

複数要素の相乗効果を考慮した環境保全の経済評価

大野栄治¹・山田淳大²・大洞久佳³

¹正会員 博(工) 名城大学教授 都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘 4-3-3)

E-mail:ohno@urban.meijo-u.ac.jp

²学生会員 名城大学大学院都市情報学研究科修士課程 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘 4-3-3)

³正会員 博(都市情報) トヨタ自動車株式会社 環境部 (〒471-8571 愛知県豊田市トヨタ町1 番地)

本研究では、コンジョイント分析の枠組みで単独効果と相乗効果を明示的に扱える評価モデルを提案した。連続立体交差事業による環境保全の経済評価への適用を通じて、本モデルと複数の環境要素に対する相乗効果を考慮しない従来型の評価モデルとの比較から、評価結果の違いを検討した。その結果、負の相乗効果が存在するという現実に対して、相乗効果の存在を無視した評価モデルによる単独要素の評価結果は過小評価になる一方で、複数要素の評価結果は過大評価になることが示された。

Key Words: *conjoint analysis, economic valuation, environmental preservation, synergy effect*

1. はじめに

現在の公共事業評価における環境影響の経済評価では、直接支出法、旅行費用法、ヘドニック価格法、CVM (Contingent Valuation Method)、コンジョイント分析などの環境経済評価手法¹⁾を用いて環境価値の原単位を計測し、この原単位に環境影響量(変化量、影響面積、影響人口など)を掛け合わせることで評価値が算出されている。また、(多くの事業がそうであるように)事業が複数の環境要素に影響を及ぼす場合、各環境要素の「単独効果」の評価値を算出し、それらを積み上げることで事業全体の評価値が求められている。しかし、現実問題として、複数の環境要素間には「相乗効果」が存在すると考えられるため、これを無視した現在の評価方法では過小評価あるいは過大評価になる恐れが十分にある。

相乗効果には、「正の相乗効果」と「負の相乗効果」がある。正の相乗効果では、2つの環境要素が同時に実現した場合の効果は、それぞれが個別に実現した場合の効果合計したものより大きくなると期待される。しかし、2つの環境要素が共通因子を持つ場合、それらは部分的に競合し、負の相乗効果が発生する。この場合、2つの環境要素が同時に実現した場合の効果は、それぞれの単独効果を合計したものより小さくなる。し

たがって、正(あるいは負)の相乗効果がある場合、これを無視した評価方法は過小評価(あるいは過大評価)を招く恐れがある。

先行研究²⁾では、コンジョイント分析によって複数プロジェクトの経済評価を行い、プロジェクト間に「正の相乗効果」と「負の相乗効果」が存在することを明らかにした。したがって、複数の環境要素を持つ事業を経済的に評価する際、各要素の「単独効果」と要素間の「相乗効果」を明示的に扱える評価モデルを採用する必要があると考えられる。

本研究では、コンジョイント分析の枠組みで単独効果と相乗効果を明示的に扱える評価モデルを提案し、本モデルと複数の環境要素に対する相乗効果を考慮しない従来型の評価モデルとの比較から、評価結果の違いを明らかにすることを目的とする。

2. 評価モデル

(1) 環境要素の選定

本研究では、連続立体交差事業による環境保全の経済評価を通じて、複数の環境要素の経済価値を評価する。連続立体交差事業とは、踏切が連続している鉄道の一定区間を高架化あるいは地下化することにより、道路と鉄道を立体交差化する事業である。その結果、

多数の踏切が除去されるため、周辺市街地における生活環境や都市機能の向上などが期待される。そこで、当該事業によって変化する5つの環境要素（表-1に示す踏切信号音、自動車排ガス、日照問題、緊急活動支障、市街地分断）を取り上げ、これらの環境要素に関する単独効果と相乗効果を評価する。

表-1 評価対象の環境要素

環境要素	事業による効果の内容
踏切信号音	踏切の信号音が解消される
自動車排ガス	自動車の排ガスが削減される
日照問題	日照の問題が解消される
緊急活動支障	緊急車両の踏切待ちが解消される
市街地分断	市街地の分断が解消される

(2) 効用関数の定義

本研究では、複数の環境要素を同時に評価する必要があるため、コンジョイント分析¹⁾を採用する。コンジョイント分析では、家計の効用関数を政策属性、政策費用、所得などの関数で定義し、家計の選択行動の結果より、家計の効用関数を推定する家計の効用関数を次式で定義した²⁾。

【モデル1】

$$V = \sum_{k=1}^5 \alpha_k z_k x_k + \beta \cdot p \quad (1)$$

【モデル2】

$$V = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \alpha_{ij} z_{ij} x_{ij} + \beta \cdot p \quad (2)$$

ただし、 V ：事業に対する家計の部分効用

x_k ：環境要素 k の存在

x_{ij} ：環境要素 i, j の同時存在
(存在する=1, 存在しない=0)

z_k ：環境要素 k の認識

z_{ij} ：環境要素 i, j に対する同時認識
(非常に重要：1.0, やや重要：0.75, 中間：0.5, あまり重要ではない：0.25, 全く重要ではない：0.0)

$\langle k, i, j=1:2:3:4:5=\text{踏切信号音}:$
自動車排ガス：日照問題：緊急活動支障：
市街地分断)

$\alpha_k, \alpha_{ij}, \beta$ ：未知のパラメータ

p ：家計の負担額 [円/世帯/年]

式(1)は、各環境要素が独立して顕在化するという仮定の下で、家計の効用が連続立体的な事業によって実現する「環境要素の認識」と「負担額」の関数で表されることを意味する。また、式(1)の右辺第1項(x_k と z_k の積の部分)は、環境要素が存在する場合($x=1$)でも、その環境要素の重要度を全く認識していなければ($z=0$)、環境要素が存在しない場合($x=0$)と同値であることを表現しようとするものである。

一方、式(2)は任意の2つの環境要素 i, j に関する相乗効果を捉えたモデルである。なお、 $i=j$ のときは、環境要素 i の単独効果を示す。

(3) 効用関数の推定方法

アンケートで質問したプロファイルの選択行動により、式(1)および式(2)のパラメータを推定する。この選択行動をランダム効用理論の枠組みで捉えると、各政策の理論的選択確率が与えられる。このとき与えられる種々の確率モデルのうち、最も操作性の高いロジットモデルを以下に示す³⁾。

$$P_A = \frac{\exp(wV_A)}{\exp(wV_A) + \exp(wV_B)} \quad (3)$$

$$P_B = \frac{\exp(wV_B)}{\exp(wV_A) + \exp(wV_B)} = 1 - P_A \quad (4)$$

ただし、 P_A, P_B ：政策A, Bの理論的選択確率

V_A, V_B ：政策A, Bを選ぶことによって得られる効用水準 (式(1)および式(2)の効用関数で表現される)

w ：ランダム効用の分散パラメータ

(一般的に $w=1$ と仮定する)

式(3)および式(4)の理論的選択確率を用いて選択結果集合の同時確率関数（尤度関数）を構築する。そして、アンケート調査結果のデータを適用し、最尤法により式(1)および式(2)の効用関数を推定する。

(4) 経済価値の評価方法

本研究では、連続立体的な事業の環境要素の経済価値を、これらに対する家計の限界支払意思額で評価する。まず、式(1)および式(2)の効用関数を全微分する。

【モデル1】

$$dV = \sum_{k=1}^5 \alpha_k z_k dx_k + \beta \cdot dp \quad (5)$$

【モデル2】

$$dV = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \alpha_{ij} z_{ij} dx_{ij} + \beta \cdot dp \quad (6)$$

式(5)および式(6)より、効用水準を初期水準に固定し、任意の環境要素を除く環境要素も初期水準に固定すると、環境要素 x_k および x_{ij} の単位変化に対する負担額 p の単位変化の割合が次式で与えられる。なお、式(7)および式(8)は、環境要素 x_k および x_{ij} に対する家計の限界支払意思額に他ならない。

【モデル1】

$$M_k = \frac{dp}{dx_k} = -\frac{\alpha_k z_k}{\beta} \quad (7)$$

【モデル2】

$$M_{ij} = \frac{dp}{dx_{ij}} = -\frac{\alpha_{ij} z_{ij}}{\beta} \quad (8)$$

ただし、 M_k ：環境要素 k の経済価値

M_{ij} ：環境要素 i, j の経済価値（相乗効果）

3. アンケート調査

本研究で用いたデータは、「鉄道高架化に関するアンケート」を実施して得た⁴⁾。

コンジョイント分析に関連する質問は、「連続立体交差事業がもたらす環境要素毎の重要度」と「環境要素の2つの組み合わせからなる政策の選択」である。前者については、「緊急活動支障の解消」や「市街地分断の解消」等、各環境要素の重要度に対する回答者の認識（非常に重要、やや重要、中間、あまり重要ではない、全く重要ではない）に最も近いものを選んでもらう質問形式とし、後者については、表-2に示すように2つの政策（プロファイル）から望ましいと思う方を選んでもらう質問形式とした。

また、要素の組み合わせが異なる内容のプロファイルを表-3に示すように10枚用意し、これらのプロファイルに関する一対比較質問を表-4に示すように15組作成した。このうち、1つのアンケート票には3組の一対比較質問を示した。したがって、5種類のアンケート票を用意した。

本調査では、A県T市の2,722世帯にアンケート票を郵送で配布したところ、1,312票が郵送で回収された。回収率は48.2%であった。

表-2 プロファイルの選択

問. 仮にあなたが住んでいる地域の環境が次のような状況であると想定して下さい。

- ☐ 踏切の信号音がある
- ☐ 自動車の排ガスが多い
- ☐ 日当たりが悪い
- ☐ 緊急医療活動や消防活動に支障がある
- ☐ 市街地が鉄道や河川等により分断されている

ここで、上記の地域環境を向上させるような政策A～Fを考えてみました。2つの政策を比較したとき、あなたが望ましいと思う政策に○を付けて下さい。

注) 以下の各政策に記載されている1世帯当たりの1年間の負担額とは、その政策を実現するために必要な負担金を示します。なお、この負担によって、あなたの世帯が購入できる別の商品やサービスが減ることを十分念頭においてお答え下さい。また、この負担金は事業の経済的価値を評価するために想定したものであり、実際に負担額を徴収しようとするものではありません。

政策AとBの比較

- [] 政策A（＝プロファイルA）
- [] 政策B（＝プロファイルB）
- [] どちらともいえない、分からない

表-3 プロファイルの内容

	信	排	日	緊	分	負担額 (円)
政策A	○	○				3,000
政策B				○	○	7,000
政策C	○			○		5,500
政策D			○		○	5,000
政策E		○			○	4,000
政策F			○	○		4,500
政策G	○		○			3,500
政策H		○		○		7,500
政策I	○				○	6,500
政策J		○	○			6,000

注) 信：踏切信号音、排：自動車排ガス、日：日照問題、緊：緊急活動支障、分：市街地分断を意味する。

表-4 プロファイルの組み合わせ

	プロファイルの一対比較		
	(1)	(2)	(3)
パターン1	AとB	EとF	CとD
パターン2	GとH	IとJ	CとG
パターン3	BとC	DとF	AとH
パターン4	BとE	GとJ	EとJ
パターン5	AとI	DとI	FとH

注) A～Jの政策を3回ずつ質問するように設計した。

4. 評価結果

(1) パラメータの推定結果

アンケート調査で収集した全ての有効データを用いて式(1)および式(2)の効用関数のパラメータを推定し、連続立体交差事業の単独効果と相乗効果の経済価値を評価した。

まず、パラメータの推定結果を表-5・6に示す。なお、t 値が 1.0 に満たないパラメータは採用しなかった。また、標本数について、アンケート票回収数は 1,312 件あるが、1 件あたり最大 3 回の対比較質問に答えている。なお、無回答および「どちらともいえない、分からない」の回答は不採用としたので、パラメータ推定に用いた標本数は 2,328 件となった。

(2) 経済価値の評価結果

式(7)(8)および表-5・6より、相乗効果を考慮しないモデル1による評価結果を表-7に、相乗効果を考慮したモデル2の評価結果を表-8に示す。そして、表-7・8に基づいて環境要素の組み合わせの評価を行った。組み合わせについては、1 項目から 5 項目までのすべての組み合わせを検討した。その評価結果を図-1・2・3・4・5に示す。

まず、表-8より、要素の組み合わせによっては相乗効果が存在することが分かる。しかも、それらはすべて負値であることが分かる。

次に、図-1より、各要素の単独効果については、相乗効果を考慮しないモデル1の評価結果よりも相乗効果を考慮したモデル2の評価結果の方が大きいことが分かる。これは、コンジョイント分析におけるプロファイルの選択において、提示された負担額に要素間の相乗効果（すべて負値）を考慮しない場合の単独効果と考慮した場合の単独効果の違いである。

さて、複数の要素の組み合わせに対する評価結果について見ると、図-2より、任意の2項目の組み合わせについては、すべてモデル1の評価結果よりもモデル2の評価結果の方が大きいことが分かる。しかし、図-3、図-4、図-5の順に、要素の組み合わせ数の増加に伴って、次第にモデル1の評価結果よりもモデル2の評価結果の方が小さくなる傾向にあることが分かる。これより、負の相乗効果が存在するという現実に対して、相乗効果の存在を無視した評価モデルによる単独要素の評価結果は過小評価になる一方で、複数要素の評価結果は過大評価になると言える。

逆に、正の相乗効果が存在するという現実がある場合には、相乗効果の存在を無視した評価モデルによる単独要素の評価結果は過大評価になる一方で、複数要素の評

表-5 モデル1のパラメータ推計結果

パラメータ	推定値	認識度	t 値
α_1	3.23×10^{-1}	0.68	2.14
α_2	1.13×10^0	0.91	10.37
α_3	9.49×10^{-1}	0.65	6.75
α_4	1.78×10^0	0.93	8.74
α_5	9.19×10^{-1}	0.74	5.74
β	-4.20×10^{-4}	—	-6.00
的中率	0.633		
標本数	2,328		

表-6 モデル2のパラメータ推計結果

パラメータ	推定値	認識度	t 値
α_{11}	3.74×10^{-1}	0.68	2.22
α_{15}	-4.34×10^{-1}	0.69	-1.01
α_{22}	1.36×10^0	0.91	9.35
α_{24}	-7.47×10^{-1}	0.91	-2.98
α_{25}	-6.48×10^{-1}	0.80	-1.52
α_{33}	1.13×10^0	0.65	5.96
α_{34}	-3.52×10^{-1}	0.76	-1.20
α_{35}	-7.05×10^{-1}	0.66	-1.45
α_{44}	1.81×10^0	0.93	7.39
α_{45}	-4.60×10^{-1}	0.81	-1.07
α_{55}	1.27×10^0	0.74	3.40
β	-3.14×10^{-4}	—	-3.77
的中率	0.626		
標本数	2,328		

表-7 モデル1の評価結果

環境要素	信	排	日	緊	分
評価額	526	2,456	1,472	3,940	1,614

[単位：円/世帯/年]

表-8 モデル2の評価結果

環境要素	信	排	日	緊	分
信	814				
排		3,946			
日			2,348		
緊		-2,176	-854	5,372	
分	-948	-1,659	-1,493	-1,189	2,974

[単位：円/世帯/年]

表-7・8の注) 信：踏切信号音，排：自動車排ガス，日：日照問題，緊：緊急活動支障，分：市街地分断を意味する。

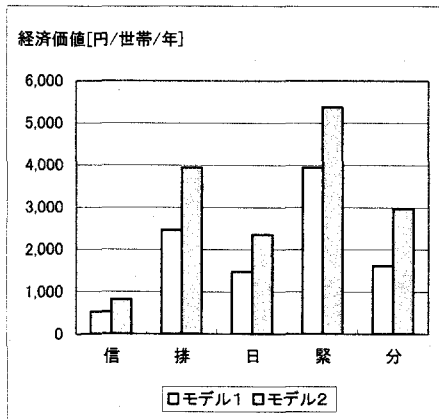


図-1 組み合わせ(1項目)の評価結果

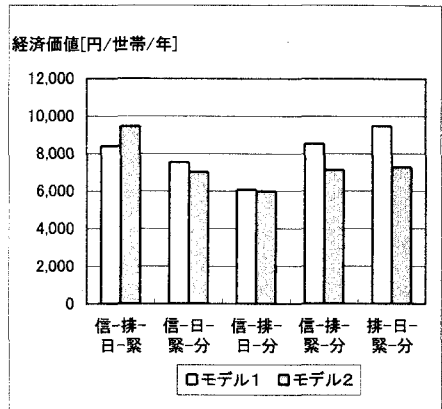


図-4 組み合わせ(4項目)の評価結果

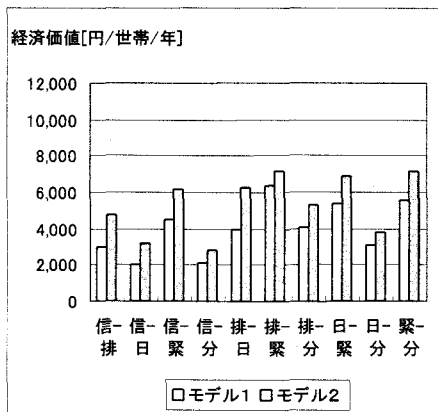


図-2 組み合わせ(2項目)の評価結果

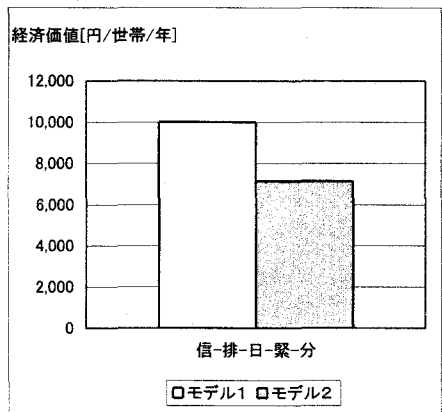


図-5 組み合わせ(5項目)の評価結果

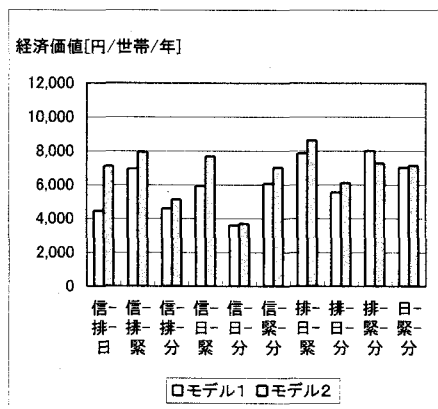


図-3 組み合わせ(3項目)の評価結果

価結果は過小評価になると予想される。さらに、正と負の相乗効果が混在する場合には、過大評価と過小評価の判別が複雑になる。

5. まとめ

本研究では、単独効果と相乗効果を明示的に扱える評価モデルを提案し、A県T市における連続立体交差事業への適用を通じて、相乗効果を考慮しない従来型の評価モデルとの比較から、評価結果の違いを検討した。その結果、負の相乗効果が存在するという現実に対して、相乗効果の存在を無視した評価モデルによる単独要素の評価結果は過小評価になる一方で、複数要素の評価結果は過大評価になることが示された。

しかし、比較対象としたモデル1とモデル2について、

それらは理論的には独立したモデルであるため、それらが評価する事業の総価値は整合しないと考えるのが自然である。また、コンジョイント分析におけるプロファイルの選択では2項目の組み合わせのみが扱われており、そこから得られた結果をそれ以外の組み合わせに対する評価への適用可能性については検討されていない。前者については、比較対象となる評価モデルに対して理論的に整合した評価モデルの誘導が必要であり、後者については、要素の組み合わせ数を任意とするプロファイルの作成が必要である。これらの点は、今後の検討課題としたい。

謝辞：本研究は、文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業オープンリサーチセンター整備事業の研究助成を受けたこと、愛知県半田土木事務所およびパシフィックコンサルタンツ株式会社より各種資料の提供を

受けたことを付記するとともに、関係各位に謝意を表したい。

参考文献

- 1) 大野栄治編：環境経済評価の実務，勁草書房，182P，2000.
- 2) 大洞久佳・大野栄治：相乗効果を考慮した複数プロジェクトの経済評価，土木計画学研究・論文集，Vol. 20, No. 1, pp. 127-135, 2003.
- 3) 土木学会編：非集計行動モデルの理論と実際，丸善，240P，1995.
- 4) 愛知県半田土木事務所・パシフィックコンサルタンツ株式会社：連続立体交差事業評価調査業務報告書，2001.

Economic Valuation of Environmental Preservation by Considering Synergy Effect among Its Elements

Eiji OHNO, Akihiro YAMADA and Hisayoshi OHORA

This study has proposed an economic valuation model to distinguish between the independent effect and the synergy effect among plural elements in the framework of conjoint analysis. Through a case study on economic valuation of environmental preservation by the Elevated Railway Project, difference of the result of economic valuation by two models has been examined; one is this model and the other is the conventional model that disregards the existence of the synergy effect s. As the result, when there is the negative value of the synergy effect, the result of economic valuation of the independent element by the conventional model becomes underestimation. On the other hand, the result of economic valuation of the plural elements by the model becomes overestimation.