

放送大学面接授業6② 協力の進化 編

## 協力の進化

私たちは  
なぜ助け合うのか？




## ダーウィンの進化論

さまざまな形質の子が生まれる

↓

形質が自然環境に適している → 増える  
適していない → 減る → 滅亡

= **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**

## ドーキンスの過激な仮説

**遺伝子**は生物体を操って 自らを増やそうと働く  
→ 生物個体は 遺伝子を増殖させるための機械

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

利己的遺伝子がその生物を支配  
ではこんな行動は？



## 利己的遺伝子をもつ生物が なぜ**利他行動**や**協力**をするのか？

**利他行動**の例  
目の前に 急流の川があり  
子供がおぼれかけている  
助けに行けば 自分もおぼれるかも？

子供を助け おぼれて死んだら  
自分の遺伝子は残せない

こんな**利他行動**は **利己的遺伝子**の考えで説明できるのか？



### 1. 血縁淘汰理論

近くにいる同じ種の個体は **血縁者**が多い  
 = **同じ遺伝子**を持っている可能性が高い

↓

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

→ むしろ 同じ遺伝子が増える

→ この**利他行動**の遺伝子を持つ人が増える

### 細胞性粘菌の利他行動

**胞子になる細胞**は  
**子孫を残せますが**

**柄になる細胞**は  
 胞子を高く持ち上げて  
**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？

### 2種類の細胞性粘菌を使った実験

キイロタマホコリカビ

ムラサキタマホコリカビ

Jack, C. N., Ridgeway, J. G., Mehdiabadi, N. J., Jones, E. I., Edwards, T. A., Queller, D. C., & Strassmann, J. E. (2008). Segregate or cooperate—a study of the interaction between two species of Dictyostelium. *BMC evolutionary biology*, 8(1), 293.

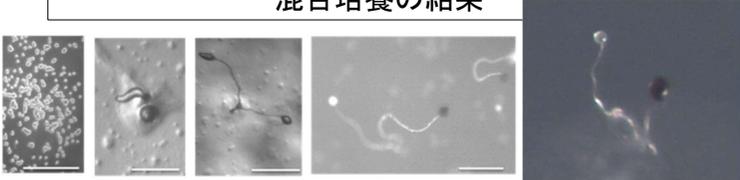
### 2. 直接互惠性理論

**異なる種**の間でも お互いに利他行動を  
 しよ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

### 色の違う別種の混合培養

セイタカタマホコリカビとムラサキタマホコリカビの混合培養の結果

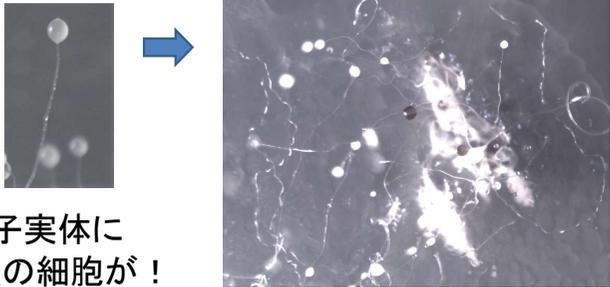


この2種は 集合物質が同じcAMPなので  
同じ場所に集合する場合もあるが  
別の種なので 別々の子実体に枝分かれする

Sathe, S., Khetan, N., & Nanjundiah, V. (2014). Interspecies and intraspecies interactions in social amoebae. *Journal of evolutionary biology*, 27(2), 349-362.

### 混合培養で生じた子実体から

混合培養で生じた白い子実体の胞子のう1つを培養するとまれに  
白い子実体の集団の中に 紫の子実体が混じる

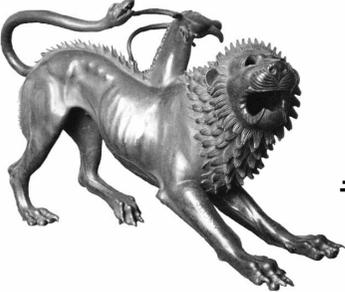


1つの子実体に  
2種の細胞が！

### 細胞性粘菌のキメラが生じた！

古代ギリシア神話の妖怪キメラ

毒蛇 ヤギ ライオン



異種の細胞が混ざって生じた個体をキメラという

### 異種の粘菌細胞が協力する！

集合 移動

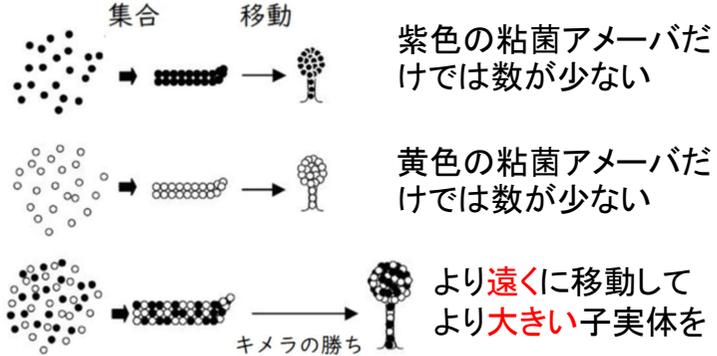
紫色の粘菌アメーバだけでは数が少ない

黄色の粘菌アメーバだけでは数が少ない

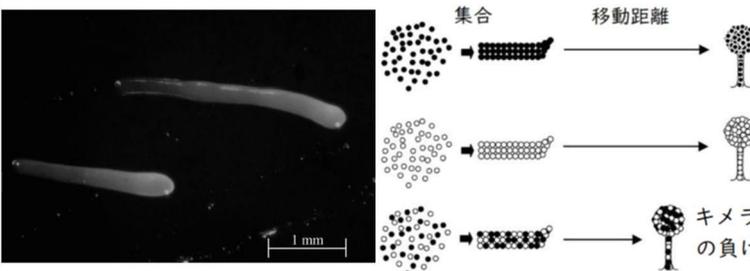
より遠くに移動してより大きい子実体を

キメラの勝ち

キメラで協力したほうが 互いに子孫を残しやすい



ただし 同じ細胞数では キメラは**不利**



集合 移動距離

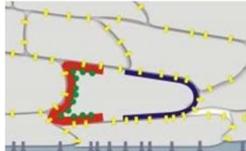
キメラの負け

上が単一クローン 下がキメラ

異種の細胞集団では  
移動などでうまく機能しない

細胞と細胞をつなぐのは

移動体内部の細胞は  
タンパク質で結合している  
= 黄色い部分



細胞同士をつなげる**結合タンパク質**は  
同種であれば 同じ形なので 結合が強い



種が違えば **結合タンパク質**の形も変化

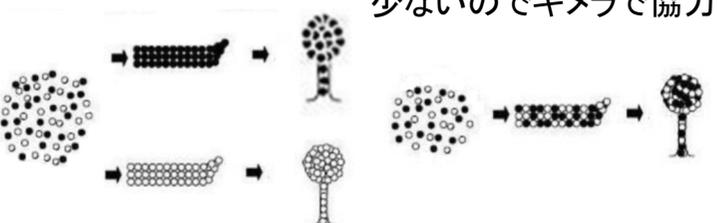


キメラは 細胞どうしのつながりが弱い

アメーバ数が キメラ形成 = 協力を決める

多いので血縁を識別

少ないのでキメラで協力



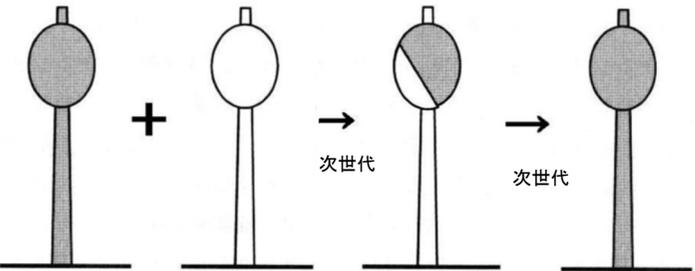
この協力に対して**裏切り行動**をする株が

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 **孢子だけ**になりたがる株

→ 生き残り 多くの子孫を残せる！！

紫色の粘菌 白色の粘菌



次世代 次世代

## 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

## 進化ゲーム理論

**ゲーム理論**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理論

## 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

## ゲームの正解は?

2人が同じタイミングで「**協力**(黙秘)」と  
「**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 何回もくり返したとき  
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**

裏切りには**罰**を!

## 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  
裏切り = **フリーライダー**を**罰**する仕組みが

## 細胞性粘菌の裏切りの種類

固定的		① もともと柄細胞より胞子を多く作る種はキメラではより胞子が多く有利になる
特権的		② 他の系統とキメラになった場合だけ胞子を多く柄細胞を少なくする系統がある
社会的寄生		③ まったく柄細胞を作らずすべて胞子になる突然変異を起こす場合がある

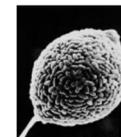
## 裏切りのコントロール

裏切りをやり放題にされていたら  
いずれ**助け合い遺伝子**がなくなり**集団が崩壊**

高い血縁関係		① 血縁度の高いものとし か集合しない
血縁認識		② 血縁関係を認識し選別 して集合する
多面発現		③ 多面発現: <b>柄になる遺 伝子</b> には 胞子と混ざる 働きもある → <b>失えない</b>

## 細胞性粘菌の村八分

移動体の細胞は **結合して**柄の細胞になり  
**結合しない**と上に引き上げられ胞子になる



裏切り(ただ乗り) = 柄の細胞にならず 胞子だけに  
= 突然変異で**結合タンパク質**をなくすと柄にならず  
胞子になる **そこで**

**結合タンパク質**がない細胞は 集合しても他の細胞は  
結合してあげない

→ 引っぱり上げてもらえないと胞子にもなれない **罰**



### 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 第三者以上 もしくはコミュニーや  
社会全体でも成立しうる

### 社会脳仮説の実験

**間接互惠性**の実験  
職場の珈琲コーナーに 飲んだ人は  
代金を入れる貯金箱がある  
中には 飲んでも入れない人もいる



**実験**:箱の近くに ①人の目の写真と②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



### 人は裏切りにそして他人の目に敏感

ゴミ捨て場の  
不法投棄対策に



と云うよりルール違反対策



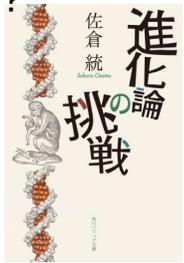
### 進化論の「人」への応用は慎重に！

利他性は 人で最も進化した  
言語によるコミュニケーションがとれる人間は  
間接互惠性がはたらき「裏切り」に敏感に反応

人の「**道徳性**」は 進化論で説明できる？

進化倫理学や進化心理学などの  
人間進化学は**慎重に**！

人種差別や性差別につながる？



佐倉 統 (2013)進化論の挑戦 (角川ソフィア文庫)