

「海の次世代モビリティの 利活用に関する実証事業」

～ASV を用いた有害赤潮の早期発見手法に関する実証実験～

2025年2月26日

株式会社宇部セントラルコンサルタント
植田 敏史

目 次

- 第1章 業務概要
- 第2章 使用機器
- 第3章 ASV赤潮調査実証実験
- 第4章 今後の課題

第1章 業務概要

第1節 背景と目的

山口県を含む瀬戸内海沿岸では、有害赤潮による水産業の被害が社会問題となっている。有害赤潮(**カレニア・ミキモトイ**)による水産被害を最小限に抑えるためには、その早期発見が重要である。

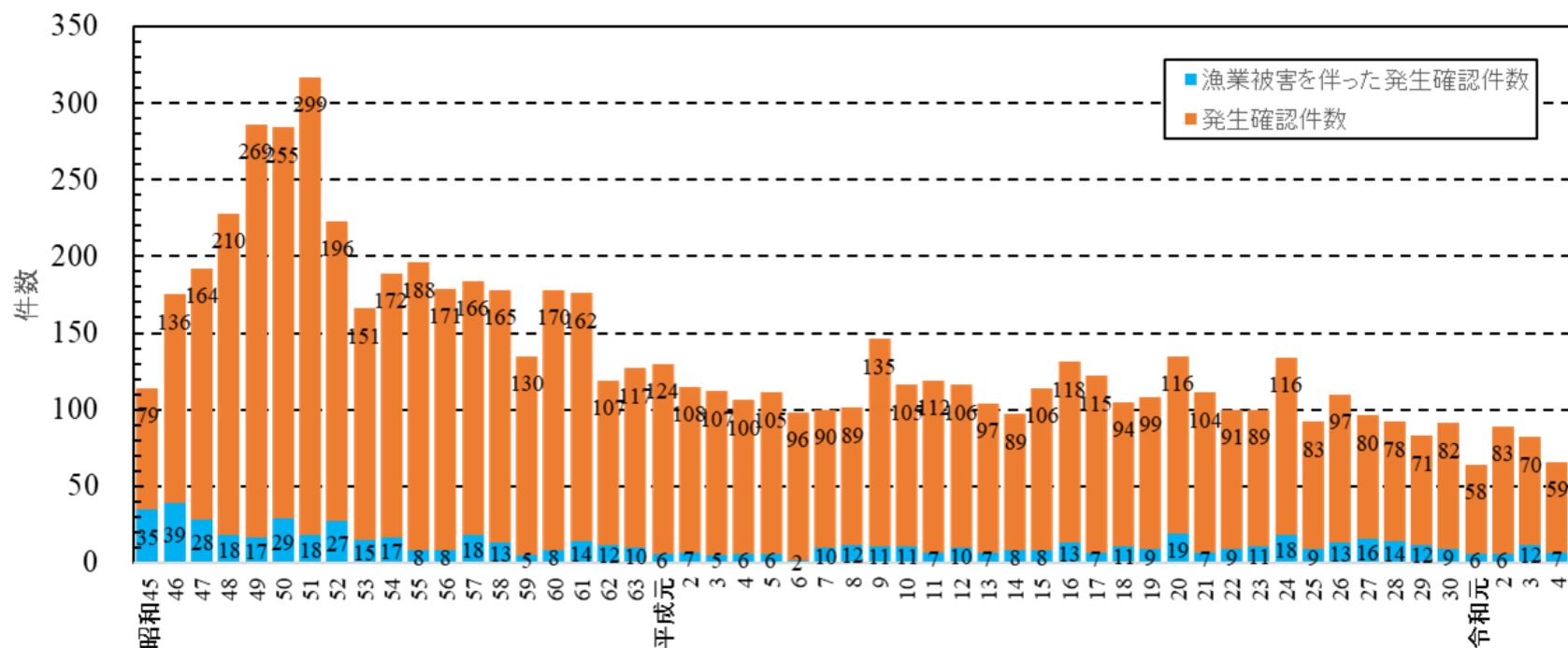
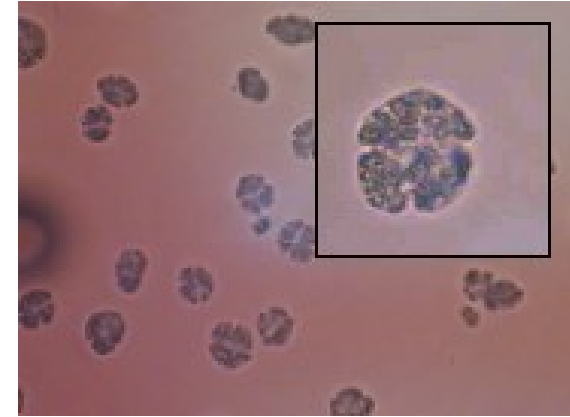


図 瀬戸内海の赤潮発生件数と漁業被害件数の推移

瀬戸内海漁業調整事務所 HP : <https://www.jfa.maff.go.jp/setouti/akasio/index.html>

カレニア・ミキモトイ



おはじきのような形をしており、厚みはなく、ひらひら回転しながら泳ぎます。赤潮の色は赤褐色で、午後になると表層に上がってくるという特徴があります。

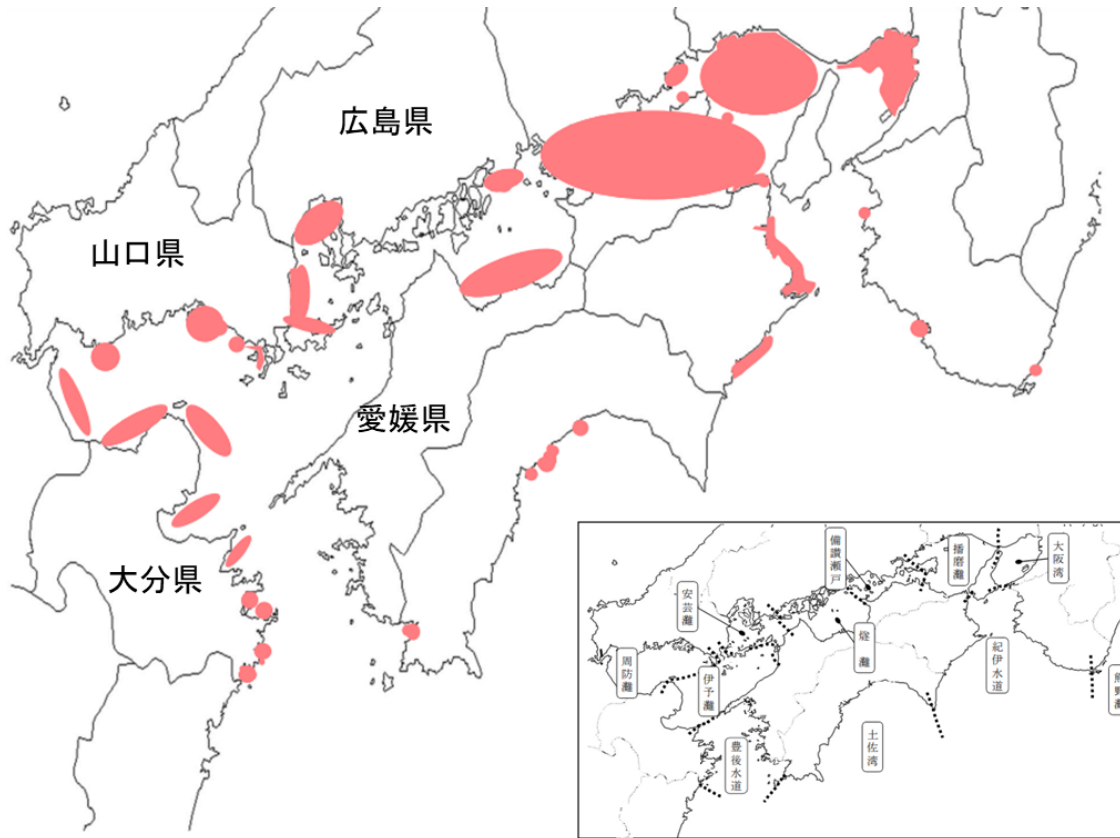


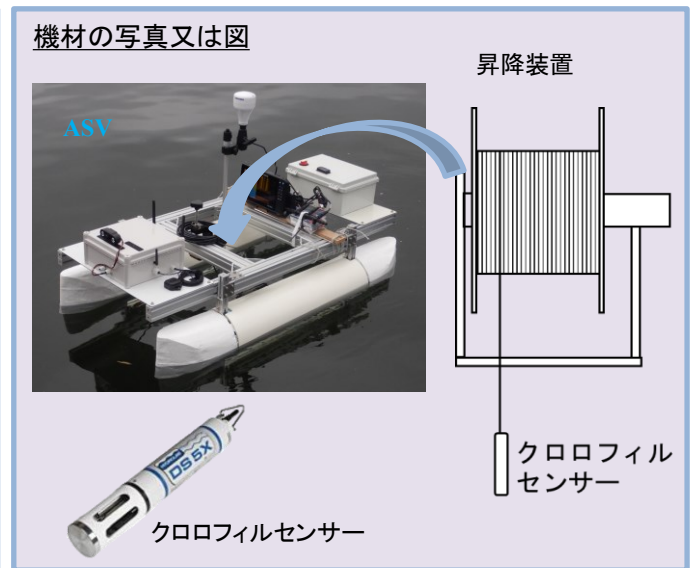
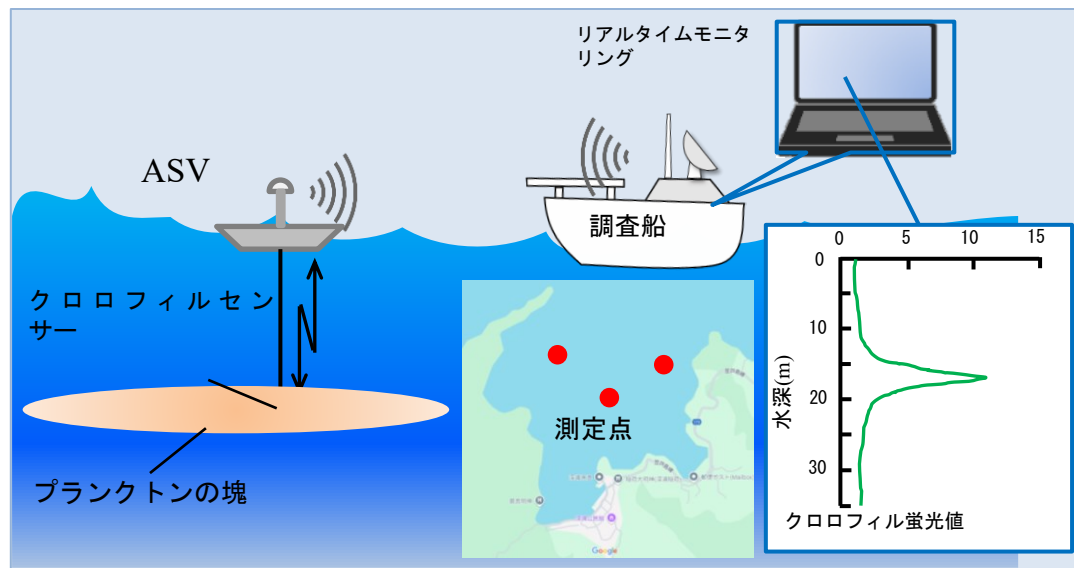
図 赤潮発生状況図(令和3年1月～12月)(瀬戸内海漁業調整事務所)

HP: https://www.jfa.maff.go.jp/setouti/akasio/gepou/pdf/2021_R03_nenpou.pdf

【有害赤潮の特徴】

- ・海水交換の少ない静穏域(水深約10～20m)の中層で増殖
- ・中層での増殖期には50cm程度の水深幅で数kmの範囲で分布する

本実証事業では、地場発生型の有害赤潮の早期発見を適宜機動的にかつ効率的に行うことを目的に、ASV(Autonomous Surface Vehicle; 自律型水上無人機)にクロロフィルセンサーを搭載させ、予め設定した赤潮の発生リスクの高い複数箇所に自律走航で移動し、それぞれの測定点でクロロフィルセンサーを海中に投下することで、鉛直方向のクロロフィル濃度の計測データを調査船にリアルタイムで転送し、観測する手法を検証する。

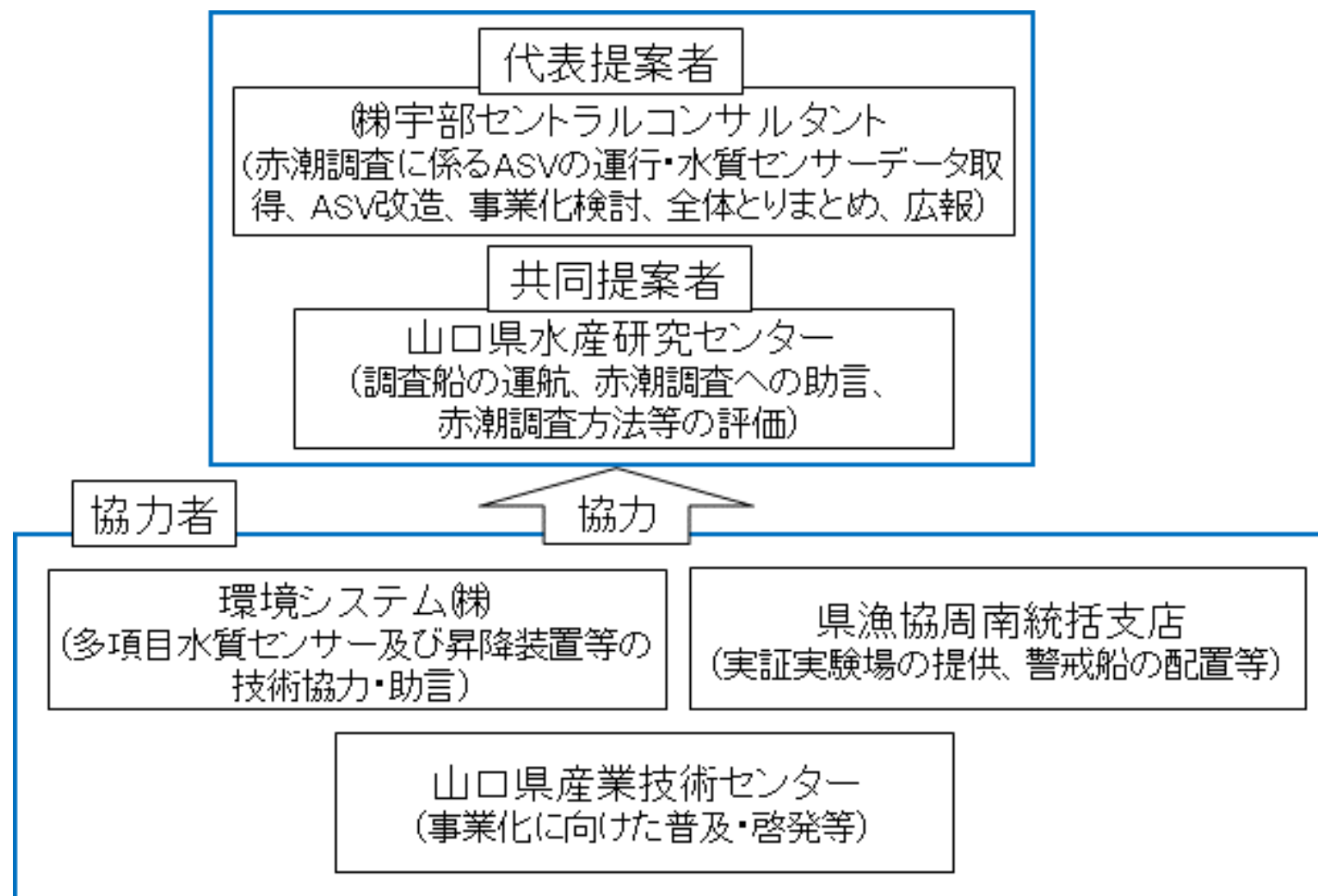


第2節 調査海域



山口県下松市笠戸島深浦湾

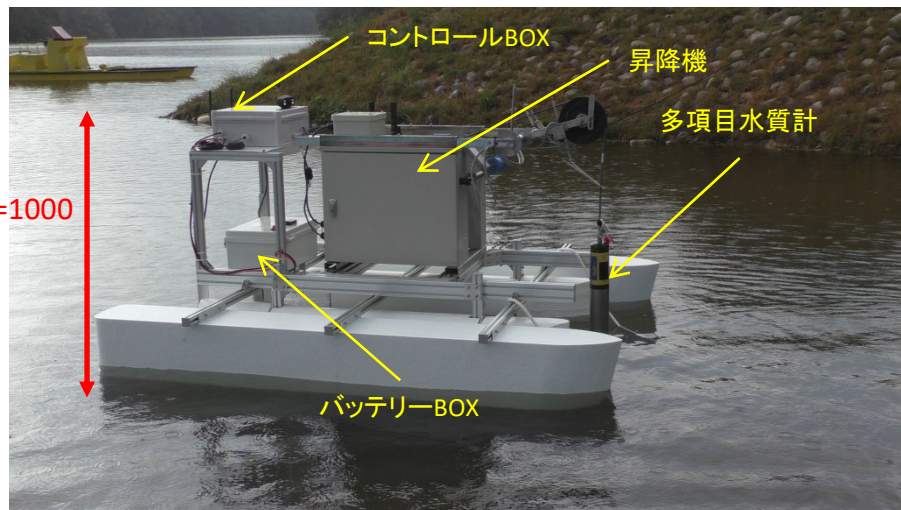
第3節 実施体制



第2章 使用機器



改良⇒

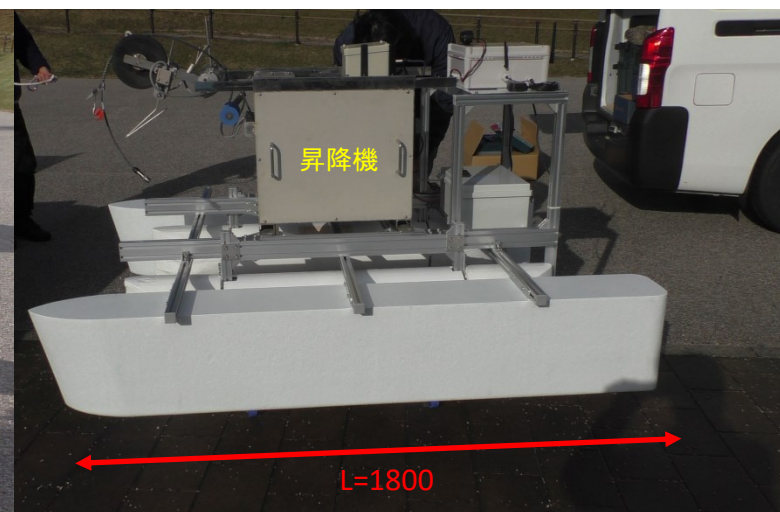
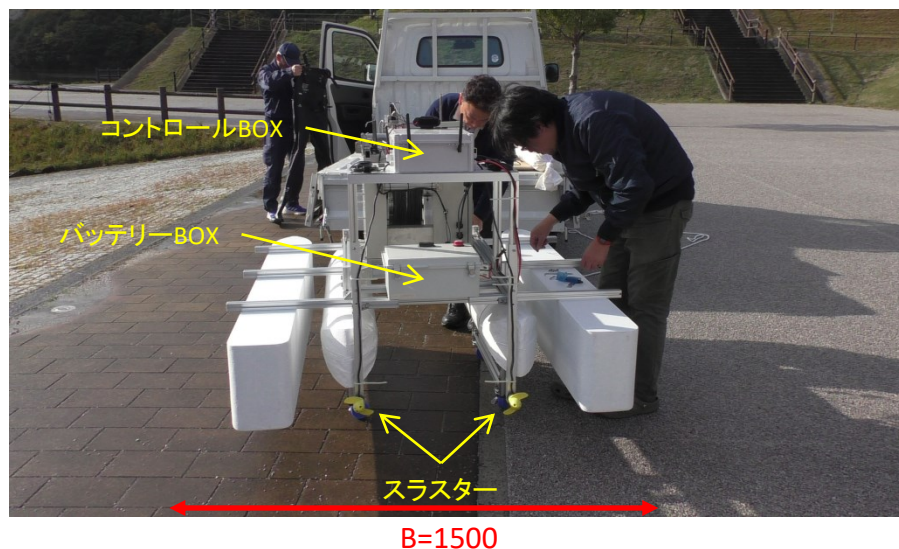


ASV諸元

寸法: L1800 × B1500 × H1000

重量: 100Kg

電源: Lipo6S 22.2V 22Ah × 2



船体は4基のフロートにアルミフレームで構成され、動力(スラスターモーター×2)、バッテリー、コントロールBOX内に無線操縦装置、フライトコントローラー、GNSS受信機、データ通信装置が収納されており、計測装置として多項目水質計及び昇降装置を搭載

ASV動作モード

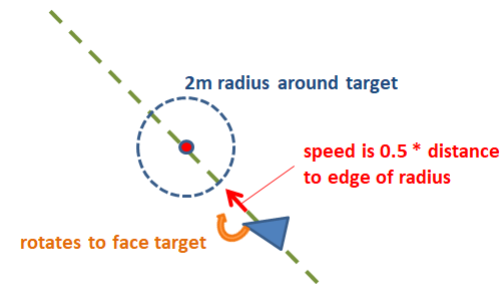
ASVの運用時は、専用のPCソフトウェアによりASVとPC間を無線データ通信で接続しASVの現在位置、船首方向、航跡が地図上にリアルタイムに図示されるとともに、位置情報、船首方向や傾き、移動速度、電流電圧等の各種情報をリアルタイムにモニターできるようになっている。

制御モード	動作内容	操作概要	特徴
マニュアル	手元の送信機により操作	PC使用の場合はソフトの地図上に現在地表示可能 目視で送信機を操作	現場状況に応じて自由に操作
オート	あらかじめ設定した通過ポイント・移動速度で自動巡回	PC不要 送信機スイッチで開始を指示 開始後は終点まで自動走航	途中停止はPCあるいは送信機から可能 停止地点より再稼働可能
ガイド	PCソフトの地図上で移動地点をクリックして指示 指示地点到着後は位置を保持	PCソフトの地図上に現在地表示 PCソフトの地図上で行先ポイントを指示	常に周囲確認後の運用が可能 状況に応じて移動先設定・移動開始が可能 指示地点到着後は位置を保持 指定地点での定点観測が可能

ボートがターゲットからLOIT_RADIUS以上外れた場合:

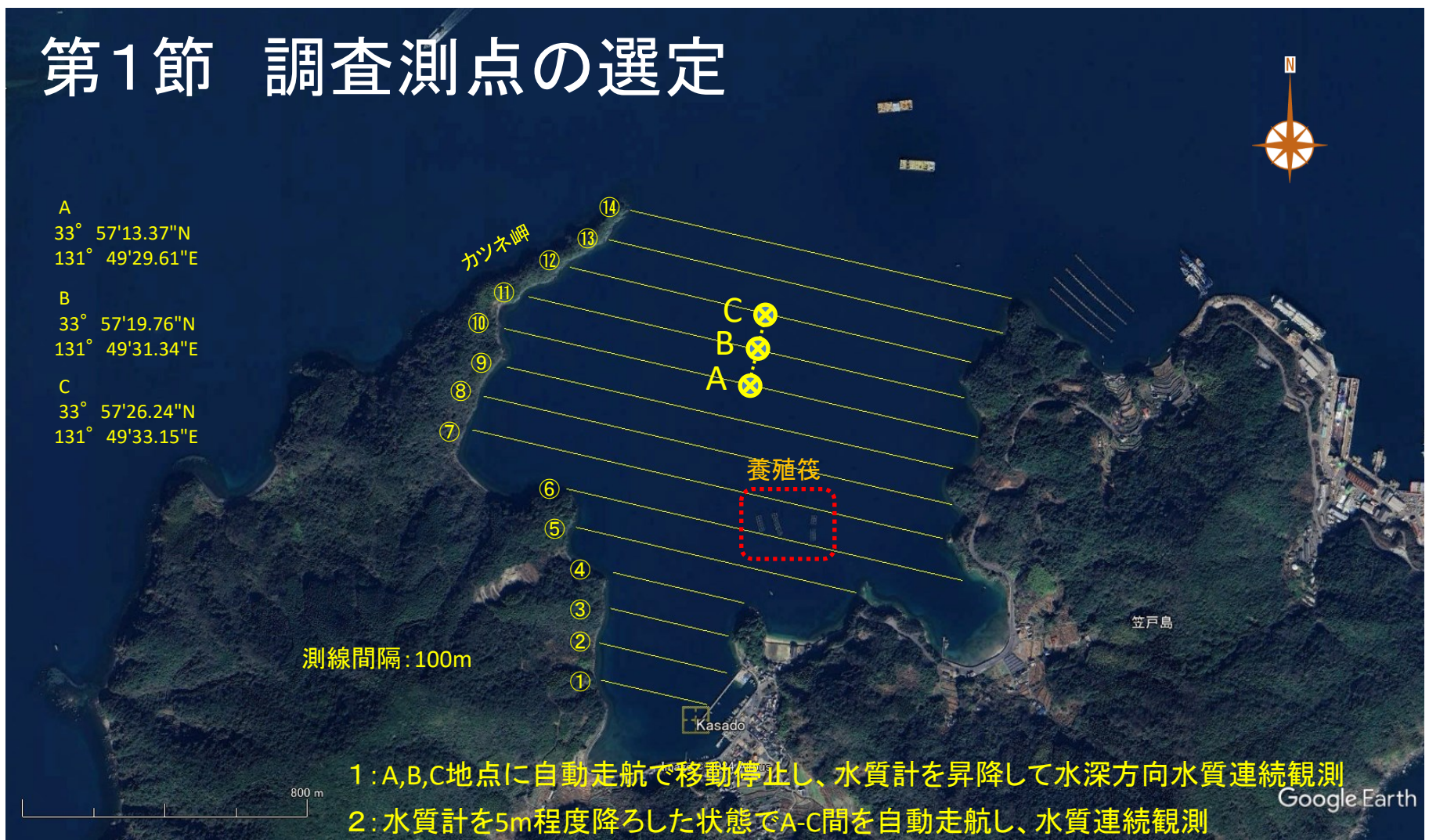
ターゲットに直接向かうか、ターゲットから直接遠ざかるように旋回（回転が少ない方向）。

$0.5 \text{ m/s} \times \text{ターゲット円の端までの距離}$ で前方または後方に駆動し、速度はWP_SPEED以下。



第3章 ASV赤潮調査実証実験

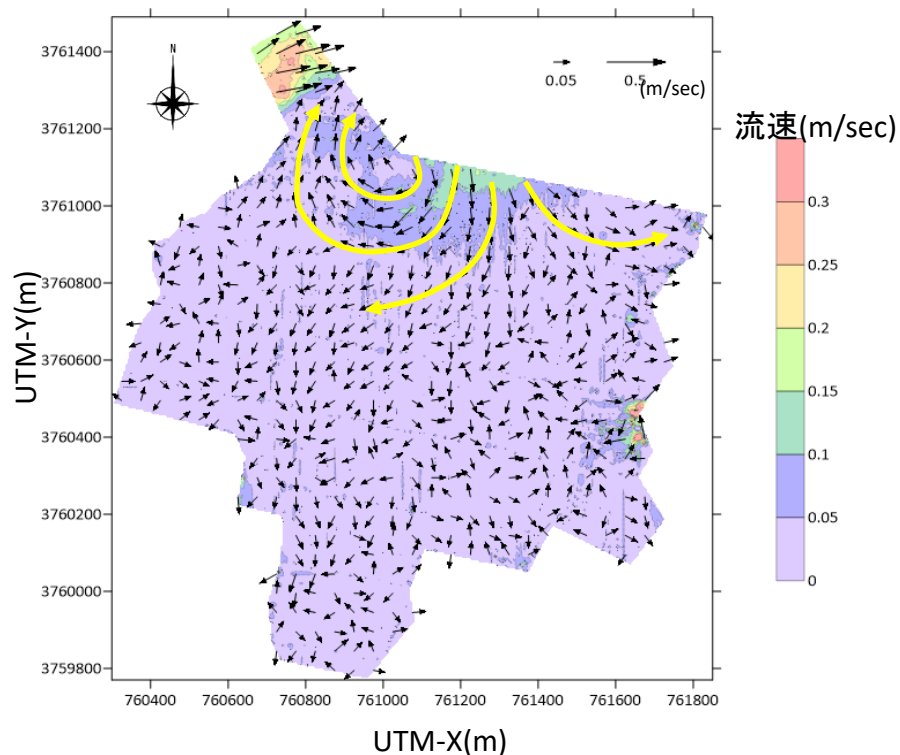
第1節 調査測点の選定



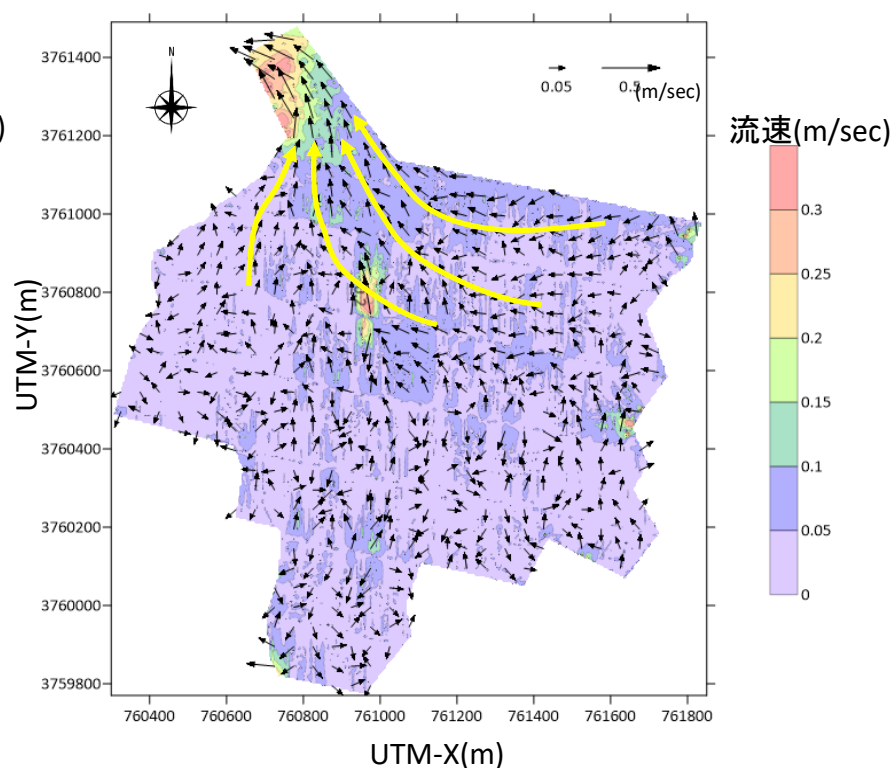
笠戸湾に流入する栄養塩供給及び潮流を踏まえ、赤潮発生時は循環流から潮流の直接的な湾内流入境界をBと想定し、赤潮調査地点はA; 湾内増殖、B; 境界地点、C; 湾内流入とし、3地点を候補地点とした。

A,B,Cにおける間隔は、循環流などの大きさを考慮して100mとした。

潮流流速分布・流速ベクトル
(上げ潮時・水深平均)

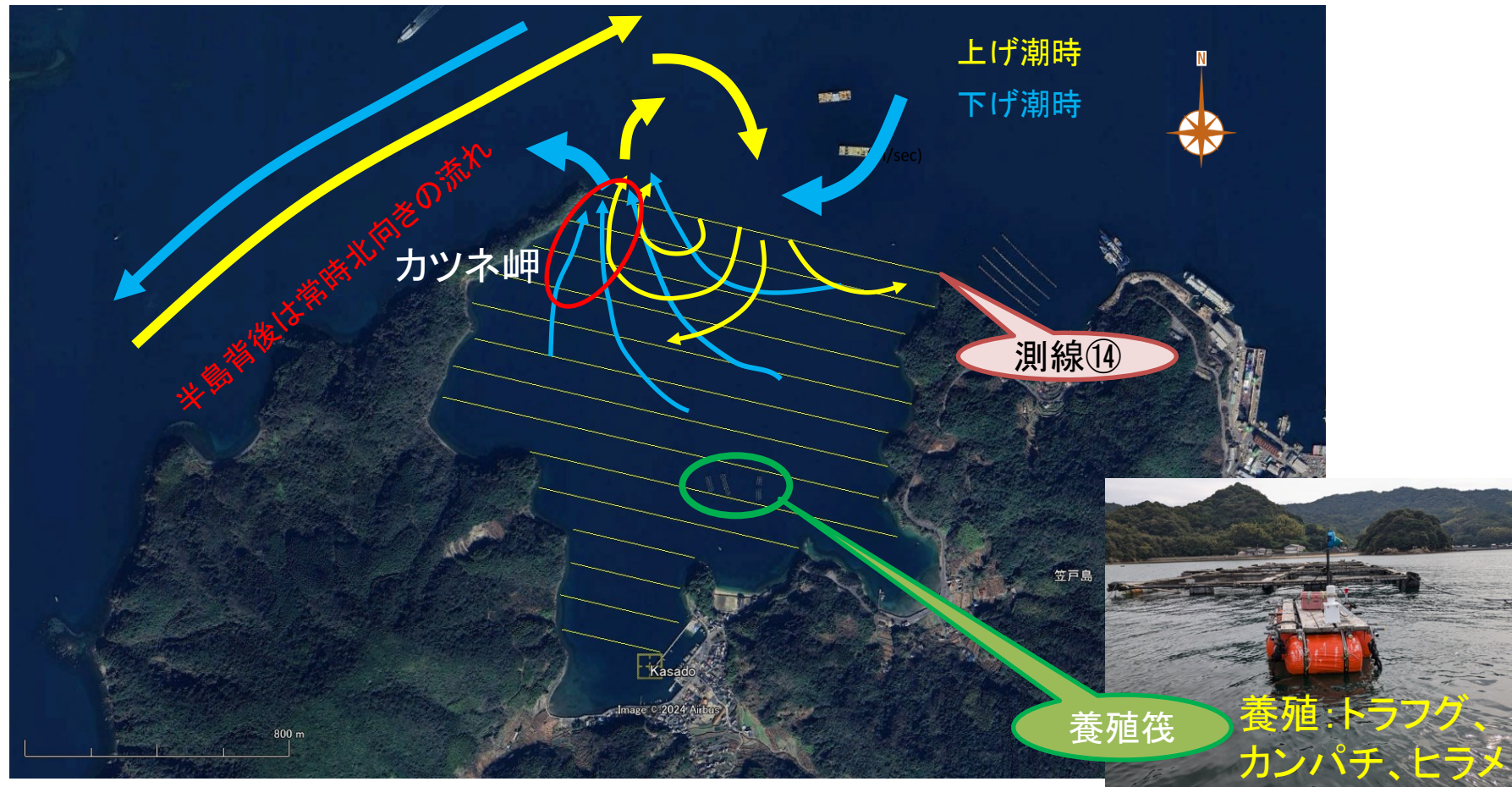


潮流流速分布・流速ベクトル
(下げ潮時・水深平均)



- ・上げ潮時の湾外の流れは、張り出しているカツネ岬の地形に沿った北東である。
- ・カツネ岬先端の湾口では、この流れの粘性剪断により湾内の海水が引きずられる形で流出し直径500m程度の時計回りの循環流が形成され、循環流の外周に沿って中央部から湾内に流入している。
- ・下げ潮時の湾外の流れは、上げ潮時とは逆の南西方向であり、湾内には東側から流入し西側のカツネ岬先端部に収れんするように流出している。

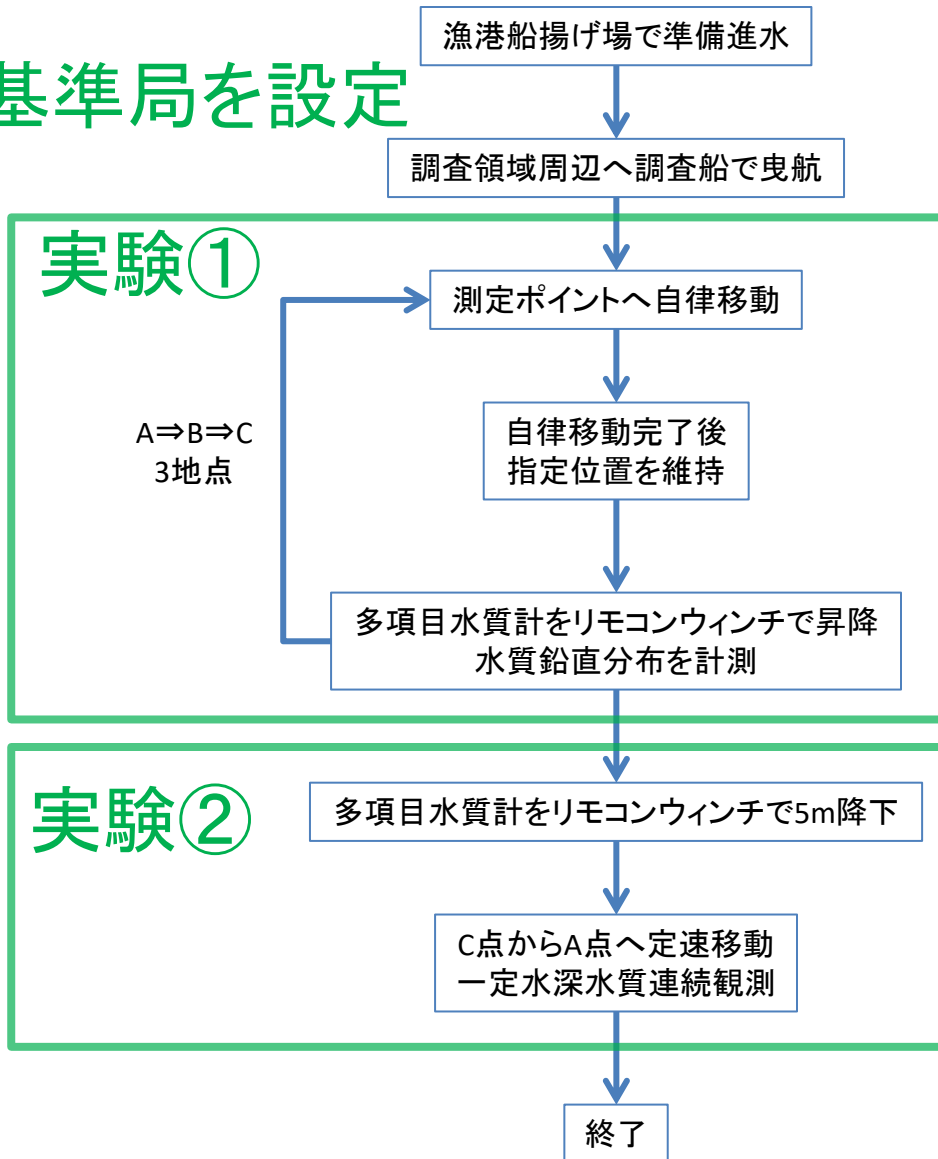
流況の総括



- * 上げ潮時、下げ潮時ともにカツネ岬の先端部では常時北方向の流れ
- * カツネ岬先端部の局所的な海溝地形はこの恒常的な冲向き流れによる洗堀の影響で形成されたものと思われる。
- * 湾内には上げ潮時、下げ潮時ともに時計回りの循環流が形成されている。
- * 循環流は、上げ潮時には湾口中央部で東西に分流し西側のカツネ岬にかけて形成され、下げ潮時には湾口東側から流入し西側のカツネ岬背後から流出する上げ潮時に比べ大きい循環範囲を示している。

第2節 試験調査フロー

基準局を設定



①3地点(A、B、C地点)に多項目水質計を搭載したASVを自律走航で移動する。

②各測定点で多項目水質計を遠隔で投下させ、各水深でクロロフィル蛍光値を測定し、その測定データを調査船上のパーソナルコンピューターに無線で伝送することで、その値をリアルタイムで表示・観察する。

③一か所の測定が終了すると、多項目水質計を巻き上げて次の測定点に移動する。

④全測定点で計測が終了するまで①～③を繰り返す。

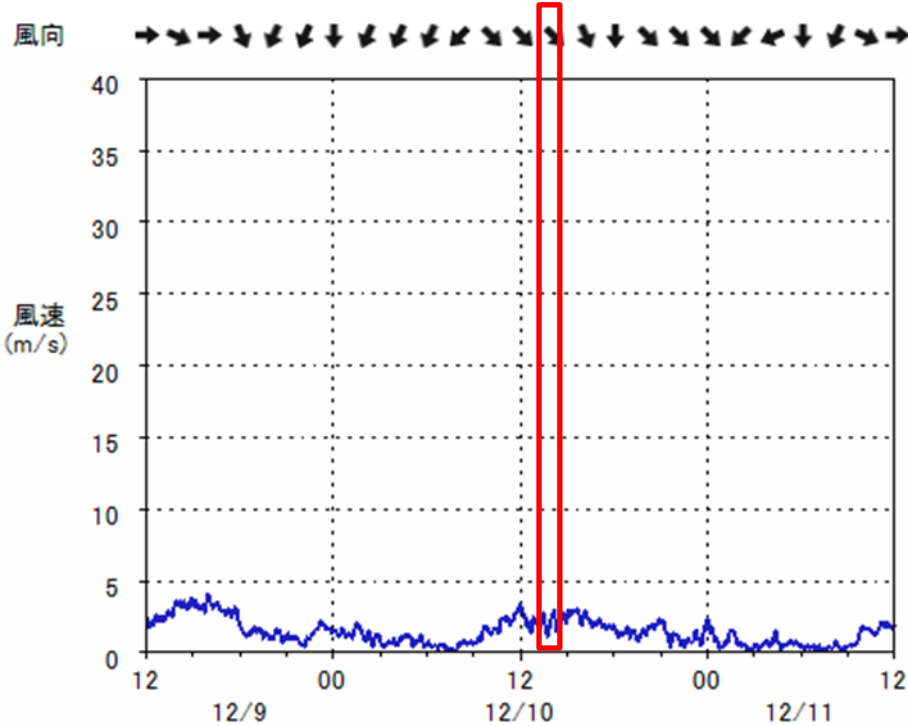
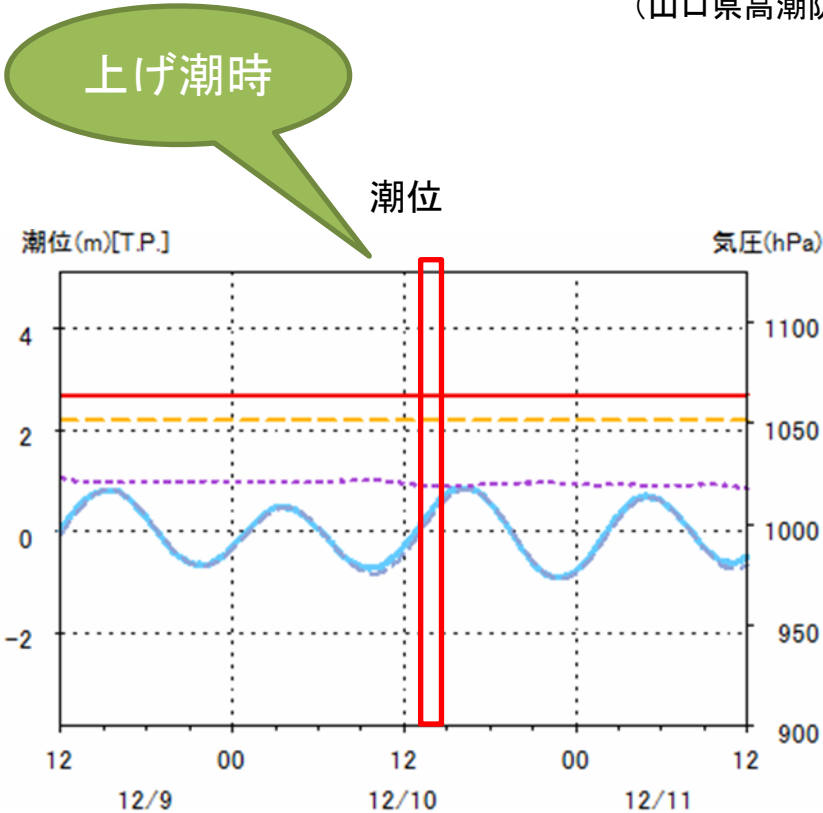
⑤有害赤潮プランクトンが水深5m付近に想定されたものとして、C地点で水質計を5m程度降下させ、A地点に向けて直線移動することで、一定水深の調査を試みる。

第3節 気象・海象

試験調査時の潮位及び風向風速 (山口県高潮防災情報システム・徳山観測局)

調査時間
2024/12/10 13:25～14:22

風向・風速



観測時	潮位 (T.P.m)	気圧 (hPa)	天文潮位 (T.P.m)	潮位偏差 (m)
13:20	0.21	1019.0	0.07	0.14
13:30	0.28	1019.0	0.13	0.15
13:40	0.34	1018.9	0.20	0.14
13:50	0.39	1018.9	0.26	0.13
14:00	0.45	1018.9	0.33	0.12
14:10	0.52	1018.8	0.39	0.13
14:20	0.57	1018.8	0.45	0.12
14:30	0.63	1018.8	0.50	0.13

観測時	風向	風速 (m/s)
13:20	北西	2.0
13:30	北西	2.5
13:40	北北西	1.4
13:50	北北西	1.8
14:00	北西	2.4
14:10	西北西	2.8
14:20	北北西	1.6
14:30	北西	2.0

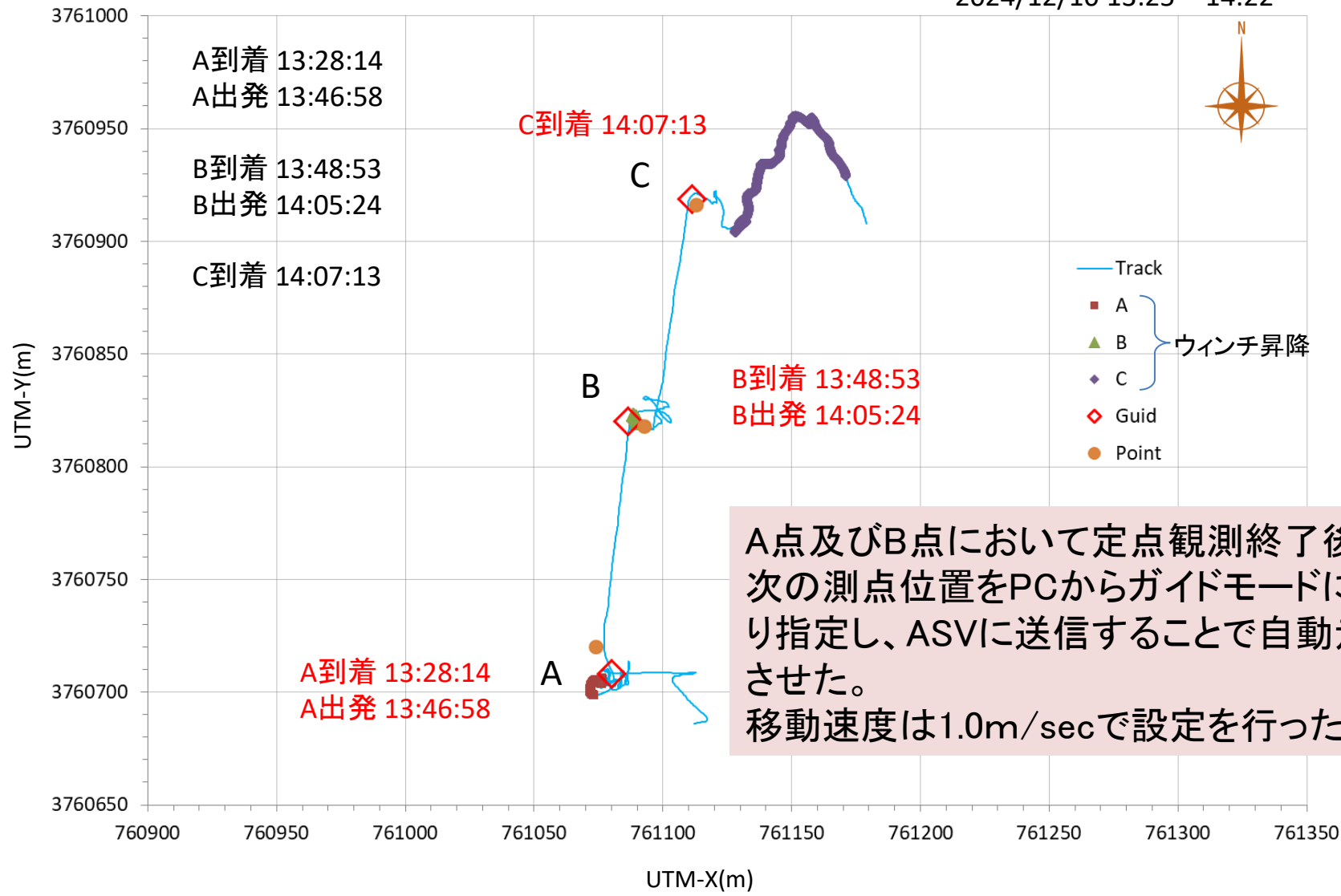
A
B
C

第4節 実験時のASV機能検証

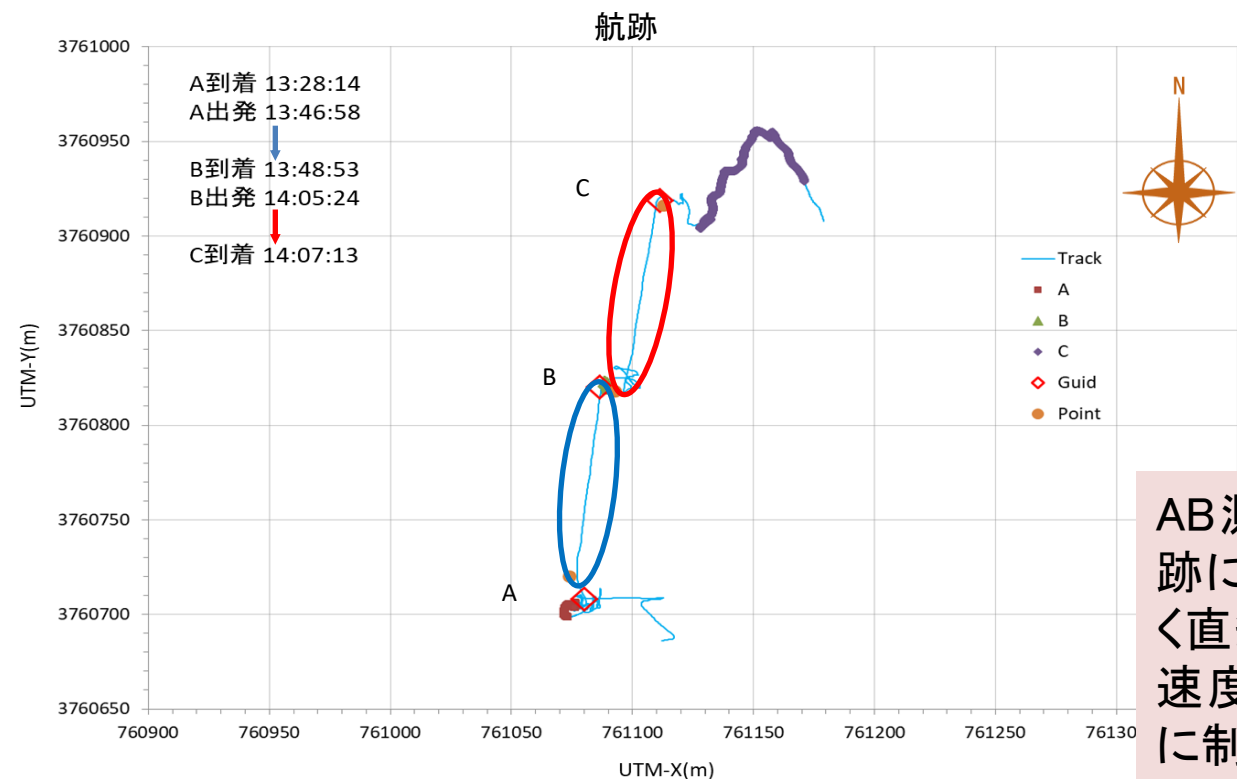
1. 定点観測

ASV定点観測時の航跡及び計測地点

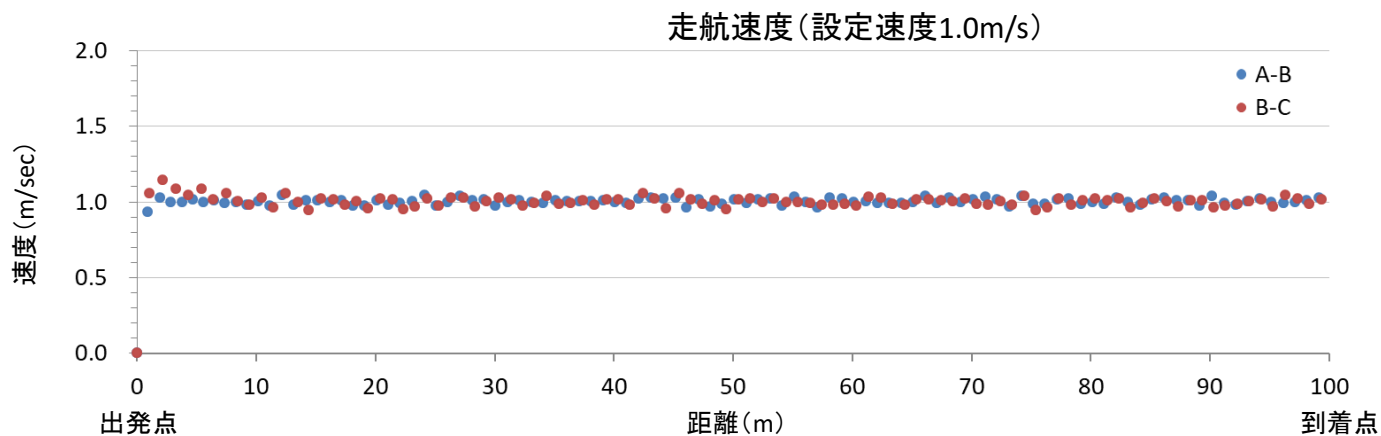
調査時間
2024/12/10 13:25～14:22



2.測点間移動

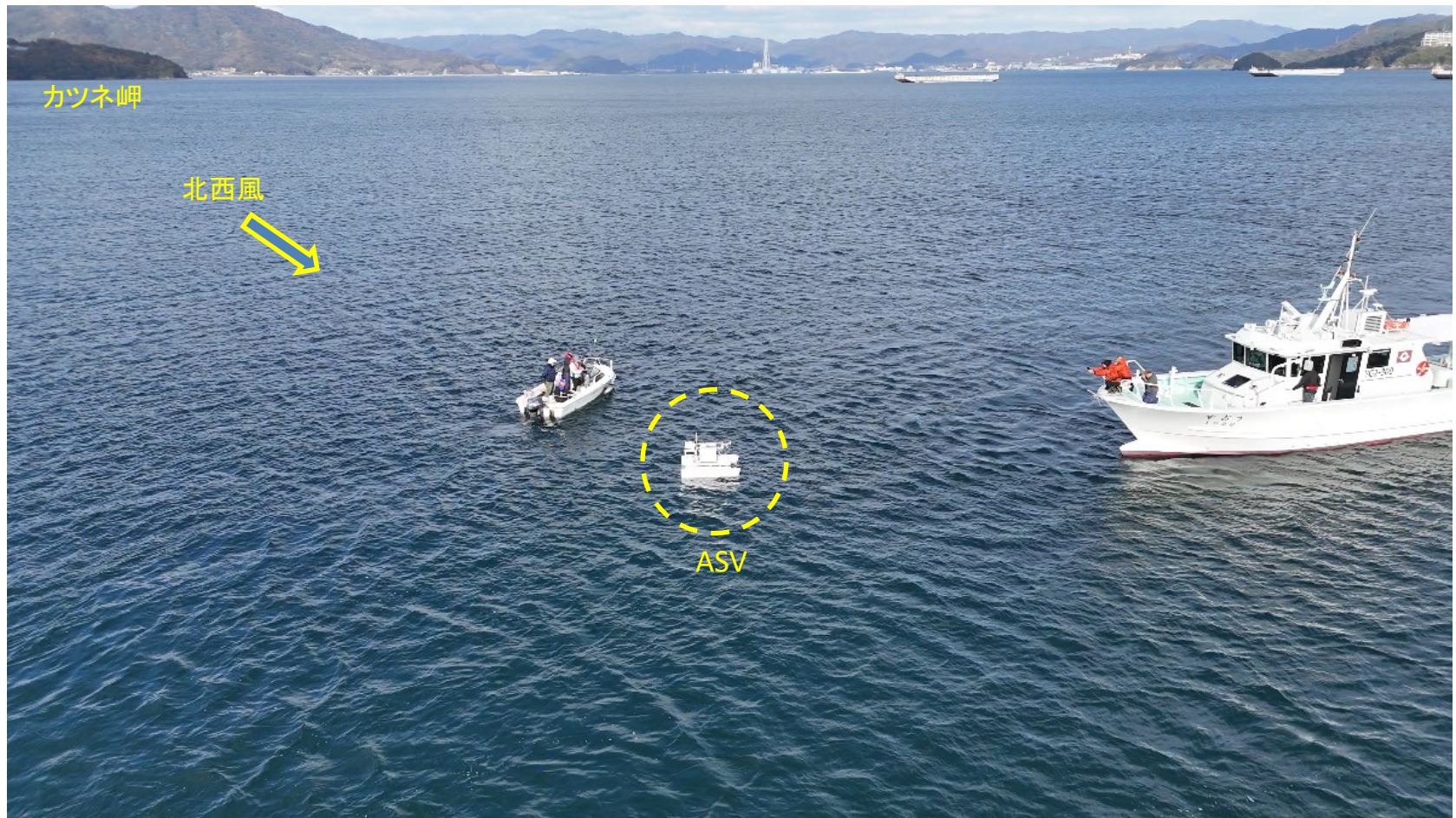


AB測点間及びBC測点間の航跡に示すように蛇行することなく直線走航し、走航速度も設定速度1.0m/secに対して、正確に制御できている。



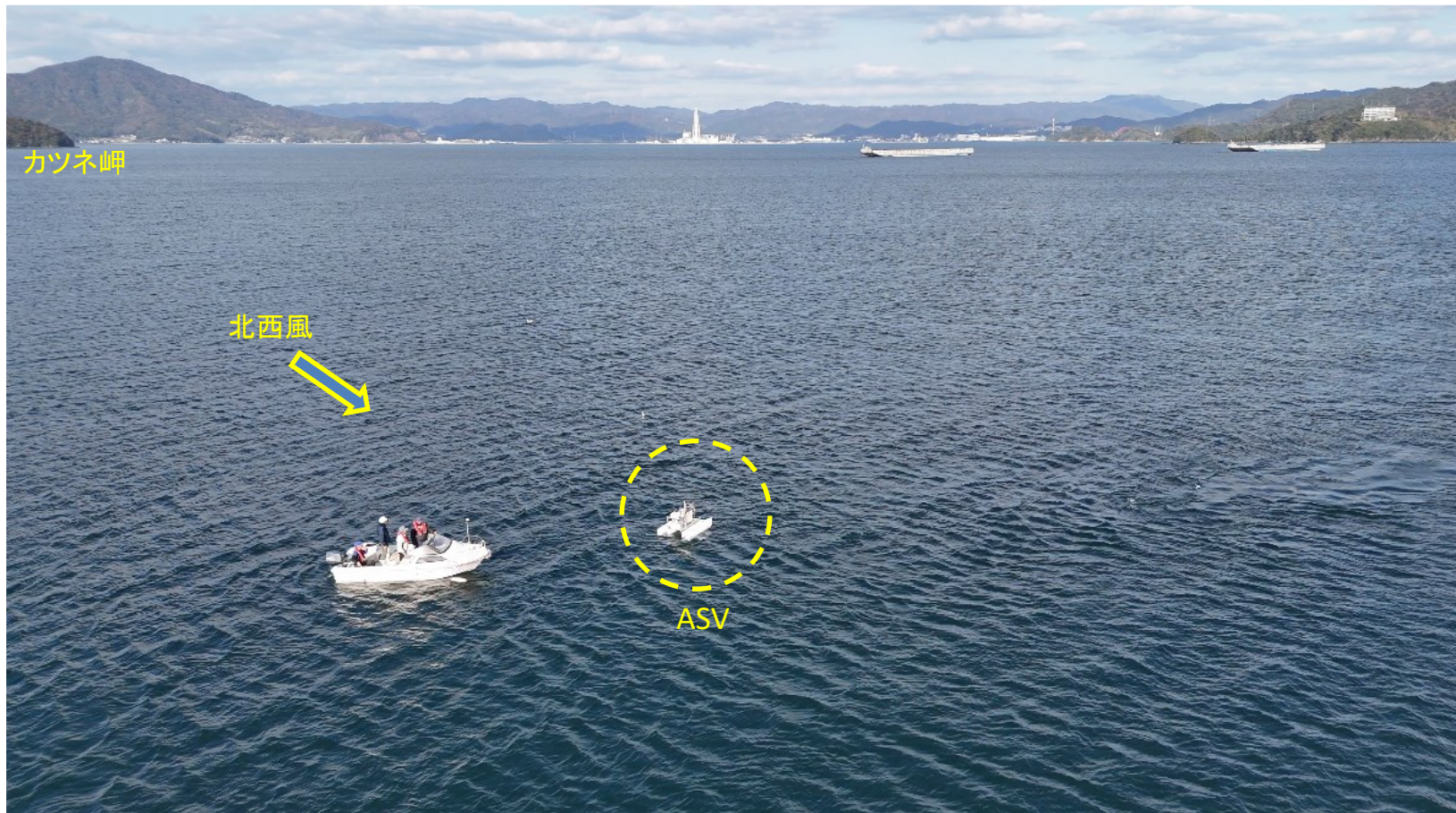
3.現場状況写真(AからC地点)

A点保持中のASV

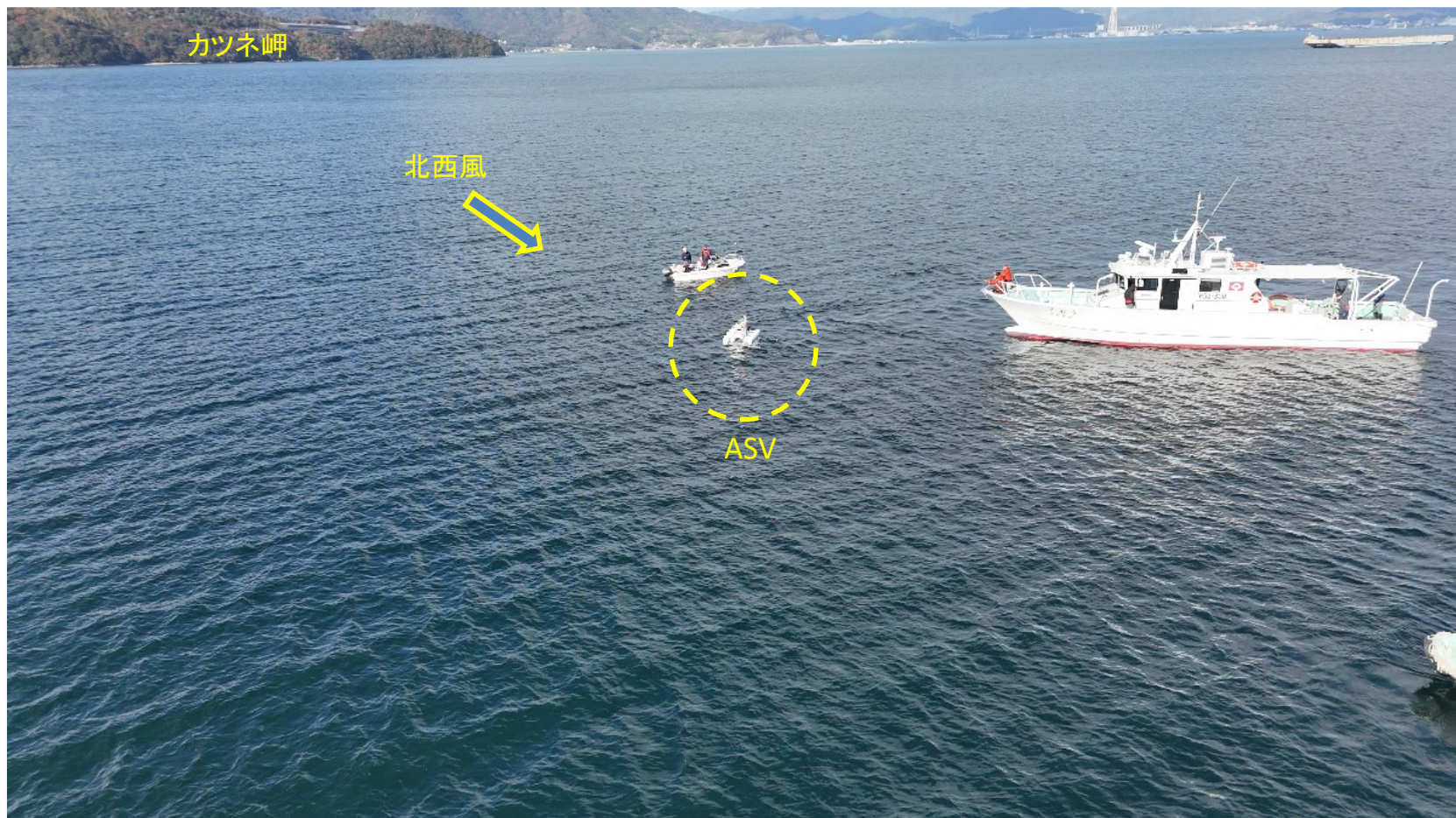


ガイドモードでは、ASVは目標地点に到達後ただちに位置保持が開始される。
本設定では制御条件として**目標地点から位置保持領域を半径3mに設定**している。
その半径以上離れた場合には、最大速度1.0m/secで直接あるいは旋回して目標地点
に向かい、**接近時にはオーバーシュートしないように「設定円周から離れた距離
× 0.5m/sec」の移動速度で円周に向かうように設定**している。

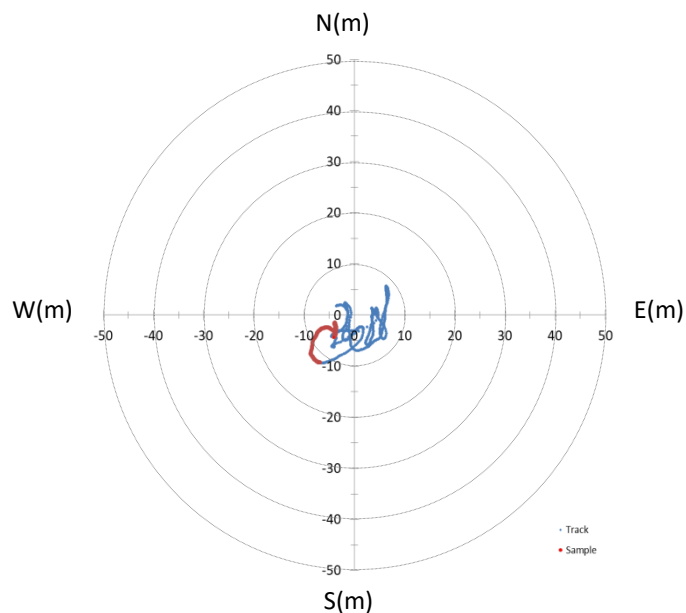
B点保持中のASV



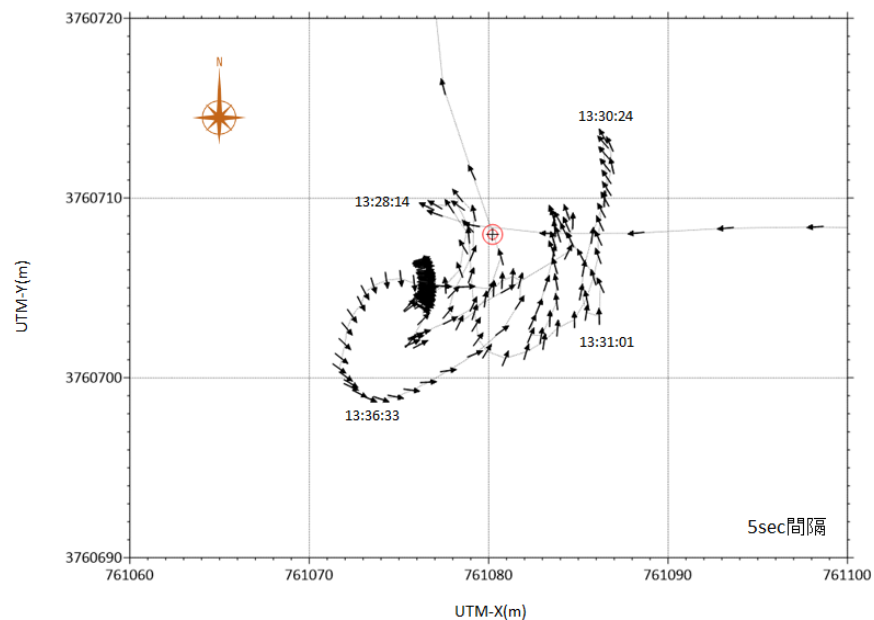
C点保持中のASV



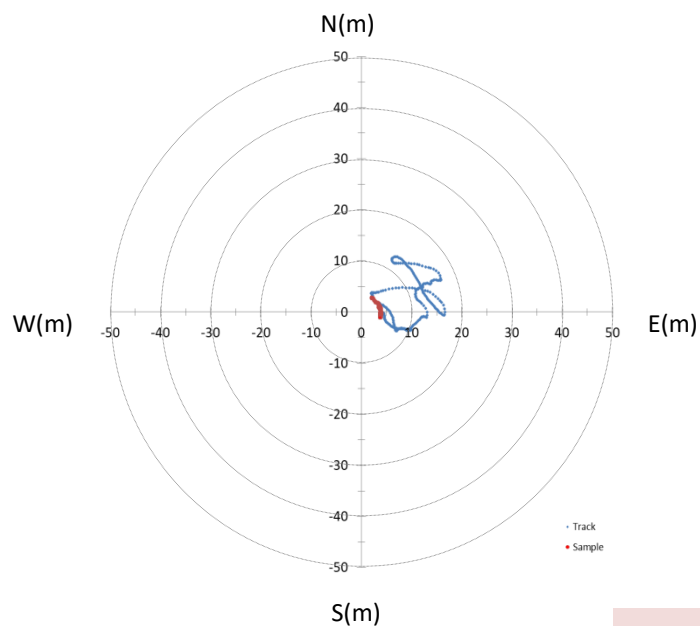
A点からのASV航跡及び保持半径



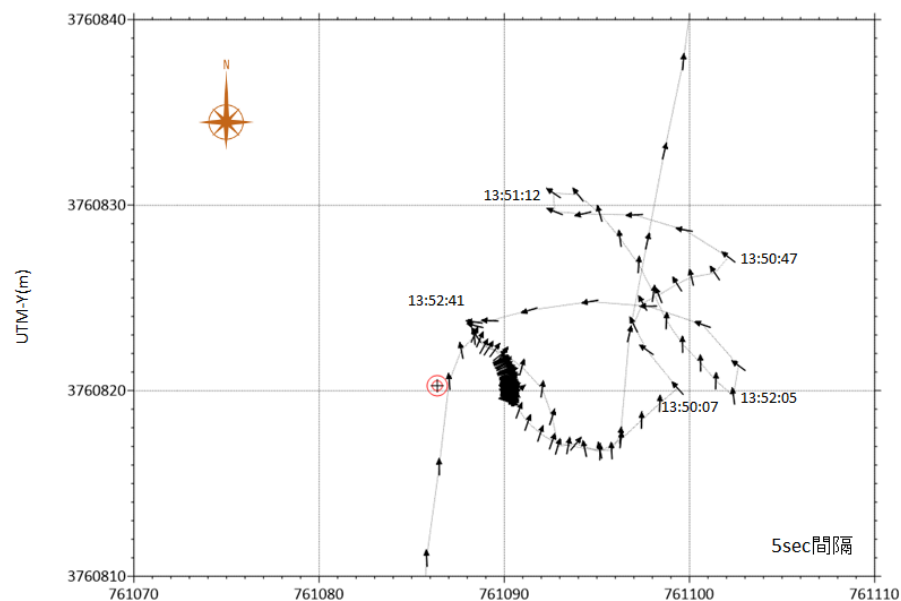
A点保持中のASV船首方向



B点からのASV航跡及び保持半径



B点保持中のASV船首方向

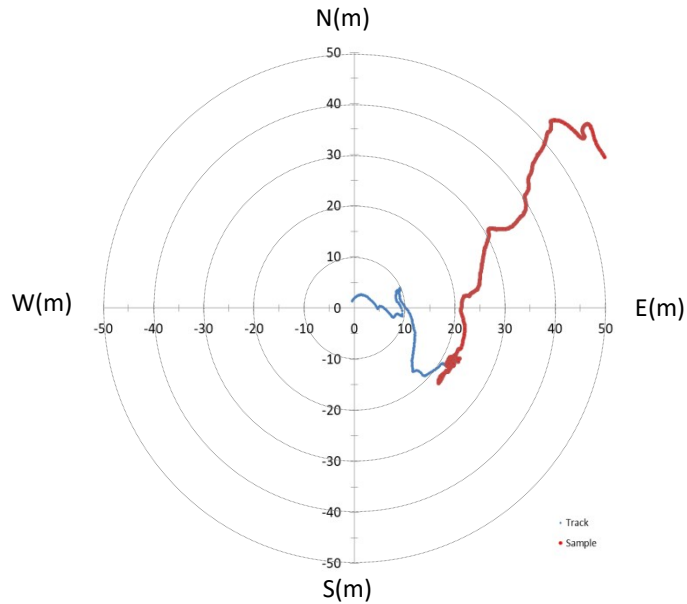


開始直後3分程度の間一時的に15m程度離れたものの、その後は半径4m程度の距離で位置保持ができている。これはGNSSの位置精度が1mであることを考慮すると高精度である。



クラスターモーターの故障で定点維持はOUT

C点からのASV航跡及び保持半径



保持開始から半径9mで1分程度位置を保持した後、22m程度離れて3分間位置を保持していたが、その後50m以上離れてしまう結果となった。

第5節 水質データの取得

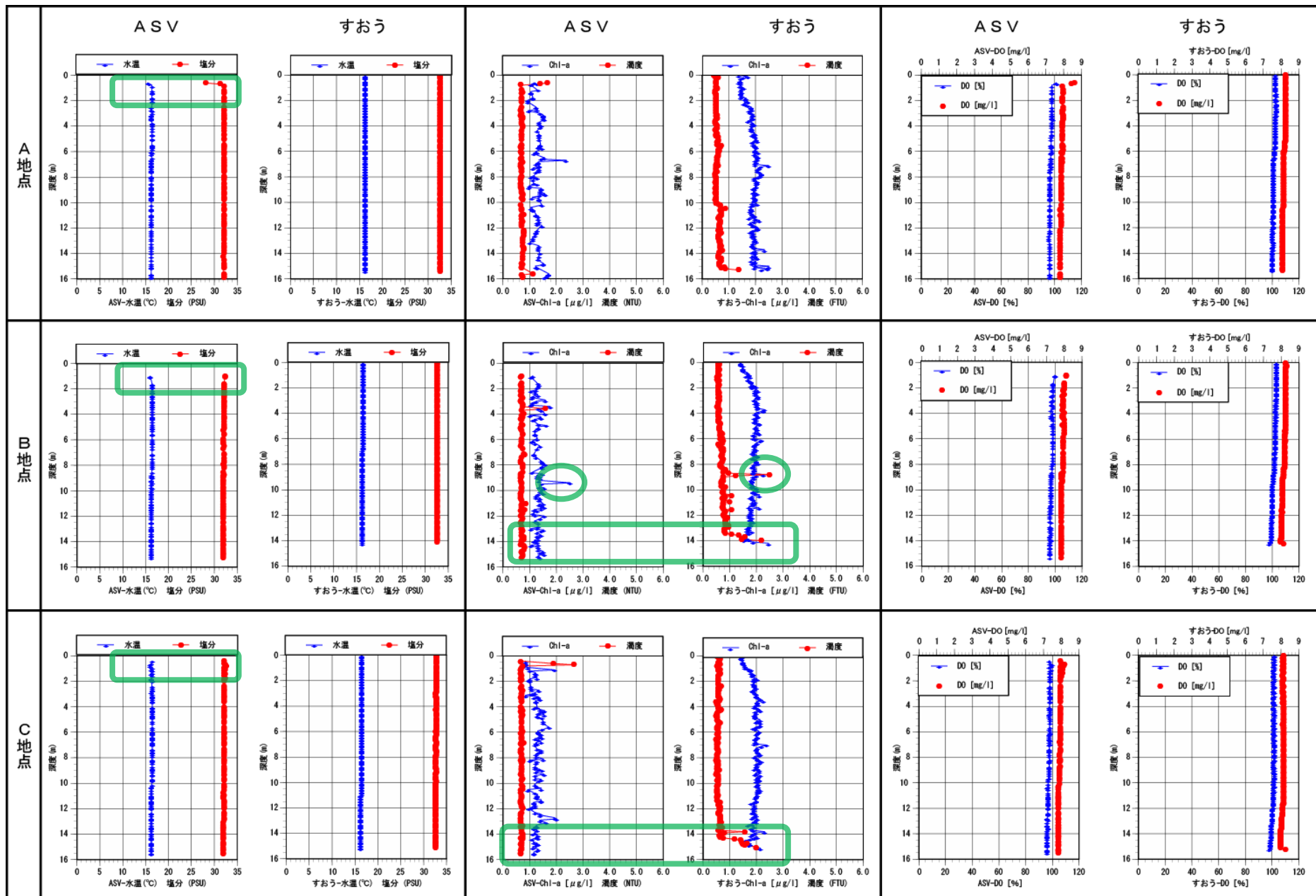
多項目水質計のデータは、1sec毎に収集している。

(水質:水温、塩分、濁度、クロロフィルa、溶存酸素(%、mg/l))

データ整理は多項目水質計を海面から投下して降下している時と上昇している時に取得できたデータを収集し、0.1m間隔で整理している。

例えば、0.2mであれば、0.15m以上、0.25m未満の区間で取得できたデータを平均化している。

多項目水質計を搭載した昇降機は10cm/secのスピードでケーブルを昇降しているが、風や流れによってASVが移動するため、一定の割合で昇降が出来ていない。そのため、0.1m区間ごとのデータは複数ある場合と、ない場合がある。



クロロフィルaや濁度の水質データを除くと、ASV、「環境調査船すおう」ともに、水面から水底までほぼ一定値であり、観測値も同じ傾向を示す。

水面付近は、データの欠落が多く、A地点では0.6m、B地点では1.0m、C地点では0.4mから海底までのデータ取得となっている。

クロロフィルaは「すおう」に対して全体的に低い傾向となっているが、クロロフィルa蛍光値に対する換算値が使用機器で異なるものである。

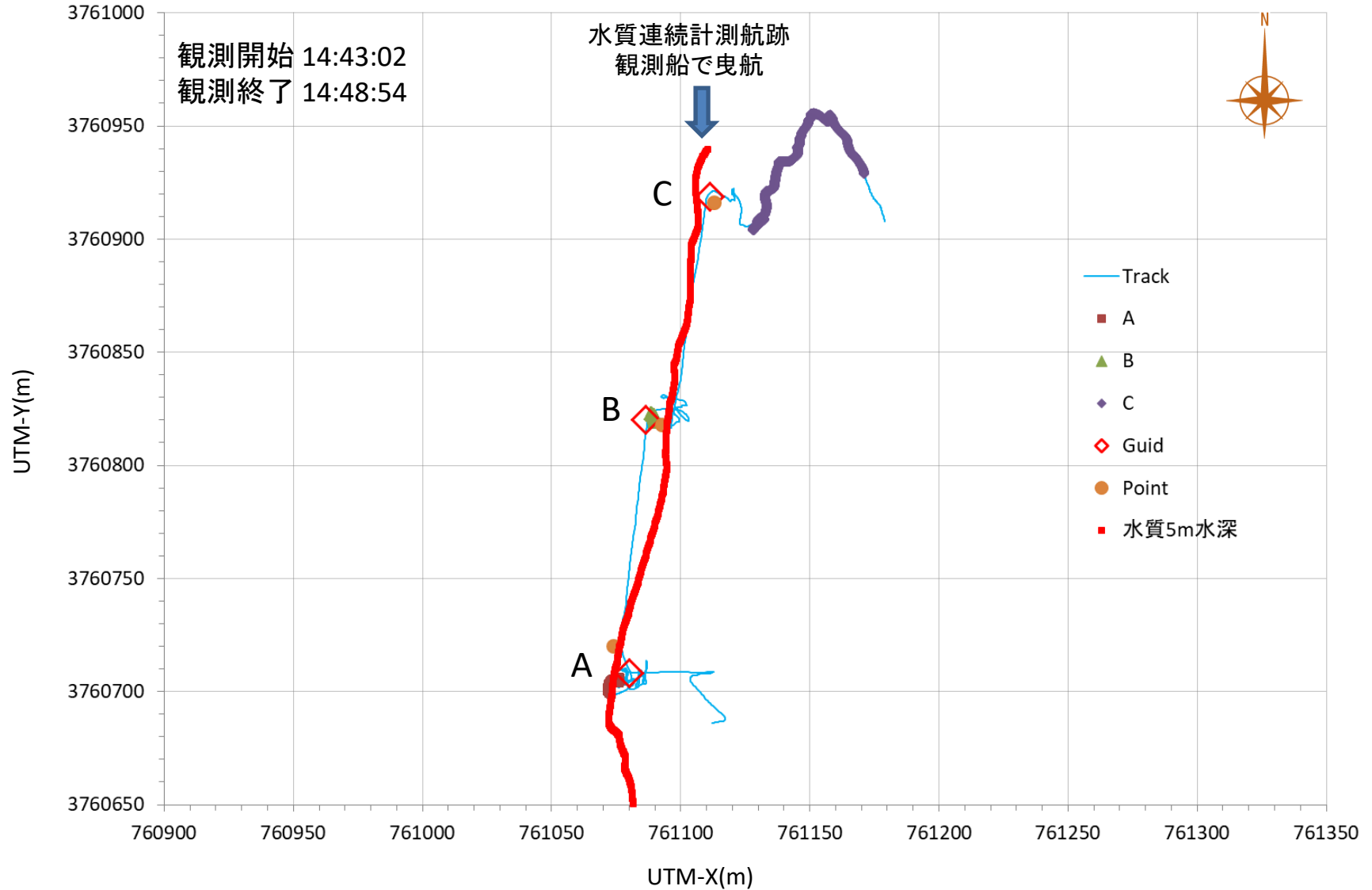
赤潮が生じる場合は50 μ g/Lを超えてくるものと推察されるが、調査時期は12月と水温が低下し、また、日射量も低下しているため2 μ g/Lを大きく超えるものではなく、小さな観測値での変化となっている。

以上のことから、水面下1mまでの確実なデータ取得については課題が残るものの、概ね、取得データの精度は確保できているものとする。

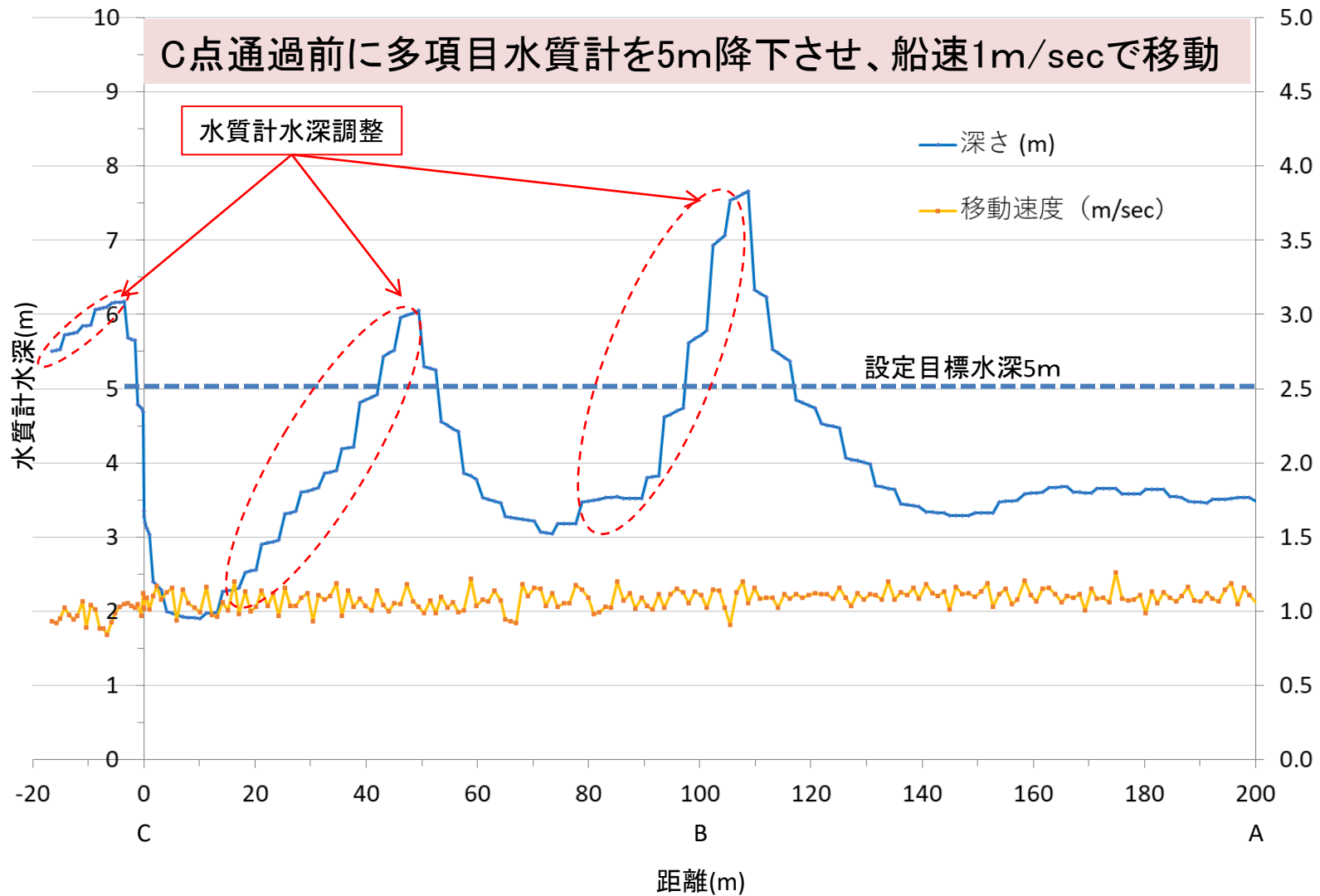
pH、DO、クロロフィルaは観測値が安定するまでに時間を要するため、センサーが水面に着底した後は、しばらくその位置を維持しておく必要があると思われる。

第6節 一定水深移動観測

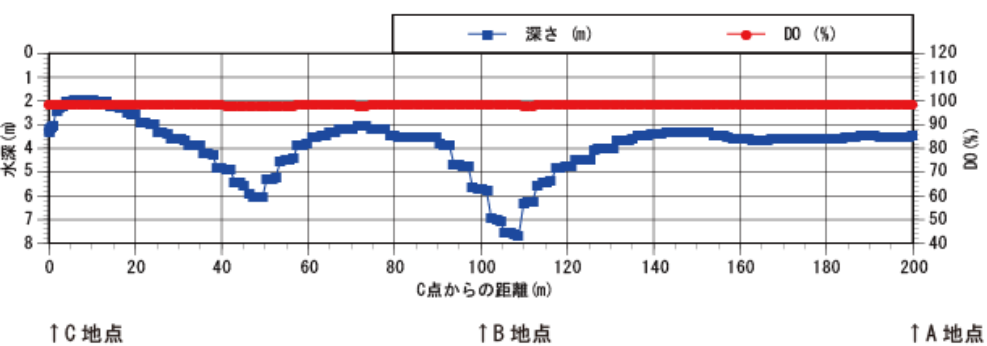
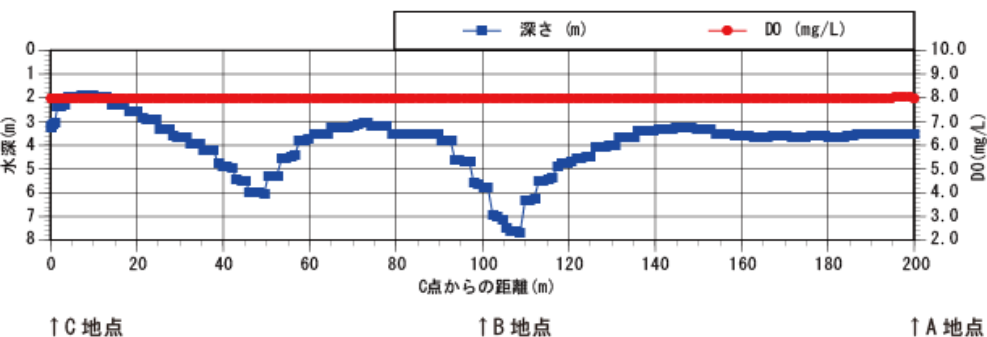
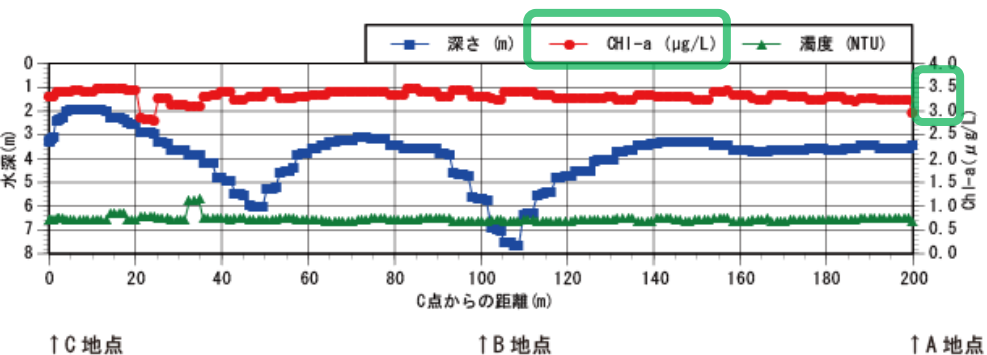
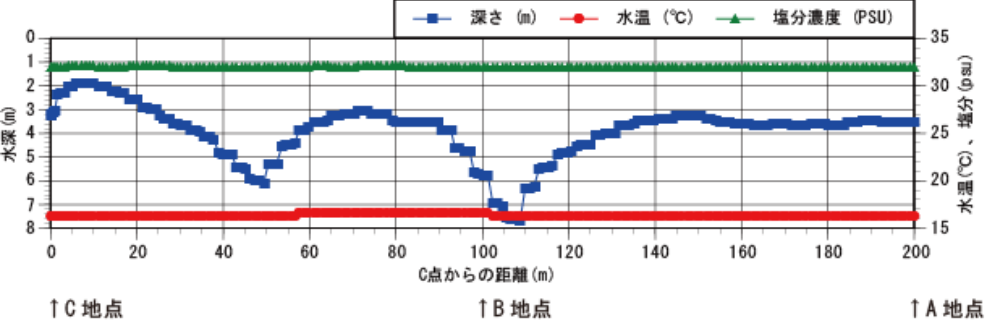
C⇒A点間移動水質連続計測



C⇒A点間移動速度及び水質計測定水深



移動とともに水質計が浮上するため、図中に示す位置で3回の追加降下操作を行ったが、いずれもケーブル延伸にもかかわらず水深3m程度まで浮上してしまい一定水深の維持ができない結果となった。



*移動とともに水質計が浮上する現象が生じているが、船速1m/secの移動に対しても、確実にデータ取得はできている。

*水温、塩分濃度、濁度、DOは、ほぼ一定の観測値を示しており、この観測値はA,B,C地点における定点観測の値とほぼ同じである。

*クロロフィルaは3.0～3.5μg/Lと、定点観測を行った3地点よりも2倍程度大きい観測値となっていた。観測値は、曳航により攪乱しながらのデータ取得となるため、高めに検出されるものと考えられる。

曳航しながらの観測値の取得の場合は、応答速度の速いセンサーの装着や曳航に対応した水質計を装着(水質計の形状に合わせたウィングデプレッサの取り付け)することで真値に近い観測値が得られるものと思われる。

赤潮に関連した植物プランクトンを追跡していくという観点では、数値の高いクロロフィルa濃度を追うこととなるため、曳航しながら流れていく方向を予測していくことは可能と考える。

第4章 今後の課題

ASV観測	課題	要因	対策
定点観測	位置保持性能の向上 (耐気象海象条件)	船体重量、抵抗	2フロート化 昇降機の軽量化
		推進力不足	スラスターの増強
一定水深移動観測	水深保持性能確保	ケーブル張力不足	センサーに重り付加 ウイングデプレッサ装着
遠隔通信	通信距離の不足	無線機器の限界	携帯電話回線、衛星回線の活用



ウイングデプレッサ例(東陽テクニカホームページ参照)



ご清聴ありがとうございました

