

Probability of Reciprocation in Repeated Prisoner's Dilemma Games

Forest Baker and Howard Rachlin

Journal of Behavioral Decision Making: No.14, 51-67 (2001)

1 導入

1.1 社会的協調と自制

- 社会的協調と自制は共に返礼行動 (reciprocation)¹と強い関係がある
- 社会的協調
 - 社会的な状況において、人は他人が協調しているかによって自分も協調するか否かを判断している。
 - * (例えば) 他人がポイ捨てしていなければ自分もしないが、他人がポイ捨てしていれば自分もする
- 自制
 - 人は目の前の利益を優先するか、長い目で見た未来の利益を優先するかによって、行動を選択する (Ainslie, 1992)
 - * (例えば) お酒を飲むことでひと時の快楽を味わうことが出来るが、依存症への危険が増す
- 社会的協調はその場所にいる人達の中に生じ、自制は自分の中に生じる
- 本研究では3つの実験を行っている。
 - 課題：コンピュータを対戦相手とした囚人のジレンマゲーム
 - * 通常と違い、先に対戦相手であるコンピュータの選択が決められ、その選択を知った上で実験参加者は選択を決定する
 - 条件：対戦相手であるコンピュータが取る行動を操作
 - * 実験参加者が前回取った行動に対して、返礼行動を取る確率を操作している
 - ・ 100%：TFT(しっぺ返し方略)と同じ
 - ・ 75%
 - ・ 50%：RANDOM(ランダム方略)と同じ
 - 3つの実験
 - * 実験1、実験2：自制と返礼行動の関係を検討
 - * 実験3：社会的協調と返礼行動の関係を検討

¹参加者が前回協調(裏切り)した場合には次回協調(裏切り)を返すこと

1.2 囚人のジレンマゲーム

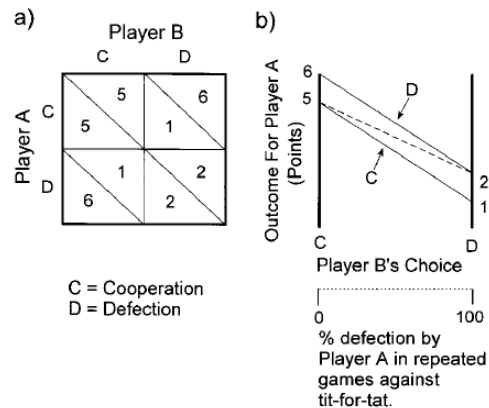


図 1: (a) 利得表, (b) プレイヤー A から見た利得の関係

- 囚人のジレンマゲームは個人と集団の利益の間での葛藤が生じる有名な課題である
- 図 1(a) は利得表を示している
 - 両方 C(協調) : 共に 5 点
 - 両方 D(裏切り) : 共に 2 点
 - 片方 C, 片方 D : C は 1 点, D は 6 点
- 図 1(b) はプレイヤー A から見た, プレイヤー B の選択による獲得出来る利得を表したグラフである
 - 左側の垂線: プレイヤー B が C を選択してきた場合
 - * C を選択: 5 点獲得
 - * D を選択: 6 点獲得
 - 右側の垂線: プレイヤー B が D を選択してきた場合
 - * C を選択: 1 点獲得
 - * D を選択: 2 点獲得
 - 図 1(b) から相手の選択に関わらず, 裏切りを選択したほうが 1 点得であることが分かる
 - * 1 度きりの囚人のジレンマゲームではほとんどの人が裏切りを選択する (Komorita, 1994)
 - 囚人のジレンマゲームの葛藤は以下の 2 つから成っている
 - * 目先の 1 点の上乗せに魅了され, 相手からの報復というリスクを負いながら裏切りを選択する
 - * 未来を見据え, 相手に協調を促すために協調を選択する
 - ・ 図 1(b) を見ると, 相手が協調を選んでくれた時は 6 点か 5 点を獲得出来る. それに対し, 相手が裏切りを選んだ場合は 2 点か 1 点しか獲得出来ない
 - 図 1(b) の破線
 - * この破線は相手 (プレイヤー B) が TFT²を用いた場合, プレイヤー A が獲得出来る利得の期待値を表している
 - * 横軸はプレイヤー A が裏切りを選択する確率を示している
 - ・ 常に協調を選択: 期待値 5 点
 - ・ 常に裏切りを選択: 期待値 2 点
 - ・ 50% の確率で裏切りを選択: 期待値 3.5 点

²第一試行目は協調, 次回は相手の前回の試行を選択する方略

- 相手が TFT である囚人のジレンマゲームと日常生活との違い
 - － 相手が自分の前回の行動を模倣する囚人のジレンマゲームでは今回の選択が次回の利得に直接影響を与え、また得点という目に見える結果として自分に返ってくる
 - * 課題を改変して、今回の選択を次回以降の利得に分散して影響を与えた実験 (Hernstein and Prelec,1992; Kudadjie-Gyamfi and Rachlin,1996)
 - ・ 結果：協調を選択する割合が減った
 - － しかし、日常生活ではそうではない
 - * (例えば) カロリーの高い料理を食べても、すぐに体重は増えないし、不健康にならない
 - － また、日常生活におけるジレンマとして「コモンズの悲劇」がある (Hardin,1968)
 - * (例えば) ポイ捨てという違反行為は社会的に見れば微小な害であるが、人々がポイ捨てすると街中がゴミでいっぱいになる
 - * 囚人のジレンマゲームを使った研究ではプレイヤーの人数が増えると、協調が少なくなるという結果が得られている (Komorita, Parks, and Hulbert,1992)
- 本研究では従来の研究で着目していた「効用の分散」などではなく、社会的な葛藤と個人の葛藤の違いに着目する
 - － 関連研究：Silverstein *et al.*(1998)
 - * 囚人のジレンマゲームを用い、対戦相手が TFT の時の行動と対戦相手が人間の時の行動を比較
 - * 結果：対戦相手が TFT の時は次第に協調するべきと気付くが、人間が相手だと協調割合が低下する
 - * 考察：対戦相手が TFT の場合、相手が返礼行動を取る確率 PR³は 100% であるが、人間が相手の場合、その確率は低い
 - － この結果を受け、本研究では PR を変えることで、実験参加者の協調行動割合について検討する

2 実験 1

2.1 Method

- 実験参加者
 - － 大学生 48 名 (男性 24 名, 女性 24 名)
 - － 授業の一環として参加。実験で獲得した得点に関係なく一定の謝礼金を支払った

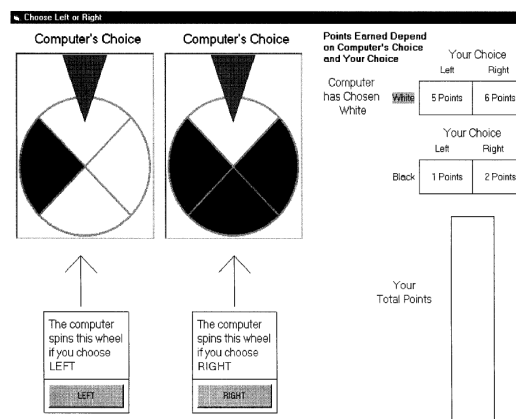


Exhibit 2. Starting screen display for the PR = 75% condition in Experiment 1. The left wheel was completely white and the right wheel was completely black during the PR = 100% condition and both wheels were half black and half white during the PR = 50% condition

³Probability of Reciprocation

- 実験器具

- 実験課題：コンピュータと対戦する囚人のジレンマゲーム
 - * 通常とは違い、相手の選択肢が分かった状態で選択を行えるため、厳密には後だし囚人のジレンマゲーム
 - * 「コンピュータと対戦してもらおう」と教示している
- プログラムのインターフェースは Exhibit 2
 - * これは PR が 75% 条件のものである
 - * 「Left」、「Right」ボタン：Left は協調、Right は裏切りに対応
 - * ホイール：次回に取るコンピュータの行動を決定する役割。選んだボタンによって 2 種類ある
 - ・ 白 (黒) の部分に止まると次回に相手が「協調 (裏切り)」を選択することを意味する
 - ・ PR が 75% 用であるため、比率が 1:3 となっている。
 - ・ PR が 100% の時は全て白か黒、PR が 50% の時は白と黒が半分ずつ
 - * 右上の利得表：コンピュータの選択肢は「White(協調)」と「Black(裏切り)」となっており、選んだ方は青で強調される (Exhibit 2 では「White」が選ばれている)
 - * 右下のテキストボックス：現在の総得点を表示

- 手順

- 参加者 48 名をランダムに 3 つの条件に振り分けた
 1. PR=100% 条件：TFT と同じ
 2. PR=75% 条件
 3. PR=50% 条件：RANDOM と同じ
- 試行数：100 試行

2.2 Results

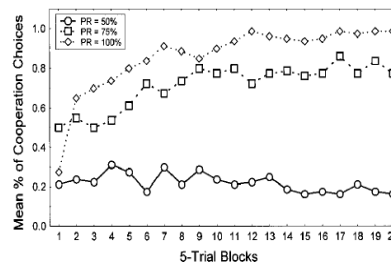


Exhibit 3. Mean percentage of cooperation choices across 5-trial blocks for the three PR groups in Experiment 1

- Exhibit 3 は条件ごとの 5 試行に区切った平均協調割合を示している
- 協調割合の代表値として最後 20 試行 (80 ~ 100) の協調割合を用いる
 - 全条件において、80 試行目から安定状態に達したから
- 分析結果
 - 性別における協調割合の差は認められない (ANOVA:F(1,46)=0.011,p=0.916)
 - PR 条件の主効果が有意 (one-way ANOVA:F(2,45)=71.109,p < 0.001)
 - Scheffe 検定の結果
 - * 50% < 75% ($p < 0.001$)
 - * 50% < 100% ($p < 0.001$)

* 75% と 100% に有意な差は認められない ($p=0.065$)

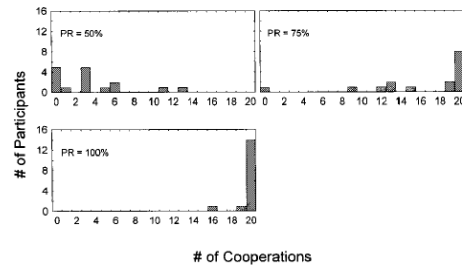


Exhibit 4. Histogram of the number of cooperations by participants during the last 20 trials for the three PR groups in Experiment 1

- Exhibit 4 は最後の 20 試行で協調を選択した回数を横軸に据え，実験参加者の度数を表現したグラフである
 - PR 条件ごとの最頻値は (50%,75%,100%)=(0,20,20) である

2.3 Discussion

- 協調と裏切りにおける利得の期待値が等しい PR を求める式は下の式

$$\begin{aligned} 5(PR) + 1(1 - PR) &= 2(PR) + 6(1 - PR) \\ PR &= 0.63 \end{aligned}$$

- PR=0.63 が意味するところ
 - 対戦相手の PR が 0.63 よりも大きい時 (例えば PR=75%,100%)，全試行協調した時に利得の期待値が最大となる
 - * Exhibit 4 を見ると，PR=75%,100% 条件の大部分が利得の期待値を最大にする協調を選択していることが分かる
 - 対戦相手の PR が 0.63 よりも小さい時 (例えば PR=50%)，全試行裏切った時に利得の期待値が最大となる
 - * しかし，PR=50% 条件においては全て裏切りを選択している人の割合が少ない
- 予想通り，PR の違いが協調を選択する割合に強く影響を与えた
 - PR が 100% の時は協調した方が有利だと学習した
 - PR が 50% の時は協調するメリットが無いため，協調割合が低くなった
- しかし，今回の実験では対戦相手の PR を表す「ホイール」を明示していたため，通常の囚人のジレンマゲームに必要な「PR の予測」は不要であった．
- 従って，実験 2 ではより通常の囚人のジレンマゲームに近い形にするため，「ホイール無し」で行う

3 実験 2

3.1 Method

- 実験参加者：大学生 48 名 (男性 24 名，女性 24 名)
- プログラムのインターフェースは Exhibit 2 にホイールを除いたもの
- 実験器具，手順は実験 1 とほぼ一緒

3.2 Result

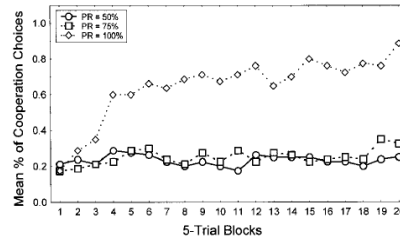


Exhibit 6. Mean percentage of cooperation choices across 5-trial blocks for the three PR groups in Experiment 2

- Exhibit 6 は条件ごとの 5 試行に区切った平均協調割合を示している
- 協調割合の代表値として最後 20 試行 (80 ~ 100) の協調割合を用いる
- 分析結果
 - 性別における協調割合の差は認められない (ANOVA:F(1,46)=0.082,p=0.776)
 - PR 条件の主効果が有意 (one-way ANOVA:F(2,45)=15.138,p < 0.001)
 - Scheffe 検定の結果
 - * 50% < 100% ($p < 0.001$)
 - * 75% < 100% ($p < 0.001$)
 - * 50% と 75% に有意な差は認められない ($p=0.855$)

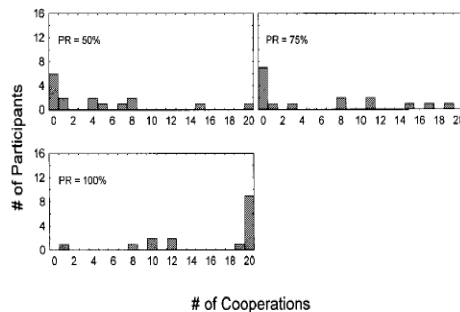


Exhibit 7. Histogram of the number of cooperations by participants during the last 20 trials for the three PR groups in Experiment 2

- Exhibit 7 は最後の 20 試行で協調を選択した回数を横軸に据え，実験参加者の度数を表現したグラフである
 - PR 条件ごとの最頻値は (50%,75%,100%)=(0,0,20) である

3.3 Discussion

- PR=50% 条件
 - 最後の 20 試行において，実験 1 と同程度に協調を選択している
 - * PR=50% は全て裏切ることが利得の期待値が最大であるのに関わらず
 - この結果はカードを使った先行研究の結果と一致 (Silverstein *et al.*,1998)

- PR=100% 条件
 - 実験 1 に比べ、利得の期待値が最大となる「全協調」をしている人の数が少ない
 - 平均協調割合も実験 1 の PR=75% 条件と同程度
- PR=75% 条件
 - 実験 1 と大きく異なる結果となっている
 - Exhibit 6 や Exhibit 7 を見ても、PR=50% 条件と差がほとんどない
 - * PR=75% は全て協調することが利得の期待値が最大であるのに関わらず
- PR=50% 条件と PR=75% 条件において、利得の期待値が最大となる行動を取らなかった理由として、一つの懸念がある
 - 対戦相手であるコンピュータは固有の確率 (75% or 50%) によって行動を決定する
 - しかし、確率の揺れの影響で確率の実験終盤の 20 試行において、その確率通りに行動を決定していなかった可能性も考えられる
- しかし、実験 1 においても確率の不確実性は存在しているため、それが影響しているとは考えられない

4 実験 3

- PR を明示するホイールの有無を操作した実験 1 と 2 ではコンピュータ相手に囚人のジレンマゲームを行った
- 実験 3 では教示によって相手が人間であると思わせる
- 実験 3 は実験 2 と同様にホイールが無いインターフェースで行う
- 実験 3 は実験 1 と 2 のどちらに近い結果となるのか？
 - (予測 1) 実験 2 と近い結果になる
 - * ホイールが無く、PR の推定が困難であるため
 - (予測 2) 実験 1 と近い結果となるかもしれない
 - * 相手が人間であるという教示が過去に経験した人とのインタラクションを想起させることに繋がり、その結果 PR の推定を助けるため
 - ・ 相手がコンピュータだと、コンピュータと一緒にゲームしたという経験が無いため、このようなことは起こらなかった
 - * しかし、過去の経験をもとに現在の対戦相手の PR の予測することが非常に大きな労力を要する場合、この予測は外れるであろう

4.1 Method

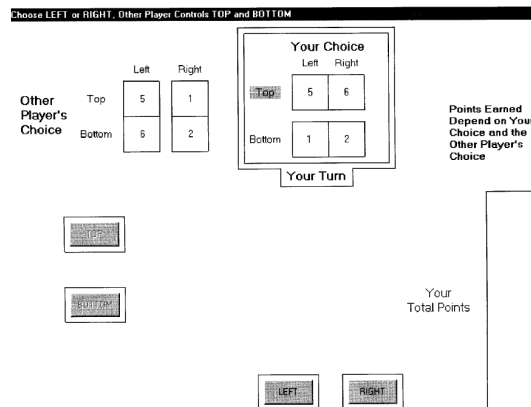


Exhibit 8. Starting screen display for all three PR conditions (50%, 75%, and 100%) in Experiment 3

- ほぼ実験 1 の手順と同じ
- 実験参加者に相手が人間だと信じ込ませるための手順
 - 実験参加者が待つ部屋にサクラも入る
 - 実験開始のアナウンスがあった場合、サクラも待合室から出て、違う階に移動する
 - Exhibit 8 は実験 3 で使用したプログラムのインターフェースである
 - * サクラと交互に選択するように装っている
 - * サクラが選択するしているように装うため、実験参加者が選択した後にタイムラグを設けている
 - * しかし、試行間の待機時間は実験 1, 2 と同じ時間になっている
- 質問紙
 - 対戦相手を人間だと信じていたかを確認するため
 - 質問内容
 1. 「ゲームについてどう思いましたか？」
 2. 「対戦相手についてどう思いましたか？」
 - 対戦相手を人間だと思ったか疑わしい男性 1 名と女性 1 名のデータを除外した
 - * 恐らく補填したと思われる

4.2 Results

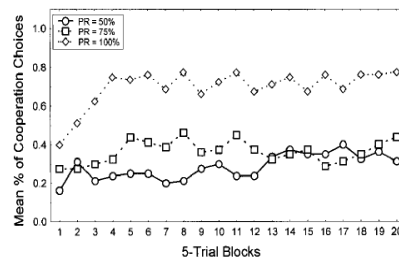


Exhibit 9. Mean percentage of cooperation choices across 5-trial blocks for the three PR groups in Experiment 3

- Exhibit 9 は条件ごとの 5 試行に区切った平均協調割合を示している
- 協調割合の代表値として最後 20 試行 (80 ~ 100) の協調割合を用いる
- 分析結果
 - 性別における協調割合の差は認められない (ANOVA:F(1,46)=0.758,p=0.389)
 - PR 条件の主効果が有意 (one-way ANOVA:F(2,45)=8.154,p < 0.001)
 - Scheffe 検定の結果
 - * 50% < 100% ($p = 0.003$)
 - * 75% < 100% ($p = 0.006$)
 - * 50% と 75% に有意な差は認められない ($p = 0.975$)

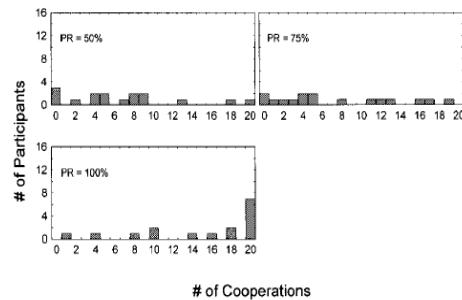


Exhibit 10. Histogram of the number of cooperations by participants during the last 20 trials for the three PR groups in Experiment 3

- Exhibit 10 は最後の 20 試行で協調を選択した回数を横軸に据え、実験参加者の度数を表現したグラフである
 - PR=100% 条件：実験 1,2 と同様に最頻値は 20
 - PR=75% 条件：実験 1,2 と違いバラつきが大きい
 - PR=50% 条件：実験 1,2 と同様に最頻値は 0 であるが、全体的に協調が多く選択されている
 - PR=75% と PR=50% における最後の 20 試行を全て裏切った人数は 32 人中 5 名
 - * これは実験 2 の 32 人中 13 名よりも少ない

4.3 Discussion

- 実験 3 の最後の 20 試行の平均協調割合は実験 2 の結果に近かった
- しかし、実験 2 と比べて全て裏切った人数が減る傾向が見られた
- この違いについて、様々な要因があると考えられる
 1. 予測 2 で挙げたように、過去の人とインタラクションした経験を PR の予測のために使用した
 2. 相手がコンピュータだと相手を取る行動はある規則（確率）に則して決定していると考えられるが、相手が人間だとそう考えない
 3. 相手が獲得した利得も表示していたため、相手に得点を与えようと協調を選択した
 - Exhibit 10 は Exhibit 7 を比べると、右に寄っている（協調を多く選択している）

5 Conclusion

- 3 つの実験の結果から、協調行動は PR の程度に強く影響を受ける
 - PR=100%(TFT) の時、協調を選択する傾向が強い
 - PR=50%(RANDOM) の時、裏切りを選択する傾向が強い
 - PR=75% の時は PR を明示している時（実験 1）のみ協調を選択するが、実験 2 や実験 3 においては PR=50% と似た行動となる
- PR=0.63 の時、協調と裏切りのどちらを選んでも利得の期待値に違いはない
 - PR=100%, 75% の時は全て協調した方が得
 - * しかし、PR=75% では実験 2,3 において、全て裏切った方が得となる PR=50% と似た結果となった

- これらの結果は「社会的ジレンマ (個人 vs. 集団)」による葛藤と「自製のジレンマ (一時の得 vs. 未来の得)」による葛藤の間にある違いを示す証拠となる
 - － 社会的ジレンマによる葛藤は自製のジレンマによる葛藤に比べて弱いことが示唆された
 - * 社会的ジレンマが生じる状況 (実験 3) : PR=75% の協調割合が低い
 - * 自製のジレンマが生じる状況 (実験 1,2) : 実験 1 では 75% の協調割合は高いが, 実験 2 は低い
- 本研究で残された問題点
 - － ゲームと日常生活との差異
 - * 日常生活では現在の行動が直接未来の結果を変える場面は少ない
 - ・ 現在の行動の影響を遅らせると, 協調割合が減る (Hernstein and Prelec,1992; Kudadjie-Gyamfi and Rachlin,1996)
 - － 謝礼金による動機
 - * 本研究では獲得した得点によらず, 一定の謝礼金を支払った
 - ・ しかし, 結果は得点によって (微小ではあるが) 謝礼金を変えた先行研究 (Kudadjie-Gyamfi and Rachlin,1996) と一致した
 - － 利得表の得点配分
 - * 得点配分が緩やか (1,2,3,4) に比べ, 急 (1,2,5,6) よりも協調割合が低くなった (Brown and Rachlin,1999)
- 本研究の意義
 - － 本研究は対戦相手の返礼行動の確率 (PR) が協調割合に強く影響を与えることを示した
 - － これまで分けて考えられてきた自制と社会的協調の関係の重要性を示した
- Future research
 - － 未来を見据えた行動: 相手の裏切りを抑制するための裏切りを選択したり, 相手の協調を引き出すために協調を選択する行動
 - * PR を変化させることで, この行動にどのような変化が見られるのか?