土木学会論文報告集
第338号・1983年10月
【論　文】

対立するグループが存在する公共プロジェクトの代替案選定法

CHOICE OF PUBLIC PROJECT ALTERNATIVES UNDER CONFLICTING GROUPS

長 尾 義 三*・黒 田 勝 彦**・若 井 郁 次 郎***
By Yoshimi NAGAO, Katsuhiko KURODA and Ikujiro WAKAI

1. はじめに

土木施設の建設プロジェクトに関する代替案の作成および評価は，技術的・経済的側面はもとより，広く社会的影響・環境影響をも考慮に入れる必要がある．しかし社会は価値観の異なる多くのグループによって構成されているため，提示される代替案の評価は，これらグループの間で必ずしも一致をみない．すなわち，グループが異なれば，代替案評価の際の評価項目，評価値，評価基準等が異なるのでどのような案が提示されようとも，利害の不一致から発生するグループ間の対立は避けられない．したがって，代替案選定のプロセスでは，代替案の優劣を順位付けることもさることながら，重要な点は，グループの対立状況を明示的に取り扱い，対立を解消させる方策を発見することにある．著者らは，代替案選定の際に派生するであろう対立を意識して合理的に代替案を選定する方法を考察してきた．先に発表した「評価項目の重みの未知の場合の代替案総合評価法」[1] は代替案評価に際し，評価項目の重みがグループによって異なる，という着想からグループ間の利害の対立状況を取り扱った．しかし，選定される代替案がすべてのグループの不満を解消するという保証は考察されていなかった．本研究では一歩進んで，グループ間の対立を解消させる方策をどのように発見すればよいか，という点に重点を置き，代替案の総合評価と選定プロセスおよび対立解消のプロセスを協力n人ゲームによって定式化する．代替案を総合的に評価し選定するプロセスは，実際問題と照らし合わせて2通りの場合が考えられる．1つは，プロジェクトの実施によって影響されると考えられるすべてのグループを評価・選定プロセスに参加させる場合であり，他の1つは，関係グループの不安，社会・経済的混乱，政治的摩擦，土地への投機等を防ぐために最終代替案が選定されるまで案の公表を避ける場合である．前者の場合は考えられる代替案のすべては必然的に公開される結果となり，後者の場合は最終決定案のみが公開されることになる．いずれの方法を採るかはプロジェクトの性質によって判断されねばならないが，本研究ではすべての代替案が公表できる場合について考察している．代替案が公表できない場合の考え方は一部分すでに発表[1]したが，さらに考察を進めた結果についてはたとえば文献20) を参考にされたい．

2. 従来の研究と問題点

土木プロジェクトの計画に際しては，通常複数の代替案が策定され，前述した多側面からの総合評価がなされ代替案の順序付けが行われる．代替案の総合評価の合理的な手法は最近数多く提案されている[2)~13)]．これらについては先の報告[1)]でも触れているので詳細は省略するが，以下のような欠点をもっている．

① 複数の目的が考慮されているが，同時に多数の利害グループの存在の取り扱いが十分でない．

② Keeney[11)] の多属性効用理論にみられるように，異なる評価者を前提としてはいるものの，グループ同士の統一効用関数といったものの存在の主張は，理論的に疑問が残されているし，実用性の面からも困難な点が多い．

③ プロジェクトに関係するグループがそれを実施された後にどのような利益を受けるのか明示的でない．

④ 現実には，代替案の評価や選定のプロセスで関係するグループは互いに対立したり，協調したりする．このような状況が方法論に取り入れられていない．

⑤ 計画の実施に際しては，不利益を被るグループに不公平が生じないよう補償や対策が考慮されているが，

* 正会員　工博　京都大学教授　工学部交通土木工学教室
** 正会員　工博　京都大学助教授　工学部交通土木工学教室
*** 正会員　工修　日建設計，元京都大学工学部助手

これらは計画代替案の評価・選定のプロセスで明示的に取り扱われていない．

⑥ 計画案の実施がなぜ，社会的により好ましい選択であったのかを説明し得ていない．すなわち，厚生経済学でいうところのパレート最適の概念や公正な分配の概念が代替案評価・選定プロセスの中で示されていない．

以上に示したように，従来の計画案の総合評価手法はきわめて部分的であったり，実用的でなかったりする面が多い．これらに対し，鈴木[14]は総合評価には触れていないが Rawls, J.[15] の「寛容の原理」, Schmeidler, D.[16] の「仁」の概念を計画案選定に考慮すべきであると主張している．本研究は Schmeidler, D.[16] の「仁」の概念と，新たに考えた「多人数パワーの原理」を用いて代替案選定と対立解消の方法論を提案する．

3. 計画の背景と定式化の前提条件

ある地域に土木施設計画の必要性が生じたとき，場所，規模，構造物のタイプ等を含めて一般に複数の代替案が考え出される．しかし，社会を構成する価値観の異なるグループは，これらの代替案を評価した結果，現状のままの方がよいと望む場合もあり得る．したがって，「現状のまま」という選択も含めて 1 つの代替案と考えれば，社会の構成グループの合意の結果，計画そのものを否定する，という決定も 1 つの選択である．さて，複数の代替案のうち，自己にとって好ましくないという理由から，ある代替案を否定しようとする気持とは別に，その案の実施によってよりよい結果が得られる保証があるならば，賛成してもよいと考えるグループも存在する．自分の好む代替案の実施が困難なとき，他の代替案はすべて反対だとするのではなく，他の代替案の実施によって受ける効用のほかに，別に効用の分配を受けて互いに納得のできる方法があるならばその代替案の実施に協力してもよいと考える．このような方法は，社会福祉と厚生の目標，すなわち，効用の増大，安定，公正の 3 つを希求する方法である．この点を考慮すると本研究で扱う計画のおかれている背景は以下に列挙するとおりであり，これは同時に本研究の前提条件となるものである．

① 地域で必要とする土木施設計画に対して，反対，賛成を含めて異なった評価を行う複数のグループが存在する．この個々のグループを，以後，評価主体または計画への参加者という．

② 技術的・予算的制約を満たし，かつ環境基準等を満足する実施可能な代替案は，現状のまま何もしないという案を含めて複数個あるものとする．

③ 評価主体は，代替案を評価する要因（評価要因）に基づいて複数の評価項目をもつ．評価項目の種類および個数は評価主体間で同じであっても異なっていてもよい．

④ 各評価主体は，すべての代替案を自己のもつすべての評価項目について評価することができ，評価値マトリックスを作成することができる．この評価値の設定法については本研究の目的ではないので詳述しないが，von Neumann & Morgenstern[17] に始まり Schlaifer[18], Fishburn[19], Keeney[11] らによって展開されている効用概念を適用する．このとき，評価値は実数で与えられ，任意の分割が可能であるとする．

⑤ ある代替案に対する，ある評価主体の総合評価値は，上述の各評価項目に対応する評価値の線形結合で与えられるものとする．ただし，線形結合は，各評価主体ごとに固有の結合が唯一存在するものとする．以後，この総合評価値はゲーム理論にならって「利得」とよぶことにする．

⑥ 評価値および利得は，すべての評価主体にとって意味ある値とし，異なる評価主体間で何らの制限なしに自由に移転が可能で，授受する当事者間で同等の価値（同値）であるとする．

⑦ すべての評価主体は互いに他の評価主体の「利得」について完全な情報をもっているものとする．

⑧ 計画の評価主体は単に個人的関係として計画にかかわるだけでなく，集団として計画に参加することもできる．この集団は，計画案の評価に際して「統一行動」をとることにより，個々に行動するよりも有利な結果が得られる場合に成り立つ．このような統一行動は，共同戦線，企業系列グループ等他の面でも多くの例をみることができる．以後，このような評価主体が形成する統一行動グループを提携とよぶことにする．

4. 非零和 n 人ゲームとしての定式化

(1) 記号および定義

a) 評価主体およびその集合

3. の ① の前提から計画に関係する評価主体の名称を $1, 2, \cdots, k, \cdots, n$ とおよび評価主体の集合を N とする．すなわち，

$$N=\{1, 2, \cdots, k, \cdots, n\} \cdots\cdots (1)$$

b) 代替案およびその集合

3. の ② の前提から，考察された実行可能な代替案を $a_1, a_2, \cdots, a_j, \cdots, a_m$ と名付ける．前述したように「現状のまま何もしない」という代替案を a_0 とし，これらすべての代替案集合を A とする．すなわち，

$$A=\{a_0, a_1, \cdots, a_j, \cdots, a_m\} \cdots\cdots (2)$$

c) 評価項目およびその集合

3. の ③ で述べた前提から，任意の評価主体 k は独自の評価項目をもち，各評価項目の名称を $\theta_1{}^k, \theta_2{}^k, \cdots, \theta_i{}^k, \cdots, \theta_{L_k}{}^k$ と名付け，その集合を Θ^k とする．すなわち，

$$\Theta^k=\{\theta_1{}^k, \theta_2{}^k, \cdots, \theta_i{}^k, \cdots, \theta_{L_k}{}^k\}\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$
$$(k=1, 2, \cdots, n)$$

d) 評価値関数および利得

3. の ④ で述べたように，すべての評価主体は各評価項目ごとにそれぞれの代替案に対し実数で表わされた評価値を設定することができる．このことは，任意の評価主体 k は評価項目集合 Θ^k と代替案集合 $\boldsymbol{A}$ の上で定義された1価の実数値集合関数を唯一もつことを意味する．すなわち，

$$u_{ij}{}^k=u^k(\theta_i{}^k, a_j) \text{ defined on } \Theta^k\times\boldsymbol{A}\cdots\cdots(4)$$
$$(i=1, 2, \cdots, L_k)$$
$$(j=0, 1, \cdots, m)$$
$$(k=1, 2, \cdots, n)$$

これより，3. の ④ で述べた評価値マトリックスは，評価主体 k について，$(L_k\times m)$ 型の実数値マトリックスとなりその (i, j) 要素は $u_{ij}{}^k$ で与えられる．このマトリックスは評価主体の数 N だけ作成される．本研究では 3. の ④ で述べたように評価値は効用で与えられるものと仮定しているので評価値マトリックスは効用マトリックスと考える．さらに，3. の ⑤ で述べた仮定から，評価主体 k の代替案 a_j に対する総合評価値，すなわち利得 $U^k(a_j)$ は $u_{ij}{}^k$ の線形結合で与えられ，$u_{ij}{}^k$ への重みを $\lambda_i{}^k$ とする．よって，

$$U^k(a_j)=\sum_{i=1}^{L_k}\lambda_i{}^k u_{ij}{}^k\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$
$$(j=0, 1, \cdots, m,\ k=1, 2, \cdots, n)$$

ただし，重みベクトル

$$\boldsymbol{\lambda}^k=\{\lambda_1{}^k, \lambda_2{}^k, \cdots, \lambda_{L_k}{}^k\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

は評価主体 k に固有で唯一存在し，次の 2 つの条件を満たす．

$$\left.\begin{array}{l}\sum_{i=1}^{L_k}\lambda_i{}^k=1\\ 0\leq\lambda_i{}^k\leq 1\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

式 (4) からたとえば評価主体 k についての効用マトリックスは 表—1 のごとく与えられ，式 (5) から利得マトリックスがたとえば 表—2 に示すごとく与えられる．3. の ⑥ で述べた仮定は 表—2 で，任意の評価主体 k にとっての利得の大きさ U^k は他の任意の評価主体 k' にとっても同一の価値をもつ，という仮定である．すなわち，U^k と $U^{k'}$ が $U^k=U^{k'}$ であれば k と k' にとって同じ効用の大きさを意味する，という仮定である．この仮定は個人用の効用は等ウェイトで比較し得ることを意味し，効用の個人間の互換性が何らかの手段で達成できるという仮定である．この仮定については議論の残るところであるので後に再度触れる．3. の ⑦ の前提は 表—1，表—2 のごときマトリックスをすべての評価主体がお互いに完全な知識としてもっているということを意味している．

Table 1 Evaluated Value Matrix.

θ^k \ λ \ A		a_0	a_1	……	a_j	……	a_m
$\theta_1{}^k$	$\lambda_1{}^k$	$u_{10}{}^k$	$u_{11}{}^k$	……	$u_{1j}{}^k$	……	$u_{1m}{}^k$
·	·		………	………	………	………	………
$\theta_i{}^k$	$\lambda_i{}^k$	$u_{i0}{}^k$	$u_{i1}{}^k$	……	$u_{ij}{}^k$	……	$u_{im}{}^k$
·	·		………	………	………	………	………
$\theta_{L_k}{}^k$	$\lambda_{L_k}{}^k$	$u_{L_k0}{}^k$	$u_{L_k1}{}^k$	……	$u_{L_kj}{}^k$	……	$u_{L_km}{}^k$
Total Utility		$U^k(a_0)$	$U^k(a_1)$	…..	$U^k(a_j)$	…..	$U^k(a_m)$

Table 2 Total Utilities of Interest Groups.

N \ A	a_0	a_1	……	a_j	……	a_m
1	$U_0{}^1$	$U_1{}^1$	……	$U_j{}^1$	……	$U_m{}^1$
2	$U_0{}^2$	$U_1{}^2$	……	$U_j{}^2$	……	$U_m{}^2$
·		………	………	………	………	………
k	$U_0{}^k$	$U_1{}^k$	……	$U_j{}^k$	……	$U_m{}^k$
·		………	………	………	………	………
n	$U_0{}^n$	$U_1{}^n$	……	$U_j{}^n$	……	$U_m{}^n$

(2) 多人数パワーの原理と提携

3. の ⑧ で述べたように，評価主体は個々の計画案の評価者として参加することよりも集団として参加する方が有利である場合，集団として統一行動をとる．この集団を提携とよぶ．評価主体の集合が N のとき，提携は N の部分集合 S として定義できる．提携の形成に際して何の制約もない場合，可能な提携の数は空な提携 ϕ を含めると 2^N 個となる．この可能な提携の集合を $\boldsymbol{S}$ とする．定義から $S\in\boldsymbol{S}$ は要素が1つ，すなわち，評価主体そのものを意味する場合も含まれている．換言すれば，任意の評価主体は1つの提携と考えられる．さて，評価主体が提携を形成しようとする場合，計画案の評価に際して単独で行動することよりもより大きな力が得られる場合である．したがって，何らかの方法でこの提携の力を定義する必要がある．提携 S の力はゲーム理論では提携値 $v(S)$ とよばれ，特性関数として定義されている．この特性関数はゲームの理論ではゲームのルールを規定することであり，個々の具体的なゲームの内容によって異なる．われわれの計画案評価の問題では，評価主体全員が構成する社会の構成員相互の価値関係を規定するものでもある．鈴木[14]が述べているように，理想主義者は S を1つのグループと考えたとき，健康で文化的な最低限度の生活水準をグループとして営むに足る値

として $v(S)$ を定義するかもしれない．あるいは，現実主義者は，$v(S)$ は S だけの力で他の助けを借りずに確保することのできる生活水準を示す値と定義するかもしれない．計画案評価の問題では，各評価主体は提示された代替案（何もせずに現状のままで放置するという案も含めて）のうち，自己の利得が最大となる案を決定したいと考えるであろう．この状況は，計画案の評価主体が互いに提示された代替案集合 $\boldsymbol{A}$ を自己の戦略として保持しており，計画の実施によって自己の得られる利得を最大化しようとするゲームと考えることができる．ゲーム状況を構成する最大の理由は，各代替案によって得られる利得が評価主体間で異なり同一であることがほとんどない，というところに存在する．ここに計画案の選定に際しての対立や提携の構成の根拠をみることができる．仮に，すべての代替案についてすべての評価主体が同一の利得を共有することができるならば，評価主体間の競合は存在し得ず誰かの利得を最大にする案は同時に全評価主体の利得を最大にする．これは，従来考えられていた社会を1つの評価主体とみなした利得最大化あるいは損失最小化の計画法であり，異なる価値感をもつ多くの評価主体で構成される社会にあっては受け入れられるものではない．以上のように考えると，提携 S の提携値 $v(S)$ は，次のように定義できる．すなわち，提携 S にとって最も不利な状況を考えたとき，それでもなおかつ確保することのできる最大の利得は，S にとっての最低保証水準と考えることができる．しかし，S にとっての最低保証水準は S 以外の提携の行動によって左右されるのが通常である．そこで S にとって最も不利な状況を想定すると，それは，S を構成する評価主体以外のすべての他の評価主体が1つの提携を構成し S と敵対する場合である．この敵対する仮想の提携は集合論的には，S の補集合 $\bar{S}$ として定義できる．すなわち，

$$S+\bar{S}=N \quad \cdots\cdots(8)$$

さて，すでに述べたように，提携 S の利得は提携 $\bar{S}$ の行動によって左右される．このことをまず定式化しておこう．提携 S および $\bar{S}$ は互いに自分達のもっている代替案集合 $\boldsymbol{A}$ のうちの任意の案を主張することができる．主張できる代替案の組を最も一般的に表現する方法は確率化代替案（Randomized Alternative）であり，$a_j \in \boldsymbol{A}$ を任意の確率 δ_j で用いる方法である．いま，提携 S は $\boldsymbol{A}$ 上で定義された確率法則 $\boldsymbol{\delta}^S$ を用い，提携 $\bar{S}$ が $\boldsymbol{\delta}^{\bar{S}}$ を用いるとすると，それぞれに期待される利得 $\bar{U}^S$ および $\bar{U}^{\bar{S}}$ は次式で与えられる．

$$\bar{U}^S(\boldsymbol{\delta}^S,\ \boldsymbol{\delta}^{\bar{S}})=\sum_{j=0}^{m} U^S(a_j)\delta_j{}^S\delta_j{}^{\bar{S}} \quad \cdots\cdots(9)$$

$$\bar{U}^{\bar{S}}(\boldsymbol{\delta}^S,\ \boldsymbol{\delta}^{\bar{S}})=\sum_{j=0}^{m} U^{\bar{S}}(a_j)\delta_j{}^S\delta_j{}^{\bar{S}} \quad \cdots\cdots(10)$$

ただし，$U^S(a_j)$ および $U^{\bar{S}}(a_j)$ は提携 S および $\bar{S}$ が代替案 a_j から得られる利得を意味し，提携を構成する評価主体の利得の和で与えられる．すなわち，

$$U^S(a_j)=\sum_{k\subset S} U^k(a_j) \quad \cdots\cdots(11)$$

$$U^{\bar{S}}(a_j)=\sum_{k'\subset \bar{S}} U^{k'}(a_j) \quad \cdots\cdots(12)$$

また，$\boldsymbol{\delta}^S$ および $\boldsymbol{\delta}^{\bar{S}}$ は S および $\bar{S}$ が $\boldsymbol{A}$ 上で用いる確率法則を意味する．すなわち，

$$\left.\begin{array}{l}\boldsymbol{\delta}^S=\{\delta_0{}^S,\ \delta_1{}^S,\ \cdots,\ \delta_j{}^S,\ \cdots,\ \delta_m{}^S\}\\ \displaystyle\sum_{j=0}^{m}\delta_j{}^S=1,\ \ 0\leq\delta_j{}^S\leq 1\end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(13)$$

$$\left.\begin{array}{l}\boldsymbol{\delta}^{\bar{S}}=\{\delta_0{}^{\bar{S}},\ \delta_1{}^{\bar{S}},\ \cdots,\ \delta_j{}^{\bar{S}},\ \cdots,\ \delta_m{}^{\bar{S}}\}\\ \displaystyle\sum_{j=0}^{m}\delta_j{}^{\bar{S}}=1,\ \ 0\leq\delta_j{}^{\bar{S}}\leq 1\end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(14)$$

式 (9) および (10) は S と $\bar{S}$ がそれぞれ自分達の戦略 $\boldsymbol{\delta}^S$ および $\boldsymbol{\delta}^{\bar{S}}$ を用いたときに S と $\bar{S}$ が得られるペイ・オフを決めていることになる．

ところで，提携 S にとって $\bar{S}$ が敵対した場合に得られる最低保証水準が提携値 $v(S)$ であると述べたが，この最低保証水準は提携 S と $\bar{S}$ の相互の力関係によって規定される．この力関係を規定する原理として多人数パワーの原理（Majority Power Rule : M.P.R.）を本研究で提案する．いま，提携 S と $\bar{S}$ を構成する評価主体の数を $[S]$ および $[\bar{S}]$ で表わすと M.P.R. は以下のように定義できる．

（i） $[S]>[\bar{S}]$ のとき，そのときに限り S は $\bar{S}$ より大きな力をもつ．

このとき，S は $\bar{S}$ に対し自分達の主張する代替案が多数の支持を受けていることを理由に多数決原理（Principle of Decision by Majority : P.D.M.）で決定できるという「主張」を前面に出すことができる．ここで M.P.R. が P.D.M. と異なるのは単に多数決原理を戦術として使えるという「主張」であってこの原理で決定しようとするルールではないことに注意すべきである．つまり，M.P.R. は多数決原理で「決定の場」での優位さを確保しようとする行動を表現するもので決定ルールそのものではない．提携 S が $\bar{S}$ に対し優位さを確保できる場合，S は自分達の利得を最大にする案を主張するであろうし，その最大利得を「決定の場」における最低保証水準と考えるであろう．したがってこの場合の提携値 $v(S)$ は式 (9) より次式で定義できる．

$$v(S)=\max_{\boldsymbol{\delta}^S\in\varDelta}\sum_{j=0}^{m}U^S(a_j)\delta_j{}^S=\max_{a_j\in\boldsymbol{A}}U^S(a_j) \quad \cdots\cdots(15)$$

上式で $\varDelta$ は $\boldsymbol{\delta}$ の集合を意味し，$\delta_j{}^{\bar{S}}=1.0$ $(j=0,1,\cdots,m)$ としている理由は S の「主張」によって $\bar{S}$ が自分達の戦略 $\boldsymbol{\delta}^{\bar{S}}$ を自由に選択できず S の用いる戦略 $\boldsymbol{\delta}^S$ に支配されることを意味している．

（ii） $[S]=[\bar{S}]$ のとき，そのときに限り S と $\bar{S}$ の

力は対等である．

この場合は，S は $\bar{S}$ に対して「主張」の戦術を使うことができず「決定の場」ではまったく対等である．したがって S と $\bar{S}$ は確保できる利得の最低水準の最大化を考え，このときの利得を最低保証水準と考えるであろう．すなわち，

$$v(S)=\max_{\boldsymbol{\delta}^S\in\Delta}\cdot\min_{\boldsymbol{\delta}^{\bar{S}}\in\Delta}\sum_{j=0}^{m}U^S(a_j)\delta_j{}^S\delta_j{}^{\bar{S}}\cdots\cdots(16)$$

(iii)　$[S]<[\bar{S}]$ のとき，そのときに限り S は $\bar{S}$ より力が小さい．

この場合は (i) の場合の逆で，S は $\bar{S}$ の「主張」に対して自由に自分達の戦略を用いることはできず，$\bar{S}$ の戦略 $\boldsymbol{\delta}^{\bar{S}}$ に支配される．$\bar{S}$ は当然自分達の利得を最大化する案を主張するのでその場合の S の獲得できる利得は

$$v(S)=\sum_{j=0}^{m}U^S(a_j)\delta_{j*}{}^{\bar{S}}=U^S(a_*{}^{\bar{S}})\cdots\cdots\cdots\cdots(17)$$

ただし，$\delta_{j*}{}^{\bar{S}}$ は $\bar{S}$ の利得を最大化する場合の戦略で次式より求められる $a_*{}^{\bar{S}}$ で退化する確率分布である．

$$\max_{\boldsymbol{\delta}^{\bar{S}}\in\Delta}\sum_{j=0}^{m}U^{\bar{S}}(a_j)\delta_j{}^{\bar{S}}=\max_{a_j\in\boldsymbol{A}}U^{\bar{S}}(a_j)=U^{\bar{S}}(a_*{}^{\bar{S}})$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

(3)　代替案選定と補償による合意形成（JMPR 法）

Rawls, J. は分配の公正[15]の中で寛容の原理（Principle of Justice）として最悪の状態にある人をできるだけよくしようということを提案しているが，これと Schmeidler, D. の「仁（Nucleolus）[16]」の概念を用いて鈴木[14]は提携 S に着目し，提携 $S\in\boldsymbol{S}$ のうち最大の不満をもつ提携のその不満を最小化する計画を「寛容の精神に基づく仁による計画」と述べている．本研究では，先に述べた M.P.R. をこれに導入して，代替案を選定する方法（M. P. R. に基づく公正による計画：Justice based on Majority Power Rule—以後 JMPR 法とよぶ）を提案し，さらに補償による合意形成の方法について述べる．提携の形成に何の制限もない場合は 2^N 個の提携を考えることができた．また，これらの個々の提携についての提携値はすでに定義した．いま，任意の提携 $S\in\boldsymbol{S}$ について考えると，代替案 $a_j\in\boldsymbol{A}$ が実施された場合，S の利得は $U^S(a_j)$ で与えられるが，提携 S は v (S) を最低保証水準と考えており

$$D(S|a_j)=v(S)-U^S(a_j)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

を不満と考える．$U^S(a_j)>v(S)$ の場合は余剰を意味する．「寛容の精神に基づく仁」では，このような不満をすべての提携について考え，最大の不満を最小化（剰余の場合は最小の剰余を最大化）する代替案を選定する．すなわち，

$$\min_{a_j\in\boldsymbol{A}}\cdot\max_{S\in\boldsymbol{S}}[v(S)-U^S(a_j)]\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

Sub. to

$$\sum_{k\subset N}U^k(a_j)>\sum_{k\subset N}U^k(a_0)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

式 (21) の制約条件は，選定される案がもたらす社会全体の利得が現状を上回ってなければならないという意味でプロジェクト実施の動機を表現したものである．この解は唯一存在する．まず，式 (21) を満たす代替案群のうち，式 (20) の解を求め，解が 2 つ以上存在するときは，それらの案のうち，2 番目に多い不満量に着目し，これを最小化する案を捜す．剰余の場合は，2 番目に少ない剰余に着目し，このうち，最大剰余をもたらす案を求める．以下，同様の考え方で「仁」を逐次適用すれば解は唯一求まる．さて，式 (20) で与えられる「仁」によって選定された代替案を a^* とするとき，各評価主体 $\{1, 2, \cdots, k, \cdots, n\}$ にはまったく不満は残らないであろうか？　以下この点について考えてみよう．

a^* が実施された場合，評価主体 $k\in N$ の得る利得は $U^k(a^*)$ である．しかるに，評価主体 $k\in N$ は独力で獲得できる最低の保証水準は，$\bar{k}=\{1, 2, \cdots, k-1, k+1, \cdots, n\}$ とすれば式 (17) より次式で与えられる $v(k)$ と考えている．

$$v(k)=U^k(a_*{}^{\bar{k}})\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

ただし，$a_*{}^{\bar{k}}$ は次式を満たす代替案である．

$$\max_{a_j\in\boldsymbol{A}}U^{\bar{k}}(a_j)=\max_{a_j\in\boldsymbol{A}}\sum_{k'\subset\bar{k}}U^{k'}(a_j)\cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

したがって，評価主体 k はなおかつ，$v(k)>U^k(a^*)$ の場合に

$$D(k)=v(k)-U^k(a^*)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(24)$$

なる不満をもつであろう．そこで再び「仁」の概念を用いて，各評価主体への理想的な配分を求め，これに基づいた補償を考えることによって不満を解消することを考えよう．

式 (20) に基づいて代替案 a^* が選定されたとき，計画の参加者 $\{1, 2, \cdots, n\}$ が得るトータルの利得は $\sum_{k\subset N}U^k(a^*)$ である．この利得は a^* の実施によって得られる社会全体の利得である．これを $U^N(a^*)$ で表わす．さて，計画の評価主体 $k\in N$ に配分されるべき最終利得を $x(k)$ とすると，$x(k)$ $(k=1, 2, \cdots, n)$ は次式を満たさなければならない．

$$\sum_{k\subset N}x(k)=U^N(a^*)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(25)$$

および

$$x(k)\geq U^k(a_0)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

式 (25) はパレート最適性の条件を示し，式 (26) は個人的合理性の条件を示している．配分が現状 $U^k(a_0)$ より大きいという制約は，社会全体の利得を拡大させる結果が特定の評価主体の犠牲のもとで行われてはならないことを意味する．式 (25)，(26) を用いた「仁」の解は，式 (25)，(26) の制約下で

$$\max_{x} \cdot \min_{k \in N} \{x(k) - U^k(a_0)\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

によって与えられる．これは最小の剰余しか得られない評価主体に着目しできる限りこれを大きくしようとする配分であり，この解は必ず存在する．なぜなら，式 (21) の制約によって

$$\sum_{k \subset N} x(k) = U^N(a^*) > U^N(a_0) = \sum_{k \subset N} U^k(a_0) \cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

を満たすからである．上式が満たされるので式 (27) は式 (20) の解と同様の考え方によって必ず唯一の解が存在する．さて，式 (27) の解を $x^*(k)$ $(k=1, 2, \cdots, n)$ とすると，$x^*(k)$ と $U^k(a^*)$ の差

$$c(k) = x^*(k) - U^k(a^*) \cdots\cdots\cdots\cdots(29)$$

は「公正」を達成するための補償と考えることができる．$c(k) > 0$ は補償を受け，$c(k) < 0$ は補償を出すことを意味する．社会全体での正負の補償は当然相殺される．なぜなら，式 (28) の最左辺の関係と式 (29) から

$$\sum_{k \subset N} c(k) = \sum_{k \subset N} x^*(k) - \sum_{k \subset N} U^k(a^*) = 0 \cdots\cdots(30)$$

となるからである．ところで，ここで定義した補償は効用タームでの定義であり，評価主体間での効用の交換を直接の行為に移すことは実際上問題がある．現実には，補償は貨幣のほか身替り代替財や労働の提供といった形で行われるのが普通で，ここに示した定式化は，これらの補償の前提となっている「社会的公正」の考え方を代替案選定と合意形成の場で示すことが目的であり，効用タームでの $c(k)$ に相当する「補償の具体的方策」は今後の研究課題である．

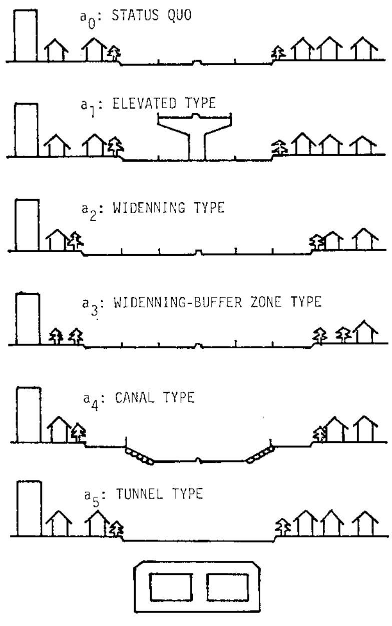

Fig. 1 Road Type Alternatives.

さて，以上のような2段階の手続き，すなわち，「寛容の仁」によって代替案をまず選定し，さらに，「補償」によって合意を形成する，といった手続きは，現実の合意形成のプロセスをできる限り忠実にモデル化しようとするところから考えられたもので，「補償を前提とした代替案選定プロセス」をモデル化したものではない．後者の場合は，当然，社会的利得 $U^N(a_j)$ を最大化する案を選定して公正な配分 $x(k)$ を求めることが合理的となり，「妥当な補償の考え方」を示すモデルとなる．しかし，その場合に注意すべきことは，「補償が前提となる案の選定」は根本的な各案の評価の方法を変えてしまう可能性がある点である．すなわち，各案に対する評価の段階で「補償を有利に導くためにはどのような評価をしておけばよいか」といった形で，評価そのものがゲームの1つの戦略になってしまう可能性である．現実には，このような場合もあり得るので，別の機会にそのモデル化を考えたい．

5. 簡単な数値計算例

(1) 例題の背景

ある地方行政体 (G) が予想される将来の交通事情の悪化に対し，図—1 に示す a_0 のごとき既存の道路について，通過交通を分離しようという意図から a_1 のごとき高架道路を計画した．しかし，沿道地域住民 (R) や自動車利用者 (U) の益，不益を考えて広い立場からよりよい案を選定しようと考え，既存道路の拡幅案 (a_2)，緩衝緑地付拡幅案 (a_3)，掘割タイプ案 (a_4)，トンネルタイプ案 (a_5) を追加し，G, U, R の代表からなる検討会を発足させ，案の評価，選定を実施することにした．以上が例題の背景である．前述したごとく，考案されている案は $\{a_1, \cdots, a_5\}$ の5案であるが，この計画そのものが否定される場合も考えて，現状のまま，という案を a_0 として選択対象とすることができる．よって，代替案集合 A は

$$A = \{a_0, a_1, \cdots, a_5\}$$

である．また，計画の参加者は計算を簡単化するために，地方行政体 (G)，利用者 (U) および地域住民 (R) の3グループのみを取り上げているので，今の場合，計画の参加者の集合 N は

$$N = \{G, U, R\}$$

である．

(2) 評価主体による評価の手続

各評価主体を $G, U, R,$ と考えた場合，それぞれの評価主体は独自の立場から計画案を評価する．そのため

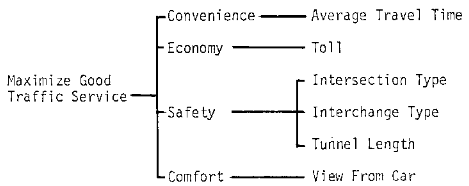

Fig. 2 Objectives Hierarchy of User.

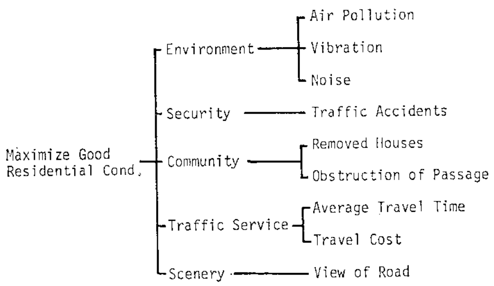

Fig. 3 Objectives Hierarchy of Residents.

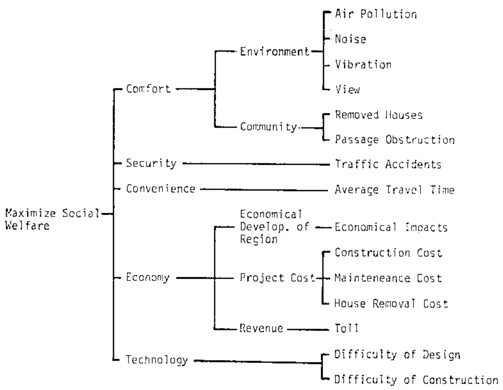

Fig. 4 Objectives Hierarchy of Government.

に各評価主体は自分達の計画案評価に際しての目的の階層構造を検討し，**図—2～図—4** のごとき目的階層構造を作成した．**図—4** に示すごとく，行政体は広く利用者および住民の立場も考え，U および R の目的をも取り入れる形で考えている．このような目的の階層構造の作成の意図は，独立な評価項目の選定と後述する評価項目間の相対的ウェイトの作成に役立たせるためである．さて，**図—2～図—4** を用いて目的階層の最下位に位置する項目をそれぞれの評価主体の評価項目とする．Uは6項目，R は9項目，G は 15 項目である．これらの評価項目に照らし，案 a_0～a_5 を比較して最も望ましい状態を 10，最も望ましくない状態を 0 として評点を付けたのが**表—3～表—5** である．**表—5** においてG が U および R の評価項目に関しては彼らの評点をそのまま自分達の評点としているのは計画立案者の立場，行政体としての立場から U および R の立場を自分達の共通の立場にしようとするからであり，建設費を現状で 10 としているのは，当初 a_1 の計画案での建設費を見込んで計画していたために a_1 で 10 という評価を下し，それ以下の建設

Table 3 Evaluated Value Matrix of User.

λ^k	Attributes \ Alternatives	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.40	θ_1^U Travel Time	0	10	5	5	7	9
0.20	θ_2^U Toll	10	5	10	10	3	0
0.15	θ_3^U Intersection	0	10	0	0	10	10
0.06	θ_4^U Interchange	10	0	10	10	8	4
0.09	θ_5^U Tunnel Length	10	10	10	10	10	0
0.10	θ_6^U View From Car	9	2	9	10	0	0
	Total Utility	4.4	7.6	6.4	6.5	6.18	5.34

Table 4 Evaluated Value Matrix of Residents.

λ^k	Attributes \ Alternatives	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.12	θ_1^R Air Pollution	0	2	1	5	3	6
0.04	θ_2^R Vibration	1	8	0	5	8	7
0.24	θ_3^R Noise	3	0	1	5	7	6
0.10	θ_4^R Traffic Acci.	7	5	1	0	10	5
0.24	θ_5^R House Removal	10	10	3	0	2	10
0.06	θ_6^R Passage Obst.	10	10	8	8	5	10
0.05	θ_7^R Travel Time	0	10	5	5	7	9
0.05	θ_8^R Travel Cost(Toll)	10	5	10	10	3	0
0.10	θ_9^R View of Road	9	0	9	10	5	9
	Total Utility	5.86	4.81	3.31	4.23	5.14	7.25

Table 5 Evaluated Value Matrix of Government.

λ^k	Attributes \ Alternatives	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.025	θ_1^G Air Pollution	0	2	1	5	3	6
0.025	θ_2^G Noise	3	0	1	5	7	6
0.025	θ_3^G Vibration	1	8	0	5	8	7
0.025	θ_4^G View	9	0	9	10	5	9
0.010	θ_5^G Passage Obst.	10	10	8	8	5	10
0.090	θ_6^G House Removal	10	10	3	0	0	10
0.050	θ_7^G Traffic Acci.	7	5	1	0	10	5
0.400	θ_8^G Travel Time	0	10	5	5	7	6
0.060	θ_9^G Economic Impact	0	10	4	4	6	10
0.072	θ_{10}^G Const. Cost	10	10	10	10	5	0
0.036	θ_{11}^G Maint. Cost	10	10	10	10	5	0
0.072	θ_{12}^G Removal Cost	10	10	0	0	5	10
0.060	θ_{13}^G Toll	0	10	0	0	7	8
0.025	θ_{14}^G Design Prob.	10	4	10	10	6	2
0.025	θ_{15}^G Const. Prob.	10	0	8	8	0	0
	Total Utilities	3.98	8.45	4.45	4.41	6.19	6.20

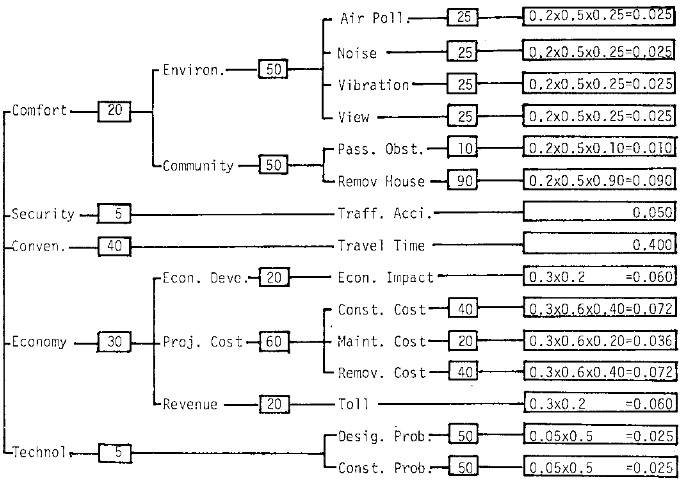

Fig. 5 Relative Scaling Constants of Attributes (Illustrative Example for Government).

費に対しては効用の増大を感じない，という理由による．次に各評価主体は評価項目間の相対重要度 λ_i^k を総和が 1.0 となるように決定する．この場合，評価項目が多くなると相対的重要度の割り振りが不可能なほど困難である．そこで，図—**2**～図—**4** に示したような目的階層構造を用いてレベルの高い目的（数は一般に少ない）間で相対重要度を決め，順次，下位の目的間の相対重要度に下ろしてゆけば，たとえば，図—**5** のように多くの評価項目があっても それらの 相対的重要度 を 決定できる，例示した 図—**5** において，走行時間 (travel time) に G が大きな ウェイトをかけているのは，計画 そのものの動機を計画案の評価の中で強調するためと 考 え ら れる．

（3） 代替案選定のプロセス

前述した要領で評価項目の相対重要度が求まると，表—**3**～表—**5** の評価値マトリックスから式 (5) に基づいて各評価主体の各代替案に対する総合評価値（利得）マトリックスを作成することができる．これを 表—**6** に示す．この表がすべての評価主体に公表されると，どの評価主体がどの案を推しているか等，一目で各評価主体はお互いの置かれている状況を把握することができる．次に，可能な提携とその提携値を求める．本例題の場合，評価主体の集合は $N=\{U, R, G\}$ であるので，可能な提携は空な提携を Φ とすると

$$S=\{U, R, G, UR, UG, RG, URG, \Phi\}$$

である．Φ は $\overline{URG}$ の意味でもある．これらの提携について，**4.(2)** で定義した M.P.R. を適用すると各提携値は 表—**7** のように求められる．この計算は 表—**6** を用いて簡単に実施できる．たとえば，$v(R)$は，U と G が提携を構成して，自分達の利得が最大となる案，すなわち，a_1 を多数決で実施すべきだと「主張」をした場合に R が得られる利得，つまり $U^R(a_1)=4.81=v(R)$ として求められる．次いで各案に対する各評価主体の不満量 $D(S/a_j)$ を求める．これは 表—**6** と提携値から式 (19) を用いて計算できる．たとえば a_0 が採用されたとした場合，U についてみれば，独力で獲得できる最低保証水準 $v(U)=5.34$ に対し，不満量は $D(U|a_0)=v(U)-U^U(a_0)=5.34-4.40=0.94$ であり，一方，R についてみれば，$v(R)=4.81$ となる最悪の場合に比較して $D(R|a_0)=v(R)-U^R(a_0)=4.81-5.86=-1.05$ なる剰余が得られる．このようにして求めた不満量の一覧表が 表—**7** に示されている．表中，* 印は各案に対する最大不満量を示している．式 (20) に示した JMPR 法では，最大の不満をもつ提携に着目し，これを最小とする案を選定することになるので a_1 を選定することになる．

ところで，a_1 を実施することにした場合，いかに「寛容の仁」に基づいているとはいえ，R は a_1 には合意しないであろう．なぜなら，a_1 は R にとって現状 a_0 より悪くなるから「環境権」等を強調して反対するからである．そこで，現状より悪くなる者に対する補償が必要となる．そのために，a_1 を実施することによる社会全体の利得の公正な配分を考えてやらねばならない．$U^U(a_0)=4.40$, $U^R(a_0)=5.86$, $U^G(a_0)=3.98$ を用いて，式 (25), (26) から理想的配分 $x(U)$, $x(R)$, $x(G)$ を求

Table 6 Total Utility of Interest Groups.

k \ A	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
R	5.86	4.81	3.31	4.23	5.14	7.25
U	4.40	7.60	6.40	6.50	6.18	5.34
G	3.98	8.45	4.45	4.41	6.19	6.20
ΣU^k	14.24	20.86	14.16	15.14	17.61	18.78

Table 7 Value of Coalitions & Dissatisfactions.

S	$v(S)$	$D(S/a_j)$					
		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
R	4.81	−1.05	0	1.5	0.58	−0.33	−2.44
U	5.34	0.94	−2.26	−1.06	−1.16	−0.84	0
G	6.20	2.22	−2.25	1.75	1.79	0.01	0
RU	12.59	2.33	0.18	2.88	1.86	1.27	0
RG	13.45	3.61	0.19*	5.69	4.81	2.12	0
UG	16.05	7.67*	0	5.20	5.14	3.68*	3.31*
RUG	20.86	6.62	0	6.70*	5.72*	3.25	0.87
Max $D(S)$		7.67*	0.19**	6.70*	5.72*	3.68*	3.31*

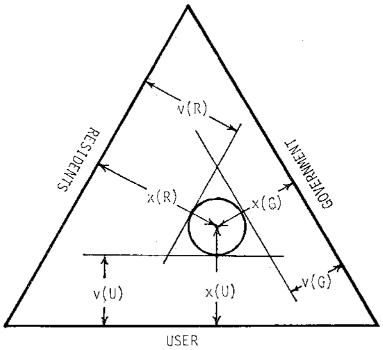

Fig. 6 Solution of Nucleolus.

Table 8 Ideal Allotments & Compensations.

k	$x(k)$	$U^k(a_1)$	$c(k)$
R	8.07	4.81	+3.26
U	6.60	7.60	−1.00
G	6.19	8.45	−2.27

めると **図—6** のように求められる．すなわち，高さが $U^N(a_1)=20.86$ を示す正三角形を考え，三角形の各辺からの高さをそれぞれの配分とすると，式 (25)，(26) を満たす解は図中の小三角形の中に存在し，内接円の中心で与えられる．これより，配分 $x(k)$, $U^k(a_1)$, $c(k)=x(k)-U^k(a_1)$ を一覧表にしたのが **表—8** である．**表—8** から，本例題においては，G は $\Delta U=2.27$, U は $\Delta U=1.00$, の利得を R に補償する必要があることが理解される．実際の問題では，これらの補償は **表—4** の中味をみて，R の利得を小さくしている項目，騒音 (Noise) や大気汚染 (Air-Pollution) の改善を，G は建設費の上乗せ，U は利用費用の上乗せ等によって実施する必要がある．

6. まとめと今後の課題

2. で一部述べたように，公共土木プロジェクトの最終の目的は社会福祉の拡大と安定と公正にある．しかし，現実には，社会を構成する人々は多様な価値感をもち，1つのプロジェクトの実施によってすべての人々の満足を得ることはきわめて困難である．その主たる理由は，プロジェクトの実施がある人には満足を感じせさる反面，ある人々には満足を感じさせない，場合によっては，現状より不満が拡大する場合すらあるからである．そのような状況では，いかに社会全体の利得が拡大するからといっても，とうてい合意が得られるものではない．すでに，**4**. の定式化および **5**. の簡単な例で示したように，① 社会全体の利得の拡大，② 不満が最小となる計画案の選定，③ 個人の犠牲を強いることのないような公正の達成のための合理的な配分，を本研究のねらいとした．しかし，本研究で最も議論となる点は，本研究で定義した利得（評価主体が計画の実施によって得る効用の増大分）が評価主体間で授受できるかどうか，である．この点について少し議論しておく．人間の効用は各種の属性（経済学上の財の概念をも含めて）から成る．このうち，プロジェクトの実施のいかんによって影響される属性を $(\theta_1, \theta_2, \cdots, \theta_L)$，その他の属性をまとめて $\boldsymbol{y}$ で表わすと，効用 u は

$$u=u_p(\theta_1, \theta_2, \cdots, \theta_L)+u_0(\boldsymbol{y}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(31)$$

で定められるものとしよう．もとより，u そのものの原点は定めることはできない．すなわち，プロジェクトによって影響されない多くの属性 $\boldsymbol{y}$ に対して $u_0(\boldsymbol{y})$ を基数効用として定義できないからである．しかし，**5**. の例題で示したように，$(\theta_1, \theta_2, \cdots, \theta_L)$ に関する効用は，これら属性の最も望ましくない状態 $(\theta_1{}^0, \theta_2{}^0, \cdots, \theta_L{}^0)$ と最も望ましい状態 $(\theta_1{}^*, \theta_2{}^*, \cdots, \theta_L{}^*)$ を規定することによって，つまり，

$$\left.\begin{array}{l} u_p(\theta_1{}^0, \theta_2{}^0, \cdots, \theta_L{}^0)=0 \\ u_p(\theta_1{}^*, \theta_2{}^*, \cdots, \theta_L{}^*)=10 \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(32)$$

と定義することによって，u_p なる効用を基数的に規定することができる．このように定義された効用は原点とその大きさをもつので評価主体間の効用の比較が可能である．本研究で扱っている評価値や利得はこのような効用 u_p のことで $u=u_p+u_0$ をトータルとして取り扱っているものではない．このような理由から妥当な効用の配分と補償を考えたが具体的な方法についてはなおいまだ議論の残るところである．概念的には例題で述べたような方法が考えられるが，これらの方法が効用の授受において量的にバランスしなければならない，といった制約を満足させることができるかどうかについては本研究が今後に残す課題である．つまり，現実には，補償，身返り施設の提供などが行われているが，これを効用配分として量的に関係づける研究が必要であると思われる．さらに，本研究では，すべての評価主体は対等と考えて取り扱っているが，評価主体間での相対的な重み等の考え方についても今後の課題として残されている．

参 考 文 献

1) 長尾義三ほか：評価項目の重みの未知の場合の代替案総合評価法，土木学会論文報告集，No. 312, 1981 年 9 月．
2) Dasgupta, A.K. and D.W. Pearce : Cost-Benefit Analysis, Theory and Practice, Macmillan, 1972.
3) 森杉・岡本：環境悪化の社会的費用に関する測定方法，オペレーションズリサーチ，Vol. 22, No. 1, 1977 年 1 月．
4) Klassen, L.H. : Economic and Social Projects with Environmental Repercussions—A Shadow Project Approach, Regional and Urban Economics, Vol. 3, 1973.
5) Lichfield, N. et al. : Evaluation in the Planning Process, Pergamon Press, 1975.
6) 宮川公男：PPBS の原理と分析，有斐閣，1969 年．

7) Bishop, A.B. : An Approach to Evaluating Environmental Social and Economic Factors in Water Resource Planning, Water Resources. Bul. Vol. 8, No. 4, 1972.
8) Hill, M. : A Goals-Achievement Matrix for Evaluating Alternative Plans, Journ. of the American Inst. of Planners, Vol. 34, No. 1, 1968.
9) 林知己夫ほか：多次元尺度解析法，サイエンス社，1976年.
10) 矢島　隆：マルティオブジェクティブの評価と意思決定，地域開発，1972年7月.
11) Keeney, R.L. and H. Raiffa : Decisions with Multiple Objectives, Preferences and Value Tradeoffs, John Wiley & Sons, 1976.
12) Nijkamp, P. and van Delft : Multi-Criteria Analysis and Regional Decision-Making, Studies in Applied Regional Science, Leiden, 1977.
13) Paelink, J.H.P. : Qualitative Multiple-Criteria Analysis, Environmental Protection and Multi-Regional Development, Papers of the Regional Science Assoc., Vol. 36, 1976.
14) Suzuki, M. and M. Nagayama : The Cost Assignment of the Cooperative Water Resource Development—A Game Theoretic Approach, Management Science, Vol. 22, No. 10, pp. 1081～1086, 1976.
15) Rawls, J. : Justice as Fairness, Philosophical Review, Vol. 67, 1957.
16) Schmeidler, D. : The Nucleolus of a Characteristic Function Game, SIAM, Journ. of Appl. Math. Vol. 17, No. 6, 1969.
17) von Neumann,J. and O. Morgenstern : Theory of Games and Economic Behavior, Princeton Univ. Press, 1947.
18) Schlaifer, R. : Analysis of Decisions and Uncertainty, McGraw-Hill, 1969.
19) Fishburn, P.C. : Utility Theory for Decision Making, ORSA, No. 18, John Wiley & Sons, 1976.
20) Nagao, Y., K. Kuroda and I. Wakai : Decision Making Under Conflicts in Project Evaluation, Proc. of Int. Sympon Conflict Management, Kyoto, 1981.

(1982.7.12・受付)