

特集「自然界に見いだす数物構造を利用した知的情報処理」にあたって

堀 裕和
(山梨大学)

成瀬 誠
(情報通信研究機構)

市瀬 龍太郎
(国立情報学研究所)

20世紀初頭にアインシュタインの相対性理論とボーアに代表される量子力学を手に入れた私達は、その理論の形式が、宇宙の本質は非自明であり、私達が知り得ない領域を包含することを明示しているにもかかわらず、ニュートン以来の「物事を精密に把握し制御しようとする願望」に基づいて高度に科学・技術を発展させてきた。人工知能の基盤となるLSIも、半導体中の相対的で不確定な「揺らぎ」をもつ運動をふるいにかけて、1か0かの世界に限定した正確な情報処理を極限まで追求してきた。そうした100年の展開を経て、人工的に知能や身体活動をも再現しようという段階にまで至った今、自然界の本質をデジタル化のうちに幽閉することで、失われるものが数多くあるのではないかと気が付くようになってきた。私達のもつ知能は、曖昧な問題や不明確な問題に適当な答えを見つける能力がある。チューリングマシンを提唱したアラン・チューリングも、難解な暗号を解くためにチューリングボンベと呼ばれる自然の数物構造を直接利用した装置を開発している。これらのことから見て、我々、工学者が人工知能をつくるにあたって、すでに自然界に存在する自然知能を再考することは欠かせないであろう。

自然界の極めて複雑・多様な現象を活用する鍵は、現象全体を精密に取り扱うことではなく、合成された複雑な物事の全体性を考察し、課題を解決する決め手となるインタフェースにおいて、現象の構造や性質、そしてその特異性を精緻に捉えることである。そのために、数物理論で記述された自然ではなく、本来の自然を数物構造でどう表現し理解するかに取り組む態度が必要になる。本特集では自然知能に存在する数物的構造に焦点を当て、生物を含め、数物的構造の抽出、そしてその実装までを概観し、読者に自然界に存在する知的構造を理解する手掛かりを提供することを目的とした。

本特集は、8本の解説記事で構成されている。1本目の、堀 裕和による「自然知能：基本概念と実現手法」は、本特集の導入的な解説である。本稿では、総論的に自然知能の考え方を紹介し、圏論を含む数学的取扱いの有用性ならびに物理機構を用いた自然知能の基本構成を議論している。2本目の、西郷甲矢人氏による「自然知能と圏論」は、自然知能の特長と構造を捉えるための数学的かつ概念的基礎を解説している。3～8本目の解説記事は、

自然知能の物理機構を用いた先端的な実証研究について述べている。3本目の、青野真士氏らによる「サイバー空間とフィジカル空間を癒合するアメーバ計算パラダイム」では、粘菌という生き物の自然知能と、充足可能性問題 (SAT) の解決をはじめとした多様な応用展開について解説している。4本目の、中嶋浩平氏による「やわらかい身体ダイナミクスに計算をアウトソースする」では、タコ足などの柔軟媒体の複雑な運動を用いたコンピューティングに関する基礎概念と実証研究について解説している。5本目の、菅野円隆氏と内田淳史氏による「光リザーバコンピューティングの展開」では、半導体レーザーの複雑かつ高速なダイナミクスを応用したリザーバ計算について基礎概念や実装および応用展開について解説している。6本目の、稲垣卓弘氏による「光発振器のネットワークを利用した組合せ最適化」では、レーザー発振の自己収束動作を利用した解探索についての原理と鍵となる技術を解説している。7本目の、成瀬 誠らによる「光を用いた意思決定—バンディット問題を光で解く—」では、単一光子、光カオス、もつれ光子などの光を用いた意思決定のコンセプトと実装および理論的取扱いについて解説している。8本目の、斎木敏治氏による「コロイド粒子系への自然知能の物理的実装」では、コロイド粒子や光相転移材料を用いたアリコロニー最適化などの自然知能実装の先端研究について解説している。

物理系を活用した自然知能の実現に興味のある読者は、先に多様な実装例を俯瞰したのち、自然知能の意味や圏論による記述に取り組んでいただくのも良い方法であろう。自然知能の本質を捉えようとする読者は、多様な応用展開の素晴らしさに目を奪われる前に、そもそも何が問題なのか、どのような視点が肝となるかを把握いただくのがよいだろう。これらの一連の研究は、ポストムーア時代に向けた革新的コンピューティングを模索する世界的な研究潮流のなかに位置付けられるものである。自然知能は、基盤となる数学、材料・デバイス、回路・アーキテクチャ、さらにはアルゴリズムや人工知能を含めた応用に至るまで、幅広いレイヤの学際融合の威力が遺憾なく発揮される領域である。本誌の読者諸氏におかれて、こうした研究の知見を共有いただき、新たな価値創造の一助としていただければ幸いである。