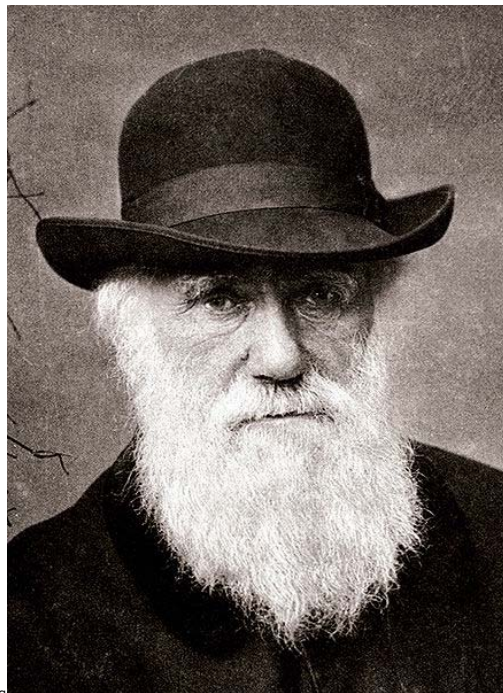


2011年5月11日

進化は進歩か？

自然選択と遺伝的浮動が織りなす生物史



Wikipediaより転載(2011/05/17)
http://ja.wikipedia.org/wiki/file:Charles_Darwin_1880.jpg



⌘ 国立遺伝学研究所より許可を得て掲載

教養学部 森長真一

⌘ : このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。

この二人は・・・

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

大山のぶ代

<http://game.watch.impress.co.jp/docs/20050112/sega.htm>

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

水田わさび

<http://www.kenproduction.co.jp/member.php?mem=w59>

この二人は・・・

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

ドラえもん

<http://www.shop.kotenha.com/ec-classic/photo/jacketdj/3204070893.jpg>

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

ドラえもん

http://blog.television.co.jp/entertainment/entnews/images/20081215_02_000.jpg

大長編ドラえもんシリーズ



※ 大長編ドラえもん vol.1～vol.15までの表紙 藤子・F・不二雄 (著)
出版社: 小学館

大長編ドラえもんシリーズ



- ⊕ 大長編ドラえもん (Vol.8) のび太と竜の騎士(てんとう虫コミックス)
藤子・F・不二雄 (著)
出版社: 小学館



- ⊕ 大長編ドラえもん (Vol.15) のび太の創世日記(てんとう虫コミックス)
藤子・F・不二雄 (著)
出版社: 小学館

大長編ドラえもんシリーズ

人間のいない地底世界に住む、
「人間のような」爬虫類
言語を操り、文明を持つ



著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

『大長編ドラえもんVOL.8
のび太と竜の騎士』
p.124

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

『大長編ドラえもんVOL.8
のび太と竜の騎士』
p.124

⊕ 大長編ドラえもん (Vol.8) のび太と竜の騎士(てんとう虫コミックス)
藤子・F・不二雄(著)
出版社: 小学館

大長編ドラえもんシリーズ

のび太がひみつ道具「創世
セット」で地球型惑星を創世
地上には人類による文明が誕生
地底には昆虫人による文明が誕生



✦ 大長編ドラえもん (Vol.15) のび太の創世
日記(てんとう虫コミックス)
藤子・F・不二雄 (著)
出版社: 小学館

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

『大長編ドラえもんVOL.15
のび太の創世日記』
p.181

ミニッツレポート 1



⚡大長編ドラえもん (Vol.8) のび太と竜の騎士(てんとう虫コミックス)
藤子・F・不二雄 (著)
出版社: 小学館



⚡大長編ドラえもん (Vol.15) のび太の創世日記(てんとう虫コミックス)
藤子・F・不二雄 (著)
出版社: 小学館

言語を操り文明を持つ「人間のよう な生物」の進化は必然？

(注：恐竜人の進化も昆虫人の進化も、間接的にはのび太とドラえもんが原因ではある)

偶然と必然



必然

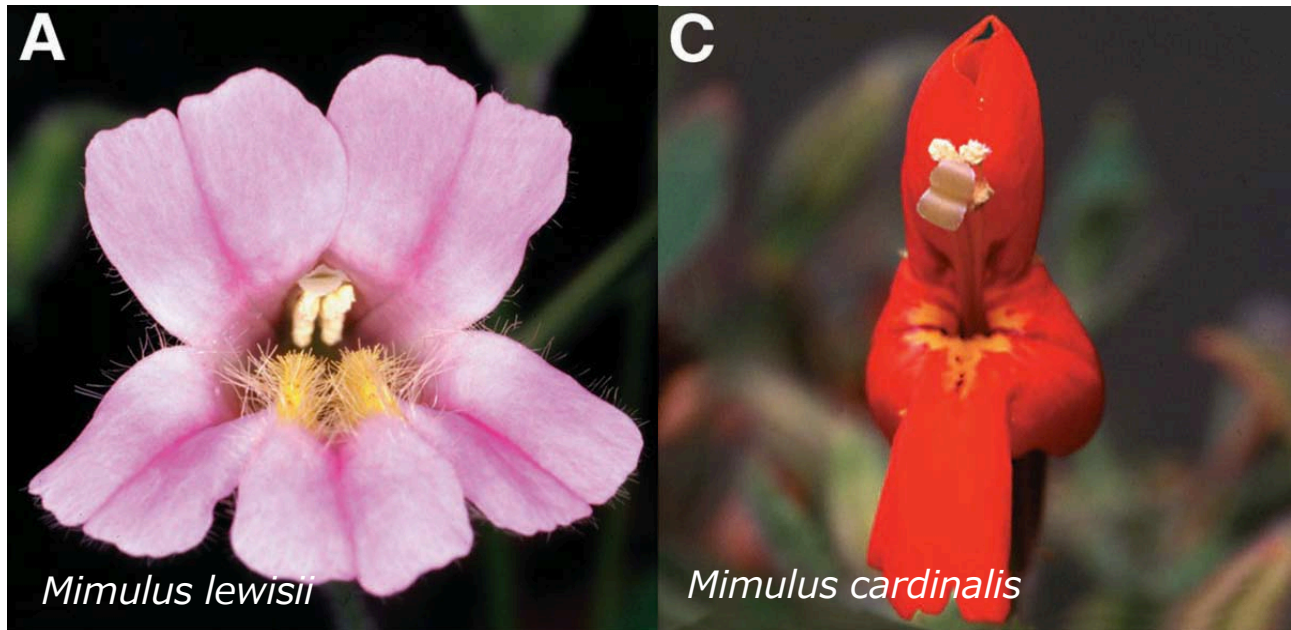
- ・ 生物間の形質の違いには意味がある
- ・ 生物やその形質の進化は予測可能

偶然

- ・ 生物間の形質の違いには意味がない
- ・ 生物やその形質の進化は予測不能 (あるいはランダムであるという予測)

✦ 偶然と必然—現代生物学の思想的な問いかけ
ジャック・モノー (著)
渡辺 格 (翻訳) 村上 光彦 (翻訳)
出版社: みすず書房 (1972/10)

偶然と必然



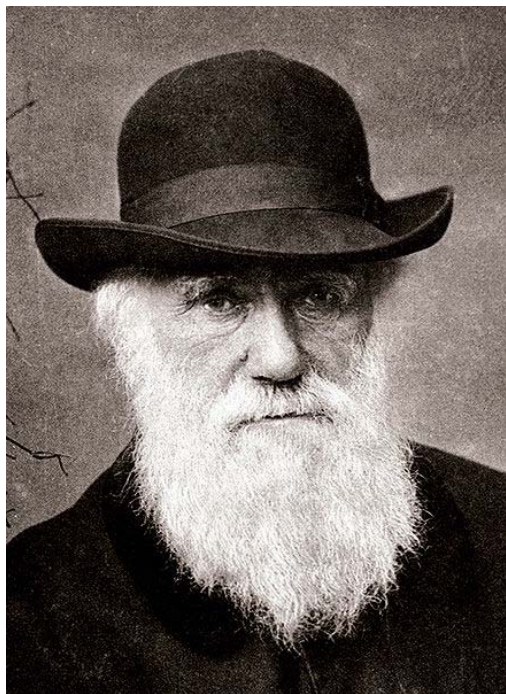
†Douglas W. Schemske and H. D. Bradshaw, Jr. Pollinator preference and the evolution of floral traits in monkeyflowers (*Mimulus*) PNAS(Proceedings of the National Academy of Sciences) 1999, 96 (21), pp.11910-11915, Figure 1a, 1c

必然=色や形の違いは花粉を媒介する送粉

者に対して都合が良い=**適応**

偶然=色や形の違いに意味はない=**中立**

偶然と必然



Wikipediaより転載(2011/05/17)
http://ja.wikipedia.org/wiki/file:Charles_Darwin_1880.jpg

チャールズ・ダーウィン
必然
適応進化
自然選択(自然淘汰)



+ 国立遺伝学研究所より許可を得て掲載

木村資生
偶然
中立進化
遺伝的浮動

進化とは
適応進化も中立進化も進化
なにが起きたら進化と言える？

遺伝的性質の時間的变化

進化とは

適応進化も中立進化も進化
なにが起きたら進化と言える？

交配が頻繁に生じる生物の集まり



集団内の遺伝子or遺伝的形質頻
度の時間的变化

進化の3条件

進化=集団内の遺伝子or遺伝的形質頻度の時間的変化

変異 生物のもつ形質は個体間で異なっている

遺伝 その形質は子孫に伝わる

自然選択 もしくは **遺伝的浮動**

その形質は有利であるため時間とともに増える

その形質は有利でも不利でもないためランダムに増減する

変異とは

生物のもつ形質が異なっている事

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

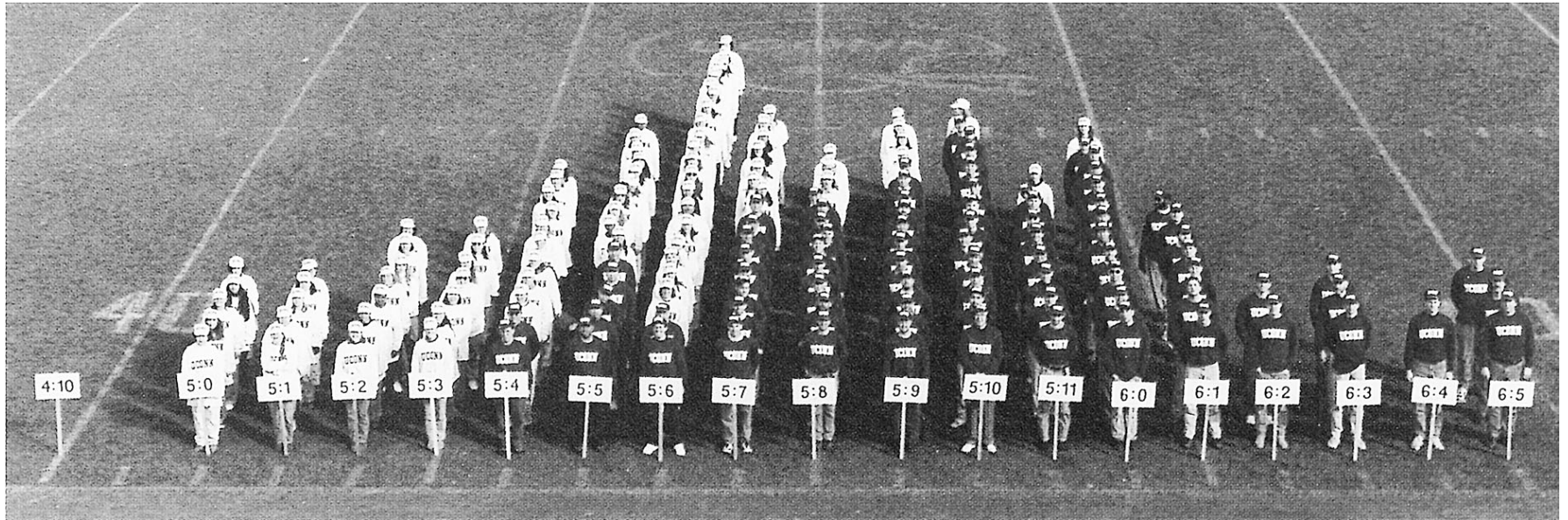
<http://komelong.up.seesaa.net/image/doraemon-f.jpg>

本当は昔のドラえもんの絵の方がよかったなあ

同じ生物であるヒトでも形質に違いがある

変異とは

生物のもつ形質が異なっている事



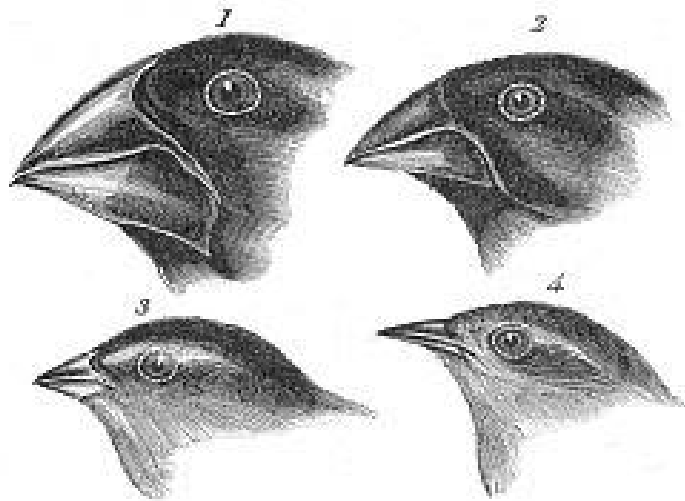
† J. F. Crow, 2004, The Wilhemine E. Key 2003 Invitational Lecture: Genetics: Alive and Well. The First Hundred Years as Viewed Through the Pages of the Journal of Heredity, *Journal of Heredity*, 95(5): 365-374 p.368 Fig.2(Bottom)

同じ生物であるヒトでも形質に違いがある

変異とは

生物のもつ形質が異なっている事

ダーウィンフィンチ



1. *Geospiza magnirostris*

2. *Geospiza fortis*

3. *Geospiza parvula*

4. *Certhidea olivacea*

Finches from Galapagos Archipelago

Wikipediaより転載(2012/03/09)

http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Darwin%27s_finches.jpeg

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画
像を削除しました。

グラフ：嘴の高さ (mm) とその頻度

Evolutionary Analysis (2nd ed.) 2001 (Hardcover)

By: Scott Freeman

Publisher: Prentice Hall

p.52 Figure3.3

これらの変異の全てが遺伝するわけではない

遺伝とは

生物のもつ形質が子孫に伝わる事

ダーウィンフィンチ の嘴の高さ

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

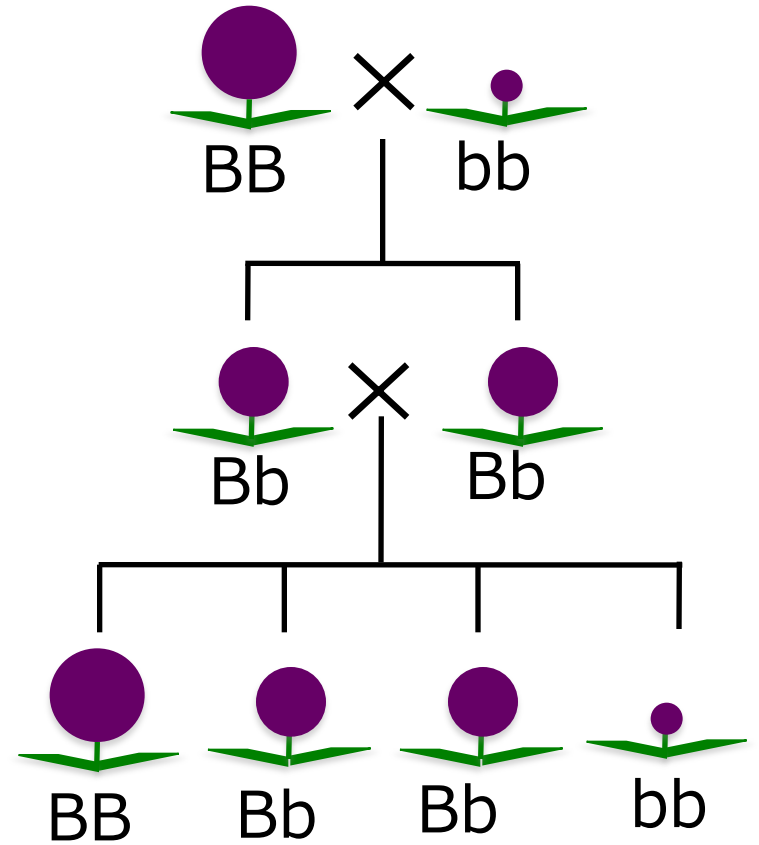
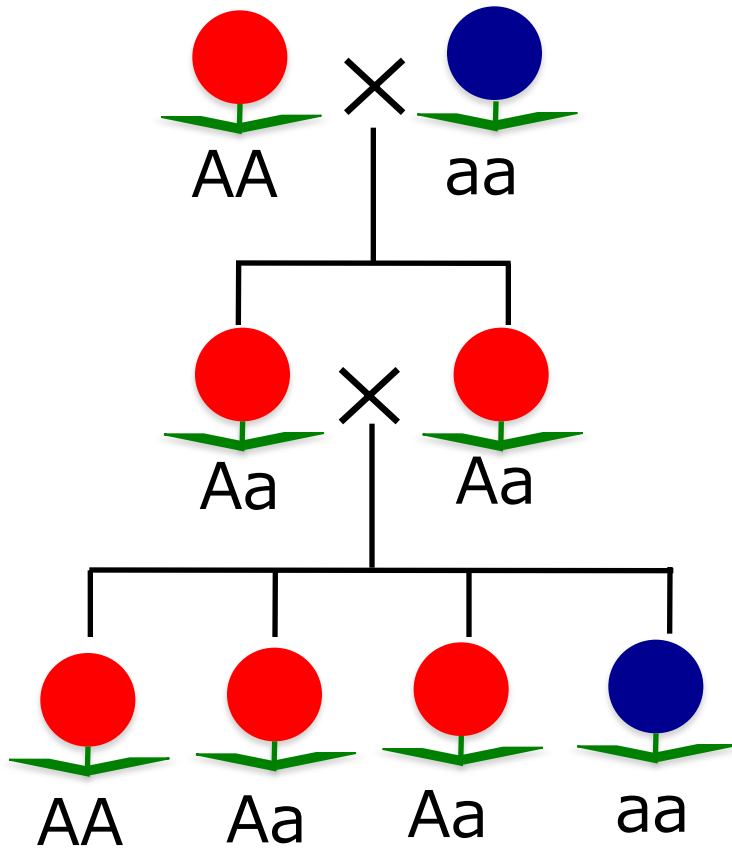
グラフ：両親の嘴の高さの平均値（横軸）と子どもの嘴の高さの平均値（縦軸）

Evolutionary Analysis (2nd ed.) 2001 (Hardcover)
By: Scott Freeman
Publisher: Prentice Hall
p.53 Figure3.4

親と子供の嘴の高さは似ている

遺伝とは

遺伝を司るもの=遺伝子

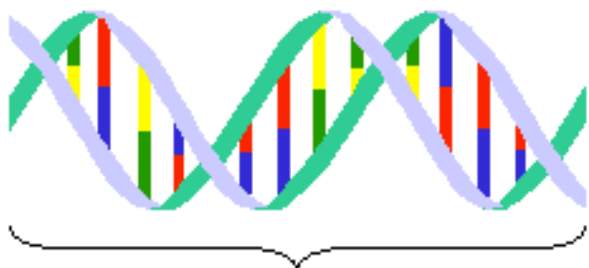


A, a, B, bを対立遺伝子と呼ぶ

遺伝とは

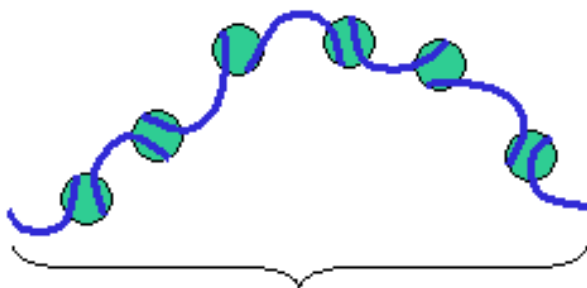
遺伝子の物質的な実体はDNA

DNA



相補的な二本鎖

例えば、ヒトの全DNA
(=ゲノム)は30億塩基対



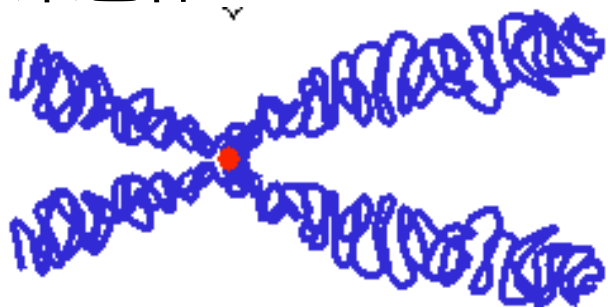
染色体

10年前：

世界中の研究者で10年間

現在：

1つの研究室で1週間



進化の3条件

進化=集団内の遺伝子or遺伝的形質頻度の時間的变化

変異 生物のもつ形質は個体間で異なっている

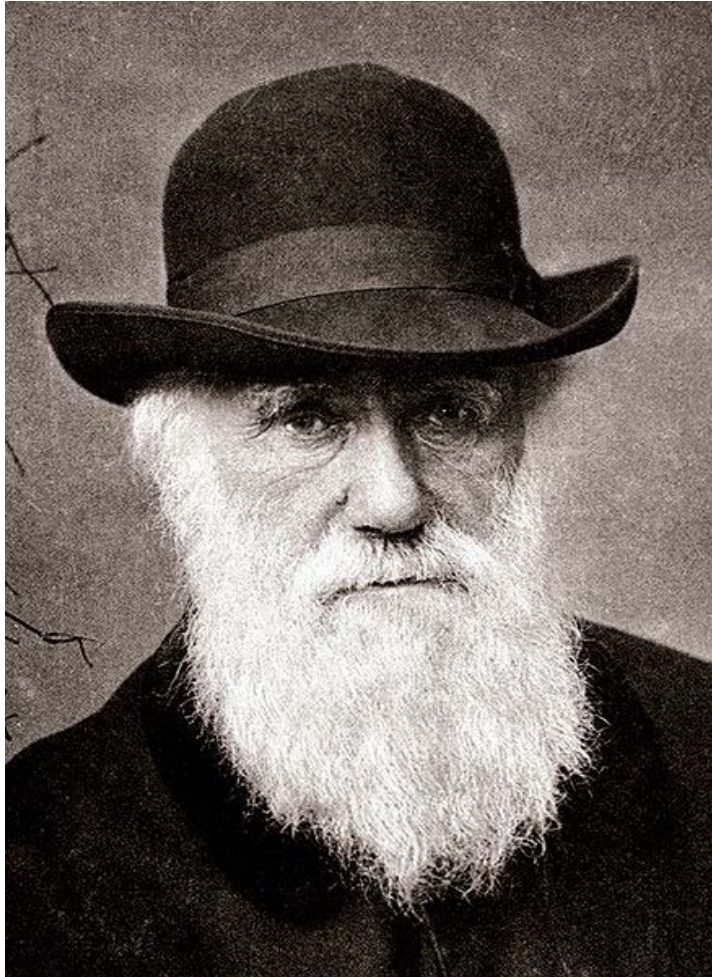
遺伝 その形質は子孫に伝わる

自然選択 もしくは **遺伝的浮動**

その形質は有利であるため時間とともに増える

その形質は有利でも不利でもないためランダムに増減する

自然選択理論



Wikipediaより転載(2011/05/17)
http://ja.wikipedia.org/wiki/file:Charles_Darwin_1880.jpg

ダーウィン

「種の起原(1859)」

適応の仕組みを提唱

遺伝する

変異に

自然選択が作用

この条件が揃えば、
適応が生じる

自然選択

生存上有利な変異が増える作用

⇒ 正の自然選択

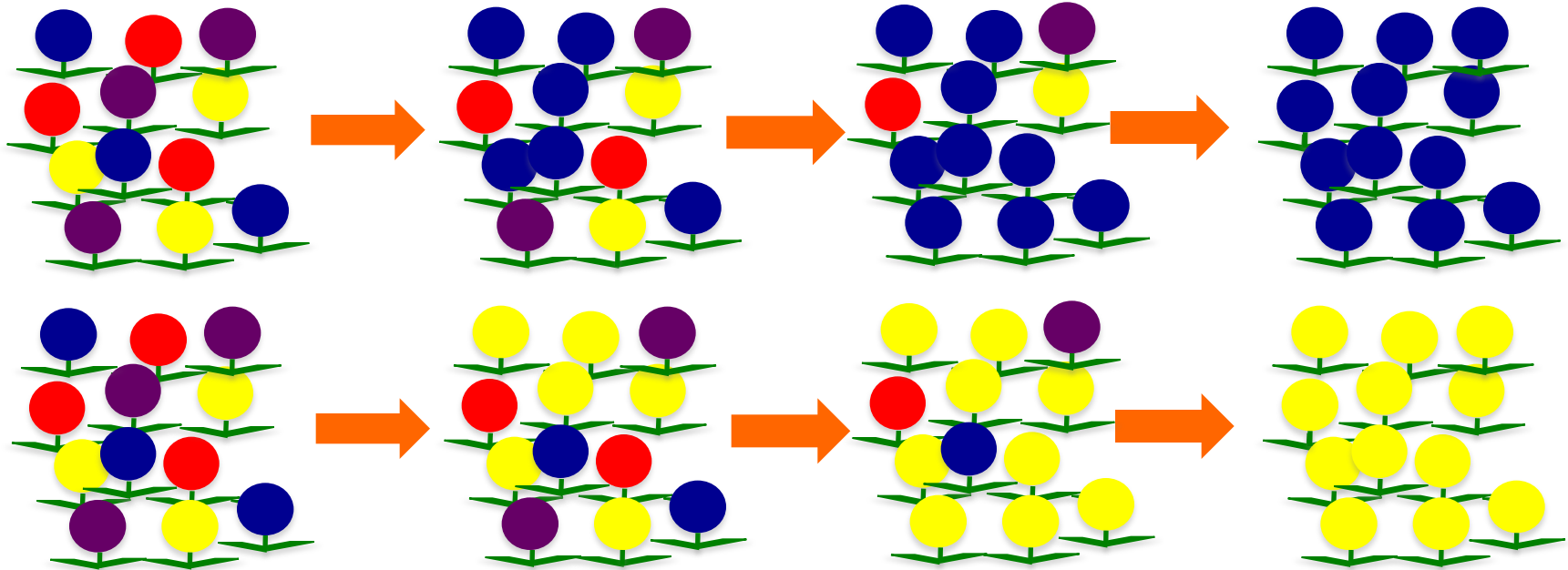
生存上有利な変異が保たれる作用

(生存上不利な変異が除去される作用)

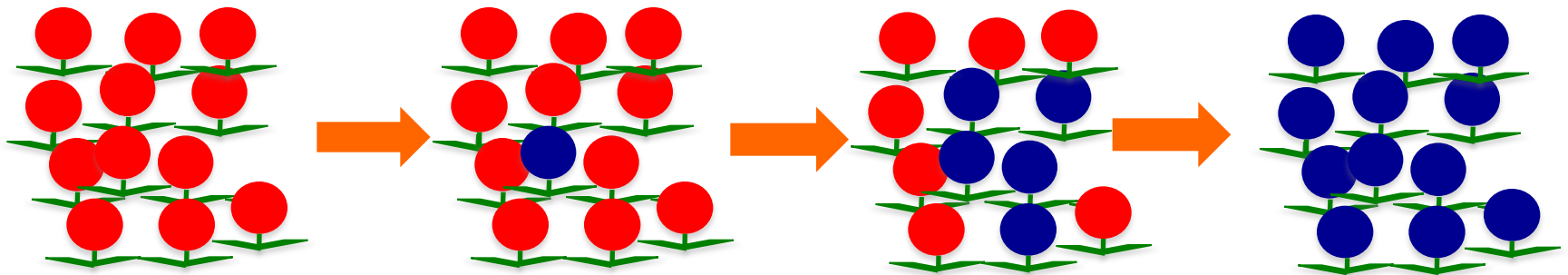
⇒ 負の自然選択

正の自然選択

多様な中から一つの有利な変異が広まる

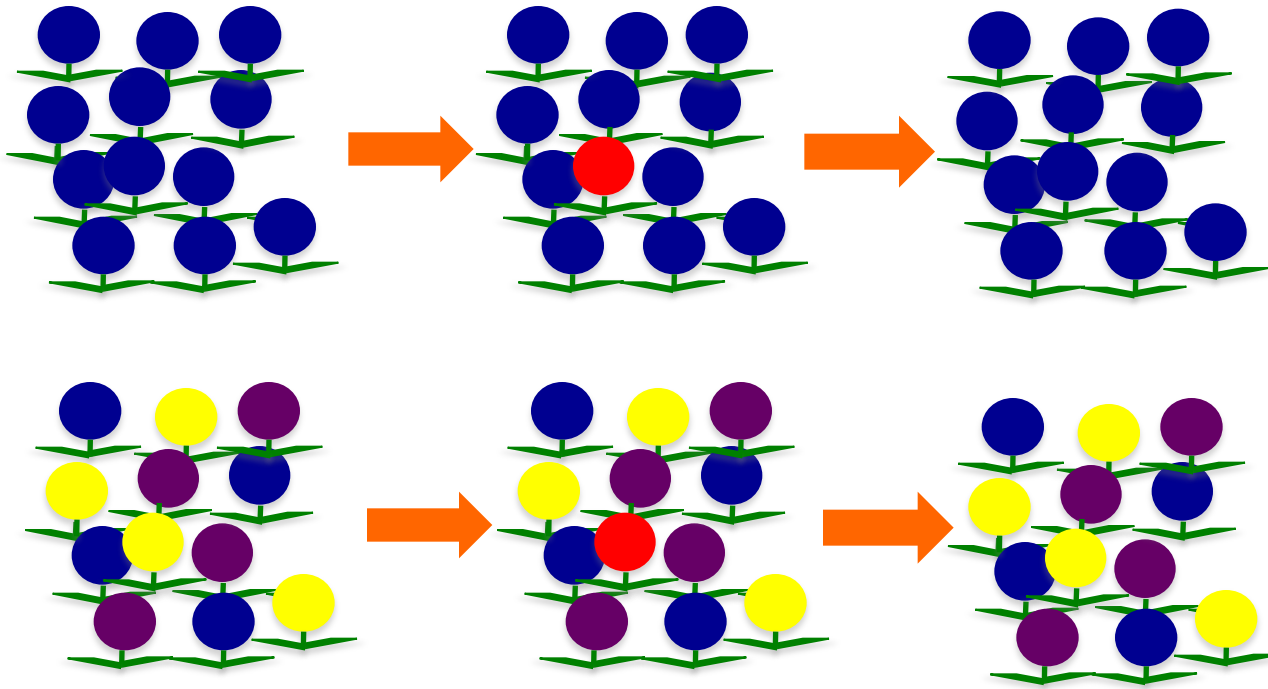


新たに生じた有利な突然変異が広まる



負の自然選択

不利な突然変異は広まらずに消える



自然界では負の自然選択がほとんど
ただし、その現場を観察するのが難しい

自然選択の観察例

オオシモフリエダシャクの工業暗化

- ・ 19世紀のイギリスの産業革命によって排煙が増加
- ・ 樹木の樹皮が白から黒へ変わった・・・



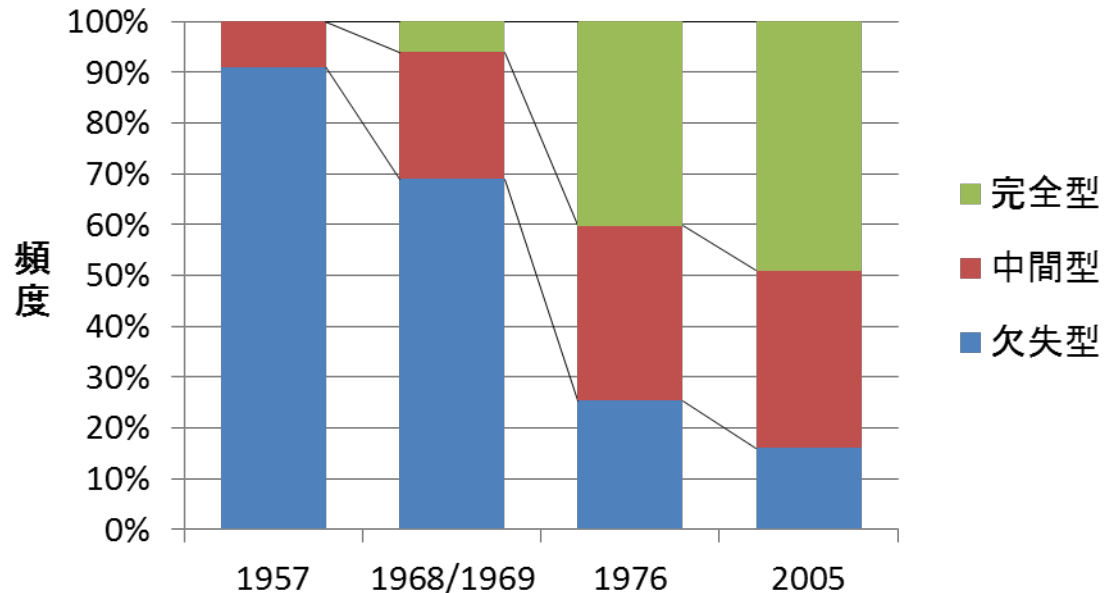
† Wikipediaより転載(2012/03/02)
http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイナル:Lichte_en_zwarte_versie_berkenspanner.jpg

明色型から暗色型へ置き換わった

自然選択の観察例

トゲウオの胴体鱗板

- ・ トゲウオの胴体鱗板は外敵に対する防衛
- ・ 水が濁っていると外敵から逃れることができる



著作権の都合により、
上記に挿入されていた画像を削除しました。
Reverse Evolution of Armor Plates in the Threespine
Stickleback
Jun Kitano et al. 2008
Current Biology 18(10) : 769-774, figure1(A)

Reverse Evolution of Armor Plates in the Threespine
Stickleback
Jun Kitano et al. 2008
Current Biology 18(10) : 769-774, figure1(A) より作成。

環境浄化で湖が綺麗になって完全型が増加

これまでに「適応」と考えられる事例が数多く発見されてきた

それって本当に自然選択?、
本当に適応?

偶然の作用によっても説明
できるのでは?

進化の3条件

進化=集団内の遺伝子or遺伝的形質頻度の時間的变化

変異 生物のもつ形質は個体間で異なっている

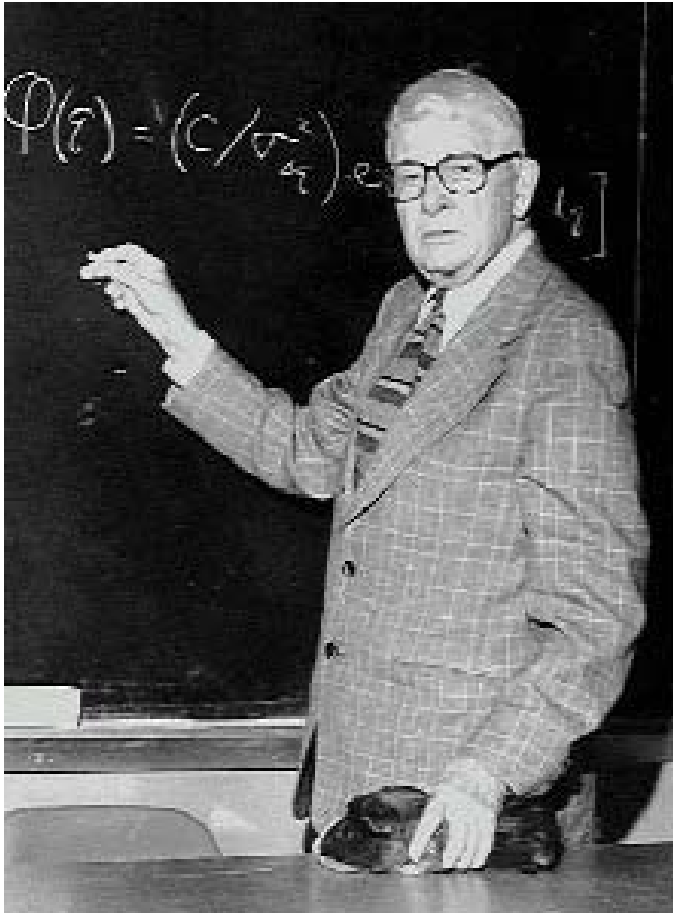
遺伝 その形質は子孫に伝わる

自然選択 もしくは **遺伝的浮動**

その形質は有利であるため時間とともに増える

その形質は有利でも不利でもないためランダムに増減する

セオール・ライト



S. Wright

1930sに進化における**遺伝的浮動の重要性**をはじめめて指摘

遺伝する

変異に

遺伝的浮動が作用

遺传的浮動 (genetic drift)

(ランダム浮動、機会的浮動、浮動、ドリフト)

偶然の作用による遺伝子or遺传的形質頻度の変化

⇒ 集団内の個体が少ないほど影響が大きい

はあ？

二つほど生物とは無関係な話を・・・

酔っぱらいの話

細い道

広い道



⚠ Wikipediaより転載(2011/05/17)
http://ja.wikipedia.org/wiki/File:Pontocho_by_Wolfiewolf_in_Nabeyacho,_Kyoto.jpg

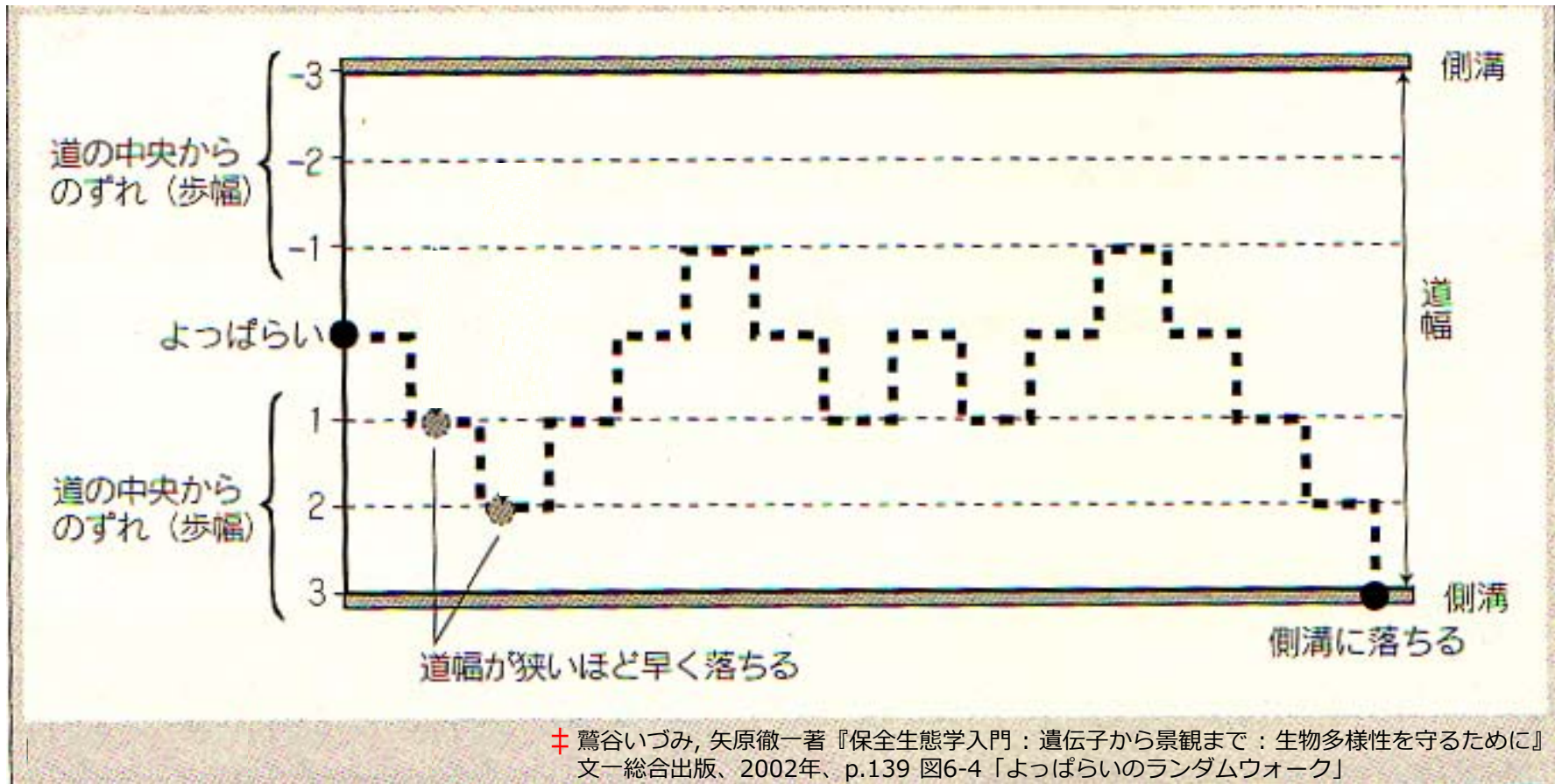


⚠ Wikipediaより転載(2011/05/17)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Akatsuka_park_entrance_itabashi.JPG

酔っぱらって千鳥足で歩くと・・・

細い道では道幅が狭いため、側溝に落ちたり、壁にぶつかる

酔っぱらいの話



細い道では道幅が狭いため、側溝に落ちたり、壁にぶつかる

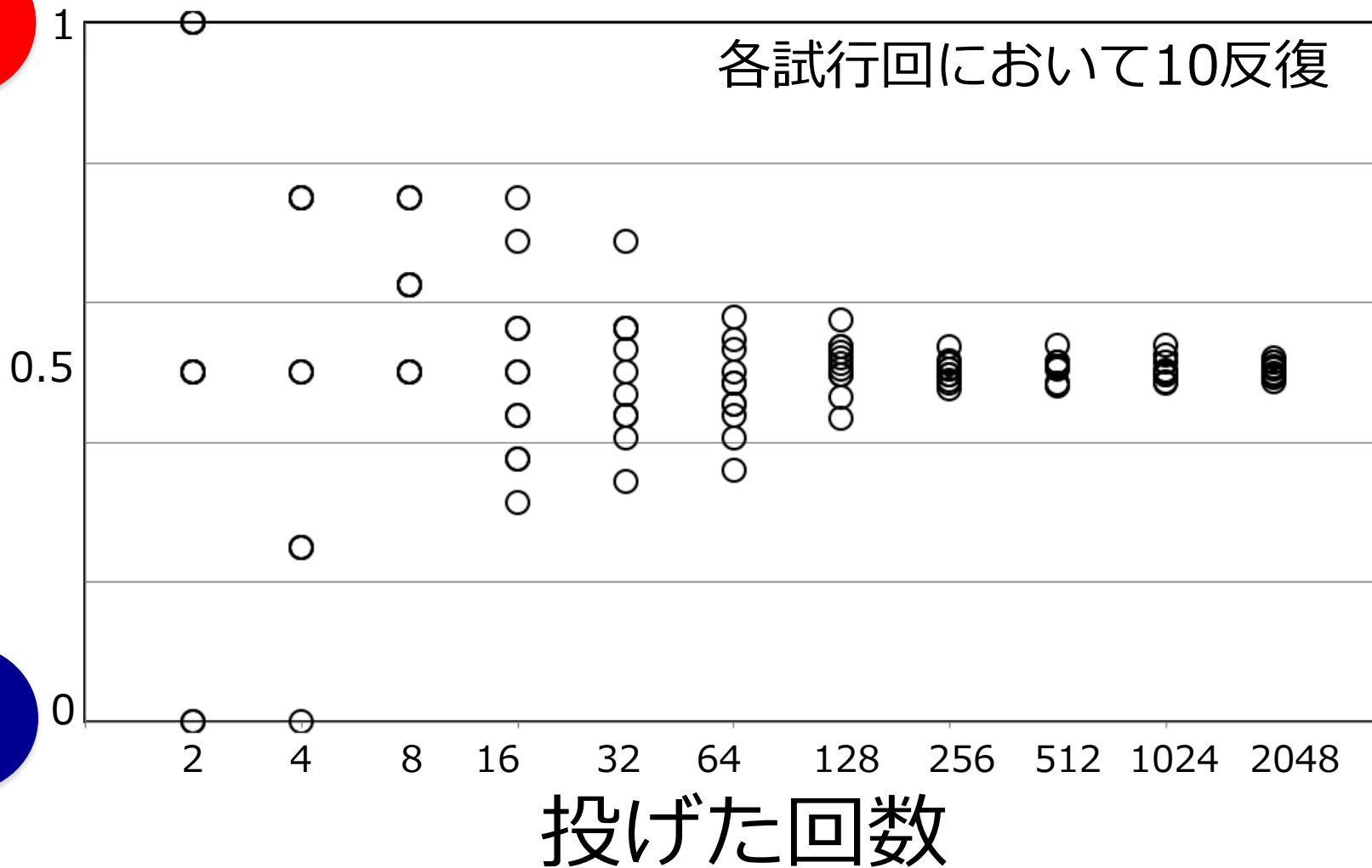
コイン投げ

コインを2回～2048回投げた時の表の割合は？

表

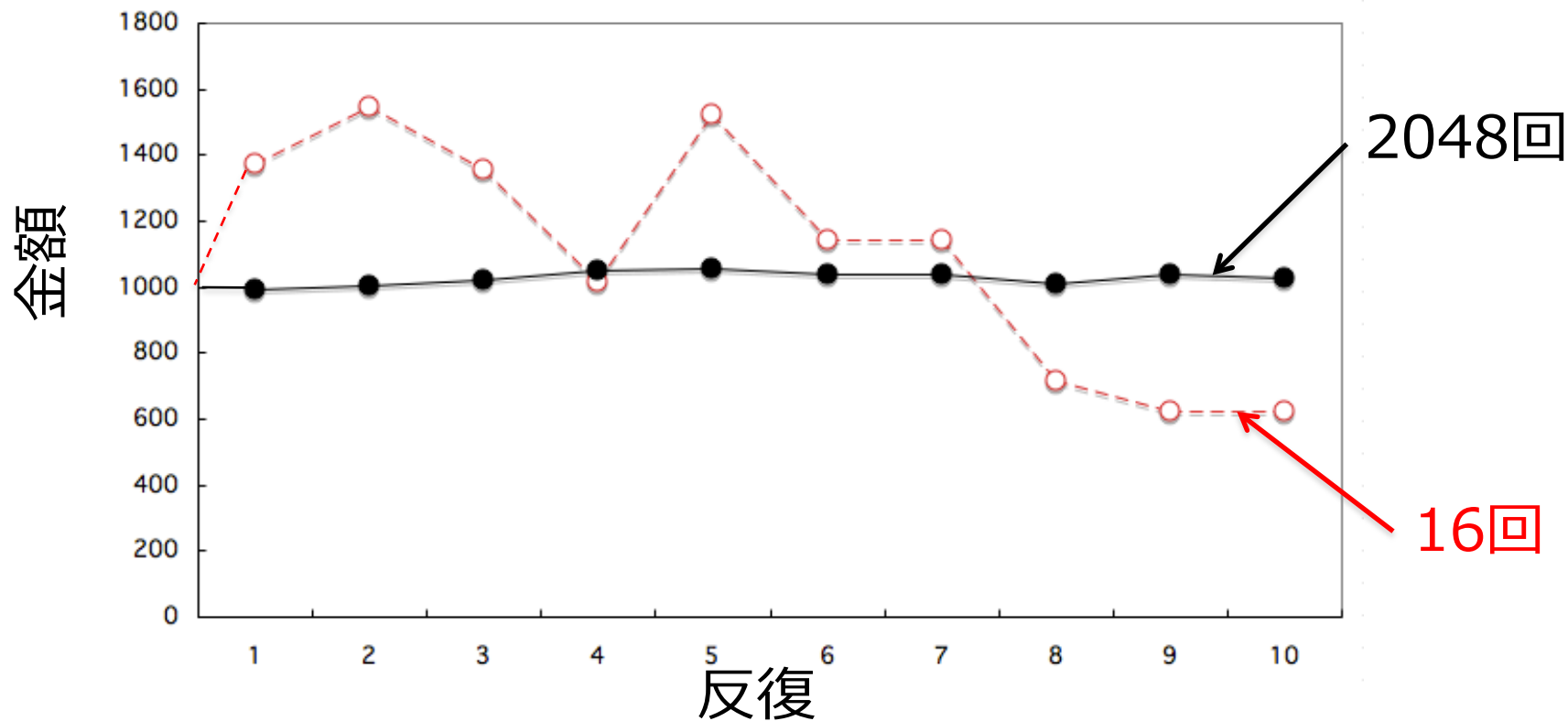
表の出た割合

裏



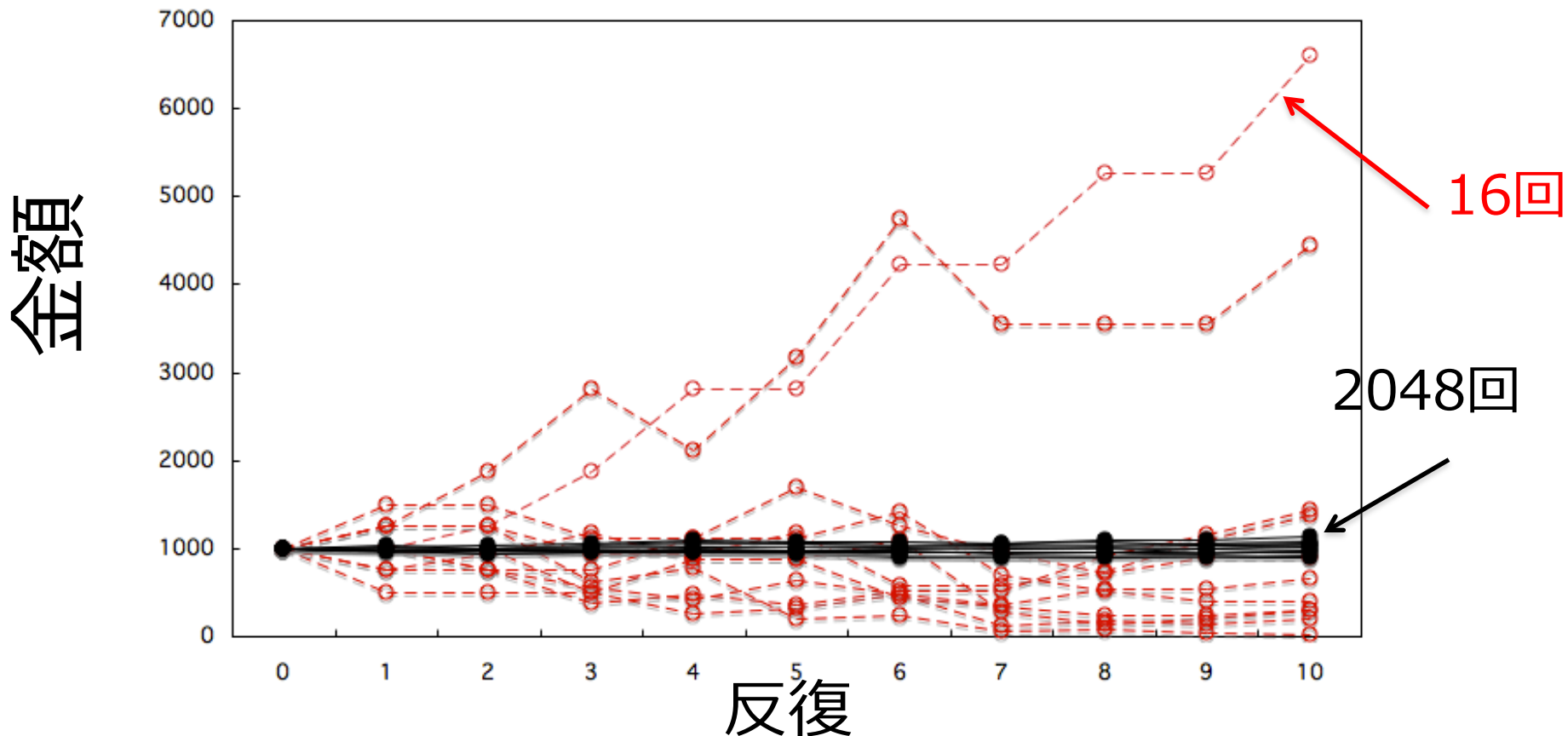
コイン投げを使ったゲーム

- [1] 元金として1000円を用意
- [2] コインを16回もしくは2048回投げて、「表の出た割合 $\times 2$ (期待値=1)」を掛ける
- [3] [2]の額を元手にさらに[2]を10反復



コイン投げを使ったゲーム

[4] [1]~[3]を10人で行なってみると・・・



16回しか投げないと1000円からはずれていく

再び遺传的浮動 (genetic drift)

(ランダム浮動、機会的浮動、浮動、ドリフト)

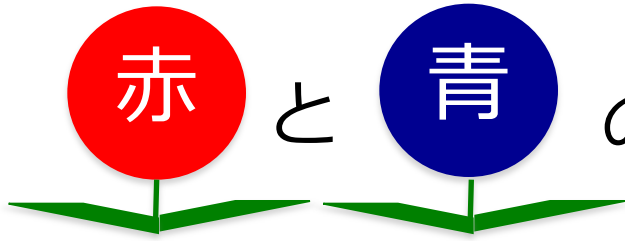
偶然の作用による遺伝子or遺传的形質頻度の変化

⇒ 集団内の個体が少ないほど影響が大きい

花の色で説明すると・・・

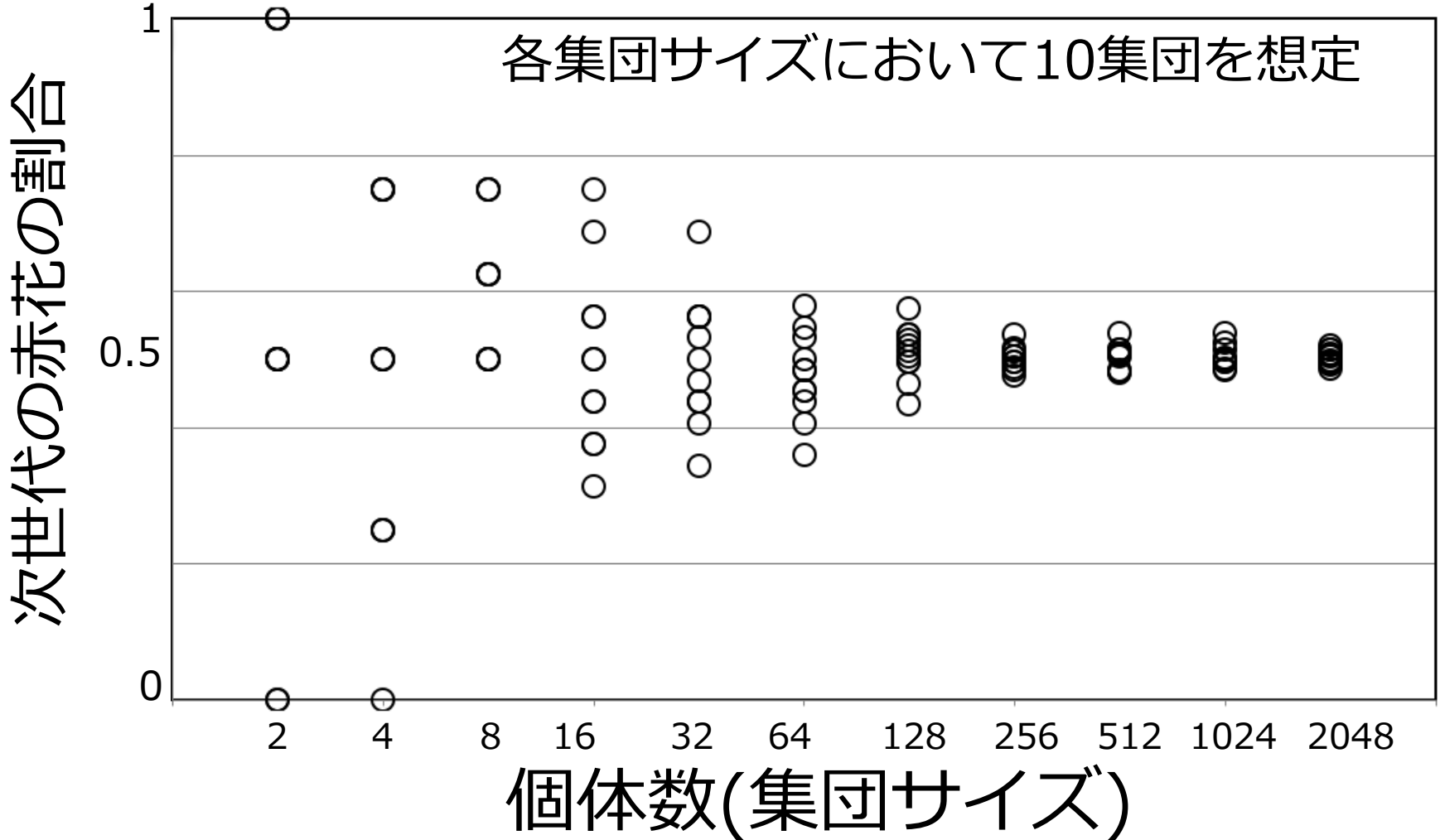
花の色

つまり中立



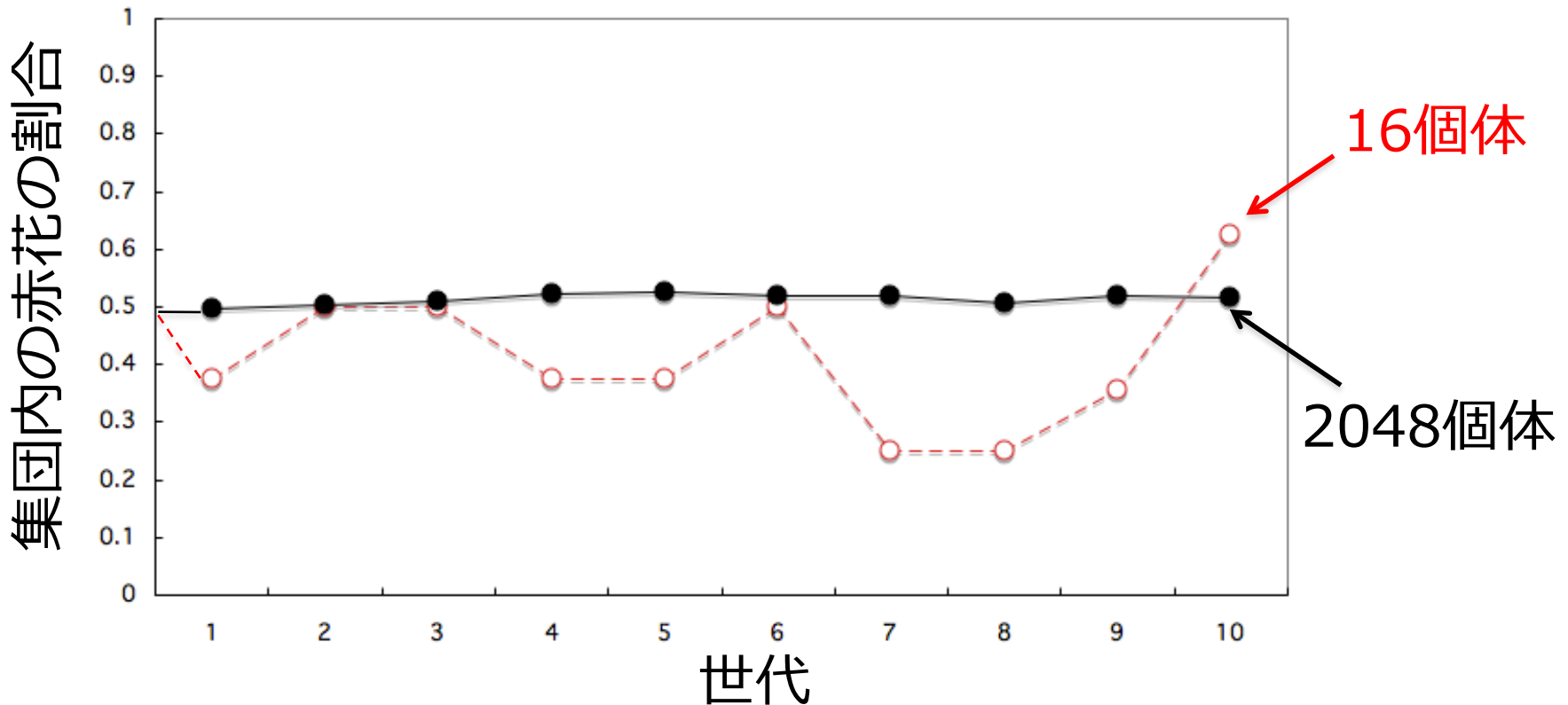
と

の花色の違いは生存率に影響しない
(期待値は0.5)



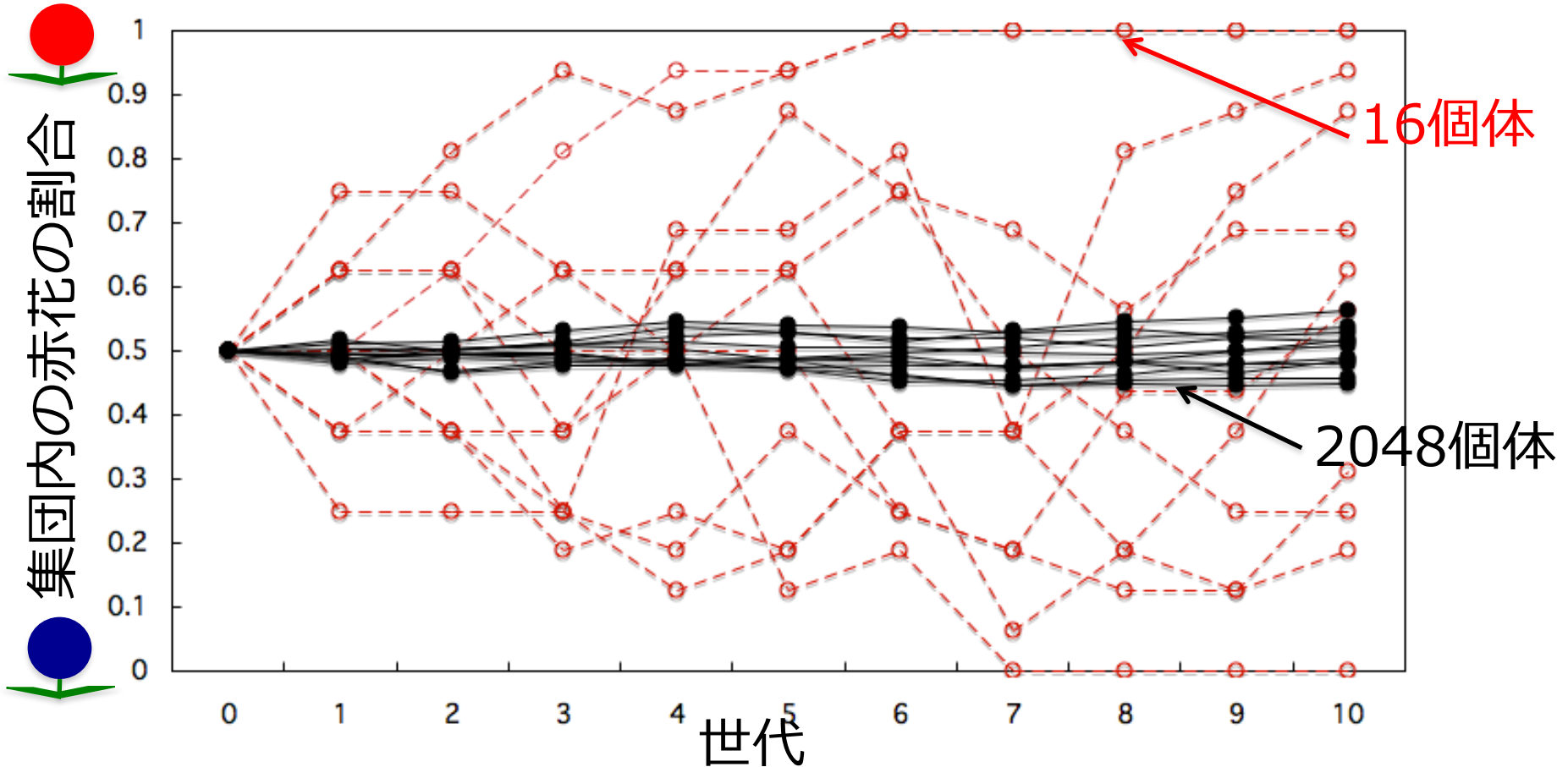
花の色の中立進化

- [1] 赤花と青花の初期頻度は50%ずつ
- [2] 16個体と2048個体を想定して偶然に任せて子供を残させる
- [3] [2]の子供を元にさらに10世代繰り返す



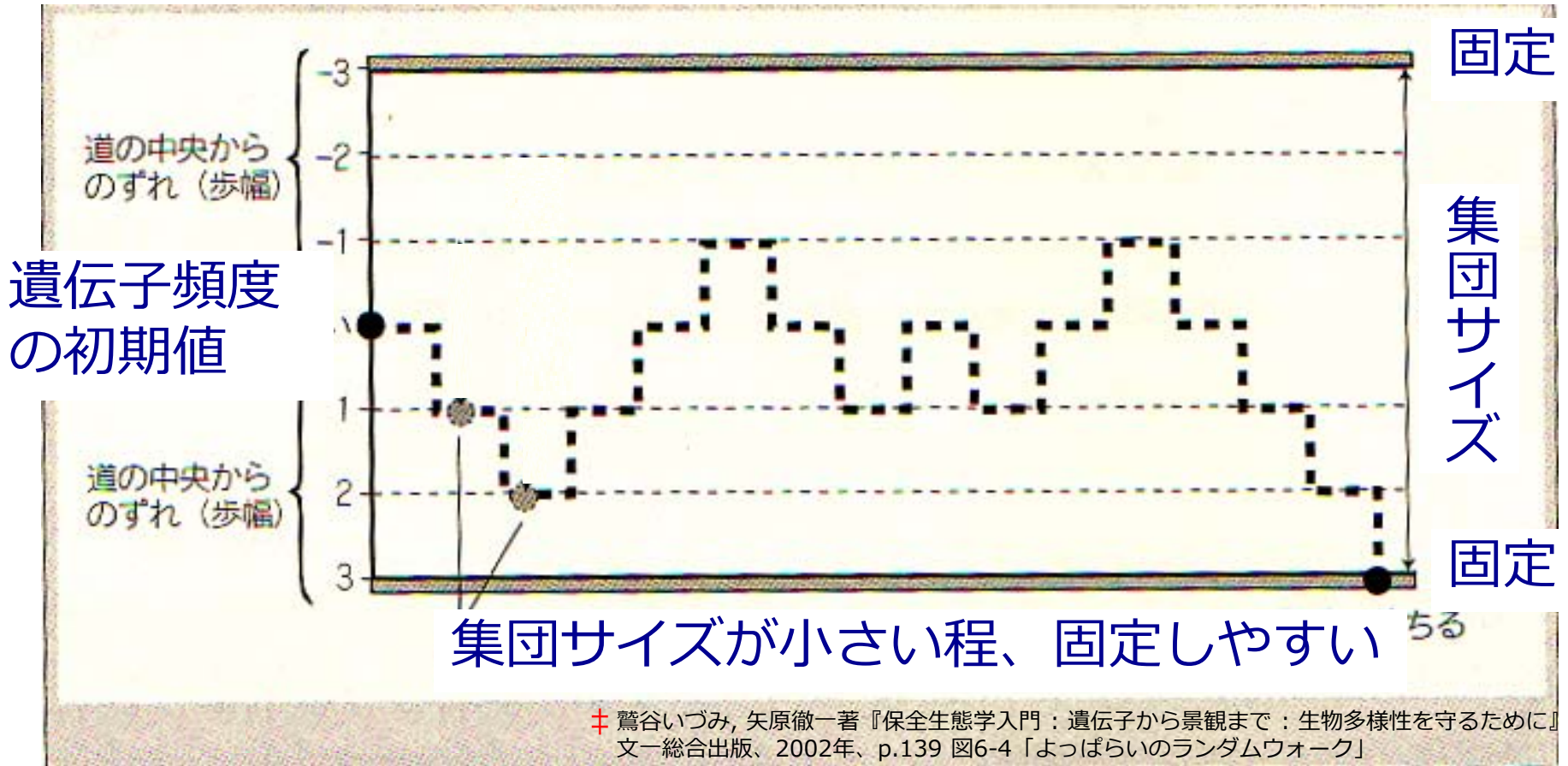
花の色の中立進化

[4] [1]~[3]を10集団で独立に行うと・・・



16個体の集団では、割合が世代ごとに大きく変化し、赤花集団や青花集団に進化する(固定する)

酔っぱらいのランダムウォーク

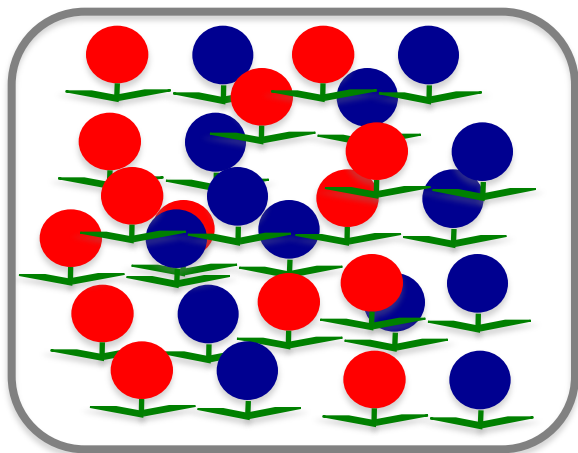


集団サイズが対立遺伝子の固定のしやすさに影響する

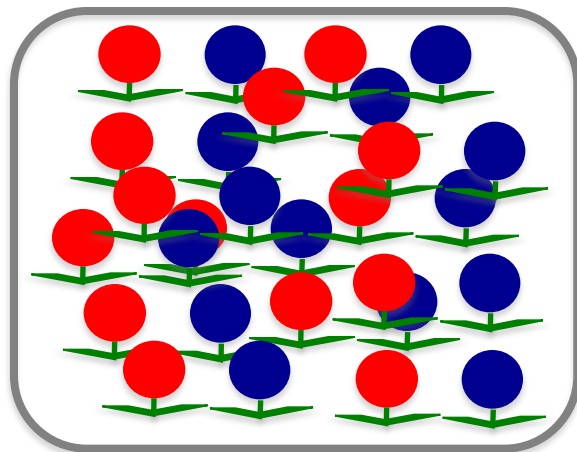
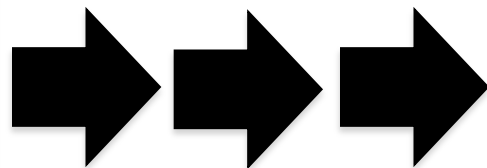
遺伝的浮動による進化

大きな集団

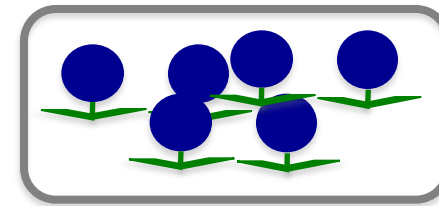
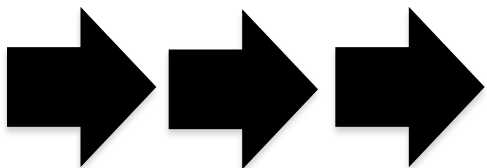
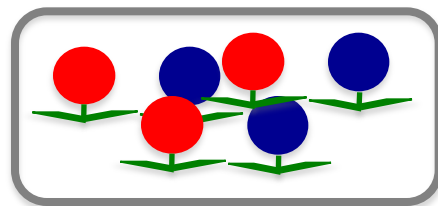
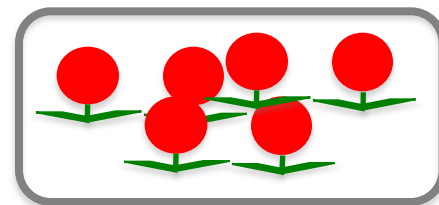
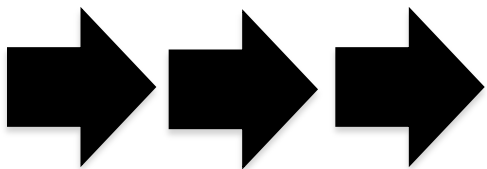
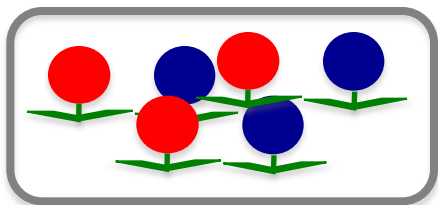
● と ● の差は中立



世代



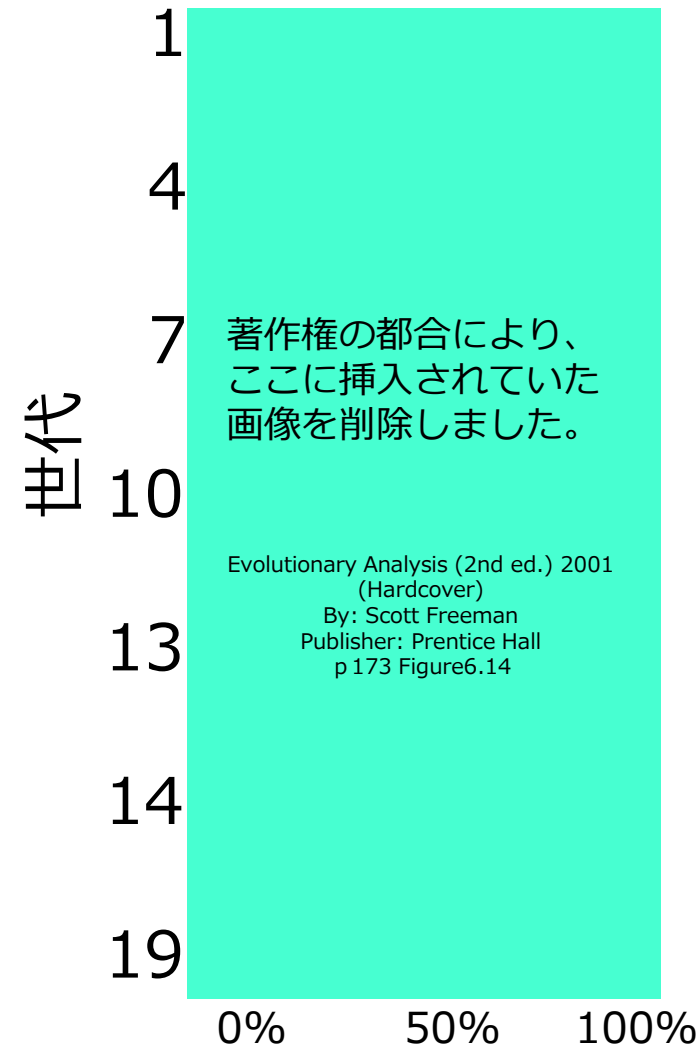
小さな集団



まるで適応(必然)のよう

遺伝的浮動の例

ショウジョウバエでの室内実験



- 107飼育箱 (集団)
- 16個体/飼育箱
- とある遺伝子のA対立遺伝子頻度を50%付近にする
- 19世代交配を繰り返す
- 世代とともにA対立遺伝子の割合は0%と100%の集団が増える (分散が大きくなる)

遺伝的浮動の例

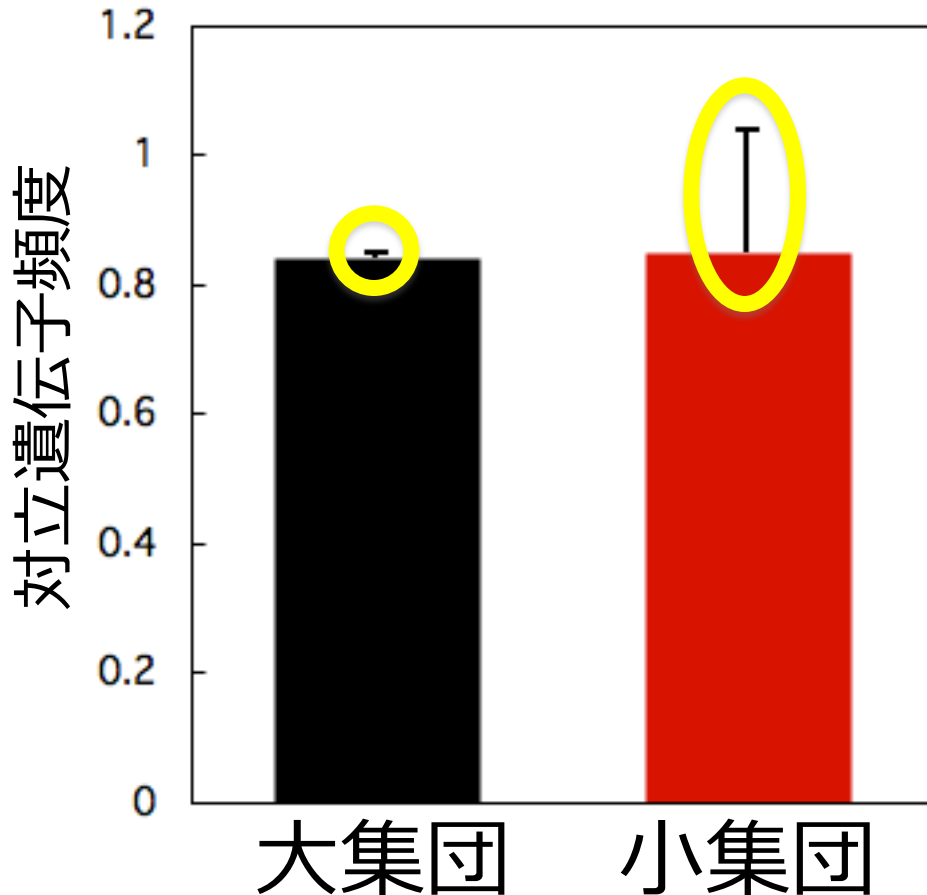
ネズミの野外集団

Futuyma Evolution 1st より作図

13個の大集団
(平均約200個体)

29個の小集団
(平均約10個体)

小集団では、対立遺伝子頻度の割合が集団間でバラツク
(分散が大きくなる)



小集団化と遺伝的浮動

遺伝的浮動は小さな集団で生じやすい
集団が小さくなるのはどんなときか？

- ボトルネック効果
- 創始者効果

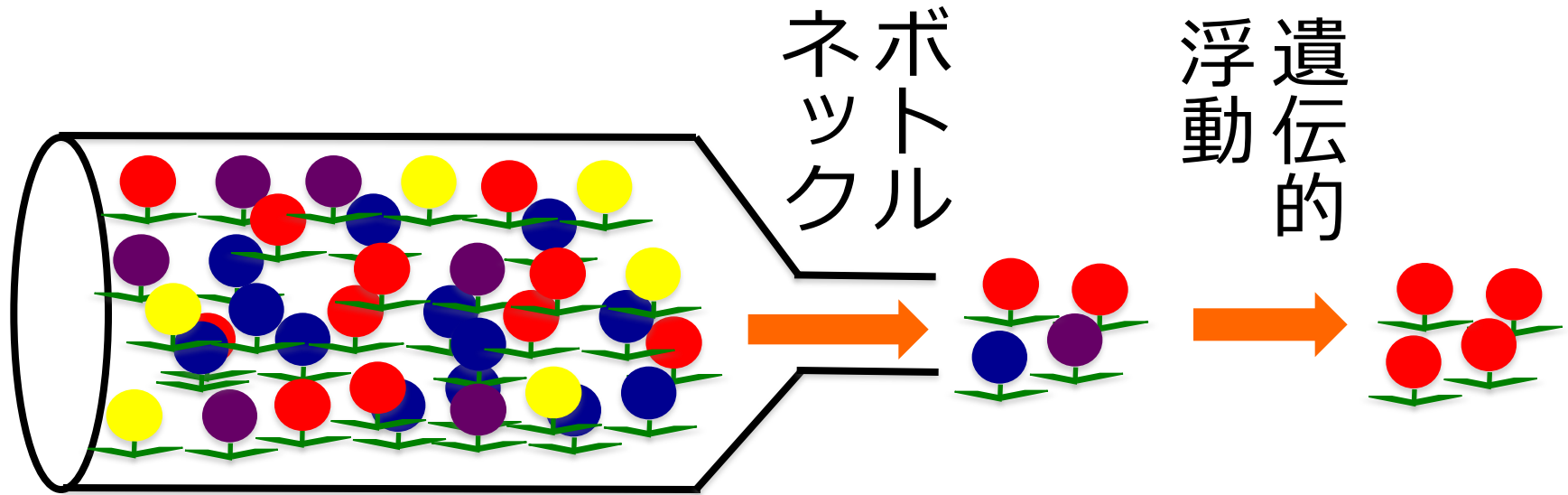
ボトルネック効果

別名：ビン首効果



ボトルネック(ビン首)効果

個体数の急激な減少による多様性の減少

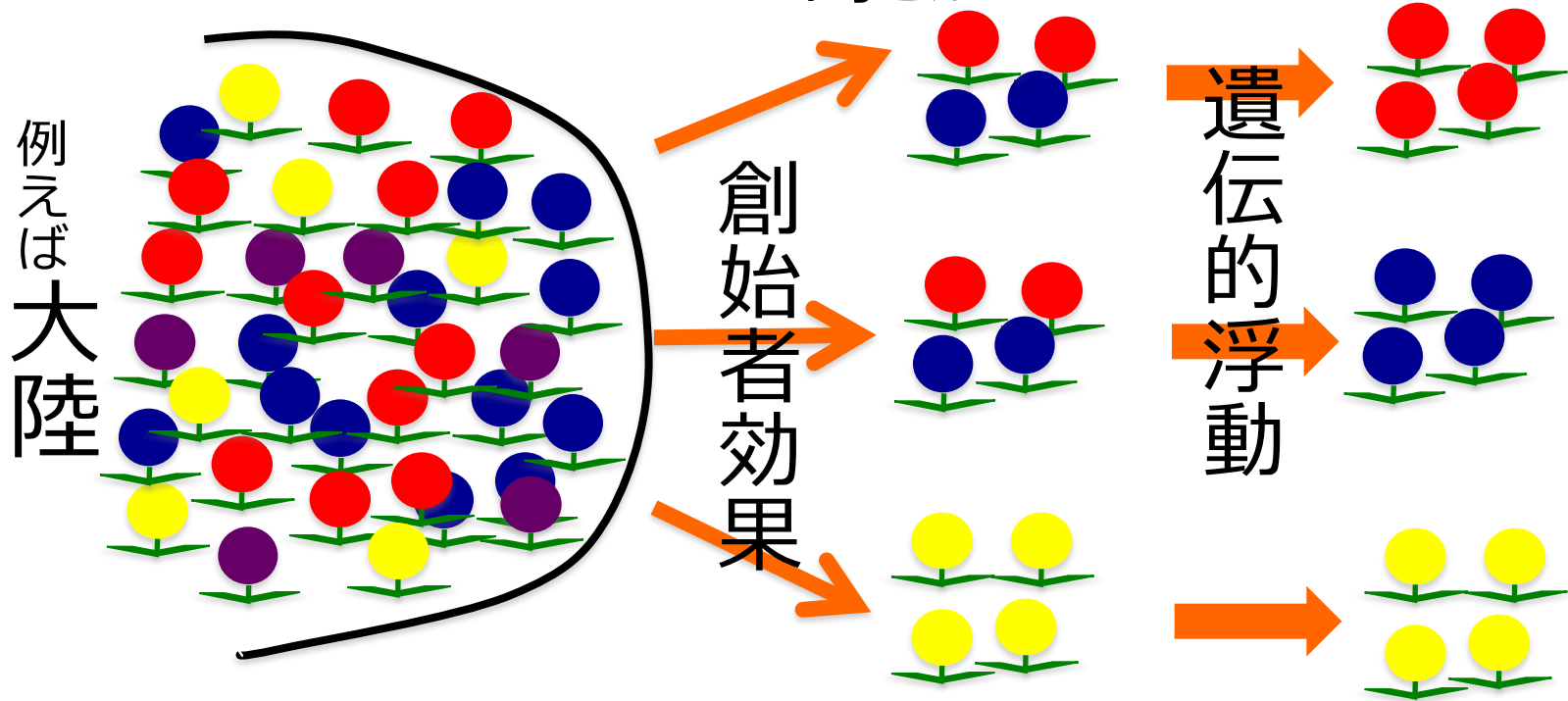


主に人為的な影響によって生じる

創始者効果

少数個体による集団の創出と多様性の減少

島とか



大きな集団からの移動・移入等によって生じる

分子進化の中立理論



† 国立遺伝学研究所より許可を得て掲載

木村資生

「分子進化の中立説」

分子(蛋白質)レベル
での進化には主に遺
伝的浮動が関与

遺伝する

分子レベルの**変異**には
遺伝的浮動が作用

適応か中立か

生物の形質は適応なのか中立なのか？

DNAレベルの進化はほとんどが中立、
一部が適応 (分子進化の中立理論の骨子)

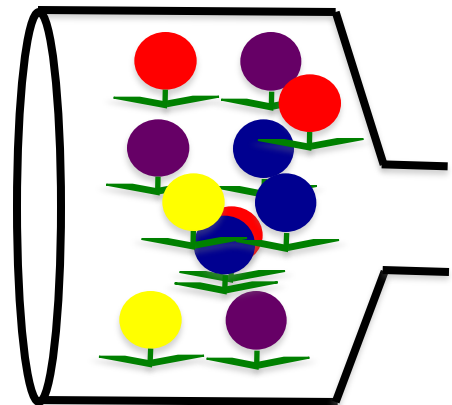
⇒ 多くの研究者が正しいと認めているはず

その「一部」のDNAの機能は？

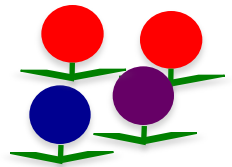
逆に

目に見える形質は、その「一部」のDNA
に支配されている？

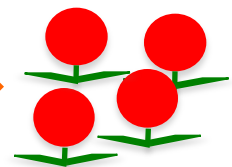
適応か中立か



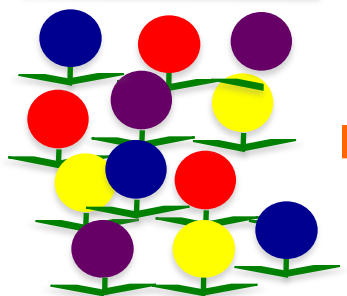
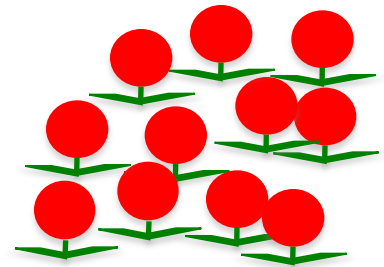
ビン首



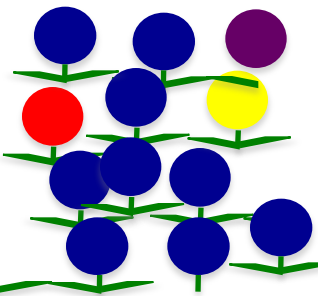
浮動



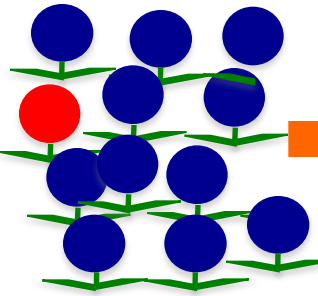
増加



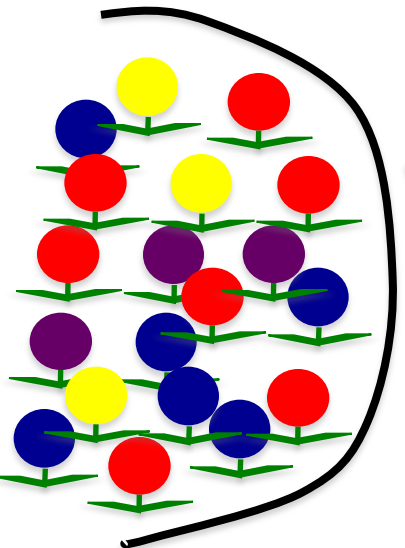
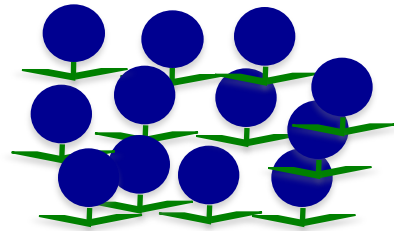
自然選択



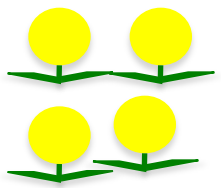
自然選択



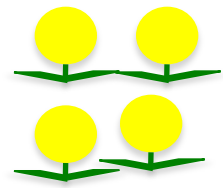
自然選択



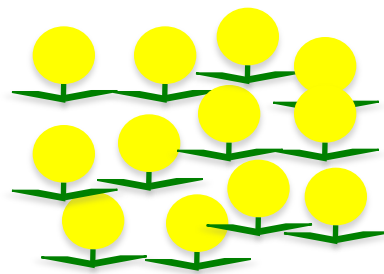
創始者



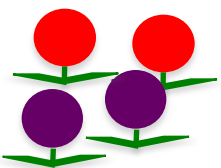
変化なし



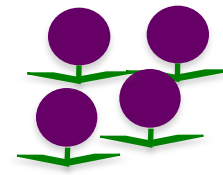
増加



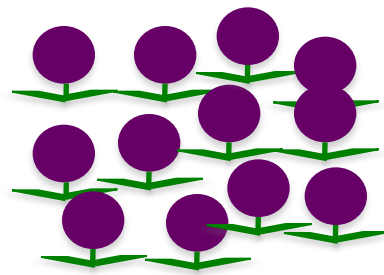
創始者



浮動



増加



ゲノム情報の利用

ゲノムとは生物のもつ全DNA配列

自然選択

特定の遺伝子とその近傍に強く作用

ボトルネック・創始者効果

ゲノム全体(全遺伝子)に作用

遺伝的浮動

不特定の遺伝子に弱く作用

ただし、どれも均一化させる力をもつ

着目する変異



ゲノム情報の利用

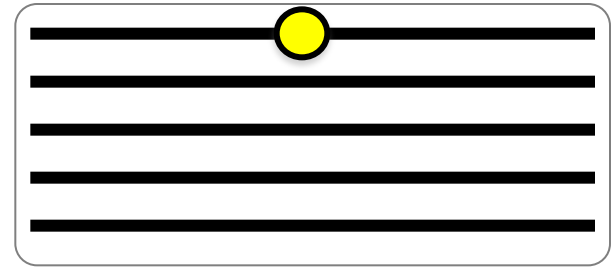
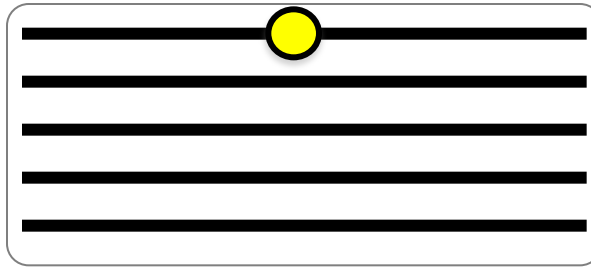
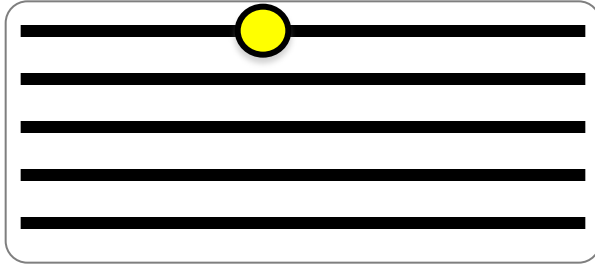
1 個体のゲノム



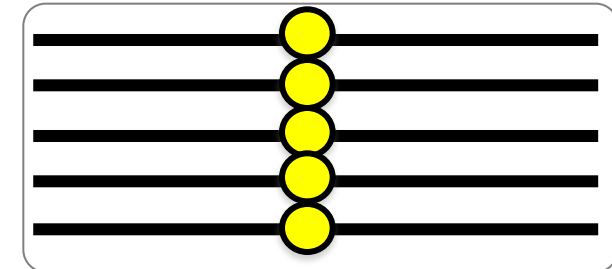
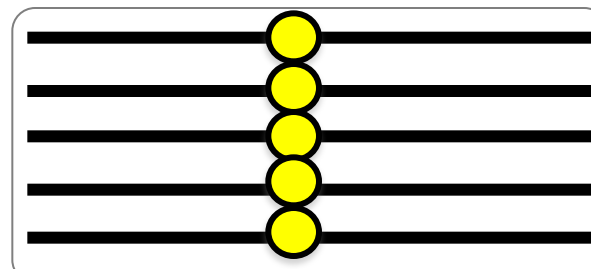
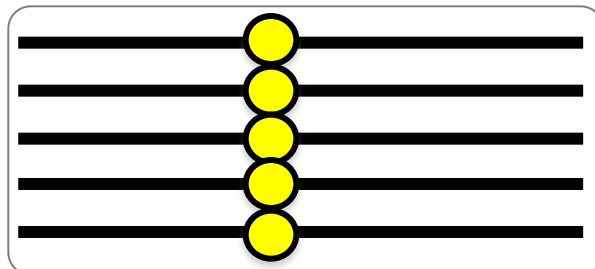
自然選択

ボトルネック

遺伝的浮動



すべて均一化させてしまう



着目する変異

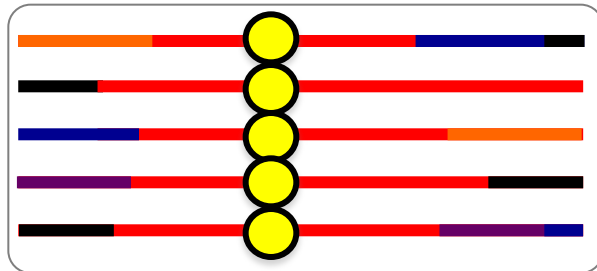
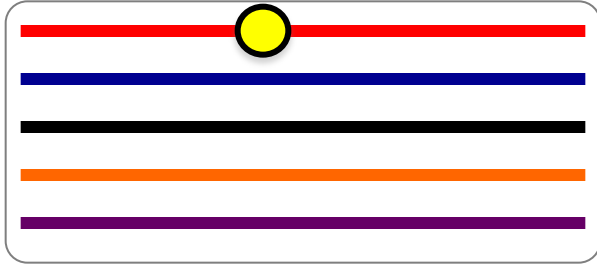


ゲノム情報の利用

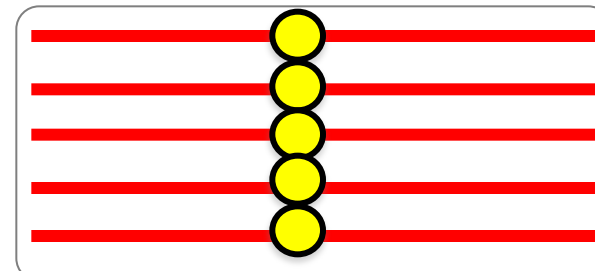
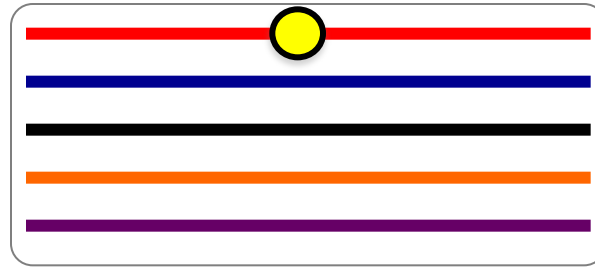
1 個体のゲノム



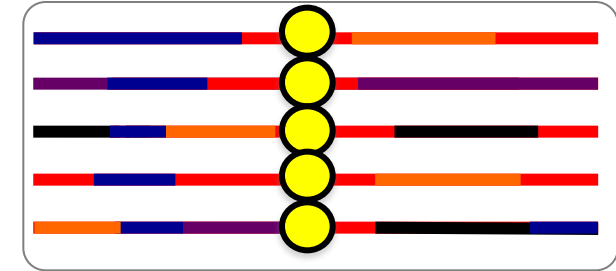
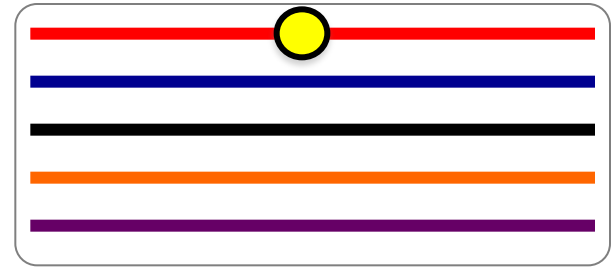
自然選択



ボトルネック



遺伝的浮動



過去へ遡る

過去の生物(遺体・標本)のゲノム解析

ネアンデルタール人のゲノム解読

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

Richard E. Green et al. (2010) A Draft Sequence of the Neandertal Genome. Science 328(5979) : 710-722. p.711 Fig. 1(A)

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

Richard E. Green et al. (2010) A Draft Sequence of the Neandertal Genome. Science 328(5979) : 710-722. p.721 Fig. 6

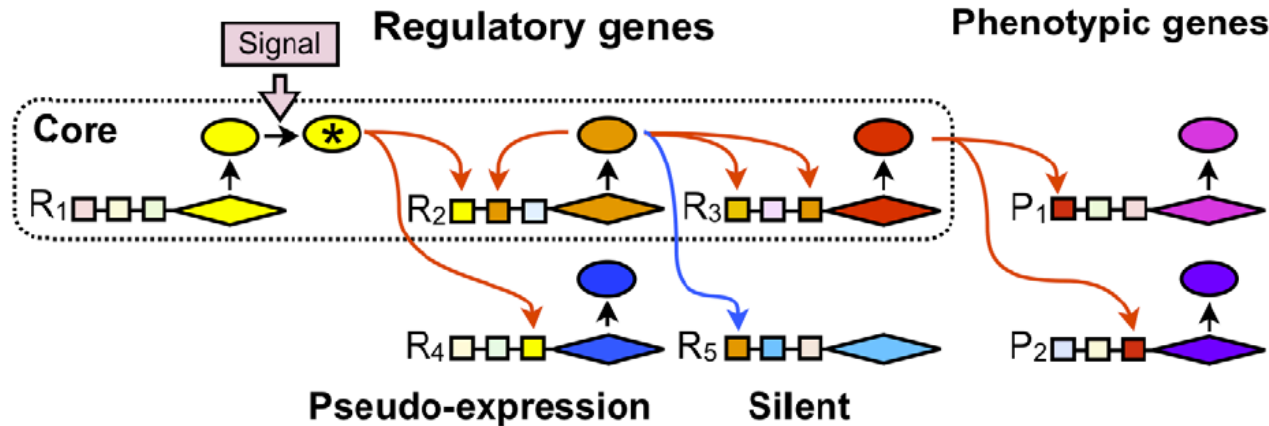
現生人類(*Homo sapiens*)と
ネアンデルタール人
(*H. neanderthalensis*)との間
での異種間交雑

代謝、社会性、頭蓋骨形成などにかかわる遺伝子に自然選択

未来を予測する

進化可能性 (evolvability) 適応可能性 (adaptability)

コンピュータ上で生物を創造



† © 2010 Tsuda, Kawata
Tsuda and Kawata
2010, PLoS Computational Biology 6:
e1000873

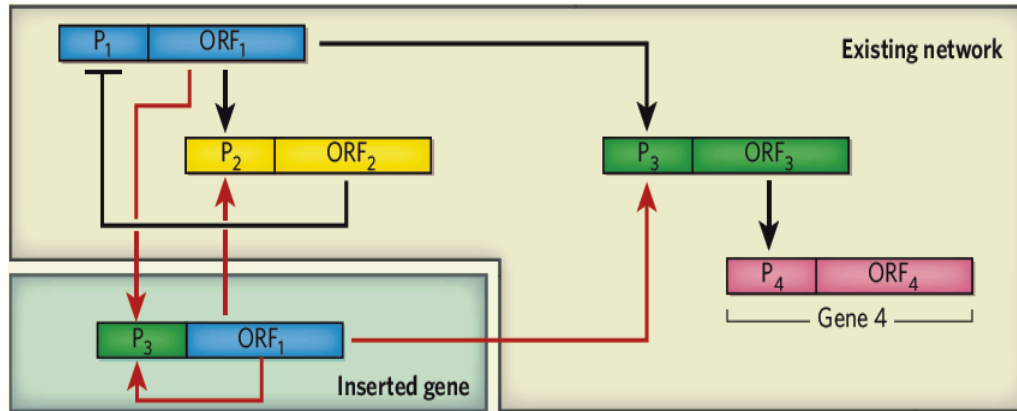
変動環境下では機能しない遺伝子 (pseudo-expression)が多くなる
進化(適応)可能性が高い

未来を予測する

頑健性(robustness)

現実世界で新しい生物を創造

nature (452) 840-845
nature (452) 824-825



大腸菌を用いて、人為的に遺伝子ネットワーク(システム)の攪乱

‡figure1

Systems biology: Genome rewired
Matthew R. Bennett¹ & Jeff Hasty
Nature 452, 824-825 (17 April 2008)

⇒生存率が低下したのは全株の5%のみ
⇒遺伝子ネットワークを攪乱するような突然変異が生じてても、進化的に維持される

頑健性が高い

結局 . . .

過去に遡るのも、未来を予測するの . . .

タイムマシン

があれば全て解決するのでは?

ミニッツレポート2

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

http://www28.atwiki.jp/happy_doradora/pages/8.html

タイムマシンを造ることができたら
生物の進化をすべて理解できる？
進化学が存在する理由はなくなる？

偶然と必然



必然

- ・ 生物間の形質の違いには意味がある
- ・ 生物やその形質の進化は予測可能

偶然

- ・ 生物間の形質の違いには意味がない
- ・ 生物やその形質の進化は予測不能 (あるいはランダムであるという予測)

⊕ 偶然と必然—現代生物学の思想的な問いかけ
ジャック・モノー (著)
渡辺 格 (翻訳) 村上 光彦 (翻訳)
出版社: みすず書房 (1972/10)