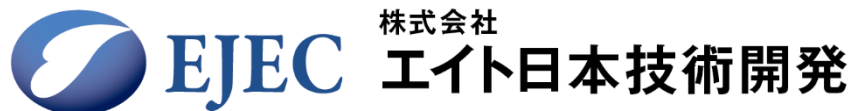


EJEC REPORT

令和5年度 海の次世代モビリティの利活用に関する実証事業

多項目水質計搭載のAUVによる
水質の三次元測定技術の有効性検証

実証実験の成果の説明資料



2024年3月5日

EJイノベーション技術センター

価値ある環境を未来に

大本茂之

1. 背景と目的

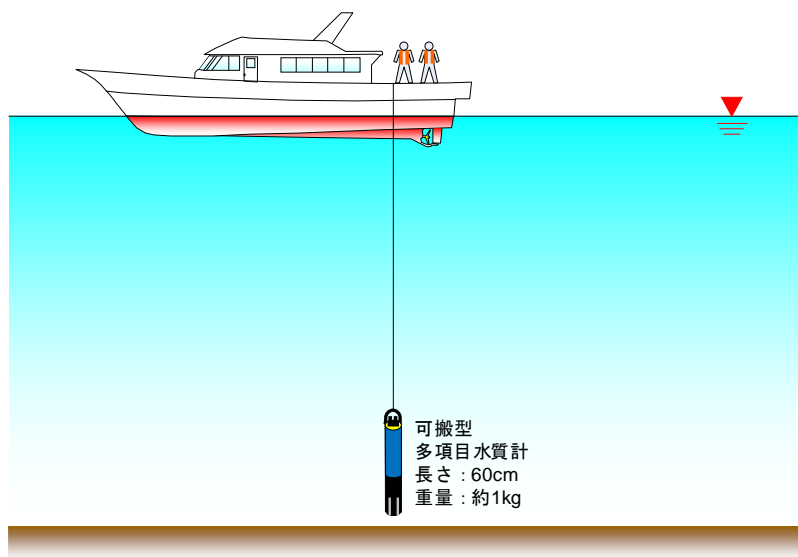
- 鳥取県東部に位置する湖山池は、周辺長約18km、水面積約6.8km²、最大水深約6.5m、平均水深2.8m、平均滞留時間約100日の海跡湖である。
- 湖山池は、2012年3月12日に水門が開放されて汽水化された。その結果、2012年夏にはアオコやヒシが消滅し、現在では悪臭の問題はほぼ解消している。しかしながら、急激な塩分の上昇(最大塩分は海水の1/3程度まで上昇)により、湖底深部の貧酸素化といった新たな問題が発生している。



湖山池の位置図

1. 背景と目的

- 湖底深部の貧酸素化は、魚介類の酸欠死、栄養塩類の溶出、生態系の変化、底質環境の悪化等、様々な水環境問題と密接に関わっている。特にヤマトシジミ等の漁獲対象種の斃死は、**湖山池の内水面漁業に大打撃を与えることになる**。このため、水環境の改善や保全を考える上で**貧酸素水塊の発生状況の解明は喫緊の課題**であるといえる。
- 一般に貧酸素水塊の発生状況は、調査エリア内に複数の調査地点(一定間隔等)を配置し、それらで**表層～底層まで鉛直的に測定したDO等の値から推定**されることが多い。しかしながら、こうした調査では、調査地点間の間隔が広い場合には**非測定領域の増大**、逆に間隔が狭い場合には**費用や労力の増大**につながる。また、風や波によって船が移動する場合には、表層～底層までの測定中に**位置ズレ**が発生する可能性が高くなる。

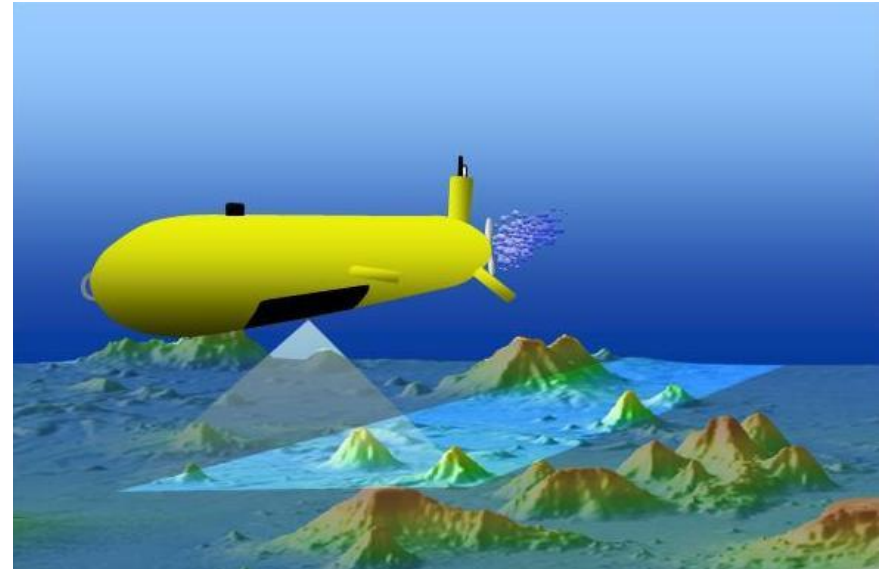
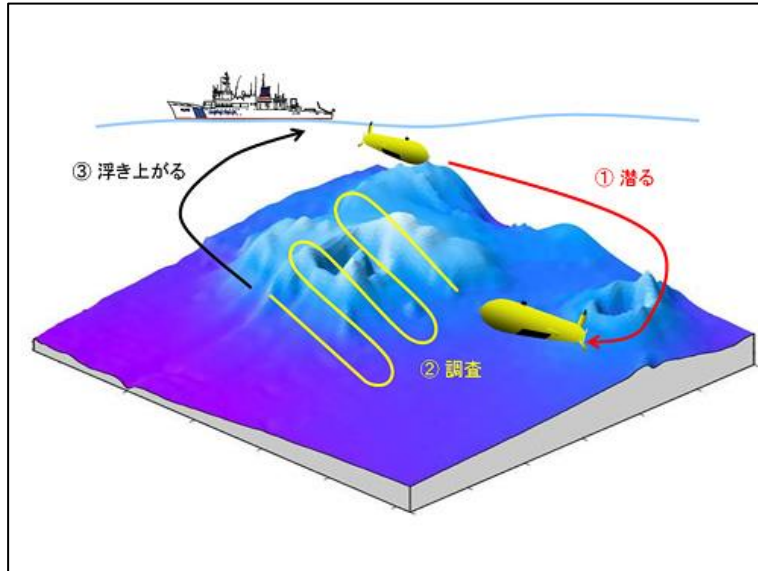
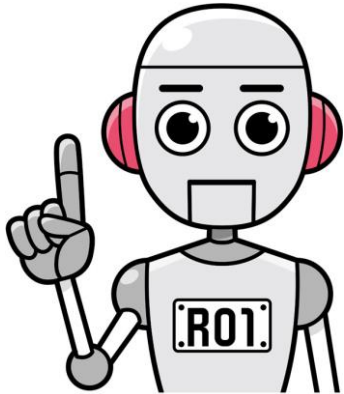


表層～底層までのDO等の鉛直的な測定(一例)

1. 背景と目的

- 近年、国内の海洋環境調査や海底調査に利用され成果を上げている探査機に**自律型無人潜水機(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)**がある。AUVは、コンピュータと各種センサー類を搭載した水中ロボットである。調査仕様を予め入力し、その仕様に従って**水中の調査を無人で実行**するため、水中における生産性向上技術の1つとして注目されている。

無人化！



AUVを使用した調査のイメージ図

出典：海守ホームページ

- 本実証実験は、**多項目水質計搭載のAUVを水平・鉛直的に航行させてDO等の三次元測定**を実施し、取得した位置ズレの小さい大量の測定データ(高精度, 高分解能)を使用して、**湖山池の湖底深部における貧酸素水塊の発生状況を把握**することを目的として実施した。

2. 実証実験で効果を検証すべき課題

- 本実証実験では、①多項目水質計搭載のAUVを水平・鉛直的に航行させてD0等の三次元測定が実施できるかどうか(D0等の三次元測定の実行性)、②従来の調査方法に比べて低コスト化を実現できるかどうか(従来の調査方法に対する低コスト化の実現性)、③ユーザー(地方自治体や海域を利用する事業者等)が利活用したい技術であるかどうか(ユーザーが利活用したい技術かどうかの判定)を検証すべき課題として設定した。

【課題①】 D0等の三次元測定の実行性の検証方法

- ♣ 後述の実施水域でD0等の水質データを実際に取得して検討

【課題②】 従来の調査方法に対する低コスト化の実現性の検証方法

- ♣ AUVによる水質の三次元測定と船上からの水質の鉛直測定(従来の調査方法)に係る人件費をそれぞれ積算し、前者と後者の差額(前者が安価になる想定)を算出して検討

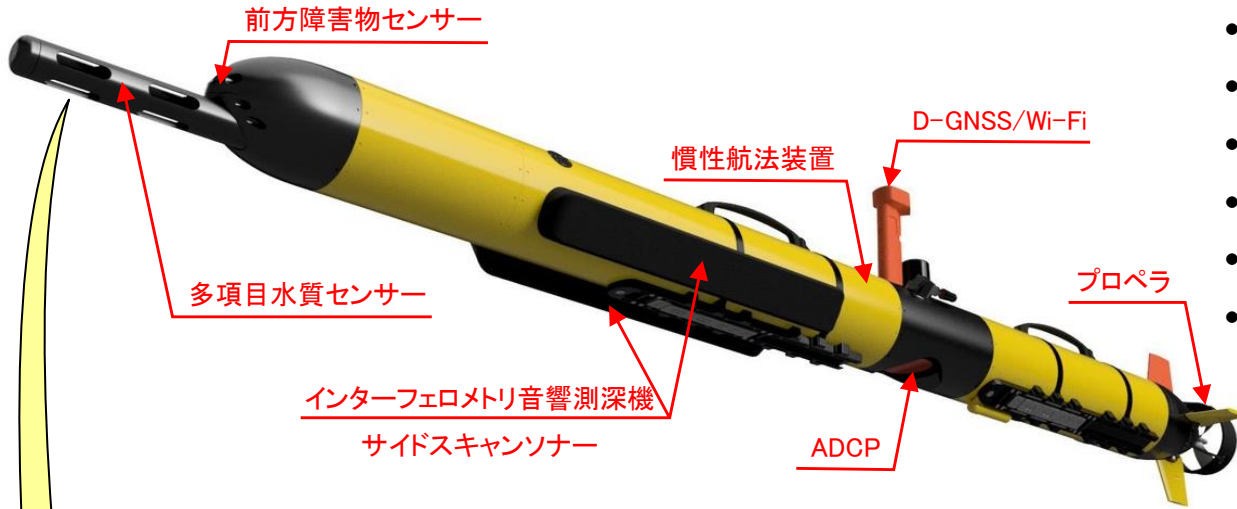
【課題③】 ユーザーが利活用したい技術かどうかの判定の検証方法

- ♣ AUVによる水質の三次元測定技術に対するユーザーの満足度をアンケート調査で把握して検討

3. DO等の三次元測定の実行性の検証 ～使用機材～

Autonomous Underwater Vehicle(自律形無人潜水機)

設定したルート通りに自律航行して様々なデータを取得する水中ロボット



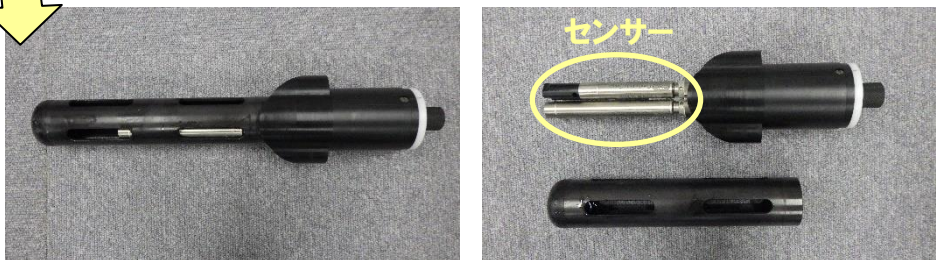
- ・名称 : i3X0 ECO Mapper AUV(YSI社)
- ・全長 : 2.3m
- ・重量 : 40.0kg
- ・潜航速度: 0.5～2.5m/s
- ・潜航深度: 0～100m
- ・稼働時間: 連続6時間(※センサー使用)

(1) インターフェロメトリ音響測深機
サイドスキャンソナー

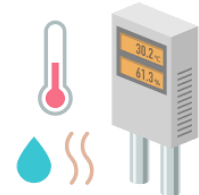
水深深度データ, 後方散乱強度データ及び音響画像データの取得

(2) 多項目水質計

水質(水温, 塩分, DO, クロロフィル, 濁度)データの取得

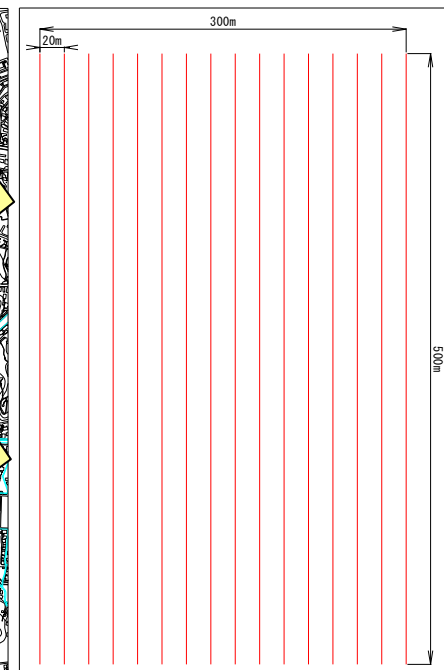
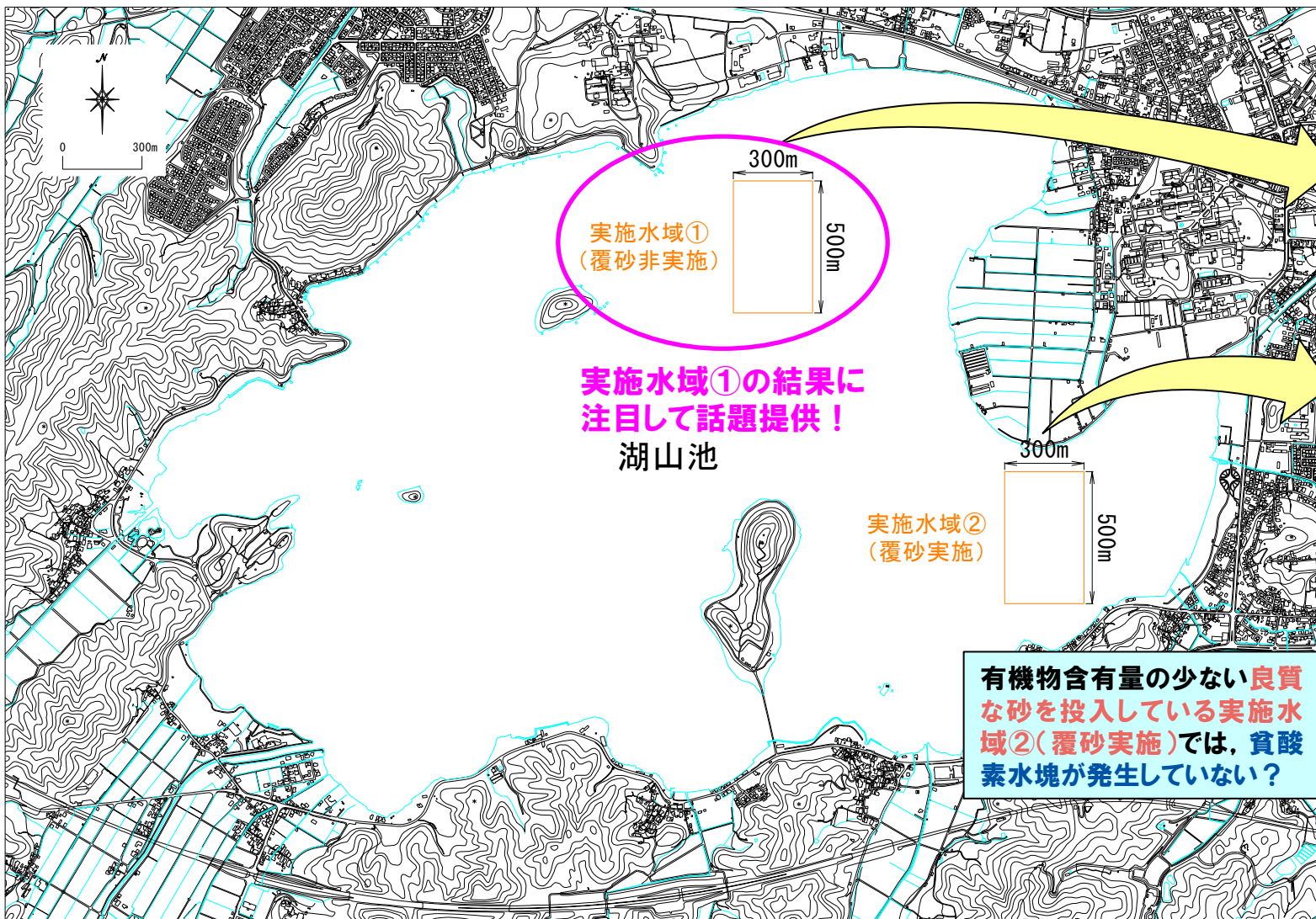


多項目水質計



3. DO等の三次元測定の実行性の検証 ～実施水域～

- 実施水域は、湖山池内の2エリア(貧酸素水塊の発生状況が異なる可能性がある**実施水域①**[湖底深部;覆砂非実施]と**実施水域②**[覆砂実施])である。



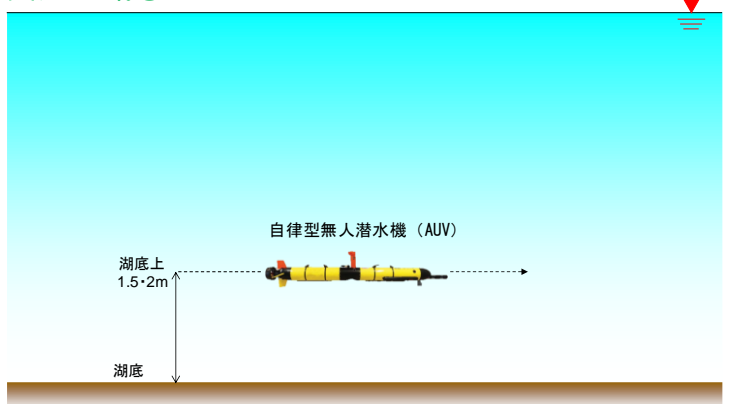
実施水域内に20m間隔で16本の調査測線を設定

実施水域①・②の位置図

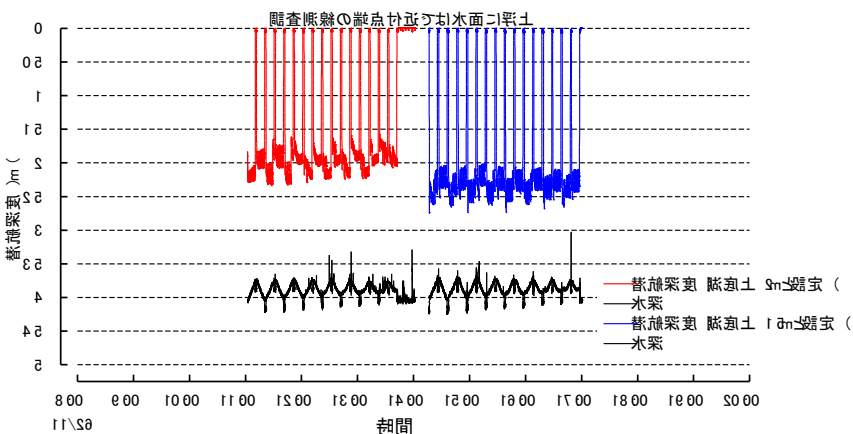
3. DO等の三次元測定の実行性の検証 ～水質測定～

- **2023年11月26日に、実施水域①内(500m×300m)に20m間隔で設定した調査測線16本において、湖底上1.5mと湖底上2mの深度を速度1m/sでAUVに自律潜航させ、搭載した多項目水質計(電気電導度/温度・DO・クロロフィル・濁度センサー)で塩分、水温、DO、クロロフィル及び濁度を1秒間隔で測定した。**

実施水域①

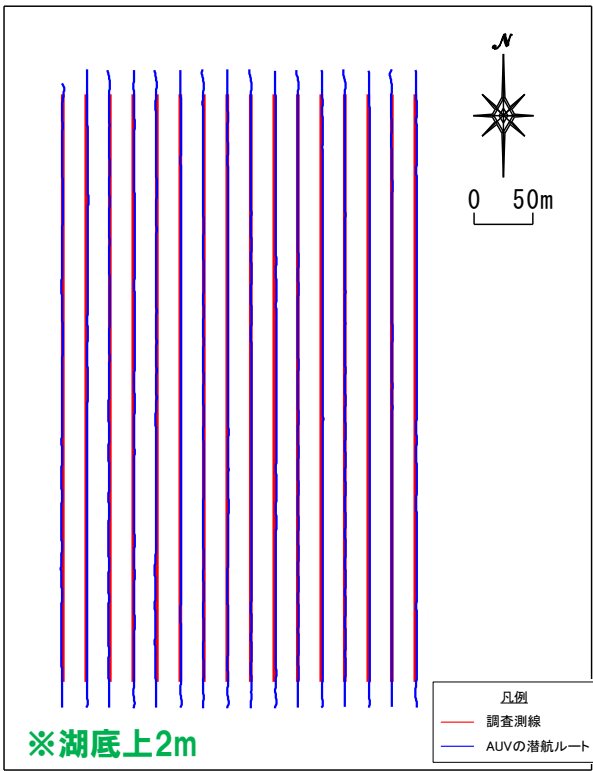


水質測定のイメージ図

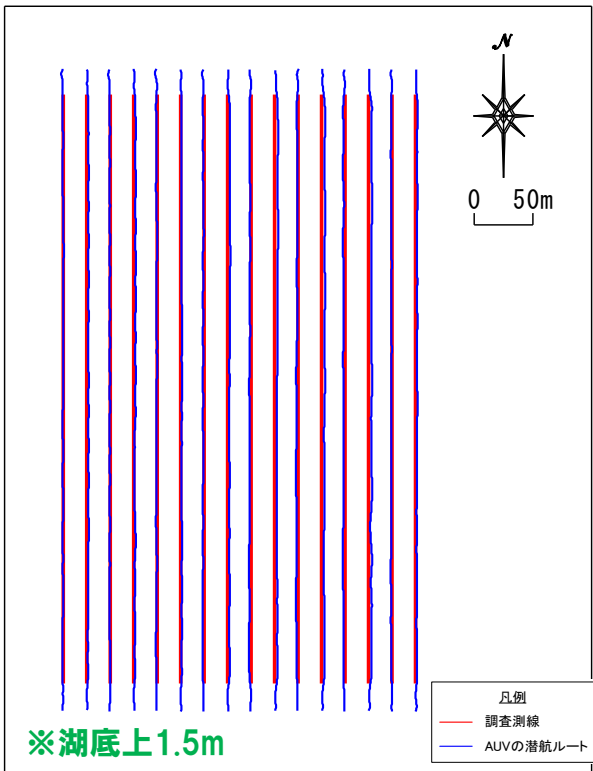


実施水域①におけるAUVの実際の潜航深度

実施水域①(2023年11月26日実施)



※湖底上2m

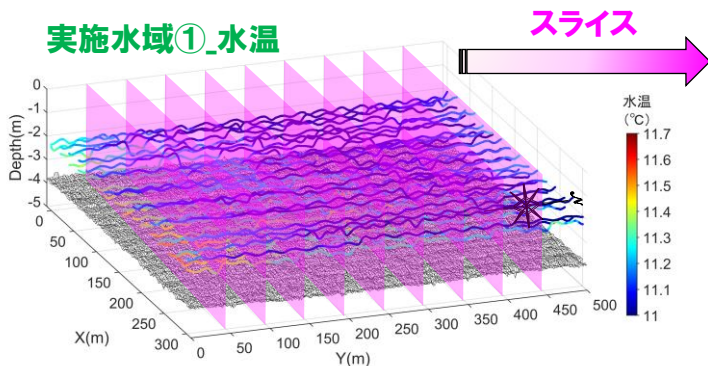


※湖底上1.5m

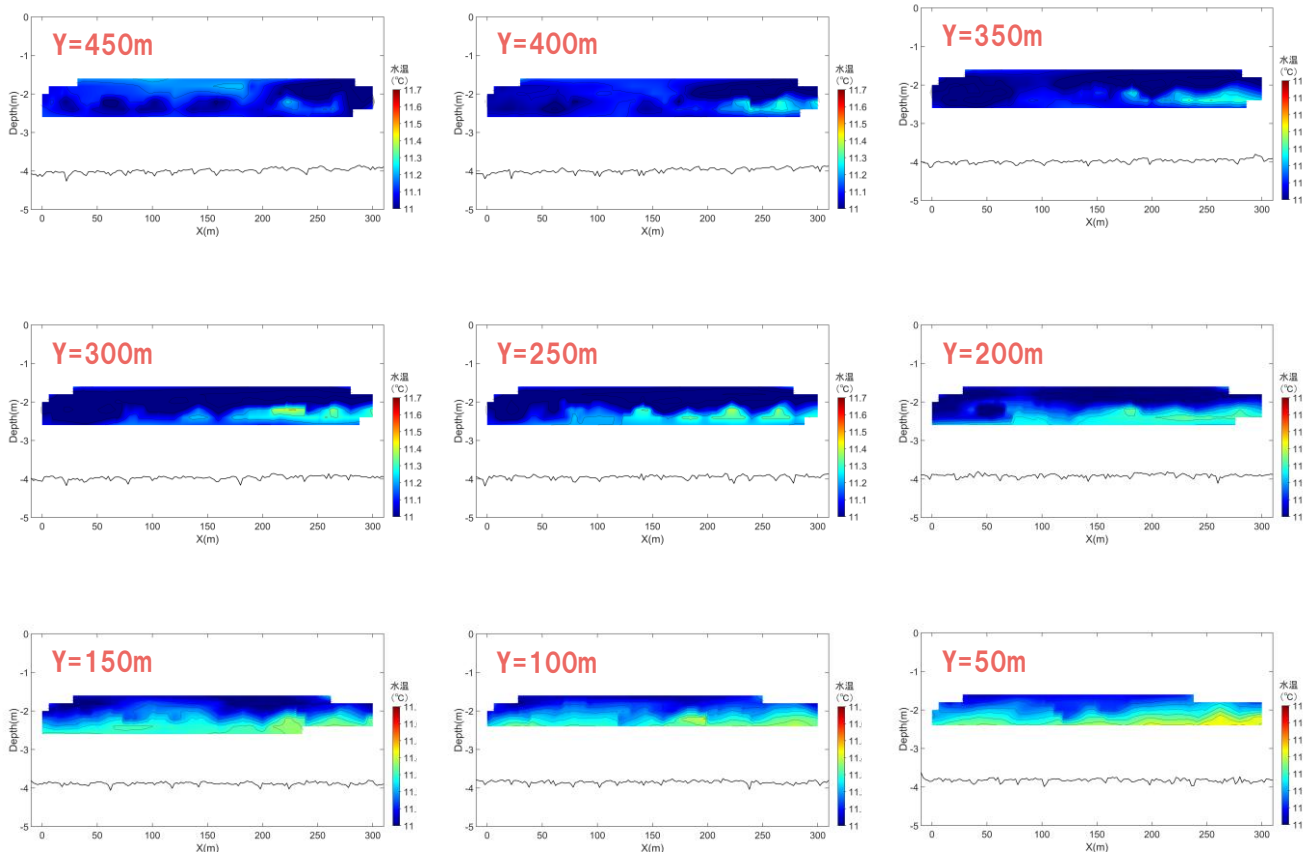
実施水域①内に20m間隔で設定した調査測線とAUVが実際に航行したルート

3. DO等の三次元測定の実行性の検証 ～水質測定～

- 実施水域①では、Y=50～400mの断面ラインの観測層下方に高水温の湖水が分布していたが、その水平方向の幅は北側の断面ラインほど狭くなり、また東側に偏在する傾向が見られた。Y=450mの断面ラインでは、高水温の湖水は観測層下方で全く見られず、逆に観測層上方で出現した。



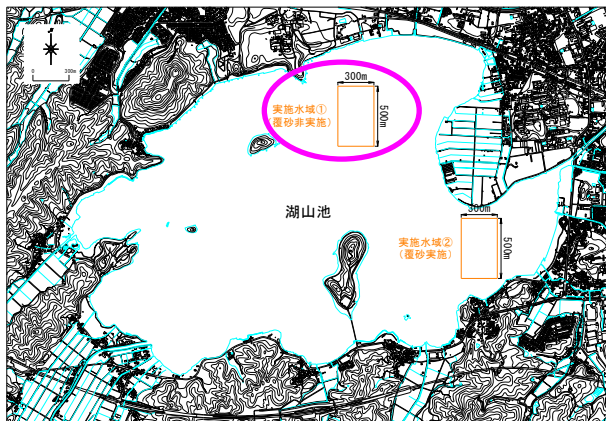
実施水域①における水温の三次元分布
測定日時: 2023年11月26日 11:01～17:00



実施水域①のY=50・100・150・200・250・300・350・400・450m

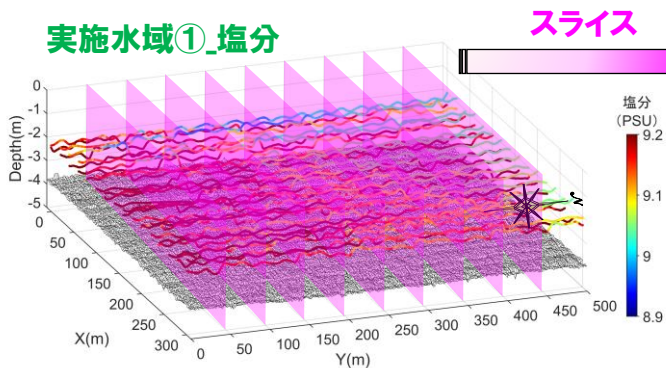
の断面ラインにおける水温の鉛直分布

測定日時: 2023年11月26日 11:01～17:00

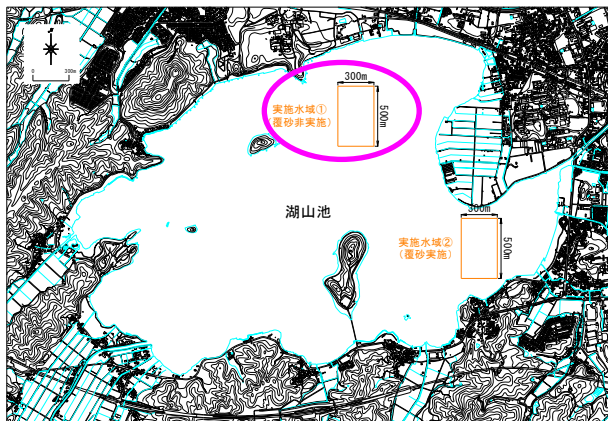
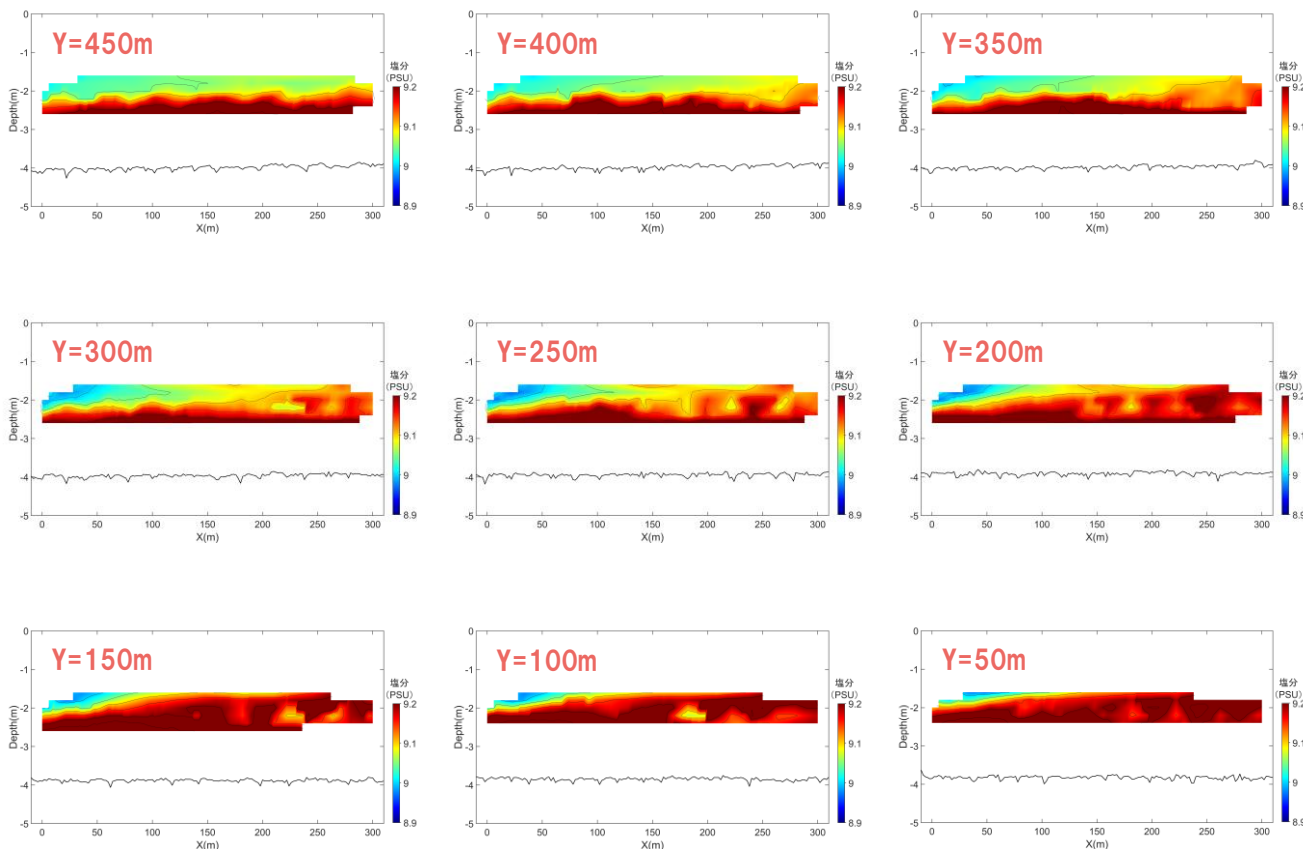


3. DO等の三次元測定の実行性の検証 ～水質測定～

- 実施水域①では北側の断面ラインほど、鉛直方向の塩分がほぼ均一な領域(混合領域)が小さくなり、また東側に偏在する傾向が見られた。Y=450mの断面ラインの塩分の鉛直分布には、水平方向の全範囲で水深による差(成層構造)が見られた。



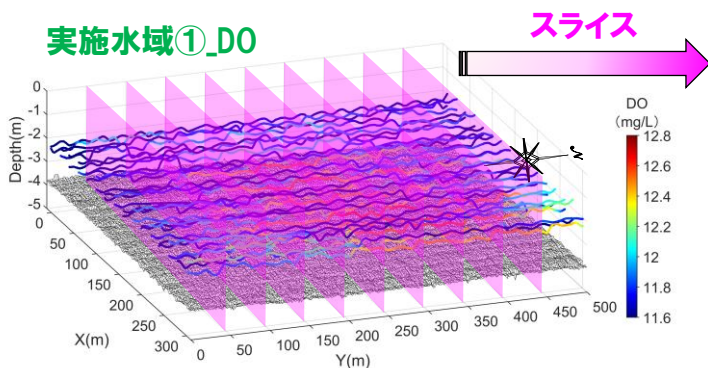
実施水域①における塩分の三次元分布
測定日時:2023年11月26日 11:01~17:00



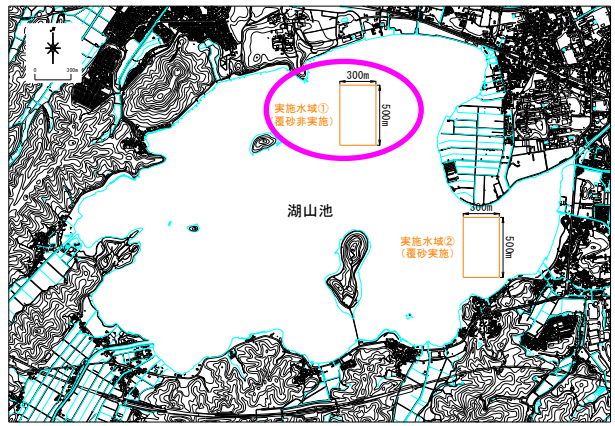
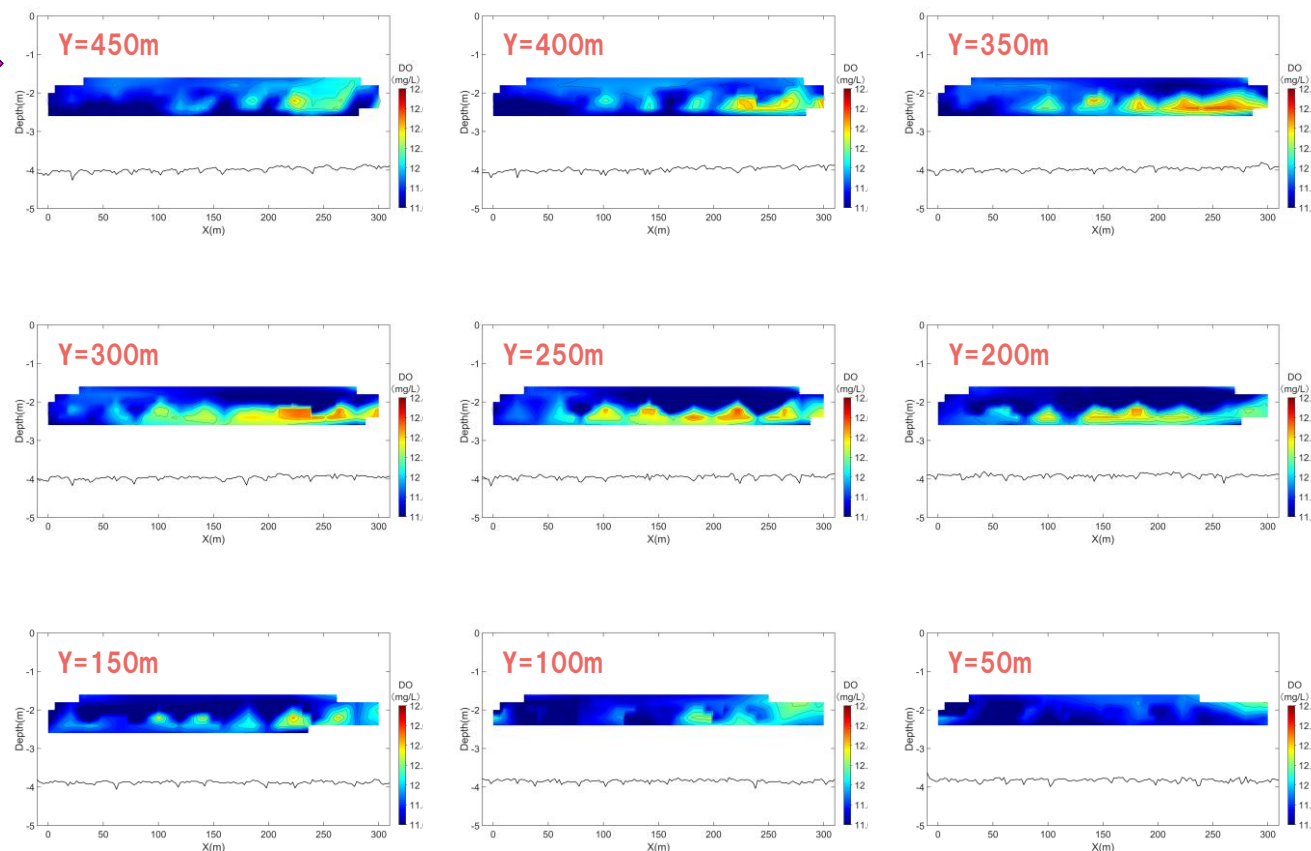
実施水域①のY=50・100・150・200・250・300・350・400・450m
の断面ラインにおける塩分の鉛直分布
測定日時:2023年11月26日 11:01~17:00

3. DO等の三次元測定の実行性の検証 ～水質測定～

- 実施水域①におけるDOの測定値は、植物プランクトンの増殖の影響により11mg/L以上と高いレベルであった。東側の観測層では、DOと水温の高い場所がよく一致した。
- DOは、実施水域①の中で水深が最も深い北西端付近で低い値を示した。

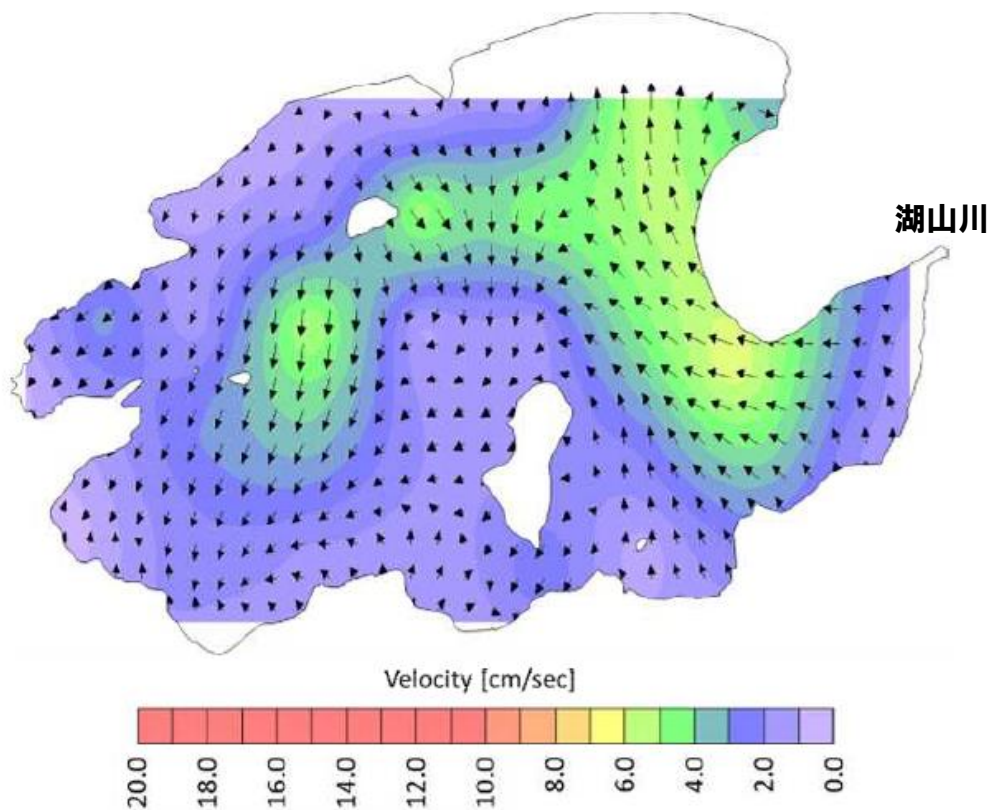


実施水域①におけるDOの三次元分布
測定日時: 2023年11月26日 11:01~17:00

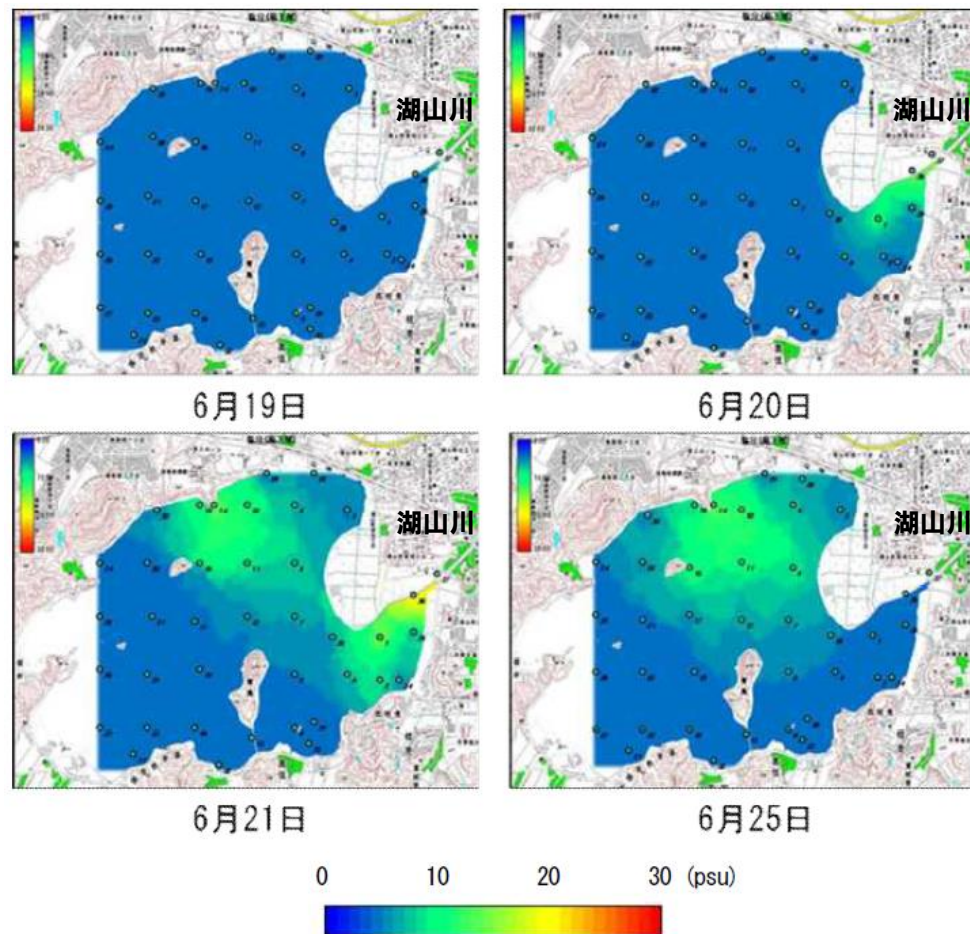


実施水域①のY=50・100・150・200・250・300・350・400・450m
の断面ラインにおけるDOの鉛直分布
測定日時: 2023年11月26日 11:01~17:00

- 湖山川から流入した海水は、池東岸に沿って北上して湖底深部へ向かうことがこれまでの調査で確認されている(安田ら, 2019)。

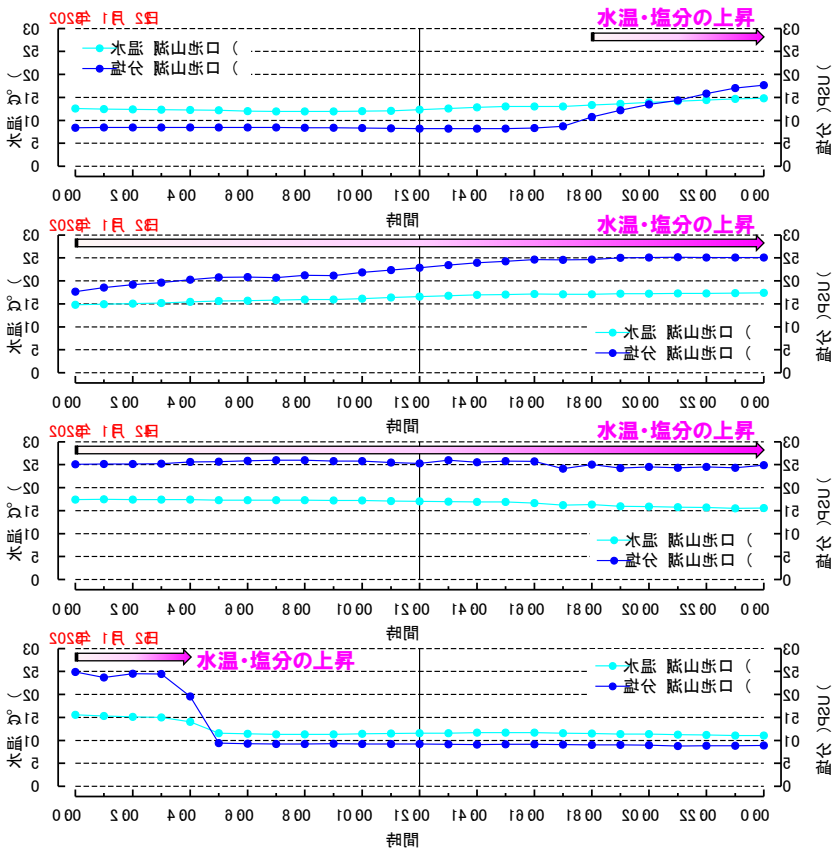


底層の流向流速分布図(2019年9月28日)
(安田ら, 2019)

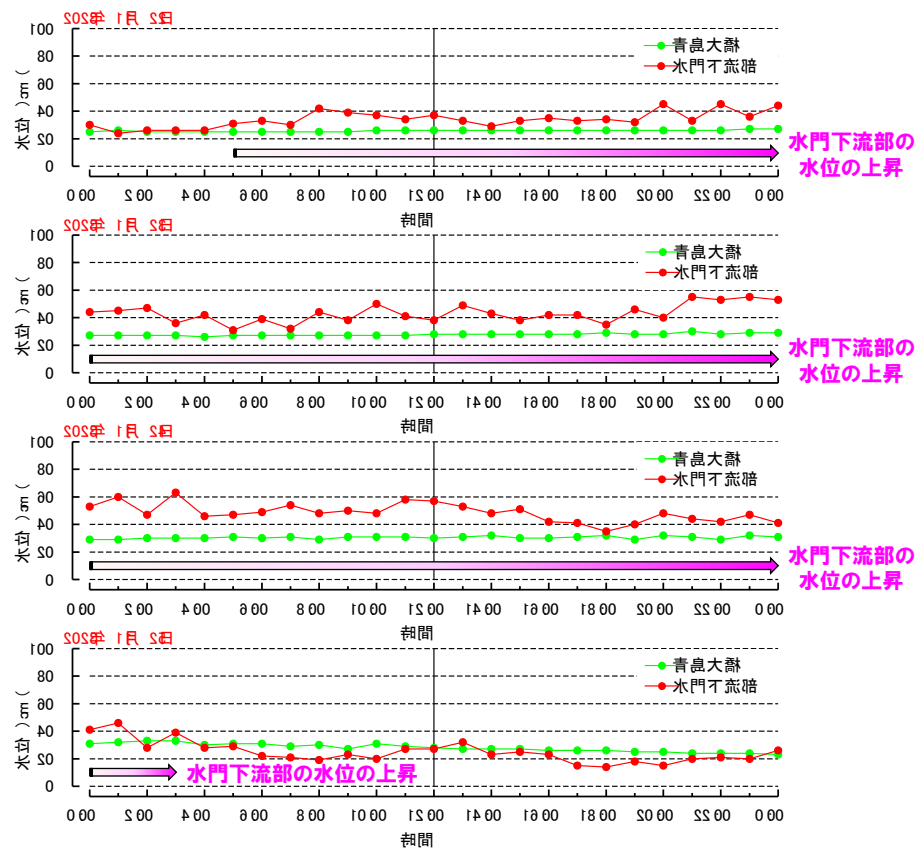


一部調査日の最下層における塩分濃度分布(2019年6月)
(安田ら, 2019)

- 実施水域①の測定(2023年11月26日11:01～17:00)の前には、湖山池口(湖山池観測局)の水溫と塩分は2023年11月22日18:00頃から上昇し、11月25日4:00頃まで高い値で推移していた。
- また、2023年11月22日5:00～11月25日3:00の期間には、水門下流部(池外;湖山池観測局)の水位は青島大橋(池内;湖山池観測局)のそれより高い値を示した。



湖山池口(湖山池観測局)における水溫と塩分の経時変化



青島大橋・水門下流部(湖山池観測局)における水位の経時変化

3. DO等の三次元測定の実行性の検証 ～水質測定～

- 実施水域①で認められた以下の現象は、湖山川から流入した海水(高塩分, 高水温)の湖底深部への移動に伴う二重拡散対流(塩分に加えて水温の違いが浮力に寄与する対流)によって誘発されていると考えられる。
- ◇ Y=50～400mの断面ラインの観測層下方に高水温の湖水が分布していたが、その水平方向の幅は北側の断面ラインほど狭くなり、また東側に偏在する傾向が見られた。
- ◇ 北側の断面ラインほど、鉛直方向の塩分がほぼ均一な領域(混合領域)が小さくなり、また東側に偏在する傾向が見られた。
- ◇ 東側の観測層では、DOと水温の高い場所(三次元的な濃度勾配)がよく一致した。

結論!

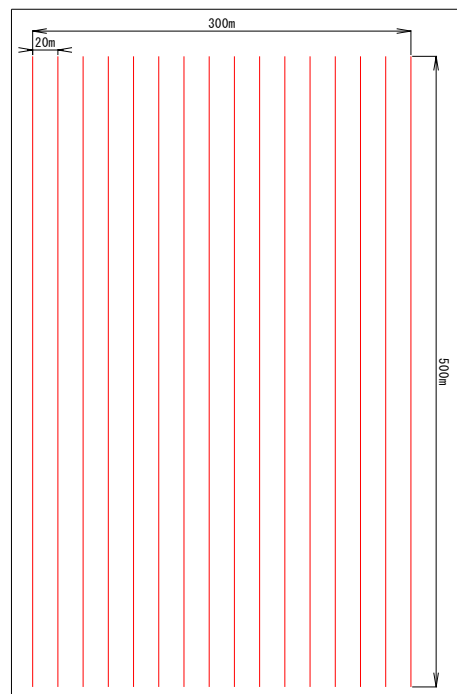


結論!

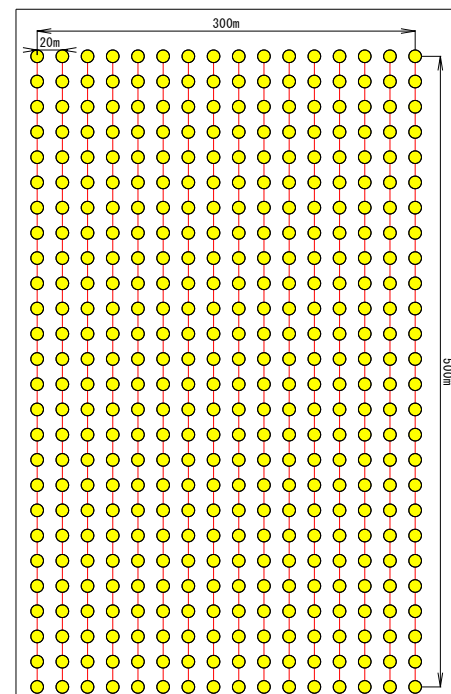
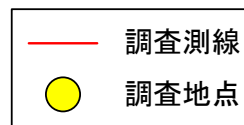
- このように、実施水域①におけるAUVによる水質の三次元測定では、湖山川から流入した海水(高塩分, 高水温)の湖底深部への移動に伴う二重拡散対流や、DO等の三次元的な濃度勾配を把握することができた。
- したがって、多項目水質計搭載のAUVを水平・鉛直的に航行させることで、水質の三次元測定は実行可能であると判断できる。

4. 従来の調査方法に対する低コスト化の実現性の検証

- AUVによる水質の三次元測定では、実施水域①内(500m×300m)に20m間隔で設定した調査測線16本において、湖底上1.5mと湖底上2mの深度を速度1m/sでAUVに自律航行させた(2023年11月26日 11:01~17:00[所要時間359分];調査員2人で対応)。これにより、Y軸方向(調査測線と平行)1m間隔、X軸方向(調査測線と垂直)20m間隔の水質データを取得した。
- これと同様な水質データを取得するためには最低でも、実施水域①内(500m×300m)に20m×20m間隔で配置した調査地点416地点において、船上から可搬型多項目水質計を垂下して鉛直的に水質を測定する必要がある。



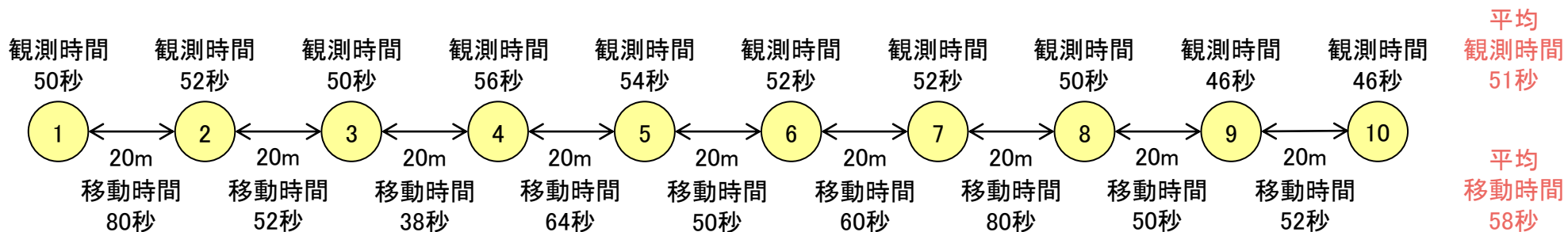
AUVによる水質の三次元測定
を実施した調査測線



船上からの水質の鉛直測定
を実施する調査地点

4. 従来の調査方法に対する低コスト化の実現性の検証

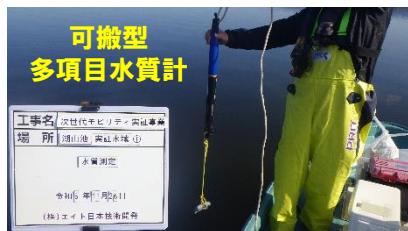
- 実施水域①内に20m間隔で配置した調査地点10地点において、**可搬型多項目水質計**を船上から垂下して水質の鉛直測定を実施した。1地点当りの平均観測時間は**51秒**、次の調査地点への平均移動時間は**58秒**であった(風や波による船の移動がない場合)。



- これらを使用して、前述の調査地点416地点において船上からの水質の鉛直測定を実施した場合の所要時間(観測時間+移動時間)を計算すると**756分**(=354分+402分)となる。荒天の場合は、所要時間が長くなる可能性が高い。

観測時間 = 平均観測時間51秒 × 調査地点416地点 = 21,216秒 ≒ **354分**
 移動時間 = 平均移動時間58秒 × 調査地点416地点 = 24,128秒 ≒ **402分**

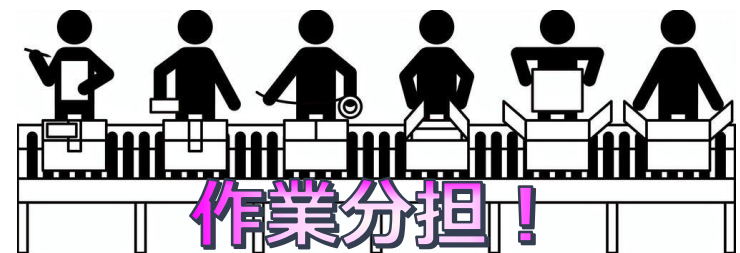
- AUVによる水質の三次元測定と同程度の所要時間(359分)で船上からの水質の鉛直測定を実施するためには、**2班体制を採用して作業を分担**することが必要となる。



船上からの水質の鉛直測定(1班)



船上からの水質の鉛直測定(2班)



4. 従来の調査方法に対する低コスト化の実現性の検証

- AUVによる水質の三次元測定(調査員2人で対応)と、船上からの水質の鉛直測定(調査員4人[2人1組]で対応)に係る人件費はそれぞれ下表のようになる。
- AUVによる水質の三次元測定に係る人件費は78,300円、船上からの水質の鉛直測定に係る人件費は156,600円となる。

結論!



結論!

- したがって、AUVによる水質の三次元測定では、船上からの水質の鉛直測定に比べて人件費を半減できると評価される。

AUVによる水質の三次元測定に係る人件費

名称	形状寸法	単位	数量	単価	費用
技師	測量	人	1	44,000	44,000
技師補	測量	人	1	34,300	34,300
合計					78,300

※表中の単価には、「令和5年3月から適用する設計業務委託等技術者単価」を使用した。

【積算条件】

- 調査範囲:500m×300m
- 調査測線の長さ:500m
- 調査測線の間隔:20m
- 人員構成:調査員2人(AUVの投入・回収のみ)
- 調査時間:359分

船上からの水質の鉛直測定に係る人件費

名称	形状寸法	単位	数量	単価	費用
技師	測量	人	2	44,000	88,000
技師補	測量	人	2	34,300	68,600
合計					156,600

※表中の単価には、「令和5年3月から適用する設計業務委託等技術者単価」を使用した。

【積算条件】

- 調査範囲:500m×300m
- 調査地点数:416地点
- 調査地点の間隔:20m
- 人員構成:調査員4人(2人1組の2班体制)
- 調査時間:378分(=前述の756分÷2班)

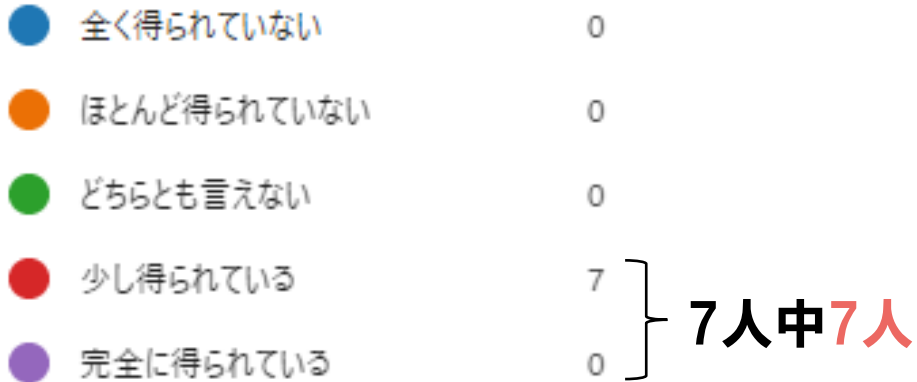
5. ユーザーが活用したい技術かどうかの判定の検証

- AUVによる水質の三次元測定技術に対する**ユーザーの満足度**を把握するためのアンケート調査は、本実証実験の成果に係る説明会に参加した**鳥取県・鳥取市の職員や湖山池漁協の組合員を対象として実施**した。ここで調査票は、Microsoft Formsを使用してオンラインで送付・回収した。
- 調査票に記載した質問，調査票の送付・回収時期は下表に示すとおりである。

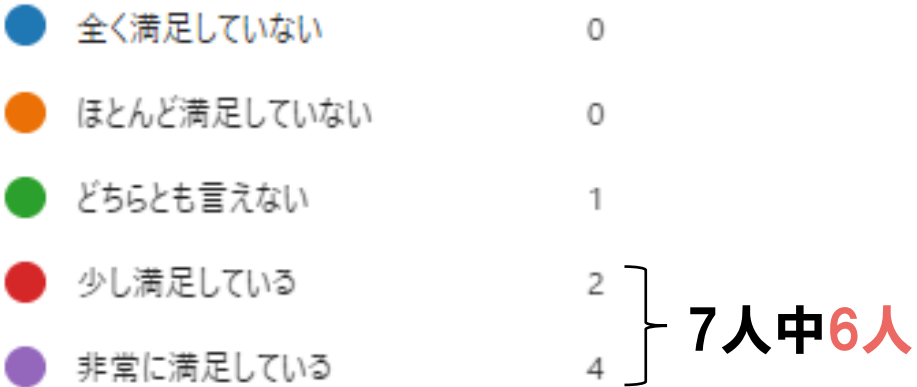
効果検証項目	調査票に記載した質問	調査票の送付・回収時期
技術に対する ユーザーの満足度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 多項目水質計搭載のAUVによる水質の三次元測定技術を適用したことで、期待した成果(DO等の三次元測定)を得ることができたと思いますか？ 2. 本技術の機能性について、あなたの満足度はどの程度ですか？ 3. 本技術の信頼性について、あなたの満足度はどの程度ですか？ 4. 本技術の経済性について、あなたの満足度はどの程度ですか？ 5. あなたは本技術を他の人に推奨しますか？ 6. 本技術について最も満足できたと感じる部分は何ですか？ 7. 本技術について、まだ改善が必要と感じる部分は何ですか？ 8. 本技術について、他にコメントや提案があれば教えてください。 	本実証実験の成果に係る説明会の開催後 (2024年2月6～9日)

5. ユーザーが利活用したい技術かどうかの判定の検証

1. 多項目水質計搭載のAUVによる水質の三次元測定技術を適用したことで、期待した成果(DO等の三次元測定)を得ることができましたか？(1つ選択)



2. 本技術の機能性について、あなたの満足度はどの程度ですか？(1つ選択)



5. ユーザーが利活用したい技術かどうかの判定の検証

3. 本技術の信頼性について、あなたの満足度はどの程度ですか？(1つ選択)

- 全く満足していない 0
 - ほとんど満足していない 0
 - どちらとも言えない 0
 - 少し満足している 6
 - 非常に満足している 1
- } **7人中7人**



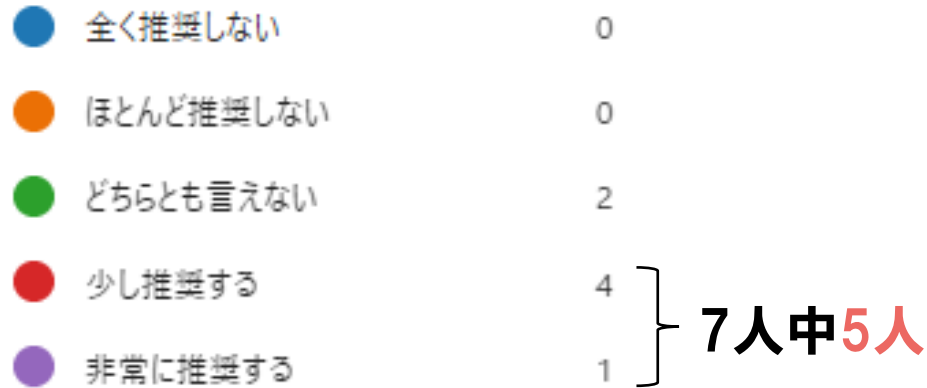
4. 本技術の経済性について、あなたの満足度はどの程度ですか？(1つ選択)

- 全く満足していない 0
 - ほとんど満足していない 0
 - どちらとも言えない 4
 - 少し満足している 3
 - 非常に満足している 0
- } **7人中4人**
- } **7人中3人**



5. ユーザーが利活用したい技術かどうかの判定の検証

5. あなたは本技術を他の人に推奨しますか？(1つ選択)



結論!



結論!

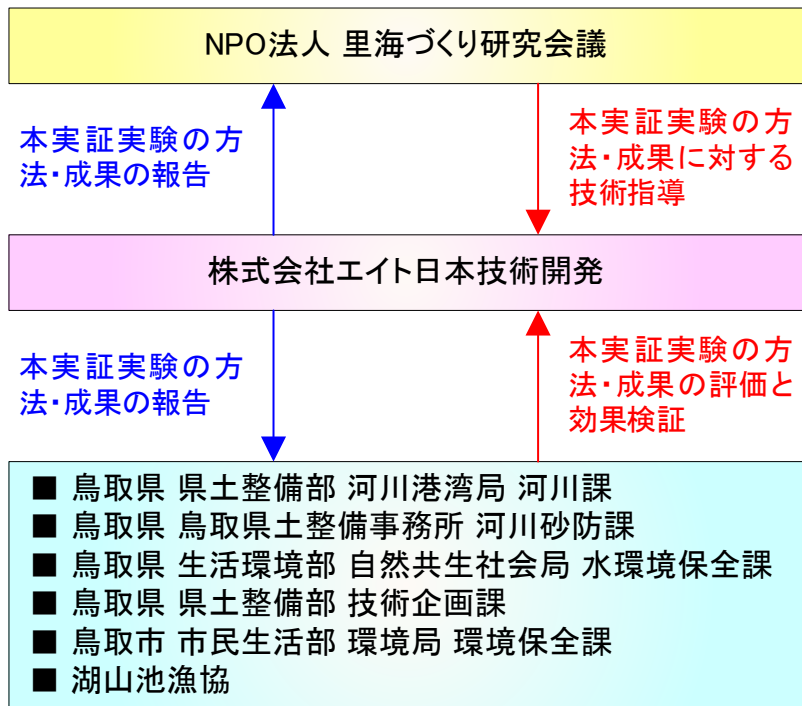
- 以上の結果から、多項目水質計搭載のAUVによる水質の三次元測定技術に対するユーザー(地方自治体や海域を利用する事業者等)の満足度は高く、利活用したい技術に該当すると判断できる。
- しかしながら、AUVの高額な機材損料に対する懸念から、経済性に関するユーザーの満足度は低くなっている。

5. ユーザーが活用したい技術かどうかの判定の検証

- このため、多項目水質計搭載のAUVによる水質の三次元測定技術の事業化・社会実装を推進するには、以下のような取組を実行して**ユーザーの満足度を向上**させることが必要である。
- ◇ **価値の明確化**: AUVの機材損料がなぜ高額なのか、その背後にある**価値(自動的・自律的な三次元測定)**を明確に説明する。
- ◇ **サービスの改良**: コストを下げるための**設計変更(地形調査とのセット販売)**を行う。
- ◇ **資金調達**: **補助金の獲得等**により、ユーザーの負担を軽減する。
- ◇ **フェーズド・アプローチ**: 多項目水質計搭載のAUVによる水質の三次元測定技術を**段階的に導入**する調査計画を提案する。
- ◇ **費用対効果の実証**: 長期的な視点で見た場合の**経済的な利益や効率的なメリット**について、ケーススタディや事例に基づいて明確に示す。
- ◇ **営業とマーケティングの強化**: ターゲット顧客のニーズや問題点に対する理解を深め、それに対する**最適な解決策**として、多項目水質計搭載のAUVによる水質の三次元測定技術が位置付けられるという**メッセージ**を効果的に伝達する。

7. おわりに

■ 本実証実験は以下の体制で実施した。



法人名	具体的な役割	担当者名
株式会社エイト日本技術開発	本実証実験の方法の立案, 本実証実験の実施, 本実証実験の成果の整理を担当	大本茂之
鳥取県 県土整備部 河川港湾局 河川課	本実証実験の方法・成果の評価と効果検証を担当	大坪亮太
鳥取県 鳥取県土整備事務所 河川砂防課		岡田明枝
鳥取県 生活環境部 自然共生社会局 水環境保全課		安田 優
鳥取県 県土整備部 技術企画課		木山高志
鳥取市 市民生活部 環境局 環境保全課		岸本楓雅
湖山池漁協		邨上和男
NPO法人 里海づくり研究会議		本実証実験の方法・成果に対する技術指導を担当

■ 関係者の方々に、この場を借りて深く感謝の意を表する。



EJEC

ご清聴いただきありがとうございました

