技 術 資 料

仮想市場法（ＣＶＭ）について

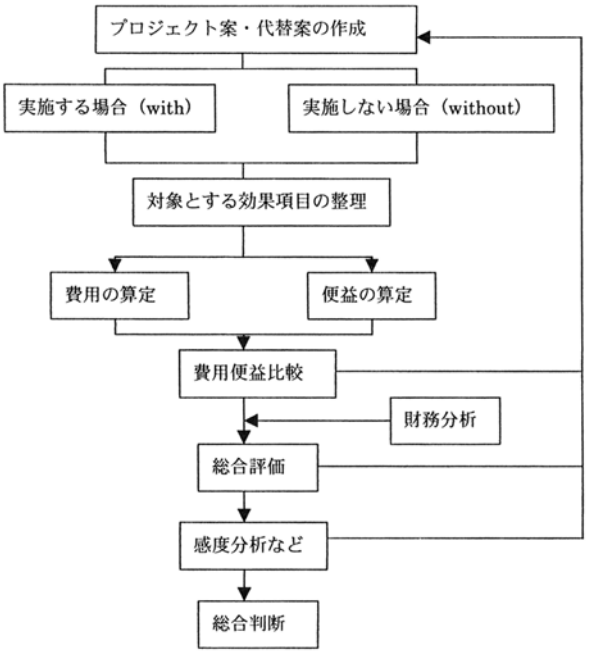
矢部　浩規*

１．はじめに

最近、公共事業を中心とする社会資本整備に対して、客観性及び透明性の確保、効率性の一層の向上が求められている。費用便益分析は、このような社会的要請のうち、合理的でわかりやすく事業を評価できる手法として代表的なものである。しかしながら、我が国ではあまり積極的に取り入れているとは言えない現況にある。その理由として、費用便益分析理論の初歩的なものから手法や方法論上の限界や問題にいたるまでの理解不足や数量的、科学的な評価というアプローチ自体に対しての拒否反応などさまざまな事柄が存在する。

費用便益分析とは、一言で言うと便益と費用を比較することであるが、乏しい財源を有効に活用すべく 19 世紀のフランスに始まり、その後アメリカ、イギリスなどでも広まった。現在では先進国を中心に法律により義務づけられている国も多い。我が国においても、社会状況の変化により事業の計画に費用便益分析やその考え方を取り入れることが一層必要となってきている。地域社会への経済効果や、環境影響、コストの適正さなどの評価を精度良く、また広範囲に義務づけられることが予想され、建設省・運輸省など各省庁においても、便益評価マニュアルの見直しが進められているところである。特に近年では、環境問題を背景として環境自体を費用や便益で評価する事は避けられない状況にある。

河川計画においても、河川環境の効果を把握する事が可能であれば、洪水による被害の減少だけでなく環境を考慮した効果が計測され、総合的な評価が可能となる。現在、環境の評価にあたり様々な手法の適用事例が増えつつあるが、近年環境問題で注目されている生態系や野生生物の価値などをはじめとした極めて広い対象に適用でき、仮想的な環境の場合でも把握可能な仮想市場法（ＣＶＭ）についてとりあげる。



図－１　プロジェクト評価のフロー

２．費用便益分析と環境評価について

２．１　プロジェクト評価の流れ

プロジェクト評価とは、あるプロジェクトを実施することが妥当かどうか判定することであり、環境基準の設定、料金体系の変更なども含まれる。評価の流れについて図－1 に示したように、案の作成にあたり、事業効果すなわちプロジェクトを実施する場合と実施しない場合の変化量を最初に把握する必要がある。これは有無比較法と呼ばれている。効果のうち貨幣尺度で測定された正のものを便益、負のものを費用と呼んでいる。便益、費用が将来にも及ぶ場合は、社会的割引率によって割引現在価値にしてから比較しなければならない。便益と費用が求まれば、純現在価値基準、便益費用比、内部収益率などを指標として評価できる。その中でも便益と費用の各々の総現在価値の差である純現在価値基準が広く使われている。

また、民間資金の活用や企業が実施する場合など利潤という指標で評価する場合は、財務分析を加えて総

合評価する。さらに将来予測や投資額などの不確定な部分がある場合は、それらについて感度分析を行ったり、住民の意見や理解を加えて総合判断する事が重要である。

２．２　プロジェクトの効果

効果を発生原因に着目して分類すると、雇用の創出、資材等の生産誘発、所得再分配などの事業効果（フロー効果）と、施設効果（ストック効果）、施設以外の例えば環境改善効果などに分けられる。後者は、さらに主体別にみると利用者効果、供給者効果、存在効果、波及効果などに分類される。そのなかで主要なものは利用されることによって発生する利用者効果であり、例えば治水施設であれば周辺住民にとっての安全性の向上である。一方、自然環境や景観などのアメニティー効果は物理的な影響量の予測が困難で貨幣尺度に評価しづらいため、効果や便益として明確に把握されてこなかった。しかし、例えば河川事業において、平成 9 年の河川法改正により河川環境の整備と保全が明記され、多自然型工法をはじめとした生態系の保全など主に非利用価値的な効果を発生させるプロジェクトや、社会状況の変化などにより利害関係等から主体により効果が異なるプロジェクトが今後一層増加する事が考えられる。また、マイナスの効果すなわち費用として、建設費用、維持管理費用のほか、近年では施設の建設による環境への影響や被害など社会的費用も考慮しなければならない。このように、様々な条件や将来の予測が不確実な状況の中で、従来までに計測されてこなかった、その他の様々な効果について着目していく必要がある。

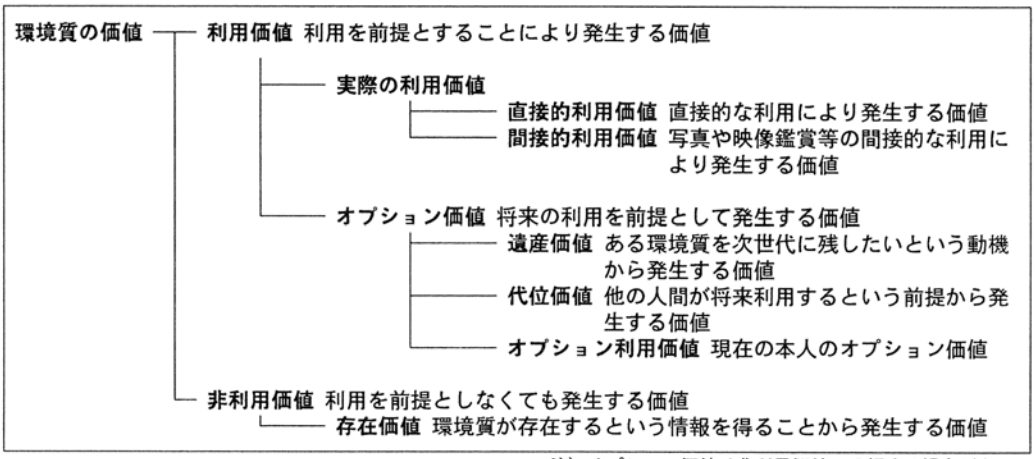
これらの多様な効果をどのように計測するかであるが、一つの方法で計測することは難しく、いくつかの方法を併用する例が多い。モデルによって定量的に計測したり、定性的に把握する方法が提案されている。

２．３　環境の評価について

環境質の価値は、表－1 に示すように実際の利用価値とオプション価値からなる利用価値と、非利用価値に分類される。このように環境の価値は直接利用されるものから存在するだけで価値を持つものまで広範囲かつ多様である。また、生態系の価値を例にこの分類にあてはめてみると、生態系は直接的に利用されることはほとんどないが、生態系の破壊問題は世界全体の不特定多数の人々や将来の世代にまで影響が及ぶことなどから、オプション価値や非利用価値が対象となる。このように、環境評価の適用範囲が広く、実際の利用価値ばかりでなく、オプション価値や非利用価値を精度良く計測できる評価手法の研究や事例蓄積が重要となっている。

通常の財やサービスの場合、便益や価値を計測するのは支払い意思額による需要曲線を推定できるのでそれほど難しくない。しかし、環境質のような非市場財を評価する場合は市場価格が存在しないため、何らかの間接的な方法を用いることが必要となる。環境経済学等で提案されている主な手法として仮想市場法（ＣＶＭ）の他、代替法、旅行費用法（トラベルコスト法，ＴＣＭ)、ヘドニックアプローチなどがある。代替法は環境財に相当する別の代替財で置き換えた場合の費用を基に推定する方法である。適切な代替材が存在しその量などが把握できると有効である。旅行費用法は、実際の行動から旅行に要する費用、訪問率等を用いて環境質などを評価するものである。環境質の変化と需要の変化についての関係をもとに、消費者余剰を用いて計測できる。ヘドニックアプローチは・クロ

表－１　環境質の価値の分類



注）オプション価値は非利用価値に分類する場合がある。

スセクションのキャピタリゼーション仮説を基礎に、地点間の地価や住宅価格、賃金などの差が社会資本や環境質の価値を表すと考え、地価データなどを用いて投資の便益を測定する方法である。地価や住宅価格を被説明変数、環境質を含めた変数を説明変数とし、そのパラメータから環境の価値が把握される。

３．仮想市場法（ＣＶＭ）について

３．１　仮想市場法の概要

非市場材の価値の計測方法のひとつで意識に着目した手法であり、近年多くの環境評価に用いられるようになった。河川の浄化など環境質を改変するプロジェクトを行った場合や、油漏れ事故などにより環境質の水準が変わった場合、人々がその環境質から得られる効用の水準は変化する。仮想市場法（Contingent Valuation Method）は、価格及び市場が存在しない環境質といった非市場財の水準の変化や便益を、直接人々に質問することにより求める手法である。アンケート調査を利用して、ある環境改善プロジェクトを行った場合と、それを行わなかった場合との効用水準の差をプロジェクト実施のために最大限払っても良い額（支払い意思額：Willingness to pay）という形で聞き出している。したがって、金額による単位でそのプロジェクトの総便益が示され、環境質の評価が可能となる。

３．２　ＣＶＭ調査の手順

ＣＶＭ調査は、以下の手順を基本に行われている。

ａ．調査対象地の設定及び調査票（案）の作成
ｂ．予備調査による調査票の確認・修正
ｃ．回答者の標本抽出
ｄ．調査の実施
　・シナリオの説明
　・支払い意思額の設問
　（回答者の個人属性などに関する設問）
ｅ．支払い意思額の平均値、中央値の推定
ｆ．母集団全体の支払い意思額の総和（総便益）の算出
　（必要に応じ、無回答者など抵抗回答の修正）

３．３　調査票の作成（シナリオの説明）

ＣＶＭの調査票は、評価対象の現状と仮想的な状況などシナリオの説明と、支払い意思額をたずねる部分の 2 つに大きく分けられる。ＣＶＭの長所は現存する環境質だけでなく仮想的な環境質に関する経済的な評価が可能ということである。しかし、回答者が意識調査によって現実に存在しない市場で正しい値を表明するかどうかという問題が存在する。これに対し、人間の行動は何回もその状況におかれれば合理的なものになり、現実の市場での取引を再現することでより正確な数値を求めることができるとする実験経済学の分野での研究が進む一方、人間の意識は常に変化し我々の遭遇する状況は 1 回限りのことが多いことから意識調査でも正しい値を把握できるとの考えがある。ＣＶＭは後者の立場をとっている。そのため、回答者への説明や質問内容による影響（バイアス）をできるだけ回避する事が重要であり、評価対象について十分に情報を集めた上で調査票を作成し、回答者に同一の調査内容が的確に伝わるように調査の実施を行う必要がある。主なバイアスについては表−2 に示す。また、できるだけ抵抗解答（シナリオに納得できないために評価額を答えていない回答）が少ないようなシナリオを考えると、説明する部分が冗長になってしまったり、現実離れした設定になってしまうこともあるので注意しなければならない。

表－２　ＣＶＭ調査における主なバイアス

バイアスの種類	バイアスの内容	バイアス減少の方法
シナリオ伝達のミスによるバイアス	質問者の意図している内容や仮想的な状況が回答者に正確に伝わらないことによって生じる。	調査票、調査方法の改善など。
歪んだ回答を行う誘因によるバイアス（戦略バイアスなど）	情報が正確に伝わっても回答者が偽って回答する。（自己の回答が調査結果や政策に与える影響を考えて回答する。）	調査票の改善など。（回答者の現実に近い選択問題によって回避する。）
評価の手がかりとなる情報によるバイアス	回答者が答えづらい質問の場合、手がかりとなる情報によって回答が影響される。	答えやすい質問にし、手がかりとなる情報を排除する。
標本収集に関するバイアス	不適切な母集団や標本を用いることによって生じる。	適切な標本数や標本の抽出を行う。
推量バイアス	質問を行う時期や集計段階で生じる。	評価対象によって適切な集計範囲の設定や質問方法など。

３．４　調査票の作成（設問部分）

金額を尋ねるには以下のように支払い意思額（ＷＴＰ）を用いる方法や受取補償額（ＷＴＡ）を尋ねる方法の 2 通りがある。ＣＶＭはこれらを尋ねることで、環境の価値を補償余剰や等価余剰により評価できる。

[支払い意思額（Wilhngness to pay）]
・環境質を向上するために費用を支払う必要があるとする場合に支払っても良いと考える金額（補償余剰）
・環境質を悪化させる計画・政策を中止させるために支払っても良いと考える金額（等価余剰）

[受取補償額（Willingness to Accept）]
・環境質が悪化してしまった場合にもとの効用水準を補償してもらうときに必要な補償額（等価余剰）

・環境質を向上させるための政策が計画中で、この政策が中止されることになった場合に必要な補償額（補償余剰）

便益の計測方法としてマーシャルの消費者余剰が古くから用いられている。簡単に言うと、支払い意思額から実際に支払った金額の合計を差し引いたもので、便益は消費者余剰の増加分によって示される。直感的に分かりやすい手法であるが、需要関数の誤差や経路依存性の問題など欠点もある。そこで理論的に非常に優れ、経路独立性をもつ等価変分（ＥＶ）と補償変分（ＣＶ）による計測が知られている。環境財の場合は価格が存在せず、消費者が消費量を自由に選べないため、等価余剰（ＥＳ）と補償余剰（ＣＳ）が用いられる。(経済理論等詳しくは参考文献5）参照)

ＷＴＰとＷＴＡのどちらを用いるかは環境質の変化の方向（改善、悪化）と所有権の所在によって関係するが、回答者が所有権を持っていない場合はＷＴＰで答え、逆の場合はＷＴＡで尋ねるべきである。既存研究によれば、一般にＷＴＰよりＷＴＡがかなり高くなる傾向にあり、ＷＴＰを用いることを薦めている場合が多いが、研究途上であり確定されていない状況にある。また、単に「あなたはこの環境にいくら払いますか」という質問方法では何を基準にして環境質の価値を評価するのか不明である。環境の改善または悪化というように、ある環境の状態を基準にして別の変化した環境状態の 2 つの状態を示して金額を尋ねることで環境質の価値が得られる事に注意しなければならない。

３．５　調査票の作成（金額の回答方法）

支払い意思額の尋ね方には、自由回答式（回答者に支払い意思額を自由に数値で記入させる）、支払いカード式（数種類の金額の選択肢から、支払い意思額に近い額を 1 つ選ばせる）、付値ゲーム方式（回答者の支払意思額に到達するまで繰り返し質問をする）、二項選択式（ある金額を 1 つ提示し、その支払いに同意するかどうか尋ねる）がある。正確な最大支払い意思額を表明させること、調査者が提示する金額による回答への影響を減らせることなどから、現在では二項選択式がすぐれているとされている。二段階二項式が最もバイアスの少ない聞き方だと言われている理由は、人間は自分から何か数字を表明するのは難しいけれど、ある額に対して反応することは容易で、一定した額に対してはよく考えて判断しやすい。また提示された金額に対して yes，no で答えるだけで、自分で金額を明示するわけではないので、あまり正しくないことは言わないと考えられている。さらに、二項選択式設問を 2 回繰り返す二段階二項選択式は、一回目の金額提示に対する回答に応じて調査者が二回目の提示金額を決めていることから調査の効率を上げている。

支払い方法として、寄付金や負担金、基金、募金、税金などが使用されているが、日本では税金に対する拒絶感が強く、抵抗回答が増える危険性があると言われている。その他、仮想的な基金に対する現実性の問題、募金では公共のためにお金を支払うことに対する満足感に対する影響が生じやすいことなども指摘されている。支払いの頻度は年払い、月払い、1 回払いなど、また支払期間についても施設の耐用年数や効果の継続期間などを想定して設定されている。また、支払うことにより自由に使うことのできる金額が減ることを念頭に置いてもらうよう注意を促したり、対象とするもの以外にはこの金額が使われないことを理解してもらうことも重要である。

３．６　標本の抽出、調査の実施等について

ＣＶＭではある地域における総便益を求めることが多い。このため、母集団の設定と回答者の無作為抽出が重要である。母集団をどのように設定するかは、支払意思額を拡大する際に問題となるので、評価対象となる環境質との関係を十分に考慮して決定しなければならない。また、調査世帯の抽出を行う際には恣意性を排除するため、無作為抽出もしくは等間隔抽出を行う。調査後においても入手したデータから標本の妥当性を統計的に有意であるか判断し、偏りがあれば修正する。個人属性の分布など地域統計調査（国勢調査や住宅統計調査など）が利用できる。

調査の実施方法として郵送や、電話、面接調査などがある。ＣＶＭ調査は環境質の状況やプロジェクトの内容など複雑なシナリオを提示する。そのため、回答者にシナリオを理解させることが不可欠であり、さらに、リラックスさせた普通の状態で十分に考えさせることも薦められている。よって、回答者の自宅を訪問し調査する面接方式が望ましいが費用が高くなる欠点がある。

３．７　支払い意思額の推計方法

ＷＴＰを推計するための分析方法として、二段階二項選択式の場合、ノンパラメトリック及びパラメトリックの 2 種の方法がある。回答者のＷＴＰ分布をより忠実に再現するために、現在それぞれの手法の適用性について検討が行われている段階である。

・二段階二項選択式（ノンパラメトリック法）

各提示金額での許諾率を求め、それらをもとに許諾率曲線（横軸に提示金額、縦軸に許諾率）を推定する。この曲線が求められると、平均値や中央値（許諾率が0.5となる値）を求めることができる。

許諾率の求め方を、第１回提示額をT_1、T_2、T_3、とし、第２回提示額を第１回提示額がT_1、T_2、T_3、の場合それぞれT_1とT_2、T_1とT_3、T_2とT_Uとした場合の例で示す。ただし、$T_L < T_1 < T_2 < T_3 < T_U$である。提示額に対して yes と答える場合（ｙ）、no と答える場合（ｎ）の組み合わせに対し、第１回提示額T_1、T_2、T_3、の場合の回答者数をそれぞれ$X_{1\sim4}$、$Y_{1\sim4}$、$Z_{1\sim4}$とする。（表－３ を参照）

表－３　提示額と回答者数

第１回提示額（円）	第２回提示額（円）	回答者数（人）
T_1(n)	T_L(y)	X_1
T_1(n)	T_L(n)	X_2
T_1(y)	T_2(y)	X_3
T_1(y)	T_2(n)	X_4
T_2(n)	T_1(y)	Y_1
T_2(n)	T_1(n)	Y_2
T_2(y)	T_3(y)	Y_3
T_2(y)	T_3(n)	Y_4
T_3(n)	T_2(y)	Z_1
T_3(n)	T_2(n)	Z_2
T_3(y)	T_U(y)	Z_3
T_3(y)	T_U(n)	Z_4

金額T_1、T_2、T_3、における許諾率はそれぞれ以下の式で求まる。

$$P(T_1)=\frac{X_3+X_4+Y_1+Y_3+Y_4}{\sum_i Xi+\sum_i Yi}$$

$$P(T_2)=\frac{X_3+Y_3+Y_4+Z_1+Z_3+Z_4}{\sum_i Xi+\sum_i Yi+\sum_i Zi}$$

$$P(T_3)=\frac{Y_3+Z_3+Z_4}{\sum_i Yi+\sum_i Zi}$$

これらの値をプロットすることで許諾率曲線が推定できる。（図―2 参照）

・二項選択式（パラメトリック法）

二項選択式においてよく使われるモデルに以下の 2 つがある。

ａ．生存分析によるモデル

回答者が提示金額を受け入れるのは、そのプロジェクトに対して回答者が心の中で考えている支払い意思額より提示された金額が低いためと考えるモデルである。ただし、この支払い意思額は回答者の個人属性による影響を受けるため、各個人の支払い意思額と平均支払い意思額（ＷＴＰ）の差を誤差（e_i）と表す。よって、各個人の支払い意思額は（ＷＴＰ＋e_i）となり、提示額ＢＩＤi を受け入れる確立Ｐｉは、以下のようになる。

$$Pi = Prob(WTP+ei \geqq BIDi)$$
$$= Prob(WTP-BIDi \geqq ei)$$

誤差e_iを同じパラメータσを持つ正規分布に従うと仮定すると（μ＝0）

$$Pi=\int_{-\infty}^{WTP-BIDi}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}exp\left(-\frac{X^2}{2\sigma^2}\right)dx$$

このモデルを最尤法によりデータにあてはめる。ある提示金額ＢＩＤi（ｉ＝1～k 種類）に対して全体Ｎｉ人のうちMi 人が賛成したとする。

尤度関数は以下のようになり、この値を最大とするようにパラメータσ、ＷＴＰを推定する。

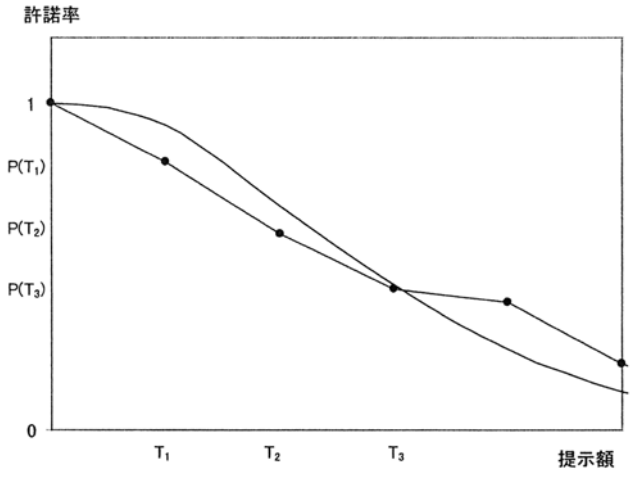
$$L=P_1^{M1}(1-P_1)^{N1-M1}\times\cdots\cdots\times Pi^{Mi}(1-Pi)^{Ni-Mi}$$
$$\times\cdots\cdots\times P_k^{Mk}(1-P_k)^{Nk-Mk}$$

以上から、ＷＴＰが求められる。

なお、生存分析の場合、ワイブル分布を用いる事例も多い。

ｂ．ランダム効用理論によるモデル

回答者がある提示金額を受け入れるのは、受け入れずにプロジェクトが実施されない場合と比べて、より高い効用が得られると考えるモデルである。



図－２　許諾率曲線の推定

環境改善プロジェクトにより環境の状態がQ_AからQ_Bに変化するとき、プロジェクトがある場合の効用がU_B、ない場合の効用をU_Aとする。さらにUを観察可能な部分V（効用の確定項）と誤差εに分かれるとする。回答者にT円の支払い意思額を提示したとき、賛成と答える確率をP_Yとすると、

$$\begin{aligned} P_Y &= prob\lfloor U_B(Q_B, y-T) \geq U_A(Q_A, y) \rfloor \\ &= prob\lfloor V_B(Q_B, y-T) + \varepsilon_B \geq V_A(Q_A, y) + \varepsilon_A \rfloor \\ &= prob\lfloor V_B(Q_B, y-T) - V_A(Q_A, y) \geq \varepsilon_A - \varepsilon_B \rfloor \\ &= prob\lfloor \Delta V \geq \varepsilon_A - \varepsilon_B \rfloor \end{aligned}$$

ただし・所得ｙ、ΔＶは効用関数の差である。誤差εがロジステイック分布に従うとすると

$$P_Y = \frac{1}{1+exp(-\Delta V)} = 1 - \frac{1}{1+exp(\Delta V)}$$

ΔＶは線形関数（ΔＶ＝ａ－ｂＴ）や、対数線形関数(ΔＶ＝ａ－b ｌｏｇＴ)などが用いられることが多いが、生存分析と同様に、最尤法を使ってパラメータａ，ｂを推定することが可能である

よって平均支払い意思額は次式で与えられる。

$$Mean(WTP) = \int_0^{Tmax} \left[1 - \frac{1}{1+exp(\Delta V)} \right] dT$$

その他、支払い意思額関数によるモデルなどが検討されており、今後、適用事例の収集によってより精度の高いモデルの開発が望まれる。

３．８　環境価値の集計

以上より求められた平均支払意思額を母集団全体へ拡大して集計額を推計する。支払意思額の平均値を用いるか中央値（50%の人が賛成する値）を用いるかは議論が分かれているが、費用便益分析に用いるためには平均値、多数決ルールに基づく場合は中央値を用いるべきとの指摘がある。

その他、集計の際に注意すべき点として、支払い意思額の質問に対して無回答であったり、質問を理解されていない回答や抵抗回答などのデータは有効回答から除く。抵抗回答は、税金など支払い手段に対する拒絶や支払う対象の問題などによって、支払うこと自体に反対するものである。

４．おわりに

我が国でのＣＶM研究は始まったばかりであり、適用事例は少ない。今後の調査研究により様々な課題が明らかになってくると思われるが、対象となる範囲、調査手法、バイアスなど評価値の信頼性の問題がある。自然生態系の価値、景観の価値、水辺利用環境の評価など対象事例ごとの評価手法の適用についての研究や、シナリオ、質問方法等の改善についての検討が重要である。また、ＣＶMを河川整備計画などをはじめとする公共事業や環境政策へ適用するにあたっての我が国独自の問題の存在も考えられている。自然的、社会的環境の状況が異なるアメリカなど外国での事例をそのまま我が国へ適用することは難しく、独自の適用方法が必要となろう。十勝川水系札内川で行われた清流と自然景観保全の価値評価にあたっては、集計額の算出の他に、調査時に明示的に回答者に示すことの少なかった事柄による評価値への影響分析、例えば、プロジェクト実施による雇用の確保など、回答者が独自に仮定を行っていた項目の存在、暗黙の前提などに着目した研究も行われている。

なお､本文は平成 11 年 2 月 2 日に行われた開発土木研究所講習会での講演資料を加筆修正したものである。

参考文献

1）プロジェクト評価　土木工学ハンドブック　技法堂
2）21 世紀の社会資本を創る　土木学会誌 vol.84（1999 年 1 月）
3）肥田野登　環境と社会資本の経済評価　刄草書房
4）栗山浩一　公共事業と環境の価値　築地書館
5）栗山浩一　環境の価値と評価手法　北海道大学図書刊行会
6）鷲田豊明他　環境評価ワークショップ　築地書館
7）森杉壽芳　社会資本整備の便益評価　刄草書房

矢部浩規*

開発土木研究所
環境水工部
河川研究室
主任研究員