

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ることになり、当面の取り組むべき方向が確定した。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のである。自然環境の再生には大きな資金を必要とする。このため、「どこに」でも「どのようなもの」でも再生に取り組むことはできない。自然環境の再生は、単に地形や地表面を自然の状態に戻すだけではなく、そこに形成される自然豊かな生態系を取り戻すことが目的である。このため、自然科学的に自然豊かな生態系の成立が可能となる種々の条件が整っている地区でなければ意図する環境を得ることが出来ない。こうした自然科学的な条件の有無が実施の場所と内容を左右する。こうした制約とは別に、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り、高い信頼性と実用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)の手法が各種の公共事業評価のマニュアルやガイドライン(例えば、運輸省港湾局, 1999; 河川に関わる環境整備の経済評価研究会, 1999; 水産庁資源生産推進部整備課, 2000)にまとめられている。これらに掲載さ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)かコンジョイント分析(CA: Conjoint Analysis)ぐらいしかない。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に着目し、その推定精度がどの程度であるかについての知見を深めるための分析を行うこととした。

CVMで一般的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種類がある。自由回答方式は、自由に金額を記入してもらう方式である。付け値ゲ

ーム方式は、市場の競りのような掛け合いプロセスによって金額を決定する方式である。ペイメントカード方式は、提示した金額の選択肢の中から金額を選んでもらう方式である。レファレンダム方式は、金額を回答者に提示してYESかNOかを答えてもらう方式である。

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とともに、競りのプロセスを実行するために多くの時間が必要となる。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、バイアスが比較的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(栗山浩一, 1997)。

こうした状況があり、わが国においては、付け値ゲームは、対象集団の数が大きいときや居住範囲が広いときは、実施するための費用がかなり大きくなるためや、開始点バイアスの大きさが懸念されるために、ほとんど使われてない。自由回答方式は、このような対象に対して自ら値段を付けるという文化が日本にないため、金額決定における回答者のストレスが大きく、回答数が大きく減少するといわれており、この方法もほとんど使われない。金額決定のための補助手段を内包して、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る。レファレンダム方式は、この中で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、一般的にはプレ調査を必要とし、それに基づいて提示額の金額組を設定することになるが、プレ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、プレ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が、ペイメントカード方式が採用される場合が少なくない(表-1 参照)。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)、「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) 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)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必ずしも限らない。

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つの金額が最大支払可能な選択肢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、回答割合は大きく違わないと考えられる。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思われる。

ペイメントカード方式の大きな問題点として、範囲バイアスの存在が挙げられている(栗山, 1997)。範囲バイアスとは、ペイメントカードの金額組の上限と下限の中間的な金額が強く選ばれてしまう傾向である。これを回避する方法としては、①金額組の上限と下限を大きくとり範囲を認識しにくくしてしまう方法、②サンプルごとに金額組の上限と下限を様々に変化させる方法などが考えられる。これらによって、範囲バイアスを減じることができると考えられる。しかし、②の場合は、提示額に対する承認率曲線を推定することが目的であるため、その遷移区間を必ずカバーしなければならない。そのためには、プレ調査を実施するか、そうでなければ、不確実性を減らすためにかなり余裕をみた幅広い金額範囲を設定する必要があることになる。プレ調査に関しては、前述のとおり、レファレンダム方式の問題点で指摘した内容と同じ負担が生じるので、ペイメントカード方式を選択する利点が減ってしまう。幅の広い金額範囲を設定する場合は、結果的に①を行うことになってしまうので、敢えて②を行う必要がなくなってしまう。このため、この2つの方法の中では①を採用することが現実的となる。①を採用した場合は、金額組に含まれる価格の数が多くなり、実態的には自由回答方式に特性が近くなる。このため、最大支払可能金額を選択することに回答者はかなりのストレスを感じることになり、ペイメントカード方式の利点が減ってしまう。それでも、選択肢の集団の数は有限であり、その中から適当な金額を選択することは、自由回答方式に比べればストレスはかなり少ない。また、使える情報量を増やすために、各金額の差を小さくして金額組に含まれる金額の数を増やす場合は、自由回答方式に特性が更に近づく。

表-1 CVM 適用研究の事例

No	年	著者	論文名	金額決定方式
1	1997	盛岡通ら	沿岸複合的知地域開発で失われる自然海浜のミティゲーションの費用便益に関する評価	支払カード
2	1997	白川直樹ら	環境用水のコストとその環境経済的評価	支払カード
3	1998	松岡恭弘ら	環境財に対する個人の認識度を考慮したCVM	レファレンダム
4	1998	盛岡通ら	CVMによる沿岸域環境改善事業の経済的評価に関する調査研究 — 三河湾沿岸整備の環境評価 —	支払カード
5	1998	足達健夫ら	CVMを用いた環境意識構造のモデル化	レファレンダム
6	1998	大谷悟ら	河川事業の仮想状況評価法(CVM)適用に関する一考察	支払カード
7	1999	高木朗義ら	水質浄化事業による環境改善便益の計測	レファレンダム
8	1999	竹村仁志ら	都市居住者の高度浄水に対する評価に関する研究	支払カード
9	1999	末次忠司ら	河川環境整備と住民意識の関係についての一考察	支払カード
10	1999	鈴木武	船舶事故流出油対策を事例としたCVMのサンプリング誤差の推定	レファレンダム
11	2000	阿部俊ら	土木工事の施工に伴う各種環境負荷の貨幣価値による統合評価 — トンネル工事を事例として —	レファレンダム
12	2000	檀智之ら	CVMによる道路交通騒音を抑制することの経済評価	支払カード
13	2000	田口誠ら	矢作川における河川環境整備にともなう受益構造と費用負担の公平性問題	レファレンダム
14	2001	稲葉隆太ら	諏訪湖水環境改善効果と対策に伴う地球環境への影響の費用便益換算による統合的評価	レファレンダム
15	2001	矢部浩規ら	認知度のCVMによる網走湖環境評価に及ぼす影響に関する研究	レファレンダム

注) 環境システム研究に掲載された論文を対象にリストアップをした。

このように考えると、ペイメントカード方式によるCVMを行う場合に、無定見に金額組みに含まれる金額の数を増やすことには問題がある可能性があることがわかる。こうした点を考慮したうえで、沿岸域における自然再生で注目度が高い干潟と浅場に着目することとし、三河湾における干潟・浅場造成事業を対象に実施されたペイメントカード方式CVMのアンケート回答データを用いて、効用関数型やサンプル数や金額組の設定の仕方が、提示額一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分析した。そして、それによって得られる知見をもとに、効用関数型、サンプル数及び価格組設定等の際に留意すべき事項を整理した。

2. アンケート調査の概要

本研究で使用するデータは、国土交通省中部地方整備局三河港湾整備事務所が実施した調査によって得られたものである。これは「三河湾における干潟・浅場造成事業に対する支払意思」についてペイメントカード方式で質問をしたアンケート調査の結果である。このアンケート調査の概要は以下のとおりである。

2.1 状況説明

アンケートで質問をする前に提示した現状等の説明は次の通りである。

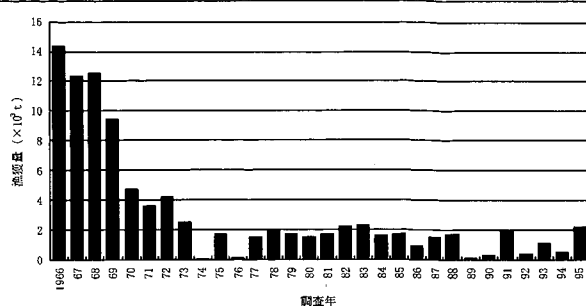
1. 干潟・浅場を造成しました

三河湾は、かつて沿岸部の浅場でアマモ（海草藻類の1種）が多くみられ、多くの魚が群れ、「アサリは獲れすぎるため水産的価値が低く、漁業としては成り立たなかった」というほど水産資源が豊かな海でした。しかし、1970年代より三河湾で赤潮や貧酸素水（水中に溶けこんでいる酸素量の低下）が多く確認されるようになり、その後下水道の整備は進んだものの、今でも夏になると貧酸素によるアサリの大量死がみられています。

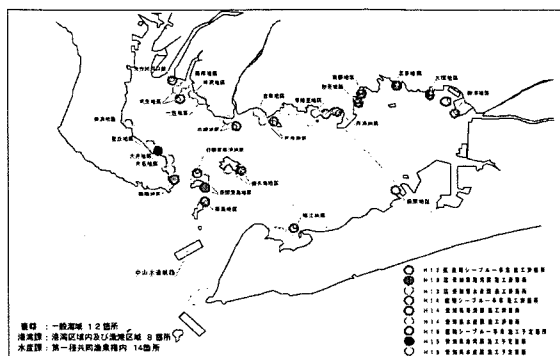
1つの要因としては、人口の増加や経済の発展に伴って沿岸部の埋立が行われ干潟・浅場が減少したこと、そして、干潟・浅場の減少に伴って水質を浄化する働きを担っていた生物が減少したことが考えられます。

そこで、三河湾湾口部の航路整備によって発生した土砂を利用することで費用を抑えながら、悪化した三河湾の水底質環境の改善を目指して干潟・浅場の造成を実施しています。本事業でこれまでに造成した干潟・浅場の面積は約450haに及び、名古屋ドームの面積の約90倍にあたります。

なお、これまでの干潟・浅場造成にかかった事業費は約64億円であり、干潟・浅場の造成面積1m²あたり約14,000円の費用がかかっています。



豊橋市6漁協のアサリの漁獲量の変化
(資料：愛知県水産試験場提供)



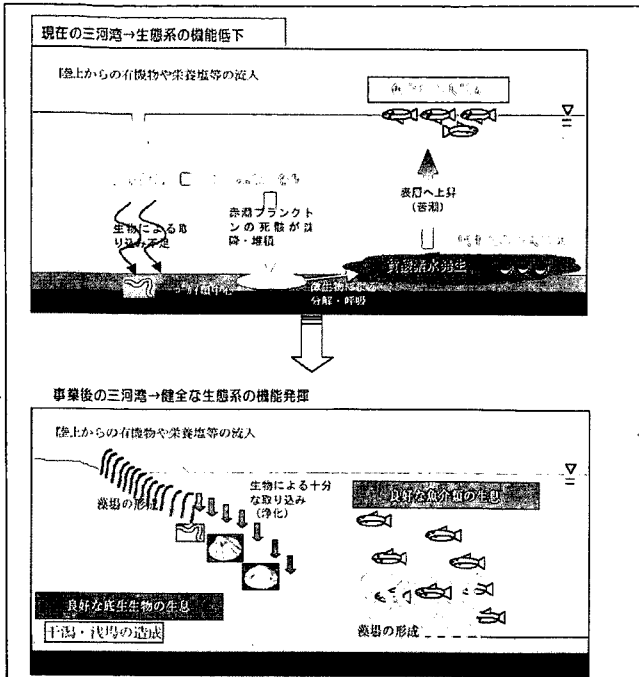
三河湾における干潟・浅場造成場所

語句説明

- 1) 干潟・・・潮の干満によって、干上がったり水没したりする砂泥質帯。
- 2) 浅場・・・水深約1.5～5m程度で、光が底面まで届くような浅い場所（有光層）。
- 3) 赤潮・・・プランクトンを主とする微生物が海中で急速に増加した時に、海面の色が変わる現象。
- 4) 貧酸素化・・・水中に溶け込む酸素の量は水温が高いほど、また塩分が高いほど少なくなります。例えば、夏季の内湾底層水における酸素飽和量は冬季の約3/4に低下します。これに対して、水温が上昇すると水中の微生物の働きが活発となって有機物の分解に多くの酸素が消費されるとともに、水中に生活している動物の呼吸速度も高くなることから、水の流動が緩慢な水塊（すいかい）中では、酸素の消費量が供給量を上回るために溶存酸素濃度が低下します。その現象を貧酸素化と呼びます。

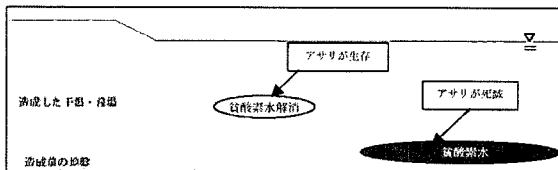
2. 造成した干潟・浅場で生物が増加しました

現在、造成した干潟や浅場では環境や生物の調査を実施しており、実際に三河湾の環境改善につながる効果を確認しています。次に、その具体的な効果についてご紹介します。



★ 干潟・浅場を造成して貧酸素水の影響時間を短縮した
 三河湾の水深が深い場所では、夏に貧酸素化がみられ、生物が死滅します。干潟・浅場の造成はこのような場所を浅くすることによって、貧酸素化しづらい水深の場所を創出し、良好な生物の生息場所を提供します。

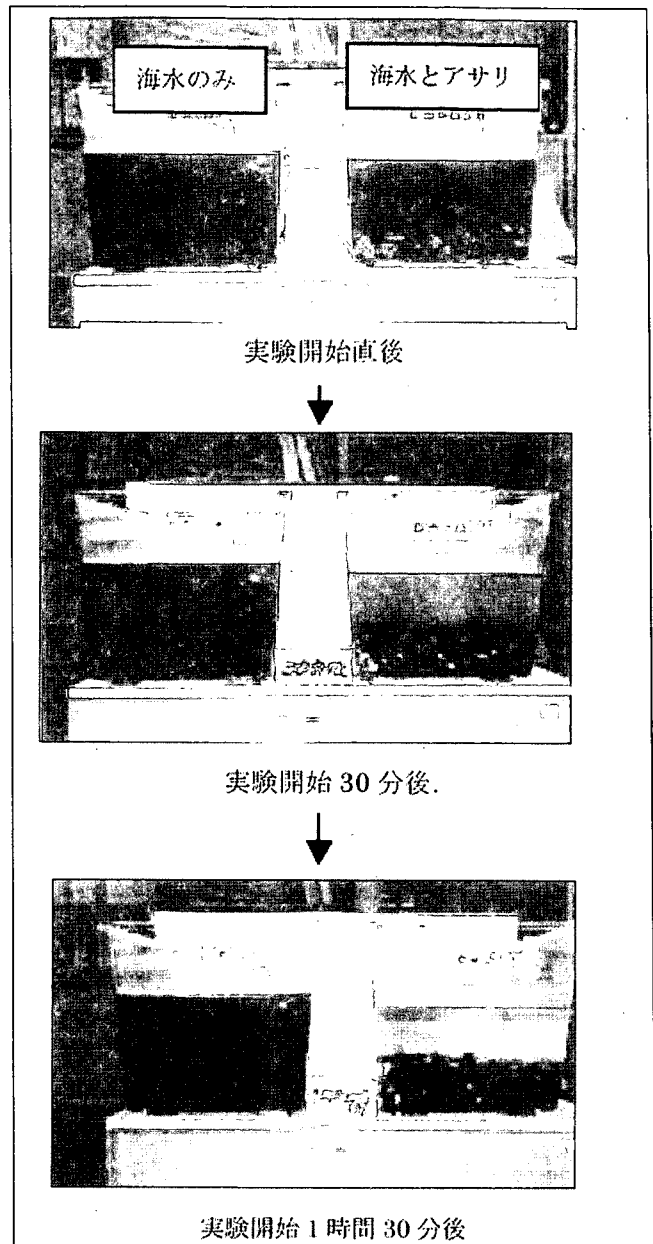
現地調査では、造成した干潟・浅場と造成前の地盤上で、水中の酸素量とアサリの生存状況を追跡しました。その結果、造成前の地盤では貧酸素水が長時間確認され、アサリの全滅がみられましたが、造成した干潟・浅場では貧酸素水が長時間確認されることはなく、約80%のアサリが生き残りました。このように、干潟・浅場の造成は、地盤を高くすることによって貧酸素水の影響時間を短縮し、生物の生息環境を改善しています。



★ 干潟・浅場を造成して水質浄化能力を向上させた
 主に干潟・浅場に生息するアサリなどの二枚貝類は、水質浄化能力の高い生物として知られています。

写真に示したように、海水にアサリを入れた水槽では、それまで濁っていた海水が短時間で透明になり、アサリが水中に浮遊している有機物を取り込み、水質を浄化していることがわかります。三河湾一色干潟(自然干潟)における研究(1)では、一色干潟に生息するアサリとホトトギスガイによって、1日に干潟上の海水が2回過されると推定されており、その能力の高さがうかがえます。

造成した干潟・浅場の水質浄化能力を検討したところ、アサリやバカガイが多く確認された平成12年6月に、1日に1m²あたりで約135.9mgの窒素が浄化されることが推算されました。この値を下水道の処理能力やその建設費と概略で比較すると、造成した干潟・浅場が下水処理場の約1.2倍効率的に水質を浄化することが推測され、干潟・浅場が人工的な浄化施設に比べて効率的に水質を浄化していることがうかがえます。

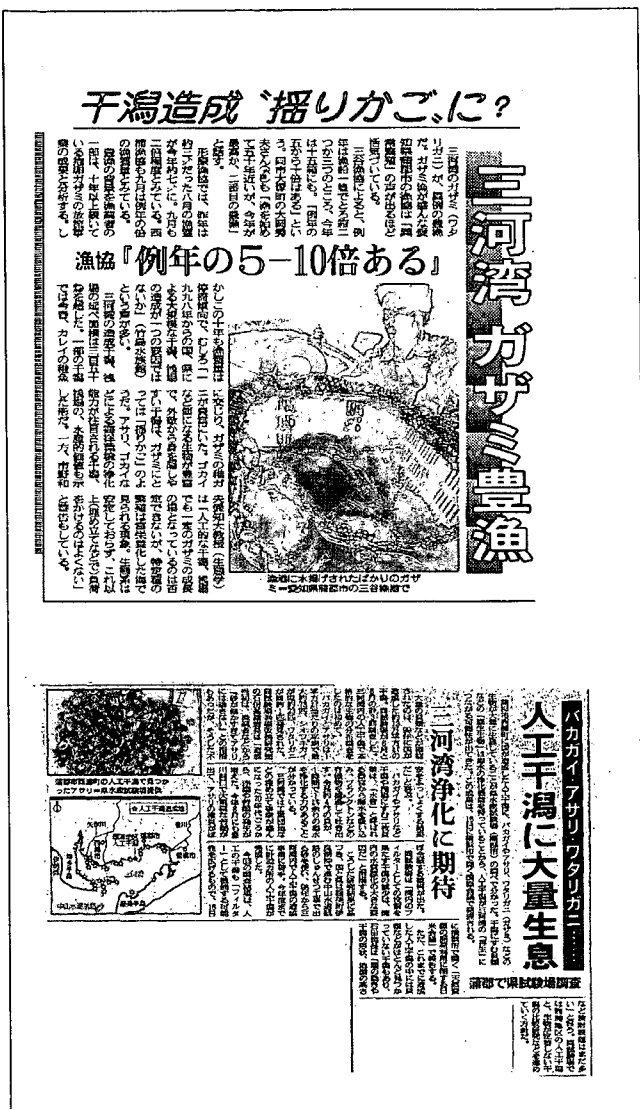


1)佐々木克之(1989)：干潟域の物質循環,沿岸海洋研究ノート,Vol.26,No.2,pp.172-190

★ 干潟・浅場を造成して生物が増加した
 造成した干潟・浅場ではバカガイ、アサリ、ワタリガニなどが多くなっており、今年は新聞等各メディアでその効果が大きくとりあげられました。特にガザミは例年のない豊漁となっており、造成した干潟・浅場がガザミの生育場として、有効に機能していることが推測されています。

造成した干潟・浅場では、蒲郡に位置する西浦地区で多くのアサリが生息しています。平成14年6月には1m²あたり約800gのアサリが確認されており、西浦地区の造成干潟面積(120,650m²)で掛け合わせると、全体で約9.6tのアサリが生息しているものと推測されます。小売価格(アサリ1kgが約1000円)から、その経済的価値を概算すると、全体で約9,650万円程度 of 金額となります。

このようなアサリの増加はみなさんに潮干狩りの場を提供するとともに、漁業振興にも大きな役割を果たすものと推測されます。



2.2 質問内容

支払意思に関する質問の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、他の行政予算が消滅されることとなります。

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

2.3 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質問

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。

依頼を受け入れてくれた人にアンケート用紙を渡し、それを読んで回答を書き込んでもらう予定であったが、じっくり読む時間がとれない人が多く、概要を口頭で説明し、それに基づいて回答を書き込んでもらう方法で実施した。このため、説明や質問の表現の妥当性を確認することはできなかったが、支払意思の質問金額の妥当性を確認することはでき、用意した質問金額組で概ね妥当であることがわかった。

2.4 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。発送地域は、東三河地域(豊橋市、豊川市、蒲郡市、新城市、北設楽郡、南設楽郡、宝飯群)、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-2のとおりである。

表-2 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%

3. 効用関数型

価値学説にはさまざまなものがあるが、価値の源泉を人間の得る満足度、主観的評価、効用と見る価値学説があり、効用価値学説(主観価値学説)と呼ばれる。これに従えば、選好順序が価値を表す。選好順序は財・サービスや判断主体などの属性値で決まるので、財・サービスや判断主体などの属性値などから選好の順位に対応するスカラー量を導く関数を導入し、その関数で価値の大小を表現しようとするのが効用関数理論である。

効用関数理論では、効用関数を財・サービスや判断主体などの代表的属性値から求まる効用の確定項と、それ

以外の事項を確率的に処理する誤差項からなると考える。この確定項を間接効用関数という。以下、この間接効用関数を単に効用関数と呼ぶことにする。

ランダム効用理論において、誤差項を Gunbel 分布とした場合に、それらの超過確率分布を求めると、属性値に対する選好確率分布が Logistic 曲線として導かれる。これが Logit モデルである (McFadden, D., 1974)。

CVM において承認率分布データから承認率曲線を推定する場合に、日本では Logit モデルが多く用いられている。Logit モデルは分布関数を積分形を使わずに表現することができること、Gunbel 分布の仮定を除けば説明変数と承認率の関係の論理が明快であり、関数の意味を理解しやすいこと、そして関数の意味が理解しやすいために実事象への応用がしやすいことが、Logit モデルが広く使用されている背景にあると考えられる。

一般に用いられる効用関数型は線形型か対数線形型である。精神物理学の分野では、知覚量は刺激量の対数に比例するという Weber-Fechner の法則 (和田洋平ら編, 1989) がある。対数線形型の効用関数は、この理論に対応していると考えられる。

線形型の効用関数は、Laplace の原理(Principle of Insufficient Reason)により導かれた関数型と考えられるので、刺激-知覚特性などの知見があればあまり意味をもたない。また、Weber-Fechner 則は刺激が微弱な領域では成立しないことが知られているので、対数線形型もまた完全な関数型であるとは言い切れない面がある。

現代の精神物理学では、知覚量は刺激量のべき乗に比例するという Stevens の法則 (和田洋平ら編, 1989) が成立すると考えられている。効用は知覚量であり、財・サービスなどの属性値は刺激量であるので、効用と財・サービスなどの属性値の関係は Stevens の法則を満たすと考えられる。これが正しいと考えれば、効用関数型はべき線形型が正しいと言うことになる。

効用関数型についての議論としては、松原 (1989) によるベイズの定理に従う事後確率の推定を行うという認知モデルの議論がある。人間の事後確率の認知がベイズ推定に従うとするならば、 τ_1 および τ_2 の 2 状態の場合を考えれば、事後確率は次式のとおりとなる。

$$w'(L_n) = \frac{1}{1 + \gamma \cdot \exp(-L_n)} \quad (1)$$

ここで、

$$L_n = \sum_j \log \frac{f(x_j | \tau_1)}{f(x_j | \tau_2)} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{1-w}{w} \quad (3)$$

であり、 w' は状態 τ_1 の事後確率、 w は状態 τ_1 の事前確率、 L_n は対数尤度比、 γ は生起・不生起の事前確率の比、 (x_1, \dots, x_n) は観測事象の標本、 $f(x_j | \tau_i)$ は状態 τ_i が生起した場合の x_j の生起確率である。これをあるパラメータ β で以下の通り修正すると、

$$w'(L_n^*) = \frac{1}{1 + \gamma \cdot \exp(-\beta \cdot L_n^*)} \quad (4)$$

ここで、

$$L_n^* \equiv \sum_j \log \frac{f(x_j | \tau_1)^\beta}{f(x_j | \tau_2)^\beta} \quad (5)$$

事後確率は修正された対数尤度比を変数とするロジスティック曲線となる。

そして、松原 (1989) は、『有界な認知変数 (ここでは w') に対する情報量 (ここでは L_n^*) について sigmoid を仮定することはそれほど一般性を失うものではない。むしろ、生物統計学で典型として仮定される、量-応答関係としてこの問題を規定 (L_n^* を dose, w' を response) するならば、これはむしろ標準的でさえある。』としている。

ベイズ推定による価値判断は、von Neumann & Morgenstern (1947) の効用、すなわち効用はある事象の生起確率とその事象が実現した場合の利益の積として定義され、その生起確率と実現利益は推移律や加法性などが成り立つことを前提としている。ところが、日常の多くの場面で、人々はそれにそぐわない選択をすることが知られている。そうした、現象を説明するため、Kahneman and Tversky (1979) は、人間の心理をもとに人間の判断モデルを作成しプロスペクト理論と名付けた。プロスペクト理論では、実現利益から主観価値を投影する価値関数と客観確率から主観確率を導くウェイト関数の積によって価値が決まるとした。そして、価値関数は原点を基準点とし、そこからの変化を捉えるものとし、その関数型は原点から離れるに従って変化率が低減する効用低減型の関数を想定、つまり全体としては sigmoid を想定した。また、ウェイト関数は客観確率が微少な領域では大きめに反応し、大きめの領域では小さめに反応するとした。

しかし、これらは sigmoid 型の効用関数型の存在を示

唆しているが、効用関数型の形状とその形状の必然についての踏み込んだ議論はなされていない。

ところで、Laplas の原理も Weber-Fechner の法則も Stevens の法則も人間は無限大の刺激に対してでも相応の大きさとして知覚するという構造を持っている。これは本当だろうか。どのような刺激であれ、あるレベルを超えてしまうと、どれも「もう大差はない」あるいは「どうでもよい」と感じるようになる。前述の3つの刺激-知覚の原理・法則は刺激の大きい範囲はカバーしていない可能性がある。実際、Weber-Fechner の法則も Stevens の法則も元々は弁別閾の計測と理論化が起源となっているため、全般に刺激の大きくない領域での結果から導き出されたものと考えられるので、大刺激領域で成立するとは限らない。

Weber-Fechner の法則および Stevens の法則は刺激-知覚関係の計測結果をもとに導かれた法則であるが、理論的には、人間の知覚特性の仮説に対応した微分方程式によって説明されている。Weber-Fechner の法則の場合は、

$$\Delta Q = k \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (6)$$

である。ここで、 Q は知覚量、 R は刺激量である。この式は、心理学でいうところの「係留と調整のヒューリスティック」という、絶対関係が存在せず、全ての刺激の大きさを相対関係の中で知覚するしかないという人間の置かれている普遍的な環境制約の中での認知特性と符合していることが分かる。

Stevens の法則の場合の人間の知覚特性は、

$$\frac{\Delta Q}{Q} = k \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (7)$$

である。これは、刺激量が「係留と調整のヒューリスティック」で検知される信号レベルが、「係留と調整のヒューリスティック」で検知される知覚量と同じ信号レベルになるところで、知覚されるという機構を現している。

どちらも人間の知覚センサーに上限があることを前提としていない。これを人間の知覚センサーには上限がある、つまりダイナミックレンジがあるということを前提にして、無限大までの信号を入力してもダイナミックレンジの範囲内で知覚量という値を出力するという応答特性を持っていると仮定を置きなおす。この仮定に対する一つの答えは、係留点をその時点の知覚量 Q とするだけでなく、その時点の知覚量からダイナミックレンジの上限 Q_0 までの知覚量 $(Q_0 - Q)$ が Q と独立した係留点とし

て作用すると考えることである。これを「有界センサー I モデル」と呼ぶこととする。これを式で表すと、以下のようなになる。

$$\frac{\Delta Q}{Q \cdot (Q_0 - Q)} = k \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (8)$$

これを解くと、

$$Q = \frac{Q_0}{1 + \exp(-k \cdot \ln R + c)} \quad (9)$$

となり、Logistic 曲線となる。ここで、 k^* は $k \cdot Q_0$ 、 c は積分定数である。ちなみに、 $Q_0=1$ 、 $k^*=1$ 、 $c=5$ の場合の刺激-知覚曲線は、図-1 のとおりとなる。もしこれらが正しいとするならば、同じ刺激に対する知覚を研究者によって増減傾向にあると考えたり、低減傾向にあると考えたりするのは、この S 字カーブのどの領域に着目するかによって全く逆の傾向が現れると考えることで、整合性をもって統一的に説明することが可能になる。それは、遷移区間の中央部を捉えれば Weber-Fechner の法則が成立するように見えるし、屈曲した領域をあまり広くない範囲で捉えれば Stevens の法則が成立するように見えることになる。

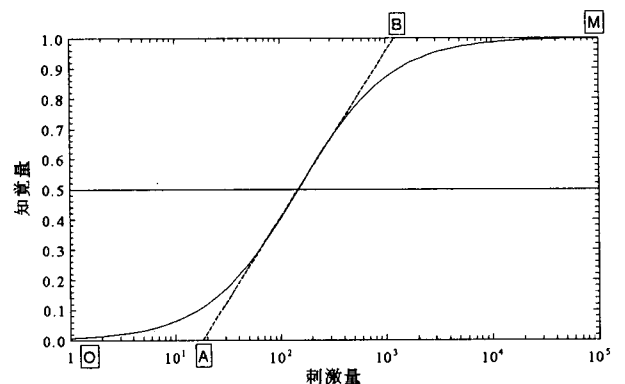


図-1 Logit 型の刺激-知覚曲線の例

この形状は、遷移区間を $\ln R$ に対する接線と見なし、遷移区間外は最小知覚量か最大知覚量をとる折れ線 (Q, A, B, M) とみなすことができる。例えば、図-1 の場合は、A, B間を $\ln R$ に対する直線と見なし、 $R < A$ のときは $Q = 0$ 、 $B < R$ のときは $Q = Q_0$ なる折れ線と考えるということである。そして、A, B) を実効ダイナミックレンジと呼ぶことにする。このような折れ線と考えれば、求めようとする刺激-知覚特性を概ね満足することができる。このような特性を持つ知覚センサーを人間が持つ

ていると考えると、このような知覚センサーで全ての事象の刺激量の検出に対応しようとするならば、実質的に刺激量の違いを検知することができるのは図-1 の場合は概ね[A][B]の範囲に限られるので、知覚センサーの感度を調整して実効ダイナミックレンジの範囲を適当に選び、その上で、刺激量から知覚量を得ることになる。これを心理学の知見に当てはめると、『人間は「フレーミング」を変えると、異なる認知をする。』とうことに相当する。これは「フレーミング」次第で刺激に対する認知量が様々な変化してしまい、往々にして人間は誤りを犯すという、人間の不完全性という側面から捉えられているが、この心理学の知見に前述のダイナミックレンジの有界な知覚センサーを持つ人間という仮説を組み合わせると、『人間はダイナミックレンジの限られた知覚センサーしか持っていないため、様々な大きさの刺激の変化を「フレーミング」を行うことによって知覚している。』という有限なセンサーでどのような刺激の変化も検知する優れた知覚システムを持つというシステム合理性の面から「フレーミング」の意味を捉えなおすことができる。

有界センサーモデルを、生起確率のように有界な値をとる刺激に対する刺激-知覚関係に当てはめることを考える。刺激の変化量は、その時点での刺激量と刺激量の上限までの残量をそれぞれ独立な係留点として大きさを検知すると考える。これを「有界センサーIIモデル」と呼ぶことにする。このモデルの刺激-知覚関係は、次のように表される。

$$\frac{\Delta Q}{Q \cdot (Q_0 - Q)} = k \cdot \frac{\Delta R}{R \cdot (R_0 - R)} \quad (10)$$

ここで、 Q は知覚量、 Q_0 は知覚センサーのダイナミックレンジの上限、 R は刺激量、 R_0 は刺激量の上限、 k は乗数である。これを解くと、

$$Q = \frac{Q_0}{1 + \exp(c + k^* \cdot \ln[(R_0 - R)/R])} \quad (11)$$

となり、 R を Logit 変換したものを線形変換した形の効用関数となる。ここで、 c は定数、 k^* は $k(Q_0/R_0)$ である。この関係がどのようなものかを見るために、 R_0 を 1、 Q_0 を 1 とし、 $k^* = 0.5$ として c を -4 から 4 まで 1 刻みで変化させた場合と、 $c = 0$ として、 k^* を 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 4, 8, 16 と変化させた場合で、刺激-知覚曲線を図化した(図-2 および 3)。この曲線の形状は、横もしくは縦の sigmoid で、縦の sigmoid は Kahneman and Tversky (1979) がプロスペクト理論の説明に用いた生起確率に対

する認知曲線と類似している。

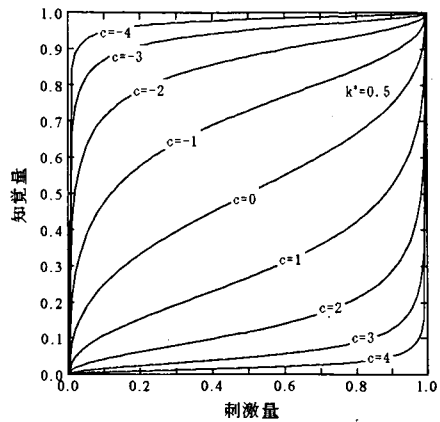


図-2 激知覚曲線 (c 変化)

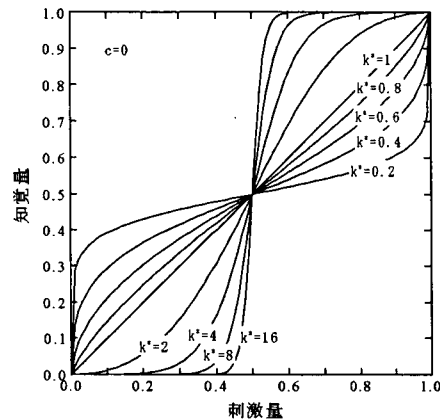


図-3 激知覚曲線 (k* 変化)

4. 効用関数型の適合度

前述の議論から分析の対象とする効用関数型を線形型、対数線形型、ベキ線形型、Logit 型と措定し、そのときの提示額-承認率分布の分布関数を次の通りとする。

(線形型)

$$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\theta_0 + \theta_1 \cdot x)} \quad (12)$$

(対数線形型)

$$P(x) = \frac{P_0}{1 + \exp(-\theta_0 + \theta_1 \cdot \ln x)} \quad (13)$$

(ベキ線形型)

$$P(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\theta_0 + \theta_1 \cdot x^{\theta_2})} \quad (14)$$

(Logit 型)

$$P(x) = \frac{1}{1 + \exp\left[-\theta_0 + \frac{\theta_1}{1 + \exp(\theta_2 - \theta_3 \cdot \ln x)}\right]} \quad (15)$$

ここで、 x は提示額、 $P(x)$ は承認率、 P_0 は対数線形型における $x \rightarrow 0$ のときの承認率、 $\theta_0 \sim \theta_3$ は推定パラメータである。各効用関数型の適合度をみるために、種々の効用関数型を持つ承認率曲線について AIC (Akaike's Information Criterion: 赤池情報量規準) を求める。これとともに推定結果の違いを見るために支払意思額 (WTP: Willingness to Pay) 中央値 WTP_{median} と AL (Acceptable Limit: 受入限度) (鈴木, 2000) を求める。

支払意思額中央値は各効用関数型ごとに次式によって求めることができる。

(線形型)

$$WTP_{median} = \frac{\theta_0}{\theta_1} \quad (16)$$

(対数線形型)

$$WTP_{median} = (2 \cdot P_0 - 1)^{1/\theta_1} \cdot \exp\left(\frac{\theta_0}{\theta_1}\right) \quad (17)$$

(ベキ線形型)

$$WTP_{median} = \left(\frac{\theta_0}{\theta_1}\right)^{1/\theta_2} \quad (18)$$

(Logit 型)

$$WTP_{median} = \left(\frac{\theta_0}{\theta_1 - \theta_0}\right)^{1/\theta_3} \cdot \exp\left(\frac{\theta_2}{\theta_3}\right) \quad (19)$$

刺激知覚量-承認率分布を、刺激知覚量 X に対してその承認率 $P^*(X)$ が $\lim_{x \rightarrow 0} P^*(X)$ で一定となる直線と、Logistic

曲線に ($X=f(WTP_{median})$, $P^*(X)=0.5$) で接する直線に近似したとき、その両直線の交点が AL である。提示額-承認率曲線と AL の関係を、刺激知覚量が Weber-Fechner 則に従う場合の例で示す (図-4)。

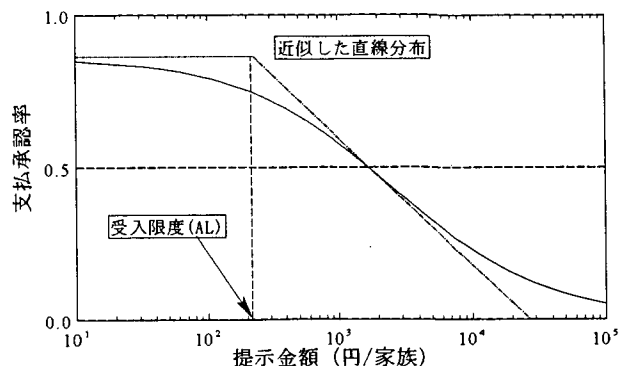


図-4 提示額-承認率曲線と受入限度の関係

この定義をもとに各関数型の場合の AL を求める。

対数線形型の効用関数の場合は鈴木 (2000) において導出されているが、線形型、ベキ線形型および Logit 型の効用関数の場合は導出されていないので、それら各関数型の場合の AL を導出する。

各関数型における提示額 x に対する知覚量を X とおき、知覚量に対する承認率を $P^*(X)$ とおくと、知覚量に対する承認率の関係に Logit モデルを仮定すれば、全ての関数型において X と $P^*(X)$ の関係は次式により表される。

$$P^*(X) = \frac{1}{1 + \exp(-\theta_0 + \theta_1 \cdot X)} \quad (20)$$

この曲線に対して $P^*(X)=0.5$ となる点で接する接線を求めるため、まず $P^*(X)$ の微分型を求めると、次式のとおりとなる。

$$\frac{dP^*(X)}{dX} = -\frac{\theta_1 \cdot \exp(-\theta_0 + \theta_1 \cdot X)}{[1 + \exp(-\theta_0 + \theta_1 \cdot X)]^2} \quad (21)$$

$P^*(X)=0.5$ となるときの X の値は、

$$X = \frac{\theta_0}{\theta_1} \quad (22)$$

であるから、そのときの接線の勾配は、

$$\frac{dP^*(X)}{dX} = -\frac{\theta_1}{4} \quad (23)$$

となる。これらの値を用いて、接線の方程式を求めれば、

$$P^*(X) = \frac{1}{4}(\theta_0 + 2 - \theta_1 \cdot X) \quad (24)$$

となる。

この接線が,

$$P^*(X) = P^*(0) = \frac{\exp \theta_0}{1 + \exp \theta_0} \quad (25)$$

と交差する点の X の値が AL (Acceptable Limit) となる (鈴木, 2000) ので, 式 (24) と式 (25) から X を求めると,

$$X = \frac{(\theta_0 + 2) + (\theta_0 - 2) \cdot \exp \theta_0}{\theta_1 \cdot (1 + \exp \theta_0)} \quad (26)$$

となる.

線形型つまり $X = x$ を仮定すると, AL は,

$$AL = \frac{(\theta_0 + 2) + (\theta_0 - 2) \cdot \exp \theta_0}{\theta_1 \cdot (1 + \exp \theta_0)} \quad (27)$$

となる.

ベキ線形型つまり $X = x^{\theta_2}$ の場合は,

$$AL = \left[\frac{(\theta_0 + 2) + (\theta_0 - 2) \cdot \exp \theta_0}{\theta_1 \cdot (1 + \exp \theta_0)} \right]^{1/\theta_2} \quad (28)$$

Logit 型つまり $X = [1 + \exp(\theta_2 - \theta_3 \cdot \ln x)]^{-1}$ 場合は,

$$AL = \exp\left(\frac{\theta_2}{\theta_3}\right) \cdot \left[\frac{(\theta_0 + 2) + (\theta_0 - 2) \cdot \exp \theta_0}{(\theta_1 - \theta_0 - 2) + (\theta_1 - \theta_0 + 2) \cdot \exp \theta_0} \right]^{1/\theta_3} \quad (29)$$

となる.

なお, 対数線形型の場合は, 次式のとおりである (鈴木, 2000).

$$AL = (2 \cdot P_0 - 1)^{1/\theta_1} \cdot \exp\left(\frac{\theta_0 - 2 \cdot P_0}{\theta_1}\right) \quad (30)$$

AIC, WTP_{median} および AL を承認率曲線で当てはめた結果から求めた結果は図-5, 表-3 のとおりとなる. また, 提示額-承認率の実測点と推定曲線を図-6~9 に示す. この図には効用関数の値も併せて示してある. 対数線形型効用関数の場合の承認率曲線は, 分母に P_0 を持つため, ここでは効用関数を,

$$U(x) = \ln\left(\frac{1 - P(x)}{P(x)}\right) \quad (31)$$

とみなしている.

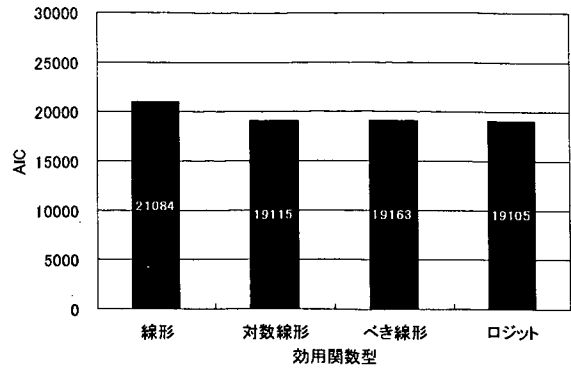


図-5 効用関数型の適合度

表-3 効用関数型ごとの AIC と WTP_{median} と AL

効用関数	対数尤度	パラメータ数	AIC	WTP_{median}	AL
線形	-10,540	2	21,084	2,468	16
対数線形	-9,555	3	19,115	2,575	565
ベキ線形	-9,579	3	19,163	2,448	160
Logit	-9,548	4	19,105	2,676	256

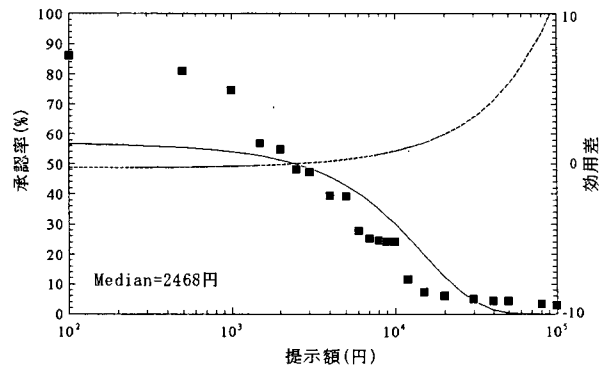


図-6 提示額-承認率曲線 (線形型効用関数)

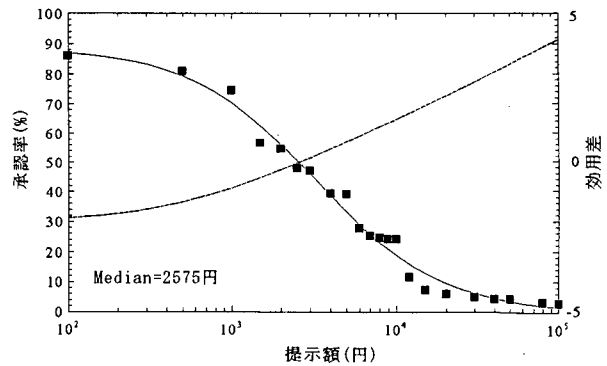


図-7 提示額-承認率曲線 (対数線形型効用関数)

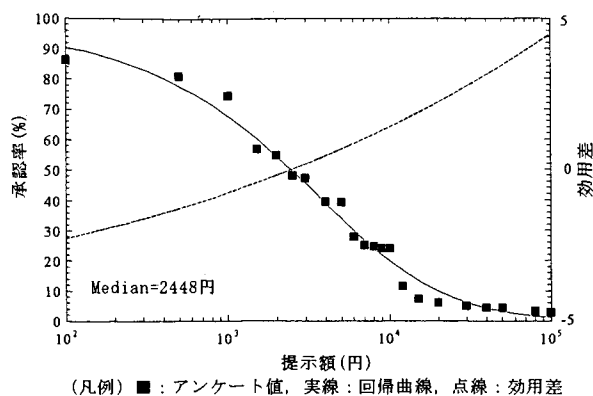


図- 8 提示額—承認率曲線 (ベキ線形型効用関数)

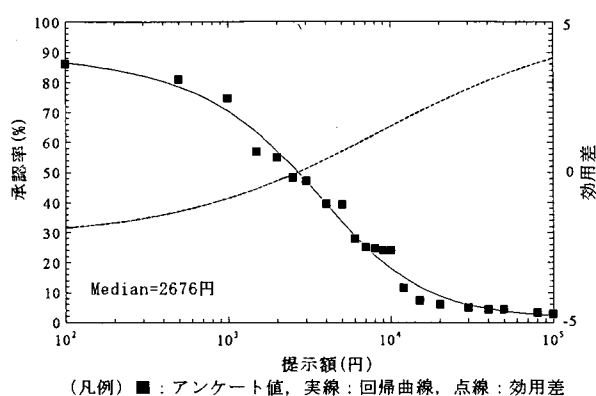


図- 9 提示額—承認率曲線 (Logit 型効用関数)

AIC でみると、線形型効用関数を除けば、他の関数型はほぼ同程度の当てはまりの良さである。その中では、Logit 型効用関数が最も当てはまりが良い。WTP_{median} をみると、各関数型の平均は 2500 円である。その標準偏差は平均値の 4% しかなく、WTP_{median} はほとんど差がない。今回の結果からは、WTP_{median} を使うと言うことだけであれば、どの関数型を用いても大差はないということになる。これを AL でみると、各関数型の平均値は 249 円で、標準偏差はその 93% となり、ばらつきが大きい。これは、統計的なばらつきというよりも、刺激—知覚関係の違いが主因である。

仮に、ここで示した効用関数が Logit 型となることが、論理として正しい、もしくは、論理はどうあれ、パラメータ数が 1 ないし 2 箇多いことによって複雑な形状に対する表現力が高いため、Logit 型効用関数が最も精度の高い推定結果を出していると考えたとき、対数線形型効用関数の Logit 型効用関数に対する WTP_{median} 推定値の差は 0.4% 未満であるため、WTP_{median} を推定する場合には Logit 型効用関数に遜色のない推定精度を持っていると、今回の結果からは結論づけられる。AL の場合は差異が

大きいので、取扱には注意を要する。

Logit 型効用関数が対数線形型効用関数と比べて有意に高い適合性を示すためには、回答者が回答をするときに心の中で設定した実効ダイナミックレンジを外れた値を回答することが必要である。たとえて言うならば、知覚センサーの実効ダイナミックレンジの外側を使うことが必要である。物理的な刺激の場合には、知覚センサーは神経細胞であるため実効ダイナミックレンジを変化させることが出来ない。微弱な刺激領域での測定を前提とする弁別閾試験では、被験者は実効ダイナミックレンジの外側で知覚することを求められる。しかし、情報刺激の場合には、当該刺激を知覚するのにふさわしい範囲に実効ダイナミックレンジを随時移動させる、つまりフレーミングを行うため、実効ダイナミックレンジを外れた領域を使って回答者が知覚するという事は、通常ないと考えられる。だとすれば、実効ダイナミックレンジ内では Logit 型効用関数は対数線形効用関数であるとみなすことができるため、対数線形効用関数を使った場合に、Logit 型効用関数を使った場合とほぼ同じ精度で推定が可能だということになる。もっとも、ランダム効用理論が成立するためには、without 状態の刺激と with 状態の刺激が同分散の Gunbel 分布であり、刺激—知覚関係が概ね一致、つまりその関係を表す関数の係数がある値を中心に一定の確率分布をするということが前提である。これらは、実効ダイナミックレンジが回答者ごとにそれほど大きく違わないであろうということ、および、中心極限定理からサンプル数が多くなると Gunbel 分布の仮定が妥当性を持つであろうという推測から導かれるものであり、これらは概ね受容可能なものである。

「刺激—知覚の関係を知覚センサーのダイナミックレンジを有界として式(8)の仮定が成立し、回答者は与えられた情報刺激を精度よく知覚できるように知覚センサーの実効ダイナミックレンジを適切に設定して知覚する。」と考えるとき、導かれる提示額—承認率曲線は、擬似的に対数線形型効用関数を持つ Logit モデルとなる。これを「有界センサー対数線形モデル」と呼ぶことにする。そして、Logit 型効用関数を用いた関数 (式(15)) が提示額—承認率データに最も当てはまりがよく、しかも、それに対して対数線形型効用関数を用いた関数 (式(13)) は AIC, WTP_{median} の推定値においてほとんど差異がみられないという事実によって、このモデルの妥当性が裏付けられる。しかも、Weber-Fechner の法則が刺激の小さい領域で当てはまりが悪いことが知られている (和田洋平ら編, 1989) にもかかわらず、ベキ線形型効用関数よりも当てはまりがよいことや、人間の知覚が無限大までを

識別できるとは思えないという有限性の推測を考慮すれば、有界センサーモデルの論理は、これらに対してより整合性の高い説明を提供する。

5. 判断に使用される金額

調査から得られた最大許容額—回答頻度割合は図-10のとおりである。比較のために、対数線形型効用関数を持つ Logistic 曲線を頻度分布に対し最尤推定法によって当てはめを行った場合の頻度分布を併せて記載している。実測値は Logistic 曲線の周りを激しく上下していることが分かる。Logistic 曲線に対して回答頻度が 2 倍を超えるのは、1,000 円、5,000 円、10,000 円である。これに対して回答頻度が半分に満たないのは、1,500 円、2,500 円、4,000 円、7,000 円、8,000 円、9,000 円、15,000 円、20,000 円、30,000 円、4,000 円である。このパターンは、提示額の中央部では、貨幣の金額単位 (1,000 円、5,000 円、10,000 円) が著しく頻度が高く、中央部の 2,000 円と 3,000 円、6,000 円を除き、貨幣が存在しない値は頻度が著しく低い。つまり、中央値の周りにおいては、対数目盛で 1,000 円と 10,000 円を 4 等分する値、即ち $2000 \approx 10^{1/4} \times 1000$ 、 $3000 \approx 10^{2/4} \times 1000$ 、 $6000 \approx 10^{3/4} \times 1000$ が相応の回答頻度を持つが、これら以外では、貨幣の金額単位ではない金額の回答頻度は著しく低い。

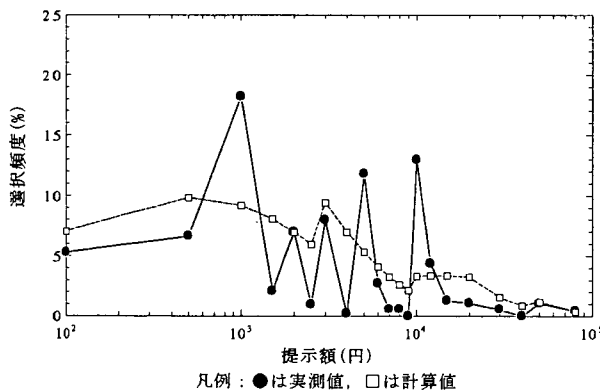


図-10 最大許容額の選択頻度

ここから言えることは、ある金額の支出という効用低減に伴う効用関数の低減の他に、判別に使用する金額は 10 進法の使用や貨幣の使用などによって日頃なじみがある 1 および 5 を 10^n 倍した金額の群 (第 1 レベルの金額群) を多用する傾向があるということである。次に利用度が高い金額の群は、10 を対数軸で 4 等分した数値、つまり 2, 3 および 6 を 10^n 倍した金額の群 (第 2 レベル

の金額群) である。利用度の低い金額の群は、それ以外の金額の群 (第 3 レベルの金額群) である。

以上のとおり、日頃馴染みのある金額の回答頻度が高いこと、および、金額の支払いに対応する効用の低減をユークリッド空間で大小判定していることを金額の選択原理とすることに問題があること、を考えあわせると、人々は、金額の支払いによる効用の大小判断を、日頃馴染みのある金額だけを用いて不連続に行っていると考えることができる。だとすれば、日頃馴染みのない金額を提示額の選択肢に加えても、承認率曲線の推定精度の向上にほとんど貢献しないということになる。そのうえ、多くの選択肢を提示することは、回答者の回答ストレスを高めることになり、回答率の低下を招く可能性もある。

金額群の違いによる Logistic 曲線による当てはまりの良さをみるために、第 1 レベルの金額群に頻度分布を集約した場合、第 2 レベルまでの金額群に頻度分布を集約した場合、第 3 レベルまでの金額群、すなわち集約を行

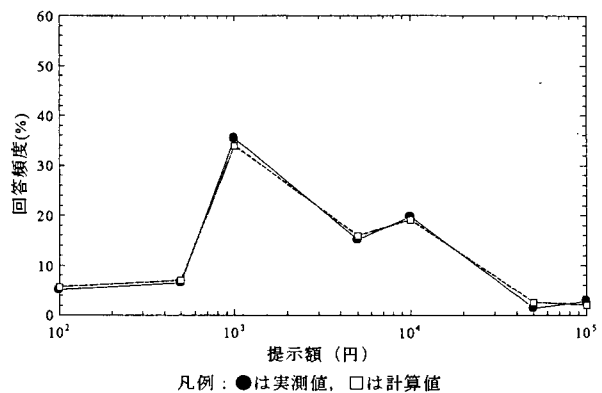


図-11 最大許容額の選択頻度(第 1 レベル)

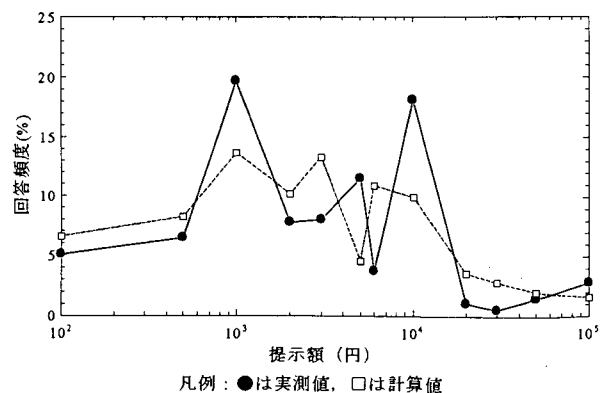


図-12 最大許容額の選択頻度(第 2 レベル)

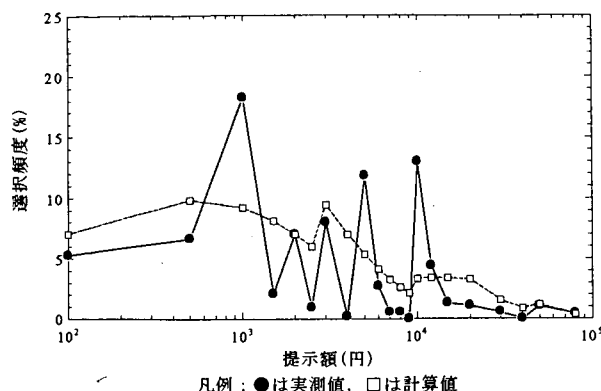


図-13 最大許容額の選択頻度(第3レベル)再掲

わない場合について、最大許容額の頻度分布と累積承認率に対して最尤推定法で当てはめた対数線形型効用関数を持つ Logistic 曲線を記載したものを図-11~13 に示す。見てわかるように第1レベルではかなり当てはまりが良いが、利用頻度の少ない金額の選択肢が追加されるにつれて理論曲線と実際の頻度分布の間に明らかな乖離が生じてくるのがわかる。また、それらの場合に算出される WTP_{median} と AL を表-4 に示す。第1レベルから第3レベルにいくに従って WTP_{median} および AL がそれぞれ 1/4 程度および 1/3 程度小さくなる傾向が見られる。

今回の分析結果から得られ知見を基に、金額組を設定する際の留意事項をまとめると、次のようになる。

細分化した提示額を多数設定しても、提示額-承認率曲線の推定の精度は、見かけ上高くなるが、実質的には高まらない。実質的に追加して意味があるのは、第2レベルまでの金額群であり、それ以上金額を細分してもほとんど意味がない。さらに言えば、必要以上に細分された金額の選択肢を用意することは、回答者が回答を選ぶ際のストレスを高め、回答率を低下させることに繋がるるので、行きすぎた提示額の細分は避けなければならない。

表-4 金額群レベルごとの代表値

金額群	WTP_{median}	AL
第1レベル	3,344 円	911 円
第2レベルまで	2,805 円	784 円
第3レベルまで	2,575 円	689 円

6. 曲線の当てはめ方の違いによる影響

ペイメントカード方式で得られた結果に対して、レフ

アレンドラム方式で得られたデータと同様の確率分布推定方法を当てはめることが一般的だが、果たしてこれは適切な方法といえるだろうか。

レファレンドラム方式の場合は、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 もしくは x_2 を提示したとき、間接効用 V が単調性を持つ、即ち、

$$\begin{aligned} \forall (x_1, x_2, V(x_1), V(x_2)) \in \mathbf{R}^4 \\ : x_1 < x_2 \rightarrow V(x_1) > V(x_2) \end{aligned} \quad (32)$$

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ドラ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事は、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とは可能である。

提示額-承認率のデータをもとに最尤推定方法を行う
 ということは、

$$\max_{\theta} [LH(\theta)] \quad (33)$$

$$LH(\theta) = \sum_j [N_j^{yes} \cdot \ln(P^{cal}(x_j, \theta)) + N_j^{no} \cdot \ln(1 - P^{cal}(x_j, \theta))] \quad (34)$$

という操作をするということである。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^{yes} は第 j 番目の提示額に対する承認データ数、 N_j^{no} は第 j 番目の提示額に対する不承認データ数、 $P^{cal}(\cdot)$ は提示額に対する承認率を表す関数である。

これを、最大許容額の選択頻度の場合に書き換えると、

$$\max_{\theta} [LH^{\#}(\theta)] \quad (35)$$

$$LH^{\#}(\theta) \equiv \sum_j [n_j \cdot \ln(p^{cal}(x_j, \theta))] \quad (36)$$

$$P_0 = \sum_{x \in \mathbf{x}} p^{cal}(x, \theta) \quad (37)$$

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、 \mathbf{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

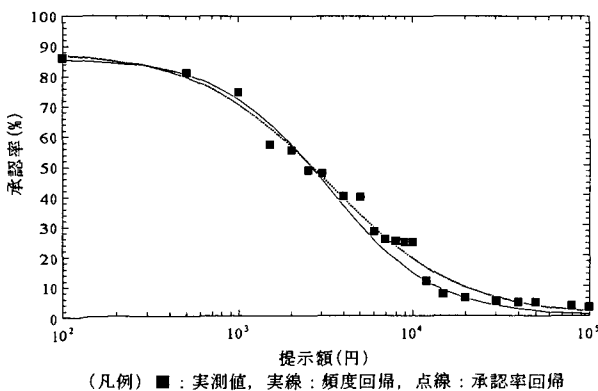


図-14 提示額-承認率曲線の比較

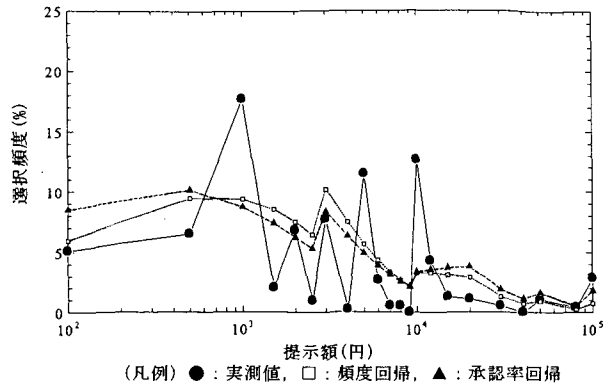


図-15 最大許容額の選択頻度の比較

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、対数線形型効用関数を持つ Logistic 曲線を仮定し、 P_0 を金額0円より大きい値を回答した割合として、各々の方法で回帰を行った。結果は図-14~15の通りである。

提示額-承認率曲線と最大許容額の選択頻度の当てはまりの状況は、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まり大きな差がないことが分かる。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というのは、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、どちらの推定方法をとっても実績値に良く一致する。このため、2つの方法による推定結果は非常に似たものとなっていると考えられる。

これをもう少し詳しく見るために、承認率分布で当てはめを行った場合と、頻度分布で当てはめを行った場合の AIC, WTP_{median} , AL を表-5 に示す。

表-5 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}	AL
承認率分布	-9,555	3	19,115	2,575	565
頻度分布	-2,223	3	4,453	2,532	757

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。しかし、AL でみると、同-25% の差があることがわかる。承認率分布や頻度分布を表現する際に、金額は対数をとって用いているので、AL の-25% の差は、対数をとった金額では 4.4% の差ではない。

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-6 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は、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し、AL でもそれほど大きな違いは出ないが、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- 6 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

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、P₀ 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 1000 回のモンテカルロシミュレーションを行った。得られた回答金額を第 2 レベルの金額組みに集計し、頻度分布を求め、それを母集団の確率分布と仮定した。また、P₀ は Beta 分布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(13)の対数線形型効用関数を持つ Logit モデルを仮定し、頻度分布に対する最尤推定でパラメータを推定した(鈴木, 2003)。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-16~

19 のとおりである。

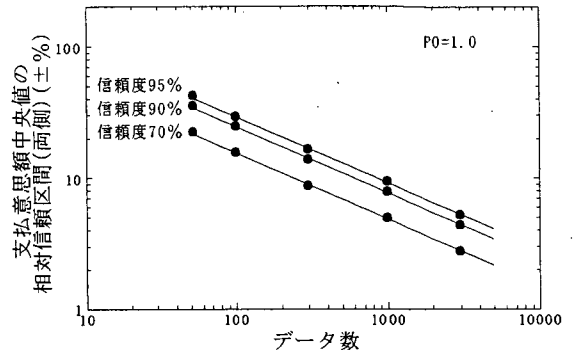


図- 16 WTP_{median} のサンプリング誤差 P₀=1

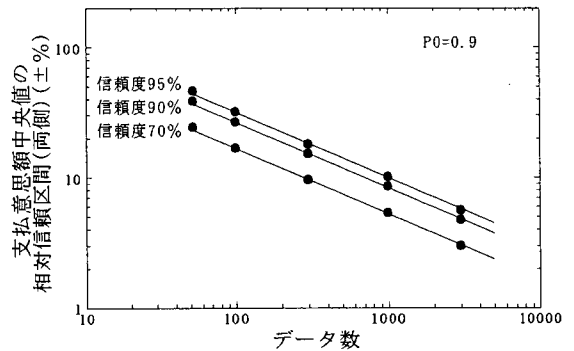


図- 17 WTP_{median} のサンプリング誤差 P₀=0.9

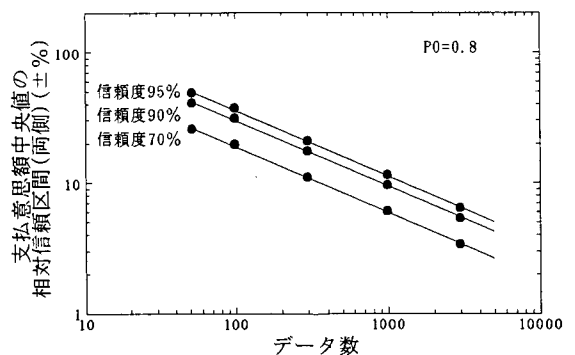


図- 18 WTP_{median} のサンプリング誤差 P₀=0.8

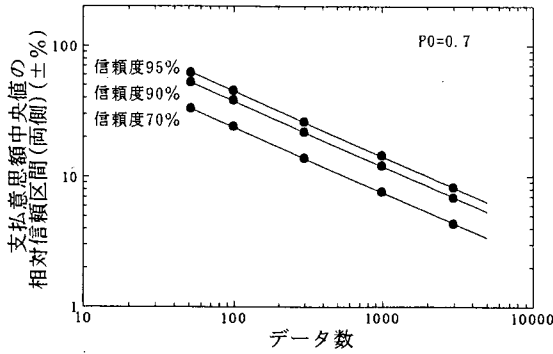


図-19 WTP_{median} のサンプリング誤差 P₀=0.7

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、両辺を自然対数をとった形で最小二乗法によって WTP_{median} の相対信頼区間 ER_{median} (%) とデータ数の関係式を求めると、(両側信頼区間の場合)

$$ER_{median} = K_{median} \cdot \Phi^{-1}(0.5 + R_{rely}/200) \cdot N_{sample}^{-0.5} \quad (38)$$

(片側信頼区間の場合)

$$ER_{median} = K_{median} \cdot \Phi^{-1}(R_{rely}/100) \cdot N_{sample}^{-0.5} \quad (39)$$

ここで、 $\Phi^{-1}(x)$ は標準正規確率分布関数の逆関数、 R_{rely} は信頼確率(%), N_{sample} 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_{median} は P_0 ごとに定まる係数である。 K_{median} の推定値および推定誤差は表-7 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-7 K_{median} の推定値と推定誤差

P_0	K_{median}	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_{median} 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(鈴木, 2003)。結果は、表-8 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_{median} 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_{median} 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-8 回答形式による K_{median} の差

P_0	ペイメントカード(a)	レファレンダム(b)	(a)/(b)	(a) ² /(b) ²
0.7	228	393	0.580	0.337
0.8	181	313	0.578	0.334
0.9	161	278	0.579	0.335
1.0	148	269	0.550	0.303

7. 結論

近年は、行政判断の精度を高めるとともに、行政のアカウントビリティを遂行するため、大型の公共事業を実施する場合には事業評価の一環として費用便益分析が行われている。この場合、干潟や浅場のように市場の存在しない財の便益を計測することが、難しい課題の一つである。このような市場の存在しない財の便益を計測する代表的な手法に CVM (Contingent Valuation Method: 仮想評価法) があり、多くの場面で使われるようになってきている。しかし、CVM を使う場合は、CVM が数多くのバイアスを持つため、それを小さく抑える配慮が強く求められる。CVM には、回答の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くとされるが、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が好まれる場合がかなりある。しかし、ペイメントカード CVM はレファレンダム CVM に比べて理論体系が精緻ではないこともあり、ペイメントカード CVM の推定精度についての蓄積は少ない。このため、ペイメントカード方式の CVM について、使用の際の利便性を向上させることを狙いとして、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、慎重な思料がなされることが必要である。

① 効用関数として線形型, 対数線形型, ベキ線形型に, ここで導出した Logit 型を加えたものを対象とし, 提示額—承認率曲線に Logit モデルを仮定した場合に, どの効用関数が当てはまりか良いかを調べた. その結果, それらの中では Logit 型効用関数の当てはまりが最も良いことが分かった. このことは, ここで仮定した知覚の有限性と感応形態についての仮説が, 人間の効用機序に対してこれまで以上の説明力を持つことを示唆するものである.

対数線形型効用関数を用いた場合は, AIC (Akaike's Information Criterion: 赤池の情報量規準) および WTP (Willingness to Pay: 支払意思額) 中央値の双方において, Logit 型効用関数にかなり近い値が得られた. これは, Logit 型効用関数は, 実効ダイナミックレンジ内では対数線形型に近い形をとることによるものであり, 論理的な演繹と一致する結果である. このような特性を勘案すれば, WTP 中央値を求める場合は, 対数線形型効用関数を用いることで実用上は十分と考えられる. ただし, AL を求める場合は, 関数型を慎重に選択する必要がある.

② アンケートから得られた支払可能最大金額の頻度分布は, 金額ごとに度数が大きく上下している. この度数の上下の傾向は, 1×10^4 円および 5×10^4 円 (第 1 レベルの金額群) で最も度数が高く, 2×10^4 円, 3×10^4 円および 6×10^4 円 (第 2 レベルの金額群) で次に度数が高い. そこで, 提示額組には第 1 レベルの金額群しかないという状況を想定し, それにあわせて金額を集約した頻度分布を作成すると, それは Logit モデルの頻度分布型と非常に良く一致した. さらに, 第 2 レベルの金額群までに集約すると, 第 1 レベルの金額群だけの場合よりも少し劣るものの, 比較的近い形の分布型が得られた. これらから推測できることは, 回答金額を選ぶ際の選択肢として最も多用されるのは 10 進法の使用や貨幣の使用などで日頃なじみがある第 1 レベルの金額群であり, 次に多く使われるのは 10 を対数軸で 4 等分した数値である第 2 レベルの金額群である. そして, それ以外の金額群はほとんど使われない, ということである. このことは, 提示する金額を第 2 レベルの金額群を超えて細分しても, 推定値の精度向上にはあまり寄与しないことを意味している.

③ WTP 中央値の推定における確率母関数を頻度分布とし, よく行われてい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. しかし, 算出された WTP 中央値の推定精度は大きく異なっていたため, 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對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 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.

(2003 年 11 月 29 日受付)

謝辞

本研究において使用した「三河湾における干潟・浅場造成に対する支払意思についての調査」は国土交通省三河港湾事務所が実施したものである. この調査は, 多くの現地観測や研究に裏打ちされた状況記述があり, 中立性に配慮した文章表現がなされた調査票を用いて, 愛知県のほぼ全域から多くのサンプルが集められたものである. これは非常に充実したアンケート調査で, このような調査の結果を本研究に使うことができたことを嬉しく思う. このような調査を実施し, その結果を提供していただいた国土交通省三河港湾事務所 山口良永所長, 赤石正廣課長, 河合尚男(前)係長, そして, アンケートのデザインや作業に尽力された方々に深く感謝します.

参考文献

- Kahneman, D. and Tversky, A. (1979): Prospect Theory, An Analysis of Decision under Risk, *Econometrica*, Vol.47, No.2, pp.263-291.
- McFadden, D. (1974): Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, in Zarembka, ed., *Frontiers in Econometrics*, Academic Press.
- von Neumann, J. and Morgenstern, O. (1947): *Theory of Games and Economic Behavior*, Second Edition, Princeton University Press.
- 運輸省港湾局 (1999): 港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル.
- 河川に関わる環境整備の経済評価研究会 (1999): 河川に関わる環境整備の経済評価の手引き (試案).
- 栗山浩一 (1997): 公共事業と環境の価値—CVM ガイドブック—, 築地書館.
- 水産庁資源生産推進部整備課 (2000): 沿岸漁場整備開発事業費用対効果分析の手引き.
- 鈴木武 (2000): CVM における評価考慮範囲の影響分析, 土木学会論文集 VII, Vol.16, 土木学会, pp.13-21.

- 鈴木武(2003) : 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.
- 松原望 (1989) : 主観確率の尺度調整, ベイズ統計学とその応用 (鈴木雪夫・国友直人編), 東京大学出版会.
- 和田洋平・大山正・今井省吾編 (1989) : 感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房.