水資源開発におけるステイクホルダー間のコンフリクトと 合意形成を考慮した代替案の評価モデルに関する研究

A Study on Alternative Evaluation Model Considering Stakeholders'
Conflict and Consensus Building in a Water Resources Development

佐藤祐一¹⁾ 萩原良巳²⁾
Yuichi SATO Yoshimi HAGIHARA

1) 京都大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kyoto University

2) 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

河川開発と環境保全がトレード・オフの関係にあり、ステイクホルダーの間でコンフリクトが生じている際には、各ステイクホルダーの意思や意向を適切に評価した上で意思決定に結び付けていく必要がある。しかし河川開発代替案の総合評価を行うためには、どうしても河川開発と環境保全といった別次元の利害を突き合わせて評価しなければならない。

そのために本研究では、各ステイクホルダーの意思や意向を表現するための「満足関数」というものを、ステイクホルダー間の整合性を満たした形で構築するための手法の提案を行う。そして、「グループ満足関数」という代替案評価モデルの構築を行うが、これは各ステイクホルダーの満足関数により成り立つ。

そして、このモデルを吉野川可動堰問題に適用した。ここでは、治水と生態系に関するステイクホルダーの満足関数の構築を行い、代替案の評価を行った。また、ステイクホルダー間の歩み寄りを明示的に考慮するために、選好構造差独立性の概念に基づくモデル構築を行ったが、これにより歩み寄りの程度と代替案選択の定量的な関係が得られた。

キーワード：開発と環境のコンフリクト、合意形成、ステイクホルダー、代替案評価モデル、吉野川可動堰問題

In case there is the trade-off relationship between a water resources development and environmental conservation and the conflict situation is occurring between stakeholders, it is necessary to make a decision after the adequate evaluation of each stakeholder's mind and intention. However, in order to evaluate alternatives of a water resources development synthetically, we must necessarily evaluate the different interests from the same viewpoint, such as a water resources development and environmental conservation.

In this paper, the method of constructing the "satisfaction function" is developed, which expresses each stakeholder's mind and intention on the condition of consistency between stakeholders. Then the alternative evaluation model whose name is "group satisfaction function" is developed. This function consists of each stakeholder's satisfaction function.

After that, this model is applied to the Yoshino River movable dam problem. Here the satisfaction functions of stakeholders about flood control and ecosystem were constructed, and alternatives were evaluated. In addition, the model was constructed based on the concept of finite-order independence of structural difference in order to consider compromise between stakeholders explicitly. This process showed the relationship between the degree of compromise and the selection of alternatives.

Key Words : Conflict between development and environment, Consensus building, Stakeholders, Alternative evaluation model, Yoshino River movable dam problem

はじめに

人々は水資源開発によって、効率的な用水供給による経済発展や洪水防御による財産被害の軽減を達

成してきたが、水循環の著しい変化は同時に、水質汚濁や河川生態系の悪化、市民の安らぎの場の喪失などの問題を引き起こしてきた(高橋, 2003)。このように影響圏が広範となる水資源開発を巡っては関

1) 現) パシフィックコンサルタンツ(株) 〒163-0730 東京都新宿区西新宿2-7-1 Pacific Consultants Co., Ltd., Shinjuku-ku, Tokyo 163-0730, Japan

2) 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

連するステイクホルダー間でコンフリクトが生じやすく、合意形成の下で意思決定を行うことが困難となってきた。

しかし従来の水資源開発計画において住民の意見を計画に結びつけるための手段としては、河川法第16-2条に「公聴会の開催等必要な措置」とあるのみで、評価に関する具体的な方法論は未だ確立されていない。

こうした開発と環境のトレード・オフの問題に対し、コンフリクトそのものに焦点を当てたものとして、坂本ら(2002)のゲーム理論的アプローチが挙げられる。これは、無用なコンフリクトの激化や長期化を避けることを目的に、コンフリクトが到達し得る均衡状態についてのモデル化を行ったものである。また水資源開発の是非を判断する基準に関するものとして、CVMやコンジョイント分析などを用いたアプローチが挙げられる(例えば栗山(1998))。これらはアンケートによって、従来の費用便益分析では対象とされてこなかった環境保全の価値についても貨幣測度で評価しようとするものである。CVMは環境変化に対する個人の支払意思額あるいは受取補償額をたずねることで、コンジョイント分析は多属性の政策代替案の選択結果から属性ごとの支払意思額を明らかにすることで環境保全の価値を計測する(大野, 2000)。しかしCVMなどでは、何を聞いても同じような結果が得られるという問題(スコープ無反応性)やインセンティブの問題など、アンケートにおいてバイアスを生じる可能性があるため、政策決定の手段としては未だ研究段階にある。

そこで本研究では、コンフリクトの激化や解消による人々の選好の変化を明示的に考慮した上で、水資源開発代替案ごとに住民が得られる満足度の合い(厚生)の変化を分析するモデルを構築することを目的とする。またその際、環境保全の価値を経済価値に解釈し直して費用便益分析的に開発計画の有効性を論じるのではなく、水資源開発の価値と環境保全の価値を直接比較することで厚生変化の分析を行うことにする。

また環境(あるいは開発)の価値が人々の選好から導かれるとするならば、人々の環境に対する選好の変化は当然環境の価値の変化をもたらす。実際Scott McCreary *et al.* (1999)は、カリフォルニアのBay-Deltaにおける生態系保全と健全な水資源管理を目的としたCALFEDプログラムにおいて、ステイクホルダー同士がラウンドテーブル(話し合いの

場)につき問題の共有化や議論のプロセスを経ることで、人々の選好が変化してより合意形成の段階に近づくことができた」と指摘している。従って、人々の選好の変化と代替案ごとの厚生の変化との関係についても評価することで、合意形成に向けたより具体的な指針を得ることができると考えられる。以上のような分析を通して、本研究は、水資源開発に伴うコンフリクトの解消と合意形成に向けたツールとしての役割を果たすことを目標とする。

なお本研究は、水資源開発と環境保全のコンフリクトを対象とした佐藤ら(2002)の研究をバックグラウンドとしたものであるが、開発や環境の価値を導出するモデルにおいて大幅な改善を行ったものであり、得られる結論においても変化が生じていることを明記しておく。

・多目的最適化とグループ満足関数

章で見たような河川開発と環境保全のトレード・オフの問題は、複数の目的がある中で一つの意思決定を行わなくてはならないという「多目的最適化」の問題として捉えることができる。いま複数(n 個)の目的に対応したそれぞれの目的関数を $f_1, f_2, \dots, f_n$ とすると、多目的最適化とは一般に、制約条件の下で

$$w(f_1, f_2, \dots, f_n) \quad (1)$$

を最大あるいは最小とするような代替案を選択することである(石谷ら, 1997)。

本研究ではこの目的関数として、開発あるいは環境に関連した複数の価値(治水の価値、利水の価値、レクリエーションの価値など)を考える(以降これを「評価基準」と呼ぶ)。またこれらの価値が、対応するステイクホルダーの効用によって表されるならば、この w はグループ効用関数(田村ら, 1997)である。

このグループ効用関数の大小によって意思決定を行うことは、個人間の効用比較可能性を前提としており、また「民主的な社会厚生関数(民主的決定)は存在しない」というアローの一般不可能性定理の問題をクリアできない(松原, 2001)。しかしながら、本研究はそこで導かれた結論が社会的な意思決定であると主張することが目的ではなく、代替案ごとの厚生を評価することで、個々人の主張の対立に陥りがちな議論を「社会全体としてどのような状態を目指していくべきか」という議論に導くことが目的である。また、その結果としてステイクホルダー同士

が問題の共有化を行い、歩み寄りの段階を経て合意形成に至るきっかけを作ることが目的である。従って本研究では式(1)による代替案の評価を認める。

また本研究では、各ステイクホルダーの効用を表す関数として、不確実性下での選好強さを表す効用関数ではなく、第 4 章で定義する、確実性下での選好強さを表す「満足関数」を用いる。これは、河川開発や環境保全に対する要望は「～までの改善が必要だ」というように確実性下のものであり、確率概念を有するものではないからである。そこで式における目的関数を、 n 種のステイクホルダーの満足関数 $s_1, s_2, \dots, s_n$ に置き換えることで、「グループ満足関数」を

$$w(s_1, s_2, \dots, s_n) \quad (2)$$

のように定義し、この大小によって代替案の評価を行う。

・満足関数の構築手法

本章では、ステイクホルダーの満足関数を構築する手法について説明する。

1. 価値関数の問題点

確実性下での選好強さを表すものとしては、Keeney *et al.* (1993) の「価値関数」が挙げられる。この関数は以下の手順で作られる (図 - 1)。

図 - 1 Keeney *et al.* による価値関数の構築手法。
Fig. 1 The method of constructing the value function by Keeney *et al.*

- (1) 評価基準の値 x の変域を設定する。また $v(x)$ を結果 x を得たときの価値とし、 $v(x^*) = 1$, $v(x_0) = 0$ のように正規化する。
- (2) この x の変域内の点 x^m で、 x^0 であるときに x^m になることと、 x^m であるときに x^* になることが意思決定者にとって同等であると判断する、つまり無差別となる点 (これを「価値中点」と呼ぶ) を意思決定者に尋ねる。
- (3) この x^m に対応する価値 $v(x)$ の値を 0.5 とする。
- (4) 同様に x^0 と x^m の価値中点 $x^{0.25}$ を求め $v(x^{0.25}) = 0.25$ とし、 x^m と x^* の価値中点 $x^{0.75}$ を求め $v(x^{0.75}) = 0.75$ とする。順次同様に価値中点を求めていく。
- (5) 適当なところでこれらの価値中点を滑らかな曲線で結べば価値関数が得られる。

しかしステイクホルダーごとに異なる価値関数を構築する場合にこの手法を適用すると、以下のような問題点が生じる。

- (1) ステイクホルダー間で整合性のとれた価値関数の決定ができない。
- (2) 価値中点を尋ねるための質問が分かりにくい。

まず(1)の問題点に関して、Keeney *et al.* の手法では、評価基準ごとに独立に変域が決定されるため、それによって得られる各ステイクホルダーの価値関数は整合性がとれていると言えるのかどうか不明であり、そのチェックもできない。

次に(2)に関して、回答者は価値中点を求めるのにかなりの想像力を要する。なぜなら、たった一つの価値中点 x^m を出すためにさえ、回答者は自分が x^0 であるときと、 x^m であるときという二つの状態を想像しなくてはならないからだ。更にこれら二つの状態は、自分が現在どのような状態に置かれているか、ということとは全く関係がない。また、無差別という言葉はその意味が曖昧で、何をもって無差別と判断するのかが回答者によって異なる可能性がある。

従って本研究では、価値関数の「選好強さの差に基づいて構築する」という点は参考にしつつも、整合性の問題やアンケートの設計までも考慮に入れた「満足関数」というものを新たに定義し、これによってステイクホルダーの確実性下における選好強さを表現する。

2. 必要度に基づく満足関数の構築

本節では、前節で述べた 2 つの問題点を改善した、満足関数の構築手法について述べる。その流れを図

図 - 2 満足関数構築手法の流れ .

Fig. 2 The flow of constructing the satisfaction function.

に示したのが、図 - 2 である。ここではまず、各ステイクホルダーをその評価基準の値により複数のグループに分割する。次に、改善を必要とする度合いをグループごとに求め、最後にそれを用いて各ステイクホルダーの満足関数を、整合性を取った上で構築するという流れをとる。以下、その詳細について説明する。

1) ステイクホルダー内の「グループ」の導入

同一のステイクホルダーではあっても、その便益や被害を受ける程度は人によって様々であると考えられる。そこでまず、ステイクホルダーを単一の評価基準の値を持つ集団として考えるのではなく、いくつかのグループに分けて捉える。また、満足関数 $s(x)$ は評価基準の値 x に対して単調増加であると仮定する。いまステイクホルダー i が有する評価基準を x_i と表す。またこのステイクホルダーを g_i 個のグループに分割し、それぞれのグループの現在の状態（評価基準の値）を $x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{g_i}$ （ただし $x_i^1 < x_i^2 < \dots < x_i^{g_i}$ ）として表す（図 - 3）。

2) 必要度の定義

次に、改善を必要とする度合いを「必要度」として定義し、これをグループごとに求める。いまこの必要度が、それぞれのグループの現在の状態 x_i^p (p

$= 1, 2, \dots, g_i$) がどの程度であるのか、将来的にはどの程度の改善が必要と考えているのか、そしてそれを必要と考える人はどの程度なのか、ということによって構成されるものとする。これは、大きな改善を必要と考える人の割合が高ければ高いほど、そのグループにとっての必要度は高いと考えられるからである。

そこでまず、対象となる人々に「あなたの現在の状態を考えた場合、自身の評価基準に関してどこまでの改善が必要だと考えますか？」という質問を行う。これは、鋭いコンフリクトが生じている水資源開発計画においては、「どこまで欲しいか」という「欲望」ではなく、「どれだけあれば我慢できるのか」という「必要性」の視点を意思決定に反映させていくことが重要だと考えられるからである。また「我慢」の視点から質問を行えば、評価基準の改善に伴う他の要素への負の影響がなかったとしても、回答者は「無限の改善を望む」のではなく改善の必要性に関して限界を示すものと考えられる。従って、改善に付随して生じる負の影響はないものとして質問を行う。

そしてグループごとに、現在の状態 x_i^p （各グループに固有の値）を原点に取り、横軸を将来的に望む

図 - 3 ステイクホルダーとグループの関係 .

Fig. 3 The relationship between stakeholders and their groups.

図 - 4 必要性とそれを望む人の比率(必要グラフ) .

Fig. 4 Necessity and the ratio of the people who desire it (Necessity Graph)

x_i , 縦軸をその x_i までの改善が必要と考える人の比率 $r_i^p(x_i)$ (x_i の関数) で表したグラフを描く (図 - 4 参照, 以後これを「必要グラフ」と呼ぶ). またこの比率 r_i^p は, 現状に対して不満があり改善を必要と考える人々と, 現状で満足している人々と合計が 1 となるように,

$$\int_{x_i^p}^{x_i^*} r_i^p dx_i = 1 - (\text{現状で満足している場合}) \quad (3)$$

ただし, $r_i^p \geq 0$

を満たすものとする.

そして, あるグループの現在の状態が x_i^p であるときの必要度 $N(x_i^p)$ を, 以下の式

$$N(x_i^p) = \frac{1}{x_i^* - x_i^p} \int_{x_i^p}^{x_i^*} (x_i - x_i^p) r_i^p dx_i \quad (4)$$

ただし, $x_i^0 \leq x_i^p \leq x_i^*$

で定義する. つまり必要度とは, 現在の状態と必要とする将来値の差に, その将来値を必要とする人数の比率を掛け合わせ, 最良値と最悪値の差で基準化したものであると定義する. なぜならば, 開発と環境といった別次元の軸を突き合わせて同じ土俵の上

で議論するためには, 基準化という過程が必要となるからである (Paul *et al.*, 1995). そしてこの必要度を, 各グループに対して求める. あるステイクホルダー内に 3 つのグループがあるとしたときに, それぞれのグループ毎の必要グラフと必要度の関係を図示したものが, 図 - 5 である.

3) 必要度から満足関数を構築する

最後にグループごとの必要度を用いてそのステイクホルダーの満足関数を求める. 満足関数は確実性下での選好強さを表すものであるため, Keeney *et al.* の価値関数と同様, 選好強さの差に基づいて構築されなければならない. そこで, 「 x^0 から x^m になることと x^m から x^* になることが無差別となる」ということを, 「 x^0 から x^m になったときに必要性の満たされた度合いと, x^m から x^* になったときに必要性の満たされた度合いが等しくなる」と解釈することで, 必要度と満足関数の関係を求める.

いま, 「必要性の満たされた度合い」を「必要度の減少量」とするならば, x_i 上に任意の 3 点 x_i^l , x_i^m , x_i^n (ただし $x_i^l < x_i^m < x_i^n$ とする) を取ったとき, 「必要度の減少量が等しければ, その満足関数の値の差も同じ」であるので,

$$s(x_i^n) - s(x_i^m) = s(x_i^l) - s(x_i^m) \quad (5)$$

が成り立つ. 即ち, 満足関数の値の差が同じとなるような状態変化の例をいくつか取ってくれば, それらの間では必要度の差も同じとなる. これは図 - 6 において常に

$$s(x_i^m) \{1 - s(x_i^m)\} = \{N(x_i^0) - N(x_i^m)\} \{N(x_i^m) - N(x_i^*)\} \quad (6)$$

が成り立つことを意味する. 従って, 価値関数と必要度の関係は,

$$s(x_i^p) = \frac{N(x_i^0) - N(x_i^p)}{N(x_i^0) - N(x_i^*)} \quad (7)$$

図 - 5 グループ毎の必要グラフと必要度 .

Fig. 5 Necessity graph of each group and necessity degree.

図 - 6 満足関数と必要度の比 .

Fig. 6 Satisfaction function and the ratio of necessity degree.

として表される (図 - 7 参照) .

以上のことは、必要度と満足が一意的関係にあること、更に言えば、改善に対する必要性 (必要度) が大きければそのグループにとっての満足は低いということを意味している。また、評価基準の値、必要度、満足関数、グループ満足関数の間の階層関係を示したのが、図 - 8 である。

図 - 7 必要度と満足関数の関係 .

Fig. 7 The relationship between necessity degree and satisfaction function.

4) ステイクホルダー間の整合性

ここでは簡単のために、ステイクホルダーが2種であるときを例として、以上で構築した満足関数が、異なるステイクホルダー間で整合性が取れていると言えるのかということについて考察する。

前節においても述べたように、Keeney *et al.* の手法では、必ず構築された価値関数間での整合性の問題が生じる。そこで本研究では、各ステイクホルダーが有する別次元の軸をどのように突き合わせる

グループ満足関数 w

図 - 8 各関数間の関係。

Fig. 8 The relationship between functions.

のかという問いに対して、それぞれが持つ必要度で整合性を図るものとする。つまりステイクホルダー間の整合性を、「ステイクホルダー i の評価基準の値 x_i とステイクホルダー j の評価基準の値 x_j に対する満足が同じであれば、その点における必要度も同じである」と考えるならば、

$$s(x_i) = s(x_j) \quad N(x_i) = N(x_j) \quad (8)$$

が成り立たなければならないから、式(7)より、

$$\frac{N(x_i^0) - N(x_i)}{N(x_i^0) - N(x_i^*)} = \frac{N(x_j^0) - N(x_j)}{N(x_j^0) - N(x_j^*)} \quad (9)$$

となり、これは即ち

$$N(x_i^0) = N(x_j^0) \quad \text{かつ} \quad N(x_i^*) = N(x_j^*) \quad (10)$$

を表す。言い換えると、 x_i と x_j の最良値と最悪値における必要度が等しければ、前述の意味での整合性は取れたことになる。最良値のときの必要度が 0 (即ち最良値以上の改善を必要と考える人はいない) であるときには、最悪値における必要度が等しくなるように x_i と x_j の最悪値を設定すればよい。

この整合性の意味は以下のように解釈できる。即ち、開発と環境といった別次元の要求を同じ土俵で議論するために、改善に対する必要性の強さを表す「必要度」を導入し、これが異なるステイクホルダー間で同じであればその満足も同じであると考えていることを意味している。

またこの際、各グループの必要度の算出に関してはアンケート調査を前提としているため、その微小な変化により結論が大きく変化することがないかを調べるために、感度解析が必要となる。しかし現段階では、必要度は決定論的に導かれるものとして以

下の分析を行う。

・吉野川可動堰問題への適用

本章では、河川開発と環境保全の間でコンフリクトが生じている問題の例として四国吉野川の可動堰建設問題を取り上げ、前章までで提案した満足関数構築手法を適用し、グループ満足関数による代替案の比較を行う。

1. 可動堰問題の概要とステイクホルダーの設定

吉野川は、徳島県石井町、上板町にまたがる固定堰(以下、第十堰と呼ぶ)の上流から旧吉野川を分流したのち、河口部では川幅 1 km を超える大河となつて紀伊水道に注いでいる(図 - 9 参照)。その基本高水流量は 24,000 m³/s と日本の一級河川においては最大で、また地形が急峻で河川勾配も急なため、降雨が短時間に流れ下ることから洪水量が大きくなる過酷な自然条件下にある(建設省四国地方建設局、1995)。

この旧吉野川流域への分流と塩水遡上防止を目的とした第十堰は、およそ 240 年前に建築された。現在、治水上・利水上の様々な観点から第十堰の問題が指摘され、それを解決する方法として、その可動堰化が挙げられている。しかし環境保護の視点などからこの可動堰化には反対も多く、2000 年 1 月に行われた徳島市住民投票では、投票者の 9 割以上の人々が反対の意思を表明した。この可動堰建設の是非を巡り、推進派と反対派がそれぞれ議論を行っているが、両者が協同して解決に向けた議論を交わすことはなく、未だ平行線を辿ったままである。

そこで吉野川可動堰問題に関わるステイクホルダーとして、本研究では、計画に伴って何らかの利

図 - 9 吉野川流域と第十堰。

Fig. 9 The Yoshino River Basin and the Daiju Weir.

害を被る住民と生態系に着目し、

- (1) 治水に関して...第十堰のせき上げにより洪水時に被害を受け易い人々
- (2) 利水に関して...第十堰の流失時に利水被害を受ける旧吉野川流域の人々
- (3) 生態系に関して...可動堰建設によって生息環境に何らかの影響の出る生物(の代替者)
- (4) 親水に関して...第十堰をアメニティ空間として利用している人々、又はその歴史的・文化的価値によって何らかの便益を受けている人々の4種を考える(佐藤ら, 2002). いま水資源開発計画の代替案として可動堰建設と現状維持の二つを挙げれば、前者2つのステイクホルダーは開発推進派として可動堰建設を、後者2つのステイクホルダーは環境保護派として現状維持を支持すると考えられる。本研究では(1)の「治水に関するステイクホルダー」を開発推進派として、(3)の「生態系に関するステイクホルダー」を環境保護派として代表させ、これらの満足関数を構築することで代替案の評価を行う。

2. 各ステイクホルダーの満足関数の構築

1) 治水に関するステイクホルダーの必要度

治水に関するステイクホルダーの満足関数を構築するためには、章で述べたように、その被害の被りやすさによっていくつかのグループに分割する必

	洪水伝播時間		最大浸水深	
	～30分	1点	～0.5m	5点
	30分～1時間	2点		
	1～2時間	3点	0.5～2.0m	3点
	2～3時間	4点		
	3時間～	5点	2.0m～	1点

治水レベル	=	+	= 10点満点

図 - 10 治水レベルの定義。

Fig. 10 Definition of flood control level.

要がある。従って洪水被害の程度を、「河川流域に住む一人の住民」という視点から、「いつ洪水がやってくるか」「洪水によりどの程度の深さまで浸水するか」の二つにより定義する。いま、洪水の伝播の時間経過と洪水による最大浸水深の組み合わせにより治水レベルを図-10のように10点満点で評価する。そして、「洪水伝播時間」と「最大浸水深」のどちらか一方でも1点であればその住民は洪水に対して危険であるとの認識から、この治水レベルが6点以下の住民を治水に関するステイクホルダーと定義する。またその治水レベル(2, 3, 4, 5, 6点)によって、5つのグループに分ける。

以上のようにグループを設定すれば、次はそのグループごとの必要グラフから必要度を算出することが必要である。そのため本研究では、以下のような仮定を置くことで治水に関するステイクホルダーの必要グラフを求めた。

- (1) どのグループの誰もが、治水レベルは6点以

図 - 11 治水に関するステイクホルダーの必要度。

Fig. 11 Necessity degree of the stakeholder about flood control.

上であることが必要だと考えており、またその最大値は10点である。

(2) より低い治水レベルのグループほど、より大きな改善を必要と考える人の割合が高い。

(3) 必要グラフにおける変化は全て線形で近似される。

この仮定に従い、それぞれのグループごとの必要グラフを設定し、その必要度を式(4)に従って計算したものが、図 - 11である。

2) 生態系に関するステイクホルダーの必要度

本研究では可動堰建設により最も直接的で大きな影響を受けると考えられる「魚類」に着目し、これを生態系に関するステイクホルダーと考える。そして環境の変化が魚類にもたらす影響を、その代弁者が定量的に表現するための手法として、魚類の生息環境の評価指標である森下ら(2000)のHIM(Habitat Index Morishita)を用いる。HIMとは、「川が上下に連なっているか」「河床に大小の石があるか」など魚が生息するための条件を10項目選び、それぞれ5点満点で評価することで、合計最低10点、最高50点の評価値をつけるものである。つまりこの手法は、ある河川環境を目で見て、それが魚類全体にとってどの程度適切であるかどうかを評価するものである。しかしもちろん、魚種によって「上下の連なり」を特に重視するものから、「河床の石」を重視するものまで様々であり、その重視の度合いを同様に魚種ごとに各項目につき5点満点で算出したも

のは、「要求度」と呼ばれている。従ってこの指標は、河川環境の変化を魚類の視点から定量的に表現できるということと、生息環境に対する魚種ごとの満足度合いが表現できるという点で、本研究の目的に合致した指標であると言える。

ここで対象地における現状のHIMを各項目 i ($i = 1, 2, \dots, 10$)について h_i^s 、ある魚種 j の各項目 i についての要求度を h_{ij}^d とし、各魚種 j にとっての「HIM不足分」 h_j^l を以下の式で定義する。

$$h_j^l = - \sum_{i=1}^{10} h_{ij} \quad (1)$$

$$h_{ij} = \begin{cases} h_{ij}^d - h_i^s, & \text{if } h_{ij}^d \geq h_i^s \\ 0, & \text{if } h_{ij}^d < h_i^s \end{cases}$$

つまり、この「HIM不足分」が負の方向に大きければ大きいほど、その魚種が現状の生息環境に対して不満を持っていることを意味する。本研究では、この不足分が-10、-8、-6、-4、-2、0のいずれであるかにより、魚類を6グループに分けた。その上で、生態系に関するステイクホルダーの必要グラフに関して以下のような仮定を置いた。

- (1) どのグループにおいても不足分0を望む割合が最も高い。
- (2) 必要グラフは線形で近似される。
- (3) 魚類は「より低いレベルのグループほどより大きな改善を望む」というような人間的な感情は存在せず、どのグループも全く同じ必要グラフの形状を有するものとする。

図 - 12 生態系に関するステイクホルダーの必要度。

Fig. 12 Necessity degree of the stakeholder about ecosystem.

この必要グラフの形状は、現在第十堰周辺に生息している魚類について、HIM 不足分とその魚種の数の関係から導いた。これらに従い、グループごとの必要グラフを設定し、その必要度を式(4)に従って計算したものが、図 - 12である。

3) 各ステイクホルダーの満足関数

式(10)で示したように、最良値と最悪値における必要度がステイクホルダー間で等しくなるようにそれらを設定すれば、式(7)により満足関数が決まる。本研究では、治水に関するステイクホルダーの最悪値における必要度の方が生態系に関するステイクホルダーの最悪値における必要度よりも大きいので、生態系に関するステイクホルダーの最悪値が治水に関するステイクホルダーのそれと同じになるように設定した。

また満足関数の曲線としては、限界満足の逓減を表現するために

$$f(x) = a + b \cdot \exp(cx) \quad (12)$$

を仮定し、図 - 11、図 - 12、式(7)を用いて、最小二乗法により治水に関するステイクホルダーの満足関数 s_f と生態系に関するステイクホルダーの満足関数 s_e を描いたものが、図 - 13である。

3. グループ満足関数と代替案の選択

以上で得られた満足関数を用いて、本節では、代替案として可動堰建設と現状維持の二つを考えた場合の、それぞれのグループ満足関数の大きさを比較する。

1) グループ満足関数が各項の線形和で表される場合

まずステイクホルダーの自己主張が強く、ある状態から得られる満足がそのままグループ満足関数に反映されるケースを考える。ステイクホルダー間に同等の重み付けを行い、またグループ満足関数が各ステイクホルダーの満足関数の線形和で表されるとすれば、式(2)は、

$$u(s_f, s_e) = 0.5s_f + 0.5s_e \quad (13)$$

となる（自己主張の強さの観点から見たこの数学的意味については次項で述べる）。

現地調査などから、代替案ごとの治水レベルと HIM 不足分を表 - 1のように設定すると、図 - 13よりそれに対応する満足関数の値を求められる。これらを式(13)に代入すれば、代替案ごとのグループ満足関数の値は

$$\begin{cases} \text{現状維持} : 0.5 \times 0.580 + 0.5 \times 0.879 = 0.730 \\ \text{可動堰建設} : 0.5 \times 0.805 + 0.5 \times 0.734 = 0.770 \end{cases}$$

のように求められる。また図 - 14のような形でステイクホルダーへの結果のフィードバックを行えば、

表 - 1 代替案ごとの評価基準の値。

Table 1 Value of the evaluation criterion of each alternative.

	現状維持	可動堰建設
治水レベル	4.86	6.86
HIM 不足分	-3.41	-6.75

図 - 13 各ステイクホルダーの満足関数。

Fig. 13 Satisfaction function of each stakeholder.

代替案	治水	生態系	総合評価
現状維持	58点	88点	73点
可動堰建設	81点	73点	77点

図 - 14 代替案の総合評価 .

Fig. 14 Synthetic evaluation of alternatives.

代替案ごとのトレード・オフの関係が明らかになり、意思決定に向けた材料となりうるものと考えられる。

この図 - 14から考察されるのは以下のようなことである。まず総合評価だけを見れば、可動堰建設の方が優位である。現状においては治水の得点が低く生態系の得点が高いのに対し、可動堰を建設すれば、治水の得点が大きく上昇し生態系の得点が減少する。また現状維持においては治水と生態系の得点の差は30点と大きいのに対し、可動堰を建設すればこの差は8点まで減少する。しかし総合評価の差は4点と微小で、また可動堰建設によって生態系の得点が大きく減少していることから、およそ1,000億円と言われる可動堰建設費用を投資してこの改善を得ることが果たして妥当と言えるのかどうか、という議論に結びつけることができる。このように、水資源開発と環境保全の価値を公正に評価し、代替案の特徴を捉えることのできる点が、本研究で提案したモデルと手法の特徴である。

2) ステイクホルダー間に歩み寄りが生じた場合

次に、ステイクホルダーの自己主張が緩み、他のステイクホルダーの満足を考慮して自身の満足を変化させる、即ちステイクホルダーに歩み寄りの気持ちが生じたケースについて考える。この場合のグループ満足関数を与えるために、田村ら(1997)のグループ効用関数の概念を導入する。

まず、治水に関するステイクホルダーの正規化された条件付グループ満足関数(以下、正規関数)を次のように定義する。

$$w(s_f|s_e) = \frac{w(s_f^0, s_e) - w(s_f^0, s_e^0)}{w(s_f^*, s_e) - w(s_f^0, s_e^0)} \quad (14)$$

ただし、

$$w(s_f^*, s_e) > w(s_f^0, s_e), s_f^0 = 0, s_f^* = 1$$

ここで、 s_f^0, s_f^* は、それぞれ治水に関するステイクホルダーにとって最悪の結果が生じたときの満足、最良の結果が生じたときの満足以し、 s_e^0, s_e^* は生態系に関するステイクホルダーにとってのそれらとす

る。また式(14)の正規関数は、生態系に関するステイクホルダーの満足 s_e が与えられたときに、治水に関するステイクホルダーが感じる集団全体としての満足を自身の満足の関数として表したものである。同様に、上の式中の s_f と s_e を入れ替えたもので、生態系に関するステイクホルダーについての正規関数を定義する。なお式(13)は、上記の正規関数において

$$\begin{aligned} w(s_f|s_e) &= s_f, s_e \\ w(s_e|s_f) &= s_e, s_f \end{aligned} \quad (15)$$

としたときに導かれるものであり(「任意の」の意)、各ステイクホルダーの満足を他のステイクホルダーの満占到全くよらない、自己主張の強い状況を示している。

次に、ステイクホルダー間の歩み寄りの程度を記述するために、選好構造差独立性の概念を導入する。これは次のように定義される。開発推進派の満足 s_f が環境保護派の満足 s_e に対して m 次選好構造差独立性を満たすとは、

$$w(s_f|s_e) = \sum_{j=0}^m (s_e) w(s_f|s_e^j) \quad (16)$$

$$\text{ただし、} \sum_{j=0}^m (s_e) = 1$$

を満たす j が存在することを意味する。この定義は、 s_f 上の全ての正規関数が、条件レベルの異なった他の $(m+1)$ 個の正規関数の凸結合で表されることを意味している。即ち、相手の満足によって自身の正規関数が変化することを示しており、これによって治水に関するステイクホルダーの生態系に関するステイクホルダーに対する歩み寄りが定式化される。同様に、逆の場合も定義される。なおステイクホルダー間の歩み寄りの程度を単純化する為、以下では $m=1$ として考察する。

ここで、ステイクホルダーの自己主張が互いに強い場合には図 - 14に示したように可動堰建設が優位となったが、現状維持が逆に優位となるためには治水に関するステイクホルダーはどの程度歩み寄らなくてはならないのか、という問題について考える。即ち s_e が s_f に対して選好構造差独立(0次選好構造差独立性)であり、 s_f が s_e に対して1次選好構造差独立性を持つとき、ステイクホルダー間に同等の重み付けを行えば、グループ満足関数は次のようになる(田村, 1982)。

$$\begin{aligned} w(s_f, s_e) &= 0.5w(s_f|s_e^0) + 0.5w(s_e|s_f^0) \\ &\quad - 0.5w(s_e|s_f)w(s_f|s_e^0) \end{aligned}$$

図 - 15 各ステイクホルダーの正規関数 .

Fig. 15 Normalized function of each stakeholder.

$$+ 0.5w_e(S_e | S_f^0)w_f(S_f | S_e^*) \quad (17)$$

また各ステイクホルダーの正規関数を図示したものが、図 - 15 である。これは治水に関するステイクホルダーが生態系に関するステイクホルダーに対して歩み寄りを示し、生態系に関するステイクホルダーの満足が高い場合には自身の満足は多少低くても良い、と考えていることを表している。なお $w_f(S_f | S_e^*)$ の関数形については式(12)と同様の形を取るものとし、(0,0)と(0,1)を通るという条件から、

$$w_f(S_f | S_e^*) = k - k \exp\left(S_f \ln \frac{k-1}{k}\right) \quad (18)$$

となる。

このとき、現状維持の代替案が可動堰建設の代替案よりも優位になるには、式(18)において $1 < k < 1.26$ であれば良いことが分かった。また図 - 16 に $k = 1.26$ (即ちこれらの代替案が無差別となる)のときの治水に関するステイクホルダーの正規関数を示すが、これにより現状維持の代替案が優位となるために、治水に関するステイクホルダーが生態系に関するステイクホルダーに対してどの程度歩み寄りを示せばよいかわかる。例えばこの場合、治水に関するステイクホルダーは、生態系に関するステイクホルダーの満足が最良 (つまり $S_e = S_e^* = 1.000$) であれば、自身の満足 S_f が 0.500 であったとしても社会全体の意思決定に関しては満足が 0.688 であるように感じるという状態を示しており、その程度にまで治水に関するステイクホルダーが妥協できれば、現状維持の代替案を取る方が良いと言えることになる。

図 - 16 治水に関するステイクホルダーの正規関数 .

Fig. 16 Normalized function of the stakeholder about flood control.

またこの歩み寄りの程度の評価の方法については、田村ら (1985) を参照されたい。

・おわりに

本研究は、影響範囲が広範となる水資源開発においてはコンフリクトが生じやすく、またそれを解決するための体系的な手法が存在しないことを背景として、ステイクホルダーの視点に基づいて代替案の評価を行うことで建設的な議論と合意形成を行うためのきっかけを作ることとを目的とした。従ってまずグループ満足関数の定義を行った後、ステイクホルダーの満足関数を構築する手法の提案を行い、吉野川可動堰問題に適用するという流れを取った。水資源開発に伴うコンフリクトにおいては、ステイクホルダーがそれぞれの主張を展開するだけで合意形成のきっかけすらつかめないという状況に陥りがちであるが、代替案の持つ多様な側面を公正に評価することでステイクホルダーに社会的な視点を持たせ、お互いに歩み寄ることによりよい意思決定につなげることができると考えられる。

なお本研究は、コンフリクトの状態の変化による代替案選択の変化を見ることを主眼としたため、グループ満足関数の式形に関しては最も単純な形を採用した。しかし社会的厚生関数の議論を踏まえたこの式形に関する考察は重要であるため、今後の課題としたい。

謝辞：本研究は，水文・水資源学会より研究助成を受けた研究グループ「水資源と環境のコンフリクトに関する研究会」の研究成果の一つである．東京都立大学萩原清子教授を初め関係者各位に深く謝意を表す．

参考文献

- Keeney, R. L. and H. Raiffa (1993): Decisions with Multiple Objectives, pp. 66-130, Cambridge University Press.
- K. Paul Yoon and Ching-Lai Hwang (1995): Multiple Attribute Decision Making An Introduction, a Sage University Paper.
- Scott McCreary *et al.* (1999): Facilitating Negotiated Agreements to Restore the Environmental Quality of the San Francisco Estuary, In: Randolph T. Hester *et al.* (Eds) Democratic Design in the Pacific Rim, Ridge Times Press.
- 石谷 久・石川眞澄(1997): 社会システム工学, pp. 103-189, 朝倉書店.
- 大野栄治編著(2000): 環境経済評価の実務, 勁草書房.
- 栗山浩一(1998): 環境の価値と評価手法, pp. 103-173, 北海道大学図書刊行会.
- 建設省四国地方建設局(1995): 第十堰改築事業に関する技術報告書(治水編).
- 坂本麻衣子・萩原良巳(2002): 水資源の開発と環境の社会的コンフリクトにおける均衡状態プロセスに関する研究, 環境システム研究論文集, 30, pp. 207-214.
- 佐藤祐一・萩原良巳・内藤正明(2002): 水資源開発に伴うコンフリクトと合意形成を考慮した意思決定システムの提案, 環境システム研究論文集, 30, pp. 215-222.
- 高橋 裕(2003): 地球の水危機, pp. 23-45, 山海堂.
- 田村坦之・行村啓介(1982): 凸依存性によるグループ効用関数の同定, 計測自動制御学会論文集, 18, pp. 217-223.
- 田村坦之・匹田志朗(1985): 選好構造差独立性による多属性可測価値関数同定の対話型アルゴリズム, システムと制御, 29, pp. 758-764.
- 田村坦之・中村 豊・藤田眞一(1997): 効用分析の数理と応用, コロナ社.
- 松原 望(2001): 意思決定の基礎, 朝倉書店.
- 森下郁子・森下雅子・森下依理子(2000): 川のHの条件, 山海堂.

(受付: 2003年12月2日, 受理: 2004年6月21日)