群集心理を解き明かす物理学の法則

かつては社会学者が物理学者に刺激を与えていた。現在は逆に、複雑な社会現象を物理学で解明しようとしている。

原文: *The physics of crowds*

Nature Vol.428(367–368)/25 March 2004; www.naturejpn.com/digest

Critical Mass: How One Thing Leads to Another

by Philip Ball

William Heinemann: 2004. 644 pp. £25

To be published by Farrar, Straus and Giroux in the US

STEVEN STROGATZ

心 理歴史学は、人間の集団行動に関してきわめて正確な理論をもつ学問である。この理論を使えば、政治運動の興隆や帝国の興亡、さらには文明の盛衰でさえも予測できる。保険業界の基本にある数理計算と同じように、心理歴史学はまったくの統計科学であり、個人の違いを平均化できるほど大規模な集団のみに適応できる。

もちろん、Isaac Asimovの『ファウンデーション』(Foundation)シリーズの読者ならご存じのように、この理論はサイエンス・フィクションなみに扱われている。だがこの10~20年間、心理歴史学という素晴らしい学問(実際は、かなり地味な分野なのだが)は物理学、複雑系理論や社会学といった多彩な領域の研究者の関心を呼んでいる。

彼らは統計力学や非線形力学の手法を使って、過去最高の処理能力をもつコンピュータや膨大な量のデータセットで知識武装し、人間の集団行動に関する昔からのナゾやその社会的、経済的、政治的影響を再検討した。例えば、景気の波、広く分布している富、パニックを起こした群衆の暴走行為、利己主義者の集団で利他主義が生まれる場合の発生過程、通常は空いているハイウエーでイライラするような交通渋滞が起きる波などである。その目標を一言でいえば、社会における物理学の法則を発見することだ。

Philip Ballは新刊の素晴らしい著書 *Critical Mass* で、この研究を総合的に論じており、読者は随所で引きつけられることだろう。私が最も気に入ったのは、現在のマスコミで報道されている以上に深く掘り下げている点だ。

とりわけ私にとって驚きだったのは、この知的営みには長い歴史があり、その実態は一般に考えられているのとは正反対ということだ。統計物理学から社会物理学が生み出されたのではなく、社会物理学から統計物理学が生み出されていたのだ。

James Clerk Maxwellは1870年代に気体分子運動論を構築しようとしていたころ、高温ガスの中で跳ね回っている無数の分子の動きを把握するのは不可能だとわかっていた。だが彼は、それより前の時代の社会統計学者の研究が使えるのではないかと思った。ひとり一人が気体の分子のように気まぐれであっても、きわめて大規模な集団になれば、その行動に厳密な規則性がみられることを実証した研究である。この統計的な見解を支持したHenry Thomas Buckleの*History of Civilization in England*を読み終えたMaxwellは、次のように記している。「幾千万の分子を含む物質の量に関して私たちが実験を行ったところ、そこに均一性が観察された。これはLaplaceが説明し、Buckleが驚嘆した均一性と同種のものであり、個別的に見れば決して均一ではない要因が多数集まることによって生じている」

「統計学」という用語も、社会現象を定量化する動きから生まれた。ドイツの研究者Gottfried Achenwallは1749年、社会の状態を数値的に解明する学問を「統計学」と呼ぶことを提唱した。その当時から、死亡率や出生率など集団を表現する尺度で、社会状況を説明するということが始まった。

Critical Mass には、こうした歴史上の小話がちりばめられている。著者はとりわけ、学術用語や重要度の事実関係を明確にすることを楽しんでいる。例えば、自由市場は「見えざる手」ではなく、「隠れた手(hidden hand)」によって支配されているとアダム・スミス

(Adam Smith)が主張したこと。「マクスウェルの悪魔」の名づけ親はWilliam Thomsonであり、信心深かったMaxwellは悔しい思いをした——といったことが本書には記されている。Maxwell自身はそれ以前に、その仮説上の生き物について、より愛情を込めて「非常に観察力が鋭く、端正な姿をした生き物」だと記述していたのである。

本書は見事なほど明快に書かれており、そのカバーする領域は驚くほど広い。また著者は取り上げた全てのテーマについて、基礎的な解説をしている。Thomas Hobbesのユートピア論につながる17世紀の英国における政変、液体・気体間の相転移に関するvan der Waalsの理論が、その例だ。

本書は複雑性理論に関する最近の数多くの書物とは異なり、全ての事項を適切な歴史的背景に基づいて説明しており、それぞれの学説を過大評価していない。また著者の説明には、大衆文学も用いられている。例えば、相転移が突然発生し、長期的性質を有することを説明する場面では、Kurt Vonnegutの『猫のゆりかご』(Cat's Cradle)の第116章The Grand Ah-Whoomが引用されている。同章は、“ice-nine”(安定度が高く、溶解しない水の結晶体)の破片によって全世界の海が凍結しはじめるという話になっている。

その一方で、新発見がなされる過程については背景説明が足りない感じもする。いい方をすれば、本書は学説についての書物なのであり、研究者や研究の苦労を記した書物ではない。本書では各分野の先駆者たちがどうやって画期的な成果を上げたのか、その原動力とは何だったのか、先駆者はどんな人間だったのかといった点には、あまり言及していない。だが、それを望むのはぜいたくというものかもしれない。本書はこのままでも大著であり、その重さを考えると、本書のタイ

▶ トル[Critical Mass(「臨界質量」という意味もある)]が駄じゃれにすら思えてくる。

そう言えば、本書のタイトルを見たときに、Malcolm Gladwellの最近のベストセラーのタイトル *The Tipping Point: How Little Things Can Make a Big Difference* に気味悪いほど似ていることに気づいた(もしかすると意図的なものかもしれないが...)。だがそのほかに似ている点は、二つとも社会における集団的現象(Gladwellは、これを「社会的流行病(social epidemics)」と呼んでいる)を取り上げていることだけだ。

The Tipping Point は軽いタッチで書かれ、

面白い逸話であふれているが、説得力に欠ける場面が多い。これに対して Ball の *Critical Mass* には内容があって、完璧な研究に基づいており、総合的に説得力もある。物理学と社会科学という意外な出会いが生み出した知的興奮について学びたいければ、まず手始めに本書を一読することをお勧めする。 ■

評者の Steven Strogatz は、コーネル大学応用数学センター / 理論力学・応用力学科 (the Center for Applied Mathematics and the Department of Theoretical and Applied Mechanics, Cornell University, Ithaca, New York 14853-1503, USA) に所属している。

スイッチを切らずに、量を調節しよう

激増するアルツハイマー病や血管性痴呆に、脳を保護するという
新たな概念の治療薬が登場した。

原文: *Turning down, but not off*

Nature Vol.428(473)/1 April 2004; www.naturejpn.com/digest

Stuart A. Lipton

産業化社会は、これまでにない苦境に直面している。人口構成は高齢化の一途をたどり、アルツハイマー病や血管性痴呆(ともに認知の減退をもたらすものだ)が広まりつつある。エコノミストたちは、2050年までに産業化社会の経済全体が、病気を抱えたお年寄りの介護コストでつぶれるかもしれないと予測している。恐ろしい神経変性病と、その社会経済的な悪影響を食い止めるために、どのような手を打てばいいのだろうか。

最近までは対症療法しかなかった。例えば、アルツハイマー病治療のためにコリン作動性薬物を処方して、神経伝達物質のアセチルコリンのレベルを上げて、記憶をゆるやかに高める方法である。しかし、ここに来て「脳を保護する」というコンセプトによって、神経変性傷害の猛威からニューロンを保護できる希望が出てきた。

ほとんどの神経変性病においては、さまざまな信号経路の過剰な活動によって、脳が攻

撃されて神経細胞が死に至る。このような経路の引き金になるのは、酸化的ストレス、ニトロソ化的ストレス、異常型タンパク質の累積、脳内神経伝達物質のグルタミン酸塩(興奮毒性)の過剰な活動などである。興奮毒性の損傷は、ほとんど全ての神経変性疾患へとつながる一般的な最終経路で、NMDA型(NメチルD-アスパラギン酸)グルタミン酸塩受容体の過剰刺激に起因することが多い。これが、受容体と結びついたイオンチャネルを通して Ca^{2+} が過剰に流入する原因となり、有害な酵素反応と、毒性酸素および窒素のフリーラジカルの発生へとつながる。

こういった神経変性過程は、ニューロン保護薬の潜在的な標的になりうる。例えば、ニューロンを死に至るまで興奮させるグルタミン酸塩の過剰、あるいは脳の解毒分解系を妨げる(若年性パーキンソン病の突然変異パーキン・タンパク質のような)異常型タンパク質の過剰の場合、その変性の誘因や有害物質を中和できるかもしれないのである。この

ほかに考えられるのが、例えば、カスパーゼのような酵素を抑制して「死の」信号経路を弱めることだろう。あるいは、プロテオソームおよびリソソーム系を通じて、異常型タンパク質を分解する経路を回復すること。また、抗細胞死タンパク質やニューロンの寿命を延ばす神経栄養因子などによって、生存経路を強化することもできるだろう。さらには、炎症細胞の活動を改良する試みや、新しい脳細胞を供給する幹細胞移植療法によって、細胞ベースのアプローチが進歩するかもしれない。

だが、私たちはここで一つのパラドックスに直面する。このような潜在的な標的の多くは正常な機能を有しており、過剰になったり不適応状態に陥った場合にのみ神経系に有害になるからである。例えば、NMDA型グルタミン酸塩受容体の生理活動は、正常なニューロンの成長やニューロン間の通信や記憶の形成に欠かせない。このような受容体と高親和性結合して作用するニューロン保護薬は、あらゆる活動を妨げてしまい、幻覚や眠気や昏睡といった受け入れがたい副作用をもたらす。同じように、小膠細胞と星状細胞は自らが取り囲むニューロンを育み保護しており、不適当に攪乱された場合にのみ有害物質を放出する。正常な機能や適応機能を阻害せずに、このような細胞のプロセスと分子だけを遮断することは不可能なのだ。

正常な生理活動を妨げずに、その疾病に適した空間・時間パターンによって、異常機能にだけ、ニューロン保護薬と細胞ベースの治療的を絞る必要がある。だが、大手製薬会社での新薬開発においては、標的分子との高親和性を基準にスクリーニングを行なうことが多い。したがって、そうした薬物は「絶えず」「効きすぎ」してしまうことになる。標的分子をテレビにたとえるならば、このような「競争好き」な薬物は、ON/OFFスイッチのところ(作用物質結合部位)で対戦相手と一騎討ちをして、勝ったら単にスイッチを切るだけなのだ。

神経伝達物質の受容体と高親和性結合することによって作用するニューロン保護薬は、正常異常を問わず、あらゆる活動を止めてしまう。さらにこのような薬物は、高(病的)レベルよりも、低(生理的)レベルの神経伝達物質を事実上打ち負かす。これは、病的な部分が効果的に保護される以前に、脳の正