

数理社会I

第7回 性比

2014年5月23・30日

金曜日1・2時限

担当:中丸麻由子

前期授業スケジュール・予定

回	日にち	講義内容
1	4/11	ガイダンス
2	4/18	進化生態学基礎
3	4/25	進化ゲーム
4	5/2	進化ゲーム
5	5/9	進化ゲーム・採餌行動
6	5/23	採餌行動、性比
7	5/30	性比、性転換
8	6/6	性選択
9	6/13	血縁淘汰
10	6/20	人の性選択・人の血縁淘汰
11	6/27	協力の進化
12	7/4	協力の進化
13	7/11	遺伝と多様性
14	7/18	予備日・テスト範囲説明
15	7/25	テスト日

進化生態学の基本
+人への適用例

講義の参考文献

- 酒井聡樹、高田壮則、近雅博(1999)「生き物の進化ゲーム」共立出版
- 酒井聡樹、高田壮則、東樹宏和(2012)「生き物の進化ゲーム 大改訂版」共立出版
- 長谷川寿一、長谷川真理子(2000)「進化と人間行動」東大出版会
- 巖佐庸(1990)「数理生物学入門」共立出版
- 石川統、他編(2006)シリーズ進化「行動・生態の進化」岩波書店

性

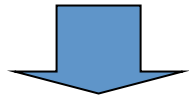
- 無性生殖
 - 親と同じ遺伝子のコピーを受け継ぐ
 - 突然変異が生じるので100%同じではない
 - 細胞分裂で個体を増やすバクテリア
 - これもたまに他の個体と遺伝子の交換を行っている
 - 無性生殖と有性生殖を使い分けている生物もある: 竹
- 有性生殖
 - 両親(♀と♂)の遺伝子を受け継ぐ
 - 性2つある
 - なぜ2つ性のある生物がほとんど? →面白い問題
 - 性比は1:1で当たり前と思うかもしれないが、進化的に1:1になる条件がある。この条件以外では性比は偏る→今回のテーマ

前ふり

- ♂は♀に比べて子供を作るコストが低い
 - 例：人では女性は9ヶ月間妊娠期間
- →♂より♀が多いと、子供の数が多くなる
- →♂バイアスになった方がよいのでは？
- →実際はほぼ1 : 1
 - 人の場合：男の子の赤ちゃんの生存率が低い
ため、出生時の性比は若干オスが多い
- 性比が1 : 1となることの、進化ゲーム的説明

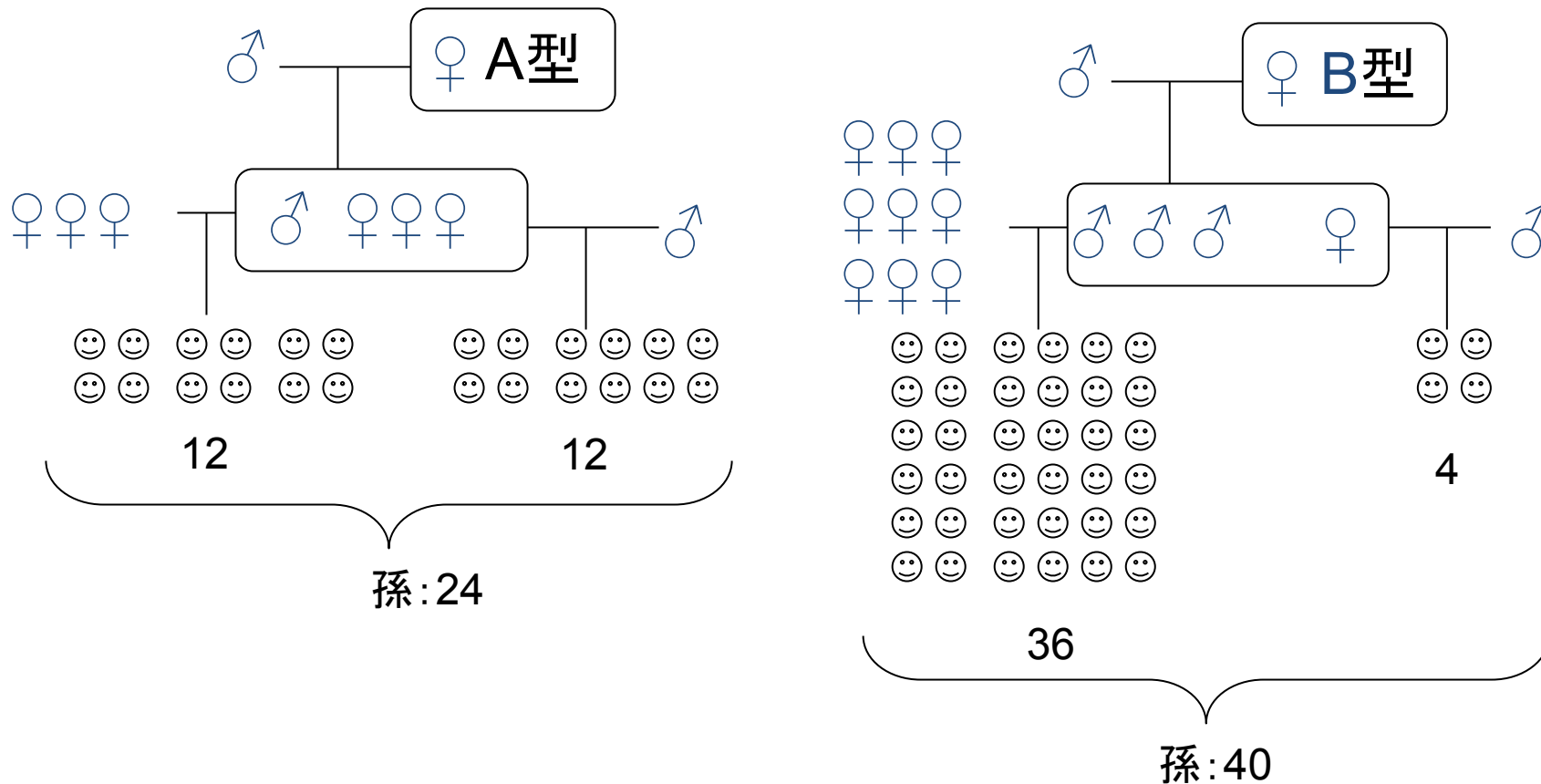
フィッシャーの性比理論

- メスの産む子供の数を一定と仮定(n)
 - 野生型(W): 性比($\text{♂}:\text{♀}$)= $n-f:f$ で産む
 - 突然変異型(M): 性比($\text{♂}:\text{♀}$)= $n-f':f'$ で産む
- どんな性比でも、子供の数は n なので、進化に何も影響ないのでは！



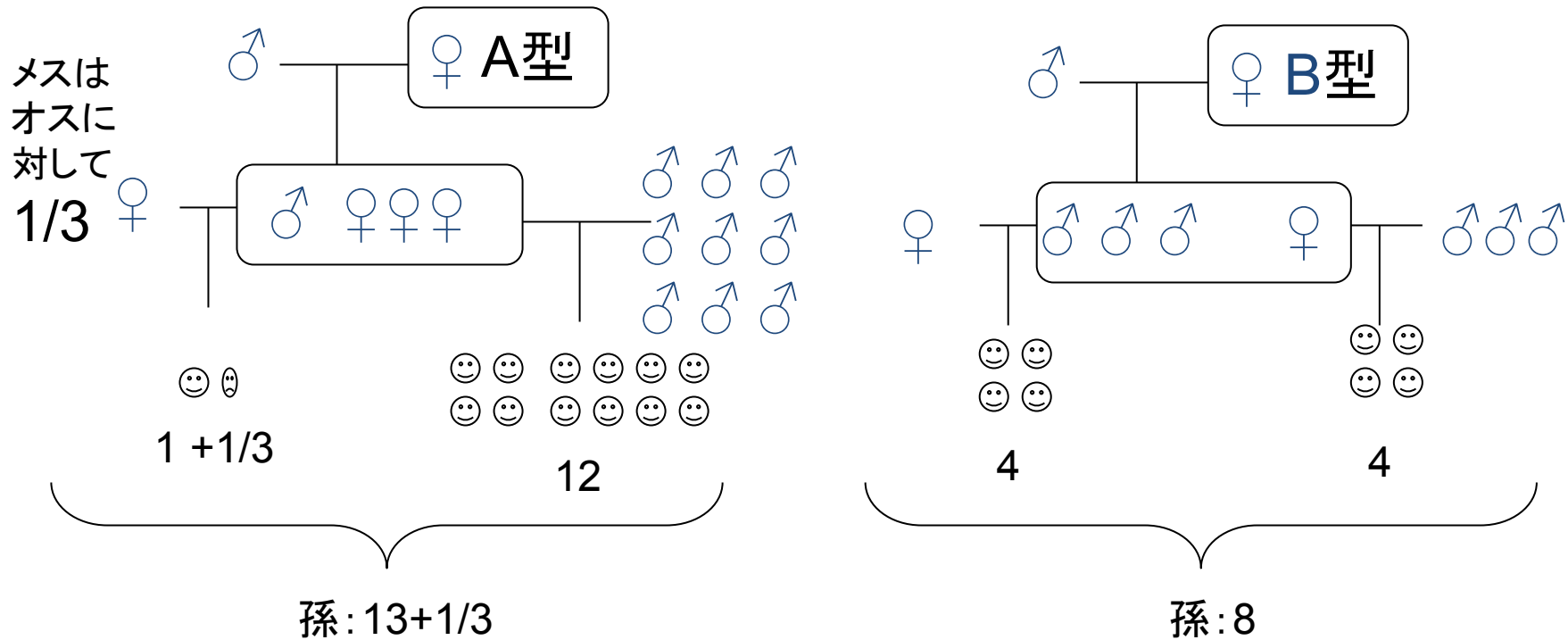
- フィッシャーは孫の数に着目した

A型(♂:♀=1:3)の集団へ B型(3:1)が侵入すると・・(n=4)



➡ つまり、B型はA型の占める集団へ侵入可能

B型(♂:♀=3:1)の集団へ A型(1:3)が侵入すると・・ (n=4)



➡ つまり、A型はB型の占める集団へ侵入可能

「生き物の進化ゲーム」より

フィッシャーの性比理論

メスの産む子供の数を一定と仮定 (n)

野生型 (W): 性比 ($\text{♂}:\text{♀}$) = $n-f:f$ で産む

突然変異型 (M): 性比 ($\text{♂}:\text{♀}$) = $n-f':f'$ で産む

野生型の孫の数:

$$\phi(W, W) = \underbrace{nf}_{\text{娘}(f)\text{の産む子の数}} + \underbrace{rn(n-f)}_{\text{息子}(n-f)\text{の子の数}}$$

娘(f)の産む子の数 息子($n-f$)の子の数

r : オスが交配できるメスの期待値 = $f/(n-f)$

突然変異型の孫の数:

$$\phi(M, W) = nf' + rn(n-f')$$

$r = f/(n-f)$ ← 突然変異型は少数なので無視しても良い

フィッシャーの性比理論の続き

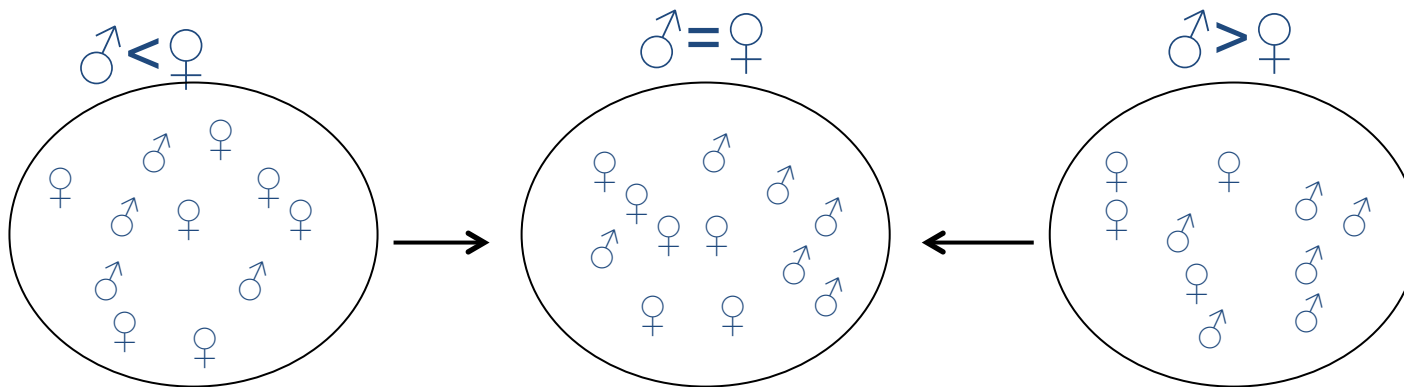


$$\phi(W, W) - \phi(M, W) = n(r - 1)(f' - f)$$

- $r > 1$ の時: $f' < f$ であれば負 → 集団が♀に偏った性比の時は♂を多く産むと進化的に侵入可能
- $r < 1$ の時: $f' > f$ であれば負 → 集団が♂に偏った性比の時は♀を多く産むと進化的に侵入可能



性比が1:1 ($r=1$) の時に進化的に安定となる。



イメージ図)「生き物の進化ゲーム」より

ほとんどの生物で性比が1:1となることの究極要因である

1:1から性比のずれた場合

- 例) 一個体の寄主に複数の卵を産む寄生蜂
 - メスに偏った性比で子を産む
- Hamilton: 局所的配偶者競争に着目した
 - フィッシャーの性比理論のようにランダム交配を仮定するのではなく、寄主内でしか交配できないと仮定

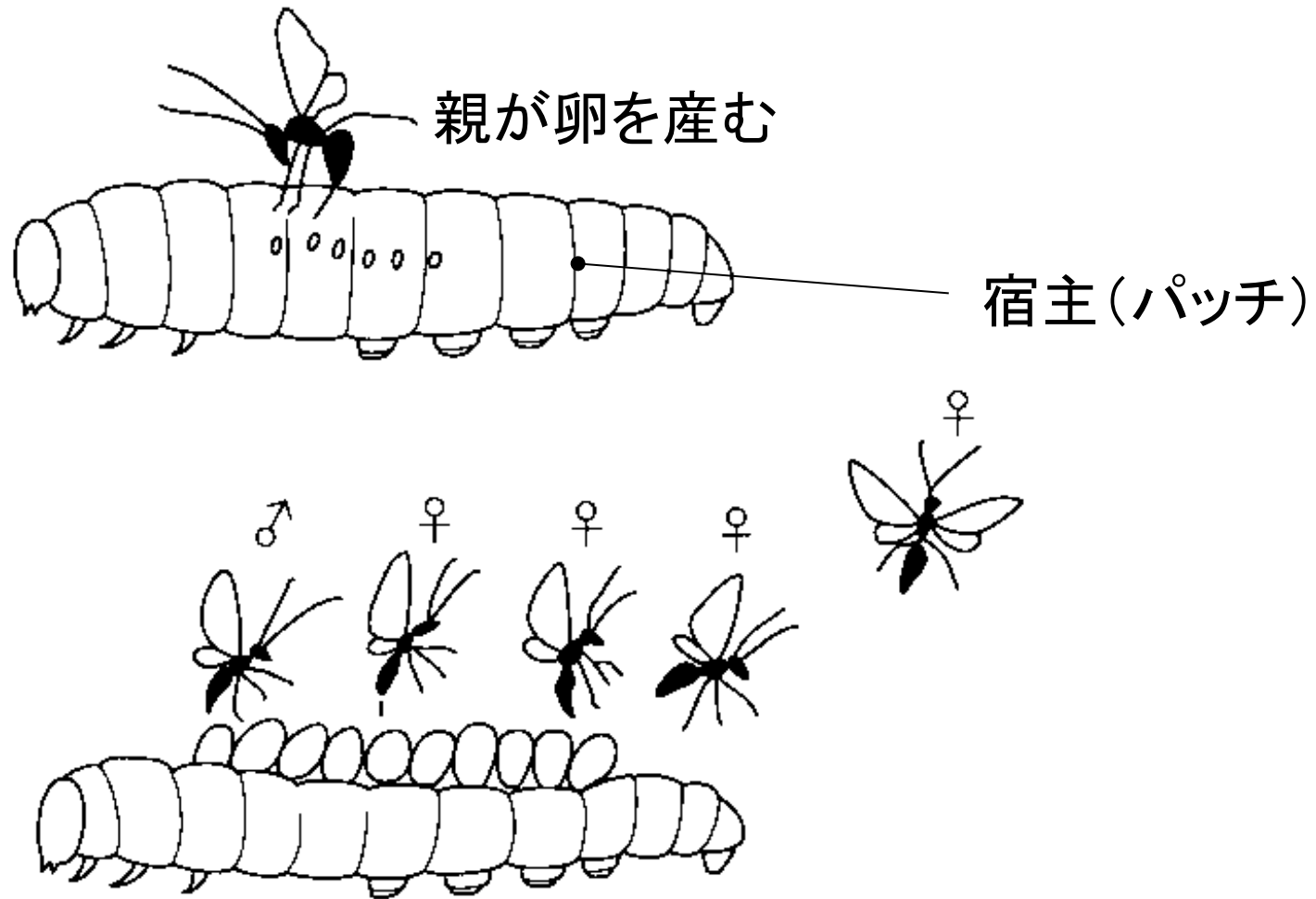


図 4.5 多寄生バチの生活史

説明は本文参照.

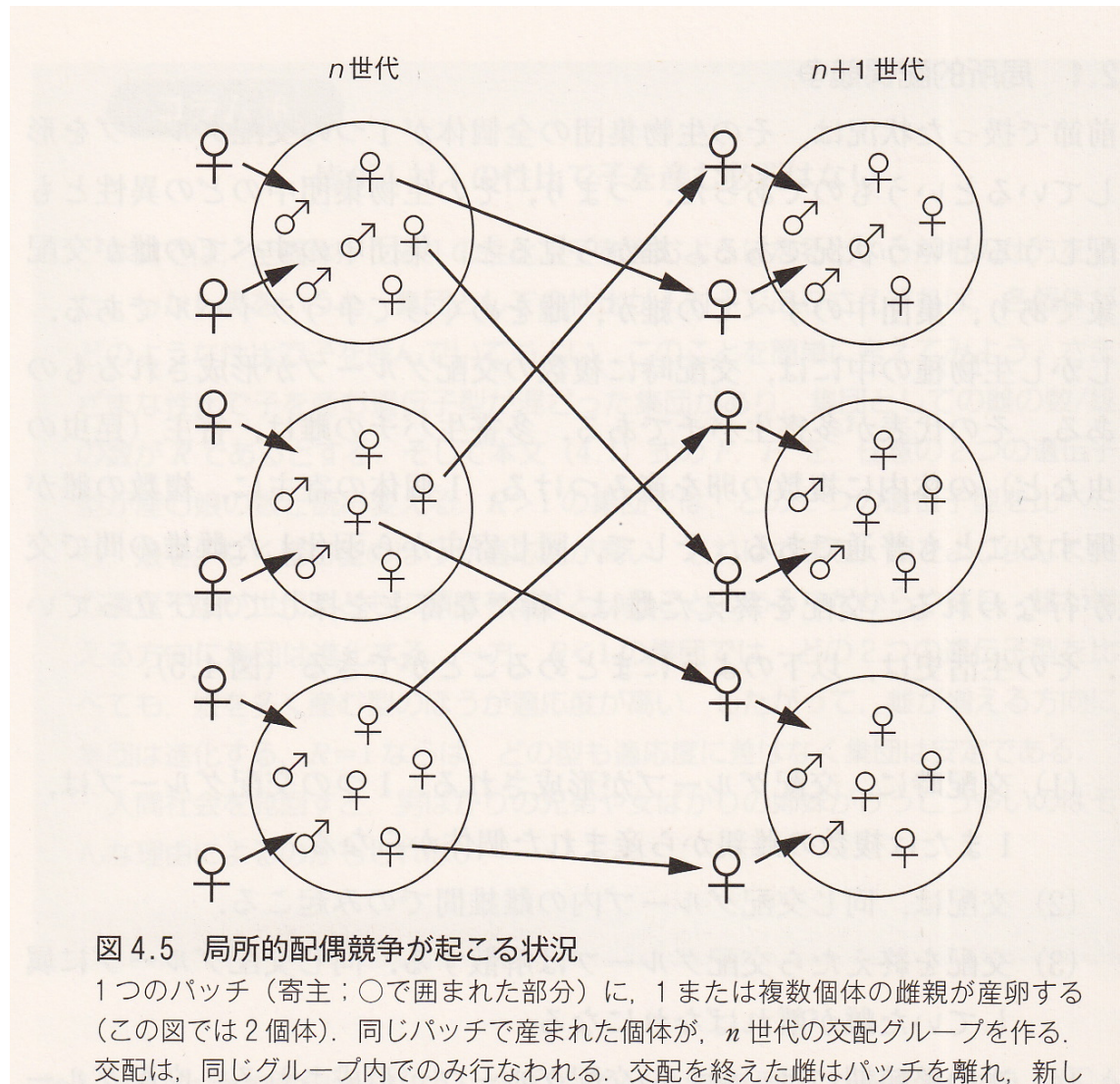
♂は♀と交尾し、そして宿主を旅立つ

局所的配偶競争のモデルの仮定

- パッチ上に x 個体のメスが産卵
- パッチは沢山ある(寄主が沢山いる)
- 交尾は同一パッチでしか起こらない
 - 兄弟同士でのメスを巡る競争が生じる
 - 交尾相手のメスは、自分の姉妹の可能性も高い
- 受精後はメスが新たな産卵場所を探して移動する

局所的配偶者競争 イメージ図

酒井ら「生き物の進化ゲーム 大改訂版」48ページ



局所配偶競争のモデル

x : パッチ上のメス親の個体数 { 突然変異型のメス: 1 個体
野生型のメス: $x - 1$ 個体

n : メス親の産む子供の数 (一定)

野生型 (W) の性比 $n-f : f$

野生型のみのオスの交尾期待値 $r_1 = f/(n-f)$

突然変異型 (M) の性比 $n-f' : f'$

集団サイズ x が有限 \rightarrow オスの交尾期待値は突然変異型の影響は無視できない

オスの交尾期待値 $r_2 = ((x-1)f + f') / ((x-1)(n-f) + (n-f'))$

野生型の親 $x-1$ 匹の娘、息子の数

突然変異型の親 1 匹の娘、息子の数

局所配偶競争のモデル

野生型の適応度(孫の数)

$$\phi(W, W) = nf + r_1 n(n - f) = 2nf$$

突然変異型の適応度

$$\phi(M, W) = nf' + r_2 n(n - f')$$

$$\Rightarrow \left. \partial \phi(M, W) / \partial f' \right|_{f=f'=f^*} = 0$$

局所的配偶競争

進化的に安定な集団でのオスの割合：

$$(n - f^*) / n = (x - 1) / 2x$$

$\left\{ \begin{array}{l} x \rightarrow \infty \quad (x-1)/2x \rightarrow 0.5 : \text{フィッシャー性比と一致} \\ \text{有限サイズ}(x < \infty) \text{では、} \quad \text{メスに偏った性比となることを示す} \end{array} \right.$

キョウソヤドリコバチの性比： 実測値と理論値の比較

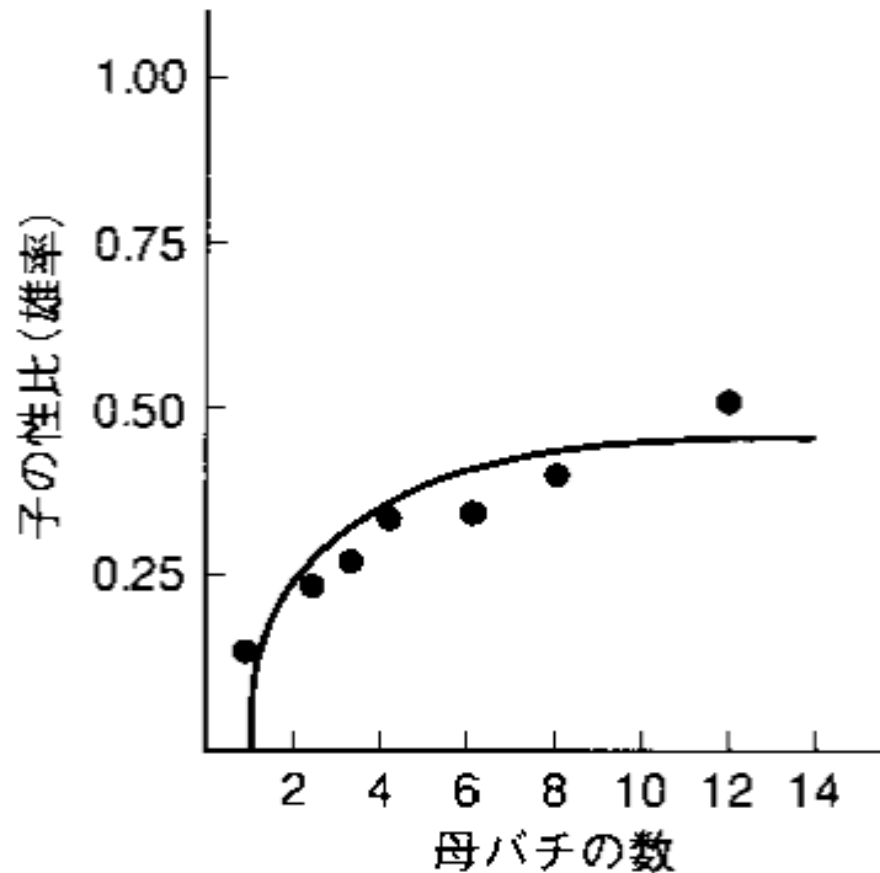


図 4.6 キョウソヤドリコバチにおける、1つの寄主に産卵する母バチの数と息子の割合の関係

「Werren 1983 による」

酒井ら「生き物の進化ゲーム」

ナミハダニ (*Tetranychus urticae*) と 局所的配偶者競争

酒井ら「生き物の進化ゲーム 大改訂版」

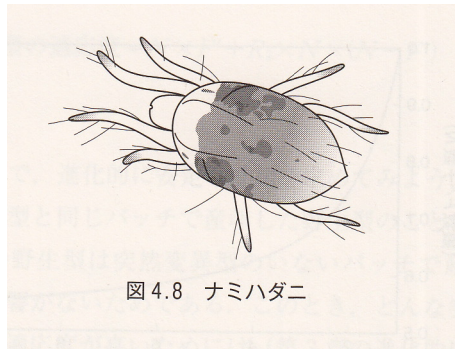
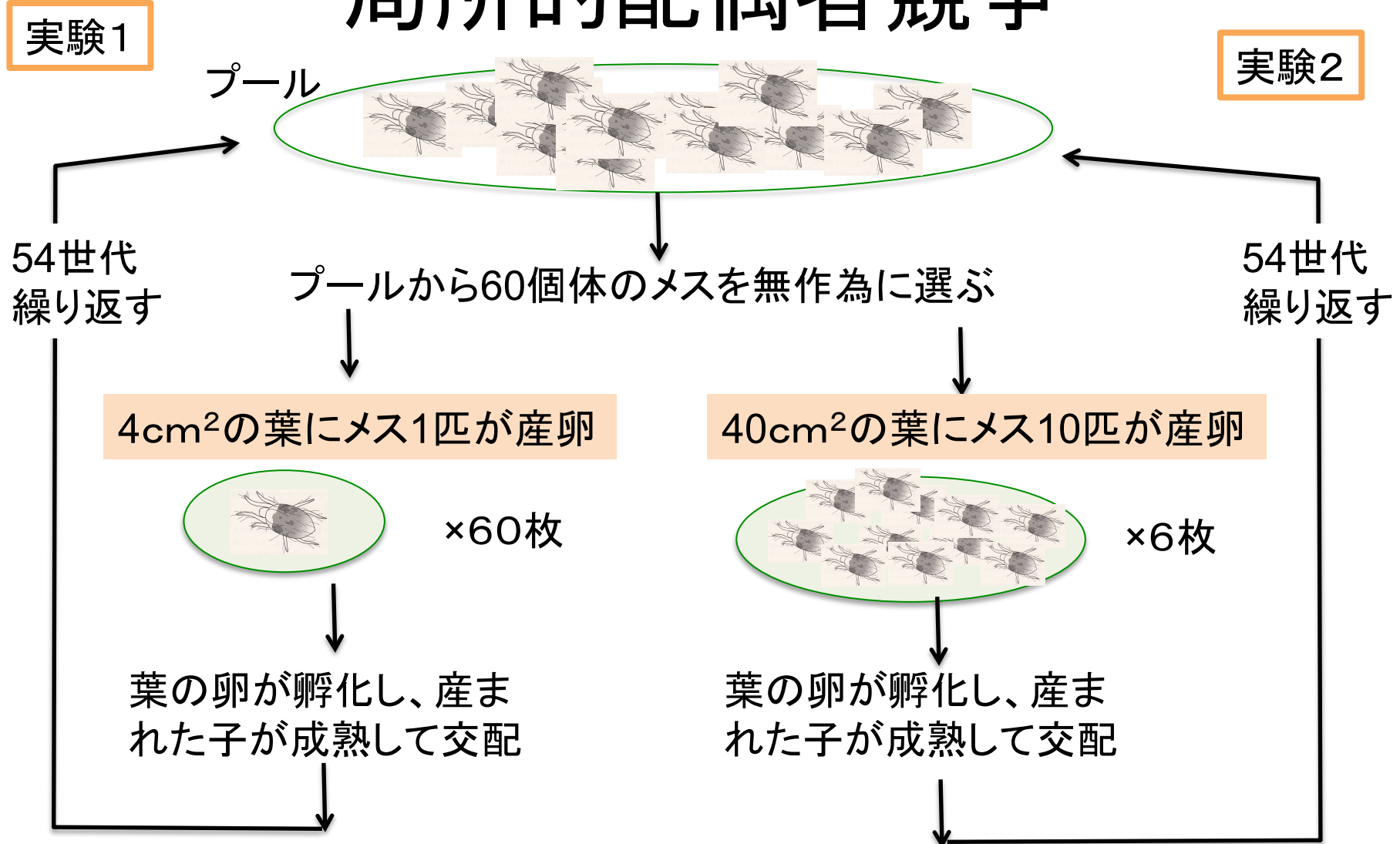


図 4.8 ナミハダニ

- メス親は葉に卵を産み付ける
- 同じ葉で産まれた雌雄が交配グループ
- この特長を生かし、局所的配偶競争の予測を検証するため、人工飼育実験を行った

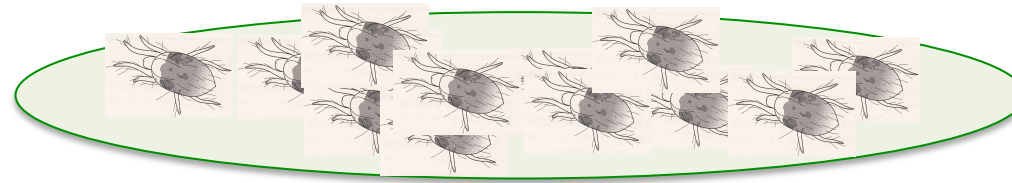
ナミハダニ (*Tetranychus urticae*) と 局所的配偶者競争



ナミハダニ (*Tetranychus urticae*) と 局所的配偶者競争

実験3: 大きな交配グループが1つある場合

1世代目: 400cm²の葉にメス100匹が産卵

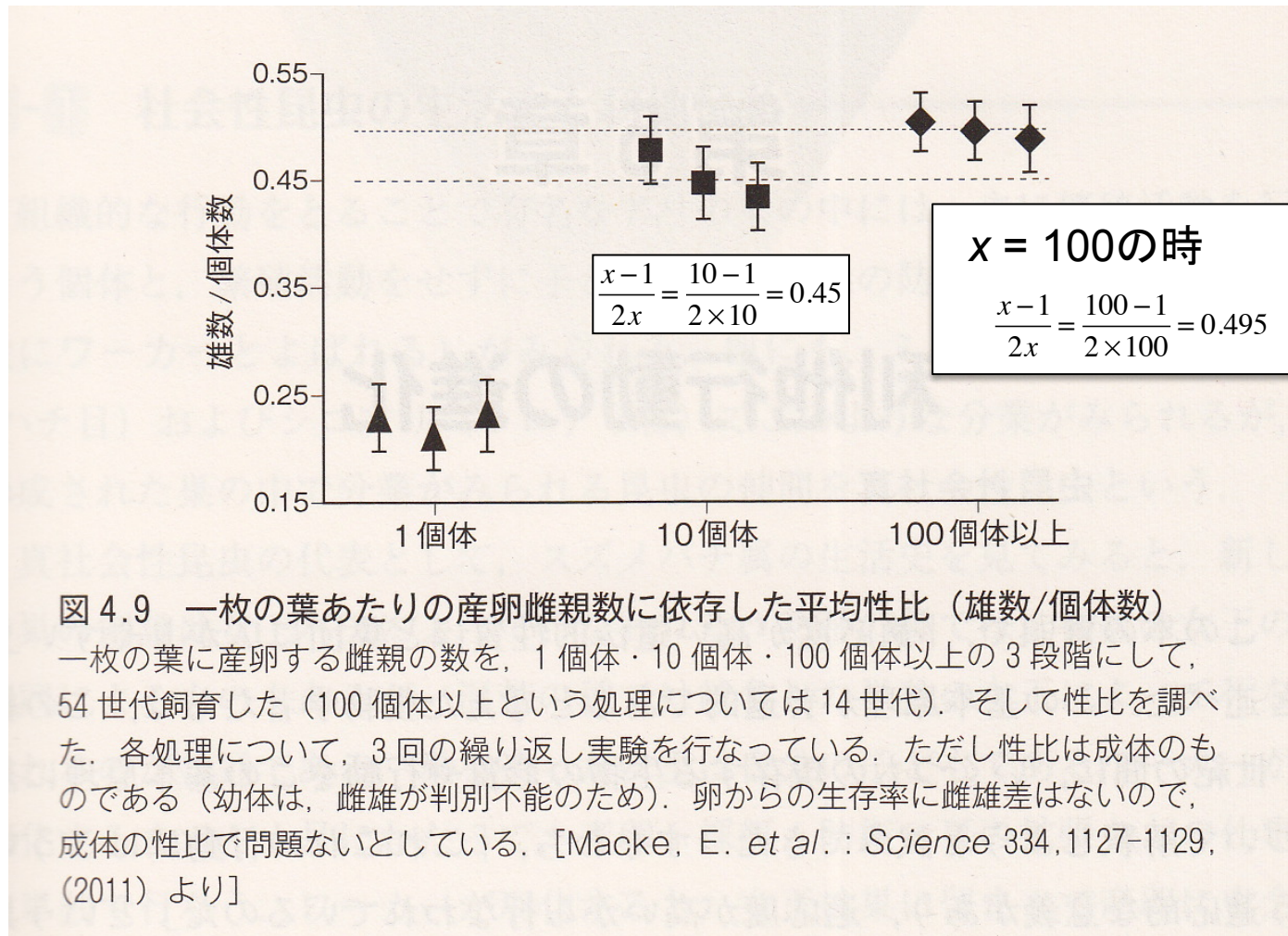


↓
葉の卵が孵化し、産ま
れた子が成熟して交配

↓
14世代後

密度調整はしない
(100匹以上になる)
葉は新しい物に差し替え

ナミハダニ (*Tetranychus urticae*) と 局所的配偶者競争

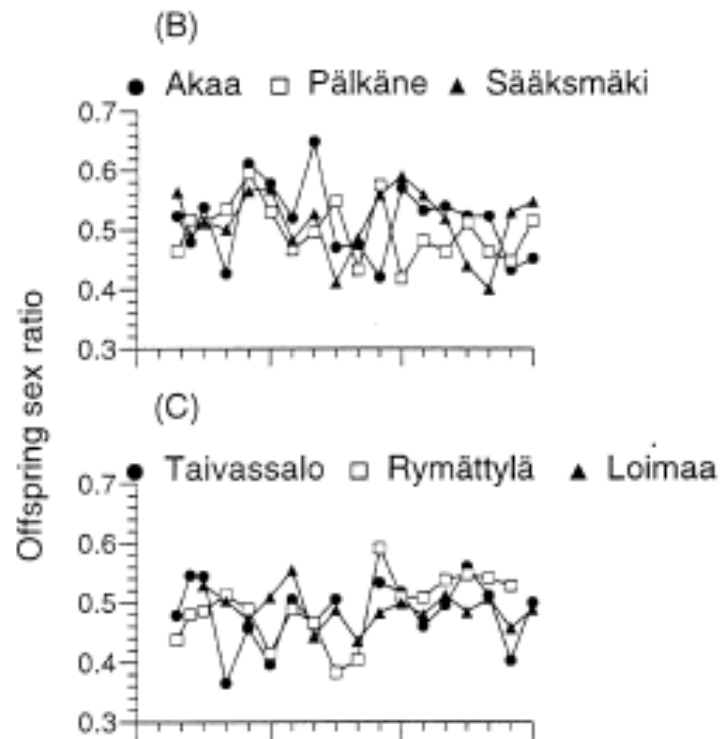


人間社会への適用例

Ranta et al., 2000. Spatial dynamics of adaptive sex ratios. Ecology Letters 3:30-34.

1769-1850年フィンランドの21の教会区のデータ(産業化前の時代)

子供の性比の時間変化



親の性比と子の性比の関係

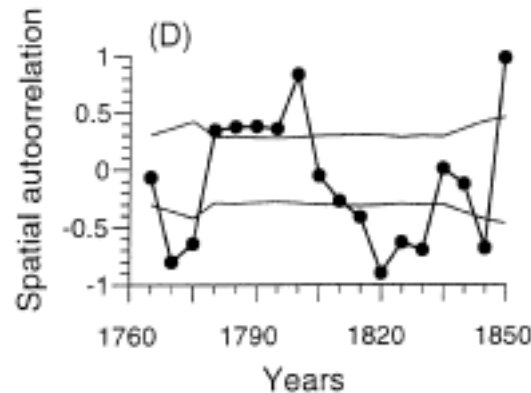


子供の性比が0.5 ($=\frac{\text{♀}}{\text{♀}+\text{♂}}$)の周りを振動

Ranta et al., 2000の続き

理論的には性比は1:1 ($\text{♀}/(\text{♀}+\text{♂})=0.5$)となるが、場所ごとではそうではない。

空間的自己相関をはかると → 隣接集団との影響がある



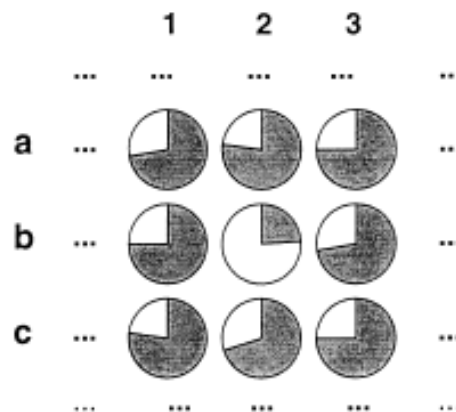
1: 隣接と似ている
0: ランダム配置
-1: 隣接と似てない

シミュレーションによって隣接集団との影響をみる

格子モデル

各円の黒白の比＝
各集団での性比

白: ♀、黒: ♂



自分と隣接の8集団での
性比の平均値を計算

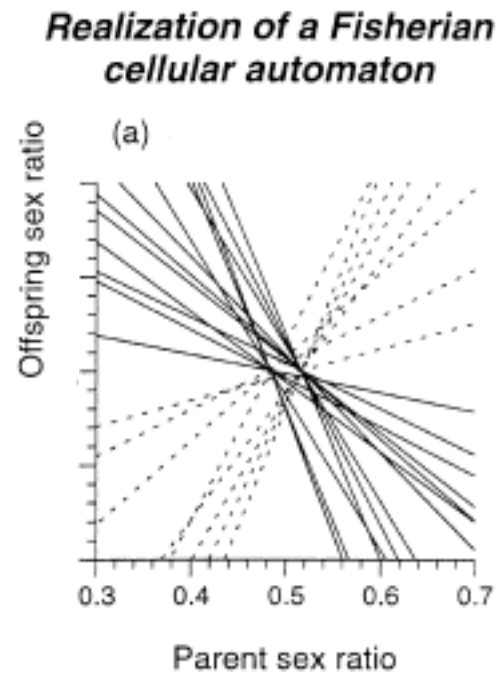


Fig1Aの関係より、
1-(平均値)
を自分の子の性比とする

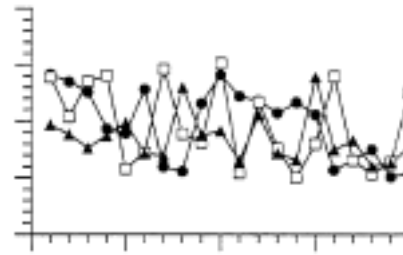
Ranta et al., 2000の続き

シミュレーション結果

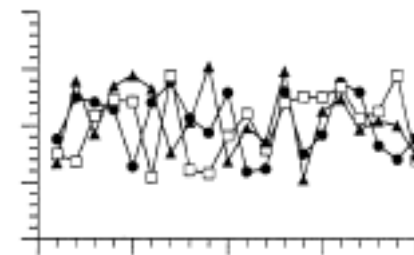
各集団の性比の時間変化



(b)



(c)



空間的自己相関

