

3. 高密度観測網

トとし、さらにそれらのうち不適切な画像を視認によって選別して解析対象から除外している。また、観測日ごとに輝度しきい値を変えている。そのため、ここで示された白波被覆率は参考値ではあるが、大量の画像データを処理することも可能である。また、図中の実線は、4.4 で示された波浪モデルによって算定された白波砕波エネルギー散逸率の結果を示している。白波被覆率と白波砕波エネルギー散逸率は等価な物理量ではないが、いずれも砕波によるエネルギー散逸現象を定量化したものであり、前年度の研究において、両者の間には比較的良好な相関性が存在することが確認されている。また、白波砕波エネルギー散逸率は各日 15 時における計算結果であるが、観測データは移動しながら撮影した画像に基づいており、両者は同一時刻のものではないことに注意する。それでも、図 35-9 においても両者の定性的な傾向は一致しており、波浪モデルによる波浪推算から算定された白波エネルギー散逸率を用いることで、白波情報の予報が可能であると期待される。

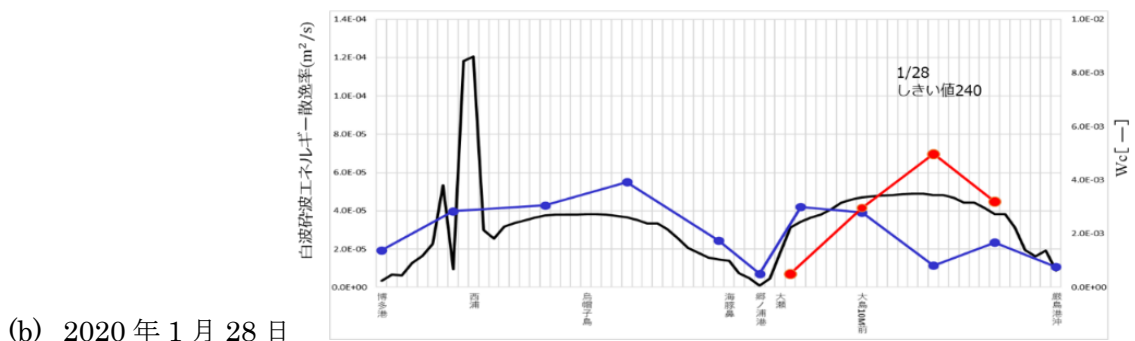
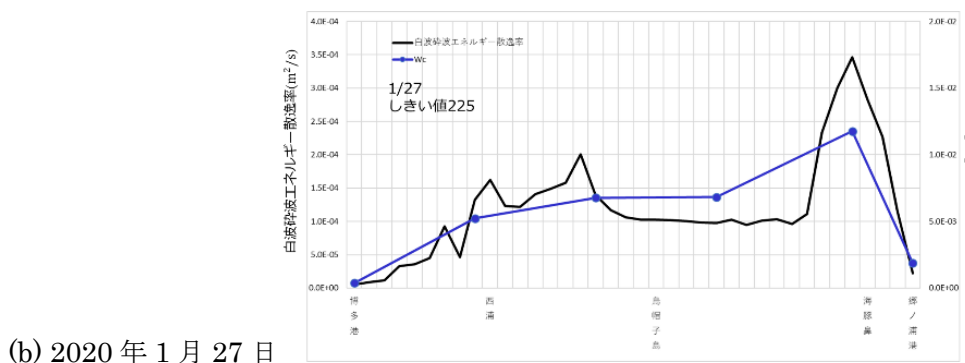
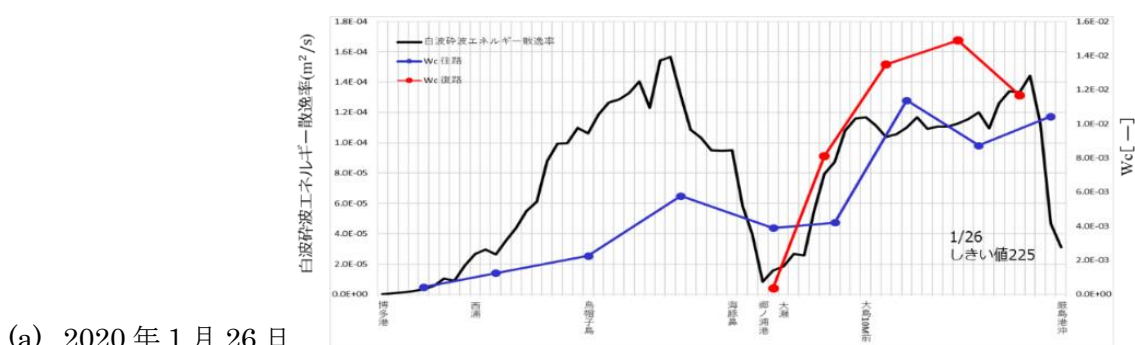


図 35-9 白波被覆率と波浪モデルによる白波砕波エネルギー散逸率との比較

3.5.3. まとめ

漁船およびフェリーという極端にサイズの違う船舶を用いて、ビデオカメラシステムによる海面画像撮影について検討した結果を以下に要約する。

1. 漁船のような小型船を利用した場合における海面画像撮影の問題点

(1) カメラの俯角の問題

- ・海面から比較的低い高度にカメラを設置せざるを得ないため、必然的にカメラの俯角が小さくなり、奥行き方向に広がった海面画像しか取得できない。
- ・画像手前の小領域のみを解析対象にすることになるため、統計的に意味のある砕波情報を算出するためには、時間的に大量の画像データを取得する必要がある。
- ・俯角が小さい場合、砕波前面を撮影するか、背面を撮影するかで、白波被覆率等の算定結果が大きく異なり、正確な砕波情報を算定するのが困難である。

(2) 船舶の動揺の問題

- ・小型船舶の場合、比較的高波浪時には必然的に船舶の動揺が激しくなる。その場合、撮影フレーム内のターゲット領域の変動が大きくなるため、精度の高い海面波浪情報を得るためには大量の画像データを用いた統計処理が必要となる。

(3) 電源およびデータ保存・伝送の問題

- ・カメラシステムを運用するためには、比較的大きな電源設備を必要とする。
- ・大量の画像データを保存・伝送するための機器管理およびネット環境の構築が難しい。

2. フェリーを利用した場合の利点と展開性

博多―対馬間の玄界灘海域において運行されているフェリー「きずな」(九州郵船株式会社)を利用して低気圧通過時の海面撮影を行い、得られた海面画像データの解析を行った。フェリーブリッジ高さの海上高度にカメラシステムを設置し、比較的深い俯角によって海面画像を撮影・記録するシステムを実装した。UPS によって安全なシャットダウン、さらに通電時にシステム起動を行うことができ、着岸中における電源切り替えの際にもカメラシステムの操作は基本的に不要である。これにより、漁船のような小型船舶では困難な荒天時の海面画像の取得と解析を行うための技術的な基盤を整備した(小型船舶での問題点の解決)。このような海面情報を、波浪モデルによる白波砕波エネルギー散逸率等と結合することで、白波情報を数値的に予想することが可能であると期待される。本実験では、固定した輝度しきい値による白波被覆率の算定を行ったが、機械学習などの先進的なデータサイエンス技術を適用することで、さらに広範囲の気象・海象条件下の白波砕波情報を取得することができるものと考えられる(データサイエンス技術の展開性確認)。

3. 高密度観測網

3. 6. 精度検証

3. 6. 1. 漁船 ADCP データの精度検証

各県の漁船の協力により、データロガーとタブレット端末による潮流（ADCP）データの取得を行っている。データの取得間隔は漁船によって異なるが、1 秒から十数秒に設定している。ただし、構造格子モデルの時間・空間分解能を考えると、データ同化の前に適切な時間での平滑化処理を必要とする。

「平成 29 年度 ICT を利用した次世代スマート沿岸漁業技術開発事業報告書」では、1 隻の漁船を例に、10 分から 15 分の中央値（メディアン）処理が有効であることを示した。現在では 10 分間の中央値処理が施された後に、数値モデルにデータが同化されている。本節では、より短い時間での中央値処理の精度について検証する。これは、通信時間の短い漁業無線などのインフラを使用した潮流データの取得の有効性を示す基礎資料となる。

検証には以下の漁船 ADCP（NMEA）データを用いた。

- ・ 期間：2017 年 11 月～2019 年 12 月
- ・ 漁船数：11 隻
- ・ データ取得間隔：1 秒（2 隻）または 3 秒（9 隻）

10 秒、15 秒、30 秒、1 分、2 分、5 分、10 分、15 分、20 分の時間間隔で流速ベクトルの平均とメディアンを求めた（図 36-1）。それぞれの時間間隔の平均とメディアンの差は、標準偏差 σ の誤差楕円で規格化した。

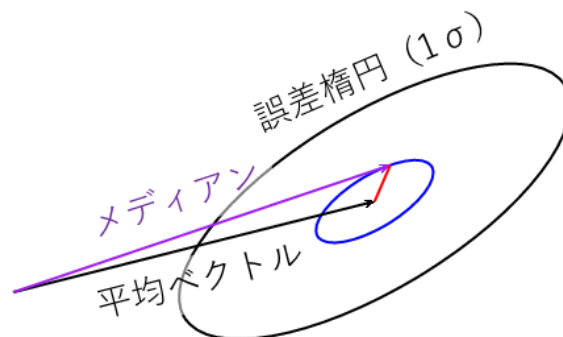


図 36-1 平均（黒ベクトル）とメディアン（紫ベクトル）の比較の例。赤の線分は平均とメディアンの差を表す。黒と青楕円は、それぞれ 1σ と約 0.3σ の誤差楕円を示す。

図 36-2 に流速ベクトルの平均とメディアンの差を示す。規格化した差は、10～15 分（600～900 秒）以上で変化が小さくなった。より短い時間間隔に着目すると（図 36-2 下）、10～30 秒で急激に規格化した差が減少し、それ以上で変化は小さくなった。図 36-3 に既存処理の 10 分メディアンと、各時間間隔のメディアンの差を示す。1 分（60 秒）以下ではその差に変化はほとんどないが、2 分（120 秒）以上で差は減少した。使用している古野社製の潮流計（ADCP）は、標準で 2 分間の平均流速を出力している。このため、2 分以内で平滑化処理（メディアン処理）を行っても、結果に大きな差は生じないと考えられる。

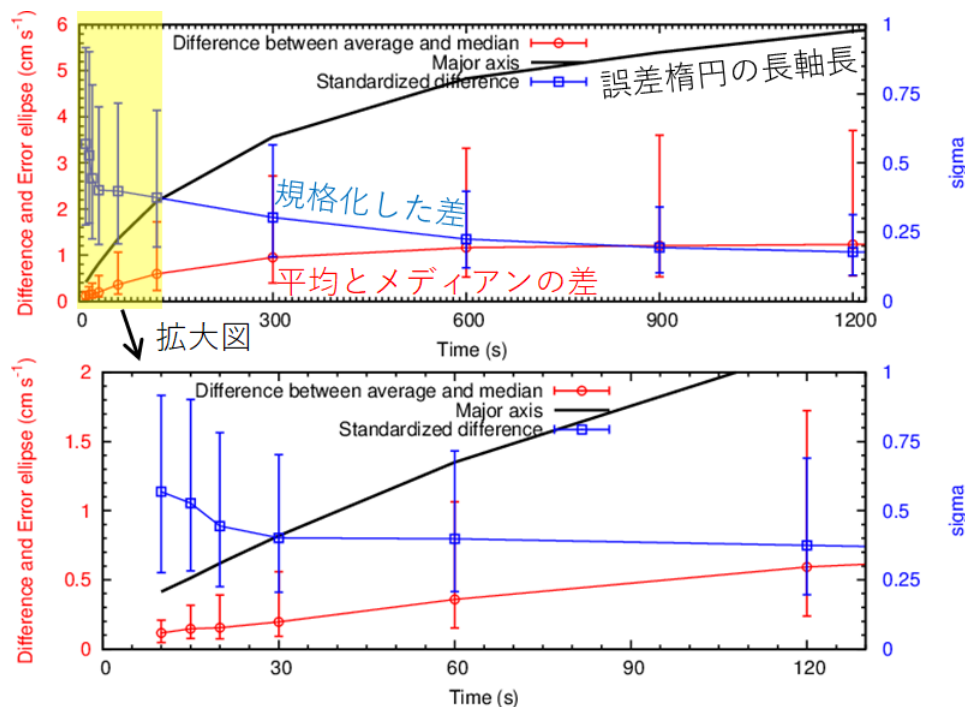


図 36-2 平均ベクトルとメディアンベクトルの差（赤）。黒線は誤差楕円（標準偏差 σ ）の長軸長、青線は誤差楕円で規格化した平均ベクトルとメディアンベクトルの差を示す。

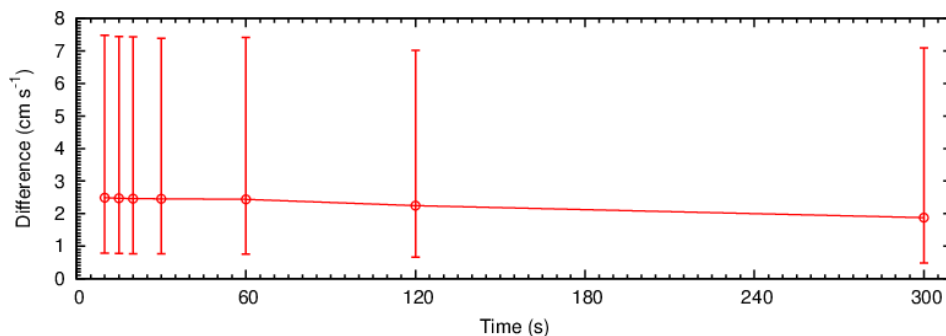


図 36-3 10 分メディアンと各時間間隔（横軸）のメディアンの差（縦軸）。

3.6.2. S-CTDデータの処理方法

各県の漁業者の協力により、S-CTD 観測が行われている。この S-CTD 観測は漁業現場で行われるため、その方法は漁業形態によって異なる。ロープを用い単独で S-CTD を降下・上昇させることが多いが、漁具に S-CTD を取り付けて観測する場合もある。S-CTD の緯度経度情報は、漁船上のタブレットの GPS データを用いるため、S-CTD から漁船が離れてしまうと、S-CTD の観測位置とは異なる緯度経度情報を記録する可能性がある。例えば、福岡県の漁船 FO-011 は延縄漁の漁具に S-CTD を取り付けて観測している。この漁船の緯度経度情報の例を図 36-4 左に示す。漁具（S-ACT）を投入開始後、漁船（タブレット）が移動し、再び投入位置に戻り漁具（S-ACT）を回収していた。この間、S-ACT は投入開始位置付近にあると考えられる。別の佐賀県の一艘ごち網漁船 SA-007 の緯度経度情報の例を図 36-4 右に示す。1 つの観測データファイルに複数回の観測データが記録されていた。さらに、漁具に取り付けて漁船が動きながら

3. 高密度観測網

観測しているため、S-ACT 観測位置は時間経過とともに移動している。この場合、タブレットの GPS 情報を S-CTD の緯度経度として用いることが妥当と考えられる。このような様々な観測方法を考慮し、以下の S-CTD のデータ処理手順を提案する。

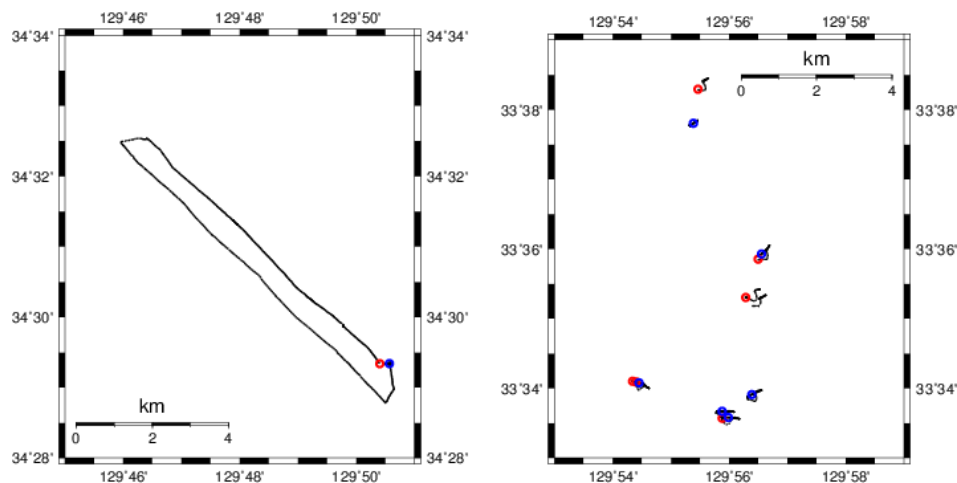


図 36-4 FO-011 (左) と SA-007 (右) の航跡。赤丸と青丸は、それぞれ降下開始位置と上昇開始位置を示す。

【条件（これらの条件の閾値は検討の余地を残す）】

1. 一つのファイルに、降下キャスト 1 回、上昇キャスト 1 回のデータが記録されてる。
 2. 降下・上昇キャストの開始時間の差が 1 時間以内
 3. 降下・上昇キャストの開始水平位置 GPS が 1 km 以内
 4. 降下・上昇キャストの開始センサー深度が 2 m 以内
- A) 条件 1～4 を全て満たす場合のみ、その場で単純に降下・上昇の観測を行ったと仮定する。この場合、圧力センサーの応答時間（次節）の補正を行い、通常処理を行う。時刻とのマッチングにより GPS 信号で位置を決定する。
- B) 条件 3 と 4 のみを満たす場合、降下キャスト後、S-CTD をその場に残し、船が移動したり何らかの作業した後、もとの位置に戻り上昇キャストを行ったと仮定する。この場合、S-CTD の深度が一定の期間は時刻とのマッチングを行わず、降下と上昇キャストの開始位置の平均位置とする。
- C) その他の場合、漁具などにつけて移動観測したと仮定する。この場合、時刻とのマッチングにより GPS 信号で位置を決定する。

3.6.3. S-CTD センサーの応答時間・データのノイズ除去

「平成 30 年度 ICT を利用した漁業技術開発事業のうちスマート沿岸漁業推進事業報告書」（以下、平成 30 年度報告書）で指摘したように、S-CTD の各センサーの応答時間がそれぞれ異なる可能性がある。圧力、水温、電気伝導度の応答時間（時定数）のメーカ（JFE アドバンテック）公称値は、それぞれ 0.1 秒、0.2 秒、0.2 秒である。2019 年 1 月から 12 月までのデータで 3.5.2 節の処理 A に該当する漁業現場の

S-CTD データを用い、平成 30 年度報告書に従い、応答時間の見積もりを行った（図 36-5）。圧力センサーと電気伝導度センサーに対する水温センサーの応答時間の遅れをそれぞれ τ_p と τ_c とする。応答時間の見積もりは、気象庁の海洋観測指針（1999）を改良し、時間方向に連続的に変化するフィルターを使用した。さらに、圧力センサーと電気伝導度センサーの応答時間が水温センサーよりも早い場合も考慮した。 τ_p は海洋観測指針（1999）と異なる方法で、降下と上昇キャストの水温の鉛直プロファイルが一致するように決定した。 τ_c は海洋観測指針（1999）と同じ方法で、塩分のノイズが最小になるように決定した。図 36-5 より、漁業現場の τ_p と τ_c は、それぞれ約 0.1～0.8 秒と約 0.2 秒と見積もられた。メーカー公称値では、 τ_p と τ_c は、それぞれ 0.1 秒と 0 秒となる。漁業現場の応答時間は、公称値よりも若干大きな値を示した。

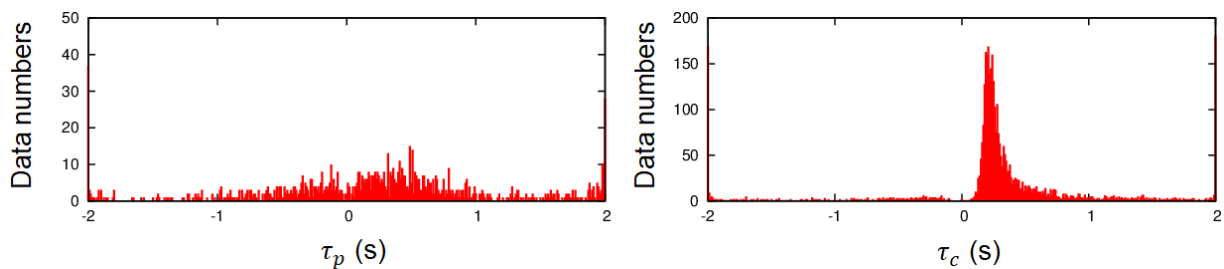


図 36-5 圧力センサーに対する水温センサーの応答時間の遅れ（ τ_p ）と電気伝導度センサーに対する水温センサーの応答時間の遅れ（ τ_c ）。

応答時間の補正後、鉛直 1 dbar（1 m）の平均処理を行っても、塩分データのノイズが除去できないことがあった。図 36-6 に塩分ノイズの大きな観測例を示す。この観測は、長崎大学練習船「長崎丸」の高精度 CTD（SBE 911plus）に S-CTD を取り付けて行った。S-CTD データに鉛直 8 dbar（8 m）での中央値（メディアン）処理を 1 dbar（1 m）ごとに行うと、有効に塩分ノイズを除去できた（図 36-6）。

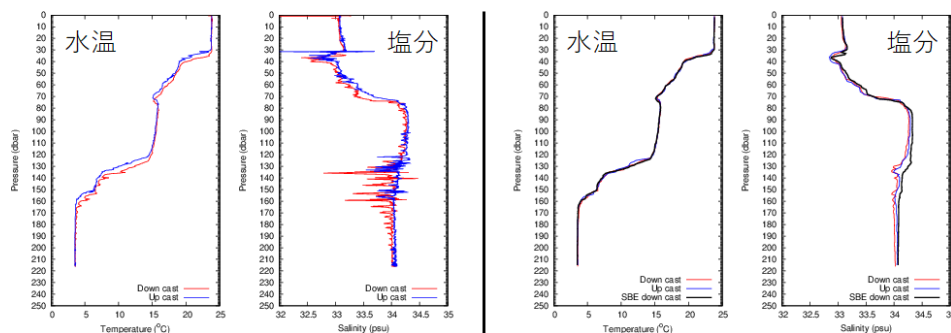


図 36-6 水温・塩分の鉛直プロファイルの例。赤線と青線は、それぞれ S-CTD の降下と上昇キャスト、黒線は長崎丸 CTD の降下キャストを示す。左図は生データ、右図は応答時間の補正と鉛直 8 dbar の中央値処理を施したプロファイルである。

3.6.4. 水温・塩分マップ

2019 年 6 月以降、1 か月あたり 300 個を超える S-CTD データが得られた。そこで、2019 年 6 月から 12 月までのデータを用い、各月ごとに 5 dbar（5 m）深における水温・塩分の水平分布（マップ）を作成し

3. 高密度観測網

た（図 36-7 と 8）。ここでは、e-folding scale 10 km（データ使用半径 20 km）のガウス補間を用いた。夏（特に 8～9 月）には沖合域に高温・低塩分水が観測され、冬（特に 11～12 月）の沿岸域では沖合に比べ低温・低塩分であった。

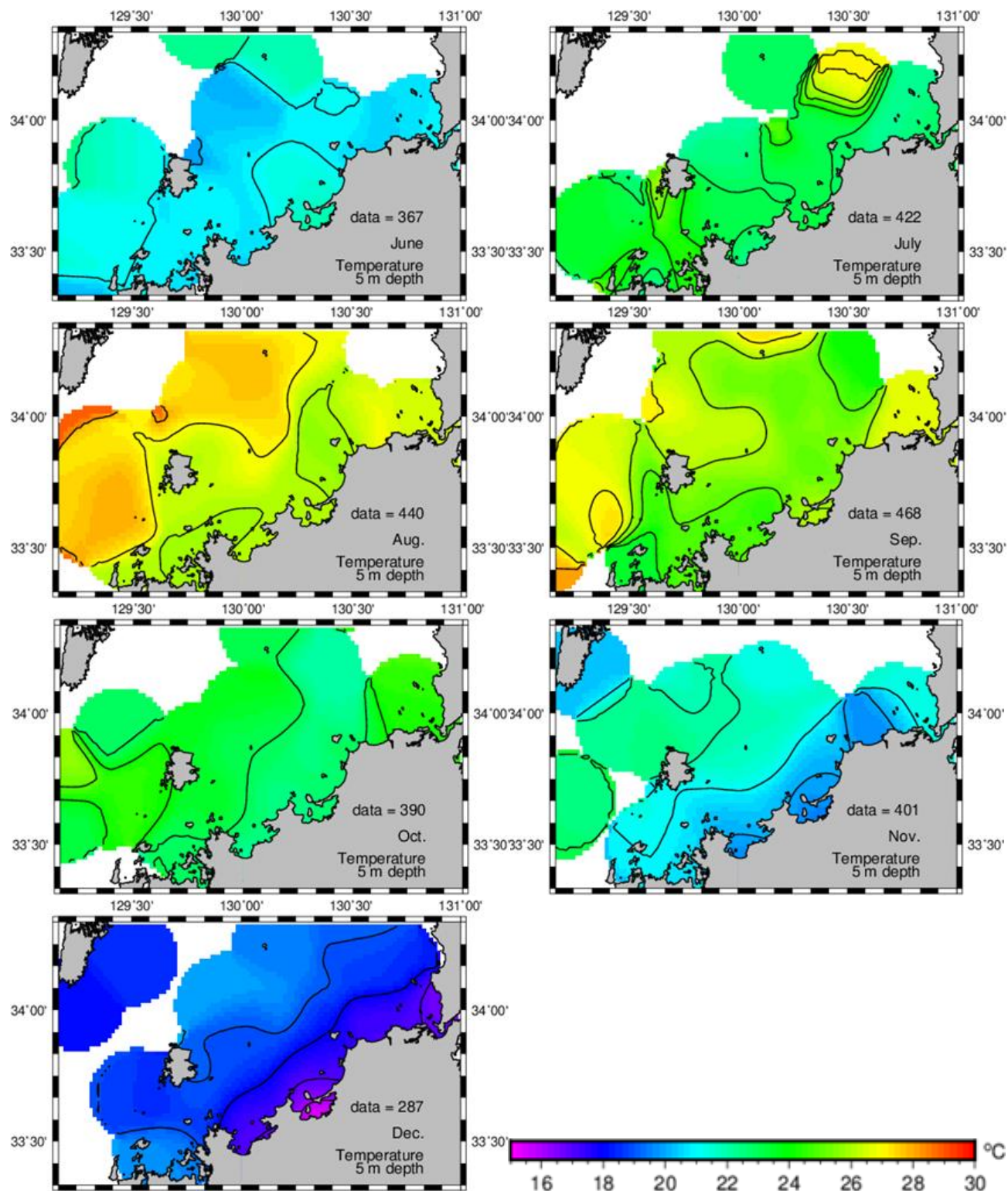


図 36-7 水温マップ（5 dbar 深）。

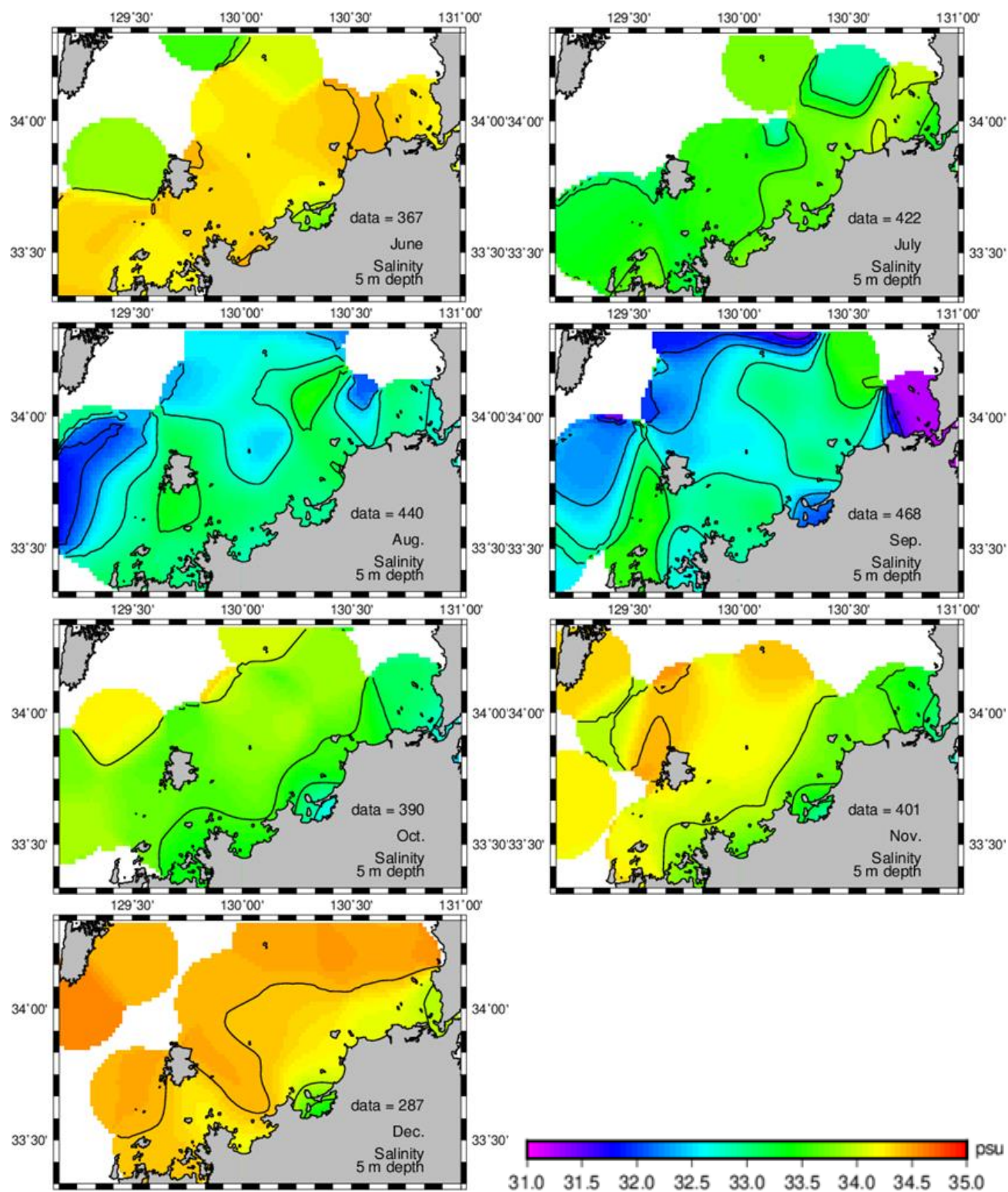


図 36-8 塩分マップ (5 dbar 深)。