

シオマネキにおける鉗脚の左右不相称性生起に関する数理モデリング

瀬野裕美* (奈良女子大学大学院人間文化研究科)

重本美紀子 (奈良女子大学理学部情報科学科)

A Mathematical Modelling for Handedness of Fiddler Crab (H. Seno & M. Shigemoto) An enormously developed giant cheliped with another small one characterizes the adult male fiddler crab. Some researches about the handedness, with the experiments to remove the cheliped and observe the size of regenerated one, imply that the determination of handedness would be controlled with some unknown physiological system. With two hypothesized factors relevant to the regeneration of removed cheliped, we construct a mathematical model to describe the experimental results about the handedness of fiddler crab, and analyze it to show that the model could describe the other type of regeneration results, which might correspond to the case of another species of crab.

熱帯から温帯にかけての干潟やマングローブ域に生息するシオマネキ類の特徴は、雄の鉗脚（はさみ）2本のうち1本が非常に巨大なことである。左右のどちらの鉗脚が巨大であるかは個体によって異なる。また、希ではあるが、左右両鉗脚が共に小さいサイズである成雄（雌型）や共に巨大なサイズの成雄も存在している。[1, 2]

山口 [3, 4] は、ハクセンシオマネキ *Uca lactea* について、右大、左大、両小、両大といった特徴を持つ成雄の鉗脚の除去実験を詳細に行った。山口の実験結果によれば、幼ガ二期の雄については、脱落した鉗脚の再生サイズは小になり、鉗脚脱落のなかった場合には成ガ二期で鉗脚は両方大になる。一方、鉗脚が両方とも巨大な成雄の両鉗脚の除去実験によって再生してくる鉗脚は両方小になるが、それ以外の場合（右大、左大、両小）の鉗脚の脱落は、鉗脚のサイズの左右不相称性を変えない。このような幼ガ二期における鉗脚脱落後の鉗脚再生と成ガ二期におけるその様相の違いについての生理的な機構は全くわかっていない。

本研究では、山口の鉗脚再生に関する実験結果を説明できる生理的機構についての仮説を立て、その生理機構を表現する数理モデルを構築し、解析した。我々は、鉗脚の再生に関わる二つの異なる生理因子 A と B を仮定した。ザリガニ類において、体長やハサミの成長には、生殖腺刺激ホルモン、雄性ホルモンが関与していることが知られており、仮定される因子 A や B も何らかのホルモンである可能性がある。

具体的な数理モデルを構築するために、鉗脚再生における生理的ダイナミクスについて以下のような仮定をおいた：

1. 生理因子 A は、ある組織から常時生成されている。
2. 鉗脚の脱落によるシグナルによって組織 Z の成長が開始される。
3. 組織 Z の成長速度は生理因子 A の濃度に比例するが、組織 Z のサイズ増大により抑制される。
4. 組織 Z は生理因子 B を生成し、その生成速度は組織 Z のサイズとともに大きくなるが、生理因子 B は、その生成速度に対して抑制的に働く。
5. 生理因子 A と B は、相互作用によって活性を失う関係にある。
6. 鉗脚成長は、左右独立に定まる飽和サイズに至るロジスティック的成長に従い、その飽和サイズは鉗脚の再生時に生理因子 A と B の協同作用によって減少する。

これらの仮定の下、本研究では、生理因子 A の体内濃度 $a(t)$ 、生理因子 B の体内濃度 $b(t)$ 、組織 Z のサイズ $z(t)$ 、右鉗脚サイズ $r(t)$ 、左鉗脚サイズ $l(t)$ 、右鉗脚サイズ成長に対する飽和サイズ $k_R(t)$ 、左鉗脚サイズ成長に対する飽

和サイズ $k_L(t)$ についての次のような数理モデルを構築した：

$$\frac{da(t)}{dt} = \alpha \left\{ 1 - \frac{a(t)}{k_a} \right\} a(t) - (\theta_L + \theta_R) \mu a(t) b(t)$$

$$\frac{dz(t)}{dt} = (\theta_L + \theta_R) \left[\gamma \left\{ 1 - \frac{z(t)}{k_z} \right\} a(t) \right]$$

$$\frac{db(t)}{dt} = \beta \left\{ 1 - \frac{b(t)}{k_b} \right\} z(t) - (\theta_L + \theta_R) \delta a(t) b(t)$$

$$\frac{dr(t)}{dt} = \sigma \{ k_R(t) - r(t) \} r(t)$$

$$\frac{dl(t)}{dt} = \sigma \{ k_L(t) - l(t) \} l(t)$$

$$\frac{dk_R(t)}{dt} = \theta_R [-ca(t)b(t) \{ k_R(t) - r(t) \}]$$

$$\frac{dk_L(t)}{dt} = \theta_L [-ca(t)b(t) \{ k_L(t) - l(t) \}]$$

ただし、 θ_R (θ_L) は、右（左）鉗脚が初めて脱落するまでは 0 であり、初めて脱落した後は 1 となる変数である。初期状態としては、 $a(0) = k_a$ 、 $z(0) = b(0) = 0$ 、 $r(0) = l(0) = x_0 < k_L(0) = K$ を考える。

本研究発表では、この数理モデルにおける鉗脚脱落の時期や脱落の繰り返しによって、鉗脚再生の結果として生起する鉗脚の左右不相称性のパターンに関する数理解析の結果に基づき、この数理モデルによって山口による実験結果を適切に記述できること、さらに異なる実験による再生結果の予想、そして、ハクセンシオマネキの場合とは異なる再生パターンの存在可能性も示す。

References

- [1] Morgan, T.H., 1923. The development of asymmetry in the fiddler crab. *Amer. Natur.* **57**: 269-273.
- [2] 山口隆男 1973. ハクセンシオマネキ巨大鉗脚の左右性と二型性について. *動物学雑誌 (Zoological Magazine)* **82**: 154-158.
- [3] Yamaguchi, T., 1977. Studies on the handedness of the fiddler crab, *Uca lactea*. *Biol. Bull.* **152**: 424-436.
- [4] 山口隆男 1978. ハクセンシオマネキにおける巨大鉗脚の左右性とその決定機構について. *CALANUS* **6**: 29-51.

*Corresponding person: phone & fax. +81-(0)742-203442, E-mail. seno@ics.nara-wu.ac.jp