

素数ゼミの進化シミュレーション： 素数サイクルの優位性の検証

田中 裕美¹ 渥美 良太² 吉村 仁³ 泰中 啓一³

兵庫県立大学大学院¹ 静岡大学大学院² 静岡大学創造科学技術大学院³

米国の中西部から南部：東部にかけて存在する周期ゼミは、13及び17年の素数年の周期で大発生することがよく知られている。その理由として、同時発生による交雑が素数でない周期の絶滅を引き起こしたという仮説がある。近年、私たちは、交雑によって素数周期が選択される事を整数数値シミュレーションモデルによって実証した。今回、新たに素数周期が選択される為の重要な要因として、ある限界個体数以下に個体数が減少した場合絶滅が促進されるという効果が必要であるということがわかった。本報告では数値シミュレーションモデルを用いてこれを検証する。

1. はじめに

米国の広い地域において存在する周期ゼミは13及び17年の素数年の周期で大発生するので素数ゼミとも呼ばれている。その理由として、氷河期の到来による環境悪化に伴い、同時発生による交雑が素数でない周期の絶滅を引き起こしたという仮説がある(Cox and Carlton 1988, Yoshimura 1997)。まず私たちは、この仮説を従来の遺伝アルゴリズムとは異なる、より現実に即した新しい進化シミュレーションモデルを構築し検証を行った。さらにその過程において新たに、素数周期の優勢を誘発する重要な条件：整数以下切下げるに事により個体数が減少した場合絶滅が促進されるという効果(*以下、切下げ効果と呼ぶ(Alee 1931,))が必要であるということを見出した。このことも、同様の進化シミュレーションモデルを用いて検証を行った。

2. モデル

私たちは10-20年の発生周期を現す11種の遺伝子を持つ個体群のダイナミクスにおける離散モデルを構築した(Yoshimura et al. in press)。ここにおいて出生年を含めた幼虫個体数を $N_{i,t}$ 、成虫個体数を N_A とする。

このモデルにおいて鍵となる2つのパラメータ、幼虫生存率 S ($0 < S < 1$)と成虫羽化成功率 E ($0 < E < 1$)を設定する。この2つのパラメータは共に遺伝子によらず一定とする。また、モデルを単純なものとするため、卵サイズ(産卵量) C を($C=25$)と固定した。さらに、周期形質の遺伝はメンデル遺伝の法則に従い、短周期優性とし、遺伝子型を $[i,j]$ とあらわす。

出生年が与えられた時、各周期をもつ幼虫の時間 t における個体数はそれぞれ：

$$N_{i,t}(i,j) = S \times N_{i,t-1}(i,j) \quad (1)$$

であらわされる。同様に成虫個体数においては

$$N_{A,t}(i,j) = E \times N_{i,t}(i,j) \quad (2)$$

時間 t において遺伝子型 $[i,j]$ と $[m,n]$ を持つ各個体間の交尾により産まれる幼虫の個体数は

$$\text{Num. offspring} := \frac{1}{2} N_{A,t}(i,j) \times F(N_{A,t}(m,n)) \times C \quad (3)$$

ここにおいて F は対象の遺伝子型を持つ個体の頻度であり

$$F(N_A(m,n)) = \frac{N_A(m,n)}{\sum N_A}$$

とあらわされる。

遺伝子型 $[i,j]$ と $[m,n]$ を持つ各個体間の交雑により産まれてくる個体が持ち得る遺伝子型は $[i,m]$, $[i,n]$, $[j,m]$, $[j,n]$ である。遺伝子型 $[i,m]$ を例にすると、その遺伝子型を持つ時間 t における幼虫個体数は

$$N_{i,t}(i,m) = \sum_x \sum_z \left\{ \frac{1}{2} N_{A,t}(i,x) \times F(N_{A,t}(m,z)) \times C \right\} \quad (4)$$

となる。他の遺伝子型においても同様である。

私たちはこのモデルに切下げ効果を組み込むため、個体数計算を整数切下げ計算において行うこととした。また、対照実験として切り下げ効果を含めないため、整数切上げのケースも計算を実行した。

An evolutionary simulation of periodical cicadas :
Evaluating the superiority of prime-numbered cycles

1 Yumi Tanaka : University of Hyogo

2 Ryota Atsumi : Shizuoka University

3 Jin Yoshimura, Kei-ichi Tainaka

Department of Systems Engineering, Shizuoka University

