

異質分散性を考慮したCVMによる環境質改善便益の信頼性分析

川除隆広*・多々納裕一**・岡田憲夫**

* 京都大学大学院工学研究科, 株式会社 日建設計

** 京都大学大学院工学研究科

要 旨

本研究は、従来平均値主体で評価がなされてきた環境プロジェクトの推計便益の信頼性評価手法として、CECVMによる推計便益の信頼区間について解析的な直接推定法を提示する。また、支払意思額の異質分散性を考慮した推定量を定式化することで、個人の支払意思額平均値および支払意思額母平均の2つの信頼区間推定法の提示を行う。さらに、実データを用いた数値検討を行うことで、本推定量の有効性について考察を行う。

キーワード：CVM, 費用便益分析, 信頼区間推定法, 信頼性分析, 環境財

1. はじめに

開発の進展による自然環境の減少、地球環境問題等に触発された環境に対する意識の変化により、環境質の改善や自然環境保全に対する社会的要請が高まってきている。また、多自然型河川整備や貯水池環境保全等の新しく環境の保全・改善を目的とした社会基盤整備も実施されるようになってきている。その一方で、公共事業の説明責任の遂行や透明性の確保を背景とした費用便益分析の観点から、環境整備プロジェクトの実施に際しても、環境質の改善便益や生態系の保全価値（存在価値）等、これまで定量的に評価されてこなかった事業効果についても経済評価を実施することが必要となってきた。

環境質改善に関する便益の計量化手法としては、代替の評価法としての旅行費用法（Travel Cost Method）やヘドニック・アプローチ（Hedonic Approach）、および仮想的な環境質変化に対する支払意思額をアンケート調査等により直接被験者に質問する仮想的市場評価

法（Contingent Valuation Method, 以下CVM）が代表的である。

中でも、CVMは非使用価値等の他の手法では計量化できない環境便益の計量化が可能であることから近年盛んに研究されつつある。しかし、CVMの使用には多くのバイアスに注意を払う必要があることが指摘されている（Mitchel and Carson, 1989）。最も問題視されてきたのは戦略バイアスである。このバイアスに関しては、CECVM（Closed-ended Contingent Valuation Method, or take-it-or-leave-it, or referendum method）により技術的な進歩がもたされた。CECVMは、個人に対し支払意思額を直接尋ねるのではなく、予め調査者によって指定された金額（提示額）について支払い意思があるか否かを尋ねる方法をとっており、個人が意図的に過大な（過小な）支払意思額を申告することを不可能としている。

しかしながら、このような技術的な向上がみられたものの、CECVMによる便益推計の信頼度については、未だ批判が多いのも事実である。一方で、推計便

益の信頼性の評価手法として推計便益の信頼区間を推計する幾つかの手法が現在までに開発されてきている。しかし、これらの手法についても、推計便益の信頼区間をシミュレーション等を適用することで近似的に求めるものや、信頼区間の解析的な直接推計を可能とするために推計便益の分散は各個人において一定であると仮定した推定法となってしまう。

支払意思額の分散は個人属性に依存し、属性毎に異なると考えることがより一般的であろう。評価対象となる環境財（環境質）に日頃から慣れ親しんでいる個人とそうでない個人を考えた場合、支払意思額の分散に有意な差が生じてもおかしくはない。個人属性の変化に依存して支払意思額の分散が変動する場合（支払意思額に異質分散性がある場合）において、均質な分散を仮定したモデルを用いると、異質分散性を考慮したモデルに比べモデルの適合度が低くなり、推計された支払意思額の信頼性が低下するものと考えられる。また、このようなモデルに基づいて個人の支払意思額や集計化された推計便益の信頼区間を推定したとしても、それ自体の信頼性は疑わしいものとなる。従って、少なくとも支払意思額に異質分散性を考慮しようという、信頼区間の推定法が必要であろう。そして、それが解析的な手続きで算定可能であれば、操作性が高いという意味でより望ましいであろう。

本研究では、支払意思額の異質分散性を考慮したCEVMによる推計便益の信頼区間推定法を定式化することを目的とする。具体的には、個人の均質分散性の制約を与えることなく、異質分散性を考慮した個人の支払意思額平均値の信頼区間および支払意思額母平均の信頼区間を解析的に直接推計する信頼区間推定法の定式化を行う。次いで実証データに基づいた数値検証を行うことで、定式化された信頼区間推定法の有効性について考察を行い、最後に本研究で得られた知見をとりまとめることで本研究のまとめとする。

2. 既往の研究と本研究の特徴

Bishop and Herberlein (1979)による先駆的な研究に始まったCEVMは、その後のHanemann (1984; 1989)による適切な効用理論への展開以来、多くの知見が得られてきた。初期の研究における便益の推定法は、ロジットモデルを主体とした提示額の最大値を打ち切り上限とする近似的な平均値の推定法が多く用いられてきた。ここでは推計便益の信頼性の評価は、回答の選択モデルのt値や尤度比他によって評価したり、サンプル上での回答の分散の大きさをもとに評価がなされてきた。

現在までに、推計便益の直接的な信頼性評価手法としては、幾つかの信頼区間推定法が開発されてきている。Park, Loomis and Creel (1989)はKrinsky and Robb (1986)によるシミュレーション手法を適用することで近似的な推計便益の信頼区間を求めている。この手法は推計パラメータとその分散共分散行列をもとに、推計パラメータの多変量正規性を援用することで乱数を発生させ、平均値の近似的な信頼区間を求めるものであった。Duffield and Patterson (1989)は、bootstrap法によるシミュレーション手法を適用することで近似的な推計便益の信頼区間を推計している。この手法は推計した集計型の分布関数をもとに、提示額設定レベル毎の肯定比率とサンプル数を与件とした2項分布乱数を発生させ、分布関数を繰返し推計することで平均値の近似的な信頼区間を求めるものであった。一方、Cameron and James (1987)、Cameron (1991)は、支払意思額関数をもとに推計便益の分散を解析的に直接推計する簡便な方法を提示した。このモデルは、個人の支払意思額は個人属性の線形関数であると仮定することで、提示額との支出差をもとにプロビットモデル(censored probit model)を適用することで、支払意思額の平均値と分散を同時に推計するものであった。しかし、このモデルは、所得の限界効用項を1に特定化したプロビットモデルであり、支払意思額の信頼区間推計に際しての操作性は向上したものの、支払意思額の分散は各個人において一定であるという強い仮定を置くこととなっている。

本研究では、所得の限界効用項が個人の属性に依存していることを仮定することで、標準的な離散選択モデル（プロビットモデル）によるCEVMモデルを定式化する。このことにより、個人の支払意思額の平均および分散の推定量は異質分散性を考慮した推定量として定式化される。さらに、推計便益について2つの信頼区間推定法を定式化する。一つは個人の支払意思額平均値の信頼区間推定法であり、他方は支払意思額の母平均の信頼区間推定法である。後者はプロジェクト評価に際しての集計化された推計便益の信頼区間を解析的に直接推計する操作性の高い手法であり、費用便益分析における推計便益の信頼性の評価手法としての適用を意図したものである。一方、前者は個人毎の支払意思額の信頼区間を求めることで、適正な効用関数の推計や便益推計を行うに際してのセグメント区分の有用な指標を提供しようの手法と考えている。

3. 個人の支払意思額平均値の信頼区間推定法

3.1 異質分散性を考慮した離散選択モデルの定式化

ここでは、標準的な離散選択モデルとしてプロビットモデル(Binary Probit Model)を適用することで、異質分散性を考慮したCECVMモデルの定式化を行う。

現状の環境質を q_0 とし、改善後の環境質を q_1 として、このような環境改善に対する個人の支払額の分布を推計する。いま、個人 n が環境質 q_1 の享受を望む場合には c_n の支出が必要となるものとする。個人 n の将来(事後)の所得は、現在の所得を Y_n とすると、将来の所得 Y_{in} は式(1)のように定義される。

$$Y_{in} = \begin{cases} Y_n - c_n & (i=1) \\ Y_n & (i=0) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、改善後の環境質 q_1 の享受を望む($i=1$)、現状の環境質 q_0 を望む($i=0$)と設定している。さらに、個人の属性を $Z_n = (z_{1n}, \dots, z_{mn})$ とすると、個人の効用関数は式(2)で表される。

$$U_{in}(Y_{in}, Z_n, q_i) \quad (i=0,1) \quad (2)$$

個人 n が選択肢 $i=1$ を選ぶ条件は式(3)である。

$$U_{1n} \geq U_{0n} \quad (3)$$

ランダム効用理論では、この U_{in} を確率変数とし、確率的に変動する確率項 ε_{in} と変動しない確定項 V_{in} に分け、線形性を仮定して式(4)のように示す。

$$U_{in}(Y_{in}, Z_n, q_i) = V_{in}(Y_{in}, Z_n, q_i) + \varepsilon_{in} \quad (4)$$

ここで、所得の限界効用項に環境財へのアクセス頻度やアクセス距離を想定した個人属性の違いを考慮すると、効用関数は式(5)で示される。

$$U_{in} = V_{in}(Y_{in}, Z_n, q_i) + \varepsilon_{in} = \sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j(q_i) z_{ajn} + \sum_{j=1}^{m_2} \beta_j z_{\beta jn} Y_{in} + \varepsilon_{in} \quad (5)$$

ここで個人属性 Z_n は $Z_n = (z_{\alpha 1n}, \dots, z_{\alpha m_1 n}, z_{\beta 1n}, \dots, z_{\beta m_2 n})$ の2つに区分されている。

選択肢間の効用差は式(6)で示される。

$$U_{1n} - U_{0n} = V_{1n} - V_{0n} + \varepsilon_{1n} - \varepsilon_{0n} = \sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j z_{ajn} - \sum_{j=1}^{m_2} \beta_j z_{\beta jn} c_n + \varepsilon_n \quad (6)$$

ここで、 $\sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j z_{ajn} = \sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j(q_1) z_{ajn} - \sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j(q_0) z_{ajn}$ である。

$\varepsilon_n = \varepsilon_{1n} - \varepsilon_{0n}$ が正規分布(平均0、分散 σ^2)に従うものと仮定すると、個人 n の選択確率 P_{1n} は式(7)のプロビットモデルとして定式化される。

$$P_{1n} = \Phi\left(\frac{V_{1n} - V_{0n}}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{\sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j z_{ajn} - \sum_{j=1}^{m_2} \beta_j z_{\beta jn} c_n}{\sigma}\right) \quad (7)$$

ここで Φ は標準正規分布の分布関数である。

この際、誤差項 ε_n の分散 σ と α_j および β_j とは分離可能ではない。そのため、通常 $\sigma=1$ の規格化条件を用いてパラメータ推計が行われる。しかし、次節で述べるように、パラメータを $\alpha'_j = \alpha_j / \sigma$ と $\beta'_j = \beta_j / \sigma$ と置換することによっても、最尤推定法を適用することでパラメータの最尤推定量 $\theta = (\alpha'_1, \dots, \alpha'_{m_1}, \beta'_1, \dots, \beta'_{m_2})$ を

求めることが可能となる。

なお、ここでは効用関数に均質分散性を仮定しているが、次節に示す支払意思額の平均値と分散の推定量の定式化によって、支払意思額の推定量には異質分散性が考慮されることとなる。

3.2 個人の支払意思額の分布関数

ここでは、異質分散性を考慮した個人の支払意思額の平均・分散の点推定量の定式化を行う。

個人 n の環境質改善に対する支払意思額を $S(Z_n)$ とする。また、個人 n の支払意思額の分布関数を $G(s|Z_n)$ とする。もし個人の支払意思額 $S(Z_n)$ が提示額 c_n より小さければ、「いいえ」と答えることに着目すると、個人の支払意思額の分布関数 $G(s|Z_n)$ の値は、個人の支払意思額 $S(Z_n)$ が特定の支払意思額 s より小さいという確率を示している。それゆえ、 $G(s|Z_n)$ は $P_{0n}(s|Z_n)$ と同値である。

$$\begin{aligned} G(s|Z_n) &= 1 - P_{1n}(s|Z_n) = P_{0n}(s|Z_n) \\ &= 1 - \Phi\left(\sum_{j=1}^{m_1} \alpha'_j z_{ajn} - \sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j z_{\beta jn} s\right) \end{aligned} \quad (8)$$

プロビットモデルによる推計パラメータの点推定値を $\hat{\theta} = (\hat{\alpha}'_1, \dots, \hat{\alpha}'_{m_1}, \hat{\beta}'_1, \dots, \hat{\beta}'_{m_2})$ とすると、個人 n の支払意思額の平均値 $\mu(Z_n, \hat{\theta})$ と分散 $\sigma^2(Z_n, \hat{\theta})$ の期待値の推定量は式(9)、(10)として定式化される。

$$\begin{aligned} \mu(Z_n, \hat{\theta}) &= \int_{-\infty}^{\infty} s \cdot dG(s|Z_n, \hat{\theta}) \\ &= \left(\sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j z_{ajn} / \sum_{j=1}^{m_2} \beta_j z_{\beta jn}\right) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sigma^2(Z_n, \hat{\theta}) &= \int_{-\infty}^{\infty} (s - \mu(Z_n, \hat{\theta}))^2 \cdot dG(s|Z_n, \hat{\theta}) \\ &= (\sigma^2 / (\sum_{j=1}^{m_2} \beta_j z_{\beta jn})^2) = 1 / (\sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j z_{\beta jn})^2 \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、 $\hat{\alpha}'_1$ は定数項、 $\hat{\beta}'_1$ は所得項のため、 $z_{\alpha 1n} = 1$ 、 $z_{\beta 1n} = 1$ である。

このように、個人の支払意思額の平均値と分散は α'_j 、 β'_j のみの関数となり、 σ が α_j 、 β_j と独立に求まらなくとも通常のプロビットモデルにより点推計値を求めることが可能である(ロジットモデルにおいても同様)。

また、式(9)、(10)は個人属性を内在化させることで、個人属性の違いに依存した支払意思額の平均値、分散の推定を可能としている。このことは個人の支払意思額の分散は一定と仮定してきた従来の研究(例えばCameron, 1991)とは異なり、本研究における推定量が支払意思額の異質分散性を考慮しうることを示している。

なお、式(9)、(10)は所得項が β' のみを考えた場合、Cameron ら (1987;1991) の式と一致する。

3.3 個人の支払意思額平均値の信頼区間推定法

さらに、個人の支払意思額平均値の信頼区間推定量を定式化しよう。

プロビットモデルでは、最尤法によりパラメータの点推定量 $\hat{\theta} = (\hat{\alpha}'_1, \dots, \hat{\alpha}'_{m_1}, \hat{\beta}'_1, \dots, \hat{\beta}'_{m_2})$ と分散共分散行列 $V(\hat{\theta})$ が推計される。推計されたプロビットパラメータは、漸近的に平均 $\hat{\theta}$ と分散共分散行列 $V(\hat{\theta})$ を有する多変量正規分布で示される。

そのため、個人の支払意思額平均値の点推定量の期待値と分散は次式から求められる。

$$E(\mu(Z_n)) = \int_{\theta_1=-\infty}^{\infty} \dots \int_{\theta_n=-\infty}^{\infty} \mu(\theta|Z_n) \cdot \phi(\theta) d\theta_1 \dots d\theta_n \quad (11)$$

$$V(\mu(Z_n)) = \int_{\theta_1=-\infty}^{\infty} \dots \int_{\theta_n=-\infty}^{\infty} (\mu(\theta|Z_n) - E(\mu(Z_n)))^2 \cdot \phi(\theta) d\theta_1 \dots d\theta_n \quad (12)$$

ここで、 ϕ は標準多変量正規分布の確率密度関数である。

ただしこの場合、 $\mu(\theta|Z_n)$ が θ の非線形関数であることから、 $E(\mu(Z_n))$ と $V(\mu(Z_n))$ の近似値を求めることを目的に、 $\mu(\theta|Z_n)$ をその平均値の周りでテーラー展開し、2次以降の項を無視した式(13)をもとに推計を行なった。

$$\mu(\theta|Z_n) \approx \mu(\hat{\theta}|Z_n) + \sum_{i=1}^n C_i (\theta_i - \hat{\theta}_i) \quad (13)$$

ここで、 $C_i = \frac{\partial \mu(\theta|Z_n)}{\partial \theta_i} \Big|_{\theta=\hat{\theta}}$ である。

以上をもとに、個人の支払意思額平均値の点推定量の期待値と分散の近似値は、式(14)、(15)となる。

$$E(\mu(Z_n)) = \sum_{j=1}^{m_1} \hat{\alpha}'_j z_{\alpha j} + \sum_{j=1}^{m_2} \hat{\beta}'_j z_{\beta j} \quad (14)$$

$$V(\mu(Z_n)) = \sum_{i=1}^n C_i^2 \cdot \text{Var}(\hat{\theta}_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n C_i \cdot C_j \cdot \text{COV}(\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_j) \quad (15)$$

個人の支払意思額の平均値の分布形は未知であるが、サンプル数が十分大きい場合、支払意思額の平均値は大量の法則における中心極限定理より正規分布で近似できる。

このことを援用すると、個人の支払意思額の平均値は平均 $E(\mu(Z_n))$ と分散 $V(\mu(Z_n))$ を有した正規分布に近づく。

$U_{\gamma/2}$ を標準正規分布の片側 $\gamma/2$ の確率を与える値とすると、個人の支払意思額の平均値の $(1-\gamma) \times 100\%$ 信頼区間は式(16)となる。

$$[E(\mu(Z_n)) - U_{\gamma/2} \sqrt{V(\mu(Z_n))}, E(\mu(Z_n)) + U_{\gamma/2} \sqrt{V(\mu(Z_n))}] \quad (16)$$

そのため、近似的な個人の支払意思額平均値の信頼区間は式(17)で求めることが可能となる。

$$[E(\mu(Z_n)) - U_{\gamma/2} \sqrt{V(\mu(Z_n))}, E(\mu(Z_n)) + U_{\gamma/2} \sqrt{V(\mu(Z_n))}] \quad (17)$$

4. 支払意思額の母平均の信頼区間推定法

次に、推計便益の集計化手法として支払意思額の母平均の信頼区間推定法を定式化する。

個人属性の母集団空間を Ω 、個人属性 Z の分布関数を $F(Z)$ とすると、支払意思額の母平均 μ は式(18)から求められる。

$$\mu = \int_{\Omega} \mu(Z) dF(Z) = \int_{\Omega} \left(\sum_{j=1}^{m_1} \alpha'_j z_{\alpha j} + \sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j z_{\beta j} \right) \cdot dF(Z) \quad (18)$$

個人属性の分布として正規分布または一様分布を仮定すると、支払意思額の母平均 μ の厳密解は式(19)として定式化される。

$$\mu = \sum_{j=1}^{m_1} \alpha'_j \bar{z}_{\alpha j} + \sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j \bar{z}_{\beta j} \quad (19)$$

ここで、 $\bar{z}_{\alpha j}$ と $\bar{z}_{\beta j}$ は母集団空間の個人属性平均値である。

$\bar{s}$ と $\underline{s}$ を信頼区間 $(1-\gamma) \times 100\%$ の上方限界、下方限界とすると、両者は $\Pr(T(\bar{s}) \geq 0) = \gamma/2$ と $\Pr(T(\underline{s}) \leq 0) = \gamma/2$ を満足する値として示される。

一方、所得の限界効用が正であることから、 $\sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j \bar{z}_{\beta j}$ が正となることに留意すると、式(20)、(21)を得る。

$$\Pr(\mu \geq \bar{s}) = \Pr\left(\sum_{j=1}^{m_1} \alpha'_j \bar{z}_{\alpha j} + \sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j \bar{z}_{\beta j} \geq \bar{s}\right) = \Pr(T(\bar{s}) \geq 0) \quad (20)$$

$$\Pr(\mu \leq \underline{s}) = \Pr\left(\sum_{j=1}^{m_1} \alpha'_j \bar{z}_{\alpha j} + \sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j \bar{z}_{\beta j} \leq \underline{s}\right) = \Pr(T(\underline{s}) \leq 0) \quad (21)$$

ここで、 $T(s) = \sum_{j=1}^{m_1} \alpha'_j \bar{z}_{\alpha j} - \sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j \bar{z}_{\beta j} \cdot s$ である。

$T(s)$ は平均 $M(s)$ と分散 $V(s)$ を有する正規分布に従うことから、式(22)、(23)を得る。

$$M(s) = \sum_{j=1}^{m_1} \hat{\alpha}'_j \bar{z}_{\alpha j} - \sum_{j=1}^{m_2} \hat{\beta}'_j \bar{z}_{\beta j} \cdot s \quad (22)$$

$$V(s) = \text{Var}\left(\sum_{j=1}^{m_1} \alpha'_j \bar{z}_{\alpha j}\right) + 2\text{COV}\left(\sum_{j=1}^{m_1} \alpha'_j \bar{z}_{\alpha j}, \sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j \bar{z}_{\beta j}\right)s + \text{Var}\left(\sum_{j=1}^{m_2} \beta'_j \bar{z}_{\beta j}\right)s^2 \quad (23)$$

式(20)-(23)から、信頼限界 $\bar{s}$ と $\underline{s}$ の信頼区間 $(1-\gamma) \times 100\%$ は式(24)、(25)を満足する。

$$\begin{aligned} \gamma/2 &= \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot V(\bar{s})}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(t - M(\bar{s}))^2}{V(\bar{s})}\right) dt \\ &= \int_{M(\bar{s})/\sqrt{V(\bar{s})}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} x^2\right) dx \end{aligned} \quad (24)$$

$$\gamma/2 = \int_{-\infty}^{-M(\underline{s})/\sqrt{V(\underline{s})}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} x^2\right) dx \quad (25)$$

従って、母平均の信頼限界 $\bar{s}$ と $\underline{s}$ の推定量は式(26)を解くことによって求められる。

$$U_{\gamma/2} = M(s) / \sqrt{V(s)} \quad (26)$$

支払意思額の母平均の信頼区間推定量の定式化結果を表-1に示す。

Table 1 The estimator of confidence interval for the mean WTP of the population

$$\text{信頼限界: } \bar{s} = \text{Max} \left(\frac{-b + \sqrt{b^2 - ac}}{a}, \frac{-b - \sqrt{b^2 - ac}}{a} \right), \quad \underline{s} = \text{Min} \left(\frac{-b + \sqrt{b^2 - ac}}{a}, \frac{-b - \sqrt{b^2 - ac}}{a} \right) \quad (27)$$

$$a = \left[U_{\gamma/2}^2 \cdot \left(\sum_{j=1}^{m_2} \bar{z}_{\beta j}^2 \cdot \text{Var}(\beta'_j) + 2 \sum_{j=1}^{m_2-1} \sum_{k=j+1}^{m_2} \bar{z}_{\beta j} \cdot \bar{z}_{\beta k} \cdot \text{COV}(\beta'_j, \beta'_k) \right) - \left(\sum_{j=1}^{m_2} \hat{\beta}'_j \bar{z}_{\beta j} \right)^2 \right]$$

$$b = \left[U_{\gamma/2}^2 \cdot \left(\sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} \bar{z}_{\alpha i} \cdot \bar{z}_{\beta j} \cdot \text{COV}(\alpha'_i, \beta'_j) \right) + \left(\sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} \bar{z}_{\alpha i} \cdot \bar{z}_{\beta j} \cdot \hat{\alpha}'_i \cdot \hat{\beta}'_j \right) \right]$$

$$c = \left[U_{\gamma/2}^2 \cdot \left(\sum_{j=1}^{m_1} \bar{z}_{\alpha j}^2 \cdot \text{Var}(\alpha'_j) + 2 \sum_{j=1}^{m_1-1} \sum_{k=j+1}^{m_1} \bar{z}_{\alpha j} \cdot \bar{z}_{\alpha k} \cdot \text{COV}(\alpha'_j, \alpha'_k) \right) - \left(\sum_{j=1}^{m_1} \hat{\alpha}'_j \bar{z}_{\alpha j} \right)^2 \right]$$

注) $\hat{\alpha}'_1$ は定数項, $\hat{\beta}'_1$ は所得項のため, $\bar{z}_{\alpha 1} = 1$, $\bar{z}_{\beta 1} = 1$ である。

なお, $\hat{\theta} = (\hat{\alpha}'_1, \dots, \hat{\alpha}'_{m_1}, \hat{\beta}'_1, \dots, \hat{\beta}'_{m_2})$ はプロビットパラメータの点推定値, $\text{Var}(\cdot)$ および $\text{COV}(\cdot)$ は推定パラメータの分散共分散行列の成分を示している。

5. 実データを用いた検討

5.1 実データの概要

ここでは, 前章までに定式化した信頼区間推定量をもとに, 実データを用いることで異質分散性を考慮した環境質改善便益の信頼区間推定法の有用性について検討と考察を行う。

本研究で用いる実データは, 平成8年5月, 琵琶湖湖岸の複数地点を対象として, 仮想的な水質改善案・水辺整備案についてCVM調査を行った結果を用いる。

当調査は滋賀県内近郊の住民から452世帯(約900人の参加者)を募集し, 実際に現地見学を行うことでCVM調査を行っている。

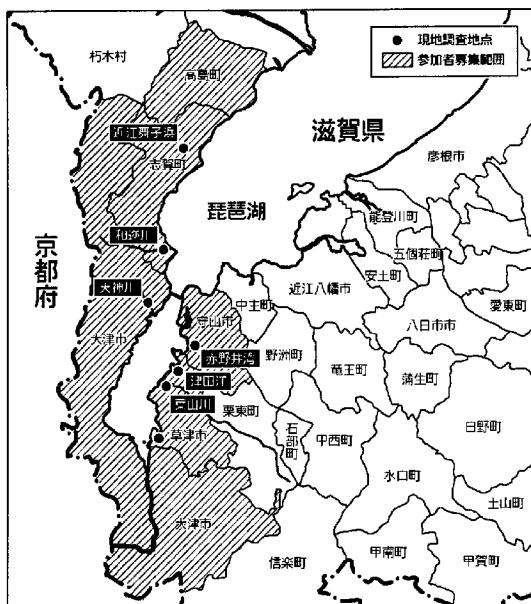


Fig. 1 Survey points and sampling area

Table 2 The outline of CVM survey

項目	内容
CVM調査内容	琵琶湖周辺の水環境整備案
調査時点	平成8年4月～5月
参加世帯数	452世帯
環境施策案	A; 現状維持案 B; 水質改善案 C; 水辺整備案 D; 水質改善・水辺整備案
CVM調査方法	・現地見学の後, 施策案評価 ・仮想ランク法

また, 本調査の参加者について, 当時の滋賀県統計値をもとに母集団特性の比較を行った。代表的属性として, 性別・年齢について図-2に示す。

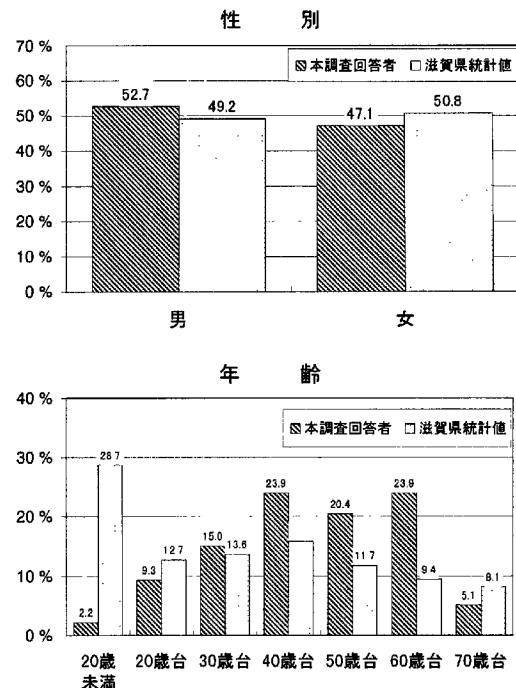


Fig. 2 Comparison of the respondents and the population attributes

本調査の参加者特性と母集団特性の比較では、特に大きな差異は確認されていない。

次に、現地調査の仮想ランク法による順位評価の回答結果から、各環境施策案の選好結果について離散型の回答結果に変換することを目的として、現状維持案(A案)より順位評価が高い場合は「肯定」、順位が低い場合は「否定」との設定を行った。

また、モデル検討に適用する説明変数の設定を表-3に示した。

Table 3 Set up of variables

説明変数	データ形式
年齢	回答者の年齢の10の桁の数値
職種	ダミー変数 1(専門職・技術職, 管理職, 事務職) 0(販売職, 技能工・生産工程, 労務職, 保安職)
学歴	教育年数を適用(年)
現地アクセス頻度	回答結果をもとに月何回の代表値を設定(回/月)
自宅～現地距離	町名をもとにゾーン中心値からの距離(km)
提示額	提示金額(千円/月)

以上をもとに、幾つかの基礎検討を行った結果、代表的な数値検討として「葉山川河口；水質改善案」に関する結果について以後記す。

5.2 実データによるモデル検討

実データによる検討は、定式化した信頼区間推定法の有効性と所得の限界効用項が個人属性に依存していることを仮定した異質分散性を考慮したモデル構築の有効性を検討することを目的とすることから、モデルケースとして式(28)、(29)を想定している。

$$\text{「基本」 } \Delta V_n = V_{1n} - V_{0n} = \sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j z_{\alpha j n} - \beta \cdot c_n \quad (28)$$

$$\text{「拡張」 } \Delta V_n = \sum_{j=1}^{m_1} \alpha_j z_{\alpha j n} - \sum_{j=1}^{m_2} \beta_j z_{\beta j n} c_n \quad (29)$$

なお、ここでは、支払意思額の推計に際しての異質分散性の考慮として、所得の限界効用項 β に現地のアクセス頻度または距離が影響を及ぼすと仮定し、幾つかのモデルケースについて検討を行っている。最終的なモデル構築結果を表-4に示す。

最終的な構築したモデルは、「基本モデル」、「拡張モデル」の2モデルである。2モデルとも、各パラメータのt値、尤度比、的中率などの統計指標からは、概ね適切に再現されており、パラメータの符号条件も感覚的に一致する。

モデルについて考察すると、「基本モデル」と「拡張モデル」では、説明変数「現地のアクセス頻度」を α (属性)項から β (所得の限界効用)項に移すことで、統

計的な指標(モデルの安定性)はほとんど変化は見られないが、モデルから推計された支払意思額平均値は「基本モデル」33.87から「拡張モデル」32.94と約97%に減少している。

一方、個人の支払意思額平均値の信頼区間をみると、そのレンジは「基本モデル」と「拡張モデル」において15.99から15.70へと狭まる結果となっている。このことは、「基本モデル」に比べ、異質分散性を考慮した「拡張モデル」によって、モデルの安定性自体は変化しなかったものの、推計便益の信頼性を向上させる結果となったことを示唆している。

Table 4 Probit estimations

モデルケース	「基本」	「拡張」
$\alpha 1$ Constant (t_value)	1.296 (1.78)	1.337 (1.85)
$\alpha 2$ 年齢 (t_value)	0.010 (1.36)	0.010 (1.34)
$\alpha 3$ 学歴 (t_value)	-0.043 (-1.13)	-0.041 (-1.09)
$\alpha 4$ 現地アクセス頻度 (t_value)	0.423 (1.41)	
$\alpha 5$ 自宅～現地距離 (t_value)	-0.020 (-1.88)	-0.022 (-2.07)
$\beta 1$ 提示額 (t_value)	0.027 (6.29)	0.028 (6.36)
$\beta 2$ 現地アクセス頻度 (t_value)		-0.0091 (-1.20)
$\ln L(c)$	-185.2	-185.2
$\ln L(\beta)$	-157.1	-157.8
χ^2	56.1	54.9
ρ^2	0.152	0.148
Hit Ratio	0.673	0.676
N	281	281
個人の支払意思額 $\mu(Z_n, \hat{\theta})$	33.87	32.94
$\sigma^2(Z_n, \hat{\theta})$	1350.65	1475.00
個人の支払意思額平均値 $V(\mu(Z_n))$	16.64	16.05
95%信頼限界(上方)	41.86	40.79
$E(\mu(Z_n))$	33.87	32.94
95%信頼限界(下方)	25.87	25.09
信頼区間range	15.99	15.70

注) 個人属性値 Z_n は平均値を適用

Table 5 The estimations of confidence interval of the population

モデルケース	「基本」	「拡張」
母平均値		
95%信頼限界(上方: $\bar{s}$)	59.59	59.25
μ	33.87	32.94
95%信頼限界(下方: $\underline{s}$)	19.75	19.10
信頼区間range	39.83	40.15

注) 個人属性値 Z_n は平均値を適用

一方で、表-5に示した支払意思額の母平均の信頼区間の推計値について見ると、「基本モデル」と異質分散性を考慮した「拡張モデル」において、母平均の信頼区間のレンジは、「基本モデル」39.83 から「拡張モデル」40.15 へとほぼ変化はなく、若干であるものの広がる結果となっている。

また、プロジェクト評価のリスクマネジメント（推計便益の信頼性評価）の観点から、個人の支払意思額平均値の信頼区間推定と支払意思額母平均の信頼区間推定を比較すると、「基本モデル」・「拡張モデル」とも、推計便益の信頼区間のレンジは個人の支払意思額平均値に対し母平均の信頼区間は約2倍強の広がりを示しており、推計便益の集計化においては、個人の支払意思額平均値の信頼区間推定量に属性平均を代入した簡易な平均値法による信頼区間推定ではなく、本研究で提示した支払意思額母平均の信頼区間推定法を適用することの重要性を示唆する結果が得られたといえよう。

6. おわりに

以上、本稿では支払意思額の異質分散性を考慮したCECVMによる推計便益の信頼区間推定法の定式化およびその推定量の実データ検討による有用性の検証を行ってきた。

本研究の特徴としては、まず、CECVMモデルとして標準的な離散選択モデル（プロビットモデル）をもとに、所得の限界効用項が個人属性に依存していると仮定することで、支払意思額の均質分散性を仮定することなく、個人属性の違いが支払意思額の分散に影響を及ぼす異質分散性を考慮した推計便益の推定量および推計便益の信頼区間推定法の定式化を行ったことである。またさらに、通常の離散選択モデル（プロビットモデル）を適用したことから、推計便益の信頼区間推定法として、個人の支払意思額平均値の信頼区間推定法および支払意思額母平均の信頼区間推定法について解析的な直接推定法を導出することが可能となったことである。

また特に、実データを用いた数値検討により、支払意思額母平均の信頼区間推定法は、集計化した推計便益の信頼区間について解析的に直接推計する操作性の高い手法であり、プロジェクト評価の費用便益分析に際しての推計便益の信頼性評価手法として有用であることを直接的に示唆する知見が得られたといえよう。

なお、本研究の今後のさらなる知見の集積としては、今回提示した葉山川河口；水質改善案の検討のみならず、未検討地点・未検討施策案に関する実証分析の実施やモデル論的には効用関数に取り入れる説明変数の

選定・設定方法の検討等、さらなる検討が必要であろう。なお、この点に関しては今後の課題としていきたい。

参考文献

- 岩瀬広・林山泰久 (1998)：CEVMによる幹線交通網整備がもたらすリダンタンシーの経済的評価，土木計画学研究・講演集，No.20(2)，pp.379-382。
- 栗山浩一 (1998)：環境の価値と評価手法，北海道大学図書刊行会。
- 土木学会編 (1995)：非集計行動モデルの理論と実際。
- ネルソン W. (1988)：寿命データの解析，日科技連。
- 林山泰久 (1998)：仮想的市場の評価法による環境質の便益評価，JSCE，Vol.83(June)，pp.37-40。
- ピアス D.W. (1994)：新しい環境経済学，グレイムント社。
- 蓑谷千鳳彦 (1996)：計量経済学の理論と応用，日本評論社。
- ヨハンソン P.-O. (1994)：環境評価の経済学，多賀出版。
- Ben-Akiva and Lerman (1985)：Discrete Choice Analysis，MIT Press。
- Bishop R.C. and T.A. Herberlein (1979)：Measuring Values of Extra-Market Goods: Are Indirect Measures Biased?，American Journal of Agricultural Economics，61，pp.926-930。
- Cameron T.A. and M.D. James (1987)：Efficient Estimation Methods for Closed-ended Contingent Valuation Surveys，The Review of Economics and Statistics，69，pp.269-276。
- Cameron T.A. (1991)：Interval Estimates of Non-Market Resource Value from Referendum Contingent Valuation Surveys，Land Economics，67(4)，pp.413-421。
- Diamond P. (1996)：Testing the internal Consistency of Contingent Valuation Surveys，Journal of Environmental Economics and Management，30，pp.337-347。
- Downing M. and Teofilo Ozuna, Jr. (1996)：Testing the Reliability of the Benefit Function Transfer Approach，Journal of Environmental Economics and Management，30，pp.316-322。
- Duffield J.W. and D.A. Patterson (1991)：Inference and Optimal Design for a Welfare Measure in Dichotomous Choice Contingent Valuation，Land Economics，67(2)，pp.225-239。
- Hanemann W.M. (1984)：Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses，American Journal of Agricultural Economics，66，pp.332-341。
- Hanemann W.M. (1989)：Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Response Data: Reply，American Journal of Agricultural Economics，71，pp.1057-1061。
- Johansson P.-O., B. Kristrom and K.G. Maler (1989)：Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Response Data: Comment，American Journal of Agricultural Economics，71，pp.1054-1056。
- Johansson P.-O. (1987)：The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits，Cambridge University Press。
- Krinsky I. and A.L. Robb (1986)：On Approximating the Statistical Properties of Elasticities，The Review of Economics and Statistics，68，pp.715-719。
- Mitchell R.C. and R.T. Carson (1989)：Using Surveys to

- Value Public Goods, Resources of the Future.
- Park T., J.B. Loomis and M. Creel (1991) : Confidence Intervals for Evaluating Benefit Estimates from Dichotomous Choice Contingent Valuation Studies, *Land Economics*, 67(1), pp.64-73.
- Sellar C., J.-P. Chavas and J.R. Stoll (1986) : Specification of the Logit Model: The Case of Valuation of Nonmarket Goods, *Journal of Environmental Economics and Management*, 13, pp.382-390.
- Whitehead J.C., G.C. Blomquist, T.J. Hoban and W.B. Clifford (1995) : Assessing the Validity and Reliability of Contingent Values: A Comparison of On-Site Users, Off-site Users, and Non-Users, *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, pp.238-251.

Reliability analysis of contingent valuation surveys for measuring the benefit of environmental quality improvement with heterogeneous variances of WTP

Takahiro KAWAYOKE*, Hirokazu TATANO** and Norio OKADA**

*Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Nikken Sekkei, Ltd.

**Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Synopsis

This paper proposes a new method to estimate confidence intervals of mean willingness to pay (WTP) measured by the closed-ended contingent valuation method (CECVM) surveys in a project which involves changes in environmental quality with heterogeneous variances of WTP. Two types of confidence intervals of the mean WTP are formulated. One is for the mean WTP of each individual and the other is for the population mean WTP. These two confidence intervals are formulated in forms analytically tractable. An empirical study are executed to illustrate performances of the proposed confidence intervals of mean WTP obtained by CECVM surveys.

Keywords: CVM, Cost-Benefit Analysis, Confidence Interval, Reliability Analysis