

マッチングを考慮したミーティング形成のモデル化に関する基礎的研究

鳥取大学大学院 学生会員 ○嶋本宏征

鳥取大学工学部 正会員 福山 敬

鳥取大学工学部 正会員 小林潔司

1. はじめに

高度な情報・通信技術、高速交通技術の普及により、人々のコミュニケーション行動の自由度は増大してきている。一方で、複数の個人が知識を効果的に交換・共有したり、新しい知識を集中的に生成するためには、互いにフェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーション（以下ミーティングと呼ぶ）を行うことが不可欠である。

本研究は、現代社会における重要なコミュニケーション行動であるミーティングに着目し、ミーティングを行う個人が「出会いの機会（マッチング）」を得て、「ミーティング形成に関する合意」を行うプロセスを明示的に考慮した、個人のミーティング行動モデルを提案する。

2. 本研究の基本的な考え方

ミーティングが実現するためには、まず互いに相手と知り合わなければならない。一方、相手と知り合ったからといって、そこで必ずしもミーティングが形成されるわけではない。ミーティングは参加者間の交渉過程を通じて形成される。

本研究では、任意の2人がフェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーションに合意し、ミーティングが成立する確率を推定するランダムマッチングモデルを提案する。具体的には、異なるゾーンに居住する個人間のミーティングを考え、個人がミーティングを形成する相手と知り合う機会（マッチング）は、ゾーンペアの中の潜在的なミーティング相手から確率的に決まるとする。さらに、相手とのミーティング形成に関する合意形成について確率モデルにより表現し、ミーティングの生起確率をモデル化する。

3. 状態変数と母集団過程

M 個のゾーンからなる空間システムを考える。ゾーン i には n_i の個人が存在すると考える。この時、空間システムは $\Omega = (n_1, \dots, n_M)$ によって表される。ただし、 $\sum_i n_i = N$ である。ここで、 $2s$ ($0 \leq 2s \leq N$) 人の個人による任意のマッチングペアを考

える。いま、任意の s 組のマッチングペアからなる組み合わせ（マッチングパターン）を

$$(a_1, b_1), \dots, (a_s, b_s), \dots, (a_s, b_s) \quad (1)$$

で表す。ここに、 (a_t, b_t) は t 番目のペアの個人属性を表す。いま、マッチングペア t のミーティングに関する属性を、状態変数ベクトル $s_t = (z_t, i_{a_t}, j_{b_t})$ を用いて記述する。 z_t はマッチングペア t においてミーティングが実現したか否かを表す状態変数であり、ミーティングが行われた時に1、そうでない時に0をとる変数である。また、 i_{a_t} は個人 a_t が居住するゾーンを表す。ここで、マッチングペア t の状態変数空間を $\Delta_t (s_t \in \Delta_t)$ と定義し、 $2s$ 人のマッチングの特性を示す状態空間 Ω_s を各マッチングの状態変数空間 Δ_t の直積空間で定義する。

$$\Omega_s = \prod_{a=1,s} \Delta_a \quad (2)$$

このとき、マッチングペア母集団（状態変数の集合）を $\omega = (s_1, \dots, s_n)$ と定義する。ここで、 n は確率変数であり、母集団の集合（母集団過程）を

$$\Omega = \bigcup_{n \in Z_+} \Omega_n = \bigcup_{n \in Z_+} \prod_{a=1,n} \Delta_a \quad (3)$$

と表す。 Z_+ は非負整数集合である。 n が既知の時 Ω_n はマッチング数 n の状態空間となる。しかし、母集団が観測不可能であるため、ここでは潜在的に可能な母集団 Ω_n の集合 Ω を考え、 Ω 上で、確率関数 $\pi: \Omega \rightarrow [0, 1]$ を定義する。関数 $\pi(\omega)$ は母集団集合 Ω の中からある母集団 ω が実現する確率を示す。

4. ミーティング生起の確率分布

ミーティングが生起するためには、それに参画する（マッチングされた）2人の間にミーティング形成に関して合意が得られることが前提となる。いま、ある時点で生起するマッチングペアの集合（マッチングパターン）を ω とする。このとき、この生起したマッチングパターンからミーティングパターンが発生すると考えると、マッチングパターンはミーティングに対する母集団であると考えられる。

集合 ω は潜在的に可能なすべてのマッチングパターンの集合の一部である。したがって ω は、ある母集団過程に従って分布し、ある時点においてその中からあるマッチングパターンが確率的に選ばれと考える。集合 ω に属する任意のマッチングペアの間でミーティングが行われるか否かは次式で示されるような確率で表現されと考える。

$$p_{ij} = \hat{p}_i^i \hat{p}_j^j \quad (4)$$

ここで、 p_{ij} はゾーン*i, j*間のミーティングが成立する確率、 $\hat{p}_k^k$ はゾーン*k*の個人がゾーン*l*の個人と会ってもいいと考える確率である。

ここで、マッチングパターンはミーティングを行うか否かを交渉するペアの集合を表しており、すべてのマッチングパターンに対してミーティングが形成されるわけではない。つまり、潜在的に実現可能なミーティングパターンを表現していることになる。ここで、2つの確率変数を導入する。1つは、潜在的に可能なミーティング数であるマッチング数 x_{ij} であり、もう1つは顕在化したミーティング数 m_{ij} である。まず、ある母集団 $\omega \in \Omega$ に対してゾーン*i*及び*j*の個人によるマッチングペアの総数（潜在的に可能なミーティング数）を $x_{ij}(\omega)$ ($i, j = 1, \dots, M$)で表す。すなわち、

$$x_{ij}(\omega) = |\{t : i_{a_t} = \bar{i}, j_{b_t} = \bar{j}, (z_t, i_{a_t}, j_{b_t}) \in \omega\}| \quad (5)$$

ここで、記号 $|\cdot|$ は集合の要素数を表す。次に、母集団 $\omega \in \Omega$ に対してゾーン(*i, j*)の個人によるミーティングが形成された回数を $m_{ij}(\omega)$ ($i, j = 1, \dots, M$)で表そう。

$$m_{ij}(\omega) = |\{t : z_t = 1, i_{a_t} = \bar{i}, j_{b_t} = \bar{j}, (z_t, i_{a_t}, j_{b_t}) \in \omega\}| \quad (6)$$

マッチング数ベクトル $\mathbf{x}(\omega)$ 、頻度ベクトル $\mathbf{m}(\omega)$ をそれぞれ

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(\omega) &= \{x_{11}(\omega), \dots, x_{ij}(\omega), \dots, x_{MM}(\omega)\} \\ \mathbf{m}(\omega) &= \{m_{11}(\omega), \dots, m_{ij}(\omega), \dots, m_{MM}(\omega)\} \end{aligned} \quad (7)$$

と定義する。

母集団過程が一定の条件を満足する場合、ある母集団であるマッチングパターンの中からゾーン(*i, j*)の間で m_{ij} 回のミーティングが生起する確率 $p(\bar{m}_{ij})$ は2項分布を用いて以下のように表現できる。

$$\begin{aligned} p(\bar{m}_{ij}) &= B(x_{ij}, m_{ij}; p_{ij}) \\ &= x_{ij} C_{m_{ij}} p_{ij}^{m_{ij}} (1 - p_{ij})^{x_{ij} - m_{ij}} \end{aligned} \quad (8)$$

したがって、ある潜在的マッチングペア $\mathbf{x}(\omega)$ に対して生起頻度ベクトル $\mathbf{m}(\omega)$ が生起する確率は以下の

確率分布で与えられることになる。

$$\begin{aligned} P(\mathbf{m}(\omega) | \mathbf{x}(\omega)) &= \prod_{ij} p(\bar{m}_{ij}) \\ &= \prod_{ij} B(x_{ij}, m_{ij}; p_{ij}) \end{aligned} \quad (9)$$

5. ミーティング母集団過程の定式化

以上では、あるマッチングペア母集団 ω が与えられた時のミーティング生起頻度の確率分布を求めた。ここでは母集団の生起状態を支配している母集団過程をモデル化し、ミーティング生起頻度の無条件確率関数を導出する。すなわち、母集団が生起する確率密度関数を $P(\mathbf{x})$ とすれば、無条件確率関数は $P(\mathbf{m}) = \sum_{\mathbf{x}} P(\mathbf{m}(\omega) | \mathbf{x}) P(\mathbf{x})$ と表現することができる。

ここで、空間システムの任意のマッチングペアに関するミクロ状態を考える。各ゾーンペアに含まれる可能な個人ペアの数を H_{ij} で表す。ゾーン*i*に n_i 人とゾーン*j*に n_j 人いると考えれば、可能な1対1のマッチングペアの総数は、 $H_{ij} = n_i n_j$ により表される。ここで、各時点において各ゾーンペアの中から合計 n 個のマッチングペアが生起する場合を考える。いま、各ゾーンペアにおいてペア(*i, j*)がマッチングされる確率を s_{ij} と表す。この時、ゾーンペア(*i, j*)において x_{ij} 個のペアがマッチングされる確率は同じく2項分布

$$\begin{aligned} P(x_{ij}) &= B(H_{ij}, x_{ij}; s_{ij}) \\ &= H_{ij} C_{x_{ij}} s_{ij}^{x_{ij}} (1 - s_{ij})^{H_{ij} - x_{ij}} \end{aligned} \quad (10)$$

と表すことができる。したがって、潜在的ミーティングペアの生起確率は

$$P(\mathbf{x}) = \prod_{ij} B(H_{ij}, x_{ij}; s_{ij}) \quad (11)$$

と表すことができる。ここで、 $B(H_{ij}, m_{ij}; s_{ij} p_{ij}) = B(H_{ij}, x_{ij}; s_{ij}) B(x_{ij}, m_{ij}; p_{ij})$ になることに留意すれば、ミーティングの生起確率は

$$P(\mathbf{m}) = \prod_{ij} B(H_{ij}, m_{ij}; s_{ij} p_{ij}) \quad (12)$$

と表すことができる。以上により、ミーティング生起頻度の無条件確率を導出することができた。

6. おわりに

本研究では、ミーティング母集団を母集団過程として捉え、その中におけるマッチング確率を考慮した、ミーティング生起の確率モデルを提案した。

しかし、本モデルではマッチング確率を外生変数として与えており、今後はこのマッチング確率の発生メカニズムを考慮したモデルを定式化する必要がある。