

生き物の社会、 ヒトの社会

サイエンスカフェ@夕凧亭

総合研究大学院大学 先導科学研究科

助教 大槻 久

自己紹介

- 大槻 久
– (おおつきひさし)
- 専門
– 理論生物学



どんな研究??

- 数式とコンピューターで...
 - 生き物の進化の謎に迫っています
- 今日は...
 - 面白い生物界の「社会」を紹介します
 - 式は出てきません(!)

「社会」って？

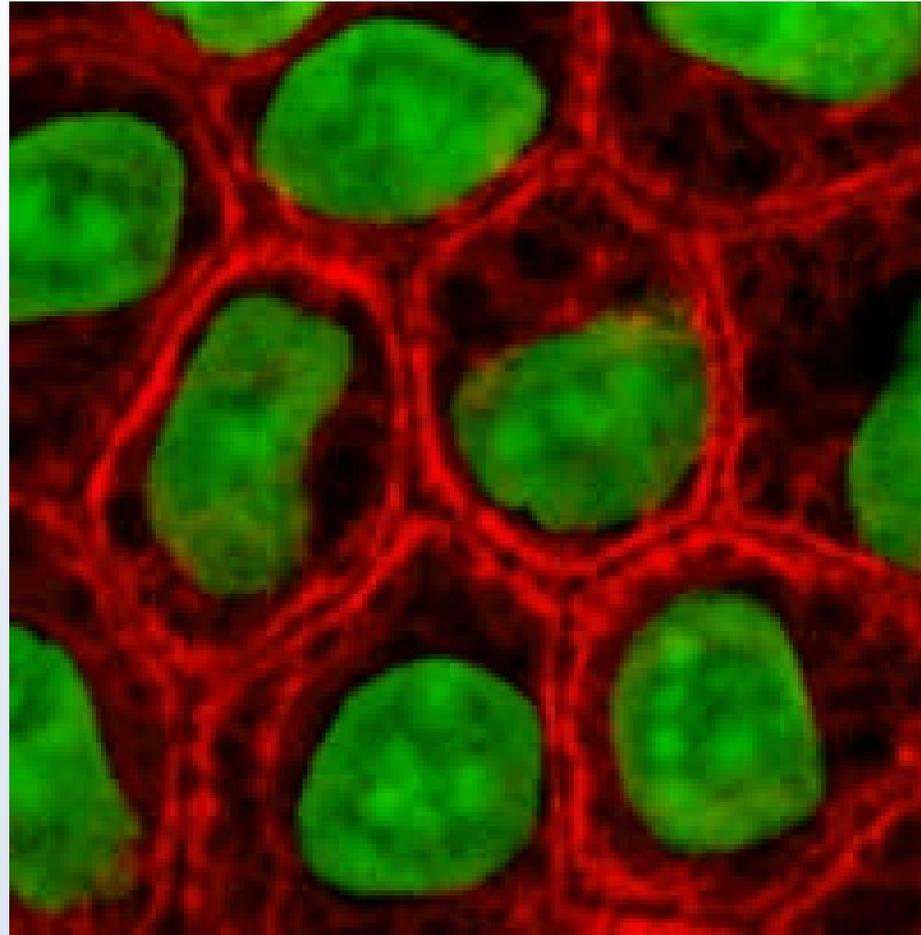
1. 『人間の共同生活の総称。また、広く、人間の集団としての営みや組織的な営みをいう。』
2. 『共同で生活する同種の動物の集まりを 1 になぞらえていう語。』

2匹いれば社会です



http://en.wikipedia.org/wiki/File:India_Animals.jpg

細胞が集まれば社会です



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Epithelial-cells.jpg>

イカダモ

- 淡水性の藻類

ミジンコ



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Scenedesmus_GLERL.jpg



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Daphnia_pulex.png

イカダモの協力

- 合体！



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Scenedesmus_bijunga_EPA.jpg

オオカミ



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Kolmården_Wolf.jpg

共同狩獵



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wolves_and_elk.jpg

コウテイペンギン



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Aptenodytes_forsteri_-Snow_Hill_Island,_Antarctica_-adults_and_juvenile-8.jpg

寒さをしのぐ



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:EmperorPenguinColonyClose.jpg>

昆虫の社会

- 社会性昆虫



ハチ

[http://en.wikipedia.org/wiki/
File:Bee-apis.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bee-apis.jpg)



アリ

[http://en.wikipedia.org/wiki/
File:Delamere_Forest_-_DSC09868.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Delamere_Forest_-_DSC09868.JPG)



シロアリ

[http://en.wikipedia.org/wiki/
File:Stolotermes_ruficeps_soldier.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stolotermes_ruficeps_soldier.jpg)

仲間はずれは？

- ハチ
 - アリ
- 膜翅目
(まくしもく)
- シロアリ
- 直翅目
(ちよくしもく)
-

巣を作る

- 「コロニー」



[http://en.wikipedia.org/wiki/
File:Apis_florea_nest_closeup2.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Apis_florea_nest_closeup2.jpg)



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Insects2.jpg>

コロニー内分業

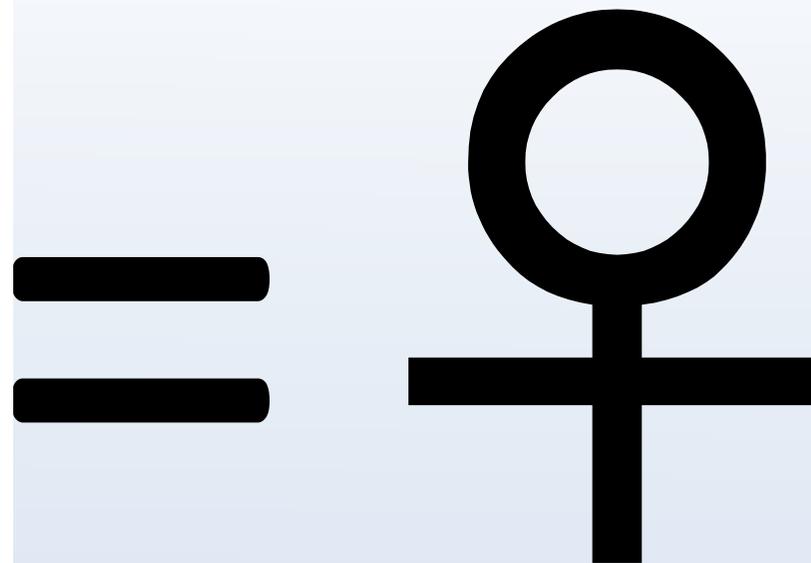
- カースト
 - 女王
 - 繁殖に専念
 - ワーカー
 - 労働に専念



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Adult_queen_bee.jpg

みんな女の子です

- ハチやアリのワーカーは全てメス



from <http://www.amazon.co.jp/>

女王の生活

- 女王

- とにかく卵を産む！

- 春は一日で数千個

- 扱いは別格！

- ハチ:ローヤルゼリー



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Weiselzellen_68a.jpg

ワーカーの生活

- 細かく分業
 - 子育て係
 - エサ取り係
 - 兵隊係
- 羽はなく、卵巣が発達不全
 - 交尾できず、子を産めない

オスは何してる？

- ハチやアリでは...
 - 交尾のためだけに存在
- 羽を持ち、繁殖時期に新女王を探して飛び回る
 - 交尾したらすぐに死亡

ハチやアリの社会

女王	メス	子を産み続ける
繁殖オス	オス	交尾しすぐ死亡
ワーカー	メス	繁殖せず労働

シロアリの社会

女王	メス	子を産み続ける
王	オス	交尾し続ける
ワーカー	両方	繁殖せず労働

ダーウインの悩み

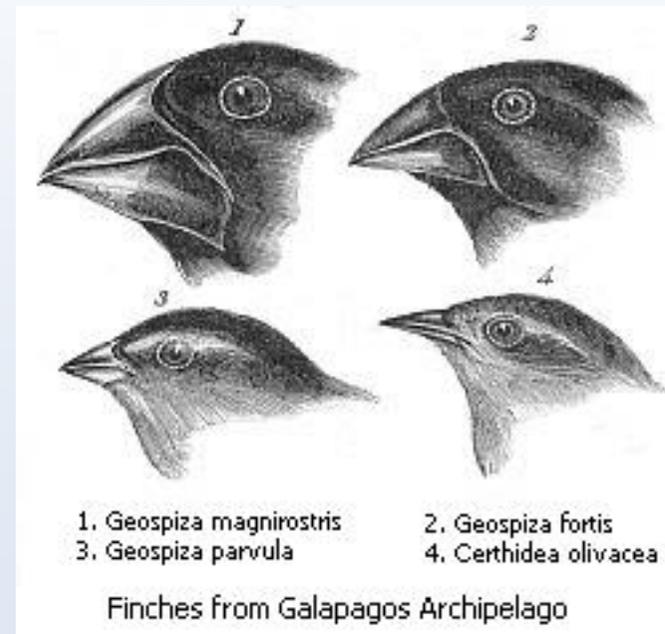
- ワーカー
–『なぜ子を残さないのに進化したのだろうか？』



[http://en.wikipedia.org/wiki/
File:Charles_Darwin_by_Maull_and_Polyblank,_1855-crop.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Charles_Darwin_by_Maull_and_Polyblank,_1855-crop.png)

進化とは？

- 子を多く残せるタイプが生き残る
- ダーウィンフィンチ
– 各島に適した嘴



[http://en.wikipedia.org/wiki/
File:Darwin%27s_finches.jpeg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Darwin%27s_finches.jpeg)

キリンの首はなぜ長い？

- 首の長いキリン



- 高所のエサに届く
- 子を多く残す

- 首の短いキリン



- 高所のエサに届かない
- 子をあまり残せない

ワーカーはなぜ進化？



• 女王

• ワーカー

• 子をたくさん産む

• 子を産めない

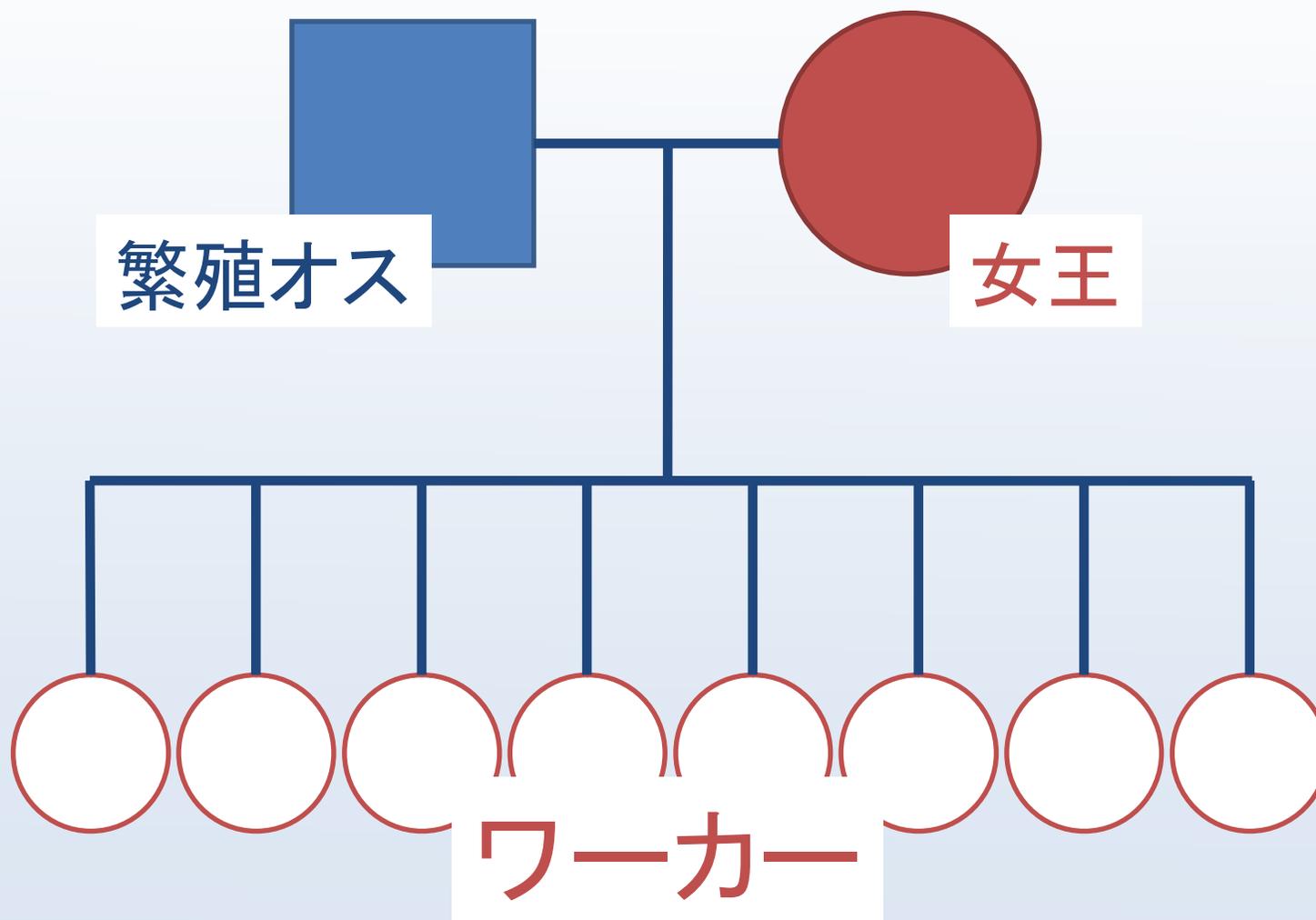
• 進化するはず！

• 進化しないはず！

血縁淘汰(けつえんとうた)

- ハミルトン(1964)
 - 『自分の子を残せなくとも、自分の遺伝子を残せれば、進化は起こるはず』
 - 『自分の遺伝子を共有する血縁者の繁殖を助ける行動は、進化できる』

ワーカーの母は？



ワーカーの進化

- ワーカーにとって
 - 女王の産む卵は兄弟、姉妹

女王	メス	子を産み続ける
繁殖オス	オス	交尾しすぐ死亡
ワーカー	メス	繁殖せず労働

血縁による協力 その1

- 鳥のヘルパー
 - 鳥類の約4%
 - 兄弟の繁殖を手伝う

オナガ



[http://en.wikipedia.org/wiki/
File:Azure-winged_magpie.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Azure-winged_magpie.jpg)

血縁による協力 その2

- ミーアキヤットのヘルパー
 - 父母の繁殖を手伝う
 - 子守り
 - 教育
 - サソリの捕り方



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Suricata.jpg>

血縁度

• 血縁の近さ

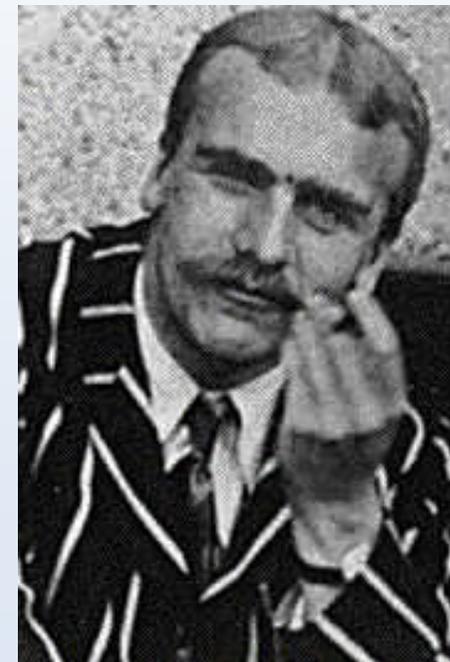
父母	0.5 (1/2)	子	0.5 (1/2)	兄弟姉妹	0.5 (1/2)
祖父母	0.25 (1/4)	孫	0.25 (1/4)	おじ・おば おい・めい	0.25 (1/4)
曾祖父母 (ひい-)	0.125 (1/8)	ひ孫	0.125 (1/8)	いとこ	0.125 (1/8)
高祖父母 (ひいひい-)	0.0625 (1/16)	玄孫 (やしやご)	0.0625 (1/16)	いとこおじ いとこおば いとこおい いとこめい	0.0625 (1/16)

血縁度と協力

- “2人の兄弟、もしくは8人のいとこを救うためなら、私は川に飛び込む”

—by ホールデン

兄弟姉妹	0.5 (1/2)
いとこ	0.125 (1/8)



http://en.wikipedia.org/wiki/File:J._B._S._Haldane.jpg

余談：日本の婚姻

- 民法734条

- 『直系血族又は三親等内の傍系血族の間では、婚姻をすることができない。』

父母	0.5 (1/2)	子	0.5 (1/2)	兄弟姉妹	0.5 (1/2)
祖父母	0.25 (1/4)	孫	0.25 (1/4)	おじ・おば おい・めい	0.25 (1/4)
曾祖父母 (ひい-)	0.125 (1/8)	ひ孫	0.125 (1/8)	いとこ	0.125 (1/8)
高祖父母 (ひいひい-)	0.0625 (1/16)	玄孫 (やしやご)	0.0625 (1/16)	いとこおじ いとこおば いとこおい いとこめい	0.0625 (1/16)

社会生物学の幕開け

- **ウィルソン**
 - 『社会生物学』
 - 1975年
- **生き物の社会行動
に焦点**



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:EOWilsonCntr.jpg>

そして論争へ

- 『生き物は血縁者を助ける』
 - 「みずしらずの人間は助けなくてよい、それが生物学的に自然だ」という曲解

社会生物学論争

- 『ハチ・アリには階級が存在する』
 - 「人間社会にも格差があるのは自然であり、直す必要はない」という曲解
 - 人種差別、性差別の助長との批判

問題点

- 『自然は○○である』
は
『人間は○○であるべきだ』
を意味しない

—書籍「社会生物学論争史」

- みすず書房

今では...

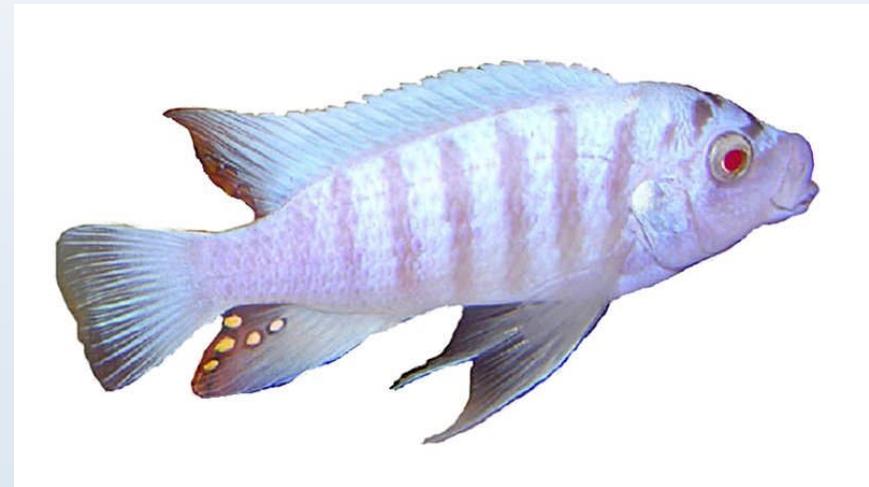
- 過去の誤解を解き、「社会生物学」は広く受け入れられています

—書籍「社会生物学の勝利」

- 新曜社

サカナの社会

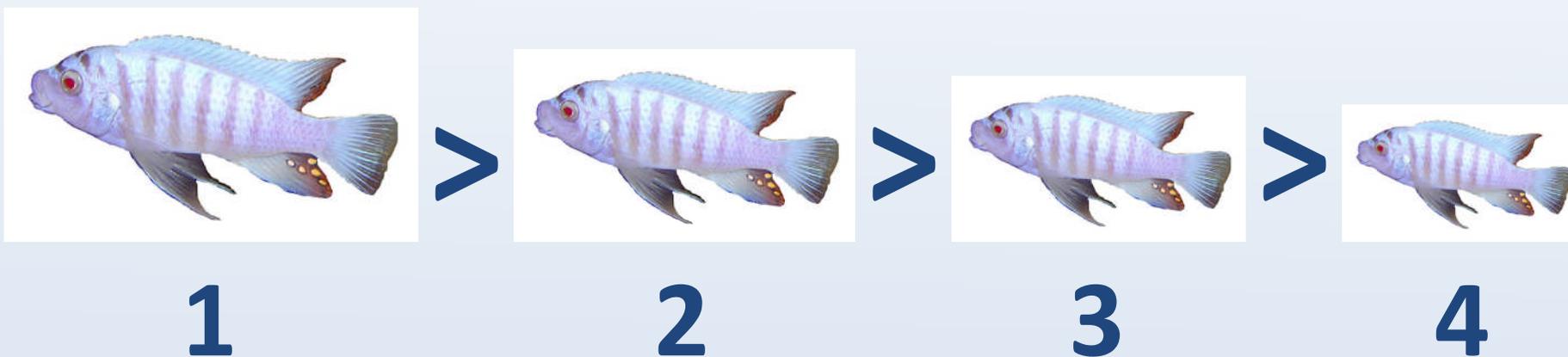
- アフリカカワスズメの社会
–メスの攻撃性



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Metriaclima_zebra.jpg

順位制

- 同じ水槽で飼うと、メス間に順位
-上位は下位をつねる／追い回す



同じ体長でも...

- やっぱり順位がつく



1

>



2

>



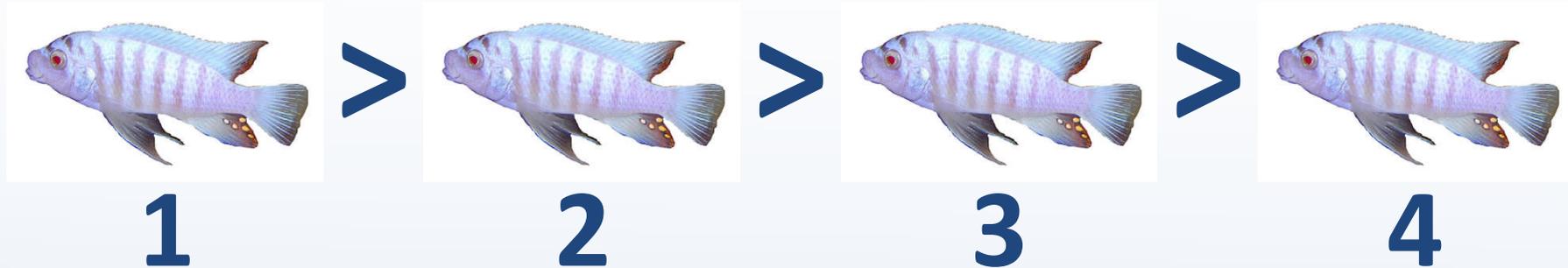
3

>



4

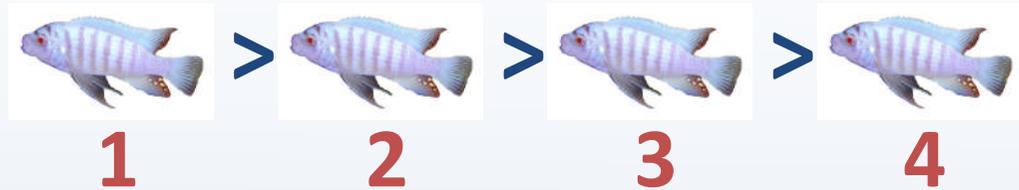
問題



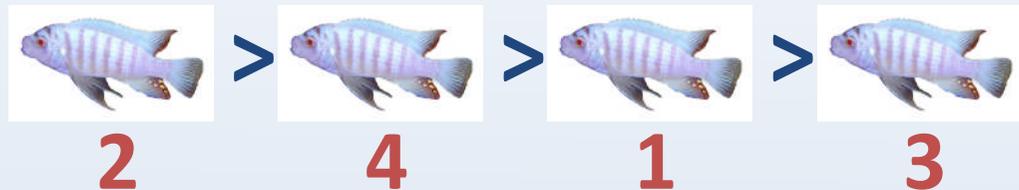
- 同体長個体を、順位がついた後で...
 - それぞれを二週間単独で飼い、
 - 再び全員を一つの水槽に戻したら、
どんな順位がつくのでしょうか？

どれが正解？

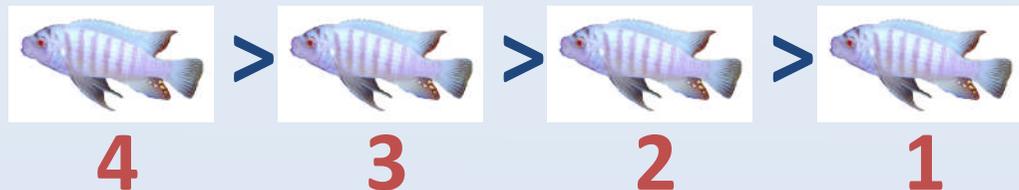
A. 以前と同じ



B. めちゃくちゃ

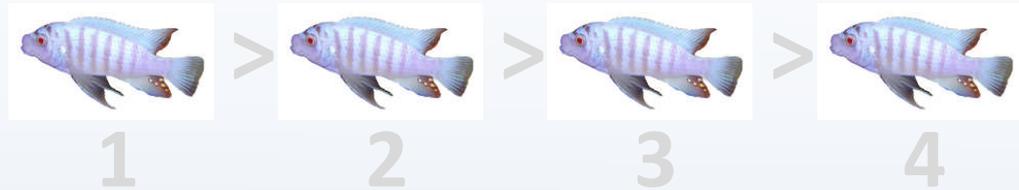


C. 以前と反対

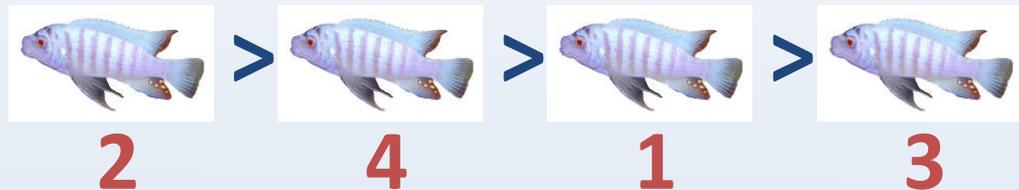


答え

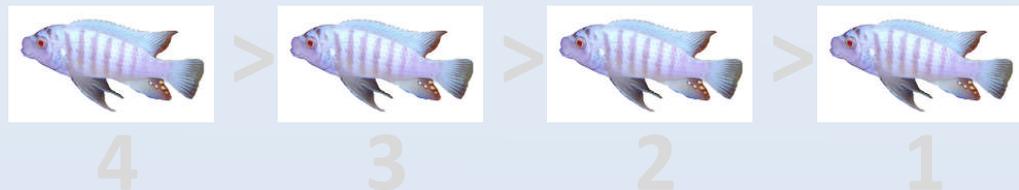
A. 以前と同じ



B. めちゃくちゃ



C. 以前と反対



アフリカカワスズメの社会

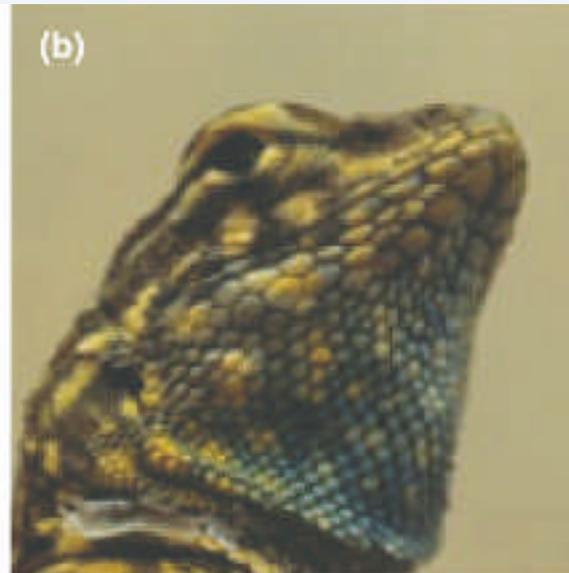
- **メスの順位制**
 - 二週間で忘れてしまいうらしい
- **たまたまその日に勝つと...**
 - しばらく上位にいられる

トカゲの社会

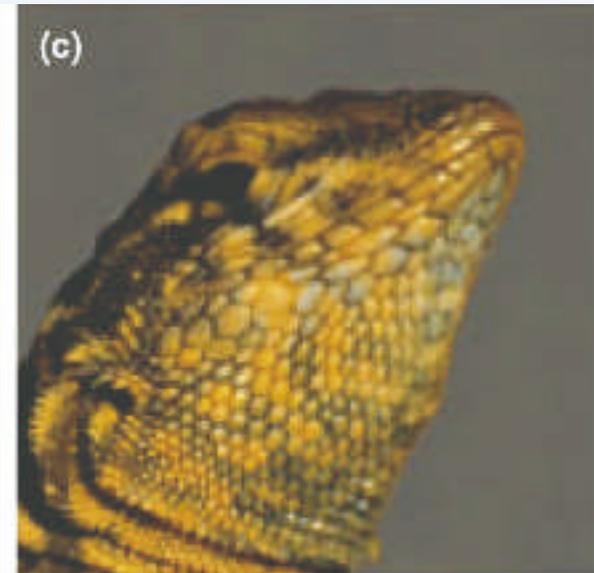
- ワキモンユタトカゲのオス
– 3種類の異なる色・性質



オレンジ



ブルー



イエロー

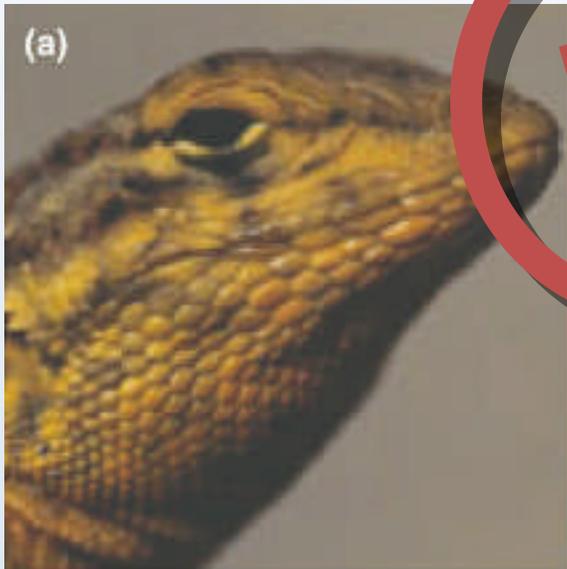
三者三様

- オレンジ
 - 大きななわばり
 - たくさんのメス
- ブルー
 - 小さななわばり
 - 少ないメスを他のオスからガード
- イエロー
 - なわばりなし
 - 遊び人

オレンジ vs. ブルー

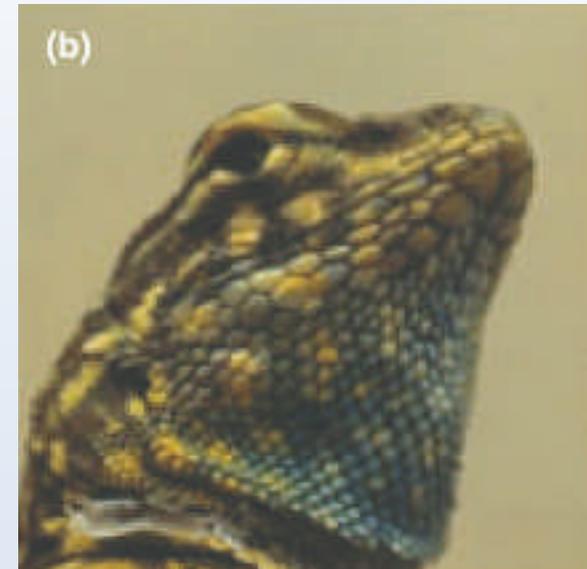
- メスの多いオレンジの勝ち！

オレンジ



なわばり大
メスたくさん

ブルー



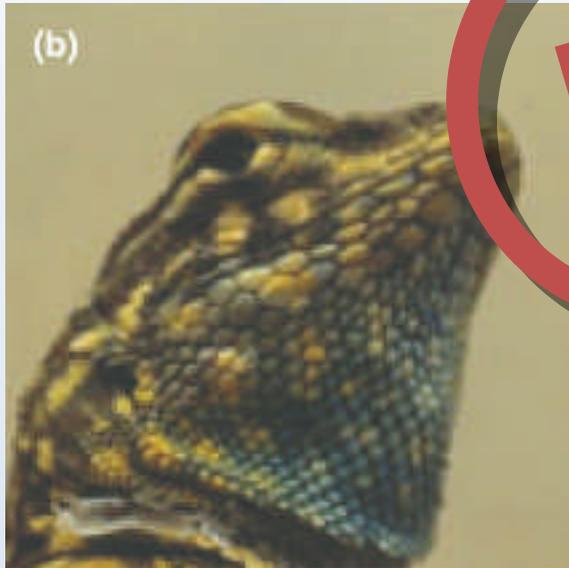
なわばり小
メスをガード

勝

ブルー vs. イエロー

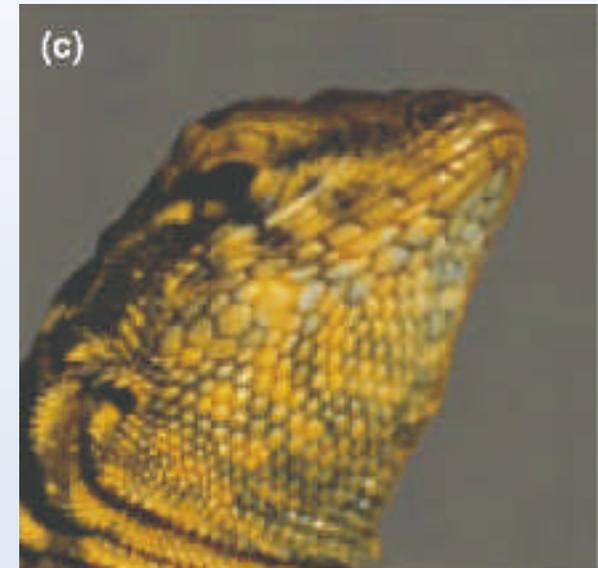
- メスをガードするブルーの勝ち！

ブルー



なわばり小
メスをガード

イエロー



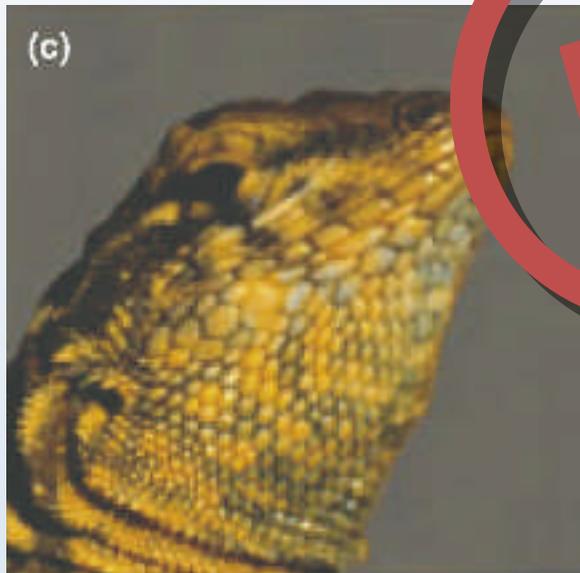
なわばり無
遊び人

勝

イエロー vs. オレンジ

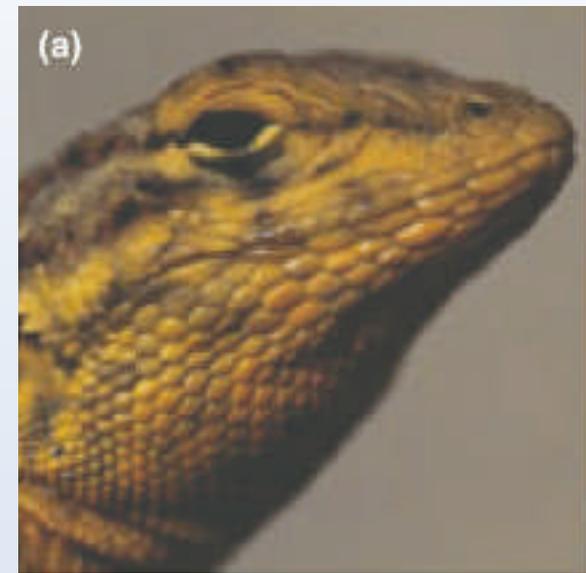
- 効率のいいイエローの勝ち！

イエロー



なわばり無
遊び人

オレンジ

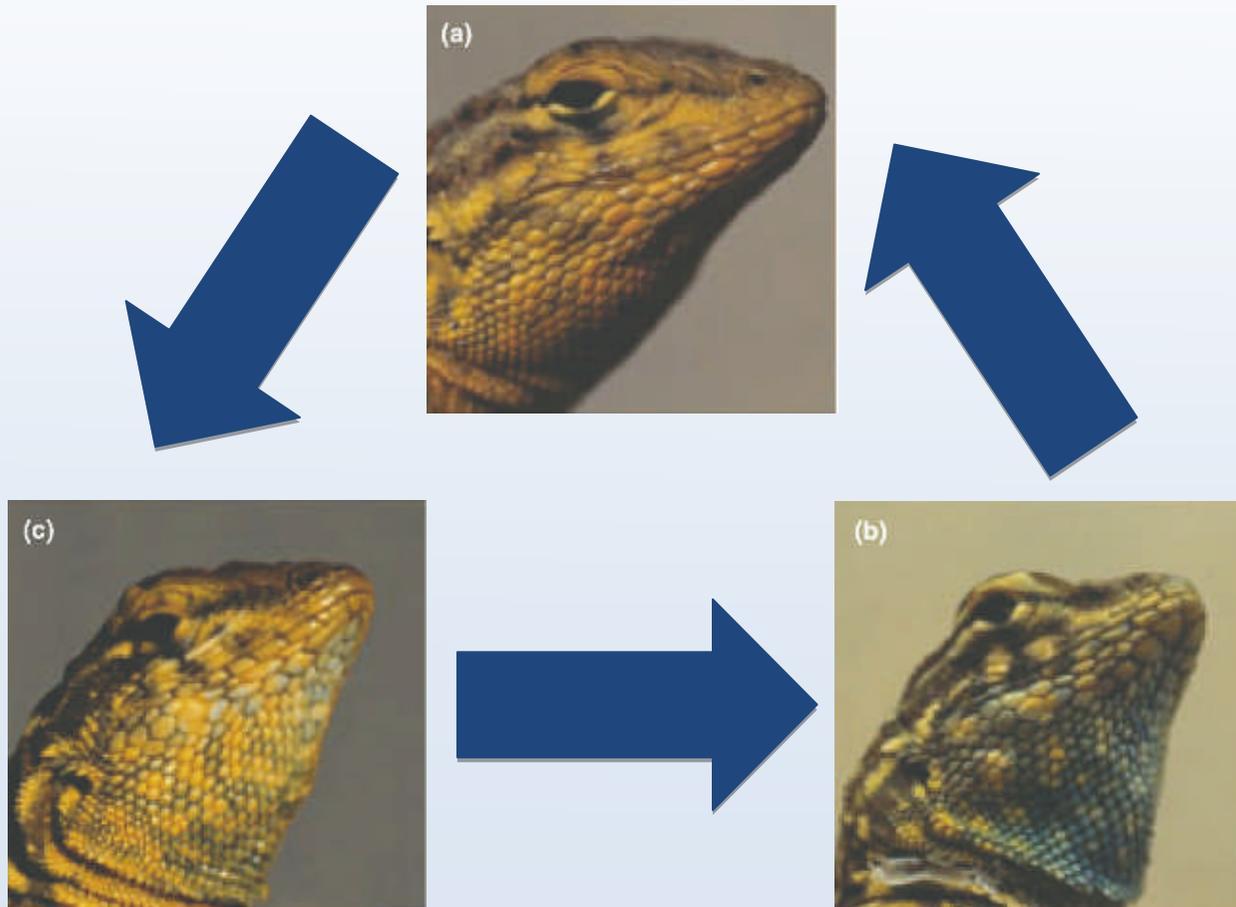


なわばり大
メスたくさん

勝

三すくみ

- 自然界のジャンケン



年変動

- 何色が多いかは、毎年変わる

オシロイ
イエロー
ブルー
オシロイ
イエロー
ブルー
オシロイ
イエロー
ブルー

ゾウの社会



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lightmatter_elephanttrunk.jpg

母系集団

- 母系
 - メスは群れを出ない
 - オスは群れを出て行く
- ズウの群れ
 - メスとその子供の血縁集団
 - 通常 6-12 個体ぐらい

リーダーは？

- 長老のおばあちゃんゾウ
 - 重要な意思決定を行う
 - 他のゾウはついて行く
 - 最も知識が豊富だから
 - 亡くなった後...
 - 通常長女がリーダーを継ぐ

動物の民主主義

- 多数決

- アカシカ

- 6割以上が立ち上がったら、新しい行動



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Red_deer_stag_2009_denmark.jpg

- ゴリラ

- 6割以上が吠えたら、新しい行動



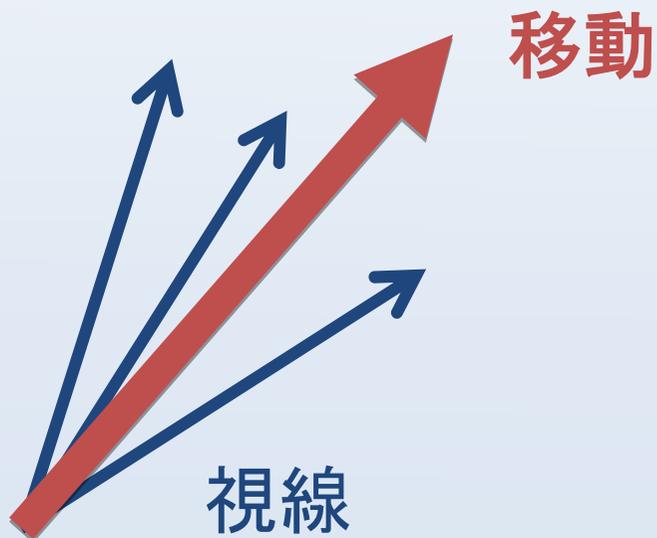
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Male_gorilla_in_SF_zoo.jpg

動物の民主主義

- 平均値

- アフリカバッファロー

- 皆の見ている方向の平均へ移動



http://en.wikipedia.org/wiki/File:African_Forest_Buffalo.jpg

サカナの集団行動

- カタクチイワシの群れ



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Moofushi_Kandu_fish.jpg

鳥の集団行動

- ウミスズメの群体



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Auklet_flock_Shumagins_1986.jpg

どうやって実現？

- イワシやウミスズメの群れ
 - 全体としての調和
- 個体はどのような行動規則に従っているのだろうか？

単純な3つのルール

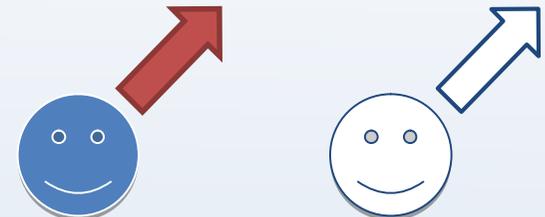
1. 他人が至近距離なら...

– 遠ざかりなさい



2. 他人が近くにいたら...

– 動く方向をまねなさい



3. 他人が遠くにいたら...

– 近づきなさい



霊長類の社会

- 霊長類
 - 約220種が現生
 - 様々な社会形態
 - 単独: オランウータン
 - ペア: テナガザル
 - 単雄複雌 (ハーレム): ゴリラ
 - 複雄複雌: ニホンザル、チンパンジー

ニホンザルの社会

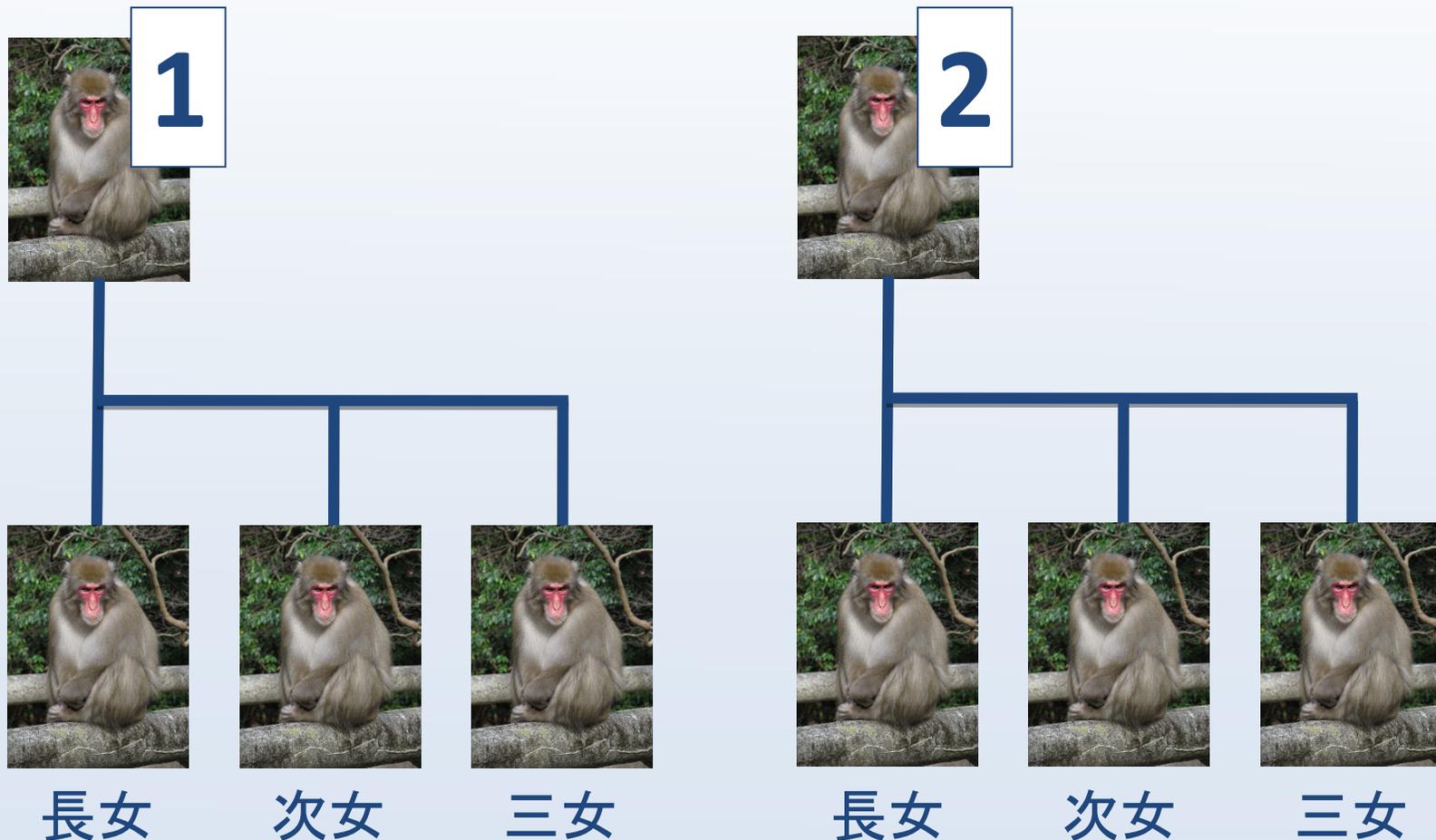
- 母系集団
 - メスはとどまる
 - オスは出て行く



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Macaca_fuscata_fuscata1.jpg

ニホンザルのメスの順位

- 娘の順位はどうなる？

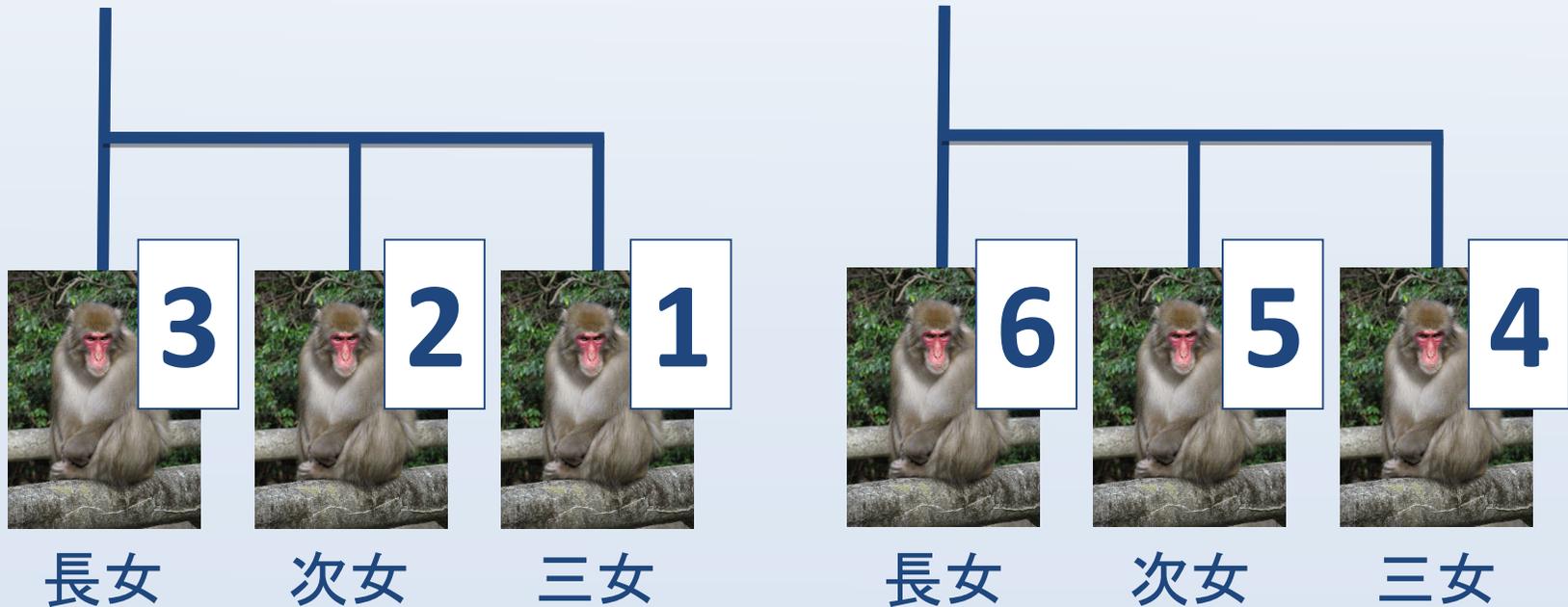


正解

- 娘の順位はどうなる？

-

-



順位のルール

- 上位家系 > 下位家系
- 娘の中では：末子 > ... > 長子
- 『末子優位の法則』

チャクマヒヒの社会

- アフリカ南部に生息



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Chacma_Baboon,_male.jpg

新生児の価値

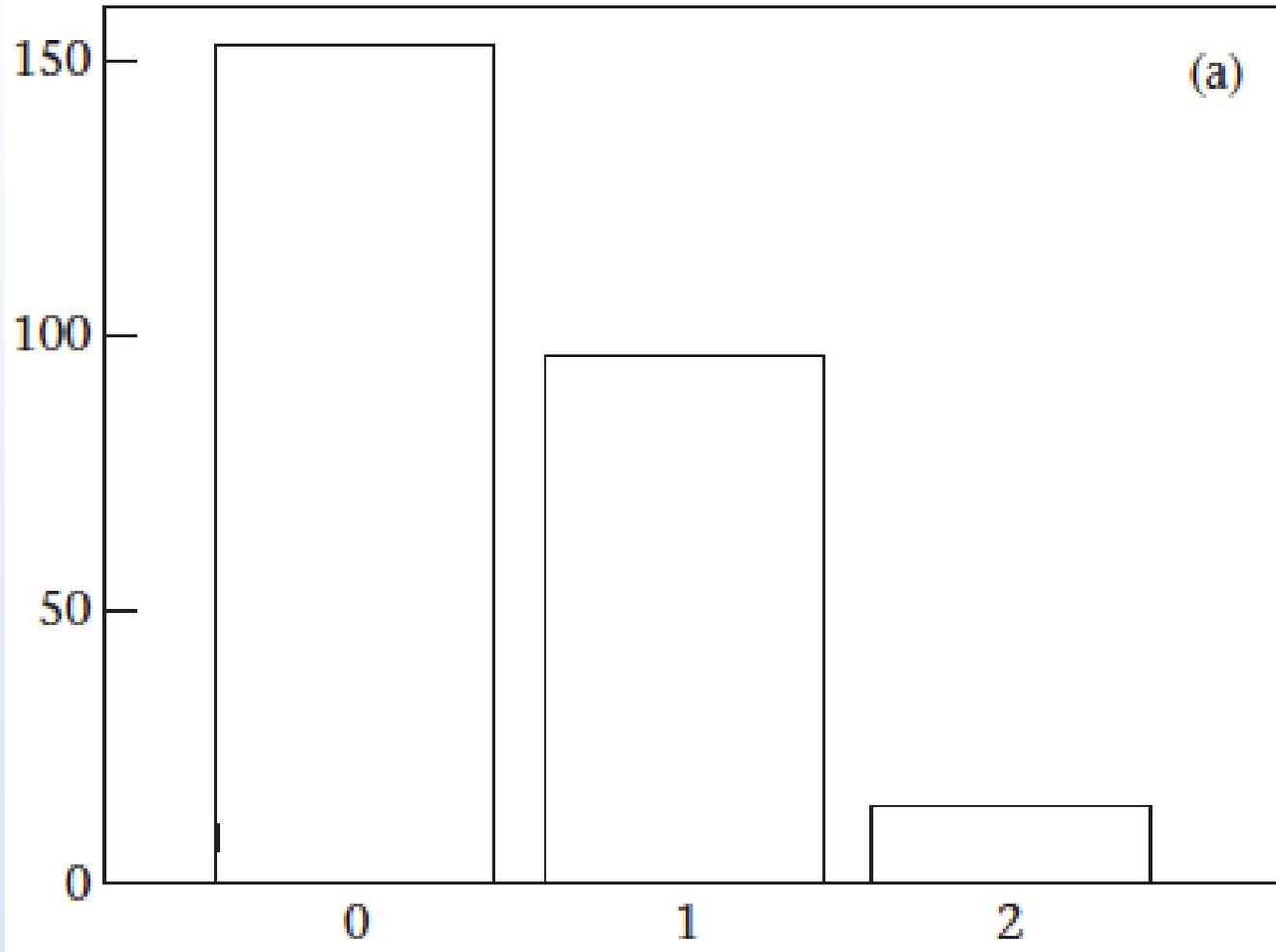
- 大人は新生児に興味新々
 - 抱きたがる
- お母さんは赤ちゃんを渡したくない
 - でも、毛づくろいしてくれるなら...

ヒヒと市場原理

- 葉ものの野菜が少ないと...
 - 値段が上がる
- 群れに赤ちゃんが少ないと...
 - 価値が上がる??
 - お母さんは毛づくろいを沢山要求??

「赤ちゃんマーケット」

お母さんが毛づくろい
してもらった時間(秒)



群れにいる他の新生児の数

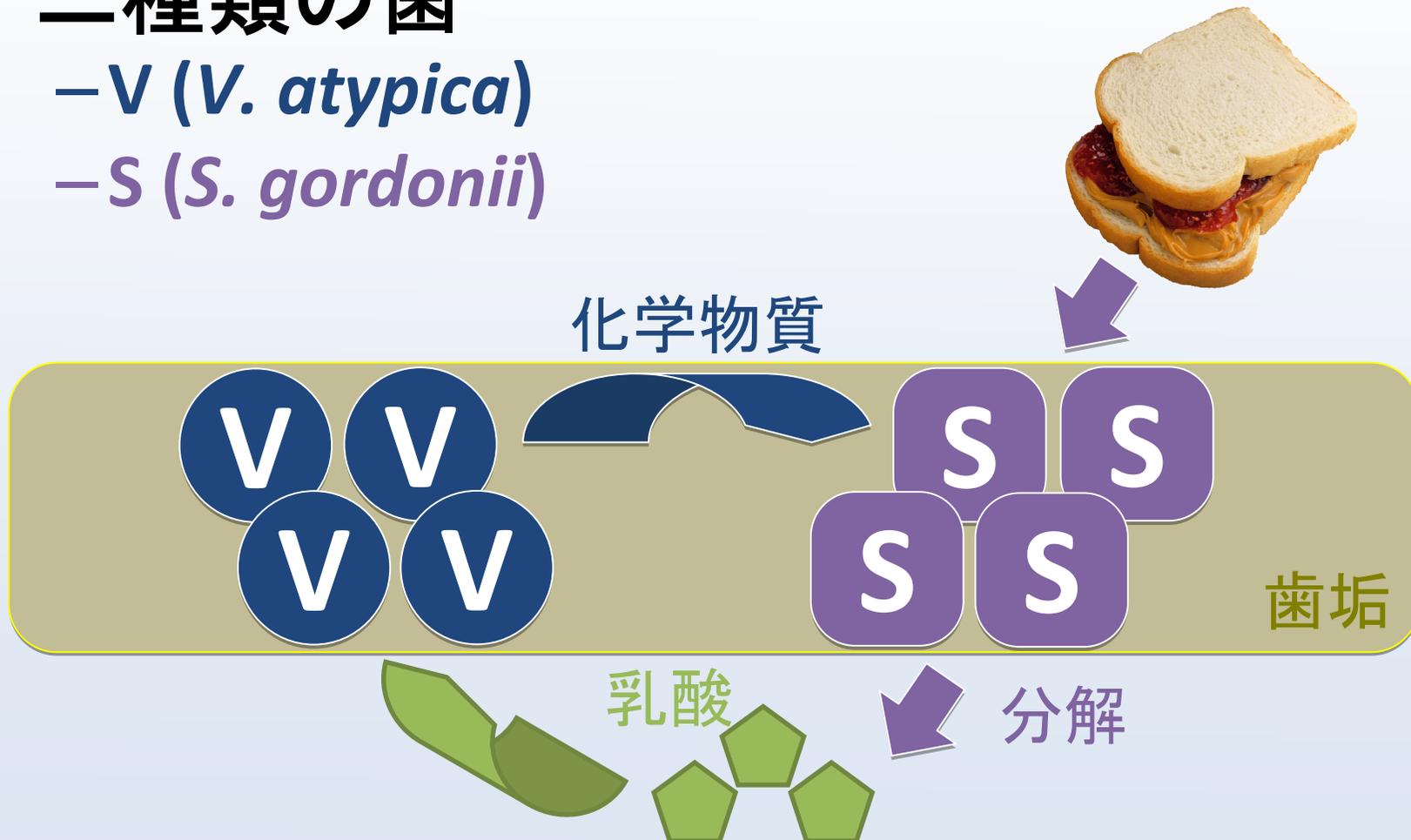
Henzi & Barrett (2002)

微生物の社会

- バイオフィルム
 - 微生物が作る構造体
 - しばしば二次元的広がりをもつ
 - 例
 - 台所のぬめり
 - 歯垢

歯垢の科学

- 二種類の菌
 - V (*V. atypica*)
 - S (*S. gordonii*)

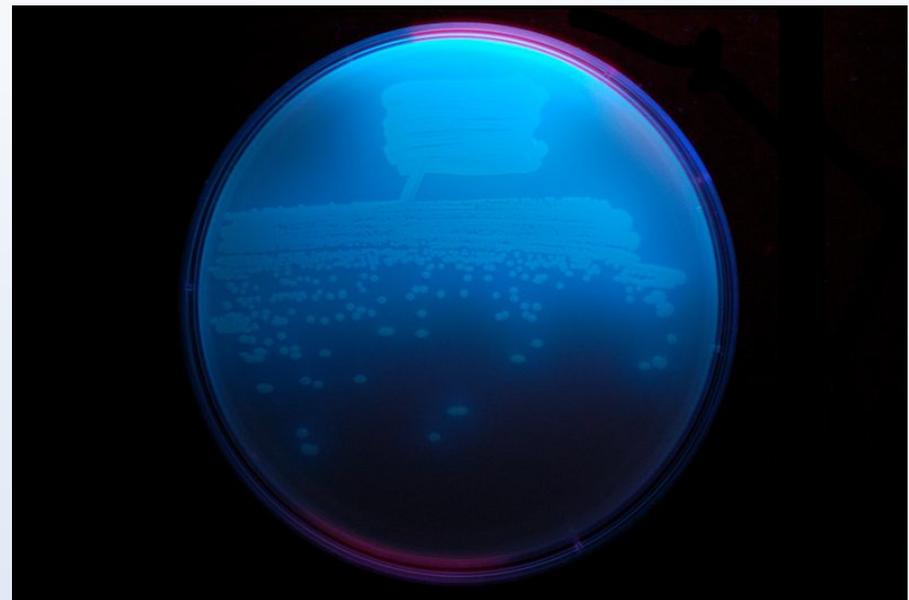


蛍光菌の協力

- 蛍光菌 *P. fluorescens*



[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pseudomonas_fluorescens_on_TY_agar_\(white_light\).JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pseudomonas_fluorescens_on_TY_agar_(white_light).JPG)



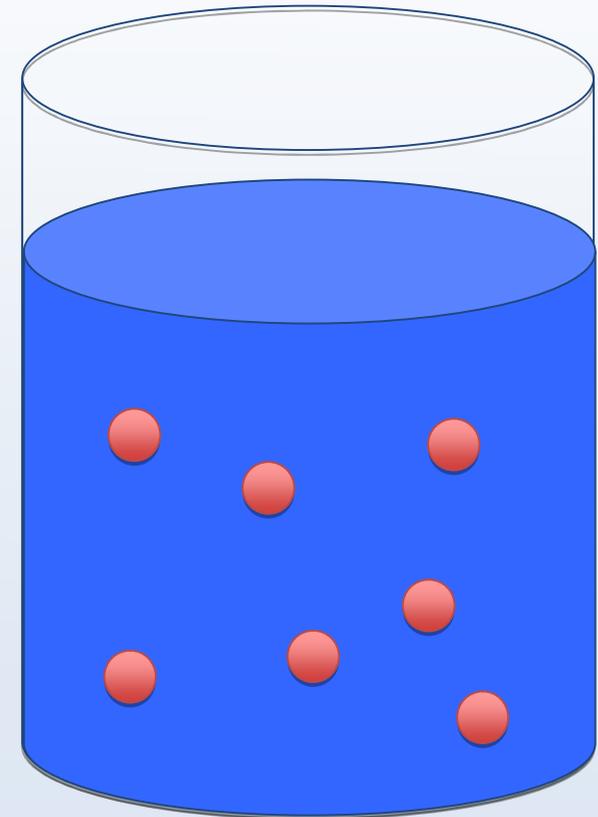
紫外線下

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pseudomonas_fluorescens_on_TY_agar_\(UV_light\).JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pseudomonas_fluorescens_on_TY_agar_(UV_light).JPG)

酸素を求めて

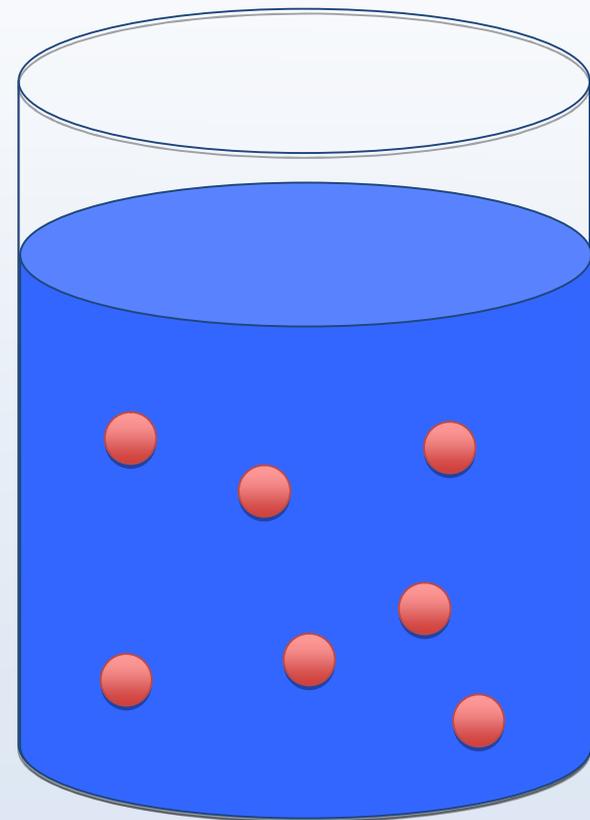
- 蛍光菌は酸素が必要
(好気性)
 - 水中の溶存酸素を利用

蛍光菌



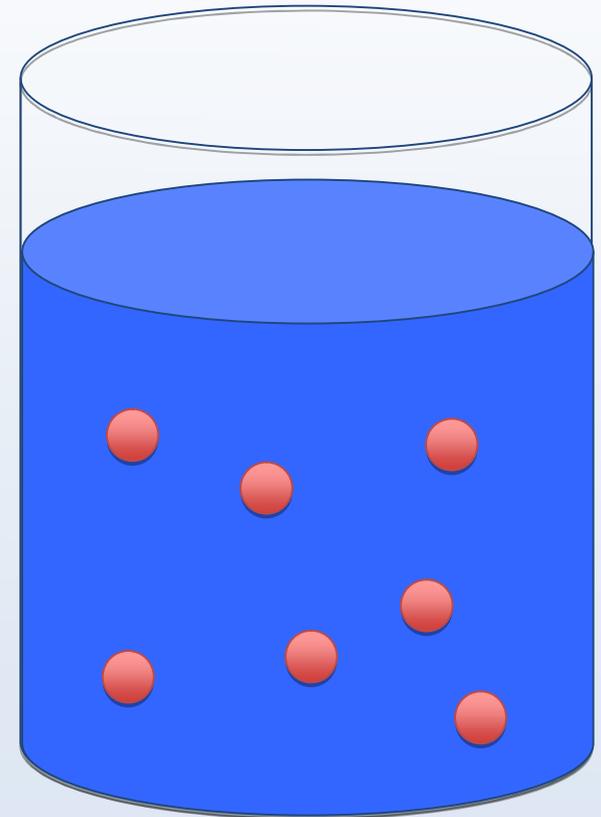
でも...

- もっと酸素が欲しい！
- どこにある??



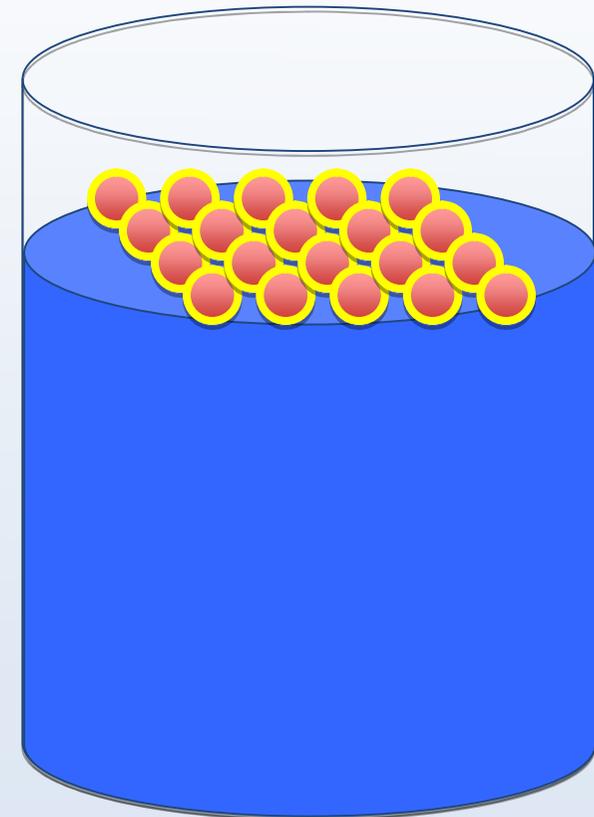
あっ！！！！

- 空気中にある！！
- どうすれば届く??



バイオフィルム

- 接着物質を出し合ってバイオフィルムを形成
- 水面に浮き、空気中の酸素を利用



裏切りの誘惑

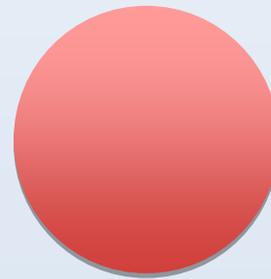
- 接着物質を作ると...
 - その分コストがかかる
 - 増殖率が鈍る
- みんなが接着物質を作ってるなら、
自分は作らなくても大丈夫

『フリーライダー』

- 他者の協力にただ乗り (free ride)
- 蛍光菌のフリーライダー
 - 接着物質を作らない突然変異体

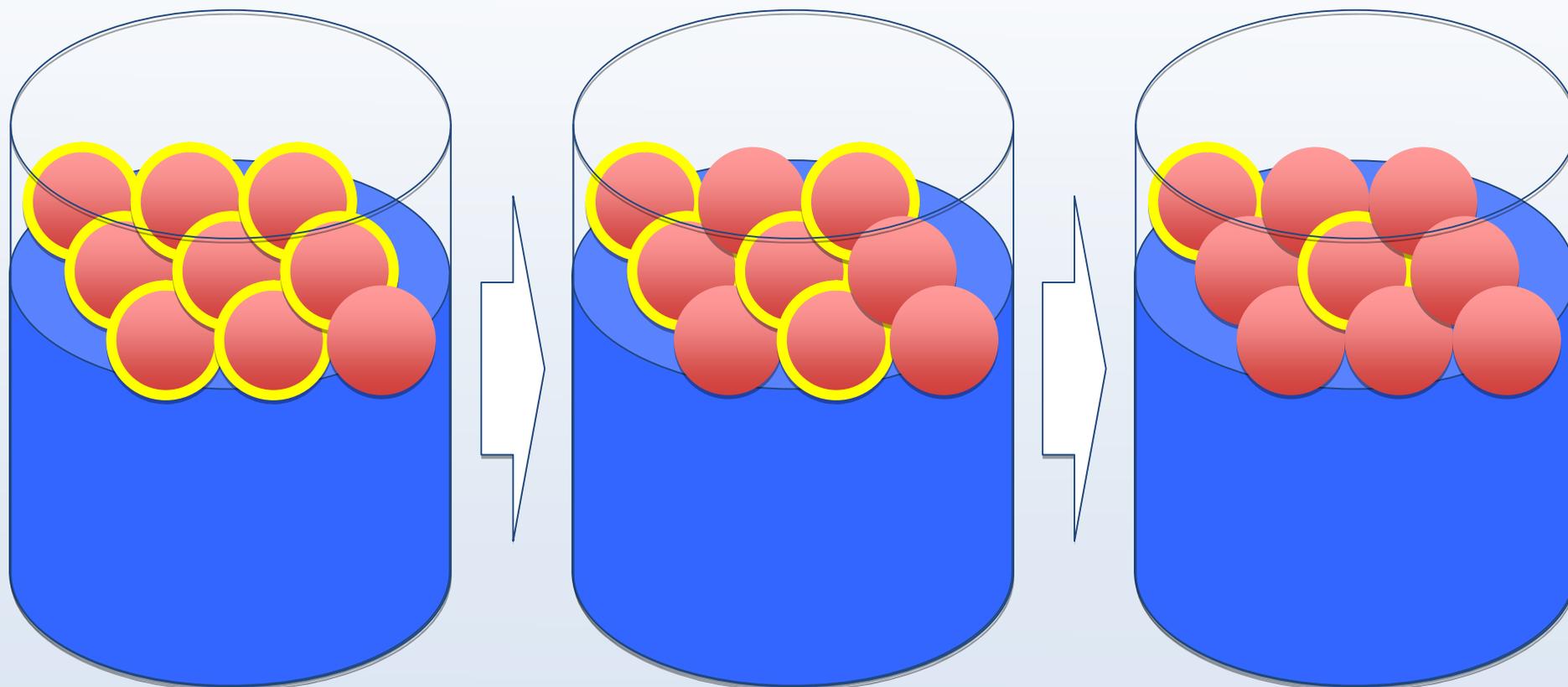


協力者



フリーライダー

バイオフィルムの変化



『共有地の悲劇』

- 協力が裏切りに支配される現象
- 環境問題
 - 大気は共有の資源
 - 排気浄化はお金がかかる（裏切りの誘惑）
 - その結果、大気汚染に

生物社会の ダークサイド

アリコロニーでの裏切り

- アリのワーカー
 - 普通は子を産めない
 - 子を産む機能が残っている種も
 - 単為生殖をする(交尾がいらぬい)

トゲオオハリアリ

- ワーカーも子供を産む誘惑
 - 『女王を助けるだけでなく、自分でも子孫を残したい』
- 卵巣を発達させるワーカーも

罰が待っている

- はりつけの刑



(by Shunichi Kawabata & Kazuki Tsuji)

ワーカーポリシング



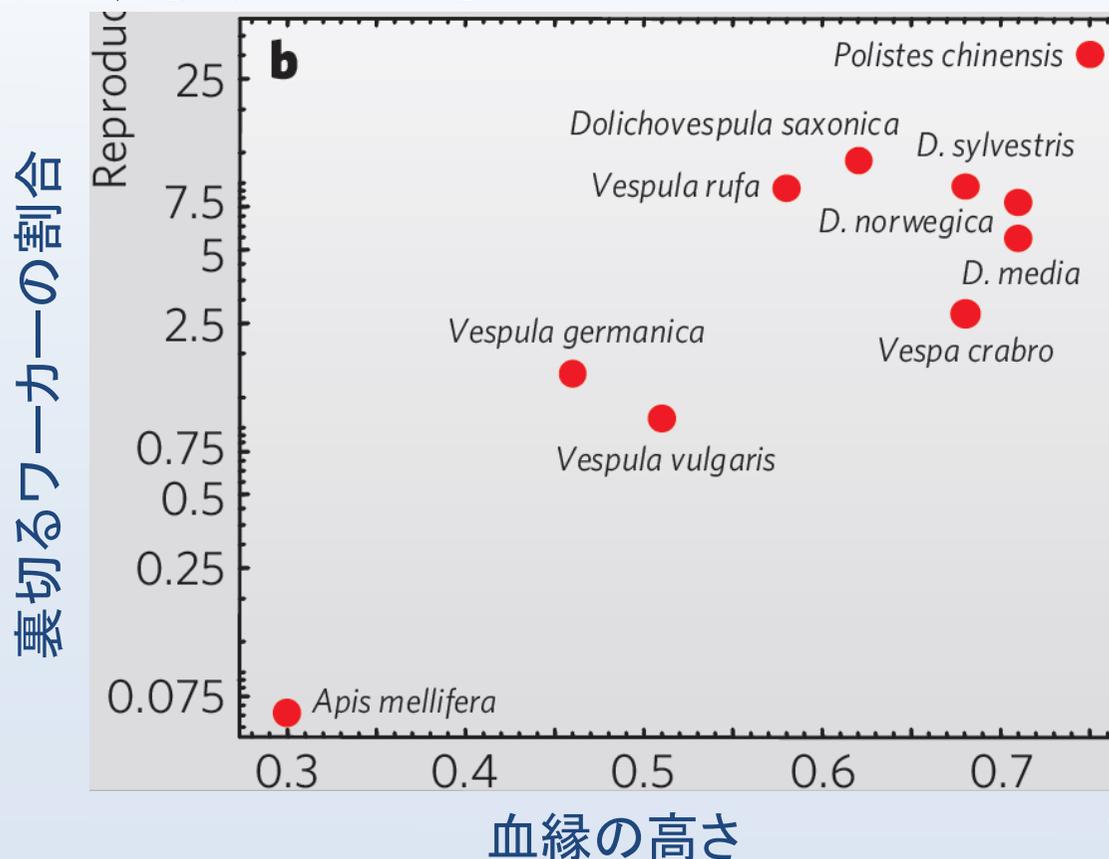
(by Shunichi Kawabata & Kazuki Tsuji)

新しい社会性昆虫観

- 1990年代まで
 - ハチやアリが協力的社会を築いているのは高い血縁のおかげ
- 近年
 - そうでもないらしい

実は監視社会

- 血縁が低い方が、裏切り者の相互監視が強く、協力的社会が生まれる



ミーアキャットの裏切り

- 劣位のメスはヘルパー
 - 優位のメスの繁殖を手伝う
- 繁殖の誘惑
 - 『自分も子を産みたい』



優位メスからの罰

- 優位のメスからの攻撃
 - 結果としてヘルパーは流産
- 出産後できたとしても子殺しに遭う

根粒菌の裏切り

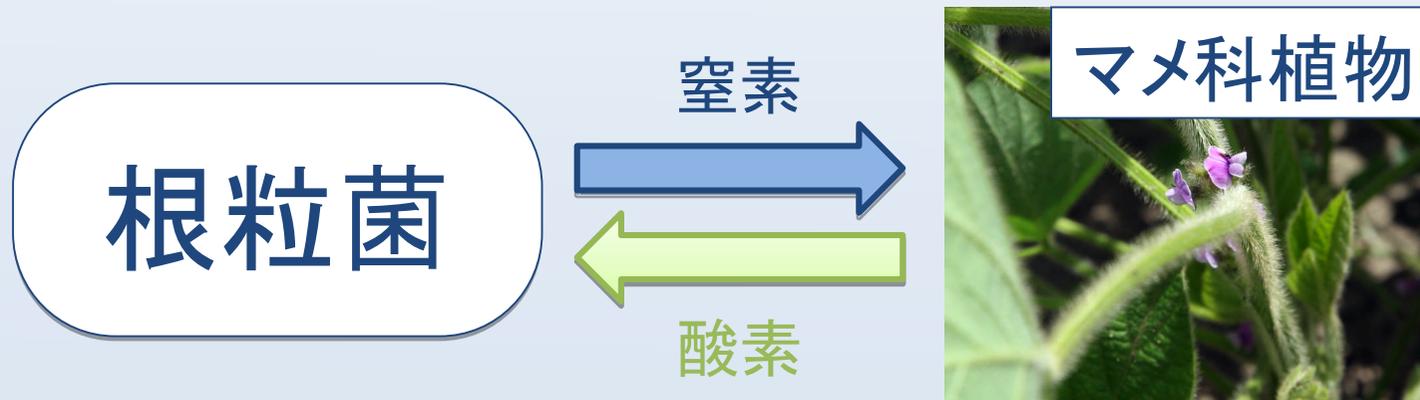
- 根粒(根こぶ)
 - マメ科の植物に典型的
 - 根粒菌による



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Soybean-root-nodules.jpg>

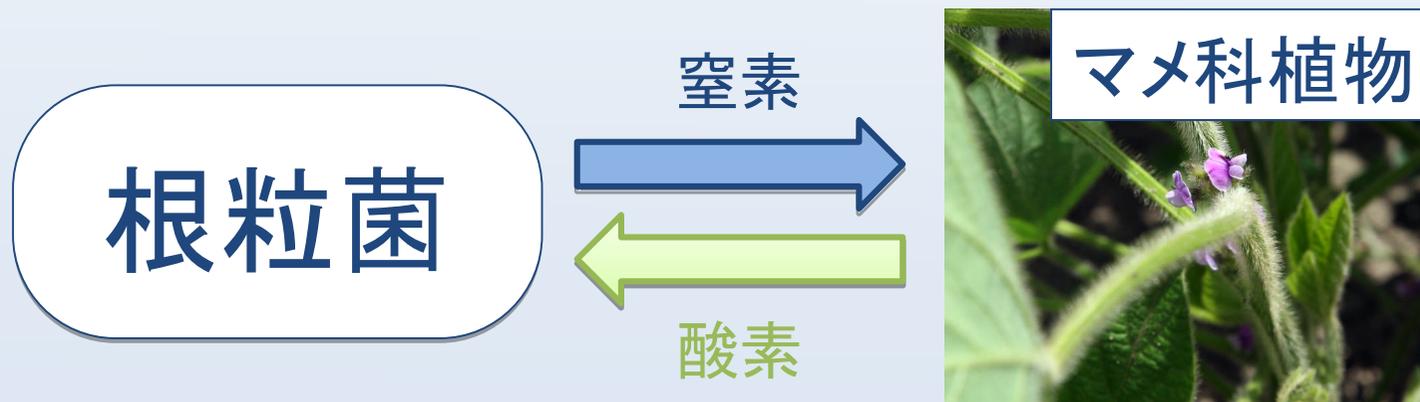
根粒菌—マメ 共生系

- 根粒菌
 - 土壌の窒素を植物が使える形に
- マメ科植物
 - 根粒菌に酸素を供給



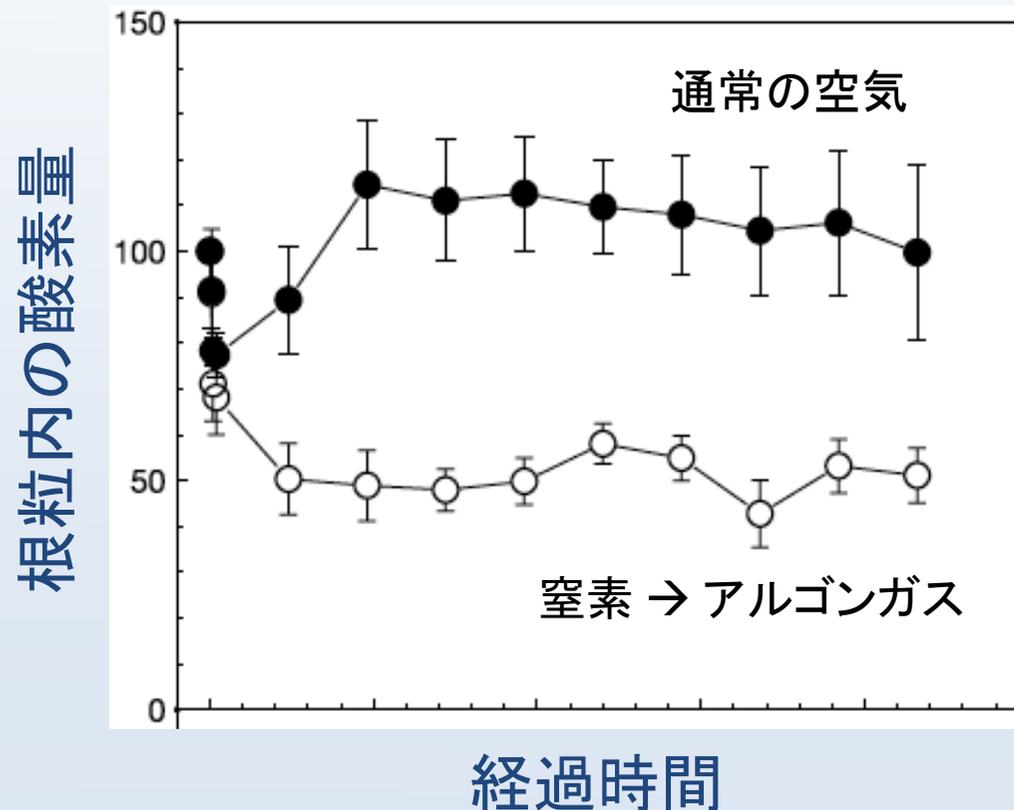
裏切りの誘惑

- 窒素を利用できる形に変換するのにはエネルギーがかかる
-『何もせず酸素をもらいたい』



植物からの罰

- 窒素を利用できる形で植物に供給できないと、酸素の供給が断たれる



Kier et al. 2003

アミメアリ

- 日本にも広く分布
- 女王がない
 - 皆で産んで皆で育てる



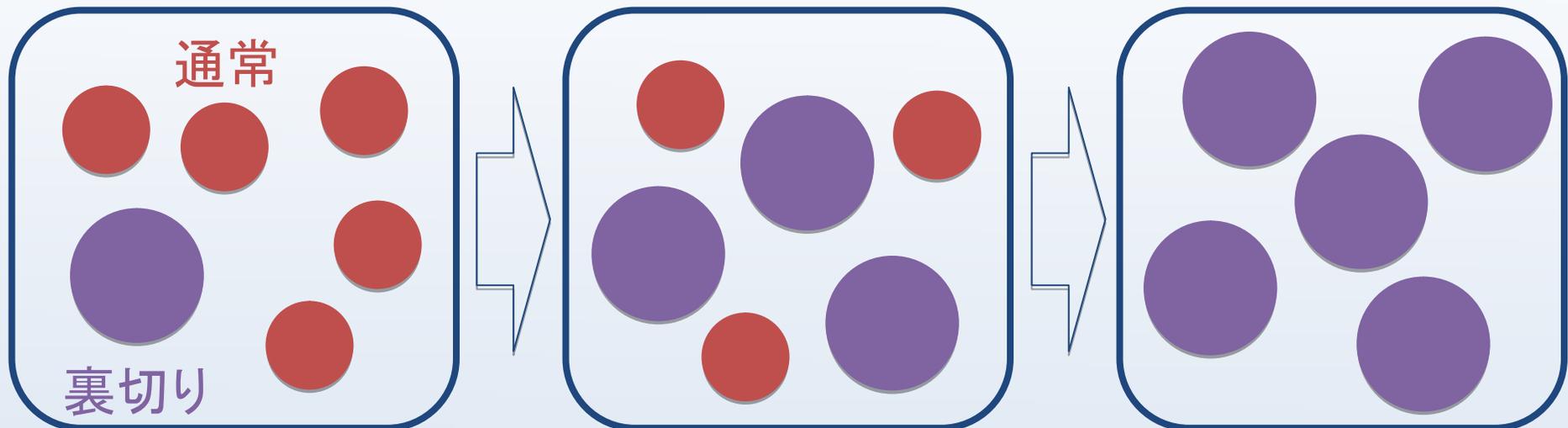
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d1/Pristomyrmex_pungens01.jpg

裏切り者系統

- アミメアリの「裏切り者」
 - 体が通常より大きい
 - 働かずにただ産卵
 - 産卵数は通常個体の数十倍！
 - 遺伝的に決定

“社会の癌” (social cancer)

- 裏切り者系統は数を増す



- 最終的に巣はほろびる

癌と裏切り

- **通常細胞**
 - 分裂・細胞死が制御されている
- **癌細胞**
 - 増殖に歯止めなし

ケープミツバチ

- 南アフリカに生息
- アフリカミツバチの巣に寄生
 - 女王のフリをし、メスを単為生殖
- 養蜂業に打撃

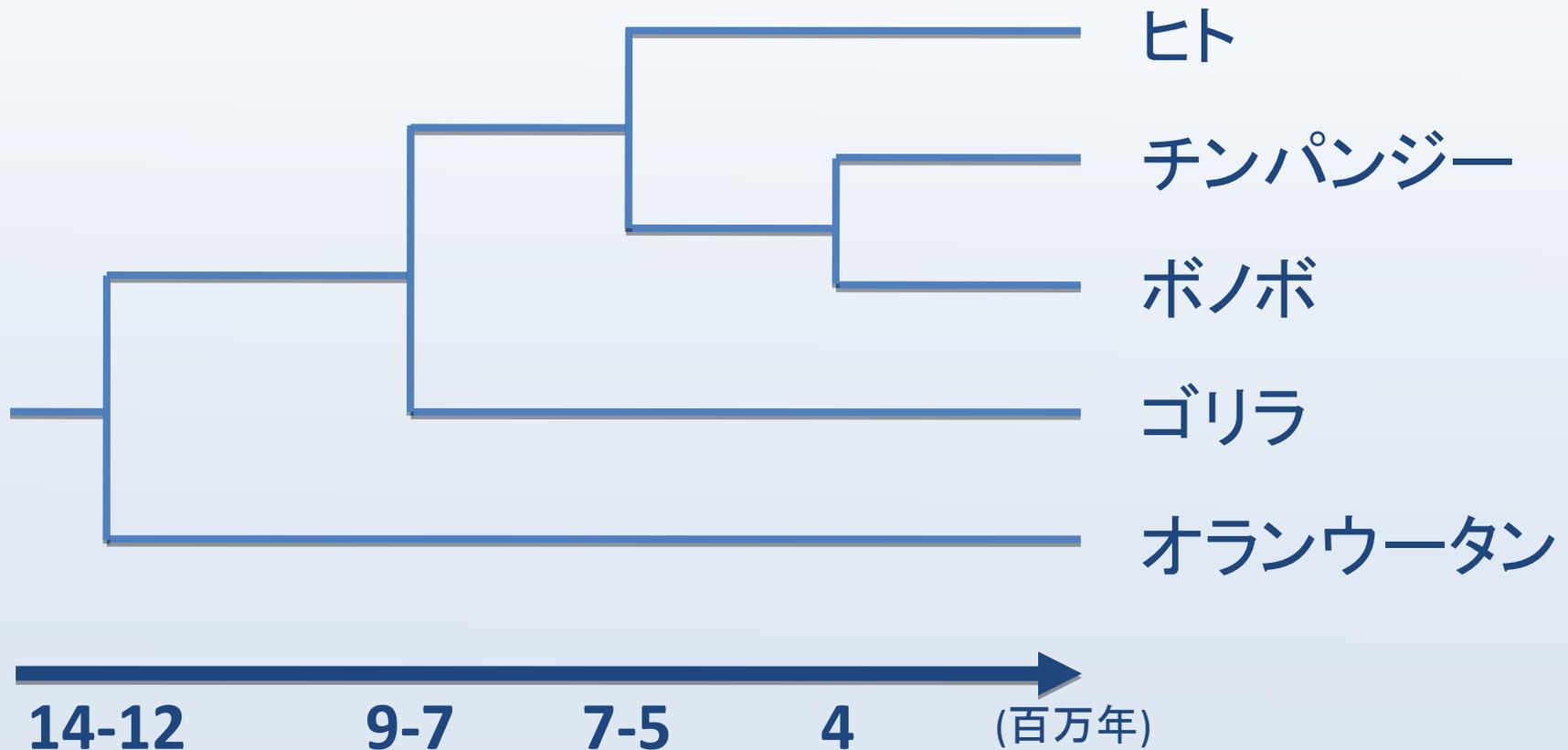


http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cape_Honeybee_gorging.jpg

ヒトの社会と 人間行動進化学

ヒトの祖先

- 約700万年前にチンパンジーと分岐

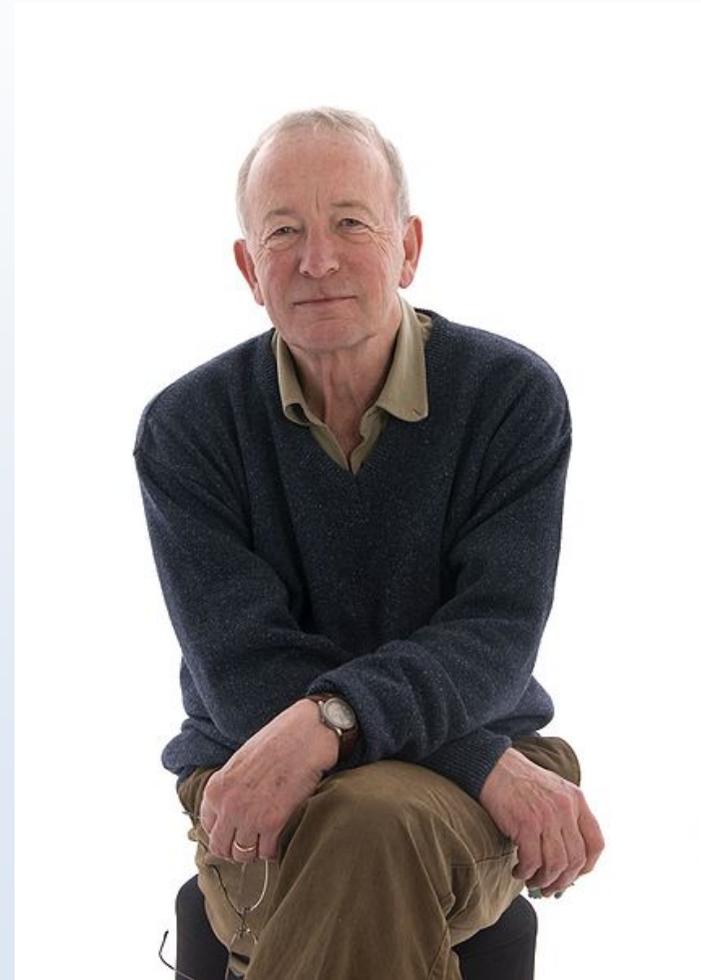


群れと社会性

- 群れ内で他個体との付き合い
 - 交配
 - 協力
 - 闘争
 - グループ形成、社会的絆

「社会脳仮説」

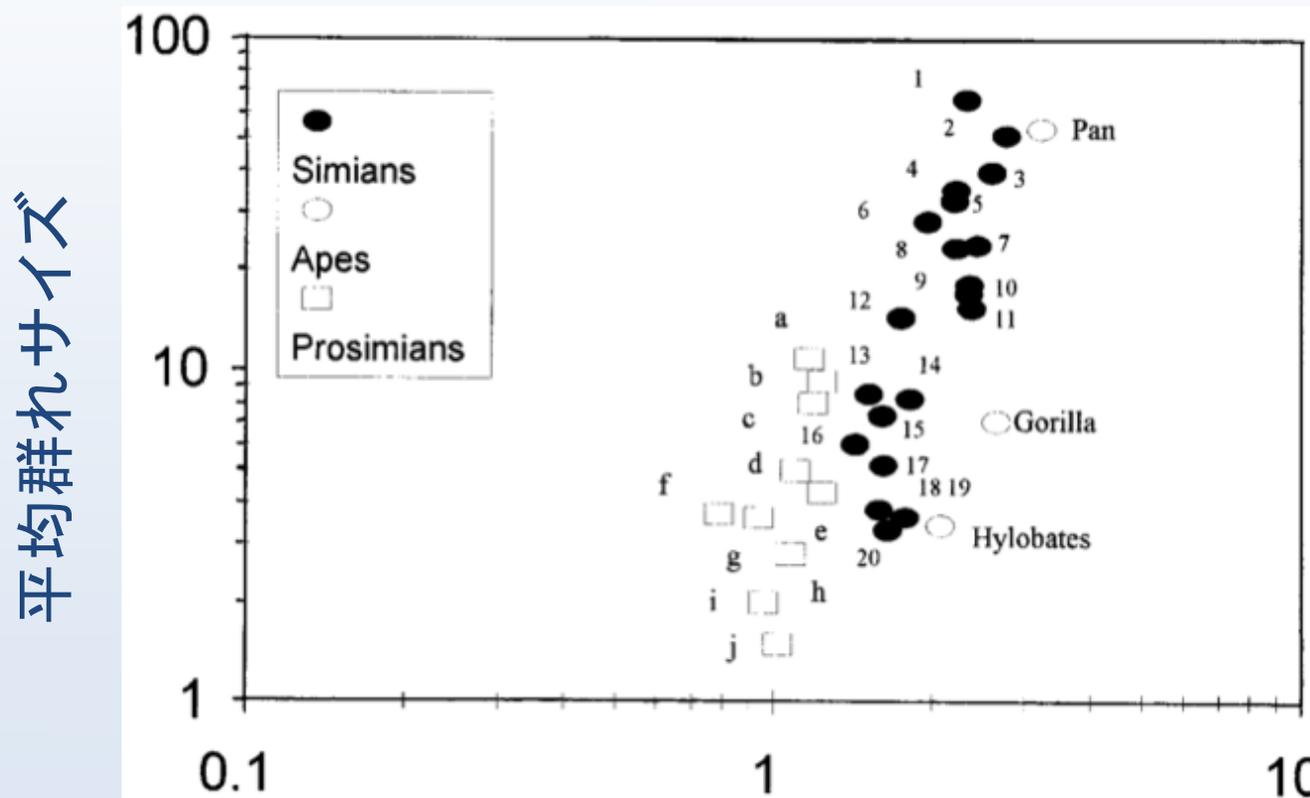
- ハンプリー (1976)
 - “社会集団での生活
が脳容量を増加させ
ただろう”



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nick_Humphrey.jpg

大脳新皮質と群れサイズ

- 大脳新皮質: 知的活動に関与



Dumber 1998

大脳新皮質の容量(脳のお他部分に対する相対値)

ライフスタイルの変化

- **農耕・牧畜の開始(約1万年前)**
 - 定住の開始
 - 所有の概念
 - 土地、家畜の所有
 - 多くの非血縁者との交流
 - 「近所づきあい」の開始

評判への関心

- 「人の会話の内容の 3分の2 は う
わさ話である」 (Mellars & Stringer 1989)



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lakhovsky_Conversation.jpg

ヒトと評判

- ヒトは
 - 自分の評判を気にかける？
 - 相手の評判をどう使う？
- 実験経済学の進展

実験経済学

- 被験者を集め、金銭を渡して様々なやり取りを行わせる
 - 終了時に持っているお金は持ち帰り
 - 実験室で“評判”を作り上げ、人々の反応を見る

実験その1

『人は自分の評判
を気にするか？』

研究とコーヒー

- 総研大のコーヒーマシン
 - 飲んだ量は自己申告制です



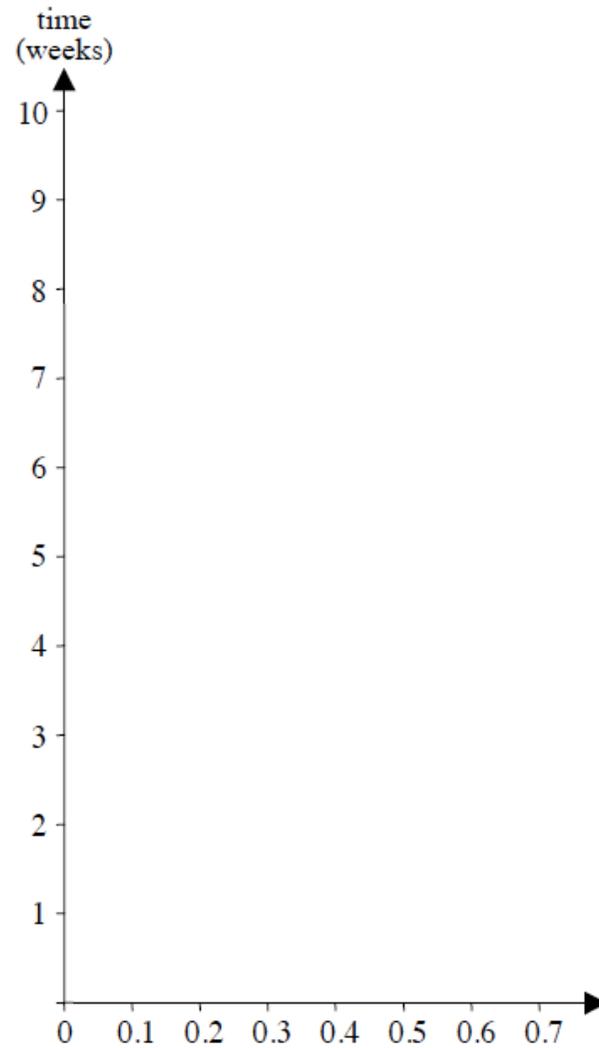
裏切りの誘惑

- 誰も見てなければこっそり飲んでも大丈夫??
 - 我が研究科は良い人ばかりなので、そういうことは起こりませんが...

実験その1

- お茶飲み部屋の壁に...
 - 奇数週は目の写真を
 - 偶数週は花の写真を貼っておいた
- 果たしてお金の回収率は？

実験その1



お金の回収率

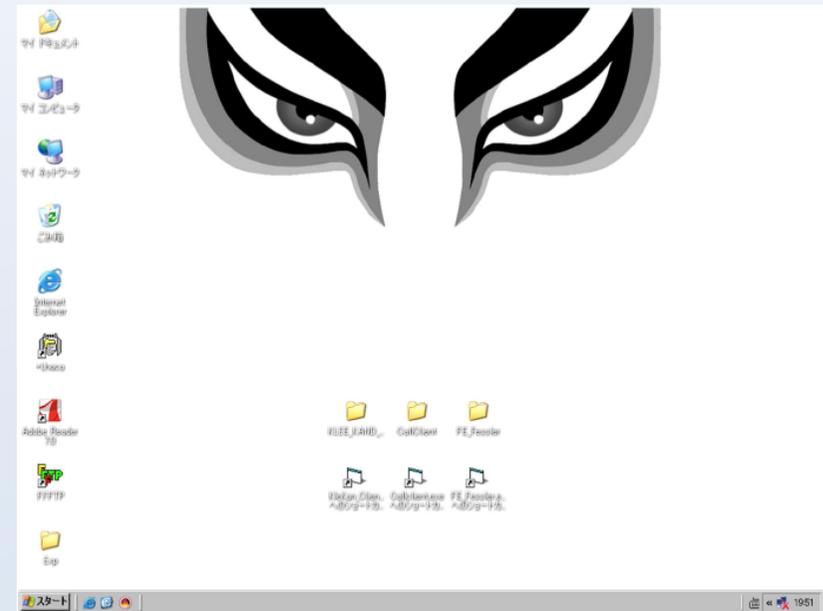
Bateson et al. 2006

目線の効果

- 『人は意識的のみならず無意識にも、他者の存在で行動を変化させる』

- 関連研究

- 実験で使うディスプレイに目の模様をつけると、協力率が上がる



実験その2

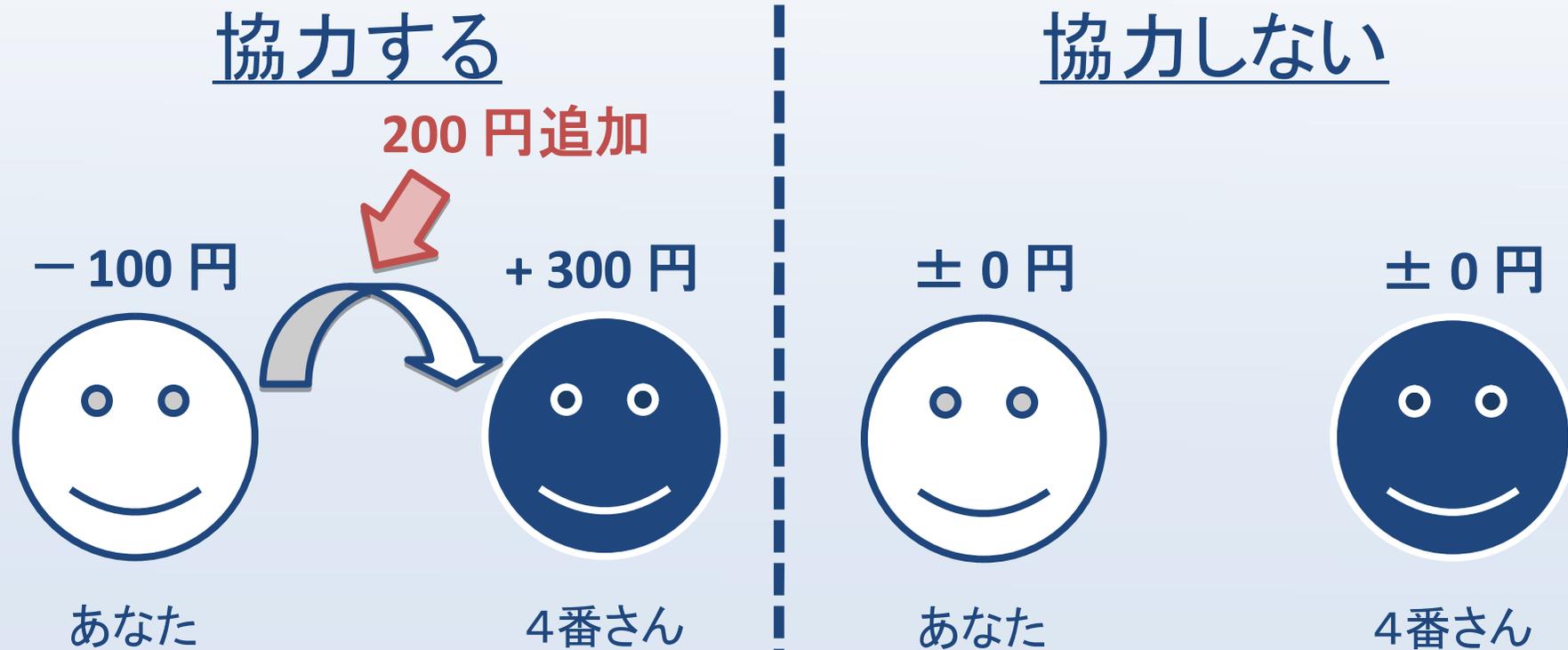
『人は他人の評判を
使いたがるか？』

実験その2

- 被験者には仮の名前が与えられる
 - 「あなたは 1番さん です」
- コンピュータ画面を操作
 - 本名が割れる心配はなし

実験その2

- 「あなたは 4番さん に会いました」
– 「協力しますか？しませんか？」



裏切りの誘惑

- 全員が協力し合うと...
 - 最終的にみんなプラスになるはず
(協力する度に**200円追加**が発生)
- でも...
 - 自分が100円損するのは嫌(裏切り)

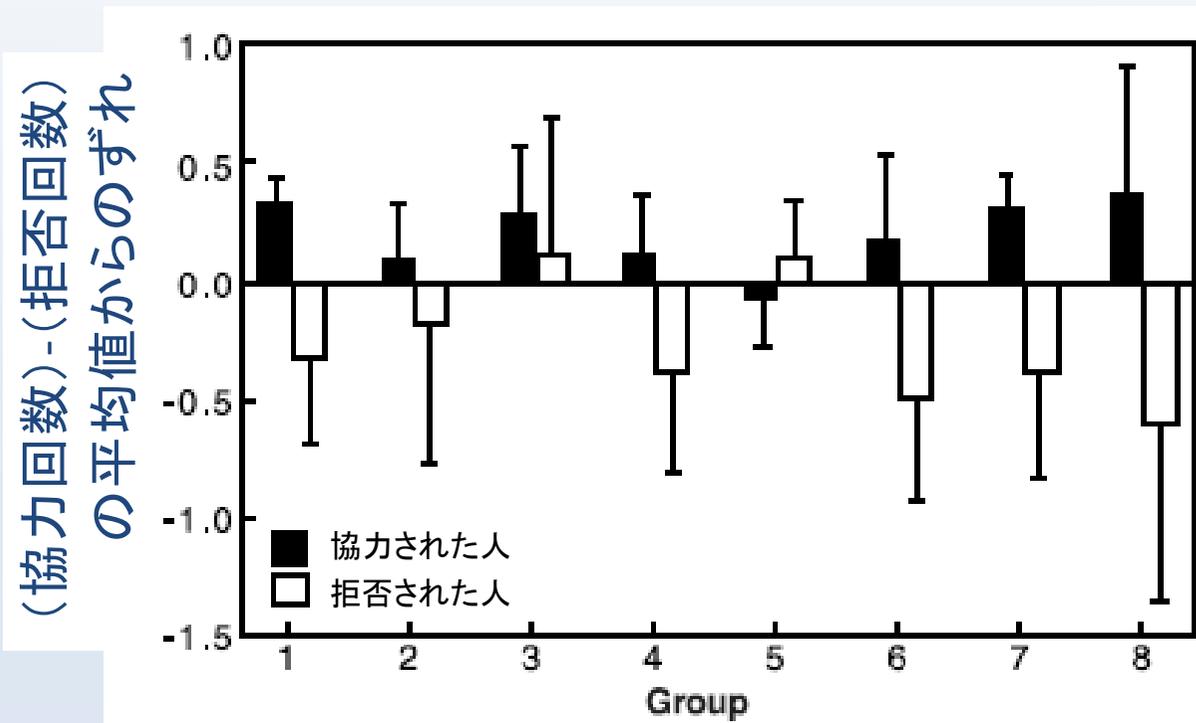
評判の導入

- 何番さんが何をしたかを全部見られるディスプレイを導入

1番さん	2番さん	3番さん	4番さん	5番さん	6番さん
協力	拒否	協力	協力	拒否	拒否
拒否	拒否	協力	協力	拒否	協力
協力	拒否	協力	拒否	協力	協力
協力	拒否	協力	協力	協力	協力
協力	拒否	協力	拒否	協力	拒否

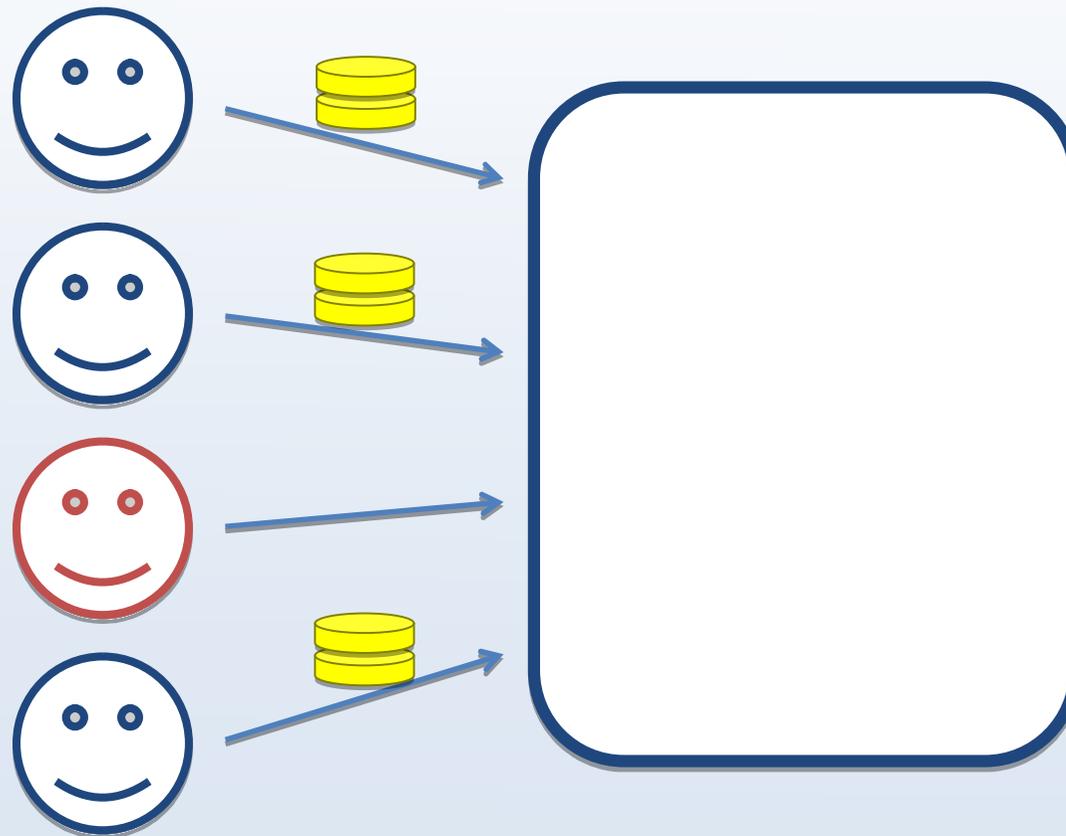
評判の効果

- 人々は協力率の高い人に協力した
—人は他人の評判を使いたがる



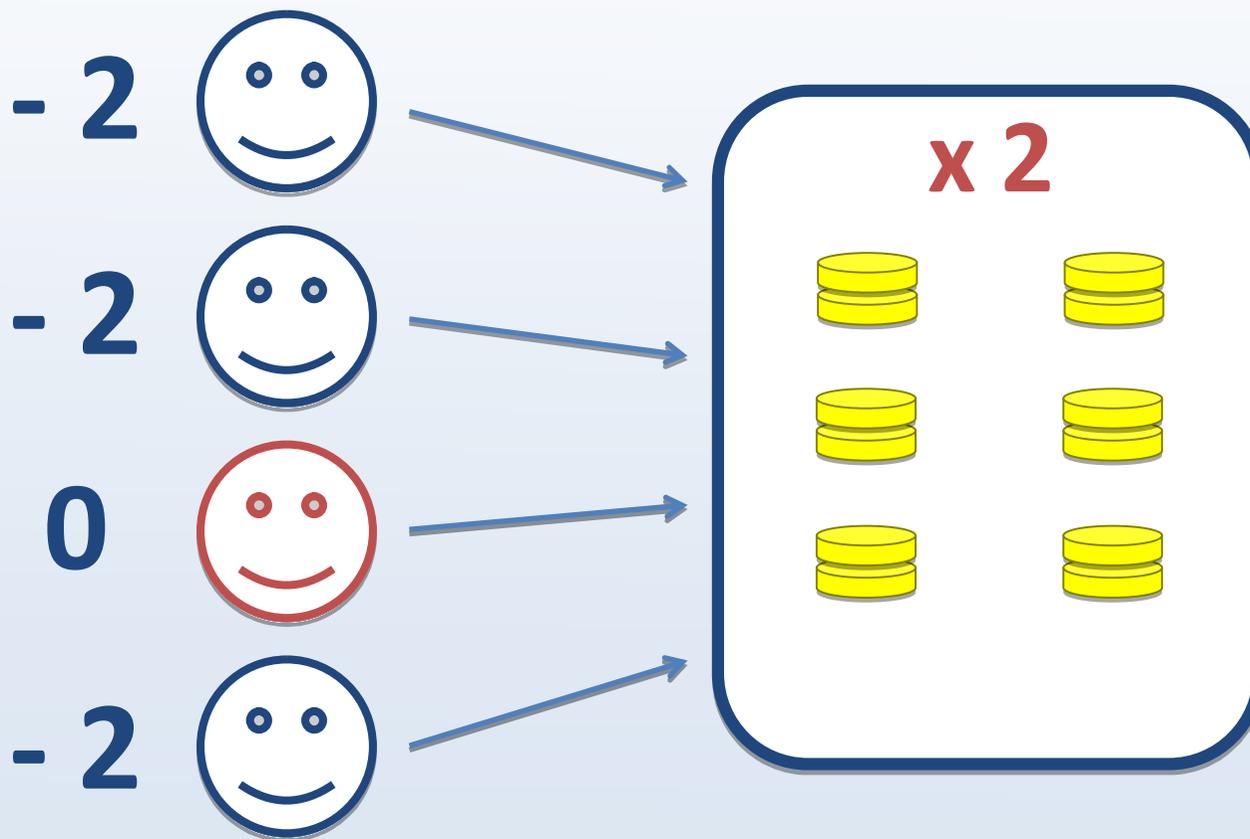
公共財実験

- 共有資源への投資



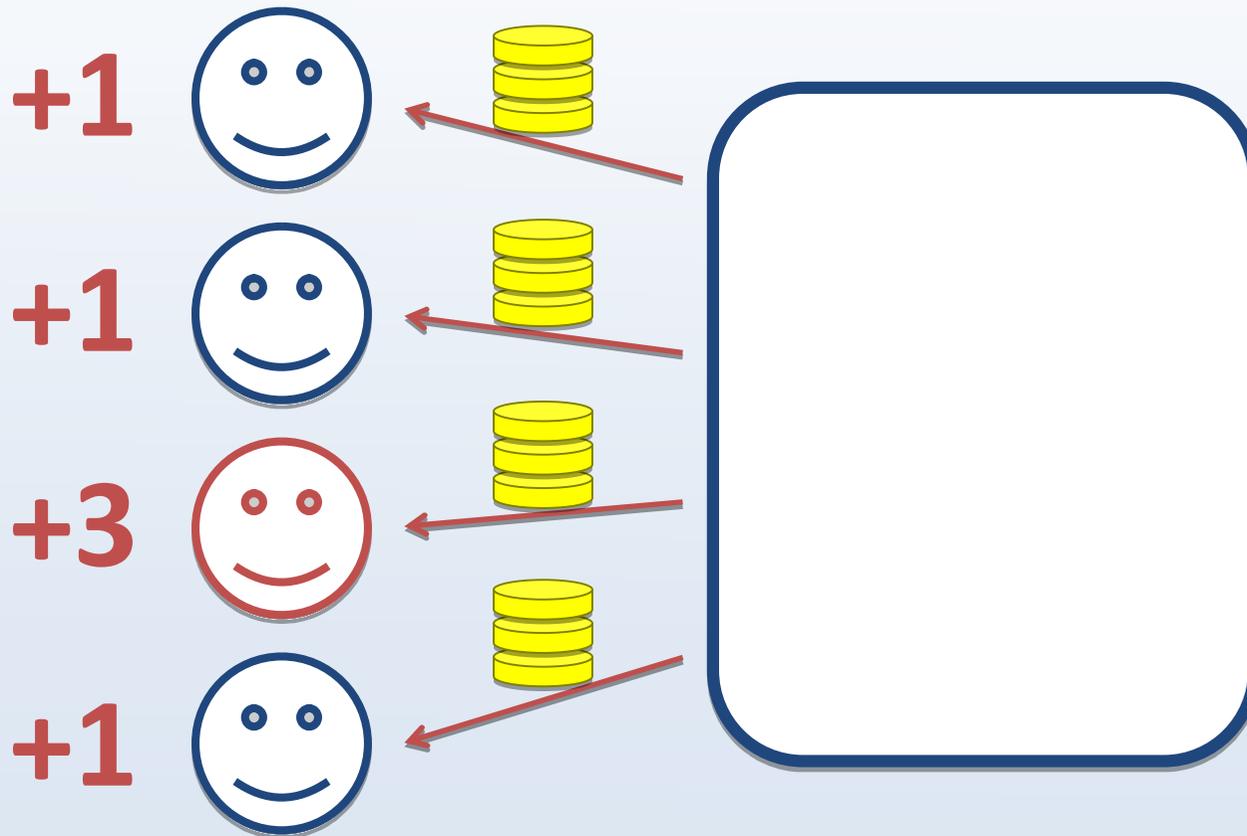
公共財実験

- 共有資源への投資



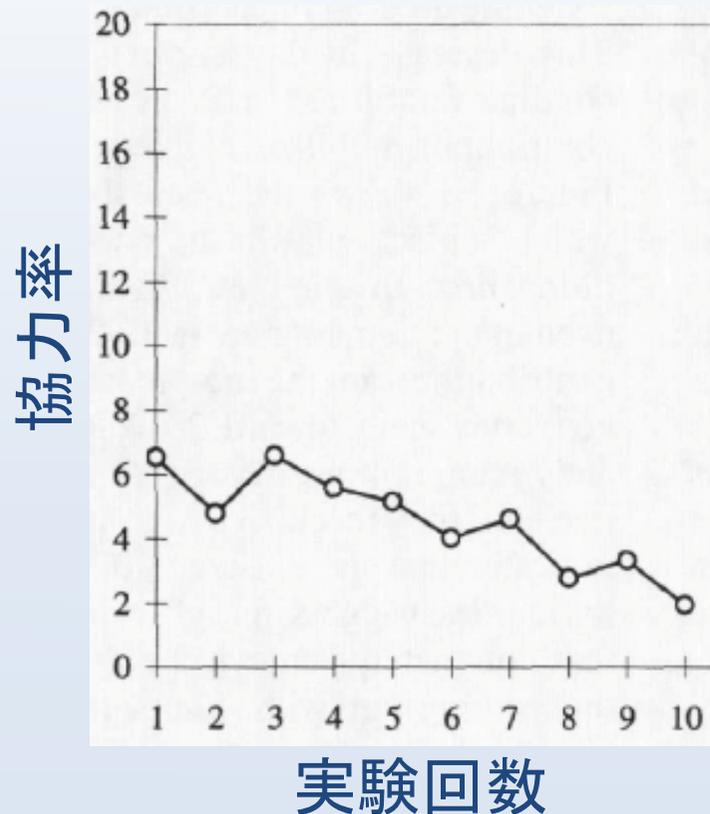
公共財実験

- 利益は投資量に関わらず均等に配分



裏切りの誘惑

- 自分は何も払わず、利益だけもらいたい
– 皆、誘惑に勝てず協力率は低下

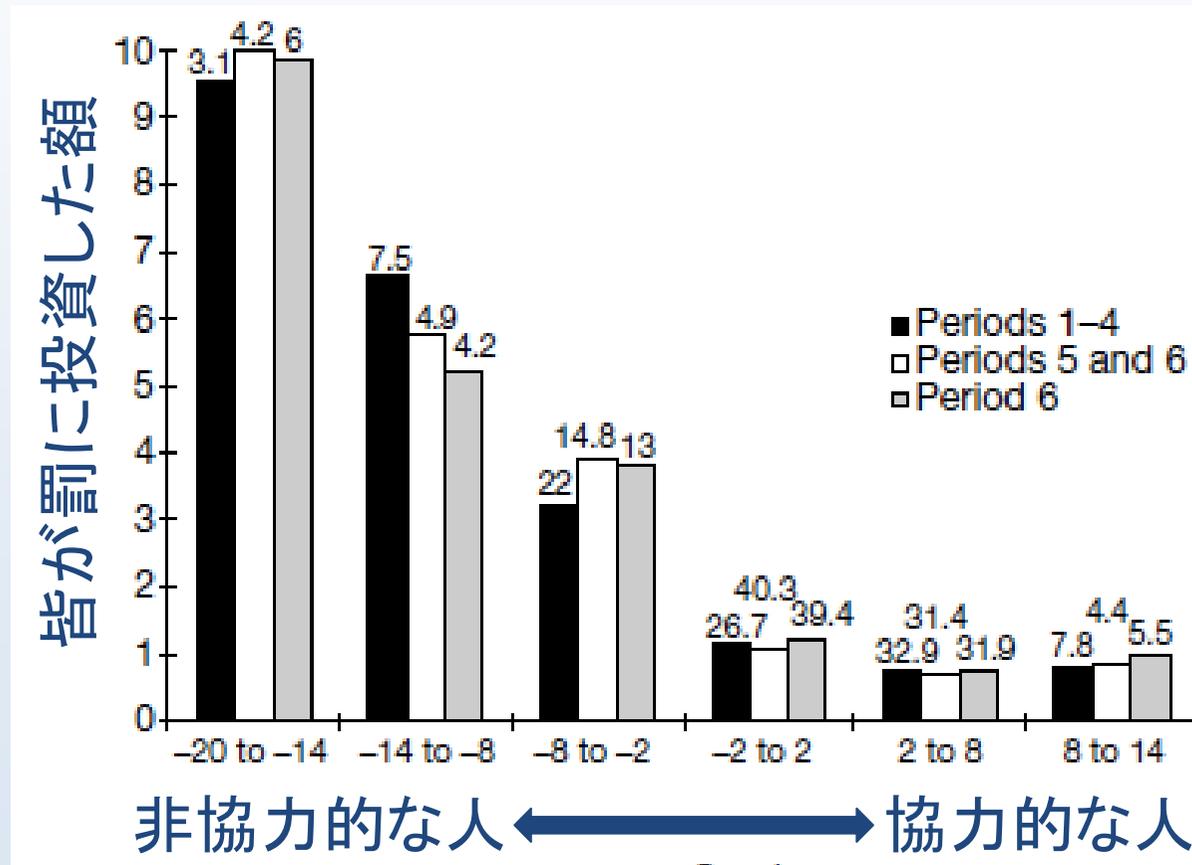


罰の導入

- 「各回後、 を払えばあなたが懲らしめたい相手から を回収します」
– 自分のモノにはなりません

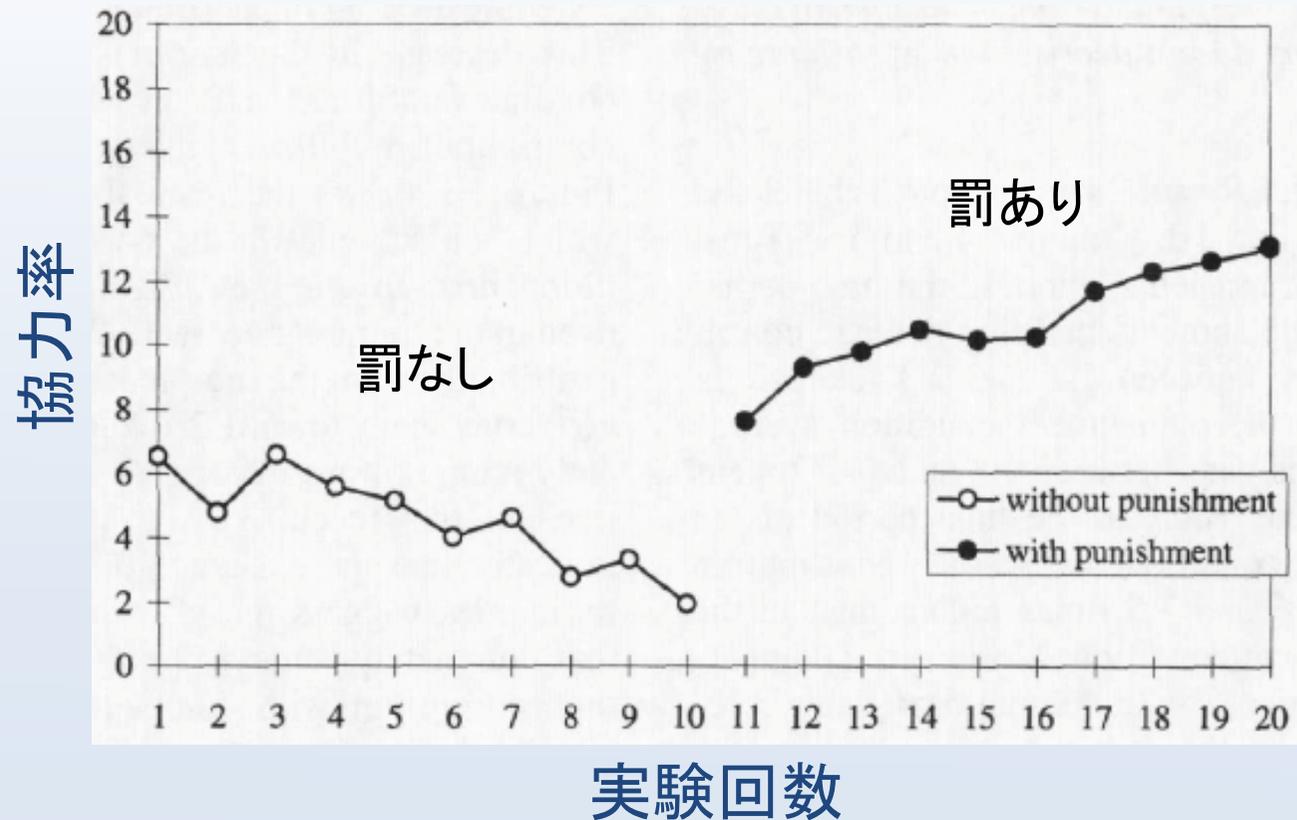
ヒトは罰がお好き

- 協力しない者は皆に罰された



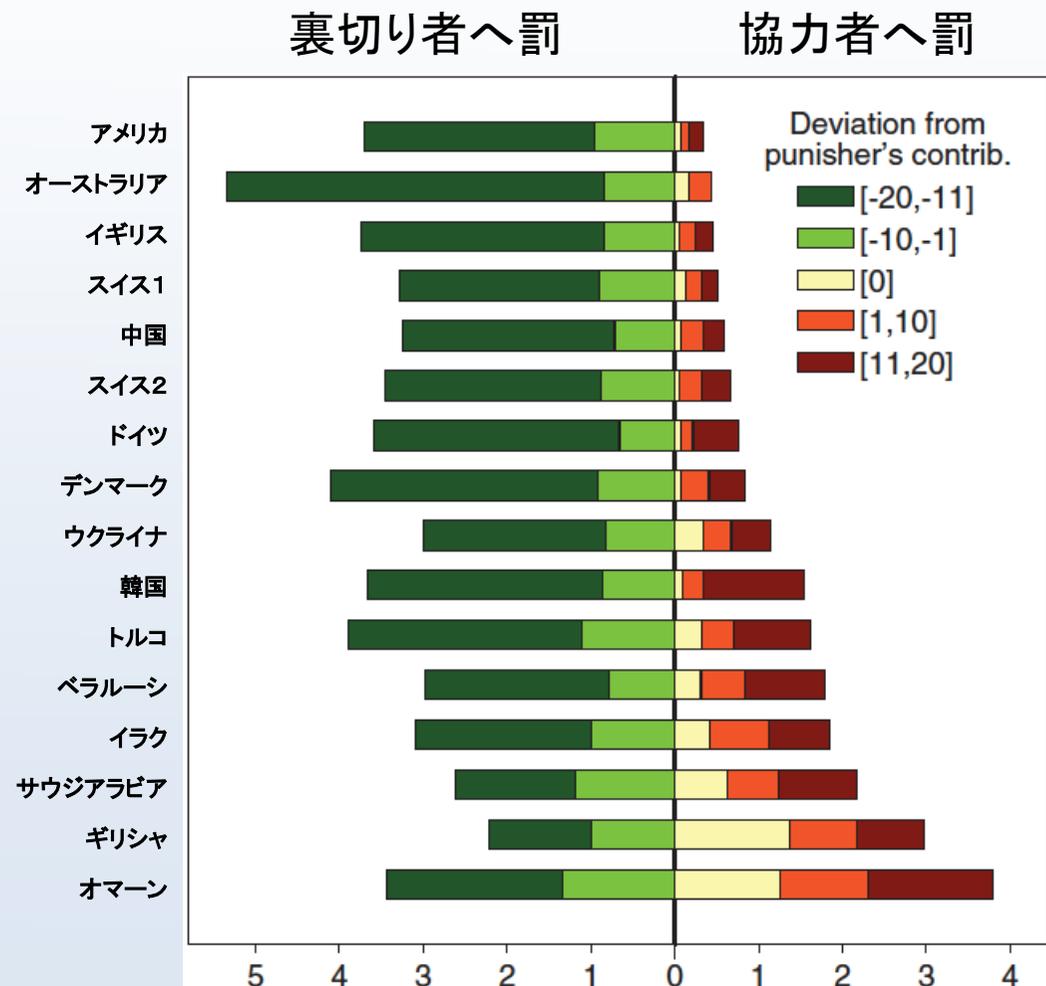
協力率の激増

- 罰は協力を促進する



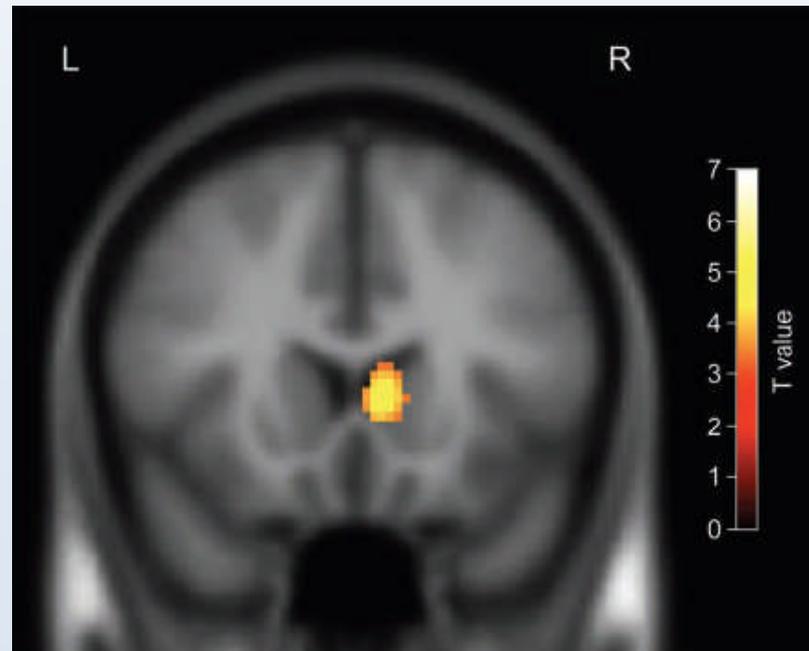
ヒトは非社会罰もお好き

- 『非社会罰』
 - 協力しすぎて
いる人に罰
 - 文化の影響も



「神経経済学」へ

- 罰を与えるとき、ヒトの脳では報酬系が活性化している
 - 報酬系：快感を司る脳の回路



de Quervain et al. 2004

最後通牒ゲーム

- ある金額の分配



提案者



最後通牒ゲーム

- 分配を一方向的に提案



最後通牒ゲーム

- Yes ならば互いに金額を持ち帰る



最後通牒ゲーム

- No ならば互いにゼロで終わり



提案を受け入れるか？

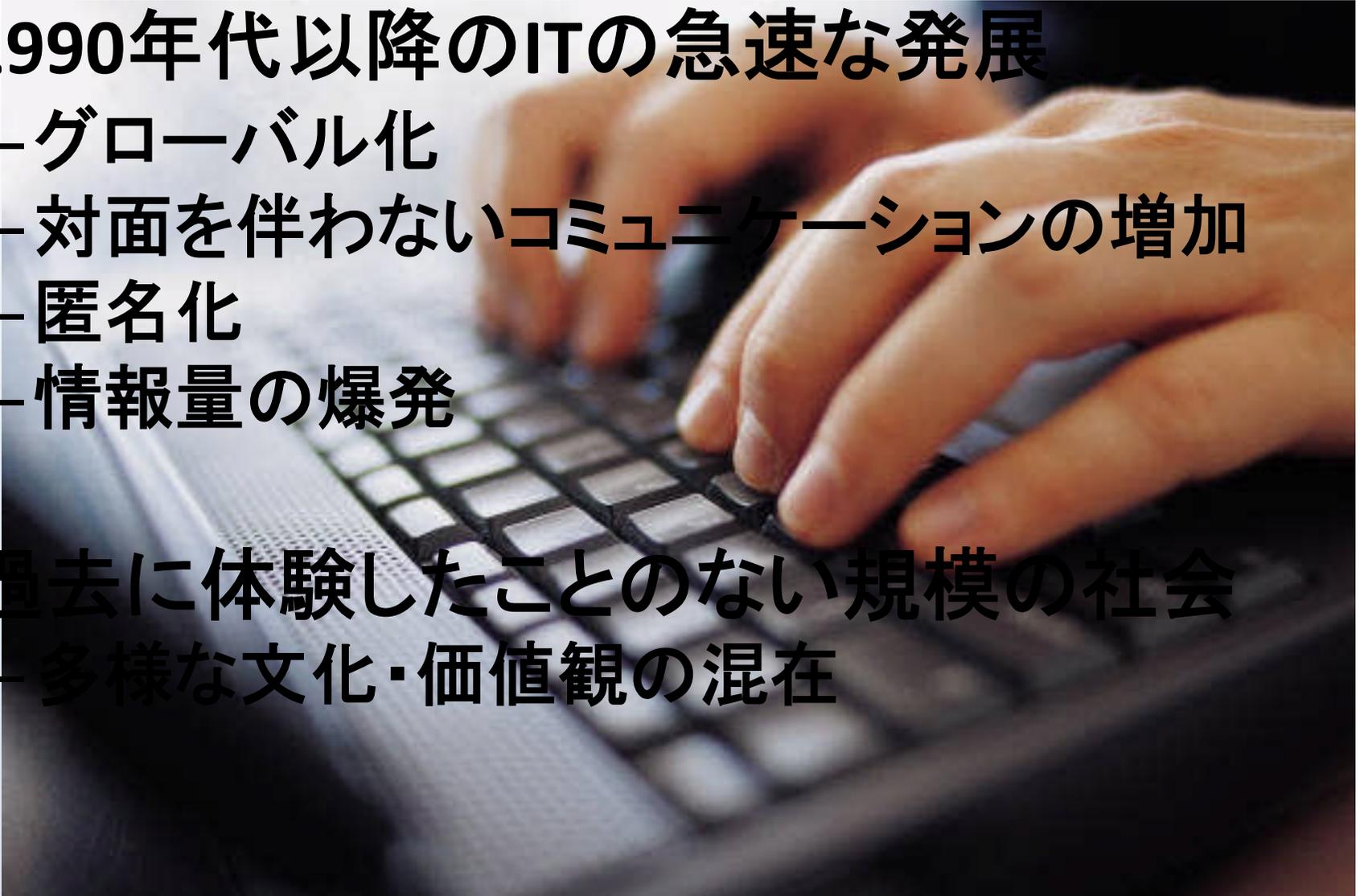
- どんな小さな額でもゼロよりまし
 - Yes と言うべき
- ヒトは不公平な提案を拒否する
 - 3割以下の提案は拒否多数
 - 自分で損をしてまで、罰を与えたい

ヒトの向社会性

- ヒトの祖先が進化の過程で獲得
 - 集団生活において重要
 - 評判を気にする
 - 罰を与える
 - 公平さを好む

現代のヒト

- 1990年代以降のITの急速な発展
 - グローバル化
 - 対面を伴わないコミュニケーションの増加
 - 匿名化
 - 情報量の爆発
- 過去に体験したことのない規模の社会
 - 多様な文化・価値観の混在





ご清聴ありがとうございました