

放送大学面接授業6 進化編1

共生と進化

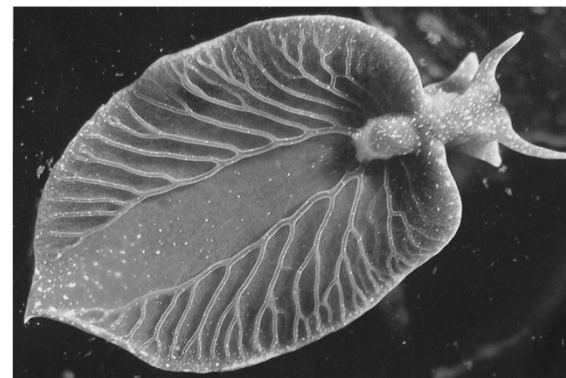
進化の秘密は共生だった！
そして、ウイルスがそれを



1

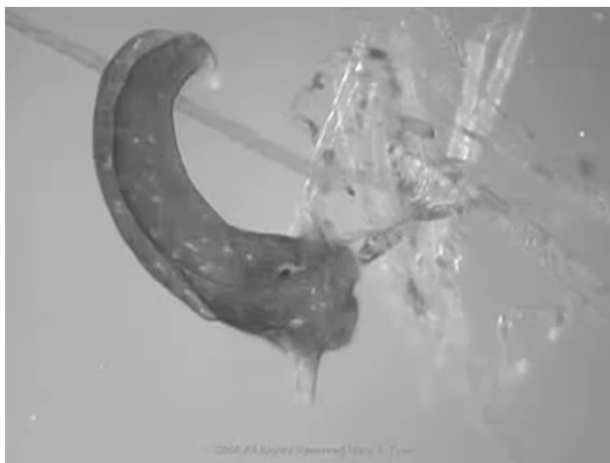
第一話：葉緑体を持つウミウシ

Elysia chlorotica



2

藻類を食べ、葉緑体を貯めるウミウシ



葉緑体を蓄えたウミウシ



ウミウシが葉緑体を共生させる？ どうやって、コントロールしている？

4

ウミウシへ光合成遺伝子が移動？

満腹になったこのウミウシ *Elysia chlorotical* は、口を失い、光合成だけで生きていく。

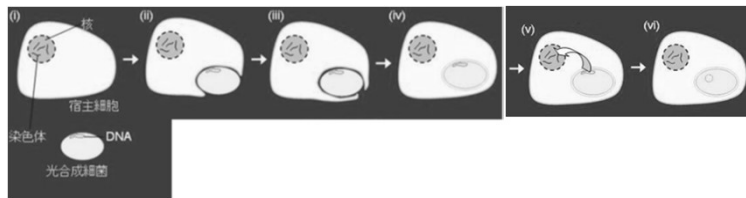
ウミウシの細胞の核ゲノムに、食べた葉緑体由来の光合成関連遺伝子が存在

ウミウシの核と藻類の核の間で、
遺伝子の水平伝播が起きている

5

植物の葉緑体も、もとは共生

植物のご先祖様の細胞(宿主細胞)は、まだ光合成の能力がなかった頃、光合成ができる細菌(光合成細菌、シアノバクテリア)を取り込み、共生させた。



共生した光合成細菌から多くのDNAが宿主細胞の核に移動し、単独では生活できない葉緑体になった。

ウミウシの細胞内のウイルスの仕業

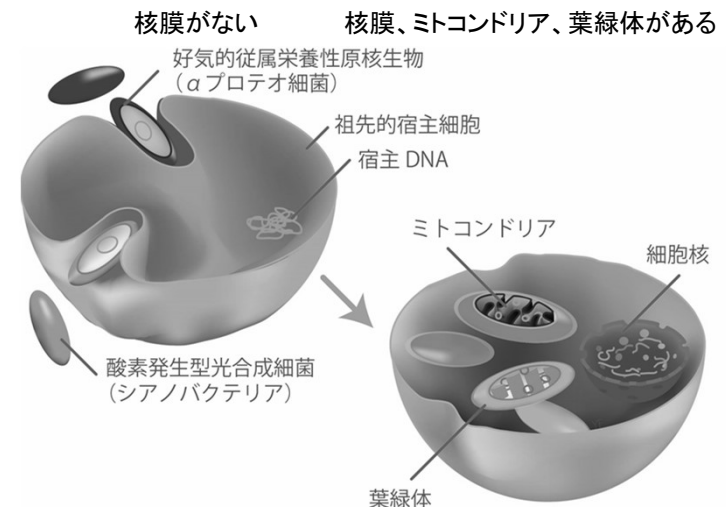
藻類からウミウシ *Elysia chlorotical* に葉緑体の遺伝子を運んだのはウイルス

翌年の春、ウミウシは産卵すると、ウイルスの大量増殖により死ぬ

さまざまな生物に感染するウイルスは、このような形で潜伏していたりし、その生物の進化の原因になる場合もある = 破壊する創造者

6

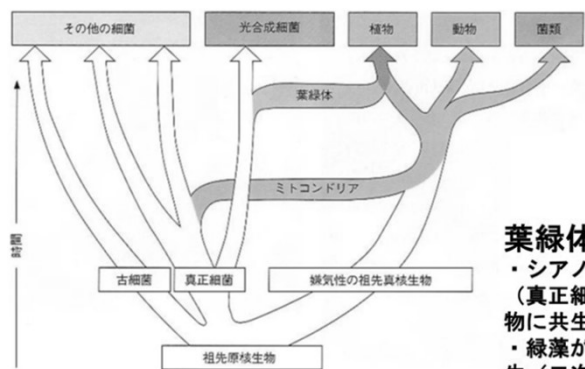
原核細胞から真核細胞へ



8

ミトコンドリアと葉緑体の細胞内共生説

ミトコンドリア α -プロテオバクテリア (真正細菌) が古細菌またはミトコンドリアを欠く真核生物に共生



葉緑体
 ・シアノバクテリア (真正細菌) が真核生物に共生 (一次共生)
 ・緑藻が真核生物に共生 (二次共生)

9

第二話:ミトコンドリアにも核がある 共生説を裏付ける発見

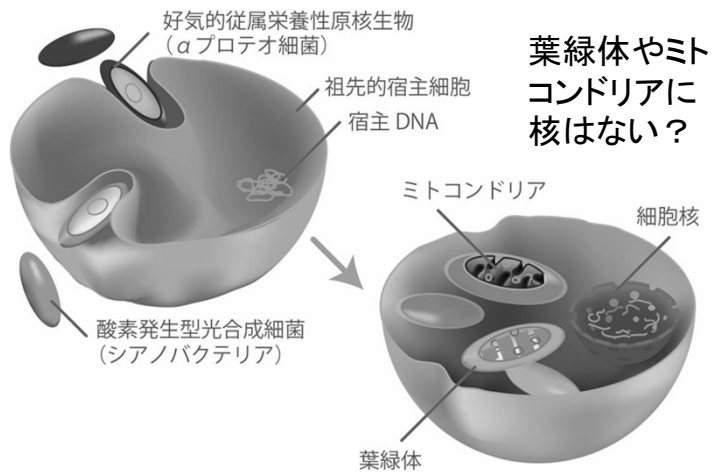
ミトコンドリアや葉緑体のDNAは、裸でいるものと考えられていたが、細胞のように核がある



東京大学名誉教授 黒岩常祥の発見

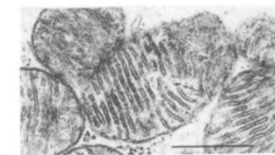
10

DNAが裸でいるイラストは今でも

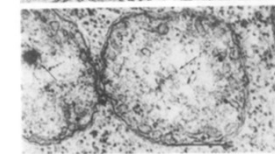


変形菌のミトコンドリアの核は大きい

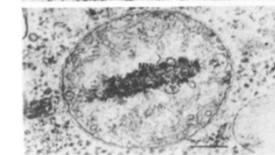
A: マウスの心臓の細胞



B: 高等植物の卵細胞



C: 変形菌の変形体のミトコンドリアの核



バーは0.5 μ m。

12

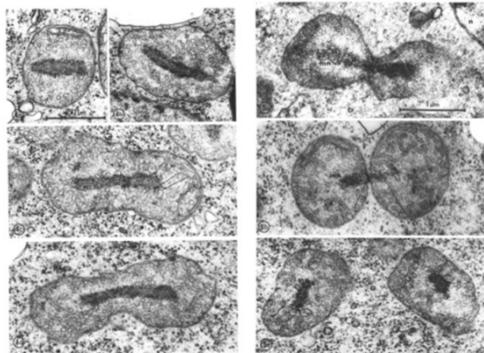
変形菌のミトコンドリアで核分裂が

変形菌のミトコンドリアに核が → やはり共生細胞

変形菌のミトコンドリアに核分裂が

葉緑体でも核が確認

共生説を確認



13

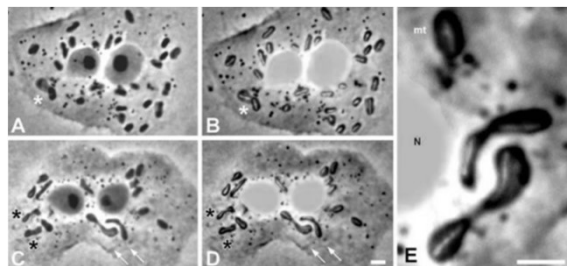
ミトコンドリアも生殖する

変形体の中のミトコンドリアは、単純に分裂だけでなく、有性生殖も行ってる。

そして、変形体の中にあるミトコンドリアにも性が？

14

変形菌のミトコンドリアの融合



A・B: 白い* は並んだミトコンドリア

C・D: 黒い* は2つに分裂するミトコンドリア

D: 矢印は多核のミトコンドリア (Eはその拡大)

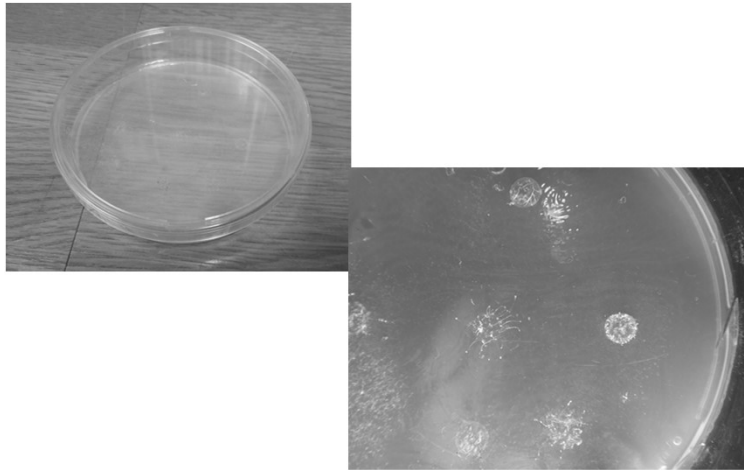
第三話: 細胞性粘菌の原始的な農業

日頃の研究で、エサである大腸菌のコロニーに奇妙な現象が...

細胞性粘菌が、エサである細菌を育てている = 農業？

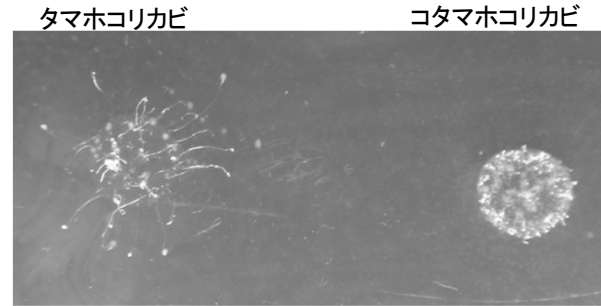
16

細胞性粘菌の培養シャーレ



17

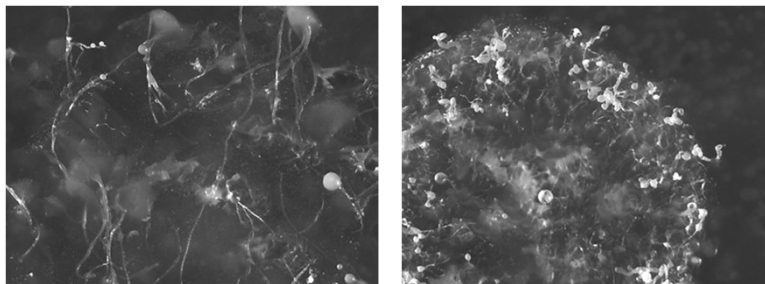
2つのコロニー(約10倍)



無色の孢子とクリーム色の大腸菌を植え継いだだけなのに、黄色いコロニーが生じた

18

コロニーを顕微鏡(100倍)で見ると



タマホコリカビ

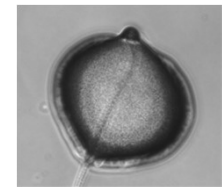
コタマホコリカビ

植え継いだのは孢子のうだけ → 黄色いコロニーの生物は、もともと孢子のうに入っていたのか？

粘菌が農業を？

孢子のうの中は、孢子と粘液

そこにエサとなる細菌を含ませておく



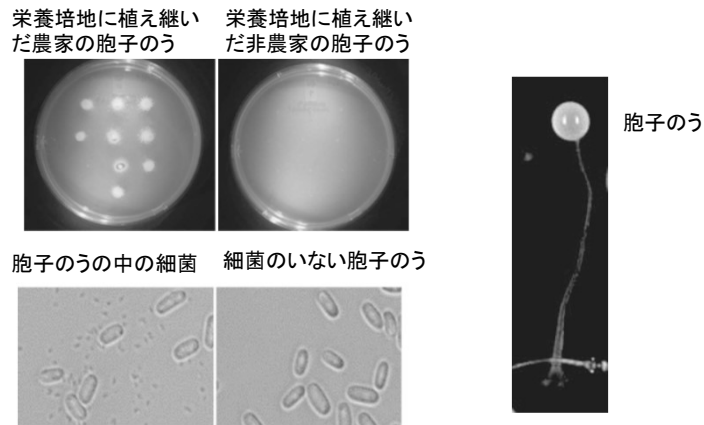
孢子のうが、土壤に移動すると

そこに、エサになる細菌がない場合

→ 持ってきた細菌が増殖し、エサとなる

20

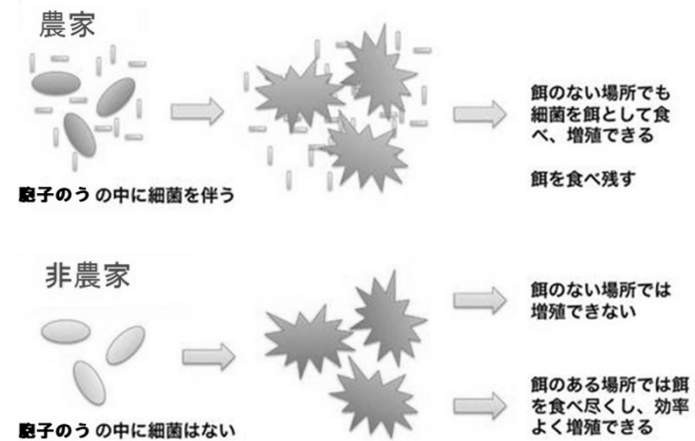
農業をする細胞性粘菌



Brock, D. A., Douglas, T. E., Queller, D. C., & Strassmann, J. E. (2011). Primitive agriculture in a social amoeba. *Nature*, 469(7330), 393-396.

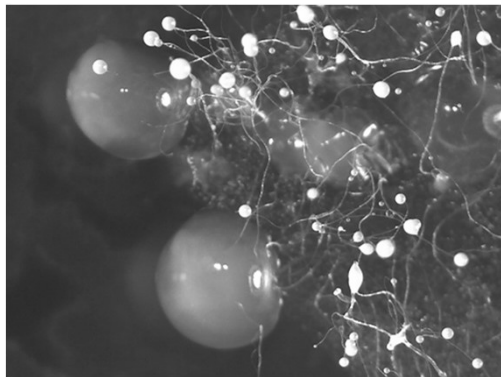
21

どちらが得か？

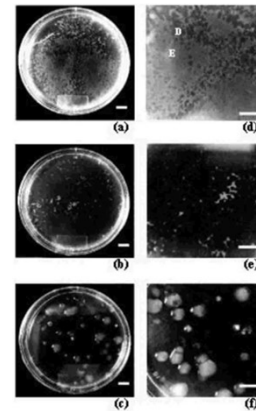


22

粘液のあるコロニーが



第四話: 大腸菌が粘液を出して共存する



大腸菌と粘菌を最小栄養の寒天培地で混合培養

a.1日後; b.5日後; c.約2週間の培養

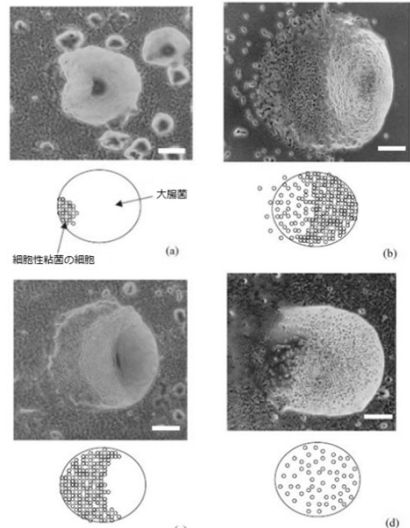
d~f. 位相差顕微鏡下 (×100)

d.1日後; e.5日後; e.約2週間の培養

共生

Todoriki, M., Oki, S., Matsuyama, S. I., Ko-Mitamura, E. P., Urabe, I., & Yomo, T. (2002). An observation of the initial stage towards a symbiotic relationship. *Biosystems*, 65(2), 105-112.

24

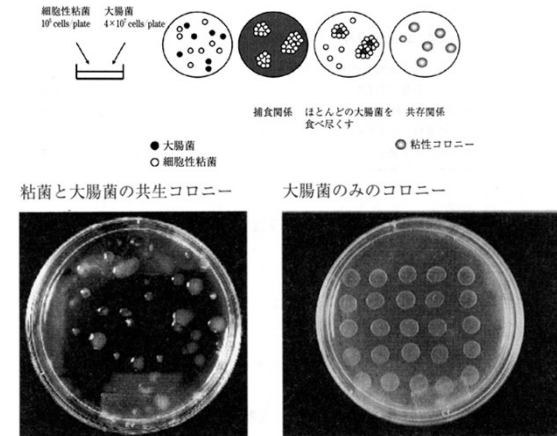


粘菌アメーバは、
最初は大腸菌
を食べるが...

等々力 政彦(2007) 実験的共生：大腸菌と細胞性粘菌を用いた実験系. 大阪大学理学博士論文. <http://hdl.handle.net/11094/2761>

25

共生実験



26

共生実験

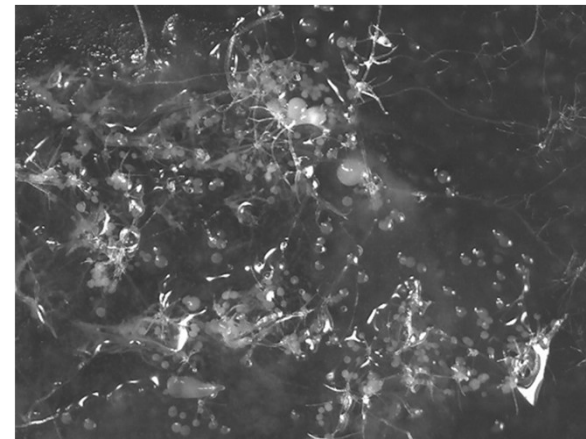
粘菌と大腸菌を最少培地上に植えると始めに分裂速度の
速い大腸菌が培地上を占める

続いて粘菌細胞が大腸菌を捕食しつつ分裂

大腸菌がほぼ食べ尽くされた培地上から半透明の粘性の
ある大腸菌コロニーが出現

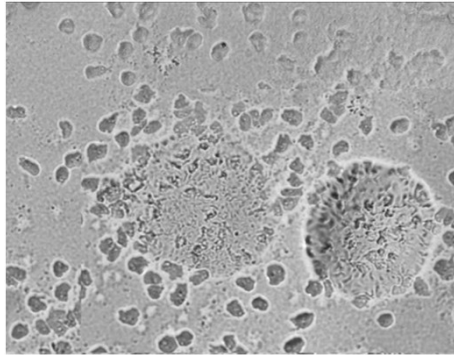
粘性大腸菌コロニーはそのサイズを増長させつつ、捕食者
粘菌と安定して共存する。

粘りをもつコロニー



納豆菌で細胞性粘菌を培養すると

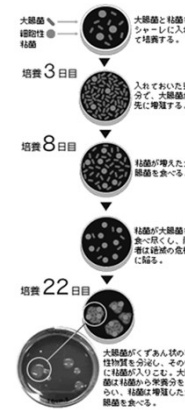
粘菌アメーバは納豆菌を食べようと襲いかかってくるが、粘液の中にかくれた納豆菌は、なかなか食べられない



大腸菌は、ふつうはそのような粘液をつくれないと考えられてきたが...

29

共生するための適応



コロニー内の成分

: 単独で培養した時には見られない多糖類を大量に含む
粘液

: 粘菌はその大きさを半分程度まで縮める

: 大腸菌は繊維状につながって数倍の大きさになる

生命誌ジャーナル 2007年 夏号(大阪大学院情報科学研究科 四方哲也)
http://www.brh.co.jp/seimeishi/journal/053/research_21_2.html

30

放送大学面接授業6 進化編2

無駄が多いからこそ続く生きもの

生物は、ある環境変化に効率的に適応し、より個体数を増やして勝ち残ってきた

しかし、あまり効率化をすると、無駄な動きが減って、ゆらぎが小さくなる

ゆらぎが減って柔軟性を失うと、環境変化に柔軟に対応しにくくなる

協力の進化

生物はなぜ助け合うのか？



現代の進化論

突然変異によって、さまざまな形質が生じる



その形質が自然環境に適している → 生存

適していない → 死

= 自然選択説

さらに、遺伝子の立場で考えると

進化とは、自分(遺伝子)をより多く残そうとする競争 → 利己的な遺伝子

33

利己遺伝子が利他行動や協力を?

利他行動の例

目の前に、流れの速い川があります。
今、小さな子供がおぼれかけています。
助けに行けば、自分もおぼれるかも?

子供を助け、自分は溺れ死に
ました。この結果、自分の遺伝子
は子孫に残せません。この行動
は利己的遺伝子の面から説明で
きる?



リチャード・ドーキンスの過激な仮説

遺伝子は生物体を操って、自分を増やそうと働く

→ 生物個体は、遺伝子を増殖させる機械



遺伝子は肉体(生存機械)
を乗り捨てていきながら、自
らのコピーを次々と広めて
いく

では、こんな行動は?

34

1.血縁淘汰理論

近くにいる同じ種の個体どうしは、血縁者で同じ
遺伝子を持っている可能性が高い



すでに子孫を残した自分は死んでも、助けた
子供が同じ遺伝子を増やしてくれる

→ 仲間を助ける遺伝子が増える

→ この遺伝子を持つ人が増える

36

細胞性粘菌にとっての利他行動

胞子になる細胞は、子孫を残せますが、柄になる細胞は胞子を空中に持ち上げて、子孫を残せずに死んでしまいます

これは、血縁淘汰理論で説明できる

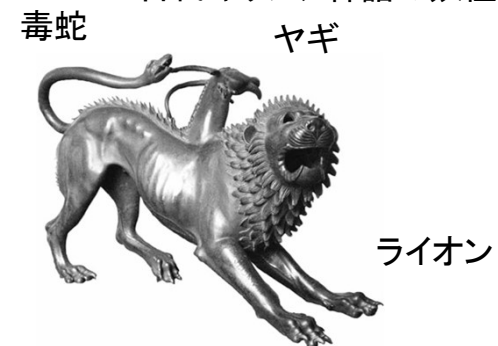
では、この場合は？



37

細胞性粘菌にはキメラが

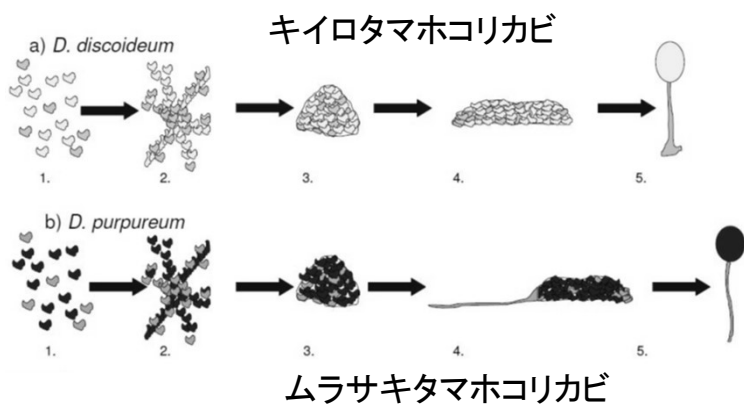
古代ギリシア神話の妖怪キメラ



異種の細胞が混ざって一個体を作ることをキメラという

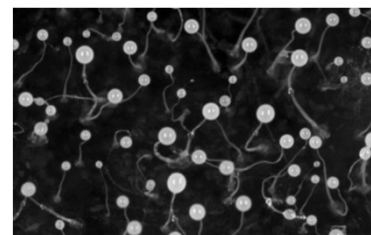
38

2種類の細胞性粘菌



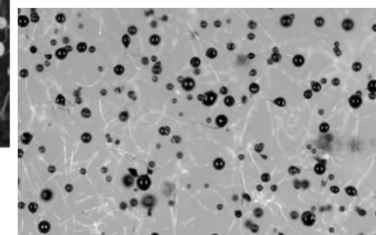
2. 直接互惠性理論

異なる種の間でも、お互いに利他行動をしあうような互惠のしくみ

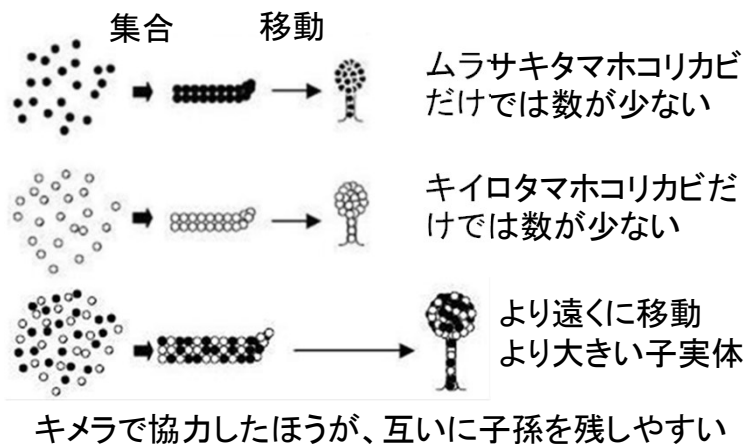


キイロタマホコリカビ

ムラサキタマホコリカビ

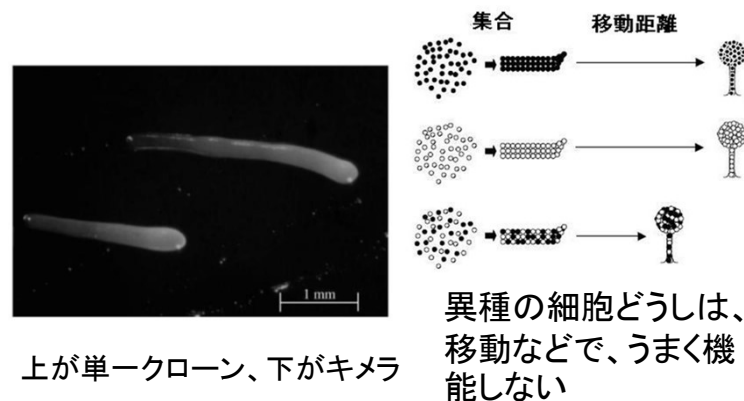


異種の粘菌が協力する！



41

ただし、同じ細胞数では、キメラは不利



42

アメーバ数が、キメラ形成＝協力を決める

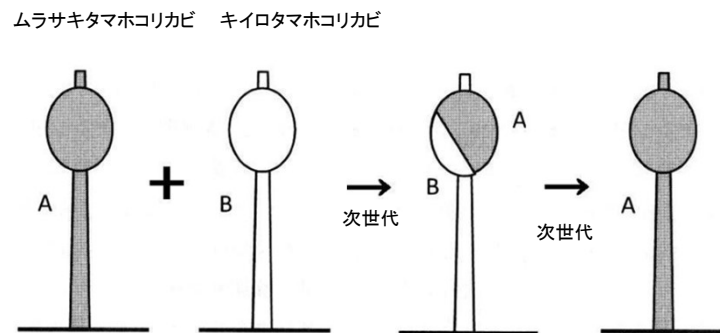
少ないのでキメラで協力 多いので血縁を識別



この協力に対して裏切り行動をする株が

ただ乗りする株フリーライダーがいる

柄細胞になりたがらず、胞子だけになりたがる株



44

フリーライダーとは

経済学においては、ことに公共財のように非排除性があるサービスについて

対価(供給のための費用)を支払わないで便益を享受する者を指す用語

例えば、電車のただ乗り、税金未納者

その遺伝子が増えると社会が成立しない どうすれば？ 罰が必要

45

直接互惠性理論では

もちつもたれつ

協力が進化するには、罰が必要

協力の進化モデルである「囚人のジレンマ」

2人の犯罪者が、別室で取り調べを受けている

- ・協力して黙秘すれば、証拠不十分で禁固2年
- ・裏切って自白すれば、黙秘していた相手は15年で自分は1年
- ・2人とも裏切って自白すれば、それぞれが10年

生物進化のゲーム理論

ここでいうゲームとは？



自分の戦略に依存しているだけでなく、相手の戦略にも依存してる場合、その状況

経済学から社会学、経営学、そして進化論へと、幅広い分野に影響を及ぼした

46

ゲーム理論の代表～囚人のジレンマ

		囚人B	
		黙秘 (協調)	自白 (裏切り)
囚人A	黙秘 (協調)	2年 / 2年 	15年 / 1年 
	自白 (裏切り)	1年 / 15年 	10年 / 10年 

48

ゲームの正解は？

2人が同じタイミングで「協力(黙秘)」か「裏切り(自白)」のどちらかを選ぶゲーム



1回だけなら、裏切りが有利
では、何回も繰り返したとき高得点になる戦略は？

1回目は協力し、2回目以降は、相手の前の回でとった行動をまねる = しっぺ返し戦略

49

裏切りには罰を

裏切り = フリーライダーは、魅力的だが、互いが協力して得られる良い結果とは両立しない

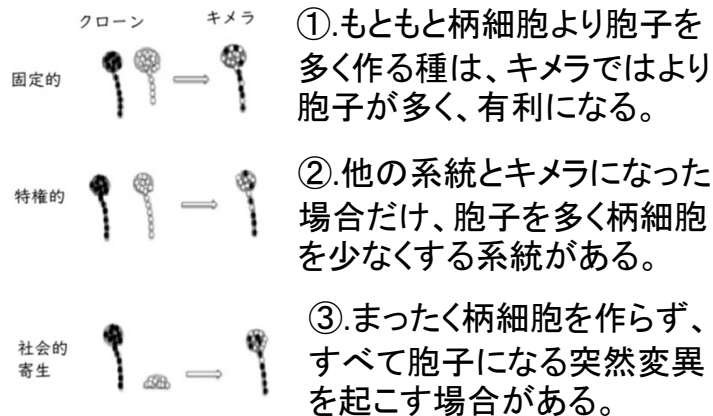
個々が自らの利益を最大化しようとする、協力が達成できない。



細胞性粘菌にもフリーライダーを排除する仕組みが

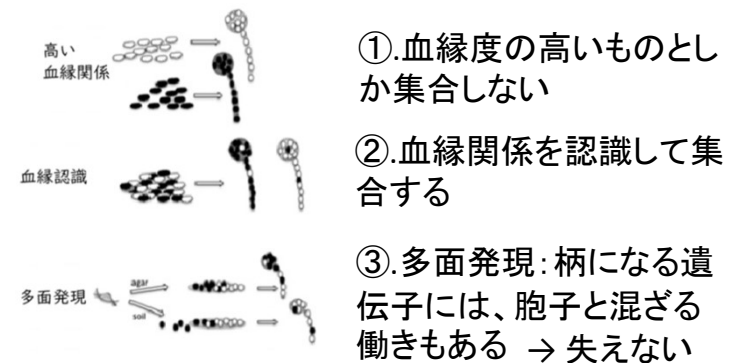
50

細胞性粘菌の裏切りの種類



裏切りの制御

利他的な行動をとる集団で、裏切りをやり放題にされていたら、いざれ助け合い遺伝子がなくなり、集団が崩壊してしまう。



52

緑ひげ効果

相手が識別できる目立った特徴(緑色のヒゲ)をして敵対的な裏切り者を区別し、助け合い遺伝子とただ乗り遺伝子を見分ける。

このアイデアはハミルトンが1964年の論文で提案して、1976年にリチャード・ドーキンスが彼の古典『利己的な遺伝子』で「緑ひげ効果」と名付けた。

デイビッド・ケラーらは
2003年に細胞性粘菌で
単一の対立遺伝子による
緑ひげ効果を発見



53

社会脳仮説



間接互惠性の実験

職場の珈琲コーナーに、飲んだ人は代金を入れる「正直箱」がある。中には、入れない人もいる。

実験: 箱の近くに、人の目の写真と花の写真を置いて、入る金額を比較する

結果: 明らかに目のある時の方が、お金が多い

考察: 人は裏切り者の検知や、
検知されることに敏感



粘菌の生き方が教えてくれること 第六回 進化



3.間接互惠性理論

情けは人の為ならず

「見知らぬ他人を助けるという道徳性」はなぜ

協力行動 → 第三者による観察 → 良い評判
→ 協力のお返し → 協力の進化

協力関係は、三者以上、もしくはコミュニィや
社会全体でも成立しうる

54

ゴミ捨て場の不法投棄対策に



56

14