

汽水湖沼における夏期の流動構造の特性

(株)建設技術研究所 鶴田 泰士、天野 光歩

1. はじめに

適切な湖沼管理には、水理・水質現象の現状を把握し、その水理・水質的なメカニズムを理解する必要がある。本研究は、青森県の汽水湖沼（以降、〇湖と呼称）、戦略的な管理につなげていくために、現地観測により湖内の流動特性を把握したものである。ここでは、主に夏期の流動構造について報告する。

2. 〇湖の概要

〇湖は青森県東部に位置する汽水湖であり、湖面積は 63.2km²、最大水深 25m である。湖水位と潮位の関係によっては、流出河川である T 川から遡上した塩水が湖内に流入する。そのため、最深部では 1 年を通して比較的安定した塩水層が存在し、夏期には表層の水温躍層とあわせて、3 層の成層構造（図-2 左上）が形成される。

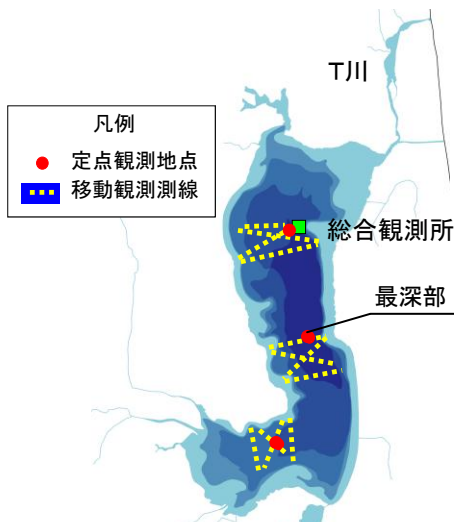


図-1 〇湖の平面形状および観測地点

3. 現地観測

(1) 観測方法

現地観測では、「定点での連続観測」と「集中的な面的観測」を組み合わせ、時間的・空間的な流動構造の特徴を把握することとした。

定点での連続観測では、図-1 に示す湖内 3 地点に ADCP (SEA 社製 ワークホース 600Hz) を設置し、10 分間隔で当該カラムの流速プロファイル (50cm ピッチ) を記録した。観測期間は平成 19 年 4 月 28 日～10 月 16 日 (167 日間) である。

集中的な面的観測では、漁船の側舷に ADCP (SEA 社製 ワークホース 600Hz) を設置し、図-1 に示す経路を基本として湖内の流速分布を観測した。観測期間は平成 19 年 7 月 2 日～4 日 (3 日間) である。

(2) 観測結果

a) 夏期の流動鉛直構造の特性

図-2 上段に平成 19 年 6 月 1 日～6 月 15 日における最深部の流動の鉛直構造を、水温・塩分プロファイル、湖上風の変化とともに示す。図中の色は当該地点での主流方向である南北方向流速を表している。赤が南→北、青が北→南の流れを示す。

図によれば、塩分躍層（水深 15m 付近）より上層において、正負の流速（赤と青）の分布が、時間とともに上方に伝播するような様子が見られる。こうした現象は、西田ら¹⁾、七ヶ宿ダムで横山ら²⁾が観測した現象と同様のものと考えられる。横山らは数値実験により、この現象の要因を湖底の斜面地形の存在によって生じた可能性を指摘している。小川原湖の湖盆も斜面地形を有していることから、同様の現象が生じた可能性はある。

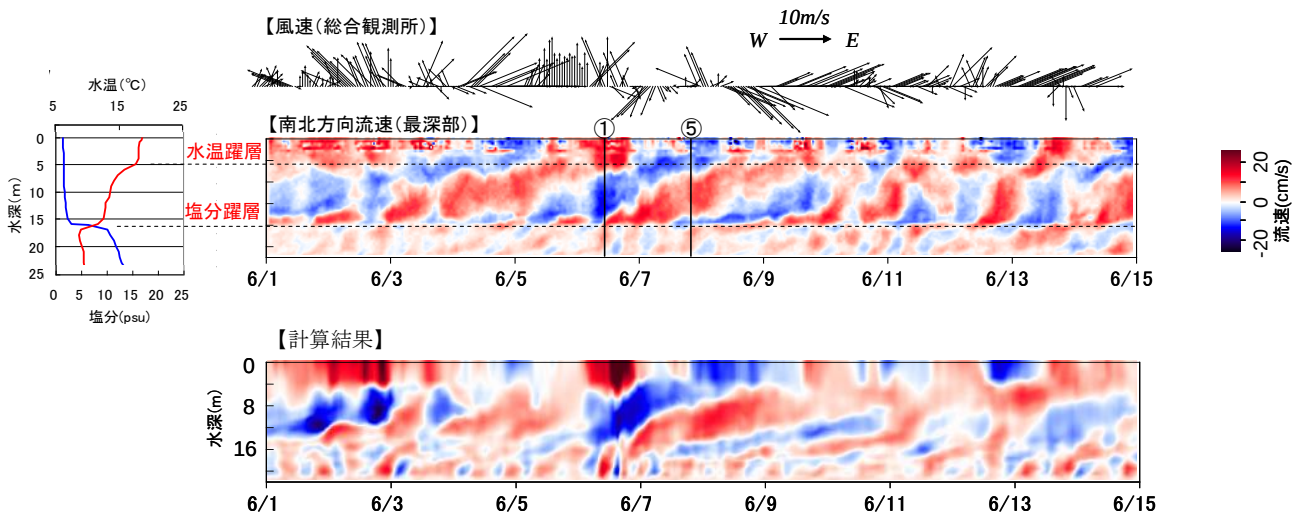


図-2 最深部における流動の鉛直構造(上段:実績値、下段:計算値、平成 19 年 6 月 1 日～6 月 15 日)

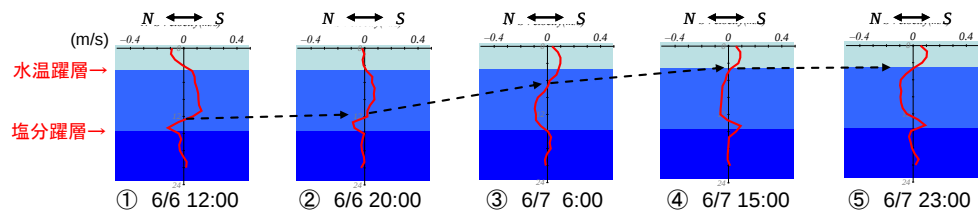


図-3 最深部における流速プロファイルの変化(実績値:平成 19 年 6 月 6 日 12:00~6 月 7 日 23:00)

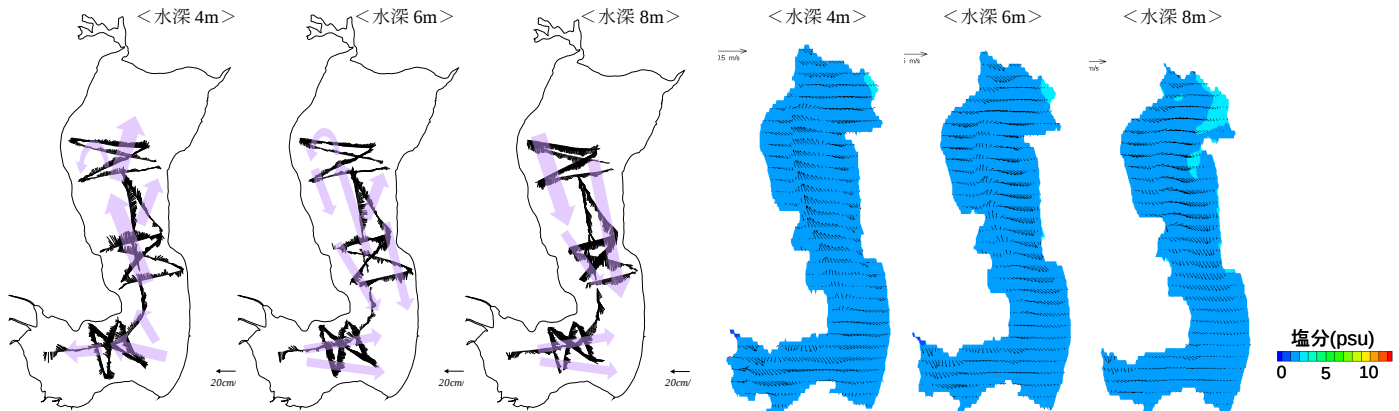


図-4 流速平面分布(実績値:平成 19 年 7 月 4 日)

図-5 流速平面分布(計算値:平成 19 年 7 月 4 日)

また、図-3 では 6/6 12:00~6/7 23:00 (図-2 中 ①~⑤の範囲) における流速プロファイルの変化を示す。①と⑤の時間帯では、それぞれ南風・北風に対し、成層水域に風が吹いた場合の典型的な鉛直循環流が形成されている。前述の時間とともに上方に伝播するような現象は、①から⑤の状態に変化する過程で起きている。また正負の流れが交互に現れるタイミングは、風の変化によく対応している。つまり風がある程度強い場合には、流動変化の周期性は内部静振等よりも、風による強制的な駆動力の影響が強いと考えられる。

b) 夏期の流動の面的分布特性

図-4 に平成 19 年 7 月 4 日の平面流速分布を水深別に示す。当日は比較的安定した南東風が 1 日中吹いていたことから、流速分布の時間変化は小さいとみなし、当日に観測した流速ベクトルを、異なる測線全てを重ね合わせている。なお、図中の紫の矢印は、主要な流れ方向である。

表層付近では、主に風と同じ方向である北向きの流れが形成されている。こうした流れは、水深 6m 付近までであり、それ以深では、反転して南に向かう流れが見られるようになる。また、湖内各所では、複数の水平循環流が形成されているように見える。

4. 数値シミュレーションによる再現

現地観測で得られた流動特性を数値モデルにより再現できるかを試みた。使用するモデルは、Nakamura et al.³⁾により開発された、 $k-\epsilon$ 乱流モデルに基づく非静水圧 3 次元密度流解析モデルである。本モデルは基礎方程式の解法に CIP 法を用いるとともに、Soroban 格子法を用いて密度躍層付近に格子点を集中させることで、数値拡散の抑制を図っている。

図-2 下段に平成 19 年 6 月 1 日~6 月 15 日における最深部の流動鉛直構造の計算結果を示す。塩分躍層(水深 15m 付近)より上層において、流向の反転層が、風向、風速の変化に伴い、徐々に上方に伝播していく様子などは再現されている。

また、図-5 には平成 19 年 7 月 4 日における水深別の流速分布計算結果を示した。水深 6m 付近まで湖上の風に応じて北向きの流動層が形成され、それ以深で流れが反転する様子や、その遷移層で循環するような流れができる様子など、観測結果の特徴を良好に再現できている。

5. おわりに

本研究では青森県の汽水湖における湖内流動を観測し、主に夏期の流動特性について整理・報告した。

現地観測では、風の変化に伴い、上方伝播する様子など、湖内の鉛直方向の物質輸送を考える上で興味深い現象が捉えられた。

こうした現象は、数値シミュレーションでも再現することができた。今後は水質モデルを導入し、貧酸素化や富栄養化等〇湖の湖沼管理を進める上で重要な水質現象の解析を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) 西田修三、佐野俊幸：小川原湖の内部流動と混合現象に関する現地観測、水工学論文集、第 45 巻、pp.1159-1164、2001。
- 2) 横山勝英、新谷哲也：ダム貯水池の内部静振と定常的往復流のメカニズムに関する研究、水工学論文集、第 50 巻、pp.1273-1278、2006。
- 3) Takashi Nakamura & Tadaharu Ishikawa：Multi-Scale Numerical Solver for an Estuary River Flow using CIP-Soroban Method, 8th WCCM, Venice, 2008。