

対立下での提携を考慮した代替案選択に関する一考察

京 都 大 学 工 学 部 正 員 黒田勝彦
(社)システム科学研究所 正 員 ○千頭 聡

1. はじめに

近年、道路建設を初めとして、大規模な開発・建設プロジェクトの実行にあたっては、その影響が多方面に及ぶことから、様々な立場の利害関係がからみあい、種々の摩擦を生ずることが少なくない。そのために、計画案が公表されてから実施にふみきるまでに、数年以上の調整・協議の期間を必要とする場合がしばしば見受けられる。この原因を考えると、1つには、事業を計画する立場からみれば、いたずらに数多くの代替案を提示して各方面の議論をまきおこすことを避けたいがために、内部での検討を重ねて計画熟度が一定のレベルに高まった段階で、初めてある代替案を唯一のものとして提示することになる。したがって、このような状況下では、利害関係の絡む立場間で、互いに協議を重ねて、双方の納得できる代替案を模索するというよりも、二者択一的な選択を迫られることになる。また、計画者が複数の代替案を公表して、コンセンサスが得られる代替案を選び出そうとした場合でも、いくつかの立場の間で代替案の優先順位付けに対立が生じ、各々の立場がそれぞれ最も好ましいと考える代替案を主張することによって、全体として合意のできる代替案を選択することが不可能になる恐れがある。

従来の総合評価手法は、多くの場合、単一の評価主体 (single decision unit) の問題として研究がなされてきたが、このような現実の状況を考えると、大規模開発・建設プロジェクトは、ほとんどが複数の評価主体 (Multi decision unit) による多目的問題 (Multi objective problem) として定式化すべきであることがわかる。鈴木光男は、「寛容の原理」をゲーム論的に解釈し、計画における「仁」の概念を示している¹⁾が、複数の評価主体の存在を念頭に置いた上での計画案の評価方法について、この考え方が有用である。²⁾

先に筆者の1人は、鈴木 の提起した概念に基づいて、複数の評価主体間での提携を考慮した場合の、社会的にみて最も好ましい代替案の選択方法と、代替案実行時に得られる社会的効用の配分方法を提案した。³⁾⁴⁾ここでは、この方法論を実際に適用した結果について報告する。

2. 前提条件

あるプロジェクトに関して、複数の代替案が考えられている状態を想定し、次のような前提条件を設定する。

(1) 与えられた代替案に対して、異なった評価を行う複数のグループが存在するものとし、そのグループを評価主体 (もしくは評価立場) と呼ぶ。なお、便宜的に、各評価主体は対等の力 (たとえば、構成員の数が同じであるとか、発言力が対等であるなど) を持ち、対等の立場で他の評価主体と交渉することができるものとする。

(2) 評価主体は、それぞれが代替案を評価するために最も適切と考える評価項目を持つことができる。したがって、評価主体によって評価項目が異なるのが一般的である。

(3) 評価主体は、自己の持つ評価項目を用いて、すべての代替案を評価し、評価値を算出することができる。この評価値は実数で与えられ、任意の加算・減算が可能であるものとする。

(4) ある代替案に対しての総合評価値は、各評価項目の評価値の線形結合で与えられ、線形結合は、評価主体ごとに独自で唯一のものが存在する。1つの代替案について、すべての評価主体の総合評価値を加算したものを、社会的効用と呼ぶ。

(5) 総合評価値は、すべての評価主体間でやりとりが可能であり、かつ、同等の価値があるものとする。

(6) 総合評価値は評価主体に対して公表される。

(7) 評価主体は、自己の推す代替案に固執するだけでなく、他の評価主体と協力して1つの代替案を

推し、その代替案が実行されることによって得られる効用を、関係する評価主体の間で分配するというプロセスを考慮して行動するものとする。このような、複数の評価主体の間の協力を、提携 (co-alition) と呼ぶ。

3. モデルの定式化

代替案選択のための評価の流れを図-1に示す。

3-1 総合評価値

評価の対象として、代替案群 A を考える。個々の代替案を a_ℓ とし、全体で m 個の代替案があるものとする。

$$A = \{ a_1, a_2, \dots, a_\ell, \dots, a_m \}$$

評価主体 (評価立場) を $1, 2, \dots, k, \dots, n$ とし、その集合を N とする。

$$N = \{ 1, 2, \dots, k, \dots, n \}$$

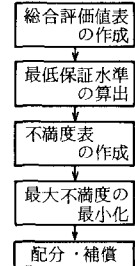


図-1 代替案選択の流れ

代替案を評価するための評価項目は評価主体ごとに設定するものとし、総合評価値 $w_\ell^{(k)}$ は、各々、評価値 $u_{i\ell}^{(k)}$ に、評価項目のウェイト $\lambda_i^{(k)}$ をかけあわせて与えられるものとする。

$$w_\ell^{(k)} = \sum_i \left(\lambda_i^{(k)} \times u_{i\ell}^{(k)} \right)$$

ただし ℓ : 代替案 ($\ell = 1, \dots, m$)

k : 評価主体 ($k = 1, \dots, n$)

i : 評価項目 ($i = 1, \dots, t(k)$)

この場合、一般的には、評価主体によって評価が異なるために、最も好ましいと考える代替案は一般に異なる。

したがって、いずれか一つの代替案を選択しなければならない状況下では、評価立場間で対立が発生する。そこで、以下の条件を導入することによって、互いに歩み寄りの可能性を模索することに合意したものとする。

- i) どの代替案を選好するとしても、代替案の実施によって得られる効用の配分に、極端に不公平をなくすようにする。(寛容の原理に基づく仁)
- ii) 代替案の選択に際しては、後述する多人数パワーの原理 (M.P.R.) を導入する。
- iii) 評価主体 (評価立場) $k \in N$ は互いに協力しあって、1つのグループとしてある代替案を推すことができるものとする。

3-2 提携と最低保証水準 (提携値)

今、 N に属するすべての評価主体 k の提携の組み合わせを考える。それぞれの提携を S とし、その集合を $\mathcal{S}$ とする。

$$\mathcal{S} = \{ S_1, S_2, \dots, S_h, \dots, S_p \}$$

ある提携 S にとって最悪の事態は、 S 以外のすべての評価立場が1つの提携 $\bar{S}$ を作る場合である。

$$N = S \cup \bar{S}, S \cap \bar{S} = \phi$$

この時、多人数パワーの原理を以下のように定義する。提携 S を構成する評価主体数を $|S|$ で定義すると、提携 S が得ることのできる最低保証水準 (提携値) $v(s)$ は次式によって与えられる。すなわち、

$$v(s) = \begin{cases} \max_{a_\ell \in A} \sum_{k \in S} w_\ell^{(k)} & \text{for } |S| > |\bar{S}| \\ \max_{\delta^s \in A} \min_{\delta^{\bar{s}} \in A} \sum_{\ell} \sum_{k \in S} w_\ell^{(k)} \delta_\ell^s \delta_\ell^{\bar{s}} & \text{for } |S| = |\bar{S}| \\ \sum_{k \in S} w_{a^*}^{(k)} & \text{for } |S| < |\bar{S}| \end{cases}$$

ただし a^* は $\max_{a_\ell \in A} \sum_{k \in \bar{s}} w_\ell^{(k)}$ をみたす a_ℓ

この最低保証水準 $v(s)$ は、提携 S にとって、最悪の状態下（ S 以外のすべての評価主体が提携を結んで1つの代替案を推す状態下）でも保証される評価値を示しており、いいかえれば、提携 S の持つ強さを示したものと考えることができる。

3-3 最大不満度の最小化

ここで、寛容の原理に基づく代替案選択の方法を考えることにする。寛容の原理は、1つには、代替案実行時に各評価主体が獲得できる利得のうち、最も小さい人の利得を考え、いくつかの代替案についてその最小値を比較し、その中で最大となるような代替案を選択するという考え方である。

一方、もう一つには、各評価主体に保証されている一定の水準を考えておき、代替案実行時に各評価主体が獲得できる利得とその水準との差を不満度として定義する。そして、不満度のうちの最大のものに注目し、いくつかの代替案についてその最大不満度を比較して、最小となるような代替案を選択するという考え方である。

本研究では、後者の考え方に基づいてその定式化を行う。原理の中で述べている評価主体が持つ一定の水準とは、上述の最低保証水準 $v(s)$ のことであると考えられる。すると、代替案実行時に提携 S の持つ不満度 $d_\ell(s)$ は、提携 S が獲得しうる評価値 $w_\ell^*(s)$ と、最低保証水準 $v(s)$ の差として定義される。

$$w_\ell^*(s) = \sum_{k \in S} w_\ell^{(k)}$$

$$d_\ell(s) = v(s) - w_\ell^*(s)$$

$$d_\ell(s) > 0 \text{ の時 } \text{不満度}$$

$$d_\ell(s) < 0 \text{ の時 } \text{剰余度}$$

次に、ある代替案実行時に $d_\ell(s)$ が最大となるような提携を見つけ、その提携の不満度（つまり最大不満度） d_ℓ^* に注目して、実行可能な代替案 $a_\ell \in A$ の中で d_ℓ^* が最小となるような代替案を求めると、この代替案が、寛容の原理に基づいた場合の解となる。つまり、

$$\begin{aligned} \min_{a_\ell \in A} d_\ell^* \\ &= \min_{a_\ell \in A} \max_{S \subseteq \bar{s}} d_\ell(s) \\ &= \min_{a_\ell \in A} \max_{S \subseteq \bar{s}} \left(v(s) - \sum_{k \in S} w_\ell^{(k)} \right) \end{aligned}$$

このようにして、評価立場間で代替案の優劣に対立が存在する場合に、寛容の原理に基づいて、社会的に最も好ましい代替案を選択することが可能となる。

3-4 配分と補償

次に、決定された代替案 a_ℓ^* が実行された時に得られる社会的効用 $w_\ell^*(w) = \sum_{k \in N} w_\ell^{(k)}$ をどのようにして各評価主体に分け与えるかという問題、すなわち、仁のルールをいかにして定めるかという問題を検討する。最も平等にするためには、各評価主体に均等に分配すればよいが、この方法では、最低保証水準 $v(s)$ によって提携の持つ強さを評価するという上述の考え方にそぐわない。そこでここまでの考え方を尊重すると次の

ような仁のルールが提案される。

代替案 a_i^* を実行することによって得られる効用は、先ほど述べたように、

$$w_{i^*}^*(N) = \sum_{k \in N} w_{i^*}^{(k)} \quad N = \{1, 2, \dots, k, \dots, n\}$$

となる。 $w_{i^*}^*(N)$ を、まず、各評価主体が少なくとも最低保証水準 $v(k)$ を確保するものとし、残りの効用については、寛容の原理によって均等に分配するものとする。この作業を配分と呼ぶ。すなわち、各評価主体が得べき理想配分を $x(k)$ とすると、

$$x(1) + x(2) + \dots + x(n) = w_{i^*}^*(N)$$

$$x(k) \geq v(k) \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

たとえば、評価主体が3者の場合に、上述の配分を幾何学的に解くと、図-2 のようになる。

仁に基づく配分 $x(k)$ を実現するためには、代替案 a_i^* を実行することによって得られる実獲得効用 $w_{i^*}^{(k)}$ と配分 $x(k)$ との差を、全体として調整してやる必要がある。この作業を補償と呼ぶ。

$$\text{補償すべき効用} \quad c(k) = w_{i^*}^{(k)} - x(k)$$

ただし $c(k) > 0$ の時 他の評価主体へ補償を行う

$c(k) < 0$ の時 他の評価主体から補償を受ける

$$\sum_{k \in N} c(k) = 0$$

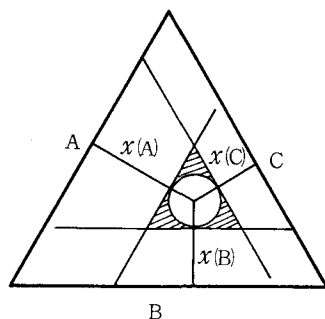


図-2 仁の幾何学的解

以上の考え方に基づくと、寛容の原理（最大不満度の最小化）に基づいて、社会的な効用を各評価主体に分配することが可能となる。

4. 道路建設計画への適用例

寛容の原理に基づき、提携を考慮した代替案選択の考え方を道路建設計画へ適用した例について、次に述べる。

対象はA港の湾岸道路計画であるが、計画路線が航路をまたぐ必要があり、また、計画規模が大きく工期も長いことから、多方面にその影響が及ぶことが予想される。したがって、ある1つの立場からみた場合の計画案の評価と、別の立場から見た場合の評価との間に、大きな差が生ずることが考えられる。すなわち、港内を航行する船舶の立場からすれば、航行の安全性が確保されるかどうかが最大の関心事であり、事業を推進していく立場からは、建設費や施工の容易性などを重視した評価が行われるであろう。また、道路を利用するものにとっては、縦断勾配等の線形や通行料金が問題となる。このような状況下では、考えうるいくつかの代替案を抽出し、それらに対して、複数の評価立場（同じ観点から代替案を評価することのできるグループなどを指す）が、各々自らが必要とする評価項目でもって評価を行い、代替案の優劣をつける第1段階（ここでは、立場ごとの評価と呼ぶ）と、前節までに述べてきた考え方に基づいて、代替案のしほり込みを行い、社会的にみて最も好ましい代替案を選択する第2段階（ここでは、立場相互の評価と呼ぶ）に分けて、総合評価を進めていくことが望ましい。

4-1 代替案と評価立場

(1) 代替案

航路部分の横断構造などから、7案の代替案が提案されている。

(2) 評価の立場と評価の視点

次に示す5つの評価立場が選ばれた。

- 地域・沿道（R）……地域住民の立場から、主に生活環境や景観・交通量等を評価する。
- 自動車利用（U）……自動車利用者の立場から、利用のしやすさ・走行の安全性・経済性等を評価する。
- 船舶運航（S）……船舶運航者の立場から、航行の安全性・利便性等を評価する。
- 港湾管理（P）……港湾の管理面から、水域利用や港湾機能に与える影響を評価する。
- 事業主体（C）……事業主体と道路管理者の立場から、経済性・施工の容易性・安全性等を評価する。

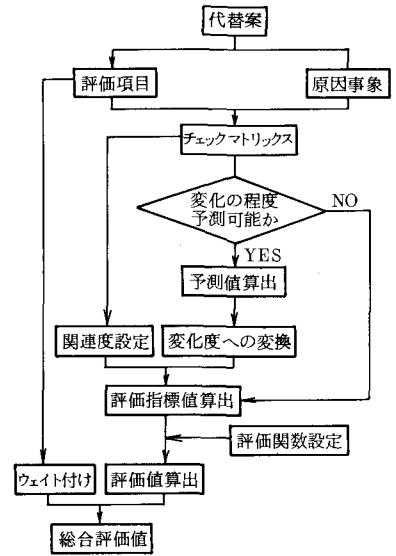


図-3 立場ごとの評価の流れ

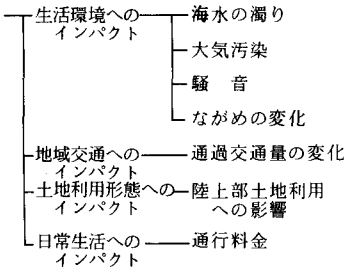


図-4 評価項目（地域・沿道）

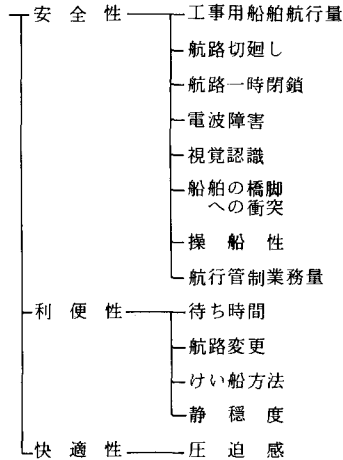


図-6 評価項目（船舶運航）

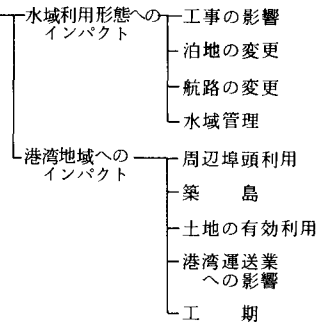


図-7 評価項目（港湾管理）

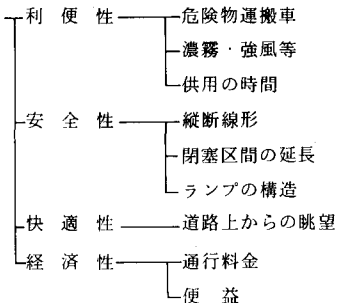


図-5 評価項目（自動車利用）

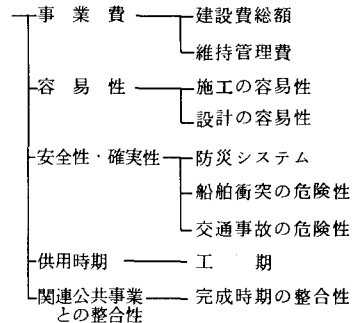


図-8 評価項目（事業主体）

4-2 立場ごとの評価

図-3に示す流れで、立場ごとの評価を行う。

(1) 評価項目

第1段階の立場ごとの評価では、各評価立場が、自らが最も必要とする評価項目を用いて代替案の優劣を評価することができる。ここでは、図-4～図-8に示す項目が選ばれた。

(2) 総合評価値

計画の熟度がある程度高まってきた段階では、代替案が周辺環境に及ぼす影響を定量的に予測することが可能であるが、一般的には、すべての代替案に対して、各評価項目からみた総合評価値を、影響程度の定量的な予測の裏付けのもとに設定することは、作業量と精度などからみてかなり困難な場合が多い。そこで本事例では、与えられた代替案相互の優劣を相対的に判定することを前提として、図-3に示す手順によって評価値を算出した。

a) 評価指標値の推定

代替案 a_ℓ が実施された場合の、評価項目 i の評価指標値を $e_{i\ell}^{(k)}$ とすると、 $e_{i\ell}^{(k)}$ は次式で推定した。

$$e_{i\ell}^{(k)} = \sum_j (r_{ij}^{(k)} \times y_{j\ell})$$

ただし、 $y_{j\ell}$ は、代替案 a_ℓ によって評価指標値 $e_{i\ell}^{(k)}$ に影響を及ぼす原因の事象 j の変化量で、 $r_{ij}^{(k)}$ は、事象 j が評価指標値 $e_{i\ell}^{(k)}$ に影響する相対的なウェイトである。

$$0 \leq y_{j\ell} \leq 1$$

$$0 \leq r_{ij}^{(k)} \leq 1 \quad 0 \quad 0$$

$$0 \leq e_{i\ell}^{(k)} \leq 1 \quad 0 \quad 0$$

b) 評価値 $u_{i\ell}^{(k)}$

評価指標値 $e_{i\ell}^{(k)}$ を評価関数によって変換したものであり、相対的にみて各代替案がどの程度好ましいかを示すものである。

$$u_{i\ell}^{(k)} = f^{(k)}(e_{i\ell}^{(k)})$$

ここでは、相対評価を前提としているために、便宜的に、評価値を次のように基準化した。

$$-10 \leq u_{i\ell}^{(k)} \leq 10$$

このような手順を経て得られた評価値 $u_{i\ell}^{(k)}$ に、評価項目に対するウェイト $\lambda_i^{(k)}$ をかけあわせることによって、それぞれの立場からみた代替案の総合評価値 $w_\ell^{(k)}$ が求まる。結果を表-1に示す。

$$w_\ell^{(k)} = \sum_i (\lambda_i^{(k)} \times u_{i\ell}^{(k)})$$

表-1 総合評価値とそれに基づく順位

代替案 評価立場	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
地域・沿道(R)	-117 (6)	177 (3)	-193 (7)	87 (4)	423 (1)	341 (2)	-62 (5)
自動車利用(U)	-615 (7)	-273 (6)	-40 (5)	69 (4)	623 (1)	504 (2)	287 (3)
船舶運航(S)	-154 (5)	-64 (3)	568 (1)	-327 (6)	-330 (7)	-72 (4)	547 (2)
港湾管理(P)	136 (3)	160 (2)	288 (1)	-232 (6)	-308 (7)	-28 (5)	46 (4)
事業主体(C)	-412 (6)	88 (4)	-880 (7)	190 (3)	830 (1)	558 (2)	-110 (5)

()は選好順位

この結果によれば、評価立場によって評価が大きく違い、地域・沿道や自動車利用、事業主体からみればA-5案が選好されるのに対し、船舶運航や港湾管理の立場からは、A-3案が最も好ましいことになる。このような対立下では、全員の合意が得られる代替案を探し求めることは、通常極めて困難である。そこで、前述の考え方を適用する。

4-3 立場相互の評価

前出の図-1に示す流れに沿って検討する。まず、図-1をもとに、すべての評価立場の提携を考慮した場合に、各提携が獲得することのできる総合評価値 $w_i(s)$ と、多数決原理を導入した場合に得られる提携値 $v(s)$ を示したのが、表-2である。次に、総合評価値 $w_i(s)$ と提携値 $v(s)$ とから、各代替案が実行された場合に、提携の持つ不満度 $d_i(s)$ を求め、表-3に示す。この表-3から、それぞれの代替案ごとに、最大の不満を持つ提携の不満度 $d_i(s)$ を選び出し、その中で最も不満が小さくなるような（最大不満の最小化）代替案を探すと、A-6案となる。

A-6案は、表-1からわかるように、いずれの立場にとって最良の案ではなく、かつ最悪の案でもない。このような代替案が、社会的にみて最も好ましい案とされたわけである。

表-2 各提携の総合評価値と提携値

代替案 提携	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	$v(s)$
R	-117	177	-193	87	423	341	-62	341
U	-615	-273	-40	69	623	504	287	504
S	-154	-64	568	-327	-330	-72	547	-330
P	136	160	288	-232	-308	-28	46	-308
C	-412	88	-880	190	830	558	-110	-110
RU	-732	-96	-233	156	1046	845	225	225
RS	-271	113	375	-240	93	269	485	93
RP	19	337	95	-145	115	313	-16	115
RC	-529	265	-1073	277	1253	899	-172	-172
US	-769	-337	528	-258	293	432	834	293
UP	-479	-113	248	-163	315	476	333	315
UC	-1027	-185	-920	259	1453	1062	177	-920
SP	-18	96	856	-559	-638	-100	593	-638
SC	-566	24	-312	-137	500	486	437	486
PC	-276	248	-592	-42	522	530	-64	530
RUS	-886	-160	335	-171	716	773	772	773
RUP	-596	64	55	-76	738	817	271	817
RUC	-1144	-8	-1113	346	1876	1403	115	1876
RSP	-135	273	663	-472	-215	241	531	663
RSC	-683	201	-505	-50	923	827	375	923
RPC	-393	425	-785	45	945	871	-124	945
USP	-633	-177	814	-490	-15	404	880	880
USC	-1181	-249	-352	-68	1123	990	724	1123
UPC	-891	-25	-632	27	1145	1034	223	1145
SPC	-430	184	-24	-369	192	458	483	483
RUSP	-750	0	623	-403	408	745	818	818
RUSC	-1298	-72	-545	19	1546	1331	662	1546
RUPC	-1008	152	-825	114	1568	1375	161	1568
RSPC	-547	361	-217	-282	615	799	421	799
USPC	-1045	-89	-64	-300	815	962	770	962
RUSPC	-1162	88	-257	-213	1238	1303	708	1303

表-3 不 満 度

代替案 提携	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
R	458	164	534	254	-82	0	403
U	1119	777	544	435	-119	0	217
S	-176	-266	-898	-3	0	-258	-877
P	-444	-468	-596	-76	0	-280	-354
C	302	-198	770	-300	-940	-668	0
RU	957	321	458	69	-821	-620	0
RS	364	-20	-282	333	0	-176	-592
RP	96	-222	20	260	0	-198	131
RC	357	-437	901	-449	-1425	-1071	0
US	1062	630	-235	551	0	-139	-541
UP	794	428	67	478	0	-161	-18
UC	107	-735	0	-1179	-2373	-1982	-1097
SP	-620	-734	-1494	-79	0	-538	-1231
SC	1052	462	798	623	-14	0	49
PC	806	282	1122	572	8	0	594
RUS	1659	933	438	944	57	0	1
RUP	1413	753	762	893	79	0	544
RUC	3020*	1884*	2989*	1530*	0	473	1761*
RSP	798	390	0	1135	878	422	132
RSC	1606	722	1428	973	0	96	548
RPC	1338	520	1730	900	0	74	1071
USP	1513	1057	64	1370	895*	476*	0
USC	2304	1372	1475	1191	0	133	399
UPC	2036	1170	1777	1118	0	111	922
SPC	913	299	507	852	291	25	0
RUSP	1568	818	195	1221	410	73	0
RUSC	2844	1618	2091	1527	0	215	884
RUPC	2576	1416	2393	1454	0	193	1407
RSPC	1346	438	1016	1081	184	0	378
USPC	2007	1051	1026	1262	147	0	192
RUSPC	2465	1215	1560	1516	65	0	595
最大 不満度	3020	1884	2989	1530	895	476	1761

*：代替案ごとの最大不満度 $\min \max d_i(s)$

A-6案を実施することによって得られる社会的効用は、表-1から1,303点となる。この効用を、寛容の原理に基づく仁によって各評価立場に配分すると表-4のようになり、実際に各評価立場がA-6案によって獲得する評価値との間に差が生じる。つまり、船舶運航(S)・港湾管理(P)・事業主体(C)にとっては、仁の概念に基づく配分得点を上回る評価値が期待されるのに対して、地域・沿道(R)や自動車利用(U)にとっては、それを下回る評価値しか期待できない。そこで、評価立場間での補償が必要となる。その一例を図-9に示す。

評価値のやりとりによる補償を現実の意味あるものとするには、金銭的ないわゆる補償以外にも、沿道環境対策の強化・ドライバーへの沿道サービスの強化などといった、代替案に付随する対策や、関連公共投資などの見返り措置を構ることなどが考えられる。

表-4 配 分 と 補 償

	配 分			実獲得 評価額	補 償
	最低保証水準 による配分	均等配分	配 分 評価値		
地域・沿道(R)	341	241	582	341	241
自動車利用(U)	504	241	745	504	241
船舶運航(S)	-330	242	-88	-72	-16
港湾管理(P)	-308	241	-67	-28	-39
事業主体(C)	-110	241	131	558	-427
合 計	97	1206	1303	1303	0

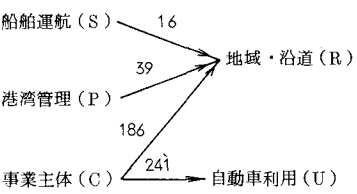


図-9 補 償 の 例

5. おわりに

以上の事例で示したごとく、本研究で提案した方法によって、実際のプロジェクト代替案の選定における対立構造の内容を分析し、かつ、それらの対立を解消するために、どのような方策があるかを探索することが可能である。

今後、ここで示した補償を現実の意味あるものにするための研究が必要である。

6. 謝辞

本方法論を実際に適用するにあたり、御協力いただいた建設省阪神国道工事事務所および関係各位に対し、深く感謝いたします。

7. 参考文献

- 1) 鈴木光男：計画における仁と責任，週刊東洋経済，1973
- 2) 黒田勝彦，長尾義三，若井郁次郎：公共交通施設の建設と附帯政策のゲーム論的解釈，第3回土木計画学研究発表会講演集，1981
- 3) Nagao, Y., Kuroda, K. & Wakai, I. (1981) : Decision Making under Conflict in Project Evaluation, Proc. of. Int. Symp. on Conflict Management, Kyoto, JAPAN
- 4) 長尾義三，黒田勝彦，若井郁次郎：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，土木学会論文報告集，投稿中