



粘菌はいかにして餌を見つけるか

本研究は、日本農芸化学会2014年度大会(開催地: 明治大学)の「ジュニア農芸化学会」において発表され、銅賞を授与された。発表者は、脳も神経ももたない粘菌が、なぜ餌を見つけることができるのかということに疑問をもち、その解明研究に取り組んできた。得られた結果は非常に興味深いものとなっている。



本研究の目的、方法および結果*1

【目的】

粘菌を用いた日本人の研究者による研究が、二度のイグノーベル賞を受賞している。その一つは、中垣俊之氏らの単細胞生物の真正粘菌にパズルを解く能力があること、すなわち粘菌が迷路を最短距離で解くことを発見したことに対するもの(2008年、認知科学賞)であり、もう一つは、同じく中垣氏らの継続研究と位置づけられる、粘菌が実際の鉄道路線のように地図上で輸送効率に優れた最適なネットワークで街をつなぐという研究に対するもの(2010年、交通計画賞)である。発表者は、これらの結果から、粘菌は優れた知能をもっているように思えるが、実際に脳も神経もない生き物であるにもかかわらず、なぜ餌を合理的に見つけることができるのかということに強い興味をもち、これを解明する目的で本研究を行った。

【実験方法】

粘菌の一種であるモジホコリ (*Physarum polycephalum*) を用いて、餌であるオートミールをどのようにして粘菌が認識して見つけることができるのかを、段階

的に検証した。

実験1. 粘菌はにおいを認識しているか

バット(35cm×25cm)にぬらしたキッチンペーパーを敷き、粘菌からの距離が5cmになるように2カ所にオートミールを置いた。左側のオートミールにはシャーレをかぶせ粘菌がにおいを直接感知できないようにしたうえで、粘菌の移動経路を観測した(図1A)。

実験2. 粘菌の水分と餌のにおい成分に対する認識の優先順位の確認

ろ紙を図2AのA, B, Cそれぞれの白い部分の形に切り、乾いたタッパーに入れ、それぞれのろ紙にのみ水分を染み込ませた。ろ紙A, B, Cの下部の赤い枠で囲った部分に粘菌を置き、上部の青い枠で囲った場所に餌のオートミールを置いた。なお黄色(印刷版では白色)で示したろ紙とろ紙の隙間の長さは、Aは4mm, B, Cは2mmにした。A, B, Cそれぞれの粘菌の移動経路を観測した。

実験3. ろ紙とろ紙の隙間の長さが粘菌の挙動に与える影響

ろ紙を図3AのA-1, A-2, A-3それぞれの白い部分の形に切り、乾いたタッパーに入れ、それぞれのろ紙にのみ

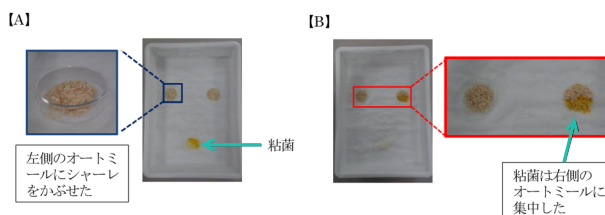


図1 ■ 粘菌のオートミールのにおいに対する認識行動

*1 講演要旨集とポスターなど研究資料を部分的に改変転記。

水分を染み込ませた。図3A中のろ紙とろ紙の隙間の長さは、A-1が1mm, A-2が2mm, A-3が4mmである。粘菌とオートミールの配置を実験2と同様にし、粘菌の移動経路を観測した。

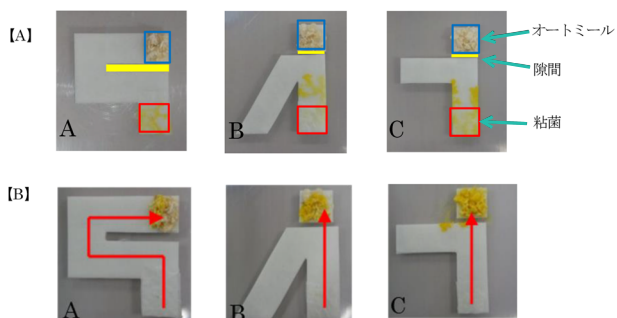


図2 ■ 粘菌の水分とオートミールののにおいに対する認識の優先性

【A】 図中の黄色（印刷版では白色）部分は隙間を表している（A: 4mm, B: 2mm, C: 2mm）。においと水分のどちらを優先しているのかをよりはっきりさせるために、B, Cでは粘菌が水分をたどって移動していくと徐々にオートミールから遠ざかっていく作りにした。【B】 図中の矢印は粘菌の移動経路を示している。隙間が4mmのAではろ紙の形沿って粘菌は移動した。隙間が2mmのB, Cではろ紙の形状のいかににかかわらず、粘菌は2mmの隙間を通り餌に直進した。

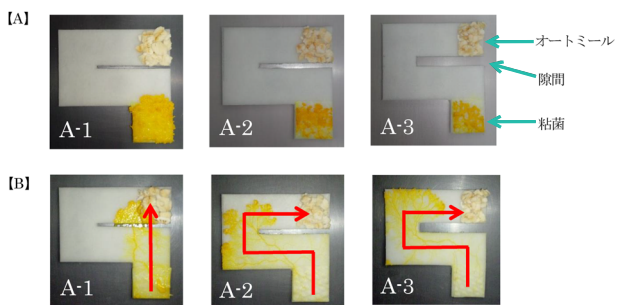


図3 ■ ろ紙とろ紙の隙間の長さが粘菌の餌に対する挙動に与える影響

【A】 ろ紙とろ紙の隙間はA-1: 1mm, A-2: 2mm, A-3: 4mmとした。【B】 図中の矢印は粘菌の移動経路を示している。隙間が1mmのA-1では粘菌は隙間を通り餌に直進した。一方、隙間が2mmおよび4mmのA-2とA-3ではろ紙の形沿って粘菌は移動した。

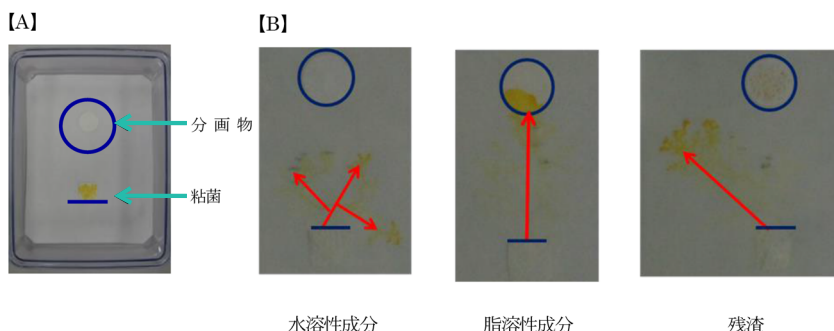


図4 ■ 粘菌の餌認識成分の特定

実験4. 粘菌の餌認識成分の特定

0.5gのオートミールを乳鉢ですりつぶし、15mLのチューブに移して、3mLの蒸留水を加えた。ボルテックスで3分間攪拌し、30分間室温放置後、4°C, 10分、10,000回転で遠心分離をして上澄み液を新しい15mLチューブに取り出した。この一連の抽出操作を3回繰り返す。3回分の上澄み液を合わせて凍結乾燥して水溶性成分を得た。上澄み液を取り出した後の抽出残渣に2mLのエタノールを加え、水抽出と同様の操作を行い、得られたエタノール抽出液を減圧濃縮して脂溶性成分とした。チューブに残ったものを残渣とした。水溶性成分と残渣は蒸留水を加え、ろ紙に染み込ませた。脂溶性成分は直接ろ紙に染み込ませた。水で湿らせたろ紙を敷いたタッパーを3つ用意し、粘菌とそれぞれの成分までの距離が5cmになるように粘菌と成分を置き、粘菌の移動経路を観測した（図4A）。

【結果と考察】

1. 粘菌はにおいを認識しているか

図1Bの写真に示すように、粘菌はシャーレをかぶせてにおいを遮断した左側には移動せず、シャーレをかぶせていない直接においを認識できると考えられる右側に集まった。この結果から、粘菌は水で湿らせたキッチンペーパーの水分あるいは水分中に拡散している水溶性成分よりもにおい成分を優先して、餌を認識しているものと考えられた。

2. 粘菌の水分と餌のにおい成分に対する認識の優先順位の確認

実験1の結果から、粘菌は水分あるいは餌の水溶性成分よりも餌のにおい成分を優先して認識するということが推測されたが、それを確認するための実験を行った。図2AのAではろ紙とろ紙の隙間を4mmとし、B, Cは隙間をともに2mmに設定して、BはCに比べてもし粘菌が水分を優先して移動するならば餌からより遠ざかるような形状にろ紙を設計した。図2Bに示すように、粘菌は矢印で示したような経路を通り移動した。Aはろ紙

の形に沿って移動をしたが、B、Cでは乾いている部分を通過して餌にたどり着いた。実験1の結果から粘菌は餌を探すときににおいを優先することが予測されたが、Aの場合では、水分を好む粘菌はにおいを認識していても水分を優先して移動したものと推察される。B、Cの場合と異なる点がろ紙とろ紙の隙間の長さであったことから、餌までの乾燥部分の距離によって餌の認識の優先順位が異なる可能性が考えられた。しかしながら、A、B、Cでろ紙の形状が異なっていたため、ろ紙とろ紙の隙間の長さが粘菌の挙動に影響を与えているかどうかをさらに確認する必要があると考えられた。

3. ろ紙とろ紙の隙間の長さが粘菌の挙動に与える影響

実験2の結果から、ろ紙とろ紙の隙間の長さが粘菌の挙動に影響を与えている可能性が示唆されたが、それを確認するために、ろ紙の形状が同じで、ろ紙とろ紙の隙間の長さのみが異なる3種類のろ紙上での粘菌の挙動を調べた。図3Bに示すように、1mmの隙間(A-1)の場合粘菌は餌に直進し、一方、2mm(A-2)、4mm(A-3)の隙間の場合粘菌はろ紙の形に沿って移動した。実験2では2mmの隙間でも直進したが、実験3では2mmの隙間は渡らなかった。これは、実験2と3は別の日に実施したため水分量などの条件が完全には一致していなかったことが原因と考えられる。現段階では粘菌が乾燥部分を直進できる距離の限界は2mmから4mmの間にあると思われるが、今後実験条件を統一して再現性実験を行い、この点を明らかにしたい。

4. 粘菌の餌認識成分の特定

粘菌が餌に含まれるどのような成分を認識しているのかを明らかにするために、餌の成分を水溶性成分、脂溶性成分、残渣の3つに分画し、各分画物に対する粘菌の挙動を調べた。図4Aに示すように、各分画物を浸み込ませたろ紙を円で表したところに置き、青い線(印刷版では黒い線)のところから粘菌をスタートさせた。図4Bの矢印は粘菌が通った主な経路を表している。水溶性成分と残渣に対しては、粘菌は餌を強く認識して移動しているようには見受けられない。それに対して、脂溶性成分に対しては、一直線に餌を認識し移動しているようが見受けられる。オートミール成分を水溶性成分、脂溶性成分と残渣に分けた場合、脂溶性成分に粘菌は強い認識反応を示した。今回の実験では脂溶性成分がどのくらいの揮発性を有するか測定できていないが、3つの分画物では脂溶性成分に揮発性成分が集中して存在する可能性が高いと考えられる。したがって、粘菌はオートミール中の揮発性成分を強く認識して行動していることが示唆された。

しかしながら、今回の実験では、各分画物をぬれたろ紙の上に直接置いていたため、成分がろ紙を通して拡散した可能性が残っている。すなわち、揮発性成分のみならず、ろ紙に拡散した非揮発性成分を粘菌が認識している可能性を否定できない。今後、実験方法の改善を行いこの点を明らかにしたいと考えている。

今回の実験1から4を総合的に考慮すると、粘菌はオートミールの揮発性成分に強く反応して餌を認識していると考えられる。また、におい成分から餌を認識した場合でも、餌までに乾燥地帯がある場合、餌までの乾燥地帯の距離によって、リスクを負って乾燥地帯を渡ると安全な水分の保障されるほうを選ぶ場合があると考えられる。この点においては、乾燥地帯までの距離や幅などをさらに検討する必要があると考える。



本研究の意義と展望

粘菌が迷路を最短距離で解き、また実際の鉄道路線のように地図上で最適なネットワークで街をつなぐという先行研究から、発表者は粘菌が餌を認識する何らかの機構を備えているものと推測し、本研究ではその機構を解明する一環として粘菌が餌に含まれるどのような成分を認識するのかという点に着目し段階的に実験を行った。その結果、粘菌はにおいを認識する能力をもつという学術的に興味深い結果を得た。今後、発表者は粘菌がにおいを認識する仕組みがどのようなものであるか、においを認識する部分が粘菌のどこに存在するのかを明らかにすべく次の実験計画を立てている。現在、餌に向かって進んでいっている粘菌の先端の部分と後ろのほうでは、においを認識する受容体の数などに差があるのではないかと推測しており、その差を明確にする方法を検討している。

本研究は、粘菌の特徴的な行動に関する先行研究から「粘菌は餌を認識する何らかの機構を備えているのではないか」という興味深いテーマを導き出した発想力に富んだ研究であり、かつその謎を解き明かすために段階的に実験を組み立てて検証してきた。今後さらに粘菌のにおいの認識機構を明らかにしたいという発表者のチャレンジ精神に満ちた興味深い研究のますますの発展を期待したい。

(文責「化学と生物」編集委員)