公共交通施設の建設と附帯政策のゲーム論的解釈

京都大学工学部　正会員　黒田勝彦
京都大学工学部　正会員　長尾義三
京都大学工学部　正会員　○若井郁次郎

1. はじめに

近年，あらゆる公共交通施設の建設に対して各地で反対活動が展開され、事業の進行が阻止され、遅れている。社会資本の一つとしての公共交通施設の重要性が認識されているにもかかわらず、なぜこのような状態が生じているのだろうか。この種の問題の原因は複雑なものであり記述し尽くせるものではないが、公共土木計画の立場から反省すれば以下のように考えられる。これまでの公共交通施設の建設プロジェクトは、技術的側面はもちろんのこと、経済的側面を中心にして評価が行なわれて策定されてきた（たとえば、財務的内部収益率や経済的内部収益率などの評価指標を使用して評価する）。すなわち、建設プロジェクトの評価が技術・経済面に重点がおかれ、社会・自然および環境への影響・効果の配慮が不足していたと考えられる。このことから，今日の公共交通施設の建設プロジェクトの策定に際しては、以上の諸側面を考慮して総合的に評価され、検討が加えられている。しかし、それにもかかわらず社会は価値観の異なる多数の人々・組織・グループなどで構成されているために、ある計画案に対して合意が得られることは少ない。換言すれば、価値観の多様化した今日の社会では、ある公共交通施設の建設プロジェクトに係わる人間やグループなどは、それぞれ異なる評価項目，評価基準を持つために計画のあらゆる段階で作成される代替案に対して評価の一致が見られないものと考えられる。また、今日の公共施設計画の対象となる地域は範囲が広く、その実施段階において多数の人々になんらかの影響を及ぼす。この場合、その問題の中心は利害関係であることが多い。すなわち、公共交通施設の建設プロジェクトの実施により、どこに、どの種類の便益や不便益が発生し、それらの便益や不便益は誰に帰属するのか，といったことが当事者の関心事となる。それは、ある当事者にとっては便益となるが、別の当事者は不便益を受けるからである。そして、このとき便益と不便益との差が大きければ大きいほど、社会における不公平性や不平等性に対する不満が大きくなると言えよう。このことが、また、公共交通施設の建設プロジェクトにおける対立問題や補償問題をおこしている原因の一つであると考えられる。そこで、以上述べてきた問題点を解決するためには、複数の評価主体（個人・組織・グループなどで意思を持って行為すると考えられるものの総称）の利害・対立・不公平・不平等をいかに調整しながら計画案の決定をするかといった総合的な評価手法（システム）を確立する必要がある。本研究では、以上のように問題認識を行ないながら、社会の計画評価構造の分析を行ない、非零和協力ゲームとしてモデル同定し、公共交通施設の代替案評価法を提案しようとするものである。さらに、公共交通施設の建設に関連する附帯政策をゲーム論の立場から検討を加える。

2. 従来の研究と問題点

多目的多属性をもつ計画の代替案を評価する場合、何もしないという代替案を含めていくつかの実施可能な代替案群を列挙して、これらを比較する合理的な手法を開発することが必要である。そして、今日までいくつかの手法が開発されてきた。それらを大略述べると以下のようになる。すなわち、(1)計画の実施による便益や費用に着目した費用便益分析法,(2)効用概念を導入し、実用化された多属性効用理論，(3)多数の評価指標を直接，あるいは正規化して統一尺度で評価を行なうファクター・プロフィール法や一致分析法などがある[1)]。また古くからある(4)加重和法，(5)不特定多数の集団を対象として重みを決定しようとする多変量解析法，あるいは数理計画法などがある[1~2)]。しかしこれらの研究や方法は以下のような問題点を持っている。

1) 複数の目的が考慮されてはいるが、同時に多数の異なる評価主体の存在の取り扱いが不十分である。

2) Keeney の多属性効用理論にみられるように、異なる評価者の存在を前提としているが、グループ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、また実用性にも困難な点が多い。

3) 計画に係わるグループがその計画が実施された後に、どのような利益を受けるのか、明示的でない。

4) 現実には、代替案の評価においては関係するいくつかの評価主体が存在し、互いに対立したり、協調したりする。このような状況が代替案決定の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、補償等によって不利益を受けるグループに不公平が生じないように考慮されているが、この補償は計画代替案の評価において如何なる意味を有しているかが明らかでない。

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、厚生経済学で研究されているパレート最適の概念や公平な分配の概念が代替案の評価の中で示されていない。

以上のように、従来の計画案の評価法は極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。これらに対して鈴木光男は Rawls, J. の「寛容の原理」をゲーム論的に解釈し、計画における「仁（nucleous）」の概念を導入し、説明した[3]。すなわち、ゲームに参加する人々が互いに協力することを前提にして、話し合いの責任を持って臨むことにより、協力の成果を互いに配分することができることを明らかにした。本研究は、鈴木の提起した概念に基づき、公共交通施設計画の評価法を非零和n人協力ゲームとして定式化し、その適用性を検討するとともに、計画案の評価実施に関してすでに用いられている概念を統一的に考察する。

3. 計画の背景と前提条件

社会を構成する価値観の異なるグループは、地域にある公共交通施設計画の必要性が生じたとき、何もしないという代替案を含めて、いくつかの代替案を持つことができる。このとき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ちとは別に、計画の実施によってより良い結果（効果）の保障があるならば、賛成してもよいと思うことが多い。自分が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他に、別に効用の分配を受けて互いに納得できる方法があるならば、そのような代替案の実施に協力してもよいと考える。これは、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、本研究で取扱う計画のおかれている背景と前提条件は以下に列挙するとおりである。

1) 地域で必要とする公共交通施設に対して、反対・賛成を含めて異なった評価を行なう複数のグループが存在する。この個々のグループを評価主体または計画の参加者という。

2) 技術的・予算的制約をみたし、かつ環境基準等を満足する実施可能な代替案は、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）に基づいて複数個の評価項目を持っている。評価項目の種類および個数は評価主体間で同一であっても異なっていてもよい。

4) 各評価主体は、すべての代替案に対して自己の持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は本研究の目的ではないので省略するが、Keeney らによって展開されている効用概念を適用する。そして、評価値は実数で与えられ、任意の分割が可能である。

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。そして、この総合評価値を「利得」と呼ぶ。

6) 評価値および利得は、すべての評価者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値（同値）とする。

7) すべての評価者は互いに他の利得について完全な情報を持っているものとする。

8) 計画の評価者は、単に個人的関係として計画に係わるだけでなく、集団として計画に参加することもでき

る。この集団は、計画案の評価に関してある種の前提と合意の下で「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立する。このような「統一行動」ないしは「協同」は、企業合同、生活協同組合等他の面でも多くの例をみることができる。

4) 全評価者または前述の全集団は、互いに自己の主張する代替案に固執して対立(競走)を続け、結果として何も得ることができなくなる(実施代替案が決まらない状態)よりは、得られる利得が少なくなっても実施代替案の決定に合意する方が結果として望ましい場合,「協力」によってその代替案を実施しようとするものとする。このことは、後述するようにパレート最適な代替案集合を増やそうとする努力であり、ゲーム論では解を均衡させるための行為と解釈される。

4. モデルの定式化

定式化に必要な記号や定義を以下に列挙する。

(1)
$$N=\{1,2,\cdots,k,\cdots,n\}$$
評価主体の名称を $1,2,\cdots k,\cdots,n$ と呼び、その集合をNとする。

(2)
$$A=\{a_1,a_2,\cdots,a_j,\cdots,a_m\}$$
代替案はm個あり、個々の代替案の名称はa_jで表わし、その集合をAとする。

(3)
$$\Theta^k=\{\theta_1^k,\theta_2^k,\cdots,\theta_i^k,\cdots,\theta_{l_k}^k\}\quad,(k=1,2,\cdots n)$$
評価主体kはi個の評価項目を持ち,各評価項目はθ_i^kで表わし、その集合をΘ^kとする。

(4)
$$u_{ij}^k=u^k(\theta_i^k,a_j)\quad,(i=1,2,\cdots l_{kj},\ j=1,2,\cdots m,\ k=1,2,\cdots n)$$
評価主体kは$\Theta^k\times A$上で定義された集合関数(実数値関数)$u^k(\theta_i^k,a_j)$をもつ。

(5)
$$U_j^k=\sum_{i=1}^{l_k}\lambda_i^k\cdot u_{ij}^k\quad,(k=1,2,\cdots n,\ j=1,2,\cdots m)$$
評価主体kの代替案a_jに対する総合評価値はu_{ij}^kの線形結合でU_j^kで表わす。ただし,$\Lambda^k=\{\lambda_1^k,\lambda_2^k,\cdots\lambda_{l_k}^k\}$は評価主体$k$が持つ固有の重みベクトルである。($\sum_{i=1}^{l_k}\lambda_i^k=1,\ 0\leq\lambda_i^k\leq1$) 本研究では、重みは評価主体のみに依存し、代替案に独立である。

(6)
$$\delta(A)=\begin{Bmatrix}a_1 & a_2 & \cdots\cdots & a_j & \cdots\cdots & a_m\\ p_1 & p_2 & \cdots\cdots & p_j & \cdots\cdots & p_m\end{Bmatrix},\ \left(\begin{matrix}\sum_{j=1}^{m}p_j=1\\ 0\leq p_j\leq1,\ j=1,2,\cdots,m\end{matrix}\right)$$
確率化代替案。有限個の代替案集合の要素a_jを確率p_jで用いる案を一つの代替案と考える。

(7)
$$X_\delta(N)=\{x_\delta(1),x_\delta(2),\cdots\cdots,x_\delta(n)\}$$
期待利得集合。任意の代替案δの実施により、評価主体kが得られるであろう期待利得を$x_\delta(k)$で表わし、その集合を$X_\delta(N)$とする。

(8) 提携S, 提携値$v(S)$,内部支払

評価主体は、個々に計画案の評価者として参加するよりも、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が、これを「提携」と呼ぶ。提携は評価者集合の部分集合からなり、空集合も含めれば、可能な提携の数は2^n個ある。さて、提携が成立する条件は2つある。(1) 提携Sを構成することにより、ある最低水準の期待利得が保証されること。この保証水準を提携値$v(S)$と呼ぶ。提携値にいかなる値を与えるかはゲーム理論の上では、ゲームのルールを規定することであり,したがって個々の具体的なゲームによって異なる。計画案評価の問題では、評価者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。 (2) 提携内部での相互補償ができること。提携に参加しても、相互補償の合意がなければ誰も提携を構成しようとはしない。後に補償という用語を用いるので、これを内部支払(side payment)と呼ぶ。そして内部支払が提携内での構成員による効用の授受で行なわれるならば,提携値はすべて実数で表現できる。

4.1 提携のペイオフ

さて、計画の参加者の集合がつくる任意の提携をS_rとすると、S_rはNの部分集合のr人が構成する集合である。そして、S_rは集合の族$\mathcal{S}$を構成するが、このうち互いに素な提携の集合を$\mathbb{R}$とし、これに含まれる任意の提携をR_tとする。

$$\mathbb{R}=\{R_t \mid t=1,2,\cdots,l\}, \qquad (1\leq l\leq n)$$

任意の提携R_tのペイオフは、提携R_tの戦略とR_t以外の提携の戦略との組合せによって決定されるから、それをW^{R_t}とすれば、一般に（1）式のようになる。

$$W^{R_t}=W(a^1_{j_1},a^2_{j_2},\cdots,a^t_{j_t},\cdots,a^l_{j_l}), \quad (j_1,j_2,\cdots,j_l=1,2,\cdots,m) \tag{1}$$

代替案は同時に2つ以上実施されないという制約からW^{R_t}はすべての提携が同一の代替案a_{j_t}を選択したときは、その提携R_tに属するメンバーの効用の和で与えられる。すなわち、

$$W^{R_t}=W(a^1_{j_t},a^2_{j_t},\cdots,a^l_{j_t})=\sum_{k\in R_t}U^k(a_{j_t}), \quad (j_t=1,2,\cdots m,\ t=1,2,\cdots l) \tag{2}$$

一方、互いに素な提携が異なる代替案を選択したときは、実施される代替案が決まらず、ペイオフは0となる。

$$W^{R_t}=0 \qquad ,\quad (t=1,2,\cdots,l) \tag{3}$$

このことは、現状（status quo）を基準にペイ、オフを考えることを意味する。

<u>4.2 提携値</u>　　　　これはゲーム理論では、ゲームの特性を決定することから特性関数と呼ばれている。ここで、ペイオフがわかっているとき、提携Sにとっての保証水準とは何を考えるのが合理的であろうか。本来、保証水準は計画の実施によって最低保証されるべき生活水準として定義されよう。本研究で対象とする公共交通計画が単独で地域住民の生活水準を保証するということはない。このようなとき、評価者はその計画案の実施によって最低確保できる期待利得を保証水準として考えるであろう。すなわち、考えているような代替案の場合には、提携Sにとっての最低保証水準の期待利得とは、S以外の評価者が全員で対立する提携$\bar{S}$を構成したとしても、なおかつ保証されている最低水準であるとすることは妥当である。したがって、提携値は次式で定義することができる。

$$\begin{aligned} v(S)&=\max_{p\subset\mathbb{P}}\min_{q\subset\mathbb{Q}}\left[W^S(\delta^S_p,\delta^{\bar{S}}_q)\right]=\max_{p\subset\mathbb{P}}\min_{q\subset\mathbb{Q}}\left[\sum_{i=1}^m\sum_{j=1}^n W^S(a^S_i,a^{\bar{S}}_j)p_i,q_j\right]\\ &=\max_{\mathbb{P}}\min_{\mathbb{Q}}\left[\sum_{i=1}^m\left\{\sum_{k\in S}U^k(a_i)p_i,q_i\right\}\right], \quad \left(\begin{array}{c}0\leq p_i,q_i\leq 1\\ \sum_{i=1}^m p_i=1,\ \sum_{i=1}^m q_i=1\end{array}\right)\end{aligned} \tag{4}$$

この場合、互いに素な2つの提携SとTが提携を構成したときの提携値$v(S\cup T)$と個々の提携値との間には次式が成立する。

$$\left.\begin{array}{l} v(S\cup T)\geq v(S)+v(T)\\ \quad S\cap T=\phi \quad (\text{空集合})\end{array}\right\} \tag{5}$$

(5)式において、常に等号が成立する場合は、提携の有利さが存在しないため、非本質的ゲームと呼ばれ、そうでないときは本質的ゲームと呼ばれている。しかし、理論上有利な提携にみえる場合も、現実には法的規制や、物理的制約，あるいは内部支払いの方法に合意が得られない等の理由により、必ずしも提携が成立するとは限らない。この例については「提携間での調整」において述べる。さて、計画の参加者全員が提携できるとき代替案評価において敵対者がいないので最大の期待利得が得られる。すなわち、次式が成立する。

$$v(N)=v(R_1\cup R_2\cup\cdots\cdots\cup R_l)\geq v(R_1)+v(R_2)+\cdots\cdots+v(R_l) \tag{6}$$

そして，Nに敵対する提携$\bar{N}$は空集合と考え、$\bar{N}$の確率化代替案$\delta^{\bar{N}}_q$は$q=1$とおいて次式を得る。

$$\begin{aligned} v(N)&=\max_{p\subset\mathbb{P}}\min_{q}\left[W^N(\delta^N_p,\delta^{\bar{N}}_q)\right]=\max_{\mathbb{P}}\left[\sum_{j=1}^m\left\{\sum_{k\in N}U^k(a_j)p_j\right\}\right]\\ &=\max_{a_j\in A}\left[\sum_{k\in N}U^k(a_j)\right]=\sum_{k\in N}U^k(a^*)\end{aligned} \tag{7}$$

(7)式は、計画の実施により社会として達成できる最大の期待利得である。a^*は最大の期待利得をもたらす代替案である。ここで、以下の考察に便利なように、特性関数を［0,1］正規化する。

$$V(S)=\frac{v(S)-\sum_{k\in S}v(k)}{v(N)-\sum_{k\in N}v(k)}\;,\quad \left(\begin{array}{c}\text{ただし、非本質的ゲームの場合、}\\ V(S)\overset{def}{=}0\ \text{とする。}\end{array}\right) \tag{8}$$

本質的ゲームでは、(5)式の不等式が成立するので、$V(S)$は以下の条件をみたしている。

$$\left.\begin{array}{l} V(\phi)=0,\quad V(N)=1,\quad V(k)=0\\ V(S\cup T)\geq V(S)+V(T),\ (S\cap T=\phi)\\ V(S)+V(\bar{S})\leq 1\end{array}\right\} \tag{9}$$

(8)式によれば、$V(S)=0$となる提携Sは、提携による有利性がないことを意味する。一方、$V(S)=1$ならば代替案評価ゲームにおける提携の有利性をすべて獲得する提携で、本研究では$S=N$のときのみである。

4.3 提携同士の協力と非協力　互いに素な提携集合において、各提携が代替案選定時に互いに協力なしに独立に行動する場合、各提携が得られる期待利得の集合はどのようになるであろうか。この場合、提携は互いに確率化代替案を独立に戦略としてとることができる。このとき、任意の提携にもたらされる期待利得は、(2)式を拡張して次式のようになる。

$$W^{R_t}(\delta_{p_1}^1,\delta_{p_2}^2,\cdots,\delta_{p_t}^t,\cdots,\delta_{p_\ell}^\ell)=\sum_{j=1}^{m}\Big[\sum_{k\in R_t}U^k(a_j^t)p_j^1p_j^2\cdots p_j^\ell\Big],\ (t=1,2,\cdots\ell) \tag{10}$$
$$\Big(0\leq p_j^t\leq 1,\ \sum_{j=1}^{m}p_j^t=1\Big)$$

いま、Rの中の任意の提携SとTに着目して、W^S-W^T平面上に写像すれば、図-1のようになる。点(a_j^S,a_j^T)に対応する各軸上の値は、提携SとTが同時に代替案a_jを確率1で選択するときに期待されるSとTの期待利得を示す。一般にℓ次元空間内のこのような点は、パレート最適な点であり、非協力の場合は、これを含む斜線部の点の中から1点を選びだすことになる。しかし、提携が互いに協力し合い、同じ確率化代替案を用いるならば図-1の実行可能領域はさらに拡大でき、パレート最適な点を増やすことができる。いま、提携同士がある合意により協力して代替案の選択を行なうとすれば、このとき共同で代替案の組$(a_{j_1}^1,a_{j_2}^2,\cdots,a_{j_\ell}^\ell)$を確率$r_{j_1j_2\cdots j_\ell}$で選ぶ。ただし、$r_{j_1j_2\cdots j_\ell}$は実数で次式をみたす。

$$0\leq r_{j_1j_2\cdots j_\ell}\leq 1\quad ,\ (j_1,j_2,\cdots,j_\ell=1,2,\cdots,m)$$
$$\sum_{j_1=1}^{m}\cdots\sum_{j_\ell=1}^{m}r_{j_1j_2\cdots j_\ell}=1$$

このように共同で用いる確率化代替案を結合混合戦略といい、これを$\delta(A^1,A^2,\cdots,A^\ell)$で表わす。具体的には次式のようになる。

$$\delta(A^1,A^2,\cdots,A^\ell)=\left\{\begin{array}{ccccc}(a_1^1,a_1^2,\cdots a_1^\ell),\cdots, & (a_1^1,a_1^2,\cdots a_1^\ell), & \cdots, & (a_m^1,a_m^2,\cdots a_m^\ell)\\ r_{1\cdots1}\quad ,\cdots, & r_{m1\cdots1} & ,\cdots, & r_{mm\cdots m}\end{array}\right\}$$

結合混合戦略を用いると、任意の提携R_tの期待利得は次式で表わされる。

$$W^{R_t}(\delta)=\sum_{j_t=1}^{m}\Big\{\sum_{k\in R_t}U^k(a_{j_t})\Big\}r_{j_1j_2\cdots j_t} \tag{11}$$

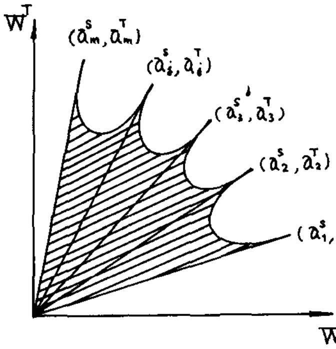

図-1　SとTとが非協力の場合の実行可能領域

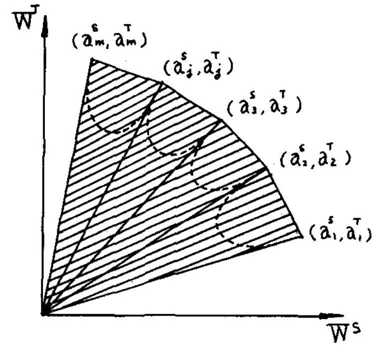

図-2　SとTとが協力の場合の実行可能領域

(11)式はℓ次元空間内の立体を与えるが、これを図－1に対応して任意の提携SとTについて示したのが図－2である。両図を比較して理解されるように、「協力」は代替案選択に関しての実行可能領域を増大させ、パレート最適点を拡大する。したがって、代替案評価ゲームにおける「協力」とは、一定の合意（どの代替案を選定して各提携に対する利得の配合をどうするかというルールについての合意）の下で結合混合戦略を作り出す行為とみることができる。

5. ゲームの解

5.1 協力による代替案の選定

前述したように各提携は協力によって決定された代替案から得られる利得の分配のルールに合意しなければ協力を成立させようとしない。そこで、まず利得の分配のルールを述べる。いま、各評価者がゲームの終了後に最終的に受け取る利得を$x(k)$とすれば、$x(k)$は次の2つの条件を最低満足しなければならない。

$$x(k) \geq v(k) \qquad (k=1,2,\cdots,n) \tag{12}$$

$$\sum_{k \in N} x(k) = v(N) \tag{13}$$

(12)式は個人的合理性の原理，(13)式はパレート最適の条件である。そして、(12)式と(13)式とをみたす利得集合を配分と呼び，次のように正規化すれば、以下の考察に便利である。

$$y(k) = \frac{x(k) - v(k)}{v(N) - \sum_{k \in N} v(k)}, \qquad (k=1,2,\cdots,n) \tag{14}$$

ただし、非本質的ゲームでは次のように定義する。

$$y(k) = 0, \qquad (k=1,2,\cdots,n) \tag{15}$$

このときの配分は以下のようになる。

$$x(k) = v(k) \qquad (k=1,2,\cdots,n) \tag{16}$$

これは、各評価者が自己の利得獲得能力に応じて計画の利得を受け取ることになる。一方，本質的ゲームでは配分は次式をみたす実数であり、このような実数の組は無限に存在する。

$$\left.\begin{array}{ll} 0 \leq y(k) \leq 1 & (k=1,2,\cdots,n) \\ \sum_{k \in N} y(k) = 1 & \end{array}\right\} \tag{17}$$

(17)式の第1式，第2式は、それぞれ(12)式の個人的合理性の原理、パレート最適性の条件に対応する。ここで、(17)式をみたす無限の実数の組から唯一の組を選定するのが、分配のルールである。いま(17)式をみたす任意の配分の組y_1, y_2を考える。このとき、評価者kの配分，$y_1(k)$, $y_2(k)$において次式が成立するとき、配分y_1は配分y_2をkについて支配すると呼ばれる。

$$y_1(k) \geq y_2(k) \tag{18}$$

このような支配関係がすべてのkについて成立することはありえない。なぜならば、y_1もy_2もパレート最適をみたす配分であるからである。よって、配分の支配関係はある個人ないしはある提携の内部についてのみ成立しうる関係である。そこで、ある任意の提携Sに注目したとき，Sとして獲得できる配分$y(S)$を考える。

$$y(S) = \sum_{k \in S} y(k) \tag{19}$$

ところで、提携Sは、提携を構成したときに保証水準$V(S)$を考えている。よって配分$y(S)$が$V(S)$を上まわるとき、その差は提携全体としての剰余と考えることができ、これを$B(S)$で表わすと次式のようになる。

$$B(S) = y(S) - V(S) \tag{20}$$

この剰余は、代替案評価ゲームに参加するすべての互いに素な提携について定義できるために互いに素な提携の集合Rについて考えると以下のようになる。

$$B(R_t) = y(R_t) - V(R_t), \quad y(R_t) = \sum_{k \in R_t} y(k), \quad (t=1,2,\cdots,\ell) \tag{21}$$

本研究では、提携値は(4)式で定義されているので、全提携の剰余の総計は以下の関係をみたしている。

$$\sum_{R_t \in \mathbb{R}} B(R_t) = \sum_{R_t \in \mathbb{R}} y(R_t) - \sum_{R_t \in \mathbb{R}} V(R_t)$$
$$= \sum_{k \in N} y(k) - \sum_{R_t \in \mathbb{R}} V(R_t) = 1 - \sum_{R_t \in \mathbb{R}} V(R_t) \qquad (22)$$

一方、互いに素な提携では、(17)式が常に成立するから次式が成立する。

$$\sum_{R_t \in \mathbb{R}} V(R_t) \leq V(R_1 \cup R_2 \cup \cdots\cdots \cup R_l) = V(N) = 1 \qquad (23)$$

(22)式と(23)式より次式が成立する。

$$\sum_{R_t \in \mathbb{R}} B(R_t) \geq 0 \qquad (24)$$

(24)式は、計画の評価に参加する全提携の剰余の和が非負であることを意味するから(21)式において、次式のようになる配分の存在を意味する。

$$B(R_t) = y(R_t) - V(R_t) \geq 0 \quad , \ (t = 1, 2, \cdots, l) \qquad (25)$$

このような配分をゲーム理論では核(core)と呼んでいる。結局、最適な配分は核の中に存在する。これについては種々の考え方があるが、シュマイドラー(Schmeidler)は、その一つとして仁(nucleous)を定義している。[4] すなわち、ゲームに参加する各種の提携のうちで最大の剰余を得る提携に着し、この剰余を出来る限り小さくすることによって平等を達成しようとする考え方で、以下のように定式化できる。

$$\left.\begin{aligned} &\min_{y} \max_{R_t \in \mathbb{R}} \Big[\sum_{k \in R_t} y(k) - V(R_t)\Big] \\ &\text{s.t.} \\ &\quad 0 \leq y(k) \leq 1 \qquad , (k = 1, 2, \cdots, n) \\ &\quad \sum_{k \in N} y(k) = 1 \\ &\quad V(R_t) \leq \sum_{k \in R_t} y(k) \leq 1 \ , (t = 1, 2, \cdots, l) \end{aligned}\right\} (26)$$

$$\text{または、}\left.\begin{aligned} &\min_{y} \max_{R_t \in \mathbb{R}} \big[y(R_t) - V(R_t)\big] \\ &\text{s.t.} \\ &\quad V(R_t) \leq y(R_t) \leq 1 \\ &\quad \sum_{t \in \mathbb{R}} y(R_t) = 1 \end{aligned}\right\} (27)$$

このような「仁」をみたす解は、提携の集合 $\mathbb{R}$ が与えられれば唯一求まる。しかし提携の構成に関して制約がなく、自由に提携の構成ができる場合は解の唯一性の保証がない。現実には、前述したように提携の構成は、全く自由ということではないので考えられる提携の組は限られてくる。そのために仁をみたす配分も限られてくる。

5.2 提携間での調整　前述した配分は参加するすべての提携が一つの提携を構成し、代替案 a^* を選んだときの利得 $\sum_{k \in N} U^k(a^*) = U(N)$ の提携間への分配であった。このときの仁による各提携への配分を $\{x^*(R_1), x^*(R_2), \cdots, x^*(R_l)\}$ とするとき、一般に $\sum_{k \in R_t} U^k(a^*) = x^*(R_t)$, $(t = 1, 2, \cdots, l)$ は成立しない。つまり、$x^*(R_t)$ は仁による提携 R_t が受け取るべき配分を指定するもので、代替案評価ゲームでは、代替案 a^* の実施によって実際に提携 R_t が手に入れる利得は一般には $x^*(R_t)$ とは異なって、$\sum_{k \in R_t} U^k(a^*)$ である。よって提携への配分 $x^*(R_t)$ との差

$$C(R_t) = x^*(R_t) - \sum_{k \in R_t} U^k(a^*) \ , \qquad (t = 1, 2, \cdots, l) \qquad (28)$$

は提携間で調整されなければならない。$C(R_t) \geq 0$ ならば、利得を他の提携から受け取り、$C(R_t) < 0$ なら他の提携に分与する。$C(R_t) = 0$ の場合は授受に関与しない。(28)式は当然次式をみたす。

$$\sum_{t=1}^{l} C(R_t) = \sum_{t=1}^{l} x^*(R_t) - \sum_{t=1}^{l}\Big(\sum_{k \in R_t} U^k(a^*)\Big) = U(N) - \sum_{k \in N} U^k(a^*) = 0 \qquad (29)$$

すなわち、全提携間の利得の授受の合計は0である。通常、このような利得の調整は「補償金」として金銭で調整されようとするが、提携間で効用関数が異なるためになかなか合意を得ない。このとき金銭だけによらず、効用を考えることにより調整が可能である。いま、提携 R_1 と R_2 の間で上述のような調整が必要とされ、$C(R_1) < 0$, $C(R_2) > 0$ であったとき、

$$|C(R_1)| = C(R_2) \qquad (30)$$

が成立するような属性の組を見い出すことが両者の真の「調整のための談合」である。一例として、プロジェクトの実施に伴う関連事業を行なうことである。たとえば、緩衝緑地帯、防音壁の設置などがある。

5.3 仁による次善解　上述した調整は、提携間同士で満足できる属性の組が見い出せない場合、結果

として不調整に終わることもあり得る。社会全体としては、代替案a^*を実行し調整によって配分を成立させる方法が最良ではあるが、調整が成立しない場合、どのような方法があるのだろうか。ここでは、全提携の提携ではなく、提携間同士の協力による次善の代替案選択の方法を述べる。配分の調整が成立しない場合、仁をみたす配分ではなくて、仁をみたす代替案を協力によって選び出すことができれば、選択後の調整は不必要になる。この場合、ある結合確率化代替案δの選択後に各提携が得られるであろう期待利得を$Z^{R_t}(\delta)$とする。このとき、仁をみたす代替案は、次式で与えられる。

$$\min_{\delta\in\Delta}\max_{R_t\in\mathbb{R}}\left[Z^{R_t}(\delta)-v(R_t)\right] \tag{30}$$

ただし、δの集合をΔとする。

こうして選ばれた代替案δ^*は、各提携に対し(11)式より次の利得をもたらす。

$$W^{R_t}(\delta^*)=\sum_{j_t=1}^{m}\left\{\sum_{k\in R_t}U^k(a_{j_t})\,r^*_{j_1 j_2\cdots j_t}\right\} \tag{31}$$

これは(9)式と比較して社会全体として得られる利得が減少することを意味している。すなわち、

$$W^N(\delta^*)=\sum_{t=1}^{l}W^{R_t}(\delta^*)=\sum_{t=1}^{l}\left[\sum_{j_t=1}^{m}\left\{\sum_{k\in R_t}U^k(a_{j_t})\,r^*_{j_1 j_2\cdots j_t}\right\}\right]$$

$$=\sum_{j_t=1}^{m}\left[\sum_{k\in N}U^k(a_{j_t})\right]r^*_{j_1 j_2\cdots j_t}\leq\sum_{k\in N}U^k(a^*)=v(N) \tag{32}$$

つまり、社会的に得られる利得が最大の代替案a^*を全員の提携で選び出して、利得の調整を行なう方が、より好ましい。しかし、この調整に合意が得られない場合は、全員が提携できなくても、提携間で協力し仁をみたす代替案を選択することが次善の解であることがわかる。

<u>5.4 ε－次善解</u>　仁による次善解は、一般には確率化代替案を選択することになる。しかし、実際の公共プロジェクトは同じものを何度も実施し、確率を意味あるものにできない。このような場合、純粋戦略として非確率化代替案を選定したい。そこで、$\varepsilon>0$という任意の正数を考え(31)式で

$$W^{R_t}(\delta^*)-\varepsilon=W^{R_t}(a)$$

をみたす代替案を選択する。実際には、(30)式で

$$\min_{a_j\in A}\max_{R_t\in R}\left[Z^{R_t}(a_j)-v(R_t)\right] \tag{33}$$

をみたす代替案a_jを選択する。これは、鈴木光男が定義している「寛容の精神に基づく仁」をみたす解である[3]。これをε－次善解と呼ぶ。

6、おわりに

本研究では、公共交通施設計画の実行可能性は、(1)その計画の実施により社会全体が最適化に向かう保証のあること、(2)社会全体としての最適性が個々人の一定の水準の保証の前提でなされていること、の2点より左右されることからこれらを中心にして個々人の競合関係の調整について考察を加えてきた。そして、公共交通施設の建設と附帯政策をゲーム論的に解釈することにより、従来の概念を包括することができた。今後の課題としては実証的研究等を通じて本研究で提案した方法の実用性に検討を加えることである。

7、参考文献

1) 近畿地方建設局：総合評価手法に関する文献・資料，昭和53年

2) 安田三郎：社会統計学，丸善，昭和50年

3) 鈴木光男：計画における仁と責任，週刊東洋経済，近代経済学シリーズ，1973

4) Schmeidler, D.: The nucleolus of a characteristic function game, SIAM, J.April. Math. Vol.17.No.6, 1969