

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K13697

研究課題名（和文）学校選択問題における統一的戦略行動の分析：理論と実験

研究課題名（英文）Unified analysis on strategic behavior in school choice

研究代表者

熊野 太郎 (Kumano, Taro)

横浜国立大学・大学院国際社会科学研究院・准教授

研究者番号：00700494

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：学校選択問題に代表される「優先順位付き配分問題」において理論と実験の面から研究を行った。理論面では大きく3つの成果を得た。(1) Aytek Erdil 氏と既存の研究に含まれないが非常に現実的な優先順位のクラスを数学的にモデル化し、その下で安定的マッチングの存在やその性質を明らかにした。(2) 栗野氏、丸谷氏と、マッチングルールの違いがマッチング市場の参加者にどのような戦略的行動をもたらすかを明らかにした。(3) 栗野氏と各学校の定員に変動を許す環境において、公平性を保ったまま参加者の厚生を最大にするアルゴリズムを開発した。実験については、コロナ禍のため予定していた実験が行えなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義は、既存の理論結果をより現実市場の目線で発展させたことにある。Aytek Erdil 氏との共同論文は、経済学の分野で評価の非常に高い国際雑誌に掲載された。また他の2本の論文も同等かそれ以上に評価の高い国際雑誌に投稿予定である。一方で、これらの結果は重要な社会的意義ももつ。栗野氏との共同研究は、ある国立大学の改革の過程において発生、展開された。この研究では、理論分析だけでなく実践できるアルゴリズムまで開発した。そして、様々なシミュレーションを経たのち最終的にその国立大学で採用されることになった。これは、研究成果が現実社会に直接的に応用されたよい例である。

研究成果の概要（英文）：In priority-based matching problem, typically referred to as school choice, we have conducted theoretical and experimental research.

There are mainly three theoretical results. (1) Professor Aytek Erdil and I modeled a very realistic class of priorities, which is not included in existing studies, and showed the existence of stable matchings and characterized the properties of stable matching under this class. (2) Professor Kurino, Dr. Marutani, and I found how different matching rules lead to different strategic behavior of participants, thus which kind of market structure. (3) Professor Kurino and I considered a matching problem in which quotas of schools are somehow flexible. We developed the algorithm which finds a stable matching which is not Pareto dominated by any other stable matchings at any quota distribution.

Regarding the experiment, we could not conduct planned experiments due to COVID 19 pandemic.

研究分野：マーケットデザイン

キーワード：マーケットデザイン マッチング理論 安定性 効率性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、学校選択問題に代表される「優先順位付き配分問題」の理論またはマッチング理論は、現実の様々な場面で応用され始めている。世界各国の学校選択では、マッチング理論の成果である集権的メカニズムが導入され deferred acceptance (DA) アルゴリズムや top trading cycles (TTC) アルゴリズムが採用されている。このような流れの中で、より現実のマッチング市場の特徴を反映する必要性が生じている。

(1) Diversity (男女比、宗教的多様性、人種的多様性など)といった社会的要請の反映や地域上限のような定員数への制約(ワクチンの配分など)は、現実のマッチング市場では非常に重要である。また学校の優先順位は学生に対して「同率」を許すことも多い。しかし既存研究では十分にモデル化できていない。

(2) 理論的にどのメカニズムがどのような性質を保持するかは既に分析されている。一方で、現実への応用を考慮する際、市場の参加者が理論通りに行動するかどうかは明らかでない。特に既存研究では、メカニズムを比較する際に、異なる戦略的解概念の下で生成されるマッチングの性質を比較している。これは、一方で考慮されている戦略的解が、他方には存在しないからである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、背景における問題に鑑みて以下の2点を明らかにする。

(1) より柔軟なモデルの定式化とその下での理論的性質(安定性、効率性、戦略的頑健性)の解明を行う。またそのような性質をもつマッチングを導くアルゴリズムを開発する。

(2) メカニズムに依存しない統一的な戦略的行動の定式化とその結果として得られるマッチングの性質の解明。

3. 研究の方法

(1) モデルの拡張

- 学校の学生に対する優先順位は、学生の集合から学生の集合への選択関数として表現される。一方で、多様性を反映するためには、学生のグループに対して優先順位をつける必要があるため、学生の集合の族を定義域とした選択関数を導入する。また「同率」を反映するために選択関数は一価関数ではなく対応とする。よって、優先順位を表現する選択関数は、学生の集合の族から学生の集合の族への関数とする。このような選択関数の下で、安定的マッチングの存在を保障する十分条件を明らかにする。安定マッチングは一般に複数存在するが、その中で最も効率的(学生の厚生が高い)な安定マッチングの発見、到達方法を解明する。
- 多くの既存研究では固定されている定員が柔軟に変動させられるモデルを構築し、その下で安定的マッチングの存在を明らかにする。また上と同様に、その中で最も効率的な安定マッチングの発見、到達方法を解明する。

(2) 理論と実験による戦略的行動の明確化

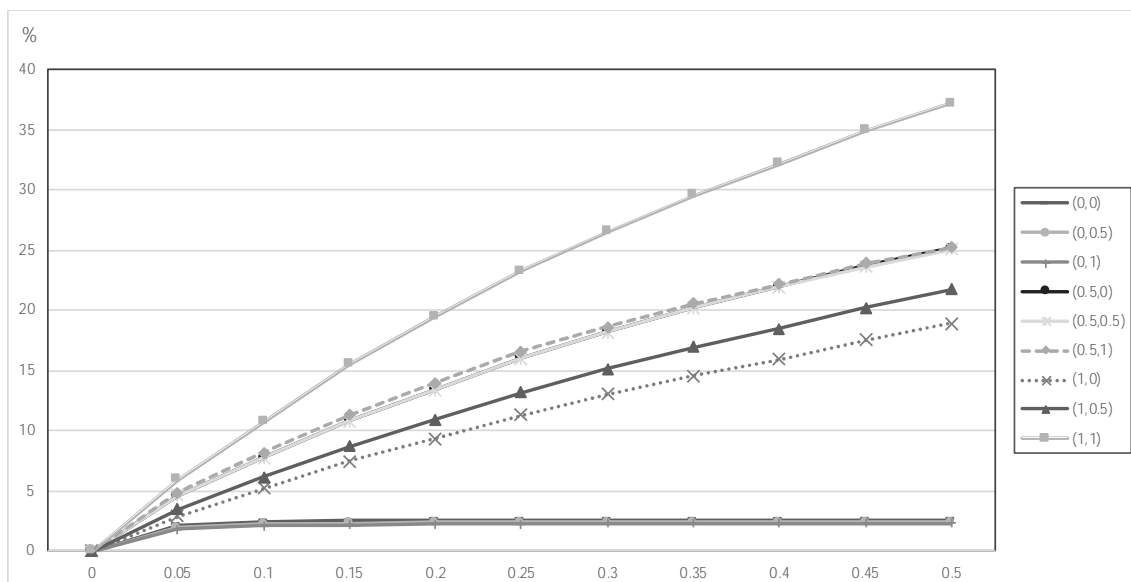
- 統一的な戦略行動として、undominated maximin 戦略を提案する。この戦略の強みは、参加者に common knowledge の要求を必要としないことと、メカニズムに依存せず常に存在するである。さらに、この戦略は common knowledge を要求しない既存の結果に反しない。DA アルゴリズムや TTC アルゴリズムでは、真実表明が支配戦略となる性質を持つが、undominated maximin 戦略はこれら2つのアルゴリズムの下で支配戦略と等しい。一方で、既存研究で common knowledge を要求した分析がなされているポストンアルゴリズムでは既存結果の戦略とは異なる。本研究では、undominated maximin 戦略均衡が導くマッチングの性質を様々なアルゴリズムの下で分析し比較することでメカニズム間の関係性を明らかにする。この戦略概念は行動経済学的動機に基づく戦略概念なので、経済実験による検証を行う。
- 各学校が、集権的メカニズムが導入されている市場に参入するかどうかという、学校側の戦略性を分析する。既存の学校選択問題に対して、1つ前の段階を導入し、学校が市場を選択できるようにモデル化する。学生は成立した市場全てに潜在的には参加可能とする。また複数の市場で合格を得た場合は、最終的に1つの学校を選択するとする。このような設定の下で、戦略的均衡は安定マッチングを導くかどうか、それは市場のメカニズムに依存するかどうかを理論的に解明する。また、上記のモデルは構造が複雑なので、理論通りに参加者は行動するのかどうかを経済実験によって検証を行う。

4. 研究成果

(1) Aytek Erdil 氏と diversity (多様性) や同率を包含するマッチングモデルを構築した。その下で、学校の選択対応が substitutability with ties という性質を満たす時に安定的マッチングが存在することを示した。既存の多様性や同率を包含しない場合であっても、一般に安定的マッチングは存在するわけではなく、その際には substitutability という性質が、安定的マッチングが存在するための十分条件であった。我々のモデルは既存のモデルを包含するため、既存モデルにおいては substitutability with ties と substitutability は同値となる。安定的マッチングは、DA アルゴリズムを修正した modified DA アルゴリズムによって発見できる。また安定的マッチングは一般に複数存在するが、その中で学生の厚生を最も高める安定的マッチングを発見するアルゴリズムも開発した。本研究成果は、経済学の分野で非常に評価の高い国際雑誌 Journal of Economic Theory に掲載された。

(2) 先の COVID19 に対するワクチン配分では、政府が事前に各自治体の需要量を予測してワクチンを配分している。しかし一旦ワクチン予約が始まると、一方である自治体ではワクチンが余り、他方である自治体ではワクチンが足りないという状況が発生した。またこの研究の元々の動機である、ある国立大学の制度改革では、学部定員を一定にしたまま学部内のプログラムの定員を学生の希望に従って変動させたいという要望があった。本研究では、栗野盛光氏とともに、多くの既存研究において固定されている各定員を総数は一定のまま柔軟に変動させられるモデルを構築し分析した。この研究の最も重要な挑戦は、学生のプログラムに対する希望は事前には分からず、また顕在化した希望によって望ましい定員配分が異なることである。つまり、いかなる定員配分であっても、事前に定員配分を決めてしまった場合、学生の厚生を改善する余地がある。これは既存研究では一切触れられていないが、非常に重要な問題である。この問題に対し、我々は、どのような定員配分から始めても、内生的に定員数を調整し、安定性を担保したまま学生厚生を最大化するアルゴリズムを開発した。

以下に示すグラフは、ある国立大学の定員数(総数2000人)を基にしたシミュレーション結果である。グラフの横軸は初期定員からの許容変動率(初期定員に対して変動を許すパーセンテージ)、縦軸は厚生が改善した学生の全体に対する割合である。重要な点は、我々の開発したアルゴリズムでは、厚生が改悪する学生は発生せずに改善できる方向にのみアルゴリズムが進む。シミュレーションから分かることは、小さな変動率であっても多くの学生が改善することである。これは、一人の学生が、定員が増えることで改善した場合、その学生が所属していたプログラムを好む他の学生に改善の可能性を与えるからである。このように連鎖的に改善が起こると、わずかな変動でも多くの学生が改善する。



本研究成果は、現在国際雑誌への投稿準備中である。また上述した国立大学では学生とプログラムのマッチングにおいて、本アルゴリズムが導入、使用されている。

(3) 学校選択モデルにおいて、undominated maximin 戦略均衡を定式化し、DA アルゴリズム、TTC アルゴリズム、ポストンアルゴリズムの比較を行った。DA アルゴリズムと TTC アルゴリズムにおいては、undominated maximin 戦略は支配戦略と一致することが分かった。また既存のポストンアルゴリズムの研究では Nash 均衡を分析しているが、そこでは全ての Nash 均衡の結果が安定的マッチングの集合に一致するというものであった。これに対し、undominated maximin 戦略均衡の分析はより精緻な結果を導き、安定的マッチングの中でも

厚生の高い安定的マッチングと一致することが分かった。さらに、環境を少し制約することで DA アルゴリズムが導く安定的マッチングと同じマッチングのみが均衡の結果になることが分かった。この場合、同じ戦略的均衡概念の下で同じ安定的マッチングを導出するという新たな結果である。ポストンアルゴリズムの Nash 均衡による分析では、条件の強さと解の多さから、DA アルゴリズムの方が望ましいという認識があったが、その認識を覆す結果が得られた。一方で、undominated maximin 戦略は行動経済学的動機に基づく概念なので、実験による検証を計画した。プレ実験においては、概ね理論通りの結果が得られたが、本実験はコロナ禍のため実施することが出来なかった。

(4) 栗野盛光氏、丸谷恭平氏とともに、学校が市場を選択できる場合の均衡における市場構造と安定的マッチングの存在を分析した。既存研究では、学生はどの学校ともマッチせず、市場外でマッチする(または別のオプションを行使する)ことが可能であるが、学校にはそのような選択肢は設定されていない。しかし、現実では私立学校のように独自で入試を行う場合もある。これは別の市場(1つの私立学校のみ)で、また公立学校の参加する集権的メカニズムで使用されるアルゴリズムとは異なるアルゴリズムで入試を行っていると見ることができる。本研究では、学校が市場と使用されるルールを選択する、というステップを加えた学校選択モデルを構築し、学校と学生の戦略的行動を分析した。主な結果として、市場の構造に依拠せず、全ての市場で DA アルゴリズムが採用されている場合、学生にとっては真実表明が支配戦略となることが判明した。一方で、そのような場合、学校は、むしろ市場をバラバラに形成して独自で入試を行う誘因があることが判明した。しかし、学校の学生に対する選好がうまく相関している場合は、似た学校同士で市場を形成し、かつ最終的なマッチングが安定的となることを示した。本研究結果は、現在国際雑誌への投稿準備中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Aytek Erdil and Taro Kumano	4. 巻 184
2. 論文標題 Efficiency and stability under substitutable priorities with ties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Economic Theory	6. 最初と最後の頁 104950
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jet.2019.104950	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

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Taro Kumano
2. 発表標題 Quota adjustment process
3. 学会等名 Econometric society world congress 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊野太郎
2. 発表標題 Quota adjustment process
3. 学会等名 慶應義塾大学 ミクロ経済学ワークショップ
4. 発表年 2020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
---------	---------