土木学会第51回年次学術講演会（平成8年9月）

Ⅳ-440　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
京都大学大学院　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・ツゥ・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。

本研究では、知識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、ランダムマッチングモデルを用いてミーティング形成の分析を試みる。その際、人的ネットワークにおける「出会いの機会（マッチング）」の多寡、「ミーティング形成に対する合意形成」を明示的に考慮した、ミーティング行動モデルを提案する。

2. 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 $\Omega = (n_1, \cdots, n_M)$ によって表される。ただし、$\sum_i n_i = N$ である。ここで、$2s(0 \le 2s \le N)$ 人の個人による任意のマッチングペアを考える。いま、s 組のマッチングペアからなる任意の組合わせ（マッチングパターン）を

$$(a_1, b_1), \cdots, (a_t, b_t), \cdots, (a_s, b_s) \qquad (1)$$

で表す。ここに、(a_t, b_t) は t 番目のペアの個人属性である。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。

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

このとき、マッチングペア母集団（状態変数の集合）を $\omega = (s_1, \cdots, s_n)$ 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

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

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 $\pi : \Omega \to [0,1]$ 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。

3. 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ると考える。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ると考える。

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

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、$\hat{p}_k^l$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。

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、あるマッチング母集団 $\omega \in \Omega$ 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 $x_{ij}(\omega)$ $(i, j = 1, \cdots, M)$ で表す。

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

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 $m_{ij}(\omega)$ $(i,j=1,\cdots,M)$ で表す。

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

マッチング数ベクトル $\boldsymbol{x}(\omega)$、頻度ベクトル $\boldsymbol{m}(\omega)$ を

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

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 $p(m_{ij})$ は２項分布を用いて以下のように表現できる。

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

したがって、ある潜在的マッチングペア $\boldsymbol{x}(\omega)$ に対して生起頻度ベクトル $\boldsymbol{m}(\omega)$ 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。

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

4. 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 $P(\boldsymbol{x})$ とすれば、無条件確率関数は $P(\boldsymbol{m}) = \sum_{\boldsymbol{x}} P(\boldsymbol{m}(\omega)|\boldsymbol{x})P(\boldsymbol{x})$ 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 人いると考えれば、ゾーン i,j 間の可能な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。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} で表す。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

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

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

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

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、

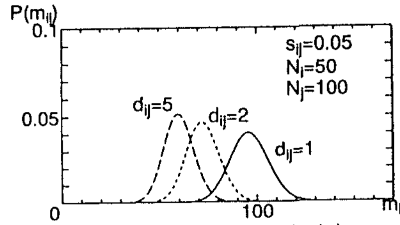

図1 ミーティング生起確率

ミーティングの生起確率は

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

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。

5. 数値計算事例

ゾーン i,j にそれぞれ居住する２人の個人のミーティング形成に関する合意形成を、簡単な確率モデルにより表現する。ゾーン i の個人の、あるミーティングに対する効用を $U_i = V_i + \varepsilon_i$ と定義する。ゾーン i の個人がゾーン j の個人とのミーティング参加に合意する確率 $\tilde{p}_i^j$ はミーティングに参加して得られる効用と彼の保留効用の大小比較で $\tilde{p}_i^j = Prob\{V_i + \varepsilon_i \geq \bar{V}_i + \bar{\varepsilon}_i\}$ と表現できる。ここで、確率誤差項 $\varepsilon_i, \bar{\varepsilon}_i$ が独立かつ同一のガンベル分布に従うと仮定すると、(4) 式よりゾーン i,j の個人がミーティング形成に合意する確率は、ロジットモデルで以下のように表現できる。

$$p_{ij} = \frac{exp(V_i)}{exp(V_i)+exp(\bar{V}_i)} \frac{exp(V_j)}{exp(V_j)+exp(\bar{V}_j)} \quad (13)$$

次に、個人のミーティングに対する確定的効用項 V_i をゾーン間のアクセシビリティ d_{ij} によって決まると考え、$V_i = \alpha_i exp(-\beta d_{ij})$ と定義する。これを (12) 式に代入し、ゾーン i,j 間の距離 d_{ij} がミーティング形成に及ぼす影響について、各種パラメータを設定し数値計算を実施する。

この結果の一例を図１に示す。ここでは、マッチング確率 s_{ij} を一定のもとで、ミーティング形成回数 m_{ij} と生起確率 $P(m_{ij})$ の関係について、異なるゾーン間距離 d_{ij} による違いを示している。ゾーン間の距離 d_{ij} が大きいほど、ミーティング生起頻度のモードが大きく、また分散が小さい。従って、ゾーン間の距離が近いほどミーティングの形成頻度は増大し、発生しうるミーティング回数もより多様となることが明らかになった。

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、簡単な数値計算を試みた。これにより、ミーティングの発生に関するひとつの有効なモデルを提案できたと考える。