Bussei Kenkyu



# アメーバのエソロジー

中垣 俊之
北海道大学 電子科学研究所

なぜ私たちは、単細胞を「単細胞（それほど賢くないという意味）」と思っているのでしょう。一見すると単細胞に現れる機能性の姿形は、高等動物のそれとは大きく異なります。それが一つの原因なのでしょう。ところが、生物進化の観点からすれば、共通の基盤があってもそれほど不思議ではありません。

細胞のおもしろさは、なんといっても「単なる物質が集まって生きたシステムに化ける」ところにあります。細胞の行動に現れる問題解決能力が、どのような物質過程からもたらされるのか？自然にこのような疑問がわいてきます。この問題は、考えれば考えるほど捉え所が判然とせず、きわめて悩ましいものです。そう遠くないところに、モノとココロの問題も寄り添っていそうです。こんな大問題にストレートに答えることは、私にはできそうもありません。ただ、そんなことをどこか頭の隅に残しながら、単細胞生物の行動学を地道に押し進めています。

単細胞生物の問題解決能力を考える時、動物行動学（エソロジー）でよく用いられる評価法を思い出してみるのも良いでしょう。一つの典型例は迷路解きです。実際、2000年に、原生生物（大雑把にいうと真核単細胞生物）であるフィザルムが迷路の最短経路を見つけることがわかりました。その能力の背後には、解を求める何らかの「計算」がはたらいているはずです。「解にたどり着く過程を計算と見なそう」といった方が自然かもしれません。細胞レベルの情報処理能力は、迷路の例に見るように、案外高いです。このような洞察は、これまでにも（例えば100年前、ジェニングスという米国の生物学者が行ったゾウリムシの研究など）繰り返し強調されて来ましたが、まだまだ十分には解き明かされてはいません。洞察の域を出ない場合も多いようです。単細胞の潜在能力については、具体的なところはまだまだはかり知れません。そこで、具体的な問を二つ掲げて、それに向かって突き進んでみます。一つ目は、問題解決能力の高さ（ここではそれを細胞の「賢さ」と呼ぶことにします）を実験により評価すること。そのために、細胞が問題を解くようにしむけます（なんとか工夫を凝らします）。二つ目は、それらの賢さがどのようなしくみで実現されているかを知ること。ここでいうしくみは、細胞のダイナミクスとしてはどうなっているのか、運動方程式のようなものを書き下すことであり、また、計算過程として見た時、解法アルゴリズムはどうなのか、ということを意味します。

生物による情報処理の重要な特徴の一つは、並列性（分散性）です。いや、異議有り！脳は中枢ではないか！と思うかもしれませんが（それはそうなのですが）、脳自身の中にはそのような中枢は（たぶん）ありません。むしろ、脳は同様な要素の並列回路（神経細胞のネッ



NII-Electronic Library Service

Bussei Kenkyu



トワーク）からなっていて、情報処理はそれら同質要素の相互作用に基づいています。そのような認識に立って、並列計算機としての脳が研究されています。一方、脳や神経系を持たない原始的な生物ではどうでしょう。情報処理に特化した器官がないため、システムの分散処理性はより際立ってくるはずです。そのような生物では、身体運動そのものが何らかの形で情報処理の過程を担っていると考えるのが自然でしょう。目に見える形で現れる身体運動、特にアメーバでは原形質と呼ばれる粘った物質の（大変形を伴う）運動を捉えると、そこには情報処理の過程も「もれなくついてくる」と期待できます。これは、魅力です。

私たちは、実験材料として、巨大なアメーバ様生物である真正粘菌（true slime mold）モジホコリ（Physarum polycephalum）の変形体（plasmodium）を用いてきました。数センチに及ぶほど巨大ですが、単細胞生物です。ただし、多核体です。数センチともなれば、おびただしい数の核が含まれています。変形体は原形質の塊で、シート状に広がりながら同時にそのシートのなかに管の複雑なネットワーク構造を有しています。二つの個体が出会うと自然に融合して一つの個体になり、逆に一つの個体が小さく切り分けられると、切り取られた小片は完全な（大きさは小さくなりますが）個体になります。変形体は、もし十分に栄養が与えられれば、成長して約１０時間ごとに核分裂をおこし、核の数を倍化させます。このように、変形体は、多細胞体制と単細胞体制の中間にある体制をとっています。

講演では、この粘菌が、迷路のような幾何学的パズルを解く能力があること、原始的ではありますが記憶や迷いとおぼしき行動をみせること、などについてお話します。粘菌方式の情報処理は、単純であり、かつ、なかなか有用そうです。また、他の生物種で見られる情報処理機構との類似性についても、可能な限り触れたいと思います。

参考文献

T. Nakagaki, et al.: “Computational ability of cells based on dynamics and adaptability”, New Generation Computing, Ohmsha-Springer, 27(1) : 57-81 (2009)

K. Matsumoto, et al.: "Locomotive Mechanism of Physarum Plasmodia based on Spatiotemporal Analysis of Protoplasmic Streaming", Biophys. J., Vol. 94, 2492-2504 (2008)

T. Saigusa, et al.: "Amoebae anticipate periodic events", Phys. Rev. Lett., Vol. 100, 018101 (2008)

T. Nakagaki & R. Guy: "Intelligent behaviors of amoeboid movement based on complex dynamics of soft matter", Soft Matter, Vol. 4, 57-67 (2008)

T. Nakagaki, et al.: "Minimum-risk path finding by an adaptive amoebal network", Phys. Rev. Lett., Vol. 99, 068104 (2007)

S. Takagi, et al.: “Indecisive behavior of amoeba crossing an environmental barrier”, Proceedings of Int. Symp. On Topological Aspects of Critical Systems and Networks (World Scientific Publishing Co.), 86-93 (2007)



NII-Electronic Library Service