

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*

Coordination of New and Existing Needs in Water Allocation Conflicts

— A Case of the Hydropower Generation and Environmental Interests Conflict*

榊原 弘之, 中瀬 大祐, 岡田 憲夫

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

1. はじめに

近年, 水資源開発に対する社会的要求の変化に伴い, 既存施設の機能見直しや流域の水配分変更を含む水資源再開発の必要性が高まっている。しかし, 既に資源を利用している主体と, 新規に発生した需要を代表する主体の間でコンフリクトが発生する可能性が高い。本論文では, 水資源再開発の手法, 制度的枠組み, 参加者等がまだ確定していない原初的な段階を想定する。また, 上位行政機関が計画を一方的に決定するのではなく, 利害関係者(新規・既存需要)の参加のもと, コンフリクトの解決策が自発的に醸成されるような分権的計画システムを考える。このとき, 計画・調整主体は, 当事者らの選好に関して不完全な情報しか得られない可能性が高い。そのとき社会的に最適な状態を実現するために必要な基本的要件を見極める必要がある。本論文ではこのような観点からコンフリクト解析手法¹⁾の一環として開発されたロバストネス分析を拡張し, 適用する。具体的な例としては, 河川環境改善を目的とした発電用ダム再開発を取り上げる。

2. 発電用ダム再開発計画のゲームモデル化

(1) 発電用ダムと流域環境

本論文では, 水力発電用ダムと流域の河川環境を巡るコンフリクトを取り上げる(図-1)。

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放流す

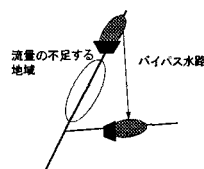


図-1 水力発電の河川環境への影響

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。

「河川環境」という新たに生じた水需要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, 独自の解決策に向かうと考えられる。コンフリクトの調整者である計画・調整主体は, 環境用水の確保手段と同時に費用の配分についても考慮する必要がある。

* キーワーズ: 水資源計画, 計画基礎論, 調査論

** 学生員, 工修, 京都大学大学院

*** 学生員, 京都大学大学院

(京都市左京区吉田本町, Tel. 075-753-5070)

**** 正員, 工博, 京都大学防災研究所

(宇治市五ヶ庄, Tel. 0774-38-4035, Fax 0774-38-4044)

(2) ゲームの構造

ゲームの当事者として、次の2つのプレイヤーを想定する。

地方自治体（プレイヤー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か、独自のダム新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。再開発を行う場合は、応分の費用を負担する用意がある。

電力事業者（プレイヤー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によっては、現状の変更も可能である。

一方、第三の関係者として、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計画・調整主体を想定する。計画・調整主体は、プレイヤー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、市町村に対する県などが考えられる。ただし、計画・調整主体は、再開発計画案をプレイヤー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プレイヤーが自発的に採択するような環境整備を行う主体とする。

図-2は、コンフリクトの基本的構造を示したものである。プレイヤー1（地方自治体）には、①単独で改善策を採る（独自にダムを建設し、環境流量のための容量を確保するなど）、②電力事業者と協力して発電用ダムを再開発することによって環境流量を確保し、費用を負担する、という二種類の独立（排反）選択肢が存在する。このような選択肢を、戦略と呼ぶ。①、②の戦略をそれぞれA、Pにより表すこととする。一方プレイヤー2については、現在の発電規模をそのまま維持する（S）、地方自治体と協力して再開発を実施し、下流への放流量を増加させる（C）という二種類の戦略が存在する。

2人のプレイヤーが各々2通りの戦略を取り得ることから、図-2に示す4種類の事象が発生し得る。事象ASは、地方自治体が独自に環境の改善策を採る一方、電力事業者はこれまで通りの発電規模を維持するというものである。この場合、プレイヤー1は独自に流水の増加を達成することにより地域の環境は改善されるが、必要な費用はすべて自身の（地

元）負担となる。また、用水を確保するために別の多目的ダムを建設した場合、新たな環境問題の発生や、住民の反発の可能性がある。これに対して、事象PCにおいては、両プレイヤーの協力が成立し、発電用ダムの再開発プロジェクトが成立する。再開発プロジェクトにおいては、発電の操業規模が縮小されることもあり得る。図-2に示すように、AS, PCにおけるプレイヤー1, 2の効用をそれぞれ $(U_{1AS}, U_{2AS}), (U_{1PC}, U_{2PC})$ とする。

事象AC及びPSは、互いに矛盾する戦略の組み合わせであり、最終的に実現する事象とは考えられない。しかし、計画策定中の交渉の段階においては、事象AS, PCから移行する際の中間的な状態として想定することは可能である。ここでは一般性を失うことなくACのみを中間的な状態として想定する。

$U_{1AS} + U_{2AS} < U_{1PC} + U_{2PC}$ の場合、社会全体から見れば再開発を実施した方が好ましい。しかし、計画過程を主体間の非協力ゲームとして見れば、自らの効用が改善されなければ、再開発に同意するインセンティブは存在しない。そこで、計画・調整主体にとって重要なのは、次の点である。

- ・再開発の提案は、両主体を事象PCに導こうとするものである。従って、事象PCが、どちらの主体もそこから移行しないような安定性を有していることが必要となる。以下では、事象PCのように計画・調整主体が実現させようとしている事象を「実現目標事象」と呼ぶ。

以上の目的のために、ゲーム理論の一種であるコンフリクト解析手法を用いる。コンフリクト解析は、序数型の効用、すなわち主体の発生事象に対する選好順序から、各事象の安定性を検討するものである。

P1	P2	現状を維持し、水力発電を続ける(S)	地域に協力し、再開発に参加する(C)
	単独で改善策を採る(A)	非協力・プロジェクト併存状態 AS (U_{1AS}, U_{2AS})	交渉における過渡的状态
	再開発に参加し、費用を負担する(P)		共同再開発プロジェクト成立 PC (U_{1PC}, U_{2PC})

図-2 コンフリクトの基本構造

(3) ゲームのモデル化

(2)において定義した事象PCは、実際にはさらに複数の事象に分類することができる。プレイヤー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。一方プレイヤー 2 は複数の代替発電手段を設定することができる。そこで、次のような下位戦略を設定する。

プレイヤー 1: 負担割合を大, 中, 小の三種類とする
(それぞれ H,M,L により表す)

プレイヤー 2: 既存ダムの嵩上げ(U), 他の流域のダムに発電を追加(D), 水力発電以外の手段により代替(O)の 3 種類の代替発電手段があるものとする。

これにより各プレイヤーはそれぞれ 4 種類の下位戦略(以下単に「戦略」という)を有し, 16 種類の事象が想定される。ここでは, そのうち PS にあたる事象(3 種類存在)は除く。表-1 は, 残りの 13 種類の事象を示したものである。また, ある事象におけるプレイヤー i のペイオフを $P_i(\cdot)$ により表す。

表-1 分析の対象とする事象

単独の改善策(A)	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
費用の小割合負担(L)	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
費用の中割合負担(M)	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
費用の大割合負担(H)	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
現状の維持(S)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水力以外で代替(O)	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
既存ダムの嵩上げ(U)	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
他のダムに発電を追加(D)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
発生事象の略称	AS	AO	LO	MO	HO	AU	LU	MU	HU	AD	LD	MD	HD
図-2における分類	AS	AG	PG			AG	PG			AG	PG		

3. コンフリクト解析とロバストネス分析

(1) 安定性・均衡の定義

コンフリクト解析において安定性を判断する基準となる解概念として, 「合理的安定」(ナッシュ安定) 及び「連続的安定」を考える。

・合理的安定(ナッシュ安定) あるプレイヤー 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, プレイヤー i は戦略を変更する動機を持たない。このような条件を満たす発生事象を, 合理的安定な事象と呼ぶ。

・連続的安定 あるプレイヤー i が, 自らの戦略を変更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), 他方のプレイヤー j が, 結果としてプレイヤー 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, プレイヤー i は結局戦略変更しないであろう。このような事象を連続

的安定な事象と呼ぶ。

合理的安定または連続的安定のいずれかの条件を満たす場合, プレイヤー i はその発生事象から他に移動することはないとし, これを「安定」と呼ぶ。双方のプレイヤーにとって安定な発生事象は, 「均衡な事象」と呼ばれ, どのプレイヤーもそこから離脱する動機を持たない安定的な発生事象と考えられる。次節で示すロバストネス分析手法においても, これらの解概念を用いることができる。

(2) 拡張ロバストネス分析

2 人ゲームのコンフリクト解析で, プレイヤーの選好が不明な状況において最低限必要な順序関係の情報を見出すため, 岡田ら²⁾はロバストネス分析手法を提案した。これは, プレイヤー j の選好に関して完全な情報を有しているが, プレイヤー i の選好性に関してまったく情報を持たないという状況下で, 任意の発生事象が均衡であるためにプレイヤー i の選好順が満たすべき必要条件をもとめる数学的アルゴリズムを示したものである。これに対し本論文では, プレイヤー ij の発生事象に対する選好順がともに不明なケースに拡張したロバストネス分析手法を提案する³⁾。

事象 MO が実現目標事象であるとする。プレイヤー 1 (上段), プレイヤー 2 (下段) にとって MO が安定であるための条件を表-2 に示す。MO が均衡な事象であるためには, 表-2 に示す条件のうち, 上下段からそれぞれいずれかの条件を満たす必要がある。ただし, プレイヤー 2 の戦略が等しい事象間では, プレイヤー 1 は自らの負担が少ない事象をより選好し($P_1(L^*) > P_1(M^*) > P_1(H^*)$) ($*$ はプレイヤー 2 の任意の戦略), プレイヤー 2 は地方自治体の負担が多い事象をより選好する($P_2(L^*) < P_2(M^*) < P_2(H^*)$)ことは明らかであるため, それらの条件式については省略している。

発生事象が安定であるためには, 2 人のプレイヤー ij のいずれもそこから移行する動機を持たないことが必要であるが, そのための条件集合には, ① 合理的安定性条件のみ, ② 連続的安定性条件のみ, ③ ①, ②の混在, の 3 種類が存在する。表-2 は, 各条件集合が①, ②, ③のいずれに属するかを示し

ている。三種類の安定な事象の有効性について考えると、①の場合、両プレイヤーは自らの UI の有無から移行するか否かを決定するため、相手の選好順序に関する情報は必要でない。しかし、②③では相手が本当に制裁として機能する戦略を有していることを知らなければ、均衡であるはずの事象から移行してしまうプレイヤーが現れることも有り得る。従って計画・調整主体は、実際に安定な状態を導くためには、選好性に関する情報を調査するのみでなく、その情報を当事者である二人のプレイヤーに最終的に公開、確認し、共有する必要がある。

表-2 ロバストネス分析の結果 (事象 MO)

プレイヤー1に関する安定条件	プレイヤー2の戦略が同じ事象間の選好条件	両者の戦略が異なる事象間の選好条件	プレイヤー1の戦略が同じ事象間の選好条件	両者の戦略が異なる事象間の選好条件
条件集合1	P1(AO) < P1(MO)	P1(LD) < P1(MO)	P2(LO) < P2(LD)	
条件集合2	P1(AO) < P1(MO)	P1(LU) < P1(MO)	P2(LO) < P2(LU)	
条件集合3	P1(MO) < P1(AO)	P1(LD) < P1(MO) P1(AS) < P1(MO)	P2(LO) < P2(LD) P2(AO) < P2(AS)	
条件集合4	P1(MO) < P1(AO)	P1(LD) < P1(MO) P1(AD) < P1(MO)	P2(LO) < P2(LD) P2(AO) < P2(AD)	
条件集合5	P1(MO) < P1(AO)	P1(LD) < P1(MO) P1(AU) < P1(MO)	P2(LO) < P2(LD) P2(AO) < P2(AU)	
条件集合6	P1(MO) < P1(AO)	P1(LU) < P1(MO) P1(AS) < P1(MO)	P2(LO) < P2(LU) P2(AO) < P2(AS)	
条件集合7	P1(MO) < P1(AO)	P1(LU) < P1(MO) P1(AD) < P1(MO)	P2(LO) < P2(LU) P2(AO) < P2(AD)	
条件集合8	P1(MO) < P1(AO)	P1(LU) < P1(MO) P1(AD) < P1(MO)	P2(LO) < P2(LU) P2(AO) < P2(AD)	

プレイヤー2に関する安定条件	プレイヤー2の戦略が同じ事象間の選好条件	両者の戦略が異なる事象間の選好条件	プレイヤー1の戦略が同じ事象間の選好条件	両者の戦略が異なる事象間の選好条件
条件集合1			P2(MO) < P2(MO) P2(MU) < P2(MO)	P2(LD) < P2(MO)
条件集合2	P1(MO) < P1(AD)		P2(MO) < P2(MO) P2(MU) < P2(MO)	P2(AD) < P2(MO)
条件集合3			P2(MO) < P2(MO) P2(MU) < P2(MO)	
条件集合4	P1(MU) < P1(AU)		P2(MO) < P2(MO) P2(MU) < P2(MO)	P2(LU) < P2(MO)
条件集合5			P2(MO) < P2(MO) P2(MU) < P2(MO)	P2(LD) < P2(MO)
条件集合6			P2(MO) < P2(MO) P2(MU) < P2(MO)	P2(LU) < P2(MO)
条件集合7	P1(MU) < P1(AU)		P2(MO) < P2(MO) P2(MU) < P2(MO)	P2(AU) < P2(MO)
条件集合8	P1(MO) < P1(AD) P1(MU) < P1(AD)		P2(MO) < P2(MO) P2(MU) < P2(MO)	P2(AD) < P2(MO)
条件集合9			P2(MO) < P2(MO) P2(MU) < P2(MO)	P2(LU) < P2(MO)

すべて合理的
すべて選好的安定
両方が存在

(3) 分析結果と考察

表-2 は、先述した自明な選好順序以外に全く情報が存在しない場合において知る必要のある選好順序を示したものである。一方、各プレイヤーの選好の傾向について、事前にある程度の推定（または仮定）が可能なケースも考えられる。その場合は、推定に反する選好条件を含む条件集合を除外することにより、想定解（実現目標事象）に均衡するための条件を絞り込むことができる。表-3 は、①プレイヤー1が、可能ならば単独での改善策よりも共同での再開発を志向し、②プレイヤー2が戦略OをUに次いで2番目に選好する場合について、必要条件を示したものである。表2に比べ、発生事象が安定

であるための必要十分条件が絞り込まれていることがわかる。表-3 から計画・調整主体が得ることができる知見は以下の通りである。

- a) プレイヤー1が共同での再開発を志向している場合、安定性を規定するのは、プレイヤー1の負担率の大きさと、プレイヤー2の取るオプションの二つの変数の関数である、＜プレイヤー1, 2のペイオフ関数＞により決定する。例えば、プレイヤー1は負担率を減少させる（戦略をLに変更する）動機を持つが、その後のプレイヤー2の戦略変更によるペイオフの減少が負担率減少による増益を上回るならば、MOはプレイヤー1にとって連続的安定である。
- b) プレイヤー2にとってOよりも好ましい戦略(U)が存在する時、プレイヤー2の移行を防ぐには、プレイヤー1の負担率減少(MU→LU)が制裁として機能する必要がある。

4. むすび

表-2, 3 において発生事象 MO が実現目標事象である場合の安定条件を示したが、再開発が成立する他の事象(LO, MU など)についても同様に安定条件を求めることができ、その事象が実現するために必要な選好順序を知ることができる。詳細は講演時に譲る。

表-3 前提による条件集合の絞り込み

プレイヤー1に関する安定性

P2の戦略が同じ事象間の選好条件	両者の戦略が異なる事象間の選好条件	P1の戦略が同じ事象間の選好条件	両者の戦略が異なる事象間の選好条件
P1(AO) < P1(MO)	P1(LU) < P1(MO)	P2(LO) < P2(LU)	

プレイヤー2に関する安定性

P2の戦略が同じ事象間の選好条件	両者の戦略が異なる事象間の選好条件	P1の戦略が同じ事象間の選好条件	両者の戦略が異なる事象間の選好条件
		P2(MD) < P2(MO) P2(MO) < P2(MU)	P2(LU) < P2(MO)

参考文献

- 岡田憲夫, キース・W・ハイブル, ニル・M・プレーザー, 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.
- 岡田憲夫, 谷本圭志, 荒添正棋: 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, 79-92, 1995, 10.
- 中瀬大祐: 流域における環境流量の確保と発電用ダム再開発に伴うコンフリクト分析, 京都大学工学部卒業論文, 1997.