コンフリクト下でのグループ意思決定支援システムの提案 —リスク評価を伴うシステムへの適用*

清水 良明**

A Supporting System for Group Decision Making under Conflicts —Application to a System with Risk Evaluation*

Yoshiaki SHIMIZU**

According to the increase both in scale and complexity, problem-solvings in today's engineering are being forced to have a close relation to societal systems. This will tend, in turn, to produce conflicts referring to individual sense of value among the groups associated with decision making. To attain at a square and rational goal in such techno-socio-system, therefore, it becomes very important how we will deal with the conflicts.

Concerned with such situation, in this paper, we have proposed a supporting system for group decision making in the paradigm of the systems approach. A procedure has been developed using the analytic hierarchy process(AHP) to reveal value structure and an interactive method of the multi-objective optimization to evaluate and adjust the attainability of each group's goal. Through numerical experiments applied to a rad-waste management system with risk evaluation, we have shown the proposed approach very promising to deal with such problem-solvings concerned here.

1. はじめに

近年、科学技術の大規模化や複合化が進行する中、単に工学的な領域にとどまらず、社会システムとの関わりにおいて問題解決が必要となるような状況が多く見られるようになってきている。こうした傾向は今後ともますます強くなると考えられるため、このような問題解決に対する有効な意思決定支援システムの開発が望まれる。この際、問題解決に携わる意思決定グループは単一ではなく複数存在し、それぞれの立脚点によって価値観が大きく異なる場合が少なくない。したがって、意思決定に関わるグループ間で価値観の相違に起因するコンフリクトの解消が重要なカギとなる。また問題解決にあたって、それぞれの立場の価値観を表現しようとするれば、同一尺度では測り得ず、また互いに競合するような評価基準が、一般には複数個存在する事も大きな特徴といえる。

評価の多様性にのみ着目した従来の多目的最適化手法^{1),2)}の適用は、意思決定グループが唯一の場合に限っては効果的であっても、上のような状況のもとでは、価値観が同一なグループごとの最良解を羅列的に提示するだけにとどまる。そして決定権の対等なグループ間で妥協の方策が見い出せなくなった場合には、最終決定はこれまで問題解決に携わってきた価値観とはまた異なる上位レベルの決定権に委ねられる事になる。このため時と場合によっては、全体的な公平さからは全くかけはなれたものとなる危険性をはらんでいる。こうしたコンフリクトを伴う複数のグループ間での問題解決においては、それまで直接的に携わってきたグループから決定権を移すことなく、何らかの形で最終的な合意が得られるような解決手順が望ましい。

原子力発電所に代表される巨大発電システムの立地の場合のように、エネルギー需要量とそれに伴う生活の質やリスクに関して幅広い価値観の分布をもつ場合や、放射性や有害な物質の廃棄物処理施設等の立地の場合のように、公共的な必要性は認めるが、いわゆる“Not in my back yard”的な価値観が強く作用するような問題が例

* 原稿受付 1992. 3. 7.

** 京都大学 原子炉実験所

Key Words : group decision making, multiobjective optimization, conflicts, rad-waste management system, risk management.

として挙げられる。

従来、コンフリクトのモデル化³⁾は、ゲーム理論の拡張の中で主として取り上げられており、対立者間での打つ手(候補解)が均衡解に至るプロセスの分析や、得られた解の評価に関する研究に重点がおかれている。このため許容集合の中から特定の解答を見出す必要のある工学的解決法としては必ずしも有効とはいえない。本論文では、階層分析法(AHP)⁴⁾を利用した価値システムの定量化を通じた多目的最適化問題の枠組の中で、コミュニケーションを通じた意思決定支援システムを提案する。そして具体例として、リスク評価をとまなうシステムへ適用した結果について述べる。

2. 問題の定式化

与えられた意思決定問題の解決において、同一グループ内では類似しているが他グループとは顕著に異なる価値観を有する。 $G_k(k=1, \dots, p)$ の意思決定グループを考える。ただし、グループ間の決定権は対等であるとする。そして、問題解決にあたって評価すべき項目、換言すれば価値観の属性が、任意の決定に対して定量的に評価できる関数として数式表現が可能であるとする。そして全グループにわたってこれを包括したものを $f_i(i=1, \dots, N)$ で表わす。たとえば、ある問題解決にあたってグループ、 G_1 は評価関数 (f_1, f_2, f_3) のもとで解決を計ろうとし、 G_2 では (f_1, f_3, f_4) によるとすれば、 G_1 と G_2 間での決定は (f_1, f_2, f_3, f_4) からなる評価のもとで考慮される事になる。

いま各グループの決定は、グループ内での評価項目間の相対的重要度を表わす重み係数ベクトル、 $w(k)$ を用いて、 $F_k(f(x), w(k))$ で表現されるような価値関数に基づいてなされるとする。同様にグループ全体の重み係数ベクトル、 W を用いれば、この時の価値関数も便宜的に $F(f(x), W)$ と表わされる。さらに、 $F_k = \sum_{i=1}^N w_i(k) u_k(f_i(x))$ と表現されるような場合、 $F = \sum_{i=1}^N W_i u(f_i(x))$ と考えても自然であり、結局、意思決定問題は次のように表現できる。

【問題1】

$$\max_x F(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_N(x)\}$$

$$= \sum_{i=1}^N W_i u(f_i(x))$$

subject to

$$\begin{cases} x \in X \\ W = \min_z \sum_{k=1}^p g(\|z - w(k)\|) \end{cases}$$

ここで、第一の制約式の X は全グループでの決定、 x が満たすべき許容領域を表わす。また第二式は、全体の重み係数ベクトルが各グループの重み係数ベクトルと関わって決められる事を表わしている。 $(g(\cdot))$ 中の $\|\cdot\|$ は適当なノルムを表わす。たとえば、 $\|\cdot\|$ をユークリッドノルムとし、 $g = \|z - w(k)\|^2$ とすれば、 $W_i = \sum_{k=1}^p w_i(k)/p$ となる。

問題1の解法において、第二の制約式を満たすような W を求めた上で、 $F(x) = \sum_{i=1}^N W_i u(f_i(x))$ のもとで直接的に解く立場と、 W と $w(\cdot)$ の間の関係の存在のみを意識して、 $F(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_N(x)\}$ に対して各グループごとの主観的判断を段階的に引き出しながら解く立場が考えられる。

前者では、最良解の探索は、重み係数と対応する評価関数値間の関係が直接的でないにもかかわらず、重み係数を基準として行われる事になる。このため、評価関数値を基準とする後者の場合と比べて、コンフリクトの解消の上で重要なポイントとなるグループ間での情報の共有が、明瞭な形で行えない。こうした点からここでは、後者の立場に立った解決手順について考察する。

3. 解決の手順

まず各グループごとに意思決定に関わる価値の構造を分析し階層構造として表現した上で、その最下位に位置する項目に着目する。そして既述のごとく、グループ全体に渡って総括したものを最終的な評価項目とする。ついで、評価間の相対的重要度を重みベクトルとして表現する事を考える。近年こうした手続きを系統的に行う手法⁵⁾が幾つか知られており、これらの中から適当なものが利用できる。ここでは以下に述べるような階層分析法(AHP)を用いて、各グループごとに評価間の重み係数ベクトル、 $w(k)$ が決められたものとして手順を展開することにする。

評価尺度の異なる評価間の達成に関する満足度を比較するには、一般には規格化しておくことと便利である。このためここでは評価関数の利得行列を利用することにして、まずある特定の評価以外のことは考えない以下の問題2を順次解く。

【問題2】

For $i=1, \dots, N$

Max $f_i(x)$ subject to $x \in X$

この最適解、 x_i^* で各々の評価関数を評価する事によって、Table 1に示すような利得行列が得られる[†]。こ

の行列の $i-j$ 要素は, $f_{ij} = f_j(x_i^*)$ で, 対角要素は, $f_i^* = f_i(x_i^*)$ で, 評価, i の一つの理想値を与えると考えられる.

また規格量を決めるため, 理想値とともに最悪値を求める (問題 2 を最小化問題とする) 考え方⁶⁾もあるが, 新たに最適化問題を解く必要がある上に, こうした問題は現実には無意味となる場合が少なくなく, あまり薦められない. 各評価関数の希求水準値 (最低限これだけ以上はあって欲しいと思う値) を使うか, あるいは, 利得行列の各列ごとの最悪値を利用すれば十分である. このいずれかを f_i を表わすことにして, $(f_i^* - f_i)$ をここで規格量として用いる.

各グループの最良決定を理想点からの距離が最小となる点に求めるとすれば, これは一般的には,

【問題 3】††

For $k=1, \dots, p$

$$\text{Min}_x \left\{ \sum_{j=1}^N w_j(k) \left(\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - \underline{f}_j} \right)^p \right\}^{\frac{1}{p}}$$

subject to $x \in X \cap R_s$.

で与えられる. ここで, R_s は第 s 段階での付帯条件を表わし, 初期 ($s=1$) においては $R_1 = X$ とする.

評価関数中の $\{ \}$ 内は, 評価ごとの未達成率と見なせるので, $p=1$ の時, 問題 3 は評価間の重要性を重み係数で勘案して未達成率の総和を最小化するものと解釈され, 問題の意味の理解が容易である. しかし, $1 \leq p < \infty$ に対して問題 3 は非凸な問題においてパレート最適解を必ずしも保証しないので, このような場合には $p = \infty$ に対する拡大ノルムを採用すれば対応できる. このとき

Table 1 Pay-off matrix

Object	1	2	...	N
1	f_1	f_{12}	...	f_{1N}
2	f_{21}	f_2	...	f_{2N}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
N	f_{N1}	f_{N2}	...	f_N

† 利得行列の作成も強パレート解に基づいてなされるのが好ましい. このため $f_j(x)$ が単峰でないときには, 問題 2 の評価関数を便宜的に, 適当な正の小数 ε_i を導入して, $f_j(x) + \sum_{i=1}^N \varepsilon_i f_i(x)$ のように修正すれば良い.

†† 評価関数を規格化せずに, 理想値と適当な希求水準を用いて, 重み係数を, $w_i = 1/(f_i^* - f_i)$ で与えるような多目的最適化アルゴリズムにおいては, 評価間の重要性が適切に反映されているとはいえない. これは $p=1$ や $p=\infty$ の場合に, $w_i(f_i^* - f_i(x)) = (f_i^* - f_i(x))/(f_i^* - f_i)$ となり, 評価間の重要性の扱いは同等となることより示される.

の評価関数は,

$$\text{Max}_{1 \leq j \leq N} \left\{ \sum_{j=1}^N w_j(k) \left(\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - \underline{f}_j} \right) + \varepsilon \sum_{j=1}^N w_j(k) \left(\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - \underline{f}_j} \right) \right\} \quad (1)$$

で与えられる. ここで ε は適当な正の小数である.

ところで p の値は, 本来は意思決定主体に内在する価値関数の形に依存するものであり, 値が大きくなるほど, ある解近傍で特定の評価の劣化を代替するためには, 他の評価の改善をより強く求めるような傾向をもつ価値の構造を表わすことになる. この値の正確な同定ができればできるほど, 大域的な価値関数が得られることになるが, 一般にはこうした労力は多大となる. 求解アルゴリズムが対話を含む繰り返し過程であるならば, 各段階での探索範囲はある程度限定されたものとなるので, この選択に関しては便宜的に考えてもさして不都合ではない.

グループごとの価値観は異なるため, こうした個々の決定からグループ全体が一致して妥当と考える決定が得られる事はない. 通常, グループ間で目標の達成に関するコンフリクトが存在する. こうしたグループ間でのコンフリクトの様子は, コンフリクト行列 (Table 2) を作成することで明示される. この行列の $k-i$ 要素は, 問題 3 の最適解を $x^*(k)$ と表す時, これで i グループの評価関数を評価することによって,

$$F_{ki} = \sum_{j=1}^N w_j(k) \left(\frac{f_j^* - f_j(x^*(k))}{f_j^* - \underline{f}_j} \right) \quad (2)$$

で与えられる. コンフリクト下での最初の全体の決定は, グループ間での未達成率をできるだけ公平化しながら, それを総体的に低くしようとする観点から, 次の MINMAX 問題によるのが妥当と考えられる.

【問題 4】

$$\text{Min}_k \text{Max}_{i \neq k} \sum_{j=1}^N w_j(i) \frac{f_j^* - f_j(x^*(k))}{f_j^* - \underline{f}_j}$$

問題 4 は, ある特定のグループの決定を全体の決定とした時に, それに対する残りグループの総括的な未達成率を計算する. そしてグループごとにこれらの中で最大

Table 2 Conflict matrix

Group	1	2	...	p
1	F_1	F_{12}	...	F_{1p}
2	F_{21}	F_2	...	F_{2p}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
p	F_{p1}	F_{p2}	...	F_p

となるものを求めた後に、これらの中の最小値に対応するグループの決定を、全体の決定として選ぶものである。この決定方針は、ある特定のグループの決定を採用した時に生じる最大の不満を最小化するものと考えられ、コンフリクトの解消の立場から一応の合理性をもつものと考えられる事ができる。

しかし各グループの価値観が、問題3で採用したような評価項目間の重み付き線形和によって、常に正確に反映されているとは限らなかったり、問題4での決定ルールが問題1での重みベクトル、 W の正確な反映とみなされない場合には、これに基づく解も最良の決定とは必ずしもいえない。しかし一方では、こうした重み付き線形和によって価値関数を近似的に表現できる事も従来から認められており、これに基づく決定が真の最良値から全くかけ離れたものでもない事もまた確かである。

またグループ間でコンフリクトが存在する時の決定の基本ルールの一つは、採用された決定によって、利益を多大に享受できる側と、過小な利益に甘んじなければならぬ側の差を、決定に至る過程での情報の公平な共有性を条件とするコミュニケーションによって縮める事と考えてよい⁷⁾。このように考えてみれば、価値の数式(線形)表現による不完全性や、数式表現し得ない主観性の存在を認めて最終決定を行う方が望ましい。特に社会性をともなう評価システムを取り扱う場合には、こうした面での配慮は重要と考えられる。こうした点から、問題4での解の妥当性をさらに吟味するための手順を組み込み、総体的な合意が得られるまでこれを繰り返すのがよい。

今の場合、問題4によって、 k^* グループの決定が全体の決定となった時、これに対応する各グループの総括的な未達成率、 $F_k(k=1, \dots, p)$ は、

$$F_k = \sum_{j=1}^N w_j(k) \left(\frac{f_j^* - f_j(x^*(k^*))}{f_j^* - f_j} \right) \quad (3)$$

で計算される。そして各グループは、互譲の立場からそれぞれの目標の達成が他のグループと比べて十分かどうかを判断し、次の三通りの内からいずれかの態度を表明するものとする。

- ① $\forall k \in I_{sat}$: 全体の公平化のため、達成率の劣化を認め、最大譲歩幅を示す。
- ② $\forall k \in I_{neu}$: 現状程度が妥当とする。
- ③ $\forall k \in I_{xsat}$: 達成率の改善を望み、最小限の改善幅を示す。

これらはそれぞれ以下のような制約式として表現できる。

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N w_j(k) \left(\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j} \right) \leq F_k + \Delta F_k^+, & (\forall k \in I_{sat}) \\ \sum_{j=1}^N w_j(k) \left(\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j} \right) \leq F_k + \varepsilon, & (\forall k \in I_{neu}) \quad (4) \\ \sum_{j=1}^N w_j(k) \left(\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j} \right) \leq F_k - \Delta F_k^-, & (\forall k \in I_{xsat}) \end{cases}$$

ここで ΔF_k^+ は、最大譲歩幅を、 ΔF_k^- は最低限の改善幅を表わす。また ε は妥当範囲を担保する小数である。

$\forall k \in I_{xsat}$ に属するグループの次段階($s=2$)での最良決定は、上の条件で規定される領域を R_2 として、改めて問題3を解く事により求められる。以下同様の手順に従い、途中解を求めていき、 $I_{xsat} = \{\phi\}$ となった段階でのものを最終決定とする。一般的には、付帯条件、 R_s の更新に伴って x の許容集合、 $X \cap R_s$ はグループ間での総括的な未達成率の格差が少なくなるように是正されていくので、特定のグループが特に強く自己中心的な選好を主張しない限り、こうした繰り返しは有限回で終了するものと期待される。

また、問題3が線形計画問題の時には、求解後のシンプレックス乗数は、制約式の右辺係数に対する評価関数値の感度係数を与える。そこで付帯条件に対応するものに着目すれば、これらは、 $\Delta F_k(j)/\Delta F_k^+$ 、 $\Delta F_k(j)/\Delta F_k^-$ 、($k \neq j$) にほかならない。この値から、グループ間での競合の有無やその程度の判定ができ、余分な計算を行わずに次段階での応答の際の有用な判断材料を得る事ができる。

4. 重み係数の決定における AHP の応用

AHP は、価値観をまず階層構造として表現した後に、同一階層に属する項目間の比率尺度に基づく一対比較を行う。そして最終的に、選択枝の選好を直接的に判断する事になる評価間の重要度を、重み係数として決定する方法である。構成論理の平明さに加えて、現実問題への適用性の高さから、これまで種々の分野で、主観的判断を少なからず必要とするような多目的下での問題解決に効果的に用いられてきている⁸⁾。前章での解決手順においても、価値に関する主観性をいかに忠実に定量化するかが重要なポイントとなり、AHP の適用によって問題1や問題3での評価関数間、 $f_i(i=1, \dots, N)$ の相対的重要度を効率的に求める事が期待できる。以下簡単に AHP の手順を示す事にする。

まず、価値システムの構造を階層化表現した後、同一階層に属する要素のうちで、その一つ上位が同じ要素に帰属するものごとくブロック化する。こうしたあるブ

ロックに含まれる要素の数が n であったとする。このうちの任意の二要素、 $i-j$ 間の相対的な重要性を比較して、その関係を、要素 i が j と同じ程度に重要であれば、 $a_{ij}=1$ とし、 j に較べて重要性が高ければ、その程度に応じて大きな値 ($a_{ij}>1$) を、反対の場合には、小さな値 ($a_{ij}<1$) を与える事により数値化する。(一般的には、Table 3 に示すような一対比較値を用いるのが便利である。) 明らかに $a_{ii}=1$ であり、理想的には、 $a_{ji}=1/a_{ij}$ であるとして、総計、 $n(n-1)/2$ 回の一対比較を行って、この結果を Table 4 のような一対比較行列、 A として表現する。

ここでの数値は一般に基数としての意味をもたないが、もし与えられた値が重みベクトル、 w の要素間の比を正しく反映しているとすれば、 $a_{ij}=w_j/w_i$ であるので、この関係に着目して、右から w をかけ整理すれば、

$$(A-nI)w=0 \quad (5)$$

となる。ここで n を λ とみれば、これは行列 A の固有値を求める式にほかならない。また、 A の第 2 行目以降は第 1 行目の値の定数倍であるから、 A の階数は 1 で、唯一の非零の固有値、 λ^* をもつことがわかる。一般の場合には、 A の最大固有値に対応する固有ベクトル、 w を求め、これを $\sum_{i=1}^n w_i=1$ となるように規格化したものを重み係数として用いる。

このようにして各ブロックごとに要素間の重要度を決めた後、最終的に求めようとする最下位の要素間の重み係数は、階層ごとの重み係数を順次掛け合わせた複合重み係数として求められる。また、

$$\lambda^*=Tr(A)/n \quad (6)$$

Table 3 Scales for pair comparison

Relative importance of i to j	a_{ij}
Equal importance	1
Moderate importance	3
Strong importance	5
Demonstrated importance	7
Extreme importance	9

Intermediate values between the two adjacent judgements 2, 4, 6, 8

Table 4 Pair comparison matrix

	1	2	...	n
1	1	a_{12}	...	a_{1n}
2	$\frac{1}{a_{12}}$	1	...	a_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	$\frac{1}{a_{1n}}$	$\frac{1}{a_{2n}}$	...	1

であるから、「 i より j が好ましく、 j より k が好ましい」ならば「 i より k の方が好ましい」という一対比較における首尾一貫性 (行列、 A の (基底的) 整合性 ($a_{ij}a_{jk}=a_{ik}, \forall i, j, k$)) は、

$$CI=\frac{\lambda-\lambda^*}{n-1}=\frac{\lambda-n}{n-1} \quad (7)$$

で定義される整合度 (Consistency Index) を用いて判定する事ができる。整合性が完全な時には $CI=0$ であり、整合性がないほど大きな値となる。 $CI<0.1$ が一般的な判定基準とされる事が多く、これ以上の場合には一対比較の判断の再考を検討する必要があるといわれている。この際、現在の固有ベクトルに対応する完全整合な一対比較行列からの偏差を利用したり⁴⁾、 CI に対する一対比較値の感度係数⁹⁾を参考にしたりする事が考えられる。

さらに個人としてではなく、グループとしての判断を行う場合には、各個人のの一対比較値の幾何学的平均を用いれば、 $a_{ji}=1/a_{ij}$ なる関係は保持されるので、上の手順をそのまま踏襲できる。

5. 解決手順のまとめ

これまでの考え方に基づく解決手順を、フローチャートとして Fig.1 に示す。これには、フローの下方でのコンフリクトの調整時だけでなく、上方でも繰り返しが行われるように修正を加えてある。これは現実には、AHP 過程で与えられた重みベクトルと、これに対応する最適評価関数値との関係が当初の予想とは大きく異なるようなグループが出てくる可能性がある。このようなグループでは、評価関数値間の利得行列を参照として、選択した重みベクトルが最適評価関数値に適切に反映されるようになるまで、AHP 過程を繰り返しておいた方が、後々の意思決定過程を円滑に進める事ができると考えられるためである。

6. 放射性廃棄物管理システムの運用計画への適用

リスク評価を伴うシステムとして、Fig.2 に示すような放射性廃棄物管理システムを取り上げる。このシステムは以前、決定主体が単一の場合に多目的下で最適運用計画¹⁰⁾や増設計画¹¹⁾について考察したものである。ここでは、研究施設の利用に伴って発生する放射性廃棄物の管理に関する種々の処理条件や、設備上の制約や安全性に関する条件をモデル化した上で、それぞれ、処理法の選択・配分や増設箇所の選定・増設量に関する検討を行った。

ここでの応用においては、管理システムの合理的運用という最終目標は、経済性と安全性および研究施設の効

率的利用という相異なる側面から捉えられ、Fig. 3に示すような価値の構造化がなされたとする。そして基本的には先と同様の仮定のに基づきモデル化を行ったところ、問題1に対応する問題は、評価項目数、3、変数の数、22、制約式数、37の多目的線形計画問題となった。評価項目のうち、以前は液体廃棄物の廃棄放射能のみで直接的に評価していた安全性の評価は、気体廃棄物も含めてより一般的にリスク指数、RISKとして次式で評価する事にした。

$$RISK = \sum_j \sum_i \frac{r_{ij}}{c_{ij} \cdot q_j} + \sum_k \frac{d_k}{e_k \cdot g} \quad (8)$$

ここで、 r_{ij} : j 廃液中の i 核種の廃棄量、 c_{ij} : j 廃液中の i 核種の濃度限度、 q_j : j 廃液の基準廃棄量、 d_k : 排気中への k 核種の廃棄量、 e_k : 空気中での k 核種の濃度限度、 g : 基準排気量、を表わす。

また利用率 (RATE) は、適当な定数、RMAX を用いて $RATE' = 1 - RATE/RMAX$ なる変数変換を行い、ここでの最適化すべてを最小化問題に統一した。

さらに環境へのリスクの低減化と、施設の利用率の向上のどちらを優先するかで価値観の異なるグループ、 G_1 (ENVR) および G_3 (SERV) と、これらとはまた別の価値観 (経済性と同時に利用率をも重視) をもつ G_2 (ECON) を想定

Fig.1 Flow chart of the procedure

Fig.2 Process diagram for the rad-waste management system

L : Liquid wastes,	T-1 : Tank for low level
-l : low level,	T-2 : Tank for medium level
-m : medium level,	T-3 : Solid wastes stockroom
S : Solid wastes,	T-4 : Storage tank after TR-2
G : Gaseous wastes,	T-5 : Storage tank after TR-3
TR-1 : Dilution,	T-6 : Storage tank after TR-4
TR-2 : Flocculation-	S-1 : Settling tank of sludge
Filtration,	S-2 : Extraction tank of
TR-3 : TI-2 and	concentrated slurry
Ion exchange,	E-1 : Pit for discharging
TR-4 : Evaporation,	E-2 : Storage warehouse
TR-5 : Freezing and	E-3 : Stack for discharging
thawing,	
TR-6 : Containing into jar	
TR-7 : Containing into drum	
TR-8 : Filtration	

† 以下の応答は、グループのそれぞれの立場を著者が仮想的に想定して行ったものである。

した。こうした問題設定のもとで提案する手順を適用した数値計算結果の一部について以下に述べる†。

AHP 適用時の各グループにおける評価項目間の一対

比較行列が、Table 5 に示すようであったとする。表中の数値は Table 3 を利用して決められたもので、負値は i と j の重要性が逆転する場合を表わしている。 $(j$ の方が i より重要) これに基づく重み係数の計算結果を、整合度指標、 CI と併せて Table 6 に示す。今の場合、すべてのグループで、 $CI < 0.1$ であったので、ここでの一対比較は整合的であったと判断された。

また計算された重み係数に対する各グループの最良決定の評価関数値を、Table 7 に示す評価関数間の利得行列に対比すれば、評価関数値そのものを判断基準として評価項目間の重要度が適切に反映されているかどうかを確認することができる。もし重要と考えた評価関数値が意に反して(利得行列中で)高い位置を占めないなら、より大きな重み係数がその評価関数に与えられるように再考する必要がある。

ここでの重み係数は適切と判断されたので、(2) 式よりグループ間のコンフリクト行列を Table 8 のように求めた。問題 4 の決定ルールより、第一段階では G_2 (ECON) 案が採用される事になる。この時点で各グループは、自案が採用された場合とのギャップなどをコンフリクト行列に対比することで、全体的視野から自グループの達成の相対的位置を判断する事ができる。この結果、 G_1 や G_3 には不満が存在したので調整が必要となった。Table 9 の第一欄に示すように互譲の立場から、自案が採用された G_2 は最大譲歩値を、これに対して G_1 や G_3 は最低限の改善値を表明した。しかしこのような条件下での解は存在しなかったため、さらに表の 2-2 欄に示すように、相互の妥協を計った。にも拘らず、解が存在しなかった結果を受けて、2-3 欄に示すように、 G_1 (ENVR) が改善要求を取り下げるに至って、ようやく次案(表中、2* 欄)が求められた。この時点で、 $I_{ssat} = \{\phi\}$ となったので、これをもって最終決定とした。

こうしたコミュニケーション過程でコンフリクト行列を示し、段階的に妥協解の探索を行うことは、全グループに共通で公平な情報の提供を行い、いわば互いの手の内を明らかにした上で解の選択を行うことになっている。このことが少数の反復回数でのコンフリクトの調整を可能とする事に寄与していると考えられる。

最終結果を Table 8 と比較してみると、あるグループの僅かな妥協が、全体としての達成の公平化、すなわちコンフリクトの解消に役立っている事がわかる。また、最終決定の評価関数値、(COST, RISK, RATE'(RATE)) = (1186, 0.219, 0.705 (1.18)) を Table 7 の利得行列に対比してみて、それが評価関数値としても各グループとも妥協的に満足いくものであるかどうかの確認も最終的には必要となる。

Fig.3 Value structure

Table 5 Pair comparison matrix

	ENVR			ECON			SERV		
$\frac{i}{j}$	CO	RI	RA	CO	RI	RA	CO	RI	RA
COST	1	-5	3	1	3	1	1	3	-5
RISK	-	1	7	-	1	-3	-	1	-9
RATE	-	-	1	-	-	1	-	-	1

Table 6 Weighting matrix and CI

	COST	RISK	RATE	CI
ENVR	0.188	0.731	0.081	3.24E-2
ECON	0.428	0.143	0.429	0.0
SERV	0.178	0.070	0.751	1.45E-2

Table 7 Pay-off matrix

	COST	RISK	RATE'(RATE)
COST	829.0	0.275	0.750 (1.00)
RISK	1530.	0.134	0.750 (1.00)
RATE	1720.	0.285	0.643 (1.43)

Table 8 Conflict matrix

	ENVR	ECON	SERV
ENVR	0.216	0.696	0.863
ECON	0.528	0.473	0.624
SERV	0.919	0.571	0.249

Table 9 Adjusting process

cycle	2-1	2-2	2-3	2*
ENVR	0.500 ²	0.520 ²	—	0.534
ECON	0.480 ¹	0.490 ¹	0.500 ¹	0.500
SERV	0.530 ²	0.550 ²	0.550 ²	0.546

¹ maximum concession level

² minimum aspiration level

7. おわりに

本論文では、コンフリクト下でのグループ意思決定問題について、グループ間での決定権に優先度がなく、価値および問題の記述が数式としてモデル化できるような範囲において考察を行った。まず多分に主観的な性格をもつ価値の定量化に、有効性の認められている階層分析法を導入し、分析的に価値の表現を行う事を試みた。ついで価値表現の不十分性を内在化させた問題の定式化の

展開の中で、コミュニケーションの場に主観性を持ち込む事で不十分性を補う事を計った。また具体例として、放射性廃棄物管理システムの運用計画問題を取り上げ、提案する解決手順の有効性の確認を行った。

工学システムと社会システムの接点が広がるにつれ、一般的には工学システムの恩恵や公共性は認めるが、現実には悪影響が及ぶ段になると、それを忌避するような状況は今後増えていくと予想される。この時、直接的に影響を受ける側の意思を無視したままに、公共性のみを振りかざす一方の問題解決法は、もはや現実的とはいえない。

医療告知における説明と同意 (Informed Consent) や、生産活動における製造物責任 (Product Liability) の概念が一般化しつつある現在、公共的なシステムの運営計画に関する意思決定において、適当な範囲内では当事者の参加を認めた決定機構が模索されてもよい時期にさしかかっていると思える。近年の電子メディアの著しい発展を考えれば、テレビ会議システムの延長線上に、こうしたシステムのプロトタイプを構築する事はさして困難とは思えない¹²⁾。

こうした、より社会性のあるコンフリクトを伴う問題解決のためには、本論文では考察されなかった、決定権に優先度がある場合や、必ずしも数量化しえない評価項目をも含むような価値システムのもとでの取り扱いを包含した解決手順を、今後開発していく必要がある。

謝辞

この研究の一部は、文部省科学研究費、一般 (c) の援助を受けて行われたものである。

参 考 文 献

- 市川 (編) : 多目的決定の理論と方法, 計測自動制御学会 (1980)
- 高松, 清水 : 多目的線形計画法の対話的解法 (RESTEM) ; システムと制御, Vol. 25, No. 5, pp. 307~315 (1981)
- 岡田ほか : コンフリクトの数理, 現代数学社 (1988)
- T. L. Saaty : The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill (1980)
- 榎木, 河村 (編) : 参加型システムズ・アプローチ, 日刊工業 (1981)
- D. L. Olson, M. Venkataramanan and J. L. Mote : A Technique Using Analytical Hierarchy Process in Multiobjective Planning Models ; Socio-Econ. Plann. Sci., Vol. 20, No. 6, pp. 361~368 (1986)
- 木下 : リスクコミュニケーションの効果, 関西原子力懇談会講演会資料, (1990)
- 刀根, 真鍋 (編) : AHP 事例集, 日科技連出版所 (1990)
- 増田 : AHP における整合度および相対的重要度の感度係数 ; 電子情報通信学会論文誌, Vol. J70-A, No. 5, pp. 1562~1567 (1987)
- Y. Shimizu : Optimization of Radioactive Waste Management System by Application of Multiobjective Linear Programming ; J. Nucl. Sci. Technol., Vol. 18, No. 10, pp. 773~784 (1981)
- Y. Shimizu : Multiobjective Optimization for Expansion Planning of Rad-Waste Management System ; J. Nucl. Sci. Technol., Vol. 20, No. 9, pp. 781~783 (1983)
- 山本 (編) : 情報都市計画特集号, システム/制御 / 情報, Vol. 35, No. 4 (1991)
- H. Peters and H. van der Stel : A Class of Solutions for Multiperson Multicriteria Decision Making ; OR Spektrum, Vol. 12, pp. 147~153 (1990)
- 京都大学原子炉実験所放射線管理部 (編) : 放射線管理記録 23~26, No. KURRI-TR-301~343 (1986~1989)