

[24]全国共同利用研究成果報告

<https://doi.org/10.15017/4763148>

出版情報：全国共同利用研究成果報告. 24, 2021-03. Research Institute for Applied Mechanics,
Kyushu University

バージョン：

権利関係：



課題番号：2020 A0-S1

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：2021 年 3 月 4 日（木） 13 時 30 分 ～ 16 時 30 分

2021 年 3 月 5 日（金） 10 時 30 分 ～ 16 時 45 分

実施方法：リモート会議（zoom meeting room）

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、様々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。このような状況に於いて、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22回目にあたる（21回は新型コロナ肺炎感染拡大のため中止）。開催方式に関しては、対面およびハイブリッドを想定し準備を進めたが、新型コロナ肺炎感染が収まらず、対面集会を断念し、リモート会議で行った。

今回は、大別して4つの分野の講演があった：1）地球流体力学に関する回転成層流体の室内実験や理論的研究、2）海洋の乱流や大循環の力学に関する研究、3）地球大気波動の数値および統計解析に関する研究、4）金星を中心とした惑星大気に関する研究。口頭発表は14件あり、66名（4日）と60名（5日）の参加登録者があり、常時30–40名の聴講者がいた。また、リモート会議で外部にもオープンにしたので、福岡まで来なくても気軽に参加・聴講できた点は大変良かった。

研究集会の内容は以下のように要約される。回転水槽の渦状の流れの室内実験・理論・数値実験に関する議論、一般化された2次元流体系の2重点渦列の線形安定性解析に関する講演があった。海洋では、海底地形上の流れの安定性の一般条件を求めて線形安定性解析と比較した研究、LESを用いた風成乱流と熱対流による成層海洋中の表層混合層底部におけるエントレインメントフラックスの

パラメータ依存性に関する研究、乱流混合が海洋子午面循環を強化するか？否か？を検討した講演があった。地球大気では、理想化 GCM 実験に基づく縁辺海域ホットスポットが温帯低気圧に与える影響に関する研究、偏西風帯で持続する渦における渦の移動に着目した解析、成層圏におけるプラネタリー波束の下方伝播の統計解析に関する講演あった。惑星大気に関しては、数値拡散が地球型惑星大気大循環の長周期変動に及ぼす影響を調査した研究、金星大気大循環モデルの波動の解析やデータ同化システムの紹介、ラプラス潮汐方程式を用いた金星熱潮汐の理論的考察に関する講演があった。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。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かと思う。

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： 2021 年 3 月 4 日（木）13:30-16:30

3 月 5 日（金）10:30-16:45

実施方法：オンライン(Zoom)

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 4 日（木）

13:30-13:40 趣旨説明（伊賀 啓太）

13:40-14:10 *田中 祐希（福井県立大海洋生物資源）

海底地形上の流れの安定性：二層準地衡系における一般的条件と
線形解析

14:10-14:40 *牛島 悠介（気象業務支援センター）・吉川 裕（京大理）

風成乱流と熱対流による成層海洋中の表層混合層底部におけるエ
ントレインメントフラックスのパラメータ依存性に関する研究

14:40-15:10 *吉川 裕（京大理）・川崎 高雄（東大大気海洋研）・羽角 博康（東
大大気海洋研）

海洋子午面循環と深層乱流混合

休 憩

15:30-16:00 *伊賀 啓太（東大大気海洋研）

円筒容器内で回転する円盤上の軸対称流と非軸対称な諸現象

16:00-16:30 *山本 勝（九大応力研）

縁辺海域ホットスポットが温帯低気圧に与える影響：理想化実験
によるアプローチ

3 月 5 日（金）

10:30-11:00 *岩山 隆寛（福岡大理）・渡邊 威（名工大工）

一般化された 2 次元流体系における 2 重点渦列の線形安定性解析

11:00-11:30 *山本 晃立(東大大気海洋研)・伊賀 啓太(東大大気海洋研)
北半球の偏西風帯で持続する渦における渦の移動に着目した解析

11:30-12:00 *松山 裕矢(九大理)・廣岡 俊彦(九大理)
成層圏におけるプラネタリー波束の下方伝播の統計解析

休 憩

13:00-13:30 *太田 圭駿(九大総理工)・山本 勝(九大応力研)
Smagorinsky モデルが大気大循環の長周期変動に及ぼす影響

13:30-14:00 *鈴木 杏那(京産大理)・高木 征弘(京産大理)・安藤 紘基(京産大理)・杉本 憲彦(慶應大)・松田 佳久(東京学芸大学)
大気安定度に対する金星熱潮汐波の依存性

14:00-14:30 *松田 佳久(東京学芸大)
金星熱潮汐波の水平構造の潮汐理論による解釈

休 憩

15:00-15:30 *杉本 憲彦(慶應大)・藤澤 由貴子(慶應大)・ALEDAS-V team
ALEDAS-V(金星大気データ同化システム)を用いた研究の紹介

15:30-16:00 *廣瀬 拓海(九大総理工)・山本 勝(九大応力研)・池田 恒平(国立環境研)・高橋 正明(国立環境研)
大気大循環モデルを用いた金星大気の短周期擾乱の解析

16:00-16:30 *高木 征弘(京産大理)・安藤 紘基(京産大理)・杉本 憲彦(慶應大)・松田 佳久(東京学芸大)
金星大気中の4日波・5日波の成因と力学的性質について

16:30-16:45 情報交換/総合討論

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、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、洋上または船舶の観測に比べて運用保守などが容易であるという利点がある。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発展と、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標記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、国内の海洋レーダに関係する研究者、利用者が一堂に会する研究集会として継続して実施されてきたものである。

本年度は、市中で新型コロナウイルス感染症の感染者が出ている状況であったが、九州大学の行動指針に従い感染防止に配慮し、事前参加登録による人数把握により会場での密集を避け、当日もマスク着用ならびに消毒用アルコール等を用意したうえで、対面にて応用力学研究所内で開催した。

2. 開催概要

開催日時： 2020 年 12 月 15 日（火） 午後（14:30～17:15）

16 日（水） 午前（09:45～12:30）

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： 15 日 15 名

16 日 20 名

3. 発表概要

本年度はコロナ禍で行動が制限される中、合計 8 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 4 件の講演があった。琉球大学の玉城は、送受信機部分に FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いた送信信号発生と受信機能の構成法について報告した。従来のアナログ回路に比較してコストと消費電力の面での効果が期待される。新潟大学の小泉は、新潟大学工学部屋上に設置した水平垂直偏波の送受信可能なレーダでの海面からの散乱信号ならびに船舶からの反射波について報告した。水平偏波での波浪散乱は今まで誰も扱っていない分野であり初期的結果として興味深いものである。琉球大学の永江は、アレイアンテナを用いた海洋レーダの計測に到来方向推定法である MUSIC を応用した手法を提案し、シミュレーションにより評価するとともに実観測データへの適用を報告した。中部電力の横洲は、現在中部電力浜岡原子力発電所に設置稼働している海洋レーダの水産業等への利用を提言しその計画について報告した。今後、静岡県水産・海洋技術研究所や地元漁協との連携方策が課題となろう。

2 日目も 4 件の講演があった。琉球大学の村上は、短波海洋レーダのドップラスペクトルの 2 次散乱に対しベイズ法を応用した波浪スペクトル推定法を適用し、シミュレーションで各パラメータの影響を評価するとともに、宮崎県設置の 13.5MHz レーダのドップラスペクトルを用いて、沖合の GPS 波浪計と比較した。過小評価の原因追及が途上であり、今後検討を要する点である。電力中央研究所の坪野は、国土交通省が伊勢湾に設置運用しているレーダに関して、2008～2013 年に実施したのと同様の方法にて 2016 年以降の流速分布を詳細に検討し、レーダを更新したことに対応して、2016 年以前と比較し M2 潮の分散共分散での長軸が小さくなりモデルとも一致していること、視線方向流速での誤差（変動）は約 1cm/s であることを報告した。長期データの収集にかかるデータの傾向の検討は有用であると考えられる。JAMSTEC むつ研究所の金子は、津軽海峡東部を観測するレーダを用いて 2017 年から 2019 年の気候値から津軽暖流流軸の季節変動を論じた。津軽海峡で特徴的な 13.7 日周期の変動が上流から下流に伝搬する過程で傾圧不安定により流軸を南北に揺れることと太平洋に抜けるまでに約 10 日要することを示した。北海道大学低温科学研究所の江淵は、稼働開始から 18 年になる宗谷海峡に設置したレーダの長期連続観測から、季節変動・経年変動を概観した。その表面流速と流下方向（稚内ー網走間）の水位差比較すると、季節変動を除いた水位差偏差と南東流偏差は相関係数が 0.5 を切り、夏季は特に異なることを示した、また、沖合の衛星高度計からの水位データとの比較から、表面流速の指標としては水位差より衛星高度計との組み合わせの方が良いことを示した。また、長期間での機器劣化に対し観測精度への影響は大きくないと報告した。

最後の総合討論では、海洋レーダ導入にかかる課題や得られるデータの実応用に向けての連携方策などについての意見交換が行われた。

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：2020 年 12 月 15 日（火）午後～16 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）

=====

12 月 15 日（火）

14:30-14:35 趣旨説明

藤井智史（琉球大）

14:35-15:05 FPGA による短波海洋レーダ実現へ向けた検討

玉城大地・長名保範・藤井智史（琉球大）

15:05-15:35 垂直・水平偏波を用いた偏波海洋レーダによる実験結果報告

小泉達寛・山田寛喜（新潟大）、藤井智史・長名保範（琉球大）、宇野亨（東京農工大）

15:35-15:45 休憩

15:45-16:15 アレイアンテナの流速計測における到来方向推定法の適用について

永江要・藤井智史（琉球大）

16:15-16:45 浜岡海洋レーダの水産業への利活用に関する検討
横洲弘武・橋詰正広（中部電力）

16:15-17:15 情報交換

12月16日（水）

09:45-10:15 実海域における短波海洋レーダを用いた波浪計測手法の検証
村上裕馬・藤井智史（琉球大）

10:15-10:45 2016年以降の伊勢湾海洋レーダで得られる流速の精度
坪野考樹（電中研）

10:45-11:00 休憩

11:00-11:30 海洋短波レーダーによって捉えられた津軽海峡東部における前線波動
金子仁・佐々木建一（JAMSTEC むつ研）、阿部泰人（JAMSTEC むつ研／北大院水産）、
脇田昌英（JAMSTEC むつ研）、奥西武・長谷川大介・田中雄大（水産機構資源研）

11:30-12:00 短波海洋レーダによる宗谷暖流の長期観測
江淵直人・深町康・大島慶一郎・三寺史夫・高塚徹・石川正雄・白澤邦男・若土正暁（北大低温研）

12:00-12:30 総合討論

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

電力中央研究所 板橋秀一

研究集会では、国内の化学輸送モデルを用いた大気環境モデリングに関わる幅広い専門家が数多く集まり、最新の成果を発表する予定で令和3年3月5日に予定していたが、新型コロナウイルス蔓延に関わる緊急事態宣言の発出により中止となった。

予定されていた研究集会の主要トピックスには、共催していただいた大気環境学会モデリング分科会のモデル相互比較プロジェクト J-STREAM (Chatani et al., 2020) に関する情報交換があるが、それに関する計算結果の交換をはかるために大容量の Hard Disk を購入・参加予定者に回覧して次年度以降に企画されている共同利用研究集会でのモデル相互比較研究に活用することとした。

開催予定で準備していた研究集会のプログラムは資料の通りである。

参考文献

Chatani et al.: Identifying key factors influencing model performance on ground-level ozone over urban areas in Japan through model inter-comparisons, Atmospheric Environment, 223, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117255>

第 5 回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
(予定していたプログラム、緊急事態発出で中止)

日時 2021 年 3 月 5 日（金）午後～6 日（土）午前 予定
場所 九州大学応用力学研究所 多目的研究交流室 W 6 0 1

プログラム

趣旨説明 鶴野 伊津志（九州大学応用力学研究所）

一般講演 1

櫻井 達也（明星大学）

夏季の関東におけるゾンデによるオゾン立体観測

嶋寺 光（大阪大学）

船舶燃料油硫黄分規制強化による瀬戸内海での大気質改善効果のモデル評価

黒川 純一（アジア大気汚染研究センター）

アジア域の長期ヒストリカルインベントリの開発

板橋 秀一（電力中央研究所）

CODID-19 によるロックダウンの大気環境へのインパクト

特別講演

大原 利真（国立環境研究所）

福島第一原子力発電所の事故と大気環境解析のまとめ

鶴野 伊津志（九州大学応用力学研究所）

アジアスケールの大気環境モデリングの発展と将来展望

一般講演 2

茶谷 聡（国立環境研究所）

J-STREAM の目的・概要・到達点と今後の課題

山地 一代（神戸大学）

J-STREAM の参加機関と主な結果

山村由貴（福岡県保健環境研究所）

九州地域の光化学オキシダント削減施策策定のためのモデル解析

弓本桂也（九州大学応用力学研究所）

機械学習を用いた大気環境予測の予備的研究

参加予定者 （所内 3 名、所外 1 3 名）

所内

鶴野伊津志、弓本桂也、王哲

所外

板橋 秀一、櫻井 達也、嶋寺 光、黒川 純一、大原 利眞、植松光夫

茶谷 聡、山地 一代、永島 達也、菅田 誠治、森野悠、早崎 将光、山村由貴

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

京都府農林水産技術センター海洋センター 船越 裕紀

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2年12月25日（金）

場所：①WEB 会議（ZOOM 開催 参加希望者に直接 URL を送付予定）

②九州大学筑紫キャンパス応用力学研究所 301 号室

概要：当初は現地で2日間の開催予定であったが、新型コロナウイルスの影響を考慮し、WEB会場と現地会場を併設し、1日間のみの開催とした。午前の部は都道府県担当者の悩み相談会として、急潮防災および海洋観測について5つのテーマを設定し情報交換と議論を実施した。午後は研究発表として、発表15分質疑10分の1題あたり25分で、5題の発表を実施した。

3. 研究成果

研究集会には、新型コロナウイルスの影響を鑑みて広く告知していないにも関わらず、都道府県担当者、研究者、漁網会社、観測機器メーカーなど、多様な立場から32名が参加した。（参加者の詳細については別添参照）

午前の部では、急潮の予測から被災後の対応まで、防災に関しての情報共有および新しい技術についての議論が行われ、急潮情報の発信、空中ドローンの運用、リアルタイムの海洋観測機器などが未導入の都道府県が、それらを今後活用していく端緒となった。また、これまで注目度が低かった冬の急潮災害について、情報共有を活発化しつつ、

今後、研究の発展を目指すことで合意した。最後に、書籍の紹介や都道府県の初任者向け勉強会を開催することを決定し、海洋物理研究者の知識の底上げを図ることを合意した。

午後の部では、都道府県地先での観測結果や発生現象について、海洋物理、水産、漁具など複数の観点から議論が交わされ、それぞれ他分野からの新たな着想を多く得た。さらに、モデルでのシミュレーション結果を現場の結果と比較検証した発表では、海洋環境の変動や、変動が漁業にもたらす影響を考える上で重要な知見を得ることができた。

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。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」
（代表者：船越裕紀、九大応力研世話人：千手智晴）

日程：2020 年 12 月 25 日（金）9:45 ～ 15:40

場所：①WEB 会議（ZOOM 開催 参加希望者に直接 URL を送付予定）

②九州大学筑紫キャンパス応用力学研究所 3F（301 号室 ※変更の可能性あり）

- | | |
|-------------------------------------|------------|
| 1. 開会・挨拶および開催趣旨 | 9:45 |
| 2. 自己紹介 | 9:50 |
| 3. 都道府県 悩み相談会 | |
| (1) 趣旨説明 | 10:00 |
| (2) 悩み相談会 | 10:10 |
| < 休 憩 > | |
| | 12:00 |
| 4. 研究発表および話題提供 | |
| (1) 京都府の定置網漁場で計測した潮流観測結果 | （現地）13:10 |
| 船越裕紀（京都府農林水産技術センター海洋センター） | |
| (2) 丹生定置網における急潮被害について | （WEB）13:35 |
| 岩崎俊祐（福井県水産試験場） | |
| (3) 越前岬沖の海況変動と定置網の漁模様の関連性 | （現地）14:00 |
| 兼田淳史（福井県立大学海洋生物資源学部） | |
| (4) 富山県における漁業者参加型の海洋観測 | （現地）14:25 |
| 小塚 晃（富山県農林水産総合技術センター） | |
| (5) 佐渡島よりも下流域における対馬暖流沿岸分枝の季節変動・経年変動 | |
| | （WEB）14:50 |
| 井桁庸介（水産研究・教育機構 水産資源研究所） | |
| 5. 総合討論 | 15:15 |
| 6. その他（次年度について） | |
| 7. 閉会 | 15:40 |

1. 開会・挨拶および開催趣旨

趣旨説明（代表 京都府 船越）

急潮防災研究集会開催の経緯について、2014 年度に急潮現象解明プロジェクトが終了したのち、継続して急潮の知識普及や各地先での解明について話し合うため、2015 年に井桁氏（旧・日水研）が九大の共同利用研究制度を利用して急潮研究集会を発足した。この研究集会は 5 年間実施し、一定の成果と役目を終え、昨年終了した。しかし、さらに継続して急潮について議論する場が必要だと考え、これまでの研究集会の目的に加え、漁具被害や防災について議論することも目的に含めて、新たに本研究集会を発足した。以上の理由から、本研究集会には、各府県や大学の研究者に加え、製網会社や観測機器メーカーにも参加いただいた。

（准代表 富山県 小塚）

沿岸で発生する急潮は地形の影響や潮流の変動等、各地先によって発生要因は様々であり、特定することは難しい。また、急潮による被害を受けない定置網にするためには、漁具のリスク管理も予測と同様に重要である。当会では、各地先において発生する急潮の原因の特定に資することや、急潮に関する知識を普及し、今後も伝えていく場として続けていきたい。

2. 自己紹介

今回は WEB での参加者や初めての参加者も多く、スムーズな議論が困難であると予想されたことから、活発な議論を促すため、可能な限り顔を画面に映した状態で自己紹介を実施した。

3. 都道府県 悩み相談会

・趣旨説明（富山県 小塚）

急潮は原理の解明や予報モデルの研究は進展し、成熟した。漁具被害の防止という最終目的を達成するためには、漁業現場と研究をつなぐ県水試の役割が重要である。しかし、県職員は異動があり、対応レベルが変化しやすいので、県間のつながりを密にし、ノウハウを共有し、地域として急潮防災体制の安定化を図る必要があると考え、悩み相談を行い、全体のレベルアップを狙いたい。

事前アンケート（資料あり）を基に各自 1 分で最も興味があることを説明した後、5 つのトピックについて、話題提供者から話があったあとに、テーマに沿って自由に話した。

① 急潮が起きる前の対応について 京都府 船越 ※スライドあり

・急潮予測を行う際に参考にする情報は、スライドのとおり。急潮予報は FAX および LINE で情報共有し、後日、急潮対策等に関するアンケートを FAX で行う。

Q：どの急潮予測モデルの急潮指数を参考にしているのか（鳥取・藤岡）。

A：DREAMS（以下 DR と略記）の潮流予測を参考にしている。しかし、DR の予測流速は実際の潮流よりも過大評価している印象（実際はモデルの急潮予測よりも沿岸寄りに定置網があるため）があり、定置網付近での実際の流速は少し弱めに（モデルの潮流×0.8 倍程度）見積もるようにしている（京都・船越）。

O：日水研の公表している急潮指数は、岸近くは沖の情報を平滑化して沿岸に組み込んで算出しているため、実態に近いと思う（新潟庁舎・井桁）。

Q：急潮情報は何日前に出しているのか。

A：波浪や潮流の状況にもよる。漁業者の作業を考慮して出すようにしている。また、漁業者自身でも DR コマンダー、風情報を参考にしている（京都・船越）。

O：石川県では風に起因する急潮がほとんどで、南西風がどれほど吹くかが重要。DR と気象協会の予報を見ながら総合的に判断している（石川・奥野）。

② 急潮が起こった後の対応 神奈川県 田村 ※資料あり

・相模湾西部・江之浦ブイの流況、JAMSTEC の海流予測、その他の相模湾内のリアルタイム海況ブイを参考にしながら、相模湾東部の城ヶ島東側で2時間以上北向きの流れが出た場合は注意報を出す。台風は台風安全情報を参考にしており、進路をみながら最低3日前までに出すようにしている。

・急潮予報を発出した後に、別紙のアンケートにより情報収集を行っている。アンケートでは、定置の模式図をつけて、担当研究員以外の、定置の知識が少ない普及員などでも被害のあった部位について聞き取りやすいように工夫している。

・台風等のイベント後に、空中ドローン撮影した写真を定置漁業者に提供。

O：城ヶ島北上流は、房総半島東岸の沿岸補足波をモニターするのに使う。大島被害水道に入っていくシグナルを捉えられれば急潮を早く察知できる（新潟庁舎・井桁）。

O：京都府では FAX でアンケートを行い、半分以上から回答が届く。また、3 年前に全国で初めて単県として急潮被害の補償を行った。それ以来、大規模な被害があった場合は、大数の被害図の提出と、漁協の購買部の資材発注状況を聞き取りにより被害金額を把握している（京都・船越）。

O：台風19号により甚大な被害を負った際には、空中ドローンにより被害状況を把握した。来年度には、70 万円程度のドローンを購入し、網なりや被害状況の把握を行うこととしている（神奈川・田村）。

O：水中カメラ、ドローンで被害状況の確認を行っている（ホクモウ株式会社・松平）。

O：図面を元に被害状況の確認を行っている。また当社開発の漁具シミュレーション（NARA）システムで被害時の状況を再現したり、今後の方策を提供したりしている。ユビキタス魚探では、実際の流向流速を確認することも可能（日東製網株式会社・細川）。

O：現在、急潮に強い網づくりを定置会社と検討している。今後、製網会社と相談していきたい

たい。(長崎県)

③ 未解明の漁具被害現象について 石川県 奥野 ※資料あり

・資料に基づいて、2018年3月および2020年1月の冬の急潮現象について説明。2018年3月には非成層期にも関わらず、日本海の低気圧で七尾沖（岸端）の定置網のワイヤーロープが切断するという大きな被害が発生。実測の流速計(10m)と急潮予測モデル DR コマンダーでは約 30 cm/s の流れで、強い流れがあったデータはなく、中層、沖合についても強い流れはみられず、原因は不明であった。

※小塚注 同じ低気圧で、新潟の境市振定置も全損の被害があったと聞いている

・2020年1月、低気圧の通過に伴い、現場では強い流れが観測されたが、急潮予測モデル DR コマンダーでは予測できていなかった。

0：非成層期においても強い風が強い沿岸補足波を発生させる。七尾湾の淡水由来の塩分成層があったのではないか。成層の状況により、急潮の発生が左右される場合がある。(新潟 庁舎・井桁)

Q：京都府でも冬に同様の急潮が発生することがあるが、井桁さんと同じく強風の影響と理解している。ところで、冬の急潮に関してモデルの精度がかなり低いと感じているが、ご意見等伺いたい。(京都・船越)

A：原因がわからないが精度が悪いことは認識している。(九大・広瀬)

0：冬の躍層の深さが影響している可能性がある(広瀬・船越)

0：深い部分はモデルの鉛直解像度が低いので躍層が反映しにくい(水研新潟・井桁)

0：冬の低気圧は、移動が早く気象予報が難しいため、急潮モデルに正しい気象条件が反映されにくい。3時間ごとにデータを更新すれば結果が変わるかもしれない。急潮には密度躍層の深さが重要で、鉛直解像度が急潮の再現性を左右する。(九大・高山)

0：京都府の一部や福井県でも(兼田先生)多層で周年観測を行っている。冬の急潮が観測された際はみなさんに情報共有してメカニズム解明につなげたい(京都・船越)

④ リアルタイムの潮流ブイについて 高知県 松田 ※スライドあり

・資料に基づいて説明があり、ソーラーパネル式、内臓バッテリーで年1回の電池交換が必要。東西のブイのメンテナンスだけで、月の1/4程度の業務時間を割いている。

Q：係留式 ADCP で表層から下層にかけての流れを測っているが、中層、底層のデータが実際と異なると漁業者から指摘されたことがあり、海底付近の45mの流れが測れず、設置水深を変更した。高知県ではそのようなことはあるか。(鳥取県・藤岡)

A：黒牧ブイの下層で明らかな異常値がでていることはあるが、リアルタイムブイでは今のところない(高知・松田)。

A：係留式ADCPで、海面から海底の流れを測った場合、水深に対して海底直上の15%の測定値は、乱反射のため使えないと分かっている（新潟庁舎・井桁）

（ブイの生物汚濁、メンテナンスについて）

0：石川県は漁業者に謝金を渡して、ブイのメンテナンスを委託することもある（石川・奥野）。

0：係留式流速計では、本体部に船底塗料を塗れば2～3 か月は生物が付着せず、測定部の汚濁もある程度防ぐことができる。ロープは半年ごとに交換し、使用したものは干して清掃している（京都・船越）。

0：日東電工という会社から、「海洋生物付着抑制フィルム MARINGLIDE™(マリングライド)」という商品がでている（日東製網・細川）。

⑤ 海洋物理の勉強について 富山県 小塚 ※スライドあり

・「小川嘉彦，海洋水産資源開発センター，1997. 水産技師のための海況学入門」をベースに、ブルーバックスの一般向けの海洋学の本「海流の物理—海の中の風と嵐 永田豊 著」から勉強し始めた。近年のブルーバックスでは、「保坂直紀，謎解き・海洋と大気の流れ」がある。

・流速データについては、京都府熊木さん作成の「急潮観測データ入力フォーム.xls」で簡単に流れの基礎統計は作れる。水研機構の研修の手厚いRでの解析、作図を勧めた。

0：より沿岸の海洋物理現象に特化した本として、以下の書籍の紹介があった（九大・千手）。

・「海の科学-海洋学入門」（恒星社厚生閣） 柳哲雄 著 ←最入門

・「潮目の科学」（恒星社厚生閣） 柳哲雄 著

・「内湾の環境科学」（培風館）西条八束 編 ←第3章「内湾の物理環境」宇野木早苗

・「日本海 その深層で起こっていること」（ブルーバックス）蒲生俊敬 著 ←日本海の話

・「海洋観測データの処理法」（恒星社厚生閣）柳哲雄 著 ←データ解析の入門

4. 研究発表および話題提供

(1) 京都府の定置網漁場で計測した潮流結果

船越裕紀（京都府農林水産技術センター海洋センター）

・京都府では、これまでの研究成果から急潮の要因がほとんど解明され、リアルタイム急潮予測システムDR コマンダーを用いた急潮予報も高い精度で的中している。

・急潮の防止は大事だが、漁獲機会の損失になるので、漁具被害が発生する急潮と、そうでない急潮「危険な急潮」を分けて特徴を調べた。

・10, 30mの観測を連続して行った結果、30mの流速が速かった時に被害が発生する傾向にあり、この水深の流況を把握する必要がある。

・漁場ごとに急潮発生水深の特徴が見られたことから、今後、海域ごとの特性を踏まえて複数層の流況予測をチェックすることで急潮情報の更なる高精度化につながる。

- ・急潮の情報伝達に LINE グループを活用している。定置網関係者だけでなく、市町村の担当者も入っている。網を再設置するタイミングなども細かに情報提供できている。
- ・急潮後は高速な取締船等で空中ドローンを使った空撮に行く。

0：DJI 社の RTK という空中ドローンは、飛行ルートを登録しておいて自走して戻ってくる設定ができるため、定置被害の確認に使っている（値段 70 万円）（神奈川県・田村）

0：福井県の観測でも躍層面付近での急潮が多く観測されている。（福井県大・兼田）

0：定置のブイに GPS を付けたら流れがわかるかもしれない。（新潟庁舎・井桁）

0：10m と 30m 深の流速の違いは、なかなかモデルで表現するのは難しい。内部波というのは水平方向だけでなく、鉛直方向にも伝搬しながら消散している過程なので、鉛直伝搬まで数値モデルで皆さんが「使える」レベルで再現・予測するのはかなり困難だ。次年度に DR_C の鉛直分解能を向上させる予定があり、これで少しでも良くなることを期待している（九大・広瀬）

(2) 丹生定置網における急潮被害について 岩崎俊祐（福井県水産試験場）

・敦賀半島西部の丹生定置で、2020 年 9 月 1 日に垣網がずれるなどの漁具被害が発生。直前の風速は北風 6m で、特に風は強くなかった。8/30—8/31 に現場の観測ブイの通信が途絶えており、確かに急潮はあったようであるが、発生原因は不明のまま。9 月下旬以降エボシ貝の生物汚濁が多くなった。

0：食用クエン酸で貝殻は取れるが、エボシ貝は難しい。船底塗料とマスキングシールで防汚する（京都・船越）。

0：日東製網社の定置網魚探「ユビキタス魚探」の潮流計データについて現在は魚探の画面にリアルタイムで表視されるだけとなっているが、時系列データの可視化の要望が多いので、再来月にグラフ表示機能と csv 出力機能の追加を予定している。（日東製網・細川）

0：ホクモウ社の定置網魚探「うおっちブイ」には流速計はつかないが、定置網にピンガーを取り付け、深度をリアルタイムで見られる機能がある。（ホクモウ・松平）

(3) 越前岬沖の海況変動と定置網の漁模様の関連性

兼田淳史（福井県立大学海洋生物資源学部）

・福井水試では ADCP のブイ、福井県大では電磁流速計のブイを運用している。嶺北の鷹巣定置のハマチ(ブリの若齢魚)の大漁について、水温、流況との関係を考察。2013～2018 年を対象とした。

・日別漁獲量、水温データの 5 年移動平均からの偏差を計算し、5 日間連続で平均漁獲量を 500 kg 上回った場合を大漁、10 日間連続で平年漁獲量を下回った場合の漁獲が極小の日を不漁日と定義した。漁業者の経験則では、低水温の方が好漁と言われていた。

・水温との関係を見ると、ハマチは水温が低いときに漁獲が増え、水温が高いときには不漁になる傾向。

・豊漁、不漁をそれぞれ 7, 5 日抽出し、AVISO の海面高度の平均場を作成したところ、冷水渦が鷹巣定置沖に接岸すると大漁で、不漁はその逆のパターンとなった。

・好不漁は、冷水域（海面高度低）、暖水域（海面高度高）の離接岸によってハマチの回遊ルートが変わることが原因で、冷水域が接岸した際には、岸よりに回遊し、暖水が接岸した際には沖を回遊している可能性があり、ハマチの好適水温が影響していると考えられた。

0：網の広がり具合が漁獲量に影響を与えているかもしれない（京都・船越）。

0：ブリの越冬と北上などの特性を考慮して調べるとよいと思う。（富山・小塚）。

0：ブリの標識放流の結果では、大きく回遊するのではなく基本的に岸に張り付き、水温が低いときは瀬に張り付く。4, 5 月に成層が発達すると、表層まで上がってくる傾向があった（石川・奥野）。

(4) 富山県における漁業者参加型の海洋観測

小塚 晃（富山県農林水産総合技術センター）

・2 つの漁業者参加型の観測を行った。

・1 つ目は定置網に水温深度ロガーを付けた実験。定置網のかえし先端と網底の 2 か所に深度計を設置した。定置網は順流時、逆流時で非対称に吹かれるため、2 箇所の相対的な深度を解析することで、深度データから流れの向き、強さを推測することができる。不漁の原因と言われる逆流の時は、網底が持ち上がることで定置網の容積が小さくなり入網が妨げられていることを可能性がある。定置網漁業者はかえしの先端を重くしていたが、逆流時に網底がかえしよりも吹きあがり魚を押し返している可能性がある。

・2 つ目は、JFE アドバンテック社製の漁業者用小型水温塩分計 smart-act を用いた沿岸の海洋観測に関する話題。シロエビ漁船に同機械を貸して漁網に取り付けて操業を行ってもらい、同じ海底谷内における日別の水深 200m の鉛直データを収集した。取得した観測データはドロップボックスへ自動アップロードされ、ネット経由で漁業者に鉛直水温分布をフィードバックのシステムを作成。観測結果から、固有水上部の上下動（内部波）が確認された。

Q：クラゲや魚の入網で、流速と網の吹かれの関係は変わるか？（新潟庁舎・井桁）

A：魚は網が吹き上がると出ていくのでわからないが、クラゲはありえるし、漁具被害の要因ともなっている。（小塚）

Q：網の深度から流速を推計して、定量性はあるか？（九大・千手）

A：事前に同漁場で流速計と網深度のデータを突合しておけば、何 m 吹き上がった時に少なくとも何 cm/s 以上の流れがあったということはできる。ただし、経時的な、網の汚れの影

響も大きいと思っており、今後の課題。(小塚)

0：漁業者はこれまで浮子（台、矢引）の沈み具合を流向、流速の目安としてきたので、そちらに深度ロガーをつけてみてはどうか。(日東製網・細川)

A：確かにそちらの方が直接的でよい。今回は網自体の動きを見ることが主目的であったので、今後検討したい。(小塚)

0：京都府の上野が網容積と漁獲の関係について報告したものがあるので参考になると思う。(京都・船越)

Q：smart-act の固有水の部分のデータについて、モデルと整合性は検証しているか？(福井県大・兼田)

A：今後の課題だが、あまりモデルとは合わない印象。(※この件について広瀬先生より、北風と対応する可能性が高いので確認した方がいいとのアドバイス)

(5) 佐渡島よりも下流域における対馬暖流沿岸分枝の季節変動・経年変動

井桁庸介（水産研究・教育機構 水産資源研究所）

・山形沖における暖水渦の形成メカニズムについて調べた。富山トラフ上で暖水渦の成長が、対馬暖流の沿岸分枝の流路遷移（越佐海峡→佐渡沖合）に関わっていることをこれまで明らかにした。2012、2013 年は沖合に遷移したが、2014 年は途中で枯れた。流路遷移は柏崎一小木（佐渡）の潮位差の日変化量を指標として区別することができ、変化量が 7.5mm/day を上回ると流路遷移が起きている。日本海北部海域の 200m 水温分布から、暖水の面積を計算したところ、経年変動は流路遷移の有無と一致。

Q：寒ブリの北越地方への来遊、配分と関係するテーマ。そもそも流路遷移の発生の有無は何と関係するのか？流路遷移と、能登沖の冷水塊に関係はあるか？(富山・小塚)

A：遷移しないから能登沖暖水が膨らむということではない。(井桁)

総合討論

・誰もが使える FRA-ROMS での粒子実験は使用できるようになれば情報提供する(新潟庁舎・井桁)

・DR-C のサーバーが変更になった。DR-C1 となったので、DR コマンダーを作成、利用している県は対応してほしい。(九大・高山)

・DR-C では計算が 1 日 2 回行われていたが、DR-C1 へのサーバー変更に伴い、スパコンのマシントイムの都合で計算が 1 日 1 回となった。高頻度の計算を求められているところ、申し訳ないが承知いただきたい。一方、気象モデル GPV の出力がこれまで 30 時間先までであったものが、50 時間先まで公開された。今後、DR-C1 にも反映させたいと思っている。(九大・高山)

・来年度も今年度と同様に複数県担当で申請する予定である。採択された場合は、今年度同様 WEB 併設の会議とし、現地会場の場所は九大を考えている。(京都・船越)

共同利用研究集会

「東アジア縁辺海の海水循環と生物化学過程」

Water Circulation and Chemical-Biological Processes in the Marginal Seas
in the East Asia

研究代表者 石坂丞二（名大宇宙地球環境研究所）

1. 目的と経過

東アジア縁辺海の生物生産には、それらの海域の流動や混合による栄養塩の流入や供給が欠かせない。例えば日本海について考えると、東シナ海から対馬海峡を通して流入する熱や大陸河川起源の淡水、栄養塩やプランクトン等の様々な物質は、日本海の物質循環や生態系に大きな影響を及ぼしている。また近年の数値モデル研究によると、日本海のメインストリームである対馬海流の流量の季節変動は、下流域であるオホーツク海の冬季の風応力と関連していることが示唆されており、日本海の環境変動を理解するためには、その上流域・下流域を含めた東アジア縁辺海全体と、その上空の大気をも含めた一体的な視点が重要と考えられるようになってきた。九州大学応用力学研究所では、東シナ海の陸棚域および黒潮域・日本海やその周辺海域の循環に関する研究を長年継続的に実施しており、国内外研究機関との共同研究も多方面から進めている。その研究内容は、名古屋大学や長崎大学、富山大学等で進めている生物・化学的な研究との関連も深く、様々な研究プロジェクトを通して、多くの分野を包含した研究者コミュニティも形成されてきている。研究成果の共通理解を更に深めるため、継続的に開催できる研究集会の場をもつことが今後の共同研究の進展に大きく寄与すると思われることから、過去数年間にわたり九州大学応用力学研究所の共同利用研究を利用し、研究集会を開催してきた。

2018年度までは東シナ海に焦点を当てた研究集会を行ってきたが、2019年度からは東シナ海と日本海・黒潮域を含めた東アジア縁辺海での流動や混合などの物理環境と、生物化学過程との関係を明らかにする研究集会として、新学術領域研究「海洋混合学の創設」のA2-4班と合同で研究集会を開催してきた。今年度も、新たに鹿児島大学のメンバーを加え、東シナ海・日本海および黒潮に

関する研究を主体とした対面での研究集会の開催を2020年9月以降に計画したが、新型コロナウイルスの感染拡大の影響で中止せざるを得ない状況となった。さらに2021年1月にもwebシステムを利用したリモートでの開催を目指したが、参加予定者の調整がつかず、実施は見送りとなった。このような状況の中で、2021年1月20日に研究代表者（石坂）と応用力学研究所のコアメンバー（千手、遠藤）との間でZoomによる遠隔会議を開催し、本年度の研究集会の実施方針と次年度以降の対応について協議した。その結果、以下のことを確認、決定した。

- ・本年度の研究集会は、時間的制約もあり、単独での開催は難しいとして中止する。その代わり、遠藤が中心となって進めている台湾大学との国際化推進共同利用研究（20EA-2, Turbulent mixing in the Kuroshio Current off Taiwan, 研究代表者：JAN Sen, National Taiwan University）との遠隔による共同研究集会を1月25～26日に実施する。
- ・本年度の研究経費は、2021年1月に予定していたリモートでの開催を念頭に、遠隔会議用のパーソナルコンピュータ、スピーカーフォン、PC付属用品、発表記録用のSSD等の購入に充てたことを報告した。なお、これらの物品は本年度の共同研究集会、および次年度以降の研究集会で活用する。
- ・本研究集会と連携する形で、遠藤を中心に推進している名古屋大学宇宙地球環境研究所との共同利用・共同研究の研究集会は、本年度の開催は見送りとする。
- ・来年度も研究代表者を石坂、所内世話人を千手として、東アジア縁辺海・黒潮周辺での物理・化学・生物過程を対象とした共同利用研究集会を申請する。今後の新型コロナウイルスの感染状況にもよるが、本年度の反省を踏まえて、8月にアナウンスを開始し、10月後半には開催できるよう、早めに準備を進める。また、リモートと対面のハイブリッドでの研究集会の開催を目指す。

2. 研究集会の概要

前述した通り、研究集会は国際化推進共同利用研究（20EA-2, Turbulent mixing in the Kuroshio Current off Taiwan, 研究代表者：JAN Sen, National Taiwan University）と合同で、2021年1月26日（火）から1月27日（水）の2日間にわたり、Zoomを用いたリモート研究集会として行った。末尾に研究集会のプログラムを添付するが、日本と台湾で1時間の時差があるため、このような時間設定となった。

出席者は、国立台湾大学 4 名、国立成功大学（台湾）1 名、海洋研究開発機構（JAMSTEC）1 名、東京大学 1 名、東京海洋大学 2 名、愛媛大学 7 名、九州大学 3 名、名古屋大学 1 名であった。

研究集会初日は、主に海洋物理に関する研究発表がなされた。遠藤による研究集会の趣旨説明に引き続き、台湾大学のJan教授から台湾での黒潮研究の経緯と最新の研究航海の成果、今後の研究計画についての紹介があった。続いてChangは台湾東方のI-Lan Ridgeでの観測結果を紹介し、sill上でのsmall scaleの物理過程と混合への寄与について議論した。またChenは海山上のシアーにともなう混合について、モデル計算結果に基づき考察した。堤は過去に行ったI-Lan Ridgeでの観測結果とモデル計算結果との比較を通して、同海域における海水混合に対するI-Lan Ridgeの重要性を示した。

研究集会 2 日目は、栄養塩輸送や生物過程に重点を置いた研究発表がなされた。まず長井は、nutrient streamとしての黒潮が、その流程の中のどこで鉛直混合によって栄養塩を獲得するかについて議論した。続いてDuranは、黒潮が日本南岸に接岸したときの栄養塩供給過程についての研究成果を発表した。Gaoは、黒潮が島嶼を通過する際に引き起こす湧昇とそれにとともなう植物プランクトンのbloomingについて、数値モデル計算結果に基づき考察した。

すべての研究発表の後で総合討論が行われ、コロナ禍終息後の日本と台湾との間の共同研究の可能性について議論された。また、次年度以降も研究集会等を通じた情報交換、成果発表を継続して行くことを確認した。

Online meeting on turbulent mixing in the Kuroshio current over the topography

Time Table in JST

January 26 (Tue.)

14:30 Opening remarks

14:35 Sen Jan (IONTU): Update of the result from direct TKE dissipation rate measurements off Taiwan with the data collected in 2020

15:05 Ming-Huei Chang (IONTU): Observations of Kuroshio flowing over a sill: small-scale processes and turbulent mixing

15:35-45 Break

15:45 Jia-Lin Chen (NCKU): Mixing enhancement modulated by unsteady shear flow in the Kuroshio above a system of seamounts

16:15 Eisuke Tsutsumi (AORI): An updated analysis on the observation and numerical modeling of turbulent mixing in the I-Lan ridge

January 27 (Wed.)

10:30 Takeyoshi Nagai (TUMSAT): The Kuroshio Nutrient Stream, where the diapycnal mixing matters

10:35 Silvana Duran (TUMSAT): Elevated nutrient supply caused by an approaching Kuroshio to the southern coast of Japan

11:05 Jie Gao (CMES): Occurrence of phytoplankton bloom as the Kuroshio passes an island

11:35- Discussion and Closing remarks

「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

2020年12月16日から12月17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。開催にあたっては聴講者も含めて事前登録制とし、参加者の把握と定員の50%以内での実施、会場入り口での検温、換気の徹底といった感染症対策を講じた上で実施した。一部の発表者に関してはリモートでの参加も認めることで、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にも継続してご参加頂き、コロナ禍の下でも継続して開催することが出来た。全体では21名の参加者と9題の講演があった。12月16日には、九州西方の五島灘における特徴的な冷水塊に関しての現場観測とモデルを用いた変動特性の解析や、同海域における複雑な水塊構造における栄養塩収支の定量的な評価、2019年秋における剣先イカの不漁と海況との関係に加え、佐渡北西海域を対象として係留式 ADCP を用いた動物プランクトンの変動の評価手法の検討といった講演があった。12月17日には、特徴的な海底地形を持つ能登半島東岸斜面上で観測された近慣性内部波の散乱によって引き起こされる乱流混合、日本海沖合域への塩・栄養塩の輸送において大きなインパクトを持ち得る東北地方の沿岸水の波及過程といった日本海における海況モニタリングを用いた講演に加え、富山湾における環境モニタリング、日本海南部と沖縄周辺における自律型海洋観測装置(AOV)を用いた海況モニタリングの現状の報告、さらには太平洋側においても、特にうねりの寄与とうねりの起源に着目した大槌湾内の波浪・風モニタリングを総括する講演があった。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。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(12/16-12/17)

- * 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25~30分をお願いいたします.

-----12/16 (水) -----

14:20-

趣旨説明

14:30-

「五島灘江島周辺における冷水域の変動特性」

○福元拓海, 滝川哲太郎, 柄池大輔 (長崎大), 広瀬直毅 (九大・応力研), 青島隆, 内田淳, 眞角聡, 丸山裕豊 (長崎大)

15:00-

「五島灘における栄養塩収支」

○福手悠介, 滝川哲太郎 (長崎大), 森本昭彦, 大西秀次郎 (愛媛大), 青島隆, 内田淳, 眞角聡, 丸山裕豊 (長崎大)

15:30-15:45 休憩

15:45-

「2019年秋のケンサキイカ不漁と海況との関係」

○山口 忠則 (九大総理工), 高山 勝己, 広瀬 直毅 (九大応力研)

16:15-

「佐渡北西海域における係留式ADCPを使用した動物プランクトンの観測」

○竹内茉莉香, 和川拓, 井口直樹, 井桁庸介 (水産機構・資源研)

16:45-17:00 情報交換

-----12/17 (木) -----

09:15-

「能登半島東岸斜面上で観測された近慣性内部波による乱流混合」

○久賀みづき, 井桁庸介, 和川拓, 竹内茉莉香 (水産機構・資源研)

09:45-

「東北地方の沿岸水の日本海沖合域への波及過程」

○和川 拓, 井桁庸介（水産機構・資源研）, 坂本 圭（気象研究所）

10:15-10:30 休憩

10:30-

「大槌湾内の波浪・風モニタリングの総括」

○小松幸生（東大院新領域）・田中潔（東大大気海洋研）

11:00-

「自律型海洋観測装置（AOV）を用いた日本周辺の海況モニタリングの現状」

○伊能康平, 杉山信二, 金敬洋, 野澤理香, 土屋主税（海上保安庁・海洋情報部）

11:30-

「富山湾における環境モニタリング」

○福留研一, 金山恵美（富山高専）, 原田恭行（NPEC）

12:00-12:30 総合討論

五島灘江島周辺における 冷水域の変動特性

○福元拓海¹・滝川哲太郎¹・柄池大輔¹・広瀬直毅²
青島隆¹・内田淳¹・眞角聡¹・丸山裕豊¹
(1. 長崎大学、2. 九州大学)

1

目次

01

背景、目的

02

観測内容と
結果

03

観測と高精度
の沿岸海況モ
デルとの比較

04

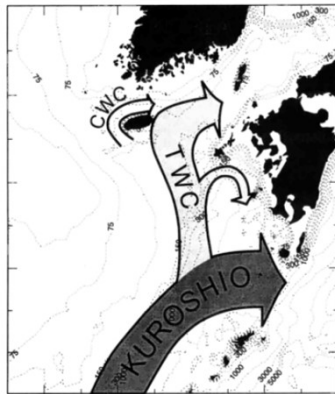
冷水域の
時空間変動

05

まとめ

2

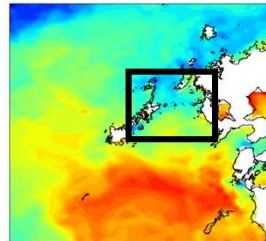
1. 背景



(Lie et al. 1998)

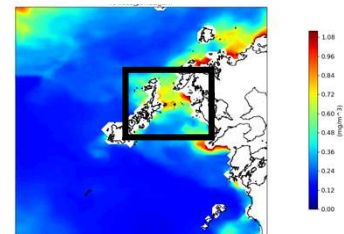
黒潮の影響を受けやすい

SST (海面水温)



2020/06 (MODIS-Aqua)
一か月平均

クロロフィル



2020/06 (MODIS-Aqua)
一か月平均

人工衛星からの水面の海況データ。
五島灘江島周辺に低温・クロロフィルの多い水域が存在する。

3

1. 目的

五島灘江島周辺の海域には、特徴的な冷水域が見られる。その冷水域に着目し、潮汐などによる変動特性を、観測や高精度の沿岸海況モデルから解明する。

1

観測結果から冷水域の分布と水塊特性を明らかにする。

2

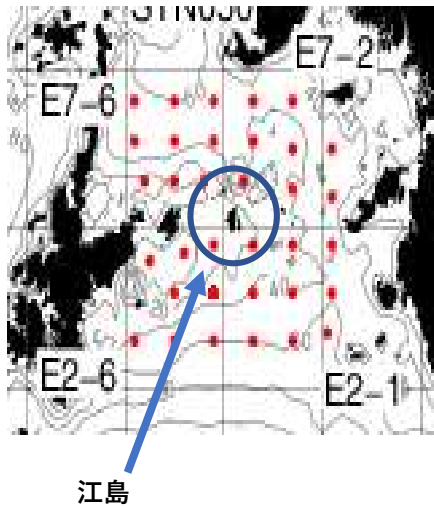
高精度の沿岸海況モデルと観測を比較。

3

観測対象の海域の水塊が、高精度の沿岸海況モデル上でどのように変化しているか調べる。

4

2. 観測内容



長崎大学練習船「鶴洋丸」

日時

2020年6月17、18日

CTD観測【格子観測（34測点）】

各層採水（数測点）：

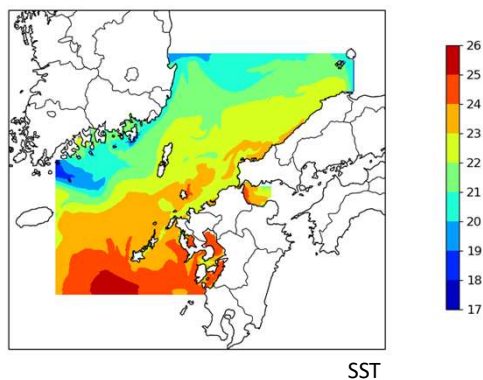
塩分、クロロフィル、栄養塩

最浅域 22m（E4-4）

最深域 71m（E2-1）

5

高精度の沿岸海況モデルについて



DREAMS_D

九州大学が作成した、1.5km
メッシュ構造格子の、観測値
を同化したモデル

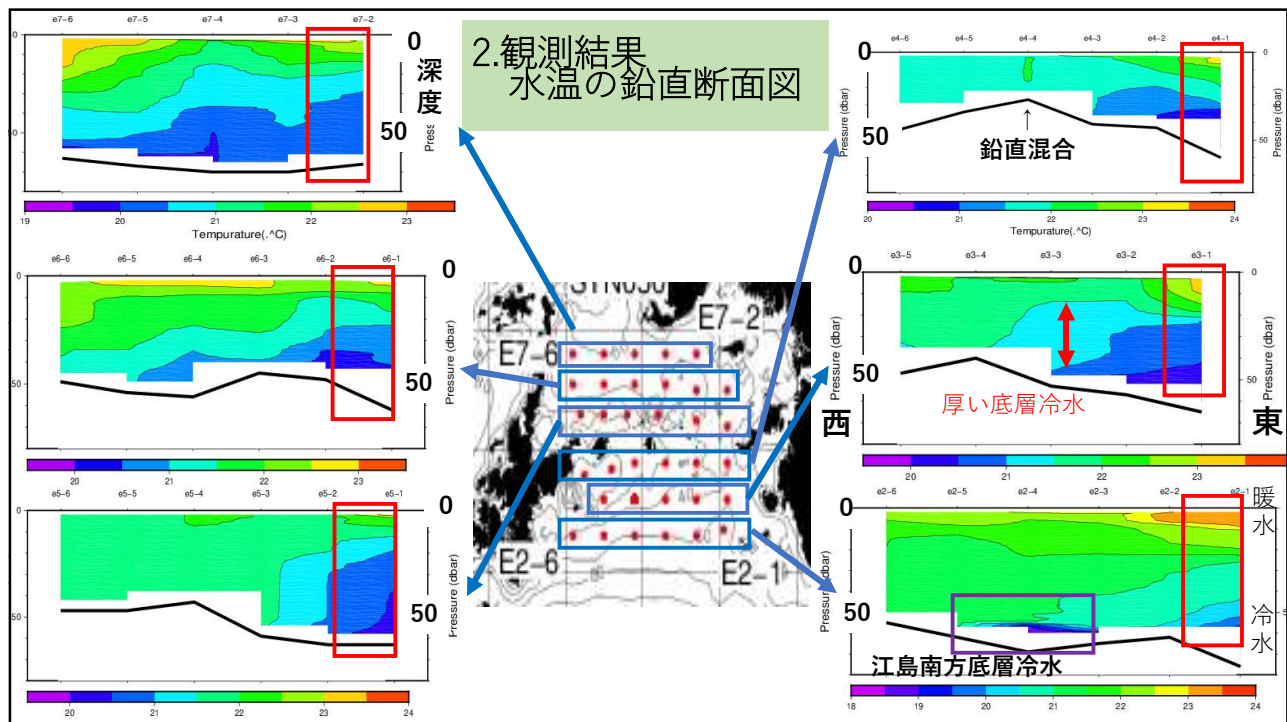
【範囲】

東経127度～東経133.38度

北緯32度～北緯36.25度

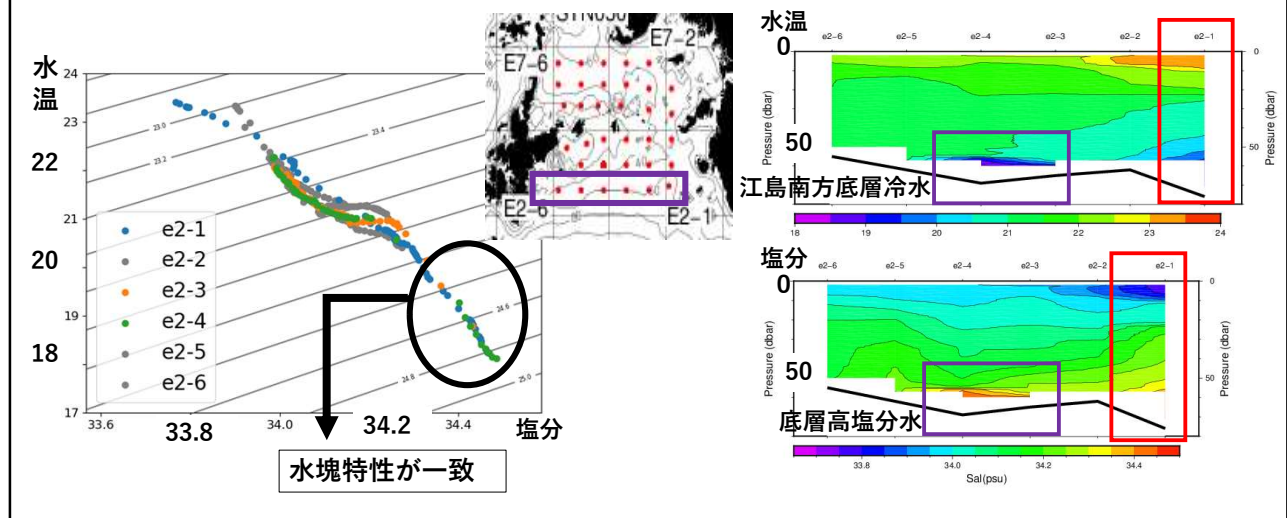
(Hirose et al. 2013)

6



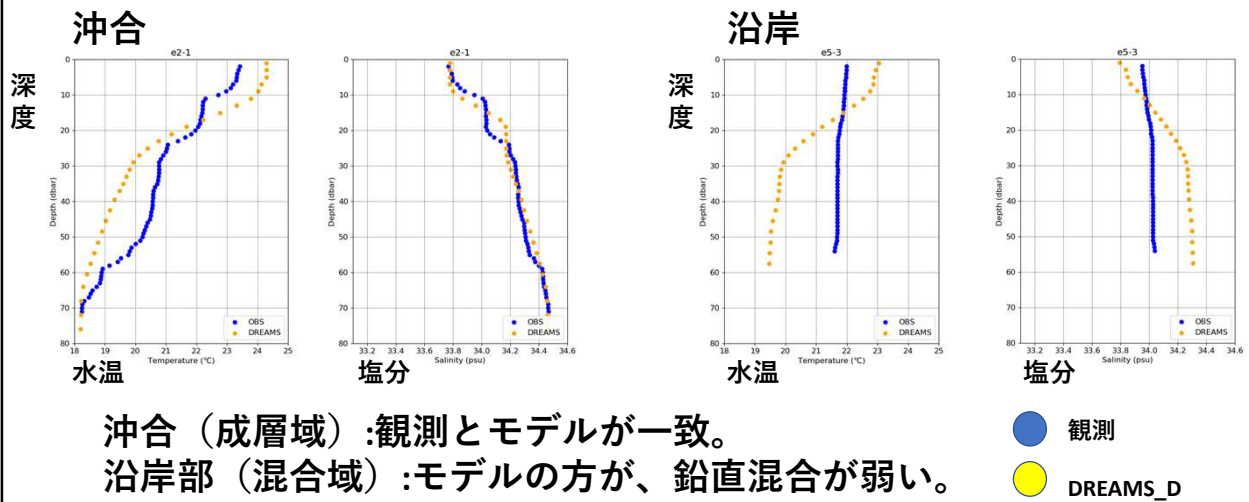
7

2. T-Sダイアグラム 【E2 (最南端の東西ライン)】



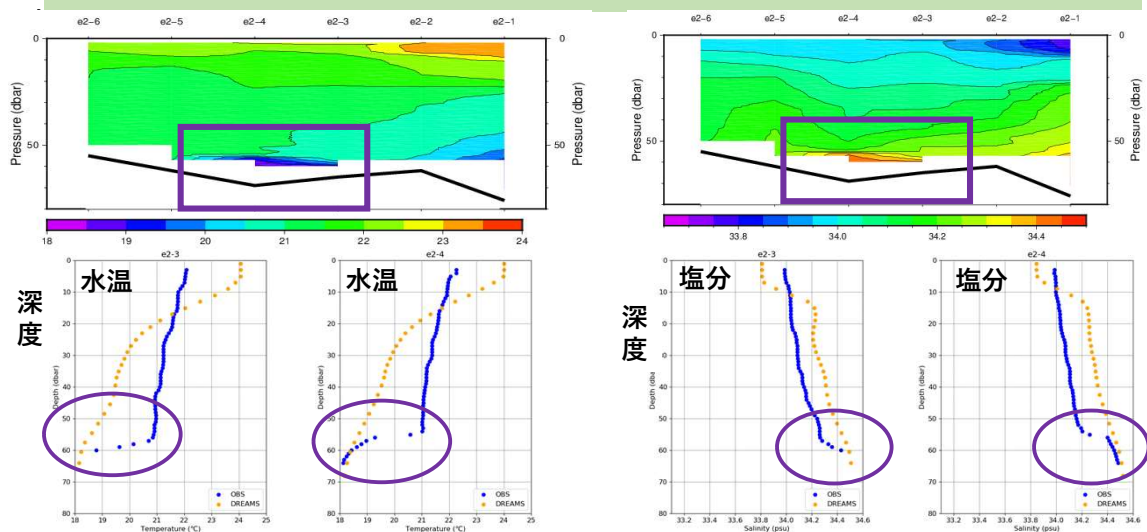
8

3. 観測と高精度の沿岸海況モデルとの比較



9

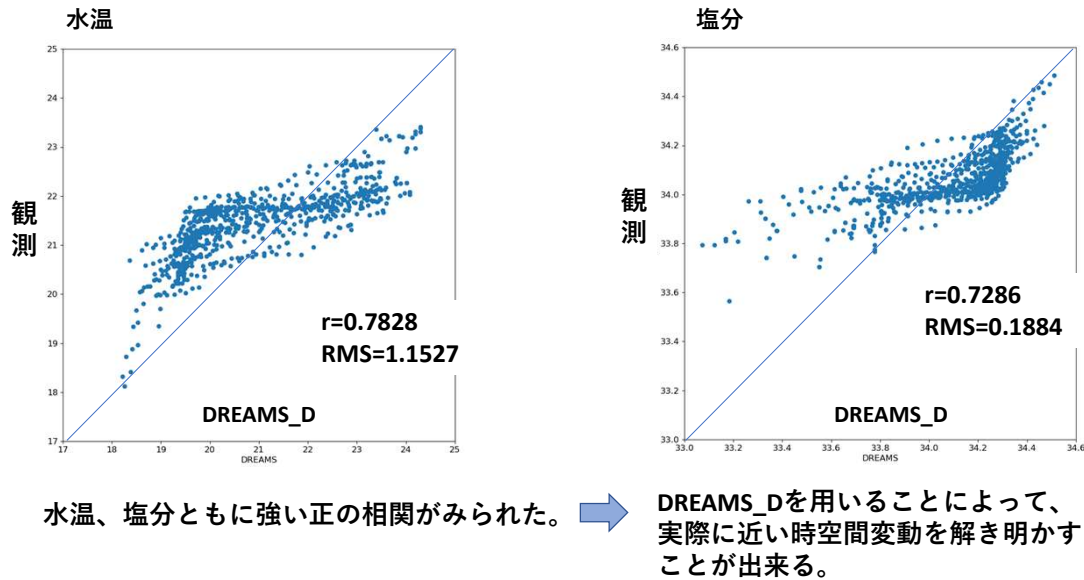
3. 観測と高精度の沿岸海況モデルとの比較



水温と塩分の値自体は合っているが、躍層深が異なる。

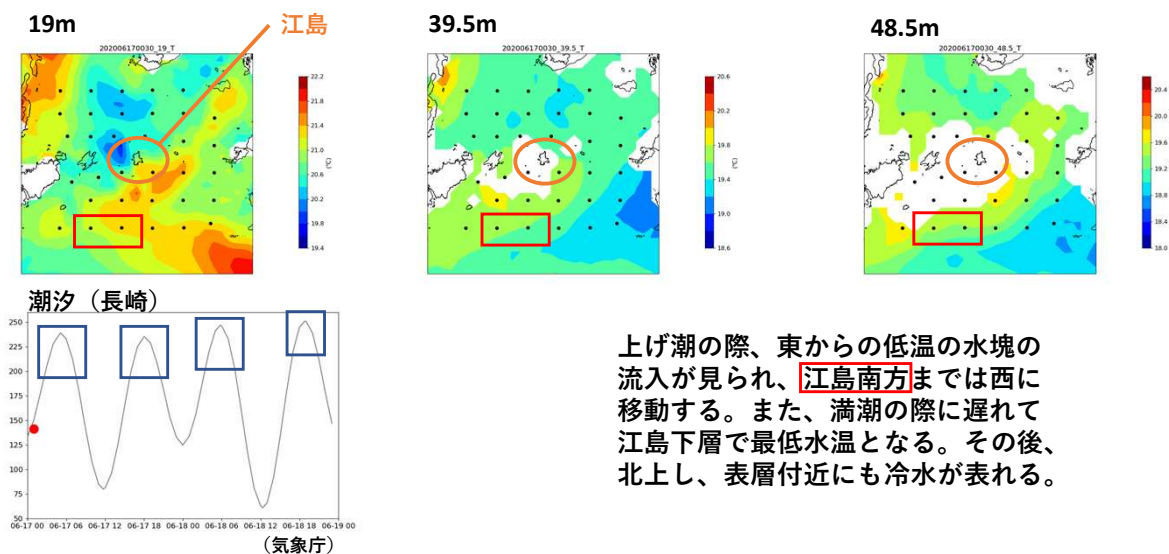
10

3. 観測と高精度の沿岸海況モデルとの比較



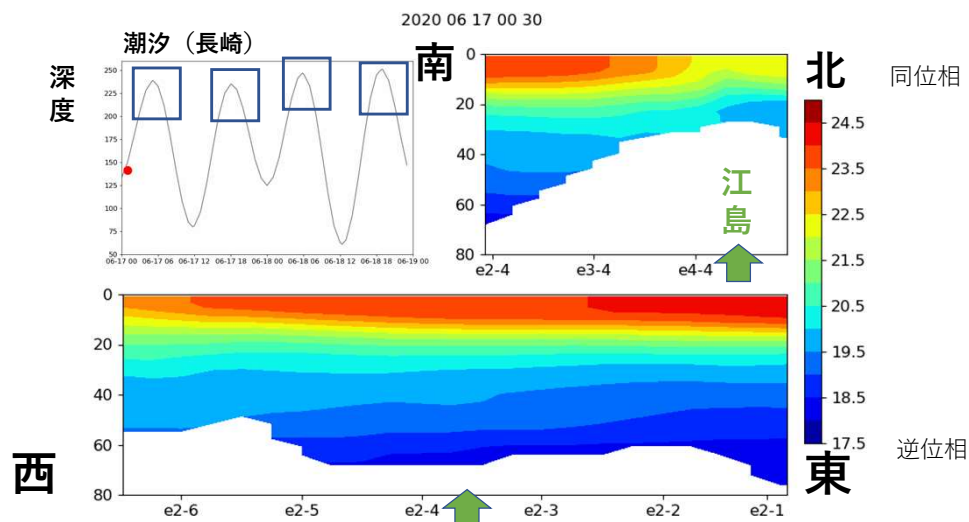
11

4. 冷水域の時空間変動（平面図） 【19m、39.5m、48.5m（水温）】



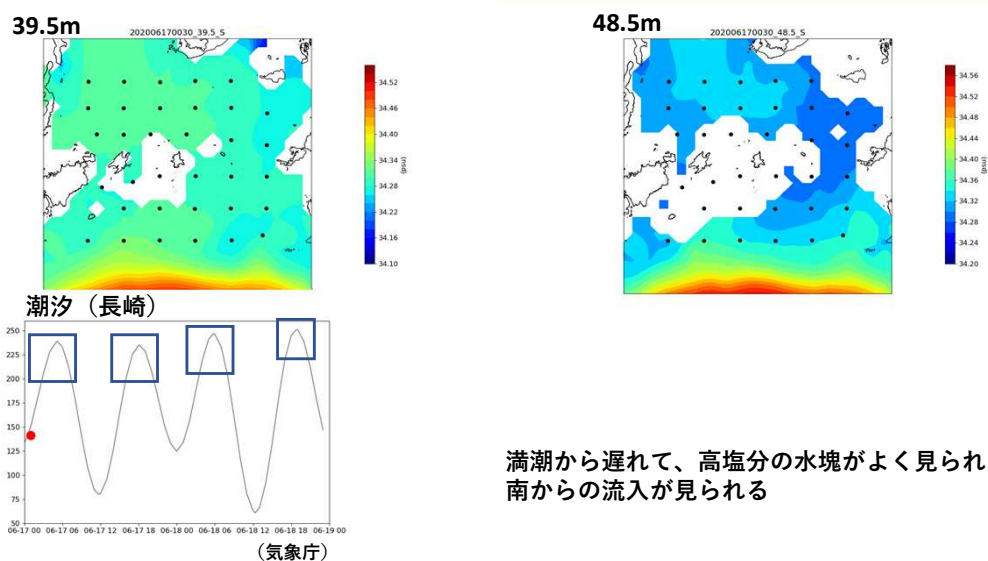
12

4. 冷水域の時空間変動（鉛直断面図） 【E2の東西ライン、E-4の南北ライン（水温）】



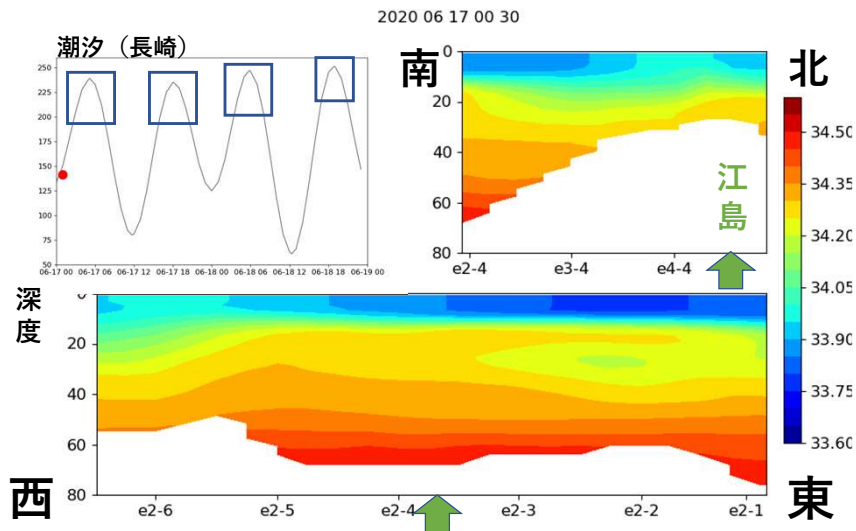
13

4. 冷水域の時空間変動 【39.5m、48.5m（塩分）】



14

4. 冷水域の時空間変動（鉛直断面図） 【E2の東西ライン、E-4の南北ライン（塩分）】



15

5. まとめ

- 観測では、江島南方底層に低温高塩分水（ 18.1°C , 34.4 psu ）があり、東に広範囲に分布した冷水とT-S特性が一致した。
- 観測とモデルが強い正の相関を示した。
躍層深は異なるが、底層の低温・高塩分を再現していた。
- モデルでは、東から西への冷水の移動が底層で起こり、その後、北上し表層に冷水が見られた。
- 冷水の北上は、上げ潮後半から満潮を過ぎた頃にかけて起き、表層の暖水と底層の冷水は成層した状態で、江島周辺まで進入してきた。その後、下げ潮の時に鉛直混合が起こり表層で低温化した。

16

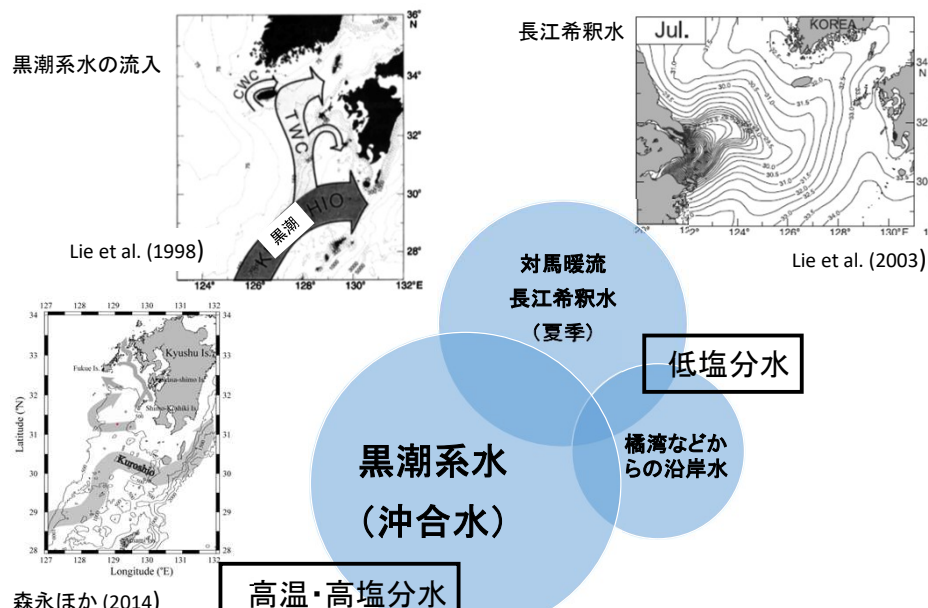
五島灘における栄養塩収支

○福手悠介¹, 滝川哲太郎¹, 森本昭彦², 大西秀次郎²,
青島隆³, 内田淳³, 眞角聡³, 丸山裕豊³

(1,長崎大学, 2,愛媛大学, 3,長崎大学鶴洋丸)

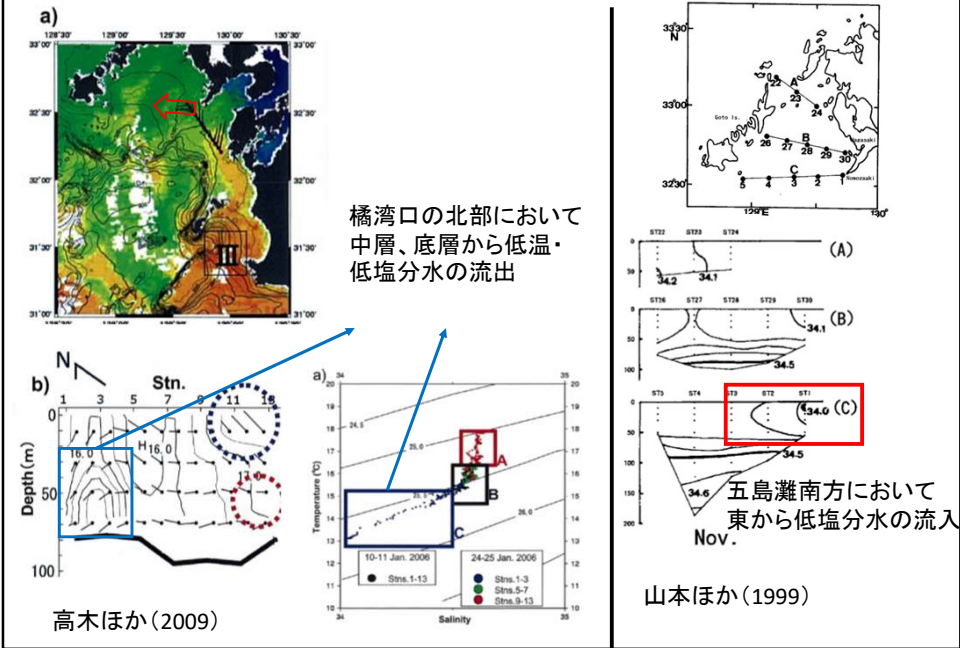
1

研究背景「五島灘を取り巻く環境」



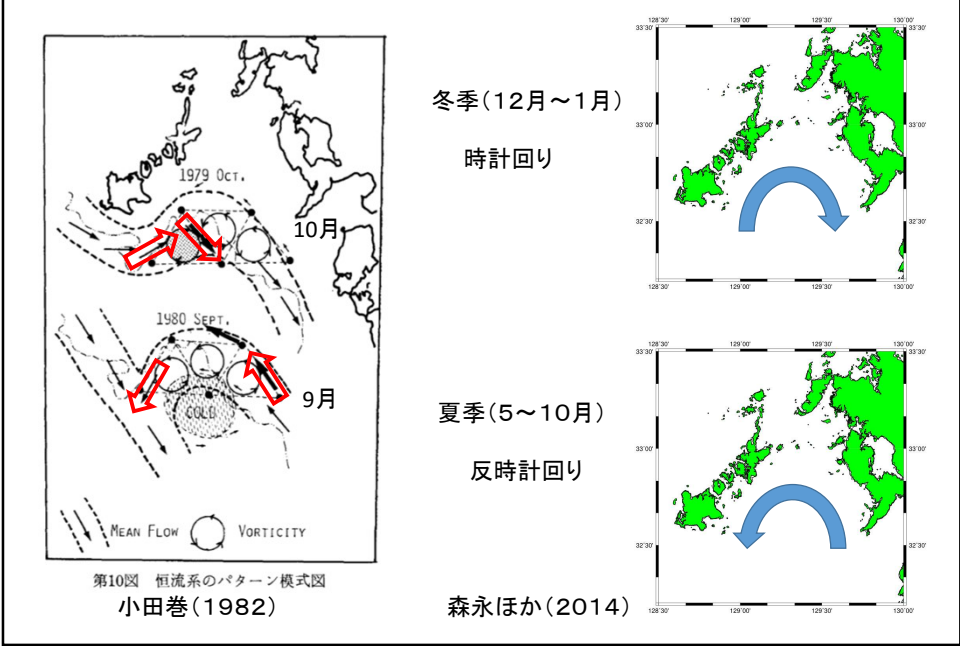
2

研究背景「五島灘を取り巻く環境」



3

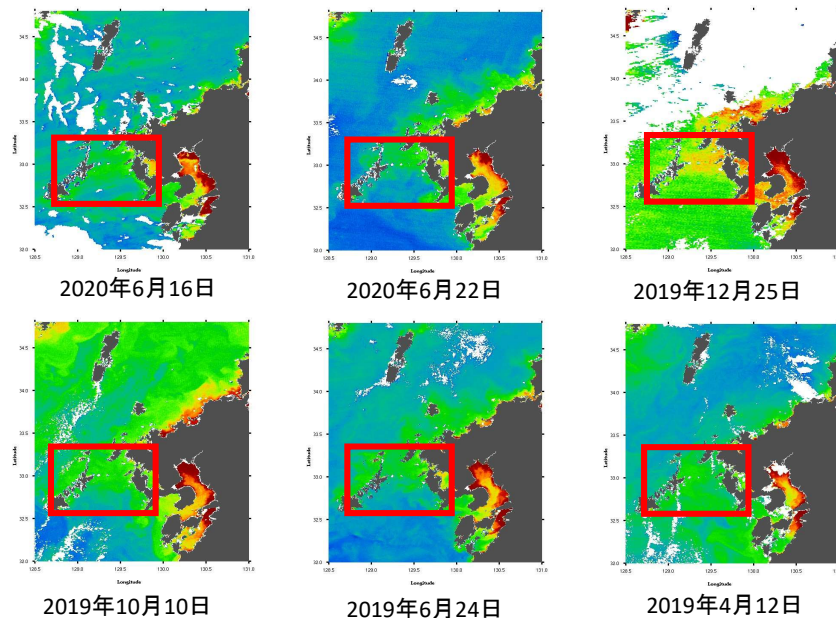
研究背景「季節によって変化する流況」



4

研究背景「盛んな一次生産」

衛星データ(MODIS)による表層chl- a 濃度



5

目的

五島灘における栄養塩輸送起源の推定

- ・Lie et al. (1998)、森永ほか(2014):五島灘に黒潮系水が断続的に流入
- ・Lie et al. (2003):夏季に長江希釈水が東シナ海全体に影響
- ・高木ほか(2009)、山本ほか(1999): 橘湾からの低塩分水の流入



複数回の観測から栄養塩輸送量及び起源を推定する。

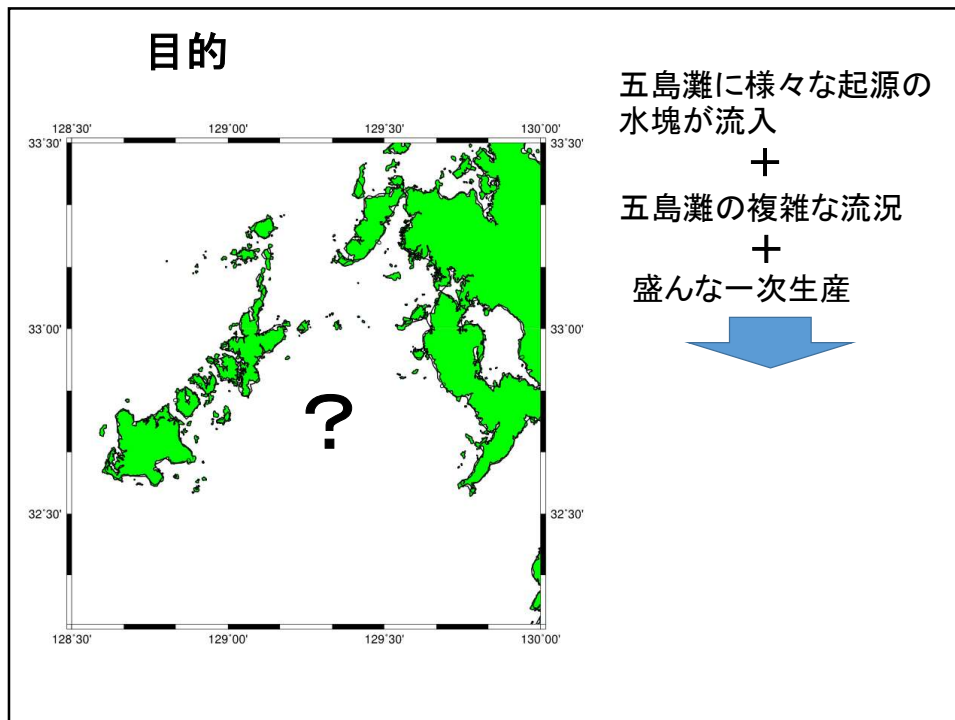
五島灘における流量及び栄養塩輸送量の変動特性

- ・森永ほか(2014)、小田巻(1982): 流況は季節により変動する。

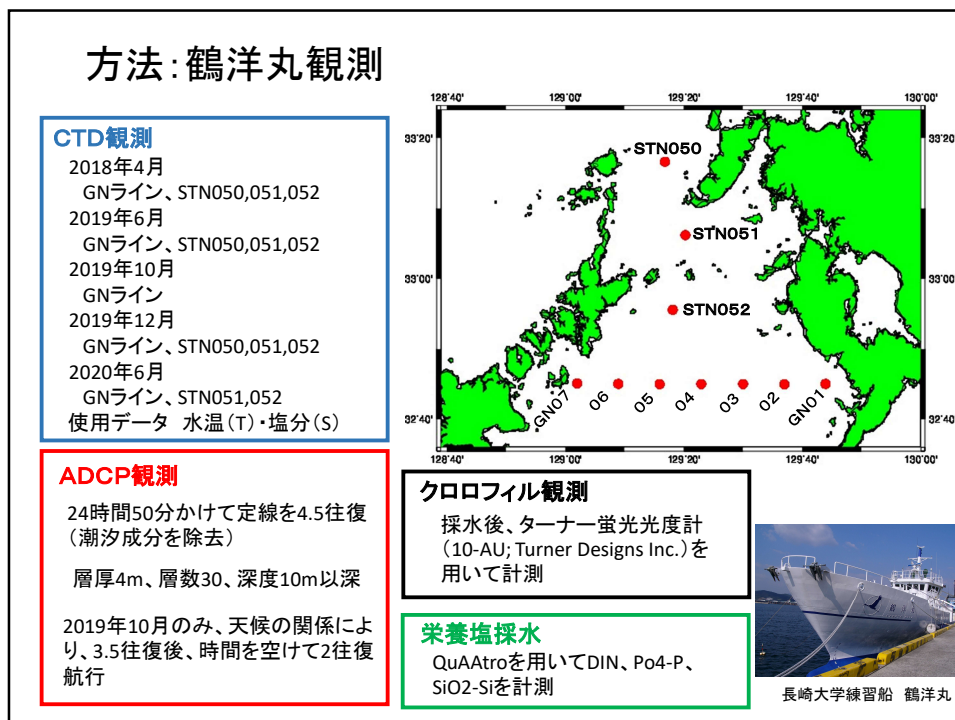


流量及び栄養塩輸送量の季節性の変動はあるのか。

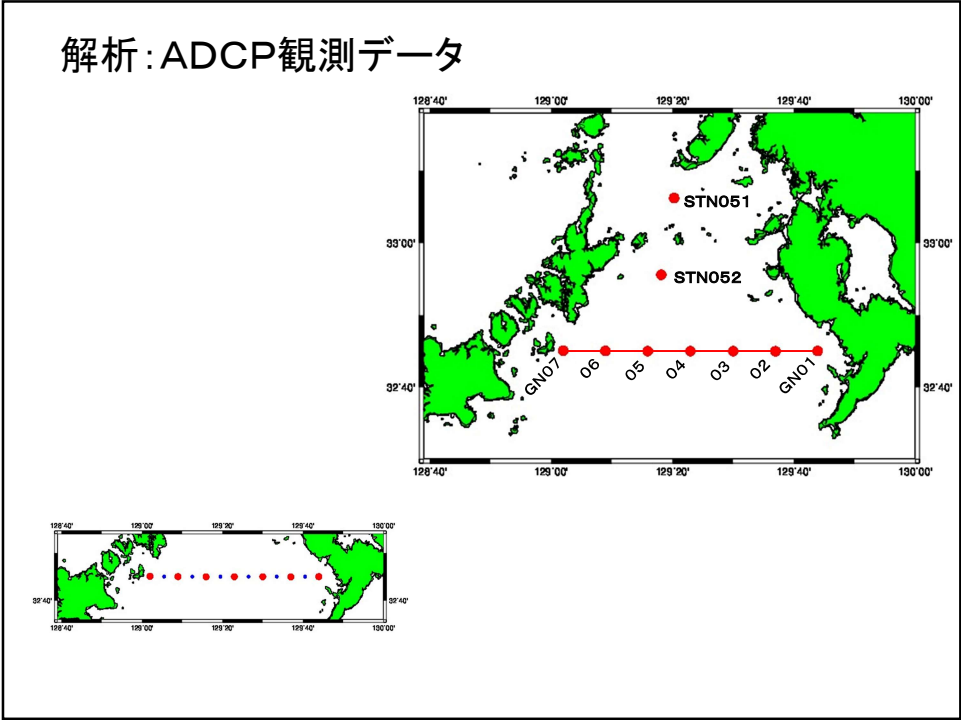
6



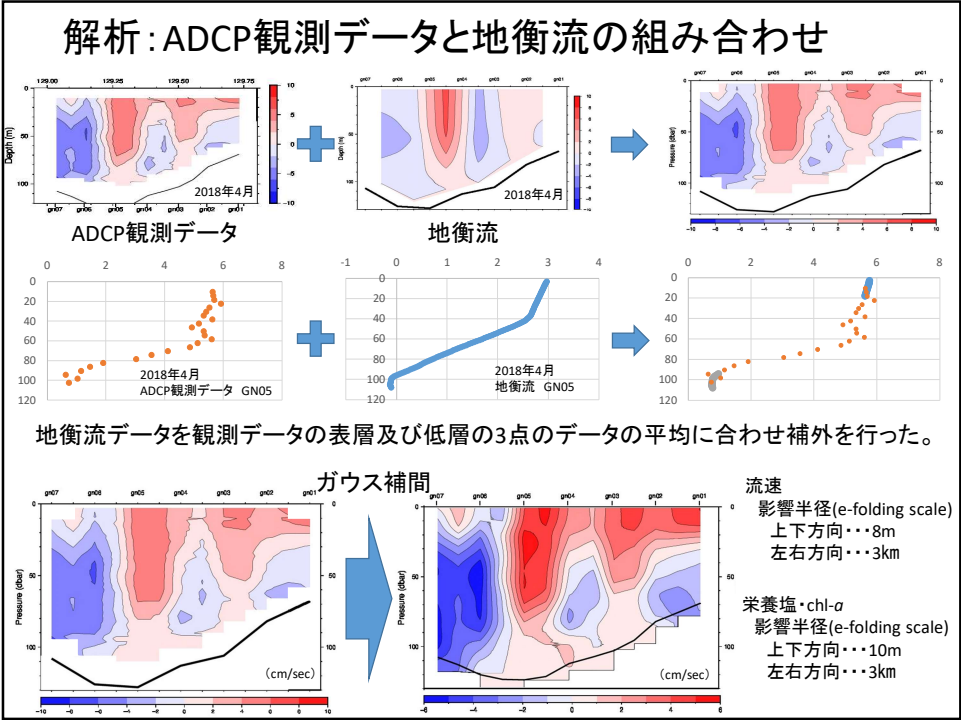
7



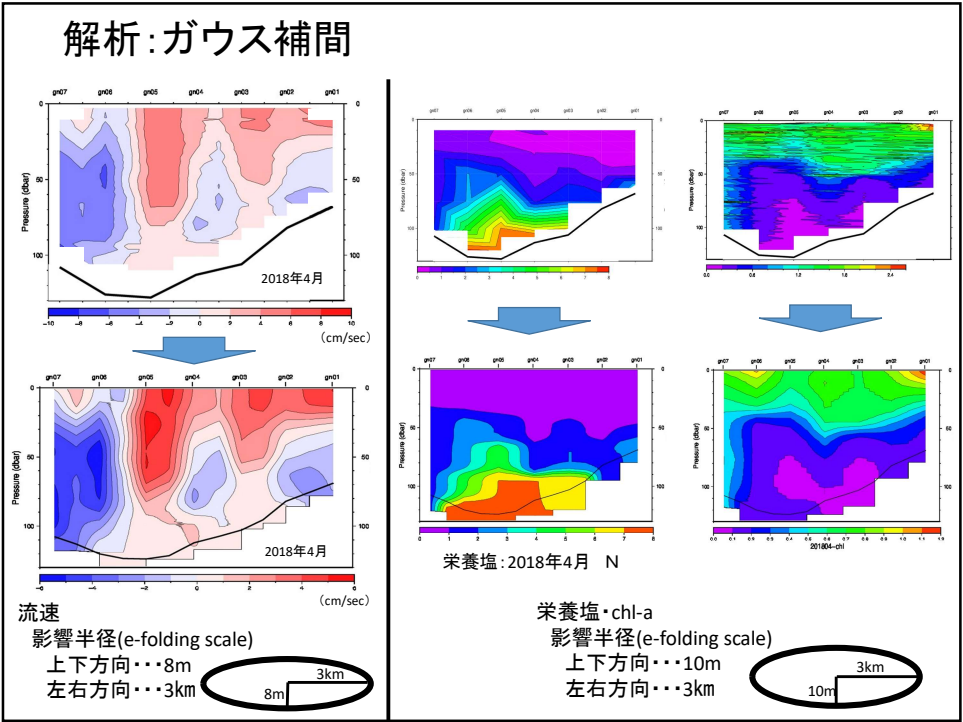
8



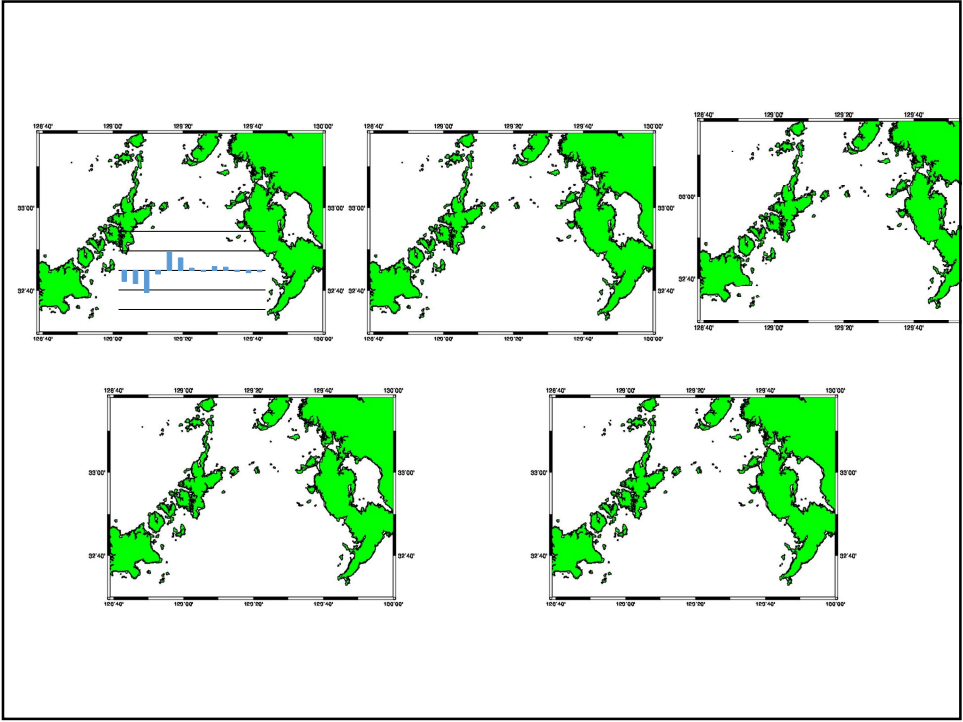
9



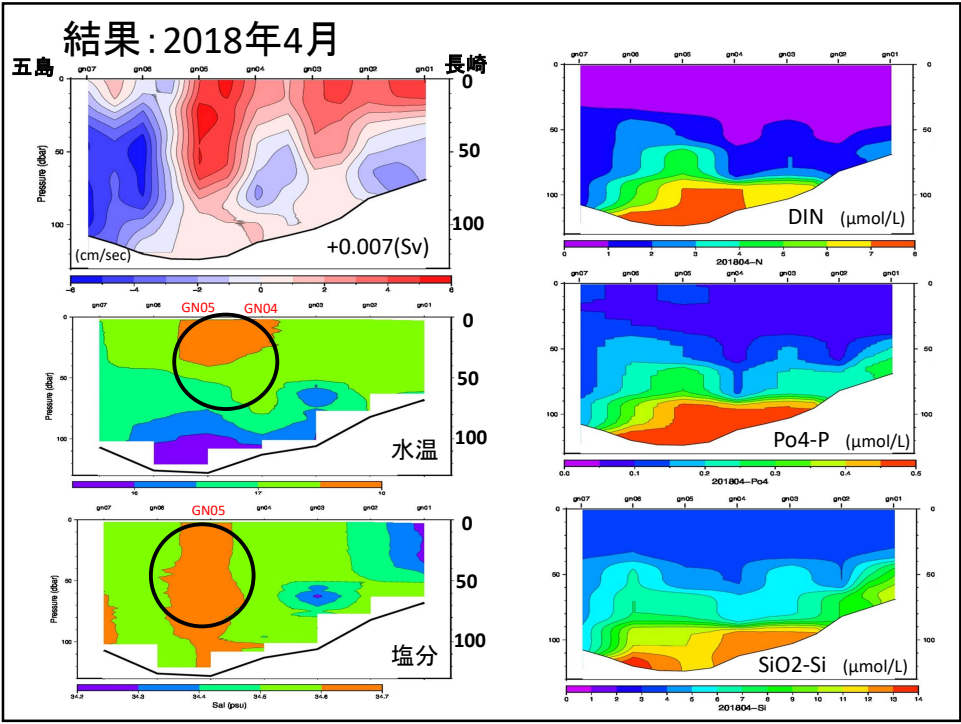
10



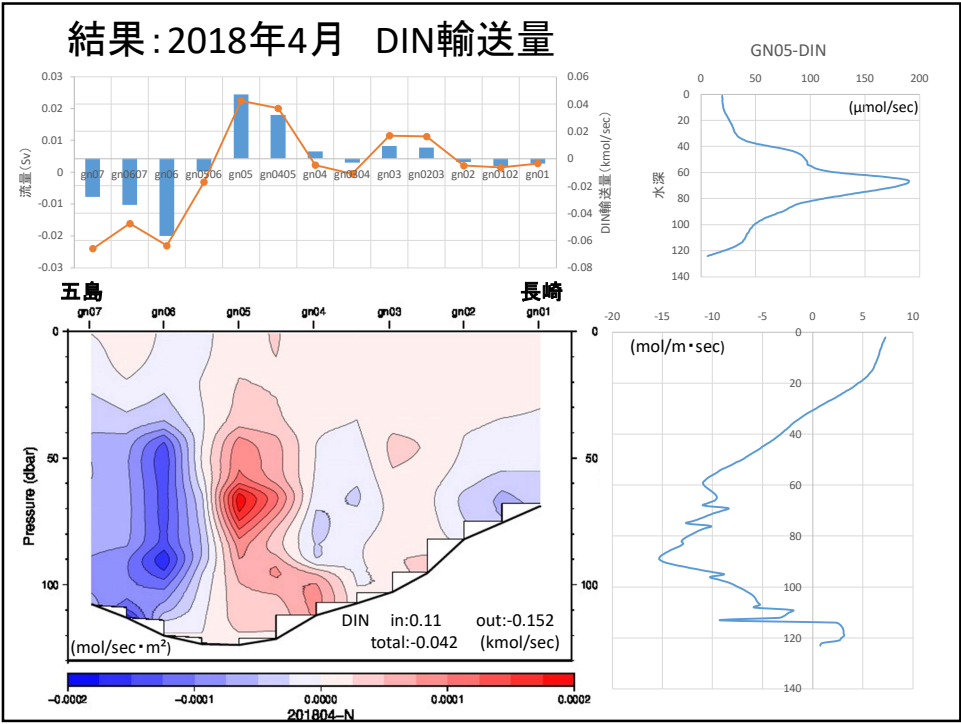
11



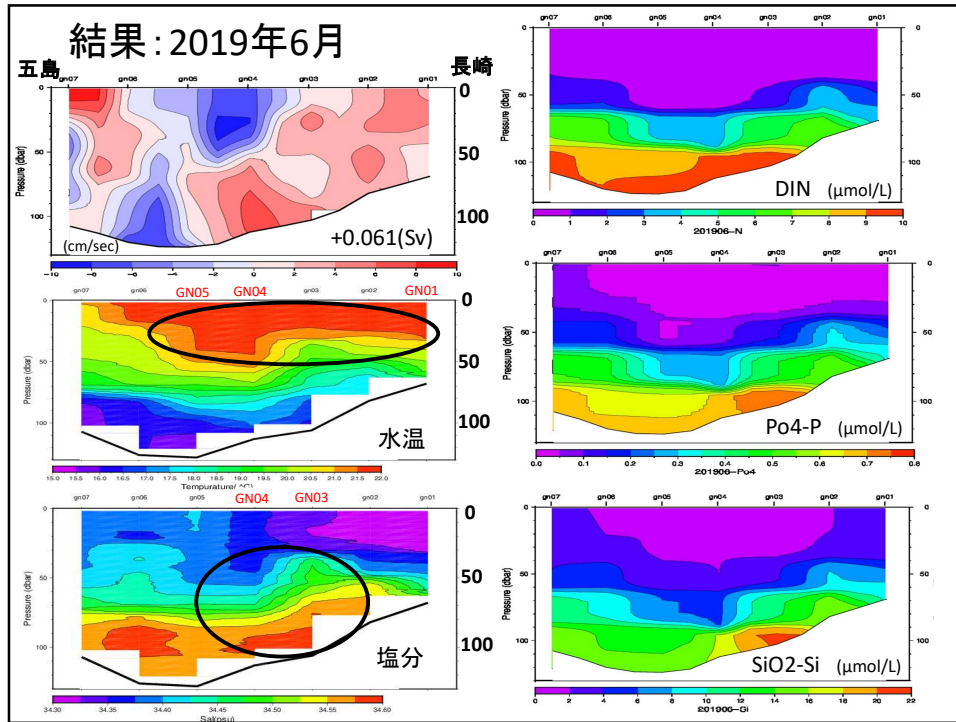
12



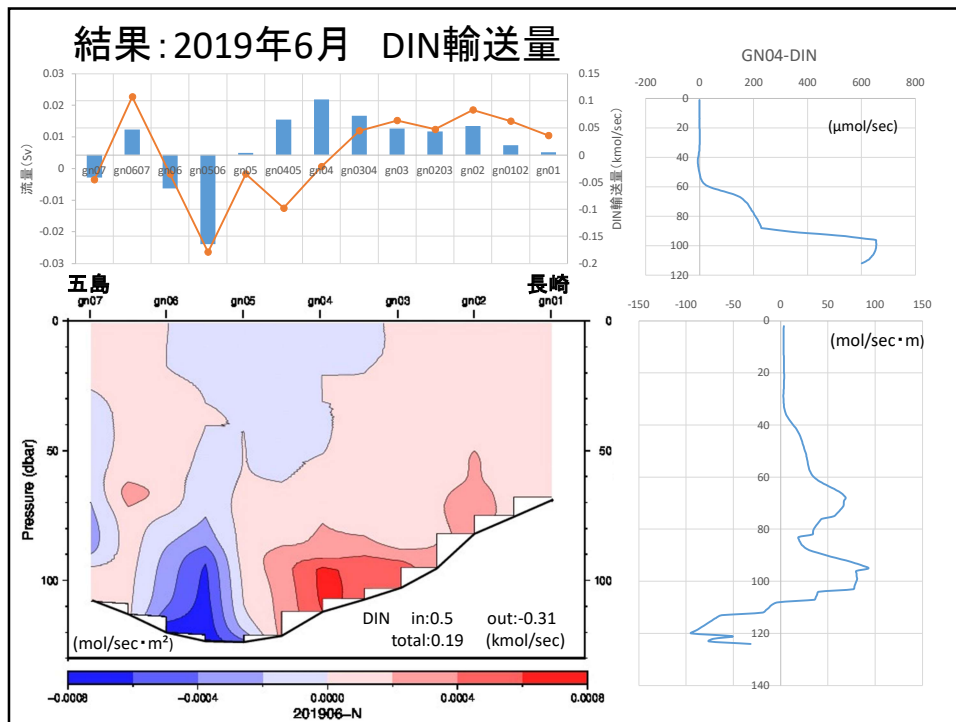
13



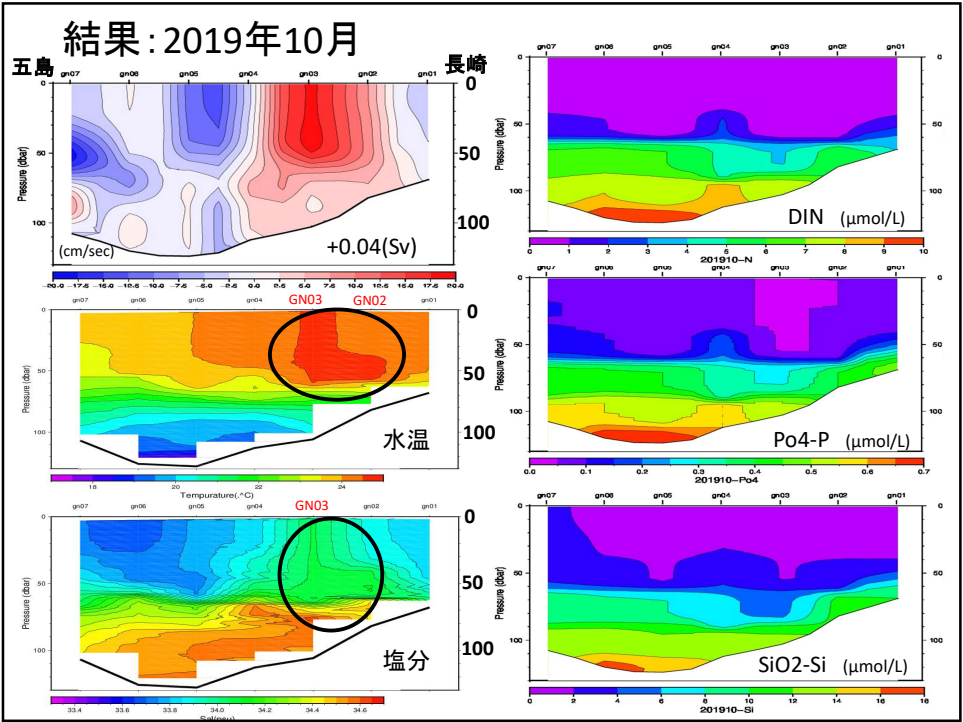
14



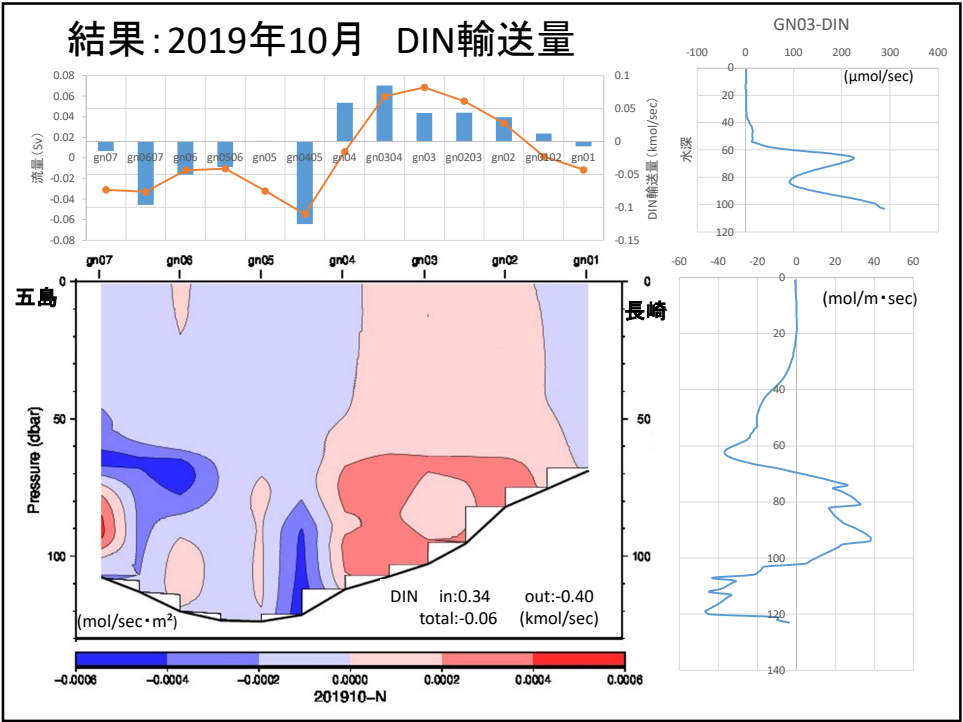
15



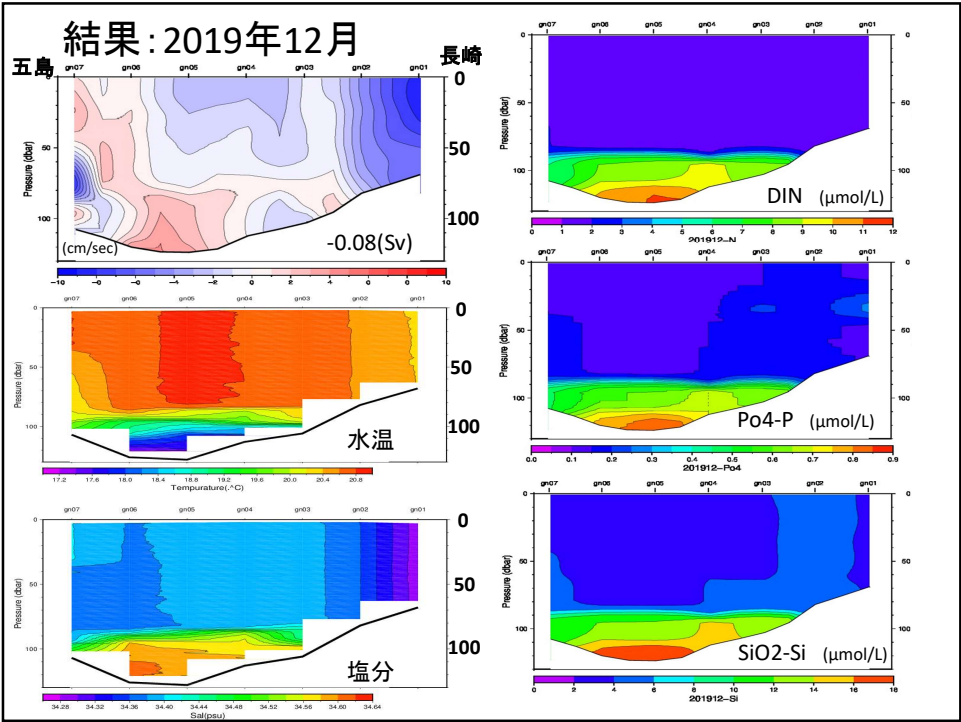
16



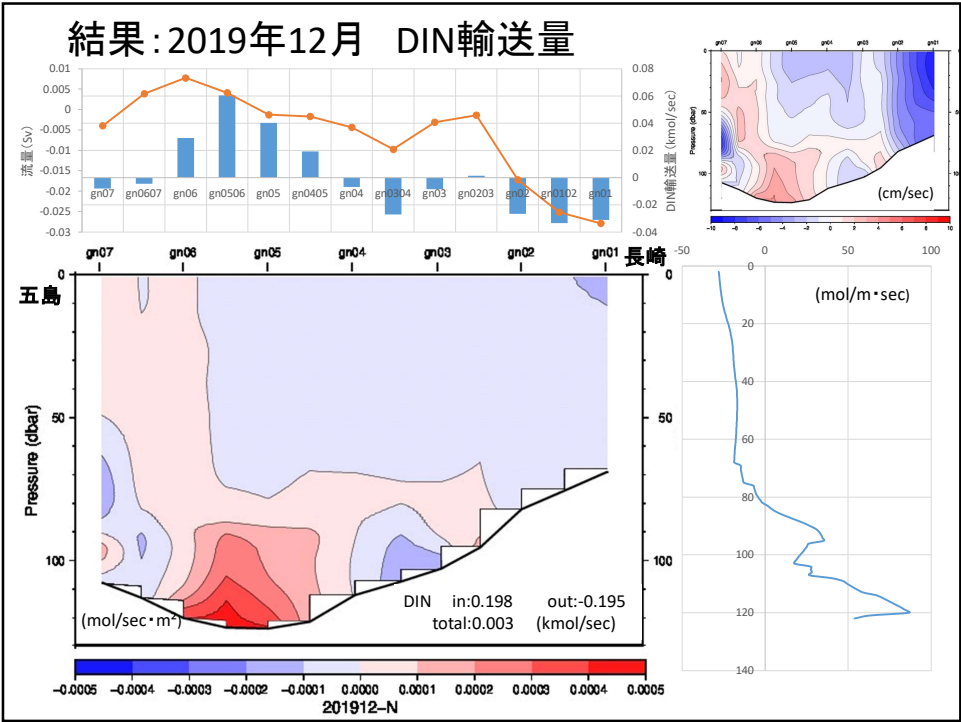
17



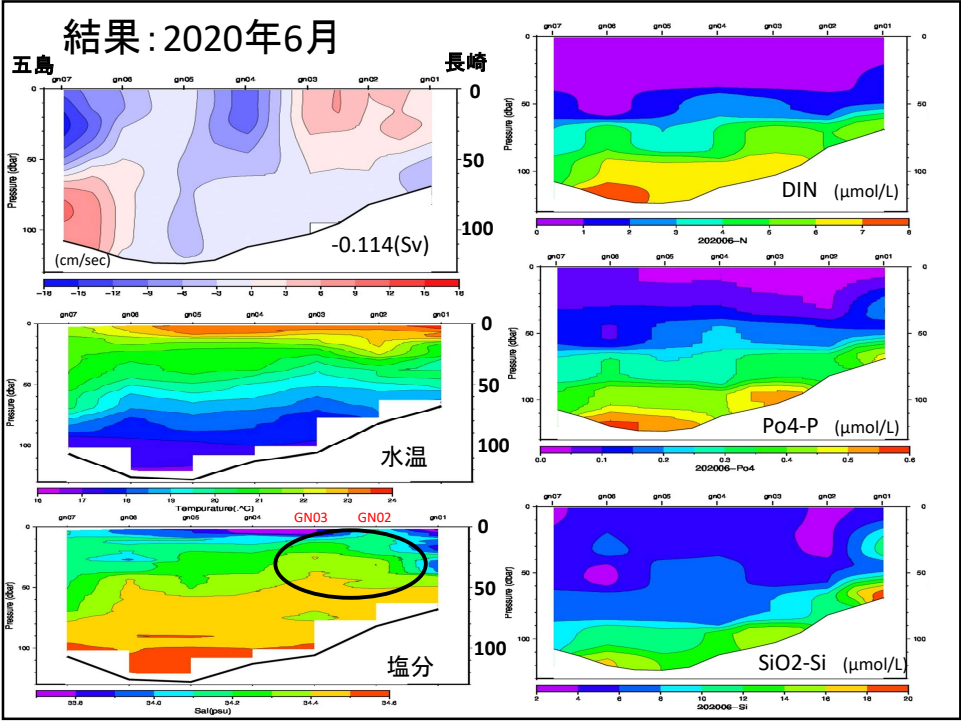
18



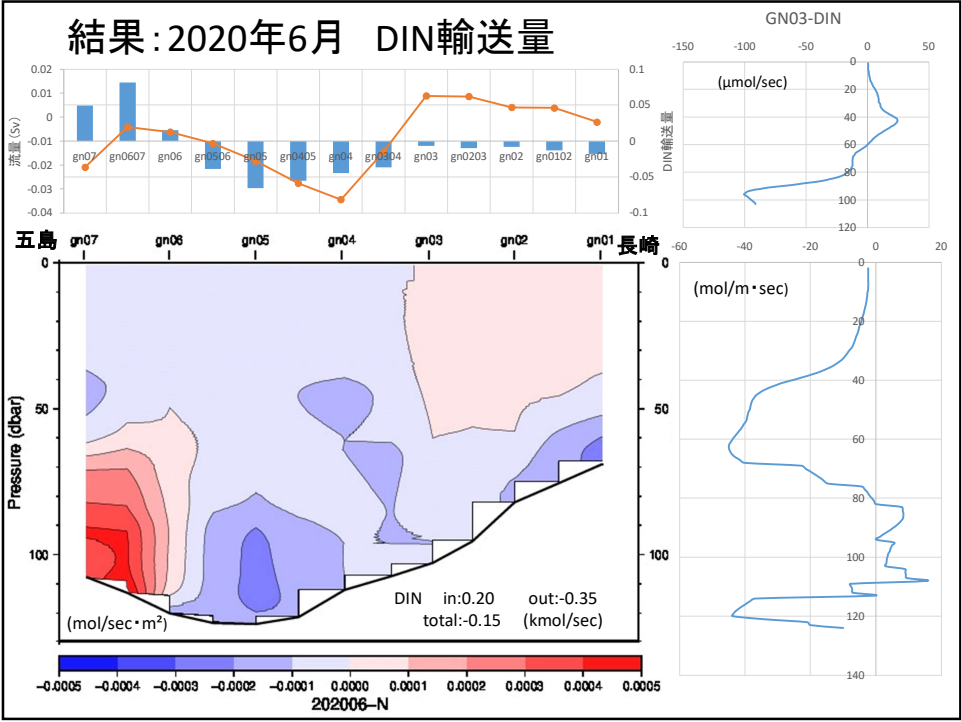
19



20



21



22

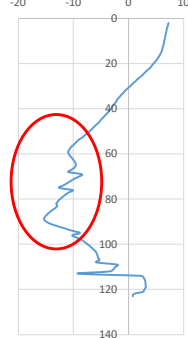
まとめ①

五島灘南方における栄養塩輸送起源の特定

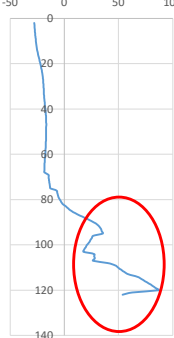
黒潮の流入が顕著にみられた

栄養塩と流速、水温、塩分を照らし合わせたところ、五島灘に流入する栄養塩の多くは黒潮系水由来のものであると考えられる。

2018年4月
DIN(mol/m³·sec)



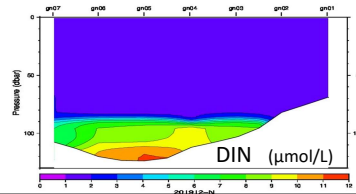
2019年12月
DIN(mol/m³·sec)



中層から低層にかけて栄養塩の流入出が頻繁にみられた。

冬季(12月)のみ、中層ではなく、低層からの流入出が顕著にみられた

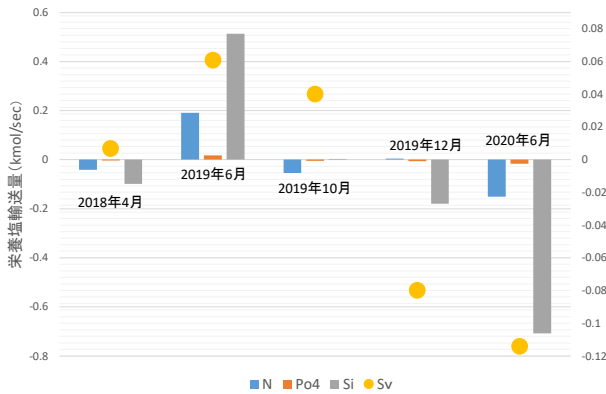
鉛直混合の影響？



23

まとめ②

五島灘南方における流量及び栄養塩輸送量の変動特性



流量 (Sv)
-0.11~0.06

栄養塩 (kmol/sec)
DIN: -0.15~0.19
Po4-P: -0.02~0.02
SiO2-Si: -0.7~0.51

流量、栄養塩輸送量ともに変動幅が非常に大きく、また連動性がみられた。

季節性の変動は見られなかった。

24

佐渡北西海域における係留式ADCP を用いた動物プランクトンの観測

2020/12/16

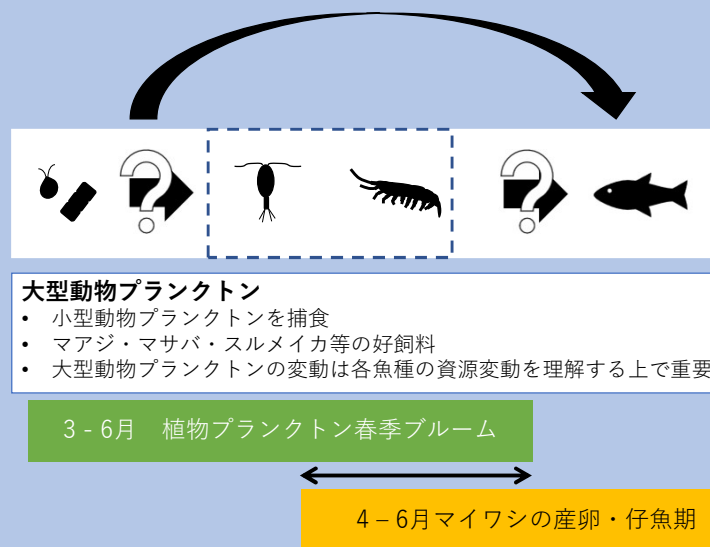
竹内茉莉香・和川拓・井口直樹・井桁庸介
水産資源研究所新潟庁舎

2020/12/16, モニタリング集会



1

動物プランクトンと資源変動



時期が重なるほどマイワシ再生産率が高い

→ 植物プランクトンの春季ブルームが遅く始まり遅く終わるほど再生産率が高い (Kodama et al., 2018)

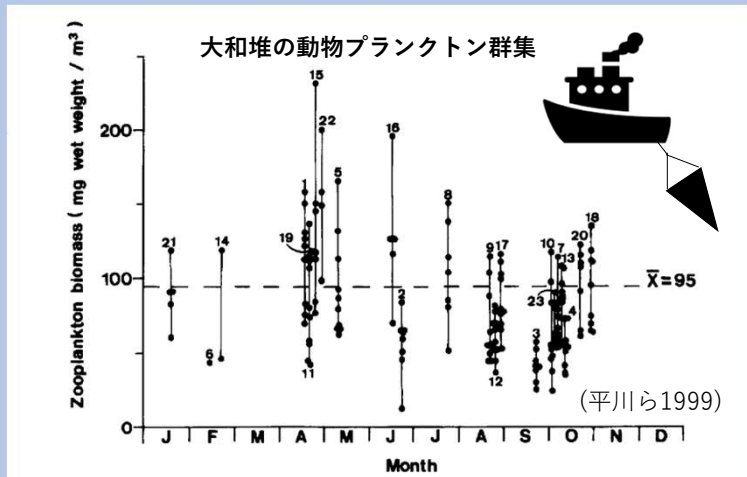
2

動物プランクトンの観測



2020/12/16, モニタリング集会

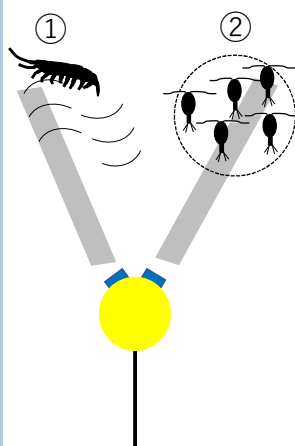
- 船舶を用いているため、連続的なデータ取得が困難
- 鉛直構造がわからない
- 冬季日本海は荒天が多くデータの不足



3

ADCPを用いた動物プランクトン観測

反射してかえってくる音の強度から浮遊物質・生物の相対量を推定



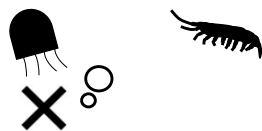
動物プランクトン相対量: Mean Volume Backscattering Strength (*MVBS*, dB)

$$MVBS [dB] = K_c(E - E_r) + 10 \log_{10}((T + 273.16)R^2) + 2\alpha R - C \quad (\text{Deines, 1999})$$

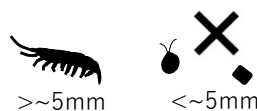
α : 音の減衰係数
 K_c : 音響強度変換係数
 E : 反射強度
 E_r : Reference(物質無のときの 反射強度)

反射 散乱 減衰 残響等定数
 C : 定数(150dB + パルス長 + 電圧)
 T : ADCP設置場所の水温 (~0°C)
 R : 各層前までの距離

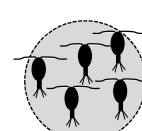
形質



大きさ



密度



- 連続的なデータの取得
- 鉛直分布の取得
- 荒天時もデータ取得可能

- 海水との密度差が高い形質
- 対象物 > ADCP波長 (75kHz: 20mm)(Cisewski et al., 2010)
- 対象物 > 1/4 ADCP波長 (75kHz: 5mm)(Thomson and Emery, 2001)
- 個体数密度が高い(~8mm程度集合体) (Dean et al., 2016)

4

観測詳細

観測場所

佐渡島北西海域

ADCP: 38.7°N, 137.8°E

ノルパックネット: 38.6°N, 137.9°E

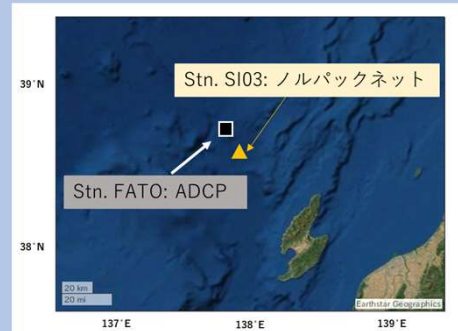
使用機器

① 係留式ADCP

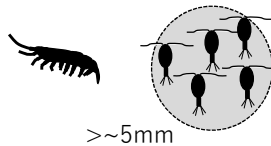
- Workhorse Long ranger 75kHz (Teledyne RD Instruments)
- 観測期間: 2015年9月 - 2020年6月

② ノルパックネット(目合: 0.1mm)

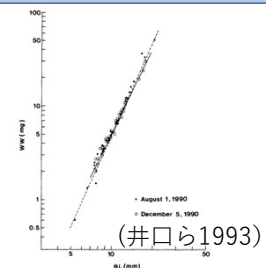
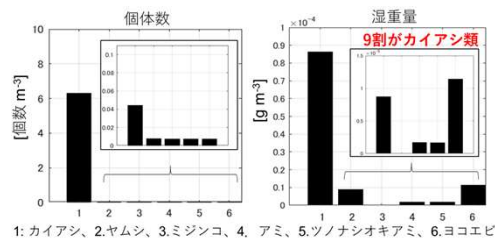
- 観測期間: 2017年-2020年(2月、4月、6月、9月、11月)
- 観測水深: 150m



ADCP観測対象

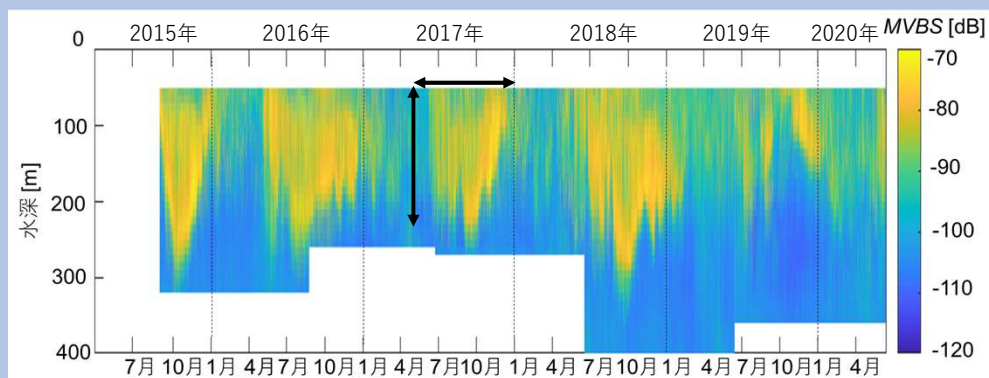


2020/12/16, モニタリング集会

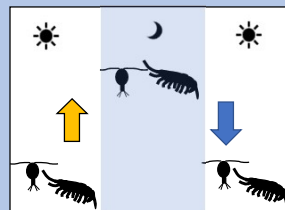


5

MVBSの変動



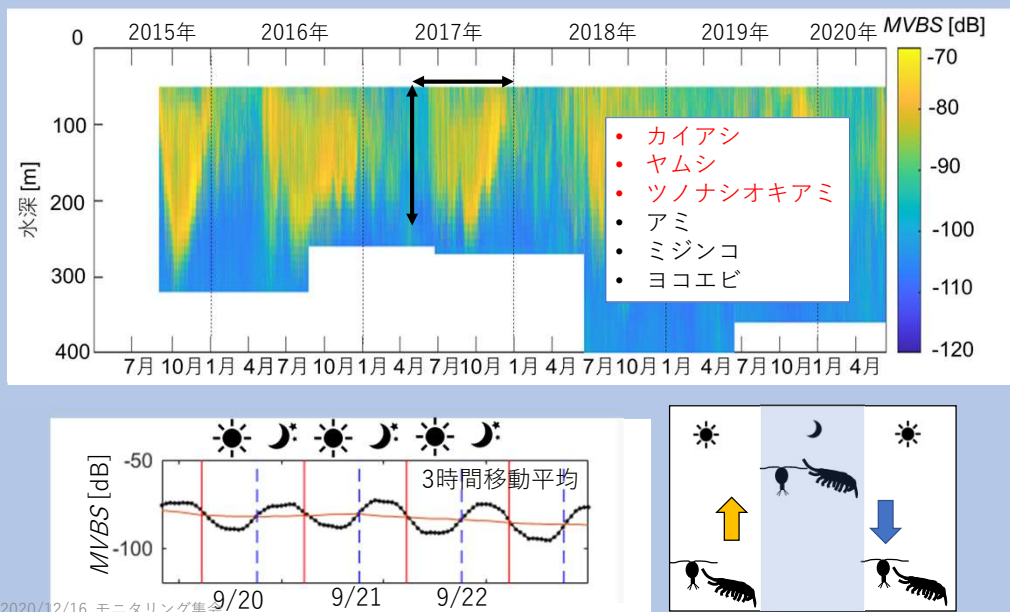
- カイアシ
- ヤムシ
- ツノナシオキアミ
- アミ
- ミジンコ
- ヨコエビ



2020/12/16, モニタリング集会

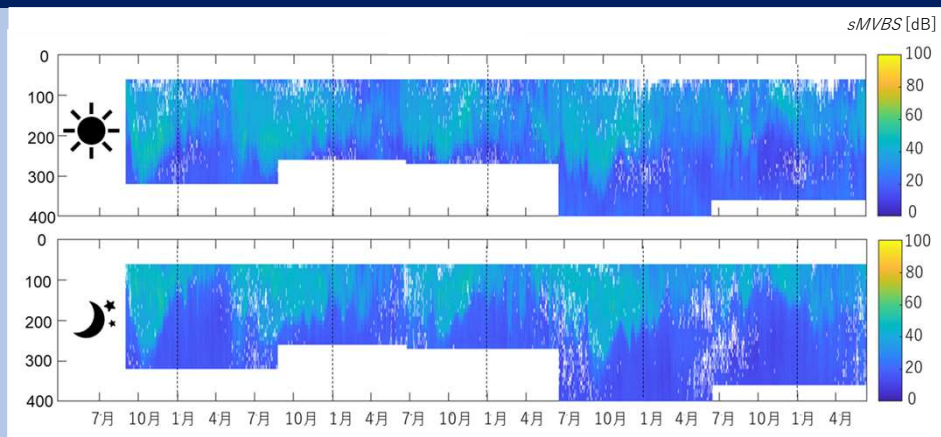
6

MVBSの変動



7

MVBS：昼夜の変動

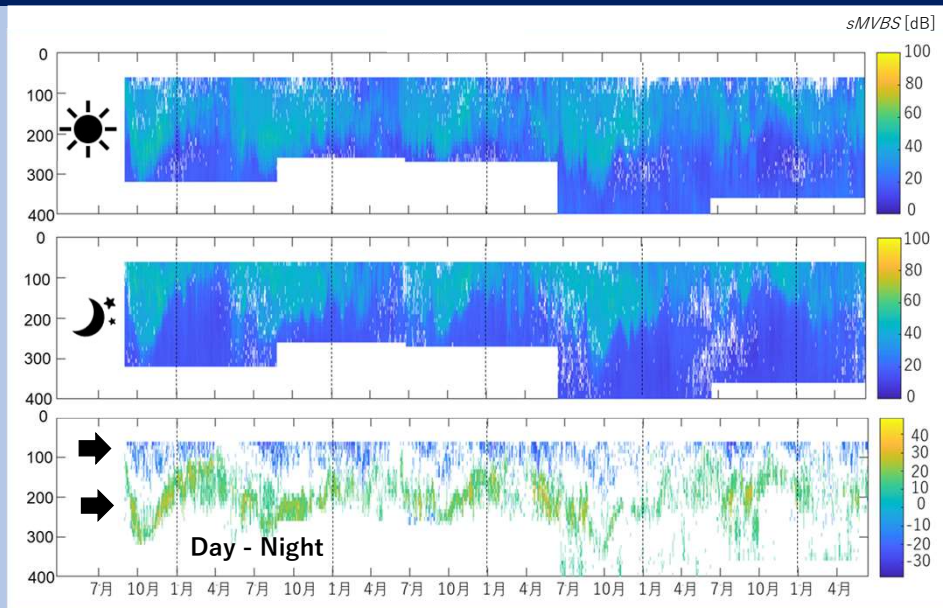


$sMVBS = \text{最小値の絶対値 (120)} + MVBS$
 例：-20 dB を標準化 → 100 dB
 -120dB → 0 dB

2020/12/16, モニタリング集会

8

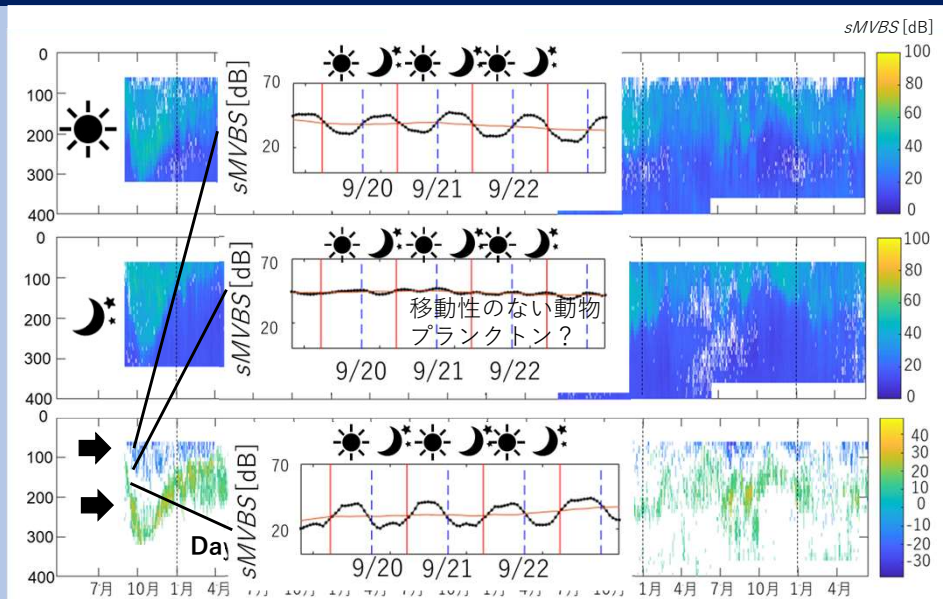
MVBS: 昼夜の変動



2020/12/16, モニタリング集会

9

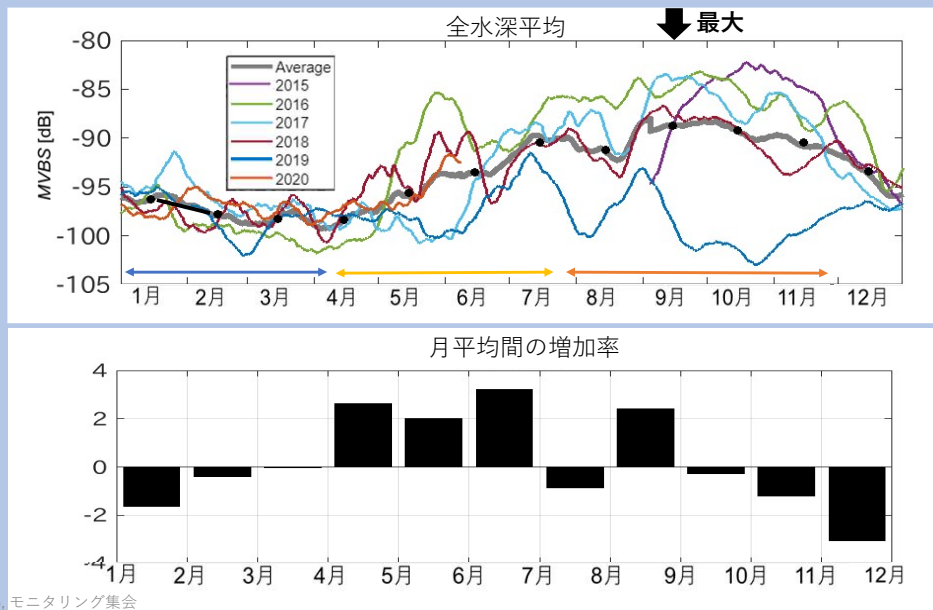
MVBS: 昼夜の変動



2020/12/16, モニタリング集会

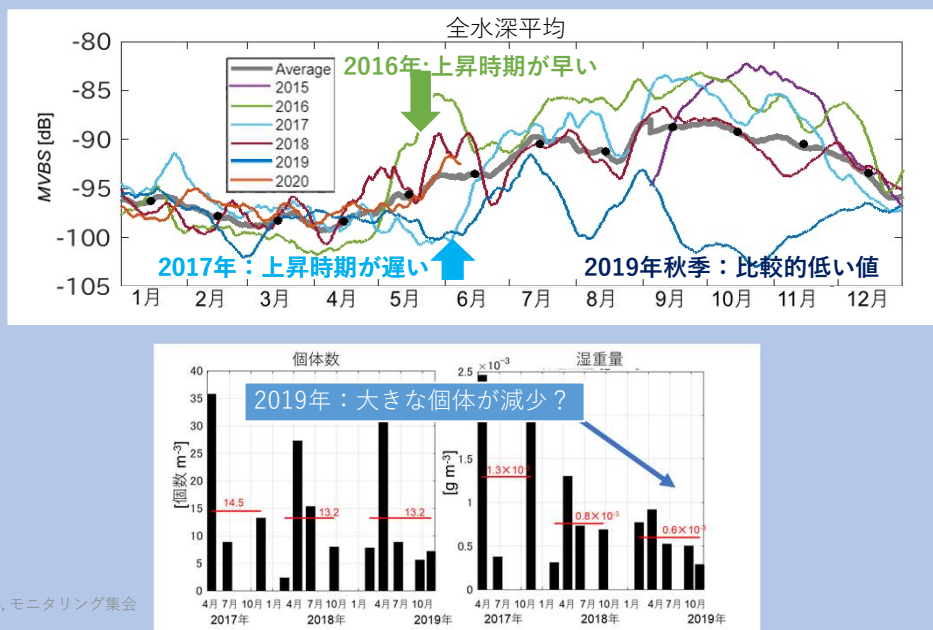
10

MVBS: 季節変動



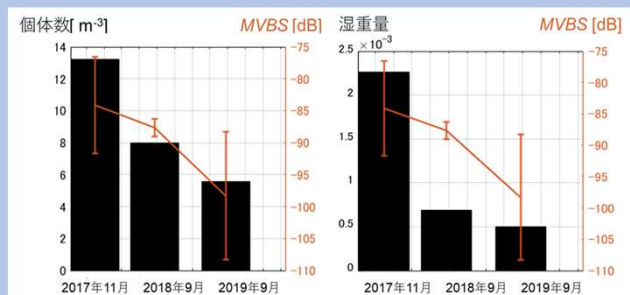
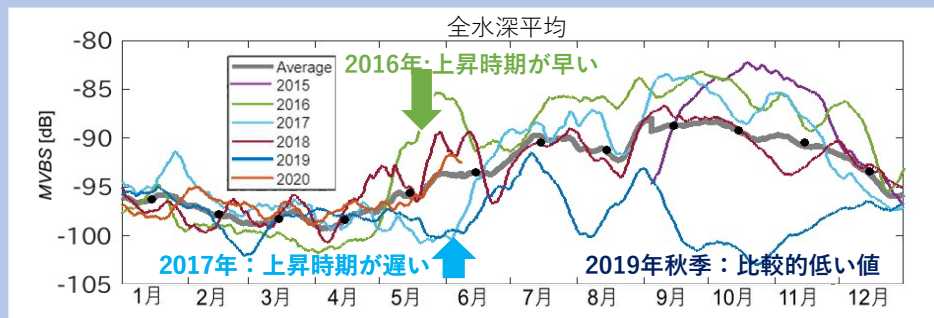
11

MVBS: 年変動



12

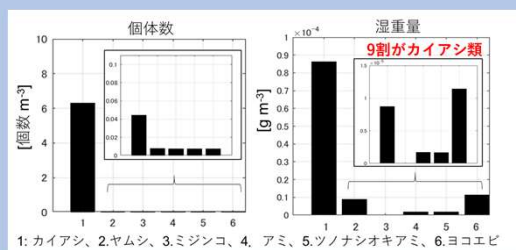
MVBS: 年変動



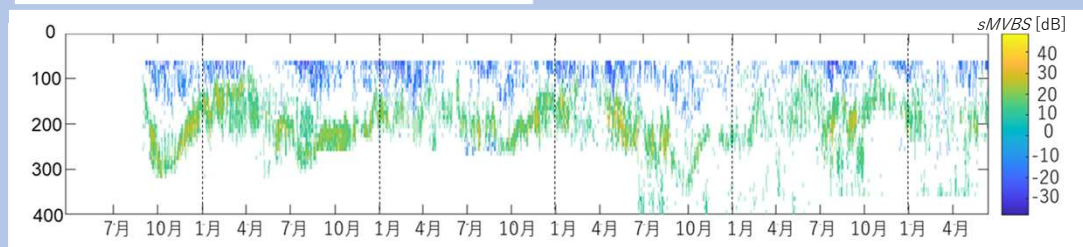
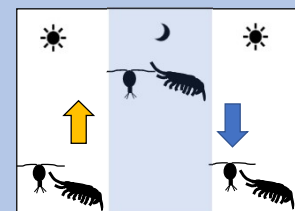
2020/12/16, モニタリング集会

13

考察: 動物プランクトン



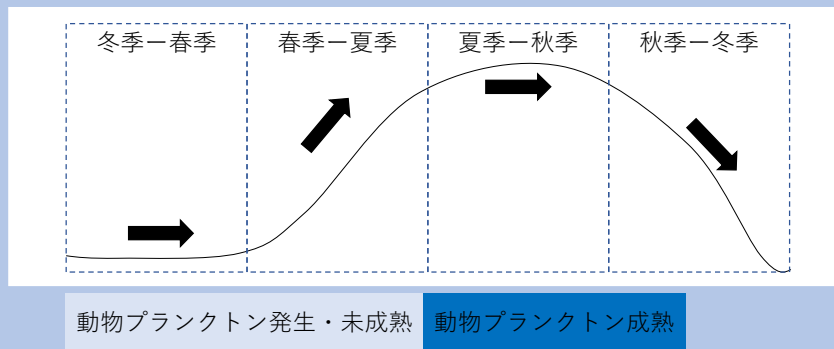
- カイアシ
- ヤムシ
- ツノナシオキアミ
- アミ
- ミジンコ
- ヨコエビ



- 夜間にMVBSが上昇し、昼間に下降する日周鉛直移動のような傾向
- カイアシ類、ヤムシ類、ツノナシオキアミは顕著な日周鉛直移動(西濱ら1998;井口ら2001)
- 昼夜の差が明瞭でない中層: 移動性のない動物プランクトンが多く存在していた?

14

考察:動物プランクトンの季節変動

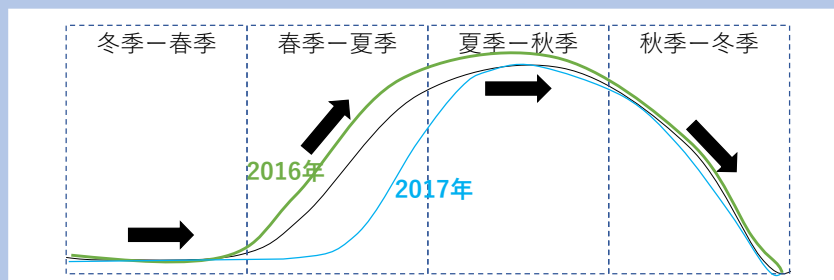


- ツノナシオキアミ：夏季-秋季に成熟し20mmに達する（井口 1993）
 - 暖水性ヤムシ・沿岸/混合水域性ヤムシ：成熟個体は30mmに達する。夏季-秋季に出現密度が上昇（西濱ら 1995）
- 夏季-秋季は成熟した動物プランクトンをとらえた。冬季・春季は成熟していないためADCPではとらえることができない。

2020/12/16, モニタリング集会

15

考察:動物プランクトンの年変動



植物プランクトンの春季ブルーム

- 2016年は春季ブルーム時期が早く、動物プランクトンの成長も早まった。
- 2017年は春季ブルーム時期が遅く、動物プランクトンの成長が遅くなった。

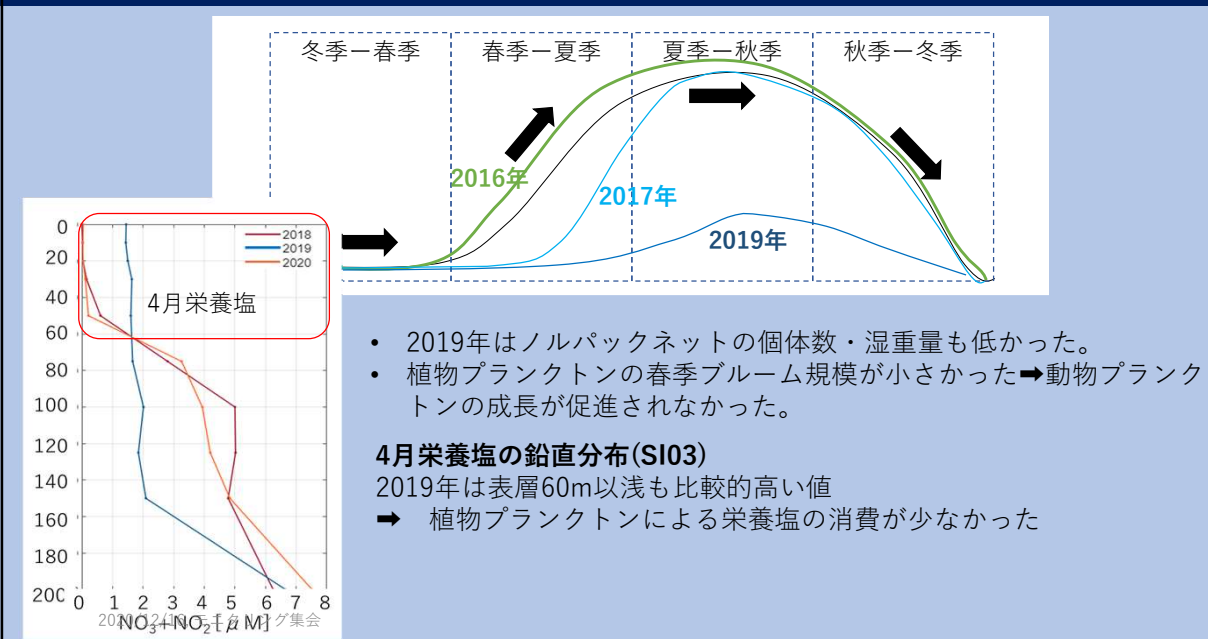
混合層深度

混合層深度の深まりとともに、植物プランクトンが深い水深帯に輸送される。

- 2016年は混合層深度が早い時期に深くなった→植物プランクトンが深い水深帯に輸送される時期が早まった→深い水深帯に生息する動物プランクトンの成長が早くなった。
- 2017年は混合層深度が遅い時期に深くなった→植物プランクトンが深い水深帯に輸送される時期が遅くなった→深い水深帯に生息する動物プランクトンの成長が遅くなった。

16

考察:動物プランクトンの年変動

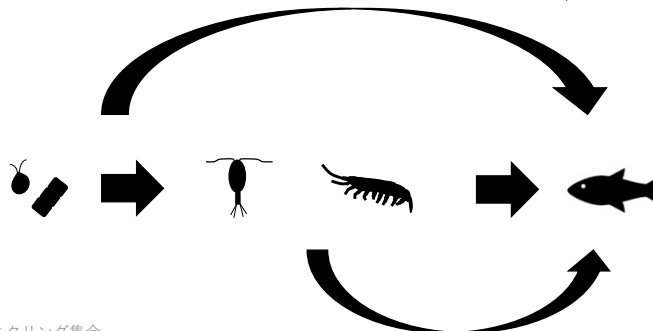


17

まとめ

- 75kHzの係留式ADCPは動物プランクトンの変動をとらえることができる
- 動物プランクトンの季節変動や年変動の観測に有効
- 動物プランクトンの増加時期に変動があることがわかった
- 植物プランクトンのブルーム時期や規模と動物プランクトンの増加には関連性をとらえた

植物プランクトンのブルーム時期と資源量の変動(Kodama et al., 2018)



2020/12/16, モニタリング集会

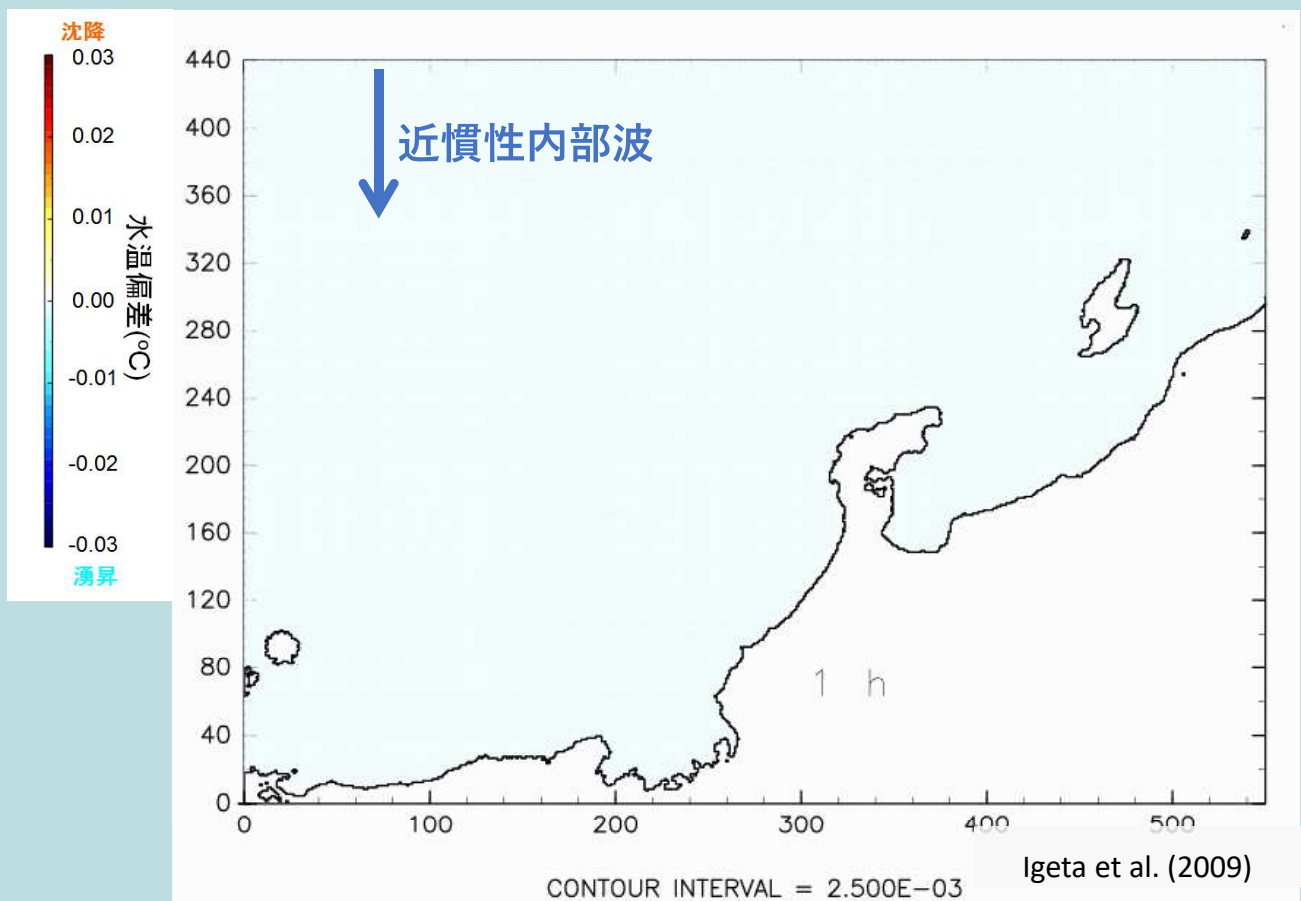
18

能登半島東岸斜面上で観測された 近慣性内部波による乱流混合

久賀みづき, 井桁庸介, 和川拓, 竹内茉莉香
(水産機構・資源研)

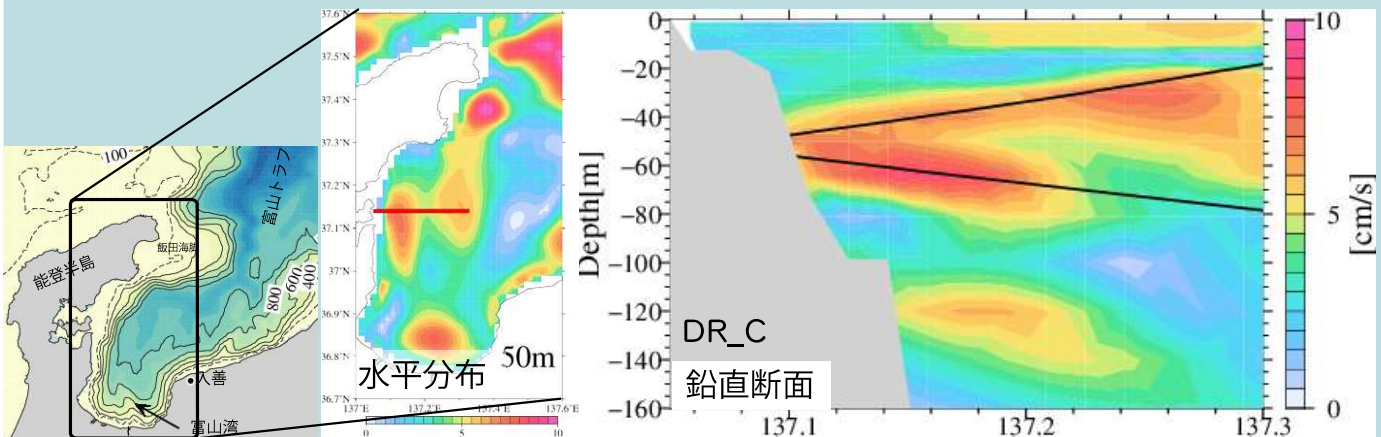
背景

近慣性内部波のエネルギーが本州沿岸域に集まる



近慣性内部波による乱流発生の可能性

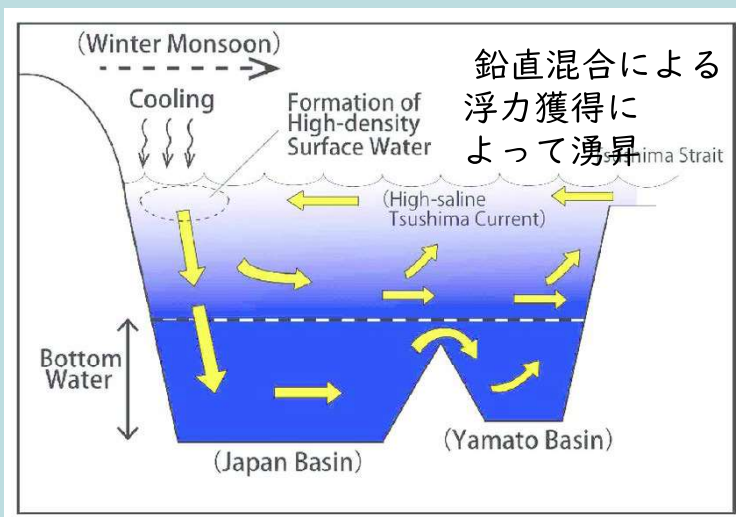
近慣性内部波が大陸棚で散乱 → 強い流速鉛直シア



カラー：近慣性周期流速時計回り成分

——：平均密度プロファイルから算出した近慣性内部波の特性曲線

日本海の熱塩循環



A simplified vertical cross-section of the Japan Sea with a schematic flow pattern of the abyssal circulation (Gamo et al., 2014, Fig. 8)

内部波による乱流混合が中・深層の循環をコントロール

日本海の内部波

× 内部潮汐

日本海中央部で潮汐流弱い

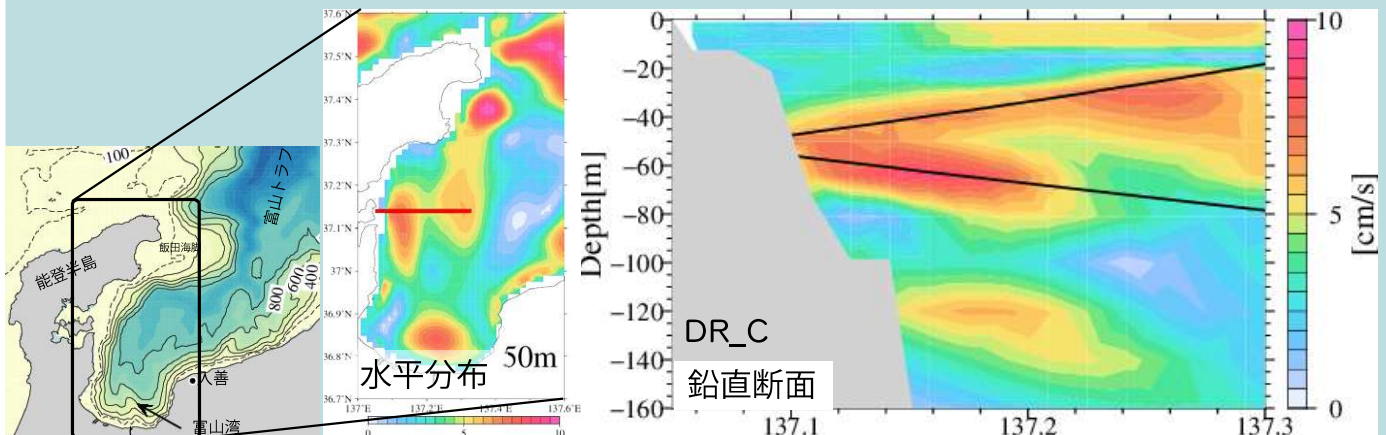
○ 近慣性内部波

⇒ 熱塩循環への寄与が大きい?

近慣性内部波のエネルギーが本州沿岸域に集まる
⇒ 日本海の本州沿岸域は乱流混合のホットスポット?

目的：近慣性内部波の散乱による乱流を観測

近慣性内部波が大陸棚で散乱 → 強い流速鉛直シア

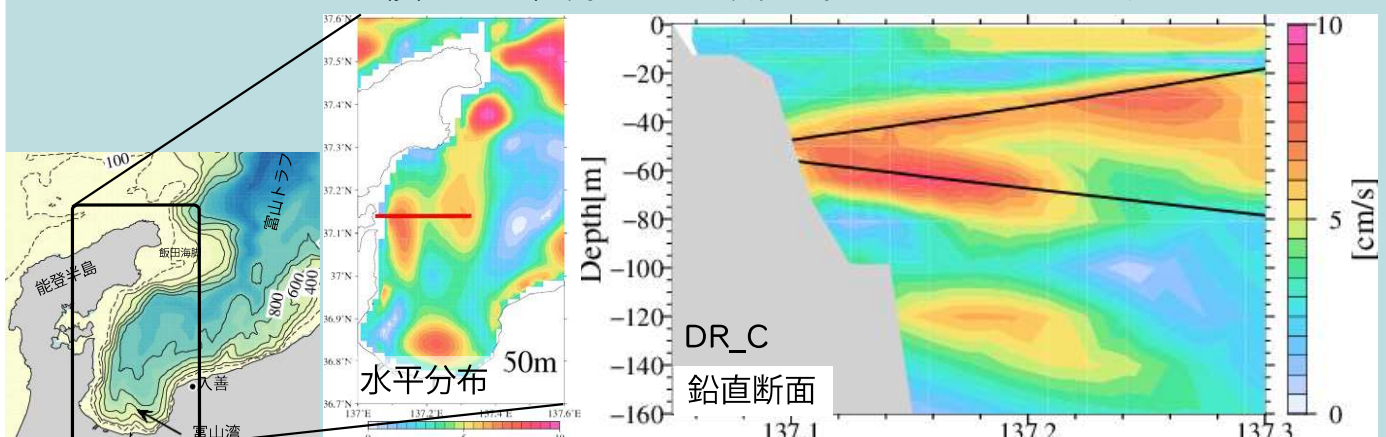


カラー：近慣性周期流速時計回り成分

——：平均密度プロファイルから算出した
近慣性内部波の特性曲線

方法：能登半島東岸斜面上で乱流観測

近慣性内部波が大陸棚で散乱 → 強い流速鉛直シア

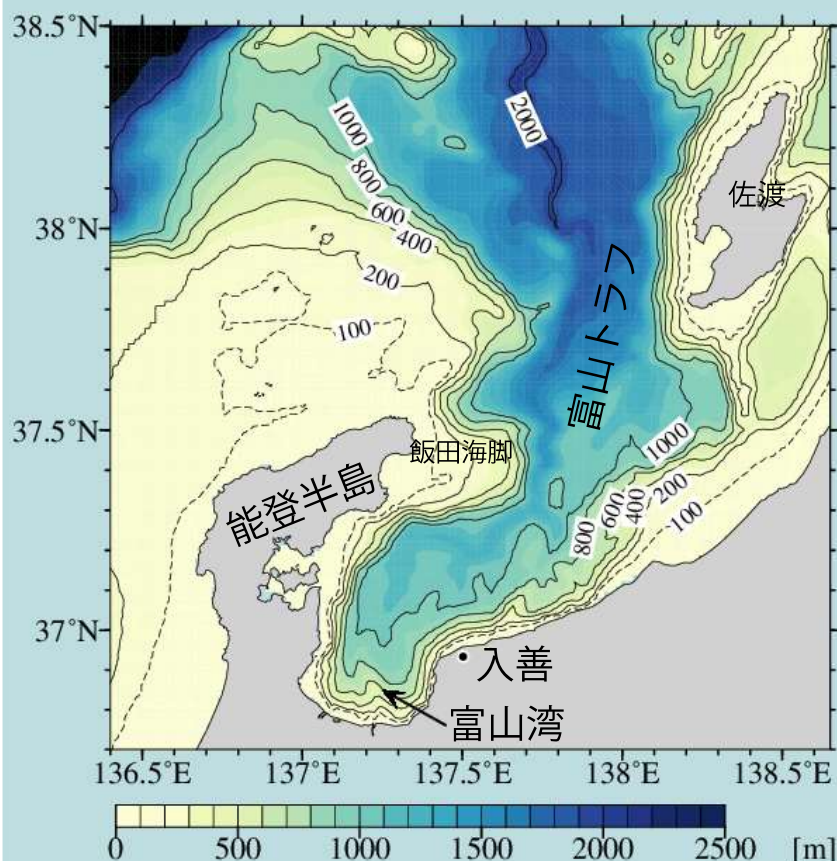


カラー：近慣性周期流速時計回り成分

——：平均密度プロファイルから算出した
近慣性内部波の特性曲線

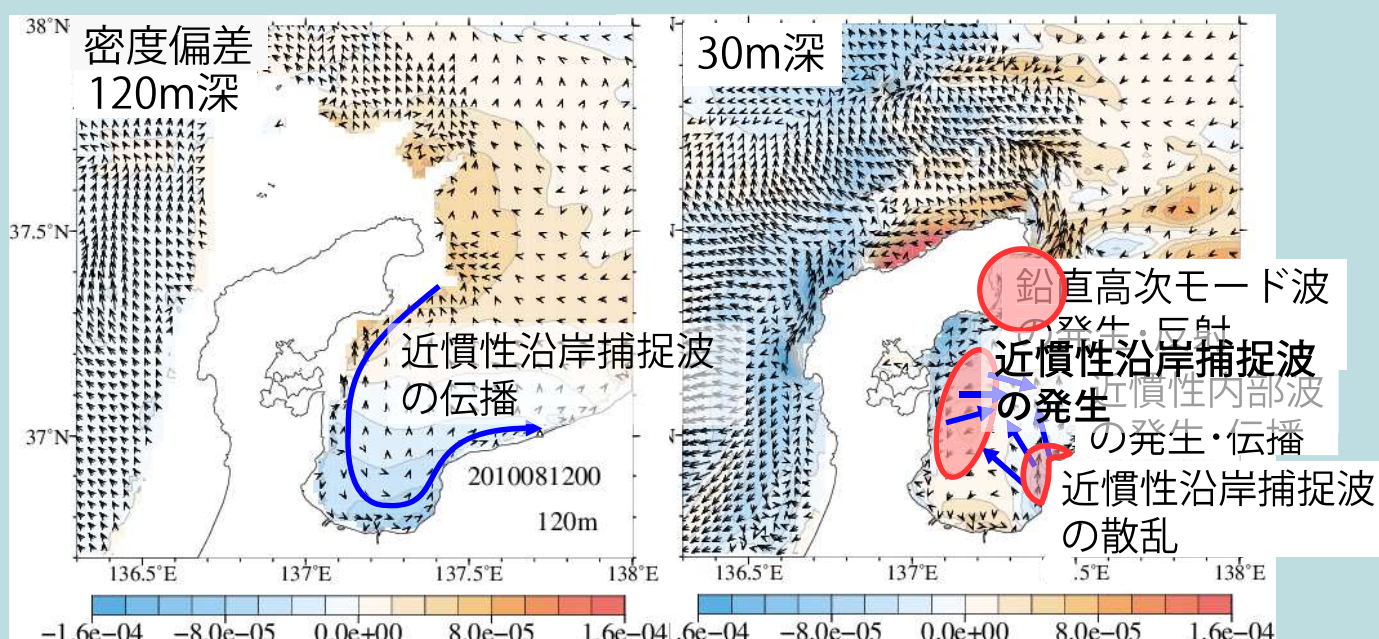
鉛直混合に寄与するような
エネルギー散逸率 ε の大きい乱流が発生しているか

能登半島東岸～富山湾海域



- 水深が深い
 - 大陸棚の幅が狭い
- ⇒ 内部波が岸近くまでエネルギーを保ったまま伝播
- ⇒ 散乱波のエネルギーも強い
- 日本海を気象擾乱が通過中も能登半島の島影で穏やか
- ⇒ 近慣性内部波の観測に適している

方法: 観測が想定される近慣性内部波



沿岸捕捉波の伝播

- 岸沿い方向の流速振動
- 密度偏差の振動

鉛直高次モードの近慣性内部波

- 流速ビーム構造
- 時計回りの流速振動

背景

(DR_Cの解析)

能登半島東岸の陸棚～斜面上で近慣性周期鉛直高次モード波が発生
近慣性内部波による乱流混合が沿岸域で起こる可能性

目的

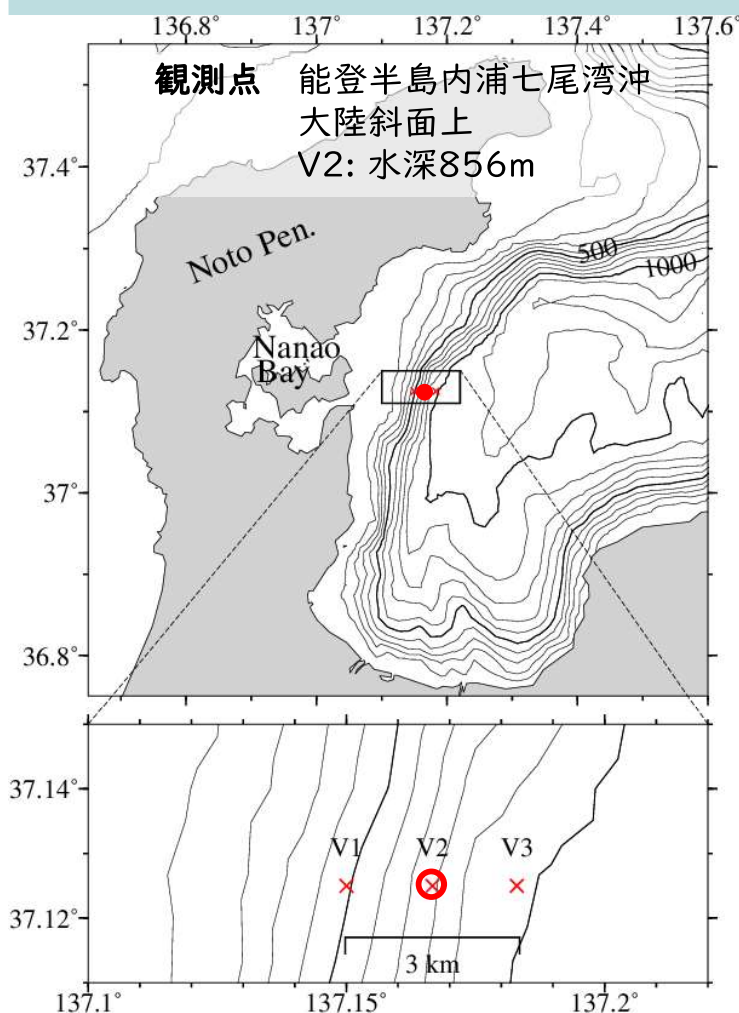
近慣性内部波の散乱による乱流発生を観測する

方法

能登半島東岸で乱流観測

エネルギー散逸率、流速から

鉛直高次モードの近慣性内部波の特徴を洗い出す



観測_2020年6月天鷹丸

● エネルギー散逸率 ε

乱流計 VMP-260-IR

定点観測

- 6月20～21日

- 能登半島東岸斜面上(V2)

- 1時間毎に1回 21時間連続

断面観測

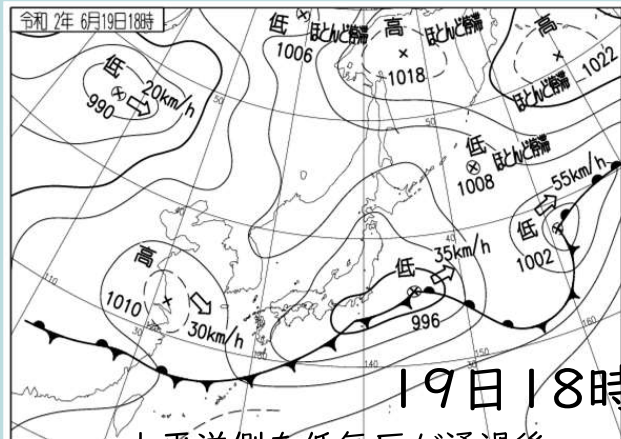
- 6月21日

- 東西にV2を挟んだ2点(V1, V3)

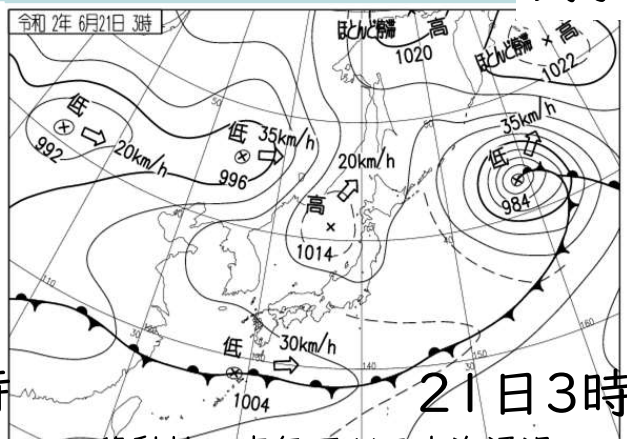
● 流速

SADCP(150kHz, 4m間隔)

乱流観測中のデータ

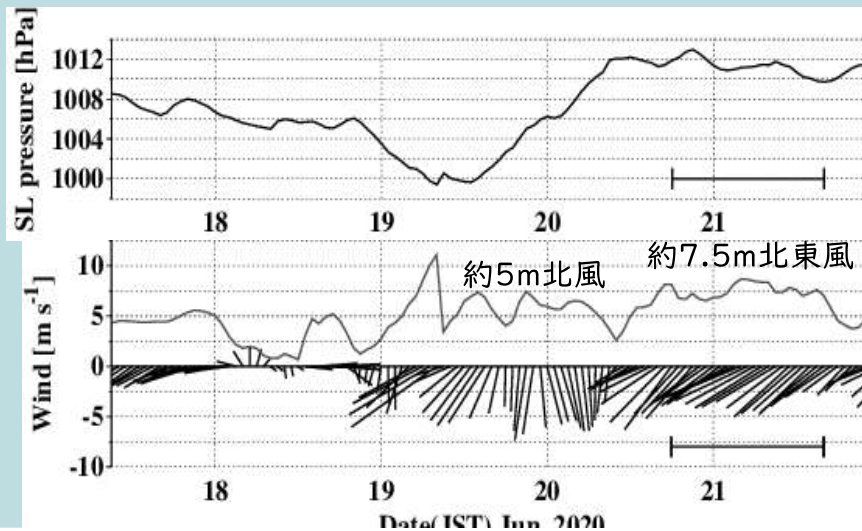


太平洋側を低気圧が通過後



移動性の高気圧が日本海通過

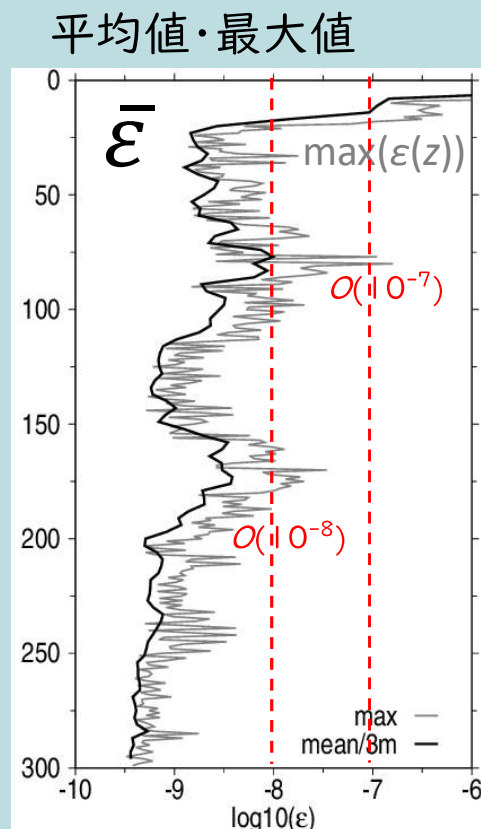
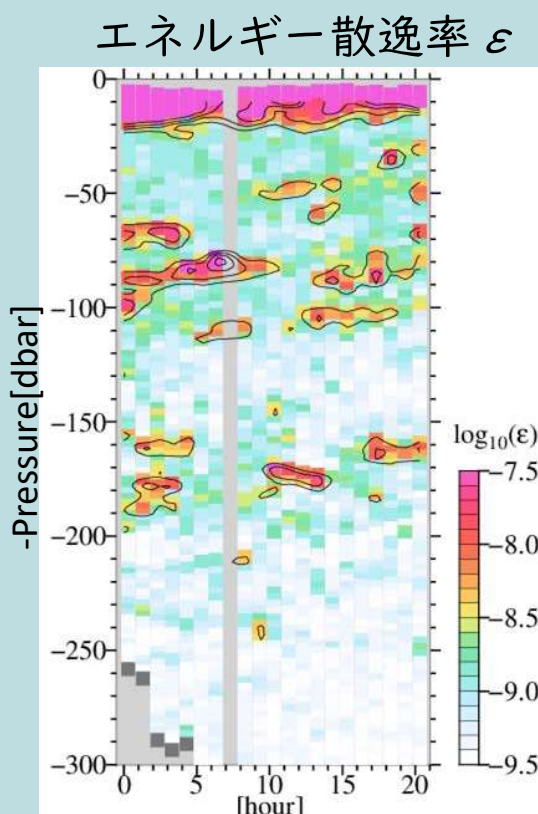
気圧



風

乱流の発生

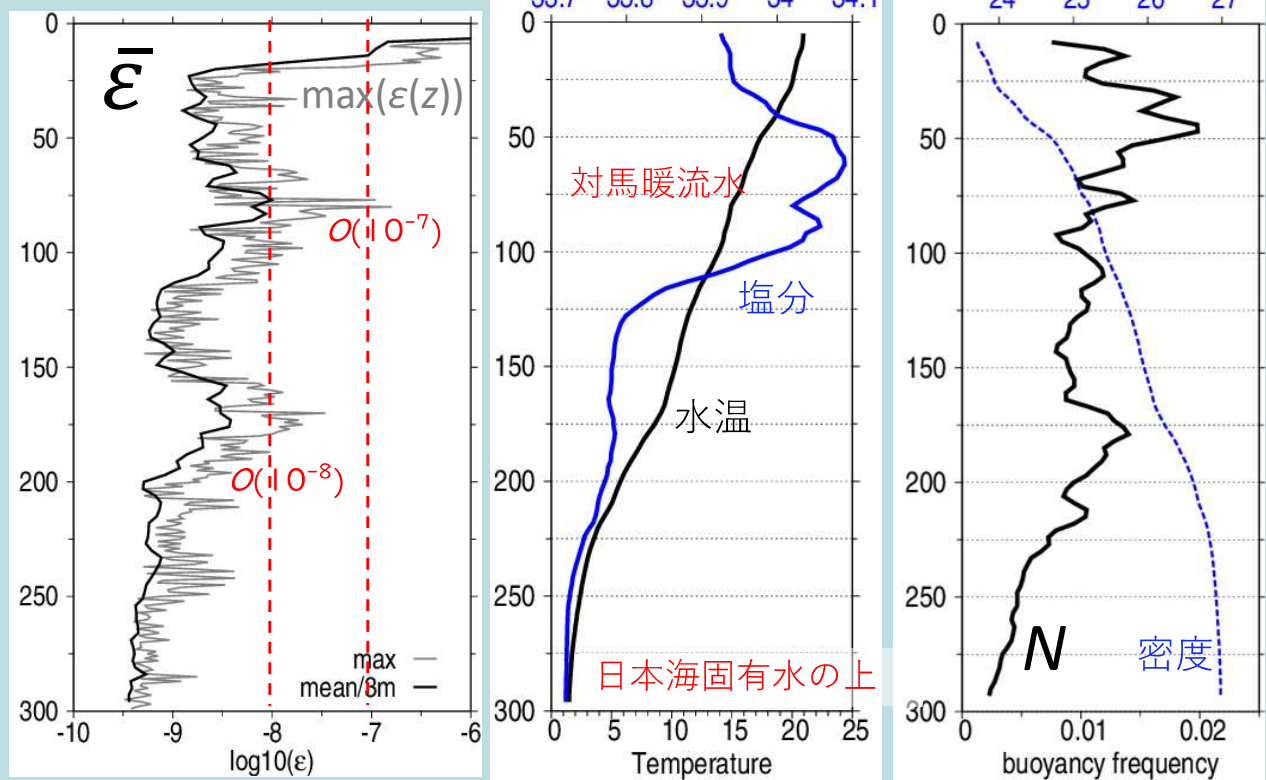
能登半島東岸の斜面上で乱流(最大 $\varepsilon = O(10^{-7}) \text{ Wkg}^{-1}$)を観測



乱流の発生

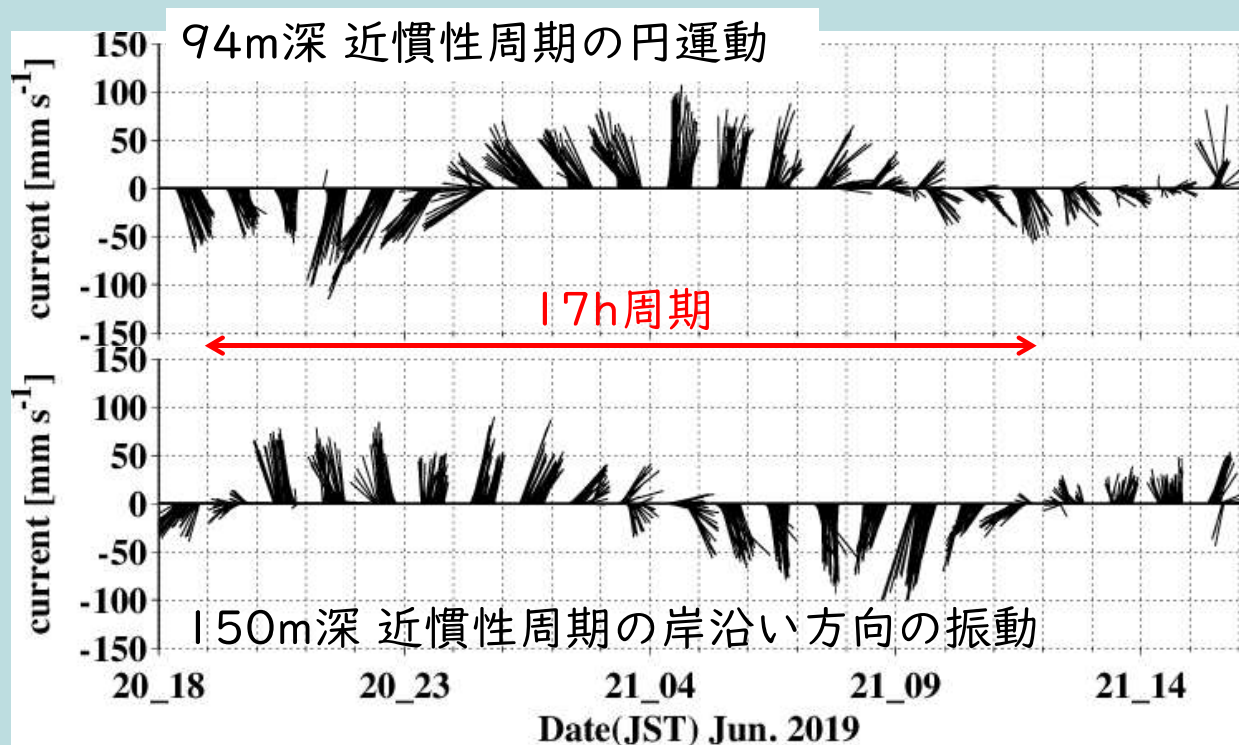
能登半島東岸の斜面上で乱流(最大 $\varepsilon = O(10^{-7}) \text{Wkg}^{-1}$) を観測

エネルギー散逸率 ε



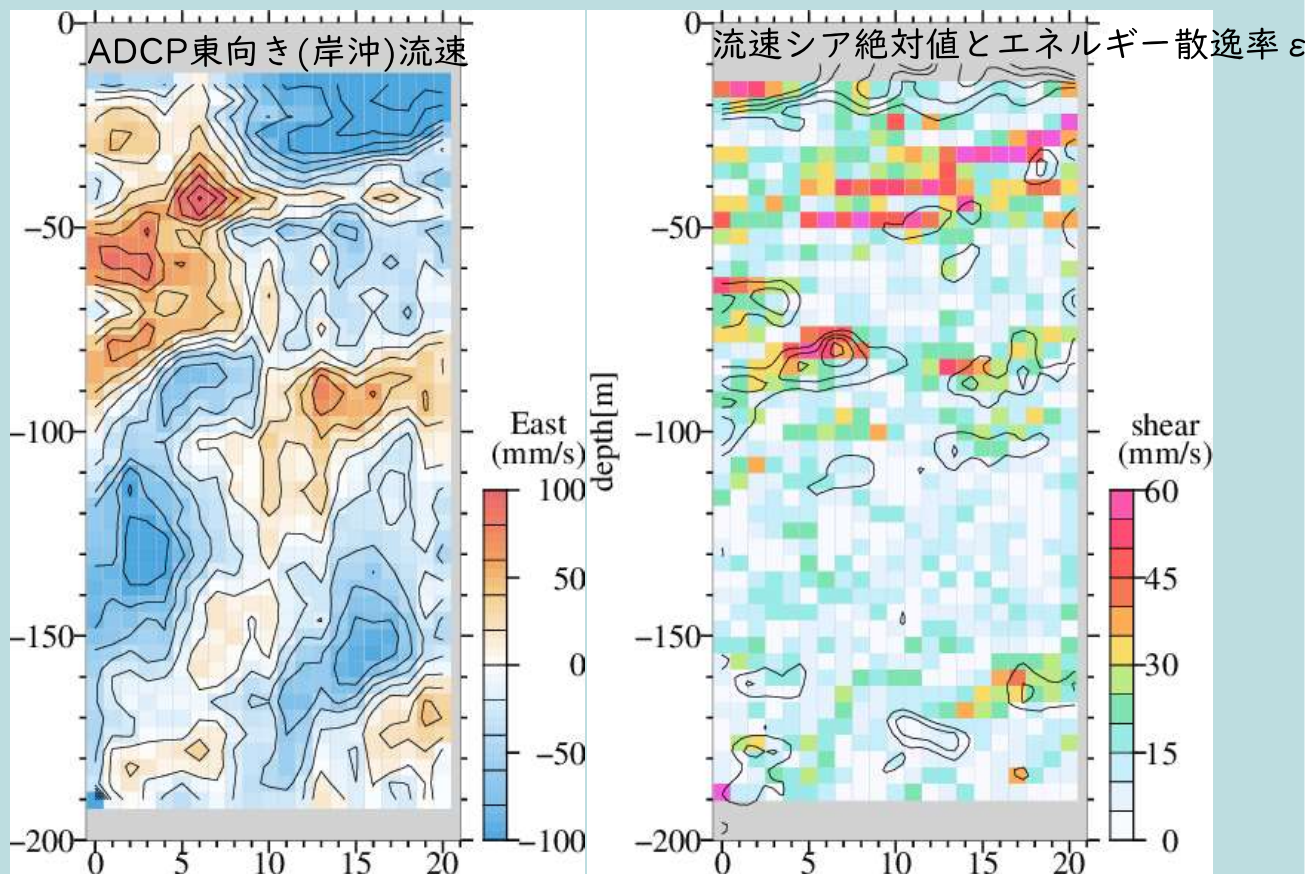
鉛直高次モード近慣性内部波による乱流か

流速の近慣性周期振動



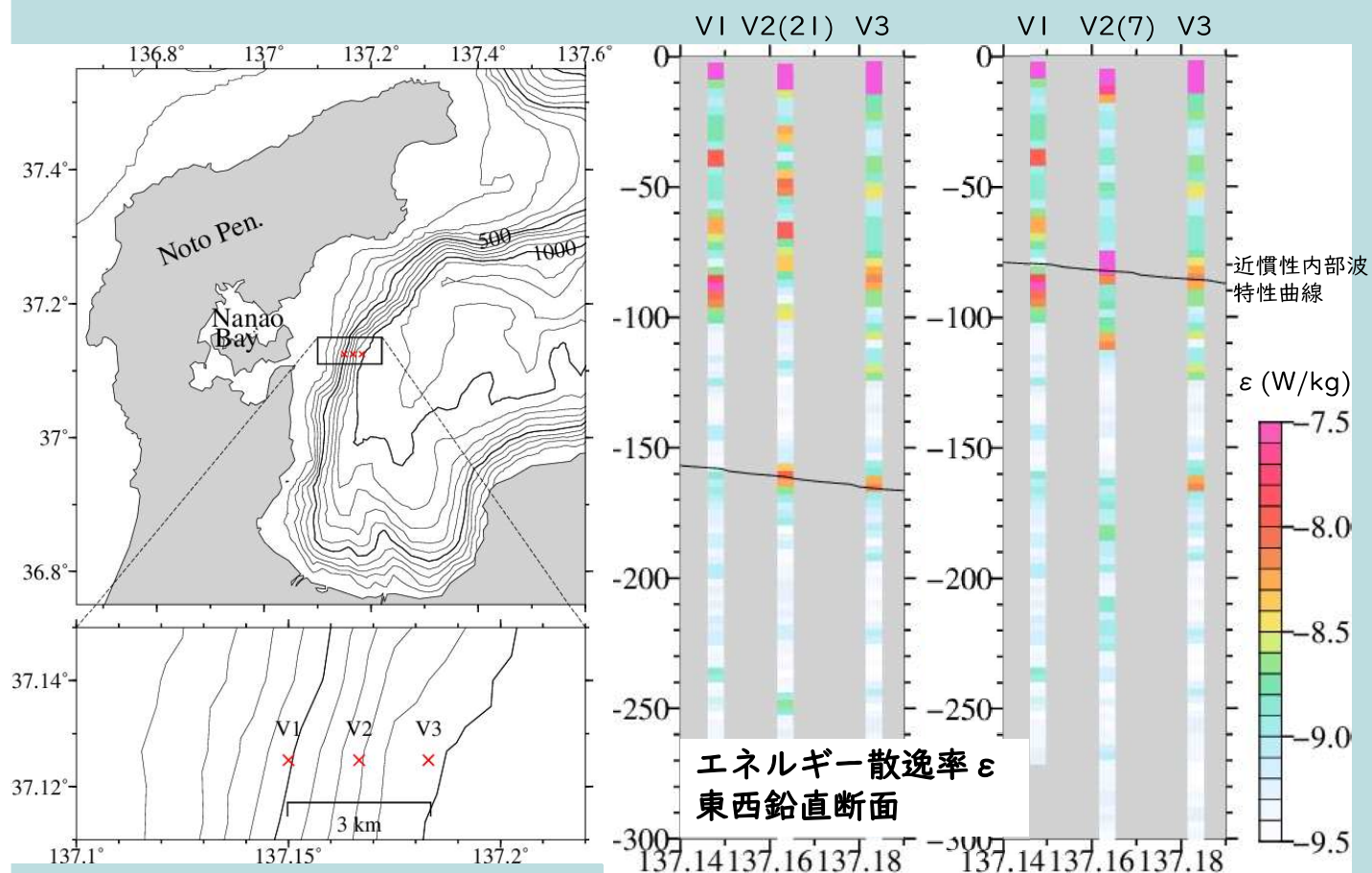
鉛直高次モード近慣性内部波による乱流か

東西流速の鉛直シアとエネルギー散逸率 ε



鉛直高次モード近慣性内部波による乱流か

近慣性内部波のエネルギー伝播方向とエネルギー散逸率 ε

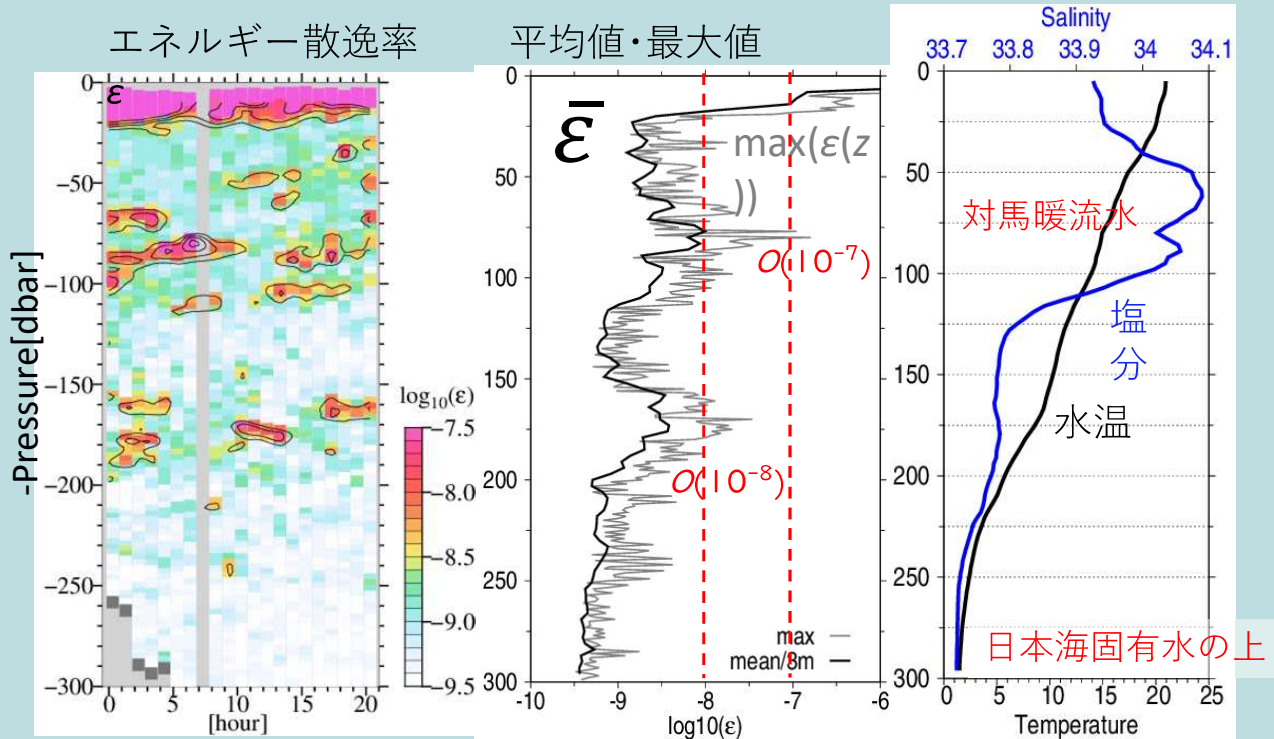


まとめ

能登半島東岸斜面上で近慣性内部波の散乱による乱流発生を実証

$\varepsilon = O(10^{-7} \sim 10^{-8})$ のエネルギー散逸率 ε 大きな乱流

固有水の上の水温変化の大きい水深での乱流発生 $\Rightarrow$ 熱塩循環に寄与の可能性



東北地方の沿岸水の日本海 沖合域への波及過程

和川 拓（水産研究・教育機構）

井桁庸介（水産研究・教育機構）・坂本 圭（気象研）

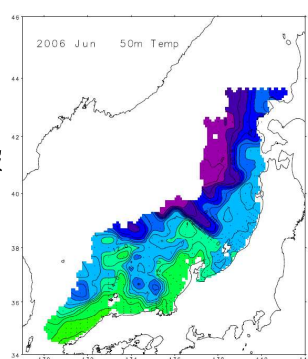
沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

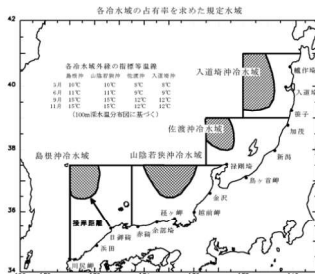
1

中部-東部日本海におけるメソ規模構造：詳細不明

漁海況速報



海況予報



沿岸水の沖合波及過程

◆スルメイカ

- －春季，漁獲対象となる前の幼イカの分布
 - ▷ 好適水温：表層（50 m深など）10℃

◆ブリ

- －秋季から冬季，ブリの分布・南下回遊経路・定置網入網予測
 - ▷ 冷水を避けて回遊
 - ▷ 冷水着岸：ブリの入網減少

◆佐渡沖冷水域の研究

- －須田（1932），宇田（1934），山中（1951），下村・宮田（1953），加藤ら（2006）
- －（海洋物理的な）実体・現象不明

これまでの研究：

グライダー観測資料を解析し，前線・冷・暖水渦の構造とその時間変化を解明（Wagawa et al., 2020 JMS）

17 Dec 2020

2

グライダー観測の概要

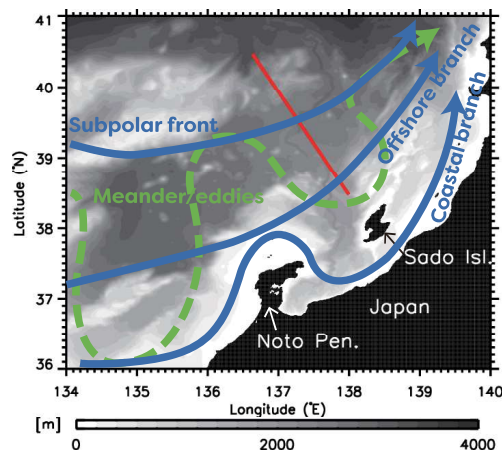
◆Seaglider (T/Sセンサーのみ) を使用

ー約2ヶ月間 (2016年4/20-6/22) で2往復 (4断面; 1断面に1週間から10日間)

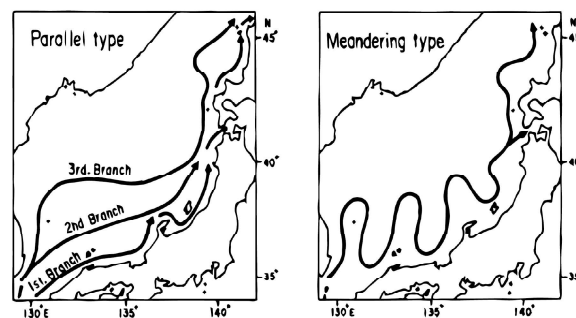
▷ 2018年以降は新規購入のSeaglider (DO、Chl-aセンサ付)

現在、11月投入、4月回収予定の5ヶ月間連続観測実施中

ーSI-lineモニタリング, 係留系, Jason-2と相補的に解析



沿岸水の沖合波及過程

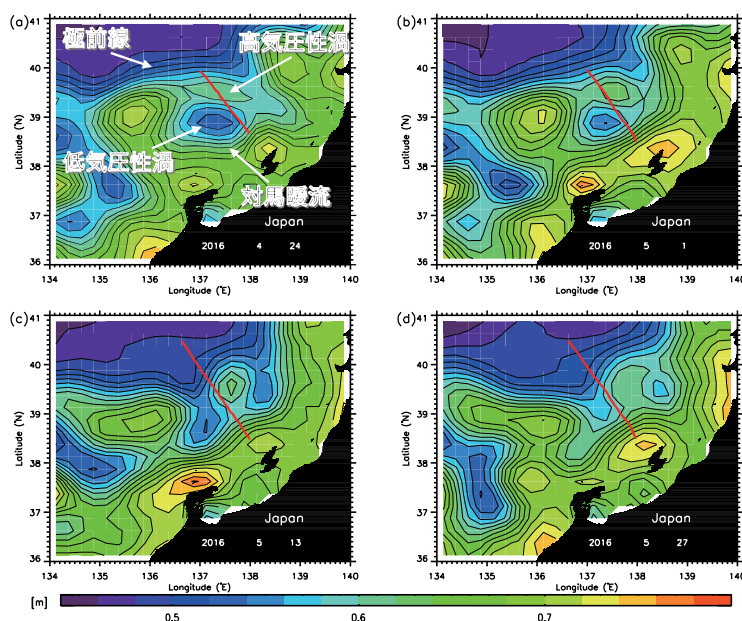


Naganuma (1975)のFig. 6

17 Dec 2020

3

月内で大きく変化するメソ規模構造をグライダー観測



沿岸水の沖合波及過程

◆水平2-3 km間隔、水深900 mまで、1断面を8-10日間で、4回 (2往復) 観測

◆4月の厳しい海況でも観測可能

◆対馬暖流・高気圧性渦・低気圧性渦・極前線

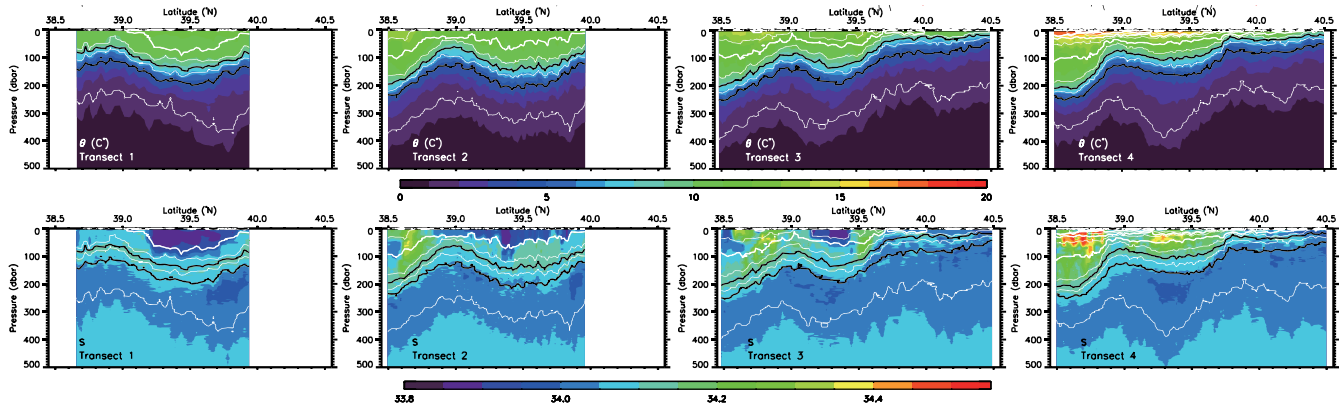
ーメソスケール (100 km~300 km程度の空間スケール) 構造の時間変化

▷ 渦対→高気圧性渦→前線間帯

17 Dec 2020

4

沖合域の高気圧性渦の上層に低塩分水



◆上層低塩水を観測

- 塩分34.0以下、水平規模は50 km程度、厚さ100 m以上
- この時期、この海域で、報告例なし

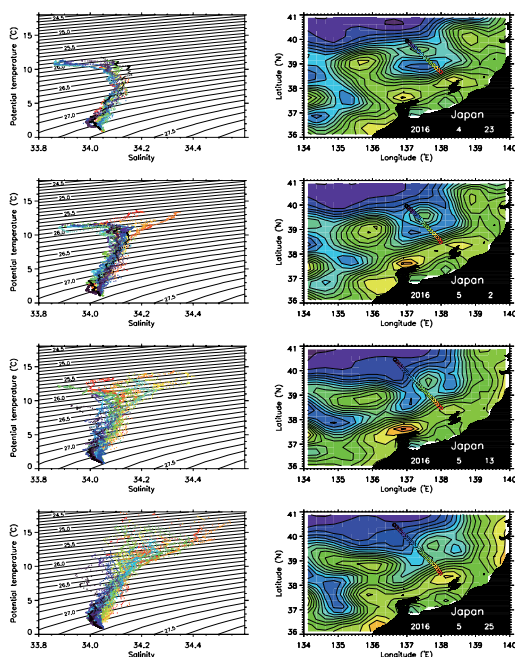
目的：上層低塩水の形成過程

沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

5

水塊構造も月内で劇的に変化



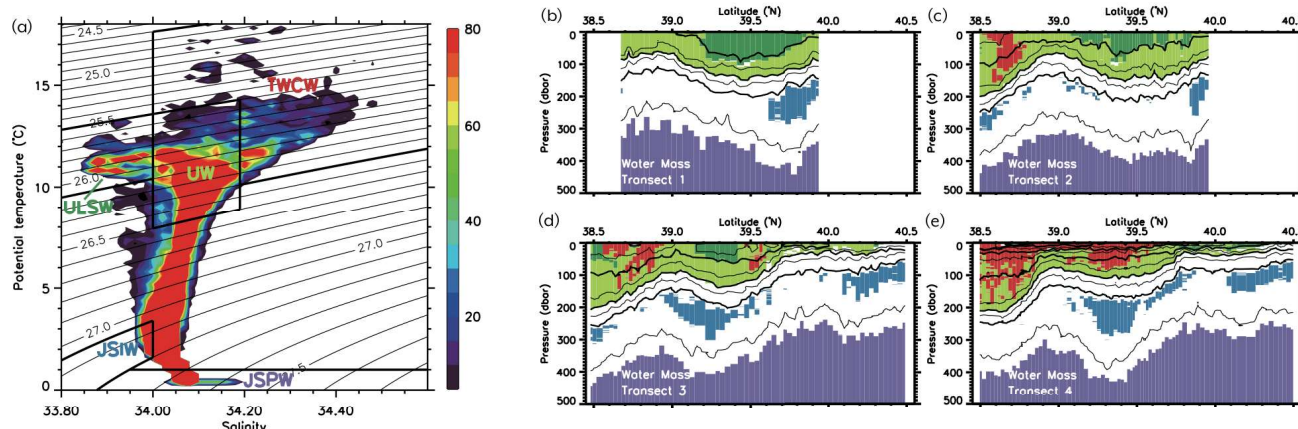
- ◆ Transects 1 and 2の高気圧性渦の低塩分水と、4の対馬暖流水の波及（季節変化）が特徴的

沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

6

水塊分類でも特徴的な上層低塩水とその時間変化



◆T/Sダイアグラムの頻度分布より、水塊分類

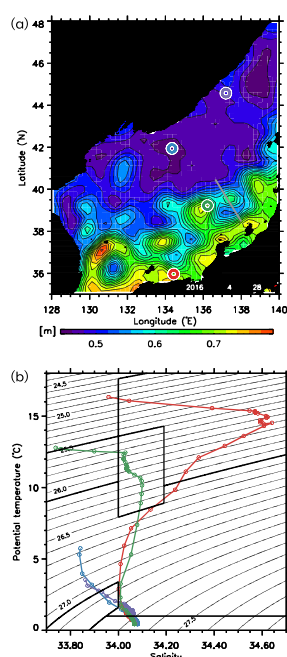
- ー表層水 (SW)、上層低塩水 (ULSW)、上層水 (UW)、対馬暖流水 (TWCW)、日本海中層水 (JSIW)、日本海固有水 (JSPW)

沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

7

上層低塩水の起源：東側上流域や北側ではない



◆上層低塩水

- ー塩分 < 34.0、密度 $25.5 - 26.1 \text{ kg m}^{-3}$
- ー水平幅30–60 km (15–30マイル)、厚さ > 100 m

◆同時期のArgoフロート観測

- ー低塩分水は北にあるが密度が高すぎる
- ー密度 26.0 kg m^{-3} 付近の軽い水は南にあるが、高塩分すぎる

◆30年間分の能登半島沖合の石川県CTD (千手・大慶, 2012)

- ー春先に低塩水は観測されない
 - ▷ 長江希釈水を含めた対馬暖流系水塊 (角野, 1999) の単純な西からの移流ではない

◆13年間分の佐渡島周辺の新潟県CTD (投稿中)

- ー観測されない
- ー沖合の領域不足？解像度不足？東北地方沿岸起源？

沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

8

上層低塩水の起源：日本沿岸と示唆される

数値実験

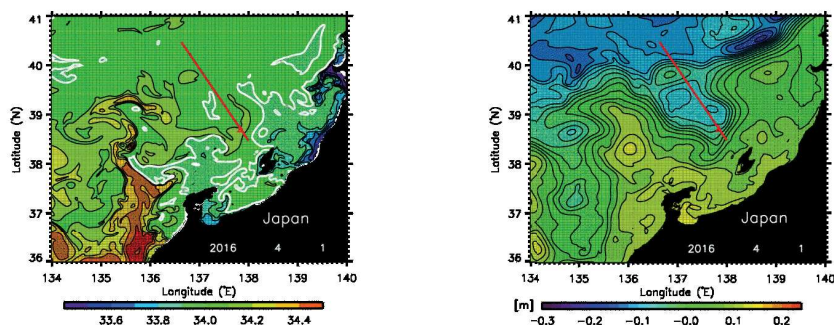
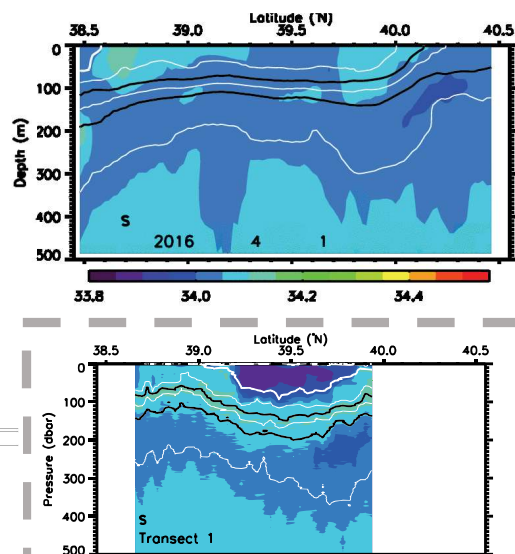


Table: Model specifications.

Model name	MRI.COM-JPN
Area	117°E–160°E, 20°N–52°N
Horizontal resolution	1/33° × 1/55° (~ 2 km)
Vertical resolution	2–700 m (60 layers, minimum water depth: 8 m)
Horizontal mixing	Smagorinsky-like biharmonic viscosity and biharmonic diffusion
Turbulent vertical mixing	GLS scheme (Umlauf and Burchard 2003)
Background vertical diffusion	Delededt and Luther (2010)
Nesting	On-line two-way double nesting with water volume preservation
Lateral boundary	A North Pacific model
Surface forcing	Wind and SLP: JMA MSM dataset (hourly, $\Delta x = 5$ km), other: JRA55-do dataset (3 hourly, $\Delta x \sim 55$ km)
River runoff	Based on JMA Runoff Index (hourly)
Tides	Main 8 constituents by theoretical equilibrium tide (Sakamoto et al. 2013)
Sea ice	5-category sea ice with thermodynamics and elastic-viscous-plastic rheology
Experimental period	2008 (spinup) — 2010–2017 (for analysis)
Data assimilation	incremental 4D-VAR



グライダー観測結果 (4/24)

沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

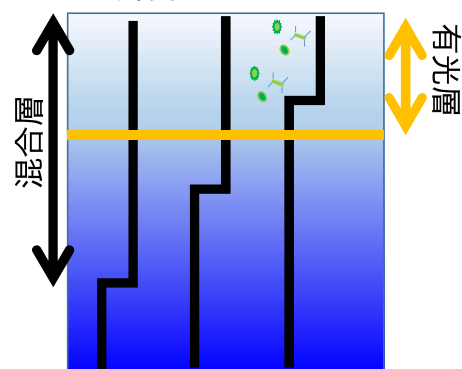
9

沿岸水の沖合波及のインパクト

◆沿岸水

- 春先に大量に、水質の全く異なる海洋へ流入
- 高い栄養塩水の供給
 - ▶ 栄養塩類を供給し、スルメイカやズワイガニなど日本海の重要水産資源の餌となる、植物プランクトンの一次生産、動物プランクトンの二次生産といった低次生物生産を高める
- 淡水の供給
 - ▶ 一般的な表層加熱による成層化に対し、低塩化も同じく浮力を供給して成層化を促し、植物プランクトンブルームを引き起こす (Wu et al. 2008)
- 沿岸域の物理環境・物質循環・低次生物生産を激変させることに驚きはない
 - ▶ 富山湾などでは知見あり
- もしも沖合域に効率的に輸送するシステムがあれば、沖合域の物理場・物質循環・生態系へのインパクトは絶大

密度プロファイル



◆植物プランクトンブルーム

- 混合層が深いと、植物プランクトンが有光層より深いところまで運ばれるため生産の効率が悪い
- 春先に成層が形成されると有光層内に植物プランクトンが留まるようになり、増殖が進みクロロフィル濃度が上がる

沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

10

海洋環境・循環の沿岸-沖合域間相互作用

◆観測的アプローチ

ー船舶

- ▷ 15マイル以下の空間解像度が必要（メソからサブメソスケールのマルチスケール現象）
- ▷ 春先の海況厳しい時期に、沖合の観測が必要

ー人工衛星

- ▷ 沿岸域の精度が低い
- ▷ 海面だけでなく、鉛直内部の情報も必要
⇒ グライダー

◆実験的アプローチ

- ー沿岸域から沖合域を含む広領域で、高解像度である必要
- ー海洋への河川水流入の高い再現性が必要
⇒ 気象研の2 km格子数値モデル実験（雪融け水を陽に扱っているわけではない）

◆これまでは不可能だったが、最先端の観測・実験技術を駆使してはじめて可能

◆数値実験と現場観測の結果同士を有機的に比較・実証解析

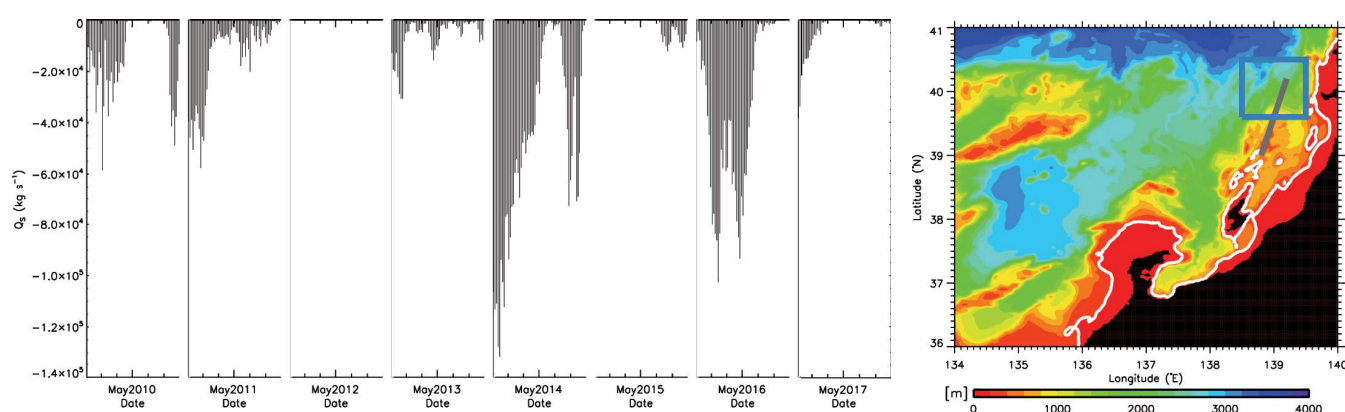
◆物質循環、水産へのインパクト

沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

11

東北沿岸域から沿岸域への塩輸送：経年変化大



◆塩輸送

$$-Q_s = \iint \rho(S - S_0) v_{NW} dx dz$$

- ▷ 基準塩分 $S_0=34.0$ 、 v_{NW} : 断面（灰色太線；x方向）直交（北西向き）流速成分、4-5月

◆2014年や2016年（グライダー観測時）は大

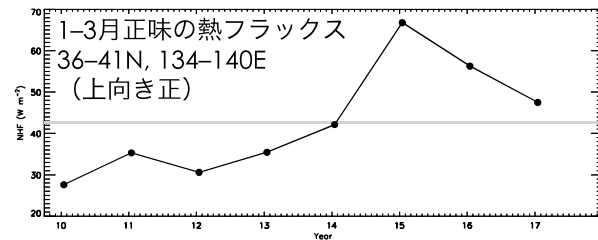
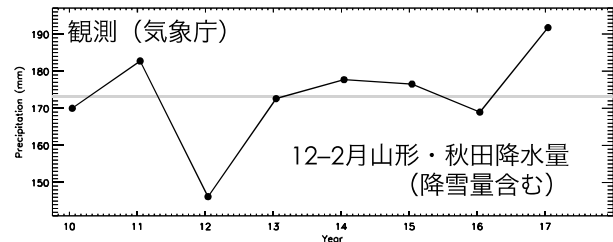
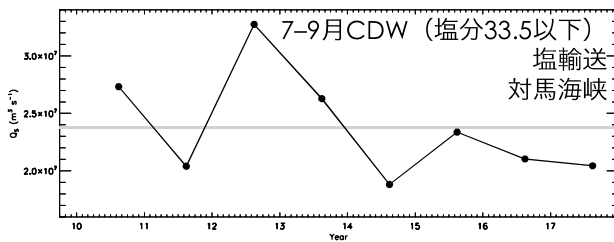
- ー2012年や2015年は小

沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

12

沿岸水の沖合波及：前年秋CDW、冬季降水・表層混合



◆初期条件は沿岸水波及の悪条件を規定する可能性

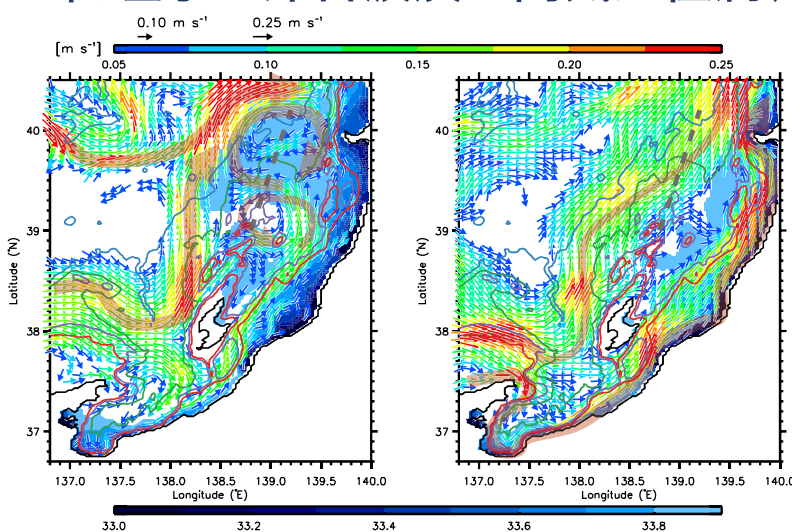
	前年の長江希釈水	降水・降雪量	海面冷却 (○：弱)
2010			○
2011	○		
2012	△	△	○
2013	○		
2014			
2015	△		△
2016			△
2017		○	

沿岸水の沖合波及過程

17 Dec 2020

13

低塩水の沖合波及：高気圧性渦、対馬暖流、極前線



塩輸送大・小期間の海面流速・塩分（青濃淡）合成図（それぞれ約25日間）

色等深線：200, 400, 1000, 2000 m

塩分33.9以上は無視、33.0以下は同青色

沿岸水の沖合波及過程

- ◆低塩水沖合波及大きいとき、極前線強く、沖合分枝が沖側
 - －蛇行的？
- ◆低塩水沖合波及小さいとき、沿岸分枝強く、沖合分枝岸側
 - －平行的？

- ▷ 極前線の安定・不安定問題？
- ▷ 対馬暖流・極前線 → 渦 → 低塩水波及なのか？
- ▷ 低塩水 → 渦 → 対馬暖流・極前線なのか？

17 Dec 2020

14

まとめ

- ◆春季の日本海沖合域において、雪融け水が由来と考えられる分厚い低塩水（U）をはじめて観測
 - －陸から海への淡水流入は、塩・栄養塩の輸送におけるインパクトが大きく、海盆規模の水塊分布や物質循環の変動要因
 - ◆これまでは不可能だったが、最先端の観測・実験技術を駆使してはじめて可能
 - ◆数値実験と現場観測の結果同士を有機的に比較・実証解析
1. まず、春季の沿岸域における低塩水形成のための初期条件が重要
 - －前年秋の長江希釈水、直前冬の表層混合、降水・降雪
 2. 次に、男鹿半島沖の高気圧性渦による沖合域への波及が重要
 - －好適な流動・波動条件により渦が形成されやすくなるのか（1と独立して、1と2の二段階のシステムとして考えられるのか）
 - －1（＋陸棚上の移動）が渦を形成しやすくしているのか

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

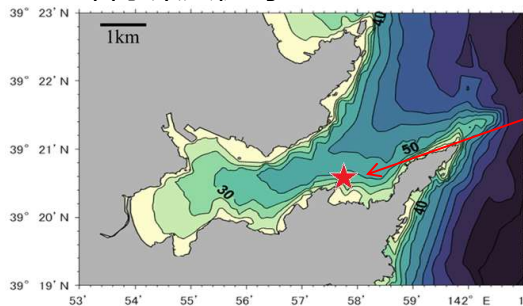
九大応用力学研究所
2020年12月17日
10:30-11:00

大槌湾内の波浪・風モニタリングの総括



○小松幸生^{1,2}、田中 潔²
1: 東大院新領域、2: 東大大気海洋研

岩手県大槌湾



TEAMS 東北マリンサイエンス拠点形成事業
—海洋生態系の調査研究—
Tohoku Ecosystem-Associated Marine Sciences, since FY2011

波浪・風モニタリングブイ



1

TEAMS 東北マリンサイエンス拠点形成事業

- 文部科学省補助金制度
- 実施主体: 東北大学、東大大気海洋研、JAMSTEC
- 期間: 2011-2020年度
- 目的: 東北に海洋科学の国際的研究拠点の形成
地震・津波後の海洋生態系の変動メカニズムを解明
持続的漁業の実現に向けて科学的知見やデータを提供
⇒ **地域漁業の復興への貢献**
- **三陸内湾域の波浪の実態解明を担当**



TEAMS 東北マリンサイエンス拠点形成事業
—海洋生態系の調査研究—
Tohoku Ecosystem-Associated Marine Sciences, since FY2011

2

背景：三陸内湾域と湾内波浪の特徴

湾内では養殖業、採介藻漁業が盛ん

- ・数トン程度の小型船舶による作業のため、1 m 未満の波高でも操業中止の場合がある（漁業者談）
- ・波浪は、養殖施設の配置・必要強度の規定因子

湾奥部の生態系への寄与

- ・藻場の生態系維持に波浪の攪乱が重要（川俣 2001, Gaylord et al. 2013）

沖合波浪の影響

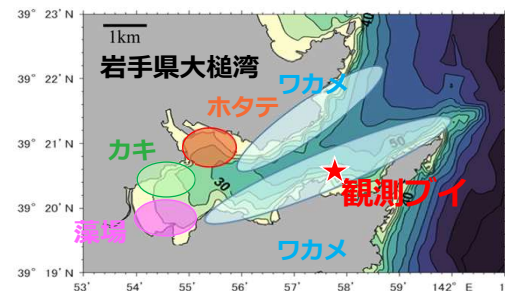
- ・沖合からのうねりの出現頻度が高く、影響が強い（河合他 2012）



うねりの

(1) 寄与率
(2) 起源
(3) 起源の規定要因

は不明



3

背景：うねり性波浪とは



風波 (風浪)

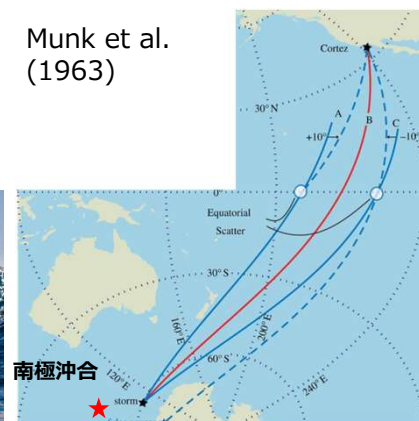
風による発達過程
周期：数秒

うねり

風域を離れて減衰過程
周期：7秒—30秒



Munk et al.
(1963)



アメリカ西海岸で見られる巨大なうねり(Big Wednesday)の起源は
15,000 km 離れた南極沖合の暴風圏 (Munk et al. 1963)

4

疑問

大槌湾へは、南大洋の暴風圏からうねりは来ないのか？

5

目的と方法

目的 三陸内湾域の波浪の実態解明、特にうねりの寄与と
うねりの起源の解明



方法 大槌湾内で係留ブイによる風と波浪エネルギー
の2次元スペクトルの同時観測

6

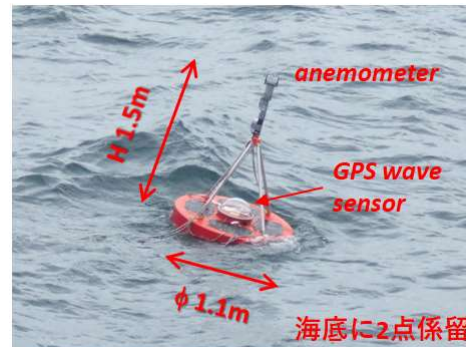
係留ブイによる大槌湾内の風・波浪のモニタリング

風

- ・ 2軸超音波風速計 (Young Co. Ltd.)
- ・ 0.5秒間隔で毎時10分間計測
- ・ ブイ動揺の影響は磁気方位計で補正
- ・ 10分間の平均値を使用

波浪

- ・ GPS波浪計 (ゼニライトブイ (株))
- ・ ブイの3次元変位から波高・波周期・波向を計測
- ・ 単独測位方式 (JAXA 他特許)
ハイパスフィルタでGPS誤差除去
→ **低コスト (500万円)**
- ・ 精度: 有義波高~10 cm
有義周期~0.5秒
有機波向~5度
- ・ 0.4秒間隔で毎時20分間計測
- ・ 20分間の波浪エネルギー**2次元スペクトル**
(周波数・波向成分)を計測

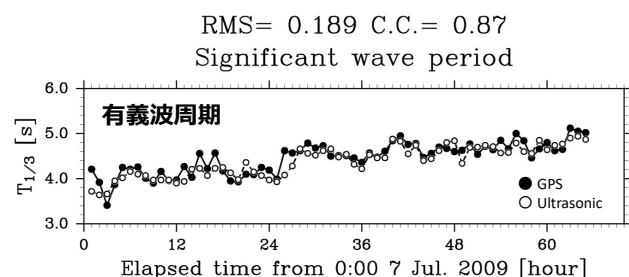
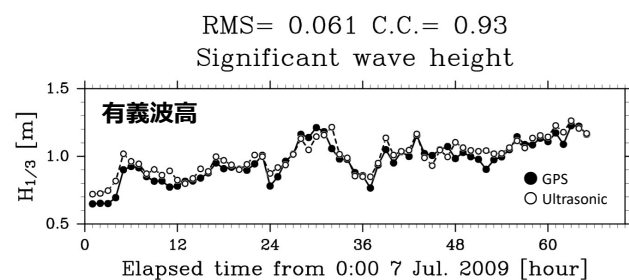


運用

- ・ 2012年10月~2017年6月 (4年8か月)
- ・ 岩手県大槌湾内に係留 (アンカー2点)
- ・ 半年に1回、メンテナンス
- ・ WEBでリアルタイムに情報公開
→ 地元の漁業者が**出漁判断に利用**

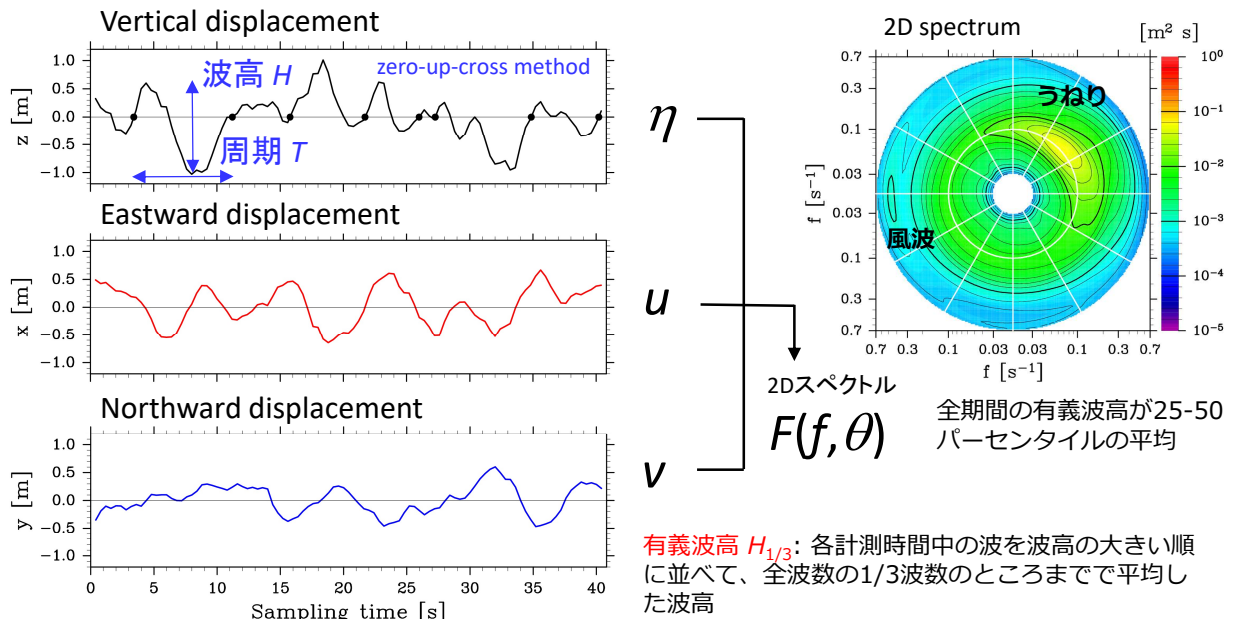
7

GPS波高計の精度検証(超音波波高計との比較)



8

GPSの3D変位の例 (2016/9/13/10時付近)



9

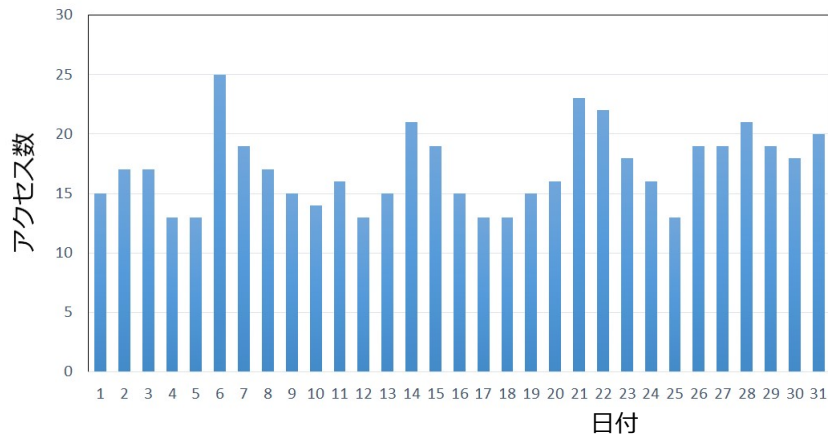
風・波浪データのリアルタイム配信

<http://lmr.aori.u-tokyo.ac.jp/feog/kosei/ootuchi/>


10

1日当たり10-20件のアクセス

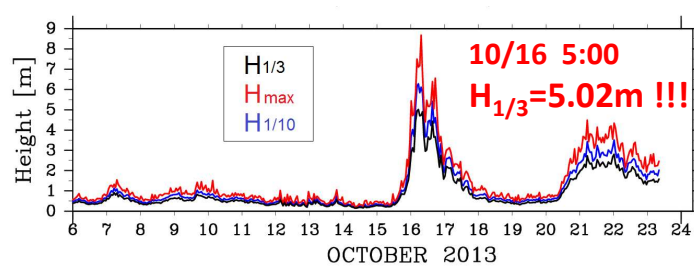
2017年5月のページへの日別アクセス数



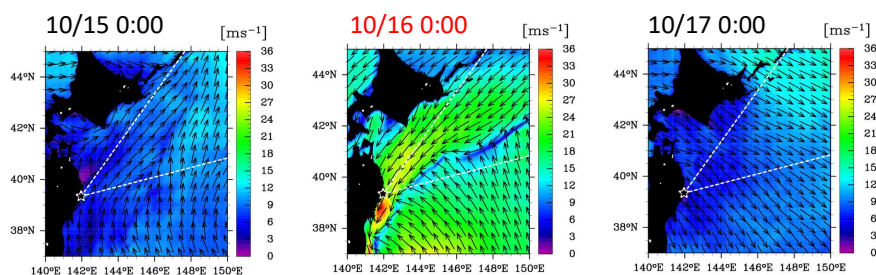
- ・ 漁業者に好評、波高より**波周期**に注目（短周期だと作業に支障）
- ・ データ利用の申請は5機関（岩手県港沿岸広域振興局等）

11

台風直撃時も正常に作動（2013年10月）

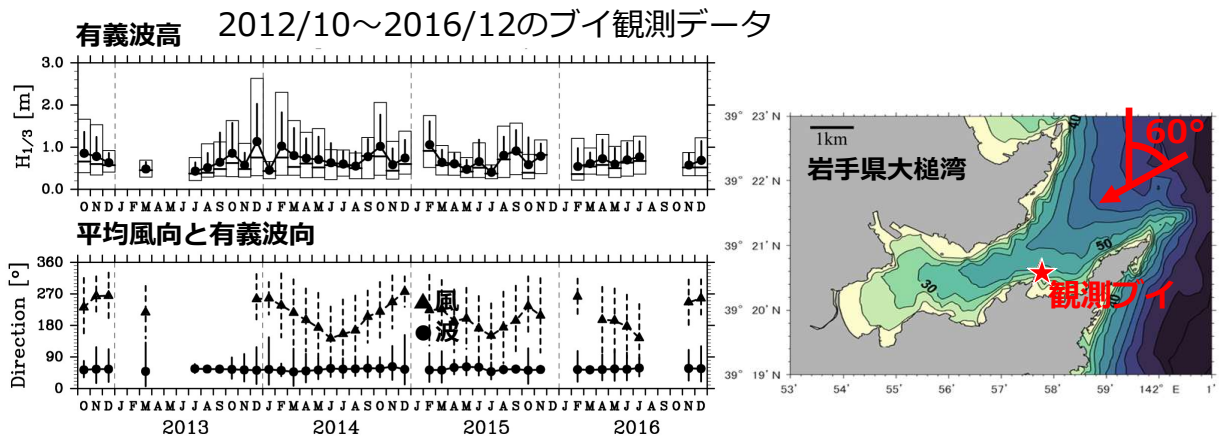


海上風速 (GPV-MSMS/JMA)



12

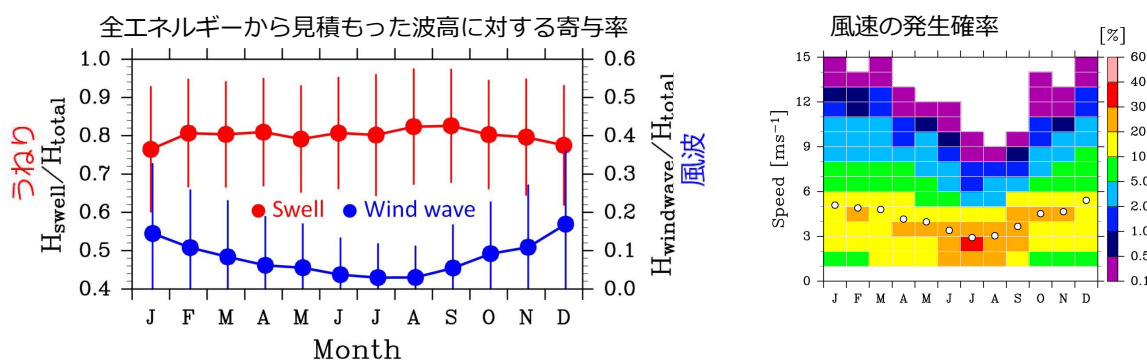
結果 1：大槌湾内の風と波浪の月ごとの変動



- 月平均の有義波高は冬季に高く夏季に低いが、季節変動より月内変動の方が大きい
- 平均風向と有義波の波向は一致しない。有義波は**60度**方向 (**北東**) からが主体、しかも、**季節によらない**
- ➔ 湾内波浪は、湾内の風で発達した風波ではなく、沖合からの**うねり**が**支配的**であることを示唆

13

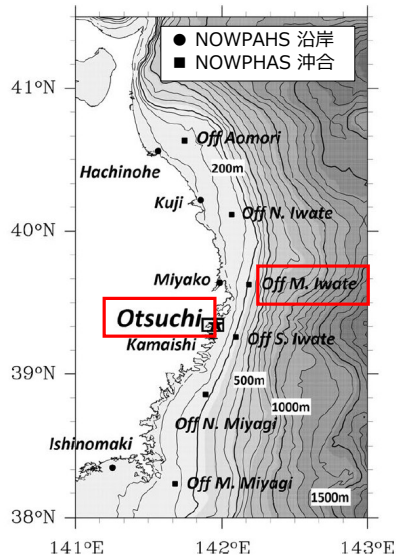
結果 2：大槌湾内のうねりと風波の寄与 (2012.10-2016.12)



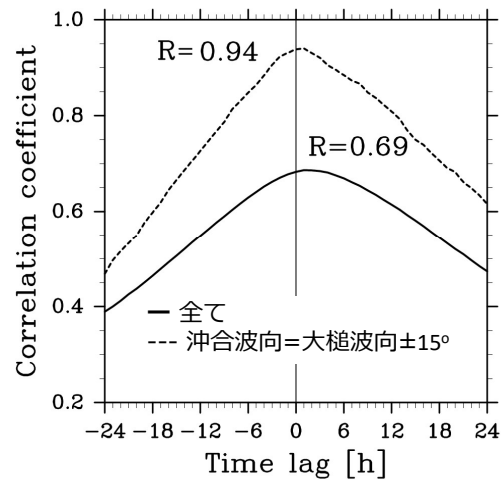
- ブイの2次元スペクトルと風のデータから、Portilla et al. (2009) の方法で、2次元スペクトルに占める**うねり** (第1モード) と**風波** (風向に沿った高周波側のモード) の寄与を計算
- うねりの寄与は80%
- 風波の寄与は、冬季は20%、夏季は5%。風波の寄与の変動は、湾内風速の季節変化が要因
- うねりの変動要因は？

14

大槌湾内波浪と沖合波浪の比較



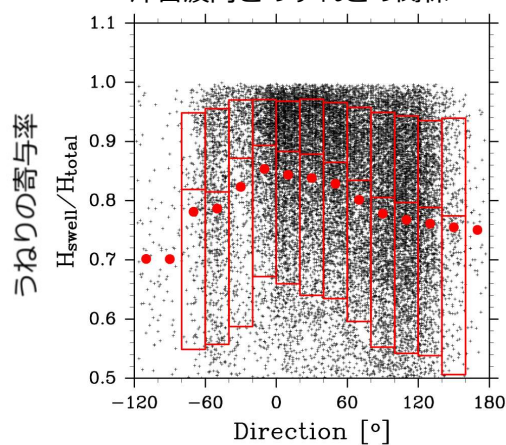
岩手中部沖波高 vs. 大槌湾内波高



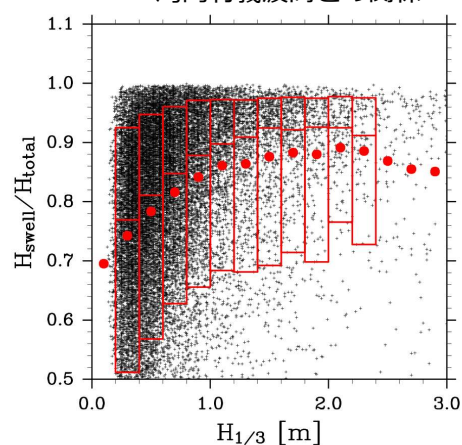
15

大槌湾内のうねりの寄与の変化

沖合波向とのずれとの関係



湾内有義波高との関係

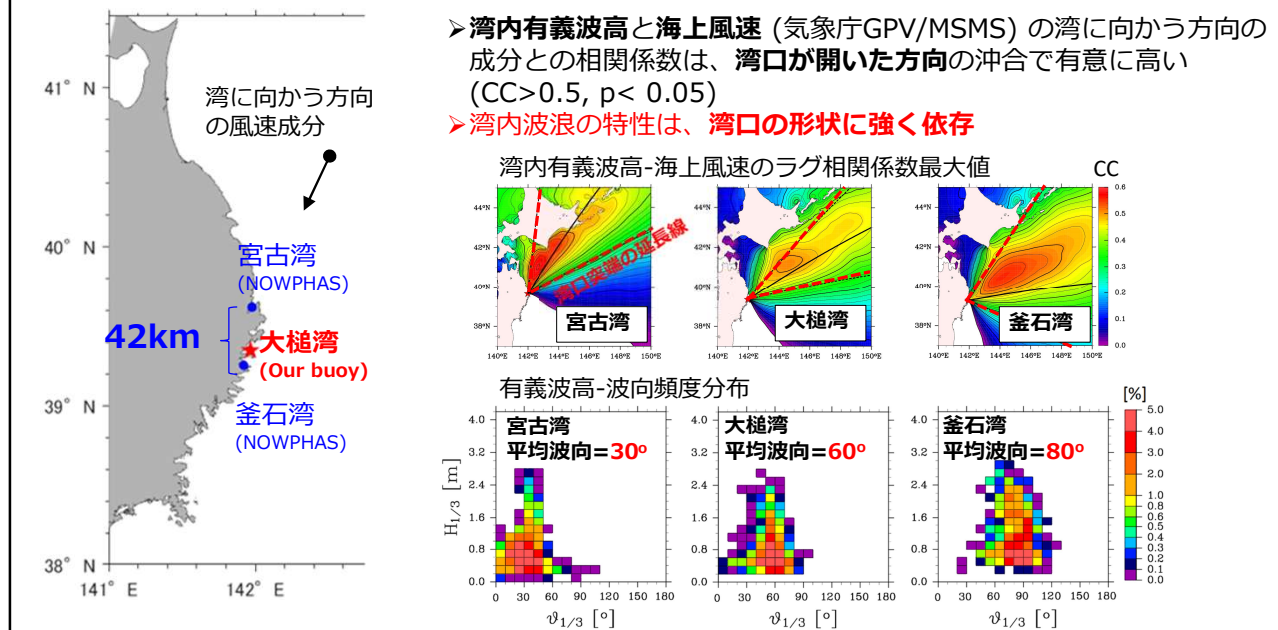


- 湾内のうねりの波向と沖合波向が等しいとき、うねりの寄与が最大
- 湾内の有義波高が高いほど、うねりの寄与が高い

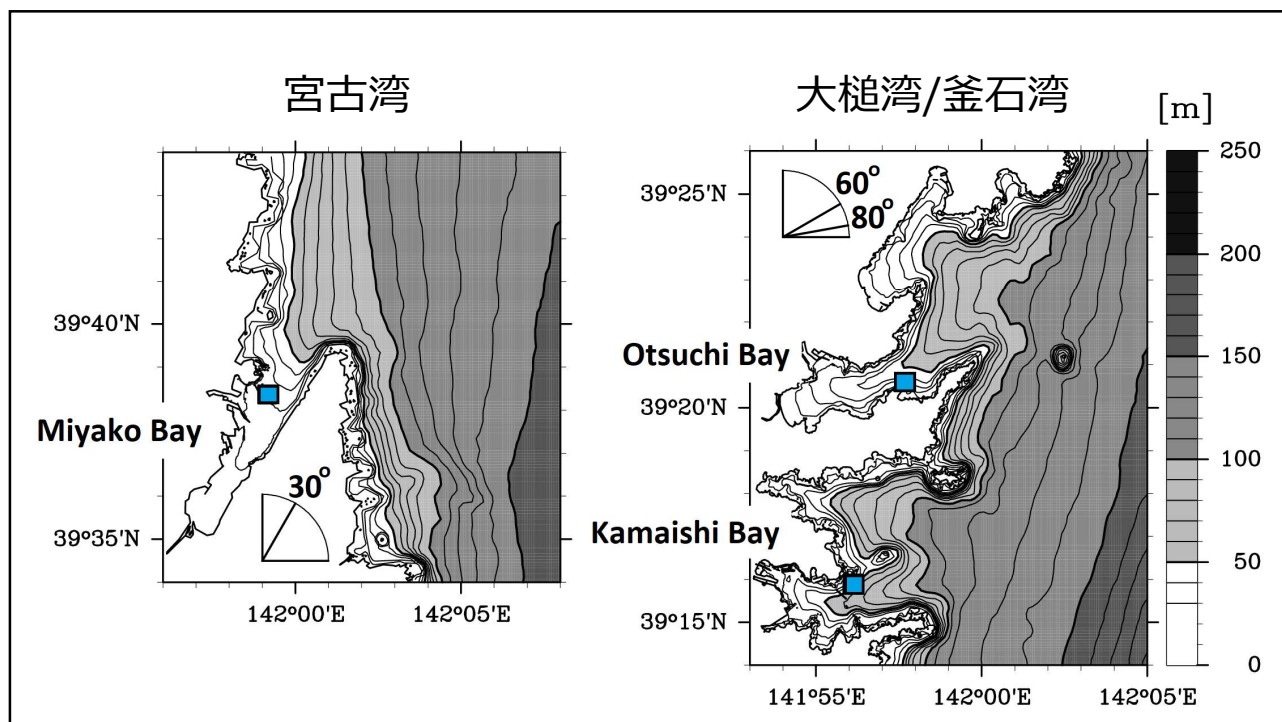
→ 沖合の波向が60°で高波高の時、うねりの寄与が大きい

16

結果 3：三陸の湾内波浪と沖合海上風との関係

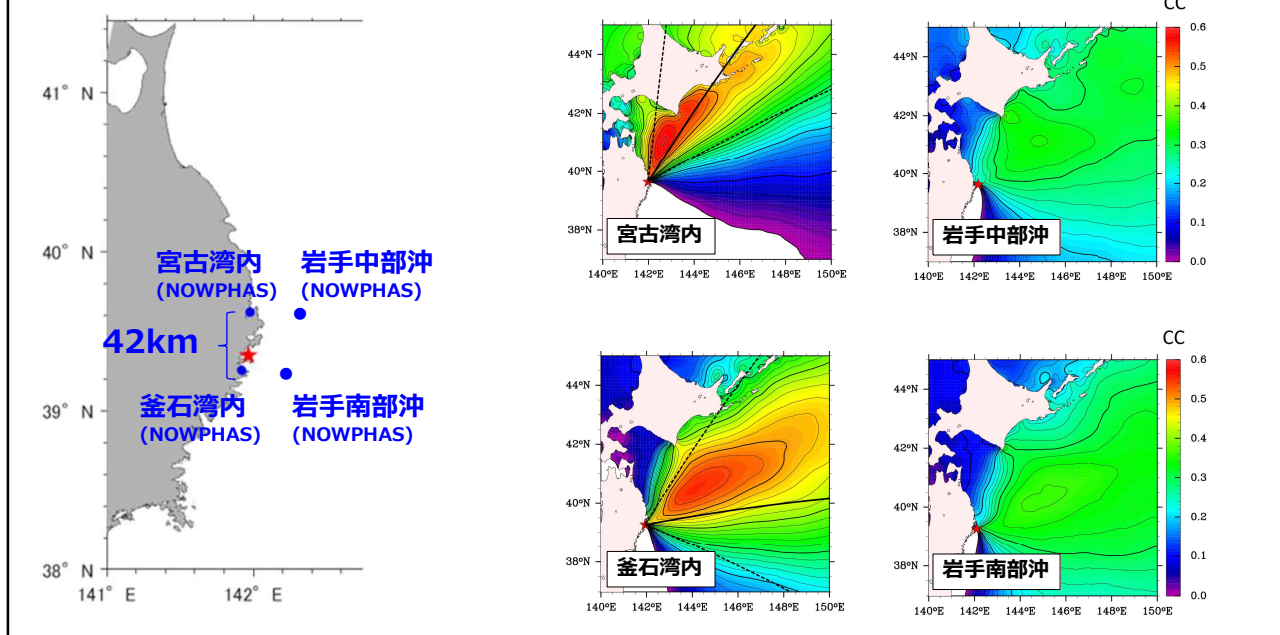


17



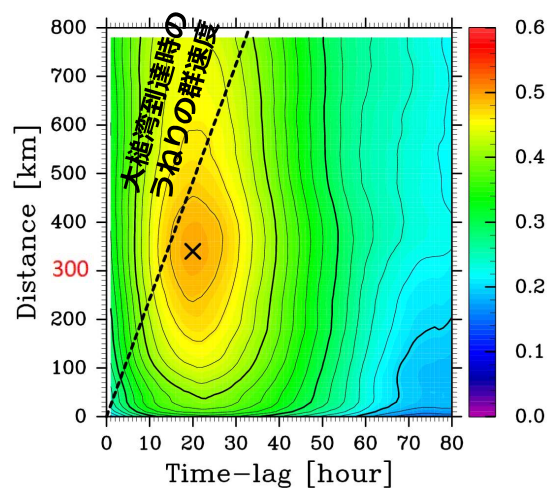
18

最大相関係数：有義波高 vs. 海上風速



19

相関係数の時間ラグと大槌湾からの距離との関係



- 相関係数の最大値は、大槌湾から **340km** に位置
- 時間ラグ内にうねりが十分に到達可能な距離
- うねりを発生させる風域の中心が、大槌湾から **数百 km 北東沖合**にあることを示唆

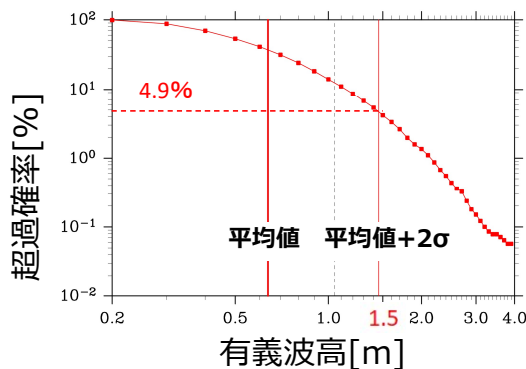
20

議論：なぜ、うねりの起源が北東沖合数百kmか？

うねりの起源の規定要因

1. 風からのエネルギー入力：湾に向かう方向の風速
2. 伝播過程の減衰：湾までの距離 (Young et al. 2002)

大槌湾内で観測した有義波高の超過確率



極端に大きい波高 = **1.5 m**、
超過確率 = **4.9%**

単純化した思考実験：

起源 = 沖合において **4.9%** の
確率で出現する風速

↓ (Pierson & Moskowitz 1964)

風波

↓

うねり

↓
伝播の過程で減衰

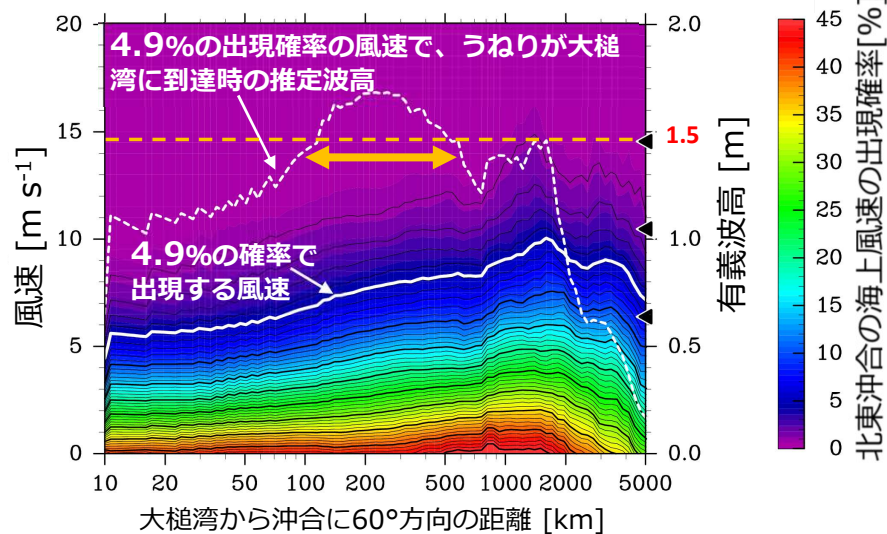
↓ (Young et al. 2013)

大槌湾に到達した時に、有
義波高が **1.5 m** を超える

21

議論：なぜ、うねりの起源が北東沖合数百kmか？

大槌湾の北東沖合の海上風速の出現確率 (GPV-MSMS)



風速分布 + うねりの減衰効果 → 起源：100-500 km が妥当

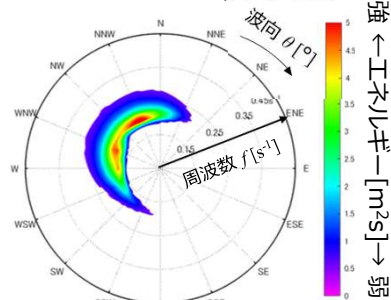
22

数値実験：うねりの起源海域の妥当性の検討 (藤井修論)

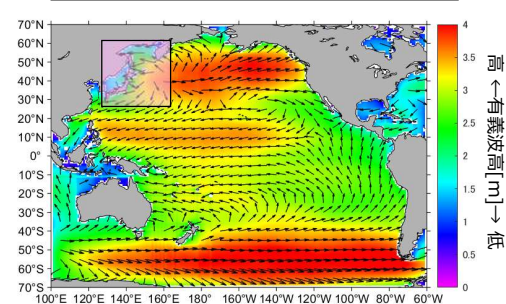
第3世代波浪予測モデル (応力研モデル) によるHINDCAST (2012年1月-12月)

- 対象海域：太平洋 ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) + 日本近海 ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$), one-way nesting
- 海上風：太平洋 (気象庁長期再解析値 JRA55) + 日本近海 (気象庁GPV/MSM-S)
- 地形：etopo-1
- 風入力：Snyder et al. (1981), 砕波散逸: Komen et al. (1984),
非線形相互作用：Komatsu and Masuda (1996)

2次元スペクトル $F(f, \theta)$ の例



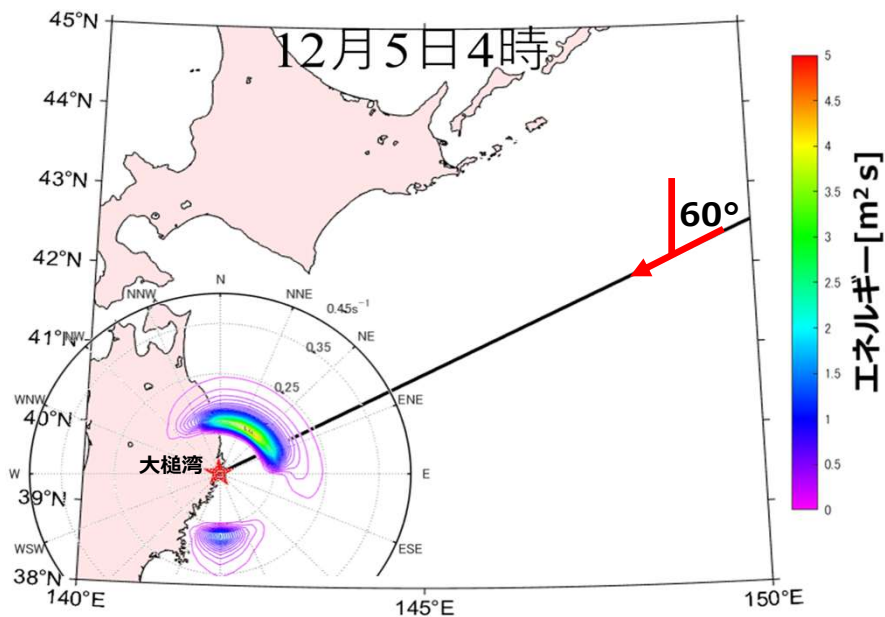
モデルの有義波高・波向の冬季平均値



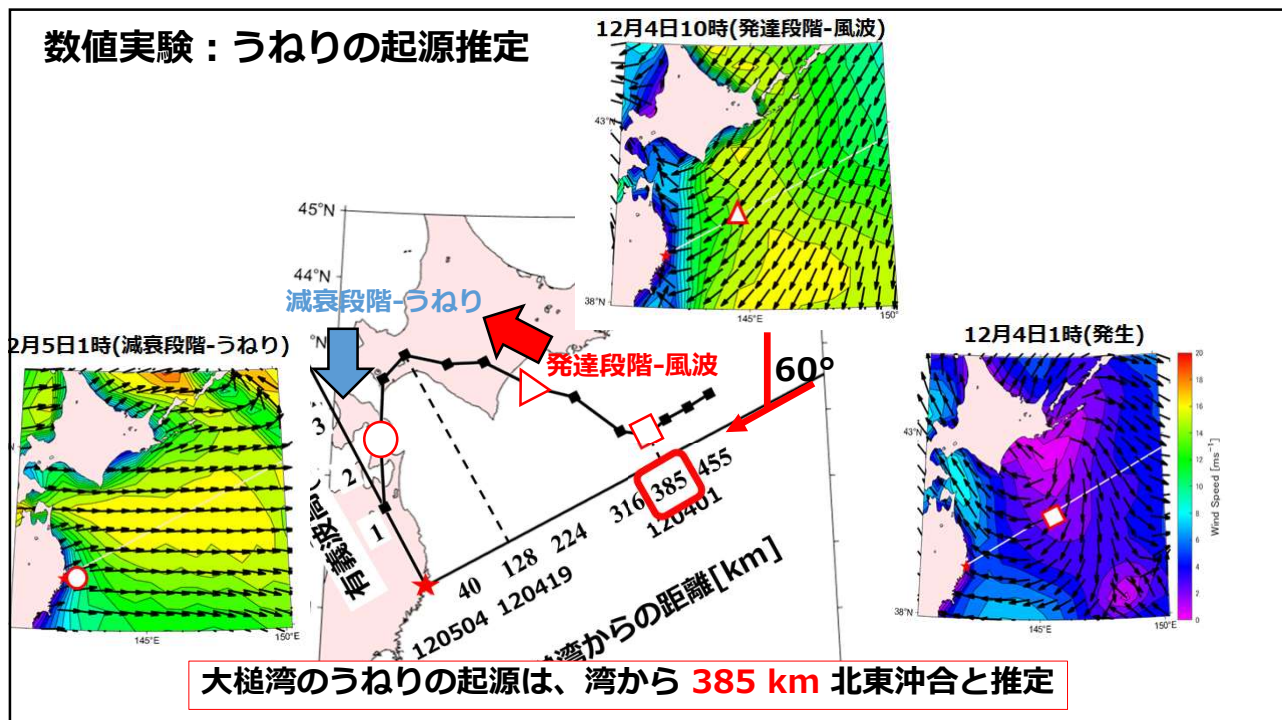
23

数値実験：2次元スペクトルの逆追跡

2012年12月5日4時 → 12月3日19時



24



25

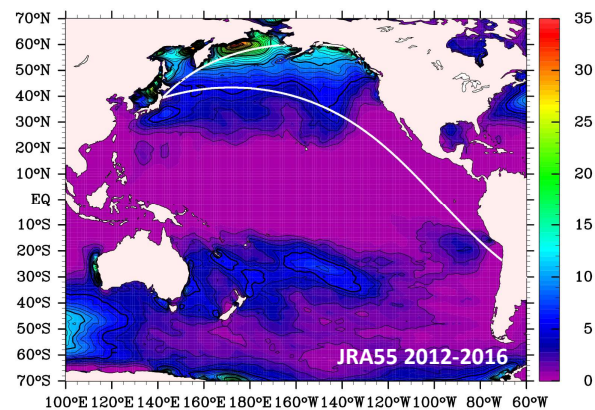
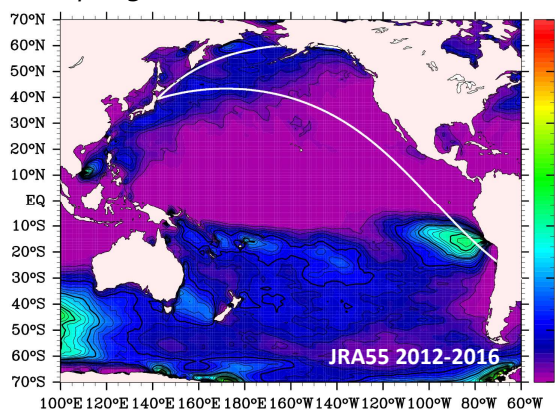
最初の疑問への解答

大槌湾へは、南大洋の暴風圏からうねりは来ない。

風速 $> 10 \text{ m s}^{-1}$ の出現確率 (大槌湾に向かう大圏航路に沿った風速成分)

Spring & Summer

Autumn & Winter



26

まとめ

- 沿岸域で、風と波浪2次元スペクトルを同時観測可能な低コストのリアルタイムモニタリングシステムを確立した
 - 大槌湾では、うねりが波浪全エネルギーの**7割**を占める
 - 三陸内湾域の波浪の変動に影響する沖合の風域は、**湾口が開いた方向**の沖合、西部北太平洋
 - 残された課題
 1. 湾内波浪モデルの構築（観測の代替、**湾ごと**に必要）
 2. 湾内波浪のインパクト
- * ブイ観測の詳細：Komatsu and Tanaka (JO2017)

自律型海洋観測装置（AOV）を用いた 日本周辺の海況モニタリングの現状

海上保安庁海洋情報部沿岸調査課 伊能 康平 /
杉山伸二 / 金 敬洋 / 野澤 理香 / 土屋 主税

令和2年12月

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@九州大学応用力学研究所

1/17

本日の発表内容



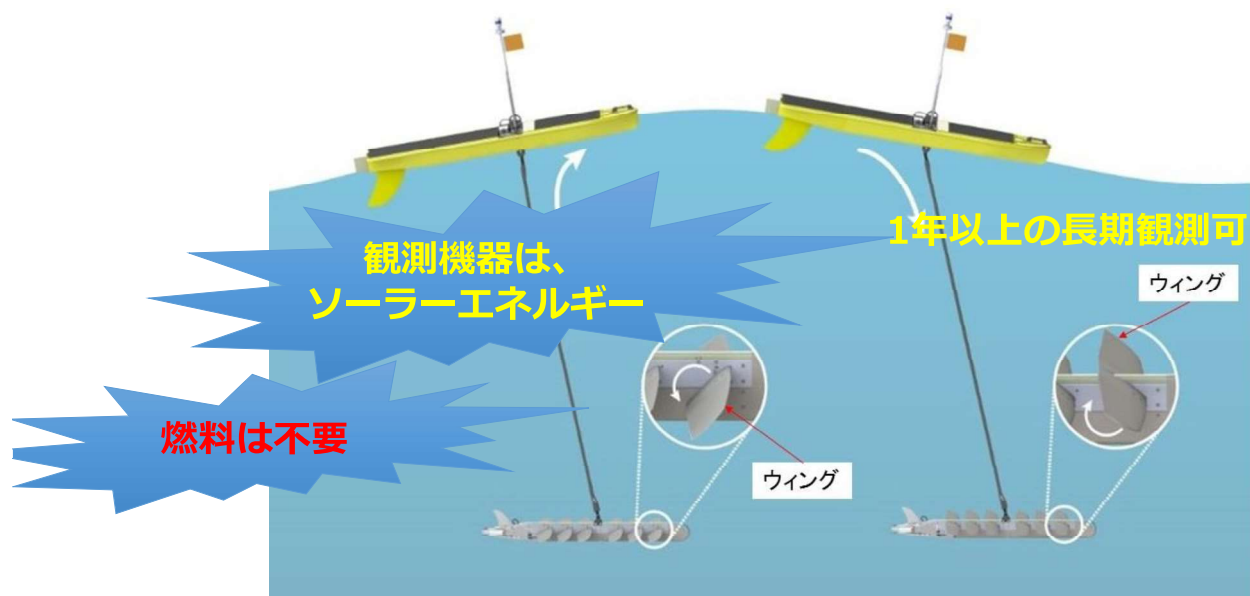
1. AOV観測の概要
2. 海象観測の事例
3. 運用上の課題

2/17

自律型海洋観測装置（AOV）とは

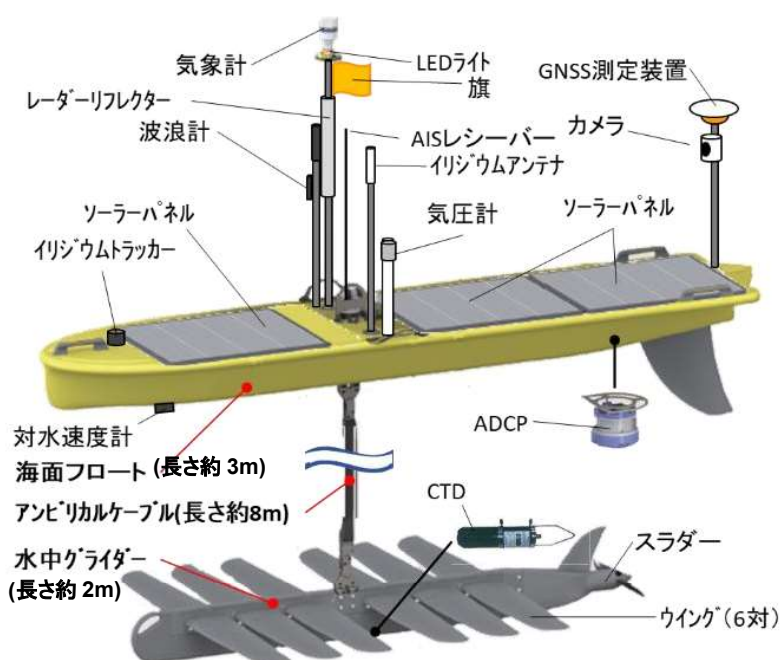
AOV（Autonomous Ocean Vehicle）とは、自律航行により、長期間海象を観測する機器

- 波の上下動をグライダー部のウイングで推進力に変える
- イリジウム衛星通信を通じて、陸上からインターネット経由で操作



3/17

AOVの搭載機器と観測項目



観測項目

- 気温
- 風速・風向
- 気圧
- 流速・流向
- 有義波高・周期
- 水温
- 塩分
- 潮位

その他搭載機器

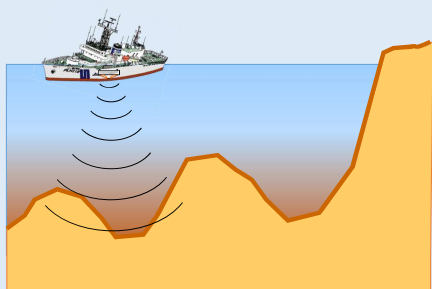
- GNSS受信機
- 対水速度計
- AISレシーバー
- LEDライト
- レーダーリフレクター
- イリジウムトラッカー etc

4/17

AOVのメリット

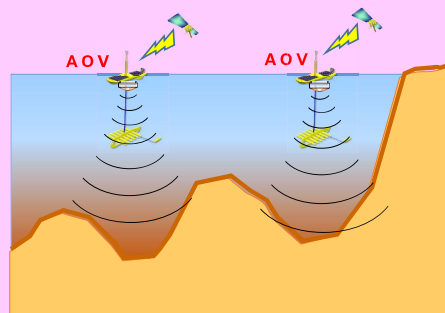
測量船

- + 広いエリアの観測
- + 直接観測
- 人件費、燃料費、
- 限られた観測期間



AOV

- + 広いエリアの観測
- + 直接観測
- + リモートでの操作
- + 低コスト
- + 長期連続観測

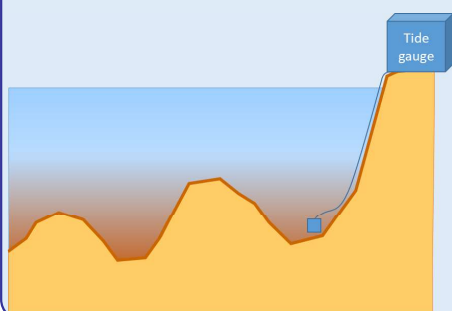


5/17

AOVのメリット

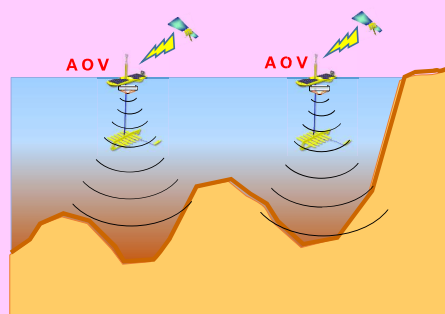
簡易驗潮器

- + 長期連続観測
- 離島などの断崖絶壁には設置不可
- 台風時などには作業員による事前の撤去



AOV

- + 長期連続観測
- + 航行できる水深が確保できていれば、どこでも観測可能
- + 台風時などには遠隔操作で回避可能



6/17

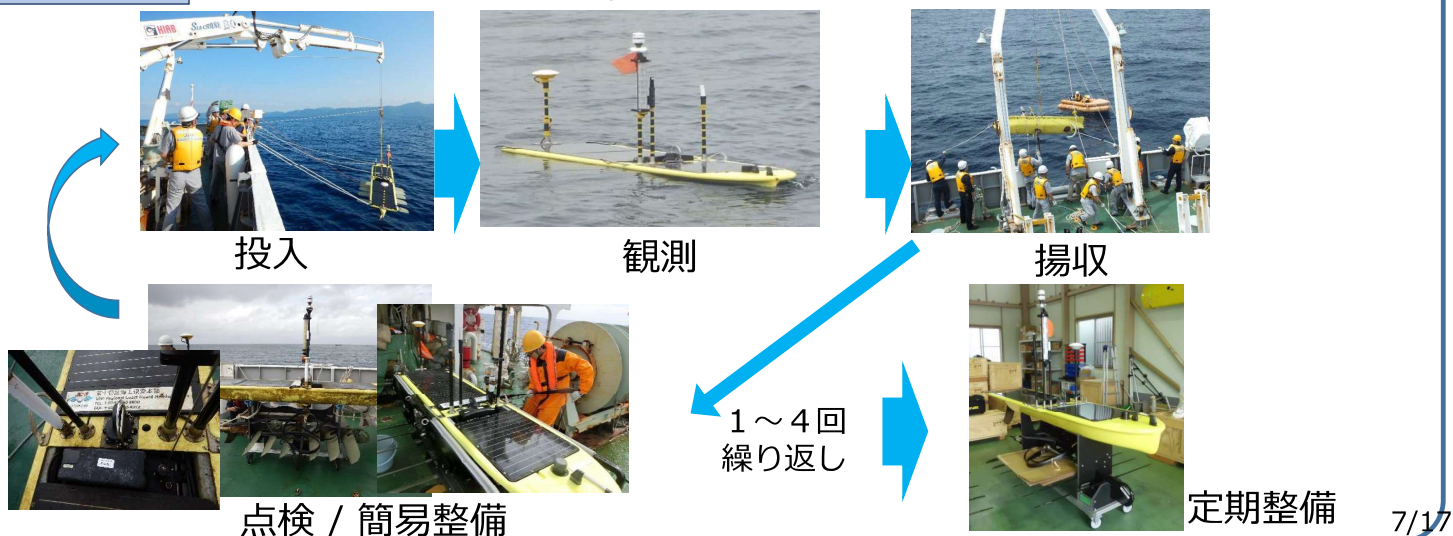
観測の概要

海上保安庁では2016年からAOVの運用を開始。現時点で20基のAOVを運用

- 目的**
1. 長期連続的な海象データの取得、提供
 2. 精密な最低水面の決定

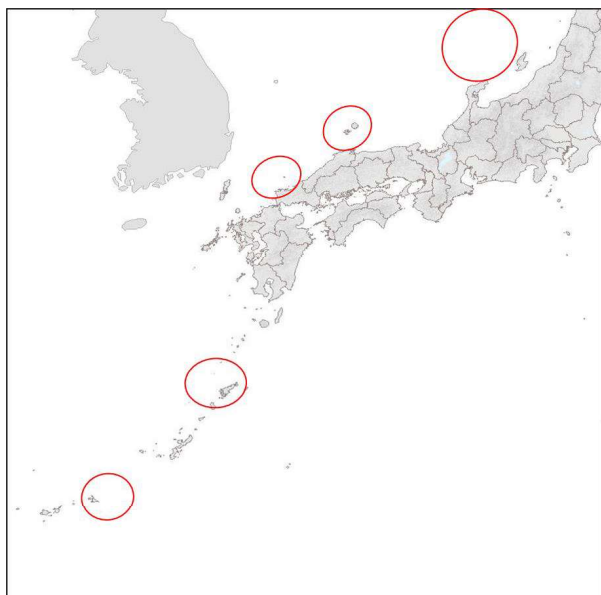
観測の流れ

約3か月

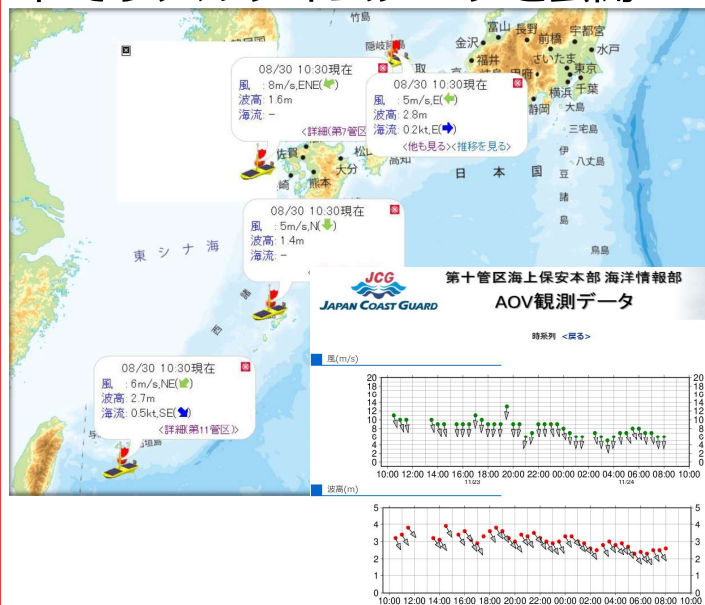


海象観測の活用例：リアルタイムデータの公開

2020年度は以下の5海域で観測

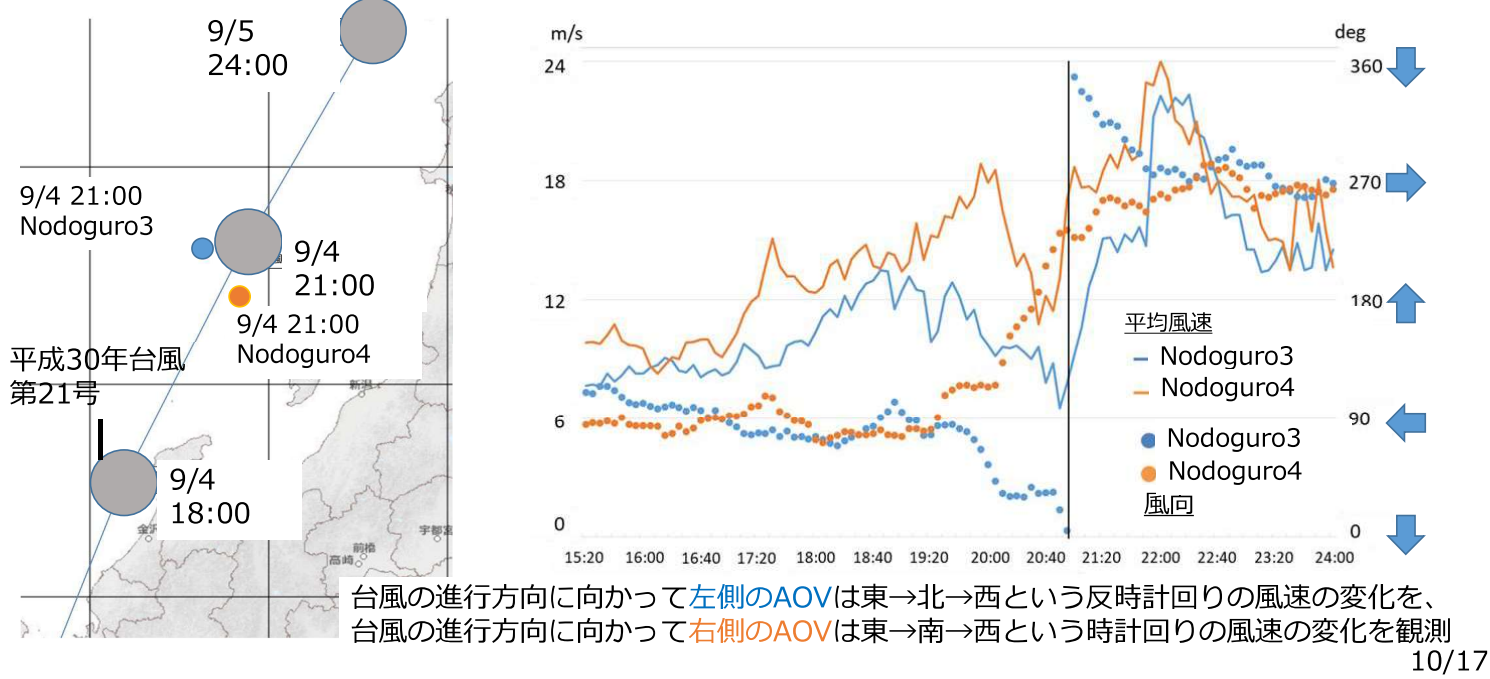


各管区海上保安本部のウェブサイト
でリアルタイムデータを公開

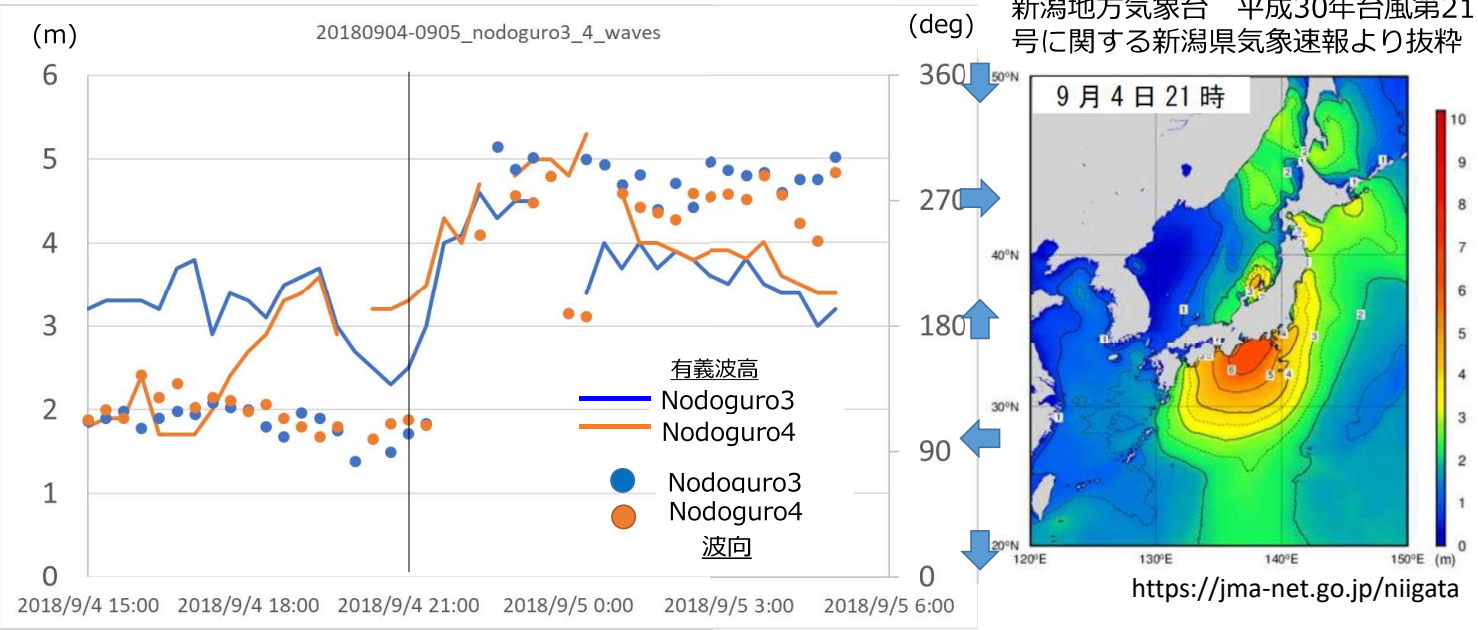


観測例：平成30年台風第21号

2018年9月4日、佐渡沖で2基のAOVが同時に台風を観測した事例
台風は2基のAOVの間を通過

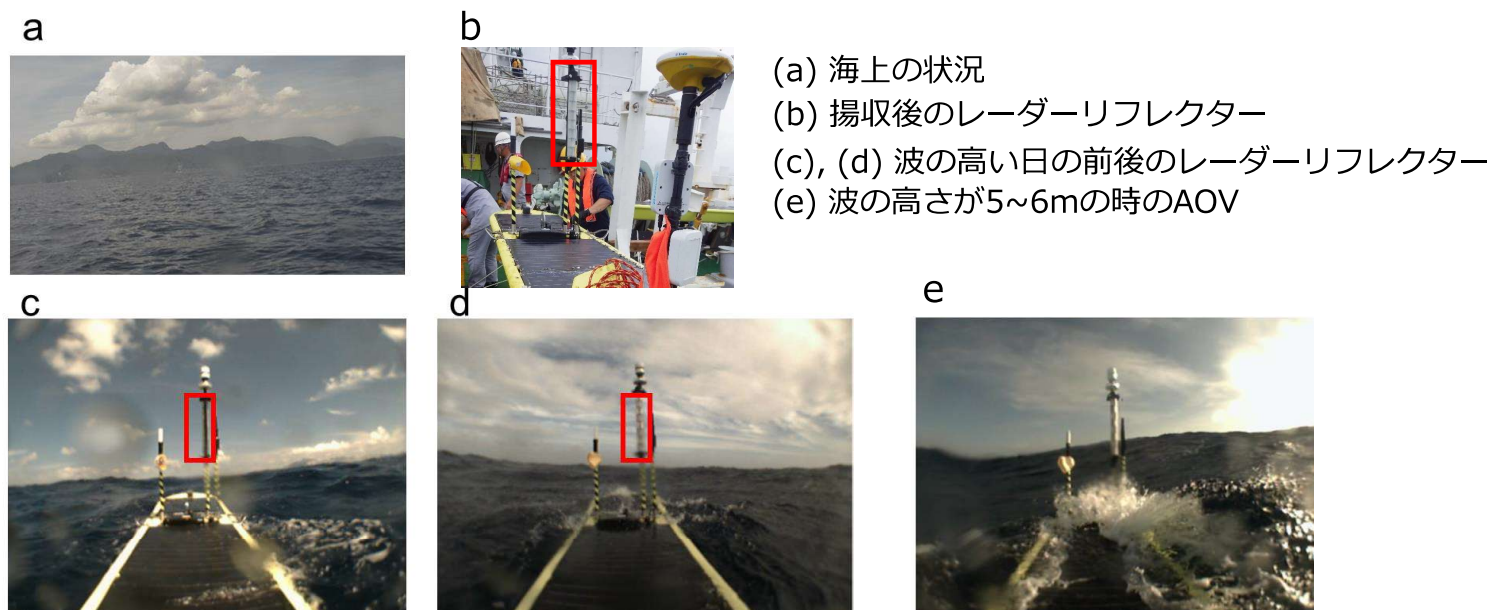


観測例：平成30年台風第21号



- ピーク時の有義波高は4~5 m程度
- 波向はおおむね風向きと一致

2018年からAOVの船体中央部と船尾マストに装着可能なカメラを導入

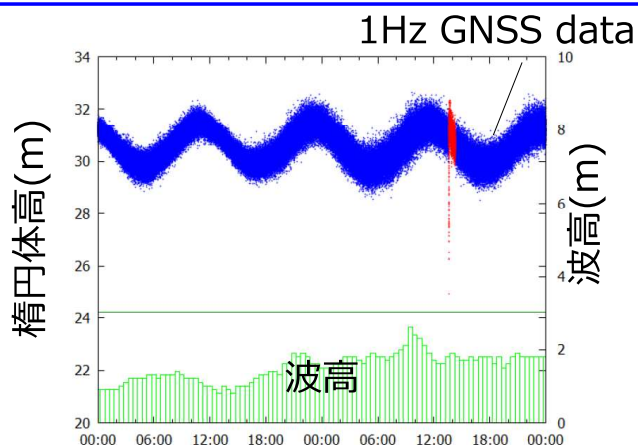
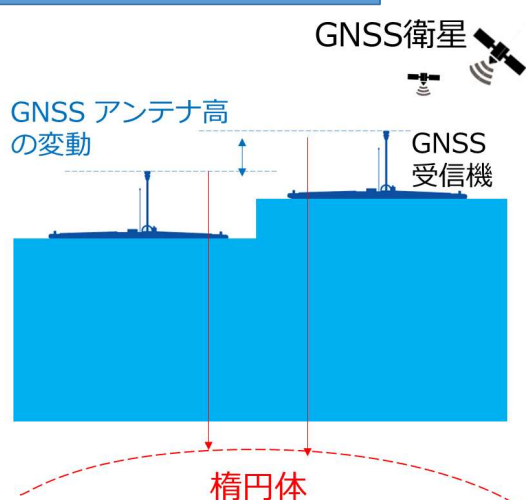


海上の状況やAOVの状況の把握に有効

12/17

- 国連海洋法条約第5条(通常の高潮線)『通常の高潮線は、沿岸国が公認する大縮尺海図に記載されている海岸の低潮線とする』(抄) ※低潮線：海面が最も低い時の陸地と水面の境界線
- 最低水面を決定するために、潮位の解析が必要
- 精密な最低水面を算出するために、1つの海域につき1年以上AOVを運用

潮位解析の概要



天文最低低潮面の算出

13/17

運用上の課題：電力不足

観測機器等の電源のバッテリーは太陽光エネルギーにより充電
曇天がつづく、AOVは電力不足となる。
特に、日照量の少ない冬季の日本海側で顕著



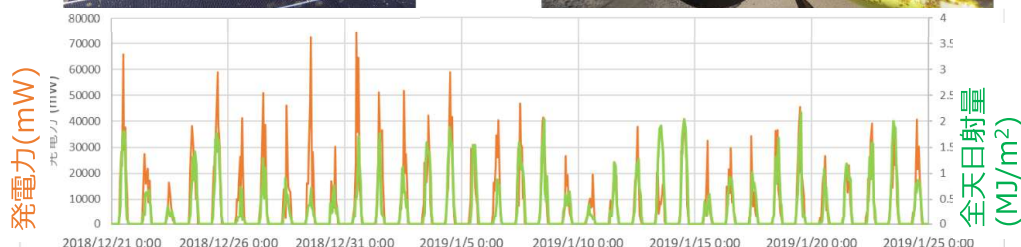
14/17

運用上の課題：電力不足

観測中は生物がAOVに付着



特に、海苔やスライムがソーラーパネルに付着すると
発電効率に影響

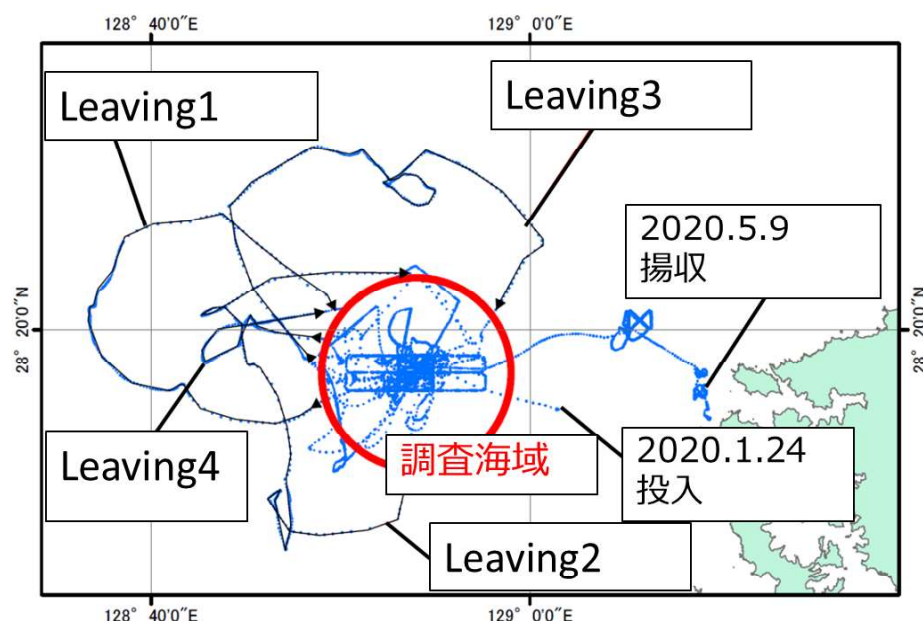


電力不足対策

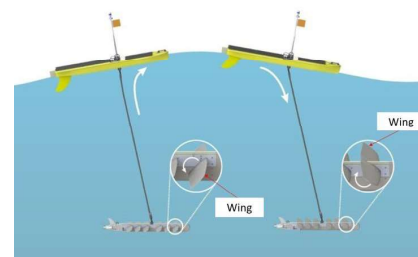
- 予備バッテリーの追加
- 機器間の通信をより消費電力の少ないものに変更
- 消費電力の少ない観測機器の導入

15/17

調査海域の流速がAOVの航行速度より速い場合、AOVは流される
特に、波が低い場合に流されやすくなる



AOVは波で前進



Leaving1	2020.1.25-27
Leaving2	2020.3.17-19
Leaving3	2020.3.23-26
Leaving4	2020.4.27-28

対策を検討中

・スラスターの強化?

16/17

本日のまとめ

- 海上保安庁では海象観測と精密な最低水面の決定のために、2016年からAOVを運用
- 様々な海象データを長期連続的に取得、公開
- 電力不足等様々な運用上の課題にも対応中
- AOVに関する質問はこちらまで
kan00-AOV@jodc.go.jp

17/17

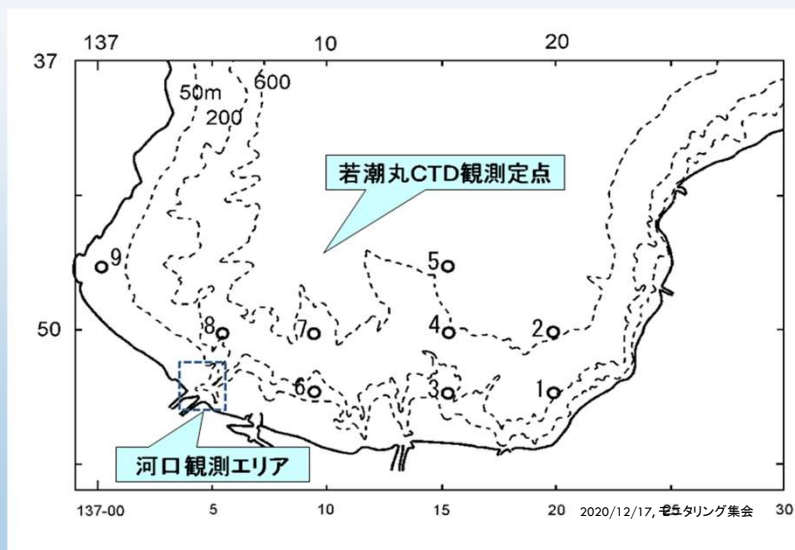
富山湾における環境モニタリング

○福留研一, 金山恵美(富山高専), 原田恭行(NPEC)

2020/12/17, モニタリング集会

1

2019年度 富山湾環境調査



2

2019年度 富山湾環境調査

期間	観測内容	観測海域
05/27(春季)	CTD/PRR	富山湾奥全域
08/21(夏季)	CTD/PRR	富山湾奥全域
10/31(秋季)	CTD/PRR	富山湾奥全域
01/17(冬季)	CTD/PRR	富山湾奥全域

* 2004年～(2016年度より年4回に)

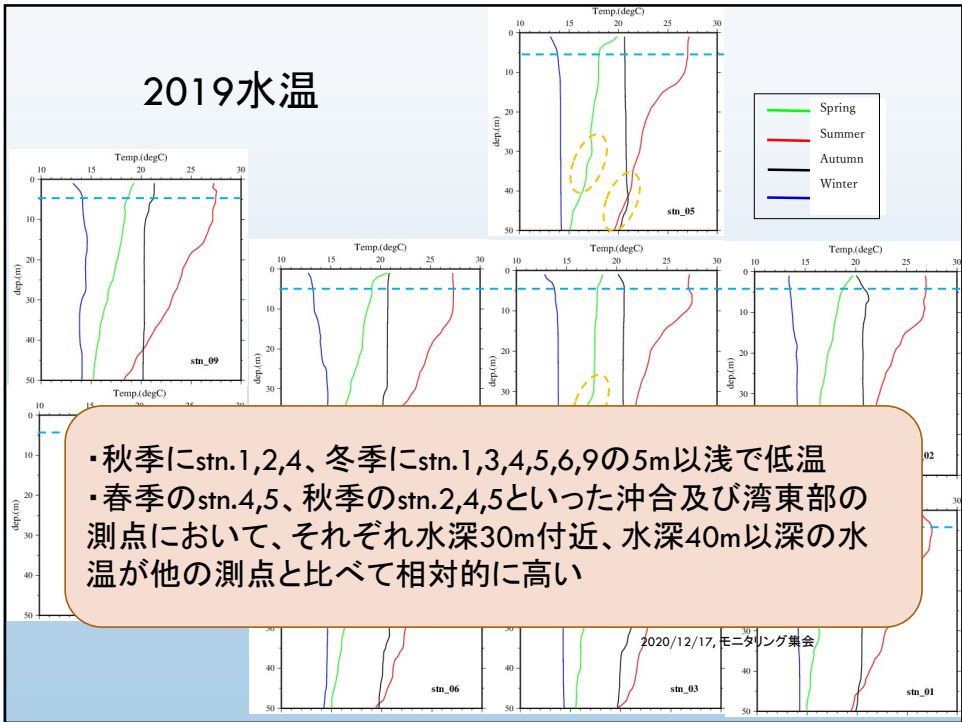
沿岸域:

- ・陸上の降水がいろいろな物質を溶かして海に注ぎ込む最初の場所
- ・拡散, 混合, 輸送, 体積など様々な物質輸送現象が起きている
- ・(複雑な地形や水深の変化が船の行動を制限)
- ・(海流、潮流、気象変化の影響も大きい)

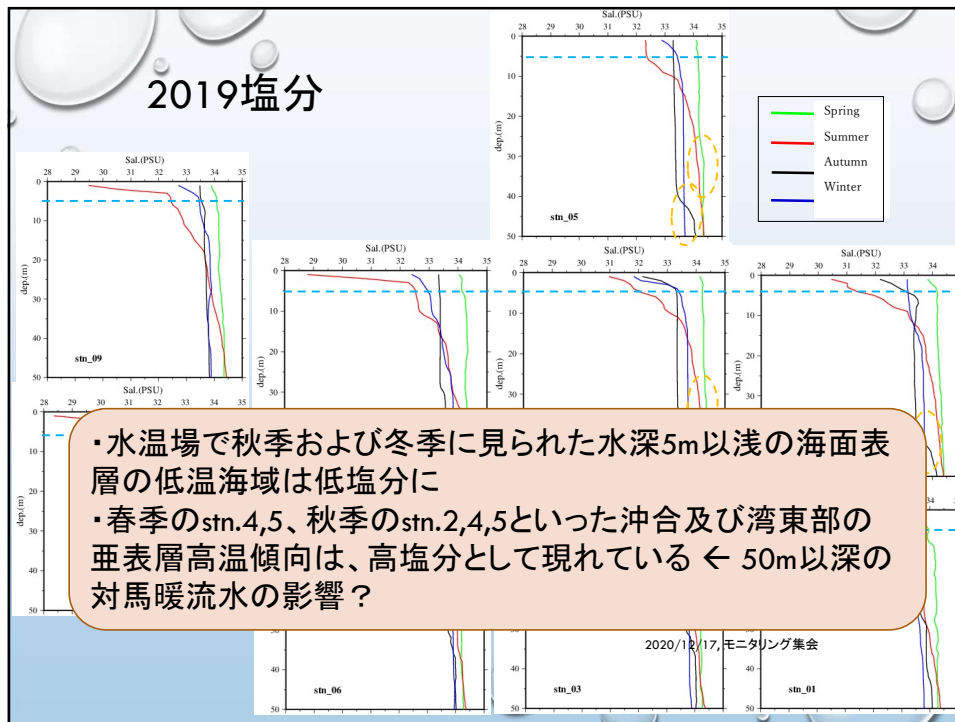
2020/12/17, モニタリング集会

3

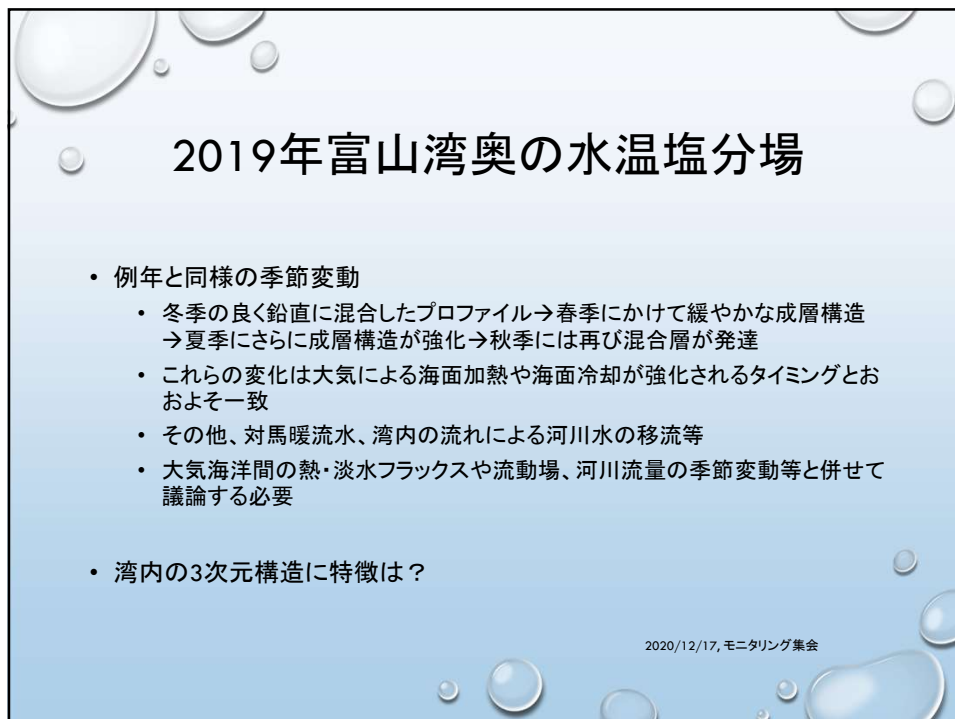
2019水温



4

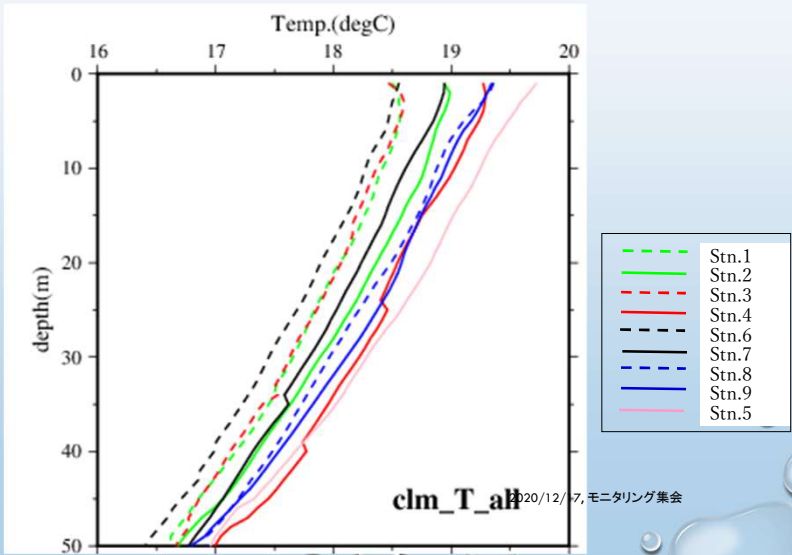


5



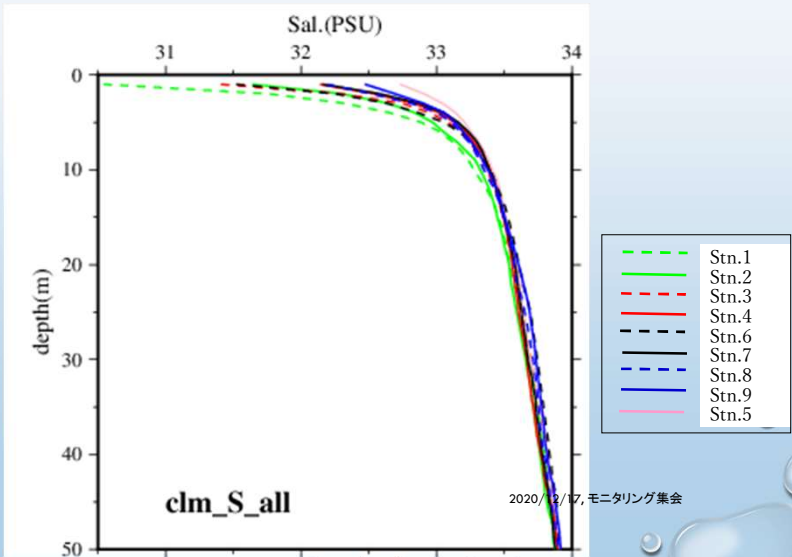
6

水温・塩分気候値

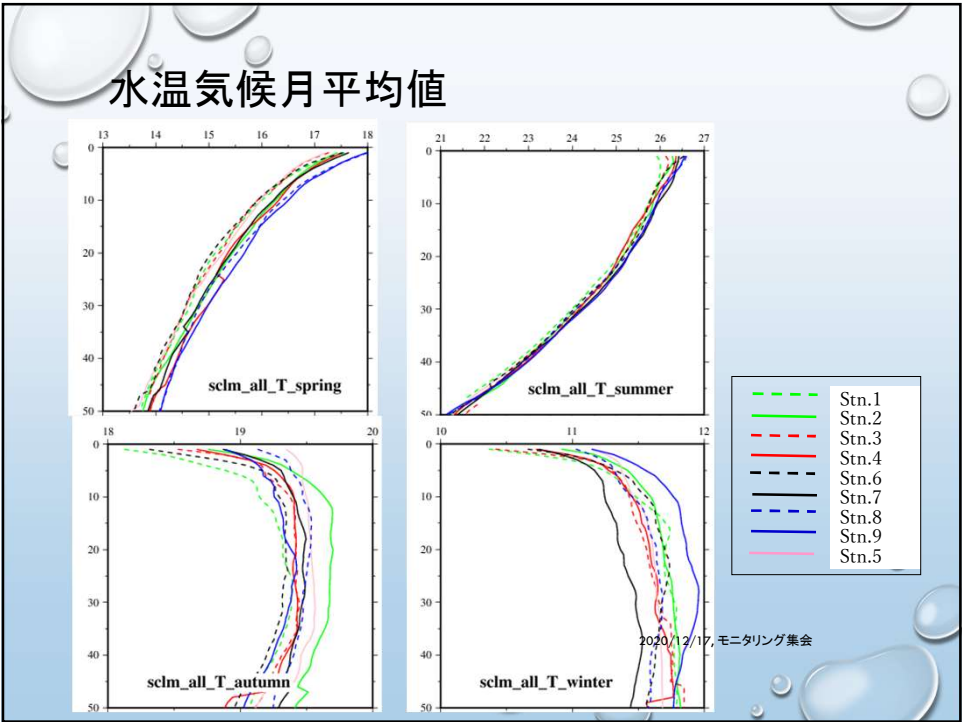


7

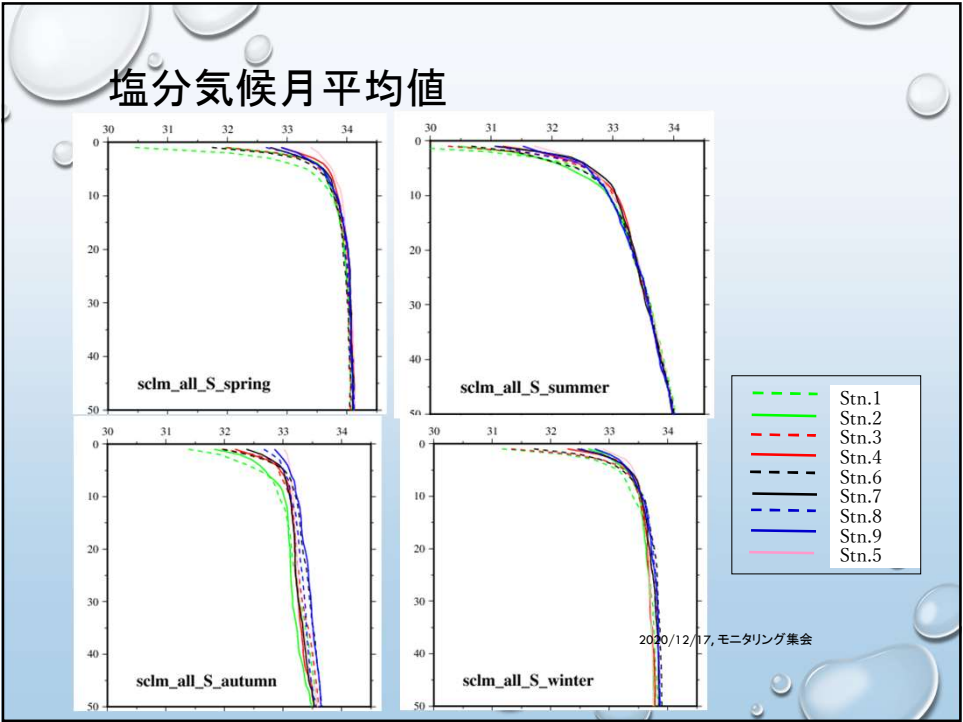
水温・塩分気候値



8



9



10

2019年まとめ

- 水深10M以浅での温度成層の弱化和塩分成層の強化は富山湾奥の東部(STN.1,STN.2)で顕著
- であり、湾西部の小矢部・庄川河口沖(STN.8)氷見沿岸(STN.9)ではむしろ、沖合の水塊構造との類似性が高い？
- 春季のSTN.4,5、秋季のSTN.2,4,5といった沖合及び湾東部の測点において、それぞれ水深30M付近、水深40M以深の水温が他の測点と比べて相対的に高い

2020/12/17, モニタリング集会

11

問題

- 気候値においても河川水の影響が湾表層10m程度まで広範囲の海域に現れることや、湾の東部と西部でその現れ方に差がある
- 春季や秋季は3次元的に複雑な構造
- 上層から河川水、下層から対馬暖流水？

一般的に

- 水温フロント等は衛星画像によってとらえることが可能
- 沿岸水は岸に沿って流れる傾向
- 沿岸水の流れる方向は北半球では岸を右に見る向きが多い（花輪，1984；大島，1986）

→ 富山湾でも同様？

- 経験的にはそういわれている
- 陸棚狭い（氷見沖で7km，湾東側は1kmとか）
- 物理過程は？

2020/12/17, モニタリング集会

12

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

海洋現象についての知見は近年飛躍的に増えている。これには観測技術、計算機パフォーマンス、数値計算技術の発展の貢献が大きい。しかし、海洋現象についての力学理論の進歩はその知見の増大に追いついていない。微細現象から惑星規模に至る海洋現象は、それぞれが独立の過程に見えながら相互に干渉する場合も多い。したがって、多角的かつ包括的な海洋力学理論の再構築が必要である。

このような大目標に近づくため、力学理論のみならず観測、データ解析、数値モデル、データ同化など、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る場を提供する。ここにおいては、時間に追われた研究発表ではなく、ブレインストーミングを経て涵養されていく多角的・包括的な情報交換と議論の深化を行う。時間が限られる既存学会に対するアンチテーゼである。

研究集会の概要

2020年12月3日～5日に研究集会を開いた。限られた時間内で行われる学会大会の発表と異なり、特に議論の時間を十分に取った。会の開催形態については、新型コロナウイルスへの対応も考慮し、研究所内でハイブリッド方式で行うこととした。これは、対面方式を基本としながら電子会議によるオンライン参加も可能とするものである。

期間中、後述の11件の講演があり、うち2件はオンライン参加者によるものだった。参加者数は、オンライン参加・部分参加の方を含めて19人だった。

プログラムの当初予定は以下のとおりである。時間どおりに進まなかったため、12月4日の1題を12月5日に変更した。

日時と場所

日程：2020年12月3日（木）～5日（土）

場所：九州大学応用力学研究所（筑紫キャンパス）西棟 6F 601

プログラム

12月3日

- | | |
|--------------|--|
| 14:30 | 開会 |
| 14:35-15:45 | 西野圭佑（京大理）
表層混合層乱流による粒子の凝集・分裂と物質輸送過程に関する数値実験 |
| 15:55-16:35* | 今村春香（京大理）
波解像モデルを用いた波成混合のシミュレーションに向けて |

16:45-17:55 大貫陽平（九大応力研）
変形領域における二次元乱流の統計力学

12月4日

09:30-10:40 吉武珠穂（九大総理工）
浮遊マイクロプラスチックの生物過程に伴う鉛直輸送モデル

10:50-12:00 磯辺篤彦（九大応力研）
浮遊マイクロプラスチックの全球輸送モデル —線形モデルへの帰着と解析—

13:30-14:10* 辻英一（九大応力研）
東シナ海の内部波エネルギーのモデリング解析

14:20-15:30 蓮沼啓一（海洋総合研究所）
四国沖暖水渦の諸特性

15:40-16:50 中野英之（気象研）
jet ドリフトに関する、傾圧平均流がある場合のロスビー波の考察

17:00-17:40* 西垣肇（大分大）
大槌湾の台風に対する応答についての数値実験

12月5日

09:30-10:10* 水田元太（北大地球環境）
深層再循環のしくみの解明へ向けて

10:20-11:30 広瀬直毅（九大応力研）
海洋熱エネルギー評価に向けた数値モデリング

11:40- 総合討論

・発表時間は質疑を含めて 70 分，*印のものは 40 分です。ただし，当日ずれることがあります。

各講演の概要

各講演の概要を発表順に述べる。

西野は、表層混合層における粒子の挙動の把握と理解を目的に、物質輸送過程の数値実験を行った。植物プランクトンを念頭に置き、粒子のパケット（集合体）についての位置、速度、粒子数、粒径を変数とし、粒子の生成、凝集、分裂、移流、沈降を含めた計算を行った。風が粒子の挙動に及ぼす影響などについて検討がされた。

今村は、海洋表層の鉛直混合の理解を進めるため、海面波による乱流混合の波解像モデルを開発している。鉛直座標に海面追従座標（鉛直 σ 座標）を導入し、海面波を高解像度で表現することに成功したところである。

大貫は、大気・海洋・惑星のさまざまな現象を二次元乱流の統計力学で理解することを目指し、境界が変形する領域における二次元乱流モデルを理論的に構築した。エネルギー、エントロフィー、エントロピーの検討をもとに、二次元流体が統計力学的に負温度の状態を取り得ることと、そのとき小規模

運動から大規模運動へのエネルギー遷移が起こり得ることを示した。

吉武は、海洋表層におけるマイクロプラスチックの挙動を解明することを目的に、生物過程に伴う鉛直輸送を数値実験で調べた。これは、マイクロプラスチックを取り込んだ植物プランクトンが凝集して沈降する過程に注目したものである。数値モデルにおいて、植物プランクトンの凝集に伴うマイクロプラスチックの沈降が確認された。

磯辺は、全球海洋の浮遊マイクロプラスチックの分布と挙動を知るため、全球輸送モデルを構築した。マイクロプラスチックの分布について、観測と整合的な結果が得られた。また、マイクロプラスチックの滞留時間を簡単な線形モデルで表せることを示した。

辻は、東シナ海における内部重力波の生成・伝播・消散過程を解明するため、数値モデル計算を実施した。内部重力波生成の度合いを示す順圧場から傾圧場へのエネルギー変換が、黒潮の流路によって変わることが示された。

蓮沼は、黒潮とは何か、黒潮の流量はどのように定義するのか、との問題提起を主題に、各種のデータ解析を行った。四国沖の暖水渦が移動するため定線での流量観測結果は短期間に大きく変動すること、などが示された。

中野は、黒潮続流域における北太平洋東西ジェットについて、その挙動を理想化数値実験で検討した。ジェットに伴うフロントが世代交代を伴って南進するとの観点より検討し、南進の速度と上層の平均場の南北速度が整合的であることが示された。南北遷移のメカニズムの解明は今後の課題である。

西垣は、内湾と大陸棚縁辺との海水交換の一過程を理解するため、台風の通過に伴う海洋の応答を数値実験で検討した。その結果、大槌湾の海底付近で観測された水温変動の特徴が再現された。メカニズムとして、台風に引き起こされた近慣性周期の内部重力波が海底斜面を上って、内部重力波のビームを作ることが示唆された。

水田は、亜熱帯西岸境界流の続流ジェットおよびその南北に形成される再循環の形成過程の解明を目的に、理想化数値実験を行った。続流域においてロスビー波の生成による渦位輸送があり、その収束発散が再循環を形成することが、数値実験によって示された。

広瀬は、海洋の鉛直温度差を利用した海洋熱エネルギー発電の可能性を検討・評価するため、ポテンシャル評価（可能な発電出力の評価）を試行した。下層海水に関わる深層循環時間の見積もりが重要となるが、その部分が数値モデルによってなされた。

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（西野，今村，吉武），内部重力波（辻，西垣），中規模運動（大貫，蓮沼，中野，水田），大洋スケールの現象（磯辺，広瀬）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、観測データ解析や解析的理論を含むものもあった。

開催の形態については、議論を深めることを考えると、宿泊可能な研修施設での合宿方式が有利である。今回は諸事情もあって研究所内でのハイブリッド方式で行った。オンライン参加は、議論のしやすさでは対面方式に及ばないが、来場できない人が参加できるとの利点もある。今回はオンラインの参加者数名を迎えたが、議論の活発化とコミュニティの広がり観点からよかったと考えている。今後とも

の採用を検討したい。

しかし、講演の中には研究として進行中で、研究者コミュニティに広く発表する段階に至っていないものも少なくない。このような話題に対して、限られたメンバーで十分な議論ができるのもこの研究集会の利点である。したがって、参加者の適正規模について考慮する必要もあると考えている。

講演者のうち西野，今村，吉武は修士課程の大学院生で，大貫は35歳以下の若手である。本研究会は彼ら若手研究者に学外の研究者と深い議論をする貴重な機会を提供することができた。

研究集会全体としては，広範なスケール，多様な現象，多様な手法を扱う研究者が集まり，綿密な質疑を通して議論を深めることができた。各課題の研究の進展に寄与することと，規模間相互作用の力学理論の構築に寄与することが期待できる。

西垣肇