

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：12613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K01557

研究課題名（和文）許容性および頑健性のあるメカニズム・デザイン

研究課題名（英文）Mechanism Design with Robustness and Admissibility

研究代表者

無藤 望（MUTO, Nozomu）

一橋大学・大学院経済学研究科・教授

研究者番号：40706222

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では許容性および頑健性のある遂行概念として、支配されない戦略による遂行を考える。戦略は有限個は存在しないと仮定する。このとき、一般的な私的価値環境において、遂行のための十分条件を導出した。

この十分条件をもとに、オークション、公共財供給、両側マッチングという経済環境において、古典的によく知られた社会選択関数を上回る社会選択対応が遂行可能であることを示した。オークションでは留保価格付き二位価格オークションを上回るものを、公共財供給ではVickrey-Clarke-Grovesメカニズムを上回るものを、マッチングでは片側最適安定マッチングを上回るものを求めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

支配されない戦略による遂行では、遂行のための十分条件は、既存文献において限られた形でしか知られていなかった。本研究では、扱いやすい形の十分条件を一般的な環境において提示し、その十分条件を典型的な経済環境に適用することで、古典的に知られた社会選択関数を上回る社会選択対応が存在することを示した。

この結果は、オークションやマッチングを含む応用領域にも有用であり、遂行のためにどのようなメカニズムが必要となるかに関する示唆を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：We consider implementation in undominated strategies by finite mechanisms, where multiple outcomes may be implemented at a single state of the world. We establish a sufficient condition for implementation applicable in a general environment with private values. We apply it to three well-known environments and obtain strikingly permissive results. In the single-object auction, the second-price auction with a reserve price can be outperformed in terms of revenue. In the public good provision problem, the Vickrey-Clarke-Groves mechanism can be outperformed from the viewpoint of a designer who wishes to minimize deficit subject to efficiency. In the two-sided matching environment where preferences on one side of the market are private information, the social choice correspondence that outputs all stable matchings at every preference profile, is implementable.

研究分野：メカニズムデザイン

キーワード：メカニズムデザイン

1. 研究開始当初の背景

本研究はメカニズム・デザインと呼ばれる分野に属する。メカニズム・デザインの応用例としては、オークションにおいて収入を増やしたり効率性を向上させたりするために売り手がどのようなルールを設定するか、公園や橋のような公共財を地方政府が供給する際の意思決定をどのように行うべきか、マッチングにおいて安定的かつ目的により合致した結果を得るために望ましい方式はどのようなものか、投票の際に社会的に好ましくない選択肢が選ばれにくくなる方式はどのようなものかなどがある。

そのような状況における障壁のひとつが、情報の非対称性である。一般に、問題を解決しようとしている主体を設計者と呼び、そこに関わってくる主体を参加者と呼ぶことにしよう。このとき、設計者が目指すべき目的は、多くの場合に参加者の私的情報に依存する。例えば、オークションで収入を増やそうと思うなら売る財を高く評価する買い手に売る方がよいが、買い手の財に関する評価は売り手から直接観察できない情報である。地方政府は住民の厚生を高めようとするが、厚生とは全住民の選好を集計して得られるものであり、それらの選好は地方政府からは直接観察できない。したがって、設計者の目的を達成するためには参加者の私的情報を何らかの手段で引き出すことが必要となる。

私的情報を引き出すための処方箋として、メカニズムの活用がある。すなわち、設計者が設計するゲーム(メカニズム)に参加者を参加させることにより、各参加者が自身の私的情報を反映した行動をとることになるため、その行動をもとに帰結を遂行するような適切なルールを整備すれば設計者の目的が達成できる(場合がある)という発想である。例えば、オークションは参加者が入札を行う形式のゲームである。入札額には各買い手の評価が反映されるので、高い評価の買い手は高い金額を入札して結果として高い評価の買い手に財を売却することができる(ようなルールを設計する)。そのとき、その買い手からの収入を最大化するためにはオークションのルールをどのように設計するのがよいか、というように、設計者の目的をよりよく達成するためにできること・できないことを分析するのがメカニズム・デザインの理論である。

メカニズムはひとつのゲームであるので、分析の際には均衡概念を定める必要がある。その中で、支配戦略遂行は古典的な文献から現在に至るまでよく使われている頑健な遂行概念である。これは、メカニズムにおける均衡概念として(弱)支配戦略均衡を採用するものである。一般に、戦略の支配関係は私的情報の確率分布や他のプレイヤーの合理性に関する知識に依存せずに定義されるため、支配戦略遂行は頑健な遂行概念であると言える。しかし、メカニズムにおいて支配戦略の存在を要請することは制約的すぎる場合があることが知られている。例えば、Gibbard-Satterthwaite の定理によると、選好の集合が限定されておらず、遂行され得る選択肢が3つ以上ある場合には、支配戦略遂行の下で遂行可能なのは独裁的な帰結(つまり、特定の参加者が最も選好する選択肢)だけである。このような困難を克服するために、文献では様々な試みが行われてきた。例えば、選好の集合を限定したり、より弱い遂行概念を考えたりなどである。ここでの方針を説明するために、設計者の目的に関する定式化についてより厳密に議論しよう。

前述の通り、設計者の目的は参加者の私的情報に依存する。本稿では私的価値を仮定する。すなわち、参加者の私的情報は自身の選好だけであると仮定する。すると、設計者の目的は、各参加者の選好組が与えられたときに、設計者が遂行したい帰結を割り当てるものであると理解できる。これを社会的選択ルールと呼ぼう。一般に支配戦略は存在すれば一意的であるので、支配戦略遂行の下では、ひとつの選好組に対して、遂行したい帰結が一意的であることを暗黙に要求していることになる。数学的には、値が一意的であるという意味で、社会的選択ルールが関数であることを意味している。この場合は「社会的選択関数」と呼ばれる。それに対して、設計者にとって許容できる帰結が複数ある場合も考えられる。例えば、パレート効率的であればそれで満足というような場合である。この場合は、社会的選択ルールの値として帰結の集合が与えられているとみなし、「社会的選択対応」と呼ばれる。ここでは、遂行したい帰結が一意的でなくともよいとして、支配戦略遂行の条件を弱めることにする。

2. 研究の目的

本研究では、(弱い意味で)支配されない戦略による遂行を考える。支配戦略遂行と異なり、支配されない戦略は一般に複数存在するため、社会選択関数ではなく社会選択対応で考えることになる。この遂行概念の下でどのような社会的選択対応が遂行可能となるかを分析することが本研究の主目的である。特に、支配戦略遂行可能であると古典的に知られている社会的選択関数と比較して、設計者にとってより良い社会的選択対応が遂行可能となることを示したい。

この分析にあたって、どのような社会的選択対応が設計者にとって“より良い”ものかを定義しておくことが必要となる。設計者が、参加者の選好組に依存して、選択肢間の選好を持っているとしよう。社会的選択対応が値として与えるものは選択肢の部分集合であるので、社会的選択対応間で順序をつけるためには、選択肢の部分集合間に順序をつける必要がある。しかし、集合

間に順序をつけるやり方は自明ではない。ひとつの考え方は、社会的選択対応が与える集合の中で設計者にとって最悪の帰結に着目し、メカニズムによって最低限達成できる水準について議論することである。この方針は数多くの文献で採用されているが、最悪でない帰結を無視しているという難点がある。本研究では次のような基準を採用する。社会的選択対応 F と社会的選択関数 g があるとしよう。このとき F が g を上回るとは、次の(1)と(2)の意味で F が g を弱く支配することである。(1) 参加者のどの選好組においても、設計者は F によって割り当てられるすべての選択肢を g によって割り当てられる選択肢よりも弱い意味で好む、(2) 参加者のいずれかの選好組において、設計者は F によって割り当てられるいずれかの選択肢 g によって割り当てられる選択肢よりも強い意味で好む。

3. 研究の方法

遂行可能な社会的選択対応の条件を理論的に分析した。ただし、遂行に用いられるメカニズムに何の制約もない場合には、任意の社会的選択対応が遂行可能となることが知られている。本研究では、戦略が有限個という現実的な制約の下での遂行可能性を分析した。

一般に、遂行の可能性を示すには、その社会選択ルールを遂行するメカニズムを構成する方法を見出すことになる。複数の選択肢を遂行する場合には、顕示原理 (revelation principle) は成立せず、戦略の個数が極めて多いメカニズムも対象に含める必要があるため、メカニズムの構成は複雑になりがちである。そのような技術的困難さがある中でも、一定の方針を持つメカニズム構成法を考案することが研究の上での大きなハードルとなる。

4. 研究成果

本研究では、遂行のための十分条件を示した。その十分条件は、次の3条件がすべて満たされることである。

- (1) 拡張耐戦略性 (strategy-resistance)
- (2) 最良選出の耐戦略性
- (3) 選好区別の条件

どのような条件かを順に説明する。

拡張耐戦略性は、任意の選好組においてある選択肢が遂行されようとしているときに、任意の参加者が別の選好に変えたとしても、その参加者は得をしないという条件である。これは、遂行のための必要条件であることが知られているので、十分条件でも拡張耐戦略性が必要となる。

社会選択対応が与えられたとき、ひとりの参加者に関して、選好組においてその社会選択対応によって遂行される選択肢の集合の中で、その参加者にとって最良の選択肢を選ぶような社会選択関数を「最良選出」と呼ぶことにする。拡張耐戦略性は、ある参加者の最良選出がその参加者にとって耐戦略的であることと同値である。ここでは、任意の参加者について、最良選出がその参加者だけでなく、全員にとって耐戦略的であることを要請する。逆に言うと、耐戦略性をみたく社会選択関数をもとに、各参加者にとってより悪い選択肢を付け加えて得られる社会選択対応は、この条件をみたくことになる。

選好区別の条件は、任意の参加者とその参加者の任意の2つの選好に対して、2つの選好で順序が逆になるような選択肢の組が存在し、他の参加者に関してはそれらの選択肢よりも最良選出が好まれることである。この条件は、金銭移転が可能な場合など、多くの環境でみたされる。

本研究では、上記の十分条件をいくつかの典型的な経済環境に適用することにより、応用的結果を得た。具体的には、(1) オークション、(2) 公共財供給、(3) 両側マッチング、の環境にそれぞれ応用した。

オークションでは、適当な留保価格付きの二位価格オークションが、支配戦略遂行可能な中で最も売り手の期待収入を高めることが古典的に知られている。したがって、売り手が全余剰を得るような帰結は、支配戦略遂行 (ないし、ベイジアン・ナッシュ遂行) では実現不可能である。それにもかかわらず、売り手が全余剰を得る帰結を任意の留保価格付き二位価格オークションの帰結に結合して得られる社会選択対応は、上の十分条件をみたくし、したがって支配されない戦略で遂行可能であることが示せる。売り手 (設計者) が収入最大化を目指すとき、この社会選択対応は、留保価格付き二位価格オークションによる社会選択関数と比較して、上で定義した意味で上回る。

公共財供給では、支配戦略遂行可能性を仮定する場合、効率的かつ個人合理的なメカニズムは必ず事後的に補助金を必要とする (全参加者の支払額の合計が負となる) ことが古典的に知られている。その中で、必要となる補助金額を最小とするメカニズムが VCG メカニズムと呼ばれるメカニズムであることも知られている。それにもかかわらず、VCG メカニズムの帰結に効率的、個人合理的かつ補助金が不要な帰結を結合して得られる社会選択対応は、上の十分条件をみたくし、したがって支配されない戦略で遂行可能であることが示せる。設計者が、効率性と個人合理性を前提として補助金額の最小化を目指すとき、この社会選択対応は、VCG メカニズムから得られる社会選択関数と比較して、上で定義した意味で上回る。

両側マッチングでは、片側に関する支配戦略遂行可能性を仮定する場合、安定的なメカニズム

は片側最適安定マッチングを遂行するものしかないことが知られている。それにもかかわらず、片側最適安定マッチングを含む任意の安定的マッチングを遂行する社会選択対応は、上の十分条件をみたし、したがって支配されない戦略で遂行可能であることが示せる。設計者が、安定性を前提として両側の公平性がみたされる方が好ましいと考えるとき、この社会選択対応は、片側最適安定マッチングを遂行する社会選択関数と比較して、上で定義した意味で上回る。

これらの結果は、次の論文にまとめられている。

Saptarshi Mukherjee, Nozomu Muto, Arunava Sen, (2024), “Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching,” *Journal of Economic Theory*, Vol. 216, 105783.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Mukherjee Saptarshi、Muto Nozomu、Sen Arunava	4. 巻 216
2. 論文標題 Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Economic Theory	6. 最初と最後の頁 105783
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jet.2023.105783	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 無藤 望	4. 巻 2022
2. 論文標題 支配されない戦略によるメカニズム・デザイン問題	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 現代経済学の潮流	6. 最初と最後の頁 123 ~ 150
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11398/keizaigakuchoryu.123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Nozomu Muto
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching
3. 学会等名 2022 Asia Meeting of the Econometric Society, East and South-East Asia (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nozomu Muto
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching
3. 学会等名 2022 Australasia Meeting of the Econometric Society (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nozomu Muto
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching
3. 学会等名 The 20th Annual SAET Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nozomu Muto
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching
3. 学会等名 GAMES 2020, the 6th World Congress of the Game Theory Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 無藤 望
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching
3. 学会等名 日本経済学会秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 無藤 望
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching
3. 学会等名 ゲーム理論ワークショップ2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nozomu Muto
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching
3. 学会等名 The 12th World Congress of the Econometric Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nozomu Muto
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to auction design, public good provision and matching
3. 学会等名 ECONCLAVE ' 20 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nozomu Muto
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to economic environments
3. 学会等名 Workshop on Economic Design (WED 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nozomu Muto
2. 発表標題 Implementation in undominated strategies with applications to economic environments
3. 学会等名 The Lisbon Meetings in Game Theory and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
インド	Indian Institute of Technology, Delhi	Indian Statistical Institute	