

ネットワーク上のタカ・ハトゲームにおけるリンクの多義的解釈が与える影響について

創価大学・理工学部 崎山 朋子

Tomoko Sakiyama

Department of Information Systems Science, Faculty of Science and Engineering

Soka University

1. はじめに

タカ・ハトゲームなどのゲーム理論は, biological, natural system へも適用されており, 格子空間上のみならず, ネットワーク上での空間ゲーム理論も存在する[1, 2]. 生物系・生態系ネットワークでは, スケールフリー構造を含めた, ヘテロ構造を有するネットワーク構造が知られている[3-6]. 以上を考慮した場合, ネットワーク上でのゲーム理論において, リンクの進展を扱うことが重要であるのは自明だろう. しかしながら, ネットワーク自体が時間とともに変化するゲーム理論のシミュレーションはそれほど研究されていない[7]. 本研究では, タカ・ハトゲームを用いてヘテロなネットワーク構造を出現させるネットワークの進展を扱う.

2. 提案モデル

ネットワークは, ランダムネットワークを初期条件として与えられる. 各イタレーションにおいて, 各エージェントは同期更新として以下2つのサブ・モデルに従う.

- ・スコア計算および戦略更新
- ・リンク更新

スコア計算では, [8]にならうとする. 各エージェントは隣接するエージェントとのみ作用を行う. 得られたスコア値を元に, 戦略の更新を行う. 戦略の更新は best takes over update rule に従うものとする. すなわち, エージェントは隣接エージェントと自身のスコア値のうち, 最もスコアの良いエージェントの戦略を模倣する.

他方, リンク更新では, 自身と相手の戦略がともにハトだった場合にのみ, 両者の関係(リンクの重み)を Δw だけ増やす. そうでなく, 戦略が異なる場合(ハトとタカの組み合わせ)は, タカのみが一人勝ちするため, 双方の関係性は悪くなるものとする (Δw だけリンクの重みは減る). そのようにしてリンクの重みが更新され, エージェント i とエージェント j 間のリンクの重みである $w(i, j)$ が $w(i, j) < 0$ になった場合にリンクが切れるとする.

以上のデフォルトリンク更新に従う系は, リンクの切断が行われるに留まる. それゆえ, 以下のような条件が満たされる場合に, リンク更新の規則を変更するものとする. ここで注目すべきは, best takes over update rule および, デフォルトのリンク更新ともに, 局所的

に良い戦略・リンク先が、常に大域的にも良いとされている点である。本来、エージェントにとってもこれらは自明ではないだろう。そのため、自身と隣接エージェントのスコア値をもとに、隣接エージェントと自身で構成されるグループにおける、自身の位置を各エージェントは考慮するものとする。その際、それなりに良い位置付けであるにも関わらず、最高位のスコアを持つエージェント(戦略更新先)と最下位のスコアを持つエージェントの戦略が同じ場合に、リンク更新の仕方を変更する。ここでは、「高位エージェントの戦略！＝下位エージェントの戦略」が、局所的な安定性を担保するものと仮定している。

新たなリンク更新下では、①グループを変化させることで、スコア値などに摂動を与える、②親密な関係を破綻させる、の2種類を考える。そのため、① $w(i,j) \leq 1.00$ では、ランダムに接続相手を1つ増やすとし、② $w(i,j) > 1.00$ では、リンクを切断する。

以上より、2種類のリンク更新を有することになり、これらは、上述したイベントを継起に更新の仕方を入れ替えるものとする。この際、デフォルトルールから非デフォルトルールへは確率 Φ で、非デフォルトルールからデフォルトルールへは確率 ϕ でルールの遷移が起こるものとする。

3. 解析結果

タカおよびハトを等確率でランダムに配置する。頂点数は300とする。各エージェントは初期設定として、 $\langle k \rangle \sim 10$ のリンク数を有するものとする。各パラメータは $\beta=2.5$, $\Delta w=0.5$, $\Phi=0.01$, $\phi=0.70$ とする。

図1はタカの時間に依存した密度変化を表している。特定の値に収束せず、変動を繰り返していることが分かる。

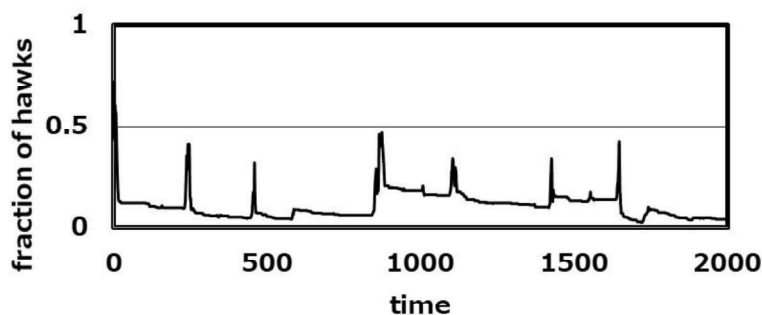


図1. タカの密度変化

図2および図3は、特定の時間におけるネットワーク構造を示しており、時間とともに構造自体が変化することが分かる。タカの密度が高くなると、リンクの切断が増え、孤立したコミュニティが複数構築されるが(図2)、しばらくすると、リンクの接続が進み、特定のエージェントがハブとなるヘテロな構造を有したネットワークが出現する(図3)。

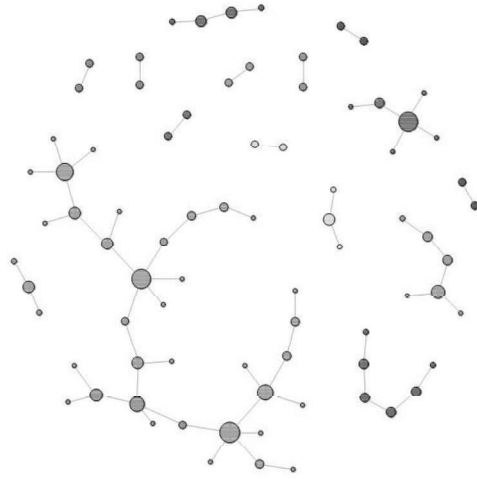


図 2. $t=1600$ におけるネットワーク

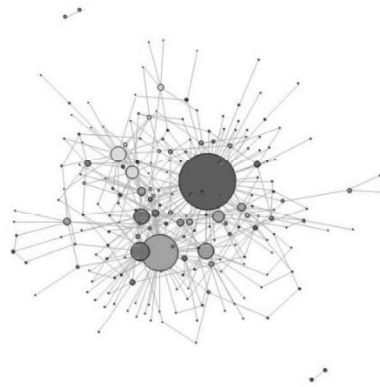


図 3. $t=1700$ におけるネットワーク

4. おわりに

本研究では、タカ・ハトゲームにおいてハブを持つネットワーク構造を出現させるリンクの進展を扱った。今後は実データへの適用も踏まえ、頂点数や初期のリンク数などに関して、本モデルの頑健性について吟味していく必要がある。

参考文献

1. Ohtsuki H., Hauert C., Lieberman E., Nowak M.A. A simple rule for the evolution of cooperation on graphs and social networks. *Nature* **441**: 502–505 (2006).
2. Allen B., Lippner G., Chen Y.T., Fotouhi B., Momeni N., Yau S.T., Nowak M.A. Evolutionary dynamics on any population structure. *Nature* **544**: 227–230 (2017).
3. Fortuna M.A., Gómez-Rodríguez C., Bascompte J. Spatial network structure and amphibian persistence in stochastic environments. *Proceedings of the Royal Society of London B* **273**: 1429–1434 (2006).
4. Rhodes M., Wardell-Johnson G.W., Rhodes M.P., Raymond B. Applying network analysis to the conservation of habitat trees in urban environments: a case study from Brisbane, Australia. *Conservation Biology* **20**: 861–870 (2006).
5. Montoya J.M. and Sole´ R.V. Small world patterns in food webs *J. Theor. Biol.* **214**: 405–412 (2002).
6. Dunne J.A., Williams R.J., Martinez N.D. Food-web structure and network theory: the role of connectance and size. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* **99**: 12917–12922 (2002).
7. Li D. et al. The co-evolution of networks and prisoner’s dilemma game by considering sensitivity and visibility. *Sci. Rep.* **7**: 45237 (2017).
8. Killingback T., Coebeli M. Spatial evolutionary game theory: Hawks and Doves revisited. *Proc R Soc Lond B* **263**: 1135–1144 (1996).