2T-08

研修医配属における地域間格差を調整するための制約のモンテカルロ木探索

板垣 圭知 * Keichi Itagaki
小宮山 純平 † Junpei Komiyama
阿部 拳之 ‡ Kenshi Abe
岩崎 敦 § Atsushi Iwasaki

1 はじめに

二部マッチング問題は社会の中で様々な問題に適用することができる汎用性の高い問題である．ここでは例として病院への研修医の配属を例にとって多対1マッチングを考える．このとき病院側は定員を設定し，受け入れる研修医について上限を設けることとなるが，ある一定の数だけこの上限を拡張することで研修医の効用を向上させることが可能となる．

しかし，病院の数が増えるごとに計算量は指数的に増えていくため，各病院に対する拡張枠の割り振りの探索は一般に NP 困難な問題に帰着することが知られている．この問題を解くために UCT 探索 [1] (Upper Confident Tree 探索) という手法を導入する．この手法では拡張枠の割り振りを木構造で表現し，UCB と呼ばれる指標が最大になるものについてノードの探索を行っていく．この手法により計算量の大幅な削減が可能となる．

従来の研究では各病院の個別の上限に対しての探索を行っていたが，本研究では病院を地域ごとに分け，それぞれの地域に対して上限を設けることで地域格差の調整を行うことを検討する [2].

2 モデル

病院に対して地域上限を設けて研修医のマッチングを行う問題は $(D, H, R, \succ, q_h, q_r)$ の組で定義される．$D = \{d_1, d_2, ..., d_n\}$ は研修医の集合，$H = \{h_1, h_2, ..., h_m\}$ は病院の集合, $R = \{r_1, r_2, ..., r_l\}$ は地域の集合であり, 各地域は H の互いに素な部分集合として与えられる．なお，$n = |D|, m = |H|, l = |R|$ とする．各研修医 d は病院に対して厳密な選好順序 $\succ_d$ を持ち，病院についても同様に学生に対して個別の優先順位 $\succ_h$ を持つ．それぞれの病院の受け入れ上限を $q_h = \{q_{h1}, q_{h2}, ..., q_{hm}\}$ と表し，それぞれの地域の受け入れ上限を $q_r = \{q_{r1}, q_{r2}, ..., q_{rl}\}$ と表す．

マッチング μ について定義する．研修医 $d \in D$ は最大で 1 つの辺を持つことができ，病院 $h \in H$ は最大で q_h 個の辺を持つことができる．$\mathcal{E}$ をあらゆる (d, h) のペアの集合としたとき，マッチング μ は $\mathcal{E}$ の部分集合として与えられ，あり得る全ての μ の集合を $\mathcal{M}$ と表す．また，$\mu(d)$ と $\mu(h)$ についてそれぞれ，d が配属された病院，h に配属された研修医の集合を表すこととする．

マッチング μ において $h \succ_d \mu(d)$ かつ $d \succ_h d'$ のとき研修医 d は $\mu(d') = h$ となるような研修医 d' に対して正当化される羨望 (justifiable envy) をもつといい，どの研修医もほかの研修医に対して正当化される羨望をもたないとき，マッチング μ は公平性 (fairness) を満たすという．また，マッチング μ において $h \succ_d \mu(d)$, $d \succ_h \emptyset, |\mu(h)| < q_h, |\mu(r) \cup \{d\}| \leq q_r$ であるとき，研修医 d は地域 r に属する病院 h に対して空きシートを要求する (claiming an empty seat) という．どの研修医も病院に対して空きシートを要求しないとき，マッチング μ は非浪費性 (nonwasterfulness) を満たすという．マッチング μ が公平かつ非浪費的であるとき，マッチング μ は安定マッチングであるという．

しかし，安定マッチングは常に存在するとは限らない．例えば $D = \{d_1, d_2\}, H = \{h_1, h_2\}, R = \{r\}, r = \{r_1, r_2\}, q_{h1} = q_{h2} = q_{r_r} = 1$ で，各研修医および病院の選好順位が以下のようになっているとする．

$$\succ_{h_1}: d_1 \succ d_2,\ \succ_{d_1}: h_2 \succ h_1,$$
$$\succ_{h_2}: d_2 \succ d_1,\ \succ_{d_2}: h_1 \succ h_2$$

このとき $|\mu(r)| = 0$ とすると μ は非浪費性を満たさない．$|\mu(r)| = 1$ の場合について考える．$\mu(h_1) = \{d_2\}$ とすると $\mu(d_1) = \emptyset$ かつ $d_1 \succ_{h_1} d_2$ であるから，d_1 は d_2 に対する羨望が正当化されるため, μ は公平性を満たさない．$\mu(h_2) = \{d_1\}$ とした場合についても同様である．$\mu(h_1) = \{d_1\}$ とすると $|\mu(h_2)| = 0 < q_{h2}$ かつ $h_2 \succ_{d_1} h_1$

* 電気通信大学情報理工学域
† ニューヨーク大学スターンスクールオブビジネス
‡ 株式会社サイバーエージェント
§ 電気通信大学大学院情報理工学研究科

であるから d_1 は h_2 に対して空きシートを要求する．$\mu(h_2)=\{d_2\}$ とした場合についても同様である．よって，この条件の下では安定マッチングは存在しない．

そこで，弱安定マッチングについて考える．マッチング μ において $h >_d \mu(d), |\mu(h)| < q_h, |\mu(r)| < q_r$ であるとき，研修医 d は地域 r に属する病院 h の空きシートを強く要求するという．どの研修医も病院に対して空きシートを強く要求しないとき，マッチング μ は弱非浪費的であるという．マッチング μ が公平かつ弱非浪費的であるとき，マッチング μ は弱安定マッチングであるという．

先ほどの例に戻ると，$\mu(h_1)=\{d_1\}$ としたとき，$|\mu(r)| = q_r = 1$ となるため，空きシートを強く要求しない．$\mu(h_2)=\{d_2\}$ とした場合についても同様である．このような μ はいずれも弱安定マッチングとなる．

ここで，各病院の受け入れ上限 q_h を t_h だけ拡張することを考える．この時各病院の拡張上限を $b_h = \{b_{h1}, b_{h2}, ..., b_{hm}\}$，拡張上限の合計を B とする．地域上限を満たす条件として，各病院に割り当てられた拡張枠が個別の拡張上限を超えていないこと，および全ての地域において拡張後の病院の上限割り当てが地域の受け入れ上限を超えないことの 2 つがあり，受け入れ上限の実行可能空間を

$$\Theta = \left\{ t \in \{0,1,2,\ldots,B\}^H \mid t_h \leq b_h\ \forall h,\ \sum_{h \in r} t_h \leq q_r - \sum_{h \in r} q_h\ \forall r \in R \right\}$$

と定義する．目的関数は研修医の効用の最大化とする．具体的には，研修医 d が配属された病院 h の d にとっての選考順位を $rank_d(h)$ で表すとき，$\sum_{d \in D} rank_d(h)$ を最小化する．

3 実行例

4 人の研修医 $D=\{d_1,d_2,d_3,d_4\}$ に対して 3 つの病院 $H=\{h_1,h_2,h_3\}$ があり，地域として $R=\{r_1,r_2\}$, $r_1=\{h_1,h_2\}$, $r_2=\{h_3\}$ のように定められている場合について考える．なお，拡張上限として個別上限を $q_h=\{2,1,1\}$, 拡張の上限は $B=2$ と設定する．各研修医および各病院の選好順位を以下で与えられるとする．

$>_{d_1}: h_1 > h_2 > h_3$，$>_{h_1}: d_1 > d_2 > d_3$,
$>_{d_2}: h_3 > h_2 > h_1$，$>_{h_2}: d_1 > d_2 > d_3$,
$>_{d_3}: h_3 > h_2 > h_1$,
$>_{d_4}: h_3 > h_2 > h_1$

地域上限及び上限の拡張を考えずに q_h のままで安定マッチングを求めると，$(d_1,h_1),(d_2,h_3),(d_3,h_2),(d_4,h_1)$ となる．ここで目的関数の値は $\sum_{d \in D} rank_d(h) = 0+0+1+2=3$ である．上限の拡張のみを許すと $B=2$ をすべて h_3 の拡張に用いて $q_h+t_h=\{2,1,3\}$ とすることで $(d_1,h_1),(d_2,h_3),(d_3,h_3),(d_4,h_3)$ を得る．このとき全員が最も希望順位の高い病院に配属されており，$\sum_{d \in D} rank_d(h) = 0$ となる．

しかし，2 つの病院を擁する r_1 に配属された研修医が 1 人であるのに対して 1 つの病院しかもたない r_2 には 3 人もの研修医が配属されており，二つの地域間に格差が生まれているように見える．そこで地域上限を $q_r=\{3,2\}$ とする．h_3 の上限を 1 つだけ拡張すると d_3 が h_3 とマッチできる．しかし，この時点で h_3 が所属する r_2 の上限に達しているためこれ以上の枠を拡張できない．そのため，d_4 は h_3 からリジェクトされ，地域 r_1 の病院に配属される．その結果 $(d_1,h_1),(d_2,h_3),(d_3,h_3),(d_4,h_2)$ を得る．この結果から地域上限を適切に設定することで地域ごとの格差を調整できることがわかる．

4 おわりに

今回は病院の受け入れ上限の組を探索するために，その病院が所属する地域に直接的な上限を設けた．今後は，例えば小さい地域 r_1 がより広域な地域 r_2 に属するというような階層的な地域構造へ拡張したい．実際 r_2 を親ノード，r_1 を子ノードとした階層的な構造を表現できる．現状，木構造の形に依らず実験できるよう構造の一般化を進めており，よりうまく格差を調整するために課す制約と木構造の関係を明確にしていきたい．

また本論文では，地域上限を制約条件として医者の効用の最大化を目的関数としたが，直接的に地域条件を課すのではなく地域間の効用が公平となるような目的関数を設定し，個別上限の拡張を探索することも考えている．例えば，地域に属する病院の費用の幾何平均の最小化を図るナッシュ積 (Nash Social Welfare) や，地域に属する病院の最大コストを最小化するミニマックスといった目的関数を考察していきたい．

参考文献

[1] Kenshi Abe, Junpei Komiyama, and Atsushi Iwasaki. Anytime capacity expansion in medical residency match by monte carlo tree search. In *IJCAI*, pp. 3–9, 2022.

[2] Atsushi Iwasaki Yujiro Kawasaki Yosuke Yasuda Goto, Masahiro and Makoto Yokoo. Improving fairness and efficiency in matching with distributional constraints: An alternative solution for the japanese medical residency match. *Munich Personal RePEc Archive, Paper No. 53409.*, 2014.