

裏切りがもたらすメタ規範ゲームにおける協調の安定

山本仁志*¹ 岡田勇*²

*¹立正大学・経営学部 hitoshi@ris.ac.jp

*²創価大学・経営学部 okada@soka.ac.jp

1. はじめに

Axelrod[1]の規範ゲーム・メタ規範ゲームは、集団における秩序の維持に対するよく知られたモデル化である。規範ゲームは、 n 人囚人のジレンマを拡張したものであり「非協調者を罰する」という行動原理を集団の参加者に導入している。しかし、この行動原理を導入するだけでは規範は達成されず、非協調が支配的な戦略になることが示されている。そこで Axelrod は、「非協調者を罰しなかったものを罰する」というメタ規範を導入した。この導入によって、集団内で協調が維持されることがシミュレーションによって示された。Deguchi[2] はレプリケータダイナミクスを用いてメタ規範を分析して協調の安定性を支持している。また Heckathorn[5] や Horne and Cutlip[6] は、心理学的な実験を行いメタ規範が存在することを示している。

しかし、Axelrod の枠組みにはいくつかの根強い批判が存在する。Yamashita et. al. [10] や Galan et. al. [4] では、メタ規範として集団全員の相互監視を敷いているモデル化は、認知限界から集団数の上限をもたらし、また相互監視というシステムは非現実的な強い制約であることを主張している。そのために、メタ規範ゲームを部分集団に拡張する研究 (Prietula and Conway [9]) や、スモールワールドネットワーク上での相互監視に限定した研究 (Newth, [7]) が提案されている。

また、Axelrod の知見はごく限られたパラメータ空間でしか成立していないことも指摘されている。織田[8]では、初期の懲罰確率によってはメタ規範においても協調が成立しないと述べている。さらに、Galan and Izquierdo[3] は Axelrod [1] をコンピュータシミュレーションと数理解析で精査した結果、メタ規範が協調を安定させるパラメータ空間は限定的であることを指摘した。

我々は、Axelrod の限界を指摘する意味では彼らと同じ主張をしているが、もう一步踏み込んで、協調を安定させる十分条件を抽出しようとするものである。我々は新たに、集団に少数の常に非協調行動をとるエージェントを導入することで頑健に協調が維持されることを発見した。我々はこの効果を社会的ワクチン効果と呼ぶ。

2. モデル

規範ゲームは n 人囚人のジレンマゲームの拡張としてとらえることができる。 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二つの行為を選択することができる。裏切る確率を B_i (大胆さ) で表現する。 i が裏切ると、 i は $T(=3)$ の利得を得ることができる。残りの $(N-1)$ 人エージェントは $H(=-1)$ の利得を得る。 i が協調すれば、すべてのエージェントの利得は 0 である。

ここまでは n 人囚人のジレンマゲームであるが、規範ゲームでは、このあと $(N-1)$ 人のエージェントに懲罰のチャンスがある。エージェント j は確率 s で i の裏切りを発見する。発見しなかった場合、なにも起こらず i, j いずれの利得も変化しない。 j が i の裏切りを発見した場合、 j は自身の持つ復讐度 V_j

の確率によって i を罰する。 j が i を罰した場合、 i は $P(=-9)$ の利得を j は $E(=-2)$ 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。

ここまでの規範ゲームである。 メタ規範とは、 エージェント j が i の裏切りを発見し、 更に 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 が j を罰すれば、 j は $P(=-9)$ の利得、 k は $E(=-2)$ の利得を得る。 各エージェントはそれぞれ 4 回の行為をおこなう。 4 回の行為の結果得られた利得によって次世代に個体を残せるかどうかが決まる。 表 1 は、 実験に用いる各種パラメータである。

表 1 実験に用いたパラメータ

パラメータ	値
集団の規模 N	20-100
大胆さの初期値	一様乱数
復習度の初期値	一様乱数
裏切ることの利得 T	3
裏切られることの利得 H	-1
懲罰されることの利得 P	-9
懲罰することの利得 E	-2
世代数	100-100000
突然変異率	0.01

3. メタ規範の脆弱性

ここでは、 集団の規模 N を 20 から 100 まで変化させ、 更に世代数も 100 から 100,000 まで変化させた実験を行った。 実験は 50 回の試行を行い、 最終世代の大胆さ B の平均値をプロットしている (図 1)。 復讐度 V は、 B と強い負の相関があり B の値を観察することで V の挙動もわかるため、 本論文では大胆さ (B) のみを観察する。

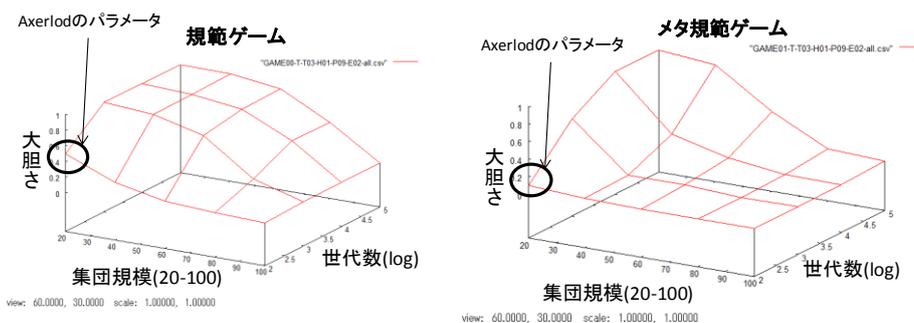


図 1 : 集団規模と世代を変化させた Axelrod モデル

規範ゲームにおいて、 世代数が増えるるとほぼ裏切り支配になることがわかる。 これはもともと規範ゲームが懲罰に対するフリーライドを容易にしている構造のため、 長期的には裏切りが優位になるためである。

また、 集団の規模が大きくなると協調が維持されやすくなっている。 これは、 集団の規模が大きくなることで、 裏切りが発見される回数も増え、 裏切ることによって得られる利得より裏切りを発見されて集中的に罰せられることで裏切りが不利になるためである。 ただしこれは大規模な集団での完全な相互監視を

意味しており、現実的には非常に厳しい制約であると考えられる。

メタ規範ゲームにおいては、ほぼ協調が支配的となるが、 $N=20$ において世代数を長くすることで規範が崩壊していることが分かる。集団規模が少し大きくなると協調が安定していることは、先に述べたように完全な相互監視がメタ規範のレベルで徹底しているために、非常に厳しい監視社会となり協調が維持されている。

4. 社会的ワクチンによる協調の安定

我々は、頑健に協調を維持するための方策として「社会的ワクチン」の導入を提案する。ワクチンとは一般的に弱毒化した病原体を接種することで抗体をつくり病原体への感染を予防することをいう。社会的ワクチンとは、集団の中にごく少数の常に裏切り行為をとるエージェントが存在することで、集団全体の規範を高く維持することができる効果をいう。

図 2 は集団に集団規模の 5% のワクチンエージェント（常に裏切るエージェント）を導入した際の大胆さの平均値である。集団規模と世代数を変化させた。5% の理由は、最小規模の 20 に導入できる最低数 1 が 5% であることによる。

規範ゲームにおいては、裏切りが支配的となっているが、メタ規範ゲームにおいては世代数を変化させても協調が安定的に維持されることが分かった。

メタ規範が崩壊する理由は、協調達成時に復讐度の低いエージェントが侵入してきても、裏切り行為がないため、それを発見できないため復讐度の低いエージェントが広まってしまうためであった。しかし、ワクチンエージェントがいることで、復讐度の低いエージェントは発見されやすくなり、集団全体の復讐度が下がることを防ぐことができる。

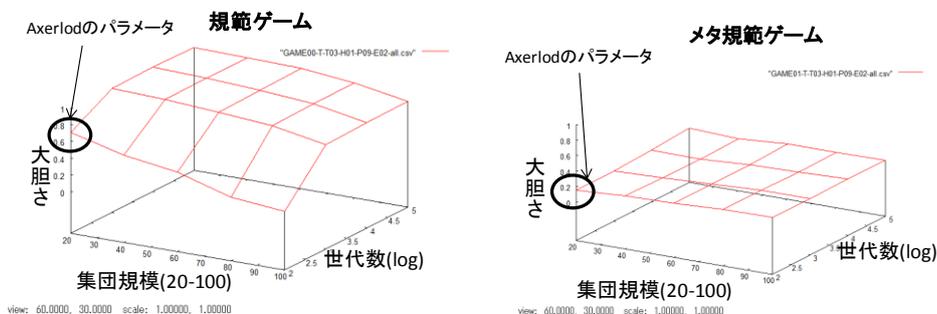


図 2：社会的ワクチンを導入したことによるメタ規範の安定（集団規模の変化）

続いて、突然変異率と世代を変化させた実験の結果を図 3 に示す。メタ規範ゲームにおいて、突然変異率に対しても頑健に協調が維持されていることが分かった。

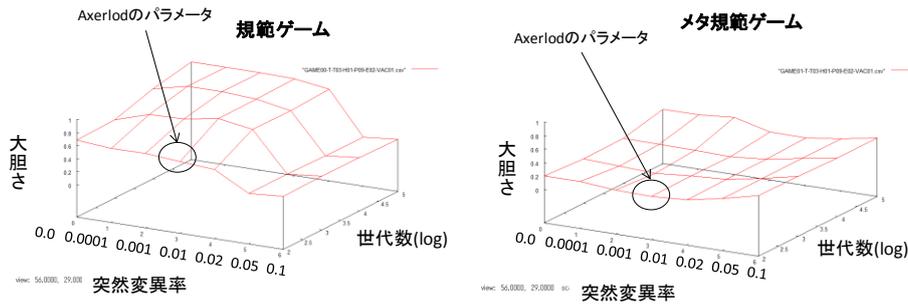


図 3 : 社会的ワクチンを導入したことによるメタ規範の安定 (突然変異率)

5. まとめ

メタ規範ゲームは安定的な協調の維持にメタ規範が有効であるという有益な知見が発表されて以来、多くの研究がその安定性を前提とした研究が多くなされている。しかし一方で、メタ規範が協調を安定させるパラメータ空間は限定的であることが指摘されている。我々は、メタ規範が協調を安定させる条件を探るためにシミュレーション実験をおこなった。その結果多くのパラメータ環境において、協調が崩壊することを示した。また、我々は従来協調が崩壊するといわれているパラメータ空間においても協調が頑健に維持されるための方策として「社会的ワクチン」の導入を提案した。社会的ワクチンを導入することでメタ規範における超長期および様々な突然変異率における安定達成を可能とした。

文献

- 1) Axelrod, R.M., An Evolutionary Approach to Norms, *American Political Science Review*, 80 (4), 1095-1111, 1986.
- 2) Deguchi, H., Norm Game and Indirect Regulation of Multi Agent Society, *Proc. of Computational Social and Organizational Science Conference*, 2000.
- 3) Galan, J.M. and L.R. Izquierdo, Appearances Can Be Deceiving: Lessons Learned Re-Implementing Axelrod's 'Evolutionary Approach to Norms', *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 8(3), <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/8/3/2.html>, 2005.
- 4) Galan, J.M., M. Latek, M. Tsvetovat, and S. Rizi, Axelrod's Metanorm Games on Complex Networks, *Proc. of Agent 2007 Conference*, 271-280, 2007.
- 5) Heckathorn, D.D., Collective Sanctions and Compliance Norms: A Formal Theory of Group-Mediated Social Control, *American Sociological Review*, 55(3), 366-384, 1990.
- 6) Horne, C., and A. Cutlip, Sanctioning Costs and Norm Enforcement: An Experimental Test, *Rationality and Society* 14(285), DOI: 10.1177/1043463102014003002, 2002
- 7) Newth, D., Altruistic Punishment, Social Structure and the Enforcement of Social Norms, in R. Khosla et al. (Eds.): *KES 2005*, LNAI 3683, 806-812, 2005.
- 8) 織田輝哉, 秩序問題への進化論的アプローチ-メタ規範ゲームの展開-, *理論と方法*, 5(1), 81-99, 1990.
- 9) Prietula, M.J. and D. Conway, The evolution of metanorms: quis custodiet ipsos custodes?, *Computational Mathematical Organization Theory*, DOI 10.1007/s10588-009-9056-4, 2009.
- 10) Yamashita, T., H. Kawamura, M. Yamamoto, and A. Ohuchi, Effects of Propotion of Metanorm Players on Establishment of Norm, *Fourth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA'01)*, 2001.