

生物対流現象の比較生理学

最上善広¹・秋山あすか²・馬場昭次²

お茶の水女子大学理学部生物学科¹, 人間文化研究科²

Comparative Physiology of Bioconvection

Yoshihiro Mogami¹, Asuka Akiyama², Shoji A. Baba²

¹Department of Biology, Ochanomizu University,

²Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

mogami@cc.ocha.ac.jp

Bioconvective pattern formation by *Tetrahymena* and *Chlamydomonas* was studied from the comparative physiological point of view. Patterns formed by *Chlamydomonas* were characterized as stable in position, and those by *Tetrahymena* as unstable. In addition, we found a quite interesting behavior of bioconvective pattern created by *Chlamydomonas*. The phenomenon, called the pattern alteration response, was characterized by a rapid decrease in the pattern size. It occurred, much like a phase transition found in the physical events, spontaneously all over the suspension which already showed steady pattern formation. Quantitative analysis of the response would stimulate further thought and research concerning gravity-related effects in biology as envisioned by the Working Group of Science Steering Committee for Space Utilization, JAXA-ISAS.

key words: gravity, collective interaction, bioconvection, comparative physiology

重力生物学は宇宙科学の重要な領域であり、宇宙環境利用を考える上でもより多くの研究展開が望まれている分野でもある。また、宇宙への進出に伴い、重力生物学が注目されたことで、地球環境を構成する要因としての重力に対する興味が新たに喚起されている。しかし、そのような流れの中にありながらも、重力と生命活動との関連は、従来の理論の枠を超えて捉えられているわけではない。重力は地球上での生命活動を規定する要因ではあるものの、生物の大きさやデザイン、さらにはそのマクロな行動を制限する、拘束的な作用力としてのみ捉えられている。この既成概念をうち破り、重力が生命活動の中で全く新しい能力(特性)を創出できる可能性を探るために、我々は、宇宙環境利用科学委員会研究班ワーキンググループとして「生体要素間の共同作用に基づく重力効果の増幅発現機構解明への研究展開」をテーマとした研究を提案した。メンバー(所属)は以下の通りであった。最上善広(お茶の水女子大学理学部)、馬場昭次(お茶の水女子大学大学院人間文化研究科)、宮本泰則(お茶の水女子大学理学部)、清本正人(お茶の水女子大学湾岸生物教育研究センター)、長嶋雲平(産業技術総合研究所)、吉村建二郎(筑波大学大学院生命環境科学研究科)、奥野 誠(東京大学大学院総合文化研究科)、森 義人(お茶の水女子大学理学部)、岩本裕之(スプリング8)

この研究グループが目指すのは、個々の構成要素のレベルでは極微弱な応答(重力応答)が、要素間の協同作用と、その産物である動的不安定性を通じて、集団としての「思いもよらない特性」が発現されるという、新し

い概念を確立しようとするものである。それを通じて、地球重力環境と、生命との関わり(発生・進化)を見通す、これまでにはない新たな概念のもとに、宇宙環境利用の新たな展開を模索したい。

本年度の活動として、重力変動に敏感な時空間発展を示すことが明らかにされている生物対流現象¹の詳細解析を行い、重力依存的協同現象に由来すると思われる興味深い現象を報告した²。また、基質接着による細胞骨格の再構成応答や、ウニ幼生の骨片形成をモデルとしたバイオミネラライゼーション、などを取り上げ、その過重力応答を解析した^{3,4}。特に後者においては、高輝度放射光(X線)の利用を試み、微小骨片での結晶構造の微細解析の可能性を検討した。これらを代表し、生物対流現象に関する研究の成果について述べる。

すでに指摘したように、生物対流が生命現象における重力効果の増幅発現作用の検証にとって、恰好の実験システムである⁵。重力走性行動に基づいて偏在化されるエネルギー(ポテンシャル・エネルギー)が散逸する過程で、空間パターンが形成されるが、そこには個々の構成要素(水棲微生物)の持つ個性(運動能力等の生理機能)が、それらの間の相互作用を経て強く反映されている⁶。このことは、生物対流現象を比較生理学的観点から研究することの重要性を示唆している。

生物対流によるパターン形成を行う代表的なものとして、*Tetrahymena* と *Chlamydomonas* が挙げられる。両者とも、顕著な負の重力走性行動を示す。上方遊泳を引き起こすトルクの発生要因としては、それぞれ別のメカニズムが想定され、それに基づいての生物対流現象の説明がなされてきた。しかし、外液密度と遊泳方向との関連

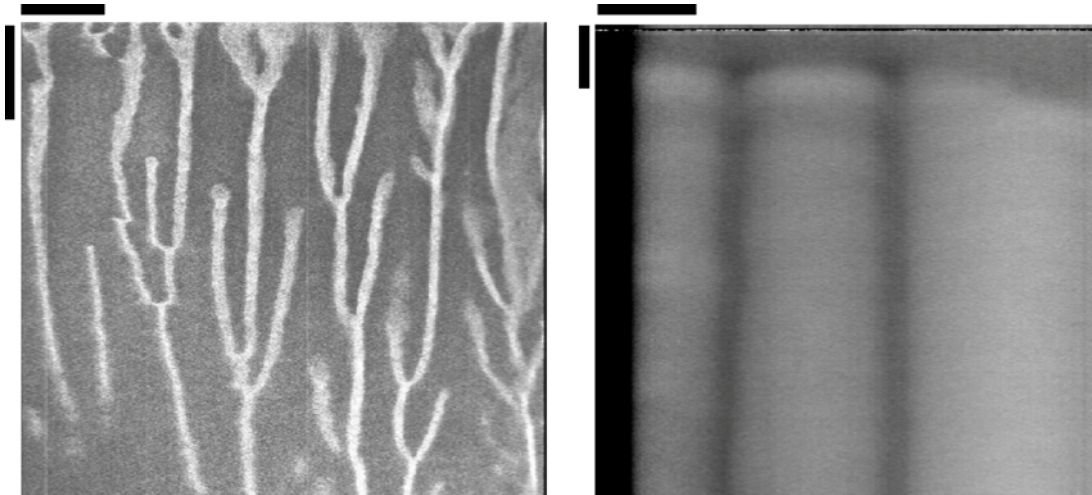


Fig. 1 Temporal development of the bioconvection pattern of *Tetrahymena pyriformis* (left) and *Chlamydomonas reinhardtii* (right). Space-time plots^{1,5} obtained from the side views of the convective motion are shown. The regions of higher density were stable in *Chlamydomonas* but not in *Tetrahymena*, which are shown as the dark portions in *Chlamydomonas* as the result of the transmission illumination for the recording and bright portions in *Tetrahymena* as that of the dark field illumination. Vertical bars, 2min, and horizontal bars, 5 mm.

から、*Chlamydomonas* においても、*Tetrahymena* と同様に、形態依存的な上向きトルクの発生が重力走性行動を引き起こすこと⁷が確かめられた。

Tetrahymena と *Chlamydomonas* が作り出すパターン（トップ・ビュー）は、一見するとよく似ているが、その動的特性はかなり異なっている。*Tetrahymena* の場合、形成されたパターンは容器内を激しく移動するが、*Chlamydomonas* では、パターンはほとんど位置を変えない (Fig 1)²⁵。さらに *Chlamydomonas* ではしばしば急激なパターンサイズの減少 (pattern alteration response) が起こる²。相転移を思わせるようなこのような急激な変化は、個々の *Chlamydomonas* の遊泳を上回る速度で伝搬する²。このような特性は、集団内に内包された要素間の緊密な協同現象の存在と、それに起因するであろう動的不安定性の特徴を示している。しかしながら、このような現象は *Tetrahymena* ではいまだ観察されていない。その違いが何に由来するものか、その間に対する答えがパターン形成メカニズムの比較生理学的研究から得られるかも知れない。

このような特徴を持つ生物対流現象を詳細に比較研究することで、要素間の協同作用に基づく集団としての機能発現に及ぼす重力の作用が検証できないだろうか。対流パターンの高精度記録と、画像解析の手法を用いて、変動重力場での対流パターンの時空間構造形成に現れる変化を詳細に解析することで生物対流現象の応答特性とその重力感受性が明らかでないだろうか。研究ループの活動のテーマのひとつとして研究を進めてゆきたい。

文献

1. Mogami, Y., Yamane, A., Gino, A. and Baba, S.A. (2004) Bioconvective pattern formation of *Tetrahymena* under altered gravity. *J. Exp. Biol.*, 207, 3349-3359.
2. Akiyama, A., Ookida, A., Mogami, Y. and Baba, S.A. (2005) Spontaneous alteration of the pattern formation in the bioconvection of *Chlamydomonas reinhardtii*. *J. Jpn. Soc. Microgravity Appl.*, 22, 210-215.
3. Ishikawa, Y., Mogami, Y. and Miyamoto, Y. (2005) Analysis of the gravity response mechanism of actin filament in osteoblast. *Biol. Sci. Space*, 19, 78-79.
4. Imai, M., Izumi-Kurotani, A., Eguchi, H., Yamaguchi, M. and Kiyomoto, M. (2005) The culture conditions of sea urchin micromeres on the spicule formation and the effect of hypergravity. *Biol. Sci. Space*, 19, 104-105.
5. 最上善広・大木田明代・馬場昭次 (2005) 重力生物学の研究モデルとしての生物対流. 宇宙利用シンポジウム (第 21 回), 213-215.
6. 山根章子・最上善広・馬場昭次 (2001) 繊毛虫テトラヒメナによる生物対流パターンの時空間解析. 宇宙利用シンポジウム (第 17 回), 175-178.
7. Mogami, Y., Ishii, J. and Baba, S.A. (2001). Theoretical and experimental dissection of gravity-dependent mechanical orientation in gravitactic microorganisms. *Biol. Bull.* 201, 26-33.