

AHPとコンジョイント分析による公共事業評価

オーガナイザー：木下栄蔵（名城大学）

1. 本セッションの趣旨

木下栄蔵（名城大学）

近年、公共事業に対する批判が高まり、その声は、国民の空気になりつつある。それらは、以下の3点にまとめることができる。

1) 公共事業の執行における透明性の確保、たとえば批判内容は以下のようである。

投資費用に見合った効果が得られていない。

建設コストが高く、重複投資が行われているなど公共投資の効率性が低い。

公共投資の内容がわかりにくく、投資の決定過程が不明確である。

2) 事業実施における国・地方・住民との間での意識共有の確保。

3) 財政的制約の中で、事業選定における合理的説明の確保。

以上、これらの批判は謙虚に受け止めなければならないが、一方で都市部の社会インフラが国際競争力を失っている事も事実である。したがって、公正で有効な社会インフラを整備するためには、新しいパラダイムを確立する必要がある。それは1990年からの失われた10年を総括し、それ以前のパラダイムから新しいパラダイムの創造を意味する。すなわち、一言でいえば、オペレーショナル・マネジメント（選択された道を上手に走る：戦術、結果に力点を置く）から戦略的マネジメント（正しい道を選択する：戦略、意思決定に力点を置く）への変更である。1990年以前の日本は「あれもこれもの時代」であったが、これからの時代（21世紀）は、「これだけはの時代」になるからである。

以上の視点から、社会資本整備に求められる新しいパラダイムは、次の4つであると思われる。

1) 公共事業の計画を代替案の創造という視点から捉え、公共事業の採択を複数の代替案を有する意思決定問題として捉えること。

2) 公共事業の計画を大きくて重要な長期的計画と小さくて細部な短期的計画に分け、長期的計画に

重点を置くこと。

3) 公共事業の投資効果をストック効果（事業効果）とフロー効果（需要効果）に分け、ストック効果を重点的に評価すること。

4) 公共事業の計画において、将来の経済動向、社会動向をはじめ、将来の不確実性を有する評価基準（リスク、ライフサイクルコスト等）に視点を向けること。

以上のパラダイムに従えば、公共事業採択（優先順位）は、意思決定手法により評価される必要性が認められる。また、この際、意思決定手法に求められる必要要件は以下にまとめることができる。

1) 評価プロセスが明確であること。（透明性）

2) 意思決定者（国、自治体、住民等）の意思（人間的な感覚情報）が反映されること。（インタンジブル）

3) 公共事業はある意味で新しいトリレンマ（国・自治体、住民、利用者）を形作る。このように集団の意思決定者を有する環境の下での評価が可能であること。（トリレンマ）

4) 評価構造が明確であり、使い易いこと。（アカウンタビリティ）

5) 行政各機関においてPI（パブリックインボルブメント）の本格導入がなされようとするなど、市民・住民参加を志向する動きは、拡大が続いている。その際、多くの国民・市民から迅速に納得が得られる合理的な合意形成手法が必要とされていること。（合意性）

以上の要件を満たしている評価として、本セッションではAHPとコンジョイント分析を取り上げることとする。

2. AHPの解釈と意味

八巻直一（静岡大学）

（1）はじめに

AHPの効用には、いくつかの側面がある。ひとつは、OR教育において手法事例に採りあげること

より、その簡便さと説得力のために絶大な教育効果が期待できることである。このことは、OR の普及を促進するための大きな力である。また、ともすれば統計的手法に頼りがちな状況評価に対して、直感的な判断や評価を加味することによる納得感は、OR が現場で絶大な信頼性を勝ち得る力である。さらに、現場よりも経営層に対して説得力があることは、OR が経営科学として大きな意味を持つことを知らしめることになる。これらの感覚は著者の AHP の適用経験から、強く感じることである。本稿では、このような AHP の経営科学における位置付けの上に立って、素人向けの説明のための解釈を試みたものである。

(2) 古典的解釈は受け入れられるか

一対比較行列から、各代替案の重要度ベクトルを求める方法として、固有ベクトル法と幾何平均法があることは、よく知られている。まずは、両方法を古典的な解釈に沿って説明をしよう。いま、代替案数を簡単のために4とし、真の重要度ベクトルというものが存在するものとして、それを $w^T = (w_1, w_2, w_3, w_4)$ とする。このとき、全能の神が一対比較を行ったならば、一対比較行列 $X = (x_{ij})$ は以下になるであろう。

$$x_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (1)$$

したがって、

$$\sum_{j=1}^4 x_{ij} w_j = 4w_i, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

が成立するので、 $w^T = (w_1, w_2, w_3, w_4)$ は一対比較行列 X の固有ベクトルとなる。一方、一対比較行列 X の各行の幾何平均を求めると、

$$a_i = \sqrt[4]{\prod_{j=1}^4 x_{ij}} = cw_i, \quad c = \left[\prod_{j=1}^4 w_j \right]^{-1/4} \quad (3)$$

となる。すなわち、神による一対比較行列からは、代替案の重要度がその固有ベクトルまたは行の幾何平均を計算することにより得られることがわかる。そのことから、人間による一対比較行列においても、固有ベクトルまたは行の幾何平均をもって代替案の重要度とせよ、というのが古典的説明である。しかし、一般に、なぜ固有ベクトルや幾何平均でよいの

かは説明されていない。

(3) 誤差モデル

たとえば心で感じる音の大きさ感は、実際のエネルギーの対数に比例するそうである。したがって、心の中にある真の重要度間の比は、重要度の対数の差として認識されると仮定できるだろう。また、人間が一対比較する際には、さらに外乱の影響が偶然誤差として加わると想定するのが、「誤差モデル」である。すなわち、誤差モデル下の一対比較値は、

$$\log x_{ij} = \log w_i - \log w_j + e_{ij}, \quad i < j \quad (4)$$

とあらわされる。ここで、 e_{ij} は白色雑音である。

ここで、 $\sum_{i < j} e_{ij}^2$ を最小とすることにより、重要度

ベクトルを推定すると、得られる重要度は一対比較行列の各行の幾何平均となる。したがって、一対比較行列の各行の幾何平均によって重要度ベクトルを求めることは、誤差モデルを想定していると解釈できる。

(4) 均衡モデル

心の中にある真の重要度は認識ができないもので、かつ人間が一対比較する際には外乱が加わって誤差を生じることはない、と仮定しよう。このとき、重要度ベクトルは一種の心の葛藤によって決定されるものと考えることができる。葛藤をあらわすモデルとして、次のような考察をしよう。

i 番目の重要度 w_i は心の中で次のような意味で十分大きく採りたい、と葛藤する。すなわち、

$$w_i \leq \frac{1}{3} \sum_{j \neq i} x_{ij} w_j \quad (5)$$

ここで、 $x_{ij} w_j$ は、一対比較値の性質より j 番目の重要度から i 番目の重要度を推定するものである。したがって、(5)式は i 番目の重要度が他の重要度から推定された重要度の平均値を上回らない、ということの意味する。(5)式の条件を満たす w_i の最大値は、

$$\lambda w_i = \frac{1}{3} \sum_{j \neq i} x_{ij} w_j, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

の解として与えられる．すなわち均衡解である．
(6)式を変形すれば，

$$(3\lambda + 1)w_i = \sum_{j=1}^4 x_{ij}w_j, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

となる．これは，一対比較行列 X の固有方程式であり，固有値は $\mu = 3\lambda + 1$ である．これより， w_i は一対比較行列 X の固有ベクトルであることがわかる．したがって，一対比較行列の固有ベクトルを重要度ベクトルにするということは，心の葛藤の均衡解として説明される．

また，上の議論は代替案が n 個のときにも同様に成り立つので，整合度 CI は次のように再定義することができる．

$$CI = \frac{\mu - n}{n - 1} = \lambda - 1 \quad (8)$$

(5) おわりに

以上のような AHP の解釈には，別の解釈もあり得るのは当然である．しかし，少なくとも素人向けには非常にわかりやすいものであり，かつ，数学的な根拠もはっきりしているのが，本稿の解釈の優れた点であろう．

3. 「決め方」と公共施策の受容意識

藤井 聡 (東京工業大学)

公共事業とは，不特定多数の人々に影響を及ぼす事業である．それ故，公共事業を巡るいかなる意思決定も，社会的決定 (social decision making)，あるいは，公共選択 (public choice) と言うことができる．社会的決定を下す方式には様々な種類のもが考えられるが，それらは図 1 に示すように整理することができる．まず，社会的決定方式は，唯一の意思決定者が下した決定をそのまま社会的決定として採用するという方式 (以下，中央決定方式と呼称する) と一人一人の多様な意見，選好を集約して社会的決定を行う方式 (以下，民主的決定方式と呼称する) に分類される．

中央決定方式の例としては，費用便益分析や社会的厚生関数に基づく政策決定方式が挙げられる．中央決定方式が社会的に成立するための方法の一つと

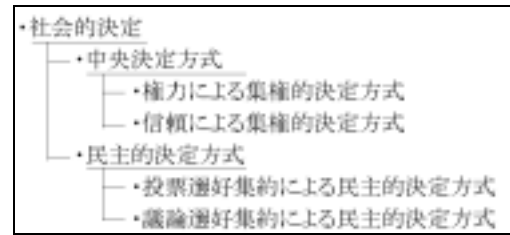


図 1 社会的決定方式の分類

して圧倒的な権力で支配する方法が考えられるが，このような独裁的な方式だけが中央決定方式を成立させるための方法ではない．人々が意思決定者を「信頼」し，その決定を人々が自主的に受け入れることでも，中央決定方式は社会的に成立する．

一方，民主的決定方式には，人々の選好を与件としてそれを集約する投票選好集約の方式と，議論による民主的決定方式がある．住民投票や国民投票は投票選好集約式の方法である．そして，選好が変化することを前提として，議論を重ねることで選好を集約していく，あるいは，“落としどころ”を模索していく方式が議論選好集約式の方法である．この場合の議論は必ずしも一同に会する会議だけではなく，一人一人個別に議論を重ねていく“根回し式”も含まれる．

さて，これらの社会的決定方式の特徴は，厚生経済学や社会心理学を中心と研究されており，次のようなことが一般的に知られている．

決定の質 (つまり，社会的厚生の水準) の観点から，民主的決定方式が，社会内の最も優秀な個人一人の決定を下回る事が多い．この傾向は，決定の質を保つために高度な専門的知識が必要とされる場合において程，より顕著である．

常に単一の決定をもたらす，投票選好集約による民主的決定方式はあり得ない．

議論選好集約のを行った場合，議論後の意見分布は意見の前の意見分布における多数派がより多数派となった分布になる傾向が強い．

以上の 3 点は，民主的決定方式は，1) それが難しい問題であるなら決定の質の観点からは優秀な個人の意思決定を上回るものではなく，2) 投票をしても適切な唯一の答えが得られるのではなく，かつ，3) 議論をしようがしまいがあまり関係がない，と

いう点から、中央決定方式を優越するものではないという事を含意している。土木計画で、費用便益分析等に代表される中央決定方式の政策決定がしばしば採用されてきたのは、この点故である。

しかし、以上は決定の結果の性質を述べたに過ぎない。民主的決定方式が重視するのは、決定の結果ではなく、決定の過程でありその公正さ（すなわち、手続き的公正 procedural fairness）である。もしも、社会的決定が議論、あるいは、投票という手続きを経てなされたものであるならば、人々はその社会的決定が公正な手続きによってなされたものである、と捉えるかも知れない。その結果、人々はその決定に不満を覚えることもなく、受け入れ意識、すなわち、受容意識が向上することとなるかも知れない。ところが、ある社会的決定が下された時、その決定の過程が公正でないと見なされたのなら、人々はその決定に大きな不満を覚えるかも知れない。そしてその結果、仮にその決定が社会を豊かにするものであったとしても、受容意識は低い水準にとどまり、その決定を拒否することとなるかも知れない。

さて、受容意識に支配的影響を及ぼすものが手続き的公正であるのならば、手続き的公正の向上を目指すアプローチを理解することが、受容意識を考える上で重要な問題となる。この点について、3つの主要なアプローチが考えられる。行政手続きへの“参加”の促進、行政への“信頼”の向上、そして、人々の利己心の抑制と公共心の活性化、である。

これら3つのアプローチのうち、参加の促進はPIやPPの諸研究によって、行政への信頼の向上については社会心理学における信頼研究においてそれぞれ研究されている。一方、利己心の抑制／公共心の活性化については、コミュニケーションや教育等いくつかの方法が考えられるが、その一つとして、意思決定のプロセスにおいてAHPの考え方を採用するという方法が提案されている。AHPでは、各選択肢の属性の評価、各属性の相対的重要度の評価、総合評価に基づく選択、といったプロセスを経て意思決定する。このプロセスにおいて、人々はそれぞれの選択肢が公共に対してどのような影響を持ち、その影響はどれほど重要なものなのか、といったことについて思いを巡らすこととなる。そうして思いを

巡らす内に、“どれが損か得か”という利己的な視点から各選択肢を眺める傾向が低減すると共に、“どれが社会にとって有益なのか”という公共的な視点から各選択肢を眺める傾向が増進する。それ故、AHPの考え方を社会的意思決定プロセスに導入することにより、少なくともそのプロセスに参加した人々においては利己心が低減し、公共心が向上するものと期待されるのである。この理論的予測を裏付けるためにシナリオ実験をおこなったところ、AHPに基づく議論を行った「決め方」の方が、多数決（すなわち、投票選好集約）やくじ引き（すなわち、ランダム選好集約）を採用した「決め方」よりも、手続き的に公正であると見なされる傾向が増進すると共に、決定後の満足感も高いことが示された。

このことより、人々の公共心を促進し、手続き的公正感の向上、ならびにそれを通じた受容意識の向上を期待する一つの社会的な技術として、社会的意思決定プロセスの中にAHPで想定される決定プロセスを何らかの形で取り入れていく、というものが考えられる。ただし、全員がその議論に参加することが出来ないことや、議論に参加しなかった人々やはり意思決手続きに不信感を抱くかも知れない、という問題点は常に残されている点には配慮しなければならない。それ故、AHPが想定するプロセスに準拠した「決め方」を設計する上に置いて、上記のような参加の問題、信頼の問題は常に視野に納めておくことが、不可欠であろう。

4. ANP と CSA について

中西昌武（名古屋経済大学）

（１）はじめに

ここでは複数の評価対象グループの相互評価関係を扱えるネットワーク型評価モデルとして、ANP (Analytic Network Process) と CSA : 比較構造分析法 (Comparison Structure Analysis) を取り上げ、ネットワーク評価の考え方について考察する。

（２）AHP, ANP における評価合成の問題

個々の評価対象を「インスタンス」、また“評価基準”“代替案”など比較評価されるインスタンス

の集合を「評価要因クラス」と呼ぶことにする。

図-1 のように複数の評価基準クラスからなる「階層的なネットワーク構造」をもつ AHP を考える。回路のない評価構造は AHP で扱える。このときは、評価基準クラスの上に評価基準クラス自体を評価するクラス F （以下「評価配分クラス」と呼ぶ）を設定し、総合目的 G_1 に照らして評価基準クラスの重要度の“配分（分け前）” $f = [f_k]$ を決定し、各評価基準クラスの代替案評価（分け前の分け前）を合成する比率に f を適用するのが AHP の伝統的方法である。アクター分析や定性・定量要因比較分析への適用が典型である。

AHP を一般的なネットワーク構造へと拡張した ANP では、上のような評価配分の考え方をそのまま継承して適用している。そのようなわけで AHP, ANP の構造図はいわば分け前の流通経路となっている。

だが、“合成元に対する評価配分”とは独立の観点で評価合成を行おうとする場合、評価配分の考えに基づく手法は使えない。例えば、評価基準クラス A, C がともに代替案クラス B, D を評価している図-2 のネットワーク構造では、評価配分クラス F は、評価基準クラスを介して代替案クラスと結合しているため、 B, D それぞれについて別の合成比率を与えることができない。

この問題は、AHP の評価配分を思想を継承した ANP にもあてはまる。この問題を解決するためには、評価基準クラスの上位階層ではなく“評価結果の合

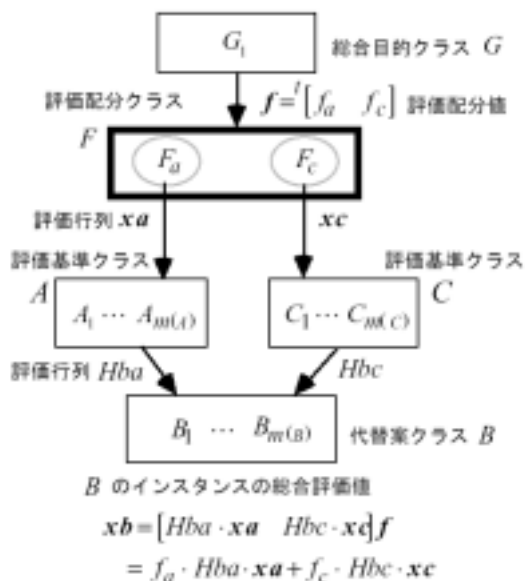


図-1 複数の評価基準クラスによる代替案評価合成

成操作自体の上位階層（メタレベル）”に「評価合成クラス」を設定し、合成局面ごとに評価目的に照らして代替案評価の合成比率を決定して評価値の合成をすればよい（図-3）。

CSA(比較構造分析法)は、この手法をより一般的な評価ネットワークへと拡張した評価合成モデルである。

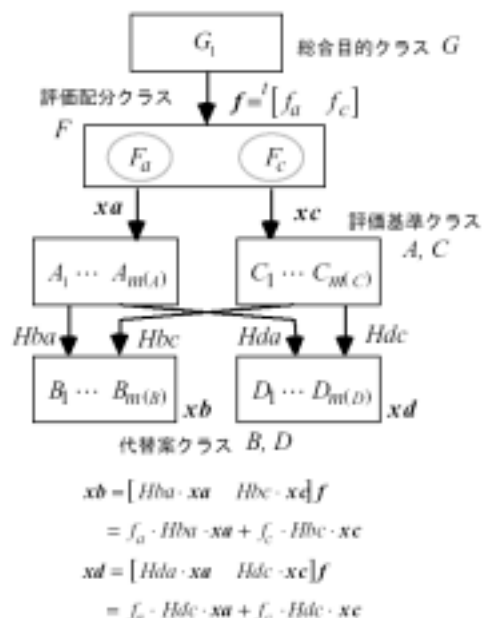


図-2 評価配分クラスによる複数の代替案評価合成

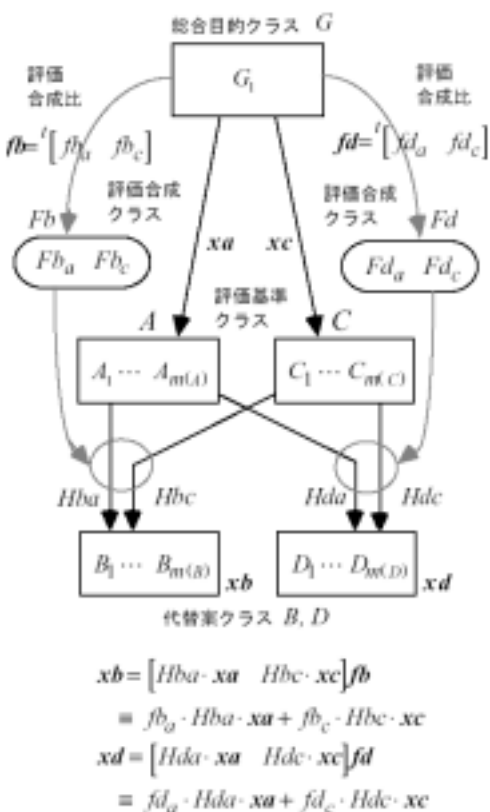


図-3 評価合成クラスによる代替案評価合成

(3) CSA のデータモデル

図-4 のようなネットワーク型評価モデルを考える．任意の評価要因クラス Z_r の各インスタンス Zr_i の評価値を $xr = [(xr)_i]$ とする．あるクラス Z_t のインスタンス Zt_j の評価値ベクトル xt は他の評価要因クラスからの評価結果の ft_r による加重合成値として求められ，

$xt = \sum_{r=1}^v (ft_r \cdot \tilde{Htr} \cdot xr)$ となる．これはすべての $xt(t=1,2,\dots,v)$ について言えるから，その連立方程式を解くと，解は非負超行列 $\tilde{S}$ を

$$\tilde{S} = \begin{bmatrix} f1_1 \cdot \tilde{H11}, \dots, f1_r \cdot \tilde{H1r}, \dots, f1_t \cdot \tilde{H1t}, \dots, f1_v \cdot \tilde{H1v} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f1_1 \cdot \tilde{Hr1}, \dots, f1_r \cdot \tilde{Hrr}, \dots, f1_t \cdot \tilde{Hrt}, \dots, f1_v \cdot \tilde{Hrv} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f1_1 \cdot \tilde{Ht1}, \dots, f1_r \cdot \tilde{Htr}, \dots, f1_t \cdot \tilde{Htt}, \dots, f1_v \cdot \tilde{Htv} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f1_1 \cdot \tilde{Hv1}, \dots, f1_r \cdot \tilde{Hvr}, \dots, f1_t \cdot \tilde{Hvt}, \dots, f1_v \cdot \tilde{Hvv} \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} x1 & \dots & xr & \dots & xt & \dots & xv \end{bmatrix}$$

とする（ただし超行列の横の部分行列のうち少なくとも一つが非負列和 1 行列である）とき， $\tilde{S}X = X$ の基本方程式をみたす $\tilde{S}$ の主固有ベクトル値をクラスごとに正規化した非負値として求めることができる．

図-3 のネットワーク型評価問題は以下の基本方程式で解くことが出来る．

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ xa & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & fb_a \cdot Hba & 0 & fb_c \cdot Hbc & 0 \\ xc & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & fd_a \cdot Hda & 0 & fd_c \cdot Hdc & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ xa \\ xb \\ xc \\ xd \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ xa \\ xb \\ xc \\ xd \end{bmatrix}$$

CSA の構成サブシステム

非負列和 1 行列であればどの評価行列も CSA 超行列の部分行列として組み込み可能である．(a)AHP やループ型評価などの一方通行型評価，(b)ANP の成分ともなる外部相互評価，(c)支配型 AHP，(d)支配型一斉法，(e)内部相互評価ほかが可能である．

CSA 超行列および ANP 超行列の違い

(1)ANP も CSA も部分行列は非負列和 1 行列．

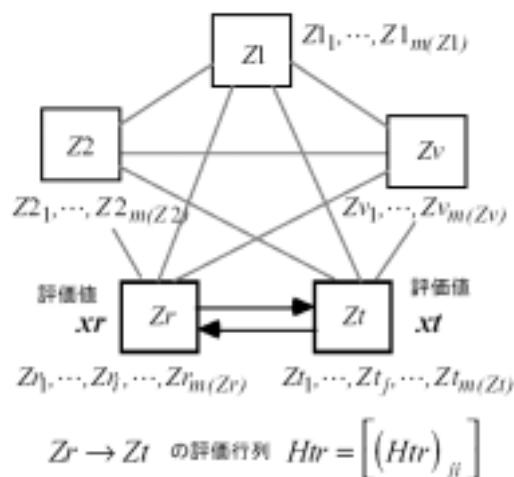


図-4 評価要因クラス間のネットワーク構造

- (2)CSA 超行列の部分行列の＜横＞の合成比率の和は 1 である（ANP では縦の和が 1）．
- (3)合成元のクラスの大きさとは独立に合成比率を決定できる．（ANP では合成元に付与されたクラス配分の大きさがそのまま合成比率）．
- (4)ANP は＜評価の配分＞に関心を持つ．CSA は＜評価の合成＞に主たる関心を持つ．

5．AHPを用いた新型高速貨物船分担率の推定

高野伸栄（北海道大学）

(1) はじめに

これまで，貨物輸送分担モデルは，マクロ的なモデルは構築され，実用に供されているものの，種々の問題のため新型貨物船の分担を明らかにするようなモデル構築は難しかった．本研究はAHPを用いて実データが存在しない詳細な要因を取り込んだモデルを構築し，新型高速貨物船の分担率を求めようとするものである．

(2) 貨物輸送分担モデルに係わる問題点とモデル構築の基本方針

本研究における貨物輸送モデルに係わる問題点として，1)従来モデルでは重要な説明要因である「輸送距離」の採用が不可能，2)対象がこれまで使われていない新型貨物船のため，現状のデータを用いることが極めて困難，3)特性に近いフェリーや鉄道との分担関係を分析するためには，「所要時間」，

「料金」のみならず，「輸送ロットの融通性」，「ダイヤの利便性」等の使い勝手に係わる要因をモデルに取り込むことが必要，ということが考えられる．そこで，本研究においては定量化が困難な要因をも取り込むため，AHP を適用することとし，AHP の階層図に従い，荷主，運送事業者に対して行った調査データをもとに，交通機関の総合評価点を算出し，この評価点と分担率の関係からロジット曲線を得て，これをもとに新型貨物船分担率の推定を行う．

(3) 分担率モデル構築プロセス

分担率モデルの構築は以下のプロセスからなる．

- 1) 階層図作成，一対比較データ取得のため関係機関のヒヤリング
- 2) 階層図作成，一対比較行列作成
- 3) 評価基準ウエイト算出
- 4) 交通機関評価点算出
- 5) 総合評価点算出
- 6) 総合評価点 - 分担率ロジットモデル構築

階層図はヒヤリング調査を踏まえ，評価基準は「コスト」，「高速性」，「輸送ロットの融通性」，「運行ダイヤの利便性」，「一貫輸送」とする．このうち「コスト」については，他の評価基準と独立ではなく，従属性が高いことを考慮して，一つ下のレベルに配置する．具体的には，他の4つの評価基準をもとに算出した評価点を各品目の「単位重量当たりコスト」で除し，輸送コスト1円当たりの評価点を総合評価点とする．



図1 階層図

(4) 貨物輸送機関分担モデルの構築

AHP の結果から算出した総合評価点と輸送機関分担率に基づきロジット回帰を行い，得られたものが式1である．その結果，相関係数 0.73 となっており，おおむね満足できる説明力となっている．

$$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(f(x))}, \quad f(x) = -37.74x + 15.37$$

$P(x)$: 輸送機関分担率， x : 交通機関総合評価点

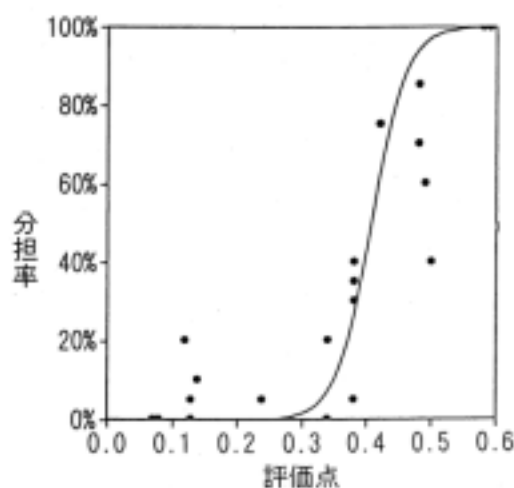


図2 総合評価点 - 輸送機関分担率

6. コンジョイント分析における曖昧な回答の処理法

上田 徹 (成蹊大学)

(1) はじめに

コンジョイント分析では選好順位と効用関数の値の間に単調関係が成立するように効用関数のパラメタを調整する．しかし，単調関係が容易に見いだせないような，あいまいな回答も存在する．そのような場合には単調関係のずれを評価する尺度を設け一定の範囲に収まっていれば許容するという立場と，パラメタ数を増やすことで単調関係を満たそうとする立場とがある．ここでは，後者の立場に立ち，パラメタ自身があいまいさを持つとしてパラメタをファジィ数とする方法を，表1に示す CATV サービスに適用し，その有効性について検討する．

(2) 分析法の概要

N 個の属性は質的変数 (属性 j は n_j 個のカテゴリを持つ) で， M 個の属性は量的変数で表現される

表1 CATV サービスの属性

	VOD	TOD	音楽通販	料金
A	○	○	○	¥7,800
B	○	○	×	¥6,700
C	○	×	○	¥6,000
D	×	○	○	¥6,000
E	○	×	×	¥5,000
F	×	○	×	¥5,000
G	×	×	○	¥4,300
H	×	×	×	¥3,000

場合を考える．選択対象 i の全体効用は

$$U_i = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{n_j} a_{jk} \delta_{jk}(i) + \sum_{h=1}^M b_h x_h(i) \quad (1)$$

で与えられるものとする．部分効用は

$$1 \leq j \leq N \text{ では } u_{ij} = \sum_{k=1}^{n_j} a_{jk} \delta_{jk}(i) \quad (2)$$

$$M+1 \leq j \leq M+M \text{ では } u_{ij} = b_{j-N} x_{j-N}(i) \quad (3)$$

である．ただし，

$$\delta_{jk}(i) = 1 : \text{対象 } i \text{ は属性 } j \text{ の分類 } k \text{ に属する}$$

$$0 : \text{その他}$$

$$x_h(i) : \text{対象 } i \text{ の属性 } h \text{ の値}$$

である．部分効用を求めることはパラメタ $\gamma = (a_{11}, a_{12}, \dots, b_1, \dots, b_M)$ を求めることである．

対象 i が選好順位の順に並べられているとすると，全体効用に関しては $U_i > U_h$ ($i < h$) であってほしい．ここでは， U_i と U_h の順位が逆転しているとき，それはパラメタ γ のあいまいさに起因していると考えられる．すなわち， a_{jk} ， b_h は確定値（通常数）ではなく，下限値を $(\alpha_{jk} - c_{jk})$ ，上限値を $(\alpha_{jk} + d_{jk})$ ，モードを α_{jk} とする三角型ファジィ数 $(\alpha_{jk} - c_{jk}, \alpha_{jk}, \alpha_{jk} + d_{jk})$ であると考えられる．このとき，隣り合う対象の効用差 $V_i = U_i - U_{i+1}$ も TF 数 (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}) で与えられる． $V_i > 0$ を，ファジィ数の場合にどのように捉えるかが問題である．様々な定式化が考えられるが，ここでは以下のような線形計画問題に定式化した．

[目的関数]

$$p - \sum_{i=1}^{n-1} s_i - \sum_{j=1}^m (c_j + d_j) \text{ の最大化} \quad (4)$$

[制約]

$$v_{i1} - s_i = p ; s_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (5)$$

$$R(\tilde{U}_1, 0) = 1 ; R(\tilde{U}_n, 0) = 0 \quad (6)$$

$$\alpha_{jk}, c_{jk}, d_{jk} \geq 0, \quad \alpha_j \geq c_j \quad (7)$$

ただし， $\tilde{U}_i$ は U_i のファジィ数表現であり， $R(\tilde{U}_i, 0)$ はファジィ数 $\tilde{U}_i$ の代表通常数（0 に関する removal）であり，TF 数 $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ の代表通常数は $(a_1 + 2a_2 + a_3)/4$ である．

表1に示したサービスの場合には定性的に最悪だと言えるサービスはない．そこで式(6)を満たすために，表1のサービスでは定数項 e を追加し，

$$U_i = e + \sum_{j=1}^m a_j x_j(i) \quad (8)$$

$$R(\tilde{U}_i, 0) = e + \sum_{j=1}^4 (4\alpha_j - c_j + d_j) x_j(i) / 4 \quad (9)$$

とした．ここで， $j = 1, 2, 3$ に対して

$$x_j(i) = 1 : \text{サービス } i \text{ が第 } j \text{ 属性を持つとき}$$

$$0 : \text{その他}$$

$$x_4(i) = -1.047 \log_e \text{price}(i) + 9.379 \quad (10)$$

$$\text{price}(i) : \text{サービス } i \text{ の月額基本料}$$

である．

(3) MONANOVA との比較

回答数 160 のうち 69 件については回答がほぼ再現された．残り 91 件（同一回答を除くと 78 件）のうち 34 件で節2で述べた方法(F法)が有効であった．

表2 得られた順位の比較

	回答 1			回答 2			回答 10		
	An	M	F	An	M	F	An	M	F
A	3	2	1	7	8	7	3	2	2
B	4	4	1	5	5	5	6	6	6
C	1	1	1	6	6	6	4	3	2
D	6	7	5	8	7	8	7	7	7
E	2	3	1	2	2	2	2	4	2
F	8	8	5	4	4	4	8	8	7
G	5	5	5	3	3	3	5	5	5
H	7	6	5	1	1	1	1	1	1

An : 回答, M: MONANOVA, F: F法

表2に上記34件についての代表的な結果の相違を示す．回答1ではMONANOVAの場合，2位と3位，6位と7位が逆転しているのに対し，F法（本論文の方法）の場合には同順位を許して順序逆転が起きないようにしている．回答2ではF法は順位を再現している．回答10では2位，3位，4位で逆転しているのに対し，F法の場合には同順位を許して順序逆転が起きないようにしているが，7位と8位も同順位になってしまった．

（4）パラメタの追加

式(8)の効用関数で説明しきれなかったものに対してパラメタを増やして解決を図ることにする．たとえばサービスAは料金以外すべてよい属性を備えているという他のサービスにない特徴を備えている．他のサービスについてもそのサービスであるがゆえの利点を持っているかもしれない．また，相乗効果や複数のサービスを特に持ち上げることなども考えられる．ここでは次のようなパラメタの追加を試みた．

$$U_i = e + \sum_{j=1}^4 a_j x_j(i) + \xi_1 p_k \delta_k(i) + \xi_2 q_h \delta_h(i) + \xi_3 s_m \delta_m(i) x_4(i) \quad (11)$$

$$k, h, m \in \{A, B, \dots, H\} \wedge k \neq h \quad (12)$$

$$\xi_1, \xi_2, \xi_3 \in \{0, 1\} \wedge \xi_1 \neq \xi_3 \wedge \xi_1 \geq \xi_2 \quad (13)$$

$$p_k, q_h, s_m \geq 0 \quad (14)$$

（5）結果と考察

式(11)と，式(10)の変更（2回答だけはそれでも良い結果が得られなかったので表3に示すように価格の関数形を変更した）とによりすべての回答に対応する効用関数が求められた．しかし，このようにパラメタを追加すると，回答全体としての意見の集約には注意しなければならない．式(14)の制約により式(8)の a_j よりは式(11)の a_j の方が小さめに出ると考えられるので， a_j を単純にすべての回答について加算したものを属性 j の重視度と考えてよいと思っている．

式(4)～(7)は1案であり，様々な代替案がある．目的関数では v_{i1} の最小値 p はなるべく小さくしつつ i に関する差 s_i は小さくすることをねらったが，

p をやめて s_i の最大化にすることや v_{i1} ではなくリムーバルの差を使うことなどが考えられる．制約ではリムーバルの差の上限値，下限値を持ち込むことが考えられる．また，式(6)には様々な線形変換が有り得る．

表3 式(11)による成功数

ξ_i の値あるいは特徴	成功数
$\xi_1=1, \xi_2=\xi_3=0$	35
$\xi_1=\xi_2=1, \xi_3=0$	4
$\xi_1=\xi_2=0, \xi_3=1$	3
$x_4(i)=-\text{price}(i)^{0.5}$	2

7．コンジョイント分析によるビオトープの社会的便益評価

那須 守・横田樹広（清水建設）
板岡健之・齋藤 文・藤井 崇（富士総研）
大野栄治（名城大学）

（1）背景・目的

近年，都市域に自然を再生する環境創造の目的でビオトープを整備する事業が増えている．その際，複数の属性を組み合わせた代替案について便益を評価し最適な案を選ぶことが必要になってきている．しかし，都市に創出する自然について多属性の価値について分析した研究事例は少なく，その手法は確立されていない．本研究では，選択型コンジョイントに注目し，ビオトープについて複数属性を組み合わせた社会的便益を分析することを目的とする．

（2）評価の対象とするビオトープの価値

本研究ではビオトープを特徴づける表-1の価値を対象とする．これらには，相当する市場データの無い非利用価値が含まれるため，表明選好法による評価が求められる．また倫理的満足の影響を少なくするため，私的財として評価する．

（3）調査方法

本調査の概要を表-2に示す．調査では，始めにビオトープの要素（属性）について選好を問う形式で内容を理解させ，その後支払い意志額（WTP）を推

定するための選択型コンジョイント（選択実験）を実施した．調査内容の伝達ミス等を回避するため，フォーカスグループ（FG）を4回，プリテストを1回実施し調査票を改善した．

(a) シナリオ

本選択実験におけるシナリオを次に示す．
周囲に自然の乏しい地域に転居する．
回答者は2種類の「ビオトープが近くにある賃貸住宅」と「ない賃貸住宅」の3つから1つを選択する．
社会的便益は，ビオトープが近くにあることによって転居先の家賃が上昇してもよい額（WTP）によって評価される．

(b) 調査属性の設定とプロフィールの作成

表-1の価値を発生させる，生物や人に対する効果をもとに，表-3に示す調査属性と水準を定めた．その際，FGやプレテストによる反応，及び評価上の重要性を考慮した．

結果として12の属性を設定した．調査属性が多いため，回答が難しくならないようにコンジョイント質問を基礎部分とその他設備の2つに分割した．

プロフィールは直交計画法によって作成した組み合わせから，非現実的なものを除き作成した．

（４）社会的便益の推定

(a) WTP推定モデル

全体効用にランダム効用モデルを想定し，条件付ロジットによって部分価値を推定する．

ここで，効用の確定項 V は線形関数を仮定する．

$$V(\chi, p) = \sum \beta_k \cdot \chi_k + \beta_p p$$

但し， β ：推定されるパラメータ， χ_k ：属性 k の変数， p ：価格（家賃上昇額）．

属性の推定されるパラメータ β_k について，計178のモデルを調査データに試行した結果から，緑の空間属性は面積と距離の関数，水辺属性は距離の関数とすることが適当であると分った．面積について自然対数で効用が増加する関数，距離について指数関数で効用が減衰する関数を採用した．生物多様性はどちらにも関係しなかった．

結局，限界WTPは次式で推定できる．

$$\text{属性}k\text{に関する限界WTP} = - \beta_k / \beta_p$$

表-1 評価の対象とするビオトープの価値

非利用価値(存在価値) : 生物に対する効果	
生物が安全に生息できる環境を提供	
多様な生物が共存できる環境をつくり，地域生態系の保全・回復に貢献	
希少な生物や，その土地に古くから残る自然環境を保全	
利用価値(間接利用価値) : 人に対する効果	
周辺の景観を向上させ，安らぎを提供	
自然との関わりを通じた環境学習や子供の自然体験の場を提供	
土や緑に触れたり植物を育てたりすることにより癒しや感動の場を創出	
維持管理活動などへの参加を通じ，地域の人々の交流・協力の機会を提供	

表-2 調査概要

調査時期	2002年11月29日～12月16日
調査内容	ビオトープの効果・役割についての説明 ビオトープの要素(属性)についての説明，それぞれに対する嗜好を質問 無しを含む3タイプのビオトーププロフィールから択一(コンジョイント質問)， WTPは家賃上昇額(円/月/世帯) 個人属性(子供との同居，周辺の自然環境，年収，環境意識他)
調査対象	東京都，横浜市，川崎市，さいたま市，千葉市に居住する20歳以上の男女
調査方法	郵送法
回収率	63%(有効回答数377票)

表-3 調査する属性と水準

属性		水準(選択肢)			
基礎部分	入場	できる	できない	・	・
	家からの距離(m)	10(隣接)	240	800	1,600
	面積(m ²)	200	1,000	5,000	20,000
	緑 緑の空間1	芝生・植栽木	草地等	広葉樹林	常緑林
	緑 緑の空間2	芝生・植栽木	草地等	広葉樹林	常緑林
	その土地の古くからの緑の継承	ない	ある	・	・
	水辺	ない	ある	・	・
	生物 生物の多様性	低	中	高	・
	シンボルとなる生き物	いない	いる	・	・
	その他設備	ない	人がいる	自分で学習	・
その他設備	子供の自然体験のための設備	ない	ある	・	・
	園芸観賞のための設備	ない	ある	・	・
	地域交流のための仕組み	ない	クラブ	イベント	・
	月々の家賃の増加額(WTP)(円)	1,000	2,000	4,000	8,000

(b) ケーススタディ

横浜市内に現存し表-4 の水準を持つ約 20,000 m² のビオトープについて1世帯，1ヶ月あたりのWTP（基礎部分）を推定した結果を図-1に示す．係数の危険率（表-4）が10%を超える属性は，推定不可能なため推定値を0とした．また表-3に示す全24水準（12属性）については，75%に相当する18水準が推定できた．

図-1に示すWTPはビオトープから遠ざかるに従って14～6千円と減少する．ビオトープ近傍では負の部分効用がみられる．WTPの内訳では緑の空間の割合が高く，広葉樹林の部分効用が全体の50%を占め，雑木林が好ましく評価されている．

ビオトープ近傍における負の部分効用の発生は，

FG の結果と整合し、要因として虫に対する嫌悪、鳥の糞害、治安の問題などがあげられる。

生物多様性において、中水準の場合は危険率が2%となり推定可能であるが、低水準や本件のような高水準の場合は危険率が10%を超え推定不可能となる。生物多様性が高いほど環境を重視する人は好ましいと評価するが、一方で利用上精神的に受容できない人もいる。これはFGでも確認されており、高水準の生物多様性に対する回答者の価値判断が一貫しない要因となる。

地区への社会的便益を算定した結果が表-4の評価額である。1.6km 以内の周辺領域を対象とした。人の利用を主目的としたその他設備の部分効用が相対的に高く、それらを加算すると全体の45%になる。特に子供の自然体験のための設備が高く雑木林に匹敵する。子供が自然に触れる機会の減少を危惧している社会状況を反映していると推察される。

参考として10年あたりの社会的便益（割引率4%）を地価と比較すると、約10倍に相当する。

（5）まとめ

本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。多属性を持つビオトープの価値について、10属性、18水準について社会的便益を推定できた。ビオトープの持つマイナス効果によって、負の部分効用、生物多様性に関する一貫性のない価値判断が生じる。

評価結果について、基礎部分のWTPの中では雑木林の評価が高い。設備の部分効用が相対的に高く、子供の自然体験の施設について顕著である。

今後は、評価の説明性、実務的適用方法、残された属性水準の推定について検討を進める予定である。

8．CVM 調査とコンジョイント分析

大野栄治（名城大学）

（1）はじめに

CVM は、環境変化に伴う人々の支払意思額あるいは受取補償額を直接質問することによって、環境変化の貨幣評価を行おうとする手法である。この手法は、アンケート調査によって被験者へ環境変化に対する金額を質問するため、どのような環境変化についても貨幣評価できるという長所をもつが、その反面、CVM には「聞き方によって結果が異なる」という意味のさまざまなバイアス問題が指摘されている。この問題はCVMの信頼性を低下させており、これまでのCVM研究ではその解明および解決に多くの力が注がれてきた。本研究では、特にスコープ無反応性の問題解決を目指し、CVM 調査とコンジョイント分析とを組み合わせた新たな分析方法を提案する。

さて、スコープ無反応性とは、評価対象の内容が大きく変化したにもかかわらず、評価値が有意に変わらないことを指す。例えば、ある環境財を保全するための費用をどのように負担するかという問題に対応する場合、その環境財の価値を利用価値、随意価値、遺贈価値、代位価値および存在価値の5種類に分けて評価すれば、利用料による負担（利用価値に対応）、税金による負担（非利用価値に対応）などを合理的に組み合わせることができる。しかし、

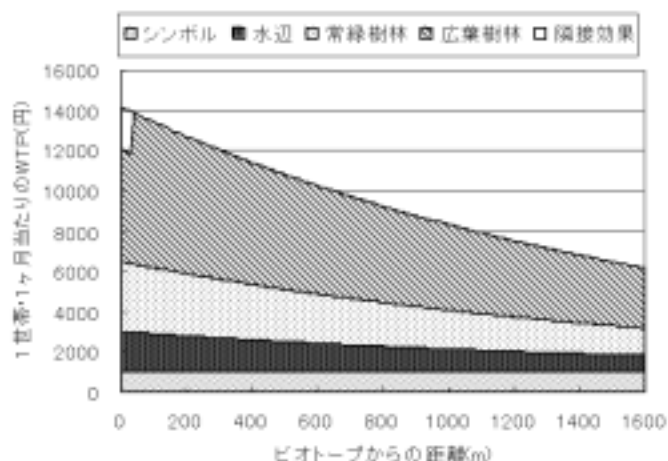


図-1 ビオトープの基礎部分のWTP

表-4 ビオトープの社会的便益評価結果

属性	水準	評価額 (百万円)	危険率
面積	約20,000㎡	—	—
入場の可否	誰でも入場可	—	—
隣接による効果		-0.147	0.013
緑の空間1 (構成割合)	雑木林のような広葉樹の林 (50%)	136	0.000
緑の空間2 (構成割合)	社寺林のような常緑の林 (50%)	61.6	0.015
古くからの緑の継承	無	—	—
水辺の有無	有	34.8	0.074
生物多様性	高	0	0.271
シンボルとなる生き物	有	32.9	0.022
環境学習のための設備	教えてくれる人がいる	74.5	0.028
子供の自然体験のための設備	有 (体験田んぼなど)	146	0.000
園芸観賞のための設備	無	—	—
地域交流のための仕組み	維持管理クラブへの参加を通じて交流 イベントを通じて交流できる	0 0	0.515 0.766
1ヶ月あたりの社会的便益		486	
10年あたりの社会的便益		47,300	
参考: ビオトープの土地価格		4,940	

全価値を一括で評価した場合の WTP と各価値を個別に評価した場合の WTP との間に、理論的整合性が全く保証されないという問題が起こる。これに対し、本研究は CVM 調査とコンジョイント分析とを組み合わせる評価手法を提案し、全価値の評価と各価値の評価を整合的に行おうとするものである。

本研究では、沿岸域の重油汚染対策に対する地域間の費用負担問題を扱えるような新たな環境経済評価モデルとして、沿岸環境に対して認識する価値が海岸からの距離に応じて変化するという仮定の下で評価モデルを提案する。

(2) 沿岸環境価値の評価モデル

まず、個人の効用関数を以下のモデルで定義する。ここで、本モデルは環境価値を 5 つに分けた上で距離変数を導入したものである。

$$V = \left(\sum_{k=1}^5 (\alpha_k + \beta_k q^2) x_k \right) z + \gamma \cdot p \quad (1)$$

ただし、 V ：沿岸域の環境政策に対する家計の部分効用、 z ：環境災害防御策ダミー（防御策あり=1、防御策なし=0）、 x_k ： k 番目の環境価値に対する認識度（非常に感じる=1.0、かなり感じる=0.75、普通に感じる=0.5、少し感じる=0.25、全く感じない=0.0）、 q ：海岸からの距離 [km]、 p ：負担金 [円]、 α, β, γ ：未知のパラメータ。

次に、式(1)より、各環境価値に対する満足度を実現するような沿岸域管理に対する家計の限界支払意思額が式(2)で与えられる。さらに、沿岸域管理によって守られる k 番目の環境価値 M_k は式(3)で与えられる。

$$\frac{dp}{dz} = - \sum_{k=1}^5 \frac{(\alpha_k + \beta_k q^2) x_k}{\gamma} \quad (2)$$

$$M_k = - \frac{(\alpha_k + \beta_k q^2) x_k}{\gamma} \quad (3)$$

(3) 評価モデルの推定

本研究の分析に必要なデータを得るために、全国の男女を対象にして CVM 調査「日本の沿岸域における環境災害に関するアンケート」を実施した。インターネット利用による本調査を実施

し、調査開始から 24 時間 47 分の間に 1,106 件を得た。そのうち、評価モデルの推定に用いた有効回答は 894 件であった。

ここで、評価モデルの推定に際し、CVM 調査において提示したシナリオを表 1 のように読み替えた。すなわち、環境災害防御策を導入するための負担金に対して「賛成（あるいは反対）」と回答した場合には、表 1 のシナリオにおいて「政策 A（あるいは政策 B）」を選択したものと読み替えた。そして、コンジョイント分析により評価モデルを推定した。

表 1 シナリオの読み替え

政策 A	政策 B
環境災害防御策あり ・沿岸環境に対して認識する価値を享受できる ・費用負担あり	環境災害防御策なし ・沿岸環境に対して認識する価値が全て損なわれる ・費用負担なし

(4) 評価結果

本モデルの推定結果に基づく価値種類別の評価結果は図 1 に示すとおりである。図 1 より、随意価値・代位価値が距離に応じて逕増し、利用価値・遺贈価値・存在価値は逕減することがわかる。

しかし、本モデルでは海岸から約 60km 以遠で負の環境価値が生じ、その解釈が困難となる。これについては、負値を生じないような効用関数の設定によって解決できると考えられるため、さらに関数形を検討する必要がある。

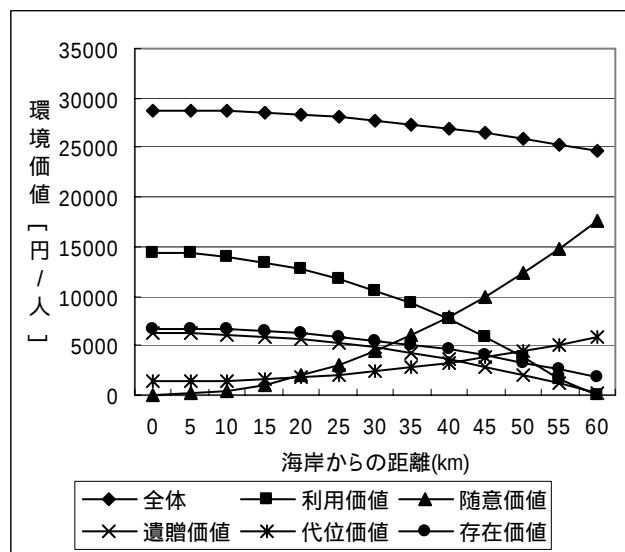


図 1 WTP と距離との関係