

Kurume 2016 久留米工業大学 研究報告 of Technology

No.39

[論文]	ウルトラファインバブルを混入させた気液混合燃料による ディーゼルエンジンの燃焼特性高山 敦好・田中 禎之.....	1
	高過給ディーゼルエンジンにおける高膨張比サイクルのエネルギー解析杉野 太郎・山口 卓也.....	7
	E・R・ロブソン著「学校建築」に見るドイツからイギリスへの クラスルーム・システムの移入と我が国初期の小学校建築満岡 誠治.....	17
	地域活性化を目指した着地型観光の取組に関する研究 ー福岡県八女市における事例報告ー大森 洋子.....	27
	オレンジジュースを用いた好みの味質検出アルゴリズム江藤 信一.....	35
	母音の口唇動作の2次元数理モデルによるCGアニメーションの自動生成河野 央・秋山 侑也・小田まり子.....	44
	正多面体と半正多面体の変形図式佐々木良勝・亀澤 千賀.....	55
	項目反応理論による数学基礎力確認テストの解析中嶋 康博・佐々木良勝.....	63
	ソシール学説の一つの有効性についての考察 ー「記号の恣意性」についてー松中 完二.....	72
[技術報告]	久留米工業大学入学試験結果照会システムの設計開発佐塚 秀人・山田 貴裕・河野 央.....	85
[論文, 報告・その他, 著作および学会講演]		94
[平成27年度修士課程修了論文題目]		104

久留米工業大学研究報告

Bulletin of Kurume Institute of Technology

2 0 1 6

No. 39

久留米工業大学

〔論文〕

ウルトラファインバブルを混入させた気液混合燃料による ディーゼルエンジンの燃焼特性

高山 敦好^{*1}・田中 禎之^{*1}

Combustion Characteristics of Diesel Engine with Change
in Ultrafine Bubble Diameter Mixed into Fuel

Atsuyoshi TAKAYAMA^{*1}, Tadayuki TANAKA^{*1}

Abstract

Environmental issues have become a global problem. Among them, environmental pollution due to exhaust gases is an important problems. Diesel engines used in marine applications are very large in size, and the heavy oil used as fuel is of extremely poor quality. Its exhaust gas discharge includes a large amount of harmful substances and is hence subject to environmental regulations. Currently, the Tier 2 Regulations in effect began in 2011, and the Tier 3 Regulations has become very strict from 2016 onward. As a result of more stringent regulations by the International Maritime Organization (IMO) regarding NO_x emissions and sulfur concentration in fuel oil for vessels, pollutant-reducing technologies are being developed at a rapid pace both within and outside Japan. However, improving combustion efficiency is not easy. Owing to the trade-off between NO_x and PM. The NO_x content of the air-fuel ratio can be reduced to improve fuel consumption. This technology uses micro-bubble in the mixture. We study the air mixed into the fuel and the generated OH radical in the fuel due to the miniaturization of the micro bubble to the ultrafine bubble. Therefore, it studies the reduction of NO_x and PM as well as an improvement in the fuel consumption by focusing attention on the mixture air particle diameter. As a result, ultrafine bubbles of air lead to improved combustion, it was reduced fuel consumption, 11.2% by boiler and 17.1% by diesel engine.

Key Words : Ultrafine bubble (UFB), Air mixed into fuel, Diesel engine, NO_x, PM

1. 緒 論

エンジンやボイラに用いる石油系燃料は、燃焼に伴い発生する NO_x, SO_x, PM などの汚染物質が深刻な環境問題となっている。近年、陸上のみならず、海上における環境問題が問題視されている。特に船舶ディーゼル機関の排ガスによる環境汚染は極めて深刻である。船用に用いられるディーゼルエンジンは非常に大型であり、使用される燃料油は非常に粗悪なものである。そのため、排出される排ガスは有害物質を多量に含んでおり、環境規制の対象となっている。IMO（国際海事機関：International Maritime Organization）は、NO_x や SO_x および粒子状物質（PM：Particulate Matter）に対する段階的な規制を設けている。現在、2011年より始まった2次規制から段階を上げ、2016年より施行された3次規制は格段に厳しいものとなっている⁽¹⁾⁽²⁾。

これらから、後処理技術が広く開発され、アンモニアと NO_x の反応による処理手法である選択還元触媒（SCR：Selective Catalytic Reduction）⁽³⁾⁽⁴⁾、燃焼排ガスを再度吸入空気として使用する排気再循環（EGR：Exhaust Gas Recirculation）により NO_x の低減が容易に可能であり⁽⁵⁾⁽⁶⁾、触媒であるディーゼル粒子フィルタ（DPF：Diesel Particulate Filter）によって PM の処理が可能である。

燃料面の開発では、低硫黄燃料とすることで、SO_x の低減において抜本的な対策が可能である。しかし、NO_x と PM は燃焼時にトレードオフの関係があり、燃焼性において削減することが容易ではない。そこで、吸入空気の加湿や水エマルジョン燃料により、NO_x および PM の同時低減が報告されている。しかしながら、油水分離や腐食の影響が考え

^{*1} エネルギーシステム工学専攻
平成28年11月1日受理

られることから、大きな普及には至っていない。

次に、従来のディーゼル機関においては、回転数や負荷に左右されず燃焼噴射時期が変化しないことから、燃料ポンプはクランク角度と同期したカムにより機械式のポンプ方式を採用されている。近年、コモンレールや高圧型噴射弁により燃料噴射をECUによる制御手法に変化しているが、高圧ポンプを使用する必要がある。また、燃料油中に空気を混入することでNOxやPMの低減や燃費の改善が報告されているが⁽⁷⁾、燃料ポンプ内でのキャビテーションが懸念される。

本研究は、空気混入燃料の空気粒径を変化させ、キャビテーションを抑制できる粒径すなわちナノ粒径域とすることで、OHラジカル等の付加から効率の良い空気粒径を求めるものである。これは、水エマルジョン燃料においても空気混入が可能であり、さらなる効率上昇を目指したものである。

2. 実験手法

2・1 混合手法

エジェクタや攪拌装置を用い、空気をマイクロバブル化できることが報告されている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。マイクロバブルは粒径によって浮上速度が異なるが、ミリバブルと比べれば上昇速度は遅い⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。しかし、一定時間で液面上に浮上し消滅する⁽¹²⁾。よって貯蔵は難しく、使用と同時に生成する必要がある。ナノバブル燃料は長期保存が可能であり⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、ナノレベルのウルトラファインバブル(UFB: Ultra Fine Bubble)化することでOHラジカルなどの燃焼を促進するラジカル種を生成できるものである。

2・2 実験概要

実験装置を図1に示す。高圧ポンプに加圧溶解型のミキサを組み合わせて、燃料中にUFBを生成させた。Nikuni製渦流ポンプの入り口直前で空気を混入し、渦流ポンプにて空気と燃料を混合させる。その後、1MPaの高圧でミキサを通過させることで、ナノ領域の空気を燃料に混入させた。また、混合時間によって空気混合率および粒径を操作した。空気は0.1L/min混合させた。

2・3 ディーゼルエンジン

エンジンの緒元を表1に示す。クボタ製直接噴射式4サイクルディーゼル機関で、1気筒624ccである。定格出力は、2600min⁻¹時に11.5PS(8.45kW)である。実験条件は負荷率75%、2600min⁻¹である。

2・4 燃料

燃料の性状を表2に示す。今回の実験ではLSAを用いた。硫黄分濃度は0.1%未満の低硫黄燃料であり、SOxの発生量が大幅に削減できるものである。

2・5 計測装置

排ガスの測定はtesto350XLを用いた。この装置は、O₂、NO、NO₂、CO、SO₂および排ガス温度の計測が可能である。測定点はエンジン排気直後である。気液混合燃料の混合性について、松電舎製GR-D8T2の電子顕微鏡を用い、接眼レンズ10倍、対物レンズ40倍、すなわち400倍で計測した。その画像をもとに、旭化成エンジニアリング製A像くんにて粒径分析を行った。また、Malvern製NanoSight LM20を用い、50nm~1000nmの粒径計測を行った。

Table 1 Engine Spec

Engine Name	Kubota EA14-NB
Ignition	Direct Ignition
Engine Pattern	4 cycle
Power	8.45kW/2600rpm
Bore × Stroke (mm)	94 × 90
Injection Point (°)	ATDC - 21°
Experimental load	75%

Table 2 Fuel Character

	LSA
Density (g/cm ³) (15°C)	0.8572
Flashing Temperature(°C)	71.0
Kinetic Viscosity (mm ² /S) (50°C)	2.361
Water Content (%)	0.00
Carbon Residue Content (%)	0.44
Ash Content (%)	0.001
Sulfur Content (%)	0.077
Nitrogen Content (%)	0.01
Low Heat Value (MJ/kg)	45.43

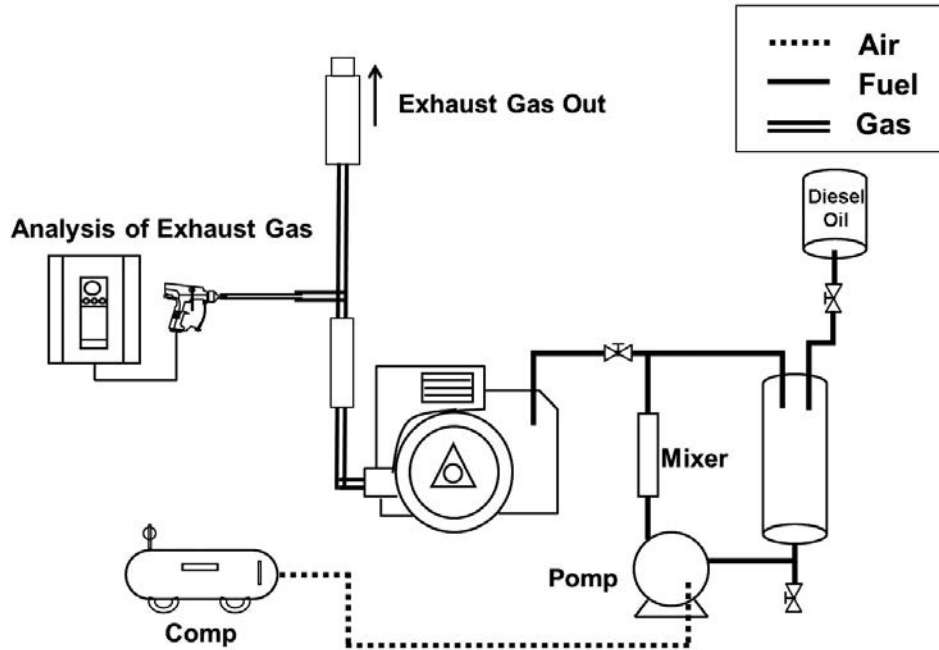


Fig.1 Experimental Device

3. 実験結果

3・1 空気混入燃料の性状

図2に空気混入燃料の顕微鏡における観察結果を示す。混合時間5min経過後、空気の混入を止め、a)が0min、b)が0.5min、c)が1min攪拌した結果である。空気の混入を止めた後の空運転により、粒径が微細化されている様子が見られる。特にb)からc)にかけては、電子顕微鏡では1 μm 以下の測定が困難なため、NanoSightで確認したところ、空気の粒径が μm オーダーからnmオーダーに微細化されていることが分かった。A像くんの分析結果では、a)が3 μm 、b)が1 μm 、c)が0.3 μm と空気がさらに微細化されていることが明らかとなった。よって、一定時間の空気混合の後に、空運転によって燃料油中の空気をさらに微細混合させることが可能と言える。以上から、UFBスケールまで、空気を微細化できた。

3・2 燃焼炉による実験結果

燃焼炉における実験結果を図4に示す。a)がNO_x濃度、b)が燃費である。b)の棒グラフは燃料消費量(kg/h)で、折れ線グラフはLSA単独と比較した燃費低減率(%)である。LSA単独、混合時間5min+空運転0min、混合時間5min+空運転0.5min、混合時間5min+空運転1minを比較したものである。

NO_x濃度は、5min+0min、5min+0.5min、5min+1minともにほぼ変化が見られなかった。5min+1minのみ燃焼温度が約20-40 $^{\circ}\text{C}$ 上昇する傾向が見られ、CO濃度がLSA単独よりも減少できたことから、大幅な燃焼性が改善されたものと予測される。

燃料消費量は、5min+0minが1.24%、5min+0.5minが3.60%、5min+1minが11.02%改善できた。

これらから、5min+1minがNO_x濃度を低減できると同時に燃費が改善できることが分かった。また、空運転を1minより長く行った際には、空気粒径に大きな変化は見られなかった。

3・3 ディーゼルエンジンによる実験結果

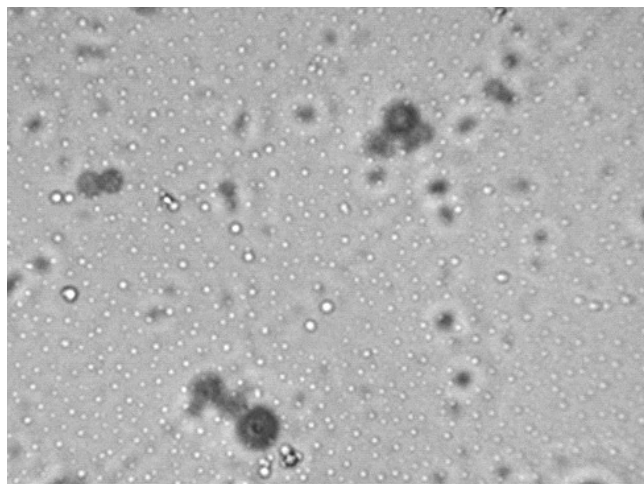
ディーゼルエンジンにおける実験結果を図5に示す。a)がNO_x濃度、b)が燃費である。b)の棒グラフは燃料消費量(kg/h)で、折れ線グラフはLSA単独と比較した燃費低減率(%)である。LSA単独、混合時間5min+空運転0min、混合時間5min+空運転0.5min、混合時間5min+空運転1minを比較したものである。

NO_x濃度は、5min+0minが11.4%、5min+0.5minが14.3%、5min+1minが17.1%低減できた。燃焼温度が約20 $^{\circ}\text{C}$ 上昇する傾向が見られ、CO濃度がLSA単独よりも減少できたことから、燃焼性が改善されたものと言える。

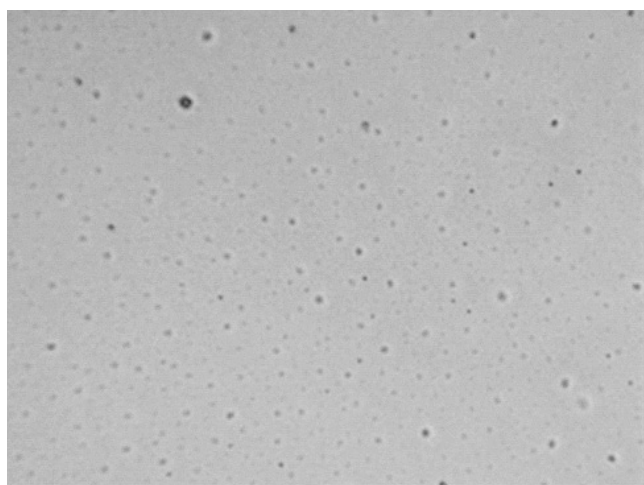
空気粒径が微細化することで燃焼性が向上することが読み取れ、NOx 低減手法として、空気混入燃料中の空気粒径を微細化させることが優位にあると言える。

燃料消費量は、5 min + 0 min が1.69%、5 min が4.49%、7.30%改善できた。これは、燃料が微細化されることで燃費が向上したものと言える。

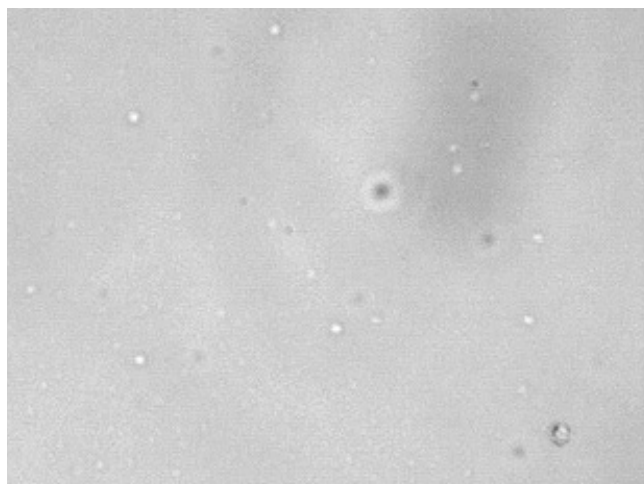
これらから、NOx 濃度を低減できると同時に燃費が改善でき、トレードオフの関係を生まないことが分かった。



a) 5 min + 0 min

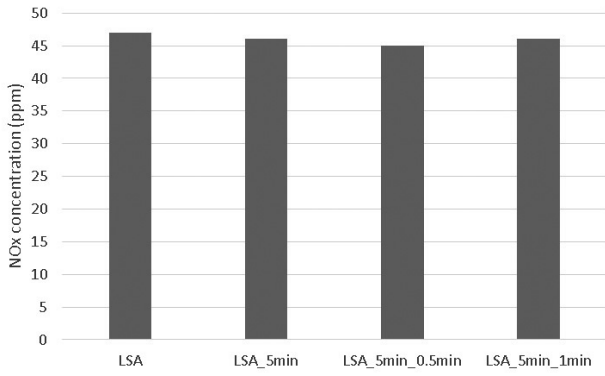


b) 5 min + 0.5 min

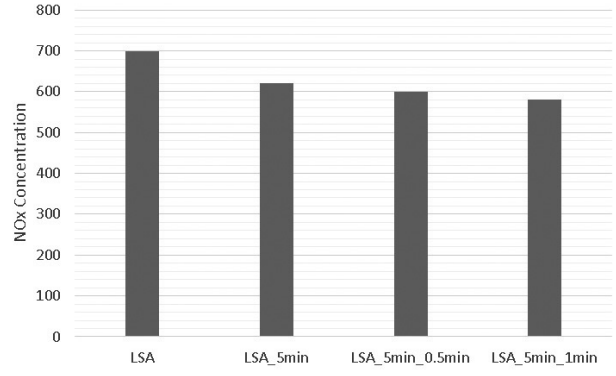


c) 5 min + 1 min

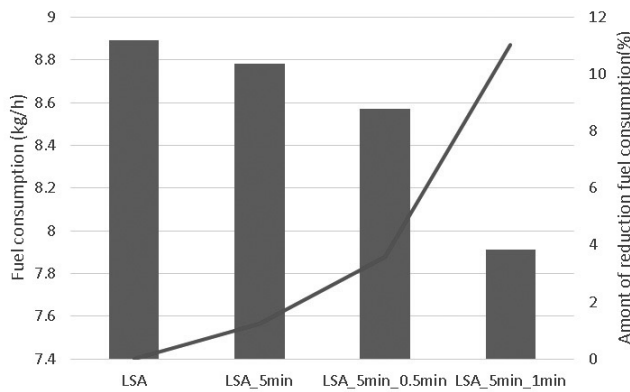
Fig.2 Fuel mixed 5 min air mixture



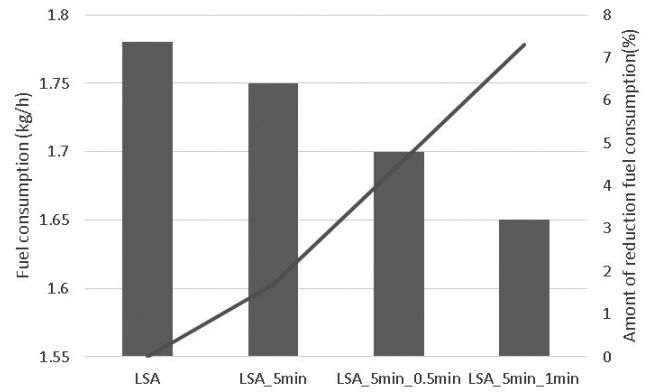
a) NOx



a) NOx



b) Fuel Consumption



b) Fuel Consumption

Fig.4 Result of fuel mixed 5 min air mixture in boiler

Fig.5 Result of fuel mixed 5 min air mixture in diesel engine

4. 考 察

気液混合燃料を生成するに当たり、一定時間空気を止めて空運転することで、燃料油中の空気をさらに微細混合させることが可能であり、最大 $0.3\mu\text{m}$ に微細化できることが分かった。渦流タービンポンプやミキサにより、 $10\mu\text{m}$ 以下のファインバブル化することで、燃料の浮上が著しく遅くなり、燃料油中に滞留する空気が増加する。空気が一定量混入する段階では、燃料油中の空気が再度混合される回数が少ないことから、微細化に限界があるものとする。空気混入を停止することで、燃料油中の空気が微細混合されることになり、空気がさらに微細化できるものと推測する。以上から、空気が微細混合された気液混合燃料によって、NOxの低減と同時に燃費が改善し、燃焼性が飛躍的に向上することが分かった。

粒径 $1\mu\text{m}$ を下回る空気、すなわちUFB化された空気では、1週間後経過後に測定したところ、空気がさらに微細化される傾向が見られた。これは、ブラウン運動により壁面の影響や燃料自体の粘性によってさらに微細化される傾向があると推測され、今後の研究に活用する予定である。また、水エマルジョン燃料に空気を混入した空気混合水エマルジョン燃料による燃焼促進を行う予定である。水が水蒸気爆発することで周辺空気が膨張し、燃料自体がさらに微細化することが水エマルジョン燃料の特徴である。この燃料油中に空気が混入することは、水の水蒸気爆発と同時に空気が膨張し、水の水蒸気爆発自体を増大化すると同時に、周辺空気の膨張が加速し、燃料の微粒化がさらに促進するものと期待できる。今後、UFB領域の空気粒径について、さらに分解能を高め、理想的な空気粒径を報告する予定である。

5. 結 論

本研究は、以下の結論を得た。

1. 燃料油中にUFBを混入させることに成功した。
2. 気液混合燃料を生成するに当たり、一定時間空気を止めて空運転することで、燃料油中の空気をさらに微細混合さ

せることが可能であり、空気粒径を $0.3\mu\text{m}$ まで微細化できた。

3. 燃料油中の空気粒径を $1\mu\text{m}$ 以下とすることで、 NO_x の低減および燃料消費量の改善が見られた。ただし、 $0.1\mu\text{m}$ を下回ることで、良好な燃焼への干渉が見られた。

文 献

- (1) 国土交通省, “船舶からの大気汚染物質放出規制海域 (ECA) に関する技術検討委員会取りまとめ”, (2013), pp. 1 -31.
- (2) 松本友宏, “ NO_x 3次規制に関する国際的動向 -IMO における議論”, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第48巻, 第6号 (2013), pp. 2 - 4.
- (3) 柴田正仁, “船用ディーゼル機関の排気後処理について -IMO 3次規制に対応する SCR 技術”, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第45巻, 第2号 (2010), pp. 100-105.
- (4) 村上雅明, 中尾徹, “船用 SCR システムを搭載した大型ディーゼル機関の就航試験結果”, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第50巻, 第1号 (2015), pp. 107-112.
- (5) 吉川英夫, 黒河雅俊, “EGR 脱硝装置付ディーゼルエンジンの性能向上の研究”, 日本機械学会論文集 (B 編), 60巻, 572号 (1994- 4), pp. 415-420.
- (6) 古東文哉, “船舶機関における EGR (排ガス再循環) による NO_x 低減技術”, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第46巻, 第6号 (2011), pp. 6 -11.
- (7) 中武靖仁, “超微細気泡混入軽油によるディーゼル機関の環境負荷低減”, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第46巻, 第6号 (2011), pp. 75-80.
- (8) Serizawa, A., Inui, T., Yahiro, T. and Kawara, Z., Laminarization of micro-bubble containing milky bubbly flow in a pipe, 3rd European Japanese Two-Phase Flow Meeting, (2003), pp. 21-27.
- (9) 中武靖仁, 渡邊孝司, 江口俊彦, “エジェクタ式マイクロバブル混入燃料によるディーゼル機関の燃焼改善”, 日本機械学会論文集 (B 編), 73巻, 735号 (2007-11), pp. 196-202.
- (10) 高木周, “マイクロバブルの基礎と最近の進展”, オレオサイエンス, 第10巻, 第9号 (2010), pp. 3 - 8.
- (11) 芹澤昭示, “マイクロ/ナノバブルの基礎”, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第46巻, 第6号 (2011), pp. 56-61.
- (12) 柘植秀樹, “マイクロバブル・ナノバブルの基礎”, Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn., 64, 4-10 (2010), pp. 4-10.

〔論文〕

高過給ディーゼルエンジンにおける 高膨張比サイクルのエネルギー解析

杉野 太郎*¹・山口 卓也*¹

The Energy Analysis of High Expansion Cycle in the High Boosted Diesel Engine

Taro SUGINO*¹, Takuya YAMAGUCHI*¹

Abstract

Geometrical compression ratio ϵ and excess air ratio λ are the important factor for brake thermal efficiency. In this study the effect of geometrical compression ratio ϵ , excess air ratio λ and Miller cycle on brake thermal efficiency in the high boosted diesel engine were conducted by heat balance analysis based on first law thermodynamics. As the result of heat balance analysis, geometrical compression ratio ϵ was the optimum around $\epsilon=22\sim 26$. And excess air ratio λ might be optimum around $\lambda=2\sim 3$.

Key Words : heat engine, compression ignition engine, efficiency, fuel economy

1. はじめに

ディーゼルエンジンは熱効率がよく CO₂の排出が少ない内燃機関である。その一方で、ディーゼルエンジンは地球温暖化の抑制およびエネルギーセキュリティーの観点からさらなる正味熱効率の改善が強く求められている。ディーゼルエンジンの正味熱効率の改善を考えた場合、熱力学的な基本サイクルの理論熱効率は、オットーサイクルの理論熱効率の式に代表されるように、幾何圧縮比および比熱比の関数として示され、幾何圧縮比の増大や高過給化による作動ガスの比熱比の増大が理論熱効率の向上へのアプローチとして採用されている。このような幾何圧縮比および比熱比の増大による理論熱効率の向上へのアプローチはエンジン本体の正味熱効率改善に寄与するポテンシャルを有すると考えられる。その一方で、作動ガスによる膨張仕事が増加することから排気ガスの有するエネルギーの量とその質に影響を及ぼすと予測される。このため、排気ガスの有するエネルギーを利用するターボコンパウンドやランキンサイクルを用いたコンバインドサイクルなどの排熱回生システムによる正味熱効率の改善へのポテンシャルにも影響を及ぼすことが考えられる。本報告では圧縮比 ϵ と比熱比 κ (空気過剰率 λ) の変化および有効圧縮比 ϵ_e よりも有効膨張比 ϵ_e を大きくしたミラーサイクルの適用がエンジン本体の正味熱効率に及ぼす影響について熱力学の第1法則に基づくヒートバランス解析⁽¹⁾で評価すると同時に熱力学の第2法則に基づく有効エネルギー解析⁽²⁾を行い次世代のエンジンシステムにおいて適正となるエンジン諸元および運転条件について検討を行ったので報告する。

2. ミラーサイクルと熱力学的サイクルによる正味熱効率改善の検討

2・1 ミラーサイクルについて

ミラーサイクルは Ralf Miller により提唱されたサイクルで、吸気弁閉時期を遅延させることにより有効膨張比 ϵ_e を有効圧縮比 ϵ_c よりも高くしたサイクルである。図1は有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルおよびミラーサイクルにおけるエンジンプロセスを示す。図1に示すように、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しい通常のサイクルでは、吸気弁はピストンが下死点の位置で閉じる。一方ミラーサイクルでは、吸気弁はピストンが下死点の位置では閉じずに圧縮行程中に閉じるようバルブタイミングを制御している。ミラーサイクルでは吸気弁の開弁期間が有効圧縮比

*¹ 自動車システム工学専攻
原稿受付 2014年10月31日

ϵ_e と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルに比べ短いため、吸入空気量が通常のサイクルに比べ低くなる。このため、ターボチャージャーやスーパーチャージャーなどの過給機を用いることによって吸入空気量を補う必要がある。ミラーサイクルでは、吸気弁の開弁期間が有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルに比べ短いため、吸入空気量が通常のサイクルに比べ低くなる。このため、ターボチャージャーやスーパーチャージャーなどの過給機を用いることによって吸入空気量を補う必要がある。ミラーサイクルを適用することにより、通常のサイクルに比べ圧縮行程における圧縮圧力が低下するため、筒内ガス温度が低減し冷却損失の低下につながる。また、高膨張比になるため図示熱効率を高めることができる。

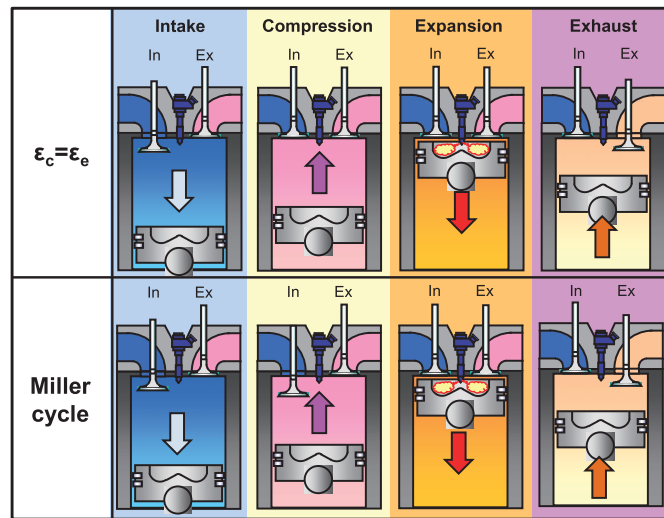


Fig. 1 Engine process ($\epsilon_c = \epsilon_e$ and Miller cycle)

2・2 熱力学的サイクルによる正味熱効率改善の検討

ここで熱力学の基本に戻り、ミラーサイクルの理論サイクルであるサバテミラーサイクル⁽³⁾について確認する。図2はサバテサイクルとサバテミラーサイクルのP-V線図を示す。サバテミラーサイクルの理論熱効率 η_{th} は式(1)で求めることができる。

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\epsilon_c^{\gamma-1}} \cdot \frac{\alpha(\rho\sigma^{\gamma}\alpha^{-\gamma} - 1) + \gamma(\alpha - 1)}{\rho - 1 + \gamma\rho(\sigma - 1)} \quad (1)$$

ここで、 ϵ_c は有効圧縮比、 ρ は爆発度、 σ は縮切比、 γ は比熱比、 α は有効膨張比／有効圧縮比率である。有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルでは有効膨張比／有効圧縮比率 $\alpha = 1$ となる。図3はサバテミラーサイクルにおける有効膨張比／有効圧縮比率 α および比熱比 γ の変化に対する理論熱効率 η_{th} を式(2)より求めたマップである。サバテ

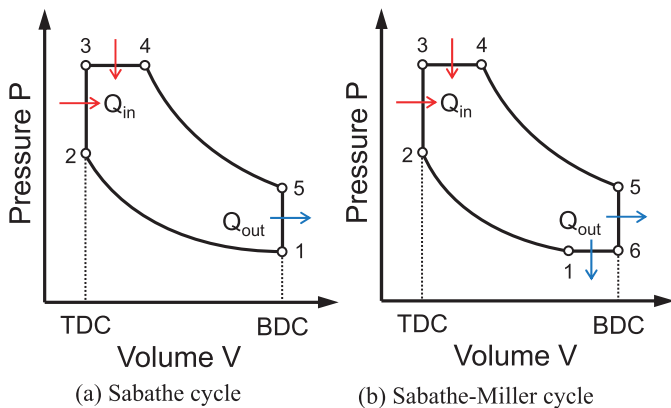


Fig. 2 PV-diagram of Sabathe and Sabathe-Miller cycle

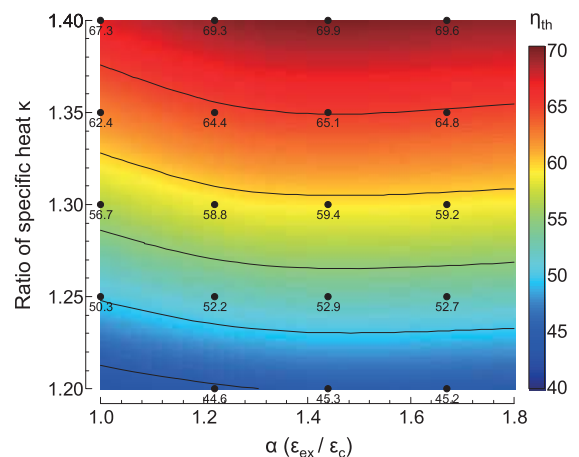


Fig. 3 Effect of α and γ on theoretical thermal efficiency in Sabathe-Miller cycle

ミラーサイクルでは、理論熱効率 η_{th} は比熱比 γ の増加に加えて、有効膨張比／有効圧縮比率 α の増大も理論熱効率向上に繋がることがわかる。このことから、空気過剰率 λ の大きい希薄燃焼の条件下において有効圧縮比 ϵ_c よりも有効膨張比 ϵ_e を大きくとることで正味熱効率が改善される可能性を示唆している。しかし、実際のエンジンにおいては有効膨張比／有効圧縮比率 α および比熱比 γ の変化に対して機械損失や冷却損失などの各種損失の割合も大きく変化するため、希薄燃焼で有効膨張比／有効圧縮比率 α の大きな条件下で正味熱効率が改善されるとは限らない。また、ターボコンパウンドやランキンサイクルを用いた排熱回生システムを考慮したエンジンシステムの場合、排ガスの有する質と量によりポテンシャルが変化すると考えられる。本報告では、熱力学の基本に基づいた理論計算の結果が示唆する正味熱効率向上へのアプローチが、実際のエンジンシステムにおいても妥当性のあるアプローチであるか実験結果を基に検討を行う。

3. 実験装置

3・1 研究用単気筒エンジン

実験に使用したエンジンの主要諸元を表1に示す。図4にエンジンの外観を示す。エンジンは最高噴射圧力220MPa仕様のコモンレール式燃料噴射装置を搭載した高過給単気筒ディーゼルエンジンである。また、本実験用単気筒エンジンは図5に示すような油圧式デジタル可変バルブを採用しており、吸排気バルブリフトおよび開閉時期を任意に変化させることができる。燃料噴射系はコモンレール方式である。また、本実験エンジンは、大型商用車の高過給を前提に考えているためシリンダ内最高圧力 $P_{max}=30\text{MPa}$ に耐え得る単気筒エンジンの仕様である。幾何圧縮比 ϵ は、18, 22, 26, 30に変化させた。各幾何圧縮比における燃焼室の形状を図6に示す。燃焼室形状は燃焼室口径を幾何圧縮比 $\epsilon=18$ と同一にすると燃焼室深さを確保することができないため、燃焼室口径は基準の幾何圧縮比である $\epsilon=18$ の98.0mmから狭めていき $\epsilon=22$ では88.6mm、 $\epsilon=26$ では81.0mm、 $\epsilon=30$ では74.3mmに調整した。

Table 1 Engine specifications

Item	Specifications
Engine type	DI single cyl. 4 valve
Displacement	cm ³ 2004
Bore × Stroke	mm 135×140
Max. engine speed	rpm 2000
Injection system	Common rail system (Max. Pinj=220MPa)
Nozzle	mm Minisac 0.177×8-150°
Piston material	Steel (Monotherm)
Combustion chamber	Shallow dish
Compression ratio	18, 22, 26, 30
Swirl ratio	1.4
Aspiration	Externally supercharging
EGR system	High pressure loop

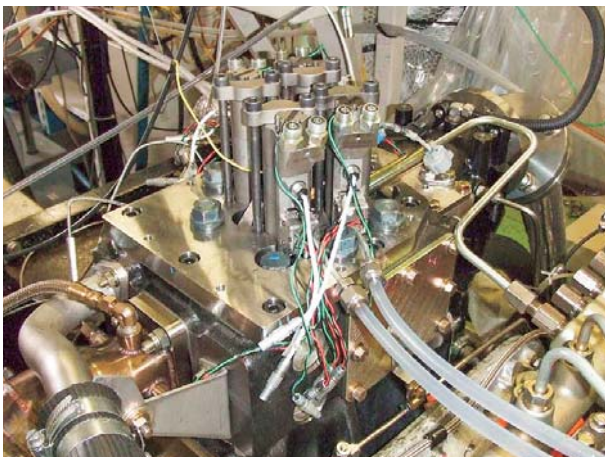


Fig. 4 Appearance of the high boosted diesel engine



Fig. 5 Hydraulically variable valve timing system

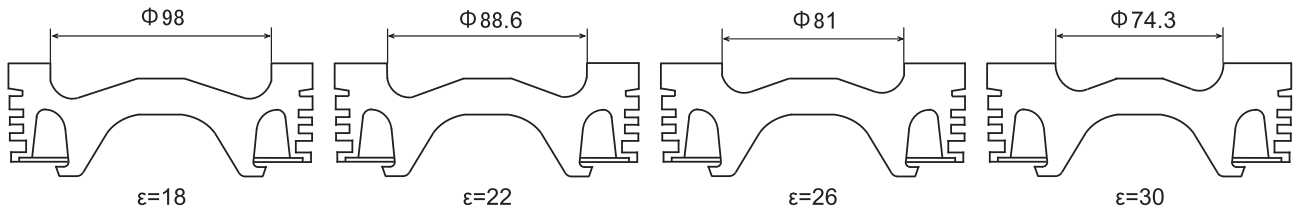


Fig. 6 Shape of combustion chamber

3・2 動力・燃費・排出ガス測定装置

本実験のエンジンの動力性能は、明電舎製の動力計で計測した。燃料流量は、容積式燃料流量計（小野測器製）で計測した。排ガス分析（MEXA-9100D-EGR）は、COおよびCO₂はNDIR、NO_xはCLD、HCはFIDを用いた。SmokeはAVL415Sにて計測し、フィルタースモークナンバー（FSN）で表示した。

3・3 供試燃料と潤滑油

供試燃料は低硫黄分の軽油（JIS 2号，S分5 ppm）を使用した。低位発熱量はHu=42970kJ/kgである。また、潤滑油は低サルファエンジンオイル（SAE10W30）を使用した。

4. 実験条件

実験は機関速度 Ne=1200rpm，燃料噴射量 Q=120mm³/st の条件で行った。有効圧縮比 ε_c と有効膨張比 ε_e を等しくしたサイクルに加え吸気弁閉時期（IVC）を調整し有効膨張比 ε_e が有効圧縮比 ε_c よりも大きいミラーサイクルの2種類のサイクルで実験を行った。表2および表3に実験条件の詳細を示す。図7はクランク角度に対する吸排気弁のリフトプロファイルを示す。ミラーサイクルを適用した条件の場合、各幾何圧縮比の条件において吸気弁閉時期（IVC）を調整し、有効圧縮比 ε_c=18一定としている。また、空気過剰率 λ は過給圧を調整することで λ=2~4 に変化させて実験を行っている。吸気温度は50℃とした。また、燃焼開始時期が上死点（TDC）となるように燃焼開始時期を調整した。本実験用エンジンには油圧式デジタル可変バルブ⁽⁴⁾を採用しており、吸排気弁の開閉時期と最大リフト量を任意に変化させることができる。有効圧縮比 ε_c と有効膨張比 ε_e を等しくしたサイクルでは、ピストンが下死点の位置で吸気弁を閉じるようバルブタイミングを制御している。一方、ミラーサイクルでは有効膨張比 ε_e を有効圧縮比 ε_c より大きくするために、吸気弁閉時期を油圧式デジタル可変バルブで制御しており、幾何圧縮比 ε=18では540deg，ε=22では599deg，ε=26では617deg，ε=30では628deg にそれぞれ調整している。

Table 2 Engine operation conditions (ε_c=ε_e)

Ne rpm	Q mm ³ /st	ε	λ	EGR rate %	SOC deg	EVO deg	EVC deg	IVO deg	IVC deg	ε _c	ε _e	α
1200	120	18	2~4	0	TDC	180	361	361	540	18	18	1.0
		22								22	1.0	
		26								26	1.0	
		30								30	1.0	

Table 3 Engine operation conditions (Miller cycle)

Ne rpm	Q mm ³ /st	ε	λ	EGR rate %	SOC deg	EVO deg	EVC deg	IVO deg	IVC deg	ε _c	ε _e	α
1200	120	18	2~4	0	TDC	180	361	361	540	18	18	1.00
		361					361	599	22		1.22	
		361					361	617	26		1.44	
		361					361	628	30		1.67	

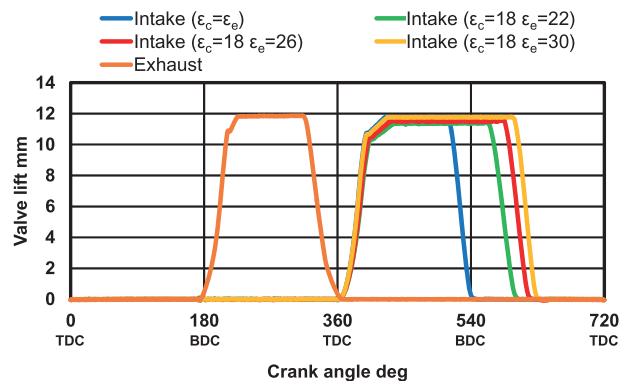


Fig. 7 Valve lift curves

5. 実験結果と考察

5・1 有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルにおける実験結果

図8は有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルにおける、幾何圧縮比の変化に対する正味熱効率（BTE）を示す。正味熱効率は幾何圧縮比 $\epsilon=22$ 、空気過剰率 $\lambda=3$ の条件において最も熱効率が高く40.4%となり幾何圧縮比 $\epsilon=18$ の条件に比べ0.6%高い。正味熱効率は、どの幾何圧縮比においても空気過剰率 $\lambda=3$ の条件で高くなる。また、幾何圧縮比を $\epsilon=18$ から $\epsilon=22$ に増大させた場合には正味熱効率は向上するが、 $\epsilon=22$ からさらに幾何圧縮比を増大させると正味熱効率は減少していき、幾何圧縮比 $\epsilon=30$ 、空気過剰率 $\lambda=3$ および $\lambda=4$ の条件では $\epsilon=18$ の条件よりも正味熱効率が低下する。

次に、正味熱効率が幾何圧縮比 $\epsilon=22$ 、 $\lambda=3$ の条件において最も高くなった要因を調べるためにヒートバランス解析⁽¹⁾を行った。図9は空気過剰率 $\lambda=3$ の条件における幾何圧縮比に対するヒートバランスの変化を示す。また、図10は幾何圧縮比ごとの排気ガス温度を示す。図11は幾何圧縮比ごとの筒内平均ガス温度を示す。ヒートバランスを見ると、冷却損失は幾何圧縮比 $\epsilon=22$ の条件において12.1%であり、 $\epsilon=18$ の条件に比べ1.5%低減するが、幾何圧縮比を $\epsilon=22$ よりも大きくすると冷却損失がしだいに増大していき、 $\epsilon=30$ の条件では14.5%となり $\epsilon=18$ の条件よりも高い結果となった。また、上死点における筒内平均ガス温度は、図11に示すように幾何圧縮比の増加に従って増大しているが、幾何圧縮比を $\epsilon=22$ より大きくしてもあまり上昇していないことがわかる。幾何圧縮比を拡大するためにピストンの燃焼室の口径を狭めたことで、流動が上昇した⁽³⁾ことに加え、燃焼室容積に対する燃焼室表面積の比率が高まりSV比が増加したことから、ピストン表面から逃げる熱が幾何圧縮比の拡大に従い増大していると推測される。また、最高筒内平

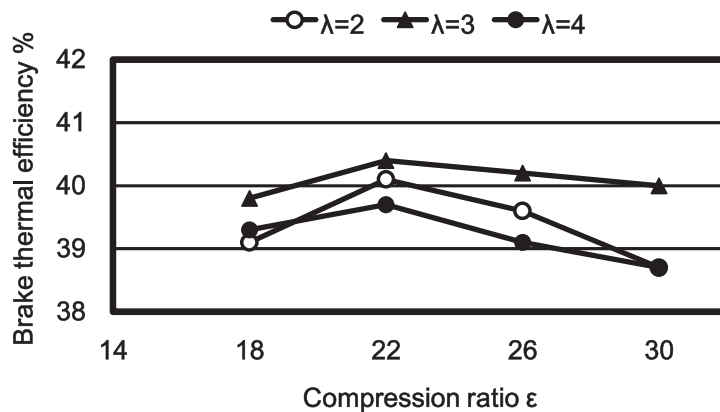


Fig. 8 Brake thermal efficiency ($\epsilon_c = \epsilon_e$, $\lambda=2, 3, 4$, $\epsilon=18, 22, 26, 30$)

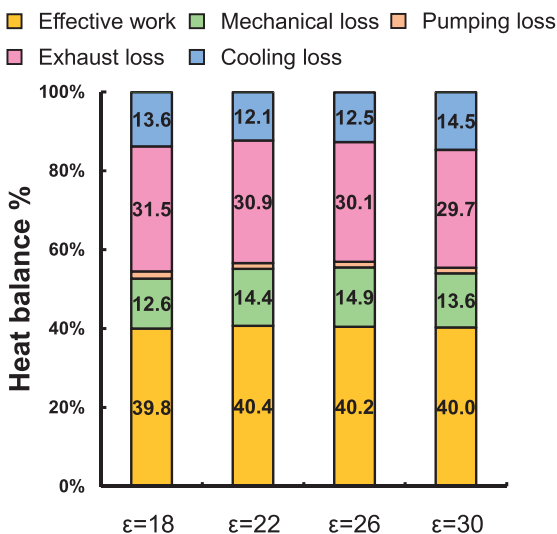


Fig. 9 Heat balance in $\epsilon_c = \epsilon_e$ ($\epsilon_c = \epsilon_e$, $\lambda=3$, $\epsilon=18, 22, 26, 30$)

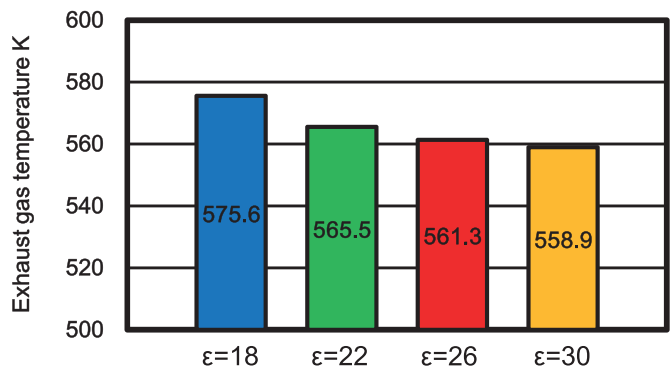


Fig. 10 Exhaust gas temperature ($\epsilon_c = \epsilon_e$, $\lambda=3$, $\epsilon=18, 22, 26, 30$)

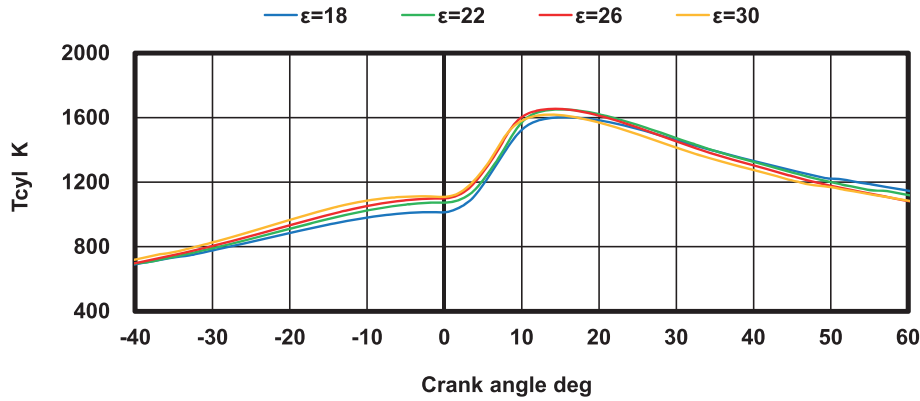


Fig. 11 Averaged in-cylinder temperature ($\epsilon_c = \epsilon$, $\lambda = 3$, $\epsilon = 18, 22, 26, 30$)

均ガス温度は幾何圧縮比を $\epsilon = 22$ よりも大きくしても増加せず、 $\epsilon = 30$ の条件では $\epsilon = 22$ や $\epsilon = 26$ の条件よりも低下していることから、冷却損失が増加していると考えられる。これらの要因により、幾何圧縮比を $\epsilon = 22$ よりも大きくした条件では冷却損失が増加していると考えられる。また、排気損失は幾何圧縮比が増加するに従って低減しており、 $\epsilon = 30$ の条件では $\epsilon = 18$ の条件の31.5%に比べ1.8%低減している。これは図10に示すように、幾何圧縮比を高め高膨張比化することにより排気ガス温度が低下するためである。以上の結果より、幾何圧縮比の増大に従って排気損失は低減するものの、幾何圧縮比を $\epsilon = 22$ よりも大きくすると冷却損失は増加し正味熱効率が低下することから、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルでは空気過剰率 $\lambda = 3$ 、幾何圧縮比 $\epsilon = 22$ の条件で最も正味熱効率が良くないと考えられる。

5・2 ミラーサイクルにおける実験結果

図12はミラーサイクルにおける、幾何圧縮比に対する正味熱効率 (BTE) を示す。正味熱効率は空気過剰率 $\lambda = 3$ 、幾何圧縮比 $\epsilon = 22$ および $\epsilon = 26$ の条件で41.4%と最も高く、 $\epsilon = 18$ の条件での39.8%に比べ1.6%高い。また、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルと同様に、どの幾何圧縮比においても空気過剰率 $\lambda = 3$ の条件で正味熱効率が高くなる。空気過剰率 $\lambda = 4$ の条件では、幾何圧縮比を $\epsilon = 22$ よりも拡大していくと正味熱効率が大きく低下し、正味熱効率は幾何圧縮比 $\epsilon = 30$ の条件では $\epsilon = 18$ の条件より低い38.7%となった。

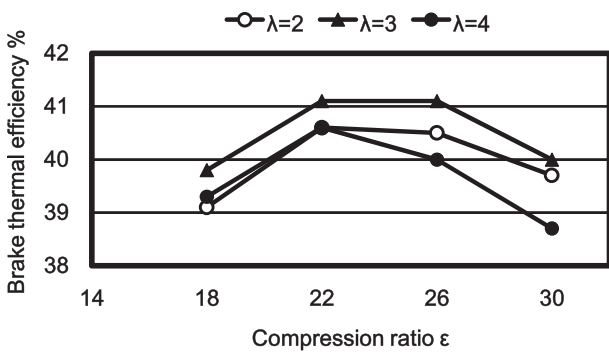


Fig. 12 Brake thermal efficiency (Miller cycle, $\lambda = 2, 3, 4$, $\epsilon = 18, 22, 26, 30$)

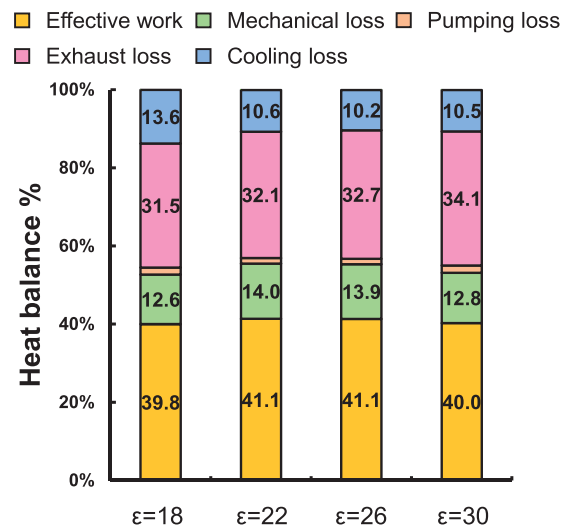


Fig. 13 Heat balance (Miller cycle, $\lambda = 3$, $\epsilon = 18, 22, 26, 30$)

有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルと同様に、ミラーサイクルにおいてもヒートバランス解析⁽¹⁾を行った。図13はミラーサイクルにおける空気過剰率 $\lambda = 3$ の条件でのヒートバランスの変化を示す。また、図14は幾何圧縮比ごとの筒内平均ガス温度を示す。冷却損失は幾何圧縮比が増加するに従って低減しており、 $\epsilon = 26$ の条件で10.2%と

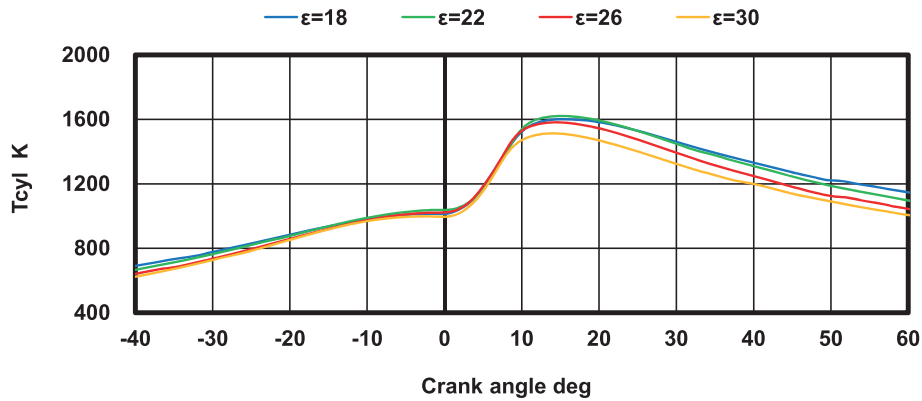


Fig. 14 Averaged in-cylinder temperature
(Miller cycle, $\lambda=3$, $\epsilon=18, 22, 26, 30$)

最も低くなるが、 $\epsilon=30$ の条件では冷却損失は増加して10.5%となった。また、幾何圧縮比 $\epsilon=30$ の条件では、他の幾何圧縮比の条件に比べて筒内平均ガス温度の低下が大きい。このことから、幾何圧縮比 $\epsilon=30$ の条件ではミラーサイクルにおいてもピストンの燃焼室口径を狭めたことによる流動の増加^③やSV比の増大によって冷却損失が増加していると考えられる。ミラーサイクルでは、正味熱効率が幾何圧縮比 $\epsilon=26$ の条件において41.4%となり、通常のサイクルに比べ0.9%高くなり幾何圧縮比 $\epsilon=22$ の条件と同じ値となった。これは有効膨張比 ϵ_e を有効圧縮比 ϵ_c よりも大きくすることにより、筒内平均ガス温度が低下して通常のサイクルに比べ冷却損失が2.3%減少したことや機械損失が1.0%低下したことが正味熱効率改善に繋がったと推測される。以上の結果より、ミラーサイクルでは冷却損失と排気損失の割合が比較的少なく正味熱効率の高い空気過剰率 $\lambda=3$ 、幾何圧縮比 $\epsilon=22$ の条件が最も良いと考えられる。

5・3 有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルの比較

有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルにおいて正味熱効率の高かった、幾何圧縮比 $\epsilon=22$ の条件についてヒートバランス解析^①を行った。図15は有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルにおける幾何圧縮比 $\epsilon=22$ の条件における空気過剰率 λ に対するヒートバランスの変化を示す。ヒートバランスの傾向は、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルで大きな差は無く、空気過剰率 λ が増加するに従って冷却損失が低減し、排気損失および機械損失が増加した。図示熱効率が空気過剰率 λ の増加に伴い増大しているのは、希薄燃焼による冷却損失の低減に加えて、比熱比の増加によってサイクル効率が向上したためであると考えられる。一方で、機械損失や排気損失が空気過剰率の増加に従って増大しているため、正味熱効率は空気過剰率 $\lambda=4$ の条件では $\lambda=2$ の条件から向上していないと考えられる。

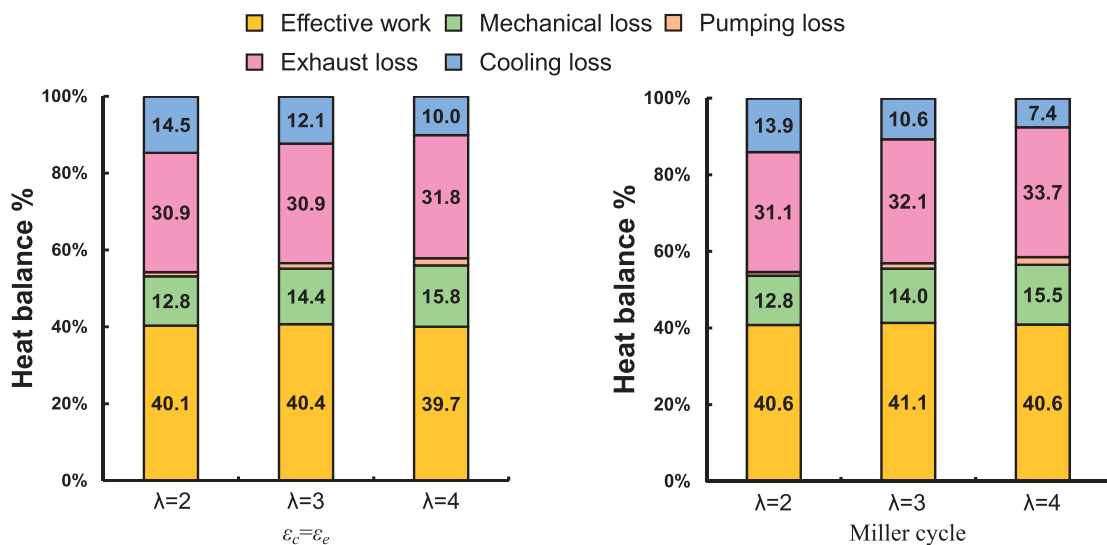


Fig. 15 Heat balance ($\lambda=2, 3, 4$, $\epsilon=22$)

5・4 熱力学の第2法則による有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルの比較

ターボコンパウンドやランキンサイクルを利用したコンバインドサイクルなどの排熱回生において、主な排熱源となる排気ガスのエネルギー量とその質は非常に重要である。このため、ここでは熱力学の第2法則に基づいて、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルとの有効エネルギー解析⁽²⁾を行った。図16は有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルにおける幾何圧縮比 $\epsilon=22$ の条件における空気過剰率 λ に対するエクセルギバランスの変化を示す。エクセルギバランスの傾向は、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルで大きな差は無く、空気過剰率 λ が増加するに従って図示熱効率および燃焼による不可逆損失が増加し、熱損失と排気損失が低下する。燃焼による不可逆損失が空気過剰率の増加に従って増大しているのは、空気過剰率の増大に伴い吸気質量流量が増加したことにより筒内ガス温度が低下したためである。また、熱損失が空気過剰率の増加に従って減少した要因は、筒内ガス温度が低下したことによるものと推測される。燃焼による不可逆損失が空気過剰率の増加に伴い増大しているものの、排気損失や熱損失の低減が大きいため、図示熱効率は空気過剰率が増大するに従い増加していると考えられる。

次に、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルにおいて正味熱効率の高い空気過剰率 $\lambda=$

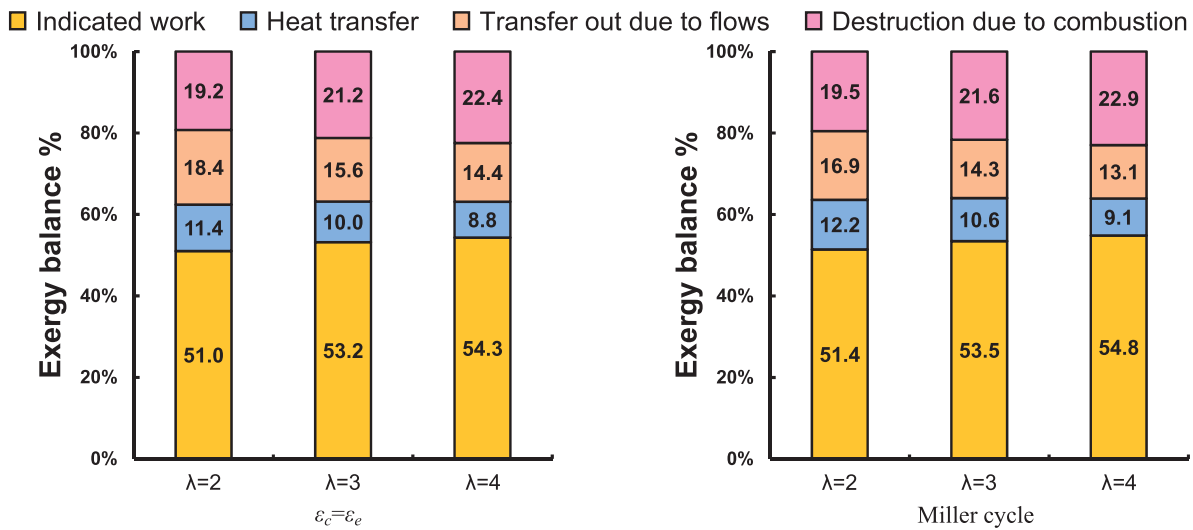


Fig. 16 Exergy balance ($\lambda=2, 3, 4, \epsilon=22$)

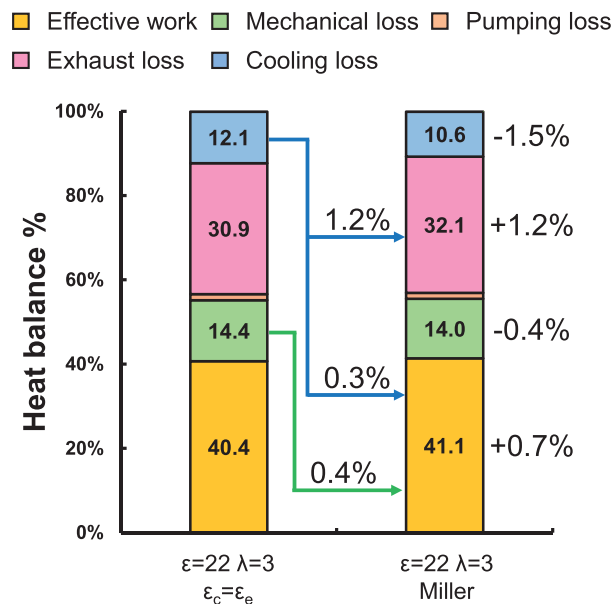


Fig. 17 Heat balance ($\lambda=3, \epsilon=22$)

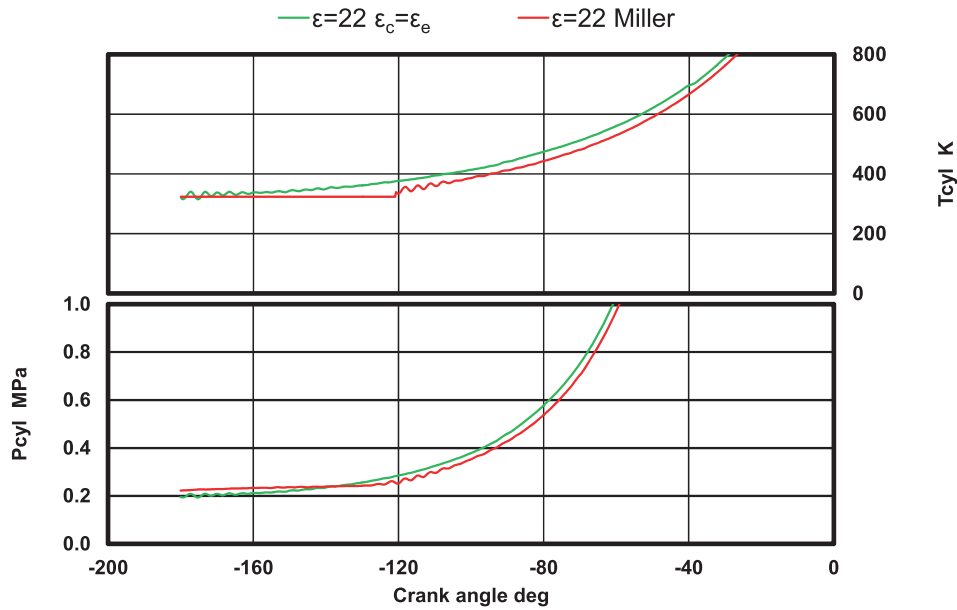


Fig. 18 Averaged in-cylinder temperature and in-cylinder pressure
($\lambda=3, \epsilon=22$)

3, 幾何圧縮比 $\epsilon=22$ の条件におけるヒートバランスの変化の比較を行った。図17は有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルにおける幾何圧縮比 $\epsilon=22$, 空気過剰率 $\lambda=3$ の条件でのヒートバランスの変化を示す。また、図18は有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルとミラーサイクルにおける圧縮行程中の筒内平均ガス温度および筒内圧力を示す。正味熱効率は、ミラーサイクルにおいて41.1%であり、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルの40.4%から0.7%増加した。冷却損失はミラーサイクルにおいて10.6%であり、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルの12.1%と比較して1.5%低減した。ミラーサイクルでは有効膨張比 ϵ_e を有効圧縮比 ϵ_c よりも大きくするために吸気弁閉時期を遅延させているため、圧縮開始時の初期温度が低下し筒内平均ガス温度が低下し冷却損失が低減したと考えられる。また、機械損失はミラーサイクルにおいて14.0%であり、有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルの14.4%に比べ0.4%低減した。これは、ミラーサイクルでは圧縮開始時の圧力が下がることにより筒内圧力が低下したためと考えられる。

6. まとめ

高過給ディーゼルエンジンの実験結果に基づき、幾何圧縮比、空気過剰率の変化およびミラーサイクルの適用がエンジン本体およびターボコンパウンドなどの排熱回生を想定した場合の正味熱効率を評価し、以下の結果を得た。

- (1) 高過給ディーゼルエンジンにおいて、幾何圧縮比 ϵ および空気過剰率 λ を変化させることで冷却損失および排気損失が低減し正味熱効率が改善できる。正味熱効率は有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルにおいて、幾何圧縮比 $\epsilon=22$, 空気過剰率 $\lambda=3$ の条件で最も高く40.4%なる。またミラーサイクルでは幾何圧縮比 $\epsilon=22$, 空気過剰率 $\lambda=3$ の条件で最も高く41.1%である。幾何圧縮比 $\epsilon=22$ の条件では、他の幾何圧縮比の条件に比べ冷却損失や排気損失の割合が比較的小さいため正味熱効率が低い結果となったと考えられる。
- (2) ミラーサイクルでは有効膨張比 ϵ_e を有効圧縮比 ϵ_c より高くすることにより有効圧縮比 ϵ_c と有効膨張比 ϵ_e の等しいサイクルと比較して冷却損失や機械損失が低減するため、ミラーサイクルを適用することによる正味熱効率改善の効果は大きい。
- (3) 幾何圧縮比を $\epsilon=18$ から $\epsilon=22$ に変化させ、有効膨張比 ϵ_e を拡大することで正味熱効率の改善が確認できたが、幾何圧縮比を $\epsilon=22$ より大きくした場合、冷却損失や排気損失、機械損失などが増加するため正味熱効率は改善されない。また、空気過剰率を高めると冷却損失は低減されるが排気損失や機械損失が増加するため、空気過剰率 $\lambda=3$ より高めても正味熱効率に顕著な改善は見られなかった。幾何圧縮比 $\epsilon=30$ のような高い幾何圧縮比の条件では、冷却損失が増えるため正味熱効率は改善されないことから、幾何圧縮比 ϵ や空気過剰率 λ の増大が必ずしも正味熱効率の改善に繋がるとは限らないことが分かった。

参考文献

- (1) 鶴島理史, 宮本武司, 榎本良輝, 浅海靖男, 青柳友三: ヒートバランスによる壁面熱損失推定法と推定精度の評価, 日本機械学会論文集 (B編), Vol. 68, No. 674, pp. 2935-2942 (2002)
- (2) C.D. Rakopoulos, E.G. Giakouis, "Second-Law analyses applied to internal combustion engines operation" Progress in Energy and Combustion Science 32 2006 2-47.
- (3) 福永聡, 長田英朗, 岡本毅, 内田登: 大型ディーゼルエンジンの熱効率改善に向けた高膨張 (幾何圧縮) 比に関する一考察, 自動車技術会論文集, Vol. 47, No. 1, pp. 67-73 (2016)
- (4) Yamaguchi, T., Aoyagi, Y., Osada, H. Sturman, E., and Drummond, E. "Improvement for Volumetric Efficiency and Emissions using Digital Hydraulic VVA in a High Boosting Diesel Engine" Proceedings Thermo-and fluid Dynamic Process in Diesel Engines, 2008, pp.463-475.

〔論文〕

E・R・ロブソン著「学校建築」に見るドイツからイギリスへの クラスルーム・システムの移入と我が国初期の小学校建築

満岡 誠治*¹

The Importation of the Classroom System from Germany to Britain written in *School Architecture*
by E. R. Robson and the Early History of Primary School Architecture in Japan

Seiji MITSUOKA*¹

Abstract

This study clarifies the origins of the classroom system in school architecture. It focuses on the influence of German school architecture on Britain in the late 19th century by reviewing the book *School Architecture* by E. R. Robson, who was the chief architect of the London School Board. The classroom system was applied to the Jonson Street School under the influence of German school architecture, especially architecture of gymnasium, where classical education was practiced along with the classroom system. The similarity to German schools shown in *School Architecture* is evident in the Scotland Street School designed by C. R. Mackintosh and completed in 1906. Moreover, in Japan, this same similarity can be seen in Karatsu Primary School, designed by Professor K. Tatsuno and completed in 1901. Notably, a classroom accommodating 60 pupils as defined by the Ministry of Education in 1895 had the same size as a German classroom.

Key Words : Robson, *School Architecture*, Britain, Germany, Japan

1. はじめに

今日、小学校建築は一般的にクラスルームによって構成されている。なぜなら、そこではクラスルーム・システムが採用されているからである。このクラスルーム・システムは、いつ、どのようにして小学校建築に用いられるようになったのだろうか？本研究の目的は、エドワード・ロバート・ロブソン Edward Robert Robson (1836-1917) の1874年の著書「学校建築 *School Architecture*」の解説を通してクラスルーム・システムの起源を探るとともに、同書と我が国の小学校建築との関連を明らかにすることである。

2. 小学校建築の発展

筆者が Mitsuoka (2014)⁹⁾で明らかにしたように、小学校建築の発展モデルをイギリスの初等学校の変遷に見ることが可能である (Fig. 1)。その第一段階は、18世紀に広く存在したデイトン・スクールやコモン・デイ・スクールと呼ばれた労働者階級の子弟が週日に通う学校である (Fig. 2)。それは教師住宅の一室からなる学校であり、そこにはクラスルームや運動場は存在しなかった。第二段階は、19世紀初頭のモニトリアル・スクールである (Fig. 3)。それは複数の優秀な子どもがモニターとなって、それぞれ約10名の他の子ども達にレッスンを施す学校である。各校に1名しかいない教師は、子どもたちに直接授業を行うのではなく、モニトリアル・システムと呼ばれるモニターによるレッスンが滞りなく行われているかを監視することであった。多くの子どもたちを同時に教育するために、その学校は大部屋であるスクールルーム school room 一室のみで成立しており、クラスルームや運動場は存在しなかった。第三段階は、19世紀前半、ロバート・オーエン Robert Owen (1771-1858) の性格形成学院を経てサミュエル・ウィルダースピン Samuel Wilderspin (1791-1866) やデビッド・ストウ David Stow (1793-1864) の教育論において成立した学校モデルである (Fig. 4)。その特徴は、運動場 playground と一つまたは二つのクラスルーム class room がスクールルームに追加し

*¹ 建築・設備工学科
平成28年10月21日受理

て設置されたことである。しかし、授業を行う中心的な空間はあくまでもスクールルームであり、クラスルームは補助的な空間であった。第四段階は、1839年設立の枢密院教育委員会 Committee of Council on Education (後の英国文部省) が発行した1840年の覚書 minutes に掲載された学校モデルである (Fig. 5)。そこでは授業がクラスルームを中心に行われることとなり、従来のスクールルームがホール hall へとその名称を変更された。また、クラスルームは二つのクラスルームが空間的に繋がった「ダブル・クラスルーム double class room」となっており、男女別に二組のダブル・クラスルーム、すなわち合計四つのクラスルームが設置されている。このようにダブル・クラスルームの形態がとられたのは、基本的に学校には1名の教師しかおらず、彼とともに監督が必要な3名の助手やモニターが雇用されて授業が行われたことによる。尚、1840年の覚書はこれを「混合方式 mixed method」と呼んでおり、モニトリアル・システムと一斉授業を結合した方式であることを示している。第五段階は、本稿で考察するクラスルーム・システムを採用した小学校建築の出現である。そこでは複数の熟達した教師が雇用され、その各々が独立性の高いクラスルームで一斉授業を行った。その初出が、ロンドン教育委員会主任建築家であるエドワード・ロバート・ロブソンの1874年の著書「学校建築 School Architecture」に掲載された1871年ロジャー・スミス Roger Smith (1830-1903) 設計のジョンソン・ストリート・スクール Jonson Street School である (Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9)。

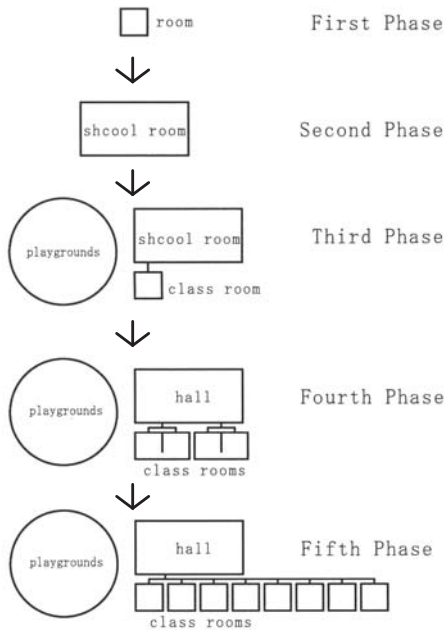


Fig. 1 小学校建築の発展モデル



Fig. 2 デイム・スクール

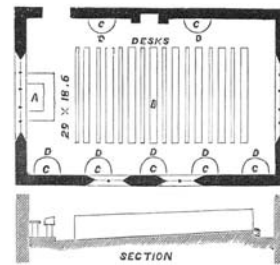


Fig. 3 モニトリアル・スクール

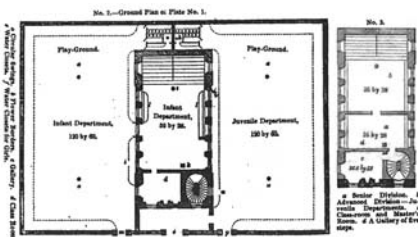


Fig. 4 デビッド・ストウの学校モデル



Fig. 5 枢密院教育委員会の学校モデル

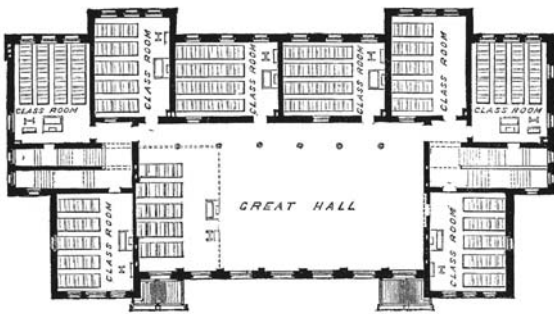


Fig. 6 ジョンソン・ストリート・スクール (1871)
2階平面図

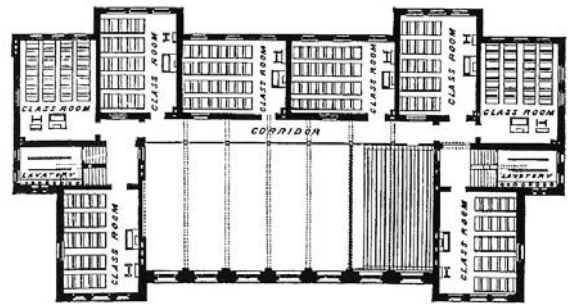


Fig. 7 ジョンソン・ストリート・スクール (1871)
3階平面図

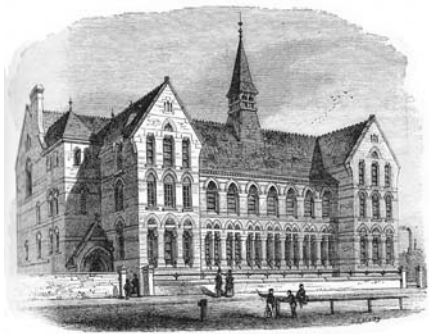


Fig. 8 ジョンソン・ストリート・スクール (1871)
全体図

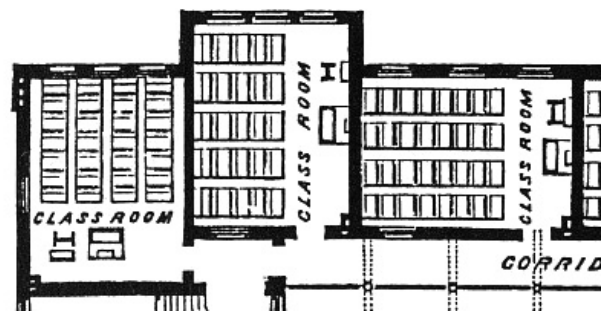


Fig. 9 ジョンソン・ストリート・スクール (1871)
3階クラスルーム部分の拡大図

3. ロブソン著「学校建築」とジョンソン・ストリート・スクール

イギリスでは、1870年の初等教育法 Elementary Education Act 1870の制定に伴い、イングランドとウェールズにおいて5歳から13歳までを対象とした義務教育が開始されるとともに、各地で教育委員会が発足した。このうちの 하나가ロンドン教育委員会 London School Board であり、翌年の1871年、同委員会の主任建築家となったのが、エドワード・ロバート・ロブソンである。彼はヨーロッパ大陸を旅行し、当時最新の学校建築の事例を採集した。その成果も含めて1874年に出版されたのが彼の著書「学校建築 School Architecture」(以下、Robson (1874) と記す。)である。

他方、Robson (1874) が掲載するジョンソン・ストリート・スクール Jonson Street School は、1871年にロジャー・スミス設計により、ロンドン東部のステプニー Stepney に建設された労働者階級の子弟を対象とした小学校である。敷地が狭小なためか、広い運動場こそ設置されていないが、クラスルーム、ギャラリー付のホール、屋内運動場 covered playground から構成されており、その構成要素はクラスルーム、ホール、運動場からなる枢密院教育委員会覚書による小学校モデル (Fig. 5) と共通している。ここで着目すべきは、クラスルームの独立性の進展である。枢密院教育委員会覚書の小学校モデルにおけるクラスルームはダブル・クラスルームとなっており、隣接する二つのクラスルームがパーティションで区切られてはいるが教壇側の空間は繋がっていて、その独立性は低い。これに対し、ジョンソン・ストリート・スクールのクラスルームは個々が完全に壁に囲まれ、廊下側のみに入出口が存在し、その独立性が高められている。Robson (1874) は、クラスルームの独立性の進展に関して、次のように説明している。

「ジャーマン・システムの支持者達は、しかしながら、最安なものではなくて、最良な方法がロンドンの新しい学校に適用されるべきだと強く迫るとともに、調査の結果として、外国の学校の方が優れていると主張した。多大な審議の後、完成した実際の建造物において実験を検証することが極めて重要であり、それ故、個々に独立し十分な能力を持った教師が必要となるような、個々に独立した部屋からなる校舎が建設されるべきだという議論がまとまった。The advocates of the German system, however, urged that the best method, not the cheapest, should be adopted for the new schools of London, and claimed the superiority, as tested by results, for the foreign schools. After much consideration it was determined that the arguments were of sufficient importance to justify an experiment in the erection of a complete specimen, and that therefore a schoolhouse should be built consisting of separate rooms, each requiring the employment

of a separate and fully qualified teacher.」(Robson (1874), p. 300)

このように、ドイツの学校建築の影響が契機となって、個々のクラスルームにおいて一斉授業が行われる「ジャーマン・システム」と呼ばれるクラスルーム・システムが、ジョンソン・ストリート・スクールに採用されたことを明らかにしている。特にそこでは、個々に独立したクラスルームにおいて、個々に独立し十分な能力を持った教師が必要とされている。また、このジョンソン・ストリート・スクールの建設は「実験 experiment」であり、完成後にその効果が「検証される justify」ことが重要だと議論されたことは興味深い。なぜなら、それはクラスルーム・システムがイギリスの小学校建築に前例がなく導入されたことを物語るからである。

4. クラスルーム・システム

ジョンソン・ストリート・スクールにおけるクラスルームの独立性の進展は、ドイツの学校建築が採用するクラスルーム・システムの影響による。前述のようにRobson (1874)はこのシステムを「ジャーマン・システム」と呼ぶとともに、「ドイツでは、セパレート・システム或いはクラス・システムが高等から初等までの様々な学校で採用されており、課程の一部分でさえもこれに反する方法が採られることはない。Germany adopted the separate or class system for every kind of school, high or low, and in no part of the course approaches the opposite method.」(Robson (1874), p. 80)との文章からも分かるように、「セパレート・システム」或いは単に「クラス・システム」とも呼んでいる。ではなぜ、このようなクラスルーム・システムがジョンソン・ストリート・スクールに適應されるに至ったのだろうか。その理由は、次のようにクラスルーム・システムが教育システムとして有効に機能し、成果を上げていると捉えられたことによる。

Robson (1874)は、「教育を受けたドイツ人を同じ階層のイギリス人と彼の学識をみる調査で順当に比較する。・・・彼は通常ある程度の正確さを持って母国語以外のラテン語、ギリシャ語、幾つかの現代語（英語またはフランス語）、古代史と現代史－我々の間ではめったに徹底して教えられない－地理学と幾つかの初等数学と物理学を知っている。THE educated German compares favourably with the English-man of corresponding rank when tested by his acquirements. he usually knows with some accuracy besides his own language, Latin, Greek, some modern language (as English or French), History ancient and modern – with a thoroughness seldom taught among us – Geography and some elementary mathematics and physics.」(Robson (1874), p. 69)と述べており、同じ階層のドイツ人とイギリス人ではドイツ人の方が深い学識を有すると認識していた。さらに、「中産階級のドイツ人は中産階級のイギリス人よりも発達した教育システムを所有するという点で大変有利であり、そこでは彼が、一步一步、後の人生における進歩に必要な知識を得ることができる。The middle-class class Englishman, in the possession of a matured educational system which enables him to acquire, step by step, the knowledge necessary for advancement in after life.」

(Robson (1874), p. 70)と述べて、ドイツの教育システムを賛辞した。その上で、「若いドイツ人が将来の仕事を決する時、彼のコースはとてもシンプルであり、彼の学問の方向や彼の能力の発展とビジネス、アート、貿易や専門職に必要な知識の獲得のために上るべき階段を定めるのは困難なことではない。学校は彼の受継ぐ財産であり、国民と個人の富と進歩の真実なる源泉である。When the future career of the young German has been decided upon, his course is quite simple, and there is no difficulty in defining the direction of his studies and the steps to be taken for the development of his faculties and the acquisition of the knowledge necessary for any business, art, trade, or profession. The schools are his patrimony, the real sources of the wealth and progress of the nation and the individual.」(Robson (1874), p. 71)と説明して、ドイツの教育システムが実践される空間、即ち学校そのものの重要性を指摘した。この立場から、「そのような教育システムが実践されている建物から、イングランドに建設すべき将来の学校校舎のための有用なヒントを引き出せるかもしれない。From the buildings in which such a system of education is carried on, useful hints for future schoolhouse to be erected in England are likely to be derived.」(Robson (1874), p. 71)と述べて、ドイツの学校建築を参考にしてイギリスの学校建築を考えることを提案したのである。

5. ドイツにおけるクラスルームのデザイン

Robson (1874)は、「6歳になると、ドイツ人の子どもは小学校に行く。理論的には、義務として彼は行く、－実際的には自ら喜んで行く、・・・小学校の様子は英国モデルのそれとは随分異なっている。一般的なスクールルームは無い。子どもが“一斉命令”を受ける立ち上がったギャラリ－も無い。順次、務め（授業）を中断させられることも

ない。そこには幅広の廊下から入るクラスルームの連なりがある。彼はそのひとつに席を占める、そこには正確に同じつくりの机と長イス（の群列が）が完備されている。At the age of six, a German boy goes to an elementary school. Theoretically, he goes under compulsion, —practically of his own pleasure, The appearance of the school is very different from that of an English model. There is no general school-room. No raised gallery where the child can receive “simultaneous instruction.” No breaking the business to him gradually. There is a series of class-rooms from a wide corridor. He is placed in one of these, fitted with benches and desks precisely similar to,」(Robson (1874), p. 72) と述べて、ドイツでは6歳以上の子どもが義務教育の対象となり、英国のようなスクールルーム中心の学校建築ではなく、複数のクラスルームから構成される学校建築において授業を受けることを説明している。

さらに、Robson (1874) はドイツの学校建築に関して、「新しい学校校舎の構成において、第一の条件とは、各々のクラスルームでは窓が部屋の片側のみ、即ち、子どもたちの左側のみを設置されることである。もう片方には設置されない。採光のためのこの厳格なルールは、ドイツの学校計画の真の礎であり、完全にその構成を決定付けるものとなり、光の状況に応じて（複数の）クラスが（校舎の）“端部”や“側部”に集合化されることとなる。部屋の形は、部屋の天井高の1.5倍離れた最奥の机を照らす光の強さによって決定される。これには、勿論、3フィートから4.5フィートまでの間で通路幅がその向こうに追加され得る。部屋の広さの、もう一方は、教師の声の大きさによる制限を受けて、30フィートを超えることはない。これら二つの制限内で、ドイツの建築家は60名かそれより少ない生徒を対象としてクラスルームの形を決めている。In arranging a new school house, the first condition is, that in every class-room the window shall be on one side only of the room, viz., to the left of the children. No other windows are permitted. This rigid rule as to the admission of light is the very foundation of German school-planning, and completely governs the arrangements, the classes being grouped “end-on” or “side-on”, according to circumstances of lighting. The form of the room is determined by the power of lighting well the desk furthest distance than one and a half times the height of the room. To this may, of course, be added the width of the gangway beyond, varying from three to four and a half feet. The size of the room, in the other direction, is limited by the power of the teacher’s voice, and never exceeded thirty feet. Between these two limitations, the German architect shapes his class-room for sixty pupils, or a smaller number.」

(Robson (1874), p. 85) と述べて、ドイツの学校建築が60名以下の生徒からなる複数のクラスルームによって構成されており、それが学校建築平面の基礎となっていること、そのクラスルームは生徒の左側のみ窓が設置されており、右側には窓が設置されないこと、クラスルームの長辺は教師の声が届く30フィート（約9m）以下の長さであること、短辺は窓から最奥の机上へ光が届くように天井高の1.5倍の長さ通路幅の3フィート（約0.9m）から4.5フィート（約1.37m）を足したものとなっていることを解説している (Fig. 10)。

ここで、ジョンソン・ストリート・スクールのクラスルームに着目すると、その長辺は約26フィート、短辺は約20フィートとなっている。また、例えば2階 first floor には合計8つのクラスルームがあるが、そのうち5つのクラスルームには生徒の左側に窓が設置されている。したがって、同校のクラスルームは、ほぼドイツのクラスルームのデザインに沿ったものと認識される (Fig. 6)

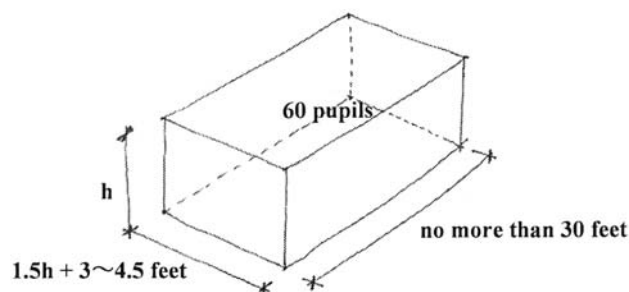


Fig. 10 ドイツにおける60名収容のクラスルームの大きさ

6. 小学校建築モデルとしてのギムナジウム建築とその広がり

Robson (1874) は、「小学校の平面に関してドイツの建築家が規範としたと言える幾つかの点についての上述の事柄は、さらに大きな力を持って、中等や高等の学校に適用されている。全ては同じ第一の原理—クラスによる分割の原理

—によって編成されている、……建築物としての最終的な完成度や当システムの建築的な内容については、低い種別の学校よりも高等な学校を代表事例として研究する方が良いのである。The foregoing remarks on some of the points which may be said to guide the German architect in his plans for elementary schools, apply with still greater force to the case of secondary and higher schools. All being organized on the same first principle—that of class division,……As to the ultimate building-result and architectural meaning of the system, it is better to study representatives of the higher than of the lower kind of schools.」(Robson (1874), p. 86) と述べており、小学校建築の平面を基礎づけたクラスルームによる平面構成が中等や高等の学校にも適用されていることを説明するとともに、特に、最終的な建築物としての完成度やクラスルームを用いた教育システムの建築的な内容は、小学校そのものではなく、高等な学校を参考にすべきことを主張している。

その上で同書が掲載するのが、ドイツのギムナジウムの建築である。同書はギムナジウムをイングランドのグラマー・スクールに相当すると説明し、1865年創立のケーニッヒ・ヴェルヘルム・ギムナジウム König Wilhelm Gymnasium 等、4校の「ギムナジウム」と名のついた建築を掲載している。このうち着目されるのが、1869年完成のギムナジウム・オブ・S・アンドリュウ Gymnasium of S. Andrew である (Fig. 12, Fig. 13)。 (尚、ドイツで同校はギムナジウム・アンドレアヌム Gymnasium Andreanum と呼ばれたので、以下、この名称を使用する。) Robson (1874) は、「(同ギムナジウムでは小学校と同じように) 両者ともに、一個のクラスルームはそれ自体が完成した小さな学校を形成しており、そこには独立した教師がいて、(一般的な類の) 独立した装備品があり、少年が着用する帽子が教室内の壁に掛けられている。In both cases the single class-room forms a complete little school by itself, with separate teacher, separate appliances (of the more ordinary sort), and with the caps belonging to the boys composing the class hung round the walls of the room itself.」(Robson (1874), p. 103) と述べて、ギムナジウム・アンドレアヌムが小学校と変わらない作りであり、そこには各クラス毎に教師がおり、また装備品があり、それぞれが独立した学校と見做し得る複数のクラスルームによって構成されていることを説明している。

一方、1872年にイングランドとウェールズに続き、スコットランドでも義務教育が始められた。1906年、クラスルーム・システムを用いて、グラスゴー教育委員会 Glasgow School Board はチャールズ・レニー・マッキントッシュ Charles Rennie Mackintosh (1868-1928) の設計によるスコットランド・ストリート・スクール Scotland Street School を完成させている (Fig. 12)。Dudek (2000)⁽⁴⁾ 及び Hamilton (2011)⁽⁵⁾ によると、グラスゴー教育委員会は小学校の建設において Robson (1874) を参考にしたという。マッキントッシュ自身は同スクールのモデルをスコットランドにあるロワラン城 Rowallan Castle だと説明しているが (Fig. 11)、同スクールの平面に着目するならば、それは Robson (1874) に掲載されたジョンソン・ストリート・スクールに類似するものとなっている。即ち、両校の平面においてホールは中央に設置され、その傍らにクラスルームが左右対称に配されているのである。さらには、Robson (1874) に掲載された前述のギムナジウム・アンドレアヌムとの類似性も指摘できる。即ち、両校ともにその1階平面はホールまたは玄関ホールを二つの階段室で挟んだものとなっており、その二つの階段室が双塔に見立てられてファサードがデザインされているのである。

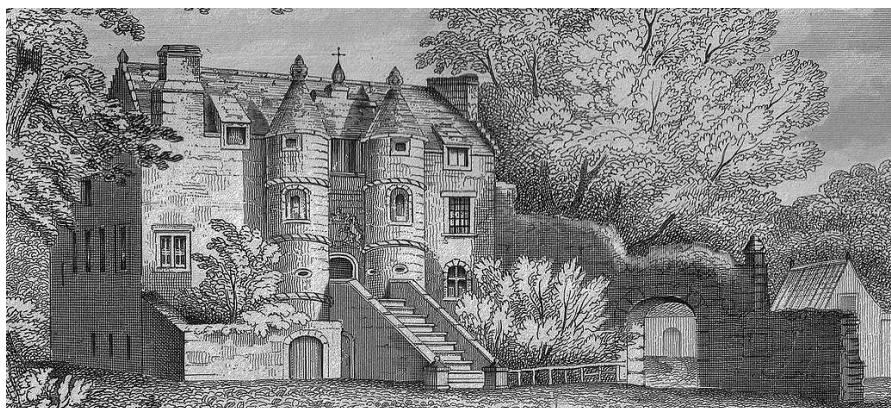


Fig. 11 スコットランドにあるロワラン城

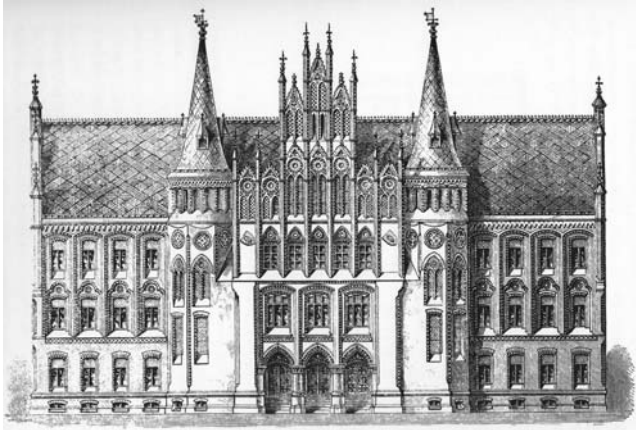


Fig. 12 ギムナジウム・アンドレアヌム (1869)
ファサード

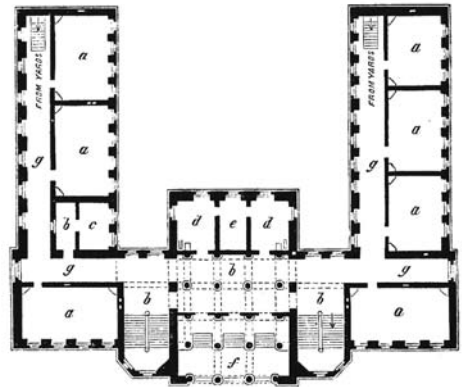


Fig. 13 ギムナジウム・アンドレアヌム (1869)
1階平面図



Fig. 14 スコットランド・ストリート・スクール (1906)
全体図

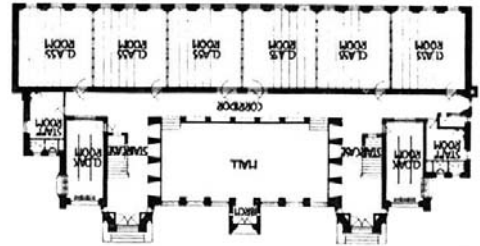


Fig. 15 スコットランド・ストリート・スクール (1906)
1階平面図

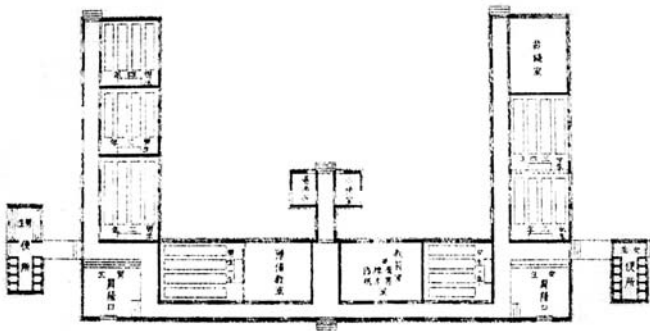


Fig. 16 文部省による仮想設計 (1895)

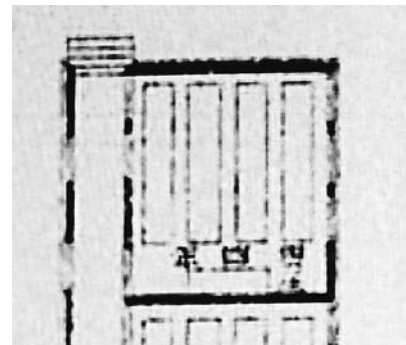


Fig. 17 仮想設計のクラスルーム (1895)

7. 我が国の小学校建築への影響

我が国では、イギリス人の建築家ジョサイア・コンドル Josiah Conder (1852-1920) が明治政府により招聘されて、1877年(明治10年)に来日し、工部大学校において辰野金吾らの日本人建築家を教育して我が国の建築学の基礎を築いた。興味深いのは、クラスルーム・システムを採用したイギリス初の小学校建築であるジョンソン・ストリート・スクールの設計者で後にロンドン大学教授となるロジャー・スミスは彼の父の従兄に当たることである。コンドルは1869年から数年間、イギリスの大学で建築を学ぶ傍ら、スミスの建築設計事務所に勤務した。それはジョンソン・ストリート・スクールが完成した1871年を含む期間なので、コンドルはジョンソン・ストリート・スクールに関する知見を有していたと考えられる。またRobson (1874) に関して、それがジョンソン・ストリート・スクールを掲載していることや当時のイギリスの代表的な学校建築に関する書籍であることから考えて、コンドルがそれを知っていた蓋然性は高い。

1895年（明治28年）、我が国の文部省は「學校建築図説明及設計大要」を公布した。これは同省の建築掛から公布されたもので、文章のみではなく学校建築の設計図が初めて提示された法令であった。この法令には、「仮想設計」と名付けられた小学校建築の図面が掲載されている（Fig. 16）。クラスルームの配置に着目するならば、この仮想設計の平面は鍵型に折れた両ウイング部分に各々3クラスが配されており、ギムナジウム・アンドレアヌムの平面と類似したものとなっている。特に外光を取り込む窓は児童の左側になるように設計されており（Fig. 17）、前述のようにRobson（1874）が説明したドイツにおけるクラスルームの特徴を有するものとなっている。

また同法令は、収容児童数36名以内（面積：10坪5合）から同88名以内（面積：22坪）までの11種類の大きさの異なるクラスルーム（教室）を提示している。同法令はクラスルームの天井高さをその広さにかかわらず9尺以上と規定しているため、このうちの収容児童数60名以内とされたクラスルームに着目するならば（Fig. 18）、その長辺、短辺、（天井）高さの寸法は次のようになる。尚、1尺は約303mmであり、1 foot は約305mmなので、1尺 \approx 1 foot（複数形はfeet）である。

長辺：5間=30尺 \approx 30feet

短辺：3間=18尺 \approx 18feet

高さ：9尺 \approx 9feet

高さと短辺の関係：高さ9feet \times 1.5+4.5feet=短辺18feet

このように同法令が規定した我が国の収容児童数60名以内のクラスルームの寸法には上記の関係があるが、これはFig. 10で示したようにRobson（1874）が説明するドイツの60名収容のクラスルームの寸法と同じものである。しかし、この収容児童数60名以内のクラスルームは我が国では経済的な理由から定着はしなかった。代わりに我が国ではそれよりも大きな収容児童数80名以内のクラスルームが定着した（Fig. 19）。その寸法は長辺が5間（30尺 \approx 30feet）で短辺が4間（24尺 \approx 24feet）であり、これをメートルに換算すると長辺が約9mで、短辺が約7.2mとなる。この寸法は、現代の我が国の小学校におけるクラスルームで一般的に用いられるものである。つまり、同法令は収容児童数に合わせて11種類の大きさの異なるクラスルームを提示したが、80名以内を収容する大きさのクラスルームがその後の我が国に定着するとともに、そこで規定された収容児童数の上限が80名から徐々に低減されて、半分の約40名となったのが現代の我が国のクラスルームだと言うことができる。

ここで問題となるのは、Robson（1874）が我が国において既知の存在であったのか否かということだろう。勿論、同法令にはRobson（1874）に関する記述は無い。しかし、同法令が公布された同じ1895年（明治28年）に書かれた学校建築に関する論文でRobson（1874）を引用したものがあつた。それは、後に著名な建築史学者となる関野貞（1868-1935）が大学生の時に英語で書いた帝国大学の卒業論文「School Architecture」であり、Robson（1874）と同じ題名が付けられたものである。藤原（2012）⁽¹¹⁾によると、関野の同論文執筆時の指導教官は、イギリスへ留学しロンドン大学教授となったロジャー・スミスに師事した経験を持つ帝国大学教授の辰野金吾（1854-1919）であった。前述のように、辰野はイギリス人建築家ジョサイア・コンドルから工部大学校において建築教育を受けられた日本人建築家の一人でもある。同論文はRobson（1874）の記述を引用するとともに、当時のイギリス、ドイツ、フランスにおけるクラスルームの寸法を述べている。さらに、同論文は先述した文部省による法令「學校建築図説明及設計大要」が示した「仮想設計」も掲載している（Fig. 16）。このように、同法令と同じ年に執筆された卒業論文にRobson（1874）が引用され、さらに同法令の「仮想設計」も掲載されていることを考慮すると、同法令を公布した文部省建築掛においてもRobson（1874）が既知の存在であった可能性が高いと考えられる。

コンドルの弟子であり、さらにロジャー・スミスにも師事した辰野金吾の設計により、辰野の郷里である佐賀県唐津に建設された唐津小学校は1901年（明治34年）に完成している（Fig. 20）。それは木造平屋建ての建築物で水平方向へ展開した構成をとっている。その建築平面は、中央に講堂が設置されて、その傍らに左右対称形でクラスルームが配されたものとなっている。これはホールが中央に設置され、その傍らにクラスルームが左右対称に配されたイギリスのジョンソン・ストリート・スクールの特徴や、Robson（1874）に掲載されたギムナジウム・アンドレアヌムの特徴に通じるものである。辰野が意識したのか否かは不明だが、このようにRobson（1874）からの影響と捉え得る小学校建築の設計がなされている。

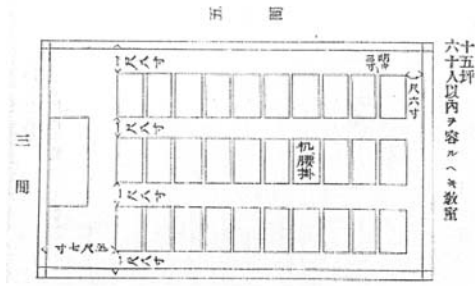


Fig. 18 収容児童数60名以内のクラスルーム

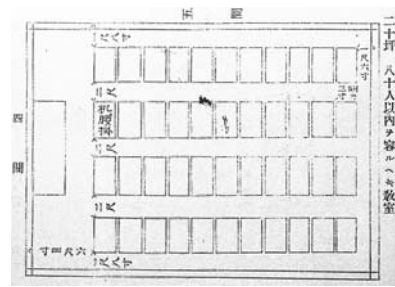


Fig. 19 収容児童数80名以内のクラスルーム

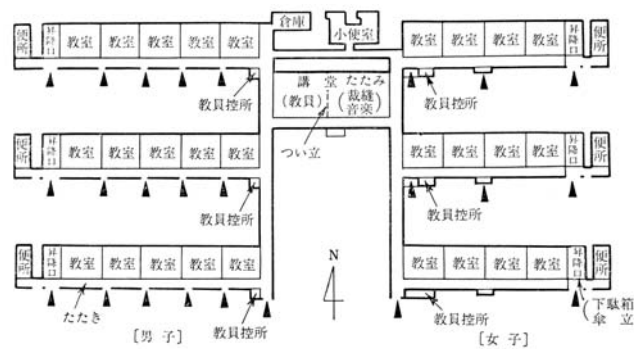


Fig. 20 唐津小学校 (1901)

8. おわりに

19世紀のイギリスにおける小学校建築の発展は、イギリスに先んじてクラスルーム・システムが採用されたドイツのギムナジウム建築の影響を受けている。特にイギリスでクラスルーム・システムが最初に採用されたのは、1871年に建築家ロジャー・スミスによって設計されたジョンソン・ストリート・スクールであり、それは小学校におけるクラスルーム・システムの効果を完成後に検証するとして実験的に建設されたものであった。

やがて、クラスルーム・システムの採用は、スコットランドの小学校建築にも伝播した。スコットランド・ストリート・スクールは、1906年にスコットランドのグラスゴーに建築家チャールズ・レニー・マッキントッシュによって設計された小学校建築である。ここではクラスルーム・システムが採用されており、ドイツのギムナジウム建築との類似性も認められるものとなっている。

我が国では、ジョンソン・ストリート・スクールの設計者ロジャー・スミスの従弟の息子で、ジョンソン・ストリート・スクールが建設された際にスミスの建築設計事務所で働いていた経験のある建築家ジョサイア・コンドルが、1877年(明治10年)に明治政府に招聘されて来日し、我が国の建築学の基礎を創るとともに辰野金吾ら日本人の建築家を育成した。コンドルの弟子であり、さらにロンドン大学でロジャー・スミスから直接教育を受けた辰野金吾の指導の下、1895年(明治28年)に関野貞は英語で書かれた卒業論文である「School Architecture」を著して、その中でRobson(1874)を引用している。

また同年、文部省は「学校建築図説明及設計大要」を公布した。この中で収容児童数が異なる複数のクラスルームの大きさが具体的に示されたが、特に収容児童数60名以内のクラスルームは、その大きさがRobson(1874)で述べられたドイツの60名収容のクラスルームと全く同じものになっている。また「仮想設計」と名付けられた小学校建築の平面図が提示されたが、ここではクラスルーム・システムが採用されるとともに、その平面はRobson(1874)が掲載したドイツのギムナジウム・アンドレアヌムに類似したものとなっている。

1901年(明治34年)に辰野金吾の設計により唐津小学校が完成した。その平面は中心に講堂が設置されその周囲に左右対称にクラスルームが配されており、Robson(1874)に掲載されたジョンソン・ストリート・スクールやギムナジウム・アンドレアヌムの特徴に通じるものとなっている。

文 献

- (1) Robson, Robert, *School Architecture* (1874), London: John Murray
- (2) Stow, David, *The Training System, Established In The Glasgow Normal Seminary, And Its Model Schools* (1840), Glasgow: Blackie and Son
- (3) Committee of Council on Education, *Appendices and Plans of School-Houses. 1839-1840(1840)*, London: William Clowes and Sons
- (4) Dudek, Mark, *Architecture of Schools* (2000), Oxford: Architectural Press
- (5) Hamilton, Sarah L., “The Architecture and Impact of the School Boards in Glasgow”, *Architectural Heritage* XXII, Edinburgh: Edinburgh University Press, (2011), pp.115-136
- (6) Macleod, Robert, *Charles Rennie Mackintosh Architect and Artist* (1983), London: Bettina Tayleur
- (7) 文部大臣官房会計課建築掛, 学校建築図説明及設計大要 (1895), 文部大臣官房会計課
- (8) Tadashi Sekino, *School Architecture* (1895), Graduation Essay, Architecture, Engineering College, Imperial University (of Tokyo)
- (9) Seiji Mitsuoka, “Class Room, Playground, Gallery developed within Educational Theories in the UK and their Introduction to Japan in the 19th Century”, *Proceedings of the 10th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia*, (2014), pp.80-84
- (10) 青木正夫, 建築計画学 8 学校 I (1976), 東京: 丸善
- (11) 藤原直子, “わが国の学校における職員室および校長室の成立とその機能”, *日本建築学会計画系論文集*, Vol. 77, No. 674, (2012), pp. 759-766
- (12) 満岡誠治, “E.R. ロブソン著「学校建築」に見るドイツからイギリスへのクラス・システムの移入”, *日本建築学会学術講演梗概集*, (2015), pp. 335-336

図 出 典

- Fig. 1 筆者作成
- Fig. 2 www.bbc.co.uk/schools/primaryhistory/victorian_britain/children_at_school/
- Fig. 3 Robson (1874), p. 11
- Fig. 4 Stow (1840), p. 402
- Fig. 5 Committee of Council on Education (1840)
- Fig. 6 Robson (1874), p. 302
- Fig. 7 同上, p. 301
- Fig. 8 同上, p. 302
- Fig. 9 同上, p. 301
- Fig. 10 筆者作成
- Fig. 11 en.wikipedia.org/wiki/Scotland_Street_School_Museum
- Fig. 12 Robson (1874), p. 101
- Fig. 13 同上 p. 103
- Fig. 14 Macleod (1983), p. 113
- Fig. 15 同上 p. 114
- Fig. 16 文部大臣官房会計課建築掛 (1895)
- Fig. 17 同上
- Fig. 18 同上
- Fig. 19 同上
- Fig. 20 青木 (1976), p. 153

〔論文〕

地域活性化を目指した着地型観光の取組に関する研究

- 福岡県八女市における事例報告 -

大森 洋子*¹

A Study on the Actions in Community-Based Tourism for Local Community Revitalization

- In Case of Yame City, Fukuoka Prefecture -

Yoko OMORI*¹

Abstract

In Yame City, community-based tourism has been undertaken to revitalize the local community by producing experiential programs with culture and traditional handicrafts as resources. This study aims to summarize the details of community-based tourism actions taken there and clarify their traits, effects, and issues remaining to be solved. This study is expected to help revitalize other cities that share the problem of local decline due to depopulation.

Keywords : Community-Based Tourism, Traditional Handicrafts, Experiential Program, Yame City

1. 研究の背景と位置づけ

1・1 研究の背景と目的

2000年代から地域活性化や地域文化を活かしたまちづくりの一手法として、着地型観光が注目され、全国でも様々な取組が行われている。観光庁がまとめた「観光地域づくり事例集2015¹⁾」では、着地型観光に取り組む全国の74事例が紹介され、「地域と来訪者をつなぎ、双方の満足度を高められるような取組を持続的にマネジメントする組織体⁽¹⁾」を「観光地域づくりプラットフォーム」と定義し、その必要性が述べられている。この「観光地域づくりプラットフォーム」に相当する組織を立ち上げ、着地型観光でまちづくりを実践している福岡県八女市は、伝統工芸や地域の文化、豊かな農産物、そしてそれらを担っている人材を市内外部に紹介する体験型プログラムを造成し、地域資源の付加価値を高める取組を行っている。

八女市は2010年の合併を契機に、旧市町村の垣根を低くし新八女市の愛着心と誇りを醸成すると共に、人口流失により衰退化する地域の活性化を目指して、観光を活用しようとしたことから着地型観光の取組が始まっている。観光により地域の魅力を発信し、地域ブランドを高め、交流人口の増加のみならず、移住者を増やすことを目標としている。八女市でのこれまでの取組の経緯を整理し、地域活性化への効果や課題を明らかにすることが研究の目的である。まだ八女市での取組は始まって間もないが、一定の成果を上げており、同様の悩みを抱えている地方都市へ活性化の一つのモデルを示すことができると考えた。

1・2 先行研究の整理と本研究の特色

国内の着地型観光に関する研究は社会学や観光学、文化人類学から多くの論文が出されている。着地型観光の意味も論文により差があるが、共通するのは、それまでの出発地にある旅行会社が観光客を目的地に連れて行く発地型観光に対して、地域の組織が主体となって観光資源を発掘し、旅行商品として市場へ発信、集客を行う観光事業の一連の取組みが着地型観光と認識されていることである。本報告でも着地型観光をその様に定義し、現地集合であるかは問わない。

先行研究としては、事例を通して着地型観光の利点や地域振興へ繋がる手法を解説している尾家・金井²⁾や大社³⁾の研究、観光客の視点から着地型観光の課題を明らかにしている才原⁴⁾の研究、着地型観光による地域づくりに必要な地域の条件を考察した森重⁵⁾の研究がある。これら先行研究を参考にしつつ、本論文では地域資源が観光によりどのように

*¹ 建築・設備工学科
平成28年11月2日受理

活かされているかの視点から考察していることに特色がある。

1・3 研究の方法

先ず着地型観光の経緯を観光資料や八女市観光振興課及び関係団体へのインタビューにより把握し、取組の特徴を整理した。次に実施されている着地型観光商品の内容と特徴をまとめ、参加した観光客や受け入れた地元住民の感想を既存資料やインタビューより把握し、着地型観光の取組の地域活性化への効果や課題を分析した。

1・4 八女市の概要

福岡県南東部に位置する八女市は2006年に上陽町を、更に2010年には黒木町、立花町、矢部村、星野村を編入し、面積482.44km²と福岡県内でも2番目の面積を有する市となった。面積は広大でも森林面積が317.57km²と66%を占め、耕地が15%、宅地がわずか3%となっており、農業が主産業である。市は東部の山間地と西部の扇状地からなり、中央を矢部川が西流し有明海へ注ぐ。市役所や商業施設が集積する中心市街地がある旧八女市は西部の平野部に位置する。2016年3月末の人口が65,885人、世帯数が24,497で、人口は漸減している。年間入り込み客は210万人前後で推移している。

2. 着地型観光の取組経緯

八女市では合併前の2009年に各市町村の観光担当者と合同で合併後の観光戦略を検討する「八女市観光事業開発委員会」を設け、観光アクションプラン策定の業務委託をしたJTBコミュニケーションズ九州のアドバイスを受けながら、地域振興のための観光のあり方を検討し始めた。この時期は既に観光庁が着地型観光を推進し、取り組みへの支援メニューが用意されており、それを利用しながら「八女市観光事業開発委員会」では最初から着地型観光を柱に観光戦略を練った。

先ずは合併後の広くなる八女市域に、どのような地域資源があり、どのような人材がいるのかを把握する活動から始められた。それらの発掘後は、市の観光担当者だけではなく、市民に広く知ってもらい、住民自身が着地型観光の取り組みに参加してもらう様なプログラム作りがなされ、その後市街へ向けての着地型観光の商品が造成された。

以上のように取組は着地型観光商品誕生の前後で二つの時期に分かれる。それぞれを着地型観光準備期と着地型観光実施期として、特徴的な取り組みを整理した(表1参照)。

表-1 着地型観光の取組経緯

時期	着地型観光準備期				着地型観光実施期			
	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
市行政の活動	観光事業開発委員会発足	編入合併により新八女市誕生 茶のくに八女のもてなし宣言発表				アクションプログラム完成		
市民向けの活動	人材探し開始 地域資源探し	もてなし人登録 「もてなし暖議」開始	もてなし人ポスター作成 「よかとこツアー」開始	観光物産館「ときめき」開館 茶のくに観光案内所開館	FM八女が旅行業取得			
市外向けの活動		FM福岡で「茶のくに八女は楽しい」放送開始			「旅する茶のくに週間」開始 アンテナショップ「八女本舗」開館	「旅する茶のくに周遊バス」開始		香港で「周遊バス」を宣伝 香港から参加者

2・1 着地型観光準備期

(1) 現状と課題の整理

豊かな自然に囲まれ、伝統文化が残る八女市には、歴史的町並みや茶畑が広がる山村景観、提灯・仏壇・和紙・和独楽などの伝統工芸や、豊富な食材及びその加工品が存在する。それら八女の暮らしの中で育まれてきた地域資源が数多く存在することが現地踏査により確認された。一方で課題として①これらの資源の多くは潜在し住民も魅力に気づいていない、②資源が広い市域に点在している、③これらの資源を観光商品化できるコーディネーターが不在、④地域の連携が不十分、⑤資源の魅力の演出と情報発信が不十分であることが認識された。

(2) コンセプトの創出

以上の課題を踏まえ、これから事業展開をしていく上でのコンセプトが決められた。市内に向けては、人の結びつきによって点在する資源が新たな価値を生み、それぞれの地域で語られている物語をつなげて新たな八女の物語を奏でることとし「つながり、響く、八女の人と物語」が謳われた。市場に向けては、八女茶が有名であることからお茶をテーマに選び、お茶は特産物であると同時に来訪者をもてなす心にもつながる文化であるとし、もてなしの心を発信する「茶のくに八女・奥八女」をコンセプトにすることが決定した。これ以降は八女市の紹介には「茶のくに」が頻繁に使用されることになる。2010年6月には「茶のくに八女のもてなし宣言」が発表された。

(3) 人材の発掘

2010年には地域資源に関わる人材発掘への本格的な取組が開始された。観光振興課の職員が、伝統工芸や伝統建築に携わる職人、地場産品を活かしてもものづくりをしている技術者や作家、農業生産者や加工品づくりをしている住民、郷土史家等などの人材探しを行い、108人を取材し、「もてなし人」として登録を行った。その人材を広くアピールするために似顔絵を描いたポスターを作成し、市内の主な施設に掲示した。この人材が2013年に開始される体験プログラムの実施者につながる。その後も「もてなし人」の人材発掘は続けられている。

(4) 「もてなし暖議」開催

地域で頑張る女性を紹介し、もてなしの心のスキルアップを図るために、2010年より旧6市町村のエリア(図1参照)で順番に毎年1回「もてなし暖議」が続けられている。主に市内の女性に参加を呼びかけ、6エリアから女性一人ずつがパネラーとして登壇し、コーディネーターの進行により、日々の暮らしやもてなしを語るトークイベントで、昼食には地元で取れた食材を用い開催地の女性が調理した料理が提供される。パネラーは話すことにより日常の暮らしが脚光を浴びて自信を深め、参加者はパネラーの話に刺激を受けている。参加料は昼食代の500円で、話の後の昼食会を通して別のエリアに住む女性との繋がりもできている。

(5) 市外への情報発信

八女の魅力を広く知ってもらうために、2010年11月よりFM福岡³⁾で「茶のくに八女は楽しい」という番組が毎週土曜日9時30分～9時50分に放送開始された。季節の特産物や祭、観光スポット、もてなし人等が紹介されている。この番組の視聴者がこれを契機に八女を訪れることもあり、宣伝効果を果たしている。

2013年には八女市の農産物の魅力を知ってもらうために、福岡市の中心地に八女市のアンテナショップ「八女本舗」がオープンした。毎朝直送される野菜や加工食品が人気で、ここで八女市の観光情報も発信している。市が家賃を負担し、運営は出荷者約180名で構成する組合が行っている。

(6) 市民向けの観光バスツアー

八女市民であっても合併後の広がった市内6エリア全ての地域資源を知っているわけではなく、まずは市民が6エリアの魅力を認識し郷土愛を深めるために、2011年から各エリアの住民が他エリアを訪問するバスツアー「よかとこツアー」が実施されている。八女エリア(旧八女市のエリア)住民は黒木エリアを、立花エリア住民は上陽エリアを訪問するというふうに、毎年違ったエリアを訪問している。バス代は市が負担し食事代などの実費を参加者が負担する。各エリア十数人～20人の参加が有り、ツアーの感想は大変良かったが8割、良かったが2割⁴⁾と好評である。必ず「もてなし人」による体験プログラムと地元での昼食が用意されており、市民同士の交流と地域資源の見直しに貢献すると共に、「もてなし人」の人材育成にもなっている。

(7) 茶のくに観光案内所開設

八女の特産品を販売する観光物産館「ときめき」が中心市街地に2012年に開館した。その施設内に八女市観光振興課が移動し、「茶のくに観光案内所」を設置した。茶のくに観光案内所には新たに観光コーディネーター1人と観光客の対応をする案内人2人を雇用し、翌年より開始する体験型プログラム「旅する茶のくに週間」の実施に向けて準備を開始した。

2・2 着地型観光実施期

(1) 体験型プログラムの誕生

八女の暮らしの中で育まれてきた伝統工芸や職人の技、及び暮らしそのものを来訪者が体験し、魅力を知ってもらうことで八女ファンを増やすことを目的に、体験型プログラム「旅する茶のくに週間（以下、旅週間）」が2013年3月に誕生した。最初は14の体験プログラムを実施し、同年秋には19プログラム、2014年秋には19プログラム、2015年秋には24プログラムを実施している（表2参照）。パンフレットには体験内容とともに、体験指導者の顔写真が載せられている。

(2) 旅行業取得と観光商品造成

大手旅行会社が扱わない地域に根ざした資源を観光商品として企画販売するためには、旅行業の取得が必要であった。そのために観光振興課の職員が旅行業務取扱管理者資格を取得し、「一般財団法人FM八女⁽⁵⁾」に茶のくに観光案内所を編入して旅行業部門を設け、2013年に第3種旅行業を県に登録した。FM八女は市内への情報発信のために2010年7月に設立されたコミュニティFM放送局で、その運営をしている一般財団法人FM八女の理事の一人に、旅行業務取扱管理者資格を取得した観光振興課の職員が就いている。茶のくに観光案内所は組織としては一般財団法人FM八女に移動したが、場所は「ときめき」の観光振興課内にそのまま残り、観光振興課と連携して事業を展開している。市が旅行業に踏み込んで観光活動を行っていることは特徴である。

第3種旅行業を取得したことにより、着地型観光の企画が推進しやすくなり、2014年4月からは後述する月1回開催のミニバスツアー「旅する茶のくに周遊バス（以下周遊バス）」を開始した。現在は茶のくに観光案内所には観光コーディネーター1名と案内人3名が配置されて、もてなし人や体験プログラム実施者などの人材発掘、イベントや旅行の企画運営、来訪者への情報伝達や情報発信を行っている。更に2017年からは八女市全体の観光まちづくりを企画・実行するプロデューサーとして事務局長を配置予定で、市全体の観光事業をリードする組織へと発展することが期待されている。

3. 着地型観光商品の特徵

3・1 「旅週間」の内容と特徴

「旅週間」は前述のようにそれまで収集した人材バンクの「もてなし人」の中から八女らしさを体験させてくれる候

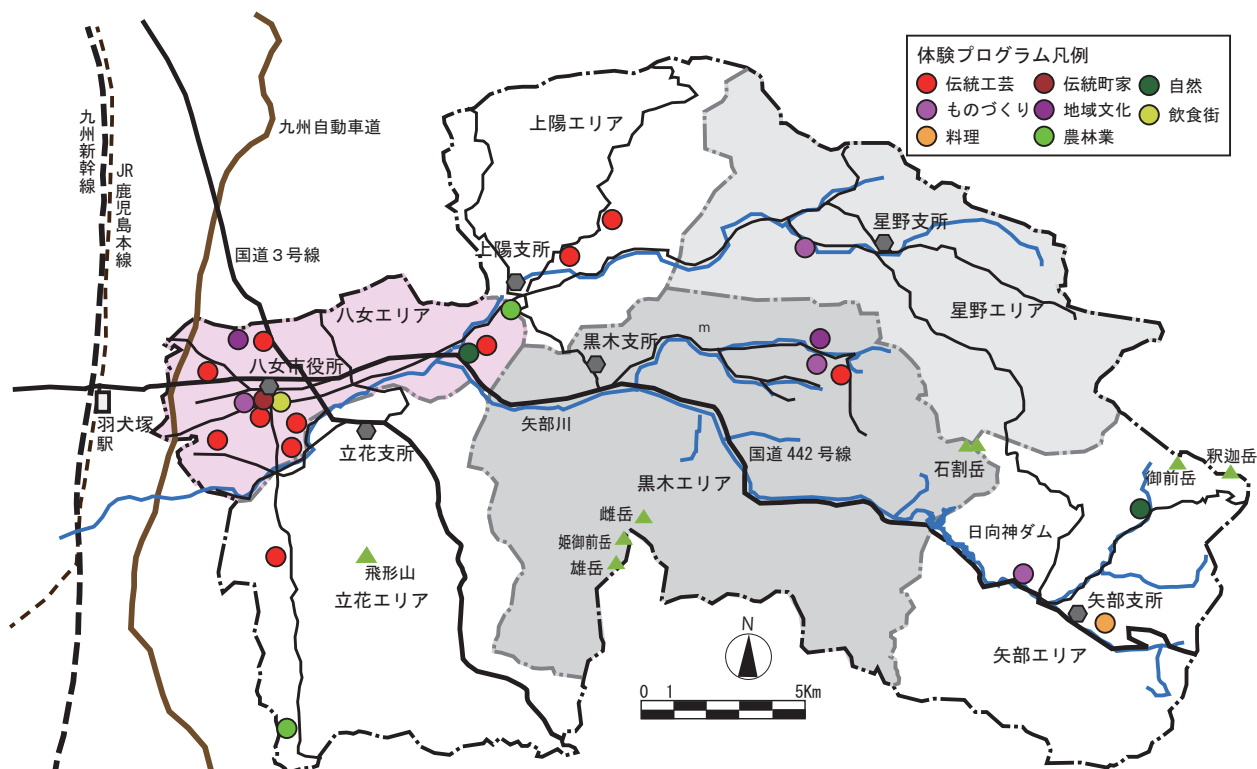


図-1 八女市の6エリアと体験プログラム実施地

補者を選び、内容や時間、受け入れ人数、料金などを観光コーディネーターが詳細に打ち合わせし、体験プログラムを作成した。期間を限定し実施する体験型観光で、初年度の2013年は2回実施し、2014年からは秋の一定期間に1回実施している。その内容を表2にまとめ、実施場所を図1にプロットした。既存の観光地にとらわれることなく、また出来るだけ6エリアに分布するように作成されている。1回だけで終わっているプログラムもあるが、協力者が増えプログラム数が年を追う毎に増加している。体験内容を伝統工芸、ものづくり、料理、伝統町家、地域文化、農林業、自然、飲食街に分けると、八女らしく、仏壇の一工程である螺鈿細工や銚金具、和独楽、御櫃、竹皮編、木蠟ろうそくづくり等の伝統工芸体験が多い。自然体験や農作物の収穫には家族での参加も多い。いずれも現地集合のプログラムで、定員は4名～18名、参加費は材料代や昼食代が不要であれば最低700円、材料代や昼食代、宿泊代が必要であれば最高13,500円である。体験を指導するのは地域住民である「もてなし人」であり、参加者と住民のコミュニケーションが生まれている。

茶のくに観光案内所がパンフレットを作成し参加者を募り、参加者への連絡を担当する。当日もスタッフが現地で受け付けや料金徴収を行い、体験プログラムのサポートをする。参加費の中から500円を茶のくに観光案内所が受け取り、残りは指導者が受け取る仕組みになっている。最初は先着順で参加者を決めていたが、いずれも人気が高く受付開始直後に定員が埋まってしまうこともあり、2015年からは抽選になった。最も人気が高い包丁造りは、今では珍しい鍛冶工場で火造りから鍛造、成型、研ぎなど鍛冶職人の一連の作業が体験できることから申し込みが多く、2015年は2回実施された。それでも1回5名の定員に両日合わせて172人の申し込みがあり、抽選から外れた人は次年度の実施を待っている状況である。「旅週間」全体でも239人の定員に対して784人の申し込みがあった。その内50人が県外からの申し込みである。同年には、由緒ある土橋八幡宮の境内と参道に縦横無尽に走る路地に建てられた飲食店を夜に廻るツアーも実施され盛会であった。伝統工芸体験が多いことは八女の特徴である。

3・2 「周遊バス」の内容と特徴

「旅週間」の好評を受けて八女の情報発信力を更に高めるために次に企画されたのが、2014年6月開始の「周遊バス」である。公共交通の便が悪く市内に散らばる地域資源へのアクセスが容易でないことから、山間部の狭い道路にも入って行けるマイクロバスで観光地や体験地を廻る1日ツアーで、ものづくり体験や季節の花や祭りなど様々な魅力を体感することができる。月に1回テーマを決めて募集し参加費1,000円と食事代や入場料、体験料は実費を徴収する。定員20名のマイクロバスで隣接市にあるJR久留米駅と西鉄久留米駅まで送迎する。公共交通や大型バスでは行けない場所を安価に廻れることから客の満足度が高く、定員が直ぐに埋まる。体験プログラムがない花巡りのツアーであっても、もてなす地域住民との交流がある。例えば藤の花見であれば、その藤の手入れをしている地域住民がガイドとなり、藤にまつわる物語を語る。これを契機に、八女市への移住を決心した人もいる。

好評であったことから2015年4月からは月に2回、平日と休日に実施している。茶のくに観光案内所の案内人2名がガイドと添乗員として同行する。これも2015年の途中から先着順でなく抽選で参加者を決定しており、2015年度の参加総数436人に対して、751人の申し込みがあった。2016年4月初めには海外への情報発信の試みとして、「周遊バス」に興味を持った福岡県の香港事務所がフェイスブック

表2 旅週間の体験プログラムの内容と参加費(円)

種類	実施年月/日 プログラム内容と定員 プログラム数	2013		2014	2015	
		3/14 ~3/31	11/2 ~11/30	11/5 ~12/7	10/23 ~12/13	
		14	19	19	24	
伝統工芸体験	馬場水車場 線香づくり	8名	3,000	2,500	2,700	3,500
	マイ包丁づくり	5名	10,200	10,200	11,000	13,500
	和竿づくりと川釣り	12名	2,500	2,500	3,200	4,000
	石灯笼づくり	6名		10,200	10,400	10,000
	銚り金具体験	6名		3,500	3,700	4,000
	木の小物づくり(独楽づくり)	4名			2,400	3,500
	和紙漉きとあかり・トートバックづくり	10名	3,700			5,000
	螺鈿細工	10名		3,200		
	おひつづくり	4名				10,500
	皮白竹 竹皮編	8名				4,600
ものづくり体験	櫛ちぎり木蠟ろうそくづくり	10名				3,300
	蒔絵体験	6名				5,800
	チェーンソーアート	5名	4,200	4,200		4,500
	ハーブソーブづくりと石窯ピザ	8名	3,700			
	ハーブリースづくりと石窯ピザ	8名		3,700		
	草木染	5名		4,200		
	くろくも舎 切り絵体験	10名			2,400	3,000
	源太窯 土あそび	6名			4,400	4,500
	泰心工房 竹の箸・木のスプーンづくり	6名		3,200	3,400	4,200
	料理体験	よもぎまんじゅう・栗まんじゅうづくり	12名		2,200	2,400
いちご摘みとケーキづくり		20名	2,500			
春の収穫と薬膳料理		15名	2,200			
無添加ソーセージづくり		10名	2,600			
そば打ち体験		10名	2,200			
こんにやくづくり		15名		2,200		
伝統体験家	体によさしいおやつづくり	8名			2,700	
	八女福島の町家めぐり	15名	700	700		
	酒蔵見学	20名		2,300		
	町家に泊まる	7名			11,000	
地域文化	左官職人体験と町家見学	10名				5,000
	座禅と精進料理	18名	2,700	2,700	2,900	4,100
	星の文化館で星空談義	10名	8,700			
	磐井をもっと知りたい	13名				2,500
農林業体験	キウイ収穫体験	15名		2,000	2,200	3,000
	しいたけ収穫	15名		2,700		
	木と森のはなし	8名			1,400	2,600
	棚田石積みの補修体験	10名			2,000	
自然体験	山歩き	18名	1,200	700	900	2,000
	池の山キャンプ	25名		8,700	8,900	
	自然遊歩道を歩く	18名			900	2,500
飲食街体験	土橋ブチサルー(夜の飲み歩き)	12名				12,000

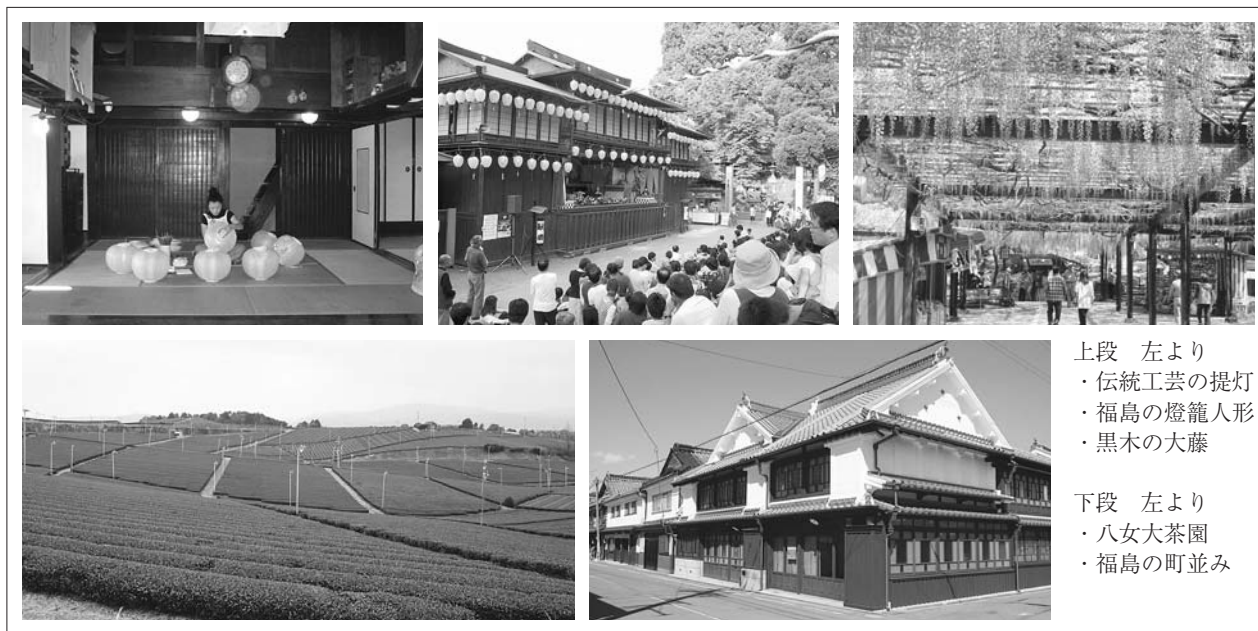


写真-1 周遊バスで訪れる景観地や祭の例

で紹介した。すると直ぐに茶のくに観光案内所へ直接申し込みがあり、4月末に4回開催する花巡りに計12人の香港からの客が参加した。9月の登録人形にも15名の外国人客が参加した。このことは訪日客誘致に手応えを感じているが、語学に堪能なスタッフが不在で、外国語のパンフレットやホームページも作成されていない。今後インバウンド観光に対応する戦略の必要性は認識されており、先ずは語学に堪能な職員の確保が急務であることも認識されている。

現在は観光資源を客に知ってもらいリピーターを確保することを目的に、バス代は市が負担し殆ど実費で実施されている。この企画が実施できたのも旅行業の資格を持っているからである。

4. 「旅週間」と「周遊バス」の評価

4・1 観光客の属性と評価

2015年度の「旅週間」と「周遊バス」の参加者を対象にFM八女観光事業部が実施したアンケート調査⁶⁾から、観光客の属性や訪れての感想について以下のことが分かった。

(1) 観光客の属性

参加者の性別は「旅週間」が女性70%、「周遊バス」が女性85%と女性が圧倒的に多い。年代は「周遊バス」が60代以上で70%を占めるのに対し、「旅週間」は20代が7%、30代が15%、40代が19%、50代が17%、60代28%と若い世代も参加している。居住地は「周遊バス」は福岡市が42%、隣接市の久留米市が25%と多く、福岡県内で90%を占める。2014年の参加者が最も多かった久留米市よりも、遠方の福岡市からの参加者が増えたのは、知名度が上がったからだと考えられる。「旅週間」は八女市内が39%と最も多く、福岡市と久留米市がそれぞれ13%、県内で95%を占める。市内からの参加者が多いのが特徴である。どちらも福岡県外からの参加者は少ない。「周遊バス」のリピーターの割合は32%と多い。「旅週間」は統計がないので正確な数字はわからないが、毎年異なるプログラムに申し込みをしている人も多い。

(2) 参加者の感想

参加しての感想は1名を除き大変良かった或いは良かったと両方とも回答しており(図2参照)、満足度が高い。従ってまた参加したいという希望者がどちらも9割を占めている。特に良かったことはどちらも体験指導者や案内人の案内や内容がトップにあげられている(図3と図4参照)。体験内容とともに地域住民との交流が満足度を高めており、着地型観光の魅力が発揮されている。

(3) 情報源

この旅を知った情報源は「周遊バス」はチラシが32%、口コミが26%と多い。それぞれ4割を占め、「旅週間」はパンフレットが50%と多く、口コミ19%となっている。毎月行われているバスツアーは参加した人からの口コミによって広がっていると考えられる。ホームページで知った人はどちらも1割程度でしかない。改善点としては告知方法や申し

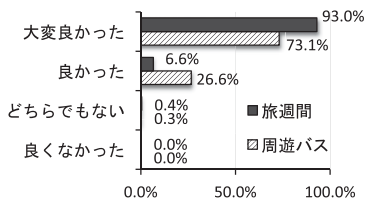
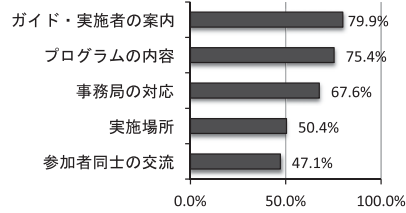
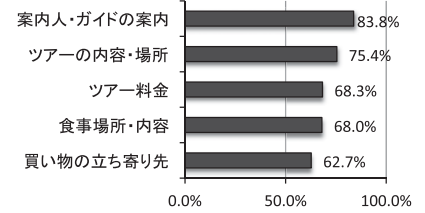


図-2 参加しての感想

図-3 旅週間で良いと感じたこと
(複数回答)図-4 周遊バスで良いと感じたこと
(複数回答)

込み方法がどちらからも1割の人から指摘されている。

4・2 「もてなし人」の反応

体験プログラムの指導者となった「もてなし人」へのインタビュー調査からは、以下のことが把握できた。「もてなし人」は自分の技術に興味を持ち楽しんでくれる訪問客がいることに喜びを感じている。伝統工芸の職人の多くは「人に教えるのが不得手」「上手にしゃべれない」「面倒くさい」「このような手仕事に興味を持つ人はいない」と最初は参加に消極的であったが、一度指導者を経験すると次もやりたいと希望している。特に機械化による大量生産で需要が少なくなっている御櫃、包丁、線香、木蠟等の伝統工芸の職人は、今までは消費者と直接交流することがなく、その反応が分からなかったが、参加者の好意的な反応に驚き、仕事への誇りと自信を取り戻している。回を追う毎に客とのコミュニケーション技術も上がっている。前述のように訪問客からも、指導者の人柄や内容が最も良かったと好評である。体験プログラムは地域の職人の存在と技を宣伝することになると同時に、その技を学びたいと考える若者が現れば、技術の継承にもつながる。

このようなことができるのも、体験プログラムの企画、宣伝、集客、当日の受け付けや集金など、職人が技を教えること以外のことを観光コーディネーターが負担してくれているからである。

5. まとめ

以上より、地域資源を活かしながら地域活性化に貢献する着地型観光の一つのモデルを示すことができたと考えられる。取組の特徴及び地域活性化への効果や課題を総合的に考察すると以下のことが言える。

- ①八女市の着地型観光の取組は、地域への誇りを高めるために、まずは市内の地域資源を市民に知ってもらうことから始められている。地域資源にはモノだけでなく人も含めており、人材発掘と人材育成が最初からアクションプランに入っている。観光コーディネーターの必要性も最初から認識され、早い時期に配置されている。市の外郭団体が旅行業を取得することにより、観光地域づくりプラットフォームとなっている。
- ②八女市の自然や伝統的町並み、伝統工芸や手仕事、農産物や加工品を活かした着地型観光は、ここでしか経験できない本物を体験することができ、客の満足度が高くリピーターも多い。体験内容とともに地元住民と交流することも満足度を高くしている。地域資源を広く宣伝し、八女ファンを増やす効果を果たしている。八女市での取組は現存する地域資源を、それに関わっている人を上手に介在させて客とのコミュニケーションをとりながら魅力的に演習している。
- ③体験プログラムは必ず現地で実施され、その場の雰囲気や周辺の風景も含め五感で体験できる。その場所へ魅力を感じ移住を決意した人もいる、まだその数は少ないが、地域活性化に貢献している。
- ④八女市での観光活動は経済活性化は勿論であるが、人も含めた地域資源をいかに輝かせて八女市のブランド力を高め、交流人口や転入者を増やすかに重きが置かれている。
- ⑤消えかかっていた伝統文化が、体験参加者からの評価により誇りと自信を回復している。知名度が上がれば維持されることにつながる。観光が伝統文化の継承に貢献できる可能性を見いだすことができる。
- ⑥課題としてはまず宣伝方法があげられる。口コミで観光情報が広がってはいるが、県外からの参加者は少ない。県外へ、更に海外へも八女の魅力を伝える宣伝方法を開発する必要がある。インバウンド観光の手応えは掴んでいるが、まだ準備不足で、外国語のホームページやパンフレットもない。観光案内所のスタッフは必要性は充分認識しており、今後改善されていくと考えられる。次に男性の参加者が少ないことがあげられる。男性が魅力を感じる体験内容や、仕事を持つ世代も参加しやすい日程を組む等の検討が必要である。

以上のような着地型観光が実施できているのは、市が観光地域づくりプラットフォームの運営資金を負担しているか

らである。プラットフォームが経済的にも独立した存在であることは重要だが、八女市のように地域活性化と伝統文化の維持継承のために、公金で負担するケースも一つのモデルと考える。

【謝 辞】

資料の提供とインタビューに応じていただいた八女市観光振興課や茶のくに観光案内所の職員の皆様や「もてなし人」の皆様に感謝申し上げます。

尚、この論文には科研費基盤研究費(C)一般24611032と16K02097の一部を使用した。

【補 注】

- (1) 参考文献1) の p. 39より引用。
- (2) 参考文献2) の p. 3より引用。
- (3) FM福岡は福岡県を放送対象地域としたFM放送局で、1970年に開局した。
- (4) 参考文献6) の p. 33のデータを引用
- (5) 八女市は合併後の広大な市内全域への防災及び行政情報の伝達・共有化を図るための情報伝達手段を確保するために、コミュニティFM局を開局することとなった。それを運営するために、八女市が協力団体と共に設立したのが「一般財団法人FM八女」である。放送開始と共に市内全戸に防災ラジオが無償配布された。
- (6) 参加者が当日無記名で回答するアンケート調査で、有効票数は「旅週間」が258票、「周遊バス」が394票である。「周遊バス」20票の白紙があったが、年齢と性別は申込時に把握できているため414人をサンプル数として統計処理している。図2～図4はこのデータを用いて作成。

【参考文献】

- 1) 観光庁(2015)「観光地域づくり事例集2015」http://www.mlit.go.jp/kankocho/news_04_000112.html, (2015年7月5日入手)
- 2) 尾家建生・金井満造(2008)『これでわかる着地型観光—地域が主役のツーリズム』, 学芸出版。
- 3) 大社充(2008)「体験交流型ツーリズムの手法 地域資源を活かす着地型観光」, 学芸出版。
- 4) 才原清一郎(2015)「観光客視点からの着地型観光の課題の考察」, 日本国際観光学会論文集(第22号), pp. 21-27
- 5) 森重昌之(2009)「着地型観光による地域づくりに必要な地域の条件」, 北海道大学大学院国際広報メディア・観光学院院生論文集5, pp. 103-111, http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/38218/1/9_p103-111.pdf, (2015年11月14日入手)
- 6) 八女市観光振興課(2015)「平成26年度茶のくに観光推進事業 事業報告書」

〔論文〕

オレンジジュースを用いた好みの味質検出アルゴリズム

江藤 信一*¹

Detection algorithm with favorite taste quality for orange juice

Shinichi ETOH*¹

Abstract

Preferences in taste vary greatly from person to person. Hence, little progress has been made toward the development of a clear evaluation system for food selection. This study describes the construction of a detection algorithm with favorite taste quality for orange juice. The algorithm will be able to visualize wide palatability; therefore, orange juice has been targeted. We found that out of 101 people who had experienced the detection algorithm for orange juice, 55 were paying attention to some kind of taste quality. Thus, it is possible that the algorithm will be able to target other foods.

Key Words : Taste palatability, Elo rating, Taste sensor, Food selection

1. はじめに

現代社会において、消費者の美味しさに対する欲求は増すばかりである。しかし、実際においしさに対して明確な指標を持つことは難しく、またそれを具現化することも難しい。一般消費者に対して、おいしいものを提供することや、より多くの消費者に購入してもらうことを念頭に、食品メーカー、流通、小売業などの食品関連企業では製品開発および情報提供を行っている。また製品開発においては、材料の選定からレシピの作成、消費者が食するシーンの設定、品質管理までもが考慮されている。さらに食品の官能検査も実施され、取得された評価結果は新商品の開発および広報・PRに用いられている。

学術的研究においても、食品への嗜好性に関する研究は多数行われており、おいしさの評価手法が検討されている。しかし、官能評価については、パネリストの体調・気分・環境の影響を受けることから、再現性の問題などが指摘されている⁽¹⁾。またパネリストが一般消費者である場合、「味の評価」に関する訓練された能力を有していないため、真に食品の評価を行えるかといった問題点も指摘されている^(2,3)。

著者は、これまでの研究において、個人における好みの味による食品の嗜好順位化に関するアルゴリズム(以後、「順位化アルゴリズム」)を提案してきた^(4,5,6)。このアルゴリズムでは、以下の手順で食品の嗜好順位化が行われる：(1)ある食品カテゴリーの中から2つの食品を選定し、提示する。(2)パネリストは、提示された2つの食品の中から好みの味を呈する食品を選んで回答する。(3)食品の組み合わせの数に応じて(1)-(2)を繰り返す。(4)回答結果に基づいて各食品の味に対する嗜好性を点数化した後、選択に用いた全食品の嗜好順位を決定する。先行研究⁽⁴⁾では、一般消費者を対象に市販の緑茶飲料を用いた実証実験を行い、取得した回答に順位化アルゴリズムを適用することにより、各パネリストにおける市販緑茶の嗜好順位化に成功した。一方、食品の味を評価するツールとして発明された味覚センサ(マルチチャネル膜電位計測型味覚センサ)は、味の客観的な計測を可能するものである^(7,8)。このセンサは、化学物質自体の特徴を示す分析機器とは異なり、受容部に生体膜の構成成分である脂質を用いることによって、味の評価を出力する装置である。12種類の味質に対応したセンサにより、食品の味を分解して表現・数値化でき、総合的に味の測定が可能となる。「順位化アルゴリズム」に、試飲による好みの味の選択を取り入れ、前述の味覚センサによって測定された味数値データを組み合わせることで、好みの味質検出アルゴリズムを構築し、実証実験調査を行なった^(4,5)。試飲を行ない、実際に市販緑茶を味わった結果、好みの味の緑茶を選択することによって、銘柄・イメージではなく、本当の意味での好み

*¹ 情報ネットワーク工学科
平成28年10月5日受理

の味の緑茶の順位が表出され、それに沿った好みの味質の検出を行なうことができた。この研究では、「より好ましい食品の味は、最も好ましい食品の味に近い」という仮説に基づき、各パネリストが食品の好みの味を判断する上で基準としている味質を検出するためのアルゴリズムを提案した。パネリストは、評定に用いるすべての食品間において、好みの味の食品を選択する二者択一課題を実施するだけであった。なお先行研究^(4,5,6)において、各アルゴリズムは、Microsoft 社の Visual Basic Editor を用いて構築した。

以上をふまえて、本研究では市販のオレンジジュースを用いて、好みの味質検出アルゴリズムを実施することを目的とする。市販のオレンジジュースは先行研究で行なった市販緑茶よりも味がはっきりしており、被験者にとっては好みもはっきりしていると考えられる。本アルゴリズムが様々な食品カテゴリーで対応可能なものであるかを検証するために、先行研究と同様の実証実験を行ない、そこで得られた嗜好性データをもとに、可能性について論じる。

2. 好みの味順位化アルゴリズムについて

順位化アルゴリズム⁽⁴⁾は、パネリストが評定に用いるすべての食品間で好みの味の優劣を判断する二者択一課題を実施することにより各食品を点数化し、最終的に食品の嗜好順位を決定するものである。食品の点数化には、Elo Rating を用いた。Elo Rating は、元々対戦型ゲームで用いられる2プレイヤー間の実力を相対的に計算する方法である。各プレイヤーが対戦前に持っている点数と勝敗結果によって、新たな点数が算出される。式(1)に、食品の味に対する優劣判断の結果を受けて変動する食品 A の新たな点数 R'_A の算出式を示す。

$$R'_A = R_A + K(S_A - E_A) \tag{1}$$

上記の式において、 R_A は食品 A と他の食品が比較される前の食品 A の点数、 K は係数、 S_A は好みの味の食品であると選択された結果（食品 A が選択された場合：1、選択されなかった場合：0）、 E_A は食品 A が他の食品に比べて好みの味であると回答される確率を表す。

パネリストが初めて本アルゴリズムを体験する際、すべての食品の初期値を1400とし、 R_A はその初期値を基準に、選択されたまたは選択されなかった回数、また比較対象との Elo Rating 値の関係によって変動する。 E_A は、比較前に食品 A と他の食品 X が持っていた Elo Rating 点数 R_A と R_X の差分の大きさによって変動するものである。係数 K については、一般的な対戦型ゲームでも使用されている $K=32$ を用いた。2つ食品に対して好みの味という基準で優劣をつけることで、各食品の点数は変動する。すべての食品間における優劣判断の結果として算出された Elo Rating 値に基づいて、食品の嗜好順位は決定される。

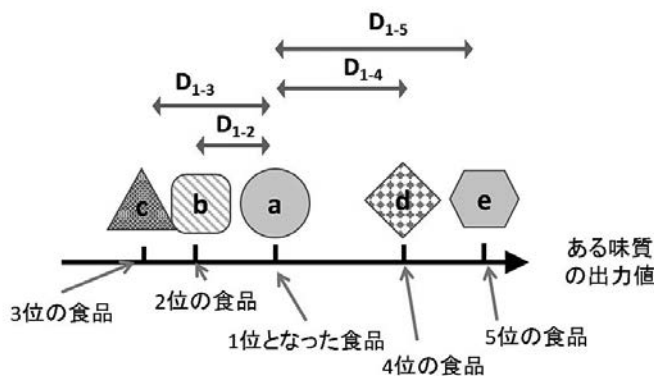


Fig. 1 Diagram of detection algorithm for favorite taste quality.

3. 好みの味質検出アルゴリズムについて

好みの味質検出アルゴリズム⁽⁶⁾は、先述の順位化アルゴリズムによって算出される各食品の Elo Rating から導き出される順位を用いて、それぞれ食品の持つ味数値データを参照・比較し、関係性の成り立ちから、好みの味の食品を選択する上で基準としている味質の検出を行なう。「より好ましい食品の味は、最も好ましい食品の味に近い」との仮説をもとに、アルゴリズムは構築されている。ある個人が最も好みの味を持つ食品として食品 a を認識している場合、食品 b が好みの味の食品かどうかは食品 a の味にどれだけ近いかで判断される。

つまり、食品の順位の関係性は、1位となった食品の味と2位となった食品の味は、その他の順位の商品の味より近

い味である関係が成り立つといえる。その関係性を表出させるために味数値データを適用したアルゴリズムとして、順位化された食品の味数値データを参照し、順位と味の距離を照らし合わせることで、その関係性を検証することができる。

Fig. 1に、好みの味質検出アルゴリズムの概要を示す。これは、ある食品カテゴリー内の5つの食品に対するパネリストの順位化アルゴリズムを適用して得られた順位結果と、味覚センサによって測定された各食品の特定の味質に対する値（味数値データ）を図式化したものである。例えば、順位化アルゴリズムを適用した結果、食品aが最も好みの味を持つ食品となり、2位以下はb, c, d, eという結果となったと仮定する。予め測定された各食品における味数値データの中から特定の味質に対する数値を用い、大きさ順に軸上に並べる。ここで食品aと食品bの味数値の差を D_{1-2} 、食品aとcの差を D_{1-3} 、食品aとdの差を D_{1-4} 、そして食品aとeの差を D_{1-5} とする。前述の仮説をもとにする、パネリストがこの味質を基準に好みの味の食品を判断している場合、 D_{1-2} と D_{1-3} との関係は次のようになる。

$$D_{1-2} < D_{1-3} \tag{2}$$

同様に D_{1-4} と D_{1-5} の関係も考慮すると次のようになる。

$$D_{1-2} < D_{1-3} < D_{1-4} < D_{1-5} \tag{3}$$

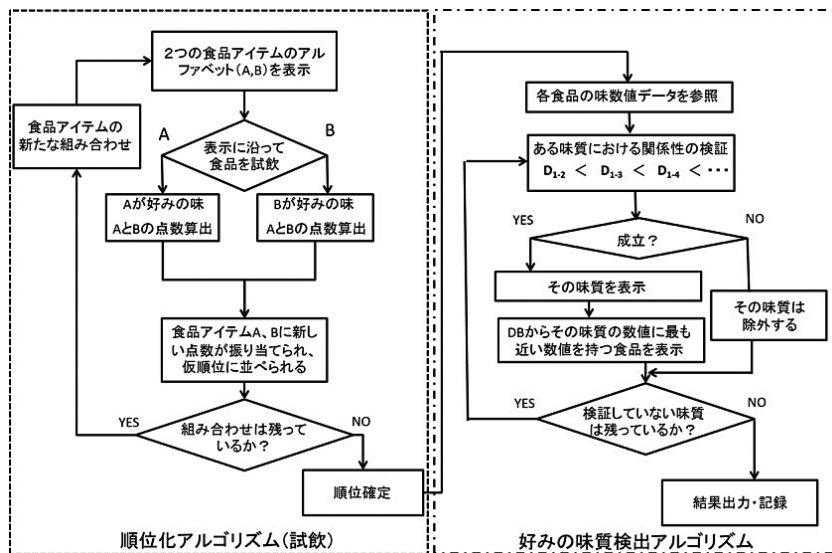


Fig. 2 Flowchart of ranking algorithm and detection algorithm with favorite taste quality.

式(3)の関係が成立した場合、パネリストは好みの味を判断する際の基準としてこの味質を用いている、と決定した。逆に、式(3)の関係が成立しない場合、パネリストはこの味質を好みの味の基準としていない、と決定した。

味覚センサによって測定されるすべての味質で式(3)の関係が成立するか否かを検証することにより、パネリストがどの味質を基準に好みの味を判断しているかを検出した。なお、味覚センサの数値データは(株)味香り戦略研究所にて測定されたものを用いた。

Fig. 2に今回のアルゴリズムを組み合わせたフローチャートを示す。パネリストは、食品のアイテム数に応じた組み合わせで、ランダムに表示された食品アイテムのアルファベットごとに試飲し、好みの味を持つ食品を選択する。その選択より各食品アイテムの点数が算出され、総組み合わせ終了後、食品の味数値データと式(3)の関係性をすべて検証することで、出力として「味質 X を基準に好みの味を選択している」が判定できる。またすべての味質において、式(3)の関係性に当てはまらなかった場合の出力は「味質以外の何かを基準に好みの味を選択している」という判定がなされる。

4. プログラム化した本アルゴリズム

Fig. 3に、今回のアルゴリズム実行時のプログラム画面を示す。Microsoft社のVisual Basic Editorを用いて前述のアルゴリズムのプログラム化を行なった。本プログラムは、まず(A)パネリストの属性アンケート、(B)パネリストの嗜好性（オレンジジュースの購入時のポイント、オレンジジュースのおいしさ評価ポイント）アンケート、(C)パネリストの印象（イメージ）によるオレンジジュースの好みの順位化アルゴリズム、(D)試飲による好みの順位化アルゴリズム、(E)

各順位結果, (F)好みの味質検出アルゴリズムによる結果の流れで作成した. Fig. 3 aでは, ランダムに2つの市販のオレンジジュースのパッケージをPC画面に表示させる. パネリストはそのパッケージを確認してもらい, これまでの印象(イメージ)よりどちらが好みのオレンジジュースであるかを選択する. 今回, 5つの市販のオレンジジュースに対して選択を行ない, 順位化アルゴリズムを経て順位化される. 次にFig. 3 bでは, ランダムに2つのアルファベットをPC画面に表示させる. パネリストには銘柄が分からないように紙コップにアルファベットのみを表示した状態で, 5つのオレンジジュースをテーブルに準備する. パネリストはPC画面に表示されたアルファベットに従って, 二つのアルファベットの紙コップのオレンジジュースを試飲し, 好みの味の優劣を判断させた. パネリストは, 「Aが好き」もしくは「Bが好き」のどちらかを選択し, ボタンをクリックする. 選んだ食品を「優」, 選ばれなかった食品を「劣」とし, アルゴリズム内で算出し, 順位化を行なった.

試飲による好みの味のオレンジジュースの選択が終了すると同時にElo Ratingによって順位が確定する. その順位と食品それぞれの12種類の味質の味数値データを用い, 式(3)の関係性が成立する組み合わせがあるかを, 自動的に検証する. その結果としてFig. 3 cの出力画面が表示される. パネリストの属性データと試飲前の印象(イメージ)による好みのオレンジジュースの順位化アルゴリズム結果(左)と, 試飲によって選択されたオレンジジュースの順位化アルゴリズム結果(右)を表示する. その後, 式(3)の関係性が合致する味質を「あなたの好みの味」として表示する. 好みの味質検出アルゴリズムで, 関係性を見い出せなかった場合には, パネリストが味以外のなにか(香り, パッケージ, CM, 価格など)で順位を判断している可能性があり, その旨を表示するよう設定した. 出力結果は, データベースとして保存し, 集団間の検証に用いることが可能である. なお, 今回の表示画面のデザインに関しては, 「オレンジジュース」のイメージより, 暖色系の色合いをもとに作成している.



Fig. 3 Screen of the ranking algorithm for image and taste, and result screen.

5. 実証実験

2015年7月18日, 8月8日, 8月9日にわたり, 久留米工業大学キャンパス内にて実証実験調査を行なった. 今回, 実証実験に用いた食品として, オレンジジュース A (株ドール), オレンジジュース B (カルピス株), オレンジジュース C (キリントロピカーナ株), オレンジジュース D (株えひめ飲料), オレンジジュース E (株伊藤園) の5つの市販



Fig. 4 Photographs of demonstration experiment.

オレンジジュースを準備した。Fig. 4 に実証実験調査の様子を示す。銘柄を伏せた5種類の市販オレンジジュースを準備し、試飲から二者択一による選択を行なった。パネリストの属性（性別、年代、職業）、味に関する興味（オレンジジュースを購入する際に重視する点、着目しているオレンジジュースの味質）などの質問に回答した。実証実験は無記名式で実施し、十分に倫理的配慮を行った。各オレンジジュースにおける味覚センサの味数値データは、味認識装置Ts-5000Z（㈱インテリジェントセンサーテクノロジー製）によって計測された（Table 1）。この味覚センサでは、12種類の味質（酸味、苦味雑味/薬、苦味雑味/食、渋味刺激、旨味、塩味、にがり系苦味、苦味/薬、苦味/食、渋味、旨味コク、甘味）の味数値データが得られる。なお、味数値データに関しては、㈱味香り戦略研究所（東京）から提供を受けた。

Table 1 Taste date of five commercial orange juices and description of taste quality.

食品アイテム名称	酸味	苦味雑味/薬	苦味雑味/食	渋味刺激	旨味	塩味
A	3.34	-2.08	2.95	0.12	5.98	7.38
B	2.94	-1.97	2.84	0.07	5.82	8.05
C	2.54	-1.92	2.46	0.08	5.56	7.09
D	2.52	-2.03	2.67	0.15	5.47	6.98
E	4.14	-1.90	2.59	0.08	5.87	6.52

食品アイテム名称	にがり系苦味	苦味/薬	苦味/食	渋味	旨味コク	甘味
A	0.85	-1.51	-0.79	-0.42	0.48	1.19
B	0.91	-1.61	-0.73	-0.42	0.57	1.35
C	0.78	-1.65	-0.79	-0.35	0.44	-0.33
D	0.81	-1.96	-0.61	-0.38	0.51	0.08
E	0.96	-1.20	-0.63	-0.30	0.44	3.20

味質名	先味・後味	起因する化学物質と特徴
酸味	先味	クエン酸、酒石酸、酢酸が呈する味
苦味雑味/薬	先味	医薬品、漢方薬に多く見られる塩基性苦味
苦味雑味/食	先味	苦味物質由来で、低濃度ではコク、雑味、隠し味
渋味刺激	先味	渋味物質由来で、低濃度では刺激味、隠し味
甘味	先味	甘味物質由来の味
旨味	先味	アミノ酸、核酸由来の出汁味
塩味	先味	食塩のような無機塩由来の味
旨味コク	後味	持続性のある旨味
にがり系苦味	後味	カルシウム、マグネシウム等のような無機イオン由来の苦味
苦味/薬	後味	医薬品、漢方薬に多く見られる塩基性苦味
苦味/食	後味	一般食品に見られる苦味
渋味	後味	カテキン、タンニン等が呈する味

6. 結 果

今回のアルゴリズムプログラムを体験したパネル数は10代から60代までの101名であった。101名（男性76名、女性25名）のパネルの属性を Fig. 5 に示す。101名のパネルのうち、20代以下が83%を占め、学生がほとんどとなった。

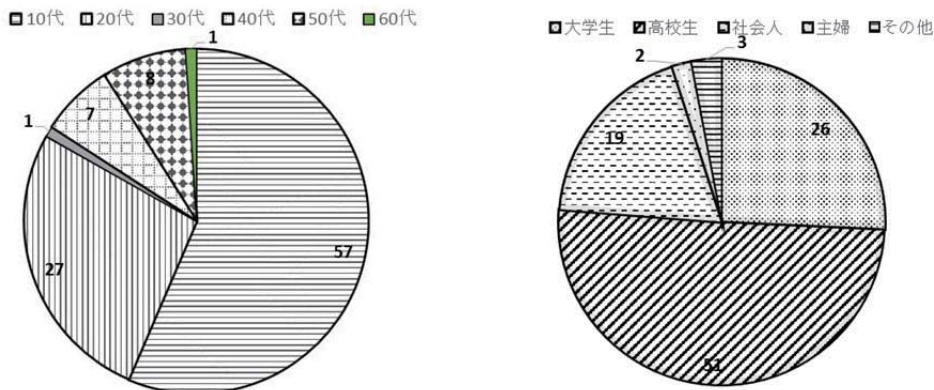


Fig. 5 Attribute of 101 panels.

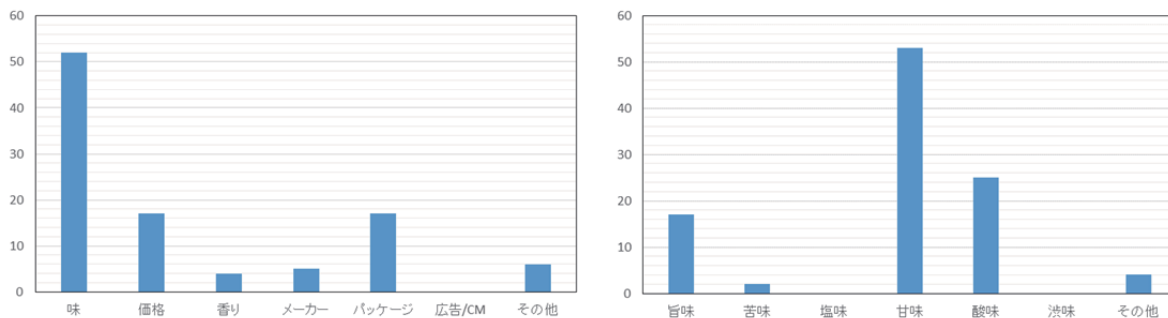


Fig. 6 (left) Fact and (right) taste quality of when I purchase commercial orange juice.

Fig. 6 に101名のパネルが、市販のオレンジジュースを購入する上で考慮する点およびオレンジジュースの味で注目している味についての回答結果を示す。約60%のパネルが、オレンジジュースを購入する上で「味」を考慮しており、味質としては、「甘味」と「酸味」に注目してオレンジジュースの味を判断していた。この結果は、先行研究で行なった「緑茶」を購入する際に考慮する点および注目している味と異なる結果となった。

Table 2 に、パネル101名の順位化アルゴリズムによって算出された各オレンジジュースの Elo Rating 点数の平均を示す。Table 2 a はパネリストの印象（イメージ）により、順位化アルゴリズムを行なった結果の Elo Rating の平均結果であり、Table 2 b は試飲によって、パネリストの判定によって算出された Elo Rating の平均結果である。印象（イメージ）による平均点数から見た好みの順位は、「A」, 「D」, 「C」, 「E」, 「B」の順となった。しかし、試飲によって好みの順位化アルゴリズムを実施した結果、その順位は「B」, 「D」, 「C」, 「A」, 「E」となり、順位が大きく入れ替わったことが分かった。この点については、考察にて触れる。

Table 2 Elo Rating average values and rank results for impression (left) and tasting (right).

食品アイテム	平均値	順位	食品アイテム	平均値	順位
A	1413.30	1	A	1394.82	4
B	1379.26	5	B	1410.39	1
C	1407.43	3	C	1399.08	3
D	1410.95	2	D	1402.62	2
E	1389.04	4	E	1393.09	5

a

b

101名のパネルのうちで、12種類の味質のいずれかを「好みの味」として出力されたパネルは55名であった。Table 3 に好みの味質検出アルゴリズムに合致したパネル55名の内訳を示す。1位から5位までのオレンジジュースの順位が同じパネリスト同士で同じ味質が「好みの味」として出力されているが、味質が2種類以上、出力されている場合が存在する。これはそれぞれの味質で式(3)の関係性が成り立った結果である。また Table 3 の No. 1 から No. 3 は、「苦味/食」の味質に対して式(3)の関係性が成り立ったパネリストが計7名いたが、順位化アルゴリズムによって出力された順位はさまざまであった。Fig. 7 は「苦味雑味/食」の味質に対してオレンジジュース A からオレンジジュース E の味数値を示したものである。あるパネリスト X (Table 3 の No. 4) がオレンジジュース B の持つ「苦味雑味/食」の強さが好みの味として1位となった場合、式(3)の関係性を満足し、「苦味雑味/食」の味質を基準に好んでいることが分かる。一方、あるパネリスト Y (Table 3 の No. 5) の場合、オレンジジュース E が好みの味のオレンジジュースとして1位となった場合も、式(3)の関係性を満足し、同じく「苦味雑味/食」の味質を基準に好みの味を選んでいるが、オレンジジュース E の苦味雑味/食の強度を最も好みの味とし、それから徐々に異なる「苦味雑味/食」味を持つオレンジジュースを選んだ結果である。Table 3 のそのほかの味質のうち、複数の組み合わせが表記されているものは、それぞれで上記の関係性を満足した結果である。このように個々のパネルの味質のこだわりに加え、その強度も味質検出アルゴリズムには影響を与えていることがわかる。

7. 考 察

Table 2 b で集計した101名分の Elo Rating の平均結果をみると、各オレンジジュースの点数の差がわずかとなってい

る。これは試飲によって行われた順位化アルゴリズムの結果が偏らず、各パネリストの好みに従って出力されたことによって、平均点数として近い値になったということである。今回、試飲を行なう前に印象（イメージ）によって選択し、順位化アルゴリズムによって出力された結果（Table 2a）と比較するとオレンジジュース A が最も支持された（29名／101名）。しかし、試飲後の順位化アルゴリズムの結果、オレンジジュース A が1位となったパネリストは15名であった。しかも印象（イメージ）と試飲・選択の結果がともにオレンジジュース A となったパネリストは前述の29名中7名であった。イメージによって選ばれたオレンジジュースと試飲によって選んだオレンジジュースとは隔たりがあった。この要因はオレンジジュースのパッケージやCM、また日常的に手に取って食しているなどの要因によって、パネリストの印象が固定されていた可能性が示唆できる。逆に、試飲をおこない、自らの好みを判断させることによって、本来求められる好みの味のオレンジジュースに気づくことができることも分かった。いずれにしてもパネリストが、実際に商品を購入する際には自分の印象（イメージ）の中で、好みの味のオレンジジュースを選択し、購入することになるため、いかに印象（イメージ）を良くするかは、またその要因は何に起因するものなのかを調査することは、食品産業にとって大きな課題となる。

Table 3 Palatability ranking of the green tea and detected taste quality in 55 panels.

NO.	順位化アルゴリズムによって出力された順位					好みの味質検出アルゴリズムによって出力された味質	人数
	1位	2位	3位	4位	5位		
1	E	D	B	C	A	苦味/食	4
2	D	E	B	A	C	苦味/食	2
3	B	C	A	E	D	苦味/食	1
4	B	A	D	E	C	苦味雑味/食	4
5	E	D	C	B	A	苦味雑味/食	2
6	A	B	D	E	C	苦味雑味/食	1
7	B	A	C	D	E	塩味	4
8	A	C	D	B	E	塩味	1
9	E	D	C	A	B	塩味	1
10	D	C	A	E	B	塩味	1
11	B	C	D	E	A	苦味雑味/薬	3
12	C	E	B	D	A	苦味雑味/薬	1
13	E	C	B	D	A	苦味雑味/薬	1
14	C	D	B	A	E	酸味 A	3
15	C	D	A	B	E	にがり系苦味・甘味	3
16	D	C	A	B	E	にがり系苦味・甘味	1
17	A	E	B	C	D	旨味	2
18	E	D	B	A	C	旨味	1
19	B	E	A	C	D	旨味	1
20	C	B	A	D	E	苦味/薬	2
21	A	B	C	E	D	苦味/薬	1
22	E	A	B	C	D	酸味 A・苦味/薬	2
23	B	C	A	D	E	酸味 A・苦味/薬	2
24	E	C	B	A	D	渋味刺激	1
25	B	E	C	A	D	渋味刺激	1
26	C	E	B	A	D	渋味刺激	1
27	B	D	A	C	E	旨味コク	1
28	D	A	C	B	E	旨味コク	1
29	D	A	B	E	C	旨味コク	1
30	A	B	D	C	E	渋味・甘味	1
31	A	D	C	E	B	旨味コク・渋味刺激	1
32	A	D	B	C	E	にがり系苦味・苦味雑味/薬	1
33	D	E	B	C	A	苦味/食・苦味雑味/食	1
34	D	A	B	C	E	苦味雑味/薬・旨味コク	1

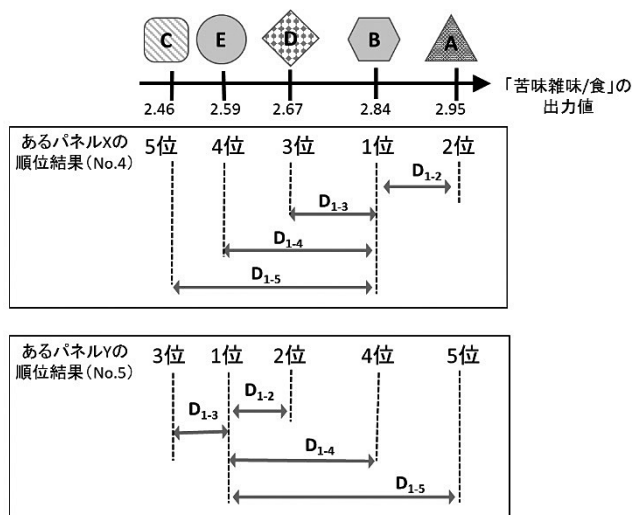


Fig. 7 Numerical relations of ranking result and astringency taste of the commercial orange juice in a certain panel.

8. まとめ

本研究において、「順位化アルゴリズム」と試飲による好みの味の選択を取り入れ、味数値データを組み合わせることによって、好みの味質検出アルゴリズムを構築し、実証実験調査を行なった。試飲を行ない、実際に市販オレンジジュースを味わった結果、好みの味のオレンジジュースを選択することによって、銘柄・イメージではなく、本当の意味での好みの味のオレンジジュースの順位が表出され、それに沿った好みの味質の検出を行なうことができた。先行研究で行なった市販緑茶と今回行なったオレンジジュースでは、出力される味質も異なり、食品カテゴリー毎に味質の評価がパネリスト・消費者は変化することが分かった。

本研究では、「より好ましい食品の味は、最も好ましい食品の味に近い」という仮説に基づき、各パネリストが食品の好みの味を判断する上で基準としている味質を検出するためのアルゴリズムを提案している。パネリストは評定に用いるすべての食品間において、好みの味の食品を選択する二者択一課題を実施するだけであった。従って、従来の官能評価で行われているような味質に関する専門的な知識を要する質問に回答する必要はなかった。5種類の市販オレンジジュースを用いて行われた、好みの味質検出アルゴリズムの実証実験において、好みの味を判断する上で基準としている味質が決定されたパネリストは101名中55名であった。

好みの味質検出アルゴリズムによって出力された結果より約半数のパネリストが前述の仮説をもとに、ある味質を基準に好みの味のオレンジジュースを選択していることがわかった。試飲による順位化アルゴリズムを実施したことによって「イメージ」以上に「味」にフォーカスした調査結果となったといえる。また味質だけでなく、好みの味の強度も間接的に視覚化できた。アイテム数を増やしていくことによって、より細かく好みの味強度を視覚化されることが期待でき、さらに結果のデータベース化と本アルゴリズムの手軽さの向上により、日常的に好みの味の食品のデータを集積・蓄積することによって、新しい嗜好性評価ツールになる可能性を秘めている。同じ食品を食した場合、食品の製造年月日やロット、状態による味の変化によって、本アルゴリズムの結果も影響する場合も考えられるが、パネリスト自身の体調、気分、環境でも結果に影響を与えられ、今後も検討していく必要がある。

食品を提供する側にとって、パネリストの味の嗜好性の検出は個々に提供すべき味が明示されることになるため、本提案がマーケティング・商品開発の重要なツールとなる可能性が示された。また、本アルゴリズムはスマートフォンやクラウドコンピューティングを駆使することにより、より大規模な調査に利用可能であり、強力な嗜好性調査ツールとしての活用も期待できる。個人における種々の食品に対しての出力結果を集積することにより、食品全体に対する個人の味の嗜好性も視覚化できると考えられる。

謝 辞

アンケート調査、集計に尽力いただいた久留米工業大学情報ネットワーク工学科の上野ほのか氏、小淵徳子氏、貞許有希氏、下田麻耶氏に感謝致します。また味数値データおよび研究に協力いただいた(株)味香り戦略研究所に感謝致しま

す.

本研究は JSPS 科研費26750032の助成を受けたものです.

文 献

- (1) 相良泰行, “食感性モデルによる「おいしさ」の評価法,” 日本食品化学工学会, 56, pp.317-325, 2009.
- (2) 山口和子, 高橋史人, “食品の嗜好に関する研究 (第2報),” 調理科学, 15, pp.44-53, 1982.
- (3) 大富あき子, 田島真理子, “現代の女子大学生の食物に対する嗜好と味覚感受性の関係について,” 日本家政学会誌, 36, pp.395-400, 2003.
- (4) 江藤信一, “好みの味の食品の順位化アルゴリズムの構築と味の嗜好性の視覚化の可能性,” 久留米工業大学研究報告, 36, pp.71-78, 2013.
- (5) 江藤信一, “味の嗜好性評価結果と好みの味順位化アルゴリズムの順位結果との関係性の検証,” 久留米工業大学研究報告, 37, pp.55-60, 2014.
- (6) 江藤信一, “好みの味質検出アルゴリズムの Android アプリ,” 久留米工業大学研究報告, 38, pp.21-26, 2015.
- (7) K. Toko, “Biomimetic Sensor Technology,” Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- (8) S. Etoh, L. Fen, N. Nakashi, K. Hayashi, A. Ishii and K. Toko, “Taste sensor chip for portable taste sensor system,” Sensors and Materials, 20, pp.151-160, 2008.

〔論 文〕

母音の口唇動作の2次元数理モデルによる CGアニメーションの自動生成

河野 央^{*1}・秋山 侑也^{*2}・小田まり子^{*3}

Automatic CG Generation of Vowel Lip Movement Based on a
Two-Dimensional Mathematical Model

Hiroshi KONO^{*1}, Yuya AKIYAMA^{*2} and Mariko ODA^{*3}

Abstract

This study of computer graphics focused on the automatic generation of lip movement CG animation for teaching materials in a learning system for hearing-impaired students. A feature of this study is the clearer defining of the pronunciation of Japanese vowels not mathematically well defined as a two-dimensional mathematical model. Using parts of individual faces as a reference for defining the mathematical model, we applied our method to various individual faces.

As hearing-impaired children practice speech by imitating a pronunciation, we have created a CG animation of lip movement as a role model. We created conventional teaching materials manually using CG software, but their production time depended on the skill of the animators. However, it is possible to save a significant amount of time by automatically creating animations. For creating models, we shortened the time to create a face shape for a learner using the shrink wrap method. In this deformation, a template mask matches the target face based on the shortest distance. For animation, to define the lip movement of vowels, we measured lip movement videos from multiple speaker models to derive their commonalities, expressed as a two-dimensional mathematical model.

Key Words : CG Animation, Lip Movement, Mathematical Model, Automatic Generation

1. 研究の背景

聴覚障がい児の発音教育の一つとして、教師の口の動きを観察して真似しながら発音の練習を行う方法がある。小田ら⁽¹⁾が開発した見真似発音練習システムでは、聴覚障がい児が自分の顔のそっくりなお手本のCGアニメーションと、Webカメラを通して撮影されている自分の口の動きを、並列に見ながら発音練習ができるシステムである。従来の別人によるお手本ではなく、自分の顔のCGがお手本であるため、学習者の意欲や効果が明確であった。

しかしながら、このシステム上の教材である口唇動作CGアニメーションは、3DCGソフトウェアを利用して手作業で個々の学習者毎に作成をする必要があった。そのため教材制作者の技量によって、制作時間やCGアニメーションの質が左右されるという問題があった。

本研究では、この口唇動作CGアニメーションを自動作成するために、日本語の母音の発音時の口唇動作を数理モデル化しパラメータにより制御することで、CGアニメーションを自動作成することを目指した。

2. 関連研究および本研究の着目点

口唇形状を正しく作ることが、子音の後に続く母音をはっきりすることにつながり⁽²⁾、母音を訓練することで発音が大きく改善される⁽³⁾。発音習得の分野では、口唇をどのような形状にすればよいのかについて慣習的には定義・モデルは存在するが、数理的なモデルについては言及されていない。

^{*1} 情報ネットワーク工学科, ^{*2} 株式会社ジェイフィット, ^{*3} 羽衣国際大学現代社会学部
平成28年10月24日受理

また、口唇動作のCGアニメーションの関連分野としてリップシンクの分野が挙げられる。しかしながら、多くの論文では、口唇動作による発音の認識が論点であり、日本語の母音単体の発音時の口唇を数理的にどのような形状にすればよいのかについては定義していない。これは、口唇の動きや形状には個人差が存在していることが理由の一つだと考えられる。

したがって、個人差のある口唇動作を一般的な数理モデルとして定義できれば、様々な学習者に対応できる口唇動作を系統的に作成することが可能になると本研究では考えた。

3. 研究の目的

本研究では、母音の発音時の口唇形状を2次元数理モデルとして定義し、それを3DCGに適用することで自動的に学習者の口唇動作のアニメーションを作成することを目的とする。特に、口唇動作は個人差があるため、顔の部位の長さを基準とした数理モデルとして一般化し表現することで、学習者の顔の個人差に対応できる口唇動作CGアニメーションの自動作成を行う。

4. 研究の方法

本研究では、図1のようなフローチャートに従って研究を進める。はじめに、口唇動作をする顔形状モデルの作成方法について検討する。次に、口唇動作のモデル化を行う。ここでは、お手本となる口唇動作の観察および測定により、口唇動作の特徴を数量的に抽出する。それらから共通点を見出し、数理モデルとして表現する。最後に、口唇動作の数理モデルを顔形状モデルに適用し、口唇動作CGアニメーションを自動生成する。

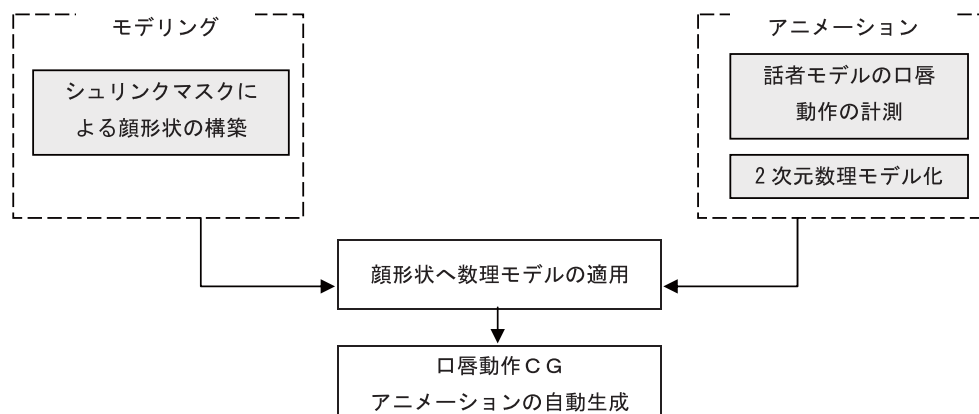


図1 研究方法のフローチャート

5. 顔形状のモデリングについて

顔形状モデルにアニメーションをつける場合、表情の変化に合わせた表情皺を表現したり、さまざまな部位を自然に変形させたり必要がある。そのため、モデリングでは、このような自然な変形にスムーズに対応できるようにジオメトリのデータ構造（ポリゴンの配置等）に配慮しなければならない。例えば、Catmull-Clark法⁴⁾を基にしたポリゴン曲面の生成では、トポロジー問題は経験的な手法で対処することが一般的である。

顔形状のモデリング手法は様々な方法が存在し、イメージベースドモデリングや3Dスキャナのようなデジタイザを用いて自動的に生成する方法、ソフトウェアを利用し手入力で生成する方法が代表的である。前者は、即座に顔形状を得られるが、そのデータのポリゴンの配置構造は一般にはアニメーションに適しているとは言い難い。後者は、1つ1つ手作業でポリゴンモデルを使用して塑像や彫刻に似た感覚で作成していくため、制作者側に技術や経験が求められる問題がある。

そこで、本研究では、予めアニメーションを考慮したポリゴン配置に対応可能な顔形状のテンプレート（マスク）を用意し、デジタイザで得た学習者の顔形状を基に再びモデリングする方法を取った。

5・1 シュリンクマスク方式

シュリンクラップモデリングは、リトポロジーを目的とした一般的なモデリング方法としても利用されている。これは、食品包装のシュリンクラップのようにモデル形状を目的の形状に合わせて収縮密着させて変形する経験的手法であり、各種3D-CGソフトウェアにも実装されている。しかし、顔の形状においては、アニメーションによる変形が発生するため、適切なポリゴン構造を持つ必要がある。このポリゴン構造には、経験的なモデリング知識が求められる。そのため、あらかじめ適切なポリゴン構造を有するマスク状のジオメトリを用意し、それをシュリンクラップするモデリング方式を利用して、顔形状を作成する。これをシュリンクマスク方式と定義する。

このシュリンクマスク方式では、はじめに、表情筋配置を参考にしたパラメトリック曲面によるマスクをソフトウェアで作成する。このマスクは、図2のような表情筋の配置に沿ったポリゴン構造を有する。次に、デジタイザによる計測で得た学習者の顔形状にマスクのように上から密着つまりシュリンクさせる(図3-1および図3-2)。最後に、マスクを取り外すとそのマスクが目的の顔形状に一致したジオメトリが得られる(図3-3)。

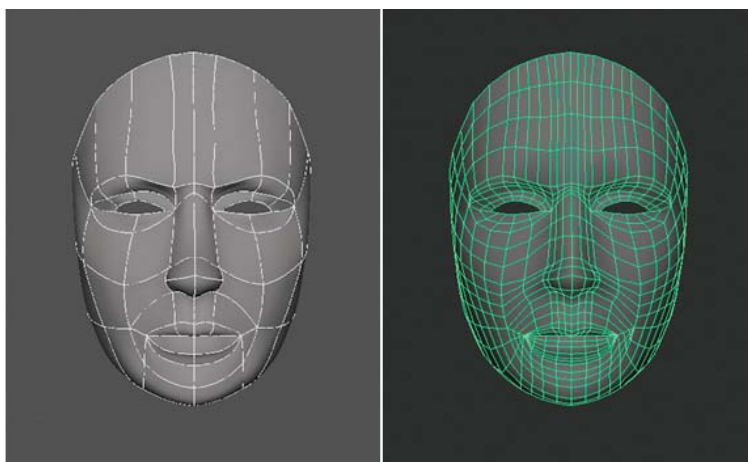


図2 シュリンクマスクに用いるマスクデータ
(左：パラメトリック曲面，右：ポリゴンメッシュ)

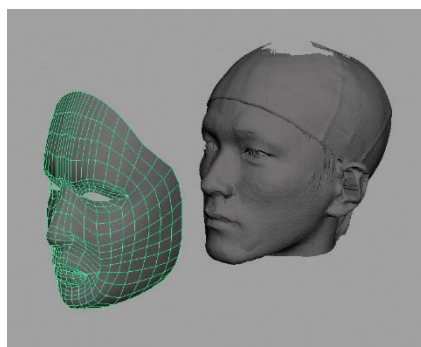


図3-1 マスク(左)と
ターゲット形状(右)

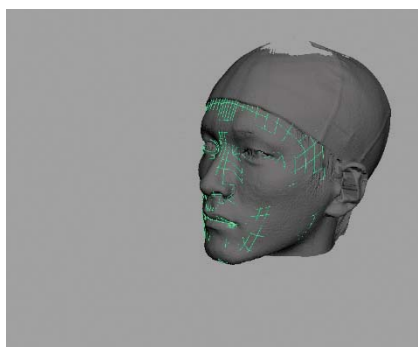


図3-2 シュリンク実施

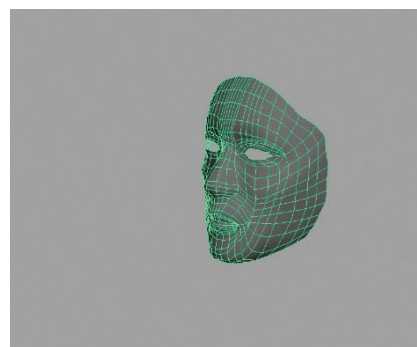


図3-3 変形後のマスク形状

図3-2の工程では、マスク形状の任意の点 $P=(x, y, z)$ とし、点 P がターゲット先のどの点に合致するのかを決定する。ターゲット先であるジオメトリは、デジタイザによって採取された点群データで N 個の点を持つとする。この N 個の点群を $Q_i=(x_i, y_i, z_i)$, $i \in N$ とする。 P と Q_i の2点間の距離を d とする。

$$\min d(P, Q_i) \tag{1}$$

を満たす Q_i を求め







$$P=Q_i \tag{2}$$

とする。つまり、点 P が最短距離の点 Q_i に移動する。これをマスク全ての点が行うことによりターゲット先であるデジタイザのジオメトリに密着したマスク形状が得られる。

5・2 シュリンクマスク方式によるその他の顔形状の作成

この方法を基に、異なるモデルの顔形状を作成した例を表1に示す。これらのデータは異なる形状であるが、トポロジーは同じであり、パラメータ変数を制御することで、一つのアニメーションを異なる顔形状間で同時に適用させることができる。

表1 シュリンクマスク方式による顔形状の作成例

	モデル A	モデル B	モデル C
デジタイザ による形状			
シュリンクマスク による形状			

6. 口唇動作の計測

個々の学習者ごとにお手本となる口唇動作CGアニメーションを自動生成する。母音発音時に、口をどのようにどれくらい動かせばよいのかという点については個人差があり、定義されていない。そのため、数理モデルでの定義を検討し、それをCGに適用する。口唇動作の数理モデル作成において考慮すべき点は、口唇動作を行う顔形状モデルは個々の学習者別に異なり、それぞれが特徴を持った形状ということである。様々な形状に対応できる数理モデルでは、数値を絶対値で扱わずに、学習者の顔の部位を基準とし、それに対する相対値で扱う必要がある。本研究では、(1)母音の口唇動作の計測 (2)計測結果の分析に基づく数理モデル化 (3)数理モデルに基づいた3DCGアニメーションの自動生成、の3つの過程で行う。



図4 発音「あ」の正同定100%の話者モデル

始めに、各母音「あいうえお」の口唇動作が正同定された話者の画像を用意する。正同定とは、第3者に口唇動作を正しく同定される、例えば、話者による「あ」の動作が第3者によって「あ」と認識される割合が100%のことをいう。ここでは、口唇動作「あ」を用いて、説明する。

図4は、正同定100%モデルの例である。同じ共通の動作であっても、顔の形状はそれぞれ異なるために、動作量には個人差がある。これらの正同定モデルの計測を通して動作量を数量的に抽出し、顔の部位を基準に相対化することを試みる。

計測にあたっては、美術解剖学⁶⁾で用いられる口唇の7つの計測基準点(図5)を基本とし、母音毎に計測を行う。

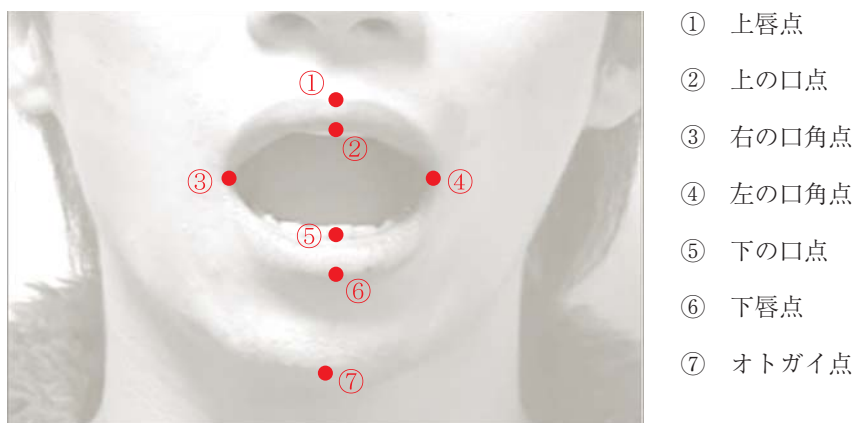


図5 口唇動作の美術解剖学に基づいた計測基準点

これらの計測基準を基に、表4の正同定モデルの口唇動作「あ」を計測した結果が表2である。計測対象については、動画像を観察して、以下の項目を主に設定した。唇の横幅：③と④の距離、上唇の厚さ：①と②の距離、下唇の厚さ：⑤と⑥の距離、唇の高さ：通常時の①と⑥の距離、開口の高さ：発音時の②と⑤の距離、顎の距離：口角点を結んだ基準線からオトガイ点までの距離、を表している。

表2の実測値は、計測した動画像の画素値から換算した距離である。これには個人差や計測時の環境の差も含まれているため、絶対値として扱おうと話者モデル間の共通性を把握することができないが、口唇動作をする前の通常時を基準とし、発音の口唇動作における最大の変化時を相対的に表せば、個人の顔形状による違いや計測時の差は無視すること

表2 発音「あ」における通常時と発音時の計測結果(単位: mm 換算値)

モデル		唇の横幅	上唇の厚さ	下唇の厚さ	唇の高さ	開口の高さ	顎の距離
1	通常時	80	7.8	9.5	20	-	69.9
	発音時	80	11.6	13.8	70	42.3	85.4
2	通常時	58.8	7.4	6.7	15.9	-	55.7
	発音時	57.2	7.1	11.3	39.9	20.1	58.9
3	通常時	68.2	10.2	8.8	22.2	-	66.0
	発音時	72.1	9.5	12.7	51.9	26.5	74.4
4	通常時	61.9	9.2	9.9	21.9	-	54.0
	発音時	66.6	8.8	14.8	45.9	21.9	62.4
5	通常時	67	14.5	14.1	30.7	-	67.7
	発音時	69	14.5	14.8	56.8	27.2	70.9
6	通常時	60	11.6	15.2	27.2	-	62.8
	発音時	60.4	9.9	14.1	54.3	27.2	68.1
7	通常時	61.5	10.6	10.6	22.6	-	65.6
	発音時	61.1	11.3	12	46.2	23.6	69.5
8	通常時	73.7	12	12	24.3	-	68.4
	発音時	65.1	10.6	14.1	47.6	23.3	74.8

ができると考えた。

そこで、通常時と発音時を相対値で表現したところ、いくつかの計測箇所については、動作の共通性が数値的に把握することが可能となった。その例を表3に示す。

表3 発音「あ」における相対的な変化量の倍率

モデル	横幅の変化倍率	開口の変化倍率	顎の変化倍率
1	1.000	3.500	1.221
2	0.972	2.509	1.057
3	1.057	2.337	1.127
4	1.075	2.095	1.155
5	1.029	1.850	1.047
6	1.006	1.996	1.084
7	0.993	2.044	1.059
8	0.883	1.958	1.093
平均	1.002	2.286	1.105
中央値	1.003	2.070	1.088
標準偏差	0.055	0.500	0.056

表3において、横幅の倍率とは、通常時の唇の横幅を1とした場合、発音時の横幅の倍率を表している。ほとんどの話者モデルに目視で確認できるほど変化が見られないので、母音「あ」の発音時には、唇の横幅は変化しないと仮定する。次に、開口の倍率とは、通常時の唇の高さを1とした場合、母音発音の最大変化時の倍率を表したものである。表3より、変化後の画像が変化前の画像から平均で2.28倍変化しているが話者モデル1が一人だけが大きく違うために、中央値を用いて発音時には唇の高さを2.07倍にすると仮定した。さらに、顎の倍率については、左右の口角点を結んだ基準線からオトガイ点までの距離を基に表したものである。全ての話者モデルで開口に伴い顎が移動する。表3の平均値より、オトガイ点を通常時よりも1.1倍の距離になる位置まで下げると仮定する。

このように、通常時の顔の部位を基準とし、母音発音時の変化の大きさを相対的に表現することで、発音動作の個人差の影響を少なくしながら、共通性のある動作として仮定できる要素があることが分かった。また、他の母音発音「い・う・え・お」についても、共通性のある要素を相対表現にて抽出することができた(表4)。

表4 発音「あ・い・う・え・お」における相対的な変化量の倍率

母音	横幅の変化倍率	開口の変化倍率	上唇の変化倍率	下唇の変化倍率	顎の変化倍率
あ	1.00	2.07	N/A	N/A	1.11
い	1.11	1.60	0.92	N/A	N/A
う	0.84	1.54	1.27	1.25	N/A
え	1.89	1.93	N/A	1.11	1.10
お	0.84	1.61	1.12	1.32	1.10

7. 口唇動作の2次元数理モデル化

表3および表4に基づいて、口唇の計測基準点の変化を基に、シュリンクマスクの頂点の動きを数理モデル化する。例えば、図3の上唇点①について、左右の横方向を x 軸、縦方向を y 軸とし、図6のように通常時の座標を (x_1, y_1) 、最大変化時を (x'_1, y'_1) とする。他の計測点についても同様に座標値を横方向 x_2, \dots, x_7 、縦方向 y_2, \dots, y_7 とする。次に、表3の倍率を使って、最大変化時の計測基準点の位置を表現する。図3の①と⑥の距離、すなわち通常時の口のの高さを MH 、図3の③と④を結ぶ直線と⑦の距離を JH とする。

例えば、発音「あ」の開口について説明をする。通常時は $MH=y_1-y_6$ であるが、変化時の MH' の距離は、表3より MH のおよそ2倍、差分である MH だけ開くこととなる。上唇点は上方向、下唇点は下方向に移動するため、これらの位置の変化量が合計で MH となればよい。従って、 $y'_1=y_1+0.5*MH$ 、 $y'_6=y_6-0.5*MH$ と定義すると $MH'=y'_1-y'_6$

であるので、 $MH' = 2MH$ となることが確認できる。

また、開口に伴う顎の位置が下方に移動する量については、オトガイ点を通常時の1.1倍の位置まで下げればよい。 $JH' = JH + 0.1 * JH$ とすれば、オトガイ点の移動量は差分である $0.1 * JH$ と定義できる。このように発音「あ」の各計測点の変化前後についての座標を定義すると表5のようになる。

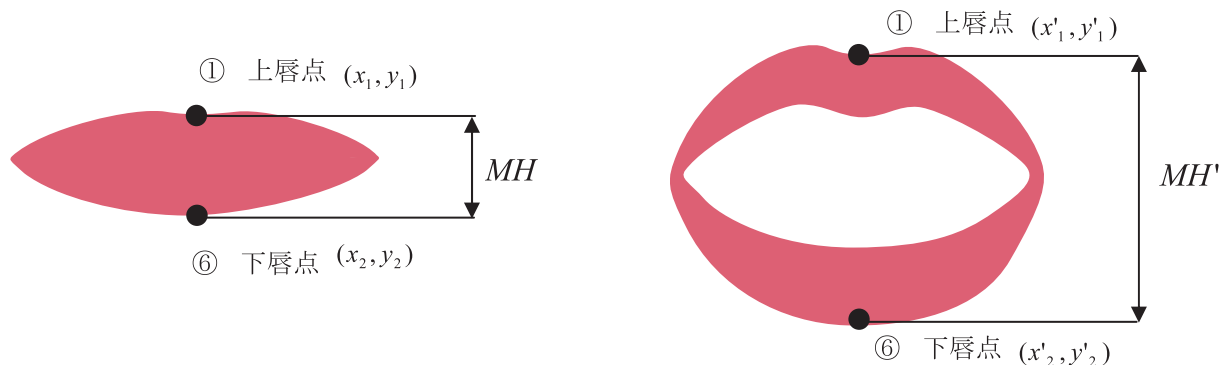


図6 発音「あ」における開口の高さの関係

同様に、他の母音についても、各計測点の移動方向（上下左右）を考慮しながら、表4の変化量となるように計測点の変化後の座標を定義していく。発音「い」については、表4より横幅の変化量、口の高さの変化量、上唇の変化量に着目し計測点の座標を定義する。 MW は口の横幅、すなわち図5の③と④の距離を表す。 UH は上唇の厚み、すなわち図5の(1)と(2)の距離を表す。発音「う」については、表4より横幅の変化量、口の高さの変化量、上唇の変化量、下唇の変化量に着目し計測点の座標を定義する。 BH は下唇の厚み、すなわち図6の(5)と(6)の距離を表す。発音「え」については、表4より横幅の変化量、口の高さの変化量、下唇の変化量、顎の変化量に着目し計測点の座標を定義する。発音「お」については、表4より横幅の変化量、口の高さの変化量、上唇の変化量、下唇の変化量、顎の変化量に着目し計測点の座標を定義する。

これらの結果より、「い・う・え・お」の発音の変化前後における計測点の座標を数理モデル化したものを表6から表9に示す。なお、係数は表3および4の倍率を四捨五入している。

表5 発音「あ」における計測点の座標式

① 上唇点	横座標	$x'_1 = x_1$
	縦座標	$y'_1 = y_1 + 0.5 * MH$
② 上の口点	横座標	$x'_2 = x_2$
	縦座標	$y'_2 = y_2 + 0.5 * MH$
③ 右の口角点	横座標	$x'_3 = x_3$
	縦座標	$y'_3 = y_3$
④ 左の口角点	横座標	$x'_4 = x_4$
	縦座標	$y'_4 = y_4$
⑤ 下の口点	横座標	$x'_5 = x_5$
	縦座標	$y'_5 = y_5 - 0.5 * MH$
⑥ 下唇点	横座標	$x'_6 = x_6$
	縦座標	$y'_6 = y_6 - 0.5 * MH$
⑦ オトガイ点	横座標	$x'_7 = x_7$
	縦座標	$y'_7 = y_7 - 0.1 * JH$

表6 発音「い」における計測点の座標式

① 上唇点	横座標	$x'_1 = x_1$
	縦座標	$y'_1 = y_1 + 0.3 * MH$
② 上の口点	横座標	$x'_2 = x_2$
	縦座標	$y'_2 = y_2 + 0.04 * UH + 0.3 * MH$
③ 右の口角点	横座標	$x'_3 = x_3 - 0.055 * MW$
	縦座標	$y'_3 = y_3$
④ 左の口角点	横座標	$x'_4 = x_4 + 0.055 * MW$
	縦座標	$y'_4 = y_4$
⑤ 下の口点	横座標	$x'_5 = x_5$
	縦座標	$y'_5 = y_5 - 0.3 * MH$
⑥ 下唇点	横座標	$x'_6 = x_6$
	縦座標	$y'_6 = y_6 - 0.3 * MH$
⑦ オトガイ点	横座標	$x'_7 = x_7$
	縦座標	$y'_7 = y_7$

表7 発音「う」における計測点の座標式

① 上唇点	横座標	$x'_1 = x_1$
	縦座標	$y'_1 = y_1 + 0.27 * MH$
② 上の口点	横座標	$x'_2 = x_2$
	縦座標	$y'_2 = y_2 + 0.27 * MH - 0.135 * UH$
③ 右の口角点	横座標	$x'_3 = x_3 + 0.08 * MW$
	縦座標	$y'_3 = y_3$
④ 左の口角点	横座標	$x'_4 = x_4 - 0.08 * MW$
	縦座標	$y'_4 = y_4$
⑤ 下の口点	横座標	$x'_5 = x_5$
	縦座標	$y'_5 = y_5 + 0.125 * BH - 0.27 * MH$
⑥ 下唇点	横座標	$x'_6 = x_6$
	縦座標	$y'_6 = y_6 - 0.27 * MH$
⑦ オトガイ点	横座標	$x'_7 = x_7$
	縦座標	$y'_7 = y_7$

表8 発音「え」における計測点の座標式

① 上唇点	横座標	$x'_1 = x_1$
	縦座標	$y'_1 = y_1 + 0.45 * MH$
② 上の口点	横座標	$x'_2 = x_2$
	縦座標	$y'_2 = y_2 + 0.45 * MH$
③ 右の口角点	横座標	$x'_3 = x_3 - 0.025 * MW$
	縦座標	$y'_3 = y_3$
④ 左の口角点	横座標	$x'_4 = x_4 + 0.025 * MW$
	縦座標	$y'_4 = y_4$
⑤ 下の口点	横座標	$x'_5 = x_5$
	縦座標	$y'_5 = y_5 + 0.055 * UH - 0.45 * MH$
⑥ 下唇点	横座標	$x'_6 = x_6$
	縦座標	$y'_6 = y_6 - 0.45 * MH$
⑦ オトガイ点	横座標	$x'_7 = x_7$
	縦座標	$y'_7 = y_7 - 0.1 * JH$

表9 発音「お」における計測点の座標式

① 上唇点	横座標	$x'_1 = x_1$
	縦座標	$y'_1 = y_1 + 0.305 * MH$
② 上の口点	横座標	$x'_2 = x_2$
	縦座標	$y'_2 = y_2 + 0.305 * MH - 0.06 * UH$
③ 右の口角点	横座標	$x'_3 = x_3 + 0.08 * MW$
	縦座標	$y'_3 = y_3 - 0.1 * JH$
④ 左の口角点	横座標	$x'_4 = x_4 - 0.08 * MW$
	縦座標	$y'_4 = y_4 - 0.1 * JH$
⑤ 下の口点	横座標	$x'_5 = x_5$
	縦座標	$y'_5 = y_5 + 0.16 * BH - 0.305 * MH$
⑥ 下唇点	横座標	$x'_6 = x_6$
	縦座標	$y'_6 = y_6 - 0.305 * MH$
⑦ オトガイ点	横座標	$x'_7 = x_7$
	縦座標	$y'_7 = y_7 - 0.05 * JH$







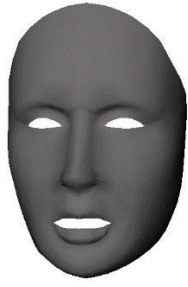








8. CGアニメーションの自動生成

前章で定義した2次元数理モデルを基に、3次元顔形状の制御点を動かし、母音発音の口唇動作のアニメーションを自動生成する。図2のパラメトリック曲面の各制御点を、第5章の計測点に合わせて点群化し、その点群の位置を表5から表9に示した2次元数理モデルに従って、水平垂直方向に対して手続的にアニメーションさせる。本研究ではAutodesk社 Maya及びスクリプト言語 MELにてプロシージャルアニメーションを行った。

自動作成されたアニメーション結果を表10に示す。他の学習者の顔形状へ同様に適用できることを確認するため、同じ数理モデルを適用してアニメーションさせている。全てのモデルは図2のパラメトリック曲面が元になっているため、異なる顔形状であっても同じトポロジーを有しており、同じ数理モデルを適用してアニメーションさせることができる。

従来は手入力でアニメーションを行っていたため、制作者の経験度に応じた時間がかかっていたが、数理モデルを用いることで口唇動作を数式として記述できるため、アニメーションの設定は数秒で完了し、大幅な制作時間の短縮が可能となった。この結果から、顔形状の個人差があっても、口唇動作の自動アニメーションの作成が可能であると考えられる。

表10 2次元数理モデルにより自動生成された母音発音の口唇動作CGアニメーション（静止画による一部抜粋）

母音	モデル1	モデル2	モデル3
あ			
い			
う			
え			
お			

9. 検 証

前章で得られたCGアニメーションについては、お手本教材としての精度、つまり、自動作成された口唇動作アニメーションが実際に正しく第三者に認識されるのかについて検証する必要がある。そこで、生成した「あ・い・う・え・お」のCGアニメーションを各3回表示することをランダムに行い、被験者10人に同定させた。その実験結果において、最も高かった正同定率を表11に示す。正同定率に注目すると、母音「あ」は100%の正同定もあるが、「い」や「え」については、低い結果となった。これは、今回の研究対象が口唇表面の形状のみであり、テクスチャや歯等の手掛かりになる視覚情報を表現しておらず、判断が難しいという意見があった。

以上のことから、テクスチャ等も考慮したCGアニメーションを作成し、再度検証する必要があると考えられる。

表11 CGアニメーションの正同定率

	モデル1	モデル2	モデル3
あ	100%	80%	100%
い	50%	60%	40%
う	60%	90%	80%
え	30%	60%	20%
お	70%	60%	70%

10. ま と め

本研究では、コンピュータグラフィックスを応用し、聴覚障がい児のための口唇動作学習システムにおける口唇動作CGアニメーション教材の自動生成を目指した。

従来はソフトウェアを用いて手作業で教材を作成していたため、制作者の技量に制作時間が左右される問題があったが、自動生成により大幅な時間短縮が可能である。モデリングについては、シュリンクラップ方式により学習者の顔形状を作成する時間を大幅に短くした。アニメーションについては、母音の口唇動作を定義するために、複数の話者モデルの口唇動作動画を計測し、それらから共通性を抽出、2次元数理モデルとして表現した。またその数理モデルを3DCGに適用することで、アニメーションを自動的に作成した。

また、口唇動作は個人差があり、規則性を抽出することは困難であるが、動作量を顔の部位を基準とした相対的な数理モデルとして表現することができることも分かった。

しかしながら、検証結果から数理モデルの改善、テクスチャ等の影響についても検討する必要があることが推測される。

11. 今後の課題

本研究において、顔のモデリングからアニメーションまで自動処理による作業時間短縮を可能にした。また、母音発音の口唇動作を数理モデルで表現しCGアニメーションに適用した。発音に伴う動作量の個人差については、顔の部位を用いて相対的な動作量として一部を表現可能となった。

しかしながら、実際に生成されたCGアニメーションが第三者に正しく同定されるか検証を行った結果、本研究の数理モデルの有効性は改善の余地がある。自動生成したCGアニメーションは、肌の色等外観を構成するテクスチャ表現が欠けている。また、リップシンクや発音の教材では、舌・歯の見え方や口唇動作の時系列的な変化のタイミングも重要な要素である。さらなる口唇動作の再現性を高める必要があり、正同定に影響すると予測される他の要素も取り入れたうえでの検証が必要である。

現在の技術において口唇動作を計測するためには動画画像から画像解析にて計測する方法とモーションキャプチャにより3次元的な動作解析の方法が考えられるが、これらのデータでは、口唇動作の計測距離が直線的なものに限られる。3Dデジタイザの中には、動きを形状として採取することができる技術もあるため、実際の口唇動作を形状として採取しそのデータを用いて計測すると、2次元ではなく曲線の形状変化も含めた3次元の正確な計測結果が得られる。このよう

な計測手法も母音発音の口唇動作のモデル化を行う上で有効な結果をもたらすことが期待できる。

謝 辞

顔形状データ採取に協力していただいた情報ネットワーク工学科の学生に感謝いたします。本研究はJSPS 科研費23700260の助成を受けました。

文 献

- (1) 小田まり子, 小田誠雄, 新井康平: “見真似による/l/ -/r/ 発音練習システムの効果”, 日本教育工学会論文誌26(2), pp. 65-75, 2002.
- (2) 後藤まさ子, “幼児期の発音の指導”, 聴覚障害誌2011年10月号.
- (3) 村山, 岡, 松木, 藤波, 星, 斎藤, 志水, 小池, “聴覚障害児の発音明瞭度に関する一研究”, 第18回全日本聾話教育研究会大会研究集録, 富山, pp. 130-131.
- (4) CATMULL E., CLARK J., Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes, Computer-aided design10, 6 (1978), 350-355.
- (5) 中尾喜保, 宮永美知代, “美術解剖学アトラス”, 南山堂.

〔論文〕

正多面体と半正多面体の変形図式

佐々木 良勝^{*1}・亀澤 千賀^{*1}

Deformation Scheme of Regular and Semiregular Polyhedra

Yoshikatsu SASAKI^{*1}, Chika KAMESAWA^{*2}

Abstract

We view 5 types of regular polyhedra (Platonic solids) and 13 types of semiregular polyhedra (Archimedean solids) as graphs with vertices and edges in the meaning of the graph theory; consider deformations of these graphs under the condition stemming from chemistry, that is, no vertices and edges are lost except for the confluence of vertices, and are yielded except for by splitting the vertices; and establish that all regular polyhedra and all semiregular polyhedra are connected by deformations by concretely showing these deformations. Along such a deformation, it has already been shown that the best constant of Sobolev inequality on a truncated tetrahedron is reduced to one on a regular tetrahedron with a simple energy function. It is conjectured that deformation extends not only to the graphs but also to the discrete harmonic analytic structures of all regular and semiregular polyhedra, one of which is homotopic to C60 buckyball.

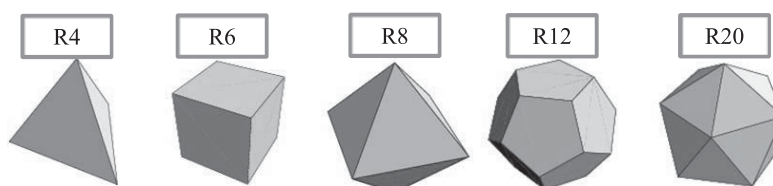
Keywords : Regular polyhedron, Semiregular polyhedron, Graph, C60 buckyball

1. Introduction

1・1 Regular and semiregular polyhedra

Regular polyhedra are extremely mathematical objects. Each one is a solid with faces of a single type of regular polygon. The regular polyhedron with n faces is denoted as R_n . Only 5 types of regular polyhedra exist as follows [1]:

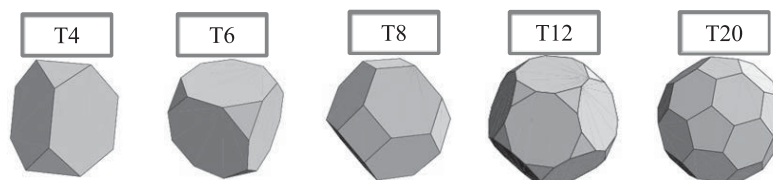
- R 4: Regular tetrahedron
- R 6: Cube (=Regular hexahedron)
- R 8: Regular octahedron
- R 12: Regular dodecahedron
- R 20: Regular icosahedron



Semiregular polyhedra are also called Archimedean solids. Each one is a solid with faces of several types of regular polygon. There are 13 semiregular solids [1], which are classified into four types as follows:

(i) Truncated polyhedra:

- T 4: Truncated tetrahedron
- T 6: Truncated cube
- T 8: Truncated octahedron
- T 12: Truncated dodecahedron
- T 20: Truncated icosahedron



(ii) Snub polyhedra:

- S 6: Snub cube
- S 12: Snub dodecahedron



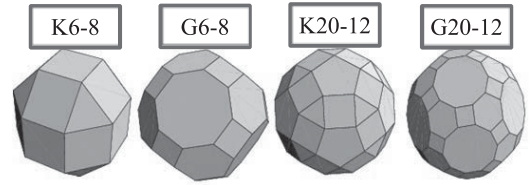
(iii) Quasi-regular polyhedra:

- Q 6-8: Cuboctahedron
- Q 20-12: Icosidodecahedron

^{*1} 教育創造工学科
平成28年12月7日受理

(iv) Rhombic n - m -hedra:

- K 6-8: Small rhombicuboctahedron (=Rhombicuboctahedron)
- G 6-8: Great rhombicuboctahedron (=Rhombitruncated cuboctahedron)
- K 20-12: Small rhombicosidodecahedron (=Rhombicosidodecahedron)
- G 20-12: Great rhombicosidodecahedron (=Rhombitruncated icosidodecahedron)



In the above, all the pictures of regular or semiregular polyhedra are from *WolframMathWorld* [2].

For each regular or semiregular polyhedron, let us denote the number of vertices, edges, and faces by V , E , and F , respectively. We list these numbers: the reader can check whether the well-known relation $V - E + F = 2$, which is called Euler's polyhedron formula, is valid [1].

Rn	V	E	F	Tn	V	E	F
R4	4	6	4	T4	12	18	8
R6	8	12	6	T6	24	36	14
R8	6	12	8	T8	24	36	14
R12	20	30	12	T12	60	90	32
R20	12	30	20	T20	60	90	32

Sn	V	E	F	Q/K/Gn-m	V	E	F
S6	24	60	38	Q6-8	12	24	14
S12	60	150	92	K6-8	24	48	26
				G6-8	48	72	26
				Q20-12	30	60	32
				K20-12	60	120	62
				G20-12	120	180	62

Euler's polyhedron formula

$$V - E + F = 2$$

1 · 2 Background and known results

We introduce the works of Kametaka school and that of the corresponding author.

Kametaka et al. studied the best constant of the Sobolev inequality in view of the boundary value problem [3,4,5,6,7], and they studied discrete Sobolev inequality [8,9,10,11,12] to apply it to C60 buckyball [13]. The Sobolev inequality, known as the Sobolev embedding theorem, plays an important role in the theory of partial differential equations. Brezis [14, Chap.IX] gave a constant for the Sobolev inequality and remarked that the best constant was known and complex. Talenti [15] and Marti [16] studied the best constant using variational methods. The work of the Kametaka school on each polyhedron is performed under the assumption of uniformity of the spring constants.

In contrast, the chemistry of fullerenes studies its structure in detail [17]. According to [18,19,20], the bond lengths of C 60 buckyball are of two types. With regard to the application to the chemistry of fullerenes, the assumption of uniformity of the spring constants should not be considered.

In an article [21] concerning the best constant of discrete Sobolev inequality on T4 with two spring constants, in other words, a weighted T4 graph, the corresponding author generalized the results of the Kametaka school for R4 [9] and T4 [11] using continuous deformation with a parameter, i.e., the ratio of two spring constants. Deformation implies destruction of symmetry. High symmetry moves us by its beauty; however, the destruction of symmetry also fascinates us.

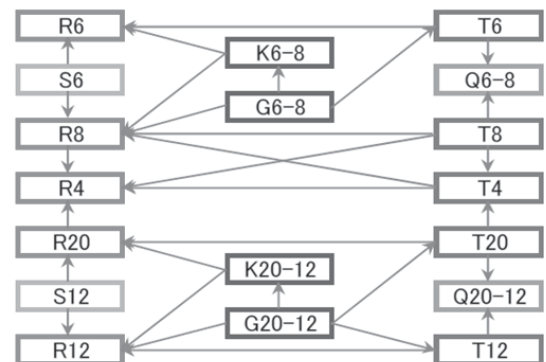
1 · 3 Results

We assume that the following continuity condition is valid: no vertices and edges are lost except for the confluence of vertices, and no vertices and edges are yielded except for by splitting the vertices. We consider the graph of vertices and edges of a polyhedron as a molecule. The continuity condition implies that the atoms do not abruptly appear or vanish.

In the article [21], the corresponding author deformed T4 into R4 continuously and studied the energy in a polyhedron. For example, R4 becomes T4 by the truncation of the corners, and more truncation finally yields R8. R4 can be deformed continuously under the continuity condition into T4, and then into R8. This fact suggests that some regular polyhedra are connected by continuous deformations satisfying the continuity condition, and some semiregular polyhedra are intermediate products of such deformations. Our main result is as follows.

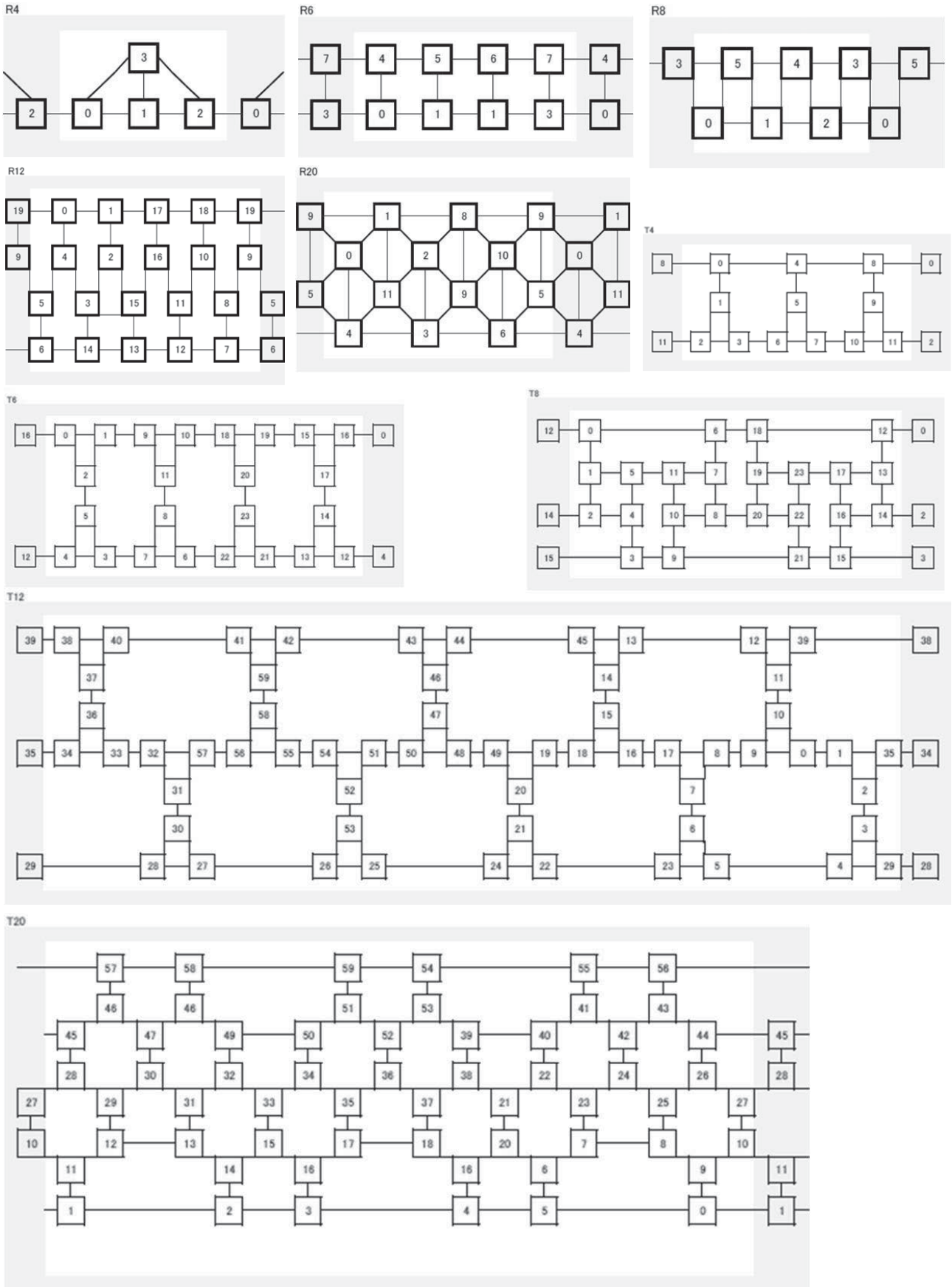
Theorem. All regular polyhedra and semiregular polyhedra are connected by deformations satisfying the continuity condition.

Instead of a proof, we give the scheme of coalescence of vertices. For example, T4 has 12 vertices, and along the deformation $T4 \rightarrow R4$, three vertices converge to one vertex of R4. To identify each vertex, we first give the numbering of the vertices of all regular and semiregular polyhedra, and then give the correspondence of the vertices along each deformation in the diagram to the right of the theorem. The direction of the arrow means coalescence, i.e., the decay of the number of vertices.

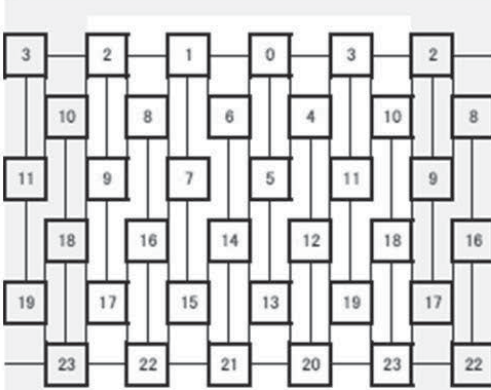


2. Numbering the vertices

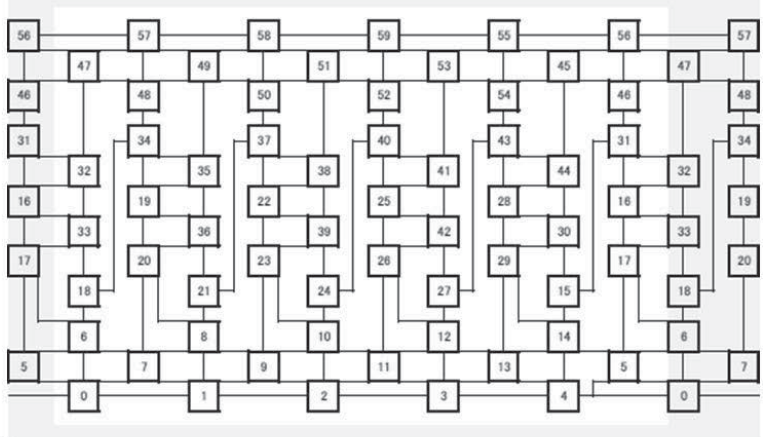
First, we number of the vertices of the polyhedra R_n , T_n , S_n , $Qm-n$, $Km-n$, and $Gm-n$ as follows:



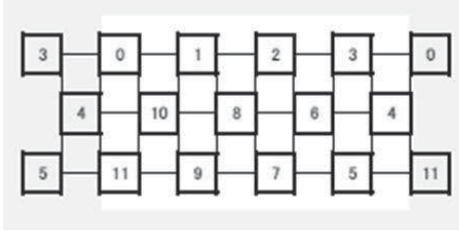
S6



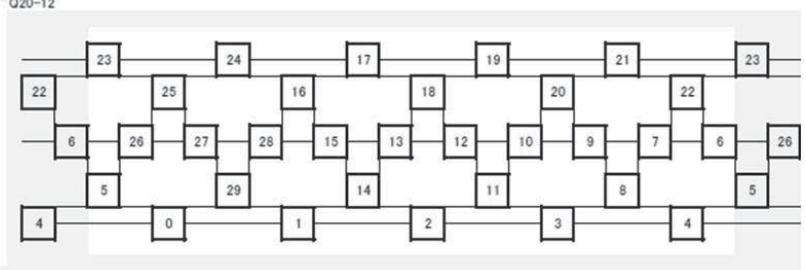
S12



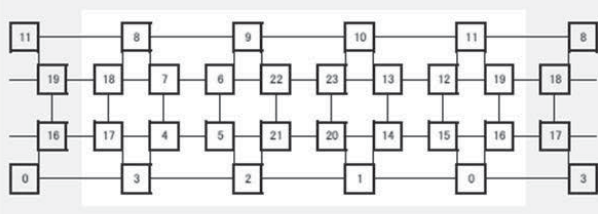
Q6-8



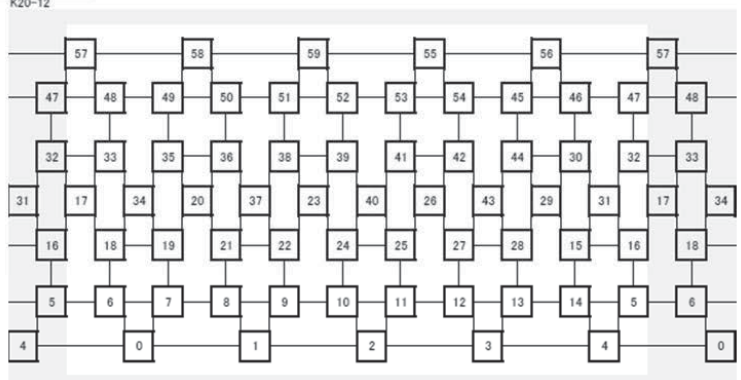
O20-12



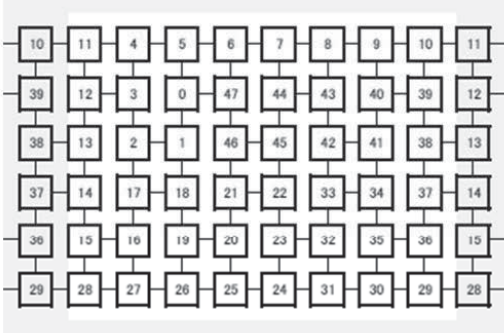
K6-8



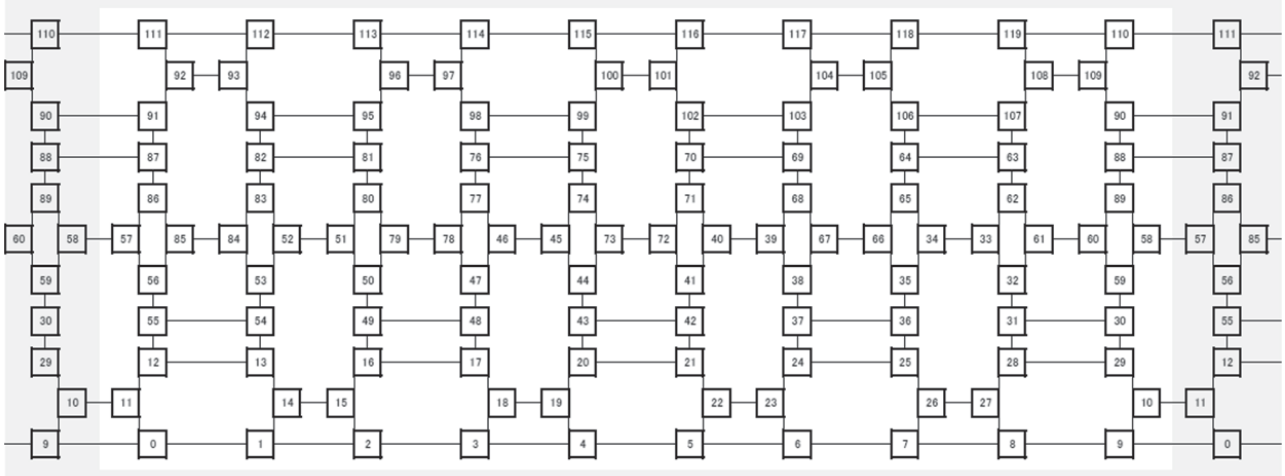
K20-12



Q6-8



Q20-12



3. Deformation scheme

Second, we give the correspondences for each deformation.

T4→R4

Vertices of T4	→	Vertices of R4
0, 1, 9	→	0
2, 3, 11	→	1
4, 5, 6	→	2
7, 8, 10	→	3

T12→R12

Vertices of T12	→	Vertices of R12
0, 9, 10	→	0
1, 2, 35	→	1
3, 4, 29	→	2
5, 6, 23	→	3
7, 8, 17	→	4
15, 16, 18	→	5
19, 20, 49	→	6
47, 48, 50	→	7
43, 44, 46	→	8
13, 14, 45	→	9
41, 42, 59	→	10
55, 56, 58	→	11
51, 52, 54	→	12
25, 26, 53	→	13
21, 22, 24	→	14
27, 28, 30	→	15
31, 32, 57	→	16
33, 34, 36	→	17
37, 38, 40	→	18
11, 12, 39	→	19

T8→R4

Vertices of T8	→	Vertices of R4
0, 1, 2, 3, 4, 5	→	0
16, 17, 18, 19, 20, 23	→	1
10, 11, 12, 13, 14, 15	→	2
6, 7, 8, 9, 21, 22	→	3

T4→R8

Vertices of T4	→	Vertices of R8
0, 5	→	0
1, 2	→	1
3, 4	→	2
6, 7	→	3
10, 11	→	4
8, 9	→	5

T8→T4

Vertices of T8	→	Vertices of T4
1, 18	→	0
2, 13	→	1
3, 12	→	2
4, 7	→	3
5, 6	→	4
0, 19	→	5
20, 21	→	6
22, 23	→	7
15, 16	→	8
14, 17	→	9
9, 10	→	10
8, 11	→	11

T6→Q6 8

Vertices of T6	→	Vertices of Q6 8
0, 1	→	0
2, 3	→	1
4, 5	→	2
6, 7	→	3
8, 9	→	4
10, 11	→	5
12, 13	→	6
14, 15	→	7
16, 17	→	8
18, 19	→	9
20, 21	→	10
22, 23	→	11

T6→R6

Vertices of T6	→	Vertices of R6
0, 7, 8	→	0
1, 2, 21	→	1
3, 4, 17	→	2
5, 6, 13	→	3
9, 10, 23	→	4
19, 20, 22	→	5
15, 16, 18	→	6
11, 12, 14	→	7

T20→R20

Vertices of T20	→	Vertices of R20
0, 1, 9, 10, 11	→	0
2, 3, 14, 15, 16	→	1
17, 18, 35, 36, 37	→	2
21, 22, 38, 39, 40	→	3
7, 8, 23, 24, 25	→	4
26, 27, 28, 44, 45	→	5
41, 42, 43, 55, 56	→	6
51, 52, 53, 54, 59	→	7
32, 33, 34, 49, 50	→	8
12, 13, 29, 30, 31	→	9
46, 47, 48, 57, 58	→	10
4, 5, 6, 19, 20	→	11

S6→R6

Vertices of S6	→	Vertices of R6
0, 5, 6	→	0
1, 7, 8	→	1
2, 9, 10	→	2
3, 4, 11	→	3
12, 19, 20	→	4
13, 14, 21	→	5
15, 16, 22	→	6
17, 18, 23	→	7

S6→R8

Vertices of S6	→	Vertices of R8
0, 1, 2, 3	→	0
4, 5, 12, 13	→	1
10, 11, 18, 19	→	2
8, 9, 16, 17	→	3
20, 21, 22, 23	→	4
6, 7, 14, 15	→	5

S12→R20

Vertices of S12	→	Vertices of R20
0, 1, 2, 3, 4	→	0
5, 14, 15, 16, 17	→	1
32, 33, 34, 47, 48	→	2
35, 36, 37, 49, 50	→	3
8, 9, 21, 22, 23	→	4
10, 11, 24, 25, 26	→	5
38, 39, 40, 51, 52	→	6
55, 56, 57, 58, 59	→	7
30, 31, 44, 45, 46	→	8
12, 13, 27, 28, 29	→	9
41, 42, 43, 53, 54	→	10
6, 7, 18, 19, 20	→	11

T8→Q6 8

Vertices of T8	→	Vertices of Q6 8
0, 5	→	0
1, 2	→	1
17, 18	→	2
19, 20	→	3
6, 21	→	4
9, 22	→	5
16, 23	→	6
10, 15	→	7
13, 14	→	8
11, 12	→	9
3, 4	→	10
7, 8	→	11

T8→R8

Vertices of T8	→	Vertices of R8
0, 1, 18, 19	→	0
4, 5, 6, 7	→	1
20, 21, 22, 23	→	2
14, 15, 16, 17	→	3
8, 9, 10, 11	→	4
2, 3, 12, 13	→	5

R8→R4

Vertices of R8	→	Vertices of R4
0	→	0
1	→	1
2	→	2
3, 4, 5	→	3

R20→R4

Vertices of R20	→	Vertices of R4
0, 5, 9	→	0
6, 7, 10	→	1
3, 4, 11	→	2
1, 2, 8	→	3

T20→T4

Vertices of T20	→	Vertices of T4
0, 1, 9, 10, 11	→	0
2, 3, 14, 15, 16	→	1
32, 33, 34, 49, 50	→	2
12, 13, 29, 30, 31	→	3
26, 27, 28, 44, 45	→	4
7, 8, 23, 24, 25	→	5
41, 42, 43, 55, 56	→	6
21, 22, 38, 39, 40	→	7
17, 18, 35, 36, 37	→	8
4, 5, 6, 19, 20	→	9
51, 52, 53, 54, 59	→	10
46, 47, 48, 57, 58	→	11

S12→R12

Vertices of S12	→	Vertices of R12
0, 5, 6	→	0
1, 7, 8	→	1
2, 9, 10	→	2
3, 11, 12	→	3
4, 13, 14	→	4
15, 29, 30	→	5
28, 43, 44	→	6
45, 54, 55	→	7
46, 47, 56	→	8
16, 31, 32	→	9
48, 49, 57	→	10
50, 51, 58	→	11
52, 53, 59	→	12
25, 40, 41	→	13
26, 27, 42	→	14
23, 24, 39	→	15
22, 37, 38	→	16
20, 21, 36	→	17
19, 34, 35	→	18
17, 18, 33	→	19

K20 12→R12

Vertices of K20 12	→	Vertices of R12
0, 6, 7	→	0
1, 8, 9	→	1
2, 10, 11	→	2
3, 12, 13	→	3
4, 5, 14	→	4
15, 16, 31	→	5
29, 30, 44	→	6
45, 46, 56	→	7
47, 48, 57	→	8
17, 32, 33	→	9
49, 50, 58	→	10
51, 52, 59	→	11
53, 54, 55	→	12
26, 41, 42	→	13
27, 28, 43	→	14
24, 25, 40	→	15
23, 38, 39	→	16
21, 22, 37	→	17
20, 35, 36	→	18
18, 19, 34	→	19

T20→Q20 12

Vertices of T20	→	Vertices of Q20 12
0, 5	→	0
8, 9	→	1
10, 27	→	2
11, 12	→	3
1, 2	→	4
3, 4	→	5
16, 17	→	6
15, 33	→	7
13, 14	→	8
31, 32	→	9
20, 47	→	10
28, 29	→	11
45, 46	→	12
43, 44	→	13
25, 26	→	14
24, 42	→	15
40, 41	→	16
54, 55	→	17
56, 57	→	18
58, 59	→	19
48, 49	→	20
50, 51	→	21
34, 35	→	22
36, 52	→	23
39, 53	→	24
37, 38	→	25
18, 19	→	26
20, 21	→	27
22, 23	→	28
6, 7	→	29

T12→Q20 12

Vertices of T12	→	Vertices of Q20 12
0, 1	→	0
2, 3	→	1
4, 5	→	2
6, 7	→	3
8, 9	→	4
10, 11	→	5
12, 13	→	6
14, 15	→	7
16, 17	→	8
18, 19	→	9
20, 21	→	10
22, 23	→	11
24, 25	→	12
26, 27	→	13
28, 29	→	14
30, 31	→	15
56, 57	→	16
54, 55	→	17
52, 53	→	18
50, 51	→	19
48, 49	→	20
46, 47	→	21
44, 45	→	22
42, 43	→	23
58, 59	→	24
40, 41	→	25
38, 39	→	26
36, 37	→	27
32, 33	→	28
34, 35	→	29

Remark. Deformation G6-8→R8 can be obtained by the composition of two deformations: G6-8→K6-8 and K6-8→R8.

G20 12→R12

Vertices of G20 12	→	Vertices of R12
0, 1, 11, 12, 13, 14	→	0
2, 3, 15, 16, 17, 18	→	1
4, 5, 19, 20, 21, 22	→	2
6, 7, 23, 24, 25, 26	→	3
8, 9, 10, 27, 28, 29	→	4
30, 31, 32, 59, 60, 61	→	5
33, 34, 62, 63, 64, 65	→	6
105, 106, 107, 108, 118, 119	→	7
90, 91, 92, 109, 110, 111	→	8
57, 58, 86, 87, 88, 89	→	9
93, 94, 95, 96, 112, 113	→	10
97, 98, 99, 100, 114, 115	→	11
101, 102, 103, 104, 116, 117	→	12
39, 40, 68, 69, 70, 71	→	13
35, 36, 37, 38, 66, 67	→	14
41, 42, 43, 44, 72, 73	→	15
45, 46, 74, 75, 76, 77	→	16
47, 48, 49, 50, 78, 79	→	17
51, 52, 80, 81, 82, 83	→	18
53, 54, 55, 56, 84, 85	→	19

G6 8→K6 8

Vertices of G6 8	→	Vertices of K6 8
0, 1	→	0
18, 19	→	1
20, 21	→	2
46, 47	→	3
44, 45	→	4
22, 23	→	5
32, 33	→	6
42, 43	→	7
40, 41	→	8
34, 35	→	9
36, 37	→	10
38, 39	→	11
12, 13	→	12
14, 15	→	13
16, 17	→	14
2, 3	→	15
4, 5	→	16
6, 7	→	17
8, 9	→	18
10, 11	→	19
26, 27	→	20
24, 25	→	21
30, 31	→	22
28, 29	→	23

G6 8→T6

Vertices of G6 8	→	Vertices of T6
0, 5	→	0
6, 47	→	1
45, 46	→	2
21, 22	→	3
20, 25	→	4
19, 26	→	5
17, 18	→	6
1, 2	→	7
3, 4	→	8
11, 12	→	9
13, 38	→	10
14, 37	→	11
15, 28	→	12
16, 27	→	13
29, 36	→	14
30, 35	→	15
31, 32	→	16
23, 24	→	17
33, 34	→	18
41, 42	→	19
8, 43	→	20
7, 44	→	21
9, 40	→	22
10, 39	→	23

K20 12→R20

Vertices of K20 12	→	Vertices of R20
0, 1, 2, 3, 4	→	0
11, 12, 25, 26, 27	→	1
42, 43, 44, 45, 54	→	2
30, 31, 32, 46, 47	→	3
5, 6, 16, 17, 18	→	4
7, 8, 19, 20, 21	→	5
33, 34, 35, 48, 49	→	6
55, 56, 57, 58, 59	→	7
39, 40, 41, 52, 53	→	8
9, 10, 22, 23, 24	→	9
36, 37, 38, 50, 51	→	10
13, 14, 15, 28, 29	→	11

K6 8→R6

Vertices of K6 8	→	Vertices of R6
0, 15, 16	→	0
3, 4, 17	→	1
2, 5, 21	→	2
1, 14, 20	→	3
11, 12, 19	→	4
7, 8, 18	→	5
6, 9, 22	→	6
10, 13, 23	→	7

K6 8→R8

Vertices of K6 8	→	Vertices of R8
0, 1, 2, 3	→	0
12, 13, 14, 15	→	1
20, 21, 22, 23	→	2
4, 5, 6, 7	→	3
8, 9, 10, 11	→	4
16, 17, 18, 19	→	5

G20-12→K20-12			G20-12→T20			G20-12→T12		
Vertices of G20-12	→	Vertices of K20-12	Vertices of G20-12	→	Vertices of T20	Vertices of G20-12	→	Vertices of T12
0, 1	→	0	1, 2	→	0	1, 14	→	0
2, 3	→	1	0, 9	→	1	2, 15	→	1
4, 5	→	2	10, 11	→	2	3, 18	→	2
6, 7	→	3	12, 55	→	3	4, 19	→	3
8, 9	→	4	13, 54	→	4	5, 22	→	4
10, 29	→	5	14, 15	→	5	6, 23	→	5
11, 12	→	6	16, 49	→	6	7, 26	→	6
13, 14	→	7	17, 48	→	7	8, 27	→	7
15, 16	→	8	18, 19	→	8	9, 10	→	8
17, 18	→	9	3, 4	→	9	0, 11	→	9
19, 20	→	10	5, 6	→	10	12, 13	→	10
21, 22	→	11	7, 8	→	11	54, 55	→	11
23, 24	→	12	26, 27	→	12	56, 85	→	12
25, 26	→	13	28, 31	→	13	57, 86	→	13
27, 28	→	14	29, 30	→	14	58, 89	→	14
31, 32	→	15	58, 59	→	15	59, 60	→	15
30, 59	→	16	56, 57	→	16	30, 31	→	16
57, 58	→	17	85, 86	→	17	28, 29	→	17
55, 56	→	18	83, 84	→	18	32, 61	→	18
53, 54	→	19	52, 53	→	19	33, 62	→	19
51, 52	→	20	50, 51	→	20	34, 65	→	20
49, 50	→	21	79, 80	→	21	35, 66	→	21
47, 48	→	22	77, 78	→	22	36, 37	→	22
45, 46	→	23	46, 47	→	23	24, 25	→	23
43, 44	→	24	44, 45	→	24	38, 67	→	24
41, 42	→	25	20, 43	→	25	39, 68	→	25
39, 40	→	26	21, 42	→	26	40, 71	→	26
37, 38	→	27	22, 23	→	27	41, 72	→	27
35, 36	→	28	24, 37	→	28	42, 43	→	28
33, 34	→	29	25, 36	→	29	20, 21	→	29
62, 63	→	30	34, 35	→	30	44, 73	→	30
60, 61	→	31	32, 33	→	31	45, 74	→	31
88, 89	→	32	61, 62	→	32	46, 77	→	32
86, 87	→	33	60, 89	→	33	47, 78	→	33
84, 85	→	34	88, 90	→	34	48, 49	→	34
82, 83	→	35	87, 91	→	35	16, 17	→	35
80, 81	→	36	92, 93	→	36	50, 79	→	36
78, 79	→	37	82, 94	→	37	51, 80	→	37
76, 77	→	38	81, 95	→	38	52, 83	→	38
74, 75	→	39	96, 97	→	39	53, 84	→	39
72, 73	→	40	76, 98	→	40	81, 82	→	40
70, 71	→	41	75, 99	→	41	94, 95	→	41
68, 69	→	42	73, 74	→	42	93, 112	→	42
66, 67	→	43	71, 72	→	43	92, 111	→	43
64, 65	→	44	40, 41	→	44	90, 91	→	44
105, 106	→	45	38, 39	→	45	87, 88	→	45
107, 108	→	46	67, 68	→	46	109, 110	→	46
90, 109	→	47	65, 66	→	47	108, 119	→	47
91, 92	→	48	64, 106	→	48	106, 107	→	48
93, 94	→	49	63, 107	→	49	63, 64	→	49
95, 96	→	50	108, 109	→	50	105, 118	→	50
97, 98	→	51	110, 119	→	51	104, 117	→	51
99, 100	→	52	111, 112	→	52	102, 103	→	52
101, 102	→	53	113, 114	→	53	69, 70	→	53
103, 104	→	54	115, 116	→	54	101, 116	→	54
116, 117	→	55	100, 101	→	55	100, 115	→	55
118, 119	→	56	70, 102	→	56	98, 99	→	56
110, 111	→	57	69, 103	→	57	75, 76	→	57
112, 113	→	58	104, 105	→	58	97, 114	→	58
114, 115	→	59	117, 118	→	59	96, 113	→	59

References

- [1] Hitotsumatsu, S. (2002) *Solve the polyhedra*. Tokai University Press, 2002 (in Japanese).
- [2] *WolframMathWorld* <http://mathworld.wolfram.com/topics/ArchimedeanSolids.html>
- [3] Kametaka, Y., Yamagishi, H., Watanabe, K., Nagai, A. and Takemura, K. (2007) Riemann zeta function, Bernoulli polynomials and the best constant of Sobolev inequality. *Sci. Math. Japan* **65**, 333-359.
- [4] Kametaka, Y., Watanabe, K. and Nagai, A. (2005) The best constant of Sobolev inequality in an n dimensional Euclidean space. *Proc. Japan Acad.* **81**, Ser. A, 57-60.
- [5] Kametaka, Y., Watanabe, K., Nagai, A. and Pyatkov, S. (2005) The best constant of Sobolev inequality in an n dimensional Euclidean space. *Sci. Math. Japan* **61**, 15-23.
- [6] Yamagishi, H., Kametaka, Y., Nagai, A., Watanabe, K. and Takemura, K. (2009) Riemann zeta function and the best constants of five series of Sobolev inequalities. *RIMS Kôkyûroku Bessatsu* **B13**, 125-139.
- [7] Yamagishi, H., Kametaka, Y., Takemura, K., Watanabe, K. and Nagai, A. (2009) The best constant of discrete Sobolev inequality corresponding to a bending problem of a beam under tension on an elastic foundation. *Trans. Japan Soc. Ind.*

- Appl. Math.* **19**, 489-518 (in Japanese).
- [8] Kametaka, Y., Nagai, A., Yamagishi, H., Takemura, K. and Watanabe, K. (2014) The best constant of discrete Sobolev inequality on the C60 fullerene buckyball. *arXiv.org e-Print archive*. <http://arxiv.org/abs/1412.1236>
- [9] Kametaka, Y., Watanabe, K., Yamagishi, H., Nagai, A. and Takemura, K. (2011) The best constant of discrete Sobolev inequality on regular polyhedron. *Trans. Japan Soc. Ind. Appl. Math.* **21**, 289-308 (in Japanese).
- [10] Nagai, A., Kametaka, Y., Yamagishi, H., Takemura, K. and Watanabe, K. (2008) Discrete Bernoulli polynomials and the best constant of discrete Sobolev inequality. *Funkcial. Ekvac.* **51**, 307-327.
- [11] Yamagishi, H., Kametaka, Y., Nagai, A., Watanabe, K. and Takemura, K. (2014) The best constant of discrete Sobolev inequality on truncated polyhedra. Abstract of *the 10th meeting of the union of research activity groups, Japan SIAM*, Kyoto Univ., Kyoto, 9-10 March 2014 (in Japanese).
http://chaosken.amp.i.kyoto-u.ac.jp/_src/sc2490/jsiam_s2_no4_yamagishi_abst.pdf
- [12] Yamagishi, H., Kametaka, Y., Nagai, A., Watanabe, K. and Takemura, K. (2013) The best constant of three kinds of discrete Sobolev inequalities on regular polyhedron. *Tokyo J. Math.* **36**, 253-268.
- [13] Kroto, H.W., Heath, J.R., O'Brien, S.C., Curl, R.F. and Smalley, R.E. (1985) C60: Buckminsterfullerene. *Nature* **318**, 162-163.
- [14] Brezis, H. (1983) *Analyse fonctionnelle: théorie et applications*. Masson, Paris.
- [15] Talenti, G. (1976) The best constant of Sobolev inequality. *Ann. Mat. Pura Appl.* **110**, 353-372.
- [16] Marti, J.T. (1983) Evaluation of the least constant in Sobolev's inequality for $H^1(0, s)$ *SIAM J. Numer. Anal.* **20**, 1239-1242.
- [17] Shinohara, H. and Saito, Y. (2011) *Science of fullerenes and CNTs*. Nagoya University Press, Nagoya.
- [18] Hawkins, J.M., Meyer, A.L., Timothy, A., Loren, S. and Hollander, F.J. (1991) *Science* **252**, 312.
- [19] Hedberg et al. (1991) *Science* **254**, 410.
- [20] Yannoni, C.S., Bernier, P.P., Bethune, D.S., Meijer, G. and Salem, J.R. (1991) *J. Am. Chem. Soc.* **113**, 3190.
- [21] Sasaki, Y. (2015) The best constant of discrete Sobolev inequality on a weighted truncated tetrahedron, *World J. Engi. Tech.* **3**, 149-154.

〔論文〕

項目反応理論による数学基礎力確認テストの解析

中嶋 康博*¹・佐々木良勝*¹

Analysis of Basic Mathematics Examination under Item Response Theory

Yasuhiro NAKASHIMA*¹, Yoshikatsu SASAKI*¹

Abstract

Many students may have difficulty studying mathematics during their first year at our university. Mathematics is an essential course, and we intend that the difficulty should be reduced suitably for each characteristic. To achieve this, we needed to investigate the students' basic mathematical knowledge and calculating ability. Therefore, we administered an examination. Their scores were informative. Moreover, we used Item Response Theory by R-language in assessing the test. The theory aids us in checking whether certain examination items were appropriate. This report contains figures that represent the characteristics of the items of our examination, as well as our assessment of the results.

Keywords : Item Response Theory, Mathematical Education, First Year Education, Remedial Education, R-language

1. 緒 言

大学全入という言葉を目にして久しく、本学でも複数の入学試験のもと多様な学生が在籍しており、特に高校時代に履修した学習内容に関して、入学時点で差異がある学生が混在している。高校の工業科出身の学生であれば数学 I までの履修ということもあるが、そのような学生は工業系の技術を修得していることも多く、普通科出身の学生は実習面で遅れをとる。この点では学生同士で得手不得手な内容を相互に教え合うなど、補完の効果も期待できる。しかし数学の初年次教育を担当するものとしての所感を述べると、学生の基礎的な数学の能力が多様なため、一様な授業展開が学生の学習意欲や理解を阻害する可能性を感じる。そのため各人に応じたクラス編成をできると望ましい。学生によっては、意欲はあるもののこれまでに学習機会が少なかつたため、基本的な定義が定着していないというケースも、実際にある。工学を専攻する以上、学生に数学や物理は必須であり、彼らに適切な機会や内容の提供が必要である。

このような背景の中で今回、初年次の学生を対象とした、数学に関する基礎的な能力の調査(数学基礎力確認テスト)を行った。これにより受験者の得点や正答率などの基本的な情報を得たが、著者はテスト理論に興味があり、この結果に項目反応理論の適用を試みた。『テストを作成・実施・評価・運用するための実践的な数理モデル』である⁽¹⁾とされる項目反応理論による結果の解釈が、本学の現状理解とよりよい学習支援につながることを期待する。本稿は次節で項目反応理論に関して説明し、その後、数学基礎力確認テストの説明および項目反応理論による解釈を行う。実施したテストおよびその各問の結果は付録に記載した。その結果得られた知見としては、テストの問題が十分妥当な内容であったこと、識別力が高くなる問題の傾向を推測できたこと、学生の多様性が確認されたこと、などが挙げられる。

2. 項目反応理論

本節では、数学基礎力確認テスト(以下、試験と表記)の解析に利用する、項目反応理論(IRT, Item Response Theory, 項目応答理論とも呼ばれる)について言及する。用語等の多くは豊田⁽¹⁾に準拠する。本稿で頻出する用語に関しては、試験を受験した学生を受験者、試験における合計点を得点、推定された受験者のパラメータを特性値、試験の各問題を項目、などと表すこととする。

*¹ 教育創造工学科
平成28年12月7日受理

IRTは『テストの尺度化とテストの等化』^②を目的とするテスト理論の中で発展した手法で、古典的テスト理論(CTT, Classical Test Theory)と対比される。欧米ではスタンダードな理論として各種試験に利用され、日本ではTOEICや基本情報技術者試験などに利用されている。その理由として、次のような利点があげられる^①。

- ・複数のテスト間の結果の比較が容易であること。
- ・測定精度をきめ細かく確認できること。
- ・平均点をテスト実施前に制御できること。
- ・テスト得点の対応表が作成できること。
- ・受験者ごとに最適な問題を瞬時に選び、その場で出題できること。

実際にこれらの恩恵を受けるには、等化という手法の利用や計算機を利用した出題などが必要となるが、本稿ではそれらは行わず、主として項目評価のために用いた。個人的には上記に加えて、後述する項目特性曲線(ICC, Item Characteristic Curve)などによる、視覚的に理解しやすい点もIRTを利用するメリットであると感じる。

IRTにおいては、項目をロジスティック曲線で表す。通常そのパラメータは1個から3個とされるが、植野・荘島^③によれば4個や5個のパラメータをもつモデルが示されている。ここでは本稿で利用した、2つのパラメータをもつモデル(2PLM, 2-Parametric Logistic Model)を説明する。2PLMにおけるロジスティック曲線は、受験者の特性値を θ 、その項目に正答する確率を $P(\theta)$ として、2つのパラメータ α と β を用いて

$$P(\theta) := \frac{1}{1 + \exp(-D\alpha(\theta - \beta))}$$

と表される。これは標準正規分布の分布関数

$$F(x) := \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$$

によく似た曲線であり、積分計算の都合で正規分布よりも便利な関数として扱われる。ロジスティック曲線の式自体は『表現したいもの、すなわち項目の特性』に合わせて作られているため、きれいな式であるとは表現しづらいが、この式で表される曲線の特徴がよい。式において D は、標準正規分布の分布関数との近似に必要な定数であり、その近似の精度のために通常 $D=1.7$ が利用される^①ため、本稿でも $D=1.7$ としている。 α は識別力と呼ばれ、グラフではICCの立ち上がりの緩急を表し、項目としては受験者の特性値を判定しやすい指標、すなわち項目の『よさ』を表す。通常 $0.3 \leq \alpha \leq 2$ 程度で推定されるといわれる。 β は困難度と呼ばれ、グラフではICCの横軸方向のスライドを表し、項目としては難易度の指標、すなわち高いほど項目が『難しい』ことを表す。通常 $-2 \leq \beta \leq 2$ 程度で推定されるといわれる。

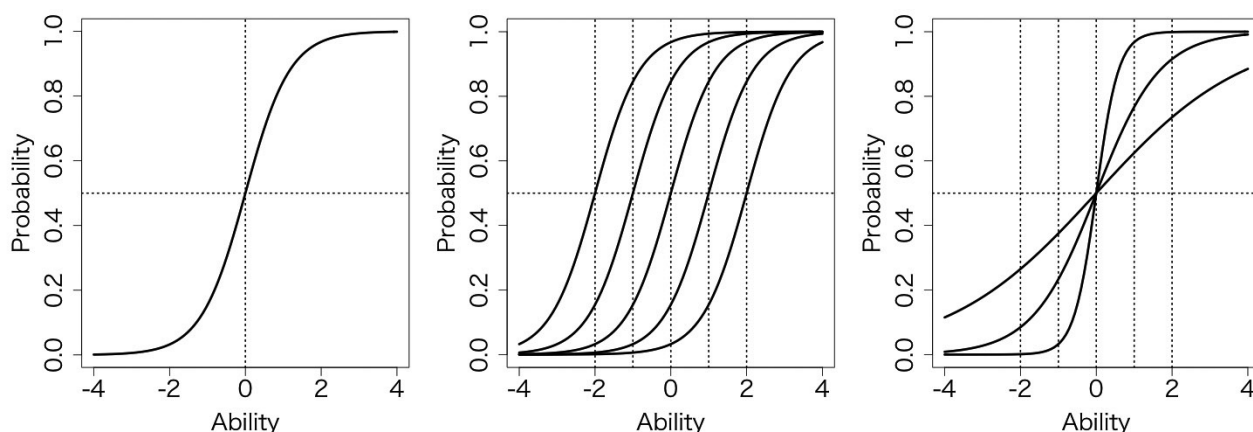


Fig. 1. Examples of Item Characteristic Curve

図1は、パラメータを変更して2PLMのロジスティック曲線を描いたものである。各項目ごとに1つの曲線が描かれ、横軸に受験者の特性値 θ をとり、縦軸にはその項目の正答率 $P(\theta)$ をとる。左図がもっとも標準的な $\alpha=1$ 、 $\beta=0$ の曲線であり、特性値 θ が0である点に関して対称になる。またちょうどそのとき正答率が0.5である。ロジスティック曲線は標準正規分布の近似であることによれば、たとえば $-1 \leq \theta \leq 1$ の範囲には68.3%のデータが存在し、 $-2 \leq \theta \leq 2$ の範囲には95.4%のデータが存在することになる。偏差値の考え方であれば、たとえば特性値が $\theta=1$ である状態

が(受験者集団における)偏差値60に対応する。中央の図は、 $D=1.7$ 、 $\alpha=1$ として、 β を -2 から 2 まで1ずつ変化させたものである。5本の曲線があるが、左から順に β が -2 、 -1 、 0 、 1 、 2 の曲線である。困難度とは、ちょうどその特性値において正答率が0.5になるような曲線であり、識別力 α が1でない場合でも同じである。また右図は $D=1.7$ 、 $\beta=0$ として、 α を 0.3 、 0.7 、 2 と(特に意味はないが描写の都合で)変化させたものである。もっともなだらかな($\theta=-4$ でも0.1以上の正答率がありそうな)曲線が $\alpha=0.3$ であり、ちょうど3本の間に位置するものが $\alpha=0.7$ 、もっとも急な($\theta=1$ でほぼ100%の正答率がありそうな)ものが $\alpha=2$ である。 α の値が高ければ、ある一定の特性値 θ_0 (これが困難度 β になるが)までは正答率は低いが、特性値が θ_0 の前後で急激に正答率が上がる。したがって受験者の特性値を判断するのに都合がよい指標であるといえる。

以上がICCに関する説明であるが、IRTの適用に関する1つの仮定について述べる。一般にテストにおける項目では、複合的な知識が必要となることがある。たとえば『2進法で表示された数を10進数で表示せよ』といった項目の場合、これは数学の問題であるが情報の知識を含んでいるともいえる。また複雑な文章題であれば、問題文を読み取る力が暗に要求されるかもしれない。これらのような項目を複数含むテストで因子分析を行うと、2つ以上の因子があると判断される可能性がある。つまりテストで測定しようとする能力に2つ以上の傾向があることになるが、IRTにおいてはそのモデル作成の考え方から、特性値 θ のみによって正答率が定まる必要があるため、因子が2つ以上あると考えられる状態は望ましくないとされる。言い換えればテストで測っている因子が1つだけである必要性があり、測定の一次元性といわれる⁽²⁾。一次元性の確認には、因子分析の実施やスクリープロットの作成が有効であるが、本稿ではスクリープロットを作成したところ、図2のようになった。図から判断して、第1因子の固有値が極めて高く、第2因子以降はいずれも第1因子と比べると十分に低い。このため我々の試験は一次元性をみたと判断でき、項目の選定が妥当であったといえる。なおどのような項目でテストの一次元性がくずれるのかという点にも興味があり、今後たとえば上述のような項目を意図的に配置し解析するような課題がある。

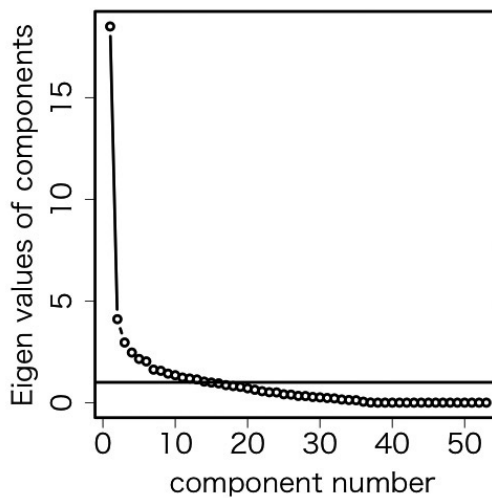


Fig. 2. Scree Plot of the result of our examination

3. 数学基礎力確認テスト

3・1 テストの概要と結果

本節では実際に著者が使用した試験の概略とその結果、およびIRTによる解析を記述する。用語や略語などについては前節のとおりとする。試験は2016年度の1年次に開講される講義にて、受講者の現状を把握する目的で実施した。全5学科中、1学科Aの半分と残り4学科全体の、293名が受験した。ただしAと異なる1学科Bを除いた4学科では、一度に実施することによる学生の負荷を考慮し、4日間の4回に分けて20分程度ずつ実施した。このため欠損値が生じ、結果や解析に使用した有効なデータは226名分となる。試験は53問からなり、いずれも基礎的な数学の内容である。工学部に所属する学生が受験者である点を考慮して、図形の問題を比較的多く取り入れた。具体的な問題は付録に記載した。各項目はいずれも記述式で、部分点はない。つまり公式や解法は理解していても計算間違いをした場合は得点ならず、そのため今回の試験では計算力の高い学生が高く評価される傾向にあると考えられる。すべての項目において項目間の依存はなく、ある項目での誤答が他の項目の誤答を誘導することはない。得点に関しては重みをつけず、

正答は1，誤答は0として53点満点で評価した。各項目の難易度には当然ながら差があると考えられるが，その評価(得点の重み)にIRTを用いるのであり，また本稿の解析で利用したRのltmパッケージではその差をあらかじめ評価に反映させる必要はないためである。

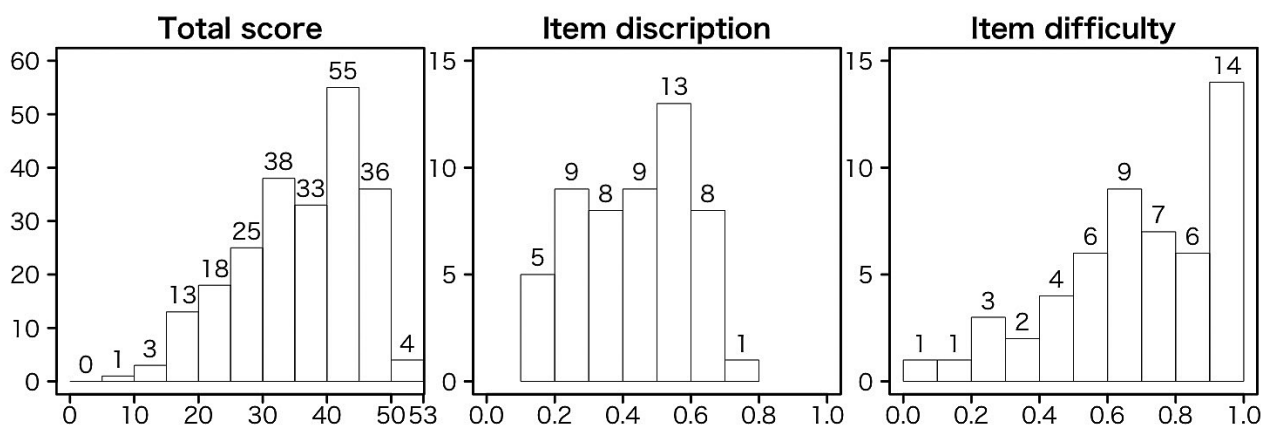


Fig. 3. Histograms of total score, item description, and item difficulty under CTT, of our examination

試験の結果は，得点の平均が36.3，標準偏差が9.5であった。最高点は51点，最低点は7点である。各項目の正答率も基本的な情報にあたるが，正答率は古典的テスト理論（CTT）では困難度と表現されるため，補足としてCTTによるデータも追記する。図3は左から順に試験の得点，CTTにおける識別力，およびCTTにおける困難度の分布をそれぞれ表す。得点に関する図によると，53点満点であるため右側の裾の尾が切れているが，40点～45点の層を中心に正規分布にしたがうようにも見える。また平均値と中央値はほぼ同じくらいであり，最頻値がそれらよりも若干高めに現れているものの，やはり正規分布に近い分布といえそうである。受験者にとって，比較的容易な項目が多かったといえるかもしれない。しかし満点のおよそ半分である25点を割り込む層が，人数にして35名程度の15%ほど存在しており，学力の多様性がうかがえる。図3の中央の図に関して，CTTでの識別力は各受験者の正誤と総得点の相関係数として定義される。加藤・山田・川端^②によればこれは，『ある項目への正誤がテスト得点と高い正の相関を持てば，その項目へ正答した受験者はテスト得点自体も高得点である傾向』があり，IRTにおける識別力と同じ意味合いの指標である。識別力は，図よりほぼ一様に分布しているといえるが，IRTにおける識別力ではその分布を見ることで，どの層に適したテストであったかを判断できるのと比べて，CTTでは識別力が一様な分布であったという以上の知見が得られるかどうか，不明である。図3の右図について，CTTにおける困難度については項目の正答率のことで，高いほど容易な項目であるといえる。困難度が0.9，つまり正答率が90%を超える項目が14もあったが，基礎的な内容の確認を目的とする本稿では妥当な結果といえる。当然のことであるが，ヒストグラムに基づき平均値を計算すると36.2となり，ほぼ実データの平均得点となる。CTTによる困難度と識別力の2つの指標に関してデータを見ると，たとえば項目1では困難度が0.987で識別力が0.15であった。一般的な解釈として，極端な困難度をとる（すなわち容易あるいは難解な）問題では識別力は落ちるが，項目1はその解釈にしたがう結果である。逆の例では項目33が，困難度は0.035でもっとも難しく，しかし識別力が0.237であった。難しい問題であれば，それが解ける時点で総得点は高いであろうから，識別力はそれほど落ちない，ということかもしれない。

3・2 IRTの適用結果

本稿ではモデルに2PLM（2Parameter Logistic Model）を採用した。選択式の解答がなくすべて記述式であったためあて推量を伴う3PLMは不要だと思われるし，2PLMであっても計算機による処理に特段の問題を感じなかったため，計算上の利点しかないと思われる1PLMを利用する必要がなかったためである。処理は統計処理用のソフト『R』を用い，項目反応理論向けのパッケージであるltmパッケージを利用した。パッケージ名がIRTではないが，ltmとはLatent Trait Modelのことであり，豊田^①によれば，Latent Trait Theory（潜在特性理論）を項目反応理論と呼び直し，こちらの方が定着したとされる。本稿では226×53の2値行列を反応パターン行列とし，ltmパッケージの関数であるltm関数を用い，能力の周辺分布を利用した最尤推定法により各項目の2つのパラメータを推定した^{②⑥}。なおRのltmクラスではその要素coefficientsに2つの特性値が書かれているが，そのうちinterceptの列は本質的には困難度のことであるが，困難度そのものを表してはいない点に注意が必要である。ltmクラスにfactor.scores関数を施して得られる

fscores クラスの要素 coef には識別力と困難度が直接記述されている。

各項目に対して推定された2つのパラメータによって、ICC と散布図を描いたものが図4である。項目が多いため ICC が重複し見づらい面があるが、ltm クラスに対し plot 関数を施すと ICC が表示されるのは便利である。もしも一部の項目だけで ICC を描きたいのであれば、ltm クラスの coefficients を部分的に書き換えればよい。色付けに際しては便宜的に項目を分類しており、分数、2次元図形、3次元図形、文字式、文章題、その他に対してそれぞれ、赤、橙、緑、水色、藍色、桃色とした。

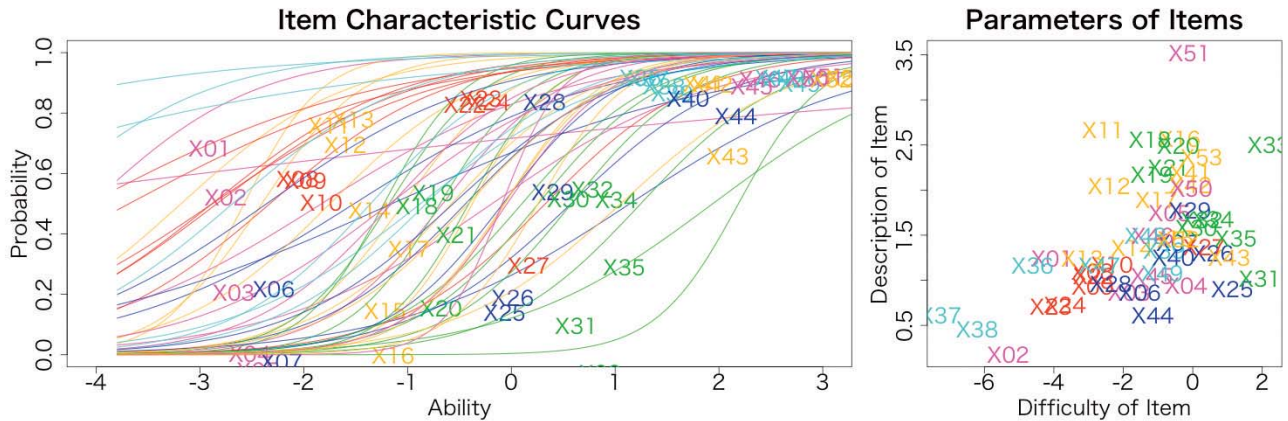


Fig. 4. Item Characteristic Curves, and Scatter plot parameters of our examination

IRT によるテストの解釈について言及する。識別力と困難度については項目ごとの数値を付録に記載した。各項目の特徴を把握するために、IRT における識別力と困難度の分布を、図3の得点の分布を再掲して図5とする。識別力が2.5を超えるのは11, 16, 18, 51の4項目があり、低いのは項目2が0.174だったが、それ以外はすべて0.3を超えていた。困難度が1を超えるのは25, 31, 33, 35, 43の5項目であり、逆に(全体的に低かったがその中でも特に)低いものでは2, 23, 36, 37, 38などが挙げられる。IRT を利用する際には(そして一般的なテストにおいてもだと考えられるが)極端な正答率をとる項目は解析にはふさわしくない。困難度と正答率を考慮すると、たとえば項目31や33は難しすぎるし、項目2, 23, 36, 37, 38などは簡単すぎる上に識別力が低いため、これらは試験から除外する案が考えられる。

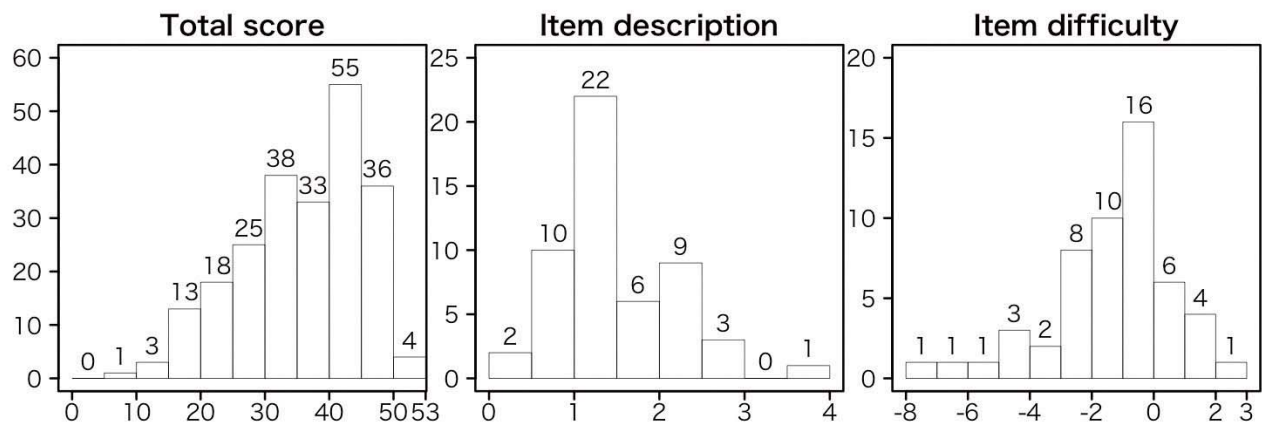


Fig. 5. Histograms of total score, item description, and item difficulty under IRT, of our examination

CTT と IRT の比較として図6を作成した。左と中央がそれぞれ CTT と IRT のパラメータの散布図であり、右は困難度に関して横軸に CTT を、縦軸に IRT をとって散布図を描いたものである。左図においては、CTT の困難度すなわち正答率を -1 倍して反転させて、横軸が増えるほど難しいように変換している。左と中央のどちらの散布図においても、項目51は困難度がほどほどで識別力が高い。また項目33は、困難度はどちらにおいても最も高い一方で、識別力に関しては随分差があるように見える。色合いや位置関係などをみると、おおまかな傾向は両者で共通している気もするが、たとえば(3次元図形と分類した)緑の項目群は CTT よりも IRT の方で総じて難しいと判断されている。

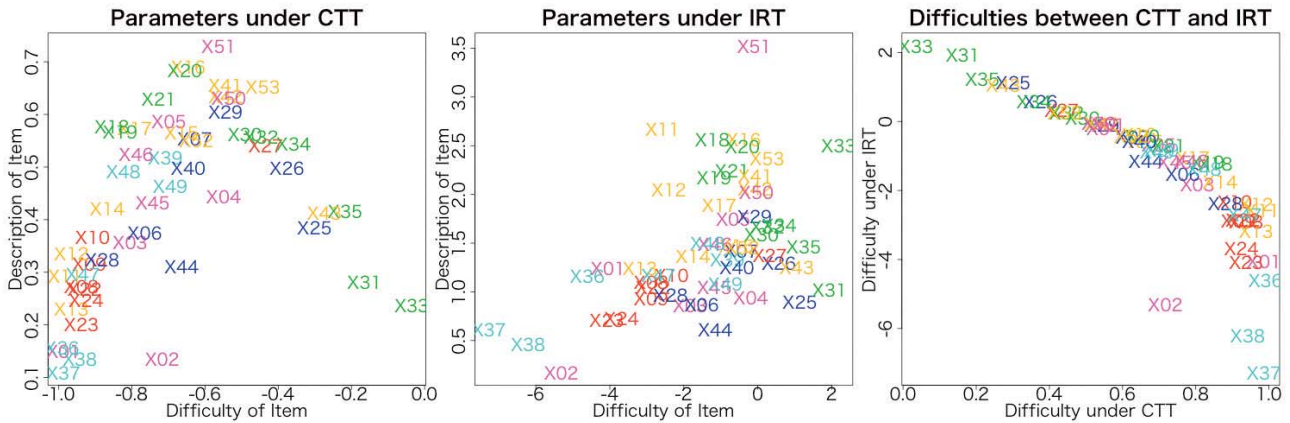


Fig. 6. Comparison between parameters under CTT and IRT of our examination

右図においては横軸つまり正答率が上がるほどIRTでの困難度が低くなる傾向があることを示す図であるが、項目2がその傾向からはずれている。質問内容が（一見すると）よく似た項目1と2において、正答率では項目1の方が高いが、困難度で見ると項目2の方が簡単だと判断されている点が興味深い。項目2に関しては、正答率は72%、困難度は-5.31、識別力は0.17であった。つまり項目2は一部の人は間違っているのだが、非常に容易な問題だと判断され、特性値を見るにはほとんど機能しない、と解釈できる。実は項目2はある種のひっかけ問題になっており、著者も出題時にそのように認識していた。出題がふさわしいかどうかはともかく、出題時の認識と相違ない結果となっており、IRTの妥当性を感じる。6図の右図において、項目2以外は極端に傾向が異なる項目は存在せず、2節で見た一次元性と合わせて出題した項目に不備が少なかったことが確認できたと考え。細かい点では、項目36と37において、質問自体はほぼ同じ内容であり正答率も同じ99%であるのに、困難度が異なり、項目37の方が容易だと判断された。項目37は、解釈によってはひっかけ問題とも取れるが、この点で項目2と似た結果になったと考える。

項目31と33は、どちらも図形の表面積を問う問題で、正答率、困難度のどちらから見ても、難しい問題の1、2番目だった。しかし識別力で見ると、随分と差があり、この解釈は難しいが、項目33はより計算力が問われる内容であったためか考える。すなわち、本質的には同じ内容を問う2問において、より計算力が必要となる問題ほど識別力も高くなるのではないかと推測した。

著者の意図に反した結果としては、項目51が挙げられる。項目33のような難しすぎる問題では正答率が下がり識別力が落ちるのはわかるが、項目51のような普通の問題（正答率56%）において、最大の識別力が出るのが意外であった。項目51の困難度はほぼ0であり、たとえば項目29は困難度がほぼ0で正答率は54%とよく似ているが、識別力は1.78である。項目51については、定義がそのまま問題になったようなものであり、このような項目はブレが少ないであろうから当然高い識別力をとる、ということであれば、IRTは問題の内容は考慮していないにも関わらず識別力のイメージに適する結果を返している点で、IRTの有効性を示す結果といえる。たとえば出題者が定義に近い内容を問うつもりで出題したが、IRTの結果であまり識別力が高くないような状況が起きた場合に、その問題を見直すといったテストの設計を振り返るのに利用できるし、そもそもそれがIRTの本来の利用方法であろう。IRTから得られる知見によれば、また内容の面での判断が不可欠であるという前提はつくが、受験者とのやり取りを含めて項目の比較をすることで、受験者の現状に適した教育を考察できるかもしれない。若干の留意点としては、正答率で見れば95%以上の問題が複数あるが、それらは困難度に関して比較的バラけて配置されている点である。たとえば項目1と項目11において、正答率の点では99%と98%でほぼ同じ程度であるが、困難度は順に-4.05と-2.57であり、項目11のほうがより難しいと判断されている。

4. まとめ

今回の処理を経てIRTによる処理結果の妥当性を度々実感することができ、また出題した項目に関して適切かどうかを考察する材料を得た。識別力に関しては、それを高めるための推測ができたため、今後あらためてその推測を考察したい。識別力が高い項目を幅広い困難度の項目の中から集めることにより、その試験で受験者の特性値を少ない誤差で測定できるという点で、識別力の高い項目の作成は有意義なためである。実際の解析においては、Rとそのパッケージを利用すると非常に容易に項目のパラメータが得られ、RとIRTの高い利便性が確認できた。なお本稿では考察に

至らなかったが、取り組むべき課題も多く見つかった。たとえば本学では物理教育において先行の研究がなされており⁽⁶⁾、本稿の内容と合わせて知見が得られるかもしれない。またIRTで得られた結果に対する連関規則や二分木探索などのデータマイニングも効果を期待している。多様な学生により適した学習支援を提供すべく、これらの経験を活用したい。

5. 謝 辞

本稿の作成にあたり、テスト理論や項目反応理論に関する貴重な意見をいただいた、久留米工業大学共通教育科堀憲一郎先生に感謝いたします。

5. 付 録

5-1. 数学基礎力確認テスト

確認テスト - 2016年度 vol.1 学生証番号 () 氏名 ()

問題用紙上に計算を記した上、解答を解答用紙に記入せよ。

1 次の計算をせよ。

(1) $12 - 4 \times 3$

(2) $9 - 3 \div \frac{1}{3} + 1$

(3) $32.54 - 9.762$

2 次の計算を筆算で行え。

(1) 32.54×9.762

(2) $32.54 \div 9.762$
(四捨五入して小数第1位まで求めよ。)

3 12と28の最大公約数、最小公倍数を求めよ。

4 次の計算をせよ。

(1) $\frac{3}{4} + \frac{5}{6}$

(2) $\frac{3}{4} \times \frac{5}{6}$

(3) $\frac{3}{4} \div \frac{5}{6}$

5 次の図形の面積を求めよ。

(1) 正方形 (2) 長方形 (3) 三角形

(4) 平行四辺形 (5) 台形

6 半径6cmの円の円周の長さ、面積はいくらか。

7 次の図形の体積を求めよ。

(1) 立方体 (2) 直方体

(3) 円柱 (4) 三角柱

1

確認テスト - 2016年度 vol.2 学生証番号 () 氏名 ()

問題用紙上に計算を記した上、解答を解答用紙に記入せよ。

1 次の計算をせよ。

(1) $(-\frac{4}{5}) - (-\frac{5}{6})$

(2) $(-\frac{4}{5}) \times (-\frac{5}{6})$

(3) $(-\frac{4}{5}) \div (-\frac{5}{6})$

2 次の数を全て求めよ。

(1) 絶対値が $\frac{22}{7}$ より小さい整数

(2) 絶対値が2.4の実数

3 次の方程式を解け。

$$\frac{3}{5}x + \frac{6}{7} = \frac{1}{3}x - \frac{3}{2}$$

4 次の場合に右下の空欄に入る数を求めよ。

x	1	2
y	3	□

(1) xとyが比例する場合。

(2) xとyが反比例する場合。

5 次の図形の体積と表面積を求めよ。

(1) 底面が半径3cmの円で、高さが4cmの円錐。ただし頂点から下ろした垂線は、底面の円の中心を通る。

(2) 底面が縦3cm、横4cmの長方形で、高さが5cmの四角錐。ただし頂点から下ろした垂線は、底面の長方形の重心を通る。

(3) 半径5cmの球

2

確認テスト - 2016年度 vol.3 学生証番号 () 氏名 ()

問題用紙上に計算を記した上、解答を解答用紙に記入せよ。

① 次の計算をせよ。

(1) $(-3x)^2$

(2) $-[3x]^2$

(3) $ab \times (5a)^2$

(4) $ab \div \frac{3}{5}a^2b \times (-6a)$

② 携帯電話を契約するときに次の2つのプランがあったとせよ。

プランA 月の基本料金が1,400円で
1分通話ごとに3円

プランB 月の基本料金が980円で
1分通話ごとに5円

月の通話時間が何分を超えるとプランAの方がお得か?

③ 半径15cm、中心角 72° のおうぎ形の弧の長さ s と面積を求めよ。 $(\pi$ を使ってよい)

④ 次の図の $\angle x$ の大きさを求めよ。但し、図中の2直線は平行で、五角形は正五角形とする。

確認テスト - 2016年度 vol.4 学生証番号 () 氏名 ()

問題用紙上に計算を記した上、解答を解答用紙に記入せよ。

① 次の数を小さい方から順に整列させよ。

1.4, $\frac{3}{2}$, $\frac{10}{7}$, $\sqrt{2}$

② 次の計算をせよ。

(1) $\sqrt{75} \div 5\sqrt{3} \times 6$

(2) $\sqrt{3} \times (2\sqrt{3} - \frac{1}{\sqrt{3}})$

③ 次の式を因数せよ。

$(x+a)(x+b)$

④ 次の方程式を解け。

(1) $(x+7)(x-9) = -15$

(2) $2x^2 - 7x + 1 = 0$

⑤ 放物線 $y = -x^2 \dots$ ① と直線 $y = -2x - 3 \dots$ ② を考える。

(1) ①と②のグラフの交点の座標を求めよ。

(2) ①と②が平行で原点を通る1次式を求めよ。

⑥ $\angle x$ の大きさを求めよ。但しOは円の中心である。

⑦ 一辺の長さが5cmの正三角形の面積を求めよ。

5-2. IRTによりえられた、各項目の識別力と困難度

項目	困難度	識別力
X1	-4.049	1.243
X2	-5.311	0.174
X3	-1.828	0.865
X4	-0.186	0.945
X5	-0.661	1.752
X6	-1.514	0.868
X7	-0.441	1.421
X8	-2.884	1.099
X9	-2.881	0.933
X10	-2.327	1.175
X11	-2.574	2.675
X12	-2.404	2.054
X13	-3.182	1.241
X14	-1.747	1.366
X15	-0.577	1.472
X16	-0.375	2.569
X17	-1.041	1.895
X18	-1.227	2.565
X19	-1.178	2.176
X20	-0.41	2.491

項目	困難度	識別力
X21	-0.688	2.251
X22	-2.837	1.048
X23	-4.079	0.712
X24	-3.682	0.732
X25	1.142	0.902
X26	0.575	1.301
X27	0.328	1.377
X28	-2.358	0.966
X29	-0.081	1.78
X30	0.102	1.588
X31	1.941	1.019
X32	0.259	1.67
X33	2.188	2.5
X34	0.579	1.684
X35	1.247	1.465
X36	-4.607	1.166
X37	-7.269	0.615
X38	-6.208	0.462
X39	-0.82	1.334
X40	-0.56	1.256

項目	困難度	識別力
X41	-0.064	2.196
X42	-0.069	2.061
X43	1.054	1.257
X44	-1.15	0.612
X45	-1.173	1.051
X46	-1.154	1.495
X47	-2.686	1.172
X48	-1.356	1.497
X49	-0.876	1.082
X50	-0.041	2.022
X51	-0.089	3.523
X52	-0.416	1.456
X53	0.256	2.371

文 献

- (1) 豊田秀樹, “項目反応理論 [入門編]”, 朝倉書店.
- (2) 加藤健太郎, 山田剛史, 川端一光, “Rによる項目反応理論”, オーム社.
- (3) 植野真臣, 荘島宏二郎, “学習評価の新潮流”, 朝倉書店.
- (4) 阿久津洋巳, 石亀雅哉, “項目反応理論を用いた試験問題の検討: 共通教育心理学の例”, 岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要第11号 (2012), pp. 167-175.
- (5) Dimitris Rizopoulos, “ltm: An Package for Latent Variable Modeling and Item Response Theory Analyses”, Journal of Statistical Software, November 2006, Volume 17, Issue 5.
- (6) 巨海玄道, 野田常雄, 江藤徹二郎, 中村文彦, “久留米工大における物理学初年次教育の試み”, 久留米工大研究報告, No. 38 (2015), pp. 33-41.
- (7) 藤田哲也, “初年次教育の目的と実際”, リメディアル教育研究, 第1巻第1号 (2006), pp. 1 - 9.
- (8) 大友賢二, “項目応答理論”, 電子情報通信学会誌, Vol. 92, No. 12 (2009), pp. 1008-1012.
- (9) Dylan Molenaar, Francis Tuerlinckx, Han L. J. van der Maas, “Fitting Diffusion Item Response Theory Models for Responses and Response Times Using the R Package diffIRT”, Journal of Statistical Software, August 2015, Volume 66, Issue 4.

〔論 文〕

ソシュール学説の一つの有効性についての考察 — 「記号の恣意性」について—

松中 完二*¹

An Analysis of the Valid Thought in Saussure's Linguistics
— On “*l'arbitraire du signe*” —

Kanji MATSUNAKA*¹

Abstract

Ferdinand de Saussure was a Swiss linguist, considered by many to be the founding father of modern linguistics. His theories have been widely accepted in the field of linguistics and in other fields as well. His most lasting contribution to linguistics is his *Cours de linguistique générale* (*Course of General Linguistics*). Referred to as the Bible of linguistics, it has had a lasting impact on the research of the 20th century and remains a tremendously valuable spur to linguistic research today.

Saussure's concept of *l'arbitraire du signe* (the arbitrariness of the sign) was developed in *Cours de linguistique générale*, which discusses the arbitrary relation between sounds and meanings. In this study, I draw examples from Saussure's rough drafts, found in 1996, and argue for a new interpretation of Saussure's *l'arbitraire du signe*.

Keywords : Saussure, Cours de linguistique générale(CLG), *l'arbitraire du signe*, Saussure's rough drafts

0. はじめに

松中 (2016)⁽¹⁾において、CLGとSaussureの自筆草稿との記述の違いを洗い出し、Saussure学説における言語記号の差異という矛盾について、その問題の根本的原因を究明した。今回はSaussureの没後3年目の1916年に教え子の手によって編纂され出版されたCours de linguistique générale (CLG)と1996年に発見されたSaussure自身の自筆草稿を基に、Saussure学説を支える主軸である「記号の恣意性」の問題について考察し、その主張がいかにして言語を科学として扱う際の礎となったかについて論考する。

1. 言語記号の恣意性

Saussureの記号理論における最も重要な主張は、「記号の恣意性 (*l'arbitraire du signe*)」という考えである。これはSaussure学説の全般に関わる問題であると同時に、記号の対立や意味の問題に直結する性質を持つきわめて重要な問題である。Saussureは言語記号の恣意性を言語学の一般原理における「第一原理」として位置付け、言語を科学として扱う己の学説の理論的な礎であると考えた。「記号の恣意性」についてCLGでは次のように記述されている。

“Le lien unissant le signifiant au signifié est arbitraire, ou encore, puisque nous entendons par signe le total résultant de l'association d'un signifiant à un signifié, nous pouvons dire plus simplement : *le signe linguistique est arbitraire*.” [斜体部原文ママ] (1916 : 100)⁽²⁾

能記スィニフィアンと所記スィニフィエとを結ぶ連絡は、任意的 *arbitraire* である。別の言葉で言えば、記号とは能記が所記と連合して出来た全トータル体を意味する以上、更に簡単に、「言語記号は任意的である」と言えよう。” [ルビ原文ママ]

(小林英夫訳, 1928 : 98)⁽³⁾

*¹ 共通教育科
平成28年10月25日受理

“能記を所記に結びつける紐帯は、恣意的なものである。言いなおせば、記号とは、能記と所記との連合から生じた全体を意味する以上、我々は一層簡単に言うことができる：言語記号は恣意的なものである。” [下線部原文ママ] (小林英夫訳, 1940 : 92) ⁽⁴⁾

言語を科学として扱う際に、記号の恣意性をその「第一原理」とすることは Constintin のノートでも同様で、以下のように述べられている。

“Le lien qui relie une image acoustique donnée avec un concept determine et qui lui confère sa valeur de signe est un lien radicalement arbitraire. Tout le monde [est] d'accord.

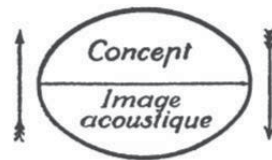
La place hiérarchique de cette verité-là est tout au sommet.” (Eisuke, Komatsu. 1997 : 287) ⁽⁵⁾

“一定の概念と与えられた聴覚イメージを結び付けるもの、そしてそれに記号の価値を授与するものは、根本的に恣意的な関係です。誰もがそう思っています。

この本質は、まさしく最上級のものです。” (相原奈津江・秋津 伶訳, 2006 : 168) ⁽⁶⁾

そして CLG では以下のような図を用いて、記号と音の結び付きについて説明している。

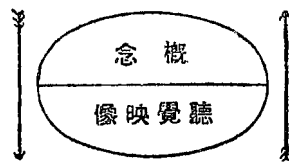
“Le signe linguistique est donc une entitépsychique à deux faces, (中略)



Ces deux éléments sont intimement unis et s'appellent l'un l'autre.”

(1916 : 99) ⁽⁷⁾

“されば言語記号は二面を有する精神的実体である。(中略)



此の二つの要素は密接に結合し、互に喚起し合う。”

(小林英夫訳, 1928 : 135) ⁽⁸⁾

“それゆえ言語記号は二面を有する心的実体である；(中略)



この二つの要素はかたく相連結し、相呼応する。”

(小林英夫訳, 1940 : 90-91) ⁽⁹⁾

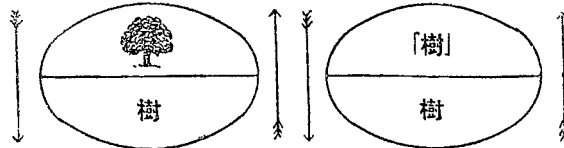
この図は音と意味の不可分離性と相互喚起性を示したものである。しかし原文では、「この二つの要素はかたく相連結し、相呼応する」の部分に対応する言葉はなく、この一文さえもまた Bally と Sechehaye による創作であることが今や明らかである。そして CLG では、ラテン語の arbre (樹) という語を上げて、その音と概念の結び付きを表したその後が続く以下の二つの図が有名である。

“Que nous cherchions le sens du mot latin *arbor* ou le mot par lequel le latin désigne le concept 《arbre》, il est clair que seuls les rapprochements consacrés par la langue nous apparaissent conformes à la réalité, et nous écartons n'importe quell autre qu'on pourrait imaginer.” [斜体部原文ママ]



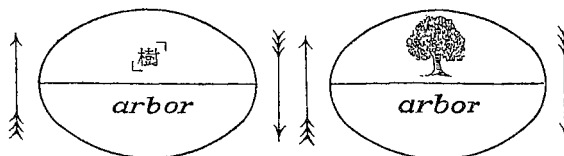
(1916 : 99)⁽¹⁰⁾

“漢語の樹^{ジュ}の意味〔下図右、語は下半面、意味とは概念で上半面〕或は漢語が「樹」なる概念を指すに用ひる語を求めるならば〔下図左〕、言語が取持つ近寄せのみが真相に適つて居る様に見え、我々は想像し得る他の何物をも斥けるものなる事が明かになる。”〔ルビ原文ママ〕



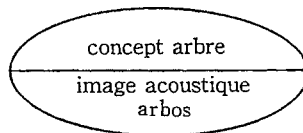
(小林英夫訳, 1928 : 135-136)⁽¹¹⁾

“ラテン語の *arbor* の意味を求めるにせよ、或はラテン語が「樹」なる概念を指すに用いる語を求めるにせよ、言語が認めた照合のみが真相に適うものとして、我々に現れることは明瞭であって、人は他に随意的照合を想像しえようが、我々はそれらをすべて斥けるのである。”



(小林英夫訳, 1940 : 91)⁽¹²⁾

しかしすでに丸山 (1981 : 71)⁽¹³⁾や末永 (2011 : 83-84)⁽¹⁴⁾でも指摘されているように、これらの二つの図も同様に、Constatin⁽¹⁵⁾のノートには出てこない。Constatin のノートにあるのは、以下の図だけである。



(Eiuke, Komatsu. 1993b : 286)

そして Engler 版 (1968 : 150)⁽¹⁶⁾における Dégallier の断章番号1109にあるのは、

“Tout rapprochement de terme <s> qui ne serait pas celui-là, nous le répudions comme fausse piste, dans cette recherché des deux termes que comprend un signe.”

“我々は、聴覚映像と概念の結び付きに見られるものとは異なるようなあらゆる結び付きは、記号が含む音と意味の二つの項に関する研究においては間違つた方法としてこれを捨て去るのである。” (筆者訳)

という記述である。

更に末永朱胤 (2011 : 85-86)⁽¹⁷⁾が指摘するように、Saussure 自身の説ではこうした記号と概念の結び付きを説明する図における上下二本の矢印が存在しないこと、一本の矢印がある図は七個あるが、そこでの矢印は常に下から上、すなわち signifiant から signifié に向かうものの一方向のみのものが四個、あとの三個は両端に矢じりの付された一本の縦の矢印が楕円の真ん中に存在するものとなっている。このことは音から意味、すなわち記号表現から記号内容を想起することはあっても記号内容から記号表現を想起しないということになる。

Saussure は言語を記号として捉え、記号には音形と内容が結び付くが、これらを結び付ける原理として絶対的な対応性は存在せず、それは恣意的なものにすぎないと見る。そして signifiant と signifié の間の結び付きは恣意的なもの

であるとする。Saussure は、“arbitraire (恣意性)” という用語に格段の注意を払っていたようである。というのも、それまでの社会学や哲学では、“arbitraire (恣意性)” という言葉を「自由選択」という意味合いで用いていたからである。自然言語の場合、先述したように記号の音形と観念を人間の意志で自由に選択したり取り替えたりすることは不可能である。こうした用語に対する懸念は Saussure の、

“Une partie seulement des signes dans toute langue seront radicalement arbitraires. Chez d’autres (signes) intervient un phénomène au nom duquel on peut distinguer un degré. Au lieu d’*arbitraire* nous pouvons dire *immotivé*.” [斜体部原文ママ] (Eisuke, Komatsu. 1993b : 297)⁽¹⁸⁾
 “言語全体の中で、記号のある部分だけは、絶対的に恣意的でしょう。他の〈記号〉では、程度を識別できるような現象が起こります。恣意的の代わりに無根拠 *immotivé* と言うことも出来ます。” [太字部とルビ、原文ママ] (相原奈津江・秋津 伶訳, 2003 : 173)⁽¹⁹⁾

という言葉における “*immotivé* (無根拠)” という言葉にも見て取れる。これにより、聴覚イメージと概念の関係はなんらかの恣意性によって決定されるのではなく、偶然的要因によって偶発的に決まり得ることを意味する。

単語がある言語の中で意味を有するのは、その言語を母国語とする話者の間で暗黙のうちにそれが了承されているからにすぎないのであり、この了承は契約のような取り決めによるものではないと Saussure は考える。恣意性はあくまでも単語の意味と音形の結び付きが変化することを説明付ける原理としてのみ有効に働くのである。そしてこの恣意性の不即不離の性質ゆえに、異なる言語間の単語に絶対的な対応性が存在しないという説明付けが可能となる。単語の意味と音形の結び付きに恣意性がなければ、ある一つの言語で同じ意味に対応する音素列はただ一つでなければならず、そこには一つの物に対して一つの語 (名称) という確固たる結び付きで変異を認めないことにより、同音異義の類は生れないことになる。しかし実際には身の回りには同音異義が溢れている。Saussure の学説で恣意性による単語の変異をどう説明付けるかは、記号の対立と意味との問題と同じく、言語学が解決すべき問題である。同音異義や多義の現象がこれまでの Saussure の学説や CLG の説明では解決しないことは松中 (2016)⁽²⁰⁾ で見たとおりである。そのような Saussure の学説にあって、同音異義や多義の現象を説明する唯一の手がかりがこの恣意性という考えである。

2. 恣意性の必然性

そもそも Saussure はなぜ、言語記号の恣意性をことさら強調したのであろうか。その理由は、聖書や Aristoteles に代表される古代ギリシャの言語名称目録観とも言うべき言語の捉え方に終止符を打つためであったと考えられる。Saussure は語における観念と聴覚イメージの間の関係を、それまでの言語哲学における「形」と「意味」とは異なるものとして捉えており、こうした考え方と決別するために「言語記号の恣意性」を声高に主張したと思われる。古代ギリシャでは、Platon の対話篇である *Kratulos* (クラテュロス—名前の正しさについて—)⁽²¹⁾ において、名称とそれが指示する事物との関係が自然な成り立ちにより形成されるという考えと、名称とそれが支持する事物との関係が契約的な成り立ちにより形成されるという、すでに言語についての二つの考え方があったことが記されている。前者を “*phusei* (自然)”, 後者を “*thesei* (契約)” と呼んで区別するが、前者には *Kratulos* を筆頭にした *Herakleitos* の流れを汲む学派が存在し、後者には *Helmogenes* を筆頭にした *Demokritos* の流れを汲む学派が存在し、これら二つの学派により言語についての考え方をめぐる議論が展開されていた。しかしこの議論は有効な解決を見ないまま今日まで続くものであり、またその性質から言葉と物との関係に終始し、いずれにしても言葉は“物の名前”か“既成の意味や概念を指す記号”でしかなく、どちらに転んでも言語が事物に名づけをするという性質からは逃れられない。Saussure は聖書や Platon 以来の言語名称目録観というべき言語記号が事物と名称とを結び付けるものであるとする言語に対する古典的思考方を否定し、Humboldt 的な「言語の本質は、世界を思考の鋳型に流し込むことであり、これが言語の作業である」(1836)⁽²²⁾ という考え方も否定する。その方法として、記号が「概念」と「聴覚映像」によって結ばれるということにより二つの心的事象の間の関係が物質的なものではなく抽象的なものであることを強調し、その結果、言語記号の恣意性という原理を説いたのである。そして音と意味の問題についてギリシャ哲学以来の古典的方向性から外れ、そこに恣意性という付かず離れずの自由な関係を認めることで、単語の変化と変異の説明付けを可能にしたのである。また同時に記号の恣意性という考え方は言語を記号として捉えることから必然的に導かれる現象であり、言語を科学として扱うのにもこの考えは有効に働くのである。それまでの言語名称目録観を否定するところから始まり、言語の創造性の原理とそれを解明しようとする科学的基盤に、Cassirer (1944 : 133)⁽²³⁾ をして Saussure を「十七世紀において物理的世界について

のわれわれの観念全体を変えたガリレオに比する」と言わしめる理由がここにある。

Merleau-Ponty (1945 : 207)⁽²⁴⁾は“事物は命名の認識の後からもたらされるのではなく、それは認識そのものである”と述べているが、こうした言葉と物の関係が固定的ではなく自由選択の性質を持つものであることを、科学として証明しようとしたのである。よって、丸山 (1981 : 153)⁽²⁵⁾が指摘するように、Saussure における「恣意性」のアンチテーゼは「必然性」ではなく、「自然性」ということになるのである。

また国広 (2006) の、

“言語記号の成立をソシニールのように記号の対立から始まるとするとあらゆる難問に遭遇するが、ソシニールが最初に批判の対象にした一般の考え方である認知内容から出発することにすれば、いろいろな言語現象もよく理解でき (例えば新語の発生)、直感的にもよく理解できる。” (国広哲弥, 2006 : 21)⁽²⁶⁾

という指摘も、この恣意性と社会性という部分である程度説明付けられる。

Bouissac (2010 : 169)⁽²⁷⁾は signifié と signifiant は人々が育つ過程で習得してきた言語システムによって強制的に与えられるものであり、これらの恣意的関係を意図的に設定できる独立的媒体は存在しない、と言う。だからこそ Saussure は、signifié と signifiant の結び付きが個人の自由選択によるものではなく偶然的要因によって決定されえることを恣意性という枠組みで説明付けようとするのである。そしてこうした決定に責任を負う特定の媒体はこの世に存在せず、こうした関係を生み出す究極の源は社会的集団であると繰り返し述べるのである。またある言語における新語の産出も、こうした社会的集団におけるコンセンサスによるものであり、その出発点が観念的なものであれ、こうした現象を説明付けるのに恣意性の考えは有効に機能するのである。そうすれば、

“最後に残る問題は、対立記号説で説明不可能であった、なぜある特定の言語記号が特定の音声と意味を結び付けているのかということである。”

という国広 (2006 : 21-22)⁽²⁸⁾の疑問にも、松澤 (2004 : 51)⁽²⁹⁾の慣習的な反復という解答以外に、言語記号の恣意性と社会的集団という面からも、更に理解を促進できると思われる。signifié と signifiant の結び付きが恣意的であればこそ、同じ signifié に対して様々な言語で様々な signifiant による多様な命名の仕方が可能になるのであり、それは同一言語内においても然りである。このことは以下の Banveniste と Saussure の言葉にも見ることができる。

“Mais le signe, élément primordial du système linguistique, enferme un signifiant et un signifié don't la liaison doit être reconnue comme *nécessaire*, ces deux composantes étant consubstantielles l'une à l'autre.”
[斜体部原文ママ] (Banveniste, 1966 : 55)⁽³⁰⁾

“しかし、言語体系の根源的要素である記号は、能記と所記を含んでいて、この二つの成分は互いに共実質的であるから、両者の結びつきは必然的と認められなければならない。” [下線部原文ママ]
(岸本通夫監訳, 1983 : 61)⁽³¹⁾

“Si par rapport à l'idée qu'il représente, le signifiant apparaît comme librement choisi, en revanche, par rapport à la communauté linguistique qui l'emploie, il n'est pas libre, il est imposé.” (1916 : 104)⁽³²⁾

“記号表現は、その表わす思想との関係では自由に選ばれたものとして思われるが、逆にこれを用いる言語共同体との関係では、自由ではなく、強制されたものである。” (小林英夫訳, 1940 : 104)⁽³³⁾

加賀野井 (2004 : 108)⁽³⁴⁾はこうした恣意性を語と単語の関係だけでなく、音と概念との結びつきも恣意的であるという恣意性の二重性を説きながら、

“何よりもまず、(1)シーニユはラングの体系によって恣意的に決定される。(2)それゆえ、そのシーニユのシニフィアンとシニフィエとの絆も恣意的である。(3)当然ながら、このシニフィアンとシニフィエとによって切り取られる音声の実質や概念の実質も、恣意的なものとなる。(4)とどのつまり、「ことば」とそれが指す「もの」との関係も恣意的になるのである。”

と締めくくる。こうした言語記号の恣意性とそれを決定付ける社会的集団という点に関する Saussure の言葉は、

以下に見るようになお一層明晰である。

“Quand un système de signes deviant le bien d’une collectivité, cela qu’ell qu’il soit d’ailleurs en soi, ou qu’ell qu’il soit par sa provenance, il arrive de ce fait deux choses :

1. Il est vain de vouloir l’apprécier hors de ce qui résulte pour lui de son caractère collectif.

2. Il est suffisant, et meme nécessaire, de ne prendre que ce produit social, en []

(中略) parce qu’en effet rien ne garantit plus depuis le moment où le système de signes appartient à la collectivité que ce soit une raison intérieure, une raison faite à l’image de notre raison individuelle, qui va continuer à gouverner le rapport du signe et de l’idée.

(中略) La langue, ou le système sémiologique qu’ell qu’il soit, n’est pas le vaisseau qui se trouve au chantier, mais le vaisseau qui est livré à la mer. Depuis l’instant où il a touché la mer, c’est vainement qu’on penserait pouvoir dire sa course sous prétexte qu’on saurait exactement les charpentes don’t il se compose, sa construction intérieure selon un plan.

(中略) Lequel est le vrai du vaisseau sous un toit dans la main des architectes, ou du vaisseau sur mer? Assurément il n’y a que le vaisseau sur mer qui soit instructif pour ce qu’est un vaisseau, et ajoutons-le, qui soit meme un vaisseau, un objet proprement offert à l’étude comme vaisseau.” [空欄原文ママ]

(Bouquet & Engler, 2002 : 288-289)⁽³⁵⁾

“記号体系が集団の財になる時、それ自体がどのようなものであれ、あるいはどこからきたものであれ、この事実から二つのことが生じる。

〈1 この記号体系を、その集団的性格から生じる結果の外で評価しようとしても、実りのないことである。

2 [] を除外することによって、この社会的産物のみを取り上げることで十分であり、かつそうすることが必要でさえある。(中略) なぜなら実際に、〈記号体系が集団に属する時から、〉内面的理性であれ、個人的理性に似せて作られた理性であれ、記号と観念との関係を支配し続けることを保証するものなどもはやなにもないのである。(中略) 言語、あるいはどのようなものにせよ、記号体系は造船所にある船ではなく海上に出た船である。それが航海に出た瞬間から、その船の骨組みや内部構造を設計にしたがって知ることができるから〈という理由で、〉その航路を言い当てることなど考えることは無駄なことである。

(中略) 屋根の下で技師の手のなかにある船か、それとも海上の船か、どちらが本当の船であろうか。勿論、船がどういふものか教えてくれるのは、海上の船しかない。そして言い添えておくと、それこそまさに船、船として固有の研究対象として与えられたものなのである。” [空欄、ルビ原文ママ]

(松澤和宏訳, 2013 : 470-471)⁽³⁶⁾

“C’est seulement le système de signes devenu chose de a collectivité qui mérite le nom de, qui est un système de signes : parce que l’ensemble de ses conditions de vie est tellement distinct depuis ce moment de tout ce qu’il peut constituer hors de cela que le reste apparaît comme inimportant. Et on peut immédiatement ajouter : qui si ce milieu de la collectivité change toute chose pour le système de signes, ce milieu est aussi dès l’origine le véritable endroit de développement où tend dès sa naissance un système de signes : un système de signes proprement fait que pour la collectivité comme le vaisseau pour la mer. Il n’est fait que pour s’entendre entre plusieurs ou beaucoup et non pour s’entendre à soi seul. C’est pourquoi à aucun moment, contrairement à l’apparence, le phénomène sémiologique qu’ell qu’il soit ne laisse hors de lui-même l’élément de la collectivité sociale : la collectivité sociale et ses lois est un de ses éléments internes et non externs, tel est notre point de vue.” [斜体部原文ママ]

(Bouquet & Engler, 2002 : 289-290)⁽³⁷⁾

“集団の事柄となった記号体系だけが [記号体系] の名称に値するのであり、それが記号体系なのである。なぜなら生の諸条件の総体は、集団の事柄となった時から集団以外のところでありうるものとは大変異なったものとなるので、残りのことはすべて重要ではなくなってしまうのである。更にただちに次のことを付け加えることができる。記号体系にとってこの集団という環境は、すべてを変えてしまうのである。この環境は、記号体系が誕生するやいなや発展を遂げていく真の場所でもある。記号体系が集団に対してのみできて

いるのは、船が海に対して作られているのと同じである。記号体系は数人あるいは多くの人の間で理解し合うために作られているのであって、一人だけの自己理解のために作られているのではない。そのために、外見とは反対に、記号現象が、どのようなものであれ、社会的集団の要素を自分自身の外部に残しておくことはどのような時でもないのである。社会的集団とその諸法則は記号現象の内在的諸要素の一つであって、外在的なものではない。以上がわれわれの観点である。” [傍点部原文ママ] (松澤和宏訳, 2013 : 472)⁽³⁸⁾

Saussure は言語を言語外の事物の一つ一つと対応させるそれまでのギリシャ哲学における言語の捉え方である言語名称目録観を全面的に否定するために言語を記号として捉え、そこでの音と観念の対応関係に恣意性という視点を持ち込んだことはこれまで見てきたとおりである。そして恣意性の問題は Saussure の言う、

“La langue est encore comparable à une feuille de papier : la pensée est le recto et le son le verso ; on ne peut découper le recto sans découper en même temps le verso ; de même dans la langue, on ne saurait isoler ni le son de la pensée, ni la pensée du son; (後略)” (1916 : 157)⁽³⁹⁾

“言語はまた、一葉の紙片に比べることができる：思想は表、音は裏である；裏を同時に細分せずに表を細分することはできない。同じく言語においても、音を思想から分離することも、思想を音から分離することも、できないであろう。” (小林英夫訳, 1940 : 149)⁽⁴⁰⁾

という有名な一文に代表されるように、signifié と signifiant の結び付きが表裏一体のものであることの説明に行き着く。しかしこの箇所も丸山 (1983 : 49)⁽⁴¹⁾の指摘によって明らかなように、原資料で一枚の紙の表裏にたとえられたものは言語ではなく記号なのである。上に見るように CLG ではここが“langue (言語)”となっていたために、時枝がそれを誤った原文のまま字義通りに解釈し、それ故に起こる不整合で不当に Saussure 学説を批判したことになる。そして記号内の signifié と signifiant の関係は、動機付けを欠いているが故に恣意的であり、同時に両者が不可分で一体であるとする。しかし松澤 (2013 : 570)⁽⁴²⁾の解説にも見られるように、signifié と signifiant の関係には必然性は存在せず、記号の二つの側面との関係は、話す主体の意識にとっては常に社会から暗黙裡に課せられた必然的なものとして、継承されるべきものとして現れ、恣意性とそこでの根源的二重性は、伝承と時間という目に見えない形と効果によってしか最終的な判断は下され得ない。ただ、ここで注意しなければならないのは、恣意性の二つの構造である。一つには物とそれを現わす記号との関係のつながりが恣意的であるが、同時にそれは音と観念のつながりが恣意的でもあることを意味する。ある signe における signifié と signifiant の関係が恣意的であるのは、他の signe との関係がそもそも恣意的であるからであり、このことについて Saussure は Constantin のノート⁽⁴³⁾における断章番号3350で、「恣意的な関係を考える場合には、注意深く峻別すべき二つの関係が登場するのであって、一つはすでに問題にした↑で表される縦の関係、もう一つは←→で表される辞項間の横の関係である」(筆者訳)と説明している。

3. Saussure の自筆草稿における恣意性

結局 Saussure が「言語記号の恣意性」によって表現したかったのは、この恣意性の由来する二重のメカニズムと、langue という体系そのものの無動機性である、という加賀井(2004 : 107)⁽⁴⁴⁾の指摘は正しい。そしてこの恣意性と langue という体系そのものの無動機性こそが、signifié と signifiant を自由に組み換えることで成立する同音異義や類義語の発生と解釈という現象を生む一つの要因であると考えられるのである。

しかしながら、同音異義や類義語の発生理由について最後まで邪魔をするのは記号の差異という主張である。これに対して、

“1) le caractère arbitraire du signe <(il n'y a pas de rapport entre le signe et la chose à designer);>.”

(Eisuke, Komatsu. 1997 : 7)⁽⁴⁵⁾

“1) 記号の恣意的な特徴。〈(記号と示されるものとの間には関連がありません)〉” [ルビ原文ママ]

(相原奈津江・秋津 伶訳, 2006 : 24)⁽⁴⁶⁾

“Dans l'association du signe à l'idée il n'y a rien qui lie en soi ce signe à cette idée. C'est une des raisons qui font qu'on doit éviter le terme de symbole, qui en soi est justement le contraire (後略).”

(Eisuke, Komatsu. 1997 : 8) ⁽⁴⁷⁾

“観念と記号の結合の中で、その記号をその観念に結び付けるものが、それ自体には何もありません。象徴という用語 *terme* を避けねばならない理由の一つであって、まさに正反対のものなのです。” [ルビ原文ママ] (相原奈津江・秋津 伶訳, 2006 : 25) ⁽⁴⁸⁾

という説明や、

“Nous n'établissons aucune difference sérieuse entre les termes *valeur, sens, signification, fonction* ou *emploi* d'une forme, ni même avec *l'idée* comme *contenu* d'une forme ; ces termes sont synonymes.” [斜体部原文ママ] (Bouquet & Engler, 2002 : 28) ⁽⁴⁹⁾

“われわれは、ある形式の価値、意味 [サンス], 意義 [シニフィカシオン], 機能ないしは用法の間に、いかなる〈重要な〉差異も設けず、またある形式の内容〈として〉の観念との間にさえも差異を設けることはしない。これらの用語は類義語である。” [傍点部とルビ, 原文ママ] (松澤和宏訳, 2013 : 26) ⁽⁵⁰⁾

という Saussure 自身の言葉は、これまでの CLG における主張とは正反対であり、また CLG から生まれる矛盾や問題点に対してきわめて大きな解答を与えてくれるのである。Saussure のこの言葉は国広 (1985 : 22) ⁽⁵¹⁾ の、

“このことは、繰り返しになるが、記号表現と記号内容が決して紙の表裏のように不可分に結び付いているのではないことを示していると言えよう。記号表現と記号内容は、心的な連合関係にあるというのが、その本質的な姿であろう。連合関係は必ずしも緊密なものではなく、どちらか一方が認知されるだけに終るといような不完全な事態が生じることも十分にあり得ることである。”

という指摘を支えるものであり、国広の意味現象に対する考え方が正しいことを証明するものに他ならない。また、

“Ainsi il n'y a jamais rien *dans ce mot* que ce qui n'était pas d'avance *hors de lui* ; et ce mot peut contenir et enferme en germe, tout ce qui n'est pas hors de lui.” [斜体部原文ママ] (Bouquet & Engler, 2002 : 74-75) ⁽⁵²⁾

“かくしてある一つの語の裡には、その語の外に〈あらかじめ存在していなかった〉ものしかけて存在しないのである。そしてこの語は、その語の外には存在していないすべてのものを含み、かつ萌芽的に秘匿しているのである。” [傍点部原文ママ] (松澤和宏訳, 2013 : 120) ⁽⁵³⁾

“(前略) à son tour ce sens général n'est pas autre chose que la delimitation quelconque qui résulte de la presence d'autres termes au meme moment.” (Bouquet & Engler, 2002 : 76) ⁽⁵⁴⁾

“(前略)「本来の」意味は一般的な意味の多様な現れの一つでしかないのである。この一般的な意味は、〈同じ時点に〉他の辞項が現前することから生じる〈なんらかの〉境界画定以外のものではない。”

(松澤和宏訳, 2013 : 122) ⁽⁵⁵⁾

という言葉は、類義語と同音異義の発生のメカニズムに対して極めて示唆的である。また類義語が発生する原理もこれと同様に、何かしらわれわれの認知構造と関連する部分があるのではないだろうか。国広 (2010 : 4) ⁽⁵⁶⁾ は「風景」と「景色」の類義語をあげるが、類似の概念を表すのに異なる記号を用いる類義語の場合も、その記号としての文字と意味が闇雲に結び付くのではなく、何かしらの有契性や関連性があるのではないだろうか。「風景」と「景色」はどちらも「景」という目に映る空間的情景と、そこに主体の五感で感じる主観的情緒を含ませるような「風」や「色」という記号と結び付いている事実がそれを物語ってはいまいか。このことの例として、丸山 (1981 : 304) ⁽⁵⁷⁾ は *i* は音的に軽快さを表し、*d* や *t* は停止を表し、こうした音と感覚のつながりが契約的なものとして擬声語、擬態語の発生原理に自然的な要素の介入を徹底して否定する。一方加賀野井 (2004 : 100-101) ⁽⁵⁸⁾ も *i* は軽快さを表し、*d* や *t* は停止を表すという丸山の例をそのまま自著で繰り返しながらも、それに対する賛否の姿勢は明言していない。加えて日本語の「でこぼこ」という音にはどことなく凹凸感が感じられ、漢字にもそれがそのまま反映されているような感があることを取り上げる。他にも「憂鬱」や「亡霊」の例をあげ、その漢字にも響きにもおどろおどろしさが滲み出ていることと、擬声語、擬態語の多い日本語でこの傾向が一層助長されていく現実を指摘する。また丸山 (1981 : 304-307) ⁽⁵⁹⁾ は、

特に日本語に多い擬声語、擬態語の発生原理を“thesei (契約)”的なものであるとして“phusei (自然)”論を否定することに腐心するが、いずれにしてもこれは Saussure が全面的に否定しようとした言葉と物の対応関係のみに終始する言語名称目録観としての言葉と物の関係の議論に終始してしまう。丸山はこうした言語現象が社会的契約によるものであると言うが、果たしてそうであろうか。国広 (2006: 21)⁽⁶⁰⁾は、

“言語学者の多くは音韻の体系性を見て、言語は構造をなしていると認めたのではなかろうか。しかし、すでに述べてきたように、言語は必ずしも本質的な属性として構造的な属性を持っているわけではないことが分かります。音韻の体系も別の要因によるのではないかと疑いたくなってくる。”

とあらゆる構造に対して懐疑的な態度を取るが、同様のことは同音異義や類義語の発生原理にも言えるのではないか。同じく国広 (2006: 21)⁽⁶¹⁾のその後続く以下の文は、表面上に現れる体系性がわれわれの認知世界や生理的機構と何かしらの関係性を有している可能性を示している。

“音韻が体系性を示しているのは、人間の音声識別能力の範囲内で音声を識別してきたためではないか。音声同士が近すぎると識別が難しいし、離しすぎると音韻の数が足りなくなるそこで両者をあわせ考えて今見るような音韻体系に落ち着いているのだと考えることも出来よう。それと同時に、人間の調音器官の構造と働き方も調音に制約を加えていて、子音は大抵唇音、舌音、奥下音に限られているようになっていとも言える。(中略)このような事情が見かけ上の体系性に繋がることになる。このように音韻の体系性は人間の生理的構造的性の反映とも見ることが出来るのである。”

では、同音異義の発生についてその現象を生む原理は、われわれの認知構造からどう説明づけられるのであろうか。その解答は J.Gillieron (1854-1926)⁽⁶²⁾の「同音衝突の原理 (rencontre homonymique, homonymic clash)」と鈴木孝夫 (1975, 1990)⁽⁶³⁾の「テレビ型言語」という視点が一つの解答になると個人的には考えているが、これらの考え方も最終的には連辞の粹を出ない部分があり、その実証は今後の研究の進展を待たねばなるまい。

また Saussure の次の言葉は、記号の音と観念のつながりについて「心的な連合関係にある」とする国広の先の言葉と一致していると見ることが出来る。

“Il arrive que le lien entre le signe et la sonorité est relativement motivé.” (Eisuke, Komatsu. 1993: 298)⁽⁶⁴⁾
 “ある記号と音の響き (との関係) は、相対的に根拠があるという結論になります。” [ルビ原文ママ]
 (相原奈津江・秋津 伶訳, 2003: 173)⁽⁶⁵⁾

“Mais le signifiant et le signifié contractent un lien en vertu des valeurs déterminées qui sont nées de la combinaison de tant et tant de signes acoustiques avec tant et tant de <coupures> qu'on peut faire dans la masse. Que faudrait-il pour <que> ce rapport <entre> le signifiant et le signifié fût donné en soi? Il faudrait avant tout que l'idée soit déterminée par avance et elle ne l'est pas. (Il faudrait avant tout que le signifié fût par avance une chose détermine et elle ne l'est pas.)” (Eisuke, Komatsu. 1993: 364)⁽⁶⁶⁾

“しかし、シニフィアン (と) シニフィエが関係を結ぶのは、無数の聴覚記号が、集塊の中で作られた多数の (裂け目) と結合して生まれる、一定の価値に従ってなのです。このシニフィアンとシニフィエの (間) の関係が、それ自体で与えられる (ためには)、何が必要なのでしょう [か]。何よりもまず観念が、(予め) 確定されていなければなりません、観念とはそういうものではありません。(何よりもまず、シニフィエが予め確定されたものである必要がありますが、シニフィエもまた確定されたものではありません。” [ルビ原文ママ]
 (相原奈津江・秋津 伶訳, 2003: 275-276)⁽⁶⁷⁾

4. 結

ここまで見てきた Saussure の言葉は、Bally と Sechehaye による CLG の主張とは多くの点で正反対であるという驚愕の事実が明らかとなった。こうした CLG の主張と Saussure の言葉の問題箇所は、相原奈津江・秋津 伶訳 (2003: 301-302)⁽⁶⁸⁾の訳者あとがきにおいて次のようにまとめられている。

“語の意味が使用を決定しているのではなく、使用が語の意味を決定している、というパラドックス。文法が意味を生み出しているのではなく、意味が生じているが故に文法の成立がある程度可能である、というパラドックス。では、何が語の使用を決定しているのだろうか。語を取り巻くものによってである。純粹にラングに関して言えば、語ではなく、語の価値であり、差異である。「言語の中には、ポジティブな語彙はなく、差異しかないのだ、と、そこには、パドキシカルな真実があります」。「差異がお互いを条件付けることによって、私たちは、記号の差異と觀念の差異とを比較対照させ、ポジティブな語彙に似た何かを持つのです。〈その時〉、語彙の対立について語る事が出来、それ故に、〈この結合のポジティブな要素から〉、差異しかないのだと言い張ら〈なく〉ても済むでしょう」。「記号に機能や価値を与えられるのは、記号の差異でしかないのです。」

語はそれとしては存在しない。しかし語に似た何かはあり、それを取り巻いている社会と大衆がある。純粹にラング以外で、何が使用を決定しているのだろうか。なぜ語は変化するのだろうか。[ルビ原文ママ]

CLGにおける Saussure の言葉として、「言語記号の対立によって概念の対立が見られ、記号には差異しかない」(1916: 166)⁽⁶⁹⁾という主張と、同音異義や多義に関して「この種の同一性は主観的な定義不能の要素」(1968: 243)⁽⁷⁰⁾といった自己矛盾も、先にあげた Bouquet & Engler (2002: 28)⁽⁷¹⁾での言葉で自然に結ばれ、その記述や研究姿勢に矛盾がないことが明らかとなる。結局、国広の疑問は Bally と Sechehayé による CLG での主張とその後の Engler 版を基にした丸山の主張に対して向けられていたものであり、Saussure の自筆草稿における Saussure 自らの主張ではないことが明らかとなった。しかしこのことは、これまでの国広の指摘が無意味であったことを意味しない。結果として国広の指摘は、部分的に Saussure の主張と重なることが多く、このことは言語研究における国広の視点の正しさと、ここでの意味の問題に対する解答の正当性を裏付けるものに他ならない。

記号内の “signifiant” と “signifié” の二つの関係性が、同じ体系内の記号間相互の差異的關係の二次的結果に過ぎないというのが、丸山 (1981)⁽⁷²⁾を貫く核心である。しかし松澤 (2016)⁽⁷³⁾によれば、「記号の恣意性」の「記号」とは「聴覚影像」の意味で用いられているという。したがって記号の恣意性とは、「聴覚影像の(概念に対する)恣意性」という意味になる。しかし CLG の編著者は、Saussure が後に提案した新たな “signe”, “signifié”, “signifiant” という術語の意味における「記号」と解し、「記号の恣意性」という表現をそのまま放置する結果となった。その結果、概念 (signifié) と聴覚影像 (signifiant) の不均衡、前者の後者に対する優位を掩蔽することとなり、signifié と signifiant が一対一的に対応するパラレリズムを体系に導入したことが明らかにされている。CLG では、音と思想の間で生じる言語単位の画定を示す点線が言語外の音と思想の領域にまで延長されており、言語の分節がそのまま無定形な言語外的世界を分節すると考える言語決定論を誘発してきた。これにより、松中 (2016: 60-61)⁽⁷⁴⁾でも指摘した、丸山圭三郎 (1983: 211)⁽⁷⁵⁾によって紹介された signifié と signifiant の対応図が全くもって意味を成さなかった理由が明らかとなる。そして、こうした恣意性の問題は意味論の観点からだけでなく、Saussure 文献学の観点からも批判的再考が迫られる。

しかるにその一方で、言語記号を “signe”, “signifiant” と “signifié” として捉え、それを支える “arbitraire (恣意性)” という原理は、Saussure 学説のみならず言語を科学として扱う際に今日でも有効な考え方である。それを証明するかのようには、Saussure 学説に反意を示す者であっても、それ以上に有効な枠組みを示し得た者はいまだかつて一人も存在しないのである⁽⁷⁶⁾。

文 献

- (1) 松中完二, “ソシユール学説の一つの矛盾についての考察—言語記号の差異について—” 久留米工業大学編『2015 久留米工業大学研究報告』第38号 (2016), pp. 54-66, 久留米工業大学.
- (2) Saussure, F. de., “Cours de Linguistique Générale” (1916), Paris: Payot.
- (3) 小林英夫訳, “言語学原論” (1928), 岡書院.
- (4) 小林英夫訳, “改訳新版 言語学原論” (1940), 岩波書店.
- (5) Eisuke Komatsu, “F. de Saussure Deuxieme Cours de Linguistique Générale.(1908-1909) d’après les cahiers d’Albert Riedlinger et Charles Patois”(1997), (Pergamon Press).
- (6) 相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第二回講義 (1908-1909)” (2006) エディット・パルク.)

- (7) Saussure, F. de., “*Cours de Linguistique Générale*.”(1916), Paris: Payot.
- (8) 小林英夫訳, “言語学原論” (1928), 岡書院.
- (9) 小林英夫訳, “改訳新版 言語学原論” (1940), 岩波書店.
- (10) Saussure, F. de., “*Cours de Linguistique Générale*”(1916), Paris: Payot.
- (11) 小林英夫訳, “言語学原論” (1928), 岡書院.
- (12) 小林英夫訳, “言語学原論” (1928), 岡書院.
- (13) 丸山圭三郎, “ソシユールの思想” (1981), 岩波書店.
- (14) 末永朱胤, “ソシユールの記号概念と聞き手の立場—記号の図の矢印について—” 『ヨーロッパ文化研究』第30号(2011), pp. 79-97. 成城大学大学院文学研究科.
- (15) Eisuke Komatsu, “*F. de Saussure Cours de Linguistique Generale. Premier et troisième cours d’après les notes de Riedlinger et Constantin*”(1993 a), Collection Recherches Université Gakushuin n° 24. Tokyo: Gakushuin University.(相原奈津江・秋津 伶訳 “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第三回講義<増補改訂版>” (2009), エディット・パルク.)
_____, “*F. de Saussure Troisième cours de Linguistique General(1910-1911) d’après les cahiers d’Emile Constantin*”(1993 b), Paris:Pergamon Press. 及び小松英輔, “ソシユール自筆原稿の研究” (1994), (平成6年~平成8年度 科学研究費補助金基盤研究B(2) 研究成果報告書 課題番号06451091) (相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第三回講義 (1910-1911) エミール・コンスタンタンによる講義記録” (2003), エディット・パルク.)
- (16) Engler, R., “*Cours de Linguistique Générale, Edition Critique*”(1968), Wiesbaden:Harrassowitz.
- (17) 末永朱胤, “ソシユールの記号概念と聞き手の立場—記号の図の矢印について—” 『ヨーロッパ文化研究』第30号 (2011), pp. 79-97, 成城大学大学院文学研究科.
- (18) Eisuke, Komatsu, “*F. de Saussure Cours de Linguistique Générale. Premier et troisième cours d’après les notes de Riedlinger et Constantin*”(1993), (Collection Recherches Université Gakushuin n° 24).
- (19) 相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第三回講義 (1910-1911) エミール・コンスタンタンによる講義記録” (2003), エディット・パルク.)
- (20) 松中完二, “ソシユール学説の一つの矛盾についての考察—言語記号の差異について—” 久留米工業大学編 『2015 久留米工業大学研究報告』第38号 (2016), pp. 54-66, 久留米工業大学.
- (21) 松本亦太郎, 木村鷹太郎訳, “プラトーン全集” (1903-1911), 富山房.
- (22) Humboldt, W., “*ÜBER DIE VERSCHIEDENHEIT DES MENSCHLICHEN SPRACHBAUES UND IHREN EINFLUSS AUF DIE GEISTIGE ENTWICKELUNG DESMENSCHEN-GESCHLECHTS*”(1836), Berlin.(岡田隆平訳, “言語と人間” (1948), 創元社.)
- (23) Cassirer, E., “*An Essay on Man: An Introduction to a Philosophy of Human Culture*”(1944), Hamburg: Felix Meiner Verlag. (宮城音弥訳, “人間: この象徴を操るもの” (1953), 岩波書店.)
- (24) Merleau-Ponty, “*Phénoménologie de la perception*”(1945), Paris: Gallimard. (中島盛夫訳, 『知覚の現象学』(2009), 法政大学出版局.)
- (25) 丸山圭三郎, “ソシユールの思想” (1981), 岩波書店.
- (26) 国広哲弥, “ソシユール構造主義は成立しない” 日本エドワード・サピア協会編 『研究年報』第20号 (2006), pp. 17-22, 日本エドワード・サピア協会.
- (27) Bouissac, P., “*Saussure: a guide for the perplexed*”(2010), London: Continuum. (鷲尾 翠訳, “ソシユール超入門” (2012), 講談社.)
- (28) 国広哲弥, “ソシユール構造主義は成立しない” 日本エドワード・サピア協会編 『研究年報』第20号 (2006), pp. 17-22, 日本エドワード・サピア協会.
- (29) 松澤和宏, “ソシユールの現代性—伝統的な時間をめぐって” (2004), 『月刊 言語』2004年12月号, pp. 50-53, 大修館書店.
- (30) Banveniste, E., “*Problèmes de Linguistique Générale*”(1966), Paris: Éditions Gallimard.
- (31) 岸本通夫監訳, “一般言語学の諸問題” (1983) みすず書房.
- (32) Saussure, F. de., “*Cours de Linguistique Générale*”(1916), Paris: Payot.
- (33) 小林英夫訳, “改訳新版 言語学原論” (1940), 岩波書店.
- (34) 加賀野井秀一, “知の教科書 ソシユール” (2004), 講談社.
- (35) Bouquet, S. & Engler, R., “*Ferdinand de Saussure, Écrits de linguistique générale*”(2002), Paris: Gallimard.
- (36) 松澤和宏校註・訳, “フェルディナン・ド・ソシユール「一般言語学」著作集 I 自筆草稿『言語の科学』” (2013), 岩波書店.
- (37) Bouquet, S. & Engler, R., “*Ferdinand de Saussure, Écrits de linguistique générale*”(2002), Paris: Gallimard.
- (38) 松澤和宏校註・訳, “フェルディナン・ド・ソシユール「一般言語学」著作集 I 自筆草稿『言語の科学』” (2013), 岩波書店.
- (39) Saussure, F. de., “*Cours de Linguistique Générale*”(1916), Paris: Payot.
- (40) 小林英夫訳, “改訳新版 言語学原論” (1940), 岩波書店.
- (41) 丸山圭三郎, “ソシユールを読む” (1983), 岩波書店.
- (42) 松澤和宏校註・訳, “フェルディナン・ド・ソシユール「一般言語学」著作集 I 自筆草稿『言語の科学』” (2013), 岩波書店.
- (43) Eisuke Komatsu, “*F. de Saussure Cours de Linguistique Generale. Premier et troisième cours d’après les notes de Riedlinger et*

- Constantin*(1993 a), Collection Recherches Université Gakushuin n°24. Tokyo: Gakushuin University. (相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第三回講義<増補改訂版>” (2009), エディット・パルク.)
- _____, “*F. de Saussure Troisième cours de Linguistique General(1910-1911) d’après les cahiers d’Emile Constantin*”(1993 b), Paris:Pergamon Press. 及び小松英輔, “ソシユール自筆原稿の研究” (1994), (平成6年~平成8年度 科学研究費補助金基盤研究B(2) 研究成果報告書 課題番号06451091) (相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第三回講義 (1910-1911) エミール・コンスタンタンによる講義記録” (2003), エディット・パルク.)
- (44) 加賀野井秀一, “知の教科書 ソシユール” (2004), 講談社.
- (45) Eisuke Komatsu, “*F. de Saussure Deuxieme Cours de Linguistique Générale.(1908-1909) d’après les cahiers d’Albert Riedlinger et Charles Patois*”(1997), Paris: Pergamon Press.
- (46) 相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第二回講義 (1908-1909)” (2006), エディット・パルク.)
- (47) Eisuke Komatsu, “*F. de Saussure Deuxieme Cours de Linguistique Générale.(1908-1909) d’après les cahiers d’Albert Riedlinger et Charles Patois*”(1997), Paris: Pergamon Press.
- (48) 相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第二回講義 (1908-1909)” (2006), エディット・パルク.
- (49) Bouquet, S. & Engler, R., “*Ferdinand de Saussure, Écrits de linguistique générale*”(2002), Paris: Gallimard.
- (50) 松澤和宏校註・訳, “フェルディナン・ド・ソシユール「一般言語学」著作集 I 自筆草稿『言語の科学』” (2013), 岩波書店.
- (51) 国広哲弥, “言語と概念” 東京大学文学部言語学研究室『東京大学言語論集'85』(1985), pp. 17-23, 東京大学文学部.
- (52) Bouquet, S. & Engler, R., “*Ferdinand de Saussure, Écrits de linguistique générale*”(2002), Paris: Gallimard.
- (53) 松澤和宏校註・訳, “フェルディナン・ド・ソシユール「一般言語学」著作集 I 自筆草稿『言語の科学』” (2013), 岩波書店.
- (54) Bouquet, S. & Engler, R., “*Ferdinand de Saussure, Écrits de linguistique générale*”(2002), Paris: Gallimard.
- (55) 松澤和宏校註・訳, “フェルディナン・ド・ソシユール「一般言語学」著作集 I 自筆草稿『言語の科学』” (2013), 岩波書店.
- (56) 国広哲弥, “語の意味をめぐる” 澤田治美編, 『ひつじ意味論講座』第1巻 (2010), pp. 1-22, ひつじ書房.
- (57) 丸山圭三郎, “ソシユールの思想” (1981), 岩波書店.
- (58) 加賀野井秀一, “知の教科書 ソシユール” (2004), 講談社.
- (59) 丸山圭三郎, “ソシユールの思想” (1981), 岩波書店.
- (60) 国広哲弥, “ソシユール構造主義は成立しない” 日本エドワード・サピア協会編『研究年報』第20号 (2006), pp. 17-22, 日本エドワード・サピア協会.
- (61) 国広哲弥, “ソシユール構造主義は成立しない” 日本エドワード・サピア協会編『研究年報』第20号 (2006), pp. 17-22, 日本エドワード・サピア協会.
- (62) J.Gillieron et J. Mongin, *Étude de géographie linguistique*. (1905), H. Champion.
- (63) 鈴木孝夫, “閉ざされた言語・日本語の世界” (1975), 新潮選書.
- (64) Eisuke Komatsu, “*F. de Saussure Cours de Linguistique Générale. Premier et troisième cours d’après les notes de Riedlinger et Constantin*” (1993), (Collection Recherches Université Gakushuin n°24).
- (65) 相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第三回講義 (1910-1911) エミール・コンスタンタンによる講義記録” (2003), エディット・パルク.
- (66) Eisuke Komatsu, “*F. de Saussure Cours de Linguistique Générale. Premier et troisième cours d’après les notes de Riedlinger et Constantin*”(1993), Collection Recherches Université Gakushuin n°24. Gakushuin University.
- (67) 相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第三回講義 (1910-1911) エミール・コンスタンタンによる講義記録” (2003), エディット・パルク.
- (68) 相原奈津江・秋津 伶訳, “フェルディナン・ド・ソシユール 一般言語学第三回講義 (1910-1911) エミール・コンスタンタンによる講義記録” (2003), エディット・パルク.
- (69) Saussure, F. de., “*Cours de Linguistique Générale*” (1916), Paris: Payot.
- (70) Engler, R., “*Cours de Linguistique Générale, Edition Critique*”(1968), Wiesbaden:Harrassowitz. p.243, 断章番号1764. 原文は以下のとおりである.

Mais ensuite, si nous considérons cet autre point que dans la même phrase je puis dire par exemple : *son* violon a le même *son* ; si précédemment je m’étais appliqué sur l’identité du son, je verrais ici que la tranche auditive *son* répété deux fois ne représente pas une identité. De même si on surprend la même suite auditive dans “*cet animal porte plume et bec*” et “*prête-moi ton porte-plume*”, nous ne reconnaissons pas qu’il y a là une identité. Il faut qu’il y ait identité dans l’idée évoquée. Elle comporte, cette identité, un élément subjectif, indéfinissable. Le point exact <où il y a identité> est toujours délicat à fixer.

これがまず一点目ですが、次に、別の文を例に出して、二点目を考えてみます。son violon a le même son [訳注：彼の(ソ) バイオリンは、同じ音(ソ)だ]。私が音の同一性^{イダンテイテ}だけにこだわってれば、二度繰り返される son という聴覚の切片が、ここで同一性^{イダンテイテ}を表わしていないことがわかるでしょう。

同様に、cet animal porte plumes et bec [訳注：動詞 porter の三人称単数+目的語 plumes と bec。この動物は羽根と嘴を持っている、の意] と <prête-moi ton> porte-plumes [ママ] [訳注：一つの名詞 porte-plumes。あなたのペン軸を私に貸して、という意] の中で、同じ音の繋がりに気付いても、私たちはそこに同一性^{イダンテイテ}があるとは認めないでしょう。同一性^{イダンテイテ}は呼び起こされる観念の中にこそあった、^{イデ}と言うべきなのです。

この同一性^{イダンテイテ}は、定義できない主観的な subjectif 要素を含んでいます。〈同一性^{イダンテイテ}がある〉という点を厳密にするには、いつも細心の注意が必要です。[太字とルビ、原文ママ]

(相原奈津江・秋津 伶訳2003：168)

- (71) Bouquet, S. & Engler, R., “Ferdinand de Saussure, *Écrits de linguistique générale*”(2002), Paris: Gallimard. (松澤和宏校註・訳, “フェルディナン・ド・ソシユール「一般言語学」著作集 I 自筆草稿『言語の科学』”(2013), 岩波書店).
- (72) 丸山圭三郎, “ソシユールの思想”(1981), 岩波書店.
- (73) 松澤和宏, “二つのドクサについて—「恣意性」と「世界の分節」—ソシユール文献学と『一般言語学講義』一”(2016)「日本フランス語フランス文学会2016年度秋季大会ワークショップ4 ソシユール『一般言語学講義』の1世紀—構造主義, 時枝論争, 新手稿」発表資料.
- (74) 松中完二, “ソシユール学説の一つの矛盾についての考察—言語記号の差異について—”久留米工業大学編『2015 久留米工業大学研究報告』第38号(2016), pp. 54-66, 久留米工業大学.
- (75) 丸山圭三郎, “ソシユールを読む”(1983), 岩波書店.
- (76) 本稿は, 2016年10月22~23日に東北大学で開催された日本フランス語フランス文学会2016年度秋季全国大会でのワークショップ「ソシユール『一般言語学講義』の1世紀—構造主義, 時枝論争, 新手稿」においてパネリストとして「Saussure と時枝誠記—Saussure 学説の受容と抵抗—」のタイトルで研究発表した内容に基づく。当日大会の司会と同ワークショップのコーディネーターを務めていただいた阿部宏先生(東北大学), 同じくパネリストとして有意義で示唆に富む研究内容をご教示頂いた松澤和宏先生(名古屋大学), 金澤忠信先生(香川大学), ならびに有意義なご意見とご示唆を頂いた加賀野井秀一先生(中央大学)に衷心より感謝申し上げます。言うまでもなく, 本文中の過失やミスはすべて筆者に帰するものである。

〔技術報告〕

久留米工業大学入学試験結果照会システムの設計開発

佐塚 秀人^{*1}・山田 貴裕^{*1}・河野 央^{*2}

Design and Development of Online Admissions Results Announcement

Hideto SAZUKA^{*1}, Takahiro YAMADA^{*1} and Hiroshi KONO^{*2}

Abstract

We designed and developed an online admissions test result inquiry system. The design of this system comprises a small-scale system configuration while it takes due consideration of personal information protection and security by minimizing information contents available for inquiry. In this technical report, we will discuss the system requirements, system design policy, and the actual system configuration. We will summarize the requirements for future directions for the development of equivalent systems.

Keywords : web, online, internet, admission, security, development, design

1. はじめに

平成28年9月旺文社インターネット出願実施状況調査¹⁾によれば、半数以上の私立大学がインターネット出願を導入している。また、本学の新入生アンケートによれば、その88.8%が本学ホームページを見たことがあり、インターネットを介した入試システムは、大学のサービス向上や受験生への利便性を高めることが期待されている。

本学でも、平成28年度入学試験においてインターネット出願を導入し、受験生の59%が利用した。初めての導入にも関わらず、高い利用率といえる。

しかしながら、入学試験の合否結果の照会については、従来通りの紙媒体での文書による通知であり、受験結果をいち早く知ることができない。そこで、情報館、情報ネットワーク工学科、および入試課では文書通知の補助的手段として、インターネット経由で入学試験の結果を照会するシステムを開発することにした。

2. システムの目的と設計方針

従来の紙媒体での通知では入試結果が確定してから通知が届くまでには時間がかかる。受験生としてはなるべく早く結果を知りたいと考えられるため、その思いに応えるためには素早く結果を知ることが出来るシステムを提供する必要がある。

本システムはインターネットを介して受験生及びその保護者がいち早く入試結果を知ることが出来るようにするためのシステムである。本システムの対象となる受験生は本学一般入試の受験生であり、受験番号や受験生の個人的な情報を共有する保護者も本システムを利用することが可能である。

入試結果を伝達する手段としては、受験生が受動的に通知を受け取れるように電子メール等によって伝達する方法と、受験生が能動的に結果を参照できるようにウェブページ等で提供する方法が考えられる。

本システムを計画するにあたって留意した点としては、個人情報が出流するような事態が発生しないことが最も重要な事項である。その上で受験生やその保護者ができるだけ簡単に利用できるようにしておく必要がある。

この観点から電子メールで伝達する方法は除外されることになる。何故なら電子メールは通信経路上の情報が暗号化されない（暗号化する方法はあるが利用者に過度の煩雑な手続きを要求することになる）ため、個人情報が流出する可

^{*1} 学術情報センター、^{*2} 情報ネットワーク工学科
平成28年11月30日受理

能性があるためである。また、受験生にメールアドレスを登録して貰う必要があるが、間違っで登録されると通知が届かなかつたり、別の人に通知が届き、個人情報が流出することになる。このような問題点があるため電子メールを利用する方法ではなく、受験生が入試結果を確認できるウェブページを公開する方法が適していると考えた。

ウェブページで入試結果を公開する場合に注意しなければならない点は、個人情報が流出しないようにすることである。そのためには可能な限りウェブサーバ上に個人情報を置かないようにする方が良い。個人情報を全く置いていなければ個人情報が流出する恐れは皆無である。

さらに、受験生やその保護者が簡単に結果にアクセスできるようにするためには、煩雑な入力を求めてはならず、出来るだけ入力しなければならない項目は少なくすることが求められる。そのため、本システムでの本人特定の手段は受験番号とその生年月日とすることとした。

3. システム設計方針

合否確認に必要な機能は受験番号と生年月日を得て、合否に関する情報を検索し、書式を整えて送信するシンプルなWEBシステムである。機能の実現では高度な機能や高性能なサーバシステムも必要とはしない。しかし、学生向けの演習課題のような機能であっても、大学の入試業務としてサービスする場合、信頼性、セキュリティ、安定稼働など一連の項目を考慮しなくてはならず、外部に開発・運用を委託すれば、機材を含む環境は機能にかかわらず相当以上の規模の提案がなされることが予想できる。入試業務ということで、プライバシー情報に係る情報を扱うという点から、他のシステムの一部の機能を使ってということは難しい。小規模なシステム環境で実現することができれば、小型のサーバ環境や、クラウド環境上の仮想マシン（VM：Virtual Machine）環境で運用することができ、他の運用の制約や運用費用の問題を避けることができると考えた。

以上のことに配慮し、幾つかの条件を設定し、運用を検討した。

1. セキュリティへの配慮
2. 信頼できる汎用環境での稼働（特殊環境に依存しない）
3. データの移行・更新の容易さ・正確さ（作業ミス防止）
4. システムの規模の小型化

3・1 セキュリティ課題

入試結果は一般では合格者受験番号の一覧が公開される情報であるので、個人認証等の技術の導入は不要と判断したが、元データの一括漏洩、しらみつぶしデータ取得などについては配慮が必要ではある。本来それらに具体的な対策を立てて設計をする必要があるが、問い合わせ情報から本人を特定できる氏名情報を扱わないということで、この問題への高度な対応を避けることとした。情報漏えいについては、システムを専用化し他のサービスとの共用を避けることで、不正アクセスの経路を減らしている。

今回の規模のシステムの場合には、既にあるサービスの中に間借りする形でのサービス提供が、手間もコストもかけず機能を実現でき、性能面では信頼できる品質を得ることができる。しかし、システム的にはデータが露出する結果となり、情報漏洩の防止という観点ではそういった運用はできない。

こういった配慮から、独立した単機能サーバで構成し、周辺機能に依存しない形で運用できるようなポータブルなモジュールとして開発をしていくこととした。

3・2 信頼できる環境

業者に委託する場合は、運用実績がありあらゆる面から十分に信頼できる環境を準備するであろう。運用実績のある枯れた技術と余裕をもったシステムリソースの準備は鉄則であるといえる。余裕をもったリソースは実際難しいが、オープンソースで実績のある技術の利用は信頼性・可用性を高めるために必須である。

今回はプロプライエタリなツールを使用せず、オープンソースとして普及しており、利用についての情報も広く公開されているツールを選択した。開発を委託するわけではないので、プロプライエタリな環境に依存することはできない。問題が発生しても容易にそれを回避できるよう、特定の技術に依存しないアプローチをとった。

3・3 データ移行・更新

入試の合否結果はマイクロソフト社の Excel ファイル形式で提供される（テストデータはその形式で提供された）。このデータを変換し利用する場合、ファイル形式やデータフォーマットの変更、文字コードの変換も必要に応じて行うことになる。データ形式の変更は、限られた時間内の作業の場合は思わぬ情報の欠損や変換ミスの可能性を残す。文字コード変換であっても Windows でよく利用される Shift-JIS 形式は元データの Unicode の文字セットをすべて表現することができないため、名前の情報が一部欠落してしまう可能性がある。データを自動的に変換するツールや機能を提供するか、手動で行う場合は、単純で間違いの起こらない手段をとらなければいけない。

本来は入試のデータベースを直接アクセスして情報を得る方法を選ぶべきであるが、そのようなインターフェースは提供されない。方針としては、Excel ファイル（Open Office XML Workbook 形式）からデータの基本形式を変更することなく利用する。UTF-8 形式の CSV に出力するなどして、内部のファイルまたはデータベースに取り込むこととする。よりアクセス効率のよい形式に変換することも考えられるが、性能上その必要性はないと判断した。

3・4 システムの規模の小型化

機能は問い合わせによるデータ検索のみ、データ数は数百件程度、アクセスが集中してもレスポンスのよい構成にしておけば、長いキューができることはない。便利な市販ツール等を利用することも考えられるが、機能の性質を理解すればオーバーヘッドが少ない単純な構成にしておくことが望ましい。データ件数からすればオンメモリでも対応できるデータ容量である。

現在の WEB はリレーショナル・データベースを中心にシステム構築されることが多い。DBMS を置くことで、データの保守性や信頼性を向上させることができるが、DBMS そのものの設定や保守作業、システムのポータビリティを考えるとデメリットが上回ることがある。

小規模な環境でも動作し、ポータビリティを高くしておくことは、性能、可用性、信頼性、さまざまな点でメリットが大きい。

4. システム構成

4・1 サーバプログラム

前述の条件を満たす環境として、以下の 2 種類のシステム環境が提案された。

- (1) Apache Web サーバ⁽³⁾ + PHP
- (2) Node.js JavaScript Web エンジン

(1)はポピュラーな構成であり、サーバ OS の標準ツールとして準備されている。(2)はサーバサイド JavaScript エンジン、開発は PC 上でも容易に行える利点がある。よりコンパクトな環境をめざしてみると、シングルスレッドによる処理効率の良さという技術的な試みもあり(2)を選択した。実際の運用はしていないが、動作に必要なメモリは100MB 以下であるため Raspberry Pi のような超小型のボード PC でも十分なサービスができる。

Node.js は Google Chrome ブラウザでも用いられている V8 JavaScript エンジンを基に作られたサーバサイド JavaScript 環境である。Apache サーバのような WEB サーバソフトウェアではなく、JavaScript インタプリタにサーバに必要なライブラリを加えたプログラミング環境であり、コマンドラインから利用するスタイルになっている。サーバとしてサービス提供するには、別途プロセス管理ツールを必要とする（後述）。

Apache サーバのような汎用でかつ高機能サーバの利用は、高機能であるがゆえに必要な機能を実際に停めておくといった対応が必要となる。一部の機能だけ必要であっても機能の多くは最初の段階から組み込まれ、予期しないセキュリティホールをそのままにしておく可能性もある。その点も考慮し Node.js を用いて専用サーバとして開発した。図 1 に本システムの概要図を示し、その詳細について説明をしていく。

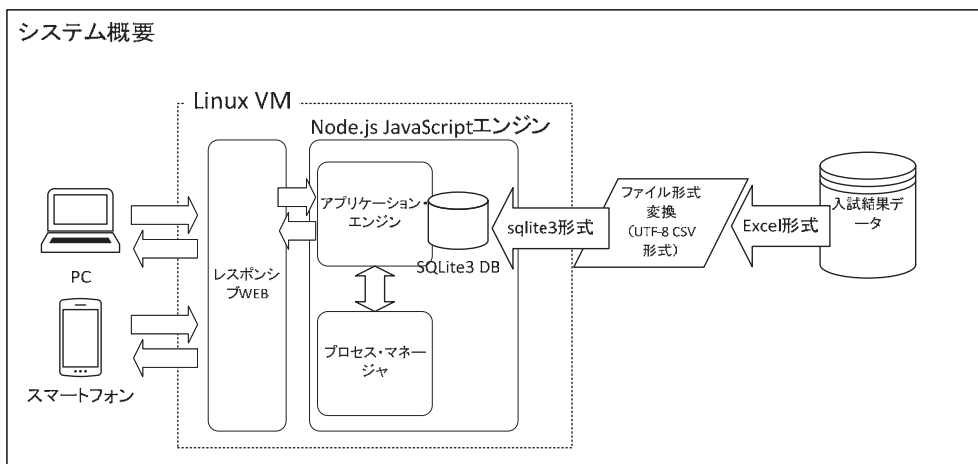


図1：システムの概要図

4・2 データベース

今回のデータ件数は1,000件以下、1件のデータが1KBとしても1MBであり、データをすべてメモリに格納できる規模である。こういった目的のために、MySQLやPostgreSQLのようなDBMSを利用する必要はない。しかし、データのメンテナンスや確認を考えた場合、SQLで操作できる環境は、データの確認という点で意味をもつ。

今回はSQLite3を利用する。SQLite3はSQLによるデータアクセスを提供するライブラリであり、DBMSではない。SQLite3はさまざまなシステムに組み込みDBとして利用されており、表計算ソフトのようなメンテナンスツールも公開されている。今回は“DB Browser for SQLite”を利用してデータベース作成を行う。

4・3 動作環境

現在本学のWEBサイトはホスティングサービスを利用しており、学外向けの専用サーバは運用されていない。基本構想として小型でポータビリティの高いシステムを考えた理由に、サーバに十分なメモリ空間やCPU性能を期待できない点もある。

サーバは他の環境と分離をするために、独立した仮想マシンを利用する。100号館サーバ室のWindowsサーバ上のHyper-V仮想環境マネージャの上のLinuxサーバで運用をする。仮想メモリは2GB程度で動作することを前提としている。この規模の仮想マシンイメージであれば、動作環境すべてをバックアップし、他のホストに移行することも比較的容易である。将来より安全で安定した環境での稼働ができるようになった場合でもOSレベルのイメージ単位で移行することができる。

4・4 WEBアプリケーション・プログラミング

本システムのプログラムはサーバ側で動作するJavaScriptプログラムと、クライアント側（ブラウザ側）で動作するプログラムで構成される。試作段階の規模はサーバ側のJavaScriptプログラムは136行、クライアント側のコードは、HTML、CSS、JavaScriptを合計して、213行である。クライアント側のデザインを除く最初のプロトタイプ制作には実質3時間ほどしかかかっていない。

サーバ側の機能は①SQLite3ライブラリ⁵⁾を利用したデータの検索、②テンプレートエンジンejsを利用したHTMLの生成のみで、Node.js上のWEBアプリケーションフレームワークExpress⁶⁾を用いている。今回は高度なルーティングは必要ないため、Expressを用いる規模ではないが、テンプレートエンジンの利用、ログの収集、エラー対応といった基本機能のために利用する。ExpressはNode.js上のWEBアプリケーションフレームワークとしては十分にポピュラーであり、他のフレームワーク等については検討していない。

4・5 データベースデータの作成

本稿の執筆時点では実運用は開始しておらず、テストデータを用いてテストをしている。本運用において必要な作業はデータの導入である。入試結果データはマイクロソフト社Excel形式（Office Open XML Workbookフォーマット）で受け取ることになっている。そこからCSV形式を経由して、SQLite3のファイルフォーマットに変換する。文字コードはUTF-8コードを用いる。入試課で用いているExcelではShift-JISコードでしか出力できない。一部の文字はShift

JIS では表現できないことが分かっているため、UTF-8 コードでの CSV ファイルの生成はこちらで行うことにした。ちなみに、Excel ファイルから UTF-8 コードの CSV への変換は LibreOffice などの他の表計算ソフトを用いることで容易に変換できることがわかっている。

CSV 化されたデータは、そのままの形式で SQLite 3 データベース化する。フィールド名は以下のように変換する(表 1, 図 2)。この変換には SQLite 3 GUI ツールである「DB Brower for SQLite」を用いて行っている。専用のプログラムを書いて CSV からの変換を行うこともできるが、データ変換時の確認もかねて GUI ツールを利用した。

表 1 : Excel データとデータベースフィールドの対応

元データフィールド名	SQLite 3 フィールド名	データ型
受験番号	number	INTEGER
誕生日	birthday	TEXT
第 1 志望学科	course 1	TEXT
第 1 志望合否	result 1	TEXT
第 2 志望学科	course 2	TEXT
第 2 志望合否	result 2	TEXT
備考	remarks	TEXT

SQLite 3 はファイルを SQL で管理・操作するライブラリであり DBMS ではない。今回の利用の目的も入試データのファイルを簡単に操作するための機能として利用している。CSV ファイルを連想ファイル形式でメモリに読み込んで操作する方法もあるが、データのメンテナンス性を重視しての選択である。

```
CREATE TABLE "Nyushi" (
    `number` INTEGER NOT NULL UNIQUE,
    `birthday` TEXT NOT NULL,
    `course1` TEXT NOT NULL,
    `result1` TEXT NOT NULL,
    `course2` TEXT,
    `result2` TEXT,
    `remarks` TEXT,
    PRIMARY KEY(`number`)
);
```

図 2 : データベースのスキーマ定義

5. クライアントデザイン

5・1 PC ブラウザおよびスマートフォンへの対応

当初の依頼では、スマートフォンでの利用という条件はなかったが、実際はスマートフォンから利用が多いと推測する。現在のスマートフォンでは PC ブラウザ用の画面でも表示できるが、画面の構成や操作性で問題がある。最近のスマートフォンの画面解像度は PC 画面以上の画素数を有しており、画面を拡大して表示しなければ利用できない。また、操作性も悪くデータの入力がうまくできないこともわかった。

スマートフォン用のブラウザでは viewport と呼ばれる仮想ウィンドウサイズを設定する仕組みがある。従来 JavaScript 等を用いて動的に設定しなくてはいけなかったスケール変換も、簡単に設定できるようになっている。今回は viewport をサポートしたブラウザについては固定で解像度を設定し、異なるデバイスであってもほぼ同等のレイアウトで画面が表示されるようになっている。viewport 設定がない PC ブラウザについては、ブラウザウィンドウの横幅に応じて適切な表示領域が得られるような JavaScript プログラムを追加し対応している(図 3, 4)。

本システムはある個人が頻繁に用いるというタイプの WEB アプリケーションではない。多くても数回しかアクセスはしないので、利用時に戸惑わない対応が重要である。画面操作のわかり易さ、操作の容易さ、について考慮をした。



図 3 : PC の画面 (開発中)



図 4 : スマートフォンでの画面 (開発中)

5・2 データ入力サポート

入力が必要なデータは①受験番号と②生年月日である。受験番号は単純な数字列なので問題はないが、生年月日は日付データで、入力形式や入力方法が問題になる。多くのスマートフォンでは、日付入力専用の機能が備わっている(図5)。Apple iOS系、Google Android系では違いはあるものの、日付入力機能を利用すれば、入力の形式は統一でき入力エラーは軽減できる。年が誕生年なので、年号入力については受験生の年齢を考慮して画面の初期値を設定することとする。

一方、PCでは日付入力をサポートしないブラウザもある。PCの場合キーボードが利用できるため、入力フォーマットを丁寧に例示することで、入力フォーマット違いの問題は避けることができる。当初、日付の入力UIライブラリを別途導入することを検討しテストを行ったが、マウスやタッチパッドを操作するよりもキーボードで直接入力するほうが容易であることがわかり、その方式は採用をしていない。

入力方法の表示は、ブラウザから得られるUserAgentのデータを元に判定している。サポート機能についての十分な情報が得られたため、現時点では主要なブラウザだけについて自動判定をしている。このような機能の判定ライブラリなどがあれば公開までに改良を加えたい。



図 5 : スマートフォンで日付入力

6. 運用

6.1 サーバシステム

本システムは小規模なシステムでも動作することを重視して開発しており、サーバシステムについての性能要求は高くはない。現時点でサポートされているLinux系OSのサーバであれば問題なく動作する。現在ターゲットにしているサーバを以下に示す(表2)。

表 2 : 運用マシン環境

ホストコンピュータ	Intel Xeon CPU E3-1240 3.4GHz (4コア)
仮想マシン	Windows Server 2012 Hyper-V 2 CPU 割り当て
OS	Ubuntu Server 16.04LTS
メインメモリ	1024MB (初期値, 必要に応じて追加割り当て)
ストレージ	128GB (仮想ストレージ)

ソフトウェアについては、OS の Ubuntu の基本機能に加えて以下のツールを用いている（表 3）。インストール作業は Ubuntu のパッケージマネージャ apt と Node.js⁽²⁾ のパッケージマネージャ npm を利用しオンラインでインストールができる。

表 3：ソフトウェア環境

サーバサイド JavaScript エンジン	Node.js	apt またはインストーラ
SQL ライブラリ	SQLite	apt
DB ドライバ	Node.js sqlite 3 ドライバ	npm
WEB アプリケーションミドルウェア	Express.js	npm
プロセスマネージャ	PM 2	npm

これらはすべてオープンソースソフトウェアを利用しており、今後の他の目的への流用や次年度以降の利用についても柔軟に環境を維持できる。利用に関する情報は書籍やインターネット上のサイトで公開されており、ブラックボックスになる部分は全くない。

6・2 プロセスマネージャ

本システムは汎用的な WEB サーバ上で運用されてはいない。本システム専用のプログラムが専用サーバとして稼働する。一般的な WEB サイトで利用される WEB サーバソフトウェアは、サーバシステムのサービスあるいはデーモンと呼ばれるバックグラウンドプロセスで動作するようにできているが、本システムで利用する Node.js ではバックグラウンドで動作するプログラムを管理する機能は標準では備えていない。個人用 PC で開発ができるというメリットはあるが、安定した運用のためには、電源投入と同時に稼働し、さまざまな理由でシステムを再起動しなくてはならない状況でも継続して動作するようなプロセスマネージャが必要となる。

Node.js のプログラムは Apache や nginx⁽⁴⁾ といった汎用の WEB サーバと連携する形で運用することが多い。規模の大きな WEB サイトでは複数の WEB アプリケーションエンジンに負荷分散をさせるため、そのような構成が必須となる。しかし、本システムの規模は小さく、できるだけ小規模な環境を考慮していることから必要以上に複雑な構成はとりたくない。

今回はバックグラウンドデーモン化ツール兼、プロセス監視ツールとして PM 2⁽⁷⁾ を利用する。PM 2 も Node.js で動作するソフトウェアで、インストールや操作も容易で今回の構成との相性がいい。ログの収集やトラブル等による停止時の再起動機能など監視機能も優れている。プログラムやデータの修正時の監視機能もあるため、データの更新時の操作の簡略化に期待できる部分もある。

7. 個人データ保護・セキュリティについての考察

本システムの稼働環境は物理的にもソフトウェア的にも完全には保護されていない。しかし、実運用する上ではそれらについて重大な問題が発生しないことについては十分な検討・考察が必要である。本システムは学内で開発されているため、情報の受け渡し作業は簡略化でき、小さな障害や問題点については柔軟に対応できる半面、セキュリティホール等については専門の業者レベルの品質は保証できない。このような状況での個人情報の取り扱い基準、セキュリティ基準について検討した内容を追記しておきたい。

7・1 個人情報の取り扱い基準

個人情報とは個人を特定し得る情報であるが、例えば受験番号だけでは個人を特定することはできない。したがって受験番号のみ、あるいは受験番号の羅列は個人情報には当たらない。さらに、受験番号とその可否結果の対もそれだけで個人を特定することはできないので個人情報には当たらないと考えられる。

同様に生年月日だけで個人を特定することはできないので個人情報には当たらない。受験番号と生年月日が対になっても、それで個人を特定することはできないため個人情報には当たらないと考えられる。

よって本システムではサーバ上に配置する情報は、「受験番号、生年月日、入試結果」の組み合わせのみとする。これにより個人情報が流出する事態はほとんど回避できると考えられる。

7・2 セキュリティの指針

前述のように本システム上には個人情報を書かないため、システムに求められるセキュリティレベルは高くはないと言える。しかし、全く配慮しなくて良いわけではない。最も避けなければならないリスクは、システムに不正侵入される等してデータを改ざんされてしまうことである。

このリスクに対処するには、サーバとして使用するソフトウェアを最新の状態にして既知のセキュリティホールがないようにしておくとともに、その他のセキュリティホールとなり得るプロセスを実行しないようにしておくことである。そのためには専用のコンピュータ（仮想マシンでも良い）を利用する必要がある。

さらに可能であればクライアントに対してサーバ証明書を送信して、本システムになりすました別サーバではないことを確認できるようにすることが望ましい。本システムでは個人情報は扱わないため、通信経路を暗号化する必要まではないと考えるが、サーバのなりすましには対処することが望ましい。

ウェブでは TLS を利用することで通信経路は暗号化することが出来るが、TLS を利用するためにはサーバ証明書が必須であり、サーバのなりすましも出来ないようになっている。そのため本システムでも TLS を利用することが望ましい。しかし、そのためにはサーバ証明書が必要である。

8. 今後の改善の方向

入試に関係する情報サービスは、情報の流出や改ざんといった問題もあるが、情報の発信源を明確にする必要がある。今回システムは個人が特定できるような情報を扱っていないため個人情報の流出といった問題は配慮しなくてもいいが、偽情報サイトを立ち上げることは容易にできる点を考慮しておきたい。学外向けの情報サイトは、正式な証明書をもつサイトを経由して提供していきたい。現在、大学の学外向けの WEB サイトの証明はプロバイダを証明するだけで、大学の正式なサイトであるという証明になっていない。一般的な情報発信については暗号化といったことは必要ないが、発信源が信用できるサイトである証明は必要である。個々のサービスで証明書を用意するのではなく、組織レベルの証明が必要であることの認識が必要であろう。そのような環境が準備されていれば、入試結果照会システムも外部から十分に信頼されるものになる。重要なのはコンピュータシステムの規模やシステムの信頼性だけではない。

教務や就職関連の学生支援システムなども、大規模なサーバシステムが必要と思われるが、基本的な機能提供だけに限れば小規模なシステムで十分に対応できる。大学の学生の規模は1,000名程度、直接個人情報を扱わないような教育支援機能など、簡単に実現できるものはあると思われる。今回のシステムには機器やソフトウェアなどについて特別な費用は発生していない。プログラムの規模は情報ネットワーク工学科の学生演習の規模である。学生のスマートフォンを利用した情報サービスなども実現できると思われる。

しかし、問題がないわけではない。学内で小規模なネットワークでのサービスを提供したくても、利用可能なサーバ環境が存在しない。今回は、100号館181教室向けのサーバシステムに余裕があったため、その上に仮想マシン環境を用意することができたが、一般的に安全にサービスを提供できるような環境は存在しない。

このようなサービスは現在では、商用のクラウドサービスを利用することができる。多くのプロバイダが、多様なクラウドサービスを提供している。プログラミング環境も含めたサービスも提供されている。今後どのようなニーズが出てくるかはわからないが、学生の含めたネットワークサービスの開発を進めて、大学のレベルアップを図るには、クラウドサービスの利用の方向も積極的に検討する必要がある。

9. おわりに

入試結果照会システムの開発と運用の検討結果について報告を行った。入試に関する情報を扱うため、十分に安全に配慮したシステムが必要に思えるが、個人情報の扱い等に十分な配慮をすることで、小規模なシステムで効率のよいサービスが提供できる。学内スタッフによる開発・運用は、必要な機能のみに注力でき、情報のやりとりも効率的にできるというメリットをもっている。要求される以上の機能や性能も必要ではない。

本技術報告は、今後このようなサービスを学内で企画していく上での、検討内容の記録、開発過程の記録である。このような小規模なサービスには必ずしも新しい技術や高性能な機材は必要とはしない。公開されている技術の活用、スピードを重視した対応に意義がある。

本報告の執筆時点では本サービスは提供していない。最終的な機能提供やデータ以降については更に検討作業を行ない、表示されるメッセージ、データベースに記録する情報については必要に応じて変更を行う予定である。

文 献

- (1) 旺文社 教育情報センター, http://eic.obunsha.co.jp/pdf/exam_info/2016/0923_1.pdf
- (2) Node.js Foundation, node.js interactive, <http://nodejs.org/>
- (3) Apache HTTP Server Project, Apache HTTP Server Project, <https://httpd.apache.org/>
- (4) NGINX, Inc., nginx news, <https://nginx.org/en/>
- (5) npm Inc., scLite3 Asynchronous, non-blocking SQLite3 bindings, <https://www.npmjs.com/package/sqlite3>
- (6) TJ Holowaychuk, Express – Node.js web application framework, <http://expressjs.com/>
- (7) Keymetrics, PM2 Advanced, production process manager for Node.js, <http://pm2.keymetrics.io/>

論文, 報告・その他, 著作および学会講演

(2015. 4. 1 ~ 2016. 3. 31)

機械システム工学科

論 文

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	発表誌名 (巻号)	年 月
Kenji SASA Daisuke TERADA Shigeaki SHIOTANI Nobukazu WAKABAYASHI Takuro IKEBUCHI CHEN Chen Atsuyoshi TAKAYAMA Makoto UCHIDA 澁谷 秀雄	神戸大院海事科学研究科 水産工学研究所, 神戸大院海事科学研究科 神戸大院海事科学研究科 今治造船株式会社 神戸大院海事科学研究科 神戸大院海事科学研究科	Evaluation of ship performance in international maritime transportation using an onboard measurement system - in case of a bulk carrier in international voyages	Ocean Engineering No. 104	2015. 8
田中 禎之 高山 敦好	本学大学院	ディーゼルエンジンから排出されるPMの分析	久留米工業大学研究報告 No. 38	2016. 3
		Development of a Miniature Laser-Induced Underwater Shockwave-Generating Device using an Optical Fiber	Micro and Nanosystems, vol.7(3)	2016. 1

学 会 講 演

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	学会等の名称	年 月
古賀 拓真 高山 敦好	本学卒業生	水エマルジョン燃料がコモンレールシステムに与える影響	日本機械学会九州支部学術講演会	2016. 3
田中 禎之 高山 敦好	本学大学院	ウルトラファインバブル (UFB) を用いた気液混合燃料の開発	日本機械学会九州支部学術講演会	2016. 3
中村 崇明 高山 敦好	本学卒業生	ウルトラファインバブル (UFB) 水に含まれるラジカルについて	日本機械学会九州支部学術講演会	2016. 3
室屋 佑成 高山 敦好	本学卒業生	コモンレールとエマルジョン燃料を組み合わせた新しい燃焼システムの開発	日本機械学会九州支部学術講演会	2016. 3
原賀 宰 高山 敦好 貴島 孝雄	山口東京理科大学工学部 山口東京理科大学工学部	水エマルジョン燃料がDPFに与える影響	日本機械学会九州支部学術講演会	2016. 3

交通機械工学科

学術論文

氏名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題目	発表誌名(巻号)	年月
T. Yamaguchi Y. Aoyagi N. Uchida A. Fukunaga M. Kobayashi T. Adachi M. Hashimoto	(株)新エイシーイー (株)新エイシーイー (株)新エイシーイー 元(株)新エイシーイー 元(株)新エイシーイー 元(株)新エイシーイー	Fundamental Study of Waste Heat Recovery in the High Boosted 6-cylinder Heavy Duty Diesel Engine	SAE International Journal of material and manufacturing Vol. 8 No. 2	2015. 5
Jiangli Yu Chao Zhang Naoya Shiraishi Takakazu Ishimatsu Murray Lawn Motohiro Tanaka	長崎大学 長崎大学 長崎大学 長崎大学	Pillow-type Computer Input Device for Serious Spinal Cord Injury	Modern Mechanical Engineering Vol.5 July	2015. 8
Masatomo Shibata Chao Zhang Takakazu Ishimatsu Motohiro Tanaka Joel Palomino	長崎大学 長崎大学 長崎大学 長崎大学 長崎大学	Improvement of a Joystick Controller for Electric Wheelchair User	Modern Mechanical Engineering Vol.5 No.4 November	2015. 11
森 和典	長崎大学	3次元機構解析によるベルクランク方式サスペンションの入出力特性計算法に関する検討	久留米工業大学研究報告第38号	2016. 3

学会講演

氏名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題目	学会等の名称	年月
T. Yamaguchi Y. Aoyagi N. Uchida A. Fukunaga M. Kobayashi T. Adachi M. Hashimoto	New A.C.E Co. Ltd New A.C.E Co. Ltd New A.C.E Co. Ltd New A.C.E Co. Ltd New A.C.E Co. Ltd New A.C.E Co. Ltd	Fundamental Study of Waste Heat Recovery in the High Boosted 6-cylinder Heavy Duty Diesel Engine	SAE World Congress 2015 (於 U.S.A-Detroit)	2015. 4
井手 靖雄 東 大輔 山口 卓也	久留米工大元教授	異なる巡航速度の自動車燃費に及ぼす向い風の影響 (第3報)	自動車技術会2015年春季学術講演会 (於パシフィコ横浜)	2015. 5
Jiangli Yu Takakazu Ishimatsu Naoya Shiraishi Murray Lawn Chao Zhang Motohiro Tanaka	長崎大学 長崎大学 長崎大学 長崎大学	Face Mount Computer Input Device for Serious Disabled	Proc. 2015 IEEE Fifth International Conference on Big Data and Cloud Computing	2015. 8
山口 卓也 内田 登 長田 英朗	(株)新エイシーイー (株)新エイシーイー	高過給ディーゼルエンジンにおける冷却損失低減が排熱回生システムによる熱効率改善ポテンシャルに及ぼす影響	第26回内燃機関シンポジウム (於京都テルサ)	2015. 12

技術報告

氏名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題目	発行所等の名称	年月
吉野 貴彦 野崎 博路	工学院大学工学部	モーメント線図を用いた左右駆動力制動力配分制御とキャンバ角制御の運動性能評価	久留米工業大学研究報告 No. 38	2016. 3

著書

氏名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題目	発行所等の名称	年月
東 大輔		自動車空力デザイン	三樹書房	2016. 3

その他

氏名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題目	発行所等の名称	年月
片山 硬		情けは人のためならず	自動車技術, 技術の窓	2015. 12
片山 硬		二輪車ライダーの操縦モデル	自動車技術会 自動車技術ハンドブック	2016. 3

建築・設備工学科

学術論文

氏名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題目	発表誌名(巻号)	年月
巨海 玄道 野田 常雄 江藤徹二郎 中村 文彦 満岡 誠治		久留米工大における新しい物理基礎教育体制構築の試み－学習態度に着目して－	Proceedings of Kyushu Regional Conference of Society of Japan Science Teaching	2015. 5
満岡 誠治		D・ストウの教育論におけるクラスルーム, 運動場, ギャラリーとその発展 英国における小学校建築に関する計画史的研究(3)	日本建築学会計画系論文集 第719号	2016. 1
満岡 誠治		E. R. ロブソン著「学校建築」にみるドイツのギムナジウム建築への着目英国における小学校建築に関する計画史的研究その8	日本建築学会研究報告九州支部第55号 建築計画A	2016. 3
巨海 玄道 野田 常雄 江藤徹二郎 中村 文彦		久留米工大における物理学初年次教育の試み	久留米工業大学研究報告 No. 38	2016. 3

学 会 講 演

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	学会等の名称	年 月
満岡 誠治		E. R. ロブソン著「学校建築」に見るドイツからイギリスへのクラス・システムの移入	2015年度日本建築学会大会	2015. 9
江藤徹二郎 毎熊 将嗣 野田 常雄 中村 美紗 田丸 昇 鈴木 孝至 岡崎 竜二 寺崎 一郎 前野 悦輝 中村 文彦	本学卒業生	モット絶縁体 Ca_2RuO_4 の多彩な相転移の熱力学	日本物理学会2015年秋季年会	2015. 9
野田 常雄 江藤徹二郎 中村 理央 巨海 玄道 中村 文彦	広大院・先端物質 広大院・先端物質 東京理科大・理工 名古屋大院・理 京都大院・理	教員養成課程における自ら考えさせる物理学実験	日本物理学会2015年秋季年会 関西大学千里山キャンパス 大阪市	2015. 9
大森 洋子	本学非常勤講師	小鹿田焼の海外での反応	小鹿田焼技術保存会 研修会	2015. 11
巨海 玄道 中村 文彦 江藤徹二郎 野田 常雄		久留米工大における物理駆け込み寺の試みⅢ	第121回日本物理学会九州支部例会	2015. 12
大森 洋子		伝統的建造物群保存地区の修理	平戸市伝統的建造物群保存地区研修会	2016. 2
満岡 誠治		E. R. ロブソン著「学校建築」にみるドイツのギムナジウム建築への着目英国における小学校建築に関する計画史的研究その8	第55回日本建築学会九州支部研究発表会	2016. 3
野田 常雄 江藤徹二郎 巨海 玄道 中村 理央 中村 文彦	本学非常勤講師	理工系基礎科目の物理講義におけるe-Learning の試み	日本物理学会第71回 年次大会 東北学院大学	2016. 3
巨海 玄道 野田 常雄 江藤徹二郎 中村 文彦		久留米工大における物理学初年度教育の試み（「物理駆け込み寺」の実践報告）	久留米工業大学研究報告38号	2016. 3

著 書

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	発行所等の名称	年 月
大森 洋子		日本の町並み 上巻 (分担執筆)	山川出版社	2016. 1
大森 洋子		日本の町並み 下巻 (分担執筆)	山川出版社	2016. 3

そ の 他

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	発行所等の名称	年 月
大森 洋子		「阿蘇の文化的景観」保存調査報告書 I : 総論	阿蘇市世界遺産推進 室	2016. 3
大森 洋子		奄美市赤木名文化的景観報告書	奄美市教育委員会	2016. 3
江藤徹二郎 巨海 玄道 落合 道夫 北川 児童 越地 尚宏 小島健太郎 佐合 紀親 柴崎 幸貴 副島 雄児 寺田 貢 田尾周一郎 中村 賢仁 野田 常雄 松井 淳	福岡工業大学 福岡女学院高校 久留米工業高専 九州大学 九州大学 西南学院中学・高校 九州大学 福岡大学 九州大学 九州産業大学 九州大学	第32回物理教育研究大会実行委員会 の活動記録	日本物理教育学会九 州支部会報「九州の 物理教育」Vol. 2	2016. 3

情報ネットワーク工学科

学 術 論 文

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	発表誌名 (巻号)	年 月
工藤孔梨子 工藤 達郎 寅田 信博 安德 恭彰 中島 直樹 清水 周次	九州大学病院・アジア遠隔医療開発センター	国際的な遠隔医療カンファレンス運 営のために必要な情報項目の標準化 に向けた取り組み,	日本遠隔医療学会雑 誌 第11巻第2号,	2015. 10
江藤 信一		好みの味質検出アルゴリズムの Android アプリ開発	久留米工業大学研究 報告 No. 38	2016. 3
足立 康志		衝突検出による組立経路生成と可視 化ソフトウェアの試作	久留米工業大学研究 報告 No. 38	2016. 3

学 会 講 演

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	学会等の名称	年 月
朱雀 保正 吉田 清明	久留米工業大学名誉教授	最小被覆問題の等行ノルム行列を用 いる解法	電気関係学会九州支 部第68回連合大会	2015. 9
江藤 信一		試飲による好みの味質検出アルゴリ ズムに関する研究	電子情報通信学会第 68回九州支部連合大 会	2015. 9
足立 康志		CAD 部品の衝突判定による組立可 能性と組立経路の解析	第33回日本ロボット 学会学術講演会1G1 -02	2015. 9
足立 康志		衝突検出による組立経路生成の探索 空間の考察	平成27年度電気情報 関係学会九州支部連 合大会08-2A-06	2015. 9

工藤孔梨子 工藤 達郎 寅田 信博 安德 恭彰 中島 直樹 清水 周次	九州大学病院・アジア遠隔医療開発センター	国際的な遠隔医療カンファレンス運営のために必要な情報項目の標準化に向けた取り組み,	第19回日本遠隔医療学会学術大会	2015. 10
--	----------------------	---	------------------	----------

そ の 他

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	学会等の名称	年 月
河野 央		「学習者の顔形状に合わせた発音練習のための口唇動作CGアニメーション自動生成」	平成23年度～平成26年度科学研究費助成事業(若手研究(B))研究成果報告書	2015. 9

教育創造工学科

論 文

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	発表誌名(巻号)	年 月
中村 美紗 志摩 幸弥 高倉つばさ 井出 純哉	教育創造工学科卒業生 教育創造工学科卒業生	理科×ものづくり教材：化学的ピタゴラス装置の製作と教育効果の検証	日本理科教育学会九州支部大会発表論文集第42巻	2015. 5
Yoshikatsu Sasaki		体温が鍵を握るクロヒカゲの縄張行動の可塑性	昆虫と自然50巻9号	2015. 7
巨海 玄道 野田 常雄 江藤徹二郎 中村 文彦		The best constant of discrete Sobolev inequality on a weighted truncated tetrahedron	World J. Engi. Tech. 3, No. 3 C	2015. 10
巨海 玄道 野田 常雄 江藤徹二郎 中村 文彦		久留米工大における新しい物理基礎教育体制構築の試み－学習態度に着目して－	Proceedings of Kyushu Regional Conference of Society of Japan Science Teaching 42 46	2015. 5
巨海 玄道 野田 常雄 中村 文彦		大学物理学初年次教育における高圧の導入法の試みⅡ	高圧力の科学と技術 25 114	2015. 11
T. Noda N. Yasutake M. Hashimoto T. Maruyama T. Tatumi & M.Y.Fujimoto	千葉工業大学 九州大学・理 原子力機構 京都大学・理 北海学園大学	Cooling of Compact Stars with Color Superconducting Quark Matter	Acta Astronomica Sinica Supplement 56 52	2015. 10
野田 常雄		中性子星の冷却と高密度核物質の状態	素粒子論研究 22 27	2016. 2
巨海 玄道 野田 常雄 江藤徹二郎 中村 文彦		久留米工大における物理学初年度教育の試み(「物理駆け込み寺」の実践報告)	久留米工業大学研究報告38号	2016. 3
井出 純哉		空中写真を用いた植生遷移を実感できる教材の開発	久留米工業大学研究報告38号	2016. 3
Tsuneo NODA		Neutrino Emissivity from Neutron Stars with Nucleon Superfluidity	久留米工業大学研究報告38号	2018. 3

学 会 講 演

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	学会等の名称	年 月
中村 美紗		理科×ものづくり教材：化学的ピタゴラス装置の製作と教育効果の検証	日本理科教育学会九州支部大会	2015. 5
野田 常雄		中性子星の冷却と高密度核物質の状態	基 研 研 究 会 「 原 子 核・クォークと中性子星—これまでとこれから—」	2015. 6
B. Frandsen L. Liu S. Cheung Y. Uemura T. Munsie M. Wilson A. Hallas G. Luke B. Chen C. Jin C. Ding F. Ning J. Alonso J. Ravichandran P. Kim C. Serrao R. Ramesh F. Nakamura Y. Maeno		Muon Spin Relaxation studies of Mott Transition Systems: $RNiO_3$ ($CaSr$) $_2$ RuO_4 and $(SrLa)_2IrO_4$	20th ternational Conference on Magnetism 5-10 July 2015 at Barcelona/Spain	2015. 7
Y. Maeno C. Sow S. Yonezawa F. Nakamura		Melting the Correlated Electron Solid under Non-Equilibrium Conditions - Ca_2RuO_4 -	Concepts and Discovery in Quantum Matter 2015 12-15 July 2015 at the Cavendish Laboratory in Cambridge/UK	2015. 7
井出 純哉		航空写真を用いた植生遷移を実感させる教材の開発	日本理科教育学会第65回全国大会（於京都教育大学）	2015. 8
佐々木良勝		重み付き切頂正4面体上のある離散解析について	函数方程式論サマーマセミナー（於文部科学省共済組合箱根宿泊所強羅静雲荘）	2015. 8
野田 常雄		膨張する宇宙—アインシュタインの亡霊—	「大学全入時代の物理学基礎教育の新展開」研究会	2015. 8
佐々木良勝		Weierstrass' elliptic function solutions to the autonomous limit of the string equation	日本数学会2015年度秋季総合分科会（於京都産業大学） 日本数学会2015年度秋季総合分科会無限可積分系セッション講演アブストラクト	2015. 9
井出 純哉		体温の変動の影響によって生じる蝶の行動の季節変化	日本昆虫学会第75回大会（於九州大学）	2015. 9

野田 常雄		コンパクト天体と超流動・超伝導	九州地区宇宙物理合同セミナー	2015. 9
野田 常雄 安武 伸俊 橋本 正章 丸山 俊毅 藤本 正行	千葉工業大学 九州大学・理 原子力機構 北海学園大学	$2M_{\odot}$ の最大質量を満足する高密度星の熱的進化モデル	日本天文学会2015年秋季年会	2015. 9
江藤徹二郎 毎熊 将嗣 野田 常雄 中村 美紗 田丸 昇 鈴木 孝至 岡崎 竜二 寺崎 一郎 前野 悦輝 中村 文彦	本学卒業生 広大院・先端物質 広大院・先端物質 東京理科大・理工 名古屋大院・理 京都大院・理	モット絶縁体 Ca_2RuO_4 の多彩な相転移の熱力学	日本物理学会2015年秋季年会	2015. 9
野田 常雄 江藤徹二郎 中村 理央 巨海 玄道 中村 文彦	本学非常勤講師	教員養成課程における自ら考えさせる物理学実験	日本物理学会2015年秋季年会 関西大学千里山キャンパス 大阪市	2015. 9
平野 正樹 井出 純哉	本学卒業生	新芽が赤いのは植食者に対する警告信号か	第31回個体群生態学会大会 (於滋賀県立大学)	2015. 10
Yoshikatsu Sasaki*		The best constant of discrete Sobolev inequality on a weighted truncated tetrahedron	The 5th World Congress on Engineering and Technology 23-25 (Suzhou, China)	2015. 10
野田 常雄		物理向け ICT 教材開発 - e-learning システムの構築 -	大学全入時代の物理学基礎教育の新展開研究会	2015. 12
巨海 玄道 中村 文彦 江藤徹二郎 野田 常雄		久留米工大における物理駆け込み寺の試みⅢ	第121回日本物理学会九州支部例会	2015. 12
松尾 康秀 橋本 正章 林田晃太郎 野田 常雄 藤本 正行	九大理 九大理 九大理 北海道大学	Pion 凝縮によるニュートリノ放射過程を考慮した静穏期の中性子星光度と観測との比較	第121回日本物理学会九州支部例会	2015. 12
野田 常雄		Neutrino Emissivities for Neutron Star Cooling	Kyoto Meeting 2015	2015. 12
戸田 康介 田辺 賢士 谷口 博基 岡崎 隆二 中村 文彦 寺崎 一郎	名大理 名大理 名大理 東理大理工 名大理	Ca_2RuO_4 の圧力下非線形伝導における試料温度計測	日本物理学会第71回年次大会 東北学院大学	2016. 3

野田 常雄 江藤徹二郎 巨海 玄道 中村 理央 中村 文彦	本学非常勤講師	理工系基礎科目の物理講義における e-Learning の試み	日本物理学会第71回 年次大会 東北学院 大学	2016. 3
井出 純哉 平野 正樹	本学卒業生	新芽が赤いのは何故か：警告色仮説 と隠蔽色妨害仮説の検証	第63回日本生態学会 大会（於仙台国際セ ンター）	2016. 3
佐々木良勝		The best constants of discrete Sobolev inequality on weighted truncated polyhedra	可積分系ウインター セミナー （於KKR湯沢ゆき ぐに）	2016. 1
井出 純哉 平野 正樹	本学卒業生	オンブバッタの餌選択における背景 色の影響	日本昆虫学会第76回 大会・第60回日本応 用動物昆虫学会大会 合同大会（於大阪府 立大学）	2016. 3
野田 常雄 安武 伸俊 橋本 正章 丸山 俊毅 藤本 正行	千葉工業大学 九州大学・理 原子力機構 北海学園大	核子の超流動・超伝導状態を考慮し た中性子星の冷却	日本天文学会2016年 春季年会	2016. 3

研究随想

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	学会等の名称	年 月
渋谷 憲政		数学教育における重心の概念	久留米工業大学研究 報告38号	2016. 3

共通教育科

学 術 論 文

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	発表誌名(巻号)	年 月
山田 久美 山本 晶 伊藤 証子 小倉いずみ 他	慶応義塾大学 広島大学 大東文化大学	命の泉を求めて：日本ソロー学会50 年の歩み	日本ソロー学会 創立50周年記念特別 号	2015. 10
澤口 隆 巽 靖昭	東洋大学経済学部	バックグラウンド稼働クリッカー (bgClicker) の開発	コンピュータ&エ デュケーション第38 巻 92-97	2015. 12
児玉 俊介 上村 一樹 佐藤 崇 澤口 崇 巽 靖昭	東洋大学経済学部 東洋大学経済学部 東洋大学経済学部 東洋大学経済学部	<実践報告>経済学科推薦入試入学 生に対する入学前 e ラーニング教育 の1年次経済学理論科目にもたらず 効果	京都大学高等教育研 究 第21巻 27-39	2015. 12
松中 完二		洋画の台詞における人名の意味理解 と英語教育の可能性について	映画英語教育学会編 『映画英語教育研究』 第21号 169 - 182	2016. 3

松中 完二		ソシユール学説の一つの矛盾についての考察—「言語記号の差異」について—	久留米工業大学研究報告38号 54-66	2016. 3
-------	--	-------------------------------------	----------------------	---------

学 会 講 演

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	学会等の名称	年 月
松中 完二		洋画の台詞における人名の意味理解と英語教育の可能性について	映画英語教育学会九州支部第17回大会	2015. 9

そ の 他

氏 名	大学名・学部名 (学外共著者の場合)	題 目	学会等の名称	年 月
堀 憲一郎		大学生の職業観とその発達支援	科研費研究成果報告書	2015. 6
児玉 俊介 上村 一樹 佐藤 崇 澤口 崇 巽 靖昭	東洋大学経済学部 東洋大学経済学部 東洋大学経済学部 東洋大学経済学部	経済学基礎教育における学習支援としてのeラーニング利用と教育効果	大学教育と情報 2015年度 No. 1	2015. 6

平成27年度 修士課程修了論文題目

修士論文

エネルギーシステム工学専攻

氏名	標 題	主指導教員	副指導教員
高田 翼	設置から13年間経過した太陽光発電システムの発電効率に関する研究	野々村善民	田代 博之

自動車システム工学専攻 (一般課程)

氏名	標 題	主指導教員	副指導教員
相園 義博	二輪と四輪の混合交通の問題点	片山 硬	渡邊 直幸
淵上 貴之	アール・ヌーヴォーと空気力学を融合した新しいデザイン様式の提案	東 大輔	山口 卓也
真栄田紀彦	インテリジェント車椅子	片山 硬	渡邊 直幸
尹 哉皓	地面効果を利用した航空機の空力デザイン	東 大輔	井川 秀信

研究報告編集委員会

委員長 高橋雅仁 情報ネットワーク工学科
委員 田代博之 機械システム工学科
森 和典 交通機械工学科
吉住孝志 建築・設備工学科
河野 央 情報ネットワーク工学科
久保省藏 教育創造工学科
事務局 小林敬二 学術情報センター（図書館）
森 文子 学術情報センター（図書館）

久留米工業大学研究報告 第39号

BULLETIN OF KURUME INSTITUTE OF TECHNOLOGY

BULLETIN OF KURUME INSTITUTE OF TECHNOLOGY No 39

平成29年3月17日印刷
平成29年3月17日発行

Printed 17 March 2017
Published 17 March 2017

編集兼
発行

久留米工業大学研究報告
編集委員会

〒830-0052 久留米市上津町2228-66
TEL (0942) 22-2345
URL <http://www.kurume-it.ac.jp>

Editor Editorial Committee for Kurume Institute of
Technology Bulletin
2228-66 Kamitsu-machi, Kurume-shi,
Fukuoka-ken, Japan. 830-0052
TEL (0942) 22-2345
URL <http://www.kurume-it.ac.jp>

印刷所 (株)昭和堂

〒812-0007 福岡市博多区東比恵 4 - 2 - 10
TEL (092) 471-8200

Printing Showa-do Ltd.
4-2-19 Higashi-Hie, Hakata-ku,
Fukuoka-shi, Fukuoka-ken, Japan. 812-0007

Kurume

2016

BULLETIN OF KURUME INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Technology

No.39

[Paper]	Combustion Characteristics of Diesel Engine with Change in Ultrafine Bubble Diameter Mixed into FuelAtsuyoshi TAKAYAMA and Tadayuki TANAKA.....	1
	The Energy Analysis of High Expansion Cycle in the High Boosted Diesel EngineTaro SUGINO and Takuya YAMAGUCHI.....	7
	The Importation of the Classroom System from Germany to Britain written in <i>School Architecture</i> by E. R. Robson and the Early History of Primary School Architecture in JapanSeiji MITSUOKA.....	17
	A Study on the Actions in Community-Based Tourism for Local Community Revitalization – In Case of Yame City, Fukuoka Prefecture –Yoko OMORI.....	27
	Detection algorithm with favorite taste quality for orange juiceShinichi ETOH.....	35
	Automatic CG Generation of Vowel Lip Movement Based on a Two-Dimensional Mathematical ModelHiroshi KONO, Yuya AKIYAMA and Mariko ODA.....	44
	Deformation Scheme of Regular and Semiregular PolyhedraYoshikatsu SASAKI and Chika KAMESAWA.....	55
	Analysis of Basic Mathematics Examination under Item Response TheoryYasuhiro NAKASHIMA and Yoshikatsu SASAKI.....	63
	An Analysis of the Valid Thought in Saussure's Linguistics —On “ <i>l'arbitraire du signe</i> ”—Kanji MATSUNAKA.....	72
[Technical Note]	Design and Development of Online Admissions Results AnnouncementHideto SAZUKA, Takahiro YAMADA and Hiroshi KONO.....	85
[List of Articles, Reports / Miscellaneous, Books and Presentations]	94
[List of Master's Theses (2015)]	104
