

氏名	伊藤 俊介
学位名	博士（システム情報科学）
学位記番号	第51号
学位授与年月日	令和3年3月22日
学位論文題目	生命の起源に寄与し得るアミノ酸熱重合物の非線形性
論文審査委員	主査 櫻沢 繁
	副査 鈴木 恵二
	副査 三上 貞芳
	副査 高木 清二

論文要旨

前生命的な有機物から生命の部品となる複雑な分子が生じ、それらが進化することにより複雑な「生命」が誕生したという化学進化仮説が、一般には広く受け入れられている。

しかし、生命の部品となり得る「機能を持った高分子」が前生命的な有機物から生まれる過程や原動力は明らかにされていない。また、化学進化の途上である「機能を持った高分子」である中間の物質は見つかっておらず、それらがどのような役割を果たしていたのかも明らかにされていない。

これら初期の化学進化は未洗練で多様なものであった可能性が高い。アミノ酸熱重合物は数種のアミノ酸混合物を熱重合させて作られる、原始的なタンパク質重合を模した高分子群である。

アミノ酸熱重合物は原始的な高分子でありながら複数の機能を持つ、化学進化途上の中間物質のモデルとして考えられる物質であり、それらの性質はアミノ酸熱重合物分子物の持つ非線形性によるものである。

本研究では、アミノ酸熱重合物が区画形成、代謝様反応、自発的運動といった、生命の起源に関わり得る複数の機能を持つことを示す。

これまでアミノ酸熱重合物の生命の起源に関わり得る機能に関する研究は、触媒に関するものが中心であった。化学進化の初期には、純粋な物理的過程で合成された原始的な高分子群が、複数の機能を担っていたと考えられているが、本研究はアミノ酸熱重合物が複数の機能を持つ分子群であることを示し、実際に原始的な高分子群が複数の機能を持ち得ることを実証した。

アミノ酸熱重合物のような原始的な高分子が、触媒、物理的区画形成、代謝様反応、自発的運動を行うことで、様々な物質の合成や差異化が起こり、それらが化学進化の初期における原動力となった可能性がある。

したがって、アミノ酸熱重合物は生命の起源における最初期の化学進化を担ったと考えられる、「機能を持った高分子」のモデルと見なせる物質である。アミノ酸熱重合の持つ非線形性がこれらの機能を実現している可能性が高い。

今後、アミノ酸熱重合物の非線形性をより詳細に調査することで生命の起源における化学進化の過程や原動力が明らかになると期待できる。

キーワード：非線形性、生命の起源、区画形成、代謝様反応、自発的運動

審査結果の要旨

本論文では、原始地球上での生命の起源において、物質進化に寄与したと考えられるアミノ酸熱重合物の機能性について、申請者が新規に見出した3つの現象が、生命システムの創発において重要とされる「区画形成」、「代謝」、「運動」のそれぞれの観点から論じられている。

1章では生命の起源に関する関連研究について述べられており、その後2章でプロテノイドを改良したアミノ酸熱重合物の関連研究について述べられている。3～6章では、申請者が発見した新規な現象について述べられており、7章でそれらの現象の意義について述べられている。

3章の「流れによるアミノ酸熱重合物微小球からのカプセル形成」では、アミノ酸熱重合物が形成する直径数 μm の微小球が熱的な非平衡環境においてカプセル構造に形態変化する現象について述べられている。4章ではそのカプセル形成のメカニズムについて、アミノ酸熱重合物の集積・解離における分子の協同性に着目し、集積・解散反応をミカエリスメンテン式と2次元場の反応拡散方程式でモデル化したシミュレーションについて述べている。5章の「アミノ酸熱重合物と代謝様反応」では、アミノ酸熱重合物が、代謝のモデル化学反応として知られているBZ（ペロウソフ・ジャボチンスキー）反応やBR（ブリッグス・ラウシャー）反応の中心的是反応基質と置き換え可能であることを述べている。更に6章の「アミノ酸熱重合物と自発的運動」では、数種のアミノ酸熱重合物から生成された複合物質が、アルコール溶液中への溶解過程で、その非線形性から対称性を破り一方向へ運動する現象について述べられている。

本研究は、非平衡状態の物質系の非線形相互作用によって、生命システムの重要な要素が実現可能であることを示唆している。従来、「区画形成」に関する現象論的な研究はあったが、その形成メカニズムを計算論的に解明したことや、新たに「代謝」「運動」に関する

現象を発見したことは新規であり、将来的に分子ロボティクスなどの分野に応用される基礎的な知見である。

本研究は、非平衡非線形システムにみられる現象から、生命システムに必要とされる複雑なシステムの創発に関する知見を与えた。この成果は複雑系科学及びシステム情報科学に寄与するものと判断する。