

WWW を利用した研究室配属支援のための制度設計 —シミュレーションによる実践的分析—

Design of Institutions for Supporting Laboratory Assignment by use of WWW

- Practical Analysis by the Monte Carlo Simulation -

細野文雄 富山慶典
群馬大学 社会情報学部

Fumio HOSONO Yoshinori TOMIYAMA

Faculty of Social and Information Studies, Gunma University

The institution for "laboratory assignment" proposed in Tomiyama and Hosono 1999 (this volume) assumes, among others, that every student should, by preference, linearly order all the laboratories from which to choose only one for his/her graduation research, which, though theoretically valid, is not realistically plausible. To put it into practice, it should be examined whether assignment can be successful when the number is relatively small of the candidates a student should choose first from all the laboratories. Analysis by the Monte Carlo simulation reveals that this institution works well even in such situations, given a certain set of conditions on the maximum number of students for each laboratory and/or the number of the candidates the students should submit first. This institution, therefore, can be incorporated as a basic principle into the WWW-based system for the assignment we are now constructing.

1. 実践的課題の検討

本冊子所収の富山・細野論文において、研究室配属問題の解としての「学生 - 最適安定結果」とそれを導出するマッチング方式としての「学生志願型 GS 方式」との組をもって、理論的な妥当性をもつ研究室配属制度を設計できることを明らかにした。この理論的な妥当性をもつ研究室配属制度は、任意の学生数と研究室数、研究室定員、学生選好順序、研究室選好順序に対して、「 u -学生数」を常にゼロにすることができるであろうか。ここで、「 u -学生数」とは、学生志願型 GS 方式によって導出される学生 - 最適安定結果において、どの研究室にも所属できない (unmatched) 学生の人数である。したがって、 u -学生数がゼロとはすべての学生をどこかの研究室にマッチングすることができたことを意味する。さきの研究室配属制度が u -学生数をゼロにするためには、“すべての学生がすべての研究室に対する線形の選好順序をもっている”という非現実的な十分条件を満たさなければならない。ここで、学生に表明させる研究室に対する選好順序の順位を「学生表明順位」とよぶ。たとえば、十分条件は学生表明順位 = 研究室数の場合ということになる。学生表明順位 < 研究室数の場合には、 u -学生数がゼロになる保証はない。学生数と研究室数が与えられたとき、 u -学生数をゼロにすることができるかどうかは、研究室定員と学生表明順位との兼ね合いによって異なってくる。一般に、さまざまな学生数と研究室数、学生選好順序、研究室選好順序、研究室定員、学生表明順位に対して、 u -学生数はどのような値となるのであろうか。そして、 u -学生数をゼロとする研究室定員と学生表明順位の組はいかなるものとなるのであろうか。実際の使用に耐えられる研究室配属制度を設計するためには、これらの問いに答えなければならない。

本研究の目的は、すべての学生をどこかの研究室に必ず配属することができる条件をシミュレーションによって求め、実際の使用に耐えられる研究室配属制度を設計することにある。

2. シミュレーションの方法と範囲

さきの問いに答えるために、シミュレーションを実施した。具体的には、学生数と研究室数、研究室定員、学生選好順序、研究室選好順序、学生表明順位の 6 つのパラメータのさまざまな値に、学生志願型 GS 方式

を適用してマッチング結果を求め、それらの結果における「平均 u -学生数」を計算した。シミュレーションのために設定した仮定、各値の与え方と範囲、学生志願型 GS 方式のプログラム、試行回数は以下のとおりである。

シミュレーションのために次の 2 つの仮定をした。

- ・すべての学生表明順位は同じである。
- ・すべての研究室定員は同じである。

これら 2 つを仮定した理由の 1 つは、本研究のようなシミュレーションがこれまで行われていないことから、できるだけ単純な状況のもとでの結果を分析するためである。もう 1 つは、これらのパラメータの値が現実と異なることは事実なのだが、どのように異なるかを正当化するのに妥当な根拠を見つけることができなかったからである。

学生数と研究室数、研究室定員、学生表明順位の値は表 1 の範囲で入力データとして与えた。これらの範囲は現実の研究室配属問題を念頭において定めた。また、学生と研究室の選好順序はプログラムのなかで一様分布からランダムに生成した。一様分布を用いた理由は、これらの選好順序が何らかの特殊な分布にしたがっているという根拠を見つけることができなかったためである。

表1. パラメータの初期値、最終値、増分値

パラメータ	初期値	最終値	増分値
学生数	20	100	20
研究室数	10	50	5
研究室定員	(学生数 / 研究室数) より大きい最小の整数	20 (学生数=20,40,60) 25 (学生数=80,100)	1
学生表明順位	1	研究室数	1

学生志願型 GS 方式のプログラムは、富山 (1992) を踏まえて富山 (1996) で開発した 1-1 型のプログラムを、1- q 型に改良したものを利用した¹。

試行回数は 10,000 回である。したがって、平均 u -学生数とは、表 1 のパラメータのそれぞれの組に対して、10,000 個の学生選好順序と研究室選好順序における u -学生数の平均値である。このシミュレーションは再現可能である。なぜなら、各試行における学生選好順序と研究室選好順序は、表 1 のパラメータのそれぞれの値と試行の回数、たとえば 1 回目の試行なら 1、とから求まる値で乱数を初期化して生成しているからである。

3. シミュレーション結果の分析

1 節の終わりで述べたように、シミュレーションの第 1 の目的は、学生数と研究室数を固定したとき、平均 u -学生数をゼロにできる研究室定員と学生表明順位の組がどのようなになっているかを明らかにすることにある。第 2 の目的は、これらのパラメータの変化が平均 u -学生数にどのような影響を与えるかを明らかにすることにある。紙面の都合により、前者についてのみ分析する。

3.1. 平均 u -学生数をゼロにする研究室定員と学生表明順位

研究室配属を実際におこなう場合、学生数と研究室数は固定されていると考えられる。年度によって学

¹ マッチング・プログラム及びシミュレーション・プログラムの使用言語と開発環境は次の通りである。

使用言語：C 言語。

開発環境：FreeBSD 2.2.8R の稼働する IBM-PC/AT 互換機。

生数や研究室数が変動することはありえるが、ある年度における研究室配属の際には、学生数と研究室数が固定しているからである。そこでまず、学生数と研究室数の1つの組について分析することにする。

学生数と研究室数の1つの組に対する分析 表2は、学生数100・研究室数30のときのすべての研究室定員と学生表明順位との組に対する平均 u -学生数をまとめたものである。平均 u -学生数は小数点以下第2位を四捨五入してある。

表2. 学生数100・研究室数30のときの平均 u -学生数

		学生表明順位						
	1	2	3	4	5	~	30	
研究室定員	4	13.1	3.4	0.8	0.2	0	~	0
	5	5.9	0.5	0	0	0	~	0
	6	2.3	0.1	0	0	0	~	0
	7	0.8	0	0	0	0	~	0
	8	0.3	0	0	0	0	~	0
	9	0.1	0	0	0	0	~	0
	10	0	0	0	0	0	~	0
	~	~	~	~	~	~	~	~
	25	0	0	0	0	0	~	0

表2において、次のことが成立している。

【結果1】 ある研究室定員のもとで、学生表明順位が増加するにつれ、平均 u -学生数は単調に減少する。

【結果2】 ある学生表明順位のもとで、研究室定員が増加するにつれ、平均 u -学生数は単調に減少する。

これらのシミュレーション結果はわれわれの直観と一致している。すなわち、研究室定員を固定したもとでは、学生表明順位が大きくなればなるほど、学生がどこかの研究室に配属される可能性は高まるからである。また、逆に、学生表明順位を固定したもとでは、研究室定員が大きくなればなるほど、学生がどこかの研究室に配属される可能性は高まるからである。

ここで、学生数と研究室を固定して、ある研究室定員のもとで平均 u -学生数をゼロにする最小の学生表明順位を「ゼロ順位」とよび、ある学生表明順位のもとで平均 u -学生数をゼロにする最小の研究室定員を「ゼロ定員」とよぶ。研究室定員を変化させたときのゼロ順位と学生表明順位を変化させたときのゼロ定員との組からなるラインを「ゼロ値ライン」とよぶ。これらを表2で見ると、たとえば研究室定員4に対するゼロ順位は5、学生表明順位1に対するゼロ定員は10、そして0からなるラインがゼロ値ラインである。

【結果1】はある研究室定員に対するゼロ順位が1つだけしか存在しないことを、【結果2】はある学生表明順位に対するゼロ定員が1つだけしか存在しないことをそれぞれ含意する。これらのことから、ゼロ値ラインは1本だけしか存在しないことになる。さらに、【結果1】と【結果2】は次の5つを含意する。

【結果3】 研究室定員が最小値かつ学生表明順位が1のとき、平均 u -学生数は最大である。

【結果4】 研究室定員が最小値のとき、ゼロ順位は最大である。

【結果5】 学生表明順位が1のとき、ゼロ定員は最大である。

【結果6】 研究室定員が増加するにつれ、ゼロ順位は単調に減少する。

【結果7】 学生表明順位が増加するにつれ、ゼロ定員は単調に減少する。

当然のこととして，【結果 3】～【結果 7】は表 2において成立している．

学生数と研究室数のすべての組に対する分析 【結果 1】と【結果 2】は，表 1から求めることができる学生数と研究室数のすべての組（学生数 100・研究室数 30 を除いて 44 組）において成立していた．表 3は，学生数と研究室数のすべての組に対して，研究室定員を変化させたときのゼロ順位をまとめたものである．これを「ゼロ順位一覧表」とよぶ．このゼロ順位一覧表を使えば，学生数と研究室数と研究室定員を固定したときのゼロ順位を見つけることができる．たとえば，学生数 100・研究室数 30・研究室定員 4 のときに，すべての学生をどこかの研究室に配属できる学生表明順位は 5 である．なお，ゼロ順位一覧表から，学生数と研究室数と学生表明順位を固定したときのゼロ定員をまとめた表を作ることができる²．

以上の事から，学生数と研究室数，研究室定員（あるいは学生表明順位）を固定したときに，平均 u -学生数をゼロにする学生表明順位（あるいは研究室定員）を得ることができ，研究室配属の設計ができたことになる．

研究室定員や学生表明順位を任意にするための分析 ここまでは，研究室定員や学生表明順位がすべて等しいという仮定のもとでの設計であった．しかし，この仮定が現実には常に妥当であるとは限らない．研究室定員については，たとえば実験系の研究室は器具の数に限りがあるため研究室定員にはかなりシビアであるのに対して，人文・社会系の研究室は研究室定員に多少の変動があっても許されるであろう．このような場合には，研究室定員をそれぞれの研究室の事情に合わせた人数にできるようにすることが，研究室配属制度を設計する上で重要である．一方，学生表明順位については，たとえば 3 つの研究室ならどこにでも所属してもよいと考えている学生もいるし，1 つの研究室にしか所属したくないと考えている学生もいる可能性がある．このような場合には，それぞれの学生の希望に沿った研究室数だけを表明すればよいようにすることが研究室配属制度を設計する上で重要である．

まず，研究室定員を任意にするにはどうすればよいかを考えてみよう．【結果 6】から，研究室定員が最小値のときのゼロ順位を学生表明順位とすれば，研究室定員がどのような値を取ろうと平均 u -学生数をゼロにすることができる．つまり，研究室定員を何人にするかを，もちろん最小値以上でなければならないが，任意にするには，学生表明順位をゼロ順位の最大値にすればよいわけである．表 3における一番左の値である．表 3におけるこれらの値を見てみると，4～24 とかなり凸凹していてもばらつきが大きい．この原因としては，研究室定員が最小値のとき全体として学生を受け入れられるキャパシティ（学生の受入可能な人数（＝研究室定員×研究室数）の学生数に対する比）が小さいため，運良く小さい学生表明順位でマッチングできる場合と，運悪く大きい学生表明順位でなければマッチングできない場合とが起りえるからと考えられる．たとえば，学生数 100・研究室数 25 のときのキャパシティは 1.0 で，このときの学生表明順位は 13 と大きいのに対し，学生数 100・研究室数 30 のときのキャパシティは 1.2 で，このときの学生表明順位は 5 と小さく収まっている．

そこで，研究室定員を（最小値+1）にした場合にどうなるかを調べてみた．このときのゼロ順位は 2～4 となっている．最小値の場合と比べると，凸凹がなくばらつきが小さい．この事実は，研究室配属制度の設計に関する知見として極めて重要である．なぜならば，研究室定員を（最小値+1）以上にしさえすれば，学生数と研究室数にかかわらず，学生表明順位を 4 にすればよいからである．さらに，次の 2 点からも妥当で

² 学生数と研究室数を固定したときの学生表明順位 e に対するゼロ定員 $Q(e)$ は，ゼロ順位一覧表から，次のようにして求めることができる．研究室定員の最小値を q_{\min} とし，研究室定員 q に対するゼロ順位を $E(q)$ とする．このとき，

- 1) $e > E(q_{\min})$ のとき， $Q(e) = q_{\min}$ ．
- 2) $E(q) > e > E(q+1)$ のとき， $Q(e) = q+1$ ．
- 3) 任意の非負の整数 t に対して $e = E(q) = E(q+t)$ のとき， $Q(e) = q$ ．

あると考える。(1) 学生表明順位が 4 と、人間の情報処理能力からみてリーズナブルである。(2) 現実の研究室配属では、研究室定員を先に決めて、そのもとで学生に選好順序を表明させることが多い。この手続きと整合的である。

では、さらに研究室定員を増やした場合、ばらつきはより小さくなるのであろうか。研究室定員を(最小値+2)にすると、ゼロ順位は 1~3 で収まっている。研究室定員を(最小値+2)以上で任意にするには、学生数と研究室数にかかわらず、学生表明順位を 3 にすればよいことになる。しかし、研究室定員を(最小値+3)にした場合は、一部の学生数と研究室の組、たとえば学生数 20・研究室数 45 の組で研究室定員がゼロ値ライン上に含まれていない。よって、無意味である。これらの事から、研究室定員を任意にするための知見は、次のように整理することができる。

【結果 8】 研究室定員を(最小値+1)以上で任意にする場合は、学生数と研究室数にかかわらず、学生表明順位を 4 にすればよい。

【結果 9】 研究室定員を(最小値+2)以上で任意にする場合は、学生数と研究室数にかかわらず、学生表明順位を 3 にすればよい。

これらのどちらが良いのかは、残念ながら本研究の範囲内では判断することはできない。実際の研究室配属における状況から判断するしかないように思われる。

これらの結果を逆に読めば、次のように学生表明順位を任意にする場合の知見となる。

【結果 8'】 学生表明順位を 4 以上で任意にする場合は、学生数と研究室数にかかわらず、研究室定員を(最小値+1)にすればよい。

【結果 9'】 学生表明順位を 3 以上で任意にする場合は、学生数と研究室数にかかわらず、研究室定員を(最小値+2)にすればよい。

4.おわりに

本論文では、本冊子所収の富山・細野論文における理論的な妥当性をもつ研究室配属制度を現実的なものにするために、すべての学生をどこかの研究室に必ず配属することのできる条件をシミュレーションによって求め、その結果から実際の使用に耐えられる研究室配属制度を設計した。

今後の課題 シミュレーション結果を現実の研究室配属に用いるためには、研究室配属支援システムを構築しなければならない。Web 上に研究室配属に関する情報を掲示し、選好順序などのデータを取り込み、与えられたデータに対してマッチングを実行し、その結果を Web 上に掲示する。最も良い配属結果をもたらすためには、学生と研究室に対して真の選好順序を提示させなければならない。そのためには、本研究で提案した研究室配属制度を学生と研究室に十分に理解してもらわなければならない。さらに、学生にとってより満足のできる配属結果を得るために、研究室定員を弾力的に設定する。具体的には、まず配属当初に研究室定員を学生に周知する。その後、学生からの希望人数を見て、可能ならば研究室定員を増やす方向で修正できるようにする。そしてこの新たな研究室定員を使って学生志願型 GS 方式を実行する。

引用文献

- 富山慶典．1992．両側選好順序のもとでの「1-1 型」社会的マッチング支援システムの機能．常磐大学紀要 人間科学，10 巻 1 号，41-53．
- 富山慶典．1996．社会的マッチングのための 1-1 型ゲル・シャプレイ方式のコンピュータ・プログラム．群馬大学社会情報学部研究論集，第 2 巻，1-26．

表3. ゼロ順位一覧表
(ここに EXCEL の表 3 を挿入)