

# カスピ海石油パイプライン建設における提携構造の分析

An analysis on coalition structure in the case of Caspian oil pipeline construction

佐々木 和寛\*  
Kazuhiro SASAKI

\*地域計画学研究室 (指導教員：坂本麻衣子 助教)

本研究では、カスピ海におけるパイプライン建設と石油資源供給問題をネットワーク形ゲームでモデル化し、プレイヤーが考慮できる提携の違いによって発生する提携の形成プロセスの違いを分析した。モデル化にあたり、提携形ゲームの提携の概念を援用して部分全提携という提携形態を新たにネットワーク形ゲームに導入した。この結果、社会的総余剰の総和に着目した場合、2 国間提携によって実現する提携構造よりも部分全提携を含む提携によって実現する提携構造のほうが望ましいことが分かった。

key words : ネットワーク形ゲーム, 提携, 多国間交渉

## 1. はじめに

カスピ海では、近年、関係諸国間で資源配分に関する交渉が活発に行われている。20 世紀後半までは、沿岸国のソビエト連邦とイランが 2 国間の協定を結んでいた。1991 年にソビエト連邦が崩壊した結果、カスピ海沿岸にアゼルバイジャン、カザフスタン、トルクメニスタンの 3 国が誕生し、それ以前の協定では対応できなくなった。このため、カスピ海の法的位置づけを明確にし、新たな協定を策定する必要が生じた。現在まで何度も意見交換がなされてきたが、各国の主張には差異が存在し、全員一致によって協定が制定されるという原則以外は合意に至っていない。一方、石油資源に関してロシアは近隣国のアゼルバイジャン、カザフスタンと 2 国間提携を結び、交渉を有利に進めようとしている。

本研究では、カスピ海の資源配分問題に対し、パイプライン建設と石油供給に関する提携構造について分析する。プレイヤー同士の提携に関する詳細な分析が可能なネットワーク形ゲームを用いて提携構造をモデル化し、各国が 2 国間提携のみを考慮する場合と、3 カ国以上の提携も考慮する場合の提携の形成プロセスの違いを分析する。また、提携構造を社会的総余剰の総和で評価し、その提携構造に対応する石油供給ネットワークをグラフ指標で評価する。

## 2. カスピ海の資源配分問題の構造化

現在、カスピ海において問題となっている事柄<sup>1)</sup>として、地下資源問題(石油, ガス)、環境問題, 安全保障問題などが存在する。このような問題を整理

し、構造化した結果、地下資源問題が交渉の本質的な争点であることが分かった。そこで、分析の対象を石油に絞り、石油の供給問題に関して形成される提携構造を分析する。

## 3. モデル化

従来、提携に関する研究は協力型ゲームの提携形ゲームで行われてきた。しかし、提携形ゲームではプレイヤーが複数の 2 国間提携を結ぶことを認めていないため、プレイヤー間の詳細な関係は表現できていなかった。したがって、本研究では、2 国間提携の表現に優れるネットワーク形ゲームを用いてモデル化を行うことで詳細な関係性を分析する。

### 3.1 語句の定義

ネットワーク形ゲーム<sup>2)</sup>においては、プレイヤー 1 人は 1 つのノード(点)として表現される。プレイヤー  $i, j$  間に提携が形成される時、この関係を提携  $\{ij\}$  と呼び、リンク  $ij$  で表す。2 国間提携における語句の定義を表 1 に示す。

表 1 語句の定義

グラフ理論	プレイヤーの関係性	
グラフ上の表現	非物理的な関係性	物理的な関係性
リンク	提携	パイプライン
グラフ	提携構造	ネットワーク

### 3.2 石油供給量決定モデル

プレイヤーの提携に関する意思決定の判断材料である利潤と消費者余剰を求めるため、カスピ海の石油供給量決定モデルを考える。国  $i$  と国  $j$  間、国  $k$  と国  $i$  間がパイプラインで結ばれており、国  $i$  と国  $k$  は石油保有国で、国  $k$  は国  $i$  へ、国  $i$  は国  $j$  へ石油を供給しているとする。このとき、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  $X_i$  (最大生産量は  $X_{i \max}$ ), 自国への供給量  $q_i$ , 国  $j$  への供給量  $q_{ij}$  を決定する. すなわち, 以下のように石油供給量決定モデルを定式化する.

$$\begin{aligned} \pi_i &= \max_{q_{ij}, q_i, X_i} \sum_{j \in N_i} p_j q_{ij} + p_i q_i - \sum_{j \in N_i} c_{ij} q_{ij} - \sum_{k \in N_i'} p_{ki} Y_{ki} - c_i X_i \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{j \in N_i} q_{ij} + q_i = X_i + \sum_{k \in N_i'} Y_{ki}, \\ &q_{ij} \geq 0, q_i \geq 0, 0 \leq X_i \leq X_{i \max} \end{aligned} \quad (1)$$

- $p_j$ : 供給量  $q_{ij}$  に対する国  $j$  の需要価格
  - $p_i$ : 供給量  $q_i$  に対する国  $i$  の国内需要価格
  - $Y_{ki}$ : 国  $k$  から国  $i$  への輸出货量
  - $p_{ki}$ : 供給量  $Y_{ki}$  に対する国  $i$  の需要価格
  - $c_{ij}$ : 国  $i$  の国  $j$  への単位量あたりの輸送費用
  - $c_i$ : 国  $i$  の単位量あたりの石油生産費用
  - $N_i$ : 国  $i$  が輸出する国の集合
  - $N_i'$ : 国  $i$  が輸入する国の集合
- 本研究では逆需要関数を線形と仮定する.

### 3.3 部分全提携

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形態を定義し, ネットワーク形ゲームに導入する. 部分全提携では, 提携内のプレイヤーがお互いに2国間提携を結ぶのではなく, 提携内のプレイヤー全体が結託し利潤の和を最大化するように行動する.

部分全提携に含まれるプレイヤー集合を  $N'$  とし,  $N'$  によって形成可能な完全グラフ  $g^{N'}$  の部分グラフ集合  $GR^{N'}$  うち, 式(2)を満たすものを部分全提携で形成されるネットワーク  $gs$  と定めることとする.

$$gs = \left\{ g \mid \max_{g \in GR^{N'}} \left( \max_{i \in N'} \sum \pi_i(g) \right) \right\} \quad (2)$$

部分全提携におけるすべてのプレイヤーは部分全提携によって建設されたパイプラインを自由に使用することができる. したがって, 直接つながっていない提携内のプレイヤーに対しても供給が可能となる.

## 4. 提携構造の分析

### 4.1 使用データ

$c_{ij}=4$  (\$/barrel),  $c_i=7$  (\$/barrel) と設定した. 逆需要関数は, 需要の価格弾力性=-0.38 と, 2006年の平均価格と需要量を用いて推定する.

### 4.2 提携形成条件

提携形成の判断基準として提携形成条件を次のように定義する.

提携構造  $g$  に対し新たな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  $\pi_i(g)$  をとすると, 新たな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.

新たな提携に関わるすべてのプレイヤーに対して

$$\pi_i(g') > \pi_i(g) \quad (3)$$

### 4.3 提携構造の形成プロセスと評価

プレイヤーが2国間提携と部分全提携の2つの提携を考慮できる場合の提携の形成プロセスを図1に示す. ここでは, 横軸にパイプラインの本数, 縦軸に社会的総余剰の総和をとっている. 社会的総余剰の総和とは, プレイヤーの石油供給による利潤と消費者余剰の和をすべてのプレイヤーについて足し合わせたものである.  $gs$  は部分全提携を含む提携構造を,  $g$  は2国間提携による提携構造を示す. 図2は図1の具体的な提携構造を示す. 図2においてR, K, A, E はそれぞれロシア, カザフスタン, アゼルバイジャン, 欧州を示す. また,  $gs12$  や  $gs21$  では部分全提携を結ぶプレイヤーを白丸で表現している.

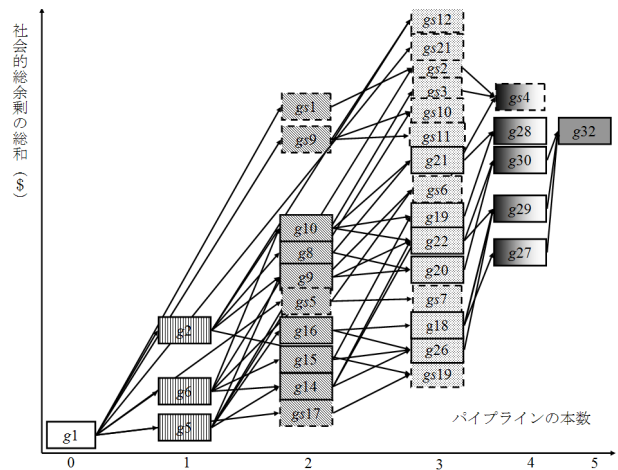


図1 提携構造の形成プロセス

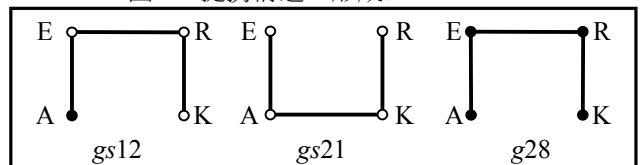


図2 提携構造

図1に着目すると, 2国間提携のみで到達できる提携構造よりも部分全提携も含めた提携によって到達できる提携構造のほうが社会的総余剰の総和が大きくなるものがあることが分かる.

### 参考文献

- 1) Shirin Akiner : THE CASPIAN Politics, Energy and Security, 2006.
- 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.

(2008年2月12日提出)