

数理社会学I

第10回目 血縁淘汰2

2014年6月20日

東工大・文系科目

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
7	5/30	性比
8	6/6	性転換・性選択
9	6/13	性選択・血縁淘汰
10	6/20	血縁淘汰
11	6/27	人の性選択・人の血縁淘汰
12	7/4	協力の進化
13	7/11	協力の進化
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

参考文献

- 長谷川真理子・他 「行動・生態の進化」 シリーズ
進化6 岩波書店
- 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
- 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
- McElreath, R. & Boyd, R. 2007. Mathematical models
of social evolution, Univ of Chicago Press

利他行動(協力行動)

利他行動とは:

自らの適応度を下げてまで相手の適応度を上げる行動

社会的相互作用: 2個体間の場合

他個体の適応度への影響

自分の適応度への影響		他個体の適応度への影響	
		+	-
+	+	相利	利己
-	-	利他	嫌がらせ (spite)

利他行動(協力行動)

-血縁淘汰

-非血縁間の協力

互恵的利他行動

--繰り返し囚人のジレンマゲーム

間接的互恵性

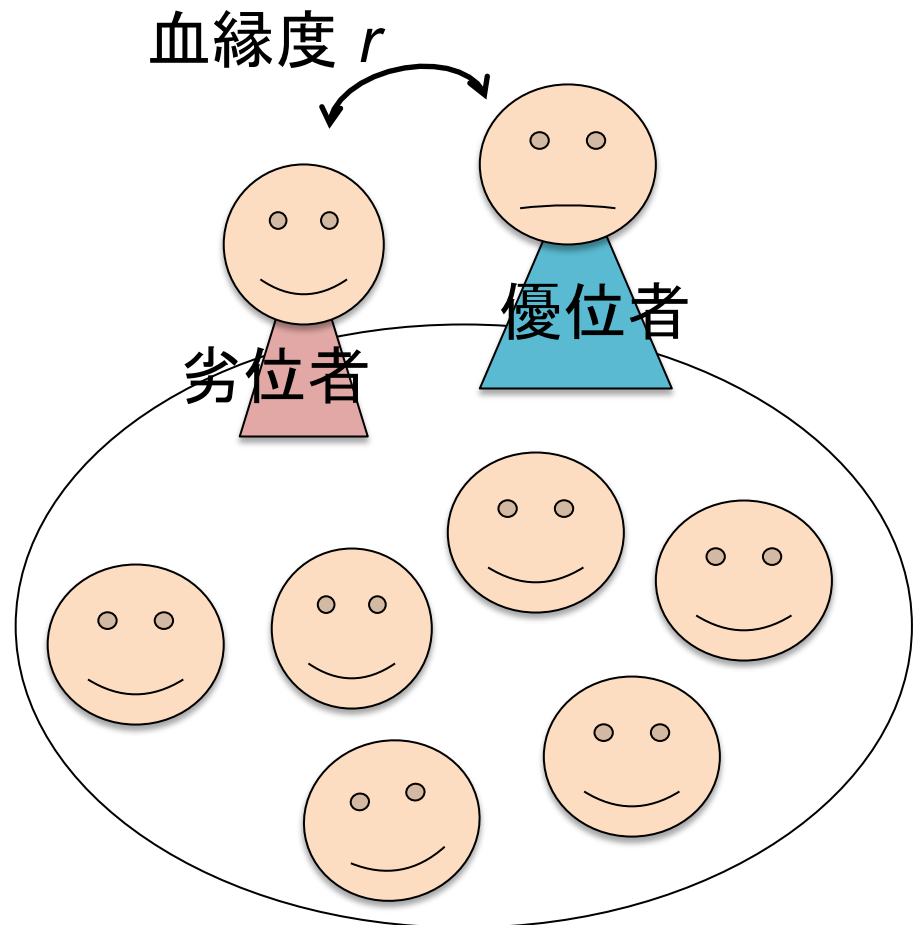
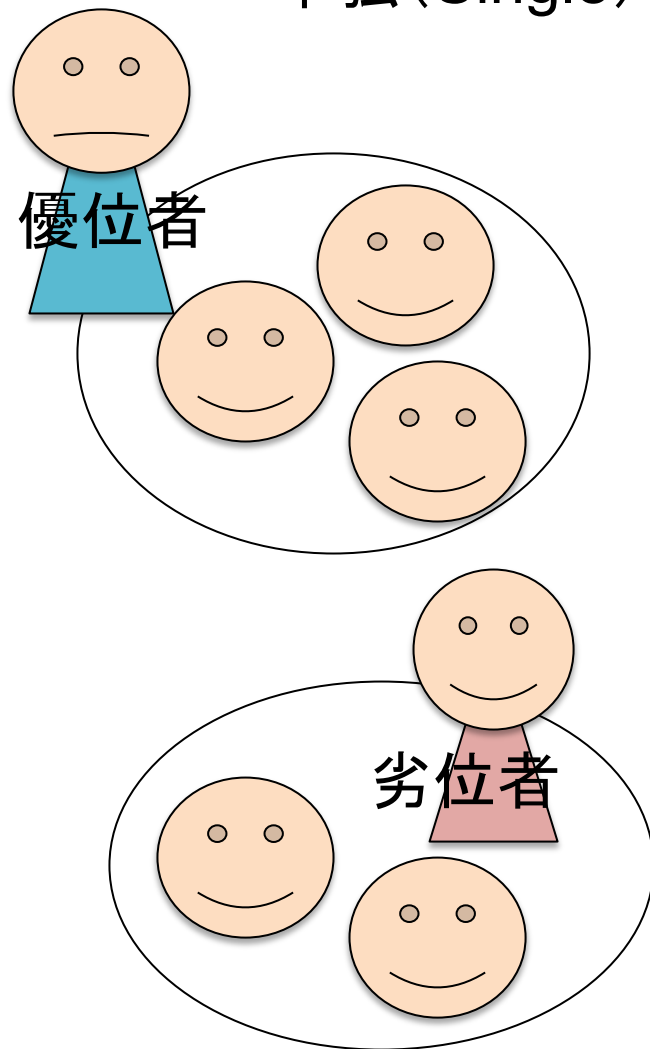
--評判、噂の影響

非協力者への罰行動

--利他的罰行動

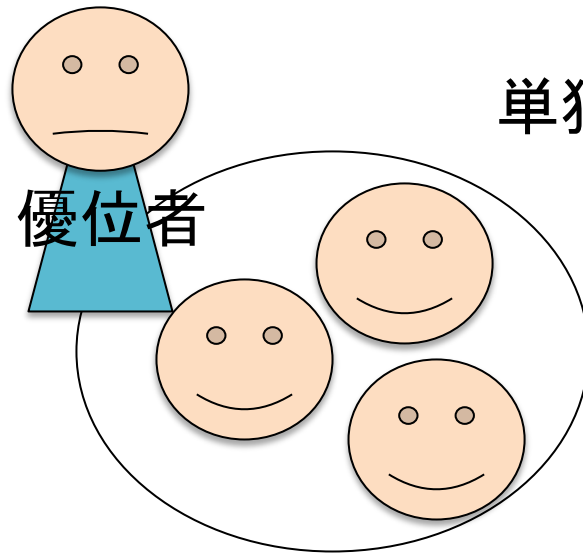
共同繁殖の進化条件

単独 (Single) で繁殖 VS. 共同 (Joint) で繁殖

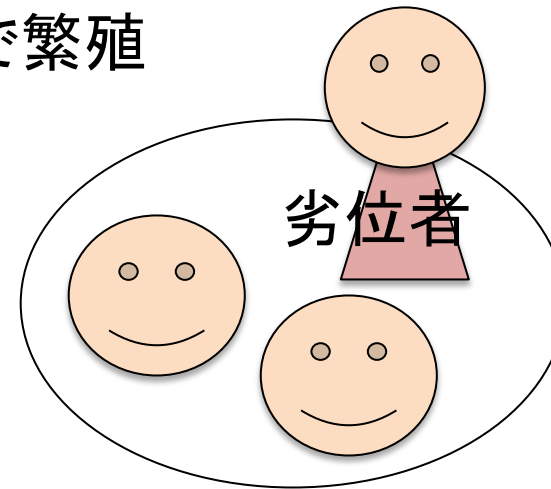


出典 McElreath & Boyd (2007)

共同繁殖の進化条件



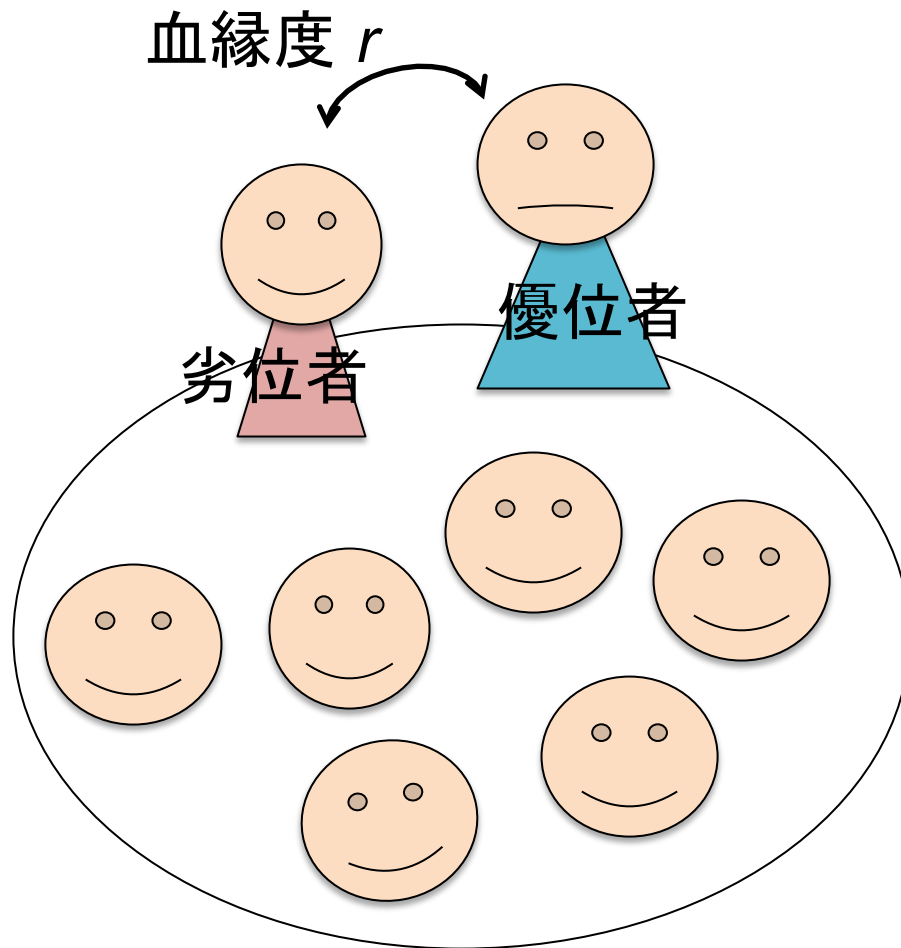
適応度 $V_D(S) = 1$



適応度 $V_S(S) = 1 - s$

- 劣位者は優位者に比べて子供の数が少ないとする
 - (理由) 縄張り無い、メスを獲得しにくい、生息環境が悪い (良い食べ物にアクセスしにくい) など

共同繁殖の進化条件



- 共同 (Joint) で繁殖
 - 優位者は劣位者にも繁殖機会を確率 p 与える
- 共同繁殖の結果、全体の適応度が $(1+j)$ となる。
 - 劣位者の適応度
$$V_S(J) = p(1 + j)$$
 - 優位者の適応度
$$V_D(J) = (1 - p)(1 + j)$$

共同繁殖の進化

	単独繁殖	共同繁殖
優位者 Dominant	$V_D(S) = 1$	$V_D(J) = (1 - p)(1 + j)$
劣位者 subordinate	$V_S(S) = 1 - s$	$V_S(J) = p(1 + j)$

共同繁殖の進化

劣位者からすると、共同繁殖のほうが単独繁殖よりも進化的に有利になる条件

劣位者と優位者が血縁が無い場合 ($r = 0$) :

$$V_S(J) = p(1 + j) > V_S(S) = 1 - s$$



$$p > (1 - s)/(1 + j)$$

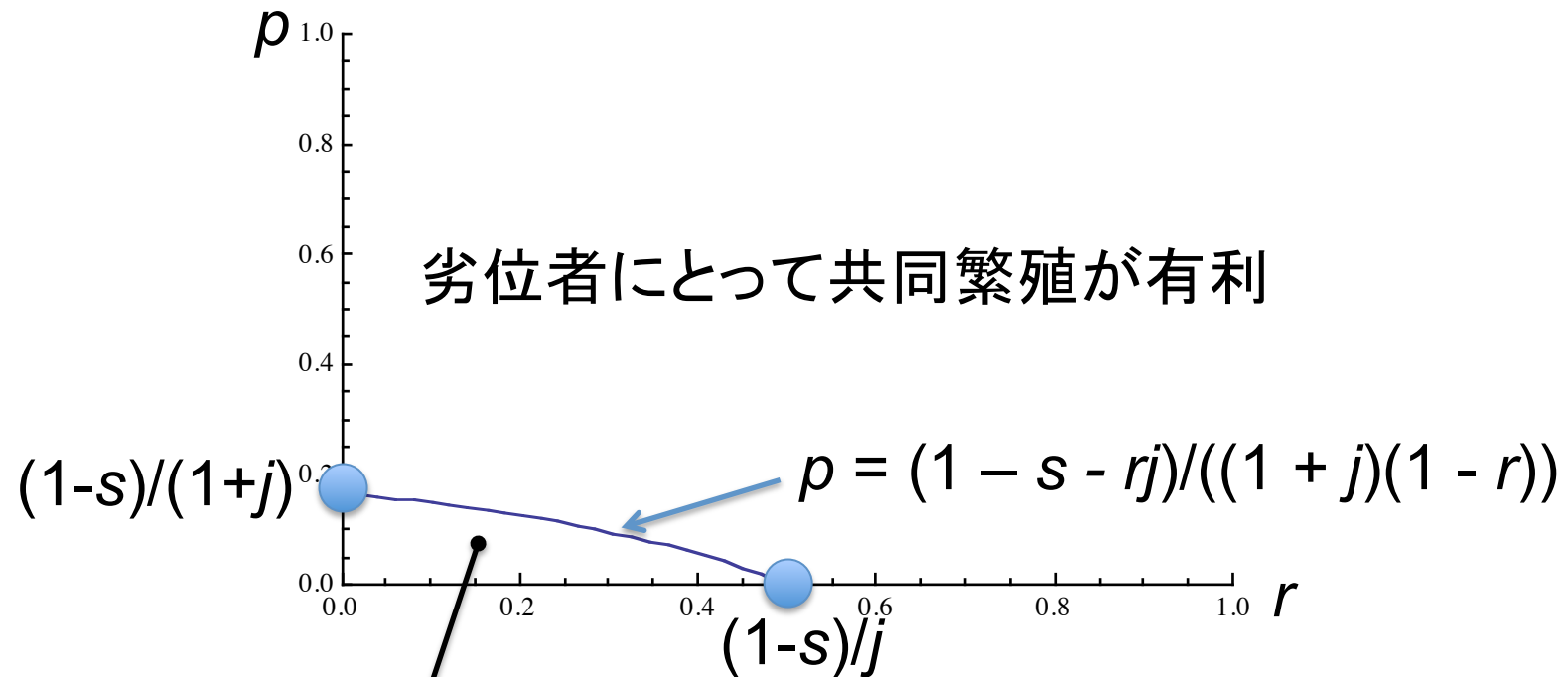
劣位者と優位者の血縁関係 (r) の時:

$$V_S(J) + rV_D(J) > V_S(S) + rV_D(S)$$



$$p > (1 - s - rj)/((1 + j)(1 - r))$$

共同繁殖の進化



劣位者にとって
単独繁殖が有利

$$s = 0.75, j = 0.5$$

共同繁殖

優位者からすると、共同繁殖のほうが単独繁殖よりも進化的に有利になる条件

劣位者と優位者が血縁が無い場合 ($r = 0$) :

$$V_D(J) = (1 - p)(1 + j) > V_D(S) = 1$$



$$p < j/(1 + j)$$

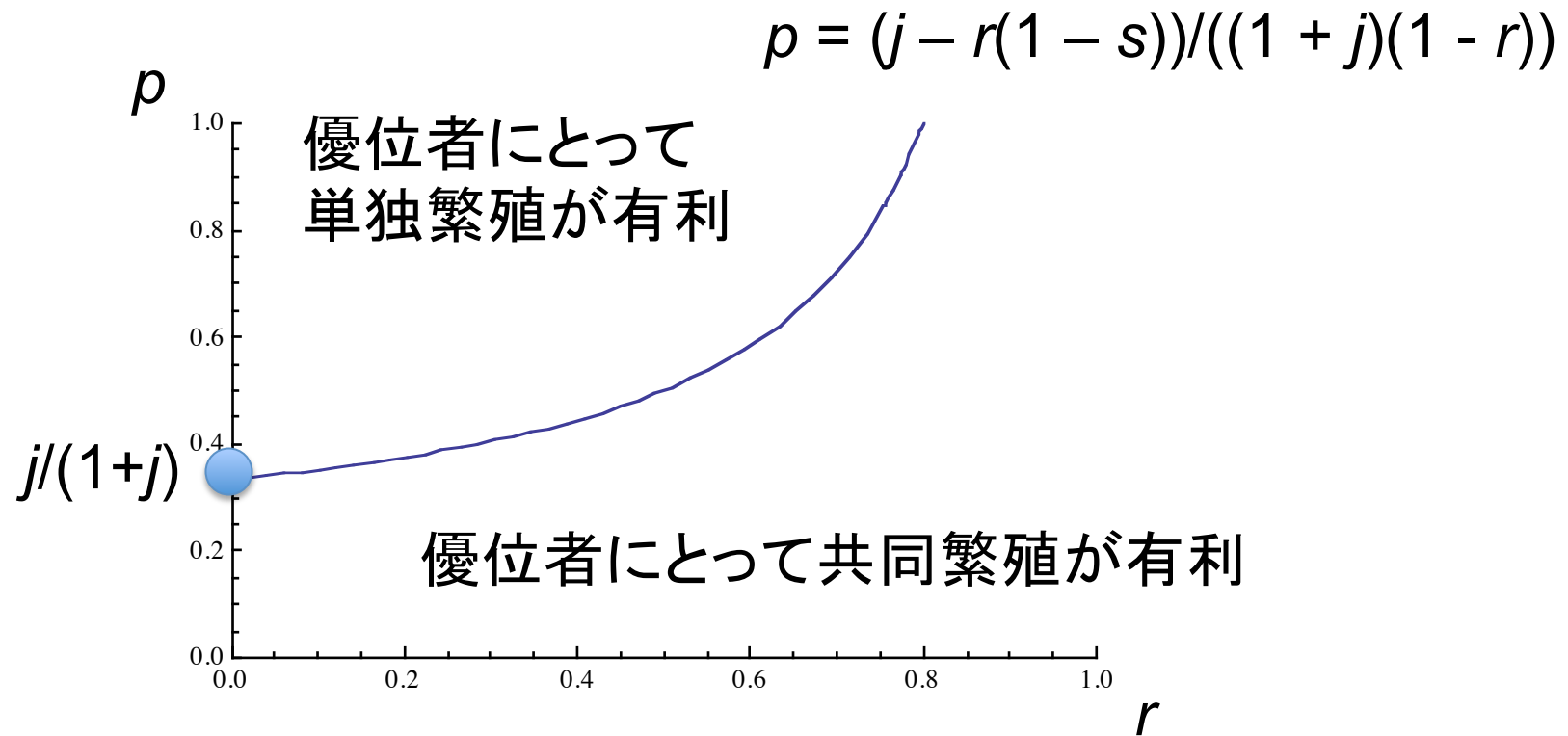
劣位者と優位者の血縁関係 (r) の時:

$$V_D(J) + rV_S(J) > V_D(S) + rV_S(S)$$



$$p < (j - r(1 - s))/((1 + j)(1 - r))$$

共同繁殖



$$s = 0.75, j = 0.5$$

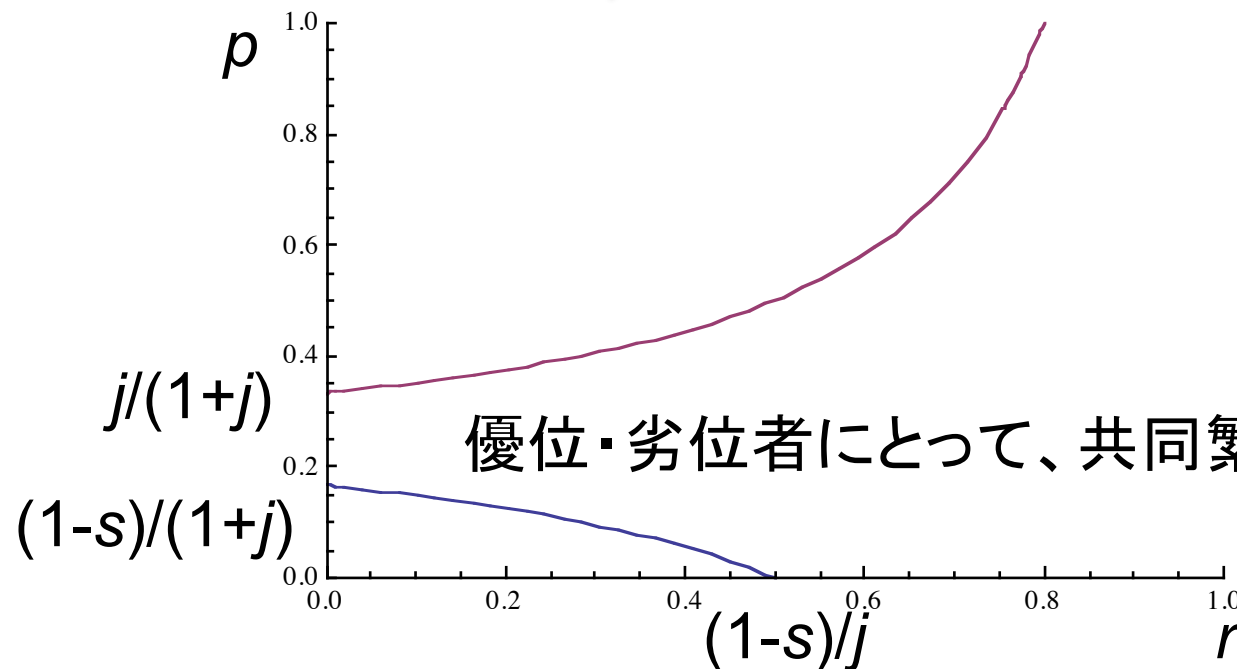
共同繁殖

優位・劣位者にとって、共同繁殖が有利：

$$(1 - s - rj)/((1 + j)(1 - r)) < (j - r(1 - s))/((1 + j)(1 - r))$$

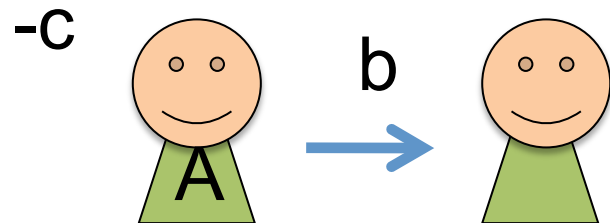


$$j > 1 - s$$

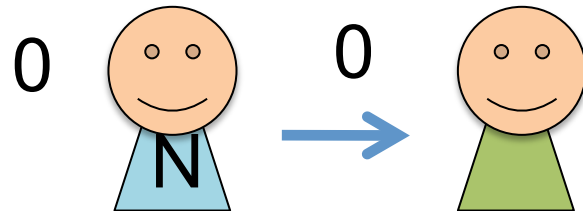


$$s = 0.75, j = 0.5$$

ハミルトンルール of 算出2



A:協力



N:非協力

相手		A	N
自分	A	$V(A,A) = b - c$	$V(A,N) = -C$
	N	$V(N,A) = b$	$V(N,N) = 0$

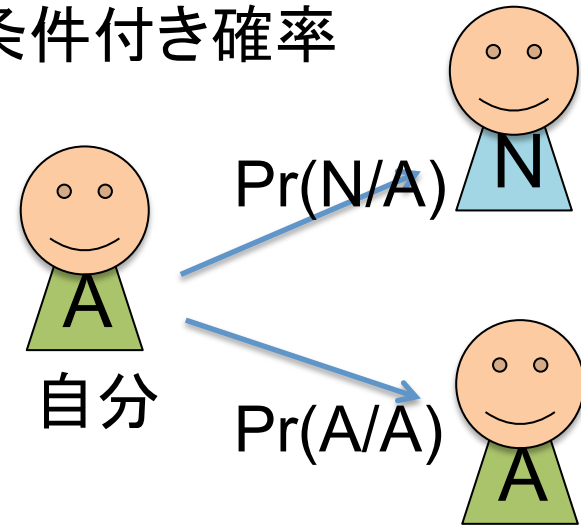
$V(\text{自分、相手})$: 自分と相手がゲームしたときの、自分の利得

ハミルトンルールの算出2

$\text{Pr}(\text{相手/自分})$: 自分が相手が出会う、条件付き確率

$$\text{Pr}(A/A) + \text{Pr}(N/A) = 1$$

$$\text{Pr}(A/N) + \text{Pr}(N/N) = 1$$



協力 (A) の平均利得

$$W(A) = w_0 + \text{Pr}(A/A)V(A,A) + \text{Pr}(N/A)V(A,N)$$

非協力 (N) の平均利得

$$W(N) = w_0 + \text{Pr}(A/N)V(N,A) + \text{Pr}(N/N)V(N,N)$$

ハミルトンルールの算出2

利得を平均利得の式へ代入すると・・

$$W(A) = w_0 + \text{Pr}(A/A)(b - c) + \text{Pr}(N/A)(-c)$$

$$W(N) = w_0 + \text{Pr}(A/N)b - \text{Pr}(N/N)(0)$$

協力が進化するためには・・ $W(A) > W(N)$



$$\text{Pr}(A/A)b - c > \text{Pr}(A/N)b$$

$$(\text{Pr}(A/A) - \text{Pr}(A/N))b > c \dots \text{式(1)}$$

ハミルトンルール

r : 同じタイプの出会いやすさ

p : 集団中の協力 (A) の頻度、 $1-p$: 集団中の非協力 (N) の頻度

$$\Pr(A/A) = r \times 1 + (1 - r)p$$

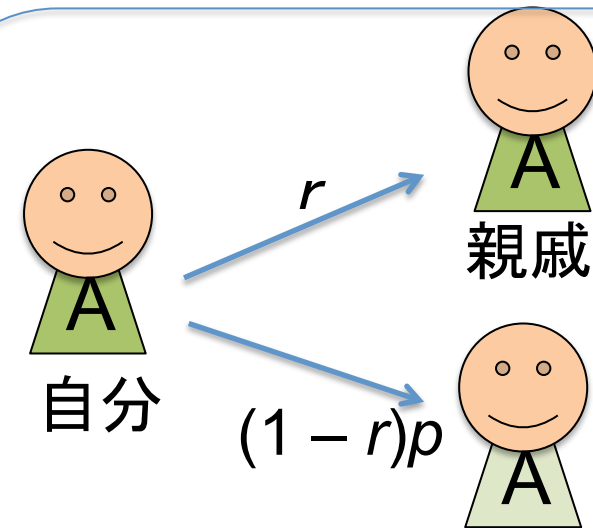
↑
Aが同じタイプ
Aと出会う

↑
(1 - r)では、
ランダムに
Aと出会う

$$\Pr(N/A) = r \times 0 + (1 - r)(1 - p)$$

$$\Pr(N/N) = r \times 1 + (1 - r)(1 - p)$$

$$\Pr(A/N) = r \times 0 + (1 - r)p$$



$r = 0$ の時

ランダムに人と出会う状況

$r = 1$ の時

同じタイプにしか会わない

ハミルトンルール

$$\text{式(1)} : (\text{Pr}(A/A) - \text{Pr}(A/N))b > c$$



代入すると...

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pr}(N/A) = r(0) + (1 - r)(1 - p) \\ \text{Pr}(A/A) = r(1) + (1 - r)p \end{array} \right.$$

$$((r + (1 - r)p) - (1 - r)p)b > c$$



$$rb > c$$

一方で・・・血縁者間の葛藤？！

多くの鳥類やほ乳類

ある程度の養育期間を越えると、
子供に対して攻撃的になる

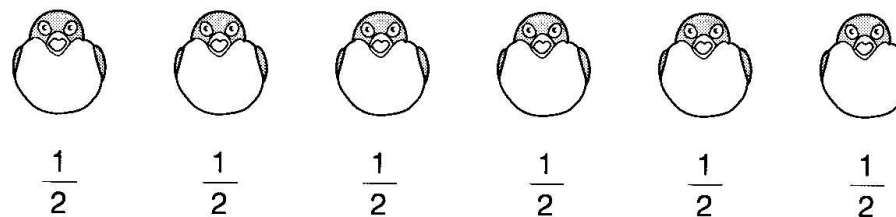
 おそらく親子間の対立が原因？！

親と子の対立

(a) 親の立場



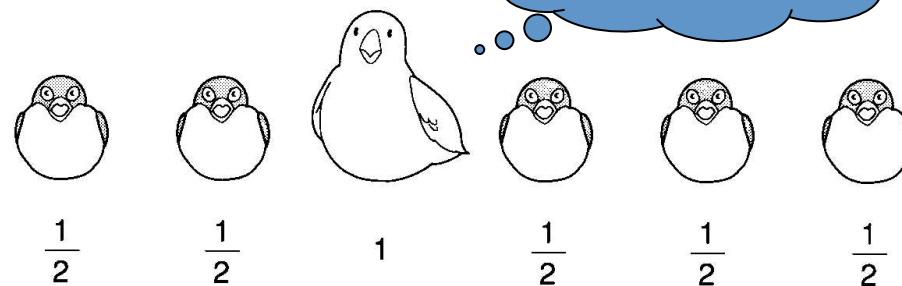
親から見た
血縁度



(b) 子の立場



大きなヒナから
見た血縁度



「生き物の進化ゲーム」より

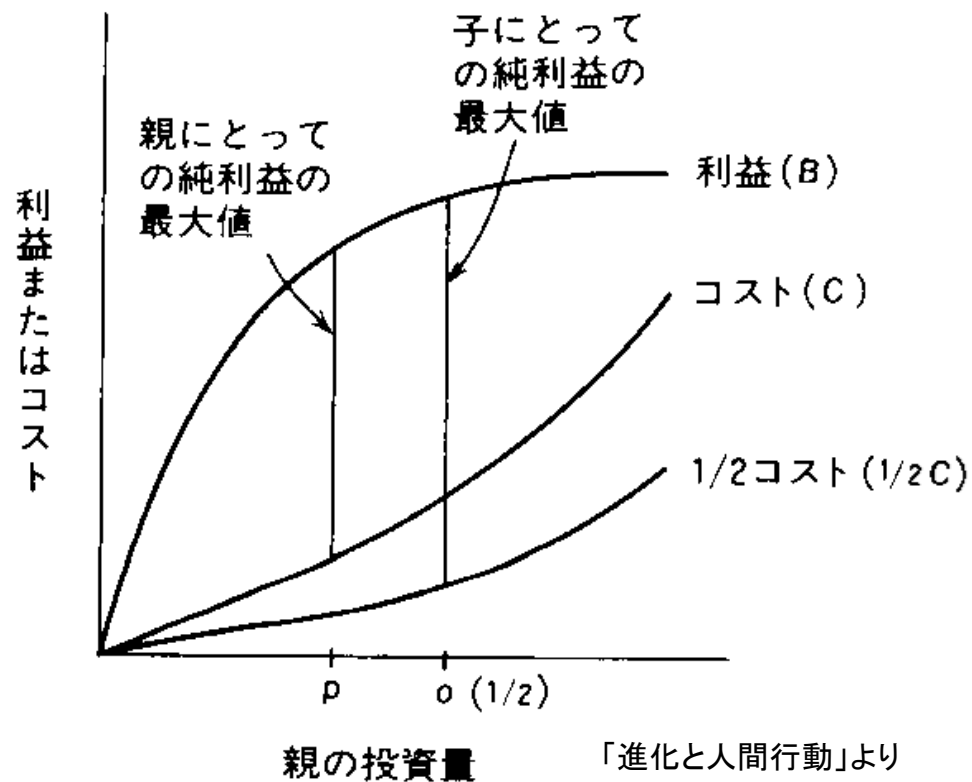
図 11.1 親と子の立場の違い

血縁者間の葛藤: simple case

Trivers (1974): 親の投資期間中の投資量をめぐる親と子の葛藤

B: 親の投資量に対する利益 → 投資を受ける子の生存率の増加

C: 親の被るコスト → 親が他の子をつくるチャンスの減少分



親の正味の利益: $B - C$

子の正味の利益: $B - rC$



親子の血縁度 $r = 0.5$ なので、
子は母親の投資コストを半分に
しか見積もらない



母親が与えようとする投資以上
を子供は要求する

具体例を挙げて説明

一個体の子供に投資するエネルギー量をどうやって決定するか？

{ 子へ与える餌量
分配する同化産物量
養育へかける時間など

親の総投資量＝一定

S : 親の子供一個体への投資量

$W(S)$: 子供の生存率曲線。凸型関数。

親にとっては・・・

子は同等

同じだけの投資量を与えて、適応度を最適にする

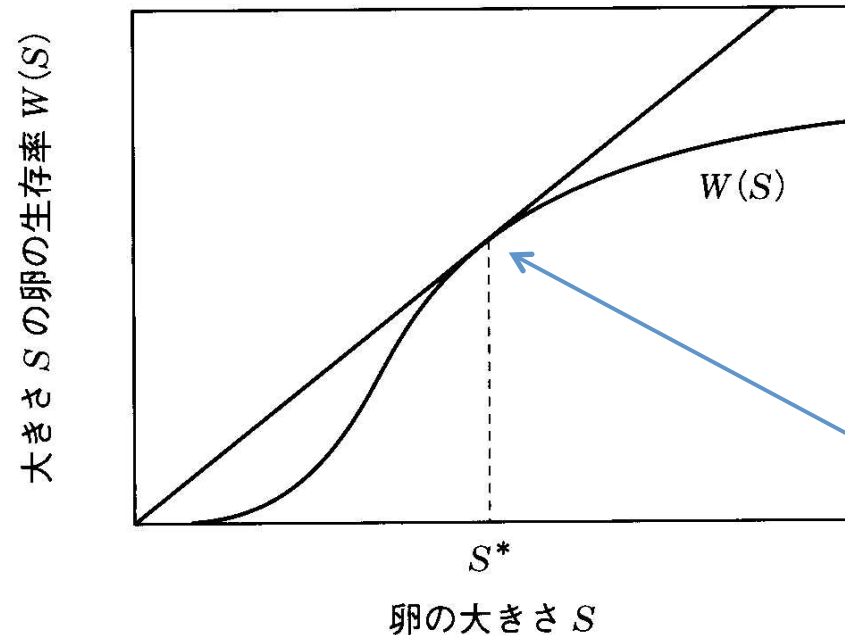
親の総投資量：一定

以下の式を満たす最適投資量 S^* が
自然選択の結果選び取られる

$$W'(S) = \frac{W(S)}{S}$$

※式の導出は後ほど

最適資源投資戦略



$$W'(S^*) = \frac{W(S^*)}{S^*}$$

図 2.3 最適な卵の大きさ

$W'(S)$ は、関数 $W(S)$ の S における接線の傾きである。 $W(S)/S$ は、原点から $W(S)$ に引いた直線の傾きである。だから、 $W'(S) = W(S)/S$ となるのは、原点から引いた直線が $W(S)$ に接する点 (S^*) である。

「生物の進化ゲーム」より

子にとっては・・

親から投資をしてもらうほど、自分の生存率は高まる

➡ 親にとっての最適投資 S^* と、子にとっての最適投資は異なるだろう

例) 5人兄弟

自分: S^* より50ほど多く投資を要求すると

生存率の増加分: $B = W(S^*+50) - W(S^*)$

残りの兄弟4個体:

親からの総投資量は一定

→各個体 $50/4 = 12.5$ ほど親からの投資は減少

各兄弟の生存率の減少分: $C = W(S^*) - W(S^*-12.5)$

子にとっては・・・続き

自分の適応度の正味の増加分: $B - 4 \times \frac{1}{2} \times C = B - 2C$



兄弟4個体とは血縁度1/2



兄弟の適応度の損分 $4C$ のうち、1/2を被る

$B - 2C > 0$ であると、自分は親へもっと投資を要求

$B' - 2C' = 0$ の時の投資量 (S_{\max}) が要求する上限となる
だろう。

子供一個体あたりにかけるエネルギー投資量と生存率の関係

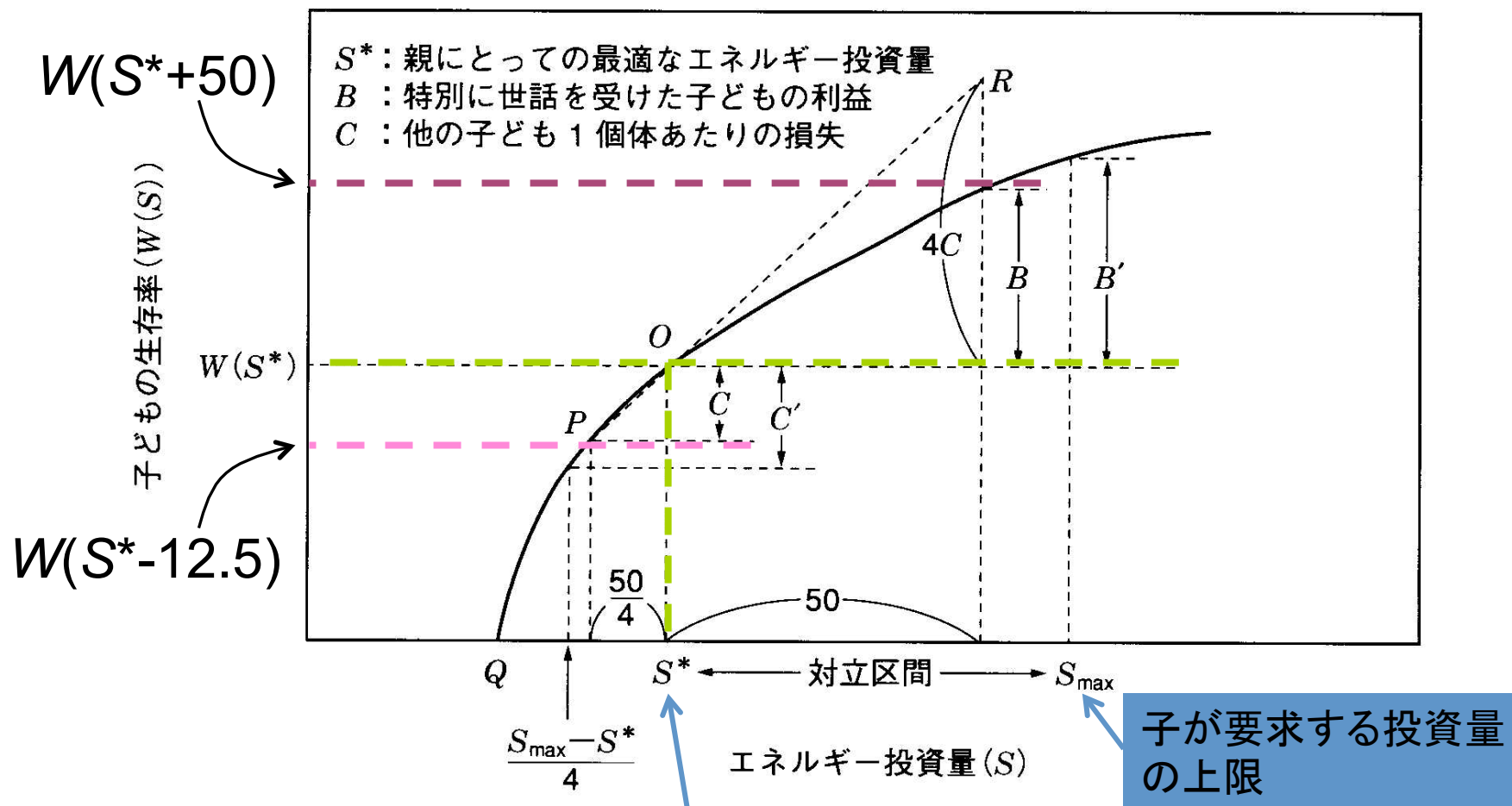


図 11.2 子供1個体あたりにかけるエネルギー投資量と生存率の関係

親の最適投資

「生物の進化ゲーム」より

再び、親にとっては・・・

子の一個体だけ適応度を増やした時、親にとっては：

親と子の血縁度 $1/2$ なので

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{子一個体の適応度の増加分：} \quad \frac{1}{2} \times B \\ \text{他の子ども4個体の適応度の減少分：} \quad 4 \times \frac{1}{2} \times C \end{array} \right.$$

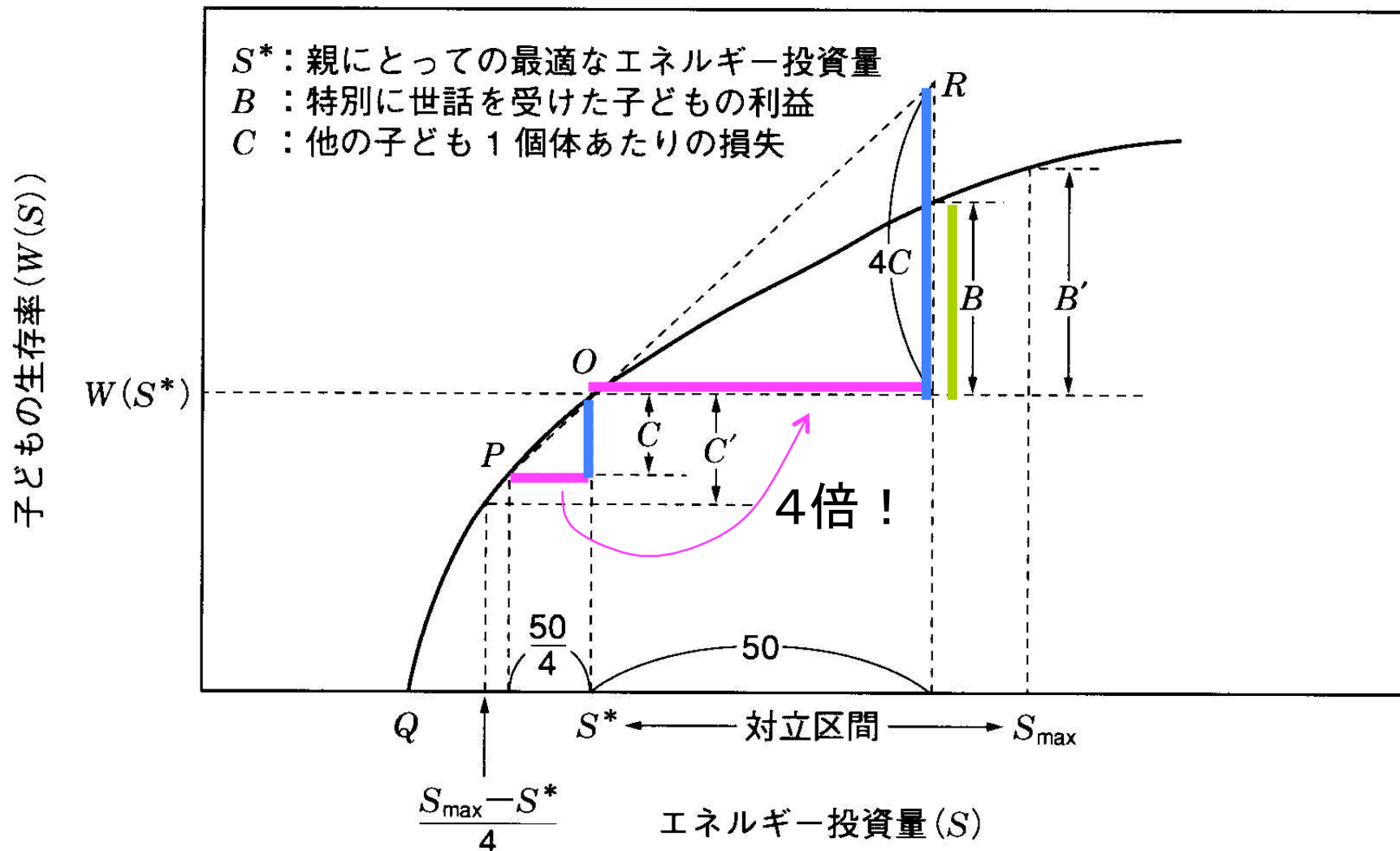
➡ 親からすると、一個体の子の
適応度の正味の増加分は： $\frac{1}{2} \times B - 4 \times \frac{1}{2} \times C$

$$= \frac{1}{2}(B - 4C) < 0 \quad \text{常に成り立つ}$$

➡ 親と子の投資量に関する対立が生じる！

B - 4C < 0 が常に成り立つ理由は？

W(S)が凸関数である限り、成立



親と子の対立の拡張。。

異父兄弟のときは？

異父兄弟では: 1/4

ある子の適応度の正味の増分: $B - 4 \times \frac{1}{4} \times C = B - C$

➡ 同父兄弟と比べて、より多くの投資を要求する！

母親の繁殖齢 老齢ほど、将来に子供を産む確率が減少
→ 現在の子供に多く投資する傾向

例) カルフォルニアアカモメ

老齢の親ほど給餌頻度が高い

例) ヒヒ

老齢の親ほど子離れが遅くなる