

安定結婚問題を基礎としたインターンシップ配属問題に関する研究

三 沢 英 貴

Hidetaka MISAWA :

A Study on the Internship Assignment Based on the Stable Marriage Problem

鳥取短期大学研究紀要 第68号 抜刷

2013年12月

安定結婚問題を基礎としたインターンシップ配属問題に関する研究

三 沢 英 貴

Hidetaka MISAWA : A Study on the Internship Assignment Based on
the Stable Marriage Problem

安定結婚問題とは、2種類の主体の集合間において、1対1の安定マッチングを考える問題である。安定結婚問題を拡張することにより、インターンシップにおける学生と企業のマッチングを考えることが可能である。しかし、代表的な解法である Gale-Shapley アルゴリズムでは、各主体の満足度のいずれかのみが考慮されるため、現実的な解として扱うことは難しい。本研究では平等型安定マッチング基準を取り入れたインターンシップ配属問題のモデルを提示、さらに遺伝的アルゴリズムを用いた効率的解法を提案する。

キーワード：安定結婚問題 インターンシップ配属問題 平等型安定マッチング 遺伝的アルゴリズム

1. 緒 言

2012年のノーベル経済学賞を安定結婚問題 (Stable Marriage (Matching) Problem) の第一人者である Lloyd S. Shapley とそれをマーケットプレイス確立のために応用した Alvin E. Roth の2名が受賞されたことは、記憶に新しい。安定結婚問題は、1962年に提案された後、経済学、経営工学、情報学など多くの分野に応用されており、現在でも様々な分野で研究されている^{1),2)}。安定結婚問題は、2種類の主体の集合間において、1対1のマッチング(割り当てによるペアを作成すること)を扱う。具体的には、男性5人と女性5人のように各主体の集合要素の数が等しく、互いの選好に基づいた順位リスト(同順位や不完全順位は考えない)の作成が可能な場合、これに当てはまる。

安定結婚問題におけるマッチングには、不安定マッチングと安定マッチングが存在する。不安定マッチングとは、現在のペアを解消して新たなペアを作成した方が、満足度(上述の具体例の場合ならば、より順位の高い相手とペアになるほど満足度は

高い)が高まるペアが存在する状態を意味する。他方、安定マッチングは不安定マッチングではない状態を意味する。安定マッチングを効率的に得るための手法としては、Gale-Shapley アルゴリズムが最も有名であり、必ず安定マッチングを得ることが可能である³⁾。しかしながら、Gale-Shapley アルゴリズムを用いて得られる安定マッチングは、必ず一方の主体にとっては最高のマッチングの1つとなり、他方の主体においては最悪のマッチングとなることが指摘されている。また、安定結婚問題の拡張としては、1対多型や多対多型、さらには同順位や不完全順位を考慮した研究も存在する^{4),5)}。安定結婚問題の拡張を考えた場合、本学情報・経営専攻の選択科目であるビジネス実務実習(インターンシップ)における履修学生と受け入れ先企業とのマッチングは、1対多型の問題(以後、インターンシップ配属問題)として捉えることができる。また、現実世界では、たとえ安定マッチングであっても上述したような満足度の関係性(最適と最悪)が受け入れられることは非常に稀であるため、各主体の合計満足度の差を最小とする評価基準(平等型安定マッチング基準)の導入が必要不可欠である。ただし、平等型

安定マッチング基準を導入した場合，対象問題は高難度の組合せ最適化問題となることが知られている⁶⁾．そこで，本研究では平等型安定マッチング基準を導入したインターンシップ配属問題のモデル例を提示，遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm：以下 GA)⁷⁾を適用した解法を提案する．

2. インターンシップ配属問題

(1) 基本概念

インターンシップ配属問題とは，インターンシップを希望する学生（以下，学生）とインターンシップの受け入れ先企業（以下，企業）の主体間において，優れたマッチングを考える問題である．安定結婚問題に置き換えた場合，各主体間の選好順位から1対多型のマッチングを考える問題となる．学生5名，企業3社の場合における選好順位の例を表1と表2に示す．また，選好順位は，各主体の独自要素（学生の場合は企業の業種や地域，企業の場合は学生の積極性や希望業種など）に基づいて決定される．

(2) モデルの概要

本研究では，鳥取短期大学（以下，本学）情報・経営専攻の選択科目であるビジネス実務実習に基づいたモデル，つまりインターンシップにおけるマッチングモデルを設定する．個々の学生は，希望業種，インターンシップの内容（業務内容の難易度），受け入れ先の地域の各要素について，定められた基準に従って希望順にポイントを設定することで企業に対する満足度を算出する（同順位が存在する場合は，同ポイントを設定する）．4企業3業種の場合において，ある学生の希望順位が，情報通信業，官公庁，サービス業の順であった場合のポイントの設定例を表3に示す．また，企業についても積極性，性別，自社業種の希望順位の3要素について同様の作業を行い，学生に対する満足度を算出する．最終的に得られた満足度に基づいて学生と企業の選好順位を決定する．実際問題として，学生はインターンシップ

表1 選好順位（学生）

学生	学生の希望順位（企業 A～C）		
1	C	A	B
2	B	C	A
3	B	A	C
4	C	B	A
5	C	A	B

表2 選好順位（学生）

企業	受入人数	企業の希望順位（学生 1～5）				
A	2人	1	5	2	3	4
B	1人	4	3	2	1	5
C	2人	3	2	1	4	5

表3 ポイントの設定例

	業種（3種）	ポイント（合計9）
企業 A	情報通信	3
企業 B	官公庁	2
企業 C	サービス	1
企業 D	情報通信	3

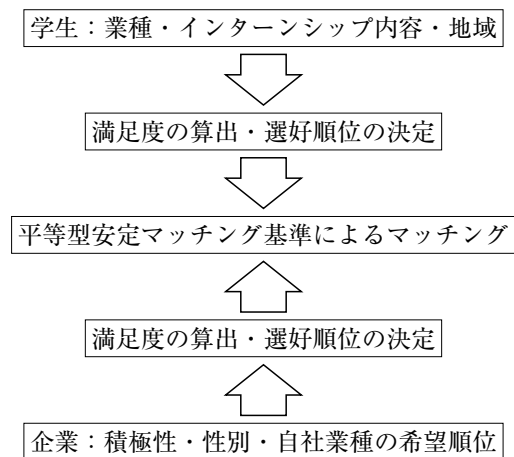


図1 選好順位の決定とマッチング

の内容が容易である順にポイントを設定したり，棚卸などの単純作業の労働力として学生を受け入れる企業が，積極性の低い学生に高ポイントを設定したりする可能性も大いに考えられる．また，得られた選好順位は，同順位となる可能性も考えられるが，

本研究では平等型安定マッチング基準（学生の合計満足度と企業の合計満足度の差を最小とする基準）を導入するため、これを許可する。図1に本モデルにおける選好順位の決定とマッチングまでの流れを示す。

3. 提案手法

(1) 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムとは、生物の進化の過程を模倣した確率的な探索手法である。GAは多点探索に優れ、非常に柔軟な評価基準の設定が可能であることから、様々な組合せ最適化問題へ適用されている⁸⁾⁻¹⁰⁾。表4にGAの基本的な手順を示す。GAでは、これらの一連の処理を世代と呼び、世代を重ねることにより解を改善していく。

(2) 提案手法の具体的手順

本節では、上述したGAを適用したインターンシップ配属問題の解法について述べる。

1) 個体の生成

提案手法では、個体を学生と企業のマッチングパターンとして表現する。学生数6に対して企業数4と企業数5の場合の個体表現例を図2へ示す。企業の並びは左から順にアルファベット順で固定し、同じアルファベットが続く場合は、その企業が複数の学生を受け入れることを示している。他方、学生の

企業数4の場合

企業	A	A	B	B	C	D
学生	2	3	5	1	6	4

企業数5の場合

企業	A	B	C	D	E	E
学生	1	3	4	6	2	5

図2 個体表現例

並びは学生番号で示され、学生番号が重複しないように一様乱数を用いて生成される。図2の企業数4の場合の個体は、企業Aは学生(2, 3)を、企業Bは学生(5, 1)を、企業CとDは学生6と4をそれぞれ受け入れることを意味している。また、企業数5の場合の個体についても同様の考え方から学生と企業のマッチングパターンを示していることが分かる。さらに本個体表現を用いた場合、1対多型の問題を1対1型の問題として捉えることが可能となるメリットも見逃せない。厳密な個体表現としては、企業の並びが固定であるため、学生番号のみで十分である。従って、学生番号の並びが異なれば、企業とのマッチングパターンも変化するため、異なる個体として扱う。上述した個体表現に基づいて、個体をN個生成し、これを初期の個体集団とする。ここで、Nは問題の規模に応じて設定される実験的パラメータである。

2) 適応度評価

適応度とは、個体集団における各個体の良さ（解としての良さ）を示す値である。本研究では、平等型安定マッチング基準を導入して解を評価するため、学生と企業における各満足度の合計値に基づいた適応度を設定する。平等型安定マッチング基準は、その値が小さければ小さいほど優れた評価（負の値は取らない）となるため、適応度の原則（値が大きいほど高評価）に反する。そこで、適応度関数としては、その逆数として扱う。適応度算出のための適応度関数Fを式(1)から式(5)へ示す。

表4 GAの基本的な手順

手順	処理内容
1. 個体の生成	複数の実行可能解（個体）を生成、初期世代の集団とする。
2. 適応度評価	適応度の算出と評価を行う。
3. 選択・交叉	適応度に基づいた選択を行い、次世代の個体を生成する。
4. 突然変異	生成した個体に対して突然変異処理を行う。
5. エリート保存	前世代において最良の適応度を持つ個体を次世代へ残す。

$$F = \frac{1 \times \alpha}{|S_{st} - S_{co}| + 1} \quad (1)$$

$$S_{st} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^K e^{-st_{ij}} u_{ij} \quad (2)$$

$$S_{co} = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N e^{-co_{ji}} q_{ji} \quad (3)$$

$$u_{ij} \in \{0,1\}, q_{ji} \in \{0,1\} \quad (4)$$

$$i = (1,2,\dots, M), j = (1,2,\dots, K) \quad (5)$$

ここで、 S_{st} と S_{co} はそれぞれ学生と企業の満足度の合計を意味し、 $e_{-st_{ij}}$ と $e_{-co_{ji}}$ はそれぞれ学生 i (M : 学生数) の企業 j (K : 企業数) に対する満足度と企業 j の学生 i に対する満足度を意味する。また、 u_{ij} と q_{ji} は、学生 i と企業 j のマッチングを示す $\{0, 1\}$ 決定変数であり、 α は適応度の値の大きさを調節するパラメータ (スケーリング係数) を表す。適応度関数 F の分母については、 0 の値をとる可能性があるため、 1 を加えることでこれを回避している。

3) 選択・交叉

提案手法における選択・交叉手法としては、ルーレット選択と一様交叉を用いる¹¹⁾。一様交叉を用いる場合、本節1) 項に示した個体表現では、交叉後に致死遺伝子 (実行不可能解) が得られる可能性があるが、パス表現と順位表現の考えを利用することでこの問題を解決している。図3は、ある個体のパス表現と順位表現を示している。パス表現とは実行可能性を保持する表現を意味し、順位表現とは個体における構成要素 (学生番号) が左から何番目に存在しているかを示す表現である。従って、適応度評

パス表現

企業	A	A	B	B	C	D
学生	2	3	5	1	6	4

順位表現

企業	A	A	B	B	C	D
学生	2	2	3	1	2	1

図3 パス表現と順位表現

価ではパス表現を、交叉処理では順位表現を利用することで必ず実行可能を得ることが可能である¹²⁾。

4) 突然変異

交叉により生成された個体集団に対して確率 P_m で突然変異を適用する。突然変異は GA において、局所解脱出の可能性を持たせる処理であり、その手法としては転座を適用した。具体的には、個体の構成要素である学生番号の情報をランダムに2点選択し、互いに入れ替える処理である。また、変異確率 P_m は実験のパラメータである。

5) エリート保存

突然変異処理が施された個体集団に対してエリート保存処理を行う。GA は、個体集団を進化させることで解の改善を狙う手法であるが、前世代における最良適応度の値を持つ個体 (エリート) が交叉により破壊されてしまう可能性を持つ。そこで、突然変異後の個体集団が前世代の最良適応度の値未満の個体のみから構成されている場合には、エリートを次世代に受け継がせる。従って、エリート保存処理は解探索の信頼性を保つ処理であると言える。

4. 数値実験

(1) 対象問題およびパラメータの設定

本研究では、本学情報・経営専攻のインターンシップの実情に基づいて問題の規模や学生と企業を特性を設定する。表5に学生の特性と満足度算出要素 (希望業種, インターンシップの内容, 地域) を、表6に企業の特性と満足度算出要素 (積極性, 性別, 自社業種の順位) を示す。さらに、各要素におけるポイントの設定基準を表7へ、GAの実験パラメータを表8へ示す。学生と企業は、表5と表6および表7から各要素のポイントを算出し、マッチングが成立した場合の満足度を決定する。また、本研究では、要素毎のポイント設定について、同順位を認めている。例えば、表5から学生3の希望業種については、第1位がサービス業であり、表6からサービス業の企業は企業DとEである。表7の基準から、学生

表5 学生特性と満足度算出要素

学生	性別	積極性	希望業種	内容 (レベル)	地域の希望
1	女	中	官→サ→製→金→情	希望無し	東→中→西
2	男	低	情→製→官→サ→金	低→高	東→中→西
3	女	中	サ→金→官→製→情	希望無し	東→中→西
4	女	低	製→サ→金→官→情	低→高	東→中→西
5	男	低	製→官→情→サ→金	低→高	中→西→東
6	女	中	金→サ→官→製→情	低→高	中→西→東
7	男	低	製→情→サ→官→金	低→高	中→西→東
8	女	高	サ→金→官→製→情	高→低	中→東→西
9	男	高	情→製→官→サ→金	高→低	中→東→西
10	女	高	サ→金→製→官→情	高→低	中→東→西
11	女	中	情→製→官→サ→金	希望無し	中→西→東
12	女	高	金→サ→官→製→情	高→低	西→中→東
13	男	中	情→官→製→サ→金	低→高	西→中→東
14	女	高	金→サ→官→製→情	高→低	西→中→東

*業種 官：官公庁，サ：サービス，製：製造・販売，金：金融（会計含む），
情：情報通信の略

*地域 東：鳥取県東部，中：鳥取県中部，西：鳥取県西部（松江含む）の略

表6 企業特性と満足度算出要素

企業	受入数	業種	地域	内容	積極性の希望	性別	自社業種の順位
A	2	官公庁	東	高	高→中→低	希望無し	学生側の順位による
B	2	情報通信	東	高	高→中→低	男→女	学生側の順位による
C	1	製造・販売	東	低	低→中→高	希望無し	学生側の順位による
D	2	サービス	中	高	高→中→低	女→男	学生側の順位による
E	2	サービス	中	低	低→中→高	女→男	学生側の順位による
F	1	製造・販売	中	低	低→中→高	男→女	学生側の順位による
G	2	金融(会計含む)	西	低	高→中→低	女→男	学生側の順位による
H	2	金融(会計含む)	西	低	高→中→低	男→女	学生側の順位による

表7 ポイントの設定基準

要素	設定基準
希望業種	希望順に8, 5, 3 (3業種まで, 他はポイント無し)
内容	希望順に8, 3 (希望無し:5)
地域	希望順に8, 5, 3
積極性	希望順に8, 5, 3
性別	希望順に8, 3 (希望無し:5)

3は企業Dと企業Eにマッチングした場合の満足度として、両企業について8ポイントを設定する。同様に第2位の業種（企業Gと企業H）に5ポイント、第3位の業種（企業A）に3ポイントを設定する。第4位以下については、表7にあるようにポイントを設定しない。本研究では、最終的に必ず1つの相手とマッチングする解を得るため、同順位におけるポイントの均等割りについては考慮しない。

表8 GA パラメータ

個体数 N	80
突然変異確率 P_m	0.15
スケーリング係数 α	10
終了世代	500

(2) 実験結果および考察

前節の問題に対して提案手法と Gale-Shapley アルゴリズム（表中では Gale-Shapley 法）を適用した結果、得られたマッチングを表9へ示す。また、両結果を平等型安定マッチング基準で評価した値と適応度（Gale-Shapley アルゴリズムについては式(1)を用いた換算値）を表10へ示す。表9から提案手法と Gale-Shapley アルゴリズムでは、異なるマッチングが得られていることが分かる。その理由としては、提案手法が学生と企業の満足度の差を最小とするマッチングの探索を行うことに対し、Gale-Shapley アルゴリズムでは学生の満足度のみに重点をおいたマッチングの探索を行うためである。表9のマッチング結果において、企業G（網掛け部分）に注目することで、両手法の差がより明確となる。提案手法では、企業Gのマッチング対象は学生11と学生14であり、Gale-Shapley アルゴリズムでは学生5と学生10がマッチング対象となっている。企業Gの満足度の値は、提案手法では37となるが、Gale-Shapley アルゴリズムでは25と大きく離れて

表9 マッチング結果の比較

提案手法		Gale-Shapley 法	
企業	学生	企業	学生
A	1, 8	A	1, 14
B	2, 9	B	9, 11
C	4	C	2
D	3, 10	D	3, 8
E	6, 7	E	6, 7
F	5	F	4
G	11, 14	G	5, 10
H	12, 13	H	12, 13

表10 平等型安定マッチング基準による評価

	評価値	適応度
提案手法	3	2.5
Gale-Shapley 法	17	0.55

いる。このような差異が表10の結果に大きく影響していることは述べるまでもない。従って、提案手法は学生と企業の満足度をバランスさせた解を得る手法として適していると考えられる。また、本研究では対象問題を本学情報・経営専攻の実情に合わせた規模として設定しているため、GAパラメータ（特に個体数と終了世代）についてもそれに合わせた設定としている。確認のため、個体数を100、終了世代を1000として実験を行ったが得られる最良解に変化はなかった。同様の理由から計算時間（Pentium IVの3.0GHzのコンピュータで、約4秒）については言及しない。しかしながら、インターンシップ配属問題は、その規模が大きくなるにしたがって解の精度と計算時間の間にトレードオフの関係が強く生じることを忘れてはならない。

5. 結 言

本研究では、安定結婚問題の拡張として平等型安定マッチング基準を導入したインターンシップ配属問題の基本的なモデルの一例を提示した。さらにインターンシップ配属問題は、平等型安定マッチング基準を導入した場合、高難度の組合せ最適化問題となることから、GAによる解法を提案した。数値実験において、Gale-Shapley アルゴリズムと比較した結果、提案手法は学生と企業の満足度をバランスさせたマッチングを得ることが確認された。本研究における考え方は、インターンシップ配属問題のみではなく、研究室配属問題や施設配置問題（特に企業誘致）などに幅広く応用可能である。本研究では、学生と企業の満足度を決定する要素として、各3種（学生：希望業種、インターンシップ内容、実施地域、企業：積極性、性別、自社業種の順位）を設定、

同様の基準を用いたポイント制のモデルを扱った。しかしながら、個々の学生や企業によっては、重視する要素が異なる場合や要素に優先順序が存在する場合、要素にウエイトが存在する場合などが考えられる。企業目線に立った場合には、あいさつ、素直さ、時間を守るなどの基本的な内容も重要な要素となるであろう。そのような場合、個々の学生や企業に適した選好関数を取り入れた評価基準を考える必要がある。また、提案手法の性能についてはより大規模な問題に対しても実験を行い、解の精度と計算時間の側面から分析を行う必要がある。これら2点を今後の課題として、本稿を締めくくりたい。

参考文献

- 1) 田村明久「安定結婚からサプライチェーンネットワークの安定性へ」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会誌, Vol.58, No. 6, 2013, pp. 325-331.
- 2) 宮崎修一「安定結婚問題」, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No. 3, 2005, pp. 195-199.
- 3) Gale, D. and Shapley, L. S., "College Admissions and Stability of Marriage", *American Mathematical Monthly*, Vol. 69, No. 1, 1962, pp. 9-15.
- 4) 濱田浩気, 宮崎修一「最大サイズ最大安定度マッチング問題に対する近似下限の改良」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 109, No. 235, 2009, pp. 35-40.
- 5) 山内直哉, 宮崎修一, 岩間一雄「安定結婚問題に対する局所探索近似アルゴリズムの改良」, 電子情報通信学会誌技術研究報告, Vol.105, No.72, 2005, pp.45-51.
- 6) 宮崎修一, 岩間一雄「条件を緩和した安定結婚問題の NP 完全性について」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 98, No. 432, 1998, pp. 33-40.
- 7) 北野宏明『遺伝的アルゴリズム 1～4』, 産業図書, 1993-2000.
- 8) 電気学会 応用調査専門委員会編『進化技術ハンドブック (基礎編)』, 近代科学社, 2010, pp. 19-54.
- 9) 電気学会 応用調査専門委員会編『進化技術ハンドブック (応用編)』, 近代科学社, 2011, pp. 241-260.
- 10) Misawa, H., Ishibashi, Y. and Kanezashi, K., "Scheduling for Cardboard Box Production Based on Multi-objective Gas", *Proc. of the 7th ICIM*, 2004, pp. 9-14.
- 11) Sait, S. M., Youssef, H.(著), 白石洋一 (訳)『組合せ最適化アルゴリズムの最新手法]- 基礎から応用まで -, 丸善株式会社, 2002, pp. 118-119.
- 12) Grefenstette, J., "Genetic Algorithms for the traveling Salesman problem", *Proc. of the 1st ICGA and Their Applications*, 1985, pp. 160-168.