

*

水配分方式の合意形成プロセスに関するゲーミング分析

Gaming Analysis of a Compromise-Forming Process
for Water Resources Allocation

**

岡 田 憲 夫 岡 美 治

by Norio OKADA and Yoshiharu OKA

The paper systematically studies a conflict resolution process for the allocation of water. The process is viewed as a man-machine interactive system and a combined approach of game theory and gaming, called "gaming analysis" is presented to best describe the system. Though the conventional type of conflict analysis fails to explain them, the designed methodology to model the system is shown to explicitly analyze and forecast the compromising-forming characteristics of the players involved.

1. まえがき

土木計画の対象とする一つの重要なテーマとして、利害の異なる複数の主体間の意見をどのように調整し、合意を形成すべきかという問題がある。本研究では水配分に伴う上下流対立問題を取り上げ、その合意形成プロセスのモデル化を試みるとともに、実際の計画場面における実用性について検討する。

2. 場面設定

現在、ある流域で水資源開発をどのように行うべきかをめぐって上流域と下流域ならびに流域を広域に管理する主体（ここでは一応「国」と仮称してお

く）との間で何らかの妥協案を見出すための聖引が展開されようとしている。上流域は容積27億 m^3 の湖を擁し、これを利用した漁業と農業により生計を立てる人々や一部都市化により流入してきた人々がいるが、概してまだ地域開発は進んでいない。しかし下水道の未整備のため周辺地域の生活・生産活動による湖水の汚染が進行している。

また、この湖を源として流下する当該水系の下流域では急速な都市化と工業化が進行しており、20年後には40～50 m^3/s の新規水需要量の発生が見込まれ、その水系の手当が急務となってきた。

一方、国は当該流域を広域的な視点から統合管理する方向で、地域開発・水源開発を誘導したいと考えている。

さて三者は何らかの形で妥協点を見出すべく非公式に接触した結果、自身および他者の採りうる出方（戦略）がつぎのようなオプションの組合せから決まってくることまでは知りえたものとする。

* キーワーズ：水資源、計算機支援システム

** 正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部海洋土木工学科

*** 学生員 鳥取大学大学院

(〒680 鳥取市湖山町南4丁目101)

すなわち下流域は水需要の増大に対して、①湖の水位を1m低下させることによって新規水利権40m³/sの確保を図るべく上流を説得するための手として必要ならば多少の負担金を上流に対して支払うこともありうるが、逆に②このような配分を受けずに徹底した節水を行うとともに高度の水処理プラントを建設し、水利用の再利用を図るという、以上二つの背反したオプションを考えているとする。

上流は以下の二つのオプションを想定している。

①湖の水位を下げて下流に水を配分することに同意するが、できればその場合に国や下流から何らかの見返りを得たい。

②地場産業の振興や工業立地の促進ならびに湖周辺のレクリエーション施設の整備を含めた総合的な地域開発事業を実行する。ただしそのためには必要な法的整備も含めた国の援助が肝要である。また必要に応じてこのオプションを下流への水配分の見返りとして使いたい。なお地域開発に伴って湖水の水質が悪化するのを防ぐためにも下水処理プラントの建設を地域開発に含めて行いたい、できればこれだけでも国に援助してもらいたい。

一方、国は水系の一貫管理を図る立場から以下の三つのオプションの組合せを考えている。

①上流域が地域開発を行う場合には必要に応じてこれを援助する用意がある。

②上流域の下水処理プラントの建設を援助する。

③水配分に伴って必要となる水系全体の水資源開発を全面的に援助・実行する。

ただし国は調停者としての性格も持っているので他の二者の譲歩と引き換えに上記の各オプションを適当に組み合わせることになるものと考えられる。

3. 戦略レベルのコンフリクト分析

以上のように三者のとりうるオプションとその組合せからなる各種の戦略が想定されると、これを三者によるゲーム（三人ゲーム）とみなすことができる。三人ゲーム（またはn人ゲーム）をモデル化する方法として最もよく知られている方法としては、仁やその拡張概念を利用したモデル化やシャプレイ値の応用などの方法が考えられるが、これらはいずれもプレーヤの選好性や立場を特性関数として計量化できることを前提にしている。たとえば、Young, Okada&Hashimoto(1982)は費用割振り法の開発を取り上げ、この種のアプローチの有効性を示している。

しかしここで注意したいのは、上述した場面設定の場合、各プレーヤのオプションはいずれも、「それを採用するか否か」という1,0の事象であること、また各プレーヤが特定の戦略を採ることにより起りうる任意の発生事象は、各プレーヤのオプションの組合せ事象（従ってこれも1,0事象の組合せからなるベクトル）で表されるという点である（表1参照）。このような場合には、起りうる発生事象の選好性を序数的に順位づけるのは比較的容易であるが、これを定量化することは困難であるし、その定性的・離散的特性を考えればそれが妥当でないことも明らかである。つまり、この種のレベルのコンフリクト分析に当っては従来の三人ゲームとは異なるアプローチが必要であることが分る。

このような視点からOkada&Oka(1983)は、コンフリクト問題を最小限二段階のレベルに分けて考えるべきであることを水配分問題を例にとりて指摘している。すなわち、本研究の場面設定で規定されるよ

Table 1 List of Options and Feasible Outcomes.

PL	オプション	発 生 事 象																																											
上流	水を配分する	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	地域開発をする	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
国	地域開発を援助する	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	水処理を援助する	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
	水資源開発を援助する	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	負担金を払う	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
下流	節水・再利用する	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10進数表示	7	9	11	15	23	25	27	31	33	35	39	41	43	47	49	51	55	57	59	63	64	66	70	72	74	78	80	82	86	88	90	94												

(注) 0:オプションを選択しない, 1:オプションを選択する

なお上述の“R”または“S”以外の状態は不安定な状態と考えられ、これを“U”(unstable)と表記する。

さてある発生事象がいずれのプレーヤについても“R”または“S”の意味で安定な状態であるならば、この事象は「均衡解」であるといい、“E”で表す。表2で表されるメタゲームの場合、均衡解は事象70, 7, 51および25の四つである。このうち事象7, 25, 51はいずれも上流が水を配分することを何らかの形で認めるものであるが、上流域が地域開発をしそれを国が援助するかどうかや、下流域が負担金を払うかどうかという点で異なっており、各自の選好ベクトルがこのままの構造であれば、これらのいずれの事象に落ち着いても不思議はないことを示している。また事象70が均衡解の一つになっていることは、結局、上流と下流が物別れの状態で別個に行動する状態も起りうることを表している。

このようにメタゲーム分析はこの種のコンフリクト分析と予測に有効な情報を提供してくれるが、同時につぎのような問題をはらんでいる。

- ①発生事象の数が多くなると自身の選好ベクトルを決めるのも必ずしも容易ではなくなる。まして他者の選好ベクトルを推定する場合はより困難である。
- ②現実の場面では相手の選好ベクトルが必ずしもよく分らず、これを推測しながら自身の戦略を決めていかざるをえないことの方が普通である。換言すれば上述したメタゲーム分析がそのままの形で有効であるのは、もう既にその結果が知れている過去の事例の分析かあるいは何らかの形でプレーヤ全体の真の選好ベクトルを知りえる中立調停機関が当該コンフリクト問題の分析と予測を行う場合などに限定されよう。
- ③実際の場面では仮にコンフリクト分析を情報分析・予測手段として使うにしても、これを利用しながら自分の戦略を選び出してそれを行使し、それによって生起する事象と相手の対応を見ながら、適宜動的に修正対応していくのが普通である。
- ④上述の均衡解の定義は、いわば各自が有する戦略を互いに行使しきった結果として生じる動的緊張均衡状態であるが、ここで取り上げた問題では特に国が調停者的な役割も兼ねているので、むしろある程度の妥協をめざした（ある戦略の行使の留保もありうる）合意形成プロセスとしてとらえた方が妥当で

あると思われる。

5. ハイパーゲーム分析

上に掲げた問題点のうち②については Fraser & Hipel (1979, 1984) がこれを克服するためのアプローチを提示している。これはメタゲーム分析と区別するためにハイパーゲーム分析と呼ばれる。後者の分析手法は前者の理論を踏襲しているが、つぎの点で運用の仕方に修正が試みられている。

メタゲームでは全プレーヤの真の選好ベクトルがすべて知れていることを前提に安定性分析を行ったが、ハイパーゲームでは、各プレーヤが知りうるのは自身のみの選好ベクトルであって、他者の選好ベクトルについては各プレーヤが互いに推測することを想定している。従って決定・推測された全プレーヤの選好ベクトルの組は各プレーヤごとにそれぞれ異なりうるはずで、各プレーヤはそれぞれが決定・推測した選好ベクトルの組に基づいてメタゲーム分析を行うことになる。以下詳細については後述する。

6. 選好ベクトル同定のための手法

メタゲーム分析の問題点の①として挙げた選好ベクトル同定の困難さを克服する一つの方法は、この同定作業をシステマティックに行う手法を導入することである。このような視点から Okada & Oka (1983) は、(i) 第一段階として各プレーヤの制御可能ブロックごとに並べた選好ベクトルについて大まかな順序づけを当該プレーヤに実行させるとともに、(ii) その結果を参考にしながらその修正の手段として、各発生事象の選好順序を一对比較させ、その関係を(0,1)の二項行列で表現した後、これにISM手法を適用してその階層構造を図示し、(iii) 最後に(i)と(ii)の結果を総合的に判断して各プレーヤが選好ベクトルを決定・推測するというプロセスを導入し、その有効性を実証している。そこで本研究でも選好ベクトル同定のプロセスレベルにこのアプローチを導入する。

7. 合意形成システムモデル

メタゲーム分析の③と④において問題点として指摘したことは、コンフリクトの調整過程を動的にとらえるだけではなく、むしろこれを合意形成プロセスとして位置づける必要性についてであった。そこで以下ではこのような動的な合意形成プロセスの基本的メカニズムをシステムモデルとしてとらえるとともに、2.場面設定で記述したような状況下でそれが合意形成の支援システムとしてどの程度有効でありうるかについて実証的分析を試みることにする。

(1) 人間・機械系(対話)システム

合意形成支援システムを構築するためには、人間の評価・判断のプロセスをシステムの中に組み込むことが不可欠である。換言すれば、合意形成のプロセスを科学化・システム化するためには、人間(プレーヤ)の評価・判断を支援するための分析モデルをシステムの中にハードウェアとして組み込むとともに、これと人間の評価・判断の機能(ソフトウェア)を有機的に結合することが要求されるといえる。そこで以下の実証研究では、分析モデルとしてISM手法(選好ベクトルの同定)とハイパーゲーム(コンフリクト分析および予測)を組み入れるとともに他の部分についてはこれを人間(プレーヤ)の評価判断に任せるシステムを図1のように開発した。

(2) ゲーミング分析

上記のことをコンフリクト分析の視点から言い換えれば、規範的な理論展開を主たる目的とするゲーム理論(ハイパーゲーム)と人間(プレーヤ)の評価・判断を行動形式として実験的に発見・記述していこうとするゲーミング手法とを相互補完的に接合して統合システムとして運用していくことを意図しているのに他ならない。この点についてはOkada(1984)が費用割振り問題を取り上げてその必要性和有効性について研究するとともに、上述のようなゲーム理論とゲーミング手法の組合せアプローチを「ゲーミング分析」と呼んでいる。

従って本システム(図1)は、まずハイパーゲームにより自身の適切な戦略と相手の対応およびその結果としての均衡解の種類について予め分析・予測・評価・判断するプロセス・レベルおよび実際にプレーヤ間で戦略を提示・変更しながら情報交換をして合意形成を図っていくプロセス・レベルの両レベルから構成されている。なお必要に応じて後者のプロ

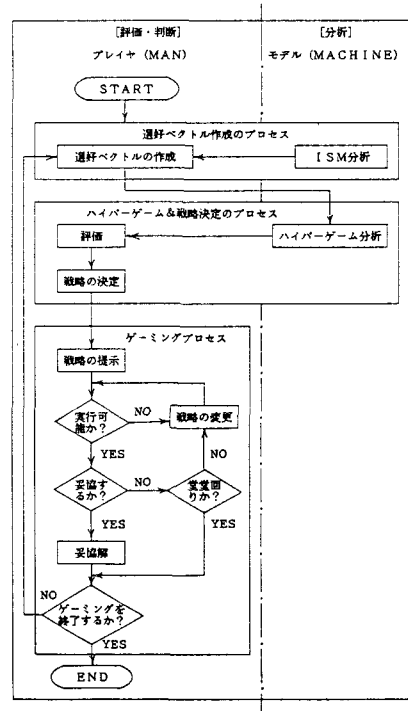


Fig. 1 Modelled Compromise-Forming Process.

セスレベルの結果は前者のプロセスレベルにフィードバックされて以下合意形成が図られるまでこの過程を繰り返すことは言うまでもない。この場合、前者のプロセスレベルがゲーム理論、また後者がゲーミングをベースにしていることになる。

8. 実証的分析

以上のようにして構築された合意形成システムを実証的に検討するために、2. 場面設定で述べた状況を想定して実際に実務家を招いて本システムを運用してもらうことにした。参加者はいずれも河川行政に実際に携わり、この種の合意形成問題の内容とその解決の仕方に精通していると考えられる三人の行政官であり、それぞれに上流域、国および下流域のプレーヤになってもらうことにした。

(1) ハイパーゲーム分析

上流域、国および下流域の立場に立ったプレーヤにそれぞれ自身の選好ベクトルを決定し、かつ同時に他者の選好ベクトルを推定してもらった。なおプ

レーヤ〔上流〕は第一回
目のハイパーゲーム分
析の結果を若干悲観的
すぎるとみて、選好ベ
クトルを修正してもう
一度ハイパーゲームを
やり直すことを求めた。
その結果表3を得た。
プレーヤ〔国〕と〔下流〕
は一回目のハイパーゲ
ームの結果を妥当なも
のと判断し、表4、表
5を得た。

Table 3 Hypergame Analysis for Upstream Region(2nd round).

[illegible]

これらの結果からいくつかの興味深い事実が指摘できよう。

Table 4 Hypergame Analysis for National Government.

[illegible]

①上流と下流のハイパーゲームを比較すると、下流は上流の選好性をかなり的確にとらえているのに対し、上流は下流の選好性をそれほど正確には推測していないことが分る。

②たとえば、下流は上流にとって事象94,78,86がそれぞれ最善、次善、次々善の発生事象であることを見抜いている。これらはいずれも(01|1--|01)という構造の事象になっている。ここに最初の二つはそれぞれ上流の第一、第二のオプションが、0,1であることを表している。同様に第三番から第五番目までの数字または記号は国のオプションが1,-,-であ

Table 5 Hypergame Analysis for Downstream Region.

[illegible]

ることを示している。“-”は0または1のいずれかであることを表す。最後の二つの0と1は下流のオ

プッシュがこの順に 0 と 1 であることを示している。

③一方、下流は上流にとって最も望ましくない状況

が発生事象33であり、それに近いものとして事象9と49があることをも見抜いている。

④他方、上流は下流の選好性に関して事象25を過大評価、事象7を過小評価している。いずれも上流は水配分を認めるのに対し、下流は何もしないという点では同じであるが、事象25は国が下水処理と水源開発のみを援助するのに比して事象7は国が上流がしようとする地域開発のみを援助しようとする点で違いがある。

⑤上流も下流も国の選好性をかなりとり違えている。これは国のプレーヤを演じた担当官が最も望ましい状態として節水・再利用を高く評価したのに対して上流と下流はむしろ国が何らかの形で上流に水配分を促し、その見返りとして下流に負担金を求める可能性があることを予測していたためと考えられる。

⑥国は上流の選好性に関しては発生事象86から11まで等選好として「」でくくり、かなり大づかみな把握しかしていない。しかも上流にとって最も望ましい事象94をかなり低めに見積っている。同様に国は下流の選好性についてもかなりとり違えている。

⑦以上のことから当然の帰結として三者が均衡解として想定しているものは相当異なっており、この時点で三者の間に妥協が得られるとは考えにくい。

(2) ゲーミング分析

この時点で各プレーヤは自身のハイパーゲーム分析の結果得られた均衡解の組を参考にしながら自身の戦略の一つのみカードに記入して提示し、それによって発生した事象をみながら必要に応じて戦略を変更することを求められた。その結果ゲーミングは図2に示すように展開していった。

すなわち第一回目の発生事象は実行不可能であったので、プレーヤは戦略変更をせまられ、上流と下流が、戦略を変更した結果、発生事象39を得た。これは上流が水配分をすると同時に地域開発も行い、国がこれを援助し、下流はこれに対して補助金を支払うというものである。ゲーミングはここで終了かと思われたが、上流と下流がさらに国の広域管理者としての立場を指摘して譲歩を迫り、結局国は、「予算の許す限りで」という条件付でさらに水資源開発全体を援助することに同意し、ここで妥協が成立した。

(3) 妥協解の成立条件に関する考察

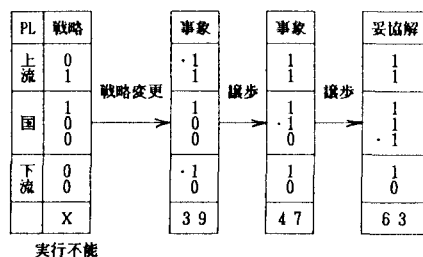


Fig. 2 Results of Gaming and the Compromise Reached.

仮に三人のプレーヤの真の選好性を知り得る中立機関がメタゲーム分析を行ったとしたならばどのようなことがいえたかを考えよう。実はこの結果は既に表2に示されている。問題はこのメタゲーム分析でも先のハイパーゲーム分析でも事象39も63も均衡解とはみなされていなかったということである。これについてはプレーヤの選好性を変ったためとか選好性の予測に誤りがあったためとの解釈も成り立つが、三人のプレーヤは妥協の成立した時点でも自身の元の選好性は基本的に変更なく、むしろ上述のようなゲーミングの結果は妥協した結果だとの感想を述べている。

そこでむしろこの「妥協の構造」をメタゲームやハイパーゲームに明示的に組み込むとどうなるかについて考察しよう。いま起りうる発生事象を列挙する場合に、上流が下流に対して水配分を認めるという妥協が成立しうる必要最低限の交換条件として(11|1--11-)なる構造を想定する。これは上流が水配分を認めるのと引き換えに下流は負担金を支払、国は上流の地域開発を援助するという条件である。このような条件を発生事象の成立条件として組み込むと実行可能な事象は表6のように24個に減少する。この状態で上流、国、下流の三者の真の選好ベクトルをもとにメタゲームを行うと同表から分るように事象70と39が均衡解として浮かび上がってくる。

さてこの均衡解39は上述のゲーミングにおいて当事者間で妥協解として落着く可能性が高い事象であったことに留意する必要がある。ただここで問題なのは実際に妥協解として最終的に落着いたのは39ではなくて、事象63であるという点である。

事象63は上流と下流にとっては事象39より望まし

い事象であるが、国にとってはその逆であるので、もし上流と下流が事象63に移ると国は一方的改善の戦略を行使して事象39や55,47に移ることができ、これらはいずれも上・下流にとって当該事象63よりも望ましくない事象であるため、この事象に移ることがこのままではできない。(よって均衡解ではない。)

従って国はこのような戦略を行使して事象63に落ち着くのを回避することができたはずであるが、自身の広域管理者としての役割を認識して妥協したものと解釈できる。これはいわば国が事象63に対する一方的改善事象39,55,47を{ }で封印してこれを行行使することを留保したため、事象63が見かけ上の{R}になり、その結果三人のプレーヤともにRが付せられて見かけ上の均衡解になったものとみなせる。そこで表6ではこの事象63を他の均衡解と区別するため“C”(compromise)で表してある。このようにゲーミングはゲーム理論としてのメタゲーム・ハイパーゲームの改善のための情報をも提示してくれる。

9. むすび

本研究では水配分に伴う上下流対立問題を取り上げ、その合意形成プロセスを人間・機械系システムとしてとらえ、実証的運用を通じてその有効性を明らかにした。その際ゲーム理論とゲーミングの組合せ手法(ゲーミング分析)を用いた。その結果、ここで用いたゲーミング手法は実際に生じうる可能性をシミュレートするための実験手法として有効であるが、同時にそこで観察された特性を規範的分析モデル(ゲーム理論)にフィードバックし、それを構造として組み込んだ改良分析モデルを構築するための手段として活用することも可能であることが分った。具体的にはこのようなゲーミングからのフィードバックにより、妥協の可能性を前提としたゲーミングではむしろその構造を明示的に分析モデルに組み込んだ方が説明力がつくことが知れた。

もちろん、本研究では現実の場面で行われる合意

Table 6 Compromise-Oriented Metagame Analysis.

	均衡解	(C) E E															
		R	R	R	R	R	R	R	R	S	U	R	S	R	U	R	U
上流	安定性																
	選好ベクトル	94	78	86	63	70	47	55	39	90	59	74	88	57	43	72	51
	一方的改善										90	59		74		43	
下流	安定性	R	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
	選好ベクトル	70	86	78	94	66	82	90	74	39	55	47	63	59	51	35	43
	一方的改善	70	78	78	78	78	78	78	78	39	39	39	39	39	39	39	39

形成のプロセスの一側面しかモデル化しえていず、実際にこのようなシステムがどのような形で運用できるかについてさらに研究が必要であらう。

参考文献

- 1) Fraser, N.M. and Hipel, K.W.: Solving Complex Conflicts, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC9, pp805-815, 1979.
- 2) Fraser, N.M. and Hipel, K.W.: Conflict Analysis Models and Resolutions, North-Holland, New York, 1984.
- 3) Howard, N.: Paradoxes of Rationality, MIT Press, Cambridge, MA, 1971.
- 4) Okada, N. and Oka, Y.: A Hierarchical Gaming Approach to the Resolution of Conflicts over Water Resources Allocation, Preproc. of the 2nd World University Conference, Apr. 18-20, Tokyo, 1983.
- 5) 岡田憲夫, 岡美治: 水配分をめぐる上・下流対立問題のメタゲーム分析—提携可能性の検討, 第39回土木学会年次学術講演会概要集, 1984年10月.
- 6) Young, H.P., Okada, N. and Hashimoto, T.: Cost Allocation in Water Resources Development, Vol. 18, No. 3, pp. 463-475, June 1982.
- 7) Okada, N.: A Man-Machine Interactive Approach to Cost Allocation: A Gaming Analysis, Proc. of JSCE, No. 343 March 1984.