

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 村瀬 洋介

物理学に限らずとも多様な現象の個々の研究は古来続いているが、多様性そのものの科学的な研究は少ない。一方、今日、環境問題、生物資源問題などからも伺えるように、多様性そのもののより深い理解が求められている。そもそも「多様」とは、異質なものがたくさんある状態のことであるが、相互に独立でないような多種が、多様性を維持しつつ共存する機構も不詳といわざるをえない。こうした問題に答えるためには多様性の起源とダイナミクスとが問題となる。これに対し近年、多種の共存を許す時間発展方程式が提唱され、多様性をもつ系すなわち「多様系」が理論的に確立し、研究が活発となっている。

現実の世界の多様性に比べ、今日の物理理論・数理手法が威力を発揮する問題は比較的単純な場合に限られてきた。現象の中の普遍性に立脚し、簡単なモデルで現象を制御する物理学の物理科学・数理科学が、複雑な問題に対しても威力を発揮し人類のさらなる発展をもたらすためには、多様な現象の中に潜む普遍性と個別性との腑分けを徹底することが必要であろう。

「群集形成の統計力学的研究」と題した本論文は、さまざまな多様系のモデルを横断的に研究し、多様系のもつ普遍性を浮き彫りにした。

生物生態系は多様系の代表であり、化石に基づく古生物学的研究からそのダイナミクスの片鱗を窺うことができる。特に種の寿命や絶滅規模などについて統計的な特徴が知られている。生物種の寿命の分布関数は指数分布でも冪分布でもない、テール部の伸びた関数が観察されており、その由来が課題の1つであった。本論文ではまずこの分布が種々の多様系モデルで再現されることを明らかとし、その由来を説明する単純なモデルを提唱した。さらに動的グラフモデル (dynamic graph model) と名付けられたこのモデルの解析から、この分布関数が $\exp[-(t/\tau)^{1/2}]$ という形であるとする仮説を提唱した。

こうした理論的成果をもとに、今日、電子的に蓄積されつつある莫大な経済データにも、同様の特徴があることも明らかとした。例えば上記の拡張指数型の分布関数は、コンビニエンスストアでの商品の寿命分布をも説明する。

本論文では、数多くの数理モデルの解析を通して多様系の普遍性に到達した。この研究を実現するうえで、計算科学上の新しい手法を提唱している。モデルや結果、解析手法および解析結果を統一的・効率的に統合し、さまざまな計算機資源・人的資源を1つに融合するアイデアである。そしてこのアイデアに基づき、実用的なソフトウェアを作成し活用した。ACM(Avogadro Challenge Manager)と名付けられたこのソフトウェアは、多様な研究の統一的な管理に成功している。なにか新しいモデルを解析したいとする。そのモデルのシミュレーションプログラムや解析プログラムを作成しそうしたプログラムをACM

に登録することにより、さまざまなパラメータでのシミュレーションやさまざまな解析を、ACMに登録した計算機を使って対話的に実行できる。ACMはそうした資源管理に加えて、どのような解析を行ったかの記録、シミュレーションや解析結果などをデータベースに登録してゆく。莫大な数のCPU・コアからなる今日のスーパーコンピューターやネットワーク上の各所に分散した計算機を有効に活用する方法についてはさまざまな構想が提唱・研究されているが、必ずしも成功しているとは言い難い。そんな中でACMは実効的で生産的なソフトウェアと認められ、ACMの基盤構想は将来の計算科学およびネットワーク社会の構築につながるものと高く評価される。

以上の内容を含む本論文は以下のような構成である：第1章で導入と問題提起およびこれまでの研究をレビューし、第2章にACM、第3章に多様系の代表的なモデルである尺度普遍モデルを説明する。第4章で各群集の内部自由度である「遺伝子」のダイナミクスを取り込んだ多様系モデルについて議論し、第5章では個々の群集の規模の特徴を解析する。第6章では群集の寿命分布を議論し動的グラフモデルと拡張指数関数の普遍性とを提唱する。最後の第7章でまとめと展望とを示す。

本論文は多様性の科学的研究という喫緊の課題に対して、その出発点となる普遍性を解明し、さらに今後の展開に対して説得力のある道筋を与えた研究として高く評価できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。