



繰り返し囚人のジレンマにおけるExtortion戦略の有効性

米谷, 充史
齊藤, 誠一

(Citation)

神戸大学大学院人間発達環境学研究科研究紀要, 12(2):19-27

(Issue Date)

2019-03-31

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81010660>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81010660>



繰り返し囚人のジレンマにおける Extortion 戦略の有効性

Effectiveness of Extortion Strategy on Iterated Prisoner's Dilemma

米谷 充史* 齊藤 誠一**

Atsushi KOMETANI* Seiichi SAITO**

要約：Zero-determinant 戦略モデルは、繰り返し囚人のジレンマにおいて、1つ前の回の結果に基づいて確率的に選択を行うことで、両者の得点に線形関係を強いることができることを理論的に示した。従来、繰り返し囚人のジレンマにおいては、相互協力関係を維持することのできる互恵的な戦略が有効であるとされてきたが、このモデルに従うと、理論的には、互恵性に基づかなくとも対戦相手の協力を促進する可能性がある。エラーによる意図の不確実性を導入したゲーム実験により、ZD 戦略の1種であり両者の得点の間に搾取的な関係を強いる Extortion 戦略が人間の対戦相手の協力から協力を引き出すことができるかを検討した。エラーの有無で協力率と成績に差はなく、意図の不確実性による Extortion 戦略の有効性への影響は明瞭でなかったが、協力率と成績の関係は、理論的予測通りであり、協力を控えた参加者はコストを支払って Extortion 戦略に罰を与えていた。Extortion 戦略の選択が対戦相手に与える印象が重要であり、搾取的な意図が読み取られるかどうか Extortion 戦略の有効性を左右することが示唆された。

キーワード：繰り返し囚人のジレンマ、協力、Zero-determinant 戦略、搾取、意図の不確実性

問題と目的

無限繰り返し囚人のジレンマ

囚人のジレンマとは、相互作用関係にある2者間に生じる利得の葛藤状態のモデルであり、個人合理性と集団合理性の対立を利得の構造によって表している。これまでに囚人のジレンマは、国際関係や生物進化などの幅広い分野において、協力行動を説明する際に用いられてきた (Trivers, 1971; Axelrod & Hamilton, 1981; Nowak, 2006)。

Figure 1 は、囚人のジレンマの利得構造を表している。囚人のジレンマでは、2人のプレイヤーがそれぞれ協力 (Cooperation) と裏切り (Defection) の2つの選択枝を持ち、相手との意思疎通を行わずに同時に選択を行う。両者が協力を選択した場合の両者の得点は R (Reward)、両者が裏切りを選択した場合の両者の得点は P (Punishment) である。また、一方が協力を選択し、他方が裏切りを選択した場合は、協力を選択したプレイヤーの得点は S (Sucker)、裏切りを選択したプレイヤーの得点は T (Treatment) である。これらの得点は、2つの不等式

$$T > R > P > S \quad [1]$$

$$2R > T + S \quad [2]$$

を満たすように設定される。この状況下では、利得についての葛藤が生じる。すなわち、両者とも相手を信頼して協力し合えば、両者にとってまずまずの結果となるが、両者とも自分にとって得だと思

う行動をとって保身に走れば、両者にとって協力し合った結果よりも悪くなる、という状態である。これは普遍的に起こりうる事態であり、囚人のジレンマはそれを抽象的に表したモデルである。

プレイヤーにとって利得は、生存のための適応度の観点から表される。プレイヤーが自分の利得を可能な限り高めようとする合理的な存在であると仮定すれば、支配戦略である裏切りが必ず選択されることになる。しかし、現実には生じる場面では、しばしば利他的な協力行動が観察される。

ゲームが1回のみ行われる場合には、両者とも裏切りを選択し、相互裏切りとなると考えられる。しかし、ゲームが繰り返される場合には、その回の自分の選択が、その回の得点を決めるのみでなく、後の回の相手の挙動に影響し、後の得点をも左右することを意味するため、相互協力の関係が生じる可能性がある (Axelrod, 1984)。ただし、繰り返される回数を知ってプレイする場合には、最後の回には両者とも裏切りを選択することになり、その前の回には次の回の相手の裏切りを見越して選択を行うということが、最初の回までたどって当てはまるため、全ての回で相互裏切りとなる。実際には、当事者同士が相手と何回つきあうかを知らない場合がほとんどであり、繰り返し回数を知らないでプレイする、無限繰り返しゲームにおいては、相互協力が生じやすくなる。

* 神戸大学大学院人間発達環境学研究科博士課程前期課程
** 神戸大学大学院人間発達環境学研究科准教授

(2018年10月1日 受付)
(2018年11月20日 受理)

	C	D
C	$R(3)$	$T(5)$
D	$S(0)$	$P(1)$

Figure 1 囚人のジレンマゲームの利得行列

戦略トーナメント

Axelrod (1980a, 1980b, 1984) は、繰り返し囚人のジレンマにおける戦略（選択規則）のプログラムを募り、コンピュータ同士で対戦させるラウンドロビン・トーナメントを実施した。そこでは、応報戦略（Tit-for-Tat）が最も良い成績を収めた。応報戦略は、初回は必ず協力を選択し、2回目以降は1つ前の回に相手が出した選択を出すという戦略である。この戦略は、決して対戦相手より高い得点を獲得することのない戦略であるが、幅広い相手との対戦で相互協力関係を維持して高得点を獲得したため、トーナメント全体では好成績を収めた。

トーナメントの結果から、成功する戦略の特徴がいくつか提示された。その中に、上品さ（niceness: 自分からは裏切らないこと）と寛容さ（forgiveness: 相手の裏切りを赦すこと）がある。上品な戦略同士であれば、相互協力関係が維持され、両者とも毎回 R の得点を獲得できる。また、相手から裏切られた際には、裏切りを返すことで怒りを表明し、相手の搾取に甘んじない態度を示すことが重要であるが、一方で、高得点を獲得するためには、相手の裏切りを赦して協力し、なるべく早く相互協力関係を再構築する寛容さが重要である。応報戦略は1つ前の回の相手の裏切りに対して即座に裏切りをもって報復するが、それ以前の裏切りについては過去のこととして報復の対象としない。トーナメントの成績では、上品さによって成功する戦略と成功しない戦略が明瞭に分かれており、成績上位となった戦略のほとんどが上品な戦略であった。また、相互裏切りの連鎖を最小限に留めることが、得点を高める上で有効であったため、上品な戦略の中でも寛容なもののほど良い成績を収めた。

応報戦略をはじめとする上品な戦略がトーナメントにおいてうまく立ち回る一方で、上品でない戦略の多くは、対戦相手には勝利できたとしても、高い得点を獲得することには失敗した。トーナメントにおいて上品でない戦略が成功しなかったのは、参加した戦略の多くがそれほど寛容でなかったからである。Axelrod (1984) は、応報戦略は相手から搾取しようとする戦略よりもたくましい戦略であり、無用の諍いを避けることで幅広い環境において様々な戦略とうまくつきあうことができるとしている。

長期的な相互作用関係においては、相手との間に安定した相互協力関係を構築、維持することが重要である。そのためには互恵性を備えた戦略が有効であり、互恵性が相互協力を可能にすることが示唆されている (Nowak & Sigmund, 1992; Nowak &

Sigmund, 1993; Wedekind & Milinski, 1996; Milinski & Wedekind, 1998; St-Pierre, Larose, & Dubois, 2009)。しかし、応報戦略の有効性が示されたのは、応募された戦略の総当たり戦の環境においてのみである。トーナメントの環境は応募された戦略の性質に依存しており、上品でない戦略の裏切りを即座にでも赦す寛容な戦略が多ければ、上品でない戦略も有効となる可能性がある。

Zero-determinant 戦略

Press & Dyson (2012) が提示した Zero-determinant (ZD) 戦略は、繰り返しゲームに長期的な得点についての定式を導入する戦略である。この戦略は、ある回に協力を選択する確率が、1つ前の回の結果に対応しており、確率的に選択を行うことで自他の得点の間に線形関係を強いる。このモデルに従えば、互恵性によらずとも、つまり、相手の協力に対して常に協力を返し続けなくとも、得点についての傾きが正の線形関係の中でなら、相手の協力を促進することが可能であると考えられる。

ZD 戦略は、自他の得点に強いる関係性によって下位分類がなされる。応報戦略も ZD 戦略のモデルの中で捉えることができ、自他の得点をほぼ等しく保ち、公平で対称的な関係を強いる戦略であると説明される。それに対して、相手の得点より自分の得点の方が高くなる関係を強いる戦略を Extortion 戦略と呼び、逆に自分の得点より相手の得点の方が高くなる関係を強いる戦略を Generosity 戦略と呼ぶ。いずれの戦略も、強いている線形関係の傾きは正であり、一方の得点が高くなれば、他方の得点も高くなるというものである。

Extortion 戦略は、相手が裏切った次の回は必ず裏切りを選択し、相手が協力した次の回には概ね協力を選択するが、そこに一定の確率で裏切りを混ぜて選択する戦略である。この戦略に協力を選択させるには、その対戦相手は協力を選択するしかなく、協力を多く選択すればするほど、Extortion 戦略の協力も多くなり、相互協力が増えることで、両者の得点が増大する。対戦相手の最適反応は全面協力であり、その戦略がとられた場合には Extortion 戦略の得点は R を獲得し続けた結果よりも高くなり、全面協力した相手の得点は R を獲得し続けた結果よりも低くなる (Figure 2)。

対戦相手が合理的であれば、Extortion 戦略に対して協力を選択し続けると考えられる。しかし、現実の人間の相互作用における戦略の有効性は、ゲーム実験によって経験的に検討される。理論的に

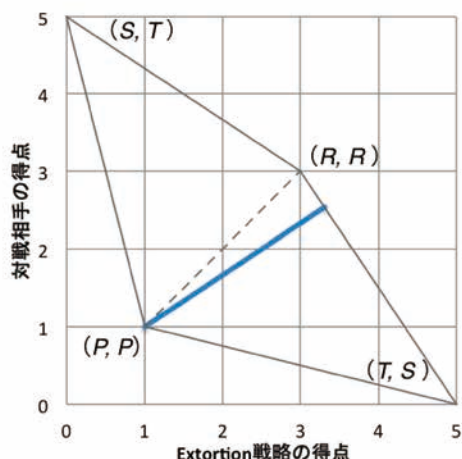


Figure 2 Extortion 戦略が得点に強いる線形関係

は高い有効性が予想されたとしても、現実の人間の合理性が限定的なものであるならば、現実の人間の行動は合理性の前提に基づく理論的予測の通りではない可能性がある。

Hilbe, Röhl, & Milinski (2014) は、Extortion 戦略と Generosity 戦略の有効性をゲーム実験によって検討した。いずれに対戦した場合でも最適反応は全面協力であるため、理論的には Generosity 戦略より Extortion 戦略の方が高い得点を獲得すると予測されるが、結果としては Extortion 戦略の得点が Generosity 戦略の得点を下回った。この結果は、参加者が、搾取的な相手に対して協力を控えることで、コストを払って相手に罰を与えたと解釈される。

これに対して、Wang, Zhou, Lien, Zheng, & Xu (2016) のゲーム実験では、実験操作として、相手がコンピュータ・プログラムであることを参加者に教示した上で、相手の選択規則に習熟できるほど繰り返し回数を多くした条件において、Extortion 戦略の得点が Generosity 戦略の得点を上回った。この結果から、理性的な判断ができる状態であれば、Extortion 戦略の搾取は参加者に甘んじて受け入れられ、両者の得点とその関係の中で最大化しうることが示された。

Hilbe et al. (2014) のゲーム実験の結果からは、Axelrod (1984) がトーナメントの結果から指摘している通りで、Extortion 戦略はその搾取的で上品でないという性質から、対戦相手の裏切りを招きやすく、有効性は高くないと考えられる。しかし、Wang et al. (2016) のゲーム実験の結果からは、相互作用の行われる状況によっては、Extortion 戦略が対戦相手の協力を促進する可能性もあると考えられる。進化生物学の観点から見ると、Extortion 戦略が、変異によって自然に発生し、集団安定の領域に侵入し、進化的な個体群の中で、その優位を保つことができるかどうかを明らかにするためには、現実の場面を想定した様々な環境の下でゲーム実験が行われる必要がある。

意図の不確実性

我々は時に、協力行動をとるつもりであったにも関わらず、何らかの過誤により、結果として裏切り行動をとってしまうことがある。例えば、朝、友人を空港まで送るつもりだったが、偶然にも寝過ごしてしまった、といった事態が考えられる。現実の相互作用関係においては、一切エラーが生じずに意図が実行に移されることは稀であり、協力の意図が必ずしもその通りに相手に知覚されるとは限らない (McElreath & Boyd, 2007)。戦略によっては、このような意図についてのノイズが存在する環境ではうまく振る舞えない可能性があり、ゲーム実験にエラーを導入することで、そういった環境での戦略の有効性を検討することができる。

エラーが導入されたゲーム実験では、協力が選択された際に、一定の確率でその選択が裏切りに変わり、プレイヤーには変更後の選択肢による結果がフィードバックされる。この際、相手の裏切りが意図的なものかエラーによるものかの判別は不可能である。このような環境においては、単純な互恵的戦略の有効性は低められる。応報戦略に従うプレイヤー同士の対戦では、エラーが生じると相互協力関係が崩れ、一方が協力、他方が裏切りという結果が交互に繰り返される。さらにエラーが生じると相互裏切りを繰り返すことになる。エラーに抗して相互協力関係を再構築するためには、通

常の応報戦略よりも寛容に振る舞うことが期待される (Nowak & Sigmund, 1992)。

エラーへの対処のために応報戦略を改変した戦略としては、Tit-For-Two-Tat (Axelrod, 1984) や寛容な応報戦略 (Nowak & Sigmund, 1992)、悔恨する応報戦略 (Wu & Axelrod, 1995) がある。いずれも通常の応報戦略であれば裏切りを選択する場面で一部協力を選擇するよう変化を加えられたものである。

意図の不確実性のある環境では、意図的な裏切りとエラーによる裏切りが混在することで、Extortion 戦略の搾取的な意図が対戦相手にとって不明瞭となるため、意図の不確実性のない環境に比べて、Extortion 戦略が意図的に裏切りを選択した割合が低く見積もられやすいと考えられる。また、意図の不確実性のある環境では、より寛容で協力的な戦略がとられやすく、Extortion 戦略の裏切りが赦されやすいと考えられる。

本研究の目的と仮説

本研究の目的は、ZD 戦略の 1 種であり、自他の得点の間に搾取的な関係を強いる戦略である Extortion 戦略について、ゲーム実験によってその有効性を検討することである。意図の不確実性のある環境では、Extortion 戦略は対戦相手の協力をより促進することができると考えられる。

本研究で検討する仮説としては、ゲーム実験において、エラーがある条件では、ない条件に比べて、Extortion 戦略がより良い印象を獲得し、相手の協力率が高い、ということが予想される。

方法

実験参加者

参加者は、国立大学の学生 35 名 (男 19 名、女 16 名; 平均年齢 19.97 歳, $SD = 1.29$) であった。実験は 2017 年 11 月から 12 月にかけて大学内の心理学実験室において行われ、参加者は学部で管理されている実験参加者募集システムを通じて募集された。

参加者は、エラー有条件とエラー無条件のいずれかに無作為に割り振られた。エラー有条件には 18 名、エラー無条件には 17 名が割り振られ、その内、エラー有条件では 3 名、エラー無条件では 2 名が分析の対象から外れ、計 30 名 (男 15 名、女 15 名; 平均年齢 19.83 歳, $SD = 1.32$) を分析の対象とした。除外の理由については、以下の通りである。

参加者には、対戦相手は別々に集合したもう 1 人の参加者であるという教示を行なったが、実際に対戦したのは規則に従って選択を行うようプログラムされたコンピュータであった。Wang et al. (2016) が示唆するように、対戦相手がコンピュータであると分かっていると、理性的な判断による機械的な選択がなされると考えられるため、対戦相手がもう 1 人の参加者ではないと気付いた 4 名 (エラー有条件: 3 名, エラー無条件: 1 名) の参加者を、分析から除外した。

また、参加者には実験参加への謝礼が支払われた。募集段階からゲームを実施するまでは、ゲームの成績に応じた額が支払われると伝えており、500 円を基本の謝礼として、そこにゲームの得点と同額の報酬を加算して支払うと教示した。ゲームで獲得しうる理論的

な上限が 500 円、下限が 0 円であった。この教示はゲームへのインセンティブのためであり、参加者が行った実際の内容はコンピュータを用いた個人での作業であったため、謝礼は一律で 1000 円が支払われた。教示の内容に疑問を持ち、ゲームの成績によって謝礼額が変わることはないと考えてプレイした 1 名の参加者（エラー無条件）を、分析から除外した。

手続き

全ての参加者は Extortion 戦略と対戦した。本実験の Extortion 戦略が協力を選択する確率には、Hilbe et al. (2014) のゲーム実験で用いられた、緩やかに搾取的な関係を強いるもの ($p_0 = .000$, $p_R = .857$, $p_S = .000$, $p_T = .786$, $p_P = .000$) を用いた。この戦略が自他の得点の間に強い線形関係は、(P, P) を通る、傾き $2/3$ の直線である。

ゲームの繰り返し回数は 100 回とし、参加者には繰り返し回数を伝えずゲームをプレイしてもらった。エラー有条件においては、協力を選んだ際に 10% の確率でその選択が裏切りに変わるように設定した。エラーは参加者と Extortion 戦略の両方の選択に対してそれぞれに生じ、互いに相手の裏切りが意図的なものかエラーによるものかは判別できず、プログラムされた Extortion 戦略もエラーを含む結果を基に次の回の選択を行うよう設定した。

参加者は実験室内の個室に案内され、席に着き、ノートパソコンを用いてゲームを行った。実験室内には複数の個室があり、参加者にはその内の 1 つに入室してもらったが、別のもう 1 つの個室の扉を閉めておき、実験中の状態にしておくことで、実際には存在しないもう 1 人の参加者の存在を参加者に印象付けた。参加者には、別の個室で待機しているもう 1 人の参加者と対戦してもらうという教示を行なった。ゲームの進行と操作の方法について、またエラー有条件においてはそれらに加えて、協力を選択した際に 10% の確率でエラーが発生することについて、PowerPoint のスライド資料を用いて説明を行ってから、ゲームを開始した。

実験にあたっては、協力を「C」、裏切りを「D」と表記、及び呼称した。本実験では、(T, R, P, S) = (5 円, 3 円, 1 円, 0 円) の得点の設定を用いた。利得行列の表はゲーム中、常に画面に表示しており、参加者はそれを見ながら選択を行った。選択には 30 秒の制限時間を設け、それを超過した場合、コンピュータがランダムにいずれかを選択するよう設定した。ただし、実験全体を通して、制限時間内に選択が行われなかった回はなかった。

対戦相手が考えて選択を行っているに参加者に思わせるために、参加者が選択を完了してから、結果のフィードバックの画面が表示されるまでの待機時間が、0 秒以上 15 秒未満でランダムになるよう設定した。その間には通信中であることを示す文章を表示した。

結果のフィードバックの画面では、参加者の選択、相手の選択、参加者のその回の得点を表示した。また、参加者が獲得した通算の得点は常に表示しており、結果のフィードバックと同時にその回の得点が加算されるように設定した。エラー有条件でエラーが生じた際は、変更後の選択肢が表示され、その回の得点と通算の得点についても変更後の選択肢に則って表示された。

ゲームが終了した後、参加者は個室から出ることなく、また、対戦相手の正体が明かされないままで、ゲームを振り返って事後質問

紙に回答した。質問紙への回答が完了した後、デブリーフィングを行い、実験を終了した。

本研究において実施した実験は、神戸大学大学院人文学研究科等における人間を直接対象とした実験研究審査委員会にて審査され、承認された。

質問紙

対戦相手の印象、得点についての関心、相手がとった戦略、参加者自身がとった戦略、実験の意図に気付いたかどうかの 5 つの事柄について、参加者に質問紙で回答を求めた。本実験にあたって、質問紙の全項目を著者が作成した。

対戦相手の印象 性格を表す形容詞で、①相手は協力を選択することが多いと思う場合に感じると想定される、肯定的な印象のもの（「優しい」「親切である」「協力的である」「信頼できる」「寛容である」）と、それとは逆に、②相手は裏切りを選択することが多いと思う場合に感じると想定される、否定的な印象のもの（「冷淡である」「利己的である」「攻撃的である」「卑怯である」「搾取的である」「支配的である」「怒りっぽい」「恨みがましい」）を用いた。また、フィラーの項目として、③上記の 2 つとは関連度が低いと想定されるもの（「思慮深い」「活動的である」「陽気である」「内気である」「幼稚である」）も含めた。①から③までの計 18 項目について、それぞれの印象をどの程度感じたかを、「1: 感じなかった」、「2: やや感じなかった」、「3: どちらとも言えない」、「4: やや感じた」、「5: 感じた」の 5 件法で回答してもらった。

得点についての関心 Hilbe et al. (2014) のゲーム実験では、平等主義的な動機が Extortion 戦略を相手にした際の選択に影響を与えることが示唆されている。そこで、本実験では、得点についての関心を測定するための項目を質問紙に含めた。自他の得点を、また、それらの間の関係をどのようにしようとし心掛けたかを測定するために、①自分の得点をできるだけ高くすること、②相手の得点と自分の得点の合計をできるだけ高くすること、③自分の得点と相手の得点の差をできるだけ小さくすること、④相手の得点をできるだけ低くすることの 4 項目について、ゲーム中、どの程度心掛けたかを、「1: 全く心掛けなかった」から「5: 常に心掛けた」までの 5 件法で回答してもらった。

相手がとった戦略・自分がとった戦略 対戦相手がコンピュータであることに、参加者が気付いていないかどうかの確認に用いるとともに、特徴的な回答が見られればそれを基に分析を行う目的で、ゲーム中に相手が選択する選択肢をどのように決めていると考えたかについて、また、自身が選択する選択肢をどのように決めたかについて、それぞれ自由記述で回答してもらった。

本実験の意図について気付いた点や疑問に思った点 対戦相手の正体について、また、謝礼の設定について、教示した内容が事実でないと、参加者が気付いていないかどうかを確認するために、実験の意図について、何か気付いた点や疑問に思った点があれば、自由記述で回答してもらった。

デブリーフィング

回答済みの質問紙を回収した後、デブリーフィングを行った。手順は、①質問紙に記入したこと以外で対戦相手について疑問に思っ

たことや気付いたこと、②パソコンの使用感、③実験室の環境、④対戦相手がもう1人の参加者の方であることを疑わなかったかどうか、⑤実験について不安が残ることや疑問に思うことの5項目について順に質問し、全て口頭で回答してもらう形式とした。①と④の項目への回答で、ディセプションの操作が成功していたかどうかを確認した。②と③の項目は、①と④の間に挟むことで、その意図を紛らわすためのフィラーの項目として含めた。その後尋ねる⑤の項目は、本実験に関する不安などを解消し、本実験への参加によって生じる心理的負担を軽減することを目的として含めた。不安や疑問がないこと、あるいは、実験者の説明によってそれらが十分に解消されたことを確認してから、実験を終了した。

結果

ゲームの成績

エラー有条件では、エラーによる選択の変動の前後で選択肢を記録しており、協力率としては、自ら選択した選択肢が協力であった回数から算出するものと、選択した選択肢が協力だったとしてフィードバックされた回数から算出するものの2種類があり、ゲームの成績については、それぞれで分析を行った。

両条件の各回の平均得点を Figure 3 に示した。それぞれの平均得点は、エラー有条件で Extortion 戦略が 2.11 円 ($SD = 0.80$)、参加者が 1.63 円 ($SD = 0.47$)、エラー無条件で Extortion 戦略が 2.16 円 ($SD = 0.85$)、参加者が 1.87 円 ($SD = 0.66$) であった。両条件で、Extortion 戦略は参加者より有意に高い得点を獲得した（データの正規性が保証されないため、分析方法としてノンパラメトリック検定を用いた。エラー有： $n = 14$, $Z = -3.18$, $p = .001$; エラー無： $n = 14$, $Z = -2.94$, $p = .003$ ）。条件間には、Extortion 戦略の得点、参加者の得点ともに有意な差はなかった。

Extortion 戦略と参加者の成績を Figure 4 に示した。各データポイントは各参加者に対応している。いずれの条件でも、成績のプロットは、 (P, P) と (R, R) を結ぶ破線より、 (T, S) 側の領域、または (P, P) 付近にのみ分布している。エラー有条件の Extortion 戦略は、10% の確率で生じるエラーの操作によって、エラー無条件の Extortion 戦略が協力を選択する確率より低い確率でしか協力としてフィードバックされないため、成績の分布がさらに

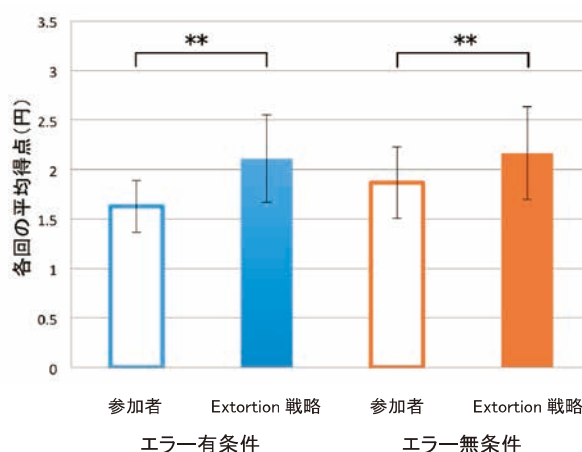


Figure 3 参加者と Extortion 戦略の平均得点（参加者と、その対戦相手にあたる Extortion 戦略に従うコンピュータの各回の平均得点を示す。エラーバーは 95% 信頼区間を示す。* * $p < .01$ ）。

(T, S) 側に寄っている。

Extortion 戦略の成績は、エラーの有無に関わらず、対戦相手の参加者の得点より低くなることはなかった。参加者がゲーム中にほとんど協力を選択しなかった場合においてのみ、Extortion 戦略の得点と参加者の得点が等しくなった。ゲームを通して獲得した得点が、ゲーム中 1 度も協力を選択しなかった 4 名（エラー有条件 1 名、エラー無条件 3 名）では両者とも 100 円、ゲーム中 1 度だけ協力を選択した 1 名（エラー無条件）では両者とも 103 円となった。ゲーム中に 2 回以上、協力を選択した 25 名（エラー有条件 14 名、エラー無条件 11 名）では、Extortion 戦略の方が参加者より高い得点を獲得した。

参加者の協力率

参加者が協力を選択した回数に基づく協力率の平均は、エラー有条件では .44 ($SD = 0.33$)、エラー無条件では .49 ($SD = 0.38$) であり、条件間に有意な差はなかった。参加者へのフィードバックに基づく協力率（エラーにより低下した協力率）の平均は、エラー有条件では .41 ($SD = 0.32$)、エラー無条件では参加者が自ら協力を選択した確率と等しく .49 ($SD = 0.38$) であり、条件間に有意な差はなかった。

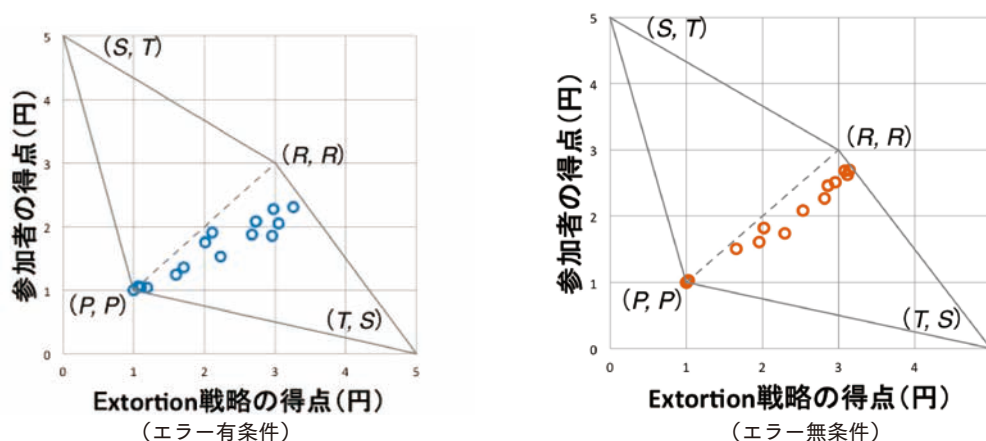


Figure 4 参加者と Extortion 戦略の成績（参加者と、その対戦相手にあたる Extortion 戦略に従うコンピュータの各回の平均得点を示す。

以下の分析では、参加者の協力率としては、協力を選択した回数に基づく協力率を用いた。ゲームを通して協力を選択した参加者の割合がどのように推移したかを Figure 5 に示した。両条件とも、グラフは大部分において .30 から .60 の間を推移しており、条件間で参加者の選択のパターンに大きな違いは見られなかった。

また、ゲームの序盤と終盤で選択の傾向に変化があるかを検討するために、Hilbe et al. (2014) と Wang et al. (2016) にならって、最初の 20 回と最後の 20 回における参加者の協力率を比較した。エラー有条件では、最初の 20 回の協力率は .41 ($SD = 0.30$)、最後の 20 回の協力率は .47 ($SD = 0.40$) であり、有意な差はなかった。エラー無条件では、最初の 20 回の協力率は .43 ($SD = 0.38$)、最後の 20 回の協力率は .55 ($SD = 0.44$) であり、有意な差はなかった。両条件で、序盤と終盤において、参加者の選択の傾向に違いはなく、ノイズの有無に関わらず、Extortion 戦略はその強い関係性によっては、対戦相手である参加者の協力を促進することはできなかった。

さらに、Extortion 戦略に対する参加者の対応を分析するために、Extortion 戦略の選択が協力あるいは裏切りとしてフィードバックされた次の回に、参加者が協力を選択した条件付き確率を求めた。Extortion 戦略の選択が協力としてフィードバックされた次の回の参加者の協力率は、エラー有条件で .67 ($SD = 0.31$)、エラー無条件で .77 ($SD = 0.33$) であった。この値は Extortion 戦略がゲーム中 1 度も協力を選択しなければ算出することができず、分析に用いたデータの中でエラー有条件で 1 名、エラー無条件で 3 名のデータが欠損値となった。これらの参加者はいずれもゲーム中に 1 度も協力を選択しなかった。欠損値となったデータを除いて条件間で比較したところ、有意な差はなかった。また、Extortion 戦略の選択

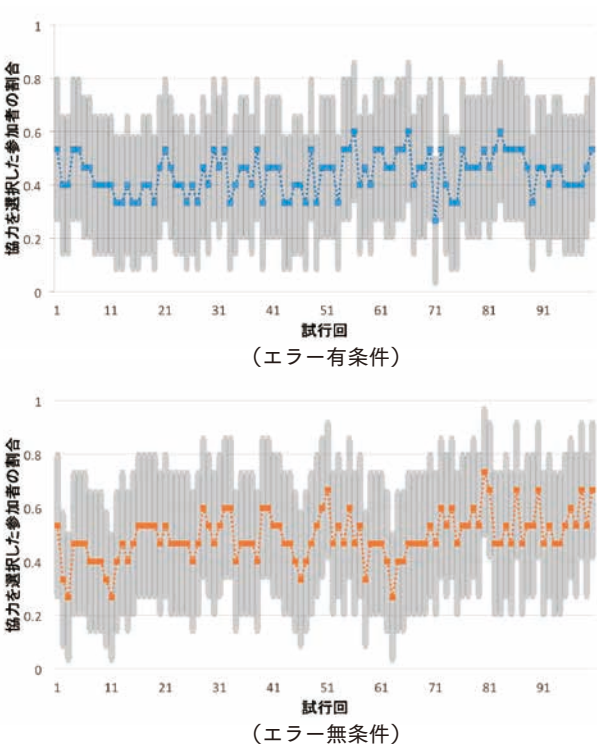


Figure 5 協力を選択した参加者の割合の推移（灰色の影の領域は 95% 信頼区間を示す）。

が裏切りとしてフィードバックされた次の回の参加者の協力率については、エラー有条件で .36 ($SD = 0.31$)、エラー無条件で .37 ($SD = 0.36$) であり、その間に有意な差はなかった。

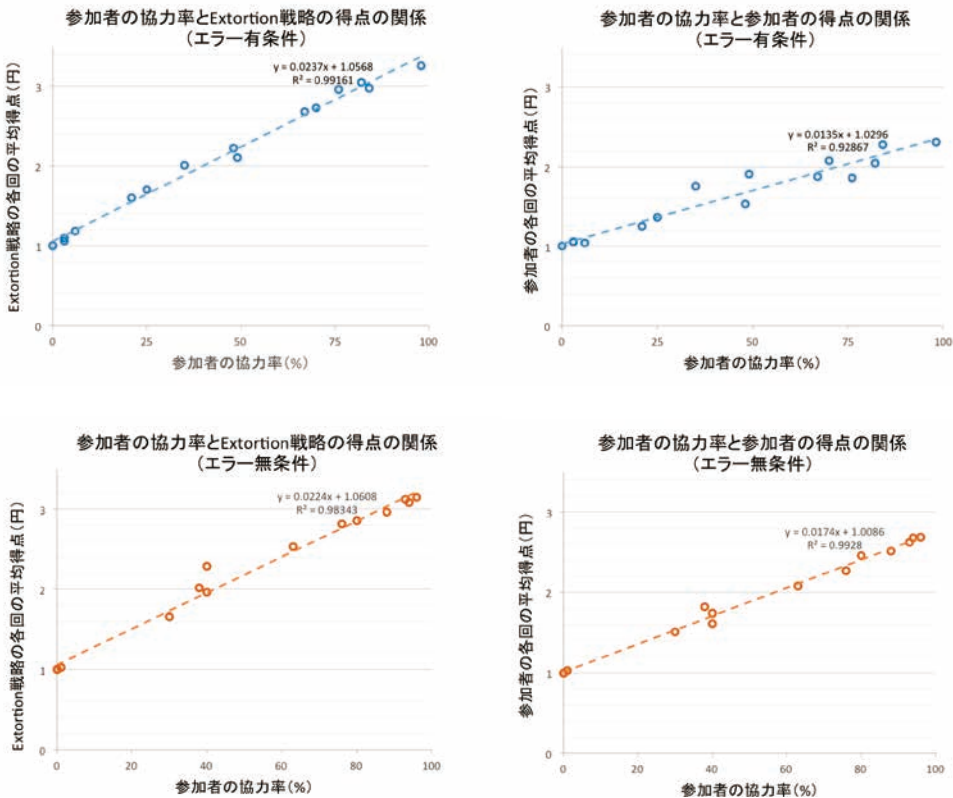


Figure 6 参加者の協力率と得点の関係

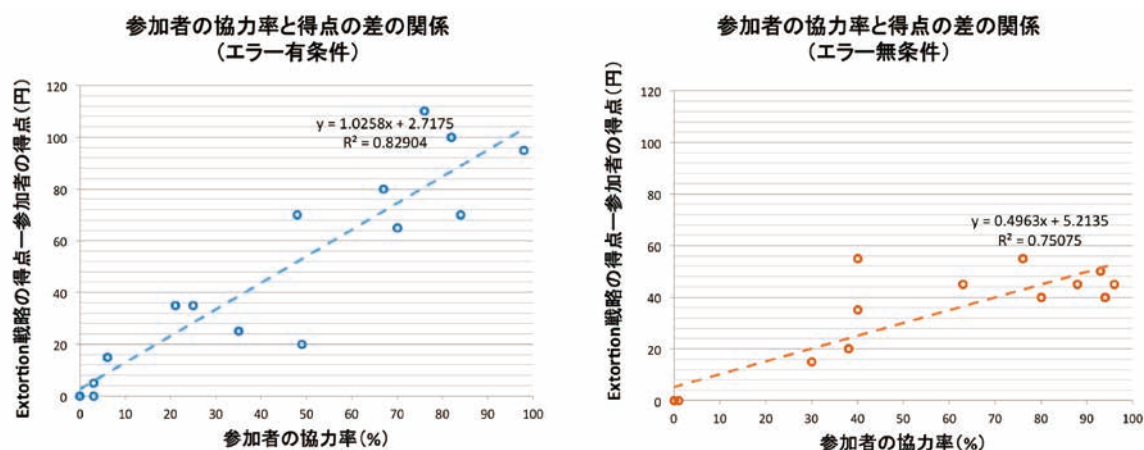


Figure 7 参加者の協力率と得点の差の関係

両者の得点の間の関係

参加者の協力率と両者の得点の関係を Figure 6 に示した。それぞれ最小 2 乗法に基づく回帰直線を求め、破線で描き入れた。これは、ゲームを通しての参加者の協力率に応じた両者の各回の平均得点を表す。いずれの条件でも、協力率が低い参加者ほど、自身の得点が低く、かつ Extortion 戦略の得点も低くなっていた。

参加者の協力率と両者の得点の差の関係を Figure 7 に示した。それぞれ最小 2 乗法に基づく回帰直線を求め、破線で描き入れた。これは、ゲームを通しての参加者の協力率に応じた各回の平均得点の差を表す。いずれの条件でも、協力率の低い参加者ほど両者の得点の差が小さかった。

両者の得点についてのこれらの関係は理論的予測の通りであり、Extortion 戦略が搾取に成功する度合いは参加者の選択に依存していた。このことから、協力を控えた参加者はコストを支払って、搾取的な相手に罰を与えたと解釈できる。

対戦相手の印象・得点についての関心

対戦相手の印象に関する 18 項目においては、いずれの項目群にも、条件間で有意な差はなかった。それぞれの項目群での項目ー得点相関を Table 1 に示した。肯定的印象と否定的印象の項目群の間には、負の相関があった ($r = -.50, p = .05$)。

得点についての関心の 4 項目について、平均値を Table 2 に示した。いずれの項目にも、条件間で有意な差はなかった。自他の得点差の最小化と相手の得点の最小化の間に正の相関が見られた ($r = .43, p = .02$)。今回の実験では、参加者にとっては、ゲームを通して必ず対戦相手の方が高い得点となるため、自他の得点差を最小化するには、常に相手の得点を低めることが必要であった。

これらの変数について、2 つの条件を込みにして分析を行った。対戦相手に対する印象や得点についての関心と、参加者の協力率の相関行列を Table 3 に示した。対戦相手の印象と参加者の協力率の相関関係としては、肯定的な印象と、ゲームを通しての参加者の協力率に、正の相関があった ($r = .38, p = .04$)。相手に対して協力的な人だという印象を持っているほど、参加者自身も協力していたことが分かる。Stewart & Plotkin (2012) は、心の理論により Extortion 戦略の選択から搾取的な意図が読み取られれば、裏切りによる応戦が行われやすいとしているが、それは妥当であったと言

える。

また、相手の選択が協力としてフィードバックされた次の回の協力率は、自他の得点の合計の最大化と正の相関 ($r = .41, p = .04$) があり、相手の得点の最小化と負の相関 ($r = -.45, p = .02$) があった。これらから、ゲームが繰り返される中で、囚人のジレンマの利得構造が理解されていたと考えられ、また、Extortion 戦略が強いていた関係性についても一定の理解が得られていた可能性がある。

自由記述の回答

質問紙の自由記述の回答において、エラー有条件で参加者が意図的に協力を控えたことを示すものが見られた。実験の意図についての設問で、エラーの設定がなければずっと協力を選択しようと思った、といった趣旨の回答があった。また、自分がとった戦略についての設問で、意思疎通が難しいために裏切りを選んだ、といった趣旨の回答があった。意図の不確実性のある環境において、参加者が、可能な限りで相互協力関係を維持していくより、相互裏切りを繰り返していく方が望ましい、あるいは、容易だと判断した可能

Table 1
対戦相手の印象の項目平均および項目得点相関

		平均 (SD)	項目得点相関
ポジティブな印象	優しい	2.67 (1.32)	.91
	親切である	3.00 (1.39)	.88
	協力的である	3.33 (1.24)	.84
	信頼できる	2.90 (1.35)	.83
	寛容である	2.73 (1.26)	.74
ネガティブな印象	攻撃的である	2.37 (1.22)	.84
	支配的である	2.23 (1.14)	.80
	恨みがましい	2.60 (1.35)	.75
	卑怯である	2.70 (1.26)	.61
	搾取的である	2.73 (1.31)	.61
	利己的である	3.13 (1.31)	.60
	冷淡である	2.87 (1.01)	.48
	怒りっぽい	2.27 (1.26)	.46
	陽気である	2.20 (0.89)	.36
上記の2つとは関連度が低いと想定されるもの	活動的である	2.60 (1.13)	.24
	内気である	2.37 (1.19)	.08
	幼稚である	2.60 (1.25)	-.05
	思慮深い	3.10 (1.30)	-.19

注) 各項目の得点範囲は、1 から 5 である。

性がある。

さらに、エラーに見せかけてたまたま裏切りを選択したという趣旨の回答が、エラー有条件の4名に見られた。これは、参加者がエラーの設定に乗じて自ら裏切りを増やし、対戦相手を搾取しようと試みたことを示している。

考察

本研究では、エラーによる意図の不確実性のもとでは、Extortion 戦略の選択から搾取的な意図が読み取られにくくなり、また、参加者が協力を選択しやすくなると考え、エラーを導入したゲーム実験において、Extortion 戦略の有効性を検討することを目標とした。

本研究の仮説は、エラー有条件では、エラー無条件に比べて、参加者の協力率が高い、というものであった。しかし、実験結果としては、条件間に参加者の協力率に有意な差はなく、またそれに連動して、Extortion 戦略の得点、参加者の得点にも有意な条件差はなかった。そのため、エラーの有無で、Extortion 戦略が相手から協力を引き出すことの困難さに違いがあるとは言えない。質問紙で回答してもらった、対戦相手の印象の項目と得点についての関心の項目においても、条件間で有意な差はなかった。エラーの有無で、対戦相手の印象や得点についての関心に違いがあるとは言えない。

今回の実験では、意図の不確実性の有無によって Extortion 戦略の有効性の差は見られなかったが、エラーの導入によって、Extortion 戦略の搾取的な意図が不明瞭となることで、その裏切りが赦されやすくなるのとは別に、参加者の裏切りが増えた可能性がある。質問紙の自由記述の回答で見られたように、エラーがあることによって、相互協力を維持することの困難さから、相互裏切りに甘んじた可能性がある。また、エラーに乗じて参加者自身が搾取的な戦略をとり、積極的に裏切りを選択していた可能性もある。搾取的戦略の試みが意図の不確実性によって誘発されたかどうかは明らかではないが、本研究の仮説とは逆に、意図の不確実性の存在によって、参加者がより裏切りを選択する可能性も考えられる。

また、本研究では、意図の不確実性のある環境における

Table 2 得点についての関心の項目平均	
	平均 (SD)
自分の得点の最大化	4.00 (1.14)
自他の得点の合計の最大化	3.70 (1.32)
自他の得点の差の最小化	2.87 (1.68)
相手の得点の最小化	1.53 (0.68)

注)各項目の得点範囲は、1から5である。

Extortion 戦略の有効性を検討するために、エラーの有無の2条件のデザインで実験を行ったが、Extortion 戦略の選択が裏切りだったとしてフィードバックされる確率に、エラーの分だけ条件間に相違があり、エラー有条件の方が高かった。そのため、エラー有条件の参加者はエラー無条件の参加者よりも多く、対戦相手が裏切りを選択したことを示すフィードバックを受けており、意図の不確実性による効果を別にすれば、対戦相手の搾取的傾向は強まって捉えられており、協力率は低下する傾向にあったかもしれない。

今回の実験デザインでは、相手の裏切りの一部がエラーによるものかもしれないと考えることによる、意図の不確実性の効果が適切に検討できていなかったと考えられる。意図の不確実性の効果を正確に検討するためには、エラーによって Extortion 戦略が協力率を低下させた場合と協力率の等しい戦略と、エラーがない環境において、対戦する条件が必要であった。その条件を含めて検討を行えば、協力率が低下することの効果を統制し、意図の不確実性の効果を直接検討することができる。

本実験において、分析に用いられた参加者数は、両条件合わせて30名であり、参加者がとり得る戦略の幅広さに対して、サンプルサイズが十分でなかったと考えられる。より多くの参加者を募り、さらにゲーム実験を行うことが求められる。今後、Extortion 戦略や ZD 戦略の有効性についてさらなる検討を加え、その理論的予測が現実の人間の相互作用において再現されるかどうかを究明していくことが期待される。

Table 3
対戦相手に対する印象や得点についての関心と参加者の協力率の関連

	p.coop	prob.c.c	prob.c.d	pos.impr	neg.impr	self.interest	max.sum	min.diff	spite
p.coop	-								
prob.c.c	.70**	-							
prob.c.d	.95**	.51**	-						
pos.impr	.36*	.31	.30	-					
neg.impr	.15	.13	.18	-.50**	-				
self.interest	-.10	-.07	-.06	-.14	.13	-			
max.sum	.18	.41*	.08	.09	.19	-.18	-		
min.diff	-.31	-.09	-.26	-.14	.21	.05	.03	-	
spite	-.19	-.45*	-.06	-.31	.25	.27	-.20	.43*	-

注)p.coop = ゲームを通しての参加者の協力率,
prob.c.c = 相手の選択が協力としてフィードバックされた次の回の参加者の協力率,
prob.c.d = 相手の選択が裏切りとしてフィードバックされた次の回の参加者の協力率,
pos.impr = ポジティブな印象の項目群, neg.impr = ネガティブな印象の項目群, self.interest = 自分の得点の最大化への関心,
max.sum = 自他の得点の合計の最大化への関心, min.diff = 自他の得点の差の最小化への関心, spite = 相手の得点の最小化への関心,
** $p < .01$, * $p < .05$

引用文献

- Axelrod, R. (1980a). Effective choice in the prisoner's dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, 24, 3-25.
- Axelrod, R. (1980b). More effective choice in the prisoner's dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, 24, 379-403.
- Axelrod, R. (1984). *The evolution of cooperation*. Basic Books.
- Axelrod, R., & Hamilton, W. D. (1981). The evolution of cooperation. *Science*, 211, 1390-1396.
- Hilbe, C., Röhl, T., & Milinski, M. (2014). Extortion subdue human players but is finally punished in the prisoner's dilemma. *Nature Communications*, 5, 3976.
- McElreath, R., & Boyd, R. (2007). *Mathematical models of social evolution: A guide for the perplexed*. The university of Chicago Press.
- Milinski, M., & Wedekind, C. (1998). Working memory constrains human cooperation in the prisoner's dilemma. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America*, 95, 13755-13758.
- Nowak, M. A., (2006). Five rules for the evolution of cooperation. *Nature*, 314, 1560-1563.
- Nowak, M. A., & Sigmund, K. (1992). Tit for tat in heterogeneous populations. *Nature*, 355, 250-253.
- Nowak, M. A., & Sigmund, K. (1993). A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the prisoner's dilemma game. *Nature*, 364, 56-58.
- Press, W. H., & Dyson, F. J. (2012). Iterated prisoner's dilemma contains strategies the dominate any evolutionary opponent. *Proceedings of National Academy of Sciences of United States of America*, 109, 10409-10413.
- Stewart, A. J., & Plotkin, J. B. (2012). Extortion and cooperation in the prisoner's dilemma. *Proceedings of National Academy of Sciences of United States of America*, 110, 15348-15353.
- St—Pierre, A., Larose, K., & Dubois, F. (2009). Long-term social bonds promote cooperation in the iterated prisoner's dilemma. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Science*, 276, 4223-4228.
- Trivers, R. L. (1971). The evolution of reciprocal altruism. *The Quarterly Review of Biology*, 46, 35-57.
- Wang, Z. , Zhou, Y., Lien, J.W., Zheng, J., & Xu, B. (2016). Extortion can outperform generosity in the iterated prisoner's dilemma. *Nature Communications*, 7, 11125.
- Wedekind, C., & Milinski, M. (1996). Human cooperation in the simultaneous and the alternating prisoner's dilemma: Pavlov versus generous tit-for-tat. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America*. 93, 2686-2689.
- Wu, J., & Axelrod, R. (1995). How to cope with noise in the iterated prisoner's dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, 39, 183-189.