

特別研究報告書

情報の非対称性が存在する場合の 2サイドマッチングプロトコルの設計

指導教員 松原 繁夫 准教授

京都大学工学部情報学科

平成20年2月8日

畠中 将徳

情報の非対称性が存在する場合の 2サイドマッチングプロトコルの設計

畠中 将徳

内容梗概

研究室配属の場面において、学生と研究室は互いに対する選好をもっている。各々が個別に配属を決めようとする、互いにより好ましいと思っている相手が存在するブロッキングペアの問題が起こる。

このような互いに選好を持つ2つのエージェント集合をマッチさせる問題は、ゲーム理論において2サイドマッチングという分野で扱われている。Gale, Shapleyは相手側に対する選好が完全に順序づけられている場合、遅延許諾アルゴリズムを用いることでブロッキングペアの存在しないマッチングが得られることを示した。また、学生提案型遅延許諾アルゴリズムによって得られるマッチングは、学生にとってパレート最適なマッチングとなる。この性質は就職活動や研究室配属において有用であり、実際の研修医配属のクリアリングハウスのマッチングメカニズムなどにも採用されている。

しかし、学生が研究室を評価して順位付けを行うとき、様々な困難が生じる。例えば、ある研究室が拘束時間が長く、自分のペースで研究が進められない研究室だと知っている学生と知らない学生が存在すると仮定する。もし知らない学生がじっくり理論研究をやりたいと思ってその研究室を上位に評価し、実際配属されたときに自分の考えていた研究生活ができないという場合が起こりうる。この問題は、以下の2つの課題に起因する。

情報の非対称性が存在する場合のマッチングモデルの欠如 遅延許諾アルゴリズムを用いた2サイドマッチングプロトコルによって配属を決定するには、全員が選好を提示する必要がある。しかし、非対称情報下では自分の真の選好を提示することが困難である。このようなエージェントを扱うことのできるマッチングの理論的モデルが必要となる。

情報隠蔽などの戦略的行動 ある研究室は周りの評判は良くないが、実は海外に出張が多いという情報を持っている学生がいたとする。するとこの学生は、海外に行きたいという学生がいる可能性を考えて、情報を隠蔽するという行動を起こす。このような戦略的行動により、他の学生は有益な情報を手に入れることができなくなる。

本研究では、上述の問題を解決するために、条件付選好と情報共有に基づく2サイドマッチングプロトコルを提案する。条件付選好とは、条件と選好順位のペアで表され、ある条件が満たされるときにその選好となることを示す。条件付選好を導入することで、ある研究室が拘束時間が長いかどうか知らない学生は、拘束時間が長い場合とそうでない場合の選好を提示することができる。これにより情報の非対称性が存在する場合のマッチングを扱うことが可能となる。マッチング決定者は、学生の情報提供に基づき条件が満たされるかどうかを判断する。また、マッチング決定に、ゲーム理論を用いた情報提供者の効用の均衡を求めるメカニズムを採用する。これにより、情報をもつ学生に情報提供の誘因を与えることが可能となる。

提案プロトコルは理論的には要求条件を満たすプロトコルであるが、計算コストの制約によりそのままでは現実の問題に適用できないと考えられる。これに対応するために、計算コストを考慮した2つの派生プロトコルを設計した。また、設計したプロトコルを評価するためシミュレーションを行い、非情報共有プロトコルとの比較を行った。その結果、情報提供による学生の選好への影響が大きい場合に、提案プロトコルは学生の効用を上昇させ、マッチングをより安定させるプロトコルとなっていることが示された。また、派生プロトコルにおいても非情報共有プロトコルからの改善が確認された。

本研究における主な貢献は以下の2点である。

情報の非対称性が存在する場合のマッチングモデルの検討 2サイドマッチングにおいて、一方に情報の非対称性が存在する場合をモデル化し、そのモデルを扱うことのできるマッチングプロトコルを設計した。これにより、情報の非対称性による不確実な選好提示を避けることが可能となった。

情報共有に基づくマッチングプロトコルの提案 マッチングエージェントを通じて情報を共有することで、条件付選好を扱うことが可能となった。また、情報提供者の効用の均衡点を採用するメカニズムを導入することで、情報保持者に情報提供のインセンティブを与えることが可能となった。

上記2点の貢献により、情報の非対称性が存在する場合の研究室配属や就職活動において、不確実な選好の提示や、情報隠蔽などの戦略的行動を阻止し、情報共有を促進できるマッチングプロトコルの設計が可能となった。

Designing Two-sided Matching Protocols under Asymmetric Information

Masanori Hatanaka

Abstract

In the scene of the laboratory assignment, each student has a preference to labs, and each lab also has a preference to students. If students are assigned to laboratories without definite protocols, problem of dissatisfied matching may occur: a student may prefer another lab over the one he/she was assigned to and the lab also prefers the student. This is called a blocking pair problem.

The matching problem of two distinct agents in market has been studied in the area of two-sided matching in game theory. Gale and Shapley showed that the matching with no blocking pairs can be obtained using the deferred-acceptance algorithm. Moreover, the student-proposing deferred-acceptance algorithm returns the matching which is Pareto-optimal for students. These characteristics are so useful that the algorithm is actually applied to the residency matching in America.

However, it is hard for students to adequately evaluate labs. For instance, suppose that there is a lab with long duty hours and students cannot do their research at their own pace. One student may know this fact while another student may not. If the student lacking this knowledge intends to do some theoretical researches at his own pace and ranks this lab as first, and as a result is assigned to it, his true preference will not be reflected in the matching. This problem originates from the following two issues.

The absence of matching model when asymmetric information exists When an assignment is made using the using deferred-acceptance algorithm, all students must submit their preferences. However, it is difficult for each student to submit his true preference under asymmetric information. Therefore, we need theoretical models to cope with the matching under asymmetric information.

The strategic actions of agents such as information hiding If one student knows that one lab has many overseas trips, but surrounding reputations are not good, the student may hide the information about overseas trip to ward off students who like to go abroad. Such strategic actions prevent other students from gaining useful information.

To solve these problems, I propose two-sided matching protocols that allow students to report their conditional preferences and share information about laboratories. A conditional preference consists of a pair of the required condition and the order of one's preference, and it indicates one's preference when the condition is satisfied. The introduction of conditional preferences enables students who do not know whether a laboratory has long working hours to submit their preferences for each case. The match decider aggregates and assesses conditional preferences, and determines the matching by game theoretical mechanism where the equilibrium of informer's utilities is calculated. This mechanism give an incentive to students with information to share their information with others.

The proposed protocol theoretically satisfies the requirement discussed above, but is difficult to directly apply to the real world problems due to computational cost. To handle this, I have designed two derived protocols. These protocols were evaluated by using simulations and compared to a no-information-sharing protocol. The results showed that in the proposed protocol, students' utilities and the value of stability increased when the ratio of students whose preferences were affected by information sharing had increased. Moreover, it was also shown that the matchings in the two derived protocols were better than the ones in the basic protocol.

The main contributions of this paper are the following.

Designing of the two-sided matching model under asymmetric information

I designed the two-sided matching model under asymmetric information, and designed the protocols that can deal with the model. In this protocol, submission of uncertain preferences caused by asymmetric information can be avoided.

Proposal of the matching protocol based on shared information

The proposed matching protocol can handle conditional preferences by sharing information through the match decider. Moreover, by introducing a mechanism in which the equilibrium of the informer's utilities was calculated, incentives were given to information holders to share information.

With the above two contributions, submission of uncertain preferences or strategic behavior of information hiding can be prevented, and the proposed matching protocols that promote information sharing in the laboratory assignment or job matching can be designed.

情報の非対称性が存在する場合の 2 サイドマッチングプロトコルの設計

目次

第1章	はじめに	1
第2章	関連研究	3
2.1	遅延許諾アルゴリズム	3
2.2	研修医配属問題	6
2.3	非対称情報下のオークションプロトコル	7
2.4	本研究との関連	7
第3章	モデル	8
3.1	アーキテクチャと基本プロトコル	8
3.2	エージェントモデル	9
第4章	プロトコルの提案	10
4.1	要求条件	10
4.2	評価基準	11
4.3	情報提供者調整 (IAC) プロトコル	12
4.4	派生プロトコル	16
4.4.1	代表者 IAC プロトコル	16
4.4.2	グループ化 IAC プロトコル	17
第5章	分析	18
5.1	虚偽情報の排除	18
5.2	情報提供のインセンティブ	18
5.3	情報提供者間の公平性	19
第6章	評価	20
6.1	IAC プロトコルの評価	20
6.2	派生プロトコルの評価	22
第7章	おわりに	25
	謝辞	26
	参考文献	26

第1章 はじめに

就職活動や研究室配属の場面において、学生はそれぞれ企業や研究室に対する選好をもっている。また、企業や研究室の方も、学生に対してそれぞれ異なる選好をもっている。各々の配属を決定するときに、決め方によっては望ましくない状態がocこりうる。

研究室配属の例をあげて説明する。ある大学において、学部の学生を研究室に配属させるときに、次のような決め方をしているとする。まず、各学生に第1志望の研究室を提示してもらう。その結果、各研究室で定員内ならばそのまま配属させる。定員を超えている場合は成績などで評価して定員の数だけ選択する。その結果残った学生は次に第2志望の研究室を提示する。このプロセスを繰り返すことで配属を決定することができる。

しかし、上述の決め方では次のような問題がocこる。ある優秀な学生が人気の研究室Aを第1志望に指名したが、定員の都合で配属されなかったとする。

は次に人気の研究室Bを第2志望にしたいと考えていたが、第1志望の決定の時点で研究室Bの定員が満たされていると、はBを志望できない。このとき、研究室Bにとって、現在配属が決定している学生よりも、学生のほうが優秀であると評価しているとする、お互いにより好ましいと思っているペアが結ばれない結果となってしまう。このような学生と研究室Bのようなペアはブロッキングペアと呼ばれる。

ブロッキングペアの存在しないマッチングを安定なマッチングであるとする、Gale,Shapley[1]は相手側に対する選好が完全に順序づけられている場合、遅延許諾アルゴリズムを用いることで安定マッチングが得られることを示した。また、学生提案型遅延許諾アルゴリズムによって得られるマッチングは、学生にとってパレート最適な安定マッチングとなる。パレート最適とは、集団の内誰かの効用を犠牲にしなければ他の誰かの効用を高めることができない状態をさす。つまり、学生間でマッチング相手を交換したとしても、どちらも効用が高くなるようなマッチングが、学生にとってパレート最適なマッチングである。これらの性質は就職活動や研究室配属において有用であり、実際の研修医配属のクリアリングハウスのマッチングメカニズムなどにも採用されている。

遅延許諾アルゴリズムによって配属を決定するには、全員が選好を提示する

必要がある。研究室配属を考えると、研究室が学生を評価する場合は単位数や成績など、評価するための情報は容易に得ることができる。しかし、学生がすべての研究室を評価して順位付けを行うのには困難が生じる。なぜなら、すべての研究室について詳細な情報を得るには非常にコストがかかるため、自分が容易に得ることができる情報を下に選好を決定しなければならないからである。このとき、それぞれの学生が得ている情報に差があると次のような問題が発生する。

- 提示した選好が自分の真の選好と異なる場合がある。例えば、研究室 A が拘束時間が長いという情報があるとし、学生 1 はそれを知っているが、学生 2 は知らないとする。学生 1 は研究室 A の研究内容に惹かれて A を上位に評価し、配属されたとする。すると、学生 2 が拘束時間が長いために自分の思っていたような研究生活ができないといったことが起こる。
- 有益な情報をもつ学生が、自分の志望する研究室に配属されやすくなるように、情報を隠蔽するなどといった利己的な戦略的行動を起こしうる。

エージェントが保有する情報に差があるとき、その不均等な情報構造を情報の非対称性と呼ぶ。上述のような問題が発生するのは学生間に情報の非対称性が存在するためである。2 サイドマッチング理論の研究では、エージェント間にマッチングに関する制約が存在する場合がよく扱われている。しかし、情報の非対称性という要因を検討している研究は今までにない。

本研究では、上述の問題を解決するために、情報の非対称性が存在する場合の 2 サイドマッチングプロトコルを設計する。まず、情報の非対称性を扱うために、エージェント間の情報共有によって各エージェントの選好が変化するモデルを設計する。次に、設計したモデルにおけるマッチングプロトコルを検討する。本研究では、条件付選好の提示と情報提供が可能なマッチングプロトコルを提案する。条件付選好とは、例えば「もし研究室 A が拘束時間が長い研究室であることが分かっているなら、選好は B,C,A の順序である、分からないなら、選好は A,B,C の順序である」という選好のことである。もちろん研究室 A が拘束時間が長いことを知っている学生は、条件のない選好を提示できる。また、その情報自体をマッチングを決定するエージェントに提供することができる。マッチングを決定するエージェントは、提供された情報に基づいて学生の条件付選好を評価しマッチングを決定する。

以降、本稿の構成は次のとおりである。

まず，第2章で遅延許諾アルゴリズムを概説し，関連研究を紹介する．次に，第3章では，問題のアーキテクチャと基本プロトコル，非対称情報下のエージェントのモデル化を行う．第4章では，情報を持つ学生が正直に情報を提供する誘因を与えるマッチングプロトコルとして情報提供者調整 (IAC) プロトコルを提案する．また，IAC プロトコルを現実の問題に適用する上での問題を述べ，その問題を解決するための派生プロトコルについて考察する．第5章では，提案したプロトコルを分析し，情報提供のインセンティブがあることを証明する．第6章では，提案したプロトコルの性能を評価するためにシミュレーションを行い，その結果について考察する．第7章でまとめを行い，本稿を締めくくる．

第2章 関連研究

本章では，関連研究としてまず Gale, Shapley の遅延許諾アルゴリズムについて説明する．次に，遅延許諾アルゴリズムが実際の配属問題に利用されている例として，研修医配属問題の研究を紹介する．また，非対称情報下のマッチングの例として，条件付入札が可能なオークションプロトコルの研究を紹介する．

2.1 遅延許諾アルゴリズム

遅延許諾アルゴリズムは，提案を行う方向によって2つの型が存在するが，以下では学生提案型遅延許諾アルゴリズムについて研究室配属の例を用いて説明する．学生，研究室の選好が表1のように与えられているとする．表は，左側の方が選好順位が高いことを示す．

例えば，学生1の第1希望は研究室A，第2希望は研究室Bである．研究室の右側の q は研究室の定員を表す．

表1: 学生，研究室の選好

学生:	研究室
1: A B C	A: 3 2 5 1 4 $q = 2$
2: A C B	B: 4 5 2 1 3 $q = 2$
3: B A C	C: 3 2 1 5 4 $q = 2$
4: B C A	
5: A B C	

アルゴリズムの具体的な過程は以下のとおりである。

1. まず，学生 1 が第 1 希望の研究室 A に配属を申し込み，研究室 A に仮配属とする。
 2. 次に，学生 2 が第 1 希望の研究室 A に配属を申し込む。
 3. 研究室 A の定員は 2 名なので，学生 2 を受け入れて仮配属とする。
 4. 同様に学生 3，学生 4 も研究室 B に仮配属する。
 5. 最後に，学生 5 は第 1 希望の研究室 A に配属を申し込む。
 6. 研究室 A は定員がすでに満たされているので，仮配属の学生と学生 5 の中で最も希望順位の低い学生 1 の仮配属を解消し，新たに学生 5 が研究室 A に仮配属となる。
 7. 学生 1 は第 2 希望である研究室 B に配属を申し込む。
 8. 研究室 B は定員がすでに満たされているので，同様に最も選好順位の低い学生 3 の仮配属を解消し，学生 1 が研究室 B に仮配属する。
 9. 学生 3 は第 2 希望である研究室 A に配属を申し込む。
 10. 同様に研究室 A は最も選好順位の低い学生 5 の仮配属を解消し，学生 3 を仮配属させる。
 11. 学生 5 は第 2 希望である研究室 B に配属を申し込む。
 12. 研究室 B は最も選好順位の低い学生 1 の仮配属を解消し，学生 5 を仮配属させる。
 13. 学生 1 は次の第 3 希望である研究室 C に配属を申し込む。
 14. 研究室 C は定員が満たされていないので，学生 1 を仮配属させる。
- 以上のステップですべての学生の仮配属が決まったので，現在の仮配属先を本配属先とする。得られる結果は表 2 のようになる。

表 2: 遅延許諾アルゴリズムでの配属結果

学生:				研究室						
1:	A	B	<u>C</u>	A:	<u>3</u>	<u>2</u>	5	1	4	$q = 2$
2:	<u>A</u>	C	B	B:	<u>4</u>	<u>5</u>	2	1	3	$q = 2$
3:	B	<u>A</u>	C	C:	3	2	<u>1</u>	5	4	$q = 2$
4:	<u>B</u>	C	A							
5:	A	<u>B</u>	C							

遅延許諾アルゴリズムを一般化したプロセスを以下に示す。

(ステップ 1) 1 番目の学生は最も行きたい研究室に仮配属する。

(ステップ 2) k 番目の学生は、自分の最も行きたい研究室に配属を申し込む。

(ステップ 3) 学生 s が配属を申し込んだとき、(i) その研究室の定員がまだ満たされていないなら、仮配属する、(ii) 定員が満たされているなら、仮配属されている学生と申し込んだ学生の中から研究室選好順位の最も低い学生を選び、仮配属を解除し、この学生を s とする、新たな s はまだ自分が配属を申し込んでいない研究室の中から最も好ましい研究室を選び、配属を申し込む。

(ステップ 4) ステップ 3 を s の仮配属が決まる、または s の行きたい研究室がなくなるまで繰り返す。

(ステップ 5) ステップ 2 において $k \leftarrow k + 1$ としてすべての学生について繰り返す。

このアルゴリズムによって得られるマッチングは、学生の申し込む順序によって変化しない。また、Gale, Shapley, Roth らによって有用な定理がいくつか証明されている。[1][2][3][4]

(定理 1) [Gale and Shapley, 1962] 任意の選好プロファイルについて、安定なマッチングの集合は非空である。

安定なマッチングとは、ブロッキングペアの存在しないマッチングのことを表す。したがって、任意の選好プロファイルに対して、ブロッキングペアの存在しないマッチングが 1 つ以上あることを示している。

(定理 2) [Roth, 1985] 任意の安定マッチング集合について、すべての学生が任意の安定マッチングより少なくとも同順位でマッチする「学生最適安定マッチング」が唯一つ存在する。同様に、「研究室最適安定マッチング」も唯一つ存在する。

遅延許諾アルゴリズムにおいて、学生側から配属を順番に申し込む場合、得られるマッチングは学生最適安定マッチングとなる。逆に、研究室側から申し込む場合は研究室最適安定マッチングとなる。

(定理 3) [Roth, 1985] 任意の安定マッチング集合について、学生最適な安定マッチングは、研究室最悪な安定マッチングである。同様に、研究室最適な安定マッチングは学生最悪な安定マッチングである。

つまり、遅延許諾アルゴリズムによって得られるマッチングは必ず安定であるが、学生側と研究室側で公平ではないことを示す。

(定理 4) [Roth,1984] 任意の選好プロファイルについて，学生提案型遅延許諾アルゴリズムによってマッチングを行うとき，学生は真の選好を表明することが支配戦略となる．つまり，どんな偽の選好を表明しても真の効用を上げることはできない．

2.2 研修医配属問題

遅延許諾アルゴリズムは実際の配属問題でも利用されている．アメリカの研修医配属の市場では，National Resident Matching Program (NRMP) という中央集中型のクリアリングハウスでマッチングが行われている．毎年，約 2 万人の研修医が NRMP によって研修医の地位を得ている，

そのプロセスを図 1 に示す．卒業予定の学生や他の志願者がいくつかの研修医プログラムの面接を受け (図 1(1))，志願者は面接を受けたプログラムについて登録したい順に順位をつけ (図 1(2))，Rank Order List(ROL) を NRMP に提出する．研修医プログラム側も同様に面接した志願者の順位をつけ (図 1(2))，受け入れ人数と ROL を NRMP に提出する．NRMP は提出された ROL を遅延許諾アルゴリズムに基づいた拡張アルゴリズムでマッチングし，結果を各志願者と各研修医プログラムに通知する (図 1(3))．この仕組みは日本の研修医マッチングにも最近になって取り入れられている．¹⁾

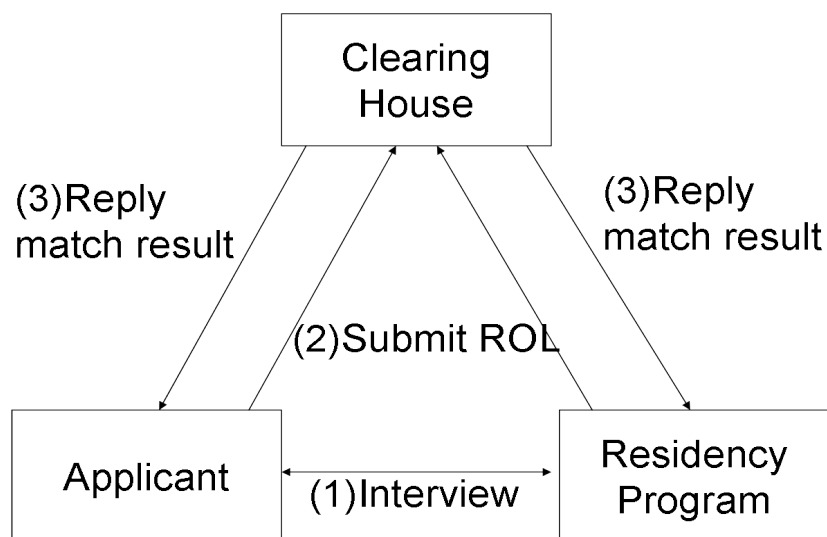


図 1: 研修医配属の仕組み

¹⁾ 医師臨床研修マッチング協議会 (<http://www.jrmp.jp/>)

Roth はアメリカの研修医配属を解析し、研修医側に夫婦が存在する場合の問題を指摘した。夫婦が存在する場合の問題例を挙げる。研修医配属を行う志願者の中に夫婦が存在したとする。そして、研修プログラムによっては地理的に非常に離れた病院に行くことがあるとする。このとき、夫婦の学生は互いに一番行きたい研修プログラムに行くより互いに地理的に近い場所で生活できる研修プログラムに配属されたいと考えるかもしれない。例えば、と が夫婦であり、互いに第一希望が東京、第二希望が大阪の病院であったとする。マッチングの結果、 が東京、 が大阪に配属されるのは、 の夫婦にとってはうれしくない場合がある。

Roth は夫婦の問題を解決するため、夫婦にペアの選好の提示を可能にするプロトコルを設計した。ペアの選好とは、第1希望が(:東京, :東京), 第2希望が(:大阪, :大阪)のように、夫婦で1つに決まる選好のことである。このプロトコルは、実際に研修医配属で利用されている。[5]

2.3 非対称情報下のオークションプロトコル

非対称情報下のエージェントを扱った事例として、オークションプロトコルの研究がある。伊藤ら [6] は自然の選択に情報の非対称性が存在する場合のオークションプロトコルを提案している。ある骨董品の壺が出品されていて、その壺が本物かどうか知っている専門家と知らない素人がいる場合に、素人が壺を本物と考えて高額の入札をし、その後、偽物であることが判明した場合、買手は損をすることになる。一方、損をしないように低額の入札しかなければ専門家に勝つことができない。つまり、本物の壺に対して素人の方がより高い評価を持っている場合であっても、素人は勝者となれず、社会的に効率的な割当てが実現できなくなる。ここで条件付の入札を認めることで、この問題を回避することができる。このとき、専門家が正直に壺の真偽を申告することが支配戦略となるオークションプロトコルを提案している。

2.4 本研究との関連

Roth の研究は夫婦が存在することにより、均質ではないエージェントを扱っている点で本研究と類似している。ただし、夫婦の選好は他の単身者の選好自体には影響を与えないのに対し、本研究は、学生のもたらず情報によって他の選好自体が変化する場合を対象としている。したがって、Roth の提案手法では

扱えない問題である。

伊藤らの研究は，エージェント間に情報の非対称性が存在する点で本研究と類似している．ただし，オークションは売手が一人，買手が複数の場合の財の割当てを扱っているが，本研究では，学生，研究者双方が複数存在する場合を扱っている点，選好を基数ではなく順序数として扱う点で異なっている．

第3章 モデル

本章では問題に対してモデル化を行い，アーキテクチャとエージェントモデルを示す．

3.1 アーキテクチャと基本プロトコル

基本的なアーキテクチャは既存の2サイドマッチングモデルを採用する．したがって，基本となるプロトコルは次のようになる．

学生と研究室は互いを評価し，相手側に対する選好を決定する．その選好をマッチングエージェントという特別なエージェントが集積し，何らかの決められたメカニズムを用いてマッチングを決定する．そして，その結果を各学生と研究室に返答する．

本研究で扱うアーキテクチャモデルを図2に示す．

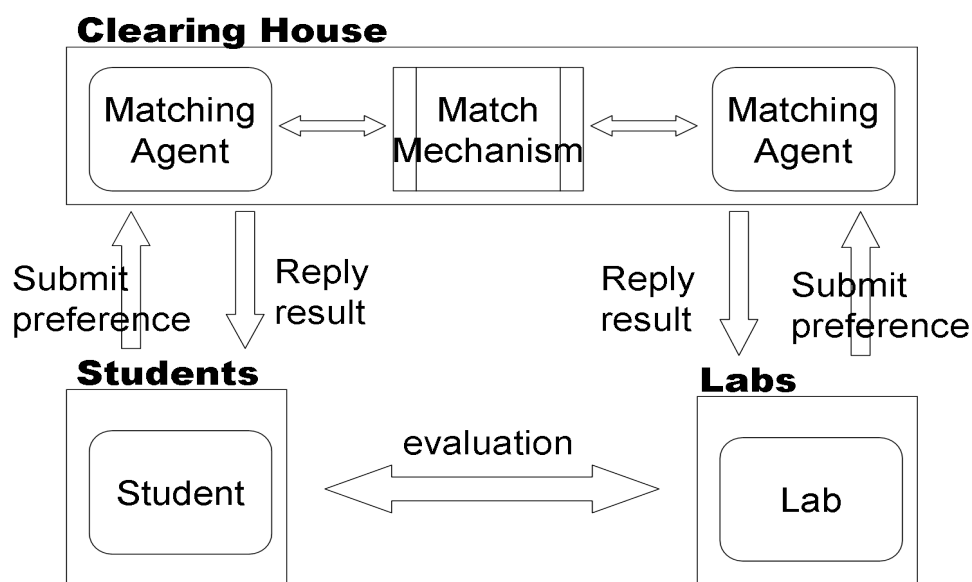


図2: アーキテクチャ

3.2 エージェントモデル

2 サイドマッチングのエージェントは、2つの互いに疎なエージェント集合 S, L からなる。 S が学生の集合、 L が各研究室の選好決定者の集合であるとする。 $x \in X(S \cup L)$ はエージェントの総称とする。 P_x は集合 $S \cup \{l\}$ または集合 $L \cup \{s\}$ 上の完全順序関係 $>_x$ を定義する。 $\{l\}$ や $\{s\}$ が含まれるのは、研究室に受け入れたくない学生が存在する場合や、未配属を好む学生が存在する場合などを扱うためである。各エージェント l は集合 $S \cup \{l\}$ 上の選好 P_l をもつ。 $l >_l s$ ならば、研究室 l は学生 s を受け入れることがないことを示す。同様に各学生 s は集合 $L \cup \{s\}$ 上の選好 P_s をもつ。 $s >_s l$ ならば、学生 s は研究室 l に入るよりは未配属を好むことを表す。そして、 $P = \times_{x \in X} P_x$ を選好プロファイルと呼ぶ。

また、各 $l \in L$ について、 q_l は l の示す研究室の定員を表す。

マッチングを以下の条件を満たす関数 $\mu \in M$ で定義する。

1. $\forall s \in S, \mu(s) \in L \cup \{s\}$
2. $\forall l \in L, \mu(s) \subset (S \cup \{l\}), |\mu(l)| \leq q_l$
3. $\forall s \in S, s \in \mu(\mu(s))$

1. は $\mu(s)$ が s の選好の対象であることを示す。2. は $\mu(l)$ が l の選好の対象であり、その数が定員をオーバーしないことを示す。3. は $\mu(s)$ のマッチング相手の中に s が含まれることを示す。

本研究では情報の非対称性が存在する場合を扱う。そのため、情報の蓄積に対して選好 P_x を変更することのできるエージェントモデルが必要である。よって次に、そのようなエージェントのモデルを設計する。

エージェントは私的情報集合 N_x と、選好決定ルール $r(N)$ をもつ。私的情報とは、エージェントが認識している情報を表す。選好決定ルールとは、自分の私的情報と他のエージェントとの共有情報をもとに選好を決定する規則を表す。エージェントが他のエージェントから情報 n を獲得すると、選好を以下のように更新する。

$$P_x \leftarrow r(N_x \cup \{n\})$$

エージェントの選好には元々は順位しか存在しないが、プロトコルの性能評価を行う際に必要となるため、以下のような効用の定義を導入する。エージェントの効用 u_x は、マッチング相手と自分をもつ選好に依存すると考えられる。

したがって，以下のような関数で定義できる．

$$u_x = f(\mu, P_x)$$

$u_x(\mu, P_x)$ は以下の性質を満たす必要がある．

$$\forall \mu, \mu', \mu(x) \succ_x \mu'(x) \implies u_x(\mu, P_x) > u_x(\mu', P_x)$$

つまり，より好ましい相手にマッチしたときに，より効用が高くなる必要がある．本研究では，効用関数を以下のように定義する．

$$u_x(\mu) = |Y| - \text{rank}_x(\mu(x)) + 1$$

$\text{rank}_x(y)$ はエージェント x の y に対する選好順位を表す．また， $|Y|$ をマッチング相手の候補数とする．例えば，5つの研究室があり，3つの研究室を研究室 A,B,C の順序で希望するという学生がいた場合， μ において B にマッチするなら効用は4，A にマッチするなら効用は5である．

また本研究では，学生の側だけに情報の非対称性が存在すると仮定する．つまり，研究室側では，学生に対する選好を決定するための情報は共有されていると仮定する．

第4章 プロトコルの提案

本章では，問題を解決するマッチングプロトコルに要求される条件について考察し，情報提供者調整プロトコルを提案する．また，計算資源を考慮した派生プロトコルについて考察する．

4.1 要求条件

プロトコルが満たすべき性質について考察する．まず，学生が提供する情報に嘘が含まれないことが必要である．嘘の情報に基づいてマッチングが行われると，配属後に嘘が判明した結果マッチングが安定にならない場合がある．また，各学生が全ての情報を提供する誘因が必要である．学生が情報を隠蔽したままマッチングが決定した後，その情報が明らかになると，それによって学生の選好が変化するかもしれないため，ブロッキングペアの発生の要因となってしまうためである．

4.2 評価基準

プロトコルの性能の評価基準は2つ考えられる．ひとつはエージェントの効用の総和，もうひとつはマッチングの安定度である．

エージェントの効用は前章で定義したとおりである．2サイドマッチングの場合，2つの異なるエージェント集合が存在するので，それぞれのエージェント集合における効用の総和を考える必要がある．本研究では，学生側に情報の非対称性がある場合を仮定しているため，特に学生側の効用の総和の変化を評価する必要がある．

マッチング $\mu \in M$ が安定であるとは，次の条件を満たすことであると定義する．

1. $\forall s \in S, \mu(s) \succ_s s$
2. $\forall l \in L, \forall s' \in \mu(l), s' \succ_l l$
3. $l \succ_s \mu(s)$ かつ， $\exists s' \in \mu(l), s \succ_l s'$ を満たすペア (s, l) が存在しない．

\succ_x は前述したとおり，エージェント x の相手に対する選好順序関係を表す．

3. において， $l \succ_s \mu(s)$ かつ， $\exists s' \in \mu(l), s \succ_l s'$ を満たすペア (s, l) をブロックングペアと呼ぶ．

あるマッチング μ における x のブロックングパートナー $BP(\mu, x)$ を， x に関するブロックングペアの中で x の選好順位が最も高い相手であると定義すると，エージェントのマッチングに対する不満度 $e_x(\mu)$ を次のように定義できる．

もし， x に関するブロックングペアが存在するなら，

$$e_x(\mu) = \text{rank}^{(x)}(\mu(x)) - \text{rank}^{(x)}(BP(\mu, x))$$

存在しないならば，

$$e_x(\mu) = 0$$

以上より，マッチングの安定度 $Stability(\mu)$ を，以下のように定義する．

$$Stability(\mu) = - \sum_{x \in X} e_x(\mu)$$

つまり，各エージェントのマッチングに対する不満度の総和の値について，正負を逆転した値を用いる．よって，マッチング μ が安定ならば， $Stability(\mu) = 0$ ，不安定ならば $Stability(\mu) < 0$ となる．

本研究においては，効用の総和と安定度の2つの評価基準を用いてプロトコルの評価を行う．

4.3 情報提供者調整 (IAC) プロトコル

本研究では、情報の非対称性が存在する場合の2サイドマッチングプロトコルとして、情報提供者調整 (Informers As Coordinators:IAC) プロトコルを提案する。

IAC プロトコルは次の4つのプロセスからなる。

1. 各学生，研究室の相互評価
2. 条件付選好リストの提示と情報提供
3. 部分ゲーム完全均衡メカニズムを用いたマッチングの決定
4. 結果の提示・メタ情報の共有

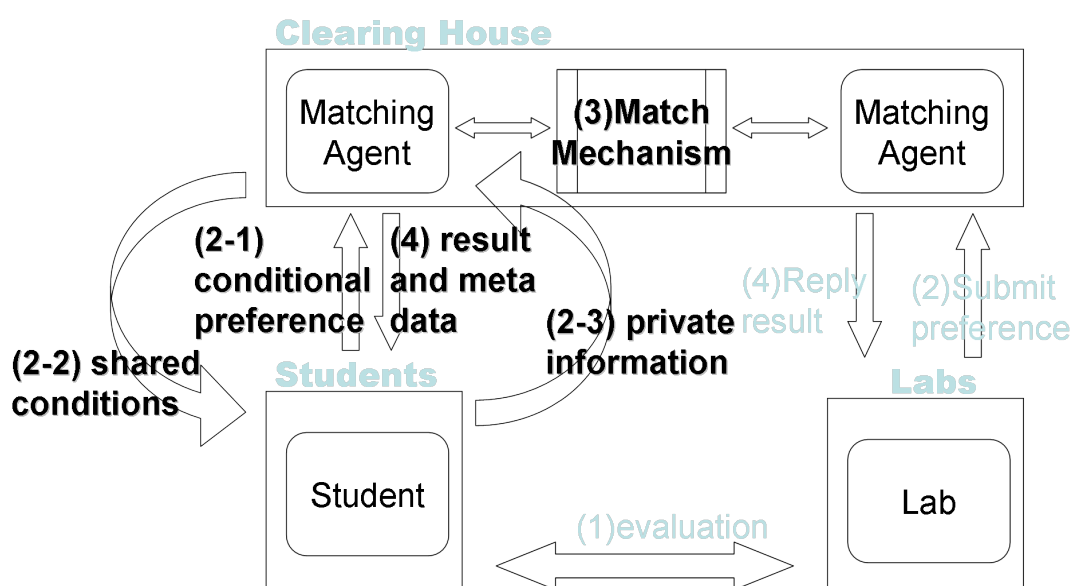


図3: IAC プロトコルの概要

図3はアーキテクチャ上のメッセージの流れを示す。ハイライトされている部分が本研究の提案となる。また、図4にプロトコルのシーケンス図を示す。以下、研究室配属の例を用いてプロトコルを説明する。

- (1) 相互評価 学生は研究室紹介やインターネットなどから情報を集め、研究室に対する評価を行う。研究室は学生の成績，単位数などで評価を行う。研究室間で学生に求める能力が異なる場合，科目に対する重み付けなどによって評価値を変更する。
- (2) 条件付選好リストの提示と情報提供 各学生は，評価結果に基づいて条件付選好リストを作成し，マッチングエージェントに提示する(図3(2-1))。条件

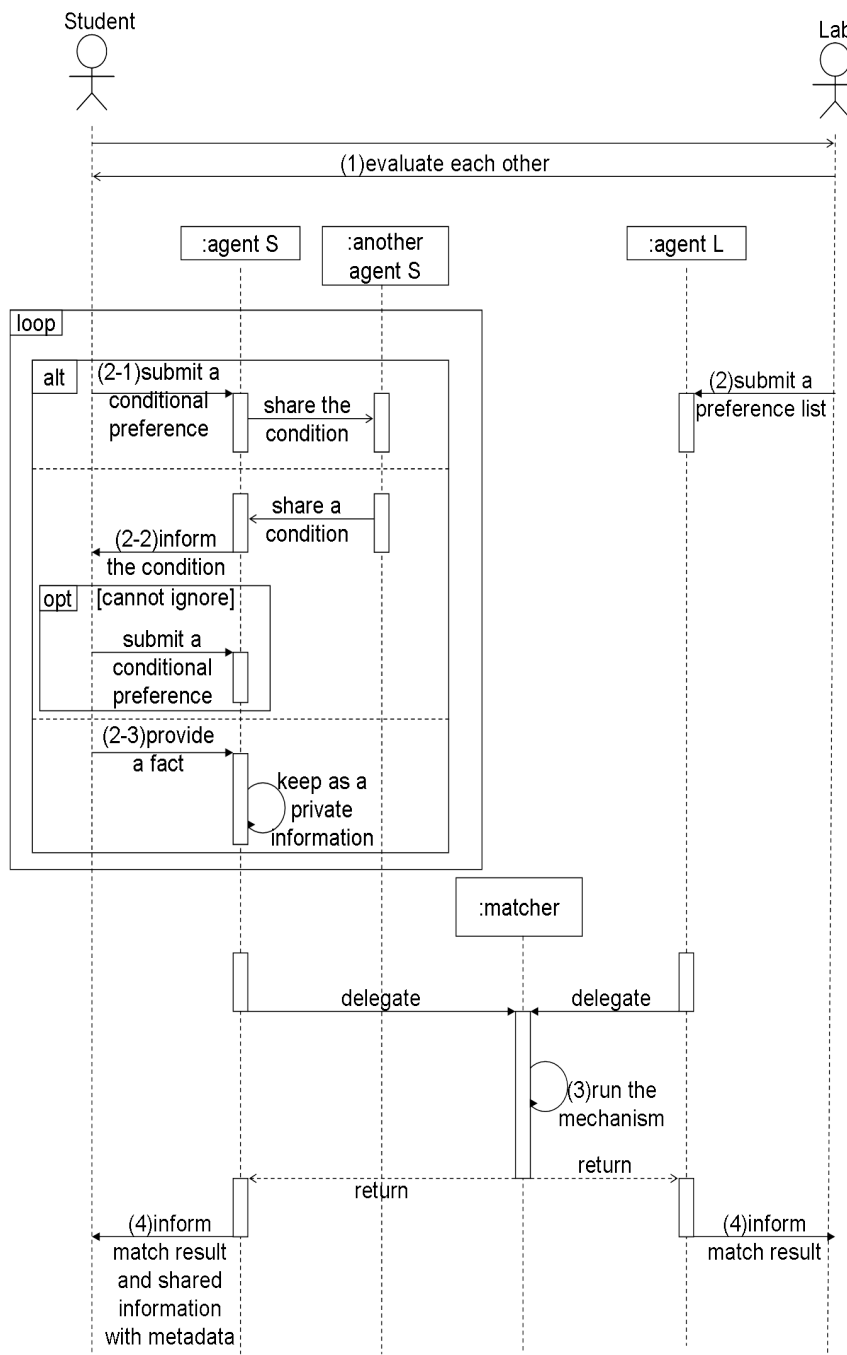


図 4: IAC プロトコルのシーケンス図

付選好リストは、条件付選好の集合とその優先順から構成される。表 3 がその例である。

優先順とは、どの条件付選好を優先して採用するかを示したものである。例えば、表 3 のような条件付選好リストが与えられた場合に、研究室 A, B 両

表 3: 条件付選好リスト

優先順	条件	1	2	3
1	研究室 A は拘束時間が長い	B	C	A
2	研究室 B は拘束時間が長い	A	C	B
	default	A	B	C

方とも拘束時間が長いという情報が与えられたすると、優先順の高い条件である「研究室 A は拘束時間が長い」場合の選好をその学生の選好として採用する。

条件付選好リストは、選好表明可能な期間ならば自由に変更できる。また、他の学生がマッチングエージェントに提示した条件は匿名で共有される。(図 3(2-2)) したがって、最初は気づいていなかった条件に対しても選好を表明することができる。

さらに、学生は事実であると分かっている条件があれば、その条件は事実であると表明することができる。(図 3(2-3)) この情報はマッチングエージェントに私的情報として蓄積される。

一方、各研究室は、学生に対する評価に基づき、一意の選好リストをマッチングエージェントに提示する。

- (3) マッチングの決定 マッチングエージェントに提供されたすべての情報 N において、その要素に任意の順序を与える。それらを n_1, n_2, \dots, n_k とする。また、情報 n_i の提供者を $d(n_i)$ と表記する。さらに、情報集合 N の共有によって生成される選好プロファイルを $P[N]$ と表記する。

まず、情報集合 N のすべての部分集合 N_s について、選好プロファイル $P[N_s]$ に関する学生提案型遅延許諾アルゴリズム(以下、GS アルゴリズムと表記する)によるマッチングを求めておく。それぞれのマッチングを μ_{N_s} と表記する。これにより、それぞれのマッチングにおける情報提供者の効用 $u_{d(n)}(\mu_{N_s})$ を求めることができる。このようにして得られた情報提供者の効用をもとにマッチングを決定する。

具体的なメカニズムを説明するため、例題として図 5 のような状況を挙げる。図 5 は、学生 s_1, s_2, s_3 がそれぞれ情報 n_1, n_2, n_3 を提供した場合に、それぞれの情報が N_s にある場合とない場合で場合分けを行ったものである。各

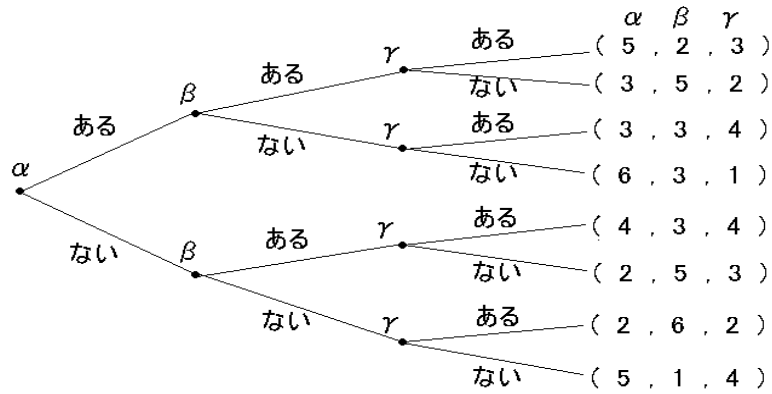


図 5: 情報提供者とその効用

末端ノードの値は、情報提供者の各々の効用を表している。例えば、一番上の末端ノードは $u_\alpha(\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}) = 5$, $u_\beta(\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}) = 2$, $u_\gamma(\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}) = 3$ であることを示している。

図 5 は、ゲーム理論における完全情報ゲームの形になっている。したがって、後退帰納法により部分ゲーム完全均衡 [7] となるマッチングを求めることができる。

後退帰納法とは、展開されたツリーの末端ノードから、各ノードのエージェントが自分の効用を最大にする行動を帰納的に選択する方法である。図 5 について後退帰納法により均衡ノードを求める手順を図 6 に示す。

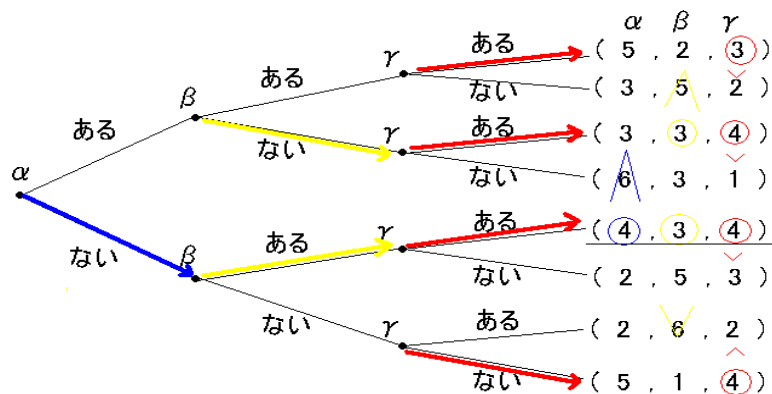


図 6: 後退帰納法によるマッチングの決定

まず、学生 γ について、行動決定点である 4 つの点について自分の効用が高くなる方を選択する。もし、効用が等しい、つまり情報提供する場合とし

ない場合で自分のマッチング相手が変わらない場合は、情報がある方の枝を選択する。例えば一番上の行動決定点では、 $\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}$ と $\mu_{\{n_1, n_2\}}$ を比べる。 $u_\gamma(\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}) = 3, u_\gamma(\mu_{\{n_1, n_2\}}) = 2$ なので $\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}$ を選択する。残りの3点についても同様に選択する。

学生 β の行動決定点において、その部分ゲームである学生 β の1人ゲームにおいて、 β が自分の効用が高くなる点を選択すると考える、よって、上側の行動決定点では、 $\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}$ と $\mu_{\{n_1, n_3\}}$ を比べる。 $u_\beta(\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}) = 2, u_\beta(\mu_{\{n_1, n_3\}}) = 3$ なので $\mu_{\{n_1, n_3\}}$ を選択する。下側の行動決定点でも同様に、 $\mu_{\{n_2, n_3\}}$ を選択する。

学生 α は残った $\mu_{\{n_1, n_3\}}$ と $\mu_{\{n_2, n_3\}}$ を比べる。 $u_\alpha(\mu_{\{n_1, n_3\}}) = 3, u_\alpha(\mu_{\{n_2, n_3\}}) = 4$ なので $\mu_{\{n_2, n_3\}}$ を選択する。

この結果、最終的に $\mu_{\{n_2, n_3\}}$ をマッチングとして採用する。

- (4) メタ情報の共有 マッチングエージェントに提供されたすべての情報は、マッチングに参加した学生側のすべてのエージェントに伝送される。その際に、メタ情報として提供者の名前が付与される。したがって、すべての学生はマッチングに利用された情報を共有する。

4.4 派生プロトコル

IAC プロトコルでは、提供された情報すべてを対象として均衡点を求めるため、提供された情報の数を m とすると、その計算量は $O(2^m)$ となってしまう。計算資源が限られているとすると、情報提供の数が増えるとすぐに計算が不可能となってしまう。したがって、現実の問題に適用するには何らかの工夫が必要である。

4.4.1 代表者 IAC プロトコル

ひとつの方法は、部分ゲーム完全均衡の計算時に情報提供者 m 人の中から無作為に代表者 c 人を選んで均衡点を求める方法である。例えば、図7のように、 $c = 1$ として代表者 β を選択する。 β は自分の提供する情報がある場合とない場合について効用の高くなる方を選択する。このとき、 β の情報は提供されていないとする。今、 $u_\beta(\mu_{\{n_2\}}) = 5, u_\beta(\mu_{\{e\}}) = 1$ なのでマッチングとして $\mu_{\{n_2\}}$ を採用する。このメカニズムの計算量は $O(2^m)$ から $O(2^c)$ となる。よって、 c として十分計算可能な値を選択することでプロトコルの実行が可能となる。

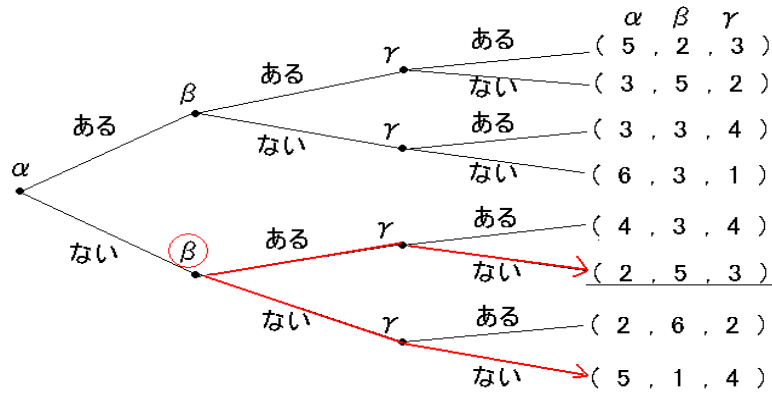


図 7: 代表者を選択

4.4.2 グループ化 IAC プロトコル

もうひとつの方法は、部分ゲーム完全均衡の計算時に情報提供者 m 人を似たような情報の提供者同士で c 個のグループを作成し、行動決定点においてグループ内のすべてのエージェントの効用を考慮して均衡を計算する方法である。例として、図 8 の状況を考える。

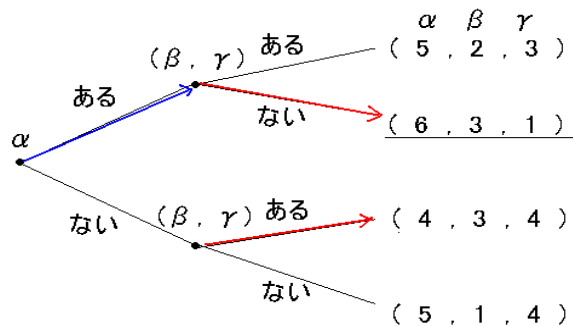


図 8: 類似情報提供者をグループ化

この図は、 β 、 γ の 3 人の情報提供者が存在し、 β ひとりのグループと γ のグループを作成した状況を表す。

この展開形ゲームにおいて、複数のエージェントがノードの行動決定点に存在する場合、一人でも情報を提供しない方が効用が高くなるエージェントがいるときは、情報が無い場合を選択する。図 8 の場合、 (β, γ) の上側の行動決定点では、 $u_\gamma(\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}) = 3, u_\beta(\mu_{\{n_1\}}) = 1$ かつ、 $u_\beta(\mu_{\{n_1, n_2, n_3\}}) = 2, u_\beta(\mu_{\{n_1\}}) = 3$ となっ

ている．よって， の効用が下がるため，情報が無い場合を選択する．

同様に考えると，(,)の上側の行動決定点では， $u_\gamma(\mu_{\{n_2, n_3\}}) = 4, u_\gamma(\mu_{\{\epsilon\}}) = 4$ かつ， $u_\beta(\mu_{\{n_2, n_3\}}) = 3, u_\beta(\mu_{\{\epsilon\}}) = 1$ となり，どちらの効用も下がらないため，情報がある場合を選択する．

この方法も代表者を選択する手法同様計算量は 2^c となる．

第5章 分析

本章では，前章で提案したプロトコルを分析し，要求条件を満たしているか考察する．また，情報提供者間の公平性を評価するためにシミュレーションを行った結果を示す．

5.1 虚偽情報の排除

提供された情報に嘘が含まれないようにするのは一般的には難しい．なぜなら，情報提供者自身はその情報に対する真偽を完全に見極めることができないためである．提案プロトコルでは，真偽の曖昧な情報を下に選好プロファイルが決まってしまうのを防ぐため，情報提供者の名前がメタ情報として共有される．後に情報が嘘であると分かった場合は，どの学生が嘘をついたのかがすぐに判明するため，リスクを冒して嘘の情報や曖昧な情報を提供する学生を排除できると考えられる．

5.2 情報提供のインセンティブ

情報を保持する学生は，すべての情報をプロトコル内でマッチングエージェントに提供することが支配戦略となることを証明する．

これは，図6よりほぼ明らかである．例えば， x を学生 とすると，情報を全く公開しない場合，学生 は情報提供者ではないので行動決定点を選ぶことができない．つまり，図6において常に「ない」の行動を選択しているのと同じになる．したがって，情報を全く公開しない場合にマッチングエージェントに提供した場合より効用が高くなることはありえないので，情報を提供することが支配戦略となる．実際，図6で学生 が情報を隠すと，得られるマッチングは $\mu_{\{\epsilon\}}$ となる．学生 の効用 $u_\beta(\mu_{\{\epsilon\}})$ は1となり，効用が下がっている．

代表者を選択するプロトコルを利用した場合でも，そもそも代表者に選ばれ

なければ、 x は情報を提供してもしなくても効用は変わらない。代表者に選ばれた場合、提供しなかった場合のマッチングと提供した場合のマッチングで、 x の効用が高い場合を選択できるので、情報をマッチングエージェントに提供するのが支配戦略である。

情報提供者をグループ化する場合を考える。グループが x だけからなる場合、上述の議論より情報を提供することが支配戦略である。 x の含まれるグループが 2 名以上の場合で、グループの x 以外の情報提供者は情報が「ある」ほうが効用が高い場合でも、 x は自分の効用が高い場合を選択できる。もしグループの x 以外の情報提供者で、情報が「ない」場合の方が高いというエージェントがいた場合、 x の戦略に関わらず「ない」方のマッチングが選択される。よって、この場合でも、情報をマッチングエージェントに提供するのが支配戦略となる。

5.3 情報提供者間の公平性

提案プロトコルでは、情報提供者の均衡選択における順序は任意に決定している。したがって、順序の前後によって効用に変化があるか調べる必要がある。

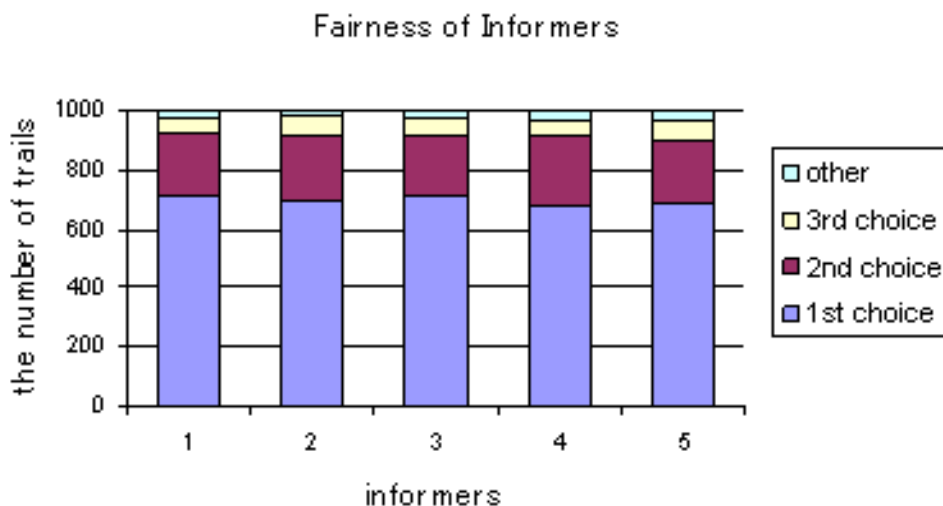


図 9: 情報提供の順序と効用の関係

図 9 は情報提供者が 5 人の場合のマッチングを 1000 回シミュレーションしたときの、各エージェントのマッチ相手の希望順をグラフ化したものである。一

番左側が展開形ゲームにおけるルートノードの情報提供者、つまり順序が早い情報提供者を表す。順序以外の条件を公平にするため、ひとつの情報提供によって影響を受けるエージェントの割合をすべて等しくした。

図の示すとおり、順序の前後による大きな効用の変化は確認されなかった。したがって、情報提供者間で公平なプロトコルとなっているといえる。

第6章 評価

本章では、提案したプロトコルの性能を評価するためにシミュレーションを行った結果を示し、それについて考察する。また、計算資源を考慮した派生プロトコルの性能評価を行う。

まず、シミュレーションの設定について説明する。説明をわかりやすくするため、学生の研究室配属の状況を仮定する。学生を50人、研究室を10とし、各研究室の定員は5人とする。そして、情報提供者の数を8人と定める。彼らの提供する情報によって他の学生の選好は変化する。情報はそれぞれある1つの研究室に依存したものであると仮定する。したがって、研究室Aに関する情報の提供による、他の学生の選好変化は、研究室Aにおいてのみである。また、選好の変化する学生の割合はランダムとした。

6.1 IAC プロトコルの評価

上述の設定の下、IACプロトコルによるエージェントの効用とマッチング安定度を、全く情報が共有されない場合の基本プロトコルによる結果、すべての情報が何のメカニズムもなしに共有された場合の基本プロトコルによる結果とそれぞれ比較した。なお、基本プロトコルにおける効用は、学生側がもつすべての情報が提供された場合の選好をもとにエージェントの効用を計算している。

図10は情報提供者の平均効用をグラフ化したものである。縦軸が平均効用、横軸が影響を受けたエージェントの割合(%)を示している。

影響を受けるエージェントの割合に関わらず、IACプロトコルにおける情報提供者の効用は、全く情報が共有されない場合の基本プロトコルより平均的に高いことが読み取れる。また、すべての情報が共有された場合の基本プロトコルの効用とほぼ同じである。すべての情報が共有された場合の基本プロトコルより、IACプロトコルの方が平均効用が高い箇所が存在する。これは、情報提

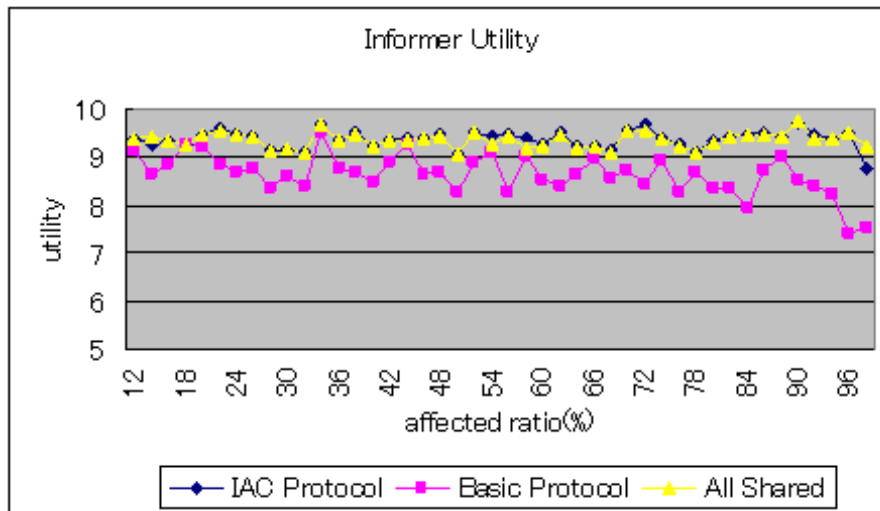


図 10: 情報提供者の平均効用

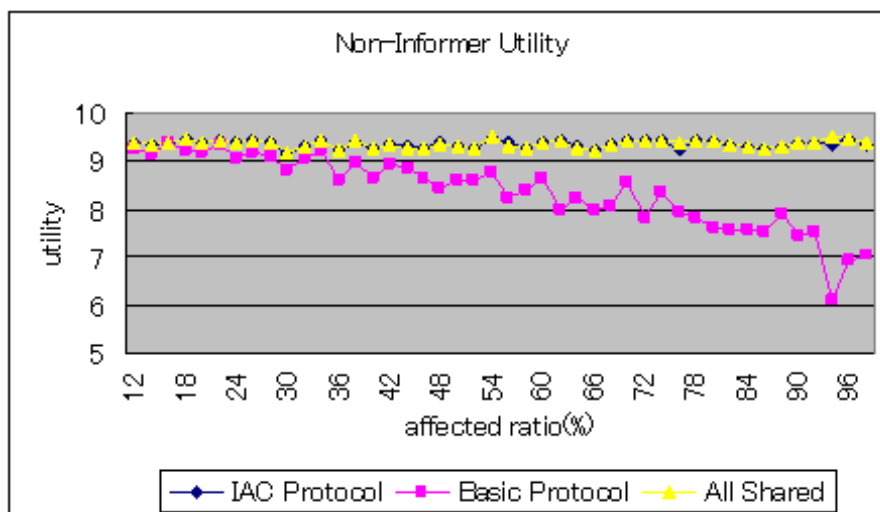


図 11: 非情報提供者の平均効用

供者のみの効用の均衡点を用いていることに起因する．すべての情報が共有された場合のマッチングは安定であるが，情報提供者にとって効用が高くなるとは限らないためである．

図 11 は非情報提供者の平均効用をグラフ化したものである．

基本プロトコルの場合は，影響を受けたエージェントの割合が多くなるほど平均効用が低くなる様子が読み取れる．すべての情報が共有された場合は平均

効用が低くなることはない．IAC プロトコルにおける非情報提供者の効用は，情報がすべて共有された場合とほぼ同等であることが確認できる．

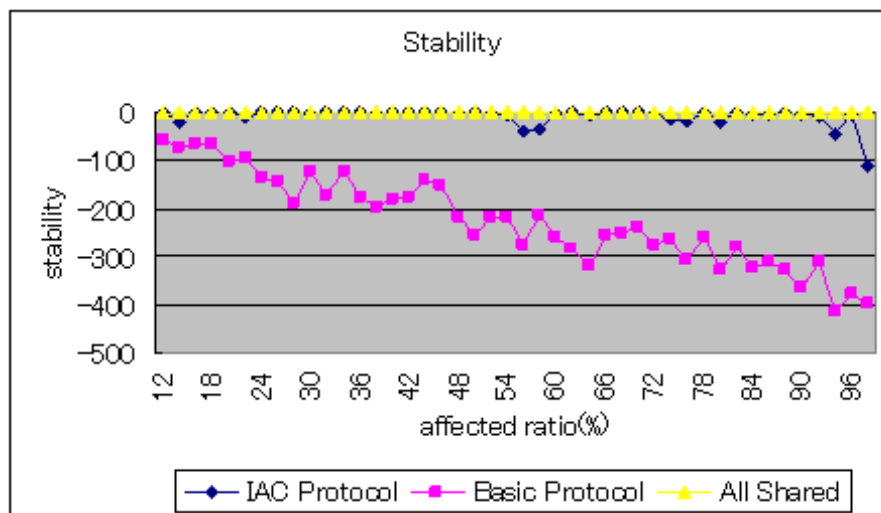


図 12: マッチングの安定度

図 12 はマッチングの安定度をグラフ化したものである．このグラフの縦軸は平均安定度を表す．横軸は同様に影響を受けたエージェントの割合である．

このグラフでも，基本プロトコルの場合は影響を受けるエージェントの割合が多くなるにしたがって，安定度が低くなることが確認できる．また，当然ながらすべての情報が共有されている場合，遅延許諾アルゴリズムによって得られるマッチングは安定となるので，安定度は 0 である．IAC プロトコルの場合，ほとんどの場合で安定度は 0 になっていることが分かる．そこで，全試行中の安定度 0 である割合を調べたところ，9 割以上の場合で安定度が 0，すなわちブロッキングペアが存在しないマッチングとなっていることが確認された．

6.2 派生プロトコルの評価

IAC プロトコルは非常によい性質を持っていることが，前節のシミュレーションによって確認された．しかし，第 4 章で述べたとおり，IAC プロトコルは提供される情報が膨大になると計算量が増大する．そこで，派生プロトコルである代表者 IAC(rIAC) プロトコルとグループ化 IAC(gIAC) プロトコルによって，どの程度の性能が得られるのかをシミュレーションによって確認した．

まず，rIAC プロトコルを評価する，比較のため，代表者の数を 4,2,1 と変化させ，それぞれの場合における性能の変化を観察した．

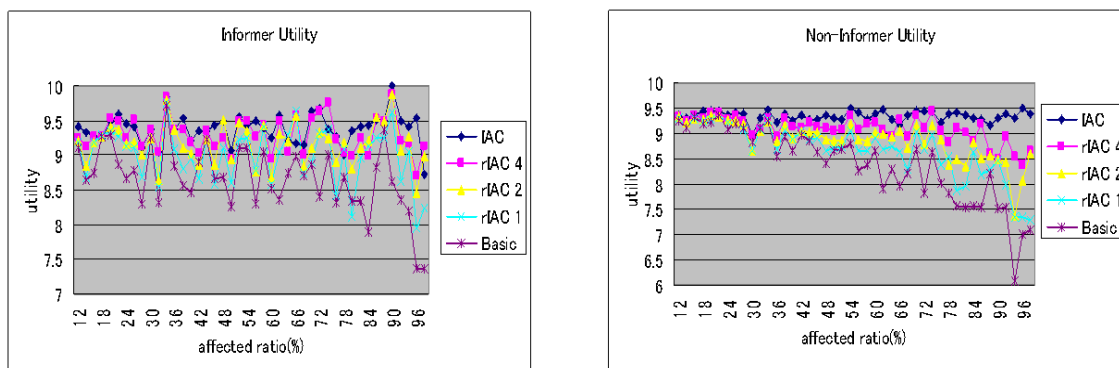


図 13: rIAC における平均効用

図 13 はそれぞれ情報提供者の平均効用，非情報提供者の平均効用をグラフ化したものである．代表者が多くなるにつれて，概ね効用が高くなっている様子が分かる．しかし，代表者が 1,2 名の場合，基本プロトコルよりも平均効用が低くなってしまいう点も存在する．代表者の数が少ない場合，その数人の効用の値によって，半ば独占的にマッチングが選択されてしまう．したがって，少なすぎる代表者は性能の低下の原因となってしまうことが分かる．

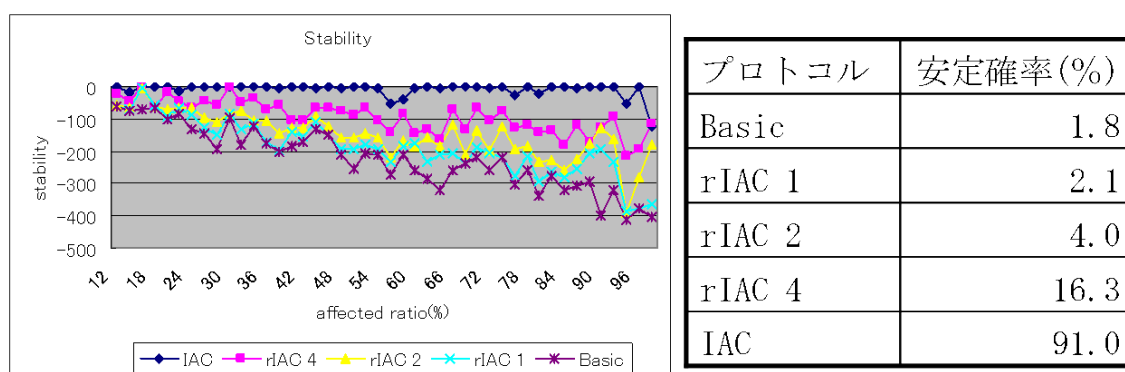


図 14: rIAC におけるマッチングの安定度

図 14 左は rIAC プロトコルによるマッチングの安定度の平均値をグラフ化したものである．このグラフでも，代表者が多くなるにつれて概ねマッチングの安定度は高くなっていることが分かる．また，全試行中，安定度が 0 のマッチ

ングが得られる確率を図 14 右表に示す。

表の示すとおり，rIAC プロトコルを用いると，安定なマッチングが得られる確率は極端に減少する．これは，rIAC プロトコルを用いると，マッチングに全く利用されない情報が存在してしまうためだと考えられる．

次に，gIAC プロトコルを評価する．

gIAC プロトコルでは，類似の情報に対してグループを形成するが，情報の類似度はマッチングが行われるドメインに依存すると考えられる．ここでは，同じ研究室に関する情報は同じグループに属するとみなす．そこで，8人の情報提供者がいて，4つの研究室についての情報をそれぞれ2名ずつが提供したと仮定した．また，それらの情報によって影響を受けるエージェントの選好の変化はランダムとした．

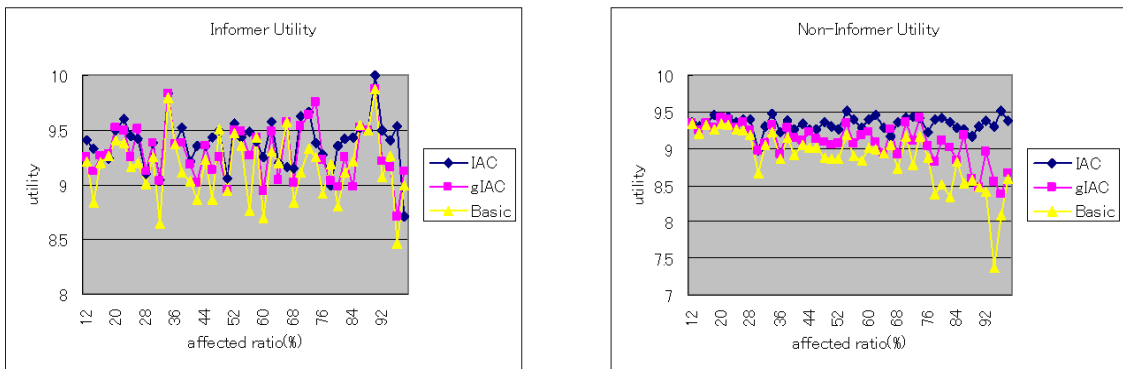


図 15: gIAC における平均効用

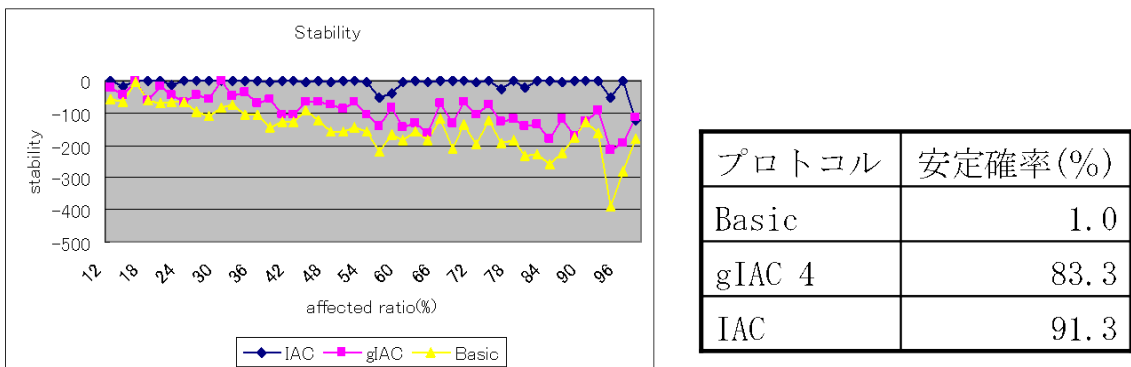


図 16: gIAC におけるマッチングの安定度

図 15, 16 はそれぞれ, 学生の平均効用とマッチングの安定度を表す.

rIAC プロトコル同様, 平均効用について基本プロトコルからの改善が確認できる. また, マッチングの安定度について, 図 16 右表に示すとおり, 安定度が 0 となる確率が rIAC プロトコルに比べ飛躍的に改善されていることが分かる.

第7章 おわりに

本研究では, 就職活動や研究室配属などの 2 サイドマッチングにおける以下のような問題について扱った.

情報の非対称性が存在する場合のマッチングモデルの欠如 遅延許諾アルゴリズムを用いた 2 サイドマッチングプロトコルによって配属を決定するには, 全員が選好を提示する必要がある. しかし, 非対称情報下では自分の真の選好を提示することが困難である. このようなエージェントを扱うことのできるマッチングの理論的モデルが必要となる.

情報隠蔽などの戦略的行動 ある研究室は周りの評判は良くないが, 実は海外に出張が多いという情報を持っている学生がいたとする. するとこの学生は, 海外に行きたいという学生がいる可能性を考えて, 情報を隠蔽するという行動を起こす. このような戦略的行動により, 他の学生は有益な情報を手に入れることができなくなる.

上述の問題を解決するため, 情報の非対称性が存在する場合のモデルを設計し, 条件付選好と情報共有に基づく 2 サイドマッチングプロトコルの提案を行った. 提案プロトコルでは, ゲーム理論を用いて情報提供者の効用の均衡を求めるメカニズムを導入した. これにより, 情報を保持する学生が情報を提供する誘因があるプロトコルの設計が可能となった.

また, 計算コストの制約を考慮した 2 つの派生プロトコルを設計した. そして, 設計したプロトコルを評価するためシミュレーションを行い, 基本プロトコルとの比較を行った. その結果, 情報提供による学生の選好への影響が大きい場合に, 提案プロトコルは学生の効用を上昇させ, マッチングをより安定させるプロトコルとなっていることが示された. また, 計算コストを考慮した派生プロトコルにおいても基本プロトコルからの改善が確認された.

本研究における主な貢献は以下の 2 点である.

情報の非対称性が存在する場合のマッチングモデルの検討 2 サイドマッチン

グにおいて、一方に情報の非対称性が存在する場合をモデル化し、そのモデルを扱うことのできるマッチングプロトコルを設計した。これにより、情報の非対称性による不確実な選好提示を避けることが可能となった。

情報共有に基づくマッチングプロトコルの提案 マッチングエージェントを通じて情報を共有することで、条件付選好を扱うことが可能となった。また、情報提供者の効用の均衡点を採用するメカニズムを導入することで、情報保持者が情報を提供するインセンティブを与えることが可能となった。

上記2点の貢献により、情報の非対称性が存在する場合の研究室配属や就職活動において、不確実な選好の提示や、情報隠蔽などの戦略的行動を阻止し、情報共有を促進できるマッチングプロトコルの設計が可能となった。

今後の課題としては、本稿では、一方だけに情報の非対称性が存在する場合の2サイドマッチングを想定している。両方に情報の非対称性が存在する場合について今回提案した手法が利用可能であるか検討する必要がある。また、本稿では効用を順序数で定義し、効用の譲渡については考察されていない。効用が譲渡可能な場合において、本稿のアイデアが利用可能であるか検討する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、熱心な御指導、御助言を賜りました松原繁夫准教授に厚く御礼申し上げます。また、日頃より、有益な御助言を与えてくださりました石田亨教授に心から感謝致します。そして、日頃からさまざまな御助言、御協力をいただきました石田・松原研究室の皆様には感謝致します。

参考文献

- [1] D. Gale and LS Shapley. College Admissions and the Stability of Marriage. *The American Mathematical Monthly*, Vol. 69, No. 1, pp. 9–15, 1962.
- [2] A.E. Roth. Misrepresentation and Stability in the Marriage Problem. *Journal of Economic Theory*, Vol. 34, No. 2, pp. 383–387, 1984.
- [3] A.E. Roth. Conflict and Coincidence of Interest in Job Matching: Some New Results and Open Questions. *Mathematics of Operations Research*, Vol. 10, No. 3, pp. 379–389, 1985.

- [4] A.E. Roth. The College Admissions Problem is not Equivalent to the Marriage Problem. *Journal of Economic Theory*, Vol. 36, No. 2, pp. 277–288, 1985.
- [5] A.E. Roth and E. Peranson. *The Redesign of the Matching Market for American Physicians: Some Engineering Aspects of Economic Design*. National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA, 1999.
- [6] 伊藤孝行, 横尾真, 松原繁夫. 自然の選択の情報に非対称性が存在する場合のオークションプロトコルの設計. *コンピュータソフトウェア*, Vol. 20, No. 1, pp. 16–20, 2003.
- [7] 武藤滋夫. *ゲーム理論入門*. 日経文庫, 2001 年.