

II-219

内部波により駆動される水温変動の予測

神戸大学大学院	学生員	伊藤達平
神戸大学工学部	正員	神田 徹
神戸大学工学部	正員	道奥康治
熊 谷 組	正員	重村誠一

1. はじめに

湖沼や貯水池などにおける水温変動は(1)水面熱収支にともなう長時間スケールの成分, (2)乱れにより誘起される短時間スケール成分および(3)それらの中間スケールを有する内部波変動成分, などから成る. 著者らは運動エネルギーの伝達媒体としての内部波の重要性に着目して, 貯水池に生起する内部波を波動論に基づいて解析し, 観測結果との良好な一致を得た¹⁾. 本報では, その後追加して得られた観測結果に基づいて, 種々の水温分布形態の密度場に生起する内部波を解析し, これを水温場に変換して水温変動の観測値と比較検討したものである. 本解析は水平方向に離れた任意の地点および各地点の任意の水深での水温変動も記述することができる. ここでは, 内部波の解を求める上でデータを参照した地点以外の観測点の水温変動に關しても「実測値-解析値」を比較し, 解析の有意性を検証する.

2. 解析の概要¹⁾

流れ関数の解 $\psi(x, z, t)$ が角周波数 σ_m , 水平方向波数 k_{mn} , を有する内部波成分の級数和として

$$\psi(x, z, t) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \psi_{mn} (\rho_0)^{-1/2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N C_{mn} X_{mn}(z) \cdot \exp[i(k_{mn}x - \sigma_m t)] \quad (1)$$

のように表現されると仮定する. ここで, C_{mn} : 係数, ρ_0 : 密度, m : 水平方向波数モード, n : 角周波数モード, ψ_{mn} : (m, n) 次モード成分の内部波の流れ関数である. まず, (1)任意の鉛直分布を有する密度場に生起する各内部波モードの流れ関数 ψ_{mn} に関する基礎式を定式化する. 次に, (2)水面・湖底面での境界条件と基礎式を考慮した固有値問題として σ_m と k_{mn} の間の分散関係を求め, 各々のモードに対する $X_{mn}(z)$ の固有解を求める. 最後に, (3)参照点(ここでは図-1のブイ地点)で観測された水温時系列をフーリエ展開して式(1)中の未定定数 C_{mn} を求める. 以上の手順に基づき ψ の解が得られる. ψ より鉛直変位と水温変動の解は各々

$$\eta(x, z, t) = \int (\partial \psi / \partial x) dt \quad (2)$$

$$T'(x, z, t) = -(\partial \bar{T} / \partial z) \eta - (\partial \bar{T}^2 / \partial z^2) \eta^2 / 2! - (\partial \bar{T}^3 / \partial z^3) \eta^3 / 3! \cdots \approx -(\partial \bar{T} / \partial z) \eta \quad (3)$$

のように算定される. ここで, η : 内部波の鉛直変位, $T' = T - \bar{T}$ (T : 水温の瞬間値, $\bar{T}$: 移動平均後の水温), $\partial \bar{T} / \partial z$: 毎時の鉛直方向の水温勾配である. 以上の諸式において, x はダム壁(固定鉛直境界)より水平方向にとった座標(図-1参照), z は湖底を原点とする鉛直上向き座標, t は時間座標である.

3. 実測値と解析値の比較

(1) ブイ地点(サーミスターチェーン設置点)

サーミスターチェーンを設置したブイ地点における水温変動の観測値と理論値の比較を図-2(a)~(c)に示す. 各段の左端は水温分布を表し, 中央及び右端が各々水温変動場の観測と解析結果である. 解析は, 位相遅れを考慮していないので水温変動が「理論-観測」の間で完全には一致することはないが, 水温変動の時系列特性が本理論によって的確に再現されているといえよう. ただし, いずれのケースにおいても水温勾配が小さい場合には水温予測値に含まれる誤差が大きくなる傾向がある.

(2) ダム地点(水深7.5m)

本解析より, ダム地点($x=0m$)の水深7.5mにおける水温時系列を予測し, メモリー式水温計による定点観測結果との比較を行う. 図-3に水温変動の時系列, 図-4に水温時系列のスペクトル密度関数に関して理論と観

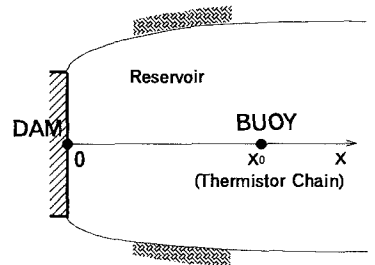


図-1 水平方向座標の定義

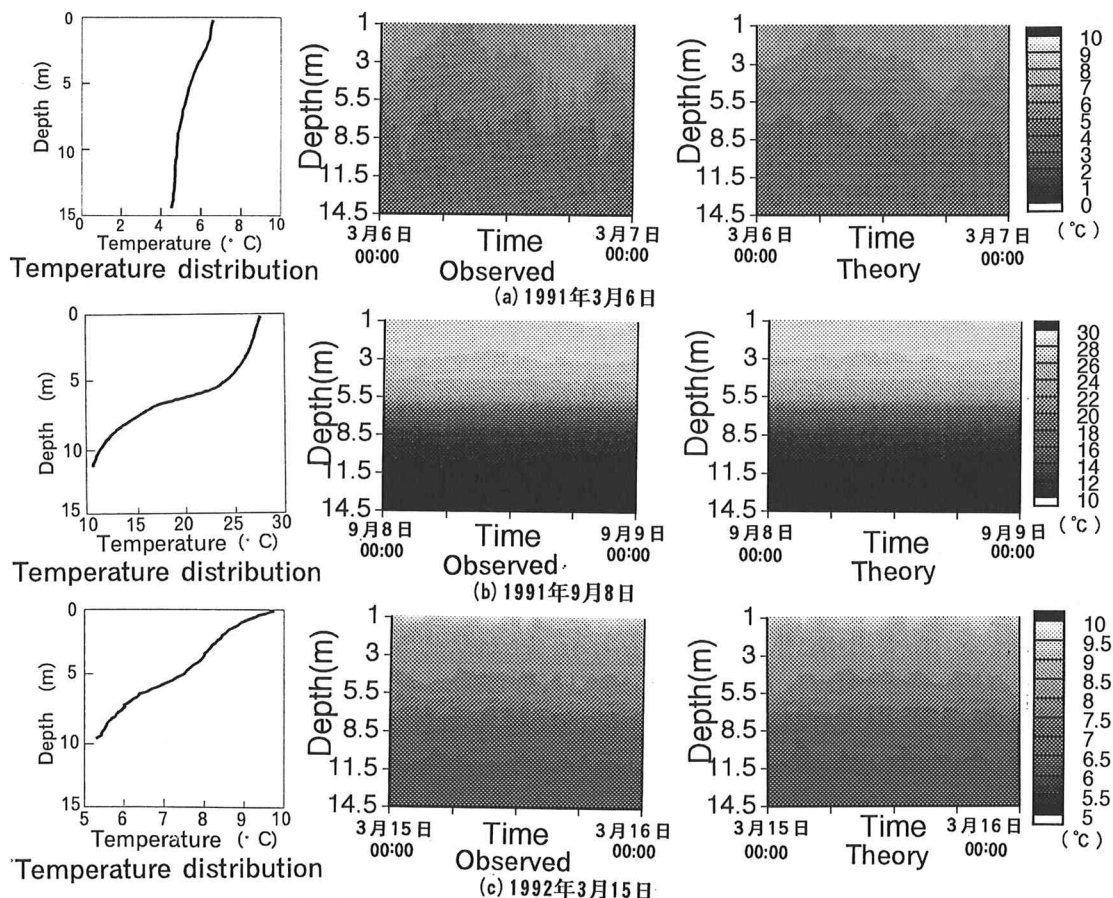


図-2 ブイ地点での水温分布と水温変動に関する観測値と理論値の比較

測間の比較を示す。ダム地点での水温変動特性、周波数特性はともに良好に再現されており、本解析によって貯水池の任意の点での水温変動を予測できることが確認される。

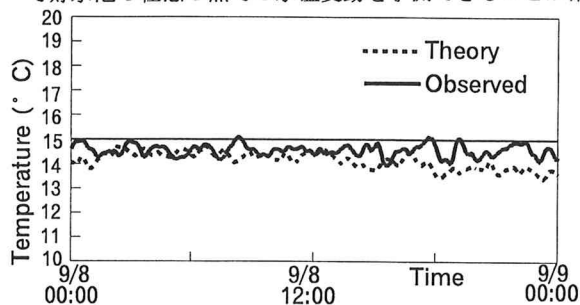


図-3 ダム地点での水温変動時系列の比較例（水深7.5m）

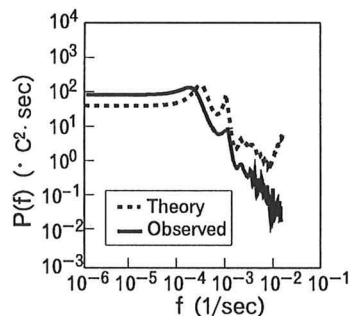


図-4 ダム地点での水温変動のスペクトルに関する理論値と観測値の比較

4. むすび

今回の解析結果より、本解析法が水温変動の時系列を再現する上で非常に有効であることが明らかになった。今後は、更に長期間にわたるデータを蓄積し解析を継続する。

参考文献

- 1) 道奥・神田・重村：成層型貯水池に生起する内部変動の観測とその解析，土木学会論文集，No. 485/II-26，pp. 65-73，1994.