

アオモンイトトンボの頻度依存選択に関する エージェントベースドモデル

藤野準平[†] 武藤敦子[‡] 加藤昇平[‡] 森山甲一[‡] 犬塚信博[‡]

名古屋工業大学工学部情報工学科[†] 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻[‡]

1 はじめに

地球上に生きる生物は同じ種内であっても色や形が違ふなど様々な多様性を有している。多様性は環境への適応度を高め、絶滅リスクを低下させるなどと考えられている。多様性を維持する機構として「頻度依存選択」が挙げられる。頻度依存選択とは、ある遺伝子を持つ個体の適応度がその個体の頻度によって決まることである。アオモンイトトンボには集団の中で少数派の遺伝子を持つ個体が有利になる負の頻度依存選択の働きが確認されている。これまでにアオモンイトトンボの個体数推移を数理モデルで示す研究は行われている [1][2]。しかし、個々の生態や行動などが負の頻度依存選択に繋がることを計算によって説明した研究はない。本研究ではエージェントベースドシミュレーションを用いてミクロな視点からこれらを解明する。

2 アオモンイトトンボに関する従来研究

高橋らによって行われた従来研究を以下に述べる。

2.1 生態

アオモンイトトンボは日本では岩手県以南の離島を含む幅広い地域の池沼に生息している。成体の寿命は1~2ヶ月だが、1年2世代で春に一齐に羽化した個体の産んだ個体が夏頃に羽化するため春から夏の終わり頃まで成体を見ることが出来る。また夏に羽化した個体の産んだ個体は幼体のまま冬を超え、次の春に一齐に羽化する。

オスの成体は全身緑色だが、メスの成体には Gynomorph (全身が茶色の個体) と Andromorph (全身が緑色の個体) が存在する。個体へ遺伝する色は2つの遺伝子の組み合わせによって決まり、メンデルの法則に従う。優性遺伝が茶色個体であり劣性遺伝が緑色個体である。

オスには配偶者の選好性が確認されている。オスは1日のはじめに交尾したメスの色を記憶し、その日はその色のメスとしか交尾を行わない。日を跨ぐとその記憶は消え、次の日のはじめに交尾したメスの色に記憶が切り替わる。

メスは一度の交尾で一生分の産卵に必要な精液を貯めておけるタンクを保有しているため一度の交尾で生涯産卵するために必要な精子を得られるが、オスは精子を保有しているメスとも交尾を試みる。交尾の時間中はオスに拘束されるためメスは産卵をするための時間が奪われてしまう。このような現象をハラスメントと呼ぶ。

2.2 数理モデル化

高橋らは生態調査に加えて、得られたデータを元に“オスに記憶されやすいメス” = “頻度の大きなメス”はハラスメントを受ける回数が多くなり不利益を背負うため、頻度の小さいものが相対的に有利になると予測し、緑色個体と茶色個体の頻度を用いた環境への適応度を以下のシグモイド関数を用いて数理モデル化した。

$$w(x) = \frac{1-b}{1+e^{a(2x-1)}} + b$$

$w(x)$ は緑色個体 (茶色個体) の頻度 x から、緑色個体 (茶色個体) の環境適応度を示すものである。 a はオスのハラスメントの偏り具合であり、値が大きくなるほど多数派へのハラスメントが強まり少数派へのハラスメントは弱くなる。 b は環境適応度の最低値である。この数理モデルでは現世代の頻度から次世代の頻度を予測するものであり、負の頻度依存選択の起きる要因については考慮されていない。

3 提案手法

アオモンイトトンボのエージェントモデルを生成しシミュレートすることで、負の頻度依存選択が起きるメカニズムについて考察する。

3.1 エージェントの定義

エージェントは先天的な「性別」と「色」の遺伝子と、成体か否かを示す「状態」を持つ。「色」はエージェントがメスの場合のみ表出する。そして、オスは好みのメスの色を「嗜好」として持ち、メスは最期に交尾を行ったオスの色を保持する「精子タンク」を

Agent-based model for frequency-dependent selection of *Ischnura senegalensis*

Junpei Fujino[†], Atsuko Mutoh[‡], Shohei Kato[‡], Koichi Moriyama[‡] and Nobuhiro Inuzuka[‡]

Dept. of Computer Science, Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya 466-8555, Japan[†]

Dept. of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya 466-8555, Japan[‡]

持ち、どちらも後天的に変化する。

3.2 エージェントの行動

エージェントは図1に示すように一生を過ごす。オスはメスをランダムに探索し嗜好に合致するメスならば交尾をする。嗜好を持たないオスであれば探索したメスの色を新たに嗜好として持ち、交尾を行う。また、嗜好保持期を超えると嗜好を失う。メスは、オスに選

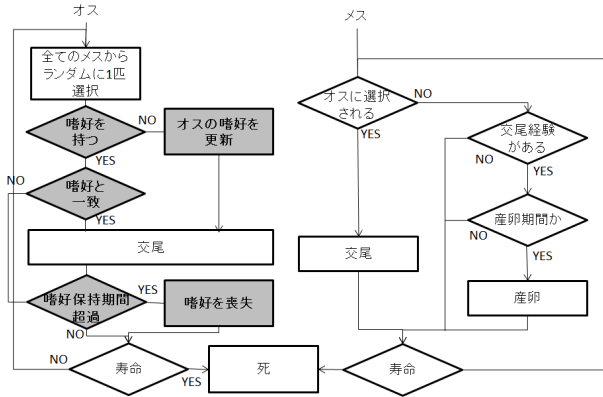


図1: エージェントのフローチャート

択されていない状態で交尾経験があり産卵期間内であれば産卵を行う。オスから交尾を受けている間は産卵を行えない。また産卵された個体の性別はランダムで決定し、色はメスの持つ色とメスの精子タンクに保有された色によってメンデルの法則に従い決定する。メスの探索、交尾、産卵にはエージェントは一定の時間を消費し、寿命を迎えるとエージェントは死亡する。産卵された卵は一定確率で成体となり、実生態に見られるように同時期に次世代が開始することとした。

4 実験と考察

提案モデルを用いてシミュレーション実験を行う。

4.1 実験方法と結果

表1に示すパラメータを用いて、嗜好を持つ場合と持たない場合の比較を行う。嗜好を持たない場合は図1の色付きの部分が省略されるためオスはメスを見つけ次第、色に関わりなく交尾を試みる。図2に個体数が安定する20世代以降の各メスの個体数割合の推移を示す。

4.2 考察

嗜好を持つエージェントを動作させた場合はオスが記憶に従い交尾を行った結果、多数派へとハラスメントが集中し多数派と少数派が入れ替わり振動する実際のアオモンイトンボにも観測されている個体頻度の推移が見られた。また記憶を持たないエージェントを動作させた場合は多数派にも少数派にも等しくハラスメントが行われた結果、各メスの割合は一定のままであった。これらの結果よりオスが交尾相手を嗜好として記憶することが負の頻度依存選択に重要であるということが推測される。

表1: 実験に用いたパラメータ

1日	160 単位時間
寿命 (1 世代)	45 日
嗜好保持期間	1 日
メスの探索時間	1 単位時間
交尾時間	40 単位時間
産卵時間	1 単位時間
産卵期間	1 日の後半
1 度の産卵個数	6
成体に成長できる確率	1/2000

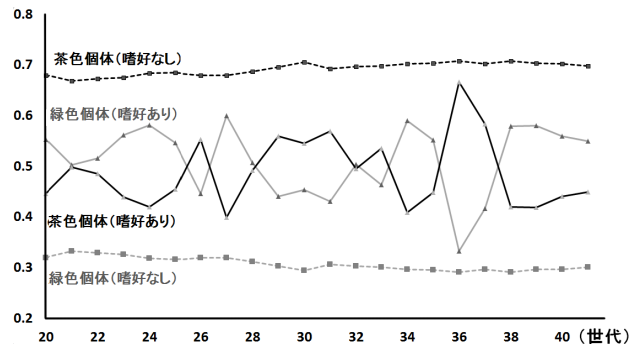


図2: 安定時における各形質のメスの個体数割合の推移

5 まとめと今後の課題

本研究では、負の頻度依存選択の発生メカニズムを解明することを目的としてアオモンイトンボのエージェントベースドモデルを提案した。本モデルはオスはひたすらメスを求め続け、メスは交尾の瞬間を待っているだけの簡単なモデルであるが負の頻度依存選択が働いているのではないかとと思われる結果が得られた。しかし、ハラスメントによる時間的拘束以外にも、食事量の減少、幼虫期の生息域の違いなどの別の要因についても報告されているため、それらの要素についても比較検討する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、トンボの生態についてご助言いただいた金城学院大学の小野知洋教授に感謝する。

参考文献

- [1] Takahashi, Y., J. Yoshimura, S. Morita and M. Watanabe ; Negative frequency-dependent selection in female color polymorphism of a damselfly. *Evolution*, 64: pp. 3620-3628, 2010.
- [2] Takahashi, Y. and M. Kawata ; A comprehensive test for negative frequency-dependent selection. *Population Ecology*, 55: pp.499-509, 2013.