倫理行動の統計学的分析

Statistical Analysis of Human Ethical Behavior

山崎正勝
東京工業大学名誉教授
科学史・科学論

Masakatsu YAMAZAKI
Professor Emeritus of History of Science
Tokyo Institute of Technology

【Key words】

1. 利他行動 (altruistic behavior)
2. 親切度 (the degree of kindness)
3. 進化ゲーム理論 (evolutional game model)
4. エルゴート定理 (ergodic hypothesis)

【概要】

進化生態学で議論が進んでいる利他主義の研究成果が援用されて，人間の倫理的行動様式が，利己的利己主義(*SS*)，利他的利己主義(*AS*)，利己的利他主義(*SA*)，利他的利他主義(*AA*)の4種類に分類されている．アンケート調査から，行動様式の分布が，*SS*から *AA* に対して，緩やかに減少すること，行動様式の親切度の平均値が，*SS*から *AA* に対してほぼ等差数列的に増加すること，行動様式について平均した親切度が，利他的利己主義の親切度に一致することが実証的に示されている．また，進化ゲーム理論にエルゴート定理を適用し，観察から得られた分布を，二つの仮定、「お互いに協力し合う集団は，生存闘争で有利になる」および「お互いが親切にし合ったときは，周囲が称賛し，危害を与えたときは，周囲が非難する」に基づくモデルで理論的に再現することが試みられている．

1. はじめに

近年，理工系学生に対する科学技術倫理教育が，大学などで取り組まれるようになってきた．生命科学や環境などの分野でも，応用倫理の研究と教育が盛んである．それらの応用的な分野では，ベンサムに始まる功利主義とカントの義務論が，混在した形で援用されることがある．[1] 原理の異なる倫理基準の使い分けには，恣意的な判断が入り込みやすい．可能であれば，一元的な基準で判断できる方が望ましい．

西欧の代表的な倫理理論である功利主義や義務論にも，議論の余地がないわけではない．功利主義は，ベンサムの主張を見る限り，人間の利他的な行動に対する視点を含んでいない．[2] ジョン・スチュアート・ミルの他者の利益を侵害しないという功利主義の修正も，積極的に利他的な行動を主張するものではない．[3] これに対し，他者の利益を優先するカントの義務論は，明確に他者の利益を擁護する視点を持っている．しかし，自己の利益を二の次にするカントの主張は，普通の人々にとっては厳しすぎるかもしれない．[4]

この論文では，一般の人々の行動様式の観察を基礎に，人々がどのような倫理的規範に従って現実に行動しているのかを検討する．第2節では，チャールズ・ダーウィンの道徳的進化論を批判的に摂取するとともに，進化生態学の利他主義の研究成果を援用して，人間の倫理的行動様式を4種類に分類する．第3節では，自己申告型のアンケート調査によって行動様式の分布とそれぞれの行動様式の親切度を調べる．ついで第4節では，進化ゲーム理論にエルゴート定理を適用し，統計力学の手法を使って調査から得られた分布の再現を試みる．

---

[1] 次の文献を参照．齋藤了文·坂下浩司編『はじめての工学倫理』昭和堂(2001).
[2] 山下重一訳・ベンサム「道徳および立法の諸原理序説」『世界の名著 38』中央公論社（1967).
[3] 早坂忠訳・J. S. ミル「自由論」，伊原吉之助訳・J. S. ミル「功利主義論」『世界の名著 38』．功利主義には，アダム・スミスが述べた他人への同情の概念が見当たらない．米林富男訳・アダム・スミス『道徳情操論』未来社(1969)．修正された功利主義からのカントの義務論への批判は，次の文献によく表れている．加藤尚武『現代倫理学入門』講談社(1997).
[4] 吉澤傳三郎·尾田幸雄訳·カント「人倫の形而上学」『カント全集 第11巻』理想社(1969).

2.　倫理的行動様式の基本カテゴリー

2-1　ダーウィンの道徳的進化論の問題性と社会的倫理進化のダイナミズム

ダーウィンは，1871年の『人間の由来』の中で，種としての人間だけでなく，人間の利他行動や道徳観の起源についても，自然選択説によって合理的に説明しようとした.[5] たとえば，協力的な形質を持つ部族とそうでない部族が同じ条件で戦った場合，グループ内で協力し合う部族は，協力しない部族に勝利するに違いない．そして，そのようなことが何世代にもわたって続くと，人間の協力的な形質が遺伝的に形成されるだろう．これがダーウィンの主張であった．

しかし，ダーウィンの道徳的進化論には，優生学的な雰囲気が漂っていた．彼は『人間の由来』で，優生学の創始者で従弟のフランシス・ゴールトンの影響のためか，当時のアメリカ合衆国の発展は，アングロサクソンの優秀さを示しているなどといった発言を行っている.[6] ダーウィンの遺伝的解釈には肯定しがたい面が残る．

道徳的に優れた形質を持ったものが勝ち残るという優生学的な倫理観を回避するには，道徳的･倫理的規範のあり方が，遺伝的にではなく，社会的に形成されたという視点をとる必要がある．もちろん，人類が誕生する過程で，他の動物と異なる倫理的形質を獲得した可能性は否定できない．しかし，その後の人間の社会的な歴史については，倫理的な規範は文化的な事柄として形成されたと見る方が，常識にも適っている．

とはいえ，ダーウィンの「お互いに協力し合う集団は，生存闘争で有利になる」という上述の指摘は，社会的な規範の成立を進化論的に議論するときに，手がかりになる．これをダーウィンの「第1テーゼ」と呼ぼう．ダーウィンは，「仲間からの称賛と非難」が，強力な刺激として社会的道徳の発達を

---

[5] 長谷川真理子訳･チャールズ･ダーウィン『人間の進化と性淘汰』文一総合出版(1999). 特に同書Ⅰ，第5章．この論文では，慣例に従って，この著作を『人間の由来』とした．

[6] 同書Ⅰ，152, 155-156.

促したとも述べている.[7] これをダーウィンの「第2テーゼ」としよう. 後半では, これらのテーゼを社会的倫理進化の原理として採用する.

2-2 進化生態学における利他主義の理解

人間以外の動物にも, 多くの利他的行動が見られる. 近年, 動物行動学ないし進化生態学の分野では, 社会性昆虫などの利他行動に関して, 進化論に基づく理解が大きく前進した. 利他的な行動を行う代表的な例は, ミツバチである. ミツバチの働きバチは, 自分で卵を産んで育てることをせずに, もっぱら妹たちの世話に専念する. また, 外敵が来ると自らを犠牲にして巣を守ろうとする. この種の利他的行動は, 生存闘争で生き残るには不利に働くため, 自然選択説による進化論の一つの謎とされてきた. しかし, 現代の進化論は, これを次のように説明している. 利他的行動は自身の生存にたしかに損失を与えるが, その利他的行動によって自分の血縁者が得る利益が, その損失より大きくなっていれば, その血縁者の全体の適応度（包括的適応度）は正になる. このような条件が満たされるとき, その種は利他的な行動をとるように進化していくことができる. ミツバチの働きバチの利他的な行動は, そうした血縁選択による進化によって獲得されたと考えられている. こうした行動形態は利他主義（altruism）と呼ばれている.[8]

このような理解に従えば, 社会性昆虫の利他主義は, 文字通りの利他的な行動ではない. それはある種の「見かけ」であって, その種の生存戦略の一つとして獲得されたものである. すなわち, 社会性昆虫の利他主義は, 生物が持っている本来的な利己的行動の別の表現形式だということになる. 社会性昆虫の利他主義は,「利他」的な形式をとった「利己」的な行動という意味合いがあるので, それを以下では「利他的利己主義」と呼ぶことにしよう. 通常の利己主義（selfishness）については,「利己的利己主義」と呼ぼう. 前の形容部分は,「見かけ」を表し, 後半の行動に関する「主義」は, その進化的な「本質」を表すという理解である.

---

[7] 同書Ⅰ, 143.

[8] この点に関する代表的な著作は, 次のものであろう. 日高, 岸, 羽田, 垂水訳・リチャード・ドーキンス『利己的な遺伝子』紀伊国屋書店(1991).『人間の由来』邦訳書Ⅰ解説も参照.

2-3 人間における利己主義と利他主義

他の動物に見られる利己的利己主義と利他的利己主義は，人間の中にも存在している．他人のことに構わない個人主義者の行動は，典型的な利己的利己主義である．人間の利己主義的な傾向は，人間が生物であることの何よりの証である．

人間には，ミツバチの利他行動のように，自己の利益から親切を施す者もいる．日本には「情けは人のためならず」という言葉がある．利他的利己主義は，そうした考え方に対応している．顧客に利益を授けながら，自らの利益を得る商人やセールスマンのような行動は，利他的利己主義の代表例である．

しかし，動物とは違う特質もある．人間には，僧侶という，本質的に利他的な行動を行う人たちがいる．マザー・テレサの活動のように，人間には純粋に他人に奉仕する本物の利他主義がありそうである．理想化された戒律の中では，僧侶や尼僧は伴侶を持つことがないので，彼らの遺伝子は，後世に残らない．このような行動様式は，他の動物には見られない．僧侶のような行動は，「見かけ」も「本質」も利他的なので，「利他的利他主義」と呼ぶことができる．

さらに人間の利他主義の中には，見かけが利己的な利他主義，「利己的利他主義」という行動様式があっても構わないように思える．これは，利他的利己主義とは，対照的な行動である．見かけは身勝手だが，本心から他人のためを思って行う親切行動である．親や学校の先生が子供たちに指図することなどは，その例で，言ってみれば，コーチのような行動様式である．

以上の4つの行動様式，利己的利己主義(Selfish Selfishness: 以下では *SS* と略)，利他的利己主義(Altruistic Selfishness; *AS* と略)，利己的利他主義(Selfish Altruism; *SA* と略)，「利他的利他主義」(Altruistic Altruism; *AA* と略)は，さしあたりは主観的な行動規範として理解することができる．実際には，自分が意図したように，そのような行動が客観的に実現されるとは限らない．そこには，認識の問題や，行動の技量が関係するだろう．また，本人が意図しなかった行動が，他人にとって利他的な結果を生むこともあるので，主観的意図と客観的な結果との関係は複雑である．しかし，ここでは，この問題には，これ以上の深入りを避けよう．後半で再現モデルを検討するときは，簡単のため，主観，客観の区別は棚上げにすることにする．

どの行動様式が，倫理的なポリシーに相応しいかについては，特定の選択原理が必要である．西洋哲学の伝統的な考え方との関係は，おおよそ次のようになる.「中庸」という原理によって成り立っているアリストテレスの倫理学では, 両極端の利己的利己主義と利他的利他主義は排除されるだろう.[9] ベンサムの功利主義は，利己的利己主義のパターンに相当すると思われる．彼の有名な言葉,「最大多数の最大幸福」の中で，最大多数を構成するのは，利他的な行為を前提としない独立した個人だからである．カントの義務論の要請は，利己的利他主義の行動と一致している．カントは，自己の幸福ではなく，他者の幸福の実現を最優位に置き，その枠の中で，自己（利益）の完成・開発を主張しているからである．

最近では，ゲーム理論を用いた人間の利他行動の形成過程を論じる研究が盛んに行われている．この論文でも，後半で類似の手法を用いるが，シミュレーションを用いた通常のアプローチには，後述するような理論的な困難が存在し，安定した解を簡単に求めることが難しい．また，シミュレーションモデルでは，この論文でいう利他的利己主義的な行動の発生に，焦点が当てられているが，この論文のように本質的な利他主義を許容する場合，必要な条件を明らかにすることは容易ではない．そこで，以下では行動様式の在り様を，アンケート調査から帰納的に把握することにする．

3.　アンケート調査とその結果

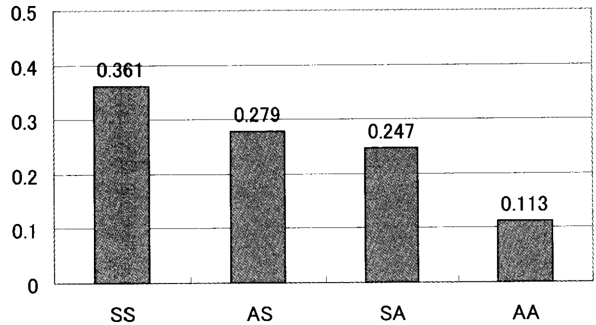
3-1　行動様式の分布

4つの行動様式に関する最初の調査は，筆者の学部講義の受講学生を対象として, 2003 年 2 月に行われた. 調査方法は, 回答者の持ち点を 4 点として, 各行動様式に従って自分の普段の行動様式を採点してもらうものだった．合計点を 4 点としたのは，それぞれの行動様式に均等に配点する可能性を考慮したためである．この調査で用いられたアンケート用紙は，付録に掲載されている. 第 1 図は 2006 年の調査の結果である. 有効な回答数は 268 件であった．縦軸は行動様式の割合を表す．棒グラフの上の部分の数字は，それぞれ

[9] 茂手木元蔵訳･アリストテレス「エウデモス倫理学」『アリストテレス全集 14』岩波書店(1968), 215-216.

の行動様式の割合の値である．結果は利己的利己主義が最大で，最小が利他的利他主義になった．別のクラスの調査でも，ほとんど同じ分布が得られている．

第1図　観察された行動様式分布



3-2　各行動様式の親切度と平均的親切度

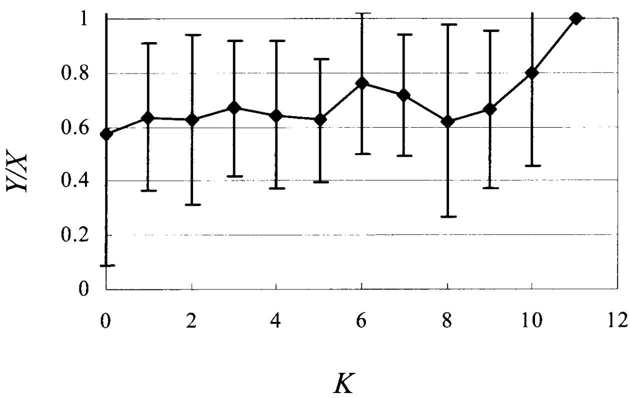
それぞれの行動様式の親切の度合いが分かれば，第1図のような分布から，その集団の平均的な親切の程度が求められる．親切の度合い，親切度とは，親切の大きさを一定として（より正確には，1回の親切の軽重は棚上げにして），それぞれの個人が相手に対して親切を施す比率で定義したものである．

平均的な親切度を求めることには重要な意味がある．もし平均的親切度が決定できれば，それを基準にして，より利己的な行動と，より利他的な行動が，区分できるはずである．そこで親切度についても，行動様式と同じように，自己申告型のアンケートによって，現実的なデータを収集した．

筆者の研究室周辺の学生と教員に対して行った予備調査では，「10人中何人に親切にするか」という質問で親切度を調査したところ，被験者の行動様式と得られた親切度との間によい相関関係が見られなかった．この問題を検討するため，同じ行動様式を選択した二人にインタビューを行った結果，両人が周囲の人たちに関心を寄せる割合が大きく違うことが分かった．そこで質問を二段階とし，まず日頃，どの程度の人数に関心を持つかを質問し（実際には，周囲に20人を想定し，そのうち何人に関心を持つかを訊ねた），そ

の上で，関心を持つ人たち X 人のうち，何人（Y 人）に親切にするかを質問することにした．その結果，Y/X は行動様式とよい相関を示した．

第2図　行動様式と親切度の相関



第 2 図は，前小節と同じ 2006 年の講義の学生から得た調査結果である．横軸の K は，質的に異なる行動様式を量化するために，SS, AS, SA, AA の行動様式に各個人が与えた点数に，それぞれ 0，1，2，3 を掛けて加えたもので，第 1 図の横軸に比例する．0，4，8，12 が，それぞれ純粋の SS, AS, SA, AA に対応する．縦のバーは，平均値の上下に標準偏差を表したものである．

Y/X と K との間には，統計的な分散が大きいものの、正の相関が見られる．得られたデータをもとに最小二乗法で相関関数を二次まで求めたところ，次のようになった．

$$Y/X = 0.619 + 0.00679 \times K + 0.000729 \times K^2$$

K^2 の係数が小さいことは，相関関数がほぼ一次関数で表されることを示している．

この調査では，各行動様式の分布は，次のようになっている．

SS	AS	SA	AA
0.361（0.619）	0.279（0.657）	0.247（0.720）	0.113（0.805）

（括弧内は，上の式で求めた親切度）このデータと上の相関関数から，平均の親切度を求めると 0.675 となり，利他的利己主義 AS の値 0.657 に近い値になった．

以上の調査結果を整理すると，次のようになる．

（1）行動様式の分布は，SS から AA に対して，緩やかに減少する．

（2）各行動様式の親切度の平均値は，SS から AA に対して，ほぼ等差数列的に増加する．

（3）行動様式について平均した親切度は，利他的利己主義の親切度に一致する．

経験から得られた人々の平均的な行動様式は，他者に利益を与えつつ自己の利益を追求するという利他的利己主義になっている．この行動様式は功利主義にあたる利己的利己主義よりも利他的だが，カントの義務論に相当する利己的利他主義よりも利己的である．以上の結果は，純粋に経験的に得られたもので，以下の理論的検討とは，独立である．

4.　分布曲線の理論的再現

4-1　進化ゲーム理論

J. メイナード・スミスは，著書『進化とゲーム理論』で，競争状態にある生物の間の自然選択問題に関して，ゲーム理論を応用した数学的モデルを提示している．[10] 複数の種の間に起こる競争が，最終的に安定状態に到達する場合，彼はそれを「進化的に安定な戦略 ESS」と呼んだ．次の小節の準備のために，数学的な結果は通常のものと同等だが，少し違った角度から安定条件を定式化しよう．

競争状態にある n 種類の生物が ESS に到達したとして，その時の i 番目の生物の分布を p_i としよう．[11] p_i が安定した分布であるためには，他の任意の

---

[10] 寺本英訳・ジョン・メイナード・スミス『進化とゲーム理論』産業図書(1985).

[11] n が 2 の場合は，通常のタカ・ハト・ゲームになる．n が 2 より大きい場合は，安定した解が得がたいが，この点については，第 4 節 4）以下を参照．

分布 q_i で表現される別の戦略が加わったとき，分布 p_i で表示された戦略の適応度 $W(p)$ が，分布 q_i の戦略の適応度 $W(q)$ を上回らなければならない．いま，分布 q_i の戦略が $\varepsilon(<<1)$ だけ加わり，分布が $(1-\varepsilon)p_i+\varepsilon\cdot q_i$ となったとする．1回の対戦による，それぞれの戦略の適応度の変化 $\Delta W(p)$ ，$\Delta W(q)$ は，次のようになる．

$$\Delta W(p)=(1-\varepsilon)\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} p_i E(i,j)p_j+\varepsilon\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} p_i E(i,j)q_j$$

$$\Delta W(q)=(1-\varepsilon)\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} q_i E(i,j)p_j+\varepsilon\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} q_i E(i,j)q_j$$

ここで， $E(i,j)$ は，生物学の場合では，生物 i が生物 j に出会ったときに生物 i が得る利得を表す行列である．p_i が安定した分布，すなわち *ESS* であるときは，どのような q_i に対しても，

$$\Delta W(q)<\Delta W(p)$$

となっていなければならない．いま，

$$q_i=p_i+\Delta p_i \qquad \left(\sum_{i=1}^{n}\Delta p_i=0\right)$$

と表すと，

$$\Delta W(q)-\Delta W(p)=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\Delta p_i E(i,j)p_j+\varepsilon\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\Delta p_i E(i,j)\Delta p_j$$

となる． $\Delta W(q)<\Delta W(p)$ が成り立つためには，任意の $\Delta p_i\neq 0$ に対して，上の式が常に負になっていればよい． Δp_i には，和がゼロになるという条件が付いているので，ラグランジュの未定係数法に従って，新しい変数 μ を導入し，いまの問題を，不等式

$$\Delta W(q)-\Delta W(p)-\mu\sum_{i=1}^{n}\Delta p_i<0$$

の問題に置き換えよう．この場合は， Δp_i を独立に取ることができるので，それらの一次の項がゼロとなる条件から，次の関係式が得られる．

$$\sum_{j=1}^{n}E(i,j)p_j=\mu \qquad (i=1,2,\cdots,n)$$

これから，次のいわゆる Bishop-Cannings の定理が導かれる.

$$\sum_{j=1}^{n} E(i,j)p_j = \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} p_j E(j,k) p_k \qquad (i = 1,2,\cdots,n)$$

また, 不等式の成立には, Δp_i に関する二次の項が負である必要があるので, 次の式が成り立っていなければならない.

$$\varepsilon \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \Delta p_i E(i,j) \Delta p_j < 0$$

4-2　利他行動問題への応用

ダーウィンは，彼の第1テーゼで，太古の「部族」間の生存競争を問題にしたが，この論文では，倫理上の規範の成立は，現在でも日常的に繰り返されている社会現象であるという立場をとるので,「部族」の代りに「コミュニティ」という概念を使おう．コミュニティは，第1図と第2図で表現されるような倫理的行動様式を生み出すと想定される社会集団である．現在の調査データだけからは，残念ながら，それがどんな集団であるかは特定できないが，コミュニティは，個人の倫理的規範を育んだ集団であることは確かなので，家族よりは大きく，国家よりは小さいものになろう．

いま，規範が異なるコミュニティが社会に複数存在し，その間に競争が生じると考えよう．ダーウィンの第1テーゼに従えば，コミュニティ内での協力関係が大きなものが，競争で優位になる．逆に協力の度合いが小さなコミュニティは，生存競争に敗れることになる．現状で正常に機能しているコミュニティは，この生存競争のフィルターをくぐったものと理解できる．

SS, AS, SA, AA のメンバーの割合が，それぞれ p_1, p_2, p_3, p_4 であるコミュニティを考え, このコミュニティが *ESS* になる条件を検討しよう (以下では, 添え字の数字，*1*，*2*，*3*，*4* は，それぞれ *SS, AS, SA, AA* に関係した量を表している)．お互いに協力し合う集団は, 生存闘争で有利になるというダーウィンの第1テーゼから，コミュニティ内の親切量 $S(p)$ が大きくなると，コミュニティの適応度も大きくなると仮定できるだろう．この仮定によって, 生物学の適応度 $W(p)$ に基づく *ESS* の定式化の問題を，$S(p)$ に基づく問題に置き換えることが許されるだろう．

コミュニティの ESS 問題では，異なる分布の倫理的行動様式の分布から構成されるコミュニティ同士の競争が扱われる．生物の場合にも，そのような複合的な分布を基盤とするものがあり，混合戦略と呼ばれている．コミュニティの戦略は，ある種の混合戦略である．

コミュニティの ESS 問題の特徴は，利得行列の性質にある．前小節の $E(i, j)$ は，生物 i が生物 j に出会ったときに生物 i が得る利得であった．コミュニティ同士の競争では，コミュニティ内の親切量の変化が問題になるので，行動様式 i と行動様式 j のメンバーが対した時に，コミュニティ内で発生する親切の量 $G(i, j)$ が必要になる．[12] この場合，$G(i, j)$ は行動様式 i のメンバーが得る利得を表現していない．しかし，前小節の ESS の定式化は，このような利得行列についても妥当するので，コミュニティ問題に適用可能である．

次に「仲間からの称賛と非難」が社会的道徳の発達を促したというダーウィンの第2テーゼに従って，$G(i, j)$ の表示を決定しよう．各個人は大きさ k の親切をやり取りするとし，SS, AS, SA, AA の親切度を，それぞれ r_1, r_2, r_3, r_4 としよう．親切度は，同じ行動様式を取るメンバーでも，個人によってばらつきがあるので，ここでは簡単のため，同じ行動様式の集団の平均的な親切度で表すことにする．

まず，コミュニティのメンバーの親切と，それに対するコミュニティの称賛の効果だけを考えよう．行動様式 i と行動様式 j のメンバーが相対すると，コミュニティ内に，

$$K(i, j) = k \cdot r_i + k \cdot r_j$$

だけ，親切が生じる．双方が親切にする確率は，両者の親切度の積で表されるので，コミュニティが与える称賛 $M(i, j)$ は，称賛の大きさを m とすると，次のようになる．

$$M(i, j) = m \cdot r_i \times r_j$$

$G(i, j)$ は，次のようにコミュニティ内の親切の発生と称賛による減少の合計で表される．

$$G(i, j) = K(i, j) - M(i, j) = k(r_i + r_j) - m \cdot r_i \times r_j$$

---

[12] 協力関係は，一般に2人以上のメンバーの出会いでも生じうる．その場合の G は2次以上の多変数関数になる．ここでは，高次の出会いの効果は省略されている．

次に非難の効果を加えよう．コミュニティからの非難は，メンバーが危害を与えた場合に行われると考えられるが，危害は，「負の親切」で表せるだろう．いま行動様式 i のメンバーが大きさ k の負の親切を行う確率が，親切にしない確率 $1-r_i$ に比例するとして，その係数を $\lambda(\leq 1)$ としよう．親切も危害も与えない中立の態度を取る確率は，$(1-\lambda)\cdot(1-r_i)$ である．負の親切の効果が加えられた $K(i,j)$ は，

$$K(i,j)=k\cdot r_i-k\cdot\lambda(1-r_i)+k\cdot r_j-k\cdot\lambda(1-r_j)$$

となる．コミュニティは，この負の親切を弁償させるとともに，非難の意味で，弁償分の π 倍のペナルティ（処罰）を科すとしよう．この効果を行列 $M(i,j)$ に加えると，

$$M(i,j)=m\cdot r_i\times r_j-(\pi+1)\cdot k\cdot\lambda(1-r_i)-(\pi+1)\cdot k\cdot\lambda(1-r_j)$$

となる．したがって，

$$G(i,j)=k(r_i+r_j)+k\lambda\pi\{(1-r_i)+(1-r_j)\}-m\cdot r_i\times r_j$$

が得られる．負の親切の部分は，コミュニティの弁償の要求によって打ち消されている．これから，1 回の対戦による $S(p)$ の変化 $\Delta S(p)$ は，次のようになる．

$$\Delta S=2k<r>_p+2k\lambda\pi(1-<r>_p)-m\cdot<r>_p{}^2$$

ここで，

$$<r>_p=r_1\cdot p_1+r_2\cdot p_2+r_3\cdot p_3+r_4\cdot p_4$$

は，分布が p_i のコミュニティの平均的な親切度である．

Δp_i に関する二次の項は，次のようになる．

$$\varepsilon\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4}\Delta p_i G(i,j)\Delta p_j=-m\cdot\varepsilon(\sum_{i=1}^{4}r_i\cdot\Delta p_i)^2$$

今の場合は m は正であるので，上式は負になり，二次の項に対する条件は確保されている．また，Δp_i の一次の項がゼロとなる条件，すなわち Bishop-Cannings の定理から，

$$\begin{aligned}&k\{r_i+<r>_p+\lambda\pi(1-r_i)+\lambda\pi(1-<r>_p\}-m\cdot r_i<r>_p\\&=k\{r_j+<r>_p+\lambda\pi(1-r_j)+\lambda\pi(1-<r>_p\}-m\cdot r_j<r>_p\end{aligned}$$

が導かれる．$i\neq j$ のときは一般に $r_i\neq r_j$ だから，

$$k(1-\pi\lambda)-m<r>_p=0$$

が得られる．

4-3 発見論的方法による称賛と非難のモデル

上の式には，三つの未知定数 m,π,λ が含まれている．これらの定数の意味を検討しよう．まず，コミュニティが称賛として与える親切（感謝）の大きさ m は，コミュニティの平均的な親切の大きさと等しいとするのが自然である．そこで次のような仮定１を置こう．

$$m=k<r>_p$$

コミュニティの処罰の大きさ π については，脱税の罰金の例が参考になる．日本では，払われなかった税金については，まず，不払い期間の利子を含む未納金額の納税が求められた上で，納税額の 10%が罰金として科せられる．さらに悪質な場合には，重加算税が 40%まで上乗せされる．したがって，この場合には，

$$\pi \cong 0.5$$

となっている．右の数値は，観察された $<r>_p=0.675$ に近いので，発見論的に

$$\pi=<r>_p$$

と置いてみよう．[13] 脱税の罰金の例では，上の式の左辺の数値は，右辺の数値よりも小さいが，脱税には罰金の他に懲役刑や，懲役刑を免れた場合でも当人の信用の低下などがありうるので，社会が科す処罰の大きさは，罰金だけの数字よりも大きいだろう．したがって，少なくとも数値的には，上の等式は成り立っていそうである．

上の式の両辺に k を掛けると，右辺は仮定１から m と等しくなるので，上の式は，コミュニティが与える処罰の大きさが，コミュニティが与える称賛の大きさに等しいことを表している．すなわち，上の式は，次のような仮定２を置いたことと同じになる．

$$k\cdot\pi=m$$

---

[13] 右辺は定義から，$<r>_p\leq 1$ となるが，左辺の π には，そうした制限がないので，両者は比例するとした方がよいが，π はつねに λ との積で現れるので，比例の効果は λ に組み入れられていると考えてもよい．

アダム・スミスが述べているように，報償（称賛）と処罰とは，善（利益）で返すか，害悪で返すかの違いがあるものの，「報い」，「償う」点では同じ性格の行為である．[14] 仮定2は，さらに，それらの大きさも等しいとしたものである．

すなわち，このモデルでは，コミュニティが，協力関係が成立したときに構成メンバーに与える称賛の大きさと，協力を拒んだときの非難の大きさを，ともにコミュニティが持つ平均的な親切の大きさとしたものになっている．

m と π について，以上のような仮定を置くと，次の式が得られる．

$$1-\lambda\cdot<r>_p-<r>_p{}^2=0$$

いじめや犯罪はありふれた現象であることを考えると，λ は1に近い値を取ると思われる．観察された，$<r>_p=0.675$ の場合は，$\lambda=0.806$ である．上の式を $<r>_p$ について解くと，

$$<r>_p=(\sqrt{\lambda^2+4}-\lambda)/2$$

となる．これから $<r>_p$ は $\lambda=1$ のときに最小値を取り，不等式

$$<r>_p\geq(\sqrt{5}-1)/2=0.618$$

が成り立つ．λ はこの段階で理論的に決定されていない定数であるが，$\lambda=1$ という単純化された場合でも，理論値は観察された値に対して10%程度の差異しかないので，仮定1，2は，妥当な仮定であると言ってよいだろう．[15]

---

[14] 前掲アダム・スミス，165-167.

[15] ここまでの仮定では，λ あるいは $<r>_p$ を特定できていない．しかし，次のような仮定をさらに加えると，それらを決定できる．仮定1，2から，$\Delta S(p)$ は，次のようになる．

$$\Delta S=2k<r>_p+2k\lambda<r>_p(1-<r>_p)-k<r>_p{}^3$$

協調的なコミュニティでは，その内部に $\Delta S(p)$ を常に最大にする規範が働いている可能性がある．これを仮定3としよう．この場合は，さらに次のような条件が課される．

$$\partial(\Delta S)/\partial<r>_p=2k+2k\lambda-4k\lambda<r>_p-3k<r>_p{}^2=0$$

これと Bishop-Cannings の定理から導かれる式とを組み合わせると，λ と $<r>_p$ が，次のように一義的に求められる（括弧内は観測値）．

$$\lambda=0.769\quad(0.806),$$

$$<r>_p=0.687\quad(0.675).$$

ちなみに，$\Delta S(p)$ が最大値となる条件は，次のように満たされている．

$$\partial^2(\Delta S)/(\partial<r>_p)^2=-4k\lambda-6k<r>_p<0$$

4-4 エルゴート定理の援用

メイナード・スミスの進化ゲームでは，構成要素が2つの場合は，Bishop-Canningsの定理から*ESS*が簡単に決まるが，構成要素が3つ以上になると，条件によってはカオス状の振動が出現し，安定した解の存在は一般には確実でないと考えられている．[16] Bishop-Canningsの定理から導かれる関係式は，上の例のように，一般にp_iについて一次の関係式になる．構成要素が3つ以上になる問題では，独立の要素p_iが2つ以上になるので，1つの1次式で表現されるBishop-Canningsの定理だけでは，全てのp_iを決定できない．ここで扱う問題でも，要素が4つあるので，同じ問題が生じる．

しかし，安定した解が存在しない場合でも，解が求められる場合がある．その典型例はジャンケンゲームで，3つの構成要素，グー，チョキ，パーは，制約条件がない通常の場合には，完全にランダムに現れるので，長時間の平均を取れば，それぞれの出現確率は1/3になると予想できる．

また，別の極端な場合として，安定した終着点が存在することがあらかじめ分かっている場合には，同じく長時間平均を取れば，確率が大きい値を持つ解として最終的な解が求まるはずである．いま検討している場合は，第1図のような比較的安定した解が存在することが分かっているので，長時間平均を仲立ちにして，ジャンケンゲームのように，単純な確率の問題に議論を置き換えることが許されるだろう．

時間的に変動する解の長時間平均を取ることによって，議論を確率の問題に焼きなおす方法は，統計力学でエルゴート定理として知られている．統計力学におけるエルゴート定理では，ある力学系の物理量の長時間平均が，位相空間の平均と一致することを要請する．今の問題では，p_iの長時間平均が，i番目の行動様式が選択される場合の数から求められた出現確率と一致することを要請することになる．この論文のモデルでは，Bishop-Canningsの定理で決まる制約条件が付いている．条件付の確率（場合の数）を求める方法は，統計力学ではボルツマン・プランクの方法として知られている．[17]

---

16) 例えば，金子邦彦·池上高志『複雑系の進化的シナリオ』朝倉書店(1988)，73に典型的な図がある．

17) 戸田盛和·久保亮五編『統計物理学』岩波書店(1972)，62.

4-5 ボルツマン・プランクの方法の応用

いま，N人の集団が，調査対象となったとする．各人に割り当てられる点数は，実際の調査と同じように4点だとする．SS, AS, SA, AA のそれぞれに割り振られる点数の合計を，それぞれ n_1, n_2, n_3, n_4 （$n_i = 4N \cdot p_i$）で表すと，定義より，

$$n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = 4N \qquad (A)$$

である．

一方，親切度 rは，3-2の X/Y のように，K の関数であらわされる．4-3のモデルでは，親切度の平均値までは求められたが，その関数までは特定できなかった．そこで以下では，3-2で経験的に得られた関数を使うことにして，親切度 rが

$$Y/X = r_0 + aK + bK^2$$

となるとしよう．いま，SS, AS, SA, AA に対応して Kの値を代入すると，

$$\begin{aligned} <r>_p = r_0(p_1 + p_2 + p_3 + p_4) + 4a(0p_1 + 1p_2 + 2p_3 + 3p_4) \\ +16b(0p_1 + p_2 + 4p_3 + 9p_4) \end{aligned}$$

これから，次の式が得られる．

$$\gamma_1 n_1 + \gamma_2 n_2 + \gamma_3 n_3 + \gamma_4 n_4 = (<r>_p - r_0)N/(a+4b) \equiv E/\varepsilon \qquad (B)$$

ここで，

$$\gamma_1 = 0,\quad \gamma_2 = 1,\quad \gamma_3 = (2a+16b)/(a+4b),\quad \gamma_4 = (3a+36b)/(a+4b)$$

である．

（A）及び（B）を同時に満たす場合の数を数える問題は，原子のエネルギーが εを単位としてγ_1，γ_2，γ_3，γ_4となっている場合に，全エネルギーが E になる条件の下で，$4N$個の原子にエネルギーを配分する方法の数を求める問題と基本的に同じになる．各状態に n_1, n_2, n_3, n_4 個配分する場合の数は，$(4N)!/(n_1! \cdot n_2! \cdot n_3! \cdot n_4!)$ であることが知られている．

n_1, n_2, n_3, n_4のいろいろな組み合わせについて，場合の数の和を取ったものを $W(N, E)$ と置き，

$$W(N,E) = \sum (4N)!/(n_1! \cdot n_2! \cdot n_3! \cdot n_4!)$$

系のエントロピーに相当する $W(N, E)$の対数を最大化する条件を求める．N（と E ）の値が非常に大きいときは，n_1, n_2, n_3, n_4の全てが大きいとするこ

とができる（実際には大きい値のところだけ取り出すことになる）ので，階乗をスターリングの公式で近似すると，

$$\ln[W(N,E)]=-\{n_1\ln(n_1/(4N))+n_2\ln(n_2/(4N))+n_3\ln(n_3/(4N))+n_3\ln(n_4/(4N))\} \quad (C)$$

n_1, n_2, n_3, n_4には，拘束条件（A），（B）が付いているので，この条件のもとで，上の量を最大化しなければならない．それには，ラグランジュの未定係数法を使って，次のような変分を取ればよい．

$$\delta\{\ln[W(N,E)]+\alpha(n_1+n_2+n_3+n_4-4N)+\beta[\gamma_1 n_1+\gamma_2 n_2+\gamma_3 n_3+\gamma_4 n_4-(<r>_p-r_0)/(a+4b)]\}=0$$

（C）を代入して，p_iで書き直し，整理すると，

$$\sum_{i=1}^{4}\delta p_i\{\ln(p_i)+\alpha+\beta\gamma_i\}=0$$

となる．いまの場合は，p_iは独立に取れるので，

$$\ln(p_i)+\alpha+\beta\gamma_i=0$$

が得られる．すなわち，

$$p_1=\exp(-\alpha)\,,\quad p_2=p_1\times x\,,\quad p_3=p_1\times x^{\gamma_3}\,,\quad p_4=p_1\times x^{\gamma_4}$$

ここで，

$$x=\exp(-\beta)$$

である．X/YがKの一次関数である場合は，p_iはp_1を初項とする等比数列になる．αは，関係式(A)が満たされるように決められる．これから，

$$p_1=\exp(-\alpha)=1/(1+x+x^{\gamma_3}+x^{\gamma_4})$$

が得られる．同様に，xは関係式(B)が満たされるように決定すればよい．(B)から

$$(x+\gamma_3 x^{\gamma_3}+\gamma_4 x^{\gamma_4})/(1+x+x^{\gamma_3}+x^{\gamma_4})=(<r>_p-r_0)/(a+4b)$$

が導かれるので，右辺に観察された値を入れて，xについて解くと

$$x=0.800$$

が得られる．ここから

$$(p_1,p_2,p_3,p_4)=(0.370,0.296,0.207,0.127)$$

が導かれる．右辺の観測値は，（0.361, 0.279, 0.247, 0.113）である．以上から，ほぼ等差数列で表される観察された親切度から，第1図のような行動分布が

理論的に導かれた．なお，この場合も，平均的な親切度 0.675 は，利他的利己主義の親切度 0.657 に近い値になっている．

5．まとめ

この論文では，進化生態学の利他主義の研究成果を参考にして，人間の倫理的行動様式を，利己的利己主義（*SS*），利他的利己主義（*AS*），利己的利他主義（*SA*），利他的利他主義（*AA*）の 4 種類に分類し，アンケート調査から，（1）行動様式の分布が，*SS* から *AA* に対して，緩やかに減少すること，（2）行動様式の親切度の平均値が，*SS* から *AA* に対してほぼ等差数列的に増加すること，（3）行動様式について平均した親切度が，利他的利己主義の親切度に一致することを示した．また，進化ゲーム理論にエルゴート定理を適用し，観察から得られた分布を，ダーウィンの第 1 および第 2 テーゼに基づくモデルによって再現することを試みた．

謝辞　本稿が完成するまでに，筆者は多くの友人と知人に助けられた．東京工業大学の藁谷敏晴氏には，研究当初から多岐にわたる貴重な議論をしていただいた．同大学で開催されている科学史関連の火曜日セミナーと技術倫理研究会の参加者の方々には，有益な議論をいただいた．東京工業大学の今田高俊氏には，研究の推進について温かい励ましをいただいた．芝浦工業大学の中井豊氏と東京工業大学の中丸麻由子氏には，数学的なフォーマリズムの妥当性の検討や関連研究のご教示をいただいた．また，東京工業大学の中島秀人氏と名古屋工業大学の瀬口昌久氏には，本誌への投稿を勧めていただいた．東洋大学の中山伸樹氏には，本稿の最終稿に有益なご意見をいただいた．本稿の内容に対する責任は，もとより筆者自身にあるが，記して感謝の意を表したい．

付録　　　　　　回　答　用　紙[18]

1．自分の普段の行動を振り返って，以下の行動パターンを選んで，合計点数が4点になるように自分の行動様式を評価しなさい（最上点は4点．点数に〇印）．

1）	利己的利己行動	4	3	2	1	0	＝A
	例）個人主義者						
2）	利他的利己行動	4	3	2	1	0	＝B
	例）セールスマン						
3）	利己的利他行動	4	3	2	1	0	＝C
	例）コーチ（世話焼き役）						
4）	利他的利他行動	4	3	2	1	0	＝D
	例）お坊さん						

A＋B＋C＋D＝4となっていますか．

合計が4となっていない場合は，合計が4になるように点数を付け直してください．

B＋2C＋3D を計算で求めなさい．　　　　答

2．あなたは普段，周囲の人たちに対して，どの程度の関心を持ちますか．いま仮に周囲に２０人いた場合，何人に関心を示すか考えて，人数で答えなさい．

人　　　＝X

3．あなたは普段，他の人にどの程度，親切にしますか．上にあげた人数のうち，何人に親切にするかを考えて，人数で答えなさい．

人　　　＝Y

Y/Xを求めなさい．　　　　答

---

[18] この調査用紙で求められているのは，行動様式と親切度に関する被験者の主観的な見解である．従って，回答の内容が被験者の行動を客観的に表現しているという保証はない．この意味で，この調査は，通常の社会調査と違っている．しかし，この論文が扱っているのは，主観的な倫理規範であるので，この形の調査には，充分な妥当性があると考えられる．