

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月30日現在

機関番号：37111
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21530180
 研究課題名（和文） 情報構造をもつn人囚人のジレンマにおける均衡選択についての実験的研究
 研究課題名（英文） An experimental study on the equilibrium selection in the n-person Prisoners' Dilemma with information structure
 研究代表者 西原 宏（NISHIHARA KO）
 福岡大学・経済学部・教授
 研究者番号：10198492

研究成果の概要（和文）：囚人のジレンマの利得構造のもとで、プレイヤーの先手/後手はランダムに決められ、先手が「非協力」を選択するときのみその行動が後手によって観察されるとする。このとき、利得構造が一定の条件を満たせば、どちらのプレイヤーも「協力」をプレイするナッシュ均衡が存在する。本研究の目的は、通常の囚人のジレンマに比べて、この修正された囚人のジレンマにおいて協力の可能性が高まるという仮説を検証することにある。実験の結果、非協力の誘因が一定の範囲にあるとき、この仮説は有意水準1%で支持された。

研究成果の概要（英文）：We consider the following modified Prisoner's Dilemma: Nature chooses the order of moves with 50-50 chance and only the first mover's *Defection* is observed by the second. When the payoff structure satisfies a certain condition, there exists a Nash equilibrium in which both players choose *Cooperation* in its play. The purpose of this study is to test the hypothesis that the possibility of cooperation is enhanced in the modified Prisoner's Dilemma in comparison with the usual one. By an experiment, this hypothesis was supported at the 1% significance level when the incentive for *Defection* is in a certain range.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：ゲーム理論

科研費の分科・細目：経済学・理論経済学

キーワード：囚人のジレンマ, 実験, strategy method, 均衡選択

1. 研究開始当初の背景

個人の合理的な選択が社会的な問題を引き起こす状況は、社会的ジレンマと呼ばれる。砂漠化などの環境問題、資源やエネルギーの濫費、フリーライダー問題などがその例である。社会的ジレンマの構造はn人囚人のジレンマと呼ばれる標準形ゲームで表される。社

会的ジレンマを解決するための手がかりを求めて、n人囚人のジレンマにどのような要素が加われば協力がプレイされるかについて、これまで様々な理論的な研究がなされて来た。代表的なものは、ゲームの繰り返し、自発的な制度設計、限定合理性などである。そのような中で、本研究代表者は、n人囚人

のジレンマがランダムに決められた手番でプレイされ、各プレイヤーの非協力行動が後の手番のプレイヤーに知られる（これを非協力探知型情報構造を持つ n 人囚人のジレンマと呼ぶ）ならば、全員による協力が実現するナッシュ均衡が存在することを示した。この結果は、「協力」が目立たず「非協力」が目立つ場合には、社会的ジレンマは回避され得ることを示している。ただしこのゲームにはプレイヤー全員が「非協力」をプレイするナッシュ均衡も存在する。一般に複数のナッシュ均衡からどれが選ばれるかについては、これまで多くの理論的な研究がなされて来たが、未だに決定版はない。したがって、どちらの均衡が選ばれるかを実験的に検討することにした。これが本研究の当初の目的であった。

2. 研究の目的

本研究の第1の目的は、非協力探知型情報構造のもとで、上述の2つの均衡戦略のどちらが多く採られるかを実験によって検証することであった。第2の目的は、協力均衡の戦略を採る被験者の選択理由を明らかにすることであった。しかしながら第1の目的については、予備実験を通して実験デザインを検討する過程において、2つの均衡戦略のどちらかが際立って大きな割合で採られることはないことが分かった。そこで、非協力探知型情報構造によって協力が実現する可能性が高まるか否かを検証することとした。

3. 研究の方法

(1) モデルと理論的背景

研究の出発点として、実験は $n=2$ の囚人のジレンマについて行った。利得表は表1で表される。相手の行動を所与としたときに行動 X を採るよりも Y を採ることによる利得の増分 G を非協力の誘因と呼ぶ。今回の実験では、 G の大きさが相手の行動に関わらず一定であるとした。

表1. 囚人のジレンマ (金額単位: 円)

	協力 (X)	非協力 (Y)
協力 (X)	500, 500	100, 500+G
非協力 (Y)	500+G, 100	100+G, 100+G

(注) $0 < G < 400$.

各プレイヤーの採り得る行動は、協力 X と非協力 Y の2通りである。通常の囚人のジレンマにおいては、これら2つの行動 X と Y がそのままプレイヤーの（純粋）戦略となる。以下では、戦略 X を協力的戦略と呼ぶ。

この研究で用いられた非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマは、次のような展開形ゲームである。

1. 「自然」が等確率で2人のプレイヤーのどちらかを先手として選ぶ。
2. 「自然」が選んだ手番の順序にしたがって各プレイヤーは X または Y を選択する。
3. 各プレイヤーは2つの情報集合を持つ。1つは、自分が後手で相手が Y を採ったときに到達する情報集合（情報集合1）であり、もう1つは、自分が先手のときか自分が後手で相手が X を採ったときに到達する情報集合（情報集合0）である。
4. 2人のプレイヤーが行動 X または Y を選んだ後、各プレイヤーは表1に従って利得を獲得する。

このゲームと通常の囚人のジレンマとの違いは情報構造の違いに帰着する。

非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマにおいて、各プレイヤーの（純粋）戦略を ab で表す。ただし、 a は情報集合0で採る行動で、 b は情報集合1で採る行動である。各プレイヤーは、4つの戦略、 XX , XY , YX , YY を持つ。戦略 XX と XY は、これらの戦略の組み合わせでは協力 X がプレイされるので協力的戦略と呼ぶことにする。

このゲームにおいて次の命題が成り立つことが示されている。

命題 G が 200 以下のとき、戦略の組 (XY, XY) はナッシュ均衡（以下、これを協力均衡と呼ぶ）である。一方、 G の大きさに関わりなく、戦略の組 (YY, YY) はナッシュ均衡である。

(2) 実験の目的と実施方法

実験の目的は、囚人のジレンマの情報構造を非協力探知型に変更することで被験者が協力的な戦略を選択する可能性が高まるか否かを検証することである。つまり、被験者の選択する戦略を結果 (outcome)、ゲームの情報構造を処置 (treatment) として、平均処置効果 (average treatment effect) を推定することが目的である。

一連の実験は、福岡大学の学生を被験者として2009年から2010年にかけて実施した。参加した被験者の総数は690人である。被験者に重複はない。被験者の募集は、福岡大学の全学生が閲覧可能な電子掲示板等に募集案内を掲示することによって行われた。被験者の募集は G の大きさの違い ($G=30, 50, 100, 150, 200$) 等によって7回に分けて行われた。1回の募集につき2つの実験が行われた。集められた被験者は、2つの実験のどちらかに割り当てられた。各実験は2つのセッションから構成され、1つのセッションでは非協力探知型の囚人のジレンマをプレイさせ、もう1つでは通常の囚人のジレンマをプレイさ

せた。募集ごとに行われた2つの実験の相違は、セッションの順序のみにある。すなわち、一方の実験では非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマを第1セッションに配置し、もう一方の実験では通常の囚人のジレンマを第1セッションに配置した。ただし、募集の1つにおいては、通常の囚人のジレンマの代わりに完全情報の囚人のジレンマをプレイさせた。実験は全て戦略選択法 (strategy method) によって行われ、被験者には全ての情報集合における選択を回答させた。2つのセッションの終了後に質問紙によって戦略の選択理由を調査した。各被験者の獲得金額は、2つのセッションにおける利得の合計に参加への謝礼500円を加えた金額とした。

(3) 検証の方法

次節(4. 研究成果)で提示するのは、被験者が何の予断もなく戦略を決定したと考えられる第1セッションの実験データのみを用いた結果である。そこでは、標本比率差を検定統計量として用いている。標本比率差が平均処置効果の一致推定量となるためには、結果に影響しないような方法で被験者を処置に割り当てる必要がある。上述したように、各回の募集で集められた被験者は、第1セッションで行うゲームが異なる2つの実験(処置)に割り当てられた。本研究では、日程の異なる2つの実験から参加可能な日程を回答させることで被験者を実験(処置)に割り当てた。したがって、本研究で用いた被験者の処置への割当の仕方は無作為ではない。一方で、募集の際には、両日程における処置の相違(第1セッションでプレイされるゲーム)を被験者に告知していない。それ故に、この処置への割当の仕方が結果(協力的戦略の選択)に影響を及ぼすとも考えにくい。次節で提示する結果はこの想定に基づいている。

4. 研究成果

(1) 非協力探知型情報構造と無情報の比較

非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマにおける戦略の選択比率は、各Gの値に対応して次の表2のようにまとめられる。

表2：戦略の選択比率 (非協力探知型情報構造)

Gの値と被験者数	XX	XY	YX	YY
G=30 (42名)	0.119	0.357	0.024	0.500
G=50 (89名)	0.067	0.427	0.022	0.483
G=100 (83名)	0.048	0.422	0.012	0.518
G=150 (36名)	0.000	0.167	0.000	0.833
G=200 (51名)	0.020	0.118	0.020	0.843

この表から分かることは、協力的戦略 XY

が YY より際立って多く採られる場合はないということである。これは、当初の研究の目的であるどちらの均衡戦略が採られやすいかに対しては否定的な結果である。しかしながら、我々の目的に照らして重要なのは、通常の囚人のジレンマにおける無情報の場合に比べて、非協力探知型情報構造のもとで協力的戦略の選択比率が増加するか否かである。この点については、表3のように結果をまとめることができる。

表3：協力的戦略の選択比率

Gの値と被験者数 (NI, OD)	NI X	OD XX or XY	比率差
G = 30 (58名, 42名)	0.534 (0.065)	0.476 (0.077)	-0.058 (0.101)
G = 50 (120名, 89名)	0.308 (0.042)	0.494 (0.053)	0.186* (0.068)
G = 100 (49名, 83名)	0.224 (0.060)	0.470 (0.055)	0.245* (0.081)
G = 150 (38名, 36名)	0.211 (0.066)	0.167 (0.062)	-0.044 (0.091)
G = 200 (56名, 51名)	0.161 (0.049)	0.137 (0.048)	-0.023 (0.069)

(注) ()内は標準偏差。*は1%水準で有意を意味する。NIは無情報、ODは非協力探知型を表わす。

この表から、次の点を読み取ることができる。まず、G=50, 100では、非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマにおいては、通常の囚人のジレンマ(無情報)の場合に比べて協力的戦略の選択比率が高まるという仮説が統計的に支持された。一方、それ以外のGの値(G=30, 150, 200)においては、非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマで協力的戦略の選択比率が低くなっていることが見て取れるが、この差は有意水準25%を許しても有意ではない。

この結果の解釈としては、次のように考えることができる。G=30の場合は、非協力の誘因が小さ過ぎてそもそも通常の囚人のジレンマで非協力Yが支配戦略であると意識されなかった可能性が考えられる。また、G=200の場合は、(XY, XY)の均衡条件が等号で成り立つ場合であり、(XY, XY)がナッシュ均衡であることが意識されなかった可能性が高いと考えられる。このように考えれば、情報構造の比較が意味を持つのは、(XY, XY)が均衡となるGの値の範囲の中央付近(G=50, 100, 150)においてということになる。Harsanyi and Selten のリスク優位 (risk dominance) の概念を用いると、 $G < 133$ のとき、均衡(XY, XY)は均衡(YY, YY)に対してリスク優位となる。G=50, 100において検証仮説が支持される一方でG=150においては支持されないという結果は、戦略の選択とリスク優位との関連を示唆している。

(2) 選択の動機についての質問紙調査

本研究では、非協力探知型情報構造を持つ四人のジレンマに関して、被験者に対して戦略選択の動機について質問紙調査を行った。その結果、相手が協力的戦略を採るであろうという信念を持つ被験者は協力的戦略を採り、相手が協力的戦略を採らないであろうという信念を持つ被験者は協力的戦略を採らない傾向が見られた(表4)。

表4：相手が情報集合0で何を採ると予想したか

	A1	A2	A3	A4	A5
XXまたはXYの 選択者 39名	0.538	0.231	0.205	0.026	0.000
YYまたはYXの 選択者 44名	0.068	0.727	0.136	0.000	0.068

(注) G=100における回答。A1からA5は以下の通り。

- A1: 相手はXを選択する可能性が高い。
- A2: 相手はYを選択する可能性が高い。
- A3: 相手はXを選択する可能性とYを選択する可能性はほぼ同じくらい。
- A4: 相手がどちらを選択するかは見当がつかなかった。
- A5: この場合における相手の選択については予想しなかった。

(3) 完全情報を含めた比較

囚人のジレンマの利得構造のもとでは、情報が粗過ぎて(少な過ぎて)も、情報が細か過ぎて(多過ぎて)も、協力均衡は存在しない。前者の極端な場合が通常囚人のジレンマ(無情報)であり、後者の極端な場合が完全情報の囚人のジレンマである。実際、非協力探知型情報構造において協力均衡が存在しないならば、いかなる情報構造のもとでも協力均衡が存在しないことが理論的に示されている。このことから、非協力探知型情報構造という適度な粗さの情報構造が協力均衡を生み出していると理解できる。この点に検討を加えるためにG=100の場合において完全情報の場合の実験を行った。

完全情報の囚人のジレンマは、先手と後手の決定は等確率で行われ、後手のプレイヤーは先手のプレイヤーの選択をX, Yいずれの場合も知ることができるゲームである。このゲームにおいて、各プレイヤーは3つの情報集合を持つ。1つ目は、自分が先手のときの情報集合であり、2つ目は、自分が後手で相手がXを採ったときに到達する情報集合であり、3つ目は、自分が後手で相手がYを採ったときに到達する情報集合である。これら3つの情報集合で採る行動をそれぞれa, b, cとすると、各プレイヤーの(純粋)戦略はabcで表現できる。各プレイヤーは、8つの戦略, XXX, XXY, XYX, XYY, YXX, YXY, YYX, YYYを持つ。ここで、戦略XXXとXXYは、これらの戦略の組み合わせでは協力Xがプレイされるので協力的戦略と呼ぶことにする。

以上のような設定のもとで行なった実験の結果が表5に示されている。

表5より、非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマで観察された協力的戦略の選択比率は47%であり、通常囚人のジレンマの22.4%, 完全情報の29.4%と比較して、2倍程度になっていることがうかがえる。実際、非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマにおいては、通常囚人のジレンマに対しては有意水準1%で、完全情報の囚人のジレンマに対しては有意水準5%で、それぞれ協力的戦略の選択比率が高まっていることが統計的に確認された。一方、通常囚人のジレンマと完全情報の囚人のジレンマの間では、協力的戦略の選択比率に統計的に有意な差は見られなかった。以上より、共通の利得構造(G=100)のもとで、通常囚人のジレンマ(無情報)、非協力探知型、完全情報という3つの情報構造の比較を行った結果、非協力探知型情報構造において協力的戦略の選択比率が有意に高いことが確認された。この結果は、非協力探知型情報構造の情報の不完全性が果たしている積極的な役割を示唆している。

表5：協力的戦略の選択比率

情報構造 (被験者数)	協力的戦略 の選択比率	比率差 (vs NI)	比率差 (vs PI)
NI (49名)	0.224 (0.060)	-	-0.070 (0.081)
OD (83名)	0.470 (0.055)	0.245* (0.081)	0.176** (0.078)
PI (68名)	0.294 (0.055)	0.070 (0.081)	-

(注) G=100。()内は標準偏差。*は1%水準で、**は5%水準で有意を意味する。NIは無情報、ODは非協力探知型、PIは完全情報を表す。

なお、完全情報の囚人のジレンマにおける戦略の選択比率は次の表6としてまとめられる。

表6：戦略の選択比率(完全情報, 68名)

戦略	XXX	XXY	XYX	XYY
比率	0.059	0.235	0.000	0.118
戦略	YXX	YXY	YYX	YYY
比率	0.044	0.147	0.000	0.397

(4) 今後の課題と展望

今回の研究では、研究の出発点として2人ゲームの囚人のジレンマについて実験を行った。非協力探知型情報構造のもとで協力均衡が存在することは、一般的なn人囚人のジレンマにおいて示されており、nが3以上の場合の実験が課題として残されている。

今回の実験では非協力の誘因Gに注目し、

これを变化させて実験を行った。別の観点としては、相手が協力でなく非協力を採ったときの利得の減少分に注目してそれを变化させる実験をデザインすることも考えられる。また、今回の実験では戦略の選択とリスク優位の関係が示唆されたが、その点についてより詳細な検討を行うことも課題として残されている。

さらなる課題としては、被験者が繰り返しランダムにマッチングしてゲームをプレイするときに戦略の選択がどのように収束するかの検討がある。その場合、被験者のグループに十分に大きな割合で協力的戦略を採る者がいれば、最終的にほとんどすべての被験者が協力的戦略をとるかもしれない。もしそうであればその割合がどのくらいの大きさであるかを検討することは、社会的ジレンマが解消するための社会の条件を示すものであり重要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 西原 宏、鍵原 理人、渡邊 淳一「非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマにおける協力の選択についての実験研究」『行動経済学』第4巻、2012年、pp. 141-144, 査読無し。
- ② 鍵原 理人、「非協力探知型情報構造の導入は囚人のジレンマの解決法として有効か：実験研究に基づく統計的証拠の提示とその予備的考察」、『福岡大学経済学論叢』第55巻、2010年、pp. 11-35, 査読無し。

[学会発表] (計5件)

- ① 鍵原 理人、囚人のジレンマにおける協力の選択に対する非協力探知型情報構造の効果についての実験的研究、特定領域研究(実験社会科学)研究会、2012年3月9日、神戸大学。
- ② 鍵原 理人、囚人のジレンマにおける協力の選択に対する非協力探知型情報構造の効果についての実験的研究、早稲田木曜セミナー、2012年3月1日、早稲田大学。
- ③ 鍵原 理人、非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマにおける協力の選択についての実験研究、第15回実験社会科学カンファレンス、2011年12月28日、早稲田大学。
- ④ 鍵原 理人、非協力探知型情報構造を持つ囚人のジレンマにおける協力の選択についての実験研究、行動経済学会第5回大会、2011年12月10日、関西学院大

学。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西原 宏 (NISHIHARA KO)
福岡大学・経済学部・教授
研究者番号：10198492

(2) 研究分担者

阿比留 正弘 (ABIRU MASAHIRO)
福岡大学・経済学部・教授
研究者番号：20175897

今泉 博国 (IMAIZUMI HIROKUNI)
福岡大学・経済学部・教授
研究者番号：30151666

鍵原 理人 (KAGIHARA MASATO)
福岡大学・経済学部・准教授
研究者番号：70352226

米田 清 (YONEDA KIYOSHI)
福岡大学・経済学部・教授
研究者番号：90320267

渡辺 淳一 (WATANABE JUNICHI)
福岡大学・経済学部・教授
研究者番号：40230966

(3) 連携研究者 なし