

II-28

レイヤーモデルによる猪苗代湖の湖流解析

東北大学大学院 学生員 ○戸塚 康則
 東北大学工学部 学生員 多久和 学
 日本大学工学部 正 員 藤田 豊
 東北大学大学院 正 員 田中 仁・山路 弘人
 東北大学大学院 フェロー 沢本 正樹

1. はじめに

猪苗代湖のように水深の深い湖沼では、秋季から冬季にかけての降温期に成層の衰退と季節風の影響により、内部波や内部静振の発生頻度が高まる。昨年（1999年）の長軸方向 3 点での水温変動観測により、本湖には大規模な内部静振が発生している事が確認された¹⁾。本研究では、引き続き行われた観測結果について報告するとともに、成層状態の猪苗代湖にレイヤーモデルを適用し、内部静振の挙動および湖流に与える影響について考察を行う。

2. 観測概要および観測結果

図-1 に示す 4 点 (St.1～St.4) に水温計を設置し、2000 年 10 月の鉛直水温分布時系列変化を観測した。設置水深は、水深 30m までは 5m 間隔、30m 以深は 10m 間隔であり、測定時間間隔は 10 分である。さらに、湖北東部に風速計を設置し、10 分ごとの風速を測定した。

図-2 は 10 月 17 日から 26 日にかけての、各観測地点水深 25m における水温変化である。18 日の急激な水温変化を発端として、周期的な水温変動が発生している。この水温変化の周期的振動は、減衰しつつも 25 日まで継続された。18 日は 10m/s を超える北西の季節風が吹き付けたため、この強風による吹き寄せが急激な水温変化の要因であると推察される。18 日以降の周期的振動は、St.1 と St.3 および St.2 と St.4 とが逆位相にて振動していることから、これらの振動は内部静振であると考えられる。各水温変動周期を FFT 法によるスペクトルから計算した結果、17 時間の卓越周期が検出された。等水深長方形湖の内部静振固有周期は次式より求まる。

$$T_i = 2L / \sqrt{\frac{\varepsilon g h_1 h_2}{h_1 + h_2}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、L：湖のスケール[m]、 ε ：水温 2 層系の相対密度差、 h_1 、 h_2 ：それぞれ躍層から水面までの深さ[m]、躍層から湖底までの深さ[m]である。各パラメータを代入した結果、内部静振の固有周期は 16.5 時間と算定さ

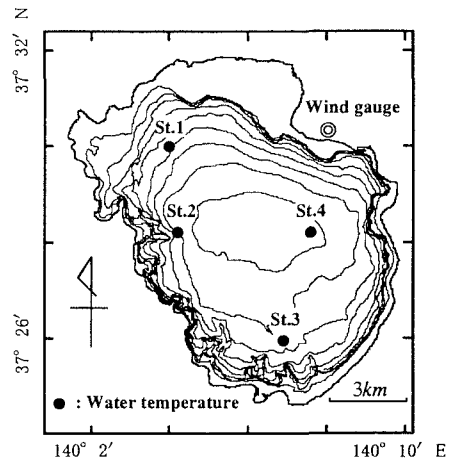


図-1 水温計・風速計設置位置

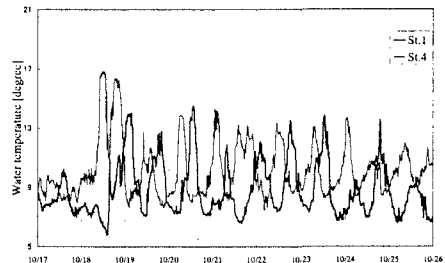


図-2.1 St.1 と St.4 の水温変化

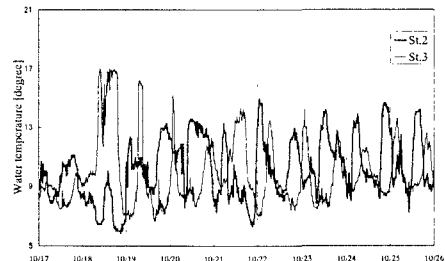


図-2.2 St.2 と St.3 の水温変化

れた。ゆえに、観測で得られた10月18日から26日にかけての水温変動は内部静振によるものであると結論付けられる。

次に、各観測位置での水温変化に注目すると、19日以降はそれぞれ位相がずれた状態で振動し、水温の変動が反時計周りに伝播している様子が伺える。それぞれ隣り合う観測地点間における相互相関係数を計算し、遅れ時間を算定した結果、反時計周りの回転周期は18.9時間となった。ここに得られた反時計周りの波の伝播は内部ケルビン波によるものであると考えられる。観測期間中の猪苗代湖における内部ケルビン波の波速を計算すると0.41m/sと求まる。北部浅瀬を考慮してケルビン波の回転軌道を半径5kmの円形と仮定すると、回転周期の理論解は21.8時間と算出される。この値は実測値から求めた周期よりもやや大きい、おおむね同等の値であると考えられる。誤差が生じた理由は、猪苗代湖を等水深円形湖と仮定した点にあると考えられる。実際は、地形の影響により、さらに小さな回転半径に捕われて伝播していると思われる。

3. レイヤーモデルによる内部静振再現

成層期の内部界面変動を再現するには2層のレイヤーモデルが最適であると考えられる。しかし、レイヤーモデルによる界面変動計算の際には、各メッシュでの水深の違いによる影響のため、界面変動が大きな場合は計算が不安定になってしまう。そこで、地形変化を簡略化し、北部浅瀬では水深10mの1層モデルとして、湖心付近では水深60mの2層モデルとして計算する事とする。基礎方程式は線形長波理論である。計算期間は、10月16日から28日であり、外力条件として観測された風速を入力する。

図-3にSt.1における水温躍層変動の計算結果と観測値との比較図を示す。観測値の水温躍層位置は、水深方向の温度勾配が最も急な12℃の等温線とする。等温線は、各水深での水温データを補間して求めた。計算値と観測値は、周期に関してはほぼ一致しているようである。計算結果についてスペクトルによる卓越振動周期を計算すると、17.1時間の振動周期が検出され、観測値に等しい値が得られた。一方、波高に関しては、観測値は計算値よりも大きな値となっている。これは、水深30mの水温が欠測してしまったことに起因する。水温データから等温線を内挿する際に水温欠落部分にて過大な変動が生じ、その結果、低層における計算値と観測値との間に誤差が発生してしまった。

図-4は内部静振発生時である10月20日の4時間ごとの水温躍層変動分布を示したものである。水温躍層

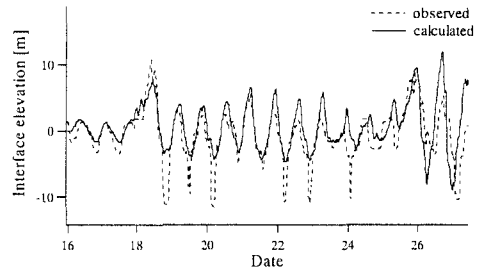


図-3 水温躍層計算値と観測値との比較

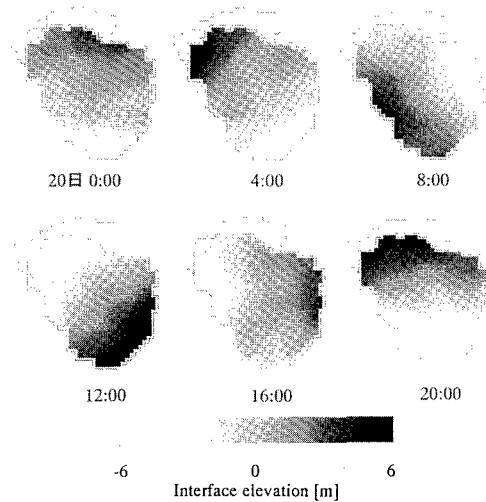


図-4 10月20日水温躍層変動分布

初期設定位置である水深20mからの増減を表している。数値計算によっても、反時計周りの内部ケルビン波の存在が再現されている。観測値と同様に、水温計設置位置に対応する地点において水温躍層の変動に関する相互相関係数を計算した結果、回転周期は18.1時間と求まり、観測値と良い一致をみせた。以上の結果により、数値モデルによっても猪苗代湖での内部ケルビン波の存在が示された。

4. まとめ

(1) 2000年の水温変動観測により、内部静振の発生とともに内部ケルビン波の存在が確認された。

(2) 成層期の猪苗代湖にレイヤーモデルを適用した結果、内部静振の発生および内部ケルビン波を再現する事ができた。

参考文献

1) 愛川薫, 戸塚康則, 山路弘人, 藤田豊, 田中仁, 沢本正樹: 猪苗代湖における内部静振の観測, 土木学会東北支部, pp.272-273, 2000.