

重みが動的なネットワークにおいて ネットワーク構造が協力の進化に与える影響

栗栖 慶太† 秋山 英三‡

筑波大学大学院理工情報生命学術院システム情報工学研究群† 筑波大学システム情報系‡

1. はじめに

人々は、友人関係等の様々なつながりを持ちながら、複雑化した社会ネットワークの中で生活を送っている。人々の他者との付き合い方は一様ではなく、深い場合があれば希薄な場合もあり、时时刻刻と変化している([1], [2])。本研究ではリンクの重み（付き合いの頻度・量）が動的なネットワークにおいて、ネットワーク構造が社会集団における協力の進化に与える影響を検証する。

社会的ジレンマは、社会集団における相互作用の中で、個人の利己的な行動と社会にとって望ましい状態が相反することで起きる、意思決定におけるジレンマ的状况である。このようなジレンマ的状况は様々な社会問題の中で生じており、解決に向けて協力の形成が重要な役割を果たす。

本研究は、エージェント間のリンクの重みが動的に変化し、かつ、各エージェントの情報の可視性に異質性がある状況を想定したシミュレーション分析を行った。ネットワーク構造ごとの協力率について、比較・検証を行った。

2. モデル

シミュレーションは図1に従って行われる。エージェント数は1000，世代数は1000とする。各シミュレーションは10試行を行い、協力率の平均値を導出する。

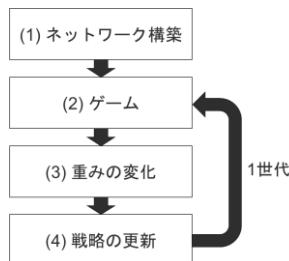


図1 モデルの概要

“Effect of network structure on the evolution of cooperation in dynamic link.”

†Kurusu Keita, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

‡Eizo Akiyama, Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

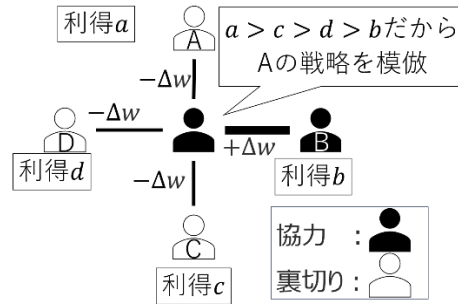


図2 重みの変化と戦略の更新 (模倣)

ネットワークは、レギュラー / ランダム / スケールフリー / スモールワールド ネットワーク (NW) の4つを検証した。レギュラーNWは、全てのエージェントの次数が等しい構造である。ランダムNWは、各エージェントの次数がランダムな構造である。スケールフリーNWでは、エージェントの次数分布がべき分布に従う。少数のエージェントは多くのリンクを持ち、多数のエージェントは少数のリンクを持つ構造である。スモールワールドNWは、レギュラーNWのリンクを一部ランダムに組み替えた構造である。

リンクで接続されたエージェントの間で、世代ごとに囚人のジレンマゲームが行われる。エージェントは協力戦略または裏切り戦略からいずれかを選択し、利得は表1に従って決定する。Tの値の範囲は、 $1 < T < 2$ である。

表1 利得表

	協力	裏切り
協力	(1,1)	(0,T)
裏切り	(T,0)	(0,0)

各世代のゲームの結果を踏まえて、エージェント間のリンクは図2のように変化する。感度 Δw は、重みの変化の大きさを表す。リンクでつながるエージェントがお互いに協力した時、重みが Δw 増加する。片方のみが協力した時、重みが Δw 減少する。お互いに裏切る時、重みは変化しない。リンクの重みが0以下の時、リンクは切断する。

全エージェントは情報取得能力が高いエージェントと低いエージェントに分かれており、情報の可視性 p は情報取得能力が高いエージェントの割合を表す。情報取得能力が高い場合、接続している相手の戦略・利得を把握可能であり、戦略更新時、接続している相手の中から最も利得の高い戦略を確率的に模倣する。情報取得能力が低い場合、隣人の戦略・利得を把握することができない。戦略更新時、1世代前と2世代前の自らの戦略・利得を比較して戦略を採用する。

3. 結果

図 3, 図 4 は情報の可視性 p を固定した時の、レギュラーNW及びスケールフリーNWにおける、裏切りへの誘惑 T ・感度 Δw と協力率の関係を表す。

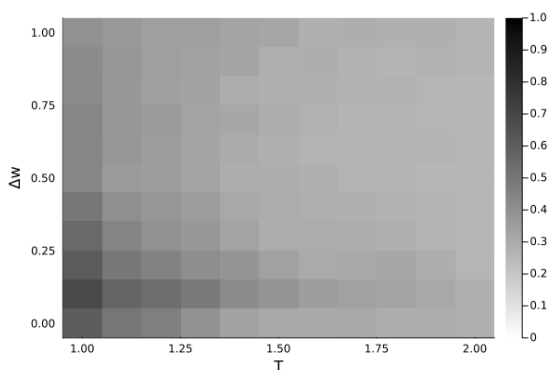


図 3 レギュラーNW (平均次数6) 横軸： T
縦軸： Δw , カラーバー：協力率, $p = 0.5$

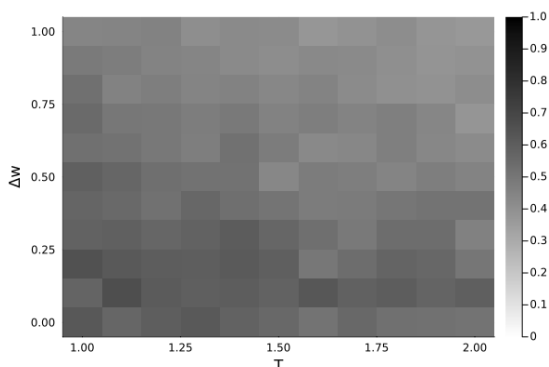


図 4 スケールフリーNW (平均次数6) 横軸： T
縦軸： Δw , カラーバー：協力率 $p = 0.5$

レギュラー/ランダム/スモールワールドNWの3つは、 T が低く、 Δw が低い場合に高い協力率を示した。一方で、スケールフリーNWでは、 T の値に関わらず、 Δw が低い場合に高い協力率を示した。

図 5, 図 6 は裏切りへの誘惑 T を固定した時の、レギュラーNW及びスケールフリーNWにおける、情報の可視性 p ・感度 Δw と協力率の関係を表す。

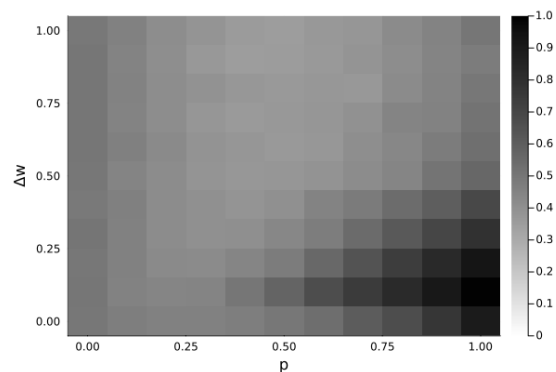


図 5 レギュラーNW (平均次数6) 横軸： p
縦軸： Δw , カラーバー：協力率, $T = 1.1$

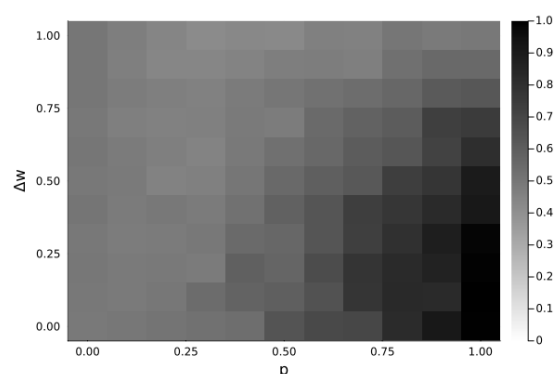


図 6 スケールフリーNW (平均次数6) 横軸： p
縦軸： Δw , カラーバー：協力率, $T = 1.1$

いずれのネットワーク構造においても、 Δw が低く、 p が高い場合に高い協力率を示した。スケールフリーNWでは、比較的 Δw が高い場合においても高い協力率を示した。

4. おわりに

本研究では、リンクの重みが動的に変化し、各エージェントの情報の可視性に異質性がある状況における、協力の形成について分析を行った。分析した結果、動的ネットワークにおいて、スケールフリーNWがその他のネットワーク構造と比較して、広い範囲のパラメータで高い協力率を示した。また、いずれのネットワーク構造においても、 Δw が低く、 p が高い場合に高い協力率を示した。これらの結果から、スケールフリーNWの構造が協力を促進していることが示唆される。そして協力の形成において付き合いの頻度・量の変化への慎重さ及び情報交換の活発化が重要であることが考えられる。

参考文献

- [1] Georgi Kossinets and Duncan J. Watts. Science, 2006.
- [2] Dandan Li et al. Scientific reports, 2017.