

[26]全国共同利用研究成果報告

<https://doi.org/10.15017/6796417>

出版情報：全国共同利用研究成果報告. 26, 2023-03. Research Institute for Applied Mechanics,
Kyushu University

バージョン：

権利関係：



課題番号：2022WS-A0-1

研究集会「地球流体における波動と対流現象の力学」の報告

研究代表者：伊賀 啓太（東京大学 大気海洋研究所）

開催日時：2023 年 3 月 6 日（月） 13 時 30 分 ～ 17 時 30 分

2023 年 3 月 7 日（火） 10 時 30 分 ～ 15 時 30 分

実施方法：対面会議

研究集会の目的：近年の計算および観測技術の著しい進歩により、大気や海洋の小規模渦から大規模循環まで計算機上で再現できるようになり、リモートセンシングやその場観測の蓄積に伴い、さまざまな時空間スケールの観測データが入手可能になった。今日では、地球科学は、再現と検証の手段を得て、先端科学のひとつに変貌している。このような状況において、地球流体力学は、数値モデルや観測の膨大なデータを整理し統一的な理解を得るのに、重要な役割を担う学問である。本研究集会の目的は、複数の分野の地球流体力学に関連した研究者が一堂に集まり、相互に最新の情報を交換し、異なる分野研究の相互理解を深め、新しい学問の展開を模索するものである。

研究集会の概要：本集会は九州大学応用力学研究所と東京大学大気海洋研究所の間で交互に開催される地球流体力学研究集会であり、今回は24回目にあたる（21回は新型コロナウイルス感染拡大のため中止）。開催方式に関しては、新型コロナウイルス感染が落ち着いたため、対面集会を行った。しかしながら、講演申し込みの段階で、収容人数50%の制約があったため、14名の講演を2日間で行うことにした。

一日目は「金星大気」と「地球中層大気」、二日目は「対流圏」と「実験」を中心としたプログラム構成で、14件の発表があり、所外講演者と参加者は18名（世話人・所内聴講者は除く）であった。分野が異なる研究協力者の間の日程調整が難しく、直前まで収容人数50%の制約があり、密をさける形で対面にしたため参加人数は多くなかったが、十分な質疑応答や講演後の議論ができた。

研究集会の内容は以下のように要約される。1日目は、金星山岳波の鉛直伝播や運動量輸送に関する議論、金星GCMでみられる波動やその成因に関する議論、ラプラスの潮汐方程式に基づく金星および地球の熱潮汐波の理論考察、金星や地球大気データ同化でみられる力学過程に関する議論、中層大気波動の物質輸送の診断方法に関する議論が行われた。2日目は、メソ降水系の事例解析、雲の大規模な組織化に関する議論、高低気圧の渦や前線の力学、力学コアの開発と検

証、円筒水槽の流れの安定性や波の考察、地学イベントでみられるラム波の包括的な理解に関する議論が行われた。

大学院学生から名誉教授の発表まであり、情報交換や教育の場として貴重な機会であった。また、理論だけでなく、データ同化や観測の話題まで広く議論ができた。自分の専門以外の研究をじっくり聞く良い機会を提供できたのではないと思う。

以下にプログラムを添付します。

九州大学応用力学研究所共同利用研究集会
地球流体における波動と対流現象の力学

日時： 2023 年 3 月 6 日（月）13:30-17:30

3 月 7 日（火）10:30-15:30

場所：九州大学応用力学研究所（福岡県春日市春日公園 6-1）3 階講義室

コンビーナー：伊賀 啓太（東京大学大気海洋研究所）

所内世話人：山本 勝（九州大学応用力学研究所）

プログラム

3 月 6 日（月）

13:30-13:40 *伊賀 啓太（東京大学）

趣旨説明

13:40-14:10 *鈴木 杏那（京都産業大学），安藤 紘基（京都産業大学），高木 征弘（京都産業大学），前島 康光（理化学研究所），杉本 憲彦（慶應義塾大学），松田 佳久（東京学芸大学）

金星山岳波の鉛直伝播と運動量輸送

14:10-14:40 *高木 征弘（京都産業大学），安藤 紘基（京都産業大学），今井 正堯（京都産業大学），杉本 憲彦（慶應義塾大学），松田 佳久（東京学芸大学）

金星 GCM にみられた赤道反対称な構造をもつ惑星規模波動について

14:40-15:10 *山本 勝（九州大学），池田 恒平（国立環境研究所），高橋 正明（国立環境研究所），佐藤 正樹（東京大学）

金星大気大循環モデルを用いた熱潮汐波の解析：回転および発散成分の構造とエネルギー変換について

休 憩

15:30-16:00 *松田 佳久（東京学芸大学）

金星と地球の熱潮汐波

16:00-16:30 *杉本 憲彦(慶應義塾大学), 藤澤 由貴子(慶應義塾大学), 小守 信正(慶應義塾大学), 安藤 紘基(京都産業大学), 神山 徹(産業技術総合研究所), 高木 征弘(京都産業大学)

金星大気におけるあかつき中間赤外カメラの観測システムシミュレーション実験

16:30-17:00 *山崎 哲(海洋研究開発機構), 野口 峻佑(九州大学)

EnKF 大気再解析での成層圏突然昇温時の先駆的スプレッド増幅

17:00-17:30 *木下 武也(海洋研究開発機構)

様々な大気波動に伴う物質輸送の診断方法の考察

3 月 7 日 (火)

10:30-11:00 *万田 敦昌(三重大学), 変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用 hotspot 観測チーム

自由対流圏の水蒸気輸送が梅雨前線帯におけるメソ降水系強化に及ぼす影響: 2022 年 6 月の事例解析

11:00-11:30 *柳瀬 友朗(理化学研究所), 西澤 誠也(理化学研究所), 三浦 裕亮(東京大学), 富田浩文(理化学研究所)

非静力学大気モデルを用いた放射対流平衡実験における雲と水蒸気の大規模な組織化

11:30-12:00 *栃本 英伍(気象研究所), 新野 宏(東京大学)

スプリット前線を伴う温帯低気圧の構造と環境場

休 憩

13:15-13:45 *山本 晃立(東京大学), 伊賀 啓太(東京大学)

PV cutoff の 3 次元的な併合

13:45-14:15 *小笠原 宏司(京都大学), 榎本 剛(京都大学)

動径基底関数に基づく力学コアによる傾圧不安定実験

14:15-14:45 *伊賀 啓太(東京大学)

円筒容器内で回転する円盤上の軸対称流の安定性と波の実効的水深

14:45-15:15 *中島 健介(九州大学)

種々の地学イベントによって励起されるラム波の比較

15:15-15:30 情報交換/総合討論

九州大学応用力学研究所 研究集会報告書

課題番号：2022WS-AO-2

課題名：東アジア縁辺海の物質循環と生物・物理・化学過程

Material Cycle and Biological / Physical / Chemical Processes in the Marginal Seas in the East Asia

研究代表者：近藤能子(長崎大学総合生産科学域／大学院水産・環境科学総合研究科)

所内世話人：千手智晴

1. 目的と開催経過

東シナ海や日本海など東アジア縁辺海の海水循環は太平洋含めた隣接海域の生物生産並びにそれを支える栄養塩動態に大きな影響を与えるため、同海域における生物・物理・化学過程を包括した研究は重要である。九州大学応用力学研究所では、東アジア縁辺海や太平洋側の黒潮域など周辺海域含めた海水の循環に関する研究を継続的に展開しており、これまで名古屋大学、長崎大学、富山大学、鹿児島大学、愛媛大学、水産教育研究機構・水産試験場等の研究機関との共同研究も多く実施されてきた。今後の共同研究の更なる進展のため、本研究集会では東アジア縁辺海を中心とした海域における生物・物理・化学過程を包括した研究の今後の展開を考える場として、これまで得られた成果の発表ならびに今後の観測計画に関する議論を行うことを目的とした。特に、東シナ海や日本海における調査では、長崎大学練習船長崎丸が重要な役割を担うことから、本研究集会では研究者のみならず船舶運航側のオフィサーを含めて長崎丸観測計画について議論を行い、観測体制の強化を目指した。

本研究集会は対面・オンラインのハイブリッドで開催した。出席者は対面では長崎大学3名、愛媛大学4名、名古屋大学1名、富山大学1名、福井県立大学1名、九州大学10名の計20名、オンラインでは長崎大学8名、愛媛大学1名、富山大学3名、東京大学3名、水産機構資源研4名、日本海洋生物研究所1名、港湾空港技術研究所1名、JAMSTEC1名、東京海洋大学1名、国立環境研1名の計24名の参加があった。

2. 研究集会の概要

研究集会は2023年2月20日(月)～21日(火)にかけて九州大学応用力学研究所で開催された。初日は主に長崎大学練習船長崎丸を用いた観測結果をベースにした研究成果発表と、来年度7月に実施予定の長崎丸研究航海計画についての紹介とディスカッションを行った。千手(九大応力研)は富山深海長谷内部の流向・流速とセンサーから得られる海洋環境について講演し、深海長谷内では東西で流向が異なり、谷を横切るような流れの存在の可能性について示した。大塚(富山大学)は富山深海長谷の堆積物の元素組成と炭素安定同位体比について講演し、東側の斜面には重金属元素と陸由来の有機物が蓄積しやすいことなどを示した。滝川(長崎大学)は東シナ海陸棚と五島列島を隔てる五島海底谷の流動構造の調査結果について講演し、鯨類が頻出する2022年4月の海底谷の流向は表層・中層・下層で異なることなどを紹介した。Deng(富山大学)は東シナ海底層付近に発生する低酸素水における希土類元素や栄養塩について講演し、底層に見られた低酸素水は黒潮亜表層水に属し、比較的高いN/P比をもっていること、一方でこの低酸素水の栄養塩輸送は日本海のそれに比べ低めであることなどを紹介した。張(富山大学)はWESTPAC—AMS programの近況報告を行い、アジア諸国との連携による観測

体制の強化について述べるとともに、日本沿岸で近年問題視されている貧栄養化が中国や韓国でも同等以上に進行していることなどについて紹介した。その後、事前のプログラムでは組み込まれていなかったが、石坂（名古屋大学）から国際的な活動関連として AP-CREAMS (in PICES) と NOWPAP の紹介がされた。筒井（長崎大学）は 2 題続けて講演を行い、1 題目では東シナ海・西日本沿岸各地で採取された表層海水中的カルシウムイオン濃度について、2 題目では長崎丸航海で採取された魚種ごとの血中カルシウムイオン濃度の違いについて報告を行った。郭（愛媛大学）は今年度から始まった学術変革領域研究(A)「マクロ沿岸海洋学」における「黒潮・亜熱帯外洋域の栄養物質輸送」班の研究計画について紹介し、その中では陸起源物質の海洋への供給と拡散の研究推進に長崎丸航海が貢献していることについても言及した。吉江（愛媛大学）はこれまで黒潮流域・東シナ海周辺を中心に展開してきた低次生態系の時空間変動に関する研究を紹介し、同海域では黒潮・陸棚水の影響の強さにより応答する植物プランクトン相が異なったことなどについて述べた。初日最後は遠藤（九州大学）より来年度夏季に実施予定の長崎丸航海計画についての紹介とその航海計画に関する船長や一等航海士ら長崎丸オフィサーとのディスカッションが行われた。

2 日目の講演では、木田（九州大学）は河川水供給が駆動する沿岸循環と生態系応答に関して有明海や厚岸湖を汽水湖として見立てた際の数値モデルについて紹介し、海峡部で河川水が広がるタイミングは上潮の初期にあること、また汽水域の深さで循環が変わることなどを述べた。田中（福井県立大学）は Subinertial な外部潮汐から内部潮汐へのエネルギー変換率について講演を行い、定式化した変換率の有効性を調べる数値実験結果を示し、その大きさや分布は海底地形に依存することなどを言及した。武田（長崎大学）は夏季の日本海対馬暖流沿岸分枝に沿った蛍光性溶存有機物 (FDOM) の分布と組成について紹介し、低塩分水の認められた島根県沖では陸起源および海洋性腐植様物質が比較的多く認められたことなどを示した。北島（水産機構資源研）は 2000 年代以降の東シナ海北部の海洋環境と動物プランクトン組成について講演し、同海域表層では低塩分化と高水温化が進み、*Paracalanus* spp. の個体数が減少する一方、*Calanus sinicus* 個体数が増加し、海洋環境を反映した可能性について言及した。Zilin（愛媛大学）は World Ocean Database から得られる 1951 年～2006 年までの東シナ海陸棚上の底層部に広がる低酸素水の分布の変遷についてまとめる報告を行った。Cao（愛媛大学）は 2011 年に東シナ海で発生した台風が海洋環境へ与える影響について係留観測と HYCOM データから解析した結果について紹介した。

全ての発表ののちに、総合討論を行った。来年度の長崎丸航海に関して、特に現在は新型コロナ感染対策のため乗船基準が厳格化されているが、政府方針の変更に伴いこの基準も緩和される可能性があることから、研究者側と船側が引き続き連携をとることなどが話し合われた。また、既に近藤（長崎大学）が申請済みの来年度の九州大学応用力学研究所の共同利用研究集会についても、採択された暁には今回と同様の時期で、東アジア縁辺海の物質循環と生物・物理・化学過程をテーマとして開催することを報告した。

九州大学応用力学研究所研究集会

「東アジア縁辺海の物質循環と生物・物理・化学過程」

場所：九州大学応用力学研究所 3 階 301 号室 & オンライン(ハイブリッド開催)

日時：2022 年 2 月 20 日(月)13:00 ～ 18:00

21 日(火) 9:00 ～ 12:15

趣旨

東シナ海や日本海など東アジア縁辺海の海水循環は太平洋含めた隣接海域の生物生産並びにそれを支える栄養塩動態に大きな影響を与えるため、同海域における生物・物理・化学過程を包括した研究は重要である。九州大学応用力学研究所では、東アジア縁辺海や太平洋側の黒潮域など周辺海域含めた海水の循環に関する研究を継続的に展開しており、これまで名古屋大学、長崎大学、富山大学、鹿児島大学、愛媛大学、水産教育研究機構・水産試験場等の研究機関との共同研究も多く実施されている。そこで、今後の共同研究の更なる進展のため、これまで得られた成果の発表ならびに今後の観測計画に関する議論を行うための研究集会を開催する。東シナ海や日本海における調査では、長崎大学練習船長崎丸が重要な役割を担うことから、研究集会の場で話し合われる長崎丸観測計画については、研究者のみならず船舶運航側のオフィサーを含めて議論を行うことで、観測体制の強化が期待される。東アジア縁辺海を中心とした海域における生物・物理・化学過程を包括した研究の今後の展開を考える場として本研究集会を位置付ける。

2 月 20 日(1 日目)

13:00 – 13:05 **開会・挨拶及び開催趣旨説明** 近藤能子(長崎大学)

13:05 – 13:15 **WESTPAC-AMS program の近況報告**
張勁(富山大学)

13:15 – 13:40 **係留系と LADCP による富山深海長谷内部の流れの観測**
千手智晴(九大応力研)

13:40 – 14:05 **元素組成と炭素安定同位体比を用いた富山深海長谷の堆積物起源と運搬過程の推定 (オンライン発表)**
大塚進平*・張勁(富山大学)・千手智晴(九大応力研)

14:05 – 14:30 **五島海底谷通過流の流動構造—2022 年 4 月観測結果—**
滝川哲太郎*・森井康宏・山脇信博・木下 宰・合澤 格・保科草太・丸山裕豊(長崎大学)

14:30 – 14:55 **Low-oxygen bottom waters on the outer shelf of the East China Sea: Water mass analysis, nutrient transport, and tidal influence using multi-chemical tracers (オンライン発表)**

Wenjie Deng*, Jing Zhang, Siteng Zhu, Saki Katazakai, Keiji Horikawa (Toyama University), Takahiro Endoh, Takeshi Matsuno (RIAM), Yoshiko Kondo (Nagasaki University)

- 14:55 – 15:15 休憩
- 15:15 – 15:40 **東シナ海・西日本沿岸各地表層海水中のカルシウムイオン濃度**
筒井英人*・桑野和可・鈴木利一・山脇信博・森井康宏・合澤格・保科草太・丸山裕豊・木下宰(長崎大学)
- 15:40 – 16:05 **東シナ海各地で採捕した魚類の血中カルシウムイオン濃度について**
山脇信博・森井康宏・筒井英人*・松下吉樹・高谷智裕・合澤格・保科草太・松山晃・三浦翔平・岩崎凌・中尾直幸・丸山裕豊・木下宰(長崎大学)
- 16:05 – 16:30 **マクロ沿岸海洋学における黒潮班の研究計画**
郭 新宇(愛媛大学)
- 16:30 – 16:55 **黒潮流域における低次生態系の時空間変動に関する研究**
吉江直樹(愛媛大学)
- 16:55 – 17:10 休憩
- 17:10 – 18:00 **長崎丸航海計画についての紹介とディスカッション** 遠藤貴洋(九大応力研)

2月21日(2日目)

- 9:00 – 9:25 **河川水が駆動する沿岸循環と生態系応答について**
木田新一郎(九大応力研)
- 9:25 – 9:50 **Subinertial な外部潮汐から内部潮汐へのエネルギー変換率: 日本周辺の縁辺海への適用**
田中祐希(福井県立大学)
- 9:50 – 10:15 **夏季日本海における対馬暖流沿岸分枝に沿った蛍光性溶存有機物の分布と組成 (オンライン発表)**
武田重信*・保科草太・合澤格・木下宰・山脇信博・森井康宏(長崎大学)
- 10:15 – 10:40 **2000 年代以降の 6 月の東シナ海北部の海洋環境と動物プランクトンにみられる変化 (オンライン発表)**
北島聡*・西内耕・長谷川徹・清本容子・廣江豊・種子田雄・瀬藤聡(水産機構資源研)
- 10:40 – 10:55 休憩
- 10:55 – 11:20 **Analysis of oxygen deficit on the mid-outer shelf of East China Sea based on the World Ocean Database**
Li Zilin*, Xinyu Guo (Ehime University)
- 11:20 – 11:45 **Ocean dynamical response to Typhoon Meari (2011) in the East China Sea**
Anzhou Cao*, Shuya Wang, Xinyu Guo, Akihiko Morimoto (Ehime University)
- 11:45 – 12:15 **総合討論**

閉会

著者が複数の場合、発表者に*を記載。

2022WS-AO-3

アジア域の化学輸送モデルの現状と今後の展開に関する研究集会

一般財団法人 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部 板橋 秀一

研究集会の目的

応用力学研究所の大気環境モデリング研究グループは、世界的に見てアクティブに研究を進めるグループの一つであり、モデル研究だけでなく、多波長のレーザーレーダーの導入による黄砂・大気汚染粒子の同時計測などの先進的な研究を推進している。福岡は、特にアジア起源の黄砂・大気汚染の影響が深刻な地域であり、数値モデルとさまざまな大気環境計測データを統合した解析や、データ同化による先端的な研究は、いまだ十分に明らかにされていないエアロゾルの物理化学特性に係る重要な科学的知見をもたらすとして、国内外から大きく期待されている。本研究集会では、そのような最前線の知見を、アジア域の化学輸送モデル研究のコミュニティで共有するとともに、各分野がリンクすることによる新たなブレークスルーを生む機会を設けることを目的としており、これは、アジア域の化学輸送モデル研究の推進やモデル精緻化にとって非常に重要である。

研究集会の概要および成果

本年度は2023年3月2日（木）午後～3日（金）午前にハイブリッド形式（現地：応用力学研究所、オンライン：Zoom）で開催とした。研究集会には国内の化学輸送モデルを用いた研究者にとどまらず、博士課程学生や地方自治体関係者など大気環境研究に関わる幅広い専門家が集まり、計10題の発表が行われ、現地12名、オンライン最大25名が参加した。

研究集会では、「モデル間相互比較実験」「環境省環境研究総合推進費による研究成果」「モデル開発の現状や動向」「排出量インベントリの動向」「将来の気候変動下の黄砂・大気質変化」などのトピックについて最新の成果が報告され、十分な質疑の時間を確保することで活発な議論が行われた。ハイブリッド開催ということもあり、地方環境研究所からは昨年に引き続き多くの参加があった。本研究集会が化学輸送モデルを用いた大気環境モデリングのコミュニティにおいて大きな貢献を果たしていくことが確認された。このような大気環境研究に係る研究者間の貴重な交流の場を設けるために、来年度も引き続き本研究集会を開催したい。

以下に研究集会のプログラムを掲載する。

プログラム

日時：2023年3月2日（木）午後～3日（金）午前

場所：ハイブリッド形式

（現地：九州大学応用力学研究所2階会議室，オンライン：Zoom）

主催：九州大学応用力学研究所全国共同利用研究集会（2022WS-AO-3）

共催：大気環境学会 九州支部会

大気環境学会 大気環境モデリング分科会

環境省・環境再生保全機構 環境研究総合推進費（5MF-2201）

2日（木）午後

座長：板橋 秀一（電力中央研究所）

13:30 趣旨説明：弓本 桂也（九州大学応用力学研究所）・写真撮影

13:40 山地 一代（神戸大学）【ロング】

東アジア域を対象とした大気質モデルの物質濃度再現性について

14:10 櫻井 達也（明星大学）【ショート】

気象の再現性から見る Ox 高濃度事象のモデル予測精度

14:30 嶋寺 光（大阪大学）【ロング】

長期大気質シミュレーションに基づく関西・関東地方におけるオゾン濃度経年変化の解析

15:00 板橋 秀一（電力中央研究所）【ロング】

衛星計測によるオゾン感度レジームの長期変化とモデルを活用した地表面濃度推定の試み

15:30 弓本 桂也（九州大学応用力学研究所）【ロング】

衛星リトリバーバルと一体化したエアロゾル予測システムの開発

16:00-16:20 議論等

3 日（金）午前

座長：弓本 桂也（九州大学）

9:00 梶野 瑞王（気象庁気象研究所）【ロング】【オンライン】

NHM-Chem の現状と今後

9:30 森野 悠（国立環境研究所）【ショート】【オンライン】

数値モデルによるオゾン生成レジームの再現性検証

9:50 森川 多津子（日本自動車研究所）【ロング】【オンライン】

自動車からの非排気粒子推計の状況と CMAQ による大気中濃度の試算

10:20 弓本 桂也（九州大学）【ロング】

温度上昇が黄砂に与える影響

10:50 茶谷 聡（国立環境研究所）【ロング】

アジアの将来気候・環境シナリオに基づく大気質予測

11:20-11:40 議論等・総括・次回開催について

*発表形式：【ショート】：発表 12 分＋質疑 8 分・【ロング】：発表 20 分＋質疑 10 分

「日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」報告

富山高等専門学校商船学科 福留研一

2022 年 11 月 30 日から 12 月 1 日にかけて、九州大学筑紫キャンパスにおいて、応用力学研究所共同利用研究集会「日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」が開催された。開催にあたっては感染症対策を講じた上で対面形式にて実施したが、急遽自宅にて隔離が必要となった講演者に対してはリモートでの講演も受け入れ、コロナ禍においても全体では 33 名の参加者と 13 題の講演があった。初日の 11 月 30 日は、大気海洋間のフラックスや相互作用に対する海洋の応答、日本周辺海域を対象としたモニタリング結果やモニタリング手法の開発・検証についての講演となった。講演の前半では練習船や調査船による ADCP, XCTD, 表層水質モニター等を用いた現場観測による、降雨による低塩化の 3 次元的な空間構造や潮目の検出、津軽暖流の流量の再評価についての講演があった。続いて、黒潮流路近辺の水位データを用いた黒潮の勢力や流路をモニタリングする手法、より簡便に高解像度で多要素の観測が可能なセンサプローブの開発・検証、魚探を搭載した水中グライダーによる低次生産構造のモニタリングの取り組みについての講演があった。2 日目の 12 月 8 日においては、特徴的な地形や特定海域における力学やそれらが海洋資源や環境に与える影響、日本沿岸の数値モデルおよびそれを用いた海洋現象の事例解析などの講演が中心となった。前半では海峡における季節性の潮汐流がスルメイカを南下させるプロセスや日本海における近慣性内部重力波、島影渦列の中立派の共鳴による解釈についての講演があり、続いて日本海周辺海域におけるマイクロプラスチックの碎波モデル、日本沿岸の海況監視予測システムの出力を用いた越前海岸で発生した急潮の事例解析、日本海沿岸モデルの非構造データ同化に関する講演があった。

2 日間を通して、日本周辺海域における海況モニタリングと波浪計測を基礎とした、幅広い海域における様々な角度からの現場観測、力学研究、数値シミュレーション等を用いた研究発表と活発な議論が行われた。海洋・水産に関わる大学および試験・研究・開発機関を中心に、現場観測に携わっている多くの方々のご参加頂いたことによって、海洋モニタリングに関してその手段の多様化が顕著であること、それらを用いた新たな取り組みと成果が生まれていることを広く共有する機会とすることが出来た。今後とも、日本周辺海域の海況・波浪の研究に携わる研究者・関係者が一堂に会する集会となり、活発な議論と情報交換の場となることを期待する。最後に、本研究集会の開催を承諾して頂いた九州大学応用力学研究所、集会を開催するにあたりお世話して頂いた広瀬直毅教授をはじめとする諸氏に感謝する。

日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会プログラム(11/30-12/1)

====プログラム=====

九州大学応用力学研究所 研究集会

「日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」

(代表者：福留研一、九大応力研世話人：広瀬直毅)

日程：2022年11月30日(水)～12月1日(木)

開催場所：九州大学筑紫キャンパス

応用力学研究所西棟 6 階 多目的研究交流室 (W601号室)

(<https://www.riam.kyushu-u.ac.jp/center/access.html>)

* 先だって行われるレーダー集会後に時間をおいて開催します。

* 各講演、質疑応答込み20～25分をお願いいたします。

-----11/30 (水) -----

13:30-

趣旨説明

13:35-14:00

大気強制と日本海通過流が作るSSTトレンドの強弱

○松浦浩巳(九大総理工)・木田新一郎(九大応力研)

14:00-14:25

黒潮フロント域で観測された降水起源の低塩分プール

○滝川哲太郎(長大院水産・環境)・立花義裕(三重大)・中村啓彦・仁科文子(鹿大水)・広瀬直毅(九大応力研)

14:25-14:50

表層水質モニターによる連続観測データを用いた潮目の検出

○林美鶴・西岡亮太・廣川綜一(神戸大)

14:50-15:05 休憩

15:05-15:30

ADCP4往復調査法による津軽暖流流量の再評価

○西田芳則(道総研中央水試)

15:30-15:55

三宅島周辺の黒潮のモニタリング

○寄高博行(高知大)

15:55-16:20

小型曳航式観測システム用センサプローブの開発

○長谷川大介・田中雄大(水産機構・資源研)

16:20-16:45

東北太平洋沖における魚探グライダーによる海洋モニタリング

○田中雄大・長谷川大介・奥西武(水産機構・資源研)

16:45-17:00 情報交換

-----12/1 (木) -----

09:05-09:30

対馬海峡に発生する季節性潮汐流とスルメイカ南下との関係

○山口忠則(九大院総理工)・広瀬直毅(九大応力研)

9:30-9:55

富山湾深層における近慣性内部重力波

○越後友利果・磯田豊(北大院水産)・千手智晴(九大応力研)・藤居流(北大院水産)

9:55-10:20

中立波の共鳴による島影渦列の解釈

○藤居流・磯田豊・越後友利果(北大院水産)

10:20-10:35 休憩

10:35-11:00

日本周辺海域に浮遊するマイクロプラスチックの破碎モデル

○徳地雄真(九大院総理工)・磯辺篤彦(九大応力研)

11:00-11:25

越前海岸で発生した2022年8月の急潮について

○広瀬成章(気象研)・岩崎俊祐(福井水試)・碓氷典久・坂本圭・石川一郎・中野英之(気象研)

11:25-11:50

日本海沿岸モデルの非構造データ同化

○広瀬直毅(九大応力研)

11:50-12:15 総合討論

	氏 名(所属)
1	福留研一（富山高専）
2	滝川哲太郎（長崎大学）
3	長谷川大介（水研・塩釜）
4	佐々木建一（JAMSTEC）
5	印貞治（日本海洋科学振興財団）
6	久木幸治（琉球大学理学部）
7	広瀬成章（気象研）
8	中山智治（日本海洋科学振興財団）
9	坪野考樹（電力中央研究所）
10	江渕直人（北大低温研）
11	難井章嗣（NICT）
12	寄高博行（高知大学）
13	田中雄大（水研・塩釜）
14	林美鶴（神戸大学）
15	藤井智史（琉球大学）
16	磯田豊（北海道大学水産科学研究院）
17	藤居流（北海道大学水産科学研究院）
18	越後友利果（北海道大学水産科学研究院）
19	高山勝巳（株式会社いであ）
20	倉垣拓二（JFEアドバンテック）
21	松野健（九大・応力研）
22	市川香（九大・応力研）
23	千手智晴（九大・応力研）
24	遠藤貴洋（九大・応力研）
25	木田新一郎（九大・応力研）
26	辻英一（九大・応力研）
27	広瀬直毅（九大・応力研）
28	谷口勝平（九大・総理工）
29	山口忠則（九大・総理工）
30	松浦浩巳（九大・総理工）
31	徳地雄真（九大・総理工）
32	酒井秋絵（九大・総理工）
33	中島広貴（九大・総理工）
	参加者 合計 33名
	九大 13名(応力研7名 総理工 6名)
	その他 20名

黒潮フロント域で観測された 降水起源の低塩分プール

滝川哲太郎（長崎大学）

立花義裕（三重大学）

中村啓彦・仁科文子（鹿児島大学）

広瀬直毅（九州大学）

共同観測チームALL JAPAN（感謝）

新学術研究 気候系のHotspot2

A02-3東アジア縁辺海と大気の連鎖的雙方向作用とモンスーン変調 立花藩

降雨による低塩化の先行観測研究

Kameyama et al. (2022), *Frontiers in Climate*

- 黒潮続流**定点**KEOブイ→台風通過に伴う低塩化

Cao et al. (2022), *Remote Sens.*

- 南シナ海の高気圧性渦上のLow-salinity poolを衛星観測と**航跡に沿った船舶観測**で詳述
- Barrier layerによって**鉛直拡散を抑制**→**表層にpoolを維持**

岩松ほか (2003), *海の研究*

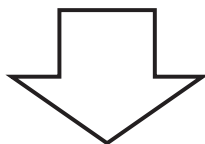
- 黒潮フロント域（八丈島南方）の**低塩分水塊**
↑上流の降雨域からの移流

3次元的な空間構造を捉えた研究はない？
亜表層への影響は？（サブダクション、混合過程）

目的

海洋に供給された淡水の分布や挙動

→海水や物質の移流・拡散過程を考える上で重要



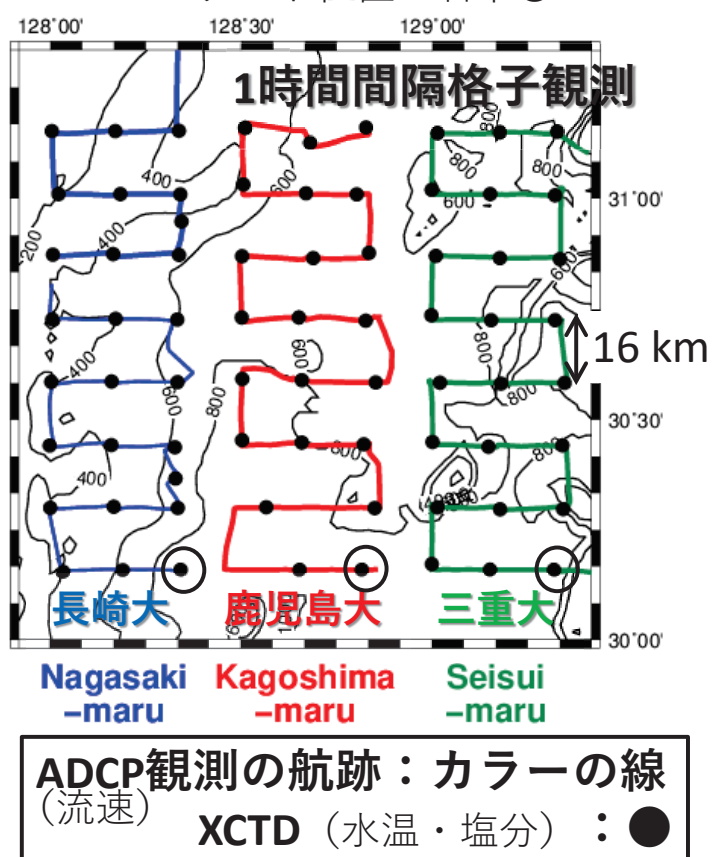
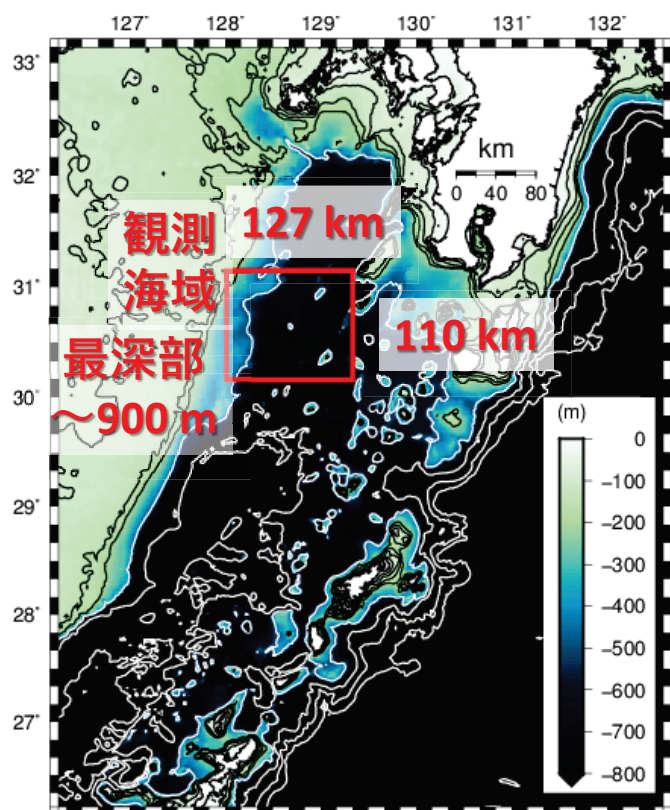
- ・黒潮フロント域における

降水起源の低塩分水の3次元空間構造

- ・低塩分水の亜表層への影響（鉛直流、鉛直拡散）

3隻同時観測 期間2022年6月19日00UTC～20日02UTC

スタート位置：右下○



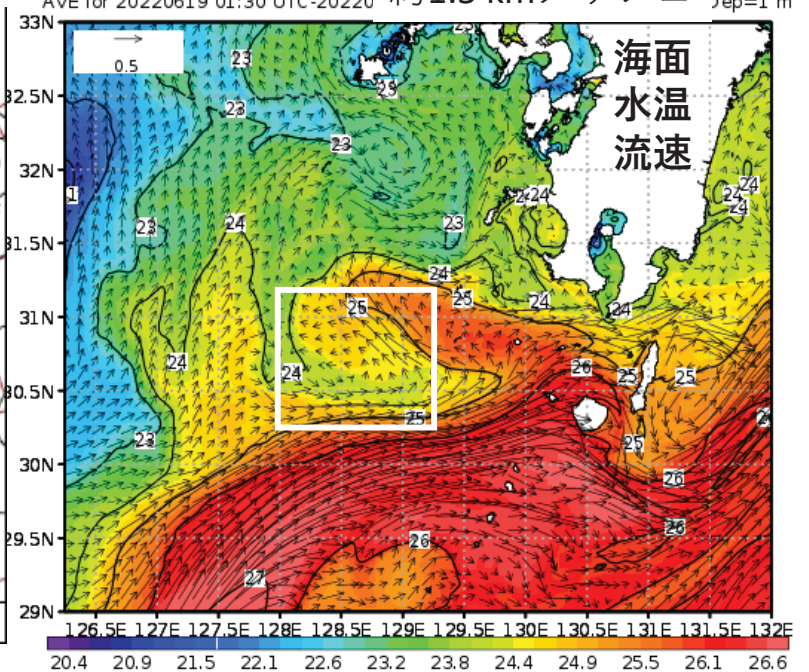
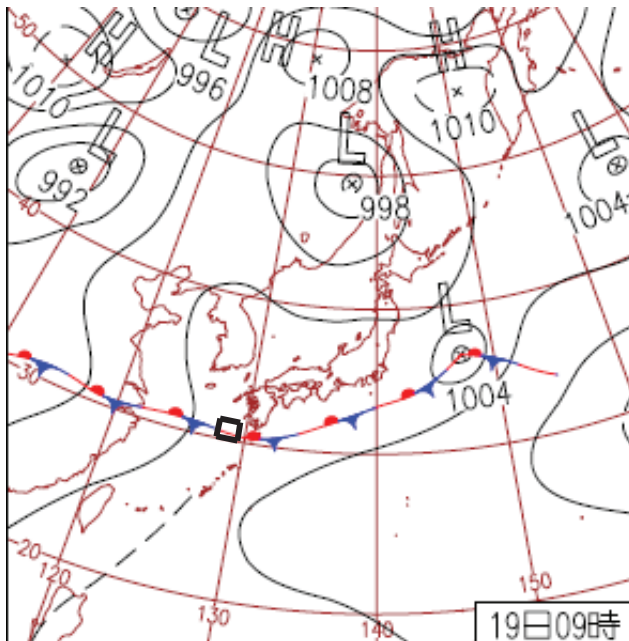
降雨の情報：気象レーダ（気象庁）を使用

観測時の気象・海況の概略

海洋同化モデルDreams_Ep (九州大)

地上天気図 (気象庁)

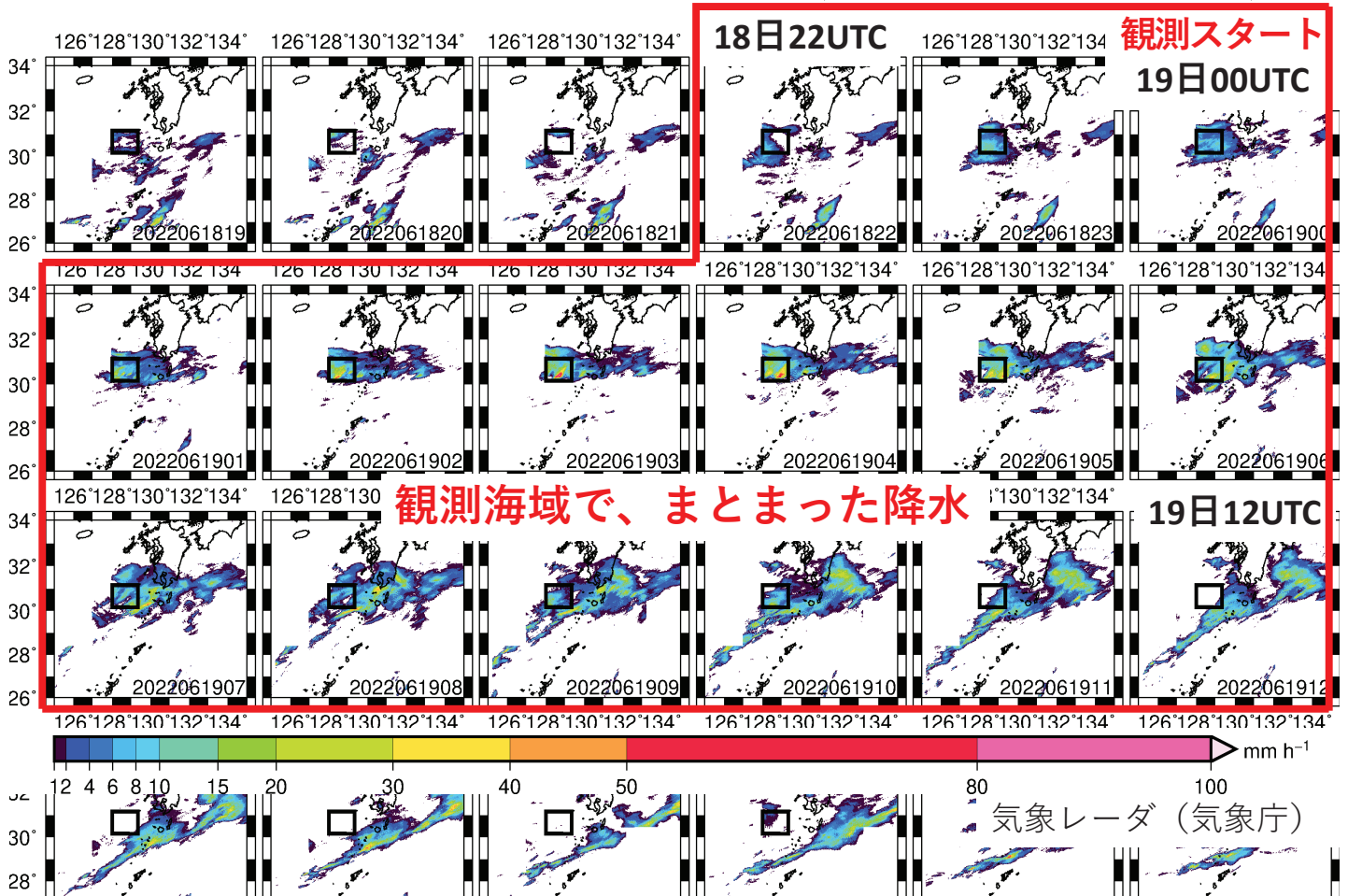
Bkgr: Potential Temperature at Moc 約1.5 kmメッシュ
AVE for 20220619 01:30 UTC-20220
vel [m/s]
dep=1 m



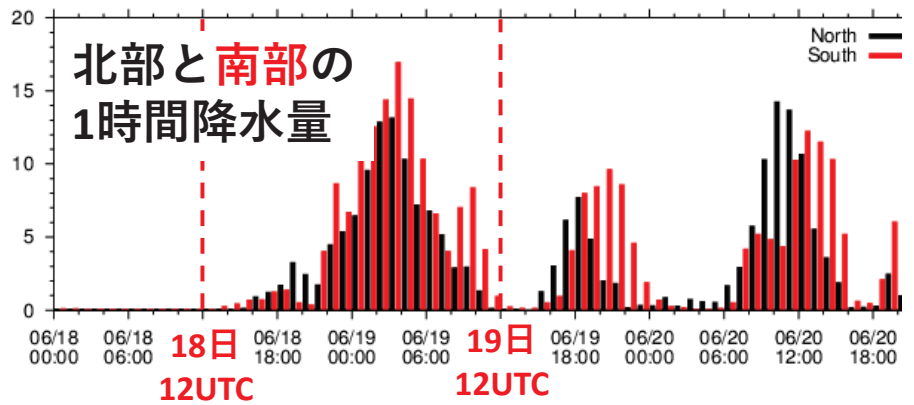
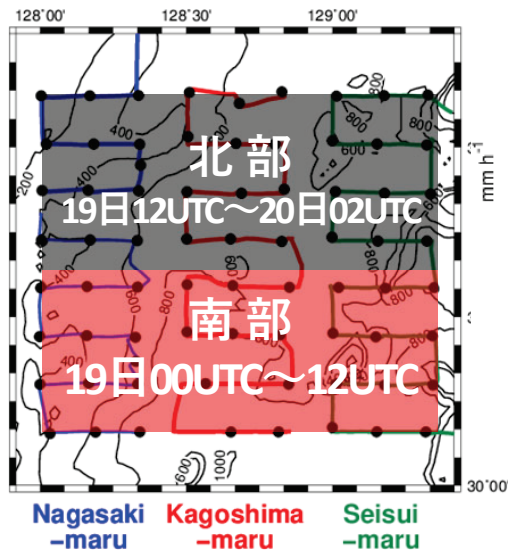
観測海域に梅雨前線

観測海域南部で黒潮フロント

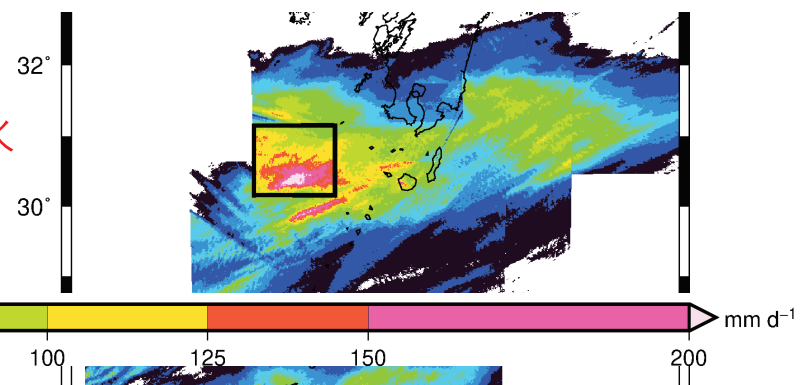
観測時の降水の様子 (18日19UTC~)



観測海域南部の降水



18日12UTC~19日12UTCの1日積算雨量

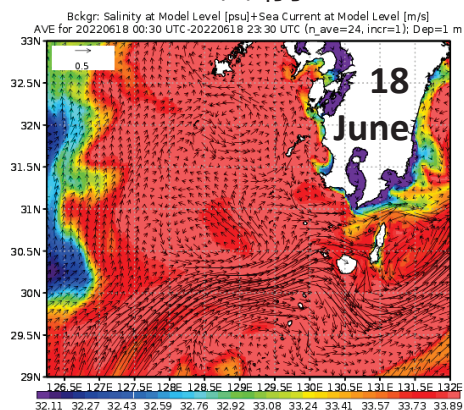


最大~250 mm d⁻¹の降水

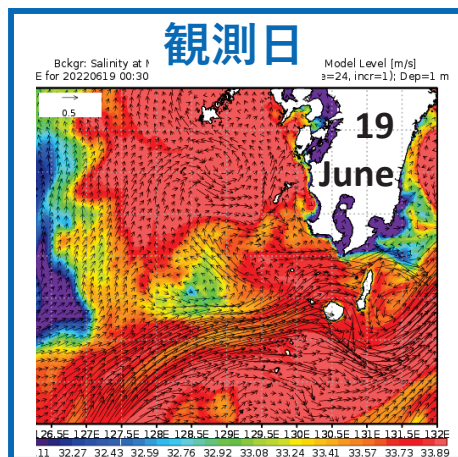
低塩分プールの時空間変化

海洋同化モデル
Dreams_Ep (九州大)
(本観測データは未同化)

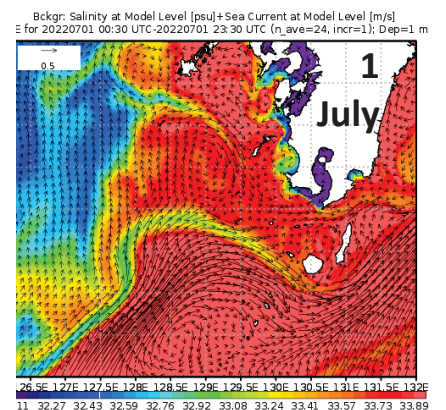
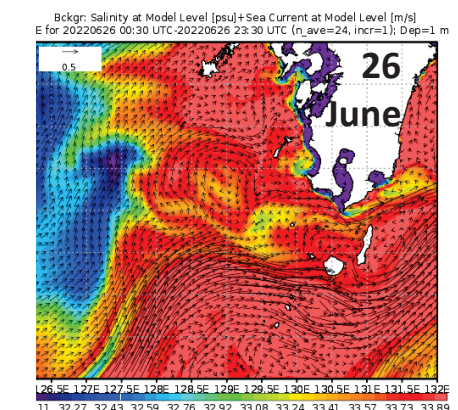
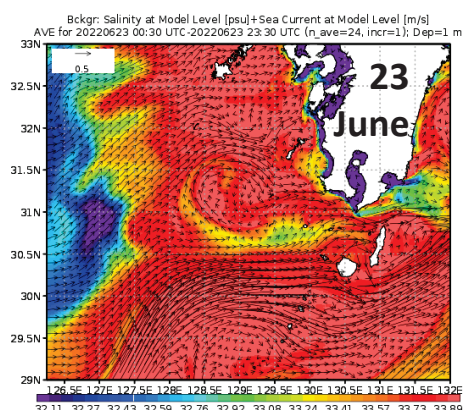
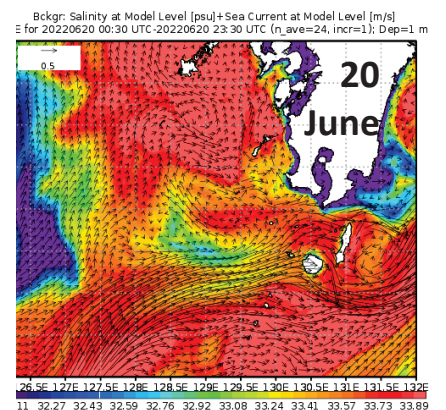
1日前



観測日



1日後



まとめ

- 黒潮フロント域での航走ADCP & 格子XCTD観測
- 降雨量で低塩化（33.4→32.7）を説明
- 黒潮フロントに沿った降雨起源の低塩分プール
水平・鉛直スケール：L130 km × W40 km × D30 m
- 低塩分水が流下方向に舌状に、20 m以深まで分布
沈み込みの位置～収束域
下降流 0.03 cm s^{-1} だけでは説明できない。
- 同化モデルで低塩分プールを再現していた。
降水と低塩化のタイミングが一致
亜表層への影響は観測より小さい？

2022年12月モニタリング研究集会@九大応研

表層水質モニターによる連続観測データを用いた 潮目の検出

林 美鶴(神戸大・内海域セ／院海事)
西岡亮太(神戸大・海事) 廣川綜一(神戸大・院海事)

目的

現場観測データを用いて潮目の立体構造を捉え
↓ その時空間変動特定を明らかにする

T、S：船舶インテイク水、人工衛星
流動：船舶 & 定点ADCP、HFレーダ



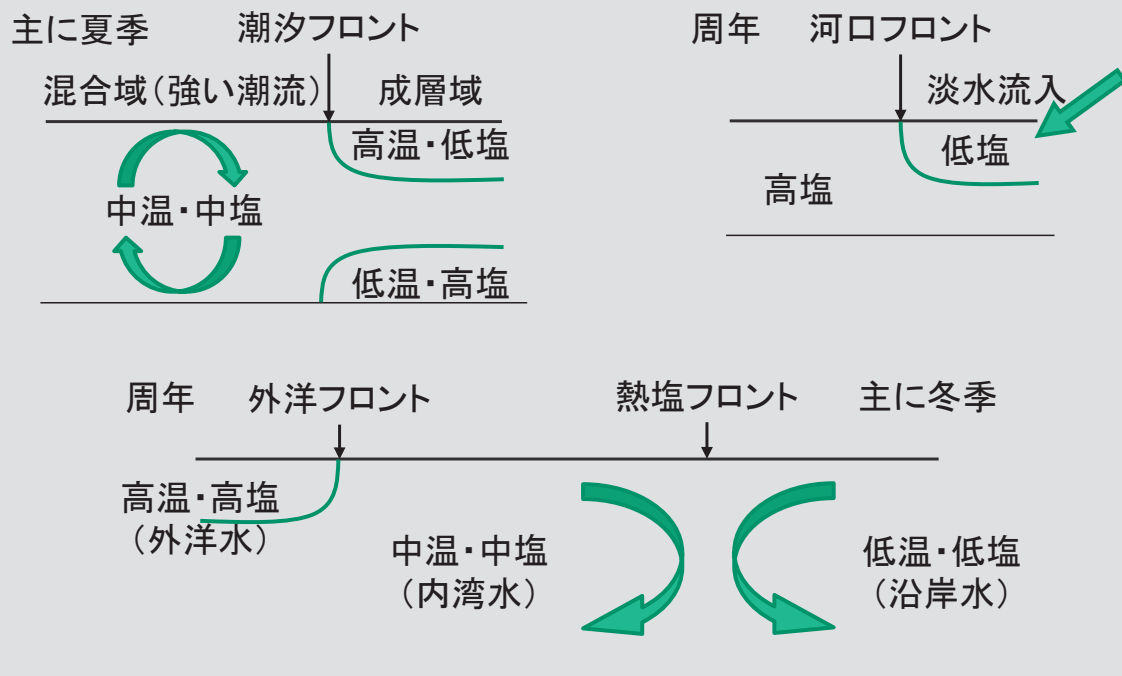
神戸大学大学院海事科学研究科
附属練習船深江丸(2021年度退役)の
インテイク水(深度約3m)を使用

潮目

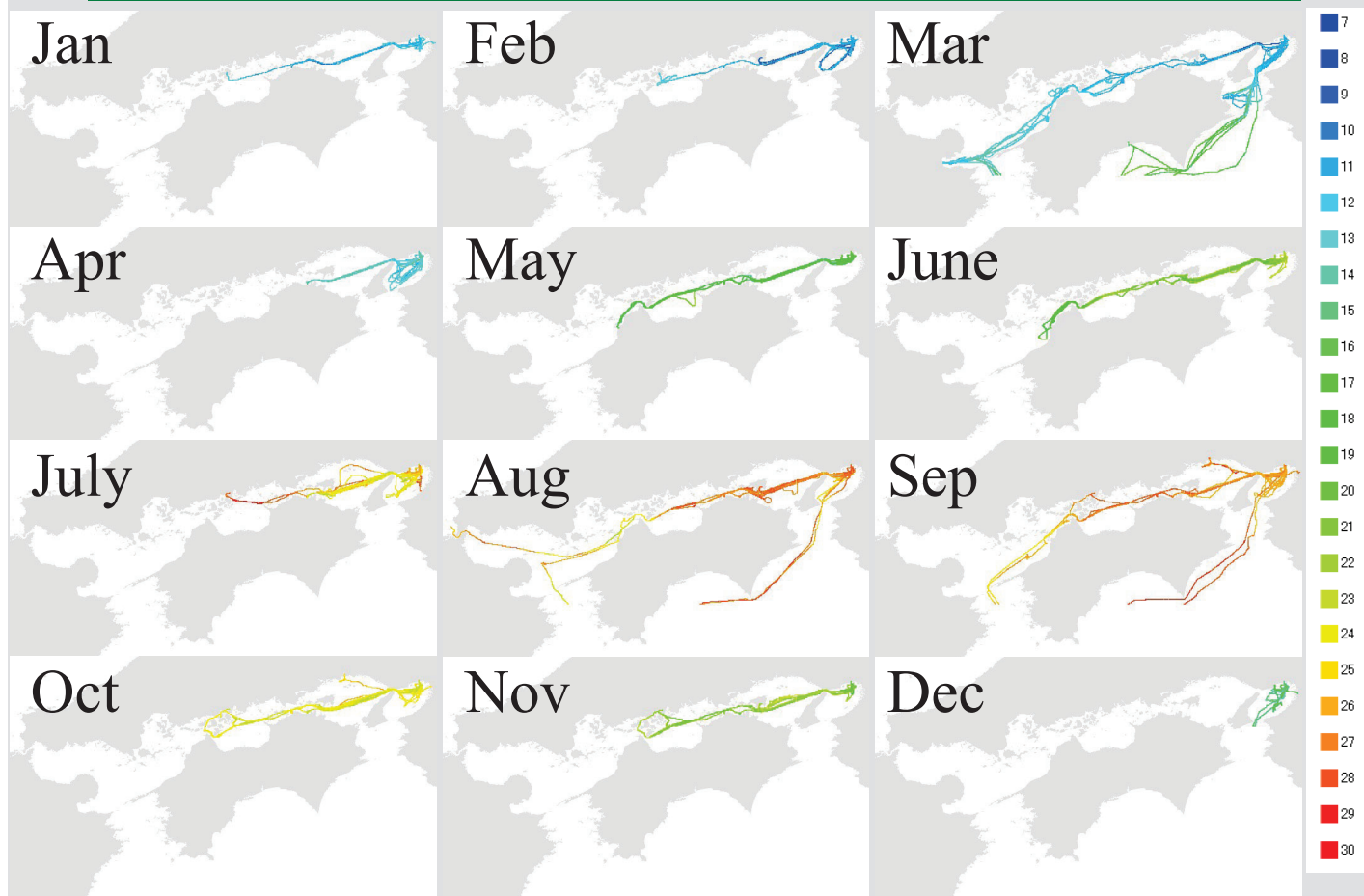
海洋表層で見られる筋状の海水収束部

筋目 : 単一水塊内で形成

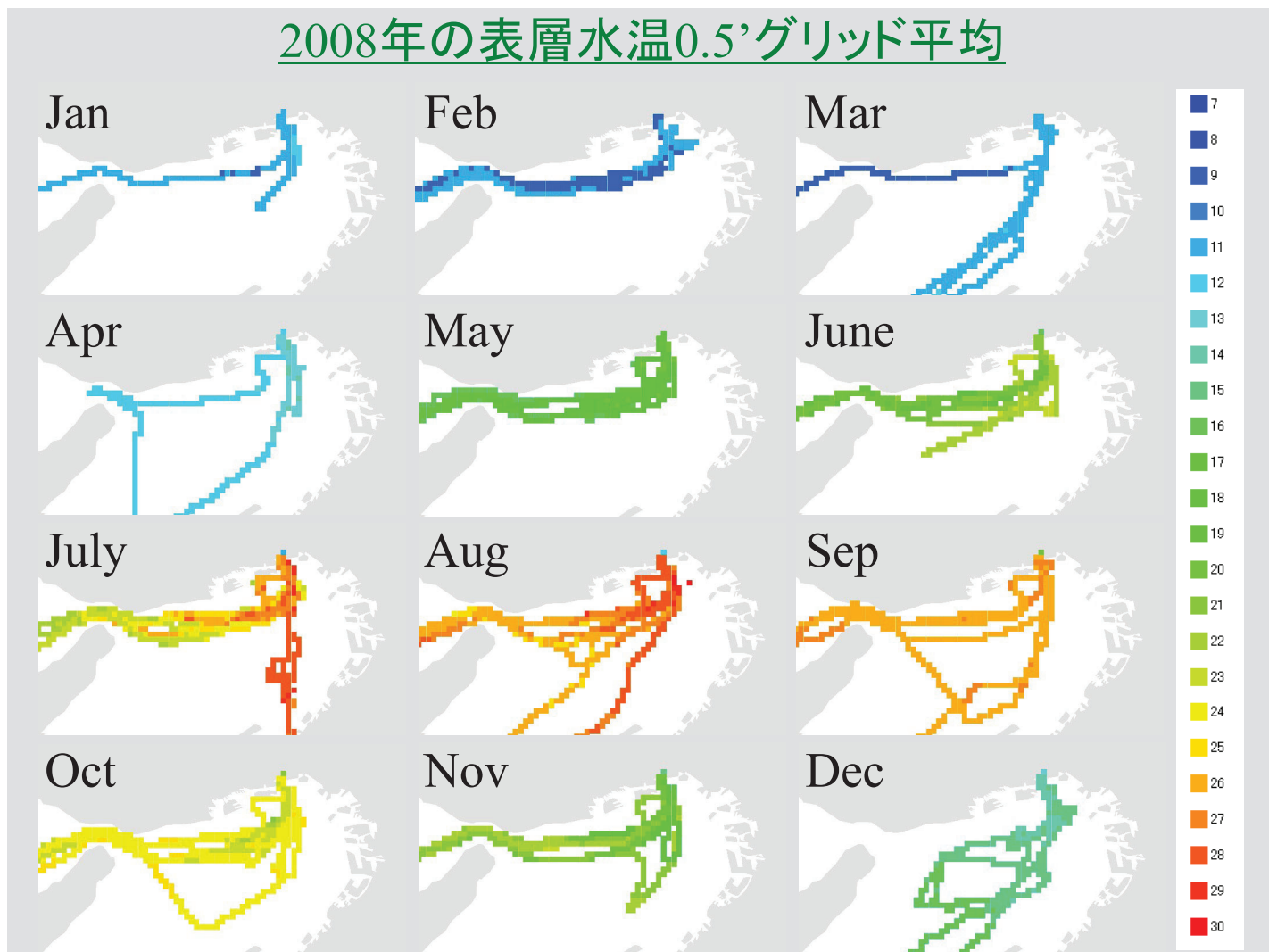
フロント: 二つの水塊の境界に形成



2003～2009年の表層水温0.5'グリッド平均の期間平均

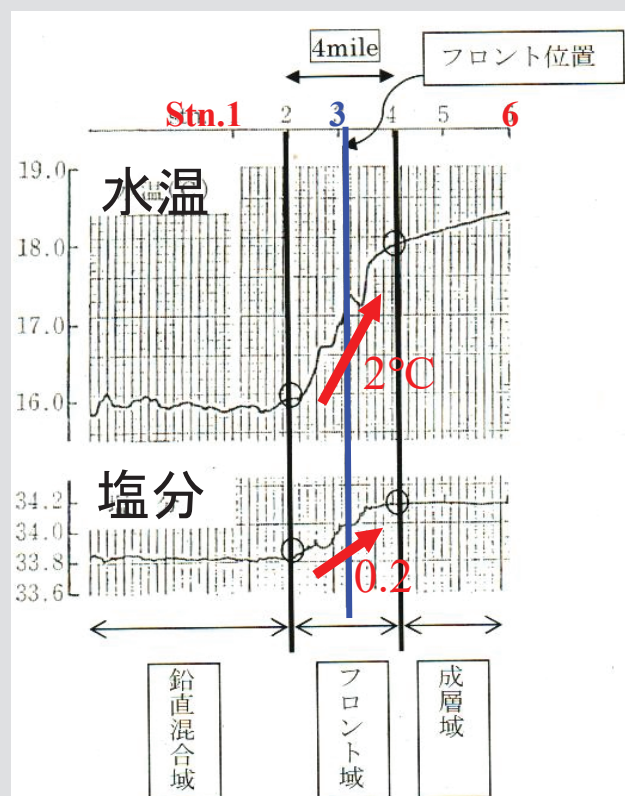
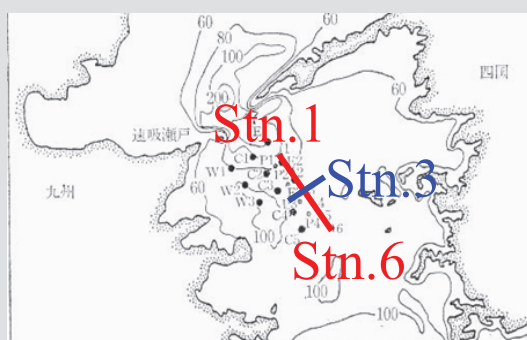


2008年の表層水温0.5'グリッド平均

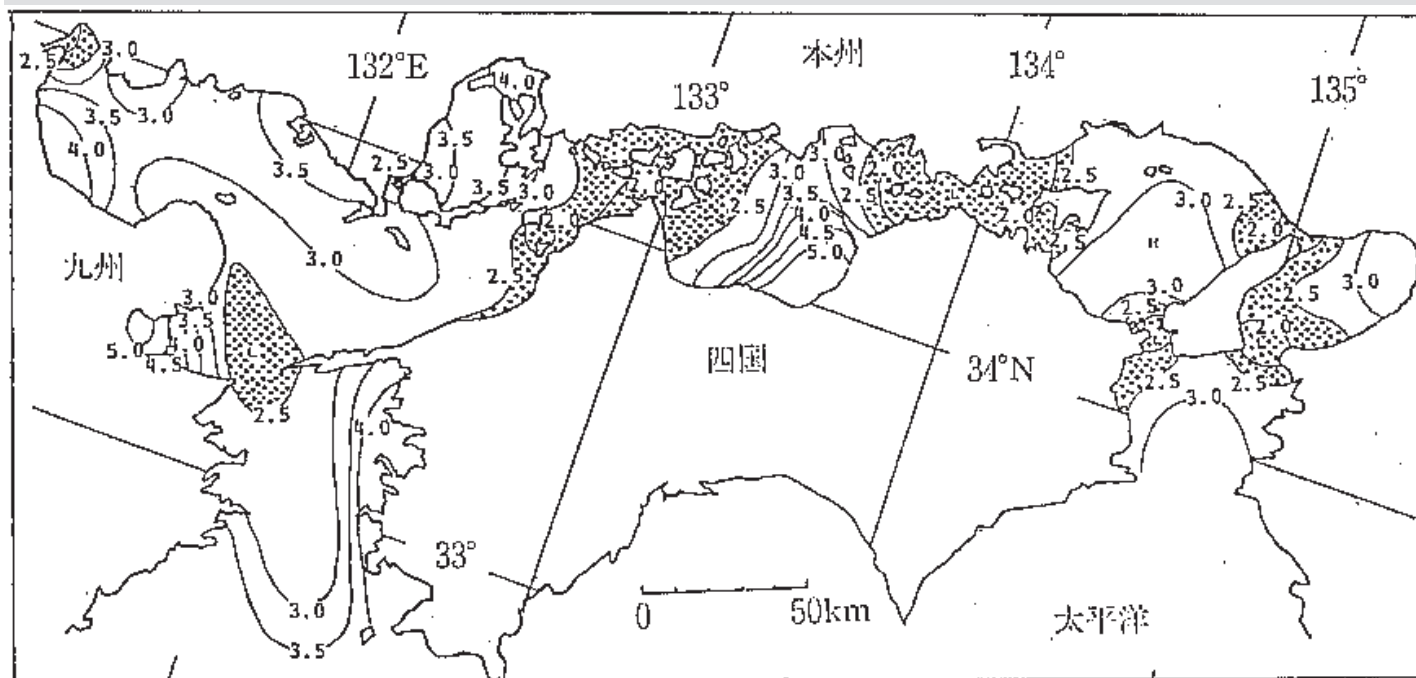


フロント検出基準

4mileを隔て $\Rightarrow$ 20分間で(深江丸航海速力12.5knot)
 水温差が 2°C 以上、
 塩分差が0.2以上あり、
 水温と塩分が同調して
 変動するとき、その変化の中心
 Yanagi and Oniwa (1986)



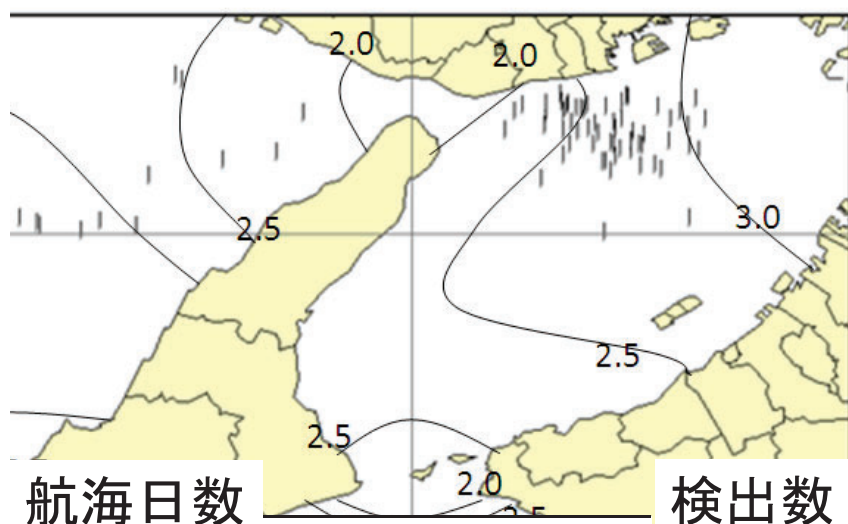
成層混合指標分布(柳・岡田、1988)



瀬戸内海の $\log_{10}(H/U^3)$ の分布. H は水深 (m), U は M_2 潮流振幅 (m sec^{-1})

瀬戸内海では、成層・混合指標＝2.5～3.0に
潮汐フロントが形成される

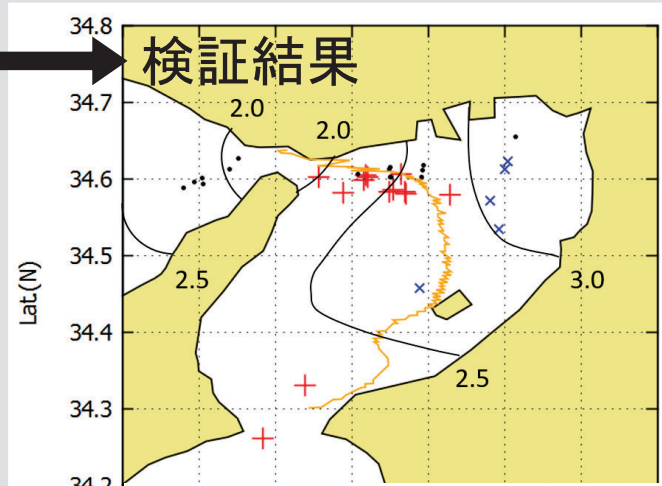
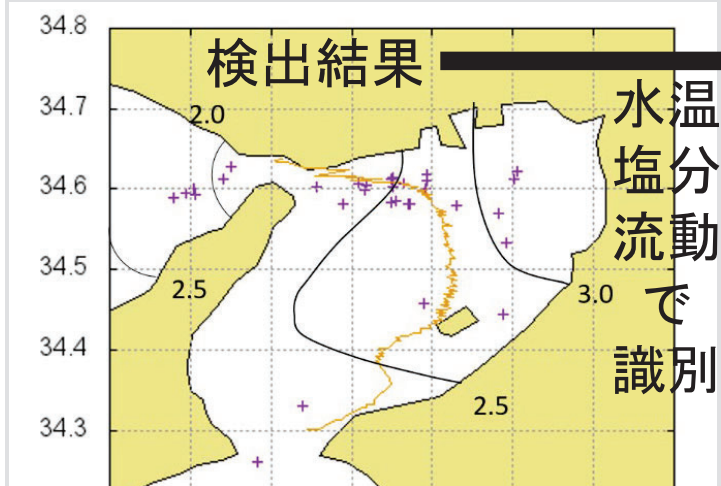
2003～2010年の水温による検出結果



- ・成層・混合指標
＝2.5～3.0
付近で検出
(やや2.5寄り)
- ・夏季に多く検出
(7, 8月は観測日の
半数以上で検出)

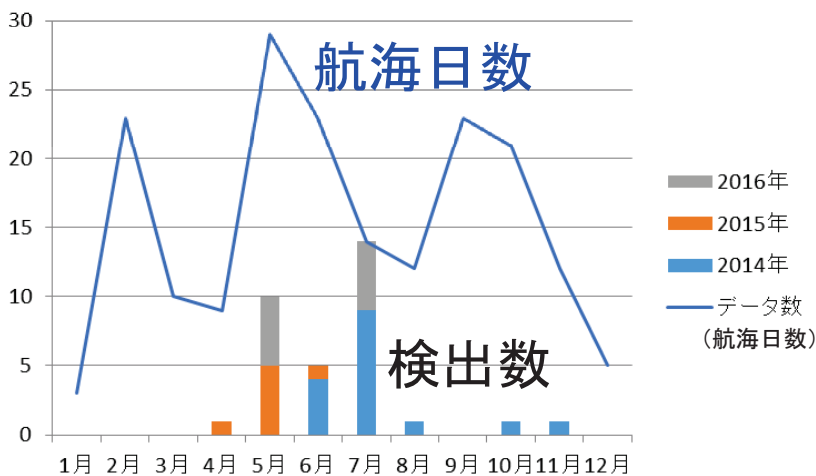
航海日数								検出数							
Year								Sum							
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Sum	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年計
Jan	5	3	0	1	5	7	21	1月							0
Feb	6	8	1	2	9	4	30	2月							0
Mar	11	10	5	7	8		41	3月							0
Apr	4	6	6	5	3		24	4月							0
May	8	9	6	12	14		49	5月				1	1		2
Jun	4	10	13	15	11	16	69	6月		1	3	3		4	11
Jul	10	10	6	11	4	13	54	7月		3	5	4	2	6	30
Aug	13	11	0	11	0	8	43	8月	1		7	4	1	4	25
Sep	5	6	0	17	0	13	41	9月	1						1
Oct	12	11	0	13	0	14	50	10月							0
Nov	5	10	0	9	0	12	36	11月				1	1		2
Dec	4	4	0	4	0	4	16	12月							0
Sum	53	96	55	98	42	119	474	計	2	4	15	11	5	12	71

2014～2016年の水温・塩分による検出結果



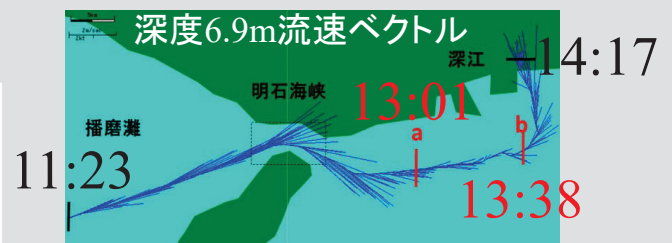
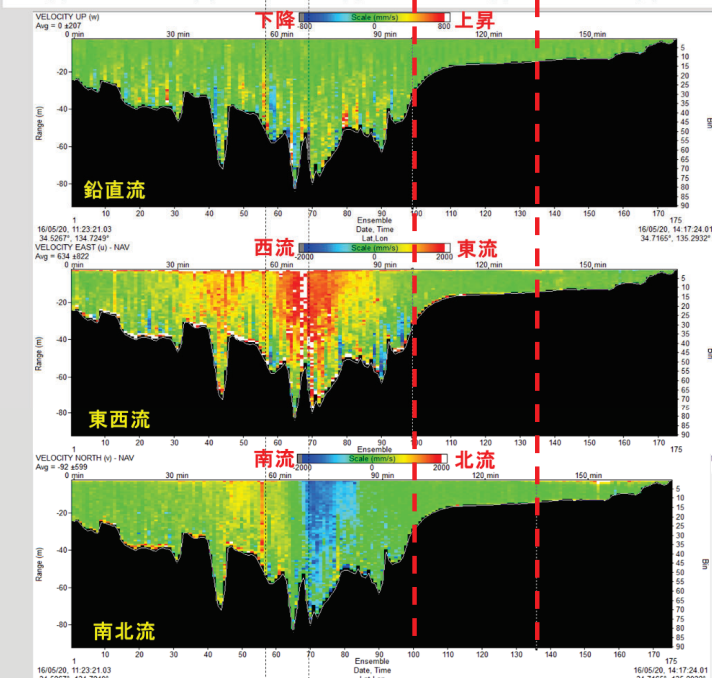
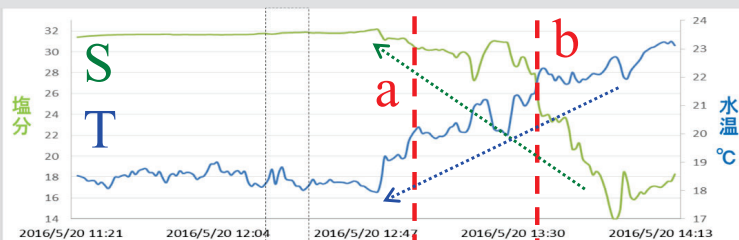
- + 潮汐フロント: 13個
- × 河口フロント: 5個
- その他 : 15個

- ・河口フロントと潮汐フロントの形成位置が分離された
- ・不明が多い

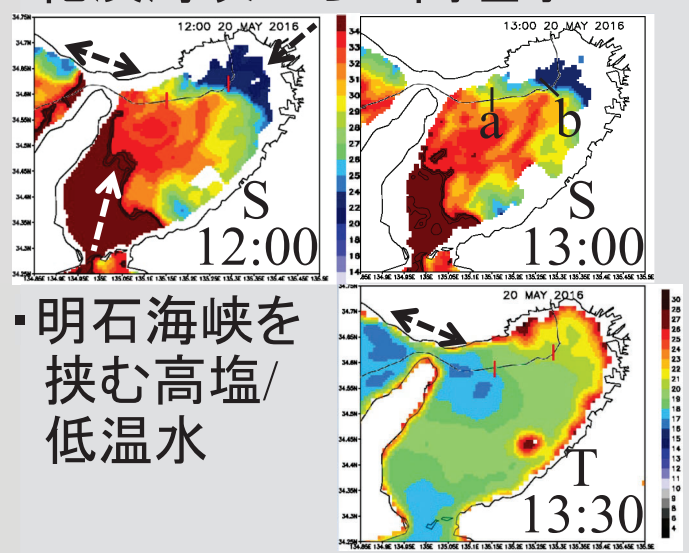


検証事例1 2016年5月20日(中潮、13:00下げ最大)

a: 潮汐フロント b: 河口フロント



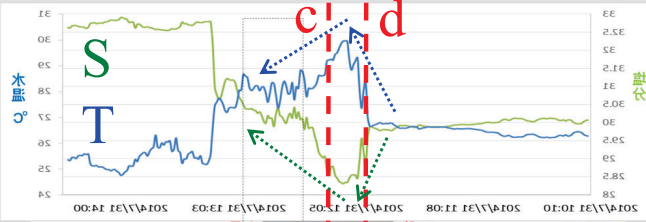
- ・淀川からの低塩水
- ・紀淡海峡からの高塩水



- ・明石海峡を挟む高塩/低温水

検証事例2 2014年7月31日(中潮、13:18上→下転流)

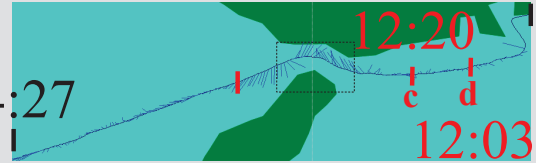
c: 潮汐フロント



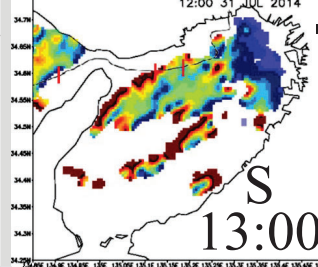
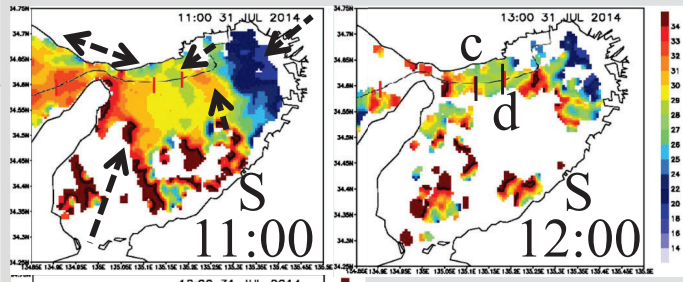
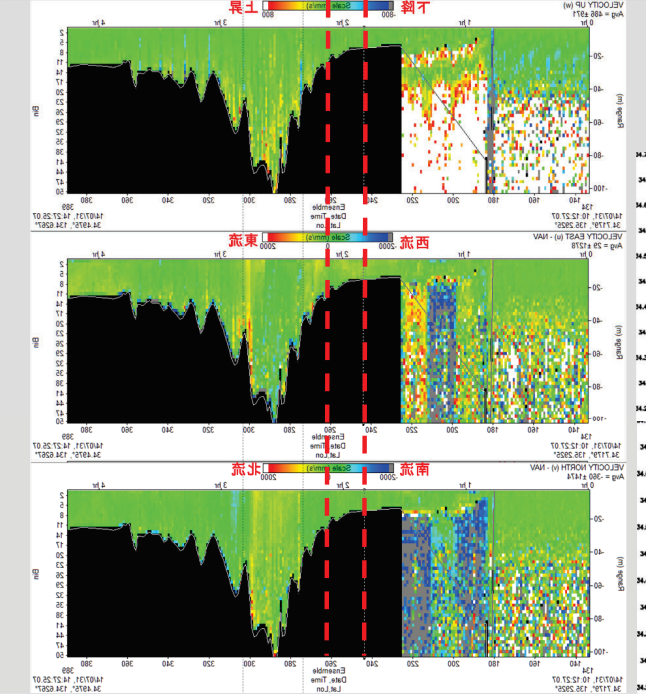
深度6.9m流速ベクトル

10:03

14:27



- ・淀川からの低塩水
- ・紀淡海峡からの
/明石海峡を挟む高塩水



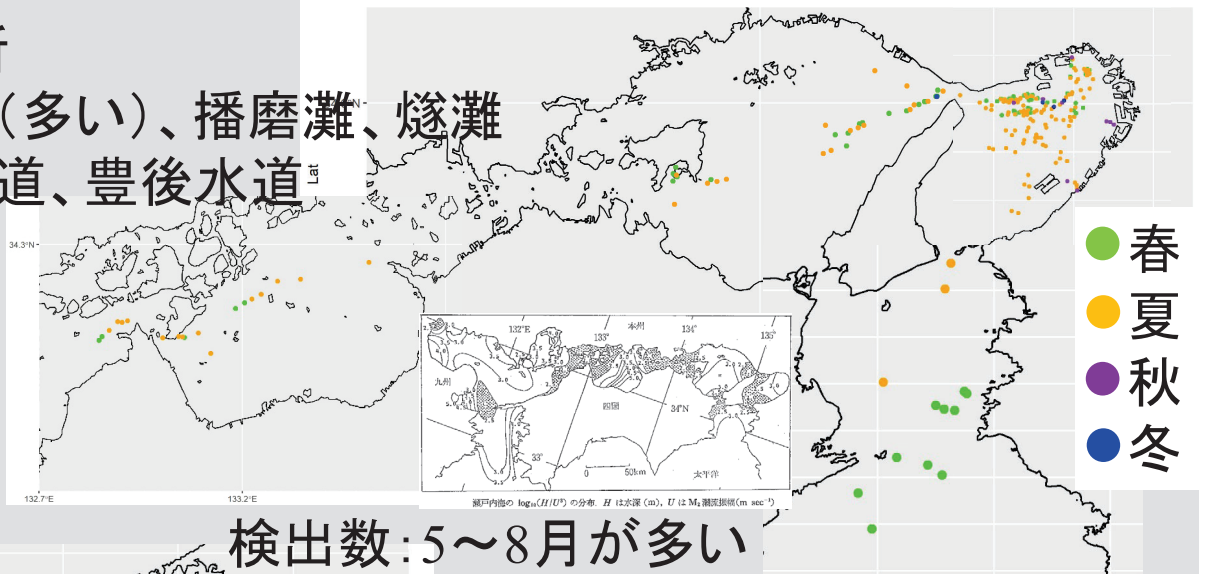
・多数の高/低塩
パッチ/ストリーク
→dの河口側に
高塩・低温パッチ

2014～2021年の水温・塩分による検出結果

検出場所

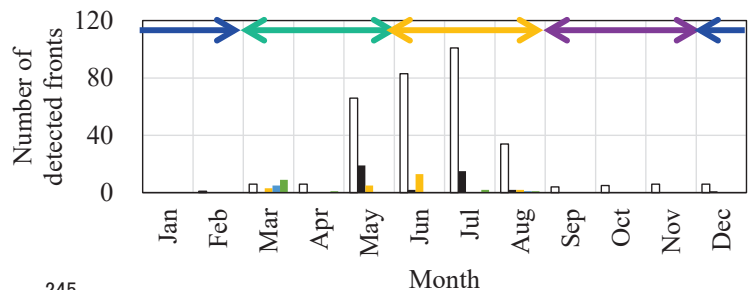
大阪湾(多い)、播磨灘、燧灘
紀伊水道、豊後水道

↓
外洋
フロント

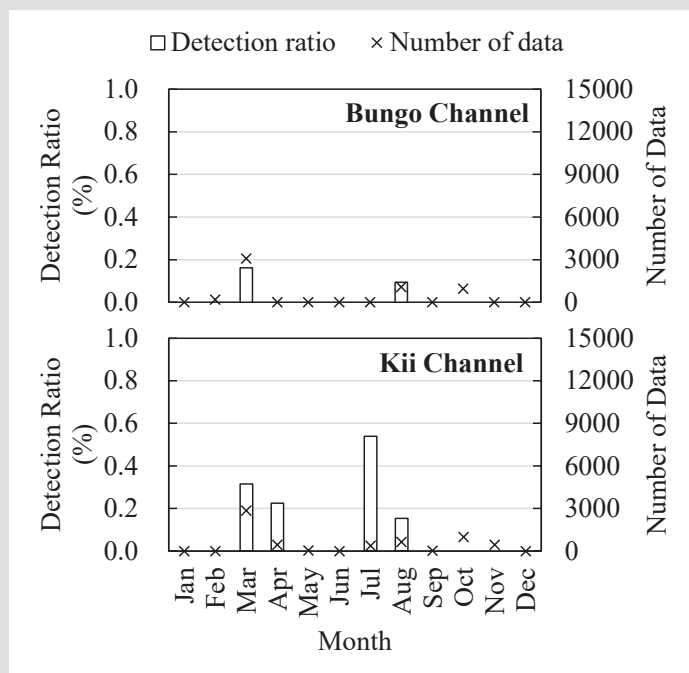
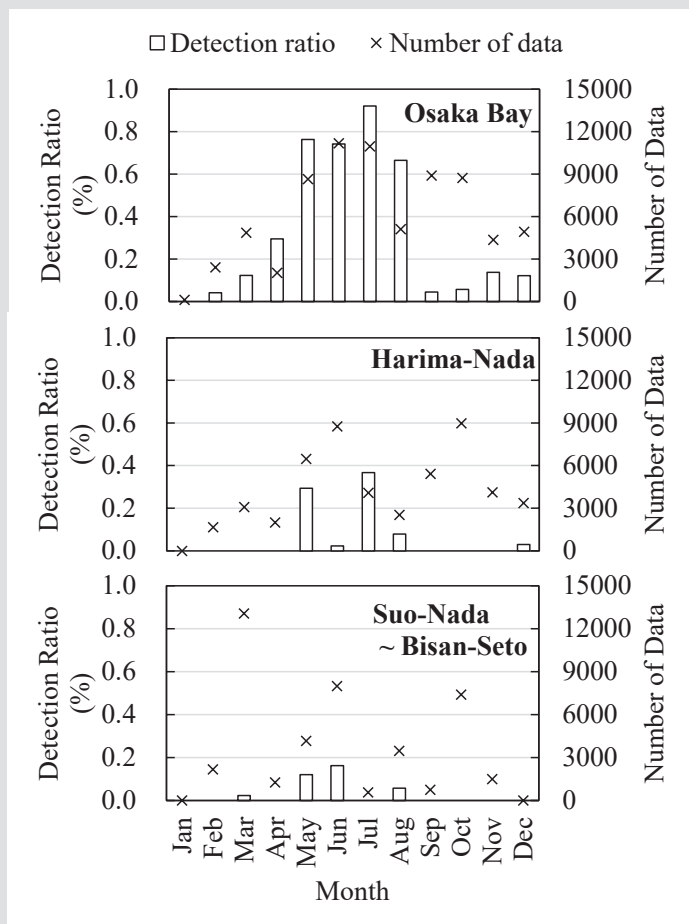


検出数: 5～8月が多い

□ Osaka Bay ■ Harima-Nada ■ Seto Inland Sea
■ Bungo Channel ■ Kii Channel

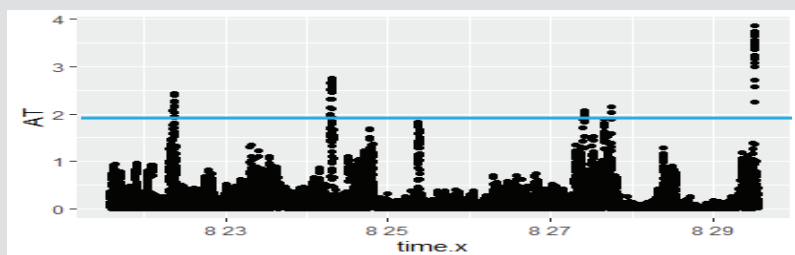


データ数(毎分)に対する検出割合

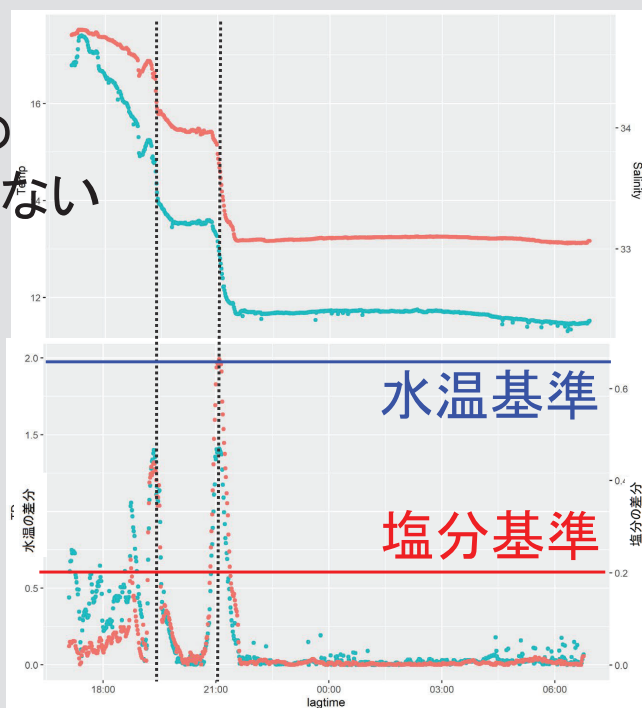
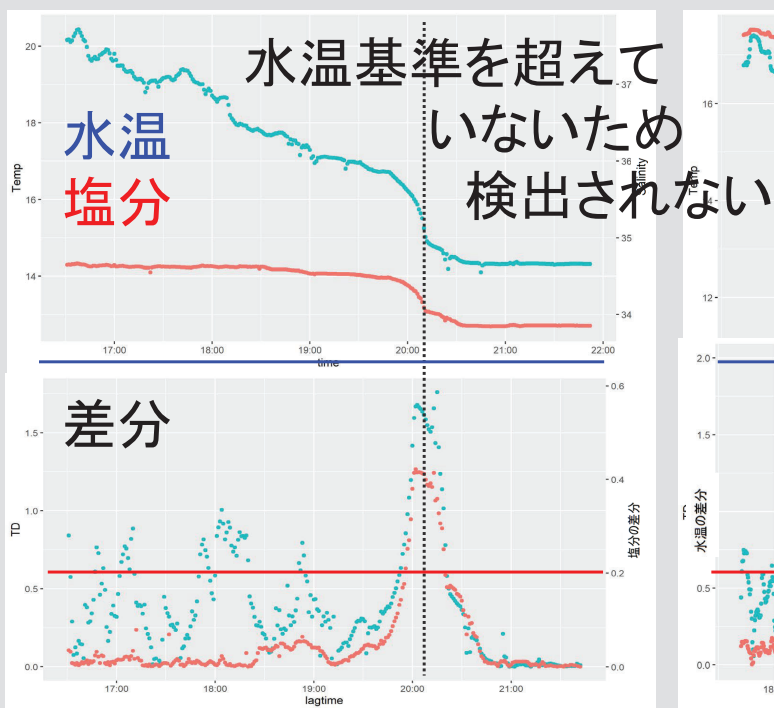


- ・1月のデータはない
- ・大阪湾～周防灘の検出数にデータ数依存性はない
- ・両水道は特定月のデータ

検出基準値の検討

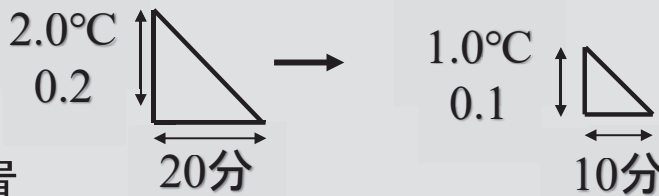


水温差分例
(夏季四国一周航海)
→基準を超える
事例が少ない

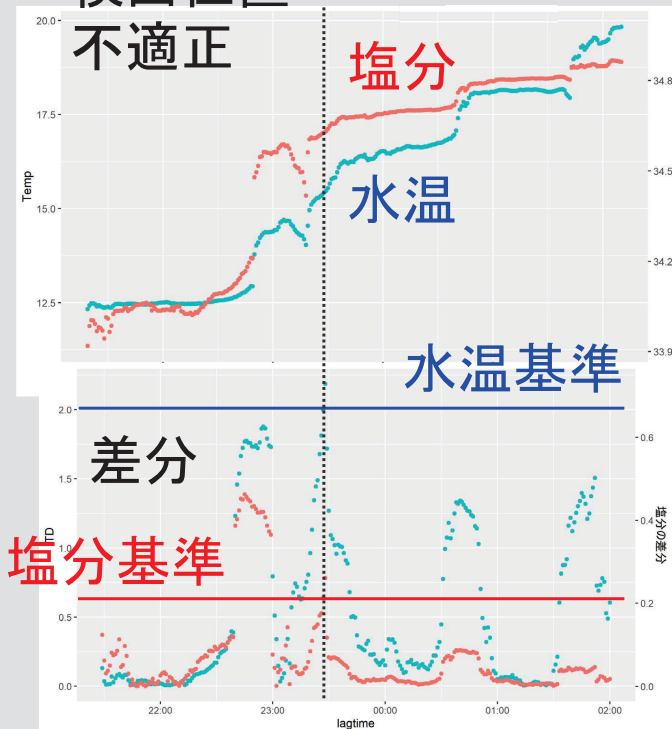


検出基準幅の検討

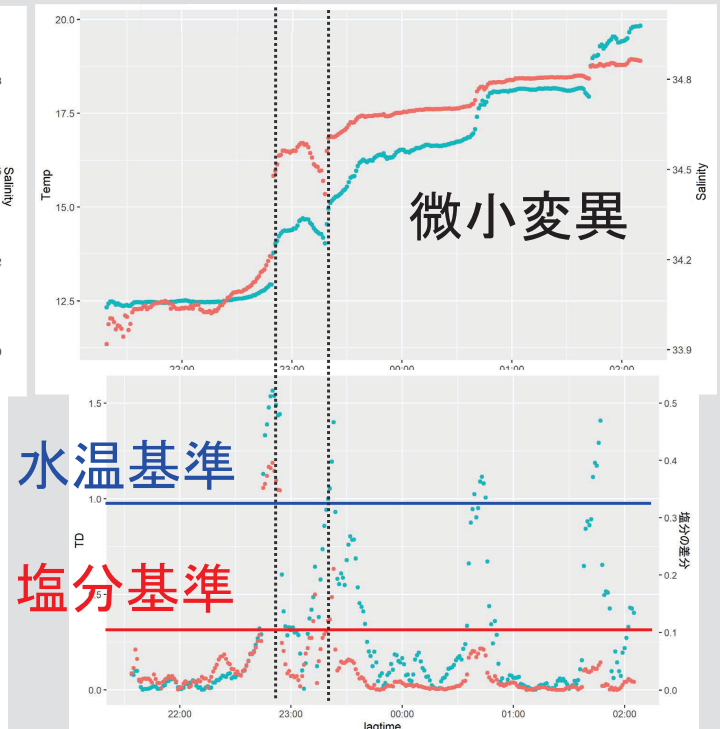
検出時間幅を
半分(10分)にし、
水温・塩分の
偏差の傾きは維持



検出位置
不適正

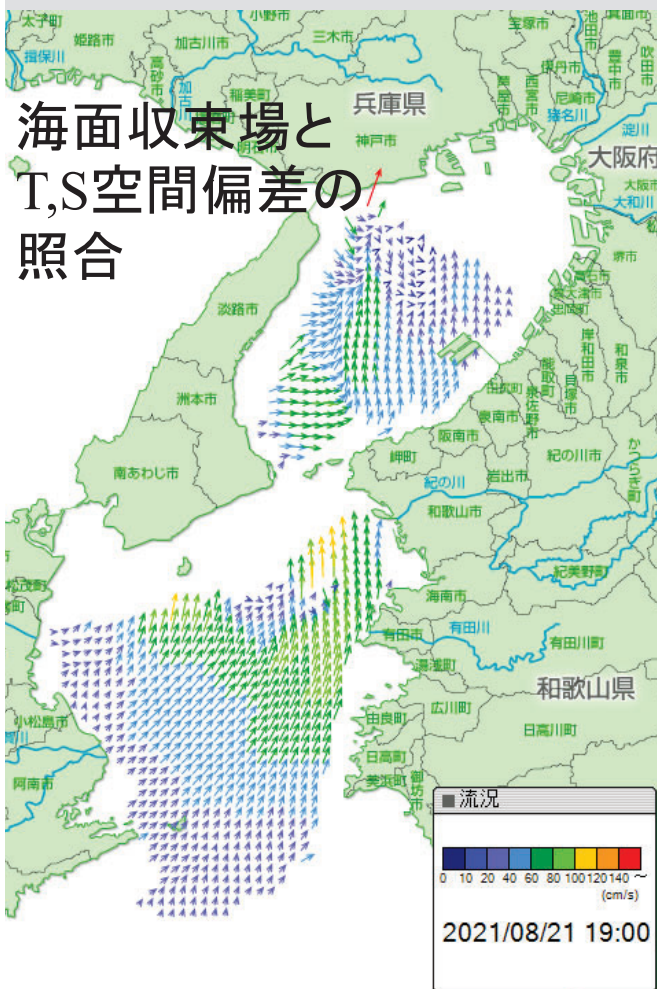


微小変異



今後のプラン

海面収束場と
T,S空間偏差の
照合



JAXAひまわりモニタ

分野横断型プロダクト提供システム (P-Tree)

▶ ENGLISH 最終更新: 2022年11月30日 00時32分38秒(JST) (2

Date: 2021 / 8 / 21 19:00-19:59 JST

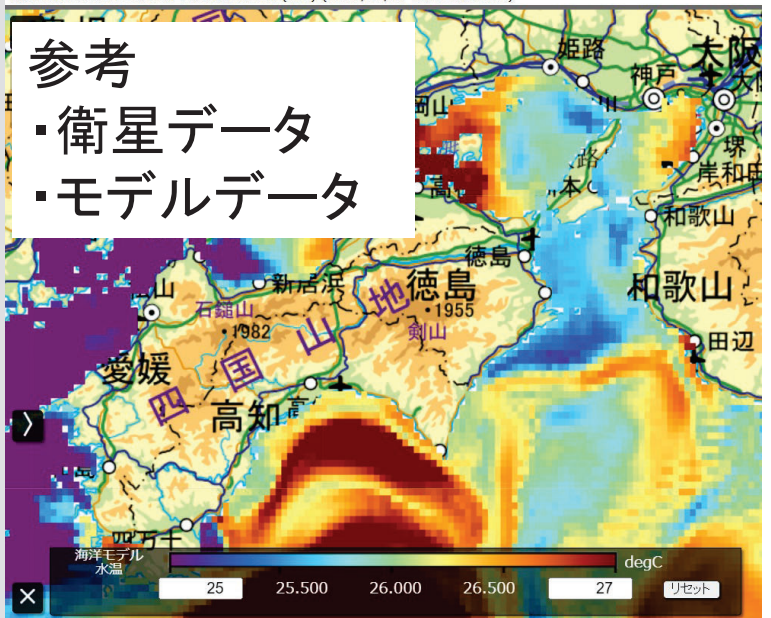
-1day -1hour 最新画像 +1hour +1d

JAXAひまわりモニタ 海中天気予報

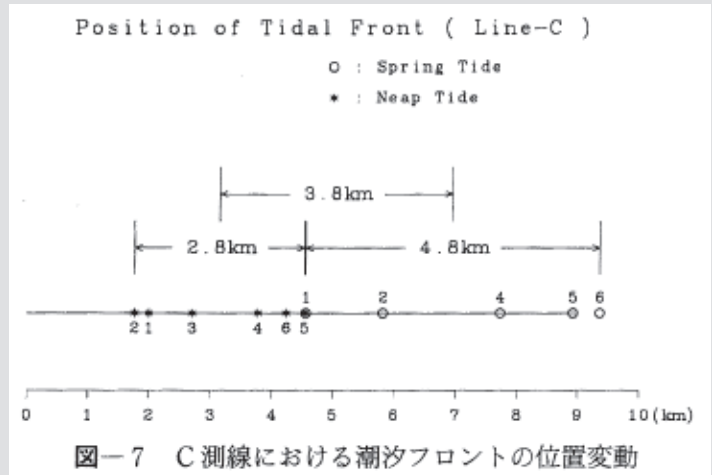
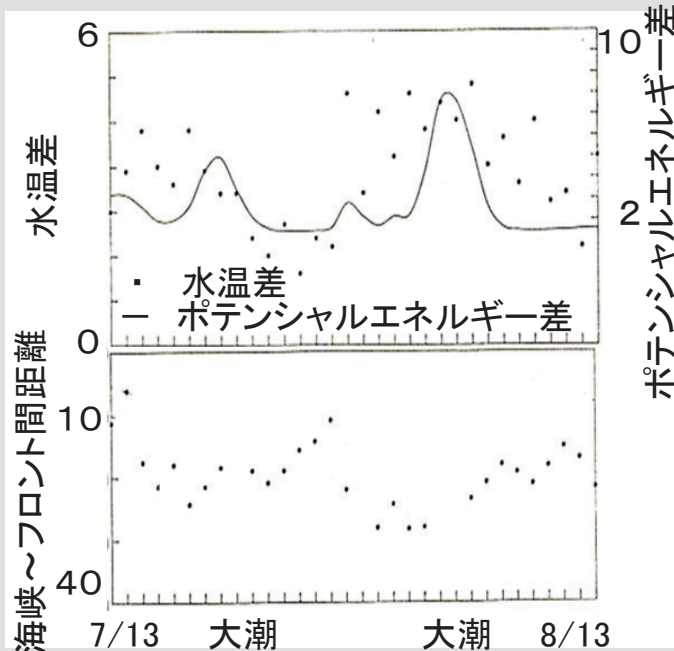
最終更新: 2022年11月29日 23時51分32秒(JST) (2022/11/29 14:51:32 UTC)

参考

- ・衛星データ
- ・モデルデータ



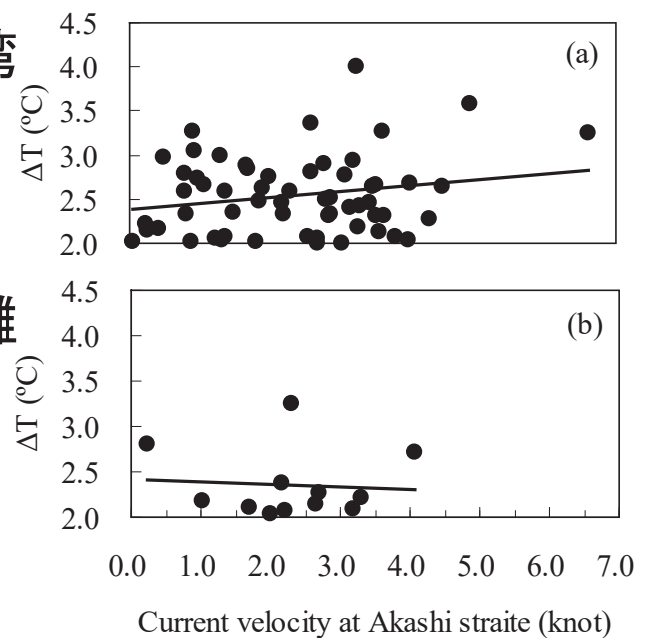
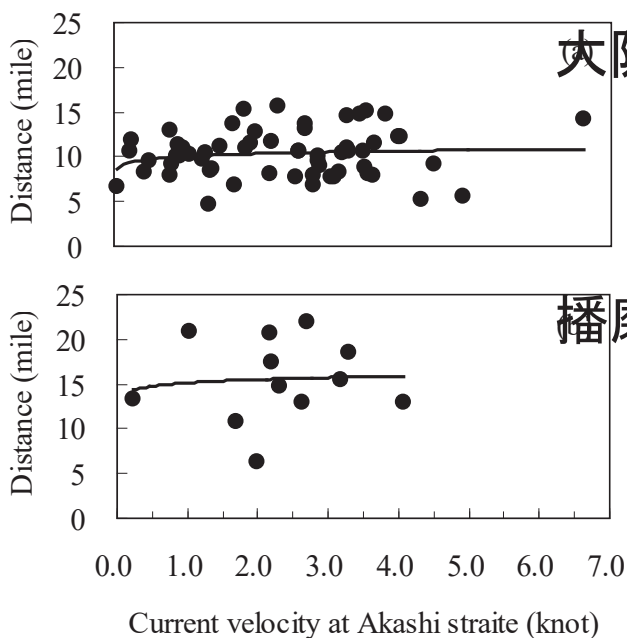
大潮・小潮規模でのフロント位置・強度の変動



(豊後水道)大潮にフロントの
・水温差増加
・海況からの距離大遠くなる
(Yanagi and Koike, 1987)

大潮時フロント位置
・明石海峡から離れ
・変動幅大
(湯浅ら、1996)

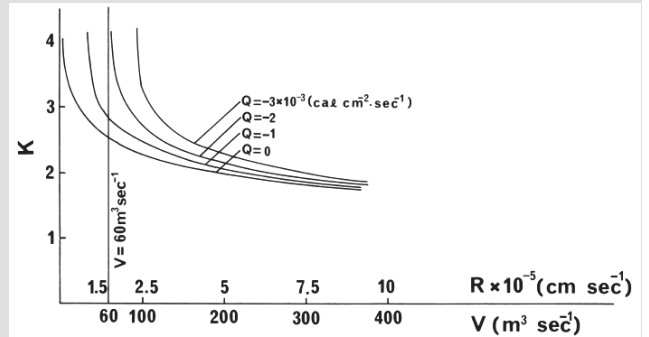
フロント位置・強度の解析(林ら、2013)



明石海峡での流速と
海峡～フロント間距離
フロントでの水温差
よろしくない

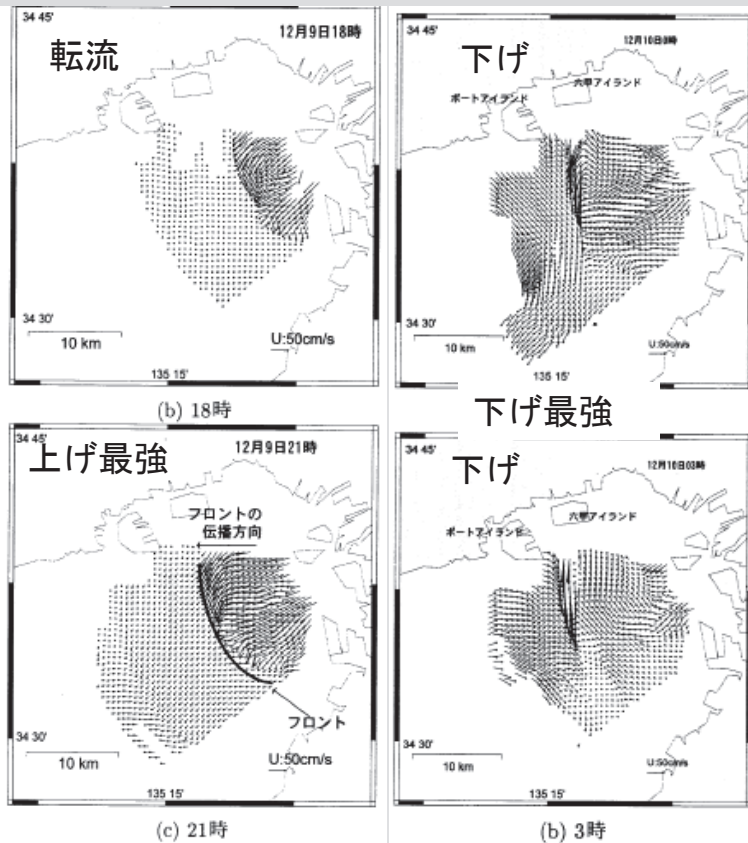
河口フロントの時空間変動

河川水による成層化で
形成される潮汐フロントの
解析
(Yasuda & Ueshima, 1992)



河川影響がなければ、潮
汐フロントは海峡より離れ
た位置に形成(混合域が
広がる)

Yanagi & Takahashi (1988)



初冬のフロント位置変動解析
(坪野ら、2005)

フロントの立体構造

ADCP, T, S, σ (深度1m)
による観測
(湯浅ら、1996)

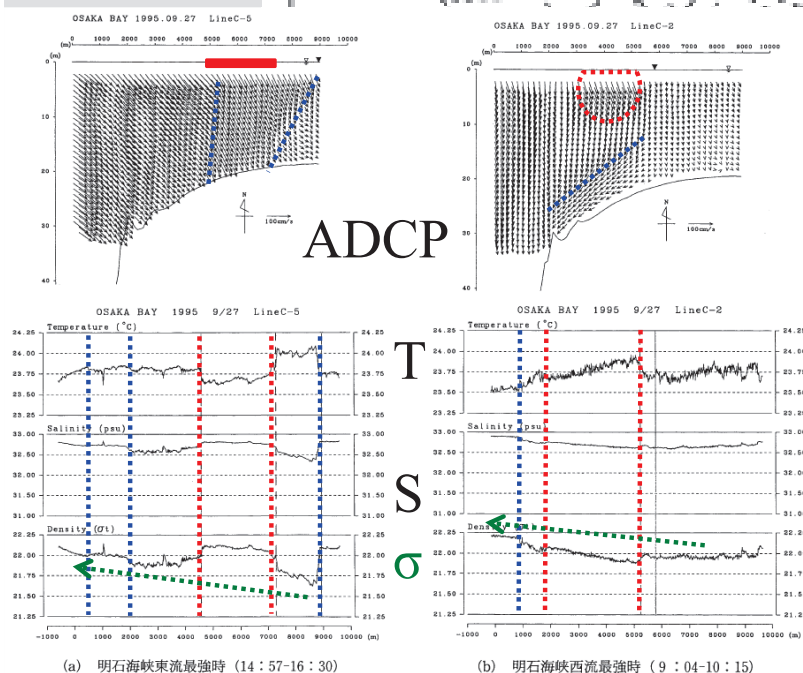
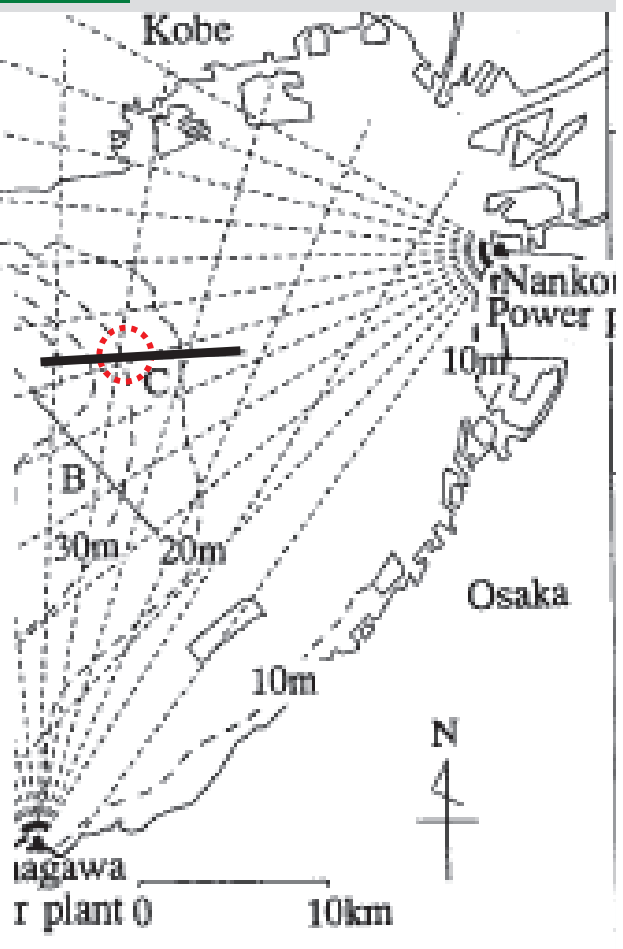
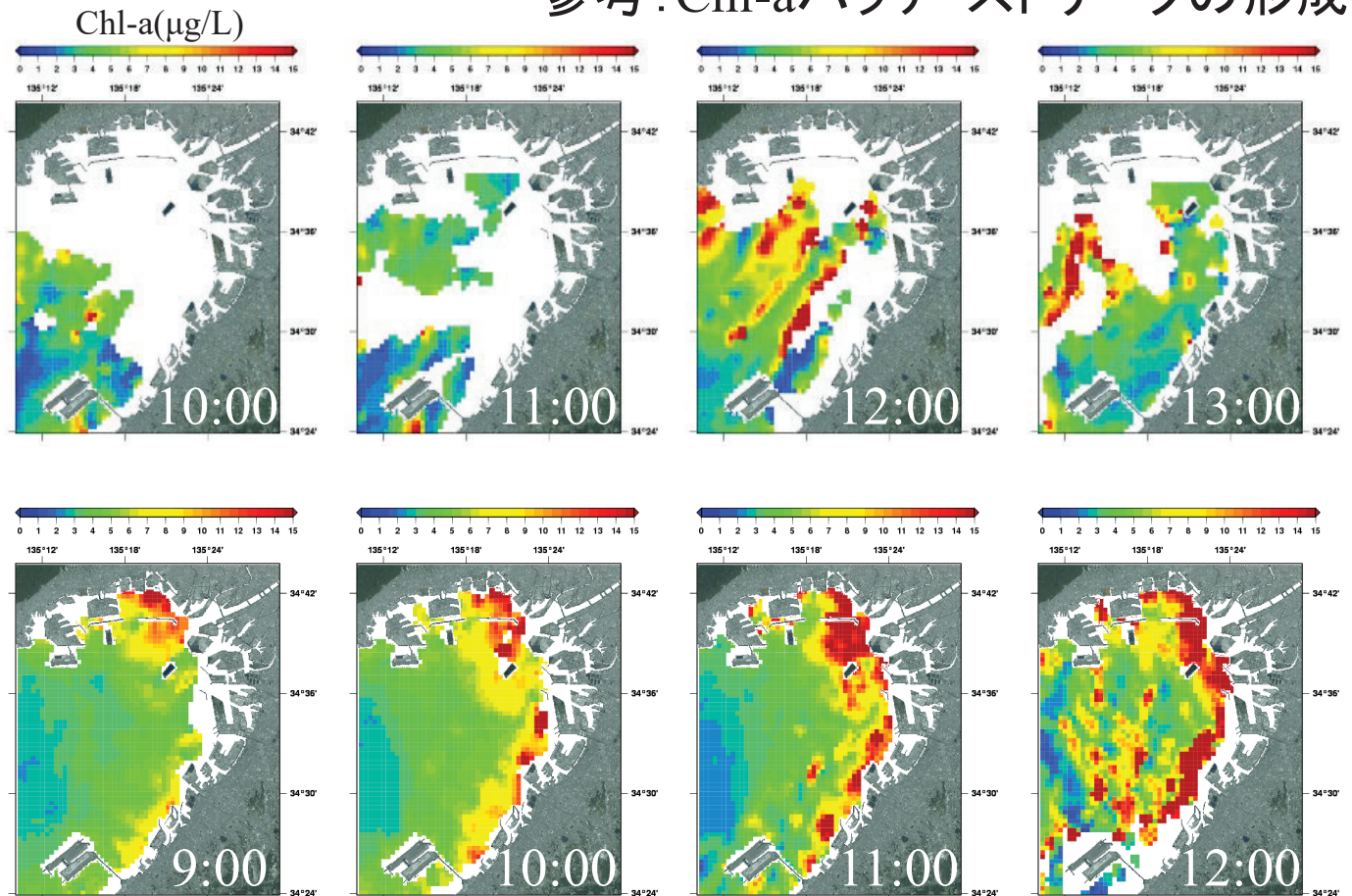


図-5 C 測線における大潮時の流速ベクトル断面図と表層水温・塩分・密度分布図



基礎生産環境

参考: Chl-aパッチ・ストリークの形成



R4.11.30

日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会

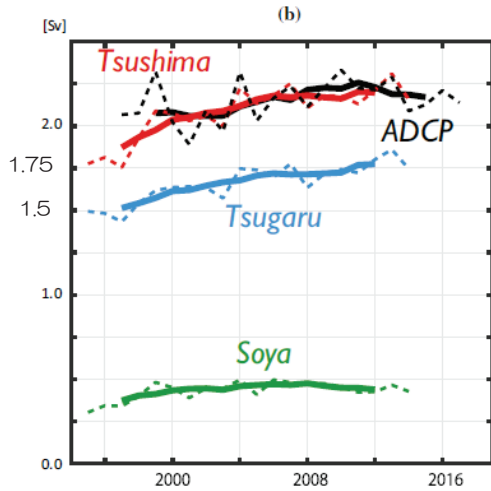
ADCP4往復調査法による津軽暖流流量の再評価

道総研中央水試 西田芳則

背景

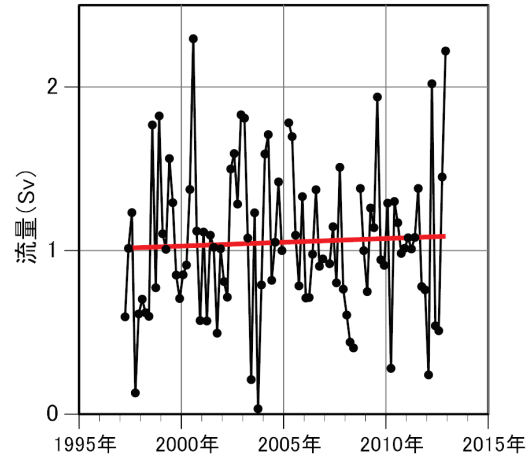
最近の研究成果

- 対馬海峡を通過する流量は増加傾向
 $0.1\text{Sv}/10\text{年}$ (1997~2012年)



b Annual average (dashed) and 5-year running average (solid) transports through the Tsushima Strait (red), Tsugaru Strait (blue), and Soya Strait (green) simulated in RIAMOM. Estimates based on acoustic Doppler current profiler observations along the Tsushima Strait are shown in black (Utsumi 2018) (color figure online) (kida et al. 2021)

- 左記と同期間における北海道西岸を北上する対馬暖流流量のトレンドは $0.04\text{Sv}/10\text{年}$
- 対馬海峡の流量変動の寄与は半分程度

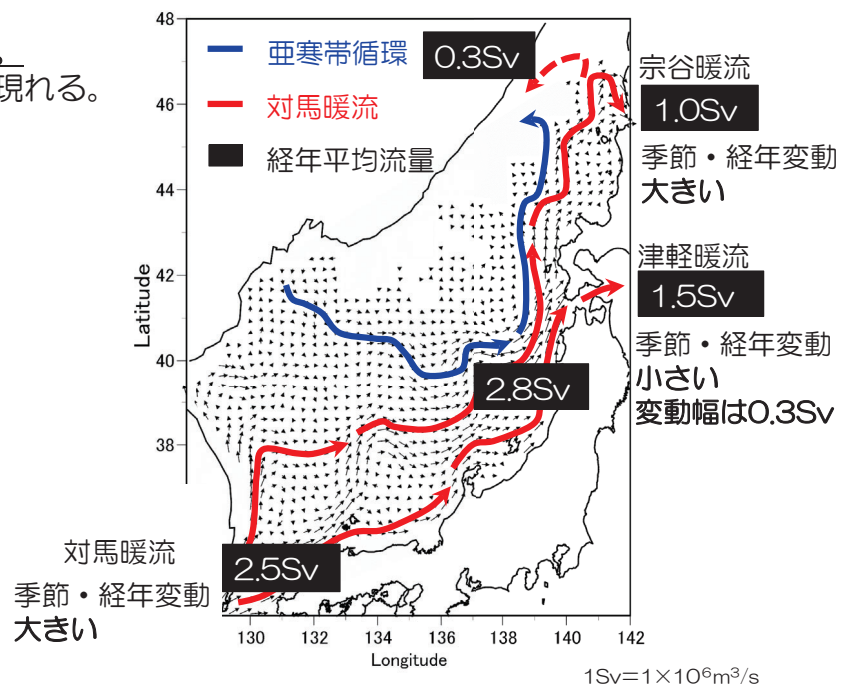


北海道西岸を北上する対馬暖流流量の時系列

背景

- 津軽暖流の季節・経年変動は小さい。
→ 対馬暖流の変動成分は宗谷暖流に現れる。

日本海表層循環の模式図



背景

- ・ 深浦と函館の水位差（ $\Delta\eta$ ）から津軽暖流の流量（ Q ）を算出する経験式を提案
- ・ 2003年1月に函館の験潮場が移設。それに伴いT.P.は13cm低下。水位差のジャンプ。

↓ 函館験潮場移設

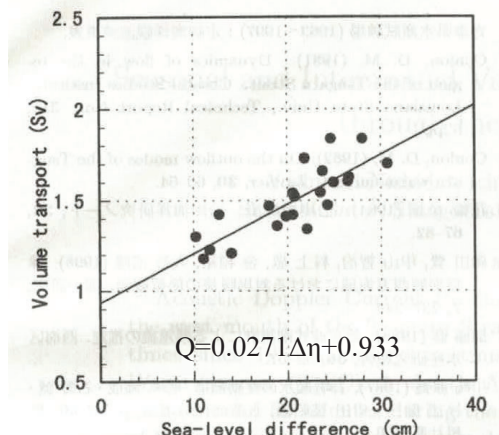
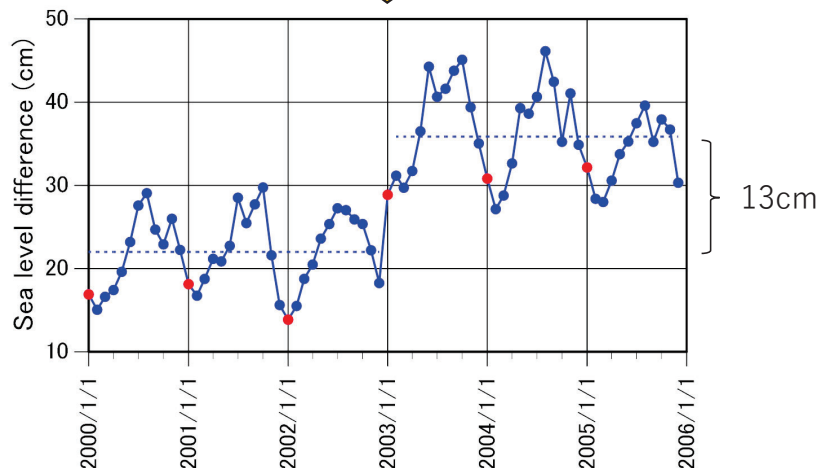


Fig. 10. Relationship of the daily mean sea level difference between Fukaura and Hakodate to the volume transport of the Tsugaru Warm Current.

(西田ら 2003)



深浦と函館の月平均水位差の時系列

●丸は1月を示す

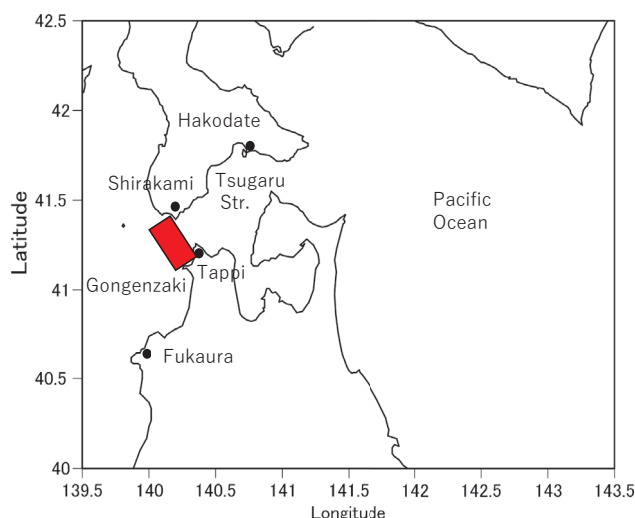
函館T.P. 2003年以前：-143.4cm、2003年以降：-

目的・方法

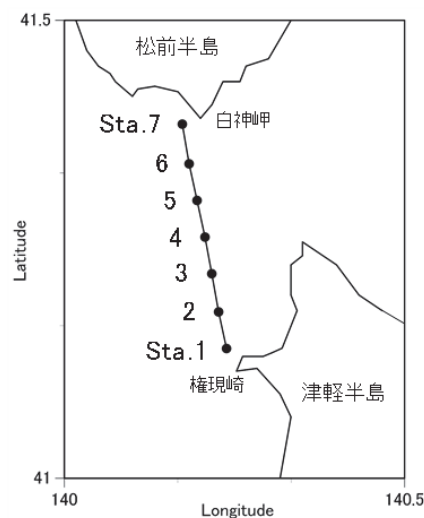
津軽海峡西口においてADCPを用いた4往復観測*を実施し、最近の津軽暖流流量の変動傾向を評価する。

*観測線上を24時間50分間に一定の速度で4往復することにより、観測線上の任意の点において、潮流成分が除去された日平均流を求めることができる。（加藤、1988）

ADCP4往復調査：2022年7月4～5日に実施



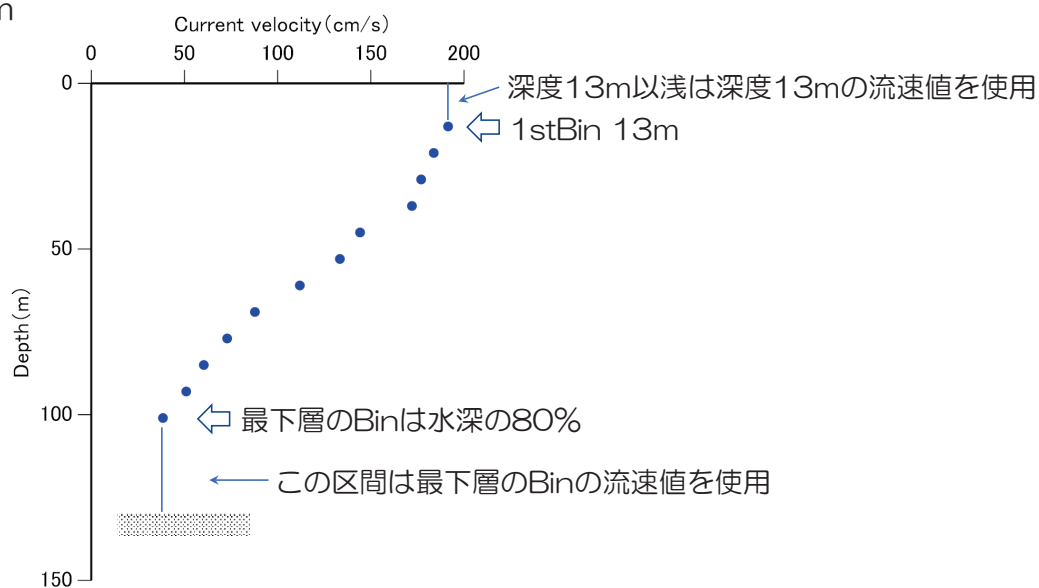
調査海域（赤ハッチ）



チェックポイント

ADCPの仕様・流速の外挿方法

船舶：函館水試金星丸
RD 150kHz
1st Bin Range 13m
Bin Size 8m



海面及び海底付近の流速の見積もり方法

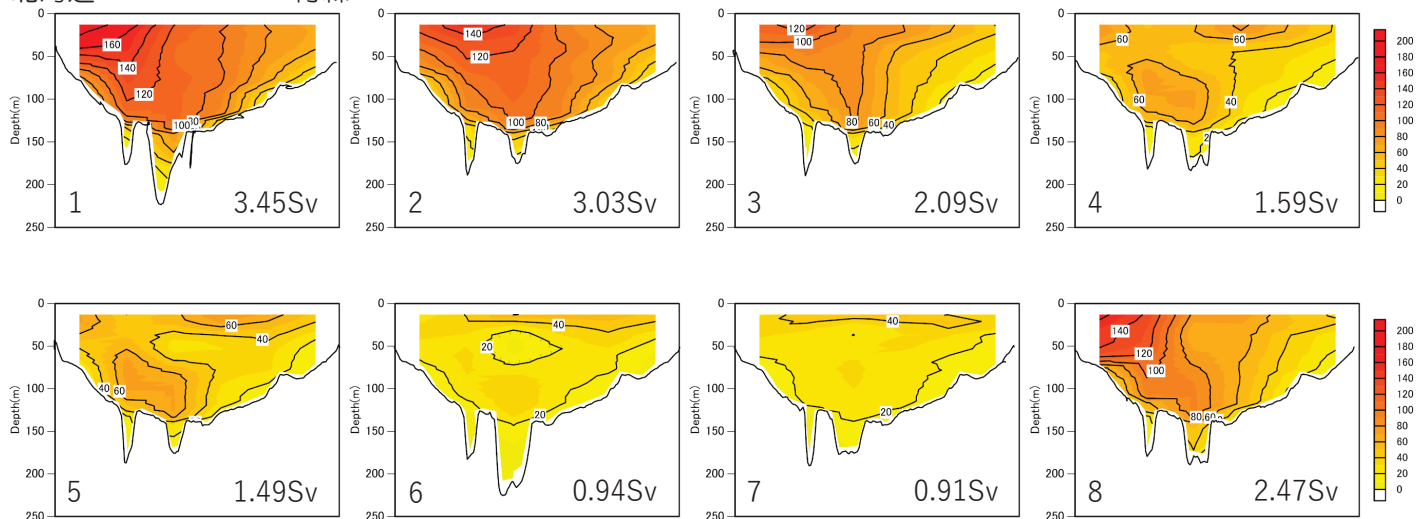
結果：流速の鉛直断面

過去の知見

- 北海道側の表層には強流域が形成。
- 観測線中央部の深度90mでは表層の強流域に匹敵するほどの流速

北海道

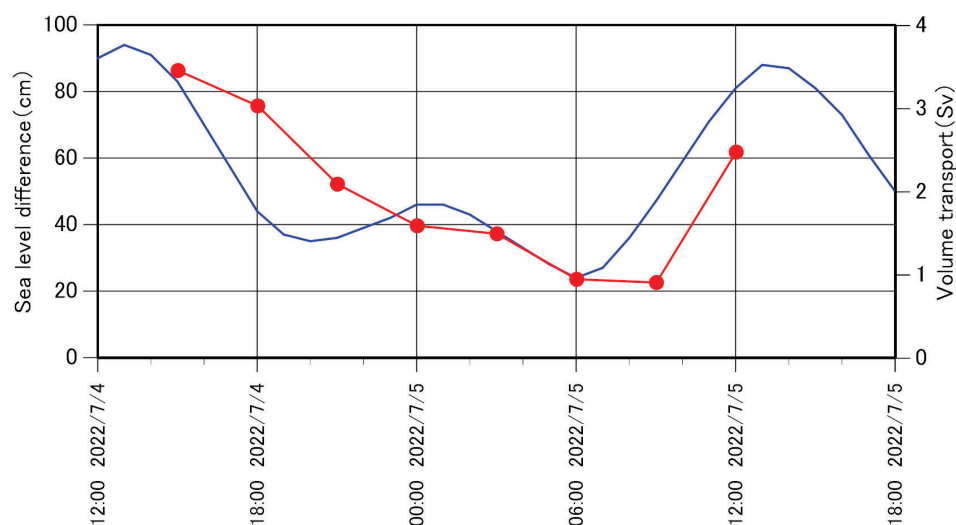
青森



各横断における流速分布の鉛直断面（図中左：横断回数、右：流量）

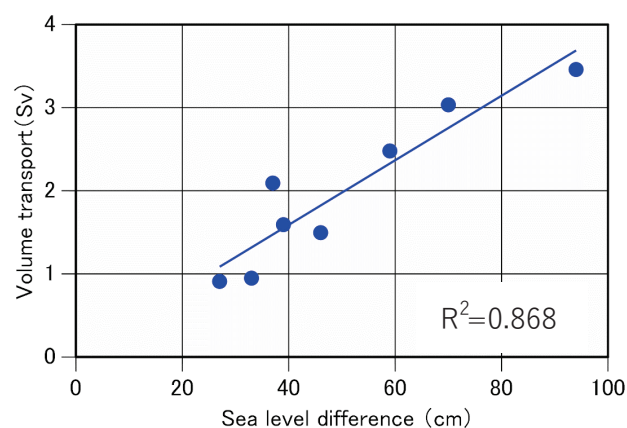
観測：2022年7月4～5日 日平均流量：2.0Sv

結果：断面流量と水位差の時間変化



深浦一函館の水位差（実線）と横断流量（赤丸）の時間変化
水位差が先行

結果：断面流量と水位差との相関関係



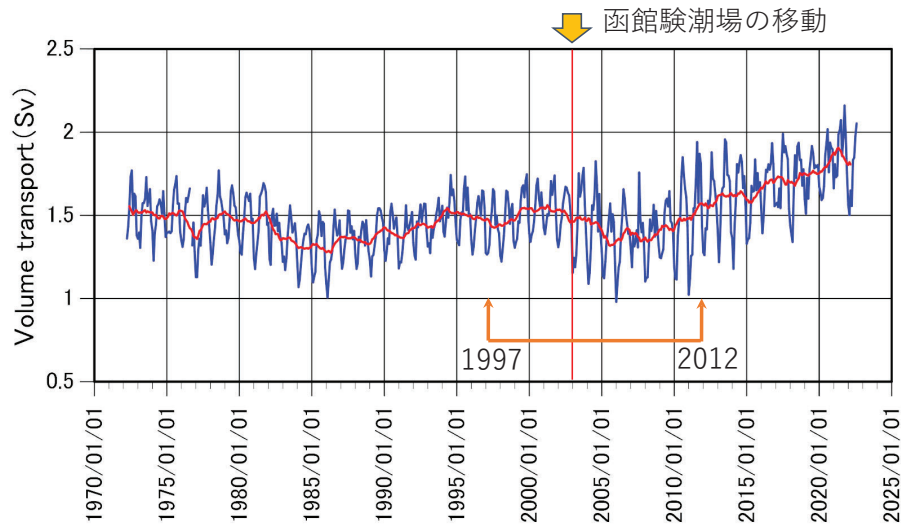
深浦と函館の水位差（ $\Delta \eta$ ）と海峡通過流量（ Q ）との関係

$$Q=0.0388\Delta \eta+0.0353$$

水位差は横断ライン中央部を通過した時間よりも2時間前を採用

結果：津軽暖流流量の推定

- 2003年を挟んで流量のジャンプはみられない
- 1997～2012年の津軽暖流流量に増加傾向はみられない
- 2010年以降津軽暖流の流量は増加傾向

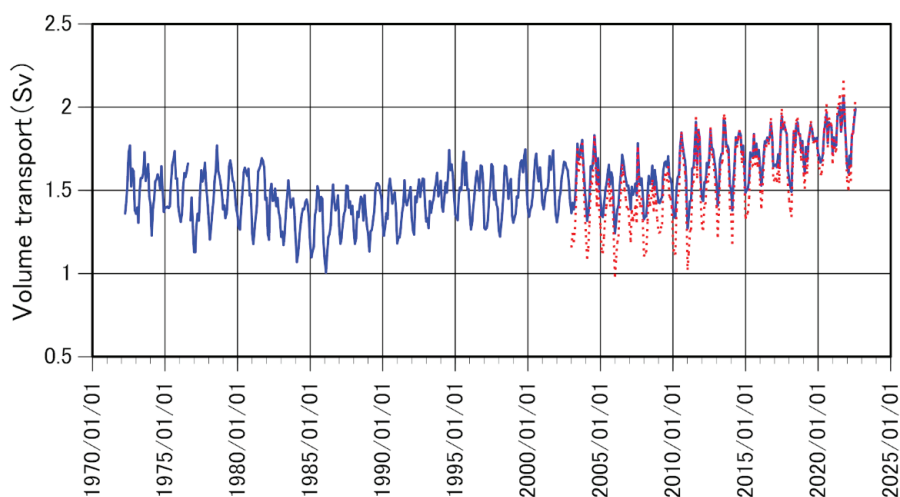


深浦-函館の月平均水位差と経験式から推定した津軽暖流流量の経年変化

赤線：12ヶ月の移動平均値

経験式：（2003年以前） $Q=0.0271\Delta\eta+0.933$ 、（2003年以降） $Q=0.0388\Delta\eta+0.0353$

結果：津軽暖流流量の推定



深浦-函館の月平均水位差と経験式から推定した津軽暖流流量の経年変化

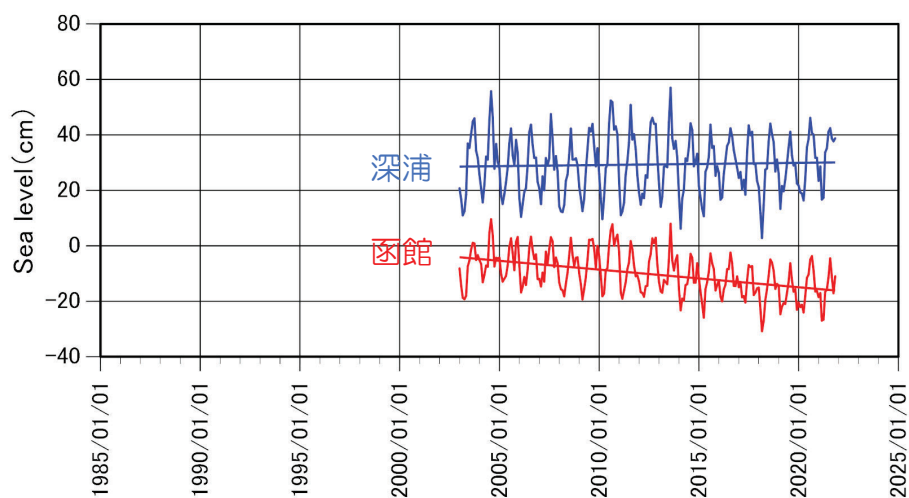
赤点線：本研究で得られた経験式（ $Q=0.0388\Delta\eta+0.0353$ ）を用いて算出

青実線：過去経験式（ $Q=0.0271\Delta\eta+0.933$ ）を用いて算出

ただし、2003年以降の水位差は計算値から13cm差し引いた値を使用

結果：津軽暖流流量の推定

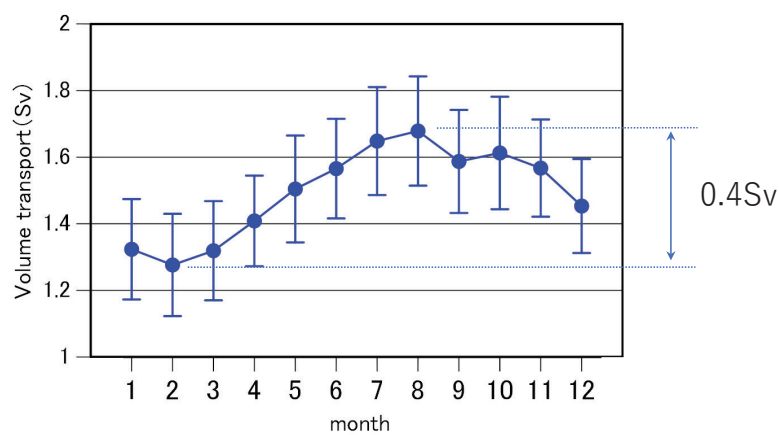
- 最近の津軽暖流流量の増加は函館の水位低下が要因



深浦、函館の月平均水位の経年変化

結果：津軽暖流流量の季節変化

(過去の知見) 津軽暖流流量の季節・経年変動幅はともに0.3Sv
それほど変わってはいない



津軽暖流流量の月変化

流量の季節変動幅は0.4Sv

- 津軽暖流流量の季節変動幅は 0.4Sv で過去の知見と大きな違いは無い。
- 津軽暖流流量は、2010年以降は増加傾向。
 $0.3\text{Sv}/10\text{年}$ （2010～2020年）
太平洋の水位低下が大きいため。

三宅島周辺の黒潮のモニタリング

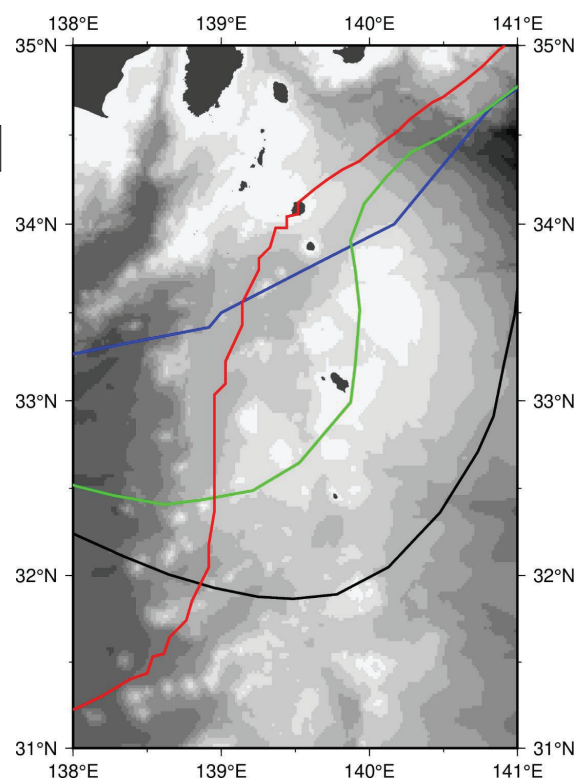
日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会

2022.11.30

寄高博行

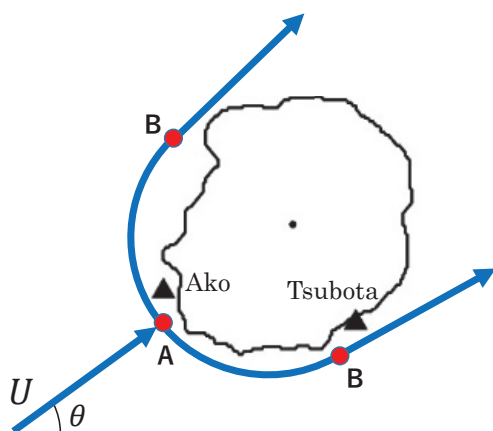
（高知大学黒潮圏科学部門）

海洋速報の黒潮流路



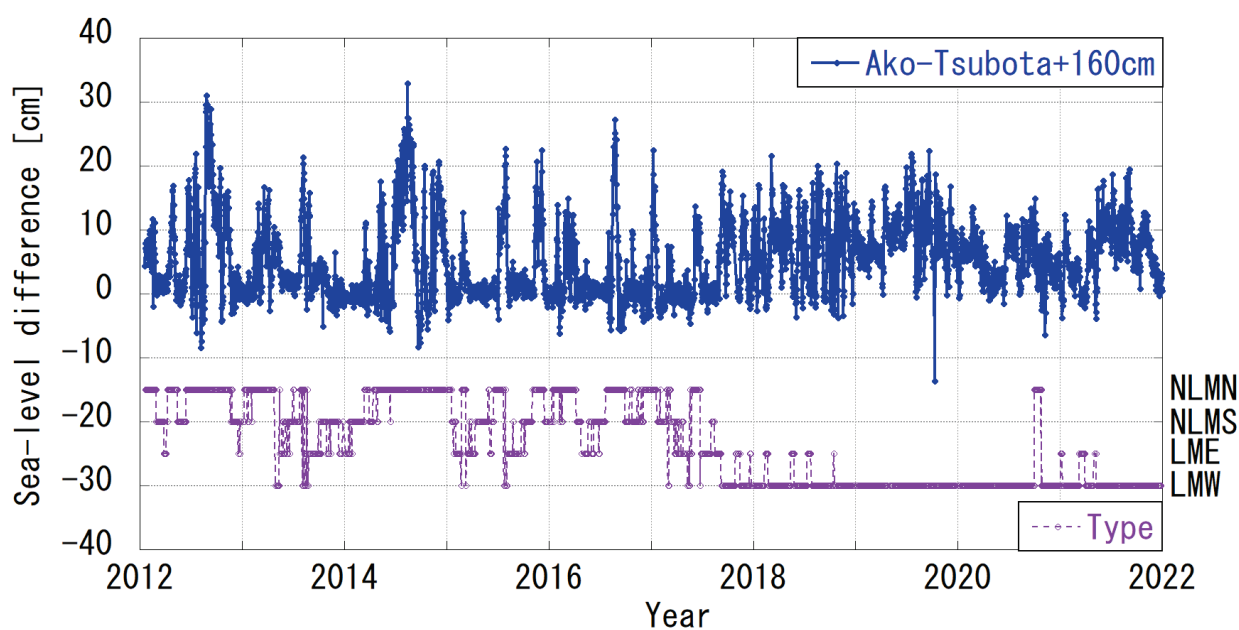
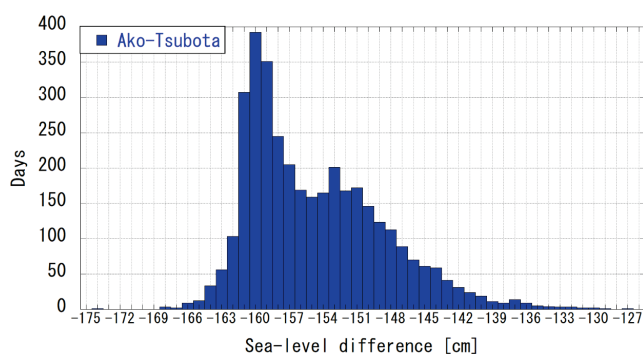
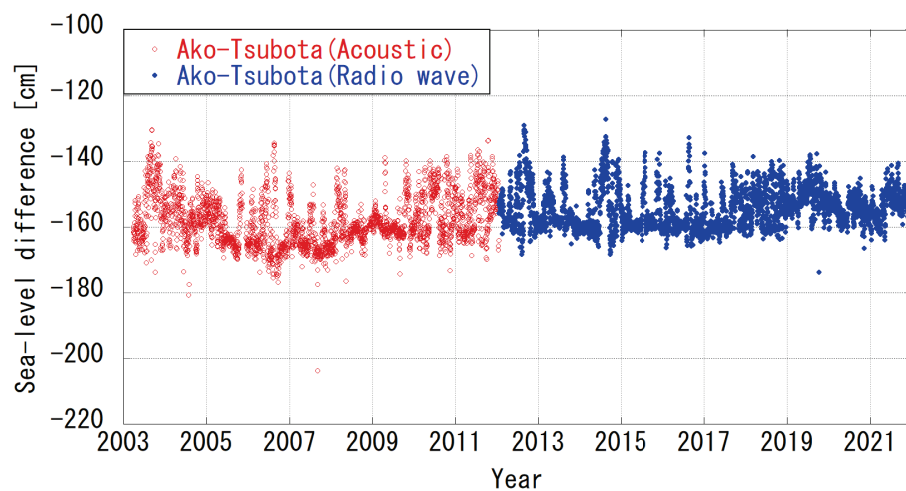
— NLMN
— NLMS
— LMW
— LME

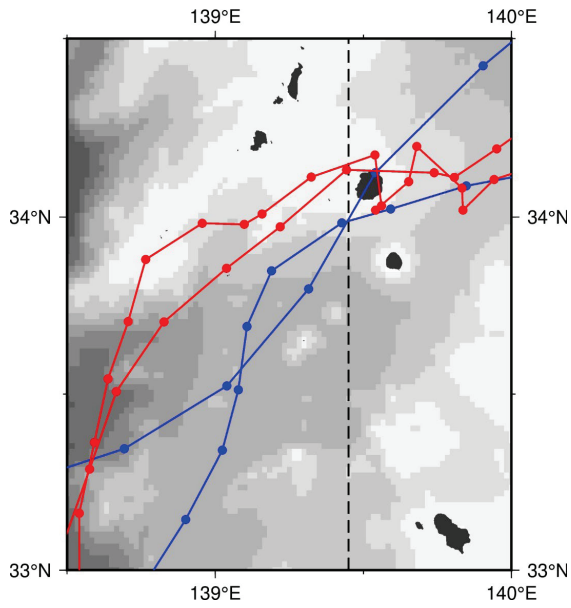
阿古(JCG): 1964-
坪田(JMA): 1997-



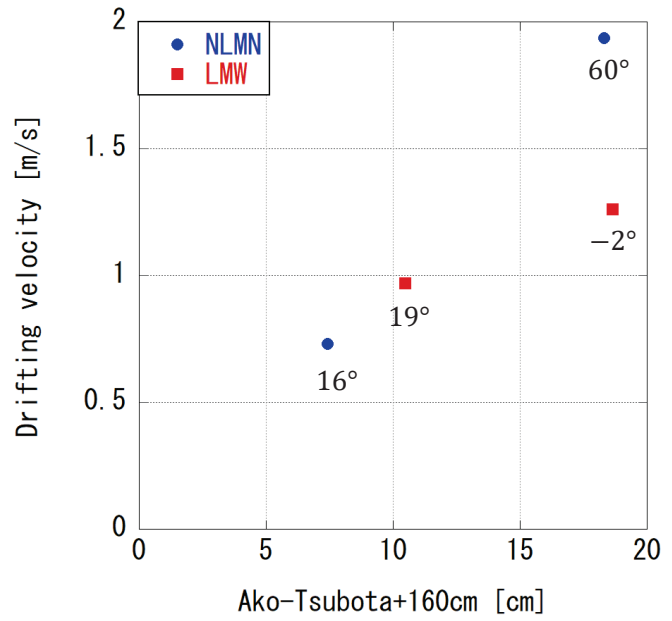
$$\zeta_{Ako} - \zeta_{Tsubota} = \frac{1}{2g} \gamma(\theta) C_p U^2$$

日平均水位差

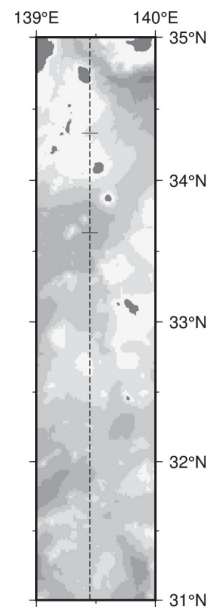
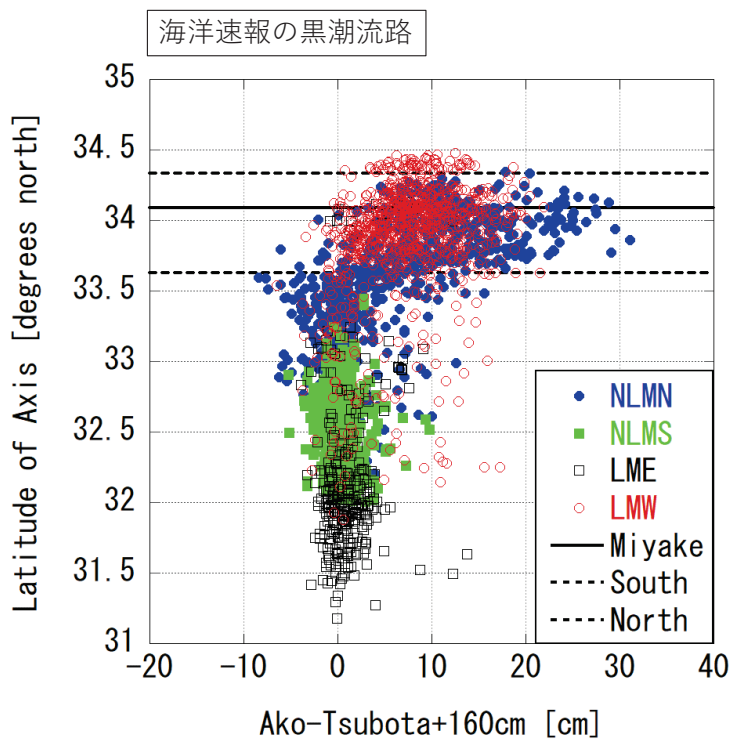


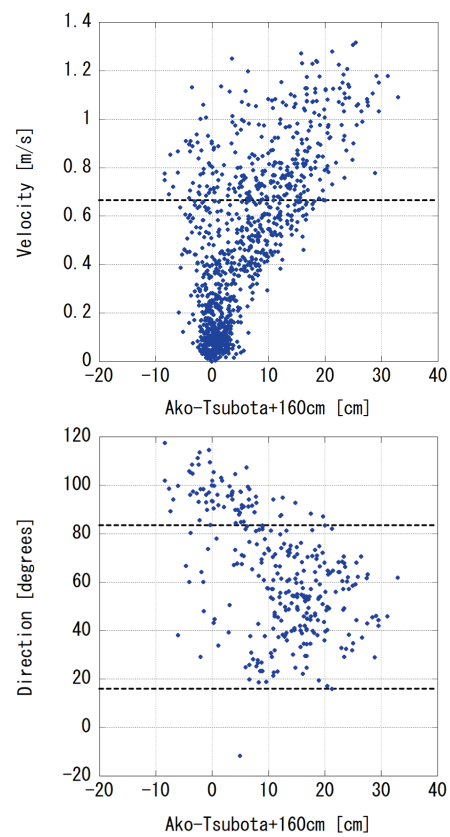
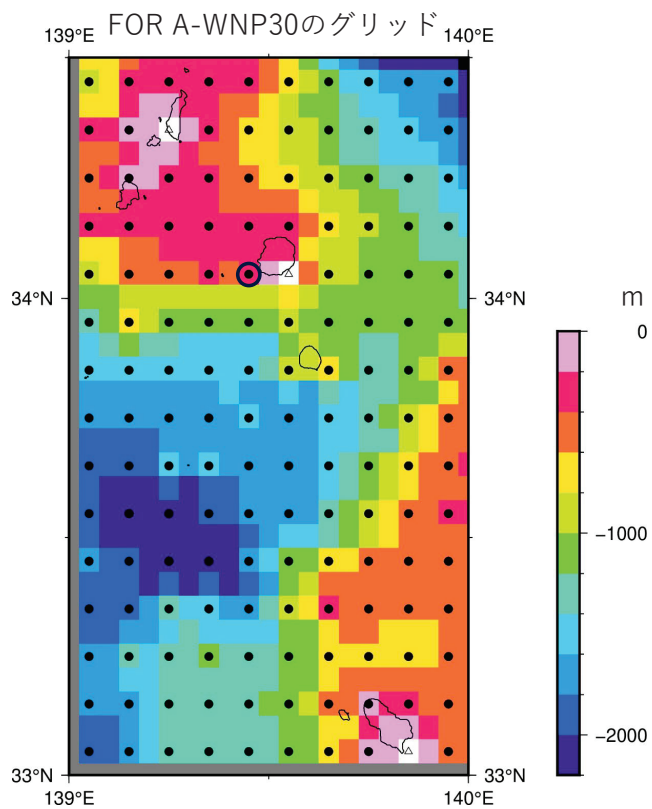
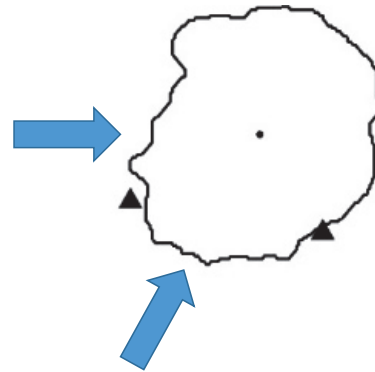
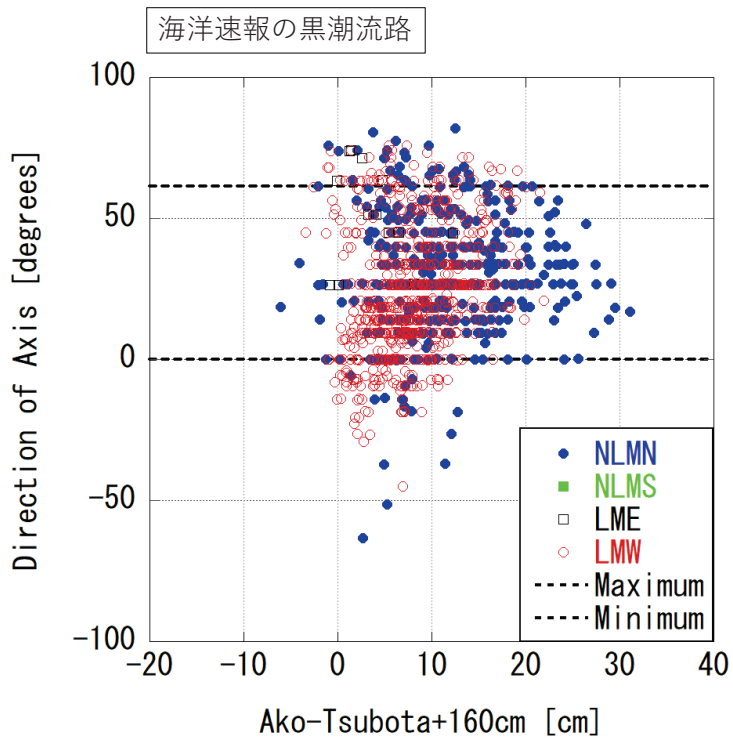


三宅島の中心から10km以内を通過した
表層漂流ブイの軌跡

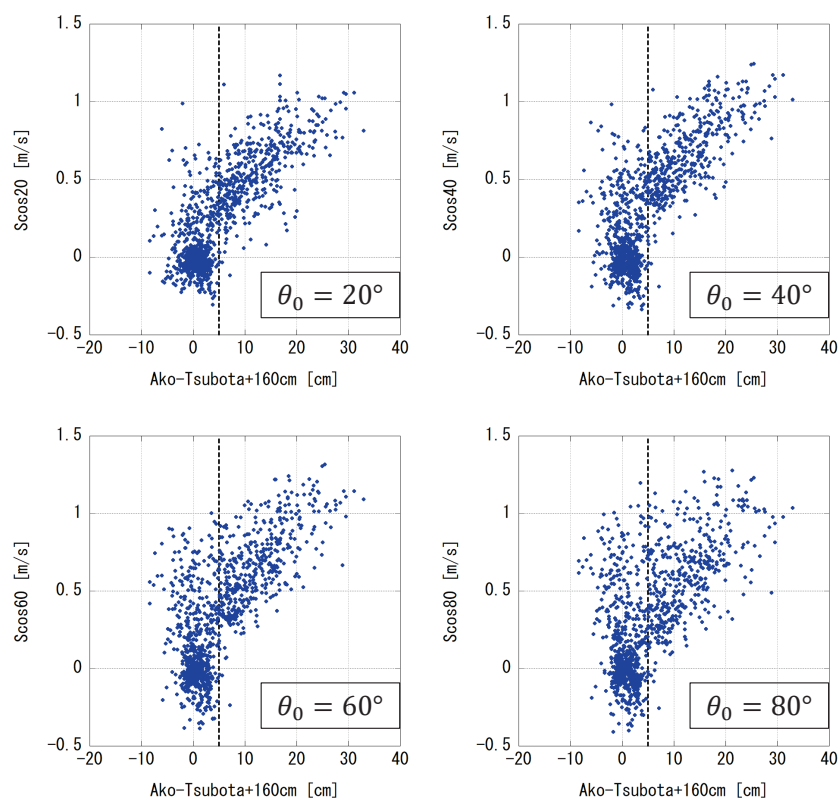


水位差と表層漂流ブイの流速

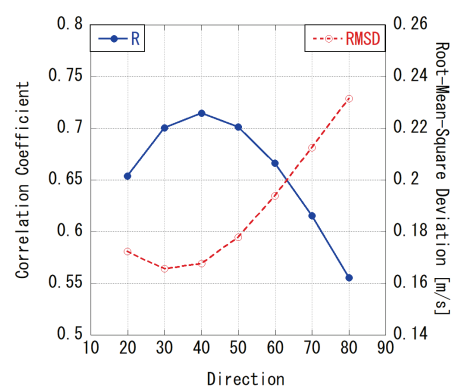




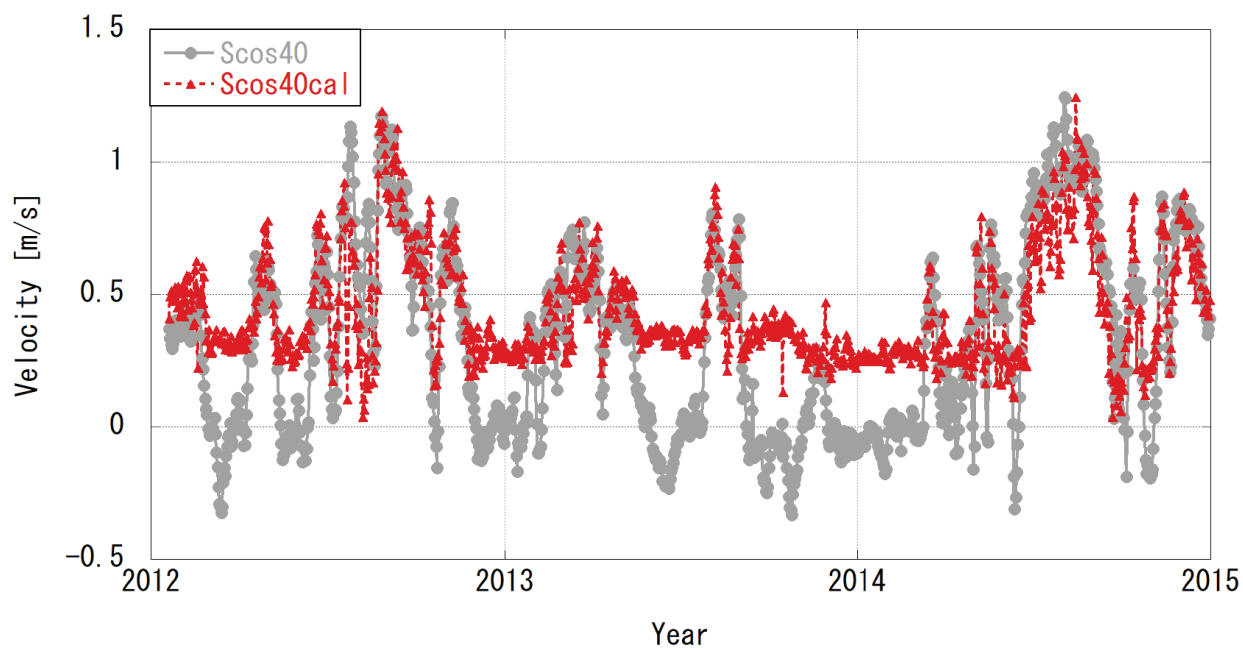
> 0.66m/s



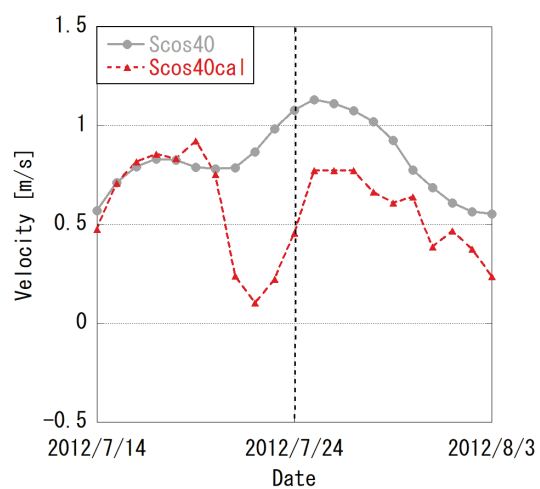
$$\zeta_{Ako} - \zeta_{Tsubota} = AS \cos(\theta - \theta_0) + B$$



水位差 (>5cm) と
 $S \cos(\theta - \theta_0)$ の相関係数と
 RMSD

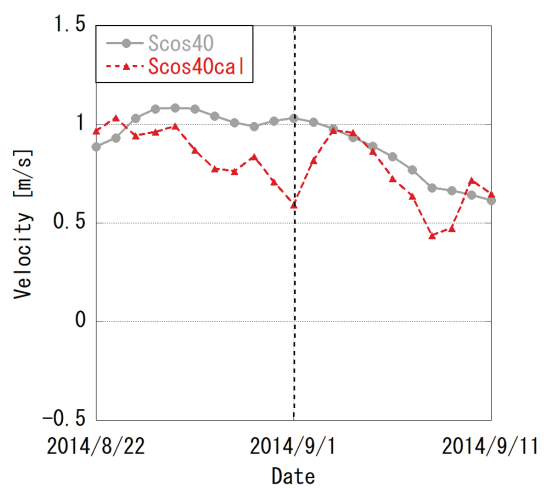
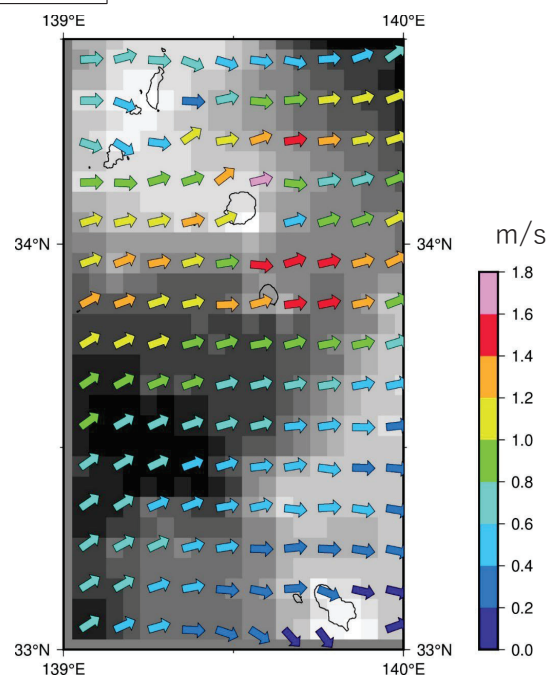


FORA-WNP30の三宅島西における表面流の40° 方向成分と水位差から換算した流れの40° 方向成分



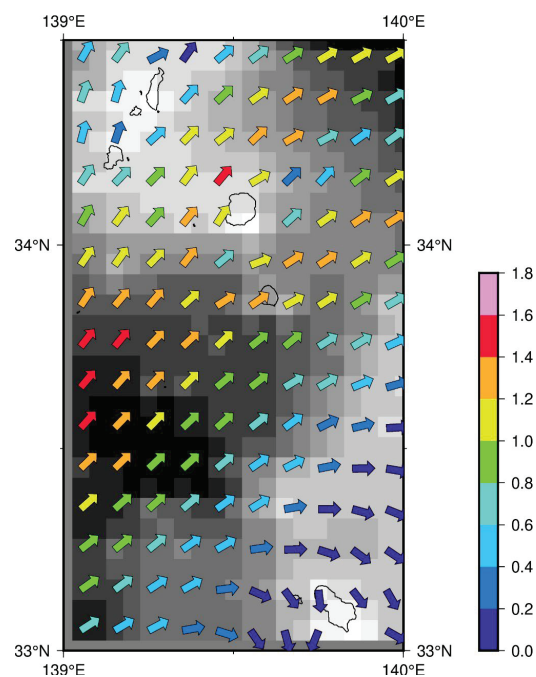
関東東海海況速報
／伊豆諸島海域

2012/7/24

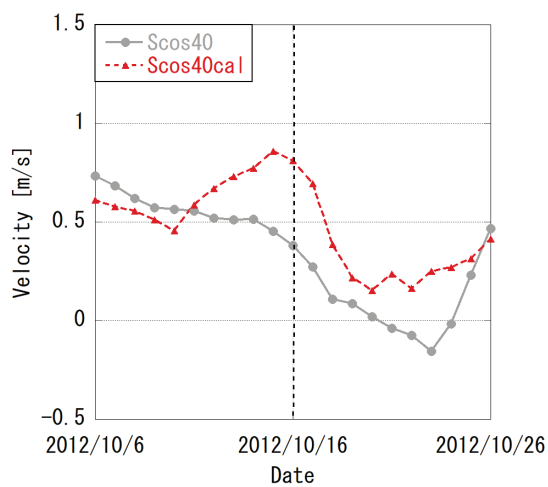


関東東海海況速報
／伊豆諸島海域

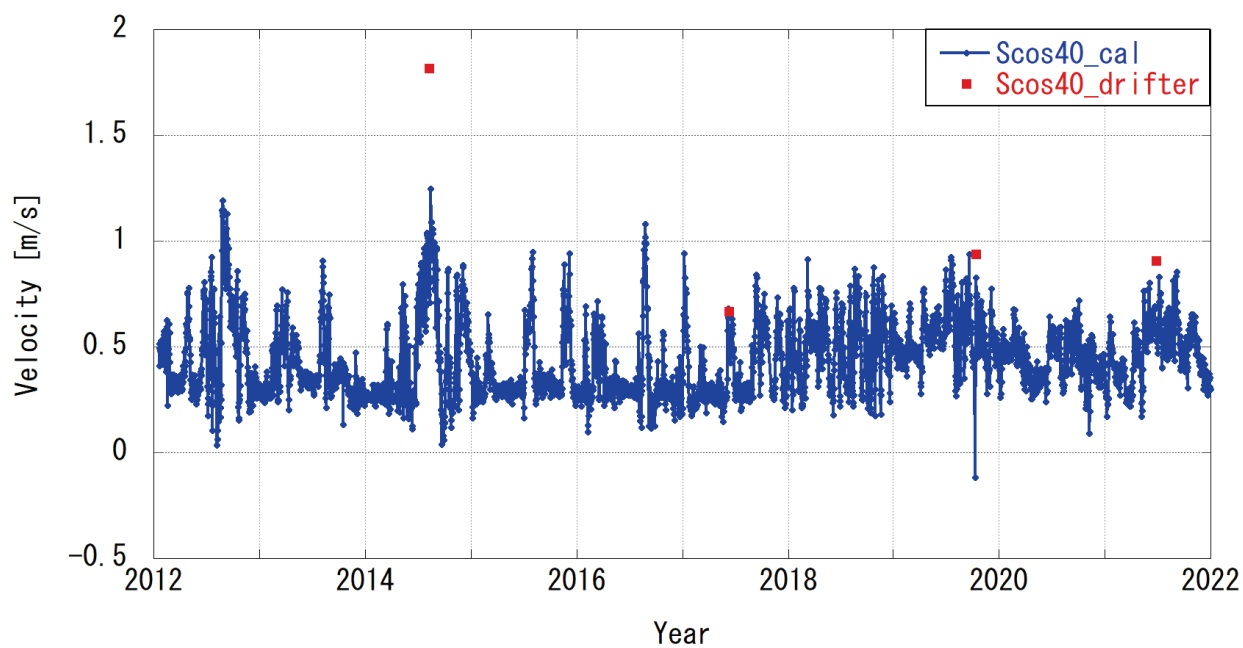
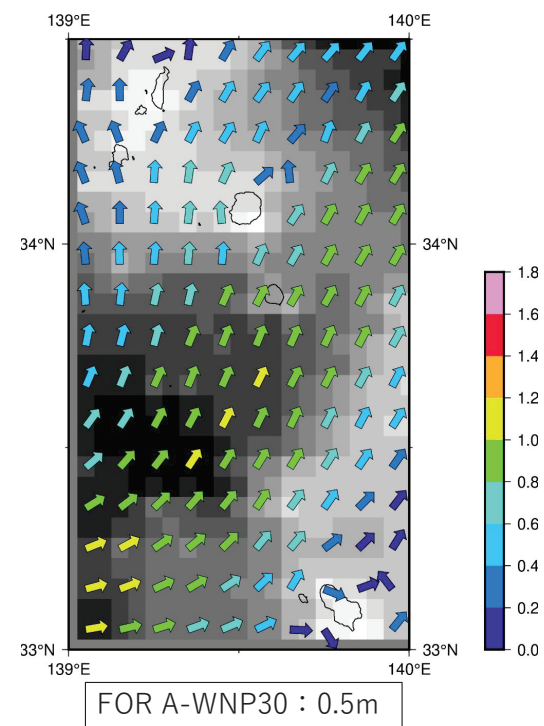
2014/9/1



2012/10/16



関東東海海況速報
／伊豆諸島海域



水位差から換算した流れの40° 方向成分と漂流速度の40° 方向成分

まとめ

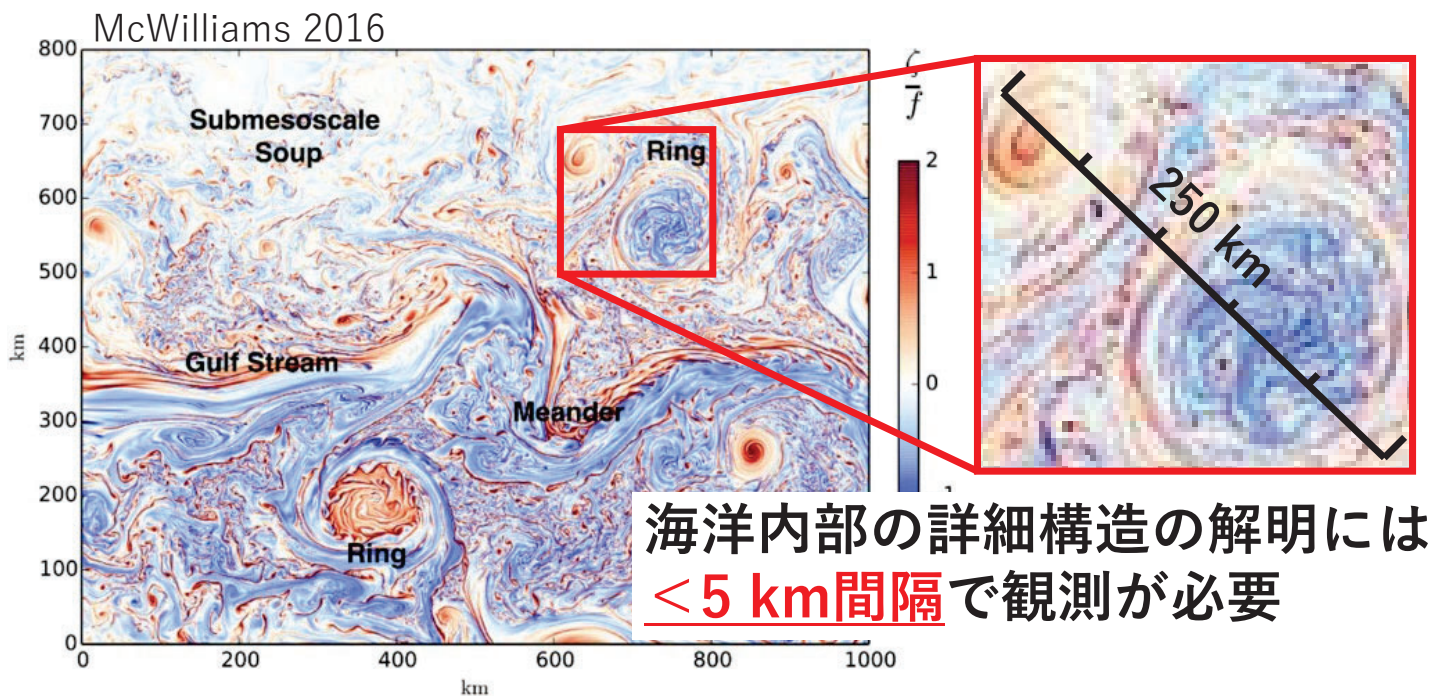
- 三宅島の西の阿古と南東の坪田の水位差と、三宅島の西の流れの $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 方向成分の相関が良い。
- 40° 方向成分は、非大蛇行北偏流路 (NLMN) で 1m/s を越えることがあるが、大蛇行西偏流路 (LMW) で 1m/s を越えることはない。

小型曳航式観測システム用 センサプロブの開発

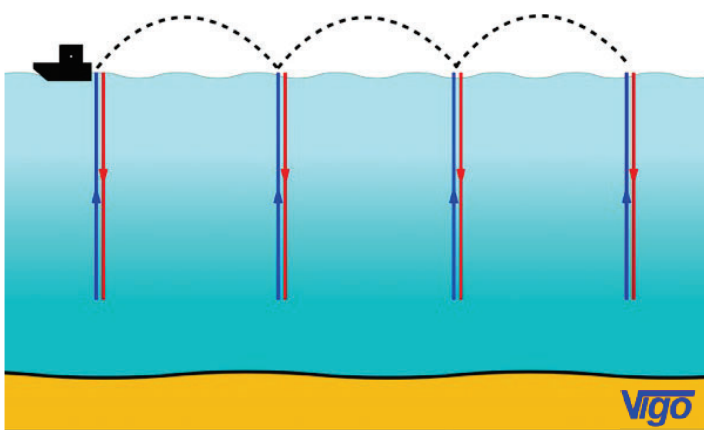
○長谷川大介・田中雄大

水研機構・資源研 塩釜庁舎 (旧東北水研)
寒流第2グループ

海洋のサブメソスケール構造（数百 m ～10 km）



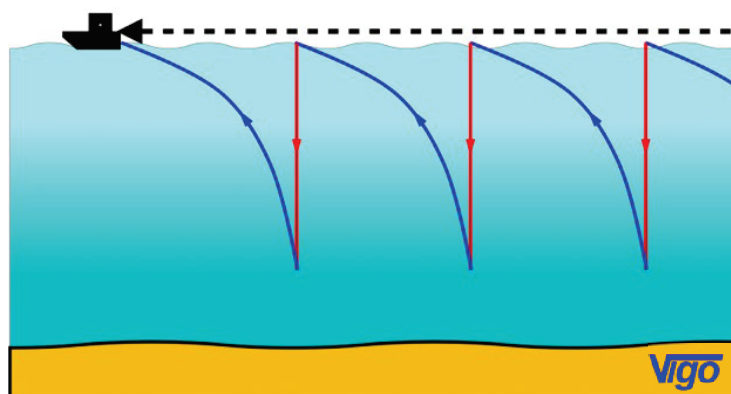
1) 通常のCTD観測



- ・ 頻繁な減速/加速
 - ADCPデータの処理が煩雑に
 - 船が嫌がる場合もある
- ・ 採水ができる



2) 航走しながらの連続CTD観測



- ・ 定速で高解像度の観測が可能
- ・ 機材によっては大掛かりとなる

MVP-300

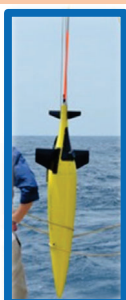
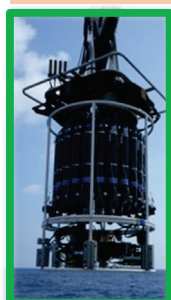


Underway CTD

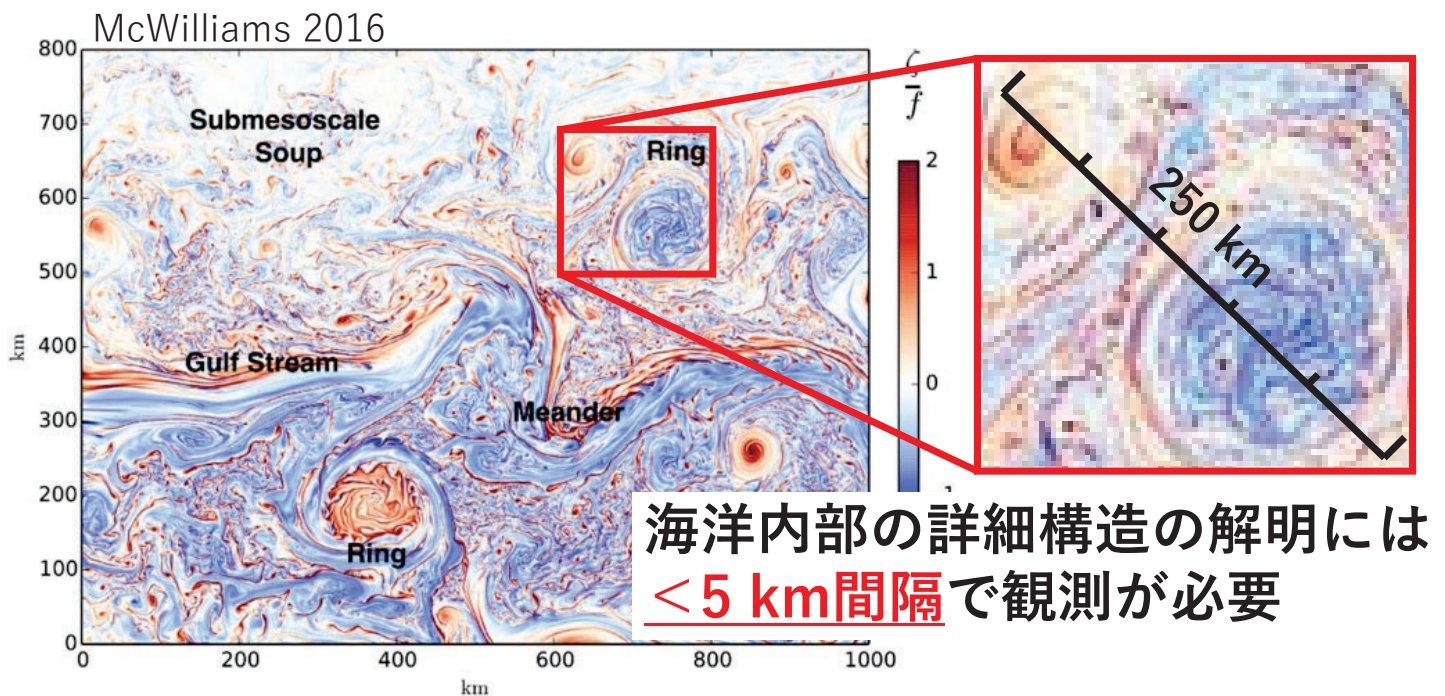


観測解像度などの特徴 (250 km x 500 m 観測する場合)

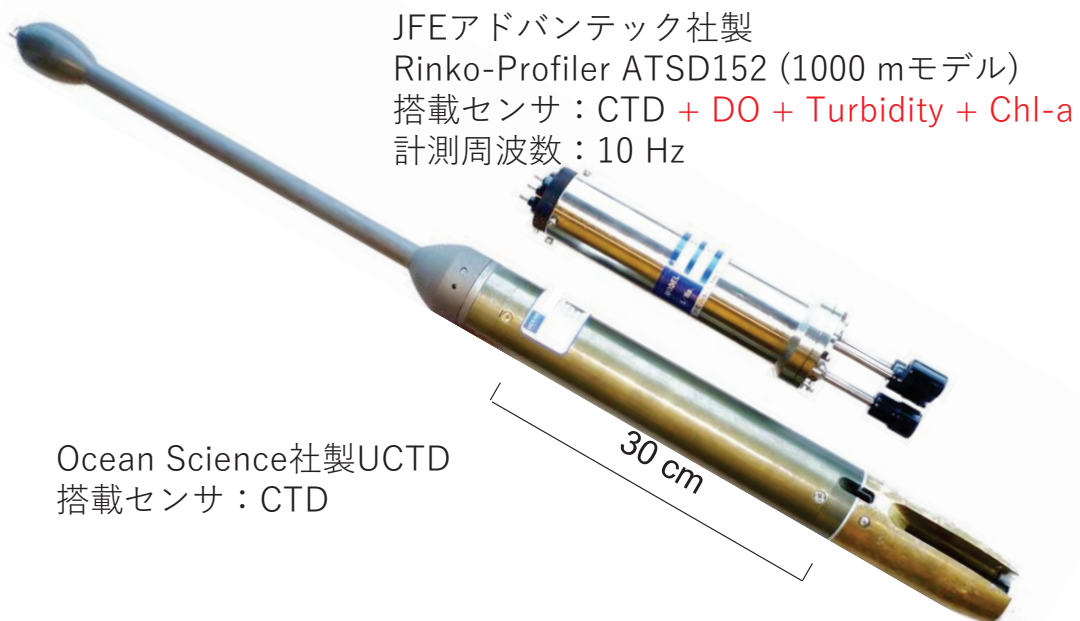
プラットフォーム	航行速度 [kts]	水平解像度 [km]	所要時間 [days]	機材の規模	多項目
通常のCTD観測	10	5 (任意)	1.6	大掛かり	◎
水中グライダー	0.5	1.4	10.7	小型 独立	◎
SeaSoar MVP-300	8	4.9	0.7	大掛かり	◎
Underway-CTD	8	3.7	0.7	小型	CTDのみ



海洋のSub-Mesoscale（数百 m ～10 km）構造



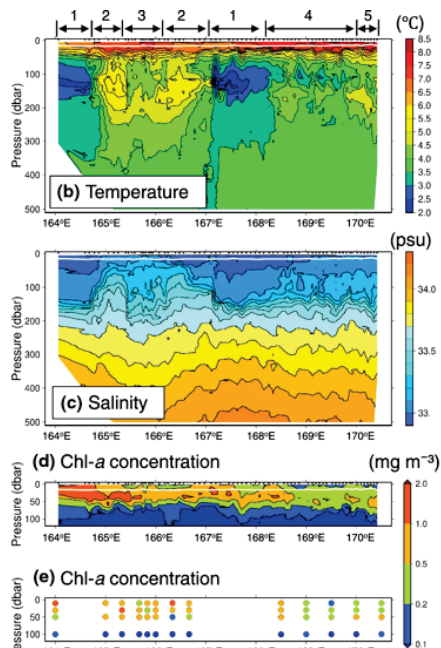
UCTDシステムで多項目観測を実現したい



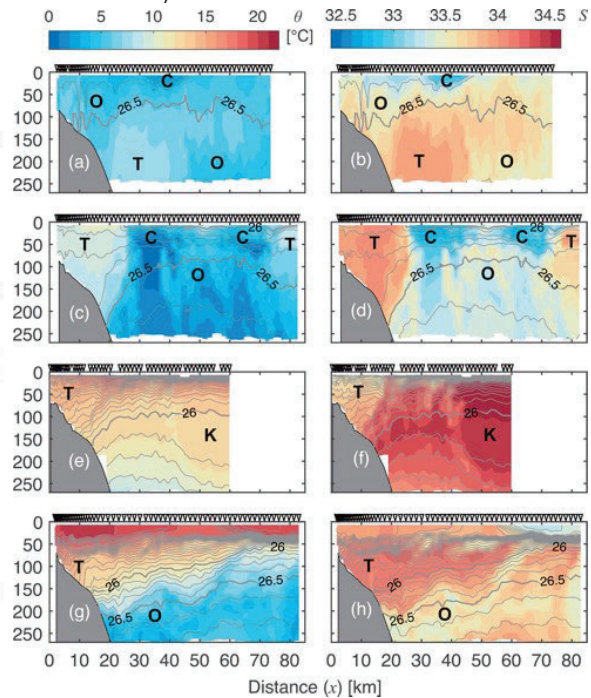
Presentation Venue / Date & Time

最近になって論文化されはじめた

Dobashi et al., 2021



Itoh et al., 2022



一方で、プローブに関する技術論文は出版されていない
本日のトピック：

- ・ 各種センサの応答速度と高速落下の影響
- ・ 塩分スパイクの処理
- ・ 糸巻きが面倒 → 重量増加により糸巻きを不要に
- ・ 曳航時の姿勢について

塩分スパイクはT-C両センサの応答特性が分かれば補正できる！
(Lueck & Picklo 1990)

$$S(t) = \text{Salinity}(P(t), T(t - \text{lag}), h(t) * C(t))$$

C-Tのセンサの
位置の違いにより
生じる計測時間差



Cの応答速度をTの応答速度に
合わせるためのフィルタ



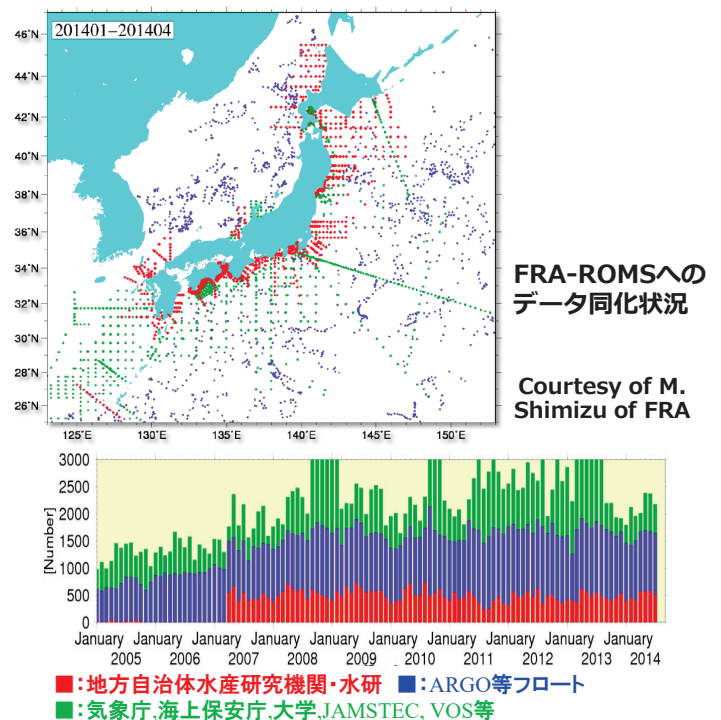
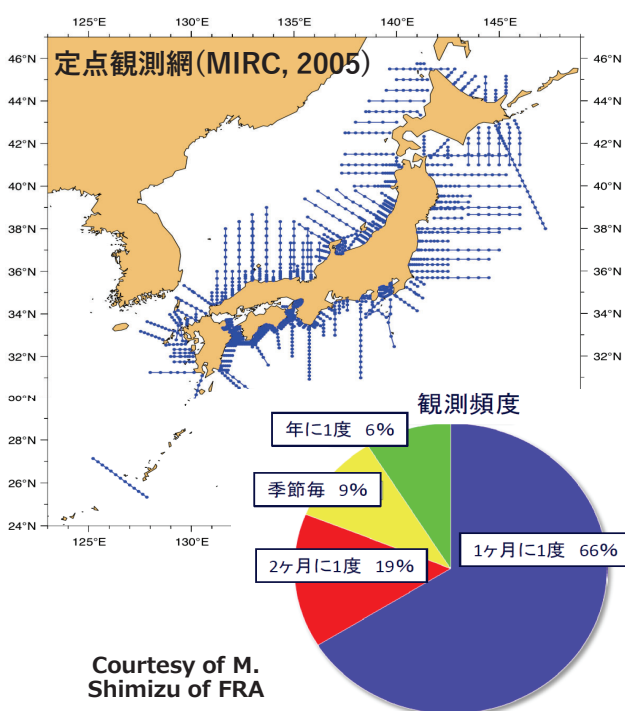
発表内容から論文公表前の内容を削除しております。

ご興味がある方は、長谷川 (daisukeh (at) affrc.go.jp) まで、
ご連絡ください。

東北太平洋沖における魚探グライダーによる海洋モニタリング

田中雄大・長谷川大介・奥西武
(水産研究・教育機構 水産資源研究所 塩釜庁舎)

水産試験研究機関による船舶海洋モニタリング



海洋モニタリングデータの 漁場予測への活用



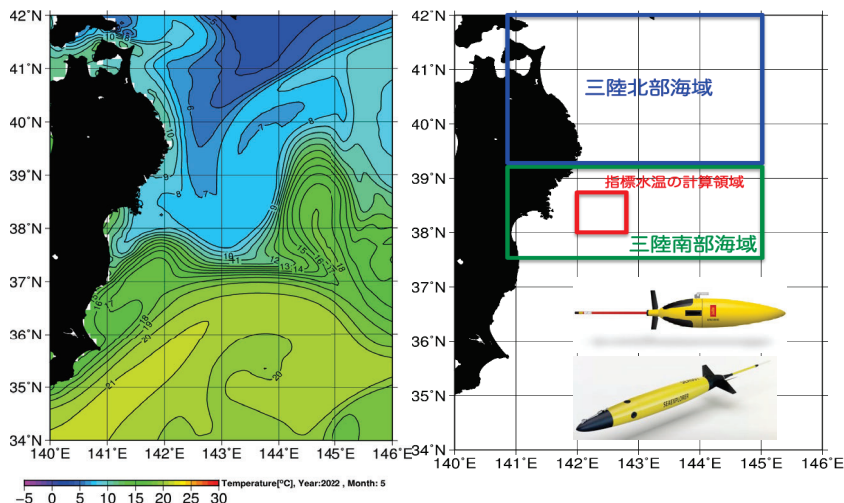
2022年度 東北近海の8月～10月のマサバ漁場予測



このサイトは、東北近海（三陸海域）の8月～10月のマサバ漁場を予測情報を提供しています。
次の1)に「本年の予測」、2)に「予測に用いる指標水温」、3)に「本年5月上旬の水温（現況）及び平年値との比較水温」、4)に「予測海域の説明」を示しています。

春季の水温 → 水温と漁場分布の関係（経験則）
→ 夏季～秋季の漁場分布傾向の予測
（奥西ほか、2020）

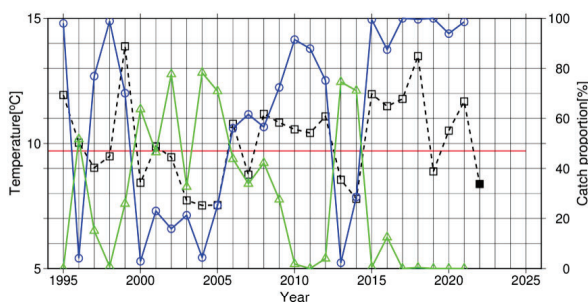
FRA-ROMS II による5月水温（0-50m 深度）



1) 漁場予測（8月～10月）：2022年6月24日発表

本年の夏季～秋季は、**三陸南部海域**が主漁場となりやすい水温環境です
（三陸北部海域 < 三陸南部海域）

2) 指標水温の時系列変化

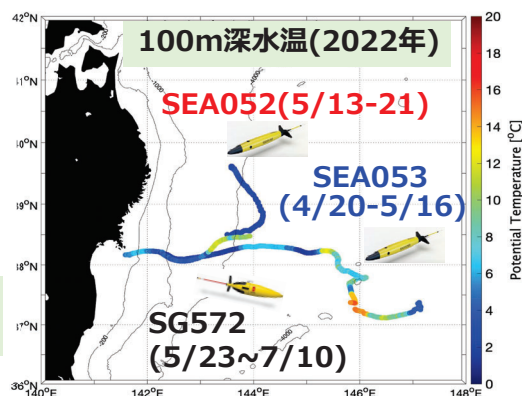
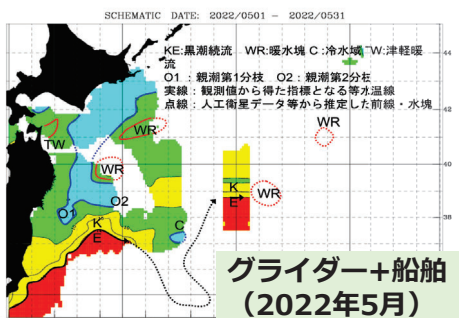
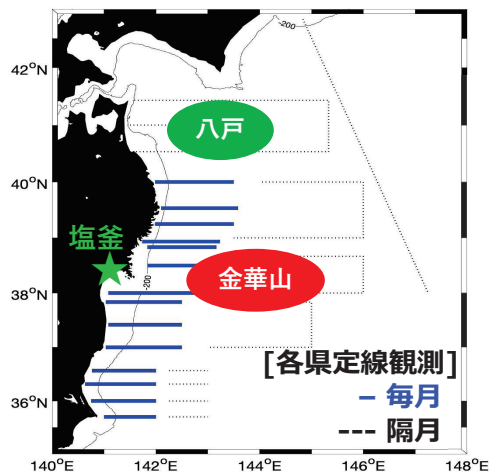
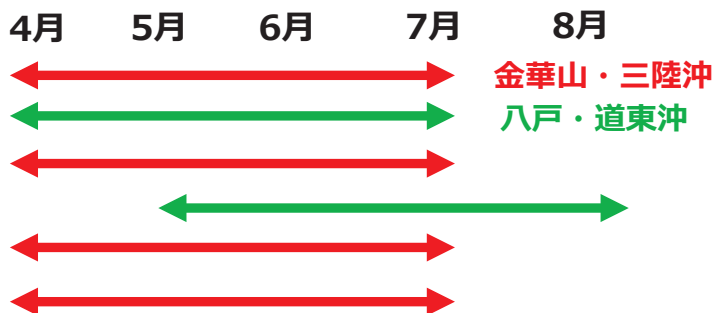


黒破線（○、●）は、指標となる金華山沖（38-38.75N, 142-142.75E）の5月上旬の水温（0-50m深度）の年変動を示します。
●は本年の値です。青線（三陸北部海域）、緑線（三陸南部海域）は過去の東北近海におけるマサバ漁獲量の海域別の比率を示します。赤線は基準水温（9.7°C）を示し、高水温年は三陸北部海域、低水温年は三陸南部海域の漁獲が多くなる傾向を利用して、漁場予測をしています（詳細は奥西ら2020を参照）。
水温データは、海況予測システムFRA-ROMSを利用しています。

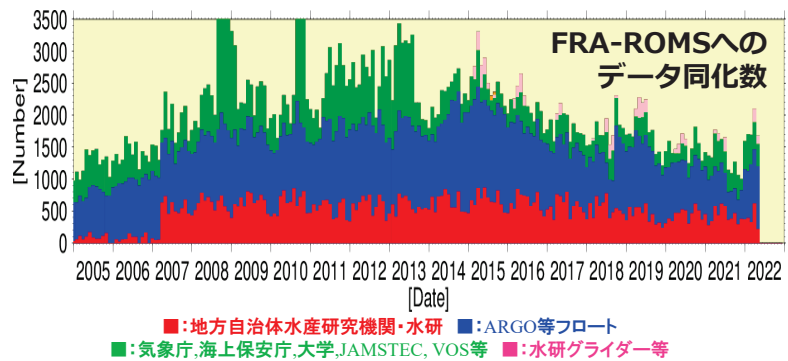
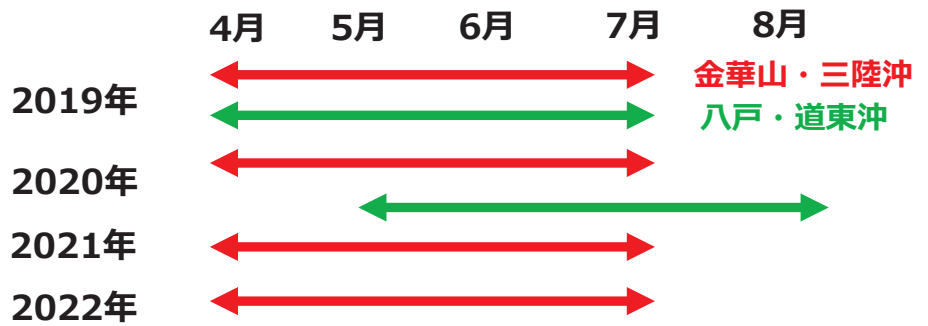
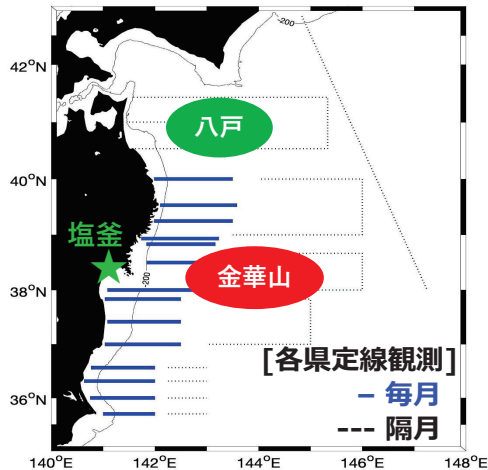
水中グライダーによる海洋モニタリング実施状況



2019年
2020年
2021年
2022年



水中グライダーによる海洋モニタリング実施状況



水中グライダーによる資源海洋モニタリングに向けた取り組み

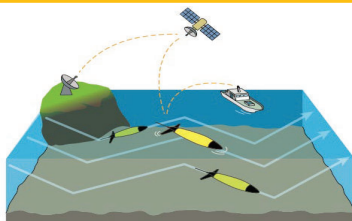
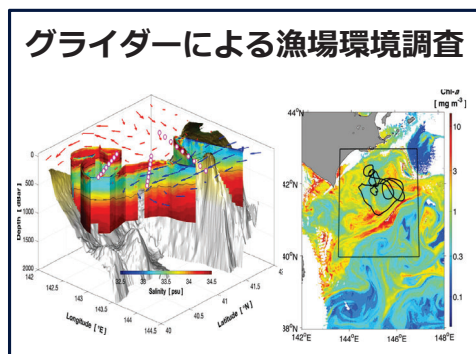


図 水中グライダーによる観測の概念図



モニタリングの高度化

- ・ 自動管制技術 → 省力化・拡大
- ・ 大量データ → 時空間解像度up
- ・ 新規センサ → 調査の多角化

- 海況予測の高精度化
- 浮魚漁場の中短期予測
- 漁場形成過程の解明
- 資源分布の把握

三陸沖フロント域など漁場周辺での浮魚の餌生物分布や、それを支える低次生産構造・栄養塩動態を把握するための、グライダーモニタリング体制の構築が課題

Ecosystem Monitoring by Ocean Gliders

Physical
Properties

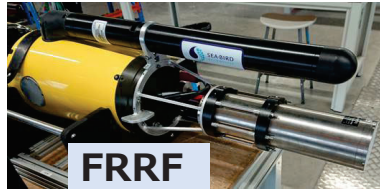
Phytoplankton

Zooplankton

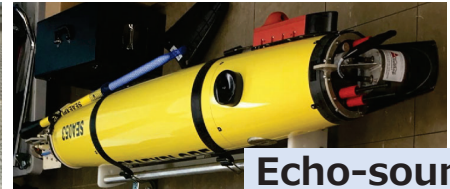
Fish



Turbulence
+ Nitrate



FRRF



Echo-sounder



4 SeaExplorers in FRA

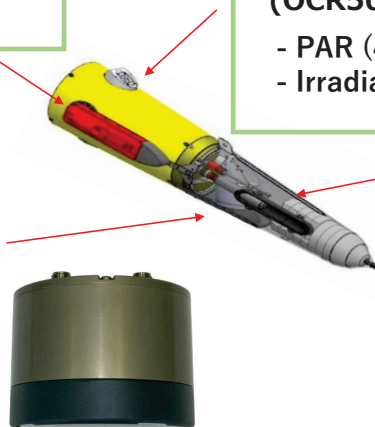
Acoustic Glider Configuration

CTD (LEGATO, RBR)
- Unpump
- 1Hz

**Optical sensor
(OCR504, Sea-Bird Scientific)**
- PAR (400 – 700 nm)
- Irradiance (380 nm, 490 nm and 532 nm)

**Echo-Sounder
(IMAGENEX 853, IMAGENEX)**

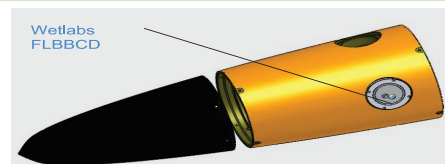
- Operating frequency: 120 kHz
- Transducer beam angle: 10°
- Pulse length: 10 μ s
- Ping rate: 0.25 Hz
- Range bins: 200 bins
- Max detectable range: 100 m (bin interval: 0.5 m)



**Dissolved oxygen sensor
(AROD_FT, JFE Advantech)**



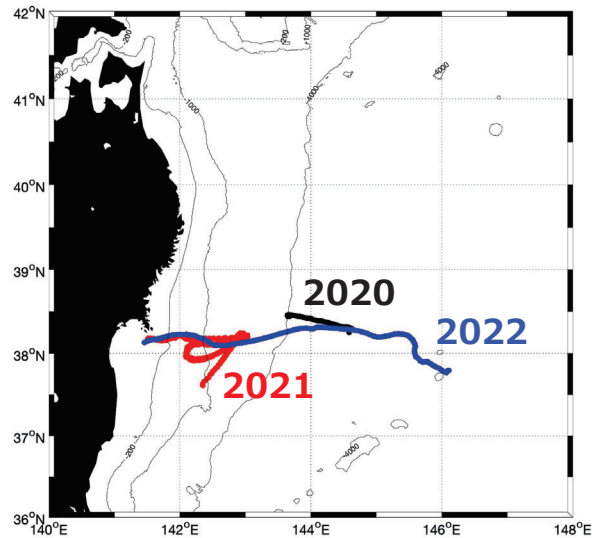
**Optical sensor
(ECO Puck FLBB CD-EXP, Wetlabs)**
- Chlorophyll fluorescence (exc/em 470/695 nm)
- Backscattering (700 nm)
- CDOM fluorescence (exc/em 370/460 nm)



Acoustic Glider Mission



2020: 5/10 ~ 5/15
 2021: 4/28 ~ 5/18
 2022: 4/20 ~ 5/2



【目的】

- ・ 春季東北沖海域における音響散乱特性を明らかにする。
- ・ 音響散乱特性と海洋環境との関係を明らかにする。

Acoustic Data Process

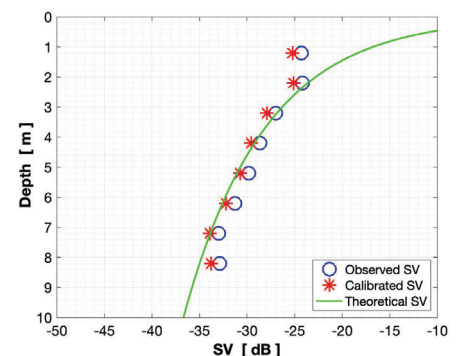
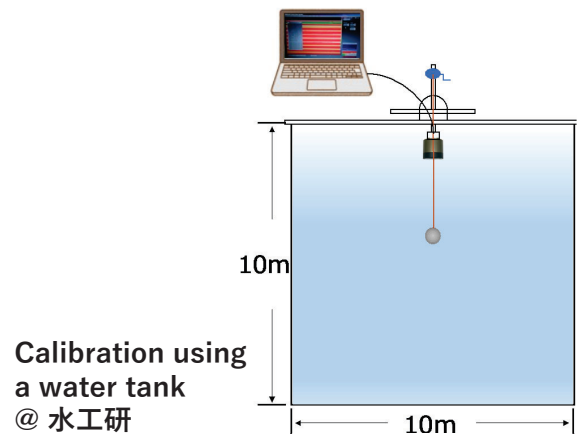
平均体積後方散乱強度, S_v :

SONAR Equation (Urlick, 1983; Guihen et al. 2014):

$$S_v = RBV + 20 \log_{10} R + 2\alpha R - (SL + RR) - 10 \log_{10} \frac{c\tau}{2} - 10 \log_{10} EBA - C - g$$

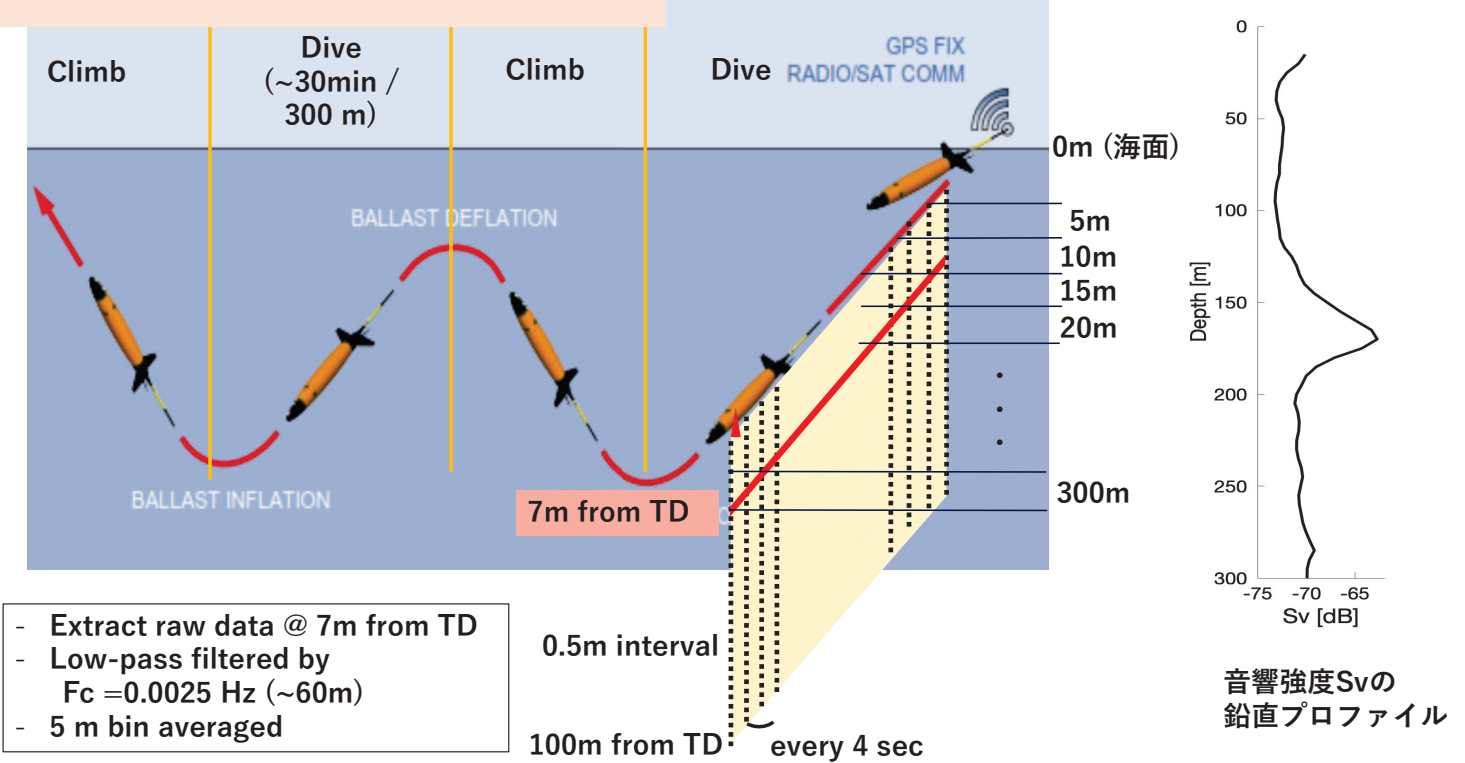
R: range (m),
 α : absorption coefficient (dB/m),
 SL: transducer source level (=210.7 dB re 1 μ Pa at 1m),
 RR: transducer receiving response (= -184.6 dB re 1V/ μ Pa),
 c: sound velocity (m/s),
 τ : pulse length (s),
 EBA: equivalent beam angle (=0.0172 steradians),
 g: gain (=41.5 dB),
 C: calibration constant (=1.26 dB)

以降のスライドでは、 S_v を「音響強度」と表記

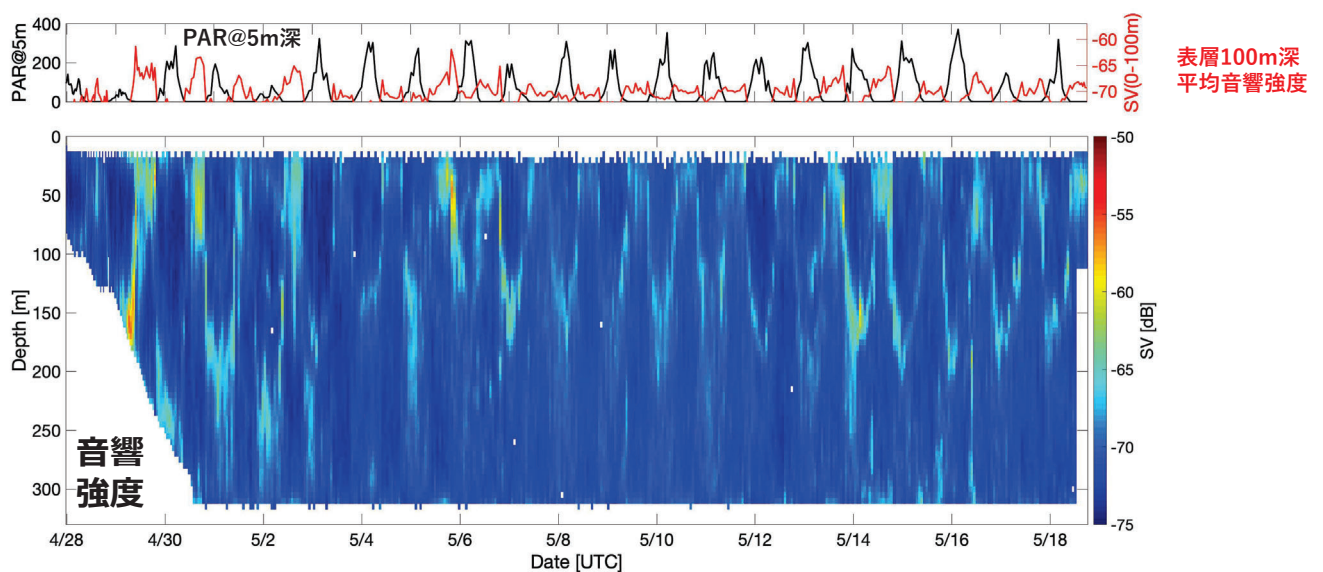


呂, 長谷川ほか (2021, 海洋音響学会)

Acoustic Data Process

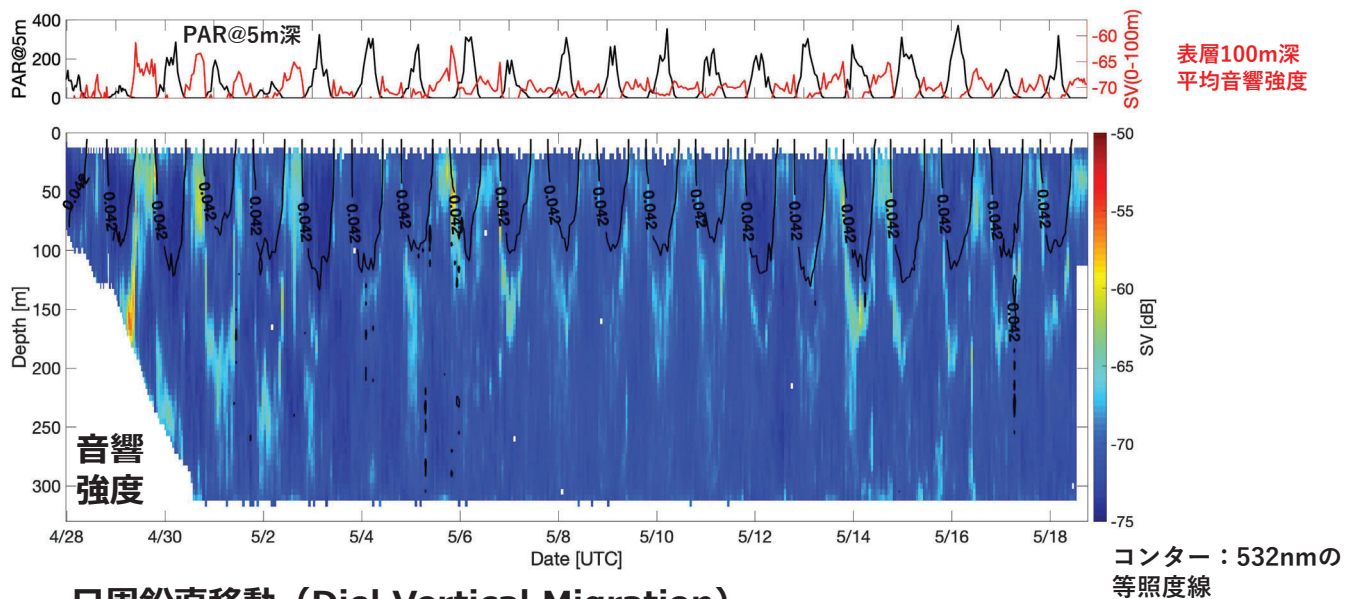


音響散乱強度 (2021年)



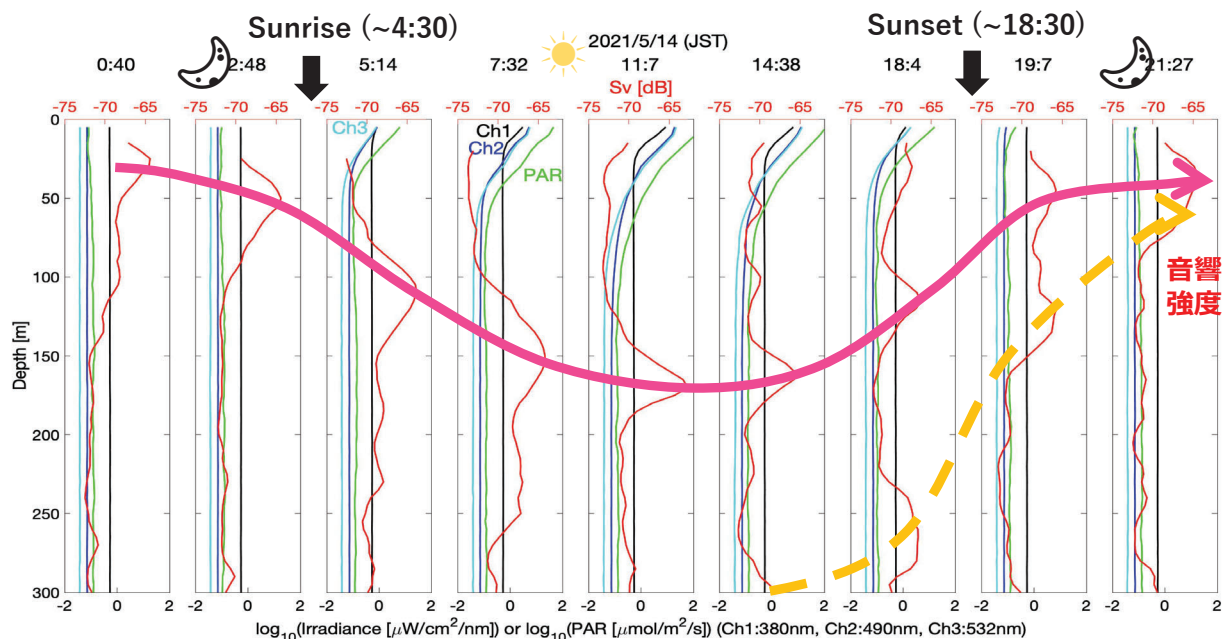
- ・ 日周鉛直移動 (Diel Vertical Migration)

音響散乱強度 (2021年)



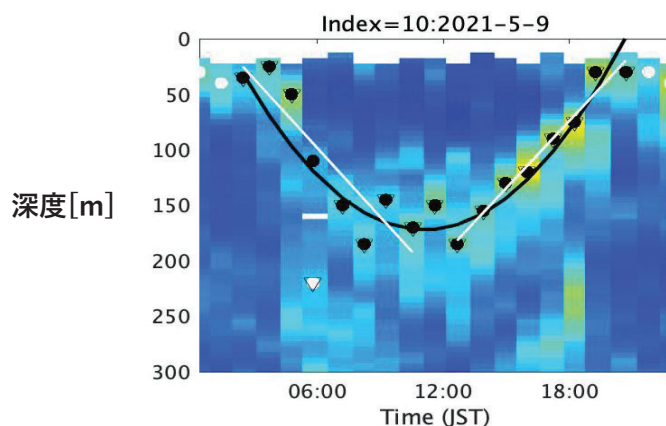
- ・ 日周鉛直移動 (Diel Vertical Migration)
- 照度変化と関係

音響散乱強度と照度プロファイル

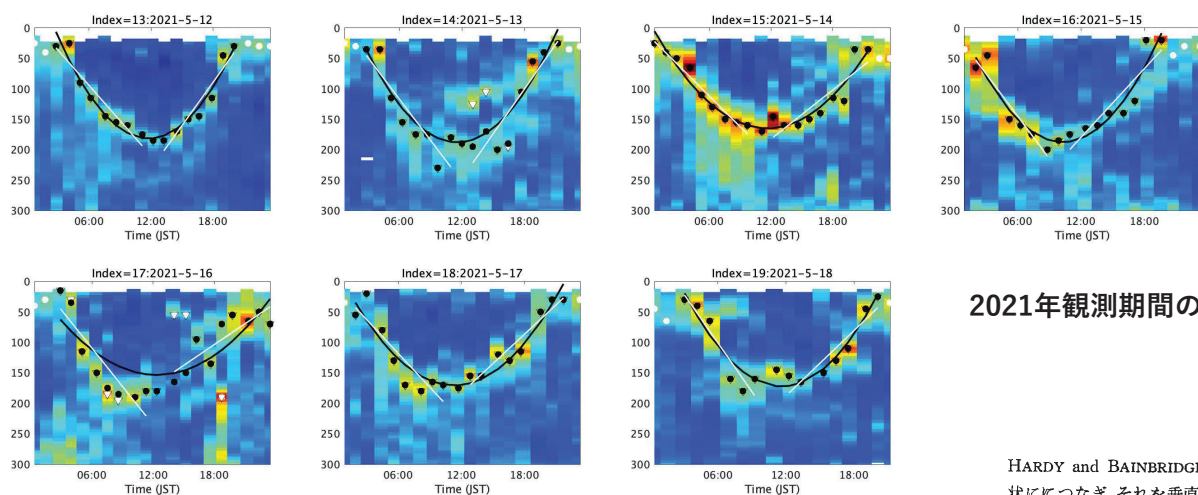


- ・ 照度は、70~80m深で検出限界に近づく

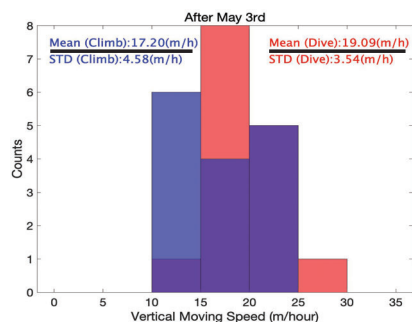
日周鉛直移動の軌跡の抽出



- ⑩日周鉛直移動の特性として、昼は深いところ、夜は浅いところにいるはず。
 → Sv_maxを求める際、夜（20~28時）の90m以深、昼（10~16時）の50m以浅は、考慮しない。
 また、DSL除くため、250m以深は、考慮しない。
 ①各キャストでSvの最大点（Sv_max）を抽出（●と○）
 ②Sv_maxが50mより浅くなるキャストを、日周鉛直移動開始・終了とし、その直前・直後の1キャストを含めて、日周鉛直移動の軌跡とする（▽）。
 ③得られた軌跡に対して、最小2乗法により、2次関数をフィッティング（黒曲線）
 ④得られた曲線の上下50m内でのSv_max点を抽出し、最終的な軌跡とする（●）
 ⑤2次曲線の頂点を境に、下り・上りに分け、各々線形フィッティング（白直線）
 ⑥得られた直線から、降下・上昇速度を計算



2021年観測期間の後半



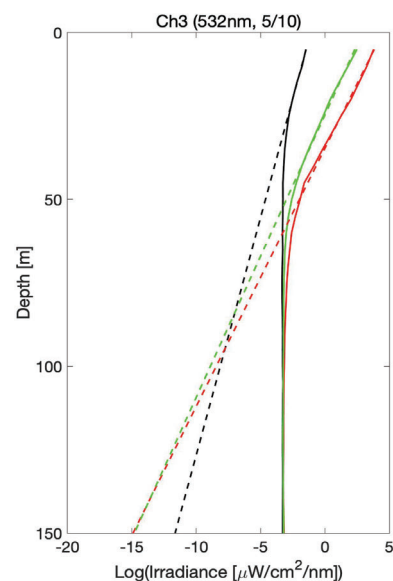
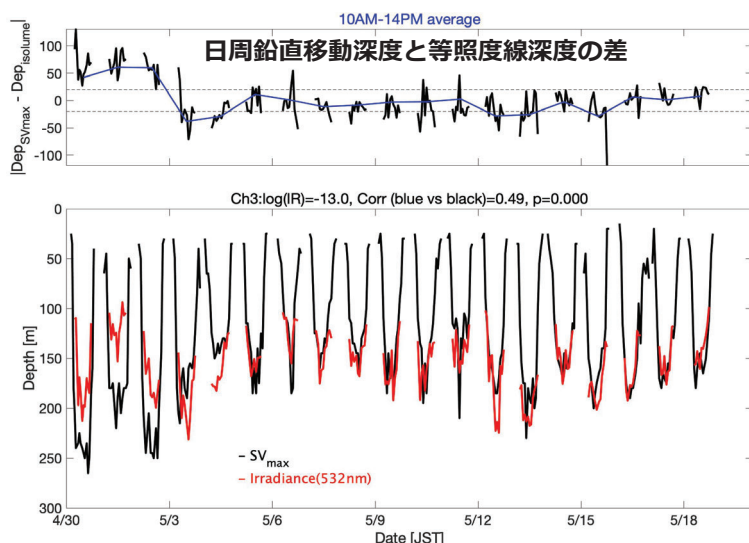
HARDY and BAINBRIDGE (1954) は長い透明角筒を輪状につなぎ、それを垂直にたてて、中に入れた動物プランクトンが上昇又は下降するとともに輪を回転させて無限通路の中での動物プランクトンの移動速度を測った。光の条件を適当にして、Calanus は平均 28 m/hr で上昇し、47 m/hr で下降し、Meganctiphanes は平均 93 m/hr で上昇し、128 m/hr で下降することを記録している。

元田(1972)

cf. カイアシ類：10~168 m/hr
 オキアミ類：100~200 m/hr
 (Lalli and Parsons, 1993(教科書))



日周鉛直移動を再現する等照度線の抽出



・照度は、 $I(z) = I_0 e^{-K_d \cdot z}$ のように、指数関数的に減衰

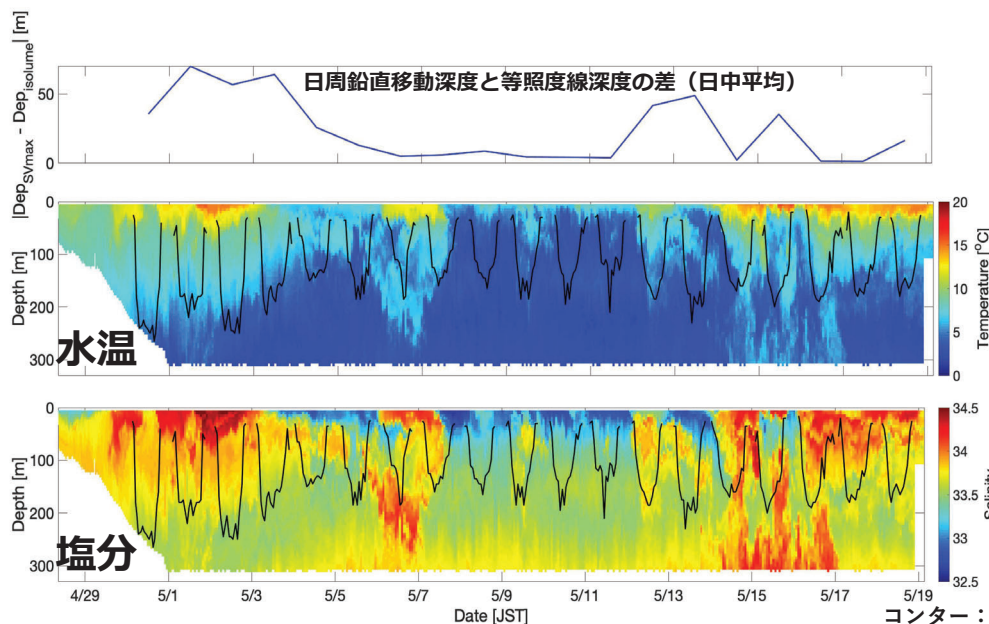
→ $\log(I) = \log(I_0) - K_d \cdot z$

より、照度計データから、各キャストでの鉛直消散係数 K_d と I_0 を計算し、外挿（右図）

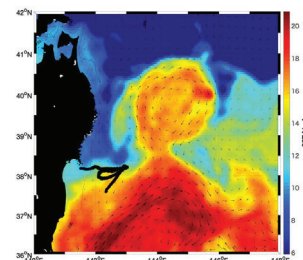
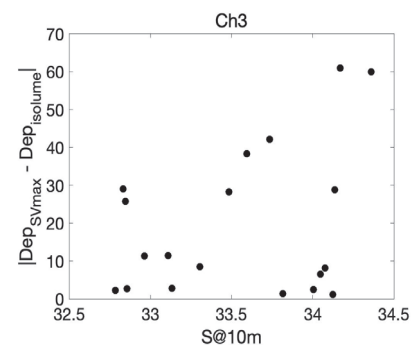
・求めた K_d と I_0 から、音響散乱の日周鉛直移動を最もよく再現する等照度線を算出

→ 532nmの場合、 $\log(I) = -13.0$ [$\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$]が最適 ($r=0.49$, $p<0.01$)

水塊分布との関係(2021年)

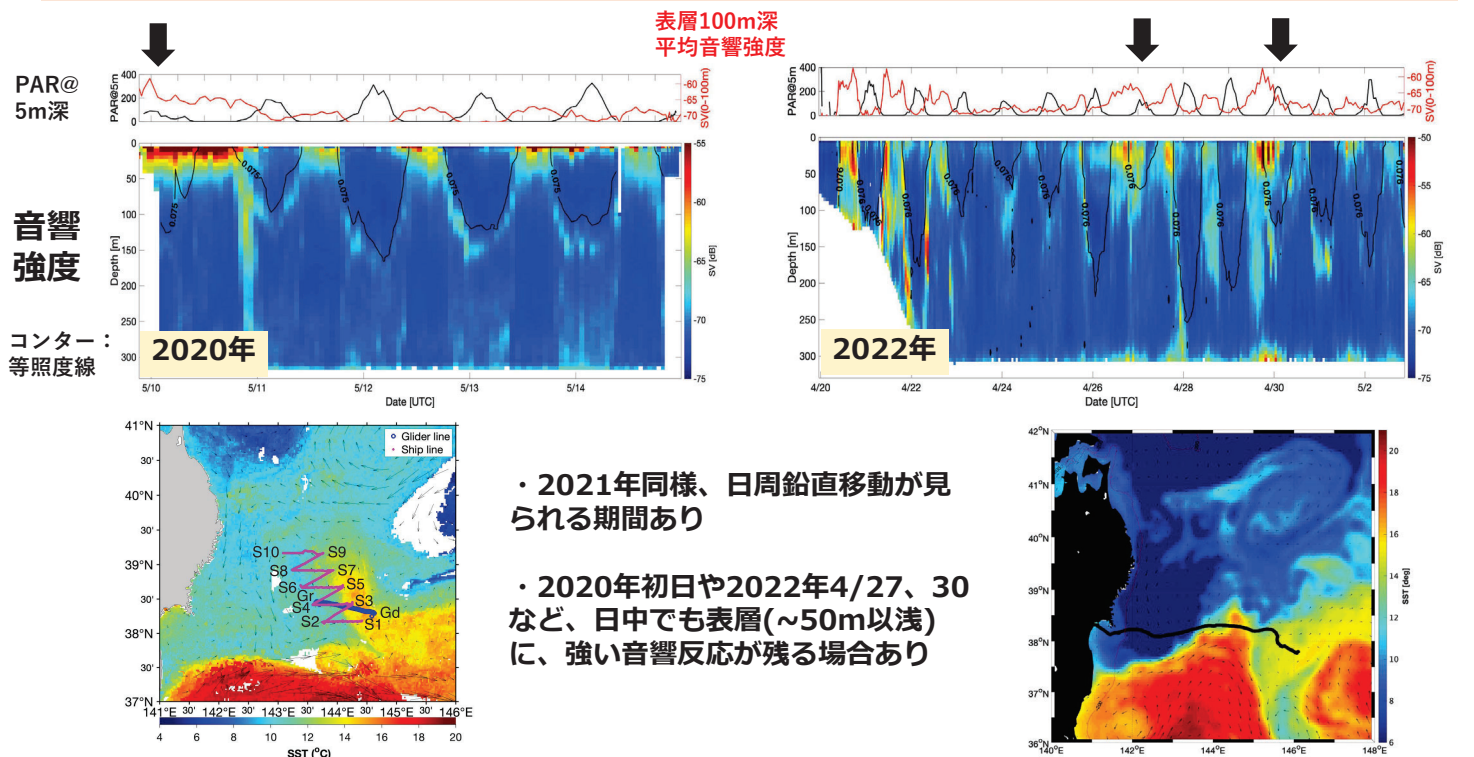


コンター：音響から得た
日周鉛直移動の軌跡

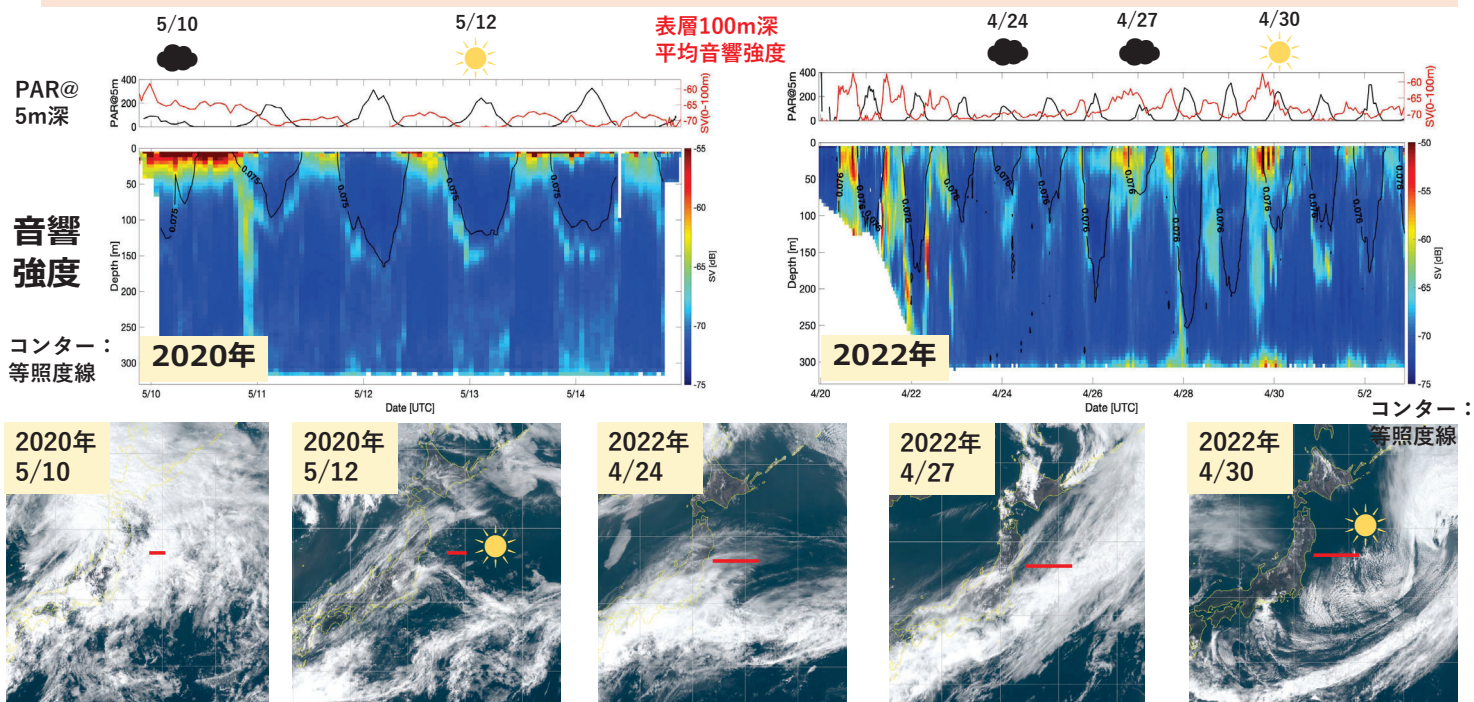


- ・黒潮(続流)から派生した高温高塩分水が、金華山沖まで波及
- ・陸棚や黒潮系暖水周辺で、等照度線と日周鉛直移動の軌跡のずれが大きくなる傾向

2020/22年魚探グライダー観測



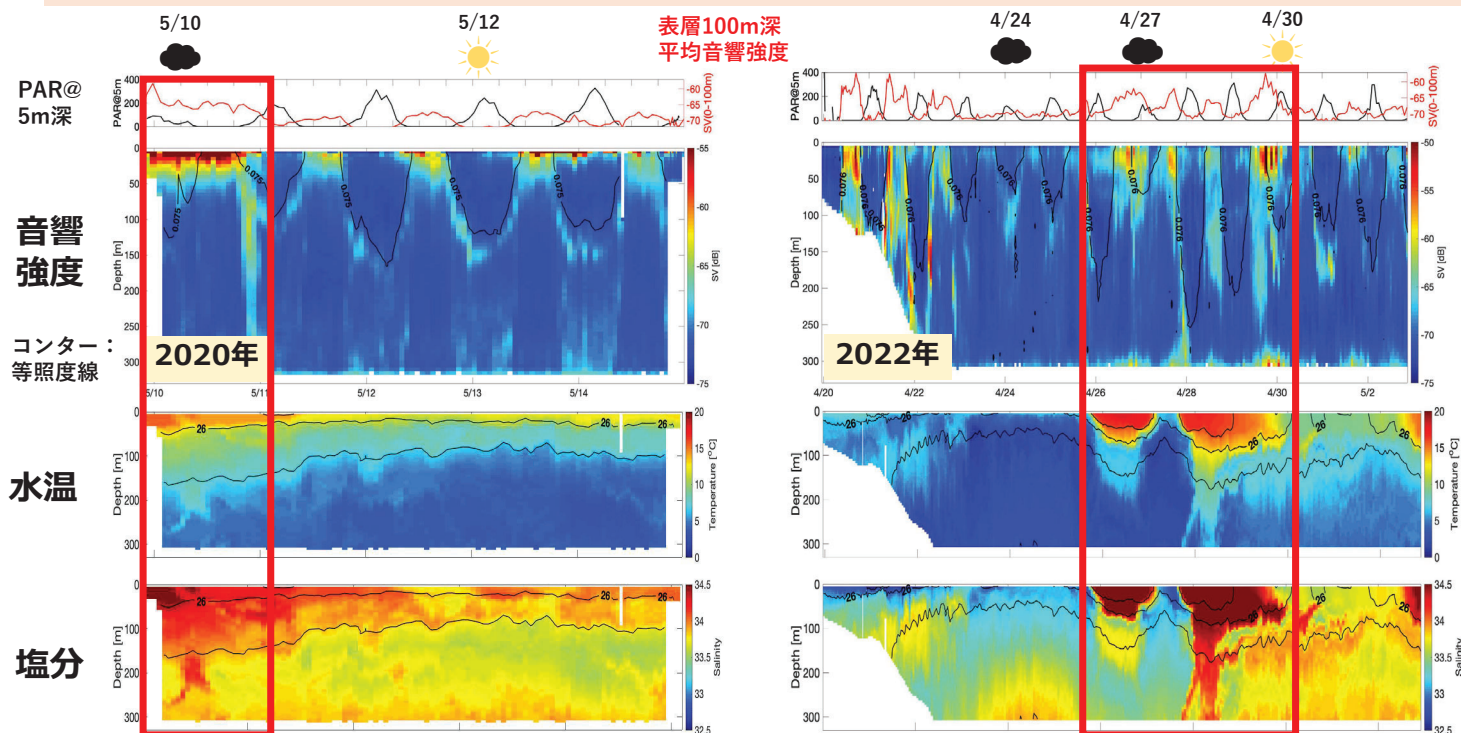
2020/22年魚探グライダー観測



・2020年初日、観測海域は曇天

・2022年4/27は曇天、4/30は晴天だが、ともに日中表層の反応あり
・2022年4/24は曇天だが、日中表層の反応なし

2020/22年魚探グライダー観測



・黒潮系暖水域では、日中でも表層に音響反応が残る傾向

まとめと今後の課題

- ・春季東北太平洋沖において、魚探を搭載した水中グライダーによるモニタリング調査を、2020年に開始した。
- ・音響散乱強度の鉛直ピークが日周鉛直移動する様子が見られ、通常、昼間は、（照度センサーの下限值以下となる）光が届かない下層へ移動していた。
- ・この音響反応が、動物プランクトンを反映しているとする、潜行速度から小型カイアシ類の可能性が考えられた。また、照度と潜行水深の関係は、陸棚上や高塩分の黒潮系水塊が覆う海域と、それ以外の海域で異なる特徴を示した。
- ・一方、（特に2020年や2022年は）昼間でも表層に強い音響反応が見られる場合があった。日中の照度（＝曇りor晴れ）だけでなく、高塩分の黒潮系水塊の出現とも関連している可能性が考えられた。

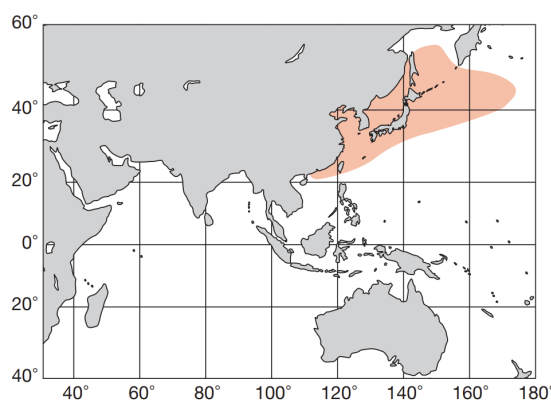
対馬海峡に発生する季節性潮汐流 とスルメイカ南下との関係

○山口忠則（九大院総理工）、広瀬直毅（九大応力研）

スルメイカ (*Todarodes pacificus*)



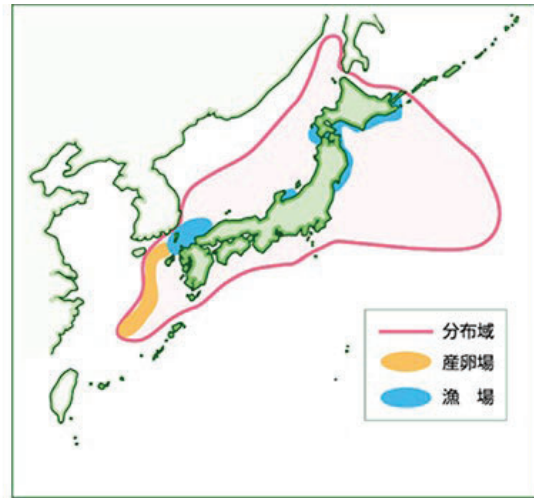
- 軟体動物 貝類など
- 頭足類 イカやタコ、オウムガイ
- 寿命 1年未満



スルメイカの分布



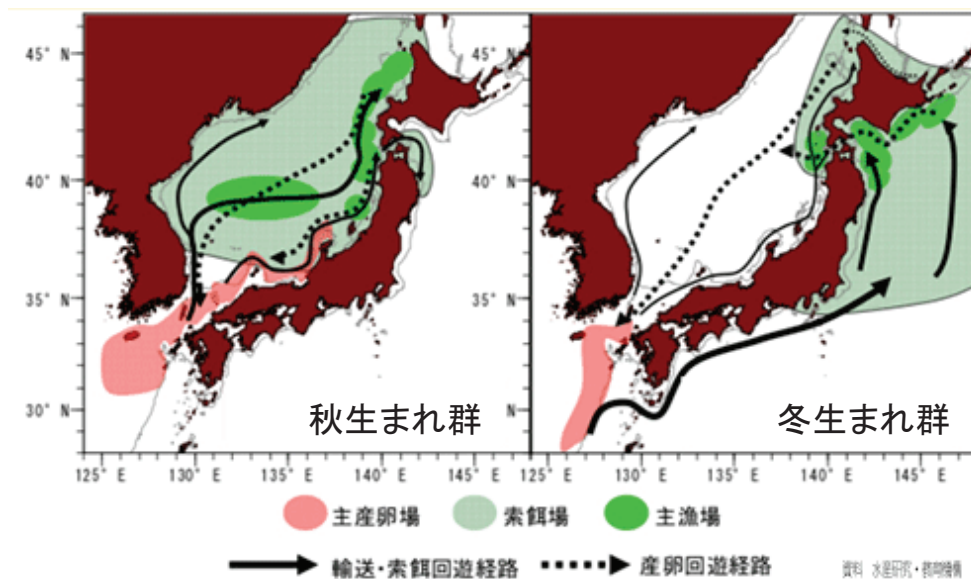
秋生まれ群
(10～12月)



冬生まれ群
(1～3月)

水産庁HP

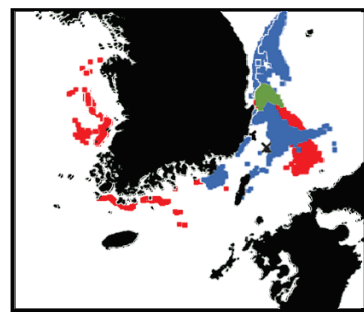
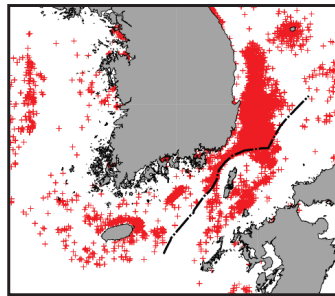
推定回遊経路



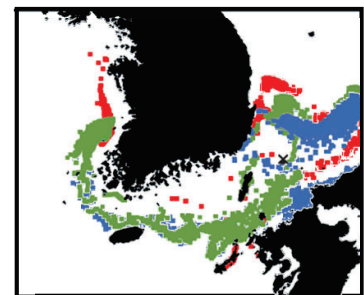
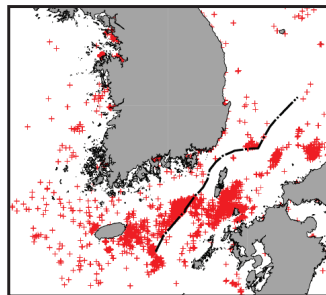
水産庁HP

人工衛星夜間画像 と 粒子追跡実験

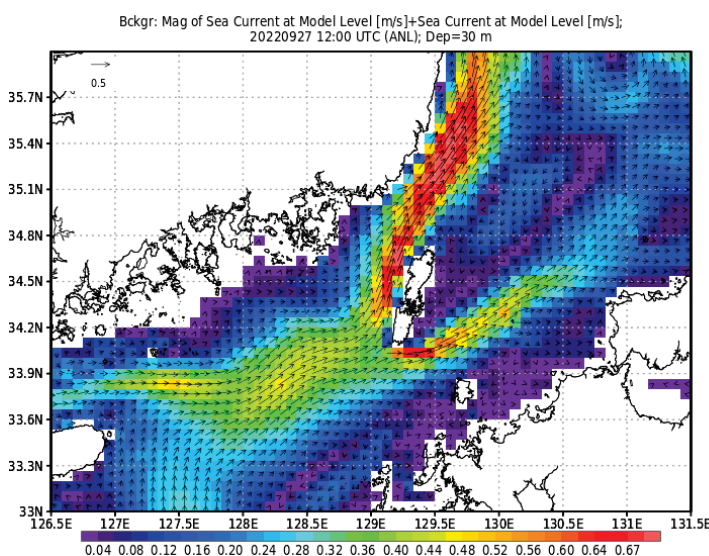
2015年12月



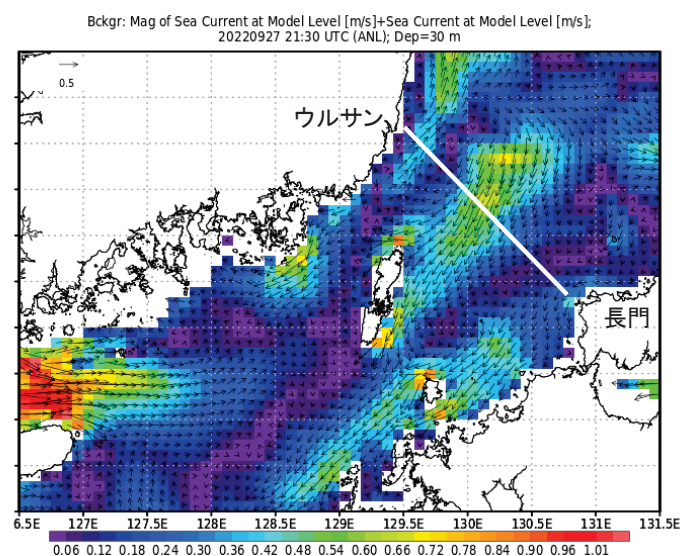
2016年3月



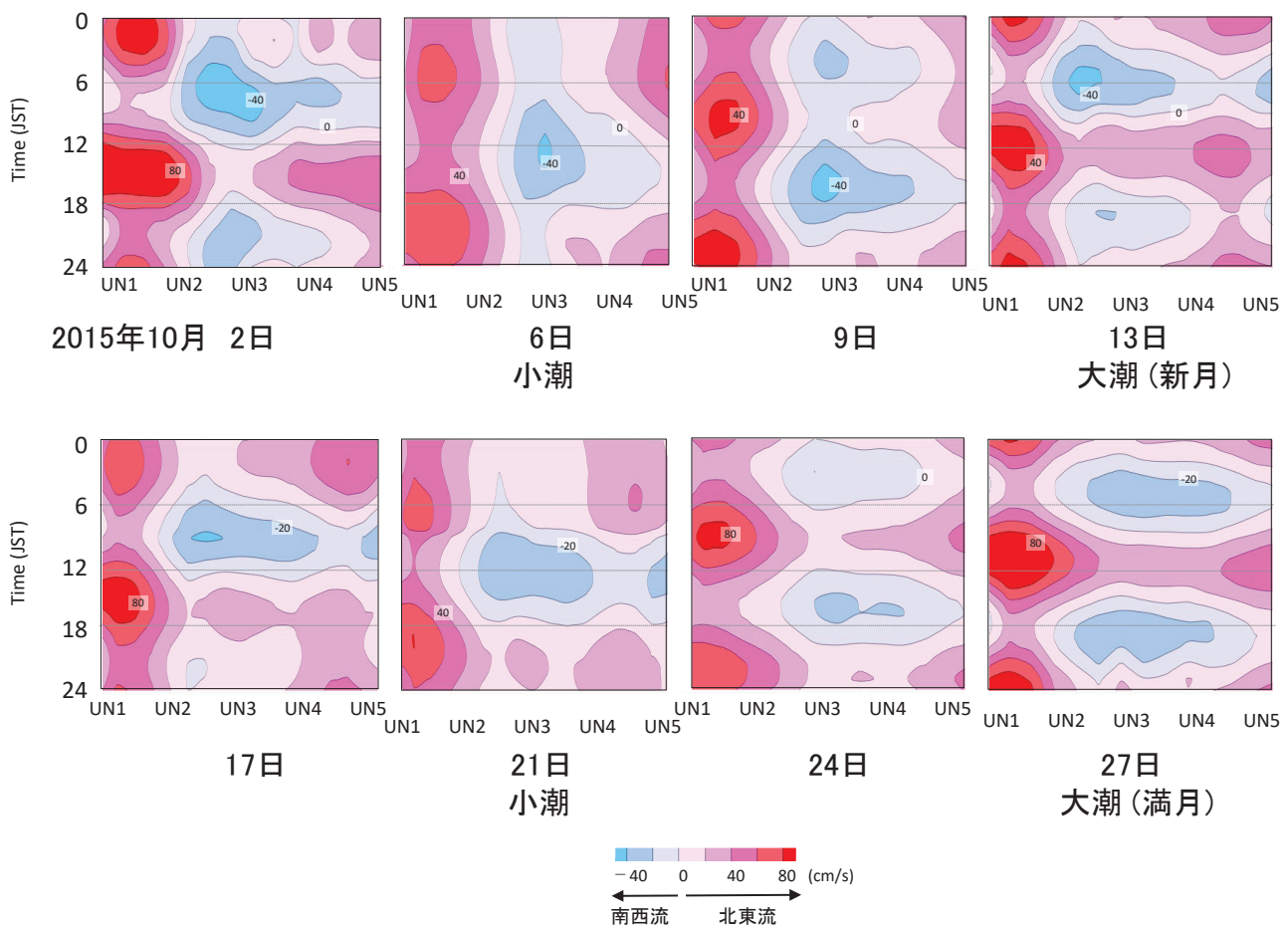
Dreams_M の daily と hourly (30m深)



2022年9月27日

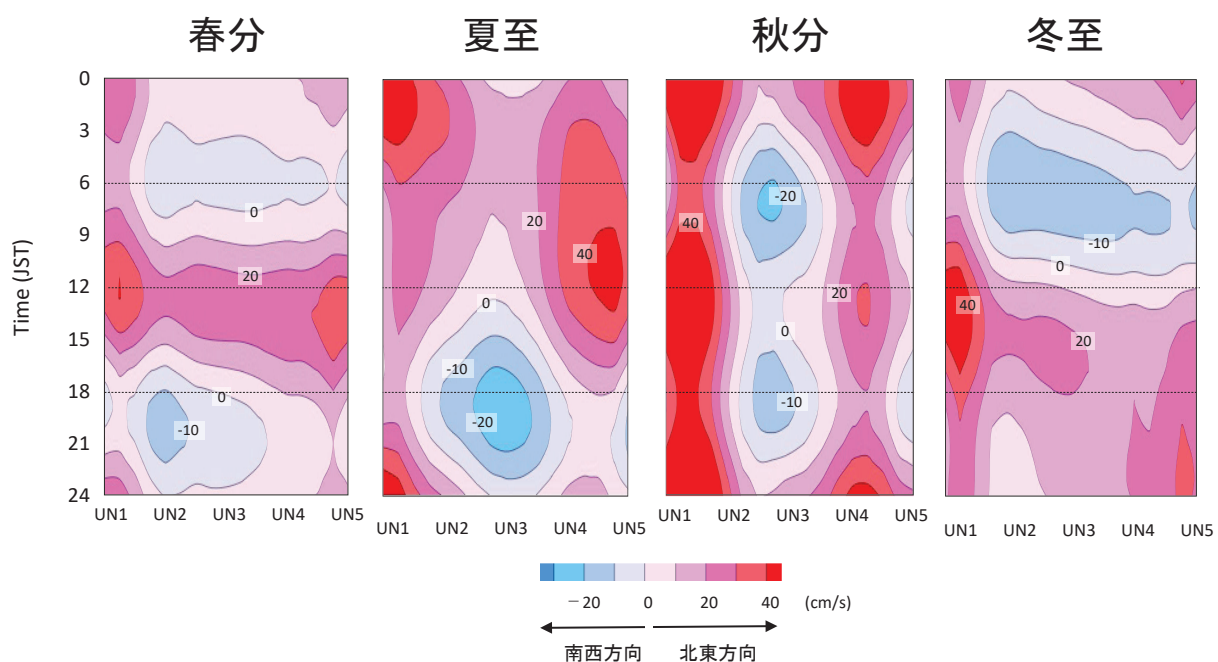


同日21時(UTC)



2015年10月のUNラインにおける南西流

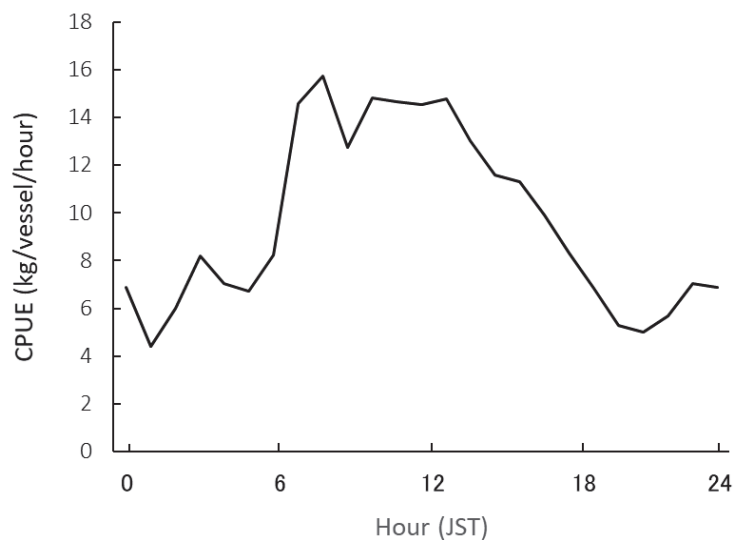
南西流の季節変化 (2010～2019年、各15日平均)

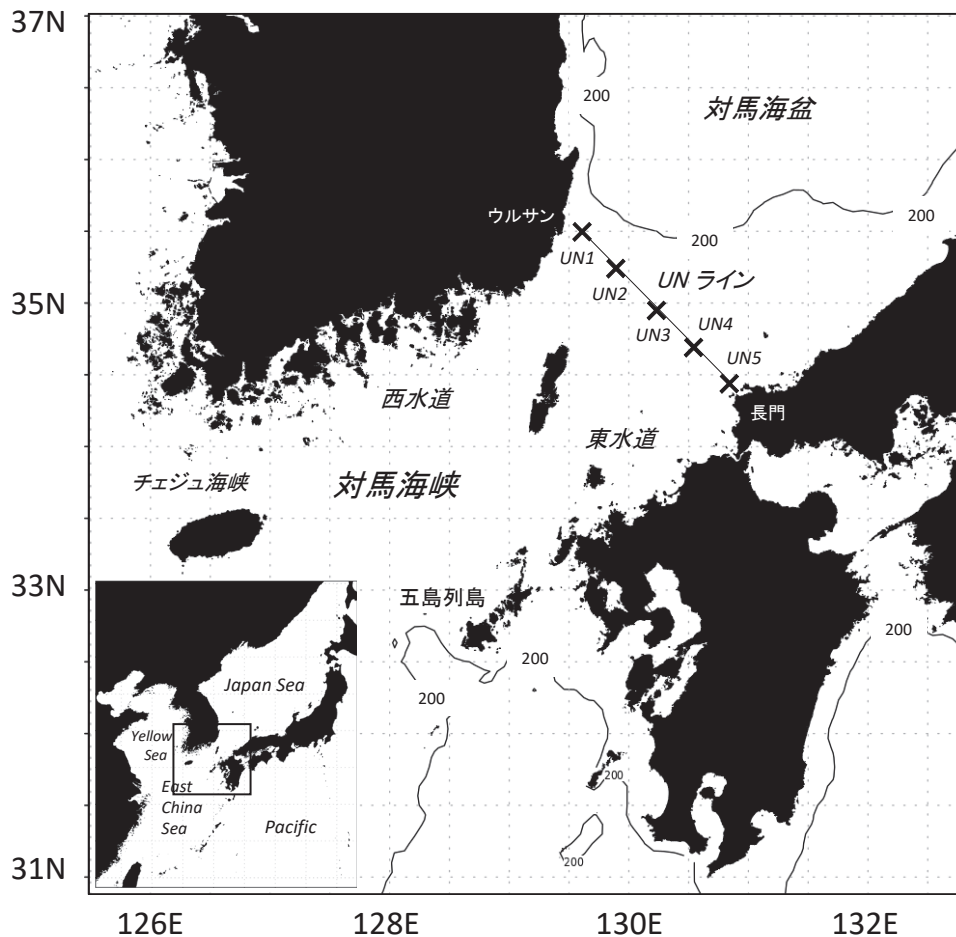


スルメイカの南下仮説

- 対馬海峡には潮汐の影響により、季節性の**南西流**が発生する
- スルメイカは昼間、**海底に定位**する
- もし、**南西流発生**と**鉛直日周運動**が同期すれば、スルメイカは自然に南下する

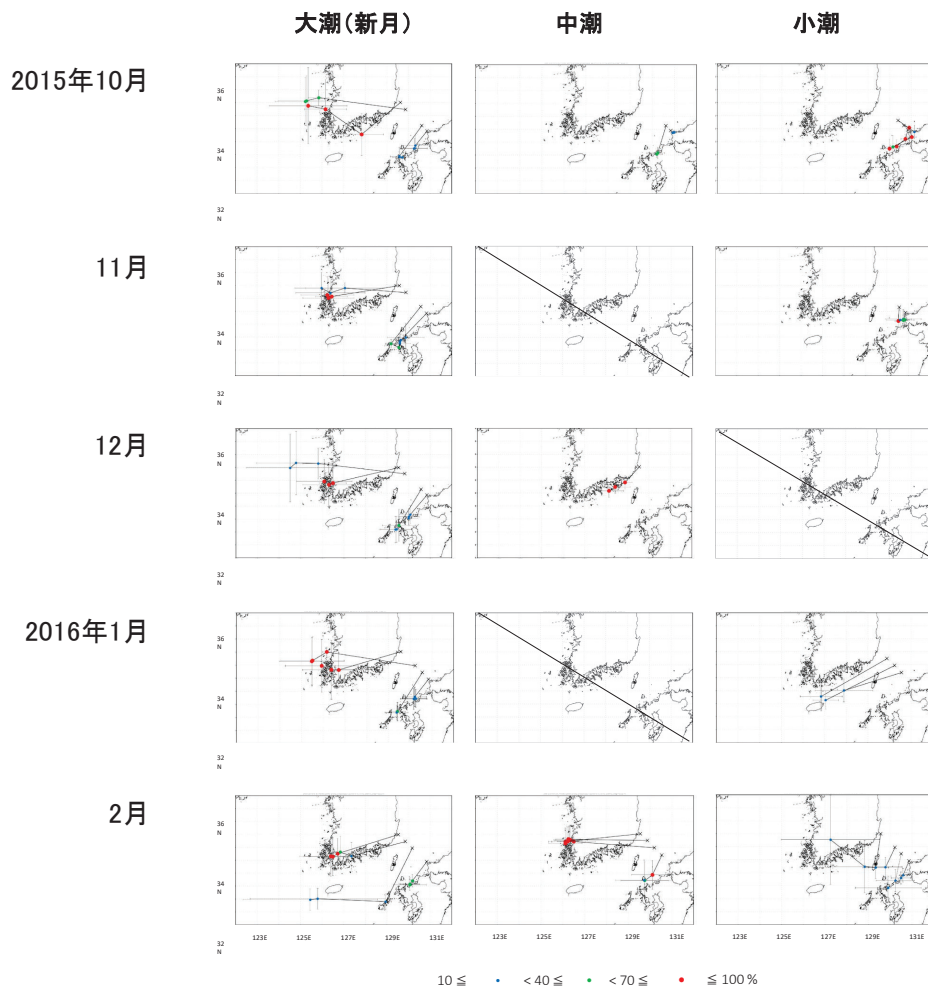
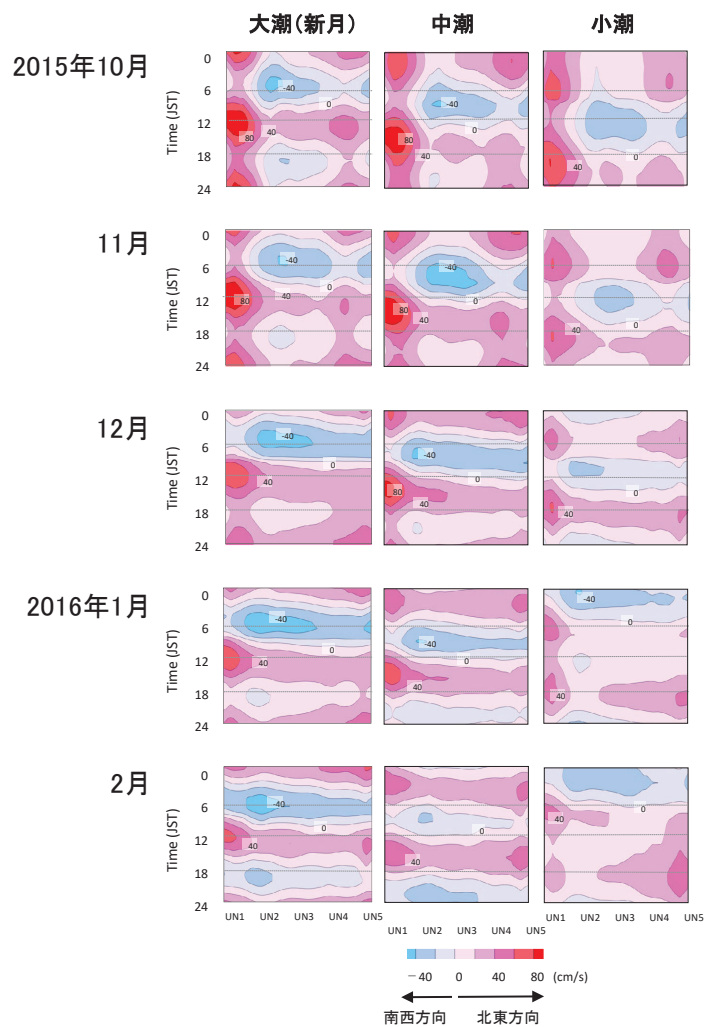
底引網漁業によるスルメイカの漁獲





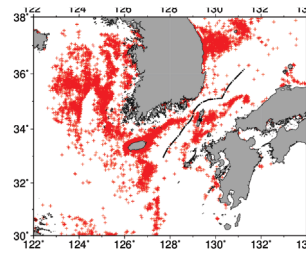
粒子追跡実験の条件

- Dreams_M hourly, Kako et al. (2014)
- Smagorinsky係数: 0.1
- 水深30m
- リリース場所: 対馬海峡北部UNラインの5点
- 実験期間: 2015年10月～2016年2月
- リリース日: 各月の大潮(新月)、中潮、小潮
- 計算時間: 18、21、24(0)時(JST)から各6時間のみ
- 実験数: $5 \times 5 \times 3 \times 3 = 225$
- 計数: 30、60、90日後の南下した粒子

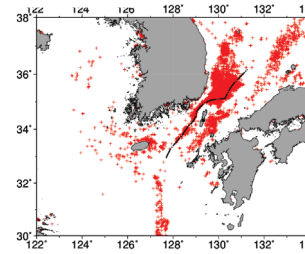


人工衛星夜間 画像解析

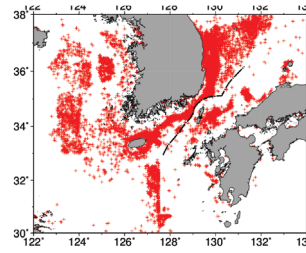
2015年9月



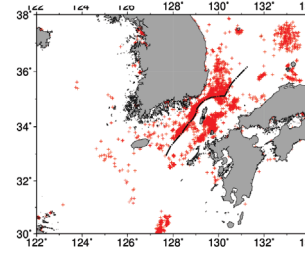
2016年1月



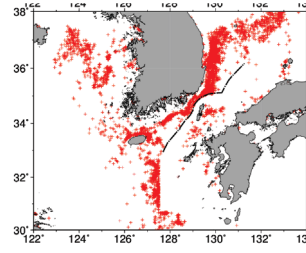
10月



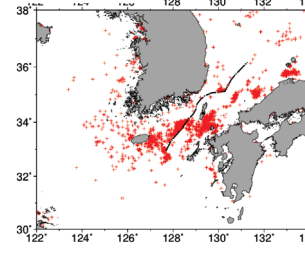
2月



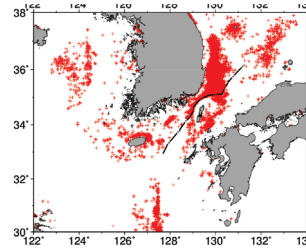
11月



3月



12月



長崎県総合水産試験場
高木氏作成

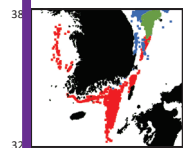
2015年10月



UN1

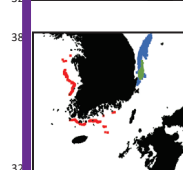
前月にリリースした粒子
の
大潮(新月)時の分布

11月



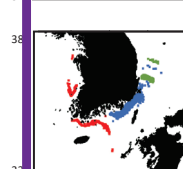
UN2

12月

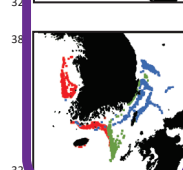


赤:大潮(新月)
緑:中潮
青:小潮

2016年1月

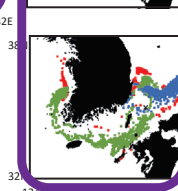


2月



UN3

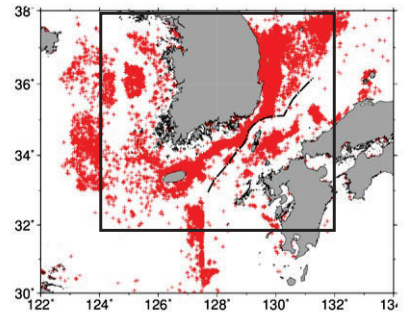
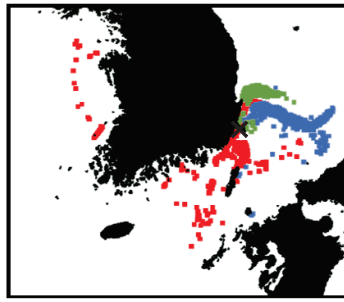
3月



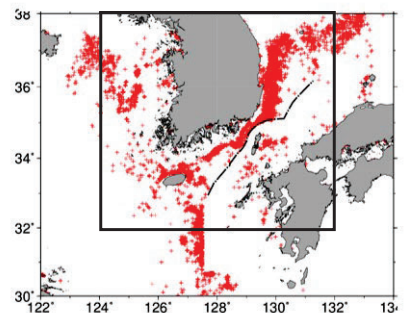
UN4



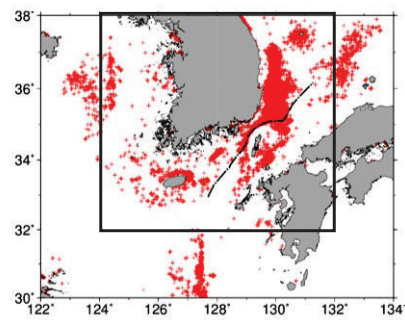
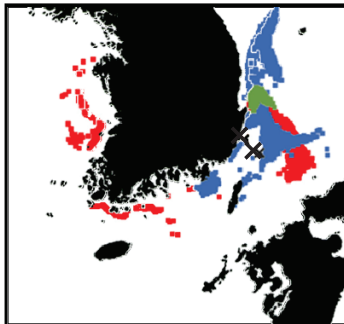
2015年10月



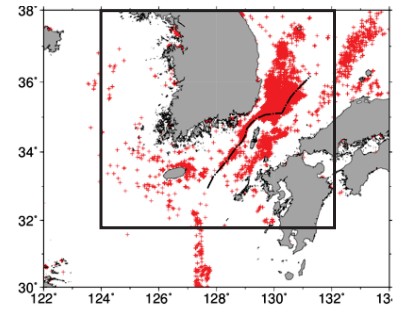
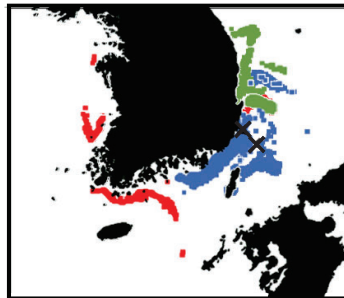
11月



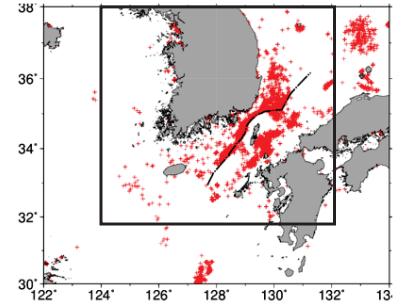
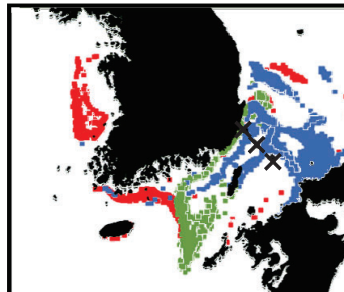
12月



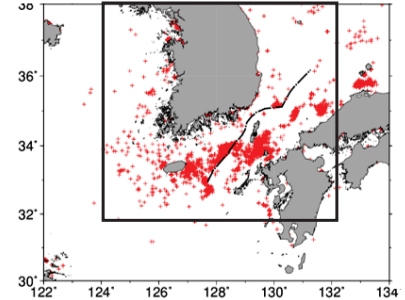
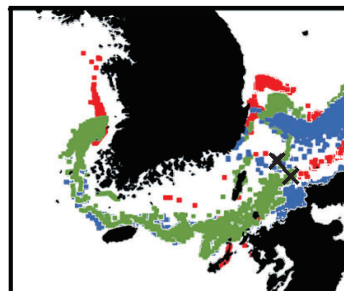
2016年1月



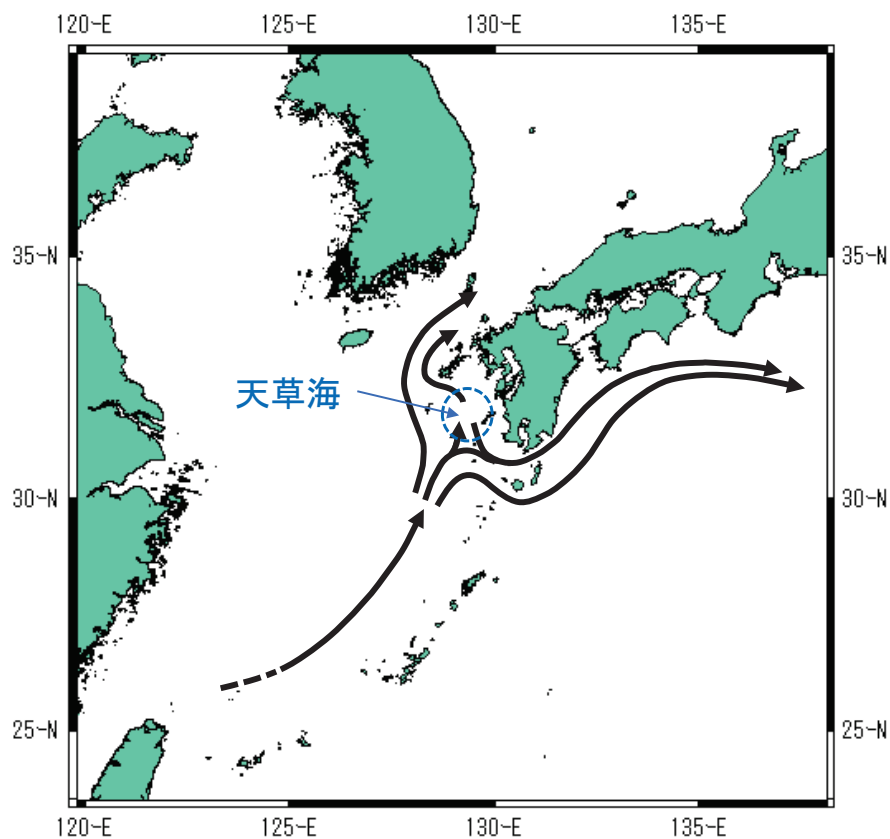
2月



3月

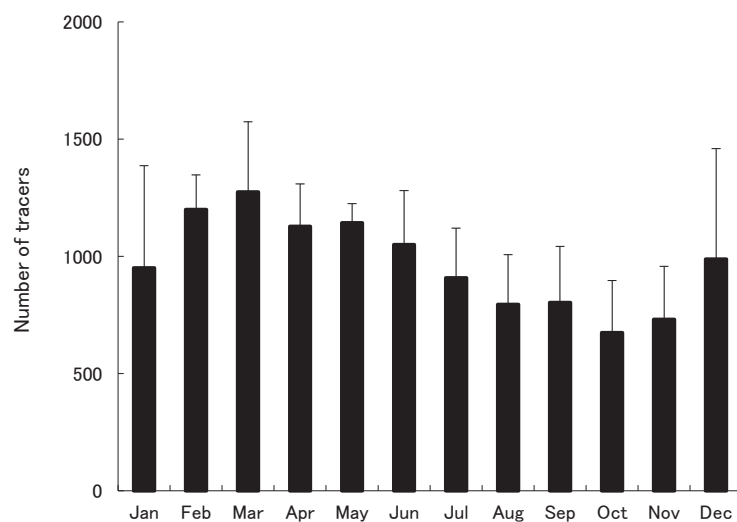


ケンサキイカの推定移動経路



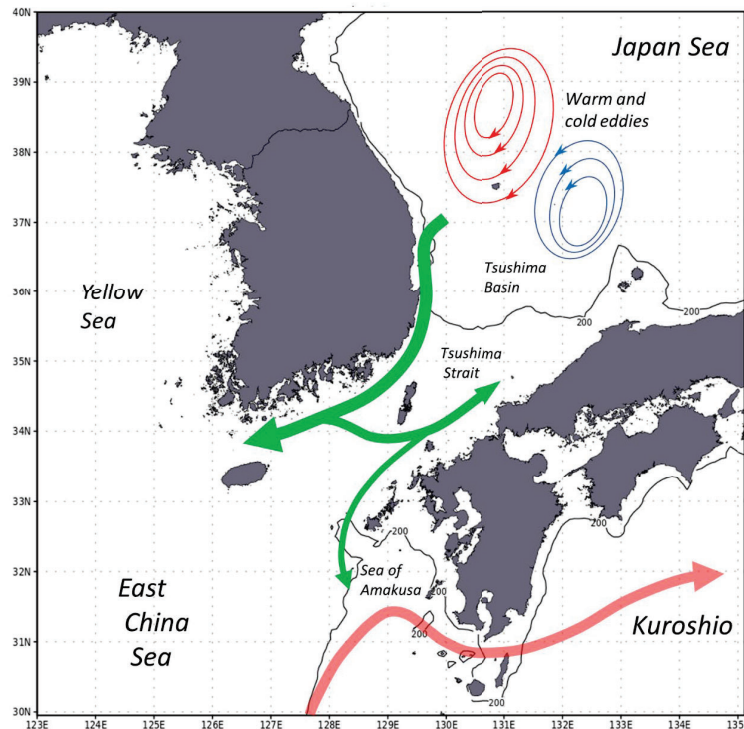
19

天草海に滞留する平均粒子数 (2013－2017年)



Yamaguchi et al. 2020

スルメイカの南下プロセス(秋から冬)



まとめ

- 対馬海峡には、夏至と冬至の大潮時に、それぞれ日没と日出の前後約6時間、南西流が発生する海域がある
- 春分と秋分の大潮時には、日没と日出の両方の時間帯に発生する(季節性)
- 南西流は大潮時に最も強く、中潮から小潮にかけて弱くなり、発生する時間帯も遅くなる(潮汐流)
- 秋から冬にかけて、南西流の発生周期(真夜中から日出)と鉛直日周運動が同期したスルメイカは、対馬海峡を自然に南下する

富山湾深層における近慣性内部重力波

越後友利果・磯田豊(北大院水産)・千手智晴(九大応力研)・藤居流(北大院水産)

地球回転系(題目の近慣性周期の内部重力波など)において、
慣習的には無視される**コリオリ力の水平成分**を考慮すれば・・・という話から始める

運動方程式

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} - f_s v + f_c w = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} & \text{①} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + f_s u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} & \text{②} \\ \frac{\partial w}{\partial t} - f_c u = -\frac{\rho}{\rho_0} g - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} & \text{③} \end{cases}$$

鉛直成分 $f_s = 2\Omega \sin\phi$, $f_c = 2\Omega \cos\phi$

連続式 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$ ④

ここで、 $N = -\left(\frac{g}{\rho_0} \frac{d\rho_0}{dz}\right)^{\frac{1}{2}}$: 浮力振動数

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - f_c \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial^2 p}{\partial z \partial t} - N^2 w$$

鉛直流速wに関する方程式

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial s^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + f_s^2 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + 2f_s f_c \sin\theta \frac{\partial^2 w}{\partial s \partial z} + f_c^2 \sin^2\theta \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} + N^2 \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} = 0$$

鉛直流振幅 A_0 の波動解 $A_0 \exp\{i(kx+ly+mz-\sigma t)\}$ を代入
ここで、 $K^2 = k^2 + l^2$

慣性波の分散関係式

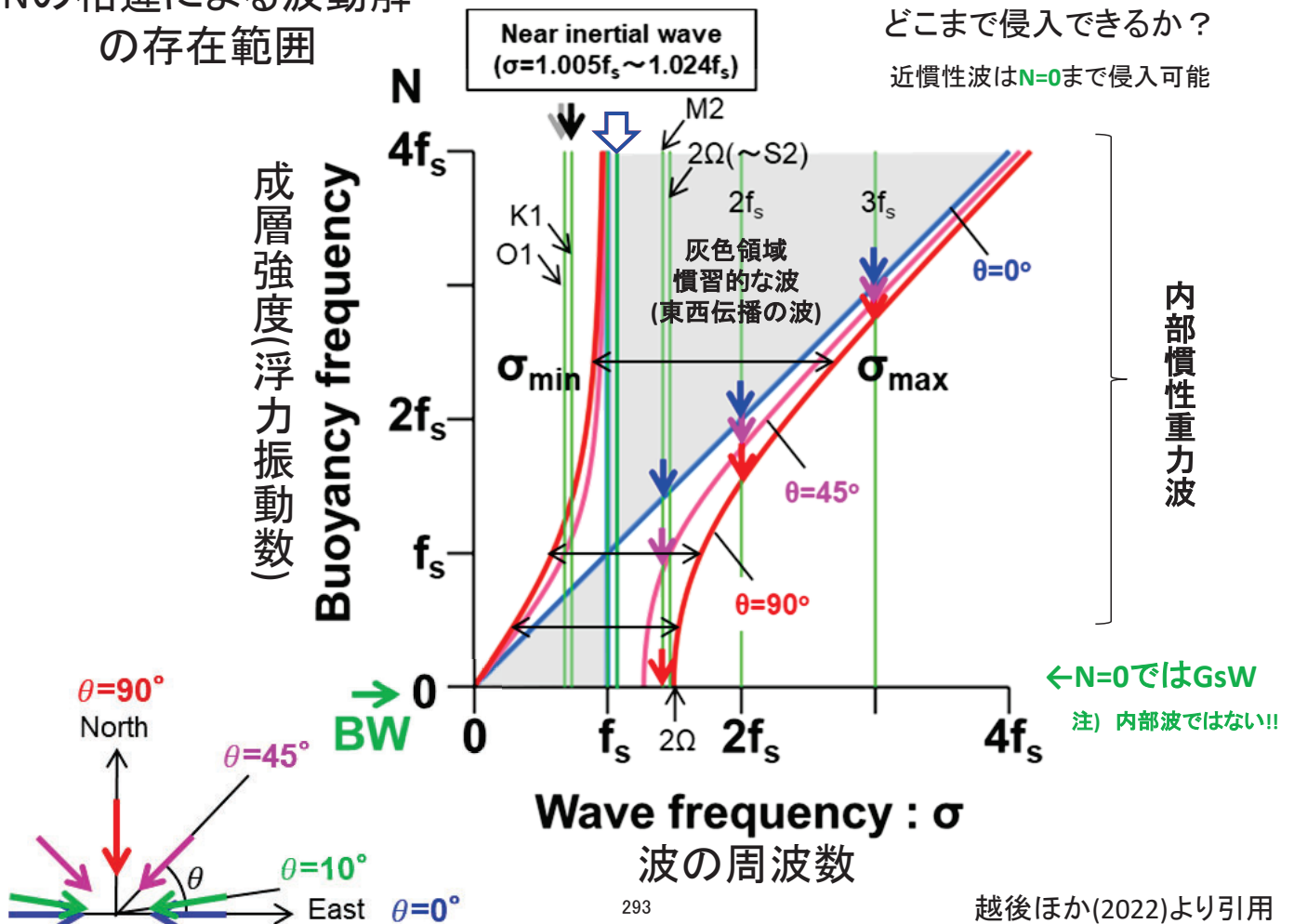
$$\sigma^2 = \frac{(f_s m + f_c K \sin\theta)^2 + N^2 K^2}{K^2 + m^2}$$

- (1) $N=0$ (日本海底層水: BW内) のとき、Gyroscopic wave(GsW)
- (2) $\theta=0$ (真に東西伝播)のとき、 f_c 項は零 (慣習的な波と同じ)

以下、越後ほか(2022)を簡単に紹介

Nの相違による波動解
の存在範囲

上方からの入射波は
どこまで侵入できるか？
近慣性波は $N=0$ まで侵入可能

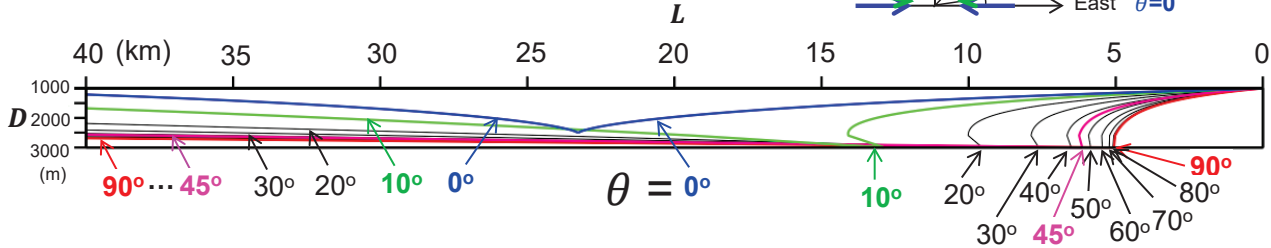


近慣性内部重力波($\sigma=1.01f_s$)の海底反射

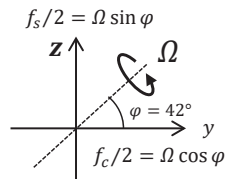
～Ray-pathで表現(北緯42度) (N=0のBW内)

慣習的な波($\theta=0$)と比べて、非対称な入射波と反射波。
急な角度で入射し、緩い角度で反射(BWに長期滞在)
GsWの3波共鳴による $\sigma=0$ の波の励起が示唆

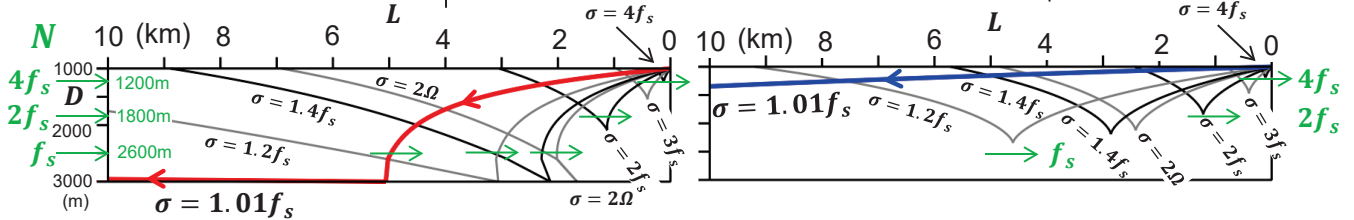
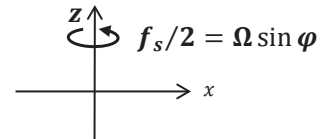
(a) $\sigma = 1.01f_s$



非対称
(b) $\theta = 90^\circ$
(Meridional southward)



対称
(c) $\theta = 0^\circ$
(Zonal westward)



越後ほか(2022)より引用

しかし、一般にRayは観測できない。流速楕円なら観測可能。

越後ほか(2022)より

$$\begin{aligned} \text{運動方程式} \quad & \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - f_s v + f_c w &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + f_s u &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2) \\ \frac{\partial w}{\partial t} - f_c u &= -\frac{\rho}{\rho_0} g - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

ここで、 $N = \left(\frac{g}{\rho_0} \frac{d\rho_0}{dz} \right)^{\frac{1}{2}}$: 浮力振動数

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - f_c \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial^2 p}{\partial z \partial t} - N^2 w \quad (3)$$

Polarization relation : 流速場と圧力場が時空間的にどの様に変化し、各変数はどの様な関係にあるのか？

①式のvに②式、v、wに④式を代入

$$\frac{\partial^3 u}{\partial z \partial t^2} - f_c \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + f_s f_c \frac{\partial u}{\partial y} + f_s^2 \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{f_c}{\rho_0} \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} - \frac{f_s}{\rho_0} \frac{\partial^2 p}{\partial y \partial z} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial^3 p}{\partial x \partial z \partial t}$$

①式のv、wに④式、uに②式を代入

$$-\frac{\partial^3 v}{\partial z \partial t^2} + f_c \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial t} - f_s f_c \frac{\partial v}{\partial y} - f_s^2 \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{f_s}{\rho_0} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial z} - \frac{f_c}{\rho_0} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial y} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial^3 p}{\partial y \partial y \partial z \partial t}$$

これらの式に波の伝播解($\exp[i(kx+ly+mz-\sigma t)]$)を代入して整理すると

$$u = \frac{-f_c l^2 - f_s l m + i k m \sigma}{f_c k \sigma + i(m \sigma^2 - f_s f_c l - f_s^2 m)} \cdot \frac{p}{\rho_0} \quad v = \frac{-f_s k m + f_c l k + i l m \sigma}{f_c k \sigma + i(m \sigma^2 - f_s f_c l - f_s^2 m)} \cdot \frac{p}{\rho_0}$$

水平流速(u,v)と圧力pとの関係式

ここで、u,vの比をとりpを消去して、複素振幅で表現すると

$$\frac{u}{v} = \frac{u_r + i u_i}{v_r + i v_i} = \frac{u_r v_r + u_i v_i + i(u_i v_r - u_r v_i)}{v_r^2 + v_i^2} = U_a e^{i\alpha} \quad \left(U_a = \frac{\sqrt{(u_r v_r + u_i v_i)^2 + (u_i v_r - u_r v_i)^2}}{v_r^2 + v_i^2}, \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{u_i v_r - u_r v_i}{u_r v_r + u_i v_i} \right) \right)$$

一方、u,vそれぞれの複素振幅で表現すると

$$\frac{u}{v} = \frac{u_r + i u_i}{v_r + i v_i} = \frac{\sqrt{u_r^2 + u_i^2} e^{-i\alpha_u}}{\sqrt{v_r^2 + v_i^2} e^{-i\alpha_v}} = \frac{u_a e^{-i\alpha_u}}{v_a e^{-i\alpha_v}} = \frac{u_a}{v_a} e^{i(\alpha_v - \alpha_u)} \quad \text{ここで、} \begin{cases} \alpha_u = \tan^{-1} \frac{u_i}{u_r} \\ \alpha_v = \tan^{-1} \frac{v_i}{v_r} \end{cases}$$

すなわち、 $U_a = \frac{u_a}{v_a}$ はvに対するuの振幅比、 $\alpha = \alpha_v - \alpha_u$ は両者の位相差を表すことになる。

そこで、vの振幅が1、 σ が0~2πで変化したときの流速楕円は

$$\begin{cases} u = U_a \cos(\sigma t - \alpha) \\ v = 1 \cdot \cos(\sigma t) \end{cases} \text{ の Hodograph として描くことができる。}$$

(略)流速場は波数ベクトルkに対して直交方向の平面に制限→ $\vec{k} \cdot \vec{u} = 0$

いま、 $\sigma=1.01f_s$ とする

青は時計回り
赤は反時計回り

北緯42度

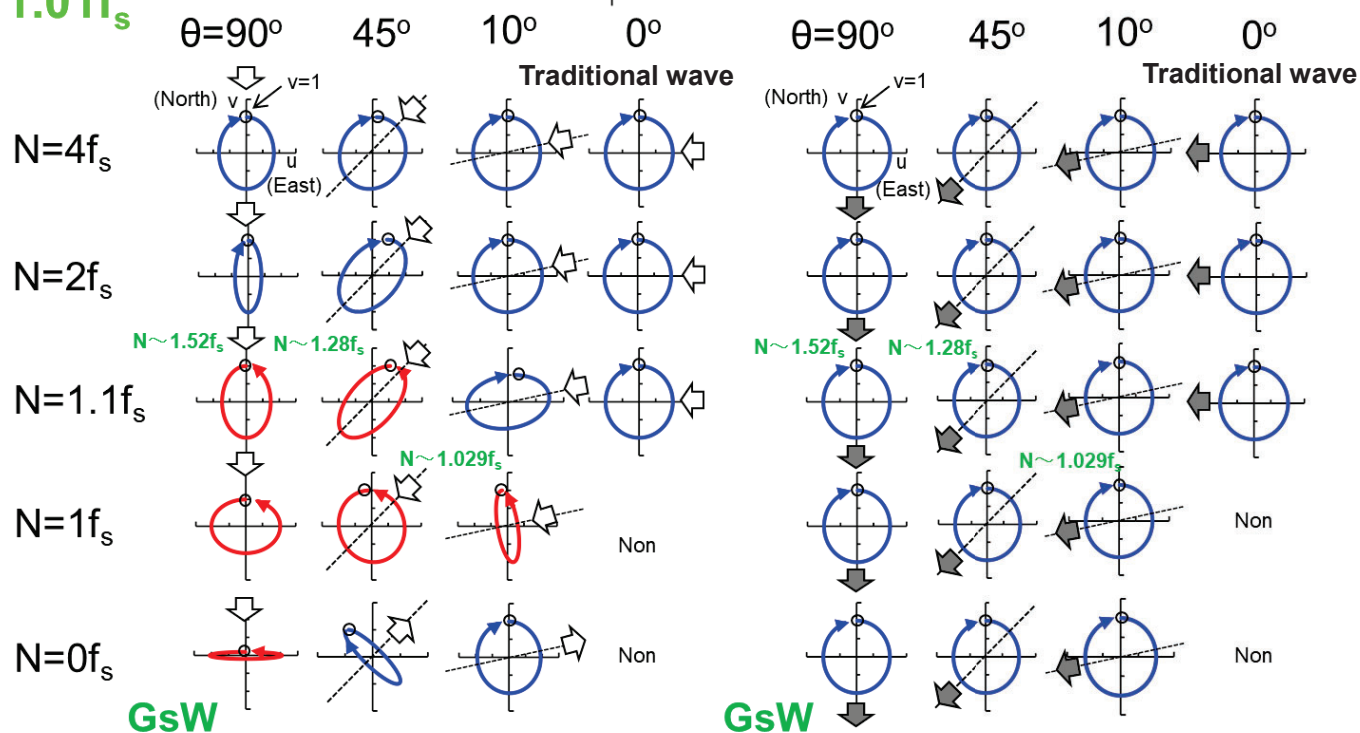
越後ほか(2022)より引用

Frequency

$1.01f_s$

(a) Incident wave

(b) Reflected wave



fcを考慮すれば、入射波の流速楕円は大きく扁平し、

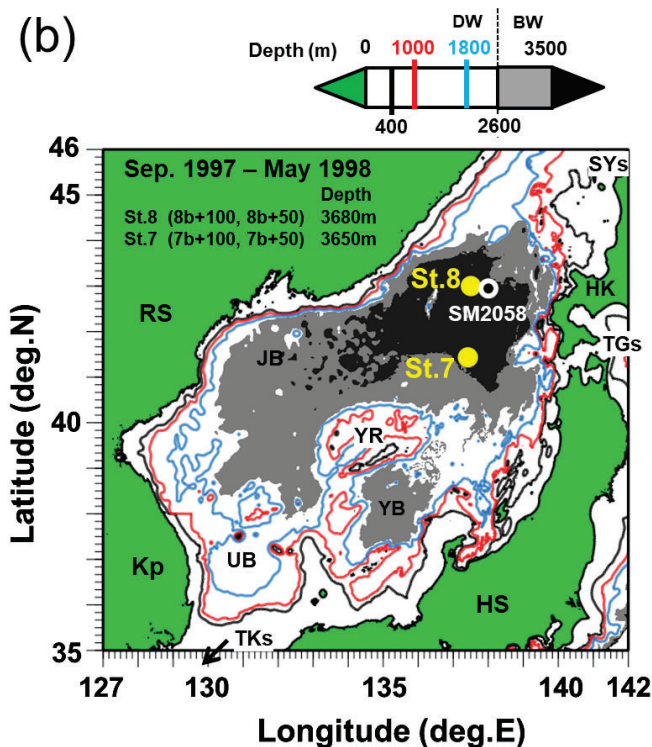
反時計回りの流速楕円の近慣性波(内部波及びGsW)も存在する!?

流速観測の一例

日本海盆内のSt.8 (St.7は省略)

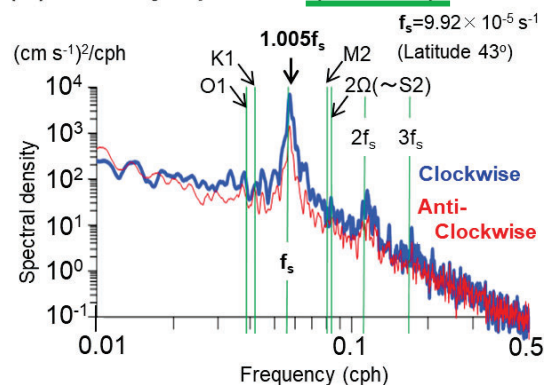
海底上100mと50m(N=0のBW内)

の係留流速計資料(保安庁)

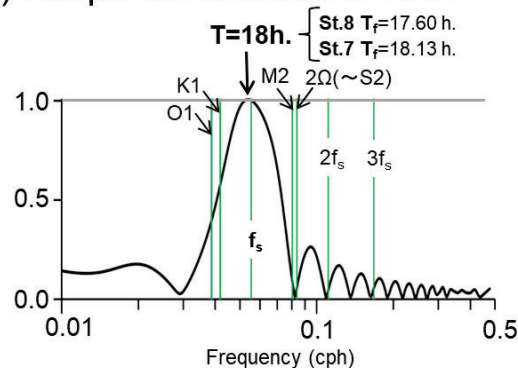


St.8の海底上50mの意味

(b) Rotary spectra (8b+50)



(d) Response function of HAB



HAB (Harmonic Analysis Band-pass)法

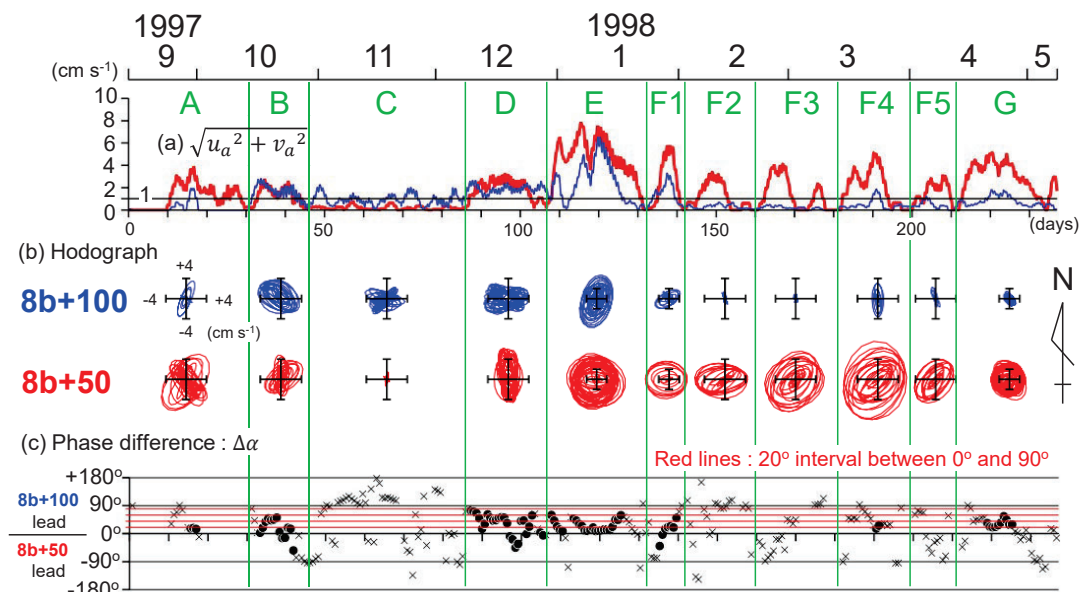
調和定数(振幅と位相)の時系列

越後ほか(2022)より引用

St.8

振幅

ホドグラフ

上下層の
位相差

- ① 近慣性周期変動なのに、流速楕円(特に8b+100)は円形ではなく、扁平が大
- ② 海底近傍の8b+50ほど振幅が大きく、位相が遅れる (反射波の影響が大)議論略

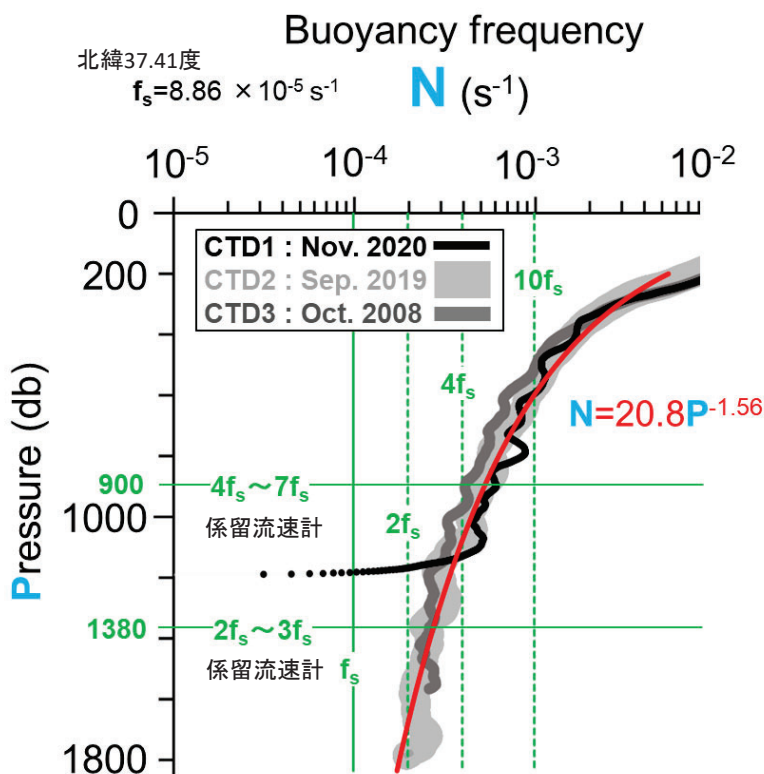
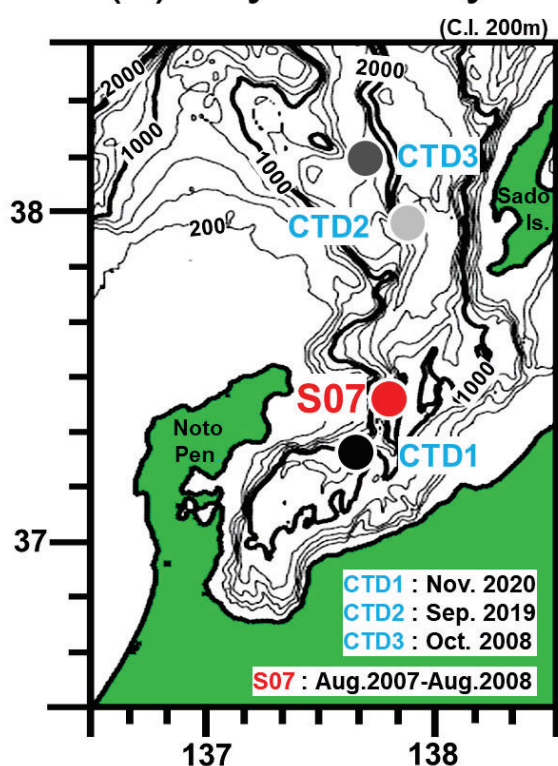
楕円の長軸方向のバラツキ具合から、色々な方位θから入射した波が観測されたと推測。

→ **fc**を考慮すべき更なる証拠を示すために、**北側からの入射波**を選択的に観測したい!!

その最適な場所が「富山湾」

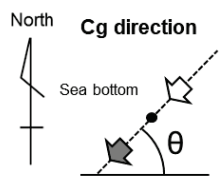
富山湾深層における近慣性内部重力波

(b) Toyama Bay



青は時計回り
赤は反時計回り

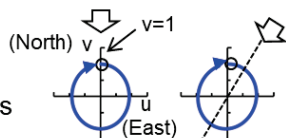
北緯37.41度



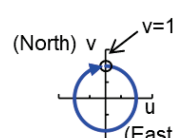
(a) Incident wave

(b) Reflected wave

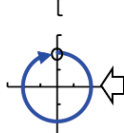
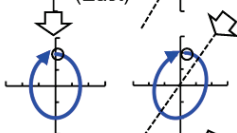
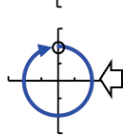
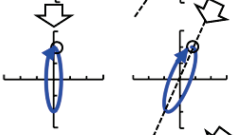
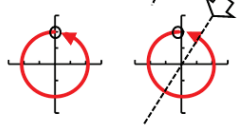
Frequency

 $1.03f_s$ $\theta=90^\circ$ 67.5° 45° 0° $\theta=90^\circ$ 67.5° 45° 0° $N=10f_s$ 

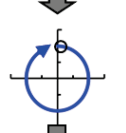
Traditional wave



Traditional wave

 $N=4f_s$  $N=2f_s$  $N=f_s$ 

Non



Non

(a) Incident wave

 $\theta=90^\circ$ 67.5° 45° 0°

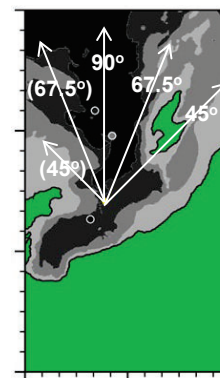
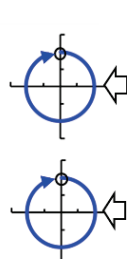
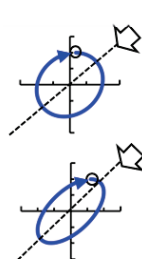
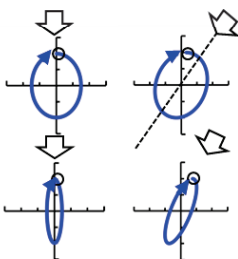
900m

 $N=4f_s$

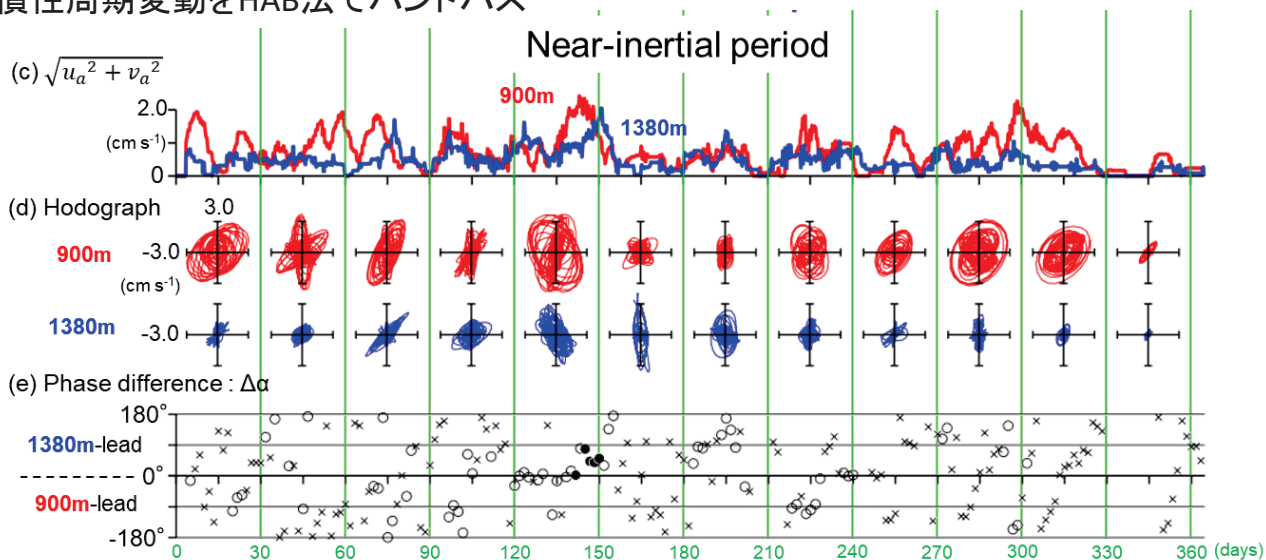
1380m

 $N=2f_s$

解析解

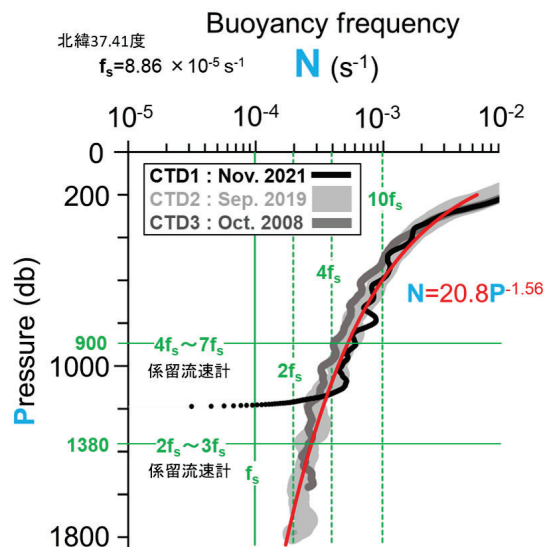


近慣性周期変動をHAB法でバンドパス



富山湾における近慣性内部重力波($\sigma=1.03f_s$)の海底反射

Ray-path



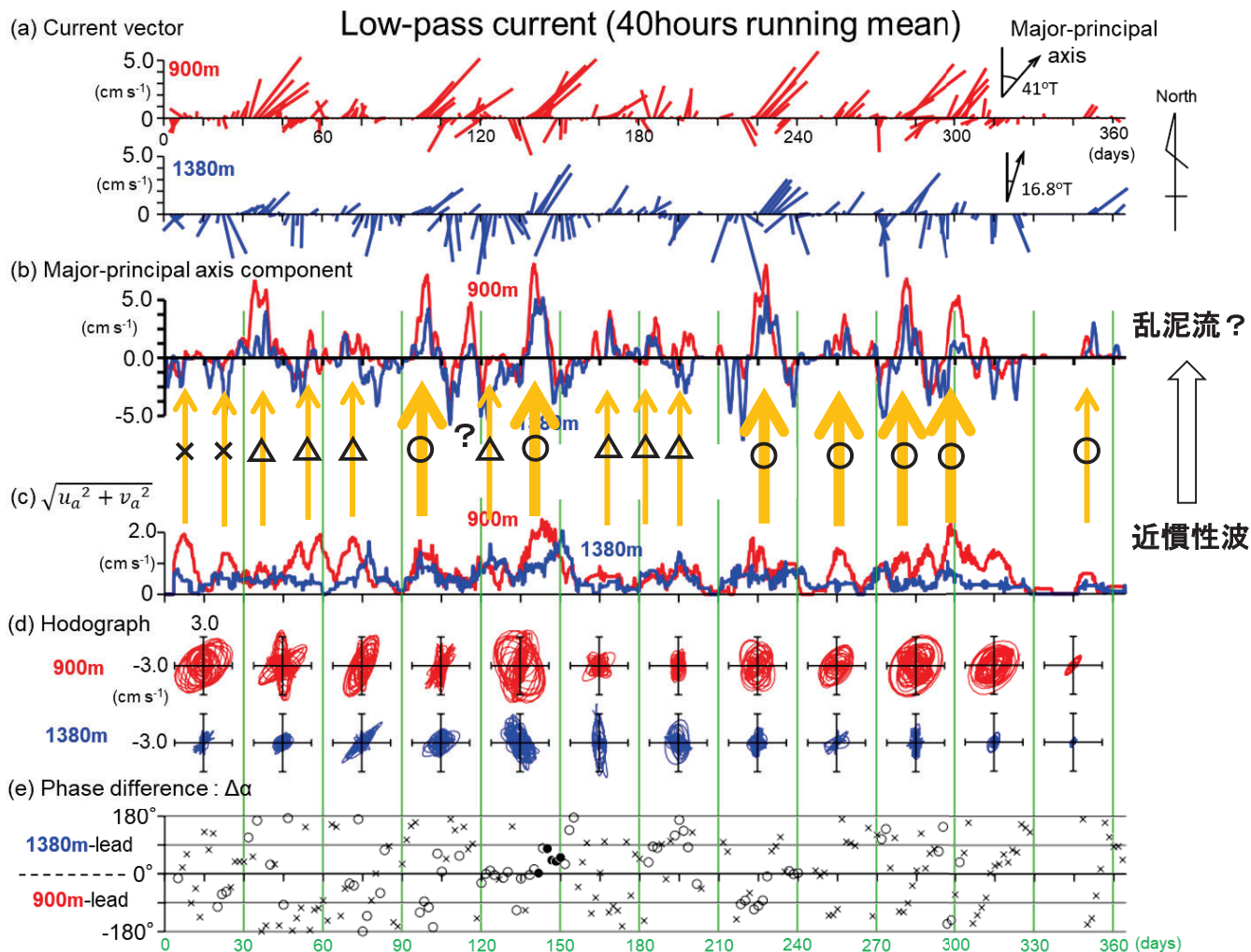
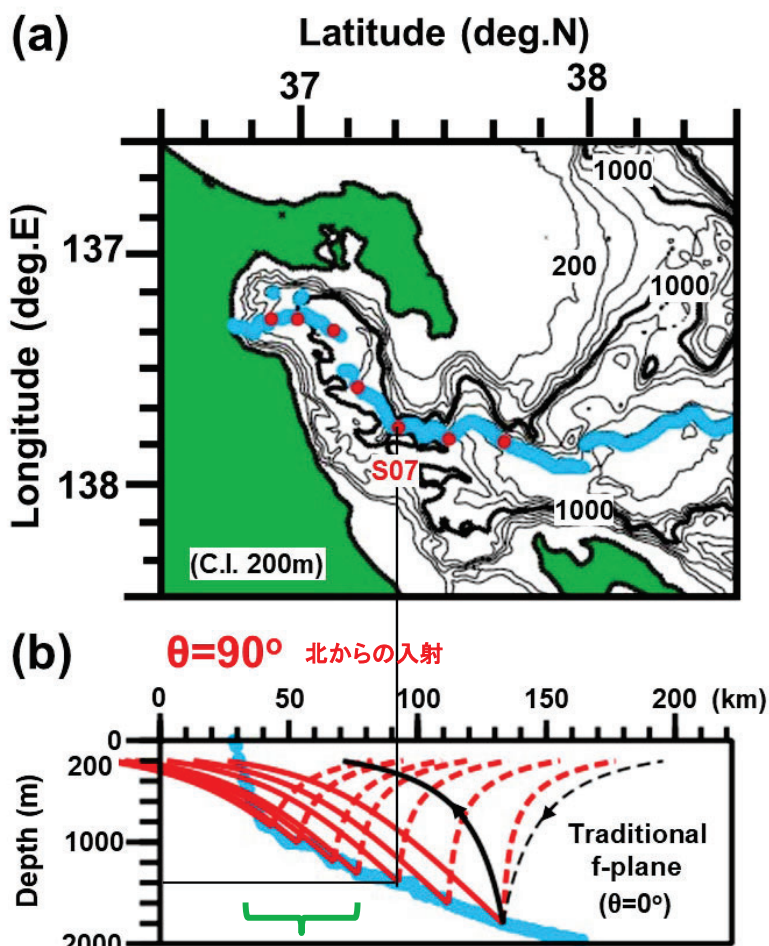
将来の課題 : 乱泥流(密度流)の発生



近慣性波による海底泥の巻き上げ

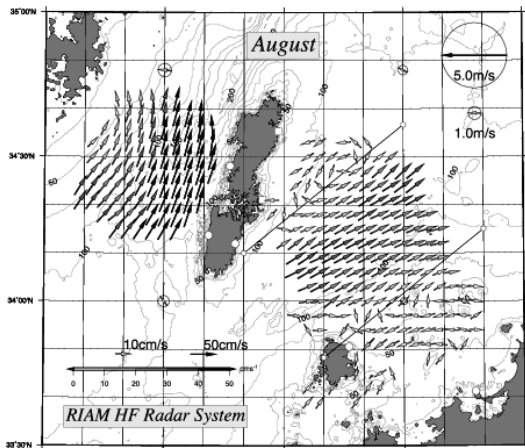


湾奥の海底斜面勾配 ~ 反射波のビーム勾配



中立波の共鳴による島影渦列の解釈

藤居流・磯田豊・越後友利果（北大院水産）



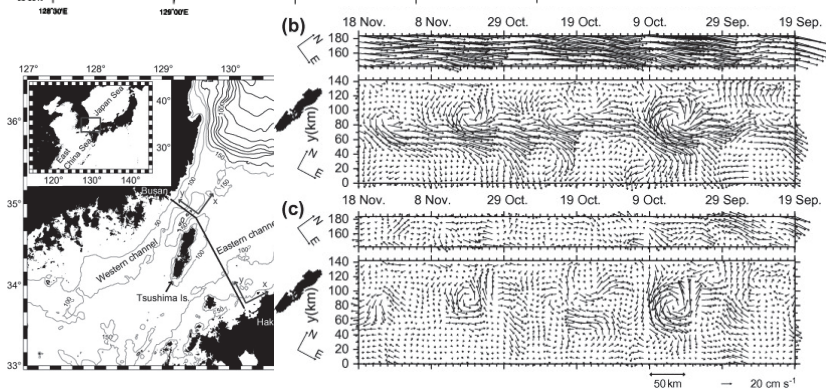
Yoshikawa et al.(2010)

HFレーダ

対馬列島背後の島影渦

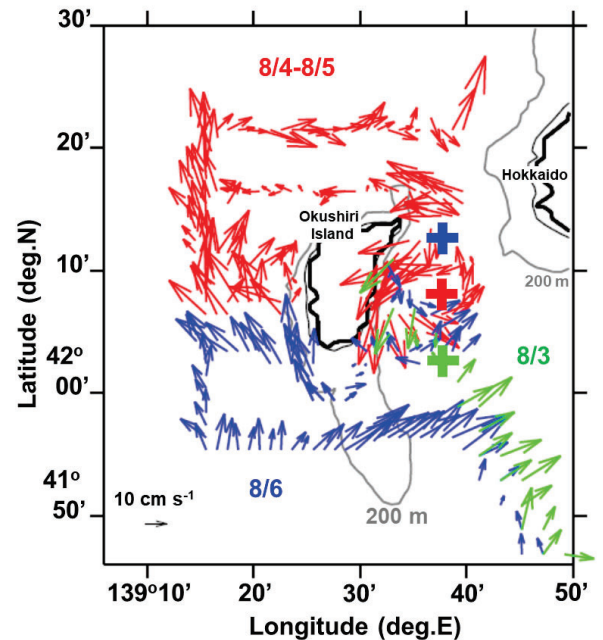
Takikawa et al.(2012)

フェリー-ADCP



奥尻島背後の島影渦

(a) ADCP (34 m depth)



障害物背後の水平シアー流により生じる不安定波

Taneda(1963), Hannemann and Oretel(1989)など

(a) Karman vortices

(b) Shear instability

(island-shadow vortices)

有名なのは・・・

カルマン渦列

2列の配位

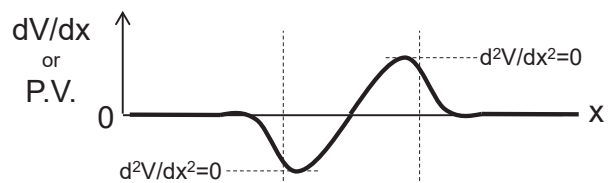
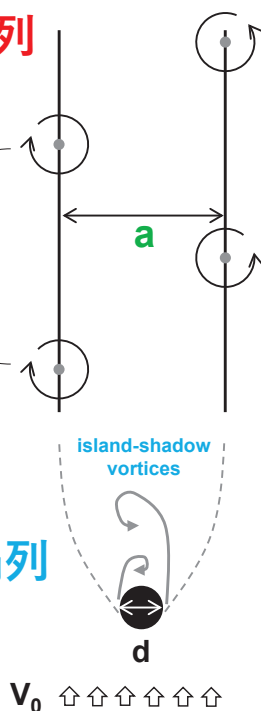
$a/b = 0.2806$

円柱の場合・・・

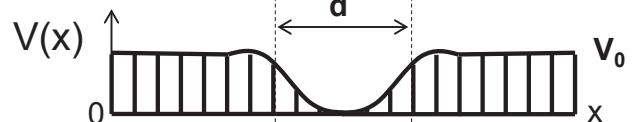
Re数= 40～200

St数= 0.2前後

島影渦列



Time-averaged velocity field

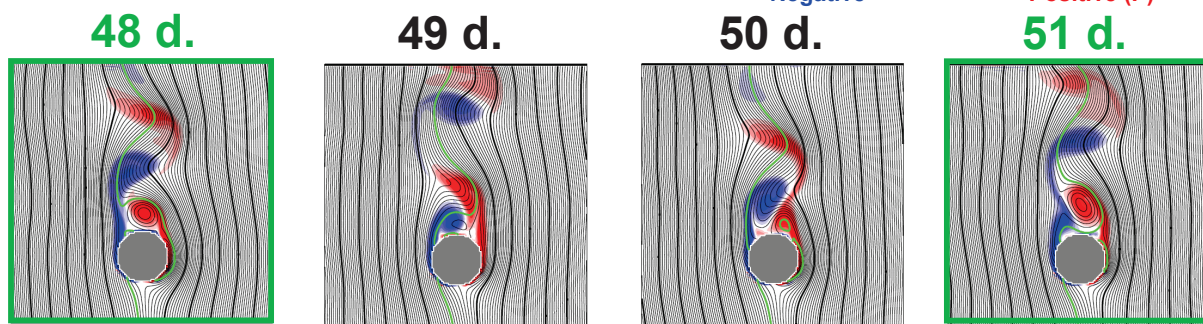


地球流体力学では順圧不安定

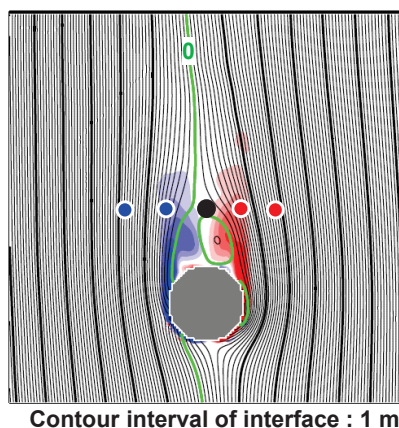
(平均流から渦流擾乱へのエネルギー輸送)

夏季の対馬暖流域の島を想定した数値実験（1.5層モデル）

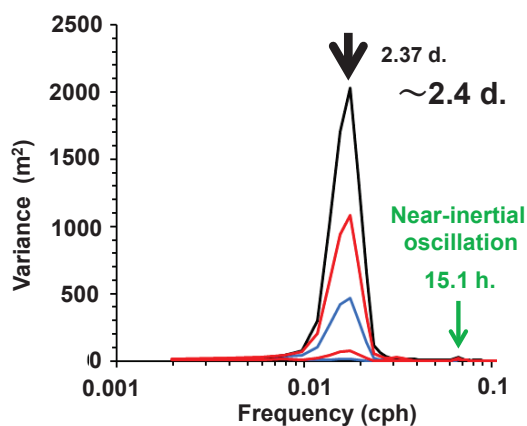
(a) Daily variations



(b) Mean field



(c) Variance spectra

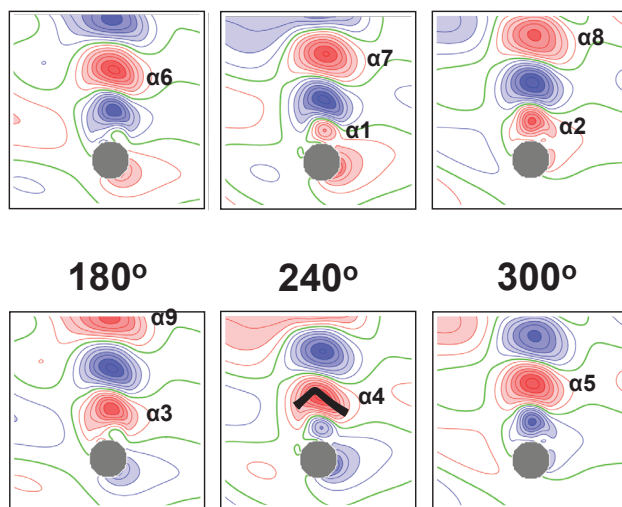
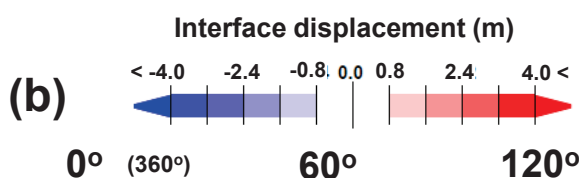
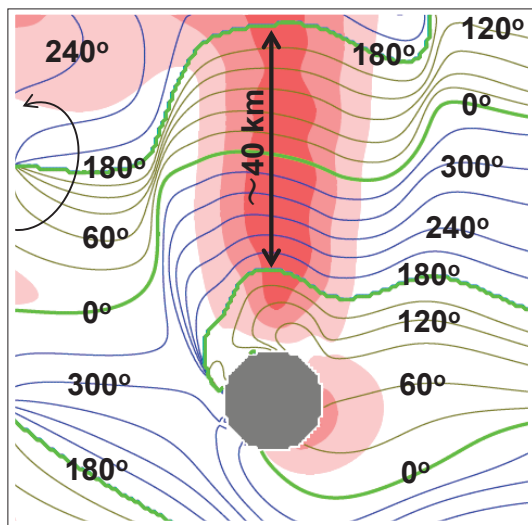


円形島の数値実験
 内部変形半径
 $\lambda_i = (g^*H)^{1/2}/f \sim 10\text{km}$
 上流側の平均流速 円形島の直径
 $U=0.3\text{ m/s}$, $d=15\text{km}$
 水平粘性係数 $A_h=10\text{ m}^2/\text{s}$
レイノルズ数
 $Re = Ud/A_h = 450$
 超臨界レイノルズ数の領域

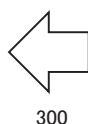
偏差擾乱の調和定数 (位相と振幅)



カルマン渦列とは異なる1列の配位!?



シア不安定の基礎方程式の導出

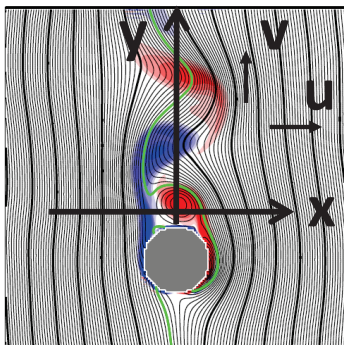


「へ」の字型の偏差擾乱

島背後の水平シア流による不安定波

渦位保存式

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{f + \zeta}{H + \eta} \right) = 0 \quad \xrightarrow{\text{モデル結果}} \quad \begin{array}{l} \text{相対渦度} \quad \zeta \sim f \\ H \gg \eta \\ \text{上層厚} \quad \text{惑星渦度} \\ \text{内部境界面変位} \end{array} \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{f + \zeta}{H} \right) = 0 \quad \xrightarrow{H=\text{一定}, f=\text{一定}} \quad \frac{d\zeta}{dt} = 0 \quad (1)$$



基本場のシアー流

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial(V(x) + v')}{\partial x} - \frac{\partial(0 + u')}{\partial y} = \frac{\partial v'}{\partial x} - \frac{\partial u'}{\partial y} + \frac{dV}{dx}$$

$$u' = -\frac{\partial \psi}{\partial y}, v' = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad \text{の流線関数} \psi \text{を導入すると} \quad \zeta = \nabla^2 \psi + \frac{dV}{dx}$$

この ζ を①に代入して、線形化すると

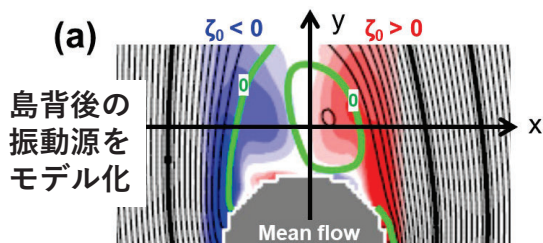
シアー不安定波の式

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + V \frac{\partial}{\partial y} \right) \nabla^2 \psi - \frac{d^2 V}{dx^2} \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \quad (1')$$

さらに、y方向に伝播する擾乱解 $\psi = F(x)e^{i(ky - \sigma t)}$ を代入して整理すると (k は波数、 σ は周波数)

基礎方程式 (Rayleigh方程式)

$$(Vk - \sigma) \left(\frac{d^2 F}{dx^2} - k^2 F \right) - kF \frac{d^2 V}{dx^2} = 0 \quad (2) \quad \xrightarrow{\text{次に}} \quad \text{振動源をモデル化}$$



基礎方程式

$$(Vk - \sigma) \left(\frac{d^2 F}{dx^2} - k^2 F \right) - kF \frac{d^2 V}{dx^2} = 0 \quad (2)$$

渦位一様の線形安定論 (3点折れ線モデル)

I ~ IVの各領域で $d^2 V/dx^2 = 0$ なので、②は

$$\frac{d^2 F}{dx^2} - k^2 F = 0 \quad (2')$$

よって、領域 I $F_1(x) = A_1 e^{kx} + B_1 e^{-kx}$
 領域 II $F_2(x) = A_2 e^{kx} + B_2 e^{-kx}$
 領域 III $F_3(x) = A_3 e^{kx} + B_3 e^{-kx}$
 領域 IV $F_4(x) = A_4 e^{kx} + B_4 e^{-kx}$

擾乱の空間構造

i) $x = \pm \infty$ で $F \rightarrow 0$ (シアー領域に捕捉) ③

ii) $x=0$ と $\pm L$ の連続条件 $F(x + \varepsilon) = F(x - \varepsilon)$ ④

iii) $x=0$ と $\pm L$ の②の接続条件 (中央差分を利用: 余田先生のHPを参考)

$$(Vk - \sigma) \left[\frac{dF}{dx} \right]_{x=\varepsilon}^{x=-\varepsilon} - kF \left[\frac{dV}{dx} \right]_{x=\varepsilon}^{x=-\varepsilon} = 0 \quad (5) \leftarrow (2)$$

$\sigma^* = \frac{\sigma}{\alpha}, k^* = kL$ で無次元化し、i)~iii)の境界条件をもとに整理すると、 $P = \{2(k^* - \sigma^*) - 1\} e^{2k^*}$ とおけば

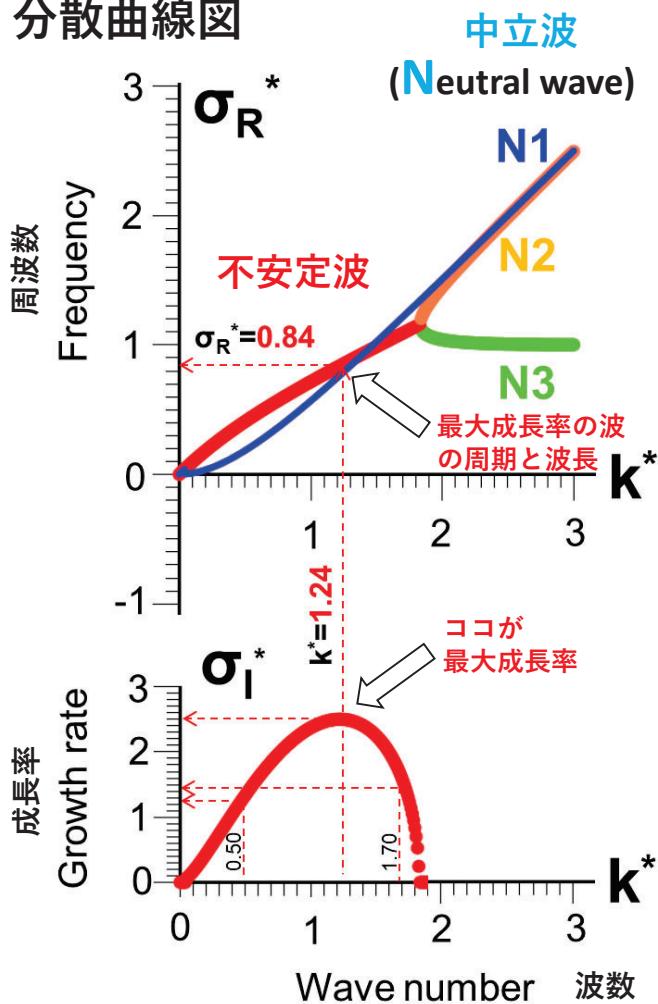
$$\begin{pmatrix} P & -1 & 0 \\ 1 & 1 - \sigma^* & \sigma^* \\ 1 & 1 & -P - 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \\ B_3 \end{pmatrix} = 0 \quad (6)$$

振幅 A_2, B_2, B_3 が零でないためには、 3×3 の係数行列の行列式が零

$\rightarrow \sigma^*$ に関する3次の代数方程式 (Cardanoの解公式)

これが分散関係式。でも非常に複雑な式なので・・・それを分散曲線図で表現。

分散曲線図



成長率 σ_I^* が最も大きな不安定波

の周期と波長を確認

本モデル計算では $d = 2L = 15\text{km}$, $V_0 = 0.3\text{m/s}$

$$\sigma_R^* = \frac{\sigma}{\alpha} = 0.84$$

有次元の周期 $T = \frac{2\pi}{\sigma} = \frac{2\pi}{0.84\alpha} = \frac{2\pi L}{0.84V_0} = 2.16\text{day}$ モデルは約2.4日

$$k^* = kL = 1.24$$

有次元の波長 $l = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi L}{1.24} = 37.9\text{km}$ モデルは約40km

いずれもモデル結果と比べて、少し小さめ

ストローハル数(無次元の周波数)

$$St = \frac{d}{TV_0} = \frac{\sigma}{2\pi V_0} = \frac{1}{\pi} \frac{\sigma}{\alpha} = \frac{\sigma^*}{\pi} = 0.267$$

カルマン渦の場合には、 $St = 0.2$ くらいと言われている

次は、その最大成長率をもつ不安定波の空間構造を確認

「 $\wedge$ 」の字の偏差擾乱

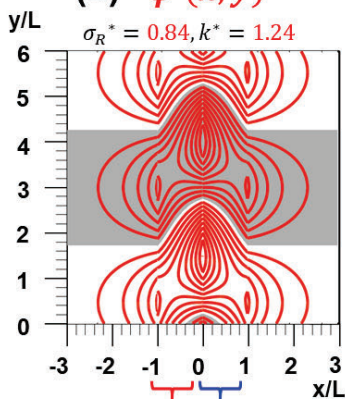
基本場

合成した理論解

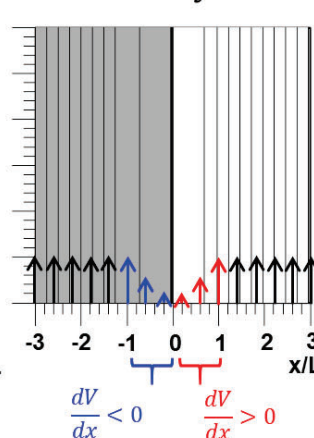
モデル結果

(a) $\psi'(x, y)$

$$\sigma_R^* = 0.84, k^* = 1.24$$

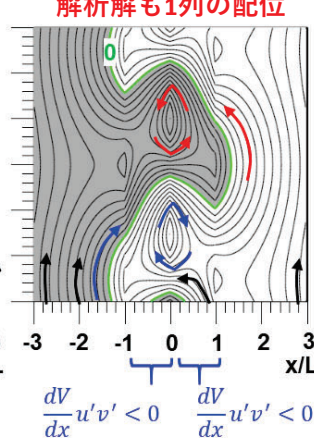


(b) $\bar{\psi}(x) = \int v dx$



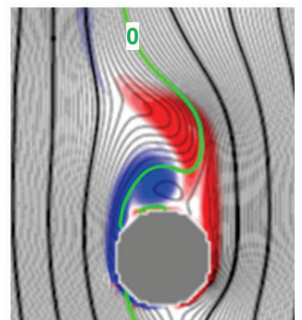
(c) $\psi = \bar{\psi} + \psi'$

解析解も1列の配位



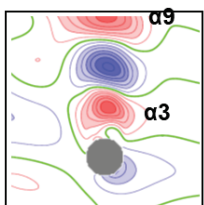
(d) 1.5-layer model

time = 49 d.



モデルの「 $\wedge$ 」の字

180°



③ 本研究では、この不安定波の中に共鳴した二つの中立波がある
と考える

それゆえ、次は・

直接には見えない中立波を特定する!!

中立波を特定する方法

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + V \frac{\partial}{\partial y}\right) \nabla^2 \psi - \frac{d^2 V}{dx^2} \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \quad (1)' \quad \text{シアー不安定波の式}$$

基本場のシアー部分 $-\frac{d^2 V}{dx^2} = \beta_t$ とおいて... この β_t は、地形性 β (または惑星 β) と考えると...

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + V \frac{\partial}{\partial y}\right) \nabla^2 \psi + \beta_t \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \quad \text{移流場 } V \text{ における非発散の (地形性) ロスビー波の式}$$

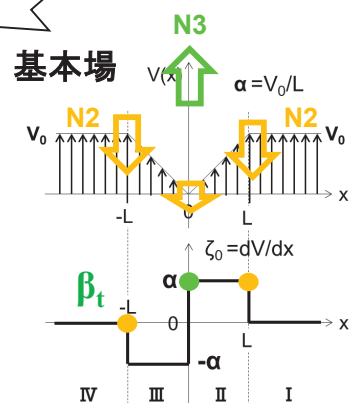
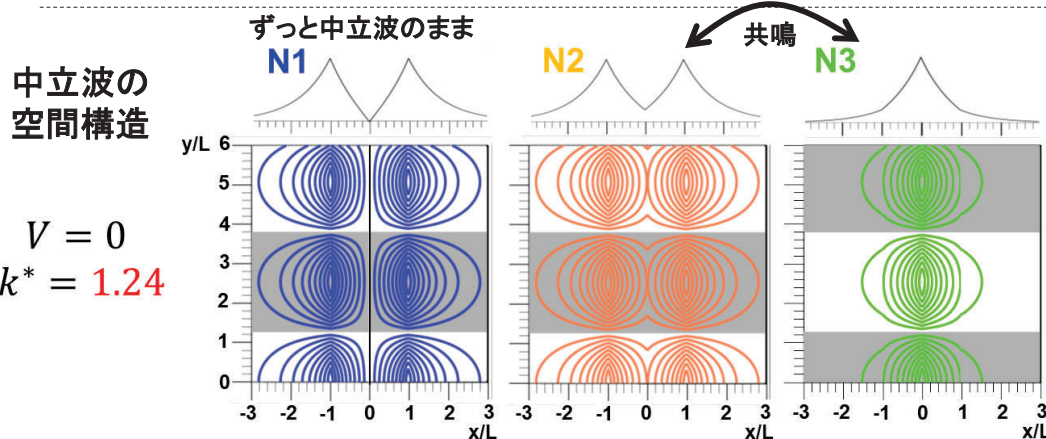
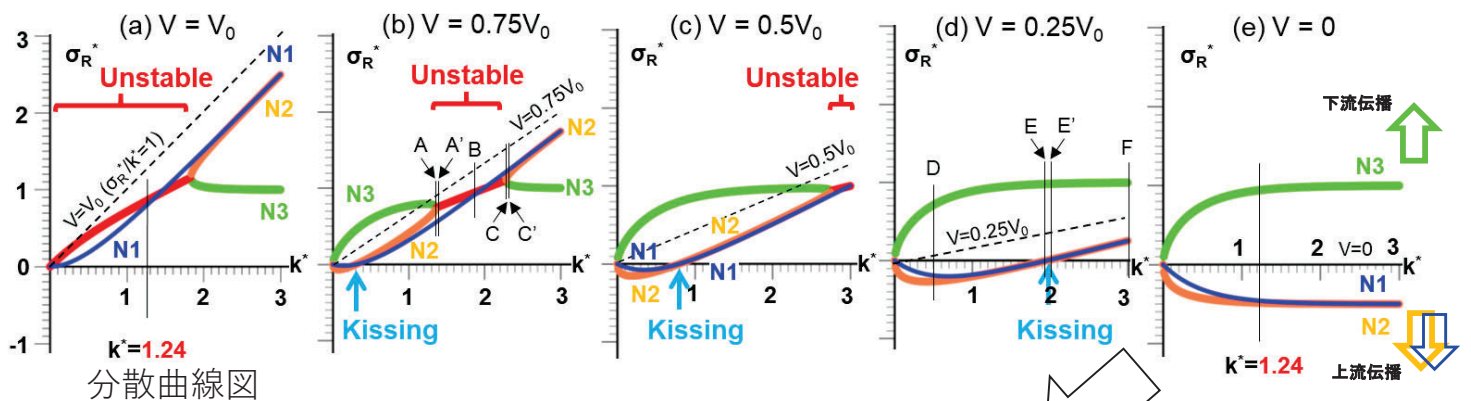
移流のみを零
 $V \rightarrow 0, \text{ but } \beta_t \neq 0$

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi + \beta_t \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \quad \begin{array}{l} \text{高渦位(浅瀬側または北極側)を} \\ \text{右手にみて自由伝播する} \\ \text{非発散ロスビー波の式} \end{array}$$

非発散ロスビー波として、

(移流 V を考慮しないときの) 中立波が特定できると考えた!

移流場における非発散ロスビー波の式 $\left(\frac{\partial}{\partial t} + V \frac{\partial}{\partial y}\right) \nabla^2 \psi + \beta_t \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0$ $\Rightarrow$ $V=0$ とした中立波の式 $\Rightarrow$ 非発散ロスビー波の式 $\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi + \beta_t \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0$



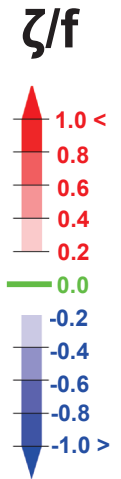
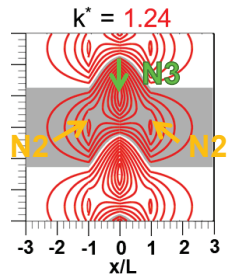
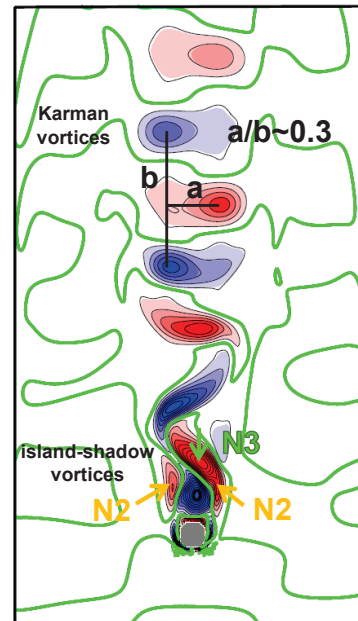
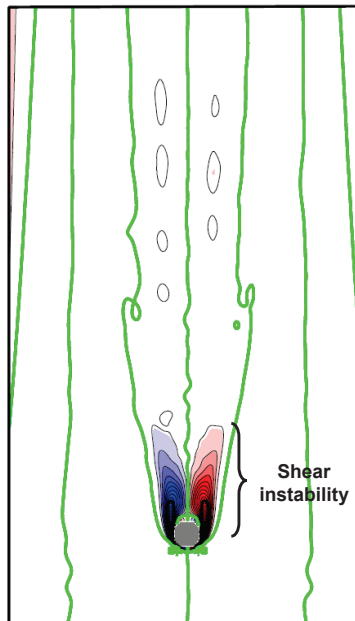
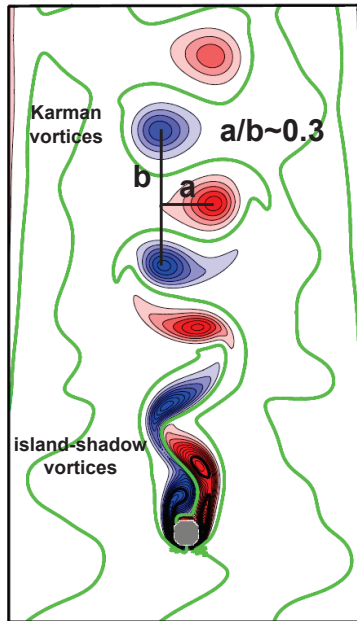
Non-rotating system & Re=100

不安定波

(a) Snapshot

(b) Mean field

(c) Anomaly



レイノルズ数Re=450から、カルマン渦列が励起されるRe=100へ変更 (ただし、非回転系)
→ 1列配位の島影渦列から2列配位のカルマン渦列への遷移

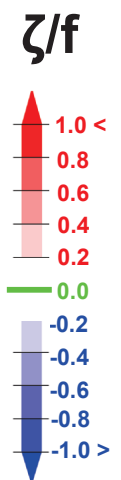
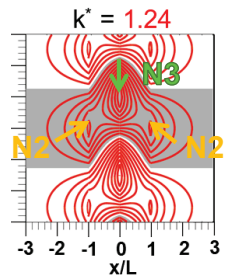
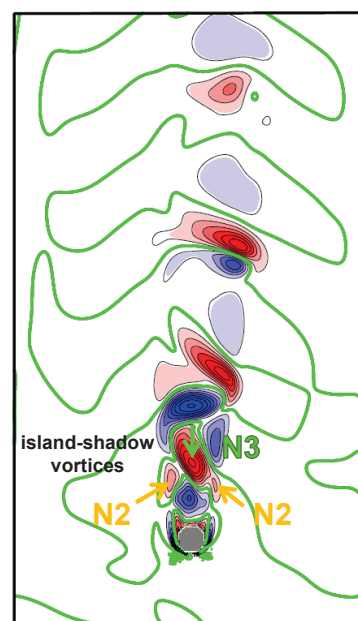
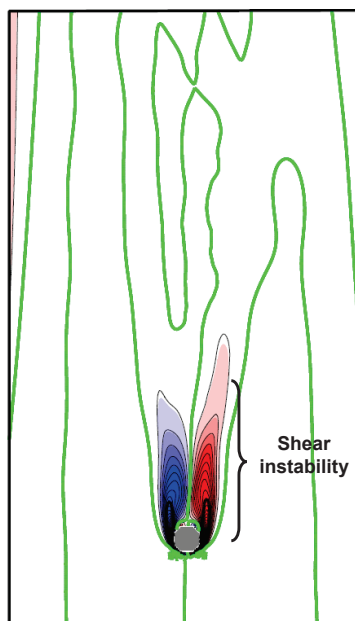
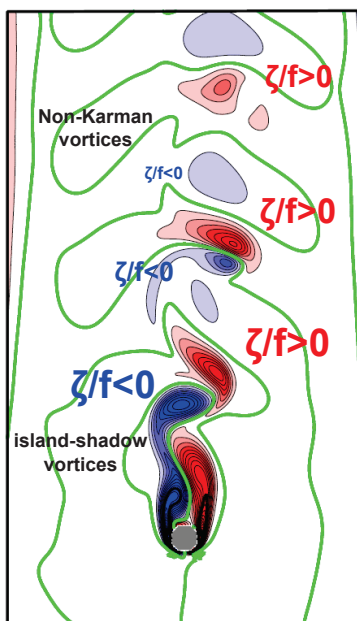
Rotating system & Re=100

不安定波

(a) Snapshot

(b) Mean field

(c) Anomaly



レイノルズ数Re=450から、カルマン渦列が励起されるRe=100へ変更 (回転系に戻す)
→ 1列配位の島影渦列はみられるが、カルマン渦列は形成されない!!

「中立波の共鳴による島影渦列の解釈」のまとめ

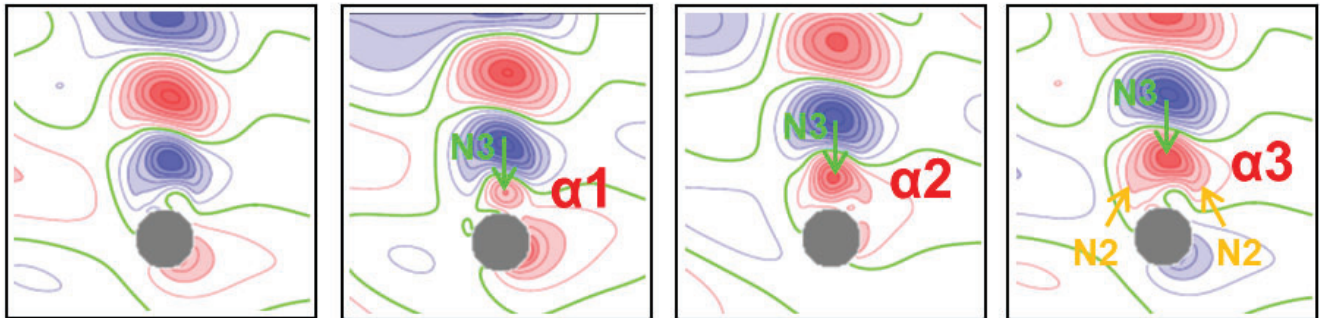
(下図) モデル結果(Re=450)の偏差擾乱時間変化図を用いて

0° (360°)

60°

120°

180°



N3 の中立波（下流方向へ自由伝播）が最初に発生し、**α1**のころ
その後、遅れて発生する

N2 の中立波（上流方向へ自由伝播するが、下流へ移流）**α3**のころ
が同じ伝播速度となって(重なり合っ)共鳴する。
このとき、偏差擾乱の形状は「へ」の字となる。

二つの中立波**N3**と**N2**の位相遅れが**1/4波長(90°)**くらいのとき、その渦流擾乱の成長率が最も大きくなり、我々が観察できる**島影渦**になると解釈される。

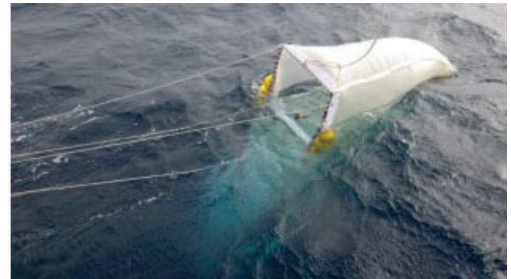
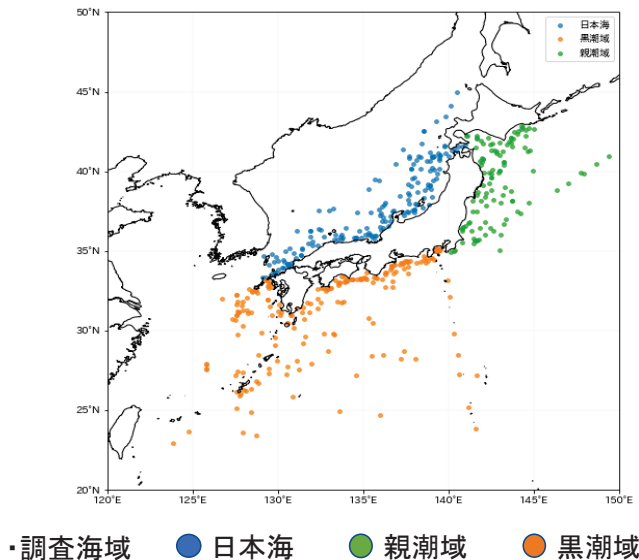
日本周辺海域に浮遊するマイクロプラスチックの破砕モデル

*徳地雄真¹、磯辺 篤彦²

(1. 九州大学総合理工学府、2.九州大学応用力学研究所)

研究背景

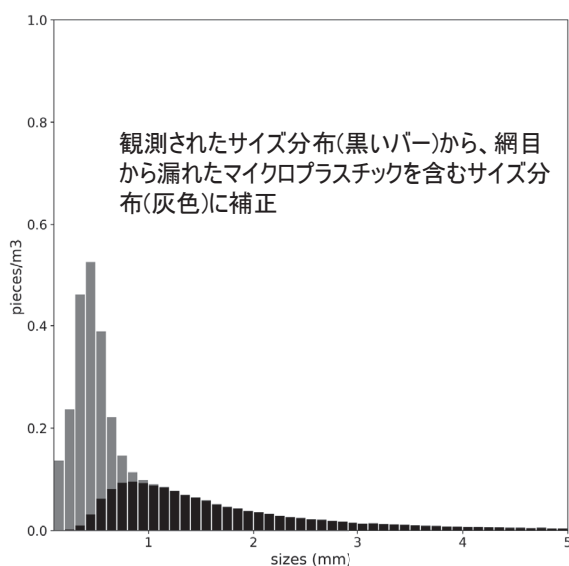
2014年以降の日本周辺海域でマイクロプラスチック(MP)のサイズ分布調査が行われている。
(環境省一沖合海域における漂流・海底ごみ実態把握調査業務報告書)



採取はネットを使用して行われる
網口: 75cm*75cm 網目: 350 μm

2

マイクロプラスチックのサイズ分布は、プラスチックの海洋環境下での劣化・破碎過程を反映しているはず。

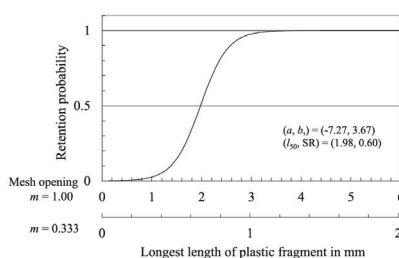
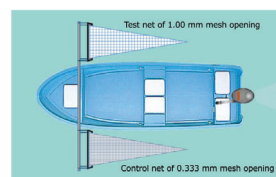


海表面での曳網調査で採取したマイクロプラスチック現存量 (piece/m3)と、Tokai et al. (2021, MPB)による網目から漏れた存在量の補正。2014年以降の日本周辺における全ての採取プラスチックを使って作成したもの。これ以降は、この補正分布で議論を進める



Mesh selectivity of neuston nets for micropastics

Tadashi Tokai^{a,*}, Keiichi Uchida^a, Mao Kuroda^a, Atsuhiko Isobe^b



Tokai et al. (2021)

目あいの異なる二つの網を同時に曳網し、サイズ分布の違いから網目を抜ける保持率の算定式を導出したもの

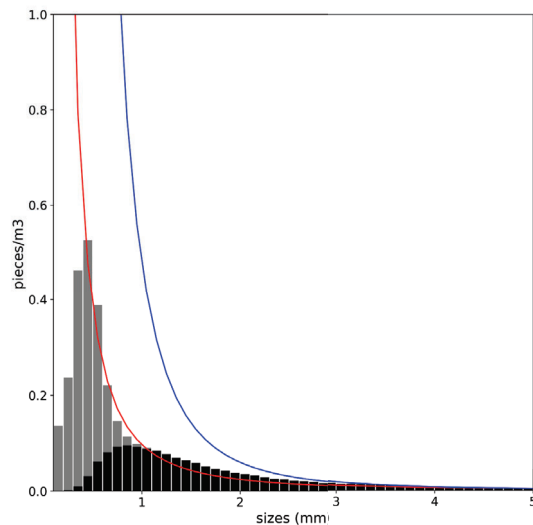
左は保持率(r)のサイズ分布。1が完全保持。mは網の目あい(mm)、lはサイズ(mm)

$$r(l, m) = \frac{\exp(a + bl/m)}{1 + \exp(a + bl/m)}$$

where $(a, b) = (-7.72, 3.67)$.

3

既存のマイクロプラスチック破碎モデル1 ~Cozar et al. (2014)の平衡破壊モデル



Plastic debris in the open ocean

Andrés Cózar^{a,1}, Fidel Echevarría^a, J. Ignacio González-Gordillo^a, Xabier Irigoien^{b,c}, Bárbara Úbeda^a, Santiago Hernández-León^d, Álvaro T. Palma^e, Sandra Navarro^f, Juan García-de-Lomas^g, Andrea Ruiz^g, María L. Fernández-de-Puelles^h, and Carlos M. Duarte^{i,j,k,l}

$$A_i^f = \frac{A_{ref} \cdot \alpha \cdot l_{ref}^3}{\alpha \cdot l_i^3} = \frac{A_{ref} \cdot l_{ref}^3}{l_i^3}$$

平衡状態では質量(体積)保存を満たすよう三次の増加曲線に従う (Cozar et al., 2014)

疑問

- ✓ MPの生成と破碎はサイズごとに平衡状態か？
- ✓ サイズの三乗は体積(重量)の良い指標か？
- ✓ むしろ二次曲線がよく合致するのはなぜか？

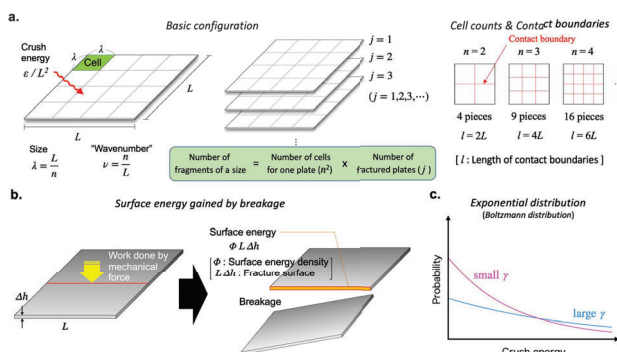
$$A_i^f = \frac{A_{ref} l_{ref}^2}{l_i^2}$$

既存のマイクロプラスチック破碎モデル2 ~Aoki & Furue (2021)のボルツマン分布モデル

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

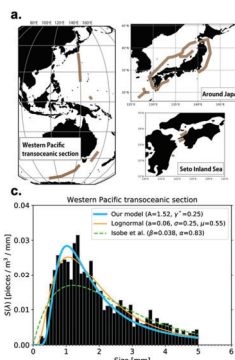
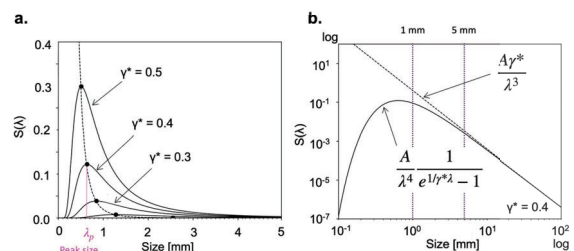
A model for the size distribution of marine microplastics: A statistical mechanics approach



MPの破碎が細かく進むほど、破碎に要するエネルギーが大きくなり、そのエネルギーを供給する自然現象の発生確率は小さくなる (ボルツマン分布に従う)

プレートの破壊理論

$$S(\lambda)d\lambda = \frac{A}{\lambda^4} \frac{1}{e^{b/\lambda\gamma} - 1} d\lambda,$$



SはMP存在量のサイズ(λ)別分布
γ* = γ/b と Aは観測値に合わせる調整値

- ✓ 小サイズでの存在量の急減を物理モデルだけで説明できるメリット

疑問

- ✓ 調整値は合理的か？

既存のマイクロプラスチック破碎モデル3 ～ Kaandorp et al (2021)のフラクタル破壊モデル

ENVIRONMENTAL RESEARCH
LETTERS

LETTER

Modelling size distributions of marine plastics under the influence of continuous cascading fragmentation

Mikael I A Kaandorp, Henk A Dijkstra and Erik van Sebille

$$m(k;f,p) = \frac{\Gamma(k+f)}{\Gamma(k+1)\Gamma(f)} p^k (1-p)^f,$$

m :MP重量の確率密度分布

k :サイズの段階

f : 調整するパラメータ

p :一回の破碎で割れる割合 $0 < p < 1$,

PPで0.45, PEで0.39

この割合がサイズに関わらず一定で破壊が続くというフラクタル破壊モデル

Γ :ガンマ関数

m :MP個数の確率密度分布

D_N : 3(fragment), 2(sheet), 1(fiber)

固体地球分野の土壌や岩盤破壊のモデルの応用
(Turcotte et al., 1986, JGR-Solid Earth)

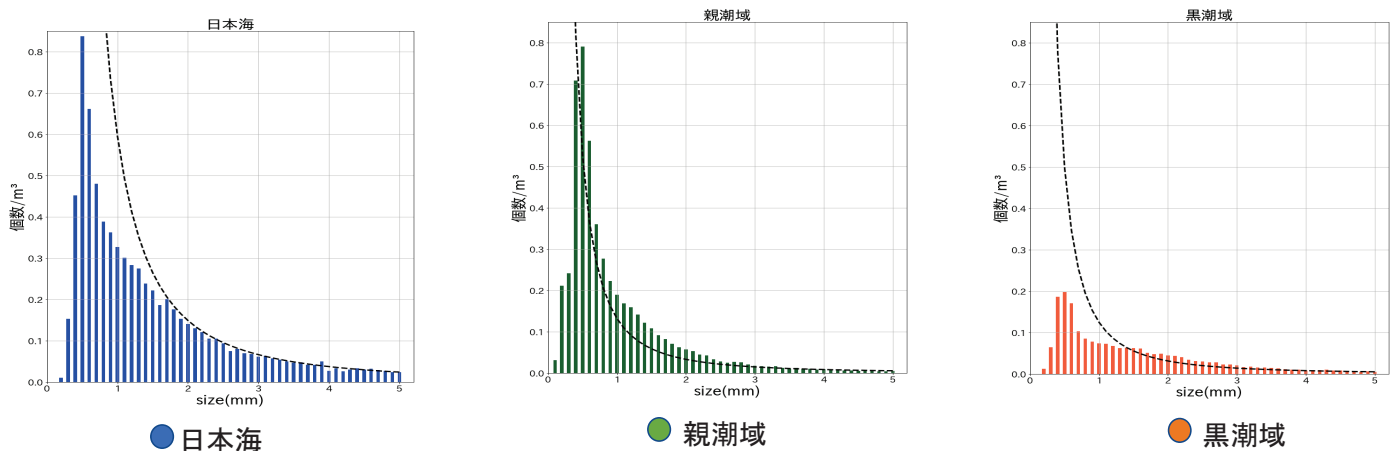
疑問

✓ 調整値は合理的か？

6

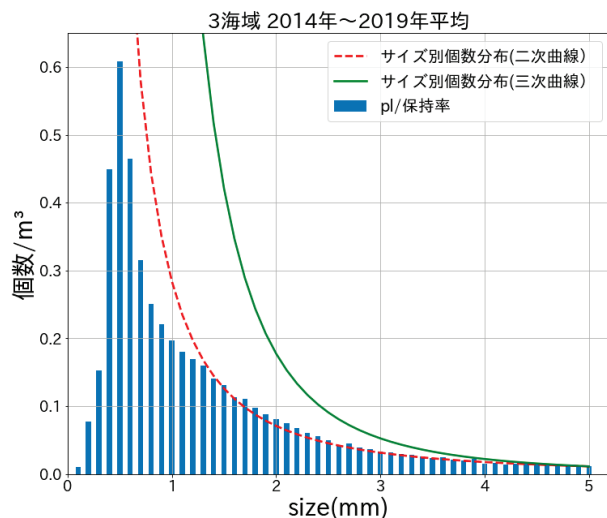
目的

仮定:「実海洋で破碎要因となる劣化や物理的刺激は全くのランダムである」とすれば
モデルの設計: 調整パラメータや破碎の制限(ボルツマン分布やフラクタル破壊)を考慮しない
ランダム破碎モデルを構築する
検証: 以下のような海域ごとのサイズ分布の違いを合理的に説明できるか？



- 日本海: 1.6mmあたりまで、曲線に沿うがそれ以下のサイズで欠損が発生
- 親潮域: 3.0～0.5mmの範囲において、質量保存から予想される浮遊密度を超える
- 黒潮域: 1mm以下の小さなサイズで大きく欠損

モデルの設計

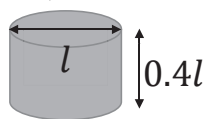


自然界においてMPは、三次曲線より、むしろ**二次曲線(赤)**に沿った個数分布を示す

➡ モデル2にも一定の合理性

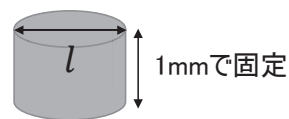
本研究ではモデル1とモデル2を比較する。

モデル1



・MPの厚みは直径 l の0.4倍

モデル2



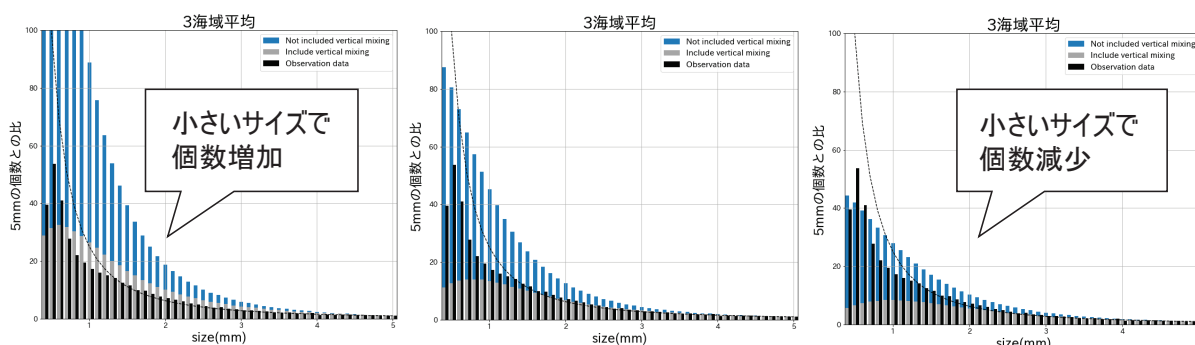
・MPの厚みは直径 l のサイズに関わらず一定(ここでは1mmで固定)

モデル1: 体積(質量)保存に従って、ランダムな破碎を繰り返す。質量保存は物理の大原則であり、この仮定自体の合理性は自明である。サイズの三次曲線に近づく。ここではIsobe et al. (2019, Nat Comm)に従って、サイズの40%を厚みとする。

モデル2: 一定の厚みを維持したまま破碎を繰り返す。結果として面積保存であり、サイズの二次曲線に近づく。劣化要因である紫外線の、プラスチック表面からの侵入深度はサイズに関わらず一定のはず(プラスチックの透明度に依存)。従って一定の厚みで剥離を繰り返す破壊は説得力がある。

初期破碎サイズによる個数分布の違い

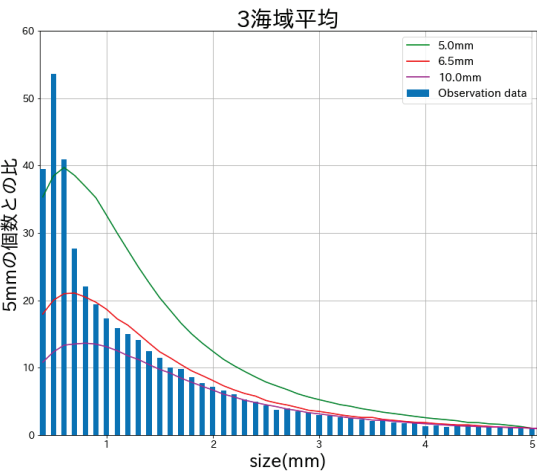
破碎スタート時の**初期MPサイズ**により、各サイズへ破碎する一定の確率 P を決定する
初期MPサイズには、観測されるサイズ分布を最もよく再現できるものを採用



初期MPサイズ	5mm	10mm	20mm
各サイズへ破碎する確率 P	0.02	0.01	0.005

RMSEによる初期MPサイズ別破碎モデルの比較

観測値と、初期MPサイズの異なるモデルのRMSE (Root-Mean-Squared Error)を計算



初期MPサイズ	RMSE (1mmまで)
5.0mm	2.226
6.5mm	0.499
10.0mm	0.603

・三海域での平均観測値と、初期MPサイズ別破碎モデルの結果

➡ 観測値と最も誤差の小さい、6.5mmをモデルの初期MPサイズに設定

10

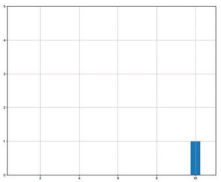
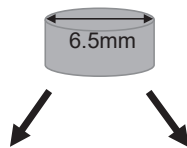
手法 — 破碎モデル概要

手順①～③で一回の試行

マイクロプラスチック

サイズ別個数分布

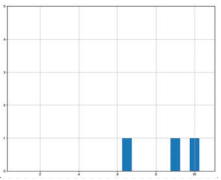
①直径6.5mmのマイクロプラスチック(以下MP) 1つから破碎をスタート



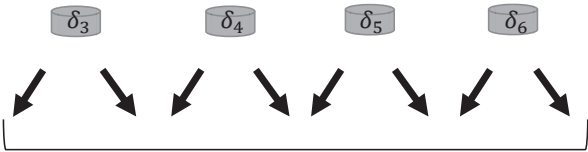
②破碎サイズ δ_n (=0.1～6.4)を0.1mm刻みに同じ確率の一様乱数で決定し、 δ_n を直径とするMP体積を破碎元の体積から引く



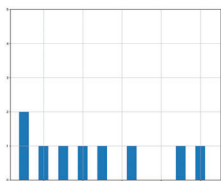
➡
プロット



③ ②を破碎元の体積が直径0.3mmの体積以下になるまで繰り返す。
また、破碎先のMPに対しても、同じ操作を行う。



➡
プロット

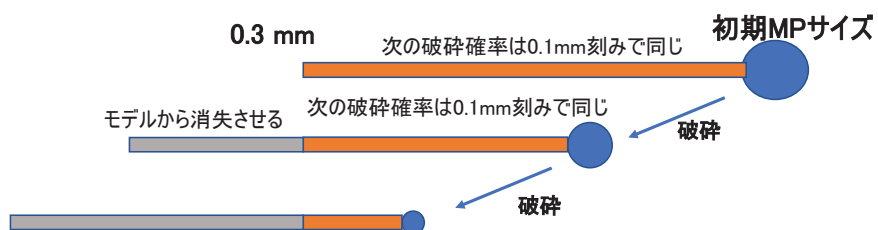


直径0.3mm以下になるまで繰り返す

11

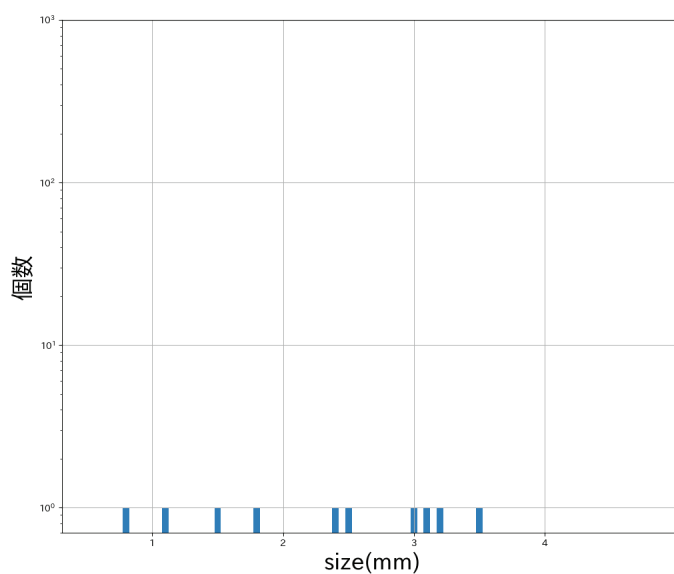
手法一 破碎モデル設定

- ✓ 直径0.3mm以下のMPは実海域で採集不可のため、モデル内では消滅するものと設定
- ✓ 全てのサイズで破碎が同確率で起きると仮定
- ✓ どの直径サイズから破碎がスタートしても、破碎先のサイズを決める確率は一定



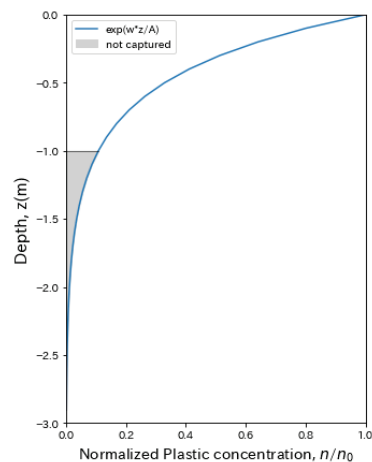
12

破碎の様子 of 例 (モデル1)



13

海洋表層乱流に伴う鉛直混合を補正



・5mmのMPの鉛直分布（表面値 n_0 で規格化）

$$\frac{\bar{n}(z)}{\bar{n}_0} = e^{\frac{w_b}{A_0}z} \quad \text{T. Kukulka et al.(2012)}$$

・MPの鉛直分布を表す指数関数

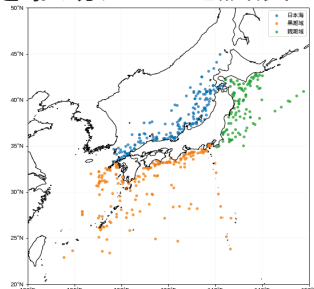
$\bar{n}(z)$: 位置 z における粒子数
 $w_b = 0.002\sigma$ m/s (上昇速度) (σ : size)
 $A_0 = 1.5u^*\kappa H_s$ (鉛直拡散係数)
 $u^* = 0.0012w_{10}$ (水摩擦速度)
 $\kappa = 0.4$ (カルマン定数)
 H_s = (有義波高)
 w_{10} = (風速)

➡ MPの鉛直分布より、表層曳網調査では観測できない水深1m以深（図のグレー部分）のMPをモデルから除外する。

14

鉛直混合効果の計算

鉛直混合の効果を決定する、平均風速(J-OFURO; Tomita et al., 2019)と有義波高(J-OFUROを駆動力とした波浪モデルで計算)を、観測日時と場所で抽出



・調査海域 ● 日本海 ● 親潮域 ● 黒潮域

	平均風速(m/s)	有義波高(m)
日本海	6.02	1.33
親潮域	6.45	1.57
黒潮域	3.85	3.43

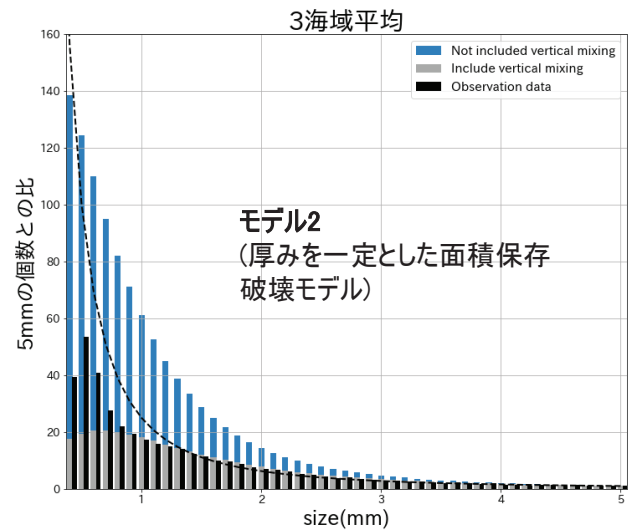
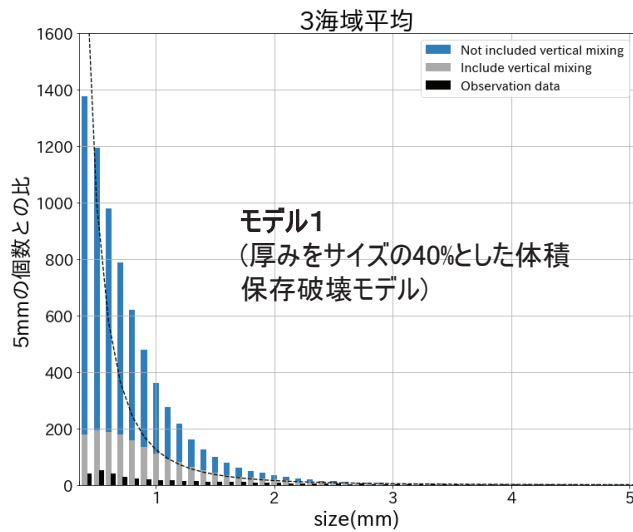
$$\frac{\bar{n}(z)}{\bar{n}_0} = e^{\frac{w_b}{A_0}z} \quad \text{T. Kukulka et al.(2012)}$$

$\bar{n}(z)$: 位置 z における粒子数
 $w_b = 0.002\sigma$ m/s (上昇速度) (σ : size)
 $A_0 = 1.5u^*\kappa H_s$ (鉛直拡散係数)
 $u^* = 0.0012w_{10}$ (水摩擦速度)
 $\kappa = 0.4$ (カルマン定数)
 H_s = (有義波高)
 w_{10} = (風速)

15

モデル結果

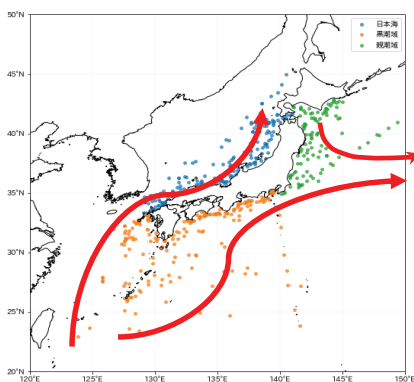
・20000回の試行を行った個数分布結果
(直径5mmのMP個数で規格化済み)



モデル1は三次曲線(破線)に近くなり、二次曲線に近くなるモデル2に比べMPの数が飛躍的に増える(左右の図で縦軸の数値が異なることに注意)。モデル2の方が観測に近い

16

海域別個数分布の比較

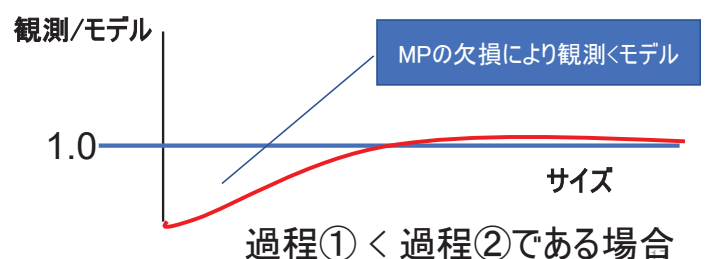
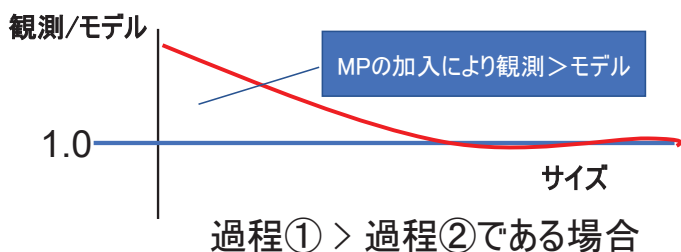


モデルと観測で、サイズ別MP個数の比をとる。

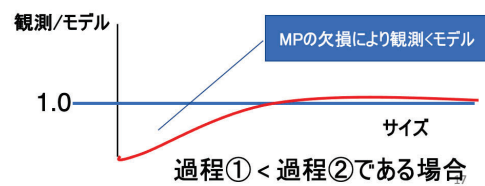
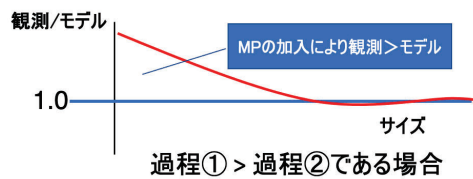
✓ モデルは閉鎖系の物理的破壊モデルなので、次のような過程は表現できない

- ① MPの上流から下流へ移流
- ② MPの生物過程による表層海洋からの沈降(Long et al., 2015; Hinata et al., 2022など)

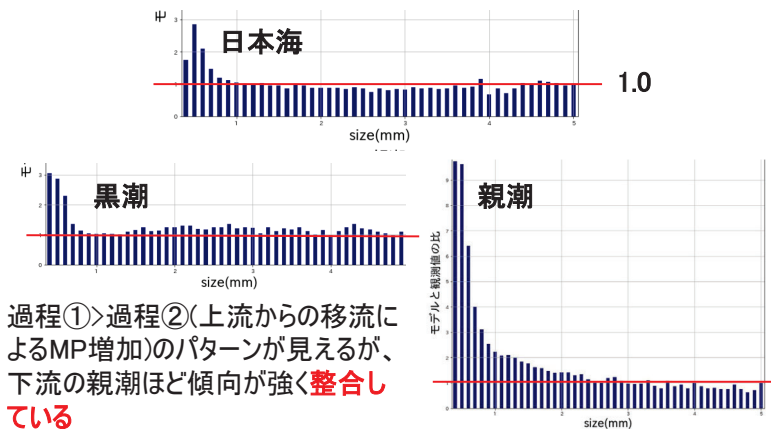
✓ 上流の対馬暖流域や黒潮域に比べ、下流の親潮域では①もしくは②で以下のような比が顕著となるはず



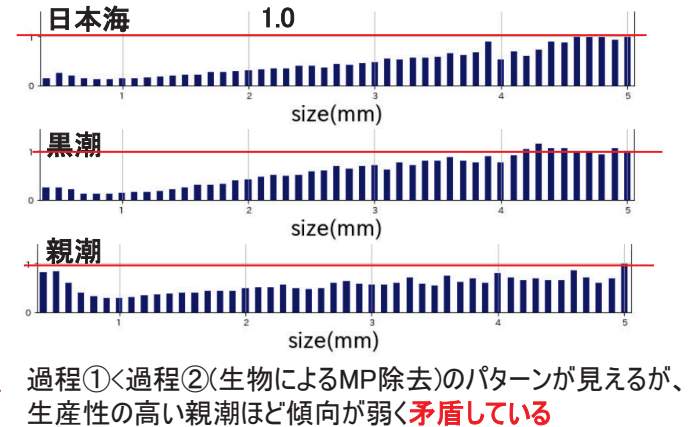
海域別個数分布の比較



モデル2の観測/モデル比



モデル1の観測/モデル比



結論

- ✓ ランダムに破碎を繰り返すMP破壊モデルを構築した
- ✓ 元のMP体積(質量)を保存するモデル1と、一定の厚みで破碎を繰り返すモデル2の比較を行った。
- ✓ モデルでは閉鎖系での破碎と海洋乱流による鉛直混合のみを考慮しており、海流の下流に行くに従って新たに生成されるMPの加入や、生物過程に伴う海洋表層からの沈降除去過程は考慮されていない。
- ✓ 下流に位置する親潮域と、上流の対馬暖流域や黒潮域との観測/モデル比を見る限り、モデル2の方がモデル1よりも矛盾がない。
- ✓ Kaandorp et al (2021)のフラクタル破碎モデルに切り替えて、同じ解析を行なってみたい。

越前海岸で発生した 2022年8月の急潮について

日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会
2022年12月1日@九州大学応用力学研究所

広瀬成章¹・岩崎俊祐²・碓氷典久¹・坂本圭¹・石川一郎¹・中野英之¹
(1. 気象研究所, 2. 福井県水産試験場)

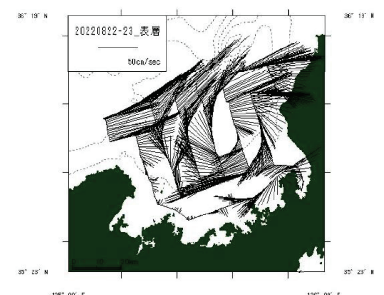
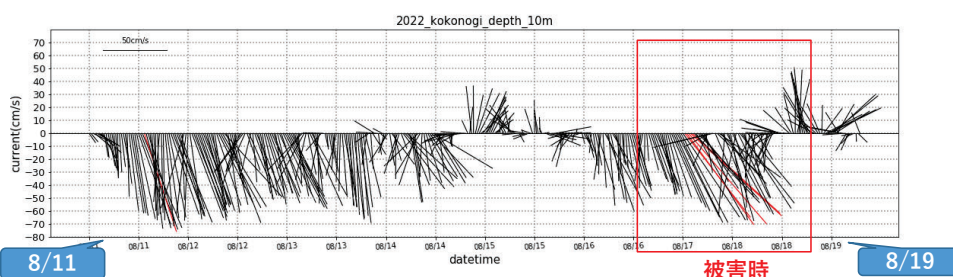
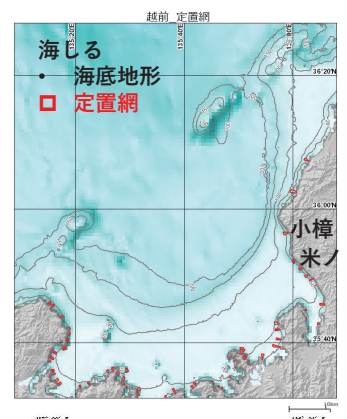
1

2022年8月の越前海岸急潮

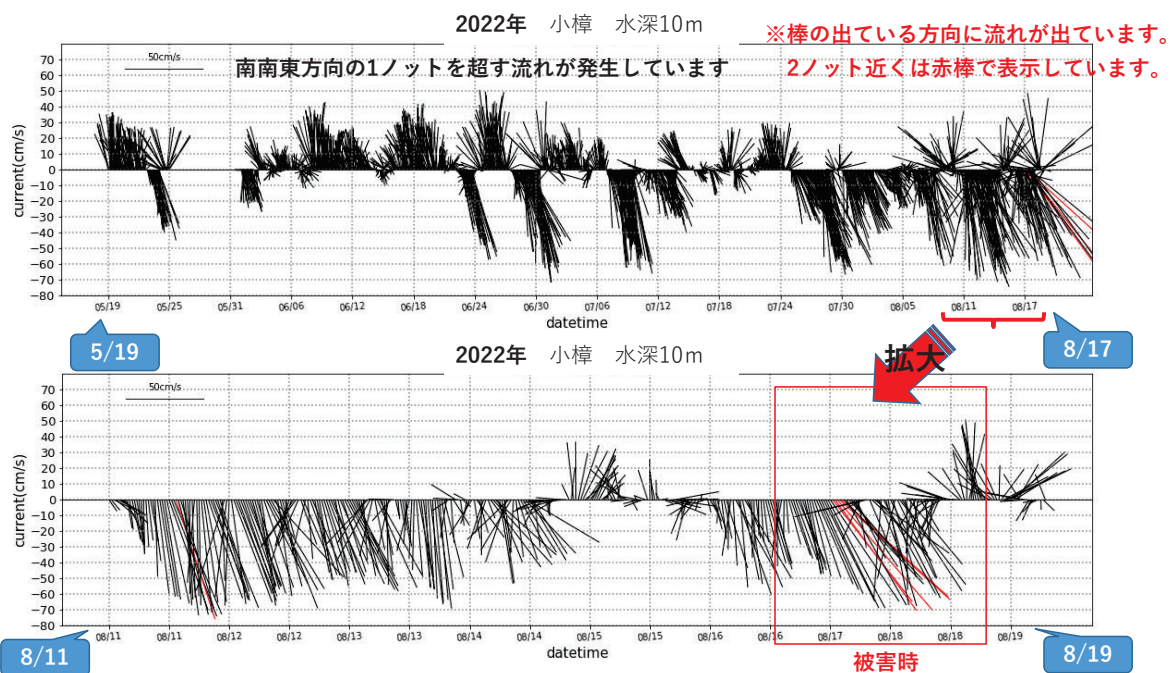
「越前町の定置網 被害深刻 急潮影響 復旧に数億円」9月14日中日新聞

- 7月中旬に米ノ、8月中旬に小樟で網やロープの破損、切断による被害
- 地元漁業関係者「今回は今までにない被害」
- 被害総額は約2.57億円

- ✓ 定置網近くの係留流速計で、1~2knotの持続する強い南東流を観測。
- ✓ 8月16日~19日頃に小樟定置網に大きな被害発生(福井県水産試験場)
- ✓ 若狭湾内に高気圧性渦を観測(8月22日~23日)



2022年小樟流速観測



(福井県水産試験場 岩崎氏提供)

3

若狭湾の急潮

大気擾乱起源

- 近慣性波及び沿岸捕捉波
 - 台風、低気圧通過前後
- @丹後半島
 - 熊木ら, (2005), Igeta et al., (2007, 2009)

対馬暖流起源

- 沿岸分枝(第一分枝)の影響
- 沖合の亜表層冷水域の存在
 - Kaneda et al., (2017, 2019)

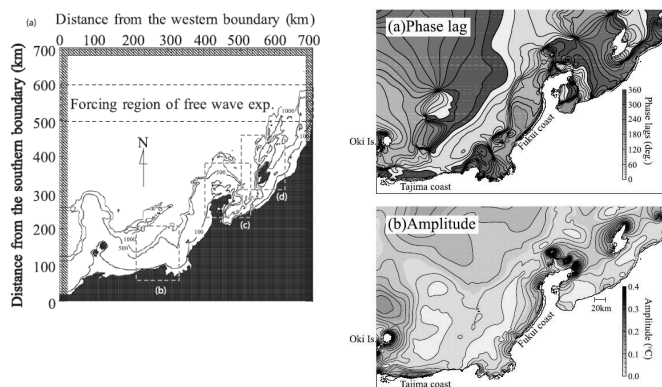
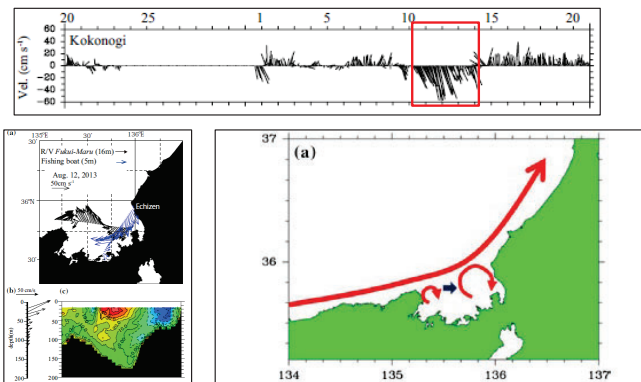


Figure 12. Horizontal distributions of (a) the phase lag and (b) the temperature amplitude at a depth of 30 m. Contour intervals are 20°C (Figure 12a) and 0.02°C (Figure 12b).



4

対馬暖流の流路

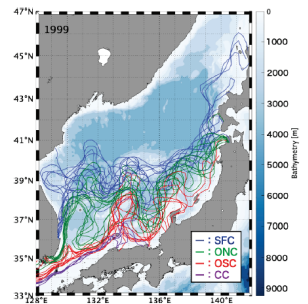
対馬暖流分枝

- 第一分枝：沿岸分枝
- 第二分枝：沖合分枝
- 第三分枝：東韓暖流

– Kawabe (1982), Hase et al., (1999), Ito et al., (2014)

– Yabe et al., (2021)：高度計データから流路分類

- →大和海盆周辺の流路の季節変動



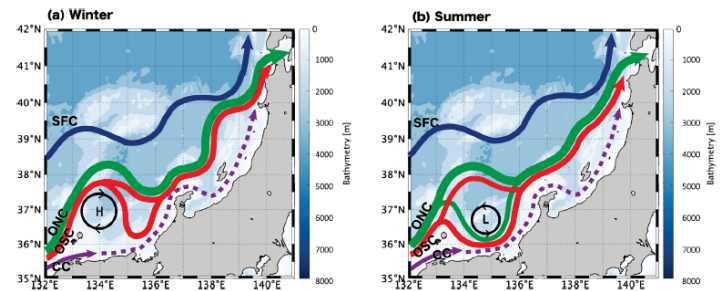
風による寄与

– 沿岸分枝の変動。水位変動にもみられる。

- Takikawa et al., (2017)

– 流量の季節変化。

- Moon et al., (2009)



5

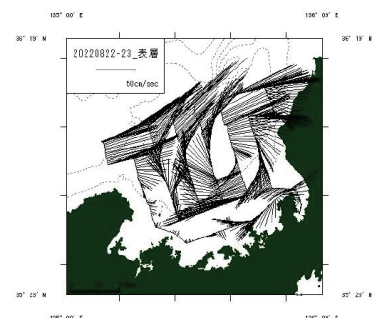
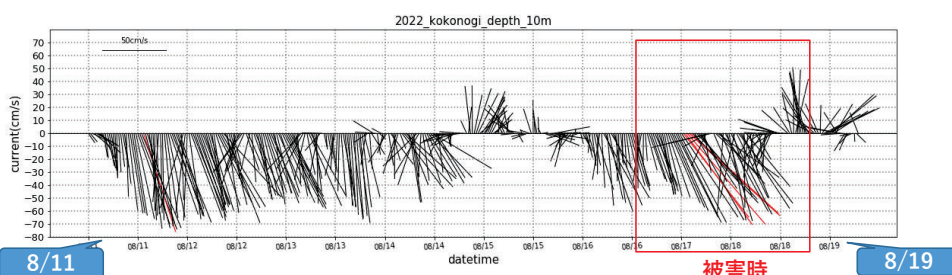
本研究の目的

2022年8月に越前海岸で発生した急潮の要因を調べる。

- ✓ 観測の特徴：若狭湾内の高気圧性循環、強い流れの継続性(7月下旬～8月中旬)
- ✓ 対馬暖流との関係性(沿岸分枝)

使用データ

- 気象庁の現業海況システムの数値モデルデータ
 - 福井県水産試験場による現場観測との比較
- (衛星高度計による海面高度・地衡流速)



気象庁の現業海況システム

日本沿岸海況監視予測システム(JPNシステム)

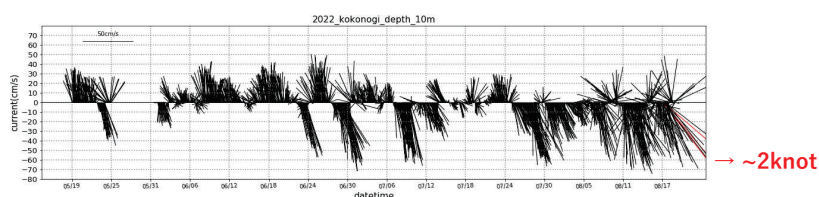
仕様：気象庁現業運用

- 海洋モデル: MRI.COMv4.6
 - 水平解像度: 2km
 - 領域: 117-160E, 20-52N (日本近海)
 - 鉛直層: 60層
 - 大気外力: GSM(水平解像度~20km)
 - 河川: 日別気候値
 - データ同化: NPR-4DVAR → IAUダウンスケーリング(IAU-DS)
 - 観測データ(NPR-4DVAR): 水温・塩分プロファイル、海面水温、海面高度
 - 同化期間: NPR-4DVAR(10日)、IAU-DS(3日IAU)
- 本発表では、日別解析値のデータを用いる。

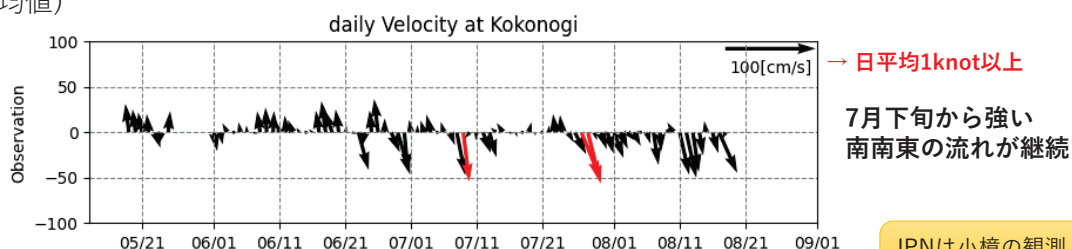
7

小樽における流速観測との比較

□ 係留流速観測(時別値)

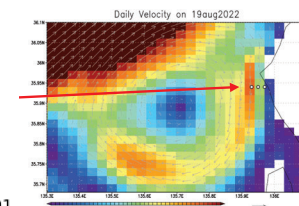
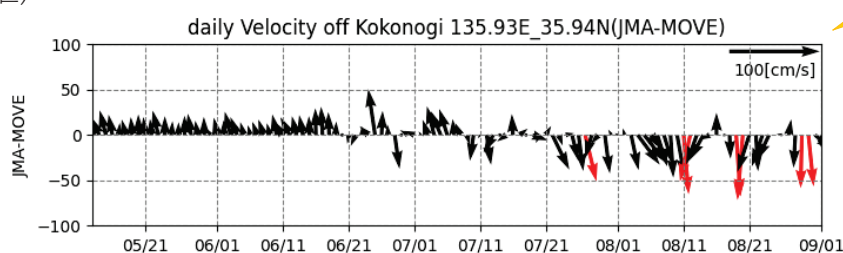


□ 係留流速観測(日平均値)



□ JPNの流速(日平均値)

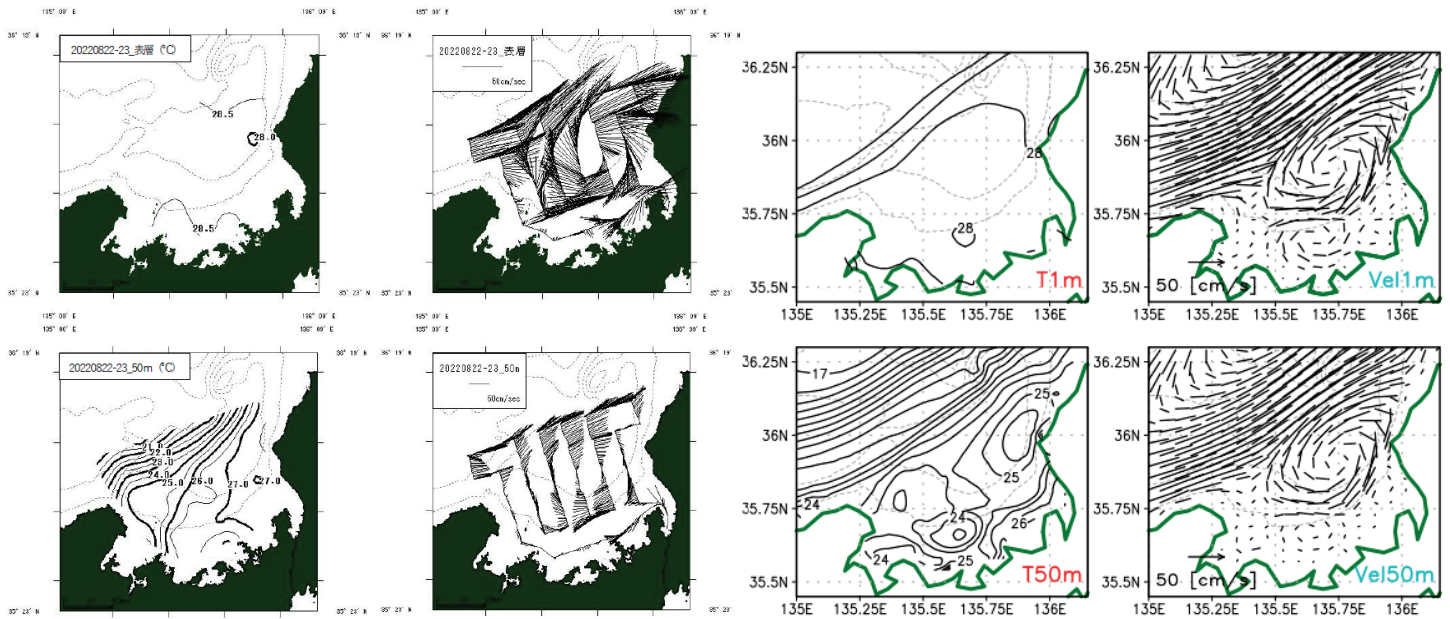
陸から3格子分、西



若狭湾内の循環場の比較

若狭湾の海況(CTD, ADCP) 2022/8/22~23

JPN 水温、流速, 8月23日



<https://www.fklab.fukui.fukui.jp/ss/joho/wakasawan/w20220822-23.pdf>

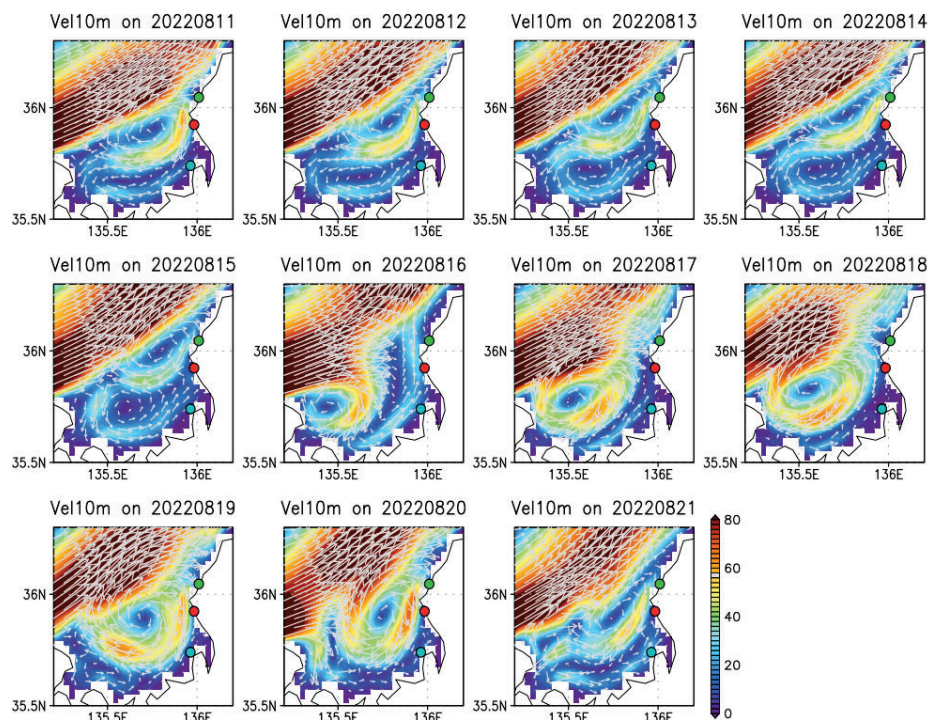
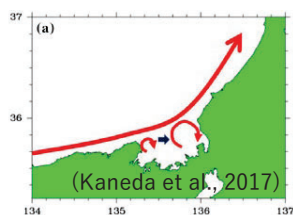
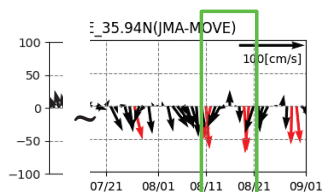
9

若狭湾の8月中旬の流速場

JPN 流速@10m水深

8/11-8/21

- 沿岸分枝の接岸
- 小樟周辺は南向きの流れ
- 8/16~8/19
- 高気圧性渦の発達と東進

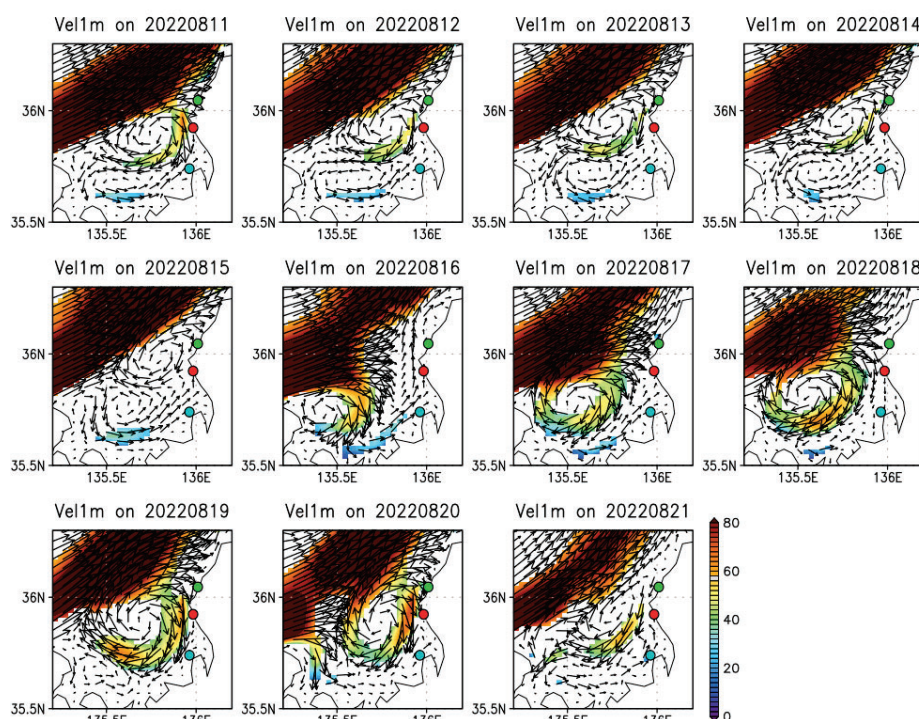
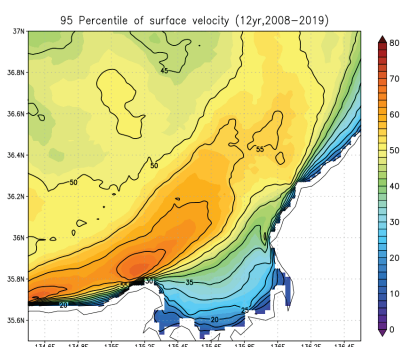


分位値による強流域の検出(若狭湾)

- 日別海面流速の分位値
 - 95%分位値
 - JPN: 2008-2019

強流検出域

- ✓ 対馬暖流沿岸分枝
- ✓ 若狭湾内の高気圧性渦

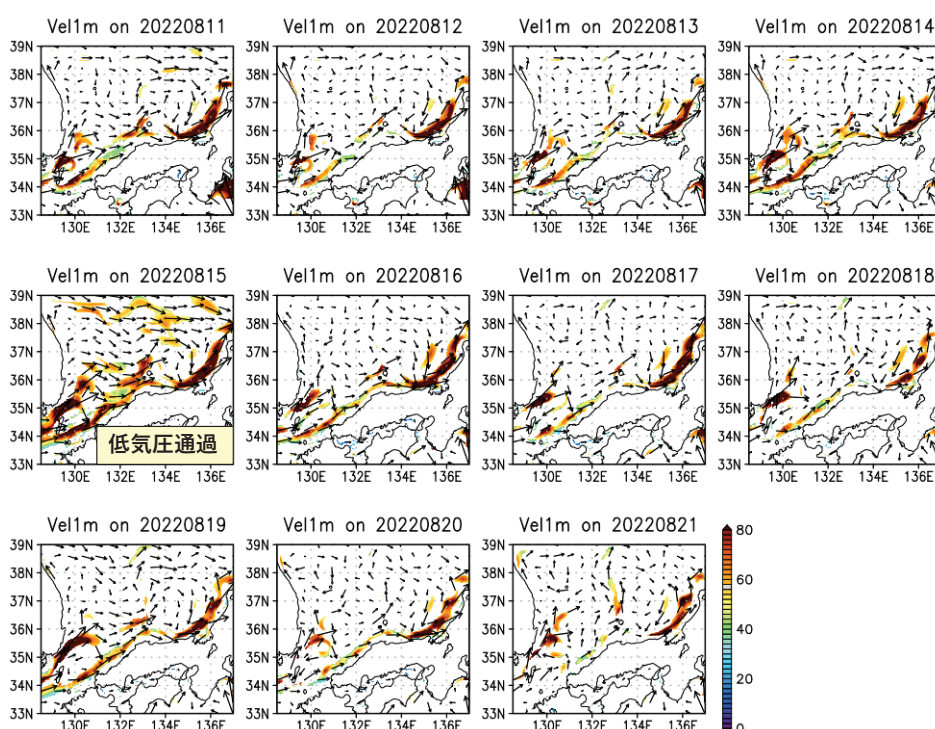
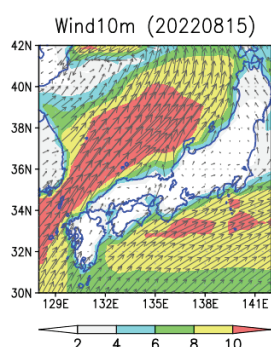


分位値による強流域の検出(日本海南部)

- 日別海面流速の分位値
 - 95%分位値
 - JPN: 2008-2019

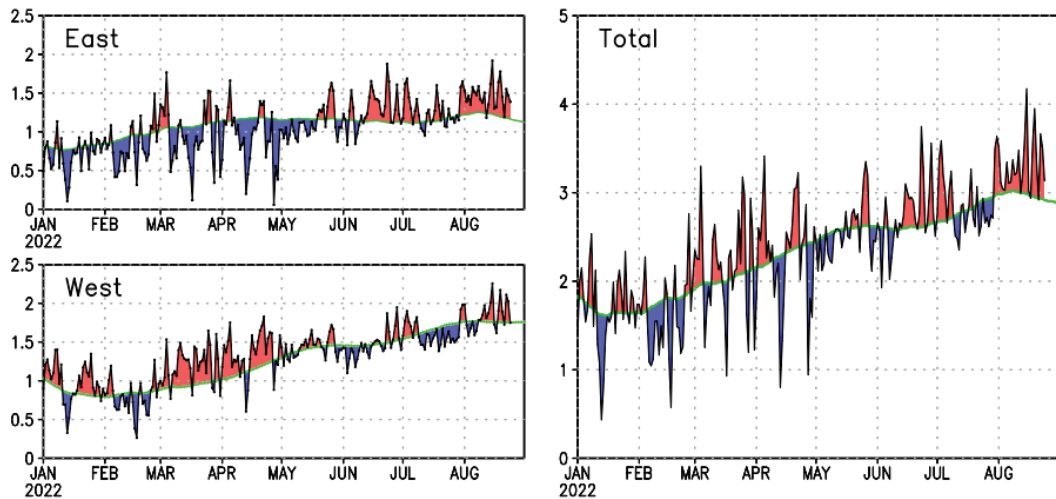
強流検出域

- ✓ 対馬海峡～山陰～若狭湾
- ✓ 沖合も含めた広域(8月15日)
 - 低気圧の通過



対馬暖流流量

- 流量偏差：12年(2008-2019)の日別気候値+31日移動平均からの偏差
- 東水道流量：正偏差→6月中旬～7月上旬、7月下旬～8月
- 西水道流量：正偏差→6月下旬～7月上旬、8月中旬



13

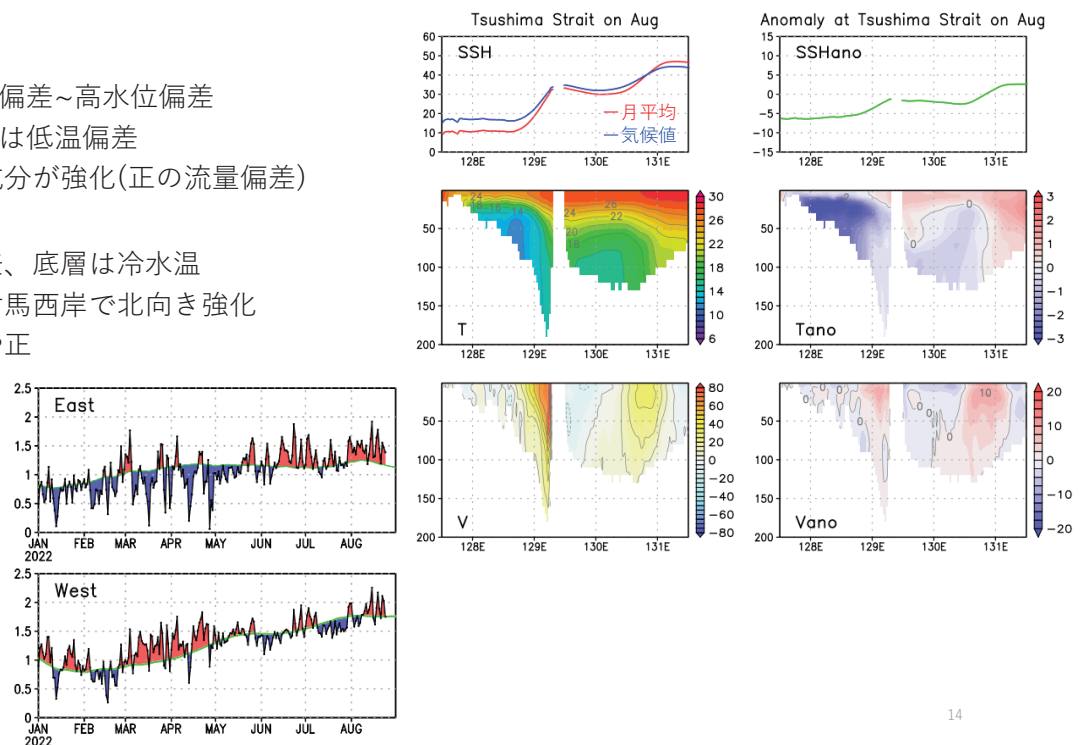
対馬海峡断面@34.6N, 8月

東水道

- 日本側(>131E)に高温偏差～高水位偏差
- 対馬側(<131E)で底層は低温偏差
- 海面勾配大→北向き成分が強化(正の流量偏差)

西水道

- 海面はやや水温正偏差、底層は冷水温
- 韓国側の水位低下→対馬西岸で北向き強化
- 流量偏差としてはやや正

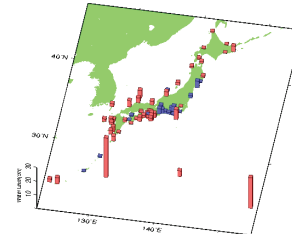
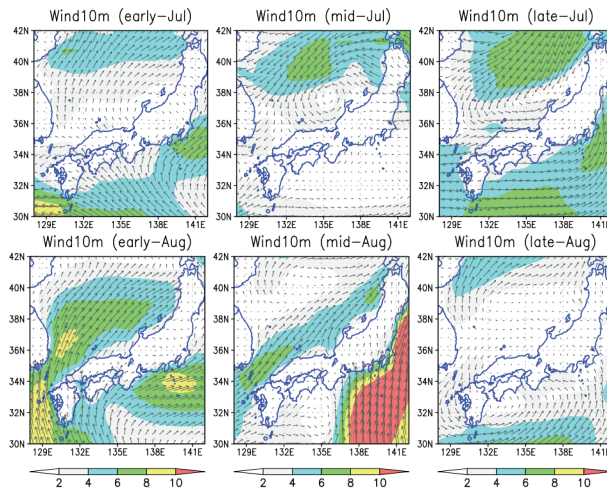


14

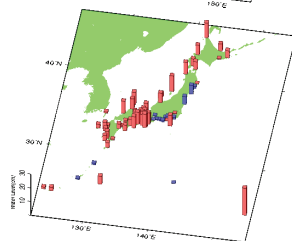
風速場による沿岸水位への影響

- 7月下旬～8月中旬に南西風の継続
 - エクマン輸送による沿岸水位の上昇
- 東水道流量(～沿岸分枝)の強化と持続への寄与を示唆
 - 風速の偏差成分の寄与は今後の確認事項

JRA-55 10m風速 旬平均



2022年7月 月平均潮位例年差図



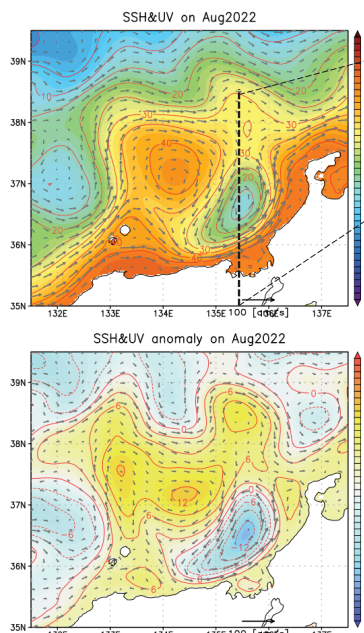
2022年8月 月平均潮位例年差図

15

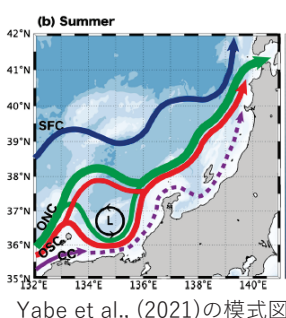
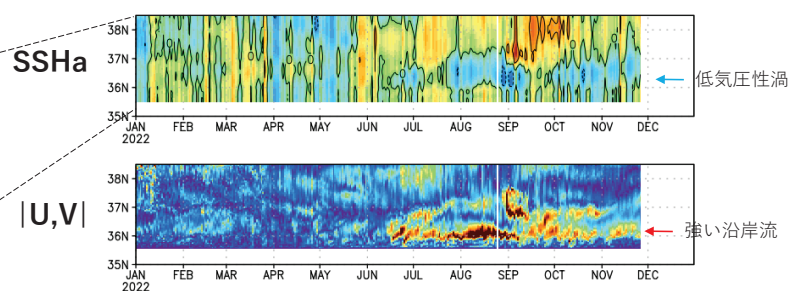
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/gaikyo/index.php>

沿岸分枝と周辺場との関係

SSH & UV 月平均場(8月)



ホフメラー図@135.5E



Yabe et al., (2021)の模式図

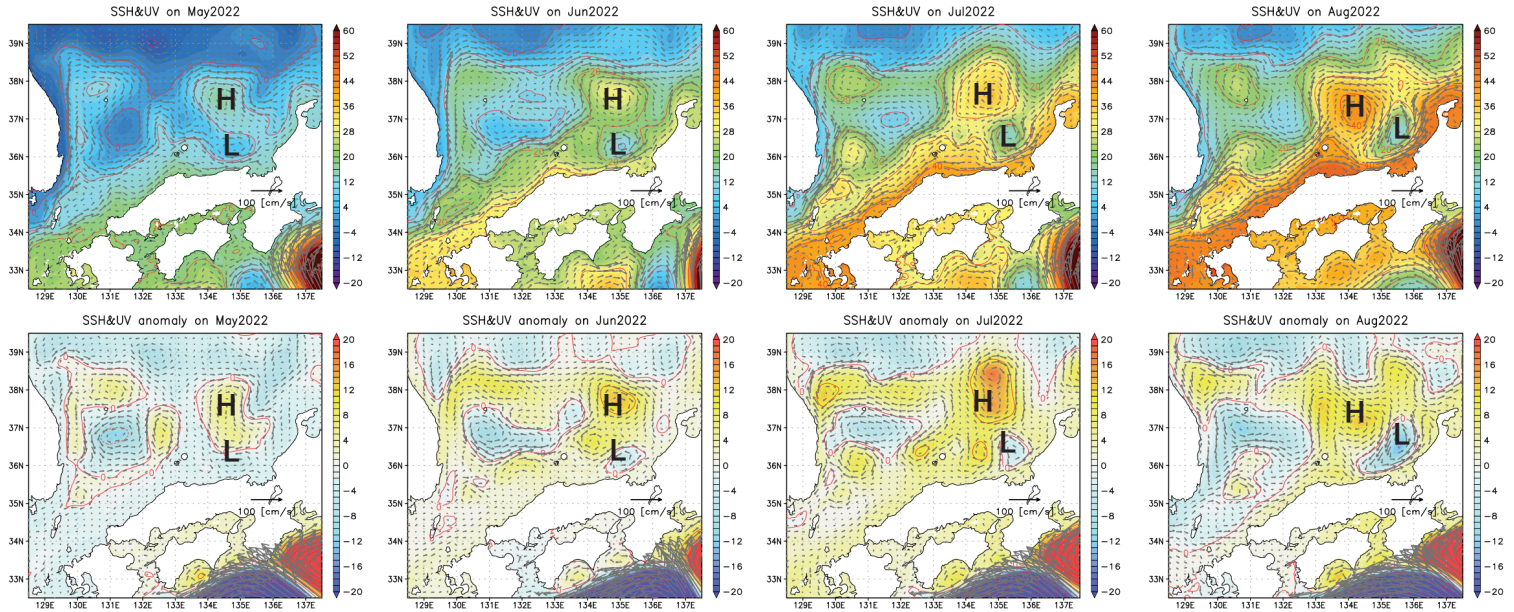
- 若狭湾沖合に冷水渦が存在
- 7月以降は負の水位偏差継続
- 沿岸で強い流れが継続(特に8月)
- 冷水渦は季節性に現れやすい
 - (Yabe et al., 2021)
- 急潮発生時に沖合の冷水の存在を示唆
 - (Kaneda et al., 2019)
- 若狭湾で流れ強くなる条件が揃っていた可能性がある。

16

冷水渦の追跡(5~8月)

- 冷水渦は若狭湾の沖合に停留→沿岸分枝の接岸を維持
- 6月以降、北側の暖水渦が発達
- 暖水渦と冷水渦が相互に強化されていることを示唆。

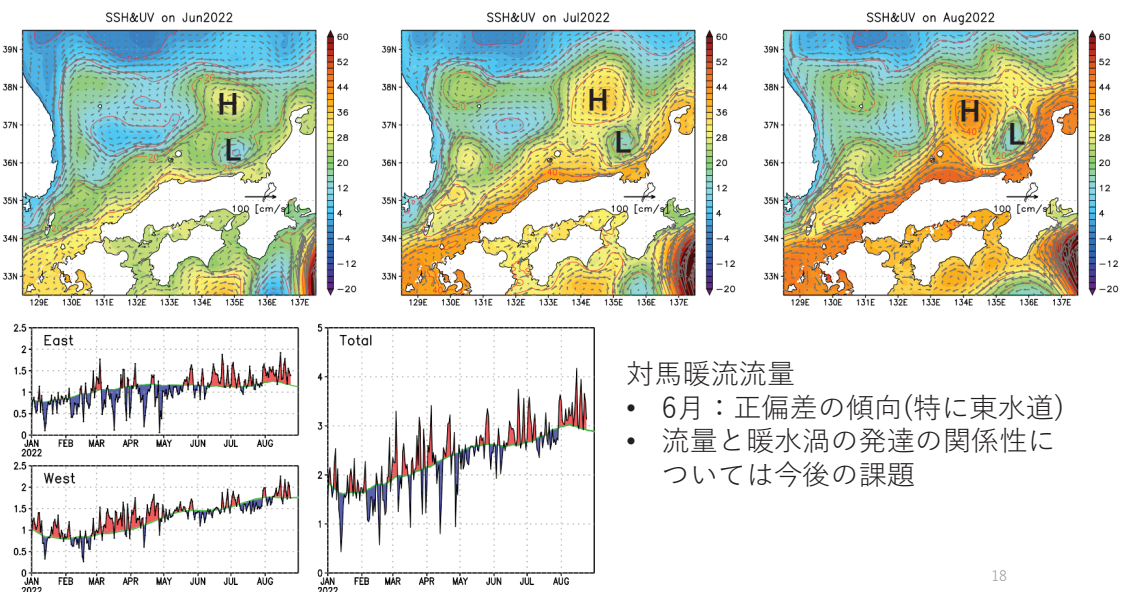
上段: SSH, UV月平均値
下段: 日別気候値からの偏差



冷水渦の追跡(5~8月)

- 冷水渦は若狭湾の沖合に停留→沿岸分枝の接岸を維持
- 6月以降、北側の暖水渦が発達
- 暖水渦と冷水渦が相互に強化されていることを示唆。

上段: SSH, UV月平均値
下段: 日別気候値からの偏差



まとめ

- 2022年8月に越前海岸で発生した急潮の要因を調べた。
 - ✓ 現業のJPNシステムは若狭湾内の循環場、急潮を良く表していた。
 - ✓ 過去(2008-2019)に比べてもかなり強い流れ(95%分位値以上)
 - 若狭湾内の高気圧性渦、対馬暖流沿岸分枝
 - ✓ 8月の対馬暖流東水道の流量は正偏差傾向
 - 沿岸水位の上昇←南西風の継続によるエクマン輸送の寄与を示唆。
 - ✓ 若狭湾沖合の冷水渦の停留
 - ✓ 若狭湾口において沿岸分枝が長期に接岸。
 - 大和海盆との高気圧性渦が6月以降発達。渦同士の相互作用を示唆。
- 今後の課題
 - 風の寄与(水位、対馬暖流流量)
 - 対馬暖流流量と大和海盆の渦の発達の関係(季節性・経年性)
 - 若狭湾内の高気圧性渦の発生と発達の要因

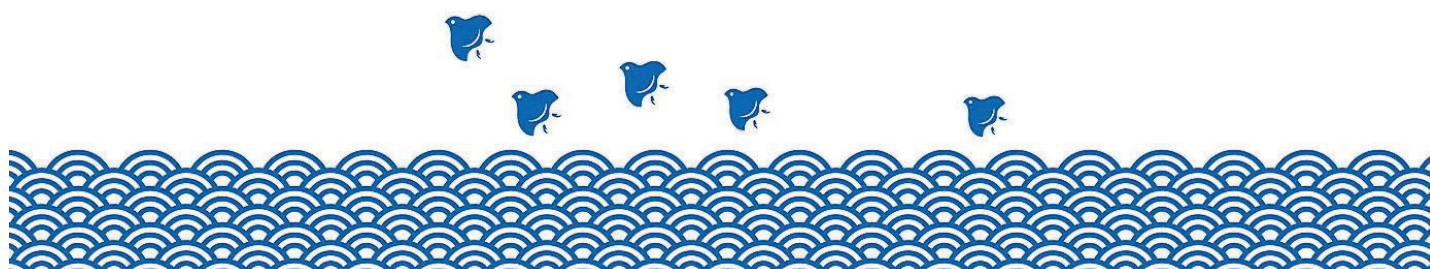
19

応用力学研究所共同利用研究集会
「日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」
2022.11/30-12/01

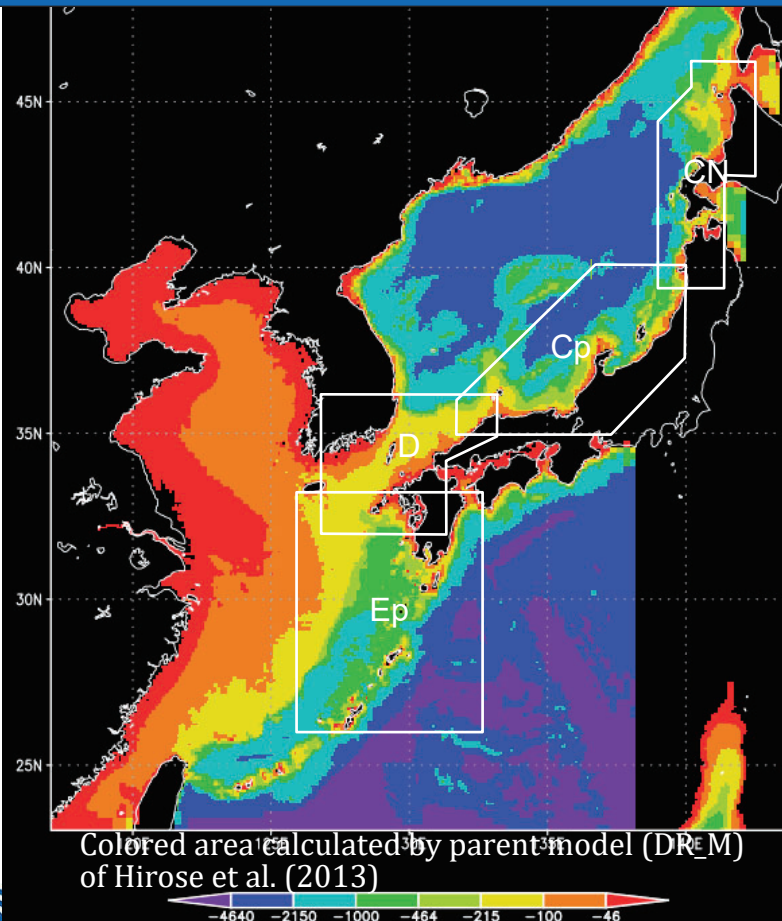
日本海沿岸モデルの非構造データ同化

広瀬 直毅

九州大学応用力学研究所



DREAMS 1.5km models ($\Delta x \sim 1.5\text{km}$)



[2]

プロジェクト

DREAMS同化モデル

このシステムについて

[English]

[このウェブサイトについて](#)

修正日: 2020.11.25

GrAbS powered

DREAMS Real-Time Ocean Prediction System

[Projects] [Login] [English | Korean | Русский]

データセットの選択

DR_B: North-Western Pacific Model

DR_B: North-Western Pacific Model

DR_M: East-Asian Marginal Seas Model (daily)

DR_M: East-Asian Marginal Seas Model (hourly)

DR_C: Coastal Model for the southeastern Japan Sea

DR_CW: Coastal Model for the JS West

DR_CE: Coastal Model for the JS East

DR_CN: Coastal Model for the JS North

DR_W: Wakasa-Bay Model

使用方法 :

「データセットの選択」欄から

左側メニューで、日付・描画対象・図の形式・描画領域などを設定することができます。

緯度・経度・深度・時刻等を設定し、平面分布図・鉛直断面図・時間変化図等を描画することができます。

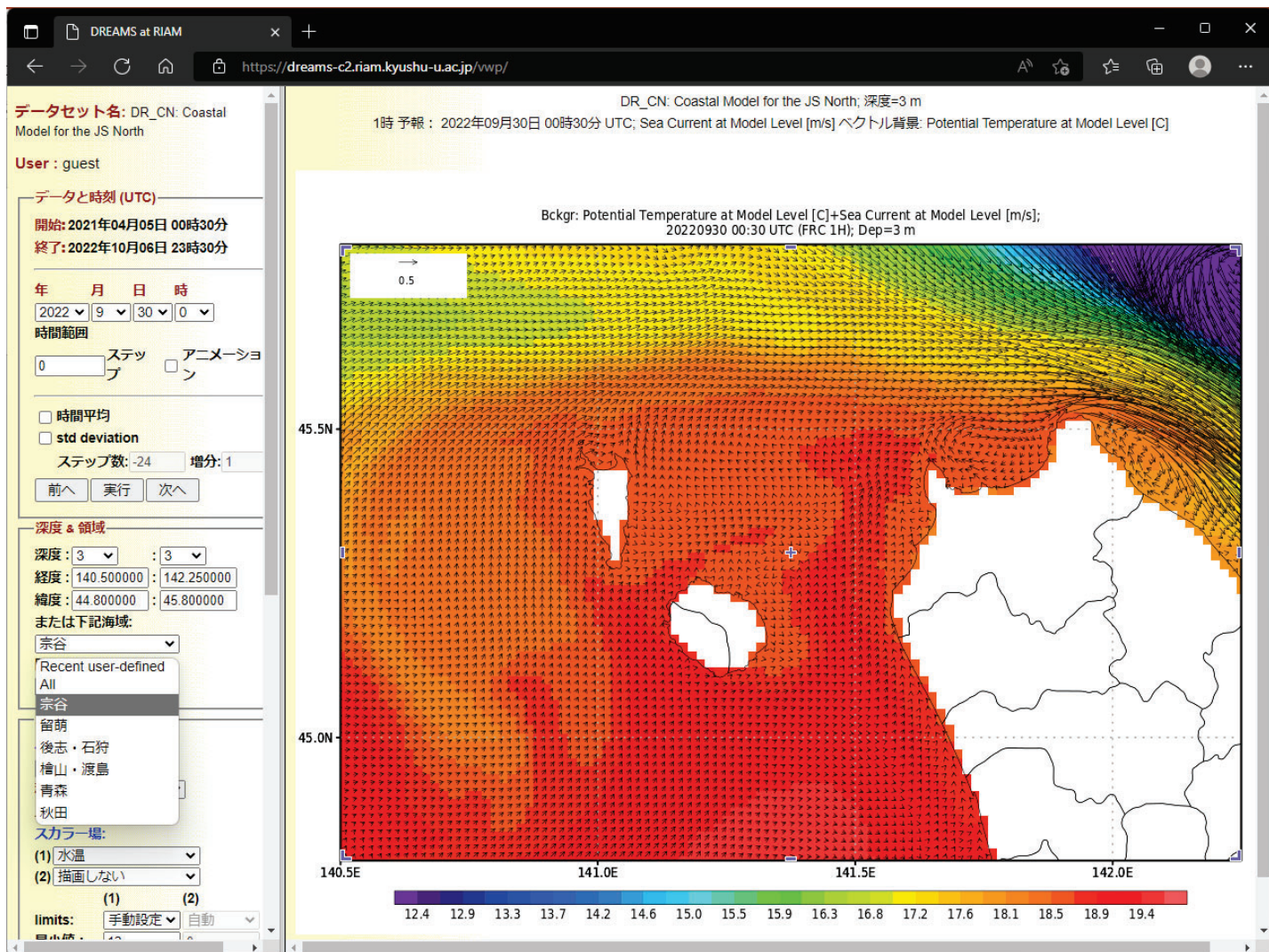
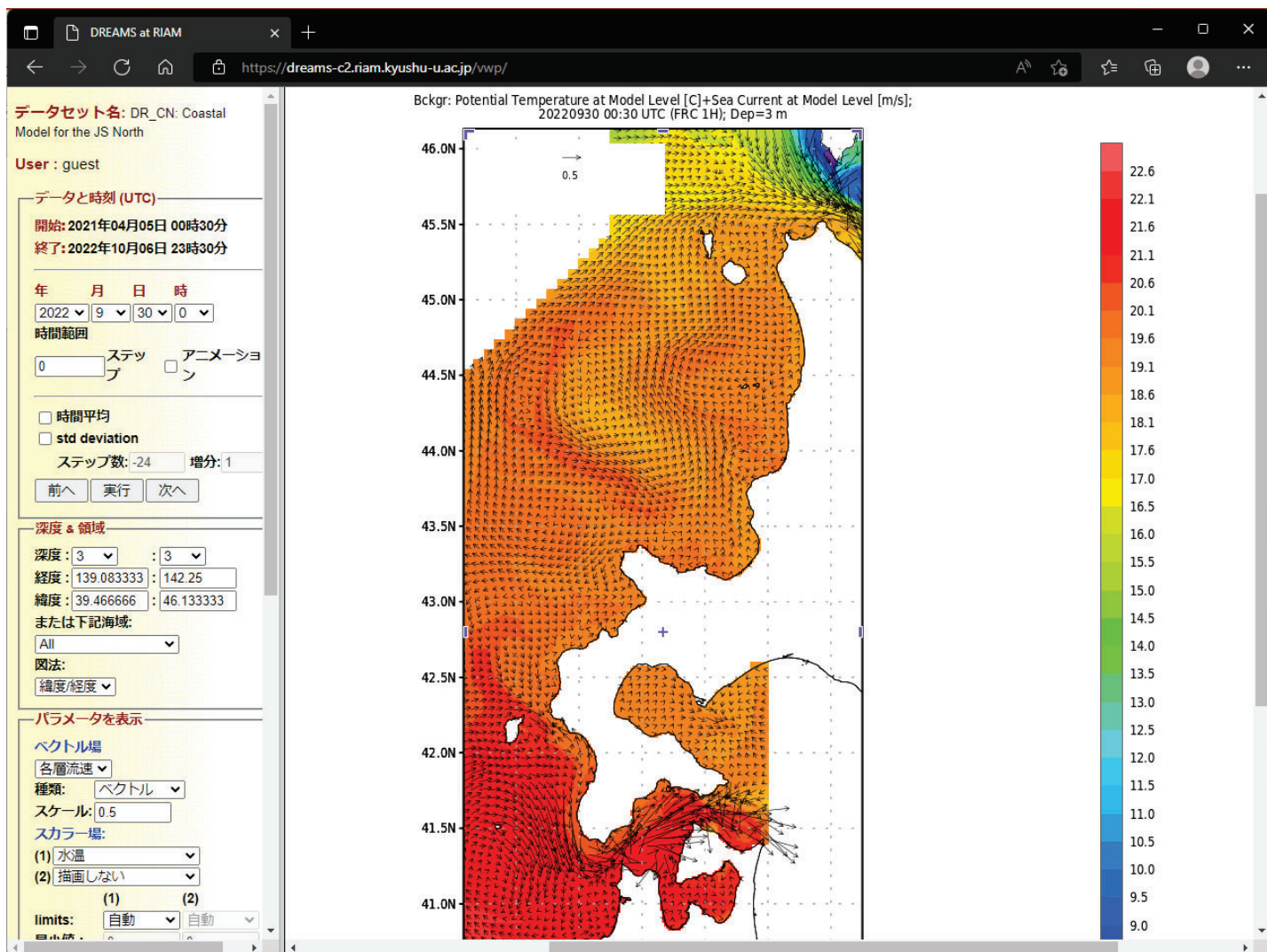
ブラウザのJavaScript機能に基づき、水平マップ上のマウス操作によって任意の領域を拡大表示することができます。

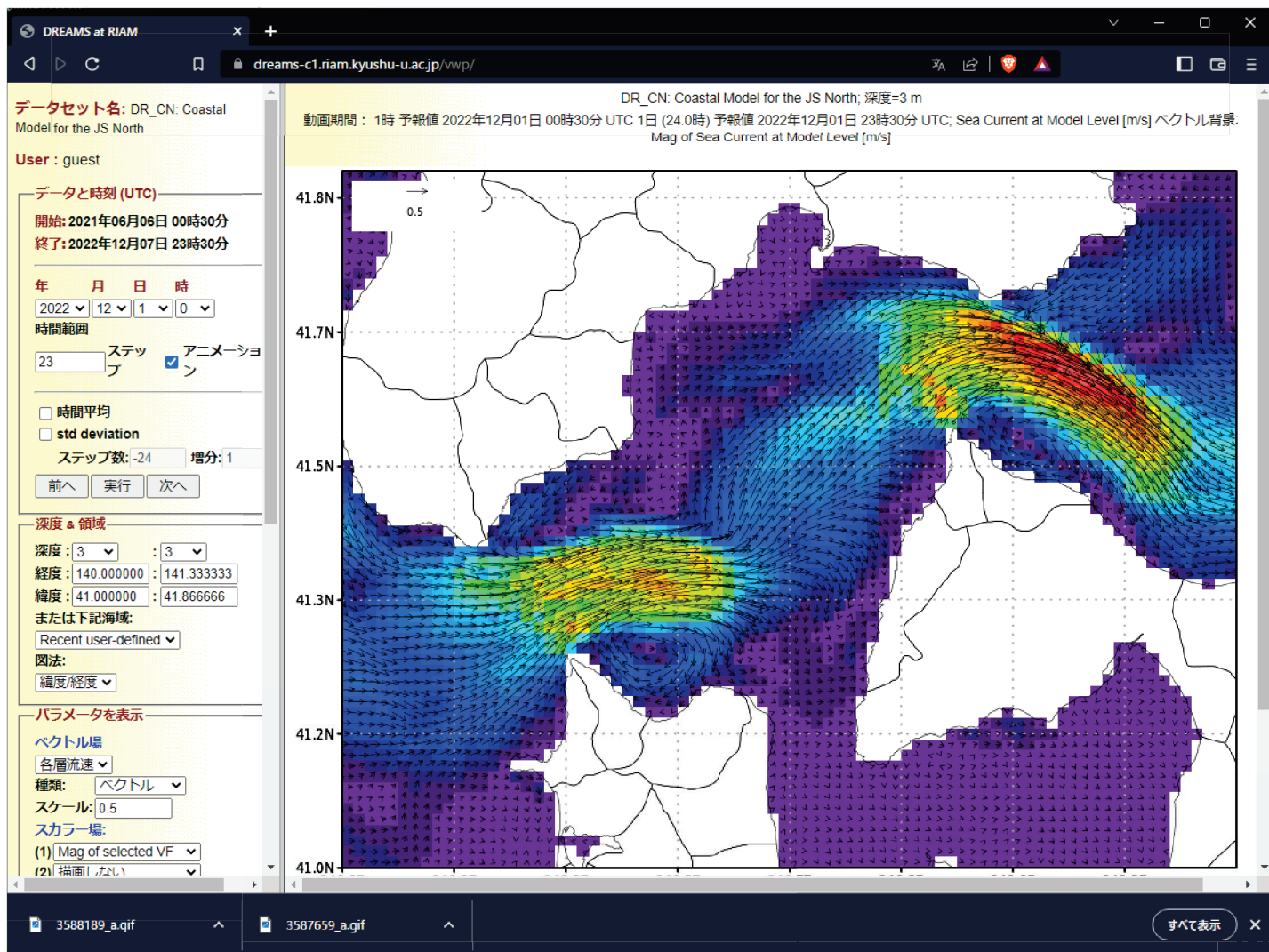
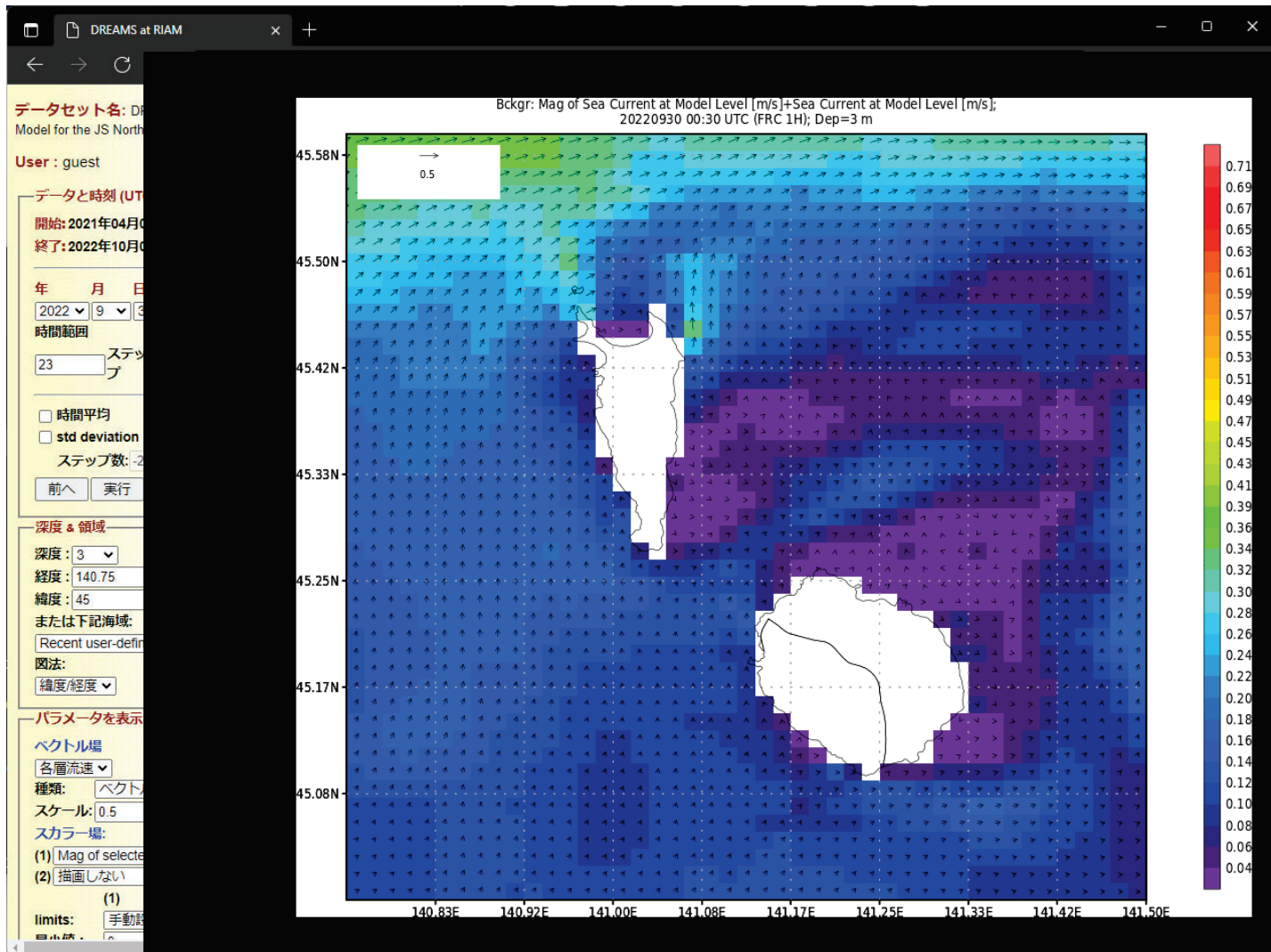
Please contact jes@riam.kyushu-u.ac.jp for more detailed information, support and registration.

Click on the "How to use" header or [here](#) for more detailed explanation.

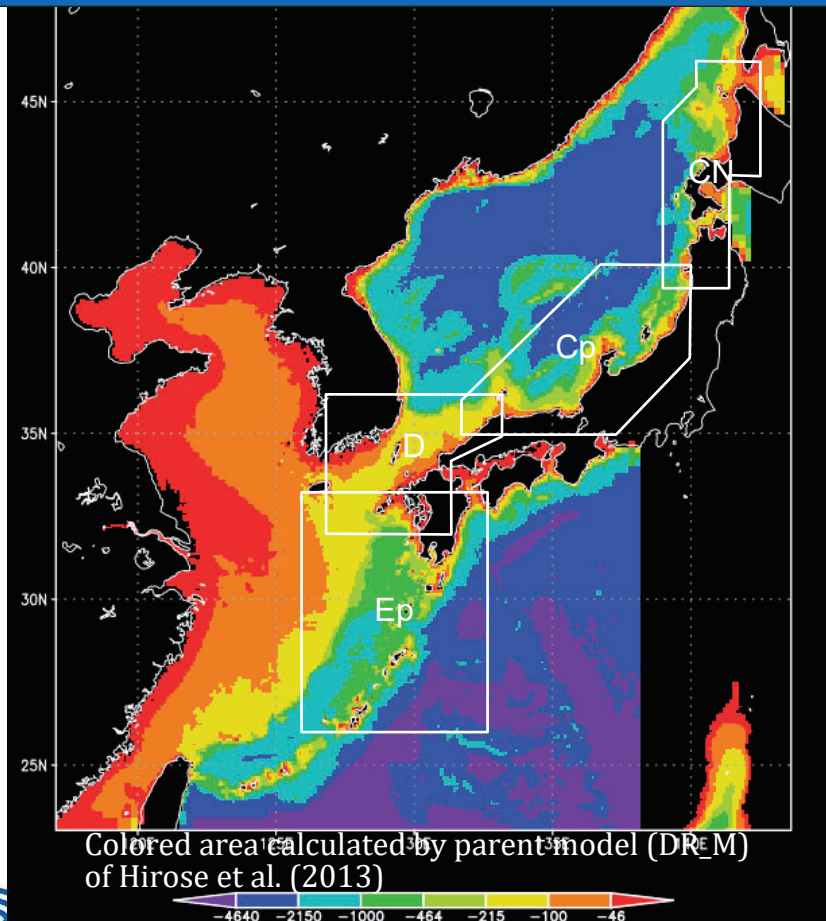
免責事項 : Provided information is experimental and has to be treated with caution. We do not warranty any damages caused by the use of results presented here.

Configuration updated: November 26, 2020





DREAMS 1.5km models ($\Delta x \sim 1.5\text{km}$)



[8]

DR_C by Hirose et al., CSR (2017)

Continental Shelf Research 143 (2017) 194–205



Contents lists available at ScienceDirect

Continental Shelf Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/csr



Research papers

Numerical simulation of the abrupt occurrence of strong current in the southeastern Japan Sea



Naoki Hirose^{a,*}, Yutaka Kumaki^b, Atsushi Kaneda^c, Kouta Ayukawa^d, Noriyuki Okei^e, Satoshi Ikeda^f, Yosuke Igeta^g, Tatsuro Watanabe^h

^a Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 6-1 Kasuga-kouen, Kasuga 816-8580, Japan

^b Kyoto Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Technology Center, 1029-3 Odashukuno, Miyazu 626-0052, Japan

^c Faculty of Marine Bioscience, Fukui Prefectural University, 1-1 Gakuen, Obama 917-0003, Japan

^d Fukui Prefectural Fisheries Experimental Station, 23-1 Urasoko, Tsuruga 914-0843, Japan

^e Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center, 3-7 Ushitsu-shinko, Noto 927-0435, Japan

^f Niigata Prefectural Fisheries and Marine Research Institute, 3-13098-8 Ikarashi, Nishi, Niigata 950-2171, Japan

^g Japan Sea National Fisheries Research Institute, Fisheries Research and Education Agency, 1-5939-22 Suido-cho, Chuo, Niigata 951-8121, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:

Stormy current
Kyusho
Set-net fishery
Ocean general circulation model
Coastal current
JAPAN Sea

ABSTRACT

Coastal set-net fisheries have been frequently damaged by the occurrence of sudden current (known as kyusho) in the Japan Sea. In this study, a high-resolution coastal ocean model is developed to provide a means to predict this stormy current. The 1.5 km-mesh model nested in a regional ocean data assimilation system is driven by mesoscale atmospheric conditions at 1-hour intervals. The modeled results show rapid changes of the coastal current along the San-in Coast, on the eastern side of the Tango Peninsula, and around the Noto Peninsula and Sado Island, mostly associated with strong wind events. These modeled coastal water responses are consistent with in-situ velocity measurements. The simulation also shows that the vortex separated from the Tango Peninsula frequently grows to a bay-scale anticyclonic eddy in Wakasa Bay. Evidently, the coastal branch of the Tsushima Warm Current becomes unstable due to a strong meteorological disturbance resulting in the generation of this harmful eddy.

[9]

DR_C → DR_Cp

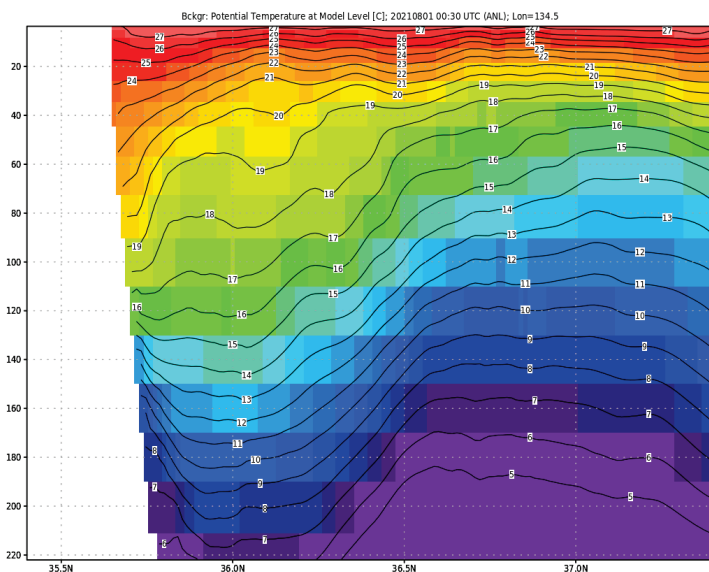
- 領域は同じ、水平分解能も変わらず。
- 鉛直方向の解像度は約3倍(鉛直層数 36 → 102)
 - ✓ (old) 2m, 3m×2, 4m, 6m, 8m×2, 10m, 12m, 16m, 18m, 20m, ...
 - ✓ (new) 2m×10, 2.5m×2, 3m×5, 4m×4, 5m×2, 6m×16, ...
- 開境界条件も(若干)調整
- 壁境界(粘性)条件: CFDに倣う
- 水平渦動粘性と拡散係数の比: 1で良さそう
 - ✓ 鉛直方向は100とした(要検討)
- 能登半島を境に、西CWと東CEに出力データを分割

[10]

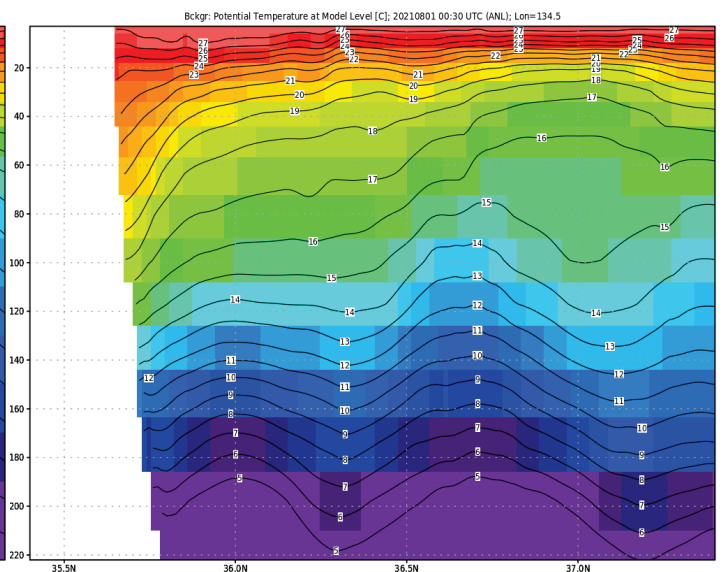
水温断面図(鳥取-兵庫)

134.5°E, 2021-10-01 0-1UTC

DR_C



DR_Cp



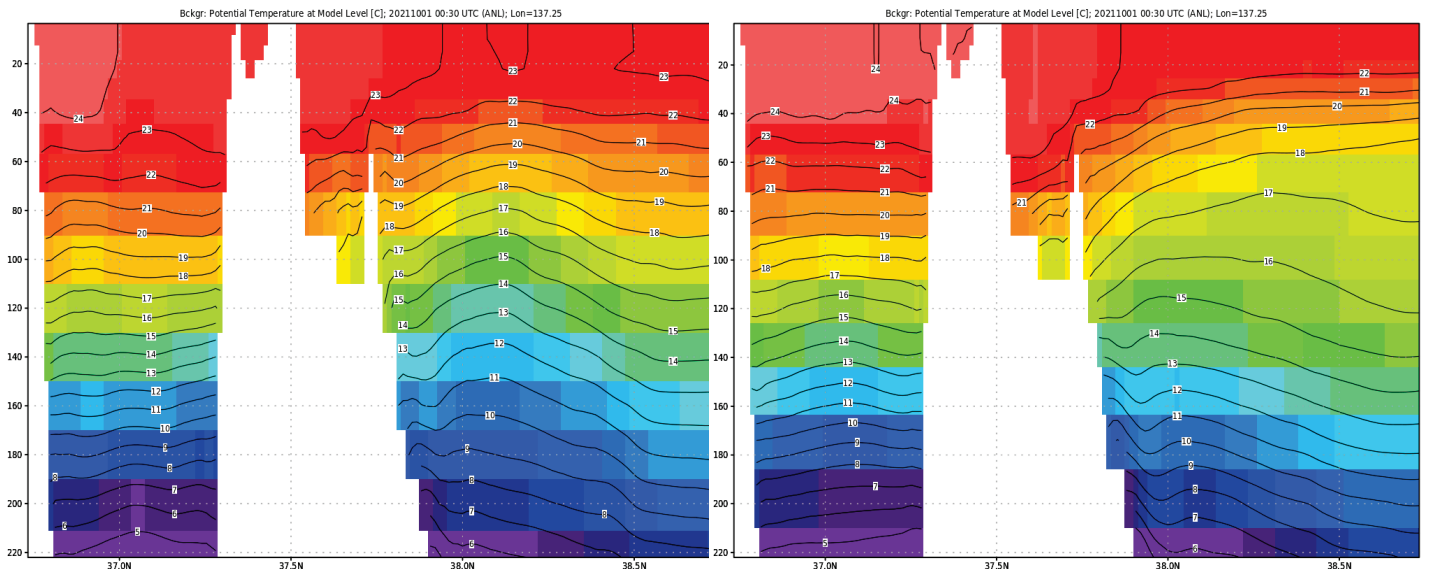
[11]

水温断面図(富山湾-能登半島)

137.25°E, 2021-10-01 0-1UTC

DR_C

DR_Cp



[12]

最大の違い: データ同化

□ そもそも、DR_Cでは全くデータ同化「なし」

□ 衛星高度計

□ CTD

✓ 水試

✓ ARGO

✓ 漁船向け“smart-ACT”

Tegaru-CTD | JFE Advantech Co., Ltd.

Departments Products News About Us Contact

Tegaru-CTD

HOME > Products > Ocean and River Instruments > Tegaru-CTD

Affordable CTD for coastal ocean Tegaru CTD



This instrument is a compact-size CTD that can be charged wirelessly and uses Bluetooth® communication with smartphones or tablets running AndroidOS. Its simple operational approach, robustness and low-cost allows for a variety of applications, such as small-scale fisheries and aquaculture.

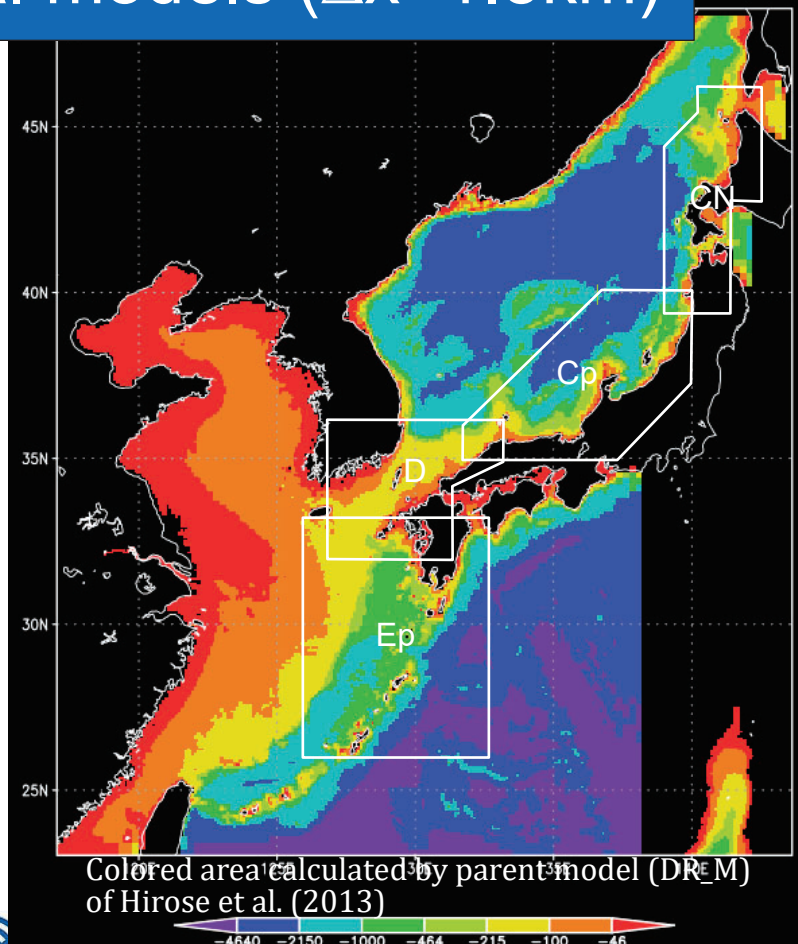
[All Products Guide](#) [Brochure Download](#)

Ocean and River Instruments

- Contact Form
- News
- Technical Notes
- References
- DEFI Series
- RINKO Series
- INFINITY Series

DREAMS coastal models ($\Delta x \sim 1.5\text{km}$)

- DoF $\sim O(10^7)$
400 x 400 x 100 x 4(TSUV) x 0.5(water area)
- Error covariance $\sim O(10^{14}) \sim \text{petabyte}$



Full state vector of my ocean model

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} T_{i,j,k}(t) \\ \vdots \\ S_{i,j,k}(t) \\ \vdots \\ U_{i,j,k}(t) \\ \vdots \\ V_{i,j,k}(t) \\ \vdots \\ \eta_{i,j,k}(t) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \begin{array}{c} \uparrow \\ \text{length} \\ \sim 10^7 \\ \downarrow \end{array}$$

~1PB

$$\mathbf{P}_t^f = \mathbf{M} \mathbf{P}_{t-1}^a \mathbf{M}^T + \mathbf{\Gamma} \mathbf{Q}_{t-1} \mathbf{\Gamma}^T$$

[16]

Reduced-order approximation

$$\underset{\sim 10^7}{\mathbf{x}_t} = \bar{\mathbf{x}} + \underset{\sim 10^{3-4}}{\mathbf{B} \mathbf{x}_t'}$$

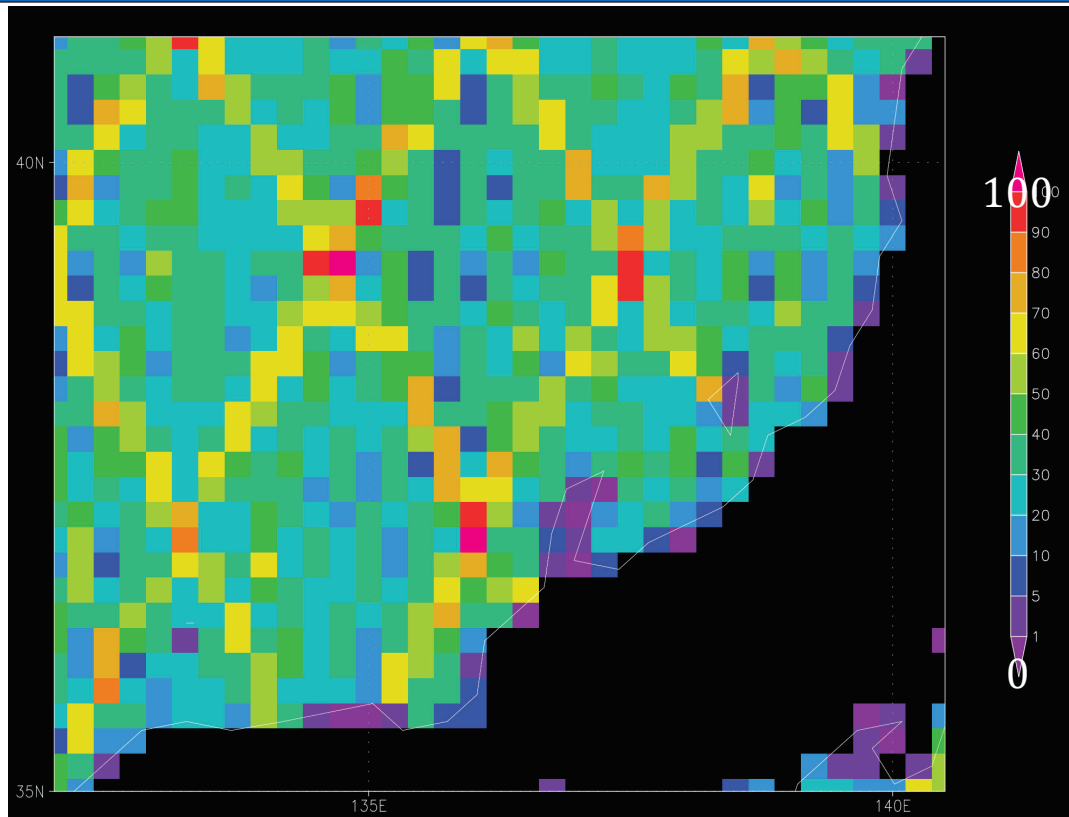
$$\mathbf{P}_t \approx \mathbf{B} \mathbf{P}_t' \mathbf{B}^T$$

$$\mathbf{P}_t'^f = \mathbf{M}' \mathbf{P}_{t-1}'^a \mathbf{M}'^T + \mathbf{\Gamma}' \mathbf{Q}_{t-1} \mathbf{\Gamma}'^T$$

~100MB

Sparse modeling!

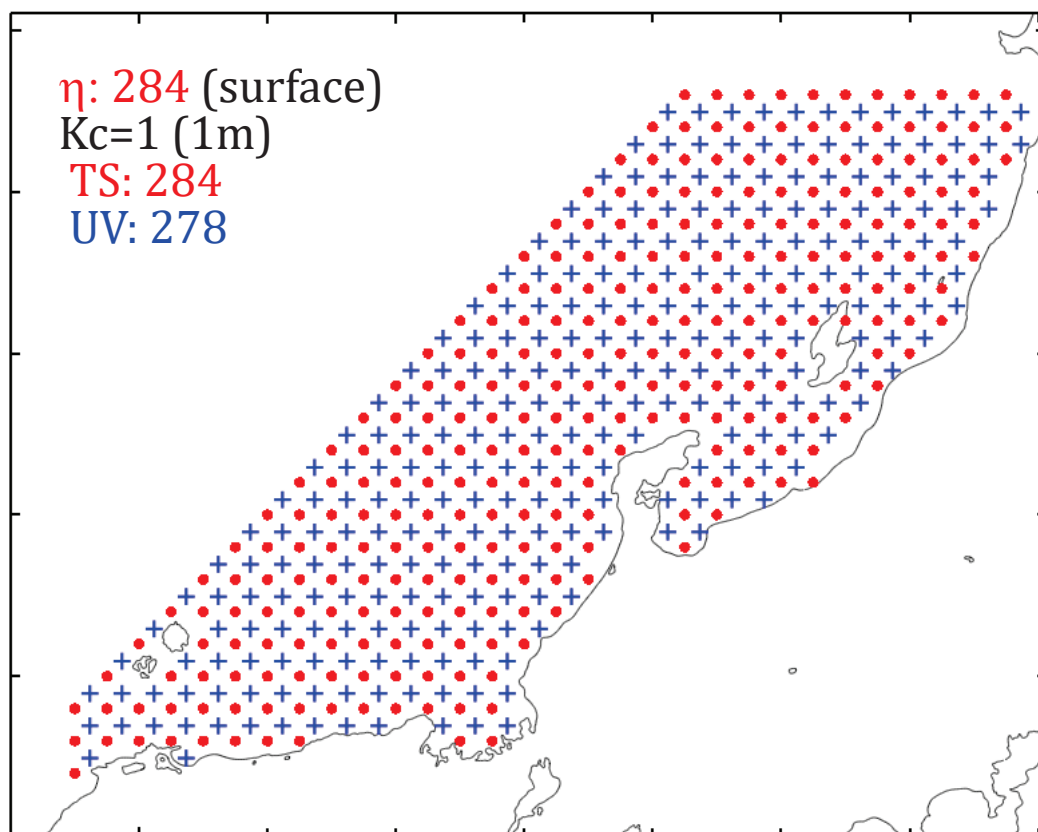
Number of Altimeter Data (2020)



measurement frequency: 10day ~ 20km

[18]

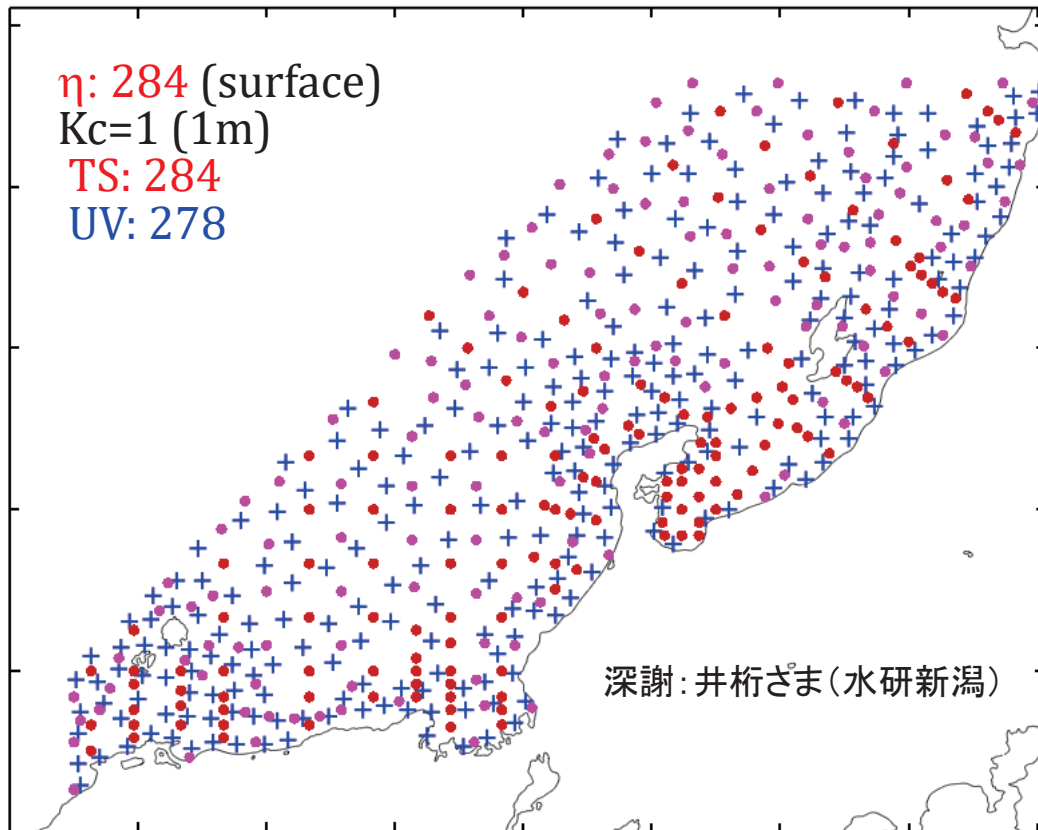
Sparse KF



334

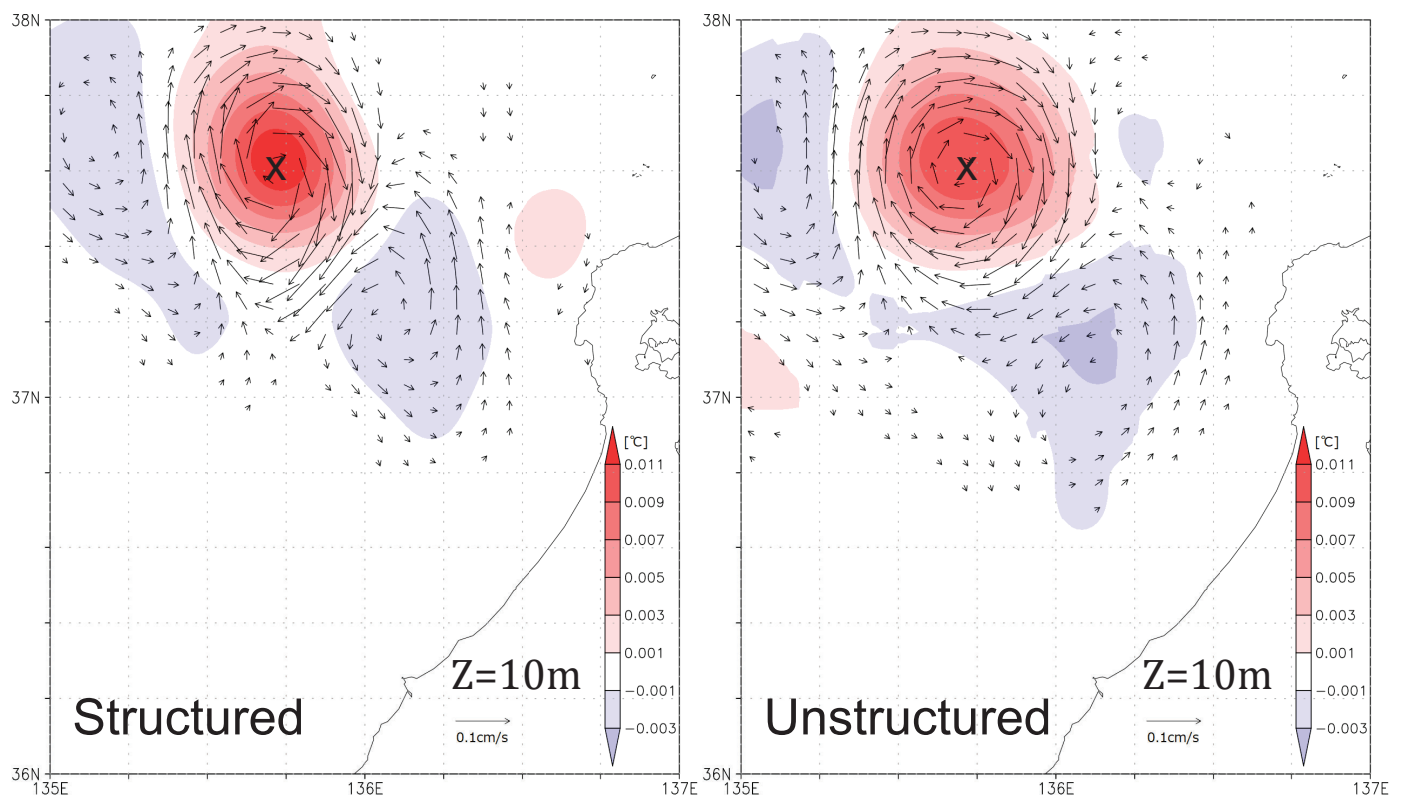
[19]

Sparse KF (unstructured)



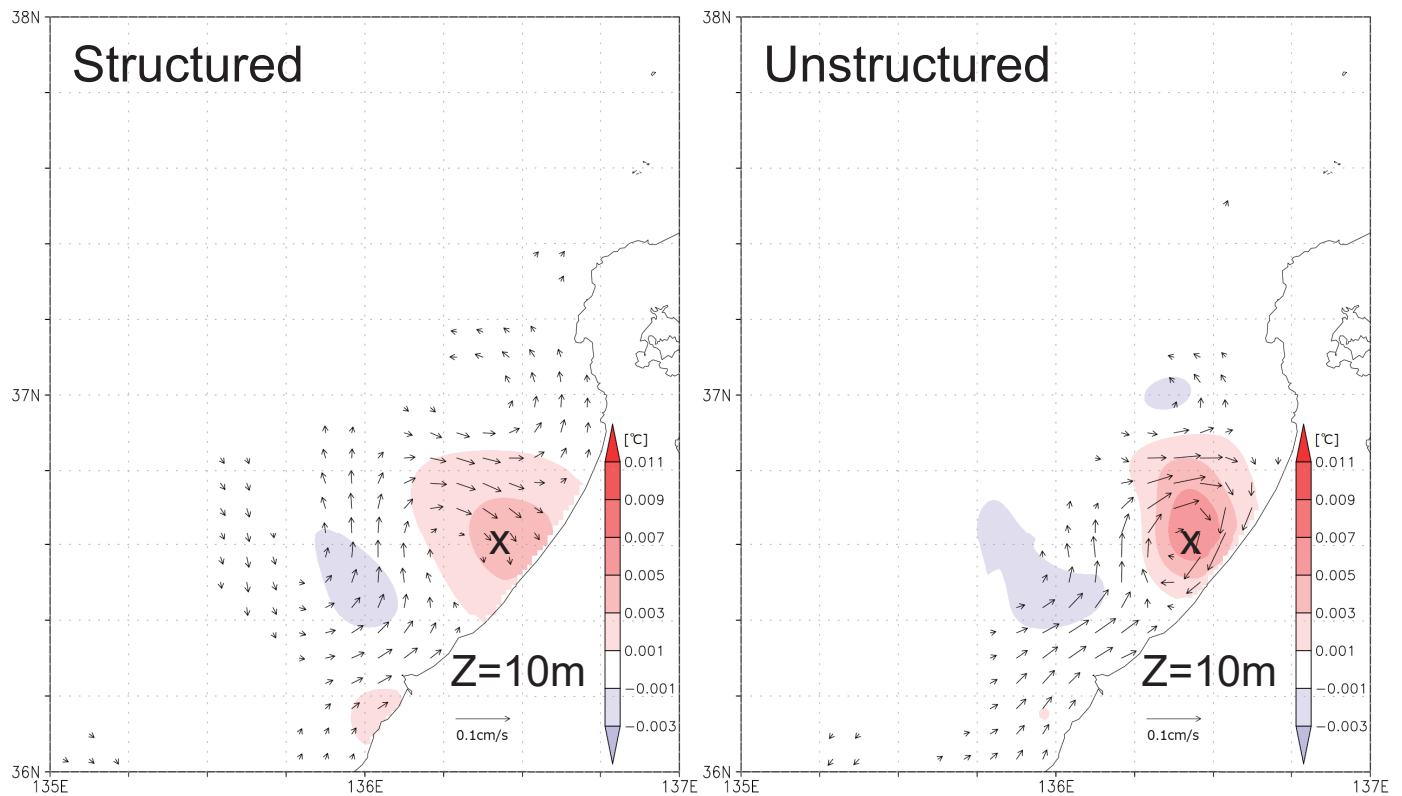
[20]

Measurement Update (Increment)



[21]

Measurement Update (Increment)



[22]

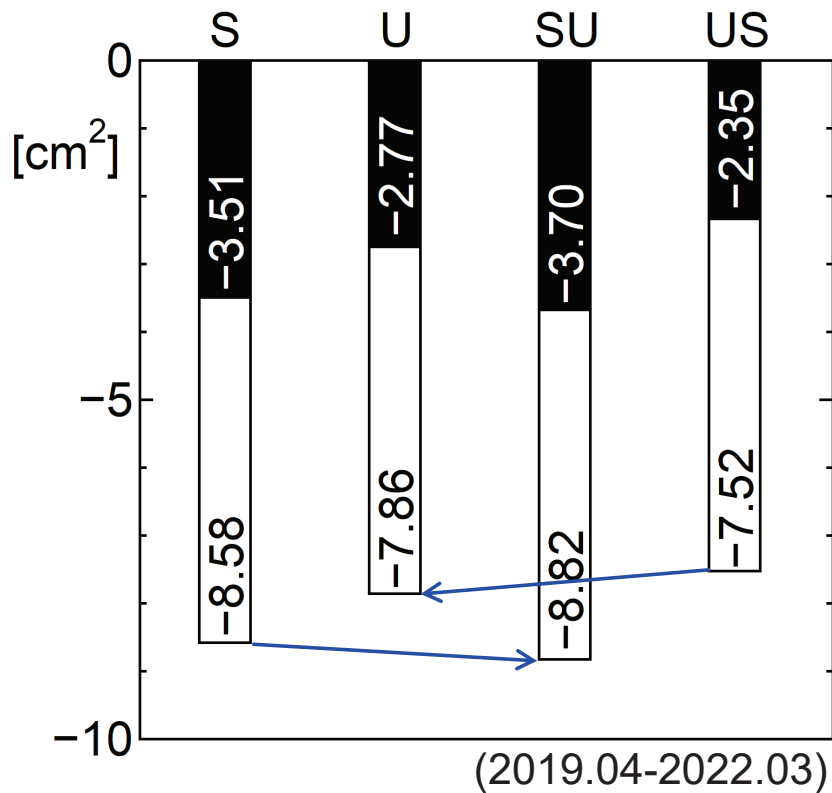
残差分散 (cm^2)

Experiment	Rvar (mup)	Rvar (dup)	Ivar
NA	→	40.229	0
S	31.652	36.718	1.145
U	32.374	37.461	1.145

(2019.04-2022.03)

[23]

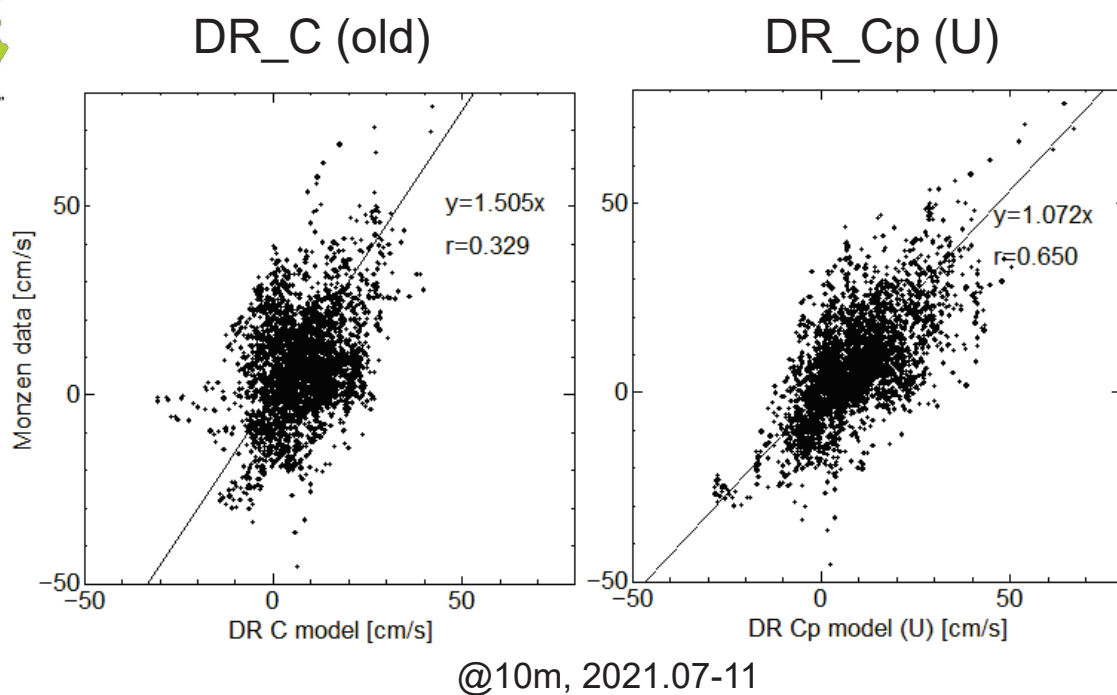
残差分散の減少



[24]



独立データと比較



[25]

沿岸流速データと比較

相関係数(並岸成分・日平均・mup)

実験	御崎 (鳥取県大山町) 26m	宇久 (福井県小浜市) 10m	門前 (石川県輪島市) 10m
NA	0.782	0.310	0.224
S	0.793	0.337	0.341
U	0.795	0.413	0.471
SU	0.789	0.340	0.419
US	0.787	0.362	0.460

深謝: 藤岡さま(鳥取県)・兼田さま(福井県大)・奥野さま(石川県)

[26]

最後に

- DREAMS 1.5kmシリーズは日本最北(宗谷海峡)まで到達
- DR_C → DR_Cpへアップグレード
 - ✓ 水平格子は同じ、鉛直層数 36 → 102
 - ✓ データ同化の有無
- 非構造な誤差共分散は
 - ✓ 流速成分(U, V)、特に沿岸付近に有利
- 密度成分(T, S)の誤差共分散は構造格子!
 - ✓ 中規模渦の等方性、ただしロスビー変形スケール程度

微細規模から惑星規模にかけての海洋力学過程と規模間相互作用の研究

大分大学 理工学部 西垣 肇

目的

海水の運動や物理的性質、物質循環などの海洋現象についての知見は、近年飛躍的に増えている。これは主に観測技術、計算機技術、数値計算技術の発展によるものである。特に、海洋プラスチックや植物プランクトンなどの物質循環については、力学モデルの活用により、その把握が急速に進みつつある。ところが、海洋現象の力学理論の発展は、観測・数値モデルが提供する知見の増加に遅れている。これら諸々の海洋現象を力学的に理解するためには、微細規模から惑星規模にかけての幅広いスケールをつなぐ、多角的・包括的な海洋力学理論の再構築が必要である。

この大きな目標に近づくため、力学理論に加え、観測、データ解析、数値モデル、データ同化、物質輸送・物質循環など、さまざまな課題に携わっている研究者が集まり、集中的に海洋力学過程および関連する諸課題について議論を深めた。

研究集会の概要

2022 年 11 月 17 日～20 日に研究集会を開いた。日程を長めにとり、講演時間と質疑時間を十分に取った。九重共同研究所・九大山の家において、寝食を共にする合宿形式で行った。また、対面参加を推奨しながらオンライン参加を受け入れる形で、ハイブリッド方式を採用した。

プログラム（図 1）に示すよう、15 件の講演があった。議論の進展に合わせて時間を調節するなど、適宜進行の調整を行った。参加者一覧（表 1）に示すよう、現地 18 人、オンライン 5 人、計 23 人が参加した。

各講演の概要

各講演の概要を発表順に述べる。

松田は、南極周極流の流量が風応力に対して鈍感であること（渦飽和）について、その物理機構を調べた。MITgcm を用いて、数値実験を行い、地形の南北幅が十分な場合にのみ、渦飽和を起こすことを示した。

吉川は、海面加熱時の Langmuir 乱流が混合層を深める効果を、波強制の強さに加え、海面加熱の強さや水面波の波長、風向と波向のずれも考慮して LES 実験で評価した。Langmuir 乱流と風成シア乱流のどちらが卓越するかを示すレジームダイアグラムを作成し、再解析データと合わせて全球評価を行った。

寺田は、太平洋赤道中層深さ 500-2000 m における、南北・鉛直方向に向きを変える複数の東西ジェットについて、観測データの解析と数値実験を実施した。風の変動が Yanai 波を励起し、それが伝搬して中層に季節内変動をもたらすことが示唆された。

久住は、北半球夏季における西部アラビア海に現れる高気圧性渦 Great Whirl の形成過程を調べた。領域海洋モデルを用いて、風応力強制が慣性流ジェットの離岸緯度より北側に及ぶ設定の実験を行った。その結果、慣性流ジェットの離岸位置から北向きに渦が周期的に放出された。

辻は、東シナ海の大陸斜面におけるエネルギー収支を調べる目的で、高分解能数値実験を行った。2016

九州大学応用力学研究所共同利用研究

「微細規模から惑星規模にかけての海洋力学過程と規模間相互作用の研究」研究集会

日程：2022 年 11 月 17 日（木）～20 日（日）

場所：九重共同研修所・山の家

〒879-4912 大分県玖珠郡九重町湯坪字八丁原 600-1 電話：0973-79-2617

プログラム

11 月 17 日

- 17:00 まで 入所
17:30- 夕食
18:30-18:45 開会・参加者あいさつ
18:45-19:55 松田 拓朗（まつた）（北大低温研）
A new hypothesis for the eddy saturation in the Antarctic Circumpolar Current

11 月 18 日

- 7:30- 朝食
8:30-9:10* 吉川 浩一朗（きっかわ）（京大院理）
海面加熱時の Langmuir 乱流が混合層深度に及ぼす影響についての数値実験：
パラメータ依存性について
9:40-10:40 寺田 雄亮（東大院理）
赤道中層海流とその駆動源
10:50-11:50 久住 空広（くすみ）（東大院理）
赤道を横切る西岸境界流の離岸に伴う高気圧性渦の役割
12:00- 昼食
13:00-14:10 辻 英一（九大応力研）
東シナ海の大陸斜面における順圧-傾圧エネルギー転換の数値解析
14:20-15:30 Young-min Park (GeoSystem Research Corporation)
水産分野における災害対応予測システムの開発
15:40-16:50 矢部 いつか（東大大気海洋研）
磯口ジェット周辺における栄養塩供給を伴う水塊混合に関する研究
17:30- 夕食
18:30-19:10* 大貫 陽平（九大応力研；ENS de Lyon, Laboratoire de Physique）（オンライン）
鉛直シア流の存在下における内部潮汐の励起
19:20-20:00* 水田 元太（北大地球環境）
Cape Darnley 沖高密度水の傾圧不安定

11 月 19 日

- 7:30- 朝食
8:30- エクスカーション・昼食
13:30-14:40 今村 春香（京大院理）
波解像モデルにおける碎波のパラメタリゼーションに向けて
14:50-16:00 美山 透（JAMSTEC）
2017 年から始まった黒潮大蛇行の特徴

図 1 研究集会のプログラム

16:10-17:20	蓮沼 啓一（海洋総合研究所） 津軽海峡内での潮汐特性の変化
17:30	夕食
18:30-19:40	西野 圭佑（電中研） 潮汐の振動流が底層懸濁粒子の物理過程に及ぼす影響に関する考察
11 月 20 日	
7:30-	朝食
9:00-10:10	藤原 泰（神戸大海事科学研究科） 大気海洋結合境界層数値モデルの開発
10:20-11:30	磯辺 篤彦（九大応力研） 海洋マイクロプラスチックの海洋学的な話題－破碎モデルや年齢組成など

図 1 研究集会のプログラム（つづき）

氏名	所属	職名	氏名	所属	職名
松田 拓朗	北大低温研	研究員	西野 圭佑	電中研	研究員
吉川 浩一朗	京大院理	学生 (M1)	藤原 泰	神戸大海事科学	助教
寺田 雄亮	東大院理	学生 (D1)	磯辺 篤彦	九大応力研	教授
久住 空広	東大院理	学生 (D2)	広瀬 直毅	九大応力研	教授
辻 英一	九大応力研	助教	吉武 珠穂	九大総理工	学生 (D1)
Young-min Park	九大総理工	学生 (D3)	西垣 肇	大分大理工	准教授
矢部 いつか	東大大気海洋研	研究員	中島 広貴	九大総理工	学生 (M1)
大貫 陽平*	ENS de Lyon	訪問研究員	尾形 友道*	JAMSTEC	研究員
水田 元太	北大地球環境	助教	牛島 悠介*	気象業務支援セ	研究員
今村 春香	京大院理	学生 (D1)	豊田 隆寛*	気象研	主任研究官
美山 透	JAMSTEC	主任研究員	梶野 瑞王*	気象研	主任研究官
蓮沼 啓一	海洋総合研究所	代表取締役			

表 1 参加者。*はオンラインでの参加者。

年と 2017 年の夏の期間を対象に、大陸斜面での順圧－傾圧エネルギー変換率の分布を比較した。感度実験の結果、黒潮流が傾圧へのエネルギー変換の分布に重要な影響を与えることがわかった。

Park は、韓国における水産災害対応システムの構築状況について説明した。NEMO を親モデルとし、ROMS を入れ子モデルとした海洋循環モデルに揚子江流量観測データや気象予測データを与え、また粒子追跡モデルを加えている。赤潮移動拡散予測や海況予測を目的としている。

矢部は、北西太平洋の混合水域で温暖な水塊を亜寒帯域に運ぶ磯口ジェットにおける水塊混合について、観測的に調べた。2017 年には、強いフロント構造が中規模渦の影響を受けて大きく蛇行していた。そこでの二次循環が磯口ジェット周辺に湧昇流を形成していることが示唆された。

大貫は、鉛直方向に勾配をもつ背景流の存在下において、微小な海底地形上を行き来する順圧振動流によって励起される内部重力波を、理論的に考察した。準共鳴機構によって生成される内部重力波のエネルギーは、鉛直方向の離散モード成分と連続モード成分の重ね合わせで表現されることを示した。

水田は、南極底層水形成域の一つであるケープダンレー沖における高密度水の流速と水温、塩分にみられる数日周期の顕著な変動について調べた。変動の位相は水温と流速で鉛直方向に逆向きにずれており、3層準地衡流モデルとも整合することから高密度水の傾圧不安定が起きていると考えられる。

今村は、海岸に打ち寄せる波が作り出す流れである離岸流の力学的な発生機構の解明を目的として、数値モデルを開発している。波と流れの相互作用を近似なしに再現することを目指す。そのための準備として、離岸流の再現に必要な碎波の効果を数値モデルでどの程度再現できるかを検証した。

美山は、2017年に始まった黒潮大蛇行の特徴を観測、理論、再解析データで考察した。今回の大蛇行イベントは長期化するとともに冷水渦が西寄りになるという特徴を持ち、1970-1980年のイベントと共通点を持つ。両イベントの共通点は黒潮が弱いことによると考えられる。

蓮沼は、津軽海峡における潮汐を調べた。潮汐の調和定数の変化機構を、主として位相－振幅図を用いて検討した。海峡内では日本海から太平洋へと2.5 Sv程度の海水が流れているのに対し、潮汐波（主要4分潮）は振幅を減少させながら太平洋側から日本海側へと進んでいる。

西野は、河川から流入する粒子が沿岸域で堆積する過程を調べた。粒子の再懸濁・移流・沈降過程において乱流が粒子分布に及ぼす影響に注目し、流体－粒子結合モデルを用いて検討した。その結果、乱流による凝集は、粒径によらず水平物質輸送を減少させる効果を持つことが分かった。

藤原は、大気乱流と波浪の相互作用の機構を解明するため、気液2相の波解像数値モデルを開発している。過去の自由表面数値モデルの計算スキームをもとに気液2相モデルのスキームを構築し、プロトタイプモデルを開発した。海面重力波・Kelvin-Helmholtz不安定などが精度よく表現された。

磯辺は、西部太平洋域で採取された浮遊マイクロプラスチックの年齢分布を求めた。カルボニルインデックスと紫外線吸収量、さらには環境温度を定式化し、採取されたマイクロプラスチックのカルボニルインデックスと、気象・海洋観測データから年齢を求めた。

成果

寄せられた演題は、対象スケールの小さいものから順に、表層混合層過程（吉川、今村、藤原）、沿岸・内部重力波・潮汐・サブメソスケール（辻、Park、大貫、蓮沼、西野）、中規模運動（松田、寺田、久住、矢部、水田、美山）、大洋スケールの現象（磯辺）と広範にわたった。扱う現象は、海水循環、波動、混合過程に加えて近年活発に研究されている物質循環、物質輸送も含まれた。手法は、数値実験を軸とするものが多かったが、観測データ解析、解析的理論を主とするものもあった。

本研究集会は、対面・合宿方式で行い、参加者が存分に議論・情報交換ができる場を提供した。ここでは、学会大会のような多人数・短時間の研究発表ではなく、適正な人数で十分に時間を取った。さまざまな研究課題、研究手法、多くの若手を含む幅広い年代の研究者が、講演・参加した。参加者には、気心の知れた常連参加者と新規参加者・若手参加者がバランスよく含まれた。共通項として、海洋力学が好きであることがあげられる。これら好条件を満たす参加者に恵まれ、ブレーンストーミング的に多角的・包括的な議論を忌憚なく進めることができた。

講演者にとって、所属機関外の人と濃厚な議論をする貴重な機会になった。特に若い参加者に、十分な時間を取った質疑が好評だった。また、参加者が、研究会・共同生活とともに生き生きと過ごしている様子が、満足度の高さがうかがわれた。本研究集会が、各課題の進展に寄与すること、規模間相互作用の力学理論構築に寄与することが期待できる。

日本周辺海域における環境急変現象（急潮）のメカニズム解明および防災に関する研究集会

高知県水産試験場 松田裕太

1. 目的

急潮等の海洋環境急変現象による漁業被害は、日本沿岸の地域経済に大きな打撃を与える。急潮発生等の比較的時空間スケールの小さな海洋環境場の予測に対する社会的なニーズは高い。海洋環境場の予測には、大気・海洋のモニタリングデータの解析およびモデリング等が不可欠である。地先での大気・海洋データのモニタリングおよび急潮予報の発出・漁業現場対応は、各府県の水産試験研究機関が独自に実施しているが、それらのデータや情報を共有する場がなく、海洋環境場の予測の精度向上や急潮の防災につながりにくい。本研究集会では、地先での観測データや漁業現場で発生した環境急変現象について、モニタリング・急潮予報業務等を実務とする水産試験研究機関の担当者同士や海洋物理学的な研究を継続してきた研究者、海洋観測機器メーカーおよび漁網会社や漁具等の専門家を交えて議論することで、漁業現場に求められる情報の創出や未解明の物理現象に対する研究の萌芽に努める。

2. 研究集会の概要

日時：令和4年9月14日（水）

場所：①WEB 会議（ZOOM 開催 参加希望者に直接 URL を送付）

②九州大学筑紫キャンパス応用力学研究所 301 号室

概要：研究集会は、WEB 会場と現地会場を併設し、1 日間のみの開催とした。前半の部では、各府県担当者の悩み相談会として、急潮防災に関する話題提供を2題行い、関連する情報交換と議論を実施した。後半の部では研究発表として、発表20分質疑10分の1題あたり30分で、4題の発表を実施した。

3. 研究成果

研究集会には、府県担当者、研究者の合計30名が参加した（詳細は別添名簿を参照）。

前半の部では、各府県が行う急潮の予測・対策に伴い生じている課題を共有し、京都府及び神奈川県が行う急潮対策について情報提供が行われた。意見交換では、急潮警報を出す基準や情報発出の手段、急潮による被害があった際の情報収集の手段などについて議論が行われた。また、海況データの解析方法や海況予測モデルの活用方法について、各府県に対し研究者からアドバイスがなされた。

後半の部では、各府県地先での観測結果や発生現象についての事例紹介、海洋レーダを活用した潮流観測の紹介、急潮と海況との関連や流れに対する漁具の耐性など複数の観点から研究を行い、急潮対策を行った事例の紹介があり、それぞれの発表に対して活発な質疑応答がなされた。

総合討論やその後の議題では、本研究集会が非常に有意義であった旨の意見が複数の参加者から聞かれ、来年度からも継続して本研究集会を開催できるよう、協力していくことを参加者全員と確認し終了した。

研究集会を通して、府県担当者の知識の底上げや担当地域における急潮対策の着想を得ることができた。また、研究者においては、地域のニーズを認識し急潮対策に関する研究の発展につなげることができると考えられた。以上から、府県水産試験場担当者と研究者が協力して急潮対策を進めていくための貴重な情報交換の場とすることができたと考えられた。

この場を借りて、本研究集会の開催を承諾して頂いた九州大学応用力学研究所、所内世話人である千手智晴准教授をはじめとして開催に尽力いただいた関係者に深く感謝申し上げる。

九州大学共同利用研究集会

日本周辺海域における環境急変現象（急潮）のメカニズム解明および防災に関する研究集会

次 第

【日時】 2022 年 9 月 14 日（水） 10:00 ～ 16:00

【場所】 九州大学筑紫キャンパス応用力学研究所 3F（301 号室）

- | | | |
|----|---|-------------|
| 1. | 開会・挨拶および開催趣旨説明 | 10:00～10:05 |
| 2. | お悩み相談会 | 10:05～12:00 |
| | (1) 趣旨説明 | |
| | (2) 自己紹介 | |
| | (3) お悩み相談会 | |
| 3. | 研究発表および話題提供 | 13:00～15:10 |
| | (1) 室戸岬東岸における紀南分枝流を起源とする急潮の予測
松田 裕太（高知県水産試験場 漁業資源課） | |
| | (2) 京都府における急潮対応事例
上野 陽一郎（京都府農林水産技術センター海洋センター） | |
| | (3) 室戸岬東岸の海洋レーダ観測について
藤井智史、櫻本大翔、渡嘉敷悠大（琉球大学工学部）
亀田洋志（三菱電機株式会社） | |
| | (4) 急潮から定置網を守る方法
石戸谷 博範（東京大学生産技術研究所 平塚総合海洋実験場） | |
| 4. | 総合討論 | 15:20～15:40 |
| 5. | その他 | 15:40～16:00 |
| 6. | 閉会 | |

九州大学共同利用研究集会

日本周辺海域における環境急変現象（急潮）のメカニズム解明および防災に関する研究集会
参加者名簿 30 名参加（うち 14 名現地参加）

所属	氏名	参加方式
島根県水産技術センター 漁業生産部海洋資源科	寺戸 稔貴	web
島根県水産技術センター 漁業生産部海洋資源科	寺谷 俊紀	web
石川県水産総合センター	奥野 充一	web
新潟県水産海洋研究所 海洋課	五十嵐 修吾	web
福井県水産試験場	岩崎 俊祐	現地
鳥取県水産試験場	藤岡 秀文	web
佐賀県玄海水産振興センター	江口 勝久	現地
佐賀県玄海水産振興センター	牟田 圭司	現地
日東製網株式会社 技術部総合網研究課	細川 貴志	web
兵庫県立農林水産技術総合センター 但馬水産技術センター	鈴木 雅巳	web
福岡県水産海洋技術センター漁業環境課	池浦 繁	web
福岡県水産海洋技術センター漁業環境課	松井 繁明	web
九州大学応用力学研究所	千手 智晴	現地
九州大学応用力学研究所	広瀬 直毅	現地
九州大学応用力学研究所	山口 創一	現地
福井県立大学 海洋生物資源学部	兼田 淳史	web
福井県立大学 海洋生物資源学部	渡慶次 力	web
富山県農林水産総合技術センター水産研究所	阿部 隼也	web
高知県水産試験場	松田 裕太	現地
神奈川県水産技術センター相模湾試験場	田村 怜子	現地
京都府農林水産技術センター海洋センター研究部	木下 直樹	現地
京都府農林水産技術センター海洋センター研究部	野口 俊輔	現地
京都府農林水産技術センター海洋センター研究部	上野 陽一郎	現地
気象研究所全球大気海洋研究部 第四研究室	中野 英之	web
気象研究所全球大気海洋研究部 第四研究室	坂本 圭	web
気象研究所全球大気海洋研究部 第五研究室	石川 一郎	web
気象研究所全球大気海洋研究部 第五研究室	広瀬 成章	現地
琉球大学 工学部電子情報通信コース	藤井 智史	現地
東京大学生産技術研究所 平塚総合海洋実験場	石戸谷 博範	現地
高知大学 黒潮圏科学部門	寄高 博行	web
蘭越町貝の館	山崎 友資	web

共同利用研究集会

「海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用」

琉球大学工学部 藤井 智史

1. 目的と経緯

海洋レーダは、短波帯や超短波帯の電波を使い、高い時空間分解能で継続的に沿岸海域をモニタリングすることが可能である。また、陸上設置の観測器であることから、洋上の係留系や船舶の観測に比べて運用や保守が容易である。この特徴を生かして、海洋環境の把握や防災への活用、海運や水産業への貢献などが期待されている。

海洋レーダを用いた沿岸域の海況監視システムの構築に向けて、精度向上や効率的運用、信号処理の高度化などのレーダ技術の深化と、観測結果の検証、応用分野や利用範囲の拡大などを議論することを目的として本研究集会を開催した。この研究集会は、2003 年度に応用力学研究所共同利用研究の一環として開始され、国内の海洋レーダの開発や応用分野の研究者、利用者が一堂に会する研究集会として 20 年にわたり継続して実施されてきたものである。

2. 開催概要

開催日時： 2022 年 11 月 29 日（火） 午後（13:30～17:00）

30 日（水） 午前（09:30～12:15）

開催場所： 九州大学 応用力学研究所西棟 6 階 多目的研究交流室（W601 号室）

参加者数： 29 日 32 名、 30 日 34 名 両日参加：29 名

3. 発表概要

本年度は、新型コロナウイルス感染症禍での行動制限が前年より緩和されはじめた中での実施となり、合計 12 件の研究発表が行われた。

1 日目は、研究集会の趣旨説明の後 7 件の講演があった。愛媛大学工学部の片岡は、インドネシア・ジャワ島南岸に設置したレーダを用いた波浪観測の初期解析結果を報告した。熱帯特有のノイズ等に関する報告もされた。琉球大学理学部の久木は、和歌山県美原町ならびに白浜町に設置したレーダを用いた波浪計測において、ドップラスペクトルの選択法を提案し高精度化を図った。琉球大学大学院理工の渡嘉敷は、宮崎県設置の 13.5MHz レーダのドップラスペクトルの一時散乱のピークが分裂する形状になる現象（双峰型スペクトル）に対し、その時間的空間的分布とその成因に関する検討を進めた。東京電力の中島らは、東京電力柏崎刈羽原子力発電所内に設置されたレーダのスペクトル形状によって流速算出で異常な値が出る例について検証した。宮崎県水産試験場の山田は日向灘短波レーダ海況表示システムの利用状況をアクセスログ等から解析するとともに、浮き漁礁に設置した流速計との比較検証結果を示した。グリーン&ライフイノベーションの高橋は、沖合養殖場の設置時の適地探索に対する海洋レーダ情報の活用に向けての期待を述べた。三菱電機の亀田らは、愛媛大学や琉球大学との共同研究を通して実施している、高知県室戸岬での観測計画と初期データを紹介した。

2 日目は 5 件の講演があった。九州大学大学院総合理工の松尾は、応用力学研究所が 2002 年から 2020 年まで運用した対馬海峡レーダの長期データを解析するにあたり、その予備解析の結果として流況の季節変化や経年変動を紹介した。JAMSTEC むつ研究所の金子は、津軽海峡東部での観測に対して、係留系との比較を行い流速精度検証に寄与できることを示した。北海道大学低温科学研究所の江淵らは、宗谷海峡における 19 年間の連続長期観測を総括し宗谷暖流の季節変動・経年変動の様子を明らかにした。新潟大大学院自然科学の松田は、24.5MHz レーダで得られた航空機のエコーに対し、レンジ方向とドップラ変化方向の補償をすることで、検出精度向上の可能性を示した。情報通信研究機構沖縄センターの灘井は、パッシブレーダ技術の海洋レーダへの応用に関して数値解析によりその性能評価を行った。

4. 研究集会プログラム

九州大学応用力学研究所 共同研究集会

「海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用」

(代表者：藤井智史、九大応力研世話人：市川香)

開催日：2022 年 11 月 29 日（火）午後～ 30 日（水）午前

会場：九州大学筑紫キャンパス

応用力学研究所西棟 6 階 多目的研究交流室（W601 号室）

=====

11 月 29 日（火）

13:30～13:35 趣旨説明

藤井智史（琉球大工）

13:35～14:00 短波海洋レーダを用いたインドネシア・ジャワ島南岸の波浪特性の把握（速報）

片岡智哉・藤良太郎・日向博文（愛媛大院理工）

14:00～14:25 海洋レーダによる和歌山県沖の波浪の長期観測の初期解析

久木幸治（琉球大理）、片岡智哉（愛媛大院理工）

14:25～14:50 13.5MHz 海洋レーダによる双峰型スペクトル発生要因の考察

渡嘉敷悠大（琉球大院理工）、藤井智史（琉球大工）、山田和也（宮崎県水試）

14:50～15:15 柏崎刈羽原子力発電所に設置した海洋レーダの流速異常値について

中島健・金戸俊道（東京電力 HD）、木村達人（東電設計）

15:15～15:30 休憩

15:30～15:55 宮崎県における海洋レーダの利活用

山田和也（宮崎県水試）

15:55～16:20 沖合養殖適地の選定と沿岸漁業に活用可能な波浪・流況観測網充実への期待

高橋文宏（G&LI, 北大北極域研究セ）、阿部泰人（北大院水）、細川貴志（日東製網）、齊藤誠一（G&LI, 北大北極域研究セ）

16:20～16:45 海洋レーダによる海象観測・海洋監視の検討と評価用実験について

亀田洋志・高橋龍平・山田哲太郎・伊藤聡宏・今津智成（三菱電機）、片岡智哉（愛媛大院理工）、藤井智史（琉球大工）

16:45～17:00 情報交換

11 月 30 日 (水)

- 09:30-09:55 海洋レーダを用いた対馬海況変動の解析
松尾俊弥(九大院総合理工)、上原克人(九大応力研)
- 09:55-10:20 津軽海峡東部における海洋短波レーダー表面流速と係留観測の比較
金子仁・佐々木建一・佐藤喜暁(JAMSTEC むつ研)、橋向高幸(MWJ)
- 10:20-10:45 短波海洋レーダによる宗谷暖流の 19 年長期連続観測
江淵直人(北大低温研)、深町康(北大北極域研究セ)、大島慶一郎・三寺史夫・西岡純・高塚徹・小野数也・石川正雄・大坊孝春・白澤邦男・若土正暁(北大低温研)
- 10:45-11:10 休憩
- 11:00-11:25 海洋レーダにおけるレンジ及びドップラウオーク補償を用いた
松田暁・山田寛喜(新潟大院自然科学)、藤井智史・長名保範(琉球大工)、宇野亨(東京農工大工)
- 11:25-11:50 パッシブレーダ技術を用いた海洋表層流速場計測に関する検討
灘井章嗣(NICT 沖縄)
- 11:50-12:15 総合討論