動物のようにもキノコのようにもなる生物、変形菌（粘菌）は、その奇妙な生態が多くの生物学者を魅了してきました。日本では、*Nature* 誌への掲載論文数約 50 本を誇る学者、南方熊楠（みなかたくまぐす）（1867 年～1941 年）が知られています。

今回は、変形菌の学習能力についての記事を取り上げます。左ページの Topics に目を通してから、英文を読んでみましょう。

NEWS

語数：514 words　分野：細胞・生物物理

Published online 23 January 2008 | *Nature* **451**, 385 (2008) | doi:10.1038/451385a

Cellular memory hints at the origins of intelligence

http://www.nature.com/news/2008/080123/full/451385a.html

Philip Ball

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

変形菌の子実体

1 Learning and memory — abilities associated with a brain or, at the very least, neuronal activity — have been observed in protoplasmic slime, a unicellular organism with multiple nuclei.

2. When the amoeba *Physarum polycephalum* is subjected to a series of shocks at regular intervals, it learns the pattern and changes its behaviour in anticipation of the next one to come[1], according to a team of researchers in Japan. Remarkably, this memory stays in the **slime mould** for hours, even when the shocks themselves stop. A single renewed shock after a 'silent' period will leave the mould expecting another to follow in the rhythm it learned previously. Toshiyuki Nakagaki of Hokkaido University in Sapporo and his colleagues say that their findings "hint at the cellular origins of primitive intelligence".

3. It is well-established that cells receive, interpret and adjust to environmental fluctuations, says microbiologist James Shapiro of the University of Chicago, Illinois. But if the results stand up, he says, "this paper would add a cellular memory to those capabilities".

4. The organism chosen by the Japanese team could scarcely seem less promising as a quick learner. *Physarum polycephalum* is a slime mould belonging to the Amoebozoa phylum. It moves at a steady rate of about one centimeter per hour at room temperature, but this changes with the humidity of its environment. It slows down in drier air, and Nakagaki's team used this sensitivity to stimulate learning.

5. The team found that when the mould experienced three episodes of dry air in regular succession an hour apart, it apparently came to expect more: it slowed down when a fourth pulse of dry air was due, even if none was actually applied. Sometimes this anticipatory slowdown would be repeated another hour later, and even a third. The same behaviour was seen when the pulses were experienced at other regular time intervals — say, every half hour or every 1.5 hours.

6. If the dry episodes did not recur after the first three, the amoeba's sense of expectation gradually faded away. But then applying a single dry pulse about six hours later commonly led to another anticipatory slowing in step with the earlier rhythm.

7. The same team has previously shown that these amoebae can negotiate mazes and solve simple puzzles[2,3]. So the new finding adds to "the cool things *Physarum* can do", says applied mathematician Steven Strogatz of Cornell University in Ithaca, New York.

8. Like all living organisms, slime moulds have built-in biochemical oscillators, like the human body clock. In other kinds of slime mould, these oscillators can create periodic ripple patterns in response to environmental stress, helping the organism coordinate its movements. Nakagaki's group thinks that the versatile rhythmic sense of *Physarum* stems from many different biochemical oscillators in the colony operating at a continuous range of frequencies.

9. The team's calculations show that such a group of oscillators can pick up and 'learn' any imposed rhythmic beat, although the knowledge decays quickly once stimulus ceases. The calculations also show that a memory of the beat can stay within the system, and be released again by a single, later pulse — just as the researchers observed.

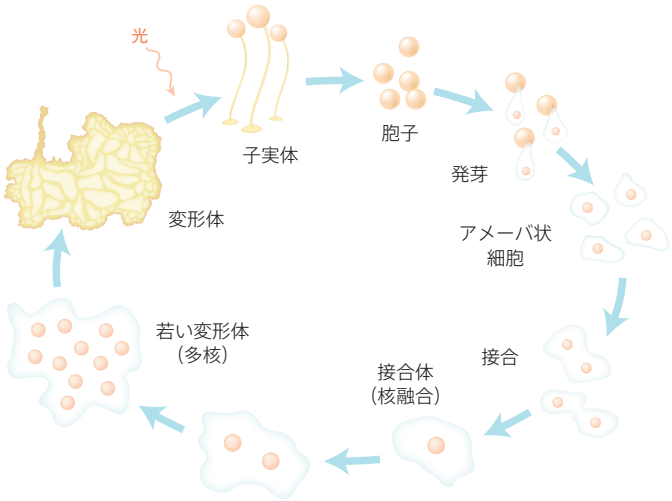
References

1. Saigusa, T., Tero, A., Nakagaki, T. & Kuramoto, Y. *Phys. Rev. Lett.* **100**, 018101 (2008).
2. Nakagaki, T., Yamada, H. & Toth, A. *Nature* **407**, 470 (2000).
3. Nakagaki, T., Kobayashi, R., Nishiura, Y. & Ueda, T. *Proc. R. Soc. B* **271**, 2305–2310 (2004).

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

Topics slime mould（変形菌）とは？

変形菌（粘菌または真正粘菌）は、湿った場所の古材や植物に腐生している単細胞生物。栄養体は、細胞壁をもたない不定形粘液状の原形質の塊で、アメーバ運動をして移動しながら微生物などを摂取するので、粘菌の栄養体は変形体とよばれる。変形体は飢餓状態で光が当たるなどすると子実体を形成し、胞子を生じる。胞子は発芽してアメーバ状細胞となり、飢餓状態になると接合して接合体を形成する。接合体は細胞分裂せずに核だけが分裂し、多核の変形体へと成長する。このように変形菌は、動物的な性質と植物的な性質をあわせもつ不思議な生物である。近年、迷路を最短距離で抜ける、有害物質を避けるなどの行動が報告され、どうやって変形菌が複雑な情報処理を行っているのか、物理学・工学の立場からも注目を集めている。



変形菌の生活環

Science key words

1. **protoplasmic:** 原形質の
原形質とはもともと、細胞の生きている部分を構成している物質を意味するが、細胞内微細構造が判明した現在では、核と細胞質、細胞膜をさす。

1. **unicellular organism:** 単細胞生物
1 つの細胞だけで個体が成り立ち、生命活動を行っている生物。これに対し、ヒトのように多くの細胞で個体が成り立っている生物を、多細胞生物という。

1. **multiple nuclei:** 多核
1 つの細胞内に核が複数存在している状態。一般に核の分裂に伴い、細胞も分裂するので、1 つの細胞に 1 つの核しか存在しない。変形菌のように細胞分裂を起こさず核だけが分裂を繰り返すことにより多核になる場合と、胎盤の合胞体栄養膜細胞のように細胞が融合して多核になる場合とがある。

2. **amoeba:** アメーバ
鞭毛や繊毛をもたずに、原形質流動（細胞質が流れるように移動する現象）によって突き出した仮足で移動する単細胞生物。

2. ***Physarum polycephalum*:** モジホコリ
真正粘菌の 1 つ。研究によく使用され、モジホコリの情報処理を利用したロボットも発明されている。

4. **organism:** 有機体、（微）生物
生物全般を意味するが、単に微生物をさすことも多い。

4. **Amoebozoa phylum:** アメーボゾア（アメーバ動物門）
「門；phylum」は、動物の分類項目の 1 つ（植物では門は division）。門の上に「界；kingdom」、門の下には、「綱；class」「目；order」「科；family」「属；genus」「種；species」と続き、それぞれに「亜～；sub-」というサブ項目がある。

8. **biochemical oscillators:** 生化学的発振器
体内時計（下記参照）などの周期的な作用機構のために、生体内でリズムを生み出している機序。いくつかのタンパク質が協調して、周期的なリズムを制御していると考えられている。

8. **body clock:** 体内時計
生体に備わっている、約 24 時間を周期的に刻む機構。これにより睡眠、血圧、体温、ホルモン分泌など生体全体のリズムが制御されている。生物によって周期に多少の差がみられるが、太陽光などで 24 時間に調節されているとされ、最近では夜中に強い光を受けると体内時計が狂うという研究結果も報告されている。

8. **colony:** 個体群、コロニー
個体群とは、空間的に集合している同一種、または複数種の生物の群落・群れのことで、動物や植物に広く使われる。コロニーとは、細菌やカビ類、細胞などを培養したときに形成される細胞集団のこと。ここでは、コロニーの意で使用されている。

Words and phrases

タイトル **hints at ...:**（～を）「ほのめかす」「におわせる」「示唆する」

1. **at the very least:**「少なくとも」「最低限でも」

1. **slime:**「粘液状の塊」

2. **at regular intervals:**「一定の間隔をおいて」「定期的に」

2. **in anticipation of:**「～を見越して」「～を見込んで」

3. **environmental fluctuations:**「環境の変動」

3. **stand up:**「有効である」「正しさが確認される」
「立ち上がる」を連想すると思うが、ここでは「有効な状態が持続する」「正当性が貫徹される」という意味。

5. **in regular succession:**「一定の間隔で繰り返した」
in succession で「連続して」「相次いで」という意味で、ここに regular（規則的な）が組み合わさっている。

5. **due:**「予定になっている」
「期限が到来している」「当然与えられるべき」といった意味もある。

5. **anticipatory:**「見込み～」

7. **cool:**「カッコいい」「いかした」「イケてる」

8. **ripple:**「波紋」「リップル」

8. **in response to:**「～に応答して」「～に応じて」

8. **versatile:**「多芸な」「多目的な」

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

NEWS 参考訳

Published online 23 January 2008 | *Nature* **451**, 385 (2008) | doi:10.1038/451385a

単細胞の記憶が示唆する知性の起源

http://www.nature.com/news/2008/080123/full/451385a.html

フィリップ・ボール

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

モジホコリの変形体

1. 学習と記憶という、脳の活動、あるいは少なくとも神経細胞の活動と関連した能力が、原形質から成る不定形の塊である多核単細胞生物においても観察された。

2. 日本の研究チームの報告によると、アメーバの一種であるモジホコリ（*Physarum polycephalum*）に一定の間隔でショックを与え続けると、そのパターンを学習し、次のショックを見越してふるまいを変えるようになるという[1]。注目すべきは、この変形菌（粘菌）にショックを与えるのをやめた後も、その記憶が数時間にわたって保持されるという点である。ショックを与えるのをしばらく中断した後に、再びショックを 1 回与えると、モジホコリは、以前学習したリズムで次のショックがやってくると予期するのである。北海道大学（札幌市）の中垣俊之准教授たちは、この知見は「原始的な知性の起源が細胞にあることを示唆しています」と述べている。

3. 環境の変動を受け止め、解釈し、それに順応していく能力が細胞に備わっていることは広く受け入れられている、とシカゴ大学（米国イリノイ州）の微生物学者 James Shapiro は話す。しかし、中垣らの研究結果の正しさが裏づけられれば、「今回の論文により、細胞の記憶という新たな能力が追加されることになります」と Shapiro はいう。

4. 中垣の研究チームが実験対象に選んだ生物は、物覚えが早いようには到底みえないものである。モジホコリは、アメーボゾアに属する変形菌である。室温では 1 時間に約 1 センチメートルという速さでじわじわと移動するが、この速さは環境の湿度に応じて変化する。研究チームは、モジホコリが湿度の低下を感知すると移動速度が遅くなることを利用して、学習を促進させたのだった。

5. 中垣たちは、モジホコリに乾燥空気を 1 時間に 1 回の等間隔で 3 回噴射すると、次の噴射を予期するようになることを発見した。4 回目の噴射がくるはずの時刻になると、空気を噴射しなくても、モジホコリの動きが遅くなったのである。こうした見込み減速は、その 1 時間後や、さらにその 1 時間後にも起こることがあった。別の実験で、30 分に 1 回、あるいは 90 分に 1 回といった等間隔で乾燥空気を噴射したときにも、同様のふるまいがみられた。

6. 乾燥空気の噴射を最初の 3 回のみでやめると、モジホコリの期待感は徐々に薄れていった。しかし、約 6 時間後に再び乾燥空気を 1 回だけ噴射すると、当初のリズムに合わせた見込み減速が一般的に復活した。

7. モジホコリが迷路を探索し、やさしいパズルを解けることは、このチームの以前の研究によって明らかになっている[2,3]。コーネル大学（米国ニューヨーク州イサカ）の応用数学者 Steven Strogatz は、今回の新たな知見によって、「モジホコリの“イケてる”特技がまた 1 つ増えました」と語る。

8. ほかのすべての生物と同じように、変形菌にもヒトの体内時計のような生化学的発振器が組み込まれている。別の種類の変形菌では、この発振器が環境ストレスに応じた周期的な波紋パターンを生じさせ、動きを協調させるのに役立っている。中垣の研究チームは、モジホコリが柔軟なリズム感をもっているのは、そのコロニー内にある多種多様な生化学的発振器が連続した振動数域で作動しているからではないかと考えている。

9. 研究チームの計算によれば、この一群の発振器は、外部から加えられた周期的なビートを検出し、「学習」できることが明らかになっている。ただ、この知識は、刺激がなくなると、たちまち失われてしまう。また、この計算では、ビートの記憶が系内に残存し、後になって加えられる 1 回のパルスによって再び引き出されることも示されている。これは、まさに中垣たちが観察したとおりである。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific