

# 社会基盤施設整備の提携構造分析に対する ネットワーク形ゲームの適用

佐々木 和寛<sup>1</sup>・坂本 麻衣子<sup>2</sup>・奥村 誠<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東北大学大学院生 土木工学専攻 (〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内41番)  
E-mail:k-sasaki@cneas.tohoku.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 長崎大学准教授 工学部社会開発工学科 (〒852-8011長崎県長崎市文教町1-14)  
E-mail:sakamoto@civil.nagasaki-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東北大学教授 東北アジア研究センター (〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内41番)  
E-mail: mokmr@cneas.tohoku.ac.jp

本研究では、社会基盤施設整備の地域間連携の分析に対し、ネットワーク形ゲームを用いることで、意思決定主体間の関係性に着目した分析手法を示す。また、ネットワーク形ゲームで考えられてこなかった3人以上の提携の概念と社会基盤施設整備に関する提携の形成条件をネットワーク形ゲームに導入し、提携構造の分析の可能性を広げる。

そして、本研究では理論拡張を行ったネットワーク形ゲームを現実問題であるカスピ海における資源供給問題に適用し、適用可能性を検討する。

*Key Words :network formation game, coalition, infrastructure construction*

## 1. はじめに

住民が快適に生活するため、社会基盤施設の整備は行政機関が担う重要な役割である。しかし、近年、多くの行政機関は少子高齢化による税収入の減少と医療・福祉費の増大などに直面し、社会基盤施設の整備に割り振られる予算が減少していくと考えられる。このため、行政機関が社会基盤施設を整備する際、単独ではなく、可能な限り他の地域の行政機関と連携することがますます重要となると考えられる。

このような社会基盤施設整備における主体間の提携問題は、特に、協力ゲームの提携形ゲームで研究が行われてきた。しかし、提携形ゲームでは、1人の意思決定主体は1つの提携にしか参加することができない。つまり、提携形ゲームでは、1人の意思決定主体が複数の提携を結ぶ複雑な提携構造を分析することができないため、水道管のように1本1本のつながりが重要である社会基盤施設がどの意思決定主体間に整備され得るか、またされるべきかということまでは議論できない。

高野ら<sup>1)</sup>はグラフ理論とゲーム理論を用いて、下水道整備事業における自立的かつ効率的な提携形成を可能とする費用配分方法に関して研究を行っている。高野らは、直接的な協力関係を持たなくても、少なくとも他の主体を介して間接的に協力関係を持つ主体の集合

を提携と定義し、その提携に含まれる主体が一体となり事業を行う状況を認めている。しかし、間接的な協力関係と、一連の提携を構成する全主体による事業の共同実施は必ずしも同値ではないと考えられる。言い換えれば、2者間提携の積み重ねと、全主体間の同時的・直接的な合意のもとでの全提携が明示的に区別されていない。

本研究では、社会基盤施設の整備における提携の分析にあたり、主体間の提携のつながり方を分析できるネットワーク形ゲームに着目する。そして、従来のネットワーク形ゲームで考慮できていなかった、3人以上のプレイヤーが同時に結ぶ提携の概念を新たに導入する。このように拡張されたネットワーク形ゲームでは、2者間のみで結ばれる提携と3者以上間で同時に結ばれる提携の2種類を考慮することができる。最後に、新たな概念を加えたネットワーク形ゲームを国際的な交渉問題であるカスピ海のパイプライン整備問題に対して適用し、その適用可能性を検討する。

## 2. ネットワーク形ゲーム

ネットワーク形ゲーム<sup>2)</sup>は意思決定主体の意思決定の相互依存関係を分析する際に、提携構造をグラフ理論

の概念を用いて可視的に表現し分析する理論である。

ネットワーク形ゲームにおいて、意思決定主体はプレイヤーと呼ばれ、ノード(点)で表現される。プレイヤー*i, j*間に提携が結ばれるとき、これを提携{*ij*}と呼び、リンク*j*で表現する。つまり、ネットワーク形ゲームで、提携は基本的には2者間で結ばれる関係性であるといえる。プレイヤー間で提携が形成された結果を提携構造と呼び、プレイヤーを表すノードの集合*N*と提携を表すリンクの集合*L*により構成されるグラフ*g*で表現される。

ここで、表現可能な提携構造について考えるために、グラフ理論の概念である完全グラフ、部分グラフを説明する。プレイヤー集合*N*に対する完全グラフ*g<sup>N</sup>*とは、すべての相異なるプレイヤー間のリンクが形成された状態であり、以下のように表現できる。

$$g^N = (N, L), N = \{1, \dots, n\}, L = \{ij | i \in N, j \in N, i \neq j\} \quad (1)$$

また、グラフ*h*がグラフ*g*の部分グラフであるとは、

$$N(h) \subseteq N(g), L(h) \subseteq L(g) \quad (2)$$

を満たすことである。ここで、*N(h)*, *L(h)*はグラフ*g*のプレイヤー集合、リンク集合を示すものとする。

これより、プレイヤー集合*N*に対して表現可能な提携構造の集合*GR*は、プレイヤー集合*N*に対する部分グラフ集合であるので、以下のように表現できる。

$$GR = \{g | g \subseteq g^N\} \quad (3)$$

表現可能なグラフの集合*GR*の任意のグラフ*g*に対して、1つの実数*v(g)*を対応させる関数*v*をネットワーク制約型特性関数と呼ぶ。また、この実数*v(g)*をグラフ*g*に対する提携値という。プレイヤー集合*N*とネットワーク制約型特性関数*v*によって定義されるゲームをネットワーク形ゲーム(*N, v*)という。提携値をプレイヤーへ割り当てた値を配分という。ネットワーク形ゲームでは、個々のグラフに対応する提携値や配分によってプレイヤー間の提携や全体的な提携構造を評価できる。

### 3. 部分全提携

ネットワーク形ゲームは、提携をプレイヤー間のリンクとして表現するため、プレイヤーの1対1のつながりを認識するには優れている。しかし、3人以上のプレイヤーが結託して1つの提携を結ぶ状況は表現できない。このような提携は、提携形ゲームで表現されてきた。そこで、本研究では提携形ゲームにおける提携<sup>3)</sup>の概念を援用して部分全提携という提携を定義し、ネットワーク形ゲームに導入する。すなわち、部分全提携では、

提携内のプレイヤーがお互いに2者間提携によって結ばれるのではなく、結託して1つの提携を形成し、提携内のプレイヤー全員の利潤の和を最大化するように行動する。そのため、部分全提携の形成により整備される社会基盤施設は、提携内のプレイヤー全員の利潤 $\pi_i(g)$ の和を最大化するように整備されると考えるのが自然である。すなわち、部分全提携に含まれるプレイヤーの集合を*N'*とし、これによって形成可能な完全グラフ*g<sup>N'</sup>*の部分グラフの集合*GR<sup>N'</sup>*のうち、以下の式を満たすものを部分全提携におけるネットワーク*gs*と定める。

(ここで、*q<sub>i</sub>*, *q<sub>j</sub>*, *X<sub>i</sub>*は $\pi_i(g)$ の変数である)

$$gs = \left\{ g' \mid \max_{g' \in GR^{N'}} \left( \max_{q_i, q_j, X_i} \sum_{i \in N'} \pi_i(g') \right) \right\} \quad (4)$$

次に、部分全提携の表現方法について考える。部分全提携によって形成されるネットワークは提携内のプレイヤーの利潤が最大となるように決定されるが、提携構造は部分全提携が集合論に起因する概念であるため、2者間提携のように2者のつながりのみで表されるグラフでは表現できない。そこで、グラフを着色グラフに拡張することで部分全提携を表現する。すなわち、部分全提携内のプレイヤーの利潤の和を最大化することで定まるネットワークを用い、部分全提携が結ばれているプレイヤーのノードを白で表現することで、提携構造を表現することとする。具体的には、図-1のgs1のように、部分全提携に含まれるプレイヤー1, 3, 4は白で表現し、提携に含まれないプレイヤー2は黒で表現する。一方、gs1におけるプレイヤー1, 4間と3, 4間に存在するリンクは提携構造によって実現している社会基盤施設のネットワークを示している。また、図-1のgs2のプレイヤー3のように部分全提携と2者間提携の両方を結んでいるプレイヤーは部分全提携を結んでいることを明確にするため、白点を用いて表現する。

ここで、グラフにおける提携と社会基盤施設に関する定義を明確にしたものを表-1に示す。2者間提携では提携をリンクで表現するが、部分全提携では提携を着色ノードを用いて表現する。また、グラフは非物理的な関係性として提携構造を示し、物理的な関係性として社会基盤施設のネットワークを示す。

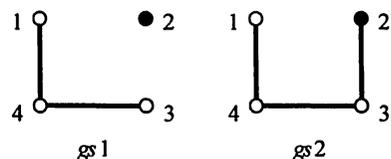


図-1 部分全提携を含むグラフ

表-1 語句の定義

グラフ上での表現	非物理的な関係性		物理的な関係性
	2者間提携	部分全提携	
リンク	提携	-	1つの社会基盤施設
ノード	プレイヤー	-	プレイヤー
着色ノード	-	提携+プレイヤー	プレイヤー
グラフ	提携構造	提携構造	社会基盤施設のネットワーク



図-2 カスピ海とその沿岸国<sup>9)</sup>

#### 4. 提携形成条件

社会基盤施設整備に関する提携構造の分析に対してネットワーク形ゲームを適用するにあたり、提携の形成や破棄を判断するための条件が必要となる。言い換えれば、プレイヤーの合理性と提携構造の安定性について定義する必要がある。提携の形成条件としては、社会基盤施設が整備された後で提携内のプレイヤーの利潤が増大しなければならぬと考えられる。一方、提携の破棄条件に関しては、提携の形成による社会基盤施設の設備が不可逆的であるため、考慮しなくてよいこととする。ただし、部分全提携では、提携形成によってすべてのプレイヤー間に必ずしも社会基盤施設が整備されるわけではないため、提携の破棄が可能である。本研究では提携の破棄は考慮しないため、部分全提携における提携の破棄は不可能であると仮定する。以上のことから、提携の形成条件は以下ようになる。

##### 2者間提携における提携形成条件

提携構造  $g$  において異なるプレイヤー  $i, j$  間に存在していなかった提携の形成を考えたとき、 $ij$  が形成された提携構造を  $g+ij$ 、提携構造  $g$  におけるプレイヤー  $i$  の利潤を  $\pi_i(g)$  とすると、提携  $ij$  が形成可能であるとは次式が満たされることである。

$$\pi_i(g+ij) > \pi_i(g) \text{ かつ } \pi_j(g+ij) > \pi_j(g). \quad (5)$$

##### 部分全提携における提携形成条件

提携構造  $g$  に対し、新たに部分全提携が形成された提携構造を  $g'$ 、提携構造  $g'$  でのプレイヤー  $i$  の利潤を  $\pi_i(g')$ 、部分全提携に含まれるプレイヤーの集合を  $N'$  とすると、新たに部分全提携が形成可能であるとは次式が満たされることである。

集合  $N'$  に含まれるすべてのプレイヤー  $i$  に対して、

$$\pi_i(g') > \pi_i(g). \quad (6)$$

#### 5. カスピ海の石油供給問題への適用

本章では、新たな概念を導入したネットワーク形ゲームを現実問題に適用し、適用可能性を検討する。本研究では、国際的な交渉問題となっているカスピ海の石油パイプライン整備問題に適用する。

カスピ海沿岸には、ロシア、カザフスタン、トルクメニスタン、イラン、アゼルバイジャンの人種や宗教の異なる5カ国が存在している(図-2)。そのため、カスピ海における権利、例えば、水利権、領域権や汚染問題などが交渉の議題として挙がっている。中でも交渉の争点となっているのが、地下資源問題である。カスピ海の海底には石油や天然ガスの地下資源が存在しており、沿岸諸国はカスピ海で生産される資源の輸出による利益の享受を考えている。この地域における輸出手段としてパイプラインがあり、パイプライン整備のされ方による沿岸国の利益の変化を分析することとする。

##### (1) 提携構造のモデル化

まず、ネットワーク形ゲームをカスピ海の石油供給問題に適用するため、この問題における提携の概念を明確にする。本研究では、カスピ海でのパイプライン整備と生産される石油の供給問題に着目するため、提携が形成されるとはプレイヤー間にパイプラインが整備され、自由に利用できることを意味することとする。つまり、2者間提携では、提携を結ぶプレイヤー間にパイプラインが整備され、そのパイプラインを両者が自由に使える。また、部分全提携では、提携内のプレイヤー全員が自由に輸出入を行い、その利潤の和を最大化するようにパイプラインを整備する。

次に、プレイヤーを具体的に定義する。カスピ海で産出される石油は、2002年のCIS諸国貿易年鑑<sup>9)</sup>によると、ロシアの原油はドイツ(12%)、イタリア(12%)、ポーランド(11%)、アゼルバイジャンの原油はイタリア(70%)、カザフスタンの原油はバミューダ(24%)、ロシア(16%)、イタリア(13%)に輸出されており、欧州への輸出が多い。そこで、本研究では欧州への輸出に着目することとす

る。このため、カスピ海沿岸での石油生産量が多いカザフスタンとアゼルバイジャンはプレイヤーとして考慮し、石油生産量が少ないイランとトルクメニスタンは、欧州への輸出に対する影響が弱いと考えられるので、プレイヤーとして考慮しないこととする。一方、ロシアはカスピ海における石油生産量は少ないが、石油生産量の多いカザフスタンと最終輸入国である欧州の間に存在し、石油の輸出入に関して地政学的に重要な役割を果たしていると考えられる。したがって本研究では、ロシア、欧州、カザフスタン、アゼルバイジャンの4カ国をプレイヤーとして考えることとする。

以上の設定で形成され得る提携構造をグラフを用いて表現する。ここで、地理的条件を考えると、カザフスタンと欧州をパイプラインでつなぐには、他国の領土を通過する必要があるため、この2国が直接パイプラインでつながれる提携構造は除いて考えることとする。

## (2) 石油供給量決定問題モデル

次に、プレイヤー*i*の利潤 $\pi_i$ ( $g$ )を求めるモデルを考える。利潤はパイプラインが整備され、石油供給量が決定することで求まる。まず、2者間提携が形成された場合の石油供給量を決定するモデルを考える。

図-3に示すように、国*i*( $i \in N$ )と国*j*( $j \neq i$ )間、国*k*( $k \neq i, k \neq j$ )と国*i*間がパイプラインで結ばれているとする。国*k*は石油保有国であり国*i*へ石油を供給しており、国*i*は、国*k*から輸入するもしくは自国で石油を生産することで石油保有国となり、国*j*へ石油を供給している。このとき、国*i*の利潤を最大化するように自国の石油生産量、自国への供給量、国*j*への供給量を決定しようとしている状況を考える。

国*i*が保有する石油量は、1) 自国で生産したもの、2) 国*j*を除く他国から輸入したものの総和とする。1) において、国*i*が石油生産可能である場合、国*i*は石油生産量 $X_i$ を需要に応じて調整でき、一定期間に $X_i$ だけ生産する(最大 $X_{i,max}$ まで生産可能とする)。国*i*が石油生産国でない場合、石油生産量 $X_i$ は0となる。2) において、国*j*を除く他国から輸入された石油の総和量を次式のようにおく。(ただし、 $N'_i = \{k | k \in N, k \neq i, k \neq j\}$ である)

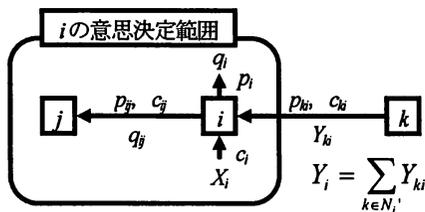


図-3 2者間提携による石油供給量決定モデル

$$Y_i = \sum_{k \in N'_i} Y_{ki} \quad (7)$$

国*i*の総石油保有量 $X_i + Y_i$ のうち国*j*へ供給する量を $q_j$ 、国*i*の自国への供給量を $q_i$ とする。ここで、国*i*の石油価格と需要量を $p_i, z_i$ とすると、国*i*の石油の逆需要関数は次式で表される。

$$p_i = D_i(z_i) \quad (8)$$

図-3に示すモデルと対応させれば、国*i*の自国の供給価格 $p_i$ は自国の保有量と国*k*からの輸入量の和のうち、自国へ割り振られる供給量 $q_i$ によって決まる。したがって、式(8)は式(9)のように書き改められる。

$$p_i = D_i(q_i) \quad (9)$$

一方、国*i*の国*j*への供給価格 $p_{ij}$ は、国*j*へ供給する国の総供給量と国*j*の保有量によって決まる。したがって、一般的に書けば、式(10)となる。なお、 $N_j = \{i | i \in N, i \neq j, i \neq k\}$ は国*j*への供給国の集合である。

$$p_{ij} = D_j \left( X_j + \sum_{i \in N_j} q_{ij} \right) \quad (10)$$

図-3に示すモデルのケースに準じれば、国*j*は石油を保有しておらず、輸入国は国*i*だけなので、国*i*の国*j*への供給価格 $p_{ij}$ は式(11)のように書ける。

$$p_{ij} = D_j(q_{ij}) \quad (11)$$

また、費用については、国*i*が国*j*へ輸出するときの単位量あたりの輸送費用を $c_j$ 、国*i*の単位量あたりの石油生産費用を $c_i$ とする。

以上の設定のもとで、国*i*は自国の利潤 $\pi_i$ を最大化するように自国の石油生産量 $X_i$ 、自国への供給量 $q_i$ 、国*j*への供給量 $q_j$ を決定する。すなわち、次式のように石油供給量決定モデルは定式化できる。

$$\pi_i = \max_{q_j, q_i, X_i} \left\{ \sum_{j \in N_j} p_{ij} q_{ij} + p_i q_i - \sum_{j \in N_j} c_j q_{ij} - \sum_{k \in N'_i} p_{ki} Y_{ki} - c_i X_i \right\} \quad (12)$$

$$s.t. \sum_{j \in N_j} q_{ij} + q_i = X_i + Y_i,$$

$$q_j \geq 0, q_i \geq 0, 0 \leq X_i \leq X_{i,max}$$

次に、部分全提携における石油供給量決定モデルを考える。利潤を求める式は2者間提携の場合と共通であるが、式を用いる場合の供給条件が異なる。2者間提携では直接パイプラインで結ばれているプレイヤーに対してのみ供給可能であるが、部分全提携では提携全体の利潤の最大化を目的とするため、部分全提携に参加

するすべてのプレイヤーは部分全提携によって整備されるすべてのパイプラインを自由に使用することが可能であるとす。したがって、直接パイプラインで結ばれていないプレイヤーに対しても複数のパイプラインを利用することで間接的に石油を供給することができる。この際、輸出国は経由国とは取引を行わず、輸入国と直接取引を行うため、経由国において価格の変化は起こらないものとする。

### (3) モデル設定の詳細と使用データ

(2)で示した石油供給量決定モデルを適用するにあたって必要となる逆需要関数、輸送費用・生産費用・生産量を具体的に設定する。

まず、逆需要関数の設定では、国*i*における需要量 $z_i$  (barrel/day)と価格 $p_i$  (\$/barrel)の関係を示す関数として、線形な逆需要関数を仮定する。すなわち、

$$p_i = A_i z_i + B_i \quad (A_i, B_i : \text{定数}) \quad (13)$$

この逆需要関数に対する需要の価格弾力性 $\varepsilon_i$ は

$$\varepsilon_i = \frac{1}{A_i} \cdot \frac{p_i}{z_i} \quad (14)$$

で与えられる。したがって、価格と需要量の1組、そして価格弾力性の値が分かれば、式(13)と(14)の2式の連立方程式を解くことで逆需要関数を求められる。

価格弾力性については、アメリカのエネルギー省が発表したアメリカのガソリン需要の長期平均価格弾力性の推定値<sup>9)</sup>である-0.38という値を用いることとする。

価格と需要量は石油会社BPの報告書<sup>7)</sup>の値を参考に設定する。価格は2006年の平均石油価格を用いる。需要量は報告書における2006年の各国の総消費量の値をそのまま使うのではなく、カスピ海で生産される石油が国内消費に及ぼす影響を考慮して設定する。すなわち、ロシアについては、カスピ海沿岸地域の南連邦管区をカスピ海で生産される石油の影響が及ぶ範囲と考え、ロシア総人口に占める南連邦管区の人口割合<sup>9)</sup>である0.16をロシアの石油総消費量に乗じた値を需要量とする。欧州の需要量については、旧ソ連地域からの輸入比率<sup>9)</sup>である0.27を欧州での全消費量に乗じた値を用いる。逆需要関数の式(13)の定数 $A_i, B_i$ の推定結果を表-2に示す。

次に、パイプラインを用いた石油の輸送費用と、石油の生産費用を設定する。一般に、石油生産や売買に関するデータは入手が困難であり、各国に対して正確な値を設定するのは難しい。本研究におけるプレイヤー(国)は近接しており、単位量あたりの輸送費用や生産費用は大きく異ならないと考えられるため、入手可能なプレイヤーのデータを他のプレイヤーに対して

表-2 逆需要関数の推定結果

	ロシア	欧州
$p$ (\$/barrel)	65.14	65.14
$z$ (barrel/day)	437616.29	4318403.03
$A$	-0.000392	-0.000040
$B$	236.58	236.58
	カザフスタン	アゼルバイジャン
$p$ (\$/barrel)	65.14	65.14
$z$ (barrel/day)	220743.01	96467.48
$A$	-0.000777	-0.001777
$B$	236.58	236.58

も用いることとした。一方で、輸送費用や生産費用の相違が各プレイヤーの交渉戦略に違いをもたらし得るとも考えられる。本研究では、分析方法論の提案を目的としているため、パラメータ設定について詳細な議論は行わないが、コンフリクトマネジメントの実践を現実に行う場合には、費用に関する感度分析を行うことも有効であろう。

パイプライン輸送費用については、IDCJの報告するCPCパイプライン輸送費用<sup>10)</sup>である4 (\$/barrel)を用いることとした。また、石油の生産費用については、丸紅経済研究所の資料で示されているカザフスタンの生産費用<sup>11)</sup>である7 (\$/barrel)という値を産油国であるアゼルバイジャンとカザフスタンに対して用いることとした。

最大石油生産量 $X_{i,max}$ に関しては、石油会社BPの報告する2006年度の石油生産量を用いることとする。具体的には、カザフスタンでは $1.43 \times 10^6$  (barrel/day)、アゼルバイジャンでは $0.65 \times 10^6$  (barrel/day)という値を用いる。

### (3) 分析結果

以上の設定と第4章で示した提携形成条件を用いて提携の形成プロセスを分析する。この際、提携構造を評価するために社会的総余剰の総和を用いることとし、提携構造 $g$ における社会的総余剰の総和 $SC(g)$ を以下のように定義する。

$$SC(g) = \sum_{i \in N(g)} SC_i(g) = \sum_{i \in N(g)} (\pi_i(g) + CS_i(g)) \quad (15)$$

$SC_i(g)$ : 提携構造 $g$ での国*i*の社会的総余剰

$\pi_i(g)$ : 提携構造 $g$ での国*i*の石油供給による利潤

$CS_i(g)$ : 提携構造 $g$ での国*i*の国内供給による消費者余剰

$N(g)$ : 提携構造 $g$ でのプレイヤー集合

まず、2者間提携のみを考慮した場合の提携の形成プロセスを図-4に示す。図-4において、縦軸は社会的総余剰の総和、横軸は整備されたパイプラインの本数、図中の $g_t$ は2者間提携のみからなる提携構造を示す。また、図-4における具体的な提携構造の例を図-5の $g_2$ ,

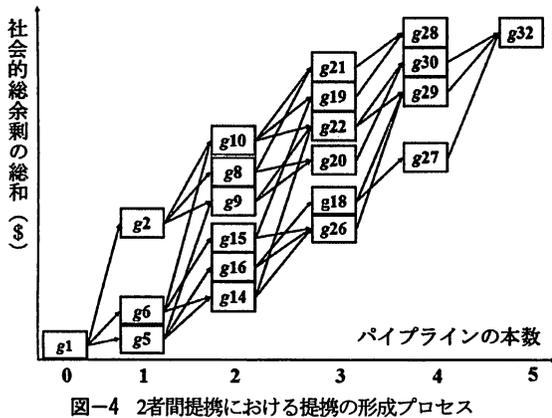


図-4 2者間提携における提携の形成プロセス

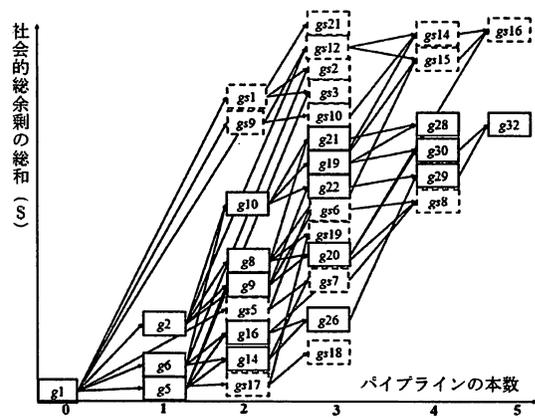


図-6 部分全提携も考慮した提携の形成プロセス

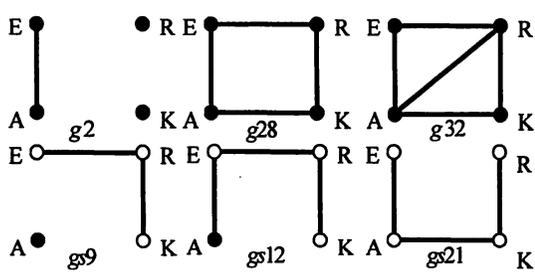


図-5 具体的なグラフ

g28, g32に示す。図-5のR, K, A, Eはロシア, カザフスタン, アゼルバイジャン, 欧州を示す。

2者間提携のみの場合、提携が形成されていった最終到達状態としてg28とg32が実現されると考えられる。この2つを比較すると、g28よりもg32は1本多くパイプラインを整備することでg28と同じ社会的総余剰の総和を実現しており、2者間提携のみの場合では、環境への負荷が小さいという点で、g28が望ましいことがわかる。

次に、部分全提携も考慮した場合の提携の形成プロセスを図-6に示す。図-6におけるgsは2者間提携と部分全提携からなる提携構造を示す。図-6に着目すると、部分全提携にも考慮した提携構造では、2者間提携のみで到達する提携構造よりも社会的総余剰の総和が高いものが存在している。特に、その値が大きいgs12, gs21への提携形成過程に着目する。gs12へ到達するには、g2またはgs9を経由する必要がある、gs21に到達するためには初期状態g1においてすべてのプレイヤーの結託により部分全提携が形成される必要がある。このどちらの場合にも初期段階で産油国であるアゼルバイジャンの意思決定が関係しており、同国がキープレイヤーとなることが分かる。

## 6. 結論

本研究では、社会基盤施設整備に対する地域間提携の分析を行う上で有用と考えられるネットワーク形ゲームを用いた分析手法を示した。その際、ネットワーク形ゲームで考慮されていなかった3人以上間で同時に結ばれる提携と、社会基盤施設整備に関する提携形成の可否を判断するための原則をネットワーク形ゲームに導入した。すなわち、社会基盤施設整備事業の特性を考慮して、整備の不可逆性と、提携を形成するプレイヤーの利潤（初期費用を除く）が必ず増加するという厳しい条件を原則とし、さらに部分全提携を導入することで、社会基盤施設整備への適用を前提にネットワーク形ゲームを拡張した。

現実問題であるカスピ海の資源供給問題に適用した結果、沿岸国が2者間のみで交渉しパイプラインを整備するよりも、3人以上で結託しパイプラインを整備すると社会的により望ましい状態に至れる可能性が生じ、この際の提携形成のパスとキーになるプレイヤーの存在を示した。

このような知見は交渉時において、プレイヤーの意思決定支援のために有効な情報となり得ると考えられる。特に、不要な社会基盤施設整備を生み得るパスを避け、また、提携への関わり方の経緯を把握することで費用配分の公平性を検討し得るという点で有用であると考えられる。

今後の課題として、本研究では社会基盤施設整備による費用や利潤の配分を考慮していない点が挙げられる。より現実的な提携構造の分析を行うためにも、プレイヤー間で公平性を考慮した配分に基づく意志決定に着目する必要があると考えられる。

## 参考文献

- 1) 高野 浩一, 榊原 弘之, 岡田 憲夫, 多々納 裕一: 流域下水道整備事業の費用配分方法に関するゲーム論的考察, 土木計画学研究・論文集 15, 1998.
- 2) Jackson, M. O. : A Survey of Models of Network Formation: Stability and Efficiency, Group Formation in Economics, pp.11-57, 2005.
- 3) 岡田章: ゲーム理論, 有斐閣, 1996.
- 4) 久保庭真彰, 旧ソ連のマクロ経済動向と石油・ガスフローの基本問題, HP : <http://www.mof.go.jp/jouhou/kokkin/tyousa/kyusoren-1.pdf>, (2008.6.30現在)
- 5) Google : <http://maps.google.co.jp/maps?hl=ja&tab=wl>. (2008.3.25現在)
- 6) Center for Clean Air Policy : US Carbon Emissions Trading: Some Options that Include Downstream Sources, April 1998.
- 7) BP : Statistical Review of World, June 2007.
- 8) ロシア連邦国家統計委員会, HP : <http://www.gks.ru/>, (2007.12.4現在).
- 9) 富士通総研, HP : <http://jp.fujitsu.com/group/fri/report/economic-review/200301/page16.html>, (2008.1.10現在) .
- 10) IDCJ/エネルギー・環境室, HP : [http://www.idcj.or.jp/1DS/11ee\\_jousei021106.htm](http://www.idcj.or.jp/1DS/11ee_jousei021106.htm), (2008.1.10現在) .
- 11) 丸紅経済研究所, HP : [http://www.marubeni.co.jp/dbps\\_data/material/\\_maruco\\_jp/data/research/market/pdf/041119shibata.pdf](http://www.marubeni.co.jp/dbps_data/material/_maruco_jp/data/research/market/pdf/041119shibata.pdf), (2008.3.26現在)

## APPLICATION OF NETWORK FORMATION GAME TO ANALYSIS OF COALITION PHASES ON INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION

Kazuhiro SASAKI, Maiko SAKAMOTO and Makoto OKUMURA

A methodology is shown to analyze phases of player's coalition formation. It can be used for analyzing inter-regional cooperation which is a relevant problem in Japan. Network formation game is used to model the problem with some extensions on concepts of coalition and coalition formative condition. The coalition among more than 3 players is introduced, which is not considered in the standard network formation game. The coalition formative condition is also introduced taking into account specific characteristics about infrastructure construction. The methodology is applied to oil allocation problem among Caspian coastal countries, and how the methodology works in the real problem is examined.