

2008年10月28日

生態学 I 第3回

トレードオフと最適化

進化生態学の基本概念を紹介(続)

適応度 fitness

- ある形質を持つ1個体が生涯に残す子供の数の期待値
- 個体の値であり、種の値ではないことに注意

$$W = \sum_x l_x m_x$$

生涯繁殖成功度
Lifetime reproductive success

l_x x 令までの生残率 (survivorship)

m_x x 令での産卵(産仔)数 (fecundity)

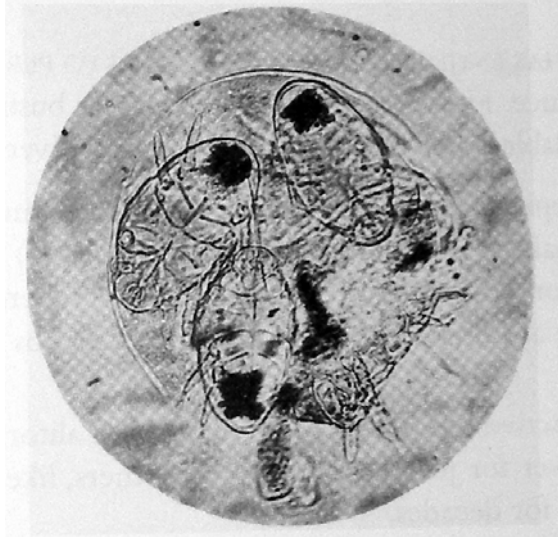
前回の質問から

- 適応度は産卵(仔)数に比例しているが、ただ子供を多く残すよりも優秀な子供を少数残すほうが適応的である気がする。
- 以下の式では寿命が長いほど W の値が大きくなる可能性があり、公平ではないと思ったんですが、間違ってますか？

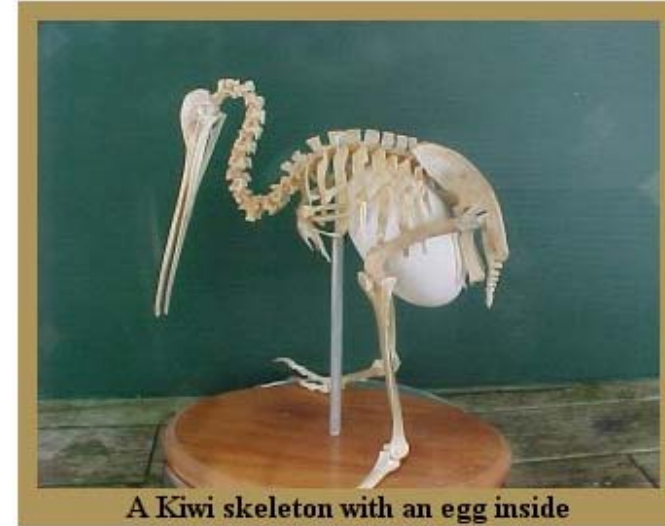
$$W = \sum_x l_x m_x$$

動物の生活史戦略

- 卵数と卵サイズ
- 成熟齡
- 寿命



Freeman & Herron: Evolutionary Analysis



A Kiwi skeleton with an egg inside

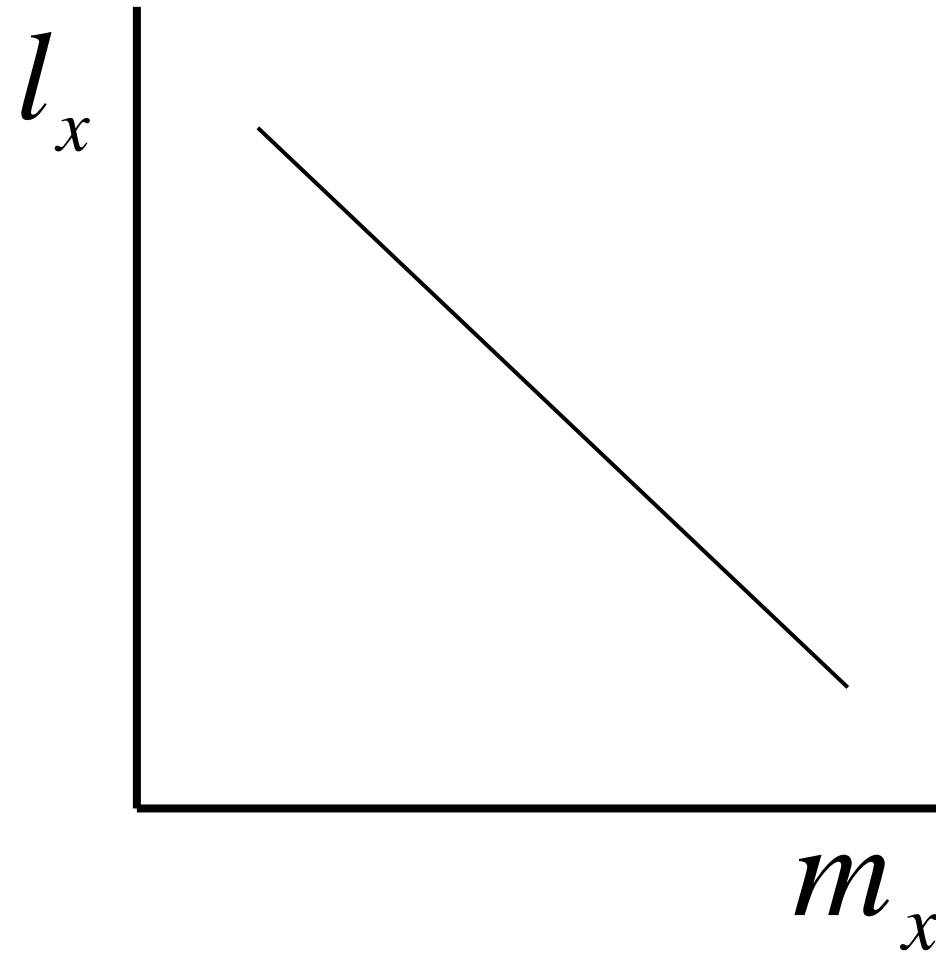
<http://www.kamcom.co.nz/kiwi/kiwibreeding.htm>

植物の生活史戦略

- メキシコのステビア
 - 一年草・多年草・樹木に多様化

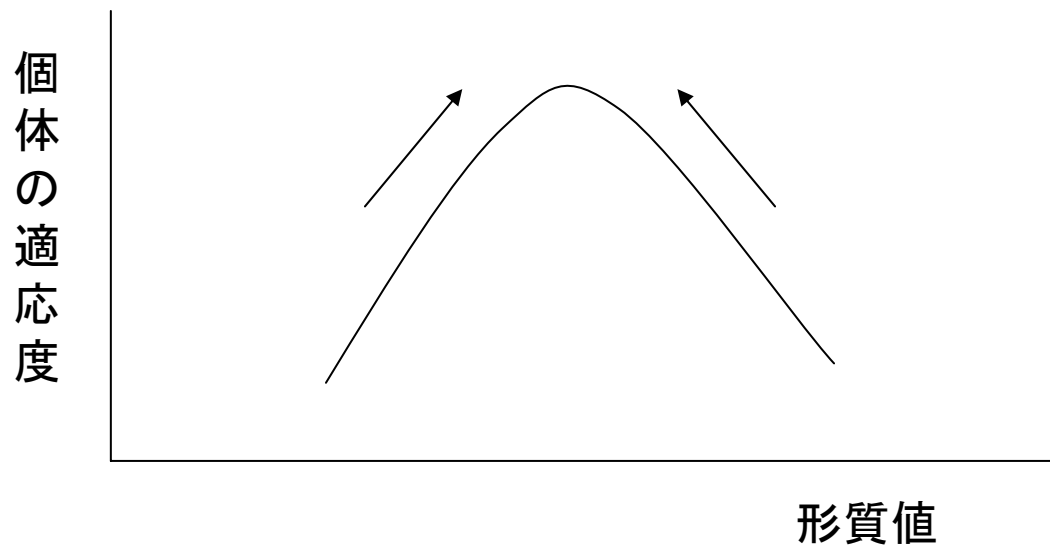


生存と繁殖のトレードオフ



生物の表現型の特徴

- 「適応」・・・ある生育環境の下で生活していくうえで、非常に良くできている
- 「良くできている」状態とは？→最適化モデル



大卵を少産か？ 小卵多産か？

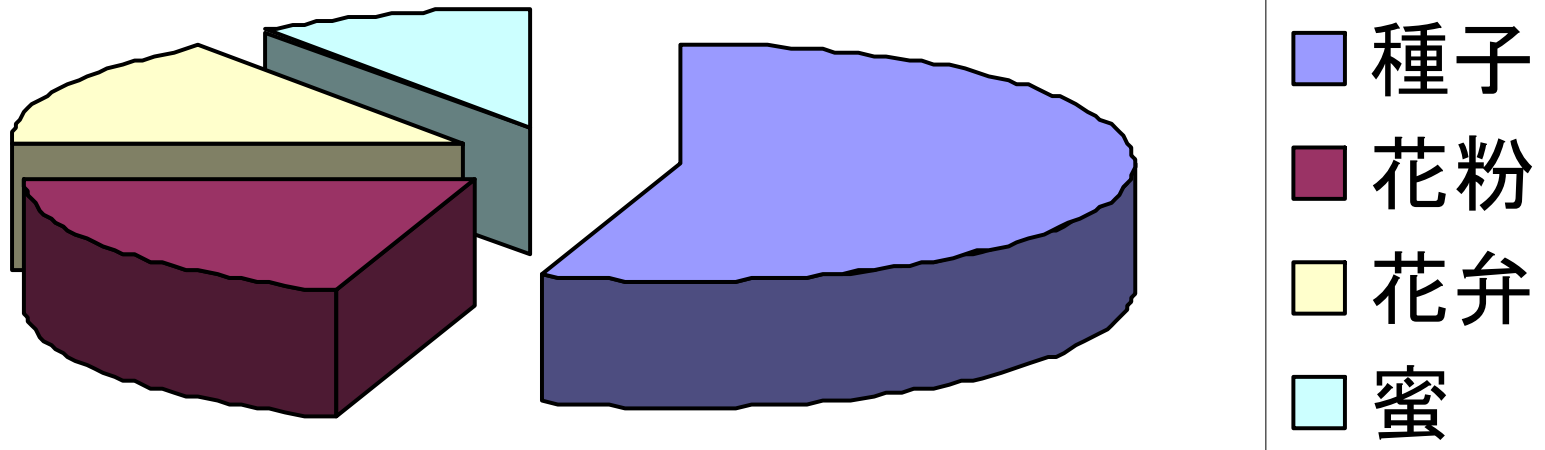
適応度 = 個数 × 1個あたりの利益量

$$W = nf(x)$$

資源量 = 個数 × 1個あたりの生産コスト

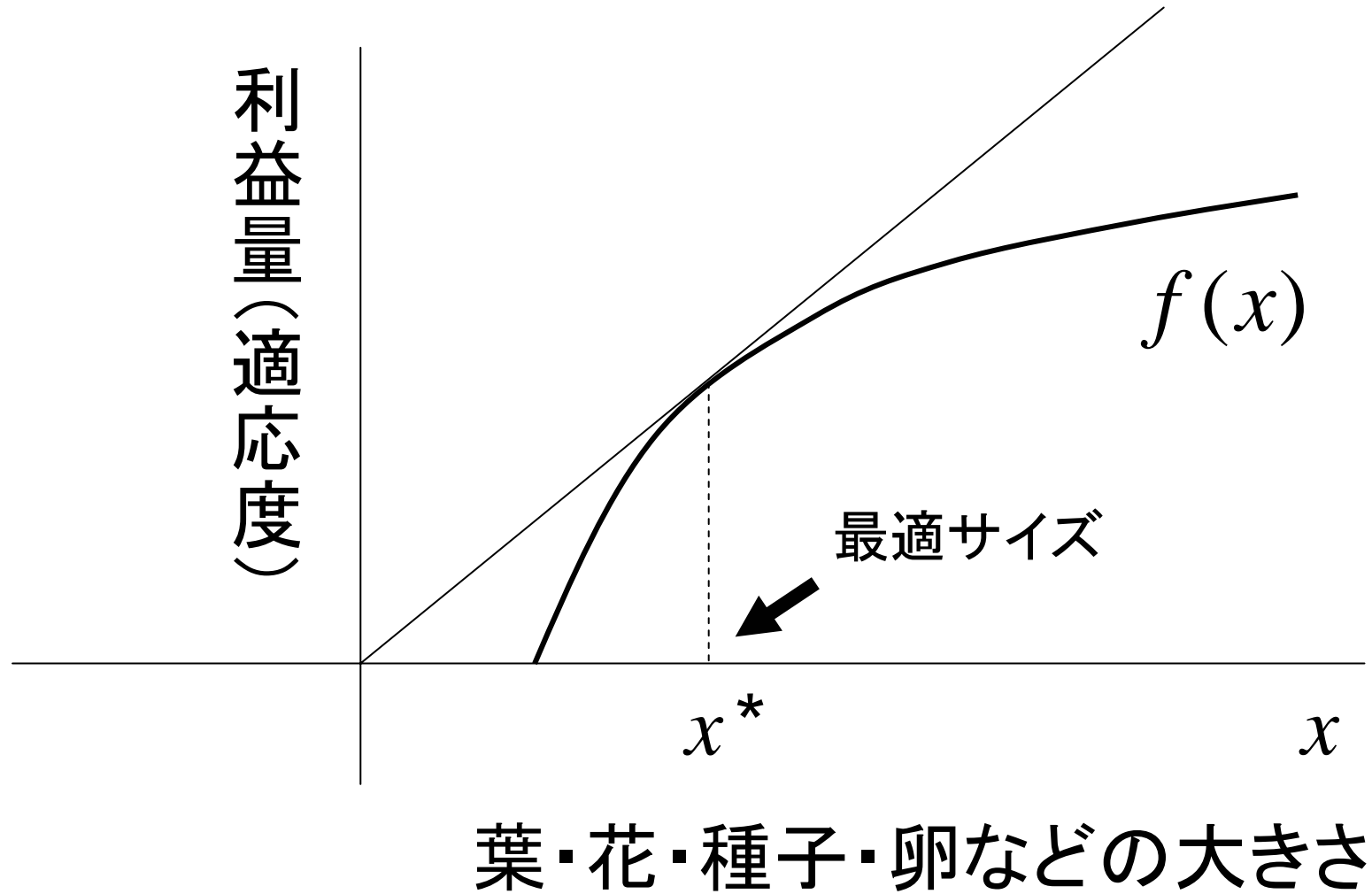
$$R = nx$$

資源制約

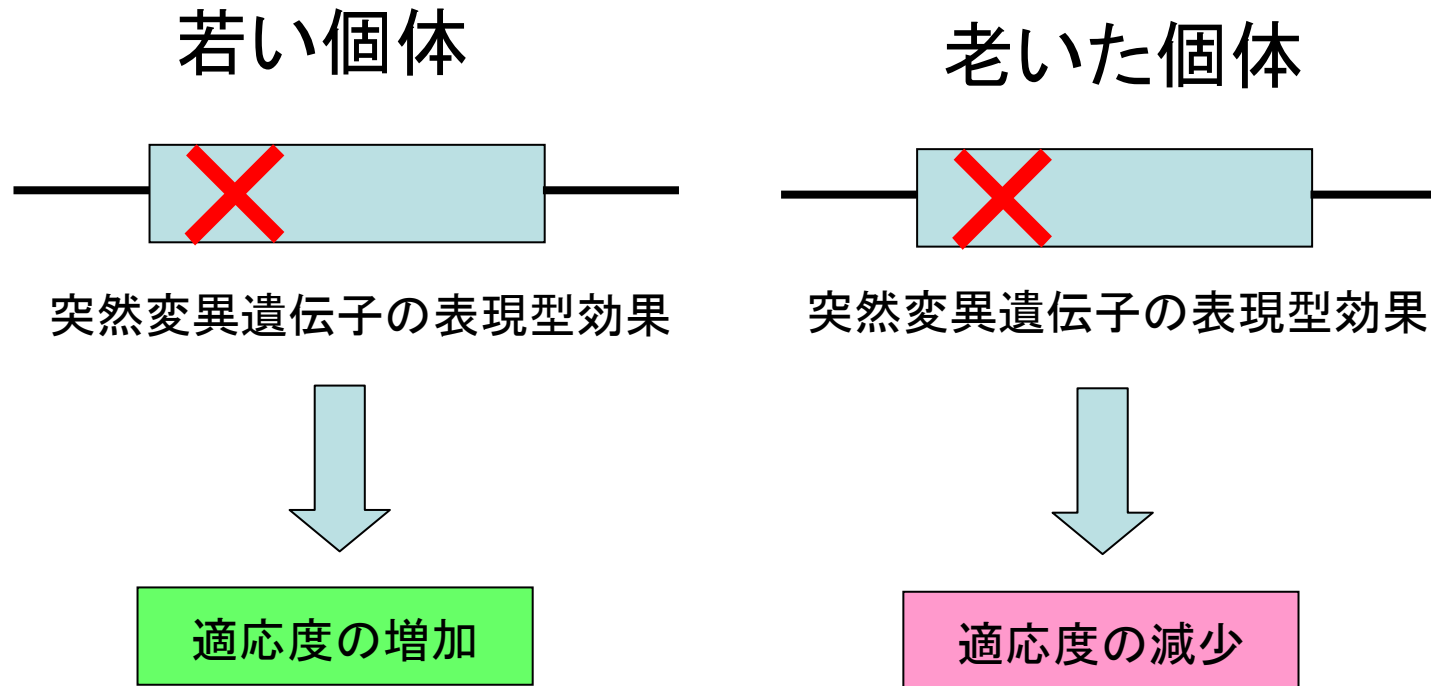


種子を増やせば、花粉・花卉・蜜への投資量が減ってしまう……「トレード・オフ」(拮抗関係)

サイズと数のトレードオフ



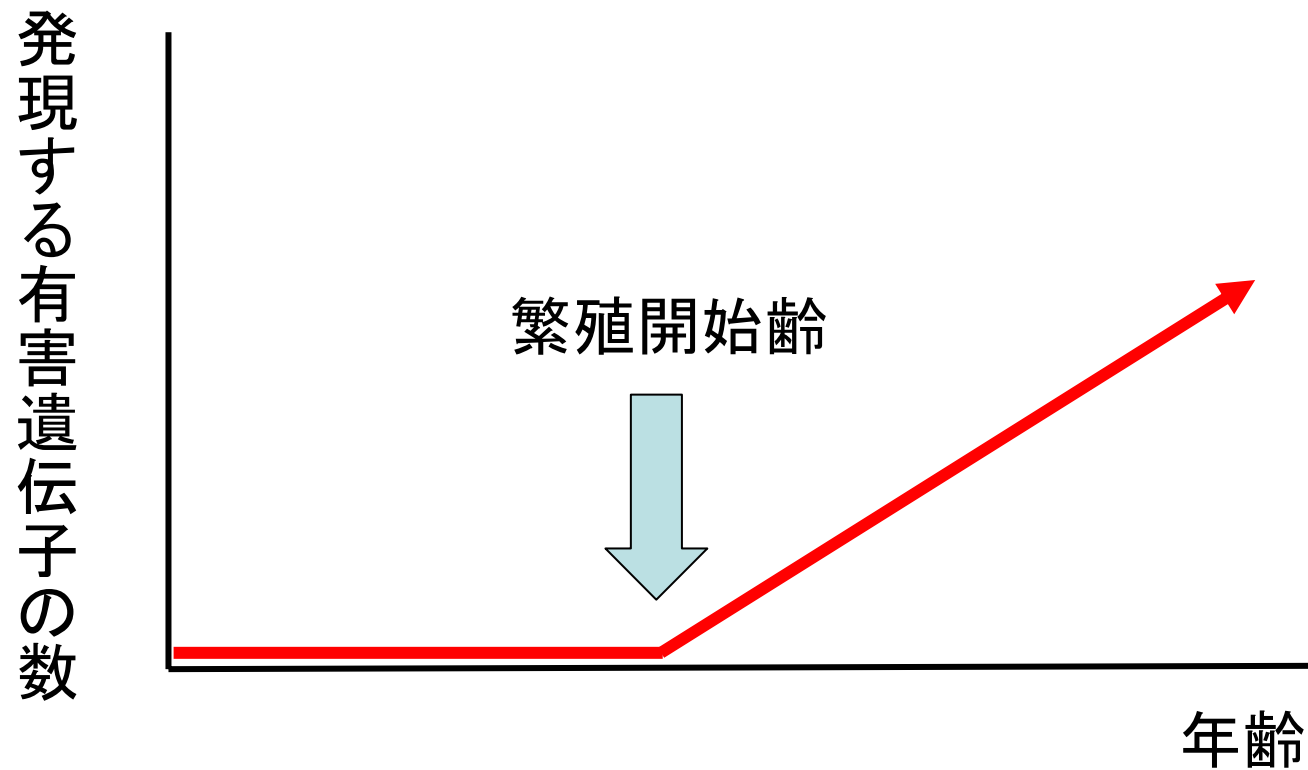
寿命の進化:トレードオフ仮説



単一の突然変異が年齢によって反対の効果を生じる

➡ 例: *C. elegans*のAge-1; 寿命と繁殖力のトレードオフ

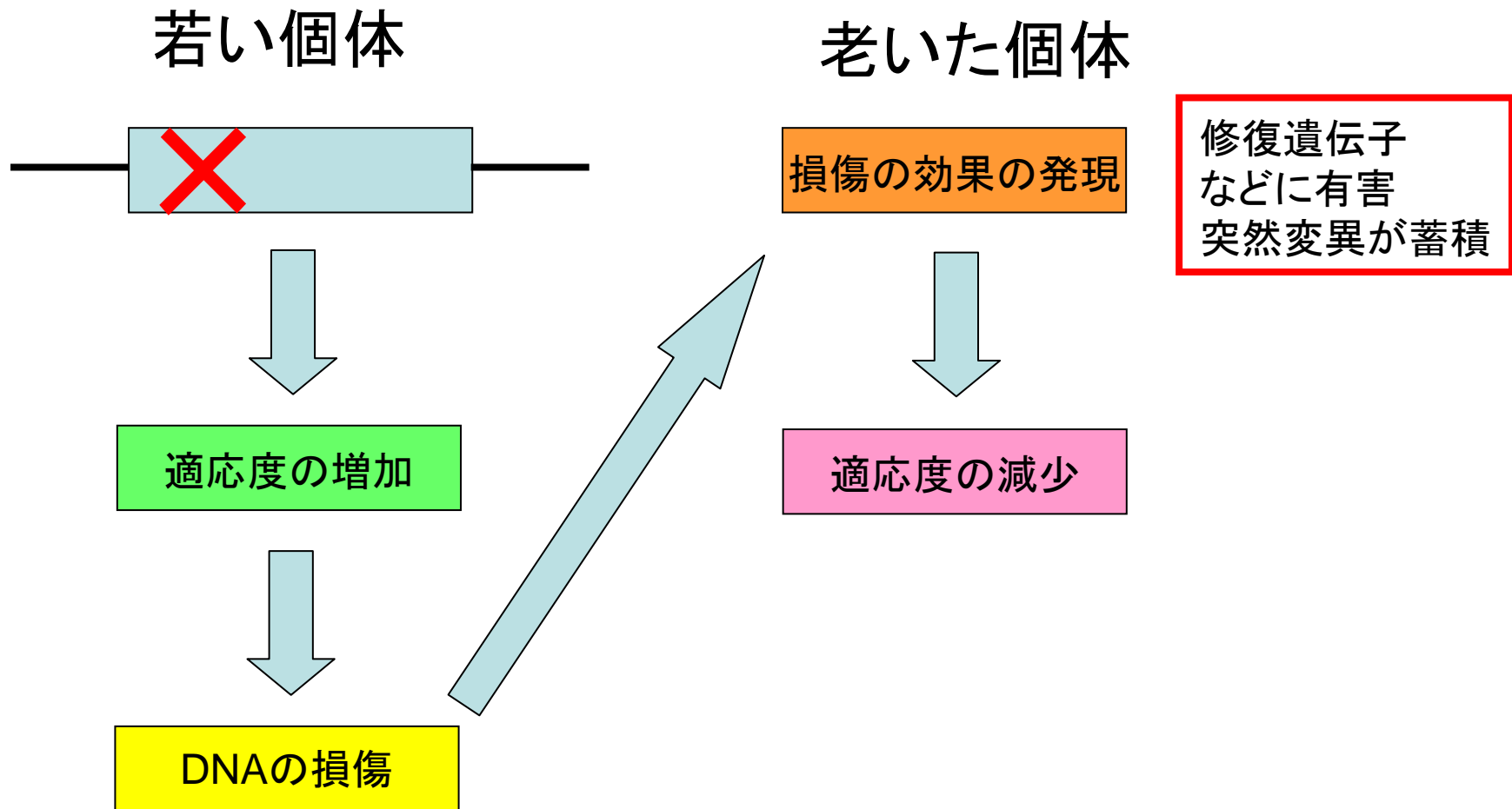
寿命の進化：有害遺伝子蓄積仮説



証拠：

繁殖開始を早めるように選抜したショウジョウバエでは寿命が短縮

2つの仮説は排他的ではない



最適戦略と進化的安定戦略

- 最適戦略
 - 適応度が他個体の性質によらずに決まる場合
 - 例: 最適種子サイズ
 - トレードオフ: 最適戦略の大前提
- 進化的に安定な戦略 (ESS)
 - 適応度が他個体の性質によって変化する場合
 - 例: ESS 性比

両性植物の適応度

動物との比較

$$Y: \text{自分がつけた種子数} \times \frac{1}{2} +$$

「娘」の数

$$X: \text{自分がつけた花粉数} \times$$

「息子」の数

$$\frac{\text{花粉1個あたりの他個体の種子数}}{2} \times \frac{1}{2}$$

「息子」1人が残す娘の数

繁殖資源分配に関する基本モデル

変異個体の適応度 $W = \frac{1}{2}y + \frac{1}{2}x \frac{y^*}{x^*}$

資源制約 $R = ax + by$

進化的に安定な状態 (ESS)

$$\frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{x=x^*} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{y^*}{x^*} \right) = \frac{1}{2} \left(-\frac{a}{b} + \frac{y^*}{x^*} \right) = 0$$

1:1からずれる性比の例

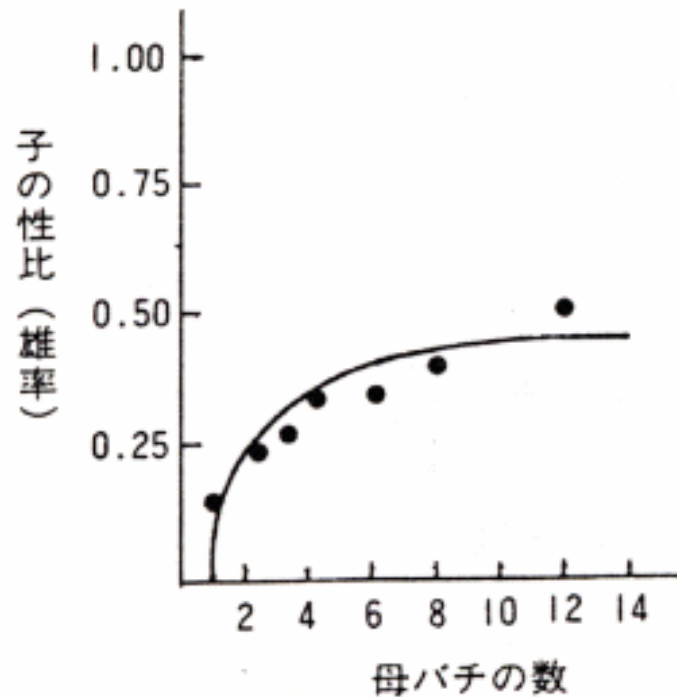


図 7-7 捕食寄生バチ *Nasonia vitripennis* の室内実験の結果。寄主の卵塊に卵を産ませたとき、雌バチの数が多いほど子の性比（子の総数に対する雄の子の数の比）は高くなり、0.5に近づく (Werren, 1983 より)。

オオイタビとオオイタビコバチ



局所的配偶競争 (LMC)

Local Mate Competition

交配に参加するメスの数 (n) が少なく、突然変異個体の性比が子供の繁殖成功に大きく影響する場合

$$W = \frac{1}{2} y + \frac{1}{2} x \frac{y + (n-1)y^*}{x + (n-1)x^*}$$

$$x^* = \frac{1}{2} - \frac{1}{2n}$$

レポートのテーマ

- 局所的配偶競争(LMC)の下での、進化的に安定な性比を求めよ。

注1:なぜ偏微分記号を使うか？

x^* (他個体の性質)を定数とみなし、 x だけを微分するため。

注2: $\frac{\partial W}{\partial x} = 0$ としたあとで、 $x=x^*$ を代入するのはなぜか？

ESSとは、自分と他個体と同じ状態であり($x=x^*$)、かつ、自分の変化が つねに適応度を下げってしまう状態(平衡点)である(次の式を参照)。

$$W(x, x^*) \leq W(x^*, x^*)$$

↑
自分の形質の変化

$$\frac{\partial W}{\partial x} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left[\frac{y + (n-1)y^*}{x + (n-1)x^*} + x \frac{-\{x + (n-1)x^*\} - \{y + (n-1)y^*\}}{\{x + (n-1)x^*\}^2} \right]$$

$x=x^*, y=y^*$ を代入

$$\frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{x=x^*, y=y^*} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left\{ \frac{ny^*}{nx^*} - x^* \frac{n(x^* + y^*)}{(nx^*)^2} \right\} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{ny^* - 1}{nx^*} \right) = 0$$

$$\frac{ny^* - 1}{nx^*} = 1 \quad \longrightarrow \quad ny^* - 1 = nx^* \quad \longrightarrow \quad 1 - 2x^* = \frac{1}{n}$$

$$\longrightarrow \quad x^* = \frac{1}{2} - \frac{1}{2n}$$

今日のキーポイント

- トレードオフ trade-off
 - 一方を増やせば他方が減ってしまう関係
 - 最適戦略の大前提
- 生活史戦略 life history strategy
 - 成熟齡、卵数と卵サイズ、寿命
 - さまざまな生活史は適応進化の結果
- 進化的に安定な性比 evolutionary stable SR
 - 局所的配偶競争下ではオスが少なく産まれる