

三河湾における干潟・浅場造成を事例とした ペイメントカードCVMの実施と必要サンプル数 の推定

Practice and Required Sample Number of Payment Card Contingent Valuation Method
in Case of Promotion of Increment of Tidal Flat and Shallow Water Area
in Mikawa Bay

鈴木武¹・山口良永²・赤石正廣³・河合尚男⁴

Takeshi SUZUKI, Yoshinaga YAMAGUCHI, Masahiro AKAISHI and Takao KAWAI

¹正会員 工博 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

²正会員 (前)国土交通省 中部地方整備局 三河港湾事務所 (〒441-8075 愛知県豊橋市神野ふ頭町1-1)

³正会員 国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所
(〒457-0833 愛知県名古屋市南区東又兵衛町1-57-2)

⁴正会員 国土交通省 中部地方整備局 港湾空港部 (〒455-8545 名古屋市港区築地町2)

Contingent Valuation Method (CVM) is a typical method for us to measure the benefit and/or cost of goods having no market, such as tidal flats and shallow water area. CVM has several types for getting answers. Among them, the referendum type is seemed having least biases in the estimation. But, the payment card type is rather preferred to the referendum type in business practices, because the referendum type requires many data for reliable estimation. Using the case of promotion of tidal flat and shallow water area in Mikawa Bay, the authors analyzed the statistical reliability of the payment card type CVM for the purpose of enhancing usability of the method.

The author estimated WTP median and compared the WTP median and its precision estimated by the density distribution curve with those by the cumulative distribution curve. Significant difference of WTP medians was not observed. There was, however, significant difference in the precisions of WTP median. Therefore, the author formulated an error rate function by the sample number in the case of using the density distribution curve.

Key Words : *contingent valuation method, reliability of estimation, tidal flat, shallow water area*

1. はじめに

2003年1月, 自然再生推進法が施行された。これによって近年における自然再生への議論に一定の結論がもたらされ, 自然環境の再生が名実ともに重要政策課題の一つに位置づけられた。しかし, 自然再生には多くの資金を必要とするため, 政府の財政事情が非常に厳しい現状では, 社会として投資に見合った便益が得られることがかなり明確でなければ, それだけの資金を実際に投下することはできない。このため, 自然生態系の便益を適切に計測する必要がある, 高い信頼性と実用的性を持つ便益計測の手法が必要となっている。

自然生態系は典型的な公共財であり, その取引の市場がないため, 自然生態系の価格を市場から直接読み取ることが出来ない。こうした非市場財を公共

事業によって供給するときの投資効果を分析するために, 費用便益分析(CBA: Cost Benefit Analysis)の手法が各種まとめられている。費用便益の手法はいくつかあるが, 存在価値までを含めて評価できる方法は, それらの中では仮想評価法(CVM: Contingent Valuation Method)もしくはコンジョイント分析(CA: Conjoint Analysis)しかない。しかしどちらの手法も架空の状況を前提に表明された選好を計測する手法であるため, 様々なバイアスの問題があり, その推定精度に多くの課題が残っている。それでも, これらに替わる適当な方法がないため, これらの手法を使うしかないのが現状である。このため, 本研究では, 両手法のうち手法が単純で使われる機会の多いCVMについて, 推定精度に関する知見を深めるための分析を行う。

2. ペイメントカード方式の特質と研究意図

CVMで一般に用いられる支払金額の決定方式は、自由回答方式、付け値ゲーム方式、ペイメントカード方式、レファレンダム方式の4種類である。

自由回答方式は、回答者が金額を決定することに対して何の手がかりも提供しないために、回答者は金額を答えるためにかなりの精神的ストレスに耐えなければならない。このために、回答率がかなり低下してしまうと言われている。付け値ゲーム方式は、回答者に擬似的に競りに参加してもらうという状況を作り出さなければならないため、そのような状況を作り出すために多くの労力が必要となる。更に、この方式は最初の提示額に大きく影響を受けることが指摘されている。ペイメントカード方式は、提示した金額の最大値と最小値の範囲が回答者に影響を与えられている。レファレンダム方式は、回答者が答えやすく、バイアスが相対的に少ないと言われているが、得られるサンプル当たりの情報量が他の方式に比べて少ないため、かなり大きなサンプルを必要とする¹⁾。

こうした状況があり、わが国においては、金額決定のための補助手段を内包していて、CVMの実施主体の負担が比較的少ないペイメントカード方式やレファレンダム方式が、多くの場合に使用されている。レファレンダム方式は、最もバイアスが少ない方法だとされているが、得られるサンプル当たりの情報量が少ないため、アンケートもしくはインタビューの数を多くしなければならない。しかも、一定の推定精度が得られるという前提の下でサンプル数を小さくするためには、承認率が大きく変化する区間を効率よくカバーするように提示額の金額組を設定しなければならない。このために、一般的には事前調査を必要とし、それに基づいて提示額の金額組を設定することになる。しかし、事前調査をすること自体が時間および費用の面で実施主体の負担になるとともに、通常、事前調査は極めて小規模であるため、そこから判断される金額組が適切ではない可能性が残る。この危険性が調査会社や実施主体にとっては、負担と感じられるようである。この結果、データの精度はレファレンダム方式が優れていると分かっている。ペイメントカード方式が採用される場合が少なくない。ちなみに、「港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル」（運輸省港湾局、1999）²⁾、「河川に関わる環境整備の経済評価の手引き（試案）」（河川に関わる環境整備の経済評価研究会、1999）³⁾および「沿岸漁場整備開発事業費用対効果分析の手引き」（水産庁資源生産推進部整備課、2000）⁴⁾においては、特定の金額組決定方式を推奨する記述はないため、回答方式や金額組決定方式は、対象事業や地域の特性などを考慮して実施者が適切に選択するという状況になっている。もっとも、事業の規模や重要度によって必要とされるCBAの精度や調査に投下できる資金の大きさが異なるし、場合

によっては政治的なスケジュール設定による時間制約が厳しいときもあるので、そうした種々の状況にあわせて回答方式や金額組決定方式を適切に選ぶ必要がある。このため、画一的に手法を指定することが良いとは限らない。

レファレンダム方式は、1つのサンプルで1つ（ダブルバウンド形式の場合には2つ）の金額についての賛否の回答という情報しか得られない。これに対して、ペイメントカード方式は、用意した金額組から1つの金額が支払を許容する最大値として選択されるため、選好傾向に単調性を仮定すれば、全ての金額についての賛否が得られたとみなすことができる。その上、ペイメントカード方式は金額組の範囲を広くとれば、承認率曲線の遷移領域をほぼ確実に捕捉することができるし、金額組の各金額の差を小さくとり金額組の金額の種類数を大きくすれば、承認率曲線を推定するために使用できる情報がそれだけ多くなる。ペイメントカード方式とレファレンダム方式で回答に要する回答者のストレスは決定的に違うというほどでもないため、回答割合は大きく変わらない。このことから、ペイメントカード方式は、レファレンダム方式に比べてかなり多くの情報を効率よく得ることができると考えられる。にもかかわらず、ペイメントカード方式の場合における支払意思額代表値の推定精度に関する研究の蓄積はほとんどない。

このため、情報が効率よく得られ、実務において比較的多く使用されているペイメントカード方式に着目し、CVMの推定精度を調べる。このため、三河湾における干潟・浅場造成事業を対象にアンケート調査を実施し、得られた回答データを用いて、中央値の推定およびサンプル数と誤差率の関係を推定する。そして、サンプル数や金額組の設定の仕方が、提示額－承認率曲線の推定においてどのような影響を及ぼしているのかを併せて分析する。

3. アンケート調査の概要

「三河湾における干潟・浅場造成事業に対する支払意思」を、ペイメントカード方式で質問するアンケートを実施した。アンケートの概要は以下のとおりである。

(1) 状況説明

調査票では、三河湾の環境・水産資源の状況や干潟・浅場造成の状況などについて理解を深めてもらうため、支払意思の質問の前に、三河湾の状況説明を記した頁を設けた。説明では、まず、1970年代より三河湾で赤潮や貧酸素水が多く確認されるようになり、それ以前は水産資源が豊富な海であった三河湾の水産資源が大きく減少したこと、その原因の一つとして埋立によって干潟・浅場が大きく減少したことが考えられることを述べた。次に、中山水道航路の浚渫土を活用して干潟・浅場を約450ha造成したことを述べ、干潟・浅場を造成するとそこに二枚

貝が生息し、それらの貝は水底の貧酸素の影響を免れ、生存率が高いため、高い水質浄化機能が期待できることを述べた。さらに、アサリなどは水産資源としての価値も高く、西浦地区の造成干潟の場合では、平成14年6月の1m²あたりのアサリの現存量に造成面積を乗じたときのアサリの価値（小売価格ベース）は約9,650万円であることにも言及した。

(2) 質問内容

支払意思についての質問内容は次の通りである。

説明したような干潟・浅場造成事業は、あなたに支払って頂いた税金によって行われています。三河湾の水環境を改善するために、干潟・浅場造成等の水質改善事業を仮に100ha行うとして下さい。この場合、あなたは今後このような事業を行うことに対して、いくらまでなら税金を支払っても良いとお考えですか？なお、金額は1年分、支払いは30年続くものと仮定して下さい。ただし、このようなことに予算を使用した場合は、他の行政予算が削減されることになります。

- | | | | |
|-------------|-------------|----------------|-------------|
| 1) 0円 | 2) 100円 | 3) 500円 | 4) 1,000円 |
| 5) 1,500円 | 6) 2,000円 | 7) 2,500円 | 8) 3,000円 |
| 9) 4,000円 | 10) 5,000円 | 11) 6,000円 | 12) 7,000円 |
| 13) 8,000円 | 14) 9,000円 | 15) 10,000円 | 16) 12,000円 |
| 17) 15,000円 | 18) 20,000円 | 19) 30,000円 | 20) 40,000円 |
| 21) 50,000円 | 22) 80,000円 | 23) 100,000円以上 | |

(3) 事前調査

調査票の説明・質問内容の妥当性と支払意思額の提示金額の妥当性を確認するため、事前調査を行った。事前調査は、2003年1月31日（金）にJR豊橋駅東口（10：00～14：30）およびJR蒲郡駅（15：00～16：00）において、通行中の人々に無作為に声をかけ、愛知県在住者に対して行い、47人から回答を得た。

(4) 調査票の配布と回収

事前調査の結果を受けて、調査票の内容を変更せずに本調査を実施した。調査票は、2003年2月17日（月）～18日（火）に配布した。配布地域は、東三河地域（豊橋市、豊川市、蒲郡市、新城市、渥美郡、北設楽郡、南設楽郡、宝飯郡）、西三河地域（岡崎市、碧南市、刈谷市、豊田市、安城市、西尾市、知立市、高浜市、東加茂郡、西加茂郡、額田郡、幡豆郡）、知多地域（半田市、常滑市、東海市、大府市、知多市、知多郡）、名古屋市である。各地域ごとの発送数と回収数は表-1のとおりである。

表-1 調査票の発送・回収数

地域	世帯数	発送数	回収数	回収率
東三河地域	256,631	1,358	258	19.0%
西三河地域	509,794	2,635	513	19.5%
知多地域	204,926	1,007	142	14.1%
名古屋市	923,485	1,000	156	15.6%
合計	1,894,836	6,000	1,069	17.8%

4. 確率密度関数の当てはめ

ペイメントカード方式で得られた結果に対して、レファレンダム方式で得られたデータと同様の確率分布推定方法を使用することが一般的だが、データの性質が異なるため同じデータ処理を適用することが適当であるとは考えにくい。

レファレンダム方式の場合は、同じ金額を提示した群ごとのYES/NOの割合が意味を持ち、それは他の提示額群と独立なデータである。従って、YES/NOの割合をそのまま承認率曲線に当てはめることは、データの性格と当てはめの論理の関係が一致する。これに対して、ペイメントカード方式で得られたデータは、回答者が与えられた金額組の中で支払っても良いと思う最大の金額を選択したものであるため、そのデータは最大支払許容額の頻度分布を現す。このため、次のような処理をしてから当てはめを行う場合が多い。ある支払金額 x_1 および x_2 を提示したとき、間接効用 V が単調性を持つ、即ち、

$$\forall (x_1, x_2, V(x_1), V(x_2)) \in \mathbf{R}^4 \quad (1)$$

$$: x_1 < x_2 \rightarrow V(x_1) > V(x_2)$$

が成立すると考えれば（ここで、 $\mathbf{R}^4$ は4次元Euclid空間である。）、最大支払許容額が提示額より大きい場合はYESと回答し、提示額より小さい場合はNOと回答するはずである。そこで、最大支払許容額を聞き出すために提示した金額組を使って、各金額を提示した場合に、何人がYESと回答し、何人がNOと回答するかを計算し、それらを全てレファレンダム方式の質問をした場合のサンプルであるとみなして承認率曲線の当てはめを行うのである。この方法を使えば、（回答サンプル数）×（提示額組の金額数）だけのデータが得られたと同じデータ数で、更に言えば、そのデータ数に対応する高い精度で、提示額に対する承認率曲線を推定することができるということになる。

このことは、提示額組の金額数を増やしさえすれば、回答の数が増えなくても承認率曲線推定の信頼性が高まるということの意味している。基本的な情報としては、ある個人が支払っても良いと考える金額の最大値は何かという質問に対する1回答＝1情報でしかなく、その情報量が変化しないにもかかわらず、使用できるデータ量が任意に増減するということは、前述のデータ処理はどこかに矛盾を持つと考えなければならない。

ペイメントカード方式の質問で得られたデータは、多くの場合、提示額－承認率曲線の形に変換して、その形で当てはめが行われる。しかし、そのような矛盾を回避するために、承認率曲線に変換をしないで頻度分布の形のままで当てはめを行い、提示額－承認率曲線を推定する。これを数式で表現すると、

$$\max_{\theta} [LH(\theta)] \quad (2a)$$

$$LH(\theta) = \sum_j [n_j \cdot \ln(p^{cal}(x_j, \theta))] \quad (2b)$$

$$P_0 = \sum_{x \in x} p^{cal}(x_j, \theta) \quad (2c)$$

となる。ここで、 θ は推定パラメータベクトル、 LH は対数尤度、 j は提示額に付けられた通し番号、 x_j は第 j 番目の提示額、 n_j は第 j 番目の提示額を最大支払許容額として選択した回答の数、 $p^{cal}(\cdot)$ は最大許容額の頻度分布関数、 P_0 は $x \rightarrow 0$ の場合の提示額に対する承認率、 x は提示額の全体集合である。この最尤推定法によっても提示額－承認率曲線を推定することができる。この場合は、 n_j が0の項がいくらあっても対数尤度関数の値は変化しない。感度が低いのは、 p^{cal} に対して n_j が小さい項であることが分かる。つまり、最大許容額として選択されない金額の選択肢を多く設定しても、この方法で曲線の当てはめを行う場合は、何の違いも生じないということになる。

提示額－承認率曲線での当てはめと最大支払許容額の頻度分布での当てはめの差異をみるため、提示額承認率曲線を次式のとおりに仮定し、

$$P(x) = \frac{P_0}{1 + \exp(-\theta_0 + \theta_1 \cdot \ln x)} \quad (3)$$

P_0 を金額0円より大きい値を回答した割合として、各々の方法で全地域のデータに対して回帰を行った。結果は図-1～2の通りである。

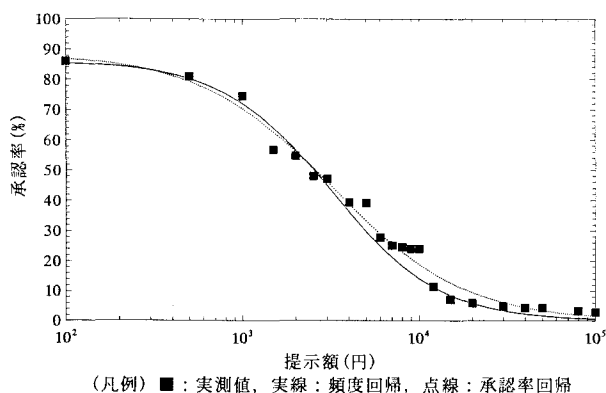


図-1 提示額－承認率曲線の比較

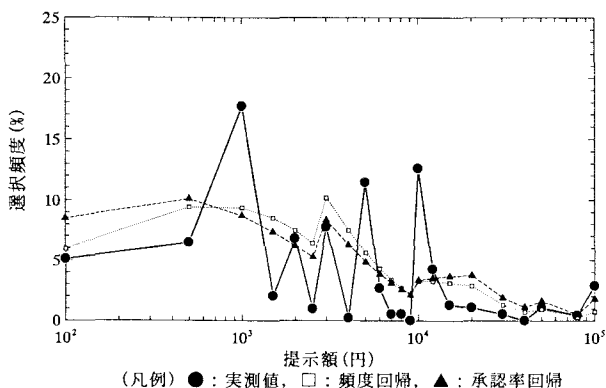


図-2 最大許容額の選択頻度の比較

提示額－承認率曲線と最大許容額の選択頻度の当てはめはまりの状況は、グラフで見ると承認率分布から推定した場合と、頻度分布から推定した場合であり大きな差がない。今回の調査では金額間の幅を小さくとり、多くの金額の選択肢（例えば、1000円～10000円の間では、1000円、1500円、2000円、2500円、3000円、4000円、5000円、6000円、7000円、8000円、9000円、10000円。）を提示した。それにもかかわらず、2つの当てはめ方法で結果があまり変わらないのは、提示額－承認率の実測値に対して想定した曲線の形が良く一致しているためである。当てはめを承認率分布で行った場合と頻度分布で行った場合の対数尤度、赤池情報量規準AIC（Akaike's Information Criterion）および支払意思額中央値 WTP_{median} を求めると表-2のとおりとなる。

表-2 当てはめ状況の比較

当てはめ	対数尤度	パラメータ数	AIC	WTP_{median}
承認率分布	-9,555	3	19,115	2,575円
頻度分布	-2,223	3	4,453	2,532円

この結果を見ると、対数尤度とAICが大きく異なることが分かる。これは、対数尤度関数の定義式が異なることと、見かけ上使用しているデータ数が異なるためである。 WTP_{median} をみると両者の間には頻度分布での推定値を基準にして1.7%の差しかない。対数尤度やAICはデータに対する推定曲線の当てはまりの良さを表す指標である。これらは推定された曲線の信頼性、ひいては推定された WTP の代表値の信頼性を間接的に表しているの、承認率分布で推定をした場合には、非常に高い信頼性が得られているように見える。

両者について、得られた回答金額の頻度分布が母集団の確率分布であると仮定して、承認率分布で最尤推定をした場合と頻度分布で最尤推定をした場合についてそれぞれ1000回のモンテカルロシミュレーションを行い、 WTP_{median} のt値を推定した。結果は、表-3のとおりである。承認率分布で当てはめを行った場合は、頻度分布で行った場合の2.5倍近いt値が得られている。先に述べたとおり、承認率分布で当てはめを行った場合の WTP_{median} は頻度分布で当てはめを行った場合とほとんど違いがないが、信頼性の検定では実際のデータに対して見かけ上かなり高い推定精度が算定される。推定結果の信頼性を評価する場合には、この点に注意が必要である。

表-3 WTP_{median} のt値

当てはめ	WTP_{median} のt値
承認率分布	44
頻度分布	18

地域別の WTP_{median} を頻度分布による方法で推計すると以下の通りである。 WTP_{median} は東三河、名古屋、

西三河，知多の順である．この順序には，いわゆる「三河湾への思いの違い」という要素だけではなく，職種構成の違いや所得水準の違いなど様々な要素が複雑に影響しているため，この理由を正確に分析することは難しい．しかし，ここに得られたサンプルは，様々な要素が絡み合っているが，それらの平均的な姿を現していると考えれば，地域ごとの支払意思の総額を試算することは，全く見当違いのことではないと考えることができる．

表-4 地域別の WTP_{median}

	東三河	西三河	知多	名古屋市	合計
WTP _{median}	3,059	2,465	2,050	2,660	2,532
データ数	236	462	100	147	945
対数尤度	-578	-1,128	-239	-349	-2,296

注) WTP_{median}の単位は円である．

5. サンプル数とサンプリング誤差

ペイメントカード方式でWTP_{median}を推定する場合のデータ数とWTP_{median}のサンプリング誤差の関係を推定するため， P_0 が1, 0.9, 0.8, 0.7の場合に，データ数が50, 100, 300, 1000, 3000となる各場合についてそれぞれ1000回のモンテカルロシミュレーションを行った．アンケートで得られた回答の確率分布が母集団の確率分布であると仮定し， P_0 はBeta分布

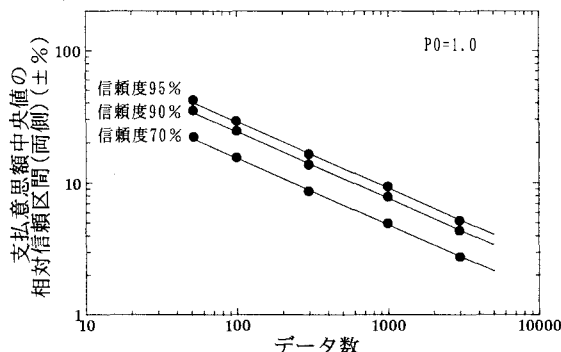


図-3 WTP_{median}のサンプリング誤差 $P_0=1$

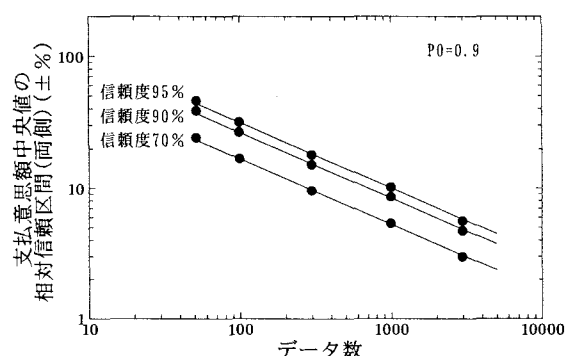


図-4 WTP_{median}のサンプリング誤差 $P_0=0.9$

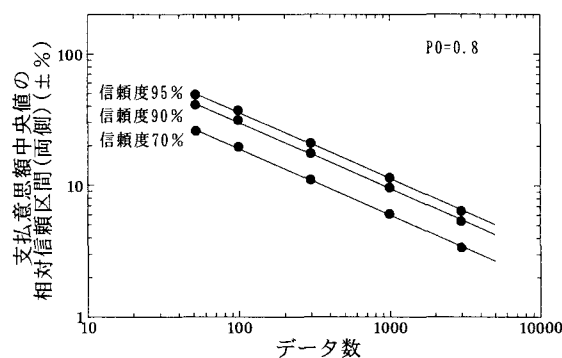


図-5 WTP_{median}のサンプリング誤差 $P_0=0.8$

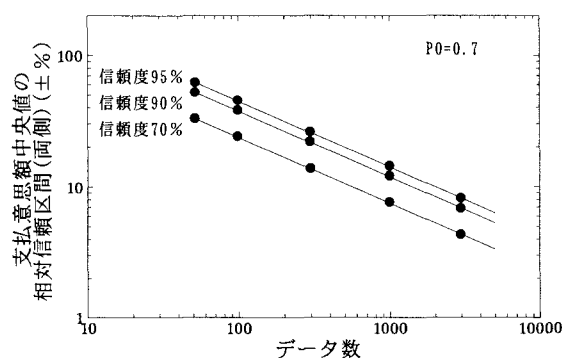


図-6 WTP_{median}のサンプリング誤差 $P_0=0.7$

に従って確率分布すると仮定した．そして，提示額－承認率曲線は式(3)を仮定し，頻度分布に対する最尤推定でパラメータを推定した．この結果得られたデータ数とWTP_{median}の相対信頼区間の関係は，図-3～6のとおりである．

計算結果のプロットは直線となっている．そこで，誤差理論に従い，WTP_{median}の相対信頼区間がデータ数の-0.5乗に比例するものとして式(4)および(5)を仮定し，両辺を自然対数変換した形で最小二乗法を行い，WTP_{median}の相対信頼区間ER(%)とデータ数の関係式を求めた．

(両側信頼区間の場合)

$$ER = K \cdot \Phi^{-1}(0.5 + R_{\text{rely}}/200) \cdot N^{-0.5} \quad (4)$$

(片側信頼区間の場合)

$$ER = K \cdot \Phi^{-1}(R_{\text{rely}}/100) \cdot N^{-0.5} \quad (5)$$

ここで， $\Phi^{-1}(x)$ は標準正規確率累積分布関数の逆関数， R_{rely} は信頼確率(%）， N は支払意思が正であるサンプルの数， P_0 は全有効サンプルにおける提示額0円の場合の承認率， K は P_0 ごとに定まる係数である． K の推定値および推定誤差は表-5のとおりである．この関係式を用いれば，得ようとするWTP_{median}の必要な信頼度，信頼区間を決定すれば，そのために必要なサンプル数を求めることができる．今回のアンケートで得られた P_0 は0.86なので0.9とみなし，サンプル数は945であるので，この場合の信頼確率を95%ととれば，今回得られたWTP_{median}の相対信頼区

間は両側で10%、片側で9%となる。

表-5 Kの推定値と推定誤差

P_0	K	標準誤差	相関係数
0.7	228	0.9	1.000
0.8	181	2.0	1.000
0.9	161	2.0	1.000
1.0	148	1.6	1.000

ここで得られたKをレファレンダム方式で得られたものと比較する。比較する事例は、船舶事故による油流出事故から海岸環境を守ることにに対する支払意思を調査したものである⁹⁾。結果は表-6の通りである。誤差率を同じにするという条件の下では、Kの違いがサンプル数に対して二乗で影響を及ぼす。このため、Kの二乗の比をとると、ペイメントカード方式はレファレンダム方式の約1/3であることがわかる。これは、同じ精度のWTP_{median}を得るためには、ペイメントカード方式の場合は、レファレンダム方式の約1/3のサンプルで十分だということを表している。

表-6 回答形式によるKの差

P_0	ペイメントカード (a)	レファレンダム (b)	$(a)^2/(b)^2$
0.7	228	393	0.337
0.8	181	313	0.334
0.9	161	278	0.335
1.0	148	269	0.303

6. 結論

CVMには、回答方法により自由回答方式、付値ゲーム方式、ペイメントカード方式、レファレンダム方式がある。この中ではレファレンダム方式が最もバイアスが少ないとされるが、統計的な推定精度を確保するために多くのサンプルを必要とするため、実務においてはむしろペイメントカード方式が好まれる場合がかなりある。しかし、ペイメントカード

方式CVMはレファレンダム方式CVMに比べて推定精度についての研究蓄積が少ない。このため、ペイメントカード方式のCVMについて、統計的な推定精度の特性を、三河湾における干潟・浅場造成に対する支払意思を調べた結果を用いて分析した。その結果、得られた知見は次のとおりである。ただし、この知見はあくまでも一事例から導かれたものであるため、この知見がどのような場合にでも当てはまるかについては、慎重な思考がなされることが必要である。

WTP中央値の推定における確率母関数を頻度分布とし、よく用いられる承認率分布関数による推定方法と推定値を比較した。その結果、両者の間に有意な差は見られなかったが、算出されたWTP中央値の推定精度は大きく異なっていた。このため、頻度分布による推定方法による場合のサンプル数と推定誤差率の関係式を求めた。この結果を「船舶事故による流出油から海岸の環境を守ることにに対する支払意思についての調査」から求めたレファレンダム方式CVMの場合のサンプル数と推定誤差率の関係式との比較した。その結果、ペイメントカード方式の場合は、レファレンダム方式の約1/3のサンプルで同じ推定精度を確保することができることが分かった。

参考文献

- 1) 栗山浩一：公共事業と環境の価値－CVMガイドブック，築地書館，1997.
- 2) 運輸省港湾局：港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル，1999.
- 3) 河川に関わる環境整備の経済評価研究会：河川に関わる環境整備の経済評価の手引き（試案），1999.
- 4) 水産庁資源生産推進部整備課：沿岸漁場整備開発事業費用対効果分析の手引き，2000.
- 5) 鈴木武：沿岸開発による環境影響の価格定量と帰還効果分析の手法に関する研究，国土技術政策総合研究所研究報告，No.9，pp.48-52，2003.