

都市の中小河川の水量・水質の日変化と流域状況の対応について
Diurnal Variation of River Flow Rate and Water Quality in an Urban Area

東京工業大学工学部 正員 石川 忠 晴 Tadaharu ISHIKAWA
東京工業大学大学院 学生員 木 内 豪 Tsuyoshi KINOCHI
東京工業大学大学院 学生員 川 端 一 嘉 Kazuyoshi KAWABATA
東京工業大学工学部 学生員 広 兼 克 憲 Katsunori HIROKANE

The flow rate and the water quality in urban small rivers show diurnal variations which are caused by human activity in catchment areas.

In this paper, detailed data on the diurnal variation in the Hikiji River are presented. The catchment area of the river is well urbanized, but sewage treatment facilities are not completed.

A simple transport model based on unsteady flow calculation is presented in order to relate the diurnal variation of the river flow to the discharge from residential areas which do not have sewage treatment facilities. The model successfully reproduces hourly variations of the flow rate, the BOD₅ concentration and the NH₄⁺ concentration.

Key words : Urban river, Diurnal variation, Water quality

1 はじめに

近年、都市河川の有する水辺空間が都市環境を形成する重要なファクタとして見直されてきている。また河川計画においても、治水、利水と調和の取れた形での河川環境管理が重要な課題となってきた。これに伴い、多くの河川において水辺環境改善のための事業へ投資が始められている。しかしその中身を見ると、単に空き地としての水辺を借用するだけの公園計画も少なくない。

言うまでもなく、河川はその流水の水量と水質によって特徴付けられるものであるから、水辺空間の利用計画の策定にあたっては、流域における土地利用、人口分布、水使用、排水施設の整備状況に基づく将来の水量と水質の予測を踏まえていることが望ましい。また、流況の著しい悪化が予測される場合には、流量や水質の改善施設を計画の中に盛り込む必要が生じよう。

ところで、都市の中小河川の水量、水質は強い日変化を示すことが多い。それゆえ水環境を捉える場合に時間的な変化を考慮しなければならない。この日変化は少数の河川で計測されてはいるものの、流域状況との対応において定量的に論じられるには到っていない。

そこで本研究では、上で述べた河川流況予測及び管理手法の確立に資する目的で、神奈川県の大和市の代表的都市河川である引地川において流量と水質の日変化を観測し、流域の人口分布との対応関係を検討している。

2 流域概要

引地川は神奈川県大和市の防災調整池である上草柳調整池を水源とし、洪積台地に刻まれた谷地を下り、流程中端で厚木飛行場から流出する蓼川と合流し藤沢市鵠沼で相模湾に注ぐ、延長20.71km、流域面積50.49 km² の二級河川である。今回の観測は上流の大和市で行われた。その部分の流域図を図1に示す。この地域は相模鉄道線より下流で近年市街化が著しく、それを追って下水道の整備が進行中である。図中のハッチをした部分は隣接する境川流域の下水処理場の処理区であり、この地区の汚水は引地川には流入しない。×印は後述する極めてリン酸イオン濃度の高い排水を出す排水口的位置を示す。また、△印は主な工場の位置、数字は日排水量である。観測地点を図中に○印で示してある。

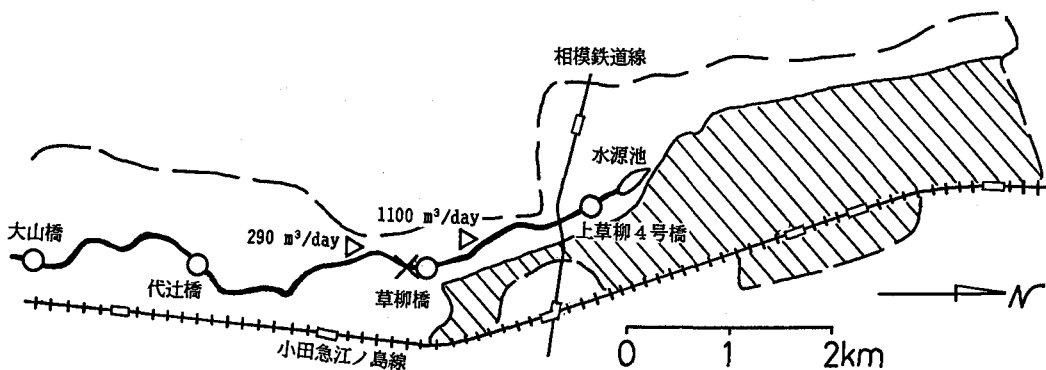


図1 流域図

図2-aは流下距離と流域面積の関係を示している。流下距離ゼロでもかなりの流域面積があるのは、水源である防災調整池に背後の鶴間地区の雨水排水が入っているためである。この部分を除けば流下距離と流域面積は概ね比例している。図2-bは対象としている流域の人口を排水区ごとに集計して作成した、流下距離に沿った人口密度の分布である。ハッチの部分の面積は下水道が完備して汚水が境川に運ばれる地区の人口、白抜きの部分の面積は汚水がそのまま引地川に流入する地区の人口になる。

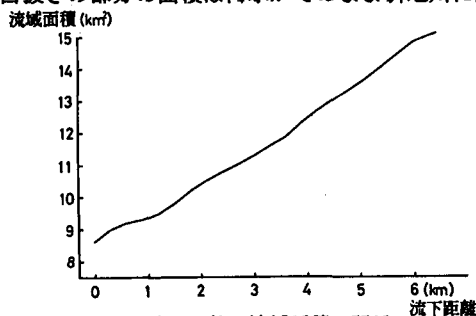


図2-a 流下距離と流域面積の関係

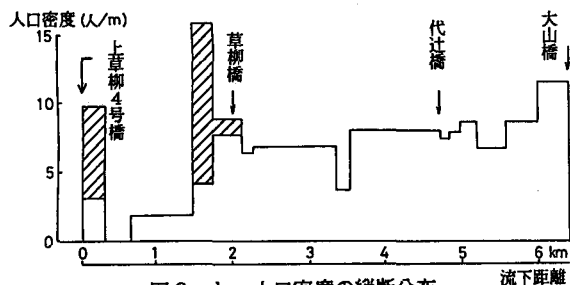


図2-b 人口密度の縦断分布

3 現地観測の概要

現地観測を行った日付けを表1に、測定項目を表2に示す。観測はいずれも火曜日の朝9時または10時から水曜日の朝9時または10時まで、1時間おきで24時間行われている。水質項目の測定は、河川中央部からバケツにより採取した試料を用いた。流量は浮子観測によって予め作成された水位流量曲線を用いて水位より換算されている。浮子観測は河川の5あるいは10mの区間で2、3測線をとって表面浮子により行った。BOD₅は試料を冷却保存して持ち帰り求めた。

表1 観測日程

年・月・日	観測地点名称
'88.10.25-26	大山橋
11. 1- 2	上草柳4号橋
11.18-19	大山橋
11.15-16	代辻橋(排水管)
11.29-30	4地点

表2 観測項目

観測項目	観測方法
水位	量水標
NH ₄ ⁺ , PO ₄ ³⁻	簡易比色計
pH	ガラス電極法
DO	ポーラロ方式DO電極
電気伝導度	導電率測定
SS	後方散乱光強度測定

4 現地観測結果

最下流地点（大山橋）で3度行った観測結果の一部（流量と NH_4^+ ）を図3、図4に示す。後の観測ほど同時刻における流量が少なくなっているのは、晴天が続いて自然的な流入量が減少したためと思われる。一方家庭排水の量は、変動成分の大きさがほぼ同程度であることから、ほとんど変化していないと考えられる。したがって自然流量に対する家庭排水の比率が増加して NH_4^+ の変動が後の観測ほど大きくなっていると考えられる。

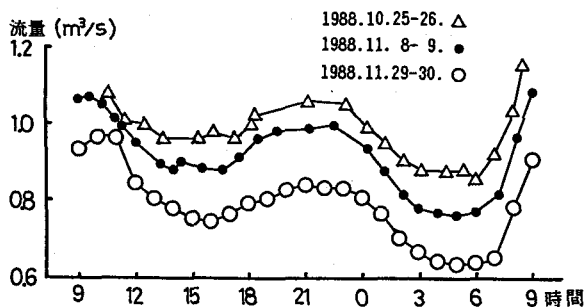


図3 観測結果～流量（大山橋）

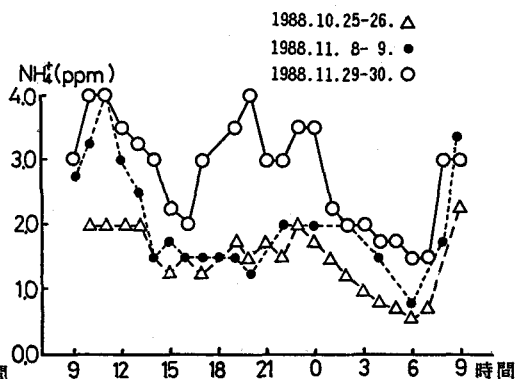


図4 観測結果～ NH_4^+ （大山橋）

図5～8には11月29日～30日に行われた4点同時観測の結果を示す。

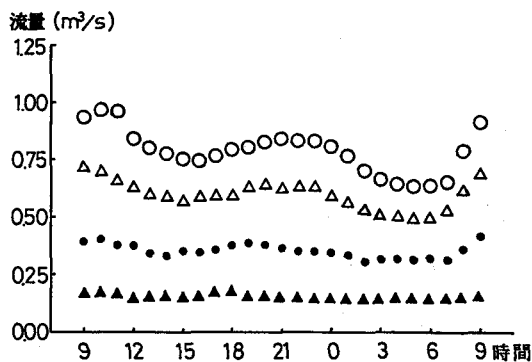


図5 観測結果～流量

○ 大山橋 △ 代辻橋
● 草柳橋 ▲ 上草柳4号橋

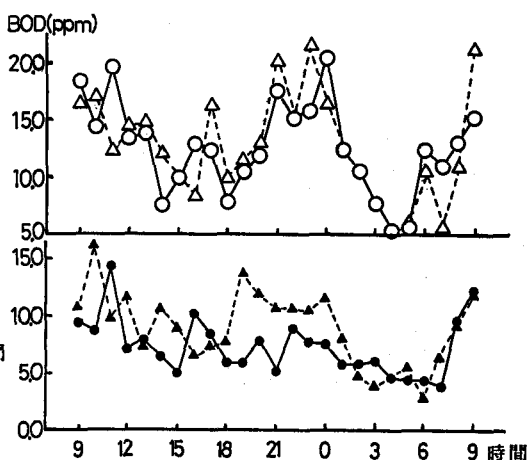


図6 観測結果～BOD

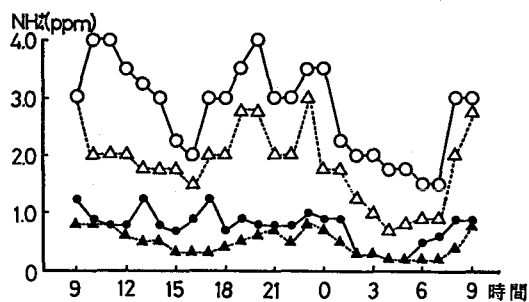


図7 観測結果～ NH_4^+

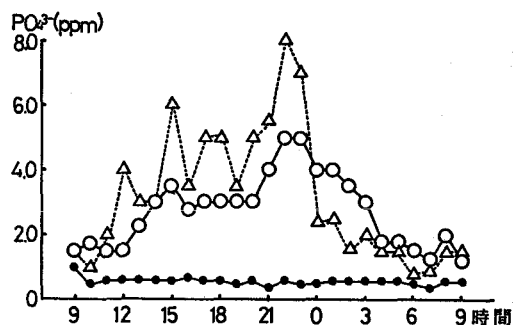


図8 観測結果～ PO_4^{3-}

流量は下流の観測地点ほど顕著な日変動をしている。下流部2地点（大山・代辻橋）でのグラフを見てみると、比較的鋭い午前中のピークに較べ夕方から夜にかけてはなだらかなピークとなっている。これは流域住民の生活パターンが朝は比較的均一であるのに対し、夜は多様であることを反映していると思われる。また、後に述べる生活排水原単位から推測して、午前4時から6時くらいまでの最低流量はほとんどが自然的な流入と考えて良いだろう。

NH_4^+ は流下にともない高い値となっていくのに対し、 PO_4^{3-} については大山橋よりも、一つ上流の代辻橋における濃度の方が14時から22時までには高くなっている。これは図1で×印で示した点に極めて高いリン酸イオン濃度（300ppm）の排水があるためである。この源は定かではないが、恐らく小規模の工場と考えられる。また、 BOD_5 は、最下流点（大山橋）より上流の地点（代辻橋）の濃度が部分的に高くなっている。この原因としては、負荷の沈降・滞留の影響や、自然流入量の区間の変化が考えられる。

表3 DOの日平均値とその変化量（ppm）

表3は、各地点で観測されたDOの日平均値及び各区間内における変化量を示している。これによれば代辻橋から大山橋に到る区間でDOがかなり減少している。このことから、 BOD_5 の同区間における減少は河道内における有機物の分解による可能性が高いと推定される。

地点	上草柳4橋	草柳橋	代辻橋	大山橋
DO平均値	7.5	5.9	6.4	3.0
差		-1.6	0.5	-3.4

5 流域状況との対応による流量・水質予測モデルの構築

将来予測の手法確立の第一段階として、流域状況（人口分布）と河川環境の対応を数値的にシミュレートし観測結果との整合性を検討してみた。

市街化途上の流域をかかえる都市河川における水量・水質の日変化は、各家庭から出される雑排水の排出源の分布、排出量の日変動によって引き起こされるであろうから、動的なモデル化が必要となる。そこで、流れの解析には横流入のある開水路非定常流の基礎方程式（式-1）と連続式（式-2）を用い、また水質の解析には汚濁負荷量に関する連続の式（式-3）を用いた。すなわち、汚濁物の沈降・滞留や生成・消滅はここでは考慮しない。もちろん、河川水質を定量的に評価する上でこれらのファクタが重要であることは疑いない。しかし、それらの定量的評価法自体が一つの難しい課題であることと、その影響の重要度が河川のスケールによって異なることから、ここではまず引地川のような小河川の水質変化に最も大きな影響を与えていると思われる排水負荷の日変動と河川流による移流重合の効果を調べるものである。

$$A \frac{\partial Q}{\partial t} - 2Q \frac{\partial A}{\partial t} - \frac{Q^2}{A} \frac{\partial A}{\partial x} + g A \frac{\partial H}{\partial x} + g \frac{Q^2}{R^3} + Q q_0 = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (QC)}{\partial x} = q_0 C_0 \quad (3)$$

Q: 流量 A: 断面積 H: 水位 n: Manningの粗度係数
 q_0 : 横流入量 C: 濃度 C_0 : 流入汚濁濃度 R: 径深

式-1及び2は、文献(1)を参考に陰形式差分法で解いた。式-3では簡単な差分形式が使われている。境界条件は、上流地点で水量・水質の観測値を、下流地点で流量と水深の関係を与えた。

解析には河道特性として川幅、流下距離、河床勾配、粗度係数の値が必要である。川幅は別途測定した値を用い、流下距離と河床勾配は1/10000の地図から概算した。Manningの粗度係数は、平均流速公式により実測の平均水深と流量の関係から算定した。

河川へ横流入する排水・汚濁負荷量は、その原単位としての日変動パターンが知れば、図2-bに示した白抜きの部分の人口を乗じるにより求まる。当初はその目的のため中流部で河川に注ぎ込む排水の観測も行ったが、排水人口の特定が難しかったため、既存の観測値^{2), 3)}を参考にし図9の様に与えた(排水量は330 l/人・日、BOD₅の負荷量は27 g/人・日となっている)。また、NH₄⁺は一定濃度(10ppm)を与えた。

深夜河川流量の大部分を占める自然流入量は、図2-aより各河道要素が受け持つ流域面積に比例させて与えた。また自然流出の汚濁負荷濃度は、BOD₅については1.0ppm、NH₄⁺については0.5ppmとした。なお、PO₄³⁻

については、先に述べた高濃度の点源排水の日変動観測値が得られなかったため、解析していない。このようにして流量、NH₄⁺、BODについて計算した結果と観測値の比較を図10、図11、図12に各地点ごとに示す。

流量については、計算がうまく実測値を表しているといえるだろう。このことは、自然流入量、排水量原単位の考え方が概ね妥当であったことを意味している。

NH₄⁺のシミュレーションでは、草柳橋、代辻橋においては計算結果が比較的実測値と対応していたが、大山橋においては流量ピーク時に測定値と計算値に若干のずれが生じた。これは、流入する排水中のNH₄⁺を一定濃度で与えたことが影響しているものと思われる。また、BOD₅について見てみると、やはりこれも草柳橋、代辻橋においては良く一致しているのに対し大山橋では深夜の数時間を除いて実測値が計算結果を5ppm程下回っている。これは前述したように、汚濁負荷の沈降、分解が代辻橋から大山橋に到る区間で大きいと考えられる。

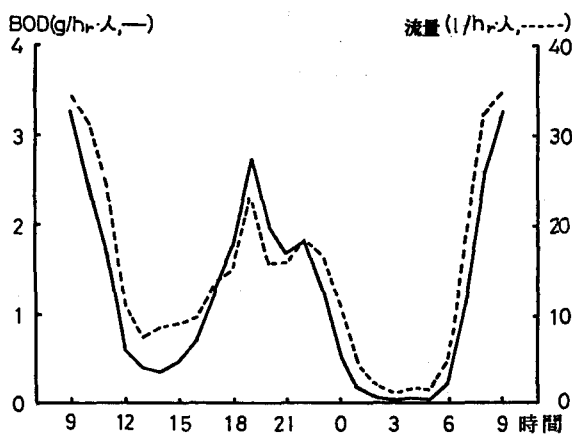


図9 排水・汚濁負荷量原単位

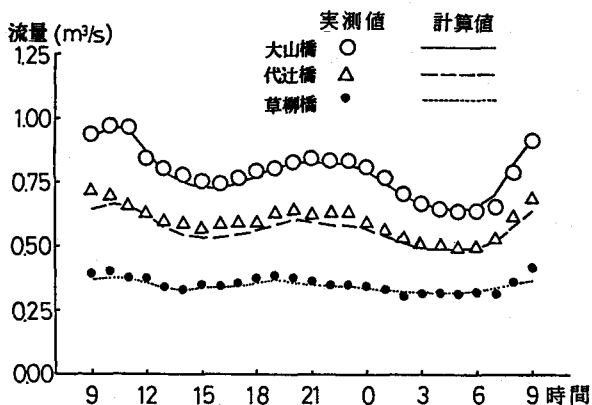


図10 計算値と観測値の比較 (流量)

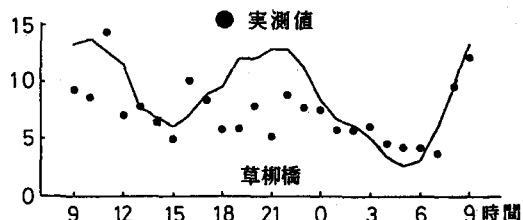
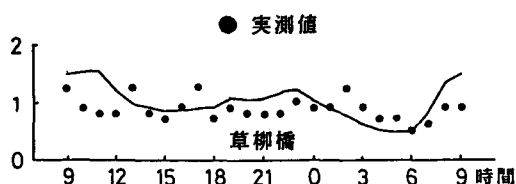
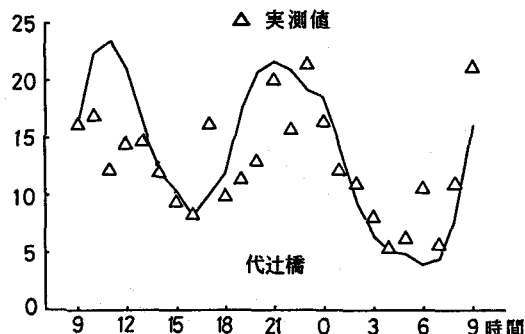
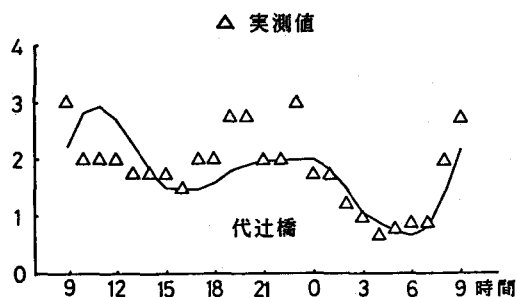
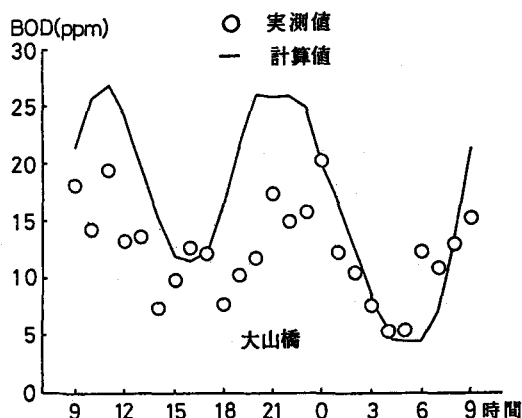
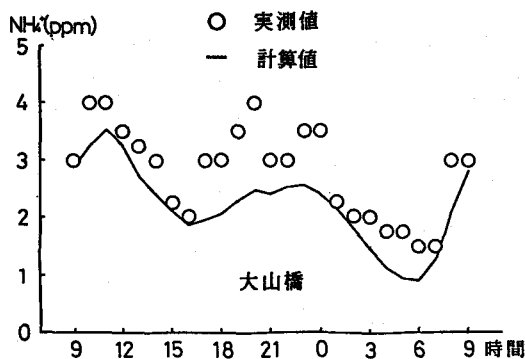


図11 計算値と観測値の比較 (NH_4)

図12 計算値と観測値の比較 (BOD)

6 おわりに

河川の水量・水質の数値シミュレーションを行うにあたり、今回は流域状況のうち排水人口の分布の影響のみを考慮した。その結果、引地川の流量、水質変動のかなりの部分を説明できた。しかし他にも工場、商業地などの影響や、汚濁物の沈降・滞留、生成・消滅など水質に影響を与えるファクタがあり、上に述べた測定値と計算値のギャップはそれらにも依存しているであろう。今後それらの効果を盛り込んで河川流況との対応関係をより明確にしてゆきたいと考えている。なお、流域概要で述べたように、現地観測を行った地域は現在下水道の整備が進められている。したがって、今度はこのモデルに流域状況の変化をインプットして流量・水質の予測をし、後に行う予定の観測で得られる値と比較し再検討していく考えである。

< 参考文献 >

- (1) 須賀、石川、葛西、林 : 瀬田川洗堰ゲート操作にともなう遡上波の数値計算 土木研究所資料、第1759号、1982
- (2) 松井、松沢、矢野、樋口、中沢 : 家庭雑排水の汚濁負荷原単位 用水と廃水、29, pp.144-149, 1987
- (3) 細見、原沢、須藤 : 生活雑排水の汚濁負荷原単位と発生源対策 用水と廃水、30, pp.549-555, 1988