

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25380236

研究課題名(和文) 多様な行動原理に対して頑健なメカニズム・デザイン

研究課題名(英文) Robust Mechanism Design

研究代表者

水上 英貴 (MIZUKAMI, Hideki)

青山学院大学・経済学部・准教授

研究者番号：30377238

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、完備情報下において、ナッシュ均衡行動だけではなくマキシミン行動も人々が行動原理として採用していると仮定し、これらの行動原理に対して頑健なメカニズムの方がそうでないメカニズムよりも高いパフォーマンスを示すのかどうかを経済実験によって検証した。その結果、マキシミン戦略に対して頑健なナッシュ遂行可能なメカニズムの方が、そうでないナッシュ遂行可能なメカニズムよりも高い均衡達成率を示すことがわかった。

研究成果の概要(英文)：This study assumes that, in complete information settings, people play not only a Nash equilibrium action but also a maximin action. This study examines by economic experiments whether or not a mechanism that is robust against these actions achieves better performance than the one that is not robust against those actions. It turns out that a Nash implementable mechanism that is robust against maximin strategies performs better than the one that is not robust against those strategies.

研究分野：メカニズム・デザイン

キーワード：経済理論 ゲーム理論 メカニズム・デザイン 行動メカニズム・デザイン 遂行理論 経済実験

1. 研究開始当初の背景

政策担当者がある望ましい資源配分（社会目標）を遂行しようとするときに最も考慮しなければならないのは、人々のインセンティブである。すばらしい資源配分を実現しようといくら政策担当者が意気込んだとしても、人々がその配分を達成しようとするインセンティブを持たなければ、その資源配分が実現されることはない。したがって、人々に適切なインセンティブを与えることが社会目標を遂行するためには重要となってくるのだが、特に身近な問題などでは、いつも価格を使って適切なインセンティブを与えることができるとはかぎらない。そういう場合には、人々が各自の行動原理にしたがって行動した結果に実現される均衡状態が社会目標と常に一致するようなメカニズムを設計し使用することによって、インセンティブの問題を解決しつつ社会目標を遂行しようと試みるメカニズム・デザイン理論の考え方が重要となってくる。このような考え方は、2007年のノーベル経済学賞をメカニズム・デザイン理論の構築の功績で Hurwicz, Maskin, Myerson が受賞し、そして、2012年のノーベル経済学賞をマーケット・デザインの実践の功績で Roth, Shapley が受賞したことからもわかるように、近年は経済学において非常に重要になってきている。

メカニズム・デザイン理論の現実への応用例としてしばしば引き合いに出されるのが、Vickrey によるセカンド・プライス・オークションの設計、Milgrom たちによってなされたアメリカでの周波数オークションの設計、そして、Roth たちによるアメリカの研修医配属制度や学校選択制度などのマッチング制度の設計などである。ここで注目したいのは、上に挙げた実際に使用されている制度は、Roth の 2012 年のノーベル経済学賞受賞の理由になったものも含めて、どれもが直接表明メカニズムになっているということである。

直接表明メカニズムとは、人々が自分のタイプ（オークションでは評価額、マッチングでは選好）のみを表明するメカニズムのことである。直接表明メカニズムは、自分の情報のみを表明するという人々の直観にかなったシンプルなメカニズムであるために、実際に使用されることが多いのであろう。しかしながら、この直接表明メカニズムを使えば人々に適切なインセンティブを与えることができ、人々が自らの行動原理にしたがって行動した結果に生じる均衡状態を常に社会目標と一致させることが可能になるのかどうかは、理論的に可能になることはわかっているが、現実的にも可能になるのかどうかについては実はまだよくわかっていないところも残されている。

2. 研究の目的

理論に基づいて設計された直接表明メカニズムが実際には理論どおりにうまく機能しないかもしれない原因の一つは、従来のメカニズム・デザインで仮定されてきた人々の行動原理にある。従来の完備情報下でのメカニズム・デザインでは、人々の行動原理としてしばしばナッシュ均衡行動が仮定されてきた。しかしながら、人々が必ずしもナッシュ均衡行動を行動原理としてとっているわけではないということが、最近の実験経済学の研究成果からわかってきている。実際、我々の最近の実験結果においても、ナッシュ均衡で想定しているような行動をとる被験者ももちろん存在するが、そうではない行動をとる被験者も少なからず存在することが観察された。

ナッシュ均衡行動以外の行動原理として、メカニズム・デザインに関する我々の実験 (Mizukami et al. (2013)) でしばしば見られた被験者の行動原理は、マキシミン行動であった。2人のプレイヤーによる戦略形ゲームにおいて、自分に支配戦略がある場合には必ず支配戦略を選択しているにもかかわらず、被験者の立場を入れ替えて相手に支配戦略がある場合には、相手が支配戦略を選択すると予想してその最適反応戦略を選ぶのではなくマキシミン戦略を選ぶという行動が半数も見られた。自分に支配戦略がある場合はそれを必ず選択しているにもかかわらず、相手に支配戦略がある場合には相手がそれを選択することに確信が持てずに、安全を重視してマキシミン戦略を選択するという行動原理が数多く観察されたのである。

ここで、この実験の詳細を説明しよう。この実験はメカニズム・デザインの実験で、2012年10月に32人の学部生を被験者として早稲田大学で実施した。被験者は、2人の個人がランダムに組み合わせられ、それぞれが2つの戦略を持つ戦略形ゲーム1または2のどちらか一方をプレイした（途中で他の戦略形ゲームもプレイしながら、個人1の立場と個人2の立場で、戦略形ゲーム1または2のどちらか一方をそれぞれ数回プレイした）。なお、各回の結果を被験者にフィードバックしていないため、各回のゲームはそれぞれ独立したゲームとして実施されている。

戦略形ゲーム1では、個人1に支配戦略があり、相手がその支配戦略を選ぶと予想し個人2がその最適反応戦略を選ぶ戦略の組がナッシュ均衡である。しかしながら、このゲームの均衡達成率は52%と低い水準にとどまった。その原因を探ってみると、個人1の場合は100%で支配戦略を選んでいてもかわらず、個人2の場合は52%しか最適反応戦略を選んでおらず、48%がマキシミン戦略を選んでいくことがわかった。このゲームでは、先に述べたように、同じ被験者が

個人 1 と 2 の立場をそれぞれ 3 回ずつ交代してプレイしている。したがって、個人 1 の立場では支配戦略を選んでいたにもかかわらず、個人 2 の立場になると相手が支配戦略を選ぶと信じられずにマキシミン戦略を選んだ行動が 48% も観察されたのである。この事実は、被験者がナッシュ均衡戦略を選択する可能性は高いが、同時に、ナッシュ均衡戦略がマキシミン戦略とは異なる場合には、ナッシュ均衡戦略ではなくマキシミン戦略が選択される可能性も高いことを示唆している。

他方、戦略形ゲーム 2 では、個人 2 に支配戦略があり、相手がその支配戦略を選ぶと予想し個人 1 がその最適反応戦略を選ぶ戦略の組がナッシュ均衡である。ただ、このゲームの均衡達成率は 79% と高い水準となった。戦略形ゲーム 1 との大きな違いは、個人 1 の最適反応戦略がマキシミン戦略にもなっている点である。

この実験でも観察されているように、理論研究においてこれまでしばしば仮定されてきたように、ナッシュ均衡行動をとる人々はもちろん存在するのであるが、ナッシュ均衡行動以外にマキシミン行動をとる人々も現実には数多く存在しているのである。そこで本研究では、ナッシュ均衡行動だけではなくマキシミン行動も人々が行動原理として採用していると仮定し、(1) これらの行動原理に対して頑健なメカニズムを設計し、(2) そのメカニズムの性能を被験者を用いた実験で検証した。

3. 研究の方法

上で紹介した Mizukami et al. (2013) 実験は、(A: 多重遂行) ナッシュ均衡アウトカムがマキシミン戦略均衡アウトカムと一致しているかどうか、もしくは、(A') 最適反応戦略がマキシミン戦略にもなっているかどうかのどちらかが、ゲーム 1 と 2 での均衡達成率の違いを理論的に説明できるかもしれないということを示唆している。したがって、次の仮説が導き出せる。

(仮説 A: 多重遂行): 同一の社会目標をナッシュ遂行するメカニズムであっても、ナッシュ均衡アウトカムがマキシミン戦略均衡アウトカムと一致しているメカニズムは、そうではないメカニズムよりも高い均衡達成率を示す。

(仮説 A'): 同一の社会目標をナッシュ遂行するメカニズムであっても、ナッシュ均衡戦略がマキシミン戦略になっているメカニズムは、そうではないメカニズムよりも高い均衡達成率を示す。

まずは、(仮説 A) を検証するために、同一の社会目標をナッシュ遂行するメカニズムであって、(メカニズム A) ナッシュ均衡アウトカムがマキシミン戦略均衡アウトカ

ムと一致している間接表明メカニズムと、(メカニズム B) ナッシュ均衡アウトカムがマキシミン戦略均衡アウトカムとは一致していない直接表明メカニズムを設計し、(仮説 A) を検証するための実験のデザインを行った。本研究では、近年のメカニズム・デザイン分野の研究方法にしたがい、メカニズムを理論的に設計するだけでなく、その性能を実験によって実際に検証していくため、(1) メカニズムの設計、(2) 実験のデザイン、(3) 実験の実施、(4) 実験結果の分析という流れで研究を行った。

4. 研究成果

実験は、青山学院大学の学部生計 24 人を被験者に、2015 年 12 月 2 日に実施した。実験では、メカニズム A 実験・メカニズム B 実験ともに 12 人の被験者が参加し、各ラウンドでランダムに 6 組のペアを作った。そして、合計で 30 ラウンドの意思決定を被験者は行った。30 ラウンドのうち、メカニズム A においてはナッシュ均衡アウトカムがマキシミン戦略均衡アウトカムと一致しており、メカニズム B においてはそうではないラウンドは、10 ラウンドであった。

(仮説 A) によれば、これらの 10 ラウンドにおいて、メカニズム A のほうがメカニズム B よりも高い均衡達成率を示すことになる。しかしながら、これらの 10 ラウンドでの均衡達成率は、メカニズム A で 33.3%、メカニズム B で 83.3% となり、(仮説 A) とは逆の結果となった。したがって、我々の仮説が支持されることはなかった。さらに、驚くべきことに、メカニズム A のナッシュ均衡達成率は 16.7% という低いものであった(ここでの均衡達成率とは、ナッシュ均衡達成率だけではなく、マキシミン戦略均衡達成率も合わせたものである)。

メカニズム A の均衡達成率の低い原因を探るため、実験結果を詳細に検討してみると、当初は考慮していなかったその他の行動原理にしたがって行動している被験者の存在がわかった。その行動原理は、「ナッシュ均衡行動とマキシミン行動を合わせたタイプの行動」であり、相手がマキシミン戦略を選ぶと予想し自分はその最適反応戦略を選ぶというものであった。このような行動原理は、Morgan and Sefton (2002) 論文でも報告されていたものである。

そこで、ナッシュ均衡行動とマキシミン行動を合わせたタイプの行動を考慮に入れた上で、(仮説 A') の検証を行った。再度、同一の社会目標をナッシュ遂行するメカニズムであって、(メカニズム A') ナッシュ均衡戦略がマキシミン戦略にもなっている間接表明メカニズムと、(メカニズム B') ナッシュ均衡戦略がマキシミン戦略にはなっていない直接表明メカニズムを設計し、(仮説

A') を検証するための実験のデザインを行った。

新たな実験は、2017年1月12日に、青山学院大学の学部生計38人を被験者に実施した。実験では、メカニズム A' 実験・メカニズム B' 実験それぞれに18人・20人の被験者が参加し、各ラウンドでランダムに9組・10組のペアを作った。そして、合計で28ラウンドの意思決定を被験者は行った。28ラウンドのうち、メカニズム A' においてはナッシュ均衡戦略がマキシミン戦略にもなっており、メカニズム B' においてはそうではないラウンドは、8ラウンドであった。

今回も仮説によれば、これらの8ラウンドにおいて、メカニズム A' のほうがメカニズム B' よりも高い均衡達成率を示すことになる。これらの8ラウンドでの均衡達成率は、メカニズム A' で87.5%、メカニズム B' で69.4%となり、仮説通りの結果となった。この結果を検定 (Fisher's Exact Test) すると、1% 有意水準で帰無仮説が棄却された。したがって、今回は我々の仮説が支持されることになった。さらに、今回は、メカニズム A' のナッシュ均衡達成率は87.5%と高いものであった。

なお、ここでは詳細に述べないが、残りの20ラウンドでは、メカニズム A' とメカニズム B' には理論的な違いは見られない。したがって、実験での均衡達成率にも違いが見られないはずである。実際に、残りの20ラウンドについて、メカニズム A' とメカニズム B' で均衡達成率に違いはないという仮説を検定すると、帰無仮説はいずれも10%有意水準で棄却されることはなかった。詳細は、現在執筆中の論文で公表する予定である。

以上の実験結果から、最適反応戦略がマキシミン戦略にもなっているメカニズム、すなわち、ナッシュ均衡戦略がマキシミン戦略にもなっているメカニズムの方が、ナッシュ均衡戦略がマキシミン戦略にはなっていないメカニズムよりも高い均衡達成率を示すことが明らかになった。つまり、(A: 多重遂行) ナッシュ均衡アウトカムがマキシミン戦略均衡アウトカムと一致しているかどうかではなく、(A') 最適反応戦略がマキシミン戦略にもなっているかどうか、2012年に早稲田大学で実施した実験で見られた被験者の行動を説明する理論であることがわかった。以上より、完備情報下においては、多様な行動原理として、ナッシュ均衡行動、マキシミン行動、ナッシュ均衡行動とマキシミン行動を合わせたタイプの行動に頑健なメカニズムは、そうでない直接表明メカニズムと比べて、高い均衡達成率を示すことがわかった。

最後に、今後の課題を二つ挙げておきたい。本研究では、ある一つの社会目標 (社会選択関数) を取り上げて、メカニズムの性能比較を行っている。したがって、遂行する社会目

標として、異なる別の社会選択関数を取り上げたとしても、ナッシュ均衡戦略がマキシミン戦略にもなっているメカニズムの方が、そうではないメカニズムよりも高い均衡達成率を示すかどうかは明らかではない。多様な行動原理に対して頑健なメカニズムとして、ナッシュ均衡戦略がマキシミン戦略にもなっているメカニズムにどの程度の頑健性があるのかを、異なる別の社会選択関数を取り上げて実験によって検証することは、残された課題の一つである。

また、マキシミン行動以外にも、人々が採用する行動原理は存在する。例えば、Costa-Gomes et al. (2001) 論文には、マキシミン行動以外にもいくつかの行動原理が挙げられている。Costa-Gomes et al. (2001) 論文に挙げられている行動原理に対して頑健なメカニズムを設計しその性能を検証することも、多様な行動原理に対して頑健なメカニズム・デザインを考察する際には残された課題の一つである。

参考文献：

- Costa-Gomes, M, V.P. Crawford, and B. Broseta (2001): "Cognition and behavior in Normal-Form Games: An Experimental Study," *Econometrica*, 69 (5), 1193-1235.
- Mizukami, H., T. Nihonsugi, and T. Wakayama (2013): "Truth-Telling Mechanism Design," mimeo., Aoyama Gakuin University.
- Morgan, J. and M. Sefton (2002): "An Experimental Investigation of Unprofitable Games," *Games and Economic Behavior*, 40, 123-146.

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)

- Mizukami, H. and T. Wakayama (2017): "New Necessary and Sufficient Conditions for Secure Implementation," *Economics Letters*, 152, 76-78. (査読あり)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2016.12.009>
- Mizukami, H. and T. Wakayama (2015): "Ex-Post Self-Implementation," *Economic Theory Bulletin*, 3 (2), 357-367. (査読あり)
<http://link.springer.com/article/10.1007/s40505-014-0050-8>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

水上 英貴 (MIZUKAMI, Hideki)
青山学院大学・経済学部・准教授
研究者番号：30377238

(2)研究分担者

若山 琢磨 (WAKAYAMA, Takuma)
龍谷大学・経済学部・准教授
研究者番号：80448654

二本杉 剛 (NIHONSUGI, Tsuyoshi)
大阪経済大学・経済学部・准教授
研究者番号：10616791