

費用・便益による排水処理システムの評価

EVALUATION OF WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS BY COST-BENEFIT ANALYSIS

楠 田 哲 也*, 森 山 克 美*

Tetsuya KUSUDA*, Katsumi MORIYAMA*

(全文審査の上、受理。1994年 7 月 25日)

ABSTRACT; In selecting a kind of wastewater treatment system for infrastructure, not only positive benefits on convenience, comfort, and safety but also positive and negative benefits on environmental impacts including various costs are to be taken into consideration. In this study, six kinds of wastewater treatment system; pit latrine, pit latrine and gray water treatment, septic tank of only night soil, septic tank of domestic wastewater, conventional sewage treatment, and advanced sewage treatment are evaluated on the benefits and costs of construction and maintenance. The benefit on fundamentals such as "security of public health", is rather small. If "comfort" is not reflected, both systems of pit latrine and pit latrine with gray water are better than the septic tank system of night soil for the environment. The meaning of the construction and maintenance costs of a wastewater treatment system for users and an administrative can be recognized by use of the evaluation method.

KEYWORDS; cost-benefit analysis, sewage works, social cost, wastewater treatment.

1. はじめに

環境保全が大きな課題である今日、社会基盤施設の建設に当たっては、代替技術が存在する場合、費用比較と同時に便益の及ぶ範囲とその達成度、および経済的な外部化の度合い等を総合的に評価しなければ、適正なものを選定をなし得ない。特に本論文で対象とする排水処理システムの選定においては、これが環境と人間生活の間での物質循環を制御するシステムであることから、経済的外部化の視点はより一層重要となる。すなわち、従来の人本位の機能性評価指標である利便性、快適性、安全性、経済性などに加えて、経済的に外部化されている項目、例えば処理後においてもなお残留して環境へ放出される汚染物質等も「社会的費用」として考慮する視点が重要となる。この排水処理に関わる汚染の「社会的費用」の概念による評価手法は、前報〔楠田ら, 1993〕で検討した。また、システムの建設・維持管理に関わる直接的費用の評価や現行の下水道システムのエネルギー消費構造の解析もすでに行なった〔楠田ら, 1992〕。

家庭から排出される污水やし尿を衛生的に自家処理することは、今ではほとんど不可能であり、また排水処理の目的に例えば公共用水域の保全といった公共の目的も含まれることから、その処理システムの構築には個人と公の両者が目的を異にしながら深く関与することとなる。このため、排水処理システムから個人が享受可能な、あるいは享受していると感じられる便益と、公共の便益としての水質環境保全の達成度等とそれらに相応した両者における費用負担の案分も重要となる。

そこで、本論文では、既報の直接的費用である建設・維持管理費用、社会的費用という視点に加えて排水処理に関わる費用負担とそこから得られる便益という視点を新たに考慮した。これによって、直接的費用、社会的費用、便益という三つの視点から排水処理システムを総合評価することが可能となる。本論文は、この評価手法を衛生施設を含む下水道等のいくつかの排水処理システムの比較評価に適用したものである。こ

*九州大学工学部建設都市工学科 Department of Civil Engineering, Kyushu University

のような総合的評価により、実際の投資や費用負担が持つ便益の具体的な意味と達成度あるいはその効用の限界をより深く認識することが可能となり、システム選定の環境政策的意義も明確にできると思われる。

2. 検討対象システム

本研究では、図-1および以下に示す6種の排水処理及び衛生施設システムを検討した。これらの他に農業集落排水施設のうち汚水を処理する施設(特に処理対象人口1,000人程度に相当する規模以下を単位とする)があるが、費用関数が公表されていないため本研究では検討できなかった。下水道は、都市環境の改善、公衆衛生の向上、公共用水域の水質保全を目的とするので、単独処理浄化槽や合併処理浄化槽が必ずしも下水道の代替システムに相当するわけではない。しかしながら、水洗化だけを目的とするときや開発途上国における衛生施設システム選定などを視野に入れると、下水道を含めたこれらを代替システムとして、直接的費用の比較と同時に各システムにおける便益の及ぶ範囲とその達成度の差異、経済的外部化の度合い等を検討することが必要と考えた。

(1)汲み取り

(2)汲み取り+雑排水単独処理浄化槽(以下、雑排水簡易処理という)

(3)単独処理浄化槽(以下、単独浄化槽という)

(4)合併処理浄化槽(以下、合併浄化槽という)

(5)標準的な下水道(以下、下水道という)

(6)高度処理(循環式硝化脱窒法+凝集剤添加)を行なう下水道(以下、高度処理下水道という)

下水道、高度処理下水道以外のシステムから発生するし尿および浄化槽汚泥はし尿処理施設で高度処理(低希釈二段活性汚泥法+オゾン処理+活性炭吸着法)されるものと仮定する。

3. 建設・維持管理費、便益、社会的費用の定量化手法

3.1 建設・維持管理費の定量化手法

本研究では、費用、便益を[円/人・年]という単位で算定する。各システムの建設・維持管理費の算定条件を表-1に示す。定量化の基本的考え方については、以下の各項で述べる。

下水道、高度処理下水道など下水道システムは、表-2に示す費用関数から明らかなように処理水量の増加に従って建設・維持管理費が低下するというスケールメリットを得られる方式である。これに対して他の個別処理システムでは、し尿または発生汚泥の処理施設を除いてスケールメリットを得られない。このため、大規模な下水道システムは一般的に個別処理システムより効率的、経済的であるが、経済的外部化の視点などを考慮しなければ小規模になると他の個別処理システムより非効率になるといわれている。

一方、し尿処理施設の事業規模では、

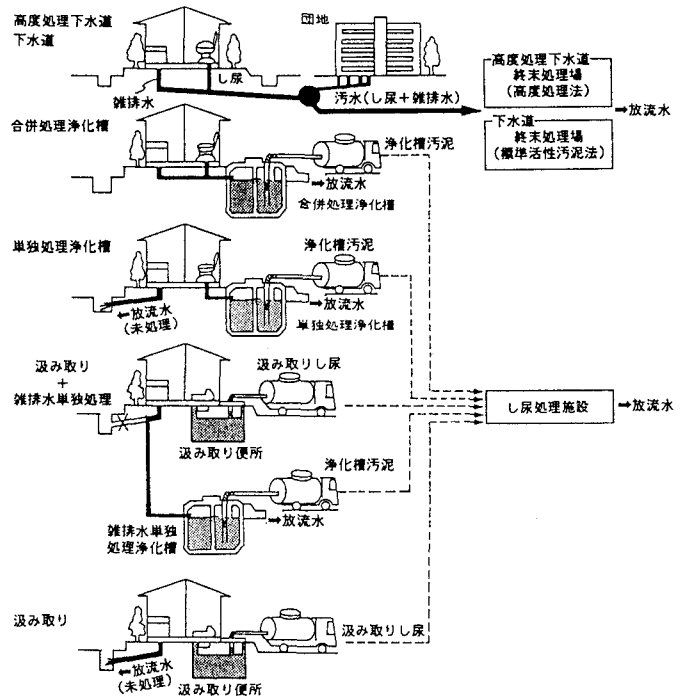


図-1 検討対象システム (原画[厚生省, 1990]を改変)

表-1 排水処理システムの建設・維持管理費の算定条件

システム	建設費			維持管理費		
	用地費	直接工事費 (浄化槽の場合: 浄化槽本体価格含む)	耐用年数 (年)	直接維持管理費	汚泥又は し尿発生量 (ℓ/人・日)	その他の 条件
汲み取り	考慮せず	考慮せず	考慮不要	考慮せず	1.5 ¹⁾	〔収集運搬費+投棄〕 と〔収集運搬+し尿 高度処理〕を評価
汲み取り + 雑排水単独 処理浄化槽	考慮せず	考慮せず	考慮不要	考慮せず	1.5 ¹⁾ ---計2.61	水洗のための使用水量 (250ℓの9%) は、削減される。
単独処理浄化槽	考慮せず	本体価格: 参考文献2) 工事費: 下2つより決定 (工事費/本体価格比率を参考 にした。)	20 (地方公営企業法基準値- 項目: "槽") かつ、家屋の耐用年数と同一	管理費: 合併に同じ 電気料: 合併における料金のう ち雑排水BOD負荷相 当 ⁴⁾	1.11 (1.96-0.85 =1.11とします)	
合併処理浄化槽	考慮せず	参考文献3)より決定	20 (同上)	管理費: 合併に同じ 電気料: 合併における料金のう ちし尿BOD負荷相当 ⁴⁾	0.85 ⁵⁾	
下水 道 (標準法)	考慮 (右欄に て考慮さ れる)	費用関数(表-2) その後、施設別・工種別内訳比 率 ⁶⁾ に従い、用地費等を含む ポンプ場建設費、管渠建設費に 拡張。右欄工種別金額に分割 後、耐用年数で除す。	施設部:50 機械電気部:20 管渠部:50 以上、地方公営企業法基準値 土地:50	費用関数(表-2) その後、施設別維持管理費内訳 比率 ⁷⁾ に従い、処理場+ポン プ場+管渠+その他の維持管理 費に拡張して、全額算定。	汚泥処理(脱水まで) 費は、費用関数に含ま れている。最終処分費 は含まれない。	・処理規模= 1km ² /日 ・1人1日平均汚水量 =250ℓ/人・日 ・処理人口=4千人 ・戸数密度(人口密 度)は、未考慮。
高度処理下水道 (循環法+凝集剤添加)	考慮 (同上)	上欄金額に高度 処理分追加	同上	上欄金額に高度 処理分追加	同上	同上
し尿処理施設	実施例 (表-3) から積算	実施例から積算 。右欄工種別金 額に分割後、耐 用年数で除す	施設部:30 機械電気部: 7 以上、実際の耐用年数基準値 土地:30	処理費・維持管理費(人件費、 収集運搬費、中間処理費、最終 処分費、車両購入費、委託費、 その他)の全国平均値 ⁸⁾	—	

表-2 処理方式別の費用関数〔日本下水道協会, 1990-1〕

処理方式	建設費(百万円)	維持管理費(百万円/年)
標準法	$393(1.25Q)^{0.730} \times 101.9/91.7$	$20.3Q^{0.697} \times 101.9/91.7$
循環法+凝集剤添加	$24.0(1.25Q)^{1.00} + 55.8(1.25Q)^{0.454}$	$12.2Q^{0.440} + 5.27Q^{0.690}$
活性炭吸着法	$110.8(1.25Q)^{0.739}$	$16.90Q^{0.891}$

建設費は、処理施設そのものの建設費であり、本研究では管渠建設費は別途算出される。
汚泥処理は「重力濃縮-直接脱水」である。

循環法+凝集剤添加の建設費、維持管理費は標準法に追加すべき値である。

Qは、日平均処理水量(千m³/日)である。1.25Qは、日最大処理水量である。

1,000人~10,000人規模が約70%で最も多く、これが小規模下水道の潜在的需要と考えられる〔地方自治協会, 1985〕。そこで下水道システムの建設・維持管理費の定量化に当たっては、人口4,000人、1人1日平均汚水量250ℓ/人・日を仮定し、下水処理施設の処理水量規模を1,000m³/日として、上記の6検討対象システムを比較検討した。

現在、浄化槽汚泥は、し尿処理施設でし尿と混合処理されているが、浄化槽を用いたシステムの建設・維持管理費にはこのし尿処理施設に関する建設・維持管理費が含まれずに費用評価がなされている。しかしながら、浄化槽システムがすべての汲み取りに代替した場合を想定すると、浄化槽汚泥専用処理施設が稼働する必要がある。そこで下水道、高度処理下水道以外のシステムの建設・維持管理費には、発生する汚泥またはし尿のし尿処理施設での高度処理費用(建設費と維持管理費)を加算する。ただし、実際には浄化槽汚泥

の性状は、単独・合併浄化槽の別、および処理方式（全曝気型、嫌気ろ床型など）により変化し、また油分の含有率が高い場合など、し尿と同様な処理方式で可能なかは不明であるので、本研究では現状のし尿処理施設の建設・維持管理費を代用する。

3.1.1 汲み取り

汲み取りの建設・維持管理費の算定は、し尿を収集運搬して未処理で海洋投棄すれば取り敢えず公衆衛生の確保は図れるという最低レベルの処理システムと収集運搬後にし尿処理施設で高度処理する場合を評価する。し尿を溜めるタンクは住宅設備の1つと考えられるので、その建設・維持管理費は考慮していない。したがって、汲み取りに関する建設・維持管理費とはし尿を処理するし尿処理施設分のみとなる。

3.1.2 雑排水簡易処理

雑排水簡易処理に必要な費用は、次の合計である。

- (1)雑排水単独浄化槽本体の建設・維持管理に必要な費用
- (2)浄化槽汚泥の処理に必要な費用（発生汚泥量に比例した収集運搬＋高度処理）
- (3)汲み取りし尿の処理に必要な費用（発生し尿量に比例した収集運搬＋高度処理）

3.1.3 単独浄化槽、合併浄化槽

単独浄化槽、合併浄化槽に必要な費用は、次の合計である。

- (1)浄化槽本体の建設・維持管理に必要な費用
- (2)浄化槽汚泥の処理に必要な費用（発生汚泥量に比例した収集運搬＋高度処理）

3.1.4 下水道、高度処理下水道

下水処理施設の処理水量規模を1,000m³/日として、表－2に示す処理水量を変数とした標準活性汚泥法の費用関数を利用することで建設費、維持管理費を算定する。この計算過程で用いる、表－1中の参考文献6)と7)は、現在実施されている公共下水道の建設事業費事業別及び工事別等内訳、および施設別維持管理費の統計データであるので、現在実施中の戸数密度(人口密度)における建設・維持管理費が算出されることになる。また、前述の通り1人1日平均汚水量は250ℓ/人・日、このシステムが抱える人口は4,000人である。最終的にはこの人口で費用を除して1人当たりの費用を求める。

高度処理下水道では、循環法＋凝集剤添加の追加に関わる処理場建設費と維持管理費を上記の標準法に加えることにより算定する。

3.1.5 し尿処理施設

建設費については、表－3に示す実施例より単位汚泥処理量当たり1年当たりの建設費(単位：円/(ℓ/日)・年)を算定する。これに各浄化槽システムからの1人1日当たりの汚泥・し尿発生量[ℓ/人・日]を乗じたものを各浄化槽システムにおける汚泥・し尿処理のための建設費とする。

維持管理費については、全国のデータ（表－1中参考文献8)）を利用する。維持管理費の全国計を計画処理量（含む浄化槽汚泥）35,432,643kℓ/年で除することにより単位汚泥処理量当たり1年当たりの維持管理費（単位：円/(ℓ/日)・年)を算定し、さらに1人1日当たりの汚泥・し尿発生量[ℓ/人・日]を乗じたものを維持管理費とする。

3.1.6 その他の算定条件

以上の他に、次の仮定を用いる。

- (1)し尿処理施設でのBOD、COD、窒素、リンは完全に除去される。
- (2)高度処理下水道では窒素、リンは完全に除去されないが、これらによる汚染は防止されうる。

表－3 し尿処理施設建設実施例

処理フロー	低希釈二段活性汚泥法 ＋オゾン曝気＋活性炭吸着
希 釈 水	井戸水/10倍
脱 臭 設 備	生物脱臭＋水洗＋酸・アルカリ洗浄＋活性炭吸着
汚 泥 処 理	乾燥処理→農地還元
処 理 能 力	200kℓ/日
稼 動 率	80%
敷 地 面 積	25,940m ² (7,860坪)
建設費総額	36億円
内訳項目 費用内訳比率	
・用地費 : 9.2 %	
・機械電気部 : 44.7 %	
・施設部 : 34.1 %	
・管理・仮設費 : 12.0 %	

3.2 便益、社会的費用の項目と定量化手法

3.2.1 定義

各システムが持つ効用を「正の便益」、持ち得ない効用を「負の便益」、経済的に外部化されるものを「社会的費用」と定義する。負の便益の中には社会的費用と考えられるものもあるが、それらから現に費用負担がなされ正の便益として獲得されている項目を除き、残りの費用負担がなされずに環境中に放出されている汚染物質を社会的費用の項目とする。

以下の負の便益、社会的費用の考え方に示されるように、本研究でのこれらの値（金額）は、「環境を汚染しないために要する費用」であり、実際に汚染された状態を原状に戻すのに要する費用、あるいは、「予想被害の推定」の方法による費用は確実にこれより高くなることを考えねばならない〔楠田,1993〕。

3.2.2 正の便益

都市の再開発事業のように利益を上げようとする事業は民間主導でなされ、この時の便益は売り上げ増という経済的な価値で比較的容易に評価し得る。一方、公園整備、雨水排除を伴う下水道整備、治水等の住環境改善や防災・減災など金銭的利益を上げることが目的ではない、いわゆる公共財の建設に関する事業の便益評価は、再開発事業のように容易ではない〔植田ら,1991〕。公共財の効用がリスク回避型なのか便益享受型か、また本研究の対象である排水処理システムのように環境保全型かによっても評価手法が異なる。本研究で対象とする排水処理及び衛生施設システムについては、表-4に示すような各便益が考えられる。この中には、「水洗化による快適性」という個人的に享受する便益、住環境の改善という個人的および公共的な便益に区分しがたい便益、および公共用水域の保全という環境保全型であり、かつ費用の負担者（必ずしも住民個人ではなくてもよく、行政体の場合もある）と受益者が異なる可能性のある便益などがある。

このような公共財における便益の定量化手法の一つの答えとして、デュービーの提案がある〔植田ら,1991〕。これは、「消費者余剰」といわれる考え方であり、「消費量の増加（それゆえ効用増）を獲得するために消費者が最大限これだけは支払ってもよいとする額」あるいは「物の効用の貨幣価値とは、その物を獲得するのに各消費者が支払ってもよいとする最大支払い意思額（maximum willingness to pay）」によって測られるとするものである。この考え方では、各人の意志や状況によりその評価が大きく異なり、普遍性のあるものとしがたい。

そこで本研究では、デュービーの提案ではなく、効用の取得に要する費用、すなわち建設・維持管理費をもって便益額とする考え方をを用いる。表-1に示された条件により各システムの建設・維持管理費を求め、費用順に並べて、各システム間での費用差がどのような効用・便益を生み出しているかを考察することによ

表-4 便益とその派生項目

略号	便 益 の 項 目	派 生 項 目	
A	公衆衛生の確保	伝染病の予防	
B	水洗化による快適性	使用水量の増加	
		環境問題意識の減退	
C	生活排水による汚染（の防止） （水質面からの環境保全）	河川等の水質悪化（の防止）	漁業への悪影響（の防止） 生態系の破壊（の防止）
		悪臭の発生（の防止）	住環境の悪化（の防止）
D	下水道管渠による住環境の改善	快適性の向上	
		地価の上昇	
D'	集中管理による水質基準値の 安定的確保		
E	窒素による汚染（の防止）	富栄養化（の防止）	放流水域の水質悪化（の防止）
F	リンによる汚染（の防止）		

り、便益項目の決定とその価値の定量化が可能となる。この考えに基づいて定められた便益項目が表－4である。ただし、排水処理システムによっては、特異的にこの考え方の適用が困難な場合もある。本研究の検討対象システム中では、雑排水簡易処理がこれに相当した。

以上の便益項目の決定とその価値の定量化手法に従えば、例えば、汲み取りから単独浄化槽に変更したとき、両者にかかる費用の差は、変更することによって獲得された「水洗化による快適性」の便益額となる。同様な考え方で表－4の各項目の便益額は、3.1項の算定法で求まる建設・維持管理費を用いて以下のように求められる。

(1)便益項目A：公衆衛生を確保するための最低費用として、汲み取りにおいて収集したし尿を海洋投棄するときに必要な費用（直接収集運搬費と収集運搬に関わる人件費の和）とする。

(2)便益項目B：単独浄化槽の建設・維持管理費と上記便益項目Aに必要な費用との差とする。

(3)便益項目C：合併浄化槽の建設・維持管理費と単独浄化槽の建設・維持管理費の差とする。

(4)便益項目D、D'：下水道の建設・維持管理費と合併浄化槽の建設・維持管理費の差をDとD'の便益額の和とする。それぞれの便益額を求めることは困難なので等分する。現時点では浄化槽の法定検査の受検率が低く管理が十分とはいえない。このため排水処理システムとしての全体的な処理水質レベルが良好でないことを否定できない。そこで、両システムにおける費用差は、管渠が生み出し、浄化槽システムでは持ち得ない価値と考え、表－4に示すD（下水道管渠による住環境の改善）とD'（集中管理による水質基準値の安定的確保）という便益項目を考慮したものである。

(5)便益項目E、F：高度処理下水道の建設・維持管理費と下水道の建設・維持管理費の差をEとFの便益額の和とする。さらに費用関数より下水道に、窒素除去のために循環式硝化脱窒法を追加するのに必要な建設・維持管理費と、リン除去のために凝集剤添加を追加するのに必要な建設・維持管理費の割合でEとFの便益額に分割する。

ただし、以上の定量化手法によれば、費用が高いにもかかわらず、処理水質が同等または劣るシステムの便益の方が、費用が安く処理水質の良好なシステムの便益を上回るということもある。しかしこの点は、各システムで得られている便益項目を考察することにより処理水質の良好なシステムにおける便益が他方より安価な費用負担で達成されていることを認識することは可能である。また、そのような費用関係が各システム費用間に生じる状況は、正にデューピーの「消費者余剰」の考え方が適用可能な場合といえる。なお、表－1に示した各処理システムの算定条件での建設・維持管理費の算定結果では、後述するようにこのような逆転ともいえる費用関係は得られなかった。しかしながら、本論文では検討しないが人口規模を大きく仮定した場合には、下水道システムでは処理水量の増加によるスケールメリットが生じ、下水道システムが他のシステムより費用が安く処理水質の良好なシステムとなる逆転の費用関係が得られると考えられる。このような費用関係のときは、デューピーの「消費者余剰」の概念で費用・便益の評価が可能と考えられる。

3.2.3 負の便益

便益には以下に示すような負の便益も存在する。

(1)前項(2)の例とは逆に、汲み取りのままでは「非水洗化のための不快感」という負の便益を受ける。つまり、ある正の便益を獲得できない排水処理および衛生施設は負の便益を受けると考える。

(2)水洗化によって使用水量は増加し、その負担が増える。本研究では、参考文献[日本下水道協会, 1990-2]（ただし、引用した使用水量の割合中で冷暖房の占める割合が多い。そこで一般家庭を想定しこれを除外した）より使用水量中に水洗便所用水が占める割合9%を求め、水洗化によってこの分だけ使用水量が増えると考え。さらに、この使用水量の増加分に水道料金160円/m³[福岡市水道局, 1993]を乗じて費用負担の増加分を求める。

3.2.4 社会的費用

消費された資源の環境における価値や排出される汚染物質の環境影響分を経済的に考慮する、つまり経済

的に外部化された費用を算定する手法として社会的費用の概念の導入が考えられる。本研究では、

- ・「高度処理においても除去されない物質が環境に与える社会的費用」(以下、「難分解性COD除去費用」という)
- ・「化石燃料の消費が環境に与える社会的費用」(以下、「CO₂除去費用」という)

の2項目について考える。

社会的費用の算定法は、前報[楠田, 1993]の「被害を避けるために排出物をあらかじめ目標レベルまで浄化すると想定し、それに要する経費をもって汚染にともなう被害額と仮定する「予想的回復費の推定」の方法」とする。

(1)高度処理においても除去されない物質が環境に与える社会的費用

高度な排水処理を行っても除去されず環境に負荷を与える物質がある。本研究では、高度処理下水道においても除去されない難分解性CODを活性炭吸着法で除去するのに必要な費用をその社会的費用と考える。まず、表-2に示す費用関数により活性炭吸着法を導入するのに必要な建設費を求め、さらにこのシステムが抱える人口で除して1人当たりの建設費とする。これを3.1.4項と同じ処理場工種別(耐用年数別)の割合にしたがって配分後、耐用年数(機械電気部: 20年、施設部その他: 50年)で除して1人当たり1年当たりの建設費を求め、維持管理に関する表-2の費用関数より求めた維持管理費を人口で除した1人当たりの維持管理費を加えたものをその社会的費用とする。

また汲み取り、雑排水簡易処理におけるし尿分については、し尿処理施設で活性炭吸着法によって処理されるので、この社会的費用は削減される。

(2)化石燃料の消費が環境に与える社会的費用

排水処理を行うためにはエネルギーを必要とする。日本ではエネルギーの85%を化石燃料から得ているため、排水処理に当たりCO₂を発生させることになる。エネルギー消費によって発生するCO₂は地球温暖化のように環境に負荷を与えるため、本研究ではこれをK₂CO₃水溶液吸収/ストリッピング法(アルカリ性のK₂CO₃水溶液に吸収させ、CO₂を低温分解し、吸収液は再生される。分離されたCO₂は、圧縮されて液化炭酸ガスあるいはドライアイス化されて深海に捨てられる。他の手法に比べて比較的電力消費量が少ない)で除去するのに必要な費用をその社会的費用と考える。K₂CO₃水溶液吸収/ストリッピング法の消費電力当たりのCO₂除去・回収量は、657g/kWhと算定されている。そこで、各システム別の消費電力に日本の単位算出電力当たりのCO₂発生量476g/kWhを乗ずることによって、処理方式別のCO₂発生量が得られ、さらにその発生量を消費電力当たりのCO₂除去・回収量で除することによって除去・回収の消費電力が求められる[楠田ら, 1993]。この消費電力に要する費用がCO₂放出の社会的費用となる。電気料金は、4,433円/200kWhとする。表-3のし尿処理施設の運転実績(電気使用量3,778,357kWh/年、処理量が160kℓ/日(稼働率80%とする))より、上述の流れに沿って単位汚泥処理量当たりのCO₂年間除去費用を算定すると、379.2円/(ℓ/日)・年となり、これにし尿または浄化槽汚泥処理量を乗ずることとし尿処理施設分のCO₂除去費用は算定できる。浄化槽分については各浄化槽の電気使用量に電気料金を掛けることで算定できる。また、下水道、高度処理下水道についてはそれぞれ4.42円/m³、8.27円/m³として算定済み[楠田ら, 1993]なので、これを[円/人・年]単位に換算する。

4. 結果と考察

4.1 建設・維持管理費

3.1項の建設・維持管理費の定量化手法によりシステム別の建設・維持管理費を算定した結果を図-2に示す。これによると、合併浄化槽は下水道に比べて割

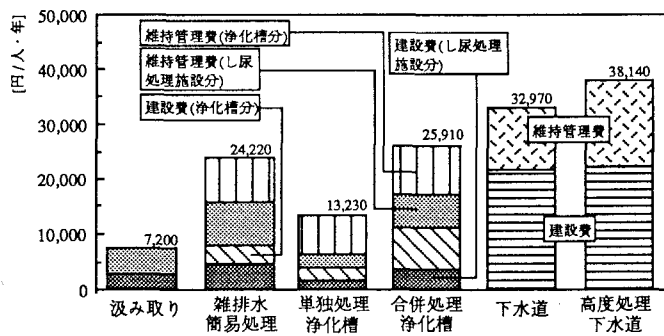


図-2 システム別建設費・維持管理費

安と言われているが、浄化槽汚泥のし尿処理施設での処理に関わる建設・維持管理費を含めた合計で比較するとそれほど差のないことがわかる。費用算定において下水道では用地費を考慮し、浄化槽建設では考慮していないので、これを同条件にすれば両者の費用差は更に小さくなると考えられる。また、実際の浄化槽使用人数が設置された浄化槽の人槽規模より少ない場合は、浄化槽システムの建設・維持管理費が下水道より高額となる可能性もある。

雑排水簡易処理では、表-1に示すようにし尿と浄化槽汚泥の発生量合計2.61ℓ/人・日が浄化槽を用いたシステムの中で最も多く、このためし尿処理施設に関わる費用が高くなることがわかる。

下水道と高度処理下水道を比べると、高度処理を付加したときの費用増加は、主として維持管理費であることがわかる。これは建設費に占める管渠建設費の割合が元々77%程度[日本下水道協会, 1991-₁]で高いため、高度処理に関する処理場部が追加建設されても大きな割合を占めないからである。これとは逆に施設別維持管理費[日本下水道協会, 1991-₂]に占める処理場の割合は約50%と高い。このため、高度処理による維持管理費追加分は大きくなる。

4.2 1人1日平均汚水量が建設・維持管理費に及ぼす影響

建設・維持管理費は、下水道においては表-2に示すように処理水量をパラメータとした費用関数で算定される。一方、浄化槽においてその費用は、住宅の延べ床面積に応じた処理対象人員つまり浄化槽の人槽規模を決めて算定される。そこで1人1日平均汚水量が両システムの建設・維持管理費に及ぼす影響を求めると図-3が得られる。本研究では下水道施設の処理規模を1,000m³/日と仮定して下水道システムの建設・維持管理費を算定し

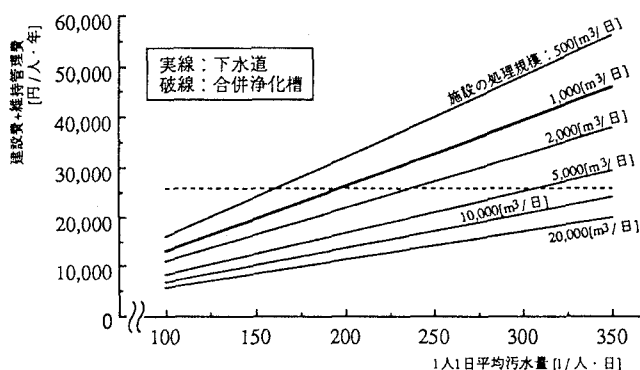


図-3 1人1日平均汚水量が建設・維持管理費に及ぼす影響

た。その費用は処理人口によらず汚水量によってのみ決まる。したがって、1人1日平均汚水量が増加すると1,000m³/日規模の処理場で処理可能な人口が減少するので、同図の縦軸の単位である[円/人・年]基準の金額が高くなる。すなわち、下水道の場合は1人1日平均汚水量に比例して費用が定まる。浄化槽の設計は、1戸当たりの居住人員別の1人1日平均給水量[日本建築センター, 1984-₁]を基礎に行なわれ、人槽規模が定まれば費用も定まる。1人1日平均汚水量に比例して直接に費用が定まるという方式ではない。このため浄化槽では1人1日平均汚水量が増加しても費用は一定額のままである。このため同図に示されるように、ある水量以下においては下水道の方が低額となる領域も存在することとなる。また、実際には、浄化槽がどの程度の処理水量までなら構造基準[日本建築センター, 1984-₂]に定められた処理水質を担保できるかが不明なため詳細な議論はできないが、下水道の方が高額となる領域での金額差は両システムの水質差と考えるべきであろう。また、合併浄化槽で5人槽以上を選定すれば1人1日平均汚水量が160ℓ程度である[日本建築センター, 1984-₁]。今日の下水道計画における1人1日平均汚水量250~300ℓと比較すると大きな開きがあるようであり、このことも一般論としての経済比較の結論を生んでいると思われる。

なお、図-3には下水道における処理水量規模が建設・維持管理費に及ぼす影響も合わせて表示している。このように下水道においてスケールメリットが生じたときの費用・便益評価は、今後検討する予定である。

4.3 便益、社会的費用と費用負担

3.2項に従って便益および社会的費用を評価した結果を図-4に示す。これより、以下のことがわかる。ただし、本研究では浄化槽を用いたシステムにおける栄養塩除去に関する負の便益は下水道と高度処理下水道

との差額としているが、実際に浄化槽システムにおいて栄養塩除去を行なうときに、この差額で実施可能かどうかは不明である。処理成績や後述の曝気のためのエネルギー効率の違いを考慮すればこの差額以上となる可能性が高いことを考慮する必要がある。

(1)「公衆衛生の確保」のような基本的に重要な項目の便益額は本研究の仮定に従うと非常に小さくなる。換言すれば、基本的に重要な効用は、非常に安い費用で達成されるということである。

(2)本研究の手法では、雑排水簡易処理の便益額は費用より低くなる。

(3)平成3年度末の浄化槽設置基数約70万基のうち、単独浄化槽が96%、合併浄化槽が僅かに4%である[吉岡,1993]。さらに、雑排水単独浄化槽は処理人口基準で合併浄化槽人口の0.5%に過ぎない[斎藤,1992]。この状況と図-4を考え合わせると、個人が建設・維持管理費を個人負担で支出するに値すると感じる便益は「水洗化による快適性」が圧倒的であることがわかる。「生活雑排水による汚染の防止」という便益は、一般的には個人投資の対象にはならず、個人が便益とを感じる項目ではないことが、浄化槽の購入選択結果からわかる。

(4)図-4に示したCO₂除去費用(社会的費用)を図-5に拡大して示す。これによると浄化槽を用いたシステムのCO₂除去費用が下水道、高度処理下水道に比べて

著しく大きいことがわかる。これは、曝気のためのエネルギー効率の違いに原因していると考えられる。エネルギー効率、および発生したCO₂の地球温暖化への影響の観点に立てば浄化槽を用いた個別処理システムよりも下水道システムのような集中処理のほうが良いと考えられる。

(5)図-6に各システムの総費用(建設費・維持管理費合計)とその内訳となる個人負担額、公負担額を示す。単独浄化槽における個人負担額は、浄化槽分の維持管理費と建設費だけ(総費用の約70%、9,150円/人・年)である。残りの約30%の費用(し尿処理施設経費分である)4,080円は、公衆衛生の確保の費用(500円)を含めて公による個人の便益に対するサービスとして支出されていることになる。一方、下水道の使用料単価を日本における標準的な額100円/m³、1人1日平均汚水量を250ℓとすると、個人負担額は約9,100円/人・年となる。汚水量中に占める水洗用水量は約9%であるので、「水洗化による快適性」の便益に必要な額は約800円/人・年ということになる。浄化槽の場合9,150円/人・年の支出によって得られる便益を下水道で

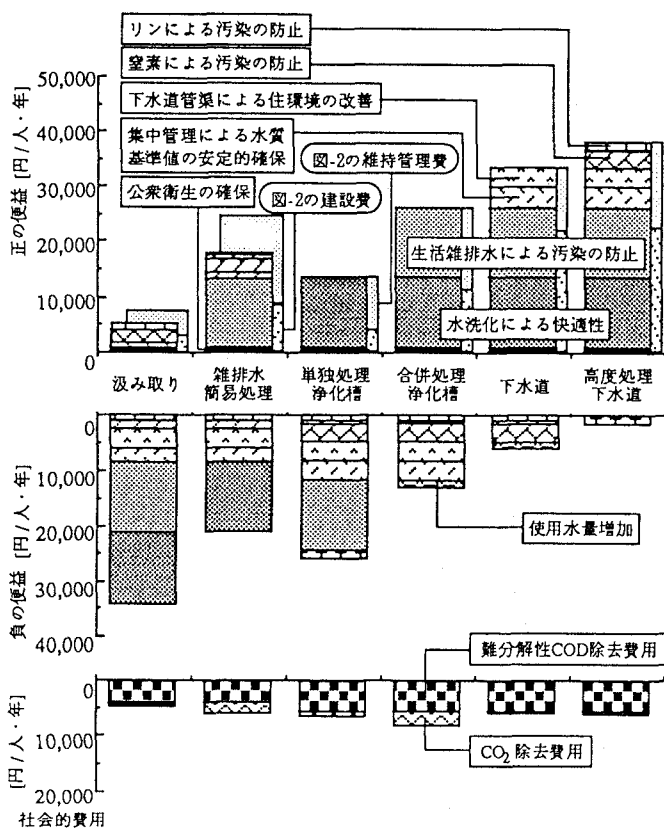


図-4 システム別便益と社会的費用

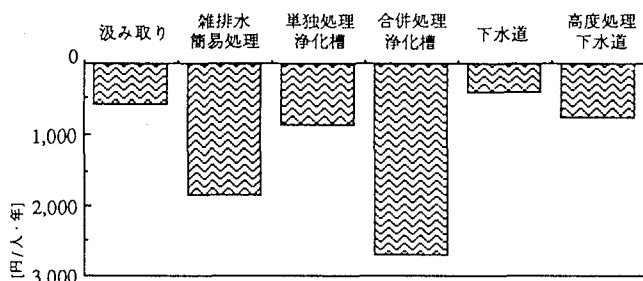


図-5 システム別CO₂除去費用(社会的費用)

は800円/人・年という安価な費用で得ていることになる。残りの金額は「生活雑排水による汚染の防止」費用として個人がすでに支出していると考えられることもでき、その一方では、その代償として「下水道管渠による住環境の改善」効果や下水道が存在することによる土地の資産価値の上昇分を得ているのかもしれない。あるいは、「生活雑排水による汚染の防止」費用は公が負担すべきとの考えにたてば、残りの金額は「下水道管渠による住環境の改善」効果や土地の資産価値の上昇分の費用として支出していることになる。以上の考察を含めて、個人の負担額と個人が得る便益の関係を図-7に示す。下水道システムと浄化槽システムの便益差は、図-4の「下水道管渠による住環境の改善」分である。汲み取り、雑排水簡易処理については、「非水洗化のための不快感」分を表示している。このように、下水道システム内に居住する人と浄化槽システム内に居住する人では、同程度の個人負担額を支出しながらも得ている便益の項目(質)や価値が異なる。

(6)上記(5)の個人とは反対の公の立場から考えると、公側の負担額は、システム毎に異なる。各システムの公的負担額と社会的費用+負の便益(「非水洗化のための不快感」分を除外し、環境への経済的外部化分のみを表示する)の関係を図-8に示す。公的負担額は、高度処理下水道、雑排水簡易処理、下水道、合併浄化槽、汲み取り、単独浄化槽の順で低下することになる。これは、現状の合併浄化槽への補助金制度を考慮に入れたものである。また、雑排水簡易処理の目的は「生活雑排水による汚染の防止」であるので公が全額負担すべきと仮定した。「水洗化による快適性」を捨てれば、汲み取りは単独浄化槽よりも、また、雑排水簡易処理は合併浄化槽よりも環境への負荷が少ない。また、下水道と雑排水簡易処理のシステムは完全に異なるが、ほとんど同額の公的負担で(しかも下水道の費用はこれまでの実績を踏まえた費用関数から算定され、雑排水簡易処理の費用は市場価格として定まっている浄化槽の本体+設置工事費から算定されているにも拘らず)同程度の環境への負荷を持っているように評価されることは興味深い。

衛生施設を含む排水処理システムの行政による選定に当たり、これらの排水処理システム中から公側は、図-8に示す公的負担額から建設費に関わる支援金である国費・都道府県費等の補助金を除いた経費の支出が可能かどうかを判断してシステムを選択することとなる。そのとき、経費の一部となる受益者負担金(図-7における個人の負担額)が住民に受け入れられるかどうかも重要な点である。一般的に財政力が弱いということは、受益者の負担金支出能力が低いことも意味する。したがって、ある一定レベル以上の環境への負荷削減効果や個人の便益を持つ排水処理及び衛生施設システムを住民へのサービスとして、あるいは環境政策意識をもって普及させようとするれば、財政力に応じて上位の公組織が補助率を変化させて財政支援を行う必要が生じることになる。

(7)本研究では、「使用水量増加」の負の便益を現状の水道料金で算定している。このため、他の負の便益と比べれば、その値は相対的には小さい。しかし場合によっては水源の新規開発費用の立場から水道料金の増加分を評価しなければならない場合もある。その金額は、例えば海水の膜処理による淡水化の場合で現状の最大4倍程度であることが試算されている。[朝日新聞, 1993]

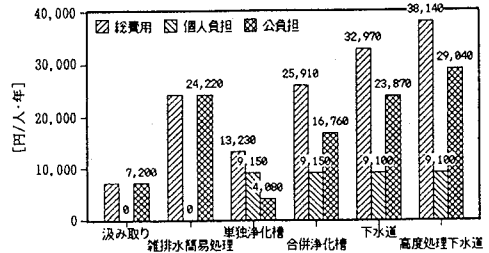


図-6 システム別総費用とその内訳

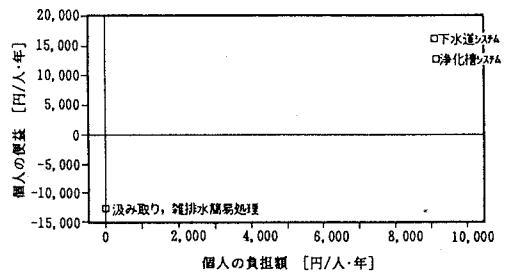


図-7 個人の負担額と便益額

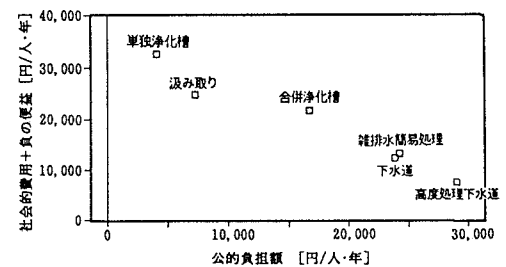


図-8 公的負担額と経済的に外部化された額

5. おわりに

社会基盤施設の環境への影響は、個人の努力では如何ともしがたく、システムとしての構造に由来する部分が大きい。したがって、建設に際しては人本位の機能性評価指標に加えて、経済的な外部化の小さいこと、省資源、省エネ度の高いことなどを考慮し、さらに費用と便益の質、達成度なども加えて総合的にシステム評価、選定を行なわねばならない。本論文を含めた一連の本研究〔楠田ら, 1992, 1993〕は、以上のような視点に立ち、水循環を支える社会基盤施設の一つである排水処理システムを対象に、その在り方をより広範な指標の下で考察しようとしたものである。

本論文では、これまでに提案した評価手法も含めて排水処理及び衛生施設を総合的に評価するための手法を提示した。各システムが持つ効用を「正の便益」、持ち得ない効用を「負の便益」、経済的な外部化を「社会的費用」と定義し、衛生施設を含む排水処理システムを「正の便益」とその達成度や「負の便益」、「社会的費用」の視点、および個人と公の視点から総合的に評価することにより、個人と公の費用負担の持つ意味を深く考察し、システム選定の個人的意義、公における環境政策的意義を明確にできると思われる。

なお、本論文では各システムの構築に要する時間の違いが便益や経済的外部化に及ぼす影響については、解析するに至っていない。これは重要な課題として今後検討する予定である。

〔 参 考 文 献 〕

- 朝日新聞(1994):1994年1月10日号, 18面
植田和弘, 落合仁司, 北畠佳房, 寺西俊一(1991):環境経済学, 有斐閣ブックス, pp. 147-156.
楠田哲也, 森山克美(1992):エネルギーと経済費用見積による下水道の評価,
環境システム研究, Vol. 20, pp. 270-279.
楠田哲也, 森山克美(1993):下水処理に関わる汚染の社会的費用の評価,
環境システム研究, Vol. 21, pp. 383-391.
厚生省水道環境部編(1990):日本の廃棄物 '90, p. 34.
斎藤 眞(1992):生活排水処理施設の導入状況と合併処理浄化槽の処理機能,
月刊浄化槽, 7月号(No. 195), p. 13.
地方自治協会(1985):新時代の下水道経営—都市から農山漁村へ—, p. 10.
日本建築センター(1984-₁):尿尿浄化槽の構造基準・同解説, p. 298.
日本建築センター(1984-₂):尿尿浄化槽の構造基準・同解説.
日本下水道協会(1990-₁):流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, p. 81.
日本下水道協会(1990-₂):流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, p. 36.
日本下水道協会(1991-₁):下水道統計(平成元年度版)要覧, p. 79.
日本下水道協会(1991-₂):下水道統計(平成元年度版)要覧, p. 89.
福岡市水道局(1993):平成4年度版福岡市水道事業統計年報.
吉岡荘太郎(1993):浄化槽行政の今後の展望, 月刊浄化槽, 7月号(No. 207), p. 3.

〔 表-1の参考文献 〕

- 1)全国都市清掃会議(1989):昭和61年度実績 廃棄物処理事業実態調査統計資料, p. 343.
- 2)阿部泰隆(1989):生活雑排水対策の法的課題[Ⅱ], 公害と対策, Vol. 25, No.8, pp. 756-764.
- 3)井村正博(1987):家庭用小型合併処理浄化槽の開発と普及, 環境研究, No. 66, pp. 20-33.
- 4)長谷川猛(1987):小型合併処理浄化槽の普及について, 用水と廃水, Vol. 29, No. 1, pp. 27-31.
- 5)渡辺孝雄(1992):汚泥の生成量と濃度, 月刊浄化槽, 5月号(No.193), pp. 13-20.
- 6)日本下水道協会(1991-₁):下水道統計(平成元年度版)要覧, p. 79.
- 7)日本下水道協会(1991-₂):下水道統計(平成元年度版)要覧, p. 89.
- 8)全国都市清掃会議(1989):廃棄物処理事業実態調査統計資料(昭和61年度実績), pp. 398-399, & p. 455.