

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 25 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23730188

研究課題名(和文) マッチングマーケットデザインの新展開：非2部マッチングの研究

研究課題名(英文) A New Direction in Market Design: Studies on Non-two-sided Matchings

研究代表者

高宮 浩司 (Takamiya, Koji)

新潟大学・人文社会・教育科学系・准教授

研究者番号：40333588

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：マッチング理論を応用したメカニズムの設計は近年現実の資源配分に有意義な改善をもたらしたが、それらはほぼ特定のタイプのマッチングモデルに基づくものに限られる。本研究ではマッチングメカニズムの適用範囲の拡大に向けて、これまで応用が進んでいなかったタイプのマッチングモデルを計算機によるシミュレーションの力を借りつつ分析し、いくつかの理論的結果を得た。その一例は、メカニズムにおいて正直な選好表明が行われるための既存の条件をより広範な環境に適用できるよう改善した結果である。

研究成果の概要(英文)：Applications of matching theory to mechanism design have recently brought significant improvements to real-life institutions for resource allocation. But these applications are mostly based on a specific class of matching models. Aiming at expanding the applicability of matching mechanisms, our research analyzed, with the aid of computer simulation, some classes of matching models which had not been much considered in application. We have obtained some theoretical results; one of our results has made more flexible certain preceding conditions for truthful revelation of preferences in matching mechanisms.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・理論経済学

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

1. 研究開始当初の背景

本研究は「マッチング」における「メカニズム」の設計に関する研究である。

ここで「マッチング」とは人、財などの間の対応付けを表現した数理的モデルのことを言う。狭義には2つの異なる集団(人と人、人と企業、人と財など)の間の対応付けを意味するが、ここではより一般的に1つないしは3つ以上の集団間における対応付けやさらに複雑な条件に従うものをも含む。場合によっては、対応付けする集団の個数によって分類し、1部マッチング、2部マッチングなどと称する。経済理論は世に希少な資源をいかに配分するか、あるいはいかに配分すべきかを主要なテーマとしているが、マッチングが表現している「対応付け」は資源配分の最も基本的な側面をモデル化しているため、マッチングの研究は基礎的な重要性を有する。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研究以降長きにわたり基礎理論として研究されてきた歴史がある。

次に「メカニズム」とは資源配分を行うための制度、機構のことを言う。個々の資源配分の良し悪しは参加者が持っている選好(いわゆる選り好み)によって評価されるが、これらは参加者一人一人が「心の中」に持っている情報である。その情報をうまく引き出し、これを入力とした上で「良い」配分を出力することが望ましい制度、機構に求められる機能である。上述の通り資源配分の研究は経済理論の主要テーマであるが、伝統的な経済理論においては価格を媒介とした自発的な取引(価格制度)による資源配分を「当然のもの」とみなす傾向があった。それ以外の方法による資源配分が無視されていたわけではないにせよ、価格制度に関する研究の比重が圧倒的であった。これに対して、第二次大戦後盛んに研究されるようになったゲーム理論では、特定の制度を前提とせず基礎的なレベルから資源配分を分析する枠組みが与えられた。さらに、1950年代にケニス・アローによって現代的に確立された社会選択理論では、資源配分を含めた社会における意思決定全般を分析の対象とした。これらの研究の方向を受けて、価格制度を含めた現存のあるいは想像上のあらゆる資源配分制度を「始めから与えられたもの」とせず、むしろ先見的な目的に叶った資源配分を実現するためにゼロから設計すべきものとする見方が確立され、主に1970年代以降、広範な研究が行われてきた。この文脈で資源配分制度をメカニズムと呼び、その設計を研究するこの分野はメカニズムデザインと称される。

上述の通りマッチングは資源配分を「対応付け」という基礎的なレベルで表現するものであり、価格制度を前提とするものではないため、マッチングでのメカニズムを考えることは価格制度とは違った配分制度の実現に

つながる可能性を秘めている。メカニズムデザインにおけるマッチングの研究は、主に1980年代以降、理論的な基礎研究を中心に行われてきた。この基礎研究の蓄積を基盤にとくに2000年代以降、いくつかの現実の資源配分問題にマッチングのメカニズムを応用することで既存の配分制度を大幅に改善できることが発見され、注目を集めるに至った。その代表的な例が「学校選択」と「腎臓交換」である。学校選択は「生徒と学校」、腎臓交換は「患者とドナー(と死体からの移植)」をそれぞれ対応付けるものであり、マッチングの数理的モデルを写すように現実世界に具現化でき、そこにマッチングメカニズムを実際に適用することができる。これらはすでに実社会で運用されている。このような応用研究は(マッチング以外のものも含めて)「マーケットデザイン」と称される。マッチングマーケットデザインにおける実用のための研究はマッチングの基礎理論へ新しい問題をフィードバックし、基礎理論のさらなる発展の必要性和発展をもたらした。本研究はこのような研究の潮流に属する理論的基礎研究である。

2. 研究の目的

上述のようにマッチングマーケットデザインは成功を収めているが、これまでに提案された応用のほとんどは2部マッチングのモデルを下敷きにしたものである。(ただし2部の片側にのみ選好を持つものを1部マッチングと称する場合があるが、ここではこれも2部マッチングの一種とみなしている。)一方、非2部マッチングの有用な応用は非常に限定的である。この2部マッチングの突出性の根拠が2部マッチングの(一定の条件の下で)有する以下の3つの性質である。

- (1) 2部マッチングにおいては常に(すなわち参加者がいかなる選好を持っていても)「安定的」なマッチングが存在する。(ここで、あるマッチングが安定的であるとは、そのマッチングから(単独または集団で)離脱することで得られる参加者が誰もいないということである。安定的でないマッチングには離脱を希望する者がいることになるので、実際には実行されない可能性があり望ましくない。)
- (2) 安定的なマッチングを常に出力するようなメカニズムで「インセンティブ条件」を満たすものが存在する(ここで、メカニズムがインセンティブ条件を満たすとは、メカニズムの参加者が各自自分の正直な選好を表明することが最も得になるということである。インセンティブ条件が満たされなければ誰かが虚

偽の選好を表明する可能性があり、メカニズムが出力したマッチングが「正しい」ものであるかが疑わしくなってしまう。）

- (3) 上記のメカニズムが出力するマッチングを常に効率的に計算できるアルゴリズムが存在する。(実行したいマッチングがあっても、それを具体的に求められなければ実行することができない。)

要するに、2部マッチングとはほとんど「例外的」なほど性質のよいケースであり、元より現実への応用に適した理論的性質をほとんど悉く有している。ところが非2部マッチングに対してはむしろこれらの性質は1つも満たされないが普通であって、そのメカニズムデザインにおいては単に2部マッチングの変種、延長として考えることが全くできない。しかし、今後マーケットデザインがその適用範囲を拡大し、現実社会の資源配分により貢献するためには、非2部マッチングをもその守備範囲に収めることが望まれる。なぜなら非2部マッチングで表現されるような資源配分問題は普遍的に存在するからである。

本研究の目的は、上記の要請に応えるための理論的基礎として、非2部マッチング(の特定のケース)に対して有効に機能するメカニズムの設計・提案を行うことであった。非2部マッチングでは上述の「よい性質」が通常満たされないことが既知であるから、メカニズム設計においては何らかの妥協をせねばならない。本研究においては、とくに安定性ないしはインセンティブ条件を近似的に満たすようなメカニズムが有望であると考へ、その設計を目論んだ。

3. 研究の方法

本研究の方法上の特徴は、計算機を使用したシミュレーションと純理論的手法を相互作用させることである。本研究の目指す最終的産物は理論的結果であり、具体的にはマッチングとそれに関連する数理的モデルが有する有意義な数学的事実を定理として述べ証明を与えることである。したがってシミュレーションは研究の産物に直結するものではないが、本研究ではその遂行上重要な役割を担わされている。理論モデルをどのように構築すべきか、また構築されたモデルにおいてどのような数学的事実が成り立っているのかについて、計算機の強力な計算能力を借りることで紙の上の計算では得ることのできない情報が得られるのである。

研究体制上の重要な点は、第一に、計算機科学の専門家(田中章准教授・北海道大学情報科学研究科)による研究協力者としての多大の助力によりシミュレーションを効率的に遂行できたこと、第二に、国内外の研究者

との議論、意見交換が純理論的研究の面で大きく役立ったことであった。どちらの点についても、24年度後半から25年度前半にかけて長期出張を行えたため集中的に時間を投入できたことの利益が大きかった。

4. 研究成果

研究の結果として、本研究の最終目標であった非2部マッチングでの有効なメカニズムの設計・提案にまでは到達しなかったものの、目的に沿った有用な知見が得られた。下においては、本研究の成果の中からとくに重要なもの2点についてまず述べる((1)と(2))。これら2点は研究期間の終了時点で未完成の中間的な成果に留まっており、したがって未発表であることをここで明言しておく。これは科研費の助成を受けた研究の成果報告としては望ましからざることもかもしれないが、それが事実である以上は正確にそれを報告する。助成期間が終了しても期間内に完成しなかった研究が放棄されるわけではないし、期間内に発表まで漕ぎ着けたかどうかで研究内容自体の価値が変わるものでもない。期間終了後も研究が継続され最終的に学術的な貢献として世に出るのであれば、助成の意義は十分に正当化されると研究代表者は強く信ずるものである。言うまでもなく、これらの中間的成果は今後完成され発表される予定である。

これら2点の成果に付け加えて、研究期間内に出版された成果2点についてはより手短かに述べる((3)と(4))。これらは出版されているが内容が派生的であり重要性において劣るので、ここでは(この報告書は国民一般に対して科研費により有意義な研究がなされていることを報告する場であるから)中間的ではあるがより重要な成果2点に比重を置いて報告を行うのである。

- (1) 上述の通り、2部マッチングが現時点で応用上突出しているのは、それがインセンティブ条件と安定性を満たしかつ効率的なアルゴリズムで実装可能なメカニズムを持つからである。本研究では、2部マッチングにある意味で「特有」と考えられていた形式のインセンティブ条件の充足が、実はマッチング構造を全く含まない抽象的な設定においても「いくつかの条件」さえ満足されていれば実現されることを発見した。この結果の重要性は、非2部マッチングにおいても2部マッチングと同じようにインセンティブ条件が満足される可能性に、1つの明確な基準を与えたことにある。ただし現時点では、上述の「いくつかの条件」が具体的に(2部マッチング以外で)どのような設定で満足されるのかがあまり分かっていない。この点は依然として究

明中である。したがって、これは重要な成果ではあるが、未だ中間的なものである。なおこの成果の最初期の形式のものは2012年1月に慶応大学で開催された「第1回メカニズムデザイン社会的選択理論シンポジウム」なる研究集会で報告された。

- (2) 非2部マッチングの代表的な既存モデルである「ルームメイト問題」に「近似的要素」を導入した変種的な新モデルを構築し、そこで安定性が確保されること、さらに追加的な条件の下では安定的メカニズムがインセンティブ条件を満足することを予想できた。しかし未だその証明は完成していない。上述の「近似的要素」とは具体的には参加者の人数を無限とすることである。(単に人数を無限とするだけでなく、それに付随する仮定を課す。)これは参加者の人数が非常に多い状況の近似になっている。既存のルームメイト問題の設定では参加者は有限だが(もちろんこれは現実的である)、安定性は確保されないし、インセンティブ条件を満足するよいメカニズムも知られていない。この予想の重要性は、既存モデルが示すこれらの困難が、参加者の人数が非常に多い場合には大幅に緩和される可能性を示唆していることにある。24年度末と25年度を通してこの証明に取り組んだが解決を見なかった。現時点では未だ予想に過ぎないので、これを「成果」とするのは違和感があるかもしれないが、これは単なる当て推量ではなく強固な状況証拠のあることで、証明できる見込みが高い。このような事実を発見できたことは大きな成果である。また、この予想は24年度に大規模に行ったシミュレーションの出力を分析することから着想を得たものであり、本研究の方法論上の強みが発揮された成果である点でも重要である。
- (3) 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を証明した。「単純ゲームが安定である」というのは、ごく大雑把に述べれば、「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、研究の手法上関係がある点で本研究の一部として行われた意義がある。これは本研究期間以前にすでに得られていた結果であったが、期間中に重要な改善を施し学術誌に投稿した結果出版の決定に至ったものである。掲載誌は Theory and Decision であり、これは意思決定科

学全般における国際学術誌の1つである。

- (4) 非2部マッチングの既存モデルの1つである「提携形成モデル」におけるインセンティブ条件の含意について比較的否定的な結果を証明した。この結果は、ごく大雑把に言えば、インセンティブ条件が満たされるような提携形成モデルの作り方はごく限られるということ述べている。これは非2部マッチングでの有用なメカニズム設計に直結する結果ではないが、その可能性の限界について有用な情報を与えるものである。これは本研究期間前にすでに投稿されていた論文が期間中に改善、改訂を行った結果最終的に出版に至ったものである。掲載誌は International Journal of Game Theory であり、これはゲーム理論における国際学術誌の1つである。

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)

著者名: Koji TAKAMIYA,

論文標題: Coalitional unanimity versus strategy-proofness in coalition formation problems

雑誌名, 巻, 頁, (発行年): International Journal of Game Theory, Vol.42(1), pp115 - 130 (2013),

査読有り

DOI: 10.1007/s00182-012-0318-x

著者名: Koji TAKAMIYA, Akira TANAKA

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

雑誌名: Theory and Decision (近刊)

査読有り

[学会発表](計 1件)

発表者: 高宮 浩司

発表標題: Foundations for monotonicity-type results in matchings

学会等名: 第一回メカニズムデザイン・社会的選択理論シンポジウム

発表年月日: 2012年1月20日

発表場所: 慶應義塾大学三田キャンパス(東京都)

[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

(1)研究代表者

高宮 浩司 (TAKAMIYA, Koji)
新潟大学・人文社会教育科学系・准教授
研究者番号：40333588

(2)研究協力者

田中 章 (TANAKA, Akira)
北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号：20332471