

# 遺伝子型と表現型を考慮した共進化系モデル

牧野 浩二<sup>†</sup>

東京工業大学

makino@mylab.ctrl.titech.ac.jp

中野 馨<sup>‡</sup>

東京工科大学

nakano@cc.teu.ac.jp

## 1 はじめに

生物の世界では多種の生物が相互作用しながら進化する共進化という現象がある。本研究はこの共進化に着目し、生物の進化の一端を解明することを目的としている。実際の生物は生体情報として遺伝子を持っているが、その遺伝子が異なっても同じ形質が現れることがある。

本稿ではこれらの関係を遺伝子型と表現型として共進化のモデルを構成する。共進化のモデルを単純化し、かつ議論を分かりやすくするために、「花」と「蜂」の2種類の生物のみが存在する環境を想定する[1]。

以下ではまず花と蜂のモデルを示し、次に2種の生物の相互作用により共進化と種分化が生じ多種安定系が形作られることを示す。このモデルを用いたシミュレーションを行い、遺伝子型と表現型の対応関係の共進化への影響についても検討する。

## 2 花と蜂のモデル

本モデルは蜂が蜜を集めて花の受粉を行う**受粉フェーズ**と交配を行うための**交配フェーズ**からなり、花、蜂共にそれぞれ後述のアルゴリズムを用いて子を産むことで増殖する。特に蜂は実際の蜂のような女王蜂を用いず、また多くの生物に見られるような雌雄も用いない。以上の2つのフェーズを1ステップとし、決まったステップ数だけ生存すると寿命として死滅する。

花と蜂は共にある長さのビット列の遺伝子型を3つ持つ。花の場合はそれぞれの遺伝子型によって花の色、花の形、蜜の味が決まり、蜂の場合は好みの色、蜂の形、適合する蜜が決まる。本稿では遺伝子型により決まる形質を表現型と呼ぶ。

### 2.1 受粉フェーズ

蜂は以下の3つの行動を順に規定回数行う。

1. 蜂は一定のエネルギーを消費して好みの色の花へ飛ぶ。ただし、エネルギーがなければ飛ばない。
2. 花の形と蜂の形が合えば蜂に付着した花粉をその花に付け、その花の花粉を蜂に付着

させることで受粉を行う。ここで用いる花粉には花の遺伝子情報が記載されている。ただし、最初に訪れた花には蜂に花粉がついていないため花に花粉を付けない。

3. 形が一致し、かつ蜜が対応していれば蜂は花からエネルギーを得ることができる。ただし、花は1ステップに一定量のエネルギーを生成するため一定数以上の蜂が飛来したときその蜂はエネルギーを得ることができない。

### 2.2 交配フェーズ

受粉フェーズが終了すると、蜂と花は以下の手順で子を生む。交配は2つの個体を選ばれるとまず、遺伝子の全ビットを比較してその差が閾値以下のときのみ、その遺伝子間で交差が起こり、1個体産出される。交差は遺伝子型ごとに行われる。この個体の遺伝子にある確率で突然変異を加えることとする。

#### ● 蜂の交配

受粉フェーズ終了後の残存エネルギーが初期エネルギーを上回っていた場合、その量によって交配の回数が決まる。

#### ● 花の交配

受粉した花粉の数だけ種子を作る。種子の遺伝子は運ばれてきた遺伝子と自己の遺伝子の間で上述の手順に従い生成される。花の個体数に上限を設定しており、種子はこの個体数に達するまで発芽し、上限に達すると、残った種子は発芽しない。

### 2.3 共進化と種分化

花は色と形が同じならば蜜にかかわらず蜂が飛来するため受粉できる。そこで、色と形が同じで蜜が違う花も繁栄し、種分化が生じると考えられる。この種分化により蜂も色と形は同じで好む蜜が異なる蜂が繁栄すると考えられる。

また、色の異なる花とその色を好む蜂が同時期に生じると花は受粉することができ、蜂はエネルギーを得られるため、色の異なる花とそれを好む蜂の種が分化すると考えられる。

## 3 シミュレーション

遺伝子型は色・形・蜜のそれぞれ4ビットとし、表現型はそれぞれについてA・B・Cの3種とする。花や蜂の表現型を表すのに色・形・蜜

Coevolution Model Considering Genotype and Phenotype

<sup>†</sup> MAKINO Kohji · Tokyo Institute of Technology

<sup>‡</sup> NAKANO Kaoru · Tokyo University of Technology

を順に並べて AAB のように表す．例えば，この表現型を持つ蜂が AAA の表現型を持つ花へ飛来した場合，色と形は一致しているため受粉はできるが蜜を得ることはできない．遺伝子型と表現型の対応は図 1，図 2 に示すような対応表を用いる．例えば 0010 0101 1110 の遺伝子は対応表 1 を用いた場合には表現型が ABC となり，対応表 2 を用いた場合には ACA となる．対応表中の線は遺伝子型が 1 ビットだけ異なる型を結んでおり，特に太線は同じ表現型を示している．図 1 は遺伝子型中の 1 の数によって表現型を設定しており，図 2 はランダムに表現型を設定している．交配可能とする遺伝子の差の閾値を 4 とした．例えば 0010 1101 0110 の遺伝子と前述の遺伝子の差は 4，8 ビット目だけであるため 2 となり，この遺伝子を持つときは交配可能となる．また，交配時の突然変異確率を 1% とした．

花・蜂はそれぞれ 5[point]，8[point] の初期

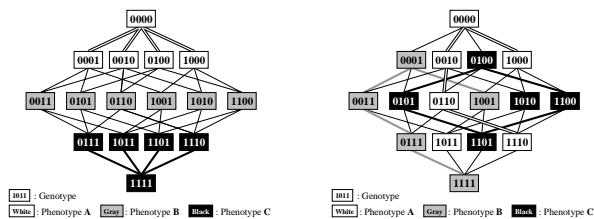


図 1. 対応表 1

図 2. 対応表 2

エネルギーを持つ．蜂は飛ぶたびに 1[point] のエネルギーを消費し，蜜を得ることができると花から 2[point] のエネルギーを得て，花は 2[point] のエネルギーを失う．1 ステップの間に蜂は 5 回花に飛行することができる．蜂の後輩回数は残ったエネルギーから初期エネルギーである 5 を引いた回数とし，交配回数だけエネルギーを 1[point] ずつ消費する．交配フェーズ終了後，花は初期エネルギーの 8[point] に回復するが，蜂は交配後のエネルギーを用いて次のステップを行う．

シミュレーションの初期個体は花と蜂共に遺伝子が 0000 0000 0000 の個体を 10 個体用いた．また，花の生存数の上限を 1000 個体とした．図 3，4 にはそれぞれ対応表 1，2 を用いたときの各世代ごとの花と蜂の個体数を示す．寿命を 1 ステップにしたときは 100 ステップ以内に全て死滅することが確認されている．そのため寿命を 2 ステップとして以下のシミュレーションを行った．

図 3，図 4 から 2.3 節で述べたように花は蜜だけ異なる種が分化していることが分かる．しかし，蜜だけ異なる蜂の種は分化していない．これは蜜が異なる花に飛来する確率が低いために

交配に必要なエネルギーを集めることができないためと考えられる．

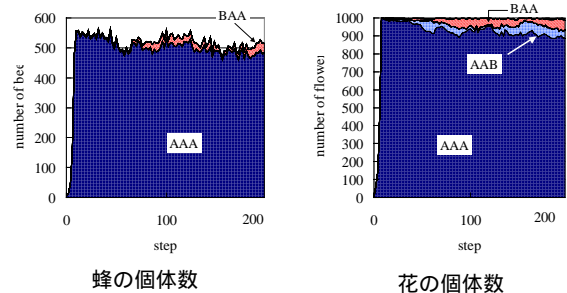


図 3. 対応表 1 を用いたときの各ステップごとの蜂と花の個体数

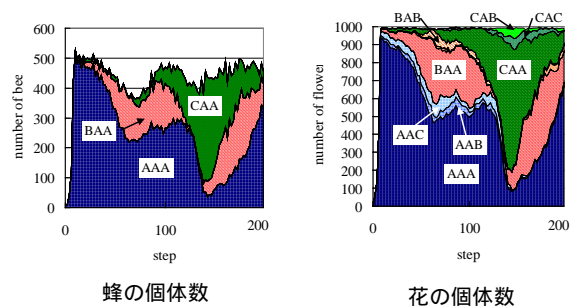


図 4. 対応表 2 を用いたときの各ステップごとの蜂と花の個体数

さらに，色が異なる花の種が分化しており，蜂の種もこれに合わせて分化していることが分かる．本研究のモデルで共進化が生じ，多種安定系が形作られていることが分かる．また，遺伝子型と表現型の対応の違いにより種分化と共進化の起こりやすさに違いが生じていることが確認できた．これは対応表 2 では 1 ビット異なるだけで表現型が変わる遺伝子型が多く存在するため突然変異により異なる表現型をもつ個体が多く生成されるためと考えられる．

## 4 おわりに

本稿では生物界に見られる種分化による多種安定系の生成について報告した．モデルを単純化するために「花」と「蜂」の 2 種に着目してモデル化を行った．このモデルをシミュレーションすることで種分化と共進化を生じさせ，種安定系を形成できた．

今後はパラメータと共進化や種分化への関係を検証していく．

## 参考文献

[1] 中野馨.: “生命をつくる,” 臨時別冊・数理科学, SGC ライブラリ 9, pp. 68-84 (2001)