

小川 泰	
12. ランダムカッティングによるサイズ分布	原 啓明, 藤田重次
13. ランダム充填について	種 村 正 美
14. 生物における形をどう考えるか	原 田 市太郎
15. 生物学的意味のある幾何学的解析 — 多細胞組織の細胞境界の緊張について —	本 多 久 夫
16. 木の構造の発展方程式について	安久正紘, 横井洋太
17. 自己複製する微小システム	松 野 孝一郎
18. 転位のある結晶のリーマン幾何学	北 原 和 夫
19. 地域分析における構造, 領域モデル	藤井 明, 原 広司
20. 乱流の秩序構造	高 木 隆 司
21. 2次元パターンのフラクタル的性質	山崎光昭, 太田正之輔
22. 運動の秩序と形態	戸 田 盛 和
23. 分枝の代数的記述	志 方 守 一

## 「形の物理学」について<sup>\*)</sup>

筑波大物工 小 川 泰

### § 1. はじめに

1980年秋、「形の物理学」という基研短期研究会を開いた。その報告は「物性研究」4月号に掲載されている。<sup>1,2)</sup>本年12月には第2回の研究会を開く予定である。この研究会活動で目指していることが、この一文によって一人でも多くの方に関心をもたれ、理解して頂ければ幸いである。ここでは、私が密かに胸に秘めていればよいような思いにも筆をすべらせるつもりであるが、実際の研究会は決して哲学的思考や文化論を先行させたようなものではないことを断わっておく。

### § 2. 「形の物理学」という言葉

まず、研究会名の「形の物理学」という語が未公認のものであり、若干いかがわしい印象を与えるかも知れない。提案者の私自身も、以下のように幾通りもの意味に使っている。

---

\*) 会の主旨説明として研究会当日に校正刷を配った文章です。

研究会名としては、「科学の立場で形や幾何学的秩序をもっと問題にしよう」と呼びかけ、「単に形の似た現象を博物誌的に羅列するのではなく、そこに普遍的法則を見抜いて、物理学と呼べるようなものを築こう」という基本姿勢と心構え、意気込みを表明するものである。また、「物理学は一義的に分類され尽してしまうような硬直したものではなく、いろいろの視点から、もっと自由に自然観の提示が行われるべきものである」という主張も込められている。但し、「形の論理」を旨とする自然観といったようなものを提唱しているのではない。

狭い意味での「形の物理学」は、物理学における形の探究をさす。当然物理学の対象と考えられているような現象や事柄について、形を扱うことが必要な場合がある。例えば、液体や非晶質の構造を論じるのに、直接観測にかかる二体分布関数は不可欠な情報ではあるが、充分ではない。異なる多体分布関数に対応する構造が、二体分布関数では区別できないような場合があるので、構造決定の極め手にできないからである。多体分布関数は「形の要素」が強く、その記述に精通するには立体に対する感受性を要する。また近年、非線形に由来して空間的に一様でない解が出現する現象として、ある種の化学反応系や熱対流の周期的渦細胞のような紋様形成が関心をもたれているが、これらは形の問題でもある。

形をまともに扱おうとすると、さまざまな困難が待ち受けている。例えば、通常量の和は結合則と交換則で、手順の変更が完全に保証されているが、Jigsaw puzzleでは面積の和が好ましいことは必要ではあっても解の存在の保証とはならない。「適材適所」でなければならぬところに難しさがあり、これが形というものの一つの本質でもある。立体角は大きさだけでは指定できず、形をもっているので平面角の観念だけでは処しきれない。統計法則についても、通常中央極限定理は無変域を前提にしているため、角度や立体角の場合には修正を要する。これらは困難のほんの一部にすぎないが、狭い意味での物理学に限らず、他分野の形研究者達も、当然直面しているに違いない。「これらの人達と討論し、問題を整理することは、お互いに有意義であろう」というのが研究会提案を思いつく直接の動機であった。このような問題は、物理学自体ではなく、数理あるいは幾何学に属することかも知れないが、形の成因についての法則探究は物理学的である。研究会名について述べたように、物理科学をはじめ地球科学・生物科学・人文科学・社会科学等の諸科学にまたがっての形の一般法則の探究を、広い意味での「形の物理学」と呼びたい。どのような意味で物理学なのか、ということも簡単ではないが、少なくともこのような総合性は、物理学の分野から発想されて然るべきである。

形の問題の中には、既に成因探究という物理学的な段階に達しているものもあれば、現在では形の記述法が最重要課題だという場合もあり、発展段階は問題ごとにさまざまである。われわれは、「形の物理学」という一つの体系を作ることを主張しているのでは必ずしもない。先

ず、問題ごとの「形の物理学」がある筈である。

「形」という言葉が、「心」という言葉と対比されるとき、形は表面的・外見的なものであって、決して本質ではない。しかし、「形」は、量的なものを捨象したところに質的なものとして抽象されるものであって、「定量化だけでは捉えきれない質」の代表でもある。

境界条件のような幾何学的制約が余りに支配的な現象は、科学あるいは物理学の対象としての興味が薄いともいえるが、幾何学的に決定される部分を除去して現象の本質に迫ろうとするには、幾何学的な事柄についての正しい理解が必要である。数学的な一般化が任意次元へと向うならば、空間の三次元性から来る制約を正しく受け止めることは、物理学の役割の一つではあるまいか。

### § 3. 昨(1980)年の研究会から

興味深い形の問題は実に多様であるが、研究計画としては枠を設けざるをえない。主題としては、幾多の分野にわたって問題が共通していて、実り多い討論が期待できることが望ましい。また、研究会の趣意に合致した参加者の人選が可能でなくてはならない。これらの諸条件に叶うものとして、A. 枝分れ系、B. 空間分割を選んだ。ここで詳しく各論には立ち入らないが、Aには、分岐図形としての河川、樹形、血管系、絶縁破壊の Lichtenberg 図形等が入る。河川の分岐について現象論的に発見された Horton の法則<sup>3)</sup>は、他の分岐系でも成立し、一種の保存則であると共に相似則にもなっている。この観点は樹形の研究にもとり入れられ、現に影響を及ぼしている。非晶質や液体の粒子配位構造をBの空間分割として捉えるボロノイ(Voronoi)分割の手法<sup>4)</sup>は、動物のなわばりや、植物の葉が日光を効率よく受けようと重ならないように配置し、立体的な樹形を決定する要因となっていることの解析にも使われている。集落や住居の構造についての解析法や問題意識も、空間分割や、部分のつながりぐあい等、他の諸問題との密接な関係がみられた。

これら二主題とは別に、物理学の分野では、「天から送られた手紙」<sup>5)</sup>の解読として、形の情報から雪片の生い立ちを読みとることに成功し、更に成長機構のうえから結晶の形を考えようとする雪物理学は、「形の物理学」としての先進分野といえる。雪結晶の外形の分類法から解読法に至るまで、形の探究がいかにして物理学でありうるかについての一つの型を示している。金米糖とその類似現象や、樹枝状結晶等の結晶成長は物理学の中での重要な形の問題であり、最近是非線形非平衡統計力学の分野でも興味をもつ者が増えつつある。

通常、「形」というとき、輪郭の線や面としてはそれぞれ区分的に接線や接平面をもっているようなものを常識的に思い浮かべがちであるが、これは既にモデル化されたものであって、反

省を要することである。到るところ接線や接平面を持たない線や面等ランダムな図形を特長づけるものとして Mandelbrot が導入した fractal の概念<sup>6)</sup>は、「形」の前提を問い、補うものとして重要である。fractal は前記の Horton の法則と共に、自己相似性を積極的に利用した概念であることにも注目したい。自己相似性の仮定は、くりこみ理論や靴紐理論のような帳尻合わせ理論と同じく、理論化の有力な手法である。更に相似という概念自体が、大きさを捨象した形を抽象したものであり、「形」の概念にとっての第一歩であることを考えると、別の興も湧いてくる。

以上は昨年の研究会についての、かなり独断的な要約である。これを通じて、広範囲な研究対象にまたがる研究グループが出来かけたが、議論が充分にはずんだとは言い難い。第2回の研究会<sup>7)</sup>は、専門分野の異なる者が、気軽に素人発想を開陳できるような雰囲気のものにしたい。若干新しい話題も付け加えたいが、いたずらに枠を広げ過ぎて発散してしまわないよう注意したい。

#### § 4. 図形情報の意義

最近、静止衛星から撮った気象写真をTVや新聞で見ると感じることにふれたい。これらには極めて豊富な情報が含まれていると思う。空間的に離散的な測候所だけのデータとは比べものにならない連続的といえる情報には、予報だけでなく、気象学や地球物理学を革命的に変えうる要素がある、と空想を楽しんでいる。素人目にも地球のスケールで雲の流れが見え、今まで見ることのできなかつた新しい自然を眼のあたりにして、まだ捉えられていないであろう法則が見えてきそうな気配を感じる。出来あいの解析法だけに頼って膨大な数値データを処理することによっても、データ量の増加に伴う格段の収穫はあろう。しかし、それに満足しては、地球中心説を何ら疑わずに多数の周転円を動員して惑星の運動を捉えるのに似ている。地動説に基づく太陽系模型を通じ、近代的な力学を誕生させるには、将にコペルニクス的な発想の転換が必要である。

ここで言いたいことは気象についてではない。一般的に、うまい概念を導入して、現象に適した量で見なくては、膨大な数値データを十分に活用することはできないだろうということである。百聞は一見に如かずというが、人間が視覚＝図形情報から法則性を感じとる能力は鋭く、大変貴重である。近代科学は人間の感覚を追放することによって成立すると考えられているが、多くの情報から現象の本質をとり出すには、計算機との協力の上に、一度は人間の感覚という柔軟性に富んだふるいにかけて法則性を探り、しかる後に感覚から脱するということが必要ではなかろうか。しかし、一般に、図形情報から法則性の存在を感じることもできて、現象論

小川 泰

的にであれ、その法則を正しくあからさまに表現することは極めて難しい。確かにこれは、科学がやり残してきたことであるが、その重要性は増大してきている。対象についての専門知識のない素人でも、図形情報から現象論的に法則を読みとる態度をもち、その感覚を研ぎ澄ませた者が、ある発展段階では、玄人に劣らぬ重要な役割を果しうる機会があるのではなからうか。勿論、これには自ら限界があり、個別科学の法則として確立するためには対象自体についての深い洞察が必要なことはいうまでもない。

## § 5. 寺田物理学について

この研究会活動は、いわゆる寺田物理学の再興自体を意図したものではないので、寺田物理学への先入観だけで判断されたくないし、ここで寺田物理学について論じるつもりもない。しかし、少なくともわれわれが今やろうとしていることに関して、寺田物理学は先駆的であったと思う。また、形の諸問題の重要性や可能性についての寺田の認識も的確であったと思う。敬意の念を込めて、その「自然界の縞模様」の一節を引用させて頂き、この文のしめくくりとしたい。

（「縞模様」を定義した後）これらの現象の多くのものは、現在の物理的科学的領域では、その中できわめて辺鄙な片田舎の一隅に押しやられて、ほとんど顧みる人もないような種類のものであるが、それだけにまた、将来どうして重要な研究題目とならないとも限らないという可能性を伏蔵しているものである。今までに顧みられなかったわけは、単に、今までの古典的精密科学の方法を適用するのに都合がよくないため、平たく言えばちょっと歯が立たないために、やっかいなものとして敬遠され片すみに捨てられてあったもののように見受けられる。しかし、もしもこれらの問題をかみこなすに適切な「歯」すなわち「方法」が見いだされた暁には、形勢は一変してこれらの「骨董的」な諸現象が新生命を吹き込まれて学界の中心問題として檯舞台に押し出されないと限らない。そういう例は従来でも決して珍しくはなかった。（寺田寅彦「自然界の縞模様」<sup>8)</sup>より）

## 文 献

- 1) 物性研究 36 (1981) A 1.
- 2) 小川 泰：日本物理学会誌 36 (1981) 163. (趣意とプログラム).
- 3) R. E. Horton: Bull. Geol. Soc. Am. 56 (1945) 275. 徳永英二, 柏谷健二：物性研究 36 (1981) A 32.
- 4) G. F. Voronoi: J. Reine Angew. Math. 134 (1908) 198. T. Ogawa and M. Tanemura: Prog.

- Theor. Phys. 51 (1974) 399. 小川 泰：物性研究 36 (1981) A2.
- 5) 中谷宇吉郎：雪（岩波書店，1938）〔岩波新書〕。
- 6) B. B. Mandelbrot: *Fractals; Form, Chance and Dimension* (Freeman, 1977). 森 肇：物性研究 36 (1981) A 76. 小川 泰：数理科学 19 (1981) 39.
- 7) 日本物理学会誌 36 (1981) 700.
- 8) 岩波文庫「寺田寅彦随筆集」第4巻 p. 30 より。

## 結晶成長における形の問題 —形態安定性—

北大・低温研 黒 田 登志雄

### 1. はじめに

過飽和状態の蒸気相，溶液相，あるいは過冷却融液相の中に秩序構造を持った結晶が出現し，それが成長する過程は典型的な非平衡現象である。結晶成長には，一般に，(1)環境相から結晶界面への原子，分子の拡散過程，(2)界面に到達した原子，分子が結晶相に組み込まれていく過程（界面成長カインेटィクス），(3)界面で発生した結晶化熱の輸送過程，の三つの過程が関連している。結晶成長の分野の課題の一つは，これらの過程を考慮して結晶の成長速度  $R$  が結晶化の駆動力  $\Delta\mu$ （環境相と結晶相の化学ポテンシャルの差）にどのように依存するかを調べることである。ところで，我々は結晶という言葉から水晶，ガーネットなどの鉱物の外形の幾何学的規則正しさや，雪の繊細な形など，その“形”の美しさを思い浮かべることが多い。成長中の結晶がわずかな成長条件の違いによって千差万別の形をとることは良く知られている。しかしながら，いかなる仕組みで結晶の形が作りだされていくのかという点に関して我々の理解はまだ乏しい。したがって，結晶の形の決定の仕組みを明らかにすることは，結晶成長における魅力的な重要課題である。3章であつかう多面体結晶の界面安定性の例からもわかるように，千差万別の結晶の形は，最初に述べた成長の律速過程の中のいくつかが微妙に関連しあった結果として現われる。ラセン転位によるスパイラル成長の理論で有名な F. C. Frank の言葉を借りれば，“結晶の形を理解することは結晶成長を理解すること”なのである。

結晶の形を問題にする際には，環境相との熱平衡状態にある結晶の平衡形と，非平衡状態での成長の結果として定まる成長形とを区別する必要がある。2章で成長形の例を簡単に示し，その中の形態安定性の問題を3章でとりあげる。平衡形に関しては文献1)，2)を参照載きた