

# 「協力度」を考慮した戦略によるネットワーク上での協力の進化

岩田学† 秋山英三†

筑波大学大学院システム情報工学研究科

## 1. はじめに

現実社会に見られる協力行動の進化プロセスに対する囚人のジレンマモデルを利用したアプローチの1つに、互惠性の概念を用いた研究がある。代表的なものとしては、しっぺ返し戦略[1]等の直接互惠、イメージスコア[2][3]を用いた間接互惠が挙げられる。

しかし、これらの概念は現実の集団の関係性を記述するには十分でないと考えられる。例として国際関係を考えると、国家同士の繋がりは基本的には固定的であり、その相互作用は繰り返しのある囚人のジレンマとして考えることができる。しかし、国家が他国との付き合いを考える際に、しっぺ返しのように相手の「自分に対する過去の行動」のみを基に自身の行動決定を行うのは妥当とは言いがたい。今の国家間の複雑なネットワーク関係を考えれば、相手国家が「他国とどのような付き合いをしているのか」ということも考慮するのが自然であろう。

そこで、本研究では、プレイヤーが相互作用を行う際に対戦相手の行動履歴を基に自身の行動を決定するものとし、この履歴に対戦相手の「全ての相手との対戦における行動」を用いる。この考え方は、アルゴリズムはイメージスコアに類似するが、間接互惠のように相互作用の相手が可変でなく、特定の相手と固定的に相互作用を繰り返す集団における互惠の概念である。

本研究の位置付けは、以下の表1のとおり。

表1 本研究の位置付け

		相手の行動履歴の利用範囲	
		自分に対する行動	全対戦相手に対する行動
相互作用の相手	固定	直接互惠	<b>本研究</b>
	可変		間接互惠

## 2. モデルの概要

囚人のジレンマモデルにより、以下の手順に従いシミュレーションを行う。なお、プレイヤーが対戦相手の過去の行動履歴を考慮しない場合、「自分との対戦」における行動のみ考慮する場合（これを1次情報と呼ぶ）、「全ての相手との対戦」における行動まで考慮する場合（

これを2次情報と呼ぶ）について、シミュレーションを実施し、結果を比較する。

(a) 1,500人のプレイヤーを空間上に配置し、平均次数4の5種のネットワーク(Random, Lattice, Regular, Small World, Scale Free)を構成する。

(b) 各プレイヤーは、自身と繋がりを持つ全ての相手とゲームを行う。プレイヤーが相手の行動履歴を考慮しない場合は、(c)の要領にて決定した行動を取る。これに対し、1次情報まで考慮する場合は下記の(b-1)、2次情報まで考慮する場合は(b-2)に従う。

(b-1) 各プレイヤーは、自身の持つ「許容閾値」と対戦相手の前ターンの「協力度」を比較し、協力度が許容閾値を上回る場合は協力し、下回る場合は裏切る。この協力度とは、各ターンにおける相手の「自分への協力回数」の「自分との対戦回数」に対する割合である。

(b-2) 基本的な行動決定方針は(b-1)と同じであるが、協力度は、各ターンにおける相手の「全対戦相手への協力回数」の「全対戦回数」に対する割合で定義される。

各プレイヤーは、表2の利得行列に従い利得を取得する。なお、誘惑値Tは1.1~1.9を0.1刻みで変化させる。これを全プレイヤーについて行う。

表2 囚人のジレンマの利得行列

	協力	裏切
協力	1,1	0,T
裏切	T,0	0,0

(c) 各プレイヤーは、自身と繋がりのあるプレイヤーのうち最も高い利得を得たプレイヤーの情報を模倣する。なお、模倣する情報は、行動履歴を考慮しない場合は戦略行動（協力または裏切）を、考慮する場合は許容閾値とする。これを、全プレイヤーについて行う。

(d) (a)~(c)までを1ターンとし、これを1,500ターン繰り返し行い、最終ターンにお

ける協力度の全体平均を求める。これを 1,000 試行行い、その平均を取る。

### 3. シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 1 及び図 2 に示す。ここでは、Lattice と Scale Free におけるゲームの結果を挙げる。なお、グラフの横軸は誘惑値  $T$  の値を、縦軸は協力度の集団全体の平均を示す。

相手の行動履歴を考慮しない場合、誘惑値  $T$  の増加に従い、集団全体の協力度は低下する。これは、直感にも反しておらず、過去の Nowak 等の先行研究[4]の結果にも従う。

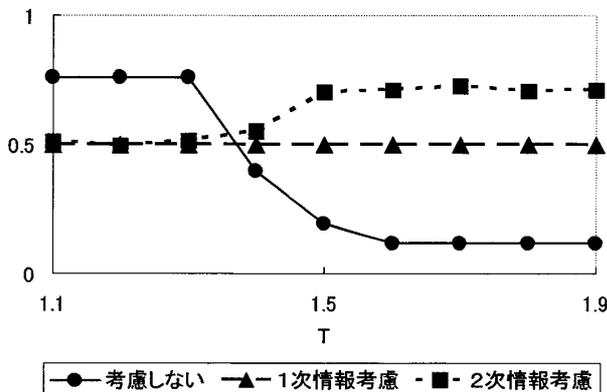


図 1 最終協力度平均 (Lattice Network)

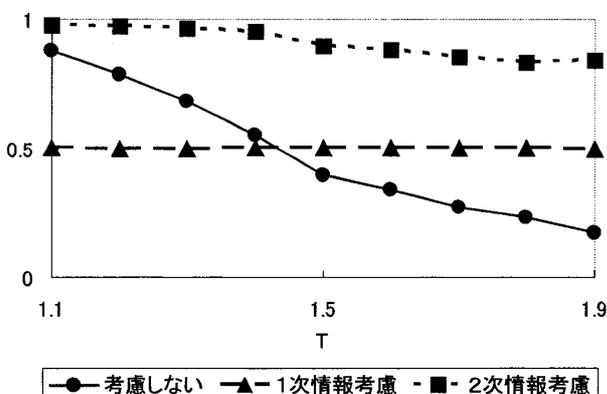


図 2 最終協力度平均 (Scale Free Network)

これに対し、対戦相手の行動履歴を考慮することで、以下の特徴を示すことが分かった。

(a) 2 次情報まで考慮する場合、1 次情報まで考慮する場合より高い協力度を示す

プレイヤーが 1 次情報まで考慮する場合の集団全体の協力度は、誘惑値  $T$  の値に関係なく常に 0.5 付近の値を示す。2 次情報まで考慮する場合の集団全体の協力度は、これを常に上回る。

(b) 情報を考慮する場合、誘惑値  $T$  が増加しても、協力度はほとんど低下しない

1 次情報まで考慮する場合、誘惑値  $T$  の値に関係なく集団全体の協力度平均はほぼ 0.5 に収束する。一方、2 次情報まで考慮する場合、 $T$  の値の増加に伴う協力度平均の低下は行動履歴を考慮しない場合より緩やかになる。そのため、誘惑値  $T$  の値が大きいときには、相手の行動履歴を考慮することによって集団の協力度は上昇する。

また、Lattice Network と Regular Network 上のゲームにおいては、誘惑値が増加することにより、集団全体の協力度が逆に上昇するという結果が得られた。

### 4. おわりに

本研究では、現実の集団の例として、主として国家間ネットワークを念頭に置いた。相手が「他の国家とどのような付き合いをしているか」、「他の国々からどう思われているか」ということを考慮した行動判断は、現代の複雑な国家間ネットワークにおける重要な要素である。

本研究の結果から得られた知見は、各主体が取り入れる情報の範囲を広げ、慎重な行動決定を行うことは、結果として集団全体の協力を進化させ、裏切への誘惑の効果を緩和するということであり、今の国家間ネットワークの状態を表現し得る要因の 1 つであるといえる。

今後は、得られた結果について、プレイヤーの相互作用における情報の考慮とプレイヤー間のネットワーク構造の観点から、その発生メカニズムを分析していきたい。

### 5. 参考文献

- [1] Axelrod, R. 1984. *The Evolution of Cooperation*. Basic Books, New York.
- [2] Nowak, M.A., Sigmund, K. 1998a. Evolution of indirect reciprocity by image scoring. *Nature*. Vol.393, 573-577.
- [3] Nowak, M.A., Sigmund, K. 1998b. The dynamics of indirect reciprocity. *J. Theor. Biol.* Vol.194, 561-574.
- [4] Nowak, M.A., May, R.M. 1992. Evolutionary Games and Spatial Chaos. *Nature*. Vol.359, 826-829.

“The evolution of cooperation on the network by the strategy considering the ‘frequency of cooperation’.”

† Manabu Iwata, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

‡ Eizo Akiyama, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba