

平成 19 年 4 月 12 日

平成 18 年度「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 WG」活動報告書

代表者所属 氏名 お茶の水女子大学 最上善広

1. 構成メンバー

氏名	所属
最上善広	お茶の水女子大学大学院人間文化研究科
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	お茶の水女子大学大学院人間文化研究科
清本正人	お茶の水女子大学湾岸生物教育研究センター
河村哲也	お茶の水女子大学大学院人間文化研究科
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	お茶の水女子大学大学院人間文化研究科
岩本裕之	スプリング 8

2. 本年度 WG 会合開催実績

(1) 第 1 回：平成 18 年 12 月 22 日

3. 活動目的

重力はサイズ依存性の外力であり、対象とする現象のサイズが小さくなるにつれて、その影響力は急激に減少する。それに基づき、細胞やその内部で行われる生体（化学）反応に、重力は全く影響しないものとされてきた。従って、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きた。この既成概念をうち破り、重力が生体システムとの協同作用を通じて全く新しい能力（特性）を創出できる可能性を提示したい。

本研究が目指すのは、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、新しい概念を証明しようとするものである。それによって、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形成の萌芽をもたらす、宇宙環境利用の新たな側面を開拓できるものと考ええる。

4. 活動内容

本年度のワーキンググループの活動の一部として、航空機のパラボリックフライトによる重力変動環境を利用した研究をもとに「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」の可能性に関する検討を行った。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リゼーション、などを取り上げ、その過重力応答に関する研究をもとに、生命活動への重力作用の新たな側面を見いだすべく、意見交換を行った。

パラボリックフライト実験では、遠心過重力環境などでのパターン記録に使用した手法をもとに、半密閉容器を用い、テトラヒメナ (*Tetrahymena pyriformis*) とクラミドモナス (*Chlamydomonas reinhardtii*) による生物対流パターンを誘導し、1 G→過重力→微小重力→1 Gの変動におけるパターンの変化を記録し、重力変化に対する応答を解析した。独自に開発した画像解析ツールを用い、時空間パターンや2次元FFTによる空間周波数の抽出を行うことにより、テトラヒメナではパラボリックフライト突入直前の過重力時にパターンサイズが一過的に増大し、微小重力時にパターンが消失し、さらに重力復帰によりパターン形成が回復することが明らかとなった(図1)。一方、クラミドモナスでは、過重力時にパターンの強調(輪郭の明瞭化)が見られるものの、そのサイズには大きな変化が見られなかった。また、微小重力時においてもパターンが完全に消失することはなく、そのサイズをほぼ維持したまま輪郭が不明瞭になって行くのが観察された。この事実は、遠心過重力に対する応答(Mogami et al, 2004, *J. Exp. Biol.* **207**, 3349-3359)とは一致するものの、以前 NASA

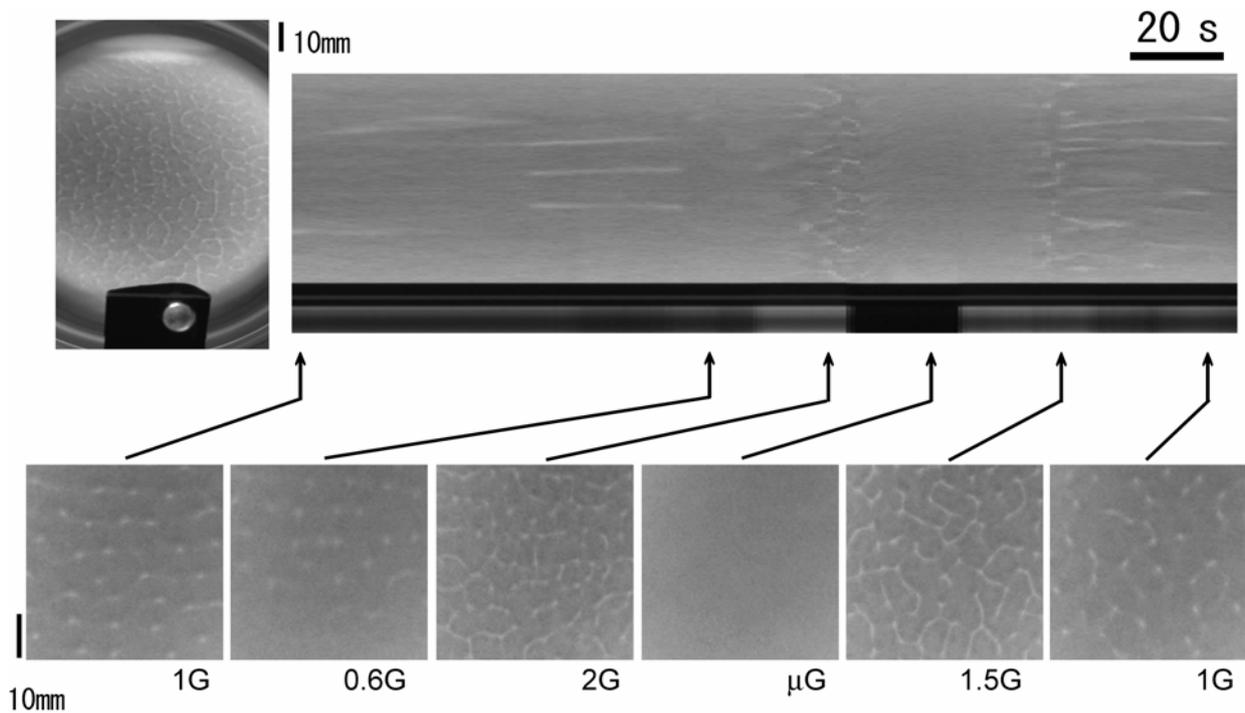


図1 テトラヒメナにおける、変動重力下での対流パターンの時空間プロットと対応するトップビュー. 上段左は、ハイビジョンによる記録画像. 下部に重力モニター用のLEDが写っている. 航空機の重力センサーからのアナログ出力に応じてLEDの点灯輝度を变化させた. その様子が時空間プロットの下部に表示されている(明るい部分が過重力, 暗い部分が微小重力に対応).

で行われた航空機実験の結果 (Noever, 1991, *Phys. Rev. A*, **44**, 5279-5291) とは大きく異なるものであった. 個々の微生物の間の微弱な相互作用が, 重力という外力が介在することによって空間的に増幅されているならば, 重力の消失に伴うパターン変化(消失)には, 拡散的な密度の均一化とともに, パターンのもととなる微生物の持つ遊泳や重力感知の特性が反映されているはずである. これらの相互作用の中に, 「重力効果の増幅発現」をもたらすメカニズムが潜む可能性が示された.

研究グループでの検討方針として, 生体の重力応答を研究する上でそのもととなる化学反応に対する重力の効果を評価する必要性が指摘された. それに従い, 化学反応における微小重力効果の研究をパラボリックフライトを用いて行った実験例について検討を行った. 物質の濃度変化は反応, 拡散, 対流の複合現象であり, 微小重力は対流に大きく影響する. 微小重力場において霜の成長を観測したところ, その成長が著しく抑制された(図2). これは霜の成長に必要な水分子の輸送が主に対流によるものであることを示唆している. これは当初の考え(拡散主体の成長)とは異なるもの



図2 微小重力下での霜の成長

であり, 微小重力実験なくしては発見され得なかったことである. ワーキンググループでは, このような研究を継続することでブレークスルーが生まれ, これまでにはない新たな概念形成の萌芽をもたらし, 宇宙環境利用の新たな側面を開拓できるとの結論に達した.

5. 成果

原著論文

1. Takeda, T., Mogami, Y. and Baba, S.A. (2006) Gravikinesis in *Paramecium*: Approach from the analysis on the swimming behavior of single cells. *Biol. Sci. Space*, 20, 44-47.
2. Sawai, S., Mogami, Y. and Baba, S.A. (2007) Cell proliferation of *Paramecium tetraurelia* on a slow rotating clinostat. *Adv. Space Res.*, In Press, Available online 23 February 2007 (doi:10.1016/j.asr.2007.02.023).

学会発表

1. Mogami, Y. (2006) Convective pattern formation of thermal as well as biological origin. *J. Jap. Soc. Microgravity Appl.*, 23, 338.
2. Katsu, Y., Mogami, Y., Nakaya, F., Hasegawa, K. and Baba, S.A. (2006) Estimation for the basal metabolic rate of *Paramecium caudatum*. *Zool. Sci.* 23 (12): 1161.
3. 竹田明日香・最上善広・馬場昭次 (2006) ゾウリムシの gravikinesis -単一細胞の遊泳解析に基づく検証. 日本宇宙生物科学会第20回大会予稿集 p. 51. (*Biol. Sci. Space*, 20, 44-47)
4. Miyamoto, Y., Ishikawa, Y., Shimura, E. and Mogami, Y. (2006) Hypergravity Induces Reorganization of Actin Stress Fiber Assembly in Osteoblastic MC3T3-E1 Cells. The American Society for Cell Biology 46th Annual Meeting, December 9-13, 2006 San Diego
5. 最上善広・千葉陽子・勝 由美子・安里枝利子・澤井里枝・馬場昭次 (2007) 変動重力に対する生物対流パターンの応答. 宇宙利用シンポジウム (第23回), 335-338.
6. 清本正人・黒谷明美・江口星夫・山口 守 (2007) 過重力環境がウニの骨片形成に与える影響. 宇宙利用シンポジウム (第23回), 332-335.