

「鳥合の衆」はどのようにしてまとまり、そしてコミュニケーションするのか ーミドリムシ生物対流の局在構造とその相互作用ー

企業や組織などの人間の集団をまとめるためにはしっかりしたリーダーシップが必要である。リーダーがいない集団は「鳥合の衆」となり、たとえ個々の能力が高くとも全体として統率のとれた協調行動は期待できない。一方で、そもそもリーダーになるだけの知性的個体はどこにも見あたらない水中の微生物の集団が、水の流れと相まって秩序だったパターンを作り、それがあたかも意思をもったように振る舞うことがある。本論文の著者は、微生物の一種であるミドリムシが多数含まれる懸濁液を用いた実験を行い、ミドリムシの集団が（意思こそないものの）協調的に運動し、興味深い生物対流パターンを形成・維持することを明らかにした。対流自体はうろこ雲の模様などで日常的に観察され決して珍しくはないが、見つけ対流はたった一組（もしくは、ごく少数組）の渦対からなる「単位生物対流」ともいえるものである。しかもできあがった渦対は、あたかも意思を持つかのように、気まぐれに動き出したりその場に留まったりする。この「単位生物対流」は、近年見つかった水とアルコールから成る混合液中に生成される局在対流パターンなどとも類似している。この事実は、これらの一見全く異なる複数の非平衡系（注）が、共通の数学的手法で記述される可能性を示唆している。こういった系を研究することで、非平衡系における局在構造の形成や単純な生物の集団行動の理解に貢献することが期待される。

微生物は知性を持たないが環境に応じて運動を変えることが知られており、走性と呼ばれている。例えばミドリムシ（図1左）は葉緑素を持ち光合成を行うが、外界の光の強さに応じて運動方向を変える性質があり走光性と呼ばれている。特に強い光が当たると光源から逃れようとする性質がある。こういった走性により微生物懸濁液（微生物が多数含まれる溶液）が秩序パターンを形成することが古くから知られており生物対流と呼ばれている。生物対流を引き起こす走性は色々あるが、特にミドリムシ懸濁液に下から強い光を当てた場合、生物対流のパターンが空間局在することが先行研究により報告されていた。報告された空間局在パターンは生物対流としては珍しいものの、中心部には多数の点構造、周辺部では振動する線状構造を持っておりその構造は複雑であった。このため、これが局在生物対流としてこれ以上単純化できない構造なのか、境界の影響は排除できているのか、といった問題には十分答えられていなかった。これにたいし、広島大学大学院理学研究科数理分子性命理学専攻の研究グループは、(1) 局在生物対流として基本的なパターンはどんなものか、(2) 基本パターンが複数ある場合なにが起こるのか、(3) 他の現象とどういう関係があるのか、といった問題を解決するために実験を行い、これら3つの問いに対して答えを与えることに成功した。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2014 年 4 月号に掲載された。

まず(1)の問題を解決するために2重円筒容器（図1中）を準備して周方向の壁の影響を排除し、更に懸濁液の微生物濃度を可能な限り薄くして単純な構造ができやすいようにした。また局在構造を作らせやすくするため、微生物濃度のある場所に集中させた初期状態を用意した。これらの工夫の結果、微生物集団が一箇所だけに集中した局在対流構造（“bioconvection unit”『単位生物対流』）を実験的に得ることに成功した（図1右）。これは最も単純な局在構造と考えられる。また、これとは異なる局在構造

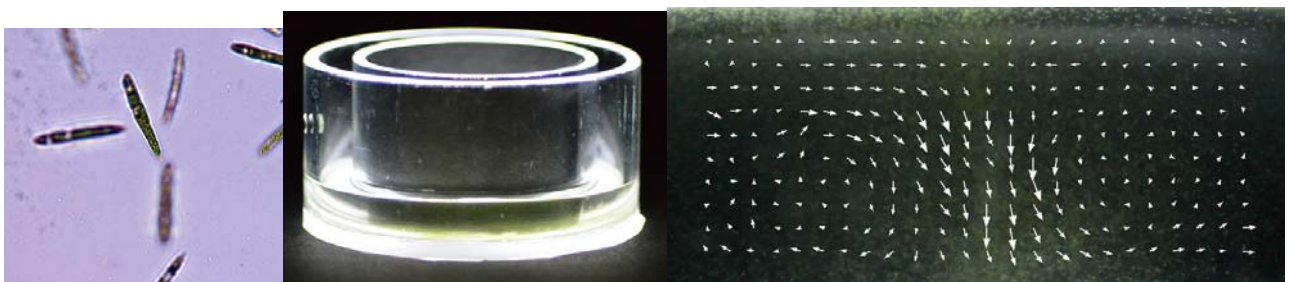


図1 左: ミドリムシ; 中: 実験容器; 右: 生物体流単位の中心部における生物集団の運動

として、空間の一部の中だけで波が走るような局在対流パターン(『局在進行波』)を得ることに成功した。

(2)の問題に関して、こうして得られたパターンのうち、特に「単位生物対流」は一見すると保存系で見られるソリトンに似ているように見えるが、2つの「単位生物対流」を衝突させた時の挙動は両者が衝突すると1つにまとまってしまったり、2つの「単位生物対流」が一定の距離を保って静止したりするなどソリトンとは全く異なる。これらの挙動は反応拡散系などの散逸系で見られるパルス解の挙動に類似している。

(3)の問題に関して、得られた2つの基本的な局在パターンは、水とアルコールの混合物のような2種混合流体における熱対流(binary fluid convection)で見られるものにも良く似ている。Binary fluid convection ではここでの局在進行波に似たものが昔から知られている。また最近になって幾つかの対流セルが局在領域に集中した convecton (『対流子』)と呼ばれる構造が報告されており、これは単位生物対流とよく似ている。ただし本論文で報告された生物対流においては、得られた局在進行波の幅は様々であること、対流子は静止しているが単位生物対流は速度を保つ場合があり、また速度が突然変わることがあるなどの特徴がある。

生物対流は微生物運動と流れの相互作用により発生すると考えられ、熱対流のように浮力による駆動が存在しない点が本質的に異なる。また反応拡散系は化学反応が空間的に結合した系であるため生物対流とは明らかに異なる。にも関わらず類似した局在パターンや現象が観測された背景には、これらの系に内在する数理的構造が類似している可能性が考えられる。実際 binary fluid convection, 孤立波をもつ反応拡散系の多くでは系が双安定性と言われる性質を持っており、系のパラメータが同じでも初期状態が違くと落ち着く先が異なるという特徴がある。ミドリムシ生物対流でも、あるパラメータ領域では対流が出来る頻度が初期状態に依存することが確認されているため、この系もまた双安定性を持つことが示唆される。

本研究の成果は、微生物集団が周囲の流れと相互作用して一丸となり、あたかもひとつの構造のように振る舞う現象を実験的に明らかにしたのみならず、得られる局在構造を可能な限り単純化したことにより、本質的に異なる他の複数の系との間に現象の類似性を指摘した点が新しい。物理・化学的な過程が異なるのに類似した現象が観測される背景には、現象を支配する数理構造の類似性が期待される。本研究では、表層的な類似性の指摘にとどまらず、支配方程式がまだ明らかでないミドリムシ生物対流の数理構造として、双安定性の存在を示唆する実験的結果をも提示した点で、数理構造の類似性の解明にも一歩踏み出したといえる。こういった手法により、生物対流および散逸系の理解が進むのみならず、今後新規の現象を解析する際の指針になりうる結果といえる。

(注) エネルギーのマクロな流れのある系。ここでは、とくに運動エネルギーが熱に変わっていく散逸系と呼ばれる系

原論文

Localized Bioconvection Patterns and Their Initial State Dependency in *Euglena gracilis* Suspensions in an Annular Container

[Erika Shoji, Hiraku Nishimori, Akinori Awazu, Shunsuke Izumi, and Makoto Iima, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 043001 \(2014\).](#)

問合せ先：庄司 江梨花（広島大学大学院理学研究科）
飯間 信（広島大学大学院理学研究科）
西森 拓（広島大学大学院理学研究科）