

[28]全国共同利用研究成果報告

<https://hdl.handle.net/2324/7431320>

出版情報：全国共同利用研究成果報告. 28, pp.1-, 2025-03. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン：

権利関係：



高低差観測におけるエアロゾルの光学的特性の変動

富山大学学術研究部理学系 青木一真

要旨

近年、日本国内のエアロゾルは、わずかながら減少傾向に見られるが、越境汚染や黄砂や火山噴火の影響でしばしば大気を混濁させる。本研究では、その様々な影響を平地（福岡・春日、長崎）と山岳地（雲仙岳）の高低差の観測から、九州北部上空におけるエアロゾルの光学的特性の影響について調査することを目的とした。高低差の結果より、光学的厚さは差が見られたが、粒径分布の傾向は月によって同様な傾向が見られた。

1. はじめに

近年、大気中に浮遊する微粒子（エアロゾル）は、日本国内ではわずかながら減少傾向にある。本研究は、1996年から長崎大学、2003年からは九州大学応用力学研究所、2022年からは雲仙岳において、太陽直達光と周辺光の放射輝度を観測するスカイラジオメーターを使い、エアロゾル光学的特性の解析を行っている。本研究では、そのさまざまな影響を平地（福岡・春日、長崎）と山岳地（雲仙岳）の高低差を利用した観測から、九州北部上空におけるエアロゾルの光学的特性の影響について調査することを目的とする。

2. 観測・解析概要

エアロゾルの光学的特性は、九州大学応用力学研究所（気候変動科学分野所有）に設置している太陽直達光と周辺光の放射輝度を観測・解析し、エアロゾルの光学的厚さ・オングストローム指数（エアロゾル粒径の指標）・一次散乱アルベド（放射吸収のパラメータ）・体積粒径分布等を示す。

3. 結果・考察

Fig. 1は、2024年1月から5月までの長崎（NGS）、雲仙岳（UZN）、春日（KSG）における0.5 μm のエアロゾルの光学的厚さ（AOD(0.5)）とオングストローム指数（Alpha）の月平均値を示したものである。高度差約1000mのAOD(0.5)の差は量的な違いは見られたものの、Alphaの月変化は、同じような傾向が見られた月とそうでない月が見られた。これらは、越境汚染や黄砂など広域に影響を受けたときとそうでない場合や輸送経路の相違を示している。4月のNGSやUZNは黄砂の影響に対して、KSGは黄砂+越境汚染の影響が示され、高度差と輸送経路の違いも示された。

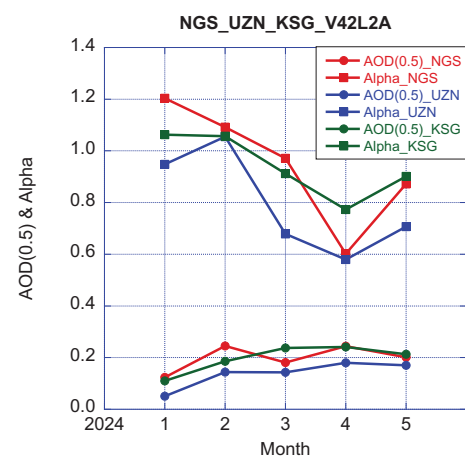


Fig. 1 長崎（NGS）、雲仙岳（UZN）、春日（KSG）のAOD(0.5)とAlphaの月平均値

4. 研究成果

Aoki et al: Long-term and current status in ground-based and maritime solar aureole measurements of aerosol optical properties from AERONET and SKYNET (AGU2024, Washington DC, 2024. 12. 09)

5. 研究組織

代表者 青木 一真 (富山大学学術研究部理学系)
協力者 竹村 俊彦 (九州大学応用力学研究所、所内世話人)
河本 和明 (長崎大学環境科学部)

A hybrid dynamical-statistical modeling approach for understanding tropical basin interaction

(力学的・統計的モデルによる熱帯海盆間相互作用の統合的理解)

海洋研究開発機構 Ingo Richter

1. Background

Interaction among the tropical ocean basins has received increased attention in recent years. While it has long been recognized that El Niño-Southern Oscillation (ENSO) has strong impacts on the tropical Atlantic and Indian Oceans, it is becoming increasingly apparent that both remote basins have their own variability modes and that these modes can influence the tropical Pacific and ENSO (Cai et al. 2019, *Science*). It remains an open question, however, how important these influences are, to what extent the Atlantic and Indian Oceans can act independently of ENSO, and what the dominant pathways of interaction are. Furthermore, there are many outstanding questions regarding how tropical basin interaction (TBI) shapes the response of the climate system to greenhouse gas forcing.

2. Activities associated with the research project*2.1 Building a data-driven model to replicate the behavior of global climate models*

The well-known linear inverse model (LIM) approach has been extended in two ways: 1) We have developed a technique to split the linear operator in such a way that the interaction between specific basins can be suppressed by zeroing out off-diagonal elements of the operator matrix (Kido et al. 2023, *Climate Dynamics*). This allows assessing the contributions of individual basins to TBI. 2) While, traditionally, LIMs have been trained on observational data, we have trained the LIM on output from a global climate model.

A free-running control simulation with a global climate model has been performed, and the model output has been used to train a LIM. We have used this LIM to evaluate the influence of the equatorial Atlantic on ENSO and compared the results to an equivalent experiment with our global climate model. The comparison suggests that the LIM can reproduce the behavior of the climate model rather well, while only requiring a fraction of the computational resources. A manuscript describing these results is currently in preparation.

2.2 ENSO's influence on the equatorial Atlantic

A study examining the influence of ENSO on the equatorial Atlantic was started in FY2023 and included support from a RIAM Joint Research Grant (2023CR-AO-9). This study has been successfully concluded, and the results have been published in the *Journal of Climate* (Richter et al. 2024b). The results of the study were obtained through the analysis of climate models and led to the development of a simple statistical model to predict the impact of ENSO on the equatorial Atlantic 6 months into the future.

2.3 Clarifying the mutual interaction between ENSO and the equatorial Atlantic

A study by Jiang et al. (2023, *Geophys. Res. Lett.*) has argued that the equatorial Atlantic cannot influence ENSO, and that previous studies reporting such an influence (e.g. Rodriguez-Fonseca et al. 2009, *Geophys. Res. Lett.*) have misinterpreted their results. We have critically examined the arguments by Jiang et al. (2023) and found that their methodology contains several shortcomings. Our study relied on observational results but also on synthetic time series of equatorial Atlantic sea-surface temperatures to test various hypotheses regarding the Pacific-Atlantic interaction. The results indicate that an influence of the equatorial Atlantic on ENSO cannot be ruled out. These

findings have been published as a Comment in the journal *Geophysical Research Letters* (Richter et al. 2024a).

2.4 Role of the extratropics in the observed acceleration of the equatorial atmospheric circulation

Experiments with a global climate model were performed to examine the influence of the extratropics on long-term changes in the equatorial atmospheric circulation. The results suggest that sea-surface temperature changes in the southeastern Pacific may have contributed substantially to the acceleration of the equatorial circulation during the period 1980-2020. The study has been published in the journal *Nature Geoscience* (Toda et al. 2024).

2.5 International workshop held at RIAM

A workshop on TBI was held at RIAM on December 16–17, 2024 with approximately 30 participants, including researchers from China, South Korea, and the United States. The RIAM research grant was used to partially fund the travel costs of the project members, and the travel costs of two researchers, one from Tohoku University and one from the University of Tokyo.

3. Refereed publications resulting from the project

Richter, I., N. Keenlyside, T. Tozuka, Y. Okumura, C. Wang, P. Chang, S. Kido, and H. Tokinaga, 2024a:

Comment on “Resolving the tropical Pacific/Atlantic interaction conundrum” by Feng Jiang et al. (2023).
Geophys. Res. Lett., 51, e2024GL111563, <https://doi.org/10.1029/2024GL111563>.

Richter, I., S. Kido, T. Tozuka, Y. Kosaka, H. Tokinaga, and P. Chang, 2024b: Revisiting the Inconsistent Influence of El Niño–Southern Oscillation on the Equatorial Atlantic. *J. Climate*, 38, 481–496, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-24-0182.1>.

Toda, M., Y. Kosaka, A. Miyamoto, A., and M. Watanabe, 2024: Walker circulation strengthening driven by sea surface temperature changes outside the tropics. *Nat. Geosci.*, 17(9), 858–865. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01510-5>

4. Project members

P-I: 海洋研究開発機構 Ingo Richter

Co-I: 海洋研究開発機構 木戸 昌一郎

Co-I: 東京大学 東塚 知己

Co-I: 東京大学 小坂 優

世話人: 九州大学 時長 宏樹

表面波・内部波の非線形性及び分散性に対する
地形の影響に関する数値解析的研究

研究代表者 鹿児島大学学術研究院理工学域 柿沼太郎

研究の目的

辻・及川は、2層流体における弱非線形・弱分散モデルを用いて、孤立波の2次元相互作用の数値解析を行ない、ソリトン共鳴に伴ってステムが生成し得ることを示した。これに端を発したこれまでの共同研究において、非線形性及び分散性が強い内部波が相互作用する場合を対象として、変分原理に基づく波動方程式系に基づく数値モデル (Nakayama and Kakinuma, 2010) を適用し、孤立波の2次元相互作用に起因するステムの生成に関して調べてきた。ところで、長周期の表面波や内部波が生成・伝播する過程において、地形が様々な影響を与えると考えられるが、静水深の空間的、または、時間的な変化が、非線形波動にどのような影響を与えるのかに関しては、不明な点が多い。そこで、今年度は、様々な形状の海底地形が、表面波や内部波の生成・伝播過程に与える影響を数値解析によって調べた。本研究で明らかにしようとする非線形波の挙動特性は、東シナ海の大陸棚近傍や九州西岸域を対象とした波・流れ場の研究、例えば、現在、辻が行なっているモデル計算に基づく研究等に対して、基礎的知見を与えることが期待される。

研究の具体的方法

具体的には、表面波や内部波を対象とし、次の各事項を目的として研究を進めた。

- (1) 様々な地形を有するモデル領域において、表面波や内部波の生成・伝播過程に関する1次元数値解析を実施し、表面波や内部波に対する地形の影響を調べる。ここで、波を生成させる原因としては、浮体上を滑走する航空機、水平移動する海底斜面及び気圧波とする。
- (2) 東シナ海といった実水域の特徴を考慮した地形を対象として、表面波及び内部波の挙動を調べ、そのメカニズムを考察する。

これらの各段階において、数値モデルの開発や、数値解析に関する仕事を分担し、計画の遂行にあたった。1回は、メンバが直接会って議論する機会を持つ。更に、昨年度に引き続き、波動問題に関わる他の研究者と、九州大学応用力学研究所において研究集会を開催する。

主要な成果

まず、前述した変分原理に基づく多層問題の非線形波動方程式系を1層問題の非線形浅水方程式系とし、薄板状浮体の曲げ剛性率を考慮して、航空機の滑走によって浮体空港に生成される浮体波の1次元数値解析を行なった (Kakinuma and Fukuura, 2024)。航空機の走行速度と線形浅水波の位相速度が近いときに、大きな浮体波が生成され、これらの浮体波が空港端で反射を繰り返して、浮体の振動が継続した。そこで、この浮体の振動を低減するために、二つの方法を検討した。第1の方法として、空港端部の曲げ剛性を空間的に線形に低下させた。その結果、航空機による浮体波の反射率が低減し、浮体の振動の継続が抑制された。また、第2の方法として、浮体波の増幅が顕著な区間において、空港滑走路下の静水深を浅くした。すると、

浮体波の増幅が抑制され、浮体波の波高を低下することができた。

次に、同一の方程式系を適用し、一様な勾配の海底斜面が、沖向きや岸向きに水平移動する場合に生成される津波をシミュレートした(柿沼・帖佐, 2024)。2024年能登半島地震においても、横ずれ断層地震が発生している。数値解析の結果、沿岸に位置する斜面の水平移動により、津波が沖向きのみならず岸向きにも伝播し、海岸に数多くの津波が到達し得ることがわかった。特に、斜面の沖向きの移動速度が、斜面沖側の線形浅水波の位相速度に近いと、沖向きに伝播する津波が共鳴によって増幅された。他方、海底斜面が岸向きに移動する場合、斜面の水平移動速度が斜面岸側の線形浅水波の位相速度に近く、斜面の水平移動距離が大きいと、特に、岸向きに進行する津波の谷が増幅された。

そして、上記の多層問題の非線形波動方程式系を2層問題の非線形浅水方程式系とし、気圧波によって励起される表面波、または、内部波の1次元数値解析を行なった(Kakinuma and Kosugi, 2024)。気圧波の移動速度が表面波モード、または、内部波モードの位相速度に近い場合に、それぞれ、表面波や内部波が生成・増幅された。1層流体において、数値解析で得られた津波高さを線形理論解と比較したところ、静水深が浅く、気圧波波長が大きいくほど、最大可能津波高さに対する非線形効果がより顕著になった。気圧波の移動速度を v 、線形浅水波の位相速度を c とし、Froude 数を $F_r = v/c$ で定義すると、最大気圧が 2 hPa の場合、 $|1 - F_r| > 0.1$ を満たし、静水深が 10 m より大きくと、非線形性が無視できる。また、一つの気圧波でも、伝播中に静水深が変化すると、 F_r 数に応じて複数の津波を生成し、新たに生成された津波が、海底斜面上の既存の津波と重なり、津波高さが増える可能性があることがわかった。一方、2層流体においては、線形浅水内部波の位相速度を c_i とし、最深部で内部 Froude 数 $F_{r,i} = v/c_i$ が 1 の場合、内部波モードの内部波が励起されたが、顕著な内部波モードの表面波は、現れなかった。

更に、東シナ海の内部潮汐の力学の解明を目的として、東シナ海の大陸棚から沖縄舟状海盆を含む領域を対象とした数値モデルによる研究を行なった。本研究は、継続中である。

研究成果報告

柿沼太郎・帖佐育彦: 底面の水平移動に伴う津波の数値解析, 津波工学研究報告, 41, 97–102, 2024. https://www.tsunami.irides.tohoku.ac.jp/media/files/_u/topic/file/23p50hj06g.pdf.

Kakinuma, T. and Fukuura, Y.: Control of floating body waves due to an airplane takeoff from a very large floating airport, Eng, 5(3), 1513–1533, 2024. <https://doi.org/10.3390/eng5030081>.

Kakinuma, T. and Kosugi, J.: Numerical study on the excitation and propagation of surface/internal waves due to air pressure waves over topography, Water Waves, 2024. <https://doi.org/10.1007/s42286-024-00099-x>.

参考文献

Nakayama, K. and Kakinuma, T. Internal waves in a two-layer system using fully nonlinear internal-wave equations. Int. J. Numer. Meth. Fluids 62(5), 574–590, 2010. <https://doi.org/10.1002/flid.2037>.

組 織

研究代表者 柿沼太郎 (鹿児島大学学術研究院 理工学域)
所内世話人 辻 英一 (九州大学応用力学研究所 地球環境力学部門)
研究協力者 中山恵介 (神戸大学大学院 工学研究科)

瀬戸内海の伊予灘と豊後水道における乱流観測

研究代表者 愛媛大学沿岸環境科学研究センター 郭 新宇

背景と目的

潮汐混合と浮力加入間のバランスの空間的な違いから形成される潮汐フロントは世界中の内湾や陸棚上に存在し、物質の循環を通じて生物生産に寄与する。前年度までの共同利用研究で豊予海峡における鉛直混合に起因して、豊後水道北部に水平距離 60 m で 3 °C 変化する著しい水温フロントの存在が明らかにされた。豊後水道では他にも愛媛県宇和島市沖の日振島周辺や御五神島南西域で強い鉛直混合が生じることが知られている (Nagai & Hibiya 2013)。本年度はこの宇和島沖における強乱流の定量評価を目的とした観測を実施した。

研究内容

2024 年 8 月 1 日から 8 日までに愛媛大学沿岸環境科学研究センター練習船「いさな」を用い、愛媛県宇和島市沖海域において乱流混合の観測を行った。乱流微細構造プロファイラ TurboMAP-5 を用い乱流シアの計測を行うとともに、舷側から超音波ドップラー流速計 (ADCP) を吊り下げ垂表層 (水深 40 m 程度) までの水平・鉛直流速を高精度に計測した。調査では御五神島周りの測線と日振島・戸島間の水道部に設定した測線について日毎に測線を交互に替え、また各日における観測を午前・午後の異なる潮時に 2 回行った。乱流シアから乱流運動エネルギー散逸率 ε を求め、Osborn (1980) の式によって鉛直渦拡散係数を $K_z = 0.2\varepsilon N^{-2}$ と見積もり、鉛直混合強度の評価に用いた。

研究内容

観測結果のうち、8 月 6 日と 7 日 (大潮期) に実施した図 1 に示す。8 月 6 日の午前は上げ潮後の転流時であり、鉛直拡散係数は鉛直平均値で 10^{-5} から $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ のオーダーであったのに対し、午後の下げ潮時には $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ のオーダーに強化されていた (図 1 a, b)。特に横島南西の測点 OI1 では $10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ のオーダーに達するほどの鉛直混合の強化が見られたが、流速には強化が見られなかった。8 月 7 日の日振島・戸島間水道部の調査では、午前の上げ潮時には 10^{-4} から $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ のオーダーであったのに対し、午後の下げ潮時には 10^{-3} から $10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ のオーダーに強化されていた (図 1 c, d)。8 月 6 日と同様に、OI1 測点では弱い流れにも関わらず、下げ潮時に鉛直混合が強化されていた。この理由として、下げ潮時の OI1 観測点では両日も 0.1 m s^{-1}

を超えるような強い上向き鉛直流が生じており、厚い鉛直一様層の形成が認められたため、鉛直対流によって混合が起こっているためだと考えられた。この上向き鉛直流は、下げ潮時に横島の島影に作られる後流渦に伴って生じていると推察される。また御五神島南西の測点では、乱流強度は Nagai & Hibiya (2013) の数値実験で予測されたものよりも 1 オーダー小さかった ($\varepsilon = 1-2 \times 10^{-6} \text{ W kg}^{-1}$)。この理由として、水平渦粘性散逸の評価方法 (パラメタリゼーション) の問題が考えられた。

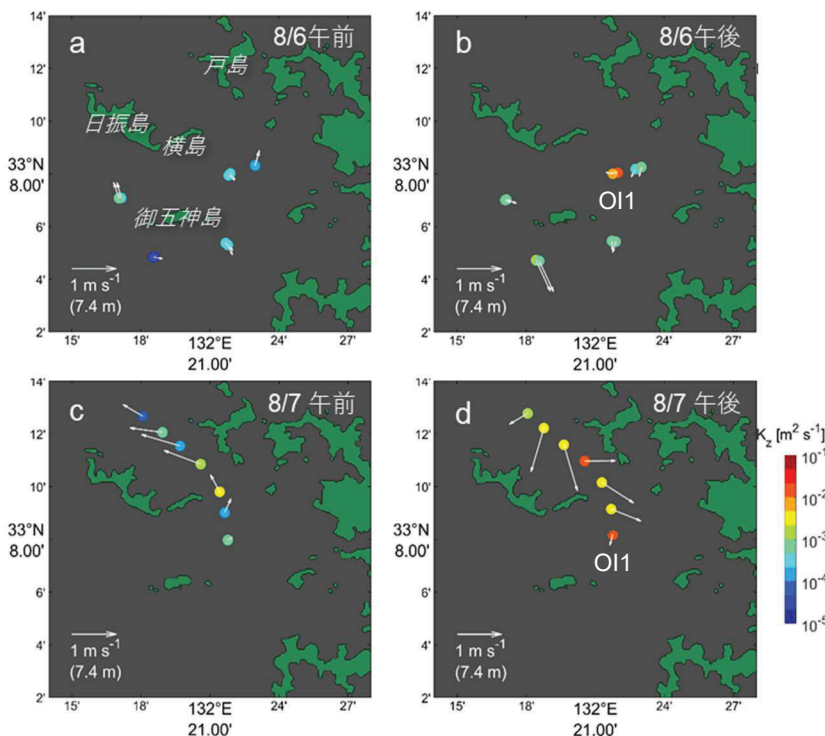


図 1 2024 年 8 月に宇和島沖で実施した乱流と流速の観測結果。色丸が鉛直平均した鉛直渦拡散係数を表し、白矢印は表層の流速を示す。(a) 8/6 午前、(b) 8/6 午後、(c) 8/7 午前、(d) 8/7 午後。

山岳での直接・遠隔測定を用いた霧粒の特性把握

長崎大学大学院 総合生産科学研究科 河本和明

[目的]

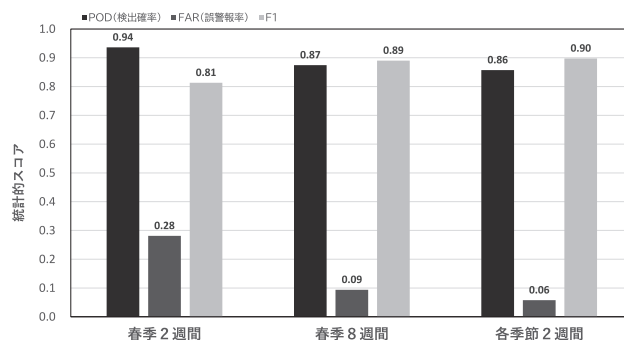
地球大気放射収支の重要な決定要因の一つは雲や霧である。そのため地球の気候の維持や変動を調べるには、その発生頻度などの特徴の理解が重要である。山岳域での直接観測は、人工衛星やラジオゾンデによる観測によりも、同一地点での時間分解能が高いデータを連続的に取得できる利点がある。しかし、コストが高いため、高精度な測器による霧の特性を観測している地点は極めて少ない状況で、定点カメラの画像取得は、低いコストで実施できる。本研究では、長崎県の雲仙岳にて定点カメラによる遠隔測定と言える画像撮影と、雲粒数密度の直接観測を同時に行った。そしてカメラ画像の機械学習を用いた解析結果を、直接観測データと比較した。

[方法]

長崎県の雲仙岳(標高 1300 m)にて定点カメラを用いた遠隔測定を、2020 年 1 月～2024 年 3 月の画像を 10 分毎に取得し、解析に使用した。また、同地点に雲粒子測定器(Cloud Particle Sensor)を設置し、雲粒数密度を直接観測した。2022 年 3 月～2024 年 3 月の CPS データを解析に使用した。機械学習手法のランダムフォレストを使用し、取得した画像を「霧」「霧なし」の 2 種類に分類した。

[結果と考察]

機械学習を用いた画像解析手法の霧判別の妥当性を評価するため、「霧」と分類された画像の割合から霧が存在した時間の割合を求め、閾値以上の雲粒数密度が観測された時間の割合と比較した。月毎で見ると、機械学習の分類による「霧」の発生率は、CPS による雲粒数密度から推定された霧の発生率と同様の季節変動を示すことがわかった。また閾値の情報を使うことで、雲の発生率に加え、霧の濃さに関する情報を取得することができることがわかった。下図に春季 2 週間、春季 8 週間、各季節 2 週間の画像を教師データとした場合について統計値スコアを示す。本研究により、適切な教師データを用いることで、分類モデルを作成し、カメラ画像からの霧の発生状況に関する有効な情報が得られることが示された。



[研究組織]

河本和明(長崎大学大学院 総合生産科学研究科、衛星データの解析・全体のまとめ)

岡本創(九州大学 応用力学研究所、雲相推定手法についてのアドバイス)

本研究では中山智喜長崎大学准教授のご協力を得た。

インド亜大陸北東部からインドシナ半島における 降水システムの長期変動に関する研究

代表者：東京大学 大学院工学系研究科 木口 雅司
所内世話人：九州大学 応用力学研究所 江口 菜穂

1. 研究の目的

インド亜大陸における約 100 年間の降水量データから北半球夏季インドモンスーンに伴う降水システムの変化が Fukushima et al. (2019) によって報告されている。一方で、ここ 30 年間で、北半球夏季 (7-9 月) のアフリカ大陸からアジアモンスーン域の対流活発域が北進していることが明らかとなっている (Kodera, Eguchi et al., ACP, 2019; Kodera, Eguchi et al., JMSJ, 2021)。

本研究対象とするインド亜大陸東北部とインドシナ半島は、インドモンスーンの下流にあたり、かつ準 2 週間周期変動 (QBO) や BSISO などの季節内変動の始点にあたる。またこの地域は特異な地形による地形性の降水システムが顕著にみられる地域であり、長期的な気候変動による循環場の変化がこの地域の降水システムをどう変化させているか、またその影響が高緯度側の気象場や気候場にどのような影響をもたらしているのか明らかにしたい。一方で、熱帯域の長期変動であるインドダイポールや ENSO の影響も強く受けているので、熱帯域の経年変化との関連の調査も目指す。

本研究では、昨年度に引き続き、東南アジア域における降水量データの収集および検証作業を実施し、データ公開のための作業を実施した。それと並行して、検証を終了した科学的に有効なデータを用いて季節サイクルの長期トレンド解析を推進した。その中で、本報告では北東インド亜大陸において高時間高解像度を持つ Web サイトの紹介と、タイにおける季節内変動の長期トレンドについて報告する。

2. 北東インド亜大陸の高時間分解能降水量観測データセットの公開

世界有数の多雨地域であるインドとバングラデシュの国境に位置するメガラヤ高地とその周辺地域において得られた雨量データは、昨年度の本研究において Murata et al. (2024) として発表された TRMM PR (熱帯降雨観測衛星搭載の降雨レーダー) の雨量気候分布との検証結果に基づき、その特性が評価された。その雨量データが、Web サイト (<https://www.sohmon.net/>) において公開された (図 1)。本報告を執筆時は公開の最終調整中であるが、本年度内に完了予定である。

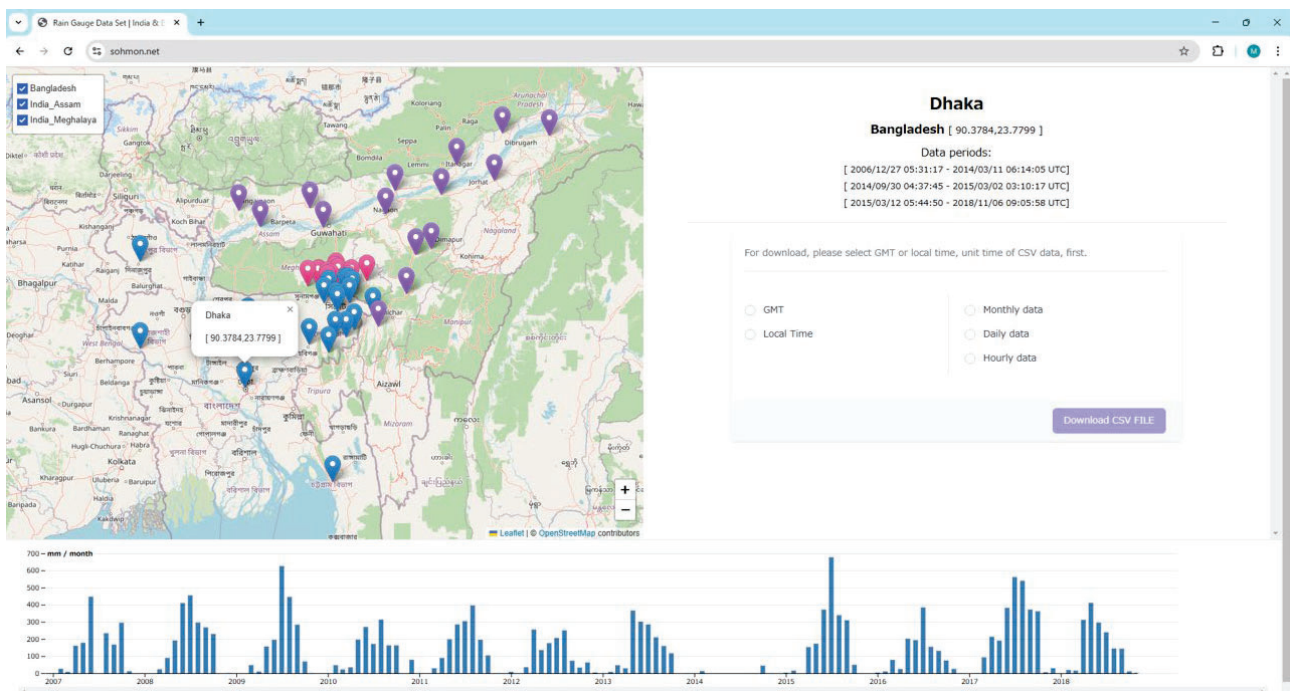


図 1 : "Rain Gauge Data Set | India & Bangladesh" のサンプル画像。ダッカ地点におけるデータが表示されており、観測期間やデータをダウンロードするラジオボタン、月雨量の簡単な時系列の図が表示されるようになっている。

3. タイにおける季節内変動の長期トレンド解析

タイは、乾季と雨季がはっきり分かれているインド亜大陸西部とは異なり、アジアモンスーン域においてプレモンスーン降水が存在する地域の一つである。この地域では、雨季には10～20日周期と30～60日周期が卓越すると言われている（例えば Yokoi and Satomura, 2005）。そのような季節内変動の長期トレンドについての解析は、バングラデシュの約20年程度の年々変動の事例(Fujinami et al., 2011)が報告されている程度である。またプレモンスーン期とモンスーン期の季節を分けた解析は行われていない。そこで、本研究では、過去50年のバンコクにおける1951～2000年の日降水量データを、プレモンスーン期（3月12日～5月14日）とモンスーン期（5月15日～9月15日）に分けて、降水特性の異なる期間を分けた長期トレンド解析を可能とした。季節内変動の周期を導出する手法は高速フーリエ変換によるパワースペクトルである。図2（左）は、プレモンスーン期の季節内変動の長期トレンドであるが、年々による変動が大きい、一方でパワースペクトルの強度が1980年代以降、短周期側で大きくなっている。一方、図2（右）のモンスーン期は、主に30～60日周期が卓越しており、10～20日周期も見られる。過去に見られていた5～7日周期は弱くなっている。これらはまだ初期結果に過ぎないが、再解析データを用いた総観気象場からの考察によって、長期の気候トレンドを明らかにすることが可能である。

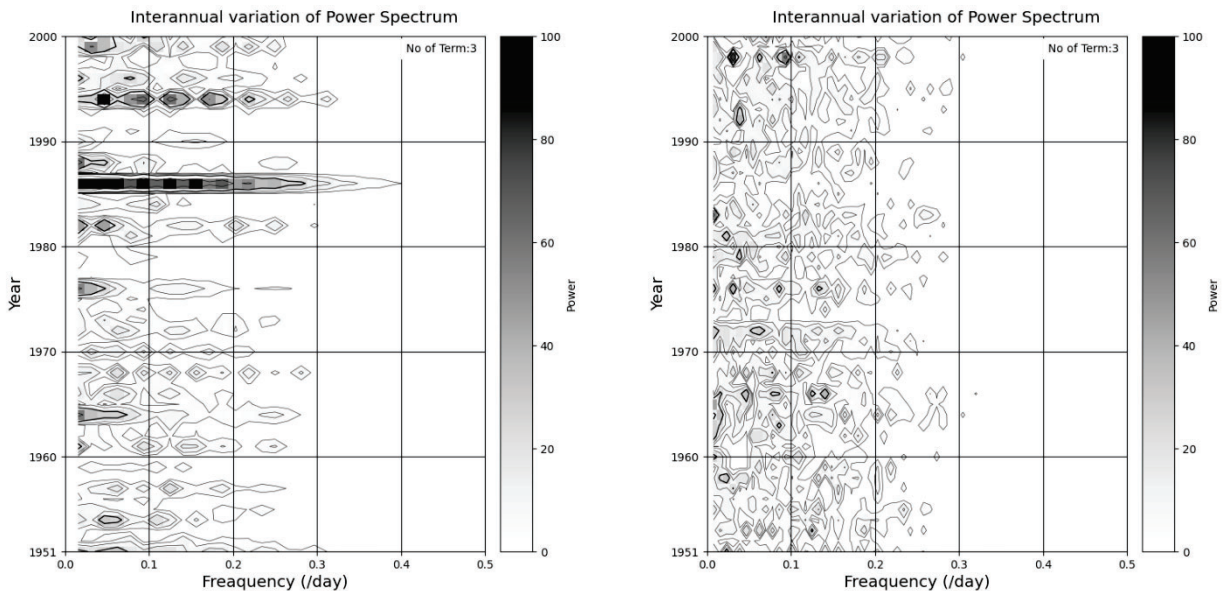


図2：1951～2000年の日降水量データを用いたパワースペクトルの長期トレンド。(左) プレモンスーン期と、(右) モンスーン期。濃淡は、パワースペクトルの強度を示す。

4. まとめ

本研究で実施された季節内変動の長期トレンド解析は、長期降水データを用いることで気候場の変化を明らかにする可能性を示し、他地域でのこのような解析が推進されることが期待される。

5. 研究組織

研究代表者	木口 雅司	東京大学 大学院工学系研究科 上席研究員
所内世話人	江口 菜穂	九州大学 応用力学研究所 准教授
研究協力者	村田 文絵	高知大学 理工学部 准教授
研究協力者	林 泰一	京都大学 東南アジア地域研究研究所 連携教授

謝辞

本研究は、九州大学応用力学研究所の共同利用研究の助成の他に、JSPS 科研費 JP26220202、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) / 独立行政法人国際協力機構 (JICA)、JICA の人材育成奨学計画 (The Project for Human Resource Development Scholarship)、JAXA 地球観測研究公募によって実施された。

大気汚染物質の予測精度の向上を目指した化学輸送モデルと植生モデルの統合に関する研究

長野県環境保全研究所自然環境部 栗林正俊

【目的】

PM_{2.5} や地上オゾン(O₃)等の大気汚染物質の動態を予測する上で、化学輸送モデルは有効であるが、O₃ 濃度の予測精度には問題がある。これは、O₃ が大気中での光化学反応により二次生成される汚染物質であり、O₃ の前駆物質の 1 つである揮発性有機化合物(VOC)の排出量が正確に評価できていないことが一因である。VOC は人為起源と植物起源(BVOC)に大別され、温暖化すると BVOC の放出量が増加すると考えられている。BVOC 放出量を推定する際は、BVOC 放出量算出モデル MEGAN を用いることが多く、MEGAN は植生割合や葉面積指数(LAI)を入力値として、植生タイプ毎の排出係数に日射量や気温、葉齢などの変動因子を加味して BVOC 放出量を計算する。しかし、落葉樹の葉群フェノロジーは有効積算気温に明敏な応答を示すことが知られており、温暖化を念頭に置いて BVOC 放出量を予測する場合、LAI を予報的に計算できることが重要である。陸域生態系モデル VISIT は、植物生理プロセスに基づいて LAI 等の生物学的因子と併せて、CO₂, CH₄, BVOC 等の大気-陸域間のガス交換を予報的に計算できる。本研究では、将来的に化学輸送モデルと VISIT を結合させることを念頭に置いて、VISIT により日本全国の LAI や BVOC 放出量を計算し、空間分布の特徴を評価することを目的とする。

【方法】

VISIT の計算対象領域は、北緯 20~46°、東経 122~154° とし、空間解像度は約 1 km に相当する緯度経度 30 秒とした。ベースとなる土地被覆分布は、衛星観測に基づく SYNMAP データをモデルに合わせて 16 タイプに集約したものを使用した。BVOC の主要な放出源である森林は、常緑針葉樹林、常緑広葉樹林、落葉針葉樹林、落葉広葉樹林、混交林の 5 タイプに主に分けられている。地形は SRTM30、土壌特性は Harmonized World Soil Database、気象は ERA5、をそれぞれモデルに合わせて 30 秒メッシュに変換したデータを使用した。ERA5 は空間解像度 0.25° であり、線形内挿による変換を行った。使用した気象要素は、地上 2 m 気温、降水量、露点温度、下向き短波放射である。VISIT の計算は、2018 年 1 月 1 日から 2020 年 12 月 31 日の 3 年間で 1 時間ステップで実施し、LAI や BVOC 放出量に加えて生態系純生産量(NEP)も出力した。VISIT で扱う BVOC の成分は、イソプレン、モノテルペン、メタノール、アセトン、酢酸、アセトアルデヒド、ギ酸、ホルムアルデヒドで、これらの合計値を BVOC 放出量としている。

【結果と考察】

VISIT による LAI 計算値を人工衛星(MODIS)による LAI 観測値と月毎に比較した結果、MODIS に比べて VISIT の方が LAI を高く評価する傾向があり、特に展葉季は高かった。一方、空間分布や季節変化の特徴は VISIT と MODIS で整合していた。次に、VISIT と MEGAN による BVOC 放出量の計算値を月毎に比較した結果、夏季を中心として MEGAN に比べて VISIT の方が BVOC 放出量を高く評価する傾向があった。VISIT は LAI を高く評価する傾向があるため、BVOC 放出量も高く評価された可能性がある。

図1に各年のBVOC放出量の空間分布を示す。これによると、2018年や2019年は東北地方や新潟県の沿岸域、中国地方の山間地で比較的BVOC放出量が多いが、1.8 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹を超える地域はほとんどなかった。一方、2020年は新潟県や東北地方の日本海側、および、中国・四国・九州地方の山間地で1.8 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹を超えるBVOC放出量となった。BVOC放出量の多い地域はNEPも高い傾向があった。また、どの年も農地や都市が広がる関東地方や近畿地方などの平野部、気候が寒冷な北海道や長野県は比較的BVOC放出量が少なかった。BVOC放出量の空間分布は基本的に土地被覆に依存し、年によるBVOC放出量の違いは、植物の活性が最も高い夏季の天候の年々変動を反映していると考えられる。今後は、各成分別にBVOC放出量の空間分布を評価して、化学輸送モデルの入力に利用できるようにしていくことが課題である。

【研究成果報告と研究組織】

別紙の発表論文・学会発表リストに記載のとおり。

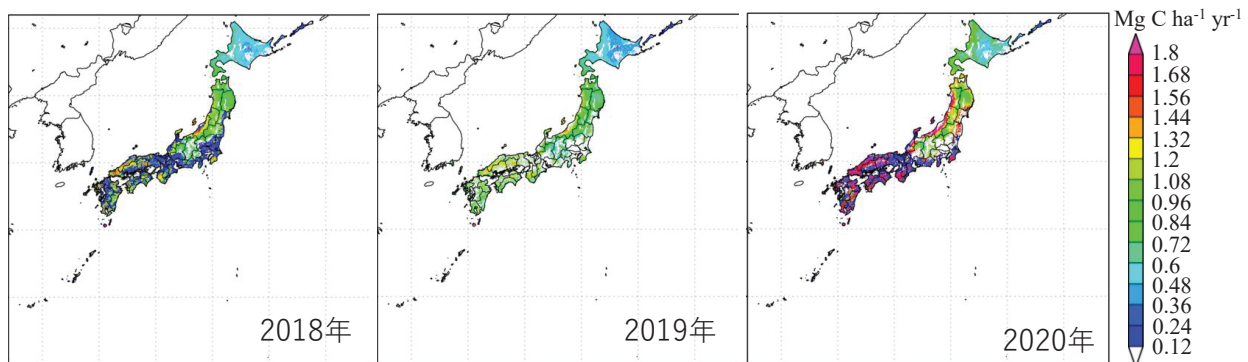


図1 VISIT で計算された我が国における 2018~2020 年の各年の合計 BVOC 放出量の空間分布。

北極海表層流の海洋表層ドリフターと海面高度計による推定

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 小平翼

1 目的

海洋表層の流れは熱や淡水、物資循環に大きな影響をもたらし、その正確な把握と予測は重要である。気候変動に対して重要な役割を持つ極域の海氷の分布も表層流に大きく影響される。衛星海面高度計は表層流に関連する情報を提供する有用な観測手法であるが、極域に関する研究例は少ない。特に、海面高度の面的計測が可能な SWOT データが利活用できれば表層流に関する知見が多く得られると期待されるが、まず検証が必要である。そこで本研究では 2023 年 9 月に北極海カナダ海盆上に 7 基展開した小型ドローグ付き漂流ブイの軌跡をもとに、衛星海面高度計に基づく海洋表層流の推定について検討を行った

2 手法

2023 年 9 月、JAMSTEC 海洋地球調査船「みらい」より小型ドローグ付き漂流ブイを北極海カナダ海盆上に 7 基、集中展開した (Fig. 1)。展開は 5 海里ごと 3 地点から直線的に行い、2 地点目では中央の地点とそこから東西南北にそれぞれ 200m 離れた地点の 5 地点に 1 基ずつ展開した。

展開した漂流ブイの軌跡より推定した海洋表層の流れと、海面高度計による海洋表層の地衡流を比較した。具体的には 30 分ごとに計測される離散的なドリフターの漂流軌跡から中央差分により求めたドリフターの漂流速度 \mathbf{u}_d が地衡流 \mathbf{u}_G 、エクマン吹走流 \mathbf{u}_E 、近慣性周波数成分 \mathbf{u}_{NI} 、サブメゾスケール流れ \mathbf{u}_{SMS} 、推定誤差 ε として、次の通りモデル化を行った。

$$\mathbf{u}_d = \mathbf{u}_G + \mathbf{u}_E + \mathbf{u}_{NI} + \mathbf{u}_{SMS} + \varepsilon$$

海面高度計データを比較すべきは \mathbf{u}_G 成分であるため、 \mathbf{u}_E については ERA5 再解析データの高度 10m 風速 \mathbf{U}_{10} より、 $\mathbf{u}_E = \mathbf{U}_{10} * \alpha e^{-i\beta}$ として推定した。 α には 0.01 β には $1/4 \pi$ を用いた。また、 \mathbf{u}_{NI} は \mathbf{u}_d にローパスフィルタを用いることで除去できるものとした。以上の手法で求めた、小型ドローグ付き漂流ブイ由来の $\mathbf{u}_G + \mathbf{u}_{SMS} + \varepsilon$ と、海面高度計測に基づく海洋表層地衡流の計測結果を比較する。海面高度計は、従来の複数衛星観測結果の統合プロダクト CMEMS-L4 データと面的な海面高度の観測が可能となった SWOT L3 データを平滑化処理を施した上で用いた。

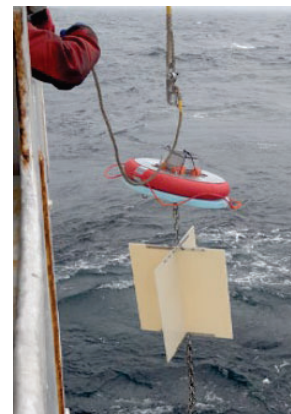
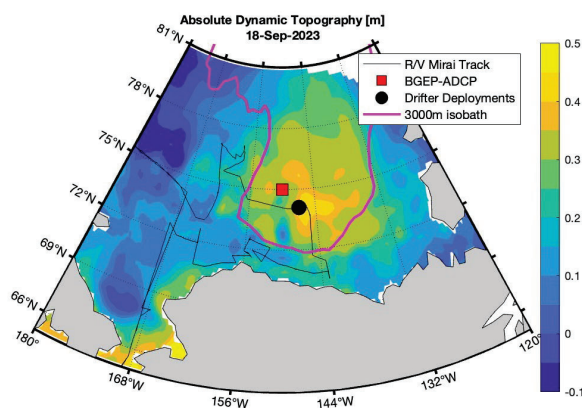


Fig. 1 北極海カナダ海盆におけるドローグ付き漂流ブイ展開地点(左)と展開時の機器の様子(右)

3 結果

小型ドローグ付き漂流ブイの展開後 10 日間の軌跡と海面高度計計測結果を示す (Fig. 2)。大気再解析 ERA5 データによると高度 10m の海上風は期間初期に 6m/s の北風が数日続いた後に 10m/s 程度の北東風であった。異なる 3 地点から漂流させたブイの軌跡からは、中央から流した 5 つのブイが滞留する一方で、北東側と南西側の展開地点からは滞留点を迂回して漂流する軌跡が示された。風の変化が大きく変わることは考え難く、この結果は直径数 10km 程度の時計回りの渦の存在が示唆されると考えられる。

複数衛星観測結果の統合プロダクト CMEMS-L4 データと面的な海面高度の観測が可能となった SWOT L3 データの観測結果に基づく力学的海面高度を Fig. 2 に示す。CMEMS-L4 データに比べて SWOT L3 データではより細かな構造が示されていることが示される。また、小型ドローグ付き漂流ブイの漂流から示唆される直径数 10km 程度の時計回りの渦を検知されていることが示された。

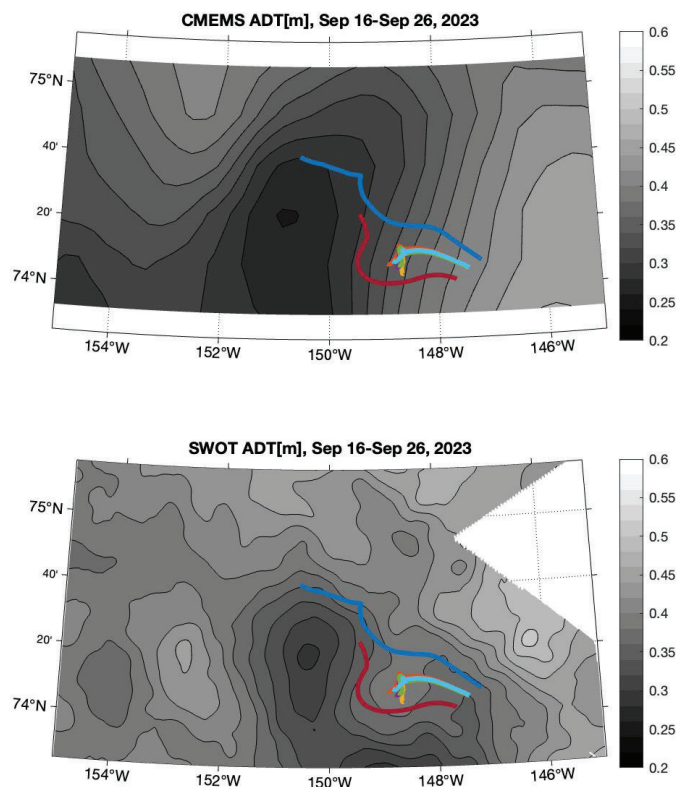


Fig. 2 ドローグ付き漂流ブイの軌跡と海面高度計の計測結果。上図は複数衛星観測結果の統合プロダクト CMEMS-L4、下図は面的な海面高度の観測が可能となった SWOT L3 データ

4 考察

面的な海面高度の観測が可能となった SWOT L3 データを参照すると、小型ドローグ付き漂流ブイの軌跡と衛星海面高度計測結果に基づく海面高度の等値線は似た分布を示していた。ブイの軌跡は海面高度から推測される海洋表層の地衡流成分以外にも影響されているため、一致することはないが、今回の計測では地衡流成分が主要であったため、類似性が見られたものと考えられる。今後は複数展開したブイの情報から海水縁付近の海洋渦の性質等について検討を行う。

5 成果報告

下記の通り、関連する口頭発表を実施した。

小平翼, 早稲田卓爾, 藤原 泰, 勝野 智嵩, 君塚政文, 川口悠介, 野瀬毅彦, 藤原周, 多点漂流型ブイを用いた北極海カナダ海盆氷縁域海洋表層流のラグランジュ観測, 日本船舶海洋工学会令和6年 春季講演会, 5月28日, 2024, 仙台.

Kodaira, T., Waseda, T., Fujiwara, X., Xingkun, Y., Nose, Submesoscale and Mesoscale Eddies near the Sea Ice Edge in the Canada Basin, Arctic Ocean, IWMO 2024, June. 18th, 2024, Low-temperature science institution, Hokkaido University.

うねりと風波が同時に存在する状況での GNSS 反射強度への影響の観測研究

京都大学大学院理学研究科 根田昌典

目的

本研究は、海表面の変動（水位と波浪）によって GNSS 反射波が受ける影響を評価する研究の一環として実施する研究である。波浪と海上風鉛直構造観測の結果を用いて GNSS 反射波観測によって得られる波浪情報の物理的意味を検討する。これまでの研究で実施した観測で、うねりの存在下で下層風が加速される事象を捉えることに成功した。これらの観測事実は、うねりによる海面形状の非等方的な変化が標準的な指標である 10m 高度の海上風速と海面風応力の関係を変化させる可能性を示唆する。今年度は観測塔における海上風鉛直構造観測を継続し、海上風とうねりの非等方的な関係が海上風鉛直構造に与える影響のより明瞭な観測事例を抽出した。

手法の概要

うねりと大気境界層の構造との関係を把握するために和歌山県田辺湾にある田辺中島高潮観測塔（以下「観測塔」）において複数高度(13m, 11m, 6m, 4m)で海上風ベクトルを計測する観測を継続実施した。本年は台風の接近によるダメージのリスクを冒し、夏季の台風シーズンにおいても観測を継続した。その結果、2024 年 8 月末に西日本において複雑な経路をたどった台風 10 号の影響によるうねりが発生する期間の観測データを取得することに成功した。しかしながら、12 月 1 日に一般船舶による観測機器への接触事故があり、少なくとも最下層風速計（4m 高度）は破損し、観測を中止する事態となった。データの確認は完了しているが、観測機器の状況の詳細は現在でも不明である。6m 高度風速計も設置位置の変化などの影響を受けている可能性が高い。

結果の概要

これまでに取得した風速観測データと観測塔で取得された気象海洋観測データの品質管理や補正を完了したのちに観測結果を解析した。2024 年 8 月下旬に西日本に接近した台風 10 号は、風向の急激な変化（南東風から北西風に変化）から 8 月 31 日 6 時 30 分頃に田辺湾を横切ったと推測される（図は示さない）。気象庁が作成した 8 月後半の沿岸波浪図と地上気圧分布図（天気図）（図 1）から、台風が田辺湾付近を通過する以前から強いうねりがあることがわかる。図 2 は台風の影響がほとんどない静穏な状況（8 月 23 日）の各高度風速の 9 時からの 1 時間観測値と 13m 高度と 6m 高度の風ベクトルを示す。また、モニンオブコフ長(L)を観測塔の観測値から決定すれば、2 高度の風速を用いた対数分布則は

$$\begin{cases} \frac{\kappa u_1}{u_*} = \ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right) + \beta \frac{z_1}{L} \\ \frac{\kappa u_2}{u_*} = \ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right) + \beta \frac{z_2}{L} \end{cases}$$

であり、ここから摩擦速度(u*)は以下の式で与えられる。

$$u_* = \frac{\kappa(u_2 - u_1)}{\ln(z_1/z_2) + \frac{\beta}{L}(z_2 - z_1)}$$

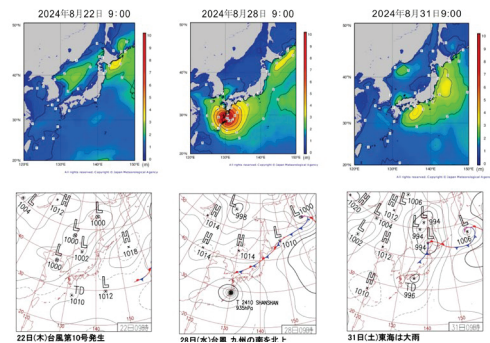


図 1：気象庁によって作成された（上）沿岸波浪図と（下）天気図。左からそれぞれ 2024 年 8 月 23 日、28 日、31 日の 9 時の図である。気象庁ホームページからの抜粋による転載。

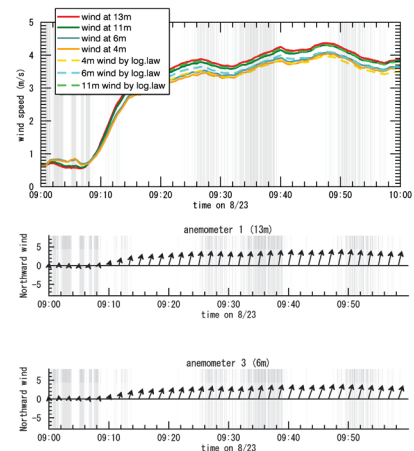


図 2：8 月 23 日 9 時から 1 時間の（上）各高度風速と（中）13m 高度と（下）6m 高度の風ベクトル。上図は（赤）13m（濃緑）11m（薄緑）6m（橙）4m 高度の風速を示す。点線は 2 高度風速から対数測によって推定した各高度風速を示す。

ここで得られた摩擦速度を用いれば、ある高度の風速(u_1)を与えれば任意の高度の海上風(u_2)を推定できる。図2の各高度風時系列には13m風を基準として求めた4m,6m,11mの高度の推定値を点線で示した。点線はほとんど各高度の実線と重なっている。風ベクトルの時系列からは、13m風と6m風での風向の差が非常に小さいことがわかる。これらは静穏な状況下では従来の対数分布側が成立していることを示す。

図3は、台風が通過した直後の8月31日9時から1時間の観測値を示す。風向はほぼ北北西であり、風速は 10ms^{-1} 程度から 7ms^{-1} 程度まで下降しているが、うねりとともに風浪も強いことが予想される。静穏時とは異なり、傾度法で推定した各高度風速は実測値よりも低風速となっている。これは、比較的高高度の風速を基準として推定した風速鉛直プロファイルが下層の風速を過小評価していることを示し、うねりによる下層風加速の発生と矛盾しない。また、13m高度の風向が概ね北北西方向であるのに対し、6m風速はほぼ北西風である。田辺湾におけるうねりの方向は地形的な制限からほぼ南西方向に限られており、静穏時の状況との違いを考えると、この風向の差はうねりの存在に起因する海面からの北東向きの運動量輸送によって生じた可能性は高い。

図4は静穏時(8月23日)と台風通過後(8月31日)の風速の鉛直構造を示す。静穏時には各高度風速観測値はほぼ対数測に沿っていることがわかる一方、台風通過時には13m高度風速が明らかにそれよりも下層の風速よりも低い。高風速(8ms^{-1} 以上)であっても、うねりがある状態では下層風が有意にうねりの影響を受けることがわかる。ただし、単純に海面からの運動量輸送があると考えると最下層の風速加速が大きいはずであるのに対し、11m高度までは高さに対して風速が大きくなっている。これには風向とうねりの向きの差異が影響している可能性がある。今回は観測塔に設置されている23m高度の風速は解析に用いていないが、今後高高度の海上風から対数測によって推定した鉛直プロファイルと下層風から推定した鉛直プロファイルの差を求めれば、海面から受ける運動量輸送の影響を定量的に評価できる可能性が高い。これらについては、次年度に詳細な解析を実施する。13m高度風速が11m高度風速よりも低いことは、うねりの影響が及ぶ高度についての示唆が得られる。比較のために、 4ms^{-1} 以下の弱風速下でありながらうねりが観測された2023年5月30日の風速鉛直構造を図5に示した。ここでも13m高度風速が最も低いが、11m高度風も6m高度風に比べて低くなっている。これらの比較から、うねりによる運動量輸送の影響が強く及ぶ範囲は、10m高度付近であることが示唆されるが、うねりと風浪の相対的な強さや角度の違いがどのように影響しているかは今後の課題として残る。

謝辞：本研究の観測は京都大学防災研究所附属白浜海象観測所のご協力のもと実施されたものです。

研究成果報告

口頭発表：0件

研究の体制

研究代表者：根田昌典：京都大学大学院理学研究科 特定教授
 所内世話人：市川香：応用力学研究所 准教授

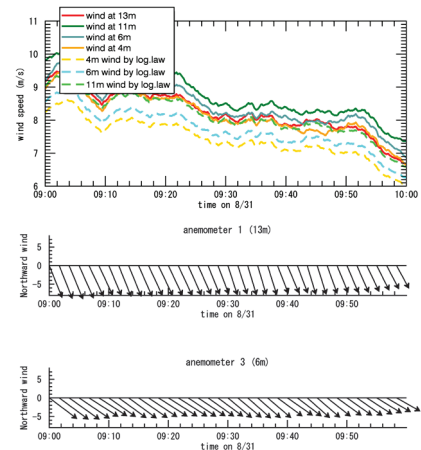


図3：図2と同じ。ただし、8月31日9時から10時の時間変化を示す。

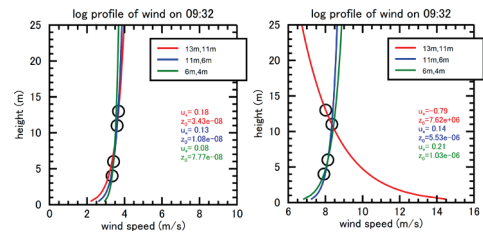


図4：(右)8月23日9時30分と(左)8月31日9時30分の海上風鉛直構造。○は風速計による観測値を表す。実線は(赤)13mと11m、(青)11mと6mと4mの風速から対数測に従って推定した風速鉛直構造を示す。

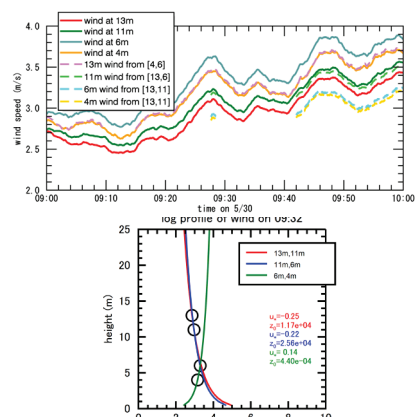


図5 2023年5月30日9時-10時の風速観測データ。時系列と鉛直プロファイルはそれぞれ図2、4と同様の図。

高スペクトル分解ライダー技術を用いたエアロゾル高度分布観測システムの構築

国立環境研究所地球システム領域 神 慶孝

【本研究の目的】

応力研に既設のラマンライダーでは、極めて微弱なラマン散乱光を用いるため、背景光の強い日中データから消散係数を推定することは極めて困難となる。そこで本研究では、昼夜連続でのエアロゾルの高度分布計測が可能なライダーシステムの実現を目的として、ラマンライダーと同様に消散係数の独立測定を可能とし、かつ、より高感度なライダー技術である高スペクトル分解ライダー技術（以下、HSRL 技術）を導入することで、応力研の多波長ラマンライダーを改良する。また、本改良によって得られる昼夜連続エアロゾルデータを用いた同化研究を見据えている。

【方法】

本研究では、波長 532 nm と 355 nm の 2 波長で動作する HSRL システムを導入する。ミー散乱と大気分子からのレイリー散乱を分離して測定するため、波長 532 nm ではヨウ素吸収フィルターを、355 nm では干渉計を高分解能分光素子として用いる。2021 年度に波長 532 nm の HSRL システムを応力研ライダーに導入し、連続観測を開始している。今年度は波長 355 nm の HSRL システムの導入を行った。分光フィルターとして走査型マイケルソン干渉計を使用し（図 1 (a)）、周期的に 1 フリンジ分スキャンして、スキャン信号をフィッティングすることで、干渉縞のコントラストを測定した。干渉縞のコントラストの大きさを解析することで、ライダー信号からレイリー散乱成分を抽出した。

【結果】

図 1 (b)-(d)に 2024 年 9 月 3 日に応力研ライダーで観測された波長 355nm（青）と 532nm（緑）のエアロゾル消散係数、後方散乱係数、偏光解消度の鉛直プロファイルを示す。偏光解消度が 0.05 以下であり、球形粒子が卓越していたものと考えられる。消散係数は測定ノイズの影響を強く受けるため、大気境界層内のエアロゾルのみ抽出可能であるが、後方散乱係数は自由対流圏での薄いエアロゾルについても抽出できている。観測パラメーターの時間分解能は 5 分であり、従来のラマン散乱ライダーと比べて高時間分解能でエアロゾルの光学特性を抽出することが可能となった。今後は連続観測データを解析することで、多波長でのエアロゾル光学特性の時間的・空間的な変動を明らかにする。

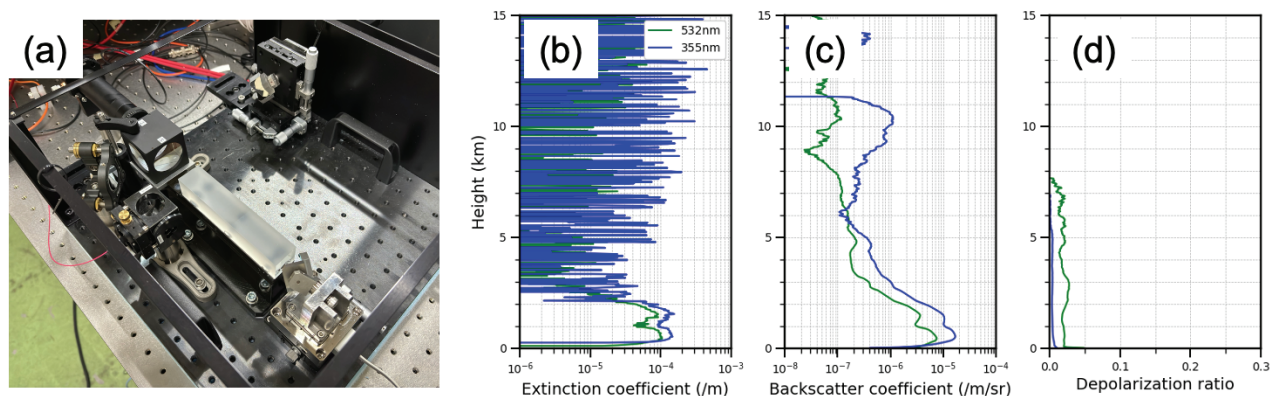


図 1 (a)波長 355nmHSRL 用走査型干渉計の写真、(b)-(d)2024 年 9 月 3 日における波長 355、532nm のエアロゾル消散係数、後方散乱係数、偏光解消度

海洋環境シミュレーション水槽とループ法を使用した吹送距離延長法の確立

兵庫県立大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 高垣直尚

・要旨

大気海洋間の運動量・熱輸送量を計測し正確にモデル化するためには、外乱を除去可能な風波水槽を使用することが重要である。今年度は、応用力学研究所の共同利用水槽にて風速・波高・水位・差圧・温度・湿度測定を実施した。さらに、運動量収支法および熱収支法を用いて水面を通して通過する運動量フラックスおよび熱フラックスを測定の追試を実施した。また、界面活性剤を使用してこれらの輸送量を変化させることができるかの追試を行った。

・序論

海洋や河川上で風シアが生成要因となって発生する風波の発達は、大気海洋間の運動量・熱・物質輸送に影響を及ぼすことから、この各種の輸送量を計測し正確にモデル化するためには、外乱を除去可能な風波水槽を使用することが重要である。しかし、風波水槽では、水槽長さの100 m程度までしか風波を発達させることは出来ず、実際の海洋での風波(30 km程度発達し続ける)を、現在の風波水槽で生成することは不可能である。そこで本研究では、九州大学応用力学研究所の海洋シミュレータ水槽を使用し、波の持つ性質を示す統計量が同じ波を風波水槽入口から何度も送ることで長い吹送距離で発生する波を再現する、いわゆるループ法の確立を目的とする。今年度は、ループ法を用いない場合の、高風速下における、風波気液界面を通しての運動量・熱輸送量の測定を行った。また、界面活性剤を使用してこれらの輸送量を変化させることができるかの追試を行った。

・実験方法および実験結果

実験・解析は、吹送距離は5.5mから33mの地点において、ファン回転数100回転から最大の1700回転において、実施された。表1に、2018-2024年度の最高風速等の値を示す。特に、今年度初めて界面活性剤を使用した場合の実験を実施し一部の風速測定を行った。図1に、海上10mでの風速と抗力係数の関係を示す。なお、本年度はSDS溶液の場合に波高の実測を行い、波高よりモデルを使用して推測された抗力係数の値をプロットしている。図より、低風速から高風速までのすべての風速帯において、真水の場合に比べてSDS溶液での値は低いことがわかる。今後は、台風シミュレーション水槽にて伝熱実験を行い熱輸送機構の解明や輸送量の制御にも挑戦する。

・成果報告(論文、学会発表リスト等)

1. Gaku Terazono, Naohisa Takagaki, Naoki Kurihara, Motoko Hatanaka, Evaluation of Momentum Transport through the Water Surface with the Typhoon Simulation Tank, 4th Joint Symposium on Advanced Mechanical Science and Technology (4th JSAMST), Best Poster Award, University of Hyogo, September 25 to 28, 2024.
2. Naohisa Takagaki, Surfactant contamination effects on wave wind height in typhoon simulation tank, The 4rd Joint Symposium on Advanced Mechanical Science and Technology, University of Hyogo, September 25 to 28,

2024.

3. Naohisa Takagaki, Surfactant contamination effects on wave wind height in typhoon simulation tank, The 4rd Joint Symposium on Advanced Mechanical Science and Technology, University of Hyogo, September 25 to 28, 2024.
4. Naoki Kurihara, Naohisa Takagaki, Gaku Terazono, Motoko Hatanaka, The effect of surfactant on the wave under typhoon condition, The 4rd Joint Symposium on Advanced Mechanical Science and Technology, University of Hyogo, September 25 to 28, 2024.
5. Naohisa Takagaki, Estimation and Control of Air-Sea Momentum and Heat Fluxes of Typhoons, International Symposium on Weather Controllability 2024, Hitotsubashi Hall, Tokyo, Japan & Online, Oct 6 to 7, 2024.

Table 1: Maximum wind velocity in RIAM wind-wave tank. Values of U_∞ in 2020 and 2021 were extrapolated values. Values of U_{10} in 2017 and 2019 were estimated from U_∞ using model (Takagaki et al., 2012). Values of U_{10} in 2020, 2021 and 2024 were estimated from u^* using model (Takagaki et al., 2012). Tap water were used in 2017-2022,2024, and SDS solution was used in 2023,2024.

	solution	N [rpm]	F [m]	U_∞ [m/s]	U_{10} [m/s]	u^* [m/s]
<i>Takagaki et al. (2017)</i>	TW	1300	6.5	14.0	22.8	-
RIAM Report (2019)	TW	1700	6.5	22.2	36.8	-
RIAM Report (2020)	TW	1600	33	24	37.6	1.9
RIAM Report (2021)	TW	1700	33	25	43.5	2.2
RIAM Report (2022) and <i>Takagaki et al. (2023)</i>	TW	1700	20	24.0	40.3	2.0
<i>Ikeda et al. (2024)</i>	TW	1700	20	22.9	-	-
<i>Ikeda et al. (2024)</i>	SDS	1700	20	24.0	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	TW	1700	5.5	21.52	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	TW	1700	6.5	21.46	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	TW	1700	19	24.01	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	TW	1700	20	24.09	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	TW	1700	33	24.04	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	SDS	1700	5.5	21.94	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	SDS	1700	6.5	21.83	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	SDS	1700	19	23.49	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	SDS	1700	20	23.40	-	-
<i>Kurihara et al. (2024)</i>	SDS	1700	33	23.49	-	-

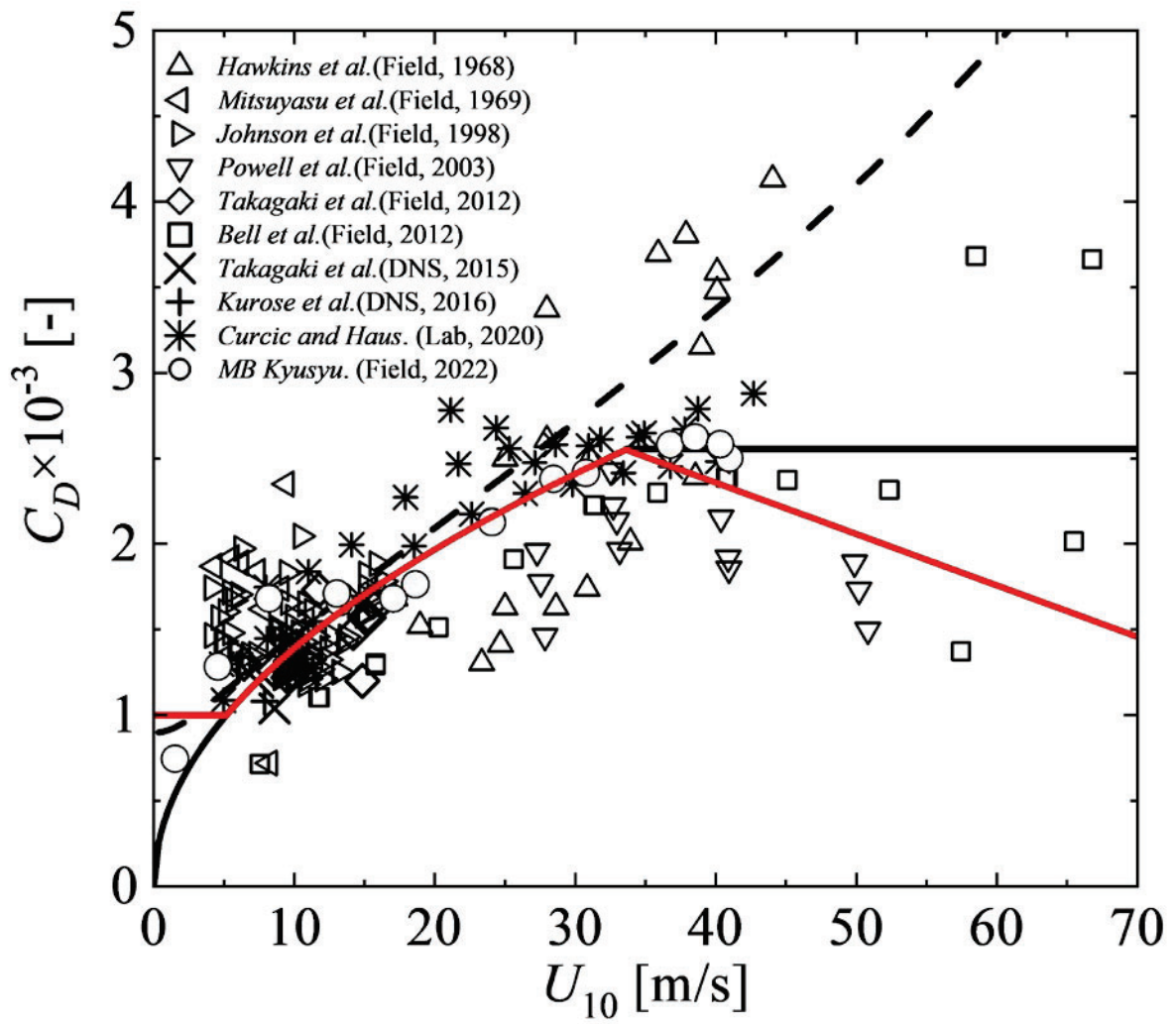


Fig. 1: Relationship between 10-m height wind speed U_{10} and drag coefficient C_D . This figure is reproduced based on Fig. 12 of Takagaki et al. (2023).

東シナ海から日本海の海況変動を把握するための観測研究

長崎大学 滝川哲太郎

1. はじめに これまで、研究メンバーは、山口・福岡・長崎県沿岸での水温・塩分等のモニタリングや、沖合での係留観測を行っている。このなかで、2024年の春から夏にかけての3か月間、五島海底谷に係留系を設置したので、その概要を報告する。
2. 係留観測 長崎大学水産学部附属練習船「長崎丸」を用い、係留系の設置・回収を行った。その位置と日付を表1に示す。五島海底谷の最大水深は約700mであり(Oiwane et al., 2011, Marine Geology)、斜面上の水深347.5mの位置に係留した(図1)。係留系には、5-beam ADCP (Sentinel V 300 kHz, Teledyne Marine) と2台の電磁流速計 (INFINITY-EM, JFE アドバンテック) を取り付けた。電磁流速計、切離し装置等の係留機材は、応用力学研究所の海洋観測・解析システムから利用した。ADCP は上向きに設置した。計測機器の配置は係留図を参考にされたい(図2)。ADCP の圧力センサから、その設置深度は平均176.4 m となった。電磁流速計には圧力センサが付いていない。係留図をもとに、ADCP 設置深度と水深から見積もった電磁流速計の深度は235 m と304 m であった。ADCP の設定は、broadband (bandwidth 25%)、層厚6 m で測定レンジを144 m とした。ここで、アンサンブル間隔30分ごとに1秒間隔で120 ping を発信した。電磁流速計の設定は、バースト時間10分ごとに1秒間隔で10測定とした。

表1. 2024年の五島海底谷における係留系設置・回収情報。

緯度	経度	水深	設置日	回収日
32°17.5143'N	128°42.2198'E	347.5 m	4月24日	7月23日

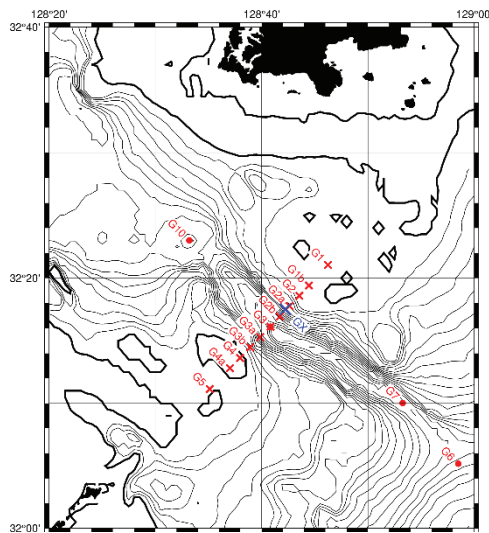


図1. 係留位置(青×)。赤×は4月のCTD観測点である。

研究組織 長崎大学
九州大学 応用力学研究所
愛媛大学 沿岸環境科学研究センター
福岡県 水産海洋技術センター
山口県 水産研究センター

2024年4月 五島深海谷係留線 予定水深360m, 全長175m

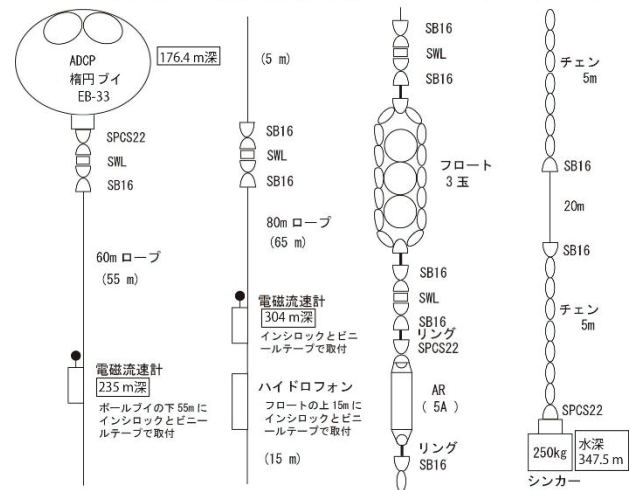


図2. 係留系の概略図。四角枠に回収後の確定値を示す。

滝川哲太郎 (研究代表者)
千手智晴 (所内世話人), 遠藤貴洋 (研究協力者)
森本昭彦 (研究協力者)
池浦 繁 (研究協力者)
渡辺俊輝, 和西昭仁, 安部 謙 (研究協力者)

LES モデルを用いた複雑地表面上での鉛直運動と雲形成過程の解析

京都大学防災研究所 竹見哲也

【目的】

都市の気象防災・大気環境に係る諸問題は日常生活で極めて重要である。特に、都市の風は、台風など強風現象の発生時に瞬間的な風速の強化による災害、夏季晴天時には風速の抑制による熱環境の悪化、様々な気象状況下での大気質の問題など、災害や環境の観点から、定量的に把握することが大事である。都市の風は激しく変動することから、細密な観測網の構築によるリアルタイムでのモニタリングとともに、個々の建物や構造物を陽に表現可能とする数値モデルも必要である。

市街地や複雑地形など複雑地表面上での大気下層の運動は、地表面の複雑性に起因して、激しく変動する。こういった非定常な気流の変動を定量的に評価するためには、高分解能で乱流を陽に表現可能な Large-Eddy Simulation (LES)モデルを用いることが必要である。そこで本研究では、建物や構造物、地形を精緻に表現可能な LES モデルを用いて、複雑地表面上での大気下層における乱流変動や大気境界層の組織構造を精緻に表現し、大気の鉛直運動とそれに伴う雲の形成過程の物理過程を明らかにすることを目的とする。特に、市街地における雲の形成に至るまでの物理過程に着目し、大気境界層での乱流運動や鉛直方向の運動量・熱輸送が都市の建物配置にどのように影響を受けるかについて調べる。また、メソ気象モデルと組み合わせることにより、都市からの熱輸送が雲形成に及ぼす影響について調べる。

【解析手法】

気象場の数値シミュレーションには、Weather Research and Forecasting (WRF)モデルを用い、ネスティングにより最も内側の計算領域の格子幅は 1 km とした。建物解像 LES モデルとして、PALM モデルを用いた。大阪市街地を対象地域として、国際航業による 2 m 分解能の DSM/DEM データを用いて、実在の市街地・建物形状を建物解像 LES モデルの下部境界に取り込んだ。都市の人工構造物が気流に及ぼす影響を調べるため、地面標高は除外し、建物や人工構造物の高さのみを考慮した。WRF モデルを用いたシミュレーションでは、3 段階ネスティングにより計算領域を設定し、4.5 km/1.5 km/0.5 km と解像度を徐々に上げるようにした。大阪平野で発生した夏季の局地的な降水を対象とし、2023 年夏の事例を探索し、8 月 27 日の大阪市周辺での局地的な降水事例を選定した。この事例を対象として、計算開始時刻を様々に変化させた初期時刻アンサンブルシミュレーションを実施し、再現性を調べた。次に、都市からの排熱効果の変化による気象影響の評価を念頭に置き、地表面からの顕熱輸送量を改変した数値実験を実施した。

【結果】

建物解像 LES モデルにおいて、建物からの現実的な排熱を想定し、建物表面からの顕熱輸送の有無の違いによる境界層での運動量輸送・熱輸送を比較した。その結果、排熱あり実験において、運動量輸送量が大きくなり、排熱の有無の差は高層ビルと中低層ビルが密集する街区において顕著であることが分かった。この運動量輸送の街区毎の違いは、熱輸送量にも影響を及ぼす。特に、高層ビルの存在が、運動量も熱も効果的に輸送していることが分かった。

このような都市の排熱効果の違いが、局地的な降水にどのような影響を及ぼすのかについて、WRF モデルによる感度実験を行った。陸面からの顕熱輸送量を 50%に改変した実験により降水量の変化を調べたところ、大阪平野で領域平均した降水量が 2 割強程度にまで減少していた。

陸域から外洋への水・栄養輸送に対する気候変動の影響

富山大学 大学院理工学研究部 張 勁

Impact of Climate Changes on Water and Nutrient Transport: from Land to Open Ocean

本報告書では、主に 1. 2024 年 7 月に実施された「長崎丸」の研究航海 (NS24-137) の速報、および 2. 2024 年 12 月 6 日～8 日に富山大学で開催された IOC WESTPAC-FEC 国際ワークショップの概要について報告する。

1. Dynamics of bottom waters observed during the 2024 NS24-137 cruise

The East China Sea (ECS) provides essential biological resources for its local fishery and contributes to biodiversity on its surrounding seas, mainly through the Kuroshio Current, which regulates cross-shelf material transport on various scales. It is thus urgent to clarify the dynamics of bottom water (onshore and offshore dynamic) that potentially influence local marine productivity and further downstream areas like the Japan Sea. In the NS24-137 Nagasaki Maru cruise, three sections in the outer shelf of ECS were studied during the Summer of 2024. CTD observation and water sampling were conducted on a spatial and temporal basis (time-series station). Some biochemical parameters analyzed are rare earth elements (REEs), neodymium isotopes, radon, radium (Ra), nutrients, dissolved oxygen, and water isotope analysis. Using a multicore sampler, sediment cores with overlying water were collected at several stations. Additionally, shipboard and moored data from the Acoustic Doppler Current Profiler and microstructure profilers were utilized to help interpret physical forcings further.

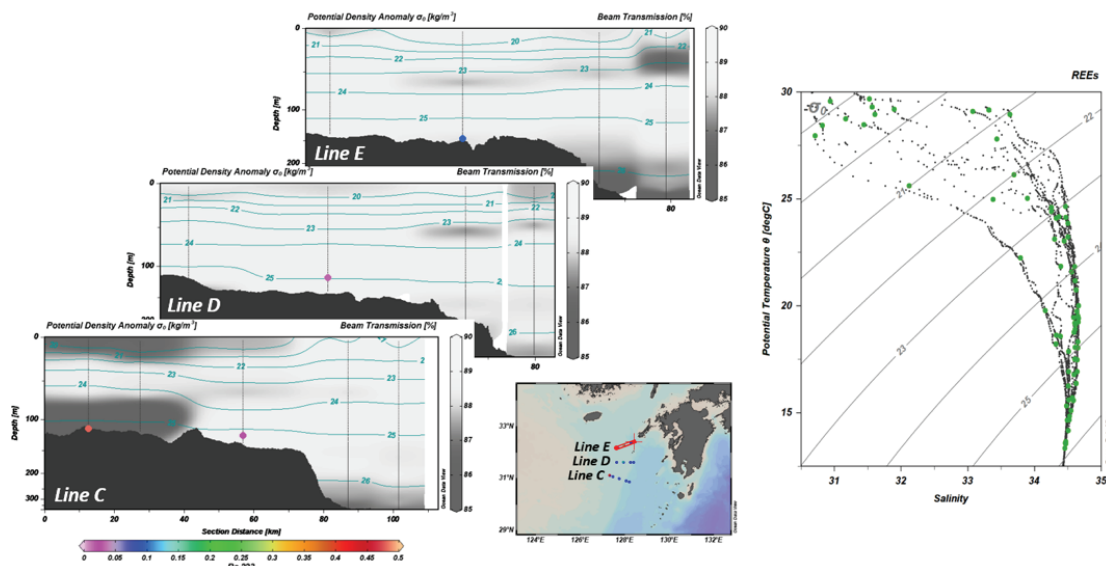


Figure 1. The sectional view of beam transmission contoured with potential density anomaly (Tosca line) and overlapped with the ^{223}Ra (colored dots) data from the NS24-137 Nagasaki Maru cruise. Locations of stations are also given. The temperature-salinity diagram of all stations with the REE samples (green dots) is also presented.

By incorporating REEs and Ra isotopes, it is now possible to clarify the mechanism and changing rate of water masses in the outer shelf of ECS on a temporal basis. Some preliminary results are as follows: (1) based on the simple mixing model

by using temperature and salinity combined with heavy REEs, it is found that temporal factors and physical forces might significantly influence the variability of Kuroshio Intermediate Water and Kuroshio Subsurface Water intrusion into the shelf area. (2) A change in vertical structure could further generate a geostrophic flow, usually indicated by the turbidity tongue around the shelf break (Line C in **Figure 1**). (3) The Ra value decreases from the inner to the outer shelf, indicating that the water from the inner shelf mainly regulates Ra (**Figure 1**). On a zonal basis, it is seen that Ra value does not change significantly, indicating that Kuroshio intrusion may not be the driving factor of Ra distribution along the shelf of ECS (**Figure 1**). Further, this study will combine these results with water mixing analysis to understand the spatio-temporal variation of Kuroshio Intrusion onto the shelf area.

2. IOC WESTPAC-FEC Workshop: Role of human activities on the marine environment through the exchange of materials between land and the ocean



Figure 2. Group photo during the IOC WESTPAC-FEC Workshop, December 6-8, 2024, in the University of Toyama, Japan.

The workshop focuses on sustainable and healthy oceans, with a particular emphasis on the stage of economic development and the transport of nutrients from land. The forum, part of the workshop, is a joint event organized by the Intergovernmental Oceanographic Commission for the Western Pacific (IOC-WESTPAC) and Future Earth Coasts (FEC). The workshop aims to advance scientific understanding of the biogeochemical process in the Asian Marginal Seas. The first day was designed for a business meeting among scientists under the IOC-WESTPAC framework. The second day was intended for a scientific forum, open to the public, to report current research and progress in understanding water and nutrient transport between land and ocean. In addition, perspectives from social and economic are given to enhance our understanding of nutrient management in coastal oceans under global climate change. A poster presentation session was also conducted for early career researchers to deliver their research updates and thoughts about the workshop topic. Researchers from 11 countries, totaling more than 50 participants, attended this workshop. Ultimately, enhanced collaboration, communication, information exchange, and cooperative activities with FEC are projected.

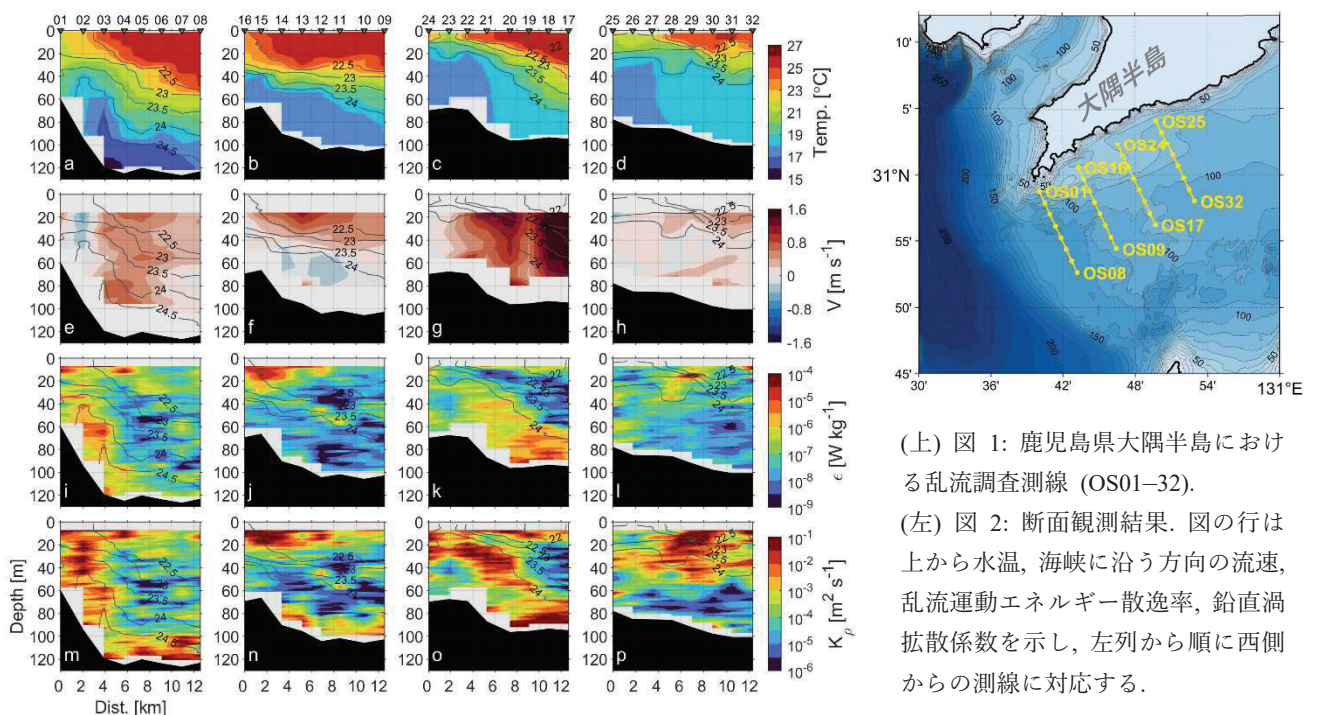
沿岸海洋の密度躍層における乱流混合の定量化

鹿児島大学水産学部 堤 英輔

背景と目的 沿岸域における乱流混合は、熱や淡水、物質の輸送を通じて海洋環境に深く関わる。特に密度躍層における乱流混合は海域の基礎生産を支え、海洋生態系に果たす役割が大きい。しかしその定量化は未だ十分でなく、乱流混合の定式化が必要とされている。本研究では沿岸海洋の密度躍層周辺で生じる乱流混合の定量化を目的として、乱流微細構造計測データの解析を行う。本年度は、水産重要魚種の産卵生育場として重要な大隅海峡（Kume et al. 2021）における乱流調査を実施した。

研究内容 2024年6月8日から9日にかけて図1に示す大隅半島南岸沖に4測線（測点 OS01–32; 図1）を設定し断面観測を実施した。観測は鹿児島大学水産学部附属練習船「かごしま丸」KG2409 航海にて行い、応力研所有の微細構造プロファイラ TurboMAP-L (JFE Advantech 社) を用いて乱流と成層を計測した。TurboMAP は自由落下式で使用し海面下から海底直上までのデータを得た。計測された乱流シアから乱流運動エネルギー散逸率 ϵ を計算し、Osborn (1980)の方法で鉛直渦拡散 K_p を見積もった。

結果 大隅海峡には黒潮からの分枝流と潮汐流によって顕著な流れが生じる（山城ら 2008）。観測が実施された時にも、各測線の沖（南）側では黒潮に由来する暖水（表層で約 26°C）と海峡に沿う北東向きの強流（最大で 1.6 m s⁻¹）が存在していた（図2 a-h）。一方で各測線の岸側 4–5 km の範囲には冷水（表層で約 20°C）が存在し、その表層 30–40m で顕著な乱流混合（ $\epsilon \sim 10^{-6}$ – 10^{-5} W kg⁻¹, $K_p \sim 10^{-2}$ – 10^{-1} W kg⁻¹）が生じる傾向が認められた（図2 i-p）。この岸側は反流もしくは淀み域となっており、そこでの冷水と強い乱流は大隅半島先端の佐多岬での大隅分枝流の接岸・剥離に起因して生じたと推察される。岸側のみならず、大隅海峡では概して著しい乱流混合が生じており、地形性後流渦や海底エクマン層等の流れと地形間の相互作用を明らかにすることが、この海域の乱流混合の定量的評価に必要なと考えられる。



(上) 図 1: 鹿児島県大隅半島における乱流調査測線 (OS01–32)。

(左) 図 2: 断面観測結果。図の行は上から水温、海峡に沿う方向の流速、乱流運動エネルギー散逸率、鉛直渦拡散係数を示し、左列から順に西側からの測線に対応する。

Delury 法による若狭湾のズワイガニ資源量の推定

福井県立大学 渡慶次 力

1. 目的

福井県の若狭湾で漁獲されるズワイガニ *Chionoecetes opilio* は「越前がに」と呼ばれ、福井県の海面漁業産出額の約 30% を占めるほど重要な魚種である。このため、福井県では、保護礁設置、漁業者の自主的規制、1997 年以降の TAC 規制など各種努力により、近年の年間漁獲量は 400 t から 600 t と安定的に推移している。漁期トータルの資源量で設定される TAC を漁期内で有効に活用するには、若狭湾かつ漁期内の時空間スケールで資源評価をすることが必要となる。特に、雄ズワイガニは成長に伴い単価上昇することから、漁期内での資源評価を漁業者が操業で利用できれば、資源を守りながら漁獲金額を増やすことが可能となる。漁業者の資源管理のモチベーションを持ってもらう条件である分かりやすく、かつ若狭湾のズワイガニ資源を漁獲情報で簡便に評価する方法として、Delury 法は有効だと考えられる。なぜなら、Delury 法の 3 つの前提条件①加入や移出入のない閉じた個体群、②短期間に強度の漁獲圧によって資源が顕著に減少し、③漁獲努力量と資源量が比例する資源は、若狭湾のズワイガニに十分適応できると考えられるからである。さらに、福井県は Delury 法のデータとして必要となる漁獲量と努力量のデータを十数年に至る長期間蓄積している。しかしながら、若狭湾のズワイガニ資源量の推定を Delury 法で検討した事例がない。そこで、本研究では Delury 法による若狭湾ズワイガニの資源量推定の妥当性を検討した。

2. データと方法

2002 年～2019 年に越前町漁協所属の一部（7～21 隻）の底曳網漁船が記帳した操業日誌と越前町漁協の販売記録を使用した。使用したデータは、ズワイガニを漁獲した年月日、緯度・経度、銘柄別（大ガニ・中ガニ・山ガニ・黒仔）の漁獲尾数である。大ガニと中ガニを分けずに記載されていたことから、両者を併せて大中ガニとして扱った。解析海域は、緯度経度 0.03 度でグリッドを作成し、操業された全ての海域（以下、海域条件 1）と、ある程度の頻度以上で操業された海域（以下、海域条件 2）でそれぞれ分析した。海域条件 2 は、18 年間の累計 CPUE のヒートマップを作成し、全解析期間の平均値・標準偏差より CPUE が大きい海域とした。資源量指標として CPUE を 1 網ごとのズワイガニの漁獲尾数により算出した。資源量推定には、CPUE を目的変数、累計漁獲尾数を説明変数とし、単回帰分析を行い、 x 切片により初期資源尾数を推定する方法を用いた。各漁期について操業日誌から日別、週別、月別の各集計単位で銘柄別の漁獲尾数と CPUE をまとめて初期資源尾数を推定し、真値を「越前町漁協の小型底曳網漁船のみの漁獲量」（以下、「小底漁獲量」）として、両者の相関関係を確認し、Delury 法の妥当性を検討した。

3. 結果

全漁期年を通して推定初期資源尾数が正数で得られたのは、大中ガニの海域条件 2 の日別、週別集計、山ガニの海域条件 1 の日別集計、黒仔の海域条件 1 の日別、週別、月別集計であった。全漁期年を通して推定初期資源尾数が正数になった銘柄・集計単位の場合のみにおいて相関関係を確認

した。有意な相関関係 ($p < 0.05$) があったのは、真値「小底漁獲量」と黒仔の海域条件 1 の日別集計 ($r = 0.56$)、週別集計 ($r = 0.61$)、月別集計 ($r = 0.59$) であった。しかし、大中ガニ・山ガニは有意な相関関係はみられなかった。本研究による Delury 法による大中ガニ・山ガニの精度は低く、漁期開始時の CPUE が不均質な分布範囲、漁期後半の CPUE が一時的に上昇しダブルピークになることが要因であった (図 1, 左側)。一方で、黒仔の精度は高く、限られた分布範囲かつ漁期終了にかけて急減することがその要因と考えられた (図 1, 右側)。

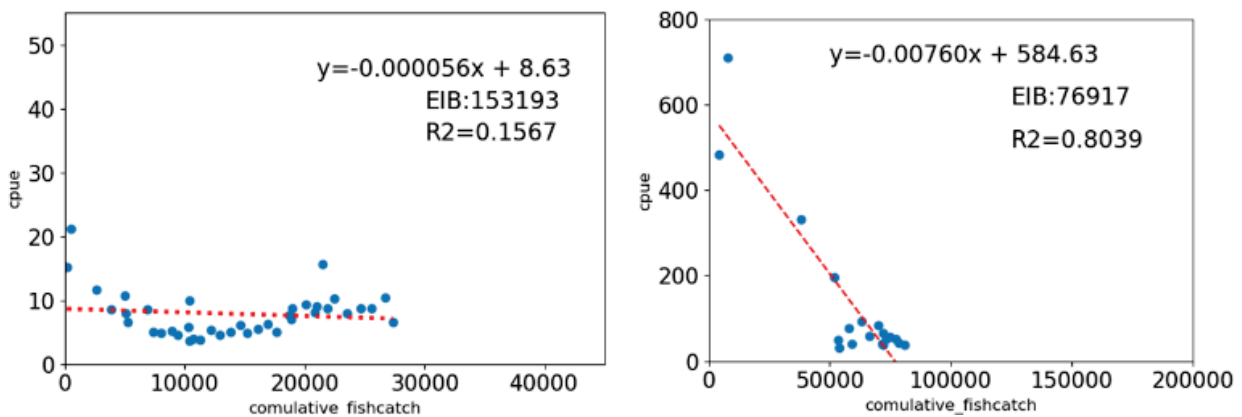


図 1 2016 年の累計漁獲尾数と CPUE の関係 (左：大中ガニ, 右：黒仔)

5. 成果報告等

森亮輔・前川龍之介・元林裕仁・渡慶次 力, 若狭湾における雄ズワイガニの Delury 法による資源量推定, 2024 年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, pp79, 2024.11 (静岡市)

6. 研究組織

代表者	福井県立大学	准教授	渡慶次 力
世話人	九州大学応用力学研究所	准教授	千手 智晴
協力者	京都府農林水産技術センター海洋センター	技師	丸山 香野子
協力者	京都府農林水産技術センター海洋センター	技師	木下 直樹
協力者	京都府農林水産技術センター海洋センター	技師	山渕 航助
協力者	福井県水産試験場 海洋資源研究センター	所長	河野 展久
協力者	福井県水産試験場 海洋資源研究センター	研究員	元林 裕仁
協力者	福井県水産試験場 海洋資源研究センター	主事	前川 龍之介
協力者	福井県水産試験場 海洋資源研究センター	主事	梶原 大郁
協力者	福井県水産試験場 海洋資源研究センター	主事	荒井 遼
協力者	福井県立大学	教授	兼田 淳史
協力者	気象研究所	研究官	広瀬 成章
協力者	九州大学応用力学研究所	教授	広瀬 直毅
協力者	九州大学応用力学研究所	准教授	木田 新一郎

東アジアモンスーンが励起するマルチスケール黒潮変動

鹿児島大学水産学部 中村 啓彦

目的 東シナ海における黒潮の運動エネルギーが乱流スケールにカスケードダウンし散逸する仕組みを研究している。これまでの研究で、黒潮の運動エネルギーを乱流へ供給するプロセスとして、海峡域における黒潮と海山間の相互作用に起因した内部波の碎波 (Tsutsumi et al. 2017, Hasegawa et al. 2021, Nagai et al. 2017; 2021, Takahashi et al. 2024), 海山で励起された後流渦のシア・対流不安定混合 (Inoue et al. 2024) の重要性を示してきた。一方、大陸棚斜面域で黒潮の運動エネルギーが乱流スケールにカスケードダウンするプロセスとして、黒潮の対象/慣性不安定を通じ放出される近慣性内部重力波の碎波が重要であるという仮説を提案し (Nakamura et al. 2021), 現場観測と数値計算による研究を続けてきた。このように、本研究課題は、東シナ海の海峡域と陸棚斜面域での黒潮の運動エネルギーの散逸過程を明らかにすることを目的としている。

研究内容 2019年より6年間、継続課題として研究を行ってきたが、本年度で上記目的の研究を終了する。終了する理由は、トカラ海峡の「平瀬」における黒潮-海山の相互作用観測プロジェクト (ワシントン大学との国際共同観測) が2023年6月に終了し、その成果がほぼ出揃ったこと (Tsutsumi et al. 2017, Hasegawa et al. 2021, Nagai et al. 2017; 2021, Takahashi et al. 2024, Inoue et al. 2024) による。さらに、東シナ海陸棚斜面域で日韓共同の黒潮観測を実施しているが、黒潮運動エネルギーの散逸過程解明を目的とした観測は一区切り付き、次の重点観測課題 (2025年度/九大応力研/一般共同利用申請中) として、黒潮の鉛直混合過程から湧昇過程の研究に移行する方針を固めたことによる。これまでの観測を振り返ると、2020年6月より北部沖縄トラフの黒潮流域に4台のADCP (RDI社製/WH-LR 75KHz) を設置してきた (図1: 配置を変えて今後も継続予定)。2022年6月~2023年6月の1年間は、Thermistor String (RBR社製: Centro TX deep) と流速計 (FSI社製: 3D-ACM) で構成された係留系を、KCM5の500~600m深に設置した。これらの観測により、現時点で黒潮運動エネルギーの散逸メカニズムの推測に資する観測事実を把握する作業は終了した。今後は、数値実験を通して観測事実と整合的な散逸メカニズムの仮説形成を行う必要があるが、その研究は次の重点研究課題の中で継続することにした。

今年度は、以下の観測・解析を行った: 1) 日韓共同観測を次の観測フェーズに向けて継続したことに加え、2) 2022/6~2023/6の係留観測データより得られた観測事実を再検討 (2023年度研究課題の成果の再検討)、3) 超高解像度の海洋再解析データ (DR_Ep) を用いて黒潮運動エネルギーの散逸メカニズムを推定した。以下、2) と3) について、結果の概略を示す。

結果 2022/6~2023/6の係留観測戦略は、ADCP観測網により黒潮の擾乱から近慣性内部波が励起されるかどうかを確かめ、Thermistor Stringにより近慣性内部波エネルギーの増減が乱流強度の増減に繋がっているかどうかを確かめることだった。この戦略で観測データを解析した結果、昨年度、以下の結果を得た。KCM3の黒潮下層で南下流傾向のときに近慣性内部波エネルギーが高くなる傾向があり、近慣性内部波エネルギーが高いときに疑似Thorpeスケール (水温逆転の距離の総和) が大きい傾向があった。この現象は、台風による夏季の間欠的な発生を除けば、黒潮擾乱 (約10~30日周期) の季節変動に関連して12~3月頃顕著に起こる傾向があった。さらに、上述の変動が卓越した3日間 (12月21~23日) について詳細な解析を行った結果、日周期と半日周期の流速変動に連動して、疑似Thorpeスケールが大きくなる傾向が認められた。

今年度、上述した要素 (黒潮下層の南下流、半日・日周期の外部潮汐、近慣性内部波エネルギー、疑似Thorpeスケール) の関係を、12月~3月の冬季について系統的に調べた (図2)。結論として、観測事実を以下のように整理した。近慣性内部波エネルギーと疑似Thorpeスケールの増大は、20~30日周期の黒潮擾乱に由来する黒潮流軸の沖へのシフト (黒潮下層の南下流イベントと整合的) に同期している。日周潮の大潮 (約13日変動) は、黒潮流軸の沖へのシフトの3回に2回の割合で起こる。しかし、両者には因果関係はなく、最小公倍数の関係による偶然の結果と解釈される。また、12月~3月期、日周期と半日周期の大潮は同期する傾向がある。したがって、近慣性内部波エネルギーと疑似Thorpeスケールの強化は、黒潮流軸の沖へのシフトと日周潮・半日周潮の大潮の両方に起因しているように見える。つまり、黒潮が大陸棚斜面から離れたタイミングで大潮が起ると、大振幅の近慣性内部波が励起され、それが碎波することで鉛直混合が促進されると考えられる。

この観測事実を検証するために、超高解像度の海洋再解析データ (DR_Ep) を解析した。その結果、以下の事実がわかった。再解析データには、観測で見られるような、水平流速の鉛直高波数シアーストリーク構造が再現されている。このシアーストリーク構造は、以下の現象に伴われている (図 3) : 1) 日周期の内部潮汐 (近慣性内部重力波と周期がほぼ同じで両者を厳密に分離するのは困難) が、陸棚縁辺で形成されて沖縄トラフの黒潮内部へ向かってビーム状に下方エネルギー伝搬する現象, 2) 半日周期の内部潮汐が陸棚斜面上の黒潮底部からビーム状に上方エネルギー伝搬する現象。これらの現象は黒潮の沖へのシフトにより強化されている傾向が示唆される (現時点では年間を通じた特性の解析は行っていない)。なお、再解析データからは、水平流速の鉛直高波数シアーストリーク構造は、内部潮汐波のビーム状の伝搬 (線形力学) として理解できそうであるが、ADCP 流速時系列 (図 4) からは、このシアーストリークはビーム状伝搬構造ではなく、高波数の鉛直モード構造とみなせるときがあり、黒潮の非線形性が波動伝搬に強く影響してエネルギーが局在化している可能性が指摘できる。現時点ではこの点の解析は不十分であり、今後、さらに観測データ解析と数値実験を実施する必要がある。上述した理解は、黒潮ではなく潮汐の運動エネルギー散逸のプロセスに留まる。このプロセスの中に、黒潮の運動エネルギー散逸が関連するかどうかを調べることも重要な研究課題として残されている。

研究組織 中村 啓彦 (鹿大水産, 研究代表者), 遠藤 貴洋 (九大応力研, 所内世話人), 堤 英輔 (東大大海研/鹿大水産, 研究協力者), 小針 統 (鹿大水産, 研究協力者), 仁科 文子 (鹿大水産 研究協力者), 井上 龍一郎 (海洋研究開発機構, 研究協力者), 長井 健容 (東京海洋大, 研究協力者)

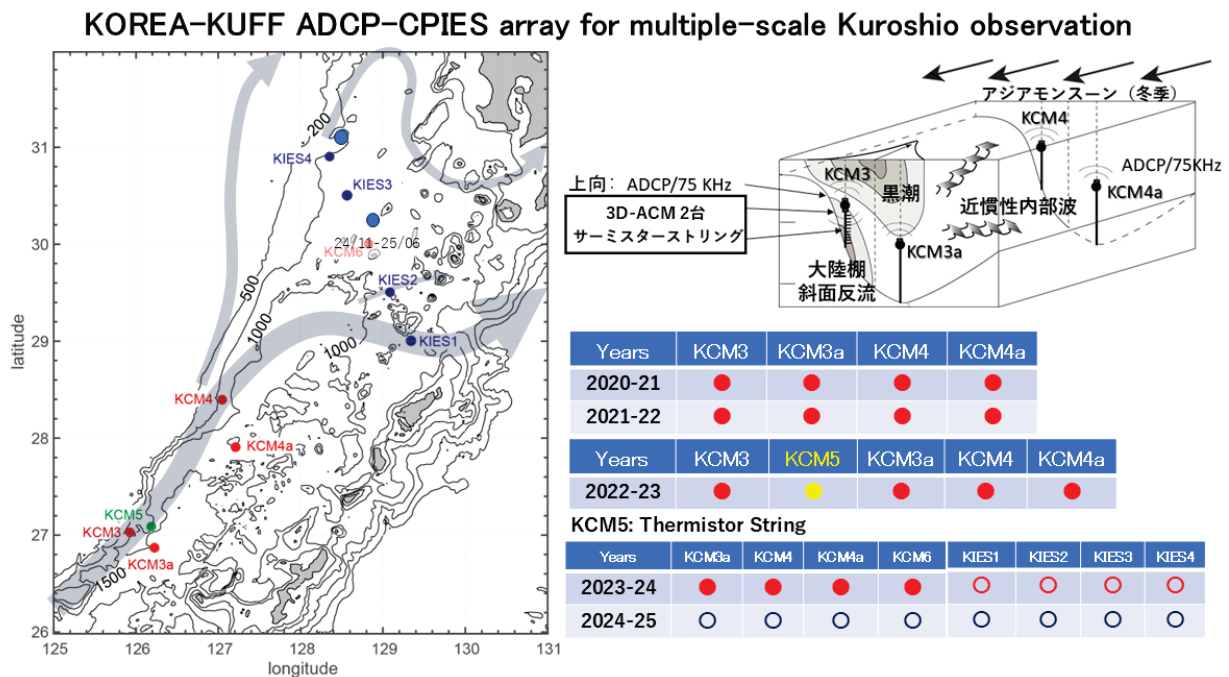


図 1. マルチスケール黒潮変動の係留観測網。KCM3~KCM6 (赤字)は ADCP (WH-LR 75KHz), KCM5 (緑字)は Thermistor String, KES1~4 (青字)は CPIES (A current- and pressure-recording inverted echo sounder)の係留点。

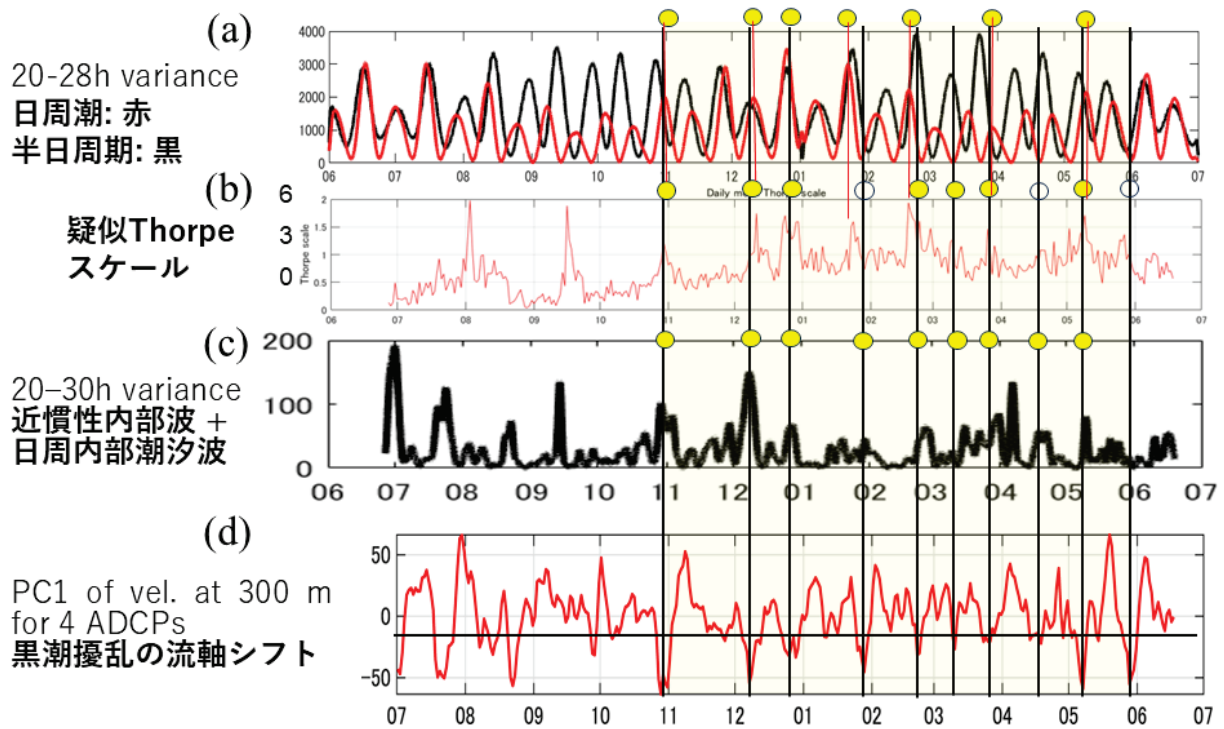


図 2.. (a) 那覇の潮位データによる潮汐エネルギー：1 日周期成分の分散（赤），半日周期成分の分散（黒）。(b) KCM5 の Thermistor String データより計算された疑似 Thorpes スケール（10 秒毎の値の日平均値），(c) KCM5 の 3D-ACM データより計算された近慣性周期帯（20～30 時間）の水平流鉛直シア強度（上側と下側の流速差の 2 乗），(d) KCM3-3a における黒潮の流軸位置指標時系列（負：沖向きシフト）（KCM3～4a における 200m 深の ADCP 流速ベクトル時系列の結合 EOF 解析結果：第 1 主成分）。縦線は，11～6 月の期間での黒潮の沖向きシフト（縦線）を示す。黄色丸印は，黒潮の沖向きシフトと同期している，近慣性内部波エネルギーが大きいイベント（図 c），疑似 Thorpe スケールが大きいイベント（図 b），日周潮汐の大潮（図 a）を示す。

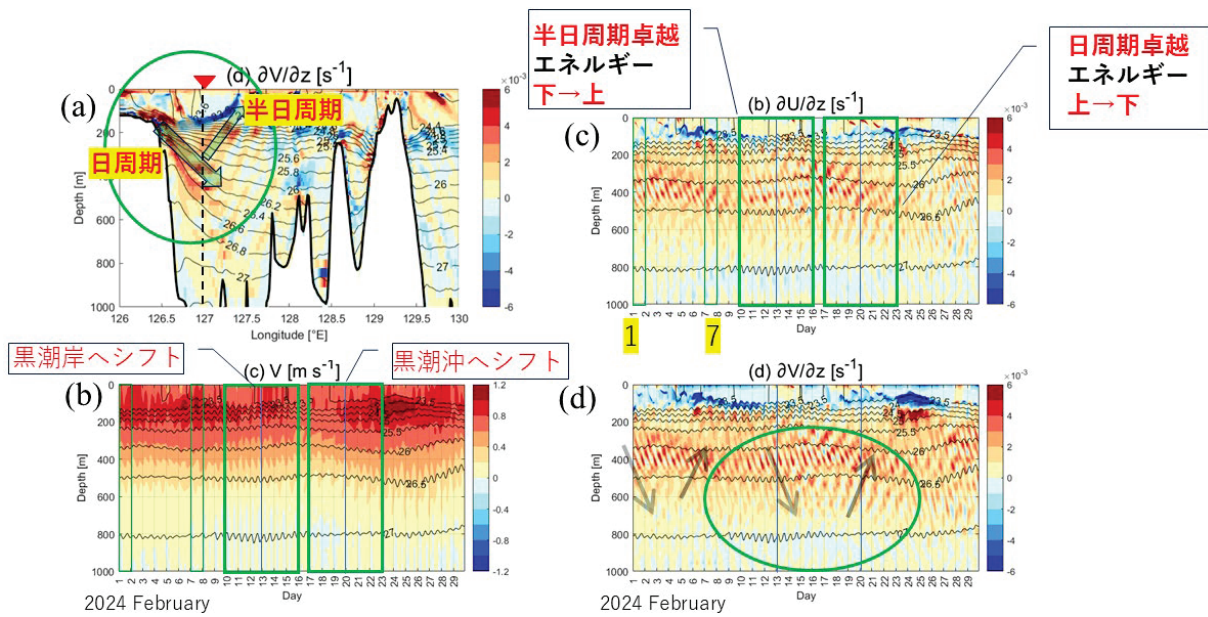


図 3. 2024 年 2 月の 1 か月間の KCM4 近傍における描像。(a) 黒潮を横切る東西断面での断面直交流速の鉛直シア分布。図(a)の縦破線の地点における各種時系列：(b) 断面直交流速，(c) 東西流の鉛直シア，(d) 南北流の鉛直シア（矢印は等位相線を示すので，エネルギー伝搬は等位相線に直交する方向とみなせる）。

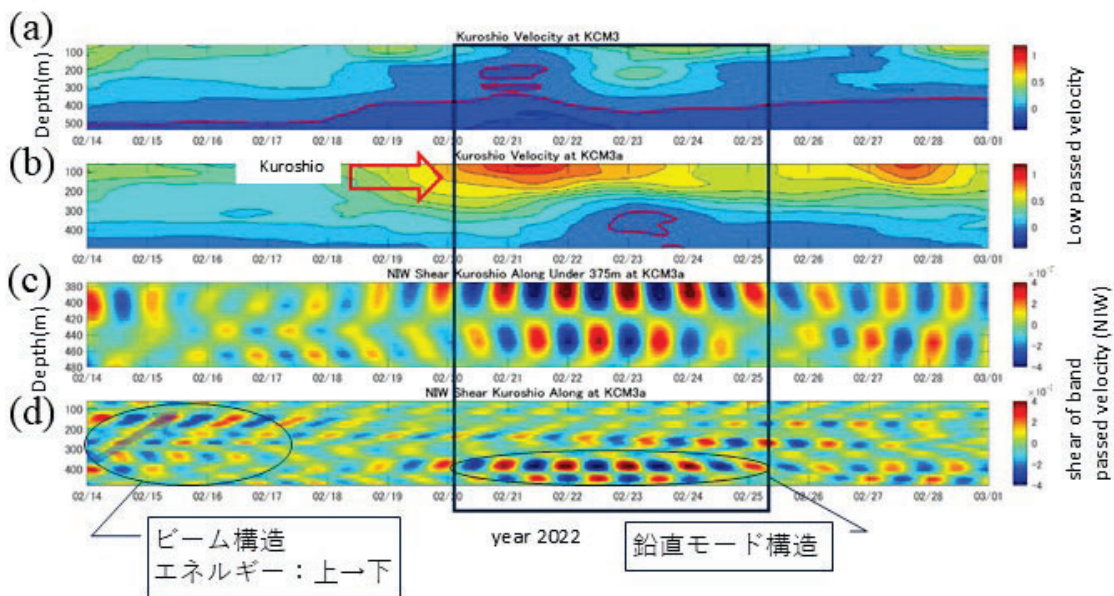


図 4. 2022 年 2 月 14 日～3 月 1 日の ADCP 流速（黒潮方向成分）の時系列。(a, b) 長周期成分（50h low-pass filtered velocity）：(a) KCM3，(b) KCM3a。(c, d) 調和解析により主要 8 分潮の潮汐変動を除去したあと，近慣性周期帯のエネルギー（0.90f~1.25f）を抽出した水平流の鉛直シア一時系列：(c) 300 m～400 m 深，(d) 全層。四角で囲った期間では，黒潮が沖にシフトしたタイミングで，黒潮下部に高波数の鉛直モード構造が出現していることがわかる。

地球衛星観測ミッション EarthCARE におけるエアロゾル・雲プロダクト推定アルゴリズムの高度化と
地上検証に資する観測研究

国立環境研究所 西澤智明

背景・目的

地球気候への大気粒子（エアロゾルや雲）の影響評価を目的として、日欧共同地球衛星観測プロジェクト EarthCARE が進行しており、2024年5月に本衛星が打ち上げられた。本衛星には紫外レーザーを用いた高スペクトル分解ライダーATLID と共に雲レーダー、多波長イメージャー、広帯域放射計が搭載され、複数センサーの観測データを利用した大気粒子プロダクト等が生成される。一方で、そのプロダクトには準リアルタイム公開性やデータリソースの制約等があり、計算速度向上のための仮定・簡略化や出力プロダクト数の制限などの制約がある。そこで本研究では、これらの制約を超えた、新たな解析手法の開発や新規プロダクトの生成を目的とする。また、本研究で考案したアルゴリズムの開発や EarthCARE プロダクトの検証を目的とした地上観測及び装置開発も本研究の範疇とする。

研究方法と結果

光学的に厚い粒子層からのライダー信号には（特に ATLID を含む衛星ライダー）、粒子からの一次散乱成分と共に多重散乱成分が多く含まれる。よって、ライダー信号を用いた大気粒子の濃度等の物理量推定における多重散乱成分の取扱い（補正や利用）は重要な課題となる。先行研究にて、衛星搭載ライダーの測定信号を地上観測から再現するために、多重散乱成分を独立測定するライダー（多重散乱ライダー）を国環研・九大応力研で共同開発し、アルゴリズム開発・改良に利用してきた。その中で、上記アルゴリズムの高度化に向けて本ライダーの改良点が幾つか挙げられた。そこで本研究では、これまでの直線偏光レーザーを用いた直線偏光測定モードと共に、円偏光レーザーを用いた円偏光測定モードでの測定も可能とする多重散乱ライダーシステムへの拡張を図った。システム全体の設計を見直し、最小限の改良で実現するための光学設計案を策定し、情報通信研究機構（東京都小金井市）にて観測運用している多重散乱ライダーへ本機能を導入した。試験観測を実施し実測可能であることを確認した。一方で、光学アライメントの調整および信号校正が従来よりもシビアなことも判明した。安定運用と高精度測定に向けた調整手法の確立を進めつつ、観測データの蓄積を今後行う。

また、環境研・九大応力研の共同で地上常時観測を行なっている高スペクトル分解ライダーデータを用いて、ATLID 用大気粒子推定アルゴリズムの改良も行った。数年にわたる長期観測データを統計解析し、大気粒子層の検出や大気粒子のタイプを識別する解析手法の改良（閾値等の改良）に用いた。これらの研究成果は論文や学会等を通じて公表された。

研究成果

発表論文 2 件、学会・研究会発表 5 件

研究組織

研究代表者 西澤智明（国立環境研究所）

研究協力者 神慶孝（国立環境研究所）、岡本創、佐藤可織（九州大学応用力学研究所）

HF レーダと人工衛星による沿岸海域諸現象の検知と構造の解明

神戸大学 内海域環境教育研究センター 林 美鶴

1. 目的

短波海洋レーダ (HFレーダ) は海面流を測定する機器で、波浪も測定できる。さらに、津波、海上風、海面塩分、物体なども検知できる可能性がある。紀伊水道と大阪湾西部には国交省近畿地方整備局がゴミ回収を目的にHFレーダを設置しているが、研究に利用された実績は少ない。人工衛星搭載のセンサーは高解像度化が進み、沿岸の小規模の現象を捉えられるようになってきた。himawari は日本が継続的に運用し、水温だけでなくクロロフィル濃度も提供されている。本研究では、これらリモートセンシングにより面的同時性を持って連続的に得られるデータを用いて、諸現象を把握し、それらの構造を明らかにする。

2024年度は海面収束場の検出を試みた。申請者は2017~2018年度に「大阪湾に出現するフロント構造の解析」として共同研究を実施した。この研究では、船舶で得られた水温・塩分データを用いてフロント検出を試み、その検証に人工衛星やHFレーダのデータを使用した。これによりフロント位置の空間分布や季節特性が明らかになったが、船舶データは線であり、フロントは離散した点でしか検出できない。そこで今回は、人工衛星の海面水温データによる潮汐フロントの検出と、HFレーダの海面流データによる収束場の検出を実施した。

また、海面過程に重要な役割を果たす海上風について、船舶での観測値に対する船体影響について検討した。研究では、多くの場合に数値モデルやリモートセンシングによる海上風データを使用しているが、ほぼ全ての船舶に風速計が搭載されており、一部のデータは気象庁に報告されている。しかし船上観測データは船体影響を受けているため、研究に利用するにはその特性の把握が必要である。

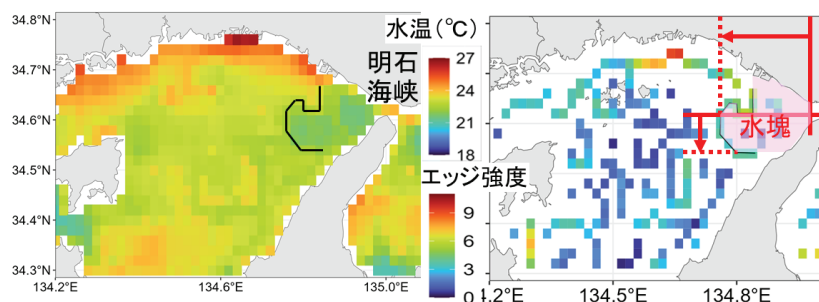


図1 海面水温 (左) とエッジ検出結果 (右)

2. 人工衛星の海面水温データによる潮汐フロントの検出

明石海峡での潮流に起因する潮汐フロントを、大阪湾に比べ他の環境要素の影響が少なく、検出しやすい播磨灘を対象に、JAXA が公開しているひまわりモニタ (静止気象衛星ひまわり標準データ、空間分解能 $0.02^\circ = 1.2\text{mile} \div 2.2\text{km}$ 、10分毎) の海面水温1時間平均値を用いて検出を試みた。データ取得率が概ね100%で、連続してデータが得られた2021年6月9日17時~10日8時 (6時間、明石海峡で転流→上げ潮流→下げ潮流→上げ潮流→転流、鳴門海峡との位相差約2時間、大潮初期、日朝不等大) でのデータを用いた。フロントの検出には、キャニーエッジ検出手法を用いた。これは、ソーベルフィルタにより x y それぞれの方向で差分を求めて、エッジの強さ G と角度とを算出し、角度に応じた細線化処理 (法線3ピクセルの中央でエッジ強さ最大となる場合のみ抽出) を行った上で、2つの閾値を用

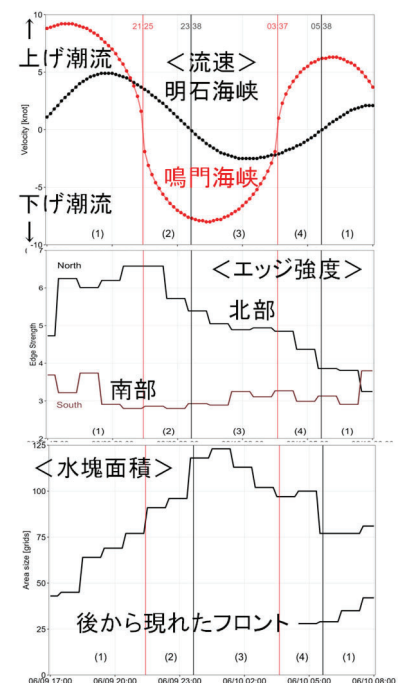


図2 潮流流速、エッジ強度、水塊面積の時間変化

いてヒステリシス閾値処理を行う手法である。ヒステリシス閾値処理では、高強度のエッジの閾値を HT 、低強度の閾値を LT とし、 $HT \leq G$ の場合は検出し、 $G < LT$ の場合は検出せず、 $LT \leq G < HT$ の場合は、 $HT \leq G$ のエッジに接続している場合に検出する。図 1 に示す通り、最初の画像で検出されたエッジから潮汐フロントを決定して、これを毎時追跡し、明石海峡(34.62N,134.98E) からのフロントの距離（西（経度）方向、南（緯度）方向）、水塊（明石海峡での混合水）面積、平均エッジ強度（明石海峡から西に延びる北部フロント、南北に延びる南部フロント）を定量化した。

図 1 に、明石海峡と鳴門海峡の潮流流速、算出したエッジ強度、及びフロントに囲まれた水塊面積の時間変化を示す。明石海峡で上げ潮流の間にフロントは西方向へ、下げ潮流の間に東方向へ移動した。南北方向には、鳴門海峡の潮流に応じて、下げ潮流時に南へ、上げ潮流時に北へ移動した。これに応じて水塊面積が増減した。明石海峡の下げ潮流で北部フロントの強度が最大となり、下げ潮流になり減衰した。南フロントの強度は変化しなかった。明石海峡で 2 回目の上げ潮流時に、新たなフロントが出現した。播磨灘に出現する明石海峡の潮汐フロントに対し、鳴門海峡の潮流も影響を与えている。

3. HF レーダの海面流データによる収束場の検出

2010 年 3 月 1 日～2018 年 5 月 26 日、及び 2021 年 1 月 1 日～2024 年 7 月 31 日の大阪湾の毎時の HF データから収束度(s^{-1})を算出した。平均風速 1.0m/s 以下のケースについて、風速別に地点毎の収束度を累積した。風速毎に収束度累積が高い海域を抽出し、これらを重ね合わせることで、図 3 に示す通り上げ潮流の収束エリア A と B、下げ潮流の収束エリア X と Y が特定できた。

明石海峡での流速、各エリアの平均流速、及び平均収束度の三者の相関関係を解析した。エリア A では、明石海峡での流速とエリア平均流速・収束度との相関は低い、流速と収束度には正の相関が見られ、上げ潮流の強弱に寄らず収束が生じている可能性が示唆された。エリア B では明石海峡での流速とエリア平均流速・収束度とに相関が見られ、収束は上げ潮流により生じている可能性が示唆された。

図 3 に示す通り、紀淡海峡を通過した上げ潮流は明石海峡に向かう流れと、湾奥や淡路島沿いの流れに分散する。湾奥からは明石海峡に向かう流れが生じ、これが水深の浅い沖ノ瀬に進行を阻まれることで流速が低下して、エリア A で海面収束が生じると推測される。湾奥からの流れに対し、上げ潮流の影響は小さいと予想される。紀淡海峡からの上げ潮流は、沖ノ瀬の西側で淡路島沿いの流れと合流する。このため、潮流に影響を受ける海面収束がエリア B に生じると推測される。

エリア X と Y では明石海峡での流速とエリア平均流速・収束度とに相関が見られ、収束は下げ潮流により生じている可能性が示唆された。図 3 に示す通り、明石海峡を通過した下げ潮流は沖ノ瀬を迂回するように二手に分かれる。湾奥からは紀淡海峡に向かう流れが生じ、これと沖ノ瀬の東側の下げ潮流との境界となるエリア X で海面収束が生じると推測される。二手に分かれた下げ潮流は紀淡海峡付近で合流し、合流海域となるエリア Y で海面収束が生じると推測される。いずれの収束も下げ潮流に起因するため、潮流の強弱で収束度が変化すると考えられる。

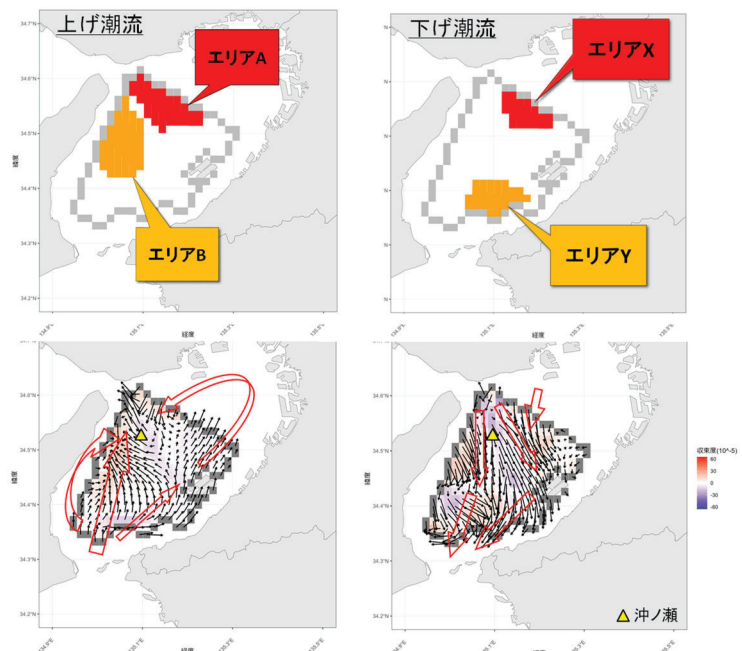
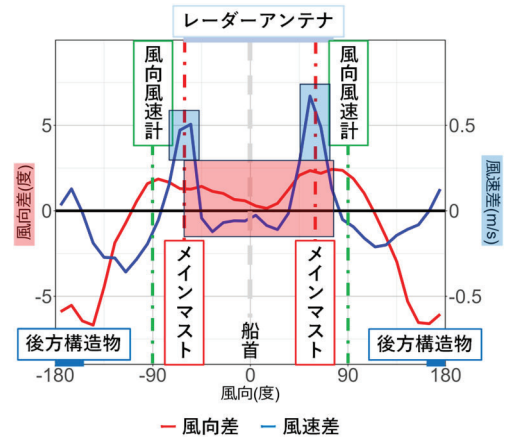


図 3 収束場(上)と海面流ベクトルと収束度の分布例(下)

4. 船舶観測風に対する船体影響の検討

神戸大学大学院海事科学研究科附属練習船「海神丸」のメインマスト左右に 3m 間隔で設置されている風速計で、2022 年 5 月～2023 年 8 月の 16 ヶ月間に計測された相対風向・風速の 1 分平均値により、両者の差分から船体影響を検討した。両舷機の風向差は、 $(\text{風向差}) = (\text{左舷機風向}) - (\text{右舷機風向})$ で求め、風向差+は風下側では風上側よりも船尾側から風を受けていることを意味する。風速差は、 $(\text{風速差}) = (\text{風上側風速}) - (\text{風下側風速})$ で求め、風速差+は風下側で風上側よりも風速が小さいことを意味する。

両舷機の風向・風速差は平均的には両機はほぼ一致するが、偏差が大きくなる風向が見られた。風向差・風速差を、風向 10



度毎に平均した分布図と、風上に存在する船体構造物の位置関係を図 4 に示す。いずれの風向においても、風上側に比べ風下側ではやや横風を示す傾向がある。風速は、船首方向と正横から後方にかけての風は風下側で大きくなり、斜め前方と船尾方向の風は風下側で小さくなる。後方からの風では、後部マストの影響で風向差がより大きい。船尾寄りの風は風上側でもこれらの影響を受けているが、横方向の風では風上側への影響は小さい。構造物が風下側のみ影響する風向で風向差が極大となり、船首側から回り込むように風向が変化する。風下側への構造物の影響が小さくなる横からの風では、風が吹き抜けて風向差は小さくなるが、風速は風下側で大きくなる。正横から船首寄りではメインマストの影響を受け、風は船尾側に回り込み、また減速して風上側よりも弱い風速になる。船首方向は開けているため、メインマスト方向よりも船首側の風上風に対する影響は小さい。その中で両舷機とも影響が小さい方位は、右舷側のレーダアンテナにより、やや右舷寄りになる。

5. 成果報告

< 発表論文 >

- ・ M. Hayashi et al., Characterization of Onboard Wind by Comparing Two Anemometers, Proceedings of OCEANS 2024 - Halifax, 1-5, 2024.

< 学会・研究会等発表 >

- ・ 林ら、両舷に搭載された風向・風速計による船上風計測特性の把握、日本航海学会第 150 回講演会
- ・ 谷田、林、廣川、FVCOM を用いた大阪湾の流況再現および HF レーダ観測値による精度評価、愛媛大学瀬戸内海水産環境研究集会
- ・ 林ら、船上計測風に見られる船体構造物の影響、日本海洋学会 2024 年度秋季大会
- ・ 増田、林、廣川、船上計測風が持つ船体影響に関する研究、第 54 回南海・瀬戸内海洋調査技術連絡会
- ・ 谷田、林、廣川、HF レーダ及び FVCOM を用いた大阪湾の流況解析、九州大学応用力学研究所研究集会「海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用」
- ・ 増田、林、廣川、船上の風向風速計が計測する風を海上の風に補正する手法の確立、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」
- ・ 増田、林、廣川、船上の風向風速計が計測する風を海上の風に補正する手法の確立、香川大学瀬戸内圏研究センター沿岸海洋研究集会

6. 研究組織

林 美鶴	神戸大学	准教授
廣川 綜一	神戸大学	技術職員
磯辺 篤彦	九州大学	教授

等密度面モデルを用いた陸域海洋統合物質循環モデルの構築

京都大学・総合生存学館 山敷 庸亮

1. 研究目的

観測データの乏しい島嶼域の汽水域から沿岸域までの河川水の拡散過程を検証することが可能な数値モデルの構築を目指す。琉球列島のような島嶼域では、汽水域が独自の生態系を育む貴重な領域である。陸域面積が小さい島嶼域の汽水域では、平時には海洋が支配的である一方、台風・豪雨時は突発的に発生する河川流出の影響が支配的になる。近年、台風は強くなる傾向があることから、島嶼域における汽水域の環境場では、将来、大きな環境変化が起こることが予想される。しかしながら、島嶼域の環境変化のリスクを理解するうえで、既存の河川モデルを活用するには、パラメータチューニングのための観測データが欠かせず、多くの島嶼域にはそのようなデータは存在しない。そこで本課題では、山岳地域から海洋に至る間に劇的に変化する流れのレジームを再現し、様々な島嶼域に活用することが可能な河川海洋一体型モデル JORRO(Kida & Yamashiki, 2015)の高度化を目指す。一つのモデルで多様な環境・地形に対応できるユニバーサルな物理過程を扱える数値モデルを実現し、汽水域は既存の河川モデルでは対応できない海流・潮流をも考慮に入れた数値モデルを実現する。流出過程を再現し、山間部から汽水域への栄養塩の輸送過程・塩分と水温の変化の再現を目指す。

2. 解析手法

熊本県阿蘇白川流域に焦点を当てた高解像度の河川海洋一体型モデルを構築し、台風時における流出過程の検証を進める。阿蘇白川流域は、平坦な山間部・急斜面・蛇行と多くの物理過程を考慮する必要があるため、各プロセスの重要性を検証するには最適な流域である。

数値計算は応用力学研究所のスーパーコンピュータおよび九大の大型計算機センターにて実施する。海底地形には日本水路協会の海底地形デジタルデータ、陸面には ASTER-GDEM2、潮汐強制には Matsumoto et al. (2000)、降雨データには解析雨量を用いる。2015年9月の豪雨時における河川流出を再現し、その出力結果を国交省の水位・流量観測データと比較する。本年度は、2023年度に引き続き山間部から急な地形勾配による常流と射流が混在する流域の流出の時間変化の忠実な再現を目指す。物理的な要素の重要性に加え、既存の水文モデル・CDRMV3 との比較を行うことで、土地利用による遮断、浸透、流出率などを変数の役割を検証する。

3. 解析結果・考察

(1) 標高データの調整

JORRO モデルの解析に用いている数値標高データは 30m 解像度であり、河川網データを使用し計算用の地形を作成した際に、不自然な貯水地が発生する、意図しない箇所での別の河川へ流れ込むなどの課題が見られた。昨年度までの解析では、数値標高データの調整を行うことで、白川上流のカルデラから中流までの区間で、降水に対し現実的な流量の応答を捉えることができていた。本年度の解析では数値標高データの調整を対象区間全域で行い、上流から下流まで全ての領域で不自然な水の動きが発生しないよう地形データを整備した。



図1 調整が必要な標高データ（赤丸部）

河川が二股に分かれており、本流（上側）以外にも水が流れ込んでしまう。

(2) JORRO モデルの計算結果

標高データの調整後、2015年9月の雨量を入力として与え、観測結果との比較を行った。上流から立野、陣内、代継橋の3地点で解析を行った。立野、陣内では流量の立ち上がりやピークの観測結果とのずれが数時間程度であったが、代継橋では1日近くピーク時のずれが見られた。下流に行くほど現実の流れと差異が生じていることがわかる。目視で確認したところ、不自然な貯水地が発生する、河川水が支流を遡るといった現象は発生しておらず、モデルの特性や地下水の影響など現実の河川の性質によるものだと考えられる。また、流量の絶対値についても観測結果とのずれが確認できた。立野では一つ目のピーク時に流量が過小評価されており、陣内では二つ目のピークが過大評価されている。観測結果では下流である陣内の方が流量が少ないが、JORRO ではその逆である。モデル上では地下水の影響が考慮されておらず、地形に調整を加えているため一度本流に流れ込んだ水はそれ以外の箇所に流れることはないため、このような結果となっていることが考えられる。再現性向上のためには地下水などの要素をモデルに組み込む必要がある。

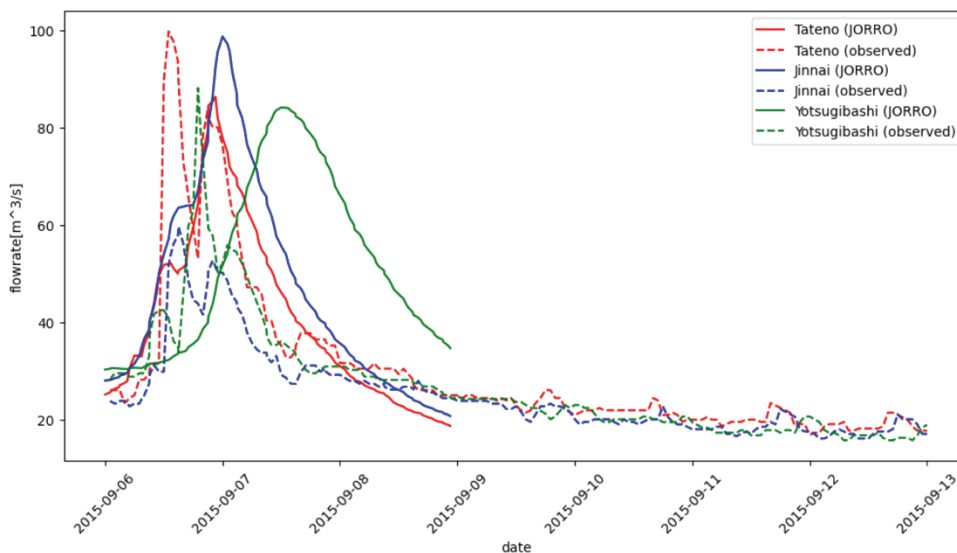


図2 JORRO モデルでの計算結果。

実線が JORRO での解析結果、破線が観測流量。

(2) CDRMV3.1.1 との比較

CDRMV3.3.1 は土壌を三層に分けてモデル化しており、中間流を考慮することのできる水文モデルである。土壌の等価粗度や空隙率といったパラメータは観測流量とのキャリブレーションによって同定し、最適化することで現実の流量を高い精度で再現することができる。以下に CDRMV3 での解析結果を示す。ピークごとの流量の絶対値に $20\text{m}^3/\text{s}$ 程度の違いが見られる場合があるものの、立野よりも陣内の流量が少ないといった性質や、代継橋の立ち上がりなどが JORRO よりも精度良く再現されている。

このように JORRO と比べ再現性という点では利点が見られるが、各観測点においてキャリブレーションをすることで再現性を高めているため、結果の物理的理解が難しい。JORRO モデルでは、各流路に合わせて適切なフルード数に変化・評価されており、地下水や現実の河川の性質を反映したモデルに改良していくことで、最適化を行わずともより現実に近い流れ環境が再現できる可能性がある。

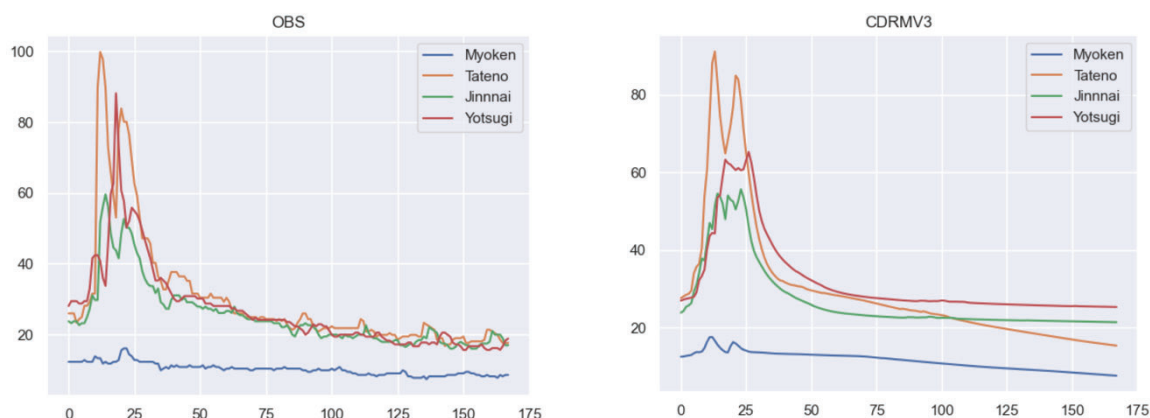


図3 CDRMV3 での計算結果。

左が観測流量、右が CDRMV3 での解析結果。

4. まとめ

本年度は、JORRO モデルの流量再現性向上を目的に、数値標高データの調整を行い、2015年9月の降水データを用いた解析を実施した。従来の調整範囲を流域全体に拡大することで、不自然な貯水地の発生や流路変更の問題を解消し、より自然な水の流れを再現できた。解析結果では、立野・陣内では観測流量とのずれが数時間程度で収まったが、代継橋ではピークが1日近く遅れる傾向が見られた。また、流量の絶対値にもずれがあり、地下水の影響を考慮しないことが原因の一つと考えられる。CDRMV3.3.1 との比較では、流量の再現性に優れる一方で、個別流路の流速評価が困難という課題があった。JORRO モデルは流路ごとの流速変化を評価できるため、地下水の影響を組み込むことで、より現実に近い流れの再現が期待できる。今後は、結果をより詳細に分析し、現実と差異が生じる原因の特定や、それぞれのモデルの特徴を精査していく。また、JORRO モデルの再現性向上に従って必要な要素を明らかにする。

5. 研究成果

学会発表

佐藤 啓明・山敷 庸亮・木田 新一郎, 海洋・河川・流出統合レイヤーモデル JORRO を用いた陸域の解

析結果の、既存の水文モデルと観測流量との比較, JPGU 2024 (幕張メッセ) , 2024/5/28

木田 新一郎, 陸海一体型モデルについて, 九州沖縄合同シンポジウム, 2024/12/6

木田 新一郎, 陸海一体型モデルにむけて, 沿岸海洋シンポジウム 2024, 2024/09/16

研究組織

代表者	京都大学	教授	山敷庸亮
協力者	京都大学	博士2年	佐藤啓明
世話人	九州大学	准教授	木田新一郎

Tidal impacts on wintertime mixed layer formation over the Bering Sea by numerical simulation

海洋研究開発機構
Shu, Hung-Wei

目的 高緯度・極域における冬季海洋混合層の発達、は、全球の海洋-大気間の熱収支や海洋生態系、さらに海洋成層構造の決定において重要な役割を果たす。しかし、潮汐との相互作用のメカニズムに関する理解は不十分である。本研究では、数値シミュレーションを用いてベーリング海の冬季混合層に対する潮汐のインパクトを実験し、潮汐強制および非潮汐強制のケースを比較することで、水塊分布や熱交換への影響を明らかにする。

方法 渦解像の海洋大循環モデル COCO を使用し、潮汐振動を圧力勾配項に導入した。モデルの計算領域は北太平洋全体を対象とし、水平解像度は 8-15 km、鉛直は 84 層である (図 1)。気候学的外力を用いた 60 年間のシミュレーションの後、潮汐強制および非潮汐強制の実験を 20 年間実施し、最後の 10 年間の結果を解析対象とした。モデルの検証には 1980 年-2000 年の客観解析データを使用した。

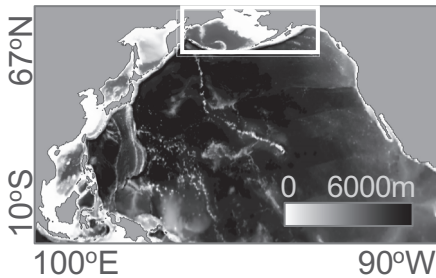


図 1. モデルの計算領域およびベーリング海

が見られた。季節変動の解析では、潮汐ケースがより広範かつ深い混合層を形成し、塩分主導の混合が進むことで成層が弱まることが確認された。その結果、潮汐振動を考慮したモデルは現実的な冬季混合層とそれに伴う海洋貯熱量を再現することが明らかとなった (図 2)。これは、潮汐インパクトにより垂直混合が強化され、塩分の均一化によって成層が緩み、塩分躍層が深くなるためである。今年度の研究では、風だけでなく潮汐も塩分躍層の深度を制御し、水塊特性を変化させることが示された。

来年度に見込まれる成果 ベーリング海における海洋

成層構造の気候学的平均場の形成に対する潮汐起因の海水混合過程の影響を各種数値実験により調べる予定である。現状、すでに潮汐流を導入した海洋モデル実験や潮汐を考慮しない比較実験は完了し

結果 潮汐ケースでは、非潮汐ケースと比較して冬季混合層がより深く広がり、気候学的観測結果と整合的な傾向を示した。両ケース間の垂表層の温度差は 1.5°C を超え、潮汐による鉛直的な熱輸送が促進されることが示唆された。特にアリューシャン列島上の鉛直混合が強化されることで、貯熱の放出が促され、中層水温の低下が観測された。一方、非潮汐ケースでは、混合層が浅く維持されることで中層水が保持され、表層水温の上昇

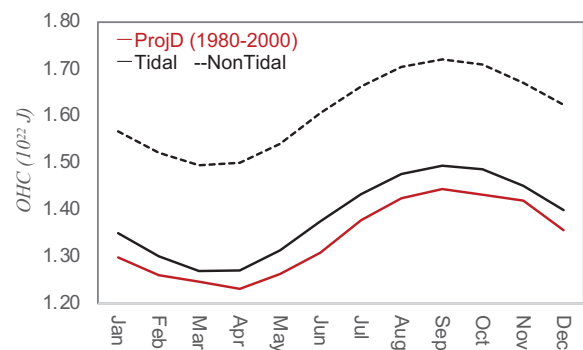


図 2. ベーリング海の海洋貯熱量(Ocean heat content, OHC)。赤線、黒実線、および黒破線は、それぞれ客観解析データ、潮汐強制ケース、非潮汐強制ケースを示す。

ている。ここまでの解析結果からは、潮汐混合が存在することによって特に塩分の鉛直的な均一化によって混合層が深まり、これに伴って、亜表層水温が寒冷化することが示されている。今後は、鉛直混合により変質した海水の輸送過程など詳細を調べることにより、アリューシャン海峡やベーリング海北東部陸棚域、どちらの海域における潮汐流が上記の寒冷化へより重要なのか特定する。研究自体は順調に進んでおり、今年度の実施内容と合わせて、論文による成果公表を見込んでいる。

日本周辺海域を対象とした潮流シミュレーションモデルの作成

松村 義正¹, 広瀬直毅², 辻英一², 蓮沼啓一³, 北村尚士³

1 東京大学 大気海洋研究所, 2 九州大学応用力学研究所, 3 株式会社海洋総合研究所

目的：

日本周辺海域では顕著な潮流が見られるが、現状での潮流予報は内湾域等の狭い領域に限定されていることが多い。これを周辺海域にまで広げ、漁業や船舶運航、漂流物の追跡等の手助けとなる基本データを得ることを目的とする。

手法：

日本周辺の海域には海流と言われるようなゆっくりとした変動と、時間的変化の大きい潮流とが存在している。両者は流れを作り出す力学が大きく異なっている。海の流れを予報するには、本来であれば両者を同時に計算するシステムを構築すべきであるが、本研究では簡便な統計法と精確な力学法を比較・検討する。すなわち、短周期変動（潮流成分）と長周期変動成分を別々に求め、次いで両者を合成する方法を探る。長周期変動成分に関しては既存の計算結果(今回は気象庁の MOVE と欧州 Copernicus の CMEMS)を用いることとする。

結果：

対象領域として、潮流が複雑で予測の難しい対馬周辺の海域を選ぶことにする。まず図 1 に MOVE と CMEMS の二つの海洋モデルの 2025 年 1 月 15 日の日平均表面水温 (Sea Surface Temperature, SST) を示す。第一印象として、両者はよく似ているが細部では異なる点も認められる。例えば、韓国沿岸や瀬戸内海の低温分布では違いが大きい。

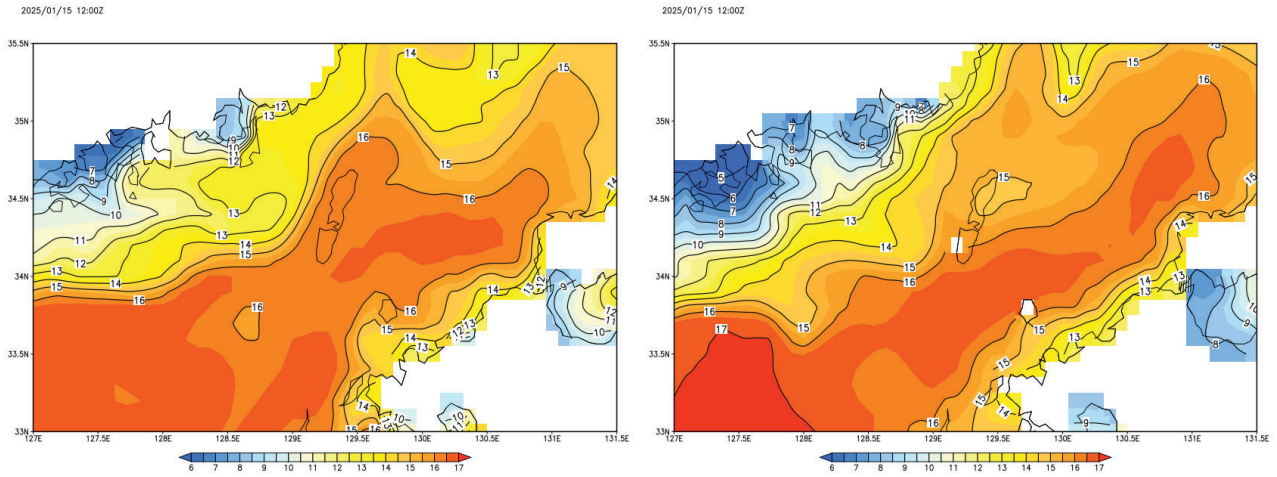


図1：2025年1月15日の日平均表面水温分布。左：MOVE 右：CMEMS

両者の平均を求めると誤差が低減されるはずであることから、上記を平均した結果を、九州大学のモデル DREAMS_M (Hirose et al. 2013) と合わせて図2に示す。両者の解像度の違いによる細部の違いがある。

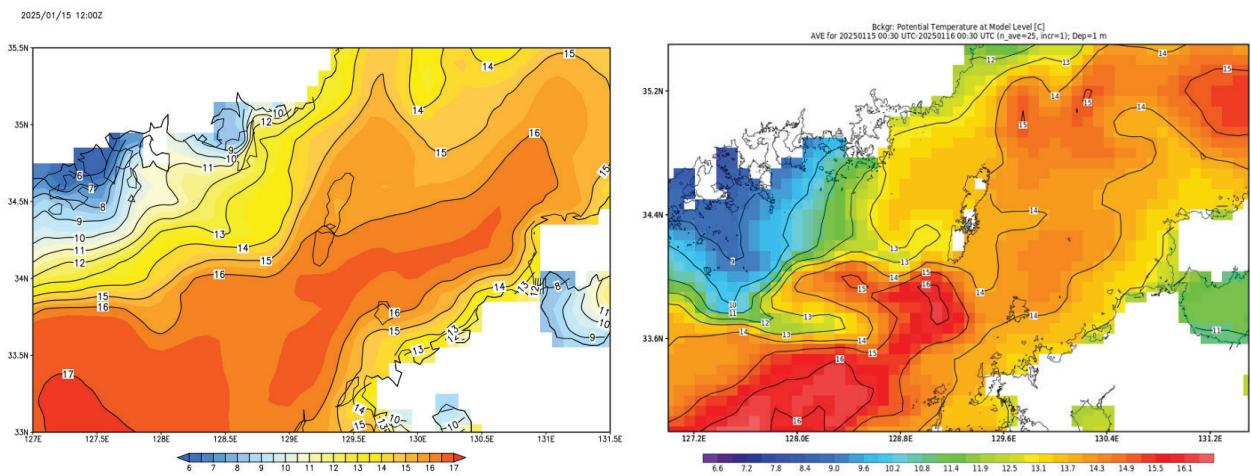


図2：2025年1月15日の日平均表面水温分布。左：MOVE+CMEMS 右：DREAMS_M

次に、同様に平均処理した流速を図3に示す。特に対馬南西部での速度分布など、ある程度の違いが認められる。

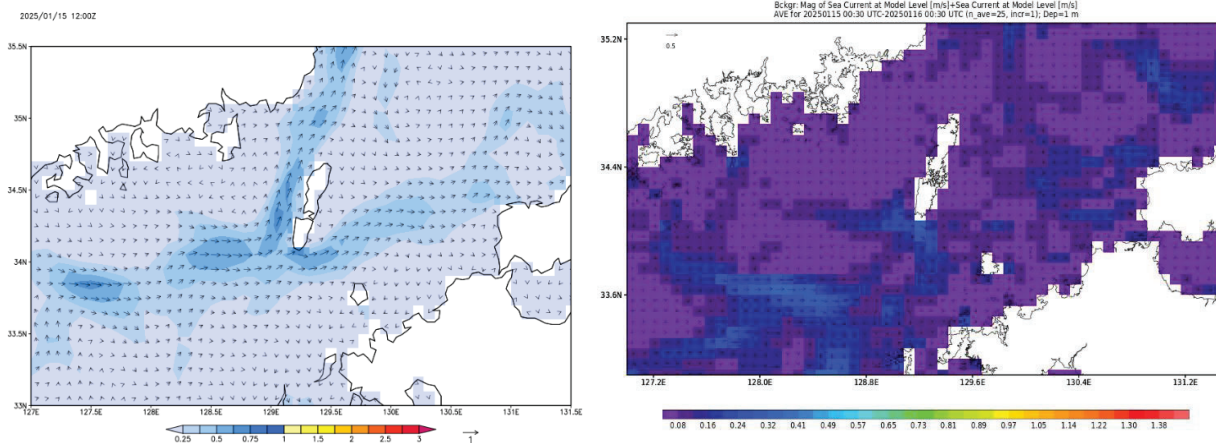


図3：2025年1月15日の日平均表面流速分布。左：MOVE+CMEMS 右：DREAMS_M

次に潮汐データ（松本モデル）を合成したデータを作成した。潮汐の差が最も大きい15時（厳原での干潮時）と23時（満潮時）のデータを図4、図5にそれぞれ示す。こちらについてはよく似た分布を示しており、潮汐の影響はよく反映できていると考えられる。

まとめ：

日本周辺海域は様々な海流が流れる領域であり、しかもその複雑な海岸、海底地形のため、その流れは非常に複雑である。その流れを海洋モデルによって再現する場合に重要な要素として潮汐の取り扱いがある。本研究は特に日本周辺の潮流シミュレーションについて、その潮汐の影響を調べた。二つのモデル結果を比べ、特に日平均流の違いが大きいことがわかった一方で、潮汐自体の合成は問題なく行えているという結果を得た。

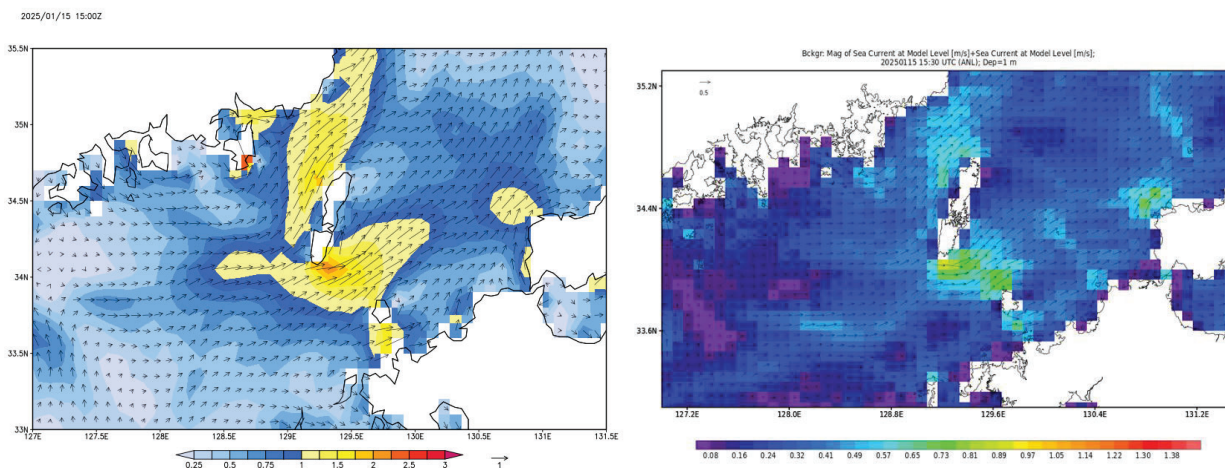


図4：2025年1月15日15時の表面流速分布。左：MOVE+CMEMS 右：DREAMS_M

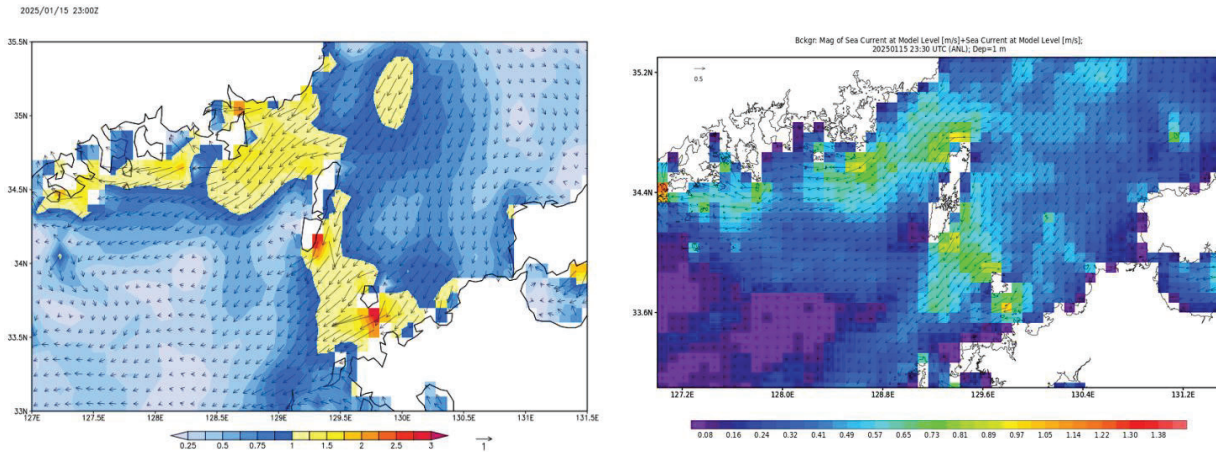


図5：2025年1月15日23時の表面流速分布。左：MOVE+CMEMS 右：DREAMS_M

参考文献：

松本 晃治 (2004): 海洋潮汐モデル NAO.99b の構築と普及. 測地学会誌, 50 (3), 187-200,
doi:10.11366/sokuchi1954.50.187.

気象庁 日本沿岸海況監視予測システム (MOVE-JPN)

https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyو/knowledge/move_jpn/tech_note.html

CMEMS – Global Ocean Physics Reanalysis

https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/description

Naoki HIROSE, Katsumi TAKAYAMA, MOON JAEHONG, Tatsuro WATANABE, Yoshinori NISHIDA

“Regional data assimilation system extended to the East Asian marginal seas”,海と空 89 43-51

2013年12月

研究組織：

松村義正（研究代表者、東大 大気海洋研）	モデル作成・実行・解析
広瀬直毅（所内世話人、九大 応力研）	潮流プログラム提供
蓮沼啓一（株式会社海洋総合研究所）	解析・とりまとめ
辻英一（九大 応力研）	モデル作成・実行・解析
北村尚士（株式会社海洋総合研究所）	モデル作成・実行・解析