

利他的・道徳的行動を引き起こす効用関数の進化シナリオ§

新川 広樹¹, 鈴木 麗璽², 有田 隆也³名古屋大学[‡]

1. 背景

人間の利他的行動や道徳的行動は利己主義より不利にもかかわらずなぜ進化してきたのか。このような行動戦略の進化を説明するいくつかのメカニズムが主に理論生物学で提示されてきた。しかし行動戦略とそのような行動を生む主観的効用との間には隔たりがある。本研究では、客観的な利得によって戦略を直接進化させる従来手法ではなく、利他的選好を表す効用関数の最大化により行動が決定される一方、客観的な利得により進化が駆動されると考える間接的進化[1]に従い、資源分配ゲームに適用した進化実験を行い、エージェント間の過剰な要求の衝突による利得損失の影響に応じて効用関数がいかに進化するか検討した。

2. モデル

各エージェント ($N = 100$) は独自の効用関数を持ち、単純な1対1の資源分配ゲームを総当たりで行う。全ゲーム終了後、各エージェントは得た資源量を合計した総利得 Ω_i を適応度とする。遺伝的操作を適用して、次世代のエージェントの効用関数を決定する。これを10,000世代繰り返す。

2.1 ゲームの流れ

1. 資源生成: エージェント集団から2つのエージェント i, j ($i \neq j$) を抽出し、そのペアに対して資源 ($R_{init} = 100$) を生成する。

2. 要求値計算: エージェントは、効用関数(式(4))を最大化する自分の要求値 ($D_i \in \{0, 1, \dots, R_{init}\}$) を採用する。モデルの単純化のため、相手は総資源 R_{init} から自分の要求値を差し引いた要求値 ω_j を都合よく採用すると考えるものとして計算する。

3. 闘争損失: 式(1)の R_{real} は要求量の和 ($D_i + D_j$) が資源 (R_{init}) を超え闘争が発生したために減少した資源総量を表す。闘争損失率 (LR) でこの影響を調整する。

$$R_{real} = R_{init} \times \left(1 - (LR \times \frac{\max((D_i + D_j - R_{init}), 0)}{R_{init}})\right) \dots (1)$$

4. 資源分配: 式(2)に従い、 R_{real} は各エージェントに要求値 D_i, D_j に比例して分配される。 $\omega_{res,i}$ と

$\omega_{res,j}$ はそれぞれ i, j の利得とし、変動確率 0.01 で範囲 $[0, 100]$ 内のランダムな値に変化する。

$$\omega_{res,i} = R_{real} \times \frac{D_i}{D_i + D_j}, \omega_{res,j} = R_{real} \times \frac{D_j}{D_i + D_j} \dots (2)$$

5. 利得・効用計算: エージェント i は、効用関数(式(4))に $\omega_{res,i}$ と $\omega_{res,j}$ を代入して効用 $\mu_{res,i}$ を計算する。一世代分の全ゲーム終了後、各エージェントは自身の全ての $\omega_{res,i}$ と $\mu_{res,i}$ を其々合計し、総獲得利得 Ω_i と総獲得効用 U_j とする。

2.2 効用関数

エージェントの効用関数は以下の4つの選好で構成されており、最初の3つが典型的な利他的選好や道徳的選好などを表す。 $\alpha_{CDA}, \alpha_{RA}, \lambda_{RA}, \beta_{IA}, \gamma_{IA}$ は各選好の利他度合い等を決める係数である。

I. 条件付き利他選好[2](CDA): i が満足しているときには利他的であるが、貧しいときは他の人に利他的に振る舞う余裕がない選好。

II. 互恵的利他選好[3](RA): i が自分の利得と同じくらい相手の利得を気にする選好。

III. 不公平回避選好[4](IA): i が自分自身が獲得した利得と相手が獲得した利得との間の不平等を最小化しようとする選好。

IV. 利己選好[5](HE): i が自分自身の利得のみを最大化しようとする選好。

$$CDA: \mu_{CDA,i} = \omega_i \times \omega_j^{\alpha_{CDA}}$$

$$RA: \mu_{RA,i} = \omega_i + \frac{\alpha_{RA,i} + \lambda_{RA} \times \alpha_{RA,j}}{1 + \lambda_{RA}} \omega_j \dots (3)$$

$$IA: \mu_{IA,i} = \omega_i - \beta_i \times \max(\omega_j - \omega_i, 0) - \gamma_i \times \max(\omega_i - \omega_j, 0)$$

$$HE: \mu_{HE,i} = \omega_i$$

エージェント i の効用関数は式(3)に基づき式(4)で定義される。ここで $p_{CDA}, p_{RA}, p_{IA}, p_{HE}$ は、エージェントが各選好をどれだけ重視するかを示す重みである。各選好の効用の値域は異なるため、4つとも $[0, 100]$ となるよう正規化した。

$$\mu_i = p_{CDA} \times \left(\frac{\mu_{CDA}}{25}\right) + p_{RA} \times \left(\frac{\mu_{RA} - 100}{2}\right) + p_{IA} \times \left(\frac{\mu_{IA} - 100}{2}\right) + p_{HE} \times \mu_{HE} \dots (4)$$

2.3 進化

本実験ではエージェントの進化のために遺伝的アルゴリズムを用いる。効用関数の各選好の重み4つを遺伝子とする。第一世代の全エージェントは最も利己的、つまり $p_{CDA} = 0, p_{RA} = 0, p_{IA} = 0, p_{HE} = 1$ と仮定する。各選好の係数値は実験毎にある定数に設定する。

§ Evolutionary scenarios of utility functions driving altruistic or moral behaviors

¹ Hiroki Shinkawa, ² Suzuki Reji, ³ Arita Takaya

[‡] Nagoya University, Japan

適応度はエージェントの総獲得利得 Ω_i と設定する。適応度評価の後、まず、最優の3エージェントをエリート選択する。次に、それ以外の個体からルーレット選択での親を選び、ブレンド交叉する。さらに、それぞれの値を突然変異を確率 0.01 で適用する。ブレンド交叉では、親の遺伝子によって決まる区間 $[x_{min}, x_{max}]$ から各新規遺伝子の値を無作為に決定する (式(5), (6))。

$$x_{min} = \min(x_{p1}, x_{p2}) - \alpha_{BLX} \times |x_{p1} - x_{p2}| - l_{BLX} \dots(5)$$

$$x_{max} = \max(x_{p1}, x_{p2}) + \alpha_{BLX} \times |x_{p1} - x_{p2}| + l_{BLX} \dots(6)$$

ここで、 x_{p1} と x_{p2} はそれぞれ親1と親2の x 値を表し、 α_{BLX} ($= 0.2$) は探索範囲拡張の係数、 l_{BLX} ($= 0.001$) は範囲拡張の定数を表す。

3. 実験

闘争損失率(LR)を(0.0, 0.1, 0.2, ..., 1.00)と変えて実験を行い、各環境下での効用関数の変化、特に利己的な初期値だった効用関数が協調的な効用関数に進化するかを確認した。

3.1 係数設定

初期実験から、係数と重みの両方を同時に進化させると、5つ全ての係数が0.9~1.0の値に進化し、4つの重みも全て同値に進化しやすいことが確認された。しかし係数が変化すると本来利他的だった選好も利己的な性格に変化する。故に本実験では、各選好が典型的な性格を持つように係数値を $\{\alpha_{CDA} = 0.7, \alpha_{RA} = 0.7, \lambda_{RA} = 0.7, \beta_{IA} = 0.8, \gamma_{IA} = 0.6\}$ と固定し、重みのみを進化させる。

3.2 結果と考察

基本設定時の各重みについて、全世代・全エージェントに渡って取った平均値を LR ごとにまとめた結果を図1に示す。闘争損失率が低い条件下では、{利己選好 > 互惠的利他選好 > 不公平回避選好 > 条件付き利他選好} のように進化するが、高くなると、{不公平回避選好 > 条件付き利他選好 > 互惠的利他選好 > 利己選好} のように逆転するように進化することがわかった。

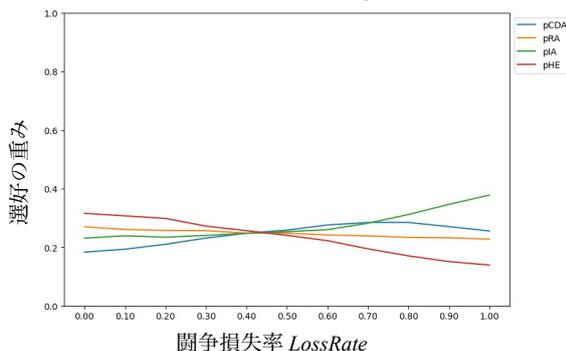


図1：闘争損失率と進化した選好の重み



図2：初期1000世代の選好の重みの世代推移

図2に、各重みの世代推移 ($LR = 0.9$) を示す。利己選好はほぼ一定の値を保ち、他3選好で闘ぎ合う様子が確認できる。また互惠的利他選好と条件付き利他選好が相補的に動く傾向があることが分かった。これはこの LR 下で両選好が似たような要求値を導くことを示していると考えられる。

闘争損失率が高いほど利己選好の重要度が低下するのは、振る舞いが闘争損失を増加させ、最終的に得られる利得が低下するためであると考えられる。また不公平回避選好が上昇するのは、闘争損失を回避する上で最も効果的かつ重要な選好であるためだと考えられる。

4. 結論

本研究では、資源分配ゲームにおけるエージェントの効用関数の進化シナリオに闘争損失率 (LR) が及ぼす影響に着目した。実験の結果、闘争損失の危険性が高いとき、利己選好が弱まり、平等的な選好が強まるようにエージェントの効用関数が進化することが分かった。

この結果により、人類が進化の過程で利他感情を持つようになった理由の一つとして、資源獲得闘争による利得損失が重要であることが、人工生命の観点から確認できた。

参考文献

- [1] Güth, W. and Yaari, M. (1992), An evolutionary approach to explain reciprocal behavior in a simple strategic game. In: Witt U (ed), *Explaining Process and Change: Approaches to Evolutionary Economics*. 23-34.
- [2] Akçay, E., Van Cleve, J., Feldman, M.W., et al. (2009), A theory for the evolution of other-regard integrating proximate and ultimate perspectives. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 19061-19066.
- [3] Levine, D.K. (1998), Modeling altruism and spitefulness in experiments. *Review of Economic Dynamics*, 1, 593-622.
- [4] Fehr, E., Schmidt, K.M. (1999), A theory of fairness, competition, and cooperation. *Quarterly Journal of Economics*, 114, 817-868.
- [5] Weibull, J. W. (1995), *Evolutionary game theory*. Cambridge, Mass: MIT Press.