

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26780115

研究課題名(和文) マッチング制度の動学的分析 理論と応用

研究課題名(英文) A Dynamic Analysis of Matching Markets and Applications

研究代表者

河崎 亮 (Kawasaki, Ryo)

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：20579619

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マッチング問題において動学的要素も取り入れる理論分析を行う。マッチング問題とは、相異なる二つのグループ(例えば、男性と女性や企業と労働者)に属しているプレイヤー間でペアを組むとき、どのようにペアを形成すべきかを分析する問題である。しかし、既存研究の多くは静学的な分析しか行われていない。本研究では、多様なマッチング問題において様々な動学的要素を取り入れ、マッチングの安定性との関連性を分析する。

研究成果の概要(英文)：This research incorporates into the theory of matching problems some non-static tools. A matching problem is one where players are divided into two distinct groups, and the objective is to find a suitable way to form pairs consisting of players from different groups. Most of the existing research had modeled this situation in a static setting. This research considers several extensions of the matching model to consider a more dynamic model that fits more closely with several applications. While most of the previous research had used mostly cooperative game theory to explore the matching problem, this research also employs some models of strategic form games to better incorporate some dynamic aspects to the matching model.

研究分野：ゲーム理論

キーワード：ミクロ経済学 ゲーム理論 マッチング 安定性

1. 研究開始当初の背景

マッチング問題とは、異なる二つのグループに属しているプレイヤーの間でペアをどのように組むかを求める問題である。例として男女間のマッチングを決める結婚問題と呼ばれる問題や学生と大学の間のマッチング問題などが挙げられるが、研修医の配属問題や様々な医者や弁護士など特殊な職業における労働市場など現実の労働市場へも応用されている。このように最近のマッチング問題に関する研究では、理論研究による知見の労働市場やマッチングの決めの設計に取り入れ、より良いシステムを作り上げることを目的としており、「マーケットデザイン」と呼ばれる分野が確立されてきている。マーケットデザインとは、言葉通り市場をどのように設計すべきかを研究する分野であり、経済学の分野でも工学的なアプローチを採用しており、2012年にノーベル賞を期に注目を浴びるようになってきている分野でもある。

マッチング問題において、「安定」なマッチングが重要であることが知られている。マッチングが安定であるとは、そのマッチングを覆すインセンティブを持つペアが存在しないことである。この考え方は、協力ゲーム理論の中でもコアと呼ばれる非常に重要な概念と一致し、理論的にも良い性質を満たすものである。一方、様々なマッチング制度による実証研究でもマッチングの安定性も大変重要な概念であり、安定なマッチングを形成するように制度を設計すれば、その制度が長く使われることが知られ、安定ではないマッチングを形成されるものは、廃れていく。このように、理論と実証の両面から安定性の重要性を示しており、その後の理論研究もこの安定性を重点的に盛んに行われてきた。

既存研究の多くは、このマッチングを決めるタイミングが一回限りであることが仮定されている。すなわち、あるプレイヤーの集合に対して、マッチングを一斉に決定し、その後の問題は考えないことになる。研修医の配属問題のように一度決定すれば、後は考えなくてもよいように、このような問題においてはこの「一回限り」の仮定は妥当である。しかし、同じプレイヤー間に複数回マッチングを行うケースや、一斉にマッチングを決定せずに逐次的に決定する問題に対して、従来のモデルを使った応用に適していない。例えば、人と仕事の割当を考えると、何年間のローテーションを組んで考えている場合も考えられ、そのような例においては「一回限り」のモデルはあまり望ましくない。また、児童と保育所とのマッチング問題も同じように、一度でなく毎年マッチングを逐次的に考える必要があるため、既存のモデルを使ってこのような問題に応用するのは難しい。そこで、動学的要素を取り入れたマッチング問

題を考える必要が出てくる。

動学的要素を含んだマッチング問題を考える理由はもう一つある。今までの多くの研究において、どのようなマッチングが組まれるべきという問題に着目し、そしてその答えは安定なマッチングとされている。一方、どのようなマッチングが実現されるかについて言及している研究はあまり多くない。例えば、あるシステムを通してマッチングを決めるのではなく、プレイヤー間でマッチングを組むことができ、マッチングを組む機会にある程度自由があるとすると、このようなモデルにおいて、重要なのはどのようなペアが形成されるかだけでなく、いつペアを形成するかも重要な問題となっている。このような代表例として、新卒者の就職活動などが挙げられる。新卒者と企業間のマッチングを決めるタイミングが、新卒者が実際に卒業する前に「内定」という形で決められる。ここで問題になるのが、いつ内定を出すということになる。一時期は、学部2年生に就職活動を開始し、3年生時に内定を出していた時代などがあり、卒業する1年以上前からマッチングが形成されていたことになる。近年では「就活解禁日」を設定することにより、この動きをコントロールしようとしているが、これらの施策の効果なども考えられる。

このように、従来のマッチング問題では分析が難しい問題がいくつかあり、動学的な分析があまりなされていないことがうかがえる。

2. 研究の目的

上の「研究開始当初の背景」で述べた通り、マッチング問題の静学的分析は十分なされている一方、動学的な要素を含んでいるマッチング問題の分析はまだか数少ない。しかしながら、このような問題の重要な応用例もあり、分析するに値するモデルであると考えられる。本研究では様々な手法を用いて動学的モデルの再構築した後、安定なマッチングを再考察し、その分析を基に動学的な環境においてよりよいマッチング制度の設計への示唆とする。

3. 研究の方法

「研究開始当初の背景」で挙げた二つの拡張の方向性それぞれについて、考察を行い、関連分野のサーベイを行いながら、モデルを形成し、分析を行った。具体的には、以下の(1)と(2)の二つのアプローチから研究課題に取り組み、分析を行った。

(1) マッチング問題が繰り返し行われる状況

この問題では、あるマッチング問題が一回限り行われるのではなく、複数回同じプレイ

ヤー間で行われることを考える。非協力ゲーム理論における繰り返しゲームと呼ばれる分野と同様にモデル化する。ただし、協力ゲーム理論による既存のマッチング問題を保持したまま、それを繰り返しプレイされると仮定する。この繰り返し構造があるとき、マッチングがどのように変化し、最終的にどのようなマッチングに収束していくかを考える。また、既存の安定性の概念との比較も面白い、様々なモデルへの応用を考えた。

一つの応用例として非分割財市場への応用を考える。この問題では、分割できない財を各主体に配分する問題を考える。数学的に配分は、プレイヤーと非分割財の間のマッチング問題に相当し、この問題に対しても様々な応用例がある。この問題における安定性の概念と動学的なモデルとの関連性を検証していく。

(2) 非協力ゲーム理論を用いた時間的要素を組み込んだモデルの分析

マッチングを形成するタイミングをモデル化するためには、非協力ゲーム理論を用いるのが妥当と考えられる。ゲームの細部を明示的に記述するためには必要不可欠と言える。ここでは、非協力ゲーム理論を使った手法について、二つの既存のモデルを使い考察を行う。

一つ目は、混雑をモデル化したボトルネックゲームを用いて、タイミングに関するモデル化を行っている。このモデルでは、何かしらの行動をとる最適な時刻が存在するが、何人かが同じ時刻で行動を取ると混雑が起こり不利益を被る。元のボトルネックモデルは、交通の混雑における状況を抽象化して作り上げたモデルであり、そのときプレイヤーは出発時刻を選択する。このモデルのナッシュ均衡を分析し、インプリケーションなどを考える。

二つ目は、交渉ゲームを用いて分析している。既存研究においてもマッチング問題を非協力ゲームとしてモデル化される時に、しばしば用いられる。交渉ゲームとは、二人のプレイヤーで話し合いを行い、両者の間に合意があれば、マッチングが形成され、合意がなければ次の期において再度交渉を行う。ただし、両者共に早めに合意をするインセンティブが存在するものとする。マッチング問題においては、プレイヤーが二人だけでなく複数人存在するが、ここでは一度には二人の間で交渉できるが、交渉が決裂した後、別の相手と交渉できるものとする。このゲームにおける交渉結果および合意するタイミングなどを考える。

上の(1)と(2)の二つの方向性から、

本研究を進めている。

4. 研究成果

「研究方法」で述べた(1)と(2)について以下を成果が挙げられた。

(1) 繰り返しのマッチングモデルについて

マッチング問題の繰り返しモデルについてのサーベイを行い、現状の研究結果について確認をした。

一つの応用例として非分割財市場の物々交換モデルに適用し、このモデルにおける安定なマッチングについての新たな解釈を与えた。非分割財とは文字どおり分割できない財のことを指しており、提供できる最小単位が存在するような財である。代表例としては、家など1軒単位で提供されている財であり、家を半分に割ることができない。また、このような市場には貨幣といった媒体が存在しないと仮定する。取引には物々交換以外には方法はない。このモデルの重要な問題として、財をどのようにプレイヤー間で配分するかになる。

また、この結果は非分割財のタイプが二つ以上でも成り立つことが示された。タイプが二つ以上存在するモデルは、タイプが一つの場合と違い、あまり望ましい結果が得られないことが知られている。例えば、コアと呼ばれる代表的解概念が、タイプが一つの場合は存在することが知られている。しかし、財の種類が2種類以上ある場合は、コアの存在性が保証されないため、このモデルは多くの研究者を悩ませた。

2種類以上ある市場を一つずつ個別に扱い、それぞれの市場のコアを求め繋ぎ合わせる方法もあるが、この方法により効率的な配分が実現されないこともあることが挙げられ、かなりの難問になっている。本研究の結果は、財の種類の数に依らず成立する数少ない性質であり、また個人の財に対する好み(選好)に対する仮定をほとんど制限せずに成り立つ。これは、安定性の概念が幅広く応用できることを示し、今後のこのモデルにおける分析に大きく貢献しているとも言える。

(2) 非協力ゲーム理論を用いた分析

「研究方法」で述べたように、非協力ゲーム理論を用いた分析の中でも二つの方法を取り入れた。

まず、交渉問題等の周辺分野の文献のサーベイを行い、既存研究の結果等に対する理解を深めた。また、本研究への応用を適したモデルの一つ採択し、時間が離散時間であり、

他の設定も比較的簡単なベンチマークモデルの均衡分析を行った。しかし、ベンチマークモデルから少し複雑な設定を追加したとき、モデルが解けにくくなったため、交渉モデルを使った方法は今後の課題として残った。特に、時間が連続的（時間の最小単位が存在しない）なモデルの分析も検討中であるが、そのようなモデルの既存研究自体あまり数多くない。

一方、ボトルネックゲームの分析を用いた方法についてはいくつかの知見が得られた。一般的には、このモデルにはナッシュ均衡といったゲーム理論の代表的な均衡概念が存在しないケースが多々存在する。これは、非常に似ているがナッシュ均衡の存在が保証されている混雑ゲームや公共財供給ゲームと大きく異なる。また、既存研究で置かれている様々な条件を駆使しても、ナッシュ均衡の存在性を担保できないため、非常に扱いが難しいモデルと言える。

まず、このモデルにおいて非常に強い条件を課し、ナッシュ均衡が存在しうる状況を作る。また、この状況におけるナッシュ均衡の分析も行った。このようなゲームのナッシュ均衡を考えたとき、プレイヤーにとって一番好ましい時刻よりもはるかに早く行動を取らざるを得ない。直感としては、各プレイヤーは他のプレイヤーよりも早い時間を選択することにより混雑を避けたいと考える。これは、マッチング問題における青田買いの原理と似ている部分があり、それを表している理論結果の一つを言える。ただし、このモデルでは時間が離散であることが仮定されているため、交渉モデルの場合と同様に連続的時間を取り入れたモデルの分析については今後の課題である。

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5件)

(1) K. Bando, R. Kawasaki, and S. Muto, Matching with Externalities: A Survey, Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有, Vol. 59(1), 2016, 35-71, DOI: 10.15807/jorsj.59.35.

(2) R. Kawasaki, J. Wako, and S. Muto, Cooperative Games (von Neumann-Morgenstern Stable Sets) in Encyclopedia of Complexity and Systems Science, Robert A. Myers ed., Springer, 査読有, 2015, 1-39, DOI: 10.1007/978-3-642-27737-5_99-2.

(3) R. Kawasaki, T. Sato, S. Muto, Farsightedly Stable Tariffs, Mathematical

Social Sciences, 査読有, 76, 2015, 118-124, DOI: 10.1016/j.mathsocsci.2015.05.001.

(4) R. Kawasaki, Roth-Postlewaite Stability and von Neumann-Morgenstern Stability, Journal of Mathematical Economics, 査読有, 58, 2015, 1-6, DOI: 10.1016/j.jmateco.2015.02.002.

(5) R. Kawasaki, Maximin, Minimax, and von Neumann-Morgenstern Farsighted Stable Sets, Mathematical Social Sciences, 査読有, 74, 2015, 8-12, DOI: 10.1016/j.mathsocsci.2014.12.003.

〔学会発表〕(計6件)

(1) R. Kawasaki, H. Konishi, J. Yukawa, A Finite Bottleneck Game with Homogeneous Commuters, 2017年1月21日, 2016年度待ち行列シンポジウム, 東京理科大学森戸記念館, 東京都新宿区。

(2) R. Kawasaki, H. Konishi, J. Yukawa, A Finite Bottleneck Game with Homogeneous Commuters, 2016年11月3日, UECE Lisbon Meetings in Game Theory and Applications 2016, Lisbon, Portugal.

(3) R. Kawasaki, H. Konishi, J. Yukawa, A Finite Bottleneck Game with Homogeneous Commuters, 2016年9月15日, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 山形大学小石川キャンパス, 山形県山形市。

(4) 花登駿介, 河崎亮, 提案頻度が交渉の合意分配に与える影響, 2016年9月15日, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 山形大学小石川キャンパス, 山形県山形市。

(5) R. Kawasaki, H. Konishi, J. Yukawa, A Finite Bottleneck Game with Homogeneous Commuters, 2016年8月10日, 第22回DCカンファレンス, 龍谷大学深草キャンパス, 京都府伏見区。

(6) R. Kawasaki, On Roth-Postlewaite Stability, 2014年11月8日, UECE Lisbon Meetings in Game Theory and Applications 2014, Lisbon, Portugal.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河崎 亮 (KAWASAKI, RYO)
東京工業大学・工学院・准教授
研究者番号: 20579619