

4P-05

コンピュータシミュレーションによる生物のオーナメントとアーマメントの進化の検証

坂口智彦<sup>1</sup> , 柿島聡<sup>2</sup> , 上原隆司<sup>2</sup> , 守田智<sup>1</sup> , 吉村仁<sup>2</sup>

静岡大学大学院工学研究科数理システム工学専攻<sup>1</sup>

静岡大学創造科学技術大学院<sup>2</sup>

<導入>

本研究は、生物のオスとメスの、不自然なほどの身体的特徴の違いについての研究である。例えば、鹿ではオスのみが長い角を持ち、孔雀ではオスのみが派手な装飾を持つことが挙げられる。また、本研究ではこのオスの特徴をオーナメント、アーマメントと呼び、配偶者選択により進化したものをオーナメント、配偶者獲得競争により進化したものをアーマメントとする。

【オーナメントとアーマメント】

元来、オーナメントやアーマメントのような特徴は、オーナメントとして、一つにまとめられて考えられる事が多い。しかし、配偶者獲得競争と配偶者選択には時間軸の違いが発生する[1]。例えば、メスが配偶者選択を行う前に、オス同士が配偶者獲得競争を行い、縄張り争いを行う事がある。そして、生物の中には、配偶者獲得競争のみを行うアカシカのように、配偶者選択と配偶者獲得競争の片方のみを行う生物が存在する[2]。

【目的】

本研究ではアーマメントに関する仮説、アロメトリー仮説がアーマメントの進化を説明できるかどうかを、シミュレーションを行って検証する。

【アロメトリー仮説】

Yoshimura が 1992 年に提唱[3]。まず、体サイズと身体的特徴の大きさにはアロメトリー、つまり正の相関があるものとする [4]。そして、体サイズが大きいものほど死亡率が低い [5] と考え、体サイズの大きいものをメスは配偶者として選びたいが、見分けるのが困難なため、体サイズの代わりに身体的特徴の大きさと比べるようになったと考える仮説である。

<シミュレーション方法>

オスとメスは初期状態で 100 匹ずつとする。世代を経るごとにオスとメスがそれぞれ 100 個体ずつ増える。アーマメントを持つのはオスのみとし、体サイズ 100~200 の値を正規分布でランダムに与える。アーマメントと体サイズの比率は共優性の 2 つの対立遺伝子  $O_1, O_2$  で決まり、初期値は全て 0.01 とする。この値は 0.01 未満の値をとらない。突然変異により

一定の確率で  $\pm 0.01$  する。個体の遺伝子は図 1 のようになる。

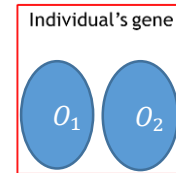


図 1

アーマメントの大きさ  $T$  は以下の式で表わす。

$$T = S(O_1 + O_2) \quad (1)$$

$S$  は体サイズを表す。アーマメントの比  $T_r$  は以下のように 2 つの対立遺伝子の値の和で決まる。

$$T_r = \frac{T}{S} = O_1 + O_2 \quad (2)$$

また体サイズに依存する死亡率を以下に表わす。

$$D = \left( \frac{S_a - S}{S_a - S_b} \right) \quad (3)$$

$D$  は死亡率を表し、ここでは  $S_a = 250, S_b = 50$  とする。(3) 式は図 2 のグラフのようになる。

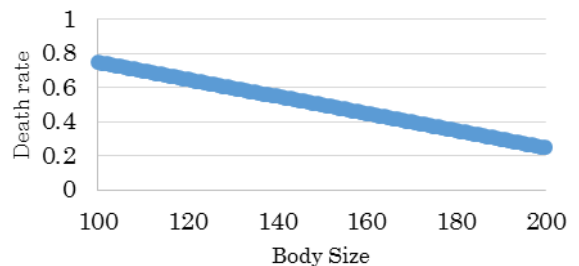


図 2

また、アーマメントが大きくなることに対するコストは、アーマメント比に 0.8 をかけたものが死亡率となる。

【各世代のシミュレーションの流れ】

- 1、 配偶者獲得競争を行う (以下で説明)
  - 2、 1 で産まれた子供が大人になれるかを判定する
- 1 と 2 を大人になれる子供が前世代の個体数+200 匹(オスメスそれぞれ+100 匹)になるまで繰り返す。これを 1 世代とし、世代を経てアーマメントの変化を調べる。また、最初から個体の数をオスとメスが 70000 匹ずつで固定した場合の結果も後に示す。

【配偶者獲得競争】

ランダムに選ばれた 2 匹のオス同士のアーマメントの値を比べ、 $a(1.1\sim 10)$  倍よりも差が小さい場合、以下の強さを示す  $p_1, p_2$  のどちらかで闘争を行い、大きさの大きいほうがメスを獲得し、子供を産めるとする。ここでの  $h$  は体力を表す。この値は初期状態で 100 とする。

[1] John Hunt et al. (2009)  
Male-male competition, female mate choice and their interaction: determining total sexual selection  
*Journal of Evolutionary Biology*. 22(2009)13-26

[2] Anders Berglund et al. (1996)  
Armaments and ornaments: an evolutionary explanation of traits of dual utility  
*Biological Journal of the Linnean Society* (1996), 58: 385-399

[3] Yoshimura, J. (1992)  
By-Product Runaway Evolution by Adaptive Mate Choice: a Behavioral Aspect of Sexual Selection.  
*Evolutionary Ecology*. 6, 261-269

[4] Shingleton, A. (2010)  
Allometry: The Study of Biological Scaling.  
*Nature Education Knowledge* 3(10):2

[5] Arnold, S.J. and Wade, M.J. (1984)  
On the Measurement of Natural and Sexual Selection: Applications.  
*Evolution* 38(4):720-734

$$p1 = T \times \left(\frac{h}{100}\right) \quad (4)$$

$$p2 = T \times S \times \left(\frac{h}{100}\right) \quad (5)$$

この場合は闘争コストが発生する。逆に、 $a$  倍よりも差が大きい場合は、アーマメントの小さい個体が闘争を避け、闘争コストが発生しない。闘争コストとは体力が1回につき、勝者が  $b$ 、敗者が  $c$  減っていくものとする(ここでは  $b=5, c=10$ )。そして、子供は両親から形質遺伝子をランダムで1つずつ受け取る。また、ここでの  $a$  の値は個体差がある場合とない場合で別に結果を示す。

<結果>

結果は以下の図 3,4 のようになった。図 3 が闘争を行う際に  $p1$  の値を用い場合の結果で、図 4 が闘争を行う際に  $p2$  の値を用いた場合の結果である。このときのアーマメントサイズはそれぞれの世代の平均値を示している。ここでは  $a$  の値に個体差はなく、1.1~10 の間で変更してそれぞれの結果を出した。

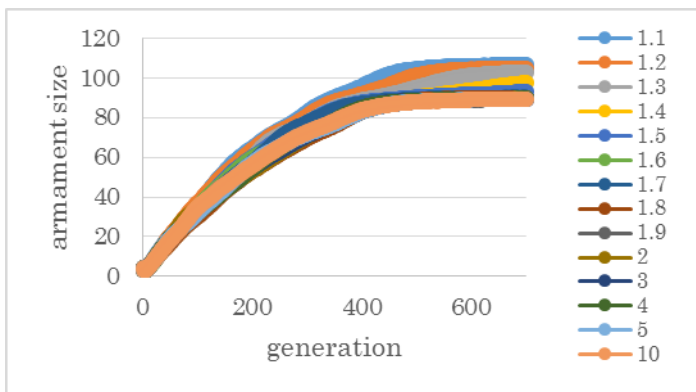


図 3

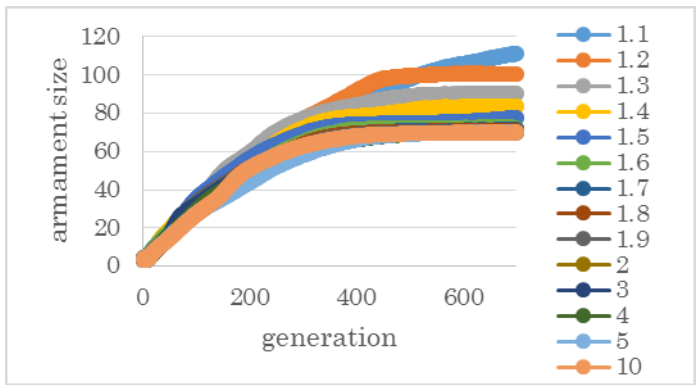


図 4

次に個体の数を初期状態においてオスメス 70000 匹ずつで固定し、増える事のない場合の結果を図 5,6 に示す。

図 5 が闘争を行う際に  $p1$  の値を用い場合の結果で、図 6 が闘争を行う際に  $p2$  の値を用いた場合の結果である。

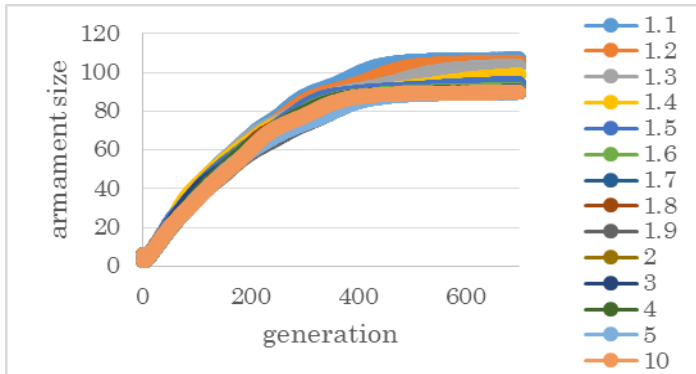


図 5

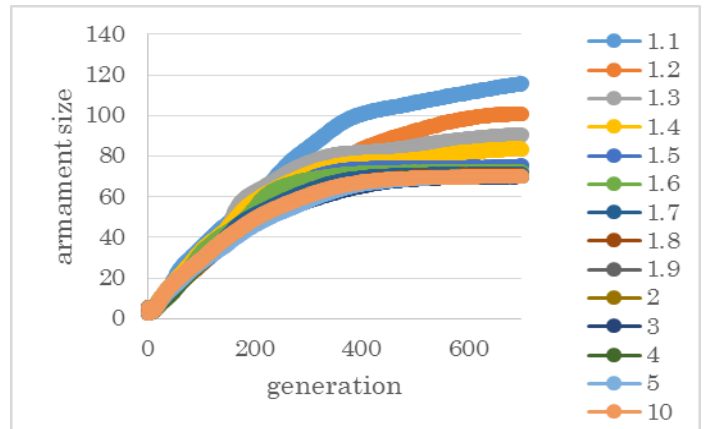


図 6

次に、今までは  $a$  の値を全ての個体において一定にして結果を示していたが、これにも個体差を与えた場合を考える。

個体の  $a$  の値は、1.1~ $d$ ( $d=2,3,4,5,6,7,8,9,10$ )の間の一様乱数によって決める。その結果を次の図 7,8 に示す。このとき、図 7 が闘争を行う際に  $p1$  の値を用い場合の結果で、図 8 が闘争を行う際に  $p2$  の値を用いた場合の結果である。

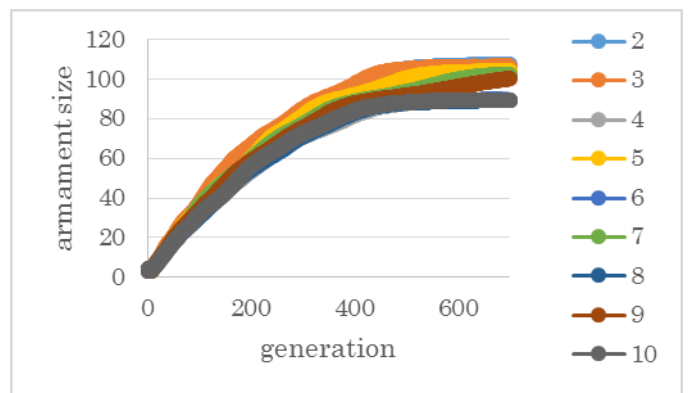


図 7

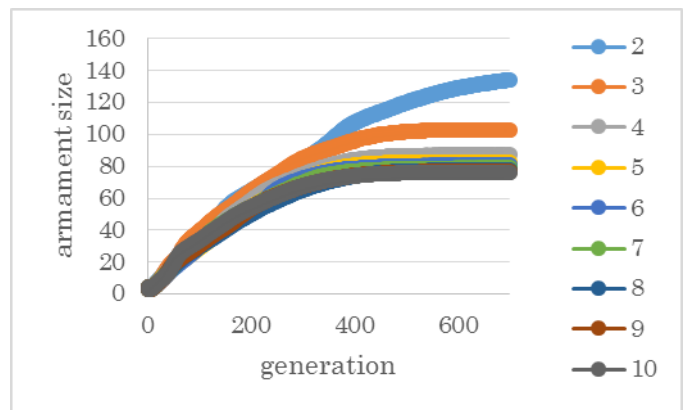


図 8

<考察>

以上のとおり、個体の数の増加を入れようが入れまいが、結果的にアーマメントが大きくなるような結果となった。これにより、個体数に関係なくアロメトリー仮説のモデルでアーマメントの進化を説明できたのではないだろうか。

$a$  の値に個体差を与えた場合、 $a$  の値を一定にした場合と同じような結果が得られた。つまり、相手の強さ(アーマメントの大きさ)を見分ける能力の個体差に関わらずアーマメントが進化するのではないだろうか。

また、どの結果も総じて、闘争を行う際に  $p2$  を用いた場合のほうが、 $p1$  による結果に比べ  $a$  の値によるばらつきがある。これは、 $p2$  を用いる場合はアーマメントだけでなく体サイズがより闘争に影響しやすく、闘争が起こりやすい( $a$  の値が大きい)場合、アーマメントの進化を妨げるからと考えられる。