

(30) 経済性から見た小規模地域における生活排水処理施設の  
整備計画手法に関する研究

Planning Method of Domestic Wastewater Treatment System in a Rural Area

柴田貴昭\*・細井由彦\*\*・城戸由能\*\*・木村晃\*\*

Taka-aki Shibata\*, Yoshihiko Hosoi\*\*, Yoshinobu Kido\*\*, Akira Kimura\*\*

**ABSTRACT;** Two types of systems can be applied for wastewater treatment in a small rural area where population is sparse. One is sewerage system and the other is on-site treatment system. In the sewerage system, wastewater is collected by sewer and treated at a treatment plant. Therefore each household should connect its discharge pipe to the sewer pipe. On the other hand, an onsite treatment system consists of a small scale on-site treatment equipment. In highly populated area, the sewerage system is effective and economical. In sparse residential area, however, it is not necessarily true due to the cost of sewerage pipe laying. In this study, a choosing method of a wastewater treatment system in a rural area was examined from economic point of view. The cost of the system construction and maintenance was studied for both cases which depend on population volume and, geographical features, and general population characteristics. The contents of expense of the construction system, operation and maintenance, and the relation between population density and cost ratio of two systems were described.

**KEYWORDS ;** on-site wastewater treatment equipment, sewerage system, wastewater treatment system planning

1. まえがき

下水道等の生活排水処理施設の整備の対象が、大都市部から中小の市町村へとその中心が移りつつある。人口密度の低いこれらの地域においては、これまでの都市部で行われてきたような整備手法をそのまま適応することが、必ずしも最適な手法であるとは限らない。管渠を整備して下水を集めて集中的に処理するのか、個別の浄化槽を整備するのか、それぞれの地域の特性により、経済性、整備速度、環境影響など種々の方面から検討する必要がある。しかしそのいずれの要因についても不確定な要素が多く含まれており、最適整備法に関する普遍的な評価方法があるとは言えない。

浮田他<sup>1)</sup>は個別処理と集合処理の選択において、建設費や維持管理費だけではなく、この様な経済評価には含まれない条件をも考慮する必要性を指摘している。そのひとつとして処理水質の違いを考慮することとし、水質外部費用を定義して、それを含めた費用比較を行っている。1000m<sup>3</sup>/dの処理規模を考えた場合には、水質外部費用を考慮しない場合とした場合で、それぞれ13戸/ha、9.5戸/haが個別処理と集合処理の優位性の分かれ目であること等を述べている。

楠田他<sup>2)</sup>はやはり処理水量規模を1000m<sup>3</sup>/dとして、汲み取りのみから高度処理下水道まで6種類の排水処

\* 鳥取大学大学院社会開発工学専攻 Graduate School of Engineering, Tottori University

\*\* 鳥取大学工学部社会開発システム工学科 Social Systems Engineering, Tottori University

理システムを対象として、直接的な建設維持費用、これまで経済的に外部化されてきた社会的費用、排水を処理することにより得られる便益の3つの視点から総合的な評価を試みている。社会的費用や便益の定量化に課題が残るものの、環境保全型の社会システムを構築していく上での重要な示唆に富んだ考察が行われている。

安田他<sup>3)</sup>は小規模な排水処理施設整備の基本的ルールづくりに寄与できる手法を導出することを目的に、実際に農村集落排水施設が供用されている人口1300人の村を取り上げ、同区域に小型合併処理浄化槽を整備した場合の費用比較や、汚濁削減効果の分析を行っている。個別処理と集合処理の限界家屋距離は39m/戸、年4%の割引率を考慮した場合は18m/戸となること、小型合併処理浄化槽が投資額当たりの汚濁削減効率で優れていることなどを報告している。

これらの研究は、小規模排水処理設備の整備方法の選択に当たり、直接的な経済性に加えてさらに広い視点からの検討を行おうとするものである。しかし直接費用においても、それぞれの地域事情に応じて種々異なってくるものと考えられる。排水処理整備計画を迫られている事業体においては、最も基本的な直接的費用から見た優位性の概算も重要な情報となる。この様な点においてはこれまで、費用関数を使った見積もり法が行われているが、地域の特性までを考慮に入れることはあまり行われていない。あるいは特定の計画地域における評価であり、その結果を一般的に適用するには問題がある。

本研究では直接的な経済性に焦点をしぼり、適正な整備方法を選択する方法について検討を加える。もちろん整備予定区域内の個々の世帯のレベルまで踏み込んで、住宅地図レベルの詳細な見積もり計算を行えば、正確な検討を行うことが可能と考えられるが、整備計画立案段階の概略を検討するには適切ではない。ここでは1万～数万分の1レベルの地図上での検討を行う段階を考える。とくにこれまであまり明確に区分されていなかった、比較的普遍的に評価できるものと、地域の特性に依存する不確定な部分を区別し、どの程度の信頼度を持って評価が行われるのか、そのためにいかなる評価指標が適切であるのか等について、可能な限り一般性を有した検討を試みた。

2. 整備費用の構造について

ここでは、これから生活排水対策を進める人口数千人までの規模の地域を検討の対象とし、整備事業費の総額について、集合処理と個別処理を比較し、評価を行うのに適切なパラメーターを検討する。整備費用総額は次式のように考えることができる。

$$Ci = fi(p) + gi(p, A, \phi) \tag{1}$$

ここで  $p, A, \phi$  は、それぞれ人口、面積、それ以外の全ての整備地域特性を表している。右辺第1項は人口のみに関係する費用であり、第2項は種々の地域特性が関係するものを表している。 $i$ は1が集合処理を2が個別処理を示している。 $fi(p)$ 及び $gi(p, A, \phi)$ には表-1に示すようなものが考えられる。

集合処理を行う場合には水処理施設や汚泥処理施設はそれぞれの発生総量に関係するから、処理対象人口が決まれば決定することができる。それに対し、処理区域内の下水を集めるための管渠の面整備費用や、集

| 表-1 整備費用の内訳   |                  |                  |
|---------------|------------------|------------------|
| $fi(p)$       |                  | $gi(p, A, \phi)$ |
| 集合処理<br>(i=1) | 水処理施設<br>汚泥処理施設  | 面整備<br>接続幹線      |
| 個別処理<br>(i=2) | 家庭用浄化槽<br>汚泥処理施設 | 公共施設等の浄化槽        |

表-2 使用した費用関数

| 項 目                | 費                       | 用                                          | 備 考                    |
|--------------------|-------------------------|--------------------------------------------|------------------------|
| 管渠費用               |                         |                                            |                        |
| 接続管渠               | 85千円/m                  |                                            |                        |
| 支障箇所               | 15,000千円/箇所             |                                            |                        |
| 面整備費用              | 85千円/m                  |                                            | 文献8)                   |
| 汚泥処理建設費            | $26,230Q_m^{0.485}$ 千円  | $Q_m$ : 日最大水量 (千 $m^3$ /日)                 | 濃縮まで行う<br>文献5)<br>文献4) |
| 水処理施設建設費           | $1,035Q_m^{0.890}$ 千円   | $Q_m$ : 日最大水量 ( $m^3$ /日)                  |                        |
| 水処理施設<br>維持管理費     | $75.9Q_a^{0.782}$ 千円/年  | $Q_a$ : 日平均水量 ( $m^3$ /日)                  | 文献4)                   |
| 汚泥処理施設<br>維持管理費    | $1,840Q_d^{0.469}$ 千円/年 | $Q_d$ : 発生汚泥量 (千 $m^3$ /日)<br>(1.9L/人日とする) | 文献4)                   |
| 合併浄化槽建設費           |                         |                                            |                        |
| 家庭用 (5~8人槽)        | 1,200千円/基               |                                            |                        |
| 小規模施設 (20人槽)       | 4,000千円/基               |                                            |                        |
| 大規模施設 (100人槽)      | 16,100千円/基              |                                            |                        |
| 浄化槽汚泥処理施設<br>建設費   | $264,870Q_d^{0.485}$ 千円 | $Q_d$ : 発生汚泥量 (千 $m^3$ /日)<br>(1.2L/人日とする) | 下水汚泥処理施設<br>の建設費より     |
| 浄化槽汚泥処理施設<br>維持管理費 | 上記に同じ                   |                                            |                        |
| 合併浄化槽維持管理費         |                         |                                            |                        |
| 家庭用                | 100千円/基年                |                                            |                        |
| 小規模施設              | 250千円/基年                |                                            |                        |
| 大規模施設              | 1,120千円/基年              |                                            |                        |

落が分散して存在する場合にそれらを結ぶための幹線整備費用には、面積や人口密度、地形、地盤特性、土地利用などが影響を及ぼす。

一方個別処理では、個々の家庭に設置する合併式浄化槽の費用は戸数に比例するので、人口より推定が可能である。また浄化槽汚泥の処理施設も発生総量に関係するので人口より求められる。これに対し家庭以外の公共施設や学校、民間の事業所等には、規模の大きい浄化槽が設置されるが、その数は人口だけでは決定できない。

### 3. 一般的検討

#### 3.1 $f(p)$ に関する検討

本研究で用いる各種費用関数を表-2に整理しておく。これらの費用関数はこれまでの実績に基づいて作成されたもので、現在広く使用されているものである。近い将来においても、処理方法に大きな変革が生じない限りは適応しうるものと考えられる。日最大汚水量は300L/人、平均汚水量は225L/人とする<sup>4)</sup>。下水道施設の耐用年数は30年とし、浄化槽についてはFRPの耐用年数が通常15年とされていることから15年とした。費用の検討は30年間の総費用とし、したがって浄化槽の建設費は2回分を見込むこととする。接続管渠

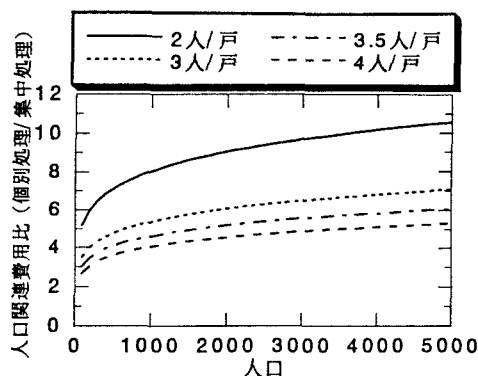


図-1 人口関連費用の比較

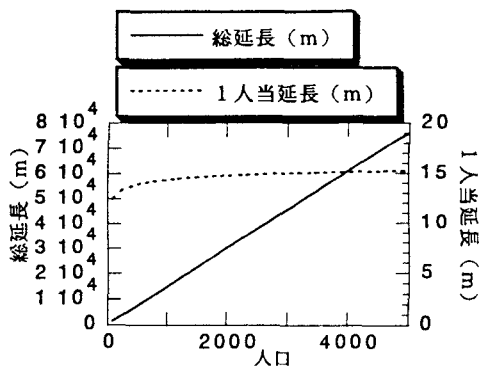


図-2 費用が等しくなる管渠延長

費用については、具体的に小口径（200mm）塩ビ管を開削工法で施工するものとして85000円/mとした。支障箇所については推進工法で施工するものとし、一般実績を考慮して1箇所あたり30万円/mで50m施工するものとする。浄化槽建設費については、種々の調査結果をもとに設定した。

以上の仮定のもとに水量や汚泥量などを人口で表すことにより、30年間に必要な人口のみに関連する要因についての総費用はつぎのように表される。

$$f_1(p) = (354.5p^{0.890} + 513.1p^{0.485} + 708.0p^{0.782} + 114.6p^{0.469}) \times 10^3 \quad (2)$$

$$f_2(p) = (2.7 \times 10^6 p / \alpha + 46.2 \times 10^3 p^{0.469}) \times 2 + 0.356 \times 10^6 p^{0.485} \quad (3)$$

ここで $\alpha$ は1戸あたりの人数であり、変数として与えられるべきものであるが、ひとまず簡単のため定数と仮定する。

式（2）の右辺括弧内の第1項から4項までは、それぞれ水処理施設、汚泥処理施設の建設費、それらの維持管理費（30年間分）を、表-2をもとに1人当たりの原単位を用いて人口で表したものである。同様に式（3）の右辺括弧内の第1項は、家庭用の合併式浄化槽の建設費と維持管理費（耐用年数15年）を合わせたものである。第2項は汚泥処理施設の15年間の維持管理費である。これらは30年分とするために2倍されている。右辺の括弧外の項は汚泥処理施設の建設費である。

これをもとに集合処理と分散処理の費用が人口によりどのように変化するかを示したものが図-1である。人口のみで決定される部分については、1戸あたり3～4人の場合、1000人規模では個別処理が集合処理の4～6倍程度の費用となる。実際は集合処理の場合、以下に示されるように管整備費用が総費用の中の主要部分を占めるため、本図だけで整備方法の優劣は判断できない。

浄化槽を整備する必要があるのが家庭だけであるとして、集合処理が個別処理と費用が等しくなるような管渠延長を求めたものが図-2である。ここでは管渠整備費用は表-2に示される1mあたり8万5千円とし、1戸あたりの人数は3.5人としている。人口が1000人の場合、1人当たりの管渠延長が約14.3mが集合処理と個別処理の境界となっている。これは1戸当たりにして50mに相当する。

安田他が計画人口1300人、340戸の茨城県M村において計算した家屋間限界距離は39m/戸である。また人

口1000人、3.5人／戸より戸数を286戸として、文献6)に示されている判定図より限界距離を求めると68m／戸となる。ここで求められた結果も従来の手法によるものの範囲内となった。ただその前提として人口のみに依存する部分のみを考慮の対象としていることに注意しておく必要がある。

### 3. 2 $g_i(p, A, \phi)$ に関する検討

面整備に大きな影響を及ぼすのは整備対象面積と、その人口であると考えられる。同じ人口の場合、面積が大きいと必要な管渠延長は長くなる。また面積が同じ場合には、人口が多いほど戸数が多くなり管を密に配置する必要があり、管渠延長は長くなる。当然戸数が多くなるほど管渠の効率的利用が進むため、単純に戸数に比例して管渠延長がのびるわけではないが、本研究で対象としているような、これから整備を進める比較的人口密度の低い地域では規模の増大による効率化も進みにくいと考えられる。そこで面整備費用を $g_{1,1}$ として次式のように仮定してみる。

$$g_{1,1}(p, A) = k_1 p^{n_1} A^{n_2} \quad (4)$$

ここで $k_1, n_1, n_2$ は定数である。

集落間を接続するための幹線費用は、集落の数とその間の距離、及びその間の地形条件により特別の措置を必要とする箇所の数に関係する。したがって一律に決定することはできず、それぞれの整備区域の地形条件に左右される。以上より $g_1(p, A, \phi)$ は次式のように表示することが可能と考えられる。

$$g_1(p, A, \phi) = k_1 p^{n_1} A^{n_2} + g_{1,2}(\phi) \quad (5)$$

右辺第2項は、地形に左右される接続幹線費用を表している。

これに対し個別処理に関する $g_2(p, A, \phi)$ の関数形は一般的には表示しにくい。学校のような教育施設数は人口によってある程度示すことができると考えられるが、商業施設などは人口の他に人口密度や周辺市町村との関係が影響を及ぼすと考えられる。

## 4. 事例による検討

### 4. 1 取り上げた例と計算方法

A県にある6つの市町村とそれをもとに作成したモデル地区1つの7ケースを取り上げて、実際に整備費用の検討を行ってみる。人口規模は約1000人程度とし、集落の形態や近傍の集落との距離を考慮して選び出した。対象としたケース(市町村)の特徴を表-3に示す。面積、戸数、人口、区域の囲い込み等は、それぞれの市町村資料より求めた。集合処理を行うための各区域内の管渠延長は住宅地図より実測した。個別処

表-3 事例研究の対象とした市町

|         | CASE-1      | CASE-2 | CASE-3      | CASE-4      | CASE-5      | CASE-6 | CASE-7 |
|---------|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|
| 集落数     | 10          | 3      | 9           | 1           | 6           | 3      | 1      |
| 面積 (ha) | 138.2       | 63.9   | 55.8        | 35.1        | 48.7        | 147.8  | 13.3   |
| 戸数      | 382         | 204    | 195         | 335         | 232         | 238    | 282    |
| 人口 (人)  | 1058        | 824    | 803         | 1196        | 1042        | 902    | 976    |
| 主要施設    | 24          | 15     | 7           | 67          | 16          | 10     | 43     |
| 集落形態    | 山間の集居<br>集落 | 集居集落   | 平地の集居<br>集落 | 溪谷の密集<br>集落 | 平地の集居<br>集落 | 散居集落   |        |

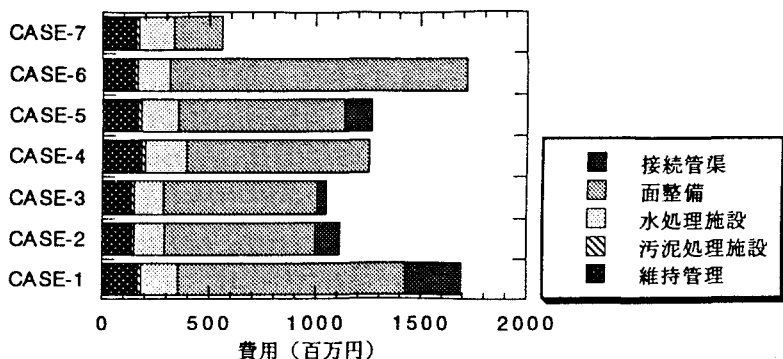


図-3 集合処理整備の内訳

理をする場合に検討の対象となる公共施設等の主要な施設も住宅地図により抽出した。複数の集落がある場合、集合処理で集落間を接続する幹線管渠の延長と、河川の横断や逆勾配など障害となる支障物件を図面（縮尺1/10,000程度）より抽出した。

#### 4. 2 下水道整備に関する検討

集合処理の整備費用を計算し、その構成割合を示したものが図-3である。いずれの場合も管渠費用が全体の約7割以上を占め、とくに集落数が最多のCASE-1や人口密度が最も低いCASE-6では、管渠費用が約8割を占めている。人口密度が高く集落の分散もないCASE-7では管渠費用が4割と他に比べて著しく低くなっている。

3. 1において1人当たりの管渠延長が、集合処理と個別処理の費用を比較するパラメータになる可能性を示唆した。管渠延長を実際に計算する前に一般的な指標で推定することができれば好都合である。そこでつぎのように考えてみる。

集落内に均等に1人ずつ分散していると仮定すれば、1人当たりの面積は $A/p$ となる。この面積に管を布設するとすれば、その長さは $(A/p)^{1/2}$ に比例すると考えられる。したがって集落内の管の総延長を $L$ とすれば、次式となる。

$$L = k_2 p (A/p)^{1/2} = k_2 (Ap)^{1/2} \quad (6)$$

また1人当たりの管渠延長は式(6)を変形してつぎのように表される。

$$L/p = k_2 (A/p)^{1/2} = k_2 / (D)^{1/2} \quad (7)$$

ここで $k_2$ は定数、 $D$ は人口密度であるが、両辺で物理量の単位を合わせるために $1\text{ m}^2$ 当たりの人数としている。

1人当たりの管渠延長は1人当たりの面積の平方根に関係すると考えて、人口密度の平方根の逆数と、面整備管渠延長を人口で割ったものとの関係を求めてみたものが図-4である。これより式(7)

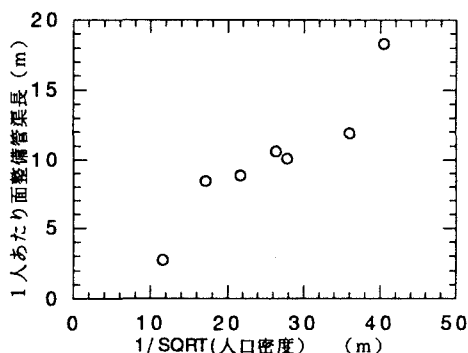


図-4 人口密度と1人当たり管渠延長



蛇行型

多角形型

図-5 区域最大延長の計測例

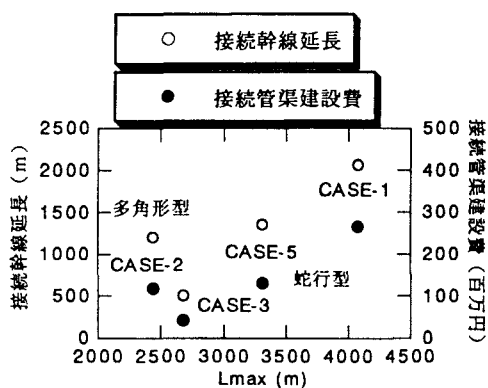


図-6 区域最大延長と接続幹線

$$L=194A \quad (A \text{ の単位は ha})$$

$$L/N=130/D+6.3 \quad (D \text{ の単位は 人/ha})$$

これらはいずれも実績値から回帰的に求められたものであるが、ここで提案された式の方がより理論的であり物理的意味が明確である。

以上より3. 2で考えた式(4)は次式のように表すことができる。

$$g_{1,1}(p,A)=k_1 p^{1/2} A^{1/2} \quad (9)$$

$k_1$ は上で求められた $k_2=0.4$ と、表-2で与えられる1m当たりの管整備費用である85千円を用いると、34000となる。

$g_{1,2}(l)$ は接続幹線に関する費用であり、地形特性に関する集落の分散性に依存している。分散の特性を記述する指標は種々考えられるが、あまり複雑なものは、概略設計を行うことなしに費用の概要をつかむという主旨から適切ではない。そこでひとまず複数の集落がある場合について、図-5に示されるように、そ

は妥当なものであることが分かる。定数 $k_2$ は0.4となっている。戸数 $N$ と人口 $p$ の関係 $N=p/\alpha$ を式(7)に代入して戸数に関する式にすると次式を得る。

$$L/N=\alpha^{1/2}k_2/(N/A)^{1/2} \quad (8)$$

$\alpha=3.5$ ,  $k_2=0.4$ とすると、上式右辺の係数値は0.7となる。これは1戸当たりの専有面積を正方形としたときに、1戸当たりの管渠延長は正方形の中心から1隅への直線距離に等しいことを示している。

面整備の管渠延長算定式として、例えば次式のようなものも使われている<sup>6),7)</sup>。

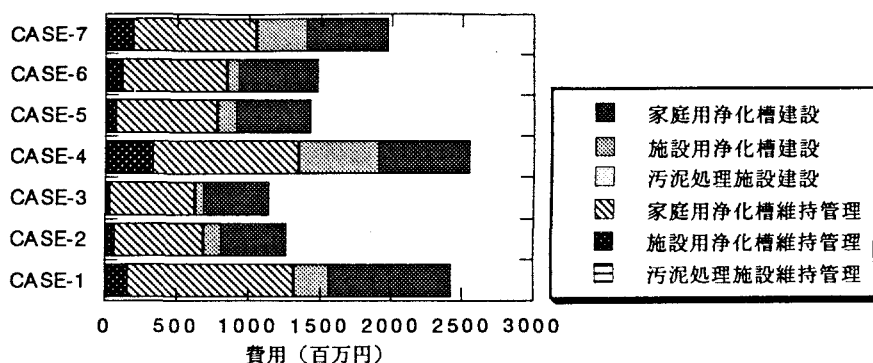


図-7 個別処理整備費用の内訳

れらを含む全域の最遠距離 $L_{max}$ による整理を試みた。その結果が図-6である。なおCASE-6は複数の集落を持つが互いに接しているため考慮の対象からは省かれている。図中の $L_{max}$ が最小のプロットはCASE-2であり、全体の傾向に比べて接続幹線が長くなっている。この地区は3つの集落が三角形の配置になっており、長軸と短軸の長さに大きな違いがないためである。すなわちCASE-1,3,5はいずれも集落の配置が川に沿うような蛇行型をしており、接続幹線延長と $L_{max}$ に似た関係があるのに対し、多角形配置のCASE-2では蛇行型より延長が長くなる傾向にある。接続幹線延長を精度よく簡単な指標で示すことは難しいが、地図上から概略の距離を見積もることは比較的容易でもある。

#### 4. 3 浄化槽整備に関する検討

個別処理を行う場合のそれぞれの費用の内訳を図-7に示す。個別処理の整備費の中で大きな割合を占めるのが、家庭用の浄化槽の建設と維持管理費であり、その和は最も高いCASE-3では全体の91%を、最も低いCASE-4においても65%を占めている。とくに全体に占める維持管理費の割合が高いのが、集合処理と比較した場合の個別処理の特徴といえる。

したがって個別処理の整備費用は人口によりある程度の概算が可能であると考えられる。そこで整備費用を人口に対してプロットしたものが図-8である。図中の実線は1戸当たりの人数を3.5人として求めた式(3)で与えられる $n(p)$ の計算結果である。実線より上にはずれているのはCASE-1,4,7で、家庭以外の施設が

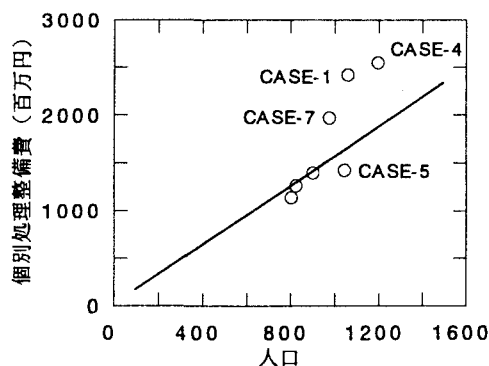


図-8 浄化槽整備費用

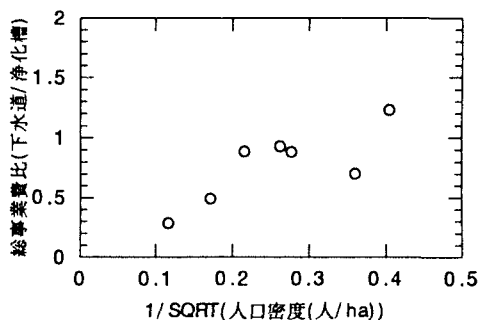


図-9 人口密度と整備費用比の関係



多いところである。やや下にはずれているのがCASE-5でここは1戸当たりの人数が4.5人と多くなっている。

4. 4 整備費用の比較

これまでの考察より得られた結果をもとに整備費用の比を表すと次式のようになる。

$$r = \frac{C_2}{C_1} = \frac{f_1(p) + g_2(p,A,\phi)}{f_1(p) + k_1 p \sqrt{A/p} + g_{1,2}(\phi)} \tag{10}$$

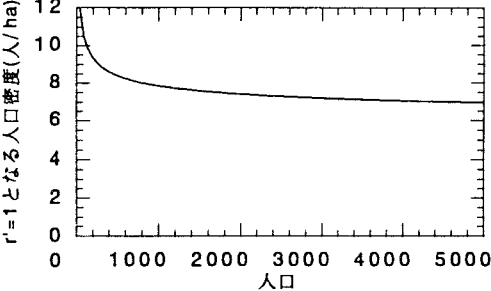
$g_{1,2}(\phi)$ および $g_2(p,A,\phi)$ は関数形で表すことが困難である。実際のCASE-1~7において、 $g_{1,2}(\phi)$ が $C_1$ に占める割合は0~16%、 $g_2(p,A,\phi)$ が $C_2$ に占める割合は8~35%である。

そこでこれらが集合処理、個別処理それぞれの全費用に占める割合がほぼ等しいと仮定して、費用の比を求める上でひとまず無視するならば、式(10)より次式を得る。

$$r' = \frac{f_1(p)}{f_1(p) + k_1 p \sqrt{A/p}} = \frac{f_1(p)}{f_1(p) + \frac{k_1 p}{\sqrt{D}}} \tag{11}$$

これより費用の比は人口と人口密度に依存するものと考えられる。式(11)を書き直すと次式となる。

$$\frac{1}{r'} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{f_1(p)}{f_1(p)} + \frac{k_1 p}{f_1(p)} \frac{1}{\sqrt{D}} \tag{12}$$



ここでは人口規模がほぼ等しい場合を取り上げているが、この様な場合には整備費用の比は人口密度に支配されることが示唆される。そこで式(12)をもとに、整備費用と人口密度の関係すなわち $1/r'$ と $1/D^{1/2}$ の関係を見たものが図-9である。 $g_{1,2}(\phi)$ および $g_2(p,A,\phi)$ の影響で若干散らばりも見られるが、人口規模が一定の場合、人口密度で整備費用比をほぼ見積もることができる。図-9で示される1000人規

図-10 費用が等しくなる人口と人口密度の関係

表-4 費用関数のパラメータ及び弾力性の値

|                      | k=1      | k=2     | k=3      | k=4     |
|----------------------|----------|---------|----------|---------|
| i=1                  | 水処理建設    | 汚泥処理建設  | 水処理維持    | 汚泥処理維持  |
| $n_{1k}$             | 0.890    | 0.485   | 0.782    | 0.469   |
| $a_{1k}$             | 1.035e6  | 26.23e6 | 2.277e6  | 55.2e6  |
| $b_{1k}$             | 0.30     | 300e-6  | 0.225    | 1.9e-6  |
| $\varepsilon a_{1k}$ | 0.4871   | 0.0430  | 0.4613   | 0.0086  |
| $\varepsilon n_{1k}$ | 2.9946   | 0.1441  | 2.4919   | 0.0279  |
| i=2<br>$\alpha=3.5$  | 浄化槽建設    | 汚泥処理建設  | 浄化槽維持    | 汚泥処理維持  |
| $n_{2k}$             | 1        | 0.485   | 1        | 0.469   |
| $a_{2k}$             | 0.686e6  | 264.9e6 | 0.857e6  | 55.2e6  |
| $b_{2k}$             | 1        | 1.2e-6  | 1        | 1.2e-6  |
| $\varepsilon a_{2k}$ | 0.4412   | 0.0065  | 0.5515   | 0.0008  |
| $\varepsilon n_{2k}$ | (3.0477) | -0.0212 | (3.8096) | -0.0025 |

(p=1000)

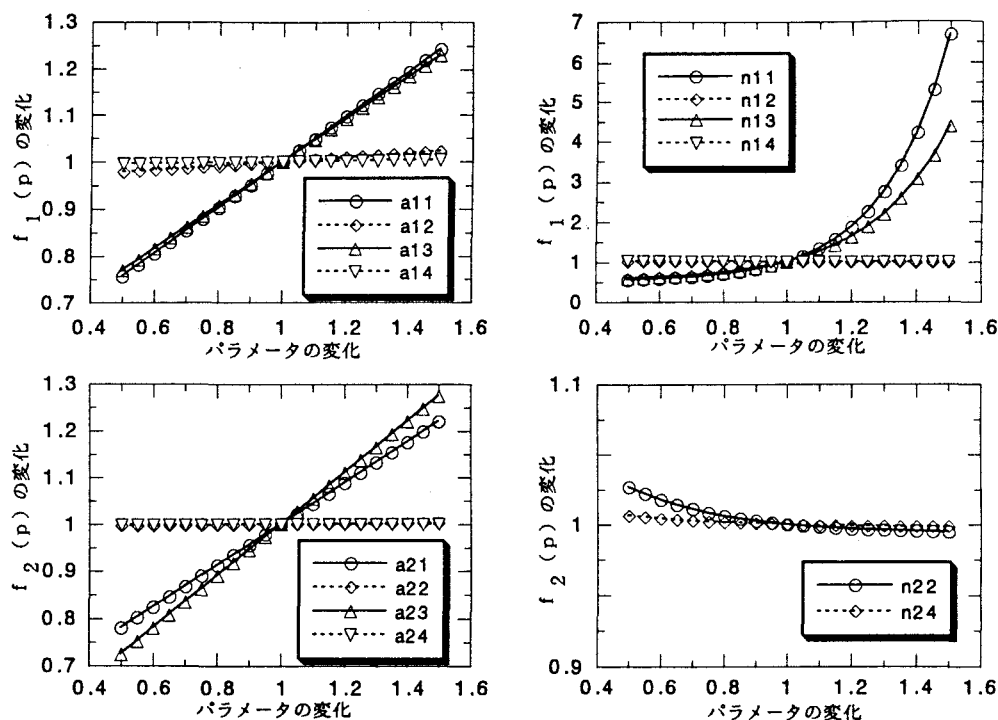


図-11 費用関数に関する感度解析結果

模の場合、人口密度の平方根の逆数がほぼ0.3で個別処理と集合処理の費用が等しくなる。これは人口密度で約11人に相当する。

式(12)により費用の比に及ぼす人口と人口密度との関係の傾向は示しうると考えられるので、 $r=1$ において人口と人口密度の関係を求めると図-10となる。人口が大きくなるほど費用が等しくなる人口密度は低くなるが、徐々に人口の影響を受けなくなることがわかる。これは集合処理にかかる面整備費用の影響が、人口の増大により小さくなることを示している。

##### 5. 費用関数が $f(p)$ に及ぼす影響

それぞれの費用関数に変化したときに $f_i(p)$ がどのように変化するかを調べてみる。式(2)、(3)で与えた $f(p)$ をつぎのように表す。

$$f(p, a_{ij}, b_{ij}, n_{ij}) = \sum_j a_{ij} (b_{ij} p)^{n_{ij}} \quad (13)$$

ここで $j$ は1から4までの整数で、それぞれ順に、水処理施設(浄化槽)の建設費、汚泥処理施設の建設費、それぞれの維持管理費を示すものとする。式(2)、(3)においては表-2に示された費用関数を水量や汚泥量について人口に変換した後のものを示したが、ここでは人口への変換の係数 $b_{ij}$ を残したままとしている。ここでは費用関数の係数 $a_{ij}$ と指数部 $n_{ij}$ が変化した場合について考える。

$a_{ik}$ ,  $n_{ik}$ に対する弾力性をそれぞれ $\varepsilon_{a_{ik}}$ ,  $\varepsilon_{n_{ik}}$ とすると, これらは次式となる.

$$\varepsilon_{a_{ik}} = \frac{\partial f_i}{\partial a_{ik}} \frac{a_{ik}}{f_i} = \frac{a_{ik}(b_{ik}p)^{n_{ik}}}{\sum_j a_{ij}(b_{ij}p)^{n_{ij}}} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{n_{ik}} = \frac{\partial f_i}{\partial n_{ik}} \frac{n_{ik}}{f_i} = \frac{a_{ik}(b_{ik}p)^{n_{ik}}}{\sum_j a_{ij}(b_{ij}p)^{n_{ij}}} n_{ik} \ln(b_{ik}p) = \varepsilon_{a_{ik}} n_{ik} \ln(b_{ik}p) \quad (15)$$

すなわち係数に対する弾力性は, 各要素が全体に占める割合で決まるのに対し, 指数部に対する弾力性は係数に対するものに $n_{ik} \ln(b_{ik}p)$ を乗じた形となっている. 表-4は $p=1000$ ,  $\alpha=3.5$ のもとで計算を行った結果である. さらに実際にそれぞれのパラメータを変化させた場合の $f_i(p)$ の変化の様子を示したものが図-11である. なお個別処理については浄化槽の建設費及び維持費はその数に比例するので, 指数部が1であることは確かであり変化させていない.

集合処理, 個別処理いずれの場合にも水処理施設の費用関数の変化に対する影響が大きく, 汚泥処理施設の費用関数の影響は小さい. したがって水処理施設の費用の扱いについては注意を要するが, すでに述べたようにここで扱っている人口が1000人程度の集落においては, 集合処理では管渠費用が半分以上を占めている. よって仮に水処理施設の費用関数に若干の修正を行っても, ここで求められた結果と大きな差異は現れない. また小型合併式浄化槽の建設費の変動は, 浄化槽費用が5人槽で60万円から78万円で平均65.9万円, 8人槽で88万円から115万円で平均97.3万円, これに標準工事費用を加えると, 5人槽で89.2~107.2万円(平均95.1万円), 8人槽で134.5~161.5万円(平均143.8万円)程度となる. したがって採用した1基当たり120万円から20~30%程度の変動は考えられるが, それが $f_i(p)$ に及ぼす影響は9~13%程度である.

費用に最も影響を及ぼすのは集合処理の水処理施設の建設費と維持管理費に関する費用関数の指数部である. すなわち水処理施設に関する費用関数の選択にあたり, 対象としている地域の人口規模に対応した関数の選択に留意することが重要である.

## 6. あとがき

本研究では規模の小さい生活排水処理設備の整備方法について, 経済面からの概略的な検討を行う方法について考察した. 得られた結論は以下の通りである.

- 1) 浄化槽を整備する必要があるのが家庭のみの場合, 本研究で用いた費用関数のもとでは, 集合処理のための1戸あたり管渠延長が50mより長い場合には個別処理が, 短い場合には集合処理が有利である.
- 2) 1人あたりの面整備のための管渠延長は人口密度を使ってうまく表すことができる.
- 3) 人口1000人程度の集落については, 整備費用の中で人口のみで表すことができないものの割合は, 集合処理においては0~16%, 個別処理においては8~35%である.
- 4) 個別処理と集合処理の整備費の比率は人口と人口密度でほぼ表示することができる.
- 5) 整備費の比率が1となる人口密度は人口が大きくなるほど小さくなる傾向にはあるが, 人口による影響は小さくなる.
- 6) 人口依存部分の費用関数 $f_i(p)$ に対して汚泥処理関係費の変動はほとんど影響を及ぼさないが, 水処理関係費の変動は影響を及ぼす. しかし集合処理においては管渠費用の方が全費用に占める割合が高いのが普通である. また個別処理においても, 水処理関係費(浄化槽費)はそれほど大きくは変動しないと予想される.

生活排水処理施設の整備方法に関する検討は、これまである特定の事例を取り上げて費用比較が議論されてきた。本研究では合理性を持った基礎的検討と、対象人口を1000人程度にしぼって種々の集落事例による検証を積み重ねながら、一般的な指標で経済的に有利な整備方法を概略求められることができる方法を得ることができた。具体的な費用の見積もり方法については現在も種々の方面で検討が続けられているところであり、今後それらの成果をもとに修正を行っていけばよいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 浮田正夫・中西弘・関根雅彦・城田久岳：低密度地域の生活排水処理方式の選択に関する考察，環境システム研究，Vol. 20，1992.
- 2) 楠田哲也・森山克美：費用・便益による排水処理システムの評価，環境システム研究，Vol. 22，1994.
- 3) 安田八十五・明石達郎：小型合併処理浄化槽整備に関する公共政策の評価，浄化槽研究，Vol. 7, No.1, 1995.
- 4) 日本下水道協会：全県域汚水適正処理構想マニュアル（案），1993.
- 5) 建設省都市局下水道部：下水污泥処理総合計画策定マニュアル，日本下水道協会，1981.
- 6) 日本下水道協会：下水道整備構想エリアマップ作成マニュアル，1986.
- 7) 環境庁水質保全局：生活排水対策推進計画策定資料集，1988.
- 8) 建設省都市局下水道部：町村下水道着手マニュアル，日本下水道協会，1992.