

地域に着目した環境資源勘定の構築に関する研究(1):水資源勘定

STUDY ON THE ENVIRONMENTAL RESOURCE ACCOUNTING
AT THE LOCAL LEVEL (Part I) - WATER RESOURCE ACCOUNT

大平晃司*・井村秀文*・中口毅博**

Koji OHIRA*, Hidefumi IMURA* and Takehiro NAKAGUCHI**

ABSTRACT; A methodology which can be practically applied to the local level is presented for the environmental resource accounting of water. Then, it is applied to Fukuoka City. The whole water resource system of a region under consideration is divided into two sub-systems. The first is the natural water system comprising various natural processes and movement of water such as rain fall, river flow, evapotranspiration of vegetation, penetration of water to the underground, etc. The second is the artificial water system which is designed and managed in order to meet with various needs of water resource by human beings. Input-output balance of water in Fukuoka City is calculated both for the two systems, and the results are demonstrated by using mesh maps of 1km x 1km size.

KEYWORDS; environmental resource accounting, natural water system, artificial water system, environmental indicator

1. はじめに

「持続可能な発展」の達成に向け、環境保全と経済発展の両立を目指した新しい評価体系の確立が重要な課題になっている。環境と経済の統合を目指した新しい指標の開発は、地球規模、国家レベルだけでなく、地域レベルでも重要になっている。そこで本研究では、福岡県の地域をケーススタディー対象として、水という自然資源のメタボリズムに着目した地域レベルでの水資源勘定について検討する。これにより水資源利用にともなう環境負荷や、水資源利用をめぐる地域の自立性を評価する。

ここで、ある地域の水システムは大きく二つに分けられる。第一は、賦存量、蒸発散量、表面流出量、地下浸透量等で特徴づけられる自然系である。第二は、水系から取水し、水道水として製造業、業務用、家庭用に利用、循環再利用され、それらが下水処理場等で処理され水系へ排水されるという一連の人工系である。これら2つの系は、独立しているわけではなく、合流式下水道整備区域では、不透水域の雨水は下水管を通して下水処理場に運ばれるというように相互に関連しあっている。

水に着目した場合の勘定体系の第一は、取水、消費、排水といった物理的な量の勘定である。第二は、地域住民が憩いの場として利用できることの便益、水を浄化するためのコストなどの経済勘定である。最後にこれらの2つの勘定を統合することによって、地域の環境保全と開発の関係を一体的に把握することが可能となる。

本研究では、こうした統合的なアプローチの第一ステップとして福岡市の水資源勘定の算出を試みる。た

*九州大学工学部環境システム工学研究センター Institute of Environmental Systems, Faculty of Engineering, Kyushu University, **株)社会調査研究所 Marketing Intelligence Corporation

だし、ここでの検討は、まだ物理的な勘定にとどまっており、経済的勘定は次の課題として残されている。

2. メッシュモデルの作成

福岡市を対象地域とし、第3次区画基準地域メッシュ（緯度方向30″、経度方向45″）に分割し水量の収支を降水、蒸発散をはじめとする自然系と、取水、給水、排水といった一連の人工系について推定する。なお、本論ではまだ実行していないが、水の動きをとらえた後、水利用にともなって発生する環境負荷物質の発生量を推定することもメッシュデータを用いて実行できる。

2.1 水量の収支

各メッシュの水量は以下のようにして推定する。

(1) 自然系の水量の推定

降水量 R ($\text{m}^3/\text{年}$)は国土数値情報の3次メッシュで与えられている [1]。

蒸発散量 E ($\text{m}^3/\text{年}$)はアメダスのメッシュ別月平均気温データを用いて、毎月の最大可能蒸発散量をソーンスウエイト法により推定し、次式により求める [2]。

$$E = e + f(P\alpha - we)$$

$$w = P/P_m \times 1.71 \times 10^{-4}$$

e : 可能蒸発散量 f : 林冠被覆率 P : 年降水量

α : 樹冠遮断率 (=0.2) w : 1年のうちで林冠が濡れている時間割合 P_m : 平均降雨強度

林冠被覆率 果樹園・樹木畑・森林: 1.0 荒地: 0.05 建物用地: 0.025 その他: 0

$$\text{賦存量}(\text{m}^3/\text{年}) = R - E$$

$$\text{流出量}Q(\text{m}^3/\text{年}) = f \cdot R \cdot A$$

f : 流出係数 A : 面積

流出係数 道路: 流出係数1.0 DID内の宅地: 0.5 DID以外の宅地: 0.3 その他: 0

$$\text{地下浸透量}(\text{m}^3/\text{年}) = R - E - Q$$

それぞれのメッシュに対し水がどの方向に、すなわち隣接するどのメッシュに流出するかを、メッシュの傾斜の向きに基づいて決定する。ただし都市部では、流出量は下水管渠への流入になるので自然系だけでは水の動きをあらわすことが出来ない。

(2) 人工系の水量の推定

浄水場等の取水口、地下水揚水口があるメッシュは取水量($\text{m}^3/\text{年}$)をメッシュからの流出と考える。一方、利用量($\text{m}^3/\text{年}$)はメッシュへの流入として扱う。

都市での水利用の推定には、福岡市内の109の統計区（国勢調査において設定）のうち、上水道と工業用水道の使用量のデータがそろった85の統計区について単位面積当たりの使用量($\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{km}^2$)を目的変数、人口($\text{人}/\text{km}^2$)、卸売・小売業の年間商品販売額(百万円/年・ km^2)、飲食店年間商品販売額(百万円/年・ km^2)と工業出荷額(百万円/年・ km^2)の4変数を説明変数とした重回帰式を導いて、各メッシュごとの水利用量を推定する [3]。

利用量としてはこのほかに農業系の利用が考えられるが、その推定については次式を用いる：

$$\text{農業系利用量}(\text{m}^3/\text{年}) = \text{雨水利用量}(\text{m}^3/\text{年}) + \text{灌漑用水利用量}(\text{m}^3/\text{年}) + \text{畜産用水利用量}(\text{m}^3/\text{年})$$

$$\text{雨水利用量}(\text{m}^3/\text{年}) = \text{降水量}(\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{m}^2) \times \text{農地面積}(\text{m}^2)$$

$$\text{灌漑用水利用量}(\text{m}^3/\text{年}) = \text{灌漑用水利用原単位}(\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{m}^2) \times \text{農地面積}(\text{m}^2)$$

$$\text{畜産用水利用量}(\text{m}^3/\text{年}) = \text{畜産用水利用原単位}(\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{頭}) \times \text{家畜頭数}(\text{頭})$$

ここで、水利用原単位は、農業用水利用計画表の年間需要量 [4] から算出する。農地分類は水田、畑地、果樹園、その他樹木畑、家畜は乳用牛、肉用牛、豚とする。

また、(排水量) = (利用量) と考える。ただし、下水処理排水口、雨水排水口のあるメッシュについて

は排水量を計上することとし、下水処理区域内のメッシュでの排水量は0とする。

2.2 発生負荷量

各メッシュの発生負荷量は以下のようにして推定する [5]。

発生負荷量 (kg/年) = 家庭発生負荷量 (kg/年) + 工業排水負荷量 (kg/年) + 農業排水負荷量 (kg/年)

民生発生負荷量 (kg/年) = 負荷原単位 (kg/人・年) × 昼間人口 (人)

(注) 下水処理区域内のメッシュでは負荷量は0で計上。屎尿処理区域内のメッシュでは屎尿排水負荷量は0で計上。

工業排水負荷量 (kg/年) = Σ (出荷額当たり負荷原単位 (kg/100万円) × 出荷額 (100万円/年))

(注) 下水処理区域内のメッシュでは工業排水負荷量は0で計上。

農業排水負荷量 (kg/年) = 農地負荷量 (kg/年) + 畜産負荷量 (kg/年)

農地負荷量 (kg/年) = 農地負荷原単位 (kg/年・km²) × 農地面積 (km²)

畜産負荷量 (kg/年) = 畜産負荷原単位 (kg/年・頭) × 家畜頭数 (頭)

このほか、下水処理排水口のあるメッシュでは、発生負荷量には、次の下水処理水負荷量を加わる。

下水処理負荷量 (kg/年) = 処理水量 (m³/年) × 処理水濃度 (kg/m³)

ここで、処理水量 (m³/年)、処理水濃度 (kg/m³) には実測データを用いる。

さらに、屎尿処理場の負荷も加える。

屎尿処理負荷 (kg/年) = 屎尿原単位 (kg/人・年) × 処理区域内人口 (人) × 処理率

水量と同様にそれぞれのメッシュに対し負荷が隣接するどのメッシュに移動するかを次式で求める。

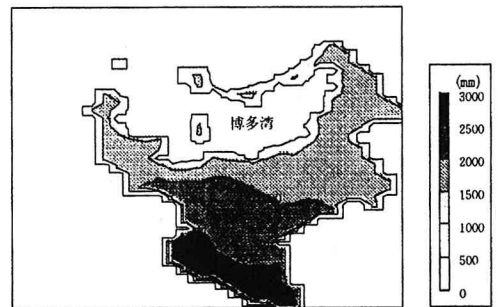


図1 降水量

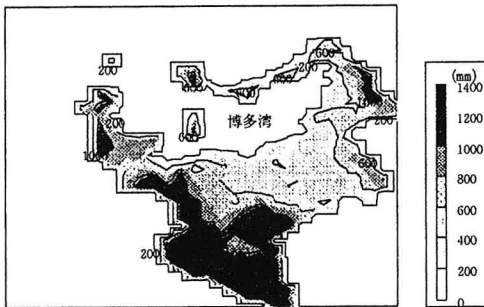


図2 蒸発散量

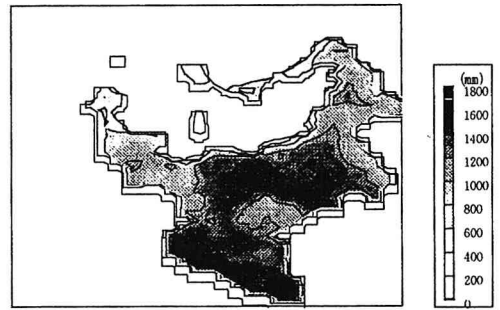


図3 賦存量

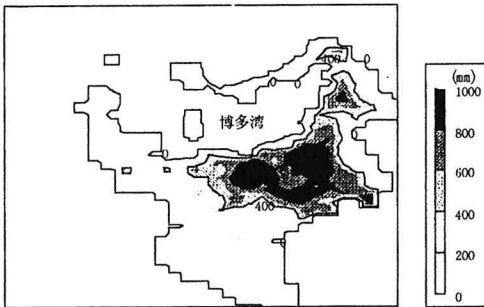


図4 流出量

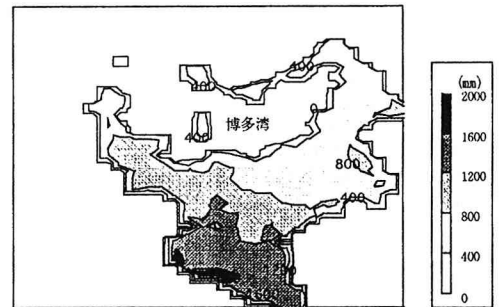


図5 浸透量

$$\text{流出負荷量 (kg/年)} = \{ (\text{河川でないメッシュからの流入負荷量 (kg/年)} + \text{発生負荷量 (kg/年)}) \times \text{流達率} + \text{河川のメッシュからの流入負荷量} \} \times (1 - c \theta)$$

cは自浄作用を示すもので、河川1メッシュを流下すると負荷は、 $(1 - c)$ 倍になる。また河川でないメッシュではこの項は関係しない(係数 θ :河川のメッシュでは $\theta = 1$ 、その他のメッシュでは $\theta = 0$)

3. 推定結果

3.1 自然系の水量の推定結果

降水量、蒸発散量、賦存量、流出量、地下浸透量の推定結果を図1～5に示す。降水量は、市の南部の山地部で多い。蒸発散は、開発が進み被覆面が多い都心部では非常に小さな値になっている。賦存量は、郊外よりも都心部で大きな値になっている。流出は、都心部以外ではあまり見られない。地下浸透量も南部の未開発地域で多く見られる。ここで被覆地の多い都心部と、メッシュ内の人口が最高であった住宅地、水田の多い郊外、森林の4メッシュ間で、浸透量、流出量、蒸発散量の比較をしたものが図6である。それぞれのメッシュの土地利用の百分率を表1に示す。都心部では降水量の半分が流出しているが、森林では、蒸発散と地下浸透のみである。賦存量は、都心部で大きい値を示しているが、ほとんど利用されことなく河川へ排出されていると考えられる。

3.2 人工系の水量の推定結果

2.1 (2)で提案した回帰式としては次式を得た(相関係数 $r = 9.377$):

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4$$

$$a_0 = 155699.34, a_1 = 80.50, a_2 = 84.67, a_3 = 0.32, a_4 = 7883$$

ただし、

Y:単位面積当たりの水使用量($\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{km}^2$)

X_1 :人口(人/ km^2), X_2 :卸売・小売業の年間商品販売額(百万円/ $\text{年} \cdot \text{km}^2$)

X_3 :飲食店年間商品販売額(百万円/ $\text{年} \cdot \text{km}^2$), X_4 :工業出荷額(百万円/ $\text{年} \cdot \text{km}^2$)

実測水量と回帰式による予想水量の相関を表したのが図7である。回帰式から各メッシュの生活用水と工業用水を合わせた都市用水利用量の推定値を図8に示す。農業用水の利用量を図9に示す。都市用水の大部分

表1 土地利用 (%)

	田	果樹園	森林	建物用地	幹線交通用地	その他の用地	内水地
都心部	0	0	2.5	75.12	9.55	1.21	11.78
住宅地	0	0	3.27	65.81	6.04	24.91	0
農地	61.93	0.05	0	26.82	0	8.77	2.65
森林	0	0	100	0	0	0	0

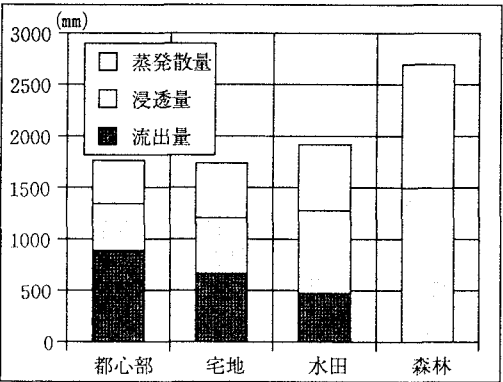


図6 メッシュ間比較

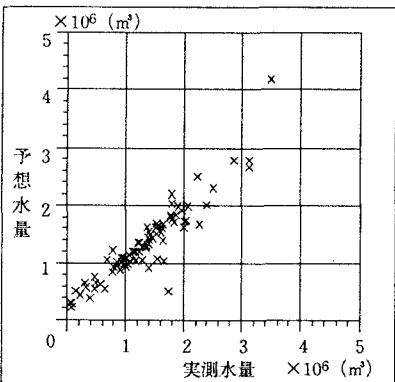


図7 実測—予想水量

は、都心部で使われ、農業用水は郊外で利用されている。商業都市である福岡市でさえ、両者を利用量で比較すると農業用水の利用量 $1.89 \times 10^8 \text{ m}^3$ に対して都市用水利用量は $1.38 \times 10^8 \text{ m}^3$ と農業用水の方が大きくなっているが、農業の水利用は一般に自然の中に組み込まれたシステムとして利用されているところに大きな特徴がある。農業用水利用の内訳を図10に示す。農業用水の大部分を占める水田においては、梅雨期の雨水を出来るだけ利用して田植えを行う。田面の水は蒸発散や地下浸透により消費されるが、排水路に流出した水は、下流で反復利用され、浸透した水は地下水をかん養している。この様に水田などでは自然と調和した水利用を行っている。また、水の量的収支だけではなく、環境に与える影響及ぼす質的效果も含めて評価していく必要がある。今後、2.で示した推定方法により環境負荷を中心に水資源勘定を行っていく予定である。

4. まとめ

各メッシュで降水後に蒸発散、地下浸透、流出する量を推定した。

自然、人工系の両者について都市での水利用量の推定モデルを提出しそれを福岡市に適用した。

福岡市の水の賦存量は、 $3.71 \times 10^8 \text{ m}^3$ あり、農業用水及び都市用水としての利用量の総和よりも大きい。しかしながら、市外からの受水に頼っているという現状がある。都市内の雨水を有効利用するシステムの構築が必要である。

本論文では、水資源勘定のうちの物理的勘定にとどまざるを得なかった。さらに、物理的勘定の中でも主として水量に着目した勘定にとどまっているが、次のステップとして環境負荷の検討に着手する予定である。経済的勘定については、水資源利用の経済的価値、下水道による浄化コスト等の直接的把握の容易なものをから実行していきたい。

《参考文献》

- [1] 国土庁：国土数値情報（磁気テープ）
- [2] 砂防学会：砂防学講座第2巻土砂の生育・水の流出と森林の影響，山海堂，pp192-198
- [3] 福岡市：福岡市メッシュ統計
- [4] 福岡県：福岡県水資源総合利用計画S.58，pp39
- [5] 武内和彦、恒川篤史：環境資源と情報システム，古今書院，pp179-187

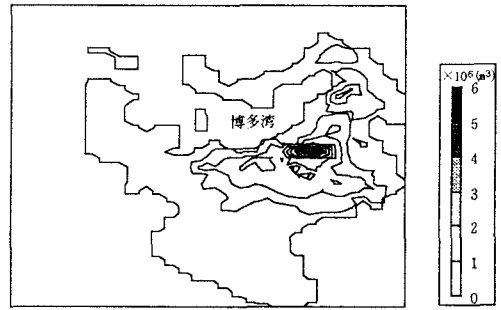


図8 都市用水利用量

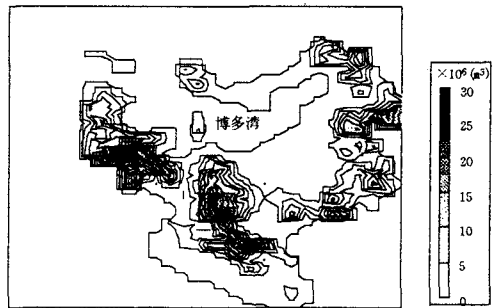


図9 農業用水利用量

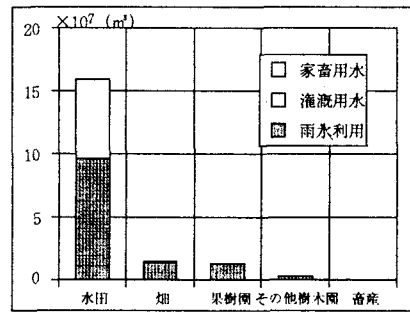


図10 農業用水利用内訳