

Unsung hero norms: 協力の進化を支える規範

山本仁志*

岡田勇†

内田智士‡

佐々木達矢§

概要

互恵的な協力関係は持続可能な社会のために欠かせない。理論的または実験的なアプローチによって互恵性が協調社会をもたらすことが明らかになっている。これまでの多くの理論的研究は、フリーライダーの侵入に対して進化的安定な規範を提案してきたが、現実の人間社会において規範は変容し続けている。例えば、マグリブ商人の排他的な規範がジェノバ商人の寛容な規範に淘汰されたという歴史がある。協力の進化の研究においても規範の変容プロセスを理解すること、多様な規範が社会の中で果たす役割を理解することは、重要な未解決の課題である。そこで我々は、多様な規範が存在する環境において協力の進化のダイナミクスを明らかにする。さらには協力の進化のために必須となる規範を明らかにする。我々は、遺伝子工学の技法である Gene Knockout 手法からインスパイアされた Norm Knockout 手法を提案し、協力の進化に必須となる規範を明らかにした。シミュレーションの結果、協力の進化過程では厳格な規範が裏切りを排除したのちに徐々に寛容な規範に多数派規範が推移することが明らかになった。また、ある特定の規範が存在しない社会では協力が進化することはできないことを発見した。これらの規範は多様な規範が混在する環境下で協力の進化のための必須規範である。必須規範のうちいくつかはあたかも *unsung hero* のように協力社会では多数派となることはないが、協力の進化を支える必須の存在である。

1 はじめに

社会における協力的な関係の基盤には互恵性が存在する。自分を助けてくれた他者を助けるという直接互恵が協力社会を生み出すという幅広い知見がある [Trivers 71, Axelrod 81]。しかし関係の流動性が大きい人間社会でより一般的に重要となるのは、誰かを助けた他者を助けるという間接互恵であり、近年多くの研究がなされている [Sugden 86, Alexander 87, Kandori 92, Wedekind 00, Panchanathan 04]。直接互恵および間接互恵に関する多くの研究は、裏切りとフリーライダーの侵入に対して進化的安定となる規範を探求し、いくつかの代表的な規範を提案してきた [Ohtsuki 04, Nowak 05, Ohtsuki 06, Takahashi 06]。これらのアプローチによって、様々な環境下における協力社会を維持するための進化的に安定な規範が明らかになった。

これまでに知られている規範には、裏切りに対して寛容な行動を許容する規範 [Sugden 86] や、これを許容しない厳格な規範など多様な規範 [Takahashi 06] などが存在する。また、協力の維持に頑健な規範を網羅的に探索した研究も存在する [Ohtsuki 06, Takahashi 06]。しかし、これらの規範が混在する環境においても協力は進化可能なのであろうか。

従来の研究では、ある特定の規範が ALLD, ALLC の侵入に対して頑健かどうかを検討するものが多かった。しかしこれらのアプローチでは、注目している規範が社会で共有されるまでのプロセスが理解できない。重要な課題は、いくつもの多様な規範が存在する中で協力が進化する時の規範のダイナミクスを理解することである。なぜならば、フリーライダーの侵入に対して頑健な規範を見つけることができても、その規範が社会の中で創発するかどうかを理解することはできないからである。

これまでの研究は単一の規範の安定性に注目しているが、しかし今日的な課題としてはむしろ多様性の共存と単一規範の支配のどちらが選択されるかが重要である。そのため多様な規範の混在した状態から協力が進化可能なのか、また協力の進化に必須となる規範は存在するのかを明らかにする必要がある。我々は、進化的ゲーム理論のフレームワークを用いて、いくつもの多様な規範が存在する中で協力が進化するダイナミクスを明らかにする。

* 立正大学, hitoshi@ris.ac.jp

† 創価大学

‡ 倫理研究所

§ ウィーン大学

2 モデル

多様な規範が存在する環境下で協力の進化を分析するために、我々はギビングゲームを採用し規範の進化過程を明らかにする。ドナーは Good と評価しているレシピエントに協力し、Bad と評価しているレシピエントに対しては裏切る。ドナーが協力すると、ドナーは c のコストを支払いレシピエントに b ($b > c > 0$) の利益を提供する。ゲームの後、各エージェントは観察者となり他のエージェントの評価をアップデートする。観察者 (i とする) は 2 種類の情報を用いて他者 (j とする) の評価を更新する。一つは j の前回のドナーとしての行動 (C/D) であり、他方は前回 j のレシピエントであった k に対する i の評価である。エージェントは 1 世代の最後に規範を進化させる。進化過程には GA を採用する。エージェントは親となるエージェントを 2 体ルーレット選択によって選ぶ。選ばれた 2 体の親から一様交叉によって新たな子孫の遺伝子が生成される。

我々は遺伝工学で用いられる Gene Knockout [Strepp 98] の技法からインスパイアされた、Norm Knockout 手法を提案する。Gene Knockout は、ある生物に機能欠損型の遺伝子を導入するという、遺伝子工学の技法であり、配列は既知であるが、機能がよくわかっていない遺伝子を研究するとき用いられる。我々は進化シミュレーションにおいて、特定の規範を表現する遺伝子配列だけ集団から排除する方法を採用して、その規範が協力の進化において重要な役割を果たす必須規範であるかどうかを明らかにする。

3 結果

我々は多様な規範の混在状態から協力が進化するダイナミクスを観察するための 16 規範 [Nowak 05, Ohtsuki 07] シミュレーションをおこなった。その結果最も多数派となる規範は、 $SH \rightarrow SJ \rightarrow ST$ という厳格な規範から寛容な規範への推移が観察された。多くのケースで厳格な SH [Takahashi 06] が多数派な状態から、SJ [Kandori 92, Pacheco 06] へと多数派が遷移し、その後により寛容な ST [Sugden 86] や ALLC へと多数派規範が交代していった。一方で、エラーが存在する環境では厳格な規範から寛容な規範への推移は観察されるが、SJ を経由する回数は少なくなった。エラー [Lotem 99] がない環境では見られなかった IS [Nowak 98a, Nowak 98b] を経由する推移のパスが増加した。

続いて我々は、Norm Knockout 手法を用いて存在しなければ協力の進化が創発しない必須規範の存在を明らかにする。エラーの有無にかかわらず、SH と IS をロックアウトすると協力は全く進化しない。我々はロックアウトすることで 1000 世代後の協力率の平均が 0.1 を下回る規範を協力の進化における必須規範と定義する。エラーが存在しない環境では SDIC, IS が必須規範であり、エラーが存在する環境では SH, IS, ST が必須規範である。

4 まとめ

我々のモデルは、間接互惠を用いた協力の進化について 3 つの新たな知見を提供した。最も本質的な貢献は、Norm Knockout 手法の提案による必須規範の発見である。我々は、Norm Knockout 手法を提案することで、規範の混在状態から協力が進化するために必須となる規範の存在を明らかにした。エラーの有無にかかわらず SH, IS は必須規範であり、エラーがある環境では ST が必須規範に加えられる。

次の貢献は *unsung hero* 規範の発見である。協力の進化の研究では、フリーライダーの侵入に対する頑健性によってそれぞれの規範の重要性を検討してきた。しかし、我々はマイノリティでありながら協力の進化には必須となる規範が存在することを明らかにした。協力の進化の過程で一時的にしか多数派規範とならない SH や IS は、協力行動が支配的な状態ではマイノリティではあるが社会全体に与える影響は非常に大きい。我々はこのような、協力の進化に必須ではあるが少数派である規範を *unsung hero* 規範と呼ぶ。*unsung hero* 規範の存在は協力の進化の議論で注目されることはなかった。しかしこれらの規範が存在しなければ、裏切り支配の中から協力が創発することはないのである。協力が進化する過程における *unsung*

hero 規範が存在することを示すことで初めて、協力社会を維持する規範と協力社会を生み出す規範のそれぞれの重要性が明確になる。

最後は多数派規範の推移の発見である。従来のフリーライダーの侵入に対する進化的安定の分析では、規範間の優位性が検討できないだけでなく、ある規範が社会で共有されるまでのプロセスが理解できない。また、複数の規範が同時に存在する環境で規範のダイナミクスを分析した研究はいくつか存在する [Uchida 10b, Uchida 10a, Matsuo 14, Lindgren 92, Zagorsky 13, Berg 15]。間接互惠における協力と規範の共進化を分析し、厳格な規範から寛容な規範への多数派規範の推移を明らかにしたことは本モデルの貢献である。

参考文献

- [Alexander 87] Alexander, R.: *The Biology of Moral Systems*, Aldine de Gruyter, New York (1987)
- [Axelrod 81] Axelrod, R. and Hamilton, W. D.: The evolution of cooperation, *Science*, Vol. 211, pp. 1390–1396 (1981)
- [Berg 15] Berg, P. V. D. and Weissing, F. J.: The importance of mechanisms for the evolution of cooperation, *Proc. R. Soc. Lond. B*, Vol. 282, (2015)
- [Kandori 92] Kandori, M.: Social norms and community enforcement, *Rev. Econ. Stud.*, Vol. 59, No. 1, pp. 63–80 (1992)
- [Lindgren 92] Lindgren, K.: Evolutionary phenomena in simple dynamics, in Langton, C. G., Taylor, C., Farmer, J. D., and Rasmussen, S. eds., *Artificial Life II*, pp. 295–312, Addison-Wesley, Redwood City, CA (1992)
- [Lotem 99] Lotem, A., Fishman, M., and Stone, L.: Evolution of cooperation between individuals, *Nature*, Vol. 400, pp. 226–227 (1999)
- [Matsuo 14] Matsuo, T., Jusup, M., and Iwasa, Y.: The conflict of social norms may cause the collapse of cooperation: indirect reciprocity with opposing attitudes towards in-group favoritism, *J. Theor. Biol.*, Vol. 346, pp. 34–46 (2014)
- [Nowak 98a] Nowak, M. A. and Sigmund, K.: Evolution of indirect reciprocity by image scoring, *Nature*, Vol. 393, No. June, pp. 573–577 (1998)
- [Nowak 98b] Nowak, M. A. and Sigmund, K.: The dynamics of indirect reciprocity., *J. Theor. Biol.*, Vol. 194, No. 4, pp. 561–574 (1998)
- [Nowak 05] Nowak, M. A. and Sigmund, K.: Evolution of indirect reciprocity, *Nature*, Vol. 437, No. 7063, pp. 1291–1298 (2005)
- [Ohtsuki 04] Ohtsuki, H. and Iwasa, Y.: How should we define goodness? -reputation dynamics in indirect reciprocity, *J. Theor. Biol.*, Vol. 231, No. 1, pp. 107–120 (2004)
- [Ohtsuki 06] Ohtsuki, H. and Iwasa, Y.: The leading eight: social norms that can maintain cooperation by indirect reciprocity., *J. Theor. Biol.*, Vol. 239, No. 4, pp. 435–44 (2006)
- [Ohtsuki 07] Ohtsuki, H. and Iwasa, Y.: Global analyses of evolutionary dynamics and exhaustive search for social norms that maintain cooperation by reputation, *J. Theor. Biol.*, Vol. 244, No. 3, pp. 518 – 531 (2007)

- [Pacheco 06] Pacheco, J. M., Santos, F. C., and Chalub, F. A. C.: Stern-judging: A simple, successful norm which promotes cooperation under indirect reciprocity, *PLoS Comput. Biol.*, Vol. 2, No. 12, p. e178 (2006)
- [Panchanathan 04] Panchanathan, K. and Boyd, R.: Indirect reciprocity can stabilize cooperation without the secondorder free rider problem, *Nature*, Vol. 432, pp. 499–502 (2004)
- [Strepp 98] Strepp, R., Scholz, S., Kruse, S., Speth, V., and Reski, R.: Plant nuclear gene knockout reveals a role in plastid division for the homolog of the bacterial cell division protein FtsZ, an ancestral tubulin, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 95, No. 8, pp. 4368–4373 (1998)
- [Sugden 86] Sugden, R.: *The Economics of Rights, Cooperation and Welfare*, Oxford: Basil Blackwell (1986)
- [Takahashi 06] Takahashi, N. and Mashima, R.: The importance of subjectivity in perceptual errors on the emergence of indirect reciprocity., *J. Theor. Biol.*, Vol. 243, No. 3, pp. 418–36 (2006)
- [Trivers 71] Trivers, R. L.: The evolution of reciprocal altruism, *Q. Rev. Biol.*, pp. 35–57 (1971)
- [Uchida 10a] Uchida, S.: Effect of private information on indirect reciprocity, *Phys. Rev. E*, Vol. 82, No. 3, p. 036111 (2010)
- [Uchida 10b] Uchida, S. and Sigmund, K.: The competition of assessment rules for indirect reciprocity, *J. Theor. Biol.*, Vol. 263, No. 1, pp. 13–19 (2010)
- [Wedekind 00] Wedekind, C. and Milinski, M.: Cooperation through image scoring in humans, *Science*, Vol. 288, No. 5467, pp. 850–852 (2000)
- [Zagorsky 13] Zagorsky, B. M., Reiter, J. G., Chatterjee, K., and Nowak, M. A.: Forgiver triumphs in alternating Prisoner’s Dilemma., *PLoS ONE*, Vol. 8, No. 12, p. e80814 (2013)