

インドネシアにおける生活排水による 水環境汚染の改善に関する費用便益分析

斉藤 貢¹・岩本博幸²・眞柄泰基³

¹学術修 北海道大学大学院 工学研究科博士後期課程 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: mick_saito@mbf.nifty.com

²博(農) 日本学術振興会特別研究員 北海道大学大学院 (〒060-0809 北海道札幌市北区北9条西9丁目)

³正会員 工博 北海道大学大学院教授 工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

インドネシアにおいて、汚水処理施設による水環境汚染改善に対する支払い意志額(WTP)をCVMによって調査し、浄化槽方式による処理費用との比較を行った。総便益は日本で浄化槽を設置している家庭の負担額と同程度であり、WTP自体は必ずしも低すぎるとは言えなかった。しかしながら、B/C比は1に満たなく、インドネシアでは自助により水環境改善を求めることには無理がある。便益に見合った処理技術は総費用が3割程度になる必要があり、このためなお一層のローコストな技術開発が求められる。また、一方において、環境保全が持つ社会的便益を住民に理解してもらうための環境教育も重要である。無償資金協力は、便益の先行貯蓄となるため、水環境汚染改善のための有効な手段である。

Key Words : cost-benefit analysis, CVM, Indonesia, jokaso, WTP

1. はじめに

(1) 水環境汚染の現状と経済的な制約

中低所得国の自然・経済・社会条件は多くの高所得国とは異なり、また、極度の資金的制約のため、今までに開発され使用されてきた汚水処理技術の適用は不適切な場合が多い。そのため、こういった国の実状に即した費用対効果の高い処理システムを選択することが不可欠となっている。しかしながら、インフラ整備の立ち遅れた国々において汚水処理の優先度は低く、住民の意識も道路・電気と並んで上水道の普及に向けられている。

このように、水供給のみが進められて排水量が増大し、未処理の汚水が周辺の環境を汚染し、場合によっては水源の汚染をも引き起こすに至った場合、安全な飲み水の供給自体も脅かされる事になりかねない。汚水処理が水供給に後れを取る原因はそれ以外にもいくつも挙げられる。まず、水供給が公的な機関による整備事業であるため、費用は長期間にわたって償還されるのに対して、汚水処理の基本であるトイレの設置は極めて私的な事項であり、しかも初期投資はそのまま家計の負担となる。また、汚水処理技術は水供給技術に比べてシステムが複雑であ

り、そのために費用も高くなる傾向にある。更に、汚水処理のもたらす便益を住民に理解してもらうことは、水供給の利点に比較して必ずしも容易ではない。その上で、なお汚水の適正処理を進めていくためには、まず第一に住民が汚水処理に見出している価値の水準を知ることが不可欠である。その価値観を著しく超えた汚水処理計画は住民の同意を得られずに、プロジェクト自体もアフォードブル(affordable)にはなり得ない。

(2) 国際協力・援助と持続性の検討

水環境分野における国際協力・援助は、多くの場合汚水処理施設を建設し、その後、運転を移管していくという形態になっている。その中には、現地の不釣り合いなほど高度な処理技術を採用したため、移管後の維持管理が行えていないという事例も発生している。中でも、運転技術の未熟さもさる事ながら、必要なランニングコスト(電力・汚泥処分・検査等の諸費用)を負担できていないことが特に深刻である。受益者が、基本的に自らの負担により汚水処理施設を運営していくことができなくては、システムの持続性が維持できない。そのためにも地域住民の負担能力を知ることは非常に重要である。

(3) CVMによる支払い意志額の評価

住民がある目的のために支払う意志があると考えられる金額はWTP (Willingness to Pay) と呼ばれている。これを求める方法として近年注目を集めている手法にCVM (Contingent Valuation Method) がある。Jordan and Elnagheeb¹⁾ は、米国ジョージア州において飲用水の硝酸性窒素汚染改善に対するWTPをCVMによって求めている。また、盛岡ほか²⁾ は、大阪湾沿岸域の水質維持及び水質改善がもたらす経済的価値を計測している。

1990年代に入って、このCVMを中低所得国の水環境分野へ適用する試みがいくつかなされてきた。それらは、1) 農村地域の水供給に関するもの(インド³⁾、パキスタン^{4,5)}、ナイジェリア⁶⁾)、2) し尿処理システムの改善に関するもの(ガーナ⁷⁾、ブルキナ・ファソ⁸⁾)、3) 下水道に関するもの(フィリピン⁹⁾)、4) 表流水の水質に関するもの(フィリピン¹⁰⁾) などである。しかし、これらの研究はいずれもスコープや属性によるWTPの差異を報告するもので、これを直接費用便益分析に用いたものではなかった。

農林水産省¹¹⁾ は農業集落排水事業の費用対効果の分析にCVMの採用を認めている。これを受ける形で、平成13年12月14日付けの農林水産省・国土交通省・環境省連名通知において、汚水処理施設に係る費用効果分析の統一手法として、CVMが従来からの代替法と共に指定された。

既往の代替法は、時として単なる工法比較となってしまう可能性がある。代替法においては、考えられているプロジェクト(原案)と同様の便益が得られる別のプロジェクト(代替案)の費用を当該プロジェクトの便益と見なすことがある。そのようにして計算された便益を用いて費用便益比(B/C比)を計算したとして、仮にB/C比が1に満たなかった場合、代替案を採用し原案を便益と見なすと当然B/C比は1を超える。つまり、この場合、安価な方法を採用すればプロジェクト自体は必ず正当化される。それに対し、CVMは受益者側から便益を計測しており、プロジェクトのフィージビリティを検討する目的においてはより適切であると考えられる。

本研究では、まずインドネシアにおいて汚水処理施設に係るイニシャルコスト・ランニングコストを算定する。次に、汚水処理施設からもたらされる便益をCVMのWTP推計額から求め、事業の実現可能性及び経済的措置並びに適正技術の開発普及の必要性について考察することを目的とする。

2. 調査・分析方法

(1) 調査地区の選定・概要

a) インドネシアの概要

インドネシアでは国家開発5ヶ年計画というマスタープランを作成し、下水道・汚水処理施設整備事業を進めている。しかし、実際に下水道が整備されているのは、限られた大都市の一部の地区のみであり¹²⁾、1997年時点で国民の過半数はトイレ以外で用便を行っているという報告されている¹³⁾。そのトイレについても、腐敗槽-浸透井といった簡易な処理施設を持っているものが半数程度で、それ以外は表流水面にそのまま放流されている。この腐敗槽-浸透井方式は、汚水を一時貯留し粒子状物質を沈殿分離した後、上澄水を地下浸透させるもので、インドネシアのように用便後の肛門洗浄に水を使う習慣の地域には低コストで有効な方式である。しかしながら、沈積した汚泥の引き抜きを怠って汚泥が腐敗槽から流出したり、浸透井の近くに給水用井戸がある場合は汚水の流入が懸念され、この方式といえども万全ではない。

一方、トイレの方式については、公衆トイレ・共用トイレ・家庭内トイレなどがある。ポア・フラッシュと呼ばれる手桶で水を流し込む方式が基本であるが、富裕層に於いてはロータンク式の洋式トイレも普及している。この方式は洗浄水量がポア・フラッシュ式に比べてかなり多く、家庭全体の汚水排水量を増加させる原因になっている。

b) 調査地区の概要

インドネシア西ジャワ州バンドン市にて調査を行った。バンドン市は西ジャワ州の州都であり、面積167.5km²、人口214万人(2000年)¹⁴⁾で、ジャカルタ・スラバヤに次いでインドネシア第3の都市である。

バンドン市のメトロ地区を調査地区として選定した。メトロ地区は、バンドン市駅の南東約8kmに位置し、1980年代に開発され、マスタープランをもとに整然とした区画割りがなされたバンドン市初のニュータウンである。約1.5km²の地区内に2,300世帯約11,000人が生活している。住民の大部分はアップパーミドル(upper middle)とでも呼ぶべき中流階層で、バンドン市内の他の住宅地区と比較して住民の階層が均質的である。

上水施設に関しては、インドネシア水道公社(PDAM)が供給する上水が引かれているが、水量・水圧に関する不満が多く、コミュニティによっては独自に井戸を掘って住民に供給しているところもある。下水については、トイレからの汚水について

のみ腐敗槽を経由し、それ以外は直接住宅周囲の側溝へと放流され、そこで雨水と合流して、最終的には近くの川へ流下している。

メトロ地区はバンドン市内では標高の低い地域に位置しているため、造成当初は強雨時の溢水が頻発したとのことであるが、排水側溝を増設することにより現在は溢水は発生していない。

(2) WTPの算出

a) CVMについて

CVMは、市場での取り引きが存在しない環境財やサービスを経済評価する手法の一つである。

CVMは、仮想的な市場を創設し擬制的な市場取り引きを行い、受益者に対してWTPを直接尋ねる表明選好に基づく方法で、仮想市場評価法、擬制市場法などと訳されている。

環境経済学的な評価手法には、その他にもヘドニック法(Hedonic Method)・トラベルコスト法(Travel Cost Method)などがあるが、これらは代用市場の想定が必要であり、適用の範囲に限界がある。それに対し、CVMはこういった代用市場を必要とせず、また、非利用価値の計測も可能であるといった特質を持つため近年適用例が多い(環境用水の観光、生態系保全機能の評価¹⁵⁾など)。一方、CVMの欠点として、表明選好に基づく方法であるため、主観的な偏り(バイアス)が生じる可能性があるということが指摘されている。そのため、調査時点でのバイアスを最小化すべく計画をし、適切なWTPに近づけるべく留意しなければならない。

CVMは、直接人々にWTPを尋ねるため、調査上生じるバイアスが問題となる。CVMのバイアスは、1) ゆがんだ回答を行う誘因によるもの、2) 評価の手がかりになる情報を質問用紙自体が与えてしまうことによるもの、3) シナリオ伝達ミスによるもの、4) 不適切なサンプル設定と実施によるもの、等が考えられる。1)は、回答者が自分に有利になったり、質問者が喜びそうな回答を行うもので、調査の実施方法、質問の条件設定などが原因で生じる。2)及び3)は、質問用紙に記載された内容に回答者が独自の判断を加え、質問者の意図しなかった方向へ回答するもので、大部分は質問用紙の設計に起因する。4)は、調査自体が統計的に不適切な手法で行われた場合に生じ、これはCVMに限らずどのような調査であつても生じる問題である。

このように、CVMが特徴的に抱えるバイアス問題の大部分は、質問用紙の内容・設計に起因するので、それらを最小化すべく慎重に質問用紙設計を行うことが肝要である¹⁶⁾。

b) CVMのシナリオ

住宅地内の川や水路、或いは道路脇の側溝に汚水やごみが流れている、というのはインドネシアではよく見かける光景である。しかし、こういった光景は決して好ましいものではない。こういった表流水への汚物汚水の流入を防ぐことが出来ると、以下のような便益が得られる。即ち、1) 地下水・水道原水への汚水の浸入を防止できる、2) 伝染病の伝播防止に効果的である、3) 汚水からの悪臭が無くなる、4) そして何より環境美化になる。これらの便益を技術的に達成する方法は、大きく分けて2通りのアイデアが考えられる。一つは各家庭に浄化槽を設置して、そこで汚水を浄化後に水系に放流する方法と、もう一つは現在側溝(開渠)に排出していた汚水を汚水管で集めてコミュニティープラントなどで集中処理する方法(側溝は雨水のみを排水する)である。そういった方法の得失は各住区の特徴により様ではないので、アンケートでは方法はあえて明示せずに便益のみを列挙して、それを改善後の姿とした。上述の通り、必要とされる対策は公共セクターの投資による部分と個人負担となる部分があるので、既応の責任分担では双方の調整がうまくいかないことが多い。そこで、これを一貫して管理する方策としてある組織の設立を想定した。この組織は最適な技術の選定と実際の工事、その後の維持管理を全て引き受けるとの想定をした。

c) 調査方法・アンケート用紙の設計

CVM調査では、個別面接調査方式および郵送調査方式などを通じてデータを収集する。個別面接調査方式は、調査票と調査員の説明を併用できるため、回答者の理解度に応じて説明を加えることにより信頼性の高い調査ができる利点がある一方で、調査員の説明内容に偏りが生じるなどの欠点がある。郵送調査方式は、調査員が調査に直接介入しないため、調査員の質に起因するバイアスを避けることが可能である。しかしながら、インドネシアは、郵便の信頼性が日本ほど高いとはいえないことから、調査員が各戸を訪問して調査票を配布し、後日回収に回る留置き調査方式を採用した。一般的な留置き調査方式では、回収時に調査員が補足調査を実施して記入漏れなどを確認する。しかし、本調査では、調査員の質に起因するバイアスの回避、およびプライバシーの保護を理由に補足調査は実施していない。

なお、配布にあたっては、事前の抽出作業を行っていないため正確にはランダムサンプリングになっていないが、アンケートの配布数が約2,000通と地区内戸数に匹敵するため、全数調査に近い状態になっていると考えられる。

アンケート用紙はインドネシア語で作成した。前項で述べた汚水処理による便益を説明した後、この計画への負担額を提示し、それに対する諾否を尋ねた。回答がYesの場合には更に高い金額を提示し、Noの場合はより低い金額を提示してその諾否を問う二段階二肢選択法を採用した。提示額の一覧を表-1に示す。

支払方法は、税金による場合と基金への拠出による場合を検討した。インドネシアでは納税者の割合が低く、また国家予算には税金以外にも国営石油会社の売り上げが大量に入っている。そのため、支払った税の額と受け取る公共サービスの額が一致していない。また、税金の不正流用問題などから税金に対する不信感が強く、この支払方法を採用した場合、抵抗回答の増加が懸念された。

一方、Rukun Warga (RW) という300~500世帯で組織されるコミュニティー単位は、負担金を出し合う形での廃棄物処理・地区セキュリティ・常夜灯の点灯・道路清掃などを行っている。それに似た形での基金の設立には、住民が違和感無く受け入れるものと判断した。これらのことから、支払方法は基金方式とし、その単位はRW規模とした。

CVMに伴うバイアスに関しては、以下に示すような対策を講じた。まず、1) ゆがんだ回答を防ぐためには、バンドン工科大学を調査主体とし、日本からの援助があると誤解されないようにした。2) 評価の手がかりを質問用紙が与えないようにするため、二段階二肢選択法を採用し、想定している金額の幅を回答者に読み取られないようにした。また、3) シナリオ伝達の実を妨ぐために、税金による支払いではなく基金方式とし、支払額が便益と直接的に結びつくシナリオとした。4) 統計的な不備を無くすためには、まず全数調査に匹敵するアンケート用紙を配布し、サンプル抽出時のバイアス問題が生じないようにし、回答の中から抵抗回答を除外できるように質問項目をアンケートに加えている。

d) 解析方法

二段階二肢選択法により得られたデータは、出村ほか¹⁷⁾の方法に倣い以下のように分析した。

まず、回答者Iに対する第一段階での提示額(T)を t_{1i} 、第二段階での提示額を t_{2i} とする。次に、各段階での回答を表す指示変数を、以下のように定義する。

$$I_{1i} = 1 \text{ (第一段階での回答がYesのとき)}, \\ = 0 \text{ (第一段階での回答がNoのとき)}$$

$$I_{2i} = 1 \text{ (第二段階での回答がYesのとき)}, \\ = 0 \text{ (第二段階での回答がNoのとき)}$$

さらに、 R_{1i} 、 R_{2i} 、 R_{3i} 、 T_{Uj} 、 T_{Lj} を以下のように定義する。

表-1 提示額一覧[ルピア]

1回目 提示額	2回目提示額	
	1回目が Yesの時	1回目が Noの時
1,000	1,500	500
1,500	2,000	1,000
2,000	3,000	1,500
3,000	5,000	2,000
5,000	7,000	3,000
7,000	10,000	5,000
10,000	15,000	7,000
15,000	20,000	10,000
20,000	25,000	15,000
25,000	30,000	20,000

$$I_{1i}=0 \text{ かつ } I_{2i}=0 \text{ のとき } R_{1i}=1, T_{Uj}=t_{2i},$$

$$I_{1i}=1 \text{ かつ } I_{2i}=0 \text{ のとき } R_{2i}=1, T_{Uj}=t_{2i}, T_{Lj}=t_{1i},$$

$$I_{1i}=0 \text{ かつ } I_{2i}=1 \text{ のとき } R_{2i}=1, T_{Uj}=t_{1i}, T_{Lj}=t_{2i},$$

$$I_{1i}=1 \text{ かつ } I_{2i}=1 \text{ のとき } R_{3i}=1, T_{Lj}=t_{2i},$$

(ただし、上記で指定の無い $R_{ji}=0$, $j=1, 2, 3$).

R_{ji} は指示変数であり、 T_{Uj} 、 T_{Lj} はデータからわかる回答者IのWTPの上限・下限を意味する。ここで $G(\cdot)$ を任意の累積密度関数としたとき、対数尤度関数を、

$$\log L = \Sigma(R_{1i} \times \log(G(T_{Lj}; \beta X_{ij})) \\ + R_{2i} \times \log(G(T_{Uj}; \beta X_{ij}) - G(T_{Lj}; \beta X_{ij})) \\ + R_{3i} \times \log(1 - G(T_{Uj}; \beta X_{ij}))) \quad (1)$$

と表すことが出来る。本分析では、 $G(\cdot)$ にロジスティック分布を仮定して分析を行った。従って、 $G(\cdot)$ のロジットは説明変数の線形な合成関数で表現される。

この $G(\cdot)$ を提示額 T について0から無限大まで積分することで、WTPの平均値を算出することができるが、収束しないケースがあるため通常は最高提示額を上限とした積分で裾切りされた平均WTPを求める。また、受諾確率 $P=0.5$ となる点がWTPの中心値となる。

なお、推計には統計解析用のパッケージソフト「SHAZAM」を使用した。

(3) プロジェクトコストの算出

CVMのシナリオで述べられている通り、便益を達成する方法は個別式と集中式の2通りが考えられる。インドネシア国家開発5ヶ年計画ではオフサイトシステムは大都市のみに採用し、オンサイトシステムは、上水不足のために水に起因する疾病が蔓延している地域・新市街地・観光地及びスラム地域に設置するものとしている¹²⁾。特にオフサイトシステムについても、公益性よりもむしろ対費用効果を考慮しており、コスト面の比較が方式の採否に大き

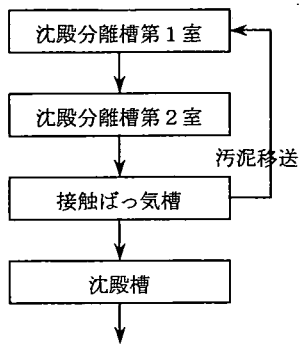


図-1 浄化槽システムフロー

な影響を与える。

インドネシアにおける汚水処理の事業費の算定は、国際協力総合研修所¹⁸⁾が詳細に行っているが、その後1997年の経済危機により経済事情が一変し、物価変動も大きいためその結果は今回は利用できない。そのため、今回は、メトロ地区と同レベルの宅地開発をバンドン市内で行うことを想定してコスト算出を行うケーススタディとした。

a) プロジェクトの概要

処理方式は集中式と個別式の双方を比較し、よりふさわしい方式を選択するのが本来である。しかし、処理施設の規模の設定により総費用が大きく異なるため、今回は合併式浄化槽(腐敗槽ではない)による個別式で対応することとした。方式は接触曝気方式とし、各家庭に1基ずつ設置し、処理水は住戸前面の雨水側溝に放流されると考えた。

1人1日当たりの汚水量は160 Lとした¹⁸⁾。BOD負荷は、インドネシアの実状を示すデータが無いため、日本と同じ40 gと考えた。放流水質は30 mg/L、発生汚泥はバキュームで引抜き搬出を行うとして、ランニングコストに算入した。処理システムのフローを図-1に示す。

b) コスト算出の条件

イニシャルコストとしては、浄化槽の設置費及び施設の耐用年数に応じた更新費を、ランニングコストとしては、運転のための電気代及び発生汚泥の引抜き搬出費を考慮した。耐用年数については、日本では法定の年数があるが、現実にはそれを超えて使用されているという実績がある¹⁹⁾。その実態を踏まえ施設の耐用年数を、躯体30年、機器設備類15年として組み込んだ。

費用の算出に当たっては、本来機会費用を用いるべきであるが²⁰⁾、現実にはそれを算出するのは容易ではない。今回は、現在の市場価格を用いて積算見積もりを行った工事価格をコストと考えた。

表-2 集計結果

配布数	1,923通
回収数	1,895通
白紙・所定用紙以外	174通
有効回収数	1,721通
回収率	89.5%
CVM有効回答数	660通
有効回答率	38.3%

今回の計算に当たって考慮しなかった項目は、土地取得費及び運営の人件費である。土地については、浄化槽は地中式なので、その上部空間も利用可能と考え算入をしなかった。人件費は、その組織形態により様々で、算定が困難なため計算から除外した。

割引率は、インドネシア中央銀行の貸出しレートとインフレ率を考慮して年8%とした。

3. 結果

(1) WTP及びWTP密度関数の決定

調査は2002年7月16日にアンケート用紙の配布を開始し、8月2日まで回収作業を行った。アンケート調査の集計結果を表-2に示す。白紙回答及び所定のアンケート用紙以外の用紙による回答を無効とした。回収率は89.5%となった。無効回答及び抵抗回答を除外した結果、解析に利用したのは660通(有効回答率38.3%)となった。本調査では、回収時の補足調査を実施していないため、留置き調査方式としては低い有効回答率である。しかし、本調査は、実施手順において留置き調査方式よりも郵送調査方式に近い。郵送調査方式で有効回答率が20%から30%程度となるのは妥当な範囲であり、WTPの推計には十分なサンプル数である。

密度関数は、提示額の対数値 $\ln(T)$ を始め、家計収入の対数値、年齢、学歴の一次結合を指数項とするロジスティック分布を仮定して解析を行った。モデル計測の結果を表-3に示す。その結果、最高提示額の30,000ルピアでの裾切り平均WTPは12,398ルピア、受諾確率が0.5となる中位WTPは9,880ルピアと計算された。2002年現在、1米ドルは約8,000ルピアであるので、裾切り平均WTPは約1.55米ドル、中位WTPは約1.24米ドルである。

提示額の対数値については、係数が負となっており値の絶対値も大きく、非常に有意性が高い。これは、回答者が環境保全に対して単なる賛意を示しているのではなく、提示額を十分に考慮して回答したことを示す証左である。家計収入の対数値につい

ては、若干t値が低いものの、符号が正で片側1%で有意な結果が得られている。これは、回答者の所得が増えるにつれWTPも上昇すると読むことができ、回答者が予算制約を意識して回答したことを示している。年齢については、t値から判断してその有意性は高くない。これは、回答者の収入は、ある時期までは年齢の上昇とともに増加するものの、定年後は逆に収入が減少してしまうため、予算制約的な要素が加わってしまったためではないかと推察される。学歴については、正に有意な結果となった。これは、環境に関する教育を受ける機会が増えるという直接的な効果と、一般的な教育を受けることにより環境問題に対する理解力が高まっているという間接的な効果の双方によるものと考えられる。

提示額以外の変数にその平均値を代入して定数項に組み入れた受諾確率曲線を図-2に示す。

(2) プロジェクト費用の算出

a) イニシャルコスト

今回は、躯体は30年、機器設備は15年の耐用年数があるとしているので、それぞれを別に算出して合計した。躯体はコンクリート製とし、掘削、型枠、鉄筋等の工事費を見積もった。機器設備にはブロワー、接触材、及び配管類を見込んだ。その結果、工事費は躯体968万ルピア、機器設備類378万ルピアと計算された。各家庭では既に腐敗槽を設置しているのでその設置費用200万ルピアを躯体工事費から差し引いた。以上合計して、浄化槽1基当りのイニシャルコストは1146万ルピアと見積もられた。

b) ランニングコスト

浄化槽のランニングコストは、主にブロワーの電力費と汚泥処分費である。

日本のし尿浄化槽構造基準によると、5人以下の合併浄化槽の曝気強度は $2 \text{ m}^3/\text{h}$ と定められている。これに基づいてブロワーの消費電力を試算したところ約30 Wとなった。24時間連続運転を行うので、年間の消費電力量は262.8 kWhとなる。現在、インドネシアの家庭用電力単価は1 kWh 当たり425ルピアであるので、年間電力費は111,690ルピアと計算される。

5人家族の家庭からの発生汚泥量は、一人当たりBOD発生量40 g/d、汚泥転換率を0.5として $100 \text{ gSS/d} = 36.5 \text{ kgSS/y}$ と計算される。汚泥の固形物濃度は約2%として汚泥の発生体積は年間 1.825 m^3 となる。し尿浄化槽構造基準によると、沈殿分離室の容量は 2.5 m^3 で2室に分割することになっているので、第1沈殿分離室の容量を 1.4 m^3 と仮定し、剥離汚泥の移送を行うとして、汚泥は第1沈殿分離室の

表-3 モデル計測結果

変数	係数	t 値
提示額の対数値	-1.841E+00**	(-19.369)
家計収入の対数値	3.955E-01**	(2.800)
年齢(歳)	-1.094E-02	(-1.581)
学歴(ダミー)	6.642E-01**	(3.811)
定数項	1.420E+01**	(11.078)
サンプル数	660	
AIC	1243.473	
裾切り平均WTP	12,398ルピア	
中位WTP	9,880ルピア	

注:

- 1)「**」は1%水準で有意、「*」は5%水準で有意
- 2)「学歴」はダミー(大学卒業以上の学歴=1)

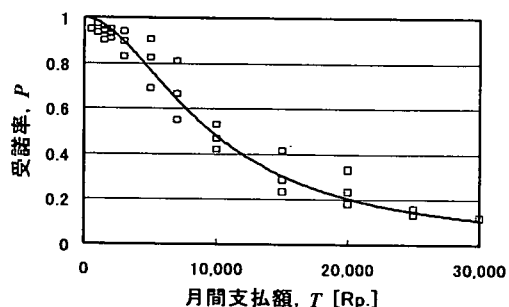


図-2 提示額による受諾曲線

1/2の容量の 0.7 m^3 までは貯留可能と考えた。従って、汚泥の引抜き頻度は4.6ヶ月毎と計算された。バンドン市のバキュームカーによる汚泥の引抜き処分費は1回当たり100,000ルピアである。バキュームタンク容量が 4 m^3 だとすると、1回で3ヶ所の浄化槽から汚泥の引き抜きができるので、年間の汚泥処分費は86,670ルピアとなる。

以上合計して、インドネシアの家庭に浄化槽を設置した場合、年間198,360ルピアのランニングコストが必要となる。

4. 考察

(1) 費用便益比 (B/C比) の計算

長期間にわたる金額の比較を行う場合、総額を現在価値に換算する方法と(NPV: net present value)、平均年額に換算する方法がある。プロジェクト分析ではNPVが多く用いられているが、今回は年額法で評価した。イニシャルコストは、割引率8%で30年及び15年毎の更新を考えると、年額として1,091,960ルピアと計算される。それにランニングコストの年間

198,360ルピアを加えた1,290,320ルピアが年間負担額(C)である。一方、便益(B)は裾切り平均WTPを年額に直した148,780ルピアであり、費用便益比(B/C比)は0.115となり、プロジェクトとしては全く成立しない。今回の調査の金額範囲を超えるが、密度関数を外挿して計算すると受諾率はわずか0.02%にしかない。

池田²¹⁾は、シカゴ地域の親水レクリエーションの価値をCVMによって調査した。この例において、住民の評価と改善費との間に1オーダーの違いがあり、大都市周辺での河川の親水環境サービスの供給の困難さが報告されている。また、水供給事業のように個人の費用と個人の便益が直接的に対応する場合であれば、負担の意志のある人から順次加入していく「普及率改善」的な考えが可能である。しかし、水環境の場合、便益は汚濁の排出量に応じて全ての人に平均的に渡ってしまうので、自由意志に任せておいては例え便益を高く評価している人であっても浄化槽を自ら設置するとは考えられない。一方、道路建設のように受益者に直接的な負担を求めず、専ら税金による富の再配分の考え方に基づき公共事業的に行う場合は、公共サービスに対するモラルハザードやサービスのただ乗りが懸念され、汚染者負担の原則から考えても好ましくない。従って、総WTP＝便益という考えは尊重しつつ、個人個人については幾らかの負担を強いるという考え方で、普及に向けたシナリオを検討することが求められている。

(2) 対GDP比の計算

2000年時点のバンドン市の一人当たりGRDP(域内総生産、GDPに相当)は702万ルピアと計算され¹⁴⁾、平均5人家族であるので1家庭当たりのGRDPは3510万ルピアとなる。従って、WTPの対GRDP比は0.42%である。ただし、この金額の外に各家庭は腐敗槽の設置費用を負担しており、それを加えると0.92%となる。一方、日本の一人当たりGDPは421万円(2000年)で、小型家庭用浄化槽の設置費用は約88.8万円、年間維持管理費は約6.5万円ある¹⁹⁾。インドネシアの場合と同様の割引率と耐用年数で年額を試算すると14.2万円であり、4人家族と考えても対GDP比は0.84%である。つまり、インドネシアの経済水準を考慮すると、計算されたWTPは必ずしも低すぎるとはいえない。

今までに行われてきた多くのプロジェクトの経済評価には、支払い可能額(ATP, Affordability to Pay)というベンチマークが用いられてきた。これは、WTPの調査に比べて容易に得られる家計収入を元

に、住民のコスト負担の妥当性を評価するものである。一般には、ATPはWTPより高く、ある特定のサービスに対して家計収入の一定比率が設定されている。PAHO (Pan Pacific Health Organization)は、水関連支出を家計収入の5%以内(上水3.5%、下水1.5%)にするように求めている²²⁾。その他の機関による調査を総合して、汚水処理に関する支出は家計収入の1~1.5%程度が上限と見積もられている。仮に、収入がGRDPの半分程度だとすると、上述の上限値に匹敵する値になる。

以上より、汚染者責任があるとはいえ、今回計算されたWTPを著しく超える費用の負担を住民に強いることは適切とは言えないであろう。

(3) 総便益の再評価

今回行った調査では、住民に対する便益しか求められていないが、浄化槽の設置による便益はそれだけではない。バンドン市は川の上流域に位置し、その放流水は下流域の水産資源、上水資源に影響を与える。特にインドネシアのように長い乾期がある国においては、その時期に流入していた汚濁が除去されるということは大きな便益となりうる。従って、受益者負担の原則から考えても、総費用を住民のみに負担させるというのは適切とは言えない。日本においては、生活排水処理の諸費用は原則として住民の負担とされている。しかし現実には、環境省、総務省、国土交通省、農林水産省等の補助事業により、イニシャルコストの30~60%の財政援助を受けている。個人設置の合併処理浄化槽においては、環境省が設置費用の40%を社会的便益に相当する部分として、設置者の財政力に応じた助成を行っている¹⁹⁾。

また、WTPは住民の経済力にも影響を受けるということは調査結果より明らかであるが、経済発展により将来のWTPが増加していくということも当然予測される。2002年9月に環境開発サミットにおいて採択されたヨハネスブルク実施計画では、貧困撲滅の数値目標として2015年までに貧困層(1日1米ドル以下)を半減させるとしている²³⁾。世界銀行の発表ではインドネシアの貧困層は27.1%(1999年)で一人当たりGDPは676米ドルであった²⁴⁾。収入が対数正規分布に従うとすると、このデータから分布の幾何標準偏差は2.75と計算される。この分布形が維持されたまま15年間で貧困層を半分の13.55%にさせるためには一人当たりGDPが1,103米ドルになる必要があり、これは実質経済成長として年3.6%に相当する。一方、EIU²⁵⁾は2000年から2003年のインドネシアの実質GDP成長の実績値、推定値、予測値を3.5~5.2%と報告している。以上より、安定期に

入った高所得国と違って、インドネシアなどの中低所得国においては更なる経済発展を続けていくことが世界人類に課せられた義務であり、また、実際にインドネシアはその方向に着実に向かっていると言えるだろう。そのため、WTPも現時点のみの金額で議論するのではなく、将来的な支払意志の変動をも考慮すべきといえる。

経済発展の中において変化するであろう種々の社会的アメニティーや意識構造については、それぞれ別途に評価されるべきであり、以下では純粋に経済成長のみを考慮する。

(4) B/C比改善のための対策

以下は、種々の仮定に基づきB/C比の変化について考察したものである。結果は表-4にまとめて示す。

a) 社会的便益による影響

浄化槽躯体の耐用年数である30年を一区切りとして、その間のWTP成長を所得成長と同程度の年間3.6%と考えると、期間平均WTPは260,270ルピアと計算される。住民は既に腐敗槽を所有しており、その費用=便益と仮定して双方に加えると総費用は1,465,610ルピア、総便益は434,560ルピアとなり、この条件でのB/C比は0.297(表-4, No.1)と計算される。これを以下の検討の基準とする。日本では、浄化槽の設置費の40%は社会的便益に相当すると考えられていることは既述の通りであるが、これは、汚水処理施設費用の40%を社会全体で負担する事を意味する。このように、水環境保全に対し社会的合意を得るためには環境教育が重要である。インドネシアで実際に環境教育を行うには、例えば汚水処理施設を実際に設置したモデル地区を設定し、政策決定者ばかりでなく広く一般市民にもその効果を体感

してもらうことが効果的であろう。

インドネシアの社会が、現状で環境保全の便益レベルが日本と同程度であるとは考えにくい、仮に40%分の便益を認めた場合、総便益は608,070ルピアとなり、B/C比は0.415(No.2)となり改善は見られるがやはり1には遠く及ばない。

b) 割引率の検討

今までの計算は割引率を8%で行ってきた。割引率の社会的経済的意味については幾つかのアプローチが提案されているが²⁶⁾、機会費用アプローチでは当該プロジェクトの最低年間収益率に対応する。環境プロジェクトに一般投資と同じレベルの収益率を求めるのは実際には無理であろう。そこで、現実としての資金調達の可能性は別として、予測されるGDP成長率と同じレベルの割引率4%についても検討した。その場合、イニシャルコストは878,520ルピアとなり、ランニングコストを加えた上でB/C比を計算すると0.347(No.3)と求められる。上述の40%社会的便益を仮定に加えてもB/C比は0.508(No.4)であり、何れの場合にもB/C比は1に満たない。従って、汚水処理による水環境改善をインドネシアの自助に求めるということは、現状では残念ながら難しいと言わざるを得ない。

次に、この問題を打開するために考えられる方策として、技術開発による場合、国際協力による場合について検討する。

c) 求められる技術開発

今回は浄化槽方式のみを検討したが、汚水処理方式は個別式・集中式を含め様々なシステムが考えられる。その中で総費用が最低となる方法を見つけ出す努力をしなければならない。現状で0.297のB/C比を1以上にするためには、当然総費用は0.297倍以下である必要がある。仮にイニシャルコスト、ランニ

表-4 B/C比計算結果集計

No	割引率(%)	社会的便益(%)	期間(年)	費用(ルピア)			便益(ルピア)			B/C比	備考
				イニシャルコスト	ランニングコスト	総費用	WTP	腐敗槽	総便益		
1	8	-	30	1,267,250	198,360	1,465,610	260,270	174,290	434,560	0.297	
2	8	40	30	1,267,250	198,360	1,465,610	433,780	174,290	608,070	0.415	社会的便益
3	4	-	30	878,520	198,360	1,076,880	260,270	113,290	373,560	0.347	低割引率
4	4	40	30	878,520	198,360	1,076,880	433,780	113,290	547,070	0.508	社会的便益
5	8	-	30	633,630	99,180	732,810	260,270	174,290	434,560	0.593	ローコスト技術
6	8	-	30	368,040	198,360	566,400	260,270	174,290	434,560	0.767	開発ローン
7	8	-	60	199,060	198,360	397,420	506,130	174,290	680,420	1.712	無償資金
8	4	-	60	301,290	198,360	499,650	506,130	113,290	619,420	1.240	無償資金

ングコストを共に半分にできたとすると、その総費用は732,810ルピアでB/C比は0.593 (No.5)である。

その土地の風土・条件に適した簡便な技術のことは適正技術と呼ばれている。排水処理分野でも小口径下水道、安定化池を始め多くの適正技術が開発されている。しかし、総費用を3割までに減少させるには、イニシャルコスト、ランニングコストの両方面において、更なる研究開発が必要となろう。インドネシアの場合は、気温が1年中安定して高いこと、年間降水量が比較的豊富であることなどのいくつかの利点を持っている。その特質を生かした新しいローコスト技術の研究開発が強く求められる。

d) 国際協力・援助の効果

以下は、費用便益の本来の意味での費用ではなく、住民の負担額をベースにした計算である。

国際協力の枠組みの中で実質金利ゼロの長期ローンを融資する場合を検討する。国際開発銀行(JBIC)の円借款標準条件表²⁷⁾に基づいて費用算出を行う。JBICではインドネシアは貧困国に分類されており、この分類の公害対策案件への融資条件は、金利0.75%、償還期間40年(うち据置10年)である。また、融資対象は総事業費の85%までである。この条件でインフレを考えると実質金利はマイナスになるが、ここでは金利ゼロとして計算する。イニシャルコストのうち15%は発生年度に計上し、残り85%は11~40年後に同額ずつ計上する。それを、プロジェクト期間平均として割り戻すと、イニシャルコストの年額は368,040ルピアと計算される。これをもとにB/C比を計算すると0.767 (No.6)となり、この融資条件では1に満たない。しかし、先に計算されたB/C比に比べて大幅な改善が見られることから、適切な融資条件のもとではアフォードブルとなる可能性がある。

最後に、初期投資の金額相当分を無償資金協力で援助する場合を検討する。これには、それ以降の更新は自らの費用で行えるようになっていくことが保証されないと、持続性が確保されない。そこで、1回全体更新を含む60年間での総費用と総便益の比較を行う。向こう60年の平均WTPは、成長率をやはり年間3.6%と考えると506,130ルピアになる。それに腐敗槽費用を加えて680,420ルピアが総便益である。総費用のうち1回目のイニシャルコストはかからないので、15年後から機器設備の3回の更新費と、30年後の躯体の更新費を年額に変換するとB/C比は1.712 (No.7)となる(割引率8%の場合)。経済成長に伴ってWTPが増加すること、及び先行投資による利子負担から解放されることがB/C比に大きく影響

している。このことから、無償資金協力は、水環境汚染の改善のための有効な手段であるといえる。一方、割引率4%の場合には総費用499,650ルピア総便益619,420でB/C比は1.240 (No.8)となり、割引率の大きい方が先行して見込まれる便益の貯蓄効果が大きく表れている。

以上より、国際協力・援助は、水環境保全の有効な手段であることが明らかになった。今日の国際情勢を考えると、今後ますます援助の効果に対する評価を行う必要性が認識され、プロジェクトが精査されていくことが予想される。そのため、限られた資源を効率良く分配するためにも、それぞれのプロジェクトに対する優先順位付けをより厳しく行う必要がある。CVMは便益に対する定量性があり、受け入れ国・供与国双方の政策決定者に対し、水環境保全の重要性を知ってもらうために貢献するものと判断される。

(5) WTPの移転

今回の調査は、特定の一地区を対象として行われており、その意味では計測結果はこの地区にしか適用できない。ある地域で得られた結果を別の地域への適用(便益移転)を行うためには、地域的特性などに類似性があることが要求される。一方、便益評価額そのものではなく、説明変数を含めた便益関数自体を他地域に適用する方法を便益関数移転という。寺脇²⁸⁾は、水環境整備事業に関してCVMで得られた便益関数について、個人属性の説明変数のみでは完全には移転できないとしている。そして、地域特性や対象非市場財の特性自体を説明変数に加えることを提案している。しかし、便益移転の研究は、それ自身多大な費用と時間を要するため、今回の調査においてそのような説明変数に加えることはできなかった。ただし、対象地域はインドネシア国内において多く見られる住宅地区であることから、類似の地域に対してはある程度の便益移転が可能であると考えられる。

5. 結論

インドネシアにおいて、CVMを用いた水環境汚染の改善に対するWTPの調査を行い、以下の点が明らかになった。

- 30,000ルピアでの裾切り平均WTPは1家族当たり月12,398ルピア、中位WTPは9,880ルピアであった。

- 提示額が上がると受諾率が下がり、また家計収入が増えると受諾率が上がることが確認された。
- WTPとイニシャルコスト、ランニングコストを比較したB/C比は0.115となりプロジェクトとしては成立しない。
- 時間的なWTPの上昇、社会的な便益、割引率(収益率)の見直しを行ってもB/C比は1に満たず、現状でインドネシアの自助による改善は期待できない。
- 無償資金協力は、プロジェクト当初の貯蓄効果によりB/C比は大きくなる。また、割引率が大きいほうが、先行して入る便益による効果が大きい。

ヨハネスブルクの環境開発サミットにおいては、「貧困こそが最大の環境問題」であると多くの中低所得国が訴えてきた。今回の調査で明らかになった便益と費用の乖離はまさにそれを体現したものといえる。単独の対策で期待されるB/C比改善効果には限界があり、総合的な対策をすることが必要となる。技術面においては、より一層のローコスト技術の開発によりB/C間の差異を縮める努力をしなければならない。社会面からは、環境保全による社会的便益を住民に理解してもらうために、環境教育を進めていかなければならない。

謝辞：インドネシアにおけるアンケート調査に実施に当たっては、バンドン工科大学Wisjnuaprpto教授のグループの全面的な協力を頂いた。汚水処理施設の計画設計に当たっては、財団法人日本環境整備教育センターの小川主任研究員にアドバイスを頂いた。また、プロジェクトコストの算出は、PT. Jaya Obayashi の松下社長を始め多くの皆様のご協力によるものである。心より感謝申し上げます。

参考文献

- Jordan, J. L. and Elmagheeb, A. H.: Willingness to pay for improvements in drinking water quality. *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 2, pp.237-245, 1993.
- 盛岡通, 梁鎮宇, 城戸由能: 大阪湾沿岸域水環境の経済的価値評価の試み, 土木学会論文集, No. 518/IV-28, pp.107-119, 1995.
- Singh, B., Ramasubban, R., Bhatia, R., Briscoe, J., Griffin, C. C. and Kim, C.: Rural water supply in Kerala, India: How to emerge from a low-level equilibrium trap. *Water Resource Research*, Vol. 29, No. 7, pp.1931-1942, 1993.
- Altaf, M. A., Whittington, D., Jamal, H. and Smith, V. K.: Rethinking rural water supply policy in the Punjab, Pakistan. *Water Resource Research*, Vol. 29, No. 7, pp.1943-1954, 1993.
- Memon, M. A.: Household characteristics, health benefits, and willingness to pay for rural water supply in Pakistan. *Journal of International Development Studies*, Vol. 10, No. 1, pp.121-137, 2001.
- Whittington, D., Okorafor, A., Okore, A. and McPhail, A.: Strategy for cost recovery in the rural water sector: A case study of Nsukka district, Anambra State, Nigeria. *Water Resource Research*, Vol. 26, No. 9, pp.1899-1913, 1990.
- Whittington, D., Lauria, D. T., Wright, A. M., Choe, K., Hughes, J. A. and Swarna, V.: Household demand for improved sanitation services in Kumasi, Ghana: A contingent valuation study. *Water Resource Research*, Vol. 29, No. 6, pp.1539-1560, 1993.
- Altaf, M. A. and Hughes, J. A.: Measuring the demand for improved urban sanitation services: Results of a contingent valuation study in Ouagadougou, Burkina Faso. *Urban Studies*, Vol. 31, No. 10, pp.1763-1776, 1994.
- Whittington, D., Choe, K. and Lauria, D.: The effect of giving respondents "time to think" on tests of scope: An experiment in Calamba, Philippines. *Determining the value of non-marketed goods*, Eds. Kepp, R. S., Pommerehne, W. W. and Schwartz, N. Kluwer, pp.219-234, 1997.
- Choe, K., Whittington, D. and Laurina, D. T.: The economic benefits of surface water quality improvement in developing countries: A case study of Davao, Philippines. *Land Economics*, Vol. 72, No. 4, pp.519-537, 1996.
- 農林水産省構造改善局計画部事業計画課: 改訂版 農業集落排水事業における費用対効果分析マニュアル(案), 農林水産省, 2000.
- 山村尊房, 鍋木儀郎, 四阿秀雄, 石井明男: インドネシアの水道・環境衛生分野の現状と日本による国際協力 [Ⅲ], 資源環境対策, Vol. 29, No.7, pp.665-673, 1993.
- 植田達博: インドネシアにおける下水道の現状と課題, 下水道協会誌, Vol. 37, No. 453, pp.19-25, 2000.
- Statistics Central Agency of Bandung City: *Bandung City in Figures 2000*, Badan Pusat Statistik Kota Bandung, 337pp 2001.
- 玉井信行, 白川直樹: 仮想市場法を用いた環境用水の便益評価について, 水環境学会誌, Vol. 23, No. 8, pp.461-465, 2000.
- Mitchell, R. C. and Carson, R. T.: *Using surveys to value public goods: the contingent valuation method*. Resources for the Future, Washington D. C.:USA, 463 pp., 1989.

- 17) 出村克彦, 佐藤和夫, 岩本博幸: 農業・農村の景観保全・保健休養・自然教育・生態系保全機能の価値―全道・東日本・西日本住民による北海道農業の評価―, 農経論叢, Vol. 55, Mar., pp.15-28, 1999.
- 18) 国際協力事業団国際協力総合研究所: 開発途上国の都市におけるし尿・雑排水処理の段階的改善計画手法の開発に関する研究―インドネシアにおける事例研究―報告書, 総研JR95-16, 207pp, 1995.
- 19) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課浄化槽対策室: 生活排水処理施設整備計画策定マニュアル, 51pp, 2002.
- 20) 肥田野登: 費用便益分析の基本と課題, 水環境学会誌, Vol. 23, No. 8, pp.452-456, 2000.
- 21) 池田三郎: 水環境の経済的価値, 水質汚濁研究, Vol. 12, No. 8, pp.470-474, 1989.
- 22) Gómez-Lobo, A., Foster, V. and Halpern, J.: *Information and modeling issues in designing water and sanitation subsidy schemes*. World Bank working paper No. 2345, 39 pp., 2000.
- 23) United Nations: *Plan of implementation*, World Summit on Sustainable Development, 26 August – 4 September 2002. (2002. 9. 30. 受付)
- http://www.johannesburgsummit.org/html/documents/summit_docs/0409_plan_final.pdf
- 24) World Bank: *Data statistics*, Data by country, 2002. <http://www.worldbank.org/data/countrydata/countrydata.htm>
- 25) EIU: *Country report*, Indonesia February 2002. The Economist Intelligence Unit Limited, London:UK. pp.3-13, 2002.
- 26) ジョン・ディクソン, リチャード・カーペンター, ルーズ・ファロン, ポール・シャーマン, スパチット・マノピモク: 環境はいくらか, 長谷川弘訳, 築地書店, 東京, 142 pp, 1991.
- 27) 国際協力銀行: 円借款標準条件表 (2001年4月1日時点), 2002. <http://www.jbic.go.jp/japanese/finance/standard/A53/yenloan.php>
- 28) 寺脇拓: 農業関連公共事業の便益関数移転, 農業経済研究, Vol. 71, No. 4, pp.179-187, 2000.

COST-BENEFIT ANALYSIS FOR IMPROVEMENT OF WATER POLLUTION BY DOMESTIC WASTEWATER IN INDONESIA

Mitsugu SAITO, Hiroyuki IWAMOTO and Yasumoto MAGARA

The WTP of the improvement of water pollution caused by domestic wastewater was surveyed by CVM in Indonesia; then, compared with the cost by jokaso system. The total benefit was comparable to the actual payment of Japanese jokaso owners. However, B/C ratio is less than one and it is improbable that they can afford to provide treatment facilities by themselves. The treatment technologies should cost less than 30 percent of the studied system; therefore, further development of low-cost technology is essential. At the same time, environmental education is also important to understand social benefit of environmental conservation. Grant aid may be an effective measure since the benefit is deposited for future cost.