

## 階層的重み付けマッチング及びDice 関数によるマッチングアルゴリズム

大槻 明†

日本大学†

## 1. はじめに

現在は、シェアリングエコノミーの時代だと言われており、既存のデータや個人の持つ資源をシェアリングすることで新たな価値を生み出せるようになった。つまり、従来はオフィスに出勤して仕事をするのが一般的であったが、働く場所を問わないリモートワークが行える環境が整ってきた。このような働き方は政府が進める「働き方改革」の中でも推奨されている。場所を問わずに働いている人やモノを効率良くマッチングさせるためには、オンラインマッチングサービスが極めて重要となる。そこで本研究では、仕事内容などの内容に関するマッチング項目については、階層的重み付けマッチングにより順位尺度に変換したうえで、ユークリッド距離により完全マッチングを行うアルゴリズムを考案した。そして、期間や金額など範囲を伴うマッチング項目については、Dice 関数を応用したマッチングのアルゴリズムを考案し、これらを線形結合することにより総合マッチング指標を算出するアルゴリズムを考案した。

## 2. 先行・関連研究

コンピューターサイエンス分野におけるマッチングアルゴリズムに関する先行研究を概観すると、古くは D. Gale ほかに [1] が提案した Deferred Acceptance (DA) アルゴリズム、または Gale-Shapley (GS) アルゴリズムが存在する。GS アルゴリズムも、DA アルゴリズムも、1 対 1、もしくは 1 対  $n$  のマッチングを議論する「1 集団内マッチング問題」と言われており、田中 [2] の論文や宮崎 [3] の解説記事の中でこのアルゴリズムの具体的な説明がなされている。

以降 DA 及び GS の応用的なマッチングモデルが数多く研究されてきた。一例を示すと、富山 [4] は、受験生と大学が選好順序を持つと仮定して、大学入試制度に係るマッチング問題について論じている。鎌田ら [5] は、研修医がどの病院で研修するかという組み合わせに関する研修医マッチング制度について、DA 及び GS の応用的なマッチングモデルを考察することで、経済学の問題として定式化した。

以上に概観した、DA や GS を起源とするマッチングモデルは、相手同士の選好（希望順位）を基準にマッチングを行うモデルである。しかし、上述したシェアリングサービスでは、選考（希望順位）は無く、相手同士が設定した項目間から最適なマッチングを求める二部グラフマッチング問題に属する。

二部グラフのマッチングに関する定理には、

Hall の結婚定理 [6] のような完全マッチングや、Tassa [7] の最大マッチングなどが存在するが、本研究は最大マッチングの中でも「重みつき最大二部マッチング問題」に位置付けられると考えられる。重みつき最大二部マッチング問題とは、相手同士の各ペアについて、そこがペアになったら相手同士がどれだけ嬉しいかを階層的に重み付けして数値化し、そこからペアリングして各ペアの利益の総和が最大になるように最適化する問題である。しかし、重みつき最大二部マッチングは、 $n$  対  $n$  の中で最適なマッチングパターンを調べるものであるが、本研究が取り上げている題材（ケース）は、1 対  $n$  において 1 に最適なマッチング相手を調べるアルゴリズムが必要である。

そこで本研究では、上述のとおり、仕事内容などの内容に関するマッチング項目については、階層的重み付けマッチングにより順位尺度に変換したうえで、ユークリッド距離により完全マッチングを行うアルゴリズムを考案した。そして、期間や金額など範囲を伴うマッチング項目については、Dice 関数を応用したマッチングのアルゴリズムを考案し、これらを線形結合することにより総合マッチング指標を算出するアルゴリズムを考案した。

## 3. 提案手法（アルゴリズム）

## 3.1. 提案手法の概要及びマッチング対象者

本手法では、資金提供者とスキル等提供者をマッチングさせることを想定しており、これらマッチング対象者がそれぞれ 1 つ、もしくは複数の要望をバラバラに登録している状況下で、1 :  $n$  (1 が資金提供者で  $n$  がスキル等提供者) のネットワークを仮定して、資金提供者が希望する内容に最適なマッチングを実現するアルゴリズムを提案する。具体的には、内容の完全マッチで評価する階層（第 1～第 5 階層）とマッチする対象に幅がある場合を想定した階層（第 6～第 7 階層）の 2 通りの階層構造を想定し、それぞれで一致度を判定して、これらの判定結果を線形結合する。

## 3.2. 内容の完全一致度判定アルゴリズム

第 1 階層～第 5 階層では、表 1 に示す順位尺度表を用いて一致度を評価する。表 1 は下位の階層になるほど重みが付くように、質的変数を順位尺度に変換するものである。

表 1. 階層的重み付けマッチングのための順位尺度表

階層	スコア
第 1 階層	1
第 2 階層	2

...	...
第 n 階層	n

そして、変換した重み付きスコアを対象に、ユークリッド距離を用いて完全一致度の判定を行う。資金提供者 X とスキル等提供者 Y のユークリッド距離  $D(X, Y)$  は次式のように求められる。なお、1, 2, ..., n は、マッチング対象項目の階層を表す。

$$D(X, Y) = \sqrt{(X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2} \quad (1)$$

そして、式 2 に示す  $MatchD(X, Y)$  に示すように、当該 X, Y 間のユークリッド距離  $D(X, Y)$  を、全ての X, Y 間のユークリッド距離の最大値  $\max(D(X, Y))$  で割り、それを 1 から引くことで、式 1 で求めたユークリッド距離を反転したうえで 0~1 の実数に変換する。

$$MatchD(X, Y) = 1 - \frac{D(X, Y)}{\max(D(X, Y))} \quad (2)$$

### 3.3. マッチング対象に幅がある場合の一致度判定アルゴリズム

第 6 階層～第 7 階層は、例えば、資金提供者がホームページ作成を 3 か月以内で希望しており、スキル等提供者がホームページ作成を 3~4 ヶ月で作成できると登録していた場合など、マッチング対象に幅がある場合を想定した階層であり、第 1~第 5 階層の重み付き階層とは別として考える階層である。具体的には、マッチング対象に幅がある質的変数を表 2 のように 1 か月単位（金額は 10 万単位）で分割したうえで Dice 関数を用いて一致度判定を行う。これらの単位はあくまで一例であり、実際に本アルゴリズムを使う者が自由に設定できる。

表 2. 質的変数の分割イメージ

スキル等提供者 (HP を 3~4 ヶ月で作成)	共起	資金提供者 (HP 作成を 3 ヶ月以内で希望)
		1 か月
		2 か月
	3 か月	
4 か月		

ここで、Dice 関数[8]のアルゴリズム  $Dice(X, Y)$  は次式のように表される。

$$Dice(X, Y) = \frac{2|X \cap Y|}{|X| + |Y|} \quad (4)$$

なお、スキル等提供者及び資金提供者がそれぞれ複数の項目を登録している場合は、それら全てをマッチング対象項目として一致度を算出する。

### 3.4. 最終的な一致度判定アルゴリズム

ユークリッド距離によって求めた第 1 階層～第 5 階層（内容）の X, Y 間の一致度を A, Dice 関数によって求めた第 6 階層（期間）の X, Y 間

の一致度を B, 同じく Dice 関数によって求めた第 7 階層（金額）の X, Y 間の一致度を C と置くと、最終的な X, Y 間の一致度  $Match(X, Y)$  は次式にて求められる。

$$Match(X, Y) = \frac{(A+B+C)}{\max((A+B+C))} \quad (5)$$

## 4. おわりに

本研究では、シェアリングエコノミー時代に資するマッチングアルゴリズムについて、仕事内容などの内容に関するマッチング項目については、階層的重み付けマッチングにより順位尺度に変換したうえで、ユークリッド距離により完全マッチングを行うアルゴリズムを考案した。そして、期間や金額など範囲を伴うマッチング項目については、Dice 関数を応用したマッチングのアルゴリズムを考案し、これらを線形結合することにより総合マッチング指標を算出するアルゴリズムを考案した。誌面の都合上、本稿では評価実験の結果までを述べることができなかったが、ダミーデータによる評価実験では、有意な結果が得られている。

なお、本研究は、平成 30 年度日本大学経済学部経済科学研究所共同研究の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] D. Gale and L. S. Shapley: College Admissions and the Stability of Marriage, Mathematical Association of America, The American Mathematical Monthly, Vol. 69, No. 1, pp. 9-15, 1962.
- [2] 田中嘉浩: 2 集団マッチングについて: メカニズム・デザイン, 経済学研究, 62(2): pp.41-47, 2013.
- [3] 宮崎修一: 安定マッチング問題, 情報処理 Vol.54, No.10, pp.1064-1701, 2013.
- [4] 富山慶典: 社会的マッチング理論と大学入試制度, 理論と方法 7(2), 2\_61-2\_83, 1992.
- [5] 鎌田雄一郎, 小島武仁, 和光純: マッチング理論とその応用: 研修医の「地域偏在」とその解決策, 医療経済研究 23(1), pp.5-20, 2011.
- [6] cut-the-knot: Marriage Theorem. <http://www.cut-the-knot.org/arithmetic/elegant.shtml>, (参照 2019/5/12).
- [7] Tassa Tamir: Finding all maximally-matchable edges in a bipartite graph, Theoretical Computer Science, 2012, 423: 50-58. Sørensen, T.: A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons, Kongelige Danske Videnskaberne Selskab, 1948, 5 (4): pp.1-34.
- [8] Sørensen, T.: A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons, Kongelige Danske Videnskaberne Selskab, 1948, 5 (4): pp.1-34.