

# 強い互恵者による2次的ジレンマの解決 I

— 成員がタイプとして規定された行動しか執らない場合のシミュレーション —

A solution of the secondary dilemma by strong reciprocators (I):  
A simulation in which each agent behaves only as specified by its type

加藤 敦季<sup>1</sup>, 月元 敬<sup>2</sup>

KATO Atsuki<sup>1</sup>, TSUKIMOTO Takashi<sup>2</sup>

[キーワード Keyword]	囚人のジレンマ (Prisoner's Dilemma, PD), 2次的ジレンマ (second order dilemma), 強い互恵者仮説 (strong reciprocator hypothesis)
[所属 Institution]	<sup>1</sup> 岐阜大学大学院 (Graduate School of Education, Gifu University), <sup>2</sup> 岐阜大学教育学部 (Faculty of Education, Gifu University)

[要 旨 Abstract] 囚人のジレンマ (Prisoner's Dilemma, PD) とは、2者間に生じる利益への葛藤状態のモデルである。非協力者に対する罰の執行コストを誰が負担するのかといった問題を2次的ジレンマ (second order dilemma) と呼ぶ。2次的ジレンマの解決は、「罰が滞りなく行使される」状況になることを意味する。そこで、本研究ではPD状況に「強い互恵者 (strong reciprocator; Gintis, 2000)」を組み込むことで、2次的ジレンマに対する効果を検討することを目的とした。強い互恵者は、協力・罰コストの双方を負担する存在であり、一定の割合で社会に存在すると考えられている (Gintis, 2000)。この特性は、2次的ジレンマの解決に直接作用し得るものであると考えられる。本研究では最大300人のPD集団を想定し、その構成員として強い互恵者が存在することによる非協力行動の減少の程度を検証するため、コンピュータ・シミュレーションを実施した。成員は事前に割り当てられた行動タイプに基づき、単一の行動のみを執る者として設定された。シミュレーションの結果、強い互恵者は単一の行動を執り続ける集団に対して非協力行動を減らす効果を持つことが確認された。

## 問題と目的

### 囚人のジレンマ

囚人のジレンマ (Prisoner's Dilemma, PD) とは、2者間に生じる利益への葛藤状態のモデルであり、ミクロ経済学やゲーム理論ではよく知られたものである (e.g., 福山・中原, 2012; 伊藤, 1995)。二者択一的な行動 (協力, 非協力) に対して利益や損失が伴う葛藤状態において、通常、人は個人にとって合理的な利益追求行動を執るが、それが他者にとっては合理的な行動ではない時、集団の不利益や他者の不利益 (他の行動であれば、より利益が得られたという意味での不利益) に繋がる可能性がある。これがPD状況である (林, 1995)。この葛藤状態を3者以上の集団あるいは社会に拡張したものを「社会的ジレンマ (Social Dilemma, SD)」と呼ぶ。SDゲームにおいて、対戦は2者間ではなく個人と社会との間で行われる。とはいえ、行動の対象が異なるだけで、協力が非協力かといった二者択一的な行動あるいは選択肢はPDと変わらない。また、社会を2者PD関係の集合のネットワークと捉えた「ネットワーク型PD」も提唱されている (林・神・山岸, 1993)。林他 (1993) は、現実のSD状況において、個人が社会全

体に対してではなく、周囲の成員との2者PD関係の中で意思決定を行っている」と述べている。ネットワーク型PDは、SD状況をより現実場面に落とし込んだモデルであると言えよう。

これまで、多くのPD研究においてジレンマ状況の解決、すなわち2者間の相互協力ないし集団への完全協力の達成のために様々なアプローチが検討されてきた。PD状況の解決策の1つとして、応報戦略 (tit-for-tat strategy) をはじめとした成員の行動戦略によるPD解決が多く検討されてきたが (e.g., 渡部, 1992; 糸井・田中, 2012)、PD研究の初期から指摘されているのが罰 (punishment) のシステムである。Axelrod (1986) は、規範 (norm) によるPD状況の解決を検討する「規範ゲーム」を行った。このゲームは一般的なPDゲームと類似したものであるが、手続きの中に「裏切りを行った者に対して、有償の罰 (復讐) を与えることができる」というルールが組み込まれたものである。直感的にはこのような罰の存在によって裏切り行為が抑えられると思われるのだが、このゲームによる実験において規範は機能不全に陥った。その原因は、罰の行使によって行使者にもコストが発生するためである。現

実場面に置き換えるならば、ここで言うコストは金銭的なものに限られず、罰を行使することによって生じる時間的なコストや、ストレスのような精神的なコストなども含まれるであろう。Axelrod (1986) の規範ゲームでは、成員に対し罰のコストを支払うことへのインセンティブが存在しなかったことから、罰行使の動機が低下し、裏切り行為が多発した。この結果は「裏切り行為に対して罰が与えられる」という規範が無に帰した、あるいは崩壊したと解釈できるであろう。

## 2次のジレンマ問題

Axelrod (1986) が明らかにしたように、罰のコストを誰が負担するのかといった問題は「2次のジレンマ (second order dilemma)」と呼ばれ (Heckathorn, 1989; 寺井・山岸・渡部, 2003), PD状況の解決に立ち足る問題の1つと考えられている。Yamagishi (1986) はSDゲームに公共財として罰のシステムを導入する検討を行っている。その結果、罰のシステムの構築・運用には、罰を受ける、あるいは行使するといった制裁的な側面の他に、他成員に対する基本的信頼といった心理的側面が影響していることが示された。これは他成員を信頼していない成員ほど、罰のシステムに対して寄付を行い、公共財としてのシステム運用に貢献したことを示している。すなわち、Axelrod (1986) の研究において問題となった、罰のコストへのインセンティブの代わりに、「他者に裏切られるかもしれない」という他者への低い信頼が罰のシステムの維持や機能を支えたと考えられる。

また、寺井他 (2003) は、Axelrod (1986) が行った「規範ゲーム」に基づいた3種のコンピュータ・シミュレーションを行い、「集団応報戦略 (generalized tit-for-tat strategy)」による2次のジレンマ問題の解決を検討した。応報戦略はしつぺ返し戦略とも呼称されるように、相手がある試行  $n$  において非協力を選択した場合に、試行  $n+1$  で自身も相手に対し非協力を選択するといった、言わば「やられたらやり返す」戦略である。集団応報戦略は、2者間での反復PDゲームにおける応報戦略をSD状況へと拡張したものであり、「試行  $n$  で  $m$  人以上が協力していたら、試行  $n+1$  で自分も協力する」という戦略である。 $m$  の値は成員に個別に割り当てられた数値であり、自分が協力を選擇する基準値である。寺井他 (2003) のシミュレーションの結果、集団応報戦略における基準値  $m$  が、2次のジレンマの発生割合に影響する要因となり得ることが示された。

## 強い互恵者仮説

一般的に、我々は社会的選好に動機づけられることにより、他者に対し協力行動を執ることが認められる (Bowles & Gintis, 2011)。例えば、電車で他人に席を譲る行為がこれに該当する。見ず知らずの他者との互恵性は、血縁関係や親近関係を越えたものであり、ヒト独自のものであると言われている (李・山岸, 2014; 大坪・小西, 2015; Mifune, Li, & Okuda, 2020)。このような互恵性の存在はしばしば「互恵的利他主義 (reciprocal altruism)」によって解釈される。つまり、互恵的利他主義では、自身が一時的な不利益を被ることになってしまっても、将来的に (同一の) 相手からの返報性に期待することによって互恵性が成立すると捉えられる (Trivers, 1971)。しかしながら、2度と顔を合わすことがなさそうな他者から返報性を期待することは困難である (大坪・小西, 2015)。他者との返報性の往復であれば、互恵的利他主義として解釈できるが、一度きりの関係には当てはめにくい。

これに対し、Gintis (2000) は「強い互恵者仮説 (strong reciprocator hypothesis)」を提唱し、ヒト特有の互恵性について言及している。強い互恵者とは、協力・罰行使の両コストを負担しながら、他者からの返報性を期待しない個人である。したがって、互恵性と強い互恵性は、他者への期待の有無という点で区別されている。大坪・小西 (2015) によると、強い互恵性に関わる議論は、ヒトが集団内で共有された規範への同調傾向を持つことを前提としており、集団への協力傾向と懲罰傾向が進化したものである。李・山岸 (2014) は、PDゲームと第3者罰ゲームを用いた実験室実験を通して、PDゲームにおける協力傾向と第3者罰ゲームにおける懲罰傾向、向社会的価値志向得点との間に一貫した有意な相関を示している。これは、強い互恵性を備えたヒトの存在を仮定できる傍証であると解釈できるであろう。

強い互恵者は、他者からの返報性を期待せず、無償の罰行使者である (Gintis, 2000)。言い換えると、強い互恵者は、利害に依る行動を執るのではなく、あくまで社会的選好に動機づけられた行動を執る。一方、Axelrod (1986) などに見られたような2次のジレンマの根本的な原因は「罰の行使者の不在」と「罰行使のインセンティブの不在」であった。強い互恵者はこれらの欠落を埋める存在であると考えられる。

Bowles & Gintis (2004) は、シミュレーション実験によって、強い互恵者によって非協力者が早期に集団から追放されることを示した。これは、強い互恵者が

非協力行動の減少に対し有効であることの証左であると言える。しかしながら、この結果は現実社会に当てはめにくい点が存在する。まず、Bowles & Gintis (2004) が想定した集団は、我々の祖先にあたる狩猟採集民族集団であり、集団サイズは20名と小規模であった。また、罰の内容も「集団からの一時的な追放」であり、非協力者はその間は別の集団に移るか、単独で行動するだけである。そのため、非協力者の絶対数が変動することはなく、強い互恵者が集団から減少した場合には、非協力者が台頭し、集団が解散することが示されている。このように、Bowles & Gintis (2004) の結果は、ミクロな集団に対してはある程度適用可能であると考えられるが、集団間の移動が容易ではなく、同一の相手と再び対戦する可能性が低いという意味でのよりマクロな集団への適用は適切でないと考えられる。

### 本研究の目的

以上のように、これまでに、「裏切りに対して罰を与える」といった規範に基づく罰のシステムの構築や、成員の行動戦略がPD状況の主要な解決法として検討されてきた。しかしながら、罰のシステムの構築には2次的ジレンマといった問題が回りを、行動戦略には集団全体にその戦略が浸透するまでのタイムラグが発生し得る。そこで、本研究は、2次的ジレンマに対する強い互恵者の効果について検討することを目的とする。

2次的ジレンマの解決は、非協力行動に対して罰が行使され得る状態が持続していることを指す。また、2次的ジレンマの解決は、ひいては1次的ジレンマ（すなわち通常のPD状況やSD状況）の解決に作用する。前述した李・山岸（2014）が示した向社会的価値志向と協力傾向や懲罰傾向との正の関係性から、強い互恵者の存在の可能性はゼロではないとしても、協力コストと罰コストを担うことから、その存在が現実的でないように感じられよう。しかし、具体的な例を挙げるならば、今日の新型コロナウイルス禍において取り締まり活動を行う人々、いわゆる「自粛警察」と呼ばれる人々の存在が該当するだろう。自身は自粛の形で協力行動を執り、非協力者に対しては罰（中には適切と言えないものもあるが）を行使する。このように、日常生活においても強い互恵者に相当する人は存在しており、そういった強い互恵者の存在がPDないしSD解決に対し、どのように寄与するのかを原理的に検討することは意義のあるものであろう。

本研究では、林他（1993）によるネットワーク型

PDを参考に、社会を複数の2者間PDであると捉え、繰り返しのない2者PDゲームの形態を採用する。また、強い互恵者の長期的な効果と、進化（すなわち、社会における適応性）を確認するため、進化的アプローチ（evolutionary approach）を採用する。これらの利用により、強い互恵者が複数世代を経ても存続し続けられるのか（つまり、罰が機能する状況が持続されるか）、またその影響により、その他の成員の人数分布にどのような変化が生じるのか（例：世代を経るにつれて、非協力者が減少していくか）について検討する。

本研究の目的は、集団内の各成員が執る行動を単一化した状況、つまり執る行動が一定である状況において、強い互恵者が非協力行動の減少に作用することを示すことである。仮説は以下の通りである。

1. 強い互恵者のいる集団は、強い互恵者のいない集団に比べ、非協力行動（非協力者）を減らすだろう。
2. 強い互恵者は、非協力者に対して与える罰の大きさが大きいほど、より強く非協力行動を減らすだろう。
3. 強い互恵者は罰の執行コストを負うことから、その人数が多いほど、より強く非協力行動を減らすだろう。

### 方法

#### コンピュータ・シミュレーション

強い互恵者が大規模集団内における非協力行動の減少にどのような寄与を示すかを検討することが目的であるため、コンピュータ・シミュレーションを実施した。シミュレーションの各種設定を以下に示すが、シミュレーションにはR (ver. 4.1.2) 及びRStudio (ver. 4.1.2) を使用した。

なお、本研究では以降、互恵者ではなく強い互恵者しか扱わないので、強い互恵者のことを単に「互恵者」と表記する。但し、場合によっては「強い互恵者」とする場合もある。

#### 集団の構成

条件ごとに異なるが、最大300人の成員からなる集団を想定した。各成員は毎試行異なる相手と対戦するPD状況を設定した。20試行を1世代（レプリケーション）とし、100世代実施した。

成員タイプは、協力行動を取る「協力者 (C)」、非協力行動を取る「非協力者 (D)」、基本的に協力者として振る舞うが非協力者に対しては罰を与える「互恵者 (R)」の3タイプであった。このように規定された各

タイプの行動は、確率的に変わるといった不確定要素を含んでいなかった（確率的な行動選択を含めたシミュレーションは別稿（加藤・月元, 2022）で扱う。これは、単純な社会構造を設定することによって、強い互恵者が存在することそのものの効果を観察することを目的としているからであった。

**シミュレーションの流れ**

シミュレーションの全体的な流れは、Axelrod (1986) 及び寺井他 (2003) によるものを参考に以下のように設定した。

1. 各成員は、ランダムに決定された相手と対戦した。その際、各成員が選択する行動は、割り当てられたタイプに基づいたものであった。
2. 利得構造（後述）に従って、各成員は対戦の結果としての得点を獲得した。なお、互恵者と対戦した非協力者は非協力行動に対して減点され（例えば、罰金を支払うような状況）、互恵者は罰の執行コストを支払った（この減点の大きさはシミュレーションにおいて操作した）。また、この時支払われた点数は、誰かの得点に付与されることはなかった。
3. 1と2の段階を1試行として、20試行分を1世代と定義した。1試行ごとにランダムに対戦が組まれた。
4. 20試行が経過する度に「世代交代」が実施された。累積得点が全体の平均累積得点よりも1.0標準偏差以上低い成員が淘汰された。淘汰された成員の人数分だけ新しい成員が投入された。これは集団サイズによる効果を一定に保つためであった（寺井他, 2003）。新たな成員のタイプ配分は、生存している成員の各行動タイプの比率に基づき決定した（生存しているタイプを継承する子孫であることを想定）。また、生存している成員も同ー行動タイプの子孫と置き換わった。
5. 1～4の段階を1世代として100世代分を実施した。また、1世代終了ごとに、生存・淘汰を問わず、成員の累積得点は0に初期化された。

**利得構造**

PDゲームの利得構造は、 $(C, C) = (3, 3)$ ,  $(C, D) = (0, 5)$ ,  $(D, D) = (1, 1)$  とした (Table 1)。また、互恵者は、非協力者との対戦以外は協力者として振る舞うため、 $(C, R) = (R, R) = (C, C) = (3, 3)$  と設定した。したがって、ここまでの利得構造の設定はゼロサム・ゲーム (zero-sum game) と同じである。

しかし、本研究では、非協力者が互恵者に罰せられ

Table 1

利得構造

第1プレイヤー	第2プレイヤー	
	協力 (C)	非協力 (D)
協力 (C)	(3, 3)	(0, 5)
非協力 (D)	(5, 0)	(1, 1)

る状況を含むため、罰を与える要素も利得構造に組み込んだ。条件によって非協力への罰の重さは異なるが、互恵者と非協力者の対戦における両者のコストとして、負の値の範囲で  $R > D$  となるように設定した（例えば、 $(R, D) = (-2, -5)$ ）。このような罰に関わる利得は誰かの得点にならないため、互恵者が存在するシミュレーション全体としては非ゼロサム・ゲーム (non-zero-sum game) となる。

**要因計画**

互恵者の有無に関する2条件を実施した。互恵者なし条件は、協力者100人と非協力者100人の計200人の集団内でランダムなPD対戦が生まれ、互恵者による罰のプロセスが存在しないだけであり、基本的な流れは前述したシミュレーションの流れと差異はなかった。また、互恵者あり条件では3タイプそれぞれ100名ずつ、計300人の集団に設定した。なお、非協力者と互恵者の利得構造を  $(D, R) = (-2, -1)$  とした。すなわち、非協力者は互恵者と対戦した際には、非協力行動に対する罰として2点支払い、一方の互恵者は執行コストとして1点を失うという設定であった。

上記のシミュレーションを基本とし、さらなる比較・検討のために、互恵者の非協力者に対する人数比率 (2水準: 1.0 vs. 0.5) と、罰の重さ (3水準: -6 vs. -2 vs. 0) を組み合わせた6条件を実施した。

**結果と考察**

**互恵者の有無による世代比較**

互恵者なし条件におけるシミュレーションの結果、およそ3世代目には協力者が全て淘汰され、非協力者が集団を占めるようになった (Figure 1)。また、タイプ別の平均累積得点（各タイプの成員が1世代の間に獲得した得点の平均）は、協力者が淘汰されていくにつれて非協力者同士で共貧状態に陥ることが示された (Figure 2)。

次に、互恵者あり条件のシミュレーションの結果、非協力者はおよそ6世代頃には全て淘汰されることが

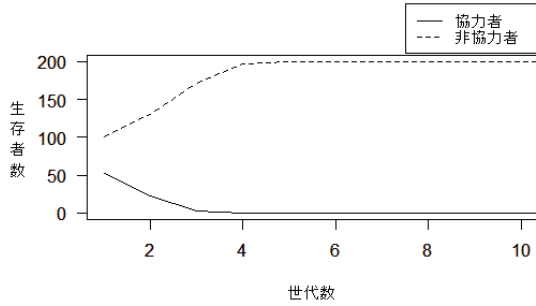


Figure 1. 互恵者なし条件における生存者数の推移。

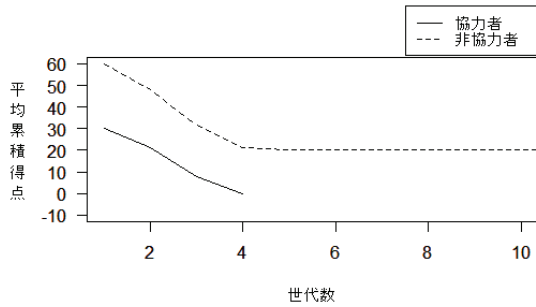


Figure 2. 互恵者なし条件における平均累積得点の推移。

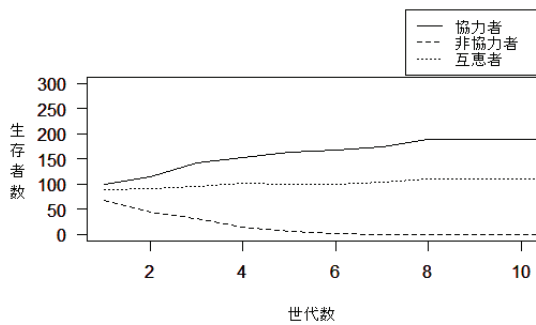


Figure 3. 互恵者あり条件における生存者数の推移。

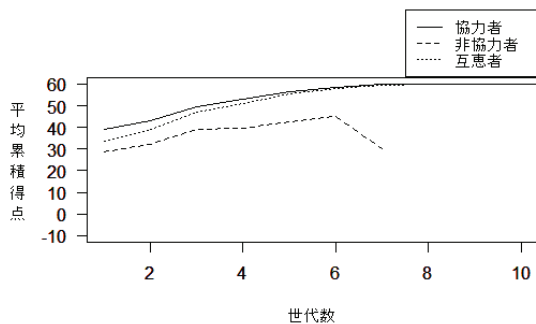


Figure 4. 互恵者あり条件における平均累積得点の推移。

示された (Figure 3)。また、互恵者は基本的に協力者として振る舞うことから、非協力者を全て排除した後には、その生存数の変動も収束した。一方、非協力者は淘汰に向かって、その他のタイプの成員に比べ、低

い平均累積得点を記録し続けることが示された (Figure 4)。

**互恵者の有無による協力者と非協力者の生存分析**

協力者と非協力者それぞれに対し、互恵者の有無を要因とする生存分析を実施した。第1世代からの継承(つまり、子孫を残すこと)の成否は、後の各タイプの成員総数あるいは分布に影響する。生存分析により、シミュレーション開始となる第1世代からの系譜がどの時期に、どの程度存続しているか(途絶えたのか)を追跡し、条件間でその減少の程度に有意な差が存在するかを検証することができる。

協力者と非協力者の生存系譜の推移をそれぞれ Figure 5, Figure 6に示す。生存分析の結果、条件間で生存系譜の推移に有意な差が認められた(協力者:  $\chi^2(1) = 213, p < .001$ ; 非協力者:  $\chi^2(1) = 235, p < .001$ )。互恵者の存在により、協力者は長期に系譜が持続するのに対し、非協力者はその系譜を早期に途絶えることが示された。

以上の結果について、期待値の側面から捉えることができるだろう。互恵者なし条件における1世代目の協力者(C)及び非協力者(D)が20試行で獲得する得点の期待値はそれぞれ次のようになる。

$$E(C) = 20 \{3 (99/199) + 0 (100/199)\} = 29.85$$

$$E(D) = 20 \{5 (100/199) + 1 (99/199)\} = 60.20$$

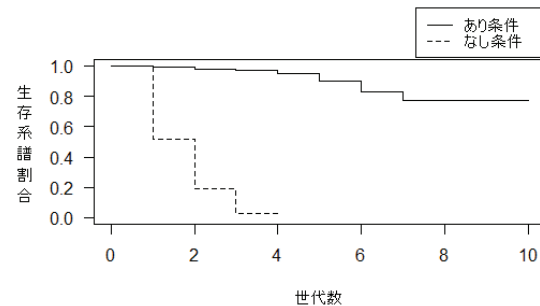


Figure 5. 協力者の第1世代生存系譜割合の推移。

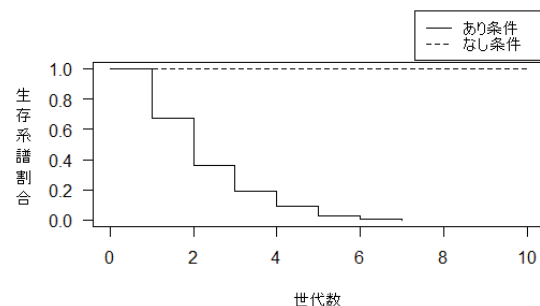


Figure 6. 非協力者の第1世代生存系譜割合の推移。

これに対して、互恵者あり条件では、互恵者 (R) も含めて以下ようになる。

$$E(C) = 20 \{3 (199/299) + 0 (100/299)\} = 39.93$$

$$E(D) = 20 \{5 (100/299) + 1 (99/299) - 2(100/299)\} = 26.69$$

$$E(R) = 20 \{3 (199/299) - 1 (100/299)\} = 33.24$$

このように、互恵者あり条件における非協力者はその総数が最も多い1世代目の時点で、互恵者なし条件の半分以下の得点しか期待できず、その他のタイプの成員と比較しても最も低い得点しか得られない。したがって、世代交代の際、非協力者は優先的にその数を減らすことになる。シミュレーションは、この期待値の低さから捉えられる動向を示しており、互恵者の存在、すなわち互恵者と対峙する機会の存在がトリガーとなり、非協力者が淘汰の道を進んだと考えられる。このことから仮説1は支持されたと言える。

**条件のバリエーションでの比較**

次に、互恵者の機能のバリエーションとして、非協力者に対する互恵者の人数比率に関する2条件 (1.0 vs. 0.5) と罰の重さに関する3条件 (-6 vs. -2 vs. 0) を組み合わせた6条件に関するシミュレーションを分析した。なお、分析手法として用いる生存分析は比較できる水準数が2であるという制約があるため、分析は一部の組み合わせ同士で行わざるを得ない。そこで、Figure 3に示した「人数比率が1.0かつ罰の重さが -2」の基本設定のシミュレーションを軸として比較・分析を行うこととした。

人数比率 = 1.0 における罰の重さの影響 互恵者の人数が非協力者と等しい条件 (1.0条件) において、罰の重さ3水準のうち「-2条件」と「0条件」を比較した。Figure 7は「人数比率が1.0かつ罰の重さが0」の条件での生存者数の推移である。罰の重さが0の場合は互恵者、協力者の順に淘汰され、最終的には非協力者が集団を支配していくことが分かる。

これらの条件における協力者、非協力者の第1世代の生存推移 (Figure 8, Figure 9) について生存分析を行ったところ、いずれも有意な差が認められた (協力者:  $\chi^2(1) = 199, p < .001$ ; 非協力者:  $\chi^2(1) = 154, p < .001$ )。これらの結果は罰の程度が非協力的行動を減少させる重要な要素の1つであることを示している。つまり、非協力者が協力者を裏切ることによって得られる利得が罰によって大きく減らされるほど、非協力者の淘汰が進みやすくなる (罰の重さが最も大きい「-6」

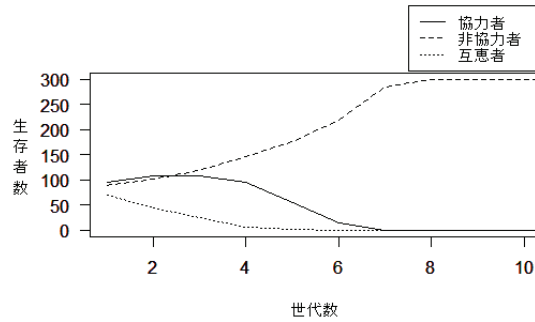


Figure 7. 「人数比率 = 1.0 かつ罰の重さ = 0」条件における生存者数の推移。

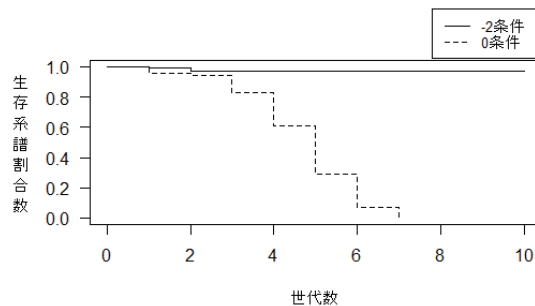


Figure 8. 協力者の第1世代生存系譜割合の推移 (人数比率 = 1.0 における罰の重さ (-2 vs. 0) の影響)。

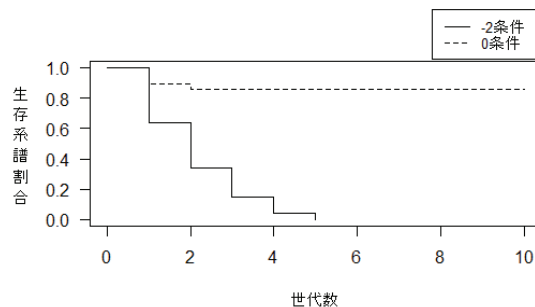


Figure 9. 非協力者の第1世代生存系譜割合の推移 (人数比率 = 1.0 における罰の重さ (-2 vs. 0) の影響)。

の条件も同様の結果であり、分析の記述は省略する)。以上の結果は、仮説2を支持するものである。

罰の重さ = -2 における人数比率の影響 罰の重さが「-2」の条件において、人数比率の2水準 (1.0 vs. 0.5) を比較した。非協力者100名に対する互恵者の人数が、1.0条件では100名、0.5条件では50名であった (協力者の人数はどちらも100名であった)。Figure 10は「罰の重さが-2かつ人数比率が0.5」の条件での生存者数の推移である。人数比率が小さいと互恵者、協力者の順に淘汰され、最終的には非協力者が集団を支配していくことが分かる。

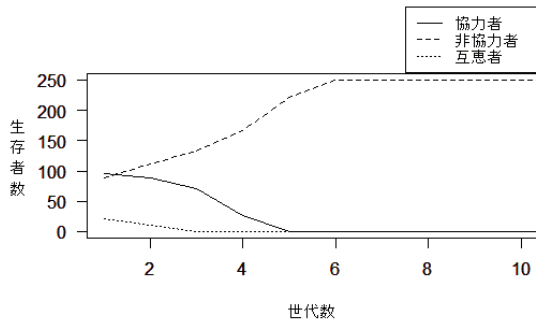


Figure 10. 「人数比率 = 0.5 かつ罰の重さ = -2」条件における生存者数の推移。

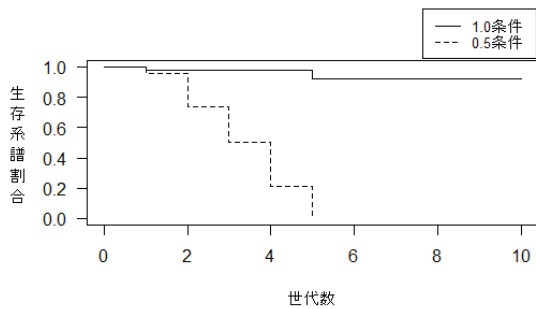


Figure 11. 協力者の第1世代生存系譜割合の推移 (罰の重さ = -2 における人数比率 (1.0 vs. 0.5) の影響)。

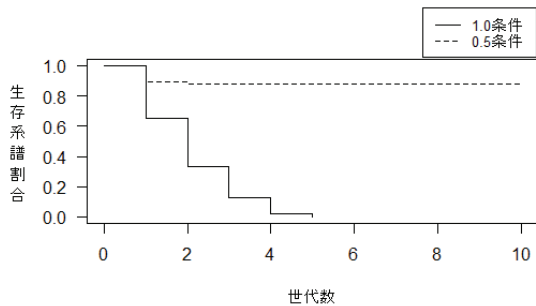


Figure 12. 非協力者の第1世代生存系譜割合の推移 (罰の重さ = -2 における人数比率 (1.0 vs. 0.5) の影響)。

これらの条件における協力者、非協力者の生存推移 (Figure 11, Figure 12) について生存分析を行ったところ、いずれも有意な差が認められた (協力者:  $\chi^2(1) = 190, p < .001$ ; 非協力者:  $\chi^2(1) = 160, p < .001$ )。このことから、互恵者と非協力者の人数比も非協力的行動を減少させる重要な要素であること示しており、仮説3は支持された。

人数比率 = 0.5 かつ罰の重さ = -2 の条件との比較 ここまでの分析により、人数比率と罰の重さが非協力者の淘汰要因となり得ることが示されたが、試

みとして、基本設定のシミュレーション (Figure 3) と、人数比率が0.5、罰の重さが-2である条件のシミュレーション (Figure 13) を比較した。この条件は、人数比率が非協力者に有利で、罰の重さが非協力者に不利にした条件であると言える。Figure 13は、互恵者の人数が比較的少なくても、罰の重さを引き上げることで非協力的行動が減少することを示している。

これらの条件における協力者、非協力者の生存推移 (Figure 14, Figure 15) について生存分析を行ったところ、いずれも有意ではなかった (協力者:  $\chi^2(1) = 0.1, p > .05$ ; 非協力者:  $\chi^2(1) = 2.5, p > .05$ )。この結

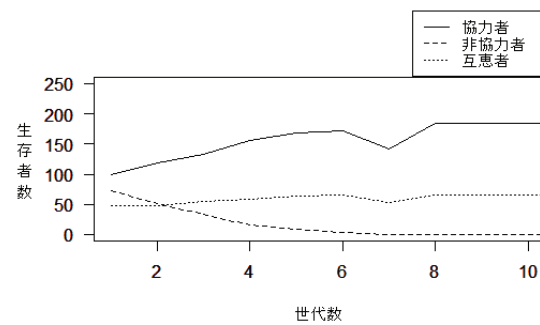


Figure 13. 「人数比率 = 0.5 かつ罰の重さ = -6」条件における生存者数の推移。

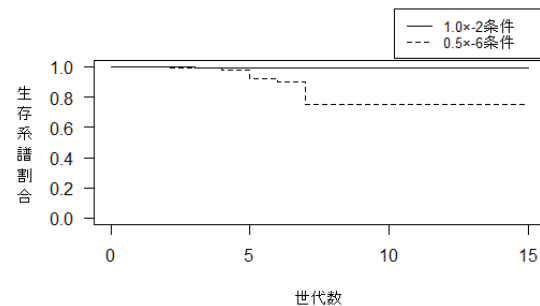


Figure 14. 協力者の第1世代生存系譜割合の推移 (基本設定と「人数比率 = 0.5 かつ罰の重さ = -6」条件との比較)。

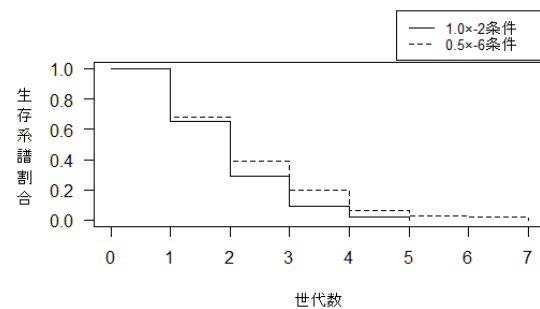


Figure 15. 非協力者の第1世代生存系譜割合の推移 (基本設定と「人数比率 = 0.5 かつ罰の重さ = -6」条件との比較)。

果は、シミュレーションにおける罰の重さと人数比率の影響が同程度のものであったためだと考えられる。

### 結語

各条件におけるシミュレーション結果から、互恵者の存在は非協力行動を減少させる効果を持っていることが示された。より具体的には、互恵者の人数比率（対非協力者）と罰の大きさが、非協力行動の変動に関わる要因であることが明らかになった。すなわち、シミュレーションにおいて、非協力者が淘汰されるか、あるいは集団を占めてしまうようになるかは、「非協力者が互恵者に対戦する回数」と「協力者に対戦する回数」のバランス、及び、罰による損失のインパクトに依存して決まると考えられる。

本研究におけるシミュレーションは、各成員が割り当てられたタイプに基づいて、単一の行動を執り続けるという単純なモデル設定であった。これは1次的ジレンマ及び2次的ジレンマ解決に関わる原理的な挙動を調べるための設定であった。つまり、そこでは、ヒトの持つ行動の確率的あるいは流動的な性質（例：人のふり見て我が振り直せ、魔が差す、生活環境の変化による行動変容など）が捨象されていたことになる。より現実に即した検討とするには、確率的な要素を組み込んだモデルによる検討が必要となる。そのモデルの検討は続く別稿で論じる。

### 引用文献

Axelrod, R. (1986). An evolutionary approach to norms. *American Political Science Review*, 80 (4), 1095-1111.

Bowles, S., & Gintis, H. (2004). The evolution of strong reciprocity: Cooperation in heterogeneous populations. *Theoretical Population Biology*, 65(1), 17-28.

Bowles, S., & Gintis, H. (2011). *A cooperative species: Human reciprocity and its evolution*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

福山 佑樹・中原 淳 (2012). 社会的ジレンマ状況において協力行動を促進する心理的要因の向上を目指すカードゲーム教材の開発と評価 日本教育工学会論文誌, 35(4), 309-319.

Gintis, H. (2000). *Game theory evolving*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

林 奈保子 (1995). 繰返しのない囚人のジレンマの解決と信頼感の役割 心理学研究, 66(3), 184-190.

林 奈保子・神 信人・山岸 俊男 (1993). ネットワーク型囚人のジレンマ：戦略のシミュレーション 社会心理学研究, 8(1), 33-43.

Heckathorn, D. D. (1989). Collective action and the second-order free-rider problem. *Rationality and Society*, 1(1), 78-100.

糸井 良太・田中 美栄子 (2012). 進化型繰返し囚人のジレンマにおける最適戦略の探求 情報処理学会研究報告, 88(3), 1-6.

伊藤 昭 (1995). 利己的なエージェントによる協調的性向の学習 情報処理学会誌人工知能研究会資料, 102, 31-36.

加藤 敦季・月元 敬 (2022). 強い互恵者による2次的ジレンマの解決II — 成員がタイプとして規定された確率的行動を執る場合のシミュレーション — 岐阜大学教育学部研究報告

李 楊・山岸 俊男 (2014). 強い互酬性仮説の検証 — 協力行動と罰行動の関係 — 心理学研究, 85(1), 100-105.

Mifune, N., Li, Y., & Okuda, N. (2020). The evaluation of second- and third-party punishers. *Letters on Evolutionary Behavioral Science*, 11(1), 6-9.

大坪 庸介・小西 直喜 (2015). 強い互恵性と集団規範の維持 — 義憤・第三者罰の存在をめぐる議論 — 感情心理学研究, 22(3), 141-146.

寺井 滋・山岸 俊男・渡部 幹 (2003). 2次的ジレンマ問題に対する集団応報戦略の効果：コンピュータ・シミュレーション研究 社会心理学研究, 19(2), 94-103.

Trivers, R. L. (1971). The evolution of reciprocal altruism. *Quarterly Review of Biology*, 46(1), 35-57.

渡部 幹 (1992). 社会的ジレンマ状況における戦略の選択 実験社会心理学研究, 32(2), 171-182.

Yamagishi, T. (1986). The provision of a sanctioning system as a public good. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(1), 110-116.