



宮崎県立宮崎大宮高等学校

濱田将徳, 黒川 靖, 川野晟聖, 吉松彩希, 須本康寛, 宮本卓真 (顧問: 黒木和樹)

ゾウリムシをマイクロマシンとして活用する研究 動け! 僕らのゾウリムシ

本研究は、平成 21(2009)年度日本農芸化学会大会(開催地福岡)での第 4 回「ジュニア農芸化学会」において「優秀賞・ベストポスター賞」に選ばれた。計測精度や制御技術、立体加工技術などの向上に伴い、医工学をはじめ多くの先端科学分野において、ナノマシンやマイクロマシン構築への要望が高まっている。本研究では、ゾウリムシをマイクロマシンとして利用することを目的として、その運動を物理化学的手法で計測・制御するために必要な条件と、その過程で見いだしたゾウリムシの新たな機能について考察している。

本研究の目的, 方法および結果 (講演要旨集を部分的に改変して記載した。図 1~3: 要旨集より転載)

【目的】 単細胞生物であるゾウリムシ *Paramecium caudatum* (0.2~0.3 mm) は、約 2 万本の繊毛を運動させて泳ぎ、培地に直流電流を流すと、陰極側に移動する負の電気走性を示す。本研究は、ゾウリムシの動きを制御し、マイクロマシンとして活用することを目標とした。そこで、「培地中の塩濃度」、「電圧」、「電極の形」、「OH⁻の影響」に着目し、これら条件の変更によってゾウリムシの制御が可能か否かを検証した。

【実験と結果】 ①浸透圧実験から、0.4% を超えない NaCl 濃度が実験に最適であった。②電気走性の移動速度は、NaCl を 0.1% 含む培地が最も大きかった(図 1)。③電圧の影響はなく(図 2)、6~9 V 螺旋状電極の電圧では集団を形成した。④水の電気分解により、陰極付近は pH 10.1 の弱アルカリ性を示した。⑤ゾウリムシは、負の化学走性により pH 10 以上を避け、陰極側から 0.02 mm/秒で離れるが、負の電気走性により pH 8~10 付近に集団で止まった。⑥寒天やゼラチンは OH⁻ の遮蔽に有効で、ゾウリムシはこの遮蔽物にトンネル(直径 40 μm, 全長 600~800 μm) を掘って浸入した(図 3)。

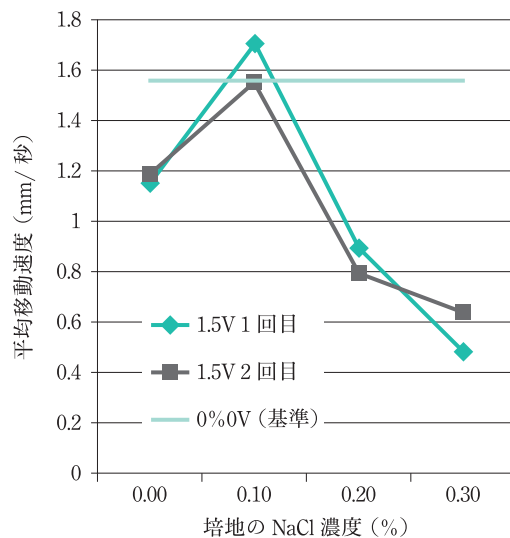


図 1 ■ 電圧 1.5 V における各濃度での平均移動速度

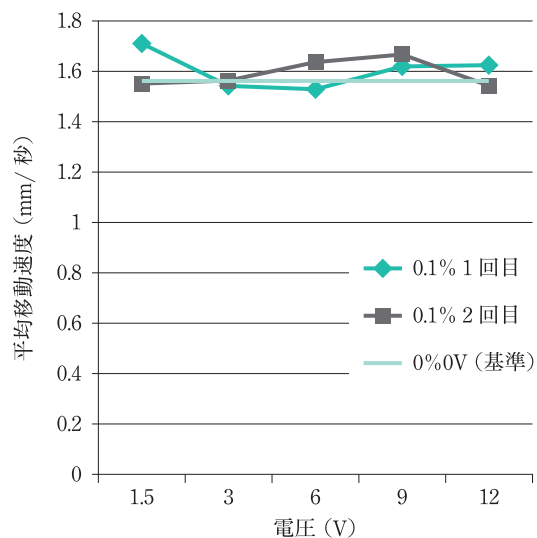


図 2 ■ 各電圧における平均移動速度

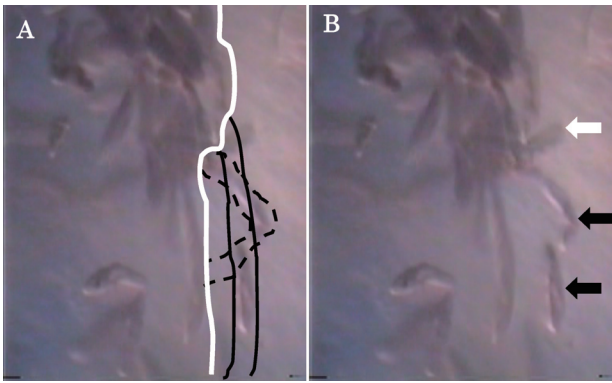


図3 ■ゾウリムシによる遮蔽物内トンネル形成
 (A) ゾウリムシがゼラチン・寒天混合ゲルに開けた穴。白線：ゼラチン・寒天混合ゲルの境界線，黒線および黒破線：混合ゲルに開けた穴。(B) 穴を移動するゾウリムシ。白矢印：穴を開けているゾウリムシ，黒矢印：穴を通過中のゾウリムシ

【考察】 ゾウリムシ集団の制御には、0.1% 培地 (図1)、電圧 6~9 V (図2)、螺旋状電極が適していた。また、寒天などで遮蔽すれば、ゾウリムシは陰極側から離れず、遮蔽物に穴を開けて侵入した (図3)。このゾウリムシによるマイクロサイズのトンネル掘削法を、“マイクロエクスキャヴェーター (micro excavator, 微小掘削車)” と呼ぶこととした。条件最適化によって、より長く自在に掘ることができる」と期待される。

【今後の課題】 ①電流や浸透圧、OH⁻ などの環境要因に強いクローンを選抜する。②実験精度を上げ、各濃度におけるゾウリムシの形態や正確な浸透圧を求める。③二次元・三次元における微小掘削を制御する。④ゾウリムシの侵入した穴の維持や、その形成のメカニズムを明らかにする。

【参考文献】 大塚信一：“岩波生物学辞典第4版”，2001, p. 825. 丸岡 禎：‘教材としての原生動物 (2)—ゾウリムシ I’，*Jpn. Protozool.*, **37**(1), 19 (2004). 丸岡 禎：‘教材としての原生動物 (3)—ゾウリムシ II’，*Jpn. Protozool.*, **38**(2), 115 (2005).

本研究の意義と展望

ゾウリムシは、電圧が印加された溶液中で負極方向に走行する性質 (負の電気走性) をもつ。この性質を利用すれば、電気刺激によってゾウリムシの運動を制御することが可能であり、ゾウリムシをマイクロマシンとして利用する途が拓かれる。

まず、ゾウリムシおよびその集団の運動制御に必要な因子 (浸透圧、電圧、pH など) について、その最適条件のいくつかを明らかにした (図1, 2)。また、その過程で、偶然にもゾウリムシが掘削能 (ミクロンサイズのトンネ



図4 ■「ベストポスター賞」を受賞したポスター

ル形成能)を有することも見いだした(図3)。トンネル形成機構はさておき、このゾウリムシによるトンネル掘削法を「マイクロエクスキャヴェーター」と称し、より長く、深く、自在に穴を掘ることができるマイクロマシン構築への期待に、生徒らの目も輝いたことであろう。ベストポスター賞を受賞したポスターにも、その意気込みが感じられる(図4)。美しく、見やすく、かつ理解しやすいように工夫されている。指導された先生方の努力の賜物であり、敬意を表したい。

この研究は、ゾウリムシの機能について新たな研究の手掛かりを見いだした点に意義がある。地球には莫大な種類の生物が存在するが、研究対象となっているのは全生物の0.002%程度であると推定する向きもある。今後、より多くの生物の機能を解析し、模倣し、かつ応用する

ことによって、既存のシステムを超えたパラダイム(根本的な原理)の構築、つまり生物と機械の融合した高度な技術を手にすることができるであろう。とりわけ、微生物は高性能のセンサーとアクチュエーターを獲得して進化してきたマイクロマシンそのものである。センサーの装着も電源の供給も不要である。細菌の鞭毛回転装置(分子モーター)をはじめ、ナノマシンの設計に適した多くの機能と装置を密載している頼もしい生物群である。

本研究はゾウリムシの電気走行性に基礎を置いているが、これは19世紀から行なわれている有名な実験である。しかし、物理、化学、生物が関わるこの実験には、なお、学ぶべき多くがあることを示唆している。古典は常に新しい。

(文責「化学と生物」編集委員会)

プロフィール

町田千代子 (Chiyoko Machida) <略歴>1972年千葉大学理学部化学科卒業/同年三菱化成生命科学研究所研究技術員/1999年名古屋大学大学院理学研究科講師/2001年中部大学応用生物学部教授、現在にいたる。この間、1979~82年米国ニューヨーク州立大学留学、1992~94年JSTさきがけ研究21.1984年農博(東京大学)<研究テーマと抱負>植物の葉をモデル系とした発生・分化の分子メカニズムの解明、葉の発生・分化における核小体の機能解明、発生・分化の時間的空間的制御の分子基礎

町田 泰則 (Yasunori Machida) <略歴>1978年名古屋大学大学院理学研究科博士課程(後期課程)修了(理博)後、米国ニューヨーク州立大学博士研究員、名古屋大学大学院理学研究科助手、同助教授を経て、同教授、現在にいたる<研究テーマと抱負>植物の細胞分裂と分化

三屋 史朗 (Shiro Mitsuya) <略歴>1998年名古屋大学農学部資源生物環境学科卒業/2000年同大学大学院生命農学研究科博士課程(前期課程)修了/2003年同博士課程(後期課程)修了/同年日本学術振興会特別研究員/2006年名古屋大学大学院生命農学研究科助手、現在にいたる<研究テーマと抱負>植物の環境ストレス耐性機構<趣味>ピアノ

桃木 芳枝 (Yoshie S. Momonoki) <略歴>1978年東京農業大学大学院農学研究科博士後期課程修了(農博)/1989年同大学生物産業学部専任講師/1993年同助教授/1995年同大学大学院生物産業学研究科指導教授、現在にいたる。この間、1980年米国ミシガン州立大学博士研究員/1982年米国NASA Space Biologists、2002年東京農業大学大学院生物産業学研究科委員長(4年間)<研究テーマと抱負>植物アセチルコリン系の環境ストレス応答機構の解明<趣味>絵画・音楽(ジャズ)鑑賞、活け

花など

山野井貴浩 (Takahiro Yamanoi) <略歴>2004年東京大学大学院農学生命科学研究科修了後、白鷗大学足利高等学校教諭/2009年同大学教育学部非常勤講師、東京大学大学院情報学環客員研究員/2010年東京理科大学工学部非常勤講師、同大学客員研究員、前橋国際大学国際社会学部非常勤講師、現在にいたる<研究テーマと抱負>進化教育、DNAから生物多様性までを繋げて理解できる教材を開発すること<趣味>クモ観察、演劇、読書

山部こころ (Kokoro Yamabe) <略歴>平成15年岡山大学歯学部歯学科卒業/21年同大学大学院医歯薬学総合研究科博士課程修了(歯博)/同年国立療養所大島青松園厚生労働技官(歯科医師)、現在にいたる<研究テーマと抱負>古細菌と歯周病の関連性の解明、薬剤耐性菌の検出法に関する研究<趣味>スキー、ゴルフ