1R-07

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

飯田　伸也† 丸古　凌介†† 藤田　悟††

法政大学　情報研究科 情報科学専攻† 法政大学　情報科学部††

1. はじめに

近年, マッチング問題と呼ばれる2種類のエージェント間の最適な組み合わせを求める問題についての研究が盛んに行われている. 本論文では, マッチング問題の１つである学校割り当て問題について扱う. 従来研究では, プライオリティーリストと呼ばれる学生と学校の契約の順番を用いて割り当てを行うPLDA-RQ [1]と呼ばれる手法が提案されている. PLDA-RQの問題点として, 人気校とそれ以外の学校に対しての評価基準が一定なために, 学生が不満を持つ問題がある. そこで本研究では, 確定者と呼ばれる生徒を用いて, 上記の問題を解決する.

2. マッチングモデル

本章では, 学生と学校のマッチング問題のモデルについて取り扱う. 文献[1]を参考にマッチング問題は$(S, C, R, p, q, a, \succ_s: s \in S, \succ_c: c \in C, \succ^{PL}, \succ_{ML})$で定義される. $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$は学生の集合であり, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$は学校の集合である. また, n, mはそれぞれ学生数, 学校数である. $R = \{r_1, r_2, \dots\}$は学校の地域集合であり, 各地域 rは学校の部分集合$r \in 2^{|C|} \setminus \{\emptyset\}$である. $p = \{p_1, p_2, \dots, p_{|R|}\}$, $q = \{q_1, q_2, \dots, q_{|R|}\}$はそれぞれ各地域に対する学生の上限人数と下限人数であり, aは地域の要素的下限制約のことを指す. $\succ_s$, $\succ_c$はそれぞれ学生が学校に, 学校が学生に対する選好順序である. $\succ^{PL}$は学生と学校の契約の優先順序を表し, これをプライオリティーリストと呼ぶ. $\succ_{ML}$は学生や学校の選好順序の他に生徒の応募の優先度を決める指標であり, これをマスターリストと呼ぶ.

3. マッチングの性質

マッチングの性質や定義について, 文献[1]を参考に述べる. 定義1にマッチングの定義を示す.

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) $\forall c (c \in C)$, $s\ (s \in S) \in \mu(c)$.

ここでの$\mu : S \times C \to 2^{|S \times C|}$は, 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である. また, $\forall r (r \in R)$に対して, マッチングXが以下の条件を満たすことを実行可能なマッチングという. : $p_r \leq \sum_{x \in r} |\mu(x)| \leq q_r$.

次に, マッチングの戦略的操作不可能性について述べる. 戦略的操作不可能とは, ある学生が嘘の申告を行う誘因を持たないことを指す. 具体的には, 定義2を満たす時である.

定義2 :メカニズムνに対して, $\forall s\ (s \in S)$が以下の条件を満たすことを戦略的操作不可能なメカニズムと呼ぶ. : $\mu(s) \succ_s \mu'(s)$ または, $\mu(s) = \mu'(s)$.

ここでのμ'は, sが嘘の申告をした際のマッチング結果である. 次に, マッチングメカニズムの性能を比較する際に, 定義3の非浪費性についての指標を用いる.

定義3 : マッチングXに無駄がないとは, $s\ (s \in S)$が$c \left(c \in \left(C \quad \mu(s) \right) \right)$に対して, 以下の条件になる時である. : $(i)\ c \succ_s \mu(s)$, $(ii)\ \forall r \in \ \forall regions(c)$: $\sum_{c' \in r} \mu(c') < q_{regions(c')}$, $(iii)\ \forall r \in regions(c)$: $\sum_{c' \in r} \mu(c') > p_{regions(c')}$.

ここでの $regions$とは, 学校が所属している全ての地域集合を指す. また, 定義3を満たさない学生は学校に対して, 空きシートを要求するという.

4. 提案メカニズム

地域下限制約問題おいての無駄のないメカニズムの研究では, 様々な手法が提案されている. その1つとして, PLDA-RQ[1]と呼ばれる$\succ^{PL}$を用いて, 下限制約を満たしながら割り当てるメカニズムがある. しかし, PLDA-RQの問題点として, $\succ^{PL}$の契約をタイブレーク順(1,2,…,m)に並べるために, 人気校に空きシート要求する生徒が発生する問題がある. そこで, 上記の問題を解決するために, 本論文では, 定義4の確定者を用いて改善を行う.

定義4 : 確定者とは, あるメカニズムνに対して, $s\ (s \in S)$が以下の条件を満たす学生である. : $\forall \mu' (\mu' \in M)$に対して, $\mu(s) \succ_s \mu'(s)$, または$\mu(s) = \mu'(s)$.

ここでのMは sを除いた全ての学生が戦略的操作を行った時のマッチング結果の集合である. すなわち, 確定者とは, 他の学生とは関係なく, 配属が決定されている学生のことである. 本手法では, 確定者が配属されている学校が人気校であると仮定することによって, $\succ^{PL}$に学校の人気を取り入れる. 次に, 準備として, $\succ^{PL}$の生成方法について述べる. 具体的な$\succ^{PL}$の生成方法は, 確定者が存在しない時は, PLDA-RQと同様に$\succ^{PL}$をタイブレーク

Fair Mechanism for Matching with Regional Quotas
† Shinya Iida , †† Ryosuke Maruko , †† Satoru Fujita ,
† Graduate School of C.I.S, Hosei University
†† Faculty of C.I.S, Hosei University

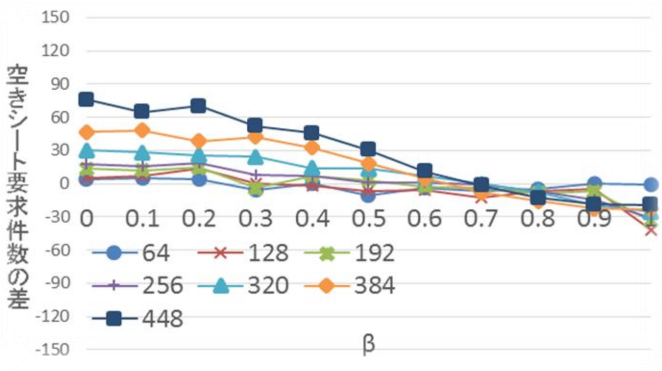

図 1: PLDA-RQ と PLDA-r3 の空きシート要求件数の差(α=0.6)

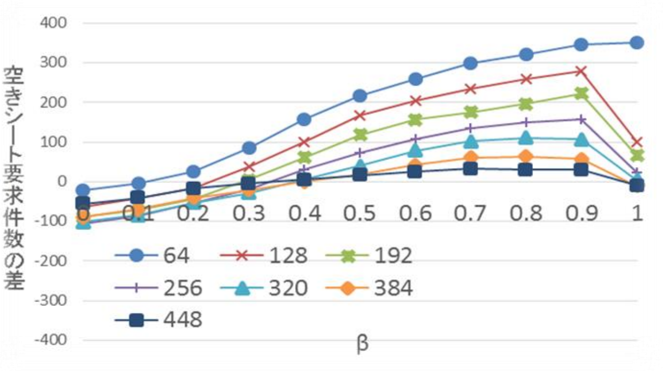

図 2: PLDA-r2 と PLDA-r3 の空きシート要求件数の差(α=0.6)

順で生成する. また, 確定者が存在する際は, 確定者集合DSに対して, $c(c \in \sum_{s' \epsilon DS} \mu(s))$の学校に関しては, 第1,2,…,n希望の順に契約を生成し, $c'(c' \epsilon (C \setminus \sum_{s' \epsilon DS} \mu(s)))$に関しては, タイブレーク順で生成をする.

次に地域下限制約問題での確定者の条件について述べる. 地域下限制約下での確定者は以下のいずれかを満たす$s(s \in S)$である. : (i) $rank_s(1) = c(c \epsilon C)$, かつ $(\sum_{l \epsilon \{1,2,\ldots,(q_{\{c\}}+DS_c)\}} rank_c(l) \cap \{s\}) = s$, (ii) $rank_s(1) = c(c \epsilon \sum_{s' \epsilon DS} \mu(s'))$, かつ $((\sum_{l \epsilon \{1,2,\ldots,(P_{\{c\}}+DS_c)\}} rank_c(l)) \cap \{s\}) = \text{s}$.

ここでの$rank$とは, 学生または学校の選好順序を受け取り, その順位の学校または, 学生を返す関数であり, DS_cはcに属する確定者集合を表す. 上記の全てを用いて確定者決定メカニズムでは, 定義5のように配属の決定を行う.

定義5: マッチングX, 確定者集合DSに対して, 以下の処理を実行する.

Step 0 : $DS = \emptyset, X_0 = \emptyset, \text{k} = 1, \succ_0^{PL}$をタイブレーク順で生成する.

Step k : $\succ_{ML}$に従い, $\forall s(s \in (S \setminus DS))$に対して, sが確定者である場合, $DS = DS \cup \{s\}, X_k = X_{k-1} \cup \{(s, \mu_k(s))\}$, $\succ_k^{PL}$を上記の方法で更新し, $k = k + 1$. 確定者でない場合, Step tへ

Step t : $\forall s(s \in (S \setminus DS))$に対して, PLDA-RQを行った結果の契約集合$X'$を求め, $X \cup X'$を出力する.

また, 定義5のメカニズムは, 戦略的操作不可能なメカニズムである. 詳細は省くが, 確定者の定義4より導くことが出来る.

5. 評価実験

本実験は, 生徒数は512人, 学校数を64校で行う. また, 学校の個別上下限は, 上限人数40人, 下限人数0人とし, 地域は, 深さ6の2分木とする. この時, 要素的下限制約の合計を問題ごとに設定し, 各地域に対して, 均等になるように割り当てる. 学生の選好順序は, 全ての学生が持つ共通のベクトル$U_c = [0,1]^m$と各学生が個人で持つベクトル$U_s = [0,1]^m$を用いて以下のように表す. : $\alpha U_c + (1-\alpha)U_s$. ここでのパラメータαは$\alpha \in [0,1]$である. また, 学校の選好順序も学生と同様に与え, そのパラメータβとする. マスターリストはタイブレーク順で設定する. 本実験結果は, 全て100回実行した時の平均とする.

図 1 は$\alpha = 0.6$と固定し, βと要素的下限制約を0,0～0,1, 64～448 と変化させた時の PLDA-RQ と定義5のメカニズムである PLDA-r3 との空きシートの要求件数の差を表した図である. グラフ上で 0 よりも大きい時は PLDA-r3 の方が空きシートの要求が少ないことを表している. 図 1 ではβが 0.0 に近いほど, PLDA-r3 の方が良いメカニズムであることが分かる. また, βが大きい時に差がほぼ等しくなる理由として,確定者が人気校ではない学校を確定校にしてしまったことが考えられる.

図2は図1と同様な実験を文献[2]の PLDA-r2 と PLDA-r3 に対して行った時の空きシートの要求件数の差を表した図である. βが大きい時にPLDA-r2 より, PLDA-r3 の方が良い結果となった理由として, 確定者を上限まで考慮することより, 多く確定者を確保でき, PLDA-r2 よりも人気な学校に即した$\succ^{PL}$が組めたのだと考えられる.

6. おわりに

本論文では, PLDA-RQに確定者という学生を定義し, 従来の実験と同様な方法を行い, 本メカニズムの優位性を示した. 今後は, 地域上下限問題についての評価を行いたい.

文　献

[1] 橋本直之, 後藤試大, 上田駿, 岩崎敦, 安田洋祐, 横尾真, 地域制約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, vol.j97-D, No.8, pp.1336-1346 (2014)

[2] 丸古凌介, 飯田伸也, 藤田悟, 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, 第79回情報処理学会全国大会