土木学会論文集 No. 524／IV-29, 79-92, 1995.10

都市開発・防災コンフリクトの調整問題に関するメタゲーム論的考察 －Robustness分析手法の提案－

岡田憲夫[1]・谷本圭志[2]・荒添正棋[3]

[1]正会員　工博　京都大学教授　防災研究所（〒611 京都府宇治市五ケ庄）
[2]正会員　工修　三菱総合研究所（〒100 東京都千代田区大手町二丁目3-6）
[3]正会員　佐藤工業　朝霞水門作業所（〒351 埼玉県朝霞市下内間木106の14）

長崎市のような斜面都市においては，都市開発と防災の間に生じるコンフリクトの解消・調整が，社会基盤整備の実施にとって重要な課題となる．コンフリクト問題を数理的に解析する方法としてメタゲーム理論におけるコンフリクト解析法がある．本論文では，都市開発・防災のコンフリクト問題を分析する上で，相手主体の選好性の認知に際して不確実性が伴う場面に着目する．その上で，コンフリクトの分析者が均衡解として予測または想定した特定の発生事象が相手主体の選好性についての認知が不完全でも保証される選好条件を導出する．すなわち，Robustness 分析手法を開発し，長崎市の都市開発・防災コンフリクトの事例に適用してその有効性を実証する．

Key Words : *conflict resolution, robustness analysis,urban development and disaster prevention*

1.はじめに

社会基盤整備事業の多くは複数の主体から成る共同プロジェクトであるため，その推進に当たっては主体間の利害調整が必要となってくる．昨今は価値観の多様化や，生活の質の向上志向が高まるにつれて，社会基盤整備に求められるサービスの内容と対応が多様化，複雑化している．それに伴って事業に参加・関与する主体・当事者の数が増大し，それらの間で生じる利害の衝突・対立(コンフリクト)も，より多様化・複雑化している．

その結果，この種のコンフリクトをいかに適切に調整し，解決するかが社会基盤整備の成否を大きく左右する事態が顕著になってきている．コンフリクト解析法[1),2)]は，このような計画・管理問題を科学的に検討していく上での一つの有効な手法である．

現実のコンフリクトは複雑であり，記述的に説明できても，なかなか数学的かつ定量的にモデル化できないものが多い．本技法は，（他の一般的なゲーム理論の諸手法とは異なって）その点で最小限の数値的情報（発生事象の選好性の順序関係）さえあれば，後は定性的な問題の構造（プレイヤー，オプションとその組み合わせとしての戦略，プレイヤー間の戦略の組み合わせとしての発生事象の識別，その実行可能性の判断など）だけで，明示的にコンフリクトがモデル化でき，ゲームの解としての均衡解も求めることができる．このため，実用性・応用性が高いといえる．また，コンフリクト解析法は，離散型の非協力ゲームの均衡解を与えるが，それはナッシュ均衡解やシュタケルベルグ均衡解を包括した解であることが示されている[2)]．

筆者らは[3),4)]このような観点から，特に水資源開発計画や，都市開発・防災計画を取り上げて，コンフリクト解析法の適用可能性を実証している．

しかしながら，最小限の数値的情報として必要とされる「選好性」の順序関係（序数型効用）に，恣意性が多く入ったりする可能性がある．また，発生事象が数多くなった場合には，順序関係の特定そのものの「予備作業」が困難になるという欠点が指摘されている．このような欠点を克服するために，選好性についての一次近似的情報のみに基づいて得られた均衡解に対して，それがどの程度まで不変であ

るかを吟味するための技法として，いわゆる「感度分析」的なアプローチが色々と試みられている．これに対しては，大筋次の二つの方法が提案されてきている．

(i)選好性に対する感度分析(sensitivity analysis)[1]

(ii)ハイパーゲーム解析[2)5)]

(i)は，各プレイヤーの選好性にはある程度の不確実性が生じることを大前提とする．その上で，起こりそうないくつかのシナリオを分析者の恣意的な判断で設定し，それぞれのシナリオに対して安定性分析（均衡解を特定する解析手順）を適用して，得られた（均衡）解が不確実性に対してどの程度の感度を示すかについて検討する．しかし，選好性のシナリオの設定の仕方は，ad hocであって，そこには何ら理論的な裏付けがないという大きな難点がある．

一方(ii)は，各プレイヤーが自身の選好性については完全（情報下）に特定できるが，相手のプレイヤーの選好性についてはあくまで不完全（情報下）にしか特定できず，それぞれが相手の選好性を想像する形で安定性分析を行って，結果的に当事者の（想像の産物としての）（擬似的な）均衡解に到達するという分析アプローチをとる．

本研究では，上記の(i),(ii)とは異なる新たなアプローチを提示する．すなわち，社会基盤整備に伴うコンフリクト調整問題においてはしばしば次のような計画場面が生じることに着目する．

- 単位主体による計画が策定，決定され，それが実施される（直）前に，新たな状況が生じて新たな当事者が（新たな自前の計画を想定して）参入し，コンフリクトが生じる．
- つまり，旧の主体による計画と，新たな主体による計画（または要請）とが複合化，輻湊化した計画場面が想定される．
- それぞれの個別の計画や要請を実行可能にするためには，当該コンフリクトが適切に解消されなければならない．
- 旧主体の意図及び計画内容については新主体は（完全情報に近い形で）知り得る立場であるのに対して，新主体のそれについては旧主体はきわめて限られた情報しか得られない．

という状況を想定する．実は現実の都市基盤整備においてこのような状況はしばしば生起するものである．本研究では，長崎市を事例にし，ここで新たに提案するRobustness分析技法が政策的知見を得る上で有効なアプローチとなり得ることを明らかにする．

なお，一般的にプレイヤー間に情報の較差（非対称性）が生じるのは，以下で想定する相手の選好性に関する情報に関する場合の他に，相手のとるオプションや戦略に関する情報に関する場合が考えられよう．また，発生事象の実行可能性については，論理的に推定できるものもあるが，専門的判断を必要とするものもあろう．この場合，素人と専門家では情報（知識・技術）に大きな差が生じるであろう．

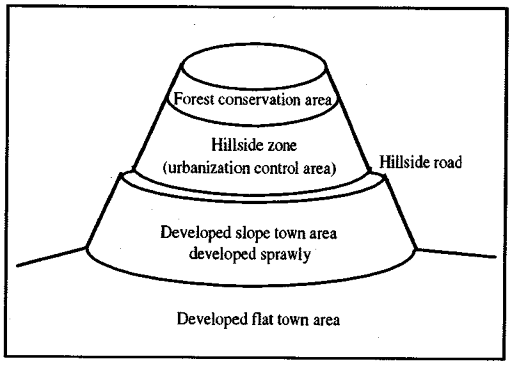

Fig.1 Development and disaster prevention of a slope city : A prototype model

2.都市開発・防災コンフリクトとRobustness分析の必要性

(1)1992年長崎大水害とその後の都市開発・防災コンフリクト

長崎市のような斜面都市では地形条件による制約が多いため，開発に適した平坦地が限られている．従って市街地の拡大は，開発が斜面地，山地へ及ぶことを意味するが，これは同時に崖崩れや土石流に代表される災害の危険性を高める．斜面都市の模式図を**Fig.1**に示すが，このような状況下での調和ある都市開発の促進には，都市開発(Development)と防災(Disaster prevention)とのすりあわせが不可欠である．しかしここには各目的の思惑の差異に起因するコンフリクトが不可避的である．特に「防災」は「都市開発」に比べ，ともすれば二の次に考えられがちである．（不幸な事実であるが）大きな災害が現実に起こったときに初めて市民も行政も「防災」の重要性を実感し，意識を新たにする．1992年7月に長崎市を襲った集中豪雨とそれに伴う水害と土砂災害はまさにその典型的な事例であったといえよう．長崎市の中島川周辺の復興計画をめぐるコンフリクトについては永田ら[6)]に詳しい．ここでは，もう少し広域的なレベルでの斜面都市固有のコンフリクトを取り上げ，その基本的構造をモデル化することにする．

(2)コンフリクトのプロトタイプモデル

縁辺道路の敷設は，開発側にとっては傾斜地へのアクセスを向上させ，かつ既成の斜面市街地における未利用地の利用価値を上昇させるものであるが，防災側にとっては避難路の確保のためであり，決して開発を促進するものであってはならない．また，スプロール現象によって形成された既成斜面市街地においても区画整理を行うことによって秩序ある居住地の形成を望んでいるため，未利用地の開発も制限したい意向である．このような状況の下で，開発側が取り得る行動の基礎単位，オプション(option)としては，「山の手ゾーン利用(Slope town zone development)」，及び「山腹ゾーン開発(Hillside zone development)」，防災側に関しては，「山腹ゾーン防災(Hillside zone preservation)」，「縁辺道路敷設(Hillside road building)」，及び「開発条件強化(Development regulation)」が考えられる．各主体はこれらのオプションを組み合わせることによって一つの戦略(strategy)を決定する．両者の戦略が決まると，それに対応した一つの発生事象(outcome)が生じる．双方のオプションの総数が5個あることから，理論上起こり得る発生事象は$2^5=32$個である．岡田らの調査によると，現場の実務者へのヒアリングなどの結果，実行不可能な発生事象を消去した有効的発生事象（以後，単に発生事象と呼ぶ）は16個と特定され，また，それらの選好性は**Table 1**に示すようになる[7]．ただし，この結果はあくまで一次近似的なもので，均衡解となり得る事象の目星をつけるための作業である．むしろ，この近似に最低限の精度しか要請しないというのは，**4.**で詳述する分析技法の主旨である．

Table 1.1は開発側，**Table 1.2**は防災側の選好性を表わしている．当オプションを選択した場合は1，選択しなかった場合を0で示すことによって各戦略を0と1の並びとして表現している．例えば**Table 1.1**の第一列では開発側が「山の手ゾーン利用」，及び「山腹ゾーン開発」を同時に選択する戦略を表わしている．各発生事象は(1,0)の組み合わせ，すなわち二進数によって表現されるが，これを十進表現(Decimal notation)に置き換えた値（番号）をその発生事象名（の代わり）として用いる．**Table 1.1**, **Table 1.2**ではそれを最下行に示している．また，各主体が発生事象を望ましい順番に右から左へランクづけしたものの並びを選好ベクトル(Preference vector)と呼ぶ．**Table 1.1**,**Table 1.2**では左列の発生事象ほど望ましいことを表わしており，例えば開発側の選好ベクトルは

(11,10,27,26,13,9,29,25,5,8,12,21,24,28,4,20)

であり，左の成分ほど選好度が高い．

Table 1.1 Preference vector for "Development"

	option	outcome
Develop-ment	Slope town zone development	1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0
	Hillside zone development	1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Disaster Prevention	Hillside zone preservation	0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1
	Hillside road building	1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0
	Development regulation	0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 0 1
Decimal notation		11 10 27 26 13 9 29 25 5 8 12 21 24 28 4 20

Table 1.2 Preference vector for "Disaster Prevention"

	option	outcome
Develop-ment	Slope town zone development	0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1
	Hillside zone development	0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0
Disaster Prevention	Hillside zone preservation	0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1
	Hillside road building	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0
	Development regulation	0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1
Decimal notation		8 24 12 28 9 25 13 29 26 10 4 20 27 11 5 21

本論文が着目しているコンフリクトの場面は，以下のような状況である．（これは既述した1992年の長崎大水害後の状況に概ね相当している．）宅地造成のため，「開発側」による都市開発の計画が従来より行われている．しかし，例えば，開発地が斜面に位置しているため，斜面崩壊などによる被災の危険性が高く，その対策が必要とされてきたが，開発が優先され防災は二の次であった．そこに水害及び土砂災害が起こった．このため，局面が一変し，防災側の計画を抜本的に立て直すとともに，これまでの開発志向の都市計画とのコンフリクトの調整が必要になってきたと考える．このとき事業の推進のためには，双方の主体の思惑のずれをすり合せることが必要となる．しかしこの場面では，「開発側」の取り得る選択肢については，従来からの計画としてその内容が広く認知されているため，「防災側」は「開発側」の選好に関する情報を豊富に持っている

であろう．しかし「開発側」は，新たな計画の参入者である「防災側」についての情報については乏しく，選好性の特定にはある程度の不確実性の混入が不可避的となる．このような場合，特に「開発側」が主導的に事業を進めていく立場にある場合，このような相手側の選好性の認知が不完全である場合にどのように対処していくかが問題となろう．その一つの回答として，本研究ではコンフリクト解析法をベースとしたRobustness分析手法を提案する．次章ではまず，コンフリクト解析法による安定性分析の概要を述べることにする．

3.安定性分析の概要

コンフリクト問題においては，何らかの（対立する）価値観や利害意識をもつ主体が複数存在するが，その各主体をプレイヤーと呼ぶ．各プレイヤーは（合理的な思考をするならば），自分にとってより望ましい結果（発生事象）を模索した上で，最終的には，そこから他の戦略に変更する動機がないような結果（複数存在しうる）を達成したいと考えるであろう．もし各プレイヤーが同じ発生事象をそのように「変更する動機をもたない発生事象」とみなすのであれば，そこが最終的な落ち着き先（均衡解）の一つとなり得るであろう．このように均衡解となり得る発生事象を特定し，そうでない発生事象と仕分けるための分析を，コンフリクト解析法では安定性分析(stability analysis)と呼ぶ．なお，以下の数学的記述を導入する．また，本研究では二人ゲームに限定した議論を行うため，以下の説明も二人ゲームに限定する．

プレイヤーiの戦略の集合をS_iで表わす．プレイヤーiが取り得る任意の戦略はこの集合の要素をs_iとして表わされる($s_i \in S_i$)．また，プレイヤーの集合をNで表わす($i \in N$)．二人ゲームにおける全ての発生事象の集合をQとすると，Qは以下のように各プレイヤーの戦略集合の直積で表現される．

$$Q = S_1 \times S_2 \tag{1}$$

すなわち，Qは各戦略集合S_iから一つの要素を選ぶ全ての組み合わせからなる集合である．集合Qの要素をqで表わすことにする($q \in Q$)．ここに発生事象qは$q=(s_1,s_2)$と表せる．また集合$M_i^+(q)$および$M_i^-(q)$を次のように定義する．

$M_i^+(q)$：プレイヤーiにとってqよりも好ましい発生事象の集合 (ただしqを含まない)

$M_i^-(q)$：プレイヤーiにとってqよりも好ましくない発生事象の集合 (ただしqを含む)

また，集合$m_i(q)$を次のように定義する．

$$m_i(q) = \{(s_i, \bar{s}_j) \mid s_i \in S_i\} \tag{2}$$

ただし記号$\bar{}$はその戦略を固定して考えることを示している．つまり，集合$m_i(q)$は相手の戦略(この場合s_j)に変更がないことを前提とし，その上でプレイヤーiが戦略を変更した場合に生じる発生事象の集合である．この意味で，集合$m_i(q)$に属する発生事象はプレイヤーiの発生事象qからの一方的移行(unilateral movement,UM)と呼ばれる．さらに集合$m_i^+(q)$, $m_i^-(q)$を次のように定義する．

$$m_i^+(q) = m_i(q) \cap M_i^+(q) \quad (\text{ただし，}q\text{を含まない})$$
$$m_i^-(q) = m_i(q) \cap M_i^-(q) \quad (\text{ただし，}q\text{を含む}) \tag{3}$$

ここに集合$m_i^+(q)$に属する発生事象は，プレイヤーiの発生事象qからのUMのうち，少なくともqよりも選好性が高くなることから，一方的改善(unilateral improvement,UI)と呼ばれている．ただし本論文では，選好度の等しい発生事象（もとの発生事象は除く）もUIに含まれ得ると仮定する．

各発生事象の安定性には三種類あり，それらは合理的安定，連続的安定，同時安定である．同時安定は，他の安定性とは異なり，プレイヤー同士がもとの発生事象から同時に戦略を変更する（同時手番，simultaneous moves）可能性を想定する．なおその詳細については，岡田ら[2)]に詳しい．本研究では同時手番はないものと考え，同時安定については考慮しない．以下に安定性分析の方法を説明する．ここでは後の議論の展開を踏まえ，**Table 1**の例を**Fig.2**示すようなグラフモデルを用いて述べることとする．また**Table 1**の例として，発生事象11,10,27,26を対象とした部分ゲームを用いることにする．部分ゲームにおける各発生事象の安定性は部分ゲーム以外の任意の発生事象と独立である．

Fig.2において上回りの矢印線はプレイヤー１の一方的改善，下回りの矢印線はプレイヤー2の一方的改善による発生事象の推移を表わしている．

1)合理的安定(rational)

発生事象27においてプレイヤー1は一方的改善の手段を持たない．よって当発生事象にとどまらざるを得ないという意味で安定であり，このとき「発生事象27はプレイヤー1にとって合理的」であり，これを"r"で表わす．発生事象11も同様に"r"である．

2)連続的安定(sequentially stable)

発生事象10においてはプレイヤー1は発生事象11

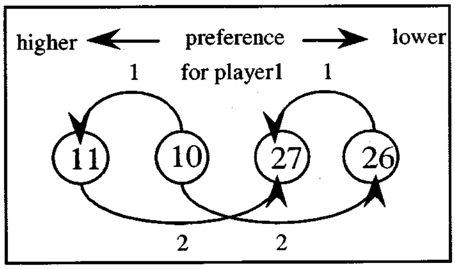

Fig.2 Example of stability analysis for player 1

への一方的改善が可能である．しかしこの一方的改善の実行後に，プレイヤー2の一方的改善によって発生事象が11からさらに27へ移行する可能性がある．発生事象27は発生事象10よりも選好度が低いことから，このような相手側の戦略変更はプレイヤー1にとっての「制裁(sanction)」となる．よって当発生事象からのUIに対して「制裁」が存在する場合，プレイヤー1は当発生事象にとどまることが無難であることから，この発生事象は安定である．この場合「発生事象10はプレイヤー1にとって連続的安定」であり，これを"*s*"で表わす．

3)不安定(unstable)

連続的安定と同様の分析を行い，相手プレイヤーによる「制裁」が存在しない場合が不安定である．これを"*u*"で表わす．**Fig.2**の例では発生事象26がプレイヤー1にとって"*u*"である．

なお，プレイヤー2に関しても同様の分析手順により，各発生事象の安定性が求められる．

ある発生事象が双方のプレイヤーにとって，"*r*"または"*s*" のとき，その発生事象は安定，すなわち均衡解となり，これを"*E*"と表わすことにする．この均衡解が，当該コンフリクト問題の解（落ち着き先）となり得る発生事象である．また，ある発生事象があるプレイヤーにとって"*u*"であれば，その発生事象は均衡解となり得ず，これを不安定"*U*" と表わす．**Table 1**の例における安定性分析の結果を**Table 2**に示す．ただしここで得られる均衡解は，分析者による選好ベクトルの特定が確実であるという前提に基づいている．従って，任意のプレーヤーの選好性に対する誤認知があれば不適切な解が予測される可能性がある．しかし，逆に多少の誤認知が存在しても正しい解が得られる可能性も考えられる．本研究ではこの点に着目し，次章に述べるRobustness分析法を検討する．

4.Robustness分析手法

ここではプレイヤー1は分析者自身でもあるとする．このプレイヤーは自身の選好性については完全に（正確に）認知しているが，相手のプレイヤーについての選好性に関する情報は全く持っていないという極端な状況を想定する．自身の選好性の認知は完全であることから分析者であるプレイヤー1は戦略変更としてUIを選択することは確実に有効である（と確信する）．一方，選好性に不確実性が伴う相手プレイヤーに関しては，相手の戦略変更として任意のUMを選択する可能性を考慮しなければならない．このような状況の下で着目する任意の発生事象が均衡解であることを保証するためには，相手プレイヤーの選好性について最低限どのような制約が付加されればよいかを考えることにする．これを「選好条件」と呼ぶ．着目する任意の発生事象としては，予め相手の選好性についてごく大づかみの想定をした上で安定性分析を行い，それにより得られた均衡解から選ぶ方法が考えられる．あるいは予め直観的に均衡解と目される発生事象を対象にする方法もあり得る．もし，相手の選好性について情報が多少得られている場合には，その情報を情報が全く無いとして得られた選好条件に組み込むことによってより絞り込んだ選好条件の導出が可能である．このようにして最終的に得られた選好条件は，コンフリクトをより詳細に分析するために（再度）調査すべき必要最低限のポイントを絞る上で有用な情報となる．

そこで本研究では，相手プレイヤーに関する選好条件を求めるための行列演算をベースとした数理的な解析アルゴリズムを提案する．以下のコンフリクトの事例として，**Table 1**に示した長崎の都市・防災コンフリクトの部分ゲーム（発生事象11,10,27,26を対象）を取り上げる．一般的展開については付録

Table 2 Stability analysis tableau

	Equilibrium	*U E E U E U U U U U U U U U U U*
Develop-ment	Stability	*r s r u r u r u r u u r u u u u*
	Preference vector	11 10 27 26 13 9 29 25 5 8 12 21 24 28 4 20
	UI	11 27 11 27 1113 27 29 5 21 10 26 10 26 9 25
Disaster prevention	Stability	*r s s s r s s u r s u u r u u u*
	Preference vector	8 24 12 28 9 25 13 29 26 10 4 20 27 11 5 21
	UI	8 8 8 9 9 9 26 8 8 27 9 9 24 24 25 25 24 24 25 25 12 13 12 12 13 13 28 28 29 29 4 5

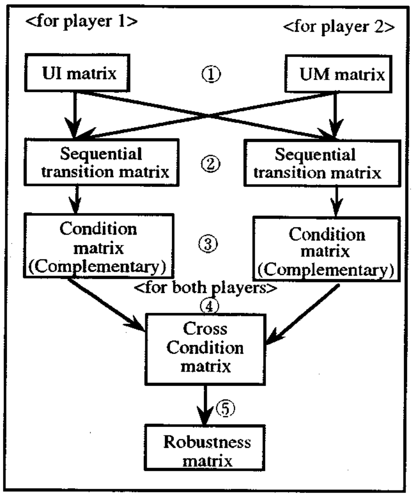

Fig.3 Flow chart of the algorithm

に譲る．なお以下のゲームにおいて，コンフリクトの当事者の一人であり，かつ分析者であるプレイヤー1は開発側，プレイヤー2は防災側とする．ここでの開発側とは，都市開発を志向している行政主体であり，また防災側とは，土木，農林などの関連行政機関や総合都市防災策定委員会，市民など，防災的な観点から都市計画を推進しようという主体をひとまとめに表現したものである．

各主体の選好ベクトル（各発生事象を選好度が高いものから順に左から右へ並べたもの）はそれぞれ，(11,10,27,26)，(26,10,27,11)である．本アルゴリズムは**Fig.3**に示すように5段階から構成されており，以下に各段階ごとの説明を行う．

①UI行列，UM行列

第一段階として発生事象の連続推移の可能性を行列表示するために，UI行列，及びUM行列を求める．発生事象がh個ある場合，プレイヤー1の選好ベクトルを$(q_1,q_2,\cdots,q_h)$とする．任意のプレイヤーi

についてq_mからq_nにUMが存在すれば，(m,n)要素 =1，そうでなければ(m,n)要素 =0となる$h\times h$行列R_iが得られるが，これをプレイヤーiに関するUM行列と定義する．同様に，q_mからq_nにUIが存在すれば，(m,n)要素 =1，そうでなければ(m,n)要素 =0となる$h\times h$行列 R_i^+，つまりUI行列が定義できる．本手法ではプレイヤー1に対するUI行列 R_1^+，及びプレイヤー2に対するUM行列R_2が分析の出発点である．部分ゲームにおける R_1^+，R_2はそれぞれ**Table 3**に示される．

②連続推移行列の算定

第二段階では第一段階で得られたUI，UM行列を用い，各プレーヤーの一連の戦略変更に伴う各発生事象からの推移可能性を表わした行列（以後，連続推移行列と呼ぶ）を求める．

Table 3 UI matrix for player 1 R_1^+(left side) and UM matrix for player 2 R_2(right side)

	11	10	27	26
11	0	0	0	0
10	1	0	0	0
27	0	0	0	0
26	0	0	1	0

	11	10	27	26
11	1	0	1	0
10	0	1	0	1
27	1	0	1	0
26	0	1	0	1

例として発生事象10が均衡解として予測されている場合について，当発生事象からの連続推移行列を考察する．プレイヤー1が一方的な戦略変更を行う場合の発生事象10からの推移をグラフ的に表わすと**Fig.4.1**のようになり，矢印線はプレイヤー1のUIを表わし，実線はプレイヤー2のUMを表わす．これに対応する連続推移行列を**Table 4.1**に示す．この表では発生事象10からの推移を表わしていることを網かけで強調している．またプレイヤー1による発生事象10からのUIとして発生事象11が存在し，そこからさらにプレイヤー2のUMとして発生事象11,27が存在することが理解されよう．縦の点線は発生事象10より望ましい発生事象の集合と望ましくない発生事象（発生事象10を含む）の集合の境界を表わしている．同様にプレイヤー2が一方的な戦略変更を行う場合の発生事象10からの推移を**Fig.4.2**に表わし，それに対応する連続推移行列を**Table 4.2**に示す．ただしここでは，「変形型UM」及び「変形型UI」による推移を考えており，これらの定義はそれぞれ次式の通りである．ただし，$(h\times h)$の単位行列をIとする．

$$\hat{R}_i = R_i - I$$
$$\hat{R}_i^+ = R_i^+ + I \qquad (4)$$

変形型UM行列は任意の発生事象qからのUIとしてq自身への移行を除いたものであり，変形型UI行列は任意の発生事象qからのUIとしてq自身への移行を含めたものである．任意の発生事象のプレイヤー1に対する$(h\times h)$の連続推移行列 X_{q_k}，及びプレイヤー2に対する$(h\times h)$の連続推移行列 Y_{q_k} は，以下の行列演算によって求められる．

$$X_{q_k} = f(T_k)R_2$$
$$T = T_k = A_{q_k} R_1^+$$
$$Y_{q_k} = f(\tilde{T}_k)\hat{R}_1^+$$
$$T = \tilde{T}_k = A_{q_k}\hat{R}_2 \qquad (5)$$

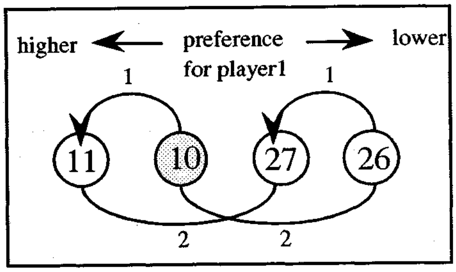

Fig.4.1 Transition of outcome,10 for player 1

Table 4.1 Transition matrix of outcome 10 for player 1

10	11	10	27	26
11	1	0	1	0
10	0	0	0	0
27	0	0	0	0
26	0	0	0	0

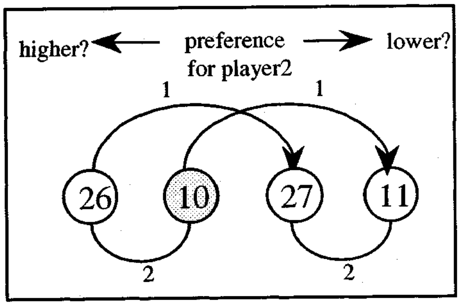

Fig.4.2 Transition of outcome,10 for player 2

Table 4.2 Transition matrix of outcome 10 for player 2

10	11	10	27	26
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0
27	0	0	0	0
26	1	0	0	1

ここに,

$$A_{q_k} = \{a_{ij} \mid a_{ij} = 1(i = j = k), a_{ij} = 0(else)\}$$

$$f(T) = \sum_{i=1}^{h} S_{q_i} T A_{q_i}$$

$$S_{q_k} = \{s_{kj} \mid s_{kj} = 1(1 \le j \le h), s_{kj} = 0(else)\} \quad (6)$$

であり，いずれも$(h \times h)$行列である．これらの式，及び以後に示す式の詳細については付録を参照にされたい．

③各プレイヤーに対する制約条件行列の算定

第三段階では行列演算の技術的便宜上，分析対象となっている発生事象が任意のプレイヤーに対して不安定uとなる条件を求める．次いで第四段階において，第三段階の結果を用いて双方のプレイヤーにとって当該発生事象が不安定Uとなる条件を求める．発生事象が均衡解Eとなる条件集合は不安定Uとなる条件の補集合であることから，最終段階ではこの操作によって選好条件を得る．よって本段階ではまず分析対象となっている任意の発生事象が任意のプレイヤーにとってuとなる条件を求めるが，以後この条件を行列表示したものを単に「（補集合）制約条件行列」と呼ぶことにする．

プレイヤー1にとって任意の発生事象がuであるためには当発生事象におけるあるUIに対してプレイヤー2による制裁が存在しない場合である．たとえば**Fig.4.1**において発生事象10がuであるためにはプレイヤー1が発生事象11にUIで移行しようとしたとき，プレイヤー2は発生事象11からUMを行使して対抗しうる．しかし，もし発生事象27への移行がUIとならない場合には，移行する動機を持たないので，結果的にプレイヤー1の発生事象10から11に移行することを抑止できず，発生事象10はuとなる．すなわち$P_2(11) \ge P_2(27)$が成立していればよい．これをプレイヤー1に対する（補集合）制約条件行列で表わすと，**Table 5**に示される．プレイヤー1に対する制約条件行列は以下の行列演算によって求められる．ただし，任意のプレイヤーiに対する任意の発生事象qの（補集合）制約条件行列は一般に一つとは限らないので，その集合を$c_i^q = \{c_{i1}^q, c_{i2}^q, \ldots\}$と表わす．

付録に示すように，$X_{q_k} = \mathbf{0}$となる場合，発生事象は任意の制約条件下においてもrとなり，uにはなり得ない．よって，$X_{q_k} \ne \mathbf{0}$の場合，i=1,...,hについて

$$(X_{q_k} B_{q_k})^t A_{q_i} \ne \mathbf{0} \quad (7)$$

かつ

$$(X_{q_k} D_{q_k})^t A_{q_i} = \mathbf{0} \quad (8)$$

となるiが一つでも存在すれば，制約条件なしでq_kはuである．ここに，添字tは転置(transpose)を表わす．これらの式を満たさない場合，

$$(X_{q_k} D_{q_k})^t A_{q_i} \ne \mathbf{0} \quad (9)$$

となるi =1,...,hについて，

$$(X_{q_k} D_{q_k})^t A_{q_i} \quad (10)$$

がプレイヤー1に対する制約条件行列の一つとなる．ただし当行列において(i,j)成分 =1であれば制約条件$P_2(q_i) \le P_2(q_j)$をもつことを示し，以後の制約条件行列についても同様である．ここに，

Table 5 Condition matrix of outcome 10
for player 1(left side), for player 2(right side)

10	11	10	27	26
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0
27	1	0	0	0
26	0	0	0	0

10	11	10	27	26
11	0	0	0	0
10	0	0	1	1
27	0	0	0	0
26	0	0	0	0

$$B_{q_k} = \{b_{ij} \mid b_{ij} = 1(i = j, i \le k-1), b_{ij} = 0(else)\}$$

$$D_{q_k} = \{d_{ij} \mid d_{ij} = 1(i = j, i \ge k), d_{ij} = 0(else)\} \quad (11)$$

である．

同様にプレイヤー2にとって任意の発生事象がuであるためには当発生事象からのあるUMがUIであり，かつそのUIからのプレイヤー1による制裁が存在しないことが必要である．よって**Fig.4.2**における発生事象10がuであるためにはプレイヤー2のUM（発生事象26）がUIであり，かつ発生事象26からのプレイヤー1によるUI（発生事象27）が発生事象10よりも選好度が高い場合，すなわち$P_2(26) \ge P_2(10)$かつ$P_2(27) \ge P_2(10)$であることを要件とする．これをプレイヤー2に対する（補集合）制約条件行列で表わすと，**Table 5**の右側の行列で示される．プレイヤー2に対する（補集合）制約条件行列は以下の行列演算によって求められる．

$Y_{q_k} = \mathbf{0}$となる場合，発生事象は任意の制約条件下においてもrとなり，uにはなり得ない．よって，必要条件$Y_{q_k} \ne \mathbf{0}$の場合，

$$G_{q_k q_i} Y_{q_k} \ne \mathbf{0} \quad (12)$$

となる$i = 1,...,h$について，

$$G_{q_k q_i} Y_{q_k} \quad (13)$$

が付加すべきプレイヤー2に対する（補集合）制約条件行列を表わしている．ここに，

$$G_{q_k q_l} = \{g_{ij} \mid g_{ij} = 1(i = k, j = l), g_{ij} = 0(else)\} \quad (14)$$

である．

④双方のプレイヤーに対するクロス（補集合）制約条件行列の算定

以上の結果を用いて本段階では任意の発生事象qの安定性がUであるための（補集合）制約条件の集合$C^q = (C_1^q, C_2^q, ...)$を求める．また，ここで得られる（補集合）制約条件行列を③で制定された制約条件と区別するために「クロス制約条件行列(cross condition (complementary) matrix)」と呼ぶことにしよう．ある発生事象が不安定Uである場合，二人のプレイヤーのうち少なくとも一人のプレイヤーがuであればよいので，当発生事象に関してプレイヤー1がuである場合の（補集合）制約条件と，プレイヤー2がuである場合の（補集合）制約条件の論理和が，当発生事象の安定性がUであるためのクロス（補集合）制約条件行列集合Cとなる．すなわち$C^q = C_1^q \wedge C_2^q$である．ここに$\wedge$は各行列の対応する要素について（ブール代数則での）論理和をとることを表わしている．部分ゲームにおいて発生事象10がUであるための条件は

$\{P_2(27) \le P_2(11)\} or$

$\{(P_2(10) \le P_2(27)) \ and \ (P_2(10) \le P_2(26))\}$

であり，すなわち

$C_1^{10}: P_2(27) \le P_2(11)$

$C_2^{10}: P_2(10) \le P_2(27) \ and \ P_2(10) \le P_2(26)$

である．従ってクロス制約条件行列集合は，**Table 5**に示す二つの行列から成る集合である．

⑤Robustness条件行列の算定

クロス（補集合）制約条件行列は任意の発生事象qがUであるための条件であることから，この条件集合の補集合をとることにより選好条件行列が求められる．この選好条件は当該発生事象が均衡解であるための限界条件を示していることから，この条件をRobustness条件（以後これをR条件と略す）と呼ぶことにする．すなわちR条件行列の集合を$Cr^q = (Cr_1^q, Cr_2^q, ...)$とすると，$Cr^q = \neg C^q$である．（$\neg$は補集合をとることを表わす．）よって事例においては発生事象10が均衡解であるための条件，すなわちR条件は，

$\{P_2(11) < P_2(27) \ and$

$\{P_2(27) < P_2(10) \ or \ P_2(26) < P_2(10)\}$

である．よって，

$Cr_1^{10}: P_2(11) < P_2(27) < P_2(10)$

$Cr_2^{10}: \{P_2(11) < P_2(27) \ and \ P_2(26) < P_2(10)\}$

である．このようにして最終的に得られたR条件行列を**Table 6**に示す．ただし，R条件行列の要素(i,j)要素 =1であれば，$P_2(q_i) < P_2(q_j)$を表わしている．

以上まとめると，本アルゴリズムではまずプレイヤー1に関するUI行列，及びプレイヤー2に関するUM行列を求め，次いで均衡解と予測された発生事象の連続推移行列を双方のプレイヤーに関して求める．連続推移行列を用いた適当な演算を行うことにより，任意のプレイヤーに対する制約条件行列が得られる．これらの制約条件行列は当発生事象がuであるための補集合制約条件であることに注意を要する．当発生事象がUであるためのクロス制約条件行列は二人のプレイヤーのうち少なくても一人のプレ

Table 6 Robustness matrix of outcome,10
for player 1(left side),for player 2(right side)

	11	10	27	26
11	0	0	1	0
10	0	0	0	0
27	0	1	0	0
26	0	0	0	0

	11	10	27	26
11	0	0	1	0
10	0	0	0	0
27	0	0	0	0
26	0	1	0	0

イヤーに対してuであればいいことから，各プレイヤーについて求めた制約条件の論理和をとることにより当発生事象がUであるためのクロス（補集合）制約条件行列を得る．最終的に得られたクロス（補集合）制約条件行列の補集合をとることにより，当発生事象がEとなる条件行列，すなわちR条件行列が求められた．

本手法を適用することにより，分析者が均衡解として想定している発生事象が均衡解であることが保証されるために相手プレイヤーについて成立していなければならない選好条件を特定することができる．

5.事例分析

本章では前章で構築したRobustness分析手法を長崎の都市開発・防災コンフリクトに適用し，その有効性を検証する．

分析者（都市開発側）は**Table 1.1**に示すような選好性を有し，相手プレイヤーの選好性認知に伴う不確実性の下で均衡解として発生事象10,27,13を予測したとする．

発生事象10,27,13が実際にコンフリクト分析の安定性分析において均衡解として成立することを保証する条件は本手法の適用により，以下のように求められる．

- 発生事象10
  $P_2(11) < P_2(27)$ *and* $P_2(26) < P_2(10)$ *or*
  $P_2(11) < P_2(27) < P_2(10)$
- 発生事象27
  $P_2(11) < P_2(27)$
- 発生事象13
  $P_2(21),P_2(29),P_2(5),P_2(9),P_2(25), < P_2(13)$ *or* …
  (他8パターン)

上記の発生事象のうちのいずれかのみが発生する条件が上に示されている．言い換えれば，この条件さえ成立していれば，展開型ゲームとして解釈した場合の初期発生事象が何であろうとも，当該発生事象が均衡解になることが保証されることになる．

これら全ての発生事象が均衡解である条件は各発生事象について得られたR条件の論理積で与えられる．この結果，**Fig.5**に示す全12パターンの条件のうち少なくても一つのパターンが成立していればよいことがわかる．なお図中の$q \prec q'$は選好関係$P_2(q) < P_2(q')$を意味している．これらより，発生事象13と他の発生事象との間等に見られる選好関係が，予測された解の妥当性には決定的に重要であることがわかる．よって，最低限これらの発生事象に関する選好関係の成立を認知することによって，予測の信頼性が保証されることになる．この結果は分析者（都市開発側）にとって，防災側の選好性に関する情報が存在しないとの仮定で得られたものである．すなわち，防災側における（防災の）ニーズが認められる一方で，新局面を迎えているため，相手の選好性を確定するための情報が少なかったり，アクセスが容易でない場合が考えられる．また，相手側も積極的に情報を公開しない場合もあろう．よって「情報が存在しない」ということは，このような状態の極端なケースである．

しかしこの結果に，分析者及び被分析者が共に認識している情報（一種のコモンセンス）を加えることができる．すなわち，防災側の選好性に関しては開発が小規模であることが望ましい．山腹ゾーン開発がない場合は費用のかかる山腹ゾーン防災には消極的である．これらをまとめると**Fig.6**に示すように

$P_2(13) < P_2(8),P_2(9),P_2(12),P_2(24),P_2(25),P_2(28)$
$P_2(5),P_2(21) < P_2(13)$
$P_2(11) < P_2(10),P_2(27)$
$P_2(10) < P_2(26)$

となる．これらの条件のフィルターを通すことにより**Fig.5**の結果を更に絞り込むことが可能である(**Fig.7**)．この他に，防災側の基本的立場として，山の手ゾーン居住者の安全確保，斜面開発の抑制を重要視することが考えられる．これらより**Fig.8**に示すように，$P_2(q) < P_2(13)$ $(q = 10,11,26,27)$の選好関係が想定される．**Fig.7**に更にこの条件のフィルターを通すことにより**Fig.9**が得られる．これより発生事象10と27，及び発生事象13と29の選好関係が，予測された均衡解の妥当性を左右するクリティカルな要因であることが言える．以下に，これら二つの要因について補足的考察を行おう．

発生事象10では縁辺道路の敷設が山腹ゾーンの開発につながる一方，それに対する何の対策も講じ得ない．また発生事象27は縁辺道路敷設が山の手ゾーン開発による居住地での住民の安全確保，並びに開発条件強化が山腹ゾーンの開発抑制に貢献するとも考えられる．これらより，発生事象10と27の選好関

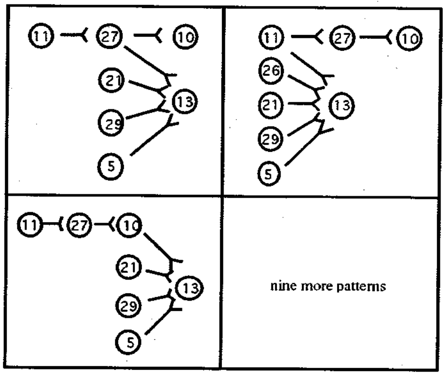

Fig.5 Conditions for the equilibria unchanged

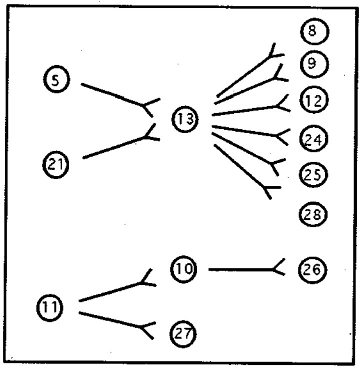

Fig.6 Plausible preference structure for "Disaster Prevention" (filter 1)

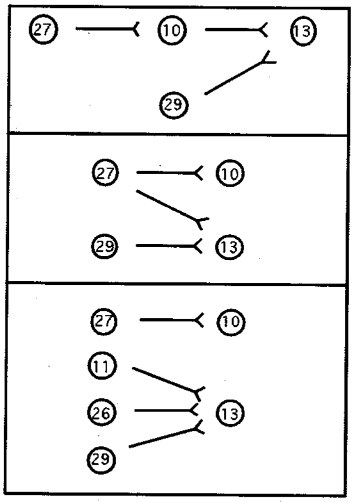

Fig.7 Conditions for the equilibria unchanged (through filter 1)

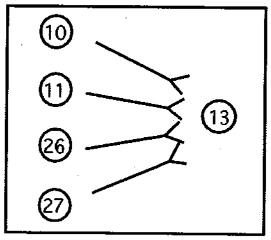

Fig.8 Principle preference for "Disaster Prevention" (filter 2)

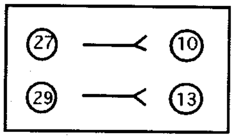

Fig.9 Conditions for the equilibria unchanged (through filter 2)

係($P_2(27) < P_2(10)$)が成立しない可能性がある．仮に成立しないと，$P_2(26) < P_2(10)$の選好関係も保証されないことから，発生事象10のみが不安定となることが各発生事象のR条件行列から判る（ただし，本論文では発生事象10のみの行列を示している）．

そもそも発生事象13と29の間の選好関係の判断は微妙であろう．ただ，防災側が開発側による山腹ゾーン開発に対する牽制として開発条件強化を望んでいる可能性も考えられることから，発生事象13と29の選好関係$P_2(29) < P_2(13)$も成立しない可能性がある．仮に成立しないと，発生事象13は不安定になることが各発生事象のR条件行列から判る．

以上をまとめると，発生事象27は均衡解として安定しているが，発生事象10は防災側の基本的立場を考慮すると均衡解でなくなる可能性があり，また防災側が防災意識を強めると発生事象13から29に均衡解が変化する可能性がある．

このように，本研究で提案したRobustness分析手法は，斜面都市での都市開発・防災コンフリクトにおける調整の行方を判断する上で極めて有効であると考えられる．

すなわち，均衡解を10,27,13と予測した場合，これらが実現解となるためには，発生事象27と10，及び29と13の選好関係を調査しさえすればよいことがわかる．つまり，具体的には，発生事象27と10については，「山腹ゾーン開発」「縁辺道路敷設」という各々のオプションの組み合わせに加えて，さらに各々が「山の手ゾーン利用」「開発条件強化」を加えることを防災側が選好するか否かを調べればよいことになる．発生事象29と13についても同様の考察によれば，「山の手ゾーン利用」「山腹ゾーン防災

+縁辺道路敷設」という各々のオプションの組み合わせに加えて，防災側が「開発条件強化」することを選好するかを調査すればよいことになる．

この結果は，コンフリクトに伴う不確実性に対応するための，有力な政策的知見であるとともに調査論的知見であると考えられる．

6.結び

本研究では，コンフリクトの一当事者である分析者は自身の選好性については確実な認知が可能であるのに対し，相手プレイヤーの選好性の認知については，得られる情報の量，質によって不確実性が伴うことに着目した．その上で分析者は「相手プレイヤーは自分（分析者）の選好性を確実に認識している」との判断の下に，ゲームの均衡解としてある発生事象を予測するが，その精度に応じて解の信頼性が左右される．このため，予測された均衡解がコンフリクト解析の安定性分析において実際に均衡解となるために保証されているべき相手の選好構造を明らかにした．本研究で開発したRobustness分析手法はこのような目的のために有効な技法であることを示した．すなわち，行列を用いたシステマティックな分析アルゴリズムを構築し，長崎市を事例にして手法の有効性を実証した．なお，本研究で開発したRobustness分析手法はコンフリクト解析によって得られた解についての感度分析にも応用可能である．岡田らは長崎市の都市開発・防災コンフリクトを対象として感度分析の適用を試みている[8]．

本研究では，分析者をゲームに関わっている一方のプレイヤーとし，自身及び相手プレイヤーから構成される二人ゲームとして検討を行った．しかし，さらに第3の当事者がいる場合には，選好性の認知の際にはゲームに参加している2人の相手プレイヤーについて不確実性が伴う場合があろう．同様に第4,...第n番目の当事者がいかなる場合についても然りである．この点に関しては，本研究で提案したRobustuness分析手法を3,4人ゲームからn人ゲームへと拡張することが必要である．

また，Robustness分析は1.で明示したように，各プレイヤーがもつ選好性の情報について，一方的な較差があることを前提にしている．これは，最悪のケースを想定した安全サイドの見通しを立てるための仮定と考えれば，必ずしもこの前提が完全に成立する必要はない．しかしながら，当事者間の情報較差（非対称性）の程度に応じて，Robustness分析のアルゴリズムを補正することも可能であろう．以上の点については今後の課題としたい．

付録

Robustness分析の行列演算についての補足的説明

①UI行列，UM行列

発生事象がh個ある場合，プレイヤー1の選好ベクトルを$(q_1,q_2,\cdots,q_h)$とする．またUM行列を$R_i(q_m,q_n)$，UI行列を $R_i^+(q_m,q_n)$，変形型UM行列を $\hat{R}_i = R_i - I$，変形型UI行列を $\hat{R}_i^+ = R_i^+ + I$ とする．

プレイヤーiに関する，発生事象q_mから自身への移行を除いたUMの集合を，以下に表わす．

$$m_i(q_m) = \{{}^{\forall} q_n | R_i(q_m,q_n) = 1\}$$

同様にUMの集合を以下に表わす．

$$m_i^+(q_m) = \{{}^{\forall} q_n | R_i^+(q_m,q_n) = 1\}$$

変形型UMの集合，以下に表わす．

$$\hat{m}_i(q_m) = \{{}^{\forall} q_n \mid \hat{R}_i(q_m,q_n) = 1\}$$

変形型UIの集合を以下に表わす．

$$\hat{m}_i^+(q_m) = \{{}^{\forall} q_n \mid \hat{R}_i^+(q_m,q_n) = 1\}$$

これらの行列は全て$(h \times h)$行列である．

②連続推移行列の算定

まず，プレイヤー1がある発生事象q_kにおいて一方的な戦略変更を行う場合の発生事象の推移について検討する．プレイヤー1の選好性の認知は確実であることから，プレイヤー1が発生事象q_kから解の改善を目的として他の発生事象へと移行する動機を有するのはUIである．また，プレイヤー2の選好性には不確実性が伴うことから，プレイヤー1による発生事象q_kのUIから，さらにプレイヤー2の戦略変更によって移行し得る可能性を有しているのは（最も悲観的に見ると）UMである．すなわち不確実性の存在によりプレイヤー2のUIが特定不可能であるため，UIの候補として全てのUMを網羅することに注意が必要である．

発生事象q_kからのUI，$q_m \in m_1^+(q_k)$に対してプレイヤー2が $q_n \in m_2(q_m)$ なる戦略変更を（q_nが存在すれば）行うとする．この発生事象q_kからの推移を連続推移行列 X_{q_k} によって表わす．すなわちもし，$q_m \in m_1^+(q_k)$ かつ $q_n \in m_2(q_m)$ ならば連続推移行列の成分 $x_{q_k}(q_m,q_n)=1$であり，それ以外は0である．

次いで，プレイヤー2がある発生事象q_kにおいて一方的な戦略変更を行う場合の発生事象の推移について検討する．プレイヤー2による発生事象q_kからの発生事象の移行可能性を有すのは全てのUMであり（ただしプレイヤー2も解の改善を望んでいるこ

とから，少なくてもq_k自身にとどまることはないため，q_k自身は除く），それに伴いプレイヤー1はUIを行使する（ただし演算の便宜上，プレイヤー1のUIとして発生事象自身も含む）．発生事象q_kからの変形型UM，$q_m \in \hat{m}_2(q_k)$に対して，プレイヤー1が$q_n \in m_1^+(q_m)$なる戦略変更を（q_nが存在すれば）行うとする．この発生事象q_kからの推移を変形型連続推移行列Y_{q_k}によって表わす．すなわちもし，$q_m \in \hat{m}_2(q_k)$でかつ$q_n \in m_1^+(q_m)$ならば変形型連続推移行列の成分$y_{q_k}(q_m,q_n)=1$であり，それ以外は0である．

これら$(h\times h)$の連続推移行列X_{q_k}，及び$(h\times h)$の変形型連続推移行列Y_{q_k}は，以下の行列演算によって求められる．

$$X_{q_k} = f(T_k)R_2$$
$$T = T_k = A_{q_k}R_1^+$$
$$Y_{q_k} = f(\tilde{T}_k)\hat{R}_1^+$$
$$T = \tilde{T}_k = A_{q_k}\hat{R}_2$$

ここに，

$$A_{q_k} = \{a_{ij} \mid a_{ij} = 1(i=j=k), a_{ij} = 0(else)\}$$
$$f(T) = \sum_{i=1}^{h} S_{q_i}TA_{q_i}$$
$$S_{q_k} = \{s_{kj} \mid s_{kj} = 1(1 \le j \le h), s_{kj} = 0(else)\}$$

である．これらはすべて$(h\times h)$行列である．よって任意の行列Wに対して行列演算WA_{q_k}は行列Wのk列，$A_{q_k}W$はk行以外の他の成分を0とした行列をそれぞれ与える．$S_{q_k}W$は行列Wのk列の全要素の和を(k,k)成分に代入し，他の成分を0とした行列を与える．変換$f(T)$は行列Tの各列（例えばk列）の和を各対角成分（(k,k)成分）へ代入し，他の成分を0とする変換を表わす．これより$X_{q_k} = f(T_k)R_2$,の行列演算の意味内容は以下のように述べることができる．$f(T_k)$は発生事象q_kからプレイヤー1の一方的改善の結果として到達し得る任意の発生事象q_mに対して(m,m)要素 =1となる$(h\times h)$行列を与える変換である．よって$f(T_k)R_2$はq_mからさらにプレイヤー2の一方的移行によって到達し得る任意の発生事象を表わしている．Y_{q_k}に関しても同様に説明できる．

③各プレイヤーに対する制約条件行列の算定

これらを踏まえ，まず，プレイヤー1がある発生事象q_kにおいて一方的な戦略変更を行う場合，発生事象q_kが当プレイヤーにとってuであるための制約条件を検討する．

プレイヤー1に関して当該発生事象q_kからのUIが存在しない，すなわち$m_1^+(q_k)=\phi$となる場合，発生事象は任意の制約条件下においてもrとなり，uにはなり得ない．UIが存在する場合を考えよう．発生事象q_kはUIの行使によってq_mへ推移し，q_mからさらにプレイヤー2によって到達し得る可能性のある任意の発生事象q_n，すなわちプレイヤー2のq_mに対する任意のUMへ推移しても結局q_nがq_kよりも選好度が高ければ，q_kはuとなる．以上より$m_1^+(q_k)\neq\phi$の場合，$P_1(q_k) \ge P_1(q_n)$となる$^\forall q_n \in m_2(q_m)$ $(^\exists q_m \in m_1^+(q_k))$について，それがプレイヤー2にとって，$q_m$からのUIにならないための条件$P_2(q_n) \le P_2(q_m)$が求める制約条件である．

これらを行列Xを用いると，発生事象q_kがuであるための制約条件が以下のように求められる．

$X_{q_k} = \mathbf{0}$となる場合，発生事象は任意の制約条件下においてもrとなり，uにはなり得ない．よって，$X_{q_k} \neq \mathbf{0}$の場合，$i=1,...,h$について

$$(X_{q_k}B_{q_k})^t A_{q_i} \neq \mathbf{0}$$

かつ

$$(X_{q_k}D_{q_k})^t A_{q_i} = \mathbf{0}$$

となるiが一つでも存在すれば，制約条件なしでq_kはuである．ここに，添字tは転置(transpose)を表わす．これらの式を満たさない場合，

$$(X_{q_k}D_{q_k})^t A_{q_i} \neq \mathbf{0}$$

となる$i=1,...,h$について，

$$(X_{q_k}D_{q_k})^t A_{q_i}$$

が制約条件の一つとなる．ただしこの行列，すなわち制約条件行列において(i,j)成分 =1であれば制約条件$P_2(q_i) \le P_2(q_j)$をもつことを示し，以後の制約条件行列についても同様である．ここに，

$$B_{q_k} = \{b_{ij} \mid b_{ij} = 1(i=j, i \le k-1), b_{ij} = 0(else)\}$$
$$D_{q_k} = \{d_{ij} \mid d_{ij} = 1(i=j, i \ge k), d_{ij} = 0(else)\}$$

である．任意の行列Wに対して行列演算WB_{q_k}は行列Wのk列より右の全ての列(k列を含む)での要素を0とする行列を与え，WD_{q_k}はk列より左の全ての列(k列を除く)での要素を0とする行列を与える．

次いで，プレイヤー2がある発生事象q_kにおいて一方的な戦略変更を行う場合，発生事象q_kが当プレイヤーにとってuであるための制約条件を検討する．プレイヤー2のUMにq_k以外の発生事象が含まれていない場合，発生事象q_kはrになる．従ってそうならないことが必要条件の一つである．さらに，プレイヤー2は合理的プレイヤーである(とプレイヤー1は考えている)ため，プレイヤー2は自らの選好度を下げるような戦略変更は行わない．よって，プレイヤー2による戦略変更がUIとなるための条件を加える必

要がある．

q_kからのプレイヤー2によるUMが存在しない，すなわち$\hat{m}_2(q_k)=\phi$となる場合，発生事象は必ずrとなり，uにはなり得ない．UMが存在し，かつそれがUIであればプレイヤー2はUIを行使し，発生事象はq_mへ推移する．q_mからさらにプレイヤー1が任意のUIを行使し，発生事象がq_nへ推移しても結局q_nがq_kよりも選好度が高ければq_kはuである．以上より$\hat{m}_2(q_k)\neq\phi$の場合，${}^\exists q_m \in \hat{m}_2(q_k)$が$q_m \in \hat{m}_2^+(q_k)$となる，つまり$q_m$がUIとなるための制約条件の一つは$P_2(q_k)\leq P_2(q_m)$である．その上で，この$q_m$に対する${}^\forall q_n \in \hat{m}_1^+(q_m)$についての条件$P_2(q_k)\leq P_2(q_n)$が二つ目の制約条件である．これら二つの条件の論理積が，求める制約条件である．

従って行列Yを用いると，以下のように発生事象q_kがuであるための制約条件が求められる．

$Y_{q_k}=\mathbf{0}$となる場合，発生事象は任意の制約条件下においてもrとなり，uにはなり得ない．よって，必要条件$Y_{q_k}\neq\mathbf{0}$に加えて，

$$G_{q_k q_i}Y_{q_k}\neq\mathbf{0}$$

となるi=1,...,hについて，

$$G_{q_k q_i}Y_{q_k}$$

が付加すべき制約条件を表わしている．ここに，

$$G_{q_k q_l}=\{g_{ij} \mid g_{ij}=1(i=k,j=l),g_{ij}=0(else)\}$$

であり，任意の行列Wに対して，行列演算$WD_{q_k q_l}$は行列Wのl行をk行へシフトさせ，残りの成分を0とした行列を与える．

④双方のプレイヤーに対する（クロス）制約条件行列の算定

当発生事象が不安定Uであるためのクロス制約条件を求めるが，これは二人プレイヤーのうち少なくとも一人のプレイヤーがuであればよいので，当発生事象に対してプレイヤー1がuである場合の制約条件と，プレイヤー2がuである場合の制約条件の論理和が，当発生事象がUであるための制約条件である．

⑤Robustness条件行列の算定

最終的にクロス制約条件集合の補集合をとることにより，Robustness条件を求めることができる．

参考文献

1) Fraser,N,W.,K.W.Hipel:Conflict Analysis Models and Resolution.,North-Holland,1984.

2) 岡田憲夫，キース・W・ハイプル，ニル・M・フレーザー，福島雅夫:コンフリクトの数理–メタゲーム理論とその拡張，現代数学社，1988.

3) Okada.N.,K.W.Hipel. and Y.Oka:A Hierarchical Gaming Approach for the Resolution of Water Resources Conflicts,*Technical Report of Dept. of Applied Mathematics and Physics*,Kyoto University,1983.

4) 岡田憲夫:都市計画と都市防災の調整方式に関する基礎的考察–斜面都市を対象として–，京都大学防災研究所年報第36号B-2

5) Okada,N.,K.W.Hipel,and Y.Oka:Hypergame Analysis of the Lake-Biwa Conflict,*Water Resources Research*, Vol.21.,No.7.1985.

6) 永田素彦，矢守克也：防災計画におけるコンフリクトの調整問題に関する研究，土木計画学研究講演集，N0.7，pp1035-1038,1995.

7) 澤　恒雄，岡田憲夫：斜面都市における都市開発と防災との調整問題に関する基礎的研究，平成４年度土木学会年次学術講演会講演概要集,1992.

7) 岡田憲夫，荒添正棋，谷本圭志：社会基盤整備におけるコンフリクトの調整問題に関する基礎的研究，平成6年度土木学会年次学術講演会概要集，1994.

(1995.2.2受付)

A METAGAME ANALYSIS OF THE RESOLUTION OF CONFLICTS BETWEEN URBAN DEVELOPMENT AND DISASTER PREVENTION –AN APPROACH BY ROBUSTNESS ANALYSIS–

Norio OKADA, Keishi TANIMOTO and Masaki ARAZOE

In many Japanese cities located on hillsides called "slope towns", conflicts commonly arise between urban development and disaster prevention. They even dramatically change once a serious natural disaster occurs, thus causing uncertainties to increase in the conflict. This paper deals with this kind of conflict resolution problem. The problem is first formulated by use of metagame analysis. Then the technique of robustness analysis is developed so as to derive the conditions on the players' preference structure. These conditions guarantee that particular outcomes remain in equilibria despite any other remaining uncertainties.A case study of the City of Nagasaki is carried out to demonstrate the applicability of the proposed technique. In conclusion, possible extensions of the technique are suggested for future improvement.