

# ソーシャルメディアにおける協調の進化

鳥海 不二夫<sup>1,a)</sup> 山本 仁志<sup>2</sup>

受付日 2012年1月6日, 採録日 2012年7月2日

**概要:** 近年, ソーシャルメディアの発達が目覚しく, Facebook や Twitter など数多くのソーシャルメディアが Web 上で運営され, 多くのユーザによって利用されている. ソーシャルメディアへの記事投稿にはコストが必要であるにもかかわらず, 自発的に記事が投稿されるメカニズムは明らかとなっていない. ここで, ソーシャルメディアの基本的な仕組みは, 多数の情報がコストをかけて投稿され誰もがアクセスし利用することができることから, 公共財としての性質を持っているといえる. 公共財への貢献を促進する仕組みとしては, 協調しない者に対し罰則を与える規範ゲーム・メタ規範ゲームが提案されている. しかし, ソーシャルメディア上では非参加者を罰するということが不可能である. そこで, 懲罰ではなく協調者にたいして報酬を与えるという方法を取ることが考えられる. 一方で, 報酬よりも懲罰のほうが効果的であるという報告があり, 通常の条件下ではソーシャルメディアでは協調は進化しないと考えられる. そこで本研究では, 報酬しか与えられない公共財ゲームであるソーシャルメディア上で, どのような条件が整った時に協調が促進されるのかを, エージェントシミュレーションによって明らかにする.

**キーワード:** ソーシャルメディア, 囚人のジレンマ, メタ規範ゲーム, エージェントベースシミュレーション

## Evolutional Cooperation on Social Media

FUJIO TORIUMI<sup>1,a)</sup> HITOSHI YAMAMOTO<sup>2</sup>

Received: January 6, 2012, Accepted: July 2, 2012

**Abstract:** In this paper, we propose the General public goods game to represents human behaviors on the social media. The structures of social media are modeled to clarify the mechanism to participate to social media. We developed a simulation model to clarify the mechanism to participate to social media. In general, there are no systems to punish other users in social media. Instead, there are some systems to rewards other users by comments or replies for communication behaviors. We modeled such reward model by General public goods game to clarify the conditions to realize cooperation dominants situation. From agent-based simulation, it becomes clear that the rewards for the cooperation and the rewards for the rewards can be the factor to encourage the cooperation. Furthermore, we analyzed the relationships between costs and the benefits to encourage the cooperation. From the analysis, the cooperation behaviors become dominant in the case that the benefits for the cooperation and rewards are larger than the cost to reward other users.

**Keywords:** social media, prisoners' dilemma, metanorms game, agent based simulation

### 1. はじめに

近年, ソーシャルメディアの発達が目覚ましく, Face-

book [1] や Twitter [2] など数多くのソーシャルメディアが Web 上で運営され, 多くのユーザによって利用されている. ソーシャルメディアは, 多数のユーザの自発的な情報提供が継続的に行われることで価値が生まれるメディアである. ユーザの自発的な参加には当然, 情報の生成・投稿のコストが必要であり, 自ら貢献することなくフリーライドするという誘因が存在する. しかし, ソーシャルメディアはユーザの情報提供に対して, コメント, 「いいね! ボタ

<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科  
Graduation School of Engineering, The University of Tokyo,  
Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan

<sup>2</sup> 立正大学経営学部  
Faculty of Business Administration, Rissho University,  
Shinagawa, Tokyo 141-8602, Japan

a) tori@sys.t.u-tokyo.ac.jp

ン<sup>\*1</sup>], 投票といったフィードバック機能を有することで参加者の自発的参加を促している。

ソーシャルメディアにおいてユーザがコンテンツを生成・加工するコストを負担しながらも自発的に参加し続けている背景にはどのようなメカニズムがあるのであろうか。

ソーシャルメディア上には多数の情報が投稿され蓄積され参加者に共有されている。ここで共有された情報は誰もがアクセスし利用することができる。つまり公共財としての性質を持っている。

公共財への貢献を促進する仕組みとしては、Nowak らによる間接互惠性を用いる研究 [3], [4] や Cohen ら, Santos らによる空間的な構造の特性を用いた研究 [5], [6], Axelrod による協調しない者に対し罰則を与える規範ゲーム・メタ規範ゲームなどが提案されている [7]。このうち、Nowak らや Cohen ら, Santos らのモデルは、行為者の意思決定は相手に対して協調するか否かだけであるが、Axelrod のモデルは、最初の行為とそれに対する周囲の反応が明示的に分けられており、記事の投稿とコメントといった明確に異なる行動を表現する必要があるソーシャルメディアのモデル化には適している。

しかし、ソーシャルメディア上では非協力者、すなわち記事を投稿しない者を罰することは不可能である。一方で、協調者に対して報酬を与えるということも考えられるが、規範ゲーム、メタ規範ゲームの枠組みでは、協調者に対して報酬を与える仕組みは導入されていない。そこで、本研究では、ソーシャルメディア上の投稿・コメントなどの行動を公共財ゲームの枠組みを用いて表現し、Axelrod の規範ゲーム、メタ規範ゲームを拡張したモデルを用いて、ソーシャルメディア上で自発的な情報提供が達成される条件を明らかにする。

## 2. 関連研究

ソーシャルメディアの分析研究としては、Ahn らによる韓国の Cyworld の 1,000 万ノードを超える大規模ネットワークの分析 [8] や、鳥海らによる 5,000 以上の小規模 SNS を、ネットワーク構造、コミュニケーションパターン、成長率の視点から分類し、その特徴を分析した研究 [9] などがある。また、Java らは Twitter を利用しているユーザの人間関係と行動を分析 [10] し、風間らは、ブログのハイパーリンクに着目し、情報伝播経路の抽出を行っている [11]。

また、単なる分析ではなく、ソーシャルメディアの制度設計を目指した研究としては、小川らの Q&A サイトの効果的な報酬制度の設計をシミュレーションを利用して明らかにした研究 [12] や、Toriumi らのソーシャルネットワー

クサービスの活性化に有効な利用促進手法をエージェントベースシミュレーションによって確認した研究 [13] がある。これらの研究は、個々のソーシャルメディアに特化した制度設計を対象としており、ソーシャルメディア全般を対象とした自発的に参加するメカニズムの解明は行っていない。

ユーザがソーシャルメディアに情報を提供する動機に関しては、質問紙調査による社会心理学的アプローチによって多く行われている。三浦らは、Q&A コミュニティにおける利用者の参加動機に関して Yahoo!知恵袋を対象に、利用者に対する質問紙調査を実施した [14]。その結果、回答投稿の参加動機として、(1) 援助的動機、(2) 互酬的動機、(3) 社会的動機、(4) 報酬的動機の 4 つの因子があることを明らかにした。また川浦らは、Web 日記を書く効用として自己効用、関係効用の 2 項目をあげている [15]。

これらの研究から、互酬的動機や関係効用といったコミュニケーションの連鎖が参加動機の重要な要因であることは推察できる。しかし、フリーライドが可能であり、また懲罰も機能しないソーシャルメディアにおいて自発的な参加が促されるメカニズムを考察するための理論モデルの提供はなされていない。

## 3. 公共財ゲームによるソーシャルメディアのモデル化

### 3.1 規範ゲームの枠組み

規範ゲームは、 $n$  人囚人ジレンマの拡張として非協調者を罰するという行動原理を導入することで、集団における協調を促進しようとするものである。規範ゲームは社会にみられる多くの公共財問題に応用可能な基本モデルである。たとえば二酸化炭素の排出抑制に関する国どうしの利害関係問題や、ミクロなレベルでは住宅地におけるゴミ集積所の利用ルールなどがあげられる。規範ゲームが取り扱う本質的な目的は、いかに公共財へのフリーライドを抑制し協調を達成するかにある。そのため非協調者への懲罰が協調達成の仕組みとして導入されている。

一方、公共財ゲームにおいては協調者に対して評判を与えるという方法も議論されている。報酬は公共財ゲームにおいて、協調維持の代替案になりうるのだろうか。一般的には、報酬の効果は懲罰の効果よりも小さいといわれている。被験者実験を用いた分析 [16] では、協調者に対して報酬を与える場合と非協調者を罰する場合を比較して、最初のラウンドでは大多数の人は懲罰ではなく報酬を選択するが、最終的には多くの参加者は懲罰を選択すると報告されている。理論研究 [17] でも懲罰のほうが報酬よりも効果的だと指摘されている。それは、懲罰と報酬のコストの非対称性で説明できる。懲罰は協調が達成されたら必要なくなり、協調者は懲罰コストを払わなくてよくなる。報酬は、協調が維持される限りつねに払い続ける必要がある。

\*1 ある記事が気に入った場合にクリックすることで、記事を書いたユーザにボタンが押されたことを知らせる機能。ボタンが押された回数が示されるため、大勢の人に「いいね」と思われた記事を投稿者が把握することができる。

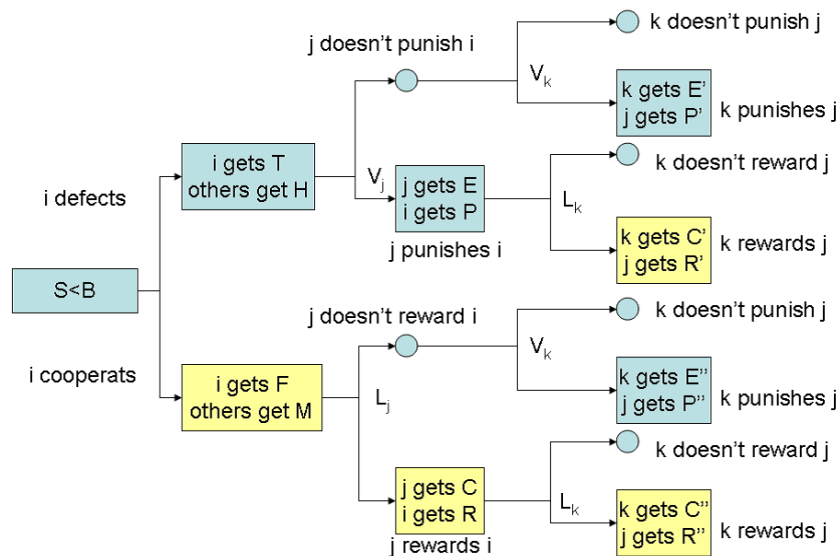


図 1 一般化メタ規範ゲーム  
Fig. 1 General metanorms game.

このような懲罰と報酬の関係性は、ソーシャルメディア上のコミュニケーションにおいても成立するのであろうか。

本研究では規範ゲームの一般化を行い、協調に対する報酬を表現可能とした一般化メタ規範ゲームの枠組みによってソーシャルメディア上でのコミュニケーションを表現する。

公共財に対する協調・裏切りに対する報酬と懲罰を網羅的に表現するために、一般化メタ規範ゲームを図 1 のように表現する。一般化メタ規範ゲームの概要を以下に示す。

$N$  人のエージェントで構成される集団を考える。エージェント  $i$  は裏切るか協調するかの 2 つの行為を選択することができる。また他者の行為に対して、懲罰を与える、または報酬を与えることを選択できる。協調する確率を  $B_i$ 、懲罰を与える確率を  $V_i$ 、報酬を与える確率を  $L_i$  と表現する。

$i$  が裏切ると、 $i$  は  $T$  の利得を得ることができる。残りの  $(N - 1)$  人のエージェントは  $H$  の利得を得る。 $j$  が  $i$  の裏切りを発見した場合、 $j$  は自身の持つ懲罰確率  $V_j$  によって  $i$  を罰する。 $j$  が  $i$  を罰した場合、 $i$  は  $P$  の利得を  $j$  は  $E$  の利得を得る。罰しなかった場合、 $i, j$  の利得に変化はない。

ここまです規範ゲームである。メタ規範ゲームとは、エージェント  $j$  が  $i$  の裏切りを発見し、さらに  $j$  が  $i$  を罰しなかったことをエージェント  $k$  が発見したときに  $k$  が  $j$  を罰するという構造を導入したものである。このとき、 $k$  は  $j$  を  $V_k$  の確率で罰し、 $j$  は  $P'$  の利得、 $k$  は  $E'$  の利得を得る。また、 $j$  が  $i$  を罰したことを  $k$  が発見し、 $j$  に報酬を与えるメタ報酬ゲームを導入する。この際、 $k$  は報酬を与える確率  $L_k$  によって  $j$  に報酬を与え  $C'$  の利得を得る。 $j$  は  $R'$  の利得を得る。

続いて  $i$  が協調した場合を考える。 $i$  が協調すると、 $i$  は  $F$  の利得を得る。残りの  $(N - 1)$  人のエージェントは  $M$

表 1 記事の投稿における利得表  
Table 1 Payoff matrix in posting an article.

	協調 (C)	裏切り (D)
協調 (C)	$-F + (N_c - 1)M \setminus -F + (N_c - 1)M$	$-F \setminus N_c M$
裏切り (D)	$N_c M \setminus -F$	$0 \setminus 0$

の利得を得る。 $j$  が  $i$  の協調を発見した場合、 $j$  は自身の持つ報酬確率  $L_j$  の確率によって  $i$  に報酬を与える。 $j$  が  $i$  に報酬を与えた場合、 $i$  は  $R$  の利得を  $j$  は  $C$  の利得を得る。

エージェント  $j$  が  $i$  に報酬を与えたことを  $k$  が発見したときに  $k$  が  $j$  に報酬を与えることができる。この際、 $k$  は報酬を与える確率  $L_k$  によって  $j$  に報酬を与え  $C''$  の利得を得る。 $j$  は  $R''$  の利得を得る。

またエージェント  $j$  が  $i$  に報酬を与えなかったことを  $k$  が発見したときに  $k$  が  $j$  を罰することができる。この際、 $k$  は懲罰確率  $V_k$  によって  $j$  に懲罰を与え  $E''$  の利得を得る。 $j$  は  $P''$  の利得を得る。

なお、図 1 上ではエージェントが他者の行為を発見するかどうかの分岐は省略されている。

### 3.2 メタ報酬ゲームによるソーシャルメディアのモデル化

#### 3.2.1 ソーシャルメディアのモデル化の概要

ソーシャルメディアにおいて、記事の投稿は他のユーザーにとっての利益となり、記事を投稿したユーザーは時間などのコストを払うことになる。したがって、記事の投稿は各ユーザーがコストを払って他のユーザーに利益を与える表 1 のような利得表を持つ公共財ゲームと考えることができる。ただし、 $N_c$  は協調した参加者の数、 $F$  は記事投稿のコスト、 $M$  は他人が書いた記事を読むことによって得られる報酬である。

一般的にソーシャルメディアでは、あるユーザーが何ら

かの記事を投稿し、それについて他のユーザがコメントをつけたり、「いいね！ボタン」を押すことによって、コミュニケーションが行われる。また、コメントを行ったユーザに対してコメント返しが行われることも多い。これは、図 1 における協調に対する報酬、および報酬に対する報酬のみが存在する状態に対応する。すなわち、ソーシャルメディアの構造は、一般化メタ規範ゲームにおける  $T = H = E = P = E' = P' = C' = P'' = E'' = P'' = 0$  としたときのゲームに相当する。このような公共財ゲームをメタ報酬ゲームと呼び、このゲームを用いてソーシャルメディアのモデル化を行う。

メタ報酬ゲームは複数ステップにわたって  $N$  人囚人のジレンマゲームを繰り返し行うことになるが、その各ステップは以下の 2 つのフェーズからなる。

- (1) メタ報酬ゲーム
- (2) エージェント進化

各フェーズについて詳細について述べる。

### 3.2.2 メタ報酬ゲームフェーズ

ソーシャルメディアにおける記事の投稿およびコメント、コメント返しの構造を以下のようにモデル化する。

まず、 $N$  人のエージェントが相互にリンクでつながっているネットワークを仮定する。メタ報酬ゲームは、このネットワーク上で行われる。本稿で行うシミュレーションでは、簡単のため完全グラフをネットワークとして用いている。各エージェント  $i$  はパラメータとして、記事投稿率  $B_i$  とコメント投稿率  $L_i$  を持つ。記事投稿率とコメント投稿率はそれぞれ長さ 3 のビット列によって表現される。すなわち、エージェントは長さ 6 のビット列によって表現される。このビット列をエージェントの遺伝子と呼ぶ。

ゲーム  $t$  において、エージェント  $i$  には発見率 ( $0 \leq S_{it} < 1$  の実数) が与えられる。このとき、 $S_{it} < B_i$  ならばエージェントは記事を投稿し、そうでなければ記事の投稿を行わない。記事の投稿を行った場合、エージェント  $i$  は記事投稿コスト  $F$  を支払い、 $i$  に隣接するすべてのエージェントは利得  $M$  を取得する。記事の投稿が囚人のジレンマでいえば協調行動であり、裏切りは記事を投稿しないこととなる。

次に、リンクでつながっている他のエージェント  $j$  が記事に対してコメントを投稿するかどうかを判定する。まず、確率  $S_{it}$  で当該記事に気づくかどうかを判断し、その後コメント投稿率  $L_j$  に従ってコメントを投稿するかどうかを決定する。コメントを投稿した場合、エージェント  $j$  はコスト  $C$  を支払い、記事を投稿したエージェント  $i$  は利得  $R$  を得る。

最後に、コメントを投稿したエージェント  $j$  に隣接する  $k$  がコメント返しをするかどうかを発見率  $S_{it}$  およびコメント投稿率  $L$  によって決定する。コメント返しが行われた場合、エージェント  $k$  はコスト  $C''$  を支払い、コメントを

投稿したエージェント  $j$  は利得  $R''$  を得る。

上記の操作を 1 ステップに 4 回繰り返し行い、各エージェントの利得の合計を求め、当該利得を各エージェントの適応度とする。

### 3.2.3 エージェント進化フェーズ

各ステップの最後に遺伝的アルゴリズムによってエージェントの戦略を進化させる。

エージェントは、隣接するエージェントおよび自分自身から適応度に応じた割合で親となるエージェントを 2 体選択する。ここで、エージェント  $i$  が選択される確率  $\Pi_i$  は以下の式によって決定される。

$$\Pi_i = \frac{(v_i - v_{min})^2}{\sum_j (v_j - v_{min})^2} \quad (1)$$

なお、 $v_i$  はエージェント  $i$  の適応度、 $v_{min}$  は全エージェント中最も小さい適応度を持つエージェントの適応度である。

得られた一対の親エージェントを表す遺伝子を交叉させ、新たな遺伝子を得る。エージェントは親エージェントどうしの交叉から得られた新たな遺伝子を自分自身の遺伝子として進化する。なお、交叉には一様交叉を採用した。

また、0.01 の確率で各遺伝子座の値がランダムに突然変異する。突然変異は当該遺伝子座の値が反転されることで表現する。

## 4. メタ報酬ゲームの進化シミュレーション

### 4.1 メタ報酬ゲームとメタ懲罰ゲーム

まず、メタ報酬ゲームの特徴を確認するために、Axelrod のモデルとの比較を行った。Axelrod のモデルは裏切りに対する懲罰を与えるゲームであるため、一般化メタ規範ゲームにおける、 $F = M = C = R = C' = R' = E'' = P'' = C'' = P'' = 0$  なるゲームに対応する。このようなゲームを本稿ではメタ懲罰ゲームと呼ぶこととする。本章では、メタ報酬ゲームとメタ懲罰とで協調の進化にどのような違いがあるかをシミュレーションによって確認する。

メタ報酬ゲームのパラメータを表 2 に、メタ懲罰ゲームのパラメータを表 3 に示す。本パラメータは Axelrod のモデルによるメタ懲罰ゲームにおける利得表を逆転させたものである。このパラメータで  $N = 20, 30, \dots, 100$  まで変化させ、10,000 ステップまでシミュレーションを行った。なお、エージェントどうしを結ぶネットワークは、簡

表 2 メタ報酬ゲームのパラメータ

Table 2 Parameter setting of meta reward game.

パラメータ	値
記事投稿コスト $F$	-3.0
記事利得 $M$	1.0
コメントコスト $C$	-2.0
コメント利得 $R$	9.0
コメント返しコスト $C''$	-2.0
コメント返し利得 $R''$	9.0



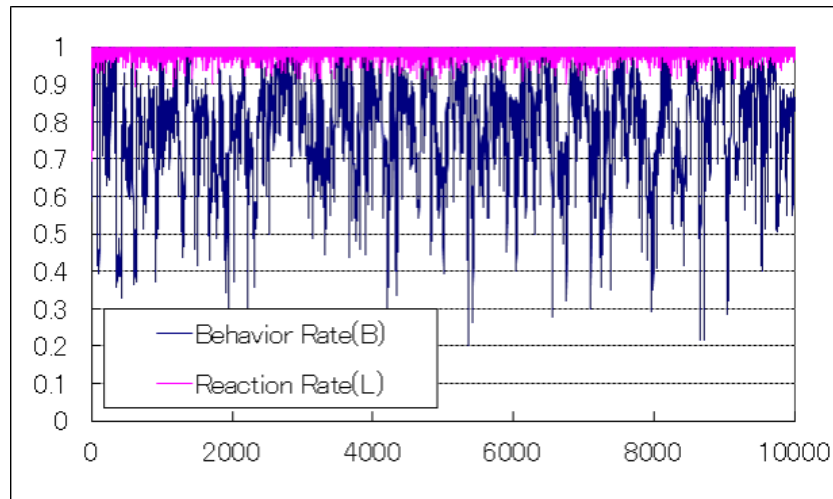


図 2 メタ報酬シミュレーション  
Fig. 2 Simulation of meta reward game.

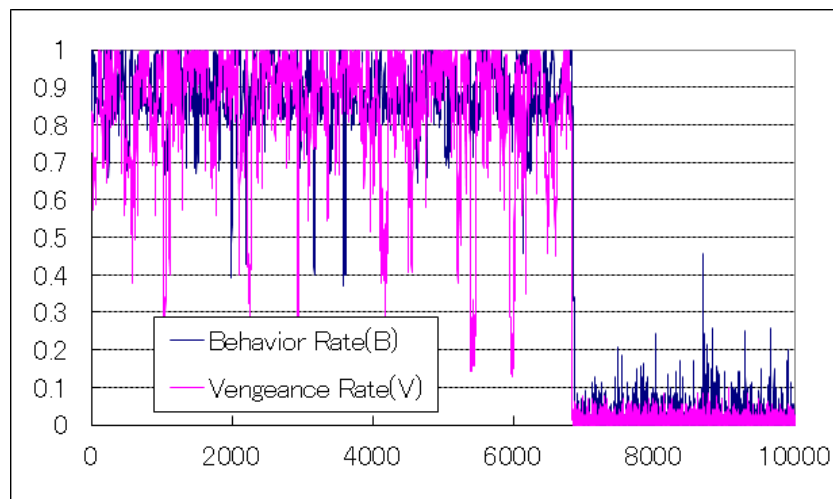


図 3 メタ懲罰シミュレーション  
Fig. 3 Simulation of meta punishment game.

表 3 メタ懲罰ゲームのパラメータ

Table 3 Parameter setting of meta punishment game.

パラメータ	値
裏切り利得 $T$	3.0
裏切りによる痛手 $H$	-1.0
懲罰コスト $E$	-2.0
懲罰による痛手 $P$	-9.0
メタ懲罰コスト $E'$	-2.0
メタ懲罰による痛手 $P'$	-9.0

単のため完全グラフを用いている。

通常ソーシャルメディアは参加者が数千から数万に達することが多いと考えられるが、mixiにおける平均マイミク数は24.46人[18]であり、Twitterにおける平均フォロー数は18.86[10]であることから、参加者が実際にコミュニケーションを行う相手はたかだか数十人であると考えられる。そこで、本シミュレーションでは  $20 \leq N \leq 100$  の範囲で行うものとする。

まず、メタ報酬ゲームにおける  $N = 20$  のときのシミュレーション結果を図2に示す。横軸にステップ数を、縦軸に記事投稿率  $B$  とコメント投稿率  $L$  の平均値の変化を示す。この結果より、記事投稿率は平均で0.8程度と高い値を推移していることが分かる。また、コメント投稿率はほぼ1.0であり、高い協調率を維持しているといえる。

一方、メタ懲罰ゲームにおける  $N = 20$  のときのシミュレーション結果を図3に示す。本図も横軸にステップ数を、縦軸に記事投稿率  $B$  と懲罰率  $V$  の平均値の変化を示している。この結果より、当初は協調戦略が支配的になっているものの、しばらくすると協調が崩壊し裏切り戦略が支配的になっていることが分かる。このような現象は、特にエージェント数が少ないときに長期間ゲームが続くと生じることが知られている[19]。

そこで、 $N$  を20-100までで変化させたとき、メタ報酬ゲームとメタ懲罰ゲームでどのように協調が進化するかを確認した。シミュレーションは各設定で10回ずつ行い、そ

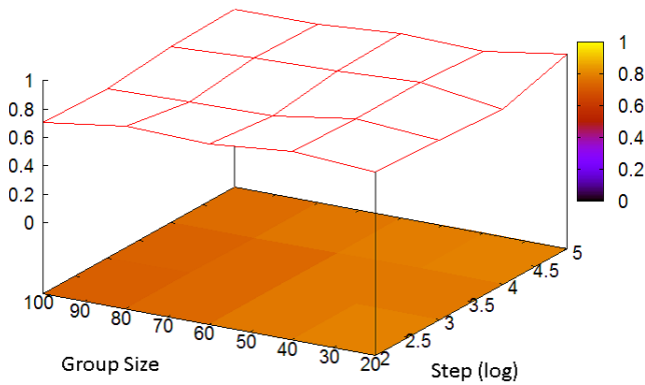


図 4 エージェント数を変化させた場合のメタ報酬シミュレーション  
**Fig. 4** Simulation of meta reward game with different numbers of agents.

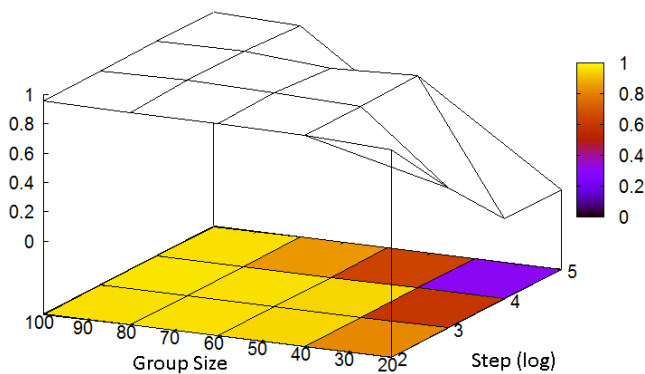


図 5 エージェント数を変化させた場合のメタ懲罰シミュレーション  
**Fig. 5** Simulation of meta punishment game with different numbers of agents.

の際 100 ステップ目, 1,000 ステップ目, 10,000 ステップ目における協調率すなわち記事投稿率の平均を求めた。メタ報酬ゲームのシミュレーション結果を図 4 に, メタ懲罰ゲームのシミュレーション結果を図 5 に示す。ここで, X 軸は集団規模 (N), Y 軸はシミュレーション経過時間を, Z 軸は各エージェントの記事投稿率の平均値を示している。

この結果から, メタ懲罰ゲームにおいてはエージェント数が少ない場合に長期間繰り返しゲームを行うと協調が崩壊するが, メタ報酬ゲームではそのような現象は見られないことが確認された。これは, 報酬よりも懲罰のほうが効果的であるという理論研究 [16], [17] と矛盾する結果となっている。しかしながらこれらの研究では報酬への報酬, あるいは懲罰への懲罰といったメタ報酬, メタ懲罰までは考えられていない。

そこで, メタ報酬ゲームにおいて報酬への報酬を除いた, 単に協調に対する報酬のみが存在する報酬ゲームを行い, 協調の進化を確認した。なお, 懲罰を行う公共財ゲームにおいては, メタ懲罰が存在しなければ協調が進化しないことが知られている [19] ため, シミュレーションを割愛する。メタ報酬を除いた結果, すなわち  $C'' = R'' = 0$  とした場合の結果を図 6 に示す。これより, メタ報酬が導入されな

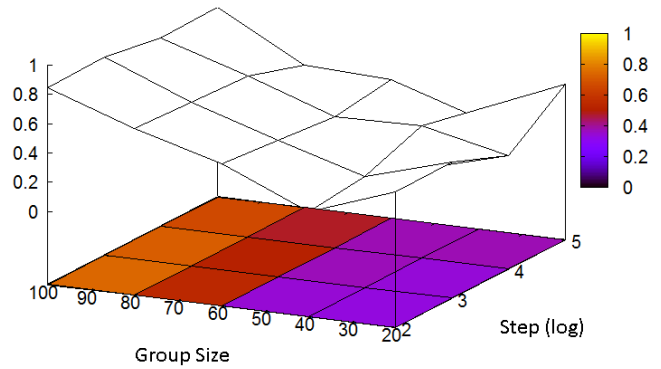


図 6 エージェント数を変化させた場合の報酬シミュレーション  
**Fig. 6** Simulation of reward game with different numbers of agents.

い場合, エージェント数が十分多い場合は協調が進化するが, エージェント数が少ない場合には協調が進化せず裏切りが支配的になることが確認された。したがって, ユーザが少ない場合は, 報酬ゲームにおけるメタ報酬の存在が協調の支配に大きく寄与することが明らかとなった。

以上より, メタ懲罰ゲームは長期間繰り返しゲームを行うと協調が崩壊し, 報酬ゲームではエージェント数が十分に多くなければ協調が支配的にならないのに対し, メタ報酬ゲームでは完全に協調が支配的になることはないものの, 高いレベルで協調的な戦略がとられていることが確認された。

まず, 記事の投稿を行わなかったユーザに何らかの懲罰を与えるシステムの導入は, メタ懲罰ゲームに相当することから, 初期は協調すなわちソーシャルメディア利用が支配的になるものの, いずれユーザの自主的な参加が失われると考えられる。

次に, 単に報酬を与えるだけのモデル, すなわちある記事の投稿に対して誰かがコメントを行うだけのシステムは, 報酬ゲームに相当することからコメントを行うことに対する報酬が存在しないため, 単なるコストの負担となりコメントへのモチベーションが高くならず, 協調の進化は期待できない。そのため, ユーザ数が十分に多くなければ記事の投稿がほとんどない状態になる可能性が高い。一方, コメントに対してさらにコメントを返すようなシステムはメタ報酬ゲームに相当することから, コメントにも報酬が存在するためコメントのモチベーションを向上させ, その結果として記事を投稿したユーザの利得が高くなり, 記事投稿のモチベーションが増加しソーシャルメディアへの自主的な参加が促されると考えられる。

#### 4.2 利得の影響

次に, 利得行列のパラメータが協調の進化に与える影響を確認する。

ソーシャルメディアでは, 各ゲームパラメータはエージェントが行動を行ったときに生じるコストと利得に対

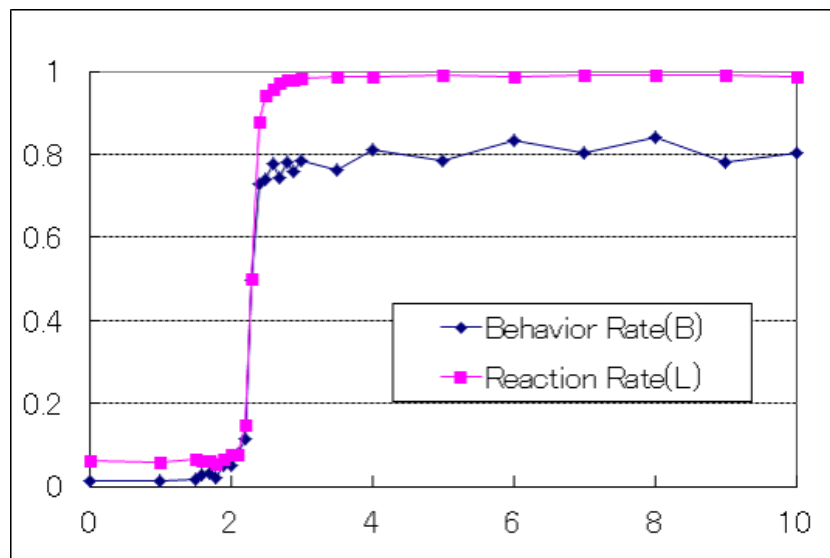


図 7 報酬が与える影響  
Fig. 7 Influence of reward.

応する。たとえば、協調行動は記事の投稿に対応する。記事を投稿するには一定のコストが必要だが、それによってソーシャルメディア全体の情報量が増加し、結果として他のユーザの利得が増加する。コメントについても投稿には一定のコストが必要であるが、コメントをもらったユーザは一定の利得を得られることになる。

これらのコストと利得はソーシャルメディアの機能によって異なる値を持つと考えられる。たとえば、Facebookにおける「いいね！ボタン」は、協調行動（記事の投稿）に対して報酬を与える行動であるが、報酬を与えるユーザ  $j$  にはほとんどコストがかからない。一方、Q&A サイトであれば、質問の投稿が協調行動、回答の投稿が協調に対する報酬に対応するが、この場合報酬のコストが非常に高い一方で、報酬をもらった利得も非常に高いといえる。

そこで、報酬とコストがどのような関係にあれば協調行動が支配的になる、すなわちソーシャルメディアへの自主的な参加が増加するかを調べるために、メタ報酬ゲームのパラメータを変化させ、パラメータが協調の進化に与える影響を確認する。

まず、基本的なパラメータを表 2 と同様にし、報酬およびメタ報酬  $R = R'' = r$  とし、 $r$  の値を 0-10 まで変化させ記事投稿率  $B$  がどのように変化するかを確認した。シミュレーションでは、 $N = 20$  とし 1,000 ステップのシミュレーションを各パラメータについて 100 回行い、各エージェントの記事投稿率  $B$  の平均を求めた。その結果を図 7 に示す。横軸が報酬  $r$ 、縦軸が記事投稿率、コメント投稿率の平均値を示している。この結果より、 $r = 2$  を超えた付近で協調が支配的になることが明らかとなった。このとき  $C = C'' = -2$  であることを考慮すると、報酬を行うコストよりも高い報酬が与えられれば、協調戦略が支配的になることが示唆された。

Average B

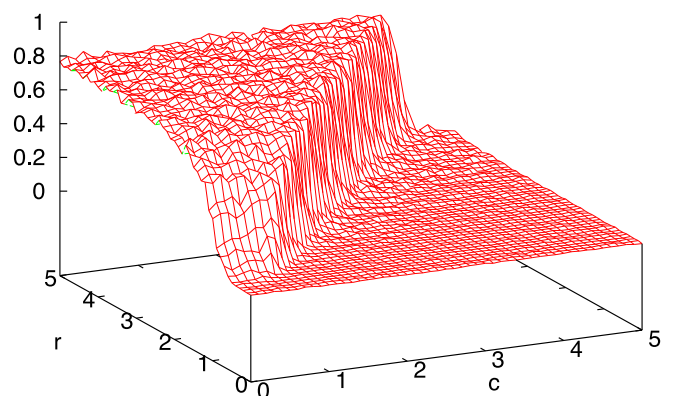


図 8 協調の進化に報酬とコストが与える影響  
Fig. 8 Influence of benefit and cost on evolution of cooperation.

そこで、報酬およびメタ報酬を行うコスト  $C = C'' = -c$  と  $r$  を同時に動かした場合について協調の進化がどのように変化するかを確認した。シミュレーションでは、 $N = 20$  とし 1,000 ステップのシミュレーションを各パラメータについて 10 回行い、各エージェントの記事投稿率  $B$  の平均を求めた。コスト  $c$  および報酬  $r$  はともに 0-5 の範囲で変化させた。その結果を図 8 に示す。x 軸がコスト  $c$ 、y 軸が報酬  $r$ 、z 軸がエージェントの記事投稿率  $B$  の平均値である。この結果から、協調が支配的になる条件は、 $r > c$  が成り立つときであることが確認された。なお、この傾向は、 $N$  を 20 から 100 まで増加させても変わらないことが確認されている。

以上より、ソーシャルメディアにおいて、記事の投稿に対して報酬を与えるためのコストよりも受け取る報酬がわずかでも多ければ、記事投稿が増加することが示された。

ここでいう報酬はユーザの心理的利得も含めたものである。したがって、ソーシャルメディアが利用される条件は、報酬のほうがコストよりも高い、すなわち「記事を書く手間よりもコメントをもらったことのほうが嬉しい」という状況を作り出すことであるといえる。Q&A サイトであれば、回答を書く手間よりも解答を得た喜びの方が大きい場合があてはまる。また、Facebook のような「いいね! ボタン」がユーザの記事投稿モチベーションを向上させている現状は、ほとんどコストのかからないボタンのクリックが、記事投稿者へボタンクリック以上の喜びを提供しているためであると考えられる。

## 5. 結論

本研究では、公共財ゲームを一般化したモデルを提案し、ソーシャルメディアをメタ規範を持った公共財ゲームと捉え、その構造をモデル化し、ソーシャルメディアに記事が投稿されるメカニズムを明らかにした。

ソーシャルメディアにおいて、懲罰を与える構造はほとんど存在しない。その代わりに、コメントやコメント返しといった協調者への報酬が存在する。そのような報酬モデルを用いて協調行動が支配的になる条件を分析した。その結果、協調に対する報酬および、協調に対する報酬を与えたことに対する報酬、すなわちメタ報酬の存在が協調を促進する効果があることが明らかとなった。

また、報酬と報酬を与えるコストとの関係を分析した結果、報酬の過多によらず報酬による利得が報酬のコストを超える場合に協調が支配的になることを確認した。

これはすなわち、ソーシャルメディアにおいては、記事の投稿に対するリアクションをもらうことへの喜びが、リアクションを行うコストよりも高ければソーシャルメディアへの自主的な参加が促進される可能性が高いことを示唆している。

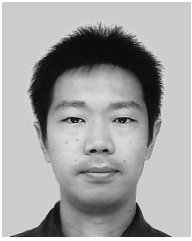
今後の課題としては、本モデルの数学的な解析があげられる。メタ報酬がどのような動学によって協調の進化を促進するのかを数理的に解き、そのメカニズムを明らかにする必要がある。

また、エージェントどうしが完全グラフを形成している条件化でシミュレーションを行っているが、実際のソーシャルメディアにおいてはユーザどうしが社会ネットワークを形成している場合が多い。そこで、エージェントがネットワーク構造を持っている状況下で協調の進化が促進される条件を明らかにすることも、今後の課題である。このような条件が明らかになれば、現状では場当たり的に行われているソーシャルメディアの設計を数学的裏づけを持って行うことが可能になると期待される。

## 参考文献

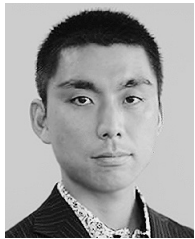
- [1] Facebook, Inc.: Facebook, available from [\(http://www.facebook.com/\)](http://www.facebook.com/).
- [2] Twitter, Inc.: Twitter, available from [\(http://twitter.com/\)](http://twitter.com/).
- [3] Nowak, M. and Sigmund, K.: Evolution of indirect reciprocity by image scoring, *Nature*, Vol.393, No.6, pp.573-577 (1998).
- [4] Nowak, M.A. and Sigmund, K.: The dynamics of indirect reciprocity, *Journal of Theoretical Biology*, Vol.194, No.4, pp.561-574 (1998).
- [5] Cohen, M.D., Riolo, R.L. and Axelrod, R.: The Role of Social Structure in the Maintenance of Cooperative Regimes, *Rationality And Society*, Vol.13, No.1, pp.5-32 (online), DOI: 10.1177/104346301013001001 (2011).
- [6] Santos, F.C., Pinheiro, F.L., Lenaerts, T. and Pacheco, J.M.: Role of diversity in the evolution of cooperation, *Journal of Theoretical Biology*, Vol.299, pp.88-96 (online), DOI: 10.1016/j.jtbi.2011.09.003 (2011).
- [7] Axelrod, R.: An Evolutionary Approach to Norms, *American Political Science Review*, Vol.80, No.4, pp.1095-1111 (1986).
- [8] Ahn, Y., Han, S., Kwak, H., Moon, S. and Jeong, H.: Analysis of topological characteristics of huge online social networking services, *Proc. 16th International Conference on World Wide Web*, pp.835-844 (2007).
- [9] 鳥海不二夫, 山本仁志, 諏訪博彦, 岡田 勇, 和泉 潔, 橋本康弘: 大量 SNS サイトの比較分析, 人工知能学会論文誌, Vol.25, No.1, pp.78-89 (2010).
- [10] Java, A., Finin, T., Song, X. and Tseng, B.: Why We Twitter: Understanding Microblogging Usage and Communities, *Proc. Joint 9th WEBKDD and 1st SNA-KDD Workshop* (2007).
- [11] 風間一洋, 今田美幸, 柏木啓一郎: ブログ空間の情報伝播ネットワーク特性の定量化, 人工知能学会論文誌, Vol.25, No.3, pp.404-409 (2010).
- [12] 小川祐樹, 山本仁志, 岡田 勇, 諏訪博彦, 太田敏澄: エージェントベースシミュレーションによる知識共有コミュニティの報酬制度設計, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J94-D, No.6, pp.945-956 (2011).
- [13] Toriumi, F. and Ishii, K.: Simulation of Encouragement Methods for SNS based on User Behavior Model, *Proc. 3rd World Congress on Social Simulation* (2010).
- [14] 三浦麻子, 川浦康至: 人はなぜ知識共有コミュニティに参加するのか: 質問行動と回答行動の分析, 社会心理学研究, Vol.23, No.3, pp.233-245 (2008).
- [15] 川浦康至, 山下清美, 川上善郎: 人はなぜウェブ日記を書き続けるのか: コンピュータ・ネットワークにおける自己表現, 社会心理学研究, Vol.14, No.3, pp.133-143 (1999).
- [16] Sutter, M., Haigner, S. and Kocher, M.G.: Choosing the Carrot or the Stick? Endogenous Institutional Choice in Social Dilemma Situations, *Review of Economic Studies*, Vol.77, No.4, pp.1540-1566 (2010).
- [17] Hilbe, C. and Sigmund, K.: Incentives and opportunism: From the carrot to the stick, *Proc. R. Soc. B*, Vol.277, pp.2427-2433 (2010).
- [18] 丸井淳己, 加藤幹生, 松尾 豊, 安田 雪: mixi のネットワーク分析, 全国大会講演論文集, Vol.72, No.2, pp.553-554 (オンライン), 入手先 [\(http://ci.nii.ac.jp/naid/110008107701/\)](http://ci.nii.ac.jp/naid/110008107701/) (2010).
- [19] 山本仁志, 岡田 勇: 社会的ワクチン: 裏切りによる協調の進化, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J94-D, No.11 (2011).





鳥海 不二夫

2004年東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム工学専攻博士課程修了，同年名古屋大学情報科学研究科助手，2007年同助教，2012年東京大学大学院工学系研究科准教授，現在に至る。エージェントベースシミュレーション，人工市場，ソーシャルメディア等の研究に従事。電子情報通信学会，日本社会情報学会，人工知能学会各会員，博士（工学）。



山本 仁志 （正会員）

1995年電気通信大学電気通信学部卒業。2003年電気通信大学大学院情報システム学研究科博士後期課程修了，博士（工学）。現在，立正大学経営学部准教授。研究テーマは社会シミュレーション。