

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月22日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26380234

研究課題名(和文) マッチングマーケットデザインの基礎とその拡張

研究課題名(英文) Foundations of matching market design and their extensions

研究代表者

高宮 浩司 (Takamiya, Koji)

新潟大学・人文社会科学系・准教授

研究者番号：40333588

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：既存のマッチングマーケットデザインはほぼ2部マッチングにもとづく。本研究の目的はそれを非2部マッチングに拡大するための理論的基礎の確立であった。2部マッチングの基礎的理論を再検討し、それを元に非2部マッチングで有効なメカニズムを設計する計画であった。結果的に前者の段階で研究期間は終了したが、既存メカニズムがなぜうまく機能するのかについて、いくらかの理論的知見を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マッチングマーケットデザインはすでに広く現実社会で実装されており、価格メカニズムが使用できない状況での資源配分に有効な解決を与えてきた。その適用範囲をさらに拡大できれば希少資源をより公正かつ効率的に活用することができるが、そのためにはその理論的な基礎の深化と拡大が不可欠である。本研究はこれに資することを旨とした。結果的に研究成果は既存メカニズムの再解釈にとどまったが、しかし歴史のおしえるところでは、このような既存知識の見直しが将来理論上の新規的展開につながり、それが新しい応用へと発展する可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Most of the existing artificially-designed matching markets are based on two-sided matchings. The purpose of our research is to build theoretical underpinning for extending the scope of matching market design to non-two-sided matchings. To achieve this goal, we have planned to reexamine existing theoretical foundations of two-sided matchings, and then, based on this, to design efficacious mechanisms for non-two-sided matchings. As a result, we have gained some theoretical insights in the former step although we could not proceed to the latter step.

研究分野：経済学

キーワード：マーケットデザイン メカニズムデザイン マッチング 社会選択 ゲーム理論 ミクロ経済学 経済理論

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究は「マッチング理論」についての数理的基礎研究である。マッチングとは人や財などの間の「結び合わせ」のことをいう。経済理論は世に希少な資源をいかに配分すべきかを主要な主題としているが、マッチングは資源配分の基本的形態の一つをあらわしているため、その研究には基礎的な重要性がある。1962年のデヴィット・ゲールとロイド・シャプレーによる先駆的な貢献以降長きにわたり研究されてきた。

とくに近年マッチング理論は現実社会の問題へ盛んに応用されるようになり、人と人、人と財、人と組織を貨幣の介在なしに結び合わせる状況に対して有効な解決を与えてきた。これらの応用を「マッチングマーケットデザイン」と称する。具体例を挙げれば、米国においては、「学校選択制」(生徒と学校とのマッチング)、腎臓移植のための「腎臓交換」(患者とドナーとのマッチング)が開発、運用され、成功を収めている。日本においても、2004年度から「日本医師臨床研修マッチングプログラム」(研修医と病院とのマッチング)が導入され定着している。このようにマッチング理論は、医療、教育などで相当の政策的インパクトを与えている。2012年度のノーベル経済学賞が本分野への貢献に対して授与され、これにより社会的にも注目を集めた。

(2) マッチングマーケットデザインにおいてはマーケットの運営者は参加者に彼らの選好や能力についての必要な情報を申告させ、それを所定のアルゴリズムで処理することでマッチングを計算し、それを実行する。この一連の仕組みを「(マッチング)メカニズム」と称する。望ましいメカニズムは(少なくとも)以下の2つの条件を満たすべきと考えられる：

(安定性条件)メカニズムが出力するマッチングが「安定的」である。つまり、いかなるマッチング組も個々の参加者もそこから離反することで厚生を改善できない。

(インセンティブ条件)参加者が虚偽の選好を表明するなどの戦略的な行動を取ることで、メカニズムが出力する結果を自身に有利なように歪めることができない。

「異なる2つの集団」をマッチさせるタイプのマッチングを「2部マッチング」と称する。マッチングメカニズムの既存の実用化はほとんど2部マッチングに限られている。(腎臓交換のように2部の片側のみが選好を持つものを「1部マッチング」と呼ぶ場合があるが、これも2部マッチングの一種である。)その理由は、第一に、2部マッチングで表現できる状況が経済において普遍的であること、第二には、2部マッチングが上記の2条件を満たすメカニズムが存在するような「特別に性質のいい」ケースであることである。

もし必ずしも2部ではないマッチングに対しても有効なメカニズムを構築できれば、より広範囲の資源配分問題に適用できることは明らかである。しかし非2部マッチングでは上の2条件を満たすメカニズムの構築が理論的に困難なことが先行研究から知られている。したがって、何らかの「妥協」の上で使用に耐えるメカニズムを設計せねばならない。しかし、これは容易ではない。その理由は、第一に、なにをどの程度妥協すべきかまったく明らかではないこと、第二に、非2部マッチングの数学的な構造が、2部マッチングのそれに比べて研究が少なく、十分に深く理解されていないことである。

研究代表者は本研究プロジェクトの直前5年間にわたりこの問題に取り組み、科研費による2件の助成を受けた。しかし非2部マッチングにおける有効なメカニズムの構築には至らなかった。その経験と反省とから、新たな攻略を期したのが本研究プロジェクトであった。それまでの研究を反省するに、スコープを非2部マッチングに限定したことがかえって障害になってしまったように考えられた。そこで本研究では、非2部マッチングで有効なメカニズムを設計するに、そもそもなぜ2部マッチングでなら有効なメカニズムを設計しうるのであるのか、その根本の理由を解明することからアプローチしようと考えた。もちろん2部マッチングで有効なメカニズムができることはすでに十分に理解されていることであるが、そういう既存の知識をより一般的な枠組みから新たに解釈し直すことによって、非2部マッチングの理解へとつなげていこうということである。

2. 研究の目的

本研究はマッチングマーケットデザインの適用範囲を非2部マッチングにまで拡大するための理論的基礎の構築のための研究であった。この目的のため、すでに応用が成功している2部マッチングの理論を再検討することでその有効性の根拠を見極め、それにもとづいて非2部マッチングで有効なメカニズムを設計しようというものである。この構想にしたがい、当初、具体的な課題を以下のように3段階に定めた。

(A) 2部マッチングにおいてメカニズムの安定性条件とインセンティブ条件とがなぜ満足されるのかについて、既存の結果をより一般的な枠組みで再検討することで、その数学的な「起源」

を明らかにする。

(B) 非 2 部マッチングの「代表例」として比較的良好に研究されている「ルームメイト問題」(1 対 1 の 1 部マッチング) を取り上げ、その数学的構造を、(A) で得られた知見にもとづき、2 部マッチングのそれと比較し関連づけつつ、明らかにする。

(C) (A) および (B) の結果を利用し、少なくともルームメイト問題において機能し、かつ今後の応用のひな形となるようなメカニズムを設計、提案する。

3. 研究の方法

本研究は数理的な理論研究であるから基本的な研究方法としては思考のみであるが、思考を活性化あるいは補助するための工夫として、以下の 2 点を重視した。

第一に、他の研究者との議論および意見交換である。これは単独では行き詰まりがちな思考に刺激を与え活性化するのに極めて有効である。これを行うために、他の研究者を頻りに訪問することを計画していた。しかし、実際には諸事情から時間的、体力的余裕がなく、あまり行えなかった。

第二に、計算機によるシミュレーションである。これはシミュレーションそのものを研究手段とするのではなく、シミュレーションによって対象にかんする情報を得ることで、純粋に理論的な考察の導き手としようというものである。これについては、計算機科学の専門家(田中章教授・北海道大学情報科学研究科)を研究協力者(当初は連携研究者)として迎えたことで非常に効率的に行うことができた。シミュレーションからは多大かつ有用な情報が得られたが、それらは純粋理論的な究明のインプットであるから、報告できる成果に直結するものでもとまなかったことには注意を要する。

4. 研究成果

(1) 研究期間全体を通して研究の進展は思わしくなかった。結果として「2. 研究の目的」に示した課題 3 段階の始めである(A)から先に進めずに終わった。こうなった理由としては、第一に、諸般の事情により、研究代表者が研究に投入できる時間、エネルギーが当初の予想よりも大幅に少なくならざるを得なかったことがある。また内容的な理由として、第二に、段階(A)が当初の予想以上に奥の深い課題であったことがある。第三に、課題 3 段階のうち 2 部マッチングにかんする(A)と非 2 部マッチングにかんする(B), (C)とをどう接続していくのかが曖昧模糊としており、具体的な径路が前もって描けていなかったことがある。しかし、これはもともと(A)をやってみなければわからないことであるから、そもそもどんな結果が得られるのかもわからない(A)にもとづいて(B), (C)を計画していたこと自体に無理があったともいえる。

「1. 研究開始当初の背景」に上述したとおり、研究代表者は本研究プロジェクト以前にも、非 2 部マッチングでのメカニズム設計をめざした研究を行い、科研費による助成も受けてきた。しかし、本研究プロジェクトを終えて、長期にわたる研究にもかかわらず、結局この目的は遂げられなかった。しかしこの期間、世界的にも非 2 部マッチングにおけるメカニズム設計においてはこれといったブレイクスルーはなく、見るべき成果は多くはない。現在までマッチングマーケットデザインの研究の主流は、あくまで 2 部マッチングの路線のなかで、現実の複雑な不規則性や多様性に対応するためにメカニズムを改善することにある。以上を踏まえれば、本研究の進展が(A)の段階に留まってしまったことそのものは、ある意味で順当なことである。

では(A)の範囲で顕著な成果が出せたかといえば、これは別問題で、答えは否である。(A)の研究をすすめるにつれ、2 部マッチングの既存の知見を再検討するのは予想以上に遠大な作業であり、それを有意義におこなうには何らかの「指導原理」が必要であることがわかってきた。結局研究期間内には、このような「指導原理」を模索しながら、その途上で得られた断片的かつ中間的な結果を部分的に報告するにとどまった。じつのところ、このような究明そのものは非常に有意義なものであったし、将来的には重要な成果に結びつく可能性がある。しかし研究期間終了時点での研究成果という尺度では全然不成功であった。

(2) 以下では本研究の主要な成果を「5. 主な発表論文等」に記載の 4 件の論文ごとに記述する。

投票による集団的意思決定の既存モデルである「単純ゲーム」が「安定」であることを確認するのに必要な計算が非常に複雑になり得ること(NP 困難性)を証明した。「単純ゲームが安定である」というのは、ごくおおまかには「投票ルールが、参加者がどのように票を投じようとも、勝者を確定できるものになっている」という意味である。この結果は本研究の主題であるマッチングメカニズムの設計には直接関係はないが、研究の手法上関連がある。なお、これは本研究プロジェクト開始以前にほとんど完成していたものであり、以前の科研費研究の研究

成果報告書にも記載してあるが、論文の改訂作業が本期間にかかっているため、ここに記載した。掲載誌は Theory and Decision であり、これは当該分野で国際的によく知られた専門誌である。

マッチング理論を科学史的な眺望から描き、周辺分野との関係からその意義を再検討した。これは数理的にオリジナルな貢献を報告したものではないが、本研究の主眼の一つが 2 部マッチングの有効性の再検討であることを勘案するに一定の重要性がある。また、マッチング理論についての既存の批評的論考はその応用上の有用性の観点から行われているものがほとんどであり、科学史的な観点で行ったことには意義がある。この論文の最も重要な論点は、一般均衡理論における「エッジワース命題」を敷衍した「拡張されたエッジワース命題」を提出したことである。これは配分を実現する手続き（制度、アルゴリズム）によって定義された解と、配分そのものの性質によって定義された解（協力ゲーム解）とがどのように同等でありうるのかを問うた命題であり、今後の理論構築のための有用な視点となりうる。なお本論文の掲載誌は「新潟大学経済論集」であり、これは研究代表者の所属機関の紀要である。

「弱マスキング単調性」なる条件によって既存の有力なマッチングメカニズムを一般性の高いモデル（1 対多契約付きマッチング）において特徴づけた。この結果は契約なしの 1 対多マッチングにおける同様の結果（Kojima and Manea, 2010）を一般化したものにすぎない。しかし背後の文脈として、弱マスキング単調性をもって「1. 研究開始当初の背景」で述べた「インセンティブ条件」の成立の背後にある原理を探ろうという広汎な試みがある。弱マスキング単調性がこれまであまり研究されていないなか、これを契約付きマッチングの文脈で検討したのは本論文がおそらく最初であろう。この条件のより一般的な検討の先鞭をつけたことに意義がある。掲載誌はまたもや「新潟大学経済論集」である。

1 対多契約付きマッチングにおける安定マッチングの存在に新しい証明を与えた。この証明の特徴は、第一に、通常アルゴリズムを用いた証明と異なり非構成的であること、第二に、不動点定理などの洗練された結果を用いていない初頭的なものであることである。これは契約なしの 1 対 1 マッチングにおける同様の証明（Sotomayor, 1996）を拡張したものにすぎない。しかしこれにもまた広汎な試みが背後にあり、これは「1. 研究開始当初の背景」で述べた「安定性条件」の成立原理の探索から生じた断片である。安定マッチングの存在は古くから研究されているが、それを理解するための新規の視点が依然として残されていることを示唆した点で意義がある。掲載誌はやはり「新潟大学経済論集」である。

< 引用文献 >

Kojima, F. and Manea, M. (2010) Axioms for deferred acceptance. *Econometrica* 78, 633–53.

Sotomayor, M. (1996) A non-constructive elementary proof of the existence of stable marriages. *Games and Economic Behavior* 13, 135–7.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

著者名: Koji TAKAMIYA, Akira TANAKA

論文標題: Computational complexity in the design of voting rules

雑誌名, 巻, 頁, (発行年): Theory and Decision, vol.80(1), pp33–41 (2015)

査読あり

DOI: 10.1007/s11238-014-9422-7

著者名: 高宮 浩司

論文標題: マッチング理論とその背景

雑誌名, 巻, 頁, (発行年): 新潟大学経済論集, 102 号, 63–78 頁 (2017)

査読なし

著者名: 高宮 浩司

論文標題: 1 対多契約付きマッチングにおける弱マスキング単調性について

雑誌名, 巻, 頁, (発行年): 新潟大学経済論集, 104 号, 143–148 頁 (2018)

査読なし

著者名: 高宮 浩司

論文標題: 安定マッチングの存在の非構成的証明について

雑誌名, 巻, 頁, (発行年): 新潟大学経済論集, 106 号, 87–91 頁 (2019)

査読なし

[学会発表] (計 2 件)

発表者: 高宮 浩司

発表標題：Incentive compatibility of allocation mechanisms in discrete economic environments in retrospection of these thirteen years

学会等名：応用ミクロ経済学の新展開

発表年月日：2014年11月01日

発表場所：アスペンホテル（北海道札幌市）

発表者：高宮 浩司

発表標題：Complexity consideration of the existence of social choice rules

学会等名：経済学のフロンティア

発表年月日：2015年09月10日

発表場所：北海道大学（北海道札幌市）

〔その他〕

ホームページ等

<http://ecows.econ.niigata-u.ac.jp/~takamiya/rsrch.html>

6．研究組織

研究協力者

研究協力者氏名：田中 章

ローマ字氏名：TANAKA, Akira

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。