアライメント解析を行い，GeneDocをもとに保存性の高いアミノ酸配列を選抜し，各グループの共通配列とした．各グループの共通配列を用いてアライメント解析を行い，その結果をGenDocを用いて示した（**図３**）．**図３**では，それぞれのグループの共通配列において保存性の高いアミノ酸を，アライメント配列の下に示した．さらに，それぞれのグループごとにエキソン-イントロン情報があるクローンのアミノ酸配列におけるイントロンサイトを確認し，**図３**の配列内に線で示し，さらに保存性の高いイントロンサイトをアライメント配列の上部に矢印で示した．Group VIIにおいては，イントロンサイトが分かるクローンがなくイントロンサイトを示していないが，アライメント解析の結果から矢印で示した部分にイントロンサイトがあると考えられる．**図３**の２段目中央付近の点線の四角で囲まれた部分は，DFRの基質特異性に関与すると推測される範囲であり，三角で示したアライメント配列で157番目のアミノ酸は特に発色に関して重要なアミノ酸であるとされている[7]．

図３に示した共通配列のアライメント解析では，すべてのグループにおいて共通にみられるアミノ

表１　収集した DFR の情報

クローン名	LOCUS	SOURCE	クローン数
AcDFR001	KF157393	Actinidia chinensis	1
AaDFR001	KF285561	Angelonia angustifolia	2
AaDFR002	KJ817183	Angelonia angustifolia	
AtDFR001	AK221622	Arabidopsis thaliana (thale cress)	13
AtDFR002	NM_001203924	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR003	NM_001343878	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR004	NM_104854	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR005	NM_117050	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR006	NM_118859	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR007	NM_119708	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR008	NM_122360	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR009+	NM_123645	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR010	NM_130102	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR011	NM_130314	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR012	NM_180738	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
AtDFR013	NM_180739	Arabidopsis thaliana (thale cress)	
BvDFR001+	XM_010674949	Beta vulgaris subsp. Vulgaris	3
BvDFR002+	XM_010675370	Beta vulgaris subsp. Vulgaris	
BvDFR003+	XM_010685621	Beta vulgaris subsp. Vulgaris	
CjDFR001	AB524885	Camellia japonica	1
CsDFR001	AB018685	Camellia sinensis	4
CsDFR002	AB018686	Camellia sinensis	
CsDFR003	AY574920	Camellia sinensis	
CsDFR004	AY648027	Camellia sinensis	
CqDFR001+	XM_021873902	Chenopodium quinoa (quinoa)	5
CqDFR002+	XM_021873903	Chenopodium quinoa (quinoa)	
CqDFR003+	XM_021887285	Chenopodium quinoa (quinoa)	
CqDFR004+	XM_021887296	Chenopodium quinoa (quinoa)	
CqDFR005+	XM_021887297	Chenopodium quinoa (quinoa)	
CmDFR001	AY786995	Crataegus monogyna	1
CgDFR001	AB517921	Cyclamen graecum	2
CgDFR002	AB517922	Cyclamen graecum	
DcDFR001	LC377195	Dianthus caryophyllus (clove pink)	2
DcDFR002	Z67983	Dianthus caryophyllus (clove pink)	
DgDFR001	AF291097	Dianthus gratianopolitanus	1
DpDFR001	AF267172	Dianthus plumarius	1
DkDFR001	AB472371	Diospyros kaki (kaki persimmon)	3
DkDFR002	AB472373	Diospyros kaki (kaki persimmon)	
DkDFR003	AB472374	Diospyros kaki (kaki persimmon)	
EeDFR001	AB078958	Eustoma exaltatum subsp. Russellianum	1
FcyDFR001	EF522145	Fagopyrum cymosum	1
FeDFR001	LC216398	Fagopyrum esculentum subsp. Esculentum	2
FeDFR002	LC216399	Fagopyrum esculentum subsp. Esculentum	
FiDFR001	X97131	Forsythia x intermedia	2
FiDFR002	Y09127	Forsythia x intermedia	
FchDFR001	HM026184	Fragaria chiloensis	1
FvDFR001	KC894042	Fragaria vesca (wild strawberry)	16
FvDFR002	KC894043	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR003	KC894044	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR004	KC894045	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR005	KC894046	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR006	KC894049	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR007	KC894050	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR008	KC894051	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR009	KC894052	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR010	KC894053	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR011	KC894056	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR012	KC894057	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR013	KC894058	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR014	KC894059	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR015+	NM_001305268	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FvDFR016+	NM_001305270	Fragaria vesca (wild strawberry)	
FaDFR001	AB201759	Fragaria x ananassa (strawberry)	9
FaDFR002	AF029685	Fragaria x ananassa (strawberry)	
FaDFR003	AY695812	Fragaria x ananassa (strawberry)	
FaDFR004	AY780884	Fragaria x ananassa (strawberry)	
FaDFR005	JX134094	Fragaria x ananassa (strawberry)	
FaDFR006	KC894047	Fragaria x ananassa (strawberry)	
FaDFR007	KC894048	Fragaria x ananassa (strawberry)	
FaDFR008	KC894054	Fragaria x ananassa (strawberry)	
FaDFR009	KC894055	Fragaria x ananassa (strawberry)	
GyDFR001	AY256381	Gypsophila elegans	1
HlDFR001	AB290349	Humulus lupulus (European hop)	1
IhDFR001	AB304917	Iris x hollandica	2
IhDFR002	AB332098	Iris x hollandica	
MdDFR001	AY227728	Malus domestica (apple)	3
MdDFR002	AY227729	Malus domestica (apple)	
MdDFR003+	NM_001293939	Malus domestica (apple)	
MnDFR001+	XM_010093760	Morus notabilis	4
MnDFR002+	XM_010099329	Morus notabilis	
MnDFR003+	XM_010111750	Morus notabilis	
MnDFR004+	XM_024174542	Morus notabilis	
OeDFR001+	XM_023024096	Olea europaea var. sylvestris	3
OeDFR002+	XM_023024097	Olea europaea var. sylvestris	
OeDFR003+	XM_023039626	Olea europaea var. sylvestris	
PbaDFR001	KM388827	Penstemon barbatus	1
PnDFR001	KM388826	Penstemon neomexicanus	1
PfDFR001	AB002817	Perilla frutescens	1
PhydDFR001	AB070932	Persicaria hydropiper	1
PhybDFR001	EU189078	Petunia x hybrida	4
PhybDFR002	KC464483	Petunia x hybrida	
PhybDFR003	KC464484	Petunia x hybrida	
PhybDFR004	KC464485	Petunia x hybrida	
PamDFR001	AB128768	Phytolacca americana (American pokeweed)	1
ParDFR001	JQ622229	Prunus armeniaca (apricot)	1
PavDFR001	GU990528	Prunus avium (sweet cherry)	6
PavDFR002	JF740093	Prunus avium (sweet cherry)	
PavDFR003	KP347504	Prunus avium (sweet cherry)	
PavDFR004	KP347505	Prunus avium (sweet cherry)	
PavDFR005+	XM_021964510	Prunus avium (sweet cherry)	
PavDFR006+	XM_021975874	Prunus avium (sweet cherry)	
PceDFR001	KP772277	Prunus cerasifera (cherry plum)	1
PmDFR001+	XM_016792478	Prunus mume (Japanese apricot)	1
PpbDFR001	HM543571	Prunus persica (blood flesh peach)	1
PppDFR001	JQ622239	Prunus persica (peach)	7
PppDFR002	JQ717268	Prunus persica (peach)	
PppDFR003	KJ484545	Prunus persica (peach)	
PppDFR004	KJ484550	Prunus persica (peach)	
PppDFR005+	XM_007211452	Prunus persica (peach)	
PppDFR006+	XM_007222255	Prunus persica (peach)	
PppDFR007+	XM_020567318	Prunus persica (peach)	
PsDFR001	KP266869	Prunus salicina	2
PsDFR002	KT597918	Prunus salicina	
PcoDFR001	AY227730	Pyrus communis (pear)	6
PcoDFR002	AY227731	Pyrus communis (pear)	
PcoDFR003	AY227732	Pyrus communis (pear)	
PcoDFR004	JX403952	Pyrus communis (pear)	
PcoDFR005	JX403953	Pyrus communis (pear)	
PcoDFR006	KC460395	Pyrus communis (pear)	
PpyDFR001	JN870840	Pyrus pyrifolia	1
PbrDFR001	KF387514	Pyrus x bretschneideri (Chinese white pear)	3
PbrDFR002	KF387515	Pyrus x bretschneideri (Chinese white pear)	
PbrDFR003+	XM_009366816	Pyrus x bretschneideri (Chinese white pear)	
RcDFR001	KF734592	Rosa chinensis	6
RcDFR002+	XM_024311351	Rosa chinensis	
RcDFR003+	XM_024311994	Rosa chinensis	
RcDFR004+	XM_024311995	Rosa chinensis	
RcDFR005+	XM_024312234	Rosa chinensis	
RcDFR006+	XM_024312235	Rosa chinensis	
RpDFR001	AB289595	Rhododendron x pulchrum	1
RhDFR001	AB239785	Rosa hybrid cultivar	5
RhDFR002	AB239796	Rosa hybrid cultivar	
RhDFR003	AB490072	Rosa hybrid cultivar	
RhDFR004	AY780885	Rosa hybrid cultivar	
RhDFR005	ROZD4R	Rosa hybrid cultivar	
RmDFR001	KP137549	Rosa multiflora	1
RrDFR001	KM203111	Rosa rugosa	2
RrDFR002	KT809350	Rosa rugosa	
ShDFR001	LC269960	[Saintpaulia] hybrid cultivar	1
SvDFR001	FJ605512	Scutellaria viscidula	1
SiDFR001+	XM_011084901	Sesamum indicum (sesame)	3
SiDFR002+	XM_011085563	Sesamum indicum (sesame)	
SiDFR003+	XM_011085564	Sesamum indicum (sesame)	
SliDFR001	KT954905	Silene littorea	1
SlyDFR001+	NM_001247479	Solanum lycopersicum (Lycopersicon esculentum)	7
SlyDFR002+	XM_004251441	Solanum lycopersicum (Lycopersicon esculentum)	
SlyDFR003+	XM_004252721	Solanum lycopersicum (Lycopersicon esculentum)	
SlyDFR004+	XM_010315353	Solanum lycopersicum (Lycopersicon esculentum)	
SlyDFR005+	XM_010316315	Solanum lycopersicum (Lycopersicon esculentum)	
SlyDFR006+	XM_010317577	Solanum lycopersicum (Lycopersicon esculentum)	
SlyDFR007	Z18277	Solanum lycopersicum (Lycopersicon esculentum)	
SmDFR001	AB269920	Solanum melongena (eggplant)	2
SmDFR002	KT119429	Solanum melongena (eggplant)	
SpDFR001	AY954031	Solanum pinnatisectum (tansyleaf nightshade)	2
SpDFR002	AY954035	Solanum pinnatisectum (tansyleaf nightshade)	
StDFR001	AY289921	Solanum tuberosum (potato)	6
StDFR002	AY289922	Solanum tuberosum (potato)	
StDFR003	JF754579	Solanum tuberosum (potato)	
StDFR004	JQ581654	Solanum tuberosum (potato)	
StDFR005	NM_001288059	Solanum tuberosum (potato)	
StDFR006	NM_001288480	Solanum tuberosum (potato)	
SsDFR001	EF522155	Solenostemon scutellarioides	1
SoDFR001	AB109016	Spinacia oleracea (spinach)	3
SoDFR002+	XM_021981251	Spinacia oleracea (spinach)	
SoDFR003+	XM_021999632	Spinacia oleracea (spinach)	
ThDFR001	AB012924	Torenia hybrid cultivar	1
VaDFR001	AB610763	Vaccinium ashei	1
VcDFR001	KF960989	Vaccinium corymbosum	1
VmaDFR001	AY780883	Vaccinium macrocarpon	1
VmyDFR001	AY123767	Vaccinium myrtillus	1
合計			170

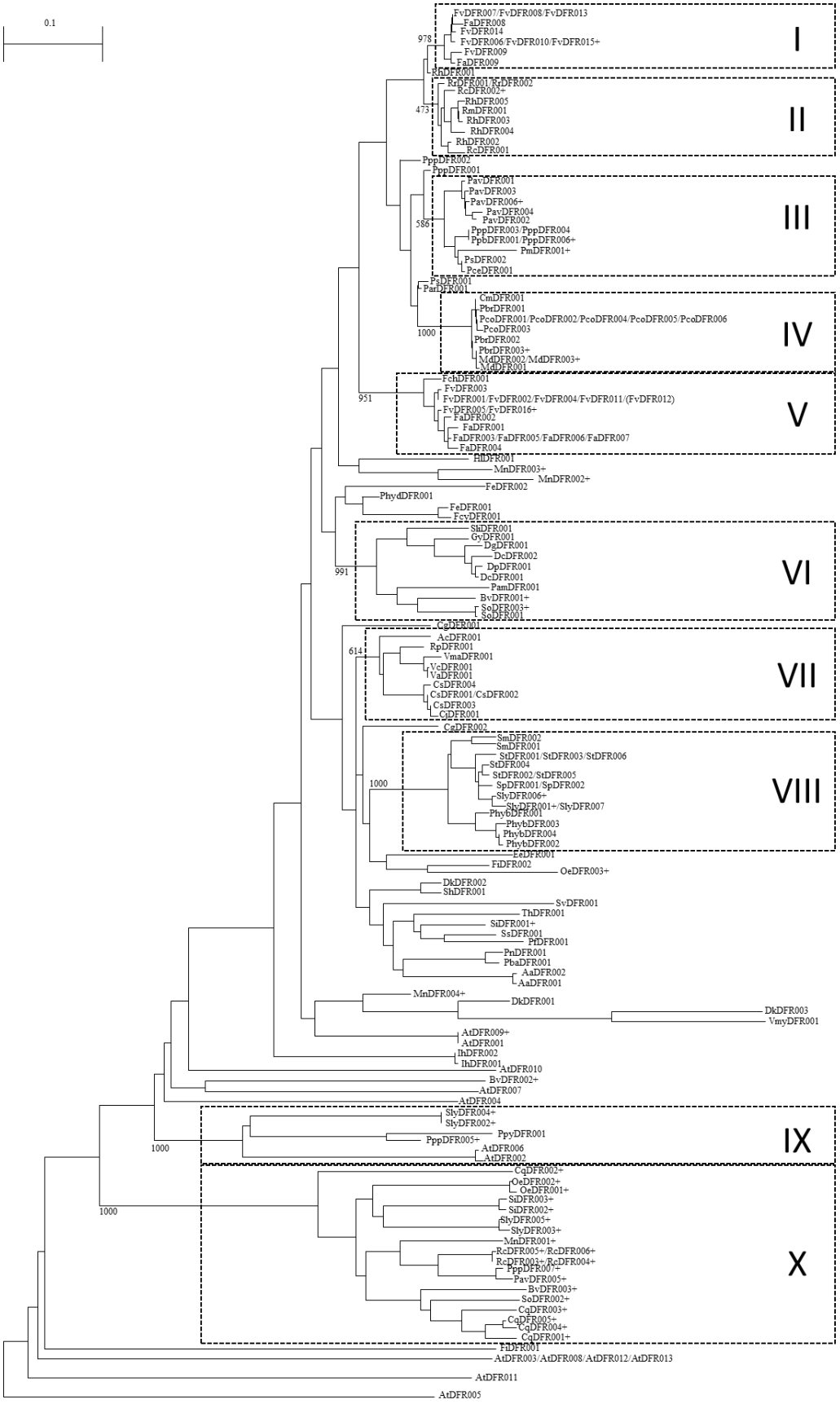


図２　収集した DFR のアミノ酸配列に基づく系統樹

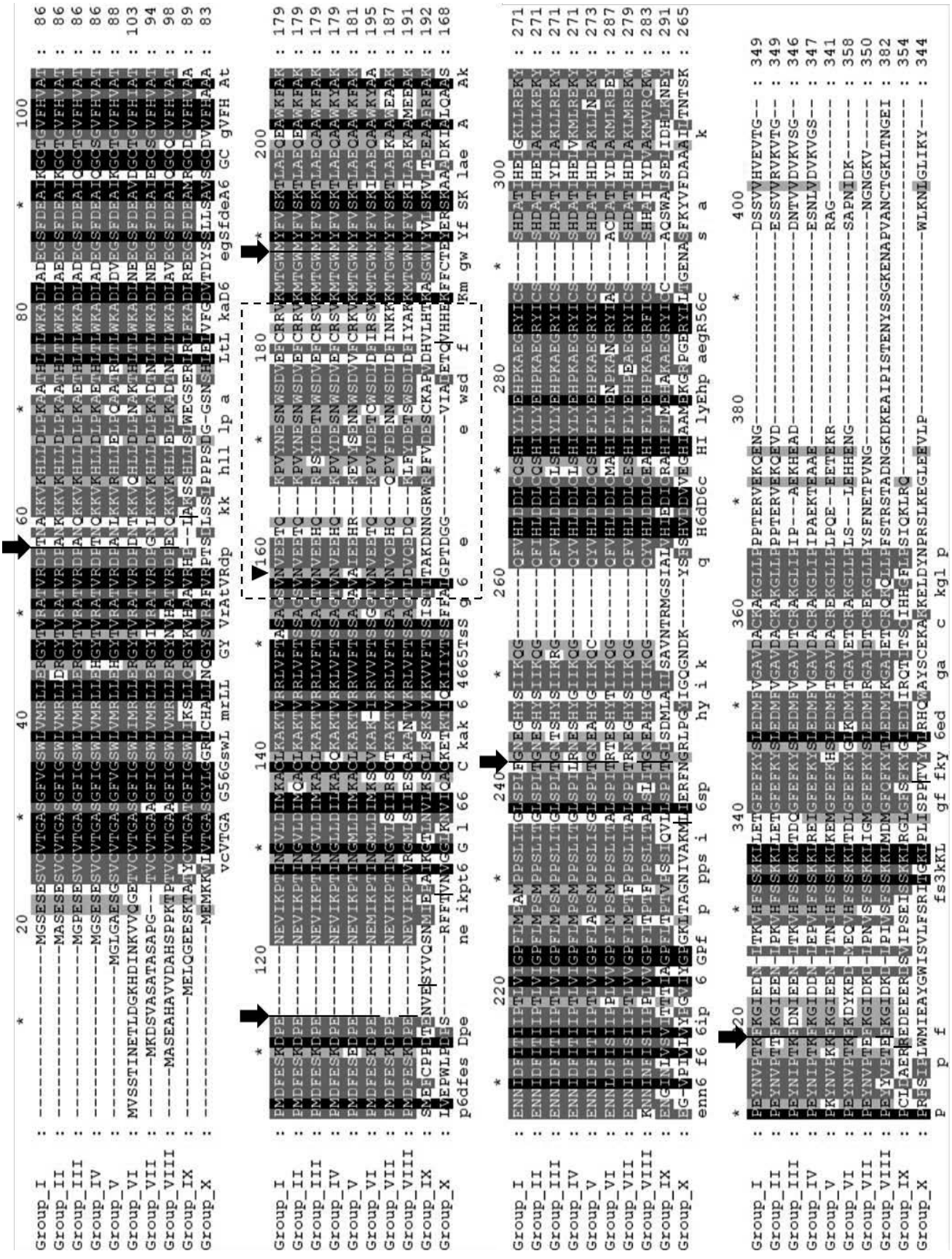


図３　グループごとの DFR 共通配列を用いたアライメント解析結果

酸がいくつか確認された．Group IX と X の共通配列の相同性は他のグループと比較すると低いが，**図２**の系統樹においてもこの２つのグループは離れており，この差がアミノ酸配列レベルで示されたものであると考えられる．さらにイントロンサイトにおいても，Group I～VIII においては高い保存性が示されたが，Group IX と X においては数アミノ酸ほどのズレが生じていた．DFR の基質特異性の決定に関与するとされている領域は，第３エキソンの C 末端側に存在することが分かった．Eric ら（2001）の研究においては，この領域は６種類の植物の DFR のアライメント解析を行うことで相同性の高さが示されていたが，本研究で行ったさらに多くの植物種を用いた網羅的な解析においては，この領域の保存性はそれほど高くないことが明らかにされた．言い換えると，この領域の多様性が DFR の基質特異性に影響を与えていると考えられる．

さらに Eric らの研究において，**図３**の三角で示したアライメント配列における 157 番目のアミノ酸を疎水性アミノ酸で置き換えることによって，発色が変わることが明らかにされている（文献[7]のクローンでは 134 番目のアミノ酸）．本研究における Group V と X においては，他の多くのグループではアスパラギン（N）となっている 157 番目のアミノ酸残基が，疎水性のアラニン（A）とグリシン（G）であり，このグループ V と X に属する DFR が基質とするジヒドロフラボノールが何であるか，またその後どのような色調を示すのか興味深い．

４．まとめ

本研究において，多くの植物種における DFR のアミノ酸配列の相同性が高いことが示され，多くの植物間で保存性が高いことが明らかにされた．アントシアニンの生合成経路は多くの植物でほぼ共通していることが知られていることからも，今後，今回明らかにされた DFR の保存性の高い部分をもとに，これまでに DFR のクローニングになされていない多くの植物においても DFR 遺伝子のクローニングが可能になると考えられる．さらに多くの植物種で DFR の解析が進むことによって，DFR の基質特異性とアントシアニジン合成，発色や色調の関係が明らかにされると期待できる．

謝辞

本研究は，平成 30 年度高専−長岡技術科学大学共同研究助成を受けたものである．

参考文献

1) L. テイツ, E. ザイガー：植物生理学第 3 版，培風館，pp.290-298, 2010.
2) Yukihisa Katsumoto, Masako Fukuchi-Mizutani, Yuko Fukui, Filippa Brugliera, Timothy A. Holton, Mirko Karan, Noriko Nakamura, Keiko Yonekura-Sakakibara, Junichi Togami, Alix Pigeaire, Guo-Qing Tao, Narender S. Nehra, Chin-Yi Lu, Barry K. Dyson, Shinzo Tsuda, Toshihiko Ashikari, Takaaki Kusumi, John G. Mason and Yoshikazu Tanaka：Engineering of the rose flavonoid biosynthetic pathway successfully generated blue-hued flowers accumulating delphinidin, Plant Cell Physiol., 48(11), pp.1589–1600, 2007.
3) 芦田坦，作田正明：植物分子細胞生物学，オーム社，pp.147-152，2004.
4) Bob B. Buchanan, Wilhelm Gruissem, Russell L. Jones：植物の生化学・分子生物学，学会出版センター，pp.1180-1185, 2005.
5) 中山亨，兪東燦，高橋征司：メタボロン...植物二次代謝工学におけるインパクト，生物工学，第 90 巻，第 9 号，pp.576-581，2012.
6) 大庭理一郎，五十嵐喜治，津久井亜紀夫：アントシアニン－食品の色と健康－，建帛社，pp.27-28，2000.
7) Eric T. Johson, Sunhyo Ryu, Hankuil Yi, Byongc Shin, Hyeonsook Cheong and Giltsu Choi：Alteration of a single amino acid changes the substrate specificity of

dihydroflavonol 4-reductase , The Plant Journal, 25(3), pp.325-333, 2001.
8) NCBI （National Center for Biotechnology Information）, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/
9) M.A. Larkin, G. Blackshields, N.P. Brown, R. Chenna, P.A. McGettigan, H. McWilliam, F. Valentin, I.M. Wallace, A. Wilm, R. Lopez, J.D. Thompson, T.J. Gibson, D.G. Higgins : Clustal W and Clustal X version 2.0, Bioinformatics, 23(21), pp.2947-48, 2007.

Phylogenetic Analysis of DFR Genes Involved in Anthocyanidin Synthesis Pathway

Hisako OOKA, Tatsuki URABE, Kazumi FURUKAWA and Yoshinori TAKAHARA

Plants have various color pigments. Many plants have fruits and flowers of vivid colors such as orange, red, purple and blue. Anthocyanins with anthocyanidins as aglycone are one group of plant pigments. Each type of anthocyanidins is determined by the substrate specificity of dihydroflavonol 4-reductase (DFR) in its biosynthetic pathway and has a major influence on the determination of plant color. We performed a phylogenetic analysis of DFR genes, which are key enzymes of this anthocyanidin biosynthesis pathway. We collected 170 DFR clones in various plants by browsing database (NCBI). The collected DFRs were classified into ten groups according to sequence similarity. The consensus sequences within each group were aligned, and amino acids involved in the responsible region for determination of the substrate specificity of DFR have been shown. In addition, DFR's intron sites were highly conserved. These results would be useful to unveil the relationship between DFR and plant pigments.

野球用スコアボードの試作

布施川　秀紀*

(2019年1月7日受理)

1. まえがき

野球部の顧問をやっていて他校に練習試合に行ったときに，野球場にLED電光式スコアボードが設置してある高校があり，非常に羨ましく思った。ほとんどの高校や本校でも，手動式で数字のパネルを掲示するものである。そこで，LEDを使用したのスコアボードの自作を検討したが，尋常ではない数のLEDを必要とすることから，部品代や作成の手間を考えると現実的ではない。そこで今回は，iPhone/iPadアプリとしてスコアボードアプリを作成し，その画面を液晶ディスプレイに出力して見せる形の野球用スコアボードを作成したので，ここで報告する。

2. 野球用スコアボード(1)

野球の試合（高校野球を想定）をする上で，スコアボード上に最低限必要なものを以下に挙げる

- メーム名
- 1回〜9回裏の得点表示
- 先行，後攻それぞれの合計点表示
- B/S/O（ボール，ストライク，アウト）のカウント表示

さらに，あった方が良いと思われるものは，

- H/E/Fcランプ（ヒット，エラー，フィルダーズチョイス）

である。また，群馬県の高校野球の大会では，夏の選手権大会のみではあるが，選手の名前，打順，守備位置，審判の名前，その日の試合結果などが表示される。

3. システム概要

このシステムは，iPhone/iPadアプリとして動作するスコアボードである。iPhone/iPadの画面に一般的な野球のスコアボードを表示し，Lightning–HDMIケーブルなどで大型液晶ディスプレイに接続して，表示画面を出力する。

スコアボードの操作は，iPhone/iPadの画面上でのジェスチャーで行うこととする。

4. 画面上のジェスチャー

iPhone/iPadの画面上でのジェスチャーは，主に以下のようのものがある。

Tap: タップとは，短い時間で画面を軽く叩く動作のことを言う。

Swipe ： スワイプとは，画面に触れた指を上下左右いずれかの方向に素早く動かす動作のことをいう。

LongPress ： ロングプレスとは，画面を長押しする動作のことを言う。

Pan（drug)：パンとは，画面に触れた指をゆっくりと動かす動作のことを言う。

Pinch：ピンチとは，2つの指で外側に広げる，または，内側に狭める動作のことを言う。ちなみに，外側に広げる動作をピンチアウト，内側に狭める動作をピンチインという。

Rotation：ローテーションとは，タッチしている2つの指の座標を結ぶ直線が回転するようにする動作のことを言う。

iPhone/iPadアプリでは，これらのジェスチャーを検出すると，それに結びつけられたメソッド（アプリ内の動作）を呼び出すことができるので，パソコン上

＊電子メディア工学科

でのクリックや操作盤のボタン操作よりも，直感的な操作が可能になる。

5. スコアボードアプリ

ここで報告する野球用のスコアボードアプリでは，前述した最低限必要な以下の要素を表示することとする。

- メーム名
- 1回〜9回表・裏の得点表示
- 先行，後攻それぞれの合計点表示
- B/S/O（ボール，ストライク，アウト）のカウント表示

また，これらにに加えて，H/E/Fc（ヒット，エラー，フィルダーズチョイス）を表示することとする。その表示例を図1に示す。

操作については，画面上でのジェスチャーを使うことによって，より直感的なものとしている。例えば，ボタンの on/off のようなものは「Tap」，増やしたり減らしたりするには「Swipe」の上下などである。

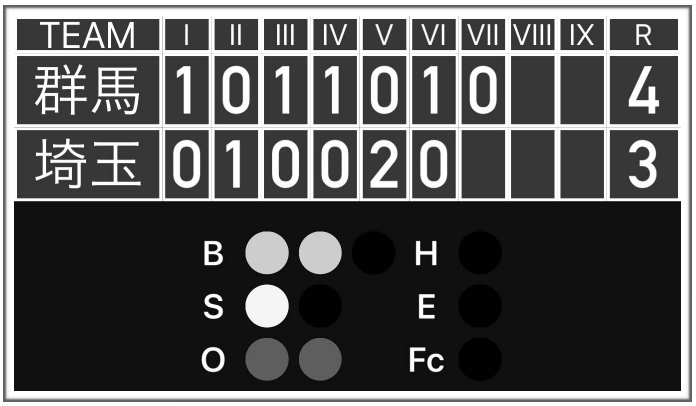


図1. スコアボードの表示例

5.1 チーム名の操作

チーム名の部分を「LongPress」するとチーム名を編集することができる。似たような操作の「Tap」でチーム名を変更させようとすると，画面に軽く触れただけで変更機能が起動してしまうのを防ぐために，このようにした。変更機能が起動すると，下部からキーボードがせり出し，文字を編集することができる。

チーム名は，攻守決定の前に対戦チームを観客に知らしめておく必要があるため，あらかじめ表示させておく。攻守決定時に表示と異なる場合には，チーム名の枠のところでチーム名を入れ替えるように「下Swipe」または「上Swipe」することで，入れ替えをすることができる。

5.2 各回の得点の操作

各回の得点については，得点が入った時にその得点を表示する。または，その回の表または裏が0点の場合には，その回の表または裏が終わった時点で「0」を表示する。そのため，対応する回の得点表示部分が空白の場合に「Tap」すると「0」が表示される。

空白または点数が表されている場合に，「上Swipe」で得点を1点ずつ増やし，「下Swipe」で1点ずつ減らすことができる。また，「LongPress」で空白に戻すことができる。これは，誤って点数表示をしてしまった場合の訂正機能である。

5.3 合計点の操作

各回に点数が表示されると，直後に自動的に合計点が計算され表示される。また，合計点のところを「LongPress」することで，各回の得点をすべて消去することができる。この機能は，試合終了後に次の試合に使用するために使う。

5.4 B/S/Oカウントの操作

B/S/Oそれぞれのランプのところを「Tap」すると，ランプをON/OFFすることができる。B,S,Oのいずれかの文字を「Tap」することで，それぞれのカウントをすべてクリアすることができる。

5.5 H/E/Fcランプの操作

H/E/Fcそれぞれのランプのところを「Tap」すると5秒間点灯してその後消灯する。これらのランプについては，ずうっと点灯している必要はなく，消し忘れ防止のためにも自動消灯とした。実際の球場設置のスコアボードでも，そのような仕様になっているようである。

6. 試合での使用

6.1 表示について

実際の練習試合でスコアボードを使用した。その時の様子を図2に示す。今回使用の液晶ディスプレイは，安価な40インチのものを使用したため輝度が低くく，日向での使用では視認性が非常に低かった。そこで，バックネット裏の観客に向けて使用した。そのため，選手から見ることができなかったのが残念であるが，観客には好評であった。

また，iPhone/iPad画面のスクリーンショットを野球部保護者向けに配信することで，単なる試合結果だけでなく，各回の点数まで見ることができ，非常に好評であった。

図2. 試合での使用の様子

6.2 操作性について

試合前に本校と相手校のマネージャーに操作方法について簡単に説明し，試合中にスコアボードアプリを実際に使ってもらった。操作方法が比較的直感的であることと，スマホ等の操作に慣れた若者に使ってもらったため，ほんのわずかな操作説明でその後は滞りなく操作することができた。

7. あとがき

iPhone/iPadアプリとして野球用のスコアボードを作成し，その画面を大型液晶ディスプレイに映し出すことで，観客が見ることができるスコアボードとなった。今回は安価な液晶ディスプレイを使用したため，視認性があまり良くなかったが，さらに画面サイズが大きく輝度の高いものを使うことで視認性が上がると考えられる。

操作性については，直感的な操作方法でだれでも簡単に使えるものになった。

現段階では，得点データの保存機能がないが，データベース，Webサーバと連携することで，インターネットを通して多くの人に情報提供することができる。これにより，野球部保護者等に試合結果をより詳しく知らせることができるようになるので，これらの機能の実装を検討している。

参考文献

1) 吉田，大岡：「野球場のスコアボードについて」，電気設備学会誌，Vol.30，No.7，pp26-29，2010.

Making of the Baseball Scoreboard

Hideki FUSEGAWA

I made the Baseball Scoreboard Application software for iPhone/iPad. To connect a liquid crystal display, the picture on the iPhone/iPad is output on the display, some audiences can watch it. Everyone could use this application software easily now to adopt an intuitive operating method (a gesture on the iPhone/iPad screen e.g. swipe or tap). When this scoreboard was used in the baseball games, it was get good evaluation from some audiences.

群馬高専ものづくり人材育成講座における機械加工シミュレーションの活用

矢口 久雄*，岡本 邦夫**，浅見 博**，須永 修司**，金子 忠夫*

（2019 年 1 月 7 日受理）

１．はじめに

数値制御による機械加工（以下、NC 加工）は、作業者ごとの加工精度や作業時間のばらつきを解消し、特に同じ製品を大量生産する現場において大きなメリットがある。また、試作品などに代表されるいわゆる一品物の製作においても、高い精度要求や多様な設計変更に柔軟に応えられる NC 加工の役割は大きい。さらに近年、複雑で高精度な製品が従来よりも短納期で要求されることを背景に、加工対象物（以下、ワーク）を工作機械から取り外さずに連続で複雑な加工ができる多軸加工が企業にも広がっている。多軸加工とは、X, Y, Z 方向の自由度で工具が移動する 3 軸加工をベースとして、そこにワークを把持するチャックなどの自由度を加えた NC 加工である。一方で、機械加工に携わる技術者にとっては、従来の旋盤やフライス盤などの汎用機の基礎的な加工技術に加えて、NC 加工ならではのノウハウや加工プログラムを扱うスキルの獲得が重要な課題となっている。

群馬高専（以下、本校）の実習工場には、4 軸加工が可能な複合加工機（図 1；ヤマザキマザック製 INTEGREX j-200)と 5 軸加工が可能なマシニングセンタ（図 2；同 VARIAXIS 500-5XⅡ）が導入されており、それぞれ教育や研究に広く活用されている[1)]。これらの実機に加えて、国立高専機構が進める“KOSEN（高専）4.0”イニシアティブの本校採択事業「バーチャル工房を活かした高専教育高度化による情報活用エンジニアの育成」[2)]の一環で多軸加工教育の本格的な展開を目的として、機械加工シミュレーションソフト「VERICUT」が平成 30 年度から新規導入されている。多軸加工では工具やワークが複雑に動くため、これらの衝突によって高価な実機が損傷する危険が常にともなっており、学生の人数に対する実機の台数も不足している。このような中、コンピュータ上で実機を正確にシミュレーションできる VERICUT の導入によって、衝突の心配をすることなく、学生一人ひとりがコンピュータ上で NC 加工機械の動きをシミュレーションできる環境が整備され、本校の多軸加工教育に大きな変革がもたらされた[3-5)]。

図 1　複合加工機（INTEGREX j-200）

図 2　マシニングセンタ（VARIAXIS 500-5XⅡ）

図 3 に、本校における多軸加工の一例として、マシニングセンタを用いた同時 5 軸加工によってアルミニウムの丸棒材から削り出した風車の試作品を示す。これは機械工学科の流体研究室の卒業研究にともなう依頼加工として、本稿の著者でもある岡本によって製作されたものであり、2018 年 11 月に東京ビッグサイトにて開催された「JIMTOF 2018（第 29 回日本国際工作機械見本市）」における DMG 森精機株式会社の「第 13 回切削加工ドリームコンテスト」にも出品された[6)]。ここで、VERICUT によるシミュレーションは本来の目的である衝突防止に加えて、工具の動きを適切に制御することによる仕上がり精度の向上や加工時間の短縮にも役立てられており、このような VERICUT の活用は企業における加工においても有用と考えられる。

そこで、金子を代表とした本稿の著者らが中心となり、

*機械工学科　**教育研究支援センター

平成 30 年度の群馬高専ものづくり人材育成講座における新テーマとして「多軸加工シミュレーションと複合加工機による加工練習」を企画し、企業の若手技術者向けの NC 加工プログラミング及び実加工に関する基礎講座を実施した。また、本校の「バーチャル工房」においてグループウェアとして平成 30 年度から導入された「サイボウズ Office」についても、加工条件などの情報共有に活用可能なツールとしてプロジェクト機能などを紹介することにした。このような新しい試みの大きな狙いとして、VERICUT や複合加工機を始めとする本校の教育研究設備の活用を軸とした地域ニーズの掘り起こしに加えて、本校と企業との新しい関係構築を目指すことによって将来的な共同研究や企業相談の件数増加に寄与できればという著者らの思いもある。本稿では、本講座の実施状況について報告するとともに、アンケート等から見えてきた今後の課題について述べる。

２．人材育成講座の様子

今回の人材育成講座は平成 30 年 11 月 21 日、11 月 28 日、12 月 5 日の 3 日間に設定し、時間はそれぞれ 17:30～20:00 とした。初めて試みであったが、参加者は 4 名おり、それぞれ群嶺テクノ会員企業である Y 社からの 3 名と T 社からの 1 名であった。

２．１　第１回目（１１月２１日）

第 1 回目の 11 月 21 日は代表の金子が中心となり、群馬高専における NC 加工の現状や本講座の流れなどを最初に説明した。さらには、本講座に何を期待するのか、それを参加者たちから直接聞くという、やや思い切った展開もあった。これには参加者側も少し驚いていた様子であったが、この中で Y 社の参加者も T 社の参加者も、当初われわれが想定していた以上に実加工を見たいという要望を強く持っていること、T 社は VERICUT を導入しているものの、十分に活用できておらず、本講座を通じて活用に向けたヒントを得たいという要望を持って参加していることが新たに見えてきた（これらの要望に合わせる形で、急遽、岡本らが中心となって第 2 回目以降の実習内容を大幅に見直すという対応がとられた）。その後、CAM ソフトである Mastercam を用いた簡単な NC プログラム作成と VERICUT によるシミュレーションを行い、本講座で用いるソフトウェアの大まかな雰囲気を参加者が体験して第 1 回目は終了した。

２．２　第２回目（１１月２８日）

第 2 回目である 11 月 28 日では、参加者 4 名を 2 名ずつの 2 グループに分けて実習を進めた。浅見が担当した Y 社の若手技術者 2 名は群馬高専の OB であり、1 名は

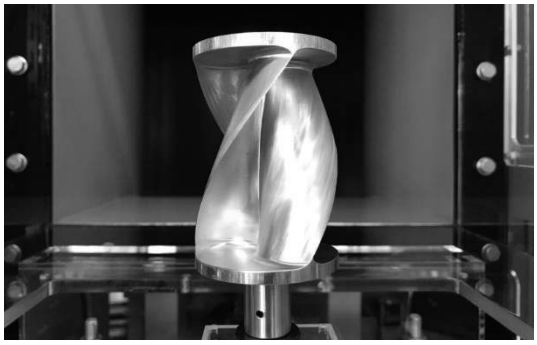


図 3　同時 5 軸加工による風車の試作品

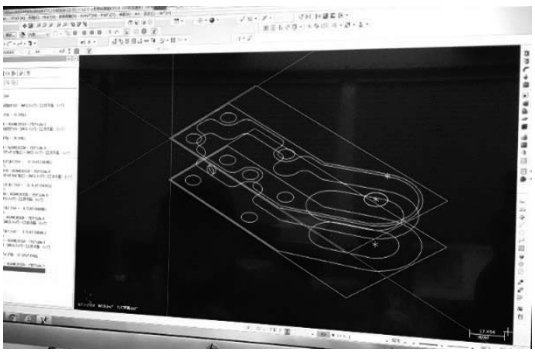


図 4　3 軸加工サンプルを用いた NC プログラム作成

機械工学科出身であったが、学生当時の NC 加工教育は黎明期にあり、現在とは実習内容も異なっていたとのことであった。そこで、彼らには現在の機械工学科 5 年生の特論Ⅱでも扱っている 3 軸加工のサンプルを題材として、Mastercam を用いた NC プログラムの作成に取り組んでもらった（図 4）。実際は、Y 社でも別の CAM ソフトウェアを用いた 3 軸加工に仕事で取り組んでいるとのことであったが、Mastercam を体験するのは初めてとのことで、ソフトウェアによってプログラム作成の様子も大きく変わることがわかり、良い勉強になったとの感想があった。ここでの実習の様子から、現在の群馬高専で行われている NC 加工に関する教育プログラムが企業の若手技術者のスタートアップとしても利用できる可能性も見えてきた。

一方、Y 社の 1 名と T 社の 1 名は中堅技術者ということで、須永と岡本の 2 名で担当する形で第 2 回目の実習に臨んだ。前半は須永が旋盤加工における NC プログラムの作成とシミュレーションについて指導した（図 5）。T 社の参加者からは、旋盤に対する漠然としたイメージは持っていたものの、シミュレーションを通じて工具の動きと切削の様子の対応が以前よりも良く理解できたとの感想があった。また、Y 社の参加者からは加工条件などについての踏み込んだ質問もあり、旋盤工としての豊富な経験を持つ須永らでなければ対応できない場面も見られた。後半は、岡本が小型エンジンのカムシャフトを

図 5　旋盤加工の NC プログラム作成

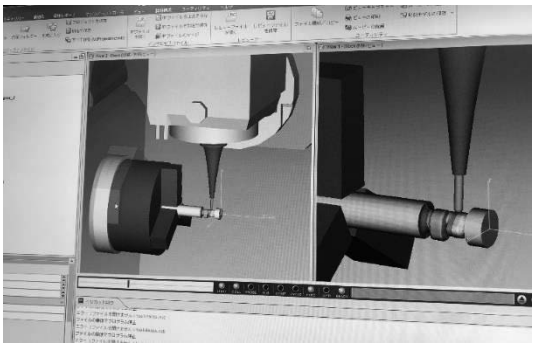


図 6　VERICUT による 4 軸加工のシミュレーション

題材とした 4 軸加工に取り組んだ。実習では、あらかじめ用意しておいた CAD データに対して Mastercam による NC プログラムを一から作成した。ここでは、荒取り、中仕上げ、仕上げ、といった段階的な加工プロセスの動作確認や、工具の制御点の設定に関するノウハウの指導が行われたが、図 6 に示す VERICUT によるシミュレーションが非常に役立った。実際、VERICUT を所有していない Y 社の参加者からもわかりやすいとの声があった。また、工具が切削から“逃げた”状態で空間を移動するエアカットと呼ばれる動作を最適化し、加工時間を短縮する VERICUT のオプション機能も参考になったと好評であった。

２．３　第３回目（１２月５日）

最終日である第 3 回目の 12 月 5 日には参加者全員で実習工場に赴き、第 2 回目に NC プログラムを作成しておいたカムシャフトの実加工を見学した（図 7）。ここでの実加工は複合加工機（INTEGREX j-200）による 4 軸加工であり、岡本が中心となって機械の動きや実際の加工についての解説を行った。第 1 回目から実加工を見たいという強い要望があったとおり、どの参加者も非常に強い関心をもって見学に臨んでいた。特に、Y 社の参加者は、持参したデジタルカメラを用いて加工面の仕上がりを撮影し、質問も積極的に行っていた。また、実加工では切削油などで工具の動きが見えにくいところもあるため、複合加工機の横に置かれたパソコンを用いて、VERICUT によるシミュレーションも同時に進めながら解説を行った。

実加工の見学後、矢口が次世代の機械加工に取り組んでいる HILLTOP 株式会社 [7]などの事例を紹介し、加工条件などの情報共有がもたらす新しい可能性について解説した。ここで、本校に平成 30 年度から導入された「サイボウズ Office」のプロジェクト機能や Google スプレッドシートを活用した加工条件の共有、Dropbox のファイルリクエスト機能 [8]などを紹介した。さらに、これらのソフトウェアには導入コストやセキュリティの問題もあることから、プライベートネットワーク内におけるホームページサーバーによる掲示板や会議室予約システムなどの運用についても事例を示した。実際、T 社では外注で情報共有システムを導入予定であること、Y 社でも加工事例の収集が課題となっているという話があり、これらの企業においても情報共有への関心が一定程度あることが窺えた。

３．アンケート結果の分析

最終日に行ったアンケート結果に基づいて、本講座に対する評価と今後の課題について考える。まず、参加者の担当分野は 3 名が「製造」で、1 名のみが「製造」「技術」の両方であった。また、専門分野は 4 名とも「機械」であった。これらのことから、参加者全員が基本的に製造現場で加工などに携わる機械系技術者という枠組みに当てはまることがわかる。これは、本講座で企画当初から参加者として想定していた対象と完全に合致する。また、講義を受けての評価に関する各項目のアンケート結果は以下のようになった。

- *講義の内容：*
  良い（3 名）、やや良い（1 名）
- *講義のレベル：*
  適切（4 名）
- *テキストの編集：*
  良い（1 名）、やや良い（2 名）、やや悪い（1 名）
- *講師の教え方：*
  良い（3 名）、やや良い（1 名）
- *講義時間：*
  適切（4 名）

ここで、講義全体に対する参加者の評価は概して高いが、テキストについては一定の課題があることがわかる。また、このようなアンケートにおいては不満を書きにくい

状況も踏まえると、その他の項目に関する部分についても、当然ながら、改善の余地は大きいと思われる。

以下は、アンケートの自由記述欄から抜粋した参加者の感想や要望である。

- *機械での動いている様子を見せてもらえて、どうしてもパソコンだけでは理解しづらい点も確認することができた。*
- *実加工では、まだ社内で挑戦したことのない 4 軸加工を拝見することができ、勉強になりました。*
- *同時 4 軸、5 軸加工、プログラム作成のイメージが掴めて良かった。理論的な方向からもアプローチしてもらいたい。CAM と実加工の時間を増やしてもらいたい。*
- *複合旋盤の CAM と実機での動きを見て、今まで理解できないことを知る事が出来ました。*

これらの記述からも参加者の実加工に対する関心の高さがあらためてわかる。第 1 回目に実加工の要望を確認しておいたことで、ある程度、要望に沿った実習を提供できたことは大きい。また、CAM（ここでは VERICUT によるシミュレーションも含めて指していると思われる）と実加工を対応させながら説明を進めた点についても、一定の評価が得られていると考えられる。一方で、理論的アプローチの要望なども挙げられており、これらは今後の課題として考えていく必要があると思われる。

4．おわりに

国立高専機構が進める“KOSEN（高専）4.0”イニシアティブの本校採択事業「バーチャル工房を活かした高専教育高度化による情報活用エンジニアの育成」にて導入された機械加工シミュレーションソフト「VERICUT」は本校の多軸加工教育の新たな展開をもたらした。これを背景に VERICUT や複合加工機などの教育研究設備の活用を軸とした試みとして、平成 30 年度の群馬高専ものづくり人材育成講座における新テーマ「多軸加工シミュレーションと複合加工機による加工練習」を企画し、平成 30 年 11 月 21 日、11 月 28 日、12 月 5 日の 3 日間で実施した。現場の技術者 4 名の参加があり、限られた時間の中、多軸加工におけるシミュレーションの重要性を伝えることができた意義は大きいと考えられる。また、参加者の要望が強かった実加工についても可能な範囲で対応でき、アンケートからは概ね高い評価が得られた。しかし、現状ではスタッフの個人的な技能や個性に依存する部分が少なからずあり、現場の技術者でもある参加者たちからの満足を得るための準備や運営の維持に対し、

図 7　複合加工機による実加工（4 軸加工）

大きな負担がともなうことも事実である。次年度以降の高度化が求められる一方で、費用対効果についても十分に検討した上で、今後の取り組みのあり方を決定していく必要がある。また、“KOSEN（高専）4.0”イニシアティブにおける本校の「バーチャル工房」の戦略も踏まえ、関係者らとの合意形成を図っていくことも重要である。

参考文献

1) 岡本邦夫，金子忠夫，矢口久雄，“複合加工機による歯車のミーリング加工手順”，群馬高専レビュー，第36号，(2018).
2) 独立行政法人国立高専機構“KOSEN（高専）4.0”イニシアティブ 平成 29 年度採択事業一覧
http://www.kosen-k.go.jp/main_super_kosen_4.0list.html
（2019 年 1 月 3 日閲覧）
3) 岡本邦夫，浅見博，矢口久雄，金子忠夫，“多軸加工機における機械シミュレーション教育への試み”，高専フォーラム，(2018).
4) 岡本邦夫，浅見博，須永修司，矢口久雄，金子忠夫，“多軸加工機における機械シミュレーション教育への試み”，群馬大学理工学系技術部発表会，(2018).
5) 岡本邦夫，矢口久雄，浅見博，須永修司，金子忠夫，“機械加工シミュレーションを用いた多軸加工教育の展開”，群馬高専レビュー，第37号，(2019).
6) DMG 森精機株式会社 第 13 回切削加工ドリームコンテスト
https://www.dmgmori.co.jp/corporate/dreamcontest/
（2019 年 1 月 3 日閲覧）
7) HILLTOP 株式会社ホームページ
http://hilltop21.co.jp/
（2019 年 1 月 3 日閲覧）
8) Dropbox ヘルプセンター「ファイルリクエストを使用して他のユーザーからファイルを収集する」
https://www.dropbox.com/ja/help/files-folders/create-file-request
（2019 年 1 月 3 日閲覧）

Human Resources Development of NC Machining by Using of Computer Simulation

Hisao YAGUCHI, Kunio OKAMOTO, Hiroshi ASAMI,

Shuji SUNAGA, and Tadao KANEKO

We conducted human resources development course of NC (numerical control) machining utilizing VERICUT, used for simulating multispindle machining, in National Institute of Technology, Gunma College. Participants learned NC programs to create tool paths by using of CAM software Mastercam and simulated motion of tool path and material removal process by VERICUT. In addition, demonstration of 4-axis machining was also executed with multi-tasking machine (Mazak INTEGREX j-200).

機械加工シミュレーションを用いた多軸加工教育の展開

岡本 邦夫*，矢口 久雄**，浅見 博*，須永 修司*，金子 忠夫**

（2019 年 1 月 7 日受理）

1．はじめに

現在のモノづくり現場では、人手不足や長時間労働などの問題を背景に、同一製品を短時間で安定的に加工できる自動加工機能を有する NC 工作機械を用いた機械加工が大きな役割を担っている。これに加えて、今日の NC 工作機械の技術進歩にともなって複雑形状の加工需要も増えており、作業効率向上の観点から、より多くの制御軸を有する多軸加工機を導入し、一度の材料把持で複数加工を可能とするなどの時間短縮が現場レベルでも進んでおり、現場の技術者には多軸加工を含めた高度な NC 加工に対応したスキルが求められている。

上記の現状を踏まえて、群馬高専の実習工場には、多軸加工が可能な設備として、旋盤とフライス盤の機能を有し、図 1 に示す X, Y, Z, C 軸の 4 軸方向に同時に軸移動が可能な複合加工機（ヤマザキマザック INTEGREX j-200）と、図 2 に示す X, Y, Z, A, C 軸の 5 軸方向に同時に軸移動が可能なマシニングセンタ（ヤマザキマザック VARIAXIS500-5XⅡ）が導入されている [1)]。しかし、当然ながら、設備導入で即座に多軸加工の実習が可能となるほど単純な話ではない。実際、群馬高専の NC 工作に関する学習は、機械工学科 2～3 年生の実習で、X, Y, Z 軸方向に移動して機械加工する 3 軸加工までは実施しているが、多軸加工を実施するには至っていない。

コンピュータ制御の NC 工作であっても、まずは作業者が自らハンドルを操作して軸移動を行う汎用機を用いて、機械動作の基礎を学び、機械加工における工作の“発想”を身につけなければならない。手作業でモノを削る感覚を修得することで、加工条件を適切に設定することが可能となる。また、多軸加工で複雑な形状を扱う際、加工プログラムを 1 行 1 行作成することは現実的ではないため、CAM ソフト（本校では Mastercam）を扱うスキルも必要である。さらに、加工に必要な図面を作成する設計・製図においては 3D-CAD（本校では Solidworks）のスキルも求められる。以上のように、多軸加工には多くの準備が必要となるが、幸いにして、本校の機械工学科 1～3 年生の実習において、これらの基礎を学ぶことができるため、多軸加工に進むには“あと一歩”のところまではきていると言える。

図 1　複合加工機（4 軸加工）

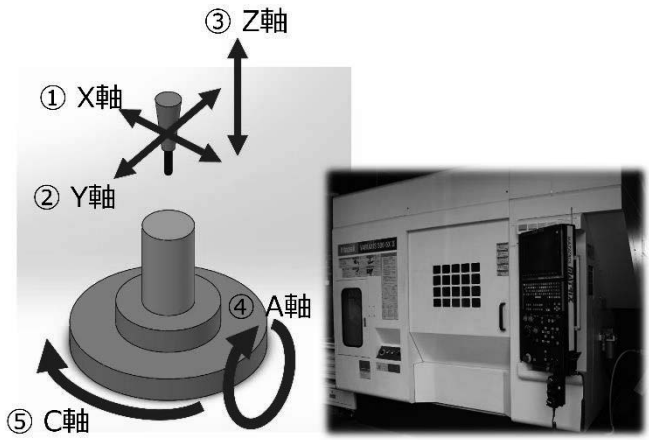


図 2　マシニングセンタ（5 軸加工）

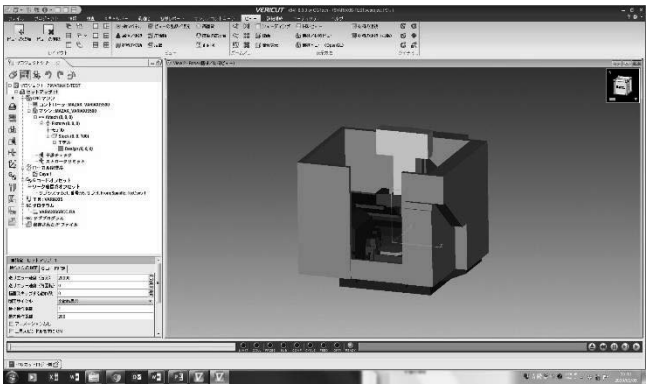


図 3　VERICUT 機械カスタマイズ
（VARIAXIS500-5XⅡ）

*教育研究支援センター　**機械工学科

図 4　エンドミルデータの設定

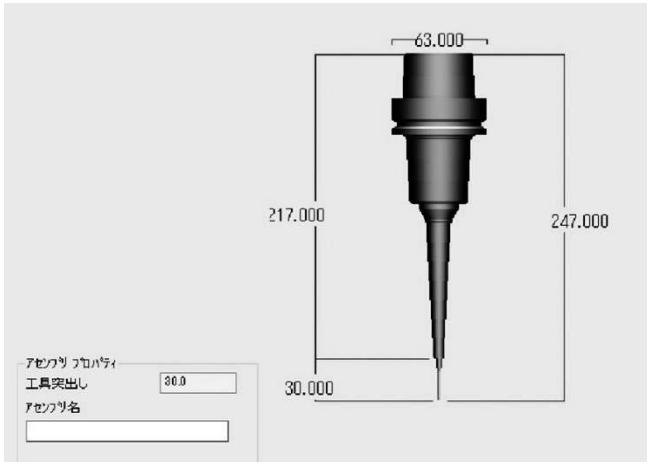


図 5　工具ホルダデータの設定

前述したように、機械工学科の低学年の実習において多軸加工に求められる基礎はできている。しかし、多軸加工教育を妨げている大きな問題として、本校の複合加工機とマシニングセンタはそれぞれ 1 台ずつであり、汎用機を用いた実習のように学生 1 人に機械 1 台という状況でないことに加えて、NC 加工プログラムのミスによる衝突で高価な工作機械が破損する危険が常にあることが挙げられる。CAM ソフトにも簡易シミュレーターは備えられているが、工具とワークが複雑に動作する多軸加工では衝突を正確に予測することはできない。これらの問題は、学生に限らず、指導者にも大きな問題である。汎用機や NC 加工などに熟練した技術職員であっても、多軸加工における衝突を CAM ソフトのみで完全に防ぐことは難しい。そのため、多軸加工教育に必要な実習手順や加工サンプルなどの準備にも大きな困難がある。そこで著者らは、これらの問題を解決し、多軸加工教育を展開することを目的として、平成 30 年度より本校に導入された機械加工シミュレーションソフト「VERICUT」[2] の活用に取り組んでいる。

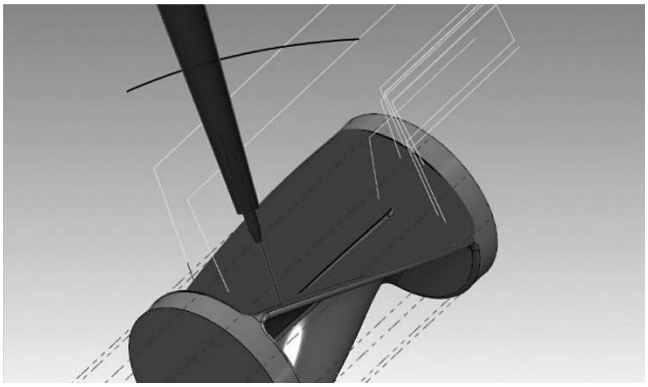


図 6　工具軸制御

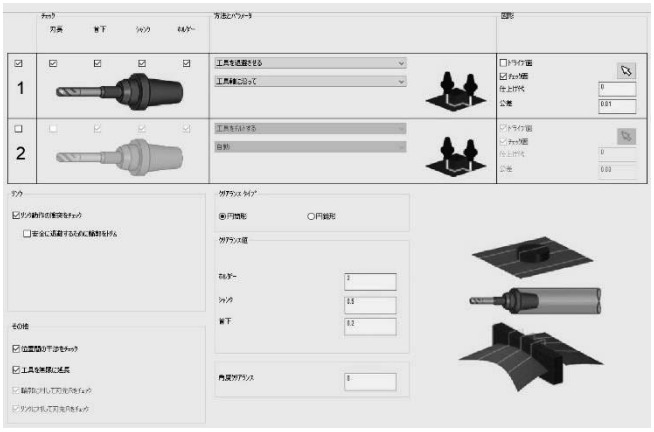


図 7　衝突コントロール

2．シミュレーションとＣＡＭによる多軸加工

機械加工シミュレーションソフト「VERICUT」はパソコン上で NC 加工プログラムの確認作業を行うことができ、通常はワーク（材料）に工具が衝突することを防止する目的で用いられる。図 3 に示すように、本校現有の多軸加工機に合わせてカスタマイズがされており [3]、シミュレーションで実機の動きを高い精度で再現できる。国立高専機構が進める“KOSEN（高専）4.0”イニシアティブにおいて本校が採択された「バーチャル工房を活かした高専教育高度化による情報活用エンジニアの育成」の取り組みの一環として、平成 30 年度より 30 ライセンス導入されている。実習において学生は 1 人 1 台の多軸加工機をパソコン上でシミュレーションし、衝突の心配をすることなく、CAM ソフトで作成した NC 加工プログラムを検証することができる

多軸加工では、まず、CAM ソフト（Mastercam）の多軸用アプリケーションを用いる。本校のマシニングセンタの場合、比較的単純な 3 軸加工とは異なり、ワークを把持するテーブルも動くため、使用するエンドミル（工具）やホルダの設定が重要となる 。図 4 にエンドミルデータの設定画面を示す。ここでは、ボールエンドミルを

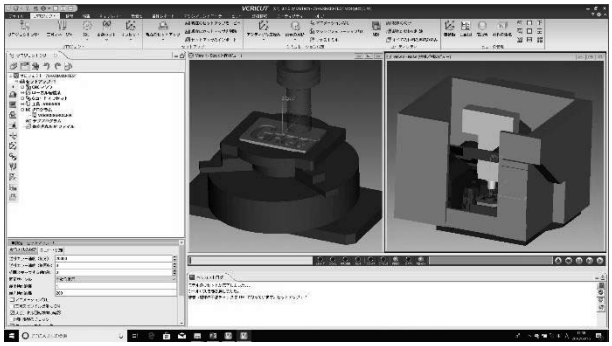


図 8　学生作品の機械加工シミュレーション

図 9　2 年生工作実習でのシミュレーションデモ

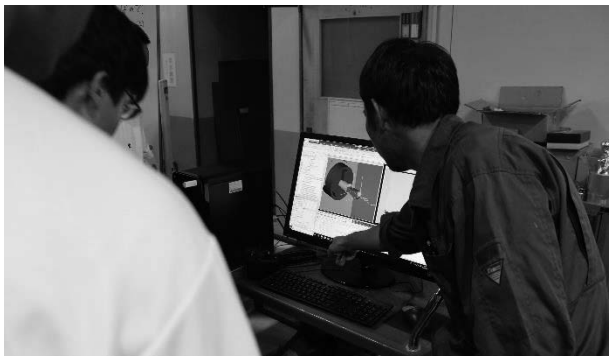


図 10　3 年生工作実習でのシミュレーションデモ

例として、工具直径、全長、刃長などを設定している。また、図 5 に示すように、工具ホルダについては工具ホルダメーカー[4]の CAD データを読み込ませることによって、工具ホルダの形状や寸法を反映させることができる。ここで、工具突き出し量の設定も行うことになるが、工具先端では常にワークとの摩擦で振動が生じているため、突き出し量が大きい場合にはビビリと呼ばれる工具振動も大きくなって材料の削り過ぎによる加工面の粗さなどにつながる。そのため、適切な条件設定が必要となるが、このような工具突き出し量に限らず、NC 加工における適切な加工条件は結局のところケースバイケースであるため、その根底においては手作業で身につけたモノを削る感覚や経験が重要な意味を持ってくる。

その後、工具などの設定をもとに、工具とワークの衝突を回避しながら適切に切削が行われるように NC 加工プログラムを組んでいく。特に、多軸加工を要するような複雑な形状（任意形状）の場合、工具がワークに干渉せずに加工を進めるためには、加工時に工具の中心軸が通るように拘束を与える制御線や制御点を用いた工具軸制御が不可欠となる（図 6;左上の円弧は制御線）。また、図 7 に示す工具及び工具ホルダの衝突コントロールの設定により工具の各部分が衝突するのを防ぐ。ここで必要な操作は画面上でチェックを入れるのみであり、図 4 と図 5 で設定した情報をもとにソフトが自動的に工具干渉を回避してくれる。さらに、切削面以外の部分との工具干渉を防ぐ指示や、工具と材料のクリアランスなどの設定もできる。ここでの設定は、工具干渉が頻繁に起こりうる多軸加工ならではの重要なものと言える。

以上の設定を行った後、工具軌跡を CAM ソフトのベリファイと呼ばれる簡易的なシミュレーションを行い、工具軌跡を見ながら削り残しがないかを確認する。実際は、適切な切削が実現されるまで、前述した制御軸や制御点の調整を繰り返し、加工プログラムを最適化していくことになる。さらに、VERICUT のシミュレーションを用いて、CAM の設定のみでは回避しきれなかった衝突の確認を行い、必要に応じて、加工プログラムの修正を行う。このように、CAM のプログラム作成とベリファイに加えて、VERICUT のシミュレーション確認を行っていくには相応の時間を要する。しかし、実機を使わずにパソコン上での CAM と VERICUT の操作のみで、多軸加工に必要な実践的スキルの修得ができるため、学習効率はむしろ高いと考えられる。

3．実習への試験導入と今後の展望

平成 30 年度前期の機械工学科 2 年生と 3 年生の実習において、VERICUT のシミュレーションによって学生作品が加工される様子をパソコン上で見せるデモンストレーションを実施した（図 8～10）。また、学校見学会や小・中学生向けのイベント「機械の学校 in 高専」においても VERICUT を活用した説明を行った。加工の様子は早送りもできるため、実機で見せるよりも短時間で効果的に工具などの動きを把握でき、視覚的にもわかりやすいと、学生たちには好評であった。実際、実加工では機械の覗き窓が小さいために同時に何人もの学生が加工の様子を見ることは難しく、さらに、中を覗き込んでも切削油を多く使用しているために工具動きが見えにくい場合も少なくない。そのような場合に、実加工の横で VERICUT のシミュレーションを示し、工具の動きなどを詳細に説明するというような利用方法によっても効果

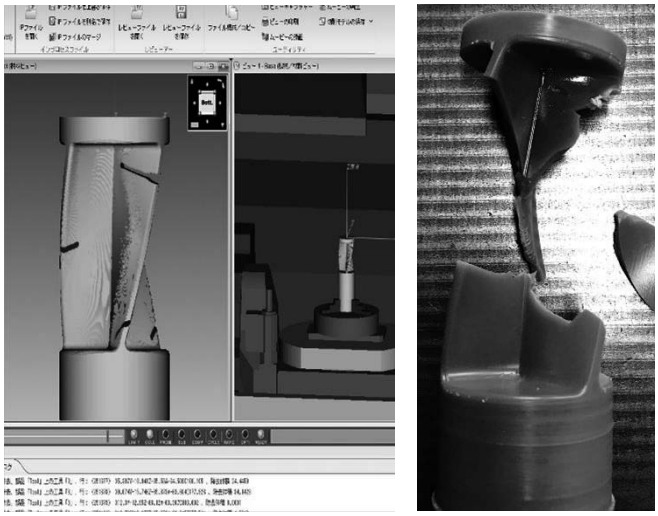


図 11 シミュレーション（左）と実加工（右）の比較

的な学習を進めることが可能になると考えられる。

VERICUT は本校の多軸加工機に合わせたカスタマイズがなされており、実加工に対する再現性が極めて高いことから、シミュレーションであっても実機同様の学習効果が期待できる。図 11 に再現性を検証するテストとして、安全な樹脂製材料を用いた衝突を行い、シミュレーションと実機の比較を行った様子を示す。樹脂製材料が割れる様子が再現されており、シミュレーションの有用性が確認できる。さらに、VERICUT には NC 加工プログラムを 1 行 1 行、手入力して実行させる MDI と呼ばれる機能も実装されている。この機能を活用することで、より本質的なレベルで NC 加工プログラムについて理解を深めることも可能となる。本校と同じ CAM ソフト（Mastercam）を所有していない企業や団体の方々に対して、一般的な NC 加工プログラムの講習を行う場合などにも役立てられると考えられる。

今後、機械工学科 5 年生の後期選択科目にて 4 軸加工に取り組む予定である。翼型の CAD モデルを題材として、CAM ソフトによる NC 加工プログラムの作成を行い、VERICUT による機械加工シミュレーションで動作検証を行う。仮に誤った NC 加工プログラムを作成してパソコン上で衝突が起こっても、実際の機械を破損させる心配はない。そのため、学生の機械加工に対する不安も解消される。また、ライセンスは実習に十分な数を確保できており、パソコン上ではあるが、学生 1 人に 1 台の工作機械が割り当てられるため、機械の順番待ちをすることもない。以上のような試験導入を通じて、授業における多軸加工教育を実用レベルまで高めていくことを目指す。

４．おわりに

多軸加工教育において機械加工シミュレーションソフト「VERICUT」の活用について検討を進めた。本校の多軸加工教育が抱える大きな問題として、多軸加工の実機が非常に高価な設備であるため、工具とワークの衝突で機械が破損するリスクが大きいこと、さらに、学生 1 人に 1 台を割り当てる台数がないことが挙げられる。VERICUT の導入によって実機同様のシミュレーションがパソコン上でできることから衝突のリスクは解消し、ライセンスも十分な数があることから、パソコン上ではあるが、学生 1 人に 1 台の工作機械を割り当てることができた。実際、機械工学科 2 年生と 3 年生の実習、さらには、学校見学会や小・中学生向けのイベントにおいて VERICUT を使用したデモンストレーションを行った結果、多軸加工教育における機械加工シミュレーションの有用性を確認することができた。

一般に、機械加工では作業の段取りが重要となる。これは、実際に著者が機械加工の現場で学び、重要視してきたことである。製品の仕上がりは 9 割方が段取りで決まると言っても過言ではない。特に、自動加工機はプログラム運転のため、プログラムが終了するまで止めることができない。製品の仕上がり具合は機械が停止してから確認しなくてはならない。もしも、段取りが不十分で要求を満たす仕上がりでなければ、加工はやり直しとなる。そのような中、実機で用いる NC 加工プログラムと同じものを用いて、パソコン上で正確に実加工をシミュレーションできることのメリットは本当に大きく、様々な場面で重宝されるであろう。本校においても、多軸加工という教育の高度化に加えて、段取りの大切さを学ぶという観点からも、今回の VERICUT による機械加工シミュレーションの導入は重要な意味を持つと思われる。今後、学生たちにはモノづくりにおける段取りの大切さについても、しっかりと伝えていければと考えている。

参考文献

1) ヤマザキマザック
https://www.mazak.jp/
2) VERICUT(株式会社 CGTech)
https://main.vericut.jp/
3) 株式会社 Ai ソリューションズ
https://www.ai-sols.co.jp/products/vericut/
4) 株式会社 MST コーポレーション
http://www.mst-corp.co.jp/

Educational Development of Multispindle Machining with CNC Simulation

Kunio OKAMOTO, Hisao YAGUCHI, Hiroshi ASAMI,

Shuji SUNAGA, and Tadao KANEKO

Educational program of multispindle machining has been developed by using of VERICUT CNC simulation. VERICUT simulation demonstrated machining process in workshop practice class of department of mechanical engineering. Students took a view of tool motion and material removal process on screen effectively. Consequently, it was found that VERICUT simulation have a useful role in the education of multispindle machining.

歴史叙述の中の党派対立
――『グレート・ヤーマスの歴史と古事』をめぐって――

宮川　剛*

（2019年1月7日受理）

１．はじめに

ヘンリ・スウィンデン（Henry Swinden）は、18 世紀ノーフォーク州の郷土史家で、『グレート・ヤーマスの歴史と古事』（*The History and Antiquities of the Ancient Burgh of Great Yarmouth in the County of Norfolk* (Norwich, 1772)）の著者として知られている。ノーフォーク州の港町、グレート・ヤーマス市の歴史書としては 17 世紀初頭のヘンリ・マンシップの『グレート・ヤーマスの歴史』（*The History of Great Yarmouth*）が有名だが、マンシップの作品が、19 世紀に刊行された際には 200 頁程度であったのに対して、スウィンデンの『ヤーマスの歴史と古事』は 1000 頁近い大著で、公文書や書簡などの一次史料をふんだんに用いた記述が特徴である [1)]。本文や注にそれらの史料を転記しており、史料集的な意味でも重要性は高い。

『ヤーマスの歴史と古事』は 26 章で構成されているが、その第 15 章「この都市自治体において 2 名のベイリフの代わりに 1 名の市長を選ぶという企て」では、17 世紀前半のヤーマス市における党派対立を扱っている。この対立は、市の制度の改変をめぐるもので、中央政府や宮廷をも巻き込みつつ数年間続いた。この対立のプロセスは、R・カストや C・パターソンなど、現代の研究者によってその詳細が解明されている [2)]。こうして解明された党派対立のプロセスを、『ヤーマスの歴史と古事』の叙述と照合すると、スウィンデンの著作の特徴、さらには 18 世紀の歴史叙述の特徴が解明されるのではないか。本稿では、そのような認識に基づいて、『ヤーマスの歴史と古事』の記述を詳細に分析していく。

本論に入る前に、グレート・ヤーマス市について簡単に説明しておこう。グレート・ヤーマス市は、中世以来、漁港や貿易港として栄え、人口は、1600 年ごろ約 5,000 人、1700 年ごろ約 10,000 人と推計されている。市参事会員（aldermen）が 24 名、市議会議員（common councillors）が 48 名おり、彼ら 72 名で総会（assembly）を構成して、市の重要事項を決定した。また、市参事会員の中から任期 1 年のベイリフ（bailiffs）が 2 名選ばれ、市の行政を運営した [3)]。

２．17 世紀前半ヤーマス市の党派対立

本章では、近年の研究によって解明された、1620 年代後半から 30 年代前半にかけてのヤーマス市の党派対立の展開を時系列に沿って記述していく。

２．１　対立の表面化

ヤーマス市の市参事会や市議会のメンバーの間において、ピューリタンと反ピューリタンによる党派対立が表面化するのは、1625 年の議会選挙においてである [4)]。ヤーマス市は 2 名の議員を選出したが、この選挙では 7 名が立候補した。当選したのは、ノーフォーク州のジェントリであるサー・ジョン・コーベット（Sir John Corbett）と、ヤーマス市の市参事会員エドワード・オウナー（Edward Owner）の 2 名で、どちらもピューリタンのグループの支援を受けていた。この選挙結果に対して、一部市民の間で抗議・反対の動きが見られた。それまで潜在化していた市民内部の対立を水面下にとどめておくことが困難になったことを示している [5)]。

反ピューリタン派にとって不利であったのは、中心人物の一人、ベンジャミン・クーパー（Benjamin Cooper）が、一時的に影響力を弱めていたことである [6)]。彼には、1623 年にヤーマスの港と埠頭の工事のために市民から集めた募金を横領したという疑いがかけられていた。この横領の詳細が市民の前に明らかにされるのは 1626～27 年のことであるが、1625 年の時点で既に横領の疑惑が取りざたされており、クーパーは、ヤーマス市の代表として政府と交渉する役職を退くことを余儀なくされ、代わって、ピューリタン派のトマス・ジョンソン（Thomas Johnson）が後釜に座った [7)]。こうして、1620 年代後半から 1630 年代前半にかけて、トマス・ジョンソン、エドワード・オウナー、ウィリアム・ボトルフ（William

*人文科学系・西洋史学

Buttolph）らに率いられたピューリタンのグループが市政を掌握することになる。市参事会員への昇格は主にピュリタン派に限られ、この時期の三回の議会選挙（1625 年、26 年、28 年）においては、2 議席ともピューリタン派が独占した [8]。このような状況に対して、クーパーを中心とした反ピューリタン派の反発が強まっていたのである。

２．２　ヤーマスの制度改変の最初の企て（1626～27 年）

1626 年 7 月の総会で、総会の一部のメンバーが、国王からヤーマス市に与えられた特許状の改訂を企てていることが報告された。すなわち、現在、ベイリフは市参事会員の中から選挙で選ばれているが、選挙を止め、年長者が優先的に就任する方式に変更するべき、というものであった。当時、反ピューリタン派の市参事会員クーパーが 60 歳、ジョージ・ハードウエア（George Hardware）が 54 歳で、ピューリタン派のどの市参事会員よりも年長のため、これは反ピュリタン派に有利な変更であった。首謀者はクーパーと市参事会員ジェフリー・ニーベ（Jeffrey Neve）と見られている [9]。

多数派のピューリタンたちは、対抗策として、1626 年 9 月の総会でニーベを市参事会員の職から罷免することを決議した。クーパーらは直ちに国王に請願し、ニーベの罷免が不当な手続きによるものであると訴えた。1627 年 7 月、国王はヤーマス市に書簡を送り、党派争いを脇へやって、ニーベを市参事会に復帰させるよう命じた。国王の命令をめぐって採決がなされ、11 名の市参事会員とベイリフ 2 名は国王の命令に従うことに賛成したが、反対派が多数を占め、ニーベの代わりにピューリタン派のトマス・グリーン（Thomas Greene）が市参事会員に選ばれ、ヤーマス市内部の対立は悪化していった [10]。

しかし、1627 年 11 月、問題解決につながる変化が起こる。枢密院が、ニーベの問題の審理をピューリタン側に同情的な調停者に委ねる決定を行ったのである。実はニーベは、政府により 1626 年から徴収されていた強制借入金（forced loan）を納入しておらず、そのことが枢密院の心証を著しく害していた。むしろ、オウナーらピューリタン側は徴収に協力的であった。1628 年 1 月、ニーベが市参事会員を罷免されることが正式に決まった。それと同時にクーパーもピューリタン派と和解し、かつての募金横領の件も水に流されることとなった。対立する両派の和解とクーパーの復権を象徴するように、1628 年 8 月には、クーパーとピューリタン派のリーダーのボトルフの二人がベイリフに選ばれることになる [11]。しかし、ベイリフとなったクーパーは、再び市の制度の改変を企てることとなる。

２．３　ヤーマスの制度改変の第二の企て（1628～29 年）

1628 年 12 月の総会で市の制度を改変しようとする企てが再び進行中であることが報告された。すなわち、市参事会員で、クーパーの盟友であるジョン・ダセット（John Dasset）が、国王に請願し、ヤーマスにおける「無秩序で党派的な市政」について苦情を訴え、毎年のベイリフ 2 名の選挙に代えて、最年長の者 1 名に市政の権限を委ねるべきことを提案したのである [12]。

ダセットの請願が枢密院で承認されると、1629 年 3 月に国王は法務総裁のサー・ロバート・ヒース（Sir Robert Heath）に、ヤーマス市の特許状の改訂を委任した。ヒースは直ちに王座裁判所で、権限開示訴訟（Quo warranto）を起こした [13]。これを受けて、クーパーとハードウェアは、さらにもう一つ請願を用意し、総会内の自分たちの支持者に署名させた。その請願では、ダセットの請願同様、ベイリフを選挙でなく、年長者優先で指名することが提案されていた [14]。

このまま進行すれば、クーパーらの計画は実現するように思われたが、ここで一つ問題が存在した。クーパーのベイリフとしての任期が 1629 年 8 月で終了してしまうことである。クーパーが市政の中心ベイリフの職に就いていればこそ、市制改変の計画はスムーズに進行できたのであって、その条件が失われては、多数派であるピューリタン派の巻き返しが生じるおそれがあった。そこで、クーパーは、宮廷内の人脈を活かして、ベイリフ選挙を自派に有利に運ぼうと画策することになる。このときクーパーが頼ったのが、国務大臣のドーチェスター子爵ダドリー・カールトン（Dudley Carleton）であった [15]。

２．４　1629 年のベイリフ選挙

1629 年 7 月 10 日、国王はヤーマス市に書簡を送り、その中で、次期ベイリフ候補として 8 名の市参事会員の選抜を命じた。そのうち 2 名は現ベイリフを含むこととされ、クーパーのベイリフ続投のための下準備であることは明らかであった。ヤーマス市の総会は現ベイリフ以外の 6 名の候補を選んだが、そこには反クーパー派が名を連ねていた。そこで、クーパーは総会の承認なしに独自にベイリフ候補のリストを作成し、それを国王に提出した。

国王はベイリフ指名を国務大臣カールトンに任せたが、カールトンが選んだのは、クーパー派のトマス・メドウ（Thomas Medowe）とピューリタン派で、クーパーのリストには含まれていなかったロバート・ノーゲイト（Robert Norgate）であった。カールトンは、ヤーマス市内部の対立の解決に重きを置いており、妥協的な人事により、ピューリタン派とクーパー派の和解を画策していたと思われる [16]。

２．５　市参事会員ハードウェア罷免問題（1629 年）

1629 年 7 月にクーパーは市参事会と市議会のメンバー

のうち、自分と対立するピューリタン派のリストを作成し、それを枢密院に提出するとともに、ボトルフらが、ヤーマス市の一般市民を煽動したり、国王に反抗したりしている、と報告した[17]。

それに対して、ボトルフは 7 月の総会で演説を行い、ヤーマス市の特許状に危機が迫っていること、彼とその仲間はヤーマス市の利益の擁護者であることを訴えた。また、ヤーマス市の制度の改変を求める者は、この町の破滅を企てている重罪犯人であり、国王に偏った情報を提供して、ヤーマス市について誤った印象を与えている、と指摘して、そのような人々を市の役職から追放すべきであると主張した[18]。

クーパーやダセットらが反論を試みるも、出席者からの野次で演説を行うことができなかった。結局、このときの総会でボトルフやジョンソンをメンバーとする委員会が設置され、ヤーマス市に害を為す人物をあぶり出すことになった。委員会の決議により、ハードウェアが槍玉に挙げられ、市参事会員の職を罷免された[19]。

クーパーらがこれらの出来事を政府に報告したため、1629 年 7 月 29 日、枢密院はヤーマス市に対して、ハードウェアの復職を命じた。ボトルフ、ジョンソンに率いられた総会の多数派がこれを拒否すると、国王は 8 月 23 日の書簡の中で、ヤーマス市を叱責し、党派争いを止めるよう命じた。その結果、8 月 29 日の総会では、ハードウェアの市参事会員への復帰が承認された。同時に、クーパーのベイリフとしての任期もこの日終了し、ピューリタン派とクーパー派の対立は一時中断することになった[20]。

２．６　枢密院での審問（1629～30 年）

1629 年 11 月、ヤーマス市のハイ・ステュワード（High Steward）のポストにドーセット伯エドワード・サックヴィル（Edward Sackville）が就任することが決まった。ハイ・ステュワードとは、いわば都市のパトロンや保護者の役割を果たすもので、有力な貴族や政治家が就任した。ドーセット伯は、枢密院のメンバーで、国王の信頼も厚い廷臣でもあり、かつピューリタン派に同情的であると見られていた。こうして、ピューリタン派は強力な後ろ盾を獲得することとなる[21]。

他方、ロンドンでは、クーパー派との関わりが深い法務総裁ヒースによって、特許状改訂の動きが進行していた。すなわち、1630 年 5 月、ヒースはヤーマス市の新しい特許状作成について国王の同意を得ていたのである[22]。新特許状の主な内容は以下のようなものであった。ヤーマス市のトップは 2 名のベイリフに代わって 1 名の市長とし、初代市長にはクーパーが就任する。市参事会員と市議会員の定数をそれぞれ半減して、12 名と 24 名とし、それによって、ピューリタン派を総会から追放する[23]。

新特許状の内容は、ピューリタン派にも伝わり、その中心人物ボトルフは、国王に請願することで、新特許状の認可を遅らせようと目論んだ。国王は、枢密院の内部に調停委員会を設けて、この問題を審議させるという方針をとった。委員会のメンバーは 5 名で、その中にはドーセット伯も含まれていた[24]。

1630 年 7 月、関係者は委員会に出頭して、質問を受けることになったが、特許状改訂派に対して厳しい質問が浴びせられた。特に問題とされたのは、特許状改訂に対して、ヤーマス市の総会の多数派が同意を与えていないことであった。クーパー、ダセット、法務総裁ヒースがこの点について問いただされたが、誰も説得力のある返答をすることはできず、委員会は新特許状の発給を停止するとの決定を下した[25]。

２．７　両派の和解（1630～31 年）

特許状改訂の企てを阻止したピューリタン派は、反撃に出て、改訂賛成派を追放するための委員会を設置し、ついに 1630 年 9 月、首謀者のクーパーを市参事会員の職から罷免することに成功する[26]。クーパーは、1630 年 4 月には国王私室（Privy Chamber）の門衛（Gentleman Usher Quarterly Waiter）に任命されており、国王や宮廷とのつながりをさらに強化していた。彼はただちに国王に請願し、国王は枢密院にこの件を委ねた。ドーセット伯は、ヤーマス市の指導者たちの間で和解が実現することの方を重視しており、クーパーの復帰をむしろ後押ししていた。1631 年 6 月に枢密院の最終決定が下され、クーパーの市参事会員への復帰が命じられた[27]。

しかし、ヤーマス市側がクーパーの復職を拒んだため、枢密院はボトルフやジョンソンらピューリタン派の指導者たちを呼び出し、クーパー派と和解するよう説得した。1631 年 7 月、最終的な和解が成立し、クーパーが市参事会員に復帰すること、他方、クーパーのための空席を設けるため、ボトルフが市参事会員の職を退くこと（ただし市参事会員としての待遇は保持）、が決定された。こうして、数年にわたって繰り広げられた、市の制度改変をめぐる対立は、両派の和解によって終息することとなった[28]。

３．『ヤーマスの歴史と古事』の視点

スウィンデンは『ヤーマスの歴史と古事』の第 15 章「この都市自治体において 2 名のベイリフの代わりに 1 名の市長を選ぼうという企て」において、1620～30 年代のヤーマス市の党派抗争について叙述している。内容の詳細について考察を加える前に、まず叙述の構成につい

て見ておこう。当然ではあるが、スウィンデンの叙述の構成は、前章で紹介した事件の展開と概ね一致している。しかし、二つの点で、明らかな相違が見られる。

一つ目は、前章の「２．１　対立の表面化」の箇所で触れた内容が完全に欠落している点である。そのため、『ヤーマスの歴史と古事』では、ヤーマスの党派対立の背景、すなわち1620年代後半におけるピュリタン派の市政の独占状態についての叙述が完全に抜け落ちている。スウィンデンは、いきなり、1626年７月の出来事（市参事会員のニーベらによる市の制度改変の企て）から叙述を始めるのである。このことは、ニーベやクーパーら市制改変推進派（反ピューリタン派）の活動についての客観的な解釈、すなわち、クーパーらの活動がピューリタン派による市政独占への反発から生じたのでは、という解釈が成立する余地を狭めてしまう。反ピューリタン派は自派の利益のために活動したという印象を与えることになる[29]。

二つ目の相違点は、『ヤーマスの歴史と古事』の15章の最終部分に見られる。前章の「２．７　両派の和解（1630〜31年）」に相当する叙述の後、唐突に1622〜23年にクーパーとハードウェアによる公金の扱いに不審な点があったことについての叙述が続き、この15章は終了する。具体的には、ファルツ辺境伯支援のための募金が国庫に納められていなかった件に関して、彼らが関わっていたらしいということである[30]。党派争いについて叙述した一つの章を、片方の党派のリーダーの過去の失態についての記述で終了するわけである。

以上の点から、スウィンデンの視点がクーパーら市制改変派ではなく、ピューリタン派側に偏っているのでは、と推察できる。この傾向を端的に示しているのが、クーパーらの市制改変運動の開始を告げる1626年の企てについての叙述である。

> この年、市の統治形態の変更（すなわちベイリフ２名に代えて市長１名を指名する）をめぐる大きな抗争が始まった。もし、この都市自治体の幾人かの勇気あるメンバーが、彼らの古来の諸権利と諸自由を守るために大胆に抵抗しなければ、確実にこのような抗争が後から続出したであろう。この抗争は、一部上述したように、その都市自治体［すなわちヤーマス市］の一部の党派的なメンバーによってかねてより密かに企てられていたのだ[31]。

「大胆に抵抗」した「勇気あるメンバー」がボトルフらピュリタン派を指し、陰謀をめぐらせた「一部の党派的なメンバー」がクーパーら市制改変派を指すことは言うまでもない。

事実、クーパーら市制改変派についての叙述は手厳しいものが多い。前章の「２．３　ヤーマスの制度改変の第二の企て（1628〜29年）」で触れた1629年３月の出来事（クーパーらが署名を集めて、ベイリフを年功序列で指名するよう請願した件）については次のように叙述される。

> ベイリフのクーパー氏とハードウェア氏は、最年長の市参事会員が年功序列でベイリフになるようにすること以外には用いることはしない、と偽って、総会の一部のメンバーにある文書（これに基づいて、国王陛下に請願がなされた）に署名させたのだが、実際には、この町の体制を変革し、［ヤーマス市の］特許状に対して異議を唱えようとしている[32]。

クーパーらは、自分たちの目的のために市民を騙して署名を集めたというわけである。

さらに、前章の「２．６　枢密院での審問（1629〜30年）」で触れた1630年７月の枢密院での審問についての叙述を見てみよう。枢密院は、市制改変の企てがヤーマス市民の多数の同意を得ていないらしいことに疑問を感じ、改変派を出頭させて、市制改変や新たな特許状取得の理由や根拠について詳細を問いただした。その結果は以下の通りであった。

> 枢密院の調停者たちの前で、当面の問題に対して、クーパー氏は、市制改変のためであれ、新特許状取得のためであれ、理由や権限について、ただ「ヨーク大主教［前ノリッジ主教サミュエル・ハースネット］がかくあるべし、とお考えになったから」、としか答えることができなかった。そして、ダセット氏は法務総裁［ヒース］が、王座裁判所主席裁判官（Lord Chief Justice of England）から特許状を作成するよう命令を受けている、と述べた。法務総裁は、いかなる権限によって特許状を作成したのか問われて、ベンジャミン・クーパー氏の権限、としか返答できなかった[33]。

クーパーらは、市制の変革を唱えつつも、市民の同意という根拠を得られず、ヤーマス市民ばかりか、国王や枢密院をも欺いた、ということになる。

他方、ピューリタン派には、総会の多数派の支持に加えて、自派の正当性を保証する強力な根拠があった。すなわち、現体制が「古来の慣習（ancient custom）」によって支えられていることである。『ヤーマスの歴史と古事』の叙述では、要所でこの点が指摘されている。一例を挙げれば、1626年７月の市参事会員ニーベによる市制改変の企ては次のように叙述されている。

> 1626 年 7 月 17 日開催の総会で、総会の一部のメンバーが、ベイリフ 2 名を選ぶという古来の、賞賛すべき慣習を変更しようと企て、かつ陰謀をめぐらせている、という苦情が提出された。それに対して、一つの提案がなされた。それは、各自の心と良心においてこの古来の慣習を承認し、かつ進んでこれを守る意志のあるものは、ただちに署名するべきである、というものであった[34]。

その結果、総会のメンバーのうち 52 名が署名することになる。

以上より、スウィンデンの視点から見た場合、ヤーマス市の党派対立は、古来の慣習、権利や自由を守ろうとするピューリタン派と、陰謀を通じてその慣習の変革を企てるクーパーら反ピューリタン派という構図で理解されていたと考えて問題なかろう。

４．『ヤーマスの歴史と古事』における党派対立

1620 年代後半から 30 年代前半のヤーマス市の党派対立のプロセスにおいて、1629 年 11 月にドーセット伯がヤーマス市のハイ・ステュワード職に就任したことが大きな転機になった。それまで政府や宮廷と太いパイプを有していたのは、クーパーやニーベなど市制改変派の方であったが、ドーセット伯の登場により、形勢が逆転したのである。スウィンデンもこの点を認めて、次のように述べている。

> この町がドーセット伯をハイ・ステュワードに選んで以後、この問題全体の秘密（それまではクーパーと彼の仲間によってきわめて内密に進められていた）が公の形で明らかになったのは、まさに伯の影響力によるものであることに疑問の余地はない[35]。

また、市制改変派の企てを阻止するうえで決定的な役割を果たした 1630 年 7 月の枢密院での審問において、クーパーらに厳しい質問が浴びせかけられたが、カストによれば、この審問を主導したのはドーセット伯の可能性が高いという[36]。よって、ピューリタン派がヤーマス市の旧来の制度を守るうえで、ドーセット伯の貢献はきわめて大きかったと言わざるを得ない。

それにもかかわらず、『ヤーマスの歴史と古事』において、本文でドーセット伯の活動について叙述しているのは、実は、彼がハイ・ステュワードに就任したことに触れた箇所のみである[37]。これ以外の箇所では、注において、史料として、ドーセット伯とヤーマス市の間の書簡の内容が転記されてはいるものの、本文では伯は登場しない。果たした役割の大きさを考えると、スウィンデンはドーセット伯の活躍を不当に低く評価していると言わざるを得ない。このことにはどのような事情が関わっているのか。

一つ考えられるのは、都市自治体には元来、外部の貴族による干渉を忌避する傾向があるということである。18 世紀に執筆されたイギリス都市の歴史書についての研究において、スウィートは、18 世紀の都市自治体において、「独立性」がますます強力な政治的スローガンになっていったこと、都市の「独立性」をめぐる問題が都市の歴史書執筆の動機の一つになっていたことを述べている[38]。党派対立を自力では解決できず、ドーセット伯の介入に頼ったことは、ヤーマスの歴史において、決して誇るべきこととはいえず、スウィンデンは『ヤーマスの歴史と古事』の中でその事実を可能な限り小さく扱おうとしたのだろうか。しかし、17 世紀後半から 18 世紀初頭のヤーマス市を研究したガウチによると、ヤーマス市は 17 世紀後半以降も中央の有力者によって保護してもらうことを期待して、彼らをパトロンとして仰いでいたという[39]。今回の一件だけが例外的な事例であったわけではない。

それゆえ、ドーセット伯の扱いをめぐる事柄は、独立性の問題だけにとどまらず、スウィンデンの歴史の捉え方とも関わる、より大きな問題を含んでいるように思われる。以下では、その点を詳しく考察してみたい。

前章で見たように、スウィンデンはヤーマス市の党派対立を、多数派の支持を得たピューリタン派と、宮廷や政府との人脈を利用して伝統的な「古来の慣習」を破壊しようと陰謀をめぐらせる市制改変派の対立として理解していた。このスウィンデンの視点から見た場合、ドーセット伯の立場や意図するところは、ピューリタン派のそれと必ずしも一致しているわけではないことに注目すべきである。ハイ・ステュワードに就任した直後の 1629 年 12 月 18 日、伯はヤーマス市に対する書簡の中で次のように述べている。

> 党派対立があなた方の間で君臨している、と言われている。そのような分裂は、平和と静けさ（それらの下でこそ、どんな社会も最もうまく存続し、繁栄するのだ）を大いに損なうものだ。私は噂を信じる方ではないが、しかし、社会的地位の高い人々が［あなた方の間で党派対立があると］知らせてくれているので、幾ばくかの根拠があると信じざるを得ない。あなた方にお願いする、団結（それこそがあなた方の間に存在するべきものだ）を崩壊させるような不和を仲裁するべく、あなた方の意志と努力を傾注せよ、と。……争いの的となっている点が何

なのかが判明すれば、私は全力でその和解に努めるだろう[40]。

つまり、ヤーマスの市民間の不和を仲裁し、対立する両派に団結をもたらすのがドーセット伯の目標である。あくまでも中立の立場を護持し、一方の党派に肩入れすることはしない。

この方針は、1630 年 7 月の枢密院での審問の結果、市制改変派の企てがほぼ潰えた後、より一層強調されることになる。『ヤーマスの歴史と古事』の注には、1630 年 8 月のベイリフ選挙を前に、ドーセット伯がヤーマス市に送った書簡が掲載されている。その中で、伯は選挙について次のような助言を与えている。

> 調和というものが、私的な家族と国家をどれほど増進させるかということは言うまでもないだろう。私が深い悲しみとともにあなた方に思い起こさせねばならないのは、あなた方の町がどれほど惨めに仲違いしているのか、そして、その仲違いが、あなた方の町の繁栄を望まぬ者の日々の悪だくみにどのように道を開いているのか、ということである。国王陛下は、この王国の全体のすみずみまで気にかけておられるのだが、あなた方の間で和解がより一層進行することを心から望んでおられる。和解を進行させるための良い手段の一つは、［2 名のベイリフとして］次のような人たちを満場一致で選ぶことである――すなわち、健全な信仰をもち、ヤーマス市の利益のために誠実であり、党派から自由であり、そして、自分個人の目的（欲望であれ、野望であれ、復讐であれ）からはなお一層自由である、そのような人たちを[41]。

党派対立から距離を置き、私的な目的や利益よりも、公共の利益を優先できる人物をベイリフとして選ぶよう勧めている。私的な目的の中に復讐が含まれているのが示唆的である。ドーセット伯は、過去の党派対立に拘泥せず、都市全体の和解を実現できる人物がヤーマスには必要だと認識していた。

ヤーマスの市民たちは、そのような伯の思惑とは裏腹に、党派としての意識をひきずり続け、「２．７　両派の和解（1630～31 年）」で見たように、1630 年 7 月以降、ピューリタン派は、対立党派のリーダー、クーパーの罷免を執拗に求めていく。もちろん、最終的には枢密院の説得を受け入れて、ピューリタン派はクーパーの市参事会員復帰を承認し、両派の和解が成立したのであった。他方、この一件についての下の叙述を読む限り、スウィンデンが両派の和解を肯定的に評価していたと考えることはできないだろう。

> ［これまでのクーパーの行為に対して、総会メンバーの多数が嫌悪感を示し、彼が市参事会員を罷免されるべきことに同意したという］上述の申し立てがあったにもかかわらず、枢密院の方々に猛烈に陳情や請願をしたことにより、クーパー氏は、彼を市参事会員に復帰させよ、という［枢密院の］書簡を手に入れ、事実、彼は復帰したのである[42]。

このような「和解」をめぐる、ドーセット伯とスウィンデンの理解の違い故に、『ヤーマスの歴史と古事』において、ドーセット伯についての叙述は極めて限定されたものとなったのではないか。

ここで想起すべきなのは、イギリスの都市において、ピューリタン革命を境に、党派対立についての認識が大きく変化したことである。ヤーマス市のような法人格を有した都市自治体は、法律上一人の人間であって、本来、内部対立はありえない、と考えられていた。よって、仮に対立があった場合、両派の和解により本来の状態に復帰するという前提が存在した[43]。しかし、ピューリタン革命期の抗争を経て、王政復古期以降、都市においてもホイッグとトーリの党派対立が常態化すると、対立する党派同士の和解と融和は必ずしも目標とはされず、もう一方の党派の排除が選択肢としてクローズアップされていった[44]。ピューリタン革命期を境とした、このような党派対立の性格の変化が、ドーセット伯とスウィンデンの「和解」の理解に影響を与えていたと考えることができるのではないだろうか。

５．おわりに

以上見てきたように、現代の研究によって解明された知見と照らし合わせると、スウィンデンの『ヤーマスの歴史と古事』にはいくつかの偏りがあることは否定できない。一方の党派に過度に肩入れした叙述や両派の「和解」を促すドーセット伯への低評価など、首肯しかねる点もある。本稿では、これらの点に現れたスウィンデンの歴史の理解の特徴を抽出することを試みた。

しかし、論じ残した点も多い。本稿が対象としたのは、『ヤーマスの歴史と古事』の一部に過ぎず、同様の作業を全体について行った場合、どのような結果を得ることができるのか。

また、ホイッグとトーリの党派対立が本格化する王政復古以降の時代を、18 世紀の歴史叙述（特に都市についての歴史叙述）はどのように描いたのか。残念ながら、この問題については『ヤーマスの歴史と古事』では詳し

く扱われていないため、他都市のケースを対象にして考察する必要がある。今後の課題としたい。

注

1) 『グレート・ヤーマスの歴史』については宮川（2017）を参照。
2) Cust (1992a); Patterson (1998).
3) ヤーマス市の制度については、P. Rutledge (ed.), *Great Yarmouth Assembly Minutes 1538-1545* (Norfolk Record Society, vol. 39) (1970), pp. 1-24. ヤーマス市の人口については、Clark (2000), p. 384.
4) この時期のヤーマス市の党派対立を、ピューリタン派対反ピューリタン派（アルミニウス派）の構図で解釈したのは Cust (1992a)がはじめてである。この見解は、その後の Patterson (1998）でも確認されており、本稿でもこの解釈を採用した。当然、スウィンデンの『ヤーマスの歴史と古事』では、このような宗教をめぐる対立の構図は採用されていない。
5) Cust (1992a), p. 8.
6) クーパーは、1564 年生まれの貿易商で、1595 年に市議会議員、1608 年に市参事会員となって、1609 年にベイリフとなる。1621 年、24 年には庶民院議員も務め、ヤーマス市における最有力の市民の一人であった。Thrush, A. & Ferris, J. P. eds. (2010), vol. III, pp. 654-655.
7) Cust (1992a), p.7.
8) 1625 年選挙については既に触れたが、1626 年の選挙では、サー・ジョン・コーベットとトマス・ジョンソンが、1628 年の選挙では、ジョン・コーベットの弟マイルズ・コーベット（Miles Corbett）とピューリタンのジェントリであるサー・ジョン・ウェントワース（Sir John Wentworth）が、それぞれ当選していた。Cust (1992b).
9) Cust (1992a), pp. 10-11.　ニーベについては、Gruenfelder (1988)を参照。
10) Cust (1992a), pp. 10-11.
11) Cust (1992a), pp. 10-11.
12) Cust (1992a), pp. 11-12.
13) Cust (1992a), p. 12.　権限開示訴訟については、Patterson (2005) を参照。
14) Cust (1992a), pp. 12-13.
15) Cust (1992a), pp. 12-13.
16) Cust (1992a), p. 13.
17) Cust (1992a), p. 14.
18) Cust (1992a), p. 14.
19) Cust (1992a), p. 14.
20) Cust (1992a), pp. 1, 14.
21) Cust (1992a), pp. 14-15; Patterson (1998), p. 21.
22) Cust (1992a), p. 15.
23) Cust (1992a), pp. 15-16.
24) Cust (1992a), pp. 15-16.
25) Cust (1992a), p. 16.
26) Cust (1992a), p. 16; Patterson (1998), p. 23.
27) Cust (1992a), pp. 16-17.
28) Cust (1992a), p. 17; Patterson (1998), pp. 23-24.
29) *History and Antiquities*, pp. 477-481.
30) *History and Antiquities*, pp. 515-520.
31) *History and Antiquities*, pp. 479-481.
32) *History and Antiquities*, p. 485.
33) *History and Antiquities*, p. 504.
34) *History and Antiquities*, p. 477.
35) *History and Antiquities*, p. 502.
36) Cust (1992a), p. 16.
37) *History and Antiquities*, pp. 501-502.
38) Sweet (1997), pp. 212-214.
39) Gauci (1996), pp. 48-49.
40) *History and Antiquities*, p. 501.
41) *History and Antiquities*, p. 505.
42) *History and Antiquities*, pp. 513-514.
43) Patterson (1998), pp. 4-5.
44) Patterson (1998), pp. 24-25; Miller (2005).

参考文献

Primary Sources

P. Rutledge (ed.), *Great Yarmouth Assembly Minutes 1538-1545* (Norfolk Record Society, vol. 39) (1970).

Henry Swinden, *The History and Antiquities of the Ancient Burgh of Great Yarmouth in the County of Norfolk* (Norwich, 1772)（*History and Antiquities* と略記）.

Secondary Sources

Clark, P., ed. (2000), *The Cambridge Urban History of Britain*, vol. II: *1540-1840* (Cambridge, 2000).

Cust, R. (1992a) , ‘Anti-Puritanism and Urban Politics: Charles I and Great Yarmouth’, *Historical Journal*, vol. 35.

Cust, R. (1992b), ‘Parliamentary Elections in the 1620s: the Case of Great Yarmouth’, *Parliamentery History*, vol. 11.

Gauci, P. (1996) , *Politics and Society in Great Yarmouth, 1660-1722* (Oxford, 1996).

Gruenfelder, J. K. (1988) , ‘Jeffrey Neve, Charles I and Great Yarmouth’, *Norfolk Archaeology*, vol. 40.

Miller, J. (2006) , ‘Containing Division in Restoration Norwich’, *English Historical Review*, vol. 121.

Patterson, C. (1998) , ‘Conflict Resolution and Patronage in Provincial Towns, 1590-1640’, *Journal of British Studies*, vol. 37.

Patterson, C. (2005), ‘Quo Warranto and Borough Corporations

in Early Stuart England: Royal Prerogative and Local Privileges in the Central Courts', *English Historical Review*, vol. 120.

Sweet, R. (1997) , *The Writing of Urban Histories in Eighteenth-Century England* (Oxford, 1997).

Thrush, A. & Ferris, J. P. eds. (2010) , *The History of Parliament: the House of Commons 1604-1629*, vol. 3 (London, 2010).

宮川剛 (2017) 「近世イギリス地方都市の歴史叙述――グレート・ヤーマスの場合」『群馬高専レビュー』第 36 号。

Factional Disputes in a Seventeenth-Century Provincial Town described in an Eighteenth-Century Urban History: In the Case of Great Yarmouth.

Tsuyoshi MIYAGAWA

Henry Swinden's *The History and Antiquities of the Ancient Burgh of Great Yarmouth in the County of Norfolk* is one of the most remarkable achievements in historical writing in the eighteenth-century England. It has almost one thousand pages, filled with narratives based on documents. In one chapter, Swinden provides detailed narratives on political conflicts in Yarmouth during the 1620s and 1630s between a group of puritan aldermen and their anti-puritan opponents. The anti-puritan aldermen attempted to introduce a less popular form of town government by revising Yarmouth's charter. Each group struggled to secure considerable backing at court. Privy councillors advised town's ruling elites to accommodate internal disputes as quickly as possible.

However, in some crucial points, Swinden's narrative distorts the facts. Swinden shows no sympathy for the non-puritan aldermen. He also underestimates the importance of the part played by the earl of Dorset, the high steward of Great Yarmouth, who tried to protect that corporation from full-scale division. Through the intensive research on the Swinden's narrative, this article tries to show how an eighteenth-century historian understood the political conflict in the preceeding century.

音声モーフィングにおける基準点付与の自動化

川本 真一 *　　鶴見 智 *　　滝澤 照太 **

(2019 年 1 月 7 日受理)

1　はじめに

音声は重要なコミュニケーション手段の 1 つであり，カーナビゲーションシステムやスマートフォンなどの工業製品においてインタフェースとして採用されている．音声が与える印象はその製品の印象に繋がるため，想定する使用者層，使用環境などに適した音声が要求される．

音声モーフィングは複数の話者の音声を混合する音声加工技術であり，中間的な特徴を持つ音声を生成することができる．モーフィング手法として，メル周波数ケプストラム係数 [1] や STRAIGHT 分析 [2] など特徴量の変形に基づくものが提案されている．また，統計モデル [3]，深層学習 [4] などを用いて特定の声の特徴への写像を学習するアプローチが提案されている．しかし，特徴量を変形する手法では基準点付与などの前処理を手作業で行う必要があり，膨大な手間や時間を要する．また，統計モデルや深層学習を使用する手法は，学習のために音声データを相当量用意する必要がある．

本研究では，特徴量の変形に基づくモーフィング手法の課題である，基準点を自動的に付与する手法を提案する．また，話者性を強く反映していると考えられている母音 [5] に焦点を当て，提案手法により付与した基準点を用いて音声モーフィングを実現し，動作を検証する．

2　基準点付与の自動化

2.1　概要

縦軸に周波数，横軸に時間を配置して，音声の周波数成分の時間変化を可視化した図をスペクトログラムと呼ぶ．スペクトログラムを時間方向に見たときに変化が大きな点を基準点とし，これを同一内容の発話を収録した複数の音声間で対応付けることで，時間領域でモーフィングを行うことができる．また，スペクトルは音素や個人性に関する情報を含んでいる．スペクトルの特徴的な点を基準点とし，これを複数の音声間で対応付けることで，周波数領域でモーフィングを行うことができる．

本研究では，音声分析合成系 WORLD [6,7] を用いて，音声の基本周波数，スペクトル包絡，非周期性指標を分析し，スペクトル包絡に注目して基準点の決定を行う．入力する音声はサンプリング周波数 16kHz，量子化ビット数 16bit のモノラル音声を想定し，WORLD による音声処理はフレーム周期 80 点，フレーム長 (FFT サイズ) 1024 点を用いる．その他の WORLD に与えるパラメータについては，WORLD に付属するサンプルにて提供される標準的な値を使用する．本論文では，音声の基本的な処理単位としてフレームを使用する．

2.2　時間領域

スペクトログラムの時間変化を表現する手法として，調音結合の解析に用いられる Temporal Decomposition (TD) [8] と呼ばれる手法がある．TD は，音声中の特徴的なフレームにイベントを設定し，そのフレームのスペクトルの重み付き線形和でスペクトログラムをモデル化する手法である．イベントがある時刻のスペクトルをイベントベクトルと呼ぶ．スペクトルを Line Spectral Frequency (LSF) [10] と呼ばれるパラメータで表現すると，スペクトログラムは時間に関するベクトル関数 $\mathbf{y}(n)$ とみなすことができる．式 (1) は，イベントベクトルの本数を表す次数が m のスペクトログラム $\mathbf{y}(n)$ の TD モデル $\hat{\mathbf{y}}(\mathbf{n})$ である．$\mathbf{a}_k$ は k 番目のイベントベクトル，$\phi_k(n)$ は n フレームにおける k 番目のイベントベクトルの重みを表現するイベント関数である．

$$\hat{\mathbf{y}}(n) = \sum_{k=1}^{m} \mathbf{a}_k \phi_k(n), \quad 1 \leq n \leq N \tag{1}$$

本研究では，TD を改良した Modified Restricted Temporal Decomposition (MRTD) [9] を使用し，WORLD で分析したスペクトル包絡をモデル化する．イベントが設定されているフレームを時間領域の基準点とする．図 1 に時間領域の基準点決定の流れを示す．MRTD モデルの作成には，Nguyen らが提案している手法 [9] を使用している．SFTR はフレームに関する関数であり，n 番目のフレームの SFTR は式 (2) で表すことができる．N は音声の全フレーム数，P は LSF の次数，$\mathbf{y}(\mathbf{k})$ は k フレーム目の LSF，M は MRTD

* 電子情報工学科
** 元 専攻科生産システム工学専攻

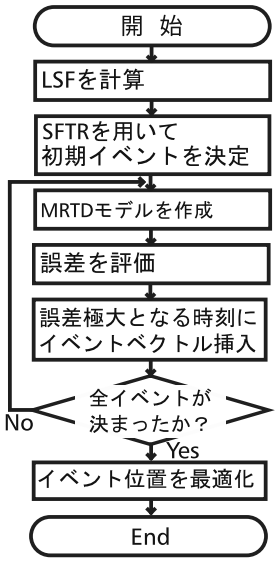


図 1　MRTD による時間領域基準点決定のフローチャート

の窓幅であり，今回は $M = 8$ を用いた．

$$s(n) = \sum_{i=1}^{P} {c_i}^2(n), 1 \leq n \leq N \tag{2}$$

$$c_i(n) = \frac{\sum_{m=-M}^{M} m\mathbf{y}_i(n+m)}{\sum_{m=-M}^{M} m^2}, 1 \leq i \leq P \tag{3}$$

また，誤差の評価には，式 (4) によって計算できる Mean Squared Error (MSE) を用いる．$y_i, \hat{y}_i$ はベクトル $\mathbf{y}, \hat{\mathbf{y}}$ の i 番目の要素を抜き出したものである．

$$E = \sum_{n=1}^{N} \sum_{i=1}^{P} (\hat{y}_i(n) - y_i(n))^2 \tag{4}$$

音素ごとにこの処理を適用し，音声の全区間に対して基準点を決定する．

本研究ではさらに，通常の MRTD のイベントベクトル決定処理後に，イベント時刻の最適化処理を追加している．イベントベクトルの設定が完了後，各フレームの LSF と MRTD モデルの間の MSE が最小になる位置にイベントを移動させる．

2.3　周波数領域

音声の音韻性，個人性を表現する重要な要素は，フォルマントと呼ばれるスペクトル包絡のピークである．LSF は周波数領域のパラメータで，スペクトル包絡においてパワーが集中する周波数付近に多くのパラメータが配置される特性を持つ．そこで本研究では LSF を周波数領域の基準点に用いる．

さらに，LSF はスペクトル包絡のピークを挟み込むように配置される特性を持つため，パラメータ間で最大または最小となる周波数を探索することでピークやノッチを得ることができる．そこで，隣接する LSF 区間につき 1 つ，ピーク (ピークが見つからない場合はノッチ) を探索し，ピーク (もしくはノッチ) に対応する周波数も基準点として追加する．

なお，処理を容易にするため，実際には LSF と隣接 LSF 間のピーク (もしくはノッチ) 周波数を低域側から並べたベクトルを周波数領域の基準点として使用する．

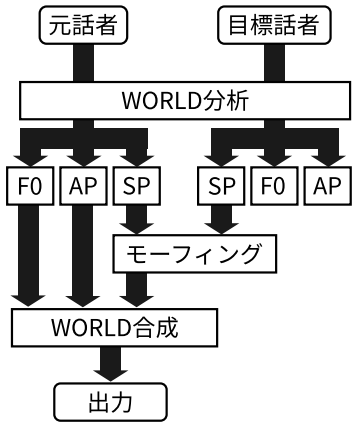


図 2　評価のためのモーフィングにおけるデータの流れ

3　二話者間のモーフィング

決定した基準点を用いて音声モーフィングを実施し，基準点の妥当性を確認した．モーフィングにおけるデータの流れを図 2 に示す．図中の F0 は基本周波数，SP はスペクトログラム，AP は非周期性指標を表す．今回はスペクトログラムのみを混合し，F0 と AP は元話者のものをそのまま使用する．音声の長さも元話者のものを基準とし，目標話者の音声を線形に伸縮する．

式 (5) に時間領域基準点のモーフィングを示す．今回は元話者の音声を基準とするため，元話者の基準点をそのまま使用する．$r_s(k)$，$r_t(k)$ は元話者と目標話者の k 番目の時間領域基準点となるフレーム，$r'(k)$ はモーフィング後の音声の k 番目の時間領域基準点となるフレームである．

元話者と目標話者の音声は長さが異なるため，時間領域基準点を対応させるように基準点間のフレームをマッピングして対応する必要がある．時間領域基準点上では 2 つの音声が対応しているため，式 (6) のように周波数領域のモーフィングができる．$\mathbf{a}^s_{r_s(k)}$，$\mathbf{a}^t_{r_t(k)}$ は元話者と目標話者の k 番目の周波数領域基準点のベクトルであり，$\mathbf{a}'_{r'(k)}$ はモーフィング後の音声の k 番目の周波数領域基準点のベクトルである．R は混合割合であり，目標話者 : 元話者 $= R : (1 - R)$ の割合で混合を行う．

$$r'(k) = 1 \times r_s(k) + 0 \times r_t(k) \tag{5}$$

$$\mathbf{a}'_{r'(k)} = (1 - R) \times \mathbf{a}^s_{r_s(k)} + R \times \mathbf{a}^t_{r_t(k)} \tag{6}$$

$r'(k)$ から $r'(k+1)$ までの基準点間では，区間中の n 番目のフレームに対して式 (7) のように，目標話者のフレームをマッピングしてモーフィングを適用する．$\mathbf{a}^s_n$ は $r'(k)$ から n 番目のモーフィング後のスペクトル包絡，$\mathbf{a}^s_n$ は $r'(k)$ から

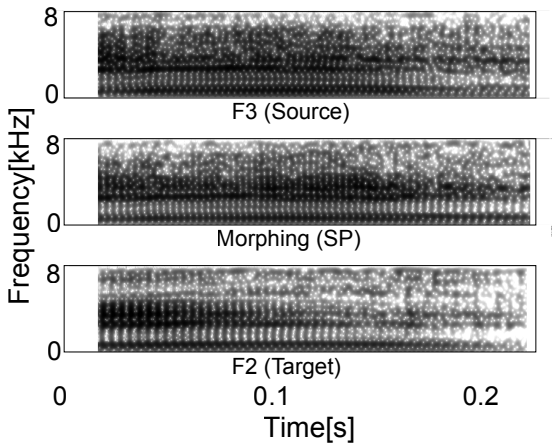


図 3　元話者-モーフィング音声-目標話者のスペクトログラム

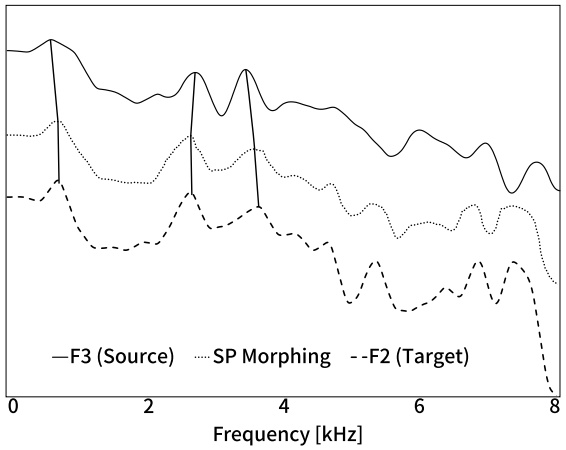


図 4　モーフィング音声のフォルマント位置確認

n 番目の元話者のスペクトル包絡，$\mathbf{a}^t_m$ はマッピングにより対応づけた位置の目標話者のスペクトル包絡である．

$$\mathbf{a'}_n = (1-R) \times \mathbf{a}^s_n + R \times \mathbf{a}^t_m \tag{7}$$

$$m = \frac{(r'(k+1) - r'(k))}{(r_t(k+1) - r_t(k))} \times n \tag{8}$$

但し，$1 \leq k \leq N-1$，$1 \leq n \leq r'(k+1) - r'(k+1)$ である．

北陸先端科学技術大学院大学研究用日本語感情音声データベース (JAIST-ESD) の女性話者 F2，F3 の 2 名が日本語母音/e/を発音した音声に対して，F3 を元話者，F2 を目標話者として，混合割合 $R = 0.5$ でモーフィングを行った．MRTD の次数は 5，LSF の次数は 36 とした．

図 3 に元話者 (Source) とスペクトログラムモーフィング (Morphing SP)，目標話者 (Target) の音声のスペクトログラムを示す．濃淡の濃い部分は強い周波数成分を表す．音声冒頭部分に注目すると，元話者 F3 よりも目標話者 F2 のほうが低域に集中している．モーフィング音声は，この中間的な値をとっている．

図 4 は元話者と目標話者，モーフィング音声の対応するフレームにおけるスペクトル包絡の第 3 フォルマント (低域から 3 つ目までのピーク) を線で結んだものである．式 (7) によるマッピングを考慮し，元話者とモーフィング音声は 31 フレーム目，目標話者は 11 フレーム目を抽出している．モーフィング音声の低域部分において，スペクトル包絡のピークは元話者と目標話者の中間的な位置に出現していることがわかる．

以上の点から，モーフィング音声のスペクトログラムは 2 話者の中間的なものとなっていることがわかる．

4　評価実験

4.1　聴取実験の準備

2 種類のモーフィング手法の性能を比較するため，主観評価聴取実験を行った．

聴取実験に用いる音声素材は，音声データベース JAIST-ESD の男性話者 5 名 (M1〜M5) と女性話者 5 名 (F1〜F5) が単語 10 種類を発音する音声を，サンプリング周波数 16kHz，量子化ビット数 16bit にリサンプリングしたものを用いた．基準点付与は音素ごとに行い、音素境界は汎用大語彙連続音声認識エンジン Julius [11] を用いて音素セグメンテーション結果を用いた。これらの音声に対してモーフィングを施して聴取実験用音声を作成する．また，個人性に強く影響する母音 [5] のみをモーフィングの対象とし，子音部分は元話者のものをそのまま使用する．母音と子音の区別には Julius の出力を使用する．

比較対象として，LSF パラメータ空間上でモーフィングを行なう手法 (LSF モーフィング) [12] を取り上げる．本稿で報告するスペクトログラムモーフィングとの違いは，1)LSF パラメータ空間上でモーフィング (パラメータの混合) を行った後にスペクトル包絡に変換する点と，2) スペクトル包絡のピークを明示的に基準点として扱わない点である．

MRTD 次数および LSF 次数の設定については，予備実験において，良好な結果であったパラメータを用いた。LSF モーフィングでは MRTD 次数を 5，LSF 次数を 36 に設定し，スペクトログラムモーフィングでは MRTD 次数を 3，LSF 次数を 36 に設定したものを用いた．

4.2　音質評価

LSF モーフィング，スペクトログラムモーフィングの 2 手法において，どちらが音質面で有利であるかどうかを調べる主観評価聴取実験を実施した．聴取実験用音声から，同性話者，同一単語の音声を 2 つ抽出し，$R = 0.5$ として 2 つの手法でモーフィングをした音声をペアとする．被験者は 120 ペアの音声を聴取し，各ペア中での音質が良いと感じた音声を選択する．5 名の被験者の実験結果より得られた結果からプリファレンススコアを算出した．

図 5 に聴取実験の結果から得られたプリファレンススコアを示す．有意水準 1% で有意差が見られ，スペクトログラムモーフィングのほうが音質面で良いという結果を得た．

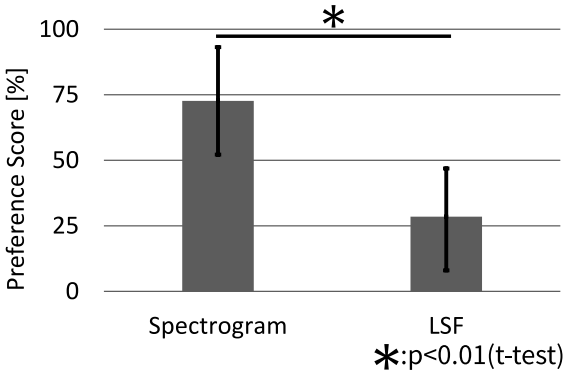


図 5　音質評価結果（エラーバー：99% 信頼区間）

5　おわりに

本研究では，モーフィングに用いる基準点の自動的に付与する手法，およびスペクトログラムモーフィングへの適用についてを報告した．二話者間のスペクトログラムモーフィングにおいて，MRTD と LSF を利用した基準点付与手法の動作の妥当性と，モーフィング音声の音質面から見た有効性を確認した．本手法を用いることにより，音声モーフィングを利用した音声加工を短時間で系統的に行うことが可能となる．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP25240026, JP15K21024 の助成を受けたものです．

参考文献

1) M. Slaney, M. Covell, and B. Lassiter, “Automatic audio morphing,” Proc. ICASSP1996, VOL. 2, pp. 1001-1004, 1996.
2) H. Kawahara and H. Matsui, “Auditory morphing based on an elastic perceptual distance metric in an interference-free time-frequency representation,” Proc. ICASSP2003, VOL. 1, pp. 256-259, 2003.
3) T. Toda, A.W. Black and K. Tokura, “Voice conversion based on maximum likelihood estimation of spectral parameter trajectory,” Proc. IEEE TASLP, VOL. 15, Issue 8, pp. 2222-2235, 2007.
4) S.H. Mohammadi and A. Kain, “Voice conversion using deep neural networks with speaker-independent pre-training,” Proc. IEEE SLT, pp. 19-23, 2014.
5) T. Kitamura and P. Mokhtari, “Effects of vowel types on perception of speaker characteristics of unknown speakers,” Proc. NCSP2006, pp. 45-48, 2006.
6) M. Morise, F. Yokomori, and K. Ozawa, “WORLD: a vocoder-based high-quality speech synthesis system for real-time applications,” IEICE TRANS. INF. & SYST., VOL. E99-D, NO. 7, pp. 1877-1884, 2016.
7) M. Morise, “D4C, a band-aperiodicity estimator for high-quality speech synthesis,” Speech Communication, VOL. 84, pp. 57-65, 2016.
8) B.S. Atal, “Efficient coding of LPC parameters by temporal decomposition,” Proc. ICASSP1983, pp. 81-84, 1983.
9) P.C Nguyen, T. Ochi, M. Akagi, “Modified restricted temporal decomposition and its application to low rate speech coding,” IEICE TRANS. INF. & SYST., VOL. E86-D, NO. 3, pp. 397-404, 2003.
10) F. Itakura, “Line spectrum representation of linear predictor coefficients of speech signals,” J. Acoust. Soc. Amer., VOL. 57, S35(A), 1975.
11) A. Lee, T. Kawahara, and K. Shikano, “Free software toolkit for Japanese large vocabulary continuous speech recognition,” Proc. ICASSP2000, VOL. 4, pp. 476-479, 2000.
12) S. Takizawa, and S. Kawamoto, “Automatic reference point assignment technique for voice morphing,” Proc. GCCE2017, pp. 1-3, 2017.

Automatic Reference Point Placement Technique for Voice Morphing

Shinichi KAWAMOTO, Satoshi TSURUMI, Shota TAKIZAWA

Automatic reference point placement method for voice morphing is reported in this paper. Voice morphing is one of fundamental voice editing methods to blend feature vector sequences of two voices based on corresponding reference points. Reference points are basically assigned by hands, and depends on the quality of voice morphing output. Moreover, assigning reference points is a time-consuming task. The proposed method realizes to assign reference points on spectrogram in time- and frequency-domain automatically based on temporal decomposition (TD) and line spectral frequency (LSF). As results of two-speakers’ voice morphing, the proposed method was worked well by using voice and its transcription as inputs.

アクティブ・ラーニングに関する群馬高専の現状と取り組み

熊谷 健*1、渡邉 悠貴*2、矢口 久雄*3、五十嵐 睦夫*4、
雑賀 洋平*5、出口 米和*6、先村 律雄*7、中島 敏*6、木村 清和*7

（2019年 1月 7日受理）

1. 緒言

人工知能に代表される知識・情報・技術等の加速度的な進展に伴って、情報化やグローバル化といった社会的変化が人間の予測を超えて進展している。このような状況に対応して、教育の場では、人々が感性を働かせ生きて働くために知識・技術を習得するとともに、未知の状況にも柔軟に対応できる思考・判断・表現力を涵養することが求められている。

国立高等専門学校機構では、第3期中期計画の平成26年度計画において、情報通信技術（以下、ICT）を活用したアクティブ・ラーニング（以下、AL）の推進について明記した[1]。これに伴い、仙台高専、明石高専をAL推進拠点校に選定し、ALに対する取り組みが本格化した。

これを受け、本校においても、教育改善を所管する教育研究委員会において取り組みを開始した。平成26年度には、国立高等専門学校機構主催の「英語授業講義力強化プログラム」に参加した本校教員2名を講師とし、「英語授業講義力強化プログラム ～参加者による報告会～」と題した高等教育セミナーを開催した。平成27年度には、授業・学生自己評価アンケート結果に基づいて、「学生に授業への参加を促し、学生からの質問を引き出す工夫が必要」と報告があり、これを受けて、高等教育セミナーにおいてALに関する講習会を開催することを運営委員会で決定した。

このように始まった取り組みも、本年度で5年目を迎える。詳細は、第3章で述べるが、本校においても継続して ALの導入を進めてきた。

本レビューでは、平成30年度の教育研究委員会のメンバーにより、AL導入についての中間的なとりまとめを行うものとした。第2章では、文部科学省が推進するALに関する方針を整理し、周囲の小・中学校、高等学校、ならびに大学におけるALの導入状況等についてまとめる。第3、4章では、本校におけるこれまでの取り組みとアンケート調査に基づく現状を取りまとめて報告する。そして、最後に今後の指針をまとめる。

2. ALをめぐる周囲の状況

2.1 小・中学校におけるAL

この節では、ALの小・中学校の学習指導要領への導入の歴史や経緯について紹介するため、小・中学校の学習指導要領の変遷[2]および最近の小・中学校の学習指導要領[3-4]の骨子を紹介した後、小・中学校の教育課程におけるALの視点からの学習改善の事例[5]を概観する。

1958年の学習指導要領の改訂において、小・中学校の教育課程の基準としての性格を定めるものとして明確化されて以来、学習指導要領では、社会の動向に応じて、教育内容の増加・難化が(1968年改訂)が図られたり、ゆとりある学校生活を実現するために、教育内容の精選(1977年)が図られたりした。近年、社会の多様化に伴い、自ら学び、自ら考える力等の「生きる力」を育成するために、基本的な知識・技能の習得、思考力、判断力・表現力の育成、言語活動の充実が図られるようになった。また、最近の2017年の改訂では、社会のグローバル化、AIに象徴される技術革新の進展、社会構造の変化、雇用環境の変化に伴う、将来についての予測が極めて難しい時代を生きる力を育成するとの観点から、(1)主体的・対話的で深い学び、(2)社会に開かれた教育課程、(3)各学校でのカリキュラム・マネジメントの確立、が重要視されるようになった。

また、この主体的・対話的で深い学びの実現にむけて、AL の視点に立った授業改善を推進することが求められている。特に、通常の言語活動のほか、観察・実験、問題解決的な学習活動の質を向上させることが主眼とされた。また、各教科等の特徴に応じた授業改善の充実化を図るための方法[4]が提示されている。ここでは、数学と理科に関する事例を紹介する。

(1) 数学的な見方・考え方を働かせながら、日常の事象や社会の事象を数理的に捉え、数学の問題を見いだし、問題を自立的、協働的に解決し、学習の過程を振り返り、概念を形成するなどの学習の充実を図ること。

＊1 一般教科（人文） ＊2 一般教科（自然） ＊3 機械工学科 ＊4 電子メディア工学科
＊5 電子情報工学科 ＊6 物質工学科 ＊7 環境都市工学科

(2) 理科の学習過程の特質を踏まえ、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどの科学的に探究する学習活動の充実を図ること。

さらに、平成 30 年度には、文部科学省委託事業[5]として、「教科等の本質的な学びを踏まえた AL の視点からの学習・指導方法の改善に関する実践研究」が拠点校で実施される等、各小・中学校において AL の視点からの教育活動が展開されている。

また、文部科学省では、新学習指導要領に示された「主体的・対話的で深い学び（いわゆる AL)」の実践事例の提供、セミナーの開催等の成果普及および事業を行うことで、わが国全体の教員の資質能力向上に寄与する目的で、平成 29 年 4 月 1 日に、独立行政法人教職員支援機構内のセンターとして「次世代型教育推進センター」[6]を開設した。このような背景をうけて、ここ数年の間に、小・中学校における AL の導入はますます進むに違いない。そしてそのような教育を受けた生徒たちが高専を受験するようになる。

2.2 高等学校における AL

主体的・対話的で深い学びが重視されるのは、高等学校の学習指導要領においても同様である。学習指導要領は、戦後の 1947 年に初めて公布されて以来、学習内容が拡充されていった。その後、1982 年の高等学校入学生から適用された学習指導要領[7]からは学習内容が減少しはじめた。これがいわゆる「ゆとり教育」である。さらにその後、初等および中等教育の現場では AL が「生きる力」という謳い文句を伴って相当に常識的存在として普及している[8]一方で、その状態を踏まえてもっと踏み込む形の内容となった高等学校学習指導要領が 2018 年に公示される。ここであらためて謳われるのが、主体的・対話的で深い学びである。

このような社会の変化に呼応する形で、大学等の入試の形態も変化していく。たとえば、以前は解答に際して必要な知識を詰め込んで答案を書くことが求められたのに対し、昨今においては、必要な知識はその場で資料として与えられ、分量の多い資料のなかから、その場での問題に必要な知識を短時間で探し出して活用することを求められるようになった[9]。

知識を詰め込む教育から、深い学び、すなわち「平成 30 年度高等学校新教育課程説明会（中央説明会）における文部科学省説明資料（次期学習指導要領（2018 年公示）についての解説）」[10]によれば、

習得・活用・探究という学びの過程の中で、各教科等の特質に応じた「見方・考え方」を働かせながら、知識を相互に関連付けてより深く理解したり、情報を精査して考えを形成したり、問題を見いだして解決策を考えたり、思いや考えを基に創造したりすることに向かう「深い学び」

への転換が、周囲の高等学校の教育の場でも求められている。

以下、実際に筆者が研修などを通じて見聞きした高等学校における授業の例をいくつか挙げる。

たとえば、32 人のクラスを半分にわけた少人数での英語の授業において、以下のような対話的な学びの導入がなされていた。生徒たちは、授業のはじめに流される教科書の本文の CD の内容を、メモを取りながら、内容把握に努め、個々人が得た情報を 4 人程度のグループに別れて持ち寄り、内容を再現し、その summary を仕上げる。その後、生徒たちはクラス中を歩き回り、良い summary を探し出して、その著者を発表者として推薦する。推薦を集めた著者は、皆の前に出て口頭発表する。

また、理科（生物）の授業において、生徒は 1 クラスの 32 人が 4～8 人程度のグループを構成し、30 分程度の時間をかけて、その日の授業に設定された主題に沿った結論を得るため資料等を参考として議論をする。グループ員は必然的に、教える側と教えられる側のどちらかになるが、教えられる側はただ聞いていればよいわけでなく、何がわからないかを質問することが義務付けられる。議論時間終了後、班代表者は一班あたり 1 分で口頭発表する。その際、小ホワイトボードを教室前側のホワイトボード（黒板）に貼って掲示しつつ実施する。他班は発表の誤りを指摘する役割を担う。

この生物の授業では、担当するすべての回がこのような AL 形式をとるとのことであった。その場合、従来型の講義形式をとる授業回は存在しない。年度によっては、同一学年の他クラスでは並行して別の教員による従来どおりの講義形式での授業が行われる年度がある。その場合、学年共通の定期試験を実施すると、上記のような AL 形式で授業をしているクラスのほうが平均点は高いことがあるそうである。

また、深い学びの最たるものの一つは、長い報告書の作成であろう。その過程では、上で述べたような「対話的な学び」の過程で発表した短文の蓄積がなされている。それを総合報告書としてまとめるのである。

他にも、特色ある授業の実践校に対して指定がおこなわれる SSH（スーパーサイエンスハイスクール）や SGH（スーパーグローバルハイスクール）といった制度[11]での実践が核となって、様々な事例が蓄積されつつある。群馬県では、SSH について県立桐生高等学校、県立高崎高等学校、県立前橋女子高等学校が指定を受けている。また、SGH では県立中央中等教育学校と高崎市立高崎経

済大学附属高等学校が指定を受けている。

2.3 大学における AL

2.3.1 大学における AL の背景

大学教育を筆頭に AL の導入は教育界に大きな影響をもたらした。AL を牽引する 1 人である溝上[12]は、AL を次のように定義する。

一方向的な知識伝達型講義を聴くという(受動的)学習を乗り越える意味での、あらゆる能動的な学習のこと。能動的な学習には、書く・話す・発表するなどの活動への関与と、そこで生じる認知プロセスの外化を伴う。

ALの導入は、いわゆる講義型学習からのパラダイム転換を謳ったわけであるが、正しい理解のためには、その導入の背景とこれまでの議論の経緯を知る必要がある。

教育問題は少子高齢化、社会構造の変化、グローバル化、そして経済の動向によって影響を受けるものであるが、小針[13]は、AL の導入が経済界の要請から大きな影響を受けたと指摘する。

大学におけるアクティブ・ラーニングは、教育界の論理やその要請というよりも、経済界からの強い要請をうけて、即戦力に近い「人材」養成の観点から、主張、導入されるようになったのです。

確かに大学改革はどのような人物を社会に輩出するのかという問題でもあり、経済産業省[14]が主張する「社会人基礎力」[15]を持つ人材を育てることが社会に貢献すると言える。この「社会人基礎力」とは、「3 つの能力と 12 の能力要素」から構成されており、「前に踏み出す力(アクション)」(主体性・働きかけ力・実行力)、「チームで働く力(チームワーク)」(発信力・傾聴力・柔軟性・状況把握力・規律性・ストレスコントロール力)、「考え抜く力(シンキング)」(課題発見力・計画力・創造力)という実に網羅的な目標を設定したように見受けられる。

このような資質は、キャリア教育の一環として AL 概念を導入する、まさに 2008 年の中央教育審議会大学分科会[16]で述べられた「学士課程教育の構築に向けて(審議のまとめ)」の方針にスムーズに接続するように感じられる。

学生の主体的・能動的な学びを引き出す教授法(アクティブ・ラーニング)を重視し、例えば、学生参加型授業、協調・協同学習、課題解決・探求学習、PBL (Problem/Project Based Learning)などを取り入れる。大学の実情に応じ、社会奉仕体験活動、サービス・ラーニング、 フィールドワーク、インターンシップ、海外体験学習や短期留学等の体験活動を効果的に実施する。学外の体験活動についても、教育の質を確保するよう、大学の責任の下で実施する。

こういった議論の流れの中で、大学の授業改革の方向性として「アクティブ・ラーニング」という言葉が導入されているのは極めて自然な流れであるように思われる。

山地[17]も AL の導入理由として、中教審の「学士力」に加えて、「社会人基礎力」に言及し、キャリア教育としての汎用的技能の習得が重要になったことを指摘している。

審議の後の 2008 年 12 月には、中央教育審議会[18]では、PBL (Problem/Project Based Learning)、サービス・ラーニングと共に、「アクティブ・ラーニング」という用語が削除されているが、基本方針は変わっておらず、同じままである。AL の本質に対する理解が十分に熟していない状況の中で、用語のみが一人歩きをするのを避けたのかも知れない。

中央教育審議会[19]では、この 2008 年の答申で削除された「アクティブ・ラーニング」の用語が満を持して再登場することになり、本格的に AL が始動する。以下がその該当箇所の引用である。

生涯にわたって学び続ける力、主体的に考える力を持った人材は、学生からみて受動的な教育の場では育成することができない。従来のような知識の伝達・注入を中心とした授業から、教員と学生が意思疎通を図りつつ、一緒になって切磋琢磨し、相互に刺激を与えながら知的に成長する場を創り、学生が主体的に問題を発見し解を見いだしていく能動的学修(アクティブ・ラーニング)への転換が必要である。すなわち個々の学生の認知的、倫理的、社会的能力を引き出し、それを鍛えるディスカッションやディベートといった双方向の講義、演習、実験、実習や実技等を中心とした授業への転換によって、学生の主体的な学修を促す質の高い学士課程教育を進めることが求められる。学生は主体的な学修の体験を重ねてこそ、生涯学び続ける力を修得できるのである。

「生涯学び続ける力」の修得という結びの表現からも、リカレント教育とともにキャリア教育が重視されていることが分かる。

さらに、ここでは AL という用語に、初めて以下のような詳細な定義が与えられた。

教員による一方向的な講義形式の教育とは異なり、学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授・学習法の総称。学修者が能動的に学修することによって、認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成を図る。発見学習、問題解決学習、体験学

習、調査学習等が含まれるが、教室内でのグループ・ディスカッション、ディベート、グループ・ワーク等も有効なアクティブ・ラーニングの方法である。

以上のように大学の授業改革の一環として導入され、検討を重ねられたALは、「汎用的能力の育成」を目指し、さらに中央教育審議会[20]の「高大接続答申」をきっかけとして、初等中等教育への拡張が加速されていく流れとなり、2.2節までに述べた「主体的・対話的で深い学び」の導入に繋がっていった。

2.3.2 大学におけるALの多様性

山地[17]はALには多様な形態があることを、図2.3.2のように、実に分かりやすくまとめている。「構造の自由度」が高い第1象限や第2象限は、比較的高度なALであり、それ以前に第3象限や第4象限の学習形態に「充分に馴染む必要がある」と主張する。

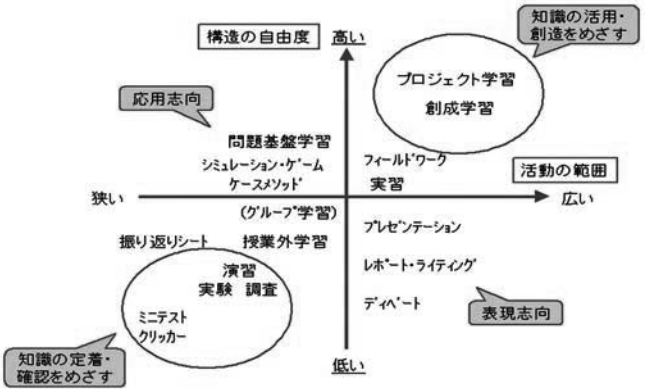


図2.3.2　アクティブ・ラーニングの多様な形態[17]

この山地の分類と指摘は非常に重要である。このようなALの多様性を認識していなければ、基本的な知識の定着や確認を怠ってしまう非効率的な学習形態に陥る心配があり、ALの実践者は充分に注意を払う必要がある。

そのような批判を解決するため、松下[21]は、学習サイクルの6つのステップとして「動機づけ―方向づけ―内化―外化―批評―コントロール」を提示し、「アクティブ・ラーニングでは、内化ばかりの講義を批判するあまり、内化がおざなりになりがちである」ことを指摘する。その上で、内化と外化の効果的な組み合わせを課題とするディープ・アクティブ・ラーニングの重要性を主張している。このような配慮が「深い学び」の導入に繋がるとする。我々はALを実践する際に、ALの多様性の認識とともに、その学習が「浅い学習」に陥らない工夫をしつつ、「深い学習」を注意深く追求していく必要がある。

2.3.3 大学におけるALの実施状況と問題点

大学におけるALの実践例は、実に多岐にわたり、網羅することが難しいぐらい普及している。例えば、株式会社リアセックが運営する「アクティブラーニング/キャリア広場」[22]には、様々な大学のALに関する実践報告等がリンクされており、日々更新されている。「学ぶと働くをつなぐキャリアの広場」という呼び名からも、やはりキャリア教育との連携が強く意識される。

また、日本私立学校振興・共済事業団[23]は平成27、28年度の2か年回答があった私立大学におけるALの実施率が前年度より3.0ポイント増加し、64.9％となっていることを報告している。また、課題解決型学習(PBL)も3.2ポイント増加し54.4％となった。同様に、インターンシップやキャリア教育においては、それぞれ71.5％(3.8ポイント増加)と76.2％(4.5ポイント増加)である。これらの数値からもAL的な方針がかなり浸透している様子が伺えるが、短期大学の実施率がALで47.3％、PBLでは30.7％であることから、依然として普及が順調ではない実態も明らかになっている。

文部科学省[24]によるとALを「効果的にカリキュラムに組み込むための検討を行う大学数」は前年の66％から、平成27年には70％に達している。その一方で、「ファカルティ・ディベロプメント（以下、FD）としてアクティブ・ラーニングを推進するためのワークショップまたは授業検討会を行っている大学数が平成25年の27％から平成27年の42％へ上昇」している現状を評価しつつも、「全国的に普及しているとは言えない」と、更なる教職員の質の向上を課題とする。

ベネッセ教育総合研究所[25]は2008年から2016年の8年間に「グループワークなどの協同作業をする授業」を経験した大学生は53.3％から71.4％に増加しており、他の項目も考慮した上で、AL型の授業を経験する機会が増えているとしている。

上記のようにALが推し進められている中で、ALの問題点を指摘する声も聞かれる。小針[13]は、ALの倫理上の課題を提示する。つまり、ALの実施の過程で、意欲的・能動的に取り組めない学習者に主体性、能動性や自発性を強制したり、内面管理にも及んだりする問題がある。また、意見の対立が学習者同士の人間関係の対立まで発展する可能性があるので注意が必要であることを指摘する。この指摘は、個性を大切にする現代教育の中で、学齢に関係なく極めて繊細な問題であると思われる。

樋口[26]もまた、ALの導入の仕方によっては、人間関係面で積極的・開放的な学生のみが主体的・積極的に参加し、その特性の弱い学生にとっては効果がなかったり、苦痛であったりする可能性を指摘する。

溝上[27]はALが浸透していく一方で、「大学生のキャリア意識調査」を元にキャリア教育に重点を置く形で、ここ10年の教育改革が必ずしもうまく行っていないことを指摘している。また、キャリア意識を高めて行くた

めには中学生、高校生前半の時期から始める必要性も説いている。

以上のように、大学における AL の実施状況は次第に増加してきた一方で、AL 導入により汎用的能力の育成をして「学び続ける力」を育てようとしてきた大学改革の様々な課題や問題点も明らかになりつつある。そのような中で、我々は表面的な AL 導入に留まることなく、組織として効果的な AL の実施方法の検討を続け、学生にとってベストな教育を目指していかなければならない。

3. 本校における取り組み状況

3.1 国立高等専門学校機構による AL 導入の流れ

国立高等専門学校機構では、文部科学省の諮問で AL の推進が言われる 2 年も前の平成 25 年に、AL をビジョンに掲げ、組織改革を含めた教育改革に取り組みはじめている[28]。「国立高専機構の教育改革 ～国立高専機構のミッション・ビジョンと教育改革推進本部～ (平成 25 年 11 月)」[29] という資料の中で、国立高等専門学校機構本部事務局は、国立高専のビジョン①として「PBL などアクティブ・ラーニングの割合をあらゆる教科・科目で増加させる。授業量（時数）については、現行の 9 割以下とし、一方学生の主体的な学習時間（自習、課外活動時間）を増加させる（2 割増等)。」を謳い、本部事務局の下に「研究推進・産学連携本部」とともに「教育改革推進本部」を立ち上げたことを説明している。この教育改革推進本部は、上月理事を本部長とし、総合規格調整、モデルコアカリキュラム推進、ICT 活用教育推進、FD 等企画、情報統合システム企画、国際化推進などを行うこととなっており、プロジェクトテーマの中に、「教材・到達度コンテンツの開発」「アクティブ・ラーニング導入のための教育環境・ネットワーク環境等構築および実践事業」を挙げている。

平成 26 年度より文部科学省による「大学教育再生加速プログラム（略称 AP)」事業では、42 の大学および 4 高専（仙台、明石、阿南、岐阜、後に宇部（平成 27 年度)、徳山（平成 28 年度)）が採択された[30]。このうち、全体の 2/3 にあたる 30 校のテーマは、AL に関するものであった。

これを受けて国立高等専門学校機構では、第 3 期中期計画の平成 26 年度計画において、ICT を活用した AL の推進について明記[1]を行い、AL 推進拠点校に仙台高専、明石高専を選定し、AL に対する取り組みを本格化させたのは、緒言で前述した通りである。

そして、この教育における AL の導入という流れは、もはや数校による取り組みにすぎないのではなく、まさに全国各教育機関を巻き込んでの展開に至っている。

本校においても、教育研究委員会において取り組みを開始した。その詳細を 3.2 以降に示す。

一方で、中部地域大学教育改革推進委員会は、「産業界のニーズに対応した教育改善・充実体制整備事業」の一環として東海 A チームが作成した「アクティブラーニング失敗事例ハンドブック」[31]を web で公開している。詳細な事例は割愛するが、教員側の関与として、学生に学習の目標をきちんと伝えないこと、学生が能動的に学習することの意義に対する理解が不足すること（「主体性教育への無理解」)、形式的にやらされているから仕方なくやっているという意識（「やらされ感」）などが、AL の効果を十分に発揮できない要因であるとの指摘がなされている。

平成 29 年 12 月 1-2 日に開催された仙台高専フォーラム「インタラクティブティーチングを教室に持ち帰ろう（講師 栗田佳代子氏、鹿野晴夫氏)」[32] では、先進校として AL の導入を進めていた仙台高専における反省から、陥りがちな失敗として AL の形式的な導入を目的化したり、形式の導入状況の数値化による評価を行うことを挙げ、教育の本質や AL を導入する目的を見失ってはいけないという指摘が強調された。

3.2 平成 26 年度高等教育セミナー

平成 26 年度の高等教育セミナーは、平成 27 年 3 月 6 日に開催され、「英語授業講義力強化プログラム ～参加者による報告会～」と題して、本校の一般教科（人文）所属の英語教員である伊藤文彦氏と長井志保氏が講師を務めた。本校教員が講師を務めて本校教員にその内容や手法を紹介するという点において、他年度の高等教育セミナーとは一線を画する AL への取り組みとしても特筆されるものである。

この表題となる「英語授業講義力強化プログラム」とは、平成 25 年 6 月 14 日開催の校長事務部長連絡会議におけるパネルディスカッション（「高等専門学校教育を取り巻く諸問題」）にて紹介された茨城高専の事例に基づいて、八戸高専主管で独立行政法人国立高等専門学校機構が開催したものである。これは、英語による授業展開が可能な教員を養成するプログラムであると同時に、学生の学習意欲を高め、「考える・体験する・発言する」などの学生主体の場面を増やし、より学習効果の高い授業スタイルとその運用スキルを身につけることを目的としたプログラムでもあった。それゆえ、実質的には、AL に通じる授業テクニックを紹介する講演会であったと言える。

高等教育セミナーでは、はじめに、長井氏が「学習意欲を向上させるための質問の活用方法について」と題して、コミュニケーションスキルとして質問を活用するポイントについて講演した。この中で、同氏は目的の重要性を強調し、質問においても、その目的を明確にすることが大切であることを述べた。学生を能動的に参加させることを目的とした質問としては、たとえば、経験や考

えを述べることのできる質問や受講者の理解度を測る質問などの例を挙げた。ここで、前者の質問では学生が参加しやすくなる雰囲気づくりが重要であることや、後者の質問は授業最後に行う方が良いという実践的な指針なども示された。また、質問の種類には「はい・いいえ」で回答できるクローズド質問、考えや意見などを述べるオープン質問があり、さらに、その方法として指名質問や全体質問に分岐することが示された。ここで、全体質問の最小単位としてペアワークを挙げ、聴講者にも実際に体験をさせながら、その概要について説明が行われた。特に、全体質問においては教員には「アクティブ・リスニング」が求められるとのことであった。これは、「うなづき・あいづち」などにより、聞いていることを学生に伝えて参加を促すことや、重要事項につながるものは要約して強調するというもので、AL を運用する上でも重要なスキルである。これらに加えて、より進んだ質問テクニックとして、修辞的質問・反対質問・リレー質問・反射質問なども紹介された。

続いて、伊藤氏が「その他のスキルについて」と題して、同氏らが取得した資格 CTT+ の概要を紹介し、教員がとるべき行動やそれを支えるプレゼンテーション・スキルなどについて述べた。はじめに伊藤氏も、長井氏と同様に目的の重要性を述べ、授業のねらいを冒頭で学生に伝える必要性を強調した。CTT+ とは情報技術業界団体 CompTIA が提供する資格で、企業などがインストラクター養成のために利用しているとのことであった。CTT+では、居眠りしている学生の態度を改善させるためには、その学生のそばに移動して説明を続けることが有効と考えられていることなどが紹介された。さらに、教室の机の配置でコミュニケーションが大きく変わるとの説明があった。具体例として、少人数でディスカッションに適した「コの字型」、学生同士が視線を合わせながらグループ・アクティビティや実習ができる「グループ型」、コンピュータを使った実習で教員が学生の状況を認識しやすい「背面型」が挙げられ、それぞれの利点について解説がなされた。特に、学生が数名で机を合わせるときに広く用いられる配置でもある「グループ型」は、本校の英語授業の一部でも導入されているとのことであった。このように、伊藤氏の講演でも、「アクティブ・ラーニング」という用語は前面に出ていなかったが、実質的に AL へ応用可能な示唆に富む内容であった。

3.3 平成 27 年度高等教育セミナー

平成 27 年度の高等教育セミナーでは、株式会社 ICC ラーニング代表取締役で、上述の資格 CTT+ も保有する鹿野晴夫氏を外部講師として招き、「アクティブ・ラーニング講習会」と題して、平成 28 年 3 月 15 日に開催された。

配布資料には、主題に加えて副題として「学生の参加を促す質問の技術」とあり、題目も内容も前年度に行われた伊藤氏や長井氏の講演との共通点が少なからず見受けられた。しかし、特筆すべき象徴的な違いは「アクティブ・ラーニング」という用語が明示的に講演題目に使用された点であろう。しかも、平成 27 年度以降、3 年連続で高等教育セミナーでは AL を紹介する講演が続いている。このような点からも、時代の要請を表すひとつのキーワードとして、AL が本校において徐々に存在感を増してきたことがうかがえる。

鹿野氏の講演は、前半が講義形式で、後半が参加型の演習となっており、学生の参加を引き出す質問の活用方法を理解して授業改善のヒントをつかむとともに、演習を通じて質問の種類やタイミングを学び、授業での効果的な実践につなげることを期待するというものであった。同氏によれば、講義にプラスして演習・実習、ディスカッションを組み合わせることで、AL を実践できるとのことであった。ディスカッションの方法としては「全体質問」→「ディスカッション（ペア・グループワーク）」→「指名質問」という形態が紹介された。ここで、ディスカッションを効果的に実践する「質問スキル」が重要であるとし、質問の目的は「理解の確認」と「参加を促すこと」の 2 点が挙げられた。後半は、質問スキルを活用したディスカッションとして、授業冒頭で学生の参加を促すことを想定した演習が行われた。聴講者は配布されたワークシートに ① ディスカッション（質問スキル）・分析、② 演習（計画）、③ 演習（準備）のそれぞれを記載し、自身の担当科目における全体質問や指名質問を考えるトレーニングを行った。本講演は、本校で初めてとなるプロの講師による AL の講習会であったが、具体的な導入方法が示されたという点で、意義深いものがあったと思われる。

3.4 平成 28 年度高等教育セミナー

平成 28 年度は、平成 29 年 3 月 15 日に高等教育セミナーを開催した。阿南高専より坪井泰士教授を講師に迎えて、「アクティブ・ラーニングの導入とその効果 －高専授業によるアプローチー」と題して講演いただいた。坪井先生ご自身の授業での経験と、念入りに準備された資料に基づいた講演で、AL の定義から始まり、反転授業の手法等まで、さまざまな手法を紹介していただいた。反転授業とは、事前に指定した主題に関して、 教員が事前に準備し公表したビデオ教材等に基づいて、学生が事前に予習を行い、これに基づいて当日の授業が行われるようなものである。事前予習用のビデオ教材の作成のノウハウから、これを授業に活用する上での具　体的な tips の紹介に至る講演であった。

3.5 平成 29 年度高等教育セミナー

平成 29 年度は、平成 30 年 3 月 6 日に高等教育セミナーを開催した。平成 28 年度実施のアンケート結果「理系科目での実践例を聴きたい」に応えるため、仙台高専の矢島邦昭教授を講師に迎えて、「仙台高専にけるアクティブラーニングの推進」と題して講演いただいた。教職員と技術職員の合計 56 名が参加し、AL の推進校である仙台高専の取り組みをご説明いただくとともに、それを踏まえ、AL において必要となる教員のスキルについて解説をいただいた。授業実施例として、化学・物理で取り入れている学習手法などを紹介していただいた。

3.6 高等教育セミナーのアンケート結果

平成 28 年度、平成 29 年度の高等教育セミナーでは、それぞれの参加者を対象とし、同一の質問内容でのアンケートをとっている。

FD の観点からこの講演が役に立ったかという設問に対し、「非常に役立った」「まあ役立った」の回答は、平成 28 年度には 88 %、平成 29 年度には 90 % であった。

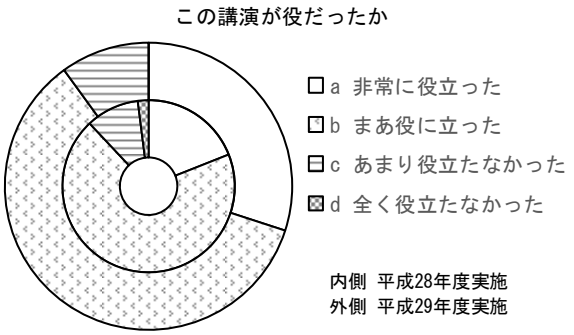


図 3.6.1 高等教育セミナーアンケート結果

AL についての理解についての設問に、「非常に深まった」と回答したのは、平成 28 年度では 27 % 、平成 29 年度では 26 % であったが、平成 28 年度 60 %、平成 29 年度 62% の「まあ深まった」の回答を含めると、87～88 % の教員が AL についての理解を深めた結果となっている。

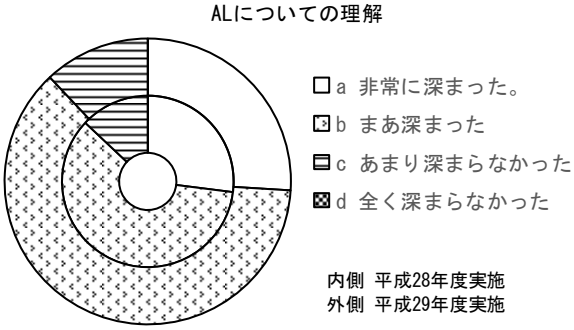


図 3.6.2 高等教育セミナーアンケート結果

AL の手法を授業に取り入れたいと思うかの設問に対し、平成 28 年度の時点では、「すでに AL の手法を授業に取り入れている」という回答は 6 % にとどまったか、「まずは一部の科目で取り入れたい」、「複数の科目で取り入れたい」という回答と併せて 49 %に達した。また 47 %は「今後検討していきたい」という回答であった。これに対し、平成 29 年度の時点では、「すでに AL の手法を授業に取り入れている」という回答も 20 % に増え、「まずは一部の科目で取り入れたい」、「複数の科目で取り入れたい」という回答と併せて 68 %に達し、本教員の間でも、AL の導入が具体的に進んできていることが裏付けられる結果となった。

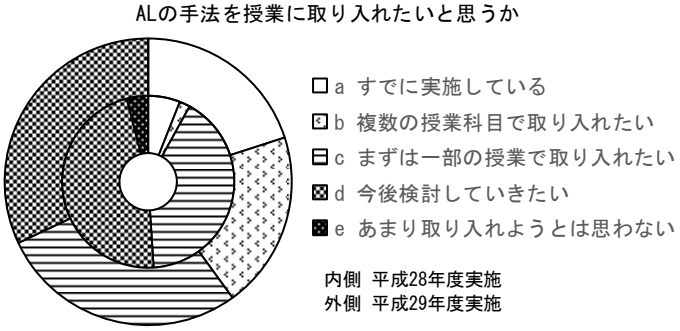


図 3.6.3 高等教育セミナーアンケート結果

以上のように、高等教育セミナーへの参加者のうち、約 8 割から 9 割の教員にとっては、AL についての理解が進んできており、授業への AL の取り入れ状況も向上しつつある状況を読み取ることができる。

4. 群馬高専における現状

4.1 アンケート調査について

平成 30 年度に、教育研究委員会では、これらの状況を受けて、本校における AL への取り組み状況をより詳しく分析し今後の学校運営に資する目的で、包括的な AL の導入状況および教員の意識についての調査を行った。

AL の形式的な方法論にとらわれて本質を見失ってはいけないというという指摘をうけ、アンケートのタイトルには AL の用語は用いずに、「能動的に学ばせるための工夫の導入に関する実態調査」とし、平成 30 年 7 月から 9 月にかけて常勤教員を対象として実施した。

それぞれの教員が担当する科目ごとに、体育、卒業研究、等の実技科目以外について、以下の項目について調査することとした。設問 2 から設問 7 は、回答対象の科目一つずつについて答えてもらった。なお、教員名および科目名は無記名とし、設問 1 は集計に含めていない。

(1) 回答者の所属学科
(2) 回答対象となる科目を区別するための任意の数字

(3) 科目の「一般科目・専門科目」の別
(4) 対象学年
(5) 同一内容で授業を行う授業の数
(6) 「設問 6」その授業ごとに、AL 的な要素（ただし、形式にはとらわれないものとする）の導入について、教員の考えに一番近いものを選択する。
a. AL 的な要素の導入が必要で、すでに AL を意識した授業をはじめている。
b. AL 的な要素の導入が必要で、近い将来に導入することを計画している。
c. AL 的な要素の導入が必要だと思うが、いろいろな事情でまだ計画には至っていない。
d. この科目については、AL 的な要素の導入は必要ないと考えている。
(7) 「設問 7」授業ごとの、AL 的な要素の導入状況について、以下の各群内の項目ごとに、0〜3 の重みづけをする。0 は全く取り入れていない、3 はほとんど毎回の授業で取り入れている（14 回の授業のうち 10 回以上換算）。
a 群. 教員の意識、授業の構成などに関する工夫（7 項目）。
b 群. 教材・資料の提示方法などに関する工夫（4 項目）。
c 群. 板書、説明、学生への接し方などに関する工夫（5 項目）。
d 群. 教授方法などに関する工夫（5 項目）。
(8) その他の学生を能動的に学習させるための工夫（自由記述）

4.2 アンケートの集計結果

非常に多数の教員からの協力を得ることができ、回答者数は 65 名（一般教科人文 9 名、一般教科自然 9 名、機械工学科 9 名、電子メディア工学科 9 名、電子情報工学科 10 名、物質工学科 10 名、環境都市工学科 9 名）に上った。科目数 313 件、複数クラスに対して授業を含めると、クラス数の合計は 365 件であった。以下、集計においては、このクラス数に基づいて行った。

設問 6 および設問 7 について、得られた回答の区分ごとの集計結果を表に示す。ただし、設問 6 については、一般・専門の別および学年の区分ごとに、a〜d の回答のそれぞれの割合をパーセンテージで示した。また、設問 7 については、一般・専門の別および学年の区分の他に、設問 6 の回答区分ごとの集計を行い、a 群から d 群のそれぞれの項目ごとに、0〜3 の重みづけされた回答評点の平均で示した。なお、設問 7 は 4 群 21 項目あるので、すべてに対してほとんど毎回の授業で取り入れているような場合は、63 点満点となる。

設問 6 については、その科目に対して、教員の AL 的要素の導入についての意識を答えてもらった。

表 4.2.1 設問 6 の区分ごとの集計結果

区分	クラス数	設問 6（パーセント）			
		a	b	c	d
全体	365	48.8	9.9	25.2	14.5
一般科目	96	62.5	12.5	11.5	13.5
専門科目	263	44.9	9.1	28.5	15.2
1〜3 年	151	56.3	4.6	22.5	15.2
4〜5 年	134	45.5	12.7	24.6	14.9
専・他	79	39.2	15.2	31.6	12.7

AL 的要素を、すでに導入している、および、近い将来に導入する計画である（a＋b）の割合は、一般科目の授業で 75 %、専門科目の授業でも 54 % に達していることからもわかるように、本校教員の AL に対する意識は非常に高いといえる。

詳細についてみると、特に一般科目・低学年の授業で、AL 的要素の導入が進んでいる（a の割合が高い）。学年が上がると、その割合は下がっていく傾向にある。

表 4.2.2 設問 7 の区分ごとの集計結果
（満点は、a 群 21 点、b 群 12 点、c 群、d 群各 15 点）

区分	クラス数	設問 7（平均得点）				
		a 群	b 群	c 群	d 群	計
全体	365	10.2	2.5	9.1	2.6	24.5
一般科目	96	13.6	2.7	12.0	4.3	32.6
専門科目	263	9.0	2.5	8.0	2.0	21.4
1〜3 年	151	11.3	2.4	10.2	2.8	26.7
4〜5 年	134	9.3	2.7	8.7	2.6	23.4
専・他	79	9.6	2.3	7.9	2.0	21.8
設問 6 a	178	12.0	3.4	10.2	3.9	29.5
b	36	10.6	2.0	8.6	2.6	23.8
c	92	7.8	2.1	7.2	1.0	18.1
d	53	8.4	0.9	9.0	1.2	19.5

設問 7 では、63 点満点となる科目が 7 クラスあったが、これはすべて同一教員による回答である。また、0 点の科目が 11 クラスあったが、このうち 8 クラスは、回答方法に誤りがあり全体に得点を与えているものの、集計上どの群の項目に点数を配分するのかが不明であったために 0 点として処理したクラスである。すなわち、実質の 0 点の回答は 3 クラスであった。

実際に取り入れられている AL 的な要素としては、いずれの区分においても、a 群（教員の意識、授業の構成などに関する工夫）と、c 群（板書、説明、学生への接し方などに関する工夫）のポイントが高いことがわかる。

さらに、一般・専門の区分別の設問 7 の得点の分布状況を図 4.2.1 に示す。縦軸はクラス数である。

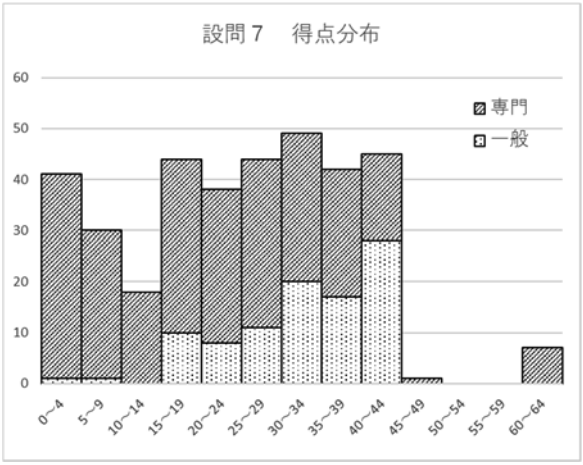


図 4.2.1 設問 7 の合計得点分布（一般・専門の区分別）

分布図を見ても分かる通り、設問 7 の合計得点の分布では、40～44 点の区分まで、まんべんなく分布しているが、10～14 点を境に 2 群に分けられる可能性がある。ただし、一般科目では、ほとんどすべての授業において 10～14 点の区分より高い得点となった。

設問 7 の得点の分布では、40～44 点の区分まで、まんべんなく分布しているが、10～14 点を境に 2 群に分けられる可能性がある。ただし、一般科目では、ほとんどすべての授業において 10～14 点の区分より高い得点となった。

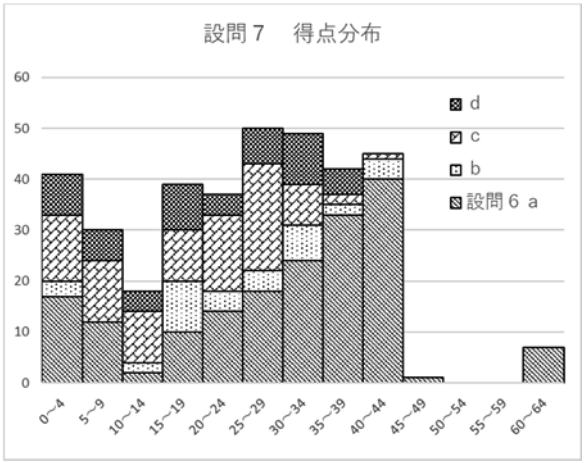


図 4.2.2 設問 7 の得点分布（設問 6 の回答区分別）

更に、設問 6 の回答区分別に集計した設問 7 の得点の分布状況を図 4.2.2 に示す。AL 的な要素の導入が必要ないという回答（設問 6 の d）のクラスが、全体として 15 % 弱あるものの、そのようなクラス群であっても、設問 7 では、他の区分と比べてやや低いものの、おおきく遜色のない点数となっている（むしろ、設問 6 が c の回答群よりもわずかに得点が高い）。従って、教員としては特に意識して AL 的な要素を導入する必要はないと答えていながら、実際には AL 的要素が取り入れられた授業となっている科目が多数含まれていることを示していると思われる。実際、設問 6 で d を選び、かつ設問 7 の得点が 0 点であるような科目（回答方法の誤りであることが明らかなものは除外）は、2 クラスのみであった。

また、自由記述であった設問 8 に対しても、計 6 人の教員より、それぞれの授業で実施している授業の工夫などに関する具体的な記述があった。

5. 結言

中央教育審議会において、2008 年には大学分科会 [16]すでに謳われていた AL が、2016 年、2017 年の初等中等教育（小・中学校、高等学校）の学習指導要領に反映され、更には高等教育機関（高等専門学校、大学）も含めて、知識伝達型の学習から、能動的な深い学びへの転換が進みつつある。

すでに高専では、演習や実習を通して、実験結果を考察させるなど、知識伝達型ではない学習にも力を入れ、多く取り入れてきた。とはいえ、周囲を取り巻く状況を鑑みると、更に AL 的な要素を授業に導入し、学生たちに能動的に学ばせるような工夫を行っていくことは避けるべくもない状況である。

平成 26 年度に実施した FD セミナー以来、本校では継続して AL 的要素の導入について取り組んできた。現状において、本校においては、それぞれの教員が創意工夫する中で、低学年を中心に、そして全体的に AL 的な要素の導入が着々と進められていると結論できる。

しかしながら、AL 的な要素の導入は、目的を失って形骸化した授業形態、形式を導入するための取り組みであってはならない。それぞれが一教員として、また、学校という組織として、学生のために何ができるのかを継続的に考え、取り組んでいく必要がある。

参考文献

1)「独立行政法人国立高専機構の年度計画（平成 26 年度）」、
http://www.kosen-k.go.jp/information/nendo-h26.pdf、（平成 30 年 10 月 1 日閲覧）.
2) 文部科学省：「学習指導要領の変遷」、
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/siryo/__icsFiles/afieldfile/2011/04/14/1303377_1_1.pdf 、（平成 31 年 1 月 4 日閲覧）.
3) 文部科学省：「小学校学習指導要領」、
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/09/05/1384661_4_3_2.pdf、（平成 31 年 1 月 4 日閲覧）.

4) 文部科学省：「中学校学習指導要領」、
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1384661_5_4.pdf 、(平成 31 年 1 月 4 日閲覧) .
5) 文部科学省：「教科等の本質的な学びを踏まえたアクティブ・ラーニングの視点からの学習・指導方法の改善のための実践研究」、
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1401806.htm、(平成 31 年 1 月 4 日閲覧) .
6) 「次世代型教育推進センター」、
http://www.nits.go.jp/jisedai/、(平成 31 年 1 月 5 日閲覧) .
7) 「学習指導要領の変遷 - 文部科学省」、
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/siryo/__icsFiles/afieldfile/2011/04/14/1303377_1_1.pdf、(平成 30 年 10 月 1 日閲覧).
8) 「現行学習指導要領『生きる力』(2008 年公示) の基本的な考え方」、
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/idea/1304378.htm、(平成 30 年 10 月 1 日閲覧).
9) 「セ試・2 次とも“科目増”を維持！ 京大では“指導要領外”の出題も明記！」、
http://eic.obunsha.co.jp/resource/topics/0406/04061.pdf 、(平成 30 年 10 月 1 日閲覧).
10) 「平成 30 年度高等学校新教育課程説明会（中央説明会）における文部科学省説明資料（次期学習指導要領（2018 年公示）についての解説)」、
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1408677.htm、(平成 30 年 10 月 1 日閲覧).
11) 「SSH および SGH のウェブサイト」、
https://www.jst.go.jp/cpse/ssh/index.html、
http://www.sghc.jp/、(平成 30 年 10 月 1 日閲覧).
12) 溝上慎一：「アクティブラーニングと教授学習パラダイムの転換」、東信堂、(2014).
13) 小針誠：「アクティブラーニング　学校教育の理想と現実」(講談社現代新書)、講談社、(2018).
14) 経済産業省：「社会人基礎力に関する研究会-「中間取りまとめ」-」(2006 年 1 月 20 日)、
http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/chukanhon.pdf 、(平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
15) 経済産業省：「社会人基礎力」、
http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/、(平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
16) 中央教育審議会大学分科会：「学士課程教育の構築に向けて(審議のまとめ)」(2008年3月25日)、
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2013/05/13/1212958_001.pdf、(平成30年10月17日閲覧).
17) 山地弘起：「アクティブ・ラーニングとはなにか」、『大学教育と情報』、pp.2-7、(2014 年度 No.1)、
http://www.juce.jp/LINK/journal/1403/pdf/02_01.pdf、(平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
18) 中央教育審議会：「学士課程教育の構築に向けて(答申)」(2008 年 12 月 24 日)、
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2008/12/26/1217067_001.pdf、(平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
19) 中央教育審議会：「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～ (答申)」(2012 年)、
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325047.htm、(平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
20) 中央教育審議会：「新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた 高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について～すべての若者が夢や目標を芽吹かせ、未来に花開かせるために～ (答申)」(平成 26年12月22日)、
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/__icsFiles/afieldfile/2015/01/14/1354191.pdf 、(平成30年10月17日閲覧).
21) 松下佳代・京都大学高等教育研究開発推進センター(編著)：「ディープ・アクティブラーニング」、pp.1-27、勁草書房、(2015 年) .
22) 「アクティブラーニング/キャリア広場」、
http://www.riasec.co.jp/hiroba/archives/tag/active-learning、(平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
23) 日本私立学校振興・共済事業団：「私立大学・短期大学教育の現状（教育情報集計報告 2016 年度）」(2017 年)、
http://www.shigaku.go.jp/files/h28kyouikunogenjyou.pdf、 (平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
24) 文部科学省：「平成 27 年度の大学における教育内容等の改革状況について(概要)」、
http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/daigaku/04052801/__icsFiles/afieldfile/2017/12/13/1398426_1.pdf、(平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
25) ベネッセ教育総合研究所：「第 3 回大学生の学習・生活実態調査報告書」(2018 年)、
https://berd.benesse.jp/up_images/research/000_daigakusei_all.pdf、 (平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
26) 樋口健：「誰がアクティブ・ラーニングの恩恵を受けるのか？－大学 1 年生の友人関係の特性から考える－」(2014 年)、
https://berd.benesse.jp/koutou/topics/index2.php?id=4125、(平成 30 年 10 月 17 日閲覧).
27) 溝上慎一：「大学生白書2018―いまの大学教育では

学生を変えられない―」、東信堂、(2018年)．
28) 上月正博：「国立高専機構の教育改革　～質保証・アクティブラーニング・国際化～」、https://find-activelearning.com/set/2604/con/2602、(平成30年12月27日閲覧)．
29) 国立高等専門学校機構本部事務局：「国立高専機構の教育改革 ～国立高専機構のミッション・ビジョンと教育改革推進本部～」(平成 25.11)、http://www.gifu-nct.ac.jp/AP2014/PDF/AP-270126.pdf、(平成 30 年 12 月 27 日閲覧)．
30) 文部科学省：「平成 26 年度「大学教育再生加速プログラム」の選定状況について」、http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/kaikaku/ap/1350948.htm、(平成 30 年 12 月 27 日閲覧)．
31) 中部地域大学教育改革推進委員会：「アクティブラーニング失敗事例ハンドブック」、https://www.nucba.ac.jp/archives/151/201507/ALshippaiJireiHandBook.pdf、(平成 30 年 12 月 27 日閲覧)．
32) Active Learning Online (アロ)：「仙台高専フォーラムのお知らせ」(2017 年 12 月)、https://al-online.jp/topics/sedandai20171201.html 、(平成 30 年 12 月 27 日閲覧)．

Current Situation and Efforts of National Institute of Technology, Gunma College on Active Learning

Takeshi KUMAGAI, Yuki WATANABE, Hisao YAGUCHI, Mutsuo IGARASHI,
Youhei SAIKA, Yonekazu DEGUCHI, Ritsuo SAKIMURA,
Satoshi NAKAJIMA, Kiyokazu KIMURA

Due to the accelerated progress of knowledge and information technology, as typified by artificial intelligence, education is required to acquire knowledge and skills; yet concurrently, cultivating the abilities of thought, judgment, and expression is necessary as well, and “deep learning” and “active learning” have attracted much attention in school education. The National Institute of Technology clearly stated the promotion of active learning using information and communication technology in the plan of 2014 of the 3rd Medium Term Plan.

In response to this, the Education and Research Committee at the National Institute of Technology, Gunma College commenced efforts toward introducing active learning in 2014. In this review, we will compile the results of initiatives to introduce active learning in the past five years, hoping to present future guidelines. In Chapter 2, we reviewed the policy on active learning promoted by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, and described the status of active learning introduction at elementary and junior high school, high school, and college and university levels. In Chapters 3 and 4, based on a questionnaire survey, we reported on the current situation of our school about the educational method in which students actively learn.

通電による異常増殖した藻類の除去

谷村　嘉恵*

(2019 年 1 月 7 日受理)

１．はじめに

藻類は、植物であり、水中の栄養塩類を吸収し、太陽のエネルギーを利用して、大気中の二酸化炭素を有機物にする光合成を行い、自然生態系にとってはエネルギー及び有機物の取り入れ、酸素の生産に欠かせない存在である。一方、河川、湖沼、人工池などのあらゆる水域には藻類が生息していて、特に流れが緩やかで、または、流れのない閉鎖性水域では、藻類の異常増殖が起こりやすい。藻類が異常増殖していると、水域が緑色、茶色、赤色などに着色し、景観が悪くなり、人々に不快感を与えるだけではなく、その水域の水利用にも影響する。

藻類は、その大きさも重量も小さく、ろ過や遠心分離などの固液分離方法で除去することは難しい。異常増殖した藻類を水域から固液分離させて簡単に除去できる方法の検討が必要である。

当研究室では、水に金属電極を設置して電気を流すことによる藻類への影響について研究している。これまでの研究で得られて結果をここにて報告する。まず、電気を流した水中における藻類の動きを観察し、そして、回分方式で水槽に水を汲み、電極板を設置して通電することによって藻類を陽極板に付着させることを試みる。最後に、金属電極を設置した水槽に藻類が異常増殖している水を連続に流入させて通電する実験を行い、藻類の除去効率について検討する。

2. 実験装置及び実験方法

2.1　電気を流した水中における藻類の動き

図 1 に、電気を流した水中における藻類の動きを観察するための実験装置 1 を示す。図 1 に示したように、この実験装置は、血球計算盤、電極として血球計算盤の凹面部と凸面部の間にある溝に巻き付けた銅線、直流安定化電源からなっている。実験は、凹面部に藻類を含む水を滴下して、カバーガラスを掛け、10mA の電流を印加して顕微鏡で藻類の動きを観察する。

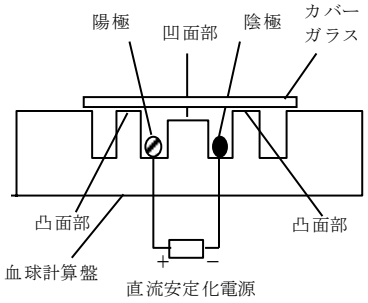


図１　実験装置１

2.2　回分方式で水中の藻類を陽極板に付着させる実験

図 2 に、回分方式で水中の藻類を陽極板に付着させる実験の実験装置 2 を示す。図 2 に示したように、この実験装置は、有効容積 1.5L の水槽、陰・陽電極としたアルミニウム板（150㎜×100㎜）2 枚、直流安定化電源からなっている。実験は、水槽に藻類を含む水を 1.0L 入れて、

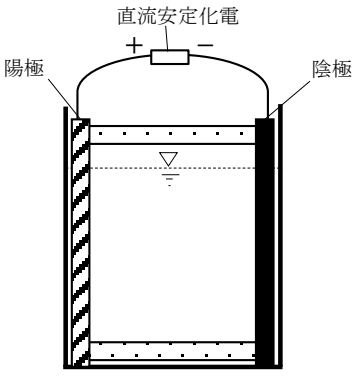


図２　実験装置２

*群馬工業高等専門学校環境都市工学科

印加電流値を種々変えて行い、陽極に付着した藻類の量を測定した。なお、陰・陽電極の間隔を 4.5cm とした。

2.3　連続流方式実験装置による藻類除去実験

図 3 に、連続流方式実験装置を示す。図 3 に示したように、この実験装置は、供試水タンク、流入ポンプ、調整室、電極室、陽極として電極室の中央に設置したアルミニウム板（110mm×910mm）1 枚、陰極として電極室の両側面に沿って設置した銅板（110mm×910mm）2 枚、放流室、処理水タンク、直流安定化電源からなっている。電極室の有効容積は 10010cm^3 で、陰・陽電極間の間隔は 5cm である。実験は、供試水を流入ポンプで調整室を経て電極室に一定の速度で流入させ、処理水をオーバーフロー方式で放流室を経て放流し、印加電流値 150mA、滞留時間 1 時間、2 時間、3 時間の条件下で流入する供試水と流出する処理水の濁度を測定して行った。

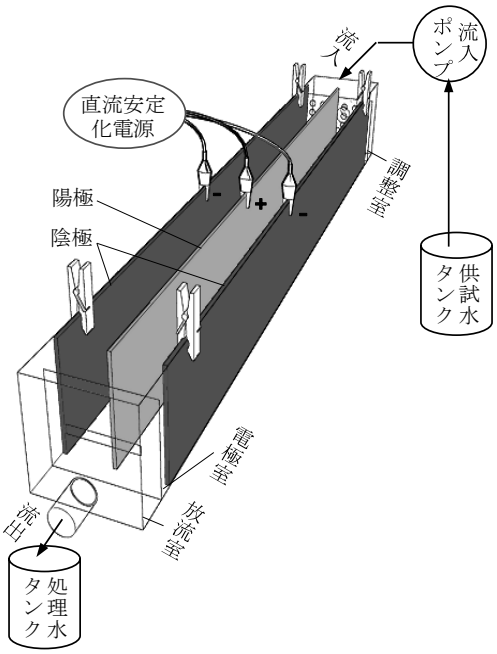


図 3　連続流方式実験装置

3. 実験結果及び考察

3.1　電気を流した水中における藻類の動き

図 4 に、電気を流した水中における藻類の動きを示す。図 4 に示したように、○印をつけた藻類が、通電時間の経過とともに矢印方向すなわち陽極側に移動していることが分かった。このように電場に置かれた藻類が陽極側に移動する現象については以下のように考える。この実験に陽極として銅線を使用しているため、通電すると陽極の銅線から銅イオンが溶出する。溶出した銅イオンは

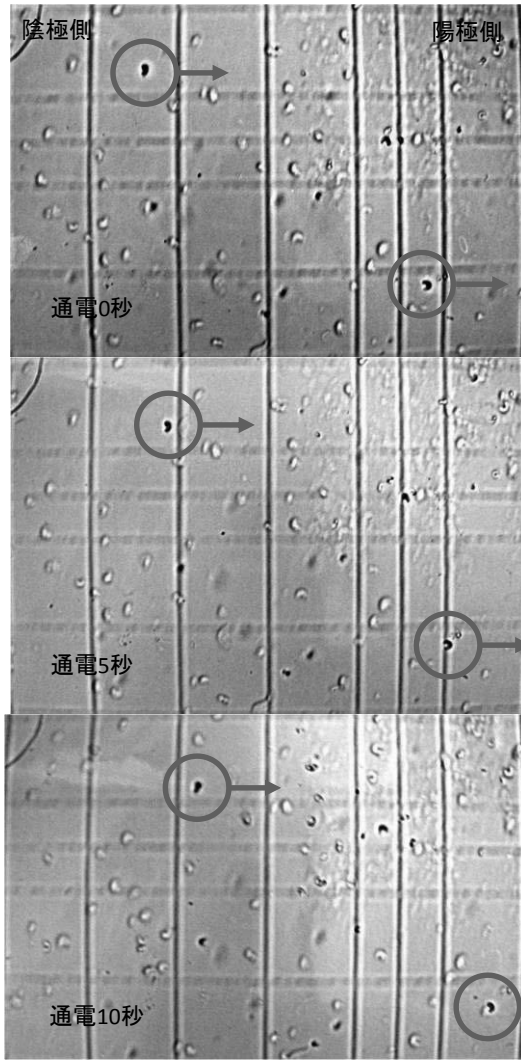


図 4　藻類の移動

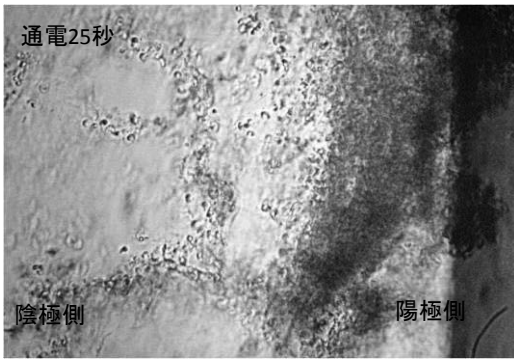


図 5　通電 25 秒後の陽極付近

正の電荷をもっているため、負の電荷をもつ藻類を引き寄せていくことが起きる。

図 5 は、通電 25 秒後の陽極付近の写真である。図 5 に示したように、陽極付近に藻類が固まっていることが分かった。これは、図 4 に示したように藻類が陽極側に移動し、最終的に血球計算盤の凹面部の陽極付近に溜まってしまうことによるものである。これは、顕微鏡下で観察された現象であり、水槽に設置した陽極板にどのような現象が起きるかは次の実験で確かめる。

3.2　回分方式で水中の藻類を陽極板に付着させる実験

図 2 に示した回分方式実験装置 2 に藻類が異常増殖した水を入れて通電すると、通電時間の経過につれ陽極の対面に藻類が付着していく様子が観察で分かった。

図 6 に、印加電流値 160mA、印加電圧 34.5V の条件で、通電時間 1.5 時間時の陰・陽電極の対面の写真を示す。通電開始後 5 分経過時、陽極の対面に直径 1mm 程度大きさの緑色の塊が付着していることが観察された。その後、時間の経過とともに塊が多くなっていて、最終的に陽極の対面一面が覆い尽くされていた。この現象について以下のように考える。本実験で陽極としてアルミニウム板を使用しているため、通電することにより、陽極からアルミニウムイオンが溶出し、陽極付近で引き寄せてきた負の電荷をもつ藻類と凝集フロックを作って付着する。このように陽極対面に付着した藻類は、凝集フロックの形になっていて、水に戻ることもなければ、水槽から電極板を引き上げる際に剥がれ落ちることもなかった。この方法を用いれば、固液分離しにくい微細藻類の除去も可能となる。一方、陰極のアルミニウム板の対面には藻類の付着は見られなかった。

従って、藻類の凝集フロックがより多く付着するように、装置や電極の形状などを改善し、陽極の有効面積を増やすことによって、藻類の除去量の増大につながると考えられる。

3.3　連続流方式実験装置による藻類除去

本実験に用いた供試水に藻類が多く含まれていて、水の濁度は 90 度と高かった。通電開始 5 分程度で陽極の対面に藻類の付着が確認された。通電開始後 15 分程度で陽極の対面が付着した藻類に覆い尽くされていた。また、藻類の付着量は流入口側に近いほど多かった。通電時間の経過とともに藻類の付着量は更に増加し、滞留時間 1 時間の場合では約 90 分、滞留時間 2 時間の場合では約 160 分、滞留時間 3 時間の場合では約 220 分までに、藻類の付着量は増えていた。その後、付着した藻類が部分的に剥がれ落ちた。これらの結果から、本実験条件下では、連続流方式実験装置を用いて藻類を付着させて除去することは可能であることがわかった。

図 7 に、藻類の除去率の経時変化を示す。図 7 に示したように、いずれの滞留時間においても、通電時間が長くなるにつれ、通電初期における藻類の除去率はほぼ直線的に増加し、その後、藻類除去率の増加は見られなかったが、いずれも高い除去率が維持されていた。これは、

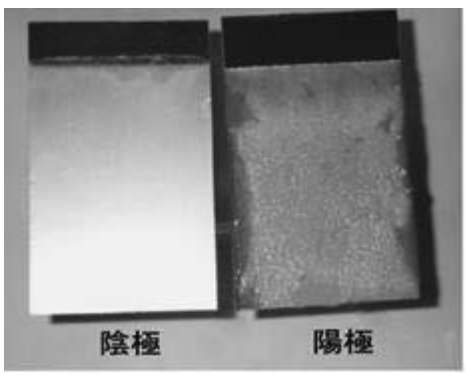


図 6　回分方式実験に用いた陰・陽電極の対面

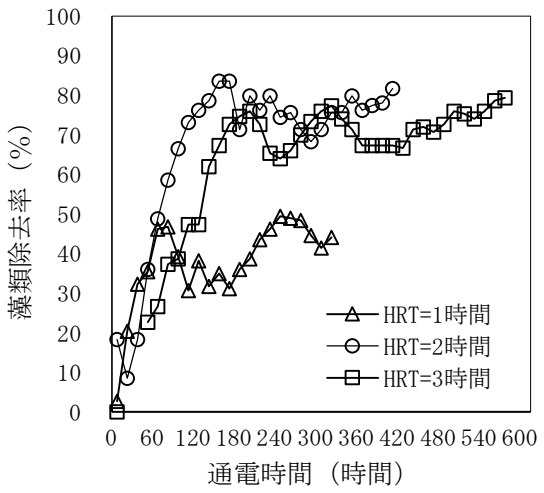


図 7　藻類の除去率の経時変化

通電初期の陽極の対面に藻類が付着していない空きスペースが十分にあるため、陽極から溶出したアルミニウムイオンと藻類との凝集及び陽極対面への付着がスムーズに進行できたからであると考えられる。一方、通電時間が長くなるにつれ、藻類の付着により、陽極の対面が覆い尽くされていて、藻類の付着スペースがなくなるだけではなく、アルミニウムイオンの溶出に阻害が起きている可能性があるからであると考えられる。

なお、滞留時間 1 時間の場合では通電開始約 90 分時に、滞留時間 2 時間の場合では通電開始約 160 分時に、滞留時間 3 時間の場合では通電開始約 220 分時に藻類の除去率が低下していた。これは付着した藻類が剥がれ落ちたことによるものであると考えられる。従って、付着した藻類が剥がれ落ちる前に剥ぎ取り出すことによって、藻類を完全に水中から除去することができ、処理水の水質を保持することもできる。

4. まとめ

本研究では、藻類が異常増殖した水中に金属電極板を設置して通電することによって、水中から藻類を取り除く方法について検討した結果、以下のことが分かった。

1）負電荷をもつ藻類が、電場に置かれると電気泳動によって、陽極側に引き寄せられていく。

2）陽極側に引き寄せられた藻類は、陽極から溶出する陽イオン特にアルミニウムイオンと結合して凝集フロックを作り陽極の対面に付着する。この凝集フロックはしっかりと陽極板に付着していて、電極板と一緒に水中から引き上げられる。

3）連続流方式処理装置においても藻類の除去率が高い。定期的に付着した藻類を剥ぎ取り出すことによって、水から藻類を除去することができる。

5. 参考文献

1）谷村嘉恵、黒田正和（2002）電気化学的方法を利用した藻類直接除去、水環境学会誌、**25**、53-56.

2）谷村嘉恵、黒田正和（2002）、電気化学的方法を利用した藻類除去法のメカニズムに関する検討、第 39 回環境工学研究フォーラム講演集、98-100.

3）谷村嘉恵、黒田正和（2004）、電気化学的方法による藻類の連続処理、第 41 回環境工学研究フォーラム講演集、122-124.

Removal of Abnormally Proliferating Algae by an Electrochemical Method

Yoshie TANIMURA

This study investigated a method of removing algae by energizing a metal electrode plate set in water containing abnormally proliferated algae. As algae have negative charge in water, they migrated to the anode by electrophoresis in an electric field. Combining with cations eluting from the anode, especially aluminum ions, the algae formed cohesive floc and then adhered on the anode surface without returning into the water. In the continuous flow apparatus, algae were removed at high removal rate by taking out the algae adhered on anode regularly. It was shown that the electrochemical method can efficiently remove algae from water.

測量実習の充実化への取り組み

谷村　嘉恵*　伊藤　成樹**　小林　雅人**　宮本　正雄***

(2019 年 1 月 7 日受理)

１．はじめに

群馬工業高等専門学校環境都市工学科では、１年～5 年のカリキュラムに「環境都市工学実験実習」という科目を設けている。各学年の「環境都市工学実験実習」の中には、測量に関する実習が組み込まれている。従来から、１年次では主にアリダードを用いた平板測量、レベルを用いた水準測量、２年次ではセオドライトを用いたトラバース測量、鋼巻尺を用いた距離測量を行ってきた。これらの古典的な器械及び方法を用いた測量は、測量の原理を理解するという目的には適しているが、現在の建設現場での実務にはほとんど使用されてないものもある。特に、平板測量は公共測量での使用が不可となり、測量士補・測量士の国家資格試験にも出題されなくなった。代わって、リモートセンシング、ＧＰＳ（ＧＮＳＳ)、ＧＩＳ、画像処理等の新しい測量技術が出題されるようになってきている。

本校の現状では、最新の器機を整備した測量方法に移行して実習を行うことは、予算及び時間の面で困難である。また、測量実習担当者が流動的なため最新の測量技術の修得も難しい状況にある。このような事情を踏まえて、本校の測量実習では、平成２３年度から測量会社に勤務する実務者を測量実習担当の非常勤講師とし、複数の最新の測量器機を使った集中型測量実習を２年次の測量実習に取り入れてきた。今年は８年目になり、実習の実施時期及び実習内容はほぼ定常化した。ここでは、前述した集中型測量実習の概要を紹介する。

２．集中型測量実習

２．１　実習の目的

現在の測量実務で使われている最新測量器機を用いた実習を通じて、新しい測量方法を習得すると同時に、実習内容の充実化を図る。

２．２　実習の課題

課題１：ＴＳ（自動追尾）を用いた平板測量（電子平板）

課題２：ＧＮＳＳ機によるネットワーク型ＲＴＫ－ＧＰＳ測量（ＶＲＳ観測）

課題３：３Ｄレーザースキャナーによる点群データ作成（３Ｄレーザー）

課題４：デジタルカメラを用いた３次元解析及びマルチコプター（ドローン）による撮影（写真測量）

２．３　主な器機

課題１：ＴＳ（トータルステーション)、３６０℃ミラー、ペンコンピュータ

課題２：ＧＮＳＳ機（ＧＰＳ受信機、受信機コントローラー、通信装置）

課題３：３Ｄレーザースキャナー、コンピュータ（データ処理ソフト搭載）

課題４：デジタルカメラ、コンピュータ（３次元解析ソフト搭載)、マルチコプター（ドローン）

２．４　実習内容

実施日は、５月の「測量学」と「環境都市工学実験実習」がある日に選定し、４時間通して測量実習を行う。学生を８班に編成し、表１に示したタイムスケジュールに従

表1　集中型測量実習　実施タイムスケジュール

	課題1 電子平板 (大駐車場)	課題2 VRS観測 (大駐車場)	課題3 3Dレーザー (実習工房)	課題4 写真測量 (実習工房)
40分 (12:50～13:30)	1班,2班	3班,4班	5班,6班	7班,8班
40分 (13:40～14:20)	3班,4班	1班,2班	7班,8班	5班,6班
40分 (14:30～15:10)	5班,6班	7班,8班	1班,2班	3班,4班
40分 (15:20～16:00)	7班,8班	5班,6班	3班,4班	1班,2班

*群馬工業高等専門学校環境都市工学科
**関東測量株式会社
***群馬工業高等専門学校教育研究支援センター

って交代しながら各課題の実習を進める。器機の搬入、準備は、実習日の当日に、測量会社の講師が行う。実習は、課題別に分かれて、担当の講師から操作方法等の説明を受けた後、学生自身が観測を行う。

２．４．１　課題１：ＴＳ（自動追尾）を用いた平板測量（電子平板）

従来、細部測量は平板測量で行っていた。平板測量とは、平板、三脚、アリダード、求心器、巻尺、ポール及びケント紙等比較的安価で簡単な構造の測量用具を用いて、直接に地形や地物の形状を平板の図紙上に図化する測量方法である。図１に平板測量の概要図を示す。図１に示すように、三脚上に平板を水平に備え付け、アリダードと巻尺を用いて、対象物の方向や距離を直接平板上の紙面に作図するものである。１年次の実習では、この平板測量を用いて本校構内の道路や建物の細部測量を行う。細部図面を完成するまでに外業と内業を含めて数週間を要する。

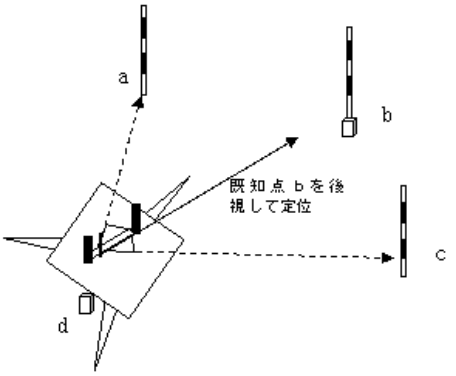


図１　平板測量の概要図

現在実務では、電子平板を用いた細部測量が行われている。電子平板とは、トータルステーションで測定した新点に関する距離・角度のデータを無線通信によりペンコンピュータに表示し、その場でペン操作によって結線編集・地形図化する測量方法である。従来の平板測量より、現場での観測及び測量成果の図化が短時間で容易にできる。図２に、電子平板測量の概要図を示す。図３は、電子平板のデモンストレーションの様子である。

２．４．２　課題２：ＧＮＳＳ機によるネットワーク型ＲＴＫ－ＧＰＳ測量（ＶＲＳ観測）

従来、基準点測量は三角測量が用いられていた。図４に、三角測量の概要図を示す。図４に示すように、三角測量では、平坦な場所にある既知の二つの①点間の距離を測定し、新点②を加えて三角形①②①を作り、三角形の内角を測る。得られた一辺と内角のデータから三角形の大きさと形を計算で求める。さらに新点③を増やして三角形①③②を作り、三角形の内角を測る。こうして三角形の網を作り、各々の三角形の頂点の座標を計算し位置を決めていく。現場での観測はもちろんのこと、三角網の調整及び座標計算などのデータ処理でも多大な時間と

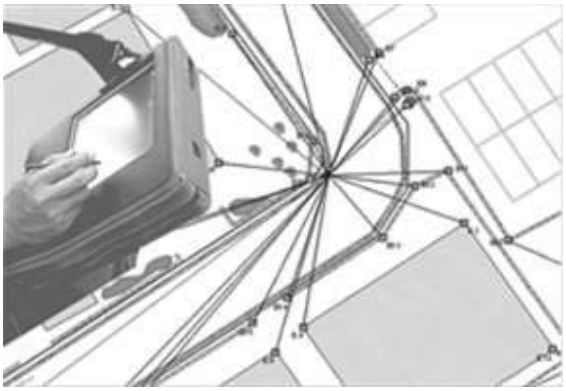


図２　電子平板測量の概要図

図３　電子平板のデモンストレーション

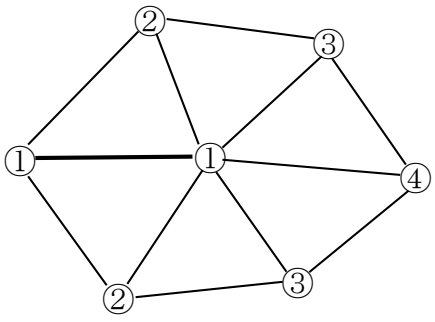


図４　三角測量による基準点測量の概要図

労力が必要である。

そこで近年は、基準点測量に、ＧＮＳＳ機を用いたネットワーク型ＲＴＫ－ＧＰＳ測量が用いられている。図５に、ＧＮＳＳ機を用いたネットワーク型ＲＴＫ－ＧＰＳ測量の概要図を示す。図５に示すように、ＧＰＳ受信機が複数の測位衛星から時刻情報付きの信号を受信し、地上での現在位置を現地で迅速に求められる。図６は、ＶＲＳ観測のデモンストレーションの様子である。

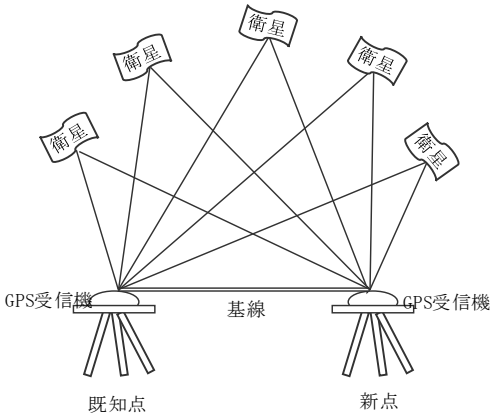


図５　ＶＲＳ観測の概要図

図６　ＶＲＳ観測のデモンストレーション

２．４．３　課題３：３Ｄレーザースキャナーによる点群データ作成（３Ｄレーザー）

３Ｄレーザースキャナーによる観測は、レーザー光を対象物に照射し、反射光が戻ってくる時間とレーザーの照射角度から測定対象物の３次元座標を取得するものであり、対象物が災害や事故の現場など、近づくことが困難な場合の情報の取得には有効な方法である。現場で取得した点群データ（Ｘ、Ｙ、Ｚ座標、デジタルカメラ画像によるＲＧＢの色の要素と照度）を通信機器によってコンピュータに送信し、様々なグラフィカル表示ができ、縦断・横断の解析データを図面化することができる。図７は観測の原理・方法・実測例などを説明する様子である。図８は、３Ｄレーザースキャナーを用いたデモンストレーションの様子である。

図７に示すように、実習では、３Ｄレーザースキャナーによる観測の原理、方法および実測例の説明を受けてから、屋外に据え付けた３Ｄレーザースキャナーを操作し、デモンストレーションにより取得したデータを室内のコンピュータに送り、データ処理を行う。

図７　３Ｄレーザースキャナーによる観測の説明

図８　３Ｄレーザースキャナーを用いた
デモンストレーション

２．４．４　課題４：デジタルカメラを用いた３次元解析及びマルチコプター（ドローン）による撮影（写真測量）

本課題では、デジタルカメラを用いた３次元解析について学習する。デジタルカメラを装着したドローンを用い、上空から目的物の写真を撮影する。この写真データを専用のソフトにより３次元図化し解析を行う。図９は画像処理方法を説明している様子であり、図１０はドローンの操作方法を説明している様子である。

図１１はドローンを操作して撮影している様子である。

図９　画像処理方法の説明

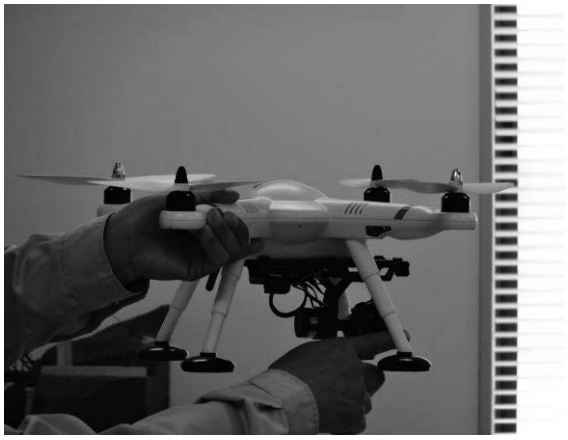


図１０　ドローンの操作方法の説明

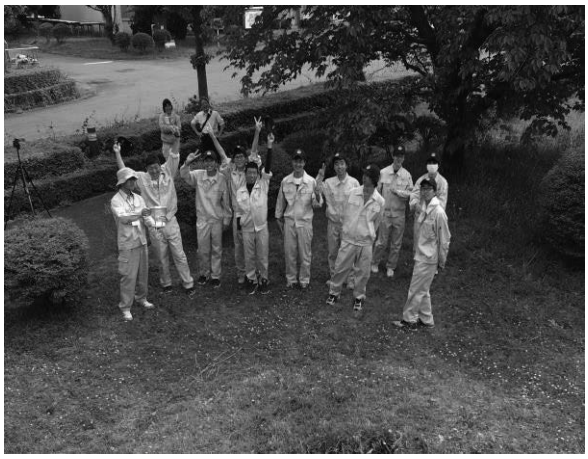


図１１　ドローンによる撮影の
デモンストレーション

３．まとめ

本校での測量実習は、設備や機材の制約により、古典的な内容しか行えないのが長年の課題であった。そこで、最新の器機や技術に触れる目的で、現場で活躍されている測量会社に協力してもらい、集中型の測量実習を行った。この集中型測量実習を通じて、従来の測量方法について原理原則を学んだ学生に測量実務で使用されている最新の測量技術についても触れてもらうことができた。

謝辞

平成２３年度から８年間にわたり、この集中型測量実習に講師の派遣及び器機の提供をして頂いている関東測量株式会社の皆様に厚く御礼を申し上げます

Efforts to Improve Surveying Practice

Yoshie TANIMURA* Shigeki ITOU** Masahito KOBAYASHI** Masao MIYAMOTO ***

In our college surveying practice, it has been a problem for many years that only the classical contents can be performed due to restrictions on facilities and equipment. In order to provide students an opportunity to touch the latest equipment and technology, we got cooperation from surveying companies actively working at survey work and conducted intensive surveying practice using the latest equipment of companies. Through the intensive surveying practice, students learning the principles of conventional surveying methods can also experience the latest surveying techniques used for survey site.

フラクタル符号化特徴量を用いた類似画像検索およびオブジェクト検出手法の検討

鶴見　智*

（2019年1月7日受理）

１．はじめに

近年第４次産業革命と呼ばれる社会変革の中でとりわけビッグデータの利活用が重要視されている．急速なIoT の進展やネットワークの高度化に伴い，スマートフォン等からは位置情報，行動履歴が，インターネットやテレビからは視聴・消費行動の情報が，防犯カメラや車載搭載カメラからは画像データが非構造的に日々蓄積されている．これらビッグデータを分析・活用するための手段として AI（人工知能）が注目されている[1].

画像データに注目したときにビッグデータ規模の画像データから類似画像検索，物体検出，物体認識，物体追跡を実用的な時間と精度で実現することは極めて難しい．その要因のひとつは対象となるデータの規模にある．そのため画像データは符号化したままで処理できることが望ましい．米山らは MPEG 動画像データから直接的に移動体物体を高速に検出する手法を提案した[2]．しかしながらこの手法は動きベクトル情報を用いているため，動きベクトルが失われるフレームでは検出が困難となる．岩崎らは「特徴領域画像」をあらかじめ生成することでこの問題に対処する手法を提案した[3]が，前処理を必要とするため符号データそのままでの処理とはいえない.

本研究では MPEG とは根本的に手法の異なるフラクタル符号化[4]に着目する．フラクタル符号化は画像がもつ自己相似性を利用して自身の近似画像を生成する変換符号化法であり，高圧縮率と高速復号を特徴とする．生成される符号は画像内の自己相似情報そのものであり，画像の構造的な特徴を含んでいる．符号化の過程で得られるドメイン-レンジ・ブロック間の誤差（コラージュ誤差と呼ばれる）ヒストグラムは画像の持つ自己相似性の度合いを特徴付け，画像により異なる [5]．一方類似の画像は似た分布となるため，画像の検索やオブジェクトの検出に用いることができる.

本研究ではフラクタル符号に含まれるコラージュ誤差ヒストグラムとブロック分割構造を特徴量として用いる新しい類似画像検索および動画中のオブジェクト検出手法を提案する．符号に含まれる特徴量を復号することなく直接利用するため，低容量の状態で高速に処理をすることが可能である.

論文の構成は以下の通りである.

第２章でフラクタル符号化の原理を述べる．第３章ではフラクタル符号を用いた類似画像検索の原理を述べ，評価実験を行った結果を示す．第４章ではフラクタル符号により生成されるブロック分割特徴量ついて述べ，動画中のオブジェクト検出の原理と実験結果を示す．最後に MPEG を用いた既存手法との比較をし提案手法の有効性について考察する.

２．フラクタル符号化[4]

２．１ フラクタル符号化

フラクタル符号化は画像の持つ自己相似性を利用して自身の近似画像を生成する画像圧縮手法である．図１に示すように対象画像から互いに重複しない$N \times N$の大きさのレンジブロックR_iと$2N \times 2N$の大きさのドメインブロックD_iを取り出す．ドメインブロックD_iに対して縮小アフィン変換

$$\begin{pmatrix} D'_{ix} \\ D'_{iy} \\ D'_{iz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5\cos\theta & 0.5\sin\theta & 0 \\ -0.5\sin\theta & 0.5\cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D_{ix} \\ D_{iy} \\ D_{iz} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \\ o \end{pmatrix} \quad (1)$$

を施し変換ブロック$D_i{}'$を生成する．ここで(D_{ix}, D_{iy})および(D'_{ix}, D'_{iy})はそれぞれ縮小アフィン変換前後のドメインブロックの座標値を表す．またD_{iz}とD'_{iz}はそれぞれD_iとD'_iの輝度値である．パラメータθ, s, e, f, oは回転移動や輝度の一次変換を表す.

*電子情報工学科

次に得られたドメインブロックD_i'とレンジブロックR_iとの二乗和誤差

$$\Delta^2 = \sum_i^N \sum_j^N \left(s \cdot d_{ij} + o - r_{ij}\right)^2 \quad (2)$$

が最小となるドメインブロックとその変換の組み合わせを画像全領域から探索する．ただし，元画像中の位置を(i,j)としたとき，d_{ij}はドメインブロック中の(i,j)における画素値を表し，r_{ij}はレンジブロック中の(i,j)における画素値を表す．s,oはそれぞれアフィン変換における輝度スケーリング，輝度シフトを表す．この探索をすべてのレンジブロックに対して行う．

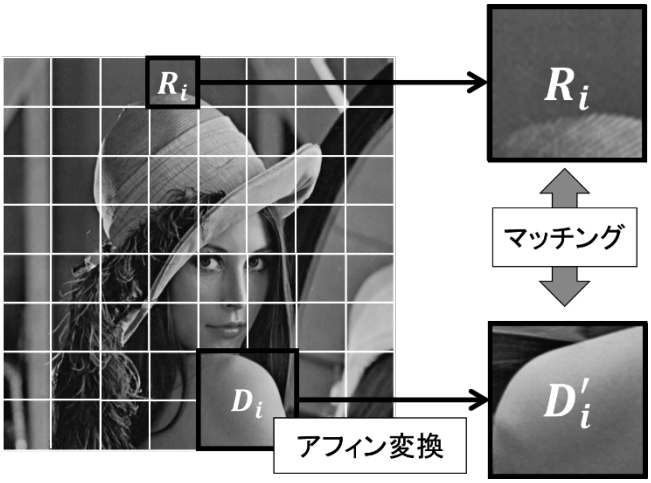


図１　フラクタル符号化

フラクタル符号化は，以上のパラメータをバイナリー符号とするため符号化容量は小さく，復号は任意の画像を初期値として各レンジに対するアフィン変換を数回施すことで得られるため極めて高速である．一方レンジブロックとドメインブロックに対し，存在する全ての組み合わせについて探索を行うため，貪欲アルゴリズムでは符号化時間は JPEG・MPEG に比べかなりかかる．我々はこの問題に対して GPU・MPI での実装と粒子群最適化法(PSO)アルゴリズムを適用して実用レベルの高速化を達成している[6,7]．

２．２ 四分木分割アルゴリズム

２．１のアルゴリズムではレンジブロックのサイズは固定されているためこのままでは画質は実用レベルには達しない．画質向上のために四分木分割アルゴリズムが使われる．式(2)の最小値に閾値を設ける．閾値は任意に設定可能であり，これを満たさない場合は当該レンジブロックのサイズを４分割（再分割と呼ぶ）し，その全てに対して再び探索を行う．再分割処理の過程を図２に示す．再分割が行われるごとにレンジブロック，ドメインブロックのサイズは半分になる．閾値を満たすか，指定したブロックサイズになるまで反復する．

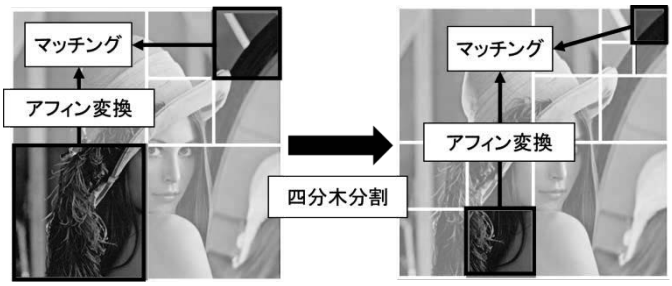


図２　四分木分割アルゴリズム

実際に四分木分割アルゴリズムによって生成されたブロック画像を図３に示す．エッジ部分については小さく分割され，輪郭がわかるようになっている．また，それ以外の部分についてはエッジ部と同様，もしくは大きいブロックサイズで分割されている．

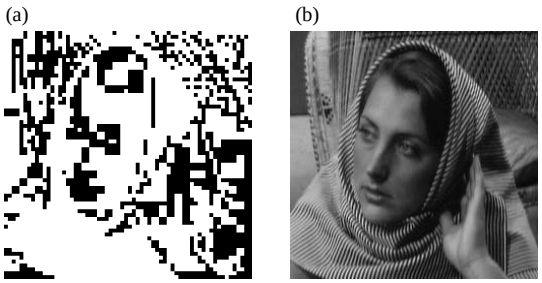


図３　四分木分割ブロック画像(a)と原画像(b)

２．３ コラージュ誤差ヒストグラム

コラージュ誤差は式(2)用いて(3)式で定義される．

$$CollageError = \frac{1}{N}\|\Delta\| \quad (3)$$

ただし$\|\cdot\|$はL^2ノルムを表す．コラージュ誤差は縮小アフィン変換後のドメインブロックとレンジブロック間の画素値の二乗平均平方根誤差を意味する．コラージュ誤差を用いると画像ごとのコラージュ誤差ヒストグラムを求めることができる．図４にコラージュ誤差ヒストグラムの例を示す．

コラージュ誤差ヒストグラムは，相似領域間における輝度分布の差異を表し，その分布は画像のもつ背景やエッジの量に依存する．そのため，コラージュ誤差ヒストグラムを比較することで，類似画像の検索が可能である．また，複数のオブジェクト（人，車等）があるような画像では，オブジェクトが検出できればオブジェクトごと

のコラージュ誤差ヒストグラムを用いてオブジェクトの識別が可能である．

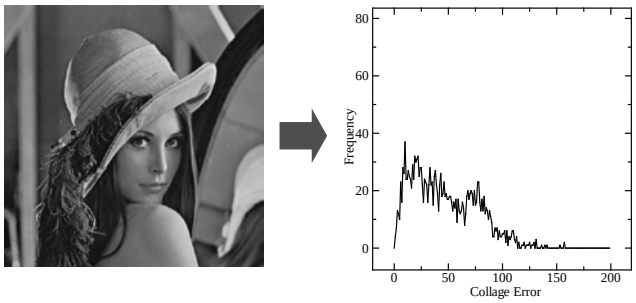


図４　コラージュ誤差ヒストグラム

３．　フラクタル符号化を用いた類似画像検索

３．１　関連研究

関連研究として，横山らの自己相似性を持つブロックの位置関係を代表ベクトルで表現し画像同士のベクトル分布を比較することで検索を行ったものがある[8]．しかしコラージュ誤差ヒストグラムそのものを比較に用いている研究はない．

３．２　類似画像検索の原理

コラージュ誤差ヒストグラムより６つの統計的指標（平均 μ，分散 σ^2，歪度 S，尖度 K，エネルギー $EttY$，エントロピー EPY）をそれぞれ抽出し，ヒストグラムの形状を特徴付ける．これにより各ヒストグラムを６次元ベクトルによって近似的に表現することができる．類似度をベクトルの距離で定義すると，形状が類似している２つのヒストグラムのベクトル間距離は小さい値をとる．なお，これらの指標は全体が 1.0になるようにヒストグラムを正規化してから求めている．

３．３　評価実験

画像データベース(SIMPLIcity project［9］)を用いて類似画像検索の評価実験を行った．このデータベースには計 1000 枚の画像が 10 カテゴリに 100 枚ずつ分類されており，同じカテゴリに含まれる画像は互いに意味的に類似しているのでこの実験に適している．実験は各カテゴリから１枚ずつ任意に選択した画像をクエリ画像とし，適合画像の検索数に応じて行った．適合画像はクエリ画像と同じカテゴリに含まれている画像とした．性能評価には検索システムの一般的な性能評価指標である適合率

$$\text{precision} = \frac{\left|\{\text{データベース適合画像}\} \cap \{\text{検索された画像}\}\right|}{\left|\{\text{検索された画像}\}\right|} \quad (4)$$

を用いた．ここで{ ・}は画像の集合を意味する．適合率は検索画像数に対する正しく検索された画像の割合を意味する．表１に実験結果を示す．

表１　類似画像検索の適合率

カテゴリ	適合率 [%]
Africa people and village	85
Beach	40
Buildings	40
Buses	50
Dinosaurs	100
Elephants	15
Flowers	75
Horses	100
Mountains and glaciers	10
Food	100
平均	61.5

実験結果より“Dinosaurs”，“Horses”，“Food”に含まれる画像をクエリ画像とした場合適合率は 100%となることがわかった．一方“Elephants”や“Mountains and glaciers”では低い値となっている．これは画像によっては見た目には類似しているが意味的類似度は低い画像が他カテゴリにも多く存在し，異なるカテゴリ間における各ヒストグラムの類似度が高いことが理由と考えられる．すなわちコラージュ誤差ヒストグラムが似ていても意味的に差異があるセマンティックギャップが生じていると考えられる．図５に異なるカテゴリに属する類似ヒストグラムの例を示す．

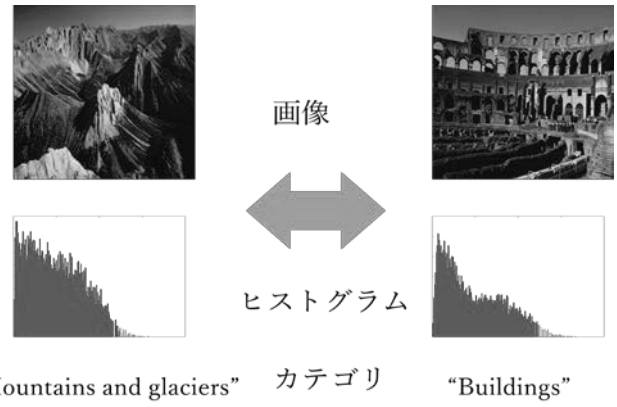


図５　異なるカテゴリに属する類似ヒストグラムの例

４．フラクタル符号特徴量

４．１ フラクタル符号の構造的特徴

２．２で述べたように四分木分割フラクタル符号化で

は符号化過程でブロック分割情報が生成される．背景，壁といったエッジの少ない部分では分割数が少なく大きなブロックのままであり，オブジェクト周りのようにエッジが多い部分では分割数が多くなり小さなブロックの集合となる．このブロック分割情報を用いて背景とオブジェクトを分離することが可能となる．図６にブロック分割情報の例を示す．

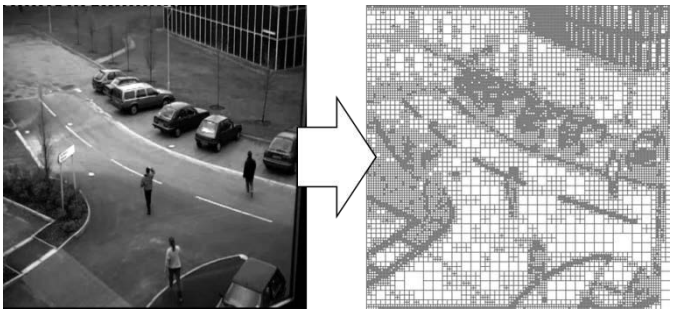


図６　フラクタル符号で得られるブロック分割情報

４．２ 背景差分によるオブジェクト検出

動画はいくつかの連続するフレームからなり通常30～60fpsある．各フレームをフラクタル符号化することで動画を符号化できる．ここではすでに各フレームはフラクタル符号化されているとする．ブロック分割情報を用いてオブジェクト領域と背景を分離するため，動的に背景ブロックを生成する．生成される可能性のある全ブロックについて，現在のフレーム以前のいくつかのフレームの間で生成された回数をカウントする．生成される回数が多いブロックはフレーム間で動きが少ない部分と考え，回数に閾値を設定してその閾値を超えるブロックを背景ブロックとして扱う．

生成された背景ブロックと現在のフレームにおけるフラクタルブロックとの差分をとることで，現在のフレームから背景領域を取り除くことができる．背景領域を取り除き，ある大きさのブロックの隣接するブロック同士を合わせて一つのクラスタとする．図７に背景差分をとってオブジェクトを抽出した例を示す．

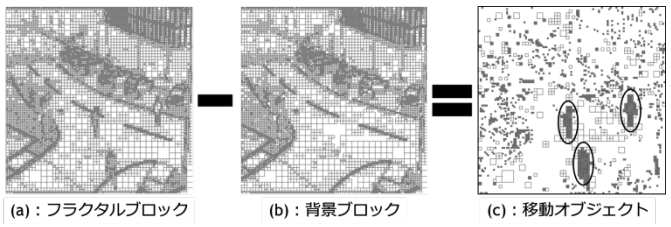


図７　背景差分によるオブジェクト抽出

あるフレームで抽出された領域におけるコラージュ誤差ヒストグラムと，前フレームで抽出された領域におけるコラージュ誤差ヒストグラムとの類似度を計算し，同一オブジェクトとみられる抽出領域のヒストグラムの類似度が他の抽出領域におけるヒストグラムの類似度と比較して最良となっていれば，フラクタル符号から直接的に移動オブジェクトの追跡が行うことができる．

４．３ 実験

提案手法によるオブジェクトの検出の有効性を検証するため，動画中の移動オブジェクトの追跡実験を行った．実験ではPETS'2000［10］の動画（ただし768×576画素のものを512×512画素にリサイズした）を対象として，0.5秒間隔であらかじめフラクタル符号化したものをフラクタル符号ストリームとして用いた．この動画は定点映像であり，単体または複数の歩行者と自動車が移動する様子が記録されている．実験環境は表２のとおりである．

表２：実験環境

OS	Ubuntu 14.04 LTS 64bit
CPU	Intel Core i7-4700MQ 2.40GHz
メモリ	16GB

図８．１，図８．２に自動車と歩行者の検出と追跡の様子を示す．オブジェクトの追跡が正確に行われていることがわかる．

次に表３．１，表３．２に追跡の精度と処理速度の結果を示す．ただし，歩行者と自動車の判別は手動で行った．

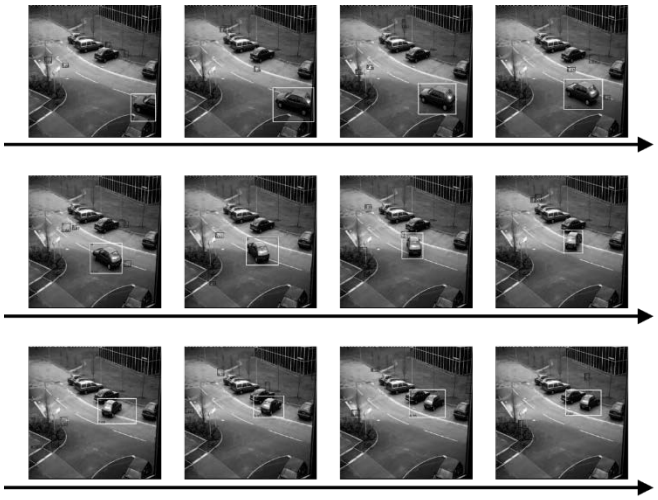


図８．１　自動車の追跡実験

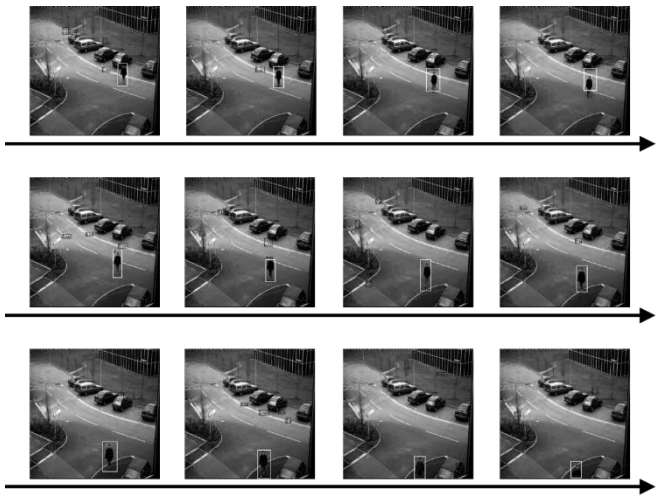


図８．２　歩行者の追跡実験

表３．１：追跡実験の結果（精度）

	成功[frame]	失敗[frame]	精度[%]
歩行者	117	23	83.6
自動車	86	6	93.5
計	203	29	87.5

表３．２：追跡実験の結果（処理速度）

	検出	追跡	計
処理時間[ms]	0.9444	0.4753	1.4197

実験結果より歩行者で約 84%，自動車で約 94%の精度で検出・追跡が行えていることがわかる．歩行者において精度が落ちているのは背景差分による検出精度が自動車より歩行者の方が低いことが原因と考えられる．検出精度を改善すれば十分実用レベルの追跡精度を達成できると考えられる．

また処理速度は検出と追跡の総計で約 1.4ms と高速であり，フレームレートでは平均 700fps の速度で追跡処理を実行できている．Aggarwal らの MPEG を用いた手法[11]での処理速度は平均で約 90fps 程度であったことから，本手法は MPEG 手法より処理速度で優位であると考える．

５．まとめ

フラクタル符号に含まれるコラージュ誤差ヒストグラムとブロック分割構造を特徴量として用いる新しい類似画像検索および動画中のオブジェクト検出手法を提案し，実験を行った．

類似画像検索実験ではヒストグラムの類似性を用いることで平均約 62%の適合率を達成できたが，カテゴリによって 100%の画像がある一方 15%の画像もあった．

一般にはこの手法では意味的に差異がある，いわゆるセマンティックギャップが生じてしまっている．セマンティックギャップの解消をするには，ヒストグラム以外の情報を付加する方法とともに，対話型遺伝的アルゴリズム[12]の導入も有効であると考えられる．

また動画中のオブジェクト（歩行者と自動車）検出と追跡実験では約 88%の検出精度を達成できた．特に処理速度では約 1.4m/s を達成し，フレームレートの比較では MPEG 手法より高速であることが示された．

今後の課題としては，動画中で類似のオブジェクトが交差する場合やさまざまな環境条件でのロバスト性の検証がある．最終的な目標は高速かつ高精度で動画中のオブジェクトの検出・認識を実現することである．

６．謝辞

本研究について有益な議論をしていただいた栃原直哉，石原慎の両氏に深く感謝する．

参考文献

1) 人工知能学会誌 Vol.28,No.1, 特集：「ビッグデータと AI」pp.82-137, 2013.
2) 米山暁夫,中島康之,柳原広昌,菅野 勝, “MPEG ビデオストリームからの移動物体の検出”, 電子情報通信学会論文誌. Vol.J81-D-II,No.8, pp.1776-1786, 1998.
3) 岩崎敏紀,横山貴紀,渡辺俊典,古賀久志, “MPEG ビデオデータの動きベクトルを用いた圧縮領域における移動物体の検出と追跡”,Vol.J91-D No.6 pp.1592-1603,2008.
4) Y. Fisher (ed.), Fractal Image Compression :Theory and Application, Springer-Verlag, 1994.
5) S.K.Alexander, E.R.Vrscay, S.Tsurumi, “A simple, yet general,model for the affine self-similarity of images”, Image Analysis and Recognition, Springer Berlin/Heidelberg, pp192-203, 2008.
6) 鶴見智, “フラクタル符号化における並列計算の検討－GPU,MPI による実装と評価－”, 群馬高専レビュー, No.32,pp.49-53, 2013.
7) 鶴見智,石橋諒馬, “粒子群最適化法(PSO)フラクタル符号化の実装と GPU による高速化”, 群馬高専レビュー, No.34, pp.65-71, 2015.
8) 横山貴紀,菅原研,渡辺俊典, “フラクタル符号に基づく圧縮領域における類似画像検索手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.SIG 4(TOD 21), pp.11-22, Mar. 2004.
9) J.Z. Wang, J. Li, and G. Wiederhold, “SIMPLIcity: Semantic sensitive integrated matching for picture libraries”, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 23(9):947-963, Sep. 2001.
10) PETS’2000 : Performance Evaluation of Tracking and Surveillance,2000,(http://ftp.pets.reading.ac.uk)
11) Ashwani Aggarwal, Susmit Biswas, Sandeep Singh,Shamik Sural, and A.K. Majumdar, “Object Tracking Using Background Subtraction and Motion Estimation in MPEG Videos”, ACCV2006, LNCS3852, pp.121-130, 2006.
12) C.-C. Lai and Y.-C. Chen, “A User-Oriented Image Retrieval System Based on Interactive Genetic Algorithm”, EEE Trans. Instrum. Meas., 60(10):3318-3325, Oct. 2011.

Study on Image Retrieval System and Object Detection Method Using Fractal Coding Feature

Satoshi TSURUMI

Fractal image coding is a block-based scheme that exploits the self-similarity hiding with an image. Fractal codes are quantitative measurements of the self-similarity of the image, and collage error distribution of block characterizes the degree of self-similarity in it. Furthermore, fractal codes can be used to obtain a practical image indexing system because of its compactness and stability. The most important reason using fractal codes is able to deal with the images in compressed form. Thus fractal indexing is suitable for use with large database. In this study, we propose a new image retrieval system and object detection method based on fractal coding features that are collage error distribution and block partition structure in fractal codes. Experimental results show that the proposed method achieves a high precision tracking which is faster than MPEG method.

漢字学習の実態と対策

田 貝　和 子 *

(2019 年 1 月 7 日受理)

１．はじめに

本稿は、群馬工業高等専門学校本科生低学年における漢字学習についての報告である。

国語科では、第３学年までの授業において、補助教材を用いて漢字テストを行っている。範囲や頻度、量などは担当教員により異なるが、筆者の担当クラスによる年度毎の平均点は表-1 の通りである。

表-1 漢字テスト 年度毎の平均点

	前期	後期	後期－前期	平均	
2013年度	18.07	15.74	-2.33	16.91	
2014年度	17.87	13.70	-4.17	15.79	
2015年度	16.35	15.52	-0.83	15.94	**
2016年度	17.64	16.45	-1.19	17.05	
2017年度	17.78	15.81	-1.97	16.79	
2018年度	18.24	16.49	-1.76	17.36	***

20 問 20 点満点のテストである。2015 年度のみ第 2 学年であり、出題範囲の難易度が高いため、10 問 10 点満点とした。表中では比較のため、2 倍して表示している。2018 年度は年度途中のため、12 月までの集計である。

どの年度も前期の平均点が高く、後期の平均点が低くなっている。前期から後期の平均点の下がり具合も示した。2014 年は平均点にして 4.17 点も下がっている。2014 年度は担任を受け持った学年であり、馴れがあったと考えられる。2015 年度は 2014 年度第 1 学年の持ち上がりで、2014 年度後期平均 13.70 点を 2015 年度前期に引きずっている。しかし、2015 年度後期平均点の下がり具合は 0.83 ポイントであり、改心の様子が見て取れる。平均点の上がり下がりで学力低下の一言で済ませては指導の意味が無い。点数の分析と、点数アップのために続けている試行錯誤について少し述べたいと思う。

２．漢字テストについて

本校国語科では第 3 学年まで、補助教材『常用漢字フォルダ』(浜島書店) を使用し、漢字テストを行っている。テスト方法は担当教員の裁量によるが、筆者の方法について述べる。

テストは授業の毎時間、最初の 5 分程度で行っている。中間試験を除き授業は 14 回あるので、前期、後期とも 13 回漢字テストを行っている。前期は第 1 回に漢字テストの説明と範囲の提示を行い、後期第 15 回は 13 回目のテスト返却と平均点、評価点の提示をする。毎回、テストをした次の回までに採点を行い、返却する。

範囲については、前期は 68 題から 20 問出題し、後期は難易度が上がるため、前期の半分 34 題から 20 問出題する。2015 年度は第 2 学年であり、第 1 学年の範囲の続きであることも加味し、年間通して 17 題から 10 問出題した。『常用漢字フォルダ』(浜島書店) には、「教師用テスト作成システム」の CD-ROM が付属されており、出題本文を打ち込まなくても問題作成が行えるシステムとなっている。問題の手動選択でも、自動選択でも、問題作成を行うことができる。2016 年度までは、出題問題をすべて選び、手動選択を行っていたが、学生の間違いやすい漢字を選んでしまう傾向があることから、2017 年度よりシステムによる問題の自動選択を中心に問題作成を行っている。2017 年度前期の平均点が前年度より高いのは、自動選択によるものと考えられる。

20 点満点を 12 点換算して、評価に加える。毎回範囲の勉強をし、漢字テストに備えるのは大変なことである。たゆまず着実に取り組まなくてはならない。毎年度、常に満点を取る学生も僅かにおり、感心する。そもそも漢字テストを行っている理由は、語彙力を高めるためであるが、毎回練習をして授業に臨むという姿勢も高専生として必要であると考える。

---

* 人文科学系・日本語学

** 10 点満点のため、2 倍して表示

*** 2018 年 12 月までの平均点

３．年度毎の平均点分布

それぞれの年度の平均点を、回数毎にグラフにしたものが、図-1 から図-6 である。

縦軸は点数であり、10 点から 20 点の値である。2015 年度は 10 点満点のため、0 点から 10 点の値である。横軸は回数であり、1 回から 13 回までが前期実施、14 回から 26 回までが後期実施である。図-6　2018 年度は現在進行中のため、23 回までである。

第 2 学年の 2015 年度を除き、どの年度も徐々に点数が悪くなり、右肩下がりのグラフとなっている。

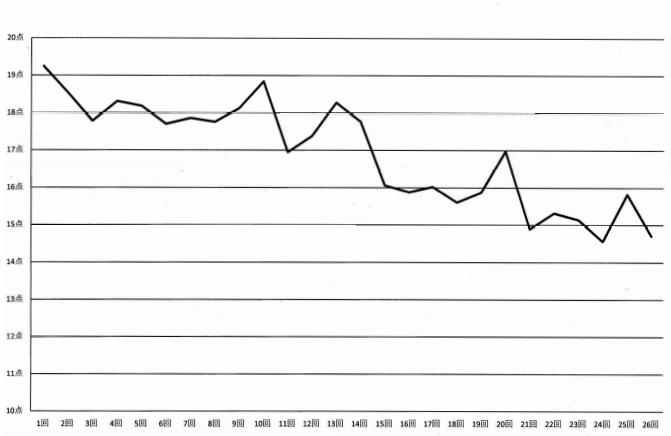


図-1　2013 年度　回数毎の分布

図-2　2014 年度　回数毎の分布

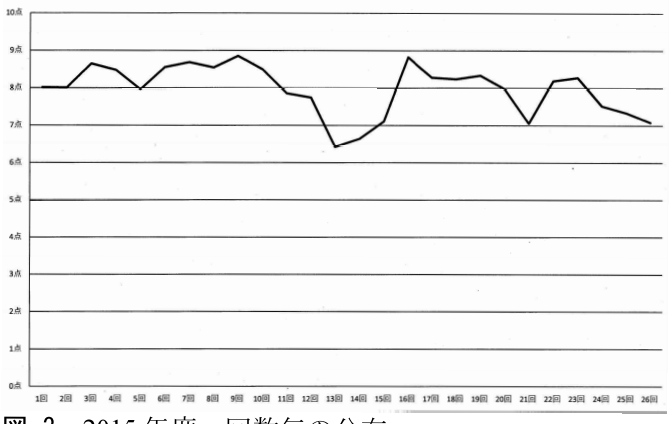


図-3　2015 年度　回数毎の分布

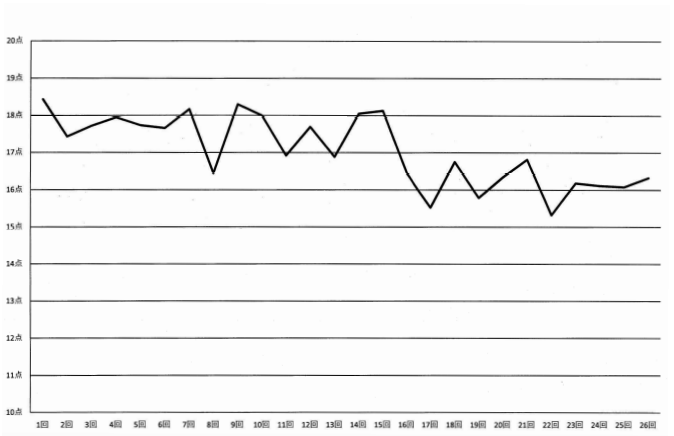


図-4　2016 年度　回数毎の分布

図-5　2017 年度　回数毎の分布

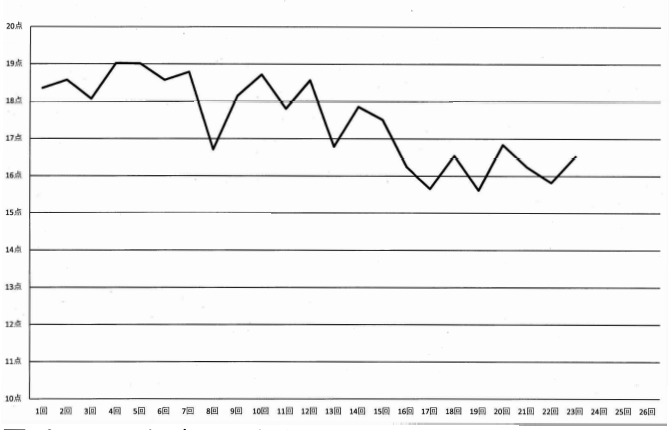


図-6　2018 年度　回数毎の分布

３．１　平均点分布からの分析

どの年度も第 1 回は 8 割から 9 割の平均点である。年度当初の緊張感が窺える。前期最初の平均点の下がりが目立つのは、第 8 回である。特に 2014 年度は 18.05 点から 16.64 点の 1.41 点、2016 年度は 18.17 点から 16.44 点の 1.73 点、2018 年度に至っては、18.79 点から 16.71 点と平均点で 2.08 点も落ち込んでいる。第 8 回は中間試験が終わり、テスト返却も済んだ頃である。中間試験明けまで続いていた緊張感が切れた瞬間と思われる。定期試験までまだまだ時間があるという心の緩みが見て取れる。

前期最後の第 13 回は年度により様子が異なる。2013 年度、2017 年度は前期最後だからと頑張っている。2013 年度は第 12 回の 17.39 点から第 13 回の 18.28 点と 0.89 点平均点が上がり、2017 年度も第 12 回の 16.66 点から第 13 回の 17.68 点と平均点で 1.02 点高くなっている。対して、2014 年度、2015 年度、2016 年度、2018 年度は第 13 回で平均点が下がっている。2016 年度は第 12 回の 17.70 点から第 13 回の 16.88 点と平均点で 0.82 点、2015 年度は第 12 回の 7.75 点から第 13 回の 6.42 点と平均点で 1.33 点、2018 年度に至っては、第 12 回の 18.57 点から 16.79 点と平均点で 1.78 点も下がっている。第 13 回は前期定期試験の直前で、試験勉強に時間を割き、毎回の漢字テストの勉強が疎かになったと考えたい。

後期になると、前期に比べ平均点が下がる傾向にある。特に落ち込みが激しいのは、第 15 回前後である。2013 年度は第 14 回の 17.78 点から第 15 回の 16.06 点と 1.72 点も下がり、第 16 回で 15.88 点と更に 0.18 点下がっている。2018 年度は第 15 回の 17.51 点から第 16 回の 16.24 点と平均点で 1.27 点下がり、第 17 回も 15.65 点と更に 0.59 点下がっている。第 15 回から第 16 回、第 17 回と下がり続けるのが傾向としてあり、2017 年度は第 15 回 17.22 点から第 17 回 14.82 点と 2.4 点下がり、2016 年度は第 15 回 18.13 点から第 17 回 15.52 点と平均点で 2.61 点も下がっている。更に 2014 年度は第 14 回の 16.96 点から第 15 回の 13.42 点と 1 回だけで平均にして 3.54 点も下がっている。

これらの時期には、工華祭や体育祭といった学校行事が開催され、学生が浮き足立つ時期である。そのため、急激な平均点の下降にあると思われる。

３．２　平均点上昇対策とその結果

着任した 2013 年度から、徐々に平均点が下がり、2014 年度第 23 回以降は平均点で 12 点台という許しがたい結果となった。そこで、2015 年度の第 2 学年では、問題数を 20 問から 10 問に減らし、範囲も第 1 学年後期の 34 題から 17 題と減らした。17 題から 10 問というのは、練習がそれほど大変ではないと思われる。2015 年度の図-3 を見ると、難易度が上がっているにも拘わらず平均点の下がり方が僅かであることから、成果が上がっていることは明らかである。

更に前年度後期後半の平均点 12 点台という体たらくで、漢字学習をしないままやり過ごしていくのでは、漢字テストをする意味が無いと考え、間違えた漢字の書き直しを課すようにした。たった 2 回であるが、丁寧に楷書で書いてもらい、丁寧ではない場合は、何度でも書き直しを課している。書き直しを終えなければ、取った点数が平常点に加えられないこととした。2015 年後期には、書き直しの課題にも馴れたことから、平均点の下がり方が僅かであったと考えられる。

「２．漢字テストについて」でも述べたが、2016 年度の平均点の落ち込みから、それまで問題を全て手動で選んでいたのを、自動選択のランダム出題にしたところ、2017 年度、2018 年度の前期では、2016 年度よりも平均点が高くなった。ただし、後期の落ち込みはあり、更なる対策が必要と考える。

2018 年度からの試みとして、授業開始時間の 2、3 分前には教室に入り、少しでもテスト範囲を確認するように促している。2018 年度は、途中までであるが、全年度の中で一番平均点が高い。この 2、3 分が功を奏していると思われる。

４．平均点の高い学生数、低い学生数

これまで、平均点で分析を試みたが、平均点が下がったからと言って、学生全員が点数を取らなくなったわけではない。表-2 は 20 点満点中、平均点が 19 点以上の学生数である。2015 年度は 10 点満点中、平均点が 9.5 点以上の学生数とした。

表-2　平均点が9割を超える学生数

	前期	後期
2013年度	67	25
2014年度	59	15
2015年度	41	26 *
2016年度	58	40
2017年度	57	26
2018年度	82	37

* 2015 年度は 10 点満点のため 9 点以上の学生

常に満点あるいは 1 問間違い程度を取り続けている学生は、前期については 60 人程度となっている。後期も 30 人程度は高得点を取り続けており、表-1 平均点と相関関係がある。

表-3 は、20 点満点中、平均点が 5 割に達しない学生、つまり、2015 年度以外は 10 点に達しない学生、2015 年度は 5 点に達しない学生の人数である。2015 年度第 2 学年を除き、前期には 1 名までとなっているが、後期になると 10 数名まで増えている。つまり、半分も点数を取れないほど、勉強をしない学生が、一部ではあるが増えているということがわかる。

表-3　平均点が5割に満たない学生数

	前期	後期
2013年度	0	8
2014年度	1	44
2015年度	9	17
2016年度	1	12
2017年度	1	12
2018年度	0	11

2014 年度は、担任を担当した学年であり、関わる時間も長かったためか、毎回の漢字テストを軽視された可能性もある。あまりにも漢字テストの勉強をしないため、第 2 学年の 2015 年度には、範囲を狭め、書き直しを課した。書き直しをしなければならないことが効いたのか、2015 年度の後期には、勉強をしない学生は前年度よりも少なくなっている。

表-2、表-3 を見較べると、年間通してほぼ満点に近い点数を取り続けている学生がいる中で、前期には毎回漢字テスト勉強をしていたにもかかわらず、後期になると漢字テストの勉強をしなくなり、半分も点数を取らなく増えるのである。つまり、極端に点数を取らなくなった学生対策が必要ということである。

５．漢字習得

そもそも、漢字テストを低学年において課しているのは、語彙力を高めるためである。宮地裕・甲斐睦朗編（2008）で小森茂は、漢字教育は①漢字を読むこと、②漢字を書くこと、③語彙や語句として使用することの 3 点から構成されるとしている[1]。特に③語彙や語句として使用することができるようになる必要があると考える。森山卓郎・達富洋二編著（2010）の中で森山卓郎も『意味とも相関させたまさに「活用できる力」としての漢字学習，いわば語彙の学習と連動させた漢字学習が今後の課題』[2]とされている。また、佐藤喜代治編（1988）では「漢字学習指導の課題」として

(1)　語彙力を育てるための漢字教育という視点を持つこと。
(2)　テストの改善。
(3)　字形の細部にこだわらないこと。
(4)　望ましい文字習慣を養うこと。

の４点を挙げている[3]。やはり、語彙力のための漢字学習という点が重要であるようだ。

一方で、鈴木（2015）に出てくる学生のように、「文字習得に関して、全体的にかなりの弱点がある[4]」学生が、本校には大勢いる。「活字を参照しながら手書きしても、手書き機会の多い他字の、相似している部分と同一に認識してしまう」学生も多い。「文字及び書字に関する指摘や疑問に対して、自力で解決する方法知」を有するためには、漢字テストだけでなく、国語科の授業の中でも指導していく必要がある。

６．おわりに

以上、漢字テストの平均点を元に、分布の分析及び現在進行形の対策を述べ、以下の対策に効果があることが明らかとなった。

- 自動選択問題を採用し、難易度が高くなりすぎないようにする。
- 正確に書くことが出来なかった漢字の書き直しを課す。
- 難易度が高くなったら（後期）問題数を減らす。
- 授業数分前に教室に入り、漢字テスト勉強を促す。

これからは、極端に点数が取れなくなった学生に対して、きめ細やかな指導が必要になると考える。また、語彙としての漢字学習も考えなくてはならない。一方で、知識量の減少は気がかりである。

今回、漢字テストの採点、書き直しのチェックにおいて、間違えやすい漢字、字形等をある程度把握していたのだが、著せなかった。今後の課題としたい。

注

1）宮地裕・甲斐睦朗編（2008）7 頁、小森茂「これからの漢字教育の考え方」
2）森山卓郎・達富洋二編著（2010）23 頁、森山卓郎「第２章　１　文字と表記の学習」
3）佐藤喜代治編（1988）104 頁～ 105 頁、大平浩哉「高等学校の漢字教育」
4）鈴木慶子（2015）183 頁～ 184 頁、「第Ⅱ部　私の「書写」実践　第四章〈時間〉をかけさせる」

参考文献

相原林司・遠藤浩・内田満・新野幸二郎・濱島朗・丸山欣哉著（1980）『日本語・専門語の誤記・誤用』有斐閣

佐藤喜代治編（1988）『漢字講座　第 12 巻漢字教育』明治書院

鈴木慶子（2015）『文字を手書きさせる教育――「書写」に何ができるのか』東信堂

宮地裕・甲斐睦朗編（2008）『「日本語学」特集テーマ別ファイル　普及版　国語教育 2」明治書院

森山卓郎・達富洋二編著（2010）『国語教育の新常識―これだけは教えたい国語力―』明治図書出版

On a Method of Kanji Education: Its Real Condition and Measures against the Problems

Kazuko TAGAI

This is a rough report about the Kanji education to a school year of 1-3 of National Institute of Technology, Gunma College. The average score of the test results for the students tends to be lower in the latter period than in the previous at the same year. And the results will go down every year. So I took some action and found effective things. When the problem of the kanji became more difficult, I reduced the number of the problem. I requested students who wrote a wrong kanji to write it once again correctively, I changed the problem of the type of the manual operation choice into a type of the automatic one, and I entered the classroom a few minutes before the lesson began and encouraged students to study Kanji. It was totally effective.

群馬高専レビュー要項

（平成20年７月15日改訂）

１．名称について

本誌の名称を，群馬高専レビュー（THE GUNMA-KOHSEN REVIEW）と定める（通称「レビュー」と言う）。

「レビュー」の発行は，年１回年度末までに行う。

２．編集発行事務について

「レビュー」の編集発行は，教育研究委員会がこれを行う。

教育研究委員会には，常任編集委員若干名をおき，教育研究委員会委員長がこれを総括する。

事務は，総務課総務・広報・評価係においてこれを処理する。

３．内容と目的について

「レビュー」は，高専教育の向上と本校教職員の研究成果を公表することを主目的とし，オリジナリティーのある未発表の論文を原則とする。

４．投稿資格について

投稿者は，原則として本校の専任教職員に限る。ただし，共同発表に関しては本校の専任教職員が代表者である場合に限り，外部の研究・教育及びそれに相当する機関に所属する者についてのみ許される。

また，論文の投稿者名は，事前に提出する申込書に記された投稿者と同一であることとする。

５．体裁について

(1) 印刷上の体裁

Ａ４判，本文10ptフォント，ヨコ２段組とする。なお，特別のタテ書き原稿はタテ２段組とし巻末からおこす。

(2) 掲載順について

論文は，理工系・人文系に大別し，その掲載は受理日の順とする。ただし関連論文はなるべくまとめる。

(3) 体裁の統一について

執筆要領の詳細は別に定めるが，論文提出について，体裁の統一上必要な修正を編集委員から依頼することがある。

６．その他

(1) 原稿の執筆・投稿・受理に関しては，別に定める「群馬高専レビュー執筆・投稿要領」による。

(2) 別刷の作成は，原則として，自己の研究費負担とする。

群馬高専レビュー執筆・投稿要領

（平成22年6月10日改訂）

群馬　太郎*　高専　花子**

（2008年11月28日受理）

１．原稿形式について

A4判の白上質紙を用い，和文ヨコ書き・和文タテ書き・欧文原稿のすべてにおいて，タイトルページは2つの部分で構成されます.

タイトル部分：1段組（題目，著者，受理年月日）

本文部分　　：2段組

１．１　タイトル部分のレイアウトとフォント

全てのページのマージンはこのサンプルのように上辺25mm，下辺30 mm，左右ともに14 mmに設定して下さい.

そして，以下次の順にタイトル部分の構成要素を書いて下さい.

タイトル：ゴシック体20 pt フォント，センタリング

（約 10 mm のスペース）

著者名：明朝体 14 pt フォント，センタリング

（約 5 mm のスペース）

受理年月日：明朝体 12pt フォント，センタリング

著者と所属（フッタ）とは*印で対応づけて下さい.

１．２　本文部分のレイアウトとフォント

本文と受理年月日の間に約 10 mm のスペースを設けて下さい.

本文は2段組で，左右のマージンは 14mm ずつ，段と段との間のスペースは約 6 mm とします.

和文ヨコ書き：25文字×48行程度

和文タテ書き：35文字×33行程度

欧文原稿　　：25文字×48行程度

本文には明朝体 10 pt フォントを用いて下さい.

１．３　フッタ

著者に対応する所属を記入して下さい．なお，群馬高専に所属している場合には，学科名のみ記入して下さい.

１．４　原稿枚数について

原稿枚数は，12ページ以内として下さい.

*○○工学科　**○○センター

２．見出し（見出しが1行以上に長くなるときはこの例のようにインデントし折り返す）

２．１　見出しのレベル

見出しのレベルは**章**，**節**の2段階までとします．**章**の見出しはゴシック体とし，２．などの数字に続けて書きます．また，見出しの上下に1行程度のスペースを設けて下さい．ただしページや段が切り替わる部分は章の見出しが最上部に来るよう調整して下さい.

２．２　節の見出し

節の見出しもゴシック体で，２．１などの数字に続けて書きます．見出しの上だけに1行程度のスペースを空けて下さい.

表-1　表のキャプションは表の上に置く．このように長いときはインデントして折り返す.

資料番号	高さ *h* (m)	幅 *w*(m)
1	1.45	0.25
2	1.75	0.40
3	1.90	0.65

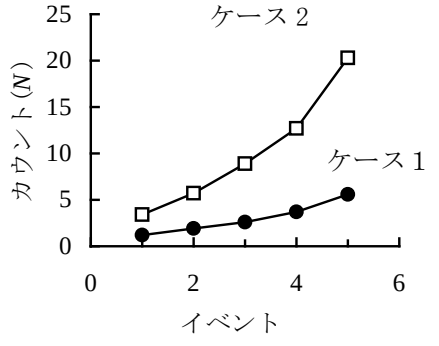


図-2　図のキャプションは図の下に置く

３．図表および注

３．１　図表の位置

図表はそれらを最初に引用する文章と同じページに置くことを原則とします．図表の横幅は，「2段ぶち抜き」あるいはこのサンプルの**表-1** や**図-2** のように「1段の幅いっぱい」のいずれかとします．

３．２　図表中の文字およびキャプション

図表のキャプションは，図の場合は下方に**図-1**，**図-2** のごとく，表の場合は，表の上方に**表-1**，**表-2**のごとく付記して下さい．欧文原稿の場合は，Fig. 1やTable 1として下さい．長いキャプションは**表-1** のようにインデントして折り返します．

３．３　注

注は脚注・章末注の２本だてとして下さい．引用文献の注記やその他くわしい注記は章末注にまとめ，脚注は最小限にとどめることとします．脚注番号は，＊印で＊，＊＊のごとく，章末記号は，片バーレーンで１），２）のごとく記して下さい．

４．最終ページおよび英文要旨

原稿が和文の場合，または英語以外の外国語で書かれた場合には，英文による論文題目，著者名及び400語程度の論文要旨が必要となります．

最終ページに，英文のタイトル，著者名および要旨を横1段組で書きます． タイトルは，Times New RomanのBold(太字)で20pt，著者名は，Times New Romanで14pt，要旨は，Times New Romanで10ptとします．

なお，和文タテ書きの場合は，英語要旨は別ページにして下さい．

５．原稿の提出・受理について

投稿希望者は，７月末までに「群馬高専レビュー投稿申込書」を総務・広報・評価係担当者に提出して下さい．

原稿は，締切日までに総務・広報・評価係担当者に提出して下さい．提出日を以て論文受理日付とします．その際，本論文にコピー１部を添付すると共に，電子ファイルを担当者に送付して下さい．

申込書や原稿が期日に遅れた場合，投稿要領に著しく反している場合は受理されないことがあります．また，原稿締切日以降の原稿内容の変更は認めません．

６．著作権

「群馬高専レビュー」に掲載された論文の著作権*のうち，複製権および公衆送信権は，群馬工業高等専門学校に帰属するものとします．

なお，営利を目的とせず，著作者自身が論文の複製および公衆送信を行う場合，群馬工業高等専門学校は，著作者からの申し出がなくてもこれを許諾します．その際，著作者は，出典（誌名・巻号・ページ・掲載年）を明記することとします．

*著作権法第21条から第28条に規定する権利

参考文献

1) 群馬太郎，高専花子：高等教育の展望，教育研究センター，第 40 巻，pp. 40-46，2006.
2) 日本研究協会：高等教育・研究機関における最先端研究戦略、工学部門編，pp.110-120，2007.
3) Gunma, T. and Kousen, H. : A Study on the Evolution of Education and Research in the Natinal College of Technology, Journal of Education Research Center, pp.110-120, 2007.

Print Sample for Japanese Manuscript for the GUNMA-KOUSEN REVIEW

Taro GUNMA and Hanako KOUSEN

The present paper has been made as a print sample of the Japanese manuscripts for the GUNMA-KOUSEN REVIEW. Its text describes instructions to prepare the manuscripts: the layout; the font styles and sizes; and others. If you replace the text or the figures of the present file by your own ones, using CUT & PASTE procedures, you can easily make your own manuscripts.

This English ABSTRACT has narrower width than the main text by 10 mm from the left and the right margins of the main text, respectively. Font used here is Times-Roman 10pt. The length should be within 7 lines. It is preceded by the title and the authors; both are centered and the font size is 12pt.

Print Sample for Japanese Manuscript for the GUNMA-KOUSEN REVIEW

Taro GUNMA and Hanako KOUSEN

The present paper has been made as a print sample of the Japanese manuscripts for the GUNMA-KOUSEN REVIEW. Its text describes instructions to prepare the manuscripts: the layout; the font styles and sizes; and others. If you replace the text or the figures of the present file by your own ones, using CUT & PASTE procedures, you can easily make your own manuscripts.

This English ABSTRACT has narrower width than the main text by 10 mm from the left and the right margins of the main text, respectively. Font used here is Times-Roman 10pt. The length should be within 7 lines. It is preceded by the title and the authors; both are centered and the font size is 12p.

広報・評価係担当者に提出して下さい。

原稿は、締切日までに総務・広報・評価係担当者に提出して下さい。提出日を以て論文受理日付とします。その際、本論文にコピー一部を添付すると共に、電子ファイルを担当者に送付してください。

申込書や原稿が期日に遅れた場合、投稿要領に著しく反している場合は受理されないことがあります。また、原稿締切日以降の原稿内容の変更は認めません。

六、著作権

「群馬高専レビュー」に掲載された論文の著作権*のうち、複製権及び公衆送信権は、群馬工業高等専門学校に帰属するものとします。

なお、営利を目的とせず、著作者自身が論文の複製および公衆送信を行う場合、群馬工業高等専門学校は、著作者からの申し出がなくてもこれを許諾します。その際、著作者は、出典（誌名・巻号・ページ・掲載年）を明記することとします。

*著作権法第二一条から第二八条に規定する権利

参考文献

(一) 群馬太郎、高専花子：高等教育の展望、教育研究センター、第四〇巻、四〇頁―四六頁、二〇〇六

(二) 日本研究協会：高等教育・研究機関における最先端研究戦略、工学部門編、一一〇頁―一二〇頁、二〇〇七

見出しのレベルは**章、節**の二段階までとします。**章**の見出しはゴシック体とし、二、などの数字に続けて書きます。また、見出しの左右に一行程度のスペースを設けて下さい。ただしページや段が切り替わる部分は章の見出しが最右部に来るよう調整して下さい。

二、二　節の見出し

節の見出しもゴシック体で、「二、一」などの数字に続けて書きます。見出しの右だけに一行程度のスペースを空けて下さい。

三、図表および注

三、一　図表の位置

図表はそれらを最初に引用する文章と同じページに置くことを原則とします。図表の横幅は、「二段ぶち抜き」あるいはこのサンプルの**表**や**図**のように「一段の幅いっぱい」のいずれかとします。

三、二　図表中の文字およびキャプション

表及び図のキャプションは、左におき、長くなる場合はインデントして折り返してください。

三、三　注

注は脚注・章末注の二本だてとして下さい。引用文献の注記やその他くわしい注記は論文本文の最後にまとめるか、章末注にまとめ、脚注は最小限にとどめることとします。脚注番号は、＊印で＊、＊＊のごとく、章末記号は(一)、(二)のごとく記して下さい。

表1　表および図のキャプションは表の左に置く。このように長いときはインデントして折り返す。

資料番号	高さ h (m)	幅 w(m)
1	1.45	0.25
2	1.75	0.40
3	1.90	0.65
4	1.45	0.25
5	1.75	0.40
6	1.90	0.65
7	1.45	0.25
8	1.75	0.40
9	1.90	0.65
10	1.45	0.25
11	1.75	0.40
12	1.90	0.65
13	1.45	0.25
14	1.75	0.40
15	1.90	0.65
16	1.90	0.65

四、最終ページおよび英文要旨

原稿が和文の場合、または英語以外の外国語で書かれた場合には、英文による論文題目、著者名及び四百語程度の論文要旨が必要となります。別ページに、英文のタイトル、著者名および要旨を横一段組で書きます。タイトルは、Times New Roman の Bold(太字)で 20 ポイント、著者名は、Times New Roman で 14 ポイント、要旨は、Times New Roman で 10 ポイントとします。

五、原稿の提出・受理について

投稿希望者は、七月末までに「群馬高専レビュー投稿申込書」を総務・

群馬高専レビュー執筆・投稿要領（タテ書き）

群馬　太郎＊　高専　花子＊＊

（二〇〇八年一一月二八日受理）

一、原稿形式について

Ａ４判の白上質紙を使用してください。
全てのページのマージンはこのサンプルのように上辺 25 ミリ、下辺 30 ミリ、左右ともに 14 ミリ、に設定して下さい。

一、一　タイトル部分のレイアウトとフォント

タイトル部分は一段組にして下さい。
以下次の順にタイトル部分の構成要素を書いて下さい。
タイトル：ゴシック体 20 ポイントフォント、センタリング
（約 10 ミリのスペース）
著者名：明朝体 14 ポイントフォント、センタリング
（約 5 ミリのスペース）
受理年月日：明朝体 12 ポイントフォント、センタリング
著者と所属（テキストボックス内）とは＊印で対応づけて下さい。

一、二　本文部分のレイアウトとフォント

本文部分は二段組にして下さい。
本文と受理年月日の間に約 10 ミリのスペースを設けて下さい。
本文は二段組で、左右のマージンは 14 ミリずつ、段と段との間のスペースは約 6 ミリ とします.
和文ヨコ書き：二五文字×四八行程度
和文タテ書き：三五文字×三三行程度
欧文原稿　：二五文字×四八行程度
本文には明朝体 10 ポイントフォントを用いて下さい。

一、三　テキストボックス内

著者に対応する所属を記入して下さい。なお、群馬高専に所属している場合には、学科名のみを記入して下さい。

一、四　原稿枚数について

原稿枚数は、一二ページ以内として下さい。

二、見出し（見出しが一行以上に長くなるときはこの例のようにインデントし折り返す）

二、一　見出しのレベル

＊〇〇学科　＊＊〇〇センター

The Historical Value and Limit of

The Dairy of Sanuki no Suke

Tamaki Ota

The Dairy of Sanuki no Suke was written by a maid serving the Emperor of the Heian period. At the same time as she served the Emperor, she was involved in court rituals. There is no other diary written by a woman in such a position. In this respect, it can be said that this work is a valuable historical material, but many researchers have not noticed this fact.

Therefore, in this paper I will verify the historical value of this work and also verify the problems. I also consider how this work is appreciated and properly operated as a historical material.

十月）

（注七）御乳母たち立たれぬれば、因幡の内侍とて、明け暮れ、あまたの内侍のなかに、とりわきつかうまつりつきたりし人とふたり、御かたはらに無期に近くさぶらふ。「あはれ、多くさぶらひつれど、契りふかくもつかうまつりはてさせたまへる」などいひつづけて、いみじう泣かるるさまぞ、いとどもよほさるる心地して堪へがたき。（四二五）

（注八）昼つけて、殿まゐらせたまひて、人々ゐなほりなどすれば、ものを参らせさして立たんも、おとなにおはしまいにしぞ、さやうのをりもわかず立ちしか。また、おとなしうなども告げさせたまひしか、これは、うちすてて立たば、よきことや言はれんずると思へば、なほゐたるも、（中略）はしたなく思へば、うちうつぶしてゐたれば、御障子の外にゐたる人たちに、「あれは、たそ」と問はせたまふ御声、きこゆ。「それ」といらふるなめり、御障子のうちに近やかについゐて、（四四一）

（注九）注三に同じ。

（注十）拙稿「『讃岐典侍日記』―堀河天皇崩御前夜―」（「洗足論叢」第三六号　洗足学園音楽大学　洗足学園短期大学　二〇〇七年三月）

拙稿「『讃岐典侍日記』―非描出事象の考察―」（「洗足論叢」第三九号　洗足学園音楽大学　洗足学園短期大学　二〇一〇年三月）

（注十一）小谷野純一『讃岐典侍日記全評釈』（風間書房　一九九八年十一月）

（注十二）拙稿「『讃岐典侍日記』―御扇ならさせたまへ―」（「洗足論叢」第三八号　洗足学園音楽大学　洗足学園短期大学　二〇〇九年三月）

る部分であることから言及を避けるのは当然の判断で、この一件を排除した長子を非難することは難しい。しかし、こういった「甘さ」が、本作品を第一級の史料することの大きな壁であることは事実なのである。

五　おわりに

現在、東京大学史料編纂所刊行の『大日本史料』には、漢文日記などの古記録と並んで『讃岐典侍日記』の記事も採録されている。重要事案について項目別、年代順に並べられた諸記録を比較しながら読むと、さらに『讃岐典侍日記』の史料としての立ち位置が鮮明になる。

『讃岐典侍日記』の舞台となった時期の漢文日記としては『殿暦』（藤原忠実）、『中右記』（藤原宗忠）、『為房卿記』（藤原為房）などが上げられるが、それぞれの史料は確かに一つの事案に対し、可能な限り寸分漏らさず記録することを心掛けた記述になっている。しかし当然それにも限界があり、記述の範囲は当時の著者の身分、地位や行動範囲、視界から大きく広がることはない。『殿暦』であれば摂政、関白としての視点からの記述が中心であり、『中右記』であれば中納言としての範囲、『為房卿記』であれば蔵人としての範囲という制限や限界はある。そして『讃岐典侍日記』もまた、「典侍」としての枠の中で描かれたものなのである。『讃岐典侍日記』の検証の中で度々指摘されるのが、作中に書かれた「他史料にはない事件の記述」の存在である。一例として、作中では中宮篤子内親王と堀河天皇の対面が二度行われたことになっているが、一度目の対面については他史料にその記載がない。よって、「これこそが『讃岐典侍日記』の虚構性の高さを示すものである」という論法がまかり通っている。しかし、これについては別稿で言及したように（注十二）、一度目の対面は長子が牽引役となって内々に行われ、関白や蔵人クラスが関知しない形で実現したものである。よって、記録に残りようがない。このように、諸記録の記述は一つの事象の一側面を述べたものであり、それぞれがある事象や事案の一ピースに過ぎない。もちろん、それらをすべて当てはめても完全なる全体像の復元が可能になるわけではないが、各作品、各記録があくまでお互いを補完しあう存在であることを認識し、活用されるべきなのである。

儀式書や漢文日記は、後世への伝承を目的として書かれたものであるため最大限詳細な記録と正確性を重視した。一方で、『讃岐典侍日記』は自身の主張を広く世に訴えるために書かれたものであり、根本的に執筆姿勢が異なる。信憑性という点においてはたしかに漢文日記に分があるが、だからといって『讃岐典侍日記』の史料的価値は否定されるべきでない。これをどう扱うかは研究者の向き合い方にも大きく左右される。史料としての欠点を十分認識しながら、本作品にしか描けなかった事実を抽出し、適正に活用するというのが研究者に必要な姿勢なのである。

（注一）　長子に与えられた位階についての記録は残されていないが、作中で書かれた鳥羽天皇御所への出仕要請の中に、「御乳母たち、まだ六位にて、五位にならぬかぎりは、物まゐらせぬことなり。この二十三日、六日、八日ぞよき日。とくとく（四三〇）」とあることから、少なくとも五位以上であったことがわかる。

（注二）　以下、『讃岐典侍日記』の引用は新編日本古典文学全集『和泉式部日記　紫式部日記　更級日記　讃岐典侍日記』（小学館　一九九四年九月）に拠り、引用末尾に参照頁を付した。

（注三）　拙稿「『讃岐典侍日記』―　「隠される典侍」と「さらされる典侍」　―」（「中央大学大学院年報　文学研究科編」第二八号　一九九八年三月）

（注四）　拙稿「『讃岐典侍日記』―　内侍司女官から見た天皇の崩御と即位　―」（「中央大学国文」第六二号　二〇一九年三月）

（注五）　新編日本古典文学全集『中世日記紀行襲　海道記　東関紀行　弁内侍日記　十六夜日記』（小学館　二〇一三年十一月）

（注六）　新日本古典文学大系『中世日記紀行集』（岩波書店　一九九〇年

るという点が、本作品を「史料」として扱うことに限界を生じさせている。

史料とする障壁の一つが、「主観」に偏った記述の多さである。これは時間軸の曖昧さなどからすでに指摘されていることであるが、『讃岐典侍日記』は日次の体裁を取ってはいるものの、時間的矛盾が生じている箇所が散見される。自身の感情を述べることが優先され、時間的な正確さや物事の前後関係には十分な注意が払われていないためである。

同じく「主観」という点からすると、作者の視線の焦点と記述の取捨選択基準の問題がある。本作品の執筆動機は宮廷生活を記録することではなく、一般に言われる「堀河天皇の追慕」でもない。突き詰めてみれば、「堀河天皇を看取る自分」「堀河天皇を追慕する自分」こそが記述の対象なのである。そして執筆の究極の目的は、鳥羽天皇に仕えている執筆現在の待遇への不満を訴えることにあった（注九）。現在の不当な待遇を改善すべく、堀河朝で与えられていた待遇こそが自分に対する正当な評価であると訴えることが執筆の主眼だったのである。そのため、長子はその主張に合致しないもの、不要なものは容赦なく切り捨てている。

長子が記述の対象から外したものは、同席していたはずの人物に始まり、実際に遭遇した事件（注十）、清涼殿外部で繰り広げられていた政治動向に至るまで多岐に渡る。特に政治面の排除については女性が著者である場合の傾向なのかもしれないが、本作品の舞台となった堀河天皇の崩御と鳥羽天皇の即位前後は、院政や皇位継承といった皇室の問題から、摂政の任命という摂関家の確執に至るまで、政治的に混乱した時期であった。それにも関わらず、長子はそれらに一切触れることはなかった。長子の視線や興味の対象は堀河天皇とそれを見守る自分、そして執筆現在の自身に与えられていた待遇の不当性を訴える材料となるものだけなのである。史料的価値は認めるべきであるものの、本作品に物事を俯瞰的に捉えるという態度が欠如しているという点は、十分に留意すべきである。

最後に、長子と堀河天皇の関係、そして典侍としての守秘義務的な自制や「たしなみ」というべき制約についても触れておきたい。長子は堀河天皇との関係について、しきりにほのめかしはするものの、『とはずがたり』のようにあからさまに言及することはなかった。その要因は、『讃岐典侍日記』が堀河天皇崩御からさほど年月を置かず書かれ、長子自身も現役の典侍として宮中に出仕していた時期の作品であるのに対し、『とはずがたり』は作者後深草院二条がそれらしがらみから解き放たれた、人生の晩年に書いたものだからであろう。しかし、その長子の「品性」とでもいうべき意識が、結果的に本作品の史料としての価値を下げていることは確かであり、その一例を最後に挙げておきたい。

かくて、七月六日より御心地大事に重らせたまひぬれば、たれも、月ごろとても、例さまにおぼしめしたりつることは、かたきやうなりつれども、これがやうに苦しげに見まゐらすることはなくて、過ぐさせたまへる、かくおはしませば、いかならんずるにかと、胸つぶれて思ひあひたり。（三九三）

堀河天皇は六月二十日に発病し、病状が決定的になったのは七月六日であると書かれているが、なぜ発病から二週間以上も経った「七月六日」がその日であると特定できるのか。それは、小谷野純一氏が『讃岐典侍日記全評釈』の中でも詳細に記録を追っておられるように（注十一）、当日、堀河天皇は「御樋殿ニ渡給程、於道不覚御也」（『殿暦』）という事態に見舞われ、それが引き金となって重篤に陥ったからである。「樋殿」、つまり用便を足しにいった際に意識を失ったというのであるから、実際は相当な騒ぎであったと思われる。しかも、天皇が出歩く際にはたとえそれが「樋殿」であろうと女官が付き従っていたはずである。よって、この経緯を長子が関知していなかったとは考えにくい。この「樋殿事件」は堀河天皇の崩御に直結する騒動であったことからして、通常の感覚でいえば作品全体の導入として省くことはできないものである。それにもかかわらず、長子はこの点を完全に抹殺した。「樋殿」云々というのは志尊たる天皇の、「褻」の最た

褰帳の役は伯の三位の女なり。命婦、蔵人四人、役の内侍六人。裏濃き蘇芳、濃き物具。行幸高御座へ成れば、御前の命婦四人、御前に立つ。その後髪上の内侍二人、二行に並びて参る。高御座の御階の左右に内侍立ち留まれば、殿下御簾の役に参り給ひぬ。左の内侍、先づ昇りて左の御脇より御剣を参らせ置く。御階を退きて右の下に内侍の座に着きぬ。女王の装束、二色、紅の単、蘇芳の表着、赤色の唐衣。

（注六）（二四八）

三作品の中では『弁内侍日記』が突出して記述が少なく、『讃岐典侍日記』は自らが関与した部分のみを感情を中心につづっている。特筆すべきは『中務内侍日記』で、ここには引用しきれないものの、漢文日記や儀式書に引けを取らない詳細さで儀式全体を記録している。中務内侍自身が剣璽の使いとして儀式に参列していたことも大きく影響しているだろうが、引用部はことのあとも女房たちの装束の説明が続き、後半の儀式についても述べたあと、すべてが終わり宮中を退出する際の出車の内訳まで述べている。

こう見ていくと、一見『中務内侍日記』こそ儀式を俯瞰的に捉えた記録性の高い作品であり、史料としての価値が高いように感じるが、『讃岐典侍日記』と比較することで両者の欠点が浮き彫りになる。『讃岐典侍日記』は記述の対象が自分自身であり、そこに儀式の記録という姿勢は全く感じられない。一方で、詳細な記録に徹しているかに見える『中務内侍日記』もまた、剣璽の使いを務めた自分を含めた「内侍」たちに焦点を当てた記述になっている。それは長子が務めた「褰帳女房」についての記述を比較すると明確で、『中務内侍日記』では「褰帳の役は伯の三位の女なり」とあるのみである。しかも、実際に左右二人いるはずの褰帳女房のうち一名についてのみの言及で、当然、彼女たちの儀式での様子には一切触れていない。もちろん、自分中心の記述になることは避けられず、この中務内侍の態度も当然ではある。『讃岐典侍日記』があくまで「典侍」の視点で書かれているのと同じく、『中務内侍日記』もまた「内侍」の視点で書かれているだけのことなのである。「典侍」と「内侍」の職掌の差を認識し、それぞれの作品の特性を認識したうえで活用すれば、両者は異なる視点を持った「史料」として十分に通用する。

しかし、これは決して両者の史料としの希少性が同等であることではない。そもそも、「典侍」と「内侍」は同じ内侍司女官とはいうものの、両者には大きな壁があった。それは単に職掌の差というだけでなく、日常的に許される行動範囲、立ち入り可能区域、天皇との距離感などである。詳細は別の機会に譲るが、『讃岐典侍日記』に見られる例を挙げてみると、堀河天皇の生前は一切登場しなかった「因幡内侍」という女性が、崩御後になって初めて天皇の枕元に伺候した際の記述や（注七）、陪膳に際し、典侍は直接天皇の世話をするのに対し、内侍たちは障子の外で控えるなどの制限があった（注八）。このように、同じ内侍司女官であっても典侍と内侍では天皇にどこまで近づけるのか、どこまで立ち入ることができるかなどが根本的に大きく異なるため、『讃岐典侍日記』と、『弁内侍日記』『中務内侍日記』の二編を同列に扱うことはできないのである。それぞれの「史料」としての価値は当然認められるべきではあるが、やはり宮中の「褻」「晴」に、ともにより深い部分で関与した「典侍」による記述は格段に貴重であり、『讃岐典侍日記』が第一級の史料としての可能性を秘めていることは間違いないだろう。

四　史料としての限界

ここまで『讃岐典侍日記』の史料としての特性と価値について見てきたが、本作品をそのまま「史料」として扱うことの問題点と限界についても考察する必要がある。

本作品は「日記」とはいうものの、後世へ事実を正確に伝えることを旨とする漢文日記などとは異なり、記録の正確性に重きは置かれていない。加えて、作者である藤原長子が、ある目的を持って作品をまとめあげてい

いるに過ぎず、儀式に参加した本人の感想や考察、行事自体を内側から見る目線などは組み込まれていない。この点については別稿で述べたが（注四）、漢文日記等の著者では知り得ない部分の記録として、本作品は諸記録と同等に扱われるべきなのではないだろうか。

ここで一点、言及しておきたいのが『弁内侍日記』『中務内侍日記』の存在である。『讃岐典侍日記』とこの二作品は、同じ「内侍司女官」である女性が宮中での出仕の様子を記しているという点はもちろん、天皇の即位に立ち会っているという共通性がある。しかし、この二作品を『讃岐典侍日記』と同列に扱うことはできない。その理由としては、天皇との関係性や、二代の天皇に仕えた経験は弁内侍や中務内侍にはないものであるという点に加え、「典侍」と「内侍」の間の大きな隔たりは看過できないからである。

一例として、三作品の即位式の記述を比較してみよう。

『讃岐典侍日記』

十二月朔日、まだ夜をこめて大極殿に参りぬ。西の陣に車寄せて、筵道しきてゐるべきところとてしつらひたるに、参りぬ。ほのぼのと明け離るるほどに、瓦屋どもの棟、霞みわたりてあるを見るに、昔内裏へ参りしに過ぎざまに見えしほどなど、思ひ出でられて、つくづくとながむるに、北の門より、長櫃に、ちはやを着たるものども、蘇芳のこき、打たるくはうこくの出し衣入れて、持てつづきたる、べちにおもしろく見ゆべきことあらねど、所がらにや、めでたし。人ども、見さわぎ、いみじく心ことに思ひあひたるけしきどもにて、見さわげども、ただわれは、何ごとにも目も立たずのみ覚えて、南のかたを見れば、例の八咫烏、見も知らぬものども、大頭など立てわたしたるを見るも、夢の心地ぞする。かやうのことは、世継など見るにも、そのこと書かれたるところは、いかにぞやおぼえてひきこそかへされしか、うつつにけざけざと見る心地、ただおしはかるべし。

日高くなるほどに、「行幸なりぬ」とてののしりあひたり。殿ばら、里人など、玉の冠し、あるは、錦のうちかけ、近衛府など、甲とかやいふやうもの、着たりしこそ、見もならはず、唐土のかたかきたる障子の昼の御座に立ちたる見る心地こそ、あはれに。

かくて、「ことなりぬ、おそし、おそし」とて、衛門の佐、いとおびたたしげに、毘沙門などを見る心地して、われにもあらぬ心地しながらのぼりしこそ、われながら目くれておぼえしか。手をかけさするまねして、髪あげ、寄りて針さしつ。わが身いらずともありぬべかりけることのさまかな、などかくしおきたることにかとおぼゆ。御前の、いとうつくしげにしたてられて、御母屋のうちにゐさせたまひけるを、見まゐらするも、胸つぶれてぞおぼゆる。おほかた目も見えず、はぢがましさのみよに心憂くおぼゆれば、はかばかしく見えさせたまはず。ことはてぬれば、もとのところにすべり入りぬ。（四三六）

『弁内侍日記』

三月十一日、官庁にて御即位。春の日もことにうららかなりしに、様々の儀式ども、言はん方なくめでたし。人々の姿ども、珍らかに見え侍りしかば、弁内侍、

たまゆらに錦をよろふ姿こそ千歳は今日といや珍なれ（注五）（一四六）

『中務内侍日記』

三月十五日、御即位。行幸の儀式、関白殿・左大将以下、供奉の人く、珍しく面白し。髪上げの内侍、この御所より少将内侍・少輔内侍なり。（中略）高御座の事具したる由、職事申せば、やがて行幸あり。御剣は勾当給はる。璽はこれの役なり。右の御脇に参る。殿下の仰せに、「その璽の御筥の上に掛けたる網を指に掛けつれば、取り外して過はせぬぞ」と仰せあるに、御情のありがたく、心も強くしく覚えて過なし。高御座へ事故なく参り着きぬ。

大臣たち側近はどのような動きをし、崩御から新帝即位への移行が行われていくのか。本作品はこれら多岐に渡る要素を包括した、臨場感溢れる記録となっているのである。こういった『讃岐典侍日記』が持つ「史料」的価値にも焦点が当てられ、適切に活用されるべきであるにもかかわらず、放置されているというのが本作品の現状なのである。

以上は上巻に特化したものであるが、下巻では新帝御所の発足とそれがどのように機能、運営されていくのかといった過程、前天皇の御所運営を知る長子が、どのような立場に置かれてノウハウの伝承を行っていくのかなど、やはりこれらも他の女流文学作品はもちろん、漢文日記などの他史料では見られない記述が続いている。そもそも、「典侍」や「内侍」は他の女官に比べ、抜群の知名度はあるものの実態解明には至っておらず、職掌などにも謎が多く残る。それらの一端が垣間見えるという点でも、本作品の貴重性は十分に評価され、女官や女房そのものの研究にも活用されるべきなのである。

三　「晴」史料としての妥当性

次に、本作品のもう一つの側面、「晴」史料としての特異性を見てみよう。

前述のとおり、長子は堀河天皇、鳥羽天皇二代に仕えた典侍である。しかし、これまでの研究では「典侍」と一般の女房、いわゆる「上の女房」と「宮の女房」などの間に大きな相違を認めず、内侍司女官たちもあくまで「女房」の一形態、主人が天皇というだけに過ぎないという認識から大きく踏み出すことがなかった。主人の生活の世話をするという点では、基本的に紫式部や清少納言などの「宮の女房」と大差ないとされ、「典侍」のもう一つの側面である「内侍司女官」としての特殊な立場もあまり注目されていない。

そこで、作者が「典侍」であることに焦点を当てることで浮かび上がるのが、「晴」の史料としての可能性である。典侍は天皇の「褻」の部分に奉仕する一方で、内侍司女官として文書や宣旨に携わることはもちろん、宮中祭祀などにも奉仕する。そこで、作中に言及された公的要素の強い事案に関する記述を挙げていくと、次のようになる。

（上巻）
堀河天皇崩御当日の剣璽渡御式　（四二六）
（下巻）
除服の祓（長子個人）　（四三三）
鳥羽天皇即位式（褰帳女房として参加）　（四三六）
四月の衣がえ　（四四七）
灌仏会　（四四七）
菖蒲の節句　（四四九）
最勝講　（四四九）
堀河天皇一周忌　（四五一）
諒闇明け　（四五二）
御所の内裏移転　（四五四）
九月の節句　（四六〇）
大嘗会の御禊　（四六二）
五節、臨時の祭　（四六三）
帷台の試み　（四六三）
童御覧　（四六四）
大嘗会　（四七〇）
清暑堂の御神楽　（四七一）
豊明の節会　（四七四）

行事の名称のみで詳細は言及されていないものから、即位式での褰帳女房役や大嘗会のように数ページに渡るものまで記述の量は様々だが、このような行事の詳細は儀式書や漢文日記では手順等が記録として述べられて

たちの距離感で仕えている様子を指したものとも考えられるのである。

このような特殊な立場が、長子に他の女流文学作家が知り得ない清涼殿内部の日常をつづることを可能にした。加えて、堀河天皇との関係、続く鳥羽天皇御所への出仕による二代の天皇への出仕などを鑑みると（注三）、長子は一般の典侍以上に天皇や宮廷生活を深く知る立場にあったのである。

三　「褻」史料としての特異性

それでは、長子が描いた天皇の日常、「褻」の部分について見ていこう。まず、特筆すべきは天皇と女官たちの間で交わされた、あまりにも親しい会話についてである。とくに乳母たちとの会話はまさに「家族」そのものであった。

大弐の三位、長押のもとにさぶらひたまふを見つかはして、「おのれは、ゆゆしくたゆみたるものかな。われは、今日明日死なんずるは知らぬか」とおほせらるれば、「いかでたゆみさぶらはんずるぞ。たゆみさぶらはねど、力のおよびさぶらふことにさぶらはばこそ」と申さるれば、「何か。今たゆみたるぞ。今こころみん」とおほせられて、（三九七）

この二人の会話は、我々が思う天皇と女官の距離感とはかけ離れた描写であり、いくら乳母といえども不敬に当たるのではないかと驚くほどの親密な応酬である。これは双方に相当の信頼関係があることが前提であり、その場に同席しこれらを目の当たりにできるのもまた、限られた人物だけなのである。

同様に、長子にしか書けなかったものとして、病床の間の天皇の様子がある。

「せめて苦しくおぼゆるに、かくしてこころみん。やすまりやする」とおほせられて、御枕がみなるしるしの箱を、御胸のうへに置かせたまひたれば、まことにいかに堪へさせたまふらんと見ゆるまで、御胸のゆるぐさまぞ、ことのほかに見えさせたまふ。（三九九）

御冠など持て参りたれば、するかせぬかのほどに押し入れて、御直衣、引き掛けて参らせたる、御ひも、ささんとおぼしめしたるなめり、ささんとせさせたまへど、御手もはれにたればえささせたまはぬ見る心地ぞ、目もくれて、はかばしう見えぬ。（四一一）

見れば、大弐の三位、うしろのかた抱きまゐらせて、大臣殿の三位、ありつるままに添ひ臥しまゐらせられたり。御あとのかたについゐたれば、大弐の三位、「苦しうせさせたまへば申しつるぞ。その御足とらへまゐらせたまへ」とあれば、とらえまゐらせゐたり。御汗のごひなどせさせたまふ。（四一四）

皇位の象徴である神璽の箱を胸の上に置くというのは、現在の我々からすると想像もできない驚きの行為である。また、病状の進行から浮腫が生じ着替えもままならない天皇の様子や、苦しさのあまり女官たちに身を委ね支えられる姿は、本作品以外には目にすることはできない、「褻」の部分の最たるものである。この他にも、念仏を唱えていた天皇の口の動きが止まり、それを見た関白藤原忠実が臨終を宣言する場面、腫れたままでありながら清らかな堀河天皇の死に顔の描写、「もしや生き返るのでは」と捉えた腕に死後硬直が訪れる様子など、天皇の臨終でなくても記録として残ることのないような詳細な描写が続く。これらはあくまで「堀河天皇の看取りの記」として読むこともできるが、同時に「天皇の発病から崩御にいたる清涼殿内部の記録」でもあることに注目したい。どのような看病がほどこされ、どのような者が出入りし、どのタイミングで僧侶による加持祈祷が行われ、だれが「天皇の臨終」を決めるのか。そして、その周囲で関白や

し、長子は公職に就き、位階（注一）も授与されていたことから、それらとは一線を画した存在であった。

まず確認すべきは、長子の「典侍」という立場である。「典侍」とは内侍司の二等官であるが、長官の「尚侍」は堀河天皇の時代から空位となっていたため、実質的に典侍が内侍司、ひいては宮廷女官の最高位となっていた。定員は尚侍二名、典侍四名、掌侍（内侍）四名であり、尚侍不在の堀河朝にあって、この規定に従えば長子はトップの四名のうちの一人として名を連ねていたことになる。古典文学作品の作者の多くが后妃付きの女房であったため、天皇の日常生活は後宮と密接な関係にあるように思われがちであるが、天皇の居住区域は清涼殿であり、いわゆる「七殿五舎」に局を賜っていた后妃たちと同居することはなかった。天皇の日常は典侍、内侍といった女官たちに囲まれ、独立したものであったのである。また、堀河天皇には正式な后妃は二名しかおらず、鳥羽天皇生母藤原茨子の死去後は中宮篤子内親王のみとなった。しかし、中宮とはいえ篤子内親王は堀河天皇の身近に詰めて看病に当たることもなく、天皇との対面すらままならない状態であったことが作品に描かれている。

このような状況から、堀河天皇の日常は『源氏物語』や『枕草子』からイメージするものよりかなり狭い範囲で、少数の女官たちに支えられた、やや閉塞的なものであったようだ。実際に、長子は堀河天皇発病時の堀河朝の女官の出仕状況を次のように説明している。

> そのころしも、上臈たち、さはりありてさぶらはれず。あるは子うみ、あるは母のいとま、いま一人は、とくよりもこもりゐて、この二三年参られず。御乳母たち、藤三位、ぬるみ心地わづらひて参らず、弁の三位は、東宮の母もおはしまさで生ひ立たせたまへば、心のままにさぶらはるべくもなくにあはせて、それも、このごろおこり心地にわづらひて。ただ、大弐の三位、われ具して、三人ぞさぶらふ。（注二）
>
> （三九三）

ここで長子は、堀河天皇に仕える女官を「上臈」と「御乳母」に分けている。「上臈」は出産した者、母の喪に遭った者、数年籠居状態にある者という三名であるとし、全員出仕を停止していた。一方で、「御乳母」は名前が抜けている大臣殿三位以外の二名について、個人を特定したうえで言及している。姉藤三位は病欠、弁三位は東宮（のちの鳥羽天皇）生母藤原苡子の義理の姉であることから東宮に養育に当たっており、事実上の職場移転のため不在であった。残る大弐三位と自身を入れた三名のみで天皇の看病に当たっているとしている。

この区分からすると長子は「上臈」となるため、堀河天皇の典侍は「上臈」四名、「乳母」四名ということになるが、典侍の定員は四名である。この説明では計八名となり、規定に合わない。そこで注目すべきは長子が典侍を「上臈」と「御乳母」に分けている点と、両者がともに「四名」である点である。つまり、典侍の四名という定員は、「上臈」と「乳母」各四名ということであって、一天皇には最大八名が典侍として在籍できると考えられるのである。東宮時代からの「乳母」は、育て子が即位することで「三位典侍」となり、別格扱いになる。新帝御所には新規に典侍四名の枠が生じ、結果的に最大八名まで任命が可能になるというのであれば、長子の記述に説明がつく。同じ「典侍」であっても乳母たちは「三位典侍」として上席となり、その下に新規の典侍がいると捉えるのが妥当ではないだろうか。

堀河天皇の病床の間では、八名いるべき典侍が五人欠け、残された三名で看病に当たっていた。長子は本来、藤三位、弁三位、大臣殿三位、大弐三位の下位の女官として彼女たちの補佐的立場での看病するはずのところ、人員不足により乳母と同等の役割をもってその任に当たっていたのである。

> 「（堀河天皇が）いみじう苦しげにおぼしたりければ、片時御かたはら離れまゐらせず、ただ、われ、乳母のやうに添ひ臥しまゐらせて泣く（三九七）」

とあるのは、添い臥す自分の様子を「幼子に付き添う乳母のようだ」と表現したものと解することもできるが、本来の自身の立場よりも近い、乳母

『讃岐典侍日記』史料的価値とその限界

太田　たまき＊

（二〇一九年一月七日受理）

一　はじめに

『讃岐典侍日記』は平安後期、白河院の院政期として知られる天仁二年（一一〇九）頃に成立した女流日記文学である。作者「讃岐典侍」藤原長子は白河院の子である堀河天皇、孫に当たる鳥羽天皇に仕えた女官であり、本作品は作者の宮廷生活を中心につづられた、いわゆる「女房日記」である。上下巻から成り、上巻は堀河天皇の発病から崩御、下巻は鳥羽天皇即位式を経て、新帝御所への出仕、大嘗会の様子などが描かれている。内侍司二等官「典侍」による現存唯一の「日記」であり、天皇の日常や崩御、即位式、宮中祭祀など、内容は多岐に渡る。

作者藤原長子は藤原北家道綱流の出で、歌人として知られる藤原顕綱の娘であった。顕綱家は祖母の弁乳母が後三条天皇の乳母を務め、兄の有佐は後三条天皇の落胤とも言われる。また、年の離れた姉の藤原兼子（藤三位）は堀河天皇の乳母を務めており、有佐の存在や姉妹が同じ天皇の側近として同時に召し抱えられていることなどから、顕綱家は実際の家格に比べて天皇家に近い立場にあった。

長子は、自身とほぼ同年齢と言われる堀河天皇に八年ほど仕えた。堀河天皇崩御後は子の鳥羽天皇に仕えたため、天皇の崩御と新帝の即位を経験し、二代の天皇に出仕するという珍しい経歴の持ち主である。以上のような経歴が、他の女流文学作家たちが立ち入ることすらできなかった清涼殿内部や諸儀式、宮中での「褻」と「晴」の詳細を描くことを可能にした。

長子が堀河天皇と男女の関係にあったことは定説になりつつあるが、本作品はそういった堀河天皇との関係と、天皇の発病から崩御に至るまでを描いたという題材の特異性に注目が集まりがちである。一方で、前述のとおり「典侍」という立場からつづった作品は他に例を見ないこと、しかもその「典侍」としての経歴が特異なものであるという点は見落とされがちで、『讃岐典侍日記』が当時の女官や天皇、諸儀式などの実態を解明する貴重な「史料」となり得ることについて正当に評価されていない。彼女は天皇の日常、「褻」の部分だけでなく、内侍司女官として「晴」の場にも奉仕していた。とくに「晴」の部分は、彼女が実際に諸儀式に参列したうえでの生きた証言なのである。

そこで本稿では、『讃岐典侍日記』の史料的価値とその限界について考察する。筆者はこれまでも本作品の特性に焦点を当て、検証を行ってきた。今回はそれらを踏まえ、総括するものである。

二　「上の女房」典侍藤原長子

冒頭にも述べたように、作者藤原長子は白河院政の黎明期、堀河・鳥羽両天皇に仕えた内侍司二等官「典侍」の職にあった人物である。いわゆる「女房文学」の作者の大半が后妃付き、または権門の女房であったのに対

＊人文科学系・日本文学

A Report on *Mari no Engi*

Yukio OSHIMA

Kemari(蹴鞠) is a traditional ball game in Japan, in which there are many rules and manners to be observed. Since the time *Kemari* was introduced from China to Japan in the Nara period, it developed independently in Japan. Rules and manners concerning *Kemari* were gradually improved, and were systematized in the Kamakura period. After then, *Kemari* master gave his pupils a written material that contained explanations of the rules, the techniques and the manners.

Mari no Engi(鞠之縁起) in my possession is one of those variants of explanation text, which was copied by hand in the second half of the Edo period. The contents include not only the rules, the techniques and the manners, but also include the legendary origin and history of *Kemari*. The text shows how the custom of *Kemari* has been handed down in the tradition from generation to generation.

In this paper, I reprint the text and give a commentary on it.

ひかね候ハヽ、脇より取へし、
左ッ足、地をはなして運ッ事、嫌ふ也、土きわをはこふ物なり、中に受てはこふを高をとるといふなり、
いたらぬ内に、沓ねをけ候なと、なつむ事、あしく候、稽古のおさへになる物なり、沓音ハ、鞠たけ次第、出候物なり、
同到もせて、鞠を近くけ候なと、望候事、第一おさへなり、鞠につり合出ぬ物なり、切者に成、鞠の出合能、つり合能けれは、遠くけたくとも、近くなる物なり、
相手に上手下手の嫌ひなく蹴へし、相手をきらひ候へハ、不達者になるもの也、
下手をもすゝめて相手に成、すくい候事、一しうの掟也、是、鞠の繁昌のため、
飛鳥井殿へ御奉公也、
上手事、蹴候へハ、鞠すくみてあかりかぬるなり、下手とけ候てくつろき、一はいをけ候へハ、そこにて上るなり、
毎日心掛、五足十足なり共嗜、一人にて稽古いたし、沓心を覚へ、尤身構へ、気のたるまぬ所を知るへし、
一足〳〵け候とも、そまつに蹴候事ハおさへなり、
貴人高人の御手を付たる鞠は、あつと腰をかゝめ、鞠により手を付けへし、御顔、肩なとへあたりたるも同前也、手にとりて上候へハ、拍子ぬけゝるまゝ、手に受るまねをして蹴るなり、
上面に立、貴人見物の時、うしろむきたる、立ひろかりけぬ物なり、幾度もかいしきてけいたす物なり、何方に貴人御座候とも、其方に立候ハゝ、其心得第一也、
貴人の前に立人、庭の様子により、少一方へよりて立物なり、同は右へ寄へし、まん中へ立候事、あしく候、
鞠見物の時、はなしすへからす、能鞠出候時、感して誉候物なり、
けなから相手のほめ候事なかれ、
鞠中ばに、け候者と物いふ事なかれ、我鞠不出来なり共、知らぬ顔にてつめをけて、沓にのるを待なり、でかしなと、いて候へハりきみ、相手の鞠も悪くなる也、
鞠ひたとそれ候時、其色を見すへからす、不出来の色見へ候へハ、脇もしまぬ物なり、
鞠しづまり過候ハヽ、情を出し、はり合能けへし、此時こそ声を繁くかけ候物也、あまり気をい過候ハヽ、しつめへし、此見合肝要なり、是をきをいおくれを取と云也、
いつもべん〳〵たらりと蹴候ハ、下手也、
鞠の内、我身に心を付、折〳〵衣紋を匡し可申候、とりわけ、くるいたる鞠に骨を折申候へハ、衣紋みたるゝ物なり、

か、また重てハ三ツ、又は、蹴上ヶたるハなかしか、まはりか同しやうに蹴候てハ見所なし、

立わかれ　一切に一ツか能ㇾ二て二ツか
まはり　一切に二ツか三ツか
かいしき　同前
のべ　一度か二度か

なかしは、鞠をたすけ候まゝ定らぬなり、鞠を取納候程有べし、一切に少しまへたりとも、其日の上客なと、風の出来、鞠有てあつと申程見事に候ハゝ、其内の切者か、又は向に有人、取候者なり、か様ニ納候へハ、其暮ハみな其御方の鞠とはかり見へ申者なり、

貴人高人は座鋪の方に御座候ものニて、是を上面と言なり、同輩にても上手を置ものなり、其向を向上面といふなり、上手の立所なり、望ニ候は貴人たりとも向上面に有へし、

掛リの内は、四間半四方にしてよし、下手の鞠、不達者の鞠にてはあくむものなり、されは、四間四面にして上ㇾなり、

掛の木は、松楓柳桜を植へし、鞠を入候時分、向上面の左リの木の根ゟころはすなり、鞠座の真中に居候様、心へし、

貴人か珍客、賞翫の人あそはし候ハゝ、つめ事蹴へし、我鞠でかし候半とおもふは、大キにあやまりなり、高足を蹴候とも、時分あいしらい蹴候ものなり、我同輩せりあひの鞠ハ各別なり、

掛リの木の内を通るへからす、

鞠蹴に初て入候時分、先、向上面の人、先江入、右の掛の木のかたへ近寄つゝはい居なり、今一人ハ上面の左へ向、上面の後口を通り、縁のきわの木へ近寄居なり、三人めは右のかたへ出、右の木へ近寄居る也、さて、上面の人出、つくばい候ハゝ、向より出鞠をとり、うしろへ開き、目と目を見合、一度に立上リ、鞠すへし、

上面、貴人高人ならは、上ヶ鞠すくに渡すへからす、左リ上面へわたし、さて、左リ上面ゟ本の上面へわたすへし、

本上面も向上面も高人ならハ、左リへ立候者、上鞠すへし、左リも高人ならハ、右の人、上へし、見合すへし、

鞠をとり納候事、大概客のとり候物なり、亭主かたより取候事、不仕付なり、

鞠取納、貴人か高人ハ、其まゝ捨候もの也、御出候内は、三人ともに本の座につくはい待合、御出候跡ゟ、入口の勝手により、其方の人、先へ出、それにつゝきて出候ものなり、貴人、壱人にても二人にても、先、其御方、御出の跡より出申もの也、

蹴上の事、鞠に目を付、一ツも二ツもうけ、身をけはなし、其拍子に左の足を踏込、上ヶへし、け上ヶと見へ候様ニ、鞠にせいをあらせて蹴るなり、三尺にても高足、一丈にても上鞠と心得へし、

とめ候事、けとめ、請とめとて、二ツ有、又、けぬきといふ事有、是は高足を定足にけぬく事なり、

身に勇をあらせて、気に力を入候事、第一なり、

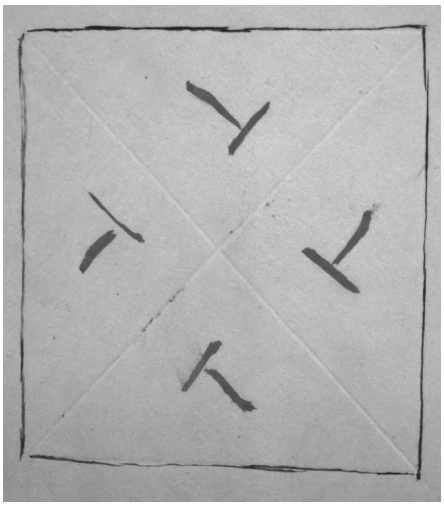
身のちからの入候事、りきみなり、気のたるむ事、拍子ぬけ候もの也、

初ての上ヶ鞠ハ、なる程気をしつめ、ゆふニ上るものなり、又、鞠中はに上、鞠せいてまハし、よくはやく上候もの也、其時、ゆふになと上ヶ候へハ、あらたまる物なり、初の拍子ぬけぬためにあらため候事、嫌ふ也、然ゆへに、すくい鞠、第一用心也、

鞠落すと見ハ、脇より声をかけへし、声を懸候へハ、情出て落さぬ物なり、

高足をけ上ヶ候は、庭の真中へ出、上候事よし、第一嗜むへし、

縦上ヶ度とも、合手のかたへ近寄候ハゝ、上ヶすに渡すへし、我ㇾの請とりの屋鋪構へ有、是を地割といふ、



か様に候也、他領へ入候ての高足ハ、我儘なり、然とも、我上ヶ候鞠は、とめて渡すものなり、高足にて渡すハ不仕付也、されは、他領にてもとめ候也、けんかく切、又ハさか鞠、なきれ鞠ならは、脇より出とめ申也、勿論、遠くてはこ

一、鞠蹴揚の事　口伝
一、止鞠の事　口伝
一、序破急の事　口伝　」

ありといふ声より外にいふ事は
まりのかゝりにせぬとこそきけ

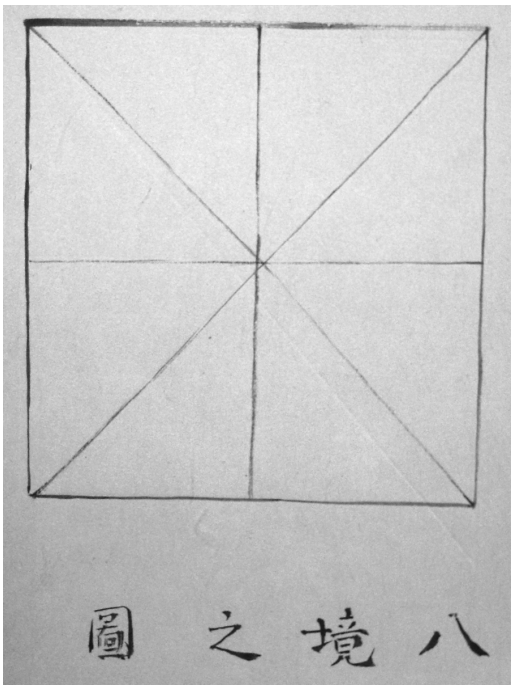
右之條ゝ、雖為　御家蹴鞠之深秘、依執心令相傳卒、向後於于他傳受之節、選其着用、以誓紙御許可有之也、

蹴鞠門弟
野条自休
判

正徳元辛卯年十一月九日

右自休老ヨリ以誓詞傳之者也

蹴鞠門弟
田村源兵衛
當徳　判



此外、両分之図、対縮之図、横縮之図、傍縮之図、有之、」

蹴鞠秘伝書

乾坤におゐて人と生れ芸能知らてあるへからす

ハウ
貌　前也、秋の月の相あり、
カタチ　方角は西にして色ハ白し

ヨウ
容　後なり、春の花にして
スカタ　方角は東、色ハ青し

先、鞠は大ふりにけるとも、又、小鞠に蹴るとも、百足に百あしつかふなり、
左りをけは、さる鞠は、いつきてあしく大きに嫌ふなり、
鞠を見おろす事、第一也、鞠に目をつくるといふ事、右同前なり、
心にゆ断有まし、けはなし、人に渡すとも、目を付、請取たるを見て颯と開き申候事、残心といふなり、
心持てわたす鞠、はやく請取可申事、我身近き鞠なりとも、心さし見へぬ内ハ開くへし、其内に切替候はたすくへし、
鞠を打上たるとて、むさとあをのくへからす、鞠半分見候様ニ見上へし、
序の内、鞠落候ハ、手にとりて上ヶへし、いまた沓もそろハぬに、すくひまり度〳〵致候へハ、鞠そゝりてしまらぬ物なり、五六度も上ヶ直シ候へて後ハ、しまり候物なり、沓、大概そろいたるに、手に取て上ヶ鞠すへからす、けしみ候てハ、大キに嫌ふなり、あらたまる心にて序にかえり〳〵しけぬ物なり、
序の内、沓のいきわたらぬ内に蹴上ヶへからす、大概沓にみなのりたると見合候て、中足に上ヶへし、
序ハ成程ゆるやかにしつかなるかよし、中足より段ゝに見合、高足に上ヶへし、
高足を上ては定足になをし〳〵、暮を見合、暮もつまりたるとおもハゝ、引請〳〵上ヶへし、其うちにも、鞠の遠き人へは、けかけはねかけ、尤わたし鞠第一なり、
鞠くはり第一なり、四人まんへんなくけるやうにくはるへし、
鞠請取、たひ〳〵に同しやうに蹴る事嫌ふなり、三度請取候ハゝ、三色に蹴へし、様〳〵曲を蹴候事にてはなし、定五ツ程つゝき候ハゝ、重てハ一ツか二ツ

一、序破急之事　　附掛声之口伝
一、持鞠之事
一、鞠一段三足之事
一、同見おろしの事
一、鞠蹴上之事　　附口伝
一、止鞠之事　　附心の納様口伝
一、墻之高サ壱丈五六尺にてもよし、但、垣は三方なり、大屋ねにてもひさしにても軒をとるものなり、軒なくは四方垣なり、軒下のみな網のものなり、場の松ハ相生の女松なり、相生の松なき時は常の女松也、又、四本なから竹はかりも植也、惣して場の内の四本懸の木の高サ二間ほと也、竹は下枝のつき候処より土際まて、七尺にても八尺にても不苦候、竹の枝数は五枝、又は七枝たるへし、柳はしたり柳なり、桜、楓はいつれにても植へし、松は二本松、三本松は大切のゆるしなり、四本松は平人にはゆるさす、歌に、

みな松の四本かゝりは位ある
　人の立たる庭とこそきけ

但、右図のことく、いつかたにても軒を用て、かゝりの木植てよし、また歌に、

相生の松はいぬゐの物なれは
　楓のかたはひつしさるなり
青柳は辰巳の角に立なれは
　桜のかたは丑寅そかし

但、木と木の間、二間、木と垣の間、一間、右ハ四人縮の場なり、六人縮もくるしからす、此外、京間、四間半四方、五間四方、七間半四方、八間四方の場も有之、八間四方の場の時は、八人縮の物なり、地際より垣の高サ六尺は立子なり、木にても竹にても用なり、立子より上は網にても、但、竹木にても格子にてもいたし候、木の時は横さんに打なり、竹の時は常の竪格子なり、但、格子の廣サ四寸、網の目は三寸五分なり、垣の内、或は廣場にても軒下を通るへからす、歌に、

軒の下は鞠けぬとても横さまに
　用ありとてもとをらさらまし

一、木に着様の事、軒には貴人又ハ切者成もの着へし、歌に、

軒のかた上りなりけり何方も
　かゝりによりて下りもそする

但、木に着様は、松よりは左、人よりは右なり、向縮も同事也、但、軒、貴人ならハつくほうへし、又は鞠御見物貴人ならは、蹴鞠の者四人ともに同輩ならハ、残らすつくほうへし、一番松、二番に柳、三番桜、四番楓、然るゆへ、四番目の下座のもの、揚鞠可致なり、

一、棹の事
　長サ　歌に、

一丈も九尺もよしや鞠棹の
　なかさのほとは二間なりけり

場の下座の楓の木の左の垣の根に、本を軒の方にして横に置也、口傳、

一、入鞠の事、下座に着者、鞠を地に置、右の手にてとり革をとり、左の手にのせて、相手の方に持出る、相手むかふより出合、其時、鞠を揚なり、真行草の口伝、

一、揚鞠の事、沓のかうにて蹴出し渡すへし、一足にて渡らさる時は、手にとり、右の通に渡すへし、二ツ三ツ蹴ぬもの也、附渡し鞠は、沓下にて鞠ちいさく足のかうへ軽くあてゝ、鞠色ゆるくして渡すへし、色能まはる鞠は、人に渡りて蹴にくき物也、わたす時、鞠に心をうつして、相手の顔を見て、跡へかえるなり、あとに位有てよし、鞠を、貴人のむかひ縮の者揚る時、貴人へ向て揚ぬものなり、

一、請取鞠の事、沓下にて鞠をちいさく請取なり、数多きハあしきなり、

一、身持の事、附腰のすへやう口伝歌に、

立おほふすかたと云てさのみ又
　かゝむもつらしのけそるもうし

一、沓下の事、強くやハらかにして、足のあからさるやうに蹴へし、口伝歌に、

身を近く足をはひきく揚とも
　先あたらぬは下手の内なり

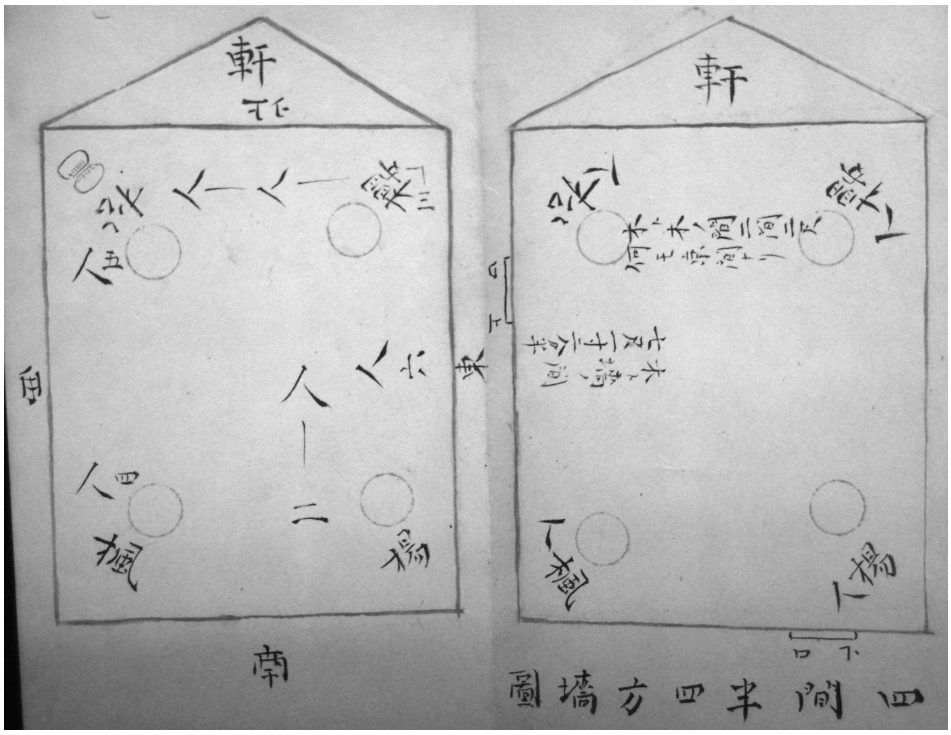
一、地鞠の事、六七尺ほと沓下にて、二足も三足も揃て蹴へし、五足と蹴ハ悪き也、鞠のあたり処、おやゆびの内のかたより、足のかうへむけ、あたれハ鞠音よくひゝく物なり、

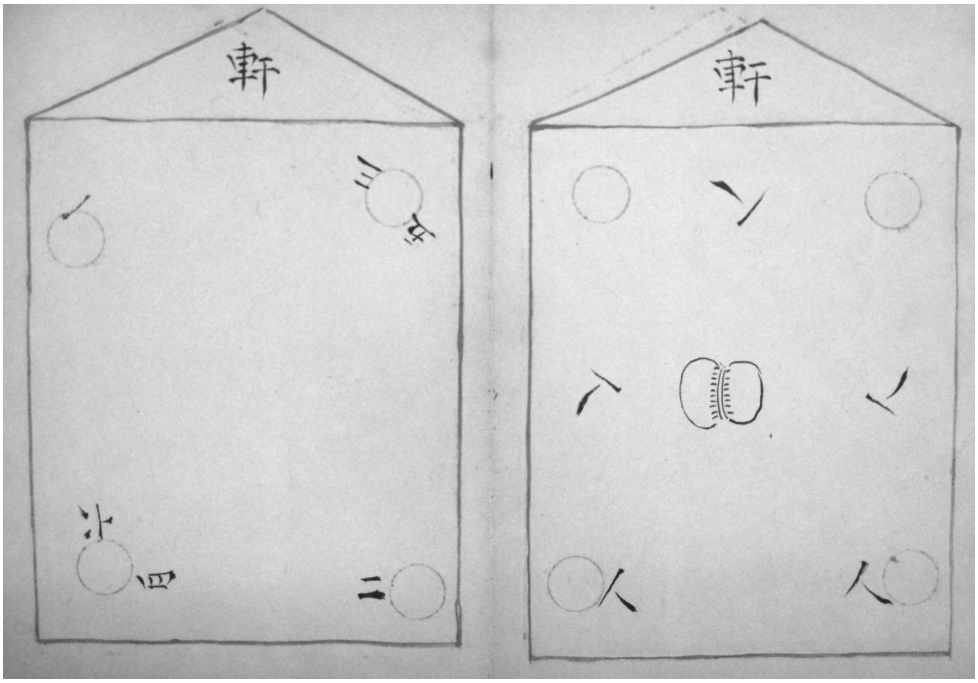
一、一段三足の事、相手より請取鞠、自分の鞠、わたし鞠なり、口伝

一、鞠見をろしの事、顔てりたるも悪し、うつむきたるも悪し、顔を居へて目八分に見をろすへし、

○相生ノ女松無御座候ハヽ、常の松にても能御座候、亦、四本なから竹も植申候、高サ二間ほと、松も高く御座候ハヽ、先をとめ申候、竹ハ猶以地際ヨリ下枝迄七尺ニても八尺ニても不苦候、竹の枝数は、五ッか七ッか能御座候、二本松、三本松ハ大切ノ御免ニ候、四本松は御家斗ニて御座候、

○此木ノ植様口伝





一、鞠塲之事
一、木に着様之事
一、棹之事
一、入鞠之事
一、揚鞠之事
一、請取鞠之事
一、鞠之身持之事
一、沓下之事

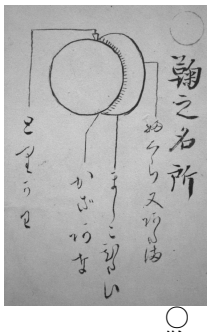
附円座着様、扇子畳紙之口伝
附棹の取まハし口伝
附真行草之口伝
附渡し鞠
附腰のすへやうの口伝

字有、文字金の色なり、かゝる銘文を見て、いよ〳〵あさましとおもひて、又、鞠のたましゐに問様、鞠ハ常になし、其時、住する所ありや、答云、御鞠の時ハかやうに御鞠に付て候、御まりの候ぬ時は柳しけき林、きよき所の木に栖候也、御鞠このませ給ふ代は国さかへ、好人司となり、福あり、命なかく、病なく、後世まて能候なりといふ、又問、国さかへ、官まさり、命なかく、病せす、福あらん事は、さもやあらん、後世まてこそあまりなれといへは、鞠性、誠にさもおほしぬへき事なれと、人の身には、一日の中にいくらともなきおもひ、ミな罪なり、鞠をこのませ給へは、庭にたゝせ給ひぬれは、まりの事より外に思めす事なけれは、自然に後世の縁となり、功徳すゝみ候へハ、かならす好ませ給ふへきなり、御鞠の時はをの〳〵か名をめせは、木つたひにまいりて宮仕ハ候也、但、庭鞠は御好候まし、木はなれたる宮仕ハ術なき事に候、今より後は、さる者ありと御心にかけておハしまさは、御まもりと成まいらせて、御鞠をもいよ〳〵能なし参らせんするなりといふ程に、其容見へす成にけり、是をつゝくるに、鞠をうくるにはりやくわといひ、ありと云、をうといふ、鞠の性か額の銘なり、尤故ある事なりとそ侍るなる、すへて此大納言の鞠に不思儀おほかりけり、

一、京中之御門通西洞院小社二座祭、申日、紀氏之人祭、年始之蹴鞠ニ用伴日、此成道卿旧蹟也、

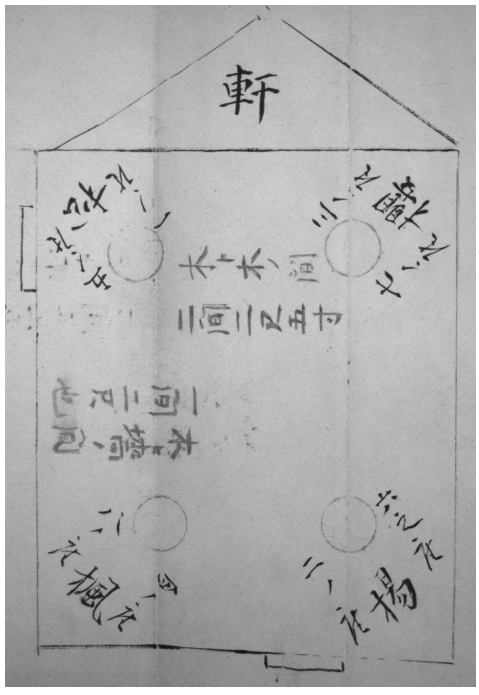
拾遺亜相鞠譜　成道卿家之書

御家蹴鞠之條々



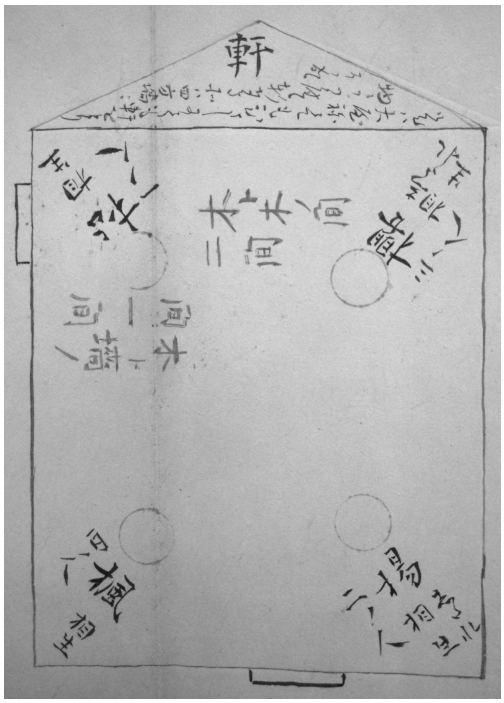
○鞠之名所
ふくら又あたま
ましこひたい
かざあな
とりかわ

○五間四方墻之図　八人縮之時也

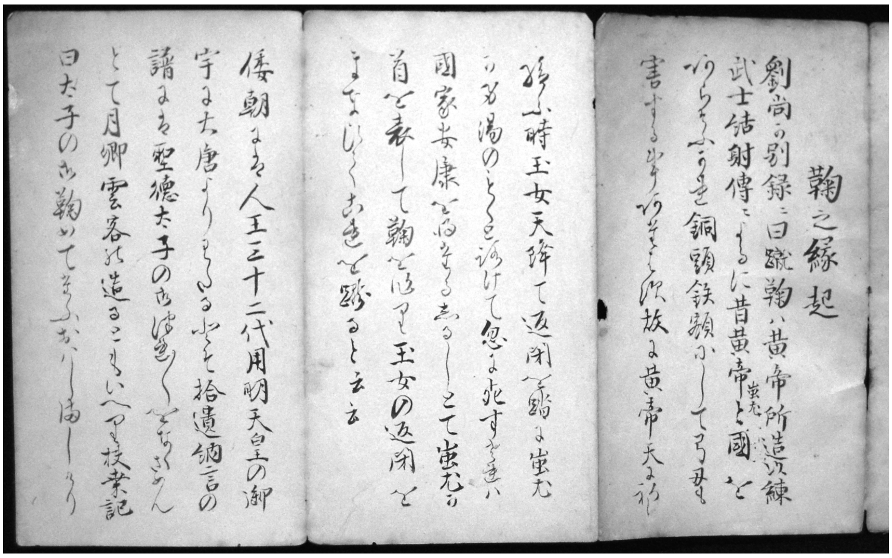


○本墻之高サ一丈五尺之物ニテ候へトモ、夫ハ七間半四方ノコトニテ御座候、
○地際ヨリ一間ノ高サ立子、木ニテ成トモ、竹ニテ成ニテ成トモ、竹木網トモニ御物数寄次第、格子ノ広サ四寸、網ニ候ハヽ三寸五分ホトニテ能御座候、

○四間四方墻之図　四人縮又六人縮ナリ



『鞠之縁起』冒頭



翻刻

〈翻刻凡例〉
○読解の便宜を考慮し、私に読点を付す。
○紙幅の都合上、本文は追い込みとし、適宜私に段落を設ける。
○原則として常用漢字を用いる。
○誤字・脱字の箇所も原本のとおりとし、ママ等の注記は付さない。
○図はそれぞれ当該箇所に配置する。

鞠之縁起

劉尚か別録ニ曰、蹴鞠ハ黄帝所造、以練武士、結射伝ニよるに、昔、黄帝、蚩尤と国をあらそふ、かれ銅頭鉄額にして、弓刀も害する事あたはす、故に黄帝天に祈し給ふ時、玉女天降て返閉を踏に、蚩尤か身、湯のことくとろけて、忽に死す、されハ、国家安康を得たるしるしとて、蚩尤か首を表して鞠を作り、玉女の返閉をまなひて、これを蹴ると云々、

倭朝には、人王三十二代用明天皇の御宇に、大唐よりわたるとそ、拾遺納言の譜には、聖徳太子の御つれ／＼をなくさめんとて、月卿雲客の造るともいへり、扶桑記曰、太子の御鞠めてたふおハしましけり、朝のほと、一時は人もめされす、所をもさしまはして、ひとり遊しけるに、声は数十人か音のし侍りける、是ハ三世の賢聖達の遊しけるとそ申、其跡妙にかうはしきよし、しるしぬ、或曰、三十六代皇極天皇の御宇にも、唐土よりわたるといへとも、女帝成によりて、弄ひ給す、其後、三十九代天智天皇、大織冠と槻の木の下にてあそはしけるよりこのかた、聖主忠臣みな是を弄ひ給ふ事になりけり、

一、侍従大納言成通卿の鞠は、凡、先のしかたにはあらさりけり、彼口伝に、卿は鞠を好て後、かゝりに下立つ事、七千日、その中、日をかゝすとをす事、二千日、若病に臥時は、臥なから鞠を足にあて、大雨の時には、大極殿に行てこれを蹴る、千日のはてゝの日、引つくろひて、数三百あまりあけて、落ぬ先にみつから鞠を取て、棚を二まうけて、一の棚に鞠を置、二の棚にハやう／＼の供祭を取て、鞠を拝す、幣一本をはさみ、其幣を取て猶拝す、みな座につき、饗をすへて、勧杯の式有、三献の後、身の能を各奉る、五献に事終て、禄を賜ふ事、よろしき人には檀帋薄様、侍の輩には装束を給、事はてゝ、人々出ての後、夜に入て、其事を記せんとて、燈台を近くよせ、墨をする時、棚に置処の鞠、前にまろひて落きぬ、あやしう、やう有とおもふ程に、顔は人にて、手足身は猿にて、三四歳なる小児程なる者三人、手つからかひて、鞠のくゝりめをいたきたる、あさましとおもひつゝ、何者そとあら／＼いへは、御鞠の性なりとこたふ、昔より是ほどに御鞠このませ給ふ人、いまたおはしまさす、千日のはてゝ、様／＼の物給りて悦申さんとおもひ、又、身の有様、御鞠の事をも能々申されんに参たり、おの／＼か名をも知しめすへし、是を御覧せよとて、眉にかかりたる髪を押あけたれハ、一人か額には春楊花といふ字有、一人か額にハ夏安林といふ字有、一人かひたいには秋園といふ

『鞠之縁起』について

大島由紀夫＊

（二〇一九年一月七日受理）

緒言

本稿で紹介する架蔵『鞠之縁起』は、近世後期に書写された蹴鞠に関する伝書の一つで、その内容は、「鞠之縁起」「御家蹴鞠之條々」「蹴鞠秘伝書」より成る取り合わせ本である。書誌を簡略に掲げると次のとおりである。

折本一帖　近世後期写
縦一〇・八cm　横八・八cm
外題「鞠之縁起」
内題はそれぞれ「鞠之縁起」「御家蹴鞠之條々」「蹴鞠秘伝書」

「鞠之縁起」の冒頭は、『蹴鞠口伝集』下巻に収載される『劉尚別録』『結射伝』を引用して蹴鞠の起源を説く記事[注1]を簡略にまとめたもので、続いて本朝における蹴鞠の起源を「拾遺納言の譜」などを引きながら簡略に述べた後、『成通卿口伝日記』などに記される鞠精説話を初めとして、蹴鞠の伝書類[注2]に散見する藤原成通に関するエピソードを記す。

「御家蹴鞠之條々」は、末尾に、

右之條々、雖為御家蹴鞠之深秘、依執心令相傳卒、向後於干他傳受之節、選其着用、以誓紙御許可有之也、
正徳元辛卯年十一月九日　蹴鞠門弟　野条自休　判
右自休老ヨリ以誓詞傳之者也　蹴鞠門弟　田村源兵衛當徳　判

とあり、直後に八境之図を掲げて「此外、両分之図、対縮之図、横縮之図、傍縮之図、有之」と付記するところから、正徳元年（一七一一）に野条自休から田村源兵衛當徳に伝授された書の写しであることがわかるが、野条自休・田村源兵衛の両名については未詳である。文中に「是、鞠の繁昌のため、飛鳥井殿へ御奉公也」などと記されており、飛鳥井家流の末流に伝来したものであることが窺える。また、九首を掲げる和歌は、一部に字句の異同があるものの、いずれも『蹴鞠百首和歌』[注3]に所収されるものである。

「蹴鞠秘伝書」は、「御家蹴鞠之條々」と内容の一部が重複しているが、身分の上位の者に対する作法・心得を記す条が多く、享受層を示す特色として捉えられる。

以上に概要を述べた本書は、近世期において末流の門弟からその門弟へと蹴鞠が伝授された様相を窺うことのできる資料の一つであり、鎌倉期以降に変容しつつ展開した蹴鞠の規則・作法・技法等に関する言説が、近世期に至って門流の末端ではどのように享受されたのかということを示す資料として相応の価値を有すると言えよう。よって、本稿では図と共に全文の翻刻を掲げる。

注

1　この起源説話については、村戸弥生『遊戯から芸道へ　日本中世における芸能の変容』（二〇〇二年、玉川大学出版部）で詳細に検討されている。

2　中世以前の主要な蹴鞠伝書については、渡辺融・桑山浩然『蹴鞠の研究』（一九九四年、東京大学出版会）参照。

3　『続群書類従』第十九輯中（一九一二年、続群書類従完成会）所収。

＊人文科学系・日本文学

編 集 委 員

委員長	木村　清和	
委　員	中島　敏	
〃	熊谷　健	
〃	渡邉　悠貴	
〃	矢口　久雄	
〃	五十嵐　睦夫	
〃	雑賀　洋平	
〃	出口　米和	
〃	先村　律雄	

群馬高専レビュー　　**第 37 号(2018)**

発　　行　　平 成 31 年 3 月 15 日
編 集 者　　群馬工業高等専門学校教育研究委員会
発 行 者　　群 馬 工 業 高 等 専 門 学 校
群馬県前橋市鳥羽町 580
電話（027）254-9000(代)

Published by NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, GUNMA COLLEGE
（580 TORIBA-MACHI, MAEBASHI, GUNMA 371-8530, JAPAN）