

東北大学工学部 正員 平田 強

東北大学工学部 正員 佐藤敦久

仙台市圏の主要な水道水源である釜房湖(昭和45年に完成した多目的ダム湖で総貯水量約4500万 m^3 、湛水面積約3.9 km^2)においてはその水質レベルはすでに富栄養湖のレベルにあり、春季には藍藻(*Synedra* sp.)の増殖、夏季成層期には中・下層における溶存酸素の消失とそれに伴うマンガン・鉄の底泥からの溶出、硫酸水素の発生等が生じており、さらに果実発生等の水質的諸問題が生じてきている。このような貯水池においては、その水体の挙動、特に夏季の成層期における躍層の形成と水質の躍層上下の顕著な差異の検討に際し、流入流出水の性状を知る必要がある。そのため、釜房湖流域内にある三本の流入河川(太郎川、北川、前川)のうち最も湛水面積の大きい前川を選び湖流入点より約500m上流に水温の自動観測計器を取りつけ、その水温の変化を記録させた。本報告はこれまでに得られたデータ(9月27日から12月31日1977)により、その日周変動に対する若干の検討を加えたものである。なお、データの読み取り間隔は30分毎である。

1. 水温の自己共分散関数とパワースペクトルによる周期性の把握

河川水温の変動を明らかにするためにまず水温の時系列データの自己共分散関数 $R(\tau)$ を(1)式により求めた。

$$R(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{j=0}^{N-1-\tau} (X_j - \bar{X})(X_{j+\tau} - \bar{X}) \quad j=0, 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

== したがって、 N : データの個数、 τ : ラグ時間(= データ間隔を除いたもの)、 X_j : j 番目のデータ

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} X_j$$

得られた結果を図-1に示す。 $R(\tau)/R(0)$ はすみやかに減少するが24時間毎に極大値を示し、その振巾は減少せず24時間の周期性が保存されていることがわかる。次により詳細な周期を検討するために水温データのパワースペクトル RP_j を次式(2)により求めた。その結果を

$$RP_j = \frac{2}{N \Delta t} \left[(\Delta t \cdot Re_j)^2 + (\Delta t \cdot Im_j)^2 \right] \quad j=0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2}-1 \quad (2)$$

$$A_j = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot W^{kj} \quad j=0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1 \quad (3)$$

$$W = \exp\left(-\frac{2\pi i}{N} \lambda\right) \quad \lambda = \sqrt{j} \quad (4)$$

== したがって、

N : データの個数、 X_k : $X_k - \bar{X}$,

Δt : データ間隔、 A_j : 離散的フーリエ積分

Re_j, Im_j : A_j の実数部・虚数部

図-2に示す。図から明らかなように、24時間を周期としたパワーが大きく、更に12時間を周期とした成分も顕著であることがわかる。

2. 日単位のデータによる日周性の検討

図-2に示したパワースペクトルにより水温は明確な24、12時間の周期成分を有することが明らか

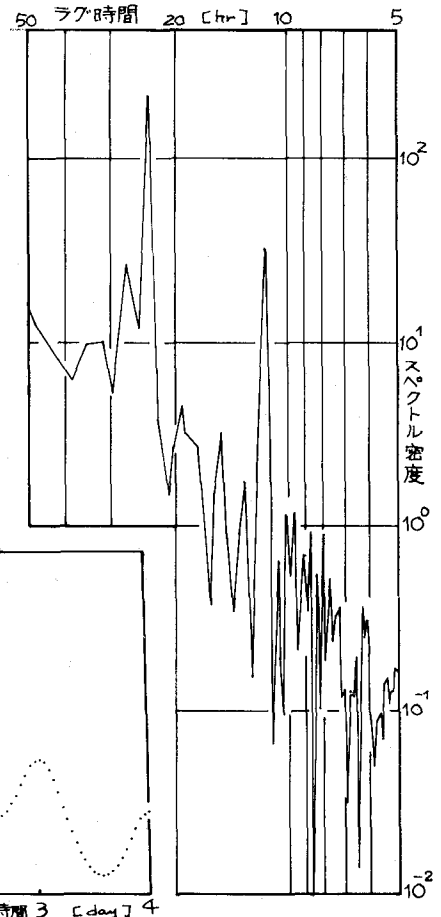


図-1 水温の自己共分散関数

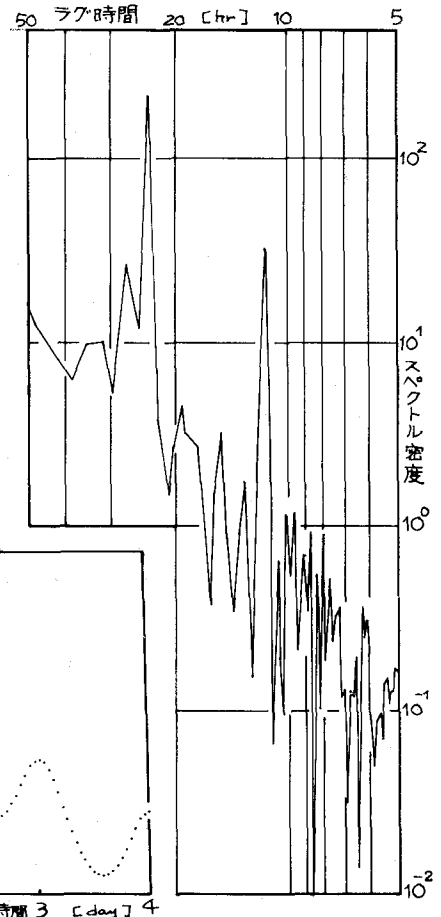


図-2 水温のパワースペクトル

になった。このため水温の変化を24時間毎に区切って各日の0:00から23:30までの48時間のデータによる日周変化の把握を行なうために次式(5)を考え、(5)式中のフーリエSIN級数の項数 n の増加に伴う標準偏差 σ の変化を求めた。

$WT(t) = a_0 + b_0 \cdot t + \sum_n A_n \sin\left(\frac{2\pi}{24} n(t + \alpha_n)\right)$ (5)
その結果は図-3に示すように n の増加に伴って減少するが $n > 3$ では項数の増加に伴う σ の減少は極めてわずかであり、したがって $n=3$ で最大(24, 12, 8時間の周期成分)を考えればよいことがわかる。すなわち

$$WT(t) = a_0 + b_0 \cdot t + \sum_{i=1}^3 A_i \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{24} i(t + \alpha_i)\right) \quad (6)$$

となる。そこでこの(6)式における諸定数係数を最小自乗法により求めた。その結果、位相 α_i は図-4に示されるように正規分布に近い分布を示し、 α_1, α_2 は共にほぼ定数とみなすことができる。このことは24時間成分と12時間成分の位相差が固定化されることを意味し、日変化特性の記述に有効となりうることを示していると考えられる。

一方、 α_3 は α_1, α_2 に比して大きなバラツキを示し定数として取り扱えず、また図-2に示したパワースペクトルにおいても8時間の周期成分の卓越性は認められなから、(6)式において8時間の周期成分は近似誤差を拾っているものと考えられる。

次にフーリエSIN係数 A_i は日周変動の相対的変動中を意味するものと考えられるが、これは現象的に日射量に依存するものとし、 A_i と日射量 I (cal/cm²・day)との関連を線形回帰により検討した。その結果(7)式のような回帰式が得られ、 A_1, A_2 は日射量 I によってその3/4程度が記述されることになり、 α_1, α_2 はほぼ定数として取り扱うことと考えると(6)式のフーリエSIN級数の24, 12時間成分の和が水温の日周変化の特性を近似し、8時間の成分は近似誤差を補正するために働いていると考えられる。

3. おわりに

今後、データの蓄積を待て、水温の日周性とその年周性との関連からも明らかにし、各定数係数の意味づけをより詳細に検討するとともに、河氷の氷表面熱収支に基づいて水温の形成過程に対する検討を行ない、水温の特性を明らかにしたい。なお、本研究を行なうにあたり、東北大学大型計算機センターのACOSシステムを利用させていただいた。また、東北地産畜産ダム管理庁の方々には本研究の遂行にあたり数々の便宜を計っていただいた。これらの関係各位に対し深く感謝します。

参考文献：堀川明著「ラニダム変動の解析」共立出版、1973

○松尾 味村・三沢「河川氷質の日間変動とその解析」第14回 衛生工学研究討論会、1978

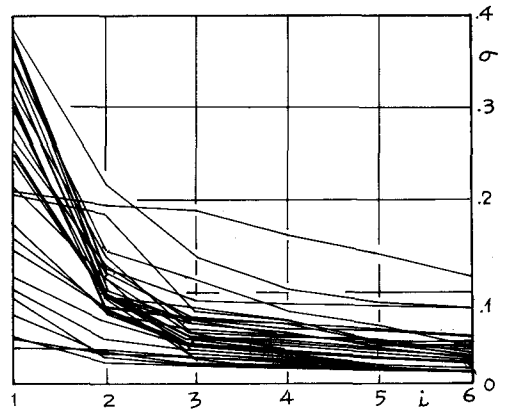


図-3 式(5)における n の増加に伴う σ の減少

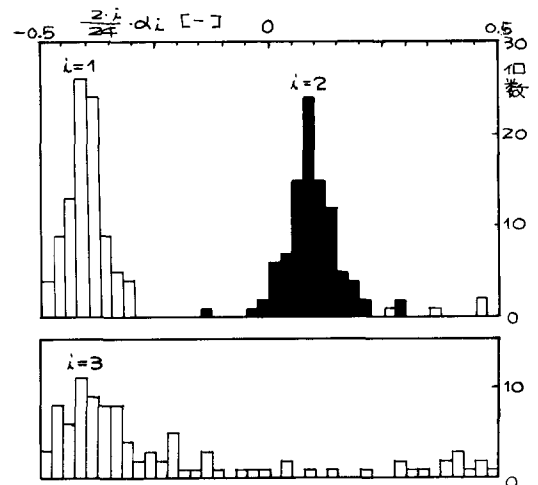


図-4 式(6)における α_i のヒストグラム

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= 0.2467 + 0.00472 \cdot I \quad (r^2 = 0.748) \\ A_2 &= 0.0750 + 0.00175 \cdot I \quad (r^2 = 0.723) \\ A_3 &= 0.0526 + 0.00035 \cdot I \quad (r^2 = 0.320) \end{aligned} \right\} (7)$$