6S-5

時間的・空間的資源共有問題における重複回避行動の進化モデル

齋竹美歩† 鈴木麗璽‡ 有田隆也‡
名古屋大学 情報文化学部† 大学院情報科学研究科‡

1 はじめに

生物の共有資源利用の競合回避に関して，様々な研究がなされている．例えば，野鳥の多くは，情報伝達の円滑化のため近隣の縄張りの個体との時間的な重複を避けて歌う傾向があることが知られている[1]．また，ある種の魚は，体の大きさによってエサ場に現れる時間が異なる傾向があり，同種間の競合を自律的に避ける働きがあると考えられる[2].

こうした自律的な個体間における資源利用の競合回避は工学的にも重要と考えられるようになってきた．例えば，Degesys らは，無線センサネットワークにおいて，各ノードが，周期的なチャネル利用時期を，他の近傍ノードによる直前・直後の利用時期の中間に調整する DESYNC-TDMA を提案し，通信における競合がボトムアップ的に解消されうることを示している[3]．このように時間的・空間的資源利用の競合回避は一般的問題であるといえる．

我々は，前述した野鳥の歌行動の時間的重複回避を行動の可塑性と捉え，歌の長さが異なる複数の種における可塑性（重複時の回避行動実行頻度）の共進化モデルを構築し，歌の長さと可塑性に負の相関が生じる傾向がある事を示した[1]．一方，このような可塑性の進化は種間に限らず種内の相互作用でも生じうると考えられる．また，多くの場合，資源は空間的にも局所的であるため，時間的な重複回避だけでなく同時に空間的な重複回避行動も進化しうるといえる．

そこで，本研究では，同一種の集団における時間的・空間的な重複回避行動の進化過程の一般的な理解，および，その応用可能性の検討を目的とし，先行研究[1]のモデルを拡張した情報発信行動の時間的・空間的可塑性（重複回避行動）に関する個体ベース進化モデルを構築する．本稿では情報が伝わる範囲の影響に注目して実験を行い，時間的・空間的可塑性の進化傾向について論ずる．

2 モデル

図 1 に示すように 30×30 のトーラス二次元空間に N 個の個体を配置する．各個体は半径 R 内の他個体に対して L ステップに渡って情報を発信することを周期 T ステップで繰り返す．同時に，各個体はその半径 R 内で一体の他個体のみが情報発信している場合にその情報を正しく受け取るものとし，成功は発信者の利益となるものとする．これは，野鳥の歌行動に例えると，半径 R 内の近隣個体に対し長さ L の自身に特異的な歌を歌って自身を近隣個体であると認識させ，将来の不要な攻撃を避けることに相当すると解釈できる．

本モデルでは，近傍の個体間で同時に情報発信が行われると，競合が生じうる．そこで，各個体は，L ステップの情報発信を終える度に，その半径 R 内の近傍個体がその情報発信期間の一部でも同時に情報発信を行っていた場合，情報発信が競合したと判断する．その場合，各個体はそれぞれが持つ時間的可塑性遺伝子 pt，空間的可塑性遺伝子 ps に従って競合の時間的・空間的回避を試行錯誤的に行う．具体的には，確率 pt で次の情報発信を開始する時期を通常の周期 T ステップ後から，$-DT$〜DT の間のランダムな値だけずらすものとする．同時に，確率 ps で空間的位置を次のステップでランダムな方向に 0〜DS のランダムな距離だけずらすものとする．つまり，各可塑性の値が大きい程競合に応じて行動を変更しがちという意味で可塑的であるといえる．

集団は情報発信の成効率に基づく適応度によって進化する．まず，各ステップにおいて適応度への貢献として得られる得点を，そのステップで自身の情報を正しく受け取った個体数とする．その個体の現在の適応度を，α×(現ステップでの得点)＋(1-α)×(前ステップでの適応度)と定義する．これは，α が小さい時，多くの個体に継続して情報伝達できる個体が生き残りやすいことを表現している．

進化過程は，各ステップにおいて，適応度が最も低い一体が淘汰され，適応度が最も高い個体が子を一体産む事で表現する．具体的には，子個体は親個体の可塑性遺伝子の値を引き継ぐが，時間

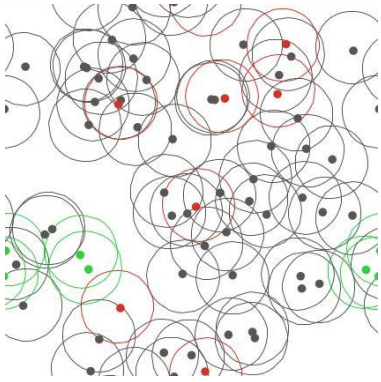


図 1 ：二次元空間上の個体群．小さな円は個体，その周囲の円は情報発信の範囲を表す．灰色は未発信，赤色は半径 R 内で競合なし，黄緑色は競合のある状態を示す．

A coevolutionary model of temporal and spatial resource partitioning behavior
† Miho Saitake
School of Informatics and Sciences, Nagoya University
‡ Reiji Suzuki and Takaya Arita
Graduate School of Information Science, Nagoya University

Copyright ©2013 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

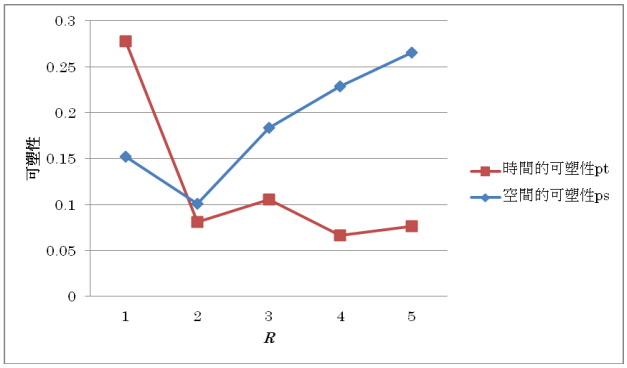


図２：異なる情報発信の範囲 *R* の設定における時間的可塑性 *pt* と空間的可塑性 *ps* の平均値

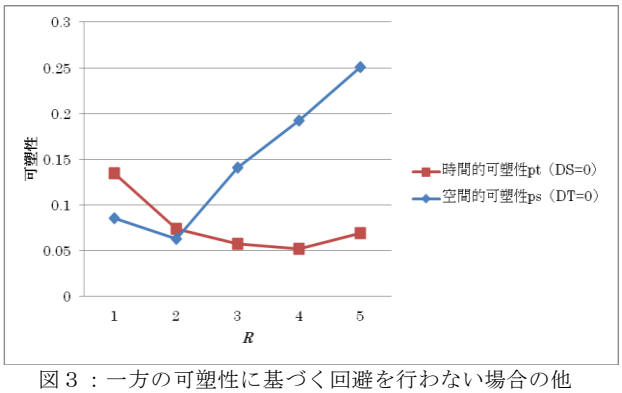


図３：一方の可塑性に基づく回避を行わない場合の他方の可塑性の平均値

的可塑性遺伝子に関しては *pt-mut*，空間的可塑性遺伝子に関しては *ps-mut* の確率で突然変異が生じ，ランダムな値で置き換える．また，親個体の適応度は半減し，子個体も半減後の値を持つ．子個体の資源利用時期と位置はランダムに初期化する．

3 実験結果と解析

N=120，*T*=25，*L*=3，*DS*=3，*DT*=12.5，*pt-mut*=*ps-mut*=0.05，α=0.1 を基本の設定として，情報が及ぶ半径 *R* の値を 1 から 5 まで 1 ずつ変えた条件で実験を行った．なお，初期集団では，各個体が情報発信を開始するタイミングは 0〜*T* までのランダムな時期，個体の配置も一様にランダムとした．

図２は各 *R* の条件において 50000 ステップに渡り実験を行った際の，時間的可塑性遺伝子 *pt* と空間的可塑性遺伝子の *ps* の全世代・全個体での平均値を示したものである．各値は 5 試行の平均である．なお，各世代での平均値は大きく振動しながら推移していた．同図から，全体の傾向としてどちらの可塑性もやや低めの値に進化していることがわかる．これは，今回採用した試行錯誤的な回避行動をあまり頻繁に行うのは良い戦略ではなく，他個体の回避行動とのバランスに応じた適度な可塑性が適応的である事を示唆している．

同時に，*R* の設定に応じて，両可塑性の進化傾向に違いがあることがわかる．まず，*R* が小さい条件では，時間的可塑性が比較的高い一方，空間的可塑性は小さい傾向があることがわかる．このとき，個体がいくつかの個体が密集した状態が維持されやすい傾向があった．情報が届きにくい場合には，移動することで情報発信の相手を失ってしまう可能性が高い．そのため，進化操作による新個体の出現で密集した空間構造ができあがった場合，重複が生じてもそこを即座には離れずに時間的に積極的に調整を試みる方が，多くの個体とうまく情報共有できるためと考えられる．

以降，*R* が大きくなるに従い，時間的可塑性は次第に小さくなる傾向がある一方で，空間的可塑性は次第に大きくなる傾向が見られた．*R* が大きい場合，近傍個体の増加で情報発信が重複する頻度が高まる．このような場合，極めて多数の個体で時間的に重複を回避するのは困難で，むしろ，時間的には回避しない一方で個体密度の低い空間を積極的に探索した方が適応的である事が示唆される．なお，*R* の値がさらに大きい場合には，情報発信が成功する状況が皆無となり，進化の傾向が生じにくくなった．

また，両可塑性の影響を調べるために，*DS*=0 もしくは *DT*=0 として，片方の可塑性による回避行動を実質的に行わない設定で同様の実験を行い，それぞれ，*pt*，*ps* の平均値をとったのが図３である．同図と図２とを比較すると，*R* が両可塑性の値に与える影響は基本的に同じ傾向であるが，片方の可塑性による回避がない場合の方が，もう一方の可塑性が小さい値になる傾向があった．これは，異なる２つの可塑性が同時に進化することが，全体の進化傾向を乱雑にしがちであることによると推測されるが，詳細な解析が必要である．

4 おわりに

本稿では，共有資源利用に関する時間的・空間的な重複回避行動の進化過程の一般的な理解を目的とし，情報発信行動の時間的・空間的可塑性に関する個体ベース進化モデルを構築した．情報が伝わる範囲の広さに応じて，両可塑性の進化傾向が異なることが判明し，環境条件に応じた適応的な回避戦略が集団内での相互作用の過程から創発しうる事が示された．可塑性の集団内での分布の傾向など挙動の詳細な解析や知見の工学的応用等が今後の課題である．

参考文献

[1] Suzuki, R., Taylor, C. E. and Cody, M. L.: Soundspace partitioning to increase communication efficiency in bird communities, *Artificial Life and Robotics*, 17 (1) , 30-34 (2012).

[2] Brännäs, E.: Temporal resource partitioning varies with individual competitive ability: a test with Arctic charr *Salvelinus alpinus* visiting a feeding site from a refuge, *Journal of Fish Biology*, 73 (3), 524-535 (2008).

[3] Degesys, J., Rose, I., Patel, A. and Nagpal, R.: DESYNC: self-organizing desynchronization and TDMA on wireless sensor networks, *Proceedings of the Sixth International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN2007)*, pp. 11-20 (2007).

Copyright ©2013 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.