

京都大学大学院 正会員 ○松島格也
 京都大学大学院 正会員 小林潔司
 鳥取大学工学部 正会員 福山 敬

1. はじめに

本研究では、個人の異質性を考慮したコミュニケーション行動をモデル化する。さらに、異なる個人が互いに相手を代えながら最適なコミュニケーション戦略を採用するようなコミュニケーション過程における、長期的な均衡状態について分析する。

2. モデル化の基本的な考え方

二種類のタイプに属する個人の集合を考え、それぞれの人数を N_1 人、 N_2 人 ($N_1 + N_2 = N$) とする。離散的な時刻システムを考え、 t 期の期前に個人は各々ミーティングを行う相手を探索し、出会った相手とミーティングに対する合意が形成されればミーティングを行う。各ミーティングは t 期の終わりまでには必ず終了しているものとする。同一の個人が複数のミーティングを行う可能性や、過去にミーティングを行った相手と再びミーティングを形成することを妨げないとする。

潜在的なミーティング相手に関する情報の利用可能性は人々のミーティング行動に大きな影響を及ぼしうる。相手のタイプに関する情報が利用可能でない場合、探索過程において事前にミーティング相手のタイプが識別できず、異なるミーティング相手に対して同一の探索努力や合意形成行動を採用せざるを得ないという合同均衡 (pooling equilibrium) が成立する。一方完全情報が利用できる場合には相手のタイプに応じて探索・合意戦略を差別化した分離均衡 (separating equilibrium) が達成される。紙面の都合上本稿では合同均衡のモデル化のみを示すこととする。

3. ミーティング行動

各個人は日々異なる相手とミーティングを繰り返す。その際各個人は、「ミーティング相手を探索するか否か」と「他人からのミーティングの申し込みを受諾するか否か」の両方を決定する必要がある。したがって、タイプ i の個人における純粋戦略 ρ_i^k ($i = 1, 2; k = 1, \dots, 4$) は探索行動、受諾行動を表すダミー変数の組み合わせ (s_i^k, θ_i^k) により記述できる (表-1)。いまタイプ1、タイプ2のすべての個人がそれぞれ同一の純粋戦略 ρ_1^k, ρ_2^k を採用したと考える。ある個人がミーティング相手を探索する際に、タイプに関わらず平均 α (> 0) 人の交渉相手を発見できるとする。各タイプの個人が発見した相手のタイプが1及び2である確率は、それぞれ $N_1/N =$

表-1 無情報下の純粋戦略

ρ_i^k	内容	(s_i^k, θ_i^k)
ρ_i^1	(探索、受諾)	(1, 1)
ρ_i^2	(探索、拒否)	(1, 0)
ρ_i^3	(無策、受諾)	(0, 1)
ρ_i^4	(無策、拒否)	(0, 0)

$\beta_1, N_2/N = \beta_2$ と表せる。ミーティングの期待生起頻度は以下のように定義することができる。

$$\left. \begin{aligned} n_1^1(\rho_1^k, \rho_2^l) &= \bar{a}_1^1 + \underline{a}_1^1 = \alpha\beta_1(s_1^k\theta_1^k + s_1^k\theta_1^l) \\ n_1^2(\rho_1^k, \rho_2^l) &= \bar{a}_1^2 + \underline{a}_1^2 = \alpha\beta_2(s_1^k\theta_2^k + s_1^k\theta_2^l) \\ n_2^1(\rho_1^k, \rho_2^l) &= \bar{a}_2^1 + \underline{a}_2^1 = \alpha\beta_1(s_2^l\theta_1^k + s_2^l\theta_1^l) \\ n_2^2(\rho_1^k, \rho_2^l) &= \bar{a}_2^2 + \underline{a}_2^2 = \alpha\beta_2(s_2^l\theta_2^k + s_2^l\theta_2^l) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに $\bar{a}_i^j, \underline{a}_i^j$ ($i, j = 1, 2$) はそれぞれ自らミーティング相手を見つけた場合及び相手から見つけられた場合の期待ミーティング数を表す。また記号 $\bar{\cdot}$ は他人が決定する意思決定変数であることを示す。一方、タイプ i ($i = 1, 2$) の個人がタイプ j ($j = 1, 2$) の個人とミーティングを行った場合に得られる一回当たりの効用水準を $\bar{V}_i^j$ とする。ミーティングを行わないときの効用水準を $\bar{V}_i^0 = 0$ に規格化し、探索費用及び受諾費用を1, ε と考える。このときタイプ i の個人が獲得する利得 $v_i(\rho_1^k, \rho_2^l)$ を

$$v_1(\rho_1^k, \rho_2^l) = -(s_1^k + \varepsilon\theta_1^k) + \beta_1(s_1^k\theta_1^k + s_1^k\theta_1^l)\bar{v}_1^1 + \beta_2(s_1^k\theta_2^k + s_1^k\theta_2^l)\bar{v}_1^2 \quad (2a)$$

$$v_2(\rho_1^k, \rho_2^l) = -(s_2^l + \varepsilon\theta_2^l) + \beta_1(s_2^l\theta_1^k + s_2^l\theta_1^l)\bar{v}_2^1 + \beta_2(s_2^l\theta_2^k + s_2^l\theta_2^l)\bar{v}_2^2 \quad (2b)$$

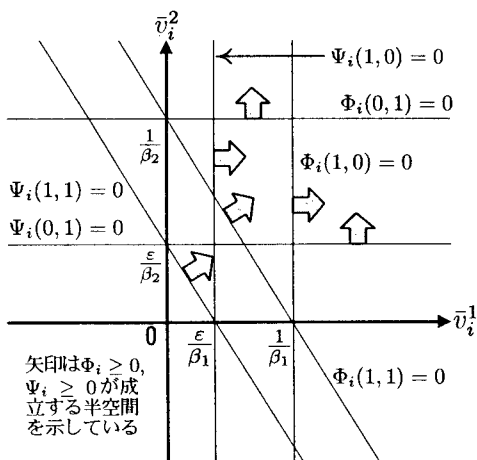
と表すことができる。ここに $\bar{v}_i^j = \bar{V}_i^j/\alpha$ は、マッチング費用単位で測定したミーティング効用である。

いま、社会において純粋戦略 ρ_i^k を採用する個人がタイプ i の個人全体に占める割合を $\sigma_i(\rho_i^k)$ で表す。各純粋戦略を採用する個人の割合を表すベクトル $\sigma_i = \{\sigma_i(\rho_i^1), \dots, \sigma_i(\rho_i^4)\}$ を定義する。タイプ1, 2のある一人の個人がそれぞれ純粋戦略 ρ_1^k, ρ_2^l を採用したときに得られる期待利得を

$$v_1(\rho_1^k; \sigma_1, \sigma_2) = \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^4 \sigma_1(\rho_1^k) \sigma_2(\rho_2^l) v_1(\rho_1^k; \rho_1^k, \rho_2^l) \quad (3a)$$

$$v_2(\rho_2^l; \sigma_1, \sigma_2) = \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^4 \sigma_1(\rho_1^k) \sigma_2(\rho_2^l) v_2(\rho_1^k; \rho_1^k, \rho_2^l) \quad (3b)$$

と表す。さらに着目しているタイプ i の個人が混合戦略 $\sigma_i' = \{\sigma_i'(\rho_i^1), \dots, \sigma_i'(\rho_i^4)\}$ を採用した場合に当該の個人



ただし $\Phi_1(\hat{\theta}_1^k, \hat{\theta}_2^l) = -1 + \beta_1 \hat{\theta}_1^k v_1^1 + \beta_2 \hat{\theta}_2^l v_1^2$
 $\Phi_2(\hat{\theta}_1^k, \hat{\theta}_2^l) = -1 + \beta_1 \hat{\theta}_1^k v_2^1 + \beta_2 \hat{\theta}_2^l v_2^2$
 $\Psi_1(\hat{s}_1^k, \hat{s}_2^l) = -\varepsilon + \beta_1 \hat{s}_1^k v_1^1 + \beta_2 \hat{s}_2^l v_1^2$
 $\Psi_2(\hat{s}_1^k, \hat{s}_2^l) = -\varepsilon + \beta_1 \hat{s}_1^k v_2^1 + \beta_2 \hat{s}_2^l v_2^2$

図-1 効用プロファイルの領域分割

が獲得できる利得は以下のように表せる。

$$v_1(\sigma_1'; \sigma_1, \sigma_2) = \sum_{k=1}^4 \sigma_1'(\rho_1^k) v_1(\rho_1^k; \sigma_1, \sigma_2) \quad (4a)$$

$$v_2(\sigma_2'; \sigma_1, \sigma_2) = \sum_{l=1}^4 \sigma_2'(\rho_2^l) v_2(\rho_2^l; \sigma_1, \sigma_2) \quad (4b)$$

いま個人の数 N が十分に多いために、ある混合戦略を採用する個人が結果的に採用する純粋戦略を集計化して求めた集団的分布が、その混合戦略の確率分布と一致すると考える。このとき集団均衡として生じるナッシュ均衡は、任意の混合戦略 σ_1, σ_2 に対して

$$\left. \begin{aligned} v_1(\sigma_1^*; \sigma_1^*, \sigma_2^*) &\geq v_1(\sigma_1; \sigma_1^*, \sigma_2^*) \\ v_2(\sigma_2^*; \sigma_1^*, \sigma_2^*) &\geq v_2(\sigma_2; \sigma_1^*, \sigma_2^*) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

を同時に満足するような σ_1^*, σ_2^* として定義できる。

自然淘汰による戦略の安定性を検討するために、ナッシュ均衡戦略が少数の mutant に対して進化的に安定的であるかどうかを分析する。ナッシュ均衡解 σ_1^*, σ_2^* に関して $v_1(\sigma_1^*; \sigma_1^*, \sigma_2^*) = v_1(\sigma_1; \sigma_1^*, \sigma_2^*)$ が成立するようなタイプ1の個人の任意の戦略 σ_1 に対して、

$$v_1(\sigma_1^*; \sigma_1, \sigma_2^*) > v_1(\sigma_1; \sigma_1, \sigma_2^*) \quad (6)$$

が成立する場合、均衡解 σ_1^* はタイプ1の任意の mutant に対して進化論的に安定的である。同様にしてタイプ2の任意の mutant に対する均衡解 σ_2^* の進化的安定性も定義できる。両タイプの任意の戦略の mutant に対してナッシュ均衡解が piece wise に安定的であるとき、均衡解 σ_1^*, σ_2^* は進化論的に piece wise 安定 (evolutionarily piece-wise stable: 以下 E.P.W. 安定と呼ぶ) であると定義する。

表-2 E.P.W. 安定な合同均衡解

	タイプ1 (s_1, θ_1)	タイプ2 (s_2, θ_2)	成立する範囲
A	(1,1)	(1,1)	$\Phi_1(1,1) > 0, \Phi_2(1,1) > 0,$ $\Psi_1(1,1) > 0, \Psi_2(1,1) > 0$
B	(1,1)	(0,1)	$\Phi_1(1,1) > 0, \Phi_2(1,1) < 0,$ $\Psi_1(1,0) > 0, \Psi_2(1,0) > 0$
C	(0,1)	(1,1)	$\Phi_1(1,1) < 0, \Phi_2(1,1) > 0,$ $\Psi_1(0,1) > 0, \Psi_2(0,1) > 0$
D	(1,1)	(1,0)	$\Phi_1(1,0) > 0, \Phi_2(1,0) > 0,$ $\Psi_1(1,1) > 0, \Psi_2(1,1) < 0$
E	(1,0)	(1,1)	$\Phi_1(0,1) > 0, \Phi_2(0,1) > 0,$ $\Psi_1(1,1) < 0, \Psi_2(1,1) > 0$
F	(1,1)	(0,0)	$\Phi_1(1,0) > 0, \Phi_2(1,0) < 0,$ $\Psi_1(1,0) > 0, \Psi_2(1,0) < 0$
G	(0,0)	(1,1)	$\Phi_1(0,1) < 0, \Phi_2(0,1) > 0,$ $\Psi_1(0,1) < 0, \Psi_2(0,1) > 0$
H	(1,0)	(0,1)	$\Phi_1(0,1) > 0, \Phi_2(0,1) < 0,$ $\Psi_1(1,0) < 0, \Psi_2(1,0) > 0$
I	(0,1)	(1,0)	$\Phi_1(1,0) < 0, \Phi_2(1,0) > 0,$ $\Psi_1(0,1) > 0, \Psi_2(0,1) < 0$
J	(0,0)	(0,0)	全範囲
K	(1, θ^*)	($s^*, 1$)	$\Phi_1(\theta^*, 1) > 0, \Phi_2(\theta^*, 1) = 0,$ $\Psi_1(1, s^*) > 0, \Psi_2(1, s^*) > 0$
L	($s^{**}, 1$)	(1, θ^{**})	$\Phi_1(\theta^{**}, 1) = 0, \Phi_2(\theta^{**}, 1) > 0,$ $\Psi_1(s^{**}, 1) > 0, \Psi_2(s^{**}, 1) = 0$

$$s^* = \frac{\varepsilon - \beta_1 v_1^1}{\beta_2 v_2^1}, s^{**} = \frac{\varepsilon - \beta_2 v_2^2}{\beta_1 v_1^2}, \theta^* = \frac{1 - \beta_2 v_2^2}{\beta_1 v_1^2}, \theta^{**} = \frac{1 - \beta_1 v_1^1}{\beta_2 v_2^1}$$

4. 合同均衡

両タイプの個人数の割合 (β_1, β_2) を一定と考えて両タイプのミーティング効用のプロファイル ($\bar{v}_1^1, \bar{v}_1^2$), ($\bar{v}_2^1, \bar{v}_2^2$) だけを変化させ、それによる合同均衡解のパターンの変化を分析する。効用プロファイル空間はいくつかの排他的な領域に分割され (図-1)、両タイプのそれぞれの領域の組み合わせと対応して25通りの均衡解が求まる。このうち純粋戦略による全てのナッシュ解 (10通り) は E.P.W. 安定であるが、混合戦略解によるナッシュ均衡解 (15通り) のうち E.P.W. 安定なのは2通りのみである。したがって E.P.W. 安定な均衡解は表-2に示す12通りである。同表において s_i, θ_i はそれぞれ $s_i = \sum_k \sigma_i(\rho_i^k) s_i^k, \theta_i = \sum_k \sigma_i(\rho_i^k) \theta_i^k$ であり、それぞれ探索確率及び受諾確率を意味している。効用プロファイルの値によっては E.P.W. 安定な均衡解が複数存在しうる。この場合、ミーティングを不必要としている個人に対してミーティング形成の申し込みが到達するというミクロな非効率性が発生している。

5. おわりに

なお、完全情報下の分離均衡に関する分析の説明は省略するが、そこでも複数の安定な均衡解が存在することが判明している。ミーティング相手に関する情報によりミーティングを不必要とする個人に対する申し込みは行われなくなるため、個人レベルでの探索行動を効率化する。しかしマクロレベルでの均衡解の複数性の問題を解決することはできないことがわかっている。