

# 湖山池池口周辺の湖底地形及び流速分布に関する調査

【水環境対策チーム】

森 明寛、盛山 哲郎、成岡 朋弘

## 要旨

鳥取県東部の汽水湖の湖山池において、塩分環境に重要な海水遡上に注目し、池口周辺の湖底地形の把握及び流速分布に関する実測データの取得を試みた。2021年8月から9月にかけて、池口周辺で3次元超音波ドップラー流向流速計を用いて調査を行った。その結果、湖内と水門下流との水位差に応じて、池口周辺の流動が順流から逆流へとダイナミックに変化する様子を捉えた。このうち、水門開度が大きく、水位差が大きくなったケース（9月7日及び9月21日）では、池口周辺まで海水が到達する状況が確認された。一方、水位差は大きい水門開度の小さいケース（8月10日）及び水門開度は大きい水位差の小さいケース（9月9日）では、池口周辺で池に向かう流動が確認されたものの、海水は池口まで到達しなかった。これらは水質予測シミュレーションを構築するうえで重要データとなる。

## 1 はじめに

鳥取県東部に位置する湖山池では依然として水質環境基準が未達成となっている。そのため、鳥取県と鳥取市は令和4年度の第4期湖山池水質管理計画（湖山池将来ビジョン推進計画）の策定に向けた水質予測シミュレーションを進めている。湖山池では「湖山池将来ビジョン（2012年1月策定）」の基本理念に基づいて、2012年3月より水門の開放頻度を多くして汽水湖としての再生の取り組みが進められており、湖内の塩化物イオン濃度は2,000～5,000 mg/Lの範囲で管理されている<sup>(1)</sup>。その結果、日本海の潮位が上昇する夏季から秋季を中心に海水遡上が顕著となり、湖内全域で塩化物イオン濃度が上昇するようになった<sup>(2)</sup>。日本海からの海水遡上は湖内環境に影響を及ぼすことから、海水遡上に関する情報は湖内の塩分環境の管理するうえで重要な知見となる。流出河川の湖山川では、満潮後に強混合に近い状態で海水遡上が生じたケース<sup>(3)</sup>が報告されているものの、湖内への海水の流入口となる池口周辺での挙動については詳しくわかっていない。そこで、本調査では湖山池への海水遡上に注目し、水質予測シミュレーションへの精度向上に必要な池口周辺の湖底地形及び流動に関する実測データの取得を試みた。

## 2 調査方法

### 2.1 調査地の概要

湖山池は鳥取県東部に位置する汽水湖で、流出河川の湖山川を通じて日本海へと繋がっている（図1）。湖山川の下流部には水門が設置されており、湖内と

日本海との水交換は人為的に制御されている。順流時には湖水が湖山川を流下し、さらに水門を通過した後に日本海へと流出する。一方、逆流時には水門を通過した海水は湖山川を遡上し、さらに池口を通過して湖内に流入する。

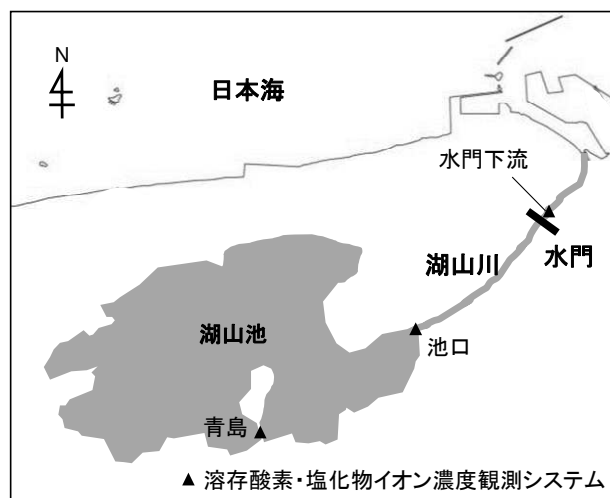


図1 調査地点の概要

### 2.2 池口周辺の湖底地形及び流速分布調査

湖山池の池口周辺において、小型ボートに搭載した3次元超音波ドップラー流向流速計（ザイレムジャパン社、River Surveyor M9）を用いて、調査範囲（図2）の湖底地形の測量と流速分布の観測を行った。潮位の変動に伴う海水遡上の様子を捉えるため、調査は日本海の潮位が高くなる夏場の大潮近辺を狙って、2021年8月10日に2回実施し、同年9月7日、9月9日、9月21日にそれぞれ3回実施した。ボートが8本の側線及び側線間を通るように操船し、流

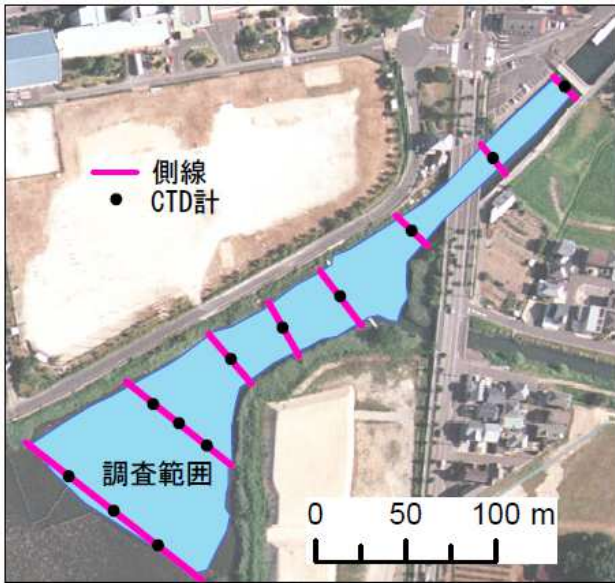


図2 調査範囲（池口周辺）と観測地点（CTD計）

向流速データを取得した。併せて、側線上の12地点（図2）において、CTD計（ザイレムジャパン社、CastAway-CTD）を用いて水深、塩分、水中音速度等を取得した。流速データは解析ソフトウェア（SonTek社、HydroSurveyor v1.5）にて水中音速度による補正を行った後、調査範囲内における上層、中層、下層の平均流速及び座標データを取り出し、GISソフト

ウェア（ESRI社、ArcGIS Desktop 10.7）でベクトル図を作成した。また、池口の塩分濃度及び湖内水位（青島）と水門下流の水位データについては、鳥取県水環境保全課が管理している「湖山池溶存酸素・塩化物イオン濃度観測システム（図1）、<http://www.koyama-lake.info/>、2021年9月24日確認）」からデータを取得した。

### 3 結果及び考察

#### 3.1 池口周辺の湖底地形

水深の測量データから得られた湖底地形を図3に示す。湖山川の上流末端付近（井津水橋付近）では湖底標高が T.P. -1.0m 程度であるのに対して、上流側の池口水質観測局周辺では T.P. -0.8m と浅くなり、さらに上流側では再び T.P. -1.1m 前後と池口周辺の湖底地形の起伏を捉えた。これらの池口周辺の詳細な地形データは海水遡上を扱う水質予測シミュレーションモデルを作成するうえで重要な情報となる。

#### 3.2 池口周辺の流速分布

調査時における池口周辺の上層、中層、下層の流速分布を図4～7に示す。また、調査日の池口における塩化物イオン濃度の経時変化及び湖内水位（青島）

T.P.+ (m)

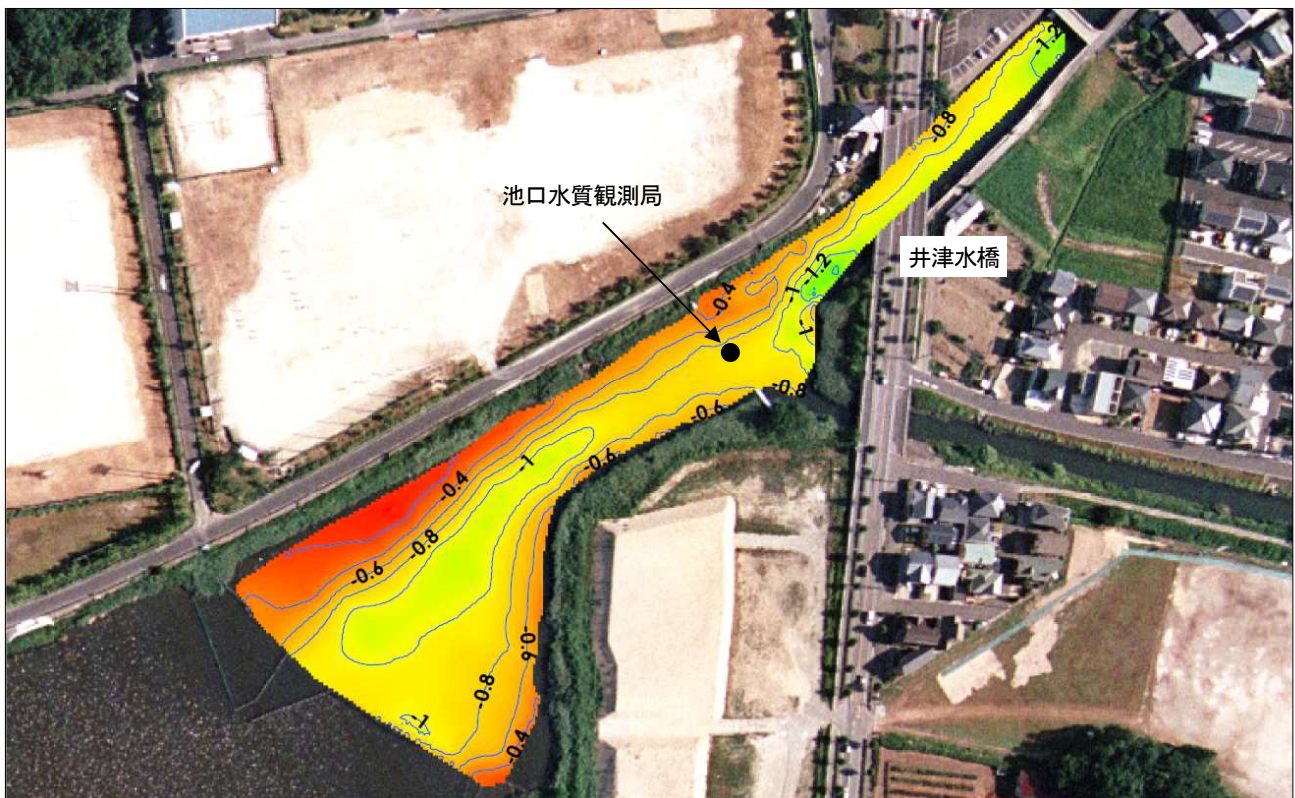


図3 池口周辺の湖底地形図

と水門下流水位の経時変化を図8に示す。

### 3.2.1 2021年8月10日の流速分布

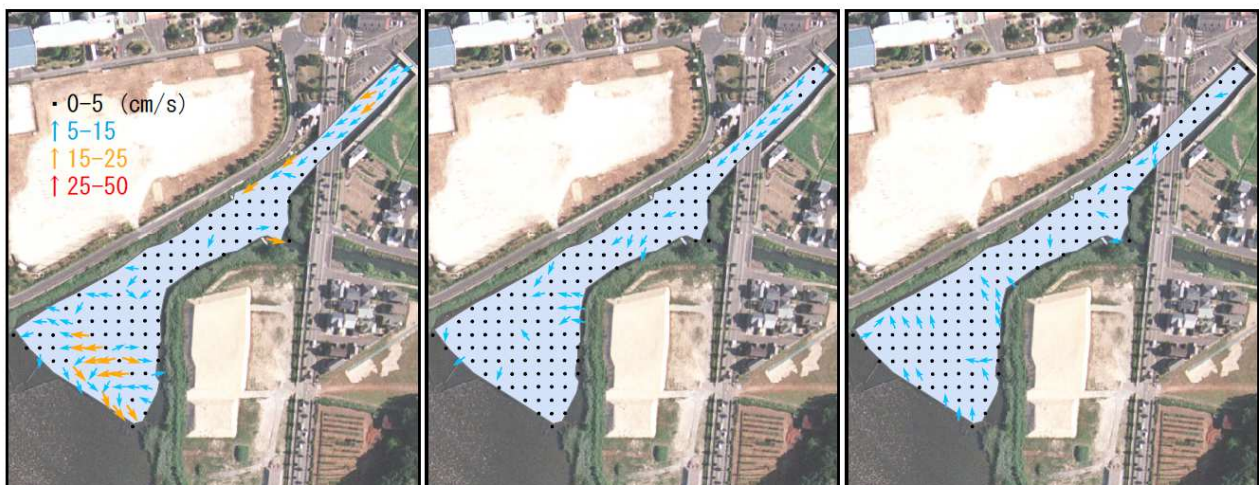
13時頃の流況は全層で5cm/s未満のエリアが多く、あまり流動が見られなかった。15時頃には上層及び中層を中心に逆流方向の流れが生じ、特に上層では流心において15-25cm/s程度の流速が生じていた。この日は湖内及び水門下流とも水位が高い状態が続く、湖内では最大でT.P.+69cm、水門下流では最大でT.P.+89cmとなった。水門下流の水位が湖内水位を上回る時間帯が継続したが、池口での塩化物イオン濃度は概ね3,000mg/L以下と大きな濃度上昇は見られなかった。特に12時から18時まで水門下流の水位が湖内の水位を上回り、その最大値は21cmと大きな水位差を生じていた。しかし、その間の水門開

度は舟通水門の上部30cmを開けた上越通水となっており、開度は小さく調整されていた。そのため、水門を通過する海水遡上量が少なく、池口まで海水が到達しなかったことが考えられる。

### 3.2.2 2021年9月7日の流速分布

10時頃は調査範囲全体としては大きな流れは生じていなかった。ただし、部分的な流れとして池口付近の全層で5-15cm/s程度の順流方向の流れが見られ、湖山川では僅かに逆流が見られた。しかし、13時頃及び15時頃には逆流方向に15-50cm/sの強い流れが生じていた。8時までは湖内水位が水門下流の水位より高かったが、その後湖内水位の方が低くなり、18時までその状態が継続した。その水位差は11時までは1-3cmであったが、その後拡大して、水位差は

2021. 8. 10 13:02~13:51 【水位13:00】青島68cm、水門下流89cm  
上層 中層 下層



2021. 8. 10 14:59~15:33 【水位15:00】青島68cm、水門下流82cm  
上層 中層 下層

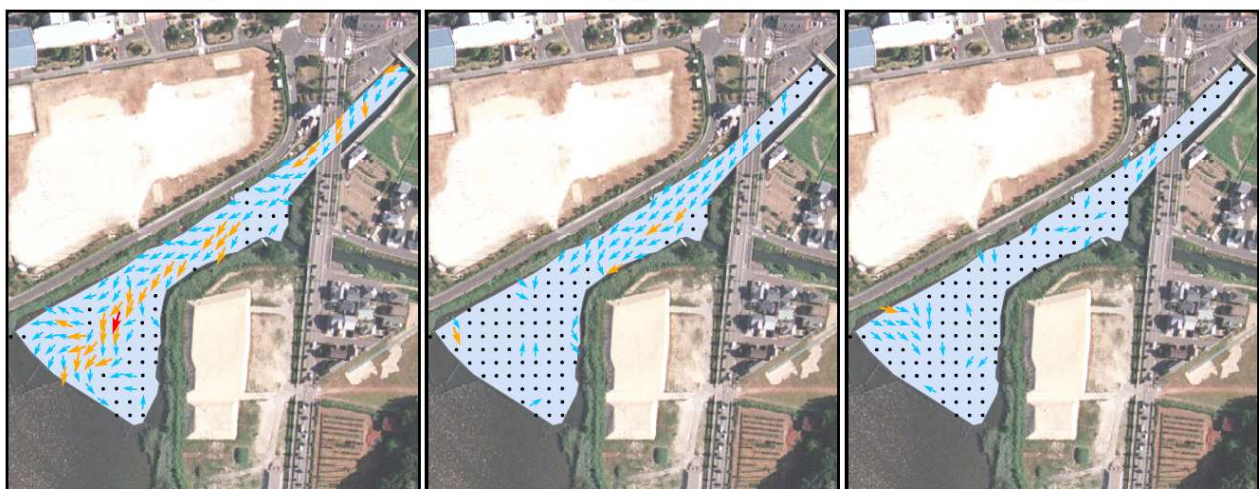
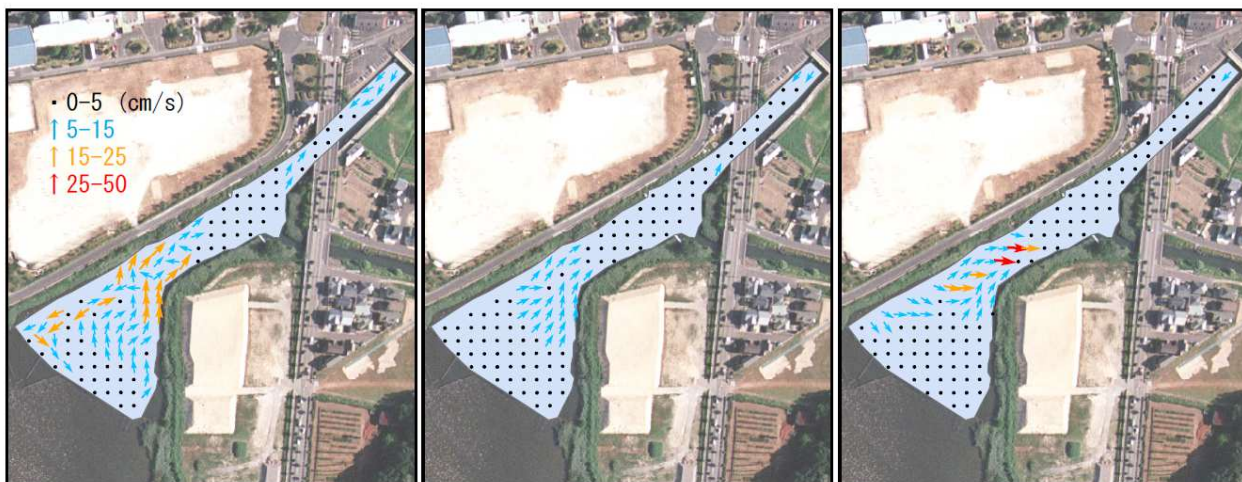


図4 池口周辺の流速分布図 (2021年8月10日)

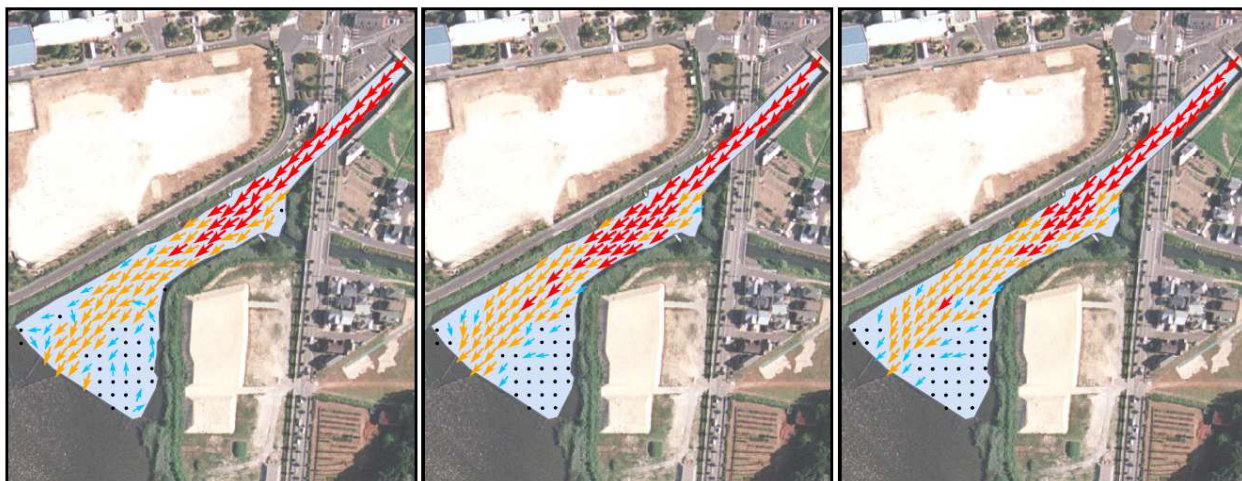
2021. 9. 7 10:09~10:58  
上層

【水位10:00】 青島40cm、水門下流42cm  
中層 下層



2021. 9. 7 13:04~13:53  
上層

【水位13:00】 青島41cm、水門下流54cm  
中層 下層



2021. 9. 7 15:05~15:56  
上層

【水位15:00】 青島41cm、水門下流60cm  
中層 下層

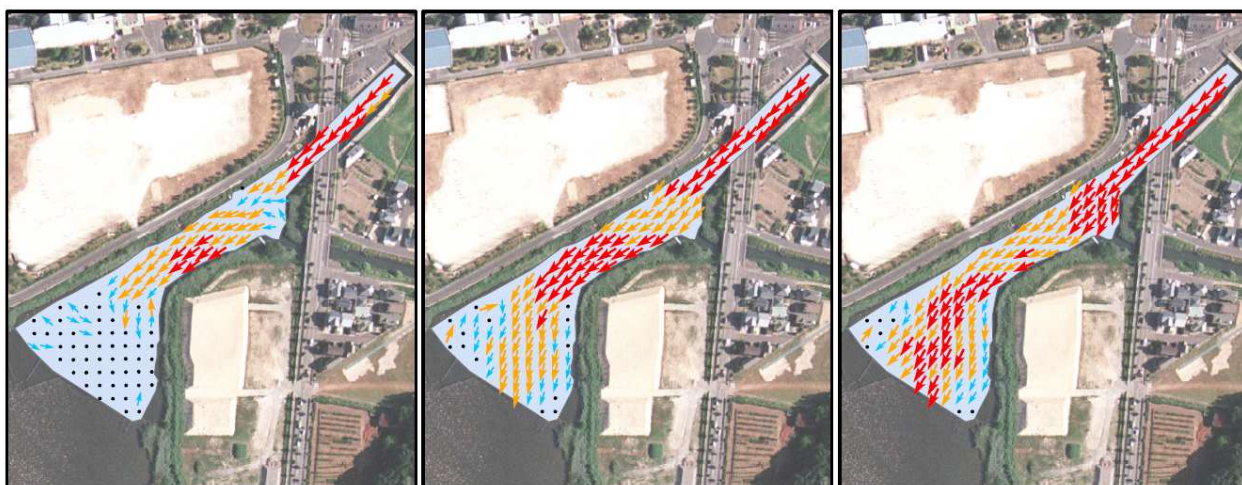
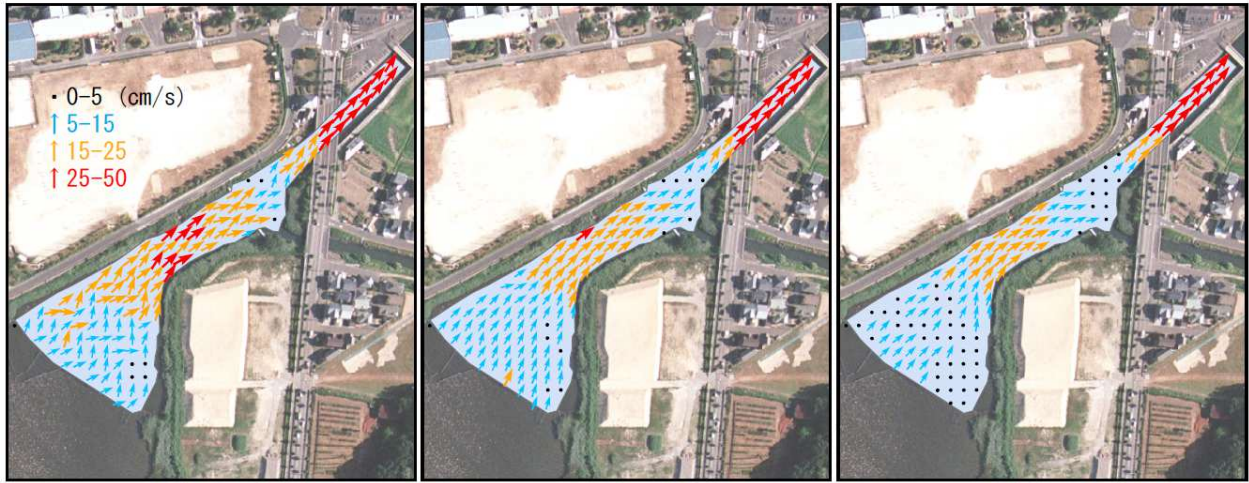


図5 池口周辺の流速分布図 (2021年9月7日)

2021. 9. 9 10:50~11:34  
上層

【水位11:00】 青島53cm、水門下流56cm  
中層

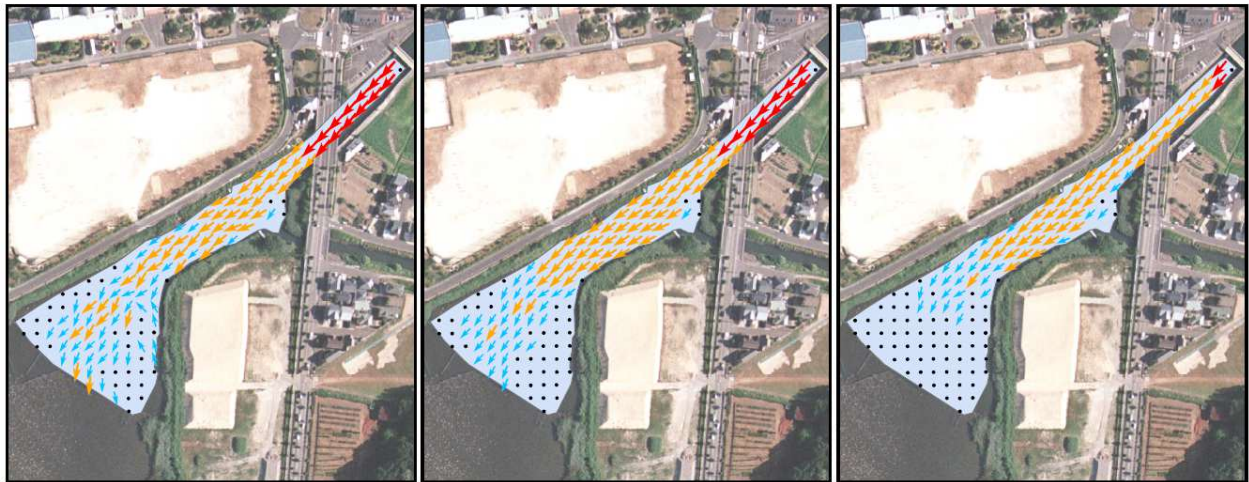
下層



2021. 9. 9 14:05~15:02  
上層

【水位14:00】 青島53cm、水門下流60cm  
中層

下層



2021. 9. 9 15:56~16:45  
上層

【水位16:00】 青島54cm、水門下流61cm  
中層

下層

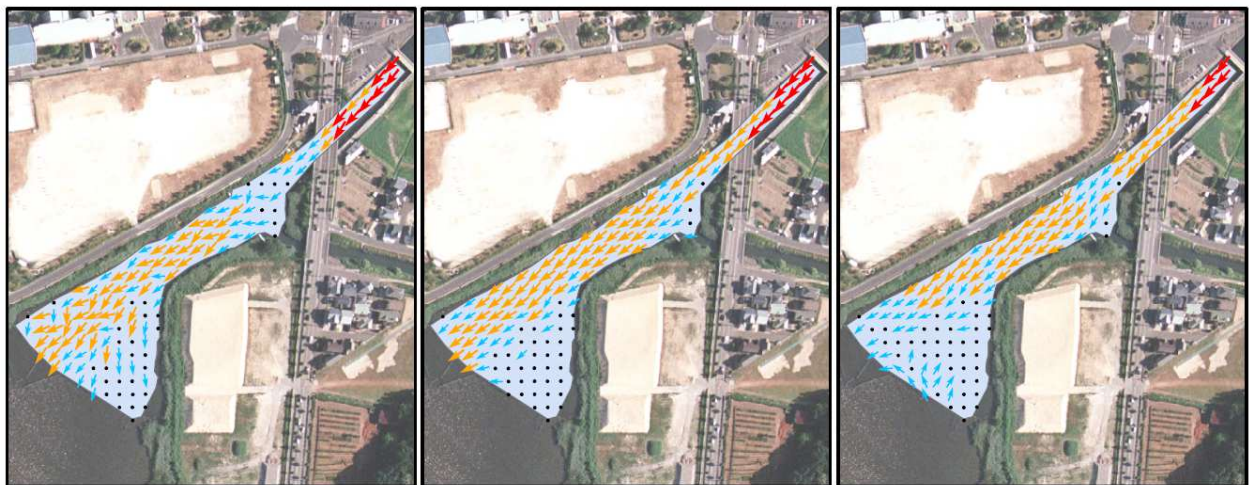
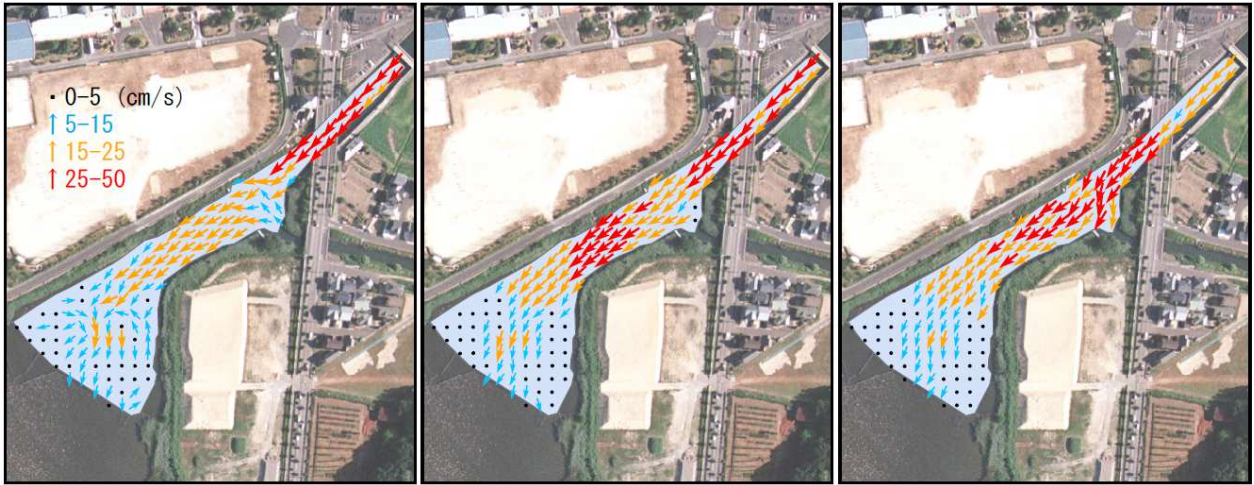


図6 池口周辺の流速分布図 (2021年9月9日)

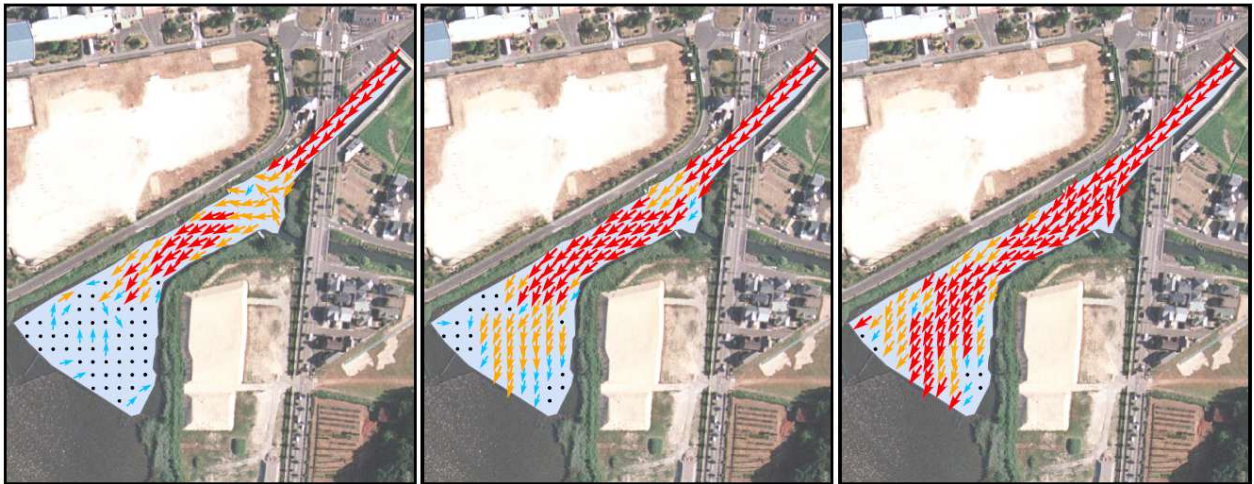
2021. 9. 21 11:14~11:59  
上層

【水位11:00】青島43cm、水門下流52cm  
中層 下層



2021. 9. 21 13:04~13:54  
上層

【水位13:00】青島43cm、水門下流59cm  
中層 下層



2021. 9. 21 15:09~15:54  
上層

【水位15:00】青島45cm、水門下流64cm (空白: 欠測)  
中層 下層

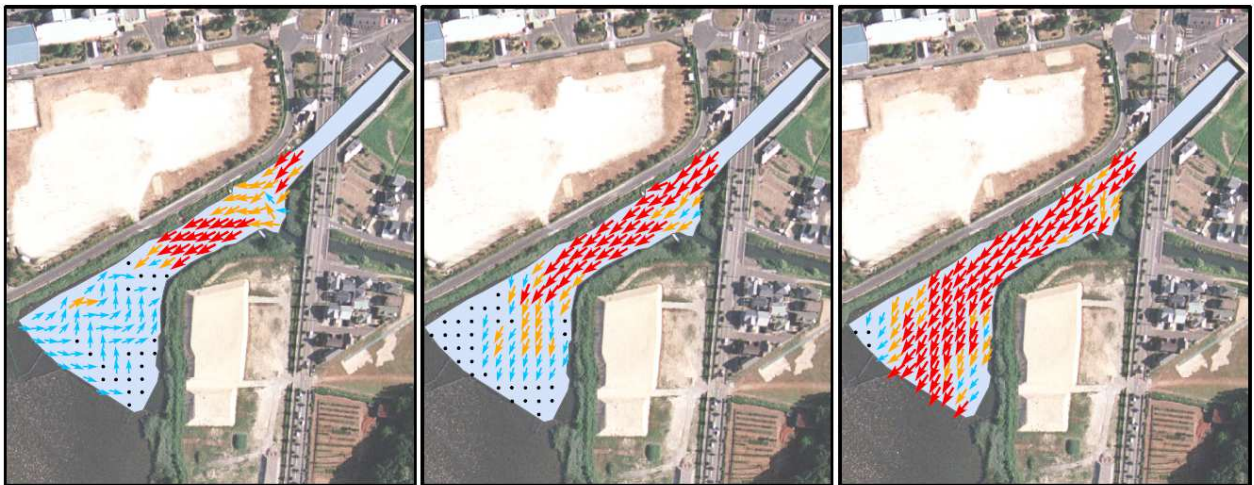


図7 池口周辺の流速分布図 (2021年9月21日)

最大で19cmとなった。これら状況から調査開始時にはやや順流の状態であったが、その後逆流状態に転じたものと考えられる。この間の水門操作は舟通水門が全開と最大開度で操作されていた。また、池口の塩化物イオン濃度は14時に急激に上昇していることから、逆流に転じた後、約5時間かけて池口まで海水が到達したと考えられる。また、池側では上層と比べて下層の流速が早い傾向が見られた。CTD計による観測では湖内では底層の塩分濃度が上昇しており、過去の湖内流動の観測<sup>(4)</sup>で見られたように、湖内に流入した海水は底層を這って池奥部に流動するものと考えられる。

### 3.2.3 2021年9月9日の流速分布

11時頃の流況は全層で順流方向に流れており、池側では5-15cm/s、池口では15-25cm/s、湖山川では25-50cm/s程度の流速が目立った。しかし、14時頃には逆流方向に流向を変え、湖山川では25-50cm/s、池口では15-25cm/s、池側では5-15cm/sの流速が見られた。16時頃の流況も14時頃と同様の傾向が見られるが、池側ではさらに流速が増していた。一方、その間の池口の塩化物イオン濃度の上昇は見られなかった。水位は10時までは湖内水位が水門下流より高い状態であったが、その後17時まで逆転した。ただし、その水位差は最大で8cmと小さかったことから、池口での流速も9月7日ほど大きくなり、遡上した海水は池口まで到達しなかったと考えられる。また、14時頃及び16時頃の湖内では9月7日と異なり表層から中層の流れが卓越していた。海水の流入がないために湖内で底層の流動が小さかったことに加えて、この時間帯に北北東から北の風（平均風速3-3.5m/s、気象台湖山観測所）の影響を受けて、表層から中層の流れが卓越したと考えられる。

### 3.2.4 2021年9月21日の流速分布

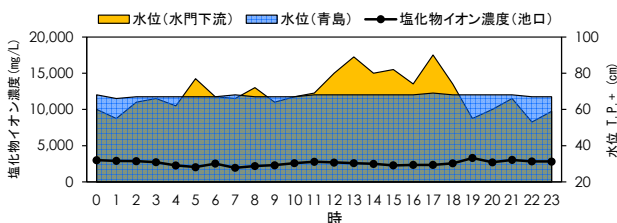
11時頃の流況は全層で逆流方向に流れており、湖山川では25-50cm/s、池口では15-50cm/s、池側では0-15cm/s程度の流速が目立つ。13時頃にはさらに流速を増し、湖山川では25-50cm/s、池口では25-50cm/s、池側では5-50cm/s程度の流速が見られた。15時頃においても13時と同様の傾向が見られるが、池側の表層は順流方向への流れが見られた。この時間帯は南南東から南東の風（平均風速4.9-6.1m/s）が生じており、表層の流動に影響を与えたものと考えられる。また、13時頃及び15時頃は上層と比べて下層の流速が早い傾向が見られた。この日はほぼ一日中湖内水位より水門下流の水位が高い状態が続いており、さらに水位差が最大で19cmと大きくなったことに加えて、舟通水門が全開になっていたことから大量の海水遡上が見られたと考えられる。

上記の4日間の調査において、いずれも湖内より水門下流の水位が高い場合において、池口周辺で湖山池に向かう流れが発生を確認した。そのうち、水門開度が大きく、水位差が大きくなった9月7日及び9月21日には、池口周辺まで海水が到達する状況が確認された。一方、水位差は大きい水門開度の小さかったケース（8月10日）、水門開度は大きい水位差の小さいケース（9月9日）においては、池口周辺で池に向かう流動が確認されたものの、池口まで海水が到達できない状況が確認された。

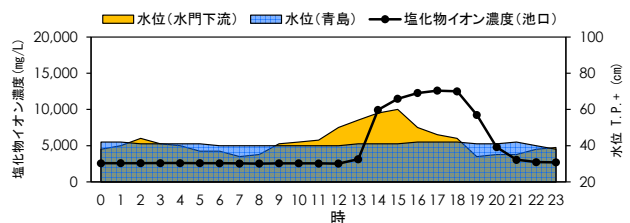
## 4 まとめ

湖山池への海水遡上に重要な池口周辺に注目し、水質予測シミュレーションへの活用が見込まれる湖底地形の把握及び流速分布に関する実測データの取得を試み

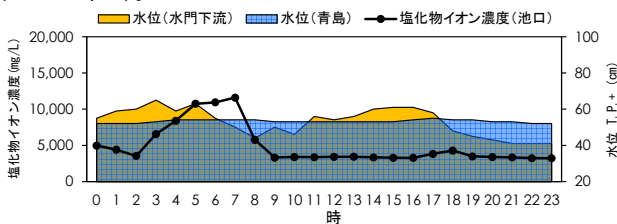
(a) 2021年8月10日



(b) 2021年9月7日



(c) 2021年9月9日



(d) 2021年9月21日

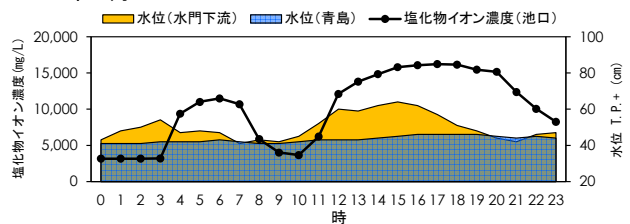


図8 池口における塩化物イオン濃度の経時変化及び湖内水位（青島）と水門下流水位の経時変化

た。その結果、池口周辺の流動について、湖内の水位と水門下流の水位差に応じて順流から逆流へとダイナミックに変化する様子を捉えることができた。このうち、水門開度が大きく、水位差が大きくなったケース（9月7日及び9月21日）では、池口周辺まで海水が到達する状況が確認された。一方、水位差は大きい水門開度の小さかったケース（8月10日）、水門開度は大きい水位差の小さいケース（9月9日）においては、池口周辺で池に向かう流動が確認されたものの、海水は池口まで到達しなかった。

今回明らかになった池口周辺での流動データは、今後の水質予測シミュレーションを行う場合の現況再現の確認や塩分管理を行ううえで重要なデータとなる。しかし、これらのデータはある瞬間の流動状況を捉えたもので、湖内への海水遡上量の定量評価には至っていない。湖内の塩分環境は海水遡上量や流域からの淡水流入量など様々な要因が複雑に関与する。特に、海水遡上量に関しては実測データに基づく評価が不足しており、関係

するデータの蓄積や分析・評価が必要である。今後、湖内環境を管理するうえで海水遡上をどのように制御できるかが重要であり、科学的情報に基づいた水門操作などが行われ、湖内環境の保全や様々な生態系サービスの持続に繋がることを期待する。

## 5 参考文献

- (1) 鳥取県、鳥取市：湖山池将来ビジョン(2012)
- (2) 鳥取県、鳥取市：汽水化に伴う湖山池の環境等の変化に関する調査報告書(2020)
- (3) 安田優、山下健、盛山哲郎、奥田英二、成岡朋弘、岡本将揮、森明寛：湖山池の湖内流動に関する調査，鳥取県衛生環境研究所報，60，19-21(2019)
- (4) 安田優、森明寛、盛山哲郎、成岡朋弘：湖山池の塩分分布の変化及び湖内流動に関する調査，鳥取県衛生環境研究所報，61，1-9(2020)

### Survey of Lakebed Topography and Flow Velocity Distribution in the Vicinity of the Mouth of Lake Koyama-ike

Akihiro MORI, Tetsurou SEIYAMA, Tomohiro NARUOKA

#### Abstract

Focusing on the significant seawater backflow for the saline environment, lakebed topography and flow velocity distribution were measured in the vicinity of the lake mouth in Lake Koyama-ike, a brackish lake in eastern Tottori Prefecture. The survey was conducted in the vicinity of the lake mouth with an acoustic Doppler current profiler from August to September 2021. As a result, the dynamic transition in flow from forward flow to back flow reversal in the vicinity of the lake mouth was observed in response to the water level difference between the lake and the downstream site of the floodgate. Among these cases, particularly on September 7th and September 21st, where the floodgate opening was large and there was a significant water level difference, seawater back flow reaching the vicinity of the lake mouth were observed. On the other hand, in the cases of August 10th, where there was a significant water level difference but a small floodgate opening, and September 9th, where the floodgate opening was large but the water level difference was small, flow towards the lake in the vicinity of the lake mouth was observed. However, no seawater reached the lake mouth in these situations. These data are crucial for constructing water quality prediction simulation models.