

調停者の役割を考慮したコンフリクトの 調整方式に関するゲーム論的考察 —— 水資源開発を対象として ——

榊原 弘之*・岡田 憲夫・中瀬 大祐**

*山口大学工学部社会建設工学科

**大林組

要旨

本論文では、水資源開発を巡るコンフリクトをモデル化するとともに、主体の選好に関する情報が不完備な場合の情報構造を定式化する。次に不完備情報下で調停者が安定でかつパレート効率的な調停案を提示するために、安定性とパレート効率性の十分条件を特定するロバストネス分析手法について説明する。さらに本論文で提示した方法論を発電用ダムの更新整備を巡るコンフリクトに適用し、考察を行う。

キーワード: 水資源開発, コンフリクト, 調停者, 不完備情報, ロバストネス分析

1. はじめに

社会基盤整備に対する社会的要請が多様化する中、プロジェクトに関する利害対立（コンフリクト）の調整が必要不可欠となってきている。水資源開発においても、事業者間のコンフリクト調整のみでなく、環境保護団体などのNGOに代表される新たなタイプの主体との合意形成が重要となりつつある。また、既存施設のより高度な利用を目的としたダムの更新整備のように、従来とは異なった性質を有するプロジェクトでは、多目的ダム事業における費用配分法のように制度的に確立したコンフリクト調整手法を用いることができない。

このような場合のコンフリクト調整手法として、コンフリクトの直接の当事者ではない第三者に調停案の提示を依頼することが考えられる。本論文ではこのような第三者を「調停者」と呼ぶ。調停者は調停案の選択に関して幅広い裁量権を与えられるが、調停案を受容するか否かは各主体の判断にゆだねられるものとする。このとき調停者はコンフリクトに関与する各主体の選好に関して不完全な情報のみしか有していないことが多いため、どのように調停案を選択するかが問題となる。

本論文では、水資源開発を巡るコンフリクトをモデル化するとともに、主体の選好に関する情報が不完備な場合の情報構造を定式化する。次に不完備情報下で調停者が安定

でかつパレート効率的な調停案を提示するために、安定性とパレート効率性の十分条件を特定するロバストネス分析手法について説明する。さらに本論文で提示した方法論を発電用ダムの更新整備を巡るコンフリクトに適用し、考察を行う。

2. 水資源開発共同事業におけるコンフリクトのモデル化

2. 1 水資源開発共同事業におけるコンフリクト

多目的ダム事業に見られるように、水資源開発においては、複数の主体が共同で事業を実施することが多い。参加各主体は、事業費用やサイトなど、事業に必要な資源を互いに提供し合うことによって事業を実現可能とする。従って、各主体が提供する資源の組み合わせ（以下ではオプションと呼ぶ）によって、異なるプロジェクトが実現可能となるであろう。参加する各主体は交渉により実施するプロジェクトを決定すると考えられる。

しかし、どのようなプロジェクトを実施するかを巡って主体間にコンフリクトが発生する可能性がある。例えば、水源の選択やダム等の施設の種類の参加主体の利害と結びついている。このような場合、主体は交渉段階における自らのオプション（提供する資源）の選択にあたり、より選好の高いプロジェクトが実現されるような決定を行うと考えられる。これは、プロジェクト決定のための交渉が、主

体間の相互作用を含んだ意思決定であることを意味する。

2. 2 コンフリクトのグラフモデル

Fang, et al.(1993)は、複数の異なる目的を有する主体の間でのコンフリクトを記述するためのモデルとして、コンフリクトのためのグラフモデル(Graph Model for Conflict Resolution, GMCR)を提案している。GMCR は、ゲーム理論の一種であるコンフリクト解析(Fraser and Hipel, 1983)に基づいているが、コンフリクトにおいて主体が採り得る行動パターンについてより一般的な記述が可能となる。以下ではFang, et al.(1993)に従い、GMCR を定式化する。

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ を主体の集合とし、 n 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 $\{D_i\} (i=1, 2, \dots, n)$ 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。 $k_l k_m$ を事象 k_l から k_m へのリンクとする。 $k_l k_m \in V_i$ であれば、主体 i は事象 k_l から k_m へ自らの意思のみで (一方的に) 移行することができる。

コンフリクトのためのグラフモデルの定式化には、 $N, K, \{D_i\}$ の他に利得関数の定義が必要となる。利得関数 $P_i: K \rightarrow R$ により、主体 i の事象に対する選好順序が特定される。すなわち $P_i(k_l) > P_i(k_m)$ であれば、主体 i は事象 k_m よりも事象 k_l をより高く選好する。以上より、コンフリクトのためのグラフモデル(GMCR)は 4 つ一組の $\{N, K, V, P\}$ により定義される。ここで $N = \{1, 2, \dots, n\}, K = \{k_1, k_2, \dots, k_u\}, V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}, P = \{P_i | K \rightarrow R, i \in N\}$ である。なお本論文では主体の数が 2 人 ($N = \{1, 2\}$) のコンフリクトを分析の対象とする。

本論文で対象とする水資源開発共同事業のプロジェクト決定におけるコンフリクトでは、GMCR の各要素はそれぞれ以下のように対応する。

- 主体の集合 $N = \{1, 2, \dots, n\}$:
- 水資源開発共同事業の参加者の集合
- 事象の集合 $K = \{k_1, k_2, \dots, k_u\}$, :
- 想定されるプロジェクトの集合 (各主体が提供する資源の組み合わせとして定義)
- リンクの集合 $V_i (i=1, 2, \dots, n)$:
- 主体 i に可能なオプション変更
- 利得関数 $P = \{P_i | K \rightarrow R, i \in N\}$:
- 各プロジェクトが実施された場合に主体 i が得る利得

また以下の概念についても定義する。

- a) 事象 k の可達リスト (Reachable List) : $S_r(k)$
主体 i が事象 k から事象 k_l に一方的に移行可能なとき、 k_l は事象 k の可達リスト $S_r(k)$ に属するという。 $k_l \in S_r(k)$ であることは、 $k k_l \in V_i$ であることと同義である。
- b) 事象 k の一方的改善 (Unilateral Improvement) : $S_i^+(k)$
 $k_l \in S_r(k)$ であり、主体 i が k より k_l を選好するとき、 k_l

は事象 k の一方的改善 (UI) $S_i^+(k)$ に属する。

2. 3 事象の局所的安定性

GMCR において事象の安定性を検討する際、解概念 (Solution Concepts) と呼ばれる概念が判断基準となる。対象となる事象が解概念に含まれた条件を満足するとき、その事象は安定であるとされる。コンフリクト解析及び GMCR において用いられる代表的な解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

事象 k が主体 i にとってナッシュ安定であるとは、 i が自らの戦略の変更により事象 k から利得を改善することができないことを意味する。つまり、 $S_i^+(k) = \{\emptyset\}$ である。これは、ある主体 i について、自らの戦略を一方的に変更しても自らの効用が改善されない場合、主体 i は戦略を変更する動機を持たないことを意味する。

② 連続的安定性

事象 k が主体 i にとって連続的安定であるとは、 $S_i^+(k)$ に含まれるすべての k_l について、 $P_i(k) > P_i(k_m)$ であるような $k_m \in S_i^+(k_l)$ が存在することである。これはある主体 i が、現在の事象から他の事象へ移行することによって効用を増加させることができたとしても (これを「一方的改善」UI と呼ぶ)、他方の主体 j が、結果として主体 i の効用が元の事象よりも小さくなるような UI (これを「制裁」と呼ぶ) を有する場合、主体 i は結局移行を思いとどまるであろうと考えられることによる。

解概念により安定な事象は変化する。また、安定な事象は複数存在し得る。

上に示した 2 種類の安定性の定義において、主体は「現在の事象から移行した場合、最終的にどの事象に到達するか」を検討しているわけではない。ナッシュ安定性においては、主体は現在の事象からただ一回移行した場合に、利得が現在よりも改善されなければ、現在の事象にとどまる。連続安定性では相手主体による移行の可能性についてもチェックしているが、これも二段階先の事象を予測しているのみであり、その後のさらなる展開の可能性について分析しているわけではない。言い換えれば、ナッシュ安定性と連続的安定性の定義には、コンフリクトの全域的な安定性に関する要素は含まれていない。そこで本論文では、これらの安定性の概念を、局所的安定性と呼ぶこととする。

2. 4 逐次意思決定過程のモデル化

水資源開発の計画過程においては、主体がオプションを提示し合い、最終的に変更の余地のない事象に到達した時点で交渉は終了し、その事象が実現する。このように主体が交互に意思決定する状況は、一般に展開型ゲームとしてモデル化される。しかし、交渉が終了するまでに主体がオプションを提示し合う回数は一般に不定である。そのため、

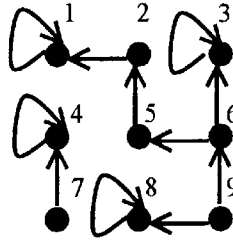


Fig. 1 Strategy in the Sequential Decision Making Process

有限個の手番が外生的に与えられる展開型のゲームとは異なったモデルが必要となる。

本論文では、GMCRにおける逐次意思決定過程をモデル化する。主体 i は、 K に含まれる任意の事象 k から、可達リスト $S_i(k)$ に含まれる事象へ移行することができる。このとき、次の条件を満足する事象の集合 $\delta = (k^0, k^1, \dots)$ を GMCR におけるパスと呼ぶ。

$$k^{l+1} \in S_i(k^l) \quad \exists i \in N \quad (1)$$

i は j 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。本論文では、主体が取り得るパスを主体自ら選択可能とする。すなわち、各事象における移行先事象を決定する行動規範を戦略として定義する。主体は、パス δ を経て到達した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、 $\tau_i^{k^l k^{l+1}}(\delta) = 1$ とする。一方移行しなければ、 $\tau_i^{k^l k^{l+1}}(\delta) = 0$ となる。主体の戦略については無数のパターンが想定可能である。

移行先事象が現在の事象 k^l のみに依存して決定される場合、逐次意思決定過程における戦略は、行列によって定義することができる。主体 i の戦略 T_i において、主体 i が事象 k^l から事象 k^{l+1} へ移行する場合、 T_i を表す行列の k^l 行、 k^{l+1} 列の項 $\tau_i^{k^l k^{l+1}}$ は 1 となる。一方移行しなければ、 $\tau_i^{k^l k^{l+1}}$ は 0 となる。Fig.1 の戦略の場合、以下のような行列により表現される。

$$T_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

逐次意思決定過程において、各主体が戦略の選択の結果として得る利得は、最終的に到達する事象の利得である。

最終的に到達する事象を逐次意思決定過程の結果と呼び、結果となり得る事象を「収束点」として、以下のように定義する。

定義

主体 $1, 2, \dots, n$ がそれぞれ戦略 T_1, T_2, \dots, T_n を選択した場合、以下の条件を満足する事象 k を収束点と呼ぶ。

$$\tau_i^{kk}(\delta) = 0 \quad \forall k^l \in K, \forall i \in N \quad (3)$$

収束点は複数存在し得る。また、収束点のないケースも存在する。

3. 不完備情報下のコンフリクト

3.1 不完備情報下でのコンフリクトにおける情報構造

本節では、不完備情報下のコンフリクトの情報構造を定義する。コンフリクトのためのグラフモデルにおいて、分析に必要となるのは、主体の選好に関する序数情報、すなわち選好順序である。 n 人の主体、 u 個の事象の存在するコンフリクトにおいて、各主体の選好順序は $u!$ 通り考えられる。従って、 n 人の主体の選好順序の組み合わせパターンは $(u!)^n$ 通りとなる。選好順序のパターンとパターンの集合をそれぞれ ω 及び Ω とする。明らかに $|\Omega| = (u!)^n$ となる。

完備情報下においては、主体は ω を正確に認識することができる。しかし限定された知識の下では、主体は真のパターンが Ω のある部分集合に属しているということのみを知っている。言い換えれば、各主体は Ω の分割を認識するのみである。 Π_i を主体 i の限定的知識を表す Ω の分割、 π_i を Π_i の要素とする。主体 i の知識オペレータ $O_i(\omega)$ は以下のように定義される。

定義

π_i を Π_i の要素とする。 $\omega \in \pi_i$ の場合、主体 i の知識オペレータ $O_i(\omega)$ は次のように示される。

$$O_i(\omega) = \pi_i \quad i \in N \quad (4)$$

真の選好順序のパターンが ω であるとき、主体 i は $\pi_i(O_i(\omega) = \pi_i)$ に含まれる要素の一つが生起したことをのみを認識する。 π_i は情報集合と呼ばれる。

次に調停者の知識を定義する。 Π_t を調停者の限定的知識を表す Ω の分割であるとする。調停者の知識オペレータ $O_t(\omega)$ は以下のように定義される。

定義

π_t を Π_t の要素とする。 $\omega \in \pi_t$ の場合、調停者の知識オペレータ $O_t(\omega)$ は次のように示される。

$$O_t(\omega) = \pi_t \quad (5)$$

不完備情報下でのコンフリクトのためのグラフモデルは 4 個一組の $\{N, K, V, I\}$ により表される。ここで $N = \{1, 2, \dots, n\}, K = \{1, 2, \dots, k\}, V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}, I = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n, \Pi_t\}$ である。以下では I をコンフリクトの情報構造と呼ぶ。

多くの場合、主体や調停者は他の主体の選好に関して事前に部分的な情報を有している。例えば、どの主体も、他の条件がすべて同一であれば、負担のより少ない事象を好むであろう。このようにすべての主体が得ている情報を共有知識と呼ぶ。共有知識は以下のように定義される。

定義

Θ を $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n, \Pi_t$ のミート ($\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n, \Pi_t$ のいずれよりも粗である Ω の分割の内でも細かな分割) であるとすると、 Θ の要素 θ ($\omega \in \theta$) に関して $\theta \subset E$ であるとき、 E は選好順序のパターンが ω の場合における主体 $i=1, 2, \dots, n$ 及び調停者の間での共有知識である。

すなわち共有知識とは、すべての主体がそのことを知っているのみでなく、「他の主体が知っていることを知っている」ような情報を指す。

3. 2 順序集合

情報集合から、各主体の事象 k における順序集合を以下に示すように定義することができる。

(1) 相手主体 j の順序集合 ($j \neq i$)

相手主体 j の情報集合 π_j の下での、主体 i の選好に関する順序集合は、以下のように定義される。

任意の事象 $k_j \in K \setminus \{k\}$ は、次の 3 つの集合 $\Phi_i^+(k, \pi_j)$, $\Phi_i^-(k, \pi_j)$, $\Phi_i^*(k, \pi_j)$ のいずれかに属する。

- π_j に含まれる任意の選好順序において以下の関係が成立する場合、事象 k_j は $\Phi_i^+(k, \pi_j)$ に属する。

$$P_i(k_j) > P_i(k) \quad (6)$$

- π_j に含まれる任意の選好順序において以下の関係が成立する場合、事象 k_j は $\Phi_i^-(k, \pi_j)$ に属する。

$$P_i(k_j) < P_i(k) \quad (7)$$

- 事象 k_j が $\Phi_i^+(k, \pi_j)$, $\Phi_i^-(k, \pi_j)$ のいずれにも属さない場合、 $\Phi_i^*(k, \pi_j)$ に属する。

(2) 調停者の順序集合

調停者は、主体 1、主体 2 いずれの選好に関しても不完全な情報しか持たないと考えられる。調停者の情報集合 π_t の下での、主体 i の選好に関する順序集合は、以下のように定義される。

任意の事象 $k_t \in K \setminus \{k\}$ は、次の 3 つの集合 $\Phi_i^+(k, \pi_t)$, $\Phi_i^-(k, \pi_t)$, $\Phi_i^*(k, \pi_t)$ のいずれかに属する。

- π_t に含まれる任意の選好順序において以下の関係が成立する場合、事象 k_t は $\Phi_i^+(k, \pi_t)$ に属する。

$$P_i(k_t) > P_i(k) \quad (8)$$

- π_t に含まれる任意の選好順序において以下の関係が成立する場合、事象 k_t は $\Phi_i^-(k, \pi_t)$ に属する。

$$P_i(k_t) < P_i(k) \quad (9)$$

- 事象 k_t が $\Phi_i^+(k, \pi_t)$, $\Phi_i^-(k, \pi_t)$ のいずれにも属さない場合、事象 k_t は $\Phi_i^*(k, \pi_t)$ に属する。

(3) 共有知識に基づく順序集合

共有知識に基づいた順序集合を以下のように定義する。

- θ に含まれる任意の選好順序において以下の関係が成立する場合、 k_j は $\Phi_i^+(k, \theta)$ に属する。
- θ に含まれる任意の選好順序において以下の関係が成立する場合、 k_j は $\Phi_i^-(k, \theta)$ に属する。
- 事象 k_j が $\Phi_i^+(k, \theta)$, $\Phi_i^-(k, \theta)$ のいずれにも属さないとき、 k_j は $\Phi_i^*(k, \theta)$ に属する。

3. 3 不完備情報下でのコンフリクト調整システム

収束点が複数存在する場合、開始点 k^0 によって結果が異なる。すべての主体について、ある収束点の利得が他の収束点よりも高い場合、調停者が適切な k^0 を設定すれば、水資源開発に関与するすべての主体にとってより望ましい結果を達成することができる。そこで、本論文では調停者によって提示された開始点 k^0 を調整案と呼ぶ。

調停者が各主体の選好に関して完全な情報を有している場合は、適切な調整案を提示することが可能と考えられる。しかし実際のコンフリクトにおいては、調停者の情報は部分的なことが多い。不完備情報下のコンフリクトにおいては、各事象が局所的安定性とパレート効率性を有しているか否かが明らかではない。従って調停者がある事象を調整案として提示するためには、必要な情報を得る必要がある。

本論文では、Fig2 に示すようなコンフリクト調整システムを想定する。不完備情報下のコンフリクトにおいて、始めに調停者は事象の集合 K の内から調停案の候補となる事象の一つを選択する。次に、その調停案が局所的に安定であるか否かを確認し、安定でない場合には再び調停案の選択に戻る。局所的安定性が確認された場合は、続いてパレート効率性を確認する。

最後に、調停者は局所的安定性とパレート効率性が保証された調停案と、その判断の根拠となった選好に関する情報を各主体に提示する。主体が調停案を受け入れれば、少なくともパレート効率的な事象が実現することになる。

ここで、調停案選択時、局所的安定性確認後、パレート効率性確認後における計画調整主体の順序集合を以下のように定義する (Fig.2)。

調停案選択時

$$\Phi_i^+(k, \pi_t), \Phi_i^-(k, \pi_t), \Phi_i^*(k, \pi_t)$$

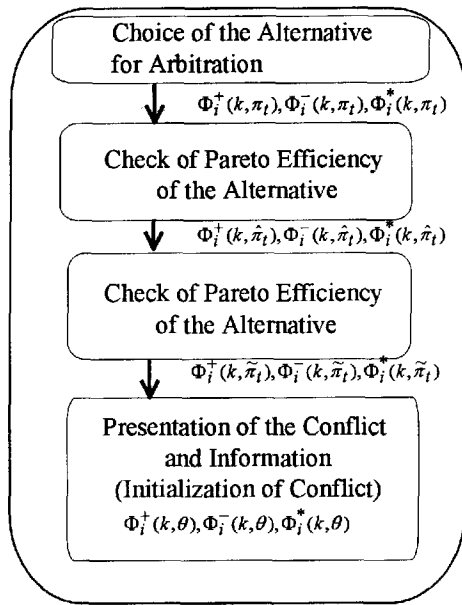


Fig.2 Arbitration of the Conflict with Incomplete Information

局所的安定性確認後

$$\Phi_i^+(k, \hat{\pi}_t), \Phi_i^-(k, \hat{\pi}_t), \Phi_i^*(k, \hat{\pi}_t)$$

パレート効率性確認後

$$\Phi_i^+(k, \tilde{\pi}_t), \Phi_i^-(k, \tilde{\pi}_t), \Phi_i^*(k, \tilde{\pi}_t)$$

さらに、パレート効率性の確認後に情報が主体に提示される結果、共有知識もまた更新される。この更新された共有知識に基づく情報集合を $\tilde{\theta}$ 、順序集合を $\Phi_i^+(k, \tilde{\theta}), \Phi_i^-(k, \tilde{\theta}), \Phi_i^*(k, \tilde{\theta})$ とする。

局所的安定性やパレート効率性を確認するためには、主体の選好を調査しなければならない。従ってコンフリクト調整システムが段階を経るにつれて情報が追加されてゆき、事象 k に対して選好が高いか低いか明らかでないような事象は減少してゆく。そこで、一般に次の関係が成立する。

$$|\Phi_i^*(k, \pi_t)| \geq |\Phi_i^*(k, \hat{\pi}_t)| \geq |\Phi_i^*(k, \tilde{\pi}_t)| \quad \forall k \in K \quad (10)$$

3. 4 調停者の存在を考慮した戦略

本論文では以下の2種類の戦略を想定する。

a) マイオピック (Myopic) 戦略

マイオピック戦略 M^i

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

$$m_i^{k^l k^{l+1}}(\delta) = 0 \quad \text{Otherwise} \quad (11)$$

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。移行先の事象は、 k^l のみによって決定され、パスには依存しない。

b) フォアサイティッド (Foresighted) 戦略

$$f_i^{A k^{l+1}}(\delta) = 0 \quad A = \text{調停案}$$

$$f_i^{k^l k^{l+1}}(\delta) = 1 \quad k^l \neq A, \quad P_i(k^{l+1}) = \max_{k' \in S_i^+(k^l)} P_i(k')$$

$$f_i^{k^l k^{l+1}}(\delta) = 0 \quad \text{Otherwise} \quad (12)$$

想定する戦略としてマイオピック、フォアサイティッド両戦略を設定した理由は以下の通りである。主体の行動パターンとしてまず考えられるのは、相手主体との妥協の可能性を探求せず、可能な限り常により選好の高い事象へ移行しようとするようなパターンである。マイオピック戦略がそれに対応する。次に、パレート効率的な調整案が提示されたときにはそれを受け入れるが、ひとたび合意から離脱すれば、先のパターンと同様により選好の高い事象へ移行しようとする行動パターンが考えられる。これがフォアサイティッド戦略である。

4. ロバストネス分析

4. 1 事象の局所的安定性に関するロバストネス分析

本章では、調整案として選択された事象の局所的安定性、パレート効率性を確認するための必要最小限の条件を特定するための分析手法であるロバストネス分析について説明する。従来のコンフリクト解析では、2. 3で定義した解概念に基づき、各事象の安定性を検討する。この過程は、安定性分析と呼ばれる。しかし、事象に対する主体の選好順序 (序数型効用) が主体 (ここでは事業者) 本人以外に明らかでない場合、その事象が安定であるかどうかを知ることができない。さらに、解概念のうち連続的安定性は、主体が相手主体の利得改善行動を予測することを前提としている。相手主体の可能な行動が相手にとって利得の改善につながるか否かを知ることができなければ、行動の判断基準自体が成立しない。

2. で述べたように、現実の水資源開発の計画段階においては、関係各主体の選好に関して完全な情報が初めから得られていることは少ないと考えられる。そこで、代替案としていくつかの事象を想定したうえで、当事者の主体が互いに不確実であった情報を共有して解を見出して行くプロセスが必要となる。計画段階における交渉や話し合いは、そのような重要な意味を持つものといえよう。この交渉においてどのような情報が最低限共有されるべきかが明らかとなっていれば、コンフリクトの解消に要する手戻りを回避し、調整時間の短縮につながる事が期待される。

そのような観点から、岡田ら(1995)はコンフリクトの下で、ある事象が安定であるために最低限必要な選好順序に関する条件が何であるかを特定するアプローチとして、ロバストネス分析を提唱している。すなわち2人の主体間のコンフリクトにおいて一方の主体の選好に関しては完全な

情報が得られ、他方の主体についてはそれがまったく明らかになっていない場合について、事象の安定・不安定を決定する選好順序を特定するためのアルゴリズムが開発されている。以下では、岡田ら(1995)のロバストネス分析手法を拡張し、3. に示したような、両主体の選好に関する情報が不完備な場合における局所的安定性の十分条件を示す。

事象 k が主体 i にとって連続的安定であるための十分条件
(相手主体を j とする)

$k_l \in (S_i(k) \cap \Phi_i^+(k, \pi_i))$ である任意の k_l について以下の

①, ②, ③のいずれかが満足されること。

$$\textcircled{1} P_j(k_m) > P_j(k_l) \text{ and } P_i(k) > P_i(k_m) \quad (13)$$

を満足する $k_m \in (S_j(k_l) \cap \Phi_j^*(k_l, \pi_i))$ が存在すること。

$$\textcircled{2} P_i(k) > P_i(k_m) \quad (14)$$

を満足する $k_m \in (S_j(k_l) \cap \Phi_j^+(k_l, \pi_i))$ が存在すること。

$$\textcircled{3} P_j(k_m) > P_j(k_l) \quad (15)$$

を満足する $k_m \in (S_j(k_l) \cap \Phi_j^-(k_l, \pi_i))$ が存在すること。

①, ②及び③は、 $k_l \in (S_i(k) \cap \Phi_i^+(k, \pi_i))$ である (主体 i の UI であることが明らかとなっている) 事象 k_l に関して制裁が成立するための条件式である。

$k_l \in \{S_i(k) \cap \Phi_i^*(k, \pi_i)\}$ である任意の k_l について以下の④,

⑤, ⑥, ⑦のいずれかが満足されること。

$$\textcircled{4} P_i(k) > P_i(k_l) \quad (16)$$

$$\textcircled{5} P_j(k_m) > P_j(k_l) \text{ and } P_i(k) > P_i(k_m) \quad (17)$$

を満足する $k_m \in (S_j(k_l) \cap \Phi_j^*(k_l, \pi_i))$ が存在すること。

$$\textcircled{6} P_i(k) > P_i(k_m) \quad (18)$$

を満足する $k_m \in (S_j(k_l) \cap \Phi_j^+(k_l, \pi_i))$ が存在すること。

$$\textcircled{7} P_j(k_m) > P_j(k_l) \quad (19)$$

を満足する $k_m \in (S_j(k_l) \cap \Phi_j^-(k_l, \pi_i))$ が存在すること。

$k_l \in \{S_i(k) \cap \Phi_i^*(k, \pi_i)\}$ である (主体 i が k から移行可能ではあるが、その移行が主体 i にとって改善であるか改悪であるか明らかでない) 事象 k_l に関しては、 k_l が UI でないための条件 ((16)式) または制裁が成立する条件 ((17),(18),(19)式) が成立する必要がある。

一方、 $S_i(k) \setminus \Phi_i^+(k, \pi_i) = \{\emptyset\}$ で、任意の

$k_l \in \{S_i(k) \cap \Phi_i^*(k, \pi_i)\}$ について(16)式が成立する場合、事象 k はナッシュ安定である。

	$\Phi_2^+(k, \hat{\pi}_i)$	$\Phi_2^*(k, \hat{\pi}_i)$	$\Phi_2^-(k, \hat{\pi}_i)$
$\Phi_1^+(k, \hat{\pi}_i)$			
$\Phi_1^*(k, \hat{\pi}_i)$			
$\Phi_1^-(k, \hat{\pi}_i)$			

Fig. 3 Combinations of Ordered Sets

事象 k が主体 i にとってナッシュ安定であるための十分条件

$$k_l \in \{S_i(k) \cap \Phi_i^*(k, \pi_i)\} \text{ である任意の } k_l \text{ について} \quad (20)$$

$$P_i(k) > P_i(k_l)$$

この条件は、主体 i が事象 k から移行可能な事象のうち、現状の悪化につながるものが明らかになっている移行 ($\Phi_i^-(k, \pi_i)$ に含まれる事象への移行) を除いたすべての移行が、主体 i の UI でないことを保証するために満足すべき選好関係を示している。

4. 2 事象のパレート効率性に関するロバストネス分析

4. 1 に示したロバストネス分析の実施により、対象とする事象が局所的に安定であるための十分条件を特定することができる。計画調整主体の調査の結果これらの条件が満たされていることが明らかとなれば、当該事象の局所的安定性が保証される。

しかし、調整案が社会全体から見ても好ましいものであるためには、パレート効率的である必要がある。そこで筆者らは、事象がパレート効率的であることを保証する条件を特定するために、ロバストネス分析を拡張した(Sakakibara et al., 投稿中)。その定式化を以下に示す。

局所的安定性に関してロバストネス分析を実施し、調査の結果条件を満足することが確認された場合、計画調整主体の順序集合はそれぞれ $\Phi_1^+(k, \hat{\pi}_i), \Phi_1^-(k, \hat{\pi}_i), \Phi_1^*(k, \hat{\pi}_i)$ へと更新されている。主体が2人 ($N = \{1, 2\}$) の場合、各事象の k に対する順序集合への所属の組み合わせは、Fig.3 に示すように9通り存在する。このうち空欄となっている組み合わせに属する事象は、少なくとも一方の主体にとって k よりも選好が低いいため、 k をパレート支配する可能性は存在しない。一方黒で塗りつぶされた組み合わせ ($\Phi_1^+(k, \hat{\pi}_i) \cap \Phi_2^+(k, \hat{\pi}_i)$) に属する事象が存在しないことが、 k がパレート効率的であるための必要条件となる。以上より、 k との間の選好順序の調査の必要があるのは斜線で示した領域に属する事象である。すなわち事象 k がパレート効率的であるためには、以下の関係を満足していることが必要となる。

$$k_l \in \{\Phi_1^+(k, \hat{\pi}_i) \cap \Phi_2^*(k, \hat{\pi}_i)\} \text{ に関して}$$

$$P_j(k) > P_j(k_l) \quad (21)$$

$k_l \in \{\Phi_i^*(k, \hat{\pi}_l) \cap \Phi_j^+(k, \hat{\pi}_l)\}$ に関して

$$P_i(k) > P_i(k_l) \quad (22)$$

$k_l \in \{\Phi_i^*(k, \hat{\pi}_l) \cap \Phi_j^+(k, \hat{\pi}_l)\}$ に関して

$$P_i(k) > P_i(k_l) \text{ または } P_j(k) > P_j(k_l) \quad (23)$$

5. 事例分析

5.1 発電用ダムの更新整備を巡るコンフリクト

水力発電においては、位置エネルギーの有効な利用の観点から、貯水池に貯留した水を直下で本川に放流するのではなく、バイパス水路を介して次々と流下させたり、別の水系に導水するなどして、長期間流水を使用することがある。そのとき、ダムの直下流の地域において、流水が極端に減少し、生態系や地下水、景観、観光などに影響を与える。

新規に発生した水需要である「河川環境」を代表する主体としては、環境保護団体、住民組織、流域協議会といったものが考えられる。ここでは当該地域の地方自治体が、住民の良好な自然環境に対するニーズを反映させる形で、電力事業者に対し放流量の増加を求めるとする。放流量を増加させるためには、発電規模の縮小や、新たな施設の建設が必要となる可能性があり、これは電力事業者の減収につながるため、事業者が自発的に改善策を採る可能性は少ない。

そこで、電力事業者（既存需要を代表）が地方自治体（新規需要を代表）に対して何らかの負担を求めることが考えられる。このケースでは、発電用ダムが既に存在し、長年にわたり操業しているため、電力事業者の既得権を承認し、地方自治体が応分の負担を行う方が現実的であろう。しかし、一方で地方自治体の側も、負担額があまりに大きい場合は、電力事業者との協調策を断念し、独自の解決策を採ると考えられる。

5.2 コンフリクトの基本的構造

上述したような水力発電と河川環境をめぐる電力事業者と地域との間のコンフリクトをモデル化する。まずコンフリクトの当事者として、次の2人の主体を想定する。

地方自治体（主体1）：環境保全に対する社会的ニーズを代表し、流域の水環境の改善を目標とする主体である。発電用ダムの再開発（共同更新整備）か、独自の新規ダムの建設のいずれかの手段により、河川の流水を回復しようとする。共同更新整備を行う場合は、応分の費用を負担する用意がある。

電力事業者（主体2）：水力発電の現操業レベルの維持を希望しているが、地方自治体との協力体制の実現のいかんによっては、現状の変更も可能である。

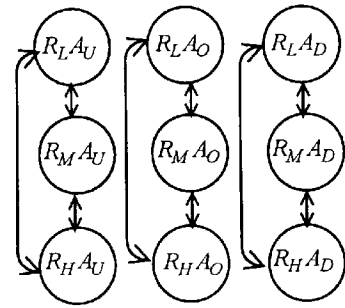


Fig.4 Transition between States (Local Government)

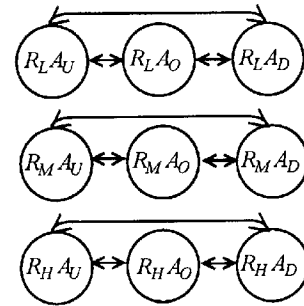


Fig.5 Transition between States (Power Generation Company)

一方、第三の中立的な主体として、地方自治体と電力事業者の利害を調整し、地域全体として最適な計画の実現を目指す調停者を想定する。調停者は、主体1よりも上位の行政機関と考えられ、都道府県に対する国、市町村に対する都道府県などが考えられる。ただし、調停者は、再開発計画案を主体1,2に実行させる権限はなく、調停者として、社会全体にとって好ましい計画を両主体が自発的に採択するような環境整備を行う中立的な主体とする。

主体2（電力事業者）は既に水資源利用のための設備及び権利（水利権）を有しているのに対し、主体1（地方自治体）はこれらを今後何らかの手段で取得する必要がある。

5.3 コンフリクトのモデル化

主体1に関しては、負担のレベルを複数設定することができる。一方主体2は複数の代替的な発電手段を想定することができる。そこで、次のようなオプションを設定する。

主体1

R_L : 負担レベル小, R_M : 負担レベル中, R_H : 負担レベル大
主体2

A_U : 既存ダムの嵩上げ, A_O : 水力以外の手段により代替,
 A_D : 他の流域のダムに発電を追加

また、共同更新整備の各代替案を $R_i A_j$ (R_i, A_j はそれぞれ主体1のオプション R_L, R_M, R_H , 主体2のオプション A_U, A_O, A_D に対応) で表すとする。Fig.4, Fig.5 は、コンフリクトを

ラフ形式で表現したものである。GMCRにおいては、事象をノード、各主体の可能な移行をリンクにより表現する。Fig.4 は地方自治体、Fig.5 は電力事業者が可能な移行を矢印により表現している。

主体1のオプション $R_L R_M R_H$ は負担の程度を意味し、主体2のオプション固定のもとでは両主体とも自らの負担がより少ない状況を選好することから、明らかに次の情報も得ることができる。

$$P_1(R_L A_i) > P_1(R_M A_i) > P_1(R_H A_i) \quad (24)$$

$$P_2(R_L A_i) < P_2(R_M A_i) < P_2(R_H A_i) \quad (25)$$

5. 4 事象 $R_M A_O$ を調整案とした場合のコンフリクト調整システム

(1) 局所的安定性の検討

以下では、 $R_M A_O$ が調整案として選択された場合のコンフリクト調整プロセスを示す。Table 1, Table 2 は先験的情報 (24), (25) 式) をもとに、それぞれ $\Phi_1^+(R_M A_O, \pi_t)$, $\Phi_1^-(R_M A_O, \pi_t)$, $\Phi_1^*(R_M A_O, \pi_t)$ 及び $\Phi_2^+(R_M A_O, \pi_t)$, $\Phi_2^-(R_M A_O, \pi_t)$, $\Phi_2^*(R_M A_O, \pi_t)$ に含まれる事象を示したものである。先験的情報を用いることにより、ある事象が安定であるために満たすべき条件のうち、まだ明らかになっていない (調査すべき) 条件 (選好関係の不等式) の数を減少させることができる。

$R_M A_O$ が局所的安定 (ナッシュ安定または連続的安定) であるための条件集合 (Condition Set) を求めたものが Table 3, Table 4 である。これらの結果から調停者が得ることができる知見は以下の通りである。主体1は負担率を減少させる (戦略を R_L に変更する) 動機を持つが、その後の主体2のオプション変更による利得の減少が負担額減少の効果を上回るならば、主体1はからの移行を思いとどまるであろう。同様に主体2の移行を防ぐには、主体1の負担額減少が制裁として機能する必要がある。

ここで、調停者の調査により、主体1の局所的安定性に関しては Table 3 の条件集合1, 主体2の局所的安定性に関しては Table 4 の条件集合2を満足していることが確認されたとする。このとき調停者の情報は更新されるため、 $\Phi_1^+(k, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_1^-(k, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_1^*(k, \hat{\pi}_t)$ 及び $\Phi_2^+(k, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_2^-(k, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_2^*(k, \hat{\pi}_t)$ は Table 5, Table 6 に示すようになる。

(2) パレート効率性に関するロバストネス分析の適用

次に $R_M A_O$ のパレート効率性について検討する。(21),(22),(23)式より、 $R_M A_O$ がパレート効率性であるための条件は次のいずれかである。

$$P_1(R_M A_O) > P_1(R_H A_U) \quad (26)$$

$$P_2(R_M A_O) > P_2(R_H A_U) \quad (27)$$

ここでは、調停者の調査により(26)式が成立することが確認されたとする。これによって $\Phi_1^+(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_1^-(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, 及び $\Phi_1^*(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$ は Table 7 のようになる。一方 $\Phi_2^+(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_2^-(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_2^*(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$ は

Table1 $\Phi_1^+(R_M A_O, \pi_t)$, $\Phi_1^-(R_M A_O, \pi_t)$, and $\Phi_1^*(R_M A_O, \pi_t)$

$\Phi_1^+(R_M A_O, \pi_t)$	$R_L A_O$
$\Phi_1^*(R_M A_O, \pi_t)$	$R_L A_U \quad R_M A_U \quad R_H A_U$ $R_L A_D \quad R_M A_D \quad R_H A_D$
$\Phi_1^-(R_M A_O, \pi_t)$	$R_H A_O$

Table2 $\Phi_2^+(R_M A_O, \pi_t)$, $\Phi_2^-(R_M A_O, \pi_t)$, and $\Phi_2^*(R_M A_O, \pi_t)$

$\Phi_2^+(R_M A_O, \pi_t)$	$R_H A_O$
$\Phi_2^*(R_M A_O, \pi_t)$	$R_L A_U \quad R_M A_U \quad R_H A_U$ $R_L A_D \quad R_M A_D \quad R_H A_D$
$\Phi_2^-(R_M A_O, \pi_t)$	$R_L A_O$

Table 3 Condition sets for Player 1's Stability

Condition Set 1	$P_1(R_L A_D) < P_1(R_M A_O)$ $P_2(R_L A_O) < P_2(R_L A_D)$
Condition Set 2	$P_1(R_L A_U) < P_1(R_M A_O)$ $P_2(R_L A_O) < P_2(R_L A_U)$

Table 4 Condition sets for Player 2's Stability

Condition Set 1	$P_2(R_M A_D) < P_2(R_M A_O)$ $P_2(R_M A_U) < P_2(R_M A_O)$
Condition Set 2	$P_2(R_L A_D) < P_2(R_M A_O)$ $P_2(R_M A_U) < P_2(R_M A_O)$
Condition Set 3	$P_2(R_M A_D) < P_2(R_M A_O)$ $P_2(R_L A_U) < P_2(R_M A_O)$
Condition Set 4	$P_2(R_L A_D) < P_2(R_M A_O)$ $P_2(R_L A_U) < P_2(R_M A_O)$

$\Phi_2^+(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_2^-(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_2^*(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$ に等しい。

(3) 調整案の受容に関する分析

(1), (2) に示したように、ロバストネス分析によって特定された選好順序に関する条件を調査することにより、調停者は新たに以下のような選好順序を知ることができる。

$$P_1(R_M A_O) > P_1(R_L A_D), \quad P_2(R_L A_D) > P_2(R_L A_O), \\ P_2(R_M A_O) > P_2(R_M A_U), \quad P_2(R_M A_O) > P_2(R_L A_D), \\ P_1(R_M A_O) > P_1(R_H A_U) \quad (28)$$

このとき、ナッシュ安定な事象となり得るのは、 $R_L A_U, R_L A_D$ のいずれかである。このうち $R_L A_D$ は、Table 6, Table 7 に示すように、 $R_M A_O$ にパレート支配されている。Fig.6 に $R_M A_O$ を開始点 k^0 とした場合の、逐次意思決定過程における戦略の組み合わせと収束点を示す。

Table 5 $\Phi_1^+(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_1^-(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, and $\Phi_1^*(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$

$\Phi_1^+(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$	$R_L A_O$
$\Phi_1^*(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$	$R_L A_U \quad R_M A_U \quad R_H A_U$
$\Phi_1^-(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$	$R_H A_O$ $R_L A_D \quad R_M A_D \quad R_H A_D$

Table 6 $\Phi_2^+(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, $\Phi_2^-(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$, and $\Phi_2^*(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$

$\Phi_2^+(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$	$R_H A_O$
$\Phi_2^*(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$	$R_H A_U$ $R_M A_D \quad R_H A_D$
$\Phi_2^-(R_M A_O, \hat{\pi}_t)$	$R_M A_U \quad R_L A_U$ $R_L A_O \quad R_L A_D$

Table 7 $\Phi_1^+(R_M A_O, \tilde{\pi}_t)$, $\Phi_1^-(R_M A_O, \tilde{\pi}_t)$, and $\Phi_1^*(R_M A_O, \tilde{\pi}_t)$

$\Phi_1^+(R_M A_O, \tilde{\pi}_t)$	$R_L A_O$
$\Phi_1^*(R_M A_O, \tilde{\pi}_t)$	$R_L A_U \quad R_M A_U$
$\Phi_1^-(R_M A_O, \tilde{\pi}_t)$	$R_H A_O \quad R_H A_U$ $R_L A_D \quad R_M A_D \quad R_H A_D$

ナッシュ安定な事象を $R_L A_U, R_L A_D$ のいずれかに決定づけるのは、主体2のこれら2つの事象に対する選好順序である。従って、主体2は計画調整主体から調整案と選好順序に関する部分的情報(28式)を提示された時点で、自らがマイオピック戦略を選択した場合にどの事象に到達するかを知ることができる。一方主体1と計画調整主体は(28式)の情報のみではいずれの事象に収束するかを推定することができない。このケースにおいて起こり得る結果を以下に示す。

a) $P_2(R_L A_U) > P_2(R_L A_D)$, $P_1(R_M A_O) > P_1(R_L A_U)$
マイオピック戦略を選択した場合の収束点は $R_L A_U$ となる。主体2は $R_L A_U$ より $R_M A_O$ を高く選好し、かつマイオピック戦略を選択した場合の収束点は $R_L A_U$ となることを自らの選好から予測可能なため、フォアサイテッド戦略を選択する。一方主体1にとっては $R_L A_U, R_L A_D$ のいずれについても $R_M A_O$ よりも選好が低いいため、フォアサイテッド戦略を選択する。以上より、両主体がフォアサイテッド戦略を採用することにより、調整案 $R_M A_O$ が実現する。

	Player 2	Myopic	Foresighted
Player 1			
Myopic		$R_L A_U$ or $R_L A_D$	$R_L A_U$ or $R_L A_D$
Foresighted		$R_L A_U$ or $R_L A_D$	$R_M A_O$

Fig.6 Relationship between Strategies and Convergence Points
(The case that $R_M A_O$ is the initialized alternative (k^0))

b) $P_2(R_L A_U) > P_2(R_L A_D)$, $P_1(R_L A_U) > P_1(R_M A_O)$
主体2はa)と同様フォアサイテッド戦略を選択するが、主体1にとっては $R_M A_O$ より $R_L A_U$ の方が選好が高いため、マイオピック戦略を採用する可能性がある。その場合 $R_L A_U$ が実現する。この場合 $R_L A_U$ は $R_M A_O$ にパレート支配されていない。

c) $P_2(R_L A_D) > P_2(R_L A_U)$, $P_1(R_M A_O) > P_1(R_L A_U)$
a)と同様両主体がフォアサイテッド戦略を採用し、調整案 $R_M A_O$ が実現する。

d) $P_2(R_L A_D) > P_2(R_L A_U)$, $P_1(R_M A_O) < P_1(R_L A_U)$
 $R_L A_D$ がナッシュ安定となる。主体2はフォアサイテッド戦略を選択するが、主体1にとっては $R_M A_O$ より $R_L A_U$ の方が選好が高く、 $R_L A_U$ に収束する可能性が存在しないことを知らないために、主体1はマイオピック戦略を採用する可能性がある。その場合 $R_M A_O$ にパレート支配されている $R_L A_D$ が実現してしまう。

以上より、本ケースにおいて調整案 $R_M A_O$ か、 $R_M A_O$ にパレート支配されていないプロジェクトを実現させるためには、計画調整主体が $R_L A_U, R_L A_D$ のいずれがナッシュ安定であるかを調査した上で、その情報を主体1に伝えることが必要となる。

6. おわりに

以上本論文では、水資源開発におけるコンフリクトにおいて、主体の選好に関する情報が不完備な状況下で、裁量権を与えられた調停者の役割を考慮したモデルを提示し、調停案が安定性、パレート効率性を満足するための条件の特定方法(ロバストネス分析)を示した。さらに、調停案が提示された後の主体の選択を逐次意思決定過程としてモデル化し、主体が調停案を受け入れるための条件についても考察を行った。

本論文では水資源開発を対象としたが、都市再開発などにおいても、主体の選好が不明な状況下での調停の必要性

は高まっている。本論文の分析結果は、このような他の社会基盤整備事業を巡るコンフリクト調整においても適用可能であると考えられる。

参考文献

- 岡田憲夫, キース・W・ハイブル, ニル・M・フレーザー, 福島雅夫 (1988): 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.
- 岡田憲夫, 谷本圭志, 荒添正棋 (1995): 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 —, 土木学会論文集, No.524/IV-29, pp.79-92.
- 榊原弘之, 中瀬大祐, 岡田憲夫 (1998): 新規・既存需要間の調整を伴う水配分コンフリクトのモデル分析 — 水力発電と河川環境を巡って, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.79-88.
- 榊原弘之, 中瀬大祐, 岡田憲夫 (1997): 水資源再配分のための不確実性下の意志決定過程に関するゲーム論的研究, 日本リスク研究学会第 10 回研究発表会論文集, Vol.9, pp.130-135.
- Aumann, R. (1976): Agreeing to Disagree, *The Annals of Statistics*, pp.1236-1239.
- Fang, L., K. W. Hipel, and D. M. Kilgour (1993): *Interactive Decision Making — the Graph Model for Conflict Resolution*, Wiley-Interscience.
- Fraser, N. M. and K. W. Hipel (1984): *Conflict Analysis— Models and Resolutions*, North-Holland.
- Howard, N. (1971): *Paradoxes of Rationality*, MIT Press.
- Sakakibara, H. N. Okada, and D. Nakase: The Application of Robustness Analysis to the Conflict with Incomplete Information, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* (投稿中) .
- Sakakibara, H. N. Okada, and H. Tatano: Modeling the Role of a Coordinator as a Medium of Communication in 2-Player Conflicts, *Group Decision and Negotiation* (投稿中) .

A Game Theoretic Analysis on the Coordination of the Conflict with Arbitrator — In the Case of Water Resources Development

Hiroyuki Sakakibara*, Norio Okada, and Daisuke Nakase**

*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi University

**Obayashi Corporation

Synopsis

In this paper, the conflict on water resources development is modeled. Then, the information structure is formulated for the case where the information on players' preferences is incomplete. In the coordination process of the conflict, an arbitrator needs to show the alternative that is stable and Pareto efficient. In this paper, a methodology to specify necessary conditions that the concerned alternative is stable and Pareto efficient is shown. Finally, the proposed methodology is applied to the conflict on the renewal of the reservoir for hydropower generation.

Keywords: Water Resources Development, Conflict, Arbitrator, Incomplete Information, Robustness Analysis