

公共財ゲームとしてのCGMにおける懲罰と報酬の効果

○鳥海不二夫（東京大学） 山本仁志（立正大学） 岡田勇（創価大学）

Effect of Punishments and Rewards on CGM as Public Goods Game

*F. Toriumi (The University of Tokyo), H. Yamamoto (Rissho University) and I. Okada (Soka University)

概要— 現在のWEB上では多くのソーシャルメディアなどのCGM(Consumer Generated Media)による情報共有が行われている。CGMへの情報の投稿はボランティアであるが、投稿がなければCGM自体の存在意義がないことを考えると、これらのメディアの特性は公共財ゲームとして表現することが出来る。公共財ゲームにおいて協調を促進させる方策として、報酬と懲罰が考えられる。そこで、現在のCGMのシステムを考慮した上で、どのような報酬懲罰システムの存在が公共財ゲームにおける協調を実現させるかをエージェントベースシミュレーションを用いて明らかにする。

キーワード: 公共財ゲーム, メタ規範ゲーム, CGM, ソーシャルメディア, エージェントベースシミュレーション

1 緒言

現在のWEB上では多くのソーシャルメディアなどの消費者自身がコンテンツを作成していくメディア、すなわちConsumer Generated Media(CGM)による情報共有が盛んに行われている。

コンテンツをCGMへ提供する行為は基本的にボランティアであり、投稿自体にインセンティブは存在しない。そのため、多くのユーザはCGMへ情報を投稿することなく、単に情報を獲得するだけの利用にとどまる。一方で、ユーザがコンテンツを提供するという特性上、充分な量の情報がユーザから集まらなければ、メディアとしての価値が生まれない。一方で、ユーザは自由にコンテンツを提供することができるため、不適切なコンテンツ¹が数多く提供されてしまう可能性も存在する。

このような特性を考慮すると、CGMは一種の公共財ゲームであると捉えることが出来る。通常公共財ゲームでは裏切りが支配的になることがよく知られている。したがって、現在利用されているCGMには一定量の適切なコンテンツが存在することから、協調に対してインセンティブが与えられるような仕組みが備わっているといえる。

現在までに公共財ゲームにおける協力の促進に関しては、多くの研究が行われている。

たとえば、プレイヤーが直接¹⁾または間接的な互惠性²⁾を持つことによって協調を促進させるという考えがある。また、プレイヤーに対してタグを与えたり³⁾、評判システムを利用する⁴⁾方法や、プレイヤー同士が空間的な構造⁵⁾をやネットワーク構造⁶⁾⁷⁾を持って接続されているようなゲームについても検討されている。

また、より直接的に協調者には報酬を与え、裏切り者には懲罰を与える手法も存在する。Axelrodは、協調しない者に対し罰則を与える規範ゲーム・メタ規範ゲームなどを提案している⁸⁾。

現実のCGMについて考えてみると、コンテンツ提供者にはユーザからお礼やコメントなど何らかの反応が返されることが多く、これは、一種の報酬を与えていることと対応すると考えられる。このような報酬を与

えるメカニズムは、Axelrodが提案したメタ規範ゲームを一般化した、一般化メタ規範ゲーム⁹⁾の一種であるメタ報酬ゲームとしてモデル化されている。

本論文では、CGMを一般化メタ規範ゲームとしてモデル化し、どのようなメカニズムの導入がCGMにおける安定的な適切なコンテンツの提供を実現できるか明らかにする。

2 一般化メタ規範ゲームによるCGMモデルのモデル化

2.1 ゲーム理論を用いたCGMのモデル化

2.1.1 公共財ゲームとしてのCGM

一般的なCGMはユーザからコンテンツの投稿を受け付け、それらのコンテンツを他のユーザが消費することで成立する。

コンテンツを見ることによってユーザには一定の利得が存在する一方で、適切なコンテンツの投稿にはコンテンツの生成や投稿などにコストが必要となる。そこで、適切なコンテンツの提供を協調行動(C)、適切なコンテンツを提供しないこと²⁾を裏切り行動(D)としよう。適切なコンテンツの提供には一定のコストが必要であることから、協調(C)に必要なコストを κ_0 、コンテンツから得られる利得を ρ_0 、自分以外の適切なコンテンツを提供するユーザ数を N_0 とする。すると、CGMによるコンテンツの投稿とその消費はTable 1のような利得となる。ただし、適切なコンテンツを提供しない場合はコストを必要とせず、その場合は周りも利得も得られないものと考えられる。

ここで、 $N_0 > 0$ の条件下で、協調した場合と裏切った場合を比較すると、裏切った場合の方が利得がコスト κ_0 が必要がない分だけ大きくなる。従って、裏切った方が常に利得が高い。一方で、すべてのユーザが裏切った場合 $N_c = 0$ の条件下で考えても協調した場合は $-\kappa_0$ の利得となるため、裏切った方がマシである。したがって、条件によらず裏切った方が利得が高いため、最終的に $N_c = 0$ に収束する。一方で、 $\rho_0 N_0 > \kappa_0$ であれば裏切りよりも高い利得が得られる。以上より、

¹掲示板における荒しや、盗用ブログなども含む

²不適切なコンテンツの提供や、コンテンツを一切提供しないこと

Table 1: 公共財ゲームとしての CGM における利得表

	$N_0 > 0$	$N_0 = 0$
協調 (C)	$-\kappa_0 + \rho_0 N_0$	$-\kappa_0$
裏切り (D)	$\rho_0 N_0$	0

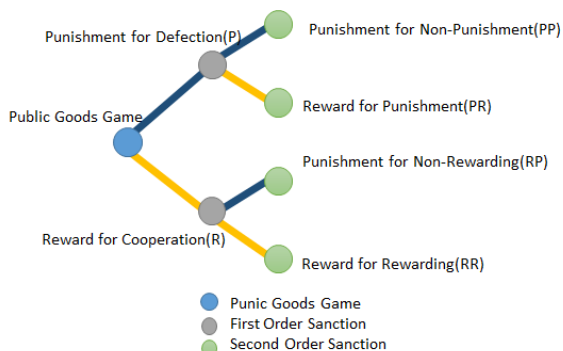


Fig. 1: 一般化メタ規範ゲーム

CGM は一対多の囚人のジレンマとなり、公共財ゲームとしての構造を持つといえる。

2.1.2 CGM におけるサンクショニング

公共財ゲームにおいて協調を促進する手法として、サンクションメカニズムが存在する。これは、公共財ゲームにおいて協調した者に報酬を与え、裏切った者に懲罰を与えるメカニズムである。

CGM においては、動画共有サイトにおいて動画をお気に入りに入れたり、動画へコメントを投稿することが、動画を共有したユーザにとっての報酬となる。あるいは、Q&A サイトで質問の投稿がコンテンツの提供だとすると、質問に対する回答という報酬が得られる。

一方で適切なコンテンツを提供しない行動、すなわちフリーライドを行う場合や、不適切なコンテンツを提供する行動について考える。特に不適切なコンテンツを提供した場合は、一定の懲罰を与えられる可能性がある。たとえば、コンピュータ関連のニュースを扱う CGM サイト Slashdot³ では、投稿者にマイナスの評価を与えることが可能である。このような懲罰システムもまた適切なコンテンツ提供を促すメカニズムの一つである。

以上のように、CGM には懲罰または報酬を与えるサンクションメカニズムが備わっていると考えられる。そこで、CGM を公共財ゲーム及び一般化メタ規範ゲームを用いてモデル化することで、CGM に適切なコンテンツが提供される本質的なメカニズムを明らかにする。

2.2 一般化メタ規範ゲームの基本構造

サンクションメカニズムを一般化したモデルとして、一般化メタ規範ゲーム^{10, 9)}が存在する。一般化メタ規範ゲームは Axelrod のメタ規範ゲーム⁸⁾を一般化したものであり、規範として裏切りに対する懲罰だけではなく、協調に対する報酬を導入している。

一般化メタ規範ゲームは、

- 裏切る
- 協調する

³<http://slashdot.org/>

という公共財ゲーム、

- 裏切り者に対して懲罰を与える
- 協調者に対して報酬を与える

という一次の規範ゲームと、

- 一次の規範を怠った者に懲罰を与える
- 一次の規範を行った者に報酬を与える

という二次の規範ゲームの三層構造を持つゲームである。一般化メタ規範ゲームの基本構造を Fig.1 に示す。一般化メタ規範ゲームは可能な行動を制限することによって、様々なタイプのゲームを表現可能となる。このとき、公共財ゲームの結果に対して、プレイヤーが可能な行動には以下の 6 種類が存在する。

- 裏切りに対する懲罰 (P)
- 協調に対する報酬 (R)
- 裏切りに対する懲罰しないことに対する懲罰 (PP)
- 裏切りに対する懲罰に対する報酬 (PR)
- 協調に対して報酬しないことに対する懲罰 (RP)
- 協調に対する報酬に対する報酬 (RR)

たとえば、公共財ゲームにおいて協調したプレイヤーに報酬を与えるメカニズムが存在すれば、当該システムはシステム R を持つといえる。このとき、システム R が存在しても、その行動を取るかどうかはプレイヤーに依存することに注意が必要である。

逆に、裏切りに対して懲罰を与えるメカニズムがなければ、システム P は存在しないものとする。

ただし、一般化メタ規範ゲームにおいて 6 種類すべての組み合わせがゲーム構造として実現可能なわけではないことに注意が必要である。たとえば、裏切りに対する懲罰システム P が存在しなければ、

- 裏切りに対する懲罰しないことに対する懲罰 (PP)
- 裏切りに対する懲罰に対する報酬 (PR)

も存在し得ない。逆に、裏切りに対する懲罰に対する報酬 (PR) が存在すれば、裏切りに対する懲罰 (P) は必ず存在することになる。

以上を考慮すると、一般化メタ規範ゲームにおいて実現可能なゲームは Fig.2 のとおりとなる。なお、図中の記号は最も深いレベルで可能な行動を示している。ただし、そのレベルで懲罰 (P)、報酬 (R) の双方が行える場合は (B) と記す。従って、たとえば PB+R ゲームは、

- 裏切りに対する懲罰 (P)
- 協調に対する報酬 (R)
- 裏切りに対する懲罰に対する報酬 (PR)
- 裏切りに対する懲罰しないことに対する懲罰 (PP)

が可能なシステムであるといえる。

2.3 コストと効用

公共財ゲーム、一次の規範、二次の規範を実行するにはそれぞれコストと効用が存在する。まず、CGM の場合公共財ゲームにおいてコンテンツを提供する、すなわち協調するには一定のコストが必要であり、他のユーザはその恩恵を受けて効用を得ることが出来る

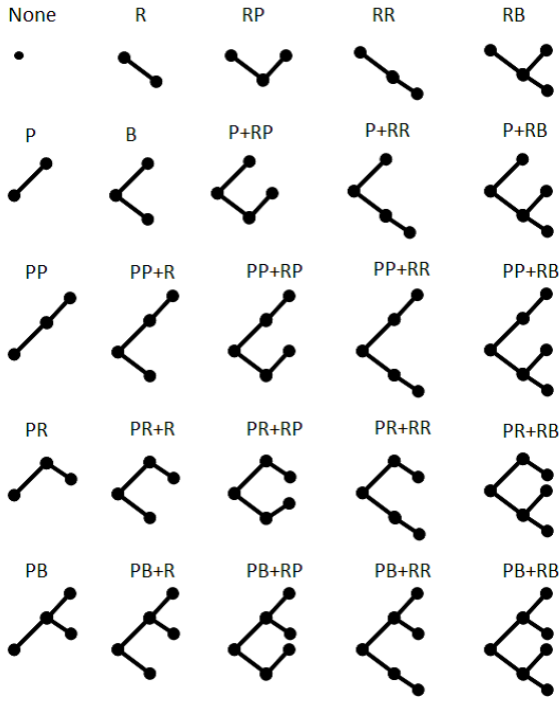


Fig. 2: 一般化メタ規範ゲームで表現可能なゲーム

と考えられる。ここで、公共財ゲームにおける協調のためのコストを κ_0 、その効用を ρ_0 とする。

次に、規範ゲームにおける規範行動を行うために必要なコストを、 $\kappa_p, \kappa_r, \kappa_{pp}, \kappa_{pr}, \kappa_{rp}, \kappa_{rr}$ とし、それぞれの効用を $\rho_p, \rho_r, \rho_{pp}, \rho_{pr}, \rho_{rp}, \rho_{rr}$ とする。

ただし、このときコストと効用は必ずしも金銭的なものではないことに注意が必要である。ここでは、心理的な効用も含まれるため、 $\kappa_t < \rho_t$ となることも充分考えられる。

たとえば、Q&A サイトにおける回答は、回答者にとっては常識的な内容であっても、質問者にとっては極めて高い価値のある情報であることは多い。そのような場合、回答者が回答を投稿するコスト κ_r ⁴ と質問者に与えられる効用 ρ_r の間には、 $\kappa_r < \rho_r$ の関係が成り立つ。

3 メタ規範ゲームを用いた CGM のシミュレーション

3.1 シミュレーションの概要

本章では、CGM をメタ規範構造を持つ公共財ゲームとしてモデル化し、安定的に適切なコンテンツが提供される CGM が持つべきメカニズムを明らかにする。ここでは、CGM のユーザをエージェントと考え、エージェントベースシミュレーションによってモデルの特性を分析する。

ここでは、 N 体のエージェントからなる CGM を想定する。まず、各エージェントは適切なコンテンツの提供（協調=C）および、非提供（裏切り=D）行動を行う。つぎに、さらにそれらに対して他のエージェントがサンクショニング（報酬、懲罰）を与える。さらに、サンクショニングに対するメタサンクショニング

⁴質問が適切なコンテンツの提供 (C) と考えると、回答はそれに対して報酬を与える行動 (R) と考えられる

すなわち二次のサンクショニング（メタ報酬、メタ懲罰）を与えられるシステムを有しているとする。

ソーシャルメディアの一つである Facebook を例にとると、記事の投稿や Share がコンテンツの提供に対応する。また、記事に対するコメントがサンクショニングに対応する。さらに、コメントに対するコメントや、コメントへの「いいね」が二次のサンクショニングとなる。

なお、各エージェントは公共財ゲーム、メタ規範ゲームを繰り返しながら、利得の最大化を実現するように学習を行うものとする。

これによって、どのようなゲーム構造であれば、エージェントが協力的行動を取るようになるのかを明らかにする。

3.2 エージェント

3.2.1 行動パラメータ

シミュレーションには N 対のエージェント $a_i (i = 1, \dots, N)$ が存在し、各エージェントは行動確率パラメータ b_i, r_i を持つ。エージェント a_i は協調率 (Behavior Rate) b_i の確率で公共財ゲームで協調行動を取り、返報率 (Reaction Rate) r_i の確率で規範行動を行う。このとき、規範行動確率 r_i はすべての規範行動に共通するものとし、メタ規範ゲーム構造で許されているすべての規範行動を r_i によって行うかどうか決定する。

すなわち、CGM 上の行動で言えば、各エージェントは CGM への適切な記事の投稿確率 b_i と投稿された記事への反応確率 r_i を持つといえる。

3.2.2 エージェントの利得

エージェントは行動の結果として効用を獲得する。

まず、公共財ゲームにおいて、確率 b_i で各エージェントは協調するか裏切るかを決定する。このとき、協調したエージェント数 N_0 とすると、エージェント a_i が公共財ゲームによって獲得するは効用 u_{i0} は、

$$u_{i0} = \begin{cases} \rho_0 N_0 - \kappa_0 & \text{Cooperate} \\ \rho_0 N_0 & \text{Defect} \end{cases} \quad (1)$$

となる。

また、あるエージェント a_j によって、 a_i に対する規範行動 $t \in \{P, R, PP, PR, RP, RR\}$ が行われた場合、

$$u_{it} = \rho_t \quad (2)$$

$$u_{jt} = \kappa_t \quad (3)$$

が与えられる。

以上より、エージェント a_i のあるステップにおける総利得 u_i は、

$$u_i = \rho_0 N_c - \gamma_{i0} \kappa_0 + \sum_t \rho_t N_t - \sum_t \gamma_{it} \kappa_t \quad (4)$$

となる。ただし、 N_t は規範行動 t を行ったエージェント数、 γ_{it} はエージェント a_i が規範行動 t を行った回数である。すなわち、公共財ゲームによる効用と、規範ゲームによって得られた効用の合計から規範ゲームで行動を行ったことによって支払ったコストを引いたものが、あるステップにおけるエージェント a_i の総利得となる。

3.2.3 エージェントの学習

本モデルにおいて、エージェントの学習機能は進化アルゴリズムによって表現するものとする。

ここで、あるエージェント a_i は他のエージェント群から、

$$p_j = \frac{u_j}{\sum_{k \neq i} u_k} \quad (5)$$

の確率でエージェント a_j を選び、 a_j と a_i の持つ行動パラメータを交叉することで、行動パラメータ b_i, r_i を更新する。

3.3 ゲーム構造

一般化メタ規範ゲームで実現可能なゲーム構造は Fig.2 に示したとおりである。

ここでは、可能なすべての組み合わせについてシミュレーションを行い、どのような条件で協調が支配的になるかを確認する。

3.4 コストと効用

一般化メタ規範ゲームにおいて、コストと効用の大きさによって協調率が変化することが知られている⁹⁾。そこで、本シミュレーションでもコストと効用による協調率の変化を確認する。

ただし、本モデルにおけるコストと効用は、公共財ゲームにおけるコストと効用、および 2.3 節で示した一般化メタ規範ゲームにおけるコストと効用、すなわち $\kappa_0, \rho_0, \kappa_p, \kappa_r, \kappa_{pp}, \kappa_{pr}, \kappa_{rp}, \kappa_{rr}, \rho_p, \rho_r, \rho_{pp}, \rho_{pr}, \rho_{rp}, \rho_{rr}$ からなる。これらすべてのパラメータについて分析を行うことは困難であるため、コストと効用を決定する中間パラメータ μ, δ を導入する。

中間パラメータ μ, δ によって、各パラメータは以下のように決定される。

$$\kappa_0 = 1, \quad \rho_0 = \mu\kappa_0 \quad (6)$$

$$\kappa_1 = \delta\kappa_0, \quad \rho_1 = \mu\kappa_1 \quad (7)$$

$$\kappa_2 = \delta\kappa_1, \quad \rho_2 = \mu\kappa_2 \quad (8)$$

ただし、 μ はコストに対する効果の増幅率であり、 $\delta < 1.0$ は規範の深さによる割引効果である。

これによって、 μ, δ によって各ゲーム構造における協調率がどのように変化するかを確認する。

3.5 シミュレーションパラメータ

本シミュレーションで用いるシミュレーションパラメータを Table 2 に示す。

シミュレーションにおいては、 μ, δ の値を 0.1 ずつ変化させシナリオを作成し、1000 ステップの施行を 100 エピソードずつ行った。このとき、1000 ステップ目の全エージェントの協調率 b_i の平均を当該エピソードの出力とし、同一シナリオの平均を当該シナリオにおける協調率 CR とした。

4 シミュレーション結果と考察

4.1 増幅率と割引率による協調率の変化

まず、Fig.3, 4 に、それぞれ PP ゲーム、PB+RB ゲームにおける μ, δ を変化させた際の協調率を示す。X 軸が割引率 δ を、Y 軸が増幅率 μ を示し、Z 軸はそのときの協調率 CR である。

Table 2: シミュレーションパラメータ

Parameter	Value
Simulation Step	1000
# of Simulation	100
# of Agents(N)	20
Incentive cost-effect ratio(μ)	$0 \leq \mu \leq 10$
Discount factor(δ)	$0 \leq \delta \leq 1.0$

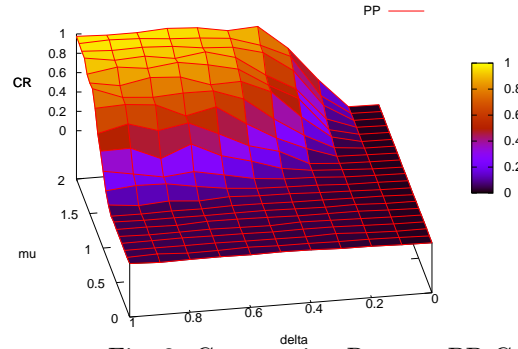


Fig. 3: Cooperation Rate on PP Game

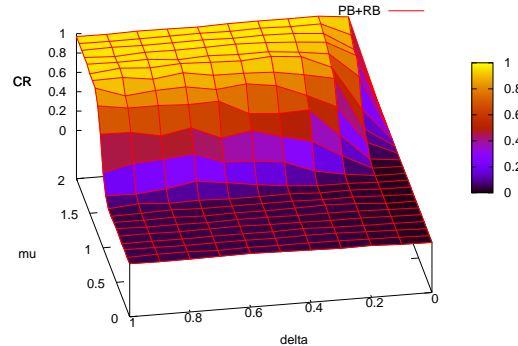


Fig. 4: Cooperation Rate on PB+RB Game

Fig.3 に示した PP ゲームは、裏切り者に対して懲罰を与え、また懲罰を与えなかった者にメタ懲罰を与える構造を持つ。これは、パラメータは違うものの基本構造は Axelrod のメタ規範ゲームである。

一方、Fig.4 に示した PB+RB ゲームは、協調者に対して報酬を与え裏切り者には懲罰を与え、さらに報酬または懲罰を与えた者に二次の報酬を与え、報酬または懲罰を与えなかった者に二次の懲罰を与えることが出来る、本モデルで表せられるもっとも複雑なゲームである。

どちらのゲームでも、 μ, δ の増加に伴って協調率も増加していることが分かる。この傾向は他の構造を持ったゲームでも同様である。従って、基本的に μ, δ が増加によって、協調率は高くなる傾向にあることが明らかとなった。

4.2 ゲーム種類と協調率の変化

次に、ゲームのタイプごとに協調率 CR がどのように変わるかを確認する。

ここでは、もっとも協調が促進されやすかったときの各ゲームの協調率、すなわち、全条件のうち最大の協調率を求め、その結果を Table 3 に示す。この表は、各行が懲罰側のシステムを、列が報酬側システムを示しており、その組み合わせによって表現されるゲーム構造を用いたときの協調率を示している。たとえば、PP+RR ゲームであれば最大で協調率 $CR = 0.984$ となる。

ここで、 $CR > 0.9$ のとき協調が完全に支配的になっていると判断すると、どのようなパラメータでも $CR > 0.9$ が表れない None, P, R, B, PP+R, PR+R, PB+R は、ゲーム構造上協調が支配的にならないといえる。

この結果から、まず二次のサンクションが存在しない条件 (None, P, R, B) 協調が支配的にはならないことが明らかとなった。これは、単に報酬や懲罰を与えることができるだけでは、報酬懲罰行動を行うインセンティブが働かないため、二次のフリーライドが発生することが原因である。

一方、二次のサンクションが存在する場合においても、報酬に対するリアクションが存在しない場合 (R, B, PP+R, PR+R, PB+R) は、協調が支配的となることが明らかとなった。たとえば、PB では協調が支配的になる条件が存在するのに対し、PB+R というより複雑な構造を持ったゲームでは協調が支配的にならないことは興味深い。このメカニズムについては、4.3.1 節で考察する。

Table 3: Cooperation Rate Matrix

		R				
		-	R	RP	RR	RB
P	-	0.023	0.140	0.964	0.982	0.975
	P	0.041	0.050	0.959	0.985	0.979
	PP	0.985	0.059	0.976	0.982	0.977
	PR	0.986	0.270	0.981	0.984	0.981
	PB	0.986	0.064	0.979	0.985	0.980

4.3 考察

4.3.1 報酬が与える悪影響

ゲームが複雑さを増せば協調を促進する効果があることは容易に想像できる。しかしながら、必ずしも複雑な規範をルール課すれば協調が支配的な社会が実現できるとは限らない。それが顕著に表れている例が、PP+R, PR+R, PB+R ゲームである。

協調行動に対して報酬行動は許可するが、報酬行動に対するメタ規範行動を許可しない PP+R, PR+R, PB+R ゲームでは、いずれも協調的な行動が促進されないという結果が得られている。

なぜこのような現象が生じるのかを考える。Fig.5 に PB+R ゲームのある 1 エピソードにおける 100 ステップ目までの協調率と返報率の変化を見る。なお、このとき $\mu = 2.0, \delta = 1.0$ とし、それ以外は 3.5 節と同じ設定を用いた。

Fig.5 より、最初の数ステップで返報性 (Reaction) が

1.0 程度まで上昇し、その後協調率が上昇する。しかしながら、50 ステップ目程度から返報率が下降し、返報率が 0 になったしばらく後に協調率し 0 となる。なお、Fig.5 では割愛しているが、その後協調率返報率ともにほぼ 0 の状態が続く。

まず、最初に返報率上昇した理由について考える。当初協調率は 0.5 程度であるため、半数程度のエージェントは裏切る。裏切ったエージェントを見つけた返報率の高いエージェントはコスト κ_P を支払って、裏切ったエージェントに懲罰 ρ_P を与える。さらに、懲罰を与えたことに対する報酬と、与えなかったことに対する懲罰が許可されているため、裏切ったエージェントに罰を与えたエージェントは他のエージェントから ρ_{PR} の報酬を得るチャンスがあり、罰を与えなかったエージェントは他のエージェントから ρ_{PP} の懲罰を受ける可能性がある。したがって、裏切ったエージェントに対しては懲罰を与えた方が有利となり、返報率が高いエージェントが有利となる。

ある程度返報率が高いエージェントが存在すると、裏切りにリスクが生じるため協調率が上昇する。この時点で、協調が支配的な社会が実現された。

ところが、協調エージェントが支配的となる 50 ステップ目前後から返報率が減少する。これは、返報性の低いエージェントの方が有利になったためこのような現象が発生したと考えられる。協調率が十分に高ければ、エージェントは基本的に協調行動を取る。その場合、規範行動としては報酬を与える行動が取られる。報酬を与える場合、コスト κ_R を支払う必要がある。したがって、返報率が高いエージェントは協調するエージェントに比例したコストを支払う必要がある。一方で、報酬を与えたエージェントに報酬を与える構造 RR や、報酬を与えなかったエージェントに懲罰を与える RP はこのゲームには存在しない。従って、協調するエージェントが多い場合、返報率が高いエージェントは κ_R 分だけ返報率の低いエージェントよりも低い利得しか得られないことになる。その結果、各エージェントは返報率が低くなるように進化する。

多くのエージェントの返報率が低下すると、今度は協調しても報酬 ρ_R が得られないばかりか、裏切っても懲罰 ρ_P を与えるエージェントがいなくなる。そのため、協調率が低いエージェントの得る利得が協調率が高いエージェントが得る利得よりも高くなり、協調率が低い方へとエージェントは進化していく。その結果、最終的には協調率、返報率ともに低いエージェントが支配的となる社会が実現されるのである。

以上のように、PB+R ゲームでは「協調に対する報酬」という機能を導入したために、協調率が減少するという事態が発生した。これは、公共財ゲームにおける協調の促進のためには、闇雲に複雑なシステムを導入すれば良いというものではないことを示唆している。

4.3.2 CGM における報酬と懲罰

シミュレーションの結果から、一般化メタ規範ゲームによるシステムでは、多くの場合公共財ゲームにおける協調を支配的にすることが可能であるが、一部のシステムでは協調を促進することが出来ないことが示された。また、協調を促進しやすい構造が存在するため、システムをいわずらに導入すれば良いというもの

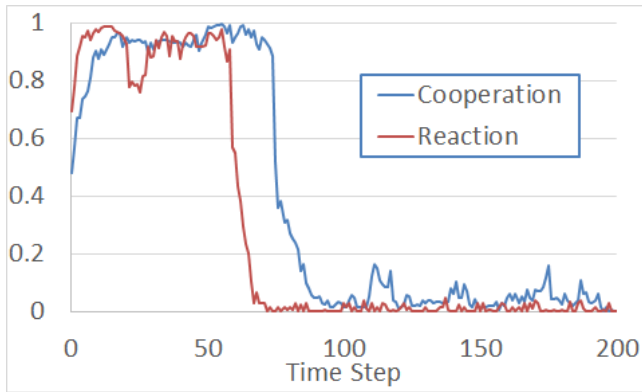


Fig. 5: Changes in Cooperation Rate and Sanction Rate on PB+R game

でもないことが明らかとなった。

ここで協調が支配的になるゲームの一つ PR+RR を持つ CGM がどのようなものか考えてみよう。

まず、適切な記事の投稿に対して報酬を与えるシステムが存在する。一般的な CGM ではコメントやいいね！ボタンと言ったシステムが報酬システム (R) として存在する。さらに、コメント返しやコメントへのいいね！ボタンなどが報酬への報酬 (RR) システムとして存在しうる。

一方で、不適切な記事の投稿など裏切り行為に対して懲罰を与えることができるシステムが存在する。これは一般のソーシャルメディアにおいては通報システムなどに対応するだろう。さらに、適切な通報を行ったユーザにも報酬を与えることができるのであれば、より協調を促進が容易となるといえる。

現状では、懲罰システムを大々的に導入している CGM は多くないように思われる。さらに、懲罰システムを導入している CGM まで存在しても、懲罰システムの利用に対して報酬を与えるものは皆無であろう。

今後は、このようなシステムを導入することによって、より強固な CGM が実現できると期待される。

5 結論

本研究では、公共財ゲームとして CGM をモデル化し、一般化メタ規範ゲームのフレームで協調の促進に必要な条件を分析した。

その結果、一般化メタ規範ゲーム内のいくつかのゲームにおいて協調が促進されることが明らかとなった。特に、2次のサンクションが存在するゲーム構造を持つことで、協調を促進しやすいことが明らかとなった。ただし、協調への報酬が存在する場合は報酬への2次のサンクションがないと裏切りが支配的となる。

今後は、各ゲームの性質をさらに詳細に分析することで協調が支配的となる条件を明らかにし、より情報が集まりやすい CGM とはどのような性質を持った者なのかを明らかにする。

また、本稿では、CGM における適切な情報提供をするか否かの二択を協調と裏切りと表現し、公共財ゲームとしてモデル化した。一方で、CGM における裏切りには不適切な情報提供と、そもそも情報を提供しないという二通りが考えられる。このような考え方を考慮に入れたモデル化を行うことが今後の課題である。

参考文献

- 1) Ernst Fehr, Urs Fischbacher, and Simon Gächter: Strong reciprocity, human cooperation, and the enforcement of social norms, *Human nature*, **13**-1, 1/25, (2002)
- 2) Martin A Nowak and Karl Sigmund: Evolution of indirect reciprocity. *Nature*, **437**-7063, 1291/1298 (2005)
- 3) Rick L Riolo, Michael D Cohen, and Robert Axelrod: Evolution of cooperation without reciprocity, *Nature*, **414**-6862, 441/443 (2001)
- 4) Hisashi Ohtsuki and Yoh Iwasa: Global analyses of evolutionary dynamics and exhaustive search for social norms that maintain cooperation by reputation, *Journal of theoretical biology*, **244**-3, 518/531 (2007)
- 5) Dirk Helbing, Attila Szolnoki, Matjaž Perc, and György Szabó: Evolutionary establishment of moral and double moral standards through spatial interactions, *PLoS computational biology*, **6**-4, e1000758 (2010)
- 6) Mayuko Nakamaru and Yoh Iwasa: The evolution of altruism by costly punishment in lattice-structured populations: score-dependent viability versus score-dependent fertility, *Evolutionary ecology research*, **7**-6, 853/870, (2005)
- 7) Yuki Hirahara, Fujio Toriumi, and Toshiharu Sugawara: Evolution of cooperation in sns-norms game on complex networks and real social networks, *Social Informatics*, 112/120 (2014)
- 8) R.M. Axelrod: An Evolutionary Approach to Norms, *American Political Science Review*, **80**-4, 1095/1111 (1986)
- 9) Toriumi Fujio, Yamamoto Hitoshi, and Okada Isamu: Influence of payoff in meta-rewards game, *Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, **18**-4, 616/623 (2014)
- 10) Fujio Toriumi, Hitoshi Yamamoto, and Isamu Okada: Why do people use social media? agent-based simulation and population dynamics analysis of the evolution of cooperation in social media, In *Proceedings of the The 2012 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology-Volume 02*, 43/50 (2012)