

oTree を用いた配属システムの設計・構築とその運用

著者	島田 夏美, 吉田 真聖人, 澤 亮治
発行年	2020-06
シリーズ	Department of Policy and Planning Sciences Discussion Paper Series;no.1369
URL	http://hdl.handle.net/2241/00160167

Department of Policy and Planning Sciences

Discussion Paper Series

No.1369

oTree を用いた配属システムの設計・構築とその運用

**(The design, development, and management of a matching system with
oTree)**

by

島田 夏美、吉田 真聖人、澤 亮治

(Natsumi SHIMADA and Masahito YOSHIDA and Ryoji SAWA)

June 2020

UNIVERSITY OF TSUKUBA

Tsukuba, Ibaraki 305-8573
JAPAN

oTree を用いた配属システムの設計・構築とその運用

島田 夏美 *

吉田 真聖人 *

澤 亮治 †

2020 年 6 月 11 日

概要

本研究では、Gale and Shapley (1962) によって提案された Deferred Acceptance (DA) メカニズムによるマッチングを実現する選好提出システムの設計・構築を行った。選好提出システムには経済実験支援ツールである oTree (Chen et al., 2016) を応用した。筑波大学社会工学類の研究室配属において実際の運用を行い、配属マッチングを実施する際の（理論上仮定されている/考慮されていない）実務上の留意点および将来の課題について報告する。オープンソースソフトウェアをベースとした本システムは、DA メカニズムを用いた耐戦略的で安定的なマッチングの提供が比較的低コストで可能となり、さまざまな配属現場への適用が期待される。

1 はじめに

多くの大学の学部では、卒業研究等において学生をどの研究室またはゼミへ配属させるかを決定する配属問題が生じる。学生にとっては卒業や進路に関わり、教員にとっても主宰する研究室の研究プロジェクトの成否に関わる重要な問題である。この研究室配属問題は、多対一の二部マッチングとして定式化できる。二部マッチングでは、参加者（プレイヤー）が2つの側に分かれ、他方の側のどの参加者と結びつきたいかを表す選好（順位付け）に基づいて、マッチングが決定する。多対一マッチングとは、片方の側の参加者ひとりに対して、もう一方側の参加者が複数マッチする場合のことをいう。すべての参加者から提出された選好を用い、マッチング結果を決める手続きをメカニズムと呼ぶ。メカニズムを現実で運用する場合、各参加者の選好を集める役割となる管理者が必要となる。研究室配属では配属人数に上限のみが存在する場合には、Gale and Shapley (1962) の Deferred Acceptance (DA) メカニズムにより安定的なマッチングを計算できることが知られている。^{*1} マッチングが安定的とは、(1) 個人合理性（自分が希望していない相手とマッチしない）を満たすことと、(2) マッチしていない教員と学生のペアが互いのことを現在のマッチ相手より良いと思うことがどのペアについても起きないこと、の2つを満たすことを意味している。つまり、安定的なマッチングを生み出す制度の下では、制度で決められたマッチ相手よりも良い相手を探し出すことはできない。

本報告では、DA メカニズムによる研究室配属の運用について、学生の希望研究室を匿名で収集する選好提出システムを中心に報告する。現システムは Chen et al. (2016) により開発された oTree を応用して 2019 年に構築した。理論的性質が既知の DA メカニズムを用いているが、設計また運営上で留意点すべき点を明確にすることができた。主な留意点は、集権的なシステム、提出情報の秘匿、そしてメカニズ

* 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学大学院システム情報工学研究科

† 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学システム情報系社会工学域

^{*1} 一定数の配属人数を要求する下限制約が存在する問題への DA メカニズムの拡張については、例えば橋本他 (2014) で分析されている。

ムの安定性・耐戦略性の3点である。集権的なシステムとすることで配属時期前に学生に配属内定を出すような青田買いを抑制することができる。一般に研究室配属は学生が自分の専門性を見極められる時期に行われるが、青田買いがある場合には専門性を見極めが十分でない可能性が高くなり、非効率が生じる原因となりえる。2点目の提出情報の秘匿は運営上で重要なポイントとなる。例えば、自分の希望順位最下位の研究室とマッチした場合に、教員に順位最下位としたことが知られていると、その後の指導関係が気まずいものとなるかもしれない。配属決定後の関係性に気兼ねすることなく学生・教員が選好提出するには、提出情報の秘匿が必要となる。3点目のメカニズムの安定性・耐戦略性についてだが、安定性は既に述べた安定的なマッチングが計算される性質のことである。耐戦略性は、人気の集中する研究室は避けて選好提出するなど戦略的な行動を排除できる性質である。耐戦略性が満たされない場合には、他の学生の行動を予想した上で自分の行動を決定しなければならず、別の研究室を第一希望にしていれば良かったという後悔やうまく選好提出した学生への嫉妬などが生まれやすい。これは、学生が不公平さを感じる原因となりえる。安定性・耐戦略性は DA メカニズムをマッチングの計算アルゴリズムとすることで満たされるが、実際の運営ではその性質を参加者に理解してもらう点が重要となる。

DA メカニズムはマッチング問題に広く応用されており*2、代表的な例には、アメリカの研修医配属メカニズムがある (Roth, 1984)。また、日本の大学においては、早稲田大学の付属高校から早稲田大学への推薦入学者受け入れの際にも DA メカニズムが用いられている (佐々木, 2004)。マッチング問題に DA メカニズムが用いられる理由は、既に述べた安定性と耐戦略性という性質があるためである。

DA メカニズムは一般には参加者のふたつの集合のうちアルゴリズム上でマッチを提案する側がどちらかによって分けられる。研究室配属マッチングでの DA メカニズムは、学生側提案であり以下のステップからなる。

Step 1 : 各学生は自分の第一希望の研究室に応募する。各研究室は応募してきた学生の中から優先度の高い順位に定員の範囲内で「一時的に」受け入れる。定員を超えた学生は拒否する。

Step $k \geq 2$: 前のステップで拒否された学生は次に希望順位の高い研究室に応募する。各研究室は、前のステップで一時的に受け入れていた学生と今回応募してきた学生の中から優先度の高い順位に定員の範囲内で「一時的に」受け入れる。定員を超えた学生は拒否する。どの学生も拒否されなくなった時点、または、学生が提出した希望順位の研究室にすべて拒否された時点で、ステップは終了し、そのときの受け入れをマッチング結果とする。

DA メカニズムが学生側の耐戦略性を満たすことは理論的に証明されている (Roth, 1982; Dubins and Freedman, 1981)。しかし、Chen and Sönmez (2006); Pais and Pintér (2008) などの多くの実験研究において、無視できないほど多くの参加者が自身の選好をゆがめて伝えることが報告されている。よって現実での運用の場合、参加者が戦略的に動いて選好をゆがめて伝えることがないように設計する必要がある。研究室配属の場合、「誰がどの研究室を第何希望として提出した」という学生の選好が管理者である教員によって確認されるとわかっているならば戦略的な選好提出が行われ、耐戦略性が崩壊する危険性がある。一方で、研究室配属は学務の一環となるために配属に関係がない第三者が管理者になることは難しい。本研究の構築システムの最大の特徴は、管理者によって収集される選好が匿名性を満たしている点である。*3 学生は安心して選好を提出でき、戦略的に動かなかったことが研究室配属実施後のアンケート調査によってわかっている (大串, 2019)。

*2 DA メカニズムの現実の応用例は栗野 (2019) などを参照のこと

*3 正確には、管理者のうち提出データを非匿名化できるメンバーを制限することができる。詳細は 4.4 節を参照。

近年、教育機関、特に大学のシステムは様々な大学で開発・運用がなされている(飯田他, 2009; 松平他, 2011)。筑波大学では、最適化の手法を用いて学生が体育の種目を選択するためのシステムを開発したことがある(吉瀬, 2016)。このような大学の学科をまたいだ大規模なシステム開発に対して、学科ごととなる研究室の配属システムの開発は比較的小規模といえる。システムを開発し、運用することは当然のことながら多大なコストがかかる。研究室配属は、小規模がゆえに予算がなく、各担当者が適宜対応している問題がある。

研究室配属の運用・プログラムでは、さまざまなアプローチがとられている(島田他, 2015; 加藤, 2005; 奥居他, 2003; 藤井他, 2019; 片岡・茨木, 2008)。島田他(2015)では、岡山理科大学工学部情報工学科でのシステム開発と継続的な運用を述べている。加藤(2005)は、近畿大学理工学部情報学科におけるマークシートによる希望調査とその配属プログラムについて述べている。これらの研究でもシステム化により、配属システムの管理コストが削減されている。本研究では、オープンソースソフトウェアである oTree (Chen et al., 2016) を活用しシステムを構築することで、安価な導入と実施を可能とする。奥居他(2003)は、中部大学工学部情報工学科の研究室配属の実際のデータを DA メカニズムと耐戦略性を満たさない配属方法に応用させた結果を比較し、DA メカニズムのほうが参加者にとって高い満足度があることを明らかにしている。本研究は、DA メカニズムの耐戦略性に着目しつつ、現実的な運用面で戦略性を抑える工夫として提出データの匿名性に配慮した運用を実施する。

本論文の構成は以下である。2 節に配属システム設計時に留意すべき点をメカニズムが満たすべき要件としてまとめた。システム構築および運用については 3-4 節に記述した。5 節では実際に DA メカニズムを筑波大学社会工学類の研究室配属で運用した成果をまとめ、6 節で今後の課題について考察する。

2 要求仕様

本研究の目的は、毎年実施が必要となる研究室配属の簡素化・システム化である。マッチングメカニズムの理論的性質を最大限に発揮できるような手順を明確にし、管理を容易にすることで、学生および教員の負担を軽減することができる。また毎年同じ手順を踏むことで、年度によって異なった配属方法による格差が生じることをなくすことが可能となる。本研究で構築した手順およびシステムは筑波大学社会工学コモンズセンターにて公開されている(澤他, 2019)。

研究室配属システムを設計する上での一般的な要件を、1) 集権的なシステム、2) 提出情報の秘匿、3) メカニズムの安定性・耐戦略性とした。各要件について以下で詳細を述べる。また、本研究で運用を行った組織特有の要件として、4) 可変的な定員設定を設けた。

2.1 集権的なシステム

集権的なシステムとすることで配属時期前に学生に配属内定を出すようないわゆる青田買いを抑制することができる。教員と学生が個別に配属を決定するような分権的なシステムでは、実際の配属時期よりも早くに優秀な学生を囲い込む青田買い行動が起りやすい。集権的なシステムを用いる前の米国の研修医マッチングにおいては青田買い行動が頻繁に行われていることが Roth (1984) により報告されており、また Kagel and Roth (2000) の行った経済実験でも分権的な制度の下ではそのような行動が観察されることが報告されている。このような行動を抑制するため、全ての教員・学生が運営の管理者に希望を提出する集権的なシステムを要件とした。

集権的なシステムを採用した場合には、一般的に参加人数が多くなり、運営管理者の管理コストが大き

くなる。よって手作業を介さずに選好を収集するシステムが求められる。この要件を満たすために、特に参加数が大きくなる学生側の選好収集用の希望登録システムを実装した Web サーバーの構築を行った。これにより収集した希望情報を自動的に統合して、その後のマッチングプロセスをプログラムで行うことが可能となった。各年ごとの結果をデータベースとして容易に比較できるという利点も生じた。

2.2 提出情報の秘匿

情報が公開されるか否かは選好の提出行動に影響を与える可能性がある。そのため、学生の希望は教員に、また教員の希望は学生に伝わらないように提出情報が秘匿されることを要件とした。選好の提出のためのプロジェクト用サーバーは学外のネットワークから接続できないように設定するが、学生個人の入力内容特定できる情報は Web サーバー上で保存しない。また、提出情報が秘匿されることについては事前に周知されていることが必要となる。この点は配属マッチングに関する説明会を行うことで担保した。

2.3 メカニズムの安定性・耐戦略性

マッチングメカニズムは、「メカニズムで決められたマッチ相手よりも良い相手を探し出すことはできないこと」および「各個人にとって正しい希望を伝えることが最善の結果をもたらすこと」の 2 点の性質を満たすべきとした。前者の性質を安定性と呼び、後者を耐戦略性と呼ぶ。

もし、決められたマッチ相手よりも良い相手を探し出すことができる参加者が存在する場合には、運営への不信が生まれるため継続性が問題となる。実際に英国の研修医マッチングにおいて、安定性を満たさないメカニズムを使用した地域ではメカニズムの使用を中止するケースが多かったと Roth (1991) において報告されている。また耐戦略性を満たさない制度であれば、制度運営者は各個人から本当の好みを教えてもらえとは限らず、誤った情報に基づいて判断を下してしまいかねない。従来型のマッチングの多くは、学生と研究室が提出した希望順位をもとに、学生の希望順位の 1 番上をみて受け入れ可能であればマッチを確定させ、マッチしなかった人のなかから第 2 希望をみてふたたびマッチさせ、以下それを繰り返すといったアルゴリズムで行われることが多い。このような制度は耐戦略性を満たしておらず、本当の希望を伝えることが最適とは限らない。これは第 2 希望、第 3 希望と後の段階へ進むにつれて、本来は自分のほうが優先度が高くても希望の研究室が埋まっていつてしまうからだ。このため、人気の集中する研究室は避ける、他の希望者よりも高い評価を得られそうな研究室を希望するなど、他の人の行動を踏まえた上で自分の行動を決定しなければならない。その結果として本当に行きたかった研究室を第一希望にしていればマッチしていた、また年ごとの人気のぶれによってマッチの差が生まれるなど、諸々の不公平さが生まれてしまう。耐戦略的な制度は、他の人がどんな行動をとるときでも、自分の好みを伝えればそれが最適になることを保証するので、そのような制度の参加者は戦略的に行動を決定する必要がない。耐戦略的なマッチングメカニズムを採用することによって、参加者が状況判断にかけなければいけないコスト負担を軽減できるとともにマッチング結果についての不公平さをなくすることができる。

2.4 タイプごとの定員設定

筑波大学社会工学類は、3つの主専攻（社会経済、経営工学、都市計画）に分かれている。教員も学生もいずれかひとつの主専攻に所属している。メカニズムの実施において、都市計画主専攻から「都市計

画主専攻に所属する学生を平等に配属させたい」という要望があった。そのため、Abdulkadiroğlu and Sönmez (2003) によって提案されたタイプ制約付き DA メカニズムを用い、主専攻をタイプとみなすことで主専攻ごとの定員を設けることにした。本研究ではこれを修正版 DA メカニズムと呼び、以下のステップからなる。

Step 1 : 各学生は自分の第一希望の研究室に応募する。各研究室は応募してきた学生の中から優先度の高い順位に定員の範囲内で「一時的に」受け入れる。ただし、「一時的に」受け入れる都市計画主専攻の学生数は、都市計画主専攻定員を上限とする。定員を超えた学生は拒否する。

Step $k \geq 2$: 前のステップで拒否された学生は次に希望順位の高い研究室に応募する。各研究室は、前のステップで一時的に受け入れていた学生と今回応募してきた学生の中から優先度の高い順位に定員の範囲内で「一時的に」受け入れる。ただし、「一時的に」受け入れる都市計画主専攻の学生数は、都市計画主専攻定員を上限とする。定員を超えた学生は拒否する。どの学生も拒否されなくなった時点、または、学生が提出した希望順位の研究室にすべて拒否された時点で、ステップは終了し、そのときの受け入れをマッチング結果とする。

例えば、研究室の定員が5名で、そのうち都市計画主専攻の定員が3名とする。このとき、都市計画主専攻の学生5名が応募してきたとしても、研究室における優先度の高い上位3名しかその研究室に配属されない。他主専攻の学生からの応募があり、さらに他の都市計画主専攻の学生より優先度が低い場合でも、2名まではその研究室に配属される。

主専攻ごとの定員があるマッチングでも、このようなタイプ制約付き DA メカニズムによって耐戦略的なマッチングが実現できる。ただし DA メカニズムとの違いとして、タイプ制約付き DA メカニズムを採用する場合は「学生 i にとって、入れなかったより希望の高い研究室 s に、自分より (s での) 優先度の低い学生 j が配属される」可能性がある。^{*4} よってタイプを超えた安定性が満たされず、専攻ごとの不公平さを生む原因となるため、特殊な事情がある場合を除いて推奨はされない。

3 事前検討項目

前章の仕様に基づいてシステムを構築していくなかで、「学生の情報をサーバーに入れることは避けてほしい」という要望が生じた。そこで、学生の研究室に対する選好提出にはシステムを使用し、研究室の学生に対する選好提出には Excel による提出で行った。

3.1 Web ベースでの収集

学生からの選好の収集に関しては、経済実験で用いられるソフトウェア oTree (Chen et al., 2016) を用いて Web 上で希望を入力できるようにした。簡単な流れは次の通りである。1. サーバー上で oTree を実行し、指定 URL から希望登録システムのページへアクセスできるようにする。2. 学生はページにアクセスした後、あらかじめ配布した登録キーを用いてログインし、希望する研究室名 (教員名) をセレクトボックスから選択する。3. 希望の入力を終わると、oTree と連携させたデータベースに個人ごとに識別された入力データが保存される。

^{*4} ここで、「 j は自分とは異なるタイプで、自分のタイプについて研究室 s は満員である」ということは保証される。

表 1 サーバー詳細

OS	Windows 10 Home 64bit
CPU	Core i5-8400 (2.8GHz)
Memory	16GB (8GB×2)
他	oTree, Postgress, pgAdmin

3.2 非 Web ベースでの収集

学生側の選好提出のように研究室側が選好を入力することになると、学生の名前や学籍番号などを表示させるためにこれらの情報をサーバーにもたせる必要がある。セキュリティの観点から学生の名前をサーバー上で保管することを避けたいという要望があったため、教員側からの選好の収集は Excel による提出で行った。もしサーバーに学生名をもたせてよいのであれば、学生側の選好入力と同じように教員側の選好の収集も Web ベースで行うことができる。

4 システム構築と運用

筑波大学社会工学類では 2015 年以降、DA メカニズムによる研究室配属マッチングを実施してきた。2019 年に選好の収集を oTree (Chen et al., 2016) を応用したシステムに一新した。このサーバーの構成を表 1 にまとめる。

登録の流れなどは今まで通りであるが、Python ベースのシステムとなった。以下の説明は、oTree documentation および、本研究の詳細マニュアル (澤他, 2019) も合わせて参考とする。

4.1 サーバーの手続き

ネットワークには学内のみで接続が可能なイントラネットの IP アドレスをネットワーク管理者に発行してもらいサーバーに設定する。サーバーへ Python、oTree をインストールする。oTree のデフォルトデータベースはサーバーとしての使用に適していないため、oTree documentation で推奨されているように Postgres をデータベースとして設定し、pgAdmin にて接続ができるようにする。

4.2 oTree セッションの作成

oTree のセッションでは参加者に HTML ページが順番に表示され、入力内容を取得してデータベースに記録していく。今回使用した oTree セッションは 1) ログイン 2) 希望の入力 3) 入力の確認 の順で構成され、ログイン時の参加者ラベル (後述する登録キー) と、研究室希望順位をデータベースの変数に設定して Postgress へ記録するものになる。本研究では汎用性のため研究室希望数の最大値を自由に設定できるようにした。方法としては、oTree プログラムのグローバル変数に希望研究室数の最大値を用意しておき、HTML ページでその変数を参照して入力欄を生成している。このとき、oTree 上でいくつデータベースの変数を用意するかはプログラム内の変数に依存して変更できないため、希望順位はひとつの変数 (t1;t4;t13; のような文字列) として取得している。最大登録数 10 とした希望順位入力画面を図 1 に示す。

これを希望登録システムとよぶことにする。

yoshidaさんの希望順位の入力

第1希望
--

第2希望
--

第3希望
--

第4希望
--

第5希望
--

第6希望
--

第7希望
--

第8希望
--

第9希望
--

第10希望
--

Next

図1 希望順位の最大登録数を10にした登録画面の例

4.3 oTree ルーム機能

希望登録システムへのアクセスを登録制にするために、oTreeのルーム機能を用いた。ルームとは同一のoTreeセッションに複数人があらかじめ決められた参加者ラベルを入力して参加できるようにする仕組みのことで、参加者ラベルを個別のパスワードに設定すれば参加者のログインに相当する機能として用いることができる。ルームの参加者ラベルは後述の登録キーとして参加者に配布した。

4.4 運用面の手続き

4.4.1 ID への変換

IDはマッチングを実行する上で個人に割り当てた識別子である。oTreeの入力面では教員の名前が選択できるが、データベース上では各教員はID($t1, t2...$)で記録するようにした。一方で学生IDは後述する登録キーを用いた。登録キーは同じく学生の識別子であり、学籍番号と紐づいているが、学籍番号と登録キーの対応表はoTreeサーバーには保存しない。よってサーバー管理者およびマッチングプログラムの実行者はIDから学生を特定することができない。

4.4.2 登録キー

登録キーは学生に割り当てたIDであり、oTree上でルームに参加するためのパスワードも兼ねている。あらかじめ参加学生の学籍番号(および名前)の含まれた一覧表にランダムかつ一意な10桁の文字列を登録キーとして紐づけた。学生はあらかじめ配布した希望登録システムのURLから登録キーを用いてログインできる。以降、サーバー上での学生の入力データは登録キーによって匿名化される。

4.4.3 対応表の作成

学生の識別は、サーバー上では登録キーで表現されている。これを学生の名前と紐づけたExcelファイルに対応表とよぶ。参加学生の名前と学籍番号の一覧表を用意し、そこへランダムかつ一意な10桁の文字列をExcel関数で生成して登録キーを発行する。対応表は登録キーと学生個人を相互に変換できる

ため、個人情報として注意して扱うことになる。

4.4.4 登録キーの配布

研究室配属に参加する学生へ期間中に事務室を通して登録用紙を配布した。登録用紙には学生の名前、学籍番号、登録キー、そして希望登録システムの URL が書いてあり、受付期間内であれば学内の PC からログインと入力ができる。登録キーは学籍番号と登録キーの対応表となる Excel 上でランダムかつ重複がないように生成したのち、VBA を用いて 1) 配布資料のテンプレート (word ファイル) を人数分複製し、2) 個人名、学籍番号、登録キーの個人情報を対応表から転写した。

4.4.5 個人データの管理

個人情報を管理する上で、理想としては選好の集計、マッチング、サーバー管理のすべてのプロセスを 1 名で行うことができればよい。一方で正しい手法をとっているかのチェックや役割分担によって複数の運営者が必要となることが想定される。その場合対応表を知っている運営者を限定することで提出された希望順位を知っている運営者を限定し、個人情報が流出する可能性を最小限にできる。本研究では 2019 年度についてはマッチングの実行と対応表の管理は別の人物が行ったため、選好の集計後から実際のマッチング結果の確定までは次の手順で行った。1) 対応表 (登録キーと学籍番号) 管理者は教員側の選好と学生側の選好をすべて取得し、それらを教員 ID と学生 ID へ変換し、マッチング担当者へ渡す。2) マッチング担当者はプログラムでマッチング結果を計算し、それを対応表管理者へ再び送る。そして 3) 対応表管理者が最後に教員名と学籍番号のマッチに変換し、学生および教員への最終的な通知を行う。この場合、サーバーの管理者とマッチングの実行者は各教員ごとの学生からの希望数はわかるものの、どの学生がどの研究室に希望をだしたかはわからない。

4.4.6 教員への Excel データの配布・回収

教員には Excel で選好を提出してもらった。筑波大学で授業などで使用している教員支援ツールから配布、回収した。希望登録システムを教員についても運用しなかったのは、学生名のリストをプロジェクト用のサーバーで保管することに関してセキュリティリスクの判断を避けるためである。教員に渡す Excel シートは学生を入力する入力用シートと、入力結果をあとでマッチングを行うプログラムが処理できる形式に変換する統合フォーマットシートを用意して後の作業を簡単化した。収集した教員側選好は対応表の管理者が管理し、マッチング実行のときには学生を学生 ID に変換した。

5 運用結果

各年度のマッチング結果の詳細は、鴻巣 (2016)、中島 (2017)、堤 (2018)、大串 (2019)、石田 (2020) にある。^{*5}表 2 はそれらの結果を簡易的にまとめている。表内の「第一希望とマッチ」は自身が第一希望とした研究室とマッチした学生の割合を示している。「第二希望とマッチ」、「第三希望とマッチ」も同様である。「計」は第三希望以内の研究室とマッチした学生の割合を示している。

どの年度においても、9 割に近い学生が第三希望内の研究室とマッチしていることがわかる。以下では、2 節で記述した配属メカニズムの要件について運用結果を基に簡潔に考察する。

^{*5} これら資料の梗概は、筑波大学社会工学コモンズセンターにおいて閲覧可能である。

^{*6} 人事などの理由により、定員 0 として参加した研究室も含む。

表 2 各年ごとの運用結果

	2015	2016	2017	2018	2019
参加 学生数	30 名	95 名	87 名	116 名	127 名
参加 研究室数*6	13 室	43 室	42 室	51 室	55 室
第一希望とマッチ	56.7%	66.3%	56.3%	73.3%	62.2%
第二希望とマッチ	26.7%	16.8%	21.8%	15.4%	19.7%
第三希望とマッチ	3.3%	9.5%	9.2%	4.3%	8.7%
計	86.7%	92.6%	87.4%	93.1%	90.6%

5.1 集権的なシステム

2017 年度までは DA メカニズムを利用した配属へ全主専攻の学生が参加していたわけではなかったが、2018 年度より配属対象の学生全員が参加することとなり、全員が管理者に希望を提出する集権的なシステムが実現された。この年の参加学生に対して行われた配属に関するアンケートでは、「研究室が決定した方法」への回答として「社会工学類マッチング以前から配属が決定していた」と回答した数はゼロ（全回答数 112）であり、青田買い行動が抑制されたことが確認された。

5.2 耐戦略性の確保および提出情報の秘匿

DA メカニズムを用いる以上は、そのメカニズムを周知する必要がある。これは、ガイダンスや配布資料などで参加者へ伝えた。2018 年度の研究室配属実施後のアンケート調査では、希望するすべての研究室を希望する順に登録したという回答が大半（106/全回答数 112）を占めており、提出する選好の順位付けにおいて学生が戦略的になることはなかったと言える（大串, 2019）。また、2019 年度研究室配属時のアンケート調査でも自分が希望する順に登録したという回答が大半（111/全回答数 116）という同様の傾向が観察された（石田, 2020）。少なくとも「正直に出すことが一番良い（耐戦略性）」という点を理解し、理論が予想する通りに正直に申告した学生が多数であることが確認された。また、提出情報の秘匿についてもシステムを構築する際に担保していたため、自分の選好を正直に申告する行動を促すことができたと推察される。

上記した約 95% の学生が自分の希望順位通りに登録したという結果は、実験研究の結果とは対照的である。例えば、Chen and Sönmez (2006) のマッチング実験では、平均して 36% の参加者が DA メカニズムの下で真の希望順位と異なる順位を提出したことが報告されている。Pais and Pintér (2008) の実験では、参加者への情報の与え方によって正直申告の割合に変動はあるが、18–33% の参加者が DA メカニズムの下で真の希望順位と異なる順位を提出している。また、Pais and Pintér (2008) の実験では、学生側が相手側の選好についての知識がすくないほど、正直申告の割合が高まることも報告されている。Kawagoe et al. (2018) は、今回の運用環境でも用いたタイプ別の定員設定のあるマッチング実験を行った。正直申告の割合は約 60% にとどまったこと、参加者は相手側の選好情報を考慮した順位を申告（自分に高い優先順位をつけている相手を上位にして申告）したことが報告されている。Kawagoe et al. (2018) では、相手側の選好情報が未知の設定の実験は行われていないが、もし未知であれば報告されたような虚偽申告のインセンティブは低まると予想できる。これら実験結果を考慮しても、正直申告を促すためにはメカニズムの理論的な性質への理解を深めるなど運用面での工夫が重要と考えられる。ま

た、提出情報の秘匿を徹底したことが良好な正直申告の割合につながったという推察は Pais and Pinter (2008) や Kawagoe et al. (2018) の結果とも整合的である。

6 運用上の課題と提案

今回、筑波大学社会工学類で行われた研究室配属について、いくつかの応用上の課題が見つかった。ひとつは学生側が提出する選好で平均希望提出数が 3-5 室にとどまっていたこと、もうひとつは教員側の選好の提出が締切を守られないことがあったことである。

6.1 希望提出数について

DA メカニズムの望ましい性質のひとつである耐戦略性は、自分の希望する選好をそのまま提出することがほかの人の選好にかかわらず自分にとって最適になることを保証する。この性質から、DA マッチングのもとでは希望の高い研究室を躊躇なく上位にえらぶことができ、耐戦略性のないメカニズムと比較して、学生が本当に希望している研究室とマッチする確率を上げることが期待される。よって学生と研究室の厚生を増加させたい運営者からみて希望提出数を増加させることはひとつの目標となる。しかしながら、学生にとって選好を提出するための費用が存在し、かつその費用を研究室側が設定できる状況では、希望提出数が十分でない、また提出された希望が事後的な（本当の）希望と異なる可能性がある。

本研究の対象である研究室配属では学生は教員に面接をうけて承諾を得たのちにその中から希望順位を提出する、教員側は各々の裁量で面接の手順を設定し、面接を受けに来た学生のリストから希望する学生をえらんで希望順位を提出するという手続きで行われた。ここでの学生の意味決定は以下のように考えられる。まず、研究室への選好が完全にはわからない状態でどの研究室の面接を受けるか決定する。ただし、面接をうけるときにはコスト（以下面接コスト）を支払う必要がある。面接コストは、各教員の面接方法の設定に任されている。以上のことから、面接コストが高いときには希望提出数が減ってしまうのはもちろんのこと、面接コストが研究室ごとに不均一であれば、学生は特定の研究室を避ける可能性がある。さらに研究室側が意図して面接コストを調整できるため、あえて面接コストを増加させて学生の希望を制限するといった戦略を研究室側がとることもできる。

こうした応用上の状況では、1) 各参加者が（事前に確定した）選好をもっている、2) 選好を提出する上でコストが存在しない というマッチングの前提条件が満たされていない可能性があり、事後的な希望から提出された希望が乖離しているかもしれない。この点は、耐戦略性をもつメカニズムを導入するメリットである正直選好とそれにもとづく最適性を損なう原因となる。一方で、研究室が面接を配属の条件とすることは参加者の情報収集と合意のために必要であり、研究室配属マッチングにおける実際の事例でも同様のケースが少なくないと考えられる。

面接コストないしその不均一を部分的に解消する方法としては、研究室の面接を受けるための必要条件を共通化することが挙げられる。たとえば研究室 A ではその研究室の教授が受け持つクラスの後面接を行っていて、研究室 B では個別にメールでアポイントメントをとる必要があり、研究室 C では指定された日時に集合するというように面接を受けるための条件が個別に決まっている場合、学生にとって複数の研究室の面接をうけづらいかもしい。このとき、面接の受付としてメールでの事前アポイントメントはどの研究室も可能とする、面接可能時間のリストを事前に公表するという方針により、学生にとってはアポイントメントの方法などが明瞭になり、スケジュールを立てやすいと考えられる。ただし、研究室側の裁量を制限してしまうというトレードオフが発生するため、運用前の事前合意が重要になる。

6.2 提出締切について

締切を過ぎてから選好の提出がある場合、マッチング結果の再計算や再通知を行う、さらにはもともとマッチしていた学生がマッチしなくなってしまうなどの問題が生じるため、締切を順守してもらうことは重要である。期日を守ってもらうひとつの解決策としては希望を提出しない研究室の選好を希望なしにするように決めておく方法が考えられる。実際に就職などのマッチングでは希望を提出しない限りマッチすることはないためマッチしたい応募者にとって締切を守るインセンティブが存在する。しかし大学の研究室配属マッチングは学生の厚生のために少しでもマッチする学生を増やしたいという運営者側の要求があるため、この施策は現実的ではない。また、本研究で行った研究室配属の過去のケースとして、人事異動が予定されている教員が学生を全くとるつもりがないものの、異動自体を秘密にしなければならない理由からマッチングの参加自体は行う場合があった。そうした研究室の選好は希望者なしとなるため、そもそも希望を提出するインセンティブはない。他にも、研究室のうちいくつかは、本当は学生を取りたいわけではないが、マッチできない学生が多いことは問題があるという事情から、ある程度好みでなくても受け入れを行っているかもしれない。この場合も提出がない場合に希望者をなしにするという方策は役に立たない。以上の問題をまとめると、希望者のいない場合や自主的には希望者を募集していない場合には、研究室側の選好の提出は義務的な作業であり、そのため期日までに選好を提出するという意識が低くなってしまうと考えられる。

ふたつめの課題の単純な解決策は、運営者が、締切をすべての選好を収集完了したい予定期日（運営者にとっての締切）より前に設定することだ。O'Donoghue and Rabin (1999) は仕事の先延ばし現象を、意思決定者がかつ選好の時間変化の予測が不完全であることから説明している。完全に合理的ではない意思決定者は締め切りまでの自分の行動が予想よりも遅れてしまうことを十分に把握していない。そのため O'Donoghue and Rabin (2006) は締め切りの早期化を有効策として議論している。締切を猶予をもって設定することは、仕事を遅延させてしまう自分の傾向を正しく予測できないという人間の性質からみて必要な介入となるためだ。Ariely and Wertenbroch (2002) は大学のクラスにおいて 12 週間の長期のコース中に 3 つのレポートを提出させるときに、課題の締め切りを最終講義までに設定したグループと中間締め切を設けて段階的にレポートを提出させたグループ、そして自主的な締め切を紙にかいて提出させたグループを比較し、中間締め切を設定したグループにおいて最終的な提出率ももっとも高い（続いて自主的な締め切を設定させたグループ）ことを報告している。

Ariely and Wertenbroch (2002) では課題の提出あとの成績評価が参加者にとっての報酬になっており、本研究では研究室の選好の提出について報酬がない場合もあるため厳密には状況が異なっているものの、提出期限の設定について 1) 提出締切 2) 予備の締め切り などの段階的な締切として通知する、もしくは 1 番目の締め切りのみを通知して早期化することが、選好の収集の最終締め切りまでの提出率を高めるために有効と考えられる。ただし研究室配属マッチングにおいては、希望の提出締切が遅いほど面接期間を長くできるトレードオフが存在するため必要以上に締切を早めることはできない。

7 おわりに

本研究では、筑波大学社会工学類の研究室配属に応用した配属システムを紹介した。研究室配属のシステム化は、選好の収集やマッチングの計算のための管理コストの削減が期待される一方で導入コストや運用の維持が問題となる。そこで本研究では oTree (Chen et al., 2016) をベースとしたシステムを構

築した。オープンソースソフトウェアをベースとしており、学部組織ごとの研究室配属などの比較的小規模な現場へも低コストで導入が可能となる。筑波大学社会工学類での運用成果から、DA メカニズムの採用と匿名性への配慮が、学生の戦略的な行動決定などの負担を小さくし、高い希望順位のマッチを実現することが示唆される。システムに要求される匿名性を満たしながら、比較的低コストでのシステム構築を可能とする本システムの応用範囲は広いと期待され、タイプ付きマッチングにより専攻やコースごとに定員を設定したいなどの需要にも対応できる。本研究では研究室配属マッチングで実際に運用したことで見えた課題を報告したが、研究室配属のみならず今後の幅広い配属現場でのシステムの設計に活かされれば幸いである。

謝辞

栗野盛光氏より 2015 年度・2016 年度・2017 年度の配属に関する論文の共有をいただいた。また、大串知裕氏、石田舞氏より 2018 年度・2019 年度の配属に関する結果を提供いただいた。山崎夏希氏には修士論文のプログラムの一部を参考とさせて頂いた。各年で担当・協力して下さった当時の学生や教職員の方々には、この場を借りて深く感謝致します。

参考文献

- Abdulkadiroğlu, Atila and Tayfun Sönmez (2003) “School choice: A mechanism design approach,” *American economic review*, Vol. 93, No. 3, pp. 729–747.
- Ariely, Dan and Klaus Wertenbroch (2002) “Procrastination, deadlines, and performance: Self-control by precommitment,” *Psychological science*, Vol. 13, No. 3, pp. 219–224.
- Chen, Daniel L, Martin Schonger, and Chris Wickens (2016) “oTree-An open-source platform for laboratory, online, and field experiments,” *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, Vol. 9, pp. 88–97.
- Chen, Yan and Tayfun Sönmez (2006) “School choice: an experimental study,” *Journal of Economic theory*, Vol. 127, No. 1, pp. 202–231.
- Dubins, Lester E and David A Freedman (1981) “Machiavelli and the Gale-Shapley algorithm,” *The American Mathematical Monthly*, Vol. 88, No. 7, pp. 485–494.
- 藤井樹・伊藤靖展・鍋島英知 (2019) 「学生の選好に同順位を含む研究室配属問題」, 『人工知能学会論文誌』, 第 34 巻, 第 3 号, A-I91 1-16 頁.
- Gale, David and Lloyd S Shapley (1962) “College Admissions and the Stability of Marriage,” *The American Mathematical Monthly*, Vol. 69, No. 1, pp. 9–15.
- 橋本直幸・後藤誠大・上田俊・岩崎敦・安田洋祐・横尾真 (2014) 「地域制約の下での戦略的操作不可能なマッチングメカニズム」, 『電子情報通信学会論文誌 D』, 第 J97-D 巻, 第 8 号, 1336–1346 頁.
- 飯田勝吉・新里卓史・伊東利哉・渡辺治 (2009) 「キャンパス共通認証認可システムの構築と運用」, 『電子情報通信学会論文誌 B』, 第 92 巻, 第 10 号, 1554–1565 頁.
- 石田舞 (2020) 「令和元年度筑波大学理工学群社会工学類における研究室配属制度の分析」, 『令和元年度筑波大学理工学群社会工学類卒業研究論文』.
- Kagel, John H. and Alvin E. Roth (2000) “The Dynamics of Reorganization in Matching Markets: A Laboratory Experiment Motivated by a Natural Experiment*,” *The Quarterly Journal of*

- Economics*, Vol. 115, No. 1, pp. 201-235, 02.
- 片岡達・茨木俊秀 (2008) 「研究室配属のための一方式の提案とその数理的考察」, 『日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌』, 第 51 巻, 71-93 頁.
- 加藤暢 (2005) 「研究室配属プログラムの開発と運用」, 『情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (CE)』, 第 2005 巻, 第 104 (2005-CE-081) 号, 1-6 頁.
- Kawagoe, Toshiji, Taisuke Matsubae, and Hirokazu Takizawa (2018) “The Skipping-down strategy and stability in school choice problems with affirmative action: Theory and experiment,” *Games and Economic Behavior*, Vol. 109, pp. 212-239.
- 鴻巣萌 (2016) 「社会経済システム主専攻における研究室配属メカニズムの運用について」, 『平成 27 年度筑波大学理工学群社会工学類卒業研究論文』.
- 栗野盛光 (2019) 『ゲーム理論とマッチング』, 日本経済新聞出版社.
- 松平拓也・笠原禎也・高田良宏・東昭孝・二木恵・森祥寛 (2011) 「大学における Shibboleth を利用した統合認証基盤の構築」, 『情報処理学会論文誌』, 第 52 巻, 第 2 号, 703-713 頁.
- 中島本裕 (2017) 「平成 28 年度筑波大学理工学群社会工学類研究室配属における DA メカニズム運用のための制度設計」, 『平成 28 年度筑波大学理工学群社会工学類卒業研究論文』.
- O’Donoghue, Ted and Matthew Rabin (1999) “Doing it now or later,” *American economic review*, Vol. 89, No. 1, pp. 103-124.
- (2006) “Incentives and self-control,” *Econometric Society Monographs*, Vol. 42, pp. 215-245.
- 奥居哲・柴田祥一・岡田稔・川島信 (2003) 「安定結婚アルゴリズムに基づく卒業研究配属の事例研究」, 『情報処理学会研究報告アルゴリズム (AL)』, 第 2003 巻, 第 92 (2003-AL-091) 号, 67-72 頁.
- 大串知裕 (2019) 「平成 30 年度筑波大学理工学群社会工学類研究室配属制度の分析」, 『平成 30 年度筑波大学理工学群社会工学類卒業研究論文』.
- oTree documentation, URL: <https://otree.readthedocs.io/en/latest/>, accessed on 2020-05-02.
- Pais, Joana and Ágnes Pintér (2008) “School choice and information: An experimental study on matching mechanisms,” *Games and Economic Behavior*, Vol. 64, No. 1, pp. 303-328.
- Roth, Alvin E (1982) “The economics of matching: Stability and incentives,” *Mathematics of operations research*, Vol. 7, No. 4, pp. 617-628.
- Roth, Alvin E. (1984) “The Evolution of the Labor Market for Medical Interns and Residents: A Case Study in Game Theory,” *Journal of Political Economy*, Vol. 92, pp. 991-1016.
- (1991) “A Natural Experiment in the Organization of Entry-Level Labor Markets: Regional Markets for New Physicians and Surgeons in the United Kingdom,” *The American Economic Review*, Vol. 81, No. 3, pp. 415-440.
- 佐々木宏夫 (2004) 「マッチング問題とその応用：大学入学者選抜の事例研究」, 『日本オペレーションズ・リサーチ学会第 51 回シンポジウム『ゲーム理論と離散数学の出会い』予稿集』, 25-43 頁.
- 澤亮治・安東弘泰・阿武秀和・島田夏美・吉田真聖人 (2019) 『配属マッチングシステムの運営に関するデータ作成および公開』, 筑波大学 社工コモンズ, URL : <https://commons.sk.tsukuba.ac.jp/data> (アクセス日: 2020-05-02).
- 島田恭宏・島田英之・大倉充・小畑正貴・南原英生 (2015) 「学生配属支援システムの開発と運用—選好プロセスの開示とその効果」, 『電子情報通信学会論文誌 D』, 第 98 巻, 第 4 号, 719-723 頁.
- 堤恒輔 (2018) 「平成 29 年度筑波大学理工学群社会工学類における研究室配属制度の運営について」,

『平成 29 年度筑波大学理工学群社会工学類卒業研究論文』.

吉瀬章子 (2016) 「学生主導の大学カイゼンプロジェクト「体育科目選択システム」」, 『オペレーションズリサーチ』, 第 61 巻, 772-773 頁.