

戦略的操作不可能な人気順を用いたマッチングメカニズムの設計

丸古 凌介[†] 飯田 伸也[‡] 藤田 悟[†]

法政大学 情報科学部[†] 法政大学 情報科学研究科[‡]

1. まえがき

学校と学生が互いに対する選好を持っている際に、両者にとって好ましい組み合わせを求めるマッチング問題という分野がある。マッチング問題では、学校に上下限の制約が課せられる場合があり、階層的な地域の下限制約に対応した PLDA-RQ[1]というメカニズムが提案された。PLDA-RQではPLという優先順序を決める際に、外因的に決めた学校の順序を用いる。その為、人気の低い学校のPLでの優先順序が高くなる可能性が存在する。そこで、学校の順序を外因的にせず、学生からの人気順にする。しかし、全学生で学校の人気順を生成する際に、自分が有利になるように、人気順を戦略的に操作できる学生が存在してしまう。本稿では、戦略的操作を行う要因を持たない学生だけで作成した学校の人気順からPLを生成し、そのPLを用いたメカニズムを提案する。

2. モデル

文献[1]を参考に、マッチング問題を $(S, C, R, p, q, a_r, \varepsilon_s, \varepsilon_c, \varepsilon^{PL})$ の組で定義する。 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ は学生の集合であり、 $|S| = n$ である。 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ は学校の集合で、 $|C| = m$ である。 $R = \{r_1, r_2, \dots\}$ は地域の集合で、各 r は $r \in 2^C \setminus \{\emptyset\}$ とする。 p と q はそれぞれ地域の下限と上限であり、 $p = (p_r)_{r \in R}$, $q = (q_r)_{r \in R}$ で定義される。 a_r は地域 r の要素的下限制約とする。 ε_s は学生の学校に、 ε_c は学校の学生に対する厳密な選好順序のベクトルである。 ε^{PL} は社会全体の学校と学生の契約の優先順序で、プライオリティーリスト(PL)と呼ぶ。

マッチングについて以下に定義する。また、 $\mu : S \times C \rightarrow 2^{S \times C}$ が学生は学校、学校は学生のマッチング結果の集合を返す関数とする。

定義1：マッチング $X (X = S \times C)$ とは以下の2つの条件を満たすものである。(i) $\forall s (s \in S), \mu(s) = c (c \in C)$, (ii) $\forall c (c \in C), s (s \in S) \in \mu(c)$ 。

実行できるマッチングは $\forall r, p_r \leq \sum_{c \in r} |\mu(c)| \leq$

q_r が成り立つ。

本稿では地域を階層的なものとして考える。地域が階層的とは、異なる r と r' の $\forall r, r' \in R$ において (1) $r \cap r' = \emptyset$, (2) $r \subset r'$, または (3) $r' \subset r$ のいずれかが成り立つときである。階層的な地域 R は木構造で表現できる。根ノードは C で全学校の集合であり、葉ノードは $\{c\}$ である。また、 r の子ノードの集合を $children(r)$ と表記し、 $r = \bigcup_{r' \in children(r)} r'$ となる。各地域の上限は考えず、葉ノードだけに上限を設定する。葉ノード以外の各ノードの上限は $q_r = \sum_{c \in r} q_{\{c\}} = \sum_{r' \in children(r)} q_{r'}$ とする。下限については各地域にそれぞれ課す。また、全学生数 $n = |S|$ とし、全ての学校を含む地域 C で、 $p_C \leq n = q_C$ とする。

3. 評価基準

メカニズムの評価基準として、戦略的操作不可能性、非浪費性、公平性がある。本稿では、戦略的操作不可能性、非浪費性について検証する。

定義2：戦略的操作不可能であるとは、全ての学生にとって、真の選好順序を申告することが支配戦略となることである。

定義3：マッチング X が与えられた時の学生 s と学校 c について (1) $c \varepsilon_s \mu(s)$, (2) s を $\mu(s)$ から c に移したマッチングが実行可能という2つを満たすならば、学生 s は学校 c の空きシートを要求する。

非浪費性を満たすとは、空きシートを要求する学生が存在しないことである。

4. PLDA-RQ

PLDA-RQ はプライオリティーリスト(PL) ε^{PL} を利用する。PL は外因的に決めた学校の順序と各学校の学生に対する優先順序を反映する。本稿では、学校の順序を $c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow \dots \rightarrow c_m$ とする。PLの生成方法は、まず各学校が最も優先順序が高い学生との契約を順に追加する。その後、2番目に優先順序の高い学生との契約を追加し、 n 番目まで追加する。文献[1]に従って、PLDA-RQは実行される。

5. 提案メカニズム

PLDA-RQではPLを生成する際に学校の順序を外因的に決めている。そこで、PLで利用する学校の順序を学生からの人気順にすることで、人気の低い学校の契約がPL上で上位にならないよ

Design of matching mechanism using Strategy-proof preferable order

[†] Ryosuke Maruko, [‡] Shinya Iida, [†] Satoru Fujita

[†] Faculty of C.I.S, Hosei University

[‡] Graduate School of C.I.S, Hosei University

うにする。しかし、全学生で学校の人気順を作成する場合には、戦略的操作が可能な学生が存在してしまう。メカニズムが戦略的操作不可能性を持つために、戦略的操作を行う要因を持たない学生だけで学校の人気順を作成する。ここで、戦略的操作を行う要因を持たない学生を確定者とする。本稿では、確定者を以下の様に定義する。

定義4: 学生 s が確定者とは、学校 c が ε_s 上で第1希望であり、 s が ε_c 上で第 p_c 希望以内である時に限る。

そして、各学校の確定者の数の昇順で学校の人気順とする。確定者の数が等しい学校同士の順番は PLDA-RQ と同様とする。

本稿での人気順を用いた PL では、まず確定者が割り当てられる学校が、人気度の高い順番で全ての契約を PL に追加していく。残りの確定者が存在しない学校の契約は PLDA-RQ での PL と同様の方法で追加していく。確定者が真の選好を申告すると仮定した時の学校の人気順を、比較の為に作成する。確定者の選好を真と仮定した場合、確定者の全選好を利用できる。各学生は選好順序で各学校に得点を持っているとし、人気順の作成には各学生の各学校に対する選好順序の得点の合計を用いる。この仮定では、学校の人気の高い順番で学校を選択し、その学校の全ての契約を学校の優先順序で PL に追加していく、次の学校を選ぶ。得点と同じ学校の場合は上記と同様とする。

確定者の第1希望だけを反映した PL を用いるメカニズムを PLDA-r1。確定者が真の選好を申告すると仮定した際の PL を用いるものを PLDA-r2 とする。両者共に PL の生成以外は PLDA-RQ と同様の手続きを実行する。従って、両メカニズムは公平性を満たす。PLDA-r1 と PLDA-r2 は共に確定者が0人の場合は PLDA-RQ と同様の PL を作成する。また、PLDA-r1 と PLDA-r2 は確定者にとっては嘘の申告をして得になる PL を作れず、確定者以外の学生は PL を操作できない。従って、戦略的操作不可能である。

文献[2]の PLDA-r3 を比較に用いる。PLDA-r3 は本稿で提案した確定者とは異なる確定者を定義し、マスターリスト(ML)と呼ばれる優先順序を利用して、メカニズムを実行している。確定者の定義と ML 以外では PLDA-r1 と同様である。

6. 実験

学生数 512, 学校数 64, 各学校個別の上限 $q_{\{c\}} = 40$, 下限 $p_{\{c\}} = 0$ とする。また、階層的な地域は深さ 6 二分木である。地域の下限数 p_r は、要素的下限制約の総数を 64 から 448 の間で変化さ

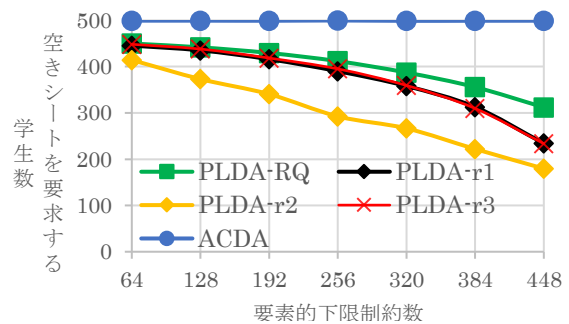


図1 空きシートを要求する学生の数

せ、各地域の a_r がほぼ同値になるように配分する。各学生の選好順序は、全学生で共通の各学校に対する評価値と、各学生での評価値を一様乱数で生成し、その評価値に基づいて順序的効用に変換する。また、各学校個別の学生に対する選好順序は一様乱数で生成する。各実験結果は 100 回実行時の平均である。

実験の結果を図1に示す。PLDA-r1, PLDA-r2, PLDA-r3 が PLDA-RQ と比較して、非浪費性で優れていることがわかった。PLDA-RQ では外因的な学校の順番を、PLDA-r1, PLDA-r2, および PLDA-r3 では一部の学生の選好を反映して PL を生成する。外因的な順序で、人気の低い学校の契約が PL の優先順序で高くなる可能性があった。その結果、人気の低い学校に割り当てられた学生が人気の高い学校の空きシートを要求するケースが増えてしまう。提案メカニズムでは、人気の高い学校の PL 上の優先順序を高くする為、その様なケースが少なくなり、空きシートを要求する学生の数も減少したと考えられる。PLDA-r1 と PLDA-r3 での結果より、確定者の定義の差によって、空きシートを要求する学生数に差異がほぼ見られないことがわかった。公平性を満たすことが望まれる問題で、確定者となる学生の選好が信頼できる場合には PLDA-r2 を用いるべきである。

7. むすび

本稿では、地域下限に対応した PL の順序を内因的に決定し、PLDA-RQ と比べ、より空きシートを要求する学生の少ないメカニズムを提案した。

文献

- [1] 倉田涼史, 後藤誠大, 橋本直幸, 岩崎敦, 川崎雄二郎, 上田俊, 横尾真, "地域上下限制約付きマッチングメカニズムの理論設計と評価," 人工知能学会全国大会論文集, vol.28, pp.1-4, 2014.
- [2] 飯田伸也, 丸古凌介, 藤田悟, "地域制約下における公平なマッチングメカニズムの提案," 情報処理学会第79回全国大会