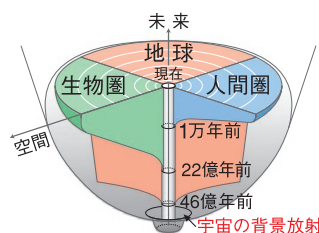


# フォーラム 新・地球学の世紀 37

自然・人文・社会科学を融合した  
新たななる知の体系構築に向けて

46億年前に誕生した地球は現在、激変期を迎えており、「新しい地球システムの中での安定した人間圏とは何か」の考察が求められている。フォーラム「地球学の世紀」では、人類が直面するさまざまな問題の解決に向けて、自然科学・人文科学・社会科学を融合した新たな知の学問体系「地球学」を構築するべく、これまで120回にわたり議論を重ねてきた。本フォーラムではその成果を継承しつつ、更なる発展を目指していく。



[智球]

## 数学で複雑系に

### 挑む

複雑系の予測、制御、最適化に向けて



東京大学教授  
合原一幸

### 合原一幸

## この世界の 複雑なダイナミズム

昨今の政治、経済、社会の状況が端的に示しているように、この世界は激しく変動する複雑なダイナミズムに満ちている。このような複雑なダイナミズム

を生み出す現象を、ひとつのシステムとしてとらえる概念が「複雑系」である。

この意味で、東日本大震災で我が国にたいへん大きな衝撃をもたらした地震、津波、そして原子力発電所は、いずれも複雑系の例である。今回の未曾有の事態は、複雑系の理解、そしてその予測や制御がいかに困難であるかを、極めて深刻な形であらためて私たちに明示することとなった。

## 数学応用の 新展開

筆者らの研究は、数学を駆使してこの複雑系に挑もうとするものである。特に、「数学の工学・産業応用を目的として我が国で創始された数理工学」や、筆者

が開拓してきた「決定論的カオス（規則が不規則性を生み出す現象）、フラクタル（自己相似な階層構造）、複雑ネットワーク（人と人とのつながりや電力ネットワークなどに実存するネットワーク構造）に立脚するカオス工学」をベースとして、基礎から応用、科学から工学・技術を広くカバーする「複雑系科学技術」の数理的基盤の構築を目指している。

さらにもうひとつの背景として、数学自体の変化がある。20世紀に抽象化が著しく進んだ数学が、21世紀に入って応用指向を強めている。19世紀までの現象や応用と強く結びついた数学が、現代的意味で復活しつつあるのだ。

実際の現象を理論的に説明す

るためには、まず現象を数学的に表現する必要がある。そこで、数学を言語として用いることによって、現象を書き下す。この作業を数理モデリングと呼ぶ。

その結果得られた数理モデルは、実世界の現象を数理世界へ写し取ったものである。その数理解析によって、現象を理解したり、問題を解決したり、場合によっては予測、制御、最適化したりすることも可能となる。そして、複雑系はこのような方法論による説明が難しい対象であるため、数学的により深い研究が不可欠になるのである。

## 新型インフルエンザや がんの数理

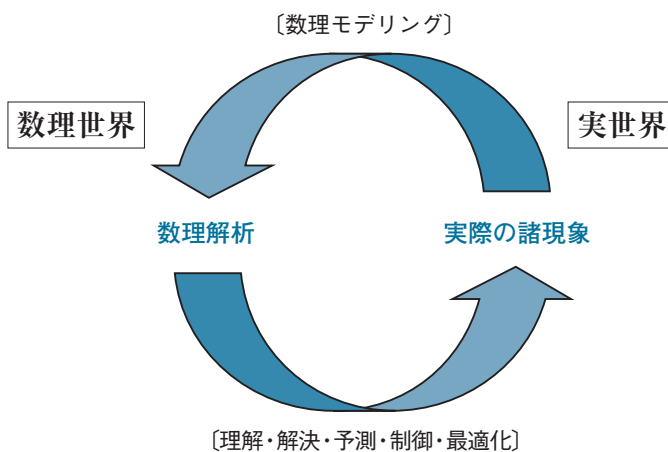
応用分野に関しては、脳内の神経細胞のネットワーク、細胞

内の遺伝子やタンパク質のネットワーク、疾病等の生命複雑系、スマートグリッド、通信ネットワーク、複雑系電子回路等の工学複雑系、気象や地震など自然界の複雑系、さらには経済や社会に関連した複雑系をも考察の対象としている。

特に疾病研究は、社会的緊急性・重要性の高いテーマである。たとえば、2009年の新型インフルエンザ流行時、ワクチン不足が大きな問題となった。国内で生産できるワクチン総量は人口よりもはるかに少なく、かつ新型インフルエンザと従来の季節型インフルエンザの双方にリアルタイムで対処しなければならぬという、パニックにも近い困難な状況であった。

このような際には、数学を用

実現象の数理モデリングと数理解析



すなわち、筆者らの研究ストラテジーは、①重要性・緊急性の高い本質的に難しい問題や現象の抽出、②数理モデリングと数理解析によるその解明、③その際得られた知見の体系的・一般化、そして④その方法論に基づくさらなる多様な応用展開、という形で進んでいく。

特に、最近の研究で神経細胞

いて冷静に対応するのがよい。数理工学の重要な研究テーマに、最適化問題がある。このワクチン問題の場合、たとえば新型と季節型のインフルエンザ感染者の総数、もしくは死亡者総数を最小化するといった目的関数を決めると、そのためには限られた量のワクチンを新型と季節型にどのよう配分するのが最適かを、数学の問題としてきつちりと解くことができる。

また、現代人にとって大きな脅威であるがんへの数理的アプローチも、重要な研究テーマである。特に、筆者らが開発してきた数学に基づく前立腺がんの内分泌（ホルモン）療法は、ほぼ実用レベルに達しつつある。これは、通常の血液検査で簡単に計測できる前立腺がんのバイオマーカーであるPSA（前立腺特異抗原）の時間的変化データを基にして、個々の患者さんの前立腺がんの数理解析モデルをテラーモードに作り、そのモデルに基づいて内分泌療法のスケジュールをその患者さんにとって最適化するものである。同様の手法は、優れたバイオマーカーと有効な治療薬さえあれば、他の疾病にも広く一般化できるはずである。

その際、基礎理論研究と応用研究を密接に連携させながら研究を進めていくことが不可欠である。本質的に重要な数理的な法論は、実際の難しい問題や現象に立ち向かうことで初めて得られることが多いからである。

複雑系への挑戦

従来、現象の数理解析はその基本原理に基づいて構築されることが多かった。しかしながら、脳や経済現象を考えてみるとわかるように、未解決問題として残っている多くの複雑系においては、その基本原理自体が十分には解明されておらず、従来のような数理解析はそのままでは適用できない。

このような複雑系に対して筆者らが20年以上かけて開発してきた手法が、対象とする複雑系から観測された時系列データから、直接その数理解析モデルを構成するものである。これは、数学における力学系理論や微分幾何学の大きな進歩に支えられている。

●事務局便り

講演中は数式の解説もあり、中身を完全に理解することは難しかったのですが、「複雑系」の概念が身近なところにも応用されていることに驚きを感じました。特に、前立腺がんの療法に関しては、患者のデータさえあれば治療のスケジュールを組み立てられるので、医療サイドの注目度も高いということです。大学で研究されている「高等数学」と聞くと、「数学のための数学」という思い込みがありましたが、身の回りの現象を理解し、問題を解決する有効な手段なのだと分かりました。(事務局)

●第37回フォーラム「新・地球学の世紀」出席者

発表 合原一幸（東京大学生産技術研究所教授・生命情報システム／複雑数理モデル） 座長 松井孝典（千葉工業大学惑星探査研究センター所長・地球惑星物理学／複雑理工学） 副座長 川勝平太（静岡県知事・経済史） メンバー 今村文彦（東北大学工学研究科教授・津波工学／防災科学／数値解析）、大島泰郎（共和化工株式会社環境微生物学研究所所長・生物化学）、金田康正（東京大学情報基盤センター教授・計算科学）、近藤和彦（東京大学大学院人文社会系研究科教授・西洋史〈イギリス史〉）、佐々木閑（花園大学文学部教授・インド仏教学）、佐藤勝彦（自然科学研究機構機構長・宇宙物理学／宇宙論）、島崎邦彦（国土地理院地震予知連絡会会長・地震学）、高橋世織（日本映画大学教授・文学理論／映像文化論）、筒井清忠（帝京大学文学部教授・日本文化学／歴史社会学）、南淵明宏（東京ハートセンターセンター長・心臓外科医）、西垣通（東京大学大学院情報学環教授・情報学／メディア論）、矢作直樹（東京大学大学院医学系研究科教授・救急集中医療）