

履歴を考慮したコミュニケーション過程に関する一考察*

COMMUNICATION PROCESS WITH BOUNDED MEMORY*

松島格也**・王志遠***・小林潔司****

by Kakuya MATSUSHIMA**, Zhiyuan WANG*** and Kiyoshi KOBAYASHI****

1. はじめに

現代都市には膨大な量のアイデアや知識が集積している。人間の間でのアイデア交換の容易さが、大都市の集積の効果という外部経済を形成している。フェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーションは、人間がアイデアや知識を交換するための重要な手段である。この種のコミュニケーション行動においては、意思決定プロセスに相手の意思が関与するという特徴がある。すなわち、ミーティングを行う当事者達が、互いにミーティングを行うことに合意することがコミュニケーションが成立するための前提となる。

ランダム効用モデルを用いた交通行動モデルの発展により、交通行動の表現方法の自由度は著しく増加した。これらの研究は、交通現象を個々人による独立な行動に還元し、それを集計化することにより理解しようという方法論に基づいている。しかし、多くの交通行動において、交通主体は他人の意思と無関係にその行動のすべてを決定できるものではない。特に、フェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーション行動をモデル化するためには、従来無視されてきた個人間の意思決定における相互作用を明示的に考慮する必要がある²⁾。

個人間の意思決定問題に相互作用がある場合、集計化操作を個人の選択行動の簡単な加算和では表現できない。多くの人間が、互いにミーティングに対するニーズが一致する相手を見出し、ミーティングに対する合意を形成し、ミーティングを繰り返す。このようなミーティングの繰り返しにより得られる効用水準も、ミーティング相手の意思決定の結果に依存して決定される。ミーティングが形成されるか否

かは偶然的な要素にも左右されよう。フェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーションのメカニズムを理解するためには、ミーティングがランダムに繰り返される過程とそこにおける確率的均衡をモデル化することが重要な課題となる。

筆者等はすでに双方合意の必要性を考慮したコミュニケーション過程のモデル化に成功している¹⁾が、そこでは、ランダムにマッチング相手を探索することが仮定されている。個人間に選好や探索技術の差異が存在すれば、特定の人間に必要以上のミーティングの申し込みが殺到するという information pollution が生じたり、ミーティング相手の探索過程における非効率性の問題が生じる。特に、個人間で選好に異質性が存在する場合、選好を共有する個人同士がクラブを形成し、限られたメンバーでミーティングを繰り返す。多くの人的ネットワークや組織は、異なる選好や技術を有する個人がミーティングを繰り返す中で、自発的に形成されたものである。ミーティング過程の歴史的依存性は、前述したようなクラブや組織の形成過程を記述することにより部分的ではあるが表現することは可能である。しかし、個人が学習過程を通じて人的なネットワークを拡大していく過程をランダム・マッチング技術により表現するためには、ランダムマッチングとは異なる概念を用いた分析枠組みを開発する必要がある。異質な個人の相互作用により生じる人的ネットワークの自己組織化過程は複雑な非線形性を有している。自己組織化の過程の中で、ある特定の個人やグループがネットワーク中心となりスター的な役割を果たすこともある。複雑な非線形性を有するミーティング過程は複数の定常均衡解を有しており、交通施設の整備は人的ネットワーク構造を基本的に変化させる可能性がある。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) ミーティング形成の特徴とその分類

*キーワード：計画基礎論，発生交通，活動分析

**正員 博(工) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 TEL:075-383-3223, E-mail:kakuya@psa.mbox.media.kyoto-u.ac.jp)

***学生員 工修 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

****フェロー 工博 京都大学経営管理大学院

ミーティングを行うためにはまず少なくとも2人の個人がミーティングを行う意思を持って出会う必要がある。さらに、当該の個人がミーティングを形成することに合意しなければならない。つまり、複数の個人がミーティング形成に合意するまでの過程（以下、ミーティング過程と呼ぶ）は、1）ミーティングを行う対象となりうる相手と出会う過程、2）出会った後双方がミーティングを行うことに合意する過程で形成される。本研究では、前者の過程を「マッチング過程」、後者を「合意形成過程」と呼ぶこととする。ミーティングは、ミーティングが「自発的になされるか」、「強制的になされるか」により「自発的ミーティング」、「強制的ミーティング」に分類できる²⁾。前者は、友人関係等の私的交際、あるいは多くのビジネス会合のように該当する個人の自由意思によって形成されるミーティングである。自発的ミーティングは、異なる個人がミーティングの潜在的な相手と「どのようにして知り合うのか」、「どのように交渉をはじめのか」を規定する技術（マッチング技術）によって分類できる。一方、後者はミーティングの当事者の一方、あるいは第三者が強制力を行使することにより実現することが義務づけられるようなミーティングである。強制的ミーティングでは、権力を有する個人や組織がマッチング開催の詳細を決定する。以下、本研究では個人の自由意思により形成される「自発的ミーティング」に焦点をあてることとする。

(2) 自発的ミーティングとマッチング技術

自発的ミーティングでは、ミーティング相手を探索するためのマッチング技術が重要な役割を果たす。マッチング技術は、異なる個人が時間軸上で出会い合意を形成していく過程を支えており、1）情報チャンネル、2）探索戦略、3）統合ルールにより記述される。情報チャンネルとはミーティング相手の存在を見い出すために個人が利用する情報源を意味し、1）個人情報、2）組織情報、3）市場情報に大別できる。1）は、ミーティング相手を組織化されない情報に基づいて探索する方法を意味しており、最も単純な情報チャンネルである。個人は学会等の組織に参加することにより探索情報費用を大幅に節約できる。さらに、情報チャンネルの技術革新により、市場でミーティング相手に関する情報を購入することも可能となろう。個人がいずれの情報チャンネルを利用するかは、情報費用や必要とする知識・情報の内容に依存する。

探索理論に基づけば、個人がミーティング相手を探索する際に利用する代表的な（停止）戦略として1）近視眼的方法、2）代替案を作成する方法、3）選択肢集合を用いる方法が考えられる。近視眼的方法とは、最も簡単な探索戦略であり、ミーティング相手を逐次探索し自分の保留効用を上回った最初の相手とミーティングの交渉を行う戦略である。2）は、いくつかの代替的な相手を探索しその中から適切な相手を選択するという方法である。3）は常時、交際を行う相手の集合を確保しておき、その中から適切な相手を選択するという戦略である。通常、ミーティング相手の探索情報費用を節約するため、個人は基本的には探索戦略3）を採用しながら、他の探索戦略を併用し相手集合を適宜修正しているのが実態であろう。

ミーティング過程は時間軸上で繰り返される動的現象であり、生起時刻を調整する統合ルールが必要となる。統合方式は、1）外生方式、2）逐次決定方式、3）ダイヤリー方式に大別できよう。1）では、外生的にミーティングが計画され、個人は参加するか否かのみを決定する。2）3）は、基本的に個人がミーティング過程を管理する方式である。2）では、相手の探索とミーティングの実施が相互に繰り返される。3）では、あたかも個人が手帳の中にミーティング予定を埋めるようにミーティング過程が調整されていく。ミーティングは、情報チャンネル、探索戦略、統合ルールの組み合わせにより分類できるが、1つのモデルによりすべてのタイプのミーティングを表現できるわけでない。本研究ではミーティングのプロトタイプとして、最も単純な「個人情報・近視眼的戦略・逐次決定」方式による同質な個人集団における2人ミーティング過程をとりあげる。この方式によれば、ミーティング相手の探索は每期独立に行われ、ミーティング過程は歴史に依存しない。

(3) ミーティングと外部不経済

前述したように、ミーティングが成立するためにはミーティング相手の合意を得ることが前提となる。ある個人がミーティングに合意しない場合、ミーティング相手がミーティングに賛同していてもミーティングは実現しない。その結果、個人の行動が他人の行動に影響を直接及ぼすことになる。このような個人間の意思決定の相互性に起因して、同質な個人により繰り返されるミーティング過程には、1）混雑現象、2）市場薄現象 (thin market phenomena)⁵⁾ という外部不経済が存在する。1）は、都市内の個

人のミーティング頻度が高くなると結果的に混雑が生じ、ミーティング相手を探索するための情報費用が高くなるという外部不経済である。一方、2)は、ミーティング相手を選別することにより生じる外部性である。個人がミーティング過程においてより大きな効用を得るためには、より大きな効用をもたらす相手を選択する必要が生じる。しかし、より魅力的なミーティングを実現しようとするれば、ミーティング相手を発見することは困難となり、ミーティング相手の合意を得ることも難しくなる。これはミーティング市場においてミーティングを取引する相手が少なくなる外部不経済であり、取引費用の経済学分野で市場薄の外部不経済性⁵⁾といわれているものに他ならない。市場薄の外部不経済性はミーティング均衡の成立に対して極めて重要な役割を果たす。以上の外部不経済性は多くのミーティング過程に付随する本質的な外部不経済性である。

3. ミーティング過程のモデル化

(1) モデル化の前提

同質な個人が2人ミーティングを繰り返すミーティング過程をとりあげる。過去に行ったミーティングに関する個人の記憶は限定的である。每期各個人はこれまで行ってミーティング相手の集合からミーティング相手を見つける場合と、これまでのミーティング相手の集合にはいないミーティング相手を探す場合の期待効用を比較し、前者が大きい場合にはこれまでのミーティング相手の集合から、後者が大きい場合には新たに、ミーティング相手を見つける。いま、ある都市内に $2m+1$ 人の個人が生活し、互いにミーティングの相手を個人的な情報に基づいて探索していると考えよう。ここでは、記述の簡略化のため、個人数を奇数 $2m+1$ に設定するが、個人数が十分多くなればこの仮定は問題にはならない。各個人は「ミーティングの相手が見つかったり」、あるいは「他人からミーティングに対する申し込みがあった」場合、当該の相手とミーティングを行うかどうかを判断する。双方の当事者が、ミーティング形成に合意した場合は、そこで探索行動は打ち切れ、直ちにミーティングが形成される。ミーティング形成に関する合意が成立しなかった場合、両者ともミーティング相手の探索を再び開始する。ミーティングが形成された場合、ある時間が経過すればミーティングが終了し、2人の個人は互いに離ればなれになり、再びミーティングの相手を捜し始める。ミーティング

の最中は、探索行動は一時中止される。また、ミーティングの申し込みがあっても申し出を断ることとする。過去にミーティングを行った相手の履歴は各個人のミーティング集合として記憶される。探索過程において各個人は二つの戦略をとることが出来る。一つは、過去にミーティングを形成したことのある相手から構成されるミーティング集合からミーティング相手を探す戦略であり、もう一つは自らのミーティング集合に含まれていない相手からミーティング相手を探索する戦略である。

(2) ミーティング過程のモデル化

ある時刻 t において $2n+1$ ($0 < 2n+1 \leq 2m+1$) 人がミーティングを行っておらず、 $2(m-n)$ 人がミーティングを行っていると考えよう。各個人には $2n$ 人の(自分以外の)潜在的な交渉相手が存在している。ミーティングの形成・終了する事象が稀少であり、ある微小時間 Δt の間に2組以上のミーティングが形成される(あるいは2組以上のミーティングが終了する、あるいはその両方が生起する)確率を無視できるものとする。すなわち、ある時刻 t から微小時間 $t+\Delta t$ の間におこりうる状態の変化としては、1) 1組のミーティングが成立する、2) 1組のミーティングが解消される、3) そのどちらもおこらない、のいずれかである。時刻 t において、ミーティングを行っていない各個人が $2n$ 人の潜在的なミーティングの交渉相手を有しているとき、ある微小時間 Δt においてミーティングが形成される割合を $a(n)$ 、1組のミーティングが終了する割合を $b(n)$ で表そう。これらの割合は、いずれも潜在的なミーティングの交渉相手の数 $2n$ に依存している。 $a(n), b(n)$ の具体的な形式は次節で特定化する。時刻 $t+\Delta t$ において、ミーティングを行っていない個人が $2n$ 人のミーティング相手を有している確率 $P_{t+\Delta t}(n)$ ($n = 0, 1, \dots, m$) は、出生死滅過程

$$P_{t+\Delta t}(0) = a(1)\Delta t P_t(1) + (1 - b(0)\Delta t)P_t(0) + o(\Delta t)!, \quad (1a)$$

$$P_{t+\Delta t}(n) = a(n+1)\Delta t P_t(n+1) + b(n-1)\Delta t \cdot P_t(n-1) + [1 - a(n)\Delta t - b(n)\Delta t]P_t(n) + o(\Delta t)!, \quad (n = 1, 2, \dots, m-1) \quad (1b)$$

$$P_{t+\Delta t}(m) = b(m-1)\Delta t P_t(m-1) + [1 - a(m)\Delta t] \cdot P_t(m) + o(\Delta t)!, \quad (1c)$$

$$\sum_{n=0}^m P_t(n) = 1 \quad (1d)$$

により記述される。ここに、 $o(\Delta t)!$ は高次の微小項

である．式(1a)-(1c)の両辺を Δt で割り， $\Delta t \rightarrow 0$ の極限で $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} o(\Delta t)!/\Delta t = 0$ が成立すれば次式を得る．

$$\dot{P}(0) = a(1)P(1) - b(0)P(0), \quad (2a)$$

$$\dot{P}(n) = a(n+1)P(n+1) + b(n-1)P(n-1) - [a(n) + b(n)]P(n), \quad (n = 1, 2, \dots, m-1) \quad (2b)$$

$$\dot{P}(m) = b(m-1)P(m-1) - a(m)P(m) \quad (2c)$$

$$\sum_{n=0}^m P(n) = 1, \quad (2d)$$

ただし， $\dot{P}(n) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \{P_{t+\Delta t}(n) - P_t(n)\}/\Delta t$ である． $a(n) \geq 0, b(n) \geq 0$ が成立するとき， $t \rightarrow \infty$ の極限でシステム(2a)-(2c)は定常状態に収束する．定常状態では， $\dot{P}(n) = 0$ ($n = 0, \dots, m$)であり，

$$b(0)P(0) = a(1)P(1), \quad (3a)$$

$$a(n+1)P(n+1) + b(n-1)P(n-1) = [a(n) + b(n)]P(n) \quad (n = 1, 2, \dots, m-1) \quad (3b)$$

$$b(m-1)P(m-1) = a(m)P(m) \quad (3c)$$

を得る．式(3a),(3b),(3c)より帰納的に次式が成り立つ．

$$a(n+1)P(n+1) = b(n)P(n) \quad (n = 1, \dots, m-1) \quad (4)$$

漸化式(4)を境界条件(3a)(3c)及び条件(2d)の下で解くことにより，定常確率は次式で表される．

$$P(0) = \frac{\prod_{i=1}^m a(i)}{\prod_{i=1}^m a(i) + \sum_{k=2}^m \left\{ \prod_{i=k}^m a(i) \prod_{j=0}^{k-2} b(j) \right\} + \prod_{j=0}^{m-1} b(j)} \quad (5a)$$

$$P(n) = \prod_{l=1}^n \frac{b(l-1)}{a(l)} P(0) \quad (n = 1, \dots, m-1) \quad (5b)$$

$$P(m) = \frac{\prod_{j=0}^{m-1} b(j)}{\prod_{i=1}^m a(i) + \sum_{k=2}^m \left\{ \prod_{i=k}^m a(i) \prod_{j=0}^{k-2} b(j) \right\} + \prod_{j=0}^{m-1} b(j)} \quad (5c)$$

(3) ミーティングの生成・死滅割合

時刻 t において， $2n+1$ 人がミーティング相手を探していると考え．彼らは，自分以外の $2n$ 人の潜在的な交渉相手とミーティングを行う可能性を持っている．しかし，当該の個人は誰がミーティングを行っていないかという情報を事前には持ちえず，結局，自分以外の $2m$ 人全員を対象としてミーティング相手の探索を行わなければならない．ミーティングの交渉相手と出会う機会として，1)本人の探索に

より相手を発見する場合と2)相手からミーティングの申し込みがある場合がある．さらに，ミーティング相手を探るにあたっては，1)これまでにミーティングを行った相手を要素とするミーティング集合 $A_i(t)$ から探索する戦略1と2)これまでにミーティングを行ったことのない相手の集合 $\bar{A}_i(t)$ から新たに探索する戦略0の二つの戦略がある．個人 i の戦略集合を B_i とすると， $(0, 1) \in B_i$ ($\forall i \in N$)となる．個人 i による探索努力を個人 i が単位時間当たり相手を発見する確率測度 α_i (以下，探索強度と呼ぶ)を用いて表現しよう．個人 i がいずれの戦略を採用した場合でも，本人の努力によりミーティングの交渉相手を発見する確率は，当該時刻において探索するそれぞれの集合内におけるミーティングを行っていない相手が集合内の要素の数に占める割合に依存すると考えよう．時刻 t における集合 $A_i(t)$ 中の全要素の数およびミーティング相手を探している要素の数をそれぞれ， m_{A_i}, n_{A_i} とする．同様に集合 $\bar{A}_i(t)$ 中の全要素及びミーティング相手を探している要素の数をそれぞれ， $m_{\bar{A}_i}, n_{\bar{A}_i}$ とする．ここに

$$m_{A_i} + m_{\bar{A}_i} = 2m \quad (6a)$$

$$n_{A_i} + n_{\bar{A}_i} = 2n \quad (6b)$$

が成立する．微小時間 $[t, t+\Delta t]$ にミーティング相手を発見する確率 $s_i \Delta t$ は

$$s_i \Delta t = \begin{cases} \alpha_i \frac{n_{A_i}}{m_{A_i}} \Delta t & B_i = 1 \text{ の時} \\ \alpha_i \frac{n_{\bar{A}_i}}{m_{\bar{A}_i}} \Delta t & B_i = 0 \text{ の時} \end{cases} \quad (7)$$

と表せる． s_i は単位時間当たりミーティングの交渉相手を発見する確率測度である．すべての個人が対称的であり，探索強度がすべて同一であると仮定しよう．個人 i 以外の代表的個人(他人)の探索強度を α^i と表す．個人 i は変数 α_i を制御できるが，他人の探索強度 α^i を制御することはできないため，変数 α_i と α^i を区別する．このとき，自分を除く $2n$ 人が探索強度 α^i でミーティング相手を探しているときに，そのなかの1人が微小時間 $[t, \Delta t]$ において自分自身を発見してくれる確率は $(\alpha^i/m-1)\Delta t$ である．したがって， $2n$ 人のうち，誰か1人からミーティングの申し込みを受ける確率 $s^i \Delta t$ は

$$s^i \Delta t = \alpha^i \frac{n-1}{m-1} \Delta t \quad (8)$$

と表せる．ここに， s^i は単位時間当たりミーティングの交渉相手として発見される確率測度である．し

たがって、個人 i がマッチング相手と $[t, t + \Delta t]$ において出会う確率 $h_i(n)\Delta t$ は次式で表される。

$$h_i(n)\Delta t = \begin{cases} \left(\alpha_i \frac{n_{A_i}}{m_{A_i}} + \alpha^i \frac{n}{m} \right) \Delta t & B_i = 1 \text{ の時} \\ \left(\alpha_i \frac{n_{\bar{A}_i}}{m_{\bar{A}_i}} + \alpha^i \frac{n}{m} \right) \Delta t & B_i = 0 \text{ の時} \end{cases} \quad (9)$$

形成されたマッチングペアにおいて当事者同士がミーティングに同意し、ミーティングが形成される確率を π_i としよう。ミーティングが形成されるか否かという合意は瞬時に形成されると仮定すれば、微小時間 $[t, t + \Delta t]$ においてミーティングが形成される確率 $\xi_i(n)\Delta t$ は

$$\xi_i(n)\Delta t = \begin{cases} \pi_i \left(\alpha_i \frac{n_{A_i}}{m_{A_i}} + \alpha^i \frac{n}{m} \right) \Delta t & B_i = 1 \text{ の時} \\ \pi_i \left(\alpha_i \frac{n_{\bar{A}_i}}{m_{\bar{A}_i}} + \alpha^i \frac{n}{m} \right) \Delta t & B_i = 0 \text{ の時} \end{cases} \quad (10)$$

で表される。マッチング過程において、双方がミーティングを行うことに合意すればその時点で探索行動は中止され、直ちにミーティングが形成される。一方、ミーティングに対する合意が成立しなかった場合には再び探索行動を始める。ここで、個人が対称的であり定常状態において、 $\xi_i(n) = \xi(n)$, $\pi_i = \pi$, $\alpha_i = \alpha$, $\alpha^i = \hat{\alpha}$ が成立すると仮定しよう。時刻 t にミーティングを行っていない $2n + 1$ 人が互いに独立にミーティング相手を探索するとき、都市システム全体の中で Δt にミーティングが新しく形成される確率は次式のようになる。

$$a(n)\Delta t = \frac{\xi(n)(2n + 1)\Delta t}{2} \quad (11)$$

一方、ミーティングの継続時間が平均継続期間長 β^{-1} の指数分布に従うと仮定する。 t 期に $m - n$ 個のミーティングが行われ、単位時間 Δt 中にミーティングが終了する確率 $b(n)\Delta t$ は、次式のように表せる。

$$b(n)\Delta t = \beta(m - n)\Delta t \quad (12)$$

4. 個人のミーティング行動のモデル化

(1) ミーティング合意形成行動

いま、時刻 t において個人 i が個人 j とミーティングを開始すると考えよう。時刻 t の現在価値で評価した期間長 T のミーティングの効用をランダム効用モデル

$$\begin{aligned} U_i^j(t; T, \varepsilon_i^j) &= \int_t^T (\bar{v}_i^j + \varepsilon_i^j) \exp\{-r(\tau - t)\} d\tau - c_i^j \\ &= \frac{\bar{v}_i^j + \varepsilon_i^j}{r} \{1 - \exp[-r(T - t)]\} - c_i^j \end{aligned} \quad (13)$$

で表現する。なお、 r は時間的割引率、 v_i^j は個人 i が個人 j と会うことにより得られる瞬間効用、 ε_i^j は個々のミーティングに特有な瞬間効用（確率変数）であり、これらはミーティング期間中は一定値をとる。時刻 $[t, T]$ で開催されるミーティングの効用を時刻 t で計測した現在価値は時刻 $\tau \in [t, T]$ の瞬間効用を時刻 t に割引いた値 $(\bar{v}_i^j + \varepsilon_i^j) \exp\{-r(\tau - t)\}$ を期間 $[t, T]$ に対して積分した値として定義される。一方、 c_i^j はミーティング費用（交通費用）でありミーティングが開始された時点で支払われる。ミーティング費用は個人 i, j のうち、どちらがミーティングを申し出るかにより異なった値をとるが、前述したようにミーティングをどちらが申し込んだかによらず一定値をとると考えよう。ミーティングの交渉時点でミーティング期間長は確定せず、平均 β^{-1} の指数分布に従うことだけが判っている。この時、時刻 t の現在価値で評価したミーティングの期待効用 $EU_i^j(t; \varepsilon_i^j)$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} EU_i^j(t; \varepsilon_i^j) &= \int_t^{\infty} U_i^j(t; T, \varepsilon_i^j) \beta \exp\{-\beta(T - t)\} dT \\ &= \gamma(\bar{v}_i^j + \varepsilon_i^j) - c_i^j \end{aligned} \quad (14)$$

なお、 $\gamma = 1/(r + \beta)$ である。個人 i は個人 j とのミーティングで得られる期待効用 $EU_i^j(t; \varepsilon_i^j)$ がある保留効用水準 H_i より大きいときのみミーティングに合意する。保留効用水準は各個人がミーティングを行うか否かを判断する基準を意味するが、その決定メカニズムは後述する。個人 i が個人 j とのミーティングに合意する確率は

$$\begin{aligned} p_i^j &= \text{Prob}\{EU_i^j(t; \varepsilon_i^j) \geq H_i\} \\ &= \text{Prob}\{\gamma(\bar{v}_i^j + \varepsilon_i^j) - c_i^j \geq H_i\} \end{aligned} \quad (15)$$

で表される。一般性を失うことなく、 ε_i^j は平均値 0 分散 1 の標準正規分布に従うと仮定する。ここで、標準正規分布関数を $\Phi(\cdot)$ により表すと、個人 i, j のミーティングの合意確率 p_i^j はそれぞれ次式で表される。

$$\begin{aligned} p_i^j &= \text{Prob}\{\gamma(\bar{v}_i^j + \varepsilon_i^j) - c_i^j \geq H_i\} \\ &= \Phi(\bar{v}_i^j - \delta(c_i^j + H_i)) \end{aligned} \quad (16a)$$

$$\begin{aligned} p_j^i &= \text{Prob}\{\gamma(\bar{v}_j^i + \varepsilon_j^i) - c_j^i \geq H_j\} \\ &= \Phi(\bar{v}_j^i - \delta(c_j^i + H_j)) \end{aligned} \quad (16b)$$

ただし、 $\delta = \gamma^{-1}$ である。個人 i, j による交渉の結果、生起する事象としては 1) 両者ともにミーティングに合意する（状況 Ω_1 ）、2) 個人 i は合意する

が j は拒否をする (状況 Ω_2), 3) 個人 j は合意するが i は拒否をする (状況 Ω_3), 4) 両者ともに拒否をする (状況 Ω_4), の 4 通りが存在する。いま, 式 (16a),(16b) において, ランダム効用項 ε_i^j が互いに独立であると仮定しよう。この時, 各状況が生起する確率 $P(\Omega_i)$ ($i = 1, \dots, 4$) は,

$$P(\Omega_1) = p_i^j p_j^i \quad (17a)$$

$$P(\Omega_2) = p_i^j (1 - p_j^i) \quad (17b)$$

$$P(\Omega_3) = (1 - p_i^j) p_j^i \quad (17c)$$

$$P(\Omega_4) = (1 - p_i^j)(1 - p_j^i) \quad (17d)$$

と表せる。ミーティングが生起する確率は式 (17a) で表せる。

個人の同質性の仮定より, 個人行動が対称的であり, 任意の i に対して $H_i = H, \bar{v}_i^j = \bar{v}, c_i^j = c, \varepsilon_i^j = \varepsilon, \pi_i^j = \pi, EU_i^j = EU$ が成立すると考える。両者がミーティングに合意する確率は次式で表せる。

$$\pi(H, \hat{H}) = \Phi(\bar{v} - \delta(c + H))\Phi(\bar{v} - \delta(c + \hat{H})) \quad (18)$$

\hat{H} は他人が決定する保留効用水準であり, 合意形成確率 π は本人と他人の保留効用水準 (H, \hat{H}) に依存している。正規確率密度関数 $\phi(\varepsilon)$ に対して $\int \varepsilon \phi(\varepsilon) d\varepsilon = -\phi(\varepsilon), \phi(\varepsilon) = \phi(-\varepsilon), \Phi(\varepsilon) = 1 - \Phi(-\varepsilon)$ が成立することより, ミーティングの期待効用の平均値 $EV(H)$ は

$$\begin{aligned} EV(H) &= \frac{\int_{\delta(H+c)-\bar{v}}^{\infty} EU(t : \varepsilon) \phi(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_{\delta(H+c)-\bar{v}}^{\infty} \phi(\varepsilon) d\varepsilon} \\ &= \gamma \bar{v} - c + \gamma \frac{\phi(\bar{v} - \delta(c + H))}{\Phi(\bar{v} - \delta(c + H))} \end{aligned} \quad (19)$$

となる。ここに, $\phi(\cdot)$ は正規確率密度関数である。すなわち, ミーティングの期待効用はミーティングの純付加価値 $\gamma \bar{v} - c$ とミーティング相手を保留効用 H に基づいて選別することにより得られるプレミアム (式 (19) の第 3 項) の和として表現される。

(2) 最適探索行動の決定

任意の時刻において, 各個人は都市内で形成されているミーティングの数を正確には知ることはできない。個人は各時刻を通じて, 交渉可能なミーティング相手が集合 $A_i(t), \bar{A}_i(t)$ の全要素に占める真の割合を知りえない。各個人は不確実な環境の下で意思決定を繰り返し, 長期的な学習過程を通じて交渉相手の個人全体に占める割合の期待値 $E[n/m], E[\frac{n_{A_i}}{m_{A_i}}], E[\frac{n_{\bar{A}_i}}{m_{\bar{A}_i}}]$ に関する合理的期待を形成しうる。以下ではひとまずすべての個人はある共通

の主観的期待 $E^s[n/m], E^s[\frac{n_{A_i}}{m_{A_i}}], E^s[\frac{n_{\bar{A}_i}}{m_{\bar{A}_i}}]$ を有していると考えよう。添字 s は主観的期待であることを表している。この時, 彼が計画するマッチングの主観的実現確率は

$$q(\alpha, \hat{\alpha}) \Delta t = \begin{cases} \left(\alpha_i E^s[\frac{n_{A_i}}{m_{A_i}}] + \alpha^i E^s[\frac{n}{m}] \right) \Delta t & B_i = 1 \text{ の時} \\ \left(\alpha_i E^s[\frac{n_{\bar{A}_i}}{m_{\bar{A}_i}}] + \alpha^i E^s[\frac{n}{m}] \right) \Delta t & B_i = 0 \text{ の時} \end{cases} \quad (20)$$

と表される。

ミーティング相手を探している各個人は, 任意の時刻 t において自らのミーティング集合から相手を探すかその補集合から相手を探すのかについて意思決定を行う。それぞれの集合を探索強度 α_i で探索した場合に個人 i が獲得できる期待生涯効用を $R_{A_i}(t), R_{\bar{A}_i}(t)$ とすると, 各個人の最適戦略は

$$B_i(t) = \begin{cases} 1 & R_{A_i}(t) > R_{\bar{A}_i}(t) \text{ の時} \\ 0 & R_{A_i}(t) \leq R_{\bar{A}_i}(t) \text{ の時} \end{cases} \quad (21)$$

と表される。

5. おわりに

本論文では, 過去のミーティング履歴を踏まえたコミュニケーション過程をモデル化した。解析的に均衡解を求めることは困難であり, 今後シミュレーションを通じた結果の分析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 小林潔司, 福山敬, 松島格也: フェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーション過程に関する理論的研究, 土木学会論文集, No. 590/IV-39, pp.11-22, 1998.
- 2) 小林潔司, 知識社会における交通行動: 展望と課題, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.1-13, 1995.
- 3) 小林潔司, 松島格也: 限定合理性と交通行動モデリング, 木学会論文集, No. 688/IV-53, pp.5-17, 2001.
- 4) Barucci, E.: Exponentially fading memory learning in forward looking economic models, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 24, pp. 1027-1046, 2000.
- 5) Howitt, P.: Costly Search Recruiting, in: Howitt, P., *The Keynesian Recovery and Other Essays*, pp. 177-196, Philip Allan, 1990.