

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：34504

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870423

研究課題名(和文) 制約付きマッチング形成問題に関する数理的分析と提案

研究課題名(英文) Mathematical analysis and proposal on constrained matching formation problems

研究代表者

川崎 雄二郎 (KAWASAKI, Yujiro)

関西学院大学・商学部・助教

研究者番号：50708352

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：配分および情報に関する制約が存在するようなマッチングの研究を行った。配分の制約に関しては、各主体だけでなく地域(複数の主体から構成される集合)に対してマッチ数に上限と下限が存在するケースを考えた。このケースにおいては一般に知られる安定性の条件を満たすマッチングが必ずしも存在しないため、次善的な安定マッチングの条件を提案し、それを必ず生成するメカニズムを開発した。また、情報の制約に関しては、分権的マッチング市場における情報の非対称性の効果分析と、各主体からのマッチ候補に対する完全な選好順序の申告を必要としないメカニズムの提案を行った。

研究成果の概要(英文)：We study distributional and informational constraints on matching formation. As for distributional constraint, we examine maximum and minimum quotas are imposed not only on individuals but also on regions and provide a new notion of second-best stable matching and a mechanism which always produce it because the well-known stable matching does not always exist in this case. As for informational constraints, we analyze the effect of information asymmetry in a decentralized matching market and propose a new type of matching mechanism that does not require each individual's full length of preference ordering over candidates.

研究分野：経済学

キーワード：マッチング理論 メカニズムデザイン 安定性 情報の非対称性 サーチ理論

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) マッチング理論と安定性の概念

マッチング理論は、学校と学生の間での選択問題、病院と医者との配属問題、あるいは男性と女性の結婚問題など、相対する2つのグループに属する主体間での様々な組み合わせ(マッチング)を研究の対象とし、どのようなマッチングが望ましいか(マッチング問題)、また、その望ましいマッチングをいかにして生成するか(マッチング生成メカニズムの開発)などといった議論を中心とする理論である。

マッチングが満たすべき性質として広く知られているものの一つが「安定性」と呼ばれる概念である。これは、あるマッチングの状況から、新たなマッチに逸脱しても互いに現状から改善されるようなペアが存在しないことを意味する。

### (2) 配分上の制約があるマッチング問題

近年においては、配分上の制約(マッチする人数に関する制約)が存在するようなマッチングの形成問題についての研究が盛んに行われている。

マッチングの研究が始められた1960年代には、各主体への割り当てに対する上限制約が定められたケースの研究が行われていた。それゆえ、その状況において安定的なマッチングを生成するメカニズム(アルゴリズム)はすでに提案され、安定的なマッチングが常に存在することが明らかとなっている。

しかし悲劇的なことに、この種の形成問題における安定マッチングはどれをとっても各主体のマッチ数が増えないことが分かっている。これを打開するため、マッチ数を調整するために各主体への割り当てに対し下限制約などを加えると、それを満たす安定的なマッチングは必ずしも存在するとは限らない。ゆえに、上限および下限制約を満たす安定的なマッチングは一般には存在しないのである。この事実は、地域ごとのマッチ数に対しマッチ数の上下限があるケースについても同様である。

現在の日本の研修医配属制度には、上述のマッチング生成メカニズムが採用されているが、研修医側の志向が反映されるために限られた都市部への医師の集中、および農村部における医師不足などが常態化してしまっている。この対応策として地域ごとにマッチ数に下限制約することが検討されているが、その前にはまず安定性に代わり地域下限制約と両立可能な次善的概念を新たに構築する必要があり、またそのような概念に合うマッチングを生成できるメカニズムを開発する必要がある。

### (3) その他の制約

配分上の制約の次に現実にマッチングに課される制約として考えられるのが、「情報の制約」である。現実に財を取引する市場に

おいて、その財に関する情報の非対称性・不確実性が取引に影響を及ぼすことを考えれば、マッチングにおいてもマッチの候補についての情報が不確実であることがどれほど一般的で、かつマッチング自体にどれほどの影響があるかは想像できる。

既存のマッチング理論の文献において、情報の非対称性・不確実性を取り扱った研究は近年になって増えてきているが、それらはすでに提案されたマッチング生成メカニズムの下での各主体の戦略的行動を分析しているものが多く、非対称情報を新たなメカニズムを開発したり、あるいはその他のマッチングの状況における各主体の行動について分析するような研究はほとんど存在しない。

## 2. 研究の目的

### (1) 研究の目標

研究を始めた当初においては、以下に示すように段階を2つに分けて研究を進める予定であった：

#### 【第1段階】

地域上下限制約が存在するようなマッチング問題において、既存の安定性に代わる新たな安定性概念の提案と、そのような新たな安定性を満たすマッチングを生成する実用的なメカニズムを確立する。

#### 【第2段階】

第1段階で得られた成果を積極的格差是正措置が取られるマッチングへと応用し、その下においても同様に実用的なメカニズムの確立について検討する。

しかし、後ほど詳述するように、第2段階の積極的格差是正措置への応用は研究半ばで中断することとなった。そこで、第2段階の代わりとして、以下のような項目が目標に追加された：

分権的マッチング市場における主体間の情報の非対称性がマッチングおよび各主体の戦略・効用にもたらす効果の分析

各主体からのマッチ候補に対する完全な選好順序の申告を必要としないメカニズムの提案と、そのメカニズムが持つ性質の分析

### (2) 学術的な特色、結果、意義

【特色】特殊な制約が課されるマッチングに関しては、社会的な要請に比して数多くの問題が未だ解決を見ていない。経済学の見地から研究を行う研究代表者が計算機科学の領域の研究者と共同研究を行うことで、多大な貢献をもたらすことが見込まれる。

【結果】より望ましいマッチングシステムが実現されるなどのように、現実社会で広く行われているマッチング形成の質的および量的な改善を成し遂げ、社会全体の厚生を高めることができる。

【意義】これまで経済学と計算機科学の両分野においてマッチングに関する研究が行われてきたが、双方のマッチング理論の研究者が共同で研究を行うという試みはこれまでも例が少なく、本研究による成果は必ずや双方の研究領域にとって画期的なものになるであろう。

### 3. 研究の方法

#### (1) 地域上下制限約が存在するマッチング

【ステップ】新たな安定性（次善安定性）の概念の設定

まず、社会の要請や各主体のインセンティブに配慮しながら、既存の安定性の概念に基づいたもっともらしい次善安定性の条件を適切に定める必要があった。

研究協力者である横尾氏や岩崎氏らの研究手法を参考に、安定性の条件を公平性（fairness）と非浪費性（nonwastefulness）という2つの条件に分割して次善安定性を提案するという方針を立てた。彼らは、個別主体のマッチ数に下制限約が課されているマッチングの研究において、制約をすべて満たし、かつ安定的であるようなマッチングが一般には存在しないことを指摘した上で、公平性と非浪費性のうち、一方を維持しながら他方を少し弱めた条件を満たすマッチングを生成するアルゴリズムをそれぞれ提案している。

このステップは、自身の先行研究においてすでに着手しており、本研究初年度である平成26年度の時点では次善安定性の条件の大方の枠組みが定まっていた。

【ステップ】次善安定なマッチングの生成アルゴリズムの開発

ステップにおいて新たな安定性の概念を構築した後に、それを満たすマッチングを生成するようなアルゴリズムを開発する。ここでは、既存研究を大いに参考にする。先述の横尾氏らの研究や鎌田氏と小島氏による研究などにおいて提案されたアルゴリズムの共通点は、各機関の受け入れ枠を2つに分割し、一方には伝統的なアルゴリズムで人員を割り当て、他方には各々で定めた制約や安定性を満たすように設計されたアルゴリズムで人員を割り当てている点であり、本研究においてもこの方法に沿ったものを中心に、望むべき性質を持ったマッチングを生成するアルゴリズムを追求するつもりである。

さらには、実用的なアルゴリズムにするために、いかなる主体も自身の選好順位を偽って申告することで正直に申告した場合よりも良い結果を得るような事態が起きない、いわゆる耐戦略性を満たすことを求めるべきアルゴリズムの条件として加えた。

#### (2) 積極的格差是正措置の現状調査

学校選択において、各学校が特定の性別や人種に属する生徒たちごとに最低限マッチすべき数を設定しているケースが、アメリ

力をはじめとする国々で存在している。この状況に対して本研究の提案するアルゴリズムを適用できる可能性を検討するため、現実に実施されている様々な積極的格差是正措置の基本理念や具体的な方策について調査する。取り扱うモデル設定の細かな調整についても、この段階を通して確定する。

#### (3) 分権的マッチング市場における情報の非対称性の効果分析

現実の社会生活・経済活動における不完備な情報構造下での意思決定機会の一例として、結婚市場において自分以外の生産性の関する情報について不確実性が存在するケースの考察を行った。各個人の生産性は結婚相手に恩恵をもたらし、その利得・効用に直接的に影響する要素である。それにも関わらず、相手の生産性が実際にマッチするまで完全に知ることができないという事例は、現実にも十分に起こりうると思う。本研究では、マッチングサーチモデルの枠組みを用い、高生産性と低生産性の2種類の生産性タイプの個人が存在する市場において、各個人は異性に出会った際に相手の生産性に関するシグナルを受け取るが、そのシグナルは一定の確率で実際のタイプとは逆のタイプを示すと仮定する。

さらに本研究では、ある時点において異性と出会った際、各個人は相手が受け取った自分自身の生産性に関するシグナルを観測することができないと仮定している。これは、各個人が受け取るシグナルを個人的な「印象」ととらえており、それゆえ実際とは異なるタイプを示すシグナルを受け取るというのは、偶発的に起こった「勘違い」を意味すると考えるからである。このような相互での「勘違い」がマッチングの形態にどのような影響を及ぼすのかについて考察するのが、本研究の主眼であるといえる。その他の細かいモデリングに関しては既存研究を参考にして、時間を連続とし、すべての個人は各時点においてポアソン過程に従ってランダムに異性に出会うものとした。

#### (4) 完全な選好順序を申告する必要がないメカニズムの提案

マッチング理論において提案されるマッチング生成メカニズムの多くは各主体から完全な形での選好順序が提出されることを前提としているが、ゼミ配属など一部の状況においては、主体にとって自身の完全な形での選好順序を把握することは（対象となる主体があまりにも多すぎる、情報収集費用が非常に大きい等の理由で）極めて難しくなることがある。そこで本研究では、そのような主体の選好を部分的に引き出すようリクエストの構造をメカニズムに付け加えることを検討する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 地域上下制限約が存在するマッチング

はじめに、本研究では地域下制限約が課されるマッチングにおける研究に取りかかった。この研究においては、次善安定性の提案は行わなかったが、結果として3種類のマッチング生成メカニズムを提案し、それぞれの性質について公平性、非浪費性、耐戦略性、効率性などの観点から分析を行った。ここでの成果をまとめた論文は計算機科学系の国際会議 AAMAS2014 において採択され発表をする機会を得た。

続いて、地域上下制限約が課されるマッチングについての研究を行い、そこで地域に属する全主体の選好順序を統合させたマッチングについての優先順位 (priority list と呼ばれる) を基準にした次善安定性の概念・条件を提示するに至った。ここで提案した次善安定性とは安定性における公平性を強めた条件を強め、非浪費性を弱めた条件で構成されている。本研究では、この次善安定性を満たすマッチングを常に生成する耐戦略的なメカニズムを開発することに成功した。これについての研究成果は、もう一つの上下制限約に対応するマッチング生成メカニズムについての分析とともに一つの論文にまとめ、その論文は「Artificial Intelligence」に掲載された。

##### (2) 積極的格差是正措置の現状調査

先述の(1)での成果を積極的格差是正措置へ応用させるべく、現状についての調査を行ったところ、次のような問題点があることが分かった。

現在においても、アメリカの大学において共通試験の点数を修正する形で特定の人種に対する優遇措置がとられているが、これによって優遇されないアジア系などの人種は他人種以上に成績を上げることが必要となり、この事態を不当な「逆差別」であるとして裁判が行われるなど物議を醸している。

本研究を通してこのような状況を改善することができるのであれば、この問題について積極的に取り組むべきであるが、マッチ数に対する上下制限約を念頭にしている以上「逆差別」をもたらす可能性は払拭できず、状況の改善を目指すことは難しい。

以上のような理由から、積極的格差是正措置への応用は見送る判断を下した。

##### (3) 分権的マッチング市場における情報の非対称性の効果分析

この研究における成果は、大きく分けて均衡分析と比較静学の2つに分けられる。

均衡分析においては、まず均衡の存在性と特徴についての分析を行った。均衡の存在性に関しては、純粋戦略均衡は必ずしも存在しない(各々誰も受け入れられないような均衡は除く)が、混合戦略均衡まで範囲を広げること

で、いかなる場合においても存在することが角谷の不動点定理を用いて証明された。多くの既存のサーチ理論研究においては純粋戦略均衡が常に存在することが示されてきたが、本研究のモデルではそれらとは異なる結果を得られたといえる。また均衡の特徴づけについては、各戦略プロファイルが均衡となるような条件を明らかにし、それらを踏まえて各場合において起こりうる均衡の数は高々3つであることを示した。

一方比較静学に関しては、各時点で候補に出会う確率が上がると各個人の生涯効用が減少する場面があることを明らかにしたほか、「勘違い」を起こす確率が高まるにつれて各個人は低生産性タイプを受け入れようになり、各個人がマッチするまでにかかる時間が短くなる傾向があることを示した。

ここでの成果は、すでに口頭発表などを通して公表を行ってはいるが、最終年度において大きな進展があり、それをまとめて論文に著し学術雑誌に投稿することが研究期間内では間に合わなかった。

##### (4) 完全な選好順序を申告する必要がないメカニズムの提案

各主体に提供を要請する選好情報をいくつかの限られた候補者集合からの選択結果のみにとどめる「リクエスト構造」を提案し、これをマッチング理論において広く知られる「受入保留メカニズム」と「ボストン式メカニズム」と呼ばれる2つのマッチング生成メカニズムに組み込んだときのそれぞれの性質変化についての分析を行った。

具体的には、受入保留メカニズムは安定性と学生側に対する耐戦略性を満たす(教員側に対する耐戦略性は満たさない)が、リクエスト構造が組み込まれると耐戦略性が損なわれてしまう。一方、ボストン式メカニズムは、リクエスト構造のあるなしに関わらず教員側に対する耐戦略性を満たす(安定性と学生側に対する耐戦略性は満たさない)ことが分かった。

この成果をまとめた論文は「商学論究」に掲載された。

#### 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3件)

川崎雄二郎、マッチング形成における選好の申告に関する考察 リクエスト構造を付加したメカニズムの提案、商学論究、査読有、64巻、2017、pp.245-279

Masahiro Goto、Atsushi Iwasaki、Yujiro Kawasaki、Ryoji Kurata、Yosuke Yasuda、Makoto Yokoo、Strategyproof matching with regional minimum and maximum quotas、Artificial

Intelligence、査読有、Vol.235、2016、  
pp.40-57  
、  
<https://doi.org/10.1016/j.artint.2016.02.002>

Masahiro Goto、 Naoyuki Hashimoto、  
Atsushi Iwasaki、 Yujiro Kawasaki、  
Suguru Ueda、 Yosuke Yasuda、 Makoto  
Yokoo、 Strategy-proof Matching with  
Regional Minimum Quotas、 Proceedings  
of the 2014 international conference  
on Autonomous agents and multi-agent  
systems (AAMAS2014)、査読有、Vol.1、  
2014、 pp.1225-1232

安田 洋祐 (YASUDA, Yosuke)  
大阪大学・経済学部・准教授

岩崎 敦 (IWASAKI, Atsushi)  
電気通信大学・大学院情報システム学研究  
科・准教授

〔学会発表〕(計3件)

川崎雄二郎、安定マッチング問題におけ  
る選好順序の決定・申告に関する考察～  
関西学院大学商学部研究演習 I 配属の事  
例をもとに～、「公益学+経済学」2大学  
合同ワークショップ、2016年9月5日、  
東北公益文科大学(山形県酒田市)

川崎雄二郎、Matching Search with  
Noisy Types、「公益学+経済学」2大学  
合同ワークショップ、2015年9月3日、  
東北公益文科大学(山形県酒田市)

川崎雄二郎、Matching Search with  
Noisy Types、Contract Theory  
Workshop、2015年1月10日、関西学  
院大学(大阪府大阪市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川崎 雄二郎 (KAWASAKI, Yujiro)  
関西学院大学・商学部・助教  
研究者番号：5 0 7 0 8 3 5 2

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

横尾 真 (YOKOO, Makoto)  
九州大学・システム情報科学研究院・教授