

## 環境情報における原単位の役割について

立命館大学理工学部 正員 山田 淳

### 1. はじめに

環境保全施設設計において、「原単位」は、環境情報量を予測するためのひとつの目安として、従来からとりいれられてきた。最近では、この環境情報の構造を明らかにし、各構成要素に評価を与えることによって、環境状態のあり方を考えようとする環境制御の方向が示されるようになり、これにともなって、「原単位」は、属性の細分化、構成要素の分割などにより、より詳細に記述されることを要求されてきた。このため、「原単位」は、目安としての総括的なものから、実態の直接的表現に近い、細分化され、しかも集積化した資料が必要となり、あわせて、「原単位」のもつ有効性と限界性についても一定の検討を迫られることになってきている。本研究では、原単位の考え方、取扱い方の現状を簡単に記したのち、とくに、上水道を中心とする水利用問題をとりあげ検討を行なった。

### 2. 原単位の考え方

#### 1) 原単位の算定と環境情報量の推定

原単位量は、2種の異なる指標量の比で表わされ、次のように考えることができる。

$$\frac{E_i}{P_i} = U_i \quad \Rightarrow \quad U \times P = E \quad (1)$$

(分析) (推定)

$E$ ; 環境指標の量(以下環境量とする.)  
 $P$ ; 基本指標の量(以下基本量とする.)  
 $U$ ; 原単位量,  $i$ ; 資料番号

ここで、 $E$ は、評価されるべき環境の量を表わし、 $P$ は、基本となる指標の量を表わす。資料から得られる $U$ を分析して、予測、推定のための原単位を設定し、推定すべき基本量に乗じて環境量を求めるのが一般的手順であって、 $U_i$ の平均的な量が直接 $U$ となるわけではない。現行用いられている最も典型的な指標の組み合わせは、給水量、廃水負荷量などフローとしての環境量を、対象とする人口、または面積などの基本量で除するもので、その地域の総括的、平均的な原単位をあわせている。他には、環境状態というストックを指標にする場合や、1人の人間が分担するラグランジェ的環境量を規定することもある。ただし、前者には、フローとの変換で、後者には、規定の困難さで取扱いにくい。

#### 2) 原単位法の改良

従来の平均値的原単位は、基本指標の単位規模が大きいために、計画の際の総括的な目安であったが、「環境制御」を前提してみると、量的にも、質的にも著しく不十分なものとなっている。それは、原単位が、制御に必要な変数や、分類によって構成されていないことと、評価しうるだけの資料の集積がないことである。このために、社会・経済的、施設・器具的、自然的、行動・情報的要因の多変量解析を行ない、原単位構成要因の細分化、数量化をはかるとともに、分布として表現できる程度の資料を集積できるように、原単位算定方式の改良を行なう必要がある。とくに、次の3点が重要である。i) 原単位の分布と評価、ii) 属性による分類、iii) 構成要素の細分化。

i) 原単位の分布と評価 必要とする規模での原単位を設定する場合、同一規模の資料を集めるか、より小さな単位規模に分割してみるか、いずれにしても、分布のかたじけなく表現したうえで、一定の評価をすることが望ましい。これは、次元の次数を1次元あげることに相当する。従来のような都市規模の原単位についても、より小さな地区の分布による評価を基礎とし、さらに、地区の原単位が、個々の住民単位の分布による評価を基礎とするような階層構造になっておれば、各規模レベルでのチェックが可能となる。たとえば、図-1のような原単位量

の分布が求まった場合、 $U = U_k$ を与えることによって、 $U_k$ を越えない確率(非超過確率)を、評価指標にしようし、さらに、より大きな規模の原単位を設定する基礎ともなる。計画に用いる単位規模は、できれば、 $P=1$ 、すなわち全体識別できる状態を基礎とするのが望ましい。たとえば、図-2に示すように、規模が大きくなれば、単位間の変動は次第に内部化(潜行化)して評価が困難になるが、規模が小さい場合には、変動が顕在化して評価しやすくなる。しかし、実際には、規模が小さくなるにしたがって抽出資料となるため、母集団を代表しているかどうか問題となり、マクロで総合的判断のできる規模の大きい場合に劣ることもある。妥当なところとしては、図中、破線で示したような変動の急変点を用いるのもよいが、既存の資料規模に制約されることが多い。

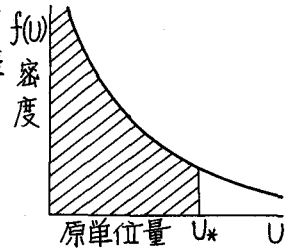


図-1 原単位量の分布

ii) 属性による分類 環境量に対して有意差を与える支配要因のうち、数量化できない属性部分(たとえば、性別、職業、用途地域など)については、属性毎に原単位分布を求め、また、基本量以外の数量化できる要因は、パラメータとして、同じく原単位分布を求めればよい。このような分類を行なう以前の原単位分布は、経済学でいう所得のパレート分布( $f(U) = AU^{-\beta}$ )にしたがうと考

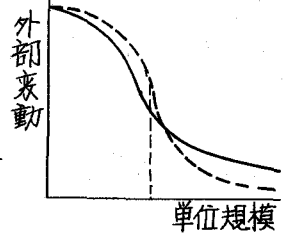


図-2 変動量の变化

えられるが、分類を詳細にすると、次第に属性固有のピークが出現してくることから、分類の限界を推定することも可能である。(図-3)

iii) 構成要素の細分化 原単位 $U$ を構成要素に分割した例を、表-1に示す。場合によっては、更に $X$ や $Y$ が分解されることになる。細分化された各要素については、支配要因の分析を行なっておく。

### 3) 環境量( $E$ )の制御

環境量 $E$ を制御するには、 $U$ または $P$ の支配要因のレベルをみて検討する。 $U$ の制御は、施設・設備・機器、利用形態、行動・情報などを制御することであり、 $P$ の制御は、地域人口や土地利用など、政策上の指標に対するものである。この $P$ は、基本的な計画の目標であるから、まず、 $U$ の制御可能性について検討し、対処しきれない場合について $P$ の制御を検討することが順序と思われる。具体的な制御の検討としては、先の原単位分布を利用し、分布を支配している要因のレベルを、行政者、住民等計画参加者が設定をし、これらを加算することによって、環境量の推定を行なう。同時に、制御に要する費用、および制御によってもたらされる効果を算定し、達成の可能性を検討することになる。

### 4) 原単位法の效用と限界

原単位法は、分割細分化が可能であり、かつ、積分することによって、全体の環境量を表現しようといった点で最大の效用であると同時に、分割・積分のできない場合には、逆に、この手法の限界ともなっている。すなわち、環境量を表現する場合、i) 適当な基本指標が存在しない。ii) 基本量との間や属性間に相関関係がある。iii) 基本量に対しては独立している。などがあり、iii) の場合はともかく、他の場合には適用できないことになる。また、単位規模を小さくした場合(現実には、中間規模の資料がなく個体単位になる。)先に述べたように、母集団を代表しているかどうか問題となる。したがって、独立性と代表性の立証が、この手法の適否を決める。

## 3. 環境計画における原単位の取扱い

水を中心とした環境計画に用いられている原単位の例をまとめて表-2に示す。この表から、その特徴をまとめると次のようになる。

|      |                                                                                                                 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ex.1 | $\left[ \frac{(\text{1回あたりの水量}) \times (\text{利用回数})}{X \times Y (=U)} \right] \times (\text{人口}) \times P$     |
| ex.2 | $\left[ \frac{(\text{1回あたりの水量}) \times (\text{利用回数})}{U} \right] \times (\text{人口}) \times P_1 \times P_2 (=P)$ |

表-1 構成要素の細分化

(1). 上下水道計画に比較すると、他の計画の原単位概念は明確ではない。(2). フローを中心とする原単位とストック中心の原単位がある。(3). 環境指標が多様にわたるものが多い。(4). 基本指標は、人口と面積に代表される。(5). 単位規模が大きく、個体的情報の積み上げによるものは少ない。(6). 原単位設定の改良が指向される。

#### 4. 上水利用の合理化における原単位の役割

##### 1). 原単位法改良の背景

昭和48, 49年度の給水量実績が、数年前のレベルにまで戻ったものの、水資源の将来見通しから考えて、上水利用の合理化は、上水道にとって、いまだ重要な課題である。より具体的には、制約要因を抽出し、抑制の可能性を検討しつつ、下水の再利用を含む2元給水を目指しているが、根底には、「人間にとって水はいくら必要か」

表-3 属性の分類

| (用途別)        | (使用目的)        | (利用者) |
|--------------|---------------|-------|
| 家庭用          | 生活用           | 就業者   |
| 業務営業用        | (飲料, 洗面, 調理化) | 主婦    |
| (営業用, 官公署学校) | 施設維持用         | 学生生徒  |
| 湯屋用          | 交通用           | 幼児    |
| 工場用          | 環境用           | その他   |

表-2 環境計画における原単位の取扱い

|        |              | 上水道                                    | 下水道                               | 水質環境                                   | 地理環境<br>(土地利用)            | 社会環境<br>(環境の社会的評価)         |
|--------|--------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 原単位の種類 |              | 需要量<br>(フロー)                           | 発生量<br>(フロー)                      | 流入流出量(フロー)<br>存在量(ストック)                | 貯存量(ストック)<br>変化量          | 有効性<br>満足度                 |
| 現在の原単位 | 環境指標         | 需要水量<br>(取水, 配水, 給水)<br>平均, 時間最大<br>最大 | 汚水量, 雨水量<br>汚濁負荷量<br>BOD, SS      | (下水道と同じ)<br>水および汚濁負荷<br>の存在量<br>環境基準項目 | 植生, (生産量)<br>建物, 地形, 気象   | 経済指標<br>環境評価得失<br>所得, 福祉指標 |
|        | 基本指標         | 人口, (面積)<br>施設                         | 人口, 頭数, 面積<br>売上額, 降雨             | 空間量(水, 汚泥, 泥の体積)<br>人口, 面積, その他        | 面積, (人口)<br>空間量           | 人口                         |
|        | 単位規模         | 計画区域                                   | 計画区域                              | 流域                                     | 行政区                       | 行政区                        |
| 原単位の改良 | 考慮すべき項目      | 経済社会的要因<br>機器器具要因<br>行動情報要因            | 上水道原単位の適用<br>環境基準項目検討<br>単位規模も考える | 存在場所<br>循環量の評価                         | 開発の定量化<br>適正計画規模          | 均質的な単位規模<br>の設定<br>指標の多様化  |
|        | 属性による分類      | 用途(業種)<br>使用目的<br>利用者階層                | 生産工程<br>用途地域                      | 発生源<br>利水目的<br>存在形態                    | 土地利用形態<br>環境指標相互<br>を層化する | 階層<br>水質・地理環境              |
|        | 構成要素<br>の細分化 | (1回当たり基本量)<br>×(特性係数)<br>×(利用率)        | 発生構造の細分化                          |                                        |                           |                            |
| 制御の方法  |              | 制約要因のレベル設定<br>分布関数の評価<br>満足率           | 発生源対策<br>処理基準                     | 発生源対策<br>フロー, ストックの交換<br>制御            |                           |                            |
| 備考     |              | 再利用<br>抑制(節水)                          | システム内での<br>ストックおよび反応              | フロー, ストックの<br>交換モデル                    |                           | 水質環境, 地理<br>環境の評価          |

という命題がある。この命題に答を与え、料金体系の決定や需要推定を行なっていくためには、総括的な原単位よりも2. で述べた手法を用いる。表-3にも示すように、用途別の分類よりも、より行動実態に近い使用の目的、利用者の属性を重視すべきである。また、支配要因の分析についても、環境量や原単位量を直接要因で説明するのではなく、原単位を各要素に分割したうえで、改めて多変量解析するほうがよい。しかし、現状では、構成要素毎の資料が著るしく不足し、精度が保証されないで、積算結果は、用途別分類によるオイラー的な実績で検証しておく必要がある。

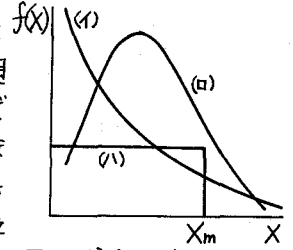


図-4 密度関数の型

## 2) 利用行動からみた原単位構造

表-1の例によると、原単位は、 $U = X \times Y$  と分割される。 $X$  は1回あたりの使用水量で、狭義の原単位であり、 $Y$  は利用回数にあらわす。

i) Xの分布 家庭内における生活用水のXに対する密度分布を求めると、特徴をもった分布となっており、これを指数型(または双曲型)、正規型、一様(ランダム)型と3分類する。分布の概略を図-4に示し、型別の使用目的を表-4に示す。これらは、各用途の分布を概念的に示したにすぎないが、相対的な分散度からみる

表-4 密度関数の型による分類

|                                                                                    |                              |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| (i) 指数型 $f(X) = \lambda e^{-\lambda X}$                                            | (2) 用途 飲料, 手洗, 水洗便所(i), 入浴   |
| (双曲型) $f(X) = AX^{-\beta}$                                                         | (3) (目的) 洗面, 掃除, 食事片付け       |
| (ii) 正規型 $f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}$ | (4) 目的 水洗便所(ii)*, 散水*, 風呂注水* |
| (iii) 一様分布型 $f(X) = 1/X_m (X \leq X_m)$                                            | (5) 目的 せんたく, 食事準備**          |
| (ランダム型) $f(X) = 0 (X > X_m)$                                                       |                              |

X: 原単位(1回あたり)水量,  $f(x)$ : 規準化された密度関数( $\int_0^\infty f(x)dx = 1$ ), \* 分布の相対的分散度小, \*\* 同分散度大

と、正規型の用途(目的)は分散が少なく、分類が適当であったことを物語っている。とくに、この場合は、機器への依存度が大きい目的であることが注目される。

表-5 使用目的別原単位構造例(洗面)

次に、評価に用いるため密度関数 $f(X)$ を積分した分布関数 $F$ を次のように定義する。

$$F(X_*) = \int_0^{X_*} f(X) dX \quad (6)$$

$F(X_*)$  は、 $X_1$ に属する非超過確率をあらわすから、いま、 $F(X_*) = \alpha$ とおくと、 $X_*$ は、確率 $\alpha$ で給水

|   | X (l) | X <sub>0</sub> (l) | Y <sub>1</sub> 設備等特性係数 | Y <sub>2</sub> 利用特性係数 |
|---|-------|--------------------|------------------------|-----------------------|
| 男 | 1 7.0 | 5.0                | 給湯と石けん 1.4             | 混雑なし 1.0              |
|   | 2 6.0 | 5.0                | 給湯または石けん 1.2           | 混雑なし 1.0              |
|   | 3 5.0 | 5.0                | 設備なし 1.0               | 混雑なし 1.0              |
| 子 | 4 3.5 | 5.0                | 給湯と石けん 1.4             | 混雑あり 0.5              |
|   | 5 3.0 | 5.0                | 給湯または石けん 1.2           | 混雑あり 0.5              |

末端に満足を与える水量と考えることができる。また、(i)の双曲型の場合は、定数 $\beta$ は原単位の弾力性をあらわしていることになる。次に、支配要因のレベルを考慮したX値の推定例を、業務用水について行なったのでその一例を表-5に示しておく。ここでは、 $X = X_0(\text{施設基準水量}) \times Y_1(\text{設備等特性係数}) \times Y_2(\text{利用特性係数})$ と細分化され、 $X_0, Y_1, Y_2$ を変化する事によって、図-4の分布の一部ができるものと考えられる。

ii) Yの分布 利用回数も分布をするが、主として、利用者階層、利用場所(家庭の内外)、外出時間などによって分類を行なって後、一定になると考えた。その結果、階層、外出時間に大きく依存することがわかり、利用場所についても、外出先に適当な利用場所がないため、家庭への依存または、利用の替代化が行なわれていることがわかった。

iii) 家庭用水と生活用水 i), ii)のX, Yの平均値をとり加算すると、各目的毎の水量比率が求まる。家庭用水でみると、主婦が使っている水量は、その家庭で使用する水量の約70%にもなっている。一方、業務用水、工場用水として使用されている水量のうち、生活部分に関わる水量も、家庭用水に加えて、「生活用水」と称す

ると、某市の場合、家庭用としては45%占有率であるものが、「生活用水」としてみると81%にも達することになり、「生活用水」の見なおしが、制御の力が必要であることがわかった。

### 3) 分布と制御

i) 基準水量の設定 分布関数を利用して基準水量  $X^*$  を設定する。具体的なイメージについては、表-5の形式を参考にする。 $X^*$  のひとつとして、基本水量が設定されているが、生活実態、すなわち  $\alpha$  を十分にふまえたものとはいえない。この欠点を改善するために、実態に即した最低水量  $X^*$  を、シビルミニマムとして決めようとする試みもあるが、かなり  $\alpha$  の低いところで1度に固定化してしまうおそれがある。水資源の不足、生活の高度化、多様化をバランスさせながら、情報に重点をおいて制御しようとするとき、 $\alpha$  は少くとも2点以上とり、健康、生活、環境等のレベルを表わすべきである。試算によると、 $\alpha = 0.16$  のときの値は積算して  $U = 82$  (ℓ/人・日)、 $\alpha = 0.84$  としたとき、 $U = 529$  (ℓ/人・日) となり、前者は、標準家庭(4人)で9.8(m³/月)と、ほぼ基本料金水量になる。

ii) 利用実験による制御効果 2) において得られる資料は、ある時間断面における水利用行動量であって、これだけでは、制御にともなう需要者の動向の応答を明確にできないので、この欠点を補う方法として、利用実験的に、制御要因の条件をかえて需要の応答を調べる必要がある。主な制御要因としては利用態度(方法)と設備・機器の状態などがあるが、後者は経費から考えて実施はむずかしい。一例として、利用態度を、「普通」、「ぜいにく」、「節約」と条件を設定し、これを同一被験者に適用して、使用目的別

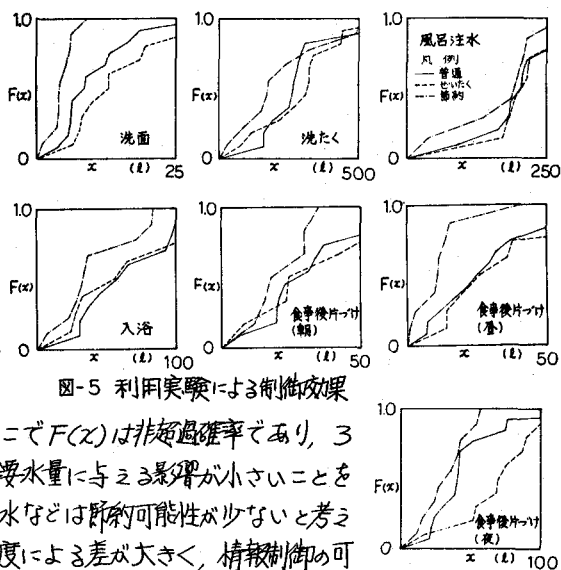


図-5 利用実験による制御効果

に需要水量の変化を調査した結果を図-5に示す。ここで  $F(x)$  は非超過確率であり、3本のラインが接近しているほど、利用態度の変化が必要水量に与える影響が小さいことをあらわしている。機器的制約の強い、洗たく、風呂注水などは節約可能性が少ないと考えられ、逆に、洗面、食事の後片付けなどでは、利用態度による差が大きく、情報制御の可能性を示唆している。利用実験による方法は、この他にも、水圧変更や給水制御、料金値上げなどによっても有効であるが、供給サービスのレベル保持から、意識的に条件変更を行なうことができないので、あらかじめ実験システムを組み込んだモデル都市の設置が望まれる。

iii) 需要抑制の可能性 需要のかなりの部分は、利用者個々人の評価のうに成立しているもので、制御をする場合にも、できるだけ個人のレベルの影響を考慮し、制御因子のレベルについては、関係者のコンセンサスを得られるような制度と資料の集積を行なうべきである。この場合、表-5、図-4、図-5が活用できる。この方式で、家庭用水、業務用水等について抑制の可能性を検討したので、その結果の一部を表-6に示しておく。

表-6 抑制可能率(%)

| 使用目的別     | 用途別      |
|-----------|----------|
| 水洗便所 54.7 | 家庭 28.0  |
| 飲料 58.6   | 学校 23.9  |
| 手洗 32.4   | 公署 14.7  |
| 洗面 42.6   | ビル 42.3  |
| 食堂 29.5   | ホテル 40.4 |
| 浴場 16.0   | 浴場 17.5  |

### 4) 原単位法の限界

i) 代表性 前項のような検討をするためには、個体を中心とした実態調査が不可欠である。しかしながら、物理的な制約が大きく、水量実験を伴う場合で、標本数は約100、負低値を中心とした方法で、約1000程度が限度である。したがって、この程度の規模で、母集団の代表性があるかどうか、ひとつのポイントになる。個人のレベルより規模の大きな単位の資料があれば、チェックできるのであるが、テナントの入っ

たビルとか、最近集計のはじまっているメッシュデータなどに限られ、資料収集システムが整っているとはいえない。中間規模の資料を得るための施設、制度的体制の整備が望まれる。

ii) 独立性 某市における床面積あたり原単位水量の、変動係数の変化を求めたものが、図-6であるが、地区間に相関がなく独立であるとした理論曲線(実線)と比較して若干乖離が小さい。これは、地区間に、少々正の相関があることを示している。しかしながら、構成要因の細分化、属性による分類をすすめることによって、各要素の独立性が強くなる傾向が明確になったことから、上水道に関してのみえば、改良された原単位法の適用は、きわめて有効であるといえる。

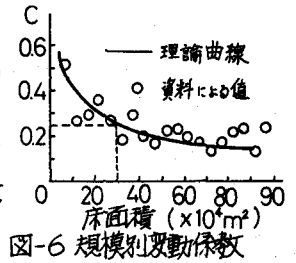


図-6 規模別変動係数

## 5. おわりに

原単位法は、構造の分割が可能でさえあれば、きわめて有効な方法である。ここでは、分類と細分化をはかっ  
て、独立性を増す方法を説明し、とくに上水道を例として、分布を中心とした原単位法の改良を試み、制御の面  
から有効であることを示した。

環境量のみで評価をすれば、需要水量で、需要の大小が決まるが、原単位により、異なった評価になることが  
当然のことながら、明確になった。たとえば、床面積あたりの1日使用量は、市場で  $182(\text{ℓ}/\text{m}^2)$  もあるのに、ビ  
ルでは、 $10(\text{ℓ}/\text{m}^2)$  にすぎない。また、入込者1日使用水量においても、ホテル・旅館では  $487(\text{ℓ}/\text{人})$  もあ  
るのに、学校では、 $51(\text{ℓ}/\text{人})$  にとどまっていることなどもよい例である。

情報収集システムの整備にともなう、多量の情報が提供されるであろう今後において、原単位的考え方も深  
めることは、集合論的マクロなところととも、益々その比重は増すものと考えている。

本報告を行なうにあたり次の諸氏の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

西本安範、吉成隆二、水野茂(以上立命館大学理工学部)、藤井徹夫(昭和設計)、村山穂(京都府)、中川美利  
(立命館大学文学部)

なお本研究は、文部省科学研究費補助金(総合研究:研究代表者 京都大学経済研究所 尾上久雄教授)の援  
助を受けた。