

「津軽ジャイアー」の生物生産を支える「涸れない泉」 地形が起こす栄養の湧き出し

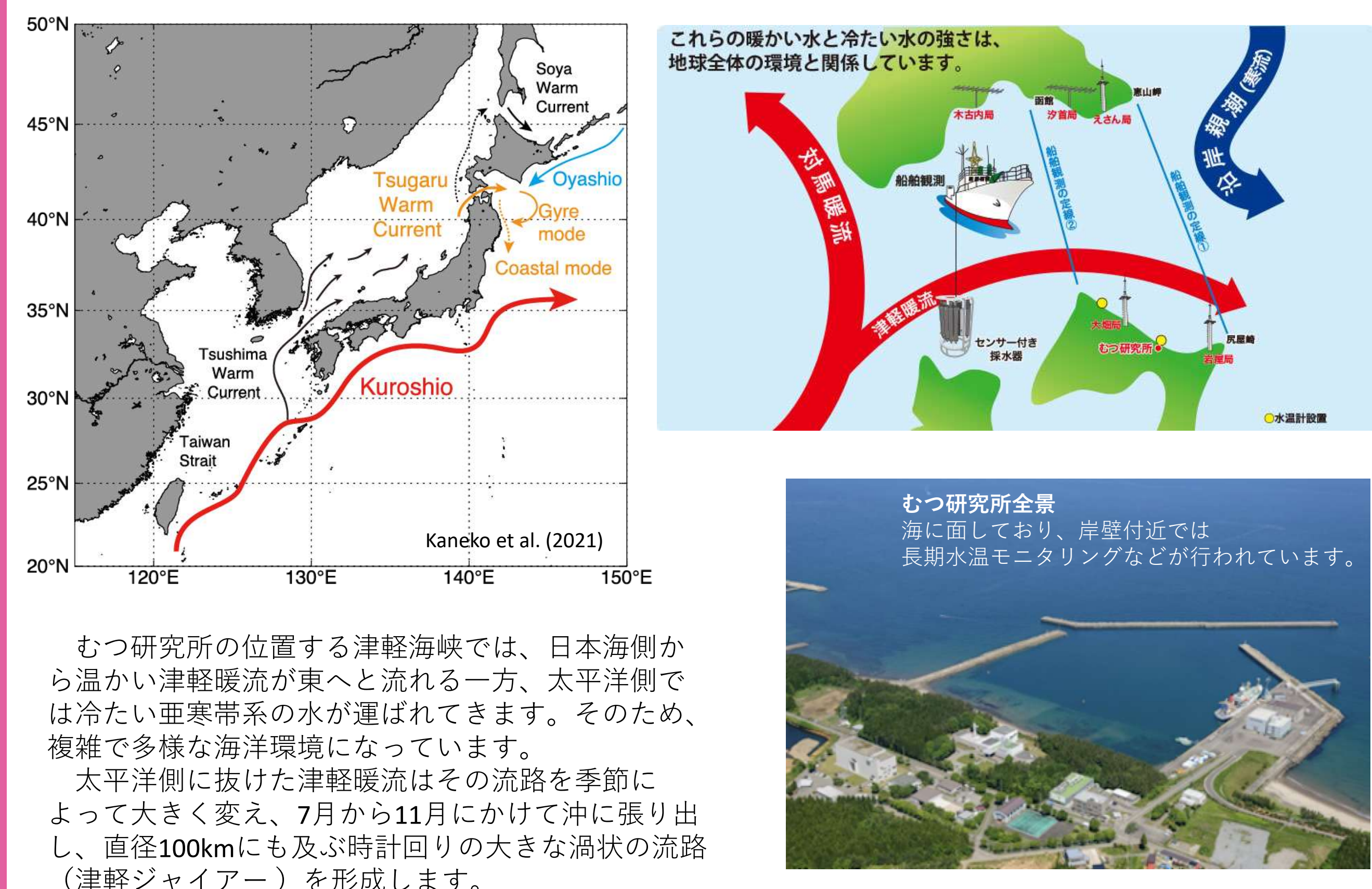
むつ研究所では、津軽海峡周辺海域の海洋環境変動のメカニズムを明らかにし、環境変動の予測に繋げることを目的として、観測や数値モデルなど、さまざまな手法を用いた研究を進めています。船舶観測、レーダーによる流速観測、そして衛星観測データや数値モデルの結果を組み合わせた解析により、津軽海峡を流れる暖流が、夏から秋にかけて尻屋崎沖の地形を乗り越える過程でもたらす栄養の汲み上げと、太平洋側での生態系維持に寄与することがわかってきました。



海洋短波レーダー (HFR) 汐首局
海面へと電波を発射し、反射してきた電波を解析することで、広域の表面流速分布を継続的にモニタリングすることができます。

むつ研究所と津軽海峡研究

東シナ海の黒潮とも密接に関係する津軽暖流



むつ研究所の位置する津軽海峡では、日本海側から温かい津軽暖流が東へと流れる一方、太平洋側では冷たい亜寒帯系の水が運ばれてきます。そのため、複雑で多様な海洋環境になっています。太平洋側に抜けた津軽暖流はその流路を季節によって大きく変え、7月から11月にかけて沖に張り出し、直径100kmにも及ぶ時計回りの大きな渦状の流路（津軽ジャイアー）を形成します。

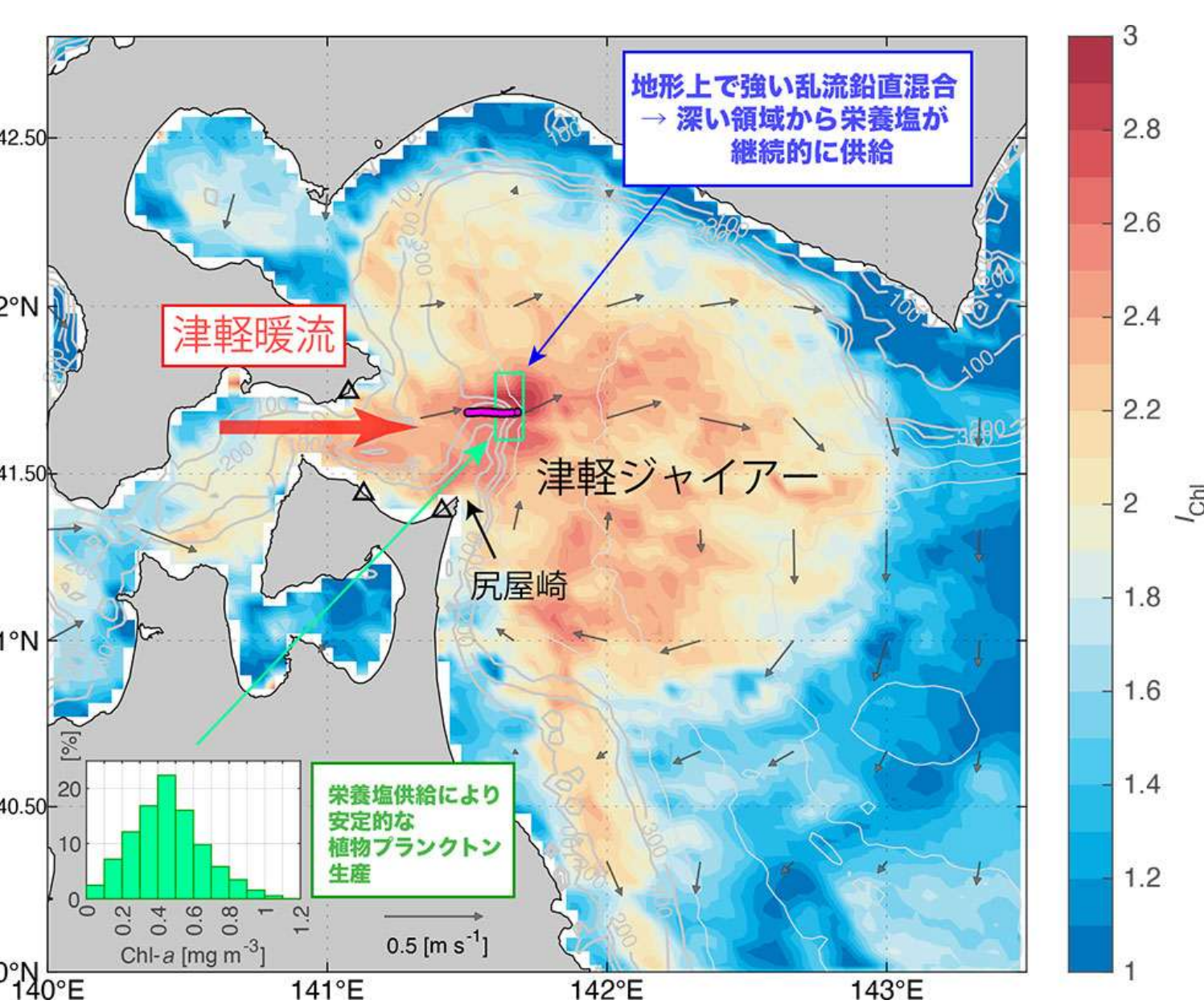
尻屋崎沖での植物プランクトン増殖

津軽ジャイアー周辺では、サバの好漁場が形成されることなどから、生物との関わりにおいても、その特性を理解することはとても重要です。

津軽ジャイアーが形成される時期には、生態系を支える植物プランクトンの光合成維持のために、より深い深度からの栄養の供給が重要になります。これは光の届く表層付近では、春頃からの植物プランクトンの生産活動により栄養が消費されてしまい、枯渇しているためです。

この時期には、浅い方に暖かくて軽い水が、深い方に冷たくて重い水が分布する特徴が強まるため、何らかの物理的な混合が生じない場合、鉛直的な栄養の供給は生じにくい状態にあります。

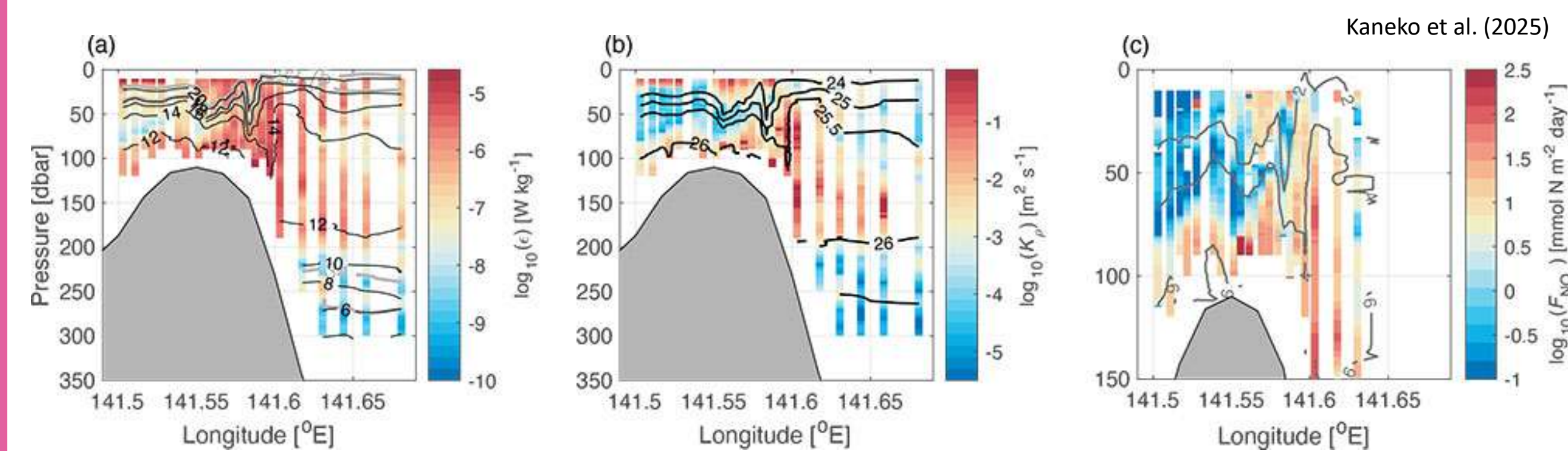
したがって、海面付近にどのように栄養がもたらされるのかは、太平洋側の豊かな漁場を形成するメカニズムを理解する上でも重要でした。



人工衛星観測データによる8・9月の表面クロロフィルa濃度の安定性指標（各グリッドの標準偏差で規格化したもの）。紫点は2021年8月の船舶観測点を示す。黄緑色の枠領域は、クロロフィルa濃度に関するヒストグラムを作成するのにデータを抽出した領域。矢印は平均流速（2014年から2021年）。灰色の線は海底地形。三角のマークはHFRのアンテナ位置。

まず、人工衛星の観測データから、津軽ジャイアー内で植物プランクトン分布が安定的に存在すること、尻屋崎沖で特に強いシグナルが見られることが推察されました。

地形に伴う強い混合の発見



尻屋崎沖の海底地形を横切る観測線（2021年8月）上における (a) 乱流運動エネルギー散逸率（流の乱れの強さ）、(b) 鉛直拡散係数（混合強度の指標）、(c) 硝酸塩乱流鉛直フラックス（鉛直的な栄養輸送の指標）。

(a) の細い黒線、灰色線はそれぞれ水温、塩分、(b) の太い黒線は密度偏差、(c) の灰色線は硝酸塩濃度を表す。

私たちは上述の人工衛星のデータ解析から、津軽海峡東部、尻屋崎から北に突き出した尾根状の海底地形（尻屋海脚）に着目しました。津軽暖流が夏季～秋季にこの地形を乗り越える際に、流れが大きく乱れ、大きな栄養塩乱流鉛直輸送が生じると考え、調査船を用いて、津軽暖流の東向き流れに沿ったドリフト観測をこの海域で実施しました（2021年8月下旬）。

私たちは主要な栄養塩の一種である硝酸塩について、乱流鉛直混合による鉛直的な輸送量（硝酸塩乱流鉛直フラックス）に着目しました。その結果、尾根の下流側（東側）において強い乱流鉛直混合や硝酸塩乱流鉛直フラックスが生じていたことを、津軽海峡東部海域で初めて明らかにしました。

乱流強度は、外洋域で一般的に生じるレベルの1万倍、硝酸塩乱流鉛直フラックスは、大きいところでは津軽海峡西部の竜飛岬での観測値の100倍にも及んでいました。

これらの強い混合は、深度が100m程度から急激に深くなる、東西幅数km程度のところに集中していました。広い海において、このような特異的な領域を闇雲に探すことは大変難しく、人工衛星データによる事前の検討が功を奏した結果でした。

同化モデルによる流動場の再現

この海域では、潮流などに伴う時間変化が激しいため、1度の船舶観測から背景の描像を把握することは容易ではありません。そこで私たちは、JAMSTECが地球シミュレータを用いて計算した海洋データ同化モデルJCOPE-T DAの出力を利用しました。

上段：

海洋データ同化モデルJCOPE-T DAによる、2019年の表面流速およびその「発散」（湧き出し）

(a) 1月～6月および12月の平均値
(b) 7月～11月の平均値

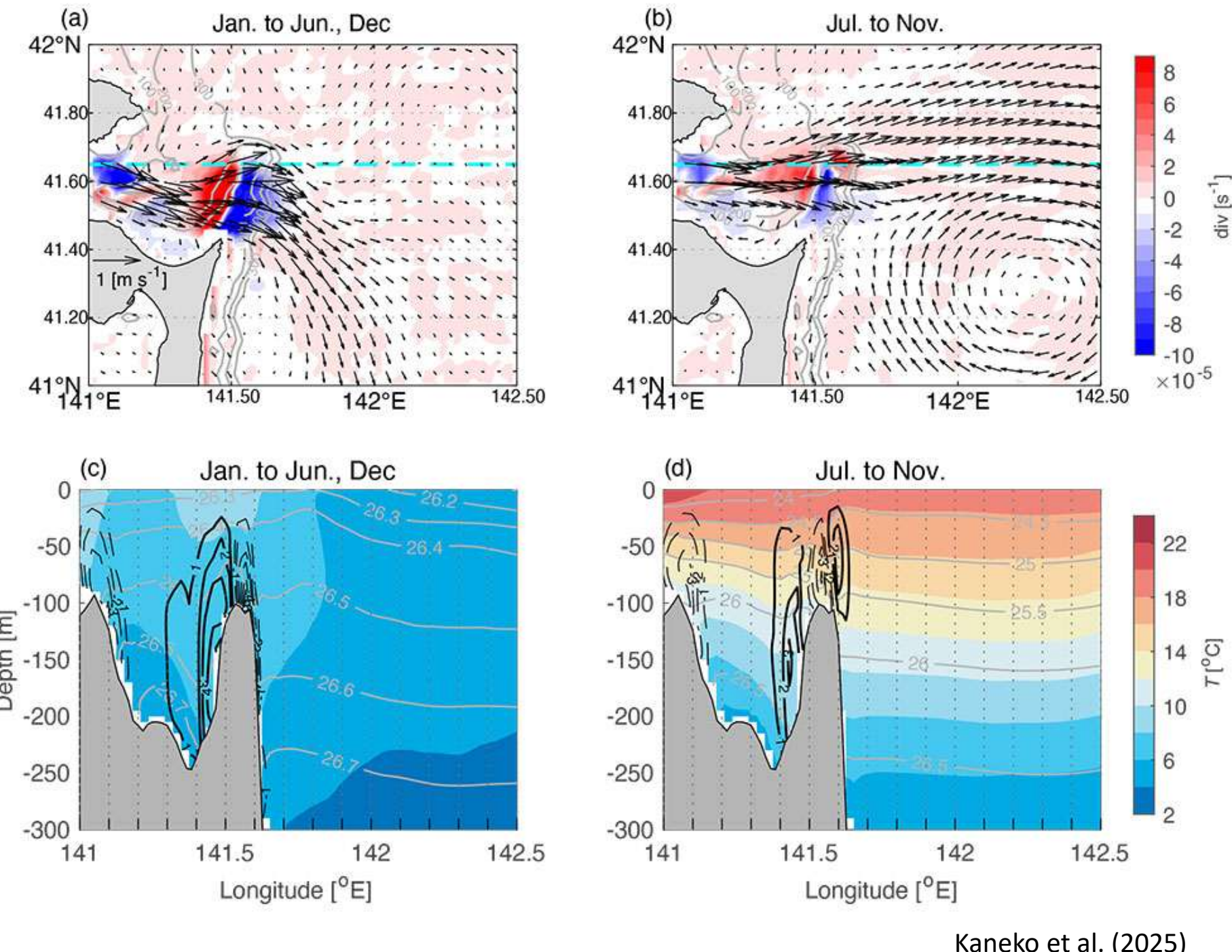
水色の波線は鉛直断面緯度を示す。

下段：

水温（色）、密度（灰色線）と鉛直流速（黒線）

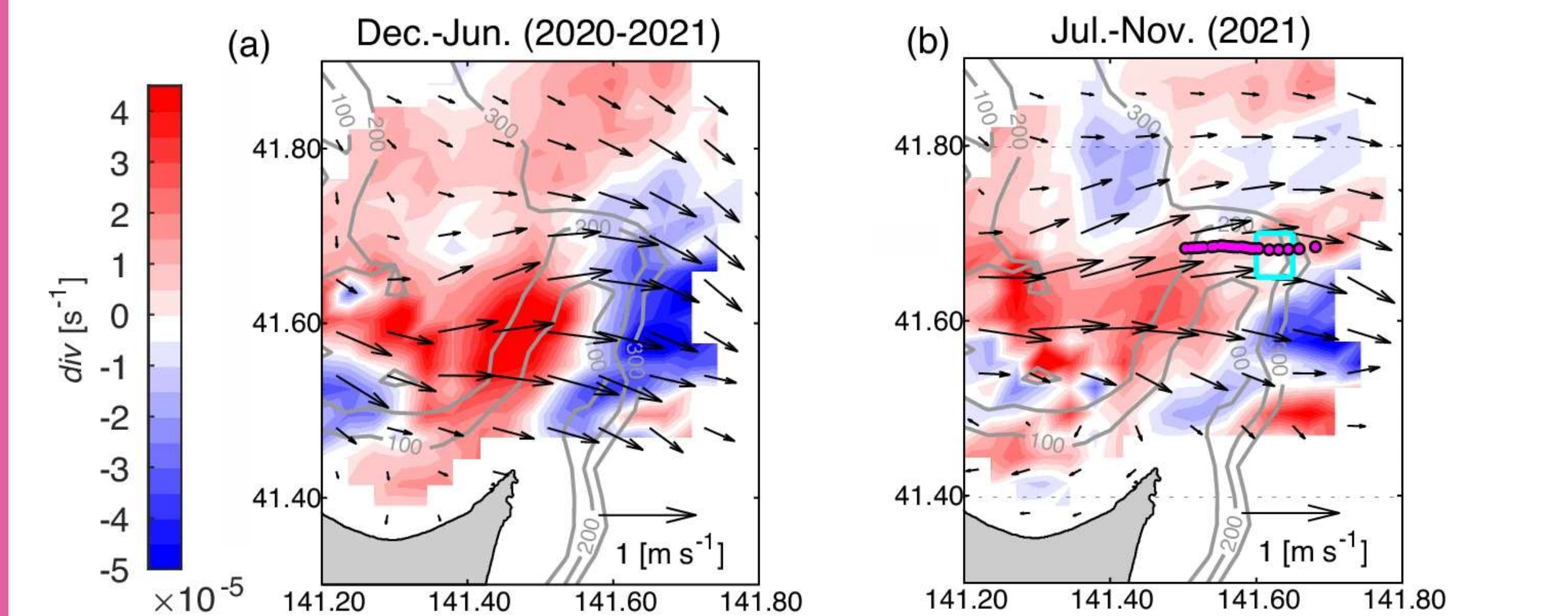
(c) 1～6月および12月の平均値
(d) 7～11月の平均値

実線が上昇流、破線が下降流。



その結果、夏季～秋季の鉛直的な密度差が大きい時期には、津軽暖流が地形を乗り越える際に、不安定が生じやすいこと、そして尾根の下流（東側）で数10～100m付近の深度に上昇流が生じ、表層が「湧き出し」域になることを確認しました（一方で、冬季には、このような構造は見られませんでした。これは鉛直的な密度差が小さいことが影響していると考えられます）。これらの情報をもとに、次に私たちはHFRの長期のモニタリングデータを用いて、海面の「湧き出し」領域が観測からも確認できるかどうかを検討しました。

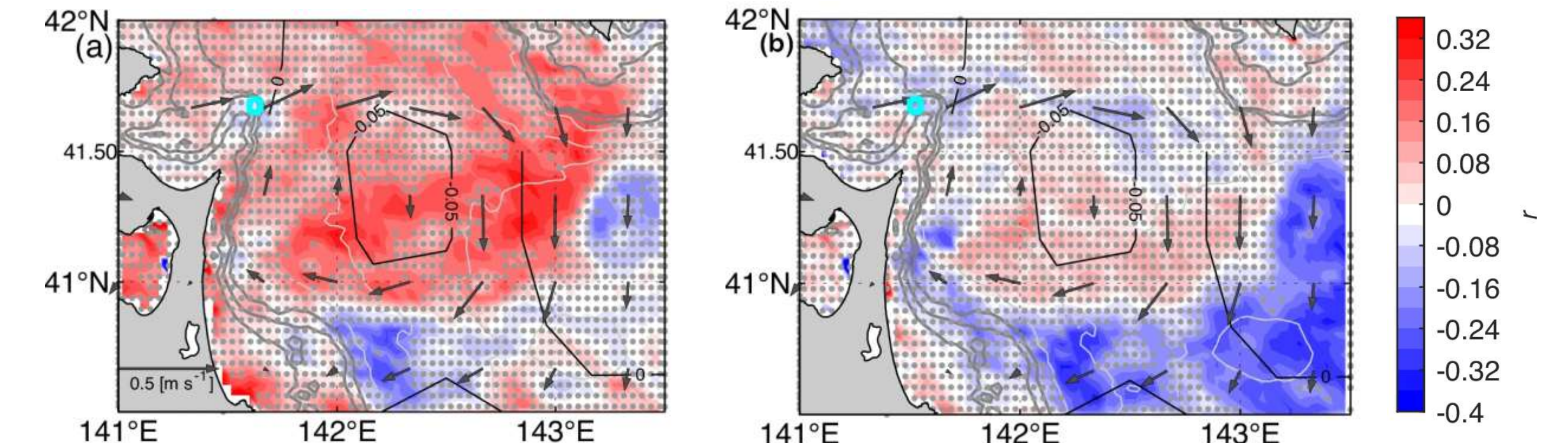
レーダー流速で「湧き出し」を指標化



海洋短波レーダー (HFR) による表層流速およびその「発散」（湧き出し）の分布。
(a) 2020年12月から2021年6月、(b) 2021年6月から12月の平均値。紫点は2021年8月の観測点。水色の四角は「発散」（湧き出し）の指標値 (div_{0.5}) を計算した領域。（Kaneko et al., 2025）

むつ研究所が2014年から継続して運用しているHFRによる海表面の流速データを用い、私たちは津軽暖流が地形を乗り越えた下流側（東側）の、表層流速の「発散」、すなわち「湧き出し」が起こる領域が生じることを実際に確かめました。さらに、HFRの長期のモニタリングデータと、人工衛星によって得られる、植物プランクトン分布の指標である海面クロロフィルa分布の長期データを比較することによって、地形によって生じる栄養の鉛直輸送が、どの程度の領域に、どのような影響を及ぼすかを検討しました。

衛星データを用いた統計的検証



尻屋崎沖海底地形の表層「発散」（湧き出し）とクロロフィルa濃度についてのラグ1日の相関マップ（2014年から2022年までの8月と9月のデータを利用）。

(a) 尻屋崎沖地形の東側 (41.65° N-41.70° N, 141.60° E-141.65° E) の領域で計算した発散 (div_{0.5}) のケース。
(b) 地形の西側 (41.65° N-41.70° N, 141.50° E-141.55° E) における領域で計算したケース。

矢印は2014年から2021年の8月、9月の表面流速の平均分布。灰色の線は地形を表す。（Kaneko et al., 2025）

私たちは、津軽ジャイアー内において、地形東側での「湧き出し強度」とクロロフィルa濃度の間に有意な正の相関があることを確認しました。さらに私たちは、JCOPE-T DAの出力を用いた粒子追跡実験による時間スケールの検討や、水温や日射量などの様々なファクターから見積もった生物生産量と、観測された硝酸塩乱流鉛直フラックスの推定値を比較し、船舶で観測されたフラックスが、現実的に津軽ジャイアー内の生産を支えるレベルであることを示しました。

これらの解析により、とても広い津軽ジャイアーの生物生産を支えている鍵が、尻屋崎沖海底地形を津軽暖流が横切る、ごく狭い領域にあることを突き止めました。この領域が、あたかも「涸れない泉」のように栄養の湧き出す場所となっており、広い領域の生産に寄与していたのです。

（より専門的に知りたい方は Kaneko et al., 2025, Nature Communications. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56917-4> をご参照ください）