

# 思春期における協力行動の計算論的プロセスの発達的变化 (中間報告)

玉川大学脳科学研究所 田中 大 貴

## Developmental changes in the computational process of cooperative behavior during adolescence

Brain Science Institute, Tamagawa University, TANAKA, Hiroki

### 要 約

近年の縦断研究により、見知らぬ他者に対するヒトの協力行動は、思春期初期から中期にかけて増加することが示されている。しかし、このような増加パターンが具体的にいかなる意思決定下の計算論的プロセスの変容によってもたらされているのかはいまだに検討されていない。そこで本研究では、実験参加者の経済ゲームの行動データからその行動の潜在的メカニズムの個人差を推定することで、思春期における協力行動の変化と関連する計算論的プロセスを明らかにする。

**【キー・ワード】** 協力, 思春期, 計算論モデリング, 強化学習

### Abstract

Recent longitudinal studies have shown that human cooperative behavior toward strangers increases from early to mid-adolescence. However, what computational processes under social decision-making are altered to produce this pattern has yet to be examined. Here, we clarify the computational processes associated with change in cooperative behavior during adolescence by estimating individual differences in the latent mechanisms of the behavior based on participants' data from the experiment of economic game.

**【Key words】** cooperation, adolescence, computational modeling, reinforcement learning

### 問題と目的

ヒトの協力行動は他の種に比べ顕著に見られ、血縁者や見返りの期待できる相手のみならず全くの他者に対しても行われる (Bowles and Gintis, 2011; Nowak and Highfield, 2012)。これまでの研究で、見知らぬ他者に対する協力的なふるまいは、思春期初期 (12 歳-) から中期 (15 歳-) にかけて増加し、思春期後期および成人期への移行 (18 歳-) に伴って平坦化することが示されている (Padilla-Walker et al, 2017)。しかし、意思決定下のどのような潜在的・計算論的プロセスの変化によって、こ

のような協利行動の増加パターンが生じるのかはいまだ検討されていない。

近年、ヒトの協利行動の計算論的プロセスについて、大きく分けて二つのメカニズムの存在を示唆する結果が報告された (Yamagishi et al., 2017)。この研究結果によれば、人々がもともと持っているデフォルトの社会的選好が他者の利得を気にする *prosocial* 型であれば直感的に、自身の利得のみを気にする *proself* 型であればその選好を抑制して熟慮的に協利行動がなされる。この知見は、協利行動の生起には、(1)人々の「デフォルトの社会的選好」と、(2)場面場面に応じてそうした選好を制御するという「状況的適応」が関わっていることを示唆している。そこで本研究では、協利行動を生み出すこれら二つの要素が、思春期においてどのように変化しているかを明らかにすることを目的とする。具体的には、主に以下の二つの仮説の検証を行う。

仮説 1: 思春期における発達に応じて、社会的意思決定場面における「デフォルトの社会的選好」が *prosocial* 型になる。

仮説 2: 思春期における発達に応じて、社会的意思決定場面における「状況的適応」の能力が増加する。

また、「状況的適応」は、*proself* が相手に協利した方が得だと判断して(例: 相手との長期的な協利関係が見込める)行動を協利的に切り替える場合だけでなく、*prosocial* が相手に協利すると損だと判断して(例: 相手が自身の協利に対して搾取的にふるまってくる)行動を非協利的に切り替える場合にも必要となる。ここでは前者のように協力の頻度を上げることを「正の状況的適応」、後者のように協力の頻度を下げることを「負の状況的適応」と定義する。先行研究によると、成人において相手からの搾取リスクを高く見積もる人ほど社会的意思決定場面において行動までの時間が遅くなる。加えて、時間をかけて意思決定を行った *prosocial* ほど非協利的にふるまう (Yamagishi et al., 2017)。このことは、「負の状況的適応」が少なくとも成人の一部に備わっていることを示している。同時に、定義により「負の状況的適応」は非協利的なふるまいを促すメカニズムであることから、成人に比べて協利行動を見せない思春期初期においても (Padilla-Walker et al, 2017)、このメカニズムはすでに備わっている可能性がある。そこで、上記の仮説 2 について以下の補助仮説の検討も行う。

仮説 2a: 思春期における発達に応じて「正の状況的適応」は増加するが、「負の状況的適応」は変化しない。

仮説 2b: 思春期における発達に応じて、正負問わず「状況的適応」が増加する。

## 方 法

### 参加者

10-18 歳の男女計 50 名を調査対象とする。

## 課題

参加者の協力行動を繰り返し四人のジレンマゲームによって測定する。参加者は個々に区切られたブースの中で、パソコンを用いてゲームを行う。ゲームは計 100 試行で構成されており、全ての試行を同じペアで行う。各試行の最初に両プレイヤーは実験者より 10 円を受け取り、ペアの相手にその 10 円を渡すかどうかを同時に決める。渡す場合、相手にはその元手の 3 倍である 30 円が渡り、自身は 10 円を失う。渡さない場合、相手は何も受け取らないが、自身は 10 円を保持することができる。両者の選択が終わったのち、結果をフィードバックし、次の試行に移行する。

参加者は同時に参加している別のブースの相手とゲームを行うと教示されるが、実際の相手はコンピューターである。コンピューターは最初いかなる参加者の行動を受けても次の試行で必ず非協力的にふるまうが、試行が進むにつれ、徐々に参加者の(非)協力行動に対し次の試行で(非)協力を返す(=応報)確率変動するようにプログラムする。すなわち、このゲームにおいて 100 試行の合計獲得利得を上げるには、相手の応報確率の変動に適応して、自身の(非)協力的な選好を制御する必要がある。

## パラメータ推定

繰り返し四人のジレンマゲームの行動データに標準的な強化学習モデル (Sutton and Barto, 1998) を当てはめることによって、参加者の「デフォルトの社会的選好」および「正/負の状況的適応」パラメータを推定する。このモデルでは、ラウンド  $t$  でとった協力/非協力という二値の行動  $A_t$  の主観的価値  $Q_t[A_t]$  が以下の式で更新される。

$$Q_{t+1}[A_t] = Q_t[A_t] + \alpha \cdot (r_t - Q_t[A_t])$$

右辺にある  $\alpha$  は学習率、 $r_t$  はラウンド  $t$  での報酬を示しており、 $r_t$  と  $Q_t[A_t]$  の差分に学習率  $\alpha$  を掛けた値が  $Q_t[A_t]$  に加算され、次のラウンドの行動価値  $Q_{t+1}[A_t]$  となる。一般に、各行動の報酬確率(応報確率)がラウンドごとに変動する場合、学習率  $\alpha$  が高いほど最適な行動を取ることができる (Zhang et al, 2020)。すなわち、本研究における「状況的適応」とは、この学習率パラメータを意味する。通常の強化学習モデルでは  $\alpha$  の値はひとつだが、今回の研究では協力の頻度の増加と減少に関わる学習率は別々であると仮定する。この仮定により、各個人の「状況的適応」を正/負別に推定可能となる。一方、「デフォルトの社会的選好」とは、ゲーム開始時におけるデフォルトの協力の行動価値  $Q_0[A_t = \text{協力}]$  を意味しており、この値が低いほど **proself** 型、高いほど **prosocial** 型となる。これらのパラメータをベイズ推定し、参加者の年齢とパラメータ推定値の関連を検討する。

## 現在の進捗状況

2023 年 1 月現在、繰り返し四人のジレンマゲームを実施するためのプログラム、および強化学習モデルのパラメータ推定用のコードを作成した段階である。参加者は玉川大学脳科学研究所が所持し

ている思春期世代プールを用いる。今後はそのプールからの参加者リクルートを実際に行って実験を実施し、50名分のデータを取得する予定である。

## 引用文献

- Bowles, S., & Gintis, H. (2011). *A Cooperative Species: Human Reciprocity and Its Evolution*. Princeton University Press.
- Nowak, M.A. and Highfield, R. (2012) *Super Cooperators: Altruism, Evolution, and Why We Need Each Other to Succeed*. Free Press, New York.
- Padilla-Walker, L. M., Carlo, G., & Memmott-Elison, M. K. (2018). Longitudinal Change in Adolescents' Prosocial Behavior Toward Strangers, Friends, and Family. *Journal of research on adolescence*, 28(3), 698–710.
- Sutton, R. S., Barto, A. G. (1998). *Reinforcement Learning: An Introduction*. The MIT Press.
- Yamagishi, T., Matsumoto, Y., Kiyonari, T., Takagishi, H., Li, Y., Kanai, R., & Sakagami, M. (2017). Response time in economic games reflects different types of decision conflict for prosocial and proself individuals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(24), 6394–6399.
- Zhang, L., Lengersdorff, L., Mikus, N., Gläscher, J., & Lamm, C. (2020). Using reinforcement learning models in social neuroscience: frameworks, pitfalls and suggestions of best practices. *Social cognitive and affective neuroscience*, 15(6), 695–707.