社会基盤整備を巡るコンフリクトの合意形成過程に関するゲーム論的考察

山口大学工学部　正員　○　榊原弘之　山口大学大学院　学生員　河上伸一
山口大学工学部　正員　古川浩平

1.はじめに　社会基盤整備を巡るコンフリクトが合意形成に向かう過程においては，当事者（主体）が互いに提案とそれに対する応答を繰り返すと考えられる．これは，相手主体の選好構造を学習し，妥協点を見出すための過程と考えることができる．近年のゲーム理論に基づいた学習プロセスに関する研究においても，Fictitious Play 等の反復的なプロセスによる収束過程が注目されている [1)]．本研究では，コンフリクトにおけるこのような逐次意思決定過程をモデル化するとともに，相手主体の提案に対する各主体の応答決定規範が合意に影響を及ぼし得ることを示す．

2.コンフリクトの逐次意思決定過程のモデル化
まず，コンフリクトのグラフモデル(Graph Model for Conflict Resolution, GMCR)を定式化する [2)]．$N=\{1,2,\ldots,n\}$ を主体の集合とし，$K=\{k_1,k_2,...,k_u\}$ をコンフリクトにおける事象の集合とする．また N 個一組の $\{D_i\}(i=1,2,\ldots,n)$ を有向グラフ $D_i=(K,V_i)$ の集合として定義する．有向グラフ D_i のノードは事象の集合 K の要素である．リンクの集合 V_i は主体 i が事象間で可能な移行を示す．k_ak_b を事象 k_a から k_b へのリンクとする．$k_ak_b\in V_i$ であれば，主体 i は事象 k_l から k_b へ自らの意思決定の下に移行することができる．利得関数 $P_i\,|\,K\to R, i\in N$ により，主体の事象に対する選好順序が特定される．すなわち $P_i(k_a)>P_i(k_b)$ であれば，主体 i は事象 k_b よりも事象 k_a をより高く選好する．また以下の概念についても定義する．

a) 可達リスト $S_i(k_a)$：$k_ak_b\in V_i$ であるとき，すなわち主体 i が事象 k_a から事象 k_b に一方的に移行可能なとき，k_b は事象 k_a の可達リスト $S_i(k_a)$ に属するという．

b)一方的改善 $S_i^+(k_a)$：$k_b\in S_i(k_a)$ で，主体 i が k_a より k_b を選好するとき，k_b は事象 k_a の一方的改善 $S_i^+(k_a)$ に属する．

次に，コンフリクトの逐次意思決定過程をモデル化する．次の条件を満足する事象の集合 $\delta=(k^0,k^1,\ldots k^l)$ をパスと呼ぶ．

$$k^{j+1}\in S_i(k^j)\quad \exists i\in N,\ j=0,1,\ldots,l-1 \qquad (1)$$

i は l 番目のステップにおいて事象間を移行する主体を意味する．また k^0 は開始点となる事象である．本研究では，相手主体の提案に対する応答を決定する行動規範を戦略として定義する．これにより，パスは主体が選択する戦略に依存して決定される．主体は，K に含まれる任意の事象における移行の組としての戦略を有している．主体 i の戦略 T_i において，パス δ を経て事象 k^l に到達した状態で，主体 i が事象 k^l から事象 k^{l+1} へ移行する場合，$\tau_i^{k^lk^{l+1}}(\delta)=1$ とする．一方移行しなければ，$\tau_i^{k^lk^{l+1}}(\delta)=0$ となる．

逐次意思決定過程において，最終的に到達する事象を合意点と呼び，合意点となり得る事象を収束点として，以下のように定義する．

定義　主体 1,2,…,n がそれぞれ戦略 $\mathrm{T}_1,\mathrm{T}_2,...,\mathrm{T}_n$ を選択した場合，ある $\delta=(k^0,k^1,\ldots k^l)$ に関して以下の条件を満足する事象 k^l を収束点と呼ぶ．

$$\tau_i^{k^lk^{l+1}}(\delta)=0\qquad \forall k^{l+1}\in K,\ \forall i\in N \qquad (2)$$

3．戦略の定義　本研究では以下の 2 種類の戦略を想定する．

・マイオピック（近視眼的）戦略　マイオピック戦略 M_i は次式により定義される．

$$m_i^{k^lk^{l+1}}(\delta)=1 \qquad P_i(k^{l+1})=\max_{k'\in S_i^+(k^l)}P_i(k')$$

$$m_i^{k^lk^{l+1}}(\delta)=0 \qquad \text{Otherwise} \qquad (3)$$

マイオピック戦略を選択した場合，主体は現在の事象 k^l から到達可能な事象のうちで，最も利得が高い事象へ移行してゆく．すなわち，現在の事象に対する最適応答として移行先の事象が決定される．また，マイオピック戦略においては，移行先は k^l のみによって決定され，パスには依存しない．

・ フレキシブル（柔軟対応）戦略　次に，逐次意思

キーワード　コンフリクト，逐次意思決定過程，合意点，局所的安定性
連絡先（〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2－16－1・0836-22-9721・0836-35-9429）

決定過程の過去の経過が意思決定に与える影響を考慮するために，同じ事象においてもパスによって結果が変わり得る戦略として，フレキシブル戦略 F_i を定義する．まず，現在の事象 k^l から移行するか否かを決定する閾値 $t_i(\delta)$ を次のように設定する．

$$t_i(\delta) = P_i(k^l) - \frac{\sum_{j=0}^{l-1} P_i(k^j)}{l} - P_i^0 \qquad (4)$$

P_i^0 を定数とする．パスにおいてこれまで経験した事象の利得の平均値と P_i^0 の和が k^l における利得を下回るとき，$t_i(\delta)$ は正となる．これは，k^l の利得が，パスに依存して決定される一定の水準を充足していることを意味する．このときフレキシブル戦略を選択した主体は，例え $S_i^+(k^l) \neq \{\varnothing\}$ であっても，k^l から移行しないものとする．すなわち，フレキシブル戦略においては,移行に対する慣性が存在する．

一方 $t_i(\delta) \leq 0$ の場合，以下のように移行先事象が決定されるとする．

$$f_i^{k^l k^{l+1}}(\delta) = 1 \qquad P_i(k^{l+1}) = \max_{k' \in S_i(k^l)} P_i(k') \qquad (5)$$

式(5)は，主体 i が k^l から移行可能な事象のうち，利得が最大の事象に移行することを意味する．すなわち，フレキシブル戦略の下では，$S_i^+(k^l) = \{\varnothing\}$ の場合に k^l よりも選好の低い事象へ移行することもあり得る．

３．局所的安定性と合意点の関係　GMCR において用いられる代表的な局所的安定性の概念であるナッシュ安定性と連続的安定性は，それぞれ以下のように定義される．

１．ナッシュ安定性

$S_i^+(k)=\varnothing$のとき，事象 k は主体 i にとってナッシュ安定である．

２．連続的安定性

$S_i^+(k)$に含まれるすべてのk^lについて，$P_i(k) \geq P_i(k^m)$ であるような $k^m \in S_j^+(k^l)$ が存在するとき，事象 k は主体 i にとって連続的安定である．

すべての主体がマイオピック戦略を選択した場合，収束点はナッシュ安定となる．従って合意点もまたナッシュ安定である．一方フレキシブル戦略を選択した場合の例として，**図１**に示すコンフリクトを考える．図中の円は事象を示し，左図は主体 1 が可能な移行（矢印）と利得（円内の数），右図は主体 2 が可能な移行と利得を示している．左図中に示された 4 つの事象は，連続的安定性の条件を満足している．なおナッシュ安定性の条件を満たすのは，右下の事象（主体 1 の利得 3，主体 2 の利得 3）である．

左上の事象（主体 1 の利得 7，主体 2 の利得 9）を k^0 とし，主体 1 がフレキシブル戦略 $(P_i^0 = 0)$，主体 2 がマイオピック戦略を選択した場合の遷移・収束過程を**図２**に示す．実線は主体 1，破線は主体 2 による移行を示している．この場合，Step4 において，連続的安定な合意点に到達する．このように，フレキシブル戦略の選択により，マイオピック戦略の場合の合意点よりも利得が大きく，連続的安定な合意点に到達し得ることが明らかとなった．

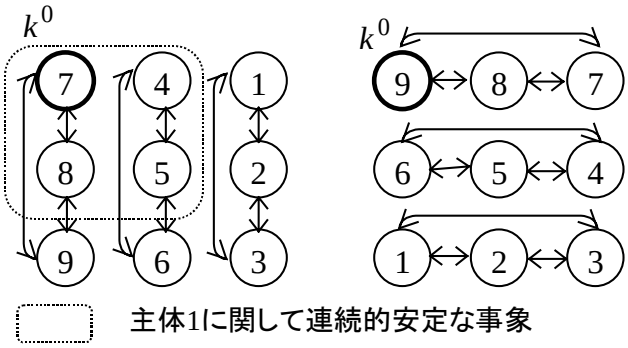

図１　検討対象のコンフリクト

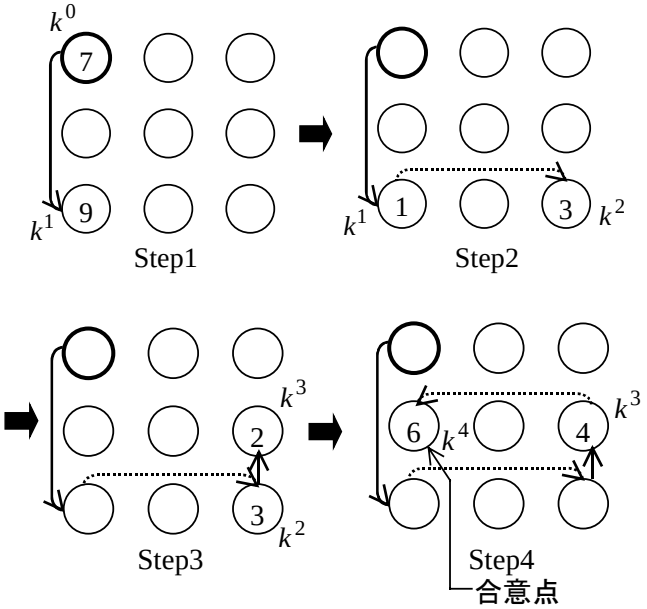

図２　コンフリクトの遷移

参考文献　1) Fundenberg, D. and D. Levine: The Theory of Learning in Games, MIT Press, 1998. 2) Fang, L., K. W. Hipel, and D. M. Kilgour: Interactive Decision Making ― the Graph Model for Conflict Resolution, Wiley-Interscience, 1993.