

研 究 紀 要

第 56 号

RESEARCH REPORTS

National Institute of Technology,

Fukushima College

NO. 56

2 0 1 5

福島工業高等専門学校

目 次

折り畳み可能な構造体の変形メカニズム 寺田 耕輔・門井 幸太・戸倉 直・須志田 隆道・萩原 一郎	1
災害時即応型水中狭あい部調査ロボットシステムの開発	鈴木 茂和・飯塚 将太 7
微小試験片による引張強度とひずみの評価	鈴木 茂和・木下 博嗣 13
パズルゲーム「タングラム」解法の基本アルゴリズム	大槻 正伸・中野 良樹・新井 広 19
シリンダ形状永久磁石により構成された Halbach 配列永久磁石列の磁気特性 伊藤 淳・徳永 昇吾・土屋 裕紀・Mikael J. Bragge・鈴木 晴彦	25
メソ位にトリフルオロメチル基を有する新規ポルフィリン、ヘムおよび再構成ミオグロビンの合成と構造 青柳 克弘・松井田 香・大林 洵・須田 達仁・大平 雅人	31
フリーデル氏塩の生成に及ぼす各種アルミナ化合物の添加の影響 緑川 猛彦・伊藤 洋輔・山ノ内 正司・内田 修司	37
暴露供試体を用いたコンクリート表面の塩化物イオン濃度と 見掛けの拡散係数に関する考察	緑川 猛彦 43
いわき市における逃げ地図に関する検討	菊地 卓郎・齊藤 充弘・佐藤 勇人 49
福島から考える屋内遊戯施設の一提案	西口 美津子・永山 友理 55
3.11 と技術中心時代の倫理についての予備的考察	田渕 義英 61
組織論における合理性概念再考	若林 晃央 71
bear, endure, tolerate, stand の対照意味分析	鳥居 孝栄 79
『マクベス』の翻案	石原 万里 85
デカルトの「自然哲学」としての宇宙論について	笠井 哲 91
カントの道徳哲学における「善」と「悪」について	笠井 哲 97
サートンの科学史観について	笠井 哲 103
三宅剛一における科学の哲学的考察について	笠井 哲 109
LabVIEW で操作する計測器を用いた応用物理実験テーマの策定 －共振実験用 VI の作成と線形フィッティング解析の実習－ 磯上 慎二・小田 洋平・鈴木 三男・工藤 康紀	115

折り畳み可能な構造体の変形メカニズム

The deformation mechanism on origami based foldable structures

寺田 耕輔・門井 幸太・戸倉 直*¹・須志田 隆道*²・萩原 一郎*²

国立高等専門学校機構 福島工業高等専門学校 専攻科

*¹トクランシミュレーションリサーチ株式会社・*²明治大学 先端数理科学インスティテュート

Kousuke Terada, Kota Kadoi, Sunao Tokura*¹, Takamichi Sushida*² and Ichiro Hagiwara*²

National Institute of Technology, Fukushima College, Advanced Course *¹Tokura Simulation Research

Corporation *²Meiji University, Meiji Institute for Advanced Study of Mathematical Sciences

(2015年10月5日受理)

In order to produce the origami based foldable structures, designers have to determine industrial material type, geometry of structures and dimensions etc. These structures may be deformed in proportion to the load at the first step, and show the property of spring. Next step, the deformation will become non-linear behavior. However, deformation mechanism in these structures cannot be estimated yet well. So, appropriate design cannot be done easily. In this paper, by experiments and FEM analysis, we present the theory of deformation mechanism on origami based foldable structures, which are made of resin or metal, have many types of dimensions and geometry. This theory shows not only the relationship between dimensions of structures and spring constant, but also the relationship between material constant and the load to fold structures.

Key words: deformation mechanism, origami, foldable structure, FEM analysis, spring constant

1. はじめに

日本の伝統的な芸術のひとつとして折紙は、世界各国の多くの外国人にOrigamiとして知られているが、近年では折紙の折り畳める現象、即ち立体的構造から平面的構造、あるいはその反対の平面構造から立体構造へと自在に変化できる幾何学的特性に注目されている。その理由としては、最近の世界的なスマートフォンの爆発的なヒットに代表されるコンピューター関連のハードウェアおよびソフトウェアの革新的な機能向上と超低価格化、そして様々な工学分野における挑戦的な創造性に富んだアイデア発掘への強いニーズが、折紙における折り畳める現象についての数理解析学および構造学的な研究開発の推進を加速させているようである。

このような研究開発事例およびその製品は、次のように多岐の分野において非常に多い。最も大規模な事例¹⁾~³⁾としては、宇宙産業におけるソーラーパネルやソーラーセイルなどの巨大な宇宙構造物を、地上で小さく折り畳んだ後、宇宙空間に到着してから、展開・構築するというものである。次に身近な自動車の部品例としては、折り畳みの理論に基づいたエアバッグ形状と、その畳み方の最適化の研究⁴⁾がある。また、衝突エネルギー吸収

の観点から塑性座屈モデルの研究事例⁵⁾なども知られている。さらに生活用品としては、折り畳み可能にすることにより潰れやすさを重視したペットボトル容器⁶⁾、テント等の大きな構造物の収納等⁷⁾が挙げられる。このように、折紙の幾何学的特性を基とした応用例に関する研究報告は多い。

しかし、このように多岐の分野での活用が期待されている反面、紙を対象にした折紙についての幾何学特性の研究は進んできたが、工業製品に応用するために必要な折り畳む過程における“紙でない工業材料”の変形メカニズムについてはまだよく解明されていない点も多い。工業材料としても樹脂材料あるいは金属材料にしても、それぞれに多くの種類がある。このため製造工法についても、一般的にはまだ確立されていない状況である。

そこで、筆者らは、折り畳み可能な樹脂/金属製構造物の変形メカニズムを解明するため、代表的な材料として樹脂材料ではポリプロピレン(PP)、金属材料では軟鋼を選定して、試作実験および解析を行いながら、その現象について考察するプロセスにより研究を進めている。

本稿では、そのなかの基礎的な検討結果をまとめた内容について報告する。

2. 樹脂製折り畳み可能な構造体の試作と実験

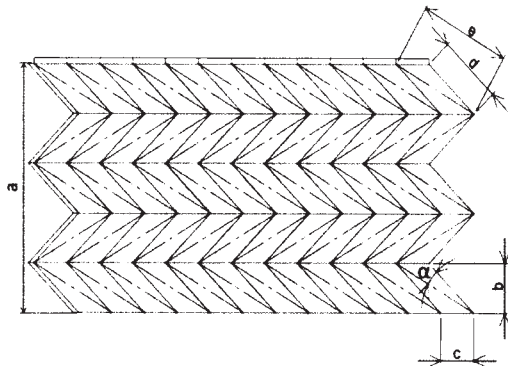
2.1 試作品の概要

(1) 幾何学的特性

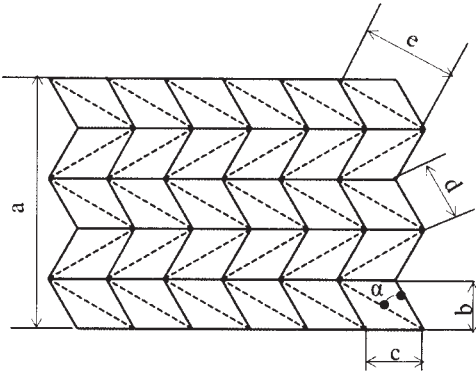
折り畳み可能な構造体のなかでも、筒型の構造物に焦点をあてると、野島ら⁵⁾⁻⁷⁾が円筒・円錐の折り畳み可能な設計理論を構築していることが挙げられる。

これらの報告により、基本的なベースとして、円筒の折り畳み可能な構造体では、例えば、Fig. 1(a)に示す展開図では、水平方向の要素数Nが12であり正12角形の断面をもつ筒となり、N個の要素で左右の境界を閉じて筒を形成するためには、内角 α は $2\alpha N=2\pi$ を満たさなければならないことにより、 $\alpha = \pi/12$ と決定されることが知られている。その他の例として、Fig. 1(b)では、水平方向の要素数Nが6で、正六角形の断面をもつ筒となり、 $2\alpha N=2\pi$ より $\alpha = \pi/6$ となる。

本稿では、これらの例のなかで、より円形に近い方の正12角形タイプを選定して、折り畳み可能な構造体の試作に着手した次第である。なお、Fig. 1の輪郭線は切断線、その他は折線を表し、そのうちの実線は山折線、破線は谷折線を表す。



(a) An example of 12 square type



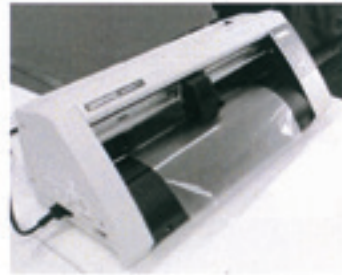
(b) An example of hexagonal type

Fig.1 Examples of crease pattern for the origami-based foldable cylindrical structure

(2) 製作方法

樹脂材料としては、汎用市販品のポリプロピレン(PP)を選定し、折り畳み易い厚さ0.2mmのシートから、Fig. 2に示すカッターマシン(メーカー:GRAPHTEC, 型番:CE5000)を用いて、切断と折線における溝掘り処理を行う。溝深さは、PPシート厚さの約半分である。

次に、切り出したPPシートを折紙のように折り畳む作業を行い、のり代に瞬間接着剤を塗布して、Fig. 3に示すような折り畳み可能な構造体を試作している。



(a) CE5000 type by GRAPHTEC



(b) Cutting of a PP sheet

Fig.2 Cutting machine for PP sheet



Fig. 3 The prototype product of foldable cylindrical structure based 12 square type with 300mm scale

試作品の製作過程では、カッターマシンにおけるシーートの滑り等により、折線加工において寸法誤差が生じるため、Table 1 に示すように試作品の各寸法は設計値から少し乖離している。 α では約 1° の誤差がある。

Table 1 Major dimensions of the prototype product

	α	a	b	c	d	e
Design plan of 12 square	15°	200.0	40.0	30.0	56.4	80.0
Prototype of 12 square	16°	206.0	41.2	30.0	56.1	79.6
Design plan of hexagonal	30°	250.1	50.2	58.0	58.0	100.5

2.2 荷重-変位測定実験

樹脂製折り畳み可能な構造体の試作品に対して、荷重-変位測定実験を次の要領で行い、Fig. 4に示すような結果を得ている。

- 1) 試作品の上部に分銅受け皿を置く。
- 2) 皿上に分銅を1Nずつ加えて試作品を高さ方向に圧縮変形させる。
- 3) ハイトゲージで荷重ごとの高さ方向に降下する変位量を測定する。
- 4) 荷重-変位測定実験は、同じ要領で2回行う。

荷重-変位測定実験から、今回の試作品は変位量が10mm程度まではばねのような弾性的な変形挙動を示し、ばね定数 F は 0.40 (N/mm) となっていることがわかる。しかし、さらに変位が大きくなるとばね定数は次第に低下する非線形性を示している。また、このPP材の時間経過の影響として、1回目の実験よりも2回目の実験では変位量が60mm以上の領域では硬化する現象が顕著に表れている。

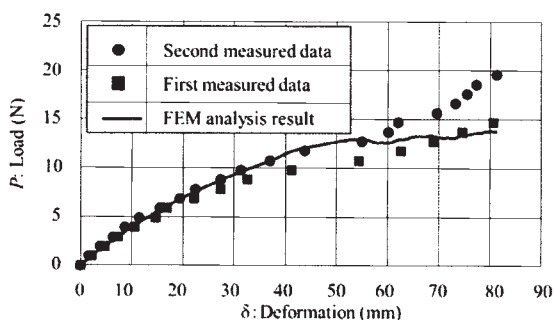


Fig.4 Comparison between measured data and FEM analysis result.

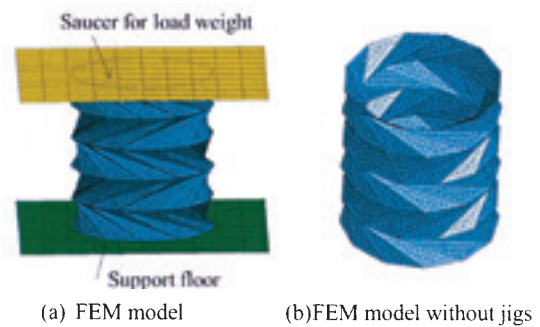
3. FEM解析の検証

3.1 FEM解析手法の概要

試作品を用いた荷重-変位測定実験だけでは、実験条

件が極めて限定されるため、ここでの実験条件についてFEM解析を用いて精度よくシミュレーションできれば、多様な折り畳み可能な構造体の変形メカニズムを実験だけによらずにFEM解析から検討することができる。そこで、次のようなFEM解析を行い、解析結果の有効性を検証する。

ここでのFEM解析モデルをFig. 5に示す。FEM解析の検証においては、試作品 (Fig. 3) の各寸法についての測定結果 (Table 1) に基づいてFEM解析モデルを作成している。



(c) Deformation simulation by FEM analysis

Fig.5 Applied FEM model to the prototype product deformation simulation

FEM解析ソルバーとしては、市販ソフトであるLS-DYNA⁸⁾ を用いている。本解析では、試作品の大きな変形現象を解析するために、動的陽解法を用いている。FEMモデル化では、PPシートをシェル要素(完全積分シェル要素タイプ)で表し、材料モデルとして弾塑性体モデルを用いて、PPシートメーカーの推奨値と文献から、Table 2の材料定数(ヤング率 E (GPa)、降伏応力 σ_y (MPa)、塑性係数 F (MPa)、加工硬化指数 n 、ポアソン比 ν)を入力し、その他の材料定数はデフォルト値でミーゼス降伏条件⁹⁾を使用している。

その他、分銅の受け皿と下部の固定台等の治具類はすべて剛体モデルである。また、“受け皿とPPシート”、“固定台とPPシート”および“PPシート同士”等の接触を伴う全ての変形問題はペナルティ法⁹⁾で解析し、摩擦係

数および動摩擦係数等はすべて0.1としている。解析条件としては、下部の固定台モデルは完全位置固定とし、上部の荷重受け皿モデルを鉛直下方に降下させている。この降下量を δ (mm), 鉛直下方荷重を P (N)と表す。

Table 2 Material constant

	E (GPa)	σ_y (MPa)	F (MPa)	n	ν
PP	1.0	20.0	30.0	0.1	0.4
Mild steel	155.0	195.5	1029.2	0.276	0.3

3.2 検証結果

P と δ を出力させたFEM解析結果(Fig. 4)により、次のような検証を行っている。

- 1) $\delta=60$ mmとなる荷重 P についてのFEM解析結果は、2回の実験結果に近い約12.5 Nであり評価精度として良い。
- 2) FEM解析結果は、実験結果と同様に、0~5 Nまでの範囲では P と δ はほぼ線形の関係を示している。
- 3) 実験結果とFEM解析結果ともに、荷重 P が5~15 Nの段階では、非線形現象が認められるが、このPP材の時間経過の影響として、1回目よりも2回目の実験での変位量が60mm以上の領域において硬化する現象は、今回のFEM解析の材料モデルでは表現できていない。

しかし、1回目の実験結果に対しては、 $\delta=0\sim 80$ mmの範囲でFEM解析結果は実験結果によく一致していることから、このFEM解析手法を変形メカニズムの検討に適用できると判断している。

4. FEM解析を用いた検討

ここでは、種々の折り畳み可能な構造体を想定し、それらをFEMモデルで表し先述の解析を実行して、解析結果をもとに変形メカニズムについて検討する。

4.1 構造体形状寸法とばね定数の関係

ここでのPP製折り畳み可能な構造体は、変位量が限定された範囲においてばね特性を有している。そこで、このばね定数 Γ (N/mm)と構造体の形状寸法との関係についてFEM解析結果をもとに検討し、次の知見を得ている。

- 1) PPシート板厚 t : 他の設計変数はすべて同様にして、 t だけを0.2, 0.3, 0.4mmと変更した構造体のばね定数をFEM解析結果から評価した結果をFig. 6に示している。この構造体の圧縮変形は、折線部の曲げ変形によるものであるから、 δ は次式の断面2次モーメント I に依存する。

$$I = w \cdot t^3 / 12 \quad (1)$$

ここで、 w : 曲げ部の長さ寸法(mm)である。

(1)式より、この範囲の板厚では Γ は板厚の3乗にほぼ

比例すると考えられる。

- 2) 多角形の1辺長さ c : 長さ c を7.5, 15, 30, 45, 60mmと変更したFEM解析モデルを作成し、荷重-変位の関係をFEM解析から評価した結果を図7に示す。図7から、長さ c と Γ は反比例の関係にあることがわかる。これは、構造体のPPシート厚 t を一定のまま、長さ c の変更倍率を K とすると(長さ a は c の従属変数)、構造体を構成しているPPシート体積 V は K^2 倍になるのに対し、PPシート上に描かれる折線長さ L は K 倍である。

よって、構造体の Γ は、PPシート体積に対する折線長さの割合に比例するから(2)式で表される。

$$V = \eta_1 \cdot t \cdot (K \cdot a) \cdot (K \cdot c)$$

$$L = \eta_2 \cdot K \cdot c$$

と表すと

$$\Gamma = \eta_3 \cdot L / V$$

$$= \eta_4 / c \quad (2)$$

となる。 η_i : 定数($i=1, 2, 3, 4$)

以上により、長さ c と構造体の Γ は、反比例の関係($\Gamma \cdot c = \text{定数}$)になると考えられる。

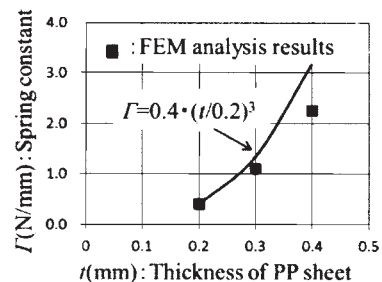


Fig.6 Relationship between t and Γ

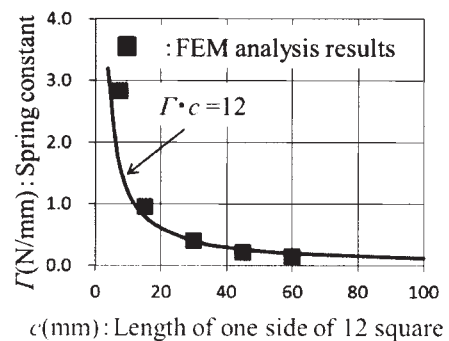


Fig.7 Relationship between c and Γ

4.2 構造体材料の影響

筆者らは、金属材料に板厚の半分の深さの溝をNCルータやマシニングセンターなどで図面どおりに溝加工し、工具を用いて折り曲げて試作した軽量高剛性構造バネ

ルについて研究報告^{10,11)}を行っている。金属材料の場合、適切な材質や板厚について検討が必要であるが、今後は金属材料を折り曲げてこのような構造体を試作する計画を進めている。

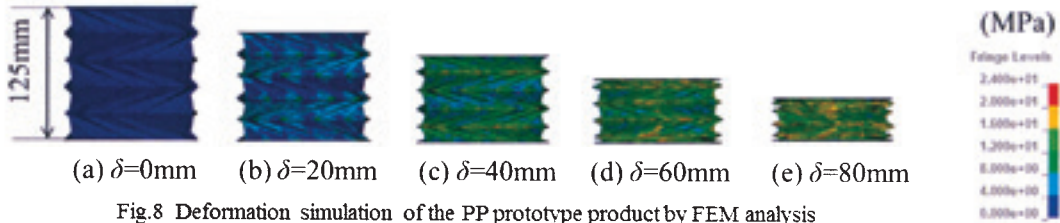


Fig.8 Deformation simulation of the PP prototype product by FEM analysis

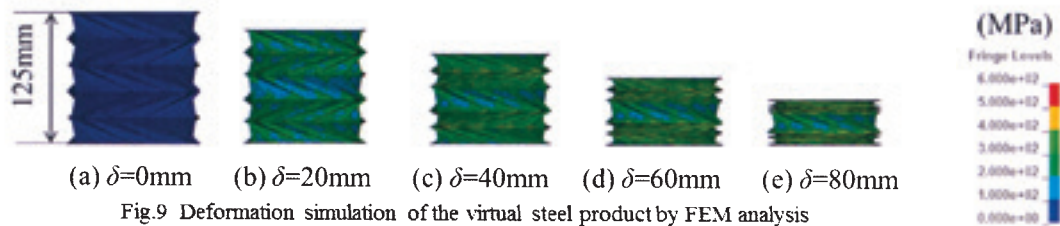


Fig.9 Deformation simulation of the virtual steel product by FEM analysis

スチール(軟鋼)製構造体試作品の設計仕様および変形挙動を検討するために、構造体の荷重-変位の関係をFEM解析から推定してみる。材料の影響を把握しやすくするために、材料定数(Table 2)のみを変更し、スチール製構造体のFEMモデルはPP製構造体の形状寸法と同様とする。

PP製試作品の場合と仮想上のスチール製試作品についてのFEM解析による変形図をFig. 8, 9に示す。図中の(a)~(e)は、 δ が0mmから80mmまでにおいて20mmごとにMises応力分布解析結果を表しており、次の知見が得られている。

1) PP製試作品では $\delta=80\text{mm}$ でも降伏応力20MPaを超えている箇所はほとんどないが、スチール製の場合は、 $\delta=10\text{mm}$ で降伏応力195.5MPaに達している領域が多い。また、スチール製は $\delta=80\text{mm}$ でも高さの中央領域の変形は少ないが、PP製では中央領域も含めて全体的に大きく変形している。スチール製の荷重-変位グラフ解析結果(Fig. 10)によると、 P と δ が比例する範囲はごく初期段階だけでその後は非線形挙動を示している。

2) PP材は弾性変形の限界がひずみ0.02程度であるが、スチール材はひずみ0.002程度であるため荷重と変位が比例関係を示す範囲はスチール製ではPP製の1/10程度となる。荷重と変位がほぼ比例する δ 範囲は、この材料の弾性変形ひずみ範囲に依存することを示している。

3) δ が80mmに到達する荷重は、スチール製の場合、PP製試作品よりも30倍ほど大きい。これは降伏応力が約10倍大きいことと加工硬化指数が約3倍大きいことが要因

($30=10 \times 3$)と考えられる。

4) δ が80mmに到達しても、PP製試作品では塑性変形域に達している箇所はごくわずかであるが、スチール製では構造体全体が塑性変形域に達している。従って、PP製試、

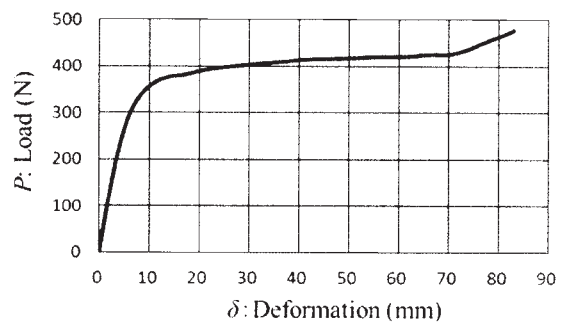


Fig.10 Relationship between P and δ for the virtual steel product by FEM analysis result

作品は荷重を除荷するとほぼ元の形状に回復するが、スチール製では回復しないはずである。スチール製の場合は、ばねとしての活用よりも、圧縮変形することによって衝撃エネルギーを吸収するための構造体としての活用が期待される。

5. まとめ

本稿では、折り畳み可能な構造として、汎用樹脂材料PPのシート(厚さ0.2mm)を用いて、正12角形の円筒試作品を試作し、荷重-変位測定実験を行いFEM解析の有効性を検証し、FEM解析を用いてこのような構造体の変形メカニズムについての検討結果から、次のような知見を得ている。

1) 本構造体は、初期の圧縮変形領域では荷重と変位はほぼ比例する。このばね定数と構造体の板厚の3乗はほぼ

比例する関係がある。これは、シート材の曲げ変形によるたわみ量は、断面2次モーメントに依存することが要因と考えられる。

2) 本構造体の正多角形の1辺の長さとはね定数は、ほぼ反比例の関係にある。これは、ばね定数が構造体を構成するシート体積とシート上の折線長さの比率に依存していることによると推測される。

3) 金属製構造体の場合についてのFEM解析結果から、荷重-変位の関する力学特性を、材料定数の違いによって生じる変形メカニズムから合理的に説明することができる。

以上から、本稿では、多様な折り畳み可能な構造体の設計段階において、荷重-変位の関係をほぼ予測できることを示している。

今後の課題としては、本報告で得られた知見をもとに実際の構造部品への応用を検討することや、金属製構造体の衝撃エネルギー吸収特性を把握するための実験と解析を行うことなどが挙げられる。

参考文献

- 1) Freeland, R. E., Bilyeu, G. D., Veal, G. R., Mikulas, M. M., "Inflatable Deployable Space Structures Technology Summary", 49th International Astronautical Congress, Melbourne, Australia. IAF-98-I.5.01. (1998).
- 2) Johnson, L., Young, R. M., Montgomery IV, E. E., "Recent advances in solar sail propulsion systems at NASA", *Acta Astronautica*, Vol. 61 (2007), pp. 376-382.
- 3) Tsuda, Y., Mori, O., Funase, R., Sawada, H., Yamamoto, T., Saiki, T., Endo, T., Kawaguchi, J., "Flight Status of IKAROS deep space solar demonstration", *Acta Astronautica*, Vol. 69 (2011), pp. 833-840.
- 4) Mroz, K., Pipkorn, B., "Mathematical Modelling of the Early Phase Development of a Passenger Airbag - Folding Using Origami Theory and Inflation Using LS-DYNA Particle Method", 6th European LS-DYNA Conference (2007), pp. 71-86.
- 5) 萩原一郎, 山本千尋, 陶金, 野島武敏, "反転らせん型モデルを用いた円筒形折り紙構造の圧潰変形特性の最適化検討", 日本機械学会論文集A編, Vol. 70, No. 689 (2004), pp. 36-42.
- 6) 野島武敏, "平板と円筒の折りたたみ法の折紙によるモデル化", 日本機械学会論文集C編, Vol. 66, No. 643 (2000), pp. 1050-1056.
- 7) 野島武敏, "折りたたみ可能な円錐殻の創製", 日本機械学会論文集C編, Vol. 66, No. 647 (2000), pp. 2463-2469.
- 8) 例えば, LS-DYNA Version 971 User's Manual (2012), 株式会社JSOL.
- 9) 例えば, 長田修次, 柳本潤, "基礎からわかる塑性加工", P54, コロナ社.
- 10) 寺田耕輔, 戸倉直, 佐藤秀俊, 牧田哲暢, 萩原一郎, "組立式軽量高剛性構造パネルの曲げ剛性評価", 日本機械学会論文集, No. 15-00039 [DOI: 10.1299/transjsme.15-00039], Vol. 81, No. 828, 2015.
- 11) 寺田耕輔, 佐藤秀俊, 戸倉直, 萩原一郎, 高橋進, "溝付板材の曲げ加工における変形メカニズム", 日本塑性加工学会 第64回塑性加工連合講演会講演論文集, 講演No. 553 (2015).

災害時即応型水中狭あい部調査ロボットシステムの開発

Development of disaster quick-responsive type underwater narrow portion survey robot system

鈴木 茂和・飯塚 将太*

福島工業高等専門学校機械工学科

*福島工業高等専門学校専攻科

Shigekazu SUZUKI and Syota Iizuka*

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Mechanical Engineering

*National Institute of Technology, Fukushima College, Advanced Courses

(2015年9月17日受理)

After the Great East Japan Earthquake, many organizations have been developing disaster response robots since they can play important roles in decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Therefore, we develop a small underwater robot system that can be mobilized within a short period of time by preparing an integrated set of the necessary peripheral equipment. Requirements for this small underwater robot system are as follows: (1) it has a mobility in disaster event, (2) it has a functional flexibility to install optional tools when necessary, and (3) it can also carry out investigation in the narrow portion. Based on the experience of the Great East Japan Earthquake, we have been developing a practical system by repeating the mock-up test. The main purpose of this study is to perform conceptual design and determine the overall design of the robot.

Key words: Disaster response robot, Underwater robot, ROV

1. はじめに

船舶事故や東日本大震災における海中や海底の遭難者の捜索救助はダイバーや潜水艇などにより行われるのが一般的である。ダイバーによる捜索救助では、18m以深では活動時間等の制約がある他、二次遭難の危険性がある。潜水艇による捜索救助は、活動時間の制約や二次遭難の危険性は低減できるが、船内や瓦礫等の狭あい部での活動が難しくなるほか、捜索開始までに様々な機材の準備が必要で初動捜索という点で難がある。

そこで、本研究では従来の潜水艇に対し小型化を図り、捜索に必要な周辺機器を一体化して短時間で出動可能な図1のような水中ロボットシステムの開発を行う。災害発生時に、現地までの運搬や現場投入が容易な機動性を有し、必要に応じてオプションツールも装着できる柔軟（即応）性も有し、狭あい部での調査も可能な小型の水中ロボットシステムを開発する。

2. スラスタの先行研究

一般的な水中ロボットでは、メインのモジュール及びスラスタはそれぞれ別の耐压容器で構成されている。そ

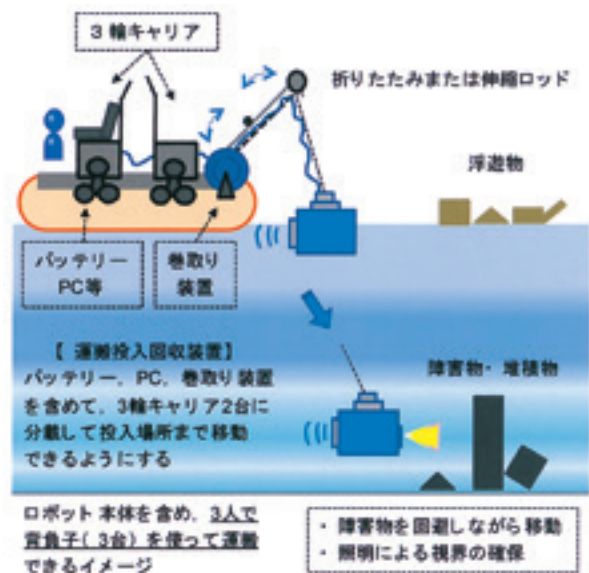


図1 システム全体の概念図

のため、それぞれの容器に貫通穴を明け、防水コネクタ等を使用しケーブルを配線している。しかしその方法では、耐水圧の観点から潜水深さが防水コネクタに依存してしまうことや、貫通穴があるため信頼性が低下し、浸

水のリスクが増えてしまうという問題がある。

福島大学における開発^{1),2)}では、メインモジュール及びスラスタをそれぞれ別の耐圧容器に入れているが、それぞれの容器に回路や通信機能、電源を搭載することで、完全にワイヤレス化できている。従って、配線用の貫通穴を設ける必要がなく、浸水のリスクを低減できる。また、予備のモジュールと交換することで、容易にアクシデントに対応することができる。そのため、設備の整っていない現場において、従来のように強固に固定された耐圧容器の蓋を開閉しての修理を行う必要がない。

さらに、エネルギー源および制御機能が集中していないので、様々なリスクを分散させることもできる。しかしエネルギー源が分散しているため、効率的な運用が難しく、またバッテリーが複数あるため、交換作業に手間と時間がかかる。さらに電源や通信機能を持たせるために、余分な回路や容積が必要で、スラスタが大きくなってしまふ課題がある。

また、福島大学で製作されているスラスタには、動力伝達にマグネットカップリングを使用している。マグネットカップリングとは、軸の回転運動を磁力によって保持伝達するための部品である。磁力を利用するため、カップリング間に障壁があっても動力を伝達することができる。通常、水中でモータを使用する際にはモータ本体を水密構造体の内部に格納し、軸のみを水中に出して動力伝達を行う。しかし、回転する軸部分を水中に出すためには、複雑なメカニカルシール構造が必要となるが、マグネットカップリングを使用することにより、耐圧容器に貫通穴を設けることなく、動力をスクリュプロペラに伝達している。

3. 本体の設計

3.1 要求事項

水中ロボットの使用環境を想定し、以下の要求事項を決定した。

- ・ダイバーが容易に潜水できない18m以深（ケーブル長100m）まで調査できること。
- ・湖沼・河川（淡水）、海（海水）、プール等で使用可能な防水および塩害対策を施すこと。
- ・ロボット本体のサイズは狭あい部での使用を考慮し、概ね450×450×450mmとする。
- ・ロボット本体は、フレーム、コントロールボード・水平スラスタ・垂直スラスタ、カメラ・照明等からなる。
- ・オプションモジュールは、①高性能カメラ・赤外線カメラ・ソナー等のモジュール、②狭あい部調査用小口

径アームモジュール等を想定する。

- ・オプションモジュールは必要に応じて付加可能な構造とする。
- ・緊急時はケーブルでロボットを牽引回収できる。
- ・ロボット本体、ケーブル、各オプションモジュールはそれぞれ中性浮力又は微浮力を有すること。
- ・バッテリーは他機材との互換性を持たせるため、パコ電子製DH-100とする。
- ・現場での活動に必要な付帯装置（発電機、充電機、工具、保守用部品等）も用意する。
- ・投入装置はポート上（またはプールサイドや棧橋等）から障害物(1000mmH×700mmD)越しに投入できるアームウィンチ型とすること。
- ・システム全体(水中調査ロボット本体、オプションツール、運搬投入回収器具、付帯装置込み)をワゴン車後部に搭載できること。
- ・運搬車両から現場まで3人程度で容易に持ち運べるよう、水中調査ロボットや運搬投入回収装置は、3輪キャリアなどに分割搭載する。

3.2 スラスタ配置

前章の先行事例で挙げた、スラスタに関する課題を解決するため、スラスタのモータ部および回路をスラスタモジュールに集約し、またさらに、マグネットカップリングで動力伝達をするという方法を考案した。そして、ロボット本体のモデリング及び機械設計を行った。スラスタモジュールの内部構成およびスラスタの配置を図2に示す。水平方向へ移動するための水平スラスタを前後左右に1つずつ、水中で浮上・降下するための垂直スラスタを斜め1方向に1つずつの、計8つのスラスタを正八角形状に配置している。こうすることによって、スラスタの動力部分(モータ)を1つの耐圧容器に集約する

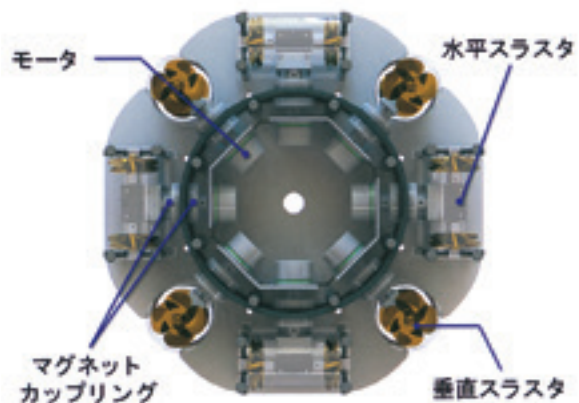


図2 スラスタ配置図

ことができた。これによってロボット全体がコンパクトになった。また、スラスタ1つ1つに耐圧容器を設ける必要がなく、浸水リスク低減と部品点数の削減が図れる。さらに、メインモジュールから各スラスタ間の通信や電力伝送を無くした。これによって、モータはすべてメインモジュール内に格納されているため、配線作業が全て1つのモジュール内部で済む。したがって配線を一度容器外に出す必要がなく、モジュール間のケーブルや通信を排除することで、貫通穴を設けての配線作業が必要なくなった。

スラスタ部の詳細を図3に示す。スラスタは主にモータ、マグネットカップリング、ギアボックス、スクリーブローパ、整流用パイプのみという、少ない部品点数で構成されている。さらに、水平・垂直スラスタは同様の部品から構成されており、共通化されている。動力の伝達には本体への加工をしなくて済むようにマグネットカップリングを使用した。

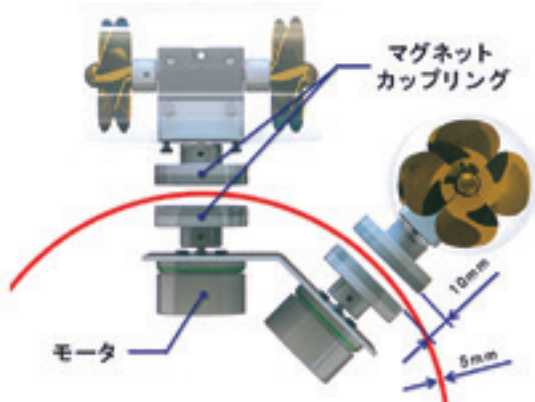


図3 スラスタ部詳細

3.3 本体構成

設計したロボット本体の外観及び概形寸法、モジュール構成を図4に示す。本ロボットの大きな特徴

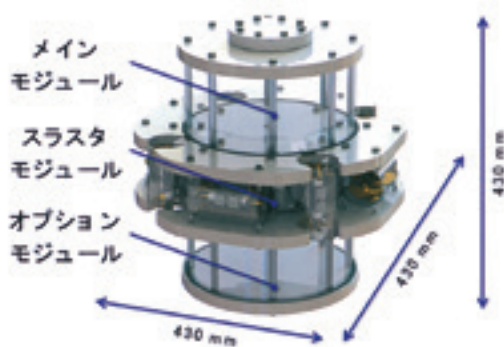


図4 全体図

は、大きな3つのモジュールから構成されていることである。それぞれのモジュールが耐圧容器で水密構造となっており、オプションモジュールについては状況や必要に応じて分割可能な仕様となっている。スラスタモジュールはロボット本体の動力部分(スラスタ)を集中、格納したモジュールである。ロボットが水中で移動するために必要な推進力を生み出す部分である。

3.3 円筒容器の設計

メインモジュール、オプションモジュールおよびスラスタモジュールの円筒容器はアクリルパイプである。樹脂の中でも透明度が高いことや、円筒形のもの様々な寸法のもが市販されており容易に入手できることから、アクリル樹脂を使用した。

約100mのケーブルを使用することにより、潜水深さも100mと仮定する。ここで安全率を1.5とおき、水深150mに相当する1.5 MPaの水圧に耐えられるように設計した。円筒内径及び円筒長さは搭載する機器の寸法とアクリルパイプの市販品から決定した。これらの値を用いて、次式^{1),2)}により円筒部の必要最小肉厚 t を求めた。式で使用した変数の定義と値を表1に示す。

$$P = E \left[\frac{\pi^4}{n^4(n^2-1)} \times \left(\frac{r}{l}\right)^4 + \frac{n^2-1}{12(1-\nu^2)} \times \left(\frac{t}{r}\right)^2 \right] \left(\frac{t}{r}\right)$$

表1 変数の定義と設定値

記号	単位	値	説明
P	MPa	1.5	弾性座屈圧力
E	MPa	3000	縦弾性係数
N		2,3,4...	座屈モード
ν		0.35	ポアソン比
r	mm	メイン m : 142 スラスタ m : 125	円筒内半径 + $t/2$
l	mm	メイン m : 125 スラスタ m : 82	円筒長さ

※m:モジュール

t についての3次方程式として解(必要最小肉厚)を求めた。円筒容器は、8本のアルミ支柱で内側から支えられている。したがってアクリルパイプのみの場合と比べて、外圧に対して高い強度を保っている。そこで市販品の規格も考慮し、アクリルパイプの肉厚はメインモジュールとオプションモジュールで6mm、スラスタモジュールで5mmとした。

3.4 電源供給及び通信方式の検討

小型水中ロボットでは、ロボット本体に供給される電源を内蔵式(バッテリー方式)もしくは、操作(オペレータ)側から有線で供給するという有線供給方式がある。また通信方式については、有線もしくは無線といった選択肢が存在する。表2は、動力(電力)の供給方式および通信方式について、各方式のメリット・デメリットを比較したものである。

その結果、動力供給はケーブルが長いと、地上に電源を設置すると電圧降下が著しく、無駄が多いためロボット側にバッテリーを設置することとした。また、水中での無線到達範囲は10cm程度と、大変短いと船上海上及び陸上からロボット本体への無線での信号伝送は事実上不可能となる。したがって通信方式は、光ケーブルを使用する有線方式とした。

表2 電源と通信方法の比較

方式	有線供給方式 (操作用から電源供給)	バッテリー方式 (ロボット側に設置)
動力(電力)供給	<ul style="list-style-type: none"> ○ ロボット使用時の時間制限がない ○ バッテリー容量に左右されない △ 長尺ケーブルの取扱いにはケーブルリール等が必要 △ ケーブルによる電圧降下(伝送損失)が課題 ○ ロボットの軽量化が図れる 	<ul style="list-style-type: none"> △ ロボット使用に時間制限があり △ 重量と大きさが課題(稼働時間に比例) ○ 長尺ケーブルが不要 △ 充電方法の検討が必要
ロボットの電力を操作側から有線で供給 or バッテリーで供給		
方式	有線方式	無線方式
信号伝送	△ RS422：同軸ケーブル	×
操作信号を有線LAN or 無線LAN	<ul style="list-style-type: none"> △ LAN：ツイストペアケーブル ○ 光ファイバーケーブル 	<ul style="list-style-type: none"> × △ スラスターと本体間の通信であれば可

4. 水中ロボットの評価

4.1 耐水性能評価

設計に基づき、水中ロボット本体を試作した。その後、本体(筐体のみ)のシール機能及び耐圧機能を確認するため、耐水性能試験を行った。今回は開発期間が短かったことから、簡便に試験を行うため、本体を数回水中に沈めた後、高圧洗浄機(10気圧)のジェット噴流にさらすことで、水中での耐圧条件を模擬した。試験の様子を図5に示す。試験後に本体を分解し、目視により筐体内部の水の侵入の様子を確認した。

4.2 水中動作試験

組み立てを完了したロボット一式を試験施設へ持ち込み、大型水槽の中でロボットを遠隔操作し、運動性能を確認した。試験用水槽は縦5m×横2m×高さ2m、水位



図5 ジェット噴流による耐水性能試験

1.5mであり、ロボットを完全に沈めた状態で運転した。予め本体下部のウェイトを調整し、バランスする状態(中性浮力)に設定した。

その後、遠隔操作によりスラスターを回転させ、前進、旋回、停止、浮上、沈降などの操作を繰り返しながら、水槽内を自由に移動できるか確認した。また、オプションモジュール内に搭載したカメラにより、外部のモニターから水槽内の映像をリアルタイムに取得できるかを確認した。

5. 水中ロボットの試作と評価

完成した水中ロボットのプロトタイプモデルの写真を図6に示す。耐水性能試験後に耐水性能確認のため内部を確認した所、水の侵入がなく十分な防水性能があることがわかった。

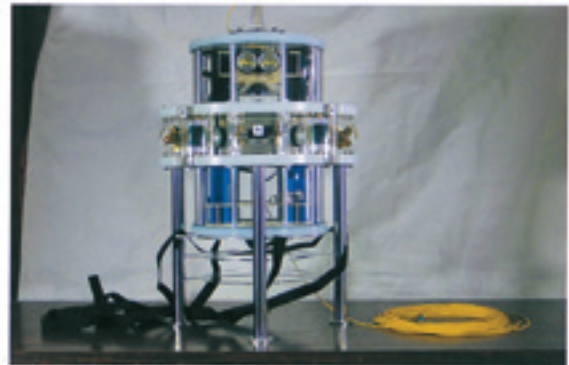


図6 水中ロボットのプロトタイプ

水中動作試験では、水槽内で所定の動作ができることを確認した。また、オプションモジュール内に搭載したカメラにより、地上の外部モニターから水槽内の状況をリアルタイムに確認しながら運転することができた。試験終了後、目視による外観点検で、水の侵入や機器異常

が無いことも確認した。

平面運動については、無重力空間と同様な状態(中性浮力)となり、前進や旋回などの運動を開始することに問題はないが、その停止操作においては動作が緩慢となることが確認された。しかしながらスラストをタイミングよく操作することで精度の高い制御ができた。平面運動には4基のスラストが利用でき、この組み合わせにより複数の推進方法が考えられるが、今回の試験ではそれらの差異を明確にするには至らなかった。今後、本ロボットのスラスト配置の特徴を活かし、どのような組み合わせが最も安定で効率的か検討する必要がある。

上下運動については、スラスト4基を同時に使用できるため、モータ出力に問題はなかった。しかし、初期の浮力調整が十分でないと上下運動に余分な電力を消費することになる。水中投入後に浮力を微調整できる機能が備わると、消費電力を低減し、かつ現場の準備作業も容易となることが分かった。

今回は室内に設置した水槽で試験を実施したため水面は安定していたが、災害現場では水流や波の影響でロボットの方向や姿勢が変動すると考えられる。そのため精度の高い操縦のためには姿勢制御が必要と考えられる。

取扱い性については、本体重量が約25kg(脚含め約30kg)であり、ロボットの運搬、投入は2人で行うことができたが、災害現場での迅速な活動を考えると、更なる軽量化が望まれる。

一連の水中試験を通して、光通信ケーブルに関する強度や取扱い性、バッテリーに関する残量確認や交換方法等の課題が抽出されたことから、今後改善を進める必要がある。

6. まとめ

(1)災害現場での捜索救助を目指し、コンパクトで操作の容易な水中調査ロボットを設計、試作し、現場を模擬

した水中試験にて、ほぼ要求機能を満足する性能を確認できた。

(2)開発した水中ロボットは、プロトタイプであり、直ちに災害現場の調査に活用するには課題があるが、実地試験を繰り返しながら本構造を改良することにより、実用性の高い調査ロボットを開発できる見通しを得ることができた。

(3)実用化に向け今後解決すべき以下の課題を得ることができた。

- ・狭あい部で細かな操縦を可能とするモータ制御技術
- ・低エネルギーで柔軟な制御を可能とするスラスト構造、運転条件の最適化
- ・迅速なバッテリー交換、メンテナンスを可能とする構造の最適化
- ・利用可能なオプション機器の開発

謝 辞

本研究は、平成26年度福島県「災害対応ロボット産業集積支援事業」の支援を受けて実施した。連携企業である日本遮蔽技研、タカワ精密、三輪鉄工所、小浜製作所の皆様に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 大室拓哉, 猿田裕平, 高橋隆行; 湖沼調査用小型水中ロボットのためのワイヤレススラストモジュールの推力向上, 計測自動制御学会東北支部 第268回研究集会, (2011).
- 2) 大室拓哉, 猿田裕平, 高橋隆行; 湖沼調査用モジュール構造型小型水中ロボットの開発- 汎用動力モジュールの開発 -, ROBOMECH 2013.
- 3) 大室拓哉, 高橋隆行; 水中ロボットのための電源内蔵型ワイヤレススラストモジュールの開発計測自動制御学会東北支部 第261回研究集会, (2010).

微小試験片による引張強度とひずみの評価

Evaluation of tensile strength and strain using small specimens

鈴木 茂和・木下 博嗣

福島工業高等専門学校機械工学科

Shigekazu SUZUKI and Hiroshi Kinoshita

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Mechanical Engineering

(2015年10月11日受理)

Small specimen test technology (SSTT) is a key technique in evaluating the irradiation performance of reduced-activation ferritic/martensitic (RAF/M) steels used in fusion demonstration plants. Because SSTT results are rather sensitive to surface finishing conditions (mechanical damage, roughness and dimensional accuracy), the effect of surface finishing on tensile data was examined. Sheet tensile specimens were 5-mm-long, 1.5-mm-wide, and 0.76-mm-thick gage sections (SS-J3 type) prepared from 15-mm-thick plates of RAF/M steel F82H (F82H-B07 heat). SS-J3 specimens were obtained from the plates by wire electro-discharge machining (WEDM). Tensile tests were conducted at a nominal strain rate of 3.33×10^{-4} /s. The ultimate tensile strength values were 645 MPa (standard deviation of 16 MPa) for the 15-mm-thick plates. The area reduction of the 15-mm-thick plates was 0.76 in natural strain.

Key words: Small specimen, Tensile strength, True fracture strain

1. はじめに

現代社会はエネルギー大量消費社会であり、年々消費量が増加している。家庭や企業に供給されているエネルギーの多くは火力発電、水力発電、原子力発電などによって賄われている。しかし、火力発電は原料である化石燃料の枯渇問題など長期的な供給の面で不安があり、水力発電は施設費用や発電効率の問題がある。原子力発電の場合、高レベルの放射性廃棄物の処分や放射能漏れ対策などが問題である。

そこで、新エネルギーとして資源が無尽蔵であり、暴走事故が本質的に起こりえない核融合による発電が注目されており、日本と欧州の共同研究が進められている。核融合炉ではブランケットと呼ばれるプラズマを包む容器があり、冷却や燃料生産、遮へいの機能を担う重要な構造物である。核融合炉ブランケット材として有力視されている低放射化フェライト鋼(F82H-BA07)の強度特性を明らかにし、データを蓄積する事が求められている。

しかしながら、引張強度に関する評価は主に強度に注目しており、伸び・ひずみに関する評価は少ない¹⁾。また、原子力炉や核融合炉材料開発にはJISの標準試験片ではなく微小試験片が用いられている。これは材料開発

において、試験炉や加速器を用いて照射試験を行い、イオンや中性子が材料に与える影響を調べる必要²⁾があり、その際には有効スペースが小さいため、小さな試験片に照射が行われる。さらに照射後も強度試験等が必要であることから微小試験技術^{3),4),5)}が必要であり、放射性廃棄物の低減にも役立つ。また、高経年化発電機器における余寿命評価においては、供用中部材からの切出し片や廃材から製作された微小試験片が用いられているが、微小試験片の作製条件について明確な規定がない。

そこで、本研究では、微小試験片作製条件の検討と引張強度および真破断ひずみの評価を行う。

2. 実験条件

2.1 供試材

供試材のF82H鋼は、原子力研究開発機構が開発を進めてきた核融合炉用構造材料である。ボイラー用耐熱鋼である改良9Cr-1Mo鋼をベースとした合金であり、低誘導放射化のためにMoをW、NbをTaに置換したものである。そのため、基本的な特性としては、改良9Cr-1Mo鋼に近い特性¹⁾となっている。主な組成は、0.1% C, 0.1% Si, 0.45% Mn, 8% Cr, 1.85% W, 0.2% V, 0.04% Ta, 0.01% B, 0.02% Nである。

材料は、溶解後に二次精錬，拡散処理を行い，topφ250/botφ200×L600の形状で铸造後，φ175×L1200の形状に鍛造し，切断，切削を行い，厚さ 90mm まで鍛造後，厚さ 15mm まで熱間圧延と熱処理を行った F82H 鋼を原子力機構から供給を受けた。

2.2 試験片作製条件

本研究において使用する試験片の形状を Fig. 1 に示す。この試験片の形状は，核融合炉材料開発において日本国内で共通で使用されている SS-J3 (Small Specimen - Japanese 3 type) 形状である。

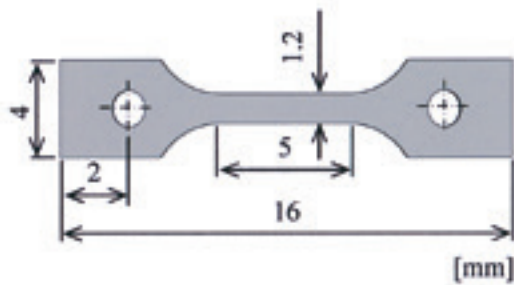


Fig. 1 Shape and dimensions of small specimen (SS-J3 type)

試験片は以下に示す手順で作製した。

- 1) 材料の素材表面に酸化膜があるため，汎用フライス盤により表面を約 2 mm 切削する。
- 2) 治具ピン及びワイヤ放電加工用の下穴を汎用フライス盤で加工する。
- 3) ワイヤ放電加工により Fig. 2 に示す素材厚さの試料原型を 2 回の走査で作製する。
- 4) 試験片ブロック側面を，耐水研磨紙を使用して研磨する。
- 4) ワイヤ放電加工により厚さ 1.35 mm に加工する。
- 5) 加工層の除去及び厚さ調整のため耐水研磨紙による研磨と粒径 0.3μm のアルミナを使用してバフ研磨を行う。
- 6) 光学顕微鏡で表面に研磨傷が無いことを確認する。

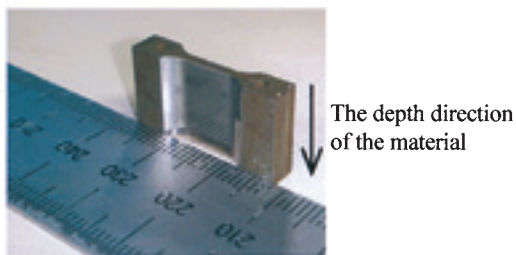


Fig. 2 Specimen block (polished the side surface)

ここで，微小試験片の表面粗さが引張強度に与える影響を確認するため，側面研磨の条件を変えて試験片を作製した後に引張試験を行い，最適条件の検討を行った。側面研磨の条件とその時の表面粗さは以下の通りである。試験片作製に当たり，試験片の表面は耐水紙研磨後に粒径 0.3μm のアルミナを使用したバフ研磨による仕上げで統一した。

- ①放電加工面状態 (Ra 2.46 μm)
- ②化学研磨 (Ra 0.56 μm)
- ③耐水紙研磨 #240~#4000 (Ra 0.08 μm)
- ④耐水紙研磨 (#240~#4000) 後に化学研磨 (Ra 0.15 μm)

2.3 引張試験条件

引張試験はインストロン社製 44R3382 試験機を用いた。ひずみ速度 3.33×10^{-4} で行い，CCD カメラ形式のインストロン社製非接触伸び計 AVE を用いてひずみの計測を行った。一般的な引張試験においてはひずみゲージやクリップ式の伸び計が使用されるが，試験片の幅が 1.2mm ととても小さくこれらを使用する事ができないため，非接触により伸びを計測する。非接触伸び計は試験片表面にあるマークの変位を計測するため，標点間距離 5mm でマークをつけた。

試験片の取り付けに際して，余ひずみを与えると正確な引張強さや伸びを計測する事ができないため，余ひずみを与えないよう，Fig. 3 に示すように治具を使用して試験機に取り付けた。Fig. 3(a) に示すような真鍮製のガイドに治具を固定した状態で試験片を取り付け，Fig. 3(b) に示すようにガイドを固定したまま試験機に取り付ける。治具を試験機に固定したあとにガイドを取り外して引張試験を行う。

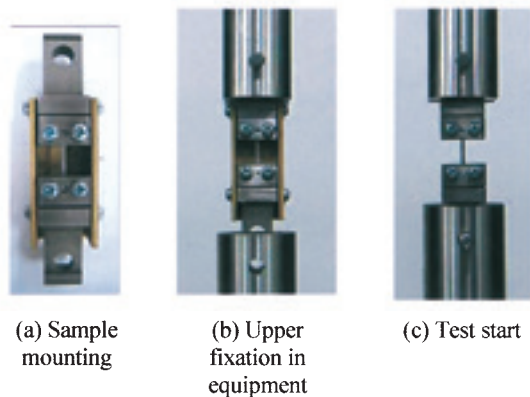


Fig. 3 Jig for tensile tes. 4 試験片採取位置

F82H 鋼は鍛造および圧延加工を行っていることから異方性を有していることが考えられる。そこで、引張試験を行うに当たり、Fig. 4 に示すように素材を4等分し中央部 (c) と端部 (e) に分け、さらにそこから圧延方向と平行 (L 方向) と直行 (T 方向) 方向の試験片を切り出して評価を行った。

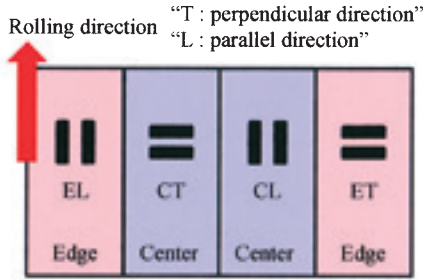


Fig. 4 Specimen sampling positions and orientations

2.5 真破断ひずみの評価

延性材料の単軸引張試験において、材料の変形は荷重の増加と共に弾性変形から塑性変形に変化する。さらに荷重を増加させることによって均一変形のまま極大値に達するが、その直後には材料の一部だけが急激に変形するくびれが発生し、局部変形が生じる。くびれが生じると極めて狭い領域にひずみが集中し最終的に破断に至る。このような挙動は塑性不安定と呼ばれている²⁾。

局部変形発生以降のひずみは伸び計で評価する事が困難であることから、破断後の断面積を用いて真破断ひずみの評価を行う。

金属材料の塑性変形は結晶面のすべりによって生じるため体積一定則が成立する。そのため、変形前の体積とある瞬間の体積の関係は次式で表される。

$$A_0 \times L_0 = A \times L \quad (1)$$

ここで、 A_0 :変形前の断面積、 L_0 :変形前の長さ、 A :変形後の断面積、 L :変形後の長さである。

また、真ひずみ ε_t と公称ひずみ ε_n は次式で表される。

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_n) \quad (2)$$

(2)式を L と L_0 を用いて表すと次式の通りとなる。

$$\varepsilon_t = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) \quad (3)$$

従って、(1)式と(3)式から断面積と真ひずみの関係は

以下の通りとなり、引張試験後に試験片の破断面積を計測する事で真破断ひずみの評価を行う。

$$\varepsilon_t = \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \quad (4)$$

3 実験結果及び考察

3.1 側面研磨の影響

研磨条件を変えた試験片の引張強さと伸びの関係を Fig. 5 に示す。表面粗さが小さくなると、引張強さと均一伸びは大きくなる傾向を示しているが、④の耐水紙研磨後に化学研磨した条件が最も大きな値を示した。これは、化学研磨によって耐水研磨による若干の加工ひずみが除去されたのと、角部が除去されたためだと推測される。

サイズ効果を調べるために試験片形状が大きくなった場合や、照射実験等での実務レベルでは化学研磨処理まで実施することは困難であるので作業性を考慮すると、耐水研磨が最適であると考え、本研究において試験片側面仕上げ条件は③の耐水研磨とする。

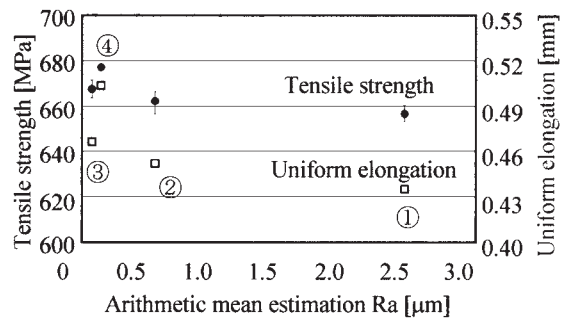


Fig. 5 Surface roughness and tensile properties

3.2 ひずみと引張強度の評価

代表的な引張試験の結果を Fig. 6 に示す。最大応力を示した後にくびれを生じ、一般的な延性金属と同様の傾向を示した。ここで、ひずみの評価に当たり、最大応

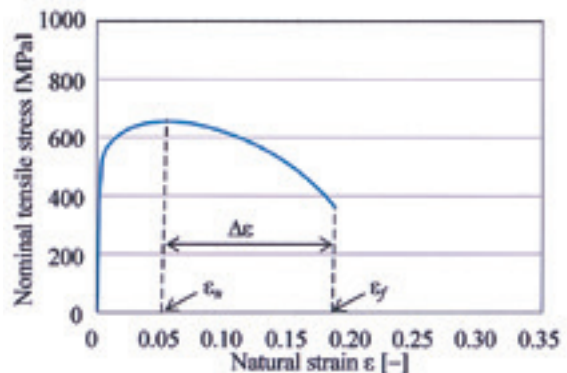


Fig. 6 Stress-strain curve

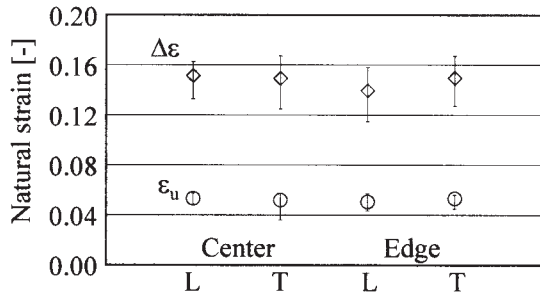


Fig. 7 Dispersion of natural strain

力値 σ_{max} におけるひずみを ϵ_u , 破断時におけるひずみを ϵ_f , 局部変形が生じている間のひずみを $\Delta\epsilon$ と定義する。

ϵ_u および ϵ_f の評価に当たり, 採取位置の影響を調べるため, 採取位置と ϵ_u , $\Delta\epsilon$ の関係を Fig. 7 に示す. ϵ_u は採取位置の影響を受けず $\epsilon_u = 0.05$ の一定値を示した. そのときの標準偏差は 0.008 であり, ばらつきが非常に小さいことがわかった. また, $\Delta\epsilon$ は平均で約 0.147, 標準偏差が 0.016 と ϵ_u の 2 倍のばらつきであることがわかった. これは, 局部変形領域では, 幾何学的な形状変化による部分的な剛性の低下や, 材料内部のき裂進展に伴う瞬時的剛性の低下が影響していると考えられる. また, 試験片断面が矩形であることから, 完全な長方形断面の試験片作製は不可能であり, ミクロンオーダーで断面形状のばらつきがあり, それが, 局部変形時のばらつきに影響しているものと考えられる.

それぞれの試験片採取位置における素材深さ方向の引張強さの分布を Fig. 8 に示す. 試験片採取位置の影響をほとんど受けず引張強さは平均で 645MPa が得られた. ± 20 MPa 程度のばらつきが観察されるが, 標準偏差を求めると 16MPa であり, 非常に均質な材料であることがわかった. 圧延方向に対して並行(L)および直行方向(T)から, また, 端部と中央部から切り出した試

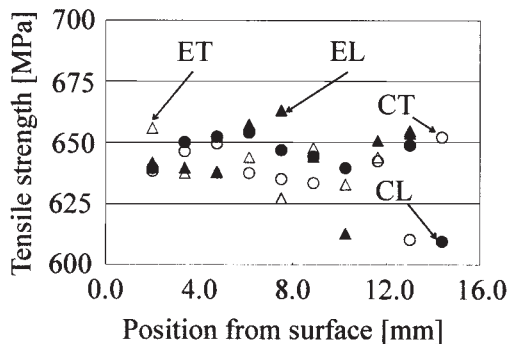


Fig. 8 Dispersion of tensile strength

験片の結果において明確な違いや何らかの傾向が観察されないことから異方性もほとんど無い事がわかった.

マイクروسコープを用いて引張試験後の破断面を観察し断面積を計測した一例を Fig. 9 に示す. 短辺部に比べると長辺部が大きく湾曲しているのが観察された. 断面積計測結果から絞りと真破断応力, 真破断ひずみを求めた所, 中央部(C)の平行方向(L方向)以下の平均値を得る事が出来た.

- ①絞り $\phi = 0.77$
- ②真破断応力 $\sigma_{tf} = 1633$ [MPa]
- ③真破断ひずみ $\epsilon_t = 1.47$

今後, 他の場所と方向のデータを蓄積する事で原型炉設計に役立つと期待している.

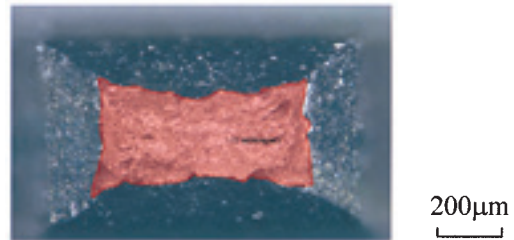


Fig. 9 Cross section observation

4. まとめ

- (1) 微小試験片による強度特性を調べるための試料作製法を確立し十分な強度特性を得ることができた.
- (2) 試験片採取位置及び材料表面からの深さ方向が及ぼす引張強さとひずみへの影響は確認できず, 強度分布が均一な材料であることが分かった.
- (3) 真破断応力は中央部の平行方向で1633[MPa]が得られた.

謝 辞

本研究は, 原子力機構の支援を受けて核融合研究開発の幅広いアプローチ (Broader Approach : BA) 活動の一環で行われたものである.

参 考 文 献

- 1) 谷川博康, 酒瀬川英雄, 芝清之, 廣瀬貴規; 低放射化フェライト鋼製造技術の現状と課題, プラズマ・核融合学会誌, Vol. 87, No. 3, pp167-171, (2011)
- 2) 谷川博康; 原子炉・核融合炉の照射効果に及ぼす応力に関する機構論的研究, pp.1-2, (1997.12)
- 3) 須藤一; 材料試験法, 内田老鶴園新社, (2002)
- 4) 井形直弘, 核融合炉材料, 培風館, (1986)

- 5) 微小試験片材料評価技術の進歩、社団法人日本原子力学会、「微小試験片材料評価技術」研究専門委員会, (1992)

パズルゲーム「タングラム」解法の基本アルゴリズム

Basic Algorithms for Solving the Puzzle Game “Tangram”

大槻 正伸・中野 良樹*・新井 広**

福島工業高等専門学校電気工学科

*秋田大学教育文化学部

**高知工科大学

Masanobu Ohtsuki, Yoshiki Nakano, Hiroshi Arai

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Electrical Engineering

*Akita University, Faculty of Education and Human Studies

**Kochi University of Technology

(2015年9月8日受理)

“Tangram” is a puzzle game, using seven pieces of 5 triangles, a square, and a parallelogram, which construct an original big square with no intersection (i.e. these pieces are parts of a big square). A problem is expressed by a figure, shown in silhouette, which can be constructed with all these seven pieces with no intersection. The problem solver, given these seven pieces, and a problem silhouette figure, have to construct the problem figure with all these seven pieces.

In this paper, we have developed basic algorithms for solving this puzzle instead of human solver, and constructed an algorithm which can solve “2-pieces Tangram”, so called simplified Tangram, and it is left to the future research to develop an efficient algorithm for solving the original 7-pieces Tangram.

Key words: Tangram, Computational Geometry

1. はじめに

「タングラム」とは次のようなパズルである。

まず Fig.1(左)のように、大きな正方形を分割してできる7個の「ピース」と「問題図形」(例えば Fig.1(右))—ピースで構成すべき影絵の図形—が与えられる。パズルを解く者は7個のピースを全て用いて、重ねることなく問題図形を構成する (Fig.2)^{1) 5) 6) 7)}。

このパズルは、小学校などにおいて算数教育の教材としても使われ、またタングラムを人間が解く場合の問題解決方法について心理学的な研究も行われている^{4) 5)}。

本論文では、図形を扱うことが苦手なコンピュータに、タングラム問題を解かせるにはどうしたらよいか、そのアルゴリズムを設計するための研究を行う。

計算機科学 (Computer Science) においては、この種の図形問題は、その一分野である「計算幾何学 (Computational Geometry)」で扱うべき性質のものであるが^{2) 3)}、計算幾何学の中では「多角形領域の基本図形への分解」等の関連しそうなテーマの議論はある

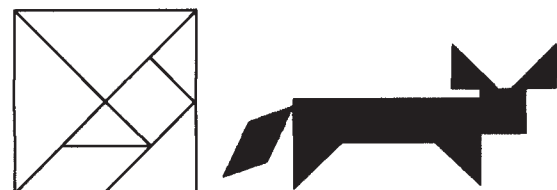


Fig.1 The basic 7-pieces of Tangram(left) and an example of a problem “Wildcat (reduced scale 0.7)”(right)

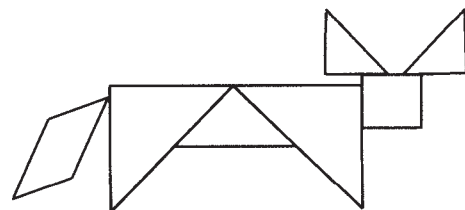


Fig.2 The Solution to the Problem “Wildcat” in Fig.1

が、直接タングラムの解法に結び付くものはほとんどない。そこで本研究は、タングラムを解くアルゴリズムの基礎研究をすることにより計算幾何学を一步進めようとするものである。

「タングラム」という場合、ピースは Fig.1 のように分割した7個で行うものを指すが、この種のパズルでは類似したものもあり、ピースの形は別のものも考えられている。また元の正方形の分割の仕方により複雑にもできるし、分割してピースをつくる元の図形を正方形でないものとするパズルもある。そこで一般的に、

- (1)ピースは閉じた有限の図形であり、ピースのエッジ(辺)は全て直線とする。
- (2)ピース数 p 、ピースの形に関するデータ数(情報の量 例えば各ピースの端点数合計)が c_p である。
- (3)指定されたシルエット図形(その情報量 c_s)を、与えられたピースで、ピースの重なりなしで構成する。という図形組み合わせ問題を考える。

これを「一般的なタングラム問題」あるいは「 p (ピース)タングラム問題」などとよぶことにする。

一般的なタングラム問題では、 P や c_p 、 c_s が大きくなった場合、「解候補が与えられると、それが正しい解であるかどうかは比較的簡単に (i.e. p や c_p 、 c_s に関する多項式時間で) 分かるが、初めから解を求めようとすると難しそう(どんなに効率的なアルゴリズムでも p や c_p 、 c_s の指数関数時間かかりそう)である」ことが直観されることから、NP 完全問題¹⁾に属するものと予想される。一般的タングラム問題が実際に NP 完全問題かどうかについてはまた別の議論が必要であり、それはそれで大きなテーマであるが本論文の主題ではない。

本論文では、ピース数 $p=7$ 、端点数合計 $c_p=23$ 、 $c_s=3\sim 30$ 程度の、NP 完全問題と予想されるタングラム問題を、コンピュータで解くための、データ表現方法、図形を扱う基本的アルゴリズムを考える。以下、2.では一般的なタングラム問題をコンピュータで扱うためのデータ表現方法を提案し、それで表現された図形を扱う基本的なアルゴリズムを準備し、基本アルゴリズムを用いて一般的なタングラムを解くアルゴリズム設計を目指す。

ここで提案するアルゴリズムで、2ピースのタングラム問題は解けたが 3ピース以上のタングラム問題は解けなかった。3ピース以上のタングラム問題、あるいはふつうの7ピースタングラム問題を解くアルゴリズムの開発は今後の課題として残されている。

2. 図形の表現方法と基本アルゴリズム

2.1 ピースと問題図形の表現方法

図形(以下、「図形」という場合、ピースや問題のシルエット図形を意味するものとする)は、コンピュータに与えるために、何らかの数值データとして表現しな

なければならない。ここでは、以後の説明のために、単純な次の2ピースタングラム問題の例(Fig.3)で説明する。

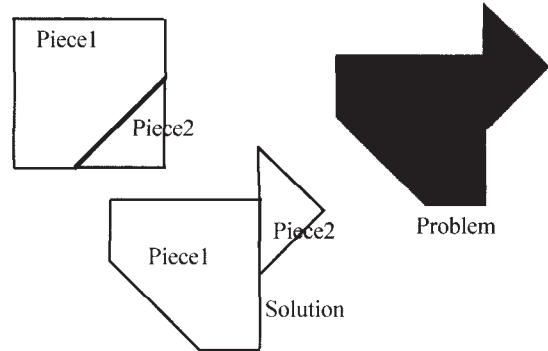


Fig.3 An Example of 2-pieces Tangram Problem

Fig.3は ピース数 $p=2$ 、ピース1のデータ数 $c_{p1}=5$ 、ピース2のデータ数 $c_{p2}=3$ 、ピースのデータ数 $c_p=c_{p1}+c_{p2}=8$ 、問題シルエットのデータ数 $c_s=8$ の例である。

図形を定義するために与えるデータはいろいろ考えられるが、ここでは自然に「図形内部を常に左に見るように頂点を順番に訪れるものとし、その順番に頂点座標をデータとして与える」こととする。

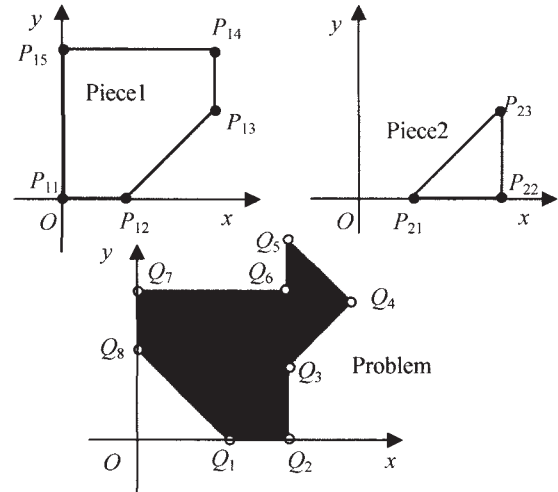


Fig.4 Expression of the 2-pieces Tangram Problem

すなわち、例えば Fig.3のピース1 (Piece1)であれば、Fig.4に示す各頂点を用いて $\{P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}\}$ でもよいし $\{P_{13}, P_{14}, P_{15}, P_{11}, P_{12}\}$ でもよい。この表記は集合の記号と同じであるが、この図形の表現においては、点の順序が重要であることに注意する。また、 $\{P_{12}, P_{11}, P_{15}, P_{14}, P_{13}\}$ や、 $\{P_{11}, P_{12}, P_{15}, P_{14}, P_{13}\}$ などとはここでいう「正しいピース1 (Piece1) の図形表現」にはなっていないことに注意する。

さらに、この図形表現においては、どの $\{P_{1k}, P_{1(k+1)}, P_{1(k+2)}\}$ 3点も1つの直線上にないものとする。

すなわち、例えば $\{P_{1k}(0,0), P_{1(k+1)}(1,0), P_{1(k+2)}(2,0), P_{1(k+3)}(2,1)\}$ の場合は、 $\{P_{1k}(0,0), P_{1(k+1)}(2,0), P_{1(k+2)}(2,1)\}$ と、無駄をなくして図形を表現しておくものとする。

実際には、例えばピース 1 $\{P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}\}$ の場合は $\{P_{11}(0.0, 0.0), P_{12}(0.4, 0.0), P_{13}(1.0, 0.6), P_{14}(1.0, 1.0), P_{15}(0.0, 1.0)\}$ のように、2次元の点の座標としてデータが与えられる。そうすると、図形の全ての点を同じだけ平行移動したり、同じだけ回転させたり、線対称に裏返したりしても、同じ図形を表すことになる。すなわち、例えばピース 1 をベクトル $v=(0.1, 0.2)$ だけ平行移動した $\{P_{11}'(0.1, 0.2), P_{12}'(0.5, 0.2), P_{13}'(1.1, 0.8), P_{14}'(1.1, 1.2), P_{15}'(0.1, 1.2)\}$ 等もピース 1 を表す正しい表現である。

なお、ピース 1 のデータ数 $c_{p1}=5$ という場合、「平面上の5点により表現される図形」ということであり、実際には、 $2 \times c_{p1}=10$ 個の実数データで表現される。この2倍のずれは、計算量のオーダーの議論には影響しないからデータ数は c_{p1} としておく。

また、本論文のアルゴリズムでは、ピースの線対称の変換(裏返し操作)については考えず、ピースを平行移動、回転のみで問題シルエットが構成できるようなもののみを扱うこととする。これは、問題の本質を明らかにするための単純化という意味と、人間がタングラムを解く際の心理的な実験⁴⁾⁵⁾との比較を行うことを目指すという意味がある。文献4), 5)では、心理学的考察を効率よく行うために、線対称変換を用いない問題を扱っている。なお、コンピュータによる解法において、線対称変換なしの解法プログラムが構築できれば、線対称変換を必要とする問題への対応するプログラムは容易に構築できる。

さて、Fig.3のピース 1 (Piece1)、ピース 2 (Piece2) と問題 (Problem) の図形もデータ表現すると一例として Piece1 = $\{P_{11}(0.0, 0.0), P_{12}(0.4, 0.0), P_{13}(1.0, 0.6), P_{14}(1.0, 1.0), P_{15}(0.0, 1.0)\}$
 Piece2 = $\{P_{21}(0.4, 0.0), P_{22}(1.0, 0.0), P_{23}(1.0, 0.6)\}$
 Problem = $\{Q_1(0.6, 0.0), Q_2(1.0, 0.0), Q_3(1.0, 0.5), Q_4(1.424264\dots, 1.0), Q_5(1.0, 1.348528\dots), Q_6(1.0, 1.0), Q_7(0.0, 1.0), Q_8(0.0, 0.6)\}$ と表現される。

実際には、コンピュータには「 $1 + 0.3\sqrt{2}$ 」ではなく「1.424264...」のように小数点をもつ数値データで与える必要がある。

なお、本論文の以下のアルゴリズムで「点 P_0 」などが出てくるが、点 P_0 は点 P_n 、 P_{n+1} は P_1 、 P_{n+2} は P_2 等と同一視する。i.e.番号はローテーションして考えることとする。

2.2 図形を扱う基本アルゴリズム

ここで、いくつか図形を扱う基本的なアルゴリズム (A1~A4) を以下のように構成する。

【基本アルゴリズム A1】 [正規化]

ここで、正規化について定義する。

本論文でいう「図形 $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ の点 P_k による正規化」とは、図形と図形の1つの頂点 P_k を与え、 P_k を(平行移動で)原点に、その後(回転により)辺 $P_k P_{k+1}$ を x 軸の正の方向に一致させるように図形を合同変換することとする (Fig.5)。なお、この正規化後の表現は、 $\{P_1', P_2', \dots\} = \{P_1$ を平行移動と回転した点 P_1', P_2 を平行移動と回転した点 $P_2', \dots\}$ であり、点の順序は変えないものとする。

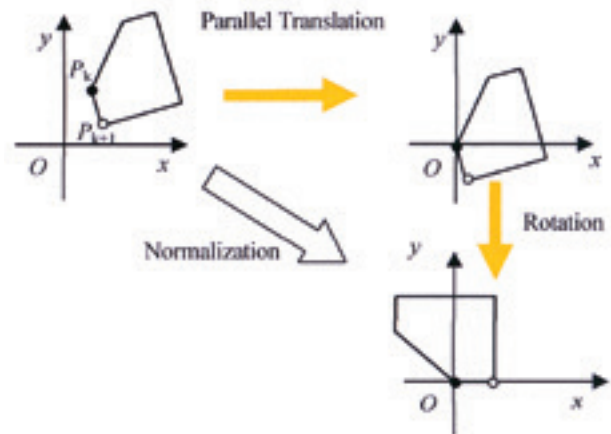


Fig.5 Normalization of a figure by P_k

【アルゴリズムA1】

正規化アルゴリズムは、図形の頂点数を n とすると $O(n)$ 時間で実行可能なものが簡単に構成できる (詳しいアルゴリズムは明らかであるからここでは省略する)。

【基本アルゴリズム A2】 [2つの図形の合同判定]

【アルゴリズムA2】

入力 ($F_1 = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_{n1}\}$, $F_2 = \{P_1, P_2, \dots, P_{n2}\}$)

begin

 cflag:=0;

 if $n1 = n2$ then

 begin

$F_{work1} := (F_1$ を点 Q_1 で正規化した図形);

 for $i:=1$ to $n2$ do

 begin

F_2 を $\{P_1', P_2', \dots, P_{n2}'\} = \{P_i, P_{i+1}, \dots\}$ と表現

 しなおす(P_i を表現の開始とする);

$F_{work2} := (F_2$ を点 P_1' で正規化した図形);

```

pflag:=1;
for j:=1 to n2 do
  if  $F_{work1}$ の第j点 $\neq F_{work2}$ の第j点
    then pflag:=0;
  if pflag=1 then cflag:=1
end;
end;
if cflag=1 then  $F_1$ と $F_2$ は合同と判断
  else  $F_1$ と $F_2$ は合同でないと判断
end ;

```

この合同判定アルゴリズムの時間計算量は、 $O(\max(n1, n2)^2)$ である。

また、実際にプログラム設計するには、「2点 $P_1(x_1, y_1)$ と $P_2(x_2, y_2)$ が等しいかどうか」の判定には、「 $x_1=x_2$ かつ $y_1=y_2$ 」ではなく、「 $|x_1-x_2|\leq \varepsilon$ かつ $|y_1-y_2|\leq \varepsilon$ 」等、許容誤差 ε を定めておき「 ε 以下の違いであれば等しいとする」など、コンピュータのデータ表現の有限性を考慮する必要がある。点の回転操作等を行うと、無理数、無限小数の扱いが必要となり、コンピュータ内では、例えば、real (float) 宣言した変数で点の座標を表現すると、 10^{-15} 程度の誤差がどうしても避けられないためである。

(基本アルゴリズム A3-1) [点 \in 図形の判断、i.e. 平面上の任意の点 B と、図形 $F = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ を与え、点 B が図形 F の内部の点かどうか判断するアルゴリズム (ただし境界線の点、i.e.ある辺 P_kP_{k+1} 上にある点は内部の点とする)]

このアルゴリズムは、「線分がある図形に完全に含まれるか?」「ある図形 A が図形 B に含まれるか?」等の判断をするアルゴリズムの基礎となる重要なものである。その基本となる考え方は次のとおりである。

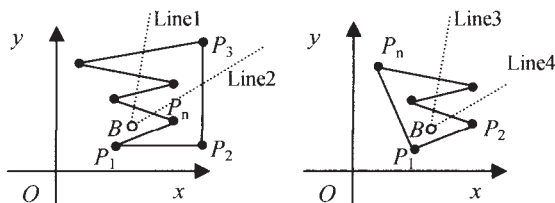


Fig.6 Examples of a point B out of a figure F (left), and B in F (right)

点 B から、任意の方向に半直線を引き、図形の各辺 $P_1P_2, P_2P_3, \dots, P_{n-1}P_n, P_nP_1$ と交差する回数を調べる。この半直線上を無限遠点から点 B に向かって点が動く

場合、一回交差するごとに、「図形内部に入る」、「図形外部に出る」を繰り返すから、その交差回数が偶数であれば点 B は図形外部の点、奇数であれば内部の点と判断される (Fig.6)。

【アルゴリズムA3-1】

入力 (点 $B(x_b, y_b)$ 、図形 $F \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$)

```

begin
  onflag:=0; count:=0;
  どの線分  $P_kP_{k+1}$  ( $k=1,2,\dots,n$ ) の傾きとも異なる傾き $m$  ( $m>0$ ) を乱数を用いて選び、点 $B$ から傾き $m$ の半直線
  を引く(これをLine1とする); {Line1上に、ある線分 $P_kP_{k+1}$ 
  が乗っていると処理が複雑になるためこれを避ける}
  for k:=1 to n do
    begin
      if (線分 $P_kP_{k+1}$ とLine1に共通点がある) and
        (その共通点は $P_k, P_{k+1}$ ではない) then
        count:=count+1 ;
      if (点 $B$ が線分 $P_{k-1}P_k$ 上にある) then onflag:=1
    end ;
  if (count mod 2=0) and (onflag=0)
    then 点 $B$ は図形 $F$ の外部と判断
    else 点 $B$ は図形 $F$ の内部と判断
end.

```

このアルゴリズムの計算量は $O(n)$ である。

アルゴリズムA3-1で、Line1と線分 P_kP_{k+1} との交点がちょうど端点 (P_k または P_{k+1}) の場合、処理は複雑になる。今回は、「Line1と端点が交点」が発生した場合、「乱数での m (Line1の傾き)の選択やり直し」としている。

(基本アルゴリズム A3-2) [線分 BC 全体が図形 F の内部に存在するかどうかの判断をするアルゴリズム]

ここでは単純に、線分 BC 上の点を、点 B から微小幅 h ごとに図形 F の内部の点かどうかを(アルゴリズムA3-1で)チェックする (Fig.7)。チェックした点全てが図形の内部であれば線分 BC は F の内部にあると判断する。

今回は $h=10^{-3}$ としてプログラムを設計した。ただし、図形 F が凸図形でない場合「解像度」 h によっては正しく判断されない場合もある (Fig.7右) が、 h を十分小さくすることで精度を上げ、実用的にはほぼ問題なく判定することができる。

正確な「線分 $BC \subset$ 図形 F の判定」アルゴリズムの構成は非常に難しい問題である。効率よくこの判定をするアルゴリズム開発は今後の課題として残されている。

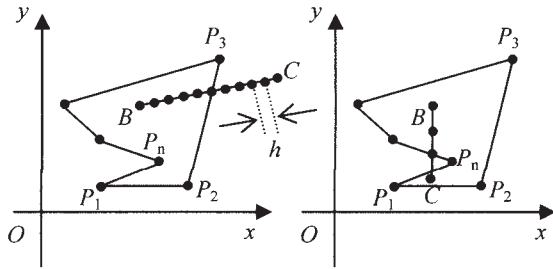


Fig.7 An algorithm for judging whether a segment BC is in a figure F or not

【アルゴリズムA3-2】

入力 (点 $B(x_b, y_b)$, 点 $C(x_c, y_c)$, 図形 $F \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$)

begin

inflag:=1;

for i:=0 to \overline{BC}/h do { * \overline{BC} は線分 BC の長さ* }

begin

$D(x_d, y_d) := B(x_b, y_b) + i * h (C(x_c, y_c) - B(x_b, y_b))$;

if $(D \notin F)$ then inflag:=0 ;

{ * $D \notin F$ かどうかの判断はA3-1による * }

end ;

if inflag=0 then 外部と判断 else 内部と判断

end.

このアルゴリズムの計算量は $O(\frac{1}{h}n)$ となる。

(基本アルゴリズム A3-3)

図形 $F_1 = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_{n1}\}$ が図形 $F_2 = \{P_1, P_2, \dots, P_{n2}\}$ の内部にあるかどうかの判定アルゴリズム (Fig.8)

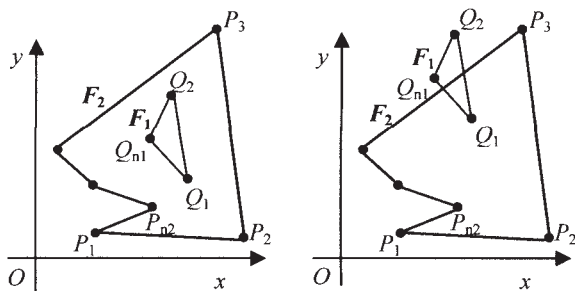


Fig.8 Examples of $F_1 \subset F_2$ (left) and $F_1 \not\subset F_2$ (right)

【アルゴリズムA3-3】

入力 (図形 $F_1 \{Q_1, Q_2, \dots, Q_{n1}\}$ 図形 $F_2 \{P_1, P_2, \dots, P_{n2}\}$)

begin

inflag:=1;

for i:=1 to n_1 do

begin

if (線分 $Q_i Q_{i+1} \not\subset F$) then inflag:=0 ;

{ * $Q_i Q_{i+1} \not\subset F$ の判断はA3-2による * }

end ;

if inflag=0 then $F_1 \subset F_2$ と判断 else $F_1 \not\subset F_2$ と判断

end.

このアルゴリズムの計算量は $O(\frac{1}{h}n_1n_2)$ である。

(基本アルゴリズム A4) (図形の減算)

図形 $F_1 \{Q_1, Q_2, \dots, Q_{n1}\}$ 、図形 $F_2 \{P_1, P_2, \dots, P_{n2}\}$ が与えられ、(C1) $F_1 \subset F_2$ 、(C2) $P_1 = Q_1$ 、(C3)線分 $Q_1 Q_2 \subset$ 線分 $P_1 P_2$ のとき、 $F_2 - F_1$ を求めるアルゴリズム (Fig.9)

ここでは、一般的な2つの図形でなく、上記(C1)~(C3)の強い条件を与えて、この条件が満たされるときに、正しく「図形の減算—— $(F_2 - F_1)$ 」の図形を正しい表現で求めること」ができるアルゴリズムを設計した。

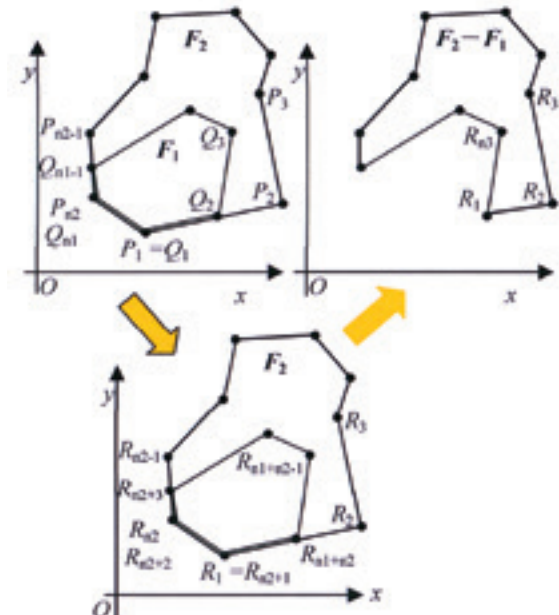


Fig.9 Subtraction of two figures ($F_2 - F_1$)

基本的な考え方は「 F_2 の各頂点を正順で回り、次に F_1 の各頂点を逆順に回り F_3 をつくる (Fig.9 (下))。そして、『どの連続する3点も1つの直線上にあってはいけない』から、その無駄を全て省く」というものである。

【アルゴリズムA4】

入力 ($F_1 \{Q_1, Q_2, \dots, Q_{n1}\}$ 、 $F_2 \{P_1, P_2, \dots, P_{n2}\}$)

begin

$F_3 = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_{n1+n2-1}, R_{n1+n2}, \}$

$:= \{P_1, P_2, \dots, P_{n2}, Q_1, Q_{n1}, \dots, Q_2, \}$;

while(ある $R_k R_{k+1} R_{k+2}$ が1つの直線上にある)do

begin

無駄を省く ;

{ * 例えば R_{n1+n2}, R_1, R_2 は1つの直線上にあるから、

$F_3 = \{R_{n_1+n_2}, R_2, R_3, \dots, R_{n_1+n_2-1}\}$ とする等*

end

end.

この図形減算アルゴリズムの計算量は $O((n_1+n_2)^2)$

2.3 2-タングラムの解法アルゴリズム

前節2.2の基本アルゴリズムをもとに、次の2-タングラムを解くアルゴリズムを設計した。

【アルゴリズム 2-Tangram】

入力 ($F_{\text{piece}(1)}\{P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1n_1}\}$, $F_{\text{piece}(2)}\{P_{21}, P_{22}, \dots, P_{2n_2}\}$

$F_{\text{problem}}\{Q_1, Q_2, \dots, Q_{n_3}\}$)

//以下{A-X}はアルゴリズムA-Xを呼び出すことを示す

begin

$F_{\text{PNormalize}} := F_{\text{problem}}$ を点 Q_1 で正規化した図形; {A-1}

Solvedflag:=0;

for i:=1 to n_i do

for j:=1 to n_j do

begin

$F_{\text{Pij}} := F_{\text{piece}(i)}$ を点 P_{ij} で正規化した図形; {A-1}

if $F_{\text{Pij}} \subset F_{\text{PNormalize}}$ then {A3-3}

begin

$F_{\text{work}} := F_{\text{PNormalize}} - F_{\text{Pij}}$; {A-4}

if $F_{\text{piece}(3-i)} \equiv F_{\text{work}}$ then {A-2}

begin Solvedflag:=1;

解の情報 ($F_{\text{Pij}}, F_{\text{work}}$) を記憶

end

end

end;

if Solvedflag=1 then

begin

write('Solved'); 解の表示

end

else

write(' Not Solved')

end.

このアルゴリズムの時間計算量は $O(\frac{1}{h} \max(n_1, n_2, n_3)^3)$

このアルゴリズムにより、Delphiを用いてプログラムをパソコンに実装し、実行した結果の例をFig10に示す。

問題図形はFig4を $\pi/20$ だけ回転した図形とした。

上段には、問題と得られた解が示され、下段には、正規化された問題図形と2つのピースが表示されるようにしてある。その他の2-ピースタングラム問題もこのプログラムで解けることが確認されている。

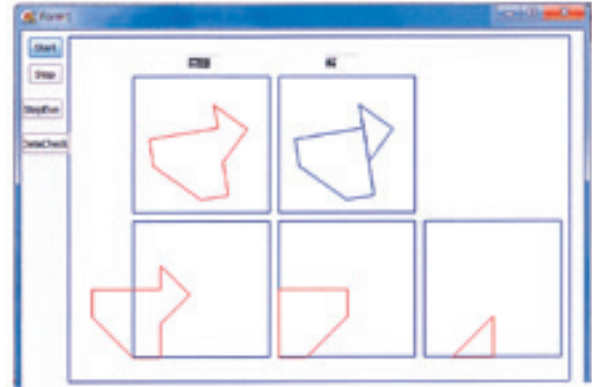


Fig.10 Result of the Program Executed

3. まとめ

一般のタングラム問題をコンピュータで解くための図形表現法、基本アルゴリズムを設計し、今回は、2ピースタングラムまで解けるアルゴリズムを開発した。

今後の課題としては次のことがあげられる。

- ・本来の7-ピースタングラムが解けるアルゴリズム開発
- ・アルゴリズムA-3と同等のよりよいアルゴリズム開発
- ・例えばGA(遺伝的アルゴリズム)等を用いた高速で、高い確率で解が求められるアルゴリズムの開発
- ・一般的な見地での数学モデル(一般的タングラム問題の公理系)の構築

参考文献

- 1) A.V. Aho, J.E.Hopcroft, J.D.Ullman, The Design and Analysis of Computer Algorithms, pp364-404, Addison - Wesley Publishing Company,1974
- 2) 浅野 哲夫, 計算幾何学, 朝倉書店, 1990
- 3) M.ドバーク, O.チョン, M.ファンクリベルド, M.オーバマーズ著(浅野 哲夫訳), コンピュータ・ジオメトリ, 近代科学社, 2010
- 4) 中野 良樹, 児玉 佳一, 数理パズル「タングラム」の洞察的問題解決における解決を予測する要因の探索, 秋田大学教育文化学部研究紀要 教育科学第69集, pp121-131, 2014
- 5) 中野 良樹, 数理パズル「タングラム」における洞察的問題解決, 秋田大学教育文化学部研究紀要 教育科学第64集, pp65-72, 2009
- 6) タングラムに関するホームページ URL (1)
<http://hp.vector.co.jp/authors/VA010128/math/tangram/tframe01.html>
- 7) タングラムに関するホームページ URL (2)
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%BF%E3%83%B%E3%82%B0%E3%83%A9%E3%83%A0>

シリンダ形状永久磁石により構成された Halbach配列永久磁石列の磁気特性

Magnetic performance of Halbach permanent magnet array
constructed with cylinder shaped permanent magnets

伊藤 淳・徳永 昇吾・土屋 裕紀・Mikael J. Bragge*・鈴木 晴彦
福島工業高等専門学校電気工学科

*Helsinki Metropolia University of Applied Sciences

Atsushi Ito, Shogo Tokunaga, Hiroki Tsuchiya, Mikael J. Bragge* and Haruhiko Suzuki
National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Electrical Engineering

*Helsinki Metropolia University of Applied Sciences

(2015年9月25日受理)

Halbach array is effective in forming a strong magnetic field. However, it is impossible to control the magnetic field in a Halbach array using rectangular permanent magnets. Proposal Halbach array was constructed with cylinder shaped permanent magnets and rotating all magnets to control the magnetic field. The magnetic flux distribution of the Halbach array using cylinder shaped permanent magnets was measured actually and simulated to provide the details on the magnetic performance of the proposal model. In the Halbach array using cylinder shaped permanent magnets, by synchronized rotation in the same direction with of all magnets, the slide of the magnetic field distribution was confirmed.

Key words: Halbach array, permanent magnet, magnetic field distribution, cylinder shaped permanent magnet

1. はじめに

工業的に利用される永久磁石埋込型のモータやアクチュエータは、その小型化や高出力化のため、希土類系永久磁石が多く用いられている。特にアウターロータ型モータや永久磁石界磁型直流モータの小型軽量化や高トルク密度化には、構成要素としての永久磁石のエネルギー密度の高度化が有力である。そのため特殊な配列により強磁場を発生することで知られる、Halbach (ハルバッハ) 配列を基本構成とした永久磁石列を組み込む電磁駆動機器類が、近年多くの研究・教育機関や企業において開発研究、および生産が進んでおり、自動車産業界、電気機器産業界において、Halbach配列永久磁石は主要な技術要素になっている。また、輸送機器産業界の分野では、クリーンルーム内の非接触搬送技術の利用が拡大し、永久磁石の磁力(斥力・引力)をバイアスとした磁気支持システムでは、磁気支持性能向上のためにHalbach配列永久磁石の適用が増加している。

一方、Halbach配列はその特性を生み出す永久磁石の配列構成の原理において、形成された磁場の強度や分布を任意に制御することは不可能である。このHalbach配

列によって形成される強磁場や磁場分布を制御できるようになれば、これまでの磁気支持型アクチュエータの機能拡大や新たな磁気支持機構をもつアプリケーションの開発に多大な影響を与えることは明らかである。

J. E. Hiltonらは、径方向に磁化したシリンダ形状永久磁石によって構成したりニアHalbach配列の磁場制御について報告している¹⁾。これは、シリンダ形状永久磁石を、径の中心軸を対称に交互に逆回転させることで、形成される強磁場が上面から底面へ反転できることを磁場シミュレーションにより検討したモデルである。

一方、基本構成は同一であるが、我々はこの報告とは全く独立して、また独自の開発視点から、シリンダ形状の永久磁石を同方向に回転させ、磁石列表面に形成される磁場の分布を移動(スライド)させるモデルを提案し、試作機による磁場分布計測によってその妥当性を見出している^{2,3)}。

本報では、シリンダ形状永久磁石で構成したHalbach配列永久磁石の磁場特性について、これまでの磁場分布計測の結果に対し、磁場解析シミュレーションの結果を比較し、提案するモデルの妥当性について検討をした。

2. Halbach配列永久磁石列

2.1 直形状永久磁石によるHalbach配列の基本構成

立方形状の永久磁石によるHalbach配列が基本原理の構成であるが、近年、磁気支持機構で見られる直形状（四角柱形状）の永久磁石による構成例をFig.1(a)、(b)に示す。隣り合う磁極が直交する配列により、同極が隣り合った配列構成となる片面には強磁場が形成され、もう一方の面には異極が隣り合うため閉磁路が形成され磁束の漏れが少ないという特徴をもっている。表面磁束密度が0.4Tのネオジム系直形状永久磁石で構成したHalbach配列永久磁石の上面と底面の磁束密度分布の例を同図(c)および(d)に示す。

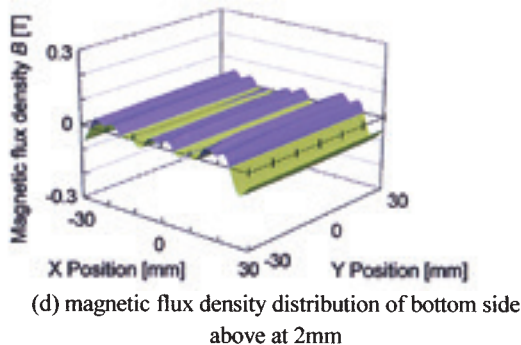
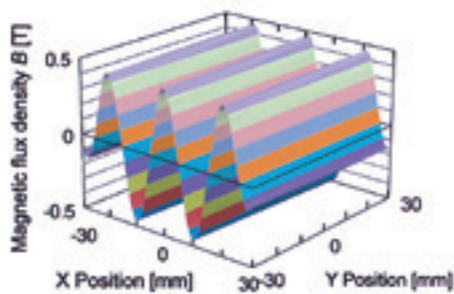
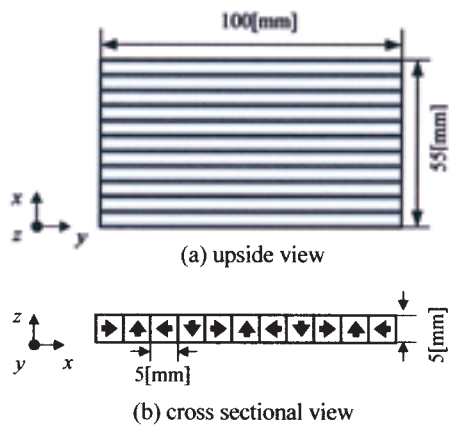


Fig.1 Halbach permanent magnet array constructed with rectangular shaped permanent magnets.

Halbach配列永久磁石上でバルク超電導体の磁気浮上実験の際、配列磁石とバルク超電導間を2mmに設定していた。これに合わせ、配列磁石から2mm上方における磁束密度分布を示している。測定の原因は配列磁石の中心としている。磁束密度分布計測により上面の最大磁束密度が0.47Tであり、Halbach配列特有の磁場分布が形成されていることが分かる。また、底面には約0.04Tの磁束密度が生じ、上面の1/10程度の値であり、片面にだけ強磁場が形成されている。この強磁場がモータの高出力化や磁気支持力の向上に寄与する。

通常、立方体や直方体の永久磁石を使用したHalbach配列では、永久磁石相互の磁気反発や吸引により配列が崩れないようにするため、底面側に磁気吸着板（バックアイアン）をあてたり、接着剤等で固定したりする必要がある。このように固定化された永久磁石配列は、形成される磁場分布も固定される。

2.2 シリンダ形状永久磁石によるHalbach配列の構成

前節のような直形状の永久磁石同士を密着させるHalbach配列構成では、形成される磁場（磁場強度や磁場分布）を可変させることは不可能である。そこで、シリンダ形状の永久磁石を使用しHalbach配列構成した場合、通常の方形状永久磁石で構成したHalbach配列特有の磁場分布と同様な特性が得られるのかを、磁場検証用の試験器を製作して検討を行った。

シリンダ形状永久磁石によるHalbach配列の基本構成図をFig.2に示す。シリンダ形状の永久磁石には、直径5mm、軸長50mmのネオジム系永久磁石を用いた。磁化方向はシリンダ形状永久磁石の径方向であり、表面における磁束密度は0.32Tである。シリンダ形状永久磁石を配列するため、Fig.3のような固定ホルダを製作し、その固定ホルダをアルミベースのスタンドにネジ止めして配列している。Fig.4は、11本のシリンダ形状永久磁石を用いてHalbach配列を構成した磁場検証用の試験器である。この試験器によって配列上面、および底面の磁束密度分布を計測する。

また、シリンダ形状永久磁石で構成したHalbach配列が形成する磁場を可変（磁束密度分布のスライド）させるために、シリンダ形状永久磁石を同一回転方向へ、同角度回転させることを提案した。その概念図をFig.5に示す。例えば、永久磁石の回転に伴って、Halbach配列の中央付近に増強されて形成される磁場は、同図中の赤色実線の位置にあるが、上記の回転を全てのシリンダ形状永久磁石に与えることにより、 $\theta_{PM}=0[\text{deg}]$ における磁

束密度分布のパターンを保ったまま、x方向に移動すると予想される。ただし、現状の試験器では、それぞれのシリンダ形状永久磁石の回転角の設定は独立しているため、それぞれの角度決めは慎重な設定が求められ、かつ永久磁石の個体差による磁場形成への影響も考慮する必要があるため、それぞれの永久磁石の配列は同一順序にする注意も必要である。第3章以降の磁束密度分布計測では、シリンダ形状永久磁石の回転角度 (θ_{PM}) を、0、30、45、60、90degとし、シリンダ形状永久磁石の断面のトップ位置から2mm上面での計測結果を報告する。

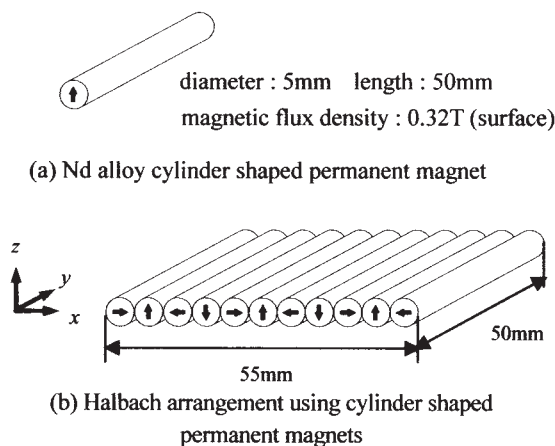


Fig.2 Basic structure of Halbach permanent magnet array using cylinder shaped permanent magnets.

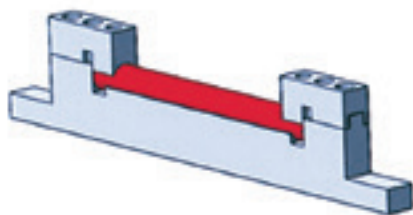


Fig.3 Model of magnet holder.



Fig.4 Actual measuring stand of Halbach array arranged eleven holders with cylinder shaped permanent magnets.

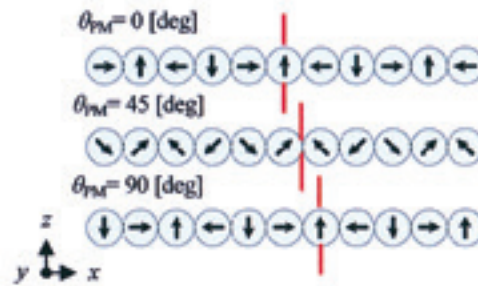


Fig.5 Conceptual diagram of the magnetic field control in Halbach array using cylinder shaped permanent magnets. (rotating all magnets clockwise)

3. 磁束密度分布の計測と磁場シミュレーション

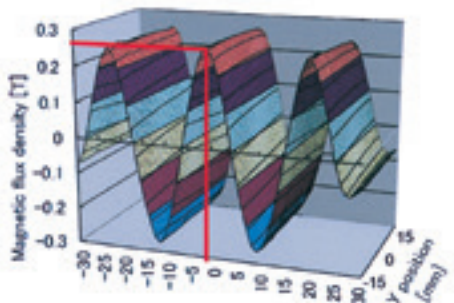
3.1 試験器における磁束密度分布計測

シリンダ形状永久磁石で構成したHalbach配列の磁場検証用試験器の表面から2mm上方の磁束密度分布を、ホールプローブ (F.W.Bell : BHT921) を用いて測定した。配列磁石の中心を原点とし、測定範囲はx方向 (径方向) に±30mm、y方向 (軸長方向) に±15mmとした。

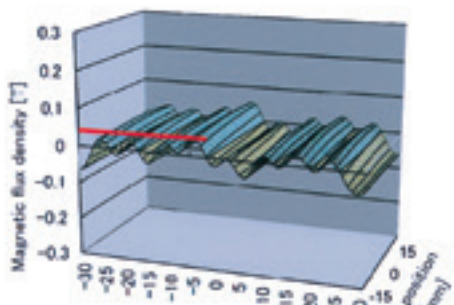
まずFig.6において、基本データとなるシリンダ形状永久磁石の回転角度 (θ_{PM}) が0degの場合のHalbach配列の上面と底面における磁束密度分布を示す。同図から、上面には中央部に最大約0.25T、底面には最大で約0.05Tの磁束密度が観測されている。上面側の磁場の分布は、Halbach配列特有の増強された磁場が形成されていることが分かる。その一方で、底面側の磁場は上面の1/5程度の値で、やや大きな磁束密度の値を示しており、通常の直形状永久磁石で構成するHalbach配列とは若干異なる。これは、シリンダ形状永久磁石を用いた配列のため、底面側に閉磁路が構成されていないことが原因している。しかし、上面側の磁場分布と強度の現れはHalbach配列特有のものであり、これにより、シリンダ形状永久磁石によってHalbach配列が構成できることが明らかとなった。

シリンダ形状永久磁石の回転角度 (θ_{PM}) を30、45、60、90degとした場合のHalbach配列永久磁石試験器上面から2mmの磁束密度分布をFig.7~Fig.10に示す。

$x=0$ [mm]の中央付近の最大磁束密度に注目し、その値と位置を赤色直線で示した。また、 $y=0$ [mm]において、回転角度 θ_{PM} に伴う磁束密度分布のx方向への変化の様子をFig.11に示す。中央付近の最大磁束密度の値と回転角度との関係はこの計測結果のみでは明らかではないが、最大値を示す位置は明らかにプラスx方向に移動 (スライド) することが分かる。



(a) top side



(b) bottom side

Fig.6 Magnetic flux density distribution of the test Halbach array using cylinder shaped permanent magnets.

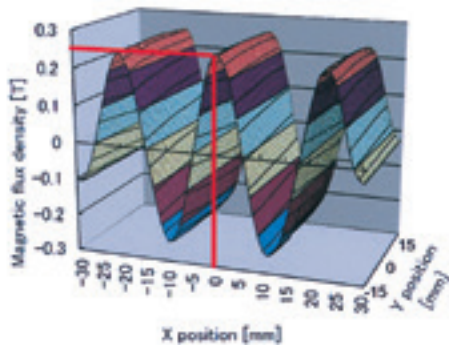


Fig.7 Magnetic flux density distribution of the test Halbach array top side at rotating angle of 30deg.

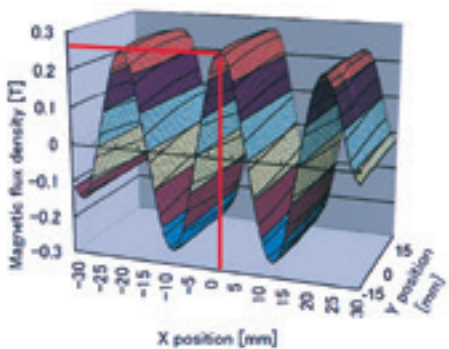


Fig.8 Magnetic flux density distribution of the test Halbach array top side at rotating angle of 45deg.

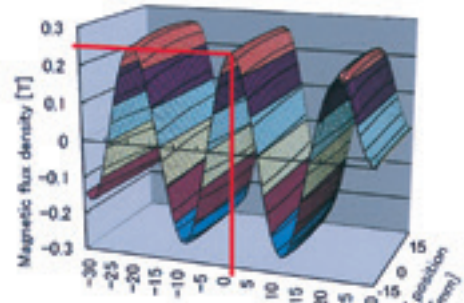


Fig.9 Magnetic flux density distribution of the test Halbach array top side at rotating angle of 60deg.

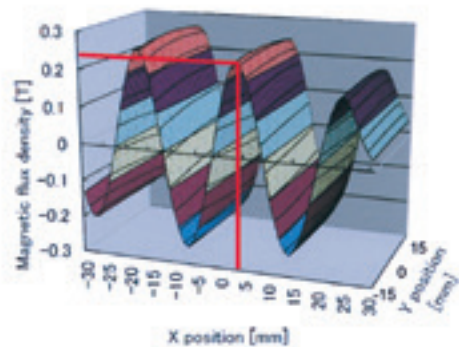


Fig.10 Magnetic flux density distribution of the test Halbach array top side at rotating angle of 90deg.

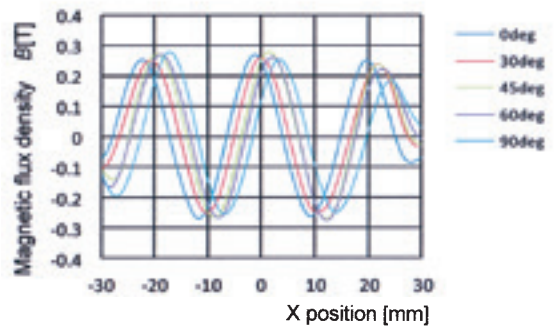


Fig.11 Magnetic flux density distribution of the test Halbach array top side at rotating angle from 0 to 90deg.

また $x=20$ [mm]付近に現れていた磁束密度のピークは回転角度の増加に従い減少していることが分かる。これは、磁束密度の正のピークを形成するN磁極が配列の最端部に位置したことにより、集中する同磁極の一方が開放された影響である。回転角度による中央付近に生ずる磁束密度の最大値の変化とピーク位置の移動(スライド)の特性をFig.12およびFig.13にそれぞれ示す。回転角度によって最大磁束密度は若干変化している。また、最大値を示すピーク位置は回転角度に従いほぼ直線的に変化し、90degではプラス x 方向に5mm移動(スライド)し

ている。これは、使用した永久磁石の直径と一致しており、提案したシリンダ形状永久磁石を用いたHalbach配列の磁場の可変（磁束密度分布のスライド）特性を示している。

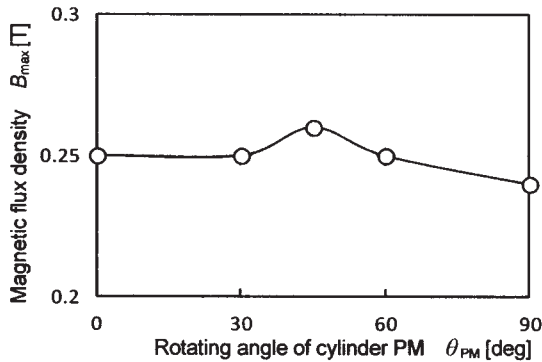


Fig.12 Maximum magnetic flux density around center of the test Halbach array using cylinder shaped permanent magnets at rotating angle from 0 to 90deg.

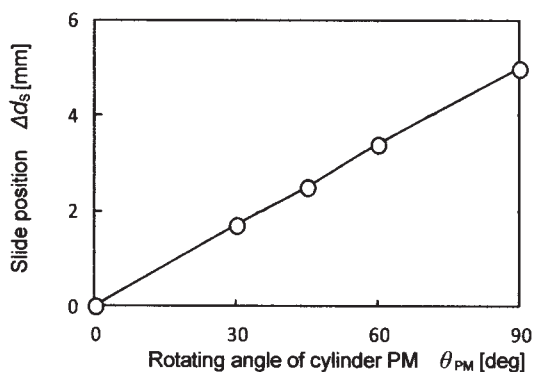


Fig.13 Slide performance of the magnetic flux density distribution above the test Halbach array using cylinder shaped permanent magnets at rotating angle from 0 to 90deg.

3.2 磁束密度分布のシミュレーション

電磁界解析ソフト (JMAG) を用いて、直径5mmのシリンダ形状のネオジウム系永久磁石により構成したHalbach配列の磁束密度分布を解析した。また試験器による磁束密度の計測と同様に、シリンダ形状永久磁石を同方向に回転させた場合の磁束密度分布の解析も行った。なお、磁束密度分布の解析位置は、計測条件と同様に永久磁石の表面から2mm上方である。

まず基準となる回転角度0degのときの、磁束密度分布の解析結果をFig.14に示す。解析結果は、計測した磁束密度分布と同様の結果が得られた。また、シリンダ形状の永久磁石を同一回転方向に同角度回転させた場合の磁束密度分布の解析結果をFig.15に示す。永久磁石の回転に伴い、 $x=20$ [mm]付近に現れる磁束密度の最大値は

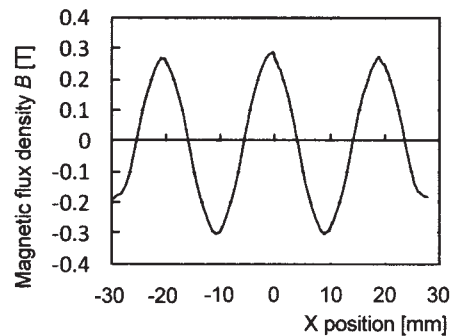


Fig.14 Simulation result of magnetic flux density distribution on the Halbach array using cylinder shaped permanent magnets at rotating angle of 0deg.

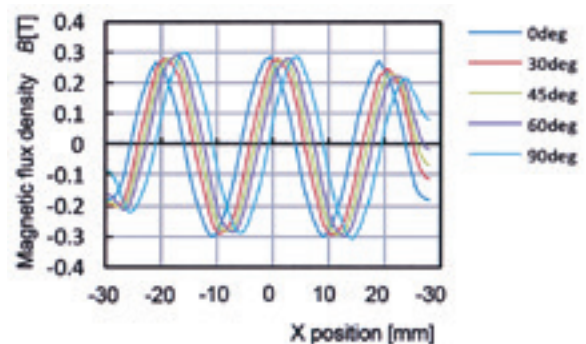


Fig.15 Simulation result of magnetic flux density distribution on Halbach array using cylinder shaped permanent magnets at rotating angle from 0 to 90 deg.

小さくなる解析結果となり、試験器による磁束密度の計測値の $x=20$ [mm]付近に現れていたピーク値の変化傾向と一致している。また、 $x=-20$ [mm]付近に現れる磁束密度のピーク値は大きくなる解析結果となり、この点をあらためて計測結果で確認すると、同様の傾向が $x=20$ [mm]付近のピーク値にも見られる。

一方、中央付近に現れる磁束密度において、計測の場合は回転角度の影響は明瞭ではなかったが、磁場解析の結果からは、Fig.16に示すように明らかな回転角度に依存した傾向を示し、45degで最小値を示した。この点に関して、現状の計測と磁場解析との一致は見られない。現時点において、Fig.15の磁場分布特性曲線の間隔が不揃いである点から、永久磁石を試験器に設置する際の回転角度のずれなどが要因と思われるが、今後、詳細な測定によってこの点を明らかにしていきたい。

回転角度に対する中央付近に現れる磁束密度の最大値を示すピーク位置の移動（スライド）特性をFig.17に示す。中央付近に現れる磁束密度のピーク位置の変位は、永久磁石の回転角度により、ほぼ直線的に変化している。また、回転角度が0degから90degの総変位量は5mmとな

り、試験器による計測の結果と一致した。しかし、磁場解析では45degでわずかに屈曲が見られる。回転角度が大きいことが原因としてあげられ、回転角度を小さくし解析点を増加させることで、検討を進めていくことにしている。

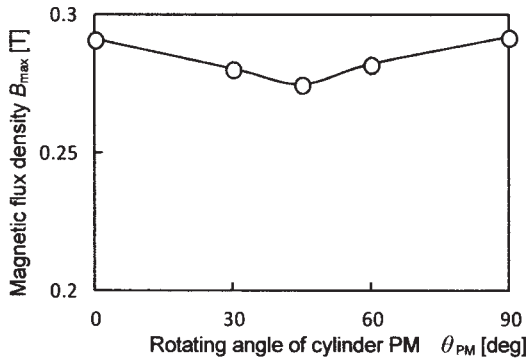


Fig.16 Simulation result of maximum magnetic flux density on Halbach array using cylinder shaped permanent magnets at rotating angle from 0 to 90deg.

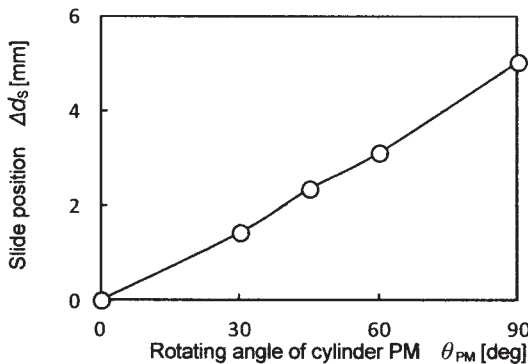


Fig.17 Simulation result of slide performance of the magnetic flux density distribution on Halbach array using cylinder shaped permanent magnets at rotating angle from 0 to 90deg.

4. まとめ

シリンダ形状永久磁石により構成したHalbach配列において、磁束密度分布、および磁場の可変（磁束密度分布の移動）について、ホールプローブによる計測結果と磁場解析ソフトによるシミュレーションの結果により比較した。その結果は以下の3点としてまとめられる。

1) Halbach配列特有の磁束密度分布が計測され、また磁場解析シミュレーションによる磁束密度分布のパターンと一致する結果が得られた。よって、シリンダ形状永久磁石によってHalbach配列を構成することが可能であることが実機（試験器）によって検証された。

- 2) すべてのシリンダ形状永久磁石を同一回転方向に同角度回転させることにより、形成される磁場を可変（磁束密度分布のスライド）できることが、試験器による磁束密度計測、および磁場解析シミュレーションの双方によって確かめられた。このことから、我々が提案したシリンダ形状永久磁石によって構成するHalbach配列による「シリンダ形状永久磁石の同方向・同角度回転による磁場の可変制御」が可能であることが立証された。
- 3) 一方において、可変する磁場の磁束密度の大きさは回転角度により若干ながら変化することが計測結果、および磁場解析シミュレーションの結果から明らかになってきた。これは磁場の可変（磁束密度分布のスライド）が単純な磁場パターンのスライドではなく、磁場強度の変化を伴うことを示したものである。このことは構造的、物理的な視点をもってすれば容易に理解できる事であるが、非接触磁気支持機器へのアプリケーションにとっては不利な要因でもある。

このシリンダ形状永久磁石によって構成されるHalbach配列の磁場制御機構は、今後、超電導体の磁束のピン止め効果を利用した多次元の磁気支持機構や非接触磁気支持搬送システムの分岐機構などへの応用を検討している。それらを実現するためには、シリンダ形状永久磁石を同期回転させるためのメカニズムの設計・試作、および永久磁石の磁気相互作用によるトルクの検証を実際の計測と磁場解析シミュレーションによって進める必要がある。

参考文献

- 1) J.E.Hilton, S.M.McMurry: "An adjustable linear Halbach array", Journal of Magnetism and Magnetic Materials 324, pp.2051-2056, 2012.
- 2) 土屋裕紀、徳永昇吾、伊藤 淳、鈴木晴彦、Mikael J.Bragge: 「シリンダ形状永久磁石を用いたHalbach 配列分岐機構試作機の磁氣的性能」, 日本AEM学会, MAGDA2014, PS-11 (2014) pp.385-388.
- 3) S.Tokunaga, H.Tsuchiya, A.Ito, H.Suzuki, Mikael J. Bragge: "Magnetic Performance of Halbach Array Branching Mechanism Proto-model utilizing Cylinder Shape Permanent Magnets", The 10th International Symposium on Linear Drives for Industrial Applications (LDIA 2015),AEFF-1, No.244 (2015). (Proceeding in USB chip)

メソ位にトリフルオロメチル基を有する新規ポルフィリン、ヘムおよび再構成ミオグロビンの合成と構造

Synthesis and structure of new porphyrin with trifluoromethyl group at the meso-position and reconstituted myoglobin with its iron complex.

青柳克弘・松井田香・大林 洵・須田達仁・大平雅人

福島工業高等専門学校物質工学科

Katsuhiko Aoyagi, Kaori Matsuida, Jun Obayashi, Tatsuhito Suda and Masato Ohira

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Chemistry and Biochemistry

(2015年9月30日受理)

meso-(Trifluoromethyl)mesoporphyrin IX dimethyl esters were readily prepared by photochemical reaction of mesoporphyrin IX dimethyl ester with trifluoromethyl iodide in DMF. ^1H - and ^{19}F -NMR spectra of the products indicated formation of the four regioisomers, **1** - **4** (α , β , γ , and δ -trifluoromethyl-substituted products). These compounds showed a variety of unusual properties due to steric constrain and electronic effect of the meso-trifluoromethyl group. The product **1** is isolated by column chromatography on silica gel from the mixture. Reconstitution of sperm whale apomyoglobin with the dicarboxylic acid iron(III) complex **6** of **1** afforded stable myoglobin **6-Mb**. The heme orientation and stability in a cavity of the protein were determined by paramagnetic ^1H - and ^{19}F -NMR studies. In the **6-Mb**, the normal orientation is coexistent with the reverse form.

Key words: porphyrin, heme, meso-trifluoromethyl group, reconstituted myoglobin, paramagnetic NMR

1. 緒言

ヘム蛋白質、ヘム酵素において補欠分子、酵素および有機基質へのフッ素の導入は、以下の3つの点で興味深い。第一に、酵素の構造や反応の研究における ^{19}F -NMRのための核プローブとしての有用性である。補欠分子や酵素へ導入されたフッ素やペルフルオロアルキル基の ^{19}F -NMRは、核プローブ周辺に環境に敏感で、広い磁場領域に現れる¹⁾。第二に、周辺に化学的に不活性な置換基を有する電子欠乏ポルフィリンは、バイオミメティック触媒や新しい材料等広い分野での応用の可能性が高いことである。これまでに報告された周辺置換基修飾電子欠乏ポルフィリンのほとんどが、化学的に活性な置換基によって機能化されていた。ペルフルオロアルキル基は、不活性でかつ高い電子求引性を持つ²⁾。最後は、フッ素化複素環化合物の持つ抗腫瘍活性である。以上のような点をふまえ、これまで β 位にペルフルオロアルキル基を有するポルフィリン、ヘムおよび再構成ヘム蛋白質の合成を行ってきた。そして、それらについてはすでに種々報告し³⁾、ペルフルオロアルキル基の持つ強い電子求引性がもたらす特殊な物理化学的性質についても明らかにした⁴⁾。また、ヘムおよび再構成ミオグロビンのスピン状態を明らかにするためには、常磁性 ^{19}F -NMRが有効であることも報告している⁵⁾。

しかし、メソ位にペルフルオロアルキル基を有するポ

ルフィリンに関する報告は少ない⁵⁾。そこで、メソ位に目を向けて研究を進めている。すでに、メソ位にトリフルオロメチル基を1つ有する部分的に歪んだポルフィリン、メソ-(トリフルオロメチル)オクタエチルポルフィリンの合成と性質については報告している⁶⁾。

一方、脊椎動物の血液中に含まれるヘモグロビンやミオグロビンに代表されるヘム蛋白質、ヘム酵素の機能発現のメカニズムの解明、および機能変換のための手段として、再構成ヘム蛋白質、ヘム酵素の合成と評価も行ってきた^{1-4), 7)}。

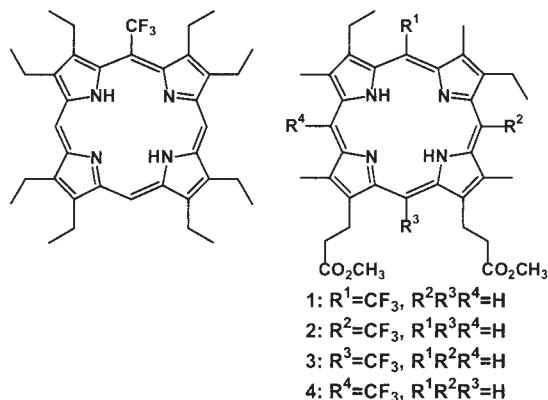


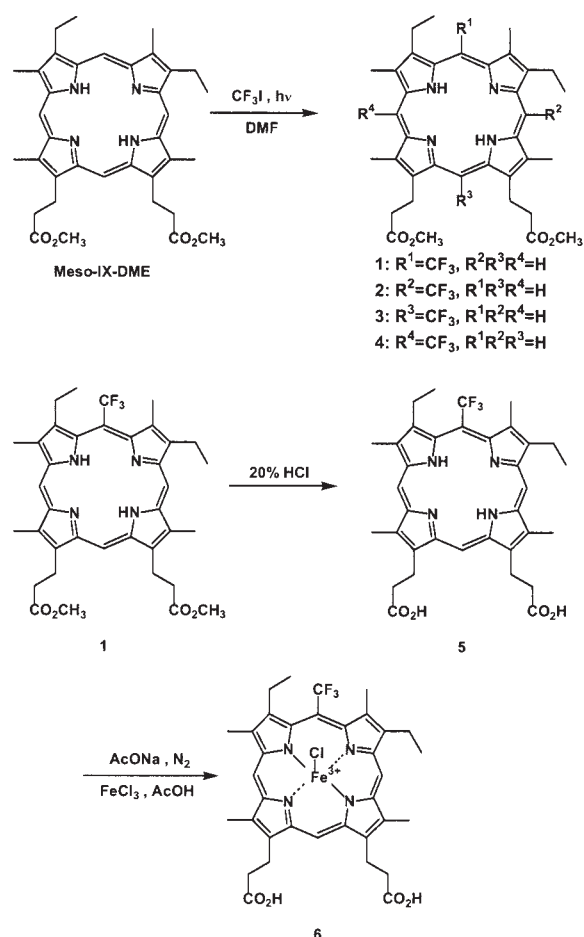
Fig. 1 meso-(Trifluoromethyl)octaethylporphyrin and meso-(trifluoromethyl)mesoporphyrin-IX-dimethyl ester **1**~**4**.

そこで、今回我々はメソ位にトリフルオロメチル基を位置選択的に有する部分的に歪んだ天然型ポルフィリン 1 の合成を行い、それをヘムに誘導し、アポミオグロビンと結合させ再構成ミオグロビンを得た。構造に関する興味ある知見が得られたので報告する。

2. 実験

NMRスペクトルは、VARIAN MERCURY-300 A NMR Spectrometerを用いて測定した。ケミカルシフトは、 ^1H の場合はTMSを内部標準として、 ^{19}F の場合は CFCl_3 を外部標準としてppmで表した。IRスペクトルは、JASCO FT/IR 7300 FT-IR Spectrometerを用いて、KBr錠剤法で測定した。電子スペクトルは、JASCO V-520 UV/VIS Spectrophotometerを用いて測定した。

Scheme 1



2.1 メソー（トリフルオロメチル）メソポルフィリンーIX-ジメチルエステル 1 の合成

メソポルフィリンーIX-ジメチルエステル (Meso-IX-DME) 100 mgをジメチルホルムアミド (DMF) 150 mLに溶解し、低圧水銀灯と気体導入管を取り付けた光化学反応装置に入れ、室温で攪拌した⁹⁾。

真空ポンプを用いて装置内の空気を吸引除去した後、過剰のトリフルオロヨードメタンを挿入して、2時間光化学反応させた。

溶媒を減圧除去した後、残渣をジクロロメタン 30 mLに溶解し、DDQ 130 mgを加えて 30 分間、室温で攪拌した。

溶媒を除去し、カラムクロマトグラフィー精製（溶出剤：ジクロロメタン、充填剤：シリカゲル (Wakogel C-200) 使用）したところ、1 ~ 4の異性体混合物が収量 26 mg、収率 24 %で得られた。

IR(KBr) 3224 (ν (NH)), 1737 (ν (CO_2)), 1263, 1207, 1169, 1104 cm^{-1} (ν (CF_3)); $^1\text{H-NMR}(\text{CDCl}_3)$ $\delta = 9.98, 9.97, 9.90, 9.89, 9.88, 9.86, 9.83$ and 9.82 (3H, meso-H), 4.29 (4H, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{CH}_3$), 3.94 (4H, CH_2CH_3), 3.70, 3.69, 3.67, 3.66, 3.64 and 3.63 (6H, CO_2CH_3), 3.51, 3.50, 3.49, 3.48, 3.47 and 3.46 (12H, CH₃), 3.24 and 3.13 (4H, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{CH}_3$), 1.79 and 1.31 (6H, CH_2CH_3); $^{19}\text{F-NMR}(\text{CDCl}_3)$ $\delta = -31.4, -32.6$ and -33.5 (CF_3); UV-vis (CH_2Cl_2) λ max/nm (relative ratios) 404(15.3), 515(1.0), 556(1.44), 589(0.77), 644(1.15).

1 ~ 4の異性体混合物 26 mgをさらにカラムクロマトグラフィー（充填剤：乾燥シリカゲル、展開溶媒：ジクロロメタン-ベンゼン 1 : 1 溶液）により分離・精製したところ、2つの区分に分けることができ、それらは 1と 2 ~ 4の混合物であることが分かった。1の収量は 5.2 mg、収率は 4.8 %であった。構造解析結果を次に示す。

IR(KBr) 3225 (ν (NH)), 1737 (ν (CO_2)), 1263, 1206, 1169, 1103 cm^{-1} (ν (CF_3)); $^1\text{H-NMR}(\text{CDCl}_3)$ $\delta = 9.91$ and 9.88 (s, 1H, and 2H, meso-H), 4.29 (t, 4H, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{CH}_3$), 3.97 (q, 4H, CH_2CH_3), 3.64 (s, 6H, CO_2CH_3), 3.54, 3.49 and 3.48 (s, 6H, 3H and 3H, CH₃), 3.22(t, 4H, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{CH}_3$), 1.72 and 1.60 (t, 3H and 3H, CH_2CH_3), -2.15 and -2.50 (s, 1H and 1H, NH); $^{19}\text{F-NMR}(\text{CDCl}_3)$ $\delta = -32.5$ (s, CF_3); UV-vis (CH_2Cl_2) λ max/nm (relative ratios) 402(17.2), 514(1.0), 555(1.52), 588(0.75), 645(1.31).

2.2 メソー（トリフルオロメチル）メソポルフィリンーIX 5 の合成

1 5.2 mgを 20 %塩酸 5 mLに溶解させ、暗所へ 48 時間放置した。

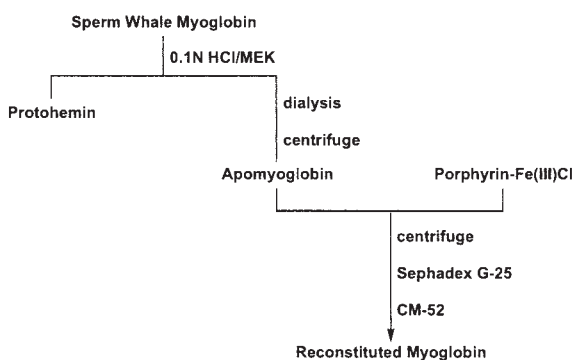
水酸化ナトリウム水溶液でpH 4~5とし、生じた沈殿を遠心分離で回収し、乾燥したところ、5が収量 4.9 mg、収率 95 %で得られた。

2.3 メソー (トリフルオロメチル) メソポルフィリン-IX 鉄 (III) 錯体 6 の合成

5 4.9 mgに、酢酸ナトリウム 8.0 mg、無水塩化鉄 (III) 8.0 mg、酢酸 2 mLを加えた。これを窒素置換しながら 2 時間還流した。冷暗所で放置し、生じた沈殿を集め、水洗した後、乾燥したところ、6が収量 2.8 mg、収率 50 %で得られた。

2.4 再構成ミオグロビン6-Mbの合成

Scheme 2



6 1 mgを0.1mol/dm³ 水酸化ナトリウム 1 滴に溶解し、イオン交換水 1 mLを加え、アポミオグロビン 20 mgを50mmol/dm³ リン酸緩衝液(KPB) pH7.0 に溶解したものと混合し、冷所に30分間放置した。

充填剤SephadexG-25、溶出液10mmol/dm³ KPB pH6.0のカラムクロマトグラフィー (分子ふるい) により未反応ヘムを除去し分離・精製を行った後、充填剤CM52、溶出液10mmol/dm³ KPB pH6.0→50mmol/dm³ KPB pH7.0のカラムクロマトグラフィー (イオン交換) で精製したところ、再構成ミオグロビン6-Mbが得られた。

これを濃縮し、重水置換を行い、常磁性¹H-NMRを測定した。

3. 結果と考察

3.1 1 の合成

Meso-IX-DMEとトリフルオロヨードメタンとの光化学反応によって、メソ位に1つだけトリフルオロメチル

基を有する 1 ~ 4の異性体混合物を合成することができた (収率24%)。多置換体は確認できなかった。それは、β位のエチル基による立体障害と、置換したトリフルオロメチル基の電子的効果によるものと思われる。また、1の分離にも成功した。

3.2 1 のNMRスペクトル

1 ~ 4の異性体混合物の¹H-NMRスペクトルでは、メソ位の水素のシグナルが数多く現れた。Fig. 2 に¹⁹F-NMRスペクトルを示した。大きく3本のシグナルが確認できた。位置異性体の生成割合はトリフルオロメチル基がひとつだけ置換したメソ位の場所の立体障害の大きさによって異なる。メチル基とメチル基に挟まれたR⁴が最も立体障害が小さく、メチル基とエチル基に挟まれたR¹およびR²が同じ環境であり、プロピオン酸残基に挟まれたR³が最も立体障害が大きいと考えられる。このため、高磁場側よりR⁴、R¹およびR²、R³がひとつだけ置換したトリフルオロメチル基のシグナルと帰属することができる。

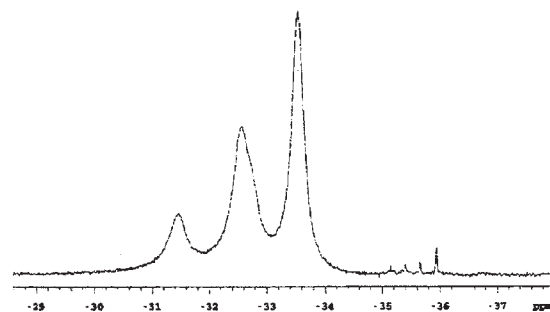


Fig. 2 300MHz ¹⁹F-NMR spectrum of 1~4 mixture in CDCl₃ at 25 °C.

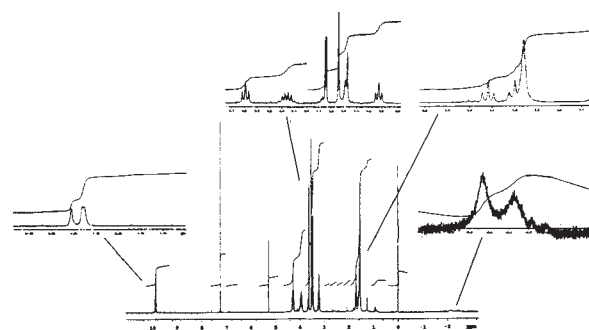


Fig. 3 300MHz ¹H-NMR spectrum of 1 in CDCl₃ at 25 °C.

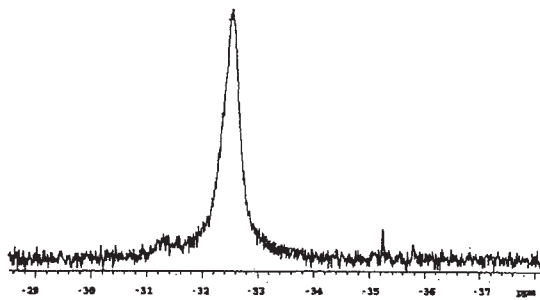


Fig. 4 300MHz ^{19}F -NMR spectrum of **1** in CDCl_3 at 25°C .

Fig. 3, Fig. 4 に **1** の ^1H -NMR、 ^{19}F -NMR スペクトルを示した。 ^1H -NMR スペクトルではメソ位の水素のシグナルが3本現れていることから、4箇所あるメソ位のうち1箇所トリフルオロメチル基が導入されたことがわかる。また、メソ位の水素のシグナルおよびプロピオン酸残基のメチレンの水素のシグナルに対称性が見られる。このことから R^1 もしくは R^3 にトリフルオロメチル基が置換されたポルフィリンであると考えられる。 ^{19}F -NMR スペクトルからはシグナルが1本確認できる。このシグナルを **1**~**4** の異性体混合物の ^{19}F -NMR スペクトルと比較すると、シグナルの化学シフトより、 R^1 もしくは R^2 にトリフルオロメチル基が置換されたポルフィリンであると考えられる。これにより、 R^1 にトリフルオロメチル基が置換した **1** の構造が示唆された。

3.3 再構成ミオグロビン **6-Mb** のNMRスペクトル

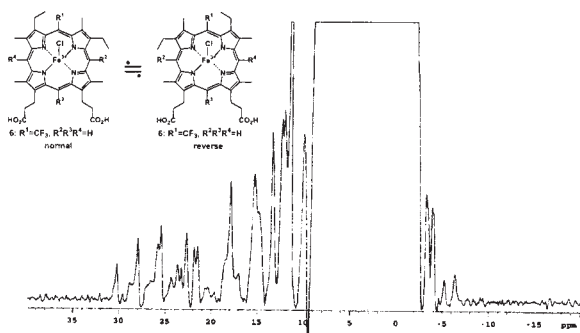


Fig. 5 Low-field portion of 300MHz ^1H -NMR spectrum of **6-Mb** with KCN (low spin) in 50mmol/dm^3 phosphate buffer at 25°C , $\text{pH}7.0$.

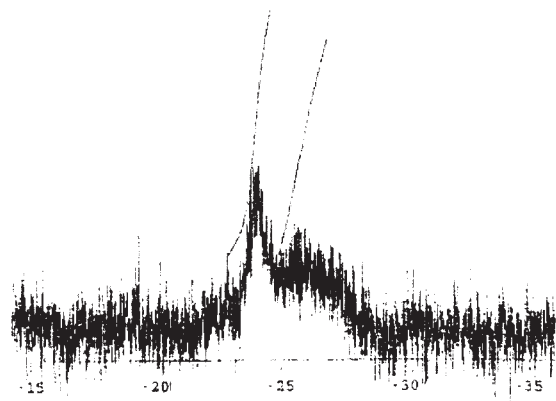


Fig. 6 Low-field portion of 300MHz ^{19}F -NMR spectrum of **6-Mb** with KCN (low spin) in 50mmol/dm^3 phosphate buffer at 25°C , $\text{pH}7.0$.

La Mar らは、常磁性 ^1H -NMR スペクトルにおいて -10ppm 付近に表れるヘム近傍の Ile99 の $\text{C}_\gamma\text{-H}$ シグナルは、ポルフィリン鉄錯体の種類にかかわらずほぼ同位置で、ヘムが正常型の場合は高磁場側に、反転型の場合は低磁場側になることを報告している⁹⁾。

再構成ミオグロビン **6-Mb** の場合は、Ile99 の γ 炭素に結合している水素のシグナルが高磁場側と低磁場側にほぼ1:1で表れており、ミオグロビン内でのヘムの正常型と反転型の配向がほぼ1:1の割合であることがわかった。また ^{19}F -NMR スペクトルにおいても積分値がほぼ同じシグナルが2つ表れており、正常型と反転型に対応していると思われ、この配向を示唆した。通常、ミオグロビン内でのヘムの配向は、正常型に傾いているが、メソ位、それも疎水場であるヘムポケットの最も狭い位置に面した α 位にトリフルオロメチル基が存在する **6-Mb** の場合は、その立体障害により、ヘムの配向を認識できなくなってしまったものと思われる。

4. 結論

- (1) メソ位に1つだけトリフルオロメチル基を有する **1** ~ **4** の異性体混合物の合成、および **1** の分離に成功した。
- (2) ヘム **6** を合成し、アポミオグロビンと結合させ、精製したところ、再構成ミオグロビン **6-Mb** を得ることができた。
- (3) 常磁性 ^1H -NMR および ^{19}F -NMR の結果から **6-Mb** の場合は、ヘムポケット内でのヘムの正常型と反転型の配向の割合がほぼ1:1であることがわかった。これは、ミオグロビンがトリフルオロメチル基の立体障

害により、ヘムの配向を認識できなくなってしまったためと思われる。

参考文献

- 1) a) H. Toi, M. Homma, A. Suzuki, and H. Ogoshi, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1985, 1791; b) A. Suzuki, H. Toi, Y. Aoyama, and H. Ogoshi, *Heterocycles*, 33, 87 (1992); c) A. Suzuki, T. Tomizawa, T. Hayashi, T. Mizutani, and H. Ogoshi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 69, 2923 (1996).
- 2) a) H. Ogoshi, Y. Suzuki, and Y. Kuroda, *Chem. Lett.*, 1991, 1574; b) Y. Kuroda, Y. Suzuki, and H. Ogoshi, *Tetrahedron Lett.*, 35, 749 (1994).
- 3) a) M. Homma, K. Aoyagi, Y. Aoyama, and H. Ogoshi, *Tetrahedron Lett.*, 24, 4343 (1983); b) K. Aoyagi, H. Toi, Y. Aoyama, and H. Ogoshi, *Chem. Lett.*, 1988, 1981; c) K. Aoyagi, T. Haga, H. Toi, Y. Aoyama, T. Mizutani, and H. Ogoshi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 70, 937 (1997); d) J. Crusats, A. Suzuki, T. Mizutani, and H. Ogoshi, *J. Org. Chem.*, 63, 602 (1998).
- 4) a) T. Yoshimura, H. Toi, S. Inaba, and H. Ogoshi, *Inorg. Chem.*, 30, 4315 (1991); b) T. Yoshimura, H. Toi, S. Inaba, and H. Ogoshi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 65, 1915 (1992); c) T. Yoshimura, H. Kamada, H. Toi, S. Inaba, and H. Ogoshi, *Inorg. Chim. Acta*, 208, 9 (1993).
- 5) a) S. G. DiMugno, R. A. Williams, and M. J. Therien, *J. Org. Chem.*, 59, 6943 (1994); b) 青柳克弘, 芳賀俊彦: 福島工業高等専門学校研究紀要, 40, 55(2001).
- 6) 青柳克弘, 芳賀俊彦: 福島工業高等専門学校研究紀要, 54, 79(2013).
- 7) a) M. Takeda, K. Aoyagi, Y. Aoyama, and H. Ogoshi, *Chem. Lett.*, 1393(1983); b) 青柳克弘, 芳賀俊彦: 福島工業高等専門学校研究紀要, 48, 29(2007); c) T. Hayashi, Y. Morita, E. Mizohata, K. Oohora, J. Ohbayashi, T. Inoue, and Y. Hisaeda, *Chem. Commun.*, 2014, 12560; d) K. Oohora, T. Mashima, K. Ohkubo, S. Fukuzumi, and T. Hayashi, *Chem. Commun.*, 2015, 11138.
- 8) Y. Kobayashi, I. Kumadaki, A. Ohsawa, S. Murakami, and T. Nakano, *Chem. Pharm. Bull.*, 26, 1247 (1978).
- 9) J. B. Hauksson, G. N. La Mar, R. K. Pandey, I. N. Rezzano, K. M. Smith, *J. Am. Chem. Soc.*, 112, 6198, (1990).

フリーデル氏塩の生成に及ぼす各種アルミナ化合物の添加の影響

The Effects of Addition of Alumina-based Compounds on Generation of Friedel's Salt in Cement Paste

緑川 猛彦・伊藤 洋輔*・山ノ内 正司・内田 修司**

福島工業高等専門学校建設環境工学科

*株式会社 オープンハウス

**福島工業高等専門学校物質工学科

Takehiko Midorikawa, Yosuke Ito*, Masaji Yamanouchi and Shuji Uchida**

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Civil Engineering

*Open House Co., Ltd

** National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Chemical and Bio Chemical Engineering

(2015年9月7日受理)

Chloride ions contained in concrete materials prepared with NaCl-containing sea water needs to be immobilized in Friedel's salt ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) in order to retard corrosion of ion constructional materials embedded in the concrete matrix. Alumina-based additives are expected effective to promote the formation of Friedel's salt since calcium alminate ($\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) is the main constituent moiety of it. The present experimental work revealed the promotive effect of the additional of aluminum hydroxide to incipient cement paste.

Key words: Friedel's salt, immobilized chloride ion, soluble chloride ion, aluminum hydroxide

1. はじめに

東日本大震災で被災した地域の早期復興を目的とした土木技術には数多くのもがあり、その一例として福島県相馬市では海水練りコンクリートを用いた消波ブロックの製造技術が用いられている。沿岸部で調達が容易な海水と海から採取できる海砂や海砂利を活用することにより、真水や良質の骨材の確保が困難な沿岸地域や離島等においても容易にコンクリートを製造することができるため、コンクリート工事のコストを約10%程度削減できるとともに、材料や製品の運搬に伴うCO₂排出量を約40%削減する事が可能となる。

しかし、コンクリート構造物に用いるコンクリートには、鉄筋の防食の観点から原則として水道法第4条（水質基準）に適合した上水道水を用いる必要がある。やむを得ず上水道水以外の水を用いる場合には「コンクリート用練混ぜ水の品質規格（案）JSCE-B 101-2013」により試験を行い、塩化物イオン（Cl⁻）量を200ppm以下に抑える必要がある。したがって、約3.5%の塩分を含む海水の使用は基準外であり、いわば超法規的措置により

海水練りコンクリートを用いた消波ブロックの製造が行われている。

一般に、鉄筋コンクリート中の鉄筋は強アルカリ性のセメント水和物に覆われているため腐食し難い。しかし、コンクリート材料（練混ぜ水、骨材、混和材料等）中に塩化物イオンが含まれていたり、外部環境（海風、融雪材等）から塩化物イオンが侵入すると、鉄筋の表面を覆っている不動態皮膜が塩化物イオンにより破壊され、鉄筋の酸化腐食がおこる。

Fig.1¹⁾に示すように、コンクリート中に侵入した塩分は細孔溶液中に存在し濃度勾配により容易に移動する可溶性塩化物イオンと、コンクリート中に取り込まれ移動しない固定化塩化物イオンに大別される。さらに固定化塩化物イオンは、主にフリーデル氏塩 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 以降F塩と短縮表記)としてセメント水和物中に取り込まれる固相塩素と、細孔壁に電気的に固定されている吸着塩素の2つに分類される。F塩は一般的なセメント水和物であるモノサルフェート ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)と同じ Afm 相の一つであり、モノサル

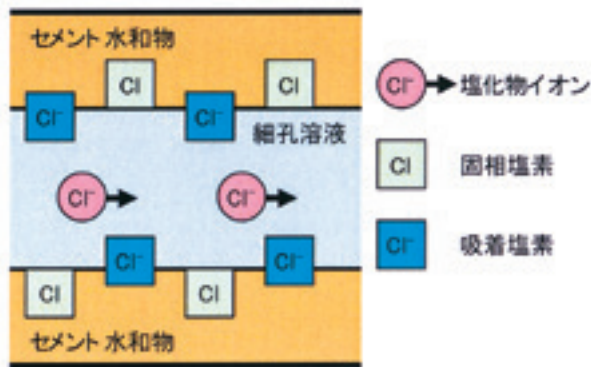


Fig.1 Classification of chloride ion in hardened concrete

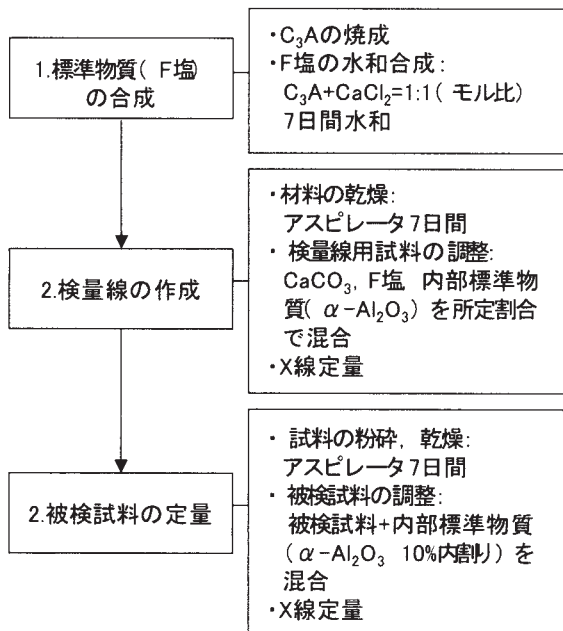


Fig.2 Procedure for quantitative analysis of Friedel's salt

フェート中の1個のSO₄²⁻が2個のCl⁻に置き換わることにより塩素を結晶中に固定する。鉄筋腐食を誘引するのは主に細孔溶液中の可溶性塩化物イオンである。塩分が侵入しても高い固定化能力を有する材料内では可溶性塩化物イオン量が抑えられ、鉄筋腐食への抵抗性が高まるとされている。

塩化物イオンの固定化に関しては、塩害対策用の混和材であるカルシウムアルミネートの一種であるCaO・2Al₂O₃がセメント水和物のCa(OH)₂と反応してヒドロカルマイトを生成し、続いてこのヒドロカルマイトが塩化物イオンをフリーデル氏塩として固定化し、可溶性塩化物イオンを減少させることが報告されている^{2)・3)}。

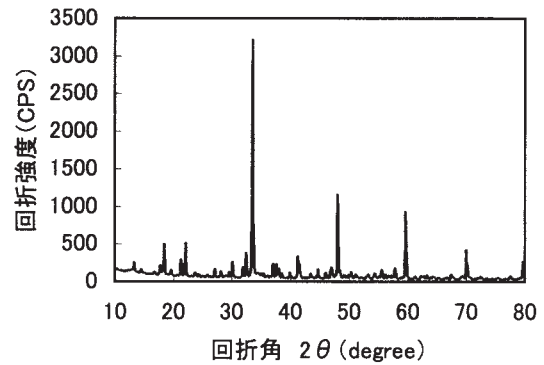


Fig.3 Powder X-ray diffraction pattern of C₃A

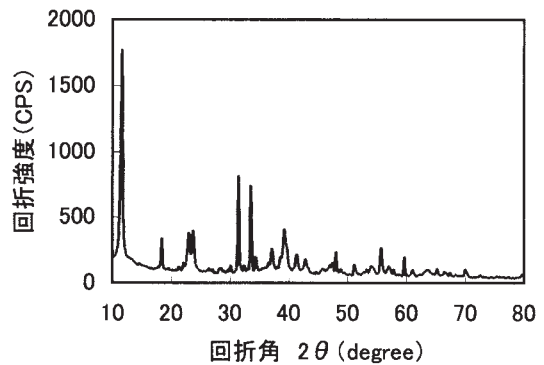


Fig.4 Powder X-ray diffraction pattern of Friedel's salt

本研究では、可溶性塩化物イオンの固定化に寄与するフリーデル氏塩の、コンクリート中での生成を促進するアルミナ化合物のスクリーニングを目的とする。フリーデル氏塩自体がCaO・2Al₂O₃を構成化学種として含んでいるので、より汎用性の高い含Al物(カオリン、硫酸カリウムアルミニウム、酸化アルミニウム、硫酸アルミニウム、水酸化アルミニウム)を添加物としてセメントペーストへ加え、フリーデル氏塩の生成の有無および増減を検討した。

2. 実験方法⁴⁾

F塩の定量は、F塩を純薬合成しXRD内部標準法により検量線を作成した上で行った。Fig.2にその概要を示すとともに、以下に手順を記述する。

2.1 3CaO・Al₂O₃ (C₃A) の合成

特級試薬の炭酸カルシウムCaCO₃と酸化アルミニウムAl₂O₃を化学量論比である3:1で調合・粉碎し、電気炉で1450℃、3時間焼成する行程を2回繰り返して合成した。合成後、XRDによりC₃Aである事を確認した。CaO

と Al_2O_3 以外に帰属されるピークは無かった。Fig.3に合成した C_3A のX線回折図を示す。

2.2 F塩の合成⁵⁾

合成した C_3A と特級試薬の塩化カルシウム CaCl_2 を1:1で混合した。この混合物を水・粉体重量比をモル比1:2、 20°C で練り混ぜ、 20°C で14日間密封養生した。多量のアセトンを加え水和停止した後、 20°C でアスピレータにより吸引濾過し試料を得た。Fig.4に合成した試料のX線回折図を示す。 $2\theta=11.3^\circ$ 付近に明確な回折ピークが認められる事から、この合成された試料がF塩であることが確認された。

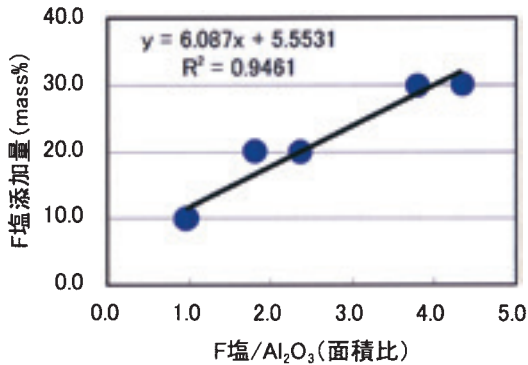


Fig. 5 Calibration curve of the mass fraction of Friedel's salt versus the area ratio

2.3 検量線の作成

希釈剤にはカルシウム分を供給する目的で炭酸カルシウムを用い、これと合成したF塩を所定の質量比で混合した。例えば、検量線のF塩量10%の試料は、炭酸カルシウムとF塩を質量比でそれぞれ9:1となるように混合した。内部標準物質には $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ を用い、上記の試料に質量比で10% (内割り) 添加した。

2.4 X線回折測定条件

定量に使用した回折ピークは、F塩： $2\theta=11.3^\circ$ 、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ： $2\theta=52.5^\circ$ である。X線の測定条件は管電圧40kV、管電流30mA、スキャン速度0.2deg/min、サンプリング間隔0.02degとした。検量線は標準物質との面積比(標準物質/内部標準物質)から作成した。

2.5 供試体の作製

海水とほぼ同じ濃度である3.5%の食塩水を用い、アルミニウム化合物をセメント質量に対して5%および10%混合したセメントペーストを作製した。用いたセメントは普通ポルトランドセメント、アルミニウム化合物として、カオリン ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$)、硫酸カリウムアルミニウム ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、硫酸アルミニウム ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)、水酸化アルミニウム ($\text{Al}(\text{OH})_3$) を選択した。これらはいずれも比較的入手しやすく安全に取り扱うことができる。

ペーストの水粉体質量比はw/p=50%とし、手練りで

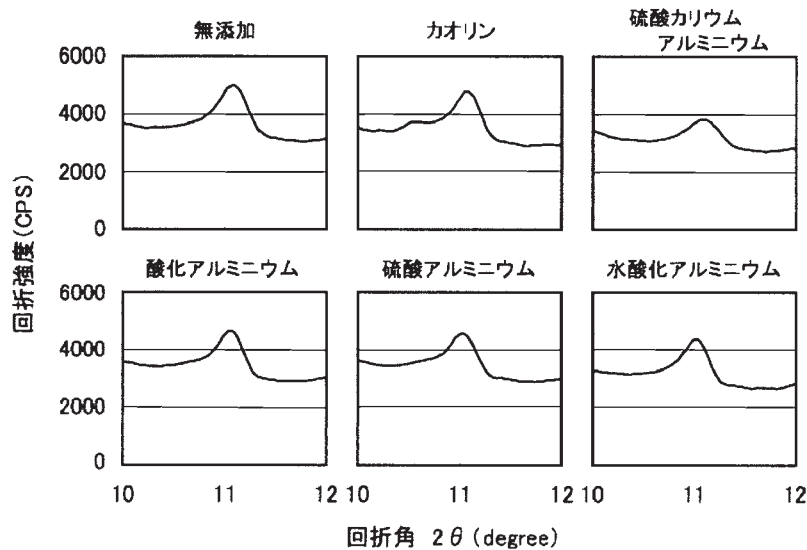


Fig.6 Magnified X-ray diffraction peak at $2\theta=11.3^\circ$ measured for each sample prepared with the five alumina-based additives (mass fraction: 5%). The control result obtained without the additive is also shown for comparison

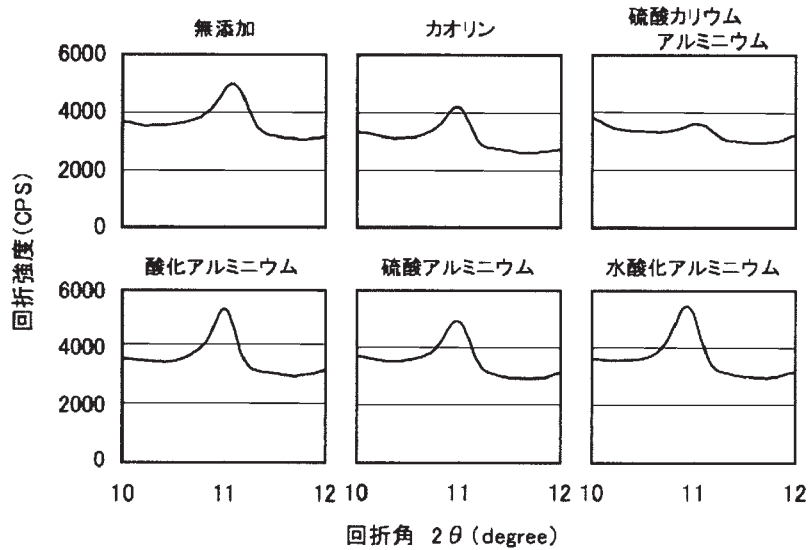


Fig.7 Magnified X-ray diffraction peak at $2\theta = 11.3^\circ$ measured for each sample prepared with the five alumina-based additives (mass fraction: 10%). The control result obtained without the additive is also shown for comparison

約30mlのセメントペーストを作製した。作製したセメントペーストはラップで包み7日間封緘養生した。硬化したペーストを微粉砕し、これに内部標準物質 (α - Al_2O_3) を10%内割りで添加し定量化に用いた。X線回折強度の測定は2.4と同一の条件で行い、F塩と内部標準物質の面積比を求め、検量線からペースト中のF塩量を求めた。

3. 実験結果

Fig.6およびFig.7にアルミニウム化合物を5%または10%添加した場合のX線回折強度を示す。全てのケースについて $2\theta = 11.3^\circ$ 付近に回折ピークが見られることからフリーデル氏塩の生成が認められる。その回折強度はアルミニウム化合物の種類や添加量により異なることが分かる。

Fig.8に各試料コンクリート中に含まれる生成F塩の質量分布を示す。アルミニウム化合物を添加しない場合にもセメントの水和に伴いF塩は生成されるが、アルミニウム化合物の種類によっては、無添加のケースよりもF塩の生成量が減少するケースも見られた。

無添加のセメントペーストと比較して生成F塩量が同等または増加したのは水酸化アルミニウムを添加した場合である。この化合物は水酸化物であるが、F塩が生成される際には、ハイドロカルマイト中の水酸化物イオンが塩化物イオンと交換される反応が生じることが明

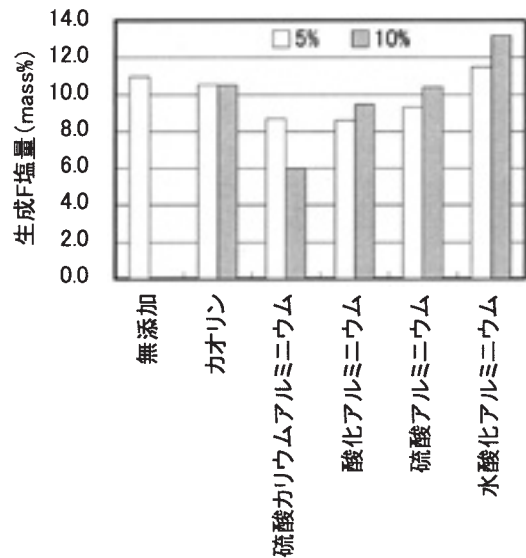


Fig.8 Mass fraction of formed Friedel's salt in paste for different Alumina-based additives

らかになっている⁹⁾。したがって、これらの水酸化物はF塩の生成に有利に働いたものと思われる。

4. 結論

コンクリート中に存在する塩化物イオンのうち、鉄筋腐食の原因となる可溶性塩化物イオンをF塩による陰イオン交換により減少させることができる。このため、コンクリート中でのF塩の生成は鉄筋の防食上望ましい。

そこでF塩の生成を促すことが期待される種々のアルミニウム化合物を添加してペースト試料を作製し、生成したF塩量を測定した。その結果、以下の知見を得ることができた。

(1) F塩の生成にはアルミニウム化合物の添加が有効であると考えられたが、アルミニウム化合物の種類によってはF塩の生成量が低下するものもある。

(2) F塩の生成を促進する兆候が見られたアルミナ化合物添加剤は水酸化アルミニウムだった。これは水酸化物であることが要因であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と規準化が望まれる試験方法の動向，pp.36, 2003
- 2) 田原和人，山本賢司，芦田公伸，盛岡実：CaO・2Al₂O₃を混和したセメント硬化体の塩化物イオン固定化能力，Cement Science and Concrete Technology, No.64, 2010
- 3) 田原和人，宮口克一，盛岡実，武若耕司：CaO・2Al₂O₃を混和した種類の異なるセメント硬化体の水和挙動及び塩化物イオン固定化能力，Cement Science and Concrete Technology, No.65, 2010
- 4) 宮原茂禎，丸屋剛，石田哲也：セメントおよび混和材の種類が塩素の固定に与える影響，大成建設技術センター報，第39号，pp.21.1-24.9, 2006
- 5) (社)セメント協会：セメント硬化体研究委員会報告書，pp.292-301, 2001
- 6) 米澤敏男，V.Ashworth，R.P.M.Procter：セメント水和物によるモルタル細孔溶液中のCl⁻固定のメカニズム，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.10, No.2, pp.475-480, 1988

暴露供試体を用いたコンクリート表面の塩化物イオン濃度と見掛けの拡散係数に関する考察

Study on Chloride Ion Concentration and Diffusion Coefficient of Exposed Concrete Specimen

緑川 猛彦

福島工業高等専門学校建設環境工学科

Takehiko Midorikawa

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Civil Engineering

(2015年9月7日受理)

The distributions of total chloride ion of concrete specimens that exposed 10 years in coastal area were measured. And also, based on these data, the penetrations of chloride ion and the surface chloride content were recalculated taking into account the environmental conditions and the characteristics of concrete.

As the results, it was clear that the penetration of chloride ion and the specified concrete strength is inversely proportional and the surface chloride content converges to a constant value.

Key words: long term exposure test, durability, penetration of chloride ion, surface chloride content

1. はじめに

コンクリート中への塩化物イオンの浸透予測には、一般に拡散方程式が用いられる。その際には、拡散係数の値を設定するとともに、環境からコンクリート表面を介して内部へ浸透する塩分量、すなわちコンクリート表面における塩分の流束を与える必要がある。しかしながら、様々な条件で推移する自然環境下では、コンクリート表面における塩化物イオンの流束を逐次把握することは困難であることから、コンクリート表面の塩化物イオン濃度で代用することが多くの研究者により行われている¹⁾。

この拡散方程式を用いて得られるコンクリートの見掛けの拡散係数とコンクリート表面における全塩化物イオン濃度は、ある時点における測定データを回帰分析すれば算定できるものの、同一条件の測定データを用いた場合においても、環境条件やコンクリート自身の状態等によりばらつきが見られ、評価が困難になるものも見受けられる。

今回、コンクリート構造物の塩害に対する耐久性を検討する目的で、10年間に渡る長期暴露試験を実施した²⁾。このように複数のコンクリート供試体を用いて長期に渡り塩化物イオンの挙動を調査した例は少ない。そこで本研究は、長期的視点に立脚し、環境条件の共通性を加

味したコンクリートの見掛けの拡散係数と表面の塩化物イオン濃度の考察を行うこととした。

2. 実験概要

2.1 使用材料

Table 1に使用材料を示す。セメントは、普通ポルトランドセメントおよび早強ポルトランドセメントを用いた。後述する高流動コンクリートには、混和材として高炉スラグ微粉末を使用した。細骨材および粗骨材はいわき市内で入手することのできる一般的なものである。

2.2 コンクリートの配合

Table 2にコンクリートの配合を示す。コンクリートの種類は、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリー

Table 1 Materials used in the experiment

材 料	種 類
セメント	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm ³
	早強ポルトランドセメント, 密度3.14g/cm ³
混和材	高炉スラグ微粉末, 密度2.89g/cm ³ 比表面積4000cm ² /g
細骨材	砕砂, 表乾密度2.63g/cm ³ 吸水率1.05%, F.M.=2.91
粗骨材	碎石, 表乾密度2.69g/cm ³ 吸水率1.47%, F.M.=6.67
混和剤	高性能AE減水剤

Table 2 The mix proportion of concrete

記号	セメント	f_{ck} (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						スランブ (cm)	空気量 (%)
					W	C	BF	S	G	SP		
O-24	普通	24	56.0	45.8	162	290	-	828	1072	2.9	10.0	5.3
O-30		30	47.5	43.3	164	346	-	761	1089	3.5	9.0	4.8
O-50		50	35.0	40.1	137	392	-	731	1119	3.9	9.0	5.1
H-50	早強	50	35.0	39.0	140	400	-	705	1128	4.6	7.5	4.5
3H-50	高流動	50	34.0	54.3	175	361	151	918	790	4.4	61.0*	3.0

W：水，C：セメント，BF：高炉スラグ微粉末，S：細骨材，G：粗骨材，SP：混和剤，s/a：細骨材率 ※はスランブフロー値

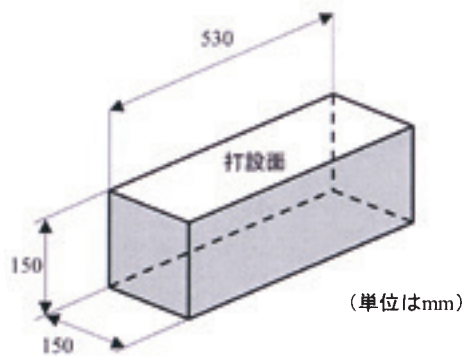


Fig.1 Shape of the specimen



Fig.2 The photograph of exposed specimens

ト、早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートおよび高流動コンクリートの3種類とした。設計規準強度は、普通コンクリートで $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$, 30 N/mm^2 , 50 N/mm^2 の3水準、早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートおよび高流動コンクリートでは $f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ の1水準とした。高流動コンクリートは、早強ポルトランドセメント量の30%を高炉スラグ微粉末で置換した配合とした。なお、コンクリートの製造および打設はコンクリート二次製品工場で行った。

2.3 供試体の作製

Fig.1にコンクリート供試体の形状を示す。暴露試験用供試体として $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 530\text{mm}$ の直方体を1本、圧縮試験用供試体として $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を18本（4週後、暴露時、1年後、3年後、5年後、10年後についてそれぞれ3本）、および空気量・気泡構造測定用として $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ の直方体供試体を5本作製した。

2.4 暴露条件

暴露試験場は、山形県西田川郡温海町内の国道7号線沿いであり、旧暮坪橋A1橋台部に設けた特設暴露試験場である。ここは、東北有数の塩害地域に該当する場所で、海からの直線距離が数メートルであることから、特に冬場における日平均飛来塩分量が約 $6000 \text{ mg/m}^2/\text{day}$

にも達する場所である³⁾。なお、この場所は、国土交通省東北地方整備局酒田河川国道事務所より提供して頂いた。

Fig.2に供試体の設置状況を示す。設置台は木製で、供試体は地面から約60cmの高さに5cm間隔で2列に配置した。圧縮試験用供試体は設置台の下に配置した。

2.5 塩化物イオン量の測定

供試体中の塩化物イオン分布の測定は、JSCE-G 573-2010「実構造物中におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法（案）」に準拠して、ドリル削孔により得られる粉末試料を用いて実施した。ドリル粉末の採取は、供試体側面からの浸入塩分に影響されないような供試体の中心部付近とし、深さ方向に60mmまで10mm毎に行った。全塩化物イオン量の測定は、塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法により行った。

塩化物イオンの測定は、材齢1年（2005年1月19日から2005年12月20日までの335日間）、3年（2005年1月19日から2007年12月6日までの1,051日間）、5年（2005年1月19日から2009年8月8日までの1,662日間）および10年（2005年1月19日から2014年8月19日までの3,499日間）に実施した。

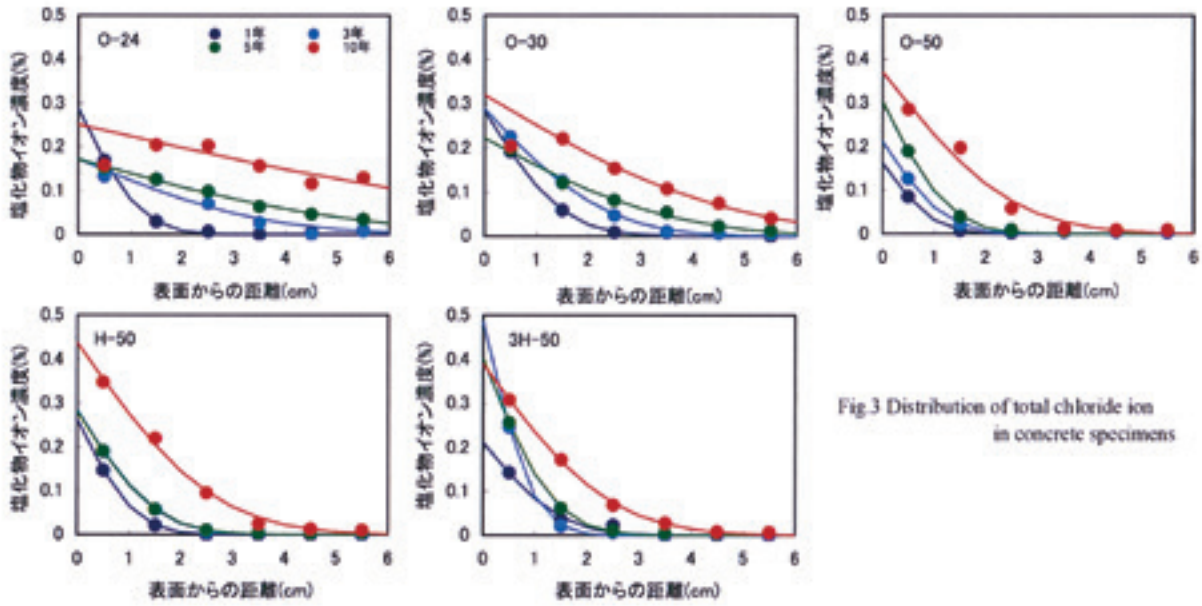


Fig.3 Distribution of total chloride ion in concrete specimens

3. 実験結果および考察

3.1 全塩化物イオンの分布状況

Fig.3に全塩化物イオン量の分布状況を示す。セメントの種類や強度の違いに関わらず、全ての供試体に塩分が浸透していることが分かり、また塩分の浸透量は暴露期間が長くなるほど大きく、深くなる結果となった。しかしながら、コンクリート中に存在する塩分の分布状況は全てのケースで異なり、全体的にはコンクリートの設計標準強度が低いほど塩分浸透量が大きくなっているようである。設計標準強度が24N/mm²である供試体については、10年間暴露後の深さ6cmにおける塩化物イオン濃度が、発錆限界塩化物イオン濃度である1.2kg/m³（約0.05%）の約3倍ほどであった。

これらのことを定量的に表すために、見掛けの拡散係数とコンクリート表面における塩化物イオン濃度を算出することとした。

Table 3に見掛けの拡散係数 D とコンクリート表面における塩化物イオン濃度 C_0 を示す。 D および C_0 は、次式に示すFickの第2法則に基づいた拡散方程式の解を用いて、ドリル粉末毎に各深さ位置で測定された全塩化物イオン濃度を回帰分析し算出したものである。

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right) \quad (1)$$

ここに、 $C(x,t)$: 深さ x (cm) .暴露期間 t (年) において測定された全塩化物イオン濃度 (%), C_0 : 供試体表面における塩化物イオン濃度 (%), D : コンクリートの見掛けの拡散係数 (cm²/年) を表す。

D と C_0 の傾向に着目すると、 D が大きいものは C_0 が小

Table 3 Penetration of chloride ion and surface chloride content of concrete specimens

見掛けの拡散係数 D (cm²/年)

	1年	3年	5年	10年
O-24	0.461	1.335	1.908	2.950
O-30	0.777	0.585	0.854	0.698
O-50	0.331	0.154	0.113	0.202
H-50	0.406	0.238	0.157	0.222
3H-50	0.750	0.098	0.124	0.190

コンクリート表面の塩化物イオン濃度 C_0 (%)

	1年	3年	5年	10年
O-24	0.287	0.172	0.171	0.251
O-30	0.284	0.289	0.223	0.320
O-50	0.163	0.212	0.304	0.371
H-50	0.262	0.283	0.282	0.438
3H-50	0.211	0.487	0.402	0.390

さいようである。Fig.3で全塩化物イオンの分布状況が同じようであるにもかかわらず、Table 3で D と C_0 の値が大きく異なるものも見られるのは、 D と C_0 が互いに大きく影響し合うためである。したがって、適切な D や C_0 を算定するためには、拡散方程式の適用に際して、暴露条件から導きだされる共通性を考慮に入れることが必要であると思われる。

3.2 D および C_0 の再評価

コンクリート表面における塩化物イオン濃度は、飛来塩分量に比例して際限なく増加するとは考え難い⁴⁾ことや、単位時間当たりの飛来塩分量が一定の環境下では、暴露時間の経過とともにコンクリートの表面塩分濃度

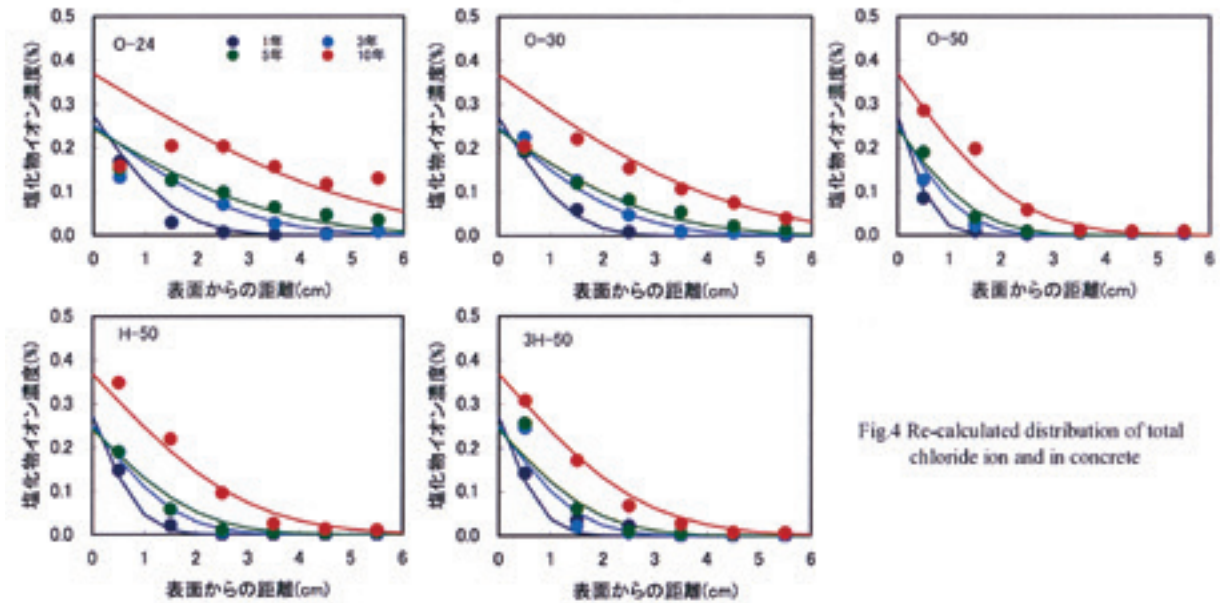


Fig.4 Re-calculated distribution of total chloride ion and in concrete

は一定の値に収束する⁵⁾こと等が明らかになっている。

今回の暴露試験では、供試体の設置位置に数十cmのずれはあるもののほぼ同一の条件下で暴露されているものと考えられることから、各測定年毎で供試体表面の塩化物イオン濃度は同値であると推察される。つまり、Table 3の下段におけるコンクリート表面の塩化物イオン濃度の値が、コンクリートの種類に関わらず測定年毎に同一であると仮定することができる。

一方、コンクリート自体の見掛けの拡散係数は、セメントの水和反応の進行に伴う組織の緻密化や環境要因によるコンクリートの劣化、気温や湿度等により常に変化していることが予想されるものの、巨視的に見れば数十年を通してほぼ一定であると見なすことができる。このため、Table 3の上段における見掛けの拡散係数は、1年から10年を通してコンクリートの種類毎に一定値である必要がある。

以上のことを条件とし、暴露期間1年から10年までの全てのデータを回帰分析し、見掛けの拡散係数とコンクリート表面の塩化物イオン濃度を再計算することとした。

Table 4に再計算した見掛けの拡散係数とコンクリート表面の塩化物イオン濃度を示す。また、Fig.4に再計算した値での塩化物イオン濃度の分布状況を示す。

Fig.5にコンクリートの設計規準強度と見掛けの拡散係数との関係を示す。コンクリートの見掛けの拡散係数はコンクリートの強度と反比例し、コンクリートの内部組織が緻密で強度が高いほど物質が染み込み難くなるものと考えられるが、Fig.5ではそのような傾向を適切

Table 4 Re-calculated value of penetration of chloride ion and surface chloride content of concrete specimens

	拡散係数 D(cm ² /年)	表面塩化物イオン濃度C ₀ (%)			
		1年	3年	5年	10年
O-24	0.887				
O-30	0.643				
O-50	0.175	0.272	0.250	0.242	0.368
H-50	0.283				
3H-50	0.250				

に表現することができた。

また、Fig.6に暴露期間とコンクリート表面の塩化物イオン濃度との関係を示す。コンクリート表面の塩化物イオン濃度は長年の間にある一定値に近づくと考えられるが、グラフではこの傾向が表されている。一般的に、コンクリート表面の塩化物イオン濃度については以下の式が提案されている⁶⁾。

$$C_0 = S\sqrt{t} \quad (2)$$

$$C_0 = \alpha \{1 - \exp(-\beta t)\} \quad (3)$$

ここに、S、 α 、 β ：実験定数を表す。

Fig.6には再計算で求められた塩化物イオン濃度とともに回帰分析で求めた上記2式の推定値を描いている。それぞれの決定係数を比較すると、本実験範囲内では式(3)による推定値が比較的良く一致していることがわかる。このことから、コンクリート表面の塩化物イオン濃度は、暴露開始後約1年で一定値に収束する可能性がある。

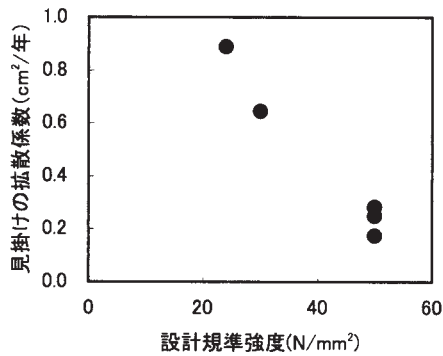


Fig.5 Relationship between specified concrete strength and penetration of chloride ion

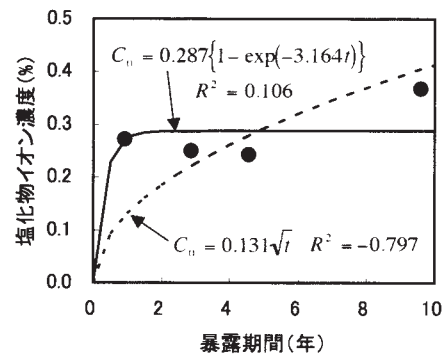


Fig.6 Relationship between exposed period and chloride cocontent

4. まとめ

コンクリート材料の長期的な耐久性を検討するために、厳しい塩害環境下において約10年間に渡り暴露試験を実施した。コンクリートの見掛けの拡散係数と表面の塩化物イオンの値についてこれまでの結果を纏めた所、以下の知見を得た。

- (1)設計規準強度40N/mm²のコンクリート供試体では、コンクリート表面から深さ6cmにおいて、鋼材の発錆限界塩化物イオン濃度である1.2kg/m³を超過する可能性がある。
- (2)見掛けの拡散係数とコンクリート表面の塩化物イオン濃度を回帰分析するに当たり、コンクリートの拡散係数をコンクリート固有の値と仮定し一定値に固定し、かつ、コンクリート表面の塩化物イオン濃度を環境要因に関する値として複数の供試体で同値に固定した結果、良好な結果を得た。
- (3)コンクリートの見掛けの拡散係数は、コンクリートの設計規準強度と反比例し、強度が高くなるほど小さくなる。また、コンクリート表面の塩化物イオン濃度は、暴露開始後1年で一定値に収束する可能性がある。

謝 辞

本研究は、東北コンクリート保全技術検討会（元東北学院大学 大塚浩司委員長、活動期間：平成14年～平成20年）によって実施された暴露試験の結果の一部を取

りまとめたものである。幹事会社である常磐ピーシー（株）および関係者各位には多大なご協力を頂いた。ここに記し深甚の謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と規準化が望まれる試験方法の動向：土木学会，2003
- 2) 緑川猛彦，武田三弘，小山田哲也，阿波稔：長期暴露試験による表面含浸材を塗布したコンクリートの塩化物イオン浸透性状，土木学会論文集E2，pp.451-461，2011
- 3) 藤田弘昭，上原子晶久，津村浩三，石澤徹：青森県日本海沿岸におけるRC橋梁の塩害に関する調査，土木学会論文集E，Vol.62，No.2，pp.330-340，2006
- 4) 佐伯竜彦，堀岡祐介：新潟県沿岸の飛来塩分環境とコンクリートへの塩分浸透性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.28，No.1，pp.923-928，2006
- 5) 山下寛生，下村匠，山田文則：飛来塩分の影響を受けるコンクリートの表面塩分に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.29，No.1，pp.1011-1016，2007
- 6) 佐伯竜彦，植木稔，島毅：コンクリート表面における塩化物イオン濃度に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.985-990，1999

いわき市における逃げ地図に関する検討

A Study on Evacuation Map “Nigechizu” in Iwaki City

菊地 卓郎・齊藤 充弘・佐藤 勇人*

福島工業高等専門学校建設環境工学科

*一般財団法人ふくしま市町村支援機構

Takuro Kikuchi, Mitsuhiro Saito and Hayato Sato*

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Civil Engineering

*Fukushima Municipality Support Organization

(2015年9月17日受理)

After Great East Japan Earthquake, importance of the disaster mitigation increases. The purpose of this study is to make evacuation map “Nigechizu” in Iwaki city. And, in consideration of the improvement of the map, we performed a questionnaire.

Key words: Iwaki city, Nigechizu, disaster mitigation, hazard map, tsunami

1. はじめに

東日本大震災では、岩手県、宮城県、福島県を中心とした東日本太平洋沿岸部の地域に甚大な被害を与え、死者行方不明者合わせて18,465人もの人々が犠牲となった¹⁾。津波対策はハード対策を中心とした「防災」とソフト対策を中心とした「減災」の考え方があり、震災以前からハード対策のみによる津波対策の限界が指摘されていたが、今回の津波はハード対策の限界をより明確化させる結果となった。また、南海トラフ巨大地震などの津波災害を伴う地震の発生が危惧されている中で、東日本大震災の教訓を活かした2段階の災害対応方針が設けられ、レベル1は「防災」、レベル2はハード対策とソフト対策を総動員させて被害を最小化させる「減災」の対応が必要とされた。ここでのレベル1は100年から150年間隔で発生するマグニチュード8クラスの地震とそれに伴う津波であり、レベル2は1000年かそれ以上と発生頻度の低い最大規模の地震とそれに伴う津波である。

ソフト対策は情報によりいかに津波を回避する行動を取れるかが重要となり、その代表がハザードマップの活用と防災教育の充実である。岩手県釜石市における東日本大震災時の「釜石の奇跡」とも呼ばれた、小中学生の生存率99.8%という事実はソフト対策の重要性を再認識させることとなった。地域住民の防災意識を醸成させるには身近なツールであるハザードマップを活用した防災教育が効果的である。そこで本研究では地元である福島県いわき市のハザードマップを見直し、今新たなハザードマップとして注目されている逃げ地図を作成し、住民に公開しながら改善していき、住民参加型の自助・公助を促すツールとしての実用化について検討することを目的とする。

2. ソフト対策

2.1 自助・共助・公助

防災・減災における避難行動には自助・共助・公助があり、3つのバランスが大切だと考えられている。自助は自ら判断、行動し、自らを助けるために行動すること、共助とは近隣の住民と共に助けあうこと、公助は行政主体の情報提供や避難援助を意味する。被害想定にとらわれることなく、その状況下で最善を尽くし、自らの命を守ることを最優先に立ち向かう行動である自助が最も重要とされ、東日本大震災以降、その認識は強まり、自助は自分だけが助かるという消極的な行動ではなく、他人を助けるための積極的な公助の第1歩として認識されるようになった。そして、公助である行政の役目としては上記したような姿勢をいかに住民に醸成させるかが重要となる。

2.2 ハザードマップ

ハザードマップとは自然災害の危険度を地図上に表し、地域における備えの強化、住民の災害時の避難行動などの自助・公助を支援することを目的に作成されたものである。その種類は地震、津波、土砂災害、水害などを対象としており、日頃から自分の地域のハザードマップを確認し、避難経路や危険個所を自分の目で確かめることで、災害時に迅速な避難行動を行う事が出来る。活用事例として、宮城県七ヶ浜町花浜地区における自主防災会における「防災マップ」がある。行政側から一方的に発信されるハザードマップではなく、地図を作成する過程において、住民が自ら参加することによって、地形特性および津波避難に関する知識が定着し、東日本大震災時には町内の他地区に比べて、犠牲者が少なかった。このようにハザードマップは自助・公助というソフトパ

ワーの向上に資するツールである。

2.3 いわき市における津波ハザードマップ

いわき市の津波ハザードマップは平成21年3月に初版が作成された。その後、東日本大震災を受けて、改訂され、平成26年11月に暫定版(第2版)として、いわき市沿岸部を17地区に分けて発表されている。悪条件化(満潮時・地盤沈下有り)で東日本大震災と同規模の地震が発生し、最大クラスの津波が発生した場合の被害想定を行い、浸水範囲や深さなどを示している。Fig.1に新舞子浜周辺の津波ハザードマップを示す。

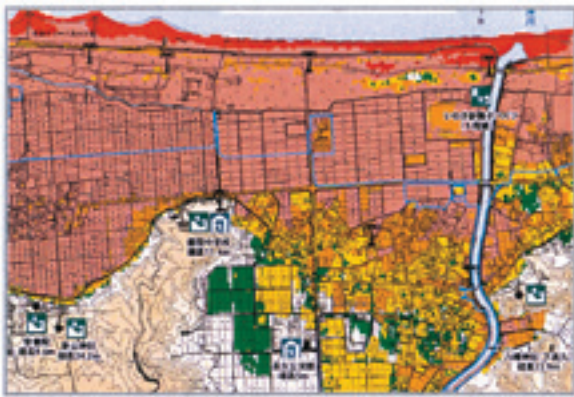


Fig. 1 Iwaki City tsunami hazard map
(Image editing of Shinmaiko area)

2.4 いわき市における津波ハザードマップの問題点

一つ目の問題点として、現行のハザードマップの地図縮尺は1万分の1であり、地図としては詳細な地形図といえるが、自宅の判別や避難経路取得といったハザードマップとして活用する場合を考えると、視覚的な判り易さが十分ではないと考えられる。

二つ目に避難経路が示されていないという点が挙げられる。津波発生の際にはより高い所へ、より遠くへという原則論はあるものの、避難経路が示されていないということは津波発生時に最短距離で避難所まで向かう指針がないということである。日頃の防災意識の醸成という観点からも避難経路を示すことは意義があると考えられる。

三つ目に掲載されている情報が少ないという点が挙げられる。現行のハザードマップでは津波避難場所、津波避難ビル、避難所、東日本大震災(3.11)津波浸水区域、標高分布、防災行政無線の位置の情報が掲載されている。これらの情報は必要最低限の情報ではあるのかもしれないが、実際に自分が避難の際に欲しい情報と照らし合わせると情報が不足しているといえる。また、情報の見せ

方としても改善しなければならないと考えられる。

以上の問題点を解決すべく、新たなハザードマップとして注目されている「逃げ地図」を作成することとした。

3. 逃げ地図

3.1 逃げ地図とは

避難地形時間地図、通称「逃げ地図」は東日本大震災後に日建設計ボランティア部が開発した新しいハザードマップである。地図上に過去の津波の履歴を重ね合わせて浸水危険性のある地区を濃淡で表現し、また安全な地区へ移動するための逃げ道に所要時間の情報を色分けすることで、地図上に避難に関わる時間情報を可視化させたハザードマップである。常に一番近い危険度の低い道を選ぶことで、どこからスタートしても、そこから最短経路で避難所に逃げる事ができる²⁾。

3.2 逃げ地図の作成

逃げ地図作成の対象地区は福島県いわき市平沼ノ内地区とした。最初に「地図上では表記されていない実際の沼ノ内地区に潜む危険性の把握」を主目的として、地区の道路を計80箇所に分け調査を行った。地形としては平坦で区画整理された住宅地とそれを守るように植生する海岸林及び海岸によって形成された地区であり、調査によって、以下の危険性が確認された。海岸部においては、樹林密度が高く、避難の際に通抜けできない海岸林が植生しているため、避難時に海岸から高台へ直線的な避難することが困難であることが分かった。また、住宅街では日本の典型的な住宅街の構成要素を持っており、多くの家にブロック塀、瓦屋根があるため、地震時にそれらが倒壊・崩落し、避難時の妨げになる可能性があることが分かった。現地調査をもとにして、逃げ地図を製作した。作成の際にはGoogle Earthをベースマップとして使用することとした。選定理由としては、フリーのソフトウェアであり、誰にでも作れる地図としての逃げ地図を目指したためである。作成のポイントは以下のである。いわき市復興計画書にもとづき平成28年までに完成予定の津波避難ビルの強化を視野に入れた。過去の津波の浸水範囲としては東日本大震災時の津波浸水範囲を採用した。避難目標地点はあくまで一時避難の目安として東日本大震災時の津波浸水域の端から150m程度離れた位置と復興計画の避難ビルの入り口、また市が一時避難先としている雇用促進住宅を想定し設定した。また現地調査により、危険性があると判断した場所にハザードマークを設定し、裏面に各地点の写真と説明を記載した(Fig.2, Fig.3)。

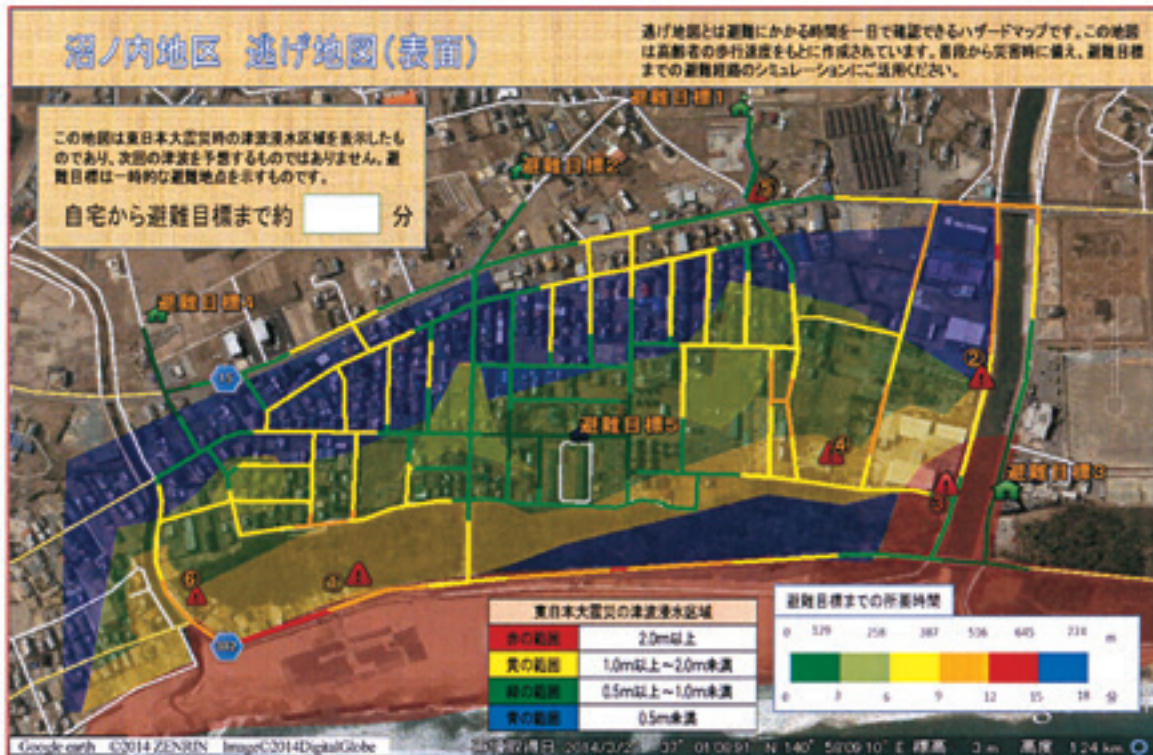


Fig. 2 Numanouchi area evacuation map “Nigechizu” (Front side)



Fig. 3 Numanouchi area evacuation map “Nigechizu” (Back side)

津波避難は常日頃から津波に対して危険意識をもつことが重要とされている。実際に大地震が発生し津波に遭遇した際に適切な避難をするため、自分がどのような行動をするべきかが頭に入っている必要がある。本研究で作成した逃げ地図は宮城県多賀城市が発行している「みんなの防災手帳」³⁾を参考に、あらかじめ自ら避難の際に必要な情報を記入する欄を裏面に設け、情報をアウトプットするという行動を促すことにより、普段から避難情報を意識付けられるように作成した。また、避難時の注意点を記載することで避難意識の向上をサポートするようにも作成した (Fig. 3)。

4. 地域住民による逃げ地図のスパイラルアップ

4.1 沼ノ内地区への住民アンケート

防波堤や防潮堤といったハード対策とは違い、ソフト対策においては、情報が一方通行的に提供されているばかりでは有効に活用されているとはいえない。どのように地域住民に認知され、住民の意見を反映させることができるかという点も非常に重要である。そこで地域住民への逃げ地図の公表と評価を兼ねたアンケートを行った。

アンケートの内容は逃げ地図の有効性や改善点を問う設問を用意した。

4.2 アンケートの結果および考察

設問は以下の通りである。

設問1 逃げ地図というものを知っていますか。

設問2 逃げ地図は何らかの形で避難の役に立つと思いますか。

設問3 本研究室が作成した逃げ地図は避難のシミュレーションの役に立ちますか。

設問4 作成した逃げ地図の問題点は何ですか。(自由記述)

設問5 作成した逃げ地図に追加したほうが良い情報はありますか。(自由記述)

設問1に対する回答は、「知らない」という回答が70%を占めた。このことから逃げ地図の存在を今回のアンケートにより知ることになった人が多いことがわかる。設問2に対しては「役に立つ」という回答が75%を占めていた。逆に25%の回答者が有効性に疑問を持ったという事実は逃げ地図公表が回答者独自の避難観を改めてアウトプットさせる機会となったとも考えられる。また設問3に対しては、「役に立つ」という回答が63%となった。この結果から沼ノ内地区の人々は逃げ地図という避難ツールに対し、何らかの形で効用を期待している人が多いが、本研究で作成した逃げ地図の有効性に関しては若

干割合が減少することから、本来の有効性を活かしきれていないという評価を受けていることがわかる。その要因として設問4では「見づらい」という回答が多く割合を占めていた。解決案としては、色の濃淡の調整や印刷サイズを大きくするなど挙げられる。また、設問5では「目印になる建物の名前を掲示してほしい」、「避難目標の建物、場所名を掲示してほしい」というものが多くの割合を占めていた。逃げ地図作成時には情報の掲載過多を危惧し、建物名を除外したが、住民の方からすると建物情報は必要であることが確認できた。

5. 逃げ地図の改善

アンケート調査において明らかとなった改善点をTable 1に示す。

Table 1 Improvement of Nigechizu

改善項目	改善前	改善後
広範囲化	沼ノ内地区一部	沼ノ内地区大部分
浸水範囲	東日本大震災津波実績	最大震度想定津波浸水域
避難地点	浸水区域の限界点	県指定避難場所
	一時避難のみ	緊急避難所の設定
色分け	徒歩3分	徒歩5分
逃げ地図の説明	無表記	説明を表示

広範囲化に関しては、アンケート調査での改善意見の中に逃げ地図をもっと広範囲にしてほしいという回答があったため、逃げ地図の範囲を沼ノ内地区一部から沼ノ内地区の大部分に拡大した。浸水範囲に関しては、前述したように、いわき市のハザードマップがH26年11月に更新され、浸水範囲が東日本大震災津波実績から最大震度想定津波浸水域に変わったため、それにならいう更新した。また、地図自体が見づらいという意見があったため、浸水区域の色を改善後は若干薄く見やすく表記した。避難地点に関しては、改善前は浸水区域の限界点に設定したが、避難所としての機能を兼ねそろえた場所に設定したほうが望ましいため、更新されたいわき市のハザードマップと同じ場所を避難場所として設定した。また、いわき市のハザードマップが更新される前の避難地点である県の雇用促進住宅、また震災後建設された災害公営住宅を緊急避難場所として定めた。逃げ地図の道の色分けについては、改善前は徒歩3分毎に色が変化する設定だったが、広範囲化に伴って使う色が多くなりすぎないように、徒歩5分毎と幅を持たせることとした。逃げ地図の説明については、アンケート調査にて使い方が分からないという回答があったため、逃げ地図の詳細な使い方について表記することとした (Fig. 4, Fig. 5)。



Fig.4 Improved version of Numanouchi area evacuation map “Nigechizu” (Front side)



Fig.5 Improved version of Numanouchi area evacuation map “Nigechizu” (Back side)

6. まとめ

本研究では、いわき市沿岸部の津波に対する防災・減災力をソフト面から向上させるため、いわき市のハザードマップを見直し、「逃げ地図」を作成した。対象地区は平沼ノ内地区とし、より確かな地形情報を地図に反映するため、現地調査を行った。現地調査により、沼ノ内地区に潜む津波避難時の危険性を確認した。逃げ地図の作成は Google Earth を用いて行った。地図上の避難目標はいわき市の復興計画書や東日本大震災の浸水域を元に設定し、更に現地調査の情報を盛り込み作成した。また、作成した逃げ地図の公表及び有効性を検討するため、沼ノ内地区にて住民アンケートを行った。アンケートの結果は回答者の70%が「逃げ地図という避難ツールを、本アンケートを通して初めて知った」、また回答者の75%が「逃げ地図に避難支援効果を期待できる」というものであった。本研究で作成した逃げ地図に関していえば、有効性を感じている人は63%まで低下したことから未だ改善の余地が見受けられる。しかし、本研究の逃げ地図の有効性に疑問をもった人がいたということは、逃げ地図の公表が回答者独自の避難観を改めてアウトプットさせる機会となったとも考えられる。また、アンケートの結果をもとに逃げ地図の改善版を作成した。改善版の逃げ地図は住民に公開するまでに至っていないが、これらを再び公開することで、逃げ地図の有効性及び住民の避難に対する意識も更にスパイラルアップさせることがで

きると考えられる。その中で住民が自ら逃げ地図作成に参加する形をとることで、自助または共助的かつ住民に深く理解される効果的な逃げ地図の実用化が実現するといえる。

付 録

本稿は佐藤が執筆した平成26年度専攻科特別研究論文集を菊地と齊藤が検討の上、加筆・修正したものである。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、沼ノ内地区長の遠藤欽也様を始めとした住民の皆様には多大なご協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 警察庁緊急災害警備本部：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の被害状況と警察措置,
<https://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo.pdf> (2015.9.15最終参照)
- 2) 日建設計ボランティア部：避難地形時間地図 逃げ地図, <http://www.nigechizuproject.com/> (2015.9.15最終参照)
- 3) 多賀城市：みんなの防災手帳, 東北大学災害科学国際研究所, pp10-74, (2014)

福島から考える屋内遊戯施設の一提案

A Proposal of Indoor Parks for Children from Fukushima

西口 美津子・永山 友理*

福島工業高等専門学校コミュニケーション情報学科

*桑沢デザイン研究所デザイン専攻科

Mitsuko Nishiguchi・Yuri Nagayama*

NIT, Fukushima College, Dept. of Communication and Information Science

*Kuwasawa Design School, Specialized Design Department

(2015年9月8日受理)

After the Great East Japan Earthquake Disaster on March 11 and the following nuclear plant incident in 2011, indoor parks have been built in Fukushima in order to avoid the radiation by the incident. In this study, surveys and hearings were conducted at three indoor parks in Fukushima to know the needs of users and operators. As a result, merits of these indoor parks may be different by each park; however, there's a common issue that was raised by the users. Reflecting it, a proposal is made for a hint of future indoor parks in terms of space design.

Key words: indoor park, children's playground, space design

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災によって引き起こされた福島第一原子力発電所事故は、漏れ出した放射性物質が人体に悪影響を与えることから、周辺住民だけでなく日本全国にその不安は広がった。一般に年齢が低いほど放射線による健康被害を受けやすいといわれており、原発事故が起きた福島県を中心に、子どもたちは屋外で遊ぶことを制限された。運動不足が子どもに与える影響は大きく、体の発育・発達にも大きく関係してくることから、福島県や県内の多くの自治体は子どもの体力を向上させる取り組みを行った。その一つが屋内遊戯施設の設置である。そこで、本研究では、屋内遊戯施設の重要性や課題、利用者のニーズを確認し、今後の社会で必要とされる屋内遊戯施設を提案する。

やビルや住宅地に変わっていった。』¹⁾

また、松本園子は、道路に着目し、『かつて、日本の子どもたちの遊び場は道路であった。家を出ればすぐそこが遊び場であり、遊び場を特別につくる必要はさほどなかった。しかし、車の増加により、子どもたちは道路から駆逐され、行き場を失ってしまった。』と述べている²⁾。1966年においては、約8百万台であった自動車保有台数が、2014年には約8千万台と、およそ10倍になっている。これに伴って道は危険な場所となり、遊び場ではなくなっていった。

近年の一般的な子どもの遊び場の概要を表1に示す。「自宅」が95.1%で最も「よく遊ぶ」場所となっている。次いで「児童館や児童公園などの公共の遊び場」で「よく遊ぶ」は15.1%と自宅に比べて圧倒的に低い。一方、

2. 子どもの遊び場の変遷と屋内遊戯施設

2.1 時代による子どもの遊びと遊びの変遷

時代によって子どもを取り巻く社会は変化しており、それに伴い遊びのあり方も変化している。たとえば、建築家であり、環境デザイナーである仙田満は次のように述べている。『昭和初期から、広っぱ、原っぱは子どもたちのあそび場であり続けた。(中略)1955年を境に、放置された広っぱ、原っぱでの事故の責任などは土地の所有者にあるといわれ始め、柵がめぐらされ、子どもたちは自由に使えなくなっていった。やがて、次々と学校

表1 子どもの遊び場 (単位: %)

	よく遊ぶ	遊ぶ	時々遊ぶ	遊ばない	不詳
自宅	95.1	98.7	3.6	0.1	1.2
友だちの家	8.9	67.5	58.6	28	4.5
児童館や児童公園などの公共の遊び場	15.1	78.7	63.6	16.8	4.5
原っぱ、林、海岸などの自然の場所	6.5	53.4	46.9	40.8	5.9
デパート等の遊び場	5.9	64.7	58.8	29.8	5.5
空き地や路地	10	35.1	25.1	59.3	5.6

注) 厚生労働省 HP より筆者作成 (2015年2月現在)

「遊ばない」が多い場所は、「空き地や路地」が59.3%、「原っぱ、林、海岸などの自然の場所」が40.8%となっている。また、「遊ぶ」でみると、上位4つは、ほぼ屋内といってよく、逆に残りの下位2つは屋外である。子どもたちは本来の遊び場であった「空き地や路地」、「原っぱ、林、海岸などの自然の場所」から遠ざかり、屋内遊びへと移行していることが分かる。さらに、2番目に「よく遊ぶ」場所が「児童館や児童公園などの公共の遊び場」であることから屋内遊び場の重要性がうかがえる。

2.2 屋内遊戯施設とは何か

屋内遊戯施設とは、室内遊戯施設、屋内遊び場など呼称は様々であるが、つまり屋内で遊ぶことができる施設である。過去の屋内遊戯施設関連の研究では、北海道のような季節により屋外での遊び場の限られる地域での研究³⁾があり、また、近年では商業施設内の遊戯施設での顧客満足のように、利用者ニーズの視点からの調査研究⁴⁾も行われている。しかしながら、福島県のように震災後に屋内遊戯施設の需要が急増した地域での調査研究は、現在のところ見当たらない。

本研究では小学生までの子どもの体力面、精神面における発育・発達を目的とした屋内遊戯施設を対象とする。そのため、年齢を問わず娯楽を目的としたレジャー施設などとは一線を画する。また、本研究において子どもは、12歳以下を指す。

2.3 屋内遊戯施設の必要性

福島県においては、2011年の原発事故以来の放射線汚染が最も重要な課題であるが⁵⁾、屋内遊戯施設の必要性を語るうえで、現代が抱える大きな問題として、大気汚染も忘れてはならない。中国などからPM2.5等の大気汚染物質が飛来し、子どもを外で遊ばせることに不安を抱く保護者も少なくない。日本国内のPM2.5の年間平均濃度は、従来から取り組んでいる工場・事業場などの煤煙発生施設の規制や自動車排出ガス規制などによって減少傾向にある。しかし、濃度は季節によって変動し、例年、3月から5月にかけて濃度が上昇する傾向が見られるため、安心はできない。

大気汚染が深刻な現地、北京やニューデリーでは、子どものみならず大人もが外出しにくい状況である。こうした現代が抱える様々な要因が相まって屋内遊戯施設への需要は福島県を中心として全国的に高まっており、海外においても期待できるためその「重要性は高い」といえる。

3. 調査対象とする福島県内の屋内遊戯施設

3.1 福島県内の屋内遊戯施設の概要

福島県には、図1に示すように2014年12月の時点で64か所の屋内遊戯施設が設置されている⁶⁾。運営主体は、公共団体やNPO等であり、たとえば民間団体が場所を提供している場合においても、運営は実績のあるNPOに任せるというのが一般的である。社会的に有用であるものの、多くが入場料無料であるため、単独で採算ベースのビジネスとして成り立たないためである。



図1 福島県における屋内遊戯施設の所在地
(福島県のウェブページより)

3.2 3つの屋内遊戯施設の概要

屋内遊戯施設は利用者にとってどのような存在であるのか、また、今後、屋内遊戯施設には何が求められるのかを考察するため、県内の異なる屋内遊戯施設において、利用する保護者へのアンケート調査や施設運営スタッフへのヒアリング調査を行うことにした。対象としたのは、それぞれ規模も設置個所も異なる福島県内の3つの屋内遊戯施設であり、最も大規模な中通りの「ペップキッズ郡山」、震災後に設置された中規模で浜通りにある「チャイルドハウスふくまる」、そして天栄村にある「わんぱく広場」の3か所において行った。これら3つの屋内遊戯施設の概要を表2に示す。

表2 アンケートを行った屋内遊戯施設の概要

	ペップキッズ郡山	チャイルドハウスふくまる	わんぱく広場
開業	2011年	2014年	1996年(改2012年)
場所	郡山市	いわき市北東部	天栄村
運営	NPO法人郡山ペップ子育てネットワーク	NPOよつくらぶ	天栄村
開館	10時~17時30分	10時~16時	9時~12時・13時~15時
年齢	6か月~12歳・保護者	3歳~小学生・保護者	小学生以下・保護者
料金	無料	無料	無料
規模	大 (1,900平米)	中 (330平米)	小 (238平米)
回答	32人	13人	11人

(1) ペップキッズ郡山（略称：ペップキッズ）

2011年12月に福島県郡山市にてオープンした東北最大規模の屋内遊戯施設であり、商業施設が倉庫として使っていた敷地を利用して建てられた。2011年3月29日に、郡山市・郡山市教育委員会・郡山医師会等が中心となり、「郡山市震災後子ども心のケアプロジェクト」が発足したのを第一歩に、2011年9月、協力企業役員や郡山市職員、20～40代の地域の有志によって「屋内遊び場設置準備委員会」が結成された。運営は、「NPO法人郡山ペップ子育てネットワーク」が行い、心のケアだけでなく、「遊び」を通じて子供たちの成長・発達を支援することが運営におけるコンセプトである。「ヨークベニマル」を代表とし、「ポーネルド」、「ABCクッキング」を初め、多くの会社が協賛している。広大な敷地には屋内砂場、ランニングコース、サーキット、ベビーゾーン、調理体験ができるキッチンなど、多様なアトラクションが備えられている。年間40万人の親子が来場しており、利用時間として90分毎の完全入替制をとっている。全国から注目を集める屋内遊戯施設といえる⁷⁾。

(2) チャイルドハウスふくまる（略称：ふくまる）

2014年4月26日に福島県いわき市四倉町にある道の駅四倉港の敷地にてオープンした屋内遊戯施設である。2011年、布袋寅泰・吉川晃司がCOMPREXを再結成し、コンサートを行った際の収益の一部がいわき市に寄付され、その基金をもとに他の支援団体の支持を受け建てられた。運営は「NPO つくらぶ」と「NPO 福島震災孤児・遺児をみまもる会」が行っている。

津波による被害が大きかった地域であるため、震災による遺児・孤児の心のケアを第一目的とし、子ども達や保護者のふれあいの場となる「地域交流室」をメインに、ホールを第二目的としての遊び場に利用している。沿岸部にあるため船の形をした外観で、鉄骨づくりの平屋建てであり、津波対策を万全に施し、確実に安全な場所として提供している。共同執筆者が同施設のロゴマークをデザインしたことや中規模の屋内遊戯施設であるとし、アンケート調査を実施することにした。

(3) わんぱく広場

1996年、天栄村の保健・医療・健康増進施設のセンター機能として設立された健康保険センター「へるすびあ」の中にあるフリースペースを活用した遊び場である。当初は、「なかよし広場」という名称で2週間に1回のみ遊び場として開放していたが、その後、開放日を増やし、震災後の2012年10月には「わんぱく広場」と名称を変

えると共に、原発事故の影響から、より安心して子どもたちが遊べる場所を提供したいという目的のもと、平日は毎日利用可能となった。天栄村が管理・運営を行っており、保育士が充実しており、読み聞かせや折り紙等の制作、育児相談などの催し物が頻繁に行われることが特徴として挙げられる。開設時間内での時間制限は設けていない。共同執筆者の出身地であり、他の2つの屋内遊戯施設と比べてもっとも小規模であることから、今回アンケート調査を実施する屋内遊戯施設の一つとした。

4. 屋内遊戯施設へのアンケート調査と分析

アンケート調査は、(1)来場頻度、(2)屋内遊戯施設の重要性、(3)屋内遊戯施設の良い点、(4)改善してほしい点、(5)他の施設の利用状況と頻度、(6)これからの屋内遊戯施設に求めること、の計6点について質問を行った。下記に、それぞれのアンケート集計の結果を示す。

(1) 来場頻度

来場頻度の合計では、図2に示すように、アンケートに回答した総数56人の回答者のうち、全体の41%以上の方が、週1回以上訪れていることがわかる。さらに、月に2～3回程度の人を入れると、来場者の66%になる。また、初めての人は16%と、屋内遊戯施設を訪れる人の8割以上が、複数回訪れることが約束されるリピーターということになる。

ペップキッズとわんぱく広場では、「週一回」以上利用している人が多い（過半数）のに対し、ふくまるでは「初めて」や「月1回以下」が約7割を占めている。これは、ふくまるが他2つの施設に比べ新しい施設であることや、表3から分かるように、いわき市には他にも屋内遊戯施設が9か所あることなどが要因だと考えられる。郡山市にも多くの屋内遊戯施設が存在するが、ペップキッズは規模が大きく他の屋内遊戯施設と差別化を図っており、メディア等によって知名度も高くなっているため、リピーターが多いと考えられる。わんぱく広場は、天栄村で唯一の屋内遊戯施設であることや、村の教育指針の一環として、小さな子供がいる家庭に対し施設の利用を推奨していることが要因と考えられる。

表3 屋内遊戯施設の来場頻度

	ペップキッズ 郡山	チャイルドハウ スふくまる	わんぱく 広場	全体
週4回以上	6%	-	-	3%
週2、3回	9%	-	27%	11%
週1回	37%	-	27%	27%
月2、3回	16%	31%	46%	25%
月1回以下	19%	31%	-	18%
はじめて	13%	38%	-	16%

回答総数：56

(2) 屋内遊戯施設の重要性

屋内遊戯施設の重要性についての設問には、5つの選択肢を用意した。これに対して、表4に示すように、56人中約93%が「重要」と答えて、残りの7%も「やや重要」と答えた。実際来ている人の中に、「どちらともいえない」、「あまり重要でない」、「重要でない」と答える人は皆無であった。そのことから、屋内遊戯施設の利用者は、その重要性を認めたとうえで、来訪していることがわかる。

表4 施設ごとの屋内遊戯施設の重要性

	ベップキッズ郡山	チャイルドハウスふくまる	わんぱく広場	全体
重要	97%	92%	82%	93%
やや重要	3%	8%	18%	7%
どちらとも言えない	-	-	-	-
あまり重要でない	-	-	-	-
重要でない	-	-	-	-

回答総数：56

(3) 屋内遊戯施設の良い点

施設の良い点については、回答者に自由に記述してもらうことにした。結果の分析については、内容を分類、整理するために、KJ法を用いて分析を行った。それによると、表5に示すように、最も広い施設であるベップキッズでは、「施設・設備の充実」と「遊具の充実」を挙げた者が共に44%と最も多く、「広くてのびのび」(38%)、「安心・安全」(19%)、「清潔・衛生的」(16%)等が挙げられた。

表5 施設ごとの屋内遊戯施設の良い点

	ベップキッズ郡山	チャイルドハウスふくまる	わんぱく広場
施設・設備の充実	44%	38%	-
遊具の充実	44%	23%	36%
広くてのびのび	38%	23%	-
保育士・スタッフの配置	9%	8%	45%
利便性	-	54%	9%
安心・安全	19%	15%	-
清潔・衛生的	16%	8%	-
同じ年代で遊べる	9%	8%	18%
イベント	-	-	9%
特にない(わからない)	-	15%	27%

回答者数(複数回答可)

32

13

11

最も新しいふくまるでは、自宅や海からの近さ、時間制限のないこと等、屋内遊戯施設の「利便性」を指摘する声が多かった(54%)。一方で、ふくまるは、浜通りに位置し、3施設の中で福島第1原発に最も近いためか、「安心・安心」(15%)の中に唯一、放射線対策を挙げる声が含まれていた。ふくまるでのヒアリング調査においても、「放射線が本当に怖い人は、福島を出ていると思う」という意見や、「どこかで妥協するしかないので、そこまで敏感にならないようにしている」という声が聞かれた。また、わんぱく広場については、半数近く

の回答者(45%)が、「保育士の配置」を挙げ、他に「遊具の充実」(36%)、「同じ年代で遊べる」(18%)等を挙げている。また、「特にない」という意見も27%あった。

(4) 改善してほしい点

回答者からの、屋内遊戯施設に改善してほしい点についても、KJ法を用いて分析した。その結果、表6に示すように、わんぱく広場の91%、ベップキッズの75%、ふくまるの38%と、「特にない(わからない)」が最も多かった。その他、ベップキッズとふくまるでは、「施設・設備の充実」(19%)が、第一に挙げられた。他に、ふくまるでは、「圧迫感の解消」(15%)を指摘するものがあった。また、比率的には高くないものの、3施設共通の意見として、「自然とのふれあい」を望む声があった。具体的には、「屋内では四季を感じられない」、「室内では自然と触れ合えないので、外遊びもさせたい」という屋内での限界を指摘する回答である。

表6 施設ごとの屋内遊戯施設に「改善してほしい点」

	ベップキッズ郡山	チャイルドハウスふくまる	わんぱく広場
施設・設備の充実	19%	23%	-
遊具の充実	6%	8%	-
柔軟な時間管理	6%	8%	-
自然とのふれあい	3%	8%	9%
圧迫感の解消	-	15%	-
常駐スタッフの見守り	3%	-	-
市外利用者の有料化	3%	-	-
特にない(わからない)	75%	38%	91%

回答者数(複数回答可)

32

13

11

(5) 他の施設の利用状況と頻度

来場者に他の屋内遊戯施設の利用について聞いたところ、全体の75%が、「利用したことがある」と回答した。その割合は、施設ごとに異なり、わんぱく広場は、他施設を利用したことが「ある」人が約6割、ベップキッズでは約7割なのに対し、ふくまるでは約9割という結果になった。要因については、わんぱく広場は、天栄村で唯一の屋内遊戯施設であること、一方、ベップキッズのある郡山市には、規模はベップキッズよりも小さいながら多くの屋内遊戯施設が存在することが考えられる。また、ふくまるについては、2014年に開業した最も新しい施設であり、いわき市内には、他にも屋内遊戯施設が9か所存在することから、すでに他の施設を利用する機会があったために、高い数値を示したと推測される。

(6) これからの屋内遊戯施設に望むこと

これからの屋内遊戯施設にのぞむことについても、KJ法を用いて分析を行った。その結果、表7に示すように、

ペップキッズでは、「特にない（現状で満足）」が回答の半数近く（47%）を占めた。また、利用者の16%が、「施設の充実」や、同じような施設を増やす「施設数の拡大」を望んでいることがわかった。また、「遊具の充実」（13%）では、滑り台やブランコの増設、ジャングルジム等、具体的な遊具名も示された。また、「外との自然な接続」のような外遊びを意識した要望も寄せられた（6%）。

一方、ふくまるでは、「保育士・スタッフの見守り」への要望が比較的高く（31%）、他にカフェスペースやフットサル場のような新たな「施設の充実」の希望も寄せられた（31%）。「特にない（現状で満足）」というのも、31%あった。わんぱく広場においては、「特にない（現状で満足）」が、82%を占めた。また、ふくまるとわんぱく広場では、少数ながら、「保護者の監督強化」（例：大きい子どもの面倒をもっと親がみてほしい）といった、年少の子どもを持つ親からの要望も寄せられた。

表7 これからの屋内有機施設に望むこと

	ペップキッズ 郡山	チャイルドハ ウスふくまる	わんぱく広場
施設の充実	16%	31%	9%
保育士・スタッフの見守り	3%	31%	-
施設数の拡大	16%	-	-
遊具の充実	13%	-	-
保護者の監督強化	-	8%	9%
外との自然な接続	6%	-	-
特にない（現状で満足）	47%	31%	82%
回答者数	32	13	11

なお、屋内遊戯施設を利用する理由として、被ばく以外のものが目立った。来場のきっかけが被ばくを防ぐためであったとしても、純粋に親子で楽しく遊びたいと考えている保護者が多い。そのため、屋内遊戯施設への需要は福島県のみならず全国的に見られると考えられる。

5. 屋外遊戯施設の課題と提案

5.1 屋外遊戯施設の課題

屋内遊戯施設を運営するにあたり現時点で分かっている課題と、今後運営していく中で予想される課題、また、それらにどのように対応していくかを考える。これについては、アンケート調査を行った屋内遊戯施設の運営スタッフへのヒアリング調査、特にペップキッズ郡山の運営スタッフへのヒアリング調査を基にしている。現時点で明らかな課題としては、「有用性を示すこと」と「継続性の確保」の2つが挙げられる。

(1) 有用性を示すこと

震災後、屋内遊戯施設は一般に、「放射能による被ばくを防ぐための屋内遊戯施設」という認識が強い。しか

し、ペップキッズ郡山では、低年齢児の発育発達を正確に捉え、運動はもとより社会性や知育が遊びながら育まれ、さらに、子どもたちが多くの楽しさを得られるよう常に試行錯誤して運営されている。ふくまるやわんぱく広場においても同様の試みが見られる。しかし、客観的な評価や統計など有用なデータを示せていないため、正当な評価を得られていないと運営側は考えている。

(2) 継続性の確保

多くの屋内遊戯施設は県や市町村、NPOなどの非営利団体が運営を行っているが、公共施設としての位置づけが明確でないため、運営費の獲得が困難となっている。実際に、ペップキッズ郡山は、郡山市が補助金を獲得し、NPO法人に運営委託を行っている。そのため、人件費などは郡山市、その他は各種助成金を獲得し運営している。従って、郡山市等による現在の支援体制が崩れてしまった場合、運営が難しくなってしまう。継続した運営を行うためには、地元企業との連携や利用者の一部負担などを視野に入れ、中長期計画を見直す必要がある。

企業連携の例としてスーパーやショッピングセンターとの連携が挙げられる。ペップキッズ郡山では、有料の屋内遊戯施設を運営するポーネルドやファンタジーリゾートといった会社がショッピングセンターを中心に連携し、Win-Winな関係を保っている。また、イオン子会社で幼児向け屋内遊戯施設などを展開するイオンファンタジーは2010年12月に新業態店舗「ファンタジーキッズーナ」1号店を大宮サティ店（埼玉県さいたま市）にてオープンし、その後中国やマレーシア、タイなど海外市場にも進出した。2015年1月31日現在では世界で累計518店舗を展開している。

5.2 今後の屋内遊戯施設への提案

アンケート調査における課題やニーズを空間デザインの視点から検討した結果、屋内であるための圧迫感や自然とのふれあいに関わるものに着目することにした。具体的には、「室内なので、少し圧迫感がある」、「四季を感じられない」、「開放感がない」、「自然とふれあえないので外遊びもさせたい」、「内と外、両方の遊びをさせたい」といった意見である。

そこで、今後の屋内遊戯施設への提案として、「半屋外空間」を挙げたい。半屋外空間とは、身近な例でいうと日本人になじみの深い「縁側」が挙げられ、屋内にしながら屋外にいるような感覚を得ることができる空間のことである。以降、半屋外空間の例を示しながら、屋内であるための圧迫感をどのように解決すべきである

か考える。

代表的な「半屋外空間」として金沢駅もてなしドームが挙げられる。米国の旅行雑誌「トラベル・レジャー」において2011年、「世界で最も美しい駅14選」に選出されたことのあるこのドームは、屋根が全面ガラス張りできており、雨や雪の多い金沢で「駅を降りた人に傘を差し出す、もてなしの心」を表現しているものだ(図2)。こうした「半屋外空間」を屋内遊戯施設においても取り入れることで、屋内であるメリットはそのままに、屋外にいるような開放感や季節感を味わうことができる。また、このような広い敷地を使うことで、年齢別のスペースと、そうでないスペース、両方を設けることができる。



図2 もてなしドーム(金沢駅前にぎわい協議会 HP より)



図3 ブルームフィールド病院
注) Henry Ford Bloomfield Hospital HP より

アメリカのヘンリー・フォード・ウェスト・ブルームフィールド病院(図3)では天井の高い通路に、植木や、木材を利用したインテリアを置いている。また、天井を高くすることで開放感を与え、木材を用いることで情緒を安定させる効果がある。これにより患者の「病院」に対する恐怖感を抑え、病院であることを忘れさせるような空間を創り出している。こうした半屋外空間の例を屋内遊戯施設において応用すれば、子供たちの情緒を安

定させるとともに、屋内であるための圧迫感も抑えられる。さらに、こうした既存の建造物の利点を生かすばかりでなく、新たな屋内遊戯施設の発案も、屋内遊戯施設の重要性を最も認識している福島から発信できるのではないだろうか。

6. おわりに

調査の結果、種々の課題を抱えながらも、屋内遊戯施設の重要性は高く、その需要は日本全国においてみられ、今後も高まる可能性が大きいということが分かった。そのため、将来を見据えた運営方法、そして空間デザインが必要とされる。こうした新しい形の屋内遊戯施設を、被災地である福島から提案することで、最終的には、それを大気汚染が深刻なニューデリーや北京などにも輸出・発信することができると考えられる。今後も屋内遊戯施設に関する調査・研究を進め、さらに、それをデザイン実用化することで、将来を担う子どもたちのためにより良い「遊び」を提供できるよう努めてきたい。

謝辞

本研究を実施するにあたり、福島県内の「ペップキッズ郡山」、「チャイルドハウスふくまる」、「わんぱく広場」のスタッフの皆様、そして保護者の皆様のご協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 仙田満：子供とあそび 環境建築家の眼, 岩波新書, pp.2-3 (1992年)
- 2) 松本園子：子どもの生活と福祉の歴史(4) 戦前の遊び場問題と遊び場づくり, お茶の水大学教育・研究成果コレクション TeaPot, p.30 (1997年)
- 3) 田川正毅：積雪寒冷地の公園緑地における全天候型遊び場の空間構成と遊び行為の特徴, ランドスケープ研究, pp.551-554 (2007年)
- 4) 梶早苗・若林直子・小島隆矢：屋内プレイグラウンド利用者の意識調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.29-30 (2013年)
- 5) 公益社団法人子ども環境学会：震災を踏まえた子育て環境に関する調査研究, 福島県保健福祉部 (2014年)
- 6) http://www.minpo.jp/pub/topics/jishin2011/2014/03/post_94_89.html 福島民報 HP
- 7) 田口香世：ヨークベニマルが”あしながおじさん”で陰からサポートしてオープンした郡山市(福島県) 屋内遊戯施設「ペップキッズ郡山」が昨年12月23日オープン, Value creator, pp.58-63 (2012年)

3.11と技術中心時代の倫理についての予備的考察

3.11 and the Ethics in the Era of Techno-centrism

田淵 義英

福島工業高等専門学校コミュニケーション情報工学科

Yoshihide Tabuchi

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Communication and Information Science

(2015年10月13日受理)

This article is a tentative assumption on the Ethics in the era of Techno-centrism. It tries to delineate dysfunction of the Ethics that we are witnessing today, and characteristic conditions that derives a bottleneck of contemporary Ethics. Chapter 2 shows that historical context of the Ethics resulted relativization of its universal value, with leading itself, as chapter 3 argues, to the era of technocracy in which the Ethics is dominated by technologies and its users. Chapter 4 outlines several aspects the consequent dysfunction of the Ethics, while chapter 5 tries to specify reactions to it, which are quite characteristic to the contemporary society. Chapter 6, as a conclusion, offers a short remark for further research.

Key words: 3.11, History of Ethics, Techno-centrism

1. はじめに

3.11とそれに引き続く原発事故は、現代社会の抱える多くの問題を露見させたが、それは倫理の分野においても同様であった。行政、企業（東電）、一般の人々（とりわけ関東の東電利用者）の倫理的責任をめぐって多くの議論が展開され、科学技術そのものの是非を問うスケールの議論も散見された。

しかし、百家争鳴の議論があつたにもかかわらず、その成果は捗々しいとはいえないものである。とりわけ、原発事故を引き起こした現代の技術中心時代における倫理については、十分に考察が深まったとは言えない状況にある。

本稿では、現代の倫理学がなぜ原発事故に対して有効な倫理的回答を示せないのかについて、技術中心時代の倫理が陥っている隘路を明らかにすることで検討したい。

以下の章では、まず倫理学の歴史が倫理的価値の相対化の歴史であることを、自由主義、世界システム、技術支配の観点から明らかにし、人間が普遍的価値について考察すること自体がますます困難になっていることを示す。

次いで第三章では、とりわけ技術支配の影響に注目し、技術中心時代では倫理が主体から切り離され、それによって人々の「動機の倫理性」と「行為の倫理性」が一

致しなくなっていることを示す。

第四章では、そのような状況において現代の倫理学が機能不全に陥っていることを、価値の貨幣形態の問題、倫理的主体の問題、道徳的直観の問題として提示する。

第五章では、倫理学が機能不全に陥るなかで、社会が公的に責任を取る主体を創造する一方で、それ以外の人々は「関心」という自己正当化へと逃避している状況を批判し、最後に第六章で今後の展望を示す。

なお、本稿はこのいささか大きすぎるテーマについての予備的考察であり、本稿をもとに今後さらに研究を進める予定であることを付記しておく。

2. 倫理学の歴史

2.1 相対化の歴史

倫理学の歴史を一瞥すると、それは古代から中世にかけての普遍的な倫理が、近世から現代にかけて相対化されていく歴史として理解することが出来る。

現在知られているもっとも古い倫理的な原理は「不殺生」、すなわち「殺さず」の原理であり、これは古代インドに端を発し、ジャイナ教、仏教、ヒンズー教などに受け継がれている。

ヨーロッパにおける倫理的探求は、少なくとも古代ギリシアまでさかのぼる。古代ギリシアにおける倫理学は「善」についての探求であると同時に、「善く生きる

こと」を目指したきわめて実践的な営みであった。

ヘレニズム時代になると、対照的な方法で、しかしいづれも心の平静に重きを置いたストア派とエピクロス派の倫理学が登場する。ストア派にとって、倫理とは良心の声に耳を傾けることである。ギリシア時代にそうであったのと同様、ストア派においても良心の声はしばしば神の声にたとえられるが、それは直接的に神の声であるというよりも、神が人間に与えた理性の声であり、その声によって人間は自らを裁かねばならない。

中世には、現代にまで大きな影響を与えているキリスト教の倫理学が優勢となる。キリスト教の倫理学においては、ストア派よりもさらに強く「良心による審判」という考え方が前面に押し出される。それは、来るべき最後の審判の先取りとして、良心によって自己を裁くのである (Lenk 1997=2003: 21)。

キリスト教の倫理において完成された「良心による審判」という考え方は、現在に至るまで大きな影響力を持っている。しかし、キットシュタイナーによれば、こうしたキリスト教的倫理観は、ルターが儀礼的で形式的な良心を退けたときに世俗化した。宗教改革は教会を介さず直接的に神と対話することを求めたが、このある意味ではモノロジカルな対話は、やがて神ではなく直接自己へと向けられる。おそらくはルターの意に反してだが、こうして良心から形式的で権威的な神の威光がはぎ取られたことは、良心がそれまで持っていた神聖さを失わせ、次なる時代の良心、言うなれば神の声ならぬ人の声としての良心を準備することになる。

啓蒙主義の時代に良心は完全に神の手を離れ心理学的な対象となるが、心理学の発生論的な考え方は、良心の根源を神ではなく人間の発達や社会化に求めた。イギリスにおける良心の歴史を研究した柘植尚則は、この時期に社会的称賛への欲求が良心の根拠として導入されたことで、良心の「後退への道が開かれた」と指摘している (柘植 2003)。すなわち、キットシュタイナーの言葉を借りれば、これは良心の近代化であると同時に、「良心の価値を低下させる」ことでもあった。

2.2 ふたつの自由主義

このように、倫理学の歴史は、15世紀以降の長い近代化の歴史のなかで、普遍的な価値としての倫理がますます解体されていく過程でもあった。すなわち、政治、経済、社会のすべての局面における価値の多様化にともなう、規範の相対化という流れである。

このような相対化の流れは、社会科学や人文学のすべ

ての分野に及んでいる。事実、倫理学の分野に限らず、およそ20世紀以降の社会科学や人文学の歴史は、いかに普遍的価値についての言及を注意深く避けて理論を構築するかという試みの歴史でもあった。しかしこれは、必ずしも市場に主導された自由主義の弊害とばかりは言い切れない、十分に説得力のある根拠を持っている。というのも、ポストモダンをそのひとつの到達点とするようなきわめて相対主義的な世界認識は、西欧白人社会を絶対的な参照点とした価値序列意識の上に構築された旧来の社会科学との、真摯な対決の歴史と重なっているからである。

巨視的にみるならば、こうした相対主義への流れは、ふたつの自由主義、すなわち政治的自由と経済的自由の発展の不可避の結果として描くことができる。ひとつは、中世の身分制度からの解放であり、いまひとつはその結果台頭した市民層による経済的自由の獲得と、それが生み出した資本主義のもとでの自由な経済活動の隆盛である。

15世紀から始まった大航海時代とそれにとまなう新しい世界システムの形成は、16世紀に宗教改革をもたらした、17世紀の市民革命を経て人びとを古い権威から政治的に解放していった。まず、政治における古典的な自由への要請が、王政下のイギリスで、国王といえども侵害することの出来ない権利の主張として展開した。市民革命後にジョン・ロックやジョン・スチュアート・ミルなどの啓蒙思想家によって展開された初期の自由主義思想は、その当然の要求として、民主主義や平等主義などの政治的な要求とならんで、規制されない市場経済を求めたが、これは革命を主導した都市の市民層に受け入れられることになる。いわば、政治的自由は経済的自由をひきつれて歴史の舞台に登場したのであり、これが資本主義を中心とした世界経済を成立させる。

もちろん、こうした変化の背後には、16世紀から17世紀におこった商業革命によって商人を中心とした都市の市民勢力が伸長したという背景があるのであり、政治的自由と経済的自由のどちらが先に歴史に現れたのかを決定することは難しいが、それは大きな問題ではない。重要なことは、政治的自由と経済的自由が連理の枝のように一体となって発展したということである。

そうした時代の変化に応答するかたちで、ヒューム、スミス、ファーガソンらの18世紀のスコットランドの啓蒙思想家を中心に自由主義が、イギリスでベンサムらによって功利主義が体系化されていったが、これらはすべて近代における倫理の相対化への大きな流れを準備し

たのである。自由主義は定義上価値の多様化へ向かう契機をはじめから内包していたし、功利主義は価値の具体的な表現には興味を示さず、そこから得られる快(利得)だけを問題にしたため、質の異なるあらゆる喜びが快(利得)という共通の尺度で測られることになった。かてて加えて功利主義は、「何が快(利得)であるか」を人間が知っていることを前提にしている。したがってそこには神の声が入り込む余地はなく、すべては人の声のもとに判断されることになったのである。

このような流れにたいして、カントの義務論は特異な輝きを放っている。カントは、倫理的行為を功利主義のように結果で判断することは出来ないと考えた。功利主義に代表されるような帰結主義は、行為の善し悪しを結果から考えるが、帰結主義の論理を徹底するかぎり、その結果もまたそれ自体として善いものではなく、別の何かにとって善いものでなければならぬ。たとえばある食品の使用が倫理的に善いと言われるとき、それはその食品が「健康のために善い」ということである。しかしでは、健康はなぜ善いと言えるのか。仮にこの問いに「長生きするために善い」と答えたとしても、やはり長生きすることはなぜ善いのかという問いが残される。行為を結果の尺度で測る帰結主義は、この連鎖を終わらせることが出来ない。カントは、こうした終わりのない連鎖の一部だけを抜き出すことで倫理的な善し悪しを判断することの欺瞞を批判したのである。

これにたいしてカントは、「それ自体として善いもの」つまり自己目的であるような倫理的義務が存在すると主張する。カントにとってそれは「善き意志をもつこと」、つまり誠実の義務である。これは絶対的な義務であって、たとえ自らの命を奪おうとする相手に対してであっても、これをやぶることは正当化され得ない。したがってカントは、倫理的義務は「～ならば」という条件節を持たないと考え、定言命法に基づいた無条件の行為を要求するのである。

このような無条件性は、キリスト教の倫理のように「良心＝神」による審判を仰ごうとするものではなく、「良心＝理性」の審判を仰ごうとするものであり、いわば神亡き後にふたたび「内面の法廷」を打ち立てる試みであった。しかしこの試みは、成功しなかったと言って良い。カントの名声に反して彼の義務論は、自由主義と帰結主義が結びついた近代倫理学の相対化への大きな流れをとどめることは出来なかった。ニーチェにしてもフロイトにしても、もはや良心を普遍的な価値にもとづいて人びとを審判する声であるとはみなさず、社会的な

要請の内面化であるとしか捉えなくなっていくのである。

2.3 世界システム

倫理学のこうした変遷に対して、国民国家の成立とその弱体化が果たした役割を無視することはできない。

ウォーラーステインが述べているように、国民国家は、政治的に一元的な世界帝国から政治的には多元的な世界経済へと世界システムが移行するのにもなって、新しいアクターとして要請された。世界システムにおける国民とは、グローバルな分業体制の単位であると同時に、利益と所有の単位でもある。国民は「自国民の利益＝ナショナル・インタレスト」に基づいて思考するため、宗教的にも政治的にも、世界帝国で共有されたような共通の普遍的価値が国家間で共有されることはなくなった。

20世紀に入って自由主義や民主主義が国家間、とりわけ西側諸国に共有される価値となるが、これはそれ自体が相対主義的な価値体系であって、キリスト教的な「良心による審判」や、カント的な「内面の法廷」といった普遍的価値を共有するものではなかった。もっとも、ベネディクト・アンダーソンが指摘しているように、国民国家内部ではいわゆる公定ナショナリズムによって価値が統合されていき、それは20世紀のなかばに全体主義というもっとも極端な形態にまでたどりつくが、結局のところそれは、戦後のネオリベラリズムやポストモダニズム、一連のラディカル・○○イズム(たとえばラディカル・フェミニズム)のような揺り戻しを招聘し、さらなる価値の解体と相対化を導くことになったのである。

こうして、現代の国際社会において、レンクが楽観的に述べたような「どんな文化に属する人間であれ、われわれに共通に人間性が義務として課せられているという根本問題」としての倫理を考えることはますます困難になりつつある。

2.4 技術による支配

倫理学の相対化においてももうひとつ重要な契機として、科学技術の台頭と、それにもなう技術による人間の支配を挙げる必要がある。産業革命以降、技術はますます複雑になり、技術の使用によって人類が世界に与えることの出来る影響力はますます巨大になっている。

ここから、人類に技術を制御するだけの資格があるのかという問題について、いくつかの懸念が表明されてきた。マルティン・ハイデガーやイヴァン・イリイチらは、技術は人間によって生み出され、管理されるものである

という一般的な理解に対して、技術は自律的に発展するものであり、人間はそのために動員されているにすぎないという理解を提示している。

このような悲観的な見方が完全に正しいかどうかは別にして、多くの人々にとって技術がもはや理解困難なほどに複雑化し、巨大化していることは間違いない。第一に、高度に専門化し、かつ複雑化した現代社会の技術は難解であり、一般の人々はそれを理解することが出来ない。第二に、技術の使用とその帰結との因果関係は、きわめて複雑な経路をたどるためこれまた一般の人にはそれを理解することが出来ない。第三に、技術の影響力はあまりに巨大であり、われわれはそれを実感として想像することが出来ない。これらのことから第四に、技術の実際の使用と、その妥当性の検証は、専門家に任せべきだというテクノクラシーが支配的となり、それは一般の人々の技術への無関心を醸成した。以下の章では、とりわけこの点について概観する。

3. 3.11と技術中心時代の倫理

技術中心時代における倫理学の嚆矢、少なくともその本格的な嚆矢は、マルティン・ハイデガーによってつけられたとっていいだろう。ハイデガーの技術観が、その後のハンナ・アレント、ギュンター・アンダース、ハンス・レンク、ハンス・ヨナスといった、この問題に取り組んだ一連のドイツの哲学者に受け継がれ、あるいは批判されながら、現代社会における技術について真摯な考察の流れを引き継いできた。3.11にともなう原発事故においても、その直後からハイデガーやアンダースの議論は盛んに参照された。しかし残念ながら、原発事故をめぐる倫理的な議論は、ハイデガー以来の考察に十分に応えるものとはなっていない。

3.1 技術と人間の調達

ハイデガーは、技術を単なる目的に対する手段として因果関係的に理解することを批判した。技術は確かに道具を含んでおり、道具は確かに手段である。したがってそのかぎりでは、技術にはたしかに目的論的な側面が認められる。しかし、それは技術の本質ではない。技術の本質は、それによって「なにかをそこに在るようにすること」、すなわち、「まだ存在していないなにかを存在するようにすること」である。これは、開蔵と呼ばれる。

ハイデガーによれば、ギリシア時代の「制作(ポイエーシス)」や「技術(テクネー)」は、まさにそのような

ものとして理解されていた。たとえば家や船は、それが技術によって存在させられるまでは存在していなかったものであり、逆にいえば、そのようにしてなにかを存在させること、開蔵することが、技術の本質なのである。

しかしハイデガーは、現代社会における技術を、それまでの開蔵以上のものとして区別する。それは、それまでの技術が「なにかをそこに在るようにすること」であったのに対して、現代技術はそのために自然を「取り立てる/徴発する」からである。ハイデガーがこれを述べたとき、彼がすでに「鉱石はたとえばウランのために、ウランは破壊あるいは平和利用のために放出される原子エネルギーのために調達される」ことに言及していたことは、とりわけ現代社会にとって示唆的であったといえるだろう (Heidegger 1954=2013: 27)。

しかし、ハイデガーにとってより重要であったのは、現代社会の技術が人間自身をも取り立てるの対象にしてしまうということであった。人間は技術を使用する主体であると通常は考えられる。しかしハイデガーによれば、人間は技術を主体的に使用しているように見えるが、実際には人間自身が、自然から取り立てるために技術によって調達されているのである。彼はこれを「集-立(Ge-stell)」と呼んでいる。現在、われわれは市場における労働者を「人材」と呼んで、人間を技術の主体ではなく客体として扱うことに完全に慣れてしまっているが、ハイデガーは、人材あるいは人的資源という用語がそのうちに含んでいる不気味さに、もっとも早くから気づいていたのであった (Heidegger 1954=2013: 32)。

くわえてハイデガーは、この「集-立」が科学的知識と密接に結びつくであろうことも予見していた。というのも、ほかならぬ自然科学こそ、人間が自然を「取り立てる」ための眼差しを準備したものだからである。したがって科学的知識は、人間の主体的な営みの結果成立したというよりも、人間が自然から取り立てるように調達された結果なのである。

この、人間が技術に調達されるという側面に特に注目して議論したのがイヴァン・イリイチである。イリイチは、産業主義的な技術がそれを使用することを人間に強いる構造に着目し、それが人間をコンヴィヴィアルな在り方から遠ざけると批判している。コンヴィヴィアルティとは「人間的な相互依存のうちに実現された個的自由であり、またそのようなものとして固有の倫理的価値をなすもの」 (Illich 1973=1989: 18) として定義されるが、これは人間が調達される対象となることで人間の本来の姿を見失うことの危険性を説いたハイデガーの

警告とも重なってくる。

こうした問題は、人間を倫理的に困難な状況へと追い込むが、しかしそれは、人間の倫理的な破綻を意味するとは考えられていないことに注意が必要である。では、問題はどこにあるのだろうか。

3.2 技術中心時代における倫理的問題の所在

ハイデガーやイリイチの技術観の大きな特徴は、技術中心時代の倫理的な問題を、人間の側ではなく技術の側に、より正確に述べるならば技術と人間の構造的な関係性に求めた点にある。すなわち、技術中心時代の倫理的問題は、人間の倫理的な破綻によって生じるのではなく、技術と人間の関係から、不可避的に生じると考えたのである。

たしかに、両者がこの問題を解決するために導き出した回答はかなり異なっていた。イリイチが、技術と人間の間を変えてしまうこと、場合によっては技術（の一部）を捨てることさえ厭わなかったのに対し、ハイデガーは技術と人間の間の中にこそ、それがもたらす問題を乗り越える鍵があるとみなしていた。ハイデガーは、ヘルダーリンの「危険のあるところ、救うものもまた育つ」という言葉を引用することで、技術と人間との関係のなかには、「集 - 立」とは異なる開蔵への道もまた開かれていると述べている。

いずれにしても重要なことは、技術中心時代の倫理的問題は、もはや人間の側だけに属するものではないということである。したがって、「人間がどうあるべきか」という問いだけでは不十分なものであり、問われなければならないのは、技術と人間の構造的な関係の在り方なのである。

それでは、3.11、とりわけ原発事故についての倫理的な議論は、こうした課題に応えられていたのだろうか。

3.3 原発事故をめぐる倫理的な批判

筆者はかつて、原発事故が日本の思想界でどのように論じられたかを分析したが、その結果は興味深いものであった。原発事故は、第一に戦争、そして第二にヒロシマのアナロジーによって理解・批判されていたのである（田淵 2013）。

第一に原発事故は、その「災害の原因を生み出したりその危険性を隠蔽した者たちを探し出し、糾弾し、処罰すること」（酒井 2011: 27）への要求として批判された。原発の推進やその危険性の隠蔽は、とりわけ米国の核戦略への迎合と追従という文脈に置き換えられ（たと

えば、高橋 2011）、批判は常に原発と戦争を結び付けるかたちで進展したのである。

第二に、この戦争のアナロジーは、必然的に先の大戦の極点であったヒロシマへと向かった。たとえばガヴァン・マコーマックは、原発事故を1945年の原爆投下と同じカタストロフによって特徴づけられていると述べているし（McCormack 2011: 199）、関曠野は、「帝国主義国家化の帰結としてのヒロシマ」と「戦後の工業化の帰結としてのフクシマ」を、明治政府による国家の帝国主義的支配と、資本主義エリートによる国家の私物化という、同様の道徳的破綻の結果として描きだした（関：2011: 47-8）。同様にミシェル・フェルネクスも、「戦争用であれ商売用であれ、原子力エネルギーはただ一つの技術からきているのであり、この二つのそれぞれに係わる産業はシャム双生児のように結び合わされている」と述べ、原子爆弾が「人々を殺し、傷つけ、燃やし」たことと、福島第一原子力発電所に事故を引き起こすに至った「原子力の平和利用」という「言葉の罠」を、同様の欺瞞として糾弾している（Fernex 2012: 107-8）。

このように、原発事故についての倫理的な議論は、この事故に責任を負うべき何者かの倫理的破綻として理解され、そのような個人へ向けた倫理的批判として展開された。しかしすでに述べてきたように、価値が相対化され、倫理が個人的な問題ではなく構造的な問題となっている技術中心時代において、こうした批判は適切ではない。ハイデガー以来の倫理的課題に、原発事故をめぐる倫理的な議論は、十分に答えるものとはなっていないのである。

4. 倫理学の機能不全

以上述べてきたように、近代世界システムにおける価値の相対化と、技術の支配は、普遍的な価値の否定と同時に、そもそも「価値について考察すること」から人々を遠ざけてきたのである。これこそが、現代の社会において倫理について考察することを困難にしている最大の要因である。3.11にともなう原発事故は、とりわけその困難さを露呈するものであった。

倫理学が、「〇〇すべき」あるいは「〇〇してはならない」というように、価値にもとづいて行為を命じる学問であると単純化することが出来るとして、価値が相対化された社会においては、そもそも望ましい行為の根拠を定める価値を特定することが出来ない。そのため、現代社会においては、肯定であれ否定であれ、倫理を全称文で述べることは不可能になりつつある。現代の社会に

において倫理学は徹底的に個別化、特称化されている。それゆえ、原発事故をめぐる倫理的な議論も、結局は倫理的に破綻した個人へ向けた批判という従来の枠組みを超えるものにはなっていないのである。

現代社会において、倫理学は機能不全を起しているともいえるが、それでは現在の倫理学の抱える具体的な問題とは、どのようなものだろうか。さしあたり、以下の三点について検討しておきたい。

4.1 価値の貨幣形態の問題

価値が相対化し個別化した社会において、なお倫理学として機能する枠組みは、すべからず功利主義的であらざるを得ない。というのも、すでに述べたように、功利主義だけが、「快（利得）」という媒介をつうじて、異なる価値を共通の尺度で測ることを可能にしているからである。

利得とは、様々な倫理的価値にたいする貨幣形態のようなものである。本来質的にまったく異なるものを共通の尺度で測ることが出来る。貨幣が、たとえば野菜という商品と、家事代行というサービスのようなまったく質的に異なる二つのものを等置することが出来るように、利得は、極端な例をあげれば殺人と人命救助のようなまったく異なる行為でさえ等置することが出来る。価値の相対化した時代に共通の倫理的「場」を設定するためには、このような価値の貨幣形態を導入せざるを得ない。とりわけ、倫理が技術の文脈からしか語れなくなっている現在、技術もたらす利得とコストのリスク計算を可能にする功利主義は、倫理学のほとんど唯一の有効な枠組みになりつつある。

しかし、3.11の経験はあらためてそのことの妥当性を考えさせるものであった。レンクも指摘しているように、自由主義と功利主義に基づいた個人の倫理では問題の解決ははかれないことが露見したからである。しかし、ここまで価値が相対化した社会において、功利主義に陥らずになお普遍的な倫理を模索することは、容易ではないだろう。

4.2 倫理的主体の問題

レンクは、フィッシャー・ファビアン『良心の力』から、驚くほど勇敢に良心の声にしたがった事例を引用している。そのなかからいくつかを紹介しよう。たとえばこんな具合である。

チロル出身の兵士ワルター・クラジンは、ある

部隊に配属された。その部隊には、フランス人人質を射殺せよとの指揮官の命令が下った。クラジンは、指揮官の命令よりも自分の良心の命令を重くみた。彼が告白したように、彼の良心では、無防備な人間を殺すのはできないことである。命令が繰り返されたにもかかわらず、彼は服従を拒んだ。そのために軍法会議にかけられ、同僚の銃弾により命を奪われた。(Lenk 1997=2003: 16)

あるいは「もっとよく知れ渡っている現代の例」として、次のような話も紹介されている。

ロシアからの亡命者で有名な作家のレフ・コーペレフ (Lew Kopelew) は、1945年初頭にソヴィエト軍人たちが東プロシアでドイツ人住民に加えた残虐行為に抗議した。彼は、この不当行為に異議を申し立てるべく出頭することで証明した勇気のために、ほとんど10年間に及ぶ捕虜収容所と刑務所での強制収監という報いを受けるはめになってしまった。「『私は、ただひたすら自分自身の良心に釈明する責任を負っている。私はもうこれ以上恐れたくない。私は自分の行いを恥じる必要がないように、いつも行為したい。』これが彼の信条である。」(Lenk 1997=2003: 16)

ここに挙げられているような良心にもとづいた行為が素晴らしいものであることには異論の余地はないだろう。しかし現代では、ファビアンのあげているような良心、つまり善き動機は、それに引き続く善き行為を保証しない。そもそも人類の歴史において英雄的な忠誠心や宗教的な使命感が惨劇を生み出すことは決して珍しくなかった。十字軍や新大陸における「明白なる使命」を例に挙げるまでもなく、善き動機（ではないにしても少なくとも積極的な動機）が善き行為をもたらさなかった例は枚挙にいとまがない。

20世紀以降についていえば、悪名高い絶滅政策や原子爆弾の投下でさえ、必ずしも明白な道徳的破綻によってもたらされたとは言えない。ハンナ・アレントは、ホロコーストを主導したとされるアドルフ・アイヒマンが、いかに小役人的な小物であったかを描いているし

(Arendt 1965=[1969] 2012)、前出のギュンター・アンダースは、広島に原子爆弾を投下したパイロットであるクロード・イーザリーが、組織の歯車に過ぎなかったことを明らかにしている (Anders and Eatherly

1961=1987)。

アンダースは、アドルフ・アイヒマンの息子に宛てた公開書簡の中で、「こちらに父親、あちらにアイヒマン」があり、その二人の人物が到底同じ人物であったとは思えないであろうと述べているが、それは「父親としてのアイヒマン」か、大量虐殺を主導した「あのアイヒマン」のどちらが本物のアイヒマンであったかという話ではない。問題なのはどちらも本当のアイヒマンであったということだ。父親としてきわめて良心的人物であったろうアイヒマンが、絶滅政策を主導した「あのアイヒマン」であったところに最大の危機が存在する。

この傾向は、現代の技術中心時代においてはなお顕著である。われわれの時代は、ただ悪しき動機に基づいていないというだけではなく、明白に善き動機に基づいていても、それが破滅的な結果を生み出すことは珍しくないからである。

速度社会の問題、医源病の問題などに取り組んだイヴァン・イリイチは、もし人類に破局がもたらされるとすれば、それは悪意を持つ者によってではなく、善意の産業によってであろうと予言している。また、原子力によってすでに現前している破局の可能性に人類が無関心であることを批判したジャン＝ピエール・デュピュイは、以下のように述べている。

今や怖れるべきは数々の悪意よりも、むしろ国際原子力機関のような「全世界の平和、衛生、繁栄」を保障することを任務とする組織体なのだ。敵対する相手側をひたすらこの上なく不吉なものとして描き出そうとする反核運動の人々は、そうすることで自分たちの批判力が弱まっていることを理解していない。私たちを脅かす巨大な機械を操作する人々が、有能かつ誠実であるということのほうをはるかに深刻なのだ。そのような人たちは自分たちが非難されていることを理解できない。

(Dupuy 2005=2011: viii) 」

すでに述べたように、ストア派は良心を「内なる審判の場」として定義したが、その審判に胸を張って耐えられる人々が、現代の技術中心時代の諸問題の原因を生み出していることを、われわれは理解する必要がある。レンクは、誰もが良心の呼び声に従えば、「第三帝国のような現象はけっして起こらなかったであろう」と述べているが (Lenk 1997=2003: 17)、それはナチス・ドイツの理解として間違っているだけではなく、現代の我々に

とってはますます的外れとなっているのである。

4.3 道徳的直感の問題

最後のひとつは、われわれが良心にもとづいて行動するにしろしないにしろ、そもそもどのようにすればことの「善し悪し」を判断できるのか、われわれの倫理的な判断は本当に信頼に足るのかという問題である。

倫理的な善し悪しを判断するのが理性であるのか直観であるのかは倫理学の主要な問題であり続けてきたが、道徳的直感による道徳的判断の後に、理性的推論が行われるというのが、現代の倫理学の大まかな合意と云っていいだろう。ジョナサン・ハイトによれば、人間の道徳的直感、成長過程において規範の学習が始まる以前に(すなわち先験的に)発達するため普遍的であるが、そうして直感的に得られた道徳内容は、のちに学習と経験によって書き換えられていくため、そこに文化や社会ごとに異なった規範が生じるという (Haidt and Craig 2006)。ハイトは、人間の道徳判断においては、まず道徳的直感が作動して善悪の判断を行い、しかるのちに道徳的推論が作動して理由付けを行うと述べているが (Haidt 2001, 2008)、高井の研究は、咄嗟の道徳判断においては直感が優先するものの、時間をかけて考察した場合には推論が優勢となることを示している (高井 2010)。

高井の研究では、いわゆる「トロッコ問題」を用いて、同じような道徳的ジレンマ状況において、微妙な状況設定の違いによって学生の回答にどのような差が出るかを検討している。たとえば、「暴走するトロッコの先に五人の人間がいて、彼らを救うためには橋の上から太った人間を突き落してトロッコを止めるしかない場合に、太った人間を突き落すことは正しいかどうか」と、「暴走するトロッコの先に五人の人間がいて、彼らを救うためにはポイントを切り替えてトロッコを別の線路に誘導するしかないが、別の線路の先には一人の人間がいて動くことができない場合に、トロッコを別の線路に誘導することは正しいかどうか」について、学生の回答を比較している。いずれも五人を救うために一人を犠牲にすることは正しいかを問う問題だが、後者よりも前者を「してはいけない」と考える学生が有意に多かったという。

この研究で興味深いのは、回答に要した時間によって判断が変化することである。回答に要した時間が長くなるほど、前者については「してはいけない」の度合いが弱まり、許容されるようになるのに対して、後者につい

ては「してもかまわない」の度合いが弱まり、否定的な評価になる。ここから高井は、判断にかかる時間が短いと道徳的直観が優勢であるが、時間が長くなると道徳的推論が優勢になり、当初の直観の不合理性が認識されれば道徳的判断は修正されることになる」と結論している。

これは大変興味深い結果ではあるが、しかし、技術中心時代においてこのよう道徳的推論を駆使することは出来ない。なぜなら、例えば太った人間を突き落とすという行為や、あるいは電車のポイントを切り替えるという行為がもたらす帰結を、いまやわれわれは「トロッコ問題」のようにシンプルには理解できないからだ。

第一に、技術中心時代では原因と結果の因果関係は複雑であり、「一人を犠牲にすることで目前の五人は助かるかもしれないが、その行為はどこかでより多くの人々の犠牲を招くことになり、結果的には五人を見殺しにしたほうが犠牲が少なく済む」という可能性を排除できない。つまり、ある行為の倫理的妥当性を、われわれは直感的にはおろか、推論してさえ容易に判断出来ないのである。

第二に、技術中心時代は高度な分業が進んでおり、「太った人間を突き落とす」役割を担う人物は、それが何のために行われるのかを知らないことが常である。分業による細分化によって全体のごく一部分についての行為しか担うことのない技術中心時代では、人はそもそも行為の結果を想像したり、その意味を考えたりすることは出来ないのである。これはアンダースが強調する「中間性の増大」とも深くかかわる問題である。

5. 技術中心時代の責任と関心

ここまで見てきたように、技術中心時代の諸問題が主体の倫理と切り離され、かつわれわれの道徳的直観も道徳的推論も複雑になりすぎた技術に対応しきれないという事実は、われわれの時代に特徴的なふたつの手法を要請することになった。すなわち、政治的(法的)に責任者を創り上げるとい手法と、倫理を良心ではなく関心の問題に置き換えるという手法である。

現代社会は、責任の主体を政治的に創造することで、特定不可能なはずの責任主体を特定し、それによって倫理的批判の対象となる主体を限定しようとしてきた。そのもっとも初期の、そしてもっとも典型的で強力な形態は監獄である。ミシェル・フーコーが述べているように、監獄とは、ある犯罪に責任あるはずの社会の構成員が、犯罪者にそれを押し付けることで自らの責任を忘却するための装置である。

同じ手法をほとんどあらゆる場面に適用することで、現代社会は、公的に責任をとる主体を創り上げる。だれに責任があるのかという問題は、関係する一人ひとりが自分で考えて決めるのではなく、社会があらかじめ政治的/法的/経済的に決定するようになっていく。責任主体としての病院が、老人の死への家族の責任を忘れさせる。責任主体としての塾が、子どもの教育への親の責任を忘れさせる。責任主体としての小売業が、消費期限についての消費者一人ひとりの責任を忘れさせる。

責任主体の創造は社会のあらゆる場所に根を張っており、そこではあらかじめ定められた責任者が、倫理からではなく「義務として」責任を負うことになる。「責任者は責任をとるためにいる」という使い古された言葉は、現代社会における責任がいかに個人の倫理から切り離されているかを如実に物語っている。

このように政治的に責任主体を創り上げる一方で、それ以外の多くの人びとを責任から、そして内面の法廷としての良心の声から解放する手段として、「関心」を強調するという手法が採用される。

新原道信は、技術が地球上のあらゆるものを結びつけている惑星社会において、これまで我が事とは思えなかった災厄が突然に我が身に降りかかることがある一方で、逆にいえばそうした災厄が我が身に降りかかるまでは、それらに対して実感を持つことが出来ない社会を次のように描写している。

私たちは、どこか遠くの「ささいな、とるにたらない、ありふれた、陳腐なもの (banality)」が、突然、我が身に深くかかわる「厄災」や「焦眉の問題 (urgent problem)」として、“わたしのことがら (cause, causa, meine Sache)”へと転変する社会に生きている。しかしそのことを実感できない。「まあたしかに、そういうことはあるかもしれないが、自分は大丈夫ではないか、そうであってほしい」と思って、そのことを考えるのはやめておく。(新原 2014)

たしかに、報道などをとおして巨大な社会問題に間接的に接したとき、私たちは「それはもう知っている」と感じる。そして、この「知っている」という状態は、「まだ知らない」人々に対するある種の優越感をともなって、状況に対して自らを正当化する重要な根拠となる。

「まずは知ることから始めよう」というのは、現代社会を特徴づけている重要な評語である。これはときに

もっと端的に「関心」という言葉に置き換えられて、人々を知ることへと駆り立てる。しかし、この関心への強迫観念は、「知ること」でほかのすべての倫理的義務から解放されるという特権と表裏をなしている。

現代社会において「知っている」ことは、ただ知識として「聞いたことがある」というに過ぎず、実際のところ、その帰結を切実な実感をともなって想像できている者は誰もいない。これはアンダースが「プロメテウスの落差」として述べたことであるが、もっと問題なのは、ただ実感として想像できないだけでなく、「知っている」ことが「想像できない」ことの正当化として機能していることである。現代人は、知ってさえいれば、あるいはその知識にもとづいて口先で反対を唱えていけば、実際にその帰結を想像できていなくても、またそれ故になんら行動することがなくても、赦されるのである。

6. 関心を超えて

以上、検討してきたように、技術中心時代の倫理学は、価値の相対化と、倫理の主体からの切り離しによって、機能不全に陥っているといえる。この機能不全を補うために、現代社会は義務として責任を負う政治的な責任主体と、それ以外の人々が責任から解放されるための精神的安定装置としての「関心」という手法を生み出した。

このため、原発事故についての倫理的な議論も、そのような限定された責任主体への批判と、それ以外の人々への「関心」の呼びかけを超えることが出来ていない。そして気づけば全国の原発は再稼働に向けて動き出し、われわれの社会の電力依存型の体質や、消費優先の経済制度はなにも変わらないまま残されている。ハイデガーが危機のあるところに育つといった「救うもの」はいまだ現れず、イリイチが主張したようなコンヴィヴィアルな社会が到来する様子もないままである。

現代倫理学は明らかに隘路に陥っているように思われるのである。それは、いずれ露呈するはずだった行き詰まりだが、3.11とその後の原発事故は、われわれが見ないようにしていたこの行き詰まりをはっきりと示し、われわれの技術中心時代の倫理は、ハイデガーの問題提起から一歩も抜け出していないことを明瞭に示したのである。

今後の倫理学の課題は、価値が相対化され、主体と倫理が切り離された現代社会において、そのような危機に耐え、かつ現実に機能しうる倫理学をどのように提示していくかということになるだろう。人々が関心を超えて自らの倫理を引き受けられるようなフレームを構想す

ることは容易ではないが、しかし、レベッカ・ソルニットも指摘しているとおり、災害時には、実際には人々は協力し合い、助け合って「災害ユートピア」を生み出していることを考えれば、倫理学の隘路は、人々がもはや倫理的でなくなったことを示しているわけではない。おそらく、人々は今も倫理的なのである。ただわれわれには、その原理が見えなくなっているだけなのである。

参考文献

- Anders, Günther, 1988, *Die Antiquiertheit des Menschen I*, Verlag C. H. Beck: München. (=1994, 青木隆嘉訳『時代遅れの人間・上』法政大学出版局.)
- , 1964, *Wir Eichmannsöhne: Offener Brief an Klaus Eichmann*, C. H. Beck: München. (=2007, 岩淵達治訳『われらはみな、アイヒマンの息子』晶文社.)
- , and Claude Robert Eatherly, 1961, *Burning Conscience: The Case of the Hiroshima Pilot* Claude Eatherly, Weidenfeld and Nicolson. (=1987, 篠原正瑛訳『ヒロシマわが罪と罰——原爆パイロットの苦悩の手紙』筑摩書房.)
- Arendt, Hannah, 1965, *Eichmann in Jerusalem: A Report on the Banality of Evil*, The Viking Press: New York. (= [1969] 2012, 大久保和朗訳『イェルサレムのアイヒマン——悪の陳腐さについての報告』みすず書房.)
- Dupuy, Jean-Pierre, 2005, *Petite Métaphysique des Tsunamis*, Éditions du Seuil: Paris. (=2011, 嶋崎正樹訳『ツナミの小形而上学』岩波書店.)
- Fernex, Michel, 2012, “De Retour au Japon” and “Aux Confrères Japonais.” (=2012, 竹内雅文訳「慢性的低線量被曝は何をもたらすか——日本の友人たち、そして医学者たちへ」, 『現代思想』40 (9): 107-13.)
- Haidt, Jonathan, 2001, “The emotional dog and its rational tail: A social intuitionist approach to moral judgment,” *Psychological Review*, 108(4), 814-834.
- , and Craig Joseph, 2006, “The moral mind: How five sets of innate intuitions guide the development of many culture-specific virtues, and perhaps even modules,” P. Carruthers, S. Laurence, and S. Stich eds., *The Innate Mind*, vol. 3.

- , 2008, "Morality," *Perspectives on Psychological Science*, 3(1), 65-72.
- Heidegger, Martin, 1954, "Die Frage nach der Technik," in *Vorträge und Aufsätze*, Verlag Günter Neske. (=2013, 関口浩訳『技術への問い』平凡社.)
- Illich, Ivan, 1973, *Tools for Conviviality*, Marion Boyars. (=1989, 渡辺京二・渡辺梨佐訳『コンヴィヴィアリティのための道具』日本エディターズスクール出版部.)
- 加藤尚武, 2013 [1997], 『現代倫理学入門』講談社.
- Lenk, Hans, 1997, *Einführung in die angewandte Ethik*, Kohlhammer. (=2003, 山本達・盛永審一郎訳『テクノシステム時代の人間の責任と良心:現代応用倫理学入門』東信堂.)
- McCormack, Gavan, 2011, "Hubris Punished: Japan as Nuclear State." (=2011, 佐野智規訳「罰せられた過信——核国家としての日本」, 『現代思想』39 (7): 109-13.)
- 新原道信, 2014, 「惑星社会のフィールドワーク——「景観」の背後の社会構造と人間の汗や想いをすくいとること」『Chuo Online』 (available at <http://www.yomiuri.co.jp/adv/chuo/opinion/20141027.html>, accessed 2014/11/1)
- 酒井直樹, 2011, 「『無責任の体系』三たび」, 『現代思想』39 (7): 26-33.
- 関曠野, 2011, 「ヒロシマからフクシマへ」, 『現代思想』39 (7): 44-48.
- 高井弘弥, 2010, 「道徳判断における直感システムと推論システムの関連」『武庫川女子大学大学院 教育学研究論集』Vol. 5.
- 高橋博子, 2011, 「『安全神話』はだれが作ったのか——ヒロシマ・ナガサキ・ビキニ・フクシマ」, 『現代思想』39 (7): 114-22.
- 田淵義英, 2013, 「災害思想についての予備的考察——原発事故と道徳的破綻の関係について」『東北都市学会研究年報』Vol. 13.
- 柘植尚則, 2003, 『良心の興亡:近代イギリス道徳哲学研究』ナカニシヤ出版.
- Jonas, Hans, 1979, *Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*, Insel Verlag: Frankfurt am Main. (=2010, 加藤尚武監訳『責任という原理:科学技術文明のための倫理学の試み』東信堂.)

組織論における合理性概念再考

The Rationality in the Organization Theory

若林晃央

福島工業高等専門学校 コミュニケーション情報学科

WAKABAYASHI Akihiro

National Institute of Technology, Fukushima College,

Department of Communication and Information Science

(2015年9月9日受理)

The purpose of this paper is to make clear the difference of interpretations about the rationality in the organization theory, and to discuss the potential of the organization theory. The rationality in the organization theory is classified into three types: 'objective rationality', 'subjective rationality', and 'explanatory rationality'. Real rational design aim at subjective optimum, but the organizational behavior does not necessarily aim at subjective optimum, and the organization itself does not necessarily aim at rational design.

Keywords: rationality, objective rationality, subjective rationality, explanatory rationality, free will

1. はじめに

近代以降の組織論では、組織とは目的を追求するための用具であると考えられ、組織が合理的に設計されたものであることは議論の大前提とされてきた。しかし、この「合理的」という言葉は、組織論に関する範囲だけでも様々な意味で用いられており、一意に確定されていない。つまり、これまでの組織論では、「合理性」や「非合理性」などの概念が何を指すのかが曖昧なまま、組織の合理性について議論されてきたのである。

本研究は、組織論における合理性概念の様々な解釈の違いを明らかにして類型化すると共に、組織論の可能性を論じるものである。

2. 多義的概念としての「合理性」

Simon [1997]は、「客観的に」合理的であることと「主観的に」合理的であること、「組織にとって」合理的であることと「個人にとって」合理的であることを区別し、「合理的」という言葉の複雑性を指摘している。しかし、Simon [1997]や March & Simon [1993]は、「客観的な合理性」に限界があることをもって「合理性の限界」と呼んでいることから、「客観的な合理性」、すなわち結果の最適をもたらす「真の」選択を、合理性という概念の基本的な意味として捉えていることがわかる。また、目的への手段の適合を合理性の本質と捉えており、目的は行為に先行することを前提とした理論の構築が行われている。

これに対して、Weick [1979]は、「合理性とは、見る人の目の中にあるものだ」(邦訳 p.29)と、合理性の主観性を主張する。「彼の目的およびそれをどれだけ意識的に達成しようとしたかが、合理性の最も明確で規定しやすい要素である」(邦訳 p.29)が、人数が多くなればなるほど一致をみることは困難であろうから、「大きな組織にはいついかなる時点でもいくつかの異なる矛盾した合理性が存在している」(邦訳 p.29)と述べている。さらに、March & Simon [1993]や Simon [1997]の合理的意思決定理論は目的が行為に先行することを前提としていたのに対して、行為が目的に先行することも十分考えられると述べている。

組織論の範囲ではないが、哲学者の間でも Weick [1979]と同様に合理性の主観性を主張する立場は多い。例えば、de Sousa [1980]は、「ゴールへの適切さは合理性の十分条件ではない」(p.129)と述べた上で、「合理的と評価されるのは、第一に個人であり、その人の意図的な状態である」(p.129)と主張している。Elster [1999]に至っては、「合理性という概念は徹頭徹尾主観的」(邦訳 p.170)であり、「目的が必ずうまく実現することを意味しない」(邦訳 p.170)と明確に主張し、「他人から見て最適と思われることに照らしてではなく、そうした自分の信念に照らして評価されなければならない」(邦訳 p.171)、と述べている。

以上のように、Weick [1979]や de Sousa [1980]や Elster [1999]など、行為者が合理的な行動を意図したという事実をもって、すなわち主観的に合理的に行動したという事実

をもって合理的と呼び、結果がどうなったかや、他者が見てどう思ったかは、合理性とは一切関係ないとする立場が存在する。

一方、高橋[2010]は、Weick [1979]が組織はかなりのエネルギーを割いていると指摘する、「自らの行動を説明するのにもっともらしい歴史を事後的に作っては変える回顧的なもの」こそが、生きている組織のなかでの合理性だと主張する。つまり、子供の屁理屈のように、「作り話でも何でもいから、その場を取り繕って、一応の納得を得られる言い訳を思いつけば、「合理的」なのである」(p.53)。高橋[2010]は、「未来の自分」も含めた他人にも説明できるような理屈を考えて、自分を納得させてきたと述べている。しかし、この「他人にも説明できる」か否かは、いったい誰によって判断されるのであろうか。恐らく、自分自身以外にないだろう。つまり、合理的か否かの基準は、自分が主観的に納得したかどうかであり、その説明で他者（「未来の自分」も含む）も実際に納得したかどうかで判断されるわけではない。逆に、仮に行為者本人が納得する説明が得られなかったとしても、つまり行為者本人にとっては合理的ではないのだが、その行動を説明した「つもり」になった人がどこかにいるならば、その人からは一方的に「合理的」と見なされることになる。他にも、田川[1994]が、「ある行為の理由づけが可能などとき、その行為は合理的と呼ばれる」(p.3)と述べている。

このように、合理性を事後的な説明の付与と考える立場もまた、哲学者にも見られ、例えば Solomon [1980]を挙げることができる。Solomon [1980]は、これまで情動が合理性の阻害要因と考えられてきた中で、「情動は合理的である」と反論しているが、どのような意味で「合理的」という言葉を用いているのだろうか。Solomon [1980]によると、情動は、自然発生するものではなく、「判断」に付随するものであり、「選択」されるものである。例えば、「もし私が何らかの不正がなされたと信じなければ、私は怒ることができない」(p.257)。このように、「情動を持つことは、自分の置かれた状況についての規範的な判断を持つことなのである」(p.258)。そして、Solomon [1980]は、「情動は判断である」という点を強調する。判断は行為であり、行為は世界を変えることを目指す。情動が判断であり、判断が行為であるならば、情動も行為であり、世界を変えることを目指す。ゆえに、情動は合目的な、「勝利をもたらす戦略」(p.264)である、と述べている。Solomon [1980]は、情動がこれまで非合理的と考えられてきた原因の1つとして、情動は短期的目的への反応であることを挙げている。情動は、個人の合目的な行動に適合しているという

意味で合理的である。しかし、短期的目的は長期的目的と衝突することがあるため、長期的目的から見ると合目的的ではなく非合理的に見えるのだというのである。すなわち、Solomon [1980]は、長期的目的とは衝突するとしても、(短期的) 目的に適合していると説明できる点をもって、情動を「合理的」と呼んでいるのである。

かつて、Weber [1921-1922]は、目的を追求するための用具として、合理的に設計された組織の理念型を「官僚制」として提唱し、「他のいかなる形態より純技術的に優越している」(邦訳 p.33)としている。そこには、合理的に設計することで、最適な結果を導くことが示唆されていると言える。その一方で、Weber [1922]は、予想した結果に従って、自分の目的のために手段として利用する「目的合理的行為」以外にも「合理的行為」の存在を認めている。Weber [1922]は、社会的行為を、「目的合理的行為」、「価値合理的行為」、「感情的行為」、「伝統的行為」の4種類に区分しており、前2者を「合理的行為」と呼んでいる。すなわち、Weber [1922]は、結果を度外視し、行為者が課せられていると思う独自の価値に従う行為に対しても、「価値合理的行為」として、「合理的」と呼んでいるのである。そして、予想される結果に基づく目的合理的行為と、結果を無視する価値合理的行為は矛盾するため、「目的合理性の立場から見ると、価値合理性は、つねに非合理的なもの」(邦訳 p.41)と述べている。Weber [1972]では、「合理的な価値尺度というのは、原理上無限に多く存在しうる」(邦訳 p.331)のものであり、合理性という概念が多義的であることも述べている。しかし、Weber [1922]は、「感情的行為」と「伝統的行為」に対しては、意図的に「合理的」と呼んでいない。伝統的行為は「無意識の反応に過ぎぬ」(邦訳 p.39)と述べており、感情的行為もまた「無思慮な反応」(邦訳 p.40)と述べており、共に熟慮なき行為と見なしていることが要因である。そして、価値合理的行為とは「行為の究極目標が意識的に明確化され、終始、それを目指していることで区別される」(邦訳 p.40)と述べている。

このように、合理性が複数存在することを主張する立場には、他にも Evans & Over [1996]を挙げることができる。Evans & Over [1996]は、合理性には2種類あることを指摘し、1つ目を「個人の目標に到達するのに、おおむね信頼できかつ効果的な方法で行われる思考、発話、推理、意思決定、または行為」(邦訳 p.10)と定義して「合理性」と呼び、2つ目を「規範理論が許可する理由があるときの思考、発話、推理、意思決定、または行為」(邦訳 p.10)と定義して「合理性」と呼んでいる。

3. 合理性の3類型

以上のように、「合理性」概念は様々な意味で用いられてきたが、以下の3つの立場に大きく分類することができる。1つ目は、所与の目的の達成に結果的に最適だったことをもって「合理的」と呼ぶ立場であり、本研究では「客観的合理性」と呼ぶ。2つ目は、行為者にとって主観的に最適な行動をとったことをもって「合理的」と呼ぶ立場であり、本研究では「主観的合理性」と呼ぶ。3つ目は、ある人にとって納得できる説明が事後的に思いついたことをもって「合理的」と呼ぶ立場であり、本研究では「説明的合理性」と呼ぶ。以上の3つの合理性の意味の違いを、以下の5つの視点で明確にする。

1つ目の視点は、合理的行為の目指すものの違いである。ある行為が、「最善の選択」であることをもって合理的と呼ぶ立場と、「正当な理由」が説明されていることをもって合理的と呼ぶ立場に分けられる。

2つ目の視点は、合理性の判断の仕方の違いである。ある行為が合理的か否かは、誰が見ても納得するよう客観的に判断されるものだとする立場と、行為の当事者であれ行為の分析者であれ主観的に判断されるものだとする立場に分けられる。

3つ目の視点は、合理性の判断基準の違いである。特に、「客観的合理性」と「主観的合理性」では、どちらも最善を目指すか、最善かどうかを判断する基準が異なる。行為

に先行して掲げられた「所与の目的」を基準とする立場と、行為者の「個人的な信念」（独自の価値）を基準とする立場と、「どんな基準でもよい」から説明できたら合理的と見なす立場に分けられる。組織においては、組織目的と個人目的が一致しない場合がほとんどであるが、組織目的は「所与の目的」に、個人目的は「個人的な信念」に対応すると考えられる。

4つ目の視点は、合理性の判断時点の違いである。行為の「事前」に合理性を判断する立場と、「事後」的に合理性を判断する立場と、いついかなる時点で判断しても判断結果が変わらないような客観性を合理性概念に求める立場に分けられる。

5つ目の視点は、合理性の判断者の違いである。「行為者」が合理的と判断したら合理的と呼ぶ立場と、行為者の思惑とは無関係に「任意の個人」が合理的と判断したら（少なくともその人にとっては）合理的と呼ぶ立場と、「万人」が合理的と判断するような客観性を合理性概念に求める立場に分けられる。

以上、5つの視点から、3つの合理性の違いをまとめたものが、下の表である。なお、本研究の指摘する合理性の分類は、理念型として提示するものである。各分類内容は、大まかな特徴を指摘するに過ぎず、ここで取り上げた先行研究でさえも、各分類先の内容と完全に一致するわけではない。

表 3つの合理性の違い

	客観的合理性	主観的合理性	説明的合理性
「合理性」の意味	所与の目的の達成に結果的に最適だったこと	行為者にとって主観的に最適な行動をとったこと	ある人にとって納得できる説明が事後的に思いついたこと
主な先行研究	Weber [1922]の「目的合理性」 March & Simon [1993] Simon [1997]	Weber [1922]の「価値合理性」 Weick [1979] de Sousa [1980] Evans & Over [1996]の「合理性」 Elster [1999]	Solomon [1980] 田川[1994] Evans & Over [1996]の「合理性」 高橋[2010]
目指すもの	最善の選択	最善の選択	正当な理由の存在
判断の仕方	客観的判断	主観的判断	主観的判断
判断基準	所与の目的	個人的な信念	どんな基準でも可
判断時点	いつでも	事前	事後
判断者	万人	行為者のみ	任意の個人

ここで、「客観的合理性」の立場は、「合理的か否かは客観的に判断することができる」という前提に立っていることが指摘できる。このため、その合理性は、前述のように、「いついかなる時点で判断しても判断結果が変わらないような」ものであり、「万人」が合理的と判断するようなものでなければならない。これに対して、「主観的合理性」と「説明的合理性」の立場は、このような前提に懐疑的である。「主観的合理性」の立場は、判断時点は事前的判断のみで有効とし、判断者も行為者の判断のみで有効としている。「説明的合理性」の立場は、判断時点は事後的判断のみで有効とし、判断者も任意の個人の判断のみで有効としている。

結果の最適をも求める「客観的合理性」は、Evans & Over [1996]も指摘するように、物理的に不可能なことを人間に要求するものである。Simon [1997]は、このような客観的な合理性は制約されているが、「組織によって、個人が客観的な合理性にある程度近づくことが可能になる」(邦訳 p.144)と述べているように、「客観的合理性」に近づく手段としての「組織」の意義を主張した。しかし、「組織」における人間行動が、少なくとも「個人」よりは「客観的に」合理的であるとさえ、本当に言えるだろうか。何より、不可能なことができないからといって、果たして合理性に問題があると言えるだろうか。人間の合理性が制約されているというよりは、March & Simon [1993]やSimon [1997]が、「合理性」という概念に多くを要求し過ぎていているように思われる。

「説明的合理性」の立場に従うと、合理的設計というものは問題にならなくなる。合理性は事後的に付与されるものであり、設計の段階で付与されるものではないからである。

現実の組織の合理的設計は、「主観的合理性」の意味での、主観的に合理的な設計である。ただし、行為者の個人的信念に従った主観的な最適を求める「主観的合理性」に従うと、行為者の本音を聞き出さない限り、合理的なのか非合理的なのか判断できなくなるという問題も指摘できる。非合理的としか思えない行動も、その観察者の知る価値から見ても非合理的に思えるに過ぎない。行為者の価値観次第では合理的な判断の結果として選択された行為かもしれないが、価値観の異なる他者が非合理的だと一方的に決めつけることはできない。Elster [1999]は、行為者の価値観によっては「将来的に自己破滅へとつながる行動であっても最善の選択でありうる」(邦訳 p.173)と主張する。例えば「リンゴよりミカンが好きなのは非合理的だ」とは言えないように、個人の価値観それ自体は、どんなものであ

れ、非合理的だということにはならないのである。

本研究では、「客観的合理性」の立場の代表者としてSimonを挙げているが、「客観的合理性」は彼が経済学的前提への批判対象として挙げたものであり、彼の信じる現実の人間行動は、むしろ「主観的合理性」に近いものである。ただし、March & Simon [1993]やSimon [1997]は、現実の人間行動が「客観的合理性」ではないことを指摘してはいても、合理的か否かを「客観的に」判断できるという前提については批判していない。そういう意味では、Simon自身の立場は、厳密には「客観的合理性」と「主観的合理性」の中間に位置するとも言える。

それでは、なぜSimonは、March & Simon [1993]やSimon [1997]において、自分の信じる主観的な合理性を差し置いて、自分の信じていない経済学的な合理性を「合理性」と呼んだのだろうか。つまり、なぜ「客観的な合理性の限界」ではなく、「合理性の限界」と呼んだのだろうか。March & Simon [1993]やSimon [1997]は、既に確立した近代的な理論(経済学)の理想的行動を基準に議論をしようとしたため、ただの「合理性」という概念を用いたと考えられる。だとすると、本研究における「客観的合理性」は、前述のような「結果の最適」を意味すると直接的に理解する解釈以外に、(結果の最適を求める)「既に確立した近代的な規範や理論」を意味すると解釈することもできるかもしれない。

4. 行為の分類

Searle [2001]は、「合理的な意思決定を営むには、自由意志が前提されねばならない」(邦訳 p.14)と指摘する。単なる知覚のように、選択の余地のない場合、つまり自由意志が存在しない場合には、「合理性もなければ不合理性もない」、「合理的な評価の域外にある」行為である。その上で、「合理性が存在しうるのは、不合理性が可能となるときにかぎられる」(邦訳 p.26)、と述べている。合理性および不合理性が可能となるときは、自由意志が存在するときだということである。

Searle [2001]の指摘を受け入れるならば、あらゆる行為は、「合理的行為」、「不合理的行為」、合理的な評価の域外にあり「没合理的行為」とも言うべき行為の3つに分類されることになる。そして、この「不合理的行為」と「没合理的行為」を合わせたものが「非合理的行為」であり、あらゆる行為から「合理的行為」を除いた残余概念として理解することができる。ただし、行為者の自由意志を問題にするSearle [2001]の指摘は、本研究の「主観的合理性」の立場に従うことを前提にしたものであり、「客観的合理性」

や「説明的合理性」の立場に従うと、行為者の自由意志は問題にならなくなる。ここでは、「主観的合理性」の立場に従い、「合理的行為」と「非合理的行為」（「不合理的行為」および「没合理的行為」）の違いを明らかにする。

「没合理的行為」とは、合理的とは言えないが不合理とも言い切れない行為であり、自由意志が存在しない「選択なき行為」である。この典型は無意識の行為であるが、Elster [1999]によれば意図的行為も含まれる。このような意図的行為であるにもかかわらず「選択なき行為」と解釈される行為の例として、Elster [1999]は、漂流中の遭難者が耐え難い喉の渇きから海水を飲んでしまうような、抵抗できない欲求に強制された行為を挙げている。

Weber [1922]は、「感情的行為」を「無思慮な反応」として「非合理的」と呼んでいるが、それは全ての行為を分類するに際して、「合理的行為」か「非合理的行為」かの2択しか想定していなかったためであろう。このような前提に従うと、「合理的行為」に含まれない行為は、全て「非合理的行為」に分類されてしまうことになる。しかし、上記のように、「合理的行為」と「不合理的行為」とは別に「没合理的行為」という概念を考えるならば、「感情的行為」（「無思慮な反応」と「伝統的行為」（「無意識の反応」）は、「没合理的行為」に分類される可能性が高い。また、「価値合理性」についても、行為の目指す価値が絶対的価値へ高められて、自由意志に基づく選択が行われたとは呼べないような場合には、「合理的行為」ではなく、「没合理的行為」に分類されることになるかもしれない。

自由意志が存在しない全ての行為が「合理的な評価の域外にある」と見なされて「没合理的行為」に分類されるならば、「不合理的行為」は自由意志に基づいた行為であることになる。つまり、「不合理的行為」とは、自由意志に基づく熟慮をしながら、あえて不適切と認識した行為を選択した場合である。このような例として、Searle [2001]は、古代ギリシア人が「アクラシア」と呼んだ「意志の弱さ」の問題、すなわち「人が熟慮の過程を経て、よく考えた末の意思決定に到達した結果、あることを行う堅固で無条件の意図を形成したにもかかわらず、そのときが来ると、意志の弱さゆえにそれを行わないこと」（邦訳 p.241）を挙げている。

このような意味での「不合理的行為」が、一般的とは言えないが存在することを、Weber [1922]も、March & Simon [1993]とSimon [1997]も、「客観的合理性」の立場に従って「合理性」概念を用いてきた先行研究は見過ごしている。Weber [1922]は、「無意識の反応」（伝統的行為）や「無思慮な反応」（感情的行為）の存在を認めつつも、

熟慮した行為については、目的合理的行為か価値合理的行為のどちらかであり、いずれにせよ合理的行為としている。March & Simon [1993]とSimon [1997]は、客観的な合理性は制約されているとしつつも、全ての意思決定は（主観的に）合理的であることを前提としている。

5. 合理的に設計されていない組織

これまでの組織論では、組織は合理的に設計されたものであると考えられてきた。しかし、前述のように、「主観的合理性」の立場に従い、あらゆる行為を「合理的行為」と「不合理的行為」と「没合理的行為」の3つに分類し、合理的ではない行為の存在を認めるならば、合理的に設計されていない組織の存在も考えることができる。具体的には、「没合理的に設計された組織」と「不合理に設計された組織」である。

「没合理的に設計された組織」とは、自由意志が存在しないままに成立した組織である。例えば、「全体社会」のように意識的には設計されていない社会システムや、革命などで政治体制が変わったものの従来の制度をそのまま踏襲したケース、あるいはDiMaggio & Powell [1983]の指摘する「模倣的同型化」のケースなどが挙げられる。

「不合理に設計された組織」とは、熟慮の末に、あえて適切とは思えない設計をした組織である。例えば、本当は不必要と思いつつも、法律的制約や上層部の意向により、やむなく設立された組織が挙げられる。具体的には、管理職のポスト不足によって、ポストを創るために設立した部署や、正社員を解雇できないために、社内失業者を配属させるために創った部署などは、この典型である。設計者自身が適切ではないと自覚しているくらいだから、外部からは「ムダ」と非難される傾向にある。

しかし、これらの部署や組織は、不合理な設計ではあっても、無意味なわけではない。本当に無意味であれば、実現されていないはずである。このため、何らかの目的があって設立されたのであり、一見すると不合理だが、実は合理的な存在であると説明されることがある。これらの説明は、「説明的合理性」の立場から、後付けで設立の理由を説明するものである。正当な理由が後から認められることと、本来の目的に即して適切であることは、必ずしも一致しない。「主観的合理性」の立場では不合理だが、「説明的合理性」の立場では合理的と解釈される矛盾は、十分にありえるものである。

現実の意思決定では、良い意思決定を下すことよりも、合意を成立させることが大きな意味を持っている。特に、「日本の企業経営においては、決定は自分自身だけの意思

決定であるよりは、組織内の調整過程を含めた選択として行われることが多い(日置[2000] p.86)。そこでは、「よい意思決定を下すことよりも、合意を成立させることがより大きな意味を持つことになる」(日置[2000] p.86)。つまり、合意の成立のために、合理的とは言えない不適切な意思決定が熟慮の末に下されることもしばしばある。このような不合理性は、組織内での意思決定のレベルだけでなく、組織設計の段階にも入り込む余地がある。しかしながら、このような不合理性は、「説明的合理性」の立場による、合意形成の意義が後付けで説明されることによって、合理的行為と理解され、見落とされてきたのである。

6. 総括

以上のように、組織論における「合理性」という概念について、所与の目的の達成に結果的に最適だったことをもって「合理的」と呼ぶ立場(客観的合理性)、行為者にとって主観的に最適な行動をとったことをもって「合理的」と呼ぶ立場(主観的合理性)、ある人にとって納得できる説明が事後的に思いついたことをもって「合理的」と呼ぶ立場(説明的合理性)の3つに分類することができる。

そして、組織論における合理的設計は、主観的な最適を求めたものであることから、「主観的合理性」の立場に従うと、あらゆる行為は、「合理的行為」、「不合理行為」、「没合理的行為」の3つに分類されることになる。また、あらゆる組織も、「合理的に設計された組織」、「不合理に設計された組織」、「没合理的に設計された組織」の3つに分類されることとなる。

Merton [1957]は、合理的な設計されたはずの官僚制がかえって非能率を生み出す可能性を指摘し、Cohen & March & Olsen [1972]は、現実の組織における決定が必ずしも合理的とは限らない点を指摘したが、いずれも主観的な最適の追及が引き起こした結果の非合理性と考えられてきた。このように、これまでの組織論では、事後的な結果の非合理性の指摘はあっても、事前的には常に主観的には合理的であることを前提としてきた。しかし、本研究より、組織行動には、客観的な最適の実現は不可能であるだけでなく、主観的な最適の追求もなされない可能性、そして、組織自体もまた、必ずしも合理的に設計されているとは限らない可能性を指摘することができる。

参考文献

- ・ Cohen, M. D., March, J. G., and Olsen, J. P. [1972] "A Garbage Can Model of Organizational Choice", *Administrative Science Quarterly*, Vol.17, No.1, pp.1-25.
- ・ de Sousa, R. [1980] "The Rationality of Emotions", Rorty, A. O. (ed.), *Explaining Emotions*, University of California Press.
- ・ DiMaggio, P. J. and Powell, W. W. [1983] "The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields", *American Sociological Review*, Vol.48, No.2, pp.147-160.
- ・ Elster, J. [1999] *Strong Feelings*, The MIT Press (染谷昌義訳[2008]『合理性を圧倒する感情』勁草書房)。
- ・ Evans, J. St. B. T. and Over, D. E. [1996] *Rationality and Reasoning*, Psychology Press (山祐嗣訳[2000]『合理性と推理』ナカニシヤ出版)。
- ・ 日置弘一郎[2000]『経営学原理』エコノミスト社。
- ・ March, J. G. and Simon, H. A. [1993] *Organizations*, 2nd ed., John Wiley & Sons inc. (高橋伸夫訳[2014]『オーガニゼーションズ 第2版』ダイヤモンド社)。
- ・ Merton, R. K. [1957] *Social Theory and Social Structure*, revised ed., The Free Press (森東吾・森好夫・金沢実・中島竜太郎[1961]『社会学理論と社会構造』みすず書房)。
- ・ Searle, J. R. [2001] *Rationality in Action*, The MIT Press (塩野直之訳[2008]『行為と合理性』勁草書房)。
- ・ Simon, H. A. [1997] *Administrative Behavior*, 4th ed., The Free Press (二村敏子・桑田耕太郎・高尾義明・西脇暢子・高柳美香訳[2009]『新版 経営行動』ダイヤモンド社)。
- ・ Solomon, R. C. [1980] "Emotions and Choice", Rorty, A. O. (ed.), *Explaining Emotions*, University of California Press.
- ・ 高橋伸夫[2010]『組織力』筑摩書房。
- ・ 田川克生[1994]「経営管理の本質」林伸二・高橋宏幸・坂野友昭編『現代経営管理論』有斐閣。
- ・ Weber, M. [1921-1922] "Burokratie", *Wirtschaft und Gesellschaft*, J.C.B.Mohr (阿閉吉男・脇圭平訳[1987]『官僚制』恒星社厚生閣)。
- ・ Weber, M. [1922] "Soziologische Grundbegriffe", *Wirtschaft und Gesellschaft*, J.C.B.Mohr (清水幾太郎訳[1972]『社会学の根本概念』岩波書店)。
- ・ Weber, M. [1972] "Soziologische Grundkategorien des Wirtschaftens", *Wirtschaft und Gesellschaft*, 5th ed., J.C.B.Mohr (尾高邦雄編[1979]「経済行為の社会学的基礎範疇」『ウェーバー』中央公論社)。

- ・ Weick, K. E. [1979] *The Social Psychology of Organizing*, 2nd ed., Addison-Wesley (遠田雄志訳 [1997] 『組織化の社会心理学』 文真堂)。

bear, endure, tolerate, stand の対照意味分析

The Contrastive Semantics of 'bear', 'endure', 'tolerate', and 'stand'

鳥居 孝栄*

*福島工業高等専門学校一般教科

Kouei Torii

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of General Education

(20015年8月7日受理)

This paper offers a contrastive analysis of the meanings of 'bear', 'endure', 'tolerate', and 'stand.' The analysis was made based on the descriptions of these words in dictionaries and their actual uses in newspapers and other articles. The results of the analysis show that 'bear' means to support a weight or load or accept unpleasant behavior or circumstances without complaining, 'endure' means to suffer great hardship patiently for a long time, 'tolerate' means to suffer someone, something or unpleasant circumstances, or allow something unpleasant to be done without opposition, and 'stand' is often used in conversations and means to accept hardship successfully for a period of time.

Key words: contrastive, seriousness, period, tolerance, colloquial

1 はじめに

筆者は、ここ数年英語の類義語の意味分析に取り組んでいる。鳥居(2012)¹⁾では flourish, prosper, thrive を、鳥居(2014)²⁾では acute, keen, sharp を、鳥居(2015)³⁾では aim, goal, objective, target をそれぞれ分析した。今回は、日本語に訳した場合、同じように「耐える」の意味になる動詞 bear, endure, tolerate, stand を対象として、意味分析を試みる。

分析の方法はこれまでと同様で、まず辞書・辞典の記述から大きな見通しを立て、次いで実際に収集した用例から分析・考察をさらに推し進めることにする。

2 辞書・辞典の記述

ここでは、辞書の記述から、bear, endure, tolerate, stand の意味の違いについて、大きな見通しを立ててみる。参照した辞書は、小学館 Progressive English-Japanese Dictionary (1987)⁴⁾、小学館 Random House English-Japanese Dictionary (1994)⁵⁾、三省堂 The New Global English-Japanese Dictionary (1994)⁶⁾、研究社 New College English-Japanese Dictionary (1994)⁷⁾、大修館 Genius English-Japanese Dictionary (1994)⁸⁾、ベネッセ New Proceed English-Japanese Dictionary (1994)⁹⁾、桐原書店 Longman Dictionary of Contemporary English (1987)¹⁰⁾ の7つである。

まず、これら4語が、それぞれ何に耐えることを意味

するのか、耐える対象の違いに注目してみた。辞書の例文を比較していくと、対象は、意味的に大まかに分類できることがわかってきた。意味的に近いものは、できるだけ1つのグループにまとめて、最終的には、次の9つのグループに分類することにした。(1) から (9) に代表例文とともに示す。

「困難な状況」に耐える

(1) I can't stand this hot weather. (Genius)

「(嫌いな)人・物そのもの」に耐える

(2) How do you tolerate that stupid fool?
(College)

「行為」に耐える

(3) I cannot endure to listen to your complaints.
(Progressive)

「物理的力(重力、圧力など)」に耐える

(4) The ice on the lake will not bear your weight.
(Proceed)

「経済的負担」に耐える

(5) Who will bear the expense? (Proceed)

「精神的負担(責任など)」に耐える

(6) The captain of the ship bears a heavy responsibility. (Longman)

「医薬品、毒性など」に耐性がある

(7) Her hair won't tolerate another dyeing.
(Global)

「時の流れ」に耐える

(8) His plays have endured for more than three centuries. (Random)

対象を「明示しない」(耐えることそのものを表す)

(9) They endured to the end. (College)

4語のそれぞれが、これら9つのグループのうちどれを対象として使用可能かということと比較対照してみると、Table 1 のようになった。○は7つの辞書のいずれかに使用可能であるという記述があった場合、×はどの辞書にも使用可能の記述が無かった場合を示す。Table 1 から4語の違いを指摘すると、次のようになる。

(10) ① bear は、「困難な状況」、「人・物そのもの」、「行為」だけではなく、「物理的力」、「経済的負担」、「精神的負担」など広く様々な負担に耐えることを表すことが可能である。

② endure と stand は、「時の流れ」に耐えることを表すことが可能であるから、ある程度長期間耐えることを意味することが予想される。特に endure は対象を明示しない用法も可能であるから、耐えることそのものを意味することに力点があるとも考えられる。

(tolerate のみが「医薬品、毒性」に耐性があるという用法があることについては、理由が推測できない。)

次に、7つの辞書のうち6つに、これら4語の意味の違いについての記述が載っていたので、紹介しておこう。

(11) Progressive

bear, stand: 不愉快・悲しみ・苦痛などをがまんする

endure: ある期間にわたって相当な努力をして耐え抜く

Random

bear: 苦悩や苦痛に耐える意味の一般語

endure: 長期にわたって困難・不幸に負けずに耐えること

stand: bear よりくだけた語で、損失にもひるまず勇敢に耐えていく意味が加わる

Global

endure: 普通、長期間の我慢に用いる

tolerate: 「(寛大にも) 黙認する」の意味が強く、苦痛や困難には普通用いない

stand: bear よりくだけた語で、一向にへこたれないという感じが強い

College

bear: 苦痛・困難・悲しみ・不愉快などを我慢

Table 1 Comparison of objects of 'bear', 'endure', 'tolerate', and 'stand' in dictionaries

対象	bear	endure	tolerate	stand
困難な状況	○	○	○	○
人・物	○	○	○	○
行為	○	○	○	○
物理的力	○	×	×	×
経済的負担	○	×	×	○
精神的負担	○	×	×	×
医薬品、毒性	×	×	○	×
時の流れ	×	○	×	○
明示しない	×	○	×	×

する

endure: 長い期間にわたって苦痛・不幸・困難などに対して努力をして耐える

stand: 不愉快なもの・いやなものに対し自制的で我慢する

Genius

bear: 一般的な語

endure: (長期にわたって) 辛抱する、多少堅い語

stand: bear より口語的

Longman

endure is usually used only about something really serious; suggests pain that lasts for a long time

tolerate is used of people or behavior, but not of suffering

(11) の6つの辞書の記述から、4語の違いを推測すると、

(12) bear: 耐える意味の一般的な語

endure: 長期間にわたって深刻な困難に耐える

tolerate: 寛大に黙認する意味合いが強く、人や物に耐える場合は使用するが、困難な状況に耐える場合には普通使用しない

stand: 口語的な語で、困難な状況にもへこたれないで我慢し続ける

のようになる。

(10) や (12) について、実例からさらに考察していきたい。

3 実例からの考察

ここでは、2の辞書についての考察を踏まえて、収集した実例から、さらに考察を進めていく。実例は新聞(The Japan Times 以下 J. T.) や論説などから bear, endure, tolerate, stand いずれも 51 例収集した。

収集した用例をどういふ観点から比較考察していくかということであるが、まず、2において7つの辞書の記述から Table 1 のような違いがあることが予想されたわけであるが、実際の実例においては、7つの辞書の記述以外に使用可能な場合があるのかどうか、あるいは、それぞれの耐える対象の頻度は、4語によって違いがあるのかどうかという点を調べてみたい。さらに、2において推測された (10)、(12) について、すなわち、同じく耐えると言っても、「深刻な困難」に耐えるのか、「長期間」耐えるのか、「寛大に黙認する」という意味合いがあるのか、口語的表現なのか、という点について4語に違いがあるのかも確かめてみたい。

まず、収集した用例を Table 1 の枠組に従って分類・集計してみると、Table 2 のようになった。Table 2 から4語の耐える対象の大まかな傾向について指摘してみる。

- (13) ① 「困難な状況」は4語とも用例が多い。
Tolerate も辞書の記述とは違って、用例は多い。
- ② 「人・物」は tolerate が特に用例が多い。
- ③ 「行為」は bear が特に用例が多い。
- ④ 「物理的力」は bear には、残念ながら用例は見つからなかったが、辞書に記述のなかった stand に1例見つかった。
- ⑤ 「経済的負担」は、残念ながら用例は見つからなかった。
- ⑥ 「精神的負担」は、辞書の記述通り、bear に用例が多かったが、辞書に記述のなかった endure と stand にも用例が見つかった。
- ⑦ 「医薬品、毒性」は、残念ながら tolerate には用例は見つからなかったが、辞書に記述のなかった stand に1例見つかった。
- ⑧ 「時の流れ」は、辞書の記述通り、endure に用例が見つかったが、stand には見つからなかった。
- ⑨ 「明示しない」は、辞書の記述通り、endure のみに用例が見つかった。

(13) の傾向から4語の意味の違いについて考察してみよう。まず①、②、③より推察してみる。「困難な状況」

Table 2 Frequency of each object of 'bear', 'endure', 'tolerate', and 'stand' in actual uses

対象	bear	endure	tolerate	stand
困難な状況	19	38	31	28
人・物	3	1	9	6
行為	25	3	11	14
物理的力	0	0	0	1
経済的負担	0	0	0	0
精神的負担	4	1	0	1
医薬品、毒性	0	0	0	1
時の流れ	0	3	0	0
明示しない	0	5	0	0
計	51	51	51	51

は4語とも用例は相当数あるので、差はあまりないが、「人・物」は tolerate に特に用例が多く、「行為」は bear に特に用例が多い。tolerate は、辞書によっては、「困難な状況」は対象とはしないで、「人・物」そのものに耐えることを意味するという記述も見られたが、「困難な状況」を対象とする用例も相当数見つかったので、使用不可能ではなさそうである。(「人・物」そのものを対象とする用例が多かったという点は、辞書の記述に合致している。) bear は、「困難な状況」だけでなく「行為」を対象とする用例も多いので、他の3語より対象の範囲は広いことが予想される。次に、④、⑤、⑥、⑦より推察してみる。bear の「物理的力」、「経済的負担」、を対象とする用例は、残念ながら見つからなかったが、辞書に例文が載っているの、使用可能であることは確かであると思われる。「精神的負担」を対象とする用例も bear にはあるので、ここでも bear は他の3語よりは対象の範囲は広いと推察される。辞書に記述がなかった stand の「物理的力」、「精神的負担」、「医薬品、毒性」を対象とする用例と endure の「精神的負担」を対象とする用例が見つかったということは、用例の数が少ないので明言はできないものの、endure や stand も Table 1 よりは対象の範囲は広い可能性がある。tolerate のみが「医薬品、毒性」を対象に使用可能であるという点については、stand にも用例が見つかったので、明言はできないことになる。最後に、⑧、⑨より推察してみる。「時の流れ」は endure のみに用例が見つかったが、stand の例文は辞書に載っているの、stand も使用可能であることは、確かであると思われる。したがって、endure と stand

は、ある程度の期間耐えるという意味合いがあることが予想される。「明示しない」は、辞書の記述通り、endureのみに用例が見つかったことから、endureは耐えることそのものに力点があることが予想される。

以上、耐える対象の頻度の違いから4語の意味の違いについて考察してきたが、代表例をいくつか挙げておこう。

<「困難な状況」の代表例>

(14) Women played a vital part in the conquest and settlement of the West. They often endured hardship and danger with courage and fortitude.

(Richard Musman “Background to the USA” 金星堂 (1983) p.79)

(15) Planters argued that only workers from Africa could tolerate the conditions of labor necessary to produce cotton and other plantation crops.

(Robert H. Walker “American Society” 南雲堂 (1980) p.8)

<「人・物」の代表例>

(16) Although these Puritans sought religious freedom for themselves, they would not tolerate anyone whose faith differed from their own narrow beliefs.

(B. D. Tucker “Invitation to the History of Christianity” 弓プレス (1992) p.76)

(17) One young female (a little older than Fifi) showed a strong objection to the sexual advances of the rather fierce male Humphrey. She always attracted a large group of males when she became pink. But she simply could not bear Humphrey.

(Jane Goodall “In the Shadow of Man” 北星堂 (1994) p.77)

<「行為」の代表例>

(18) I took no more pleasure in the things I had enjoyed before: landscapes, flowers, music were empty. Indeed, I could not bear to hear music at all. It was years before I could listen to music.

(Pearl S. Buck “The Child who never Grew” 南雲堂 (2004) p.19)

(19) Nor is it uncommon to find students who

show their lack of public spirit by writing graffiti on lockers, or others, including girls, who speak so roughly that I cannot stand listening to them.

(Toshihiko Kobayashi “Thinking of Japanese Education” 英潮社 (1998) p.2)

<「物理的力」の代表例>

(20) Some investigators have found that the threshold of pain appears to be higher among primitives than among civilized peoples; that is, the former stood the pressures of an instrument longer before saying they felt pain.

(Raymond Firth “Human Types” 南雲堂 (1968) p.32)

<「精神的負担」の代表例>

(21) My mother, a widow, is practically destitute, and relies on me for financial help all the time. As I am not particularly well-off myself, this represents a tremendous pressure. Most of the time, I seem to be able to bear this burden with equanimity and good humor, but every now and then, the strain wears me thin.

(Yitta Herberstam & Judith Leventhal “Small Miracles” 金星堂 (2001) p.27)

(22) Women are not expected to enjoy sexual relations; these are a “duty” to be endured, for to refuse to have sexual relations within marriage is considered a mortal sin.

(Joan Y. Gregg “Communication and Culture” 桐原書店 (1988) p.18)

<「医薬品、毒性」の代表例>

(23) What happened to Carlos when he smoked? As a new smoker, Carlos went pass his tolerance for nicotine. He absorbed more nicotine than his body could stand all at once.

(Kaneaki Arimura, Haruyuki Sonobe, Anna Ford and Mari Kanba “Health and Society Today” 英宝社 (1997) p.65)

<「時の流れ」の代表例>

(24) That constitution has endured for two hundred years; it is now the oldest written constitution in history and, it is safe to say,

the most successful.

(Henry S. Commager “The American People”
英潮社 (1991) p.17)

<「明示しない」の代表例>

(25) Students are taught at an early age to endure by their teachers and parents. There is nothing wrong with this, but it is different from the behavior found in the west, where the individual has a right to speak up, criticize, and ask questions.

(Paul McLean “Gaijin Likes and Dislikes”
弓プレス (1989) p.14)

次に、(10)、(12) において推測された点について確かめてみよう。収集した用例の中から、特に「深刻な困難」に耐えることを表した用例、「長期間」耐えることを表した用例、「寛大に黙認する」という意味合いが強い用例、「口語的表現」の用例を抜き出して集計してみると、Table 3 のようになった。Table 3 から大まかな傾向を指摘してみると、

- (26) ① 「深刻な困難」に耐えることを表した用例は、endure が特に多く、stand にもある程度ある。
② 「長期間」耐えることを表した用例は、endure が特に多いが、stand もある程度の期間耐えるという例が相当数ある。
③ 「寛大に黙認する」という意味合いが強い用例は、tolerate のみで、しかも相当数ある。
④ 「口語的表現」の用例は、stand が圧倒的に多い。

のようになる。(26) から4語の意味の違いについて推察してみよう。まず、①、②から、endure は特に深刻な困難に、しかも長期間耐えるという意味合いが強く、また stand もかなり厳しい困難にある程度の期間耐えるという意味合いがあることが推測される。また、③から、tolerate のみは、寛大に黙認するという意味合いがあることが予想される。もちろん、単に耐えるという用例もあるので、両方の意味があると考えられる。さらに、④から、stand は口語的表現であることが推察される。そして、全体を通じて、bear は、Table 3 のいずれの項目にも特に著しい傾向は見られないし、(13) の傾向からの考察において、対象の範囲が広いことを指摘したように、耐えるということを表す一般的な語であるということが予測される。以下、代表例をいくつか挙げておこう。

<「深刻な困難」に耐えることを表す代表例>

(27) Consider that in three years Iraq has gone

Table 3 Frequency of “seriousness”, “long period”, “tolerance”, and “colloquialism” in ‘bear’, ‘endure’, ‘tolerate’, and ‘stand’ in actual uses

	bear	endure	tolerate	stand
深刻な困難	2	22	3	7
長期間	1	18	0	12
寛大な黙認	0	0	16	0
口語的表現	3	0	0	18

from enduring a brutal dictatorship to electing a provisional government, to ratifying a new constitution written by Iraqis, and to electing a permanent government last December.

(J.T. Friday, March 24, 2006 p.14)

(28) Malunkyaputta had a restless mind and his meditation was constantly disturbed by universal questions to which he felt he was entitled to have an answer from the Buddha. But every time he raised them, the Buddha shrugged them off without a satisfactory explanation. Finally he could stand the uncertainty no longer and went to the Buddha with an ultimatum: either he received a proper reply or he left the Order and returned to lay life.

(H. Saddhatissa “The Life of the Buddha” 弓
プレス (1984) p.50)

<「長期間」耐えることを表す代表例>

(29) Imagine leaving home with only a suitcase, planning never to return. Imagine crossing an ocean by sailboat, enduring many weeks of stormy weather.

(Carl Becker “American and English Ideals”
英宝社 (1991) p.36)

(30) Hers was a divorce case and from what I gathered she had been coaxed and browbeaten into an impossible marriage by her ambitious mother. She had stood it for four years and now had decided to put an end to it.

(Erich Fromm “Dream Interpretation” 英

宝社 (1974) p.77)

<「寛大に黙認する」という意味合いの代表例>

(31) Even the most moral regime, such as the Confucian shogunate of the Tokugawa period, was obliged to recognize that men could not be expected to live all the time in accordance with strict moral principles. It therefore tolerated the establishment of what were known as “bad places” (akusho) where men could go for their amusement.

(Donnald Keene “The Distinctiveness of the Japanese” 朝日出版社 (1983) p.64)

(32) A practised scanner can get through such a tome in about twenty minutes while standing in the shop, whose owners amiably tolerate such behaviour in readers from six to sixty, for in Japan bookstores are also public comic clubs and reading rooms.

(James Kirkup “Essays on Japanese Culture” 桐原書店 (1991) p.14)

<「口語的表現」の代表例>

(33) The Americans said, “We will not stand for our ships being stopped. The seas are free,” and declared war on Britain.

(Isabel Barclay “The Story of Canada” 南雲堂 (1981) p.54)

(34) “We must have security,” Vanessa weeps from time to time. “I can’t stand the uncertainty of it all! You must stop being a writer. Or write something different. Stop writing novels. Write for television instead.”

(Fay Weldon “Watching me, Watching you” in ‘Fascinating Voices in the British Fiction Today’ 三修社 (1993) p.63)

(35) bear : 広く一般的な負担、好ましくない行為、困難な状況などに耐えること

endure : 深刻な困難に長期間にわたって耐えること

tolerate : 人や物、困難な状況などに耐えたり、寛大に黙認すること

stand : 口語的な表現で、かなり困難な状況にある程度の期間耐えること

参考文献

- 1) 鳥居孝栄 : flourish, prosper, thrive の対照意味分析, 福島高専研究紀要, 53, pp. 149-153 (2012)
- 2) 鳥居孝栄 : acute, keen, sharp の対照意味分析, 福島高専研究紀要, 54, pp. 1-6 (2014)
- 3) 鳥居孝栄 : aim, goal, objective, target の対照意味分析, 全国高等専門学校英語教育学会研究論集, 34, pp. 1-10 (2015)
- 4) Progressive English-Japanese Dictionary (小学館, 1987)
- 5) Random House English-Japanese Dictionary (小学館, 1994)
- 6) The New Global English-Japanese Dictionary (三省堂, 1994)
- 7) New College English-Japanese Dictionary (研究社, 1994)
- 8) Genius English-Japanese Dictionary (大修館, 1994)
- 9) New Proceed English-Japanese Dictionary (ベネッセ, 1994)
- 10) Longman Dictionary of Contemporary English (桐原書店, 1987)

4 まとめ

以上の考察をまとめてみると、1) bear は広く一般的に耐えることを意味する、2) endure は特に深刻な困難に長期間耐えることを意味する、3) tolerate は人、物、困難な状況に耐えるという意味と寛大に黙認するという意味の両方を持つ、4) stand は口語的表現で、かなり厳しい困難にある程度の期間耐えることを意味する、ということになる。以上を踏まえて、最終的に bear, endure, tolerate, stand の意味の違いについて試案を提出する。

『マクベス』の翻案

Adaptations of *Macbeth*

石原 万里

福島工業高等専門学校一般教科

Mari Ishihara

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of General Education

(2015年10月21日受理)

The production of *Macbeth* starring Sasaki Kuranosuke, directed by Andrew Goldberg, produced by Parco Theatre in July, August 2015, was innovative in a sense that one actor played 20 roles including Macbeth. By comparing this production with other adaptations of *Macbeth*, I aim to show paradoxically how close this production was to Shakespeare's original version.

Key words: Shakespeare, *Macbeth*, adaptation, Andrew Goldberg

1. はじめに

2015年7、8月のパルコ・プロデュース公演『マクベス』は、主演の佐々木蔵之介が、主人公のマクベス以下20人の役を一人だけで演じた革新的な『マクベス』の「翻案」作品である。ここで、私は、あえて「翻案」という言葉を使ったが、本小論では、この作品が精神病患者が紡ぎだす物語という革新的な全く新しい『マクベス』作品となっているにも関わらず、逆説的に、シェイクスピアのオリジナル作品に近い事を、『マクベス』の他の翻案作品と比較しながら検証する。

2. 翻案とは何か

翻案とは、オリジナル作品を土台にして、異なる作品を生み出すことを言う。翻案の中には、原作の台詞にわずかに手を入れるものから、結末を全く変えてしまうような改作まで、その程度はさまざまである。シェイクスピアの改作として最もよく知られているのが、1661年のタイトの改作版『リア王』である。リア王が老年の苦しみを経て死んでいくシェイクスピアの原作とは違い、改作では、エドガーとコーディリアの恋物語が付け加えられ、リアが老年の幸せを享受する結末となっている。この改作は、観客に受け入れられ、17世紀から19世紀中頃まで、イギリスにおいて上演されることになる。

結末を大きく変えることはなくても、原作に数行付け加えた例もある。『マクベス』においても、俳優のギャリック (David Garrick) が、1748年にマクベスを演じた際

に、死に際の言葉を付け加えており、ケンプル (Kemble) もそれにならっている。⁽¹⁾ これは、主人公の最後があっけなさすぎると感じた役者が、観客がマクベスに共感をもつことができるようにと行った改訂である。

『マクベス』の映像版として、おそらく最も成功していると考えられている黒澤明監督の『蜘蛛巣城』は、舞台を日本に移し替え、登場人物の名前を変え、作品の流れにも少しずつ変化を加えているが、これは翻案の第一級作品と考えて良いだろう。日本の高校演劇の作品の中には中屋敷法仁作『贗作マクベス』と銘打った作品も存在する。この作品では、シェイクスピアの『マクベス』を上演しようとしている高校生達が、稽古をしながら、作品をどんどん好きなように変えていく過程が描かれることになる。この作品も、『マクベス』の作品に触発されて出来上がっている作品であり、翻案の一つと考えられる。

それでは、どの程度台詞を変更したら、またどの程度設定を変更したら翻案となるのだろうか？現代服シェイクスピアは、翻案には入らないのだろうか？そして、オリジナル作品通りとは何をもってオリジナル作品通りと言えるのだろうか？

まず、現代服シェイクスピアについて考えてみたい。現代服でシェイクスピアを上演するには、二つの全く異なる理由がある。一つは資金面で、17世紀イギリスの衣装を用意できなかった場合である。1970年代、出口典夫率いるシェイクスピアシアターは、ジーパンシェイ

クスピアと呼ばれ、当時の若者のファッションであったジーパンをはいた役者がシェイクスピアを演じていた。歌舞伎をジーパンで演じることは不可能だが、シェイクスピア作品は、現代語に通じる初期近代英語で書かれているため、ジーパンで演じてもおかしくは感じられない。現代服シェイクスピアの許容が、シェイクスピアを演じやすくしている。そうして、資金があるなしにかかわらず、現代服でシェイクスピアを演じる場合がでてくる。この場合は、シェイクスピアを自分たちが生きている時代に少しでも近づけたいとする意図が働いている。ロイヤル・シェイクスピア・カンパニー (Royal Shakespeare Company) は、シェイクスピアを演じる英国の王立劇団ではあるが、現代服のシェイクスピア上演が盛んである。現代服と言っても、第一次世界大戦前、1930年代、第二次世界大戦中、1970年代など、様々な時代の衣装を劇団として揃えている。日本でも、蜷川幸雄の演出するシェイクスピアは、現代服のものもあれば、日本の着物姿で演じるものまで様々である。以上述べたように、シェイクスピア作品は、さまざまな時代、さまざまな設定で演じられているが、現代服シェイクスピアは翻案とは呼ばない。それはなぜか。シェイクスピアが書いたままの台詞を使っているからである。登場人物の名前を変更することもない。

「NINAGAWA マクベス」は、1980年に日生劇場で初演を迎え、その後、1985年にはエディンバラで評判を博し、1987年にはロンドンのナショナルシアターに招待され、日本の蜷川を世界に知らしめた作品である。仏壇の舞台、桜の花は日本をアピールした作品であったが、その美しさは多くの人たちの心に残る芝居となった。「NINAGAWA マクベス」では、お雛様よろしく、安土桃山時代の髪型と着物に袴姿のマクベスとマクベス夫人がいるが、その衣装がおかしいと非難されることはない。蜷川幸雄演出のシェイクスピアは、蜷川の名前を冠して、日本でも、イギリスでも受け入れられてきている。そこには、翻案かどうかを問う必要はない。蜷川のシェイクスピアは、シェイクスピアのひとつの解釈として認められている。それは世界が、シェイクスピア作品そのものを認め、その幅の広さを享受しているからである。

一方、黒澤明監督の「蜘蛛巣城」は、『マクベス』を日本の戦国時代に移しているだけでなく、登場人物の名前を変え、魔女も能の安宅に出てくるような老婆へと変えている。武将鷲津武時(マクベス)と、三木義明(バンクオー)は、蜘蛛手の森で、老婆に会う。老婆は武時

は「今宵からは北の館の御殿様、やがては蜘蛛巣城の御城主」と不吉な予言をする。老婆はさらに、義明は一の砦の大将となり、子供はやがて蜘蛛巣城の御城主になるだろうと言う。武時の妻の浅茅(マクベス夫人)は、武時に向かって、義明が裏切ってその老婆の予言を漏らしたら、自分たちは身の破滅、北の館が危ないと言って、大殿殺しをそそのかす。浅茅は妊娠しており、その妊娠が、義明の子孫が蜘蛛巣城の主になることに、耐えられないという設定も付け加えられる。マクベスが自ら三人の魔女に会いに行き、未来を予言してもらった時には、予言が三つあった。「蜘蛛巣城」では、蜘蛛手の森が蜘蛛巣城に迫ってこなければ武時は敗れない、と予言は一つだけに限られ、森が動いていることに半狂乱になった武時は、敵と戦うこともなく、味方から弓を射られて命を落とすことになる。

『マクベス』は、シェイクスピアが書いた作品の中でも、劇的で、観客に好まれる作品であるが、作品をプロデュースする立場にいる俳優、演出家、映画監督にとっても想像力を掻き立てられる作品である。翻案とは、原作に手を加えて作りだされた別の作品であるが、設定を変え、言葉を付け加えて行くことで、シェイクスピアの作品というよりも、ギャリックの、蜷川幸雄の、黒澤明の、中屋敷法仁の作品となっていく。

3. スコットランド・ナショナル・シアター版 『マクベス』

2015年にパルコ劇場で上演された『マクベス』は、2012年スコットランド・ナショナル・シアター (The National Theatre of Scotland)版『マクベス』の日本公演である。ジョン・ティファニー (John Tiffany)とアンドリュー・ゴールドバーグ (Andrew Goldberg)の共同演出、アラン・カミング (Alan Cumming)主演で、グラスゴー公演のあと、ニューヨーク公演を行っている。日本公演では、アンドリュー・ゴールドバーグが単独で演出し、主演は佐々木蔵之介である。一人の役者が主人公のマクベスを含めて20人の人物を演じるために、いくつかの演出上の工夫がある。

第一の工夫は、この作品が精神病棟にいる一人の男が紡ぎだす物語になっていることである。観客が最初に目にするのは、緑色のタイルの壁のヴィクトリア朝の精神病棟の中の一人の医者と一人の看護婦と一人の名もなき男である。男が血のついた服を脱ぎ、病院が用意した白の病院服に着替えると、二人は階段を上って、出て行き部屋に鍵がかけられる。舞台奥の壁には、大きな監視

窓があり、医師が姿を現し、患者を観察する。このようにして、医師が見つめ、観客が見つめる出口のない病室の中で、男はシェイクスピアの『マクベス』を一人で語り始める。佐々木蔵之介演じる狂人の男は、ある地点まで歩いて行きくると振り返り、違う人物になったり、落語のように、顔の向きを右と左に変えることだけで、二人の人物の会話を成立させたりする。その変わり身が面白くて、最初は役者の身体と台詞の違いの面白さに、観客だった私は集中していった。

第二の工夫は衣装、大道具、小道具である。もちろん、精神病棟であるから、病院服以外の衣装もなければ、病院付随以外の大道具もない。あるのは、簡易ベッドが三つ、診察台とテーブル、いくつかの椅子、そして洗面台にトイレとバスタブである。マクベス夫人の登場は、バスタブに漬かる夫人がマクベスからの手紙を読む所から始まる。濡れた髪をなでつける動作、水に濡れた身体は、それまで演じられていたマクベスや他の男性とは異なり、生々しく観客の目をとらえてしまう。バスタブから上がり、マクベスとマクベス夫人が会話を交わす場面では、たった一枚のバスタオルが男から女への変化を表していた。タオルはマクダフの城の急襲の時にも、夫人や赤ん坊を表すのに効果的に使われていた。小道具としては、狂人が看護師に取られまいと必死に守った紙袋には、人形が入っており、この人形はマルカムになる。精神病院に限定したことで、他に大道具、小道具もないことから、狂人の語る物語に、自然に観客が耳を傾けることになる。

第三の工夫としては、モニターによるクローズアップがある。舞台上部には、三台のモニターが設置され、常時患者の状態をカメラが監視していることが強調される。カメラは、ズームアウトして患者の病室での動きを写し出す時もあれば、ズームインして顔の表情を、しかも前から左から右からの表情を写し出す時もある。三人の魔女のシーンではこのクローズアップが効果的に利用されていて、三つのモニターに交互に三人の魔女が映っているかのような感覚に襲われる。ダンカン殺害のシーンでも、このモニターは大きな効果をもたらしていた。ダンカン殺しを躊躇するマクベスと、マクベスを叱咤するマクベス夫人のやり取り、そして、殺害の後、もう眠りがなくおびえるマクベスの顔にのみ光があたり、クローズアップされた表情に観客の目が奪われていた。その瞬間、狂人マクベスの叫び声とともに、電気がつき、狂人が手を見ると、手が血で真っ赤にそまっていた。

観客は、狂人が、精神病棟の中にある小道具のみを使って紡ぎ出す物語に耳を傾け、その姿を、医師や看護婦と同じように、患者が閉じ込められた部屋の外から、時にはモニターを使ってクローズアップしながら、眺める。それは趣向として目新しいだけに留まらない。シェイクスピアの『マクベス』の解釈を浮き彫りにする試みでもある。

4. ひとりマクベスのドラマ

ひとりマクベスが、『マクベス』上演にとって画期的であった理由として、魔女とマクベス夫人とマクベスの関係について、そして、マクベスの「今日性」について考えてみたい。

三人の魔女は、マクベスが「コーダーの領主」「将来は王となるお方」と予言する。マクベスはそれを聞いて、自分はもしかしたら王になるのではないかと思いはじめ始めるが、功績をあげたマクベスが、自分の未来に関して、ふっと自分の心の奥底にある野心に気づいてしまったという解釈もある。三人の魔女の扱いは、舞台によって異なるが、マクベスの心の内を代弁する超自然的存在と考えることができる。それは、幕あきの台詞からも明らかである。三人の魔女は、*Fair is foul, and foul is fair. Hover through the filthy air.* (1.1.9)「きれいは汚い、汚いはきれい」または、「良いは悪いで悪いは良い」という言葉を残して消えていく。F音が重なる、耳に心地よいこの台詞は、魔女の世界においては、価値観が反転することを教えてくれる。それに対し、マクベスは、*So foul and fair a day I have not seen.* (1.3.38)「これほど、良くも悪くもある日は初めてだ」と言いながら観客の前に初めて登場することになる。まるで、すでに魔女がマクベスに乗り移っているかのような錯覚を覚える。なお、魔女に接触するという時点で、マクベスは魔女の一味であるとする解釈もある。つまり、魔女はマクベスの分身となる。このプロダクションでは、狂人はマクベスを演じ、三人の魔女を演じるが、魔女がマクベスの内面に潜む野心である考えれば、マクベスが魔女を同時に演じてもよいことになる。

野心を自覚してしまったマクベスは、手紙でそのことを妻に打ち明けると、妻はその夢の実現に向かって行動を開始しようとする。ダンカン王の殺害に躊躇する夫マクベスをマクベス夫人は叱咤する。

Macbeth: If we should fail?
Lady: We fail? (1.759-60)

マクベス もししくじったら、俺たちは？
マクベス夫人 しくじる、私たちが？
 (第一幕第七場)

翻訳家の松岡和子氏は、この *we* に注目して、この夫婦は、二人で一人であることを強調している。彼らは共犯であり、いつでも夫唱婦随であった。そして、シェイクスピア作品の主要人物の中で、名前を持たずに *Lady Macbeth* と呼ばれるのは、マクベス夫人ただ一人なのである。劇の前半は主導権を握っていたマクベス夫人が、劇の後半では夢遊病者となっていく、マクベスとマクベス夫人が立場を逆転していく。これもまた、この二人が二人で一人であることの現れである。

マクベスと魔女が、そしてマクベス夫妻が複数でありながら、お互いを補完する存在であることを考えると、ひとりマクベスは、この芝居のテーマを具現化したとも言える。

『マクベス』は、『リチャード三世』とあらすじにおいては、良く似ている。主人公は、権力を握ろうと罪を犯し、一度権力の座につくと、その権威を脅かす相手の殺害を繰り返し、最後には破滅する。だが、マクベスには、木下順二が使った言葉をそのまま使うと「今日性」がある。²⁾ダンカンの死が明らかになった、次の日の朝のマクベスの台詞は以下の通りである。

Had I but died an hour before this chance,
I had lived a blessed time, for from this instant
There's nothing serious in mortality;
All is but toys; renown and grace is dead,
The wine of life is drawn, and the mere less
Is left this vault to brag of. (2.3.92-97)

こんなことになる一時間前に死んでいれば、私は幸せな生涯を送ったと言えただろうに。今からはこの世に大切なものなど何ひとつない。すべてはガラクタ同然。名誉も人徳も死に絶えた。いのちの酒は汲みつくされ、この丸天井の下の酒蔵に残っているのは澱ばかり、誇れるものは何もない。

(第二幕、第三場)

表向きは、ダンカンの死を悼む一人の臣下の言葉であるが、もちろん、マクベスが罪を犯してしまった自分に向けて話している言葉である。そして、この時から、マクベスは自分の人生が自分のものではないような感情を絶えず持ち続けることになる。自分で生き方を決定

し、自分で自分の人生を引き受けてゆかなくてはならなかったのに、マクベスの中で、矛盾が起こっていく。行動している自分を、もう一人の自分が見つめているような、感覚に付きまといわれることになる。

マクベスの最後の独白は、作品の中でも一番有名で、多くの作家が引用しているが、ここにあげたいと思う。

Tomorrow, and tomorrow, and tomorrow,
Creeps in this petty pace from day to day,
To the last syllable of recorded time;
And all our yesterdays lighted fools
The way to dusty death. Out, out, brief candle,
Life's but a walking shadow, a poor player,
That struts and frets his hour upon the stage,
And then is heard no more. It is a tale
Told by an idiot, full of sound and fury
Signifying nothing. (5.5.18-27)

明日も、明日も、また明日も、
とぼとぼと小刻みにその日その日の歩みをすすめ、
歴史の記述の最後の一言にたどり着く。
すべての昨日は、愚かな人間が土に還る
死への道を照らしてきた。消えろ、消えろ、
束の間の灯火！

人生はたかが歩く影、哀れな役者だ、
出場のあいだは舞台上で大見得を切っても
袖へ入ればそれきりだ。
白痴のしゃべる物語、たけり狂うわめき声ばかり、
筋の通った意味などない。(第五幕第五場)

権力を握った瞬間に、眠りを殺してしまったマクベスは、自分の人生そのものも失ってしまった。人生は影であり、意味などない白痴のしゃべる物語にすぎない。罪を犯した人物が破滅への道をたどるという点で、リチャード三世とマクベスは似通っているが、リチャードが、殺害した多くの人たちに呪われていて、誰も自分を愛してくれないと言って人生を終えていくのに対し、マクベスは、自分の人生を常に見つめ、そして自分の人生の意味を見いだせず、絶望感にさいなまれていく。

佐々木蔵之介演じる狂人が、マクベスを演じるこの作品は、舞台の上で入れ子構造になっているが、その狂人がどんな罪を犯して、この精神病棟にいるのかを観客は知らない。しかしながら、狂人が演じたマクベスが彼自身の物語なのか、そうではないのかが分からな

いところに、この演出の面白みがあるのかもしれない。行動と想いが乖離してしまったマクベスを、狂人がたった一人で演じている。狂人は、ひたすらマクベスの話を演じ、自分自身の中にある自分を見つめようとしている。その人生は自分の人生のようであり、他の人の人生のようにも感じられる。『マクベス』は内省のドラマである。マクベスに「今日性」があるのは、このひたすら内省を繰り返す態度にある。自分の人生が、役者の演じる人生に過ぎない、白痴のかたる意味もない物語だとの境地に至ったマクベスの物語を、狂人が語る物語にしたことで、この「翻案」は『マクベス』のドラマを浮き彫りにしている。

5. まとめ

多くの翻案が、状況、設定を変化させることにより、場面や言葉を付け足していくことになるのに反して、この作品は、シェイクスピアの台詞に言葉を付け加えることよりも、その言葉をそぎ落としていくことで、テーマを浮き彫りにしている。医師と看護師は観客が聞き取れるほどの台詞はほとんど発することはない。彼らは、マクベスが幻覚を見てショックを受けている時に、かけつけ、鎮静剤を打って、患者に向かい、眠りが必要、とつぶやく。これはマクベス夫人の言葉である。この作品は、シェイクスピアが書いた台詞を再構成して出来上がったのである。マクベスをたった一人で演じるというこの革新的なマクベスは、大道具も小道具も、そして役者も最小限にすることで、逆にマクベスの内省のドラマを描いているのである。

狂人の最初の言葉が、「いつまた会おう、三人で」という魔女の言葉であり、狂人がバスタブでおぼれてしまったのではないかと思いき駆けつけた医者と看護師により、命を吹き返した狂人が、最後につぶやくのも、「い

つまた会おう、三人で」である。円環は、芝居がまた同じように続いていくかの錯覚を観客に与えるが、シェイクスピアの仕掛けた魔女の呪いは、狂人マクベスに、人生の謎を考え続けさせることになるのである。

注

- 1) *Macbeth The Arden Shakespeare*, ed. Sandra Clark and Pamela Mason 2015参照。尚、英文と幕割、行数もこの版による。日本語訳は、松岡和子訳『マクベス』シェイクスピア全集3 筑摩書房 1996を使用している。
- 2) 木下順二 『マクベス』を読む 岩波ブックレット No. 228 (岩波書店、1991)

参考文献

- 1) 尾形敏朗 巨人と少年 黒澤明の女性たち (文藝春秋、1992)
- 2) 高校演劇 Selection 2004上 (晩成書房、2004)
- 3) 松岡和子 すべての季節のシェイクスピア (筑摩書房、1993)
- 4) Michael Mullin. “Macbeth on Film” *Literature Film Quarterly* 1 (1973)
- 5) Mark Brown. “Macbeth, National Theatre Scotland, Tramway Glasgow, review, (17.6.2012) Web.
- 6) Raymond J. DiSanza, ‘One Man Plays Many Parts: Looking back on Alan Cumming’s Mostly One-man *Macbeth*’ in *This Rough Magic*, Vol. 5, No. 1, (June 2014)
- 7) マクベス公演パンフレット (パルコ劇場、2015)
- 8) NINAGAWA マクベス公演パンフレット (Bunkamuraシアターコクーン、2015)

デカルトの「自然哲学」としての宇宙論について

On the Cosmology as Natural Philosophy in Descartes

笠井 哲

福島工業高等専門学校一般教科

Akira Kasai

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of General Education

(2015年8月17日受理)

The purpose of this paper is to consider the cosmology of Descartes, and to elucidate that it is natural philosophy. The cosmology of Descartes is vortex kinetic theory of the components of the space which was made to support the Copernican theory. It is developed based on circle kinetic theory. His vortex cosmology is the following theory. It is thought that all vortexes campaign in the outer space is the circle motion of object constituting space. Vortex cosmology based on this circle kinetic theory establishes the foundation for the Copernican theory.

Key words: Descartes, natural philosophy, vortex cosmology, circle kinetic theory

1. はじめに

本稿の目的は、デカルトの宇宙論を考察し、それが「自然哲学」であるのを、明らかにすることである。デカルトは、『方法序説』第五部第1段落を、次のように始める。「このまま話をつづけ、以上のような最初に見つけたいくつかの真理から演繹したほかの真理の鎖をここでそっくりお見せしたら、私はどんなにうれしいでしょう。しかし、このもくろみを実際にやり遂げようとする、いくつかの問題を話すことがいま必要になってくるでしょうが、それらの問題は学者たちのあいだで論争中で、私は学者たちと仲たがいはしたくないので、そういうわけで私は、このもくろみはさしひかえ、そうした真理がどんなものなのかをただ全般にわたってざっと言うほうがいいたるうと思えます。一般の人がもっと個々にくわしく知らされるのが役に立つかどうか、もっと賢明な人たちに判断してもらうためです。私は神の存在と魂の存在を論証するのにいま使ったばかりの原理のほかにはどんな原理も想定しないという決意をかため、またむかし幾何学者の論証がはっきりして確かだと思われた以上にはっきりして確かだと私に思われないものは何ひとつほんとうのものとして受け入れないという決意をかためていましたが、その決意を私はいつもしっかりと持ちつづけてきました」¹⁾。

続けて同じ段落の後半部分で、デカルトは自分が「自然学」において極めて重要な成果を修めていることに言及し、段落を改め次のように述べている。「しかしある〈論文〉のなかでその主だったものを説明しようとしてつとめましたので、いくつかのことを考慮して発表できないのですが、その主だったものを知っていただくためにはその論文の内容をここでかいつまんで述べるのがいちばんいいでしょう」²⁾。

そして『方法序説』第六部、第1段落の冒頭に、次のように書いている。「ところでいまから三年まえになります、私はこれらのことをみなふくむ論文を書きあげて、印刷屋の手に渡すために、見なおしはじめていましたが、そのときつぎのようなことを知ったのです。つまり私が敬服するかたがたで、私自身の理性が私の考えに力を及ぼすのにほとんど劣らず、私の行動に力を及ぼす権威を持つ人たちが、ほかのある人によって少しまえに発表された〈自然学〉の意見(引用者註:地動説)を否認したということです。私は自分も同じ意見だなどと言うつもりはありませんが、ただつぎのことは言っておきたいのです。つまり私は〈宗教〉にも〈国家〉にも有害だと想像できるような点も、したがって、もし理性によって私が納得したならば、その意見を書く妨げになるような点も、その人たちの検閲のまえには、何ひとつそこに気がつきませんでしたし、

またそんなわけで私のいろいろな意見のなかにもやはり、自分が何か勘ちがいをしたばあいがありはしなかったかと心配になったのです。私はひじょうに確かな論証が持てなければ新しい意見はひとつも信じこまないように、まただれかの不利益になるおそれのある意見は書かないように、いつも細心の注意をはらってきたにもかかわらず、おそれたのです。このことだけでも、私は自分の意見を公表しようとしてきた決意を変えないわけにはいきませんでした³⁾。

この引用が、ガリレオの「第二次裁判」を念頭において書かれたものであることはいうまでもない。ガリレオの「第二次裁判」のニュースは、すぐに当時デカルトが住んでいた新教国オランダにも伝わった。デカルトは慎重に構え、『宇宙論 または光についての論稿』の発表を差し控えたのである。デカルトは、自分が「地動説」を採っていることを、公言することを極力制止している。ただし、デカルトは、「その主だったものを知っていただくためにはその論文の内容をここでかいつまんで述べるのがいちばんいいでしょう⁴⁾」と述べ、『方法序説』第五部を、彼の宇宙論と人間論の概要の叙述に充てている。

2. デカルトの渦動宇宙論

デカルトの宇宙論は、渦動宇宙論と性格づけられている。『方法序説』第五部の第2段落において、デカルトは彼の渦動宇宙論の概要を述べている。デカルトの渦動宇宙論は、彼の地動説と双対の関係にある。デカルトの宇宙論の基幹は、彼の地動説である。『方法序説』においては、すでに物体を延長実体とする考えが確定しており、アリストテレスの形相概念はデカルトの物質観から完全に排除されている。すでに『方法序説』において、天体の物質元素と地球上の物体の物質元素の異質性との考えが、完全に覆されている。

デカルトは『方法序説』において、彼の宇宙論の概要を叙述する際に、地動説に直接的に言及することを制止しているけれども、デカルトにとって地動説の正当性は、自然哲学的のみならず、形而上学的にも自明の事柄であった。

ここでは、デカルトが『宇宙論 または光についての論稿』においても、自分が地動説を採っていることが漏洩するのを抑止しようとしている点を指摘しておきたい。デカルトの『宇宙論 または光についての論稿』第六章「新しい宇宙の記述、およびそれを構成する物質の性質について」の冒頭の段落には、次のよ

うに記されている。「そこでしばらくの間、あなたがたの心をこの宇宙の外に置き、私が想像上の空間に生まれさせる別のまったく新しい宇宙をごらんいただきたい。哲学者たちは私たちに、こういう空間は無限にあると言っている。この点で彼らの言うことを信用しなければならない。なぜなら、それをつくりだしたのは彼ら自身なのだから。しかし、この無限性が私たちを邪魔したり足手まといになつたりしないように、宇宙の果てまで行こうとはするまい。ただ、五、六千年前に神につくられたすべての被造物が見えなくなるほどその中へ進み入ろう。そのあたりのどこか一定の場所に立ち止まったのちに、私たちの想像力のおよびうるいかなる方向にもはや空虚な場所がなんら知覚されないほど多くの物質を、神が私たちのまわり中に新しく創造されると仮定しよう⁵⁾。

「新しい宇宙」という言い回しは、「この新しい宇宙」という表現形式で、同じ『宇宙論』の第七章、第八章、第十五章の標題中にも使用されている。上の引用文中にいう「想像上の空間」については、この言葉に施された訳注で、「スコラ的な概念」であることが指摘され、「架空の空間」という意味ではないことが指摘されている⁶⁾。

『方法序説』第五部の第2段落においても、「想像上の空間」という言葉が使用されている。デカルトは、次のように記している。「しかも、これらのものをぜんぶ少し陰にしておき、自分がそれをどう判断しているかをいっそう自由に言うことができ、学者たちのあいだで受け入れられている意見に余儀なく従ったりそれを論破したりするはめに追いつまれないように、私はこの〈現世界〉はそっくり学者たちの討論にまかせておき、自分はただ新しい世界で起こるはずのことだけを話そうと決心しました。もし神がいまどこか〈想像上の空間〉に、新しい世界を合成するのにじゅうぶんな物質を創造し、その物質のいろいろな部分をいろいろなに秩序なく揺り動かしたあげく、〈詩人〉の思いつきかねないほど混沌とした〈カオス〉を合成し、そしてあとはただ〈自然〉に対して通常の協力をする以外、神自身が打ち立てた〈法則〉に従って自然を動くのにまかせる以外のことはしなかったとしての話です⁷⁾。

デカルトは、惑星天球はもちろん、恒星天球をも、実在的なものとは受け止めていないはずである。スコラ学的宇宙論の「想像上の空間」は、恒星天球を超越した場所に想定された空間である。デカルトは、そのような「想像上の空間」の概念を用い、自分の宇宙論

を描出することを実際に目論んだわけではない。

デカルトが『宇宙論』において、「想像上の空間」の概念を用いて、地動説を論拠づけるために案出した渦動宇宙論を、「この宇宙」のメカニズム論としてではなく、あくまでも「新しい宇宙」、つまり「想像上の空間」における「新しい宇宙」のメカニズム論として展開しているのは、自分が地動説論者であることを隠蔽するための方策であったはずである。

デカルトの渦動宇宙論は、地動説の正当性を前提とし、地動説を論拠づけるために編み出された、宇宙の構成物質の渦動運動の学説である。そして、デカルトの渦動宇宙論は、彼の円環運動論に基づいて展開されている。デカルトの渦動宇宙論においては、宇宙空間における一切の渦動運動が、宇宙を構成している物質・物体の円環運動として把握されている。惑星の運行も、恒星を取り巻く物質・物体の渦動による円環運動として把握されている。

円環運動論を基軸にした渦動宇宙論により、地動説を力学的に基礎づけようと企図するデカルトの地動説は、ガリレオの地動説とも、ケプラーの地動説とも、力学的には同等でない。それはあくまでも、デカルトの「自然哲学」の一環としての地動説なのであった。

3. デカルトの円環運動論

デカルトは、彼が『宇宙論 または光についての論稿』で叙述した、渦動運動論に基づく地動説の考えを、『哲学原理』第三部において、渦動宇宙論により基礎づけることを、再度試みるに至る。

デカルトの地動説そのものについては、本稿の課題ではないので省略する。ここでは、『宇宙論 または光についての論稿』第四章「真空について、また、私たちの感覚がある種の物体を知覚しないのはなぜかについて」⁸⁾における、次のような記述に注目したい。それは、物体の運動には空虚な空間が必要であり、また物体の運動によって空虚な空間が生じるとする考えを否定する、デカルトの円環運動の考えが提示されている記述である。「しかしあなたがたはここで、きわめて重要な困難を私に提示するかもしれない。すなわち、流動体を構成する諸部分は、もしそれらの部分の間に空虚な空間がないなら、少なくともそれらが動くにつれてそこから離れ去る場所の中に空虚な空間がないならば、私が述べたように不断に動くことはできないと思われる、ということである。それに対しては、もし私がさまざまな経験によって次のことを認め

ていなかったなら、答えることはむづかしかっただろう。それは、宇宙に起こるすべての運動はなんらかの仕方で円環的であること、すなわちある物体がその場所を離れるときには常に他の物体の場所に入り、この物体は別の物体の場所に入り、このようにして最後までつづき、この最後の物体が最初の物体の去った同じ場所を同じ瞬間に占めるのだということ、したがって、それらが動くときでも、動いていないときでもより以上にそれらの間に真空があるわけではないということである。またそのためには、いっしょに動く物体のすべての部分がまるで真の円を描くように正確に円環状に配置されている必要はないし、それらが同じような大きさや形を持つ必要すらないということに、ここで注意していただきたい。なぜなら、大きさや形がちがいは、諸部分の速さの間にある他のちがいによって容易に相殺されうるからである」⁹⁾。

アレクサンドル・コイレの『コスモスの崩壊—閉ざされた世界から無限の宇宙へ』には、デカルトの宇宙論が提示した渦動宇宙に関する的確な論述がなされている。「星の組成についてもおなじである。これも純科学的な事実問題になった。変化、衰亡の舞台たる地上界と不変の天上界という古くからの対比—前述のとおり、これはコペルニクス革命でもなくならず、太陽や惑星の動く世界と動かない恒星との対比という形で残っていた—は今や跡もなくなってしまう。宇宙の中味も法則も単一・一様なこと—「天空の物質と地上の物質とが同じ一つのものであること、また多数の世界がありえないこと」—は自明の事実になった、すくなくとも「世界」という語をギリシアや中世の伝統に従い完全に自己中心的な全体という十全な意味にとるならば、世界は、相互にまったく切り離されたこういう全体がばらばらにたくさんあるものではなく、まさに一つの統一体であって、その内部に一ちようどジョルダン・ブルーノの宇宙のように（デカルトがブルーノの用語を使わないのは残念だが）—太陽と惑星のあるこのシステム〔太陽系〕のような下位のシステムが互いに関係しながら無数に存在する。各システムはどこでも同一な物質の広大な渦巻で、果てしない空間のなかで互いに結びつき互いに限界を画しあう」¹⁰⁾。

なお、『コスモスの崩壊』の翻訳者の野沢協氏は、註10)の下線部に訳注を施し、次のようにいつている。「デカルトの渦動説は特に『宇宙論』の第四章、『哲学原理』の第二部33—35節、同第三部65節以下などで

述べられているが、ここでは『宇宙論』の文章を参考までにかかげる¹¹⁾として、註9)の文章を引用している。

さて、コイレは註10)の直前の段落で、次のように述べていた。「恒星は大きいか小さいか、遠いか近いかなどという問題は、もう議論の必要はなくなった。正確に言えば、これは事実問題、天文学と観測技術と計算の問題にすぎなくなった。遠かろうが近かろうが、恒星はわれわれ自身とおなじく、またわれわれの太陽とおなじく、果てしなく続く他の星々のあいだにあるにきまっている以上、この問題は形而上学的な意味はなくなったのだ¹²⁾。

なお、デカルトの円環運動論が提示されているのは、『宇宙論』第四章の「真空について、また、私たちの感覚がある種の物体を知覚しないのはなぜかについて」¹³⁾においてである。デカルトが円環運動論を基軸とする渦動宇宙論によって基礎づけようとしたのは、もちろん地動説である。それは、「天球の回転」を念頭に置くコペルニクスの地動説ではなく、惑星の運行の原因を、宇宙空間を占める物質の渦動によるものとして説明しようとするデカルト自身の地動説なのであった。なお、『宇宙論 または光についての論稿』において、デカルトが提示している重力理論¹⁴⁾も、重力の原因を地球の中心を取り巻いている物質の渦動によるものとして説明する理論である点では、渦動宇宙論と一体のものであるが、デカルトにおいては重力を惑星の運行に結び付ける発想は萌していなかった。

さて、『宇宙論 または光についての論稿』、第四章から前に引用した、円環運動についての記述は、段落を改め次のように続く。「さて、それらの物体が空中で動くときには、私たちは普通こういう円環運動に気づかない。それは、私たちが空気を空虚な空間とのみ考えることに慣れているからである。しかし、泉水の中に魚が泳いでいるのを見ていただきたい。魚は、水面に近づきすぎないかぎり、水面の下で非常に速く動いているのに水面を少しも振動させないだろう。このことから、魚が前方へ押す水は池の水全体を無差別に押すのではなく、魚の運動の円環を完成するのに役立つ魚の去った場所に戻ることでできる水だけを押すのであることは明らかである。そしてこの経験は、これらの円環運動が自然にとってはどれほど容易でありふれているかを示すのに十分である¹⁵⁾。

したがって、デカルトによれば、空中での物体の円環運動も、水中での物体(魚)の円環運動も、物体が

運動によって押しのけた流体が、押しのけられた流体が在った場所に移動することによって、連続的な円環運動が継続するのである。

円環運動についての記述は、さらに次のように続く。「しかし、円環的でないような運動はけっして生じないことを示すために、次に別の例を持ち出してみよう。樽の中の葡萄酒が、その上部が完全に閉ざされているために下の穴から流れ出さないとき、普通言われるように真空への恐れなどというのは適切な言い方ではない。この葡萄酒がなにものかを恐れるような精神を持たないことは周知のことであるし、かりにそれを持つとしても、どのような場合に葡萄酒の精神は実際には空想にすぎないこの真空を恐れることができるのか、私にはわからないのである。むしろ、次のように言わねばならない。この樽から葡萄酒が流出できないのは、外はどこも可能なかぎり満たされており、葡萄酒が流れ落ちたときにその場所を占めることになる空気の部分は、もし樽の上部に穴があげられ、この空気が円環を描いて昇りそこを通過して自分の場所に至りえないなら、宇宙の残りのどこにも身を置くべき他の場所を見いだすことができないからである¹⁶⁾。デカルトによれば、「樽の中の葡萄酒が、その上部が完全に閉ざされているために下の穴から流れ出さない」¹⁷⁾のは、樽の中の上部に、葡萄酒が流れ落ちたときにその場所を占めることになる空気の部分が、身を置くべき場所がないからである。樽の上部に穴があげられれば、その穴を通過して空気が樽の上部に流入して、樽の下部の穴から葡萄酒の流出が始まる。したがって、「円環的でないような運動はけっして生じない」¹⁸⁾、とデカルトはいう。なお、その場合「運動」という言葉で観念されているのは、「渦動運動」のことである。

上に引用した註18)の記述には、否定的意味合いにおいてであるが、「真空への恐れ」という言葉が記されている。アリストテレスの自然学に由来する「自然は真空を嫌う」という考えが、デカルトの時代の自然哲学をも支配していた。デカルトの場合には、事情が異なる。デカルトの円環運動論は、「自然は真空を嫌う」がゆえに、自然は真空が生じないように運動体を運動させる、という考えを排除するはずである。そしてデカルトは、真空の存在を完全に否定している。

ここで、『宇宙論 または光についての論稿』における自然法則の定式化との連関において、デカルトの円環運動の考えについて、さらに述べておこう。第七

章「この新しい宇宙の自然の諸法則について」¹⁹⁾においては、それらの自然法則は、次のように定式化されている。なお、そこでは「規則」が「法則」と等意の言葉として用いられている。

「第一の規則は、物質の個々の部分は他の部分に出会ってその状態を変えるように強制されないかぎり、いつまでも同じ状態を保つということである」²⁰⁾。

「私は第二の規則として、ある物体が他の物体を押すとき、その物体が同時に自己の運動を同じだけ失うのでないかぎり、どのような運動をも他の物体に与えることはできないし、また自己の運動が同じだけ増加しないかぎり、他の物体の運動を奪うこともできないと仮定する」²¹⁾。

「私は第三の規則として次のことをつけ加えたい。すなわち、物体が運動するとき、その運動は多くの場合曲線を描き、先に述べたようになんらかの仕方で円環をなさないような運動はけっして起こりえないけれども、しかし、その物体の個々の部分はみないつも直線状に運動をつづけようとする、ということである。したがって、それらの部分のはたらき、つまり運動をしようとする傾向は、それらの運動とは異なっている」²²⁾。

ここにおいて、『哲学原理』第二部の第37節で定式化されている「自然の第一法則」、第39節で定式化されている「自然の第二法則」、第40節で定式化されている「自然の第三法則」が、先駆的に定式化されている。『宇宙論 または光についての論稿』において定式化されている「第一の規則」と「第三の規則」とを総合すれば、運動物体は、外的作用を受けない限り、等速直線運動を継続するという、慣性の法則が成立する。デカルトは、慣性運動が等速直線運動になることを、明確に把握している。ただし、その「第三の規則」の「物体が運動するとき、その運動は多くの場合曲線を描き、先に述べたようになんらかの仕方で円環をなさないような運動はけっして起こりえないけれども」という記述の仕方を見ると、『宇宙論 または光についての論稿』において、デカルトは依然、円環運動の考えに束縛されていたことがわかる。ただし、『宇宙論 または光についての論稿』の執筆におけるデカルトの根本的な意図は、自らが編み出した渦動宇宙論を体系的に論述することであった。

したがって、デカルトが円環運動の考えに固執しているのはもともとであった。『哲学原理』においても、デカルトは『宇宙論 または光についての論稿』にお

いて論述した円環運動論を、確信を持って叙述している。『哲学原理』第二部第33節におけるデカルトの記述を引用しよう。「さてさきに注意したこと、すなわちあらゆる場所は物体で満たされており、同一の物質部分は常に同じ大きさの場所に対応していることから、いかなる物体も円環的でなければ動かされえないことが結論される。たとえば、何らかの物体が他の物体を押し出してその場所に代わりに入りこむこと、押し出された物体は別の物体を押し出してそれにとって代わり、またこの物体は他のものを押し出し、こうして順次に最後のものにまで行くが、この最後のものは最初の物体によって放棄された場所へ、それが放棄されたその瞬間に入りこむのである。このことは完全な円環の場合を考えれば容易に理解される」²³⁾。

この円環運動論すなわち渦動運動説こそが、渦動宇宙論を支える可能性を有する運動論であることを、デカルトは明確に認識しているが、上に引用した記述自体に、そのことは言い表されていない。デカルトの円環運動論は、彼が真空の存在を認めていないこと、物質の重さ、流体の圧力（大気圧を含む）を考慮に入れていないこともあり、現代のわれわれにとっては、物理学理論としての意味は有していない。

しかし、彼の渦動宇宙論を支える支柱であった点で、西洋近代哲学史において看過できない学説である。なお、渦動宇宙論では、恒星天球、惑星天球を含め天球の存在は、当然のことながら否定されることになる。その点においても、渦動宇宙論は、宇宙論史的・思想史的に注目すべき意義を有する。

望遠鏡を用いてのガリレオの天体観測によって、月上界の天体と地球とが全く異質の物質元素で構成されているとするアリストテレス主義の宇宙論は、根本的改革を余儀なくされるに至った。そしてデカルトの形而上学によって、一切の物体（物質）は延長実体としての均質の物体（物質）であることが強調された。その物体（物質）の概念を宇宙に適用し、デカルトは『哲学原理』第二部の第22節で次のように述べる。「以上からして、天空の物質が地上のそれとは別種のものではないこと、もし世界が無数にあるとしても、それらは同じ一つの物質から成り立つほかないこと、したがって多数の世界ではなく、ただ一つの世界しかないことが容易に結論されうる。なぜなら、物質の本性はただ延長的実体であることにのみ存しているが、かような物質が想像可能なありとあらゆる空間、上の多数の空間もその中にあるはずの空間をすでに占めてい

ることは明白に知られることであり、また、他のいかなる物質の観念もわれわれの内に見いだされないからである」²⁴⁾。この記述により、デカルトは延長実体の概念を確立することで、旧い天体観や宇宙観を完全に乗り越えていたことが明らかになる。

4. デカルトの宇宙論の意義

デカルトは、『宇宙論 または光についての論稿』を執筆した時点で、延長をもって物体(物質)の属性とする「延長実体」の概念を始めとする、彼の自然学における基本的な考え方に到達している。延長をもって物体(物質)の属性とする、デカルトによる「延長実体」概念の確立は、自然的世界からアリストテレス学派すなわちスコラ学という「実体形相」・「実在的性質」を払拭するという、哲学的に注目すべき意義を持つものであった。アレクサンドル・コイレは次のように述べる。「新しい科学と、科学ヲ数学ニ還元スル de reductione scientiæ ad mathematicam というその夢、新しい数学的宇宙論の原理を明晰判明に定式化したのは、いずれにしろガリレイでもブルーノでもなくデカルトだった。やがて見るように、デカルトは肝腎的を通りこし、物質と空間の時期尚早な同一化によって、十七世紀の科学が彼の前に置いた諸問題に具体的な解決を与える手段を自ら奪ってしまったのだが」²⁵⁾。延長をもって物体(物質)の属性とする「延長実体」の概念の確立によって、デカルトは、科学を数学に還元できることを形而上学的に解明した。少なくとも、彼はそのことを形而上学的に解明することができたと確信している。その形而上学的解明を踏まえ、デカルトは彼の円環運動論に基づく渦動宇宙論を展開した。このうち「衝突の法則」は、大部分が修正されることになり、「渦動説」は「ニュートンによって退けられることになった」²⁶⁾。

しかし、われわれはそこに、デカルトの宇宙論の哲学的意義を認めることができる。宇宙論においては、デカルトは彼の延長実体論に即して、宇宙を「延長実体」の幾何学的・力学的全体として把握しようとしている。宇宙を被造物の全体とする考えを保持しつつも、デカルトは宇宙の構造を、幾何学的・力学的に解明し尽くすことが可能であると確信している。

デカルトの宇宙論は、アリストテレス主義の宇宙論とはパラダイムが全く異なる革新的な宇宙論であり、彼において西洋近代哲学が成立していることを明確に証示している。すなわち、「旧来のアリストテレス

主義の自然学や宇宙論を根本的に解体し、ニュートンにおける古典力学の形成の直接の下地を形成するものであった」²⁷⁾といえる。デカルトの宇宙論は、そのまま継承されたわけではないが、やがて西欧の自然哲学において、重要な意義を有するようになる。すなわち、天体の体系的運動論としてのデカルトの渦動宇宙論のパラダイムは、ホイヘンスやライブニッツの惑星運動論や重力理論のパラダイムに、顕著な影響を及ぼすことになったのである。

参考文献

- 1) デカルトからの引用は、『増補版 デカルト著作集』全4巻(白水社, 1993)により、巻数とページ数を表記する。1, p. 46
- 2) 1, p. 47
- 3) 1, p. 61
- 4) 1, p. 47
- 5) 4, p. 153
- 6) 4, p. 218参照。
- 7) 1, p. 47
- 8) 4, pp. 142-146参照。
- 9) 4, pp. 143-144
- 10) アレクサンドル・コイレ: コスモスの崩壊—閉ざされた世界から無限の宇宙へ, pp. 132-133 (白水社, 1974)
- 11) コスモスの崩壊, p. 139
- 12) コスモスの崩壊, p. 132
- 13) 4, pp. 142-146参照。
- 14) 4, pp. 183-188参照。
- 15) 4, p. 144
- 16) 同前。
- 17) 同前。
- 18) 同前。
- 19) 4, pp. 157-165参照。
- 20) 4, p. 158
- 21) 4, p. 160
- 22) 4, p. 162
- 23) 3, pp. 99-100
- 24) 3, p. 93
- 25) コスモスの崩壊, p. 128
- 26) 小林道夫: デカルト哲学とその射程, p. 24 (弘文堂, 2000)
- 27) 同前。

カントの道徳哲学における「善」と「悪」について

On the Good and Evil in Kant's Moral Philosophy

笠井 哲

福島工業高等専門学校一般教科

Akira Kasai

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of General Education

(2015年8月17日受理)

The purpose of this paper is to consider good and evil in Kant's moral philosophy. The principle of good in Kant that is the autonomy of the will is not established one-sidedly. It is extremely unstable. This is because there is the principle of good in the practical opposition with the principle of evil namely a tangle. The principle of evil is always the principle of happiness of self to threaten with danger of the extinction. Nevertheless Kant still believes the possibility of the conquest of evil by the order of duties.

Key words: Kant, moral philosophy, principle of good, autonomy, principle of evil

1. はじめに

カントが道徳法則について語る場合、一方では道徳法則の存在、つまり純粋道徳哲学の存在を自明のことと考える。しかし、他方道徳法則そのものの把握は、絶対に不可能であると強調していることは、十分注意されねばならない。カントは『道徳形而上学の基礎づけ』の序文において、「ただ経験的でありうるだけでそして人間学に属する全てのものから、完全に洗い浄められているような純粋な道徳哲学を、一度作り上げるということを、緊急の必要事であると考えないかどうか¹⁾」が当面の問題であるといっている。これに続けて、「そのようなもの（純粋な道徳哲学）が存在しなければならぬであろうということは、義務とか道徳法則とかのありふれた理念からして、おのずから明らか²⁾」であるといっている。

そして同じ著作の第1章においては、義務概念の分析を行った後で、次のようにいっている。「それゆえわれわれは、普通の人間理性の道徳的認識において、その原理にまで到達したのである。普通の人間理性は、むしろこの原理を普遍的な形で分離して考えているわけではないが、われわれが人間理性に何も新しいことを考えることなく、ただソクラテスがやったように人間理性自身の原理に注意させるだけで、生じてくるあらゆる場合に、何が善であり何が悪であるか、何が義務に適合しており何が義務に反しているかをいかに

よく弁えているかということ、したがってまた正直であり善であるためや、いやそれどころでなく賢明で有徳であるためにわれわれが何をしなければならないかを知るために、何の学問や哲学をも必要としないということを示すのは、この場合簡単なことであろう³⁾。

それにもかかわらず、第2章では次のようにいっている。「われわれが義務についてのわれわれのこれまでの概念を、われわれの実践理性の普通の使用から引き出してきたとしても、そのことからわれわれがその概念を経験的概念として取り扱ったなどは、決して推論されてはならない⁴⁾。「実際のところ経験によって、他の点では義務に適合している行為の格率が、ただ道徳的な根拠と彼の義務の表象だけにに基づいているような場合を、ただ一つでも完全な確実性をもって決定することは、絶対に不可能である⁵⁾」。つまり、われわれは普通の人間理性の道徳的認識において、純粋な道徳的原理が存在しなければならぬことを十分認識できるし、実際にもまたその原理を根拠として善悪を判定しているのだが、自分の行為において、自分がただ純粋な道徳的原理だけにに基づいて行為したのだと意識することは絶対に不可能だというのである。本稿の目的は、カントの道徳哲学における「善」と「悪」について考察することである。

2. 葛藤の性格

前述の問題において、われわれがまず知りうることは、カントの道徳哲学の成立すべき次元は、日常的な経験的意識を超えたところにあり、われわれは理性の導きに従って、経験的意識からは隠されたところに道徳哲学の成立根拠を見出さねばならないということである。道徳法則は、われわれに与えられているのではなく、それを発見すべくわれわれに課されたものであり、しかも何の学問も哲学も必要とすることなく、ありふれた普通の人間でもその課題の解決を迫られているとするところに、カントの道徳哲学の重要な意味がある。

このような問題設定が生ずるのは、むしろカントが道徳法則を理性的原理であると考えからであるが、他面カントが人間性の弱さをその中に生じてくる自我の執拗な根強さを、鋭く洞察しているからである。「人間は自分自身の中に、彼に理性をきわめて高い尊敬に値するものとして表象する義務の命令に反対する強力な対抗力を、自分の欲望や傾向性において感じており、彼はこれらの欲望や傾向性を満足させることを、幸福という名のもとに総括しているのである」⁶⁾とカントはいう。われわれが一方で理性による義務の命令を受け取りながらも、他面われわれが感性的存在者である限り必然的な幸福への要求にひかかれているところに生ずるのが、義務の命令を自分でごまかそうとする性癖であり、人間にとって避けることのできない自然的弁証論である。「ところで理性は、この場合傾向性に何物かを約束することなく、容赦なくその掟を命令する。したがって傾向性の非常に激しい、そしてこの場合きわめて正当なものと思われる諸要求（これらの諸要求は、どんな命令によっても廃棄されることを欲しないものである）を、いわば排斥し蔑視しながら、その掟を命ずるのである。しかしここから自然的弁証論が生じてくる。つまり義務のあの厳格な法則に逆らって詭弁を弄し、そしてそれらの諸法則の妥当性を、少なくともそれらの純粋性と厳格性とを疑問の中に引き入れ、そしてできるならばわれわれの願望や傾向性により適したものにするとするところの、つまりそれらの諸法則を根底から腐敗させ、それらの全ての尊厳を失わせようとするところの性癖が生じてくるが、しかしこのようなことは、普通の理性でも結局認めることはできないのである」⁷⁾とカントはいつている。

われわれは、人間である限り自己の幸福を願わなくなることはない。幸福を願う限り、上述の性癖は根絶

されることはない。われわれはこうした性癖を、カントのいう「愛しき自己」から生ずるものであると考えてよいであろう。「私は人間愛から、われわれの行為の大部分はやはり義務に適っているのだと認めたい。しかし、われわれの行為が努力しているところを仔細に見ると、いたるところでいつでも頭をもたげてくる愛しき自己に突き当たる。われわれの行為の意図は、この愛しき自己に基づいているのであって、しばしば自己否定をも要求するような義務の厳格な命令に基づいているのではない」⁸⁾。いかに自分で義務に適った行為をしたのだと思っけていても、われわれは経験的立場からそれを確認することはできない。いわば「愛しき自己」が、行為の純粋な道徳的根拠を、われわれの眼から隠しているのである。

このように見てくると、カントの道徳哲学の構造は、少なくとも普通の人間理性の側からいけば、理性の導きによる義務の意識と、消滅することのない性癖との尽きぬ葛藤の連続であり、道徳法則によるわれわれの本来のあり方は、われわれの眼からは隠されているのだといわねばならない。これは、カントの道徳哲学の「葛藤の性格」⁹⁾と呼ばれるものである。

『道徳形而上学の基礎づけ』の第2章では、格率の持つべき普遍性の形式を手掛かりとした定言命法の範式の展開を通じて、意志の自律が確認され¹⁰⁾、豊穡な目的の王国が展望される¹¹⁾。さらに道徳は、その目的の可能的王国を自然の王国として実現するものであることが論ぜられるが¹²⁾、これは上述の葛藤を通じてわれわれに開示されてくるはずのものであり、決して経験的事実として示されるのではない。「われわれは道徳的命法の無制約的必然性を把握しない。しかしその把握不可能性を把握する。このことが、原理において人間理性の限界まで至ろうと努力する哲学から、正当に要求されうるすべて」¹³⁾なのである。

3. 実践的対抗

道徳的命題において、その命法の把握不可能性を把握するというカントの道徳哲学は、上述のように普通の人間理性の立場では隠されている本来的自己のあり方へと迫っていくものである。経験に即しながら、経験を超えたところにその根拠を求めるというこうした構造を可能にするものは、カントが数学的命題がア・プリオリな総合的命題であることを見出し、それによって数学的命題の持つ確然的確実性を経験に適用し、経験におけるア・プリオリな総合的命題の成立

可能性を見出した創見である。

例えばヒュームは、人間の悟性作用の対象を観念の関係と事実の問題との二つに分け¹⁴⁾、前者に関する命題の真偽は矛盾律により、後者に関する命題は経験に基づくものであると考え、数学的命題は前者に数え入れたため、数学的命題を経験に適用できないという結果を導き出している。しかし、カントは数学的命題をア・プリオリな総合的命題であると考え、さらに直観と悟性にア・プリオリな形式を見出すことにより、経験一般においてもア・プリオリな総合的認識が成立しうると示した。つまり、数学的命題の持つ確然的確実性を経験一般にも適用しうると示し、それによりヒュームのいわゆる懐疑論を克服しうると信じたのである。

カントが、道徳哲学においても同じ考え方をとり、道徳的命題においても確然的確実性をもった原理を見出しうる、と考えていたことは疑いの余地がない。特に『実践理性批判』の論述形式、つまりまず定義を示し、続いて定理を述べ、課題を示して意志の原則を見出すという、ユークリッド幾何学の体裁に倣った論述形式が、カントの考え方を何よりもよく物語っている。「格率の単なる立法的形式が、それだけで意志の十分な規定根拠であることを前提して、ただそのことだけによって規定されうるような意志の性質を見出せ」¹⁵⁾。「意志が自由であることを前提して、その意志をそれだけで必然的に規定するために役立つような法則を見出せ」¹⁶⁾という二つの課題は、上述の道徳的命題の把握不可能性を把握するための課題である。そしてその課題に対応して見出される「汝の意志の格率が、常に同時に普遍的立法の原理として妥当しうるように行為せよ」¹⁷⁾という純粋実践理性の原則の意識は、「理性の事実」と呼ばれ、この理性の事実は「先行する理性の予件、例えば自由の意識から詭弁を弄して引き出すことはできない」¹⁸⁾ものであり、「どんな直観にも、純粋直観にも基づかないア・プリオリな総合的命題として、それ自身だけでわれわれに迫ってくる」¹⁷⁾ものなのである。

この「理性の事実」については、別稿で論じることにした。今の問題連関において注意すべきことは、カントは、この理性の事実について論じたすぐ後の「定理4」において、この理性の事実に基づく道徳法則に対立する「道徳性の原理の正反対のもの」¹⁹⁾について論じていることである。「定理4」によれば、理性の事実もその中に見出されるべき「意志の自律は、

全ての道徳法則それらに適合する義務の唯一の原理である。これに反して選択意志の全ての他律は、ただどんな拘束性にも基づかないだけでなく、むしろ拘束性の原理や意志の道徳性に対立するものである」²⁰⁾。

またカントによれば、純粋な実践理性の立法は「積極的な意味における自由」²¹⁾によるものである。してみると「法則と結びつけられる欲望の対象以外のものではありえない意欲の実質が、実践的法則の中にその可能性の条件として入り込む場合」²²⁾に生ずる選択意志の他律が、意志の道徳性の原理に対立するということは、やはり積極的な意味における自由の中でなされるはずである。つまり、意志の自由の他に選択意志の自由が認められ、その中で選択意志の他律は意志の自律に積極的に対立し、意志の自律を脅かすものとなるのである。これがカントのいう「道徳性の原理の正反対のもの」であり、「自己の幸福が意志の規定根拠とされる場合」²³⁾に生ずるものである。そして、道徳性の原理とその正反対のものとの「この対抗は、われわれがやはり必然的な認識原理にまで高めたいと思うような、経験的に制約された諸規則の間の対抗のように単に論理的なものではなく、実践的なものであり、そしてもし理性の声が意志に関して、きわめて明瞭に、きわめてうち勝ちがたく、どんなありふれた人間さえもきわめて聴き分けやすいものでないとするれば、道徳性を全く絶滅してしまうであろう」²⁴⁾とカントはいつている。

われわれはすでに『道徳形而上学の基礎づけ』において、欲望や傾向性の総括である自己の幸福の原理が、「愛しき自己」の性癖によって義務の命令を蔽い隠し、そこに自然的弁証論が生ずることを見てきた。『実践理性批判』においては、自己の幸福の原理は道徳性の原理の正反対のものとして、純粋実践理性の事実と積極的に対立し、道徳性を全く絶滅してしまう可能性をもった実践的対抗の中にとらえられている。

この実践的対抗が、『道徳形而上学の基礎づけ』における自然的弁証論を原理的に確認したものであることはいうまでもない。つまり、一方では義務の命令の根拠が理性の事実として確認され、他方人間の現存在において道徳性を蔽い隠し、それを絶滅しようとする自己の幸福の原理が、道徳性の原理の正反対のものとして確認されている。このことは換言すれば、人間の現存在においては、意志の自律は選択意志の他律と実践的に対抗しているということであり、意志の自律も選択意志の格率を通じてのみ生じうるのだから、わ

れわれの現存在においては、道徳性を蔽い隠す格率が立てられる可能性があるばかりか、その可能性は、道徳性を絶滅させるものともなりうるといえる。

そして、その道徳性の原理の正反対のものを抑え、道徳性の原理をその絶滅から救いうるものは、上述の引用によれば「理性の声」以外にはないということになる。この理性の声とは何か。われわれは、本稿ではその問題に立ち入らずに、以上の実践的対抗の問題をもう少し考えてみなければならない。

4. 善と悪

これまで考察してきた自然的弁証論の問題とその発展としての実践的対抗の問題が、善悪の対立としてその根拠が明らかにされるのは、『単なる理性の限界内における宗教』においてである。このいわゆる『宗教論』における悪の問題は、根源悪として論ぜられている。そしてこの根源悪の問題は、古くからカントの本来の哲学に対して異質的なものと考えられてきた。

ゲーテがヘルダーへの書簡において、「カントは彼の哲学のマントを、根源悪という汚点をもって汚した」²⁵⁾と述べていることは有名である。また例えば、シュバイツァーも、自由の問題と批判的観念論の立場の異質性を強調し、特に選択意志における「高次の自由の問題」に伴う善悪の対立は、「一回の無時間的な英知的行」²⁶⁾であるため、ただ神的悟性によってのみ把握可能であり、理性的存在者にとってはその解決は不可能であることを論じている。

しかし、根源悪の問題は決してカント哲学に対して異質的なものではなく、すでに見てきた自然的弁証論の問題および実践的対抗の問題が発展したものであり、方法論的にいえば、数学的命題のア・プリオリな総合的性格を道徳に適用する場合に生ずる厳格主義の必然的結果である。根源悪の問題は、神学的ではなく、あくまで哲学的に解決されなくてはならない。

カントは、1763年の『質量の概念を哲学に導入する試み』において、論理的対立と実在的対立の相異について論じ、物理学における対立は単なる論理的な対立ではなく、実在的対立でなくてはならないことを強調している。例えば、運動している物体が同時に運動していないということは全く不可能であり考えることができないが、それは両概念が論理的に対立し矛盾しているからである。しかし実在的に対立する二つの概念、例えば、 $+a$ の運動と $-a$ の運動とは、静止 $= 0$ という形をとって可能である。カントはこのこと

によって、本来的な哲学の対象は矛盾律によって論ぜられるべきものではなく、実在的な対立によって論ぜられるべきものであり²⁷⁾、さらにこの実在的な対立は、実践的哲学にも適用されねばならないことを主張している²⁸⁾。

1763年に、すでに根源悪の概念が成立していたなどと論ずるつもりはない。しかし、注目すべきは『宗教論』の22ページから23ページにかけての注において、上述の考え方が再び持ち出されていることである。ここではカントは、もし善 $= a$ と措定するならば、それに論理的に対立するものは善ではないものとなるであろうが、それには「単に善の根拠が欠けている結果」としての 0 と、「善への対抗の積極的根拠」としての $-a$ とが考えられる。「しかしわれわれの中には動機 $= a$ が存在するのだから、したがって選択意志とその動機の一致が欠けるということ ($= 0$) は、選択意志の実在的に対立する結果、つまりその動機への対抗の結果 $= -a$ としてのみ、すなわち悪い選択意志によってのみ可能である」²⁹⁾ といい、悪い選択意志を $-a$ として規定している。

上述の議論は、カントが無関心主義と折衷主義を含む道徳上の寛大主義を斥け、厳格主義を主張する根拠として論ぜられているものであるが、この正負の対立関係に立つ善悪の対立から生ずることは、善の原理がア・プリオリな総合的命題であるならば、悪の原理もア・プリオリな総合的命題でなければならないということである。実践的命題がア・プリオリな総合的命題であるということは、カントにおいて、それが自由の概念を通じて生じてくるということである。われわれはすでに自由概念による意志の自律が、純粹実践理性の原則の意識として、つまり理性の事実としてア・プリオリに総合的に意識されることを見てきた。ではそれに対立する悪の原理が、ア・プリオリに総合的に生ずるとはどういうことであろうか。

カントは「人間が悪であるという命題は、次のこと以外をいおうとするものではない。つまり人間は道徳法則を意識しているが、しかその法則からの（偶然的な）違反を彼の格率の中に取り入れたのだ、ということである」³⁰⁾ という。さらに「したがって人間が善であるかそれとも悪であるかという相異は、人間が彼の格率に取り入れる動機（格率の実質的動機）の相異の中にあるのではなく、その秩序づけ（格率の形式）の相異の中にあるのであり、人間は善悪についてのその秩序づけを、他のものの条件としているのである。そ

れゆえ人間は（たとえ最善の人間でも）、動機を彼の格率に取り入れる場合に、動機の道徳的秩序を転倒させることによるのみ悪なのである」³¹⁾と述べている。

そしてこの格率の転倒を生ぜしめる悪への性癖については、(1) 取り上げられた格率一般に服することにおける人間の心の弱さ（人間本性の脆弱性）、(2) 非道徳的動機を道徳的動機と混同する性癖（不純性）、(3) 悪い確率を取り上げようとする性癖（人間本性の邪悪性）³²⁾、の三段階を区別しているが、結局悪の根拠は、「普通申し立てられているように、人間の感性の中に」³³⁾ 求めることはできず、さりとて「道徳的に立法的な理性が腐敗すること」³⁴⁾ の中にも求めることもできない。感性的なものは、人間を悪に陥れるにはあまりにも僅かのものしか含んでいないし、英知的な理性そのものが腐敗するということが、絶対に不可能だからである³⁵⁾。したがってわれわれは、格率の転倒について論ずることはでき、悪への性癖について考察することはできても、その転倒の作用そのものをとらえることはできない。

カントは、「従属的な動機を最上のものとして、その格率に取り上げるやり方に関するわれわれの選択意志のこのような誤り、つまりこのような悪への性癖の理性的根拠は、われわれにとって探求不可能である」³⁶⁾ といひ、「悪は（単にわれわれの本性が制約されているということだけからではなく）、ただ道徳的悪からのみ生じたのである。そしてしかも根源的素質（もしこうした腐敗がその人間に帰せしめられねばならないとすれば、その人間自身以外の者がこの素質を腐敗させることはできなかつたはずである）は善への素質なのである。それゆえ道徳的悪が最初どこからわれの中に入ってきたのか、われわれに把握できる根拠は一つも存在しない」³⁷⁾ といっている。われわれの格率において悪の原理が立てられるのは、選択意志の「自由な作用」³⁸⁾ によるのである。

カントにおける善の原理つまり意志の自律は、決して一方的に確立されているのではない。それは常に絶滅の危険をもって脅かす悪の原理つまり自己の幸福の原理との実践的対抗、つまり葛藤の中にあるのであり、人間の現存在における意志の立場は、きわめて不安定なものであるといわなければならない。しかし、意志の立場のこの外見的な不安定性は、同時にカントの道徳性の把握の深さを示すものである。

以上の考察によって、「あらゆる格率の根拠を腐敗させるものであるがゆえに根源的である」³⁹⁾ といわれ

ている『宗教論』の悪の問題も、格率の秩序の転倒という探求不可能な自由の作用から生ずるものであり、それは原理的にいえば、悪の原理がア・プリオリな総合的な性格をもつと考えられるところから由来するものであることを示しえたと思う。根源悪とは決して特殊な悪ではない。むしろ英知的であると同時に感性的である普通の人間が、一方では理性の導きに従って義務の命令を意識しながらも、他方感性的であり有限的である限り、知らず知らずのうちに自己の幸福を求める格率を立て、詭弁を弄して義務の命令を受けつけないことをやめることはできないというありふれた事態に陥るのである。悪に陥るのには、その人が特に悪人であることが前提される必要はない。どんな人も、たとえ最善の人も悪への性癖から脱却しえないところに、悪が根源的である一つの理由が存在するのである。カントは、「ある人が人間たちの中にいると、嫉妬や支配欲や所有欲やそれらと結びついた敵意ある傾向性が、それ自体では自足的な彼の本性の上に、嵐のように襲いかかってくる。それらの人間たちがすでに悪に陥っていて誘惑的な事例であることが前提されることは、決して必要ではない。彼らが互いにその道徳的素質において腐敗させ合い、そして互いに悪くすし合うためには、彼らがそこにおいて彼を取り巻いており、そして彼らが人間であるということだけで十分なのである」⁴⁰⁾ といっている。

しかし同じく悪が自由の作用によるものだということから発して、悪が根源的であると呼ばれるもう一つの理由がある。それは悪の原理が善の原理と同じくア・プリオリで総合的であり、自由の作用として格率の根拠を腐敗させるものであるならば、われわれはただそれを防ぐことができただけでなく、一度悪に陥ってしまえば、もはやそれから脱却する方法がないということである。たとえ善の原理がそれに積極的に対抗しているとしても、一度悪に陥ってしまった人間においては、善の原理もそれを根拠として立てられなければならない格率の根拠がすでに腐敗していることが前提されているのであるから、悪を克服する根拠はどこにも見出されないことになる。

この克服不可能性ということが、悪が根源的であるとされる重大な理由である。「本性的に悪である人間が自分自身を善い人間にすることがどうして可能なのか、このことはわれわれの全ての概念を超えている。なぜならば、悪い樹がどうして善い実を結びうるのであろうか」⁴¹⁾ とカントは述べている。

5. 結びにかえて

しかし、悪の原理がこのように全てのわれわれの概念を超えているにもかかわらず、カントはその悪の克服について、「それにもかかわらず悪への性癖は、克服されることが可能でなくてはならない。なぜならばその性癖は、自由に行為する存在者の中に見出されるからである」⁴²⁾といい、「上述の墮落にもかかわらず、われわれがより善い人間になるべきだという命令は、弱めることなくわれわれの魂の中で依然として響きわたる。したがってわれわれはまたそれをなしうるのではなくてはならない。たとえわれわれがなしうることがそれだけでは不十分であり、われわれはそのことによって、ただわれわれには、探求不可能なより高次の援けを、感受しうるものにするだけにすぎないとしても」⁴³⁾といっている。

われわれはこれまで人間の現存在において、善の原理と悪の原理がいずれもア・プリオリで総合的な原理として立てられうるということ、さらに両者は積極的実在的に対立するものであること、そしてさらにいったん悪の原理が立てられると、そのことによって善の原理の根拠も破壊され、善の原理の回復および悪の原理の克服は不可能になることを見てきた。

しかし、それにもかかわらずカントは、依然として悪の克服の可能性を少なくとも信じており、しかもその根拠は依然として義務の命令にある。つまり、これがカントの理性的信仰についての考え方である。もし根源悪の克服について論じようとするれば、われわれはその理性的信仰の内容について、詳しく検討しなければならないであろう。

しかし、理性的信仰の内容に立ち入るのは、今後の課題としたい。ただし、義務の命令や理性の声が、理性的信仰の根拠となるということはできる。もしそれがないとすれば、われわれの現存在において、悪への性癖が道徳性を絶滅させてしまうからである。

参 考 文 献

- 1) カントからの引用は、アカデミー版全集による。慣例にならない、巻数(ローマ数字)とページ数(アラビア数字)を表記する。IV. 389
- 2) ebenda
- 3) IV. 403-404
- 4) IV. 406
- 5) IV. 407
- 6) IV. 405

- 7) ebenda
- 8) IV. 407
- 9) 門脇卓爾：現代のカント研究。金子武蔵編：カント所収，p. 272 (理想社，1969)
- 10) V g l. IV. 433
- 11) V g l. ebenda
- 12) V g l. IV. 463, Anmerkung
- 13) IV. 463
- 14) デイヴィッド・ヒューム：人間知性研究 付・人間本性論摘要，p. 22，斎藤繁雄・一ノ瀬正樹訳 (法政大学出版社，2004)
- 15) V. 28
- 16) V. 29
- 17) V. 30
- 18) V. 31
- 19) V. 35
- 20) V. 33
- 21) ebenda
- 22) ebenda
- 23) V. 35
- 24) ebenda
- 25) Goethe, Brief an Familie Herder, 7. Juli 1793.
- 26) アルベルト・シュヴァイツァー：カントの宗教哲学(上)《新装復刊》，pp. 230-231，斎藤義一・上田閑照訳 (白水社，2004)
- 27) V g l. II. 174
- 28) V g l. II. 182
- 29) VI. 23
- 30) VI. 32
- 31) VI. 36
- 32) V g l. VI. 29
- 33) VI. 34
- 34) VI. 35
- 35) V g l. ebenda
- 36) VI. 45
- 37) ebenda
- 38) VI. 37
- 39) VI. 93-94
- 40) VI. 44-45
- 41) ebenda
- 42) VI. 37
- 43) VI. 45

サートンの科学史観について

On the View of Scientific History in Sarton

笠井 哲

福島工業高等専門学校一般教科

Akira Kasai

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of General Education

(2015年8月21日受理)

The purpose of this paper is to consider the view of scientific history in Sarton. As for the view of scientific history in Sarton, the human is supported in a beautiful dream that one, the science are one, too. In the human history the science is the common problem pursued jointly or purpose. Therefore, it may be said that the science thought about in the scientific history in Sarton can insist on the unity.

Key words: Sarton, view of scientific history, a beautiful dream, the unity

1. はじめに

科学史には、二種類がある。一つは数学史家のモーリッツ・カントール（1829–1920）の『数学史講義』に見られるような一つの専門科学の歴史が、その数学という専門科学もまた科学の一つであることにより、間接的に、また科学史に属すると考えられる場合である。もう一つは、本稿で取り上げるジョージ・サートンが彼の代表作『古代中世科学文化史』で企図したような科学そのものの歴史であり、それは数学史や化学史、あるいは医学史が、間接的に科学史と呼ばれるのに対して、直接的端的に科学史であると考えられる場合である。

しかしこの区分に対しては、科学そのものは科学として存在しないのではないか、という疑問が起こりうる。かくて、科学そのものも、個々の専門科学と同じ仕方では存在しないにしても、それらの専門科学の総称として全く無意味なのではなく、むしろそれに対応する別の存在を持つものだと考えられる。

さて、サートンとはどのような人物であろうか。「世界で最初の総合的な科学史家」¹⁾と呼ばれている彼は、1884年生まれベルギー人で、後にアメリカに帰化し1956年に亡くなっている。大学では最初哲学科に入学したが、面白くないのでやめて、また理科に入り直したようである。化学と結晶学と数学を勉強し、実験的研究では、いくつかの賞をもらった。しかしその間、コント、タンヌリ、ポアンカレなどの影響を受け、科

学史や科学哲学に、いっそう多くの関心を寄せるようになった。1913年には季刊誌『イシス』を発刊し、1936年から発刊される不定期刊行の『オシリス』と合わせ、科学史研究の全般にわたる、各種論文の一大集成をなし、如実に科学史という研究領域の存在を示している。彼は、『イシス』発刊前後に、『古代中世科学文化史』の構想を持ち、その資料を集めることを始めた。

しかし、第一次世界大戦のドイツ軍のベルギー侵入により、彼は海外に逃れることを余儀なくされ、ようやくアメリカに渡り、生計の道を見出すことになる。カーネギー研究所（1918年）、ハーバード大学（1920年）などで職員として働き、研究の便宜を得るが、教授となるのは1940年になってからである。科学史研究が一般に認められるのには、相当の年月を必要としたのである。本稿の目的は、サートンの『古代中世科学文化史』に論述されている科学史観について考察することである。なお本稿において、サートンの先行研究として、参考文献の1) および2) に挙げた5巻の翻訳書の「訳者のあとがき」を参考にした。

2. 科学の単一性

サートンは、『古代中世科学文化史』の冒頭において、「本書の目的は、人類文明のうちで、まだ十分に注目されていない本質的な一面の発展—組織的、実証的知識たる科学の発展を、簡潔に、しかもなるべく完全に説明するにある」²⁾という。すなわち、科学史を、

文明史の見地からとらえることを宣言している。それは、「実証的知識の獲得と体系化こそは、真に累積的で進歩的な、唯一の人間活動力である」³⁾からである。したがって、「科学的進歩の説明に多くの紙面を割かぬ文明史は、まず完全だというわけにはいかない」⁴⁾ことになる。

「スコラ学や、占星術的、呪術的な空想のような、中世思想を麻痺させ曇らせた、広汎な迷妄にもかかわらず、本書は、科学的進歩には完全な途切れのなかったことを示すであろう。もちろん、われわれの視野を科学の一分科とか一国民の活動力にかぎれば、途切れはたちまち生じるであろう。おなじように、動物学的または植物学的観点からすれば、世界のどの部分も全然不毛ではない。しかし、動植物の一種または一族だけを求めるなら、多くの中絶があるだろうし、また、ただ一国の動植物相だけを研究した場合は、博物学に関するわれわれの見解は不完全になるだろう。あらゆる方面のすべての人たちの業績を考慮すれば、世界の知的生活には真の中絶は存在しない」⁵⁾

そして、この見地を保つためにサートンは、さらに進んで、(1)自然は一つである、(2)科学は一つである、(3)人類は一つであることを、一種の基本原理として要請しようとしている。そしてこのうちの科学の単一性の要請は、先に見た「科学」そのものの存在の要請と表裏をなし、相互に補い合うものであるということが出来る。

しかしサートンにとって、科学の単一性ということとは、科学史の予想であるよりも、科学史に実証される事実だということになるだろう。彼は、二つのことを指摘する⁶⁾。一つは、それぞれの科学の進歩は、他の諸科学の進歩に依存しているということである。専門諸科学間のこの密接な相関性は、諸科学が全く孤立しているのではなくて、相互関係を持つものであり、その相互関係も単に偶然的なものではなくて、むしろ有機的であることを示すものだとするわけである。

もう一つは、科学上の発見が同時に違った場所で、違った方法を用いてなされるということは、その根底に内実の合一があることを示すのだというのである。それぞれの科学は、一定の順序に結び合わされた事実の連鎖のごときのものであるが、その論理的連鎖のいろいろな部分はまだ見出されているのに、これを連結するものが、まだ見つからないというようなことがある。そしてその連結が、はからずも他の科学のうちから見出されるというようなことも、何度も起こっ

ている。これはつまり、科学の単一性を示すものでなければならないというのである。

サートンの議論は、かなり素朴で甘いものである。「一つ」であるということは、「ある」という概念と並んで、古来哲学の最も根本的な、そして最も議論の多かった概念である。例えば、アリストテレスの『形而上学』第5巻第6章⁷⁾、第10巻の前半⁸⁾などを見ても、いろいろあることが知られる。相関性の指摘だけでは、たいていのものが単一化されてしまい、その単一性そのものが、また区別されなければならなくなるだろう。しかし、サートンは単純に、自然も一つであり、科学も一つであり、人類も一つであることを信じ、この全世界、全人類、全学問の立場で、いつでも、どこかで、誰かが、何か学問のことをしているから、科学の歴史には断絶がなく、不断の進歩があったと考えようとしている。

そして、「一国民が競争から落伍すれば、つねに別な国民が松明を取り上げ、人類の永遠の探究をつづけようとした」⁹⁾と考える。つまり、このような仕事を受け継ぎ、共同を通じ、人類は一团となって、一体の科学を築き上げてきたというのである。

かくて、サートンの単一性の認識は、あくまでも歴史的なものがあるということが出来るだろう。サートンのこのような考え方の基礎にあるものは、西洋の歴史だけを見れば、古代科学と中世科学の間には、いわゆる暗黒時代の断絶がるように見えるが、ギリシア科学は、その間にアラビア人によって受け継がれ、8世紀から11世紀の間に、それが東方において開花し、やがて西欧に引き継がれると、それがまた東方諸国では衰えていかねばならなかった、という歴史的事実の認識なのである。

「これらの同時的な発見が、種々の国民によってなされたという事実、また、一民族が手がけた鎖を他民族が円滑に完成したという事実は、人びとの差異がどう見えようと、かれらはすべておなじ目的に従い、おなじ仕事、人類の卓越せる仕事を成就しつつあるということを証明している—その仕事は、非常に偉大であるため、少数の人びとにしかその全貌がうかがえず、大抵の場合、その共同研究は巣箱のなかの蜜蜂の共同作業のように盲目的である。このことは、多くの不同や憎悪があるにもかかわらず、人類は一つである、という見解を確証している」¹⁰⁾。このサートンの言葉は、彼が人類というものについて、素朴ではあるが一つの美しい夢を抱いていることを語っている。サートンの

科学史の構想は、このような美しい夢によって支えられているのである。かくて、サートンの科学史で考えられている「科学」は、人類の歴史において共同して追求されている共通の課題、あるいは共通の目的というような形で、その単一性を主張しうるものだということができるであろう。

3. サートンの科学史

では、サートンの科学史とは、如何なるものであるか、彼自身の言葉に聞こう。「第一にわれわれは、一つまたは多くの科学の歴史ではなくて、実証的科学のあらゆる分科の歴史、すべての科学の歴史、より正しくいえば科学史を、考察しなければならない。この歴史は、すべての科学の歴史の、単なる寄せ集め以上のものである。なぜなら、それは各科学の進歩だけでなく、他の一切の諸科学との関連も説明するからである。もちろん、科学の個別的な諸分科の歴史とか、特殊部門または小部門の歴史さえも、専門的な観点からは非常に有用である（ことに、数学、化学、医学については、すぐれた歴史がある）。しかしそれらは、文明の進歩を説明するにはまったく不十分である。それらが各自固有の目的に対してさえ、往々不十分であることは留意すべきである。たとえば、物理学史家は、その学科を説明しようと思えば、数学やその他の諸科学の発展に、どうしても頻繁に触れぬわけにはゆかない。これは、科学を多くの分科にわけたわれわれの区分が大部分人為的だという事実に基づいている。われわれは、それら全体を考慮しなければならぬ—ちょうどそれは、別個には存在せず全体として成長する一本の生きた木の枝々のように」¹¹⁾。

これは、あたかもデカルトの有名な「哲学の木」を連想させる¹²⁾。この一なる「科学の木」は、しかし、諸科学そのものの論理的考察から、導き出されたものではなく、科学の発達、あるいは文明の進歩を説明しようとする歴史研究により、要請されたものである。しかしその科学そのものも、デカルトの全人的智、あるいは良識のごとく、他の科学分類をすべて人為とするような、全一的智となっているのである。

歴史研究についていえば、これもまた他の科学と同じように、専門細分化の傾向に支配され、政治上の事件や社会運動、経済の変動、宗教、哲学、科学、文学、美術、教育などの歴史は、それぞれ別々の専門家により取り扱われる。しかも、彼らは他の専門家の研究については何も知らない場合が多い。このような専門化

はある程度まで仕方のないことであり、歴史学の進歩のためには不可避のことであるとも考えられる。

しかし、その狭い専門化は、歴史研究の障害となる場合がある。つまり、題目、時代、国民、言語などにより、歴史研究を区分しても、それが研究対象の実際の区分になるとは、いえない場合が少なくないからである。そして、それらの区分が一応の意味を持ったとしても、歴史の実際においては、それらはいつも区別されたままで進行するのではなくて、むしろ、幾重にも交差するものだからである。

サートンのやり方で相互関連をたどって行けば、特殊科学の一部門の歴史を調べるにも、やがてはおよそ人間によってなされたことの全てを含む、歴史の全体に目を注がなければならなくなって来るであろう。だから、サートンの科学史が文明史とならなければならなかったのは、歴史研究の必然によるものであって、むしろ当たり前のことだといえるであろう。科学史は、科学であるよりも、まず歴史であるということを、改めて思い返さなければならない。

さて、サートンは、第三巻の序章の中で、「この巻を最後の巻にせざるを得ない理由」を、「第四巻（第十五世紀を取り扱う）の完成をおなじ規模でおこなうには、すくなくとも今後一〇年から一五年を要するであろう。これは、私のような年齢では神意にもとることである」¹³⁾としている。

サートンの科学史の完成は、人間一人の事業としてはあまりにも大き過ぎたのである。彼の精力的な仕事も、彼の目標と比べてはそのわずかを成し遂げたに過ぎなかった。サートンは、それを次のようにいつている。「第一九世紀までの科学的努力の年代的概観をつくり、それに補足的な概観の二叢書を加えるという私の青年時代の夢を回顧する時、私は、途方もない失敗をしたように思われる。私の『序論』は、目標の五世紀前で止まっているからである」¹⁴⁾。

彼のその夢想的な計画は、第一巻の序章でも、大体の構想が明らかにされている¹⁵⁾。その第一叢書は、世界の文明を、年代順に半世紀ごとの横断面を示す形で総観させるもので、実際に公刊されたのがこの部分なのである。

第二叢書は、ユダヤ文明、イスラム教文明、中国文明などのごとく、それぞれに違っている型の文明を総観させるもので、サートンはこのシリーズに七巻、もしくは八巻を予定している。

第三叢書は、専門別科学史ともいべきものであり、

各専門科学の発達を総観させる。サートンは、これにも七、八巻を予定し、論理学と数学、無機化学、生物科学、地球科学、人類学と歴史学、医学、教育学、科学の主要概念を取り扱う哲学などを数えている。誠に壮大な計画である、といわなければならない。

しかし実際の仕事は、1927年から1948年までの20年間に、二つの世界大戦に挟まれ苦しい経験をした苦勞からいえば、むしろ驚嘆すべき業績ではあるが、計画中の第一シリーズのうち、三巻が完成されたに過ぎなかった。もっともサートン自身も、自分一人で全部成し遂げることができるとは信じていなかった。それは、彼の次のような言葉から明らかである。「これらの巻のうち、私がどれだけ書いたり、編集したりできるかは神様だけがご存知である。たとい十分な協力者が見つかったとしても、私はこの三叢書を完成するとは思えない。だが私は、私の狙いをはっきり示すために、できるだけ多くやりとげてみたいものである。もし私が第一叢書の第一八世紀まで(すなわちこの叢書の五巻か六巻の全部)と、第二叢書の第三、第四の一部と、第三叢書の第二巻とを完成することができれば、この上もなく仕上げせだと思ふ」¹⁶⁾。

サートンは、このように、控えめな希望を語っていた。しかし、その希望さえ、とても充たされうるものではなかった。それには、彼自身の見込み違いもあったと考えられる。第三巻の序章では、次のように述べている。「事態は、表面にあらわれているよりもさらに悲劇的である。というのは、数学ならびに物理学の若い博士としての私の主な興味は、もちろん近代科学、ことに第一九世紀の物理学だったからである。私は、中世研究者になろうとは決して期待しなかったし、まして東洋学者になろうなどは思ってもみなかった。中世科学についての私の概念は、最初は大多数の科学者がもっている概念であった。私は、中世科学の調査はいともたやすく切りぬけられるし(私がこのことをもつと的確に言えないのは、中世科学に対して私が無知だった頃に抱いていた反発が何であったかを、はっきりと取り返すことができないからである)、また、大多数の科学史家のように、古代後期から第一六、第一七世紀へあっさり飛びこえよう(たとえばガレノスからウェザリウスへ、またパッポスからデカルトへ)と思ったにちがいない」¹⁷⁾。

しかし、実際はそのようにはいかなかった。なぜなのであろうか。彼はその間の事情を次のように説明している。「だが私はすでにピエール・デュエムの中世

研究やポール・タヌリイのピュザンティオン研究になじんでいたし、もっと大切なことは、私がこの目であらゆることを吟味してみようと決心したことである。私の気持に最もよく比較できるのは、水のない地域を含む大きな地方を、調査しようと企てた博物学者の気持である。もしもかれが不注意であれば、乾燥地をいそいで通りすぎるか、または『これは砂漠だ』といってそこを他人にまかせたかもしれない。もしもかれがもっと良心的であれば、自分自身で砂漠を探検したくなるだろう。そして砂漠の動植物の豊富さとねばりづよさに、一驚する好機にめぐまれるであろう。私は中世を探検するために、アラビア語やそのほか多くのことを、余儀なく勉強した。私は、疑惑にとりつかれた青年のように中世を突き進んでいった。ところが私は中世の思想が非常に豊富で、決してほっておけないことを知った」¹⁸⁾。

これは、つまりサートンが、本格的な歴史研究に入ったということである。歴史研究は、そのような深みに誘うものをもっている。近世科学をガリレオ・ガリレイから始めるのは、通俗の科学史常識であるが、しかし歴史研究は、17世紀科学の特色となるものが、むしろ13世紀に始まっているのではないか、というようなことを考証しようとする。またギリシア科学の起源についても、その前史は遠くオリエントまでさかのぼられ、エジプト医学とバビロニアの天文学、数学との不均衡な対照から、どこに科学の始源を求めらるかについて、問題が残されている。

サートンは最初の計画から外れ、中世研究に深入りしたため、青年時代の夢を実現できなかったともいえる。しかし、最初の考えだけでは、歴史研究にはならなかったであろう。われわれは重ねて、科学史が歴史研究の領域に属することを、強調しなければならない。

4. 科学の連続性と人類の進歩

そしてこの見地から、逆にまた歴史としての科学史というものを考え直してみなければならない。サートンの科学史の構想は、すでに見られたように、人類も一つ、科学も一つというような美しい夢に支えられているものであった。一つの民族だけについていえば、その科学上の活動には波があつて、盛んな時もあり、また衰えることもある。

ヨーロッパ古代と中世との間には、約三百年の暗黒時代を含むかなりの断絶が見られる。しかし、科学文化そのものは、選手交代の形で、イスラム教徒がこれ

を受け継ぎ、さらに発展させてその間の空隙を充たし、やがてバトンをヨーロッパに渡すのだというふうに見ると、科学の進歩の連続性は少しも破られず、全人類の立場では、どこかで何かがなされていけばいいのだということになる。

しかしながら、ここに考えられている一なる人類というものは、一つの抽象概念として、イスラム教徒と西欧人とを、その下に包括するというだけのものであるから、それだけでは歴史上実際に科学の進歩の連続性を担う、現実的な意味を持ちうるものにはならないであろう。むしろ西欧人とイスラム教徒の場合は、その交流について、文化の授受について、実際の連鎖を歴史研究によって、明らかにすることのできる部分のあることは確かである。

しかし科学文化の受け渡しをする両民族が、それぞれ独自の歴史と文化を持つ異人種として、互いの間に何の繋がりもない別の基体であるということも、またしたがって、すぐに一つに連続するものではない、ということも否定できない事実ではないだろうか。科学文化は一つに連続しても、これを担う基体はすぐには一つに連続しないわけである。しかもこの場合は、まだ歴史的な接触とつながりが、なおいくらか認められる場合であるが、他の場合、世界のどこかで、誰かが何かをしているようなことが、それだけで、いつも一つに結び付くものかどうかは、非常に疑問だといわなければならない。

例えばサートンが「アルキメデスの時代」と呼んでいる前三世紀の後半を取ってみると、ギリシアの世界では、ストア学派のクリシッポス、科学者ではアルキメデス、エラトステネス、アポロニオスなどの活動が注目される。しかしその時代は、またインドではアショカ王の治世で、パトリブドラの宗教会議において三蔵が制定されているし、シナでは始皇帝が現われ、荀子の仕事が目されるだろう。この時、人類はどういうふうに単一なのであろうか。

サートンは、この時代の総観を与えるに当たって、次のように述べている。「この時期に関する私の略述は、最初はちょっと妙に思われるであろう。なぜなら、最も重要な科学上の仕事は、シュラクサイとアレクサンドリアの二地方でおこなわれたのであるが、これまで夢想だにしなかった実り多い業績が、ずっと遠方のインドと中国にあらわれたからである。だから、もし私の概観がこの一時期だけにかざられるとすれば、背景と主要な活動との不調和には、異論が出るであろう。

いいかえると、私がこの章で略述する宗教的、文化的な出来事は、それらがあまりにも遠い国々でおこったため、同時代の科学活動の背景をなしていないのである」¹⁹⁾。

もともとサートンのやり方は、同じ時代の出来事で特に興味があるものの全てを、一幅の絵に収めるというだけのことで、それらの出来事の間には「同時代性」という関係があるばかりで、それ以外の「因果関係」のようなものは考えられていない。つまり一なる人類は、ある時点においては存在していたという「同時性」や「同時代性」によって「一つ」であるに過ぎないとも考えられる。そしてこの「同時性」は、「トラルレスのアレクサンドロスの時代」とか「ペダの時代」などにおいて、むしろ人類が離れ離れであることを示すとも考えられるであろう。

サートンの年表によって見れば、前者は西ヨーロッパが寒さにふるえているのに、中国はぬくぬくと朝日をあびているというような、東西の明暗がはっきり示される時代であり、8世紀前半は、特に「日本の黄金時代」と呼ばれ、わが国の奈良朝文化が西欧暗黒時代の「知的不振」に対比させられている。

サートンが、これらの時代について考えることはとはいえ、「それからしばらくたてば、この状態はまた逆転するだろう。私は、人類の進歩について研究している間中、万事は人類が交互に働いているかのようにおこるものだという印象をたびたびうけた。人類の本質的な仕事を完成することは、非常な難事業であるから、創造の時期のつぎには、しばしば休閑の時期がくるものである」²⁰⁾ という選手交代説なのである。

5. 結びにかえて

しかし、これらの選手の間には、「同時性」の他には何のつながりもない。一なる人類は果たして歴史的に実証されるのであろうか。交代する東西の民族は、果たして前後に実質的に連続し、一つの人類を歴史的に形成することができるのであろうか。

サートンは、「アルキメデスの時代」の説明のところで、次のように述べている。「私が、最初の皇帝アショカとアルキメデスをおなじ章に入れたのは、いわば悲劇の第一幕で、性格の違った多くの人物を登場させるようなものである。かれらには共通点がないではないかと不平を洩らす前に、しばらくご辛抱願いたい。おそらく、かれら自身か、それともその子供たちが、劇のおわるまでに、互いに愛し合うか殺し合うかする

であろう。しかしながらこの場合、悲劇は巨大で超人的な規模でおこっているのである。俳優たちは操り人形ではなく、本当の人間である。演技時間は日数でなく世紀数で勘定され、舞台は全世界である。そして劇作家は、不可知な運命である²¹⁾。

これは比喩的な説明であり、理論的考察ではない。しかしサートンのこの言葉から、われわれは科学史の理解には、同時性による歴史の横断面を、もう一度つなぎ合わせるための「歴史の進行」が考えられなければならないことを知る。

サートンも歴史を劇に比較しているが、これはアリストテレス『詩学』²²⁾ 以来の論題なのであった。科学の単一性も人類の単一性も、この歴史の進行、歴史という一大ドラマのうちにおいて、終局的に実現が予想される一つの希望、あるいは理念のようなものであると考えられる。

ヘーゲルは『歴史哲学講義』において、次のようにいっている。「必然の連鎖をなすさまざまな民族精神の原理は、その一つ一つが普遍的な世界精神の各段階をなすものであって、歴史上のさまざまな精神のなかを貫流しつつ、みずからを自覚的な総体へと高め、全体を完成するのは、この普遍的な世界精神です²³⁾。これは、サートンの民族の選手交代による科学文化、人類の単一性の実現という考えに近いことを、別の言葉でいったものとも取れるであろう。

したがって、ヘーゲルの場合は科学史ではなく、哲学史について、似たようなことが考えられることになる。『哲学史講義』において、「こうして、精神が思考においてつぎつぎと自己をとらえていくあゆみは、同時に、全発展過程を集約するような前進一個人の思考を通過し、個々の意識のうちにしめされる前進ではなく、精神の諸形態をゆたかにふくむ世界史を舞台とする普遍的精神の前進です。こうした発展史のなかでは、したがって、理念の一形態ないし一段階がある民族のうちで意識化され、その結果、この時代のこの民族がこの形態を表現することによって、みずからの宇宙を形成し、自らの状況を精錬しえたけれども、高次の段階の理念は、一〇〇年後にまったくべつの民族のうちにあらわれるということもおこるのです²⁴⁾」といわれているからである。

サートンの素朴な考えのうちに、ヘーゲルの哲学を見直し、復興を目指した新ヘーゲル主義の影がさしているともいえる。では、サートンの文明史、人類史の主体となっているものは、何であろうか。歴史が進行

し、動いて行くといわれる時の、運動する当のもの、進行する当のものは、何なのであろうか。

その主体は、各民族であろうか。それはしかし進行する歴史が、次々に乗り換えていく、駅馬車のようなものに過ぎない。ヘーゲルのいう世界精神、普遍的な精神に当たるものは何であろうか。それは、民族の交代によって受け継がれていく科学、あるいは文明であろう。こうした形相的なものが、歴史の主体であるといえよう。

参考文献

- 1) 矢島祐利：科学史とともに五十年，p. 155（中公文庫，1993）
- 2) サートンからの引用は、ジョージ・サートン：古代中世科学文化史，全五巻，平田寛訳（岩波書店，1951）により、巻数とページ数を表記する。
I, p. 2
- 3) I, p. 2
- 4) I, p. 2
- 5) I, p. 56
- 6) I, pp. 58-59参照。
- 7) アリストテレス：形而上学，アリストテレス全集12，出隆訳，pp. 144-150参照（岩波書店，1968）
- 8) 同前，pp. 321-342参照。
- 9) I, p. 58
- 10) I, p. 59
- 11) I, pp. 56-57
- 12) デカルト：哲学原理，増補版 デカルト著作集3，三輪正・本多英太郎共訳，p. 25（白水社，1993）
- 13) IV, p. 4
- 14) IV, p. 5
- 15) I, pp. 64-65参照。
- 16) I, pp. 65-66
- 17) IV, p. 5
- 18) IV, pp. 5-6
- 19) I, p. 122
- 20) I, p. 218
- 21) I, pp. 122-123
- 22) アリストテレス：詩学，アリストテレス全集17，今道友信訳，pp. 38-41参照（岩波書店，1972）
- 23) ヘーゲル：歴史哲学講義（上），長谷川宏訳，pp. 136-137（岩波文庫，1994）
- 24) ヘーゲル：哲学史講義 上巻，長谷川宏訳，p. 37（河出書房新社，1992）

三宅剛一における科学の哲学的考察について

On the Philosophical Consideration of Science in Miyake Gouichi

笠井 哲

福島工業高等専門学校一般教科

Akira Kasai

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of General Education

(2015年8月31日受理)

Miyake Gouichi (1895-1982) is called the one of the last systematic philosophers. He began with mathematical philosophy and the phenomenological study, and he studied it in line with the original of the European philosophy critically closely. He is known by having built original human being ontology in later years. Miyake proceeded to Sendai as an assistant professor at Tohoku Teikoku University department of science and was in the charge of an installed Science Outline first in Japan. The purpose of this paper is to clarify the significance of the philosophical consideration of science in Miyake Gouichi mainly on *The Lecture Note Science Outline*.

Key words: Miyake Gouichi, philosophical consideration of science, *The Lecture Note Science Outline*

1. はじめに

三宅剛一（1895－1982）は、「体系的哲学者最後の一人」と呼ばれ、数理哲学や現象学の研究から始め、西洋哲学を原典に厳密に拠りながら批判的に論及し、晩年には独自の「人間存在論」を構築したことで知られる¹⁾。

三宅は、重厚な学風に加え、随筆や啓蒙書の類をほとんど書かなかつたから、一般にはあまり馴染みがないが、昭和中期から後期にかけて、日本の哲学アカデミズムを代表する哲学者として活躍した。

三宅剛一は、明治28年（1895）に岡山県浅口市鴨方町に生まれ、地元の金光中学校、岡山の第六高等学校に学んだ。この時教官に高橋里美がおり、薦められた『善の研究』を読み感激した三宅は、京都帝国大学哲学科に進み、西田幾多郎に師事した。

卒業後、新潟高等学校教授を経て、大正13年（1924）から、東北帝国大学理学部助教授として、仙台に赴いた三宅は、日本で最初に設置された「科学概論」を担当した。それは、最初の主著である『学の形成と自然的世界』の執筆時期と重なっている。本稿の目的は、講義ノート『科学概論』を中心に、三宅剛一における科学の哲学的考察の意義について、明らかにすることである。

2. 講義ノート『科学概論』の成立事情

東北帝大の「科学概論」担当者は、初代が田辺元、次いで小山軀会、高橋里美、三宅が四代目となる。そもそも「科学概論」が東北帝大創設と同時に開設されたのは、理学部の学生たちに、数学や自然科学が全知識体系において占める位置、したがってまた他の文化領域との関係についての認識を与えるという目的による²⁾。しかし、「科学概論」のポストは助教授のみで、教授への昇進の見込みはなく、また「科学概論」は自由選択科目であったため、「ただものずきな学生が一人か二人位、それも話が通じてゐるのかみないのか」³⁾ わからないという状態であった。ともすれば、張り合いのない状況にもめげず、一人学問研究に打ち込むことが求められた。ただし三代目の高橋里美によれば、科学概論は「講座に属さない『自由科目』だったため、『学部内の雑事』に煩わされずに勉強ができた」⁴⁾ とその境遇を肯定的に回想している。三宅もまた、新潟高校時代とは比較にならないほど、研究のための便宜と時間を得て、しかもいずれの学科にも属さない「共通科目」担当者であったため、「比較的に暇がある」⁵⁾ という実感を持つことができた。この間に数理哲学、ハイデガー研究、自然的世界の哲学的研究等に巨大な業績をあげていくのである。

いずれにせよ、三宅は「科学概論」の講義にも真摯に取り組んだ。「三宅の遺稿中には『科学概論』の講義ノートが三冊も存し、三宅がかなり本格的に取り組んだことがうかがえる」⁶⁾という。生命のような現象も、「むしろ論理的の徹底によって、生命を論理的リズムに於て生かすのが本分」⁷⁾とする三宅には、科学哲学や数理哲学という分野は、彼の思索にとって、ある必然性を含んでいたともいえる。

三冊の講義ノート『科学概論』を概観しておこう。第一冊目は、「科学」の概念についての案内が趣旨であって、目次は次の通りである。

参考書

緒論 科学概論の性質及び問題

第一章 経験と科学

第二章 科学の分類

第三章 自然科学概説

第四章 数理的自然科学と生物学

第五章 自然科学的認識の意義⁸⁾

ここで、三宅が参考書として挙げているのは田辺元の『科学概論』と『最近の自然科学』である。このうち、『科学概論』の構成についても見ておこう。

それは、以下のような章立てになっている。

序

序論 科学概論とは何ぞ

第一章 意識の現象学的概観

第二章 論理の根本原則

第三章 数理の基本概念

第四章 経験の成立

第五章 科学の分類

第六章 自然科学の方法

第七章 自然科学の数理的方法

第八章 自然科学的認識の意義

結論⁹⁾

ここに見られるように、三宅の「科学概論」の第1冊目は、田辺の『科学概論』の明らかな影響下にあるということがいえる。

さて、『科学概論』の第2冊目と第3冊目は、歴史的考察に当てられており、目次は次のようである。

ギリシアの科学及哲学

第一章 ギリシアに於ける哲学の発生

第二章 ギリシア期の哲学及科学 (宇宙論的時代)

第三章 啓蒙期に於けるギリシア哲学 (主として人性論時代 前五世紀の中期以降～四世紀の始めまで)

第四章 ギリシア全盛時代のギリシア哲学及科学 (四〇〇～三〇〇B.C.)

A Platon

B アテネ中心時代の数学 Platon及びAkademie学派 (前五世紀及四世紀)

C Aristoteles

一三世紀以後新しき自然科学の起るまで (一二〇〇～一四〇〇)

Aスコラ哲学の盛期 (Die Hochscholastik)

近世の科学思想

一六世紀における自然哲学

Giordano Bruno

Leonardo da Vinci

Copernicus から Kepler まで

Johannes Kepler

Galileo Galilei¹⁰⁾

以上の歴史的考察の部分は、昭和15年 (1940) に完成する『学の形成と自然的世界』の第一章から第五章に対応している。次に、その目次をあげておこう。

第一章 プラトン以前の数学的宇宙論

第二章 イデアと数

第三章 『ティマイオス』における宇宙論

第四章 プラトン以後の哲学における無限の思惟

第五章 十四世紀オッカム派の自然哲学

第六章 モナッドと世界 (ライプニッツ)

第七章 デカルトにおける延長

第八章 カントにおける時間、空間および世界¹¹⁾

そしてドイツ留学から帰朝後、さらにデカルト、ライプニッツ、近代科学の系譜に関する研究が加えられ、『学の形成と自然的世界』が構成される。

歴史的考察は、本稿の主題ではないのでさておく。本稿では、三宅における科学の哲学的考察について検討するので、問題を絞って考察しよう。

3. 『科学概論』第1冊目における科学と哲学

三宅は、講義ノート『科学概論』第1冊目の「緒論」において、自分は科学に関する哲学的考察としての科学概論をすると明言している。すなわち、「自分のこれから述べやうとするものは、科学に関する哲学的考察としての科学概論であるが、そのうち主として自然科学に関する部分である」¹²⁾。

その際「哲学的考察」が如何なるものであるかは、科学と哲学の関係を、どのようなものととらえるかによって多義的である。科学は一般に、与えられた事実

を対象とする知識であるのに対し、この事実の世界に関して、科学によっては知りえないような特別の事実の性質や関係を知らしめることを哲学に認めようとする立場を、三宅は徹頭徹尾斥けている。

科学的認識と哲学とは、別種のものだと三宅は見えていない。哲学は科学に反する知ではないのである。すなわち、「この与へられたる事実としての世界に関して科学とは別な知識を与へ、現在及将来の科学によって、到底知り得ないやうな特別の事物の性質・関係を知らしめるものとしての哲学を認めると云ふことは、今日の科学的精神に相容れないものである。従つて自然現象に関する思弁的な認識としての所謂自然哲学（十八世紀から十九世紀初めにかけてのドイツの Schelling などの称へたもの）が科学者の不信用を買つたのは一面に於て当然のことである。併しながら哲学を、科学と同様の対象を、後者とは異なる方法によって認識する学問であると云ふのは、哲学の本来の性質に対する誤解に外ならない。哲学は、決して所謂事実の世界に関する認識としての科学とその分野を争はんとするものではない。内界又は外界の事実に関しては之を諸種の科学の研究に委ね、哲学は全然之を容喙すべきではない。与へられたものの性質及び現象間の関係にして、今日の科学によって闡明し得ない複雑微細なる点があるとするならば、これを闡明す可き責任は将来の科学にかゝるのであって、哲学的解釈によってその欠陥を補ふ可きではないのである」¹³⁾。

では三宅にとって、哲学はどこにおいて成立するのであろうか。三宅のいう、「哲学の本来の性質」とは如何なるものであろうか。三宅によれば、われわれがあることを「事実」と見なすとか、何かを「知る」とか、事実について「知識」をうるという場合、それらが何を意味しているのかという問いに対して、諸科学からの解答をうることはできない。科学は、むしろこれらの問題を自明なものと仮定している。

「事実とは何ぞや」—この問いの中にこそ、三宅は「科学と独立な哲学の問題」¹⁴⁾が存するという。事実を与えるのが経験であり、知識が組織化されたものが科学であるなら、「事実とは何か」「知識とは何か」という問いは、結局のところ「経験とは何か」「科学とは何か」という問題に帰着する。

われわれが、単に「経験の立場」「科学の立場」とどまる限り、こうした問いに答えることはできない。なぜなら、単に経験することと、経験を対象として扱うこととは、元来異なる精神作用だからである。むし

ろ、より根本的な立場に立ち、そこから経験や科学を反省すること、それが本講義で三宅が語る哲学の仕事である。三宅によれば、科学は与えられた事実を事実として見るのに対し、哲学は事実の「意味価値」¹⁵⁾を考察するものである。

こうした哲学的な見方を、三宅は「科学批判」と取り直している。科学批判とは、「科学はいかなる仮定の上に立ち、いかなる方法によってその認識を構成するかと云ふことを尋ねる」¹⁶⁾ものである。

三宅は、哲学の課題は、科学がみずからの認識に関して無意識に仮定している事柄を取り上げ、それを自覚的に「反省」することであると、哲学の反省の性格を際立たせている。こうした反省の中から、科学的概念や科学的法則が何であるかが解明され、そして科学的真理がいかなるものであるかが明らかにされ、科学の価値、科学的理想の限界が解明されるという。

三宅のいう「科学批判」とは、諸々の科学上の学説の正邪優劣を判定することではなく、また、科学的な研究成果を科学以外の立場から議論することでもない。これらはすべて、科学自身の仕事だからである。むしろ「哲学的考察は、科学的認識の尖端に向かうのではなく、むしろその根底に、或はその内面に向けられる」¹⁷⁾と述べられている。

事柄の Grund へ向かい、その内奥に迫ることが哲学であるとする三宅のこの姿勢は、単に諸科学に対してもつ哲学の性格づけにとどまらず、この段階における三宅自身の哲学的立場の表明として、見過ごすことのできない価値を持つものであろう。

三宅は科学的認識を特徴づけた箇所、「科学的認識以前の直接に与へられた世界」¹⁸⁾と、そこに現われる「科学に於て示されたる世界」¹⁹⁾を区別し、科学は前者における経験的認識をより精密にしたものと述べている。「科学の如何なるものであるかを知るためには、それに先だつ所の経験及び経験の世界が如何なるものであるかを知らねばならない」²⁰⁾と述べている。

『科学概論』の最終章「自然科学的認識の意義」において、三宅は自然科学的認識の客観性の問題に言及している。自然科学における認識は、その理論体系が無矛盾であるだけでは不十分であり、経験による検証を必要とする。しかし、経験は可變的であるから、自然科学の真理は蓋然性を免れず、将来の経験に依存するという意味で相対性を克服することはできない。

にもかかわらず、「与へられたる経験に関して自然科学的理論の一義的、普遍的な決定を望むことは出来

る」²¹⁾と三宅が語るのは、「認識の客観的要求」²²⁾が、科学の根底に潜んでいることを見通しているからに他ならない。

マッハ、アヴェナリウスらの説いた思惟経済説においても、仮説の選択において完全な任意性が支配しているのではなく、そこに「簡便便利」という標準が存在する。この標準は、人間の好悪に関わらず採用されるべきものなのだから、その標準には一定した理論上の意味が存している。

つまり「簡便便利」といった標準も、それが標準である以上、科学的な法則を演繹して、これを組織統一するために、必要かつ十分なものでなければならないということである。

それゆえ、「ある法則を演繹統一するに必要にして充分なる仮説は、常に客観的に一定してゐると考へなければならぬ」²³⁾と三宅家は考える。すなわち「自然科学的認識の客観性は、その理論が普遍性及びその体系的統一への傾向によって普遍的に一義的に決定せられると云ふ所に存する」²⁴⁾というのである。認識の客観性を、理論そのものがもつ普遍性および体系的統一に見出す三宅は、しかし、自然科学は一つの原理に基づいて経験を組織したものであることを積極的に認める²⁵⁾。

だとすれば、自然科学が与える世界は、経験的現実の世界の模写ではなく、また現実世界の背後に潜む別個の真実在を示すものでもない。それにも関わらず「経験に関して自然科学的理論の一義的、普遍的な決定を望むことは出来る」²⁶⁾と三宅が語るのは、単なる希望を述べているのではなく、「究極の基礎は、自然の世界を成立せしむる原理が超個人的必然性を有する所に存する」²⁷⁾という学的立場に由来するものであろう。それがさらに如何なる問題系を惹起するのか、とりわけ現在の科学論における展開と突き合わせ、どのように位置づけられるのかは別の問題である。

『科学概論』は、科学の基礎へと向けられた哲学すなわち科学哲学として、科学の本質をめぐる根本的かつ広範な問いを主題化している。事象の根本に潜む問題を見極め、そこから目を逸らさずに核心に迫ろうとする三宅の徹底性が、ここでも遺憾なく発揮されている。したがって、この『科学概論』講義ノート1冊目は、我が国における科学哲学の展開の歴史においても、大きな意義を有するものであるといえる。

以後の著作において、三宅の科学の哲学的考察が、いかに展開されていくか見ておきたい。

4. 三宅の考える「自然的世界」

さて、以上の『科学概論』をもとに、三宅は『学の形成と自然的世界』を著した。その間の経緯を簡単に説明しておこう。三宅は東北帝国大学理学部に在職のまま、昭和5年(1930)ドイツへ国費留学する。フライブルクで、直接フッサールから現象学の手法を学び、ハイデガーとも交流を結んでいる。

帰国後、三宅は西洋哲学におけるオーソドックスな問題、特に自然哲学の歴史的研究に集中していく。昭和15年(1940)に不朽の労大作『学の形成と自然的世界』を弘文堂書房から出版する。古代からカントまでの西洋哲学を、自然的世界の学的形成の問題において認識し、科学哲学のあり方を志向しようとした、文献的研究に基づく批判的論究である。

この『学の形成と自然的世界』において、三宅は、「単に数理哲学ばかりでなく、一般に科学に関する哲学は、十九世紀後半以後のものは、その立場においても論調においても、哲学に適わしい究極性と全体性へのつきつめた要求を欠いているものが多いように思われる」²⁸⁾と述べている。

しかし、三宅は冒険的な思弁や先走った考え方を排除し、正確な認識を着実に構築するのであれば、それに反対はしないという。そのような自己抑制は、哲学にとって必要だからである。ただし、哲学においては下から突き上げてゆく研究でも、その奥に究極的なものへの関心が保たれ、生かされていなければならないとする。

三宅は、次のようにいう。「過去半世紀ばかりの間に現われた多くの科学哲学に対して、私は、それらが結局何らかの近代常識に立脚し、その常識そのものの徹底した反省を怠っているのではないかという感じを禁じ得ない。現代において、学は直接的には多様な特殊科学として与えられているが、科学の哲学はそれに対していかなる態度をとっているであろうか。多くのものは、十九世紀の学問上の専門主義に追従して、哲学者自身何らかの特殊研究の形をとることによって、科学の前に自己を釈明しようとし、あるいは、科学の方法論として存在を保とうとしているかに見える。それらの特殊研究や方法論も、科学と哲学との中間的研究として、相当の意義をもつものはあるが、それはどこまでも中途的性格を脱しないのである。近代科学について歴史的見地から考察したものも、単に科学認識の進歩というような見方から考えているのでは、問題性の意識が浅いといわねばならぬ」²⁹⁾。

三宅は、「自然的世界」という言葉を次のように説明する。「世界という観念は、その起源においても内容においても一様ではない。私がここに自然的世界というのは、単なる自然界または物体界の意味ではない。自然が歴史に対し、物的なもの、精神的なものに対して考えられている限り、自然界も物体界も世界の中での一領域であって世界ではない。世界という以上、何らかの仕方で、歴史的なもの、精神的なものをも含んだ全体的な世界でなければならぬ。しかしこの全体的な世界が、その基本的性格において、特に強調せられた意味で歴史的であり、また精神的である場合に対し、そうでない場合があるとすれば、それを自然的世界とよんでもよいであろう」³⁰⁾

さて熊野純彦は、本書について「デカルトを論じるに先だってオッカムをとり上げ、その自然観、空間・時間論ならびに運動論を検討している。オッカムの名にこの国の哲学研究者が主題的に言及した、きわめて早い時期にぞくする例であろう」³¹⁾としている。

そこで、オッカムが論じられる第五章について、検討しておきたい。第五章の「一 トマスおよびスコッスの自然観とオッカム」で、三宅はオッカムの哲学が中世スコラ哲学の統一的世界にもたらした分裂対立が、世界と人間についての新しい思惟、新しい立場である所以を明らかにしている。続く「二 オッカムにおける空間、時間および運動」においては、オッカムおよびその一派の「ノミナリスト」たちにおいて、中世の自然観への反省批判を通して、すでにある程度まで近代自然科学の基本概念が準備され、あるいは形成されている事実について述べている。

結論めいた部分で、三宅は「運動、時間および場所についてのオッカムの思想には三つの要素または傾向が交錯している。一、アリストテレスの概念図式二、内的体験的なものの物的なるものへの客体化三、テルミニズムの認識論がそれである。第二と第三との結合は近代の自然科学とそれの認識論においてしばしば結びついて現れている」³²⁾というのである。

ここにいう「近代の自然科学とそれの認識論」こそ、科学の哲学的考察に他ならないであろう。そして、14世紀を思想的に、中世的なものと近代的なものとの微妙に交錯した時代であったとする三宅は、内界と外界、精神と物体界との分離ということなしには近代的自然科学の発生はあり得なかったとし、「その分裂の立場を先駆するものがオッカムの哲学であった」³³⁾というのである。

5. 科学論の存在論的考察—結びにかえて—

三宅は、『科学概論』と『学の形成と自然的世界』の後に、「科学論と哲学」という論文を書いている。これは、短いものであるが、三宅の科学哲学を総括する意義を持つものと考えられる。

三宅の子息・三宅正樹明治大学名誉教授が、この論文を収めた『経験的現実の哲学』のあとがきで、いわゆるジャーナリズムには滅多に執筆しなかった三宅が、雑誌『潮流』に書いた「科学論と哲学」は、その意味で珍しい論文である。そして、昭和21年(1946)7月17日の読書新聞の「週刊展望」には、三宅の論文が湯川秀樹の論文とともに称賛されていたという。

「潮流(六月号)特輯は科学発展の基礎構造、三宅剛一氏の『科学論と哲学』、湯川秀樹氏の『科学と希望に就いて』、ともに読みごたえがある。前者はエミール・プートルーの領域的な存在論を越えた形而上学に進む哲学を引例して、生物学の哲学的理解は、従来の多くの科学論のように物理学的方法だけを目標とした見方だけでは成り立ち得ないと論じ、後者は科学の本質を説き、その真の発達は、一部門の、すなわち人文科学よりも自然科学が著しく前進している。……前者、後者ともに科学発展の基礎構造は精神と現実と科学との連関に於ける本質的真理把握を意味することを提出している」³⁴⁾。

さて三宅は、まず科学を問題にするには、種々の仕方があるとして、いくつか挙げています。まず、科学を社会的事実としてみて、社会学の問題とするものである。次に、近代の思想や文化との関係において、思想的・文化史的に考察するものである。そして、「これらはいずれも科学を歴史的社会的な現実として、他のもとの連関から考えるものである」という。

これに対して、科学をその内面から科学そのものの内的な実質に入り込んで考察する仕方を挙げています。科学を内面から見るといっても、それは科学内部の特殊な事項を解説するのではない。三宅は、「その考察は哲学的なものでなければならぬ。私がここで考えてみようとするのはこのような哲学的科学論である。それも、一つのまとまった科学論を展開するというよりも、西洋近世の科学論についてその哲学的立場というようなものを歴史的に考察して、人々が科学論を考える場合の参考としたいと思うのである」³⁵⁾という。

三宅の従来の科学論に対する不満は、それが何かの特殊な問題をとらえていきなり問題を論じ、自己の哲学的立場そのものを問題としないことである。すな

わち、科学の哲学的考察になっていないことである。

明確な哲学的立場をとる場合も、独断的な主張だけで、立場そのものの問題性を意識せず、そういう立場をとる理由をも明白にしようといわないことである。

そして、次のようにいう。「これは、哲学的な科学論というものが、近世だけでも数世紀にわたる歴史をもつものであるということについての歴史的な意識の希薄さを一つの原因とするものと思われる。それで私はそういう方面の歴史的な考察はもっとあってもよいと思うのである」³⁶⁾。

すなわち、三宅は自身の『学の形成と自然的世界』のような研究がなされることを期待している。三宅は、近世のはじめ以来、哲学的科学論に二つの基本的な方向を認める。一つは、科学の内的な論理であり、これは科学の構成的論理を確立しようとする、建設的方向であるという。もう一つは、反省的批判的な方向であるという。科学が論理をもつことは認めるが、その論理が、対象そのものの論理であるかどうかは問題であり、むしろ人間の心理に根ざす主観的なものではないか、という見方である。そして、科学の論理は主観の論理に過ぎないという。

最後に三宅は、現代では哲学的な科学論が要請されることを述べ、論文を次のように締めくくっている。「現代に於て科学論を志ざす人は、従来の主として方法論の面からの見方を補うものとして、存在論的な考察を怠ってはならない。前に私は科学をつくり出す内的論理の把握ということを行ったが、ここではまた、与えられた現実、常識や日常的把握の傾向による偏曲化から解放せられた、あるがままの現実の本質的な連関基本的構造の把握が要求せられるのである。そういうところまで掘り下げて、そこにしっかりとした足場をおくことができたとき、真に哲学的な科学論が生まれて来るであろう」³⁷⁾。

参考文献

- 1) 酒井潔：「解説」、三宅剛一：人間存在論所収，pp. 274-275 (講談社，2008)
- 2) 竹田篤司：物語「京都学派」，p. 52参照。(中央公論社，2001)
- 3) 酒井潔：〔資料解題〕三宅剛一差出・下村寅太郎宛書簡(上)，人文第1号，p. 158 (学習院大学人文科学研究所，2002)
- 4) 物語「京都学派」，p. 52
- 5) 三宅剛一：学の形成と自然的世界，p. ix (再刊の序) (みすず書房，1973再刊)
- 6) 酒井潔：西田幾多郎と三宅剛一—伝記的研究の試み，学習院大学史料館紀要 第12号所収，p. 23参照 (学習院大学史料館，2003)
- 7) 三宅剛一：総合的統一について，経験的現実の哲学所収，p. 332 (弘文堂，1980)
- 8) 『科学概論』第1冊目は、三宅剛一：論理学講義 (新潟高校講義) 科学概論，中川明博編，学習院大学研究叢書39，(学習院大学，2008) による。以下では、科学概論と表記する。科学概論，p. v
- 9) 田辺元：田辺元全集 第二巻，目次 (筑摩書房，1963)
- 10) 科学概論，p. xviii
- 11) 学の形成と自然的世界，pp. xi - xiii
- 12) 科学概論，p. 59
- 13) 科学概論，pp. 60-61
- 14) 科学概論，p. 61
- 15) 科学概論，p. 62
- 16) 同前。
- 17) 科学概論，p. 63
- 18) 科学概論，p. 65
- 19) 同前。
- 20) 同前。
- 21) 科学概論，p. 106
- 22) 科学概論，p. 105
- 23) 科学概論，p. 105
- 24) 科学概論，p. 106
- 25) 科学概論，p. 107参照。
- 26) 科学概論，p. 106
- 27) 科学概論，p. 107
- 28) 学の形成と自然的世界，p. v
- 29) 学の形成と自然的世界，pp. v - vi
- 30) 学の形成と自然的世界，p. i
- 31) 熊野純彦：日本哲学小史，p. 60 (中公新書，2009)
- 32) 学の形成と自然的世界，p. 185
- 33) 学の形成と自然的世界，p. 204
- 34) 三宅正樹：あとがき，三宅剛一：経験的現実の哲学所収，pp. 345-346 (弘文堂，1980)
- 35) 三宅剛一：科学論と哲学，経験的現実の哲学所収，p. 109 (弘文堂，1980)
- 36) 科学論と哲学，p. 110
- 37) 科学論と哲学，p. 129

LabVIEWで操作する計測器を用いた応用物理実験テーマの策定

—共振実験用VIの作成と線形フィッティング解析の実習—

New experimental theme using measurement setups operated by LabVIEW software
– Development of VI for resonance experiments and analysis by linear-fitting process –

磯上 慎二・小田 洋平・工藤 康紀・鈴木 三男

福島工業高等専門学校 一般教科物理科

Shinji Isogami, Yohei Kota, Koki Kudoh and Mitsuo Suzuki

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of General Education, Physics

(2015年9月17日受理)

The new experimental theme using the LabVIEW software was developed for a subject of Applied Physics II. The LabVIEW achieved remote controlling of a pulse generator of which frequency and amplitude were set on a personal computer, and linear-fitting analysis of the experimental data. Resonance experiments in a chord were demonstrated using the setups, and the eigen oscillation modes were observed for each tensions in the chord. The linear-density of the chord was estimated with the observed eigen frequency values. We thus conclude that our developed experimental theme can give students experiences of LabVIEW software.

Key words: LabVIEW, resonance oscillation, eigen frequency

1. はじめに

ナショナルインスツルメンツ (NI) 社が提供するソフトウェア、LabVIEWは、自動車、半導体、航空機、電子機器、化学薬品、通信、医療品といった多種多様な業界に普及し、そこでの研究、開発、製造、保守管理に利用されてきた。その中でも特徴的なのは、NASAにおいて、無人探査機から送られてくる装置データ（位置、温度、バッテリー残量など）の常時監視・解析と、その後の運用計画を立案することにも活用されていることである。このようにLabVIEWは既に分野を問わず広く普及している。

LabVIEWで作成するプログラムはバーチャルインスツルメンツ (VI) と呼ばれる。FortranやCのようなテキスト文によるプログラミングとは全く異なり、一目でコマンド動作がイメージできるアイコンで構成される。その結果、開発スピードが格段に速まると同時に、初心者が抱くプログラミングへの抵抗感が低減できるようになった。さらにサンプルVIのダウンロードとユーザー同士の情報共有がインターネット上で可能である。よって習熟の効率化という観点では、LabVIEWは他の言語と同等と考えられる。

以上、種々の産業界への普及とユーザー親和性を鑑み

ると、LabVIEWを用いた実験や応用システムの構築と操作を実習する機会を設定することは、開発現場にいち早く順応できる人材育成の観点から重要な取り組みである。しかしながら、福島高専内では先行事例がなかった。そこで我々は、応用物理実験テーマ「LabVIEWを用いた電気計測実験」を開発し²⁾、2013年からLabVIEW教育を実践し続けてきた。その中で、実験指針書に記載されたマニュアルに従いVI作成、測定データ自動サンプリング、テキストファイル作成まで一連の実習を行った。後の調査結果より、98%の学生はLabVIEWの実験に興味をもって取り組んだことが判った³⁾。この結果を受けて今回は、発展テーマとして弦の共鳴振動実験に必要なファンクションジェネレーターのリモート操作とデータフィッティング解析に関する実習を開発したので報告する。

2. 両側固定端における弦の固有振動の原理

線密度 ρ [kg/m]で長さ l [m]の弦に張力 S [N]が加えられているとき、形成される定常波の波長 λ [m]は、両端が固定端であるから、 m を自然数として、

$$\lambda_m = \frac{2l}{m}, \quad (式1)$$

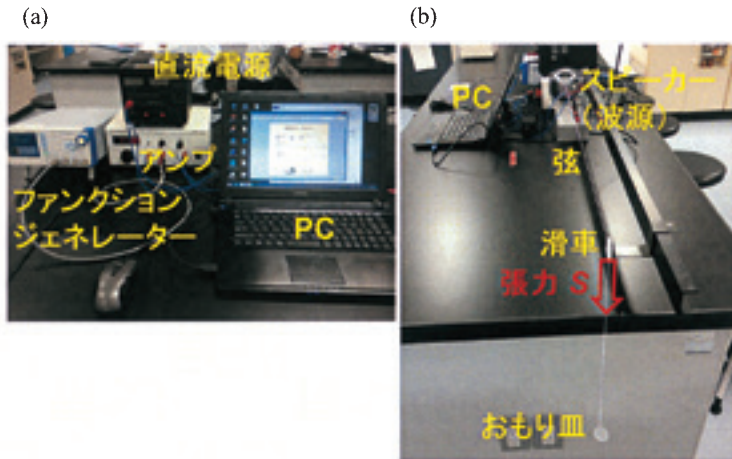


Fig. 1 (a) 共鳴振動実験装置系の配置, 名称とそれらをリモート操作するPC周辺を示す外観写真. (b) 共鳴振動する弦の配置を示す外観写真.

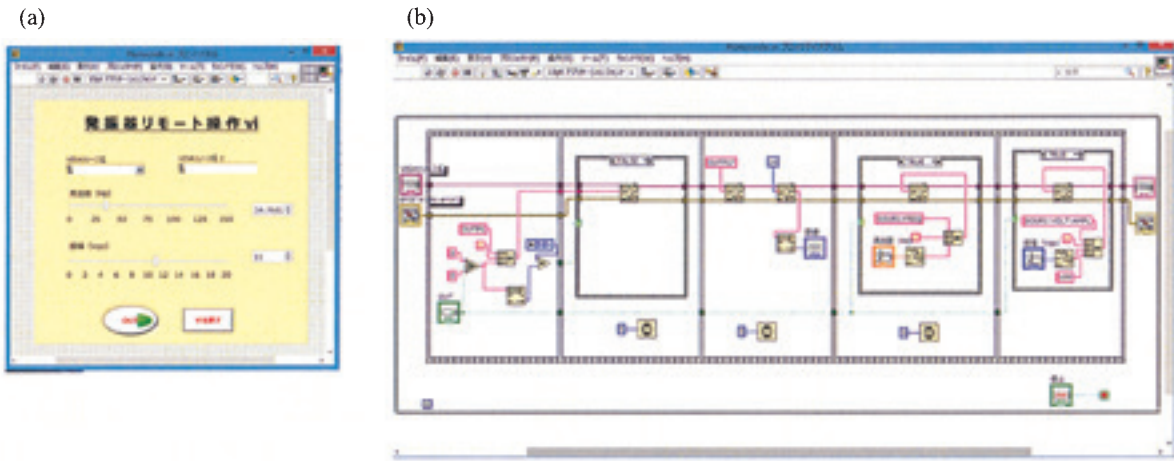


Fig. 2 (a) ファンクションジェネレーターをリモート操作するために作成したVIのフロントパネル. (b) 対応するVIのブロックダイアグラム.

で与えられる. 特に $m=1, 2, 3 \dots$ のときの定常波に対する振動をそれぞれ, 基本振動, 2倍振動, 3倍振動 ... と呼ぶ. このように自然数倍の振動をまとめて固有振動, 対応する振動数を固有振動数という. また弦を伝わる音速を V [m/s]とすると, m 倍振動の固有振動数 f_m [Hz]は,

$$f_m = \frac{V}{\lambda_m} = \frac{V}{2l} \times m, \quad (式2)$$

で与えられる. ここで線密度 ρ と V には,

$$V = \sqrt{\frac{S}{\rho}}, \quad (式3)$$

の関係がある⁴⁾.

3. 実験装置の構築

3.1 装置系の構成

共鳴振動実験装置はFig. 1に示されるように, ファンクションジェネレーター (型式: WF1974), アンプ,

直流電源, 振動弦, スピーカーで構成されている. サイン信号波形をアンプで増幅し, スピーカーの振動を弦に伝える基本的な仕組みである. 設定値に関しては, サイン信号波形の V_{pp} (振幅の2倍) を0~20 V, 周波数 f を0~150 Hz, スピーカーへのバイアス直流電圧を6 V, おもり (分銅) 質量 m を $0 \sim 2 \times 10^{-3}$ kgとした. また弦は一般的な木綿製裁縫糸を用い, 長さ (スピーカー接点から滑車まで) を1070 mmとした. 定常波の波形は, 基本振動, 2倍, 3倍振動を目視で決定した. 弦に加える張力 S は分銅の質量で変化させた. またファンクションジェネレーターには外部制御用のGPIO信号ポートが設置され, LabVIEWソフトウェアとPCによる外部操作が可能である.

3.2 ファンクションジェネレーター外部操作VIの作成

Fig.2(a)は筆者が作成した実際のVIの操作パネル (フロントパネルと呼ぶ) を示す. 従来はファンクション

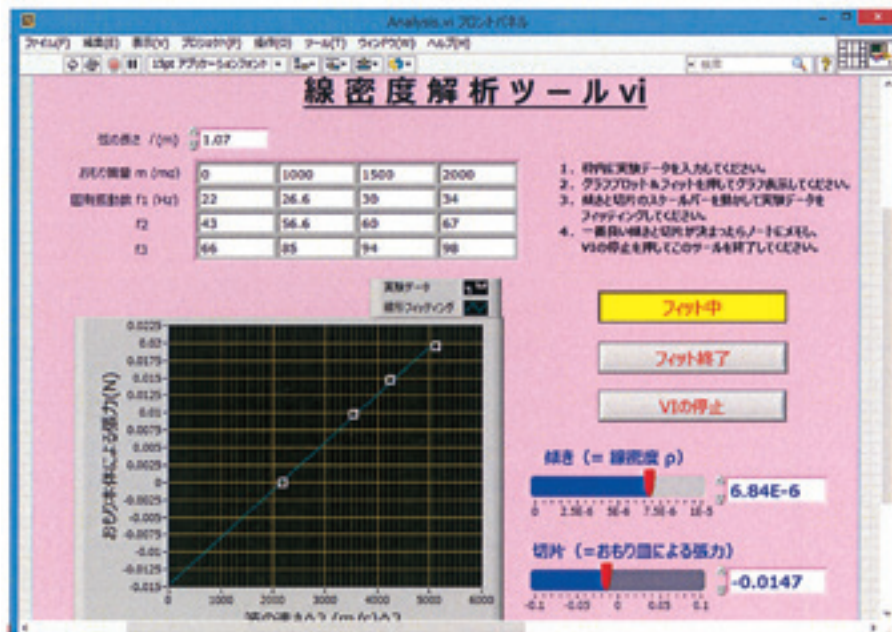


Fig. 3 実験データから線密度を算出するために作成した解析用VIのフロントパネル。

ジェネレーター本体の操作ボタンを押しながらマニュアル操作で実験を行っていたが、この場合逐一、設定値画面を経由する必要があるため煩雑であった。さらに実験装置の配置の都合で、ファンクションジェネレーターは弦と離れた位置に置かれており、必然的に実験者の視線と腕の動きが大きい点も、限られたスペースで高精度なデータ取得するのに好ましい状況ではなかった。今回構築した系では対照的に、Fig 2(a)に示すようなフロントパネル上のスケールバーをマウスで動かすだけで周波数と振幅を独立に、かつリアルタイムで調節可能とした。このことで実験者の視線が弦に注がれた状態とし、固有振動を見つけやすくした。

Fig. 2(b)は対応するVIの中身を示す。他のプログラムではちょうどソースプログラムに対応するものである。アイコンが配線されているだけであり、初心者でも動作をイメージしやすいものと推察される。図中には示されていないが、メニューバー内の電球アイコンをONにしてデバッグモード化すると、値の受け渡しがリアルタイムで可視化され、容易にVIの間違いに気づく。「VIを終了」ボタンが押されるまで、5つに区切られた枠が繰り返される仕組みである（whileループに相当）が、1ループあたりの演算速度はPC性能に依存し、ほぼ他のプログラムと同じである。学生実験では実際に同じVIを作成してもらうため、細かい手順のマニュアルを別途準備している。

3.3 データフィッティングVIの作成

線密度 ρ は(式3)で示されるように、 V^2 に対する S の傾きとして与えられる。ここで V は f の関数であるから(式2)、実験で得た f_m から V を算出している。今回はいくつかの S に対して測定された V^2 をグラフ上にプロットして近似直線の傾きを求めた。これまでは、グラフ用紙を配布して手書きをさせていたが、VIでもプロットや近似直線による解析が可能である。これを実習するためFig. 3に示す解析用VIを実際に作成した。弦の長さ、おもりの質量、固有振動数 f_1, f_2, f_3 を入力すると、グラフにプロットが現れる。その後、フィッティングボタンで現れた近似直線の傾きと切片をマウスで調節し、プロットをフィッティングする。リアルタイムで近似直線が更新され、ベストフィット条件を見出しやすいように工夫した。ここで、傾きは線密度そのもの、切片はおもり皿の質量（おもり本体の質量 $m=0$ ）に対応する。本VIを用いると手計算より格段に早く、得られたデータの妥当性をチェックできる。結果として再実験必要性の判断が瞬時にできるため、授業全体の効率化が期待される。しかし、算出過程の学習のため、手計算による検算も学生のレポートとして課す予定である。

4. 実験結果

前述の2つのVIを用いた弦の線密度算出に関するデモンストレーションの結果を示す。表1はおもりの質量 m [kg]に対する基本振動、2倍、3倍の固有振動数の実験データをまとめたものである。まず基本振動数 f_1 と m の関係に着目すると、 m の増大に伴い単調増加しており、

表1 おもり質量に対する固有振動数 (実験値)

弦の長さ (m)	1.07				
おもり質量 ($\times 10^{-3}$ kg)	0	1.00	1.50	2.00	
固有振動数 (Hz)	f1	22.0	26.6	30.0	34.0
	f2	43.0	56.6	60.0	67.0
	f3	66.0	85.0	94.0	98.0

(式2) と (式3) で予想される結果と定性的に一致することを確かめた。次に $m = 1.00 \times 10^{-3}$ kgにおいて、固有振動数の変化に着目するとおおむね、 f_1 を基準として2倍振動は $f_2 = 2f_1$ 、3倍振動は $f_3 = 3f_1$ の関係を満たすことを確認した。以上より表1の実験結果は、共鳴振動理論の範疇での固有振動を観測していることを示唆する。

ツール上の解析では4つの m に対するプロットを直線近似し、その傾きから $\rho = 6.84 \times 10^{-6}$ kg/m が得られた。また $m = 0$ でおもり皿による張力は、縦軸の切片の絶対値から 1.47×10^{-2} N であることが判った。ここで弦の長さは $l = 1.07$ m を用いている。このようにおもり皿の質量が未知であっても、複数のデータから線密度が求められることを確かめた。

ツール上の解析を検算するため、例えば、 $m = 1.00 \times 10^{-3}$ kg の場合に対して手計算を行った。基本、2倍、3倍振動における V はそれぞれ $V_1 = 2lf_1 = 56.9$ m/s、 $V_2 = lf_2 = 60.6$ m/s、 $V_3 = (2/3)lf_3 = 60.6$ m/s で、それらの平均値は $V = 59.4$ m/s と計算される。個別に計量されたおもり皿だけの質量 1.33×10^{-3} kg を用いて、弦にかかる実効的な張力は $S = mg = (1.00 \times 10^{-3} + 1.33 \times 10^{-3}) \times 9.8 = 22.8 \times 10^{-3}$ N と計算される。よって (式3) より解析的に $\rho = 6.47 \times 10^{-6}$ kg/m と算出された。この結果は近似直線の傾きから求まる $\rho = 6.84 \times 10^{-6}$ kg/m と比較すると

6%程度の違いであった。この値は定量的におおむね一致と判断しているが、さらに精度を上げるためには、各おもりの質量に対する固有振動数を複数回測定した平均値を用いる必要があると推察している。以上の結果より、約4つ程度のプロットを用いたフィッティング解析手法は妥当であり、授業時間の制約を受ける学生実験として展開可能と考えられる。

5. まとめ

ファンクションジェネレーターをLabVIEWにて外部操作するVIを作成した。周波数と振幅を全てリアルタイムにPC上で制御できるようになった。その結果、固有振動を形成する条件の決定が効率化された。得られた固有振動数、弦の長さ、おもりの質量を入力するだけで、即座に線密度を計算し、データの妥当性が確認できるVIを作成した。リアルタイムで実験データを直線近似するため、高い精度での線密度の解析を可能とした。これらLabVIEWを学生実験で体験させることで、外部制御としての用途のみならず、実験データ解析にも有用である特徴を教育できると期待される。

参考文献

- 1) Robert H. Bishop : LabVIEWプログラミングガイド(アスキー、東京、2005)。
- 2) 福島高専一般教科物理科 応用物理実験指針書。
- 3) 磯上慎二, 新井真人, 鈴木三男, 福島高専研究紀要, No. 54, P. 107 (2013).
- 4) 柴田洋一, 勝山智男, 鈴木三男, 長澤修一, 加藤清考, 青山歆生: 熱・波動 (大日本図書、東京、2010)。

付 教員研究業績報告書 (平成26年10月～平成27年9月)

機械工学科

2) 論文

- ① 寺田耕輔, 戸倉直, 佐藤秀俊, 牧田哲暢, 萩原一郎, 組立式軽量高剛性構造パネルの曲げ剛性評価, 日本機械学会論文集, Vol.81, No.828 (2015), No.15-00039 [DOI: 10.1299/transjsme.15-00039] (2015.8).
- ② 寺田 耕輔, 佐藤秀俊, 牧田哲暢, 高橋徹, 萩原一郎, 組立式トラスコアパネルの開発, 国立高等専門学校機構 福島工業高等専門学校 研究紀要 第55号, P1-5 (2015.1)
- ③ Yaoyang Zheng, Kunio Shimada
Research on Electrical Conduction Characteristic and Temperature-Dependent Characteristic of Aqueous MCF Rubber to Create High Sensitivity Sensor Proceeding of 2015 International Symposium on Engineering and Natural Sciences (ISEANS) pp.134-139 (2015.8)

4) 口頭発表

- ① 牧田哲暢, 寺田耕輔, 組立式トラスコアパネル (ATCP) の曲げ剛性評価, 日本機械学会東北支部第51期秋季講演会, 講演論文 No.106 (2015.9) .
- ② 一色誠太, 阿部良汰, 永山聖也, 宮垣佳和, 橋本健吾, 星野佑一, 鈴木啓人, 高柴貫爾, 志賀匠, ピンフィン群熱交換器を用いる 250W 級スターリングエンジンの研究, 日本機械学会東北支部第51期講演会 USB 論文集, 講演番号 305, 2 ページ, (2015.9)
- ③ 小出瑞康, 高橋勉, 吉武裕美子, 縦渦励振を利用したマイクロ発電の実証実験, 日本機械学会東北支部第51期秋季講演会, (2015.9)

5) その他

- ① 松本匡以, 切削加工学, 2014年岩瀬地域金属加工技術講習会での講演, (2014.11)

電気工学科

2) 論文

- ① 伊藤 淳, 友常裕太, 鈴木晴彦, 反磁性グラファイト板に作用する反磁性磁気力の準静的計測, 福島工業高等専門学校, 研究紀要第55号, (2014) pp.19-24. (2015.2)
- ② 高橋 一義・Phan Thi Anh Thu・入江 博樹・山田 貴浩, 小型・低コストな無人無線航空機ベースのレーザスキャナ計測システムの試作とその性能評価, 応用測量論文集, Vol. 26, pp. 11-20, 2015.6, 日本測量協会 (査読付き)
- ③ 植 英規, 時系列観測データに基づく太陽光発電システムの出力予測, 品質工学, Vol.23, No.2, pp.49-55, 品質工学会, (2015.4)

4) 口頭発表

- ① 鈴木晴彦, 友常裕太, 荒川雅俊, 猪狩聖人, 柳沼啓也, 和田鍋健太, 伊藤 淳, 高効率非接触磁気浮上駆動に利用するグラファイト板試料端部に作用する反磁性磁気反発力の計測評価, 第23回 MAGDA コンファレンス in 高松, OS2-10 (2014) pp.217-220. (2014.12)
- ② 土屋裕紀, 徳永昇吾, 伊藤 淳, 鈴木晴彦, Mikael J. Bragge, シリンダ形状永久磁石を用いた Halbach

- 配列分岐機構試作機の磁気的性能, 日本 AEM 学会, 第 23 回 MAGDA コンファレンス in 高松, PS11 (2014) pp.385-388. (2014.12)
- ③ 鈴木晴彦, 谷地館藍, 安藤 守, 山田貴浩, 伊藤 淳, 機械工学科学生の電気系創作演習におけるプレゼンテーションの効果, 電気学会, 教育フロンティア研究会, FIE-15-006 (2015) pp.27-32. (2015.3)
- ④ 鈴木晴彦, 猪狩聖人, 荒川雅俊, 友常裕太, 伊藤 淳, グラファイト板に作用する反磁性磁気反発力の動的定量計測, 電気学会, 平成 27 年全国大会, 5-111 (2015) p.175. (2015.3)
- ⑤ 鈴木晴彦, 猪狩聖人, 和田鍋健太, 荒川雅俊, 柳沼啓也, 友常裕太, 伊藤 淳, 反磁性グラファイト板に作用する反磁性磁気反発力の動的計測と非接触駆動観察, 第 27 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 14A17, (2015) pp.65-66. (2015.5)
- ⑥ 鈴木晴彦, 荒川雅俊, 柳沼啓也, 猪狩聖人, 和田鍋健太, 友常裕太, 伊藤 淳, リング Halbach 配列磁石上における異端部形状をもつ PG 板の非接触駆動観測, 第 27 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 15C11, (2015) pp.429-432. (2015.5)
- ⑦ 伊藤 淳, 大越康晴, 比嘉和也, 金丸允駿, 境 拓也, 鈴木晴彦, バルク超電導体を用いた側壁支持機構による磁気支持特性の初期観測, 第 27 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 15C02, (2015) pp.401-404. (2015.5)
- ⑧ Shogo TOKUNAGA, Hiroki TSUCHIYA, Atsushi ITO, Haruhiko SUZUKI, Mikael J BRAGGE, Magnetic Performance of Halbach Array Branching Mechanism Proto-model utilizing Cylinder Shape Permanent Magnets, The 10th International Symposium on Linear Drives for Industrial Applications (LDIA 2015), Aachen- Germany, AEFF-1, No.244 (2015) . (2015. 7)
- ⑨ Haruhiko SUZUKI, Yuta TOMOTSUNE, Masatoshi ARAKAWA, Masato IGARI, Shogo TOKUNAGA, Atsushi ITO, Diamagnetic Repulsion Force of an Asymmetrical Graphite Plate Sample by the Quasi-static Measurement Method, The 10th International Symposium on Linear Drives for Industrial Applications (LDIA 2015), Aachen- Germany, LEV-1, No.245 (2015) . (2015.7)
- ⑩ 大槻 正伸・白木 大翔・鈴木 直哉・久野 裕哉, 縦格子とドット平面による立体錯視現象の研究—立体錯視像の実測データと脳内計算モデルとの誤差計量方法—, 日本認知科学会 第 32 回大会発表論文集 pp419-425, (2015.9)
- ⑪ 山本敏和, プラズマフォーカスによる EUV 光発生, 日本物理学会 第 70 回年会, 日本物理学会, 日本物理学会講演概要集 第 70 巻 第 1 号 p.803 (2015.3)
- ⑫ 植 英規, 本田 有孝, MT システムを用いた X 線 CT 画像からの疾患定量化の検討 (2), 第 23 回品質工学研究発表大会, 品質工学会, pp.26-29, (2015.6)
- ⑬ 植 英規, 大塚 尚志, 徐 艶濱, 福島高専スマートグリッド実規模実験装置における経済性評価の試み, 平成 27 年電力・エネルギー部門大会, 電気学会, p.43, (2015.8)
- ⑭ 植 英規, 技術者育成を目的とした高専低学年生へのモノ作り導入教育の試み, 平成 27 年基礎・材料・共通部門大会, 電気学会, 18-F-a2-3, (2015.9)

物質工学科

1) 著書

- ① 車田研一 (単著), 『化学ギライに捧げる, 化学のミニマムエッセンス (仮題)』, 裳華房 (2015.8 脱稿)
- ② 碓氷泰市, 尾形慎, 糖鎖の新機能開発・応用ハンドブック～創薬・医療から食品開発まで～, NTS 出版 (2015.8)

2) 論文

- ① 羽切 正英, 國谷 亮介, 内田 修司, 銅水砕スラッグの湿式処理による多孔質シリカ材料の合成, 環境資源工学, 61 (4), pp.195-197, (2014.11)
- ② 羽切 正英, 内田 修司, 佐藤 潤, 青木 寿博, 専門科目「計算機化学」における学生の情報活用能力およびシミュレーション能力向上の取組み, 論文集「高専教育」, 38, pp.195-197, 329-334, (2015.3)
- ③ Kato, T., Oizumi, T., Ogata, M., Murakawa, A., Usui, T., Park, E.Y. Novel enzymatic synthesis of spacer-linked Pk trisaccharide targeting for neutralization of Shiga toxin. J. Biotechnol. 209 50-57 (2015) .
- ④ Leysen, S., Van Herreweghe, J. M., Yoneda, K., Ogata, M., Usui, T., Araki, T., Michiels, C. W., Strelkov, S. V. The structure of the proteinaceous inhibitor PliI from *Aeromonas hydrophila* in complex with its target lysozyme. Acta Cryst. D71 344-351 (2015) .
- ⑤ Noriko Yamauchi, Daisuke Nagao, Shunchao Gu, Mikio Konno, One pot soap-free synthesis of fluorescent, magnetic composite particles with high monodispersity, Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol. 48, No. 7, 584-587 (2015.7)
- ⑥ 鈴木慎太郎, 稲垣照美, 李艶栄, 原田滉士, 井澤幸貴, 山内 紀子, カーボンナノチューブ分散流体の熱物性と自然対流熱伝達, 化学工学論文集, Vol. 41, No. 2, 121-130 (2015.3)
- ⑦ Yanrong Li, Shintaro Suzuki, Terumi Inagaki, Noriko Yamauchi, Carbon-nanotube nanofluid thermophysical properties and heat transfer by natural convection, Journal of Physics: Conference 557, 012051 (2014.11)

3) 雑誌・記事・総説・解説

- ① 羽切 正英, 内田 修司, 環境配慮を指向した銅製錬副産物からの多孔質シリカの合成, ケミカルエンジニアリング, 60 (2), pp.111-115, (2015.2)
- ② 尾形慎, 碓氷泰市, 梅本尚之, 大沼貴之, 深溝慶, 沼田倫征, リゾチーム遷移状態アナログの設計に基づく反応機構の検証, 化学と生物, 52 (12), 819-824 (2014.12)
- ③ 尾形慎, 碓氷泰市, 梅本尚之, 大沼貴之, 深溝慶, 沼田倫征, リゾチーム遷移状態アナログの合成と反応機構の解析, 応用糖質科学, 4 (4), 308-313 (2014.11)

4) 口頭発表

- ① 内田 修司, 羽切 正英, 押手 茂克, 大城 優, 小林 高臣, Development of radioactive cesium separation system of incineration fly ash., 平成 27 年度化学系学協会東北大会講演予稿集, p.89, (2015.9)
- ② Kenichi Kurumada, Wakana Oie, Ayami Suzuki, Yuya Endo, Comparative evaluation of surface hydrophobicity by time-series observation of transient morphology of a water droplet in dewetting on a water-repellent glass surface, 11th Korea-Japan Symposium on Materials & Interface, International Symposium on Frontiers in Chemical Engineering, November, 2014 (Cheju, South Korea)
- ③ 車田研一: 撥水性ガラス平滑表面上での被撥水滴の過渡的モルフォロジーの精細時系列観察, 第 25 回新機能化学工学研究会 (2015.1) 東京理科大学 (東京都新宿区)
- ④ 梅本翔, 鈴木優花, 車田研一: 有機シリカガラスの加熱によるシロキサン骨格のマイクロポーラス化, 第五回 公益社団法人化学工学会東北支部福島懇話会主催 福島地区 CE セミナー, (2014.12) 日本大学工学部 (郡山市) P1-16
- ⑤ 遠藤祐哉, 車田研一: 顕著な撥水性をしめす有機シリカの固化条件としての完全縮合反応条件の探索, 第五回 公益社団法人化学工学会東北支部福島懇話会主催 福島地区 CE セミナー, (2014.12) 日本大学工学部 (郡山市) O-4

- ⑥ 山川貴礼, 車田研一: アルカン系有機シリカガラスの加熱によるマイクロ孔形成, 第五回 公益社団法人化学工学会東北支部福島懇話会主催 福島地区 CE セミナー, (2014.12) 日本大学工学部 (郡山市) P1-15
- ⑦ 車田研一: 撥水性平滑表面での衝突水滴の動的ふるまい - 何が撥水挙動のつよさを反映するか? -, 公益社団法人化学工学会第 80 年会 (芝浦工業大学), (2015.3) 発表番号: F307
- ⑧ 佐藤潤・五十嵐達也・遠藤佑哉・加藤優奈・小泉亜未・後藤咲季・蛭田一希・山川貴礼・車田研一: 水表面へ衝突したアルギン酸水溶液が真球状ゲルを形成する条件, 公益社団法人化学工学会第 80 年会 (芝浦工業大学), (2015.3) 発表番号: E306
- ⑨ 車田 研一・山野 真世・渡辺 伶馬・大槻 正伸: 離散粒子群の流動の視覚印象をとらえる手法の検討, 公益社団法人化学工学会第 47 回秋季大会 (北海道大学工学部), (2015.9) 発表番号: K116
- ⑩ 佐藤 潤・車田 研一: アルギン酸カルシウムゲルのゲル化時間測定法の検討, 公益社団法人化学工学会第 47 回秋季大会 (北海道大学工学部), (2015.9) 発表番号: K121
- ⑪ 車田 研一・遠藤 恭平: 運動する粉粒体にあらわれる特異的な瞬間的・過渡的モルフォロジー, 公益社団法人化学工学会第 47 回秋季大会 (北海道大学工学部), (2015.9) 発表番号: Q201
- ⑫ 本田采加, 中川葵, 古内有希, 押手茂克, エチルノナフルオロブチルエーテルを用いる三成分系均一液液抽出 (HoLLE) によるセシウム分離・濃縮への応用, 第 11 回茨城地区分析技術交流会, (公社) 日本分析化学会関東支部・同茨城地区分析技術交流会, 第 11 回茨城地区分析技術交流会要旨集 (P11), p.51 (2014.12)
- ⑬ 蛭田一希, 押手茂克, 鈴木祐太郎, 佐藤隆宣, 水野淳, PFOA⁻・第四級アンモニウム (Q⁺) のイオン液体に基づく均一液液抽出 (HoLLE) での分離に及ぼす Q⁺ の影響, 第 11 回茨城地区分析技術交流会, (公社) 日本分析化学会関東支部・同茨城地区分析技術交流会, 第 11 回茨城地区分析技術交流会要旨集 (P10), p.50 (2014.12)
- ⑭ Kazuki HIRUTA, Shigekatu OSHITE, Adsorption characterization of the new fibrous adsorbent for cesium, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 日本化学会東北支部, 平成 27 年度化学系学協会東北大会講演予稿集 (1P007), p.89 (2015.9)
- ⑮ 押手茂克, 講演「容量分析の基礎」, 平沼産業 滴定セミナー (滴定の初級者向け), 平沼産業株式会社 (2015.8)
- ⑯ 蛭田 一希, 押手 茂克, 内田 修司, 羽切 正英, 小林 高臣, 大城 優, 繊維状に加工されたセシウム吸着材の吸着特性評価, 第 5 回福島地区 CE セミナー講演要旨集, p.24, (2014.12)
- ⑰ 田中 孝国, 羽切 正英, 出川 強志, 小山高専の学生実験における廃液教育導入の試みと評価, 第 5 回福島地区 CE セミナー講演要旨集, p.40, (2014.12)
- ⑱ 羽切 正英, 内田 権一, オルトリン酸銀光触媒被膜の低温形成, 第 5 回福島地区 CE セミナー講演要旨集, p.46, (2014.12)
- ⑲ 尾形慎, 小野田崇司, 鈴木哲朗, 朴龍洙, 碓氷泰市, ウイルス架橋性低分子型糖鎖クラスターの合成, 日本応用糖質科学会 (2015.9)
- ⑳ 尾形慎, 小野田崇司, 安本佳成, 朴龍洙, 梅村舞子, 碓氷泰市, N-アセチルラクトサミン含有糖鎖クラスターの合成とデイゴマメレクチンとの相互作用解析, 第 29 回日本キチン・キトサン学会大会 (2015.8)
- ㉑ 小野田崇司, 安本佳成, 朴龍洙, 碓氷泰市, 梅村舞子, 尾形慎, 新規糖鎖クラスターの合成と糖結合性タンパク質との相互作用解析, 第 34 回日本糖質学会年会 (2015.8)
- ㉒ 後藤咲季, 河野はるか, 柴田公彦, 鈴木智大, 尾形慎, 新規 α -L-フコシダーゼの探索とその諸性質解明, 日本応用糖質科学会東北支部会 (2015.7)
- ㉓ 小泉亜未, 桑野夏希, 渡邊浩史, 柳瀬美千代, 鷹羽武史, 門川淳一, 尾形慎, 糖鎖固定化デキストリンナノ粒子とインフルエンザウイルスとの相互作用解析, 日本応用糖質科学会東北支部会 (2015.7)
- ㉔ 尾形慎, 碓氷泰市, 梅本尚之, 大沼貴之, 深溝慶, 沼田倫征, リゾチーム遷移状態アナログの設計に基づく反応機構の検証, 日本農芸化学会シンポジウム (2015.3)
- ㉕ 山内紀子, 五十嵐達也, 車田研一, 中間極性反応溶媒の利用による表面疎水化過程中的でのナノ粒子の分散

安定性, 化学工学会第 47 回秋季大会 Q116 (2015.9)

- ②⑥ 山内紀子, 液相中での機能性微粒子の合成 ～ナノ粒子の表面改質および中空化における効果的手法の提案～, 化学工学会東北支部若手の会セミナー (学術招待講演), (2015.6)
- ②⑦ 山内紀子, 五十嵐達也, 新妻祐希, 小西靖紘, 車田研一, 両親媒性溶媒を用いた親水表面ナノ粒子の有機シリカコーティング, 化学工学会第 80 年会 E314 (2015.3)
- ②⑧ 五十嵐達也, 山内紀子, 車田研一, アミン中での強磁性体ナノ粒子の有機シリカコーティング, 第 5 回福島地区 CE セミナー P1-18 (2014.12)
- ②⑨ 小西靖紘, 新妻祐希, 山内紀子, 車田研一, 強磁性体ナノ粒子表面への有機シリカコーティングとその酸化抑制効果の検討, 第 5 回福島地区 CE セミナー P2-10 (2014.12)
- ③⑩ 尾日向駿介, 飯野春菜, 山内紀子, 弱電解質性重合開始剤を用いたソープフリー乳化重合による単分散ポリマー粒子の大粒径化, 第 5 回福島地区 CE セミナー P2-11 (2014.12)
- ③⑪ 山内紀子, 車田研一, 微粒子のワンポット表面化学修飾における反応溶媒選択の重要性, 第 5 回福島地区 CE セミナー P2-17 (2014.12)
- ③⑫ Noriko Yamauchi, Kenichi Kurumada, Thorough surface hydrophobization of iron oxide nanoparticles by spontaneous formation of organic silica thin layer coating, 11th Korea-Japan Symposium on Materials & Interface International Symposium on Frontiers in Chemical Engineering, Jeju, Korea (学術招待講演), (2014.11)

5) その他

- ① 天野仁司, ロボットづくりの話あれこれ「電気計算」電気書院, (2014 年 10 月～2015 年 9 月)
- ② 本田采加, 中川葵, 古内有希, 押手茂克, 第 11 回茨城地区分析技術交流会「日本分析化学会関東支部茨城地区分析技術交流会優秀ポスター賞」受賞, (公社) 日本分析化学会関東支部・同茨城地区分析技術交流会 (2014.12)
- ③ 押手茂克, 若手部門優秀賞: 顕彰題目「優れた「人材」と「技術」を地域に与える化学教育と学生指導への展開」, 平成 26 年度国立高等専門学校顕彰, 独立行政法人国立高等専門学校機構, (受賞 2015.8)
- ④ 科学技術振興機構「A-STEP ハイリスク挑戦タイプ (復興促進型)」採択: 研究分担者 (研究代表者: 福島高専物質工学科・内田修司), “焼却飛灰中の放射性セシウム抽出, 回収による放射性物質含有飛灰の安定化技術の開発” (2013.9～2015.3)
- ⑤ 平成 26 年度文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業 廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム委託費「放射性ストロンチウムの即応的計測法の実用化に向けた重点研究とマルチフェーズ伸展型人材育成」採択: 研究分担 (代表) 押手茂克, 内田修司, 羽切正英 (研究代表: 福島大学共生システム理工学類・高貝慶隆), 成果報告書「地域連携に基づく人材育成プログラム実施のための体制強化」(2015.3)

建設環境工学科

1) 著書

- ① 齊藤充弘, 複合災害からの復旧・復興の現状についてーいわき市を対象としてー, 東日本大震災合同調査報告 都市計画編, 日本都市計画学会, (2015.1)

2) 論文

- ① 杉山友理, 河井克之, 金澤伸一, 飯塚敦: 土/水/空気三相連成モデルによる間隙圧係数 B 値の解釈, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 70 (2), I_145-I_153, (2015)
- ② 金高義, 山岸陽一, 半貫敏夫, 石鍋雄一郎, 小杉健二, 望月重人, 内田孝紀, 荒屋亮, 永木毅, 石沢賢二,

南極昭和基地における基本観測棟設計のためのスノウドリフト性状評価, 寒地技術論文・報告集, Vol. 30, 134-139, 一般社団法人北海道開発技術センター, (2014.12)

- ③ 伊藤監則, 金高義, 山岸陽一, 半貫敏夫, 石鍋雄一郎, 小杉健二, 望月重人, 永木毅, 石沢賢二, 南極昭和基地に建つ基本観測棟と周辺建物の相互作用 - 模型風洞実験による一考察 -, 寒地技術論文・報告集, Vol. 30, 140-143, 一般社団法人北海道開発技術センター, (2014.12)

3) 雑誌・記事・総説・解説

- ① 齊藤充弘, 復興にむけたいわき市の現状, 都市計画 311号 特集 福島のまちづくり, pp.36~37, 日本都市計画学会, (2014.11)
- ② 金 高義, 過酷な極の環境に負けない! 南極建築の今, 「極」, Vol.13, 国立極地研究所, (2015.7)
- ③ 金 高義, GISと風況解析で南極昭和基地のスノウドリフト予測, ArcGIS事例集, Vol.11, Esri社, (2015.1)

4) 口頭発表

- ① 伊藤洋輔, 緑川猛彦, 山ノ内正司, 内田修二:セメントペースト中におけるフリーデル氏塩量の増加に関する検討, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, V-10 (CD-ROM), (2015.3)
- ② 鳥谷信太郎, 齊藤充弘, 東日本大震災を通じた自治会・町内会等の機能と実態について - いわき市を対象として, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会Ⅳ - 56, (2015.3)
- ③ 比佐美南, 齊藤充弘, まちづくり活動ユニットとしての自治会・町内会等の実態について - いわき市を対象として -, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会Ⅳ - 57, (2015.3)
- ④ 長瀬悠也, 齊藤充弘, 中心市街地における緑被地の分布と実態について - いわき市平中心市街地を対象として -, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会Ⅳ - 58, (2015.3)
- ⑤ 野口祥吾, 金澤伸一, 林久資:近年の集中豪雨に伴う盛土構造物への影響, 第50回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, pp.2117-2118, (2015.9)
- ⑥ 金澤伸一, 橋伸也, 飯塚敦:盛土構造物の排水能力に対する解析的検討, 第18回応用力学シンポジウム, 2015 (Flash Memory) .
- ⑦ 吉野修, 石山宏二, 金澤伸一, 飯塚敦:地層処分における緩衝材の再冠水挙動に関する解析的検討, 平成27年度土木学会全国大会, 第70回年次学術講演会 (岡山), CS12-031, (2015)
- ⑧ 佐藤勇人, 菊地卓郎, いわき市沿岸部における逃げ地図に関する一検討, 第32回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 公益社団法人土木学会関東支部新潟会, pp152-155, (2014.11)
- ⑨ 蛭田隼, 菊地卓郎, 大平浩之, いわき市沿岸部における津波に対する海岸林の模型実験, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, 公益社団法人土木学会東北支部, II - 77, (2015.3)
- ⑩ 佐藤勇人, 菊地卓郎, いわき市における逃げ地図の作成と実用化について, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, 公益社団法人土木学会東北支部, II - 25, (2015.3)
- ⑪ 衛藤俊彦, 菊地卓郎, 大澤範一, OpenFOAMを用いた保存性傾斜壁面サーマルの流動解析, 第18回応用力学シンポジウム, 公益社団法人土木学会応用力学委員会, pp125-126, (2015.5)
- ⑫ 林久資, 緑川猛彦, 大山理:高温の熱履歴が建設材料に及ぼす影響について, 土木学会全国大会第70回年次学術講演会, 土木学会, V -529, (2015.9)
- ⑬ 林久資, 緑川猛彦, 篠木政利, 佐藤正知:福島第一の廃炉に関する高専での研究と教育の試み (2) 福島第一原子力発電所におけるコンクリートの熱分布シミュレーション, 日本原子力学会 2015年秋の大会, 日本原子力学会, P.607, (2015.9)
- ⑭ 今野小百合, 林久資:大深度坑道隅角部における周辺地山の力学的影響について, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会, 土木学会東北支部, III -53, (2015.3)
- ⑮ 高杉凌平, 林久資:押出し性地山におけるトンネル周辺地山の力学的影響について, 平成26年度土木学

会東北支部技術研究発表会, 土木学会東北支部, Ⅲ -54, (2015.3)

- ⑯ 金高義, 山岸陽一, 半貫敏夫, 石鍋雄一郎, 小杉健二, 望月重人, 内田孝紀, 荒屋亮, 永木毅, 石沢賢二, 南極昭和基地における基本観測棟設計のためのスノウドリフト性状評価, 第 30 回寒地技術論文シンポジウム, 一般社団法人北海道開発技術センター, (2014.12)
- ⑰ 金高義, GIS と風況解析で南極昭和基地のスノウドリフト予測を目指す, 第 11 回 GIS コミュニティフォーラム, Esri 社, (2015.5)

5) その他

- ① 齊藤充弘, いわき市における地域システムの構築に関する基礎的研究, 平成 24 年度～ 26 年度科学研究費助成事業 (基盤 (C)), 平成 22 年度～ 23 年度科学研究費助成事業 (若手 (B)) 報告書, 全 191 頁, (2015.3)
- ② 金澤伸一, 林久資, 高山裕介, 石山宏二, 太田秀樹 (研究代表者: 金澤伸一) 平成 26 年度放射性廃棄物共通技術調査等事業 (放射性廃棄物重要基礎技術研究調査), 「天然バリアと人工バリアの力学特性を考慮した放射性廃棄物処分施設の長期的な力学挙動予測システムの開発」成果報告書 (2015.3)
- ③ 林 久資, 建設工学研究奨励賞受賞, 一般財団法人 建設工学研究振興会, (2015.6)
- ④ 金高義, 社会貢献活動 南極建物のブリザード対策 ～大規模風況数値解析の可能性～【講師】立川市協働講座 (市民交流大学) (2014.12)
- ⑤ 伊藤監則, 金高義, 山岸陽一, 半貫敏夫, 石鍋雄一郎, 小杉健二, 望月重人, 永木毅, 石沢賢二 南極昭和基地に建つ基本観測棟と周辺建物の相互作用 - 模型風洞実験による一考察 - 第 30 回寒地技術シンポジウム (2014.12)

コミュニケーション情報学科

2) 論文

- ① 若林晃央, 「性愛感情が組織の業務遂行能力に与える影響—テバイの神聖部隊の事例より—」, 『研究紀要』, 第 55 号, pp.57-65, 福島工業高等専門学校, (2015.2)

4) 口頭発表

- ① 西口美津子・伊藤茉理, 教育分野での女性の起業—マトリックス履歴書からの考察—, 画像電子学会, 年次大会企画セッション発表, 於: 姫路市市民会館, pp.1-6, (2015.6)
- ② 横井久美子, ハーズバーグの動機づけ要因衛生要因の評価に関する一考察, 第 53 回全国研究発表大会, 日本経営システム学会, (2014.10)
- ③ 横井久美子, スマートフォンの普及と留学への関心についてのアンケート調査結果—ロジャーズの普及理論の適用可否について—, 第 15 回支部会, 実践経営学会東北支部会, (2014.11)
- ④ 若林晃央, 「地方都市における芸妓文化の現状と課題～会津東山芸妓の事例より～」, 社会・経済システム学会第 33 回大会, 京都大学, pp.55-58, (2014.10)

一般教科

2) 論文

- ① 鳥居孝栄, aim, goal, objective, target の対照意味分析, 全国高等専門学校英語教育学会研究論集, 第 34 号, pp.1-10, 東誠社, (2015.3)
- ② 笠井 哲, 沢庵の人間関係論の意義について, 印度学仏教学研究, 第 63 巻・第 1 号, 235 - 241, 日本印度学仏教学会, (2014.12)

- ③ 布施雅彦, いわき市における定時降下物とダストサンプリングの測定, Proceedings of the 15th Workshop on Environmental Radioactivity, High Energy Accelerator Research Organization, pp.97-101, (2014)
- ④ 布施雅彦, 福島第一原発事故による福島の書品汚染の現状調査の取組み, Proceedings of the 15th Workshop on Environmental Radioactivity, High Energy Accelerator Research Organization, pp.220-227, (2014)
- ⑤ S. Isogami and S. Hinata, "Enhanced spin-pumping efficiency in hcp Co polycrystalline films obtained by sputtering deposition with high substrate temperature," Jpn. J. Appl. Phys., 54, 073001 (2015) .
- ⑥ 古田正幸「『安法法師集』69番歌における「醍醐の座主」について」『日本文学文化』14号 pp.26-38、日本文学文化学会、査読有 (2015.2)
- ⑦ 古田正幸「曾禰好忠『毎月集』序が伝えるもの」『日本文学』64巻5号 pp.31-40、日本文学協会、査読有 (2015.5)
- ⑧ Kurando Baba, "Local orbit types of the isotropy representations of semisimple pseudo-Riemannian symmetric spaces", Differential Geometry and its Applications 38 (2015), 124-150 (査読有)
- ⑨ Masato Arai and Kurando Baba, "Supersymmetry and cotangent bundle over non-compact exceptional Hermitian symmetric space", Journal of High Energy Physics 07 (2015) 169 (pp. 1-30) (査読有)
- ⑩ K. Hyodo, Y. Kota, and A. Sakuma, "Theoretical evaluation of perpendicular magnetic anisotropy of bct-Fe₅₀Co₅₀ stacked on Rh", Journal of Magnetic Society of Japan, vol. 39, pp. 37-43, 2015.

3) 雑誌・記事・総説・解説

- ① 古田正幸「【書評】有馬義貴著『源氏物語続篇の人間関係 付 物語文学教材試論』」『奈良教育大学国文学研究と教育』38号、pp.79-85、奈良教育大学国文学会、依頼有 (2015.3)

4) 口頭発表

- ① 白坂 繁、やっぱり！トレミー！！、第97回全国算数・数学教育研究（北海道）大会、日本数学教育学会、日本数学教育学会誌第97巻（臨時増刊）、p537、p563（2015.8）
- ② 笠井 哲、「山川草木悉皆成仏」の思想について、平成26年度いわきヒューマンカレッジ（市民大学）講演集、（いわきヒューマンカレッジ「環境再生学部」代表講師の講演、於いわきワシントンホテル椿山荘、2014.11）、39 - 43、いわき市生涯学習プラザ、（2015.2）
- ③ 笠井 哲、『蘭学事始』における学問の開拓、2015年度洋学史学会・蘭学事始200年記念シンポジウム、於電気通信大学（2015.5）
- ④ 笠井 哲、沢庵『不動智』の諸武術への影響について、日本印度学仏教学会第66回学術大会、於高野山大学（2015.9）
- ⑤ 川崎俊郎・河野敬一、「近代後期における中位中心地の機能とその変容－常陸太田における前島同族団の系譜と事業展開を中心に－」、2014年人文地理学会大会、2014年人文地理学会大会研究発表要旨、42 - 43、（2014.11）
- ⑥ 布施雅彦, いわき市における定時降下物とダストサンプリングの分析, 環境放射能研究会, KEK, (2015.3)
- ⑦ 布施雅彦, 福島における環境放射線測定と情報基礎科目における表計算ソフトの学習課題, 2015PCカンファレンス, コンピュータ利用教育学会, (2015.8)
- ⑧ S.Isogami and S. Hinata, "Tunable spin pumping efficiency depending on crystallographic structures in hcp-Co/Pt films" 59th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, IEEE Magnetics, FV-09, USA (2014.11) .
- ⑨ Kurando Baba, "Supersymmetry and Cotangent Bundle over Non-compact Hermitian Symmetric Space E₆(-14)/SO(10) x U(1)", Miami 2014, University of Miami, December 22, 2014
- ⑩ 馬場 蔵人, 「半単純擬リーマン対称空間に対する s 表現の軌道の austere 性について」, 日本数学会 2015

年度秋季総合分科会 京都産業大学 (2015.9)

- ⑪ 飯田毅士, Weighted estimates of higher order commutators generated by BMO-functions and the fractional integral operator on Morrey spaces, 調和解析セミナー (2014.12)
- ⑫ 飯田毅士, Weighted estimates of higher order commutators generated by BMO-functions and the fractional integral operator on Morrey spaces, 3rd East Asian Conference in Harmonic Analysis (2015.8)
- ⑬ 飯田毅士, The Adams inequality on weighted Morrey spaces of higher order commutators, 日本数学会実関数論分科会 (2015.9)
- ⑭ Y. Kota, H. Imamura, M. Sasaki, and A. Sakuma, "Lattice strain effect on Néel and Curie temperature in oxide and metal systems: A first-principles study on Cr₂O₃ and FeCo", Energy Materials Nanotechnology Istanbul Meeting, A38, Istanbul, Turkey, July 3, 2015. (Invited)
- ⑮ Y. Kota and H. Imamura, "Electric field effect on magnetic anisotropy in Fe-monolayer on SrTiO₃ and MgO insulating layer: A first-principles study", 59th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, CE-11, Honolulu, Hawaii, USA, November 5, 2014.
- ⑯ Y. Kota, "Computational simulation of hydrostatic pressure effect on the Néel temperature in Cr₂O₃", The 1st [ImPACT] International Symposium on Spintronic Memory, Circuit, and Storage, Tokyo, Japan, June 21, 2015.
- ⑰ Y. Kota and A. Sakuma, "First-principles study of spin-wave dispersion in FeCo alloy system with tetragonal distortion", International Magnetic Conference 2015, Barcelona, Spain, July 7, 2015.
- ⑱ 小田洋平, 「SrTiO₃ 上の強磁性金属薄膜における磁気異方性の電界効果に関する第一原理計算 (II)」, 日本物理学会第 70 回年次大会, 21aPS-64, 早稲田大学, (2015.3)
- ⑲ 兵頭一茂, 小田洋平, 佐久間昭正「第一原理計算を用いた FePt, FePd 合金の異常ホール伝導度の規則度依存性」, 第 39 回日本磁気学会学術講演会, 10aE-3, 名古屋大学, (2015.9)
- ⑳ 小田洋平, 「正方晶 FeCo 合金のスピン波分散の第一原理計算」, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 16aPS-7, 関西大学, 2015 年 9 月 16 日.
- ㉑ 遠藤栄進, 小田洋平, 佐久間昭正「ヘマタイト (α -Fe₂O₃) のモーリン転移メカニズム解明」, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 16aPS-17, 関西大学, (2015.9)

5) その他

- ① 笠井 哲, 忠兵衛と梅川の色模様, NHK カルチャー平成 26 年 10 月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編 9 >~「封印切」の「和事味」~第 1 回, 於 NHK 文化センターいわき教室, (2014.10)
- ② 笠井 哲, グローバルかつローカルな「環境倫理」思想, 平成 26 年度いわき市生涯学習プラザ主催講座, 「環境とまちづくり」(環境・まちづくり講座) 第 1 回, 於いわき市生涯学習プラザ, (2014.11)
- ③ 笠井 哲, 忠兵衛と八右衛門の応酬, NHK カルチャー平成 26 年 10 月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編 9 >~「封印切」の「和事味」~第 2 回, 於 NHK 文化センターいわき教室, (2014.11)
- ④ 笠井 哲, 忠兵衛と梅川の愁嘆場, NHK カルチャー平成 26 年 10 月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編 9 >~「封印切」の「和事味」~第 3 回, 於 NHK 文化センターいわき教室, (2014.12)
- ⑤ 笠井 哲, 八重垣姫の品位, NHK カルチャー平成 27 年 1 月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編 10 >~「十種香」の八重垣姫~第 1 回, 於 NHK 文化センターいわき教室, (2015.1)
- ⑥ 笠井 哲, 八重垣姫のクドキ, NHK カルチャー平成 27 年 1 月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編 10 >~「十種香」の八重垣姫~第 2 回, 於 NHK 文化センターいわき教室, (2015.2)
- ⑦ 笠井 哲, 八重垣姫の恋心, NHK カルチャー平成 27 年 1 月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編 10 >~「十種香」の八重垣姫~第 3 回, 於 NHK 文化センターいわき教室, (2015.3)
- ⑧ 笠井 哲, 政岡の品格と母性, NHK カルチャー平成 27 年 4 月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究

- 編 11 >～群像劇「先代萩」の特質～第1回, 於NHK文化センターいわき教室, (2015.4)
- ⑨ 笠井 哲, 実悪・仁木弾正, NHKカルチャー平成27年4月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編11>～群像劇「先代萩」の特質～第2回, 於NHK文化センターいわき教室, (2015.5)
- ⑩ 笠井 哲, 捌き役・細川勝元, NHKカルチャー平成27年4月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編11>～群像劇「先代萩」の特質～第3回, 於NHK文化センターいわき教室, (2015.6)
- ⑪ 笠井 哲, 町奴と旗本奴との争い, NHKカルチャー平成27年7月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編12>～幡随長兵衛の男伊達～第1回, 於NHK文化センターいわき教室, (2015.7)
- ⑫ 笠井 哲, 妻子との別れの愁嘆場, NHKカルチャー平成27年7月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編12>～幡随長兵衛の男伊達～第2回, 於NHK文化センターいわき教室, (2015.8)
- ⑬ 笠井 哲, 死をも覚悟の男意気地, NHKカルチャー平成27年7月期講座, 芸道の心に触れる<歌舞伎・探究編12>～幡随長兵衛の男伊達～第3回, 於NHK文化センターいわき教室, (2015.9)
- ⑭ 川崎俊郎, 日本史再訪17 珍説・奇説の日本史～トンデモとマトモの境界～第1回 義経＝成吉思汗～政治が動かす「史実」～, NHKカルチャー10月期講座 (2014.10)
- ⑮ 川崎俊郎, 日本史再訪17 珍説・奇説の日本史～トンデモとマトモの境界～第2回 聖徳太子はいなかった?～史料と史実～, NHKカルチャー10月期講座 (2014.11)
- ⑯ 川崎俊郎, 日本史再訪17 珍説・奇説の日本史～トンデモとマトモの境界～第3回 どちらが本当?～逆転する定説と珍説～, NHKカルチャー10月期講座 (2014.12)
- ⑰ 川崎俊郎, 日本史再訪18 戦がつくる城・城がつくる平和～城からみた日本の国土史～第1回 古代の高度国防国家～水城と大野城～, NHKカルチャー1月期講座 (2015.1)
- ⑱ 川崎俊郎, 日本史再訪18 戦がつくる城・城がつくる平和～城からみた日本の国土史～第2回 城と館の中世～一乗谷にみる城と館～, NHKカルチャー1月期講座 (2015.2)
- ⑲ 川崎俊郎, 日本史再訪18 戦がつくる城・城がつくる平和～城からみた日本の国土史～第3回 近世の巨城～尾張名古屋は城でもつ～, NHKカルチャー1月期講座 (2015.3)
- ⑳ 川崎俊郎, 日本史再訪19 「ふるさとは遠きにありて思うもの」～近代がつくる地域像～第1回 どちらが表?～「裏日本」と日本海側～, NHKカルチャー4月期講座 (2015.4)
- ㉑ 川崎俊郎, 日本史再訪19 「ふるさとは遠きにありて思うもの」～近代がつくる地域像～第2回 日本の内と外～「本土」の成立～, NHKカルチャー4月期講座 (2015.5)
- ㉒ 川崎俊郎, 日本史再訪19 「ふるさとは遠きにありて思うもの」～近代がつくる地域像～第3回 故郷の空～郷友会・県人会の歴史～, NHKカルチャー4月期講座 (2015.6)
- ㉓ 川崎俊郎, 日本史再訪20 「歴史は再発見!」～再発見・再評価の日本史～第1回 若沖・琳派・狩野派～江戸の眼・平成の眼～, NHKカルチャー7月期講座 (2015.7)
- ㉔ 川崎俊郎, 日本史再訪20 「歴史は再発見!」～再発見・再評価の日本史～第2回 再発見された蕪村～俳諧再生の物語～, NHKカルチャー7月期講座 (2015.8)
- ㉕ 川崎俊郎, 日本史再訪20 「歴史は再発見!」～再発見・再評価の日本史～第3回 名君伝説～保科正之と水戸光圀～, NHKカルチャー7月期講座 (2015.9)

研究紀要

第 56 号

平成28年 2月29日 発行

編集兼発行者 **福島工業高等専門学校**
いわき市平上荒川字長尾30
TEL 0246-46-0700

印刷所 **八幡印刷株式会社**
いわき市平字田町82-13
TEL 0246-23-1471

乱丁落丁はお取替えいたします。

C O N T E N T S

Kousuke Terada, Kota Kadoi, Sunao Tokura, Takamichi Sushida and Ichiro Hagiwara The deformation mechanism on origami based foldable structures	1
Shigekazu SUZUKI and Syota Iizuka Development of disaster quick-responsive type underwater narrow portion survey robot system	7
Shigekazu SUZUKI and Hiroshi Kinoshita Evaluation of tensile strength and strain using small specimens	13
Masanobu Ohtsuki, Yoshiki Nakano and Hiroshi Arai Basic Algorithms for Solving the Puzzle Game “Tangram”	19
Atsushi Ito, Shogo Tokunaga, Hiroki Tsuchiya, Mikael j. Bragge and Haruhiko Suzuki Magnetic performance of Halbach permanent magnet array constructed with cylinder shaped permanent magnets	25
Katsuhiko Aoyagi, Kaori Matsuida, Jun Obayashi, Tatsuhito Suda and Masato Ohira Synthesis and structure of new Porphyrin with trifluoromethyl group at the meso-position and reconstititional myoglobin with its iron complex.	31
Takehiko Midorikawa, Yosuke Ito, Masaji Yamanouchi and Shuji Uchida The Effects of Addition of Alumina-based Compounds on Generation of Friedel's Salt in Cement Paste	37
Takehiko Midorikawa Study on Chloride Ion Concentration and Diffusion Coefficient of Exposed Concrete Specimen	43
Takuro Kikuchi, Mitsuhiro Saito and Hayato Sato A Study on Evacuation Map “Nigechizu” in Iwaki City	49
Mitsuko Nishiguchi and Yuri Nagayama A Proposal of Indoor Parks for Children from Fukushima	55
Yoshihide Tabuchi 3.11 and the Ethics in the Era of Techno-centrism	61
WAKABAYASHI Akihiro The Rationality in the Organization Theory	71
Kouei Torii The Contrastive Semantics of ‘bear’, ‘endure’, ‘tolerate’, and ‘stand’	79
Mari Ishihara Adaptations of <i>Macbeth</i>	85
Akira Kasai On the Cosmology as Natural Philosophy in Descartes	91
Akira Kasai On the Good and Evil in Kant's Moral Philosophy	97
Akira Kasai On the View of Scientific History in Sartre	103
Akira Kasai On the Philosophical Consideration of Science in Miyake Gouichi	109
Shinji Isogami, Yohei Kota, Koki Kudoh and Mitsuo Suzuki New experimental theme using measurement setups operated by LabVIEW software	115
– Development of VI for resonance experiments and analysis by linear-fitting process –	