

## 生物の知性の探求と知能ロボットへの応用

山口, 達也

<https://doi.org/10.15017/1931719>

---

出版情報 : 九州大学, 2017, 博士 (機能数理学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏名	山口 達也		
論文名	生物の知性の探求と知能ロボットへの応用		
論文調査委員	主査	九州大学	准教授 手老 篤史
	副査	株式会社システム・ジェイディー 工学博士 伊達 博	
	副査	広島大学	教授 西森 拓
	副査	九州大学	教授 梶原 健司

## 論文審査の結果の要旨

人間は高度な知性を持ち、そのメカニズムの解明は多くの研究者の興味の対象となっている。しかし、その知性の実態は多数の神経細胞の電気信号・化学物質の相互作用であり、それによって生じる複雑なダイナミクスの中に知性という現象が存在していると考えられることも可能である。そして、近年ではそのような複雑なダイナミクスが存在すれば人間のような高等な生物でなくても知的な振る舞いをすることが可能であることがわかってきている。特に近年、単細胞生物のような単純な生物にも原始的な知的生物が存在していることが生物の観察・実験により多数報告されている。本審査論文はそのような単細胞生物から人間までの広い知的現象に対して数理モデルを構築し、それを基に数値計算により再現し、実際にロボットに搭載し、その有用性を確認することが主題である。

審査論文は3つの内容から構成されている。以下にその内容を記述する

(1) 第2章ではテトラヒメナやゾウリムシといった遊泳する単細胞生物の行動に対しての研究内容が記述されている。単細胞生物はその「単細胞」という単語が「愚か」を意味する場合があるとおおり、知的な行動はとらないという考えがある。しかし、実際に観察を行うと、淘汰の過程からか、その行動には生存戦略に対しての知的な現象が存在する。例えばテトラヒメナは小さな容器に入れられて十分な時間が経過すると、大きな容器に移されても小さい範囲で行動する。また、1935年にはドイツの研究者によりゾウリムシは入れられていた容器の形状を記憶して遊泳するという結果が報告されている。ここではテトラヒメナ・ゾウリムシの内部状態（様々な化学物質・遺伝子の発現状態・温度等）を大規模な常微分方程式であらわし、その中から数学的手法により重要な変数にのみ着目することにより低次元化した数理モデルを構築した。その結果、テトラヒメナやゾウリムシの行動を再現することができた(2.1節)。このテトラヒメナの数理モデルは生物実験を行った研究者と共に論文として公表済みである。また、山口君はこの数理モデルをロボットへ搭載できるようにアルゴリズムを改良し(2.2節)、実際に実機実験を行った(2.3節)。本章の結果は単細胞生物の行動メカニズムの解明と実機アルゴリズムの開発という意味で重要な意味を持つ。

(2) 第3章には真正粘菌の学習・記憶現象の振動子モデルの改良結果が記述されている。真正粘菌変形体というアメーバ状の単細胞生物が周期刺激に対して学習・予測といった行動をとることが実験により報告されている。学習理論ではヘブ則を基として神経間の結合強度の変更に学習・記憶を保持させることが一般的である。しかし、真正粘菌の変形体は観察結果から様々な振動数の振動子が各所に存在することがわかっている。この結果から「振動子群」の「集団」を仮定することにより、神経間の結合強度の変更がなくても記憶現象が出せることが先行研究により発表されてい

る（3.1節）。ここでは人間の脳のメカニズムに適応するように数理モデルを改良し（3.2節）、2つ以上の振動的な入力や特定の位相差に対しての情報入力に対応できるように数理モデルを改良した（3.3節）。本章の結果は生物の学習原理の理解としてだけでなく、抽象的な振動子モデルとしても大きな価値がある。

（3）第4章にはダンゴムシの行動に関する研究結果が記述されている。ダンゴムシは壁に接触したり、地面の高低さを感知すると方向転換を行う。本章ではその行動選択についての研究結果が記載されている。最初にすり鉢状の容器でのダンゴムシの実験結果が記述されている（4.1節）。次にワッフル状の起伏のある地形での実験結果と数値計算結果が記述されている（4.2節）。そしてこれらを実機に搭載する場合の制御アルゴリズムについてせつめいしている（4.3節）。また、これまでは基本的に単一個体の生物に対しての研究をおこなってきたが、ダンゴムシは集団での行動も重要であることから集団行動についての観察も行っている（4.4節）。本章の研究では実際に実験生物の捕獲・飼育・実験設備の構築・数理モデル・数値計算・実機アルゴリズムの開発までを彼が行っていることから、異分野融合研究としての価値が極めて高い。

以上の結果は、数学・生物・工学・工業、そしてそれらの融合研究の分野において価値ある業績と認められる。

よって、本研究者は博士（機能数理学）の学位を受ける資格があるものと認める。