



## 形を通じた領域横断的知の統合の可能性

松浦 執\*

Transdisciplinary Integration of Knowledge  
Through the Concept of KATACHI

Shu MATSUURA\*

**Abstract**— Activities of collection and exchange of knowledge in the Society for Science on Form, Japan, are described. The society was originated in the joint meetings of the groups of “physics of form” and “stereology”. The word KATACHI (Japanese expression of “form”) has a less-restricted definition and has meanings of gaining some completeness. That is contrasted with the western word “symmetry” which has a clear definition and gives norms of beauty. KATACHI appears in all fields and its notion can be shared beyond the difference in the terminology of different fields. It is found that researches from broad range of fields in science, technology and art, can have active discussions and exchange of knowledge under the aspect of KATACHI. It is expected that the aspects of KATACHI in a variety of fields lead to a transdisciplinary integration of knowledge.

**Keywords**— form, symmetry, commonage of knowledge

## 1. はじめに

本稿で紹介する形の科学会（英語名称：Society for Science on Form, Japan）は、形に関する研究交流を目的として1985年3月に発足した。形はあらゆる学問分野に現れる。形の情報は様々な分野の研究者が共有することができる。形の科学会は、形の研究と、形を軸とした研究交流の場であり、現在、数学、情報科学、感性工学、画像処理、物理学、化学、材料設計、機械、生物学（形態、発生、分類、古生物）、分子生物学、生化学、都市工学、環境デザイン、建築、土木、地理学、薬学、医学、哲学、心理学、芸術学、デザインなどの研究者および造形作家など、およそ450名前後の会員で構成される。個々の研究者も特定の研究分野に飽き足らず、複合領域的研究を行っている例が多い。

形の科学会は、大まかに次の4つの研究領域で構成される。①空間の性質：多角形や多面体、空間分割や充填、結晶や準結晶、配列など。②形態形成機構：物理学、化学、生物学、医学、地形学などでの形の生成機構の研究。③形の計測：複雑な形を含む形の計測やデータ解析手法の研究。④設計、アートへの応用：前述の形に関する

基礎情報の研究を建築、都市工学、デザイン、アートに応用することの研究。現在、年2回のシンポジウムを開催し、学会誌『形の科学会誌』およびフリーアクセス[1]の英文web journal『FORMA』を刊行している。

異分野の研究者が議論を共有できるのは、形の認識、形の機能、形の生成機能の共通性、普遍性によるものといえよう。本稿では、形を手がかりとした領域横断的交流の特性を考察し、学会発足の経緯と、これまでに見られている知の統合と考えられる例、そして今後期待される方向の例のいくつかについて述べる。

## 2. 「かたち」の概念

「かたち」は漠然とした語であり、明確な基準を与える限定的な定義がない。「かたち」の語源として、外形的な形を意味する「かた（型）」と、内的な力、靈力を意味する「ち」の結合したものと説明されることがしばしばある[2,3]。語の用法としても、「かたち」には「かたちになる」というように、ある種の完全性、本質を備えるという意味が含まれている。

また別の説に、「かたち」の「ち」は顔ツキなどの「ツキ」が変化した「チ」であり、「かたち」とは型の細部がどれだけ実現されているかという具体相を表している、という主張もある[4]。漢字の「形」の文字構成のうち、へんはもと「井」であり鑄型を締めた状態を表し、つく

\*東海大学 開発工学部 沼津教養教育センター 〒410-0395 静岡県沼津市西野 317

\*School of High-Technology for Human Welfare, Tokai University, 317 Nishino, Numazu, Shizuoka 410-0395, Japan

Received: 28 December 2006, 5 February 2007

りは色彩や光沢があることを表す符号とされている [2] . 上代においては、「かた」が単に物の外形を示していたのに対して、「かたち」というときには殊に人において容貌の美しいあらわれを意味していた [5] .

形の完全性を突き詰めると symmetry に到達する . Symmetry は sym ( 共通の ) と metry ( 尺度 ) の合成語であり , 西洋では , 美の基準という意味がこめられている . 物理学では symmetry がしばしば基準として現れてくる [6] . 物理学の理論構築においては美的価値判断が働くことがあるといわれ [7] , そのようなときに symmetry が関わっている . Symmetry の語はその完全性に関して , より明瞭な定義と規準を与える .

単純に対比すると , 「Symmetry」は理論の構築など構築的態度の基盤になりやすく , 「かたち」は , 内在的な関係やところが外形と完全性をもつようになるというような , 表現的態度に近いのかも知れない .

ところで , 地上にホモ・サピエンスが出現したのは 5 万年前である . 今日知られている最古の洞窟壁画はフランスのアルデシュにあるショーベル洞窟の壁画であり , 3 万年前に描かれたとされている . そこには生き生きとした動物が描かれ , 壁面の凹凸を利用した遠近感の表現も見られるという . かたちを描くことが少なくとも 3 万年以上行われてきたのに対し , 書かれた文字の最古の遺跡は 5 千年前のもので , 住宅や水道などが完備されたインダス文明のドーラビーラ遺跡である . 言葉が使われはじめたのはさらに時代をさかのぼるだろう . しかし , 高次の概念を表現する言葉が使われるようになるよりもはるかに古くから , 人類は形の認識と表現を行ってきた .

視覚イメージには , 言語的概念に対応させたいものも含まれる . これは上述のように , 形を認識し表現することが , 概念表現のための文字使用のはるか以前から行われてきていることと関係しよう . われわれは言葉では表現しにくいイメージを記憶し , 弁別することができる . したがって , 視覚イメージは , 符号化された意味記憶とは独立の記憶システムに取り込まれると考えられる [8] . 複雑な形態は , 脳が構築する視覚イメージではその特徴を抽出しているが , その特徴を計量することは多くの場合現在でも困難をとめない , ブレークスルーが求められている .

Symmetry は言語的概念も明瞭で定式化になじむ . しかし , かたちという明瞭な定義のない概念を軸にすることにより , 知識の多様性に対応でき , また , 共有できる認識の幅を広くすることができるのではない . さらに , 視覚イメージは人にとって言語化されていない領域まで広がっていて , 学会での交流の過程で知識情報を超えたインスピレーションが得られる機会も少くないのではなかろうか . 「形」を軸としたことが , 形の科学会が多様な分野の知の入会地となる決定的な要因であったと思われる .

### 3. 形の科学会の発足

形の科学会は「ステレオロジー」と「形の物理学」の 2 つの独立した流れが合流し , 形に関する研究を結集することを目標に発足した . ここでは , 発足前史としてこれら 2 つの源流をさかのぼる .

#### 3.1 ステレオロジー

ステレオロジーは 2 次元の画像データから 3 次元立体のデータを構築する方法である . 欧米では 1960 年に生物・医学と鉱物・金属組織学の研究者による領域横断的な国際ステレオロジー学会 ( International Society for Stereology; ISS ) が設立されていた . ステレオロジーは画像データ解析手法の開発にとどまらず , 上のような様々な対象についての「構造」と「機能」の関係の研究へと展開している .

国内でステレオロジーの研究およびその普及に努めたのは , 物理学出身で , 医学形態学 ( 病理学 ) を専門としていた馬場謙介 ( 当時獨協医科大学病理学教室助教授 , 1997 年形の科学会功労賞受賞 , 現在八戸病院副委員長 ) である . 馬場らは , 特別の機器を必要とせずに 2 次元量を 3 次元量に変換するステレオロジーの研究を行い , その成果を雑誌『細胞』1976 年 10 月号から , 生物・医学の研究者向けに平易に解説する 7 回の連載を行った [9] . 1977 年には , 諏訪紀夫著『定量形態学』[10] が出版されている .

これらが源流となり , 日本でのステレオロジー国際集会の開催が模索された . その過程で , 医学でのステレオロジーのみならず , より広い理工学分野の研究交流を可能にすることを目的として , 下述の「形の物理学」のグループと共同の研究集会が行われるようになった .

#### 3.2 形の物理学

1980 年に , 京都大学基礎物理学研究所 ( 「基研」と略記 ) において , 小川泰 , 森肇 ( 統計力学 ) , および樋口伊佐夫 ( 幾何学的統計 ) により , 「形の物理学」の研究計画が提案された . これは , 様々な対象に現れる形の類似性に着目して抽象化し , 形の表現と , 形の生成機構の共通性を明らかにすることを目的としていた .

この研究会発足の背景には , 次のような , 横断的かつ開拓的な学問構築への気運があった .

- ① 非平衡非線形現象としての形態形成機構と時間発展に対する関心が高まっていた .
- ② 結晶成長などを論ずる際に幾何学的構造や秩序をいかに考慮するか , アモルファスや液体のような短距離秩序をどう捉えるかなど , 統計物理学と , 空間の性質や幾何学的性質とのかかわりを検討する必要性が生じていた .

- ③ カオスやフラクタルの概念が広く受け入れられ、多様な自然現象に見出される非周期性や、複雑な形態の捉え方などが人々の関心を引いていた。
- ④ カオスとフラクタルは複雑性科学を生み出した。物理学が新しいアプローチを獲得するとともに、脳や経済現象にまでその対象を広げた。複雑性科学は、自然現象や社会現象に見出される多様な現象を統合的に理解する統合知の可能性をわれわれに認識させた。

「形の物理学」研究グループでは、「かたち」というキーワードで、特定分野に偏らないように、諸分野の人材情報が収集された。この過程で、「かたち」を媒介すると異分野間での討論や問題意識の共有が比較的容易であることが明らかとなってきた。

「形の物理学」研究グループは、基研長期研究計画(1982)から、科研費総合研究「形の科学的研究」(1983-1984)を経て、3.1に述べたステレオロジー研究グループと合流した。そして、ステレオロジー国際会議を拡張した形の科学の国際会議 [11] 開催のために、国内組織が必要との議論になった。

1984年2月に「第1回形の科学：ステレオロジーシンポジウム」が開催され、その後1985年3月の形の科学会の発足をはさんで、1985年6月までに同シンポジウムが4回にわたり開催された。このシンポジウムの段階から、形の科学の先駆的、また本質的で、かつ領域横断的な問題提起が多数提示されている。例えば、図表現の基本的方法の研究 [12] において、物理的な力による形態形成の観点からの検討の必要性や、領域図の構成と多細胞生物の細胞配列との共通性などが指摘されている。また、基本的に形の発生の基盤として「関係とは何か」を基本問題として掘り下げるべきとの指摘がある。後に、グラフ理論を基礎とした複雑ネットワークの概念が世界的関心を集めるようになった [13, 14]。現実の多岐にわたる現象に見出されるネットワークの、膨大な実データがこの概念のもとに分析されはじめている。

5回目の研究集会以降は、形の科学シンポジウムとして開催されるようになった。その後、科研費総合研究「形態形成の研究」(1987-1988)があり、Research of Pattern Formation が出版された [15]。

1989年8月にBudapestでsymmetryの国際会議が開催され、国際組織ISIS-Symmetryが結成された。この国際組織も科学技術から文学・芸術に至る多岐にわたる分野の交流の場である。ISIS-Symmetryの結成動機形成には、形の科学会での学際研究が大きな影響を与えていた。1994, 1999年に日本で行われた国際会議KATACHI USYMMETRY [16, 17] は、形の科学会とISIS-Symmetryの共同開催である。

#### 4. 領域横断的な知の統合の例

形やその共通性に対する関心から、分野を超えた科学技術の展開例は数多い。よく知られた例にバックミンスター・フラウ (R. Buckminster Fuller 1895-1983) の考案したフラウ構造がある。フラウは多面体幾何学に関心を持ち、三角形で球面を覆う建築物であるジオデシックドーム (別称フラウ・ドーム) を考案した。フラウ構造は軽くて強い特徴があり、骨格構造と殻構造の中間的性質を持つ。1985年にクロート、スモーリーにより発見された炭素原子のクラスターであるC60は、フラウ・ドームと同じ構造を持つことがわかりフラウレンと呼称された [18]。1991年には飯島澄男により、円筒状のグラファイトシートの両端がフラウレンの半球で閉じられたカーボンナノチューブが発見された。カーボンナノチューブは、マイクロチップとしての利用のみならず、その軽くて高強度かつ弾性に富む性質から、建築や宇宙開発への応用が進められている。

フラウ自身もきわめて領域横断的性格の強い人物であり、部分からは予測しがたい全体の振る舞いを研究する総合的学問としてシナジェティクスを提唱している [19]。また、物理学者のハーケン (Hermann Haken, 1927-) はレーザーの非線形協同現象を研究し、協同現象の数理を扱う分野を扱うシナジェティクスを提唱している [20]。

ここでは形の科学会の横断的研究活動のなかで、知が統合され展開されたと考えられる例をいくつか紹介する。

##### 4.1 ポロノイ分割をめぐって

異なる分野で独立して同一の方法が提案され、形の科学会場で共有、統合されて、さらに発展された例の1つにポロノイ分割がある。ポロノイ分割 (Fig. 1) は、平面上や空間内に点が配置されているとき、Fig. 1のように空間を分割してそれらの点の縄張りを決める方法である。ポロノイ分割は、近接する2点間をつなぐ線分の垂直二等分線を引くことにより空間内に多角形 (ポロノイ多角形) の集団を作るものである。1805年にG.L. ディリクレが数学の問題 (正定値2次形式の理論) を解くために2Dの空間分割を提案し、これを19世紀ウクライナの数学者Georgy Fedoseevich Voronoiが3D以上に拡張した。ポロノイ分割はこの他にも種々の分野で様々な名称 (メイジャリング、ウィグナー・ザイツなど) で呼ばれている。

全く異なる分野で、ポロノイ分割と知らずに、独自に同等の方法による研究が行われていた。

液体論の研究において、空間内に分子がひしめき合う状態で、ひとつの分子が占める空間を描写するために独自に提案された方法が、ポロノイ分割に一致していた [21]。

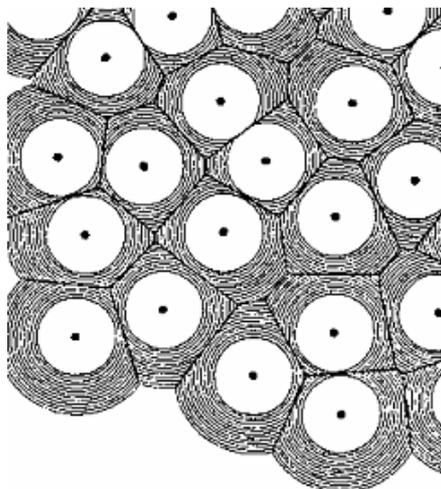


Fig. 1: ボロノイ分割

細胞生物学の研究で、細胞が多角形を示して並ぶパターンの動きや変化を調べるために作成されたコンピュータシミュレーションのモデルがボロノイ分割に一致していた [22] .

形の科学会ではこのほかにも様々なボロノイ分割の応用や拡張による研究が報告されている .

動物の縄張りパターンの変化にボロノイ分割が応用されている . 多数のトリ (カモメの一種) が平原に巣を作る例 [17] や、魚が砂を蹴散らせながら水底に巣作りする例では、巣を中心とした縄張りを形成して隣の巣と緊張関係ができる . すでにできている縄張りパターンに、後から来た動物が縄張りをつくるときの縄張りパターンの変化がボロノイ分割を用いて調べられた .

結晶成長の研究では、結晶種が点在している場合に、種から結晶成長してぶつかり合うパターンの検討に用いられている .

村落の人々がすべて関わる共同施設、たとえば小学校や郵便局、ヨーロッパでの教会などがどのように配置されるのが合理的かという問題の解の 1 つとしてボロノイ分割が用いられている .

他にも、ヒトの皮膚表皮のランゲルハンス細胞の分布の研究 [24] , デジタル画像のボロノイ図 [25] など数多くが報告されている .

形の科学会では、ボロノイ分割のさらに広い応用のために、球面上でのボロノイ分割 [26] や重みづけのあるボロノイ分割など、その拡張が研究されている .

#### 4.2 病理標本画像のデジタル処理

工学技術を異分野に応用する過程で、横断的に手法を取り入れ、新たな基礎理論の構築にも至るといふ例もある . 鳥脇は、図形のパターン認識からデジタル画像処理の研究を行い、これを医用画像処理に応用する過程でコンピュータグラフィックスと形の科学の基礎理論とそれ

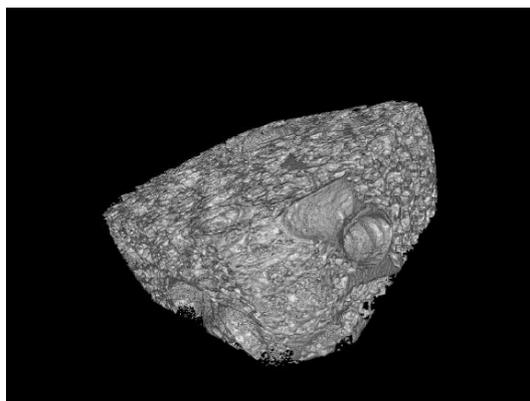


Fig. 2: 肺組織の CT データのボリューム・レンダリング画像 . 空間分解能は約 0.2 mm . 文献 [30] より転載

に立脚した技術開発を行っている .

コンピュータ支援画像診断システム (CAD) は広義にはがん診断におけるコンピュータ応用技術である . 厚生省がん研究助成金研究班である「がん診断におけるコンピュータ応用」は 1968 年にはじまり長い歴史を持つ . 鳥脇はその初期から梅垣班の分担研究者として、がんの X 線写真のパターン認識の研究を行っており、CAD 研究の第一人者として知られている [27] .

この研究が形の科学会では病理学研究者の関心を呼んだ . しかしその後、病理学会での招待講演の機会を得て画像の定量計測の実例と可能性を紹介したところ、反響は賛否両論であったという .

このころ CT が実用されるようになり、それまでの 2 次元画像処理から 3 次元画像処理の実用可能性がでてきた . そこで、鳥脇は 3 次元デジタル幾何学の基礎研究を開始し、その成果は CT 画像処理の必須知識であるとともに、形の科学の基礎理論研究のひとつとなった [28] .

さらに鳥脇は、CT 画像のみならず、臓器などの組織の連続切片を顕微鏡で撮影した病理標本も 3 次元画像として処理できる可能性を指摘し、形の科学会での連携により実際の肝臓の病理標本から血管網の定量解析を実施した . このとき、その基礎技術として、デジタル画像のユークリッド距離変換の画期的なアルゴリズムを開発した [29] .

これらの研究において、濃淡データから 3 次元立体像を可視化する手法として、ボリューム・レンダリング法が開発されていた . これと人体の CT 画像を組み合わせることにより (Fig. 2) , 人体内を自由に視点移動させる仮想化内視鏡システム (バーチャル・エンドスコープ) [30] の開発が、森・鳥脇と Vining らの 2 つのグループにより独立に行われた . 高度なコンピュータ・グラフィックスを備えた画像診断と、医師の患者や病理に対する洞察は補いあって医療を推進するものと期待される . そこにさらなる統合知の形成が促されるだろう .

### 4.3 可動構造とミウラ折り

可動構造には、古くから用いられている蛇腹構造、折り畳み構造、展開構造などが存在する。現在ではアクチュエーターとセンサーを内蔵して状況に合わせて構造変化することのできる適応構造（知的適応構造、スマート構造）が開発されている。

三浦が考案し、1994年に宇宙科学研究所が打ち上げた無人宇宙実験室（space flyer unit, SFU）の太陽電池パネルの2次元展開アレイ実験で用いられた可展二重波形面（developable doubly corrugated surface, DDC）は通称ミウラ折り [31] と呼ばれている。ミウラ折りという呼称は、折り紙の世界から出て普及したものである。ミウラ折りは、平行四辺形の面要素を折り目で見ないで収納展開構造で、端部を引っ張るだけで大面積の構造体を展開したり小さく収納したりすることができる。

紙のような薄い、面状の弾性体を縮めるとき、伸び縮みの歪みエネルギーが弾性体の厚さに比例するのに対し、曲げ変形の歪みエネルギーは厚さの3乗に比例する。したがって、厚さを小さくした極限の面状弾性体を変形すると、伸び縮み変形はおきにくく、曲げの歪みエネルギーの消費が支配的になる。可展二重波形面は、このエネルギー消費を最小にする変形の解として導かれた。紙をしわくちゃに縮めてみれば、残されたしわの形に、ミウラ折りのエッセンスを見ることができる。

ミウラ折りは地図の折り方や折り紙にも適用された。日本は折り紙の文化が進んでおり、高度な折り紙の技があるので、Origamiの語はそのまま国際語として通用する。折り紙は幾何学を内在し、折るという形の操作は有力な数学的操作であることが知られている。近年では、折り紙の数学の基礎論、複雑な折り紙の設計、宇宙構造物設計、建築、造形などの幅広い研究者が折り紙研究に参加し、応用している。折り紙がこれらの分野の知を統合する場になっているといえよう。

前述の宇宙構造物開発には形の科学の寄与する側面が少なくない。宇宙構造物は、比較的少数の軽量部材を用いて、宇宙空間に一定の構造を構築するものである。このような問題には、進化の過程により洗練されてきた生物の構造がヒントになる。現在、膜面展開構造システムに関しては、生物の翅の展開・収納機構を応用する研究なども行われている。

### 4.4 知の統合のための出版

形の科学会発足後、様々な分野から形に関する研究が集まり、知識の整理・統合を行うことが求められるようになった。学会発足後10年あまりを経過して、高木により、形態形成の研究を核として、形に関する数理をまとめた『形の数理』[32]が出版された。

2003年には、形に関する主要な用語を収集して統一

的な定義と説明を与えることを目的とした『かたちの事典』[33]が出版された。この事典には、かたちの幾何学的意味の説明とともに、自然、歴史、文化の中でのその形の現れかたや意味について解説されている。

2004年には、形の科学会の研究の広がりを集大成し、様々な研究を、簡潔にその特徴を浮き彫りにして解説した『形の科学百科事典』[34]が出版された。含まれる分野は、「生物と形」として、人体、動物、植物、微生物・細胞、「物理と形」として、結晶・準結晶、空間・構造、流体、分子・原子・光、「天文と形」として宇宙、地球、「数学と形」として数理・図形、分割・配置、パズル・アート、「工学と形」としてコンピュータ、人工物、建造物、都市・地域の分野が挙げられている。これは様々な対象への形の科学の適用の例証ともなっている。

## 5. 今後の形の知の統合の可能性

### 知の「入会地」

形の科学会には、形に関わる様々な問題と解決を集めて、「形の科学」という包括的な科学を構築し、それを利用し易い姿に表現するという目標がある。それは実際に実践され、出版活動も進められている。しかし、形そのものについての理解だけでは知識の実用上不十分な場合が多いので、形の科学は諸分野の知識との連携を強くしながら進められねばならない。

形の科学は、諸分野との結合性、親和性が高く、諸分野の問題や成果を持ち寄り、共有、交換、結合するための「入会地」となれる特徴がある。学術には目的学際研究とは別に、こうした知の入会地も必要ではなからうか。

ここでは今後の課題となるものをいくつか挙げて知の統合の可能性を模索するための糸口としたい。

### 形と機能

形と機能に関する体系的な知識への関心は高い。生命システムでは生体高分子や器官など様々なレベルでの形が機能を発現する。ただし生命システムでは、常に変異を含む再生産システムがあって、発生したある形が生存に役立つ機能をもつとき、その構造の生産が増幅されている。

問題は、形と連関させたとき、機能というものを体系的にあつかうことが難しいところにある。特定の機能に最適化された形はあるが、モノには実に様々な機能が関係付けられるので、局所的な変化や改善が全体に及ぼす影響を体系的に評価することも難しい。これに対しては、複雑な結びつきに関する科学である複雑ネットワークがひとつの切り口となるかもしれない。

生命システムでの機能発現は工学的に参考にされることが多い。生体においては、実は構造の時間変化が機能を発現させることが多い。例えば、肺胞は呼吸運動にと

もなう肺胞の形の変化が効果的なガス交換の機能を発現している。しかも、その構造変動も様々なスケールでの機能・性能を持っている。生きているから発現される機能なのである。このような場合、3次元的な構造だけでは機能発現の仕組みを十分に読み解くことができない。空間的な3次元に、時間軸の1次元を加えた、高次元からの扱いが必要である。北岡は形と生理機能を結合した morphophysiology (morphology + physiology) を提唱している [35,36]。

### 形態形成とシステム

様々な要素が関わる設計の問題は重要である。また、広くとらえると、創造するプロセスは、意識化された問題について様々な知識の結合や見直しを行って、形になるものを生み出すプロセスであるといえよう。形にするプロセス、形を修正するプロセスに関しては、形態形成機構についての知見が基本知識のひとつとして役立てられるのではない。

自然現象に見られる様々な形態形成には、生命・非生命系にわたる共通性が認められる。個々の系の違いを超えて、形態の生成機構には次のような型が存在することが指摘されている [32]。

- ① ポテンシャルエネルギー最小の原理 (平衡系): 懸垂線など釣り合いの形 [37]。
- ② 自由エネルギー最小の原理 (熱平衡系): ポテンシャルエネルギー低下とエントロピー増大効果のバランス [38]。
- ③ エントロピー生成最小の原理 (非平衡定常系): プリゴジンが確立した、開放系での秩序形成の原理のひとつ [39]。
- ④ 非線形系での変分原理 (非平衡非線形): ベナール対流など。未解決問題が多い [40]。
- ⑤ 自律分散系での形態形成 (生物系など): 生物では遺伝子が介在しつつ、ミクロの挙動と巨視的環境要因が関わりあう [41]。

上の④,⑤には未解決の難問が多い。村田は⑤の自律分散システムでの自発的・協同的形態形成をもとにした人工物のボトムアップ的設計手法を提唱している [42,43]。この方法では目的機能に最適化するトップダウン手法と比較して、短期的効率は低い、種々の外的条件の変化に柔軟に対応できるシステムが可能になる。

### 複雑ネットワーク

複雑ネットワークは、知人の関係、WWW、論文の共著関係、などから、細胞内の代謝、知覚における神経ネットワークなど、広範な対象に見出される「関係性の複雑さ」を特徴づける。多くの実際の系で、各頂点の結合数の分布が特徴的な大きさを持たないスケールフリーネットワークと呼ばれる構造を示すことが報告されている。関係性の特徴の生成機構、関係性に内在する機能を

解明する糸口として、複雑ネットワークの科学は、複雑形態におけるフラクタル幾何学に対比されるような、注目すべきアプローチである。

複雑ネットワークで結び付けられた要素が、様々なルールによって相互作用するとき、どのような性質を示すかが今後解明されていくであろう。様々な実際のシステムでの複雑ネットワークの性質に関する知見も、さらなる収集の必要性がある。

複雑ネットワークと関連しうる問題のひとつに、雑音や複雑な信号のなかに紛れてしまうようなパターンの問題がある。生命システムでは、複雑な信号の中から意味のある情報を安定して抽出することがよく見られる。あるいは、われわれの知覚においても、直感的に重要な特徴を発見することが起きている。この仕組みの解明は今後の課題である。

### 高次元

われわれの脳では、網膜に映る2次元像から3次元の視覚イメージを構築している。視覚のみならず、われわれは現実の現象を高い次元から捉えることで、行動と結びつく確かな認識をしているように思われる。

形の学会では、4次元以上の高次元図形の幾何学に関する知見を深めてきた [44]。幾何学的図形以外の高次元形状を図形の問題として体系的に扱うことは困難だろう。しかし、認識の問題として、高い次元から把握する、あるいは表現する方法について、事例に基づいて検討を重ねることは意義深いものと思われる。

### 科学と文化、アート

自然科学と芸術とでは、その表現が構築するものは一見大きく異なる。前者は証拠にもとづく反証可能な論理構造にその特徴がある。一方後者では、多義的な、人の意志と目的の自由が体現される。科学の進展においても審美性が価値判断のよりどころになることはしばしばある。また芸術においても、技術的側面のみならず科学的知の発展が、その表現やモチーフに影響を与えてきたことはいうまでもない。芸術的直観によって認識され表現されてきたことを、科学が後に気づいて切り込んでいった例も数多い。

かたちは、科学と芸術のひとつの架け橋である。伝統的ものづくりでは、生活や技能を意識的に向上させようとする行動、修練、作法、気配りがかたち作りに反映され、結果として作られた物が生活にスタイルを与えていた [45]。今日のものづくりにおいても、機能・性能の向上のみならず、人の感性や生活にいかにもスタイルをもたらし得るかという観点で性格が明瞭でないと選択されなくなっている。それは本来当然のことである。このような、われわれの生活に関わる次元での、かたちにする、かたちを選ぶということについて、形の科学は今後もっと目を向けていくべきだろう。

形の科学は本質的に多分野の研究の推進によって育ち、その統合によって結実した知をまた具体相において活用していくサイクルを繰り返す。この過程で集まる知識も膨大になり、一人ひとりの研究者が全体を網羅することは困難になるが、学会での人のネットワークを適切に持つことによって、生きた知識の活用が可能になるように思われる。

### 参考文献

- [1] <http://www.scipress.org/journals/forma/index.html>
- [2] 白川静: 字訓, 平凡社, 1987.
- [3] 杉浦康平: かたち誕生 - 図像のコスモロジー, 日本放送出版協会, 1997.
- [4] 坂元宗和: カタチの語源, 形の科学会誌, Vol.14, No.2, pp. 69-78, 1999.
- [5] 金田一京助他: 日本国語大辞典, 小学館, 1972.
- [6] J. Kappraff: Connections -The Geometric Bridge Between Art and Science, World Scientific, 2001.
- [7] アーサー・I・ミラー: アインシュタインとピカソ - 二人の天才は時間と空間をどうとらえたのか, TBS プリタニカ, 2002.
- [8] 岩田誠: 見る脳・描く脳 - 絵画のニューロサイエンス, 東京大学出版会, 1997.
- [9] 馬場, 宮本, 木村, 岡安, 神崎ら: 技術講座 形態計測, 細胞, 1976-1978: 「形態計測 (I) - 概説」 Vol.8, No.10, pp. 378-385, 1976; 「形態計測 (II) - 形状のいかんを問わない stereology」 Vol.9, No.3, pp. 68-78, 1977; 「形態計測 (III) - Stereology の基本定理の証明」 Vol.9, No.3, pp. 79-85, 1977; 「形態計測 (IV) - 球体のステレオロジー」 Vol.9, No.8, pp. 283-294, 1977; 「形態計測 (V) - 球体のステレオロジー (その2)」 Vol.10, No.2, pp. 467-473, 1978; 「形態計測 (VI) - 大きさと形の決まった粒子の stereology」 Vol.10, No.6, pp. 603-614, 1978; 「形態計測 (VII) - 比率の測定に伴う誤差」 Vol.10, No.12, pp. 820-827, 1978.
- [10] 諏訪紀夫: 定量形態学: 生物学者のための stereology, 岩波書店, 1977.
- [11] S. Ishizaka, Y. Kato, R. Takaki, and J. Toriwaki (Eds.): Science on Form, Proceedings of the First International Symposium for Science on Form, KTK Sci. Pub., Tokyo, 1986.
- [12] 出原, 吉田, 渥美: 図の体系, 日科技連出版, 1987.
- [13] D. J. Watts and S. H. Strogatz: Collective dynamics of 'small-world' networks, Nature, Vol.393, pp. 440-442, 1998.
- [14] 増田, 今野: 複雑ネットワークの科学, 産業図書, 2005.
- [15] R. Takaki (Ed.): Research of Pattern Formation, KTK Sci. Pub., Tokyo, 1994.
- [16] T. Ogawa, K. Miura, T. Masunari, and D. Nagy (Eds.): KATACHI U SYMMETRY, Springer Verlag, Tokyo, 1996.
- [17] T. Ogawa, S. Mitamura, D. Nagy, and R. Takaki (Eds.): Proceedings of the 2nd International KATACHI U SYMMETRY Symposium (Tsukuba, 1999), FORMA, Vol.14, No.4, 1999; Vol.15, No.1, 2000; Vol.15, No.2, 2000.
- [18] H. Aldersley-Williams: The Most Beautiful Molecule -The Discovery of the Buckyball, Wiley, 1995.
- [19] R. Buckminster Fuller: Synergetics, Macmillan, 1975.
- [20] H. ハーケン (小森, 牧島訳): 協同現象の数理, 東海大学出版会, 1980.
- [21] T. Ogawa and M. Tanemura: Prog. Theor. Phys., Vol.51, pp. 399-417, 1974.
- [22] H. Honda: J. Theor. Biol., Vol.72, pp. 523-543, 1978.
- [23] M. Tanemura and M. Hasegawa: J. Theor. Biol., Vol.82, pp. 477-496, 1980.
- [24] T. Mumahara et al.: J. Dermatol. Sci., Vol.4, pp. 202-207, 1992.
- [25] J. Toriwaki and S. Yokoi: Computational Morphology, pp. 207-228, North-Holland, Netherlands, 1988.
- [26] M. Tanemura: Forma, Vol.13, pp. 99-121, 1998.
- [27] 鳥脇純一郎: 画像理解のためのデジタル画像処理 (II), 昭晃堂, 1988.
- [28] 鳥脇純一郎: 3次元デジタル画像処理, 昭晃堂, 2002.
- [29] T. Saito and J. Toriwaki: New algorithms for n-dimensional Euclidean distance transformation, Pattern Recognition, Vol.27, No.11, pp. 1551-1565, 1994.
- [30] J. Toriwaki: Visualization of Forms in the Inside of the Human Body, Forma, Vol.21, pp. 67-80, 2006.
- [31] <http://www.isas.jaxa.jp/j/enterp/missions/complate/sfu/2dsa.shtml>. ミウラ折りの図も同ページに見られる。
- [32] 高木隆司: 形の数理, 朝倉書店, 1992.
- [33] 高木隆司他編集: かたちの事典, 丸善, 2003.
- [34] 形の科学会編集: 形の科学百科事典, 朝倉書店, 2004.
- [35] [http://www.med.osaka-u.ac.jp/pub/imed3/lab\\_8/kitaoka/](http://www.med.osaka-u.ac.jp/pub/imed3/lab_8/kitaoka/)
- [36] H. Kitaoka et al.: A four dimensional model of the alveolar structure, (under submission).
- [37] S. Hildebrandt and A. Tromba (小川, 神志那, 平田訳): 形の法則 - 自然界の形とパターン, 東京化学同人, 1994.
- [38] ランダウ, リフシッツ (小林訳): 統計物理学 上・下, 岩波書店, 1980.
- [39] グランスドルフ, プリゴジン: 構造・安定性・ゆらぎ - その熱力学的理論, みすず書房, 2000.
- [40] 北原和夫他: 非平衡系の科学 (全6巻), 講談社, 1994-2002.
- [41] 伏見, 西垣編著: 進化・情報・かたち - 生命知のパスベクティブ, 培風館, 2006.
- [42] <http://www.mrt.dis.titech.ac.jp/HP/jPublication.html>
- [43] S. Murata and H. Kurokawa: Modular Transformer - Opening New-Generation Robotics, IEEE Robotics & Automation Magazine (to appear).
- [44] 宮崎, 石井, 山口: 高次元図形サイエンス, 京都大学学術出版会, 2005.
- [45] 杉山明博: 日本文化の型と形, 三一書房, 1982.

### 松浦 執



1959年生, 理学博士。東海大学開発工学部で初等物理教育担当。他に形の科学会事務局長, NPO 法人科学芸術学際研究所 (ISTA) 理事, 物理学会『大学の物理教育』編集など。専門は, 初等物理学の e-Learning 開発, 人と形の関わり。趣味 (休止中) は観世流謡曲。