農研機構
「食」を未来につなぐ責任と覚悟

水面移動型ドローンによる
3次元堆砂測量技術

農研機構　農村工学研究部門
向井　章恵

配付先限り

自己紹介

- 大阪府生まれ
- 2001年 国家公務員試験を経て、農業工学研究所 水工部
- 2009年 京都大学防災研究所 流砂災害研究領域（国内留学）
- 2011年 農研機構 近畿中国四国農業研究センター 傾斜地園芸研究領域
- 2016年 農研機構 農村工学研究部門 水利工学研究領域
- 2018年 農林水産省 大臣官房 技術政策室
- 2020年 農研機構 農村工学研究部門 水利工学研究領域

配付先限り

はじめに

ダム堆砂のメカニズム

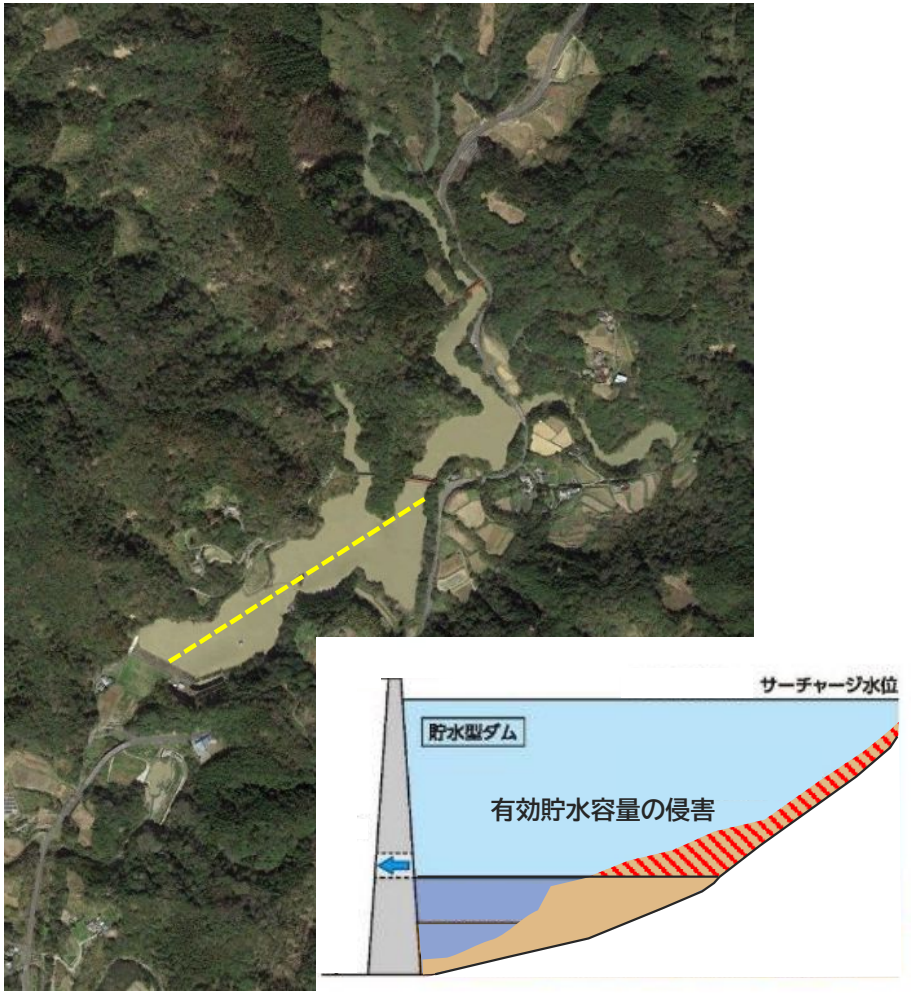
末次忠司(2022)「ダム堆砂の現状と今後の課題」より作成

① 土砂生産
- 流域の山地で風化・侵食・崩壊により土砂が発生
- 豪雨や地震により土砂生産量が増加

② 河川による土砂輸送
- 発生した土砂は降雨や洪水時に河川を流下
- 本来は下流や海域まで運搬される

③ ダムによる堆積
- ダム湖では流速が低下するため土砂が沈降
- 礫・砂は上流側、細粒土砂はダム付近に堆積

④ 堆砂の進行
- 貯水池内に土砂が蓄積
- 貯水容量が減少し、洪水調節・利水機能に影響



配付先限り

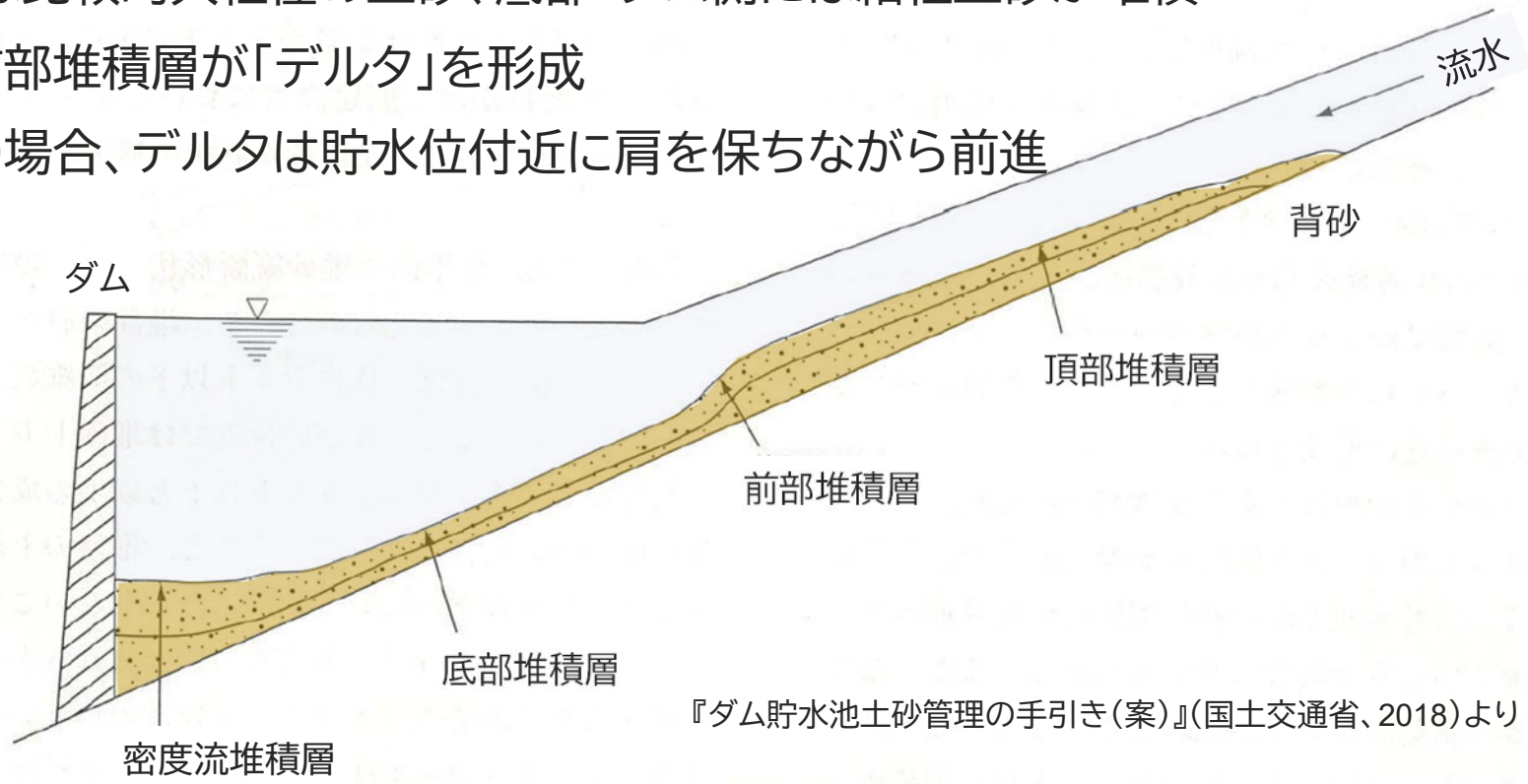
はじめに

ダム堆砂のメカニズム

① 流入土砂は粒径に応じて分級・堆積
　　頂部・前部には比較的大粒径の土砂、底部・ダム側には細粒土砂が堆積

② 頂部堆積層＋前部堆積層が「デルタ」を形成

③ 貯水位が一定の場合、デルタは貯水位付近に肩を保ちながら前進



『ダム貯水池土砂管理の手引き（案）』（国土交通省、2018）より

配付先限り

ダム堆砂メカニズム研究の最新動向

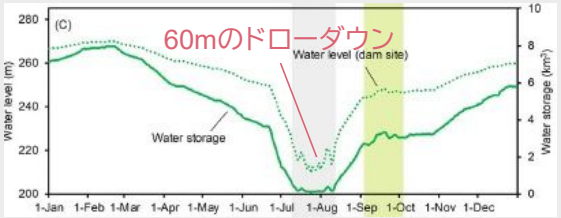
土砂貯留域(sink)から土砂供給源(source)へ

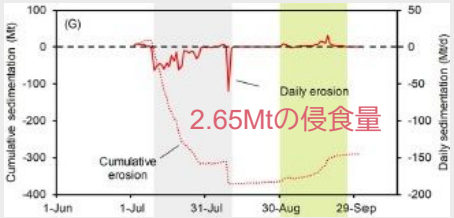
Episodic Reservoir Flooding Transforming Sediment Sinks to Sources

Yang et al. (2025), Communications Earth & Environment

「シンク→ソース転換の大規模・定量評価」

- ✓黄河の三門峡・小浪底ダムを対象に洪水時の貯水池侵食量を定量評価
- ✓2019年洪水で1.12億トン、2.65億トンの堆砂が再移動
- ✓貯水池侵食による土砂供給量は10年間の河川土砂流出量の約25%に相当
- ✓堆砂率が高い貯水池では、洪水・ドローダウンにより「シンク→ソース」へ転換



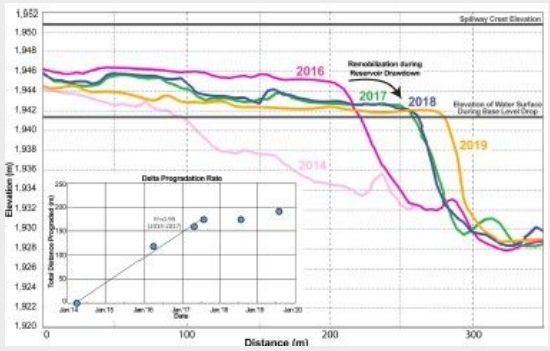


Channel Response and Reservoir Delta Evolution Following an Extreme Flood

Eidmann et al. (2022), JGR: Earth Surface

「デルタスケールでみるシンク→ソースのメカニズム」

- ✓ 2014～2019年に渡り、現地観測をベースに河道から貯水池デルタまでを解析
- ✓ 河道から供給される土砂量は時間とともに指数関数的に減少
- ✓ 一方、ドローダウン時にはデルタ頂部が侵食され、新たな土砂供給源へ転換
- ✓ 河道 → デルタ → デルタ自身へと土砂供給源が変化



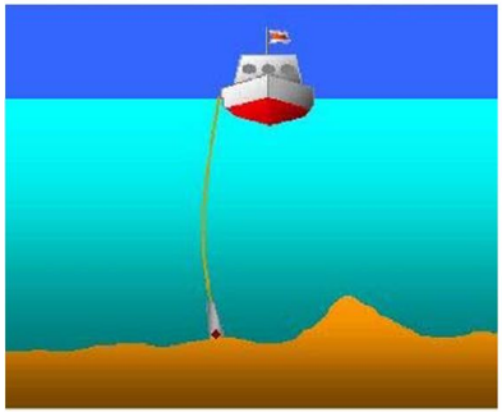
配付先限り

ダム堆砂測量技術 ①

『ダム貯水池土砂管理の手引き（案）』（国土交通省、2018）より

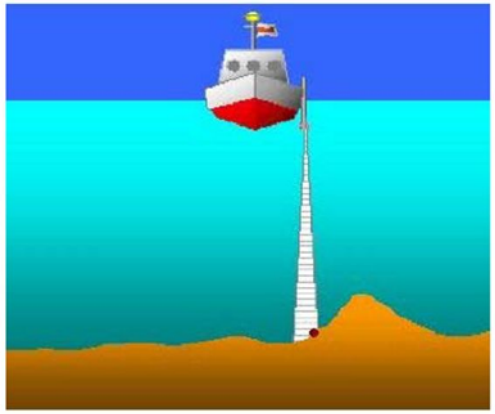
ロッド・レッドによる直接測定

ロッドや錘（レッド）を水底まで下ろし、その長さから水深を点で測る。



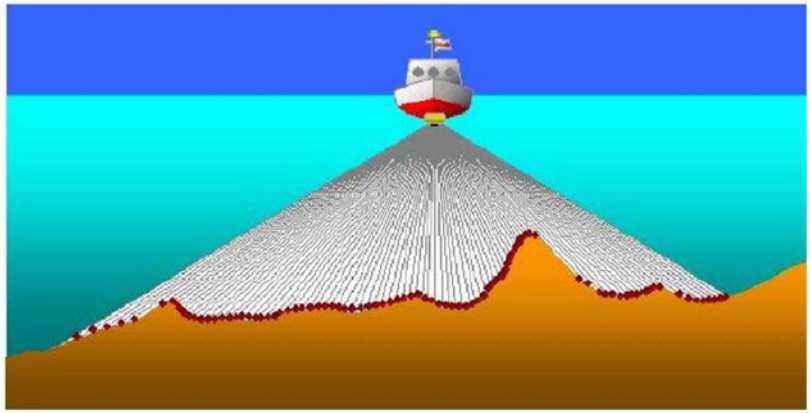
シングルビーム音響測深（SB）

水底に向けて音波を鉛直下方にビーム状に発信し、航行ルートに沿って水深を線的に測る。



マルチビーム音響測深（MB）

水底に向けて多数の音波を扇状に発信し、広い範囲の水深を面的に測る。
理想的な測深であるが、システムが複雑で非常に高価である。



配付先限り

ダム堆砂測量技術 ②

『ダム貯水池土砂管理の手引き（案）』（国土交通省、2018）より

マルチビーム音響測深による堆砂形状のデータ化

■堆砂測量データの活用事例③（堆砂平面形状把握）

航空レーザ測量やマルチビーム音響測深等の測量データから、貯水池の堆砂形状をデータ化（三次元地形モデル）し、三次元画像を作成することで、目視による面的な堆砂状況の把握が可能となる。

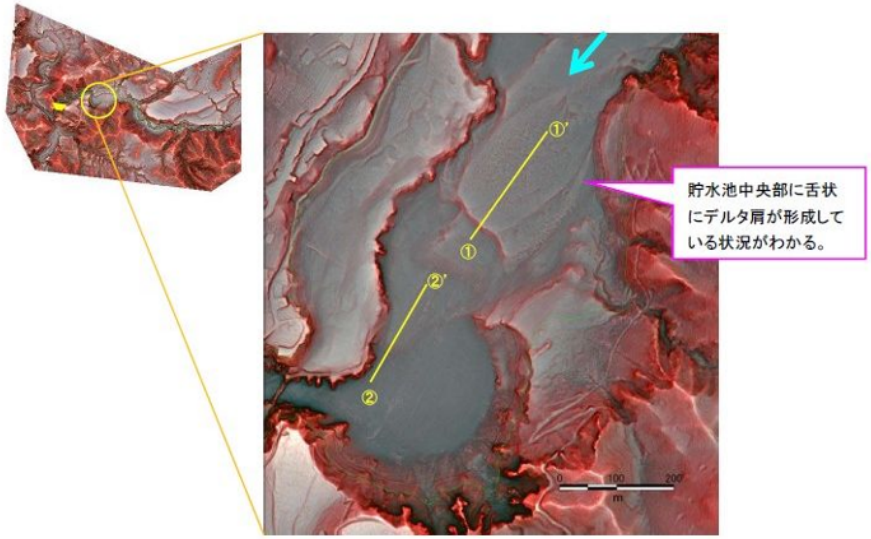


図 3　三次元画像による堆砂平面形状の把握例　（赤色立体地図：薗原ダム）

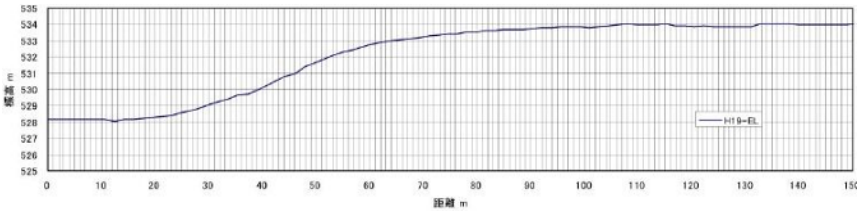


図 4　三次元地形モデルより作成した任意断面形状　（薗原ダム）

■堆砂測量データの活用事例④（局所的な堆砂状況の把握）

作成年度の異なる三次元地形モデルデータの差分から、局所的に堆積傾向のある箇所等を把握することができる。

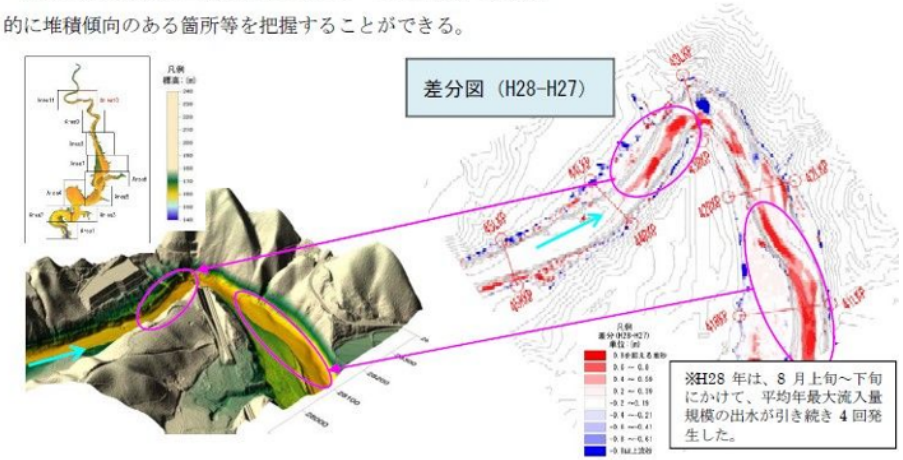


図 5　三次元地形モデルを用いた局所的な堆積箇所の把握例　（四十四田ダム）

農業用ダムでマルチビーム音響測深を導入するのは、コスト的に困難

低コストで省力的な測量技術を開発

配付先限り

低コストで省力的な測量技術

水面移動型ドローン



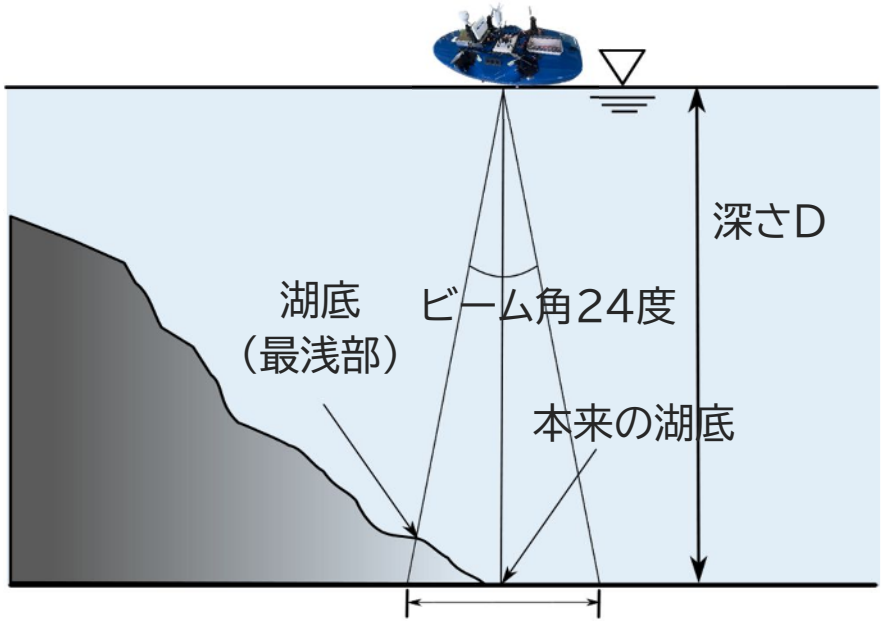
■ 機体情報	
サイズ	長さ185 × 幅85cm
重量	約23kg
最高速度	約1.5m/s
連続稼働時間	約1時間30分
計測可能水深	約20cm～約150m
魚群探知機の構成	本体（Elite FS 7, Lowrance社製） 高精度GPS（Point 1, Lowrance社製） 振動子（Active Imaging 3in1, Lowrance社製） バッテリー（3S Lipo, SIGP社製）

30万円以下（低コスト）

配付先限り

低コストで省力的な測量技術　ー水面移動型ドローンー

測深誤差と水面移動型ドローンの有効性



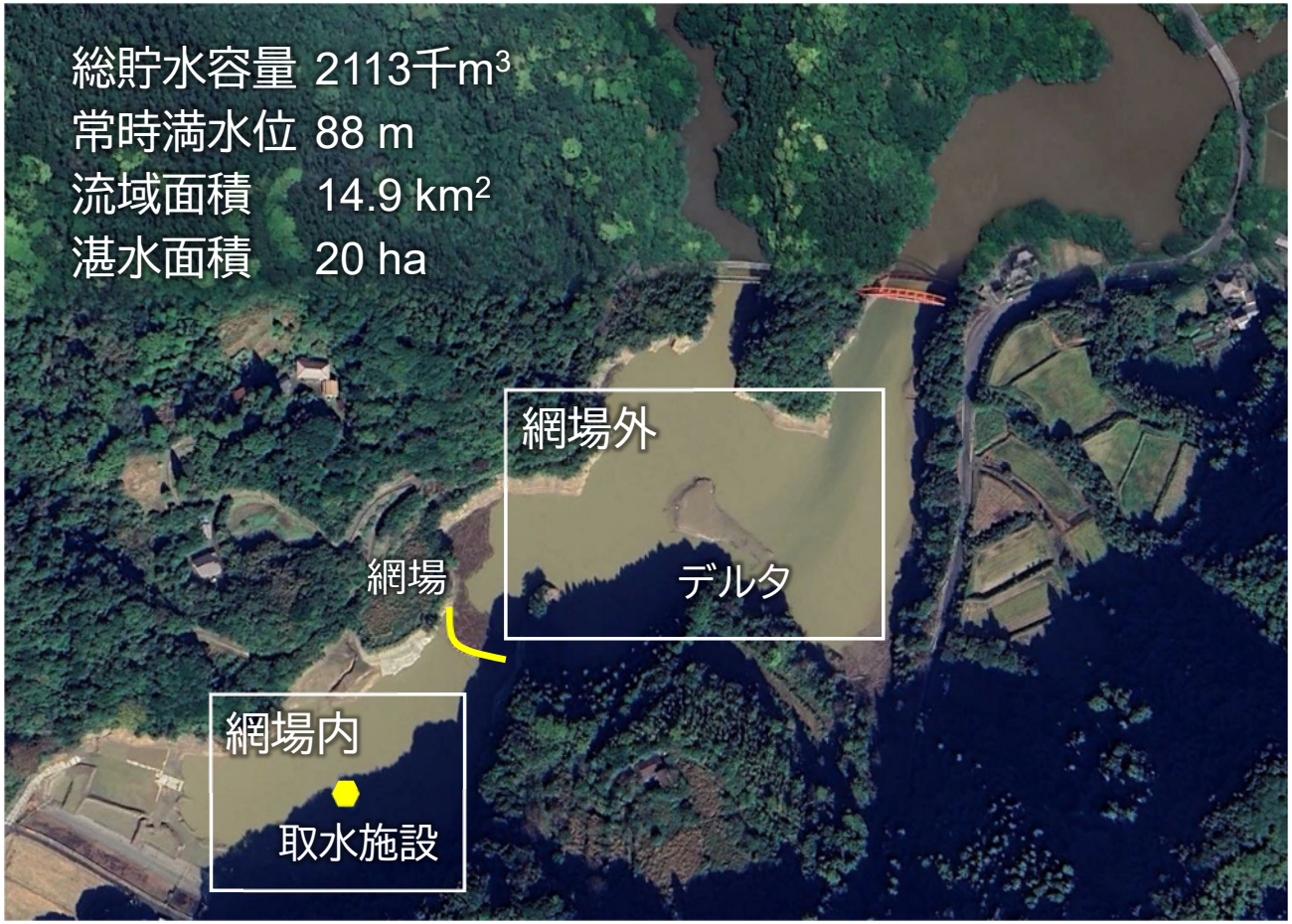


- ビームの照射範囲内に斜面が含まれると、最も浅い地点を湖底として誤認
- ボートは湖岸付近で旋回し、湖岸と平行に近い姿勢で航行するため、実際より浅い水深を出力
- 水面移動型ドローンは機首の向きを固定してXY 平面上を自由に移動できるため、測深誤差を安定的に低減

配付先限り

実証ダムの概要

安房中央ダム（千葉県南房総市）



網場外

長期的な堆砂対策工法（ドライ掘削）が検討されているエリア

網場内

取水施設周辺の堆砂が進行しないよう、取水施設を囲う隔壁の新設が検討されているエリア

配付先限り

実証ダムの概要

堆砂対策について

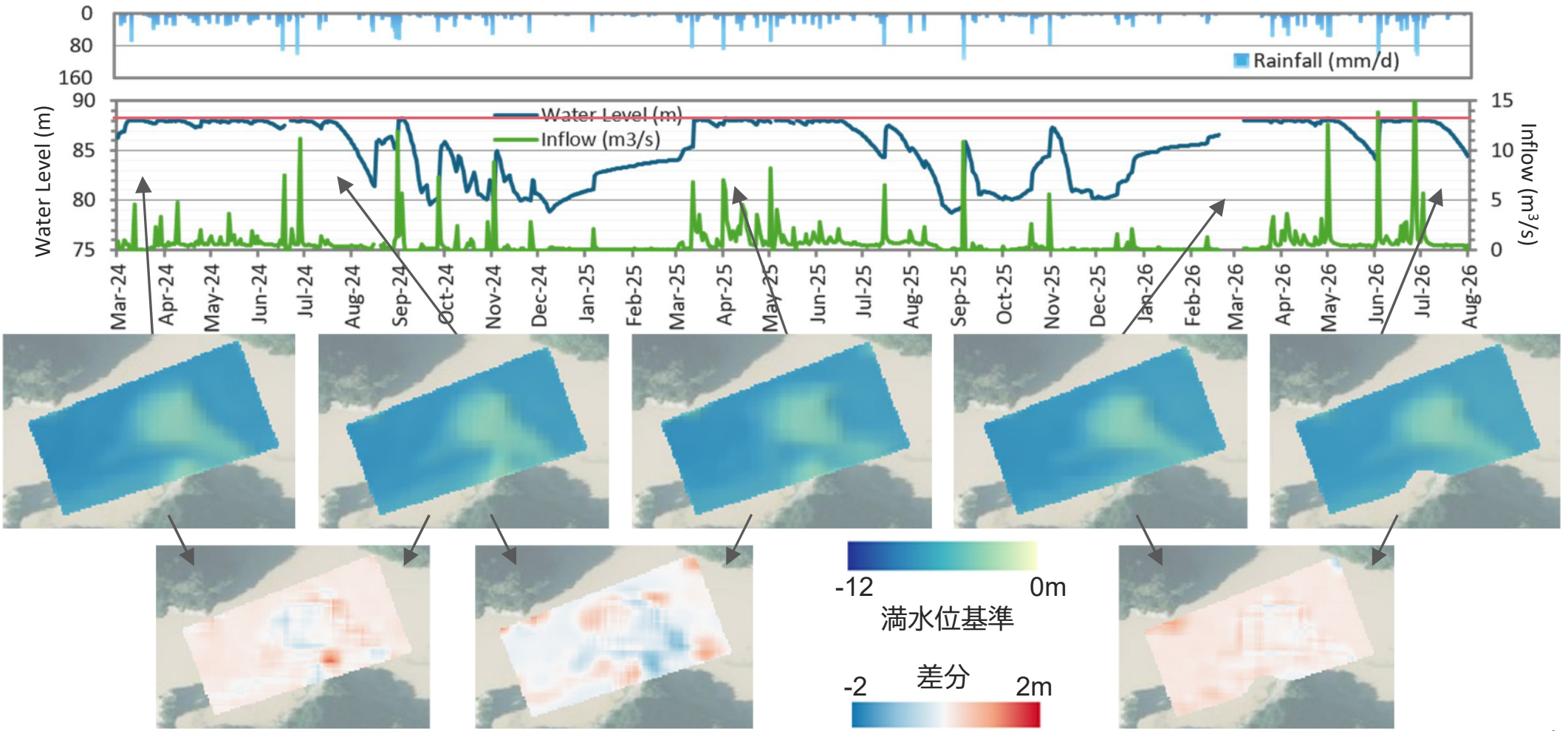






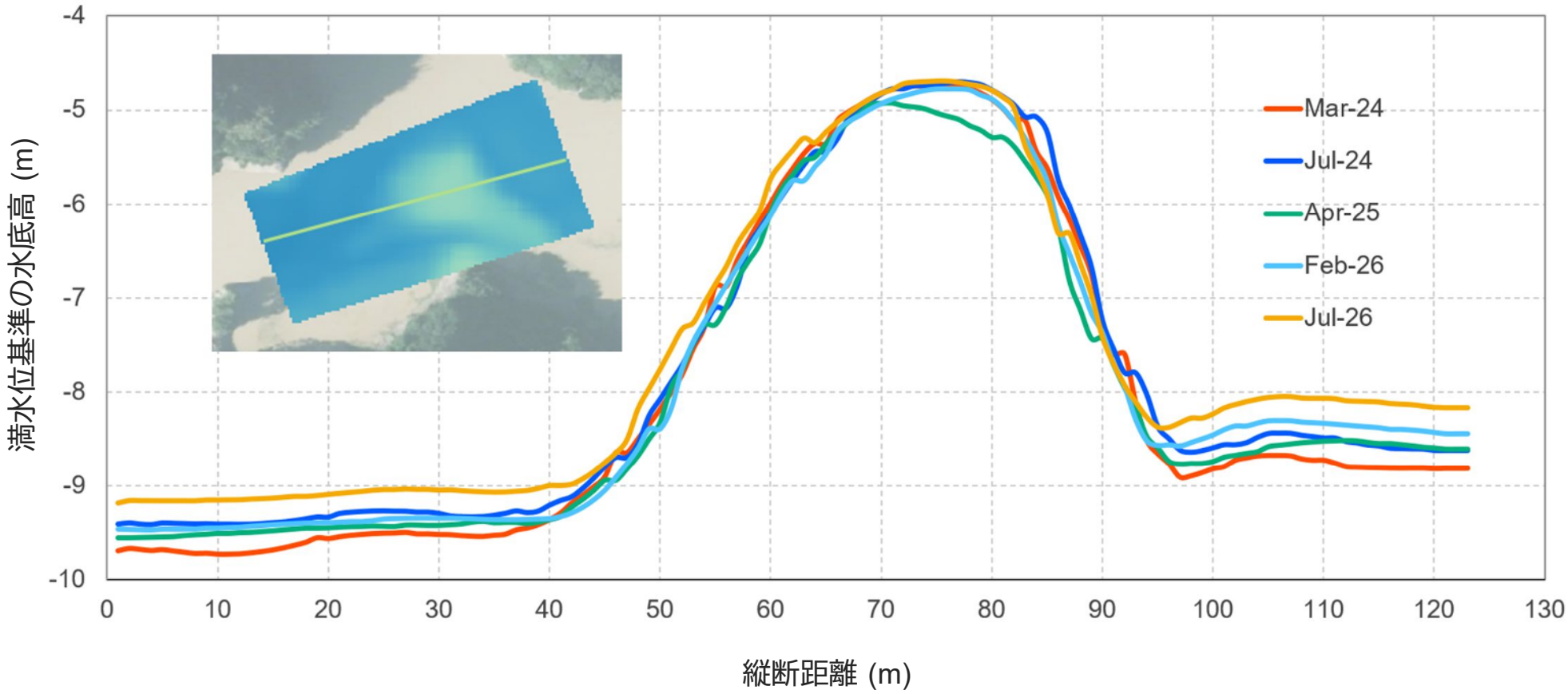


堆砂形状の経時変化 ―網場外―



配付先限り

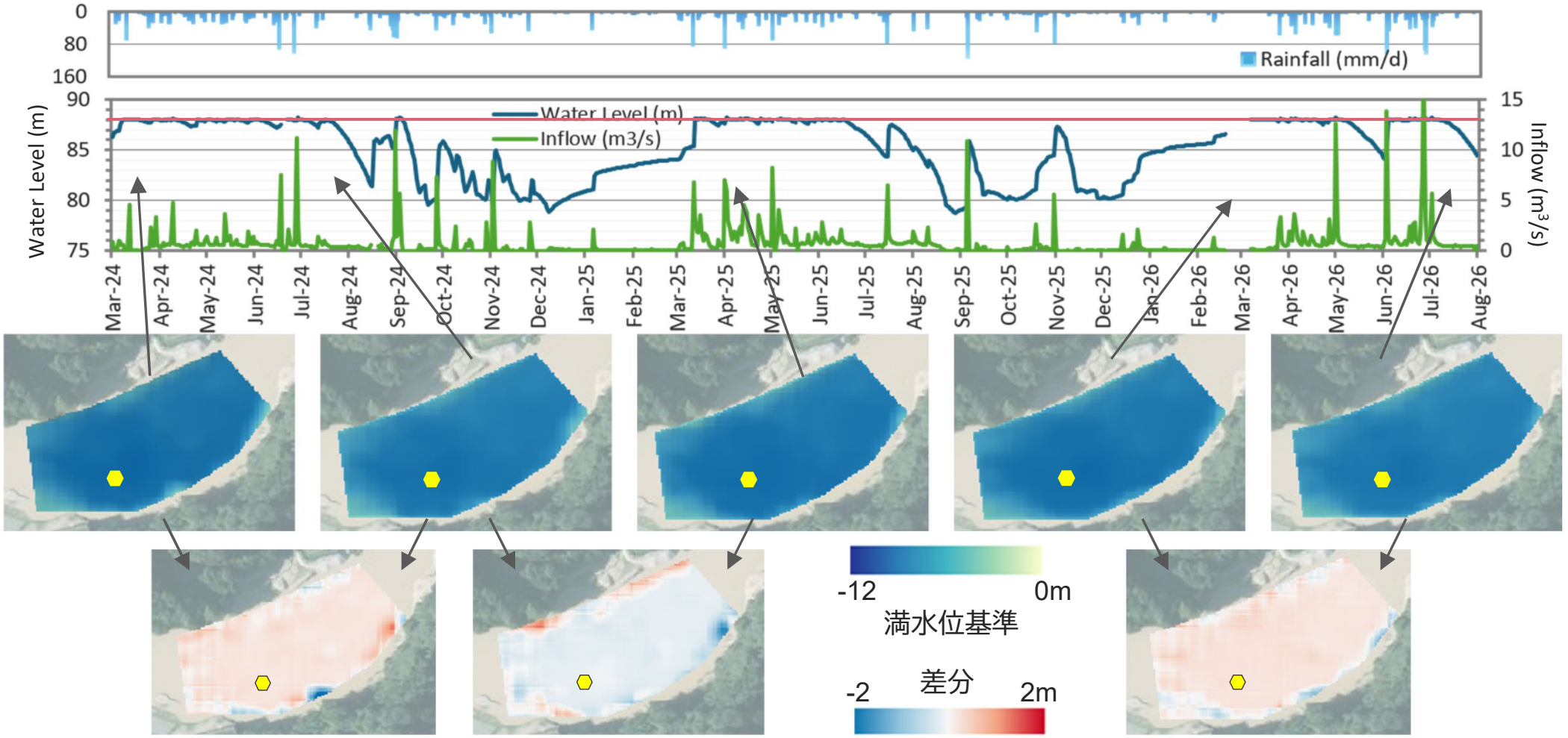
堆砂形状の縦断方向の変化 ー網場外ー



- 2023年以降、対策を講じていないので、堆砂は増加傾向にある

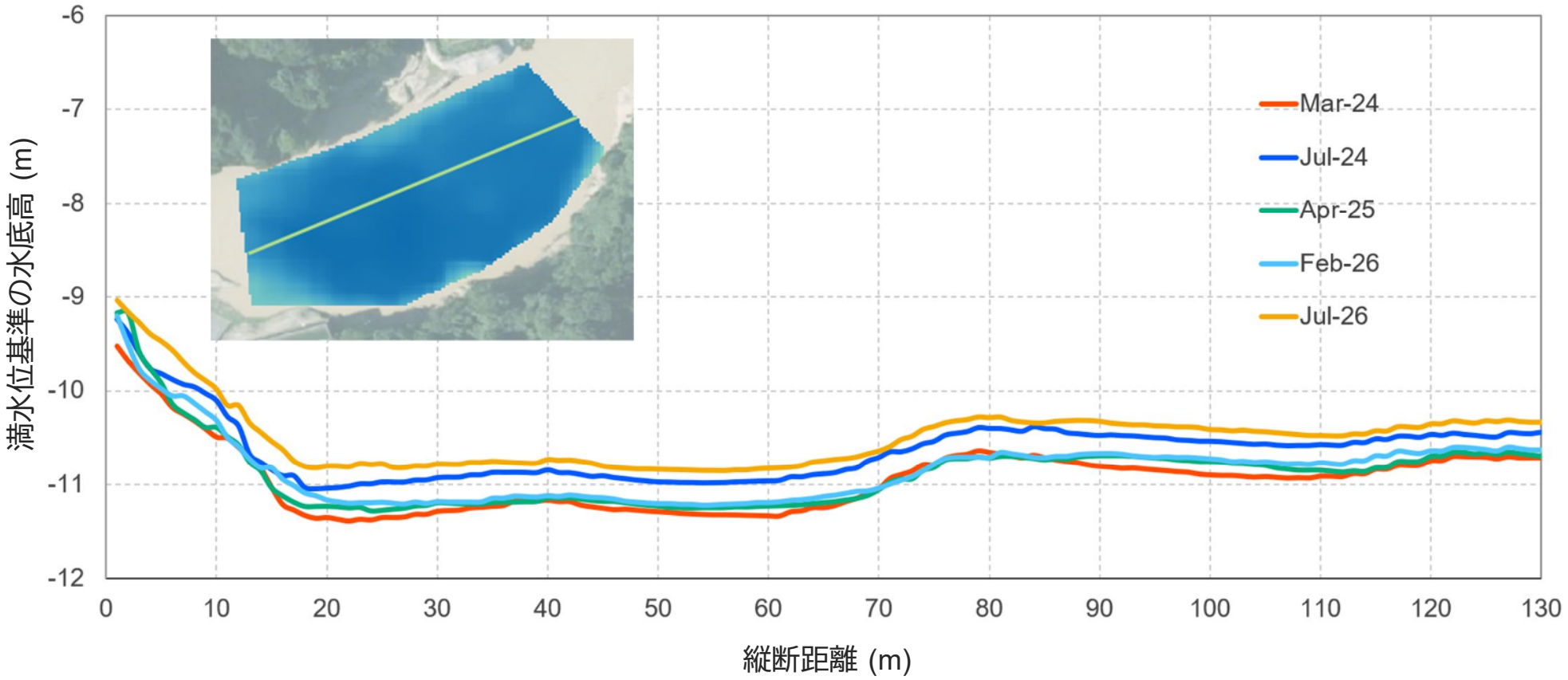
配付先限り

堆砂形状の経時変化 ー網場内ー



配付先限り

堆砂形状の縦断方向の変化 ー網場内ー



・非灌漑期の放流操作(ドローダウン)により、堆砂が減少傾向を示す(Jul-24とApr-25の比較より)

配付先限り

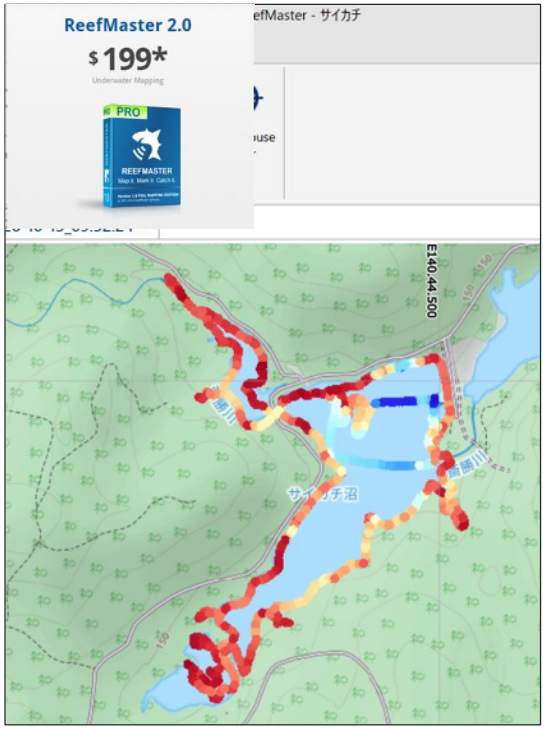
3D堆砂形状データの取得

航路の設定





- ボートに魚探を取付け、水際線を走行
- ソナーデータを取得



- ソナーデータをReefMasterにインポート
- KMZファイルとして出力



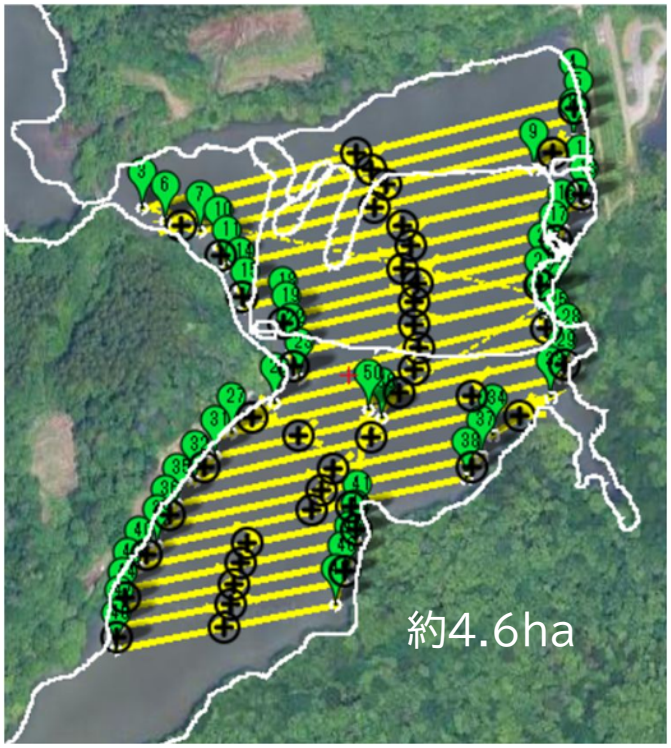
- KMZファイルをGoogle Earthで開く
- KML形式として保存

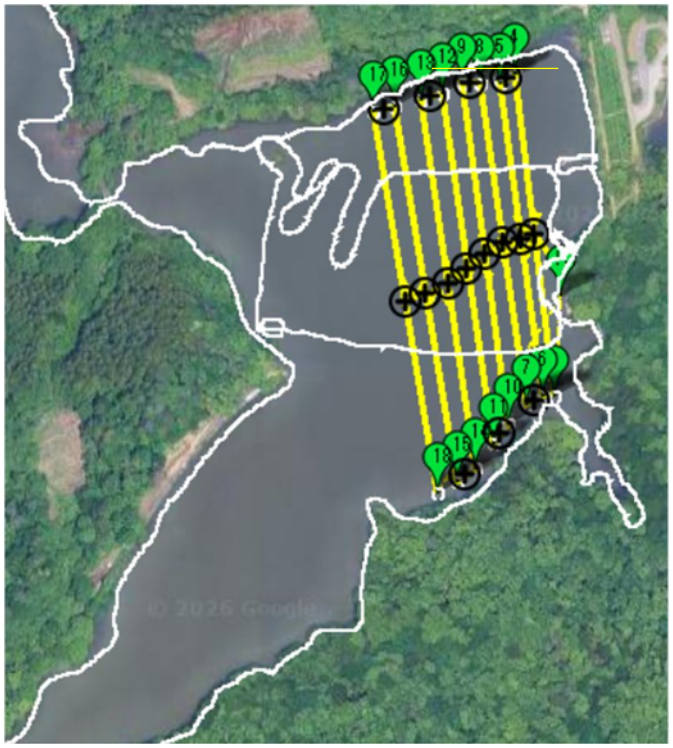
3D堆砂形状データの取得

航路の設定



- Mission Plannerを利用
- マップ・ツールで水際線のKMLファイルをオーバーレイ
- 航路を水際線を参照して設定
- 航路間隔は約10m





3D堆砂形状データの取得

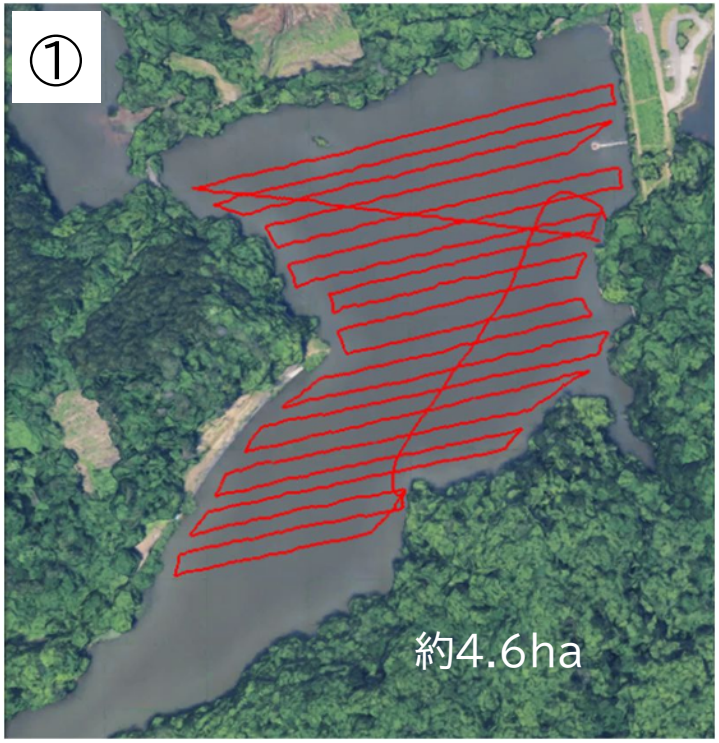
航行（測量）中





3D堆砂形状データの取得

実際の航路





①
準備　10分
測量　1時間40分
水面ドローン搬入　2名

②
準備　10分
測量　0時間35分
水面ドローン搬入　2名

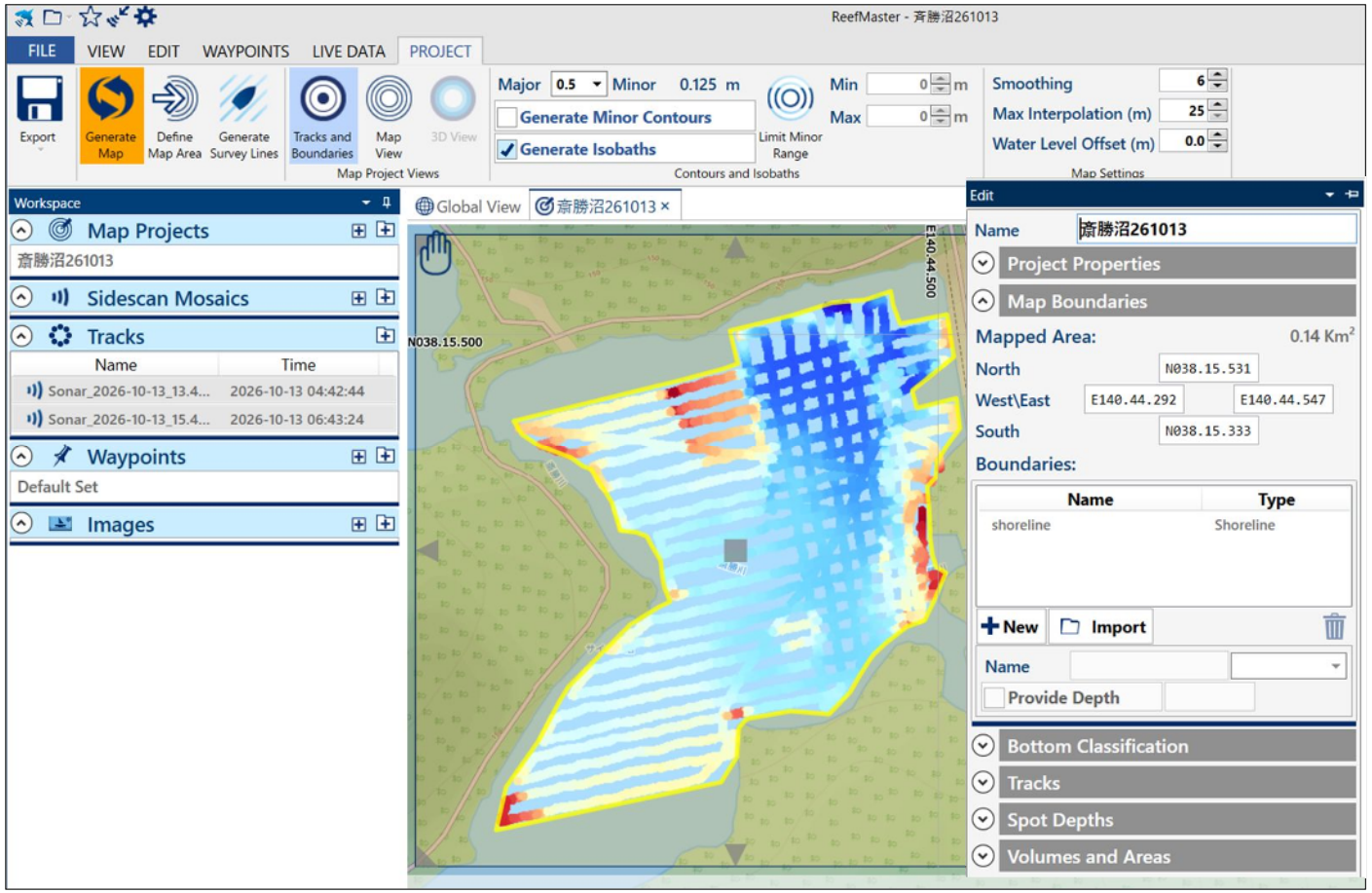
配付先限り

3D堆砂形状データの取得

手順 ①



- ReefMaster(3万円)を利用
- 魚探のソナーログから等深線図を生成
- Max Interpolationで補間距離を制限(今回は25mに設定)
- 計測範囲の外周にShorelineを設定し、補間範囲を制限

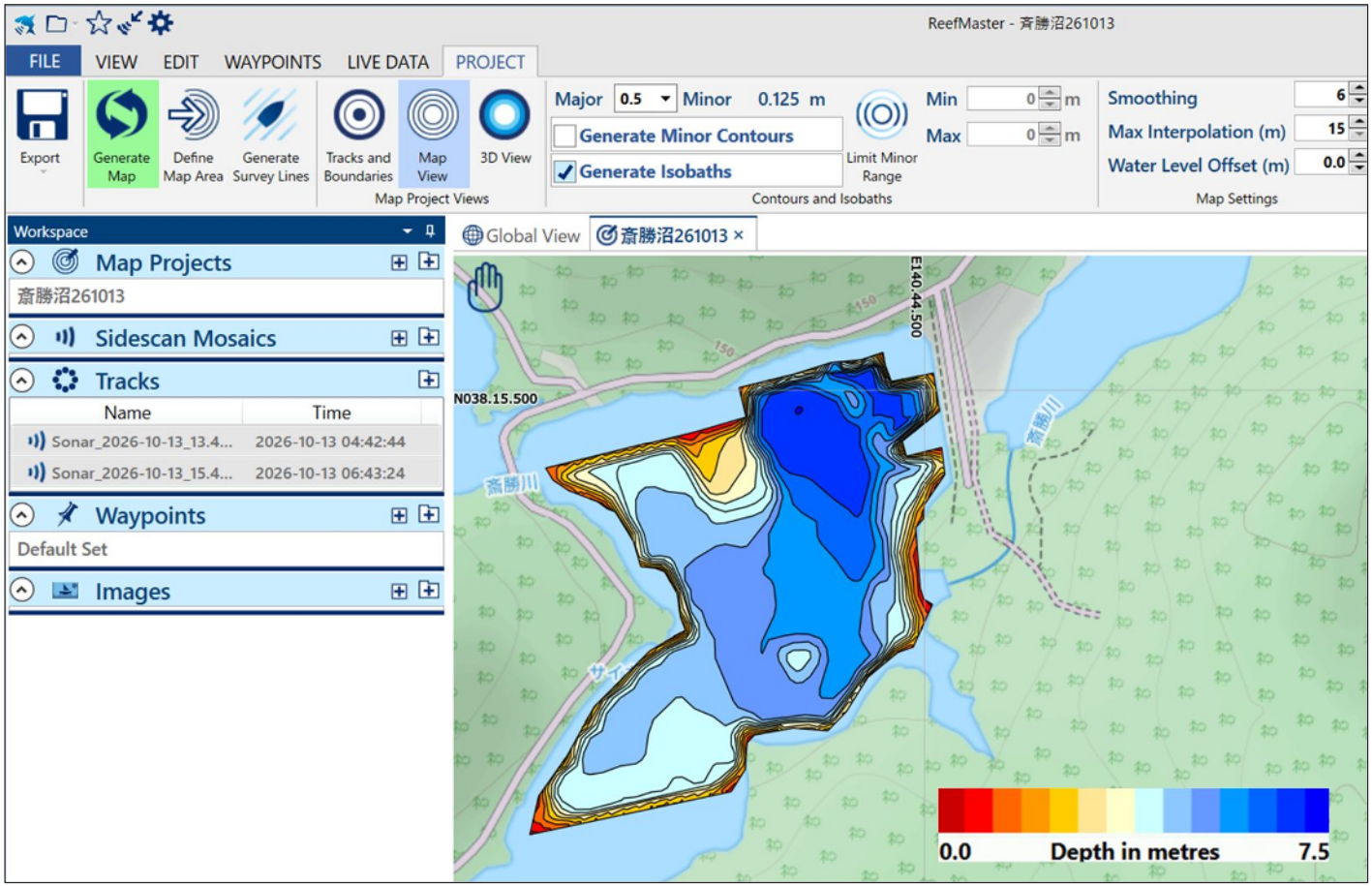


3D堆砂形状データの取得

手順 ②



- ReefMaster(3万円)を利用
- 魚探のソナーログから等深線図を生成
- Max Interpolationで補間距離を制限(今回は25mに設定)
- 計測範囲の外周にShorelineを設定し、補間範囲を制限

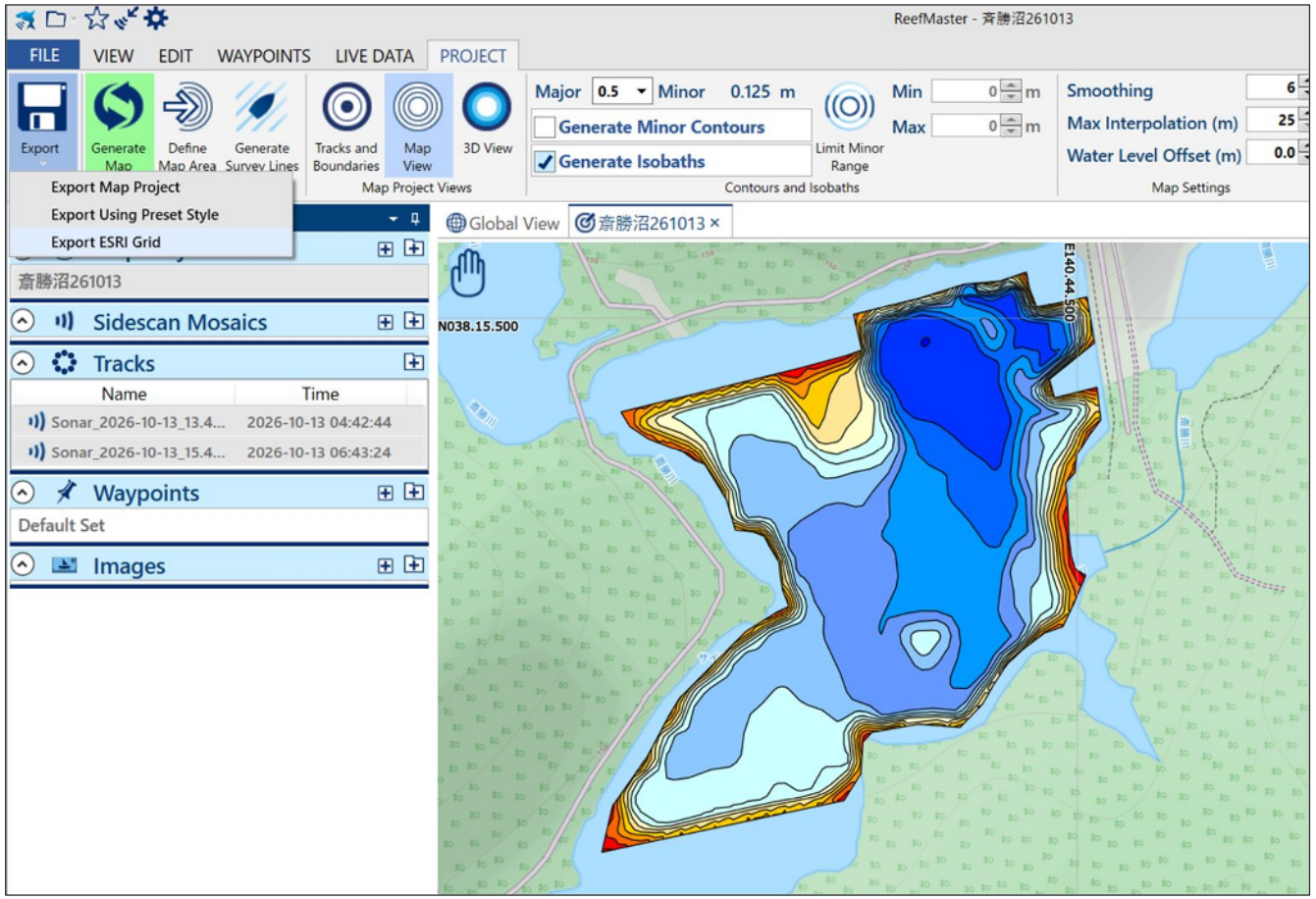


3D堆砂形状データの取得

手順 ③



- ReefMaster(3万円)を利用
- 等深線図を1mメッシュの数値データ(ASC形式)として出力
- 各格子に水深を格納
- GIS等での地形解析や時系列比較に利用

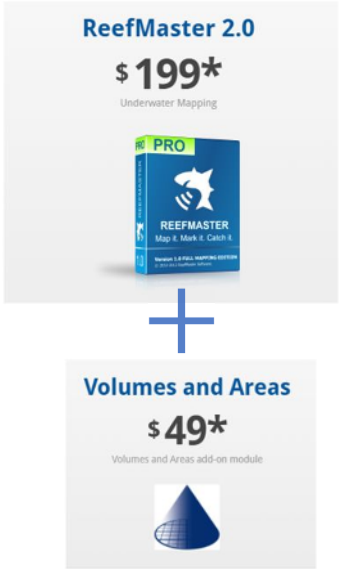


3D堆砂形状の作成

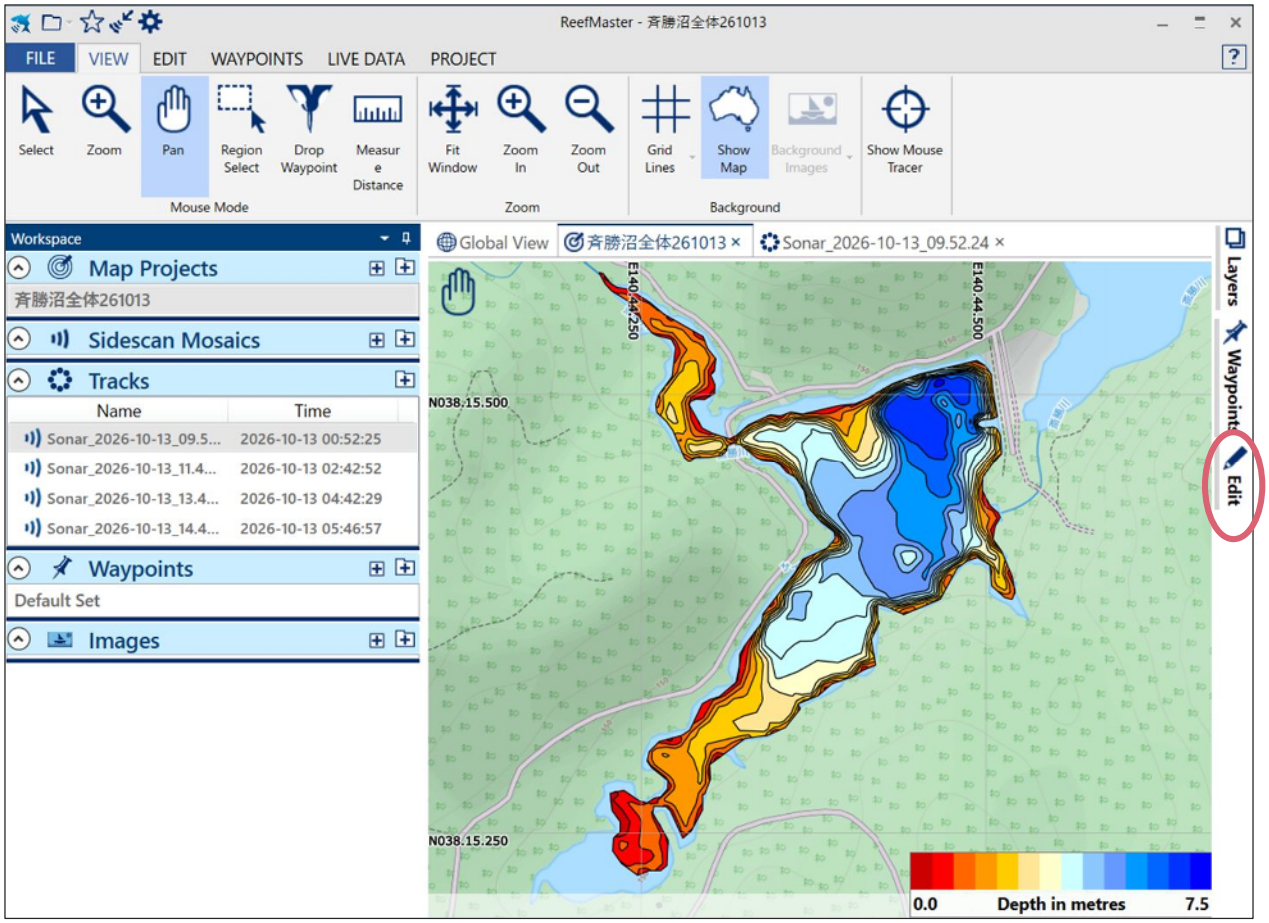
当日説明いたします

H-V曲線の作成

手順 ①



- ReefMasterの追加モジュール「Volumes and Areas」を利用（約7千円）
- 斉勝沼全体の等深線図を作成
- Editタブをクリック

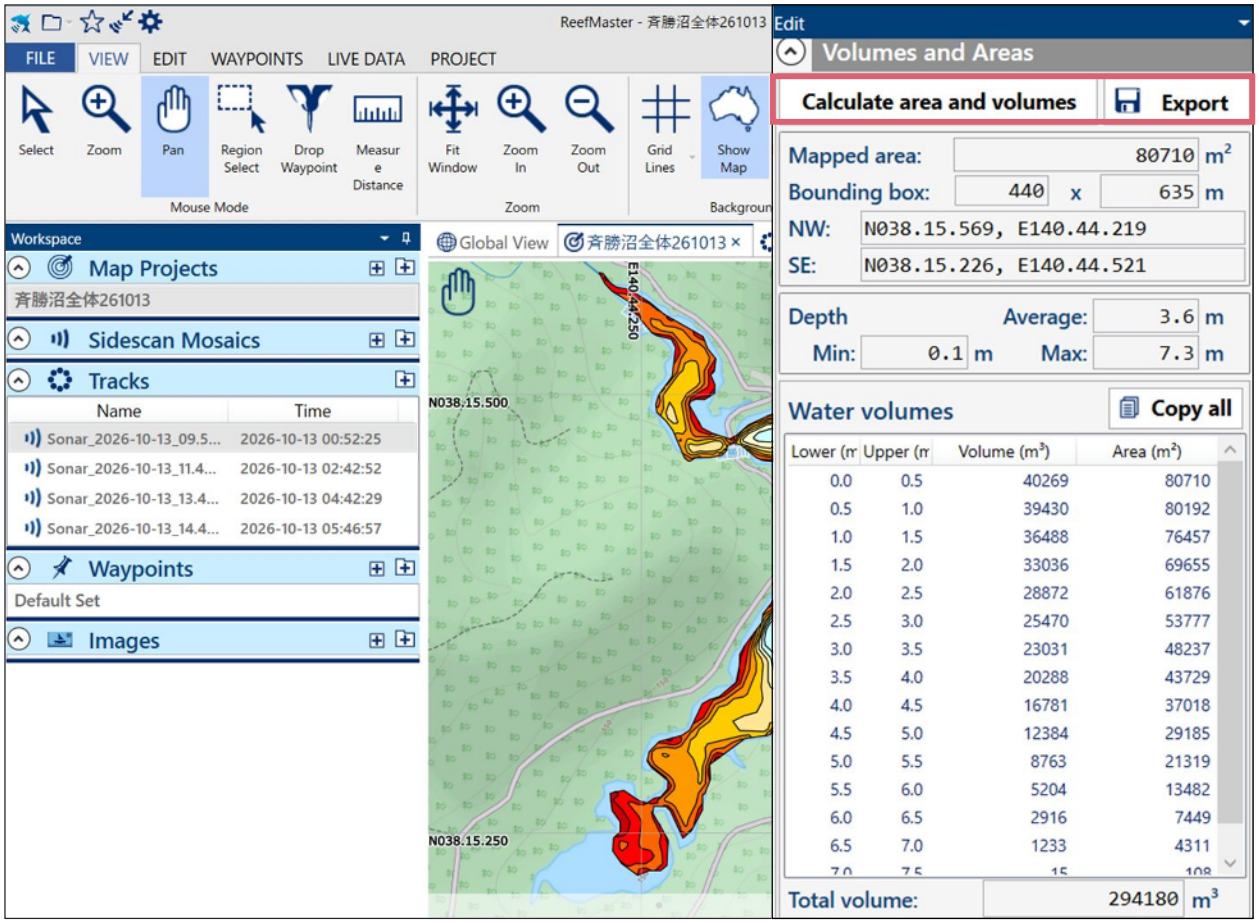


H-V曲線の作成

手順 ②



- ReefMasterの追加モジュール「Volumes and Areas」を利用（約7千円）
- Calculate area and volumes をクリック→計算
- Export→CSVファイル出力



配付先限り

H-V曲線の作成

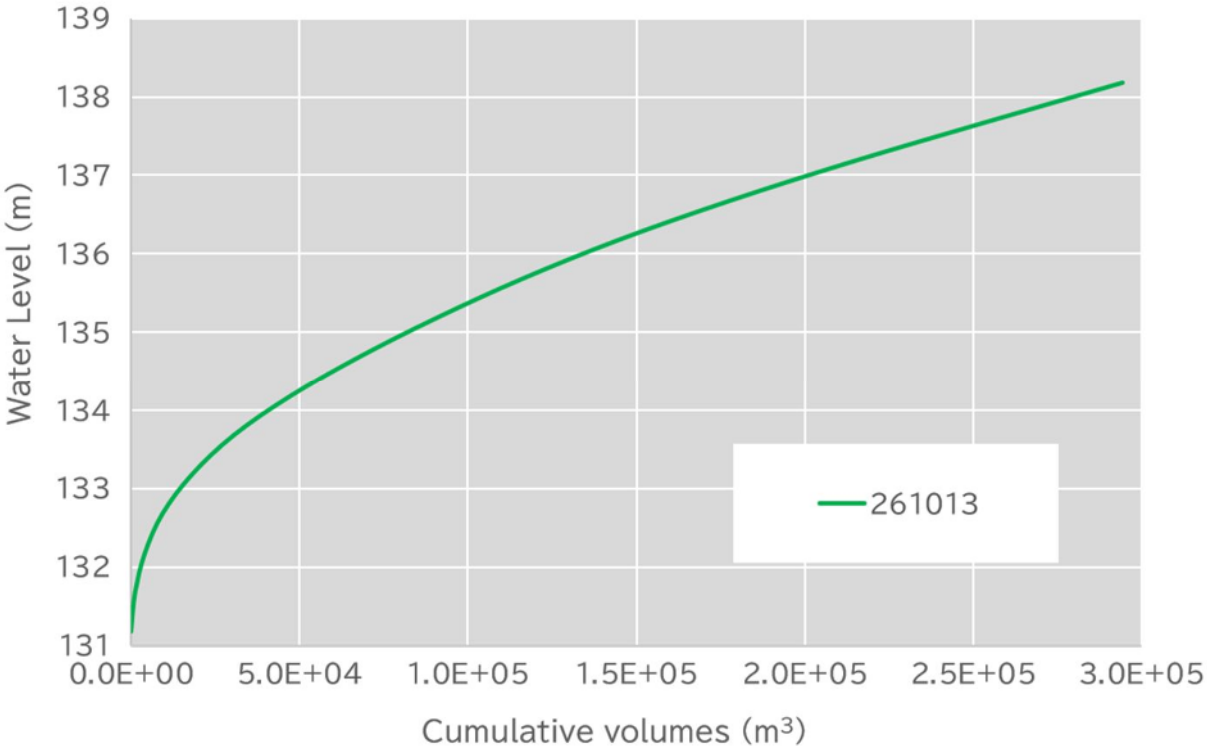
手順 ③

✓ 水位と累積貯留量を追記

Water volumes				
Total Water Volume (m^3)	294180			
Lower (m)	Upper (m)	Watel Level(m)	Cumulative volumes(m^3)	Volume (m^3)
0	0.5	138.18	294180	40269
0.5	1	137.68	253911	39430
1	1.5	137.18	214481	36488
1.5	2	136.68	177993	33036
2	2.5	136.18	144957	28872
2.5	3	135.68	116085	25470
3	3.5	135.18	90615	23031
3.5	4	134.68	67584	20288
4	4.5	134.18	47296	16781
4.5	5	133.68	30515	12384
5	5.5	133.18	18131	8763
5.5	6	132.68	9368	5204
6	6.5	132.18	4164	2916
6.5	7	131.68	1248	1233
7	7.5	131.18	15	15

※仙台市の水位データを使用

✓ グラフを作成



配付先限り