

都市河川流域における簡易な水収支モデル

Development of a simplified Water Balance Model in an Urban watershed

小林裕明*, 末次忠司*, 栗城 稔**, 木内 豪*

Hiroaki KOBAYASHI*, Tadashi SUETSUGI*, Minoru KURIKI**, Tsuyoshi KINOUCHI*

ABSTRACT ; Urban surfaces covered with asphalt and concrete have been changing hydrological cycle in urban river basin. To assess the effects of various measures for conserving natural water balance , its appropriate quantification must be carried out.

As a detailed model for estimating hydrological cycle requires a lot of hydrologic data and computational resource. We tried to buildup a simple model which utilize existent data source to grasp monthly water balance. The model was applied to the Tsurumi river basin to verify the accuracy in estimating flow rate and other hydrological variables. It is found that the model is likely to be useful in assessing monthly water balance both in rainfall and non-rainfall periods.

KEYWORDS ; Water balance model , Hydrological cycle , Urban watershed , Tsurumi-river , Run-off

1.はじめに

都市化の進展により地表面がアスファルトやコンクリートで覆われ、浸透域が減少したため、洪水流量が増加する一方で、平常時の河川流量の減少を招いた。河川流量の低下は、地下水位の低下とあいまって、河川水質を悪化させたり、都市の水循環を急激に変化させてきた。水循環の現況を再現したり、将来の水循環の予測を行うために、分布・物理型の精度の高い水循環モデルの開発が盛んに行われているが、これら精緻なモデルにおいては必要とする水文データやパラメータも多くなるなど課題も多い。

そこで、既存のメッシュデータ等を用いた、複雑な物理式を要しない簡便なモデルの開発が課題となっている。メッシュデータを用いた水収支モデルについては、例えば、村岡ら¹⁾が年単位での水文サイクルの定量化に関する検討を行っている。

本研究では、月単位の水収支が把握できる、簡便な水収支モデルを構築し、実流域での検証を試みた。

2.対象流域の概要

対象流域は、典型的な都市河川流域である鶴見川流域とした。鶴見川は、東京都町田市を水源地として多摩丘陵を流下し、横浜市鶴見区で東京湾に注ぐ流域面積 235km²、幹線流路延長 42.5km の一級河川である。流域は標高 80~170m という低い丘陵が分水界で、流域の 7 割が丘陵・台地、3 割が沖積平野で構成されている。横浜市・川崎市という大都市をかかえ、東京に近いという恵まれた立地条件から、急速な市街化が進んできた。平成 6 年における流域内行政区域人口は約 480 万人である。

* 建設省土木研究所河川部都市河川研究室 Urban River Division , River Department , Public Works Research Institute , MOC
**アジア開発銀行 The Asian Development Bank

3.水収支モデル

3.1 流域データ

収集した流域データは人口、上水道、下水道、土地利用、気象、河川流量などで、平成 5 年度のデータを収集した。平成 5 年度のデータが無い場合には、最も近い年次のデータを補正することにより補間した。収集した流域データを表-1 に示す。

表-1 利用した流域データ

データ項目	資料・文献名	データ年次	入手先
土地利用	国土数値情報「土地利用面積」	H3	日本地図センター
土地利用	1/25,000 地形図	H4-5	国土地理院
人口、世帯数	メッシュ別集計結果報告書	H2	日本統計協会
事業所数、従業者数	メッシュ別集計結果報告書	H3	日本統計協会
下水処理量	水道事業統計年報等	H5	横浜市水道局、川崎市水道局、町田市水道部
降水量、気温、日射量、風速、雲量	気象庁月報	H5	気象庁
河川流量	鶴見川時刻流量旬報	H5	京浜工事事務所

3.2 水収支モデルの構造

水収支モデルは主に以下の 1)～3) の条件を満たすように作成した。

- 1) 月単位の流域水収支を把握できる
- 2) 人工系と自然系の水収支の両方を扱うことができる
- 3) 流域内を小分割し、面的な水収支特性を表現できる

水収支モデルは、地表面流出、土壌層および地下水層の流出を相互関係も含めて解析するものである。地表面流出は、流域を一辺約 250m のメッシュ (3,828 個) に分割し、各メッシュ内の水は、最も近い河川に流下(貯留)すると設定した。モデルの構造を図-1 に示す。

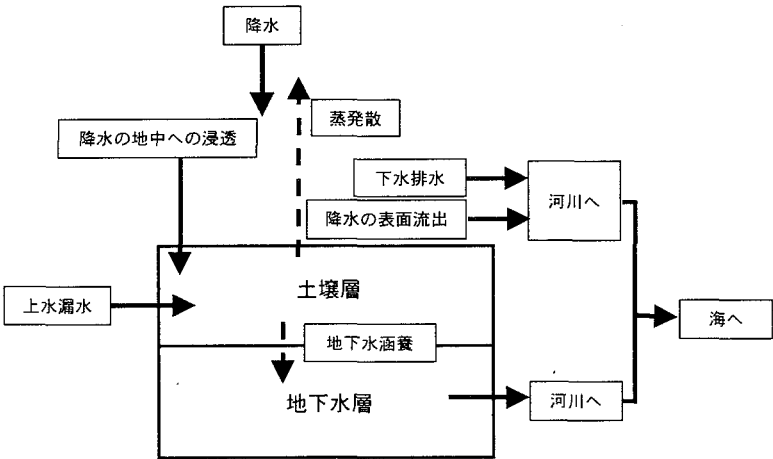


図-1 モデルの構造

地表面においては土地利用に応じた降水の表面流出分と下水排水・側溝排水がすべて鶴見川本川あるいは支川に流入する。土壌層の流入要素は、降水から蒸発散および表面流出分を差し引いた量の浸透と上水道からの漏水である。また、土壌層での流出要素は地下水層への浸透であり、これは土壌層の水分量が一定値(最

大土壌水分量とした)を越えると、その超過分だけ地下水層に流出(すなわち地下水層を涵養)すると仮定し、海への浸出は考えていない。

地下水層内の水は、水平方向のみに移動し、地表面で設定されている流出経路と同じ方向で河川まで流下すると仮定した。以下に水収支要素の設定方法を示す。

[降水の表面流出量]

降水量は横浜地方気象台の降水量データを全流域一様として与えた。降水の表面流出量を求めるための各メッシュの流出係数は、国土数値情報の土地利用面積ファイルから求めた土地利用別面積占有率を用いて、以下の式により算定した。

$$\begin{aligned} \text{メッシュ A の流出係数} &= \Sigma (\text{土地利用 i の占有率} \times \text{土地利用 i の流出係数}) \\ &= [\text{自然}] \text{占有率} \times 0.20 + [\text{住居}] \text{占有率} \times 0.85 + [\text{公共}] \text{占有率} \times 0.80 \\ &\quad + [\text{商工業}] \text{占有率} \times 0.90 + [\text{道路}] \text{占有率} \times 0.85 \end{aligned}$$

[上水量]

上水道より供給される水の全量が時間差なく下水道に放出されるものと仮定した。また、浄水場から利用者へ配水される過程において、平均約 10% が漏水していると言われており、1 人 1 日当りの配水量が 0.431m^3 と仮定して²⁾、以下の式により漏水量を算出して、各メッシュの漏水量とした。

$$\begin{aligned} \text{漏水量}(\text{m}^3/\text{メッシュ} \cdot \text{日}) &= \\ &1 \text{ 人 1 日当りの水道配水量}(0.431\text{m}^3/\text{人} \cdot \text{日}) \times \text{漏水率}(10\%) \times \text{メッシュ内人口}(\text{人}) \end{aligned}$$

[下水量]

各メッシュの下水量の算定は、まず、各河川に排出している下水処理場の処理区域を把握し、各処理区域における月ごとの下水処理量と人口から、各処理施設毎の 1 人当りの下水処理量を算定し、各メッシュ内人口に応じて月ごとの下水量を算定した。なお、未整備地区については、平均的な 1 人 1 日当りの下水排出量として水資源要覧より $0.263\text{m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$ と仮定し、それにメッシュ内人口を乗じたものを当該メッシュの下水量と仮定した。

[蒸発散量]

蒸発散量の推定には、蒸発計蒸発量に経験的な定数を乗じて求める方法と気候資料から可能蒸発散量を求め、それから実蒸発散量を算定する方法があるが³⁾、ここでは後者の方法を採用し、熱収支法と空気力学法を組み合わせ導いた以下に示すペンマン法を用いて算定した。なお、水平面日射量等の気象条件は横浜地方気象台の値を全流域で一様と仮定して与えた。

$$E_0 = \frac{\left(\frac{Q^*}{\rho \ell}\right) \Delta + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad \cdots \cdots (1)$$

$$Q^* = (1 - \alpha)RI + RB \quad \cdots \cdots (2)$$

$$RB = \varepsilon \sigma T_a^4 \left(1 - a - b\sqrt{e_a}\right) (1 - Cn^2) \quad \cdots \cdots (3)$$

$$E_a = (0.013 + 0.00016U_2)(e_{sa} - e_a) \quad \cdots \cdots (4)$$

ここで、 E_0 ：ペンマン式による可能蒸発量、 Q^* ：正味放射量、 ρ ：水の密度、 ℓ ：水の気化熱、 γ ：乾湿計定数、 Δ ：気温 T_a における飽和水蒸気圧曲線の勾配、 E_a ：空気力学的効果による蒸発を表す項、 α ：アルベド、 RI ：水平面日射量、 RB ：長波の正味放射量、 ε ：射出率、 σ ：ステファン・ボルツマン定数、 T_a ：気温、 e_a ：空気の水蒸気圧、 a, b ：定数($a=0.51, b=0.066$)、 C ：緯度によって変化する係数、 n ：雲量($0 \sim 1.0$)、 U_2 ：地上 2m の風速、 e_{sa} ：気温 T_a における飽和水蒸気圧

以上の方法により求めた可能蒸発散量に表-2 に示す経験的定数 f を乗じ、さらに、土壌水分量との対比により実蒸発散量を求めた。

表-2 f の値 ³⁾

季 節	f
11～2 月	0.6
3 月～4 月, 9 月～10 月	0.7
5 月～8 月	0.8
年平均	0.75

なお、土壌からの蒸発散はメッシュ内の透水面からのみ生じるため、各メッシュの透水面積率を、国土数値情報の土地利用面積ファイルから求めた土地利用別面積占有率を用いて算定した。

メッシュ A の透水面積率 = Σ (土地利用 i の占有率 $\times$ 土地利用 i の透水面積率)

= [自然] 占有率 $\times$ 1.00 + [住居] 占有率 $\times$ 0.50 + [公共] 占有率 $\times$ 0.40

+ [商工業] 占有率 $\times$ 0.20 + [道路] 占有率 $\times$ 0.00 + [河川] 占有率 $\times$ 0.90

4.計算条件および手法

計算条件および手法を以下に示す。

対象年次：平成 5 年度

対象河川：鶴見川本川およびその 3 次支川までを対象とした

設定パラメータ：計算においては、初期土壌水分量、最大土壌水分量、蒸発散量の係数 f の 3 つのパラメータを設定することができる。今回の計算において用いた値を表-3 に示す。

計算単位： $\Delta t=1$ 日で 365 日間

土壌水分量：計算開始後、土壌水分量の値が安定するのに、少なくとも 3～4 ヶ月程度の計算が必要であったため、プレ計算として、同一のデータセットを用いて 1 年度分の計算を行い、得られた結果を土壌水分量の初期値とした

出力データ：土壌水分量、地下水層水分量、蒸発散量、河川流量

計算結果の出力単位：1 ヶ月

計算ステップ：

- ①降水(表面流出分)と下水排水の河川への流入、降水(表面流出分を差し引いた分)の土壌層への浸透
- ②気象条件から可能蒸発散量を計算し、それに経験的係数を乗じたものと土壌水分量との対比により実蒸発散量を算定
- ③地下水涵養量並びに土壌水分量の算定(各メッシュ土壌層の水分貯留量の確定)
- ④地下水層内の水の移動(メッシュ内水量の 1/10 が 1 日の内に隣のメッシュに移動すると仮定)→各メッシュ地下水層内の水分貯留量の確定

表-3 計算に用いた各パラメータ値

初期土壌水分量(mm)	最大土壌水分量(mm)	蒸発散量の係数 f
25.0	350.0	0.75

5.計算結果

計算結果については、流域内にある 6 箇所 の河川流量測定地点での実測値を用いて、計算された河川流量との適合性の検討を行った。流域内の河川流量測定地点を図-2 に、また、各測定地点における実測流量と計算流量との比較を図-3 に示す。

実測流量の小さい鳥山地点において計算流量が過大になっている以外は、良好な結果となっている。鳥山

地点において計算流量が過大に算定された要因としては、モデルにおいて設定した流向が実際の流向と異なっている可能性や鳥山川の流域における実際の下水量と計算により推定した下水量との剥離(この区域は合流式なので、区域に降った雨の多くは、実際には流量観測地点より下流側に放流され、鳥山地点の観測値には含まれない)などが考えられる。

また、設定したパラメータのうち、最大土壌水分量を 250~450mm、蒸発散量の係数 f を 0.60~0.80 とそれぞれ変化させて、河川流量の感度を確認したが、計算値に大きな差異はみられなかった。

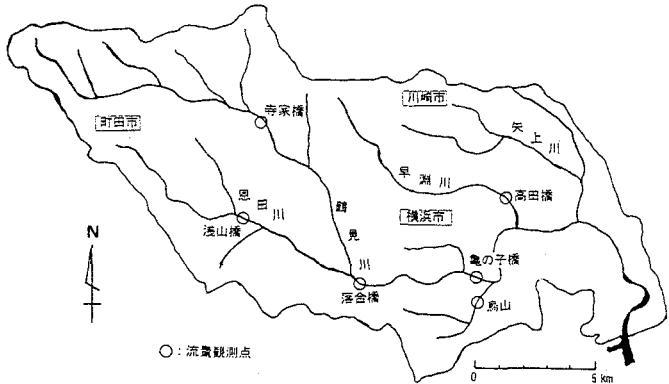


図-2 河川流量測定地点

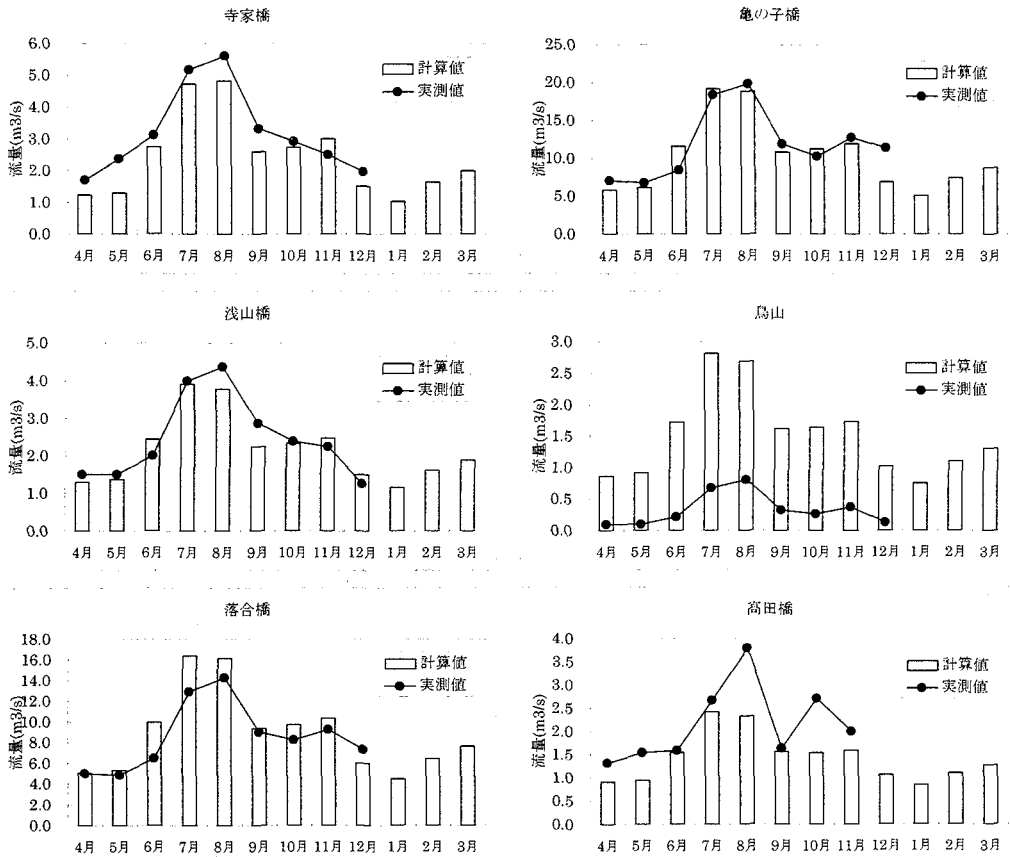


図-3 実測流量と計算流量との比較

6.おわりに

既存の水文資料等を用いて月単位の水収支が把握できる簡便な水収支モデルを作成し、鶴見川流域に適用した。厳密な水の流れは計算していないが、鶴見川流域の大まかな水の流れは把握できたものと思われる。

今後、地表面流および地下水流の流向を適切に設定できる方法について検討するとともに、各メッシュの土地利用のよりきめ細かな分類などにより、モデルの精度を一層向上させていきたい。

参考文献

- 1)村岡浩爾，瀬岡正彦：メッシュデータを用いた都市水文サイクルの定量化の試み，水文・水資源学会発表会要旨集，1991
- 2)数字で見る環境 環境保全資料集 1994 年度版，東京都
- 3)樫根勇：自然地理学講座 3 水文学，大明堂，1992