

数十億個もの脳細胞の活動から生まれる人間の思考や感情、数えきれない生物種が栄枯盛衰を繰り返してきた生命の進化、変動を続ける株式相場……。旧来の自然科学や経済学ではとらえきれなかったこうした複雑な現象を読み解く新しい科学が登場した。近代科学技術に行き詰まり感が見える中で、ニューフェースの「複雑系の科学」に注目が集まっている。

# 複雑系の科学

## 森羅万象解くカギか

**複雑系**  
経済社会でも細胞の世界でも、人間や分子など無数の構成要素が互いに影響を与え合って機能している。こうした世界を理解するのに個々の要素をどんなに詳しく調べても、それらを足し合わせただけでは全体を理解できない。「全体は部分の総和以上の存在」だからだ。そんな集団を「複雑系」と呼ぶ。

### 複雑系の科学

近代科学は森羅万象をより小さな単位に分解して調べる手法を基本としてきた。例えば生物を知るため

### ポイント①

学は「複雑なものを複雑なままとらえる」立場。これを近代科学のパラダイムシフト(基本的な枠組みの変

### ▶複雑系の科学◀

個別要素ではなく  
全体のまま調べる

細胞を、細胞を知るため細胞内の分子を研究対象にする。これに対し複雑系の科

化)とする見方もあるが、要素還元論の限界を超えられるのか議論の余地が残る。

### 自己組織化

複雑系の特徴は、常に予測せぬ変化をほらむダイナミズムだ。これまで科学は生物の世界や経済を秩序ある安定した体系としてとらえる傾向が強かったが、生体や相場は不安定に揺れ動き予測を容易に許さない。しかし決してまったく無秩序で法則性のない世界でもない。複雑でとらえたい世界から秩序や構造が自然に生まれる。これを「自己組織化」「創発」と呼ぶ。複雑な世界を読み解く足掛かりになる。

### ポイント②

### サンタフェ研究所

米ニューメキシコ州にある民間研究機関。核兵器の開発機関として知られるロスアラモス国立研究所の研究者が八四年に設立した。若手科学者たちが科学の分野を超えて集まり自由な討論を重ねて複雑系の科学を生んだ。現社長は免疫学者のE・ゴルドバーグ博士。常勤を置かず大半が一年以内の短期滞在の研究者で構成するのが特徴。

### 人工生命

コンピュータウイルスのようにあたかも生き物の

### ▶人工生命◀

プログラムが生命体  
現象を加速的に研究

ごとく移動したり自己複製したりするプログラムを作ることができ。こうした

擬実験をさせる研究分野を「人工生命」という。現実には非常に長い時間がかかる進化などの現象を加速的にみられるのが便利な半面、現実が確かに実験の通りであったかどうかを確かめるすべはない。

### カオス

天候のように複雑で予測しがたい現象をカオスという。六〇年代からカオスを対象にした科学が生まれ、複雑系の科学を生む土壌となった。カオス研究もロスアラモス国立研究所がその中心地の一つだった。カオスも複雑系も近代科学がとらえ損ねた複雑な現象を相手にする点で共通する。

プログラムを「人工生命体」に見立てて、コンピュータ内で進化や生存競争の模

# 脳や進化を探る手段に

## 自然に生まれる秩序発見

### 自然科学分野

春を告げるウグイスの繊細で微妙な鳴き声。「あの声はウグイスの雄たちの鳴きまね合戦から進化してきた」と東京大学の金子邦彦教授は話す。

雄は雌を引き付けるために鳴く。美しい鳴き声を聞くと雌たちはこぞってそれをまねようと努力する。一方、声のよい雄はライバルたちにまねされないよう歌声を工夫し、際立った歌い手であり続けようとする。

こんな歌合戦が代々続いた結果、微妙な違いを持つ様々な「歌」が生まれてきたらしい。生存競争を繰り返す生き物の社会は複雑系の一例だ。

脳は複雑なシステム  
の代表。神経細胞結  
合のプロセスを参考  
に「人工脳」の研究  
も進んでいる

の繰り返しの中から多種多様な生き物が生まれてきたのは、自己組織化の働きによると「複雑系の科学」では考える。ウグイスの歌声も自己組織化の産物ととらえることができるのだ。

「複雑系の科学」は進化や脳の働きなど生命現象から経済現象、気象や星の誕生など物理現象まで、ありとあらゆる複雑な現象を対象にし、統一的な原理で説明することを目指している。

その複雑系をひもとくキーワードが「自己組織化」だ。複雑ででたらめに見える現象の中にも秩序を生み出す働きが秘められている。例えば原始の地球で生命が誕生したり、生存競争

沢富美子・慶応大教授らが先駆けとなり「複雑系の研究会」を組織、学際的な研究に取り組んでいる。産官共同の研究機関であるATR（京都府精華町）も早くからこの分野の研究チームを組織してき

た。ATRの大橋力・感性脳機能特別研究室長は、複雑系の考え方で生き物の死に新しい意味を見つけようとしている。

自らの複製を残した後に自己解体するプログラムと、決して死なずに増殖を繰り返すプログラムを作った、コンピューターのメモ



ウグイスの鳴き声も「自己組織化」の産物

リの中で繁殖させてみた。不死のものはメモリー内に設定した「生息環境」に飽和して行き詰まった

が、死ぬプログラムの世界では子孫として生まれた新種のプログラムがどんどん増え、第一世代が存在できなかった環境にも適応、生息範囲を広げていった。

新世代の生命の繁栄のためには古い世代が消えていかななくてはならない。「地球上に多様な生命があふれているのは生物が死ぬ存在できないから」。結論は常識めいたものかもしれないが、死と進化の関係に新しい方向から迫ったといえる。

大橋さんの研究のように、コンピューターで進化や成長など生命現象をシミュレーションする研究を「人工生命」という。複雑系の科学の一分野だ。こうした

コンピューターで成長する「人工脳」の研究をするデ・カリス客員研究員（ATR人間情報通信研究所）

研究が急展開してきた背景にはコンピューターの高性能化が大きく寄与している。たぐさんの要素が絡み合う現象を調べたりシミュレーションしたりするのは一昔前ではほとんど不可能。そういう意味で複雑系の科学は、コンピューター時代に生まれたすぐれた現代的な科学といえる。

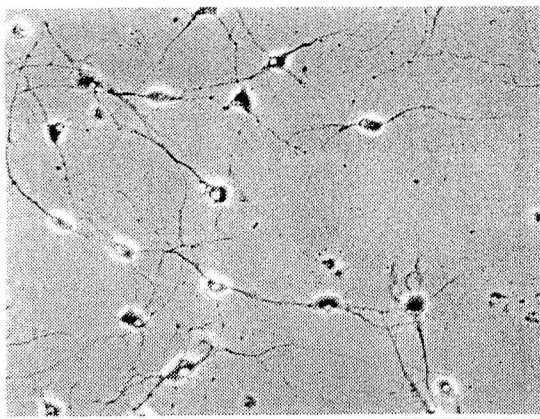
「複雑系の科学」は世界を理解するための道具になるだけでなく、新しい工学技術への応用可能性も秘めている。神経細胞が学習などを通じて結合し合いネットワークを作るプロセスも「自己組織化」の一例だ。ATRでは脳神経回路の形成過程にヒントを得て、素子が自ら回路を延ばし互いに結合し合う「人工脳」の実現を狙った研究も進行中だ。実際にできれば、既存のコンピューターとは違った自ら学習し賢くなれる機械になりそう。

心臓の鼓動など生物の体が生み出すリズムは、機械が刻む正確な多周期とは違う。多種多様な細胞や組織が協力し合って働く結果生まれるゆらぎを持った繰り返しだ。これも複雑系の一つ。

東京工業大学の三宅美博助教授は、お年寄りが転びそうになったとき手を差し伸べられるロボットの開発に複雑系の考え方を取り入れている。

お年寄りの体がバランスを失い転びそうになるのを見つけてからでは、最高速の計算機を使っても間に合わない。三宅助教授のロボットは人間と並んでリズムを合わせて歩き、このリズムの崩れをいち早く察知して手を差し伸べる。生き物のリズムといったあいまいさの大きい要素は、これまでの工学技術では扱いにくかったが、複雑系の考え方からなら可能とみている。

予期せぬハプニングにも柔軟に対処できる能力を機械に与えられれば、介護用ロボットに限らず広い用途が期待できる。例えば日常会話を理解するロボット。人間同士の会話では文法的に正しく話すことはまれだし、話題が自由に飛躍する。自然な話しかたを理解するには「人間が話すリズムなどをとらえることが重要になる」と合原一幸東大教授はみる。「自動通訳機」など新時代の情報処理技術の芽が複雑系の中にあると考える研究者は多い。



現実の経済を解明できるか……



# 社会科学分野

技術革新や消費者の好み  
の変化など、これまで数学  
的に分析しにくかった経済  
現象を理解するうえで「複  
雑系の科学」が強力な武器  
を旗揚げする。目標とする

になりそうだ。

京都大学の瀬地山敏教授  
を中心とする経済学者たち  
が三月に「進化経済学会」  
を旗揚げする。目標とする

とこころは、複雑系の科学と  
経済学との融合だ。

発起人の一人、西山賢一  
・埼玉大学教授は「現実の  
経済は伝統的な『均衡の経  
済学』では十分に説明でき  
ないから」と説明する。

現在主流の経済学では、  
市場は需給の均衡点で安定  
し、消費者も生産者も完全  
に合理的な判断に基づき行  
動すると仮定してきた。し  
かしこの枠組みでは、なぜ  
マイクロソフト社がパソコ

ンソフト市場を席けんした  
のか、電子マネー市場はた  
れがどうやって勝利するの  
かなど、ダイナミックな経  
済現象を説明し切れない。  
半導体チップやパソコ

## 経済学と融合模索

### 技術革新・経営論にも応用

ン市場の争奪戦では、  
最初に勝ちを収めた者  
がその後も優位を占め  
勝ち続ける「正のフィ

ードバック」が働いて  
いると考えられる。均  
衡や安定を志向する既  
存の経済学ではこうし

た現象は扱いにくかつ  
た。複雑系の「自己組  
織化」の考え方を応用  
していけば、こうした

「組織論や環境問題など  
も複雑系の科学の対象にな  
りうる」と金沢工業大学の  
清水博教授は言う。例えば  
若いころから次官候補と持

経済現象の分析ができ  
るのではないかと期待  
されている。

複雑系研究の中心地であ  
るサンタフェ研究所に集ま  
る経済学者たちは、ハイテ  
ク産業の発展メカニズムを  
新しい手法で分析、米国の  
政策に生かそうとしている。

西山教授らは消費者の  
嗜好や流行現象の解明に複  
雑系の考え方が適応できな  
いか模索中だ。

ち上げられた厚生官僚が起  
こした福祉汚職。「役所の  
人事が単線型の秩序志向に  
なったのが組織腐敗の一因  
ではないか」。

生物の社会が次々と新  
種を生み出しダイナミ  
ックな創造性にあふれ  
ているのは「複雑系」  
だからだ。旧ソ連の崩  
壊もそうだが、組織が  
ダイナミックな複雑系  
でなくなったとき自己  
組織化できる力、別の  
言葉で言えば組織を再  
活性化する自浄能力も  
失われることを、複雑  
性の科学は示唆する。

性科学だけでなく、経営  
学者やビジネスマンも複雑系  
の科学にひかれるのは、こ  
のあたりに秘密がある。

突然の熱狂は、次代の萌  
芽（ほうが）を急生長させ  
ることもあれば、せつかく  
ふくらんだつぼみを過熱で  
失い、むなしく鎮静化の道  
をたどることもある。今、  
一冊のベストセラー（M・  
ワイルドロープ著「複雑  
系」）によって喚起された  
奇妙なブームは、その危う  
い縁にあるようにみえる。

があいまいな脳内モルヒネ  
などが、人々の関心を集め  
たのも、そうした風潮と無  
関係ではあるまい。

「複雑系の科学」につい  
ても、過剰な期待が上滑り  
なブームの背  
後にあると指  
摘する研究者  
は多い。  
生命や社会  
は、無数の要  
素が入り組ん  
だ相互作用を  
繰り返しながら  
緑のなせるわざか、本質的  
な文明の転換点なのか、難  
題を一気に解決する「魔法  
の杖（つえ）」「賢者の石」  
を求める空気が社会に充満  
している。科学的な裏付け

の振る舞いから物質の内部  
子生物学に転じたデルブリ

構造を究める近代科学の要  
素還元論では、答えは出て  
こない。

ユックは、生命に関する新  
しい科学を示唆し、ウィー  
ナーはサイバネティクス  
に複雑系のカギを握るフィ  
ードバックを仕込んだ。

ずっと科学哲学の伏流だ  
った複雑系が、最近急に地  
続き早に打ち出す。

八四年の創立以来同研究所  
してみせた。それらは新し  
い科学の可能性を示すパフ  
オスの縁、人工生命など、  
オーマンズとしては評価で  
きるが、理論としての普遍  
性や手法としての実用性に  
乏しいという指摘である。

科学者の間では半世紀も  
前から、方法論としての科  
学が大転換をとげる突破口  
として、複雑系の科学が注  
目を浴びている。自らル  
性を保持する研究集団の誕生に  
底的に利用して、鮮やかな  
るにある。

批判が出始めている。  
サンタフェ研では、コン  
ピューターという道具を徹  
底的に利用して、鮮やかな  
るにある。

「実質が  
ない」という  
んな種をたくさんまいて、  
とにかく育ててみる。複雑  
系の科学は、今のところ洗  
練やご利益とは無縁のどて

株式会社市場や消費動向の予  
測、気候変動の解析など、  
すぐに役立つスマートな科  
学を現在の複雑系研究に期  
待するのはお門違いかもし  
ない。

（編集委員 塩谷喜雄）

# 実用性への過剰な期待

## 可能性の種育てる努力を

前から、方法論としての科  
学が転換をとげる突破口  
として、複雑系の科学が注  
目を浴びている。自らル  
性を保持する研究集団の誕生に  
底的に利用して、鮮やかな  
るにある。

炎から人間の営みまで、あ  
じめたのは、米国のサンタ  
フェ研究所という強烈な個  
性を保持する研究集団の誕生に  
底的に利用して、鮮やかな  
るにある。

「実質が  
ない」という  
んな種をたくさんまいて、  
とにかく育ててみる。複雑  
系の科学は、今のところ洗  
練やご利益とは無縁のどて

株式会社市場や消費動向の予  
測、気候変動の解析など、  
すぐに役立つスマートな科  
学を現在の複雑系研究に期  
待するのはお門違いかもし  
ない。

（編集委員 塩谷喜雄）