

粘菌 ～変色とその理由～
Myxomycets ～cause of discoloration～
濱野 紬 横手 奈々子 松本 佳奈
Tsumugi HAMANO, Nanako YOKOTE, Kana MATSUMOTO

1. 概要

粘菌 (*Myxomycets*) は、外界からのさまざまな刺激に対して赤色に変色する。変色の条件として、乾燥させる、紫外線を長時間照射する、管を切断する、高温下に置く、すりつぶすということがわかった。私たちは、仮説を設定し、実験を進めた結果、粘菌が赤く変色する原因として、酸化の可能性が考えられることがわかった。

研究動機

映画「風の谷のナウシカ」の原作を読んで、粘菌の存在を知り興味を持った。そして、飼育していると、粘菌の管を切断したときに切り口周辺が赤く変色しているのを発見し、不思議に思ったので変色をテーマにして実験を進めることにした。

2. 研究目的

粘菌 (真性粘菌) の変形体は、外界から刺激を与えると、元の黄色から赤色へと変色することがある。私たちは、その変色がおこる原因を解明することを研究の目的とした。粘菌が刺激によって変色する例はあまりなく、先行研究はなかった。

粘菌 (真性粘菌) とは

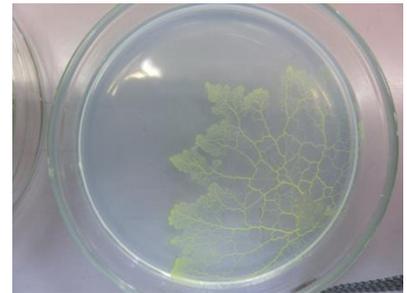
粘菌は生物分類系のひとつである五界説で「原生物界」の「アメーバ動物」に分類される。真核生物で、アメーバ状の大きなひとつの細胞である変形体の時期と、中に孢子を含む子実体の時期がある。変形体は細胞壁がなく、細胞がむき出しの裸の細胞であり、アメーバのように自由に動き回る。迷路の最短距離をつなぐ単細胞生物として注目されている (萩原・山本, 1995, 参考文献①)。

今回使用した種類

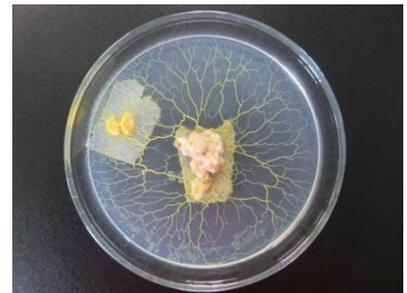
- モジホコリ A (*Physarum polycephalum*) 国立科学博物館から譲渡
 - モジホコリ B 班員の自宅の風呂場で発見
 - モジホコリ C モジホコリ B の種を同定するためにモジホコリ A と融合させたもの
- 同じシャーレ内に 2 個体の粘菌を入れたとき、その 2 個体が融合すれば同じ種である。
(萩原・山本, 1995, 参考文献①)

飼育方法

20～23℃の低温培養器内で、一定の暗さを確保するためにしっかりした菓子箱の中で飼育した。飼育に使う寒天の培地はオートクレーブで滅菌した。餌としてオートミールを水で湿らせて与えた。



(図 1) モジホコリ A



(図 2) モジホコリ B

3. 研究方法

予備実験 1 モジホコリ A と B が、どのような条件下で元の黄色から赤く変色するのか調べる実験を行った。

- 結果**
- (a) 紫外線を長時間照射する (15～20 時間) (n=6)
 - (b) 乾燥させる (n=1)
 - (c) 高温下におく (40～80℃) (n=4)
 - (d) 粘菌の管を切断する (n=20)
 - (e) すりつぶす (n=6)
- 上記のような条件下で粘菌は赤く変色した。

(a) 紫外線を長時間照射する, (b) 乾燥させる, (c) 高温下におく (40～80℃) の条件下ではほとんど

どの場合、粘菌全体が赤く変色し、再び動きだすことはなかった。また、変色後には原形質流動が観察されなかった。(d)管の切断の場合には、切り口周辺が赤く変色した。その粘菌は、数10分後には黄色に戻って一日後には管が修復され、元と同じように再び広がり始めた。(e)すりつぶした場合には粘菌全体が赤く変色して、一日後には黄色に戻り、広がり始めた。赤色への変色の程度が最大であるのは、(a)紫外線照射と(e)すりつぶす場合であった。

考察 粘菌は外界からのさまざまな刺激や操作によって赤く変色することがわかった。

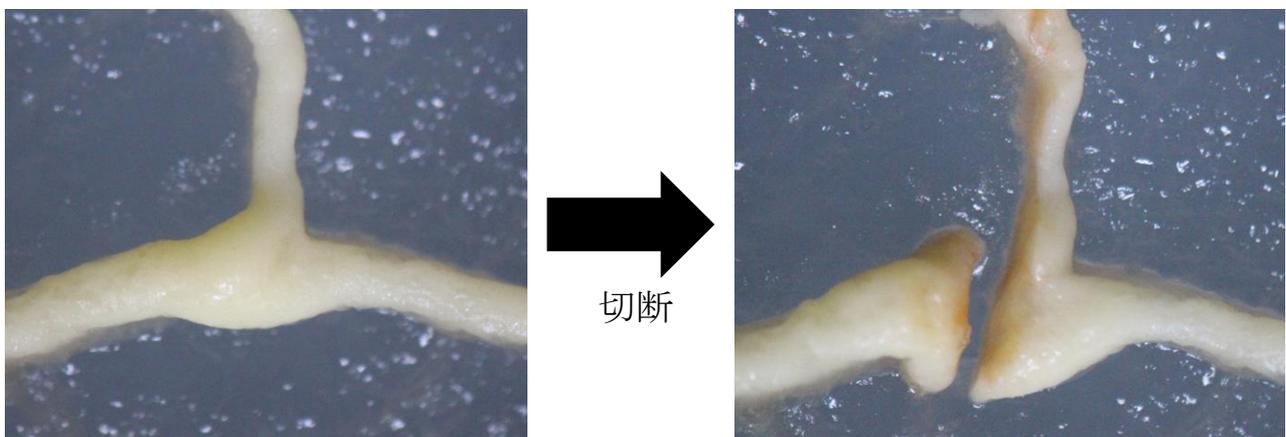
予備実験2 モジホコリ A と B がどのように変色していくのか観察する実験を行った。また、切断した場合には、変色の前後で原形質流動がどのように変化するか観察した。

方法 ①切断前の粘菌の原形質流動を生物顕微鏡と実体顕微鏡で観察する。

②粘菌の管をカッターで切断する。

③粘菌が赤色に変色した後、原形質流動がどのように変化したのか観察する。

結果 粘菌は管を切断後、5分ほどかけて徐々に赤く変色した。また、紫外線照射や、乾燥の場合と比べると変色の程度は小さかった。切断前に観察された原形質流動は、切り口周辺では確認できなかったが、切り口から離れたところでは観察された。さらに、いくつかの個体では切断後、切断面から中の原形質が流れ出てきたが、しばらくすると流れ出てきた原形質は固まった(図3)。



(図3)

考察 粘菌が赤く変色するには、切断後、5~10分の時間がかかる。

また、変色した部分の周辺では原形質流動が確認されなかったため、変色部分の周辺では原形質流動が止まっていると考えられる。

仮説1 原形質流動を止めるための物質が赤色である

実験1 予備実験1の結果より、紫外線照射の場合が一番赤色への変色が著しかったのでモジホコリ A と B に紫外線を照射し、変色の前後で原形質流動がどのように変化したのか観察する実験を行った。(n=3)

原形質流動とは

細胞内部の核、ミトコンドリアなどの構造体を含む原形質が流れるように動く現象のこと。

一般に、その生物が生きているかを確認する指標ともされる。粘菌の原形質流動は、他の生物と比べても著しく流れが速く、秒速0.1mmを超える。(萩原・山本, 1995, 参考文献①)

方法 ①粘菌の乾燥を防ぐため、シャーレにラップ、あるいはガラスのふたをする。

ラップは紫外線を通すが、ガラスのふたは紫外線を遮断する。

ガラスのふたをかぶせたものをコントロールとした。

②変色前の粘菌の原形質流動を、顕微鏡で確認する。

③クリーンベンチに入れて紫外線を約19時間照射し、変色の様子を確認する。

④変色後の粘菌の原形質流動を、顕微鏡で観察する。

紫外線照射について

クリーンベンチにHITACHIの殺菌ランプGL-15をつけたものを使用した。殺菌ランプは、波長254nm(UV-C)、殺菌線出力4.9Wである。

結果 〈モジホコリ A〉

(表 1)

		ラップ (n=3)	ガラスの蓋 (n=3)
紫外線照射 (※)		○	×
原形質流動の有無	実験前	○	○
	実験後	×	○
変色		粘菌全体が赤く変色	変化なし

○…紫外線照射あるいは原形質流動あり ×…なし

※今回使用した紫外線 (UV-C) は、ラップは透過するが、ガラスは透過しない。

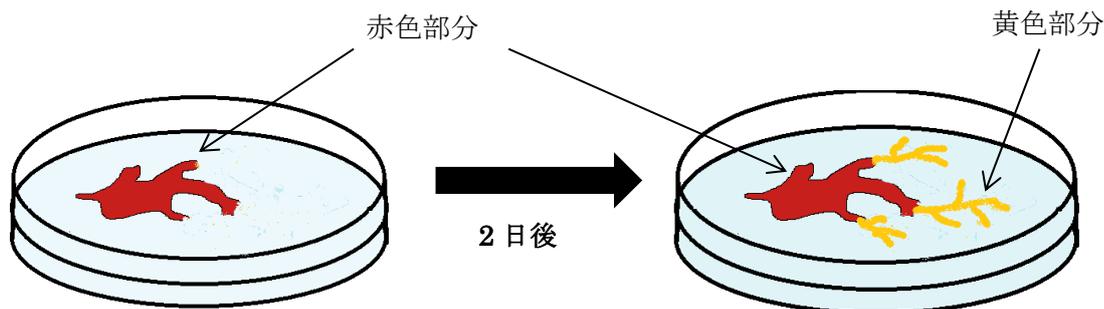
- ・実験後、粘菌は赤く変色したまま、1週間経っても再び動き出すことはなかった。
- ・変色した後は、変色前にみられた原形質流動が見られなくなっていた。

〈モジホコリ B〉

(表 2)

		ラップ (n=3)	ガラスの蓋 (n=3)
紫外線照射		○	×
原形質流動の有無	実験前	○	○
	実験後	×	○
変色		粘菌全体が赤く変色	変化なし

- ・モジホコリ A と同じ結果になった。
- ・2日後、モジホコリ B は赤色に変色した部分を残したまま、黄色い部分が寒天の上に広がったものが3個体中2個体みられた (図 4)。なお、広がった黄色い部分では原形質流動が観察された。



(図 4)

考察

粘菌は紫外線から身を守るために、ゾル状の原形質の表面のみをゲル化することで、管の表面を厚くし、内側のゾル状の原形質を守ったのではないかと考えた。そうならば、図 4 のように 2 日後の黄色い粘菌が広がってきたのは、粘菌はゲル化した壁の内側から、黄色い部分だけ広がったのではないかと考えられる (図 5)。予備実験 1 で赤く変色後、原形質流動が観察されなかったのは、粘菌の管の表面にある壁が厚くなったため、観察しにくくなったのではないかと考えた。一般に、原形質流動が止まっているということは、その生物は死んでいるといえる。仮説 1 の通りに原形質流動を止めるための物質が赤色だとすると、粘菌はその物質によって死んでしまうといえるが、実験 1 より、2 日後に再び広がり始めた個体も見られるため、仮説 1 は間違っていたといえる。

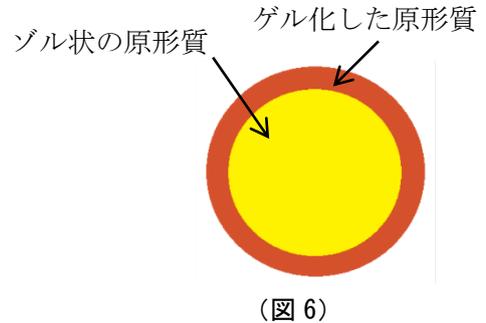


(図 5)

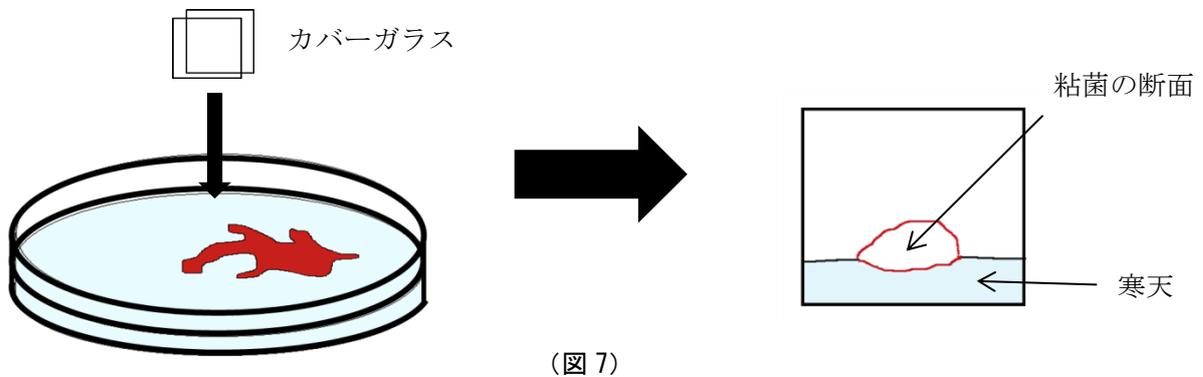
仮説 2 赤色物質は粘菌の原形質をゲル化するための物質である

実験 2 モジホコリ B に紫外線をあて変色させた後、管を薄くスライスしてその断面を観察する。
仮説が正しければ、管の断面の外側は赤色のゲル化した原形質、その内側は黄色のゾル状の原形質になると予想される (図 6)。

- 方法**
- ①粘菌に紫外線を 10 時間照射して、赤く変色させる。
 - ②粘菌を、カバーガラスを使って薄く切断する (図 7)。
 - ③断面を顕微鏡で観察する。
 - (a) 赤く変色後、断面を顕微鏡で観察する (n=6)
 - (b) 無処理の黄色い粘菌の断面を顕微鏡で観察する (コントロール) (n=3)
- (b)は時間がたつと変色してしまう可能性があるため、すばやく観察を行った



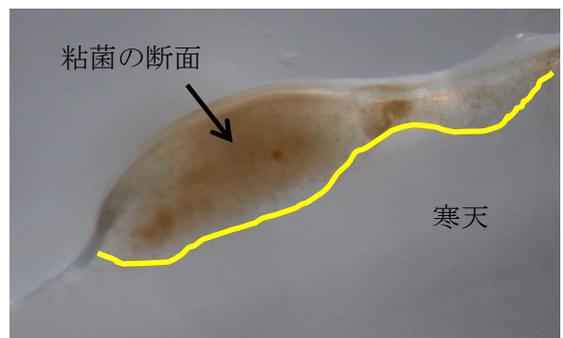
切断方法



カバーガラス 2 枚の間にスライドガラスを挟み、動かないように固定したもので、寒天ごと管をスライスした。その後、スライドガラスをはずし、カバーガラス 2 枚に粘菌が挟まった状態のまま、顕微鏡で観察した。

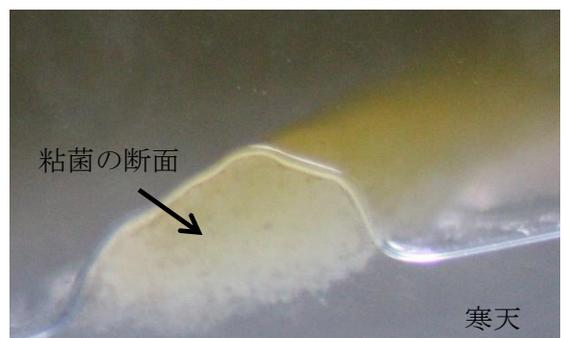
結果 (a)赤く変色後、断面を観察したもの(図 8)

粘菌の管の断面は、全体的に赤く変色しており、変色する前のような黄色い部分は見られなかった。写真のように、特に断面の中心が濃い赤色だった。顕微鏡で詳しく観察すると、赤色の粒のようなものがたくさん見られた。図 9 の黄色い線は粘菌の管と寒天の境界線を表している。



(b)無処理の黄色い粘菌の断面を観察したもの(図 9)

粘菌の管の断面は、全体的に黄色かった。また、カバーガラスで覆われているところはしばらくしても変色は見られず、カバーガラスからはみ出た部分は赤っぽく変色していた。



考察 赤色物質が原形質をゲル化する物質だとすると、(a)の実験結果より、粘菌は全体をゲル化してしまったことになる。しかし粘菌が、全体をゲル化して自らが動き出せなくなる物質を出したとは考えにくい。したがって、仮説は間違っていると考えられる。

(図 9) (b)の断面

仮説3 粘菌自身が酸化されることで、赤く変色する

紫外線を照射する、強いストレスをあたえる、このような場合には粘菌の体内の活性酸素の生産量が増加する(中垣, 2010, 参考文献②)。また、活性酸素は酸化力が強いということからこの仮説を考えた。

活性酸素とは

過酸化水素, スーパーオキシドなどの酸化力の強い物質の総称。殺菌作用が強く, ヒトでは, 紫外線を浴びるなどによって体内での生産量が増加することが知られている。

実験3 粘菌が赤く変色した原因が, 体内の活性酸素によって酸化されたことによるのか, モジホコリ A に抗酸化物質を与えることによって, 変色の程度が小さくなるか調べる。

方法 ①粘菌のえさであるオートミールにそれぞれ抗酸化物質である亜鉛, ビタミン C を加えて, 1 週間ほど飼育する。

亜鉛: 活性酸素を分解する酵素 (SOD) の構成成分

ビタミン C: 自身がかわりに酸化されることで抗酸化作用を示す

②①で育てた粘菌と, オートミールのみで育てた粘菌に紫外線を 10 時間照射し, 変色の様子の違いを観察する。

(a) オートミール+亜鉛で育てたもの (n=2)

(b) オートミール+ビタミン C で育てたもの (n=2)

(c) オートミールのみで育てたもの

(コントロール) (n=2)

結果 (a)では 1 日目は食べたが, 以降はほとんど食べなかった。また, (b)と(c)では, 与えた分は毎日食べた。

(a), (b), (c)に大きな違いは見られなかった(図 10, 11)ただし, どの個体も実験 1 の紫外線照射後に粘菌全体が変色していた場合と違って, 部分的に赤く変色していた。原因としては, 実験 1 では 19 時間, 紫外線を照射したのに対し, 今回の実験 3 では, 紫外線照射時間が 10 時間と短かったことが考えられる。

また, 紫外線照射後は再び動き出すことはなかった。

考察 抗酸化物質を与えたものとコントロールで, 大きな変化は見られなかった。しかし, 粘菌に抗酸化物質を与える期間が短かったことや, 粘菌が抗酸化物質のビタミン C をそのままの形で利用しているとは断定できないことから, この実験方法は見直す必要がある。



(図 10) (b)の UV 照射後



(図 11) (c)の UV 照射後

実験4 赤く変色したモジホコリ A と C が, 還元剤 (シュウ酸) によって元の色である黄色に戻るかを調べる。還元剤が内部にまで浸透するように, すりつぶすことによって変色させた。

方法 ①粘菌をすりつぶして, 赤色に変色させる。

②還元剤 (シュウ酸 0.1mol/L) を赤く変色した粘菌にかける。

③変色の様子を観察する。

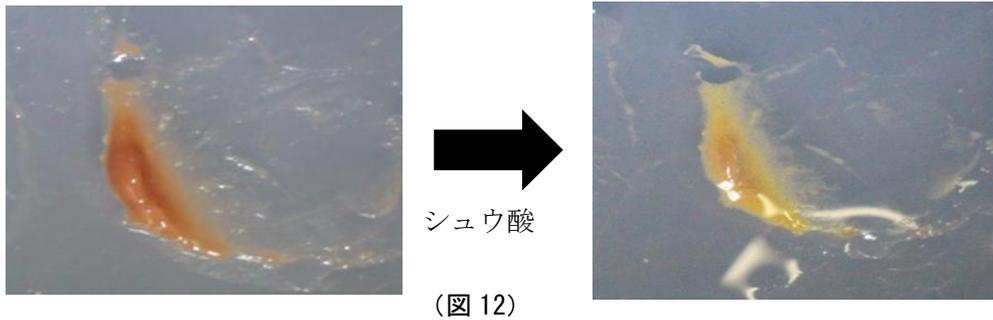
(a)赤く変色後, 還元剤をかけたもの (n=3)

(b)すりつぶしていない無処理の黄色い粘菌に, 還元剤をかけたもの

(コントロール) (n=2)

結果 (a)赤く変色後, 還元剤をかけたもの (図 12)

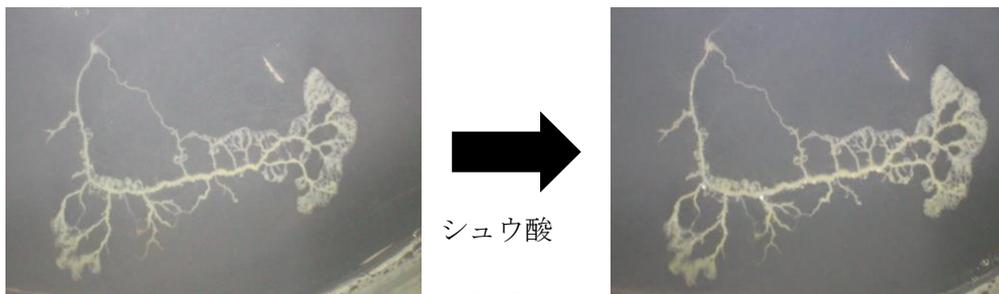
写真からもわかるように, 還元剤であるシュウ酸をかけることで粘菌は赤色が消え, 元の色に近い黄色に戻った。また, この変化は還元剤をかけた瞬間に起きた。しかし, 還元剤をかけた粘菌は, 黄色いまま, 再び動き出すことはなかった。



(図 12)

(b)無処理の黄色い粘菌に還元剤をかけたもの (図 13)

還元剤をかける前後で変化は見られなかった。(a)と同様、還元剤をかけた粘菌は再び動き出すことはなかった。



(図 13)

考察 実験結果より赤く変色したものに還元剤をかけると、黄色く戻り、無処理の黄色い粘菌に還元剤をかけると黄色いまま変化しないことがわかった。このことから、赤色に変色した粘菌は酸化されている可能性が考えられる。そうならば、今回の実験のように還元剤を与えることで粘菌は還元され、黄色に戻ったといえる。しかし、シュウ酸は弱酸であり、pH の変化による変色の可能性も考えられるため、同様の実験を他の還元剤でも行う必要がある。

実験 5 赤く変色したモジホコリ B と C が、還元剤（アスコルビン酸ナトリウム）によって元の色である黄色に戻るかを調べる。

方法 ①粘菌をすりつぶして、赤色に変色させる。

②①の粘菌に粉末状のアスコルビン酸ナトリウムをかけて全体にいきわたる様に混ぜる。

アスコルビン酸は非常に酸化されやすく、水溶液になると溶存酸素と反応して酸化されてしまう可能性が考えられる。そのため、粉末状のまま使用した。

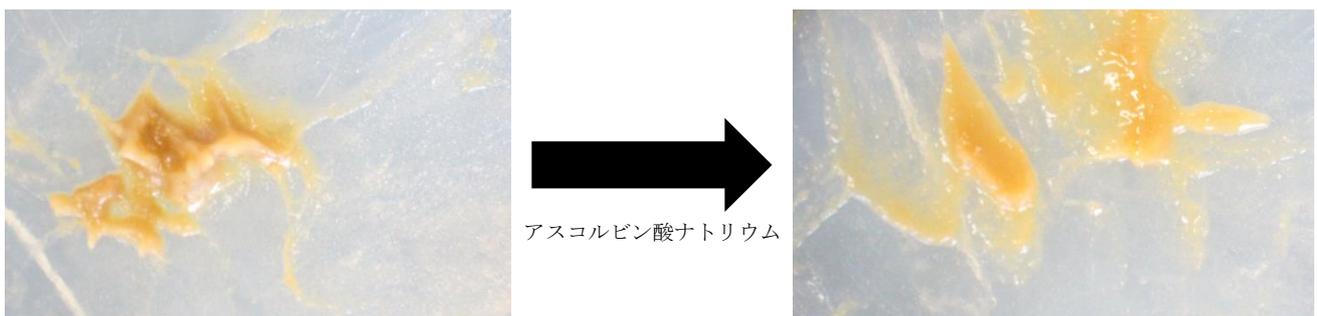
③変色の様子を観察する。

(a) 赤く変色させた粘菌に、アスコルビン酸ナトリウムをかけたもの(n=2)

(b) すりつぶしていない無処理の粘菌に、アスコルビン酸ナトリウムをかけたもの(コントロール) (n=5)

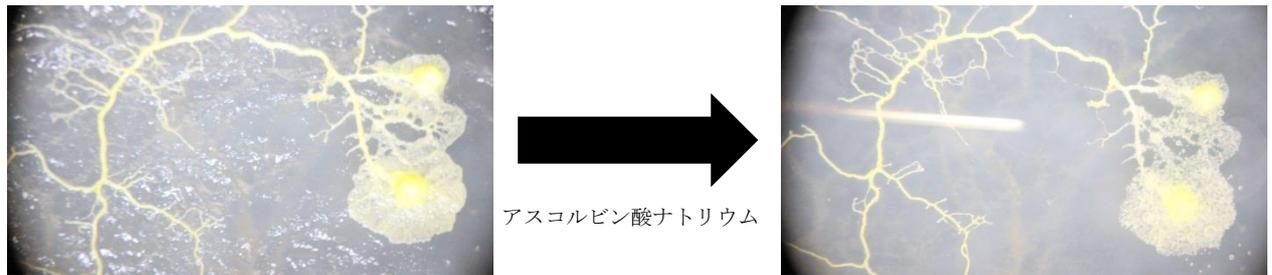
結果 (a)赤く変色後、アスコルビン酸ナトリウムをかけたもの (図 14)

アスコルビン酸ナトリウムをかけても、黄色への変色は見られなかった (図 14)。ただし、今回の実験ではすりつぶしたときに、あまり赤く変色しなかった。



(図 14)

(b)無処理の黄色い粘菌に、アスコルビン酸ナトリウムをかけたもの (図 15)
変化はなかった。



(図 15)

考察 シュウ酸のときと比べて、すりつぶして変色させたときの色も赤色といえるようなものではなかった。実験前の変色が赤色になっているといえないため、酸化還元による変化の違いはわからなかった。

4. 結論

粘菌はさまざまな条件下で、黄色から赤色に変色する。その条件としては、紫外線を照射する、乾燥させる、高温下におく、管を切断する、すりつぶすというものである。赤色物質が粘菌の原形質流動をとめるための物質であるというのは否定された。また、粘菌が赤く変色する理由として、酸化された可能性が考えられる。

5. 参考文献

- 1) 萩原博光, 山本幸憲. 日本変形菌類図鑑. 平凡社. 1995.
- 2) 中垣俊之. 粘菌—その驚くべき知性. PHP 研究所. 2010.

6. 謝辞

今回の実験に使用した、モジホコリを譲渡してくださった国立科学博物館の方々、また研究のアドバイスを下さった越前町立福井総合植物園園長の松本淳先生、国立科学博物館植物研究部の保坂先生、細矢先生には深くお礼申し上げます。

また、この研究に当たり、熱心にご指導いただいた担当の林先生、実験方法などのアドバイスを下さった空先生をはじめとする高松第一高校の先生方、本当にお世話になりました。1年半もの間、温かく見守ってくださり、ありがとうございました。