

淵における河川水質の日変化とその予測

野口 正人*・西田 渉*
姜 相赫*・樋渡 智則**
藤崎 将仁***

Diurnal Change of Water Quality in a Pool Managed by
the Nature-Friendly River Work

by

Masato NOGUCHI*, Wataru NISHIDA*, Sang Hyeok KANG*
Toshinori HIWATASHI** and Nobuhito FUJISAKI***

Aiming at the sound and sustainable water environment, river should be managed taking care of the environment in nature. Also in the Honmyo River, nature-friendly river work has been done from 1991, of which influence on river water should be estimated both on the quantitative and qualitative viewpoints.

In this paper, diurnal change of water quality in a pool has been investigated based on a field observation in the Honmyo River. As one of the results, it makes clear that existence of pool gives lots of influences on river water qualitatively, even if its depth is not so deep. From now on, it seems to be more important that the restoration work will be executed as well as decrease of pollutant runoff from the watershed based on the results which has been and will be obtained through this kind of research.

Key Words: river environment, water quality, riffle and pool, field observation

1. 目的

最近、益々、河川環境の整備が叫ばれるようになってきた。河川管理において「多自然型川づくり」や「河川の自然回復」の重要性は改めて言うまでもないが、その目的を達成するためにも、河川の瀬や淵が水質形成に及ぼす役割を明らかにしておく必要がある。長崎県の本明川においては、諫早湾に作られる調整池の富栄養化を防ぐうえからも「水環境（水質）」を良好に保つ配慮が不可欠になっている。このようなことから本研究では、淵における河川水質の形成機構を解明するために、本明川の中下流域に存在する山下淵を取り上げ、現地で水質観測を実施し、観測結果及び数値モデルにより得られた予測結果を用いて河川水質の日

変化についての考察を行った。

2. 観測の概要

前述された目的から、まず、1997年10月15日、10月21日、10月28日に実施された山下淵での水質観測結果について考察が行われた。天候は観測初日以来3週間、無降雨日が続いたためにこの種の観測に最適であった。また、標題の目的を果たすために、1998年5月18日、5月25日に類似の観測が行われた。観測に関する詳しい説明は省略するが、投げ込み式水質計測器（アレック電子製のクロロテック；ACL 1183-PDK）を用いて淵への流入部、流出部と淵の代表地点における表層（層厚：0.6m）、中層（層厚：1.0m）、底層（層

平成11年4月23日受理

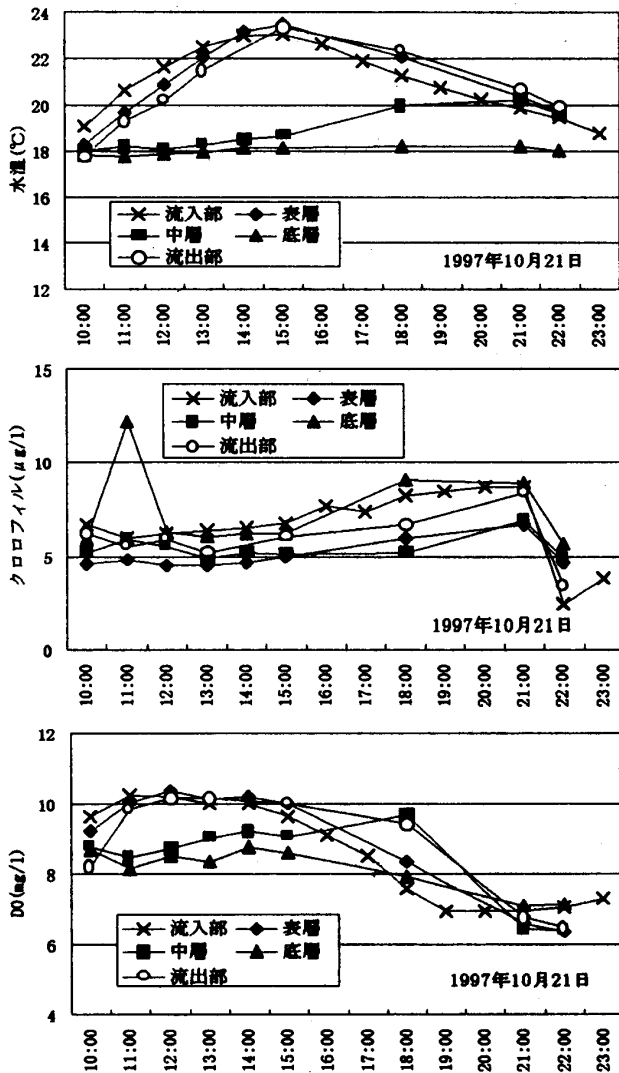
*社会開発工学科（Department of Civil Engineering）

**大学院修士課程社会開発工学専攻（Graduate Student, Department of Civil Engineering）

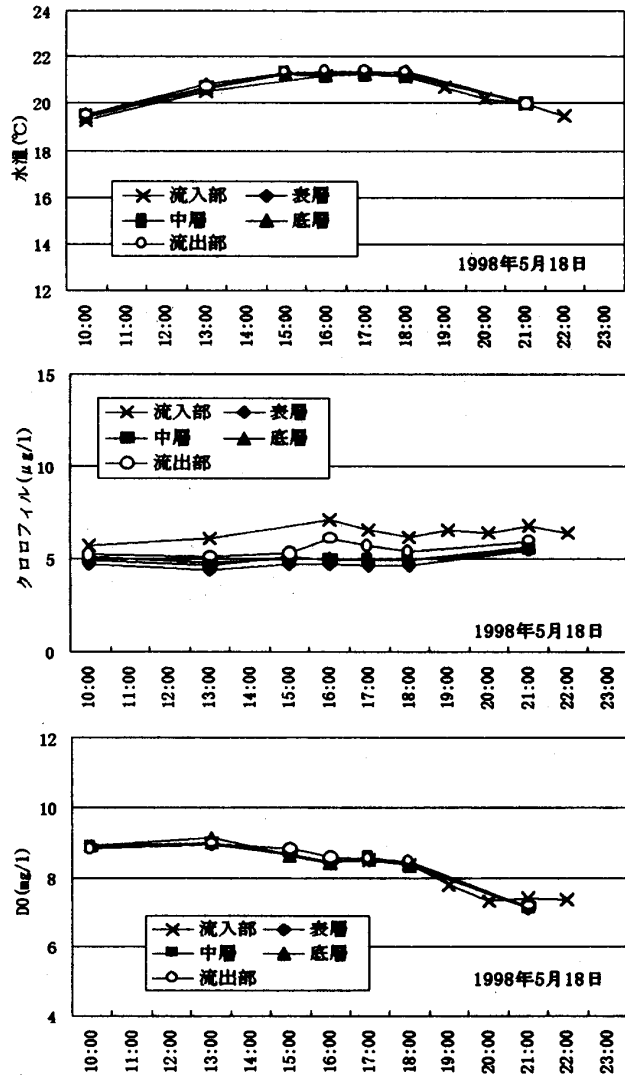
***長崎県庁（Nagasaki Prefectural Office）

厚：1.0 m) で水温，クロロフィル，溶存酸素（溶存酸素の飽和度），濁度，pH，水中光量子<上向き，下向き>が測定された。併せて，採水試料に対して T-N, T-P, BOD, SS が計測された。また，観測データを整理するうえで必要な流量測定ならびに流水断面の測量が簡単になされた。

ここでは，1997年10月21日の観測結果を【図-1】に，1998年5月18日の観測結果を【図-2】に示す。両者の観測結果の違いは自ずと明らかであろう。両観測共，観測前日に僅かの降雨が観測され，その後，観測を実施していた期間中に降雨は見られなかったが，水温の日変化は両者で大きく異なっている。すなわち，1997年の観測では水温の日変化は顕著で，温度成層が発達したのに対して，今回は成層状態は観測されなかった。このような結果が得られた一番の原因は，底層水温と流入水温との関係によるものと考えられる。



【図-1】観測結果 (1997年10月21日)



【図-2】観測結果 (1998年5月18日)

3. 数値モデルを用いた淵での水質予測

淵での水質変化機構を明らかにして，淵が下流河川の水質に及ぼす影響を評価することは重要である。この種の問題に対応する場合，流れの物理的側面のみに言及するだけでは不十分であり，理化学的・生物学的の両側面から検討しなければならない。淵での流れを鉛直方向の変化のみを考慮して解析するときには，物質保存の式は次式で表される。

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{q_i \Psi_i - q_o \Psi_o}{A} - \frac{1}{A} \frac{\partial (A w \Psi)}{\partial z} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial z} \left(A \cdot \epsilon_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + source_{\Psi} \quad (1)$$

(1)式において，Ψ：濃度，q：単位深さあたりの流量，w：鉛直方向の流速，A：水平面積，ε_z：分散係数であ

り, $source_{\nu}$ は単位時間, 単位体積あたりの生成量である。また, 添字の i, o は, 流入, 流出成分を表す。(1)式を熱量ならびに各物質質量に対して表示し, 数値解析を行った。ただ, 今回の解析では運動方程式を直接解かず, 流動層厚を Richardson 数の関数として求めることとした。計算では, 水温 (T), クロロフィル (Ch), 溶存酸素 (D) の収支式を用いており, 各収支式の生成項は以下のとおりに評価された。

$$Source_T = \frac{\phi_s}{\rho c} \cdot (e^{-kz} - e^{-k(z+dz)}) \quad (2)$$

$$Source_{ch} = (\mu_{max} \cdot f(T) \cdot f(I) - \gamma - w_0/d_l) \cdot Ch \quad (3)$$

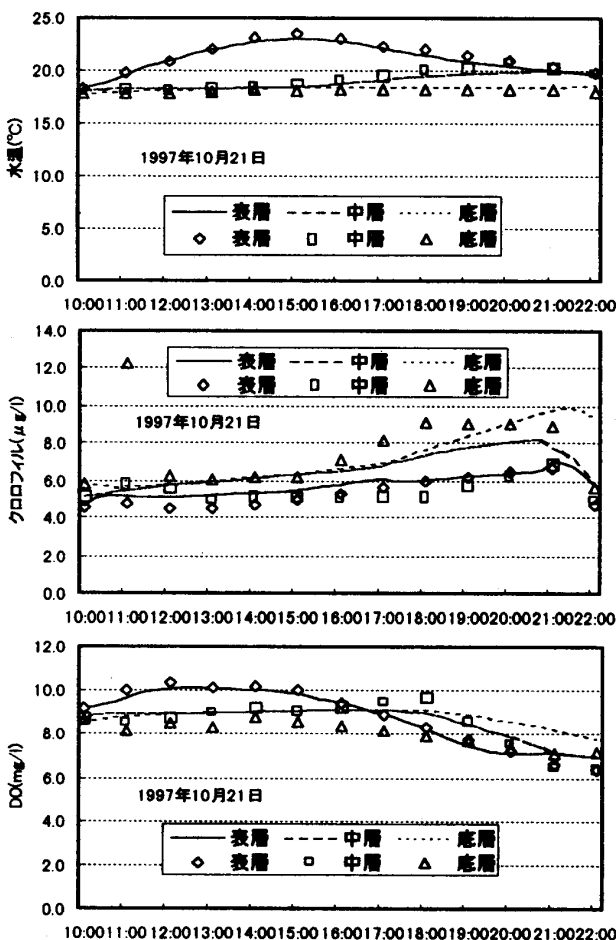
$$Source_D = K_{air} \cdot (D_{sat} - D) + (\alpha_1 \cdot \mu_{max} \cdot f(T) \cdot f(I) - \alpha_2 \cdot \gamma) \cdot Ch - K_{org} \cdot L \quad (4)$$

$$f(T) = \left\{ \frac{T}{T_{opt}} \cdot \exp\left(1 - \frac{T}{T_{opt}}\right) \right\}^2$$

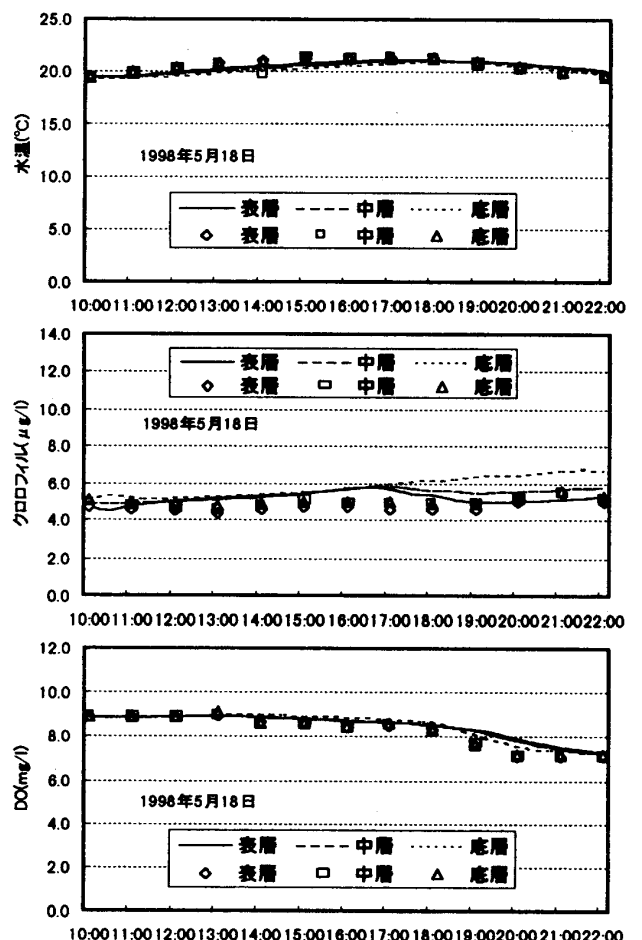
$$f(I) = 1 \text{ (for daytime)}, = 0 \text{ (at night)}$$

(2)式において z 軸は鉛直下向きである。ここで, ϕ_s : 水表面での日射量, ρ : 水の密度, c : 比熱, k : 水中への透過光の消散係数, w_0 : 懸濁物の沈降速度, d_l : 各層の層厚, K_{air} : 再曝気係数, K_{org} : 有機物の酸化に対する係数, D_{sat} : 飽和溶存酸素濃度, μ_{max} , γ はそれぞれクロロフィルの生成・死滅の係数, L : BOD 濃度である。また, $f(T)$, $f(I)$ はそれぞれ水温と日射量に関連した生産率である。これらにより水温については日射の減衰を, クロロフィルについてはクロロフィルの生成・死滅, 沈降の影響を, 溶存酸素については再曝気, 植物プランクトンの光合成・呼吸, 有機物の酸化を見積もった。

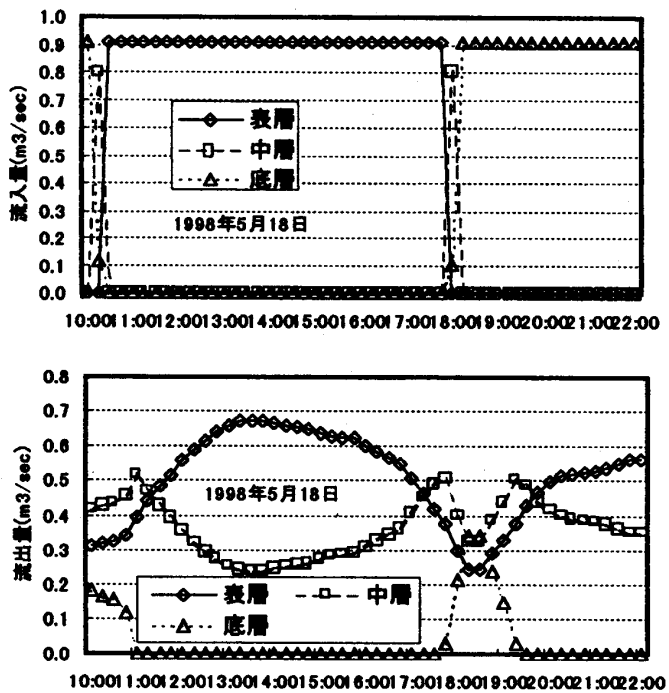
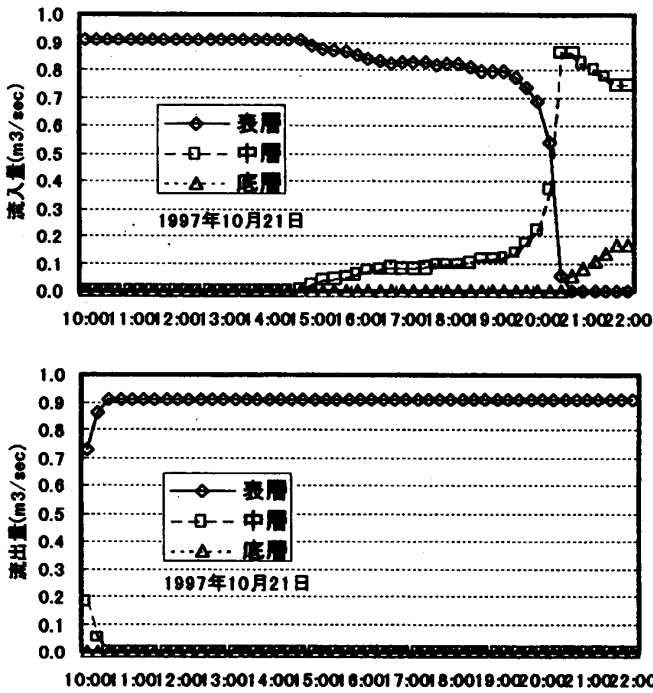
山下淵での水質の日変化を予測する場合, 流れ方向と鉛直方向の移流項, 拡散項, 生成項を考慮し, それらを数値的に解かなければならないが, 全体的なメカニズムを明確にする際, 物理学的, 化学的, 生物学的な観点から実際の現象を考慮する必要がある。温度成層の有無は水の流れに大きく影響を及ぼすことはよく知られているが, 同時に生態系 (例えば, プランクトンの移動等) にも影響を及ぼす。よって正確な水質予



【図-3】水温, クロロフィル, DO の時間的变化



【図-4】水温, クロロフィル, DO の時間的变化



【図-5】流入，流出水から見た流動層の評価

測のためには観測を行い，そこに存在する藻類等の生物の詳細な種類を同定し，それらの活動を認識していくことが重要になってくる。

4. 観測結果と計算結果の比較

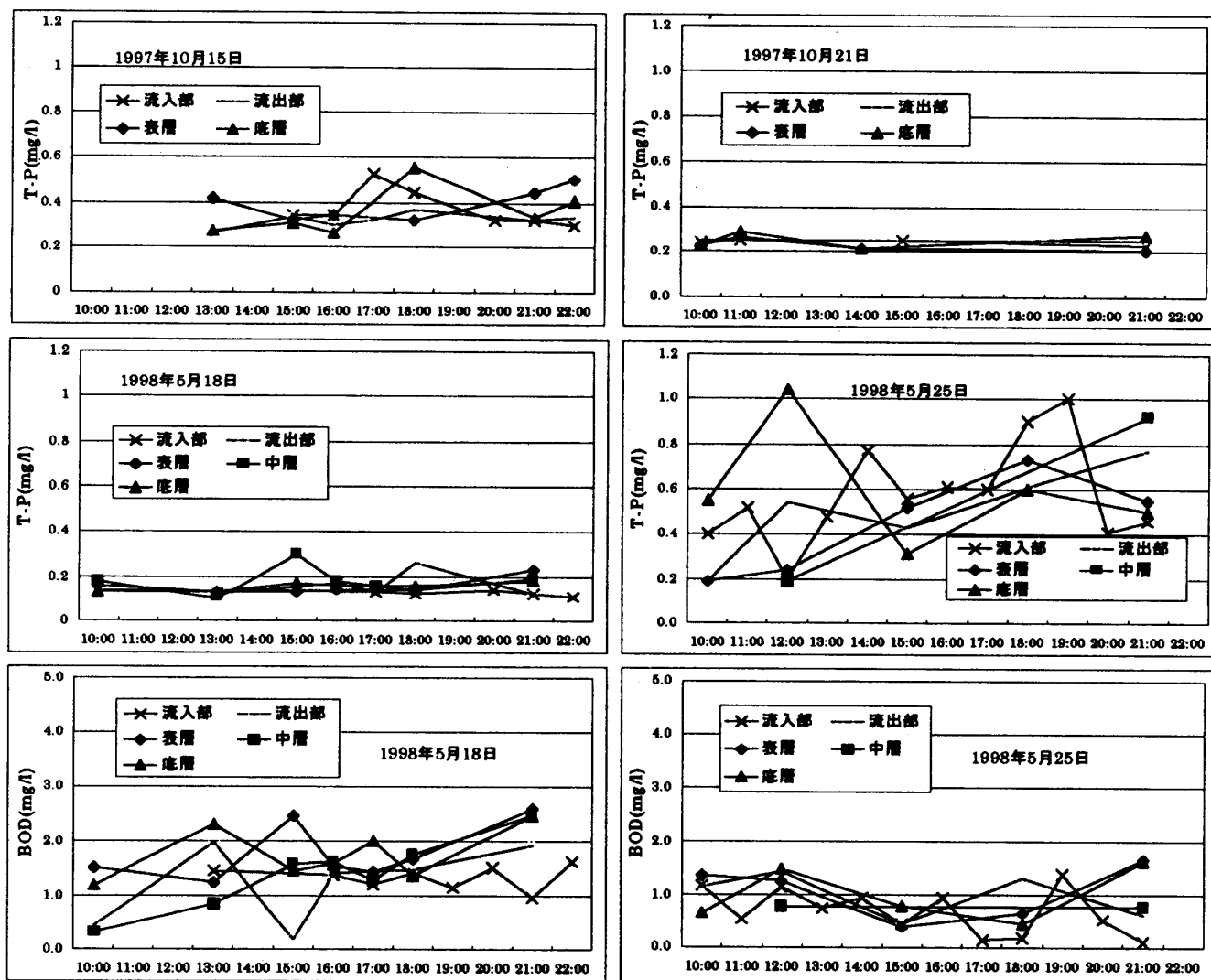
観測の結果を基にして，数値シミュレーションにより計算された山下淵の水質変化は【図-3】，【図-4】のとおりである。両図は上から水温，クロロフィル，溶存酸素の時間的変化を示している。図では観測値を記号で，計算値を曲線で示している。【図-3】では，山下淵における温度成層の状態が良好に表現されている。これにより運動方程式を直接解かれた訳ではないが，淵での流れの様子がかなり正確に予想できていることが示された。クロロフィルと溶存酸素についてもクロロフィルの中層での誤差を除くと観測値と計算値の値がほぼ一致しており良好な結果が示された。次に，【図-4】を見てみると水温は温度成層が見られた場合と同様，良好な結果を示している。クロロフィルと溶存酸素については両者の値がほぼ一致しているもののやはり僅かに差が生じている。クロロフィルと溶存酸素において差が生じた原因は，物理的な現象に比べて生物学的な現象が詳細に表現できなかったためであると考えられる。これらのことより水質予測の困難さが示されたが，今後，生成項の評価をより正確にするため生態系の挙動を詳細に表現する必要がある。因みに【図-5】は兩年の観測時における流入水，流出水

の時間的変化であるが，水温の予測精度を考えれば，この結果は概ね妥当なものと考えられる。

5. 下流河川の水質に及ぼす影響の評価

標題の目的を果たすことは，さ程，容易なことではない。それは，前節で示されたモデルに含まれる係数を適切に評価することの難しさによっていることは当然である。近年，本論で取り上げられたような問題で数値モデルを適用することはごく一般的になった。しかし，水域の生態系のあり様に大きく関係してくる植物プランクトンや藻類は，各種の要因に影響されて複雑な挙動を示すため，その正確な予測はかなり困難である。

【図-6】には，無降雨期間を挟む約1週間のT-P，BODの変化の様子が示されている。通常，雨のない状態が続くと水域への汚濁は点源負荷からのものが支配的になり，水質的には清澄になることが予測される。1997年の結果では概ねそのような結果が得られた。他方，1998年の観測では，BODについては類似の結果が得られているが，T-Pに関しては，得られた結果は予想されたものと大きく異なっている。このような理由は明らかであり，通常観測されるであろう結果と大きく異なっている。すなわち，対象流域での点源汚濁負荷からリンの流入があったためである。社会的活動も，下流河川の水質に大いに関与していることは当然である。



【図-6】T-P ならびに BOD の時間的変化の比較

6. 結論

観測と数値シミュレーションを行った結論として以下のことが明らかになった。

- (1) 同様な天候条件の下でも川の流は必ずしも同じではなく、温度成層が発達する場合としない場合があり、それにより水質変化も異なってくる。
- (2) 水温、クロロフィル、溶存酸素の日変化は日射の影響を強く受けるが、その影響を見積もるために数値モデルを用いて現象相互の関連性を調べ、パラメーターを適切に評価していかなければならない。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、観測等で協力していただいた修士2年の仁木将人氏、谷智氏、修士1年の皆川正司郎氏をはじめとする河川工学研究室の皆様感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Noguchi, M., Nishida, W., Nagaya, T., Mitsu-hara, K., and Tahat, H. M., An estimation of the effects of a nature-friendly levee on the water environment, HYDRA 2000 (Vol. 4), Thomas Telford, London, pp. 405-410, 1995.
- 2) 岩佐義朗・金丸昭治 (1993) : 水理学Ⅱ, 朝倉書店, pp 96-114