

忌避物質及び障壁を与えた粘菌変形体の走行性の研究

2年3組 畠山 太陽 2年3組 岡原 未空
2年3組 松原 渚海 2年3組 森口 愛子
2年4組 若松 愛衣

指導者 吉良 春英

1 課題設定の理由

粘菌とは、多細胞性の子実体を形成する能力をもつアメーバ様単細胞生物の総称をいう。粘菌類ははじめ植物界の中で腹菌類に近い菌類だと考えられていた。しかし、生活環の中でアメーバのように運動して微生物を捕食する時期があることから、19世紀半ばに動物的な存在だという説が有力となった。その後、次第に植物とも動物ともつかない原始的な生物、原生生物として認識されるようになる。さらに単細胞生物とは思えない知性に基づく行動を取ることが分かってきた。近年、粘菌独自の環境・状況適応能力の研究が進み、特に北海道大学電子科学研究所の中垣俊之教授が真正粘菌の一種モジホコリを研究対象とし、2008年「認知科学賞」、2010年「交通計画賞」とイグノーベル賞を2回受賞したことは極めて異例の出来事として記憶に新しい^[1]。また、粘菌の形態形成の仕方を数理的なモデルとする取組が行われ、2006年には形態形成システムの一部を再現可能な「粘菌アルゴリズム」と呼ばれる数理的モデルが構築されるに至った^{[2]、[3]}。

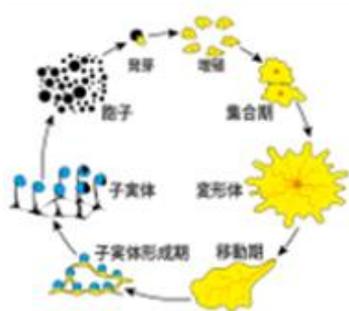


図1 粘菌サイクル

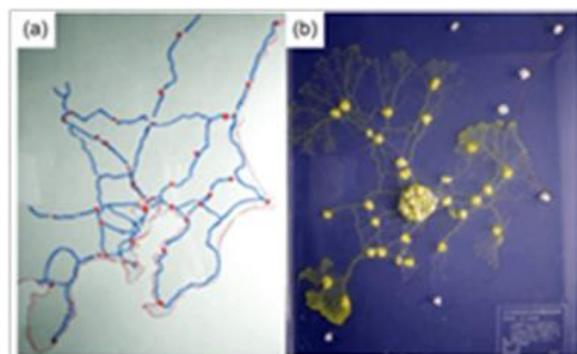


図2 JR路線図(a)と粘菌がつくったネットワーク(b)

私たちは粘菌が持つこれらの特異な性質に魅せられて、将来的には粘菌アルゴリズムを用いた宇和島市の避難経路図の作成を目指し、課題研究を進めていくこととした。

2 仮説

粘菌変形体は、巨大なアメーバ様の単細胞で栄養増殖し、原形質流動による運動で探餌行動をする。その際に、光や忌避化学物質などの障害物を避ける負の走行性を持ち、迷路を解いたり、合理的なネットワークを描いたりすることが分かってきた^[4]。私たちは忌避物質の濃度と走行性の関係、障害物と走行性の関係に焦点を当てることとした。

3 研究手法

(1) 忌避物質の濃度による粘菌変形体の行動の観察

粘菌変形体はクエン酸を忌避するといわれており、先行研究でも 0.3mol/L のクエン酸の濃度で忌避することが確認されている^[4]。

ア 0.3mol/L より薄い濃度 (0.05mol/L 、 0.1mol/L 、 0.2mol/L 、 0.3mol/L) のクエン酸を用意する。

イ 粘菌がどの濃度に達したときに両端に置いたオートミールの片方から他方に移動しなくなるか観察する。



図3 クリーンベンチ内での実験の様子

(2) 障害物の厚さによる粘菌変形体の行動を観察

ア $5\times 50\text{mm}$ と $10\times 50\text{mm}$ の仕切りをラミネートフィルムで作成する。

イ 培地を作成する際、仕切りのフィルムを置き駒込ピペットでオートクレーブした培地を仕切りの内部、仕切りの外部に流し込む。

ウ 仕切りの周りにクエン酸溶液 (0.05mol/L 、 0.1mol/L 、 0.2mol/L 、 0.3mol/L) を 1mL まんべんなく垂らし、ラミネートフィルム周辺のみクエン酸を浸透させることで仕切りの内部のみで経路が形成されるか検証する。

エ 培養した粘菌が付着したオートミールをシャーレに置く。

オ さらに、エから 5cm 離れた位置にオートミールを置き、仕切り板の幅による経路の差があるかを観察する。

4 結果と考察

(1) クエン酸なしと 0.05mol/L 、 0.1mol/L の状態では経路が形成されたが、 0.2mol/L 以上の濃度では形成されなかった。

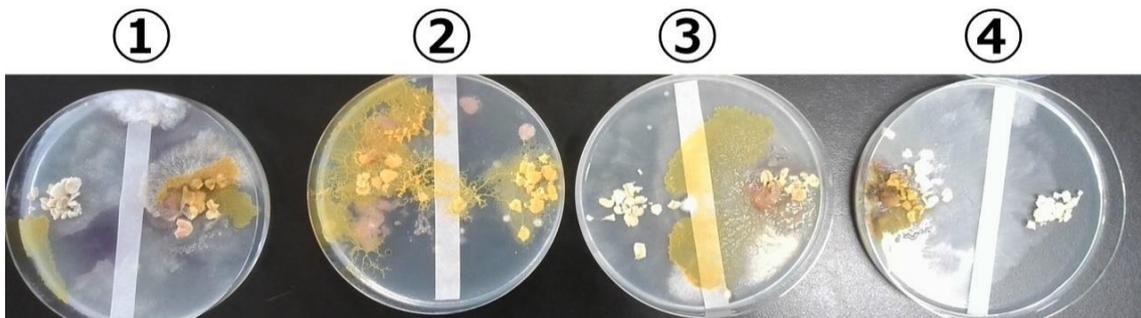


図4 クエン酸の濃度による走行性の違い

① 0.05mol/L 、② 0.1mol/L 、③ 0.2mol/L 、④ 0.3mol/L のクエン酸溶液をろ紙に浸した。

ア ネットワーク形成の適応性

粘菌は、忌避閾値以下の濃度 (0.05mol/L 、 0.1mol/L) の環境では効率的な経路を形成する。それにより環境の違いに柔軟に適応しながらも、特定のストレス環境では適応を放棄する戦略を持つと考えられる。

イ 忌避行動の閾値

粘菌は、 0.2mol/L 以上のクエン酸濃度を「環境ストレス」として認識し、そこを避ける行動をとっている。この閾値(0.2mol/L)が粘菌の生存や移動における耐性の上限を示している可能性がある。クエン酸の濃度が高すぎると、pH の急激な低下や浸透圧の変化が粘菌の正常な代謝や運動を妨げている可能性がある。

このことから、忌避行動が現れる濃度以上では、粘菌が「効率性よりも安全性を優先する」行動をとることが示唆される。粘菌がクエン酸に対して忌避行動を示す濃度の境界は、 0.1mol/L と 0.2mol/L の間に存在する可能性がある。

- (2) 仕切り板の太さによる粘菌の経路形成の傾向は実験(1)と同様のものであり、クエン酸無し、 0.05mol/L 、 0.1mol/L クエン酸溶液では経路が形成されたものの、 0.2mol/L 以上のクエン酸溶液では経路が形成されなかった。また、粘菌が形成する経路の太さも研究手法(1)と同様のものがあった。

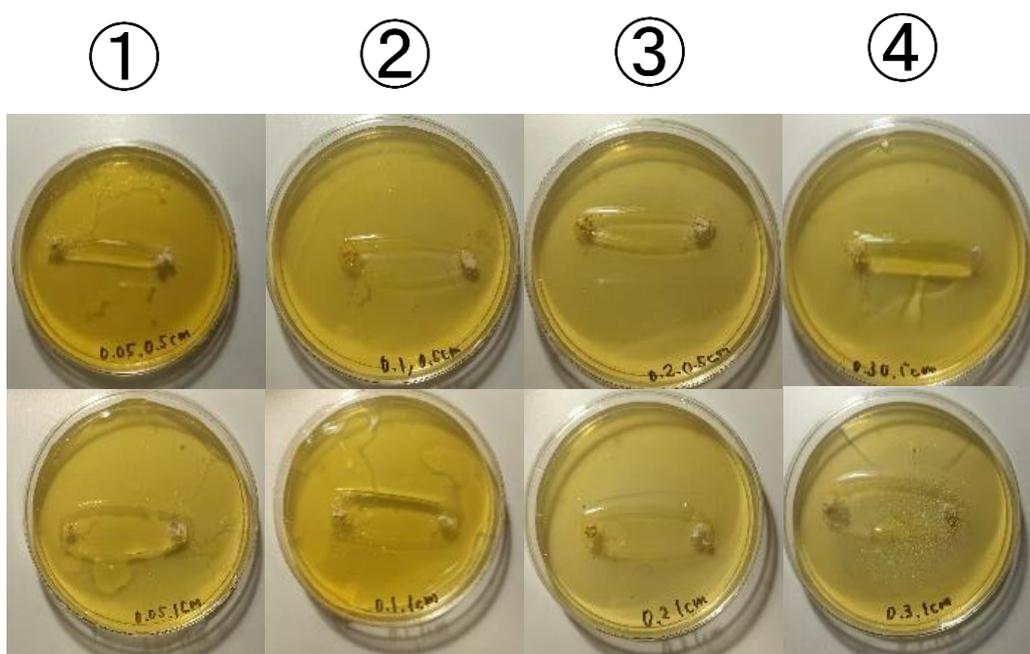


図5 仕切り板の幅の差による走行性の違い(上段:仕切り0.5cm、下段:仕切り1.0cm)

① 0.05mol/L 、② 0.1mol/L 、③ 0.2mol/L 、④ 0.3mol/L のクエン酸溶液を仕切り板の周りに 1mL ずつ滴下した。

このことから、仕切り板の幅が粘菌の行動に対して決定的な要因ではない可能性が高いと考える。また、粘菌は化学的な刺激や環境の変化に敏感に反応する生物であり、物理的な障害物のサイズや形状よりも、化学的な濃度勾配や温度、光などの環境要因に強く影響されるのではないかと考えた。

5 まとめと今後の課題

粘菌はクエン酸溶液の濃度が 0.02mol/L 以上では経路を形成せず、クエン酸の濃度が上がるにつれ移動速度が低下する。

今回の実験ではクエン酸が寒天培地全体に拡散しており、フィルムの外側のみでなく、フィルムの内側にも浸透してしまった。現在はクエン酸をフィルムの外側に 1mL 垂らしているが、クエン酸の濃度分布にムラがある可能性があるため、クエン酸の濃度を培地全体で一定にする方法を考えなければならない。

また、実験にはBTB溶液を用いているが、BTB溶液は変色域が広いため、少しのpHの変化でも

変色し、正確な培地の pH 濃度を測ることができていないため、変色域の狭い指示薬を使用する必要がある。

仕切り方についても改善を要する。現状では仕切りがたわんでしまっており、正確な四角形にできていないため、正確な四角形にするための手法を考える必要がある。

仕切りのフィルムは、四角形に加工したのちに接着はしておらず、隙間が空いており、クエン酸が仕切りの内部にも浸透してしまっている。よって、シャーレと仕切りのフィルム、フィルムどうしの隙間を埋め、クエン酸が仕切りの内部に浸透してしまわないようにする必要がある。仕切りフィルムの外側、内側に寒天培地を流し込む際に、寒天培地の高さに内部外部に差ができてしまうことにも課題がある。

6 謝辞

私たちの研究に熱心にご指導してくださった吉良春英先生、その他この研究に携わってくださった方々に深く感謝申し上げます。

7 参考文献

- [1] リケラボ編集部、2022, 『異例のイグ・ノーベル賞2度受賞。「かしこい単細胞」粘菌の驚きの行動を明らかにし、知性の本質に迫る』 <https://www.rikelab.jp/post/3252.html>
- [2] 手老篤史、中垣俊之、小林亮、2008, 「真正粘菌による迷路・最短ネットワーク・最適交通網問題の解放」 <https://mathematical-society-of-traffic-flow.github.io/symposium/pdf/mstf2008-11.pdf>
- [3] 吉次なぎ、阿部真也、山本佳世子、2019, 「粘菌アルゴリズムを用いた避難経路導出手法の提案」、情報処理学会論文誌、Vol.60、No.12、p.2325-2329
- [4] 高橋和成、2012, 「粘菌変形体の化学走性を利用した高校生物実験の開発」
<http://www.ous.ac.jp/garden>