

# 1. はじめに

## <多様な世界>

我々を取り巻くこの世界は実にさまざまな多様性に満ち満ちている。宇宙には無数の銀河があり、その一つの銀河の中には無数の星があり、それらの恒星の周りを惑星が回り、惑星の周りを月が回っている。我々の惑星地球の空にはサンサンと光る太陽と流れる雲、その下で光輝く海、夜空には輝く月や深遠な星たち、空にははばたく鳥たち、海にはさまざまな魚たち、陸にはさまざまな美しい動植物がいる。そして我々考える人間もいる。この世界の階層性や多様性はいったいどうやってできているのだろうか？どのように考えたらいいのだろうか？太古の昔から、人類はこの多様な世界を理解しようとさまざまなアイデアをめぐらせてきた。

## <多様なアイデアの歴史>

エジプト時代、人々は三角形の三辺の長さの二つの平方の和が別の辺の平方になるようにすると直角になることから方位を求め、ピラミッド建築に利用した。バビロニア時代、2次方程式の解法が得られ、土地の測量が行われていた。ギリシャ時代、デモクリトスは、遠くに行くひつじの一群が個々のひつじからなるように、自然のすべては最小の単位である原子（アトム）からできていると考えた。ピタゴラスはすべての根源は自然数であると考えた。同様にユークリッドは、すべての幾何学的定理はいくつかの公理に基づいて証明できると考え、その方法を原論に書いた。無理数の概念もこのころ考え出され発展した。中でも黄金率 $(1 + \sqrt{5})/2$ が最も美しい比率と信じられ、神殿建築に使われた[1]。

中世のアラビアでは、さまざまな物質を反応させて金を作ろうと錬金術（アルケミー）が生まれた。アラビアの数学者は、3次、4次方程式の解法に取組み、代数学（アルジェブラ）を生んだ。中世のイタリアでは、カルダノやフェラリが3次、4次方程式の解の公式を与えた[2]。フランスのデカルトは座標系の概念の導入によって、代数学と幾何学を初めて統合、我々の見る直感的な幾何学図形と代数式の間との関係を与えた。パスカルは確率の概念を発見し、組み合わせ数学を創始し、物事の確からしさや起こりやすさを論じた。ニュートンとライプニッツは微積分法を創始し、ベルヌーイやオイラーが発展させた。ニュートンは力と幾何学の間との関係を発見し、すべての物体の運動は一つの運動方程式を解くことで決定できることを示した。そして万有引力の法則とデカルトの座標系と結び付けて惑星運動を記述するケプラーの法則がニュートンの運動方程式から自然に得られることを示した。かたやライプニッツは自然にはモナド以外の何もかも存在せず、他のすべてのものはモナドから結果として出てくる現象にすぎないと考え、モナド論を展開した[3]。

近代の化学は、アラビアの伝統に基づき発展し、さまざまな物質は微小な原子からなると考えると自然であることを見出し、元素の周期律表を完成した。気体や液体は原子や分子からなり、すべての物質は周期律表にある元素の組み合わせで構成されると考えた。

前世紀には、ガウスが複素数を発展、代数学に新しい地平を開いた。アーベルは5次方程式以上の高次の方程式に解の公式がないことを証明し、超楕円関数論と高次方程式論の関係を与えた。ガロアは、群の概念を発見し、高次方程式の対称性と群の概念を結び付け、解の存在を方程式の対称性から求めることを可能にした。クンマーやデデキントは、大きな数や高次方程式がより小さな素数や既約多項式から作れることを示し、イデアル論を展開した。クロネッカーは、すべての数学は自然数だけをもとに構築されると、ピタゴラスの世界観やライプニッツのモナド論に似たクロネッカーの夢を描いた[2]。ラグランジュやハミルトンは、ニュートンの力学と高次方程式論を結び付け、リーマンやロバチェフスキーはユークリッドの公理以外の幾何学を発見した。

一方、アンペア、ファラデーやテスラが電磁気を研究し、マックスウェルが数学的に完成した。電磁気現象はマックスウェル方程式を解くことからすべて得られると考えた。ボルツマンは、個々のミクロな原子や分子の運動からマクロな熱力学が得られると、原子論に基づく統計力学を創始した。さらにエントロピーの概念を与え、エントロピーは常に増大するという熱力学第2法則を確立した。そしてそれらをギブズが発展させた。ダーウィンは世界一周の旅に出た時のデータに基づき、生物の進化の法則を発見した。メンデルはエンドウ豆を研究して生物の形質や形態がしたがう遺伝の法則を発見した。レー

ウェンフックは顕微鏡を発明し、生物が小さな細胞の集まりであることを発見した[4]。

今世紀初頭には、アインシュタインがマックスウェル方程式から特殊相対性理論を発見し、物質の質量とエネルギーが等価であることを示した。さらに、リーマン幾何学を使って重力と宇宙の関係を与える一般相対性理論を創始し、壮大な宇宙はユークリッド幾何学ではなく、リーマン幾何学によって記述できることを示した。ラザフォードは原子核を発見、原子の内部構造を解明した。ボーアは惑星が太陽の周りを回る太陽系のように、負の電荷を持つ電子が正の電荷を持つ原子核の周りを回る水素原子模型を作り、原子のスペクトル線を説明して周期律表の意味を解明した。プランクは量子力学を発見、ハイゼンベルクとシュレディンガーが完成した。ハイゼンベルクは不確定性原理を発見し、シュレディンガーはシュレディンガー方程式を発見した。パウリは排他原理を発見、フェルミとディラックは電子の従がうフェルミ-ディラック統計を、ボースとアインシュタインは光子や格子振動のボース-アインシュタイン統計を発見した[5]。

そして自然界のあらゆる現象は量子力学に従い、よりミクロの構造から説明できると考えた。原子の中には原子核があり、原子核の中には陽子と中性子があり、それらの中にはクォークがあり、クォークのなかにはサブクォークがあるというように、よりミクロな構造と法則を求めた。壮大な宇宙には始まりビッグバンがあり、すべてはそこから始まったと考えた。物理法則にはより根源的な統一理論があると考えられ探索された。宇宙の初めとミクロな構造は関係があると考えられ、壮大な宇宙を記述する重力の法則と量子力学の統合が夢見られた。そのために、グリーンとシュワルツは宇宙のすべては「ひも」からできていると考え超ひも理論を提案し、ウィッテンはそれを発展させた[6]。

一方、ゲーデルは数論において、公理系が完全であれば、その公理系では証明可能か不可能か答えることのできない言明が無限に存在し得るという、不完全性定理を証明した。チューリングは、計算とは何かを考え、計算する機械の概念を与えた。フォンノイマンは、生物のように自己増殖する機械と言う、オートマトンの概念を創始し、さらにチューリング機械を実現する、コンピュータを作った[7]。チョムスキーは、言語とは何かを考え、変形生成文法を創始し、自動翻訳機械への道をつけた[8]。

#### <還元論と非還元論>

以上で述べたように、人類がこれまでに手にしてきた考え方は実にさまざまに多岐にわたる。しかし、そのほとんどの考え方は我々が還元論と呼ぶものである。一つの複雑な体系をそれを構成していると考えられるより基本的な細部に分け、そのそれぞれの細部を理解することができれば、総体として元の体系を理解したことになるという考え方である。

基礎となる公理系からすべての定理が証明できるというユークリッドの原論の考え方も、よりミクロな法則がよりマクロな法則を導くと考える物理学の考え方も、細胞の集まりから個体生物を説明できると考える生物学の考え方も皆、そうした還元論の一つである。

しかしながら、「部分から全体を説明できる」という還元論の立場が、近年さまざま研究から揺らいできている。生物学[9]や経済学や人工生命や複雑系[10, 11]やカオス[12]の研究から、「複雑なものは複雑なものとしてとらえる」といった非還元論的アプローチがあるのではないかというのである。「全体は部分の総体ではなく、全体は全体としてとらえなくてはならない」という考え方である[9-12]。

#### <部分と全体>

現段階では、私はそのどちらが正しいとは結論できない。しかし、最近まで私が行ってきた研究分野には、そのどちらでもなく、むしろ部分と全体が一体化した、「部分は全体のため、全体は部分のためとなる」という、ラグビーの鉄則「一人は皆のため、皆は一人のため」のような考え方が重要となる例があるということを示したい。これは、フラクタルなどで見られる（例えばコッホ曲線のような）1つのシステムにおける階層性や自己相似性のような、入れ子構造の部分と全体の関係を念頭に置くのではない。むしろ、そうした個々のシステムだけでなく、関連する多様なシステム全体を鳥瞰して見たときに（例えば、数全体、多項式全体、あるいは生物全体に対して）見えてくる、部分と全体の関係のことである。

#### 参考文献

- [1] H. -D. エビングハウス et. al. 数, (上, 下), (シュプリングーフェアラク東京, 1991)。E. T. ベル, 数学をつくった人びと, (上, 下), (東京図書, 1976)。
- [2] 山下純一, ガロアへのレクイエム, (現代数学社, 1986)。
- [3] R. フィンスター, G. ファンデンホイフェル, ライブニッツ, (シュプリングーフェアラク東京, 1996)。
- [4] J. Gribbin, *In search of the Double Helix*, (A Bantam New Age, New York, 1985)。
- [5] 朝永振一郎, スピンはめぐる, (中央公論社, 1974)。
- [6] P. C. W. Davies and J. Brown, *Superstrings, A Theory of Everything?*, (Cambridge Univ., Cambridge, 1988)。
- [7] D. R. ホフスタッター, ゲーデル, エッシャー, バッハ, (白揚社, 1985)。
- [8] N. チョムスキー, 言語論, (大修館書店, 1979); ことばと認識, (大修館書店, 1984)。
- [9] J. H. Holland, *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*, (Addison Wesley, New York, 1995); *Adaptation in Natural and Artificial Systems* (Holland, New York, 1975)。
- [10] M. ミッチェル. ワールドロップ, 複雑系, (新潮社, 1996)。
- [11] S. A. Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*, (Oxford, New York, 1995); *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, (Oxford, New York, 1993)。
- [12] ジェイムズ.グリック, カオス: 新しい科学をつくる, (新潮文庫, 1987)。

[次セクション](#) [目次](#)

[ホームページ](#) [和基](#) [和子](#) [維作](#) [条蒔](#) [家族](#) [Donation](#)

「井口和基博士と家族のホームページ」  
〒774-0003 徳島県阿南市畷町新はり70-3  
井口和基 (C)2004