沿岸海洋環境予測モデルにおける精度向上にむけた相互比較

海洋研究開発機構・地球情報基盤センター　石川洋一

研究目的

九州大学応用力学研究所で開発・利用されている海洋大循環モデル RIAMOM と海洋研究開発機構で開発・利用されている海洋大循環モデル OFES, MRI.COM および COCO の高度化にむけて、結果を相互比較することによりそれぞれのモデルの特性を明らかにするとともに、各モデルの改良点を洗い出す。特に九州大学応用力学研究所が得意とする日本海などの縁辺海や沿岸域を対象とした比較を行うことにより、海洋物理研究における活用に加え、海洋気象、水産、海上交通などの分野での実利用にむけた海洋モデルの改良を行う。また、各モデルの特徴については海洋物理学的な観点からの比較に加え、計算性能や入出力ファイルの形式などモデルの利用の観点からの検討も行う。

結果

日本海などの縁辺海・沿岸域を対象としたモデル比較にむけて、海洋研究開発機構で開発している東北沖高解像度ダウンスケーリングモデルを観測データと比較し、特に津軽海峡周辺での海流場の再現性を評価した。

ダウンスケーリングモデルは気象庁気象研究所で開発された海洋大循環モデル MRI.COM を用いて、水平解像度約 1.7km(1/50˚x1/50˚cos θ)で東北～北海道南部の領域をカバーするモデルである。水平境界条件として水平解像度 0.1˚である「北西太平洋海洋長期再解析データセット」（FORA-WNP30）を用いることにより、高解像度かつ現実的な沿岸域、特に津軽海峡周辺の海洋循環場の再現を行った。

津軽海峡には海洋研究開発機構むつ研究所が観測を行なっている海洋短波レーダデータ(http://www.godac.jamstec.go.jp/morsets/)があり、表面流速の比較を行うことができる。また、太平洋沿岸域においては東北マリンサイエンス拠点形成事業の一環として行われた時系列観測データが比較可能であり、本年度はこの短波レーダーデータおよび時系列観測データとダウンスケーリングの結果を比較することにより、モデルの特性を明らかにした。

比較の結果からレーダーデータとモデル結果の間には時間スケールによる一致・不一致があることが示された。短いスケールで卓越する変動として代表的な現象は潮汐・潮流であるが、ダウンスケーリングモデルで再現された潮流はレーダーデータとよく一致をしている。また比較的長い季節変動についても、津軽暖流の渦モード・沿岸モードの推移に関連して津軽海峡内の成層構造や流軸変動がみられており、観測・モデル間の良い一致がみられた。一方で、その中間である数日・数週間程度の変動については、観測データと一致

している期間もあるものの、必ずしも良い一致が見られなかった。この原因として、海洋内部変動については水平境界条件だけでは制御しきれないこと、大気外力データとして解像度の粗い JRA55 再解析データを用いているので、沿岸域の風応力場の再現性が必ずしも高くないことなどが原因として考えられる。

数値モデルの活用について海洋物理的な観点に加え、計算性能など利用についての観点の検討の一環として、MRI.COM モデルの最適化を海洋研究開発機構の地球シミュレータ(NEC SX-ACE)および新しく導入された DA システム(HPE Applo6000/2000)向けに行った。どちらの計算機においても最適化で良いスケーラビリティが得られるようになり、北太平洋全域を解像度 1/12˚でカバーした設定で効率良く実行できることが示された。今後は、さらなる高解像度化をすすめ、沿岸域についても十分解像することができる 1/108˚ モデルを目標とした開発を進めていく予定である。

成果報告

田中裕介、石川洋一：東北沿岸・津軽海峡における高解像度モデリング. 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」 2017 年12 月 5 日.

田中裕介・石川洋一・五十嵐弘道・蒲地政文・西川史朗：漁業への貢献を目指した津軽海峡・三陸沿岸 regional の開発. 北海道大学低温研究所研究集会 「宗谷暖流を始めとした対馬暖流系の変動」 2017 年 6 月 29 日

研究組織

石川洋一（代表）	地球情報基盤センター・グループリーダー	研究のとりまとめ
佐々木英治	アプリケーションラボ・主任研究員	モデル計算および解析
小守信正	アプリケーションラボ・主任技術研究員	モデル計算および解析
小室芳樹	北極環境変動総合研究センター・ユニットリーダー	モデル計算および解析

海洋循環モデルを用いた人工衛星海上風ベクトルデータセットの有用性の検証

鹿児島大学　理工学域工学系　加古真一郎

1. 目的

近年のリモートセンシングの発達や数値モデル及びデータ同化手法の確立により、全球を対象とした様々な海面フラックスデータセットをウェブ等から取得することが容易となった。従来、この様なデータセットの精度評価は、現場観測値を用いて行われてきたが、現場観測値が同化されている再解析データにはこの方法を適用できない。そこで本研究は、海洋循環モデルの境界条件として、本研究で作成したデータセットを含む 3 つの海上風データセットを適用し、その出力結果を比較することで、本研究で構築したデータセットの有用性を検証することを目的とした。

2. 人工衛星データ・再解析データセット

本研究では、観測時間の異なる複数の衛星から得られたベクトルデータに最適内挿法(Optimum Interpolation Method; OIM, Kako et al., 2011) を適用することで、空間解像度 0.25 度の全球海上風ベクトル日平均データセットを構築した。このデータセットの期間は、2008 年から 2013 年の 6 年間である。これ以降、便宜上、本研究で作成したデータセットを OIM と呼ぶ。比較のために用いたデータセットは、RSS 提供の CCMP および気象庁 GPV から得られた海上風データである。

3. 数値モデル

本研究で使用した数値モデルは、九州大学応用力学研究所で開発された DREAMS(Hirose et al., 2013) である。対象海域は西部北太平洋であり(15.0°N-62.8°N, 105.0°E-179.75°E)、空間解像度は緯度 0.2° × 経度 0.25° である。本研究ではまず、JRA25 を境界条件として、DREAMS を 1981 年 1 月から 2007 年 12 月までの 27 年間、駆動した。その後、2008 年から 2013 年までの 6 年間を OIM と上述の 2 つの海上風データセットで駆動し、その出力結果を比較した。これ以降、各モデル計算の結果を OIM-run、CCMP-run 及び GPV-run と便宜上呼ぶ。

4. 結果と考察

本研究では、メソスケール以下の現象である台風通過時の海洋応答に注目する。ここでは、OIM, CCMP, GPV から得られた海上風データセットを DREAMS の境界条件として与え、それぞれ 6 年間駆動し、モデル出力の比較を行った。比較対象とした台風は、2008 年の台風 15 号である。図には示さないが、CCMP と GPV の当該日における海上風は OIM と比べて弱く、空間構造も滑らかであった。図 1 に、台風 15 号が沖縄南方を通過した 2008 年 9 月 27 日における、モデルと人工衛星(Ensemble Median Sea Surface Temperature; EMSST)から得られた SST(Sea Surface Temperature: 海面水温)の日平均場を示す。この図から、モデル SST は全体的に過小評価の傾向にあるものの、OIM-run と GPV-run は、台風の通過に伴う SST の局所的な低下を再現していることがわかる。OIM-run から得られた SST は、EMSST と比べて台風中心付近での水温勾配が大きいが、GPV-run は小さく、CCMP-run は SST の低下を再現できていない。また、

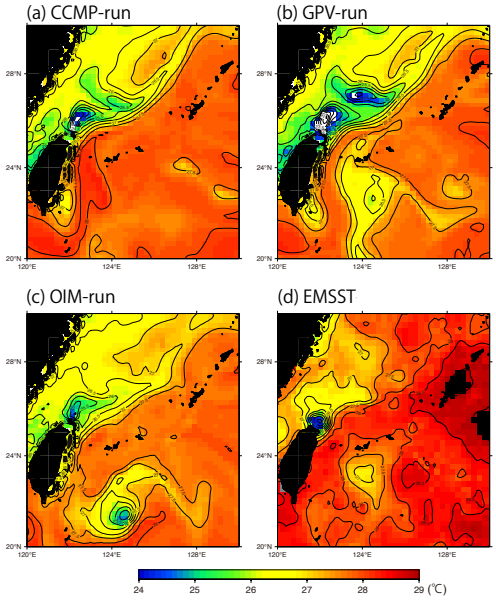


図 1. 2008 年 9 月 27 日の SST の日平均値

台風通過後の水温の時間変化に注目すると、OIM-run, GPV-run および EMSST においては冷水の西側への伝播を確認できるが、CCMP-run では、そのような特徴は得られなかった(図 2)。

5. まとめ

本研究では複数の人工衛星から得られた海上風データを統合することで全球海上風ベクトルデータセットを構築した。そして、このデータセットと、他の人工衛星プロダクトおよび再解析データを海洋循環モデルの境界条件としてそれぞれ使用し、その出力結果を比較した。その結果、CCMP-run が台風通過時の SST 低下を全く再現できないことが示された。これは、海上風に励起されるような海洋応答を調べる際、CCMP の海上風は弱すぎることを意味している。OIM と CCMP は共に人工衛星データをベースとしているにも関わらず、大きな差が出ることは興味深い。しかしながら、OIM-run と再解析データである GPV-run との差は明確ではなく、今後様々な比較を通して、より詳細な有用性の検証が必要である。

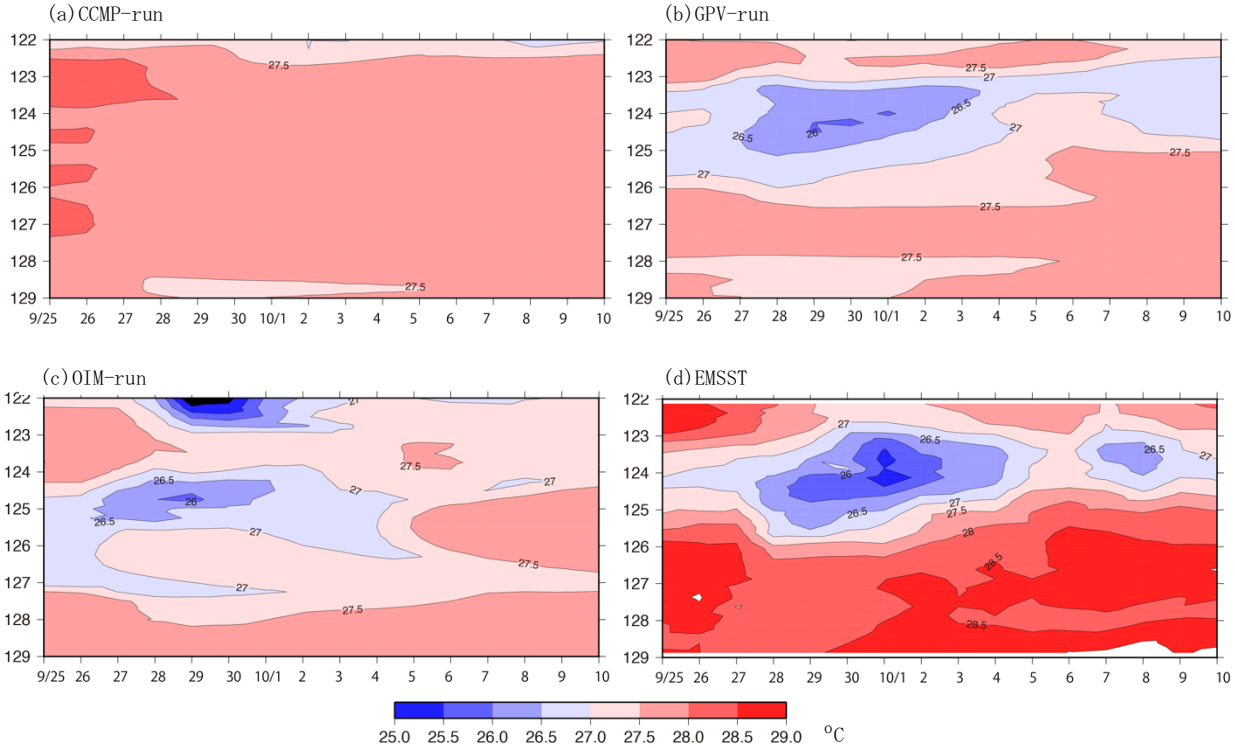


図 2. 台風通過前後の 22.5°N における SST の経度時間断面図。縦軸は経度、横軸は日付を示す。

6. 研究体制

代表者	鹿児島大学理工学域工学系	助教	加古　真一郎
世話人	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	学術研究員	高山　勝巳
協力者	名古屋大学	特任助教	富田　裕之

超高解像度湾モデルの精度向上にむけたモデル間相互比較

東京大学　大気海洋研究所　　川崎　高雄

・目的

九州大学応用力学研究所で開発・運用されている海洋大循環モデル RIAMOM は、日本近海の海況予測を実用レベルでの運用に使用されており、その精度は非常に高いレベルにある。東京大学大気海洋研究所では海洋大循環モデル COCO および非静力海洋モデル KINACO を用いて、超高解像度の湾スケールモデリング研究を行っている。さらに多重ネスティング手法によって湾と外洋域をシームレスにつなぐことで、外洋水の湾内への流入や外洋への湾内の特徴的な海水の流出といった、湾-外洋の相互作用についても研究を行っている。本研究では、両研究所で用いられている海洋モデルの精度向上のために、我々が利用している外洋モデルと RIAMOM の結果の相互比較を行う。相互比較して高度化された外洋モデルの結果を、現在我々が開発中の湾モデルに利用し、過去の海流再現や将来予測等に役立つモデル開発を推進する。

・実験方法

海洋大循環モデル COCO を用いて、日本近海の海流や水温・塩分場等が再現可能なモデル設定を行った。水平格子幅 1/4 度の全球海洋を最も低解像度の外側のモデル(L0)とし、3 種類の水平格子幅を持つ緯度経度座標領域モデルを段階的に設定することで、水平約 500m 格子の日本沿岸モデル(L3)を構築した(図 1)。まず L0、L1 モデルで構成される 2 重ネストモデルを水温・塩分の同化データに緩和して、2000 年 1 月 1 日から 2013 年 9 月 1 日まで積分した。その後 L1 モデルの結果を L2 モデルに補間し、L0～L2 で構成される 3 重ネストモデルを 9 月 1 日から 9 月 2 日まで駆動した。最後に、L2 モデルの結果を L3 モデルに補間し、L0～L3 で構成される 4 重ネストモデルを 9 月 1 日から 9 月 2 日まで駆動した。今後の湾モデルとの接続も視野に入れ、4 重ネストモデルでは潮汐も考慮した。

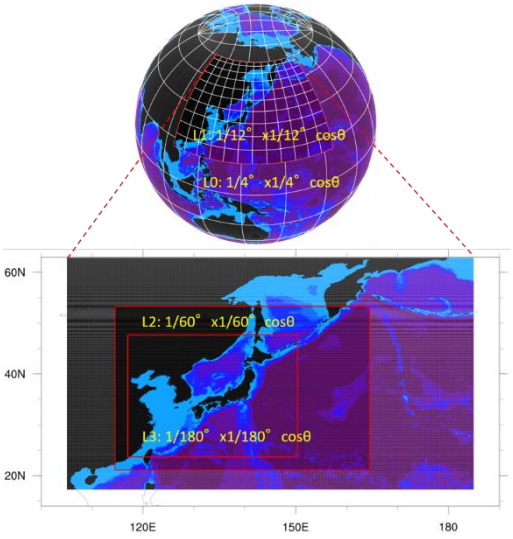


図 1: ネスティング手法を用いた外洋モデルの水平格子設定

一方、非静力海洋モデル KINACO を用いた水平格子幅 100m の超高解像度の湾モデルの構築を行った。最終的には上記の外洋モデルの結果を境界条件としたモデル駆動を目指すが、今年度は湾モデル単体による予備実験を行った。若狭湾の西端である丹後海全域をモデル領域として設定し、2013 年 9 月の大雨時の由良川の河川水大量流出イベントについてシミュレーションを行った。河川水として淡水に加えて、泥・砂など陸起源の懸濁物質の循環に対する影響を調べるために、懸濁物質をラグランジュ粒子としてモデルに組み込んだ。

・実験結果

外洋モデルは、黒潮・親潮・対馬海流など日本周辺海域での主要な海洋循環を良く再現した。懸念された双方向の多重ネスティングによるネスト境界での流れの不連続はほぼ見られなかった。水平格子幅を 500m に設定したことで、黒潮など流量の大きい海流の一部が小さい島や海底地形を通過する際に形成される渦など細かい構造が表現された。潮流をモデルに取り入れたことで、日本沿岸に多く分布する検潮所での海面高度変動が概ね再現された。さらに潮流が地形に作用することで、島の周辺に継続的に渦が生成されるなど興味

深い物理プロセスも確認された。

湾モデルでは、河川水の大量流出に伴ってエスチュアリー循環が形成され、これは従来の理論および観測と整合的であった。河川水に含まれる懸濁物質によって、表層水と亜表層水の鉛直混合強度が大きくなるかどうかは、仮定する懸濁粒子の大きさ・沈降速度に大きく依存することが明らかになった。

・考察

外洋モデルの高解像度化によって表現された渦などの小スケール海流の挙動について、衛星観測との比較によって検証を進めている。例えば、モデルで表現された黒潮の主要流路であるトカラ海峡で島の下流側にみられる渦について、気象衛星観測「ひまわり」の海面水温データからもその存在が確認され、大きさや生成頻度等についても概ね良く再現されていることが明らかになった。九州大学応用力学研究所で開発・運用されている RIAMOM との比較によって、外洋モデルは対馬海流の対馬海峡付近の流路をよく再現したが、対馬海峡西水道における北東向き流量はやや過小評価であるなど、定量的比較においては課題が残った。

湾モデルにおいては、河川水大量流出によって形成されるエスチュアリー循環の強度が、懸濁物質の有無および仮定する粒子の大きさ・沈降速度・総量に対してどのように変化するかを今後明らかする必要がある。

・研究成果報告

○ 論文(査読有)

(1) 藤井 陽介、蒲地 政文、広瀬 直毅、望月 崇、瀬藤 聡、美山 透、広瀬 成章、長船 哲史、韓 修妍、五十嵐 弘道、宮澤 泰正、豊田 隆寛、干場 康博、増田 周平、石川 洋一、碓氷 典久、黒田 寛、高山 勝巳：日本の海洋データ同化研究―20 年間の功績と今後の展望―、海の研究、26(2),15-43,2017.

○ 学会発表

(1) “Effects of suspended sediment matters induced by high riverine discharge on coastal mixing: a model simulation”, Hoshiba Y., Y. Matsumura, H. Hasumi1, S. Itoh, Y. Yamashita, JpGU-AGU joint meeting, May 22nd 2017, Chiba, oral.

(2) “A particle-in-cell modeling framework for simulating riverine and oceanic suspended sediment transport”, Y. Matsumura, JpGU-AGU joint meeting, May 22nd 2017, Chiba, oral.

(3) “Simulation on the Effects of Suspended Sediment Matters Induced by High Riverine Discharge on Coastal Mixing”, Hoshiba, Y., Y. Matsumura, H. Hasumi, S. Itoh, Y. Yamashita, Asia Oceaniea Geosciences Society 14th Annual Meeting, Aug 8th, Suntec City (Singapore), oral.

・研究組織

氏　名	所　属	職　名	役　割
川崎　高雄	大気海洋研究所	特任助教	研究代表者
松村　義正	大気海洋研究所	助教	研究協力者
干場　康博	大気海洋研究所	特任研究員	研究協力者
羽角　博康	大気海洋研究所	教授	研究協力者

日本沿岸の海峡通過流に与える潮汐の影響

気象研究所 海洋・地球化学研究部　坂本圭

要旨

海峡通過流に対して潮汐が与える影響を調べるために、高解像度日本沿岸モデルを用いて潮汐ありなしの比較実験を行った。潮汐なし実験では西から東へと流れる通過流が瀬戸内海中に形成されるが、潮汐あり実験では豊後水道で流れが逆転するなど通過流の形成はほぼ抑制された。同様に、対馬海峡、津軽海峡、宗谷海峡でも通過流は潮汐によって抑制され、流量ではそれぞれ6%、1%、20%だけ低下した。この力学的要因や海況に与えるインパクトはこれから調べる必要があるが、本実験結果は、日本周辺の沿岸モデリングにとって潮汐の効果の考慮は不可欠であることを示唆する。

序論

気象研究所ではこれまで日本近海を対象とした海洋モデル・データ同化システムを開発してきた。システムの高度化により海況の再現性は年々向上しており、例えば、広く水温分布等に影響する対馬海峡、津軽海峡、宗谷海峡の通過流は、季節変動も含めて良く再現している(Han et al. 2016, Ocean Dyn.)。しかし一方で、豊後水道や紀伊水道では非現実的に大きい東向き通過流が発生するという未解決の問題もある(Sakamoto et al. 2016, Ocean Dyn.)。このような状況のもと、沿岸モデルの更なる高度化に向けて潮汐(潮流)の導入に取り組んでいる。潮流は地形との相互作用により、豊後水道を北上する流れ(暖水波及)を阻害すると報告されており(Nagai and Hibiya 2013, J. Oceanogr.)、瀬戸内海中の流れ場の改善が期待される。また、このようなメカニズムは他の海域でも作用すると考えられるが、その役割は未だ明らかでない。周辺海況に対する通過流の影響を考慮すると、各海峡の通過流に対する潮汐の役割を明らかにすることは重要である。

モデルと実験方法

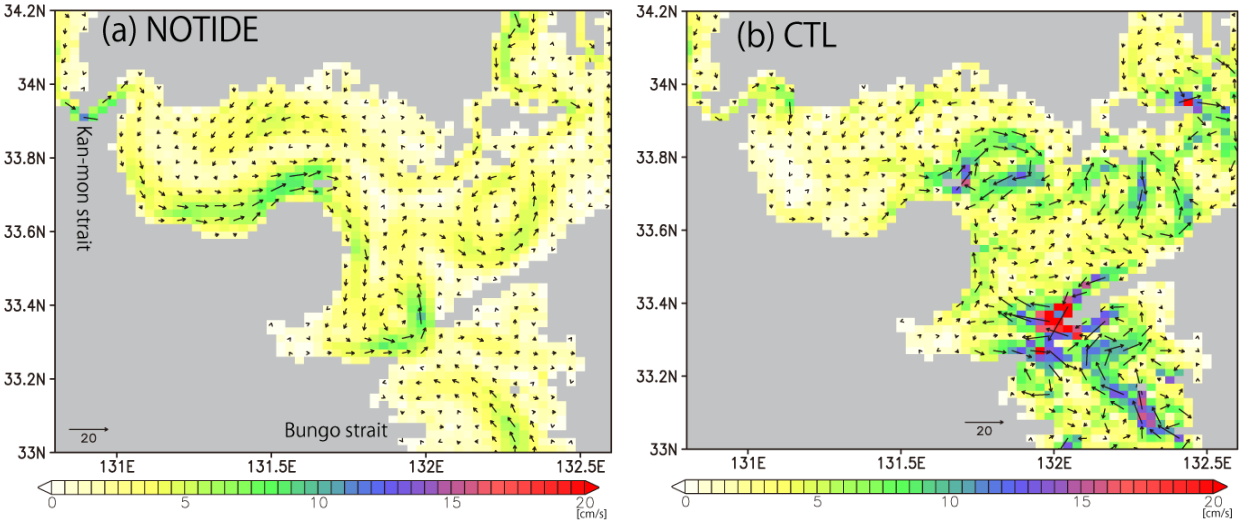
用いるモデルは、我々が現業目的に開発している日本沿岸モデルである。このモデルは日本沿岸全域を約2kmという高い水平解像度で覆い、潮汐をはじめ主な沿岸物理過程を現実的に再現する。実験の大気強制にJRA-55較正データ(辻野博之が開発)を、沿岸海況に重要な河川流入に気象庁流域雨量指数にもとづくデータ(浦川昇吾が開発)を使用した。側面境界には双方向結合された北太平洋モデル(主に中野英之が開発)の結果を用いた。本モデルで潮汐を与えるケース(CTL)と与えないケース(NOTIDE)の実験を行い、両者の海峡通過流量の差から潮汐の影響を定量的に評価する。

実験結果

2つのケースでは瀬戸内海中の流れの様相は大きく異なる(図)。NOTIDEでは関門海峡から流入した流れが岸沿いに東進し、豊後水道からの流入と合流したあと、蛇行しつつ瀬戸内海内部へ進む様子が見られる。一方CTLは、潮汐によって強い残差循環が形成されるが、NOTIDEで見られた平均流は形成

されない。実際、関門海峡からの流入量は NOTIDE で 2.0×10^3 m^3/s に対し CTL では 6.7×10^2 m^3/s と 1/3 に減少し、さらに豊後水道では NOTIDE では北向き 4.3×10^3 m^3/s なのに対し CTL では南向き 1.6×10^3 m^3/s と逆転した。この結果は、序論で述べた Nagai and Hibiya (2013) と定性的に一致し、瀬戸内海中の平均流に対し潮汐の影響が大きいことを意味する。

図：(a)実験 NOTIDE と(b)CTL における瀬戸内海西部の海面流速場(2009 年平均)。色は流速絶対値を示す。



同様に、対馬海峡、津軽海峡、宗谷海峡についても通過流に対する潮汐のインパクトを調べた。詳細は省略するが、どの海峡でも NOTIDE に対し CTL で通過流量は減少し、その減少率は対馬 6%、津軽 1%、宗谷 20%であった。瀬戸内海ほどではないが、その他の海峡でも潮汐が通過流に対し無視できない抑制効果を及ぼすことが明らかになった。

考察

実験では日本周辺の主要な海峡において潮汐の影響が示されたが、その要因については、海底摩擦の強化、成層の変化、小スケール渦による水平混合などいくつか考えられ、各海峡の影響の度合いとの関係も含めて更なる研究が必要である。また、通過流の変化が周辺の海況に与えるインパクトについても、今回行った実験の解析を続ける必要がある。

成果報告（論文なし、学会発表のみ）

1. 坂本圭，辻野博之，中野英之，浦川昇吾，豊田隆寛，山中吾郎，解像度 2km 日本沿岸モデルを用いた沿岸滞留時間の推定，日本海洋学会秋季大会, 17F09-P01, 2017/10/13-16，仙台国際センター
2. 坂本圭，辻野博之，中野英之，浦川昇吾，豊田隆寛，山中吾郎，解像度 2km 日本沿岸モデルを用いた沿岸滞留時間の推定，日本海及び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, 2017/12/7，九州大学応用力学研究所
3. Sakamoto, K., H. Tsujino, H. Nakano, S. L. Urakawa, G. Yamanaka, and T. Toyoda, Simulation of the coastal seas around Japan using a nested 2-km resolution model, Ocean Sciences Meeting, OM24A-2077, 2018/02/12-16，オレゴン会議場

日本海南部の定置網漁場における急潮予測に関する研究

石川県水産総合センター　辻　俊宏

1.　目的

丹後半島から能登半島の沿岸海域は全国有数の定置網漁場であり、定置網漁業は地域の重要産業の一つとなっている。一方、沿岸の流れが突然速くなる「急潮現象」により、定置網が流出するなどの被害がしばしば発生してきた。近年の研究により、急潮の発生メカニズムの解明が進むとともに、急潮予測モデルの構築により、事前の発生予測が可能となり、被害を大きく軽減させてきた。しかしながら、この予測は、沿岸海域全体を見た時には評価が高いものの、沿岸各地に設置された個々の定置網漁場での予測精度は未だ不十分な点が多い。そこで本研究では、定置網漁場における流況観測データを用いて、急潮の発生状況を整理するとともにモデルとの整合性を検証することにより、急潮予測精度の向上に資するとともに、現行予測モデルの高精度化および汎用化を探ることを目的とする。

2.　資料と方法

2006～2016 年に日本海南部海域の定置網漁場 8 ケ所（図 1）の深度 10m に設置した電磁流向流速計の観測データを解析に用いた。突発的に発生し、急激に流向・流速を変化させるという急潮現象の特性と定置網への被害を与えるかどうかという観点から 1 日における最大流速が 50 ㎝/s 以上であることを急潮発生の指標とした。なお、能登半島を時計回りに流れる北向き～東向きの流れを順流、逆の南向き～東向きの流れを逆流と呼び、流向別に発生頻度を解析した。それぞれの急潮の発生要因を明らかにするため、海上保安庁の保有する舳倉島灯台の風向・風速観測データとの関連性を調べた。3 日以内に発生した急潮を同一事例として集約し、それぞれの事例ごとに急潮発生日を含め 2 日前までの風向と風速に基づき以下の 4 つに分類した。

［①南西の強風］：南から西寄りの 11 m/s 以上の強風が 1 時間以上連吹した。

［②北東の強風］：北から東寄りの 11 m/s 以上の強風が 1 時間以上連吹した。

［③その他の強風］：①、②以外で 11m/s 以上の強風が 1 時間以上連吹した。

［④強風なし］：上記以外で 11m/s 以上の強風が 1 時間以上連吹しなかった。

最後に、急潮発生日前後における流速（流軸方向の成分値）を観測地と現行予測モデル（DREAMS_C）の計算値とで比較し、予測モデルの精度を検証した。

3.　結果および考察

延べ 418 日の急潮が発生し、そのうち大部分が最大流速 50～60 cm/s の急潮であり、最大流速 70 cm/s 以上の急潮は 17 日、100 cm/s 以上の急潮は 1 日と少なかった。流向別に見ると外浦海域（能登半島の西岸側、以下同じ。）では、順流の割合が多く、内浦海域（能登半島の東岸側、以下同じ。）は逆流の割合が多かった（図 1)。1 漁場あたりの 1 シーズンの急潮発生日数は 1.1～15.1（平均 5.8）日で、月別平均では 8 月が 1.2,日と最も多く、9 月の 1.1 日が次いで多かった。

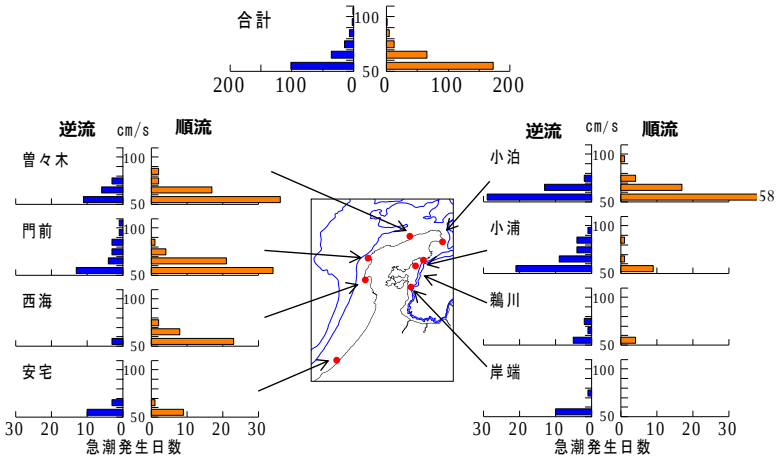


図 1.　観測漁場位置とそれぞれの最大流速別急潮発生日

延べ 418 日の急潮発生日は、208 事例にまとめられた。舳倉島灯台の風向・風速の分類別にみると、[①南西の強風]が最も多く 85 事例で全体の 41%を占めた。以下、[④強風なし]が 79 事例（38%）、[③その他の強風]が 24 事例（14%）、[②北東の強風]が 16 事例（8%）と続いた。漁場別に見ると、内浦海域では、[①南西の強風]が 50%以上を占めたが、外浦海域では[④強風なし]も多く、特に西海では 50%以上を占めた。これまで当該海域による急潮は、気象擾乱に起因するものが多く報告されていたため、急潮の予測は気象擾乱を主因に検討されてきた。しかしながら、気象擾乱が直接要因とならない急潮も多く発生していたことが明らかとなった。今後、これらの発生要因について解明していくことが必要となろう。

2016 年に発生した気象擾乱を伴う急潮 5 事例についてモデルの再現性を検証した。全般的には、良好な再現性が得られたが、事例や、漁場により十分さ再現性が得られなかったところも見られた（図 3）。今後、検証事例を増やし、再現性の精度に関与する要因を明らかにしていくことで、予測モデルの精度向上につなげていきたい。

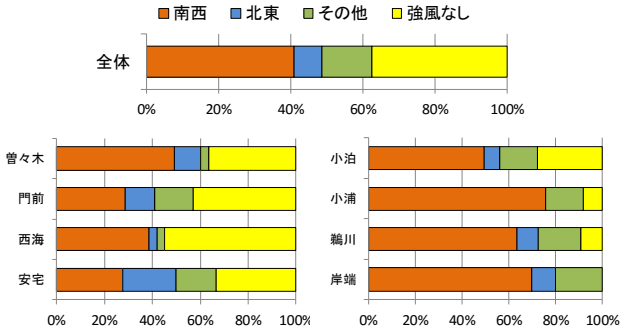


図 2. 風向・風速タイプ別急潮の発生割合

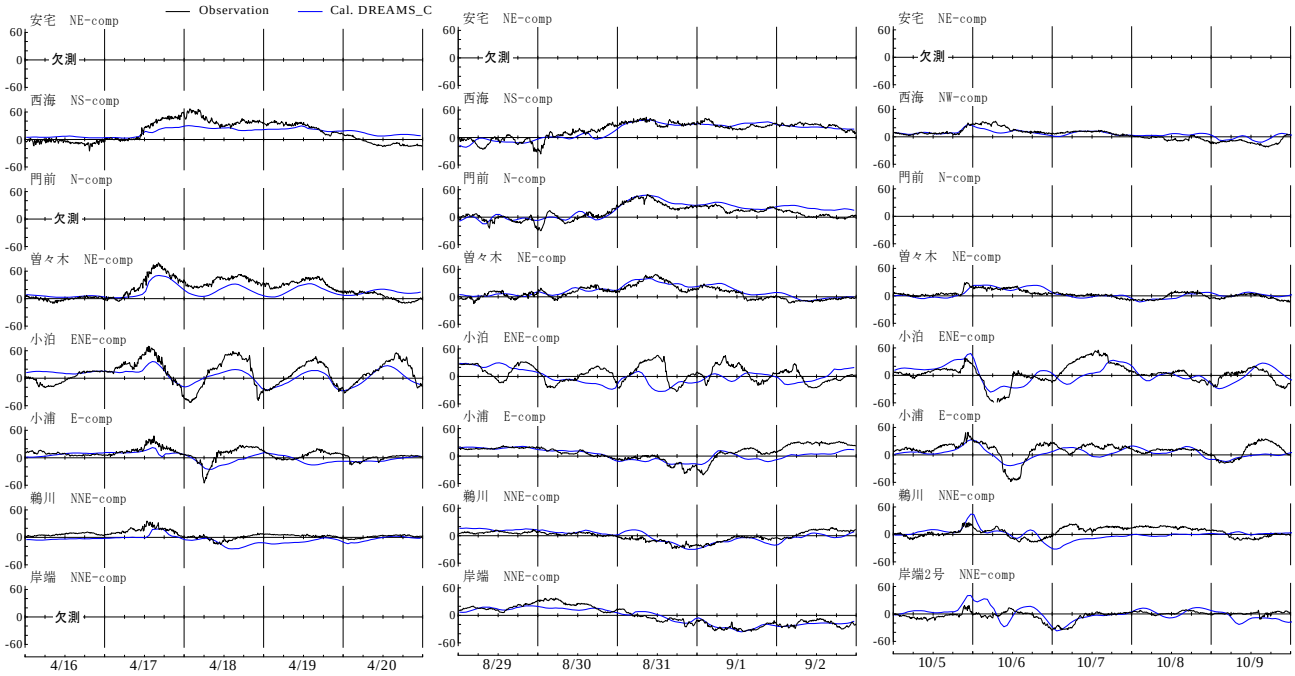


図 3. 2016 年に発生した急潮時における流速（流軸方向成分値 cm/s）の観測値とモデル計算値との比較例

4. 発表等実績.

なし

5. 研究組織

研究代表者	石川県水産総合センター	辻　俊宏	主任研究員
所内世話人	九州大学応用力学研究所	広瀬　直毅	教授
研究協力者	福井県立大学	兼田　淳史	准教授
研究協力者	富山高等専門学校	福留　研一	講師
研究協力者	京都府農林水産技術センター	舩越　裕紀	技師

対馬海峡から日本海南西海域にかけての海洋環境モニタリング

－数値モデルとの比較データの収集－

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科　滝川哲太郎

1. 目的

対馬海峡は東シナ海と日本海をつなぐ唯一の水路であり，対馬暖流は，東シナ海から対馬海峡を経て日本海に流入する。夏季には，対馬暖流は中国大陸の長江起源の淡水を多量に輸送する。対馬海峡は対馬によって韓国側の西水道と日本側の東水道に分かれる。海洋データ同化の手法を用いた数値モデル研究では，東水道通過流は，山口県萩市沖の見島によって分岐している（広瀬ら, 2009, 海と空）。

本研究では，当海域の数値モデルと比較しうる観測データの収集を目指す。東シナ海から移流されてくる大陸起源の低塩分水を捉えることを念頭に，対馬海峡東水道の離島等における水温・塩分の連続測定を実施した。また，見島での対馬暖流分枝流の変動を捉えるために，見島とその南側対岸の青海島に水位計を設置し，両島間の水位差を測定した。さらに，萩－見島間のフェリー「おにようず」（萩海運）を用い，見島から沿岸寄りのフェリー航路上の表層水温を測定した。

2. 観測

対馬海峡東水道から山陰沿岸の 4 観測点（美津島，小呂島，蓋井島，青海島通）に水温・塩分計（または水温計）を設置し，表層の水温と塩分を測定した。また，萩市浜崎（図 1）と見島の間を 2 または 3 往復/1 日する定期フェリーに，水温収録装置を取付け，航路上の表層水温モニタリングを実施した。

青海島通と見島宇津に水圧式の小型水位計（Rugged TROLL100, In-Situ 社）を 2012 年 8 月下旬から設置し，10 分間隔で 2 測点の水位を観測している（図 1）。水位計設置時に DGPS を用い，東京湾平均海面（TP）を測量した。水位計のセンサードリフトを調べるために，半年または 1 年に 1 回程度の水位データ収集時に大気圧を測定している。本報告では，主に，水位計のセンサードリフトの補正について報告する。

3. 結果

前年度の報告（28AO-15）から，両島の水位計はセンサードリフトの影響を受けている。このため，近年，青海島－見島間の水位差が上昇傾向にある。データ収集時ごとに見積もったセンサードリフトの時系列を図 2 に示す。2015 年以降, 両島のセンサードリフトは異なる変化を示し, その差は最大 6.2 hPa となった（2015 年 10 月）。

水位観測中，このセンサードリフトは線形に変化したと仮定し，水位データを補正した。ドリフト補正後，48 時間のタイドキラーフィルター（花輪・三寺, 1985, 沿岸海洋研究ノート）を施した青海島と見島の水位と両島間の水位差を図 3 に示す。センサードリフトを補正すると，2014 年から 2017 年までの平均水位差は 15 cm 程度となり，近年の水位差の上昇トレンドは現れなかった。

2013 年と 2015 年の両年で，水位差が夏に増加，秋に減少していた。Takikawa et al. (2017, CSR) によると，猛暑の 2013 年には，小笠原高気圧に伴う南東卓越風によって，水位差が上昇したと報告している。2015 年の水位差変動の振幅は，2013 年に比べ小さいものの，同様の現象であったかどうか，今後，検討する必要である。

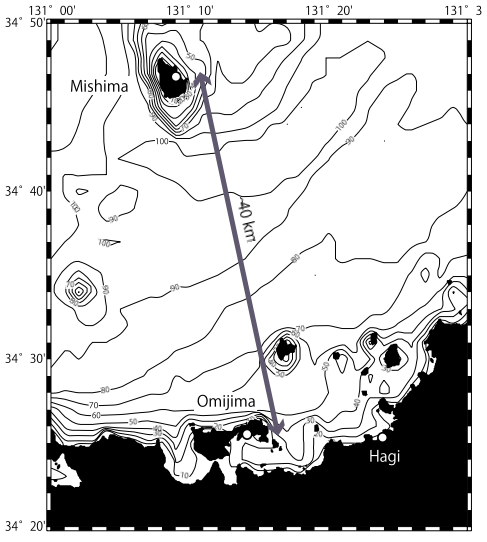


図 1. 観測海域.

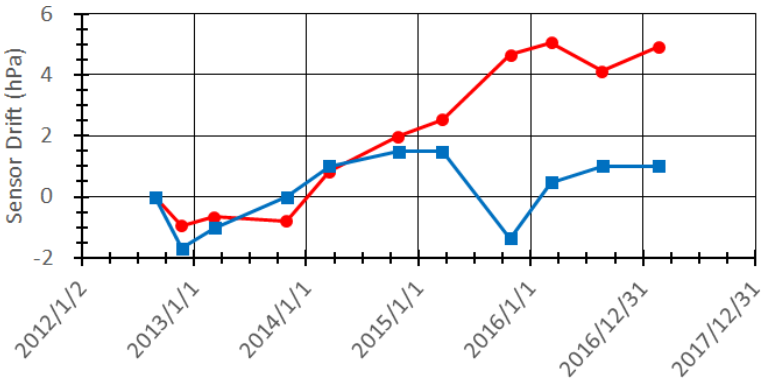


図 2. 青海島（赤丸）と見島（青四角）の水位計のセンサードリフトの時間変化.

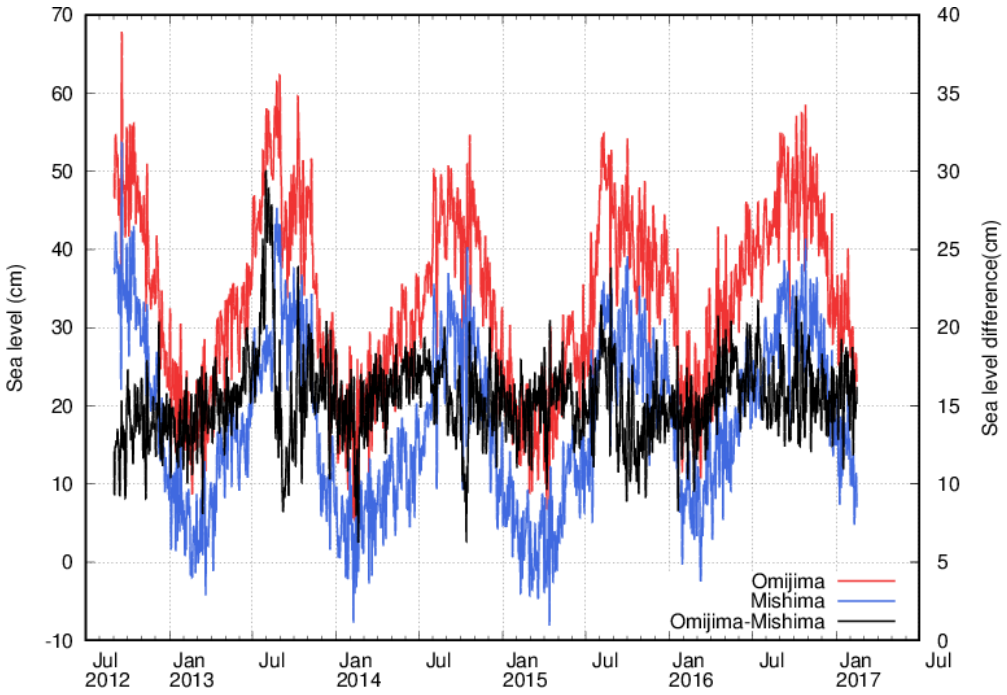


図 3. 青海島（赤）と見島（青）の水位（移動平均）. 黒線は両島間の水位差を示す。

4. 研究組織

研究代表者	長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科	滝川　哲太郎
所内世話人	九州大学応用力学研究所	千手　智晴
研究統括者	九州大学応用力学研究所	広瀬　直毅
研究協力者	福岡県水産海洋技術センター	松井　繁明
	山口県水産研究センター	渡辺　俊輝
	島根県水産技術センター	金元　保之
	愛媛大学沿岸環境科学研究センター	森本　昭彦

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

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．今年度は，共同利用施設である九州大学応用力学研究所の風波水槽を使用して，（１）風波の発達区間を延長するループ法確立に関する事前準備，（２）大規模二次流れの測定，を行った．その結果，（１）の事前準備を予定通り実施することが出来た．また，（２）の大規模二次流れ構造の一部の観察に成功した．

・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て，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．また，やや趣旨の異なるサブテーマとして，大気境界層内に生成される大規模な二次流れが水面上でも生成されるかを検証することも目的とする．今年度は，ループ法確立のために海洋シミュレータ水槽および造波装置のチェックを行った．また，大規模二次流れの測定を行った．そこで，以下では大規模二次流れの実験方法・結果について報告する．

・実験方法

本実験では，九州大学・応用力学研究所・海洋環境シミュレーション実験棟に備え付けてある風洞付き内部波水槽を使用した．遠心型ファンを使用して水がためられた水槽上部に気流を生成した．測定座標系は，テストセクション入口部の先端の中心を原点として，主流方向距離を x，スパン方向距離を y，鉛直上向き方向距離を z とした．測定のために，自作の熱線流速計を使用し，x = 3 m の地点において風速測定を行った．ファン回転数を N = 100 rpm とした．この風速では，水面に風シアがかかっているものの，波立ってはいない環境を作り出すことが出来る．熱線流速計のサンプリング周波数は 48 kHz，サンプリング時間は 30 s で行った．

・実験結果

図 1(a)に 10 連熱線流速計で測定された気流スペクトルの図を示す．スペクトルは図中の－5/3 乗を示すの直線に従うことから，100 Hz 程度まで慣性小領域が存在することを確認した．図 1(b)に大規模二次流れ構造の可視化結果を示す．図 1(b)では横軸は主流方向の無次元数x / δ，縦軸はスパン方向の無次元数

y / δである．無次元化には境界層厚さδを用いた．ここでの x はテーラーの凍結乱流の仮定より推定した値である．図 1(b)中のコンタは$(u - U) / u^*$の値，つまり，瞬間の変動風速の無次元値であり，$(u - U) / u^* = -4$のときに黒，$(u - U) / u^* = 0$のときに白とした．図 1(b)より主流方向に黒色の帯が存在するように見える．これは，大規模二次流れ構造を示しているものと考えられる．

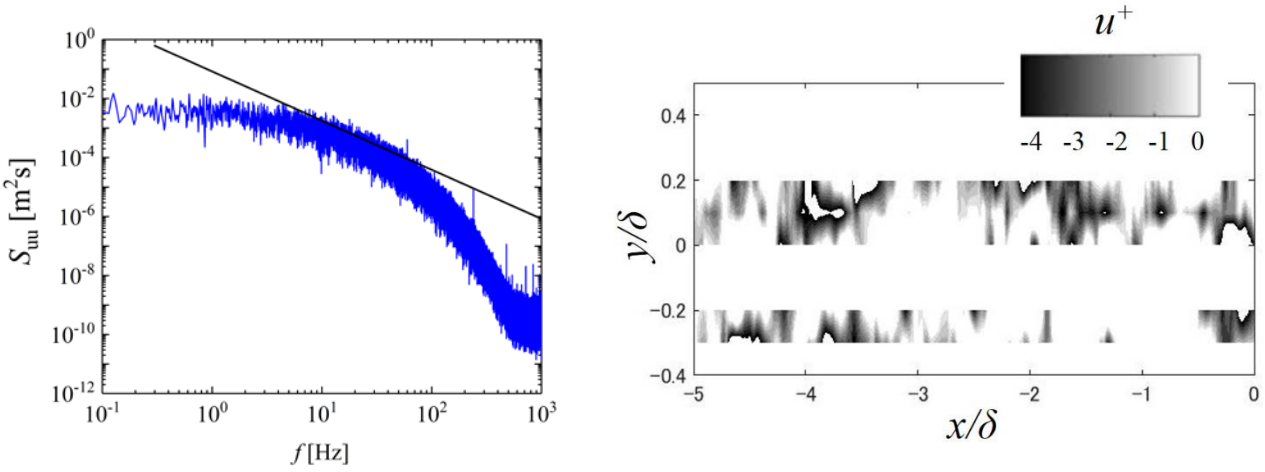


Fig. 1 (a, left) Wind spectrum obtained by hot wire velocimetry, (b, right) Secondary flow structure.

・成果報告（論文、学会発表リスト等）

1. N. Takagaki, S. Komori, M. Ishida, K. Iwano, R. Kurose, N. Suzuki, Loop-type wave-generation method for generating wind waves under long-fetch conditions, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 34, pp2129-2139, (2017).
2. N. Takagaki, S. Komori, K. Iwano, N. Suzuki, H. Kumamaru, *IUTAM Symposium wind waves*, University of Cambridge London, London, England, 4-8 Sep 2017.
3. 高垣直尚, **招待講演**, 風波実験水槽設計にみる工学系と理学系の視点の違いとその応用例, *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*，幕張メッセ（千葉），2017 年 5 月 24 日.
4. 高垣直尚，高風速下かつ長吹送距離における風波気液界面を通しての運動量および熱輸送量の評価，日本伝熱学会関西支部講演討論会, 神戸大学梅田インテリジェントラボラトリ（大阪）, 2017 年 7 月.
5. 高垣直尚，**招待講演**，海表面を通しての物質輸送－高ウィンドシア・吹送距離・雨滴衝突の影響－，海洋地球科学における乱流拡散制御ワークショップ，JAMSTEC（東京），2017 年 10 月 19 日.
6. 高垣直尚，高風速下かつ長吹送距離における風波気液界面を通しての熱輸送機構，波浪研究集会，名古屋大学（名古屋），2018 年 3 月 5 日.

・研究組織

研究代表者：高垣直尚

研究協力者：高根慧太

研究協力者：髙畑俊作

衛星搭載ライダと雲レーダ、ひまわり８号、地上レーダによるジャンピングシーラスの同期観測

防衛大学校　地球海洋学科　岩崎杉紀

目的

本研究は、ジャンピングシーラス（JC）と呼ばれる発達した積乱雲（オーバーシュート）の雲頂から上に向かって 1-2km ジャンプすると推測されている現象が気候に及ぼす影響を、地上・衛星観測を行うことで解明することを目的としている。

JC は、非断熱過程で起きるため、対流圏の物質を成層圏に効率的に物質を輸送できると考えられている。しかし、これは数値実験の推測でしかない。衛星観測でかなとこ雲の上に JC らしきものは報告されているが、JC を上から見ているので本当にジャンプしているか分からない。航空機観測から JC の報告は数例あるが、それも見た目の形状について指摘しただけのものである。いままで、JC の観測的研究は、「JC を見た」という報告しかなく、どの程度ジャンプしているかなど、どんな条件の時に JC が発達するか、JC の定量的な性質は一切報告されていない。そこで JC のカメラによる地上観測と静止気象衛星ひまわり８号や他の衛星観測により JC の定量的な性質を明らかにする。

方法

富士山特別地域気象観測所（旧富士山測候所、標高 3776m）にカメラ 6 台設置し、JC 撮影を 2017 年の夏の 1 ヶ月間行った。また、7 から 9 月にかけて防衛大学校の屋上（標高 100m）に 3 台のカメラを設置し JC 撮影を行った。富士山での JC のカメラ撮影はこれで 2 年目である。ただし、富士山に設置したカメラはネットワークの不調でデータを多くの保存することができず、観測にほぼ失敗した。そこで 2016 年の夏に行った富士山に設置したカメラと防衛大に設置したカメラの写真を見直した。2016 年の観測も応用力学研究所の共同利用を利用した観測である。

当初 JC は 10 件程度撮影できていたと思われていたが、19 件撮影できていたことが分かった。以前のデータ解析で、防衛大学校のそばに発生した仰角の高い雲（近くの低層雲は仰角が高い）の下に写っていた仰角の低い積乱雲（200km 程度遠くに離れているので仰角が低い）を見落としていたためである。うち 1 つは熱帯の積乱雲のように高度 18.7 km まで発達している積乱雲であった。

雲の高さをカメラから求めるため、夜間に撮影した星と星図を比較した。まず、比較によって、積乱雲の仰角と方位角を求める。その方位角方向にある積乱雲の最も発達した位置（ひまわり 8 号の 10.4 μm の視差補正した輝度温度が最低である場所）と観測点との距離から JC の高度を求めた。ただし、高度導出において、今までは大気差を考慮していなかったので、これを考慮した。大気差とは、光が大気によって屈折するため、星が真の仰角に比べ高い方向に見える現象である。見えている星の角度はそのままでは仰角を求める基準にはならない。大気差は低仰角であるほど顕著となる。解析の結果、本観測では、JC の高度を星図から見積ると 100 から 200m ずれることが分かった。

図 1 2016 年 8 月 4 日 18 時ころに栃木県鹿沼市に発生した JC。1.3km ジャンプしている。防衛大カメラで撮影。左が西方向である。動画で見るとジャンプしているさまが分かりやすい。

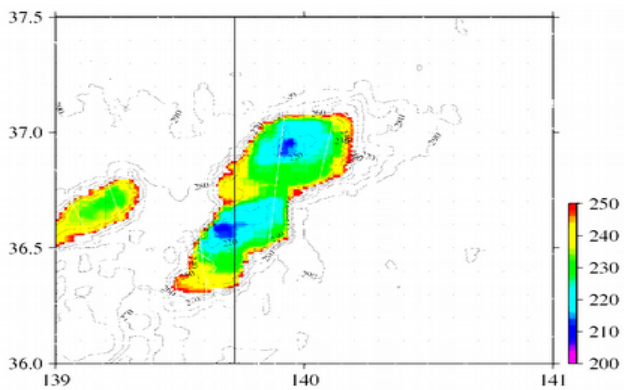


図 2. 図 1 の JC が発生した当時のひまわり 8 号の輝度温度。最低輝度温度は 210K。

大気差の補正は出来ない。大気差は対流圏のみでなく大気圏の気温や圧力の鉛直分布に依存するが、気温などの測定はせいぜい高度30kmまでしかないためである。このため、写真から導出された高度は100から200mの誤差を持つことが分かった。ただし、この誤差は絶対値でありJCが何kmジャンプしたといった相対値ではない。JCの解析では大きな誤差ではないことが分かった。

その他の誤差要因は、JCが視線上のどの位置で発生したか不明なことである。解析ではカメラとJCを結ぶ直線上の最も低い輝度温度の位置でJCが発生したと仮定した。事例にもよるが、JCが撮影できた多くのconvective cloud clusterの直径は30kmほどであった。JCの高さを導出するのに仰角と、観測者とJCの距離が必要になる。JCがこの30kmの上のどこかしらで発生すると仮定した場合、この誤差で最大500mほど高度に差が出る。

結果

図1は2016年8月4日の18:20ころに栃木県鹿沼市付近に発生したJCである。防衛大カメラで撮影した。防衛大と鹿沼市は140kmほど離れている。低高度から撮影しているので、下層のエアロゾルの影響を受け、ぼやけた写真となっている。富士山山頂に設置してあったカメラは、富士山周辺の雲に阻まれ防大カメラと同時にJC撮影することは出来なかった。

JCは幅1.4kmの雲が3分ほどで1.3kmジャンプ（上昇速度7m/s）し、その最大到達高度は16.8kmであった。その後、JCは西方向に向かって移流した。ひまわり8号の可視画像（水平分解能500m）で西に移動している雲が写っていた。ひまわり7号に比べ空間分解能が向上したが、この規模のJCでもJCはすぐには見つからない。今後このひまわりで撮影された雲がJCであるか判定を行う予定である。なお、1地点からの撮影なのでJCの正確な移動量や移動方向は分からない。

10分ごとのレーダ雨量を見ると、JC付近は100m/hrを超えている場所もあった。かなり発達した積乱雲であったことが分かる。レーダエコーはわずかにゆっくり北上しているので、ひまわりで撮影された西に移流している雲は積乱雲本体ではない。ひまわりの赤外画像で見ると、最低の輝度温度は210K、6.2μmと10.4μmの輝度温度の差は-3℃であった。濃い水蒸気が雲の上にある場合にこの輝度温度の差が正となる。JCで発生した雲は昇華した量が少なく水蒸気をそれほど供給しなかったか、ジャンプした距離が小さく雲頂より暖かい高度まで到達できなかったかのどちらかが考えられる。

全19件のJCの平均した雲頂高度は14.6kmでかなとこ雲から1.2kmジャンプしていた。このうち、3件が圏界面に達していた。これらのCAPEは782から1384J/kgであり、対流が立ちやすい状態にあった。最も高いJCは18.7kmまで達しており、最もジャンプした高さは2.2kmであった。

対流が弱く、JCが圏界面に達していない事例のうち15件が風速が急に弱くなった高さでJCが発生していた。重力波の砕波が起きやすい状況にあった。

まとめ

2016年と2017年の夏季に発達した積乱雲のかなとこ雲から上方に1-2kmジャンプするJCの撮影を富士山特別地域気象観測所と防衛大学校で行った。2017年夏季の富士山特別地域気象観測所のJC撮影はデータを適切に保存することが出来ずに失敗した。また、2016年に行った富士山と防衛大から同一のJCを撮影は、片方でJCが撮影できてももう一方で雲がかかっており出来なかった。しかし、それ以外ではJC撮影に成功している。JCの定量的な観測はまだ世界で初めてである。現在、これらの特徴を統計的にまとめている段階である。

成果報告

岩崎杉紀、瀬口貴文、鴨川仁、久保田尚之、岡本創、石元裕史、牛山朋來、積乱雲の雲頂から飛び上がる雲の撮影、日本気象学会春季大会、東京、2017年5月。

瀬口貴文、浅井俊太、岩崎杉紀、鴨川仁、久保田尚之、岡本創、石元裕史、牛山朋來、積乱雲の雲頂から飛び上がる雲；Jumping Cirrus の観測、日本気象学会秋季大会、札幌、2017年10月。

若狭湾における定置網漁業の急潮対策に関する研究

福井県立大学　海洋生物資源学部　兼田淳史

【研究の目的】

近年、福井県沿岸では急潮の観測体制と数値モデルを利用した急潮予報システムの構築が進められ、いまでは定置網近傍での流れや水温の観測や、同予報システムを利用した１週間先までの流況予測が行われている。一方で、若狭湾東部海域は急潮の発生頻度が周辺海域と比べて少なく年に数回程度であるため、急潮発生時のデータを蓄積し、今後の急潮対策や予測に役立てることが課題として残っている。

本研究は新たな急潮の知見を見いだすことを目的とし、2017 年の観測体制によって取得したデータを分析した。

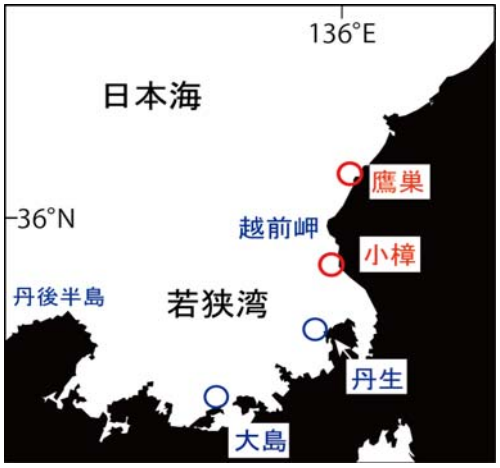


図１　若狭湾および測点図．2017 年に福井県水産試験場、福井県立大学が流速計を設置していた観測地点を示している．

【観測および解析】

福井県立大学、福井県水産試験場は 2017 年 5－10 月に若狭湾および越前海岸の定置網近傍で流れや水温を計測した（図１参照）。それぞれの測点では電磁流速計や ADCP を用いて海面下 10m または海面から海底付近までの多層の流れを計測するとともに、複数個の水温センサーも設置して海面から海底まで 10m おきで水温を計測した。本研究では流速が 50cm/s を超える突発的な流れを急潮とすることと定め、急潮の発生状況やその特徴について調べた。

【結果および考察】

小樟の流れの時系列（図２上段）から、通常は北－北西方向に向かう 20cm/s 以下の穏やかな流れが発生していたことがわかる。また、6 月 25 日、8 月 7 日頃には台風や低気圧の通過に伴う一時的な流向・流速の変化が発生したが、最大流速は 30－40cm/s 程度であった。50cm/s を超える一時的な強流、つまり急潮の発生についてデータから調べると、7 月 24－26 日（図中の矢印）に南東方向へ向かう急潮が発生していたことが確認できたため、本研究ではこの急潮に注目して更に分析を進めた。

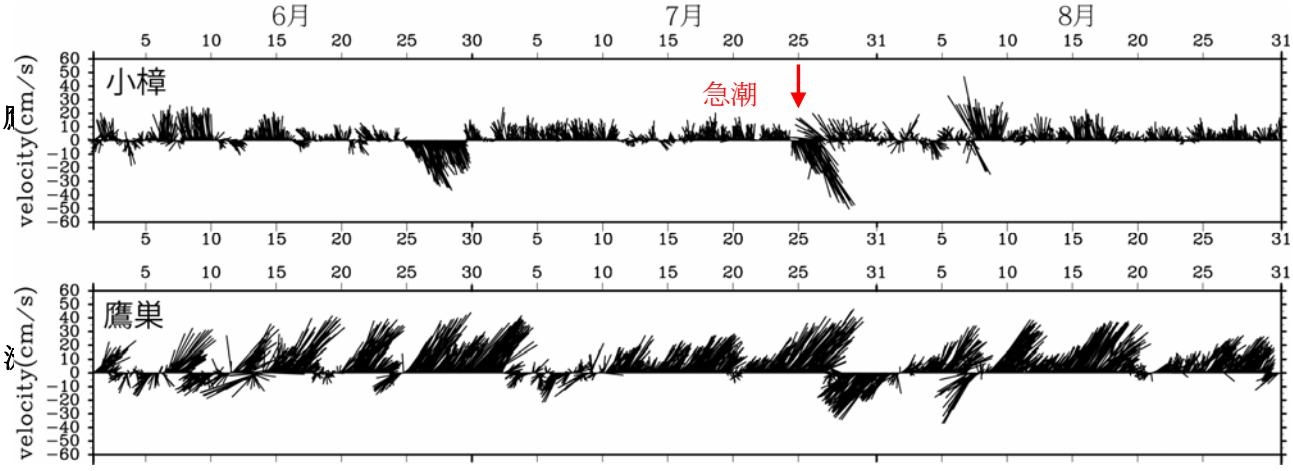


図２　2017 年 6－8 月の小樟と鷹巣の流れの時系列．小樟では 7 月 25 日頃に 50cm/s を超える強い流れが発生した。

急潮時の周辺海域の流れおよび水温の変化を把握するために、図２下段には湾口東部の鷹巣の時系列を示し、図３には小樟、鷹巣の 6−8 月の水温時系列を示した。

鷹巣では急潮発生直前にあたる 7 月 23 日頃から流れが次第に強くなっていたことから（図２下段）、急潮発生時は若狭湾沖の対馬暖流が次第に強くなった時期であったことがうかがえる。また対馬暖流の強化と小樟で発生した急潮のタイミングが一致していたことから、急潮の発生には若狭湾沖の海況変動が関わっていたと推察された。

水温の時系列をみると、急潮の発生時期に急激な水温低下現象が発生していたことがわかった（図３）。特に底層での水温低下量は大きく、小樟の 40m、50m 層の水温は 4−5℃以上の急激な水温低下が発生し、鷹巣でも流れが強くなったときに底層で水温が急低下していたことがわかる。この時期に台風などの低気圧は通過していなかったため一時的な沿岸湧昇によって水温低下が発生したとは考え難く、水温データからも急潮発生時に若狭湾沖で海況変動が発生していたことがうかがえた。

若狭湾沖の海況情報として、日本海区水産研究所が毎月発行する「日本海漁場海況速報」に記載されている水温分布図を参考にした。海面下 50m の水温分布をみると、若狭湾沖には冷水塊が存在しており、越前岬近くで冷水塊と沿岸水の境界に水温フロントが形成されていた。過去の研究よりフロント付近では強い流れが発生することが報告されていることから、今回の急潮は冷水域の越前岬への接近に伴い、岸近くで流れの強化、すなわち急潮が発生したと推察された。冷水域の接近に伴う急潮の発生は他の年でも発生している可能性が高く、若狭湾の急潮の予測をするうえで重要な視点になりそうである。今後は若狭湾沖の冷水域と急潮発生の関連性についてさらに調査する必要がある。

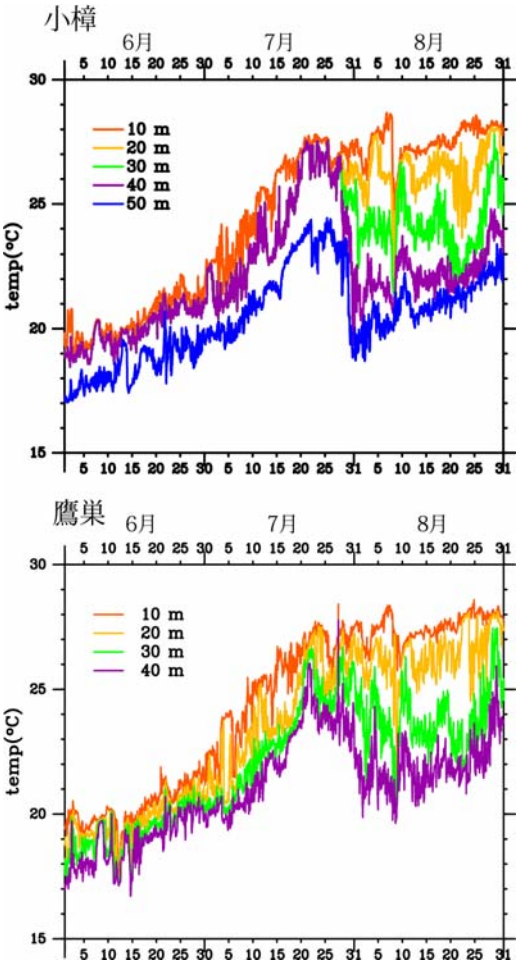


図３　2017 年 6−8 月の小樟（上段）と鷹巣（下段）における水温の時間変化．急潮が発生した時期に、急激な水温低下が発生していた。

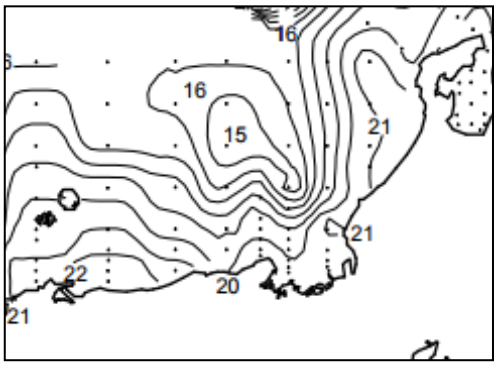


図４　2017 年 8 月初めの海面下 50m の水温分布図．日本海区水産研究所が公開している「日本海漁場海況速報」を利用して作成した．（引用: http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/Physical/sokuho.html）

【関連の成果発表】

Monitoring for fisheries in coastal waters of Wakasa Bay and the Echizen-Coast, Japan, The 19th Pacific Asian Marginal Seas (PAMS) Meeting, (2017 年 5 月)

【研究組織】

【研究代表者】福井県立大学海洋生物資源学部　兼田淳史
【研究協力者】福井県水試漁場環境研究グループ　鮎川航太
【所内世話人】九州大学応用力学研究所　千手智晴

ブリの電子タグデータを用いた日本海における回遊経路の推定

富山県農林水産総合技術センター水産研究所　小塚　晃

1. 目的

日本海で冬期に漁獲される大型のブリは、寒ぶりとしてよく知られており、漁獲の豊凶は水産業や観光業に大きな影響を及ぼす。ブリは日本海を南下する際に、水温や海流によって経路を変えていると考えられており、これまでの共同研究で、富山湾でのブリの漁獲量と海洋同化モデル DREAMS_M の海洋環境を比較し、日本海の水温分布によって漁獲量変動の予測を行ったが、直接的に回遊経路を推定し漁獲量変動要因について考察はできていない。

水産関係研究機関では過去に、ブリの回遊経路を直接的に推定するために、アーカイバルタグという電子タグを用いた標識放流調査を行い、回収された電子タグから、放流個体の泳いだ海域の水温、水深等のデータが得られている。これまで 10 日ごとの水温分布図と照合して遊泳海域の特定が行われたが、本研究では時空間的に途切れのない海洋同化モデル DREAMS_M とデータを照合し、改めて遊泳した位置を詳細に推定し、ブリの漁獲量予報の精度向上のための情報を得ることを目的とした。

2. 方法

電子タグは、放流個体の泳いだ海域の水温（0.1℃間隔）、水深（0.5m間隔）、照度データ(0～569 の指標値)を 2 分間隔で記録しており、それらのデータを用いて、1 日ごとの位置推定を行った。得られた深度データは、10m刻みの階層に変換して使用し（例、0～4m は 0m、5～14mは 10m）、遊泳中に記録した水温データを、日別に階層ごとに平均化したデータセットを作成した。水温データと整合的な遊泳海域（海域Ａ）は、データセットの 10、30、50、100m の 4 層のうち個体が 1 日で最も滞在頻度が高かった階層における水温データの平均値を、海洋同化モデル DREAMS_M と照合し、水温の差が 0.5℃以内となるように探索した。水温情報のみでは、位置が決められないため、さらに 2 つの位置の絞り込み方法を考え、過去に照度データをもとに推定された経度の 5 日間移動平均値を用いる方法（方法①）と、海域Ａの最東端から西に経度１度まで遊泳していたと仮定する方法（方法②）を検討した。

3. 結果および考察

解析に用いた個体は 2004 年 5 月 27 日に石川県で放流し、同年 12 月 9 日に福井県若狭湾沖で水揚げされたものである。尾又長は、放流時の 85 ㎝、再捕時は 92 ㎝であった。位置推定対象期間は、南下行動に着目するため、9 月以降とした。

電子タグデータを整理して作成された遊泳環境のデータセットの概要は、表 1,2 のとおりである。月によって変化するものの、水温は 20℃前後の海域を遊泳し、水深は夏季には 10m前後であったが、9 月以降徐々に深くなり、12 月には 50m前後を遊泳していたことがわかった。

推定された位置の中心を図 1, 2 に示した。方法①では、過去に推定された経度が、11 月以降、ブリの遊泳水深が深くなることなどの影響で不安定となり、海域Aと重ならなくなり、11 月 13 日以降、収束しなくなった（図 1)。一方、方法②では、おおむねブリの南下の様子を再現することができた（図 2)。しかし、12 月 9 日に再捕された若狭湾沖に到達しないことや、11 月中下旬には佐渡の南側まで南下した後に再び青森県沖まで北上するなど、推定結果に不自然な点が残った。前者は海域Aの東端を遊泳するという仮定によるものであり、後者は 11 月には滞在水深が日々変化し、位置推定に用いる水深が変わることにより、推定位置も大きく影響されることによると考えられる。海洋同化モデルは表層ほど精度が高いことが指摘されており、今後は、ブリの滞在頻度の高い水深を用いるだけでなく、表層のデータを重視するような位置推定方法の検討が必要である。

表 1. 月別の遊泳水温

水温範囲(℃)	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
24-26	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
22-24	0%	0%	8%	**73%**	1%	0%	0%	0%
20-22	0%	21%	**65%**	24%	**64%**	0%	0%	0%
18-20	0%	**53%**	23%	2%	30%	**76%**	**69%**	**80%**
16-18	**90%**	16%	2%	0%	2%	20%	29%	11%
14-16	9%	7%	1%	0%	0%	3%	1%	1%
12-14	1%	2%	1%	1%	1%	1%	0%	8%
10-12	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

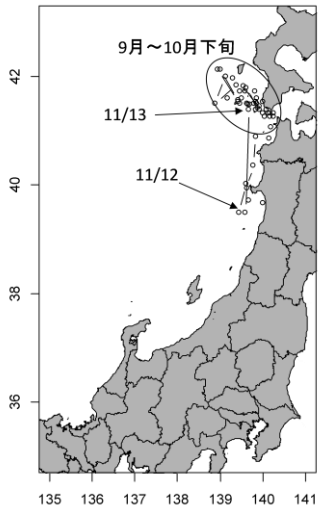


図 1. 方法① を用いて推定した位置の中心

表 2.　月別の遊泳水深

階層(m)	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0	42%	22%	26%	9%	4%	3%	3%	10%
10	**45%**	**36%**	**42%**	**51%**	19%	11%	12%	2%
20	5%	16%	18%	28%	**31%**	**31%**	12%	9%
30	3%	8%	9%	9%	15%	24%	8%	10%
40	2%	6%	3%	2%	14%	17%	17%	13%
50	0%	3%	1%	1%	9%	8%	**25%**	**14%**
60	0%	2%	1%	0%	5%	3%	8%	9%
70	0%	1%	1%	0%	1%	1%	4%	6%
80	0%	1%	0%	0%	1%	1%	4%	8%
90	0%	1%	0%	0%	0%	0%	2%	7%
100m以下	2%	3%	0%	0%	1%	1%	5%	11%

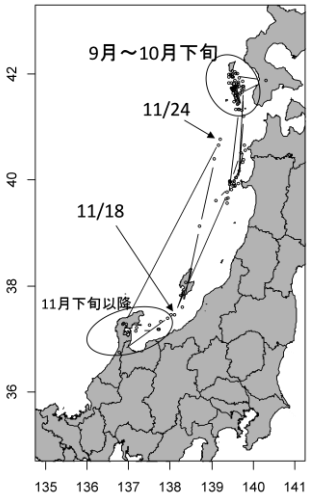


図 2. 方法② を用いて推定した位置の中心

4. 発表等実績.

なし

5. 研究組織

研究代表者	富山県農林水産総合技術センター	小塚　晃	研究員
所内世話人	九州大学応用力学研究所	広瀬　直毅	教授
研究協力者	九州大学応用力学研究所	千手　智晴	准教授

内部波特有の共鳴現象に関する解析

研究代表者 神戸大学大学院工学研究科 中山恵介

研究の目的

過去の研究において，辻・及川らにより KP 方程式を利用し 2 層流体において 2 波が干渉する場合, Miles の解で示されるような入射波に対して 4 倍にもおよぶ大振幅内部ソリトン波の発生可能性が示されている．しかしその後，同著者らにより 2 層流体では critical level により内部ソリトン波の振幅が抑制されることで，増幅率が 3 倍程度に抑えられる可能性が示されている．さらに，これまでの申請者らによる共同研究の成果として，強非線形強分散内部波方程式を利用することにより, critical level による抑制効果は過去の研究で示されているよりも大きいことが示唆された．しかし，初期に大きな振幅を与えた 1 ケースのみでの検討であり，増幅率の抑制に関しては強非線形干渉による増幅率の抑制効果も指摘されている．そこで本研究では，成層状態および初期振幅を数ケース変化させた強非線形強分散内部波方程式による解析を行い, critical level を中心とした増幅率の抑制効果を解明することを目的とする．

研究の方法

干渉する 2 つの内部ソリトン波を対象とし，critical level が共鳴による振幅増幅に与える影響を検討するため，以下の研究項目を実施する．

1. 過去の研究において増幅率が 4 倍程度に達したケースを参考にし，初期に与える振幅を小さくし，密度界面と critical level までの距離を変化させることで，critical level による増幅率の抑制効果に関する検討を実施する．
2. 大振幅による干渉が増幅率を抑制する可能性があることから，大振幅内部ソリトン波同士による干渉に関する検討を実施する．
3. 上述の 2 項目を検討することにより，内部ソリトン波の増幅率の抑制に関する主要因の抽出，もしくはどのような条件下において主要因が変化するかを検討する．

主要な成果

本研究の主要な結論は，以下のとおりである．

(1) 内部ソリトン波の干渉に関して，2 層近似が成り立つ場合には，critical depth の影響により増幅率が 3 程度にとどまることが示された．
(2) Andaman Sea のような実際の連続成層場においてコリオリ力まで考慮すると，3 倍を

超える振幅が発生することが示された．しかし，critical depth までには余裕があり，より詳細な検討が必要であると考えられる．

(3) 実際の場において振幅が増幅する場合，水深が変化する効果も考慮すべきであることが示唆された．今後の検討課題であると考えられる．

研究成果報告

K. Nakayama, T. Kakinuma, H. Tsuji, Oblique reflection of large internal solitary wave, European Journal of Mechanics (B), in revison, (2018)

K. Shimizu, K. Nakayama, Effects of topography and earth's rotation on the oblique interaction of internal solitary-like waves in the Andaman Sea, Journal of Geophysical Research, Vol.122, pp.7449-7465 (2017) DOI: 10.1002/2017JC012888

中山恵介，清水健司, 3 層系における内部波列による質量輸送速度，土木学会論文集 B2（海岸工学）, Vol.73, No.2, pp. I_55- I_60 (2017)

組織

中山恵介　　国立大学法人神戸大学大学院 工学研究科・教授

柿沼太郎　　国立大学法人鹿児島大学学術研究院　理工学域・准教授

辻　英一　　国立大学法人九州大学 応用力学研究所・助教

全球雲解像・エアロゾル輸送モデルによる雲エアロゾル相互作用の不確定性低減

名古屋大学工学研究科・理化学研究所計算科学研究機構　佐藤陽祐

1、目的

本研究ではエアロゾル輸送モデル（SPRINTARS[1]）と全球雲解像モデル(NICAM[2])を結合したNICAM-SPRINTARS の全球実験とその結果の解析によって、気候予測の最大の不確定性要素であるエアロゾル・雲相互作用の理解の深度化を目指した。従来気候予測に用いられてきた大循環モデル（GCM）はその解像度の粗さから雲を直接計算することができず、エアロゾルが雲に及ぼす影響も直接できないため、エアロゾル・雲相互作用の見積もりには大きな不確実性が伴っている[3]。この不確実性低減に向けて、雲を全球スケールで直接解像することができる全球雲解像モデル NICAM-SPRINTARS の計算を行い、従来の GCM との比較を通してエアロゾル・雲相互作用の理解の深度化を目指した。

2、数値モデルと解析方法

実験に用いた数値モデルは NICAM-SPRINTARS[4]と MIROC-SPRINTARS[5]である。NICAM-SPRINTARS は全球 14km 解像度で1年間の積分を行い、MIROC-SPRINTARS は T42L20 の解像度で 5 年間の積分を行った。本研究ではエアロゾル・雲相互作用の指標の一つとして、エアロゾル数濃度(N_a)の変化量に対する雲水量(LWP)の変化量で表現されるλ[6]を用いた。λは

$$\lambda = \frac{d[log_{10}LWP]}{d[log_{10}N_a]},$$

で与えられる。このλを雲頂温度が 273K よりも高い暖かい雲を対象として NICAM、MIROC の両モデルから見積もった。NICAM と MIROC の解像度の違いを考慮して、NICAM の結果を 2 度ごとに平均して解析を行った。λは各格子で計算される LWP と N_a の散布図から最小二乗法によって直線近似によって求めた。同時に A-train 衛星群による観測から得られるλ[7]を用い、観測とモデルの比較を行った。

3、実験結果

図1は A-train、NICAM、MIROC から算出されたλの全球分布である。MIROC は全球でλがとなっているのに対し、NICAM はカリフォルニア沖やペルー沖といった大陸西岸の一部の領域がわずかに正または 0 付近を示し、空間分布を持っている。一方衛星によって観測されたλは NICAM と同様に大陸西岸は正の値、その他は負の値を持っており、NICAM から見積もられたλと似通った分布を持っている。

このようなλの全球分布が GCM と観測で大きく異なっていることは先行研究[7]から指摘されており、このことがエアロゾル・雲相互作用の見積もりに大きな不確実性を生んでいることが近年知られていた。

本研究では全球雲解像モデルを用いることで、観測で得られるλの全球分布を数値モデルで再現することに初めて成功した。

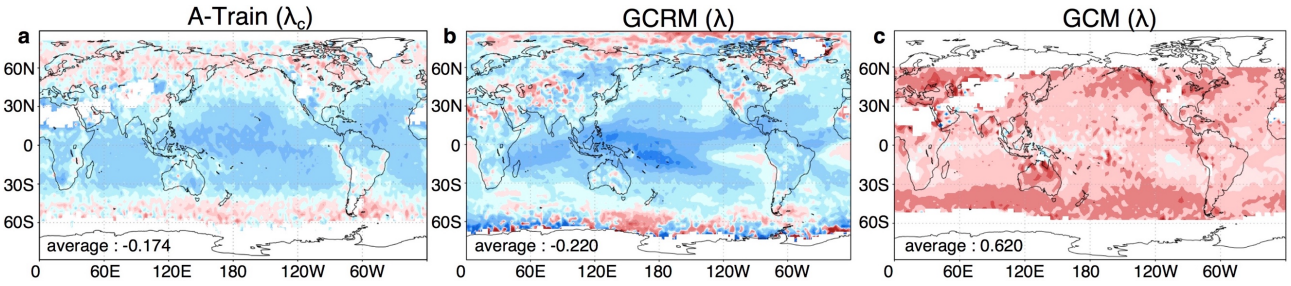


図1：(a)A-train 衛星群、(b)NICAM-SPRINTARS、(c)MIROC-SPRINTARS から計算された λの全球分布（Nature Communication 誌に受理された論文誌[8]より抜粋したに修正を加えた）

4、考察

本研究では GCM で見積もられるλが観測と大きく異なる原因を調べるために、エアロゾルの増加が起こった際の雲微物理量の変化を調べた。NICAM と MIROC 双方で、エアロゾルが変化した時の蒸発・凝結の量を調べると、MIROC に比べ NICAM はエアロゾルの変化に対して蒸発・凝結量が大きく変化し、それにより、エアロゾルが増加した際に雲水量を減少させることにつながっていた。これは NICAM が雲を解像するため、エアロゾルが雲微物理過程（特に蒸発・凝結過程）に及ぼす影響を陽に計算できることによって、エアロゾルが増加した時の雲水量の減少（すなわち負のλ）が再現できたと言える。

このことは、従来の GCM はエアロゾルが増加した際の雲微物理過程の変化を再現しておらず、エアロゾル・雲相互作用を過大に評価していることを示唆している。今後はこれらの結果を用いて、実際に放射強制力などの気候への影響を表す物理量を計算し、定量的な議論をしていく必要がある。

5、研究成果報告

本研究で得られた成果は複数の国際ワークショップ、国際学会で発表されただけでなく、投稿論文として投稿され、平成 30 年 2 月、Nature Communication 誌に受理された。2018 年中に発表される見込みである。

参考文献

1. Takemura T et al., J Geophys Res. 2005;110: D02202. doi:10.1029/2004JD005029
2. Satoh M et al. Prog Earth Planet Sci. 2014;1: 18. doi:10.1186/s40645-014-0018-1
3. Stocker TF et al. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2013.
4. Suzuki K et al. Geophys Res Lett. 2008;35: L19817. doi:10.1029/2008GL035449
5. Watanabe M et al. J Clim. 2010;23: 6312–6335. doi:10.1175/2010JCLI3679.1
6. Ghan S et al. Proc Natl Acad Sci. 2016; 201514036. doi:10.1073/pnas.1514036113
7. Michibata T et al. Atmos Chem Phys. 2016;16. doi:10.5194/acp-16-15413-2016
8. Sato Y et al., Nature Comm. 2018 accepted

能登半島周辺海域における流況と漁況の関係性

石川県水産総合センター　原田浩太朗

目的

能登半島周辺海域，特に富山湾沿岸はブリをはじめとする多くの回遊性魚種が来遊することから，全国有数の定置網漁場となっている．これら水産資源の漁況を判断するためには，本海域の海況変動機構の理解が重要である．本研究では，能登半島沿岸の対馬暖流沿岸分枝流（以下沿岸分枝流）の変動と沿岸域の定置網周辺における流況変動について調べ，能登半島周辺海域の流動構造および漁場形成メカニズムを明らかにすることを目的とした．特に今年度は，航走 ADCP および沿岸定点観測のデータを主に解析し，漁況との関係性を明らかにするうえで基本となる本海域の流動構造に注目して研究を行った．

方法

沿岸分枝流の変動　前年度（原田 2017, 共同利用研究成果報告第 20 号）に引き続き沿岸分枝流量の詳細な変動について考察するため，図 1 の通り観測線（Line 1）を A・B・C の 3 区間に分割した．石川県水産総合センターの調査船白山丸による ADCP 観測データから，それぞれの区間の流量を計算した．また，A・B・C 各区間の流量の季節変動を調べ，観測線全体の流量との比較を行った．

沿岸定点観測　図 1 中 St. 1 に 2008 年 1 月 30 日から 2009 年 2 月 26 日まで設置した，海底設置型 ADCP により観測したデータを解析した．設置地点の水深は 121 m, ADCP による観測深度は 19-115 m であったため，19-51 m を表層，51-83 m を中層，83-115 m を底層として，深度帯ごとの流況の季節変動について調べた．

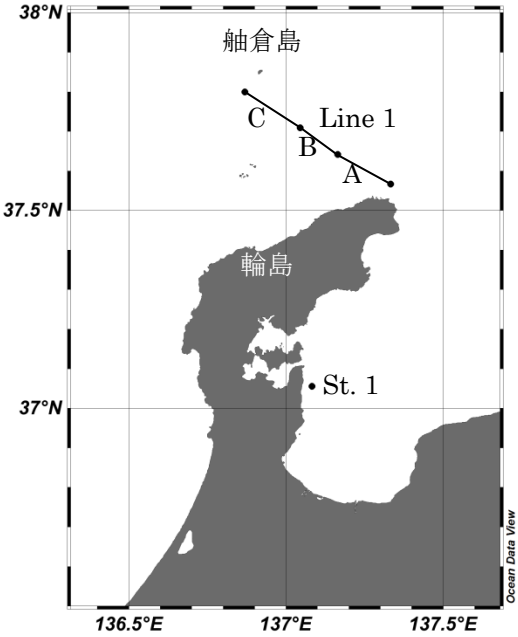


図 1 観測地点図

結果と考察

沿岸分枝流の変動　A・B・C の各区および観測線全体の流量の計算結果を図 2 に示した．B 区では常に流量が小さく，季節変動も小さかった．A 区および C 区では夏期（6~8 月頃）および冬期（12~2 月頃）の二回の極大がみられた．両区の変動は観測線全体の変動パターンと類似しており，沿岸分枝流流量の年二回の極大は，いずれも観測線内の陸側および沖合側の両方で発生していることが分かった．また，流量の標準偏差は A 区の方が大きく，特に流量の増大する夏期にばらつきが大きかった．夏場の流量は年による差が大きいが，これは主に A 区の流量の差を反映しており，沿岸分枝流の夏場の勢力は主に岸近くでの流量変動に左右されていることが明らかになった．

沿岸定点観測　各深度帯の平均北方流速を図 3 に示した．表層では 4~8 月に南向きの流れが卓越し，12~2 月に北向きの流れが卓越していた．中層では変動が比較的小さく，基本的に南向きの流れが生じていた．底層では 5~10 月には南北方向の流れはほとんどなく，11~4 月に南向きの流れが生じていた．今回の結果で観測された表層における流向の季節変動は，大慶（2015, 共同利用研究成果報告第 18 号）

等で報告されている，富山湾奥における環流の向きの季節的な逆転現象を反映していると考えられる．一方で，中層および底層では，いずれも表層と異なった季節変動パターンを示していた．特に，鉛直混合により成層の弱まる冬期に表層と中底層との間で逆向きの流れが卓越していたことは，深度帯によって流動場の形成メカニズムに違いがあることを示唆していると考えられる．また，定置網の漁獲対象となる魚類には表層遊泳性のもののほか，中層以深を遊泳するものも存在するため，海況と定置網の漁況との関係性を調べる上で，今回の知見は重要であると考えられる．

今後は、今回の結果を踏まえ、沿岸分枝流や沿岸域の海洋観測データに対しての解析を深め、漁況との関係を論じる上で基盤となる基本的な流況構造を明らかにするほか、定置網等による漁況データとの比較も行い、漁業へ貢献できる知見の獲得を目指して研究を継続していく。

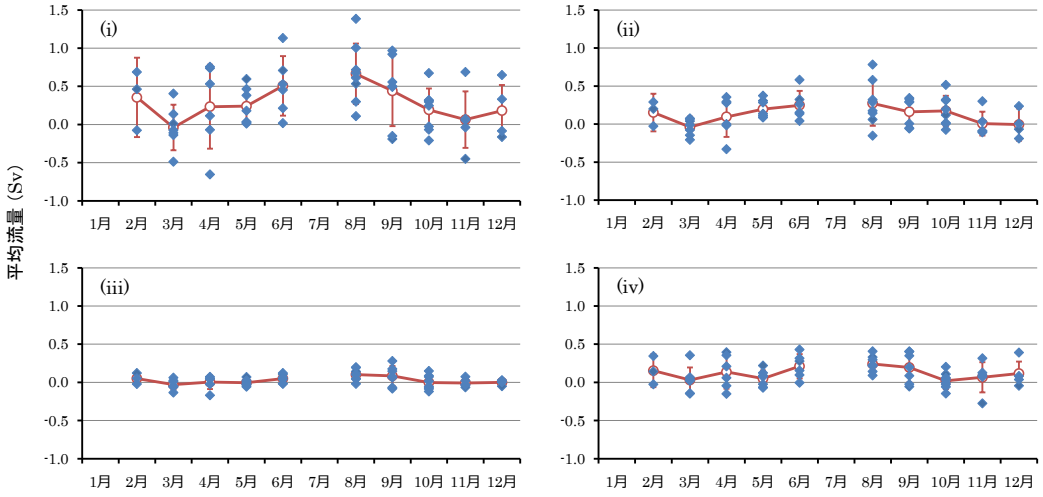


図2 区間別沿岸分枝流量
(i): 観測線全体 (ii): A区間流量 (iii): B区間流量 (iv): C区間流量
折線は平均値、エラーバーは標準偏差、プロットは各年の月平均値を示す

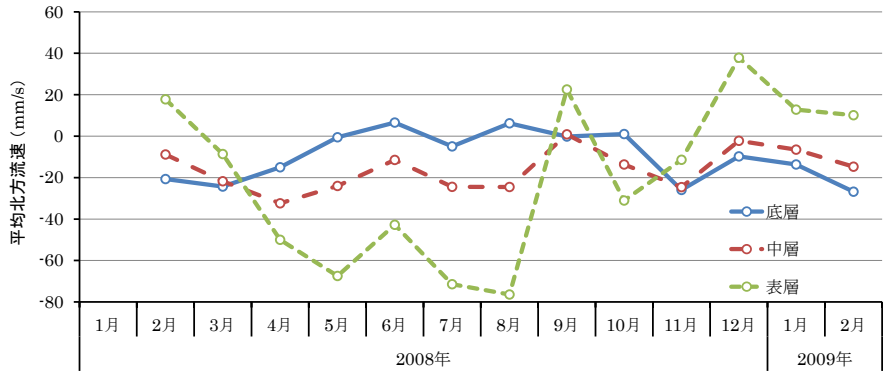


図3 定点流速観測結果

研究組織

石川県水産総合センター　原田　浩太朗　：研究代表者
大慶　則之　：研究協力者
九州大学応用力学研究所　千手　智晴　：所内世話人
広瀬　直毅　：研究協力者

海底資源探査用グライダー型海中ビークルの開発

九州大学大学院工学研究院　山口　悟

1.　研究の目的

近年，日本近海の海底資源の開発が注目を集め，海底資源の賦存量や賦存場所を把握するための様々な調査方法が提案されている。本研究では，OBEM（Ocean Bottom Electromagnetometer）を用いた調査方法に注目し，グライダー型水中ビークルに OBEM を搭載し，自律的に観測・移動を実施するための観測機材の開発を試みた。本装置の実用化により，船舶による投入・回収・移動を繰り返さす必要がなくなるため，OBEM による広範囲，長時間の調査が効率的に実施可能になると考えられる。

本年度の研究では，特に滑空時の過度状態に着目し，安定かつ効率の良い自律観測を実現することを目指した。すなわち，着水直後の「初期滑空状態」，定常滑空に至るまでの「遷移状態」，着底に移行する「着底動作」における機体運動の制御に取り組み，九州大学応用力学研究所における水槽試験等を実施した。水槽試験の様子を Fig. 1 に示す。

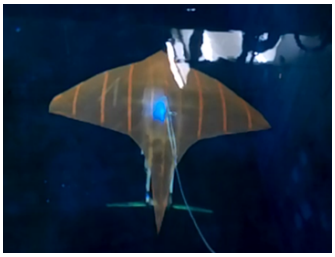


Fig.1　Tank　experiment

2.　グライダー型海中ビークルの概要

機体の主要目を Table.1 に，構成図を Fig. 2 に示す。ビークルは滑空することで対象の海底計測点に移動し，着底後調査を行い，その後適当な高度まで浮上し，次の調査地点へ滑空により移動する。OBEM による計測を行うため，本機体は十字のアームを有しているが，滑空中の流体抵抗を減少させるために，アームを覆うように翼面を形成した。翼面下には，前後に 2 つの耐圧容器を有する。前方容器には水中重量調節装置を搭載し，後方容器には運動制御装置（重心移動装置）やセンサー，コンピュータを搭載した。

Table. 1 Principal particulars

Length	1.9 m	Weight	39.16 kg-f
Breadth	1.9 m	Weight in water	2.0 kg-f
Depth	0.38 m		

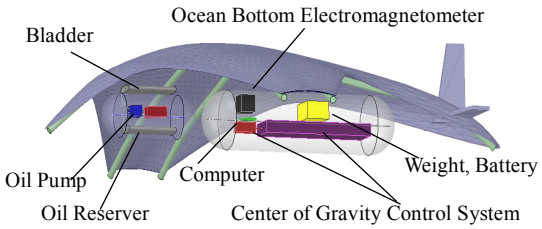


Fig. 2 Construction of the underwater glider

3.　実験結果に基づく運動制御系の開発

実海域試験では機体着水直後に機体のロール，ピッチ運動が大きく変動し，機体投入作業の安全性に問題が見られた。そこで水槽試験により機体の滑空運動を調査し，その結果に基づき設計した制御系を実装した結果，初期滑空状態の安定性が改善された。すなわち，波浪の影響を受けにくい水深 1.5m まで潜航するために要する時間は 71％短縮され，同水深で得られる速度は 0.26m/s から 1.0m/s に増加する

ことができた。

続いて遷移状態の制御系設計のために，尾翼角を固定した自由滑空と P 制御を用いた滑空における機体運動を水槽実験で計測し，機体の滑空特性と尾翼の効果を確認した。尾翼角を固定した実験において，尾翼角度-30 度～-45 度に対し約-5 度のトリム角が得られた。次に P 制御を用いて機体トリムに-5 度と-10 度の目標値を設定し，パラメータを Kp=1,1.5,2,4,6 と変化させて運動制御性能を調査した。その結果，目標値-5 度の場合には Kp=4 と 6 において良好な結果を確認できた。また，目標値-10 度でも同様な結果が得られた。

設計した PID 制御系による滑空の実験結果の一例を Fig.4 に示す。ピッチ角が目標角付近に漸近し，制御により良好な滑空角が得られることが確認できる。尾翼角の振動は，姿勢を検知するセンサの計測値の取り扱いに基づくものであると考えられる。すなわち，センサーで計測された加速度の値にローパスフィルターを適用した後，角速度の計測値と統合して機体姿勢を検出しているため，フィルター等の設定によっては尾翼角が振動する場合が生じると考えられる。

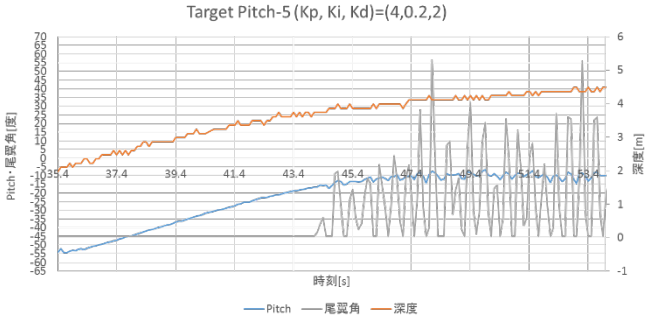


Fig.4　Gliding controlled by a PID controller

次に，同様の PID 制御系を用いて着底動作試験を行った。水槽試験結果を Fig.5 に示す。実験では着底動作における機体トリムを 5 度に制御出来ていることが確認できる。また機体速度も着底制御開始前と比較して 95%減速されており，開発された制御系により機体の安全な着底が実施可能となる。一方で，ピッチ角の応答においてシミュレーション結果と実験値の間に差異が見られたが，これは重心移動装置の応答に起因するものと考えられる。

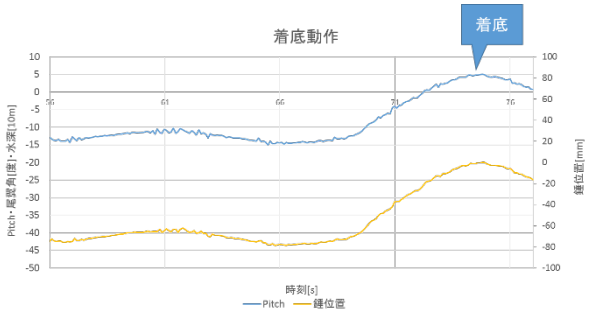


Fig.5　Landing controlled by a PID controller

4.　まとめ

海底資源探査用グライダー型水中ビークルの機体開発と運動制御系の設計を行った。運動シミュレーションの精度と制御性能の確認のため各種の水槽および実海域試験を行った。実験結果に基づく機体運動システムの同定により，機体運動の数学モデルの精度が改善された。さらに，得られた運動モデルに基づくシミュレーションを利用し，各種の機体動作に関する運動御系の開発を行い，重心移動装置と尾翼を用いて機体運動を制御した結果，開発した制御系の有効性が確認された。

水中ビークル運用のための装備に関する研究

長崎大学・水産学部　　森井　康宏

1. はじめに

近年、海洋観測・調査用の海中ビークルは、専用の母船を必要とする大型の物から、専用の母船を必要としない小型のものまで数多く作られ、実用的な段階へと入りつつある。特に、技術者の支援を必要とせず、海洋物理の研究者が比較的容易に海洋観測に使用できる、中、小型のビークルは、専用母船、すなわち専用の母船に装備された投入・回収装置を持たないため、作業がいっそう困難なものとなる。長崎大学水産学部附属練習船長崎丸は応用力学研究所と共同で長年海洋観測を行っており、応用力学研究所所有の海中ビークル運用の実績を持つ。そこで本研究では、ビークルを損傷することなく、波浪中で、安全にビークルを運用するために必要な装備について調査・研究を行う。

本年度は、円盤型水中グライダーによる針路保持制御実験、CFRP 製可変ピッチプロペラに関する情報収集、建造中の長崎大学水産学部付属練習船長崎丸及びその装備に関する情報収集について報告する。

2．円盤型水中グライダーの針路保持制御実験

バーチャルモアリング性能を向上させるための針路保持制御実験が 2017 年 11 月に長崎新漁港沖の水深 30m海域（Fig. 1）で実施された。

Fig. 1　実験実施海域

コントローラはビークルの非線形運動方程式を滑空平衡状態のまわりで線形化して得られる状態空間表現をもとに設計される LQI コントローラが採用された。残念ながら、浮力調整装置の減速機部分の焼きばめに不具合を生じ（Fig. 2）、浮力調整ができず良好なデータを得ることができなかった。次年度共同利用が採択されれば再度挑戦する予定である。

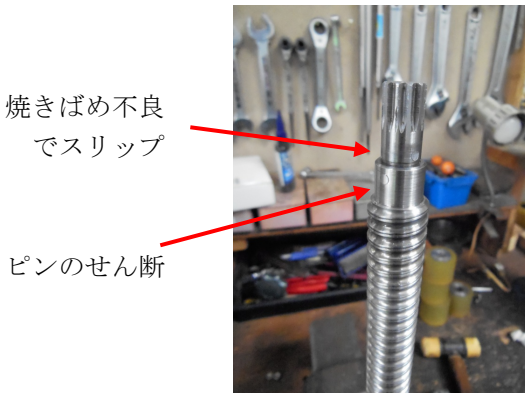


Fig. 2　浮力調整装置の不具合

次年度の実海域試験に向け模型による水槽試験も実施されている（Fig. 3）。

Fig. 3　模型試験

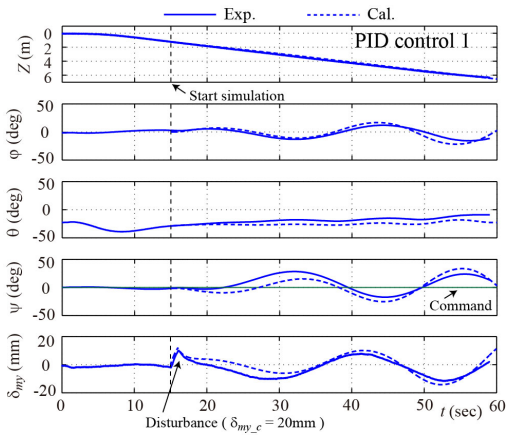


Fig. 4　船首方位誤差のみをフィードバックする針路保持 PID 制御結果

前年度に実施した船首方位誤差のみをフィードバックする針路保持 PID 制御結果（Fig. 4）は性能が芳しくなかったので、今年度は船首方位誤差とロール角誤差をフィードバックする針路保持 PID 制御を実装したところ、Fig. 5 に示すように LQI 制御に匹敵する制御性能を得ることができた。

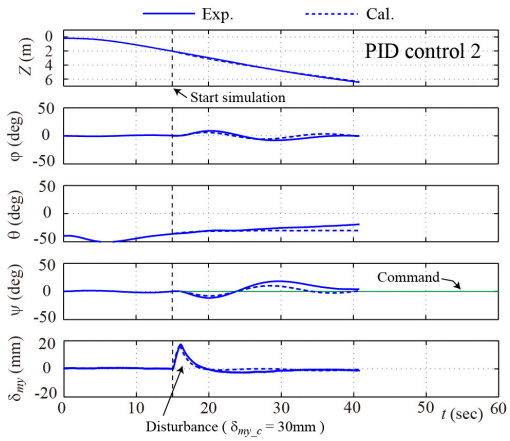


Fig. 5　船首方位誤差とロール角誤差をフィードバックする針路保持 PID 制御結果

3．CFRP 製可変ピッチプロペラに関する情報収集

CFRP 製可変ピッチプロペラに関する情報を収集するために 2018 年 3 月に岡山のナカシマプロペラを訪問した。一般の金属製プロペラと CFRP 製プロペラの製造工程を見学し、CFRP 製プロペラの利点について下記の情報を得ることができた。

・CFRP を使用した可変ピッチプロペラでは質量が小さいためボスを小型化できる。

・CFRP 製プロペラは質量が小さいため回転時の慣性モーメントも小さくプロペラ軸径を小さくでき、駆動系全体の計量化を行うことができる。

・CFRP 製プロペラは質量が小さいため回転時の慣性モーメントも小さいため振動が発生しにくく船室のノイズレベルを低減することが可能である。

・一般の金属製プロペラに比べ現時点では高価であるが、燃費の低減を図ることが可能である。

Fig. 6　CFRP 製可変ピッチプロペラブレード

4．建造中の長崎丸の艤装に関する情報収集

長崎大学水産学部の付属練習船長崎丸が三井造船玉野において建造中であるので造船所を訪問し、艤装中の長崎丸（Fig. 7）の艤装について情報収集を行った。

Fig. 7　偽装中の長崎丸

・船尾クレーンとして A フレームが採用されており、水中ビークルの投入・回収に便利である。

・CTD 計測が効率よく迅速に行えるように、特別格納室が設置されており（Fig.8）、小型水中ビークルの格納・運用場所としても利用できそうである。

・研究室の面積が十分に確保されている

・船尾甲板が広く小型水中ビークルの整備・ハンドリングに便利である。

・漁労実習のみならずさまざまな海洋観測が効率的に行えるようにクレーンが配置されている。

Fig. 8　CTD 用特別格納室と専用クレーン

5. 研究組織

・研究代表者

森井康宏（長崎大学水産学部教授）

・研究協力者

山脇信博、木下宰、内田淳、楠本成美、清水健一、八木光晴、青島隆（長崎大学水産学部）

中村昌彦｛所内世話人｝、野田　穣士朗（九州大学応用力学研究所）

海洋レーダを用いた日向灘表層流の試験観測

宮崎県水産試験場　　渡慶次　力

1. 研究の目的

日向灘の流況は，黒潮流軸や黒潮系暖水の接岸に伴って不規則に変動し，流速値 1m / s 以上の速い流れが頻繁にあるため（岡田，2003），漁業者の操業成否や水産資源の卵仔稚魚の輸送・成魚の移動に大きな影響を与えているが，その変動特性に関する知見は極端に不足している。そこで，日向灘広域における数時間スケールでの表層流況変動の把握を目的に，2015 年に海洋レーダを宮崎県の宮崎局と清武局に設置した（渡慶次ら，2017）。その結果，各局の視線方向流速の現場流速との相関関係は強かったが（大城ら，2016），両局のビーム交差角が小さい事で生じる合成流速ベクトルの誤差が課題であった。そこで，2017 年 3 月から誤差低減に向けて，「清武局」から「野島局」へ移設して，2017 年度は宮崎局と野島局の体制で流況観測を実施した。本報は，今後の日向灘における流況変動特性の基盤データとなる野島局移局後の海洋レーダ流速値の精度を検証した。

2. 使用したデータ

短波海洋レーダは，琉球大学工学部所有の 24.5MHz 帯フェーズドアレイアンテナ型で， 2015 年 11 月に宮崎港（以下「宮崎局」）に，2017 年 3 月に野島漁港（以下「野島局」）に設置した（図 1）。このうち，2017 年 3 月～2018 年 1 月末までのデータを使用した。短波海洋レーダのシステム構成やレーダ局は既報に準じた（藤井，2001）。レーダ局では，発射された電波の 1/2 波長を持つ海面波浪による強い後方散乱波が受信・信号処理されて記録される。データを手動取得した後，一次散乱のドップラースペクトルのピークの正負の周波数の違いを読み取ってビーム視線方向の表層（約 0.5m）流速（以下「視線方向流速」）を得た。両局のレーダで計測された視線方向流速は，時刻補正してベクトル合成することで，2 時間毎の二次元格子点の表層流とした（図 2）。

現場流速は，約 30km 沖合にある表層型浮魚礁うみさち 4 号に設置された日本無線社製 ADCP

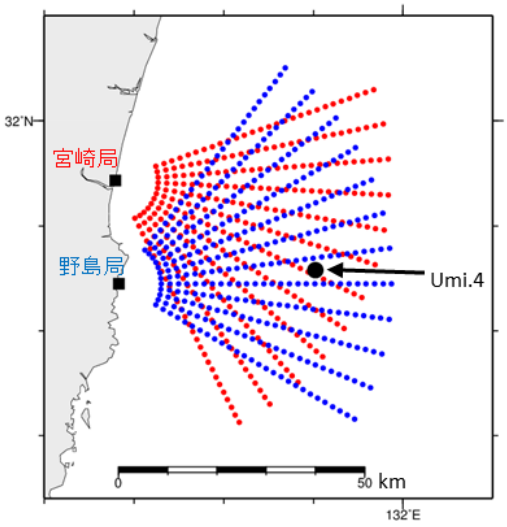


図 1　各海洋レーダ局の位置と観測ビーム方向。
●は表層型浮魚礁うみさち 4 号の位置を示す。

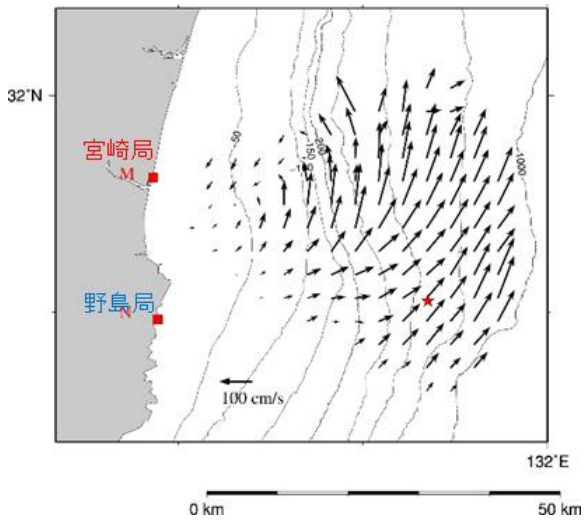


図 2　海洋レーダで計測した流速ベクトル(2017/10/5 18:00)。
★は表層型浮魚礁うみさち 4 号の位置を示す。

(NJC-30C-10, 240kHz)による 10m 深の流速値を使用した（以下「4 号流速」）。両流速の比較では，うみさち 4 号に最も近い観測セルのレーダ流速と，レーダ照射方向の 4 号流速成分を用いた。

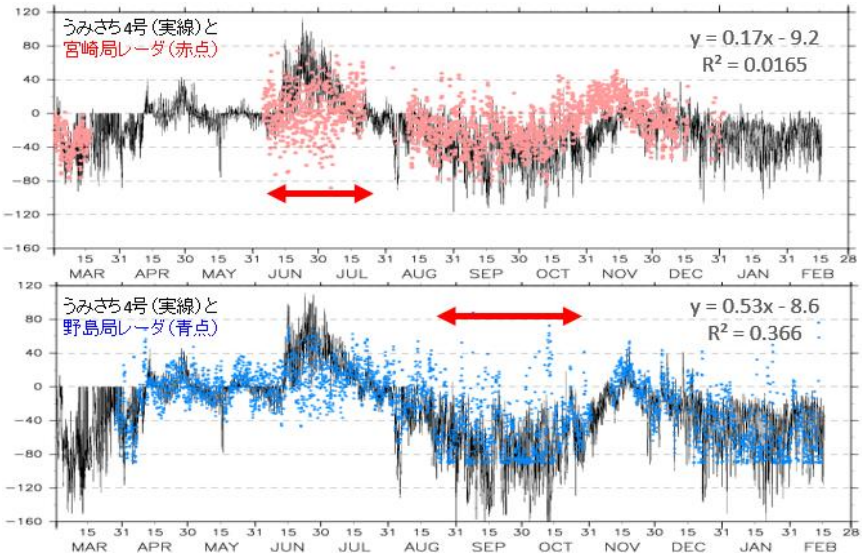


図 3　4 号と各レーダの 4 号近傍の視線方向流速の時系列。正値は岸に向かう成分，負値は沖に向かう成分をそれぞれ示す。上段が宮崎局，下段が野島局レーダとの比較を示す。

3. 結果

4 号流速と比較すると，視線方向流速（図 3）は，宮崎局において期間を通して相関がなく，特に 6～7 月の海洋レーダの流速はバラツキが大きかった。一方，野島局では，期間を通して相関が良いが，9～10 月において 4 号流速では見られた 100cm/s 以上の流速に相当する値は得られなかった。このため，図 4 で示す両局ビーム合成の流速ベクトルは，各局の視線方向流速の特徴が反映されたものとなった。現在，4 号流速と対応が悪い期間におけるドップラースペクトルを分析し，低精度となった原因を明らかにしたいと考えている。加えて，海洋レーダによる長期間の流況データを蓄積及び解析することで，日向灘の表層流動場の時空間変動特性を明らかにしていきたい。

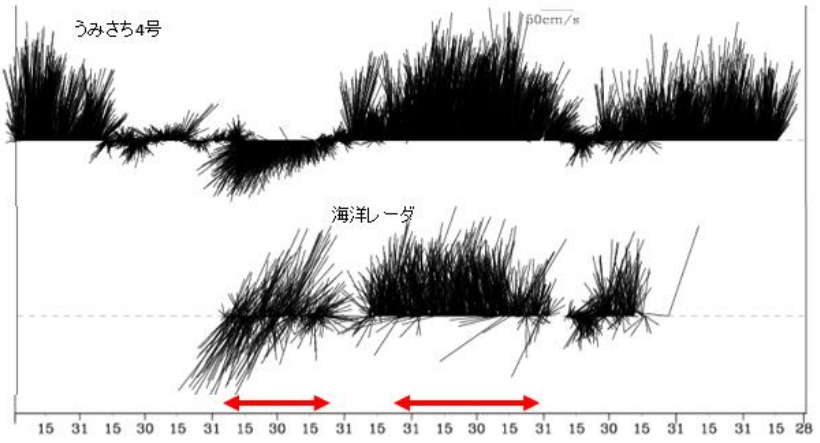


図 4 うみさち 4 号と海洋レーダ 2 局合成による 4 号近傍の流速ベクトルの時系列

4. 論文等

渡慶次力，西口政治，桟敷孝治（2017）：宮崎県海況情報の漁業者への経済効果，水産海洋研究，81 巻 1 号，43-49.

渡慶次力，西口政治，瀬藤　聡，黒田　寛（2017）：，水産海洋研究，81 巻 3 号，259-263.

5. 研究組織

代表者	宮崎県水産試験場	主任技師	渡慶次　力
世話人	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	千手　智晴
協力者	九州大学応用力学研究所	研究員	高山　勝巳
協力者	琉球大学工学部	教授	藤井　智史
協力者	琉球大学工学部	学部 4 年生	池原　日向

洋上を航走するビークルに働く流体力解析および運動制御に関する研究

国立研究開発法人海洋研究開発機構　海洋工学センター
海洋技術開発部
百留　忠洋

研究目的：

自律型無人潜水機（AUV）の普及や多種多様化にともない、複数機を同時に運用する要求が高まっている。AUV の運用に際して、海中を別海域で航走する無人機を同時に管制することは音響通信の通信距離・範囲の観点から困難である。この問題を解消するためには洋上から AUV を自動で追尾する洋上無人ビークル（ASV）を用意し、これに海中と空中の通信の中継をさせることで遠隔地にある無人機を同時に管制することができるようになる。本件では機構で開発した ASV 実証機の模型を用い水槽試験により流体力計測し、それを解析することで波浪中での挙動を検討する。

方法：

実験の模様を図 1 に示す。ASV 実証機模型の寸法は全長 1.75m×全幅 0.78m、空中重量は 120kg である。海中の AUV と音響による通信を行うために機体底部にペイロード部を有する。これは実機の 1/2.5 のスケールモデルであり、本件では機体に及ぼす流体力を計測するための実験を実施した。模型による試験では、実機で想定している巡航速力（3 ノット）において、進行方向に対して、機首を斜行させて機首角変化による抵抗の変化よる抵抗の程度を計測し、解析した。

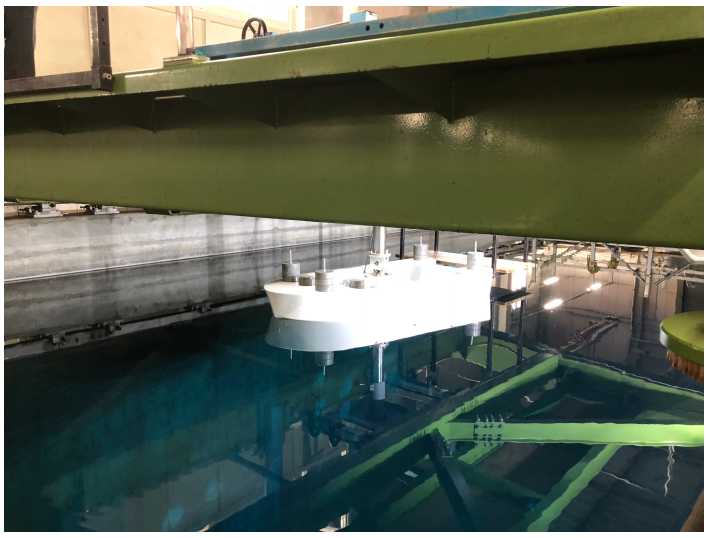


図 1　斜行試験時の ASV 実証機模型

海洋環境生態系モニタリングのための自律型海中ロボットの研究開発

大阪府立大学・大学院工学研究科 有馬 正和

□研究目的

本研究の目的は，現在，新たに研究開発を進めている海洋環境生態系のモニタリングを行うための自律型海中ロボットの性能を明らかにすることである。研究代表者らは，広範囲に亘る海洋生態系のモニタリングや海洋調査に資するための水中グライダーの実用化を目指し，高い運動性能を発揮することのできる主翼独立制御型水中グライダーSOARER（Fig.1）や長期間・広範囲の運用を目指す実海域用ソーラー水中グライダーTonai60（Fig.2）を開発している。実海域では高度な自律性が求められるので，その自律制御システムを確立するためには，深海水槽における多岐に亘る基礎データの収集・解析が必要不可欠である。研究代表者らの所属する大阪府立大学の船舶試験水槽（長さ×幅×深さ：70m×3m×1.5m）は，海中ロボットの性能評価を行うには幅と水深が不十分であり，九州大学・応用力学研究所の深海機器力学実験水槽（長さ×幅×深さ：65m×5m×7m）を使用させていただくことが本研究の進展に最も有効であると判断した。貴研究所・海洋大気力学部門・海洋流体工学分野は，海中ビークルの運動制御に関する研究において極めて優れた実績があり，中村昌彦准教授との技術交流や情報交換によって自律型海中ロボットに係る研究の飛躍的な進展が図れると期待した。

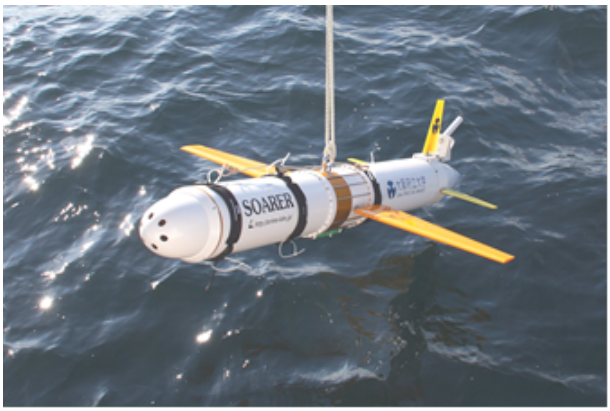


Fig.1　主翼独立制御型ソーラー水中グライダー SOARER

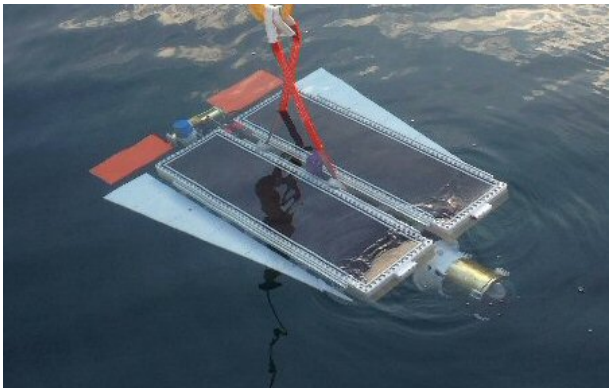


Fig.2　ソーラー水中グライダー Tonai60

□研究の成果

本研究では，海洋環境生態系のモニタリングを行うためのハイブリッド式自律型海中ロボット（HAUV: Hybrid-type Autonomous Underwater Vehicle）の潜航性能を明らかにすることができた。この機体は，小型高圧海水ポンプを用いた浮力調整装置と重心移動装置，４基の水中スラスターを装備し，水中グライダーとしての推進性能と通常の AUV としての機能を持ち合わせている。また，浮力調整装置と重心移動装置を適切に制御する

ことによって，鉛直姿勢での潜入と浮上を実現することができる。グライディングから水中（海底）での水平移動への遷移および鉛直姿勢への円滑な運動を実現するためには高度な自律性が求められるので，その自律制御システムを確立するためには，深海水槽における多岐に亘る基礎データの収集・解析が必要不可欠である。

現段階では，遠隔操縦によって浮力調整装置および重心移動装置を制御して機体の姿勢変化を実現できるかどうかを確認した。また，今回が機体製作後の初めての水槽試験で，水密確認試験も併せて実施した。実験の結果，本機体が所期の目的を果たすことのできる性能を備えていることを確認することができた。本水槽試験を経て，12 月中旬に鹿児島湾において実海域試験を実施することができたことを附記する。

Fig.3　ハイブリッド式自律型海中ロボット

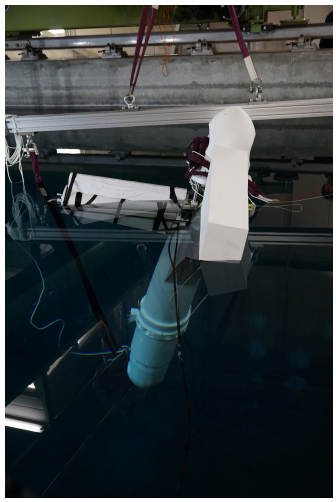


Fig.4　HAUV の潜航試験

□研究組織

氏　名	所　　属	職 名	役割・担当分野
有馬 正和	大阪府立大学・ 大学院工学研究科	教授	代表者・総括，システム計画
太田 稔宏	永光産業（株） 大阪府立大学大学院	代表取締役社長 社会人ドクター	実験の解析・評価
村山 豊	永光産業（株）	技術部	実験補助
山下 清司	神戸市産業振興財団	顧問	水槽試験の助言
宮田 慎一	川崎重工業（株）	水中機器係	実験補助
葛谷 健	川崎重工業（株）	水中機器係	実験補助
中村 昌彦	九州大学・応用力学研究所	准教授	所内世話人

全球気候モデルを用いたエアロゾルの気候影響の解析

東京大学大気海洋研究所 鈴木健太郎

要旨

エアロゾル変化がもたらす気候への影響を、全球エアロゾル気候モデル MIROC-SPRINTARS を用いた数値実験によって調べた。その結果、散乱性エアロゾルと吸収性エアロゾルでは気温や降水量といった気候変数への影響が顕著に異なることがわかった。特に、吸収性エアロゾルの代表格である黒色炭素の気温への影響は小さい可能性が強く示唆された。このことは、黒色炭素の排出削減の温暖化対策としての有効性に疑問を投げかける。

序論

エアロゾルが直接的に放射エネルギーと相互作用して地球を加熱・冷却する効果（エアロゾル直接効果）と雲核となって雲を変質させる効果（エアロゾル間接効果）は現在の気候予測において最大の不確実要因のひとつである。これを低減するためには、数値気候モデルにおいてエアロゾル排出量を系統的に変化させた実験を行い、それに対する大気や気候の応答を詳細に調べることが有効である。この中で特に重要なのが水蒸気や雲などの湿潤プロセスがエアロゾルにどのように応答するかを調べることだが、研究代表者の鈴木健太郎は衛星観測と気候モデルを複合的に組み合わせることで、このようなエアロゾルの気候影響を調べる研究を長年行ってきた。また、受入研究者の竹村俊彦は全球エアロゾル気候モデル MIROC-SPRINTARS を開発し、エアロゾル輸送過程やその気候影響のモデリング研究を展開してきた。本研究課題は、これらを組み合わせて、性質の異なるエアロゾルの排出量変化がもたらす気候への影響を定量化することを目的として行われた。

方法

全球エアロゾル気候モデル MIROC-SPRINTARS を用いて、散乱性エアロゾルである硫酸塩エアロゾルと吸収性エアロゾルである黒色炭素の排出量をそれぞれ系統的に変化させる数値実験を行なった。その結果を全球エネルギー収支の変化の観点から解析した。

結果と考察

MIROC-SPRINTARS モデルを用いた数値実験では、硫酸塩エアロゾルの変化に対する全球平均地上気温の変化は顕著であったのに対して、黒色炭素エアロゾルの変化に対する気温変化は小さく、変化傾向も曖昧であることがわかった。この違いは、これら二種類のエアロゾルの放射強制力の鉛直分布の違いにその原因が求められる。光散乱性のエアロゾルである硫酸塩エアロゾルの放射強制は大気には大きく影響せずに地表面を直接強制（冷却）するはたらきを持つために、長期的な気候変化を駆動する有効放射強制力として比較的効率良くはたらくのに対して、光吸収性のエアロゾルである黒色炭素エアロゾルは太陽光を吸収して大気を直接加熱するため、時間スケールの短い大気の応答を励起し、それがエネルギー収支変化のかなりの部分を相殺するために、有効放射強制力が小さくなるためであることがわかった。特に、このような黒色炭素の大気加熱に対する大気の応答は、水蒸気・雲・降水といった湿潤プロセスの応答によってその大部分が賄われているが、これらの物理プロセスの気候モデルによる表現には大きな不確実性が伴っていることが、黒色炭素の気候影響評価を難しいものにしている。今後は全球雲解像モデルなど、これらの湿潤大気プロセスをより詳細に表現するモデルを併用して、エアロゾルの気候影響を調べていくことが重要である。このような方向性での研究の足がかりとして、全球雲解像モデル NICAM-SPRINTARS を用いた数値実験結果を解析し、エアロゾルの雲水への影響が従来型の気候モデルでは衛星観測に比べて定性的に過大評価されていること、それが全球雲解像モデルでは衛星観測の地域分布パターンを詳細に再現できることがわかった。

成果報告

Sato, Y., D. Goto, T. Michibata, K. Suzuki, T. Takemura, H. Tomita, and T. Nakajima, 2018: Aerosol effects on cloud water amounts were successfully simulated by a global cloud-system resolving model. *Nature Communications*, **9:985**, DOI:10.1038/s41467-018-03379-6.

海洋大循環の力学 ―エクマン層から中深層循環まで

北海道大学大学院　地球環境科学研究院　水田元太

1. 目的

海洋大循環は中規模擾乱や地形、鉛直混合など様々な要因の影響を受けており、そのしくみは十分には理解されていない。本研究では数値モデル、観測、理論それぞれの専門家が最新の知見を持ち寄ることで海洋大循環のしくみに対する大局的な展望を得ることを目的とする。

2. 手法

2017 年 10 月に研究会を開き、以下の話題が提供された。各話題について十分な時間をかけて発表を行い、研究者間で活発に議論を行うことによって有効に研究を進めた。

(1)熱フラックスの日周変動が海面加熱期の混合層深度と海面水温に与える影響に関する研究：牛島悠介・吉川裕（京大理）

(2)水面波と風成流との双方向相互作用のシミュレーション：藤原泰・吉川裕（京大理）・松村義正（東大）

(3)波動フラックスの一般解析アルゴリズム：大貫陽平（九大応力研）

(4)北西太平洋海盆における深層流の中規模変動：宮本雅俊・岡英太郎・柳本大吾・藤尾伸三（東大大気海洋研）・水田元太（北大）・今脇資郎（九大）・黒木聖夫（JAMSTEC）・羽角博康・長澤真樹（東大大気海洋研）

(5)海面高度計を用いた北西太平洋の前線変動の同定：中野英之(気象研)

(6)LGM 以降の親潮流入に起因する日本海の鉛直混合に関する海洋力学モデル：磯辺篤彦（九大応力研）

(7)黒潮と対馬暖流の高分解能モデリングから分かったこと：広瀬直毅・韓修妍・劉天然（九大応力研）

(8)Upper ocean response to typhoon focusing on rightward bias using an ideal 3D model: Chul-hoon Hong (Pukyong National University), Akira Masuda, and Naoki Hirose (Kyushu University)

(9)黒潮大蛇行と四国沖暖水渦：蓮沼啓一（海洋総合研究所）

(10)東向ジェットの終端と中規模擾乱：水田元太（北大地球環境）

(11)波による働力・運動量輸送と分散関係 -- 地球流体波動を中心に：増田章（九大名誉教授）

3. 結果と議論

(1)海面熱フラックスの日変化が加熱期の混合層深度に与える影響を調べるために Large Eddy Simulation (LES)モデルを用いて数値実験を行った。その結果、低緯度域では日変化がある方がないよりも混合層が深くなるのに対し、高緯度域では日変化がある方が混合層が浅くなることが示された。加熱期の混合層深度は流れの鉛直シアーと熱フラックスによる成層化作用に依存するが、鉛直シアーが形成される時間スケールは各緯度での慣性周期で決まる。このため混合層深度は慣性周期が一日を超えるか否かに影響されることが分かった。また現実海洋で海面熱フラックスの日変化が混合層深度や海面水温に与える影響についても評価した。

(2)Langmuir 循環が形成されるしくみを調べるために非静力学自由表面モデルを用いたシミュレーションを行った。その結果、水面波による Stokes drift とそれに起因する Reynolds 応力によって Langmuir 循環が形成されることが示された。この形成メカニズムは古典的な Craik-Leivovich 理論と整合しており、今後は大振幅の水面波や平均流が水面波に影響を与える場合など Craik-Leivovich 理論が適用できない状況でも実験を行うことで、Langmuir 循環形成のしくみについてより一般的な知見が得られると期待される。

(3) 慣性重力波や地形性ロスビー波など地球流体力学で扱われる様々な波動現象を Wigner 変換を用いて一般的に扱う方法を提唱した。Wigner 変換を用いることで浅水方程式系などの方程式系の固有関数すなわち波動解を求める一般的な方法が存在することが示された。さらに Wigner 分布関数を用いることにより、一般には困難な波動によるエネルギーフラックスを評価すること出来ることが示された。このことは海洋大循環モデルで見られる地形性ロスビー波や、風波、シアー流中の慣性重力波の解析に応用できると期待される。

(4) 強い流れや顕著な海底地形が存在しない北緯 30 度付近における深層流の擾乱を高密度に展開した係留系によって観測した。その結果、半年程度の周期帯で北西方向へ伝播する平面波が存在することが分かった。波の波数は地形性ロスビー波の分散関係を満たし、ray tracing による解析からシャツキー海膨にエネルギー源があることが示唆された。また波によって生じる流れは背景渦位の等値線に平行となる傾向があった。

(5) 黒潮続流から亜寒帯循環域にかけては様々なフロントが存在するといわれているが観測データが限られていることからその実態は十分には把握されていない。そこで衛星海面高度計データを用いてこの海域のフロント構造を詳細に調べた。その結果、Subarctic Front, Subarctic Boundary, Kuroshio Extension Branch, Kuroshio Extension の４つのフロントが同定され、後者２つは緩やかに南下する傾向があることが分かった。

(6) 最終氷期では現在よりも海面が低かったため、日本海は太平洋から隔絶されていた。古海洋学的な知見では最終氷期中は日本海では深層水は形成されず、また氷期終盤に津軽海峡から太平洋水の流入が始まったときには強い鉛直混合が短期間起きたとされている。このことを鉛直１次元海洋モデルによって確かめた。その結果、最終氷期中は強い塩分成層のため鉛直対流が深くまで及ばないこと、氷期終盤に強い鉛直対流が起きるのは津軽海峡からの流入によって一時的に塩分成層が弱まるためであることが示された。

(7) 日本海と太平洋をつなぐ海峡の通過流量を数値シミュレーションによって求める場合、従来の研究では津軽海峡の流量が過大評価される傾向があったが、海底地形を正確に表現することで過大評価が解消されることが分かった。これは津軽海峡の複雑な海底地形による形状抵抗が原因している。またシミュレーションに観測データを同化する際に使われるグリーン関数法を効率的に行う方法についても詳細な解析を行った。

(8) 台風通過に伴う湧昇のしくみを理想化した数値実験によって調べた。湧昇は台風の進行方向右側で強く、その度合いは台風の通過速度に依存することが分かった。湧昇が強まるのは台風通過による風応力の変動が慣性振動と同方向に回転する成分を持ち、時間スケールが慣性周期に近いときであること示された。

(9) 歴史的観測データと気象庁による MOVE.MRI.COM モデルの結果から四国沖暖水塊の性質を議論した。暖水塊は海面よりも 200 から 400 m深で顕著に見られ、それによって黒潮流量は局所的に 2 倍程度に増える。また四国沖暖水塊の強弱と黒潮大蛇行との関連性についても議論した。

(10)黒潮続流の様な東向ジェットからロスビー波が発生するしくみを知るために理想化した数値実験の結果を解析した。傾圧不安定擾乱の非線形発展、平均流の構造の東西変化が擾乱に及ぼす影響などについて考察を行った。またロスビー波の位相速度とジェットの再循環の速度に対応関係があることも分かった。

(11) ロスビー波のエネルギーフラックスは群速度にエネルギーを掛け合わせたものと一致しないという変わった性質を持つが、東西方向の水路中で南北積分した場合にはその様な不一致は見られない。またこのときエネルギーフラックスと位相速度の間に一定の関係がある。これらのことが浅水波方程式の性質で説明でき、波の運動量に関係することが示された。同様な関係は慣性重力波や水面波、電磁波でも成り立つ。

衛星搭載ドップラー風ライダーによって観測された風・エアロゾルに関する研究

(国研)情報通信研究機構電磁波研究所　石井昌憲

要旨
欧州宇宙機関によって 2018 年度下半期に打上げが予定されている衛星搭載ドップラー風ライダーAeolus によって観測されたデータと地上設置型観測機器によって観測されたデータとの比較方法検討を実施するために、情報通信研究機構で開発されたコヒーレントドップラー風ライダーによる風観測データ構築を目的として、風観測アルゴリズムの開発、及び、背景場と下降粒子の速度の抽出アルゴリズム開発を実施した。具体的には、(1)風速・風向の高度分布が得られるアルゴリムズ開発を行った、(2)下降粒子を伴う大気場において、背景場の風速と下降粒子の速度を分離する手法のアルゴリズム開発を行った。

序論
現在の衛星観測は、風観測を行う衛星に比べると 2/3 の衛星が大気物質量観測をしており偏重状態にある。全球規模で風の高度分布を得ることを出来るセンサーの開発が望まれている。現在の衛星風観測は、時間分解能が高く、広域観測ができるものの高度推定に難があるため、十分な高度分解能とは言いがたい。欧州宇宙機関は 2018 年度に衛星搭載ドップラー風ライダーAeolus を打上げ、全球規模で風、エアロゾル・雲の高度分布の取得を目指している。Aeolus によって観測される風、雲・エアロゾルの科学的な有用性を示すためには、観測データの十分な検証を行う必要がある。本研究課題は、Aeolus による衛星観測データと地上観測データとの比較方法について検討するためのアルゴリズム開発を行うことを目的とする。

方法
1. コヒーレントドップラー風ライダーによって計測されたデータを用いて風速・風向の高度分布が得られるように Velocity Azimuth Display(VAD)法によるアルゴリズム開発を行う。
2. 下降粒子を伴う大気場において、背景場の風速と下降粒子の速度を分離する手法のアルゴリズム開発を行う。

結果と考察
1. コヒーレントドップラー風ライダーによって計測されたデータから VAD 法を用いた風速・風向の高度分布を導出できるアルゴリズムを開発した。情報通信研究機構本部(東京都小金井市)において試験観測を行い、風速・風向の高度分布を導出した。得られた結果は、同機構に設置されたウィンドプロファイラーによって観測された風データや館野から飛揚された高層気象ゾンデによって観測された風データとの比較を行った。大気境界層内における風データはウィンドプロファイラーの結果とよく一致していた。一方、自由対流圏における風データは、高層気象ゾンデの比較的良く一致した。高層気象ゾンデの飛揚場所とは 100km程度離れていることから、大気境界層内の風データとは違いが見られた。これらの結果から、Aeolus の風データを地上データと比較する場合、気象条件や地表面付近の状況にもよるが、大気下層風データに対しては両者の観測点(Co-location)が 20kmの範囲内で一致することが望ましい、また、大気上層風データに対しては両者の観測点が 50-100kmの範囲内で一致することが望ましい、と推定される。大気上層になればなるほど風は一様と考えられるため、比較高度によって、Co-location の範囲を拡げることが可能と考える。
2. コヒーレントドップラー風ライダーによる風観測は、エアロゾルや雲粒子からの散乱信号を光ヘテロダイン検波し、その周波数スペクトルからドップラー周波数を決定し、速度を決定する。背景場の鉛直風は 0.数 m/s であるのに対し、雲粒や下降粒子の速度は 1-10 数 m/s である。背景風に加え、雲粒や下降粒子が存在する場合、周波数スペクトルでは両者それぞれに対応する周波数スペクトルが検出され、ダブルピークとなる(図1)。ダブルピークを検出し、背景場の風速と下降粒子の速度を分離する手法のアルゴリズム開発を実施した。開発したアルゴリズムを用いて、下降粒子が存在する大気場に適用し、背景場

の風と下降粒子速度の周波数スペクトルの分離および速度推定ができることを確認した。周波数スペクトルの分離において、下降粒子の速度が背景風の速度と同程度な場合や乱流のため下降粒子の周波数スペクトルが拡がった場合など、ダブルピークを検出出来ない事例もあった。今後、アルゴリズムを高度化することにより、ダブルピーク検出の精度をあげる。

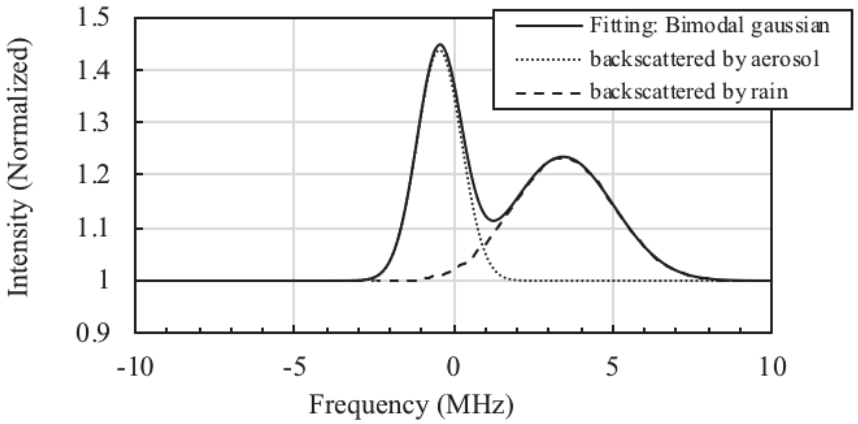


図1 エアロゾルの周波数スペクトル（背景場）と下降粒子のスペクトル。マルチモーダル周波数スペクトル仮定し、エアロゾル（背景場）と下降粒子それぞれのスペクトルを決定。

成果報告

S. Ishii, A. Sato, M. Aoki, K. Akahane, S. Nagano, K. Mizutani, H. Iwai, K. Okamoto, P. Baron, S. Ochia, and M. Kubota, “Recent activities of coherent Doppler Wind Lidar at NICT”, Working Group on Space-based Lidar Winds, NOAA（Boulder, CO, USA）, 2018 年 2 月 7-8 日.

研究組織

氏　　名	所　属	役割
石井昌憲	情報通信研究機構	研究代表者
大野裕一	情報通信研究機構	研究協力者
岩井宏徳	情報通信研究機構	研究協力者
青木　誠	情報通信研究機構	研究協力者
岡本　創	九州大学	所内世話人
佐藤可織	九州大学	研究協力者

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

豊後水道の底層に黒潮域亜表層から冷水が侵入する現象は底入り潮として知られている．底入り潮は水道部を通過して瀬戸内海へと冷水と栄養塩を供給することから，豊後水道と瀬戸内海の物質循環と生態系に大きな影響を与えていると考えられている．この底入り潮の発生について，潮汐の大潮・小潮周期との関連が指摘されており，潮流が生じる鉛直混合が関わることが示唆されているが，その詳細な物理過程は未だ明らかでない．豊後水道における鉛直混合過程に関しては，島影に形成される水平渦によって顕著な混合が生じることが数値実験により明らかにされている [Nagai and Hibiya 2013]．この他に豊後水道の沿岸において，内部潮汐が鉛直混合に寄与する可能性が観測により指摘されている [Kawamura et al. 2006]．豊後水道における内部潮汐に伴う乱流混合に関しては，申請者らが平成 28 年度応力研共同利用研究として実施した現場観測によって，豊後水道南部の陸棚斜面が発生域の 1 つである可能性が示された．一方で瀬戸内海と豊後水道の間の豊予海峡周辺部も，強い潮流と急峻な海底地形によって内部潮汐が生成され得る海域だと考えられるが，そこでの流れや乱流については観測例が極めて少なく実態が明らかでない．本研究では，豊予海峡周辺部において流れと微細構造の現場観測を行い，内部潮汐とそれに伴う乱流の実体を明らかにすることを目的とする．

研究内容

2017 年 8 月 27日に愛媛大学沿岸環境科学研究センター研究船「いさな」を用いて豊後水道における海洋観測を実施した．図 1 に示す 10 点(Stn.2-5 を Line-1，Stn.A-E を Line-2 とする)において，応用力学研究所所有の微細構造プロファイラ TurboMAP-5 と「いさな」搭載の音響ドップラー流速計 ADCP を用いて，乱流強度の指標である乱流運動エネルギー散逸率 ε と流れを計測した．

結果

図 2 に観測された流速の東西成分 u，南北成分 v，鉛直シア 2 乗和 $Sh = (\partial u/\partial z)^2+(\partial v/\partial z)^2$ およびε を示す．観測時には表層に密度躍層が形成されるとともに，南部の測点(Stn.4-5)や東部の測点(Stn.C-E)の底部に底入り潮が起源だと考えられる冷水が存在しており，その上部に躍層が形成されていた．この底部の躍層に沿うようにして強い鉛直シアを伴う流れが存在されていた．底部躍層周辺では水深が深くなるとともに流速ベクトルが反時計回りに回転していることから，この流れが内部波によるものだとすれば，鉛直上向きにエネルギーが伝播することになり，豊予海峡付近の海底斜面上で内部波が生成されていると考えられる．この強いシアに対応するように大きな乱流散逸率 ($\varepsilon > 10^{-6}$ W kg^{-1}) が底部躍層付近で計測されており，海峡部の海底躍層上で内部波の砕波によって活発な乱流混合が生じていると考えられる．内部波エネルギーの起源としては，海峡部で卓越する半日周期の潮汐が考えられるため，この内部波は内部潮汐波であると推察される．

本研究によって豊予海峡周辺部の内部潮汐波と乱流混合の空間構造が捉えられた．今回観測された底部冷水上の躍層における強い乱流は，密度流としての底入り潮の北上過程に強く影響すると同時に，冷水中の豊富な栄養塩を表層に持ち上げる働きを担っていると考えられる．

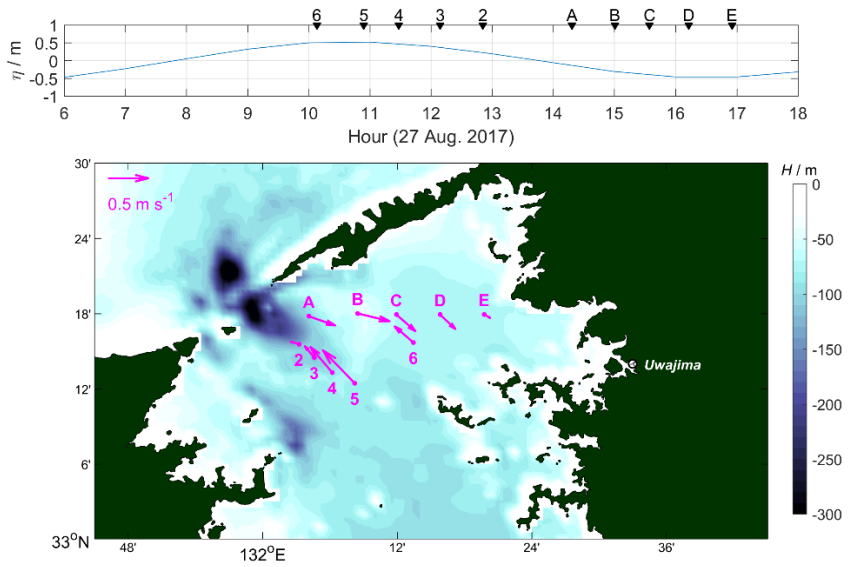


図 1　宇和島における潮位変動(上図)と豊後水道における乱流観測点 Stn.2－6 および A－E (下図). 各測点におけるベクトルは鉛直平均流速を示す.

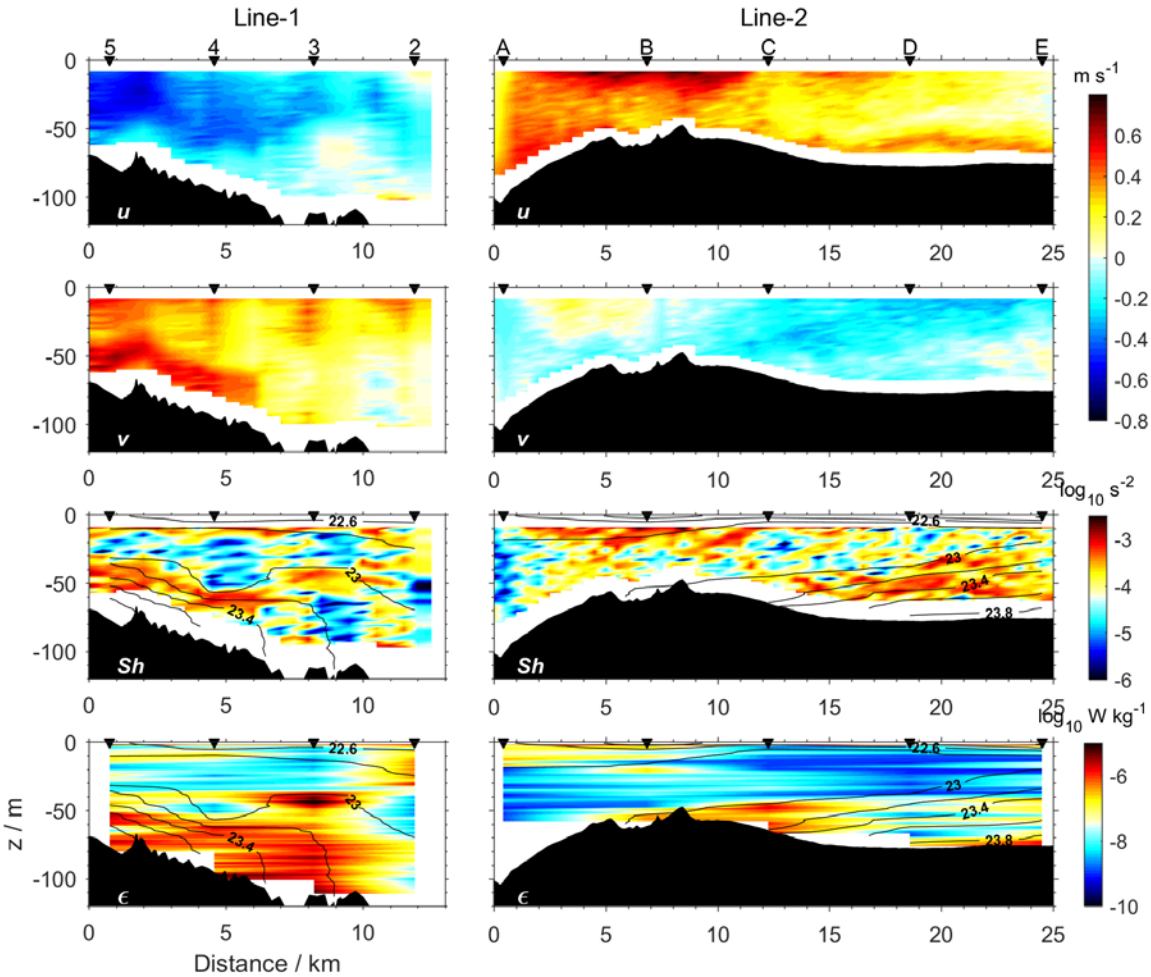


図 2　Line-1 (Stn.2-5: 左列) と Line-2 (Stn.A-E: 右列) における断面観測結果. 上から, 東西流速成分 u (東向きが正), 南北成分 v (北向きが正), 鉛直シア 2 乗和 $Sh = (\partial u/\partial z)^2+(\partial v/\partial z)^2$, 乱流運動エネルギー散逸率 ε. 鉛直シアと ε 図中の等値線は 0.2 間隔で示した海水密度(σ_t).

陸奥湾における海洋循環の数値モデル実験による解析

弘前大学　北日本新エネルギー研究所　本田明弘

目的

陸奥湾での養殖ホタテ貝の大量死やイワシの大量死など，青森県の水産業に打撃を与える出来事が幾度となく起こっているが，未だに海洋生物死滅防止策は見つかっていない。理由の一つとして，陸奥湾の湾内水の流出・流入・循環に関する解析がなされていないため，大量死の原因を特定できないことにある。津軽海峡から流入する外海水が湾内水の水温や塩分，湾内循環にどの程度影響を及ぼすか，湾内水の解析を行い，外海水との関係性を示すことができれば，海洋生物への影響を予測することができる。

青森県水産総合研究センターの陸奥湾定線観測データや，観測ブイのデータを解析し，津軽暖流との関係性を調べた。また，吹送流など局所的な強制に対する湾内の物理応答，湾内水の特性や湾内循環の変動過程を調べた。

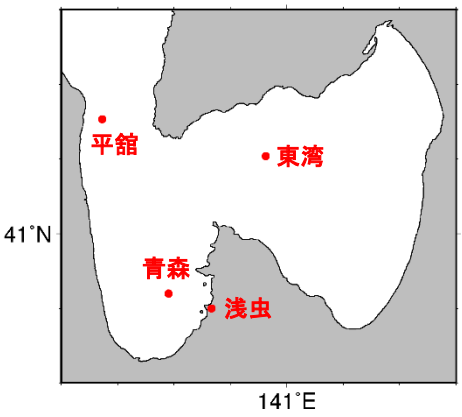


図 1　陸奥湾観測地点

観測と解析方法

青森県水産総合研究センターでは陸奥湾内で観測ブイを使用し，平舘・青森・東湾（図 1）の 3 地点で水温・塩分等の観測を実施している。各地点，水深 1m，15m，30m，底層で 1 時間おきに水温と塩分を自動観測し，センサにより適切にデータの補正処理を行っている。本研究では，青森県水産総合研究センター提供の 2013 - 2015 年の平舘水温データと，気象庁の浅虫潮位データを用い，夏季の湾口の水温変動を分析した。

結果と考察

図 2 は平舘観測地点の 2013 - 2015 年 6 月 1 日 - 9 月 30 日の水深 1m，15m，30m，45m の水温の変化を示している。水温が変化する時の上層 1m の水温差は約 3℃であるが，底層 45m では約 8℃もの水温差がある。各年の水温変動に差はないことから，湾口の底層では夏季に大きな水温変動が起こっていることがわかる。底層 45m の水温変動周期は主に日周潮と半日周潮であるが，潮汐以外の長周期も見られた。潮汐を除去し，再度スペクトル解析を行ったところ，5 日 - 14 日周期のシグナルが検出された（図 3)。この 5 日 - 14 日周期の

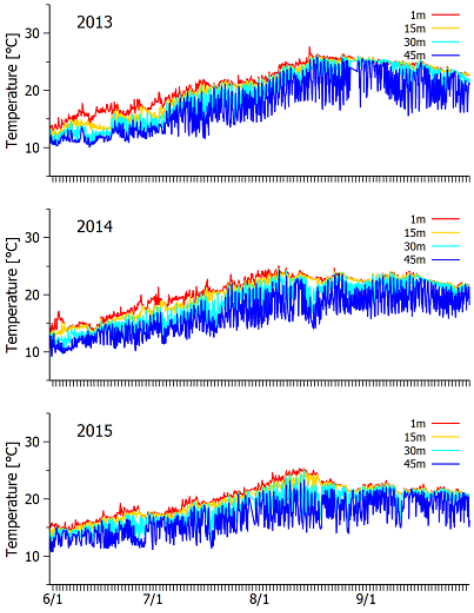


図 2　平舘観測地点における 2013 年 6 月 1 日 - 9 月 30 日（上段），2014 年 6 月 1 日－9 月 1 日（中段），2015 年 6 月 1 日－9 月 30 日（下段）の水温変化

底層水温の変動は，津軽海峡からの津軽暖流系水の流入を反映していると考えられる。

大規模な水温変動は水位に影響を及ぼすので，津軽暖流系水の流入時は湾内の潮位も高くなる。図 4 は平舘の底層水温と浅虫の潮位の 48 時間‐14 日バンドパス時系列である。平舘の水温が高くなると浅虫の潮位も高くなっており，水温変動と潮位変動に高い相関が示された。津軽暖流系水の流入による水温変動は，潮位データでも検出できるほど湾奥に入り込む，層厚の強いシグナルと示唆される。

5 日‐14 日の時間スケールから，この現象の駆動源が低気圧の通過に伴う風の変化であることが考えられる。東北地方では 6 月‐9 月にやませ（冷たく湿った北東の風）が発生するため，やませの影響も考えられる。この現象を解明するには，6 月‐9 月の津軽暖流系水の水温・塩分や陸奥湾への流入経路，風との相関関係を分析する必要がある。今後は陸奥湾と津軽海峡全域の水温・塩分，陸奥湾近郊の風速・風向を解析し，現象の検討を行っていく。

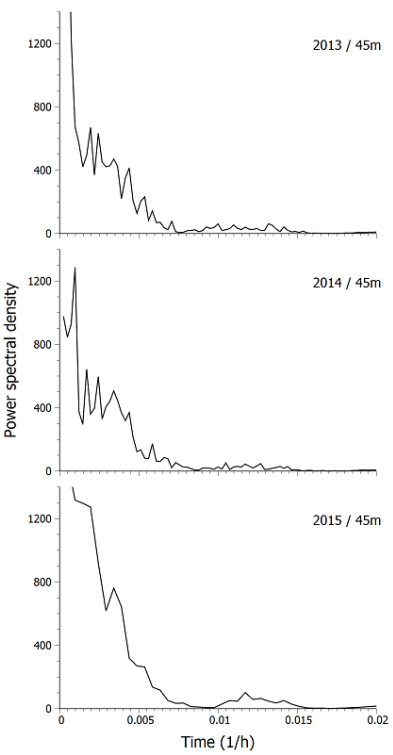


図 3　潮汐除去後の長周期スペクトル

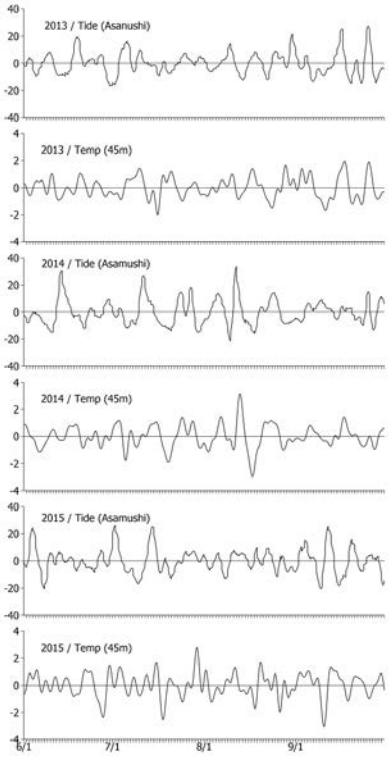


図 4　平舘観測地点の底層水温と浅虫の潮位の 48 時間‐14 日バンドパス時系列

研究組織

代表者	本田 明弘	弘前大学 北日本新エネルギー研究所・教授
協力者	磯辺 篤彦	九州大学 応用力学研究所・教授
	桐原 慎二	弘前大学 北日本新エネルギー研究所・教授
	久保田 健	弘前大学 北日本新エネルギー研究所・准教授
	大阪 将史	弘前大学 理工学研究科・大学院生
	藤嵜 里美	弘前大学 理工学研究科・技術職員

沿岸波浪と GNSS 反射信号との対応関係の観測

京都大学大学院理学研究科　根田昌典

目的

平成 28 年度に実施された文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業宇宙航空科学技術推進委託費では，沿岸波浪と GNSS 反射波の関連性を調査するための基礎的な観測を実施し，検証のための波浪ブイの観測精度や沿岸波浪の統計的な性質の抽出の信頼性の検討を行った．これまで，和歌山県田辺湾にある京都大学防災研究所白浜海象観測所が管理する高潮観測塔や（独）水資源機構琵琶湖開発総合管理所が管理する安曇川沖ブイを利用して，GNSS レシーバによる長期連続観測を行った．今年度は、そのデータ利用のための試験観測を行い，波浪が GNSS 反射波に与える影響についての反射波信号と波浪の状況の比較検討を行う．また，既存の波浪観測データを用いて，2 次元スペクトルや波浪スペクトルの高次モーメント量などから風波とうねりの分離と風波発達に対するうねりの影響評価を行う．

研究の実施体制

本研究は以下の体制で実施した．
研究代表者：根田昌典：京都大学大学院理学研究科　助教
研究協力者：花房秀哉：京都大学大学院理学研究科　修士 2 年
所内世話人：市川香：応用力学研究所　准教授

手法と結果の概要

本研究では，波浪と GNSS 反射波の関連性を調査するための継続的なデータを取得するために，京都大学防災研究所流域災害研究センター白浜海象観測所の田辺中島高潮観測塔（2017 年 9 月まで）と水資源機構琵琶湖開発総合管理所が所轄する安曇川沖総合自動観測所（2017 年 3 月まで）に GNSS レシーバーを設置した連続観測を行ってきた．今年度は，2017 年 1 月 7 日に琵琶湖北西岸の安曇川河口において実施した試験観測の結果を用いて GNSS 反射波を用いて海面高度を算出することを試みるとともに，GNSS 反射波による波浪の観測に向けた基礎的な研究を実施板．試験観測では地上の GNSS 固定アンテナを参照点として，マルチコプターの上下に設置した GNSS アンテナで受信した信号の到達時間差から海面での反射波の経路差を求めた．その結果，経路差の平均は 0.1m 以下の誤差の範囲で湖面とマルチコプターの距離を推定可能であることが示された．また，経路差に見られた摂動は，その周期や大きさから湖面の波浪の波形勾配が影響していることが示唆された．

次いで，うねりと風浪の分離手法の高度化を図り，うねり成分と風浪成分の発達の関係について調査を進めた．主に用いたデータは 2014 年 2 月から 3 月にかけて北西太平洋において実施された白鳳丸研究航海(KH-14-1)で行われた波浪観測データである．波浪観測にはこれまで本研究で利用してきたゼニライトブイ（株）社製の GPS 波浪ブイを用いた．本研究では，磯部ら(1988)に従って 2 次元波浪スペクトルを求めた．ここでは，風浪は海面変異の周波数スペクトルから分離することとし，Tracy et al. 2007 に倣い，発達した風波の位相速度と海上風速の比率の経験値に基づいて分離境界周波数(cut-off frequency)を以下の式で定めた．

$$f_c = 0.588\frac{g}{2\pi}\frac{1}{u\cos\theta}.$$

図 1 は 2 次元波浪スペクトルの例と同データの 1 次元スペク

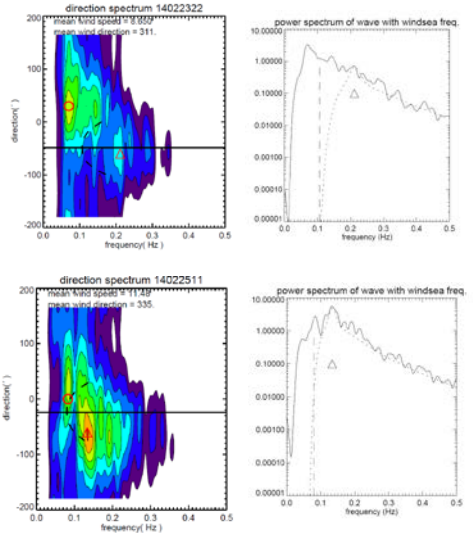


図 1：KH-14-1 で得られた（左）2 次元波浪スペクトルと（右）1 次元波浪スペクトルの例．左図中の黒点線は遮断周波数(cut-off frequency)を示す．右図中の点線は JONAWAP 波浪スペクトルを示す．図中の△は風波のピークを示す．

トルを示している．1 次元波浪スペクトルのみからでは区別しにくかったうねりと風浪の境界は方向を加味することでより得やすくなることが期待される．風波の強さを標準化するために Kalma and Calkoen (1992)が提唱した擬無次元波浪エネルギーを利用して，うねりの存在下での風浪の発達度について調査した．うねり成分を抽出して得られた有義波の波形勾配との関係が最も顕著であった（図 2）．ここでうねり成分は波浪スペクトルから風波を抽出した残りの成分から得られた比較的長周期な波浪成分で，昨年度までの解析により，うねり成分の波形勾配は MSS ととても良い相関関係にあることが確認されている．うねり成分の有義波の波形勾配は小さければ小さいほど疑似無次元風波エネルギーは大きい傾向が顕著であった．うねりと海上風向のなす相対角度に対するエネルギーの依存性も見られたが，波形勾配との関係に比べるとばらつきが大きい傾向にあった．一方，Donelan et al. (1985)で外洋域での波浪において指摘されているように，無次元化された風波エネルギーとインバース波齢はよく一致した．

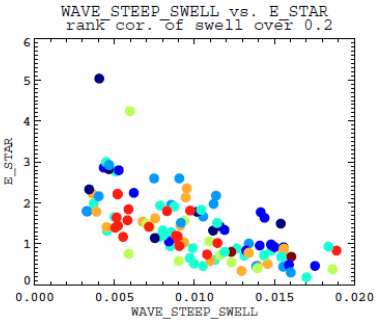


図 2：疑似無次元エネルギーとうねりの波形勾配の関係，点の色はうねりと海上風のなす角度を表す

これらの関係からうねりの波形勾配が風波の発達にどのように影響するのかを調べるために，さらに摩擦速度との関係についても調べた．摩擦速度は通常海上風からバルク法で推定することが多いが，バルク式は一般的に波浪，海面流速，境界層安定度など様々な不確定要素が十分に反映されていないことが分かっており，本研究での波浪の影響評価に利用することは必ずしも適当ではない．そこで，Toba (1972)によって提唱された風波有義波の 3/2 乗則を利用することで，観測された風波を駆動している風応力に相当する摩擦速度を以下の式によって計算した．

$$u_* = H_{1/3}^2 / g B^2 T_{1/3}^3$$

$H_{1/3}$ と $T_{1/3}$ はそれぞれ風波成分の有義波高と有義は周期であり，B は経験的に 0.062 とした．このようにして得た摩擦速度と海上風の風波方向成分の関係を検討した．図 3 は摩擦速度と海上風速（風波方向成分）に加え，上記のうねりの波形勾配の影響を加味した関係式を用いた両社の対応関係と，単に摩擦速度と海上風速（風波方向成分）の対応関係を示す．ただし，両関係において標準偏差が座標軸上でほぼ同じ長さになるように x 軸の長さを調整してある．この図から明らかにうねりの影響を加えた方のばらつきが小さくなっていることがわかる．この結果はうねりの波形勾配に応じて海面風応力が変化することによって風波の発達に影響しうることを示している．うねりと海上風のなす角度と風波の疑似無次元エネルギーとの関係も見られたが，うねりと海上風が順方向の際には風波からうねりへのエネルギー輸送が起こることによってうねりが発達し，逆方向の時にはうねりが抑制される傾向があるというこれまでの知見を参考にすると，この関係はうねりと海上風の角度関係とうねりの波形勾配との見かけ上の関係を反映したものであり，直接的な因果関係を示しているものではない可能性が高い．

これらの結果をさらに検討するために，新青丸航海 KS-17-10（代表：小松幸生博士）に根田と花房が乗船し，海面乱流フラックスの直接観測と波浪観測を同時に実行し，データの収集を行った．詳細な解析は現在進行中である．

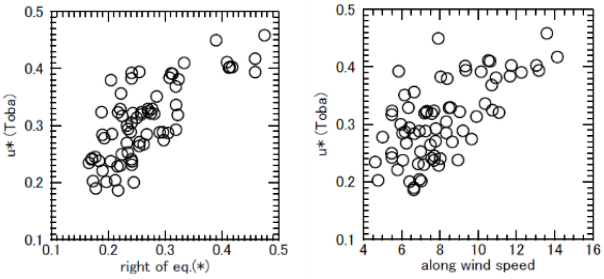


図 3：(左) 摩擦速度と海上風速の関係にうねりの波形勾配を加えた関係と（右）摩擦速度と海上風速の単純比較

本研究の成果を含む成果

GNSS 反射信号によるマルチコプターからの海面高度算出，市川香・海老沼拓史・李 梓原・根田昌典・堤英輔・Growth Team，日本海洋学会 2017 年度秋季大会，17F05-05，10 月 15 日

KH-14-1 航海で観測された風波の発達過程に対するうねりの影響の評価，根田昌典・柴田篤吉・轡田邦夫・鈴木直弥・市川香，大気海洋相互作用研究会山中湖シンポジウム，東海大学セミナーハウス，6 月 25 日

大阪湾に出現するフロント構造の解析

神戸大学内海域環境教育研究センター　林　美鶴

1. 目的

風や淡水流入の空間偏差はないと仮定する時、瀬戸内海では成層・混合指標＝2.5～3.0 に潮汐フロントが形成されると言われている。Yanagi and Oniwa(1986)は潮汐フロントの検出基準を、「4 マイルを隔て水温が 2℃以上、塩分差が 0.2 以上あり、水温と塩分が同調して変動するとき、その変化の中心」と定義した。林ら(2013)は、2003～2010 年に神戸大学大学院海事科学研究科付属練習船「深江丸」で計測したシーチェスト入口海水温度（海面下約 3m）の 0.5’グリッド平均水温をこの定義に当てはめて解析し同様の傾向を得たが、ここでは塩分は考慮されず、また、定義は淡水流入を直接受けない豊後水道での観測結果によるものである。一方大阪湾では、西宮環流と沖ノ瀬環流の境界に潮汐フロントが形成されるが（藤原ら、1994、中辻・藤原、1995)、河川影響がなければ潮汐フロントは成層・混合指標＝3.0～3.5 に形成され（Yanagi and Takahashi, 1998)、大潮時にはフロント位置は海峡から離れ且つ変動が大きい（湯浅ら、1996)、などが言われている。これらは、大阪湾に形成されるフロントは明石海峡での鉛直混合により形成されるだけでなく、淀川からの淡水流入による成層も寄与することを意味している。つまり、大阪湾に出現するフロントは、“潮汐フロント”と“河口フロント”の区別が曖昧なままで議論されており、また、塩分を考慮して検出することが不可欠であると言える。フロントは視認しやすい海面での現象で、研究においても主として海面を対象にしてきた。しかし実際には海水の収束発散場として立体構造を持ち、その機能が沿岸海域の生物生産、水質汚染や漂流ゴミなど、各種の環境テーマに大きな影響を与えている。潮汐フロントと河口フロントは構造や形成要因を異にするため、海洋環境との関係性は、表層に現れているフロントがいずれのフロントであるかを判別した上で解析する必要がある

本研究では、2014 年 1 月に深江丸に搭載された水質モニター及び ADCP のデータと、HF レーダーや人工衛星のデータを用いて、大阪湾に出現するフロントの判別を試みた。

2. 方法

2014 年 1 月～2016 年 9 月に深江丸で計測された水深約 3m の水温と塩分のデータを使用し、Yanagi and Oniwa(1986)の潮汐フロントの検出基準を、深江丸の航海速力約 12knot から 4 マイルを 20 分に変換し、「20 分を隔て水温が 2℃以上、塩分差が 0.2 以上あり、水温と塩分が同調して変動するとき、その変化の中心」と読み替えてフロントを検出した。検出結果に対し、

・水温と塩分の空間変化が淀川河口から明石海峡に向けて塩分が上昇、水温が低下しているか
・ADCP データから、フロントよりも明石海峡側に強い水平流に伴う鉛直混合が発生しているか

を確認し、また同時刻の人工衛星や HF レーダー画像が得られた場合は、

・この様な水温と塩分の空間分布が広がりを持っているか
・表層の流動がフロントを境に変化しているか

も確認して、フロントか否か、フロントの場合、潮汐フロント、河口フロント、複合、いずれでもない、の 4 種類に分類した。

3. 結果

解析した 184 データから、33 個のフロントが検出され、5～7 月に多く検出された。場所は成層・混合指標＝2.5～3.0 に限らず、より海峡側や河口側にも分布した。衛星画像が取得できた 2016 年 5 月 20 日(中潮)には、2 つのフロントが検出された。水温と塩分は理論的な変化を見せ、海峡側での水平流や鉛直混合も見受けられ、検出されたフロントのうちより海峡側が潮汐フロント、河口側が河口フロントであると判断した。衛星画像でも、明石海峡から低温水が広がる様子、淡路島寄りに

高塩水、河口側に低塩水が、広域に分布する様子が捉えられた。一方、2014 年 7 月 31 日(中潮)には、播磨灘に 1 つ、大阪湾に 2 つのフロントが検出された。水温と塩分の変化傾向から、大阪湾に検出されたより海峡側のフロントが潮汐フロントだと考えた。より河口側については、衛星画像から、高塩分パッチによるフロントと考えらえる。この日は、大阪湾全体に高塩又は低塩パッチが広く分布していた。この様なパッチ構造は、湯浅ら(1996)の観測でも示唆され、パッチが多く分布する場合、海洋の物理構造はより複雑になると考えられる。

4. 考察

検証の結果、図に示す通り潮汐フロント(+)は 13 個、河口フロント(×)は 5 個、その他のフロント(・)が 15 個だった。潮汐フロントの数は少なく、20m 等深線よりも明石海峡寄りに分布する。出現は 5～7 月に限定され、これは理論と一致する。上げ潮流時に 3 個、下げ潮流時に 10 個が検出されたが、大阪湾の潮汐フロントは下げ潮時に強化されるとの先行研究(中工研,1991、中辻ら,1994)とは異なった。

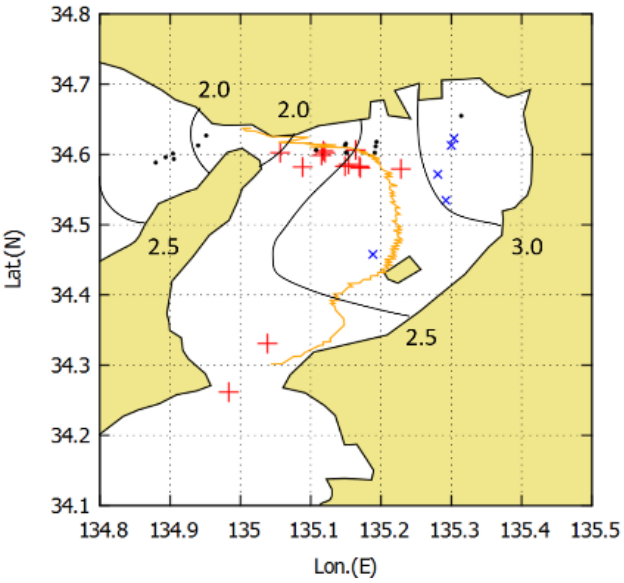


図　大阪湾で検出されたフロントの位置と種類

5. 成果公表

・林美鶴：海事・商船系練習船での海洋観測、東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「海洋物理船舶観測フェスタ 2017」、2017.5.
・林美鶴ら：練習船での自然環境計測と船舶観測気象・海象ビッグデータ、日本航海学会第 137 回講演会、2017.10.
・林美鶴「海事・商船系練習船での海洋研究・教育の現状とその展望」北海道大学低温科学研究所共同利用「寒冷圏海洋科学推進に向けた共同利用研究船・練習船の現状把握と問題抽出のためのワークショップ」、2017.10.
・林美鶴、大阪湾に出現するフロントに関する考察、第 2 回海洋環境研究集会、2016.12.

6. 研究組織

林　美鶴　神戸大学　准教授
磯辺篤彦　九州大学　教授

衛星搭載ライダーデータを用いたエアロゾル・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（29AO-20）

(独)国立環境研究所環境計測研究センター　西澤智明

要旨

衛星搭載ライダーデータを用いた大気粒子プロダクトを生成する解析アルゴリズムの高度化やそれらプロダクトの地上検証に資するデータ解析技術や観測技術の開発・改良を主眼とし、多視野角・多重散乱ライダーの改良技術の考案及び試験を行った。偏光信号を独立した受信望遠鏡で個別測定する現行のシステムを改良し、それらを一体化して測定する受信システムを考案した。試験測定により良好な結果を得ている。また、本考案の受信システムは波長 532nm だけではなく波長 355nm においても同様な測定が可能であり、多波長測定化が可能である。

序論

温暖化をはじめとする地球気候への大気粒子（エアロゾルや雲）の影響評価を主目的の一つとして、大気粒子の時間・水平分布と共にその鉛直構造も測定可能な能動型センサー「ライダー」を搭載した衛星観測が進行している。2006 年打ち上げ後、現在も運用中の CALIPSO 衛星搭載の２波長偏光ミー散乱ライダーCALIOP（NASA）による全球大気粒子観測の後継として、欧共同地球観測プロジェクト EarthCARE では高スペクトル分解ライダーATLID による全球観測が 2019 年から開始される。光学的に厚い粒子層（雲や発生域近傍での鉱物ダスト層など）からのライダー信号には、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。多重散乱成分の取り扱いは今尚難しい。よって、雲・エアロゾルパラメータの推定アルゴリズムにおいて多重散乱成分をどう考慮するべきかは重要な研究課題となっている。特に、衛星搭載ライダー信号に対する多重散乱の影響は地上ライダー計測に比して大きいため、衛星搭載ライダーデータの解析ではより重要となる。この問題に対し、科研費課題（H25-H28,課題代表：岡本教授）にて、CALIOP のレーザー波長である 532nm での単波長レーザーを用いて多重散乱成分を独立測定するライダー（多視野角・多重散乱ライダー）を九大・環境研で共同開発し、地上観測研究を実施した。CALIOP では更に波長 1064nm での近赤外測定も実施されており、また、ATLID では波長 355nm での紫外レーザーが用いられる。

上記背景を踏まえ、本研究では、衛星搭載ライダーデータを用いた大気粒子プロダクトを生成する解析アルゴリズムの高度化やそれらプロダクトの地上検証に資するデータ解析技術や観測技術の開発・改良を行う。具体的には、より詳細な多重散乱成分の影響評価を企図し、上記の多視野角・多重散乱ライダーの多波長化技術の実現可能性を検討し、その検討結果に基づいて試作・試験測定を実施する。

実施方法

１）現状の波長 532nm での多視野角・多重散乱ライダーシステムの課題を検討し、より優れたシステム（安定性の向上、不確実性の低減等）を考案する
２）考案したシステムを波長 532nm だけではなく、波長 355nm 等での測定が可能であるかの検討を行い、試作・試験測定を行う。

結果と考察

１）現状の多視野角・多重散乱ライダーシステムでは、直線偏光したレーザー（波長 532nm）を鉛直上方に送信し、大気粒子による散乱光を小型望遠鏡（直径～50mm,鏡筒長～400mm）で集光し、集光した光を直接検出器に入れて光強度を測定するシステムとなっている。小形望遠鏡と検出器は一体化され（以下、受信望遠鏡）、１０本の受信望遠鏡を用いる（全１０ch 測定）。内５つは送信レーザー（直線偏光）の偏光に対して水平な成分（copol 成分）、残りは垂直な成分（crosspol 成分）を測定する。Copol チャンネルと crosspol チャンネルを１セットとし、１セットずつ受信望遠鏡を鉛直上向き方向から５つの角度（θ）で傾けて測定する（θ=0, 0.6, 1.2, 1.8, 2.4 度）。本システムではθ=0 では多重散乱光に加え、一次散乱光も測定するチャンネルとなる。各受信望遠鏡にはバンドパスフィルターと偏光シートが小形望遠鏡上端部に取り付けられ、これにより波長及び偏光選択がなされている。上記システムは非常にシンプルで汎用性の高い構成であり、多波長化や測定角度の増加も容易である。一方で、個々受信望遠鏡は独立して設置されるため、個々受信望遠鏡の傾斜や偏光（偏光シートの回転角）の精緻な調整と保持が必須となる。特に偏光チャンネル間（copol/crosspol）での傾斜角や偏光のズレは致命的な測定誤差を生む。そこで、この問題を低減化するために、独立測定している偏光チャンネルを一体化し、一つの受信望遠鏡で測定できるシステムを考案した。ここでは、偏光シートを廃し、偏光ビームスプリッターキューブ（以下、偏光キューブ）を使用する。これにより偏光キューブの透過光と反射光を測定することで copol/crosspol 成分を同時に測定できる。鏡筒長や重量の増長はあるが、これらを固定するマウントシステムの増強により対応できる。

２）考案した受信望遠鏡システムを試作し、試験測定を行った。偏光調整は格段に容易となり、測定信号の性状も理論と整合するものであった。（現状のシステムと同様に）考案した受信望遠鏡システムの波長 355nm での測定の実現可能性について検討した。光学部品、検出器、信号処理系を精査し、実現可能であることが判明した。一方、波長 1064nm での測定の実現可能性に関する検討は出来なかったため、これは今後の課題となる。

成果報告

１）藤川雅大、岡本創、佐藤可織、片桐秀一郎、西澤智明、杉本伸夫、神慶孝、工藤玲、鷹野敏明、多視野角・多重散乱偏光ライダによる雲・降水・エアロゾル識別手法、第 35 回レーザセンシングシンポジウム、2017.9.1、東京都小金井市

２）藤川雅大、岡本創、佐藤可織、片桐秀一郎、西澤智明、杉本伸夫、神慶孝、工藤玲、鷹野敏明、多視野角・多重散乱ライダによる雲域・降水域の識別手法の開発と検証、日本気象学会 2017 年度秋季大会、2017.11.1、北海道札幌市

研究組織

氏名	所属	職名	役割・担当
西澤　智明	国立環境研究所	室長	代表者
岡本　創	九州大学応用力学研究所	教授	データ解析（雲）
佐藤　可織	九州大学応用力学研究所	助教	データ解析（雲）
藤川　雄大	九州大学応用力学研究所	博士課程１年	データ解析（エアロゾル）

長期観測におけるエアロゾルの気候影響に関する研究

富山大学大学院理工学研究部（理学）　青木 一真

要旨

大気中に浮遊するエアロゾルの気候影響を研究するため、2003年から九州大学応用力学研究所において、太陽放射観測を行っている。これらのデータをもとに、エアロゾルの気候影響解明はもちろん、数値モデルの精度向上など利用している。エアロゾルの光学的厚さの季節変化は、３年間（2015年から2017年）同じような傾向にあったが、他の日本での季節変化とは違った傾向であった。

１．はじめに

地球温暖化問題の中で、大気中に浮遊する微粒子（エアロゾル）の気候影響について、様々な角度から研究が進められている。特に、本研究の観測対象領域である九州大学応用力学研究所がある福岡県や長崎大学がある長崎県などの九州北部地方は、中国大陸から越境する大気汚染物質、黄砂粒子、森林火災などの影響を受けやすい地域である。これらは、大陸の風下側に位置する日本に影響するが、日本国内から排出される大気汚染物質も影響しており、それらが複合しているため、それらの影響を評価することは難しい。また、それらによる健康被害や気象障害など、私たちの生活にも影響していおり、無視できるものではない。本研究は、1996年から長崎大学おいて、2003 年から九州大学応用力学研究所おいて、太陽光と周辺光の放射輝度を用いたスカイラジオメーターを使って長期観測を行い、「PM2.5」を含んだエアロゾル光学的特性の解析を行っている。これらの長期観測データにより、エアロゾルやそれが核となって形成する雲の気候影響を評価することを目的とする。エアロゾル粒子の輸送過程を知ることは、越境大気汚染として、次世代の大気化学・気象結合モデルの開発や応用を行うためにも、定量的で精度の良い地上観測データの蓄積が重要となる。エアロゾル気候影響を評価する際は、応用力学研究所気候変動科学分野で開発・改良されているエアロゾル気候モデルSPRINTARS を用いて、地上観測や衛星観測の結果を基にモデルの検証を行う。また、主として九州・沖縄地域の観測地点（福岡、長崎、福江島、沖縄等）を利用して、大陸から日本へ輸送されてくるエアロゾルをいち早くモニタリングし、それらを同化データとして組み入れ、モデルの精度向上につなげる。

２．観測・解析概要

太陽直達光と周辺光の角度分布の放射輝度を晴天時日中に自動測定出来るスカイラジオメーター（プリード社製、http://skyrad.sci.u-toyama.ac.jp/）を利用している。九大応力研をはじめ、様々な場所において連続観測を行っている。この観測データから解析された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）を用いて、気候変動の指標である放射強制力を求める。また、これらのデータを地上検証として用いてSPRINTARSを改良し、放射強制力のさらなる精度向上を目指している。一時期、測器の故障があったが、概ね良好な観測を継続出来ている。

３．結果及び、考察

Fig.1は、2015年1月から2017年12月までの九州大学応用力学研究所（福岡県春日市）における0.5μmのエアロゾルの光学的厚さ(AOT(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。エアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の季節変化は、３年間（2015年から2017年）で概ね同じような傾向が見られた。エアロゾルの光学的厚さの季節変化の特徴は、他の日本各地での観測結果と違う部分もあることがわかった。オングストローム指数の季節変化を見てみると夏に高い傾向があり、長距離輸送とローカルな大気汚染物質、すなわち微小粒子の影響ではないかと考え、他地点との違いなどをみながら、さらに研究を進める予定である。今後も継続した観測を行うことにより、SPRINTARSや2017年度後半に打ち上げられた気候変動衛星「しきさい」等と比較し、越境大気汚染やローカルな影響評価を行い気候影響の解明につなげていきたい。

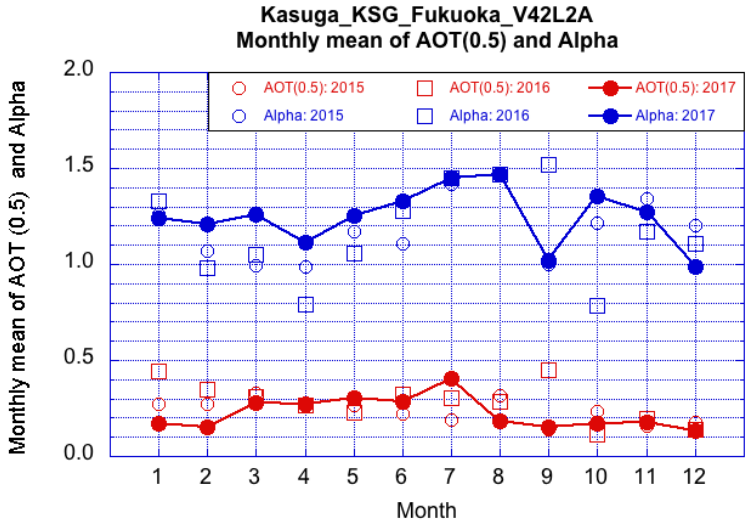


Fig. 1　2015年1月から2017年12月までの九州大学応用力学研究所（福岡県春日市）における0.5μmのエアロゾルの光学的厚さ(AOT(0.5))とオングストローム指数（Alpha）の月平均値

４．研究成果

Kudo.,R, T.Nishizawa, T.Aoyagi, Y.Fujiyoshi, Y.Higuchi, M.Hayashi, A.Shimizu, and K.Aoki, (2017):Remote sensing of aerosol optical properties and solar heating rate by the combination of sky radiometer and lidar measurements,AIP Conference Proceedings 1810, 060002 (2017); doi: 10.1063/1.4975518.

Aoki, K.,: Validation of satellite aerosol optical properties over land and ocean measured by sky radiometer (3rd International A-Train Sympozium 2017: Pasadena, CA, USA, 2017.04.20)

５．　研究組織

代表者　　青木 一真　　（富山大学大学院理工学研究部（理学））
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）

富山湾沿岸域における対馬暖流水の流入に関する研究

富山高等専門学校　商船学部　福留研一

目的

筆者らは，平成 28 年度の春季から秋季にかけての富山湾沿岸における CTD 観測および ADCP 観測によって，春季の終わり頃の 2 週間程の間に対馬暖流が湾奥に流入して水塊構造が大きく変化する様子，夏季に能登半島の後ろに形成された数十 km スケールの時計回りの渦が数日間の内に強化された結果，沿岸の流れ場に大きく影響を与える様子，秋季の相対的に安定して鉛直に一様な流れ場などの観測に成功した．一方でこういった変動の沖合方向の空間スケールや変動の時間スケールについては不明な点が多く，現在の観測体制ではそれらを明らかにすることは難しい事もわかった．そこで本研究では，限られたシップタイムや悪天候時にも観測が可能な XBT を用いて岸沖方向に設けた観測ラインにおける水温鉛直断面観測を新たに実施することで，富山湾沿岸部に流入する対馬暖流水の時空間的な変動とその影響について，特に流れ場と水塊構造の季節変動に注目し，明らかにすることを目的とする．

観測・データ

富山高等専門学校では実習船「若潮丸」を用いて海洋観測も実施しており，富山湾のやや湾奥の水深約 700m の地点に設定した CTD 観測点（36.53N，137.10E）では，10 年超に渡っておおよそ毎月の CTD 観測および観測点までの往復 ADCP 観測を行なっている．この観測に加えて、岸沖方向と湾口を横断する方向に新たに観測ラインを設け，対馬暖流の流入や流路変化が予想される 5 月と 8 月には、集中して XBT 観測を行った．その他に気象庁発表の表層水温図，河川水由来の栄養塩を多く含む表層水の衛星 chl-a 濃度を用いた追跡等により，対馬暖流水の流入・強化の過程について解析した．

結果・考察

図 1 に，5 月 24 日に行った湾中央から東部にかけての ADCP 観測結果を示した。表層 16m における航路に沿った流速ベクトル分布からは、富山湾南部の沿岸域では，岸に沿って東向きの強い流れがあったことがわかる。この東向き流の一部はその後，神通川河口から北方に伸びる海脚にそって北方に向きを変えている様子が見られた。図 2 に示した気象庁 HP で公開されている表層（50m）の水温分布図からは，対馬暖流と思われる高温の水塊が湾奥に流入し始めているのがわかる．また，図 3 に示した表層 Chl.a 濃度分布画像からは，低栄養の対馬暖流水が湾西部に侵入する様子や，河川水由来と思われる沿岸の高 Chl.a 水の一部が沖合に運ばれる様子が見て取れる．これらのことから，昨年度と同様に今年度も，この時期に対馬暖流水が湾奥へと流入して水塊構造が大きく変化したと考えられる．次に，8 月 28 日-29 日の湾全域での ADCP 観測結果を図 4 に示した．湾西部には数十 km スケールの時計回りの渦構造が観測され，湾南部の沿岸ではこの渦の影響を受けて，春季とは逆の西向きの流れが卓越していた．能登半島東岸から侵入して反時計回りに富山湾沿岸を流れると考えられている対馬暖流であるが，この時期には岸から離れて富山湾の中央部へと流入し，一部が渦を形成し，残りが湾口を横切って佐渡海峡方面へと流出しているように見える．こういった流動場の変化は，XBT/CTD 観測から得られた海洋内部の構造からも確認できる．図 5 には左から、5 月 24 日の湾東部岸沖ライン，8 月 28 日-29 日の湾西部岸沖ライン，湾口横断ラインの(a)測点・測線図，(b)XBT/CTD による水温断面図をそれぞれ示している．水温断面図から温度風の関係を仮定すると、春季には沿岸で東向きの流れが顕著な一方，夏季の

湾西部では、沿岸で西向き、沖合で東向きの流れ場であったとわかる．夏季の湾口横断ラインからは，湾西部の沿岸で北向き，湾中央部で南向きの流れとなっており，ADCP 観測で捉えたのと同様の渦構造が確認された．一方，夏季の湾東部では顕著な水平方向の温度変化は見られなかった．図は示していないが，10 月末の湾西部の ADCP 観測においても若干スケールが小さい渦構造が確認され，11 月末には渦構造は解消されて，湾南部の沿岸では東向きの流れが支配的になっていた．湾西部の渦構造の生成と解消によって，沿岸の流動場が大きく変化したことが示唆する結果が得られたが，その時間スケールや経年変化に関しては，引き続き調査が必要と考えられる．

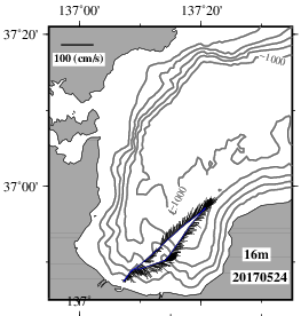


図 1. 春季表層流速ベクトル図

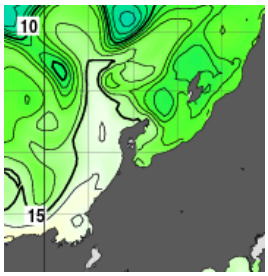


図 2. 春季表層水温図

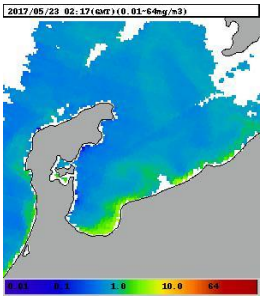


図 3. 春季表層 Chl.a 濃度分布

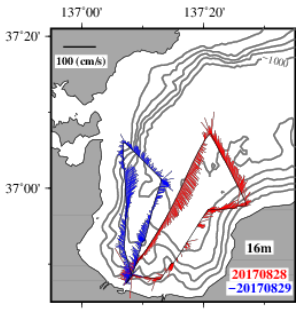


図 4. 夏季表層流速ベクトル図

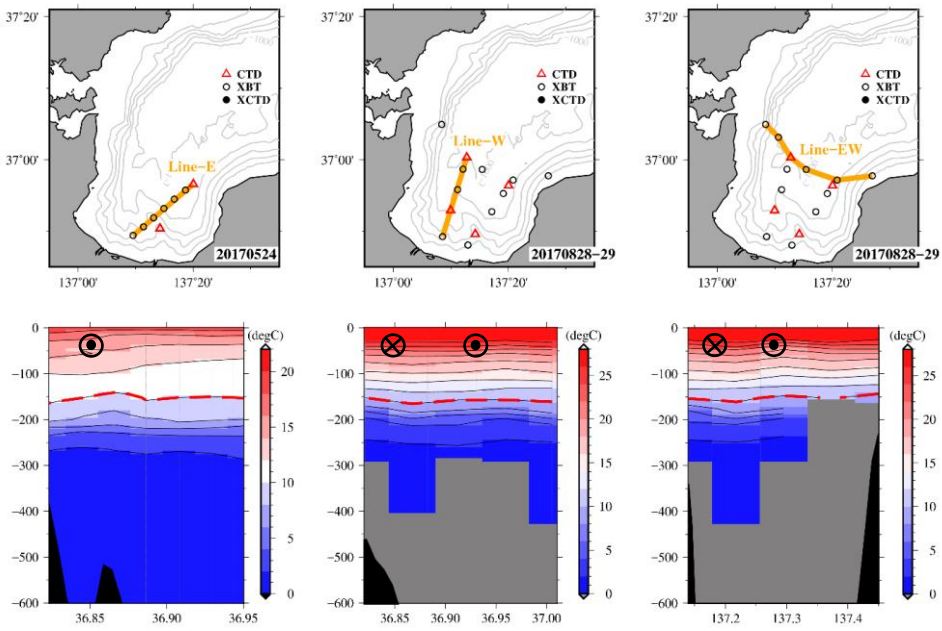


図 5. （左）5 月 24 日，（中）8 月 28 日-29 日の湾西部岸沖ライン，（右）8 月 28 日-29 日の湾口横断ラインにおける (a)測点図と(b)XBT/CTD による水温断面図，水温断面図中の太い破線は 10℃の等温線を示している．

成果報告

福留研一，千葉元「2016-2017 年に観測された富山湾の流動変動」，日本海及び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，2017.12.06

研究組織

研究代表者：富山高等専門学校　商船学科　福留研一

所内世話人：九州大学応用力学研究所　千手智晴

マルチコプター/GNSS-R/小型衛星を用いた海上気象の観測

富田裕之（名古屋大学・宇宙地球環境研究所）

はじめに

海上気温，湿度，風速などの海上気象要素の観測は、大気の状態を把握するためのみならず、地球システムのエネルギー収支や大気海洋相互作用の実態を把握するために重要な海面フラックスの推定にも必要不可欠である。係留ブイ，船舶などの歴史的な観測プラットフォームで観測が継続されているが十分でない。したがって、人工衛星を利用した全球をカバーするような地球観測が有効であり現在では多くの地球観測衛星が海面フラックスの推定に用いられている。一方で、地球観測に用いられるような高精度のセンサーを搭載した大型の人工衛星の開発や打ち上げには莫大な費用がかかるため、近い将来において大型衛星による地球観測が現在と同じ水準で維持されるかは不透明な状況である。そこで近年技術的な発展と普及が急速に進むマルチコプターや小型衛星をはじめとする新たな観測プラットフォームを用いた海上気象要素の観測が期待される。この様な背景から、本研究ではマルチコプターや小型衛星などの新たな観測プラットフォームや観測技術を用いた海上気象の観測について研究を行う。昨年度はマルチコプターを利用して海上気象要素（特に気温と湿度）の観測を実施し、海洋学，気象学においての利用可能性を検討した。本年度も、引き続きマルチコプターを利用したデータ取得方法の検討を行ったほか、小型衛星プラットフォームによる観測データの利用検討を開始した。

成果の概要

昨年度に実施したマルチコプターでの観測試験の結果を受けて新たに温湿度・加速度計データ（ホバリング時)、およびマルチコプター飛行情報を取得可能なシステムを構築した。日射と機体の影響を可能な限り小さくするような検討を行った。また、同時に地上リファレンスのデータとして気象要素（気温，相対湿度，気圧）海上風の観測システムを利用したデータ取得も行った。今後、地上のデータ取得試験を繰り返し、さらに海上でのデータ取得試験も実施する。また後述する GNSS の反射波の観測データの同時取得についても検討を行う。

2017 年に NASA が打ち上げた小型衛星群 CYGNSS の海上風観測データの利用検討を行った。CYGNSS は 8 機の小型衛星群プラットフォームで観測を行う点、さらに GPS に代表される GNSS の海面反射波（GNSS-R）を利用する点でこれまでの大型衛星に搭載されたマイクロ波放射計や散乱計の観測とは本質的に異なる。まず既存の衛星観測データと比較することで観測の頻度や時空間の

パターンの特徴を把握することを試みた。例として大型衛星である JAXA GCOM-W に搭載されたマイクロ波放射計 AMSR2 と、CYGNSS 衛星群による海上風の日本付近での観測分布を図 1 に示す。この図より CYGNSS 衛星群による観測は AMSR2 と比べるとサンプリングの特性が大きく異なることが分かる。AMSR2 は広い観測パスで広範囲をほぼ同じ時刻で観測する。ただし降水がある場合に欠測が目立つ。一方で CYGNSS は、個々の観測パスの幅は狭いが、比較的高頻度に多数の観測を行っている。また AMSR2 とは異なる観測時刻で観測を行っている。また降雨の影響をそれほど受けていない。今後、より長期間のデータを用いて精度を含めた観測特性の違いについて調査を行い、さらに海面フラックス推定に対するインパクトについて検討を行う。

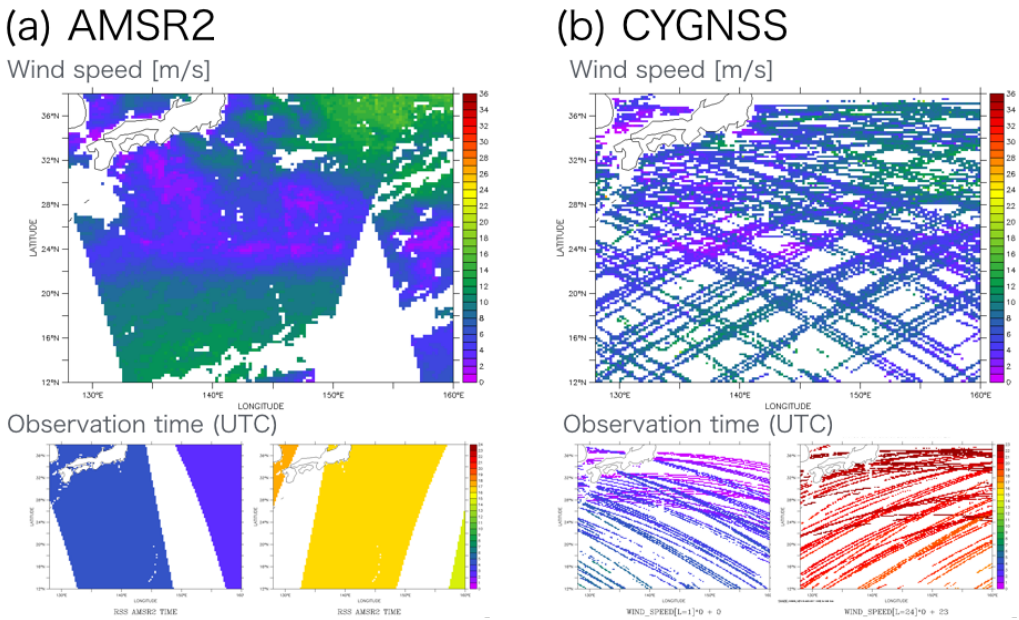


図 1. 衛星による日本付近の海上風の観測の例（2017 年 3 月 18 日）
上段:（a）マイクロ波放射計 GCOM-W/AMSR2, (b) CYGNSS。
下段: それぞれの衛星観測パスの観測時刻

関連発表など

富田裕之, 海面フラックス推定と高頻度観測,超小型衛星「群」プラットフォームによる高頻度即時観測とその将来, 2017 年 7 月

Tomita H. and K. Ichikawa, An impact of CYGNSS surface wind speed observation on air-sea flux estimate, JpGU 2018 Annual meeting, Abstract, 2018 年 2 月

CloudSat/CALIPSO雲特性プロダクトの高度化に向けた中緯度・極域の雲気候学的解析

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科　河本和明，山内晃
九州大学　応用力学研究所　岡本創

・要旨

九州大学で作成された CloudSat/CALIPSO 併用データを使用し，夏季（JJA）と冬季(DJF)の東シベリア海周辺(70-80N°,120-180E°)とバレンツ海周辺(70-80N°,0-40E°)の雲特性の違いについて明らかにした。北極圏の全天雲量は冬季に比べて夏季で大きくなっている，冬季の雲頂温度-40℃以上の雲内部の雲温度-25～0℃域における雲の氷相割合に違いがあり，東シベリア海周辺ではバレンツ海周辺に比べ，氷相割合が多く，水相割合は少ないことを明らかにした。また温度毎の氷相割合は東シベリア海の-25 から-10℃帯で約 20%大きくなっており，高度毎では下層 2km 以下において領域間の差が大きいことを示した。このことは，冬季ではバレンツ海周辺に比べて，東シベリア海周辺の下層で氷相の形成が促進している可能性を示唆している。

・序論

雲や降水は、地球のエネルギー収支や水循環を通して、気候の変動・維持に大きな影響を与えている。広域的な雲の分布を観測する手段として人工衛星のデータが広く利用されてきたが、2006 年に能動型センサーを搭載した CloudSat や CALIPSO が打ち上げられたことによって、雲内部の鉛直方向の情報が得られるようになった。しかしながら、氷雲の形成過程や成長過程についてはまだ詳しくわかっていない。本研究では、-40℃以上の雲層内の氷粒子の形成過程に着目し、北半球夏季と冬季の 2 つの領域(バレンツ海周辺・東シベリア海周辺)について比較を行った。

・実験方法

雲粒子相判別(KU-type)は *Yoshida et al.* (2010)が開発した CALIPSO 衛星に搭載されている能動型センサーCALIOP から得られる、後方散乱係数と偏光解消度を使用した相判別手法が用いられている。また、氷相は雲粒子判別が水平状氷粒子(2D-plate)、三次元ランダム配向氷粒子(3D-ice)、3D と 2D の混合層(mixture of 2D-plate and 3D-ice)の場合と定義し、水相は 0℃以上の水粒子(warm water)、過冷却水粒子(supercooled water)の場合と定義した。雲量は *Hagihara et al.* (2010)が開発した CloudSat/CALIPSO 併用雲マスク(KU-mask)を使用した。雲内部の鉛直気温データは CloudSat の ECMWF-AUX プロダクト(*Partain* 2007)を使用し、地表面風速，海面気圧等は再解析格子点気象データセットである NCEP/NCAR 再解析データ(解像度： 2.5×2.5°)を使用した。

雲層内の氷相割合（F_{ice}）と水相割合（F_{water}）は以下のように定義し、

$$F_{ice} = N_{ice} / (N_{ice} + N_{water}) \quad (1)$$
$$F_{water} = N_{water} / (N_{ice} + N_{water}) \quad (2)$$

ここで、N_{ice} は雲層内で検出した氷相雲層数を示し、N_{wate} 水相雲層数を示す。ただし、光学的厚い雲が発生している場合、雲層内でライダーシグナルが減衰して検出できなくなってしまうため、雲頂から光学的厚さが 7 程度までの雲を対象としている。

・結果と考察

図 1 は東シベリア海周辺（灰色）とバレンツ海周辺（黒色）での温度毎氷相（図 1. a，c)・水相（図 1. b，d）割合を示している。冬季における-40℃以上の雲層内の氷相割合は東シベリア海周辺で高くなっている。夏季(図 1. a，c)では領域間における差はほとんど生じていないが，冬季(図 1. b，d)では大きく異なっている。冬季であっても-35℃以下の温度域ではあまり違いは生じないが，-25℃から-10℃域では明らかに東シベリア海周辺での氷相割合が増加している（約 20%）ことがわかる。室内実験により，この温度域で氷晶は不均質核形成の中でも内部凍結や接触凍結によって生成されることがわかって

おり(*Hoose and Möhler,* 2012), 東シベリア海周辺で内部凍結・接触凍結が促進している可能性を示唆している。

本研究の結果は、数値モデル出力結果の検証に有用であり、数値モデル内で扱われている雲層内氷相割合の見直しに貢献することができると考える。

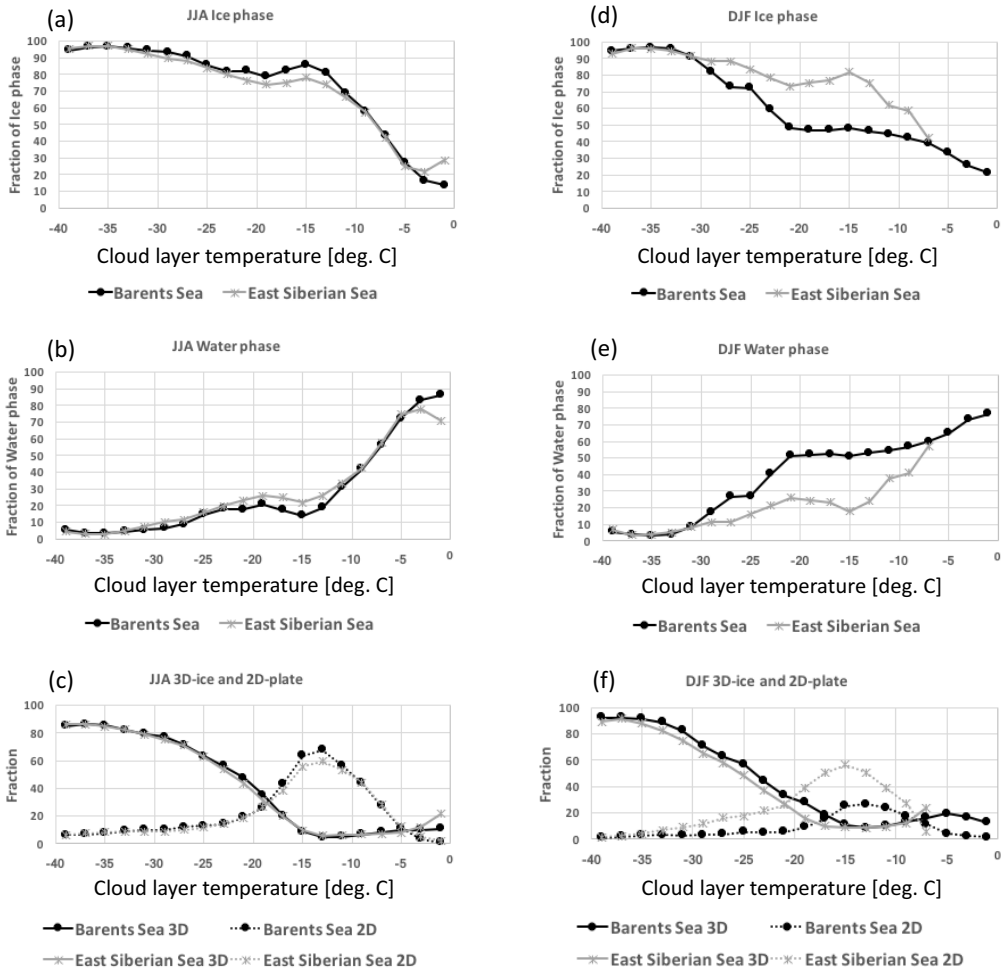


図１.北半球夏季(a,b,c)と冬季(d,e,f)の東シベリア海周辺（灰色)、バレンツ海周辺（黒色）における温度毎の(a),(d)氷相割合,(b),(d)水相割合,(c),(d)氷粒子タイプ毎(2D-plate,3D-ice)発生割合。

・成果報告

査読付き論文

①山内晃, 河本和明, 岡本創, 佐藤可織 ; CALIPSO 衛星データから得られたバレンツ海周辺と東シベリア海周辺の雲特性の違いについて, 日本リモートセンシング学会誌, 37 巻 5 号(2017.11)

②Akira Yamauchi, Kazuaki Kawamoto, Hajime Okamoto ; Differences in the fractions of ice clouds between eastern and western parts of Eurasian Continent using CALIPSO in January 2007, Atmospheric Science Letters ,doi:10.1002/asl.807, 2018, in press.

学会発表リスト

①Akira Yamauchi, Kazuaki Kawamoto, Hajime Okamoto,「Multilayer Cloud Characteristics over the North Pacific Ocean Obtained from CloudSat/CALIPSO Combined Data」, 『JpGU-AGU Joint Meeting 2017』, AAS08-P10, Chiba, Japan, May, 2017.

②山内晃,河本和明,岡本創,「CloudSat-CALIPSO 併用データを用いたユーラシア大陸広域の雲層内氷相割合の変化について」,『日本気象学会 2017 年度春季大会』, P303, 東京, 2017 年 5 月。

東シナ海陸棚－黒潮間混合域における物質輸送過程理解のための国際共同研究体制の構築：－Nd 同位体による東シナ海陸棚－黒潮間の物質輸送－

富山大学　大学院理工学研究部　張勁

Establishment of international cooperative research group to understand the material transport between the boundary area of the East China Sea shelf region and Kuroshio

- Material transport between the East China Sea and Kuroshio using Nd isotope –

1　Introduction.

Marginal seas in the western North Pacific and western boundary current area are constantly or intermittently exchanging energy and materials between land and open ocean. In the East China Sea, lack of evidence from field work, such as origin identification, parameterization and process explanation, limits the improvement of numerical experiments and modeling. An urgent task is to build up a framework to arrange the interdisciplinary and regional joint studies on the environment of the marginal seas, e.g. East China Sea. In this report, a new paper (Che and Zhang, 2018) was introduced. Nd concentration and isotopic compositions were analyzed in seawater samples collected from joint Japanese and Chinese cruises. A mixing model was constructed using Nd concentration, Nd isotopic compositions, salinity, and temperature to estimate the contribution of the ECS to the Sea of Japan and to quantify the interaction between the ECS and the Northwestern Pacific.

2　Observations and Data

In the Changjiang River Estuary, dissolved Nd and its isotopic ratios were obtained in August 2015 by Zhedaiyuyun (represented by black circles in Figure 1 A). In the middle of the ECS, two depth profiles of Nd were obtained in October 2015 by the R/V Hakuho-Maru (No. KH-15-3, Japan) (represented by triangles in Figure 1 A). Four stations were sampled in July 2016 to investigate the variations in Nd concentration and in Nd isotopic composition (R/V, Nagasaki-Maru (No.441), Japan), which included two depth profiles in the eastern region of the ECS (represented by squares in Figure 1 A). Temperature and salinity data were collected using the Sea-Bird 911 instruments (Figure 1 B).

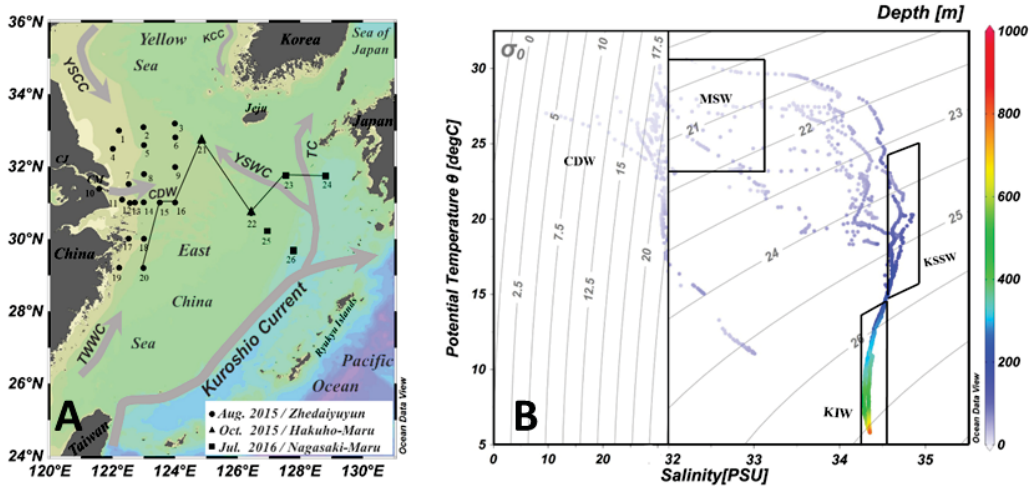


Figure 1. Sampling stations (A) and Potential temperature-salinity diagram (B) (from paper 1.)

3 Results

Chemical tracers e.g. rare earth elements and Nd isotope (ε_{Nd}) are suitable and conservative as water mass indicators, and are excellent tools for classification and analysis of water masses while coupling with salinity and temperature. These physico-chemical tracers can be applied to characterizing and quantifying multiple water masses (>3), particularly where there is complex water structure. Three end-member models indicate that approximately 10% of the CDW (Changjiang Diluted Water), 28% of the YSW (Yellow Sea Water), and 62% of the Kuroshio Water enter the Sea of Japan while approximately 6% of the MSW (Mixing Shelf Water) discharges into the adjacent areas of the Northwestern Pacific.

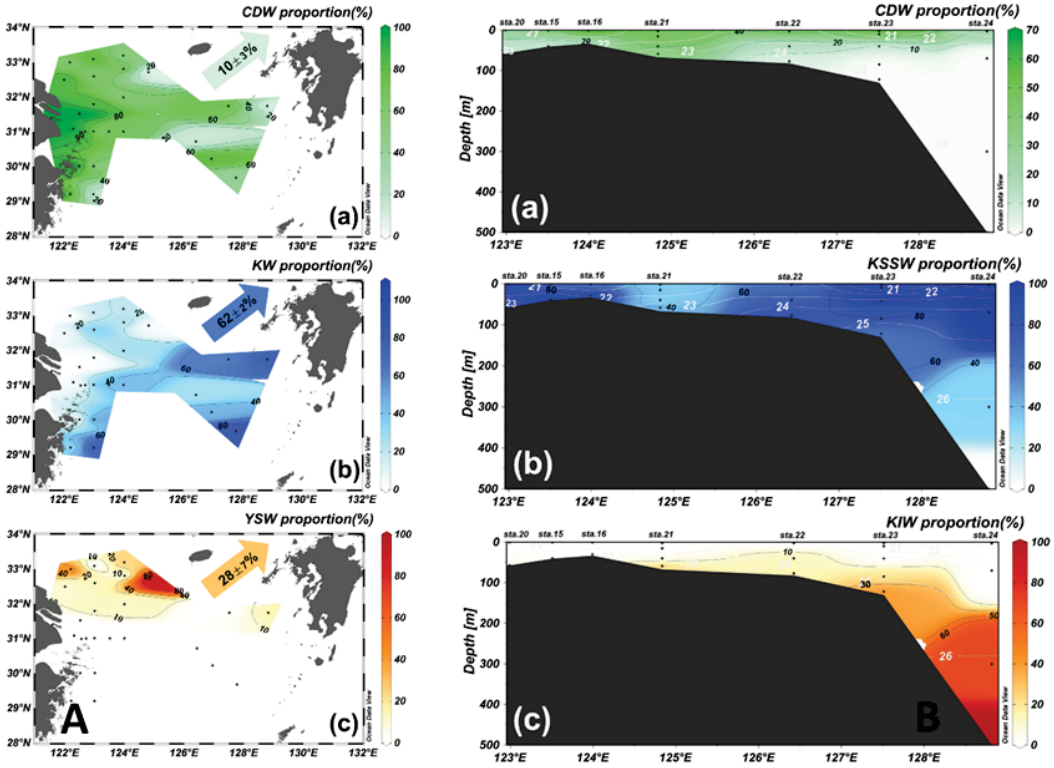


Figure 2 Mixing proportions of the three water masses in the surface waters (A) and water column (B) at each sampling station. (quoted from paper 1.)

4 Scientific papers and meetings

1. H. Che and J. Zhnag, Water mass analysis and end-member mixing contribution using coupled radiogenic Nd isotopes and Nd concentrations: interaction between marginal seas and the Northwestern Pacific. DOI: 10.1002/2017GL076978, Geophy. Res. Lett. 2018.
2. Zhang, J., Material transport and interaction between the East China Sea and the northwestern Pacific: joint regional GEOTRACES study in East Asia, 2017 Joint IAPSO-IAMAS-IAGA Assembly, Aug., Cape Town, South Africa.
3. Zhang, J., GEOTRACES and biogeochemical studies in the Western Pacific and its marginal seas, WESTPAC Workshop on "A framework for cooperative studies in the Western Pacific Marginal Seas: Energy and materials exchange between land and open ocean". Oct. Fukuoka, Japan.

GNSS 反射波観測用受信機の開発とマルチコプタによる実証実験

中部大学工学部　海老沼拓史

1. 目的

本研究では，海面で反射した測位衛星システム（GNSS: Global Navigation Satellite System）の信号を利用した新しい海洋リモートセンシングの実現を目標としている．これは，GNSS 衛星を信号源としたパッシブなレーダー観測であるため，小型化・省電力化が可能である．また，一度に複数の GNSS 信号を観測できるため，広範囲な海洋観測が可能となる．このようなセンサを複数の小型衛星や無人飛行機などに搭載することで，時間分解能の高い海洋リモートセンシングが期待できる．

九州大学応用力学研究所との平成 29 年度共同利用研究では，平成 28 年度に実証実験を行った GNSS 反射波観測用受信機のさらなる小型化，軽量化を実施する．さらに，GNSS 反射波観測の基準点となるマルチコプタの高精度測位を試みる．

2. 小型 GNSS 反射波観測用受信機

平成 28 年度に開発した GNSS 反射波観測用受信機は，モバイルバッテリで動作する小型 PC をベースとし，そこに USB による通信・給電が可能な GNSS 受信機を接続していたため，サイズも重量も大きく，小型のマルチコプタに搭載するのは困難であった．（図 1）

図 1　GNSS 反射波観測用受信機

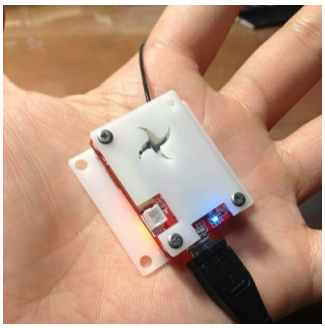


図 2　ちょっとすごいロガー

そこで，平成 29 年度の共同利用研究では，PC の代わりに組み込み用マイコンを利用した SD カードロガーを採用することで，観測装置の小型化・軽量化を実施した．観測装置のベースとして，オープンソースの GPS 受信機ロガーである「ちょっとすごいロガー（NinjaScan-Light）」を採用した（図 2）．ちょっとすごいロガーは，ジャイロセンサや加速度センサの情報に加えて，GPS 受信機による測位結果をリアルタイムで SD カードに書き込むことのできる小型ロガーである．本研究では，この GPS 受信機部を，RAW データの観測が可能な GNSS 受信機である u-blox M8T に置き換えることで，GNSS 反射波観測

に必要な疑似距離や搬送波位相，信号強度などの観測値の記録を可能にした．

3. マルチコプタの高精度測位実験

本研究で開発した GNSS 反射波観測用受信機の機能確認のために，GNSS 受信機ロガーを市販の小型マルチコプタに搭載し，GNSS 反射波観測の基準点となるマルチコプタの高精度測位を実施した．GNSS 受信機ロガーを搭載したマルチコプタの外観を図 3 に示す．

図 3　ロガーを搭載した小型マルチコプタ

高精度測位のために，マルチコプタから数十メートルほどの場所に，同じく u-blox M8T を用いた基準局を設置した．基線長が十分に短いため，ほぼ理想的な状態で高精度測位の評価を実施することができる．

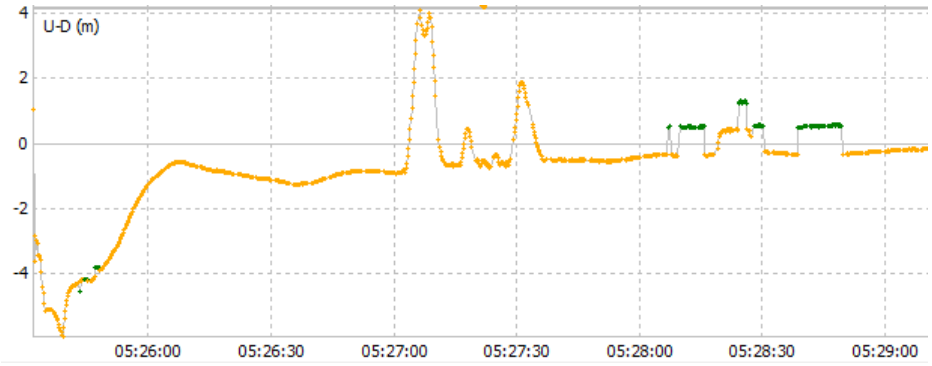


図 4　高度方向の高精度測位結果

図 4 に高精度測位結果の例としてフライト中の高度方向の測位結果を示す．マルチコプタの高度変化は追尾できているものの，測位結果は搬送波位相の波数不確定性が確定しない Float 解しか得ることができなかった．モータを停止させ，地上に静止している状態で精密測位を実施した際には Fix 解が得られることから，モータから発生する電磁的なノイズが，GNSS 信号と干渉していると予想される．アンテナの設置位置の工夫や，GNSS 受信機ロガーの電磁シールドなど，電磁的な干渉の軽減が実用に向けた今後の課題である．

日本沿岸域における高解像度塩分動的マップの作成手法の開発

中田聡史　神戸大学大学院海事科学研究科

１．目的

近年、海表面塩分測定センサーが搭載された SAC-D 衛星（Aquarius）等の導入・運用により、海表面塩分(SSS)が面的に得られるようになった。ただし、衛星 SSS データの水平分解能は約 50 km であり、まだまだ観測エラーも大きく、河川プリューム(低塩分水)が発達する沿岸域で使用するには極めて困難である。河川から沿岸海域における海洋生態系や漁場環境への栄養塩パスとして機能する河川プリュームは沿岸漁業者や養殖業者からも関心が高く、したがってプリュームを把握するための SSS マップの需要は高い。

河川から出水するプリュームには有色溶存有機物(CDOM)を大量に含んでおり、海表面塩分(SSS)と高い相関関係にある。本研究では、この関係を利用して海色衛星観測によりプロダクトから得られた CDOM データから海表面塩分(SSS)を推定する手法の開発を進めている。静止海色衛星によって日本沿岸域全域をカバーできる高空間分解能の衛星 SSS データセットを整備するのが最終目的である。現段階では、対馬海峡沿岸域や大阪湾・紀伊水道等の比較的現場塩分データが多く得られている海域において SSS マップを整備できている。そして、応用力学研究所の千手智晴准教授が長期にわたって観測・収集されている日本海沿岸域各地の時系列塩分データは、衛星 SSS マップを検証し、衛星 SSS 精度向上を可能とするための非常に貴重なデータとなっている。

本報告では、解析期間をさらに延長し 2011 年から 2017 年までの収集できる観測データを用いて検証・修正した SSS マップの一例として、解析対象としている対馬暖流沿岸域の中でも特に河川出水の影響が大きい沿岸海域である富山湾の解析を紹介する。当該海域において、現場 CDOM と現場 SSS を収集し、SSS マップの推定精度向上を試みた。そして、SSS マップを用いて、形成される河川プリュームの動態を解析した。

２．方法

使用した衛星データは、2011 年 3 月より得られている静止衛星「千里眼」GOCI-COMS プロダクト(水平解像度約 500 m)である。本プロダクトから CDOM データ（以降、衛星 CDOM）を抽出して解析に使用した。解析期間における衛星 CDOM マップから、昨年度より開発している SSS―CDOM 推定式を用いて日本海沿岸域における SSS マップを作成・整備し、河川プリュームの動態解析に用いた。

応用力学研究所が保有する 2011 年～2017 年までの日本海沿岸域において収集された現場塩分データを用いて、GOCI プロダクトの CDOM データから作成できる SSS マップを検証・修正した。河川出水の影響が大きい富山湾において SSS マップを作成して、富山湾沿岸海域において形成される河川プリュームの動態解析した。

３．結果と考察

石川県水産総合センターのご協力により、2017 年度は現場 CDOM と現場 SSS データの収集を目的とした能登半島周辺海域における採水が実施できた（図１a）。本研究プロジェクトでは、以前より大阪湾や紀伊水道において現場 CDOM や SSS を収集してきており、両者には良好な負の相関関係があることが確認されている（図１b の青点）。能登半島周辺海域において得られたデータ（図１b の赤点）を同時に散布図に描くと、大阪湾・紀伊水道で得られたデータと調和的であることがわかった。したがって、両者のデータを用いて CDOM から SSS の推定式を作成し、衛星 SSS マップを作成した。また整備された衛星 SSS マップは岸端（図１a）において得られている海表面塩分時系列データとの比較後、SSS マップを修正した。

SSS マップを用いた富山湾および能登半島周辺海域における河川プリュームの解析結果の一例として、図２に海色衛星プロダクトが比較的多く得られた 2015 年 4 月から 9 月の各月における月平均海表面塩分(SSS)マップを示す。いずれのマップにおいても、富山湾南岸において塩分が３１から２３程度まで低下する低塩分水がみられ、河川出水によるプリュームを示している。富山湾には 5 つの一級河川（小矢部川、庄川、神通川、常願寺川、黒部川）が流入しており、大量の融雪出水により 4 月にプリュームが発達する。塩分３１以下の低塩分水が富山湾沖合に広範囲に分布している様子が捉えられている。4 月は対馬暖流の湾内流入とちょうど重なる時期であり、対馬暖流によってプリュームの一部が沖合へ輸送されていることを示唆している。今後は低塩分域の現場 SSS と現場 CDOM データを収集できるような観測・採水を実施し、推定精度を向上させる計画である。

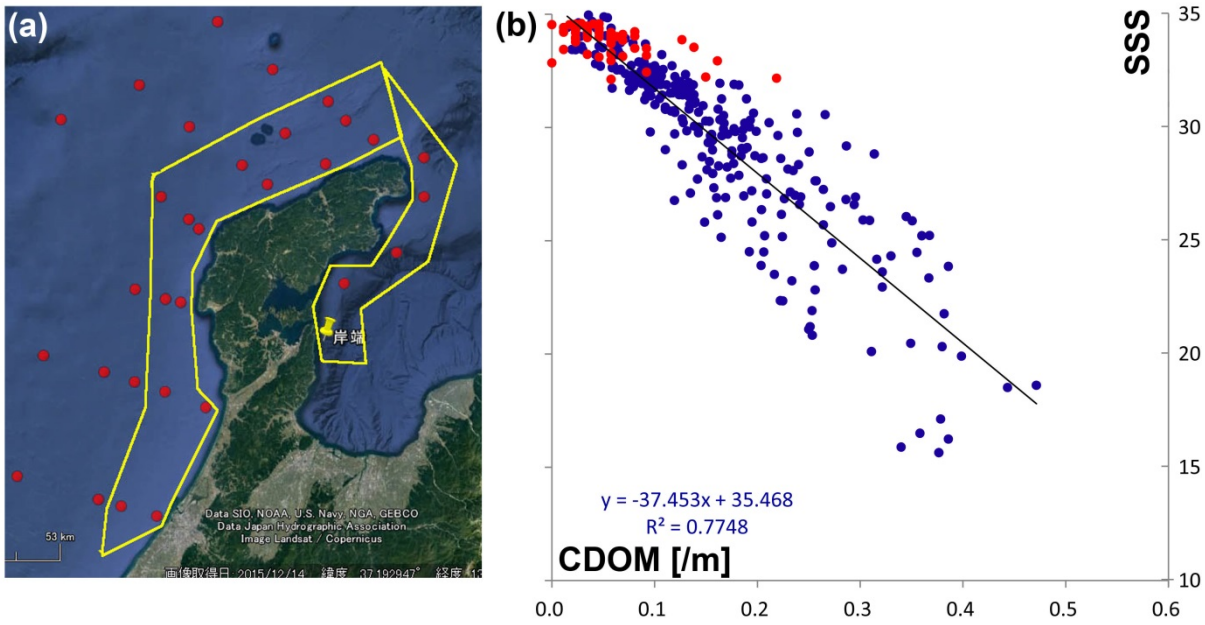


図１(a)現場 CDOM および現場 SSS データの収集サイト。(b)現場 CDOM と現場 SSS の散布図（赤：能登半島周辺海域、青：大阪湾および紀伊水道）

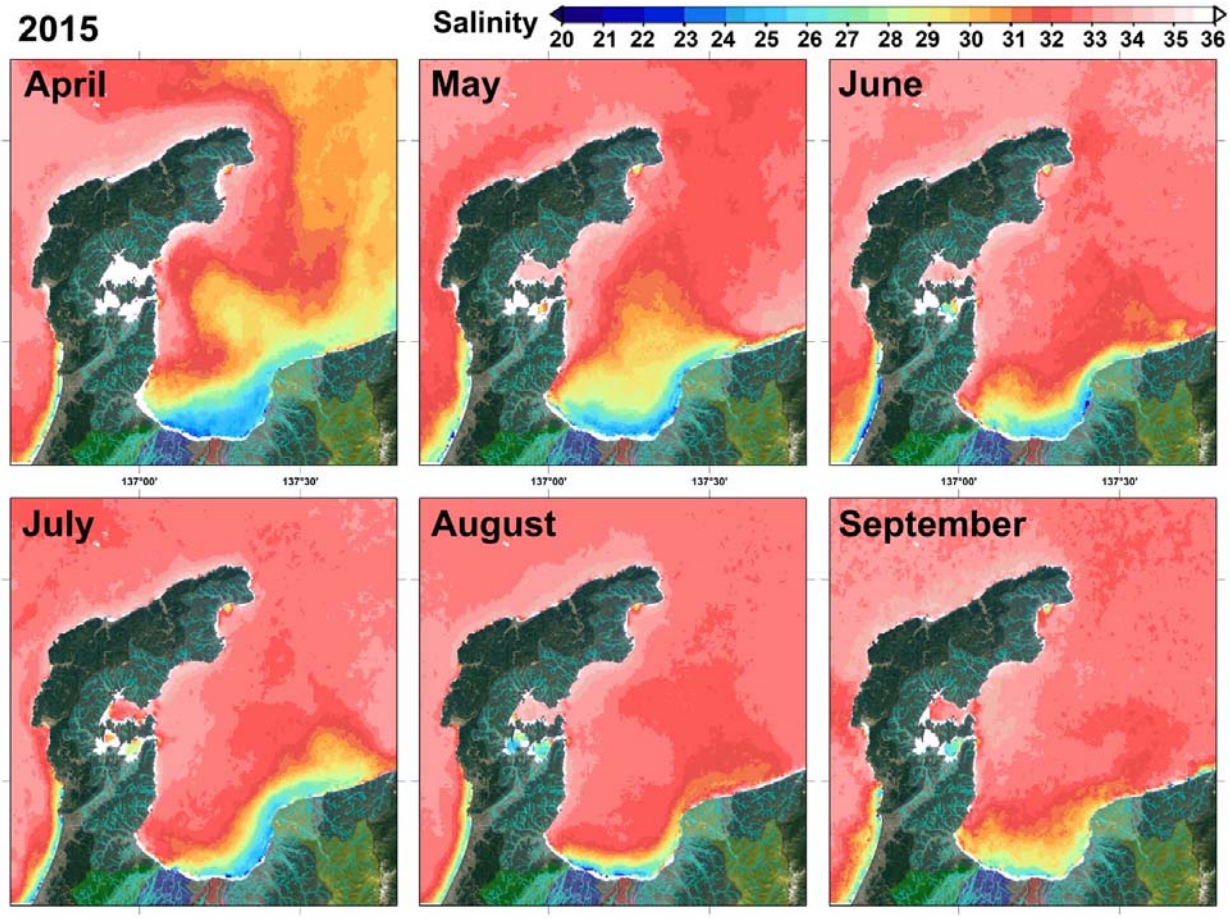


図２　2015 年 4 月から 9 月までの月平均海表面塩分(SSS)マップ。

研究体制

中田聡史（神戸大学）　代表者

千手智晴（九州大学）　所内世話人

広瀬直毅（九州大学）　研究協力者

原田浩太朗（石川県水産総合センター）共同研究者

波浪境界層中間 LES モデルの開発にむけた基礎データ取得のための風洞水槽実験

相木秀則　（名古屋大学　宇宙地球環境研究所）

応用力学研究所・風洞水槽施設・利用日

2018年1月23日：計1日間　（担当：油布）

はじめに

水深 10m から海上 100m までの領域（波浪境界層：図１）の素過程（波動力学・乱流混合・物質輸送・大気海洋間フラックス）の考察を発展させるには、1 つの LES 数値モデルで気側と水側の流体運動を連続的に再現し、統合解析する事が重要である。しかし、従来の土木・機械工学分野の LES では時空間スケールが小さすぎる。また従来の大気・海洋分野の LES では水面波の位相変化を陽に解く事ができないという問題がある。そこで本研究では、鉛直ストレッチ格子と水平 1m 程度の格子を使って、グリッドスケールの水面波は位相変化も含めて陽に解き、サブグリッドスケールの水面波は従来型のエネルギースペクトルモデルを使って統計的に解くという「波浪境界層についての新しい中間スケール解法」を開拓する事を目指している。WAVEWATCH のようなエネルギースペクトルモデルには砕波によるエネルギー消散のバルク式が入っているが、何らかの方法で砕波の位相情報を付加して中間 LES モデルを組み上げる必要がある（図２）。

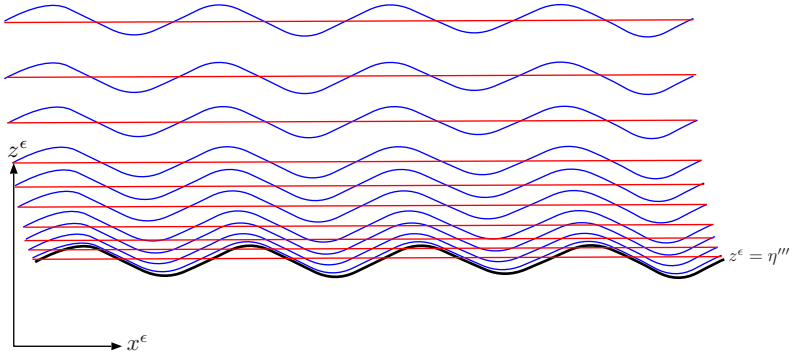


図１：波浪境界層を気側の模式図

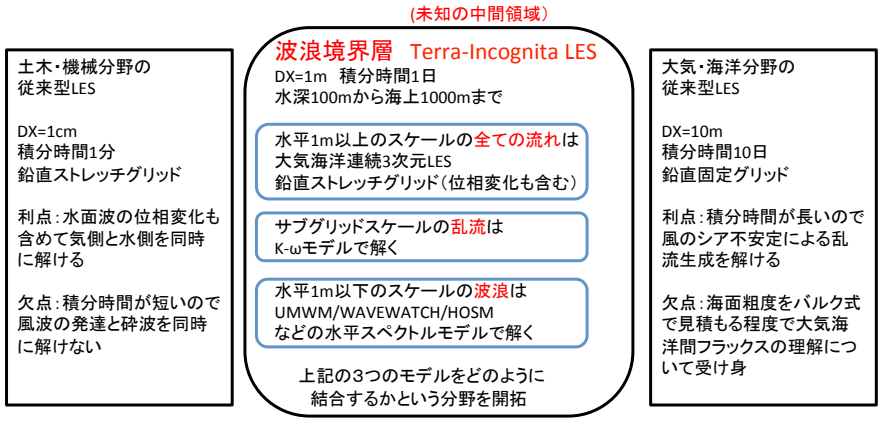


図２：本研究で構築を目指している中間 LES モデルの目標スケールと構成要素

風洞水槽実験

前年度には，応力研・風洞付内部波水槽（全長 17m）を用いて風速５～１５m/s の範囲において、100Hz の波高測定とビデオ撮影を行った。この結果を基礎データセットとして、位相関係を詳細に解析できるようにアルゴリズム開発をおこなった。また本年度は海洋環境シミュレーション水槽において実現可能な気中乱流測定の最新の手法について、兵庫県立大学・高垣直尚助教の実験作業を見学した。

波浪境界層における物質輸送の動態を明らかにする研究の一環として、代表者は気中のシースプレーの粒径別個数の時系列を計測できるような測器の実用化を並行して目指している。この新しい測器の３軸加速度センサーに関する基礎データを取得するために、応力研・海洋環境シミュレーション水槽（全長 54m）を用いてプランジャー造波による不規則波測定実験を前年度に行った。水面に浮かべた加速度センサー筐体を係留する実験と漂流させる実験について、そのデータ比較を本年度行った。特にシースプレー測器の加速度センサーが 10Hz であることをふまえて、測器を取り付けた浮体の軌道運動を再現するためのアルゴリズム開発を行った。

まとめと展望

巨視的な立場では代表者は、大気・海洋・波浪結合モデルの開発と応用研究を進め、台風のような顕著現象における海洋の役割の解明を目指している（相木他, 2015）。今後は大気モデル側においてエアロゾル過程を本格的に導入し、雲物理の再現性との関係を調べる研究が活発になることが予想される。そのために海洋性エアロゾルの生成と海面波浪環境に関するバルク式を精微化する必要があり、風洞水槽実験は、現状の LES モデルでは再現できない一連の素過程を理解する為に重要である。

本共同利用研究では、微視的な立場から、波浪境界層における渦・波・物質輸送の動態のメカニズムの考察を発展させるための準備を行った。今後の展望としては、大気海洋間フラックスのバルク式を高度化に関して、「風洞水槽実験」、「海上波浪観測」、「気液連続 LES 数値実験」のような基礎研究の相互関係について、時代の変化に即した学際連携・分野開拓を目指す。風洞水槽実験を通じて、波浪境界層に関する実験教育・社会還元につながる応用研究のための基礎研究（例えば台風数値シミュレーションのための基礎データ取得）を推進し、分野横断的な基盤整備・啓蒙活動にも貢献していきたい（相木，2018）。

本共同利用研究に関する発表

相木秀則（名大）・根田昌典（京大）・田中潔（東大）・久島萌人（名大）・油布　圭（九大），シースプレー測器による海上観測計画：海面砕波と海洋性エアロゾル生成の時空間構造を捉える, JpGU-AGU 合同大会，M–IS15，2017 年 5 月 24 日

参考文献

相木秀則ほか：大気海洋波浪結合モデルの開発と台風実験への応用，沿岸海洋研究，**52**, 139-148, 2015

相木秀則，海の波と渦と平均流–相互作用理論の背景と展望–，日本気象学会・気象研究ノート, 235 号，単著全 12 章，全 175 頁, 2018 年 3 月 25 日発行

インド亜大陸東北部における大気鉛直構造の解明

東京大学生産技術研究所　木口 雅司

１．研究の目的

アジアモンスーン域の一角であるインド亜大陸東北部は、世界最多降水量の記録を持つインド・メガラヤ州チェラプンジがあるシロン高地や、その世界最多降水量がもたらされるシロン高地からの雨が一気に流下するメグナ川流域、チベット高原から下るガンジス川、ブラマプトラ川という巨大河川の河口域に当たるバングラデシュ、そしてチベット高原から流下するブラマプトラ川の中流域にあたりアジアモンスーン域で最も早くから降水現象のあるインド・アッサム州を含み、多量の降水、世界的大河川の集まる、地球水循環を考える上で重要な地域である。また、対流活動が活発であり、竜巻を引き起こす小規模な積雲対流活動などの擾乱が成層圏に流入する水蒸気量に影響を与えている。そのため、研究対象地域における大気鉛直構造の解明は重要である。

本研究では、高層ゾンデ観測や高高度の水蒸気測定が精度よく観測できる Snow White、全球雷データなどの観測データと総観気象場とを組み合わせた解析を実施し、研究対象地域における大気鉛直構造の解明を目指す。

２．研究の手法

バングラデシュ気象局の高層気象観測やインド亜大陸北東部に展開されている官署の雨量観測データ、レーダ観測データなど地上観測データを用いて、プレモンスーン期とモンスーン期における擾乱現象を捉え、積乱雲の存在の有無が分かる全球雷データ(WWLL、http://webflash.ess.washington.edu/)を用いて、その要因が積乱雲によるものかどうかを判定する。2007 年に集中高層気象観測で取得された 6 時間データや通常用いられているゾンデより上層の湿度測定が可能である Snow White を用いて取得された水蒸気データ、衛星データ(EOS MLS, AIRS 等)を用いて、プレモンスーン期とモンスーン期の擾乱現象が発現しているときとそうでないときの詳細な大気鉛直構造を明らかにする。さらに、擾乱現象が発現しているときとそうでないときの総観気象場を、NCEP/NCAR や ERA40、JRA55 を用いて示し、その大気鉛直構造がどのように形成されるのかを解明する。

昨年度は研究目的に必要な観測データの収集・整理を行い、主に全球雷データ等を用いた解析を進め月平均スケールの大気場の描像を明らかにしたので、今年度は収集・整理したデータを用いてより詳細な大気場の時空間変動に着目し、小規模な積雲対流活動に関連する現象の解明を進めた。

３．結果

今年度新たに入手した 2007 年の全球雷データを用いて、本研究対象領域を含む南アジア域の雷発生数と対流活動(OLR)の分布をプレモンスーン期(3～5 月)とモンスーン期(6～9 月)において調べた(**図 1**)。昨年度報告した結果(2008～2013 年)と同様に、プレモンスーン期では落雷数が多く見られ、対流活動(OLR)が活発であるモンスーン期では落雷数が少ない。

次に、2007 年に実施したプレモンスーン期とモンスーン期の集中観測データ等を用いた解析結果を示す。プレモンスーン期では(図 2)、対流活発期(4 月 20～27 日、5 月 6～14 日)と対流不活発期(4 月 28 日～5 月 5 日)に分けられ、対流活発期には下層で南西風、上層でトラフ前面による西～南西風が卓越している。一方、対流不活発期には上層で北西風が卓越し、下層では南風が弱まる。これは、上層のトラフが西から東へ通過していることを示しており、中緯度偏西風帯の影響を強く受けていることが分かった。高度 1km 付近の相当温位が対流活発期に高くなっており、水蒸気量、相対湿度とも上昇している。また南西風が卓越しており、ベンガル湾から湿った空気が流入している。この結果、潜在(対流)不安定が強化されている。このことは、既存文献の統計的解析と一致する。以上の結果から、対流圏上層のトラフの接近によってトラフ前面での上昇流の強化と対流圏下層での南西風の強化によって、擾乱が発達したと考えられる。

一方モンスーン期のバングラデシュ北東部で、降水量の季節内変動が見られ、可降水量と落雷数と良い相関がみられた。プレモンスーン期と同様に、ブレーク期(7 月 1～15 日)に落雷数が多くアクティブ期(7 月 16～31 日)に少なかった。アクティブ期の中でもさらに強い降水帯の周期(約 1 週間)が見られ、落雷数も多い(**図 3**)。

４．まとめ

今年度は、収集・整理したデータを用いてより詳細な大気場の時空間変動に着目し、小規模な積雲対流活動に関連する現象を明らかにした。2007 年における月データでの解析でプレモンスーン期とモンスーン期の違いを示し、さらにプレモンスーン期の対流活発期と対流不活発期における落雷数と被害をもたらす激しい擾乱の関係を明らかにした。また、モンスーン期の季節内変動やアクティブ期の中での雨量の強弱との関係も明らかにした。

今後の課題として、他の年における対流不安定性と物質輸送の観点にたった解析が望まれる。

５．研究組織

研究代表者　木口 雅司　東京大学生産技術研究所 特任准教授
研究協力者　江口 菜穂　九州大学応用力学研究所 助教
研究協力者　村田 文絵　高知大学理工学部 講師
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

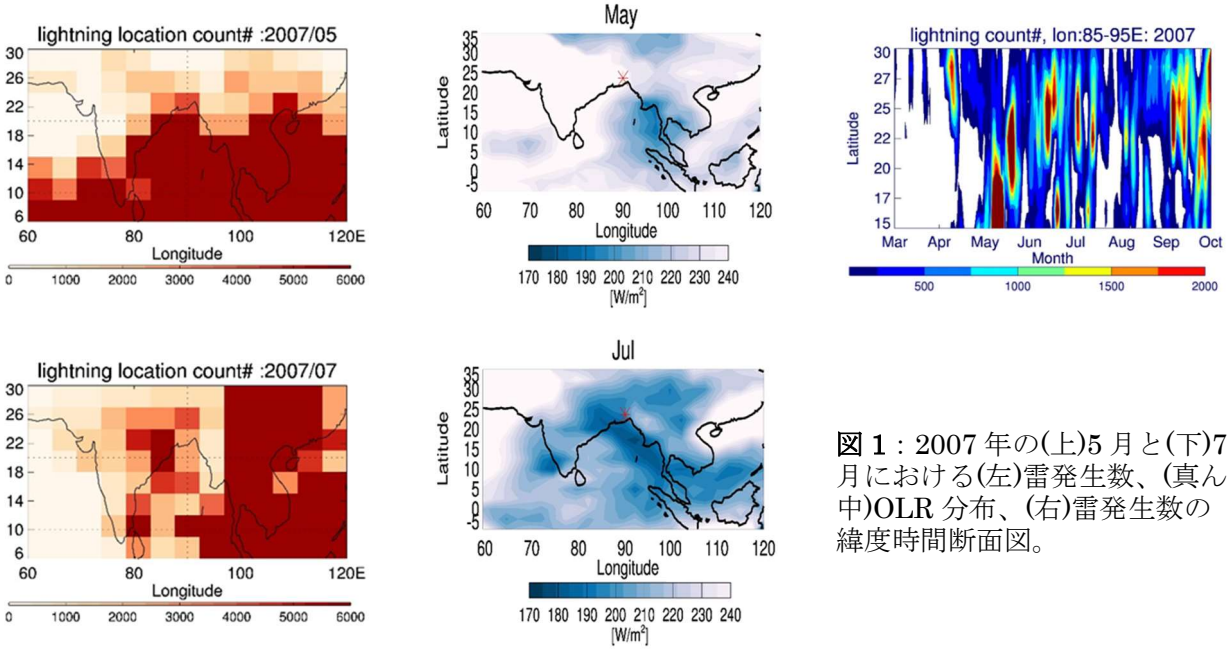


図 1：2007 年の(上)5 月と(下)7 月における(左)雷発生数、(真ん中)OLR 分布、(右)雷発生数の緯度時間断面図。

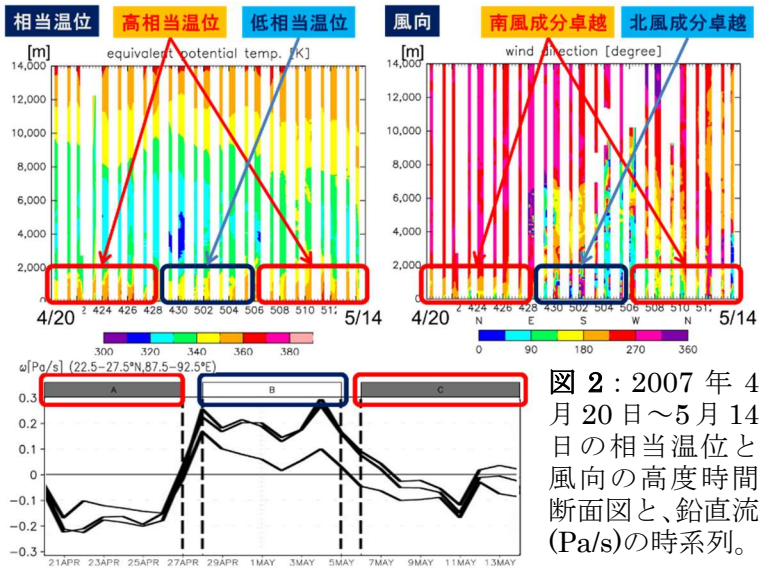


図 2：2007 年 4 月 20 日～5 月 14 日の相当温位と風向の高度時間断面図と、鉛直流(Pa/s)の時系列。

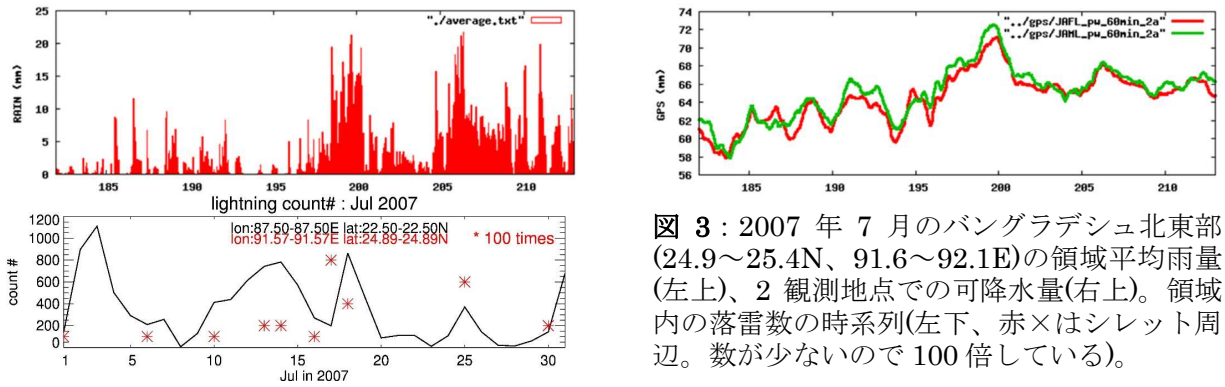


図 3：2007 年 7 月のバングラデシュ北東部(24.9～25.4N、91.6～92.1E)の領域平均雨量(左上)、2 観測地点での可降水量(右上)。領域内の落雷数の時系列(左下、赤×はシレット周辺。数が少ないので 100 倍している)。

領域海洋モデルによる GNSS-R 技術の海洋観測への応用の高度化

東京大学　新領域創成科学研究科　海洋技術環境学専攻　小平翼

要旨

相模湾は漁業、海洋レジャー等の人間活動の活発な海域であり、平塚海洋観測棟を用いた会場観測が可能という特徴を持つ。平塚海洋観測棟では GNSS-R 技術を用いた海面高度、海上風速等の物理量の観測の試みが行われており（GROWTH プロジェクト)、GNSS-R 技術は常時全球モニタリングシステムへと発展する可能性を秘めている。そこで、観測条件の詳細な把握に貢献するために相模湾における流況特性を解析した。用いたデータは主に海上保安庁が保守・運営する海洋短波レーダーであり、係留ブイとの比較を通じて同短波レーダーの利用手法を精査した。現在、観測結果を踏まえて、領域海洋モデルを構築中である。

1．序論

相模湾は南北方向に約 60km、東西方向に約 55km の大きさを持地、南部の湾口から北太平洋に面している。その為、湾の流況は黒潮からの影響を強く受けると考えられる。また、既存研究では高潮に関する研究が行われており、その予測は定置網被害の低減に重要である。相模湾内には平塚海洋観測棟が存在し、GNSS-R 技術に着目する GROWTH プロジェクトを始めとして、科学研究に活用されている。本研究では、相模湾の中でも平塚海洋観測棟の位置する比較的沿岸に近い海域を対象として、短波レーダーと係留部位の観測結果から、その流況特性を考察し、GNSS-R 技術の

海洋観測への応用に貢献することを目標とする。

短波レーダーを用いた既存研究には日向ら(2003)の研究があるが、対象領域は平塚・江ノ島等の沿岸部から離れているため、平塚海洋観測棟付近の流動場の特性については明らかになっていない。一方、2017 年 11 月 1 日から 12 月 18 日にかけて、江ノ島付近、水深 45m 地点において係留ブイによる ADCP 観測が実施された。現在、海上保安庁が保守・運営する短波レーダーは日向ら(2003)の研究で用いた短波レーダーとは異なるものであり、平塚・江ノ島付近の沿岸部も含まれている。そこで、本研究では短波レーダーのデータを ADCP 観測結果と比較することで、その利用可能性と活用手法について考察する。

2．手法

伊豆大島と三浦半島荒崎には海上保安庁が設置した海洋短波レーダー（24MHz）が存在している。観測は 1 時間毎に行われ、取得したデータは空間分解能 1.5km の格子点に内挿され、インターネットを通じて公開されている。

Fig 1　欠損率 10%以下の HF レーダのデータ点（左）と　係留された ADCP 観測ブイ（右、手前）

HF レーダーは海面付近の流速に限定されるが、面的に流速データを取得できる貴重な海洋観測手法であり、活用できれば相模湾内の流れの理解に大きく貢献する。しかしながら、データの品質管理は行われていない。そこで、別途観測されていた係留 ADCP ブイによるデータと比較するこ

とで HF レーダーの精度についての検討を行った。

3．結果

レーダーの流速データの分布を正規分布と仮定して、2σ 区間外のデータを除去した。さらに 25 時間の移動平均をかけたところ、東西流速の時系列に関してレーダとブイデータとの間に高い相関（0.83）が得られた。そのため、日変動よりも短い変動の情報は失われるが、25 時間移動平均を行うことによって相模湾における短波レーダーは湾内の流動場を把握するのに有用なデータセットであることが確認できた。

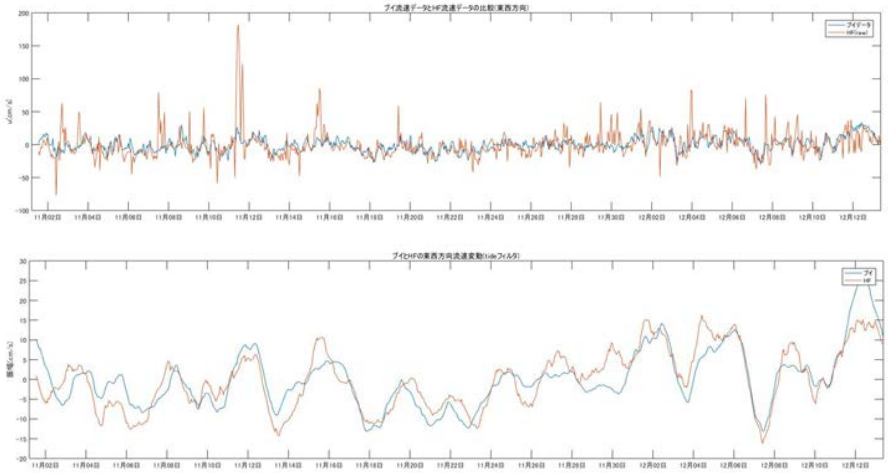


Fig 2 品質管理前（上）と品質管理後（下）のレーダとブイの東西流速観測時系列の比較

4．考察と今後の研究

レーダは品質管理を施せば有用なデータセットであることは確認できたが、観測された数日周期変動の原因は未解明のままである。今後、平塚観測棟等で観測された風データなどを通じて大気の変動との関係性を考察する。また、現状の品質管理の方法に添えば、特徴的な現象として知られる急潮などをノイズとして認識してしまう。そのため、2σ 区間外のデータ以外に異常値が発言する際の一貫したデータの特徴を把握することなどで突発的な大きな流速も解析できるようにするこ

とが考えられる。

最後に、領域モデルの構築であるが、既に海洋モデルを駆動するのに必要な大気強制（気象庁MSM)、潮汐強制（TPXO8)、海洋の初期値・境界値（JCOPE2）は準備されている。利用するモデルは MITgcm あるいは NEMO を検討しているが、HF レーダーの同化に関して先行研究が散見される ROMS の利用も視野に入れ、総合的に相模湾の海況を把握することで、GNSS-R 技術の海洋観測への応用の高度化に貢献したいと考えている。

共同利用研究集会

海洋力学理論の研究会

Workshop on theoretical physical oceanography

研究代表者
北海道大学低温科学研究所
三寺史夫

研究集会の目的

海洋力学はこれまで地球流体力学を中心に発展してきた。しかし海盆スケールの海洋循環場の理論が整理・理解が進んでいくに連れ、近年の海洋力学はより沿岸スケールとの相互作用、高解像で起きている乱流・波との相互作用、大気との相互作用、そして生態系・土砂との相互作用、と一つの理論体系では閉じることの出来ない現象への発展が急速に進みつつある。これまでとは違う研究手法・理論展開が必要となっている一方、個々人で多岐にわたる理論体系の発展の動向・新展開を全て把握することは困難であり、その理論体系の汎用性・特異性に対する議論が不足している。そこで当研究集会では、様々な分野との相互作用を理論的に進めている研究者が集まり、それぞれの研究者が進めている理論体系や高解像度モデル・大気海洋結合モデル・観測データを用いた解析手法を幅広く議論し、新しい海洋力学の理論体系の構築を目指す。

研究集会の概要

研究集会名：海洋力学理論の研究会
日時：平成 29 年 6 月 6 日（火）9:00-17:00
場所：九州大学応用力学研究所 W501

これまでの歴史的変遷とともに未解決なまま宿題となっている海洋力学の課題についての考察を、参加者の一人に具体例を示してもらい全体で討論しながら議論を進めていくという形で研究集会を開催した。研究成果そのものに焦点をしぼらず、研究テーマの発展軸、位置づけを俯瞰的な視点から議論した。今回は、海盆スケールで起きる海洋の循環メカニズムに関する数値モデル・観測・理論の発展について、北太平洋を中心に大気と海洋間の力学過程についての考察、そして海洋の素過程を検証する数値・観測・理論的ツールについて、と３つのテーマを中心にプログラムを構成した。それぞれの具体例として、まず東岸流・１０年規模変動・熱塩循環が選ばれた。その後、海洋波・渦へと話題を移し、議論が進んだ。多岐にわたるテーマが対象となったものの、1 トピックにつき１時間近く時間をかけたことにより参加者間で疑問点を共有することができ、有意義な研究集会となった。

出席者

１４名（参加者名簿参照）

議論テーマとその概要

9:00-9:30　趣旨説明

三寺史夫（北海道大学）・木田新一郎（九州大学）

学会発表とは異なり一つのテーマを十分な時間をかけて議論することで、今後の研究テーマの芽を作り出すことを目的として海洋力学理論の研究会を本年度より開始したことを確認した。お互いの専門を持ち寄り、成果としてまだ結実していない研究テーマを紹介しながら議論を進めていくこととした。

9:30-10:20 Leeuwin Current と海底地形の役割・鉛直構造についての考察

話題提供：古恵亮（JAMSTEC）

Discussion のリード:勝又勝郎（JAMSTEC）

東岸はロスビー波の出発点として役割があり海洋内部循環にとっても重要である一方、その形成要因として大陸棚と JEBAR の役割が未解決である。オーストラリア西岸の Leeuwin Current に着目し、その Barotropic・Baroclinic 構造を決める主要なメカニズムを議論した。Adiabatic な過程の役割が提示されるなか、Bottom Boundary・数値モデルから想定される過程の役割も指摘された。

10:20-10:30　休憩

10:30-12:00　海洋循環におけるエネルギーバランスについての考察

話題のリード：浦川昇吾（気象研）

Discussion のリード: 三寺史夫（北海道大学）

熱塩循環を理解する一つの側面としてエネルギーバランスがあり、海洋大循環モデルを用いて検証が進んでいる。一方、Available Potential Energy の定義の不明瞭な点があることが指摘され、その解決手法について議論が進んだ。また Gravitational Potential Energy を用いる有効性が提示され、Cabbeling のエネルギーとしての側面も討論した。

12:00-13:00　休憩

13:00-13:50　海洋力学の理論ツールについて

話題のリード：大貫陽平（九州大学）

Discussion のリード: 古恵亮（JAMSTEC）

海洋分野において時空間的にゆるやかに変動する場における波動現象を見通しよく扱うツールとして物理学分野で使用されている Wigner 変換を用いた手法が提案された。線形 Shallow water equation をベースに、慣性重力波とロスビー波、とその群速度が導出されることを示し、その有効性が示唆された。海洋分野において用いられてきた手法との違いや新手法ならではの有効性が議論され、他分野における動向も紹介された。

13:50-14:00　休憩

14:00:14:50　北太平洋を中心に大気と海洋間の力学過程についての考察

話題提供：田口文明（東京大学）

Discussion のリード: 木田新一郎（九州大学）

Pacific Decadal Oscillation のメカニズムについて過去の研究をレビューしながら、Kuroshio Oyashio Extention(KOE) が果たす役割について幾つかの仮説が示された。また KOE の変動場がどのように海盆内部へと伝わるのか、Spiciness を用いた議論手法も紹介があり、これまでの亜熱帯域の大気海洋相互作用に加え亜寒帯域で考えうる相互作用について議論が進んだ。

14:50-15:00 休憩
15:00-15:50 海洋波についての考察・大気との比較
話題提供：相木秀則（名古屋大学）
Discussion のリード: 松村義正（東京大学）
地球流体力学についての歴史的役割についての議論、そして大気・惑星・海洋における力学屋の視点の違いなどが紹介された。これまでの海洋波に関する知見を整理しつつ、大気分野で用いられているように、近い将来海洋分野においても活用できる波・エネルギーの解析手法について提案があった。

15:50-16:00 休憩
16:00-16:50 渦度方程式の 3 次元的考察
話題提供：浮田甚郎（新潟大学）
Discussion のリード: 大貫陽平（九州大学）
竜巻の発生や Langmuir 循環といった大気海洋の比較的小スケールの現象には、渦管の tilting process が重要な役割を演じている。大気科学の立場から、渦度方程式に含まれる 3 次元速度勾配テンソルの分解とその幾何学的考察を通じて tilting メカニズムの物理解釈について提案がなされ、海洋現象における同種の問題への適用可能性が議論された。

16:50-17:00 閉会挨拶
木田新一郎（九州大学）
時空間スケールが多岐にわたるテーマを扱った結果、テーマ毎に発展が進んだ検証方法・視点も様々なものを扱うこととなった。それぞれを理解するためには十分な時間の確保が必要となったが、ディスカッションを進めたことで議論を深めることができた。これまで蓄積された地球流体力学を中心とした理論体系に若手から出てくる新しい発想・視点を組み込みつつ海洋力学全体の活性化に繋げていきたい。来年度も、新たなトピックを議論する場として九大・応力研の研究集会を申請することとなった。

発表論文および学会発表
無し

研究組織

研究代表者

三寺 史夫（北海道大学・低温科学研究所・教授）

研究協力者

浮田 甚郎（新潟大学・自然科学系・教授）

田口 文明（東京大学・先端科学技術研究センター・特任准教授）

古恵 亮（海洋研究開発機構・主任研究員）

勝又 勝郎（海洋研究開発機構・主任研究員）

相木 秀則（名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授）

吉川 裕（京都大学・理学部・准教授）

長井 健容（東京海洋大学・学術研究院海洋環境学部門）

松村 義正（東京大学・大気海洋研究所・助教）

浦川 昇吾（気象庁気象研究所・海洋・地球化学研究部・研究官）

所内世話人

木田 新一郎（九州大学・応用力学研究所）

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。

２．開催概要

開催日時：　2017 年 12 月 5 日(火)　午後(14:30～17:30)
　　6 日(水)　午前(10:00～12:15)
開催場所：　九州大学 応用力学研究所西棟 6 階　多目的研究交流室（W601 号室）
参加者：　5 日 34 名
　　6 日 38 名

３．発表概要

研究集会では 8 件の研究発表が行われた。

1 日目の挨拶と趣旨説明の後 4 講演あり、NICT 沖縄センターの杉谷から、愛媛大沿岸環境センターの森本を中心に進めてきた対馬および山口県相島に設置した遠距離海洋レーダ観測において、海上の船舶からのビーコン電波を用いてアレイアンテナ特性を計測した結果が報告された。本来、各チャネルについては、方位によって位相・振幅が変動することはないはずであるが、方位に応じて変化していることが分かり、地物からのマルチパスの影響が示唆されアレイアンテナでの素子アンテナ校正に対して注意が必要なことを示した。次に、琉球大学の渡久地らが、国交省中部地方整備局が伊勢湾に設置した CODAR/SeaSonde レーダの受信データと津波シミュレーションの結果との比較を行った。その結果、海洋レーダの視線方向流速と、津波により励起された湾内副振動のうち 60～90 分のモードについては良い一致を示したのに対し、短周期の 30～40 分のモードは再現できなかった。今後シミュレーションのパラメータの調整に加え伊勢湾内の他のレーダや三河湾のレーダとの比較も有用であろう。宮崎県水産試験場の渡慶次らは、日向灘観測のためのレーダ配備計画について、その目的と必要性を述べ、導入スケジュールを解説した。この整備に先立って実施されている琉球大学のレーダを用いた試験観測についても触れ、ブイとの比較、流速解析などから

その有用性を示した。JAMSTEC むつ研究所の渡邊らは、昨年に引き続き、津軽海峡東部海域観測用に設置した海洋レーダの運用状況について報告した。係留した電磁流速計との比較から、南北成分、東西成分共に海洋レーダの流速が小さいことを示し、大畑局の観測流速の相関が低いという前回の結果に符合することを示した。

1 日目の最後に情報交換の時間を持ち、琉球大学の藤井が、海洋レーダに関する最近の話題として、プロジェクトや免許更新の時期を迎え国内の設置台数がやや減少方向であることを報告するとともに、無線局免許の課題として各地方総合通信局での対応に関する情報を参加者と共有した。また、第 4 回 ORCA(Ocean Radar Conference for Asia-Pacific)を 2018 年 6 月 2～4 日に沖縄県那覇市での開催が決定したことを紹介し、海洋レーダ関係者の参加と協力を促した。

2 日目は 4 件の研究発表があった。琉球大学の久木は、海洋レーダのスペクトルの一次散乱から得られる風向を用いて海上風速の補正方法について述べ、風向によって吹走距離が変化する沿岸域での波浪推算に有効であることを示した。東京理科大の片岡は、浅海域での面的な波浪計測のために海洋レーダを用いることを提唱し、伊勢湾に設置の国交省緒の海洋レーダを対象にシミュレーション実験を行った。2 台のレーダのビーム交差角の影響を定量的に示したことから、今後実データへの適用が期待される。電力中央研究所の坪野は、若狭湾東部海域についての数値モデル構築に際して、その結果と VHF 海洋レーダで観測された流速データとを比較した。互いの流速値は高い相関を持ち、EOF 第一成分は良い一致を見た。今後、湾内流動場と対馬海流との関係を明らかするツールとして有用であろう。JAMSTEC の田中らは、東北沿岸から津軽海峡にかけての数値モデルの構築にあたり、津軽海峡の海洋レーダで観測された流速パターンと比較するとともに、海洋レーダのデータ同化への期待を述べ、その課題について言及した。

最後に、総合討論の時間を持ち、今回の研究集会での議論を総括し、来年度も研究集会を開催することとなった。また、昨日の情報交換でも述べられた、第 4 回 ORCA の日本開催に向けて関係者が協力することが表明された。

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： 2017 年 12 月 5 日(火)午後～6 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 5 日(火)

14:30-14:35　あいさつ・趣旨説明

藤井智史（琉球大）

14:35-15:05　9MHz ビーコン局を用いたアンテナ特性の測定結果

雨谷純、杉谷茂夫（NICT)、森本昭彦（愛媛大)、岩井宏徳（NICT)、藤井智史（琉球大)、滝川哲太郎（長崎大)、市川香（九州大)、久島萌人（名古屋大）

15:05-15:35　津波シミュレーションを用いた海洋レーダによる伊勢湾での津波観測の検証
渡久地優、藤井智史（琉球大）、日向博文（愛媛大）
15:35-16:05　水産業への活用を想定した宮崎県の海洋レーダ導入計画について
渡慶次力（宮崎水試）、藤井智史、大城弘貴、池原日向（琉球大）
16:05-16:35　津軽海峡東部の海洋短波レーダーデータと流向流速計係留データの比較（その２）
佐々木建一、山本秀樹（JAMSTEC むつ）、橋向高幸（マリンワークス）、脇田昌英、高田信、渡邉修一（JAMSTEC むつ）
16:35-17:15　情報交換

12 月 5 日(火)
10:00-10:30　海洋レーダによる沿岸海上風補正
久木幸治（琉球大）
10:30-11:00　伊勢湾における海洋レーダに基づく面的波浪観測と検証
片岡智哉（東京理科大）
11:00-11:30　若狭湾東部の海洋レーダで得られた流速の数値モデルによる再現性
坪野考樹（電中研）
11:30-12:00　東北沿岸・津軽海峡における高解像度モデリング
田中祐介、石川洋一（JAMSTEC）
12:00-12:15　総合討論

研究成果報告書

日本海及び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

平成 29 年 12 月 6 日（水）－7 日（木）
九州大学応用力学研究所

「日本海及び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

研究代表者: 万田敦昌(三重大学)

2017 年 12 月 6 日から 7 日にかけて、九州大学筑紫キャンパス応用力学研究所東アジア海洋大気環境研究センターにおいて、「日本海及び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。今回は、大学および試験研究機関を中心に 45 名が参加し、合計 15 件の講演があった（講演内容は下記プログラム参照)。非常に活発な議論が行われ、時には講演時間を超過することもあった。

例年に違わず、日本海及び日本周辺海域に関する最新のモニタリング結果と数多くの斬新な研究成果が発表され、講演者だけでなく参加者全員にとって有意義な会合となった。それに加え今回は、海況モニタリングに関する講演だけでなく、数値シミュレーションやデータ同化といった、モニタリング結果を活用する側の講演も行われたことにより、データの相互比較やデータの有効利用といった観点からも非常に活発な議論が交わされ、参加者の情報交換・交流といった観点からも実り多い会合となった。

今後とも、観測データに基づいたモニタリングやモニタリング結果を活用した様々な手法により、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に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いただいた東アジア海洋大気環境研究センターの広瀬直毅教授をはじめとする関係各位に深甚なる謝意を表する。

日本海及び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

[日　時]

２０１６年１２月6日（水）　～　１２月７日（木）

[場　所]

九州大学応用力学研究所　６階多目的交流室（W601）

[研究代表者]

万田　敦昌（三重大学）

[所内世話人]

広瀬　直毅（九州大学）

プログラム

１２月６日（水）

13:20 ～ 13:30　趣旨説明

13:30 ～ 13:50 宮崎県における漁海況調査の現状と今後
渡慶次力（宮崎県水産試験場）

13:50～ 14:10　沿岸漁業のスマート化に関する福岡県の取り組み
池浦繁・秋本恒基（福岡県水産海洋技術センター）・広瀬直毅（九大応力研）

14:10～14:30　対馬海峡に達する栄養塩の起源

高山勝巳・広瀬直毅(九大応力研)

休憩

14:45～15:05　山陰沖における動物プランクトン分布とカタクチイワシ卵・仔魚の輸送経路－海況同化モデルの流動場を用いた粒子追跡実験－
宮城みき（長崎大水産），滝川哲太郎（長崎大院水産・環境），小針統（鹿大水産），渡辺俊輝（山口水研セ），広瀬直毅（九大応力研），鎌野忠，秦一浩（水研機構水大校），山田東也（水研機構西水研）

15:05～15:25　山口県山陰沿岸定線 ADCP 往復観測データを用いた潮流調和定数の推定
都倉雄太（長崎大水産），滝川哲太郎（長崎大院水産・環境），森本昭彦（愛媛大沿岸セ），鎌野忠，秦一浩（水研機構水大校）

15:25～15:45　2016-2017 年に観測された富山湾の流動変動
福留研一（富山高専）・千葉元（富山高専）

休憩

16:00～16:20　解像度 2km 日本沿岸モデルを用いた沿岸滞留時間の推定
坂本圭、辻野博之、中野英之、浦川昇吾、豊田隆寛、山中吾郎（気象研究所 海洋・地球化学研究部）

16:20～16:40　潮流が励起する不安定による河川プリュームの制御機構
岩中祐一・磯辺篤彦(九大応力研)

16:40～17:00 日本海盆北東部から大和海盆における日本海固有水の溶存酸素量の近年の顕著な減少
中野俊也・笹野大輔・北川隆洋・永井直樹・北村佳照（気象庁）・青山道夫（RCGC/JAMSTEC, IER/福島大）

懇親会

１２月７日（木）
9:40～10:00　台風による対馬海峡での高潮位イベントに起因する日本海の数日周期変動
伊藤雅・井桁庸介　（水研機構日水研）

10:00～10:20　Estimation of ocean thermal energy potential in the Aguni Basin
劉天然（九州大学　応用力学研究所）,広瀬直毅（九州大学応用力学研究所）

10:20～10:40　風洞水槽における１次と２次循環流の規則波に対する応答ー(a) 順風と(b) 逆風のケースにおける流速の応答ー
水野　信二郎（応力研元教員）

休憩

10:50～11:10　冬季の日本海と温帯低気圧間における sub-weekly scale の相互作用
趙寧・磯辺篤彦（九大応力研）

11:10～11:30 日本周辺海域を含む北太平洋の波浪推算とブイデータ比較
久木幸治（琉球大学理学部）

11:30～11:50 LGM 以降の津軽海峡からの親潮流入に起因する日本海混合期の形成について
磯辺篤彦(九大・応力研)

11:50～12:20 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

国立環境研究所　森野悠

1. 目的

応用力学研究所の大気環境モデリング研究グループは、世界的に見てもアクテイブに研究を進める研究グループの一つであり、モデル研究と平行して、３波長のレーザーレーダーを導入して黄砂と大気汚染粒子の同時計測を開始している。福岡は特にアジア起源の黄砂・大気汚染の影響が深刻な地域であり、応力研グループによる数値モデルと観測データを統合した解析や、多波長データ同化による黄砂の粒径分布の推定は、未だ十分に明らかにされていない大気中黄砂やエアロゾルの物理特性に関する科学的ブレークスルーをもたらすとして、国内外から大きく期待されている．応力研以外の研究グループにより推し進められている最前線の知見を、アジア域の化学輸送モデル研究のコミュニティで共有すると共に、各分野がリンクし新たなブレークスルーを生む機会を設けることは、アジア域の化学輸送モデル研究の推進やモデルの精緻化にとって非常に重要である．

2. 研究集会の概要

場所　九州大学応用力学研究所　W601 多目的研究交流室
日時　平成２９年１２月１日　１３：３０-１８：００、　２日９：００-１２：００

3. 研究成果

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、１６題の講演発表があった。関係者を含めると３５名の参加があった。２日間の研究集会の内容としては、「モデル研究と連携する野外観測」、「大気汚染質の排出量の推計とソースリセプター解析」、「領域化学輸送モデルを用いた越境大気汚染の現状と問題点」、「データ同化モデルを用いた PM2.5 と　AOD の研究の進展」、「今後の大気観測とモデリングの展望」などの最新の成果の報告され、本研究会が化学輸送モデルを用いた大気環境モデリングのコミュニテイにおいて大きな貢献を果たしていくことが確認された

以下に研究集会のプログラムを掲載する。

資料１

「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」
場所　九州大学応用力学研究所　W601 多目的研究交流室

日時　平成２９年１２月１日　１３：３０-１８：００、　２日９：００-１２：００

プログラム

12 月 1 日

13:30 - 13:40 研究集会趣旨説明　　鵜野伊津志、森野悠、

13:40 茶谷 聡（国立環境研究所）　2013 年夏のオゾン濃度再現性と感度解析

14:05 永島 達也（国立環境研究所）　東アジアの地表オゾン濃度再現性に関するモデル間相互比較 : MICS Asia III の初期結果

14:30 山地 一代（神戸大学）　モデル間相互比較研究（J-stream）における粒子状物質の再現性について

14:55 櫻井 達也（明星大学）二次粒子生成に対する NH_3 排出構造の不確実性評価

15:10 堀江 洋佑（公財 ひょうご環境創造協会）兵庫県における大気質予報モデルの取組について ＋II 型モデル G の紹介

15:35-15:50 休憩

15:50 浦西 克維（大阪大学/奈良県くらし創造部景観・環境局）大気質モデルを用いた 2010 年度の日本における硝酸塩濃度に対する発生源寄与解析

16:15 森川 多津子（日本自動車研究所）　2015 年の PM2.5 濃度の低下と気象要因の影響について

16:40 鵜野 伊津志（九州大学応用力学研究所）　速報「PM2.5 越境問題は終焉に向かっているのか？」は本当にそうなるか？

17:05 森野 悠（国立環境研究所）　大気シミュレーションによる凝縮性ダストの寄与評価

17:30 猪股弥生（金沢大学）北東アジアにおける 1-ニトロピレン二次生成量評価

2 日午前

9:00　原 正之（埼玉県環環境科学国際センター）　総観規模気象場の分類の自動化について

9:25　早崎 将光（日本自動車研究所）　数値モデル比較用の格子点化 PM2.5 測定値

9:50　王 哲(九州大学応用力学研究所) Importance of dust and sea salt heterogeneous reactions on nitrate deposition over East Asia

10:15-10:30 休憩

10:30 北山 響、森野　悠（国立環境研究所）　福島原発からの放射性セシウム輸送沈着過程におけるモデル相互比較

10:55　弓本桂也（九州大学応用力学研究所）　「エアロゾル版再解析プロダクト - The Japanese Reanalysis for Aerosol (JRAero)」

11:20 常松 展充(東京都環境科学研究所) WRF-CMAQ による気候変化シミュレーション等について

11:45-12:00 議論

海洋・海岸における波動の解析モデルの応用

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

申請者らは，平成 20 年度より，九州大学応用力学研究所の共同利用研究として，内部波を含む海洋波動の非線形問題に関して継続して研究を行なってきた．この成果を踏まえ，様々な視点から海洋・海岸における波動問題に関する研究を行なっている研究者らとともに，平成 27 年度及び平成 28 年度に，応用力学研究所共同利用研究集会を開催した．その際，質疑応答が大変活発に行なわれ，本研究集会の重要性が，参加者によって強く認識された．そこで，波動モデルに関する最新の研究成果を踏まえ，それぞれの波動現象に対して個別に開発されてきたモデルが有する，利点や問題点といった情報を改めて共有することを目的として，平成 29 年度に，応用力学研究所共同利用研究集会を開催した．本研究集会による成果は，申請者らの今後の応用力学研究所の共同利用研究に活かされるのみならず，海洋学並びに海岸工学の両者の分野において，様々な波動問題に活用されるモデル開発のための重要な基礎資料になると考えられる．

本研究組織は，本研究集会を経て有機的に連携し，それぞれのモデルが持つ利点や問題点を整理し，一つの統合的なモデルの開発を目指している．そのために，本研究集会では，海洋波動及び海岸波動の研究者のみならず，多相流体を含む様々な流体を対象とした数値モデルの開発者や，実験的に研究を進める研究者，そして，応用物理学者並びに数学者をその参加者に迎え入れ，多様な角度から流体の波動問題に関して議論した．また，懇親会のみならず，宿泊形式も取り入れ，忌憚のない詳細な議論も行なうことができた．

本研究集会は，海洋・海岸における波動をとりまく多彩な分野の研究者が，互いの情報を交換し，個々の研究の最前線やその拡がりを理解することで問題意識を共有するとともに，従来のモデルを俯瞰し，更なる発展や展開のためのアイディアを生み出す場となっている．

研究集会の内容

本研究集会は，2017 年 12 月 16 日（土）午後～17 日（日）午前に，九州大学応用力学研究所の多目的交流室（W601）において開催された．なお，研究集会参加者の主メンバが土木学会海岸工学委員会波動モデル研究小委員会委員であったため，主催を土木学会海岸工学委員会とした．ただし，本委員のメンバは，九州大学応用力学研究所，大阪市立大学及び慶應義塾大学の，物理学，応用数学，並びに，数学の研究者を含んでおり，九州大学応用力学研究所で開催するに相応しい研究集会となった．すべての発表に対して，質疑応答が活発になされた．座長は，研究代表者が務めた．

まず，第 1 日の第 1 セッションにおいて，波動のシミュレーションに関する 2 件の口頭発表及び質疑応答が行なわれた．すなわち，波動モデルによる航走波の造波手法の検討に関する発表，そして，非構造デカルト格子シミュレータを用いた都市沿岸域への津波伝播解析に関する発表がなされた．

次に，第 2 セッションでは，波動の解析法に焦点が当てられ，2 件の口頭発表及び質疑応答が行なわれた．すなわち，SWE-SPH 法による海洋波と沿岸構造物の相互作用と，カオスの決定論的描像のためのストレンジアトラクタの解析的表現に関して発表された．

第 3 セッションは，波動をとりまく沿岸環境を話題とする 2 件の口頭発表及び質疑応答が行なわれた．すなわち，萩市菊が浜における気候変動の影響を考慮した汀線変化と，内湾浅海域における懸濁物質濃度の応答特性に関する発表が行なわれた．

第 1 日には，懇親会が開催され，水の波や，流体運動に関する様々な対象をとりあげてきた理学・工学分野の研究者間で，忌憚のない議論が行なわれ，宿泊先において，更に詳細な議論が展開された．

そして，第 2 日の第 4 セッションでは，非線形長波の解析に関して議論された．まず，有明海の共振潮汐の非線形性に関する発表があり，これは，諫早湾潮受け堤防の水門問題とも関連するテーマであり，長周期波のみならず，社会的問題に関する質疑応答も活発に行なわれた．次に, KdV-Burgers 方程式の格子ボルツマン法による数値計算に関する口頭発表及び質疑応答が行なわれた．

更に，第 5 セッションでは，多層と波動と銘打って，2 件の口頭発表及び質疑応答があった．すなわち，地形上を伝播する内部波の数値解析と，多層波動方程式の固有モードによるグリーン関数と散乱問題への適用に関する研究成果が論じられた．

以上の発表内容の概要を含む，本研究集会のプログラムを以下に示す．

九州大学応用力学研究所　共同利用研究集会

「海洋・海岸における波動の解析モデルの応用」

日　　時　2017 年 12 月 16 日（土）～17 日（日）
場　　所　九州大学応用力学研究所　多目的交流室（W601）
主　　催　土木学会海岸工学委員会

2017 年 12 月 16 日（土）

開会挨拶（13:00～13:10）

柿沼太郎（土木学会海岸工学委員会波動モデル研究小委員会委員長）

第 1 セッション －波動のシミュレーション－

「波動モデルによる航走波の造波手法に関する検討」（13:10～13:45）

平山克也（港湾空港技術研究所・海洋研究領域）

高度に利用された港湾の静穏度をより的確に把握するために，海岸工学分野で提案された従来の造波モデルを参考としてより汎用性の高い航走波造波手法を開発し，港内波浪変形計算に多用されるブシネスクモデルへ導入した．本発表では，この概要と計算精度について議論するとともに，独自に実施した造波実験の様子を紹介する．

「非構造デカルト格子シミュレーターを用いた都市沿岸域への津波伝播解析」（13:45～14:20）

新谷哲也（首都大学東京・都市環境学部）

埋立地や運河等で複雑な地形を有する都市沿岸域において津波の伝播解析を効率良く実行するために，非構造デカルト格子に基づく数値シミュレーターを津波解析に適用した．都市沿岸域の複雑地形は，計算格子を局所的に高解像度化することで再現した．過去の津波を再現した計算結果は，既往の研究と良好な一致を示した．

第 2 セッション －波動の解析法－

「SWE-SPH 法による海洋波と沿岸構造物の相互作用に関する研究」（14:30～15:05）

陸田秀実（広島大学大学院・工学研究院）

本研究では，SWE-SPH 法を用いて，浅水波方程式を粒子法で離散化し，海洋波の伝播，複雑地形における波の遡上，海洋構造物との相互作用問題に適用した．まず始めに，甚大な被害があったアチェ域の津波氾濫シミュレーションを行い調査結果と概ね良い一致を示した．次いで，複数の洋上風力発電ファームと不規則波の相互作用に適用した．

「ストレンジアトラクターの解析的表現－カオスの決定論的描像－」（15:05～15:40）

松岡千博（大阪市立大学大学院・工学研究科）

ナヴィエ・ストークス方程式から空間変化を取り去って力学系とし，さらにそれを離散化した式にエノン写像と呼ばれるものがあり，乱流の解析に用いられてきた．この写像の解集合はエノンアトラクターと呼ばれるストレンジ（カオス）アトラクターを持つことで知られている．このストレンジアトラクターは微分できないフラクタル集合だが，本研究でこれを記述できるような整関数を見出した．この関数を用いると，エノンアトラクターが精密に復元でき，カオスが関数として記述できることを示す．

第 3 セッション －沿岸環境の解析－

「萩市菊が浜における気候変動の影響を考慮した汀線変化」（15:50～16:25）

白水　元・朝位孝二（山口大学大学院・創成科学研究科）

萩市菊ヶ浜海岸の気候変動への適応策の検討のために，波浪観測データを整理して各年の確率密度分布の変化を求め，有義波高の発生確率の推移を予想した．また，平山の拡張ブシネスク方程式，渡辺らの漂砂量公式を組み合わせたプロセスベースドモデルを構築し，将来予想される暴浪イベント後の汀線変化を予測した．

「内湾浅海域における懸濁物質濃度の応答特性に関する研究」（16:25～17:00）

押川英夫（佐賀大学大学院・工学系研究科）

有明海諫早湾内の浅海域を対象に，懸濁物質濃度の代表値と考えられる濁度の応答特性について，現地観測に基づく検討を行った．その結果，底面付近の濁度には風波が著しく影響していることが示されるとともに，砕波とそれに伴う乱れの増加も寄与している可能性が示唆された．

懇親会

ナイトセッション －ディスカッション－

2017 年 12 月 17 日（日）

第 4 セッション －非線形長波の解析－

「有明海の共振潮汐の非線形性について」（10:00～10:35）

田井　明（九州大学工学研究院・環境社会部門）

有明海は日本最大の潮汐振幅が生じるため，その非線形性も大きい．そのことが諫早湾干拓事業の影響に関する学術面の議論を複雑にしてきたとも言える．長周期波動である潮汐の非線形性について有明海を例に論じる．

「KdV-Burgers 方程式の格子ボルツマン法による数値計算」（10:35～11:10）

辻　英一（九州大学・応用力学研究所）

KdV-Burgers 方程式の格子ボルツマン法による数値スキームを提案した．KdV-Burgers 方程式は，非線形性，粘性，そして分散性を同時に含む非線形モデル方程式である．分散性はより高次の微分項を含むので，数値スキームとしてはより複雑になるが，従来からのモーメントによる方法を取り入れることにより，汎用的なスキームになる．

第 5 セッション －多層と波動－

「地形上を伝播する内部波の数値解析」（11:20～11:55）

柿沼太郎（鹿児島大学学術研究院・理工学域）

外洋を伝播していた内部波が，陸棚上に到達する場合のあることが知られている．ところが，摂動法に基づく鉛直積分型波動方程式系は，水域の条件によって適用性が異なる．そこで，本研究では，変分原理に基づく非線形波動方程式系を基礎方程式系とする数値モデルを適用し，深水域と浅水域の両者を含む水域を伝播する内部孤立波の挙動を調べた．

「多層波動方程式の固有モードによるグリーン関数と散乱問題への適用」（11:55～12:30）

金山　進（日本大学・工学部）

準 3 次元の線形波動場に対する多層波動方程式の精度確認の一環として，その分散関係式から得られる固有ベクトル系の特性を検討してきたが，そこから派生した解析方法の一つとして固有ベクトル系によるグリーン関数の構成とステップ地形による鉛直 2 次元波動散乱問題への適用例を紹介する．

閉会挨拶（12:30～12:40）

辻　英一（九州大学応用力学研究所共同利用研究集会世話人）

共同利用研究集会
「海洋乱流の観測およびモデリング研究」
“Workshop for observational and modeling studies of ocean turbulence”

研究代表者　吉川　裕　（京都大学大学院　理学研究科）

１．目的と経緯

地球温暖化や海洋酸性化など、緩やかではあるが持続的な環境変化に果たす海洋の役割は大きい。海洋の役割を正しく評価し、気候を精度よく予測するために、海洋モデルや大気海洋結合モデルの高精度化が取り組まれているが、十分な予測信頼性を得るには至っていない。海面境界過程や混合過程にかかわる海洋乱流現象の理解が不十分であり、その影響をモデルにうまく組み込めていないことが、その原因の一つである。

本研究集会では、上記の問題解決を見据え、海洋乱流の観測やモデリングなどに携わる研究者が集い研究成果を発表することで、互いの知識や疑問点を共有し、海洋乱流現象の理解を深めるとともに、今後の研究の展開を模索することを主眼としている。2010 年度より共同研究として開始したが、研究集会のスタイルが定着してきたことを踏まえ、2016 年度より研究集会の枠で実施してきた。今年度は 8 度目の研究会となった。

２．研究集会の概要

今年度は 2018 年 3 月 19 日に応用力学研究所で開催された。出席者数は記帳に基づくと 27 名（九大 14、京大 5、海洋大 2、ＪＦＥアドバンテック 2、東大、海洋研究開発機構、水産工学研究所、東北水産研究所それぞれ 1）であった。プログラムの詳細は末尾に記す。講演の概要は以下のとおりである。

最初の講演では、水産工学研究所の古市博士が、海底付近の懸濁粒子濃度（体積%）と海底乱流の関係性に関する報告がなされた。LISST と呼ばれる測器で計測した懸濁粒子濃度の分布と、乱流混合を反映する密度成層の分布と比較すると、懸濁粒子濃度分布と密度分布の関係はいくつかのパターンに分類されること、さらに対応する数値実験を行うことで、いくつかのパターンに分類される要因の一つとして、潮汐流の時間変化が挙げられることを報告した。次に海洋研究開発機構の古島博士は、沖縄トラフにおける熱水噴出孔周辺で計測された乱流に関する報告を行った。海底に設置された ADCP は、散乱体が潮汐に起因した乱流により周期的に巻き上げられている様子を示唆していた。そこで乱流微細構造プロファイラーを用いて同海域の乱流を直接計測したところ、熱水噴出に起因すると思われる乱流も計測さ

れた。これらの結果は、同海域での乱流が潮汐による乱流混合、(潮汐周期で影響を受けた)熱水噴出による乱流混合、熱水噴出による乱流混合の潮汐による移流、などの現象が卓越していることを示唆し、同海域の海底資源開発には、これらの現象のより詳細な解明とそれに基づく環境影響評価が必要であるとの報告がなされた。次に九州大学の遠藤博士は、東シナ海陸棚で計測された周期 10 分程度の内部波列に関する報告を行った。このような内部波が同海域に存在することは過去の観測により知られていたが、今回の観測により、内部波は振幅が最大 10m 程度にも及ぶこと、約 1 日周期で観測海域(東シナ海陸棚域)に到来すること、到来方向は北東から南東に変化すること、位相速度は 1.1-1.4m/s であること、内部波の間隔は不規則であったことなど、従来の観測では捉えられなかった詳細な様子を明らかにすることに成功した。続いて九州大学の堤博士は、黒潮のような強流がトカラ海峡における海山群を通過する際に形成する強い乱れに関する研究成果を紹介した。観測では $10^{-6}kgm^2/s^3$ を超える強い乱流散逸率と反流が海山の背後の亜表層で捉えられた。この強い混合により、水質が変質していく様子も捉えられており、同海域の混合が北西亜熱帯域での水質分布にも影響を与えていることを示す成果であった。また、海山で生成された内部波が下流に伝播している様子も捉えられ、これを MITgcm を用いた理想化数値実験で再現したところ、観測結果と整合的な結果が得られ、その内部波が乱流混合に果たす役割の詳細な解明が今後に期待されるものであった。午前中最後の講演では、東京海洋大学の山崎博士から乱流と低次生態系に関する話題が提供された。これまでの観測により海水中のクロロフィル濃度分布は変動が大きいことが明らかになっており、その変動の効果を加味した低次生態系モデル（NPZD モデル）を構築したとの報告であった。そのモデルでは grazing 関数に対する依存性が大きく、その関数形によっては現実的な定常解が得られないが、適切な関数形を採用すれば現実的な解が得られること、この関数を用いればこれまでの観測から明らかになってきた外洋域の生態系の多様性をも再現できること、などの報告がなされた。

昼食を挟んで午後は、東京海洋大学の吉田博士に二重拡散対流に関する基調講演をして頂いた。Perpetual Salt Fountain（熱伝導性の良いパイプを深層にまで通せば深層水がパイプ中を自励的、永続的に湧昇しうる現象、Stommel et al. 1956）を契機として始まった二重拡散対流（熱と塩分の拡散率の違いに起因する対流、Stern 1960）の、特性（密度フラックスやエネルギー収支など)、もたらされる混合の強さ（拡散係数)、それを決めるパラメター、そしてその効果をパラメタライズする方法などに関する、理論的・実験的研究の歴史が体系的かつ丁寧に紹介され、今後の研究の発展の礎となる内容を講義していただいた。続いて九州大学の大貫博士は、内部波同士の弱い相互作用（弱非線形乱流）に関する理論についての講演を行った。海洋中の深層混合をもたらす機構の一つとして着目されているＰＳＩは、内部波同士の共鳴によりエネルギーが小スケールにカスケードする機構であるが、その

共鳴によるエネルギーカスケードを記述する方程式（kinetic equation）は単色波では破綻するという問題があった。そこで、力学的に相似な（簡単な）強制振動の問題を取り上げて、その統計的記述を行うことで上述の問題の原因を明らかにするとともに、ＰＳＩに関してはスペクトルのヒステリシスを考慮することでこの問題を解決できること、その結果これまで存在していたＰＳＩに関する二種類の理論を統一できることを報告した。次に京都大学の小田氏は、中規模渦と深層流の関係性に関する数値実験結果の紹介を行った。傾圧不安定により生成された中規模渦は、海洋深層の海水を水平に混合する結果、等渦位線上を渦位の小さい方を（北半球では）右に見る流れを生成することが知られている。このような渦に伴う深層流が太平洋のような広い海域でどの程度生じうるのかを、数値実験を行って調べたところ、地形が赤道をまたぐような渦位の等値線が閉じない場合には、中規模渦が同程度でも深層の流れはほとんど形成されないことを紹介した。最後に京都大学の藤原氏は、ラングミュア循環と呼ばれる吹送流と深水波の相互作用により生じる循環に関する数値実験結果の報告を行った。全格子を可変長とする新たな数値模型を構築し、深水波の振幅を従来の模型より大きくした実験を行った結果、これまで良く調べられていた波が流れに影響を及ぼすだけでなく、流れが波にも影響を与え得ること、そのため従来は無視されてきたラングミュア循環の生成機構（CL Ｉ機構）も重要となる可能性があることを示した。

３．おわりに。

以上の話題は、海底から深層そして表層まで、また対象も海洋中での窒素やリンなどの物質循環から海洋熱塩大循環まで、多岐にわたるものであるが、いずれも海洋中の乱流現象に起因するという点で共通である。海洋乱流は異なる文脈で議論されることが多いが、乱流をキーワードとして集まることで、より力学に踏み込んだ議論ができる。今年度の研究会においても、上述の話題提供とその後に行われた活発な質疑応答や議論により、研究会の趣旨は十分に果たすことができた。また、これまでの断片的な知識の整理や、今後の研究の方向性を考える上で非常に有意義なものであった。今回も、研究を始めたばかりの院生からその道のトップランナーである年長者まで幅広い年代の参加者による忌憚のない議論を可能とするこのような研究会が、海洋乱流のコミュニティーを形成・維持にも非常に有効であることも確認できた。なお、この研究会は来年度も継続してゆくが、新たな研究者・学生の参加を促すために定期的に開催会場を変更すること、そのため来年度は他大学（東京大学大気海洋研究所）の共同利用研究に申し込むことも確認された。九州大学応用力学研究所のこれまでの支援に感謝するとともに、海洋乱流研究の基幹的研究所の一つである応用力学研究所で再び開催する際にはこれまでと同様のご支援をお願いする次第である。

---------- プログラム ----------

2018年3月19日

08:55 - 09:00　趣旨説明
　　吉川裕（京大理）

09:00 - 09:40　海底混合層近傍の懸濁粒子の動態に関する現場観測
　　古市 尚基(水産工学研究所), 東博 紀, 杉松 宏一, 牧 秀明, 越川 海, 宇田川 徹, 遠藤 次, 大村 智宏

09:40 - 10:20　VMP-X（投下式乱流微細構造プロファイラー）を用いた沖縄トラフにおける乱流計測
　　古島 靖夫（海洋研究開発機構), 東 博紀, 福原 達雄, 松田 健也, 古市 尚基, 山本 啓之, 福島 朋彦

10:20 - 11:00　東シナ海陸棚縁辺部で観測された短周期内部波列
　　遠藤 貴洋（九大応力研), 堤 英輔, 松野 健, Chang-Su Hong, Gyu-Nam Baek

11:00 - 11:10　休憩

11:10 - 11:50　黒潮と海山の相互作用から生じる流れと乱流の観測と数値実験
　　堤 英輔（九大応力研), 松野 健, 長谷川 大介, 千手 智晴, 中村 啓彦, 郭 新宇

11:50 - 12:30　Application of planktonic closure models to 1D and 3D hydrodynamics models
　　山崎 秀勝（東京海洋大）

12:30 - 13:20　昼食

13:20 - 14:20　【基調講演】二重拡散対流と乱流混合
　　吉田 次郎（東京海洋大）

14:20 - 15:00　弱非線形乱流の理論的基礎とPSIへの応用
　　大貫 陽平（九大応力研）

15:10 - 15:50　大洋規模の深層循環に海底地形と中規模渦が与える影響に関する数値実験
　　小田 悠介（京大理), 吉川 裕

15:50 - 16:30　波浪・乱流相互作用の研究のための鉛直可変格子自由表面モデルの開発
　　藤原 泰（京大理), 吉川 裕, 松村 正義

16:30 - 17:30　総合討論

（研究集会）

非線形波動研究の新潮流 -理論とその応用-

研究代表者　　京都大学情報学研究科　**辻本　諭**

研究集会の目的

非線形波動の研究は，その源流ともいえる流体現象の理解にともない，幅広い分野を取り込みながら，現在の社会基盤を支える重要な分野へと展開してきた．その研究対象は，海洋や大気の流れなどの物理現象にとどまらず，生命動態，渋滞等の社会現象，情報学におけるアルゴリズムやネットワークなど幅広い分野に広がっている．特に，理論研究と実験研究が密接に連携をとり，新しい分野との関連性を見いだすことで，より豊かで多彩な非線形波動研究へと進展してきた．

本研究集会では，物理，数学，工学，情報などの多彩な分野から，現象論や数理的研究に関する研究発表を幅広く募り，最先端の研究に現れる種々の現象とその背後にある普遍的原理について様々な分野の立場から議論することで，非線形波動研究の深化とその新たな展開を目指す．2016 年度に応用力学研究所で開催された研究集会「非線形波動研究の現状–課題と展望を探る–」に引き続き，研究集会が「非線形波動」をとりまく様々な分野の研究者が互いの情報を交換し，個々の研究の最前線を理解することで問題意識を共有するとともに，更なる発展や新しい展開を生み出す場となるようにしたい．本研究集会の趣旨である，異分野の相互作用による研究の促進のためには、共同利用研究拠点である応用力学研究所での研究会開催がふさわしいものと考えられる．

なお、本研究集会は日本応用数理学会応用可積分系研究部会との共催であった。

成果の概要

本研究集会は、平成 29 年 11 月 9 日から 11 月 11 日までの３日間にわたり九州大学筑紫地区筑紫ホール (C-Cube 1 階) にて開催され、特別講演３件と一般講演２７件（口頭発表１３件およびポスター発表１４件）が行われた。

特別講演では３名の講演者を選定して依頼を行った。まず、数理に関する話題として、

- Quasi-Hermite polynomials, Quadrature formulas, Hausdorff-type Diophantine equations

という講演が行われ、準古典エルミート多項式、数値解析学を中心として古くから研究されてきたガウスの矩形求積公式 (quadrature formula) および Hausdorff の 不定方程式系との関係について、最新の研究動向も交えて概説がなされた。また、数理物理と物質・材料への最近の海洋波の非線形相互作用に関する話題として、

- 製造プロセスにおける数理的研究の現状と数学と物質・材料の連携、更なる数学連携の展開について

という講演が行われ、製鉄プロセスにおける数学連携について、物質・材料科学系分野の未解決問題である「結晶群から対称性の数値指標を取り出す」、「材料のマクロな特性を決定する重要因子である結晶格子の乱れを記述する」、「ミクロ (離散) とマクロ (連続) を合理的・明示的に繋ぐための階層構造の仕組みを記述する」ための取り組みを、交通流等の材料以外の事例も交え解説があり、多角的な議論が加えられた。さらに、流体力学に関する話題として、

- 3 次元津波シミュレーションと可視化技術

という講演が行われ，3 次元数値流体力学ツールが海岸・海洋工学分野において利用されつつあり、3 次元津波シミュレーションに関する研究事例と計算結果の可視化技術について報告がなされた。

これら特別講演の内容は、非線形現象の数理的手法の発展が従来の分野にとどまらず，数学の古典的な問題・製鉄プロセス・津波対策への啓蒙活動など幅広い分野に応用できることを示すものであり、非線形波動研究の最新の動向に関する興味深い内容であった。

ポスターセッションを含む一般講演においては、特異点閉じ込めと代数的エントロピーとの関係，古典直交多項式に関する報告および，箱玉系を含めた超離散系からパンルヴェ方程式，数え上げ数学に関する話題まで、非線形波動研究の新潮流といえる多彩な内容の報告が行われた。また，講演後においても分野の垣根を越えた活発な議論が交わされ、さらなる研究の進展が期待される。

本研究集会は、物理・数学の話題から工学・情報の応用に至る幅広いテーマを扱うこと、3 件の招待講演を除き、講演は公募によるもので自由に発表できることが大きな特色である。全体を通して、幅広い分野での最先端の研究について、多角的な視点から議論することで、非線形波動研究の新しい動向を

見いだすという当初の目的は達成できたものと思われる。「非線形波動」研究のような、様々なテーマが密接に関連しあう分野では、本研究集会のような場の存在が極めて重要である。本共同利用研究集会を実現させていただいた九州大学応用力学研究所に対して、参加者を代表して深く感謝申し上げたい。

講演概要

11 月 9 日（木）

○間瀬崇史 (東京大), ウィロックス・ラルフ (東京大), ラマニ・アルフレッド (IMNC, University of Paris VII & XI), グラマティコス・バジル (IMNC, University of Paris VII &XI)
特異点閉じ込めと代数的エントロピー I
平面上の写像の特異点のパターンに基づいて、写像の代数的エントロピーが容易に計算できるような手法を特異点閉じ込めを通過する写像の場合に紹介する。

○ Ralph WILLOX (東京大), 間瀬崇史 (東京大), ラマニ・アルフレッド (IMNC, University of Paris VII & XI), グラマティコス・バジル (IMNC, University of Paris VII &XI)
特異点閉じ込めと代数的エントロピー II
「特異点閉じ込めと代数的エントロピー I」の続きで、平面上の写像の特異点のパターンに基づいて、写像の代数的エントロピーが容易に計算できるような手法を特異点閉じ込めを通過しない写像の場合に紹介する。

澤正憲（神戸大）
[特別講演] Quasi-Hermite polynomials, Quadrature formulas, Hausdorff-type Diophantine equations
一変数多項式の積分を数直線上の有限個の点での関数値の重み付き和で表す公式を，矩形求積公式 (quadrature formula) といいます．Gauss の名を冠する公式があるように，QF の存在性および分類の問題は，準直交多項式 (quasi-orthogonal polynomial) の零点の解析と並行して，数値解析学を中心として古くから研究されてきました．一方，代数的組合せ論などの分野では，ある種の極値性を有する QF の点配置をデザイン (design) と称し，その幾何的特性の研究が盛況です．本講演では，特にガウス積分に的を絞り，準エルミート多項式の零点と矩形求積公式，さらには Hausdorff (1909) に因んだ不定方程式系との関係について概説します．そのうえで，Hausdorff の不定方程式系と準エルミート多項式の判別式の関係について，講演者の最新の研究成果にも触れたいと思います．

西岡斉治 (山形大)
***q*-Airy 方程式の解の超超越性**
差分リッカチ方程式の解が代数的微分方程式をみたすかどうかを調べた Tietze の研究手法を代数化し、q 差分リッカチ方程式にも通用する定理を得た。これを用いた、q エアリー方程式の解が代数的微分方程式をみたさないこと（解の超超越性）の証明を紹介する。

中屋敷厚 (津田塾大)・岡田聡一 (名古屋大)・○執行洋子 (津田塾大)
KP 階層のタウ関数の展開係数について
ソリトン方程式と呼ばれる一連の微分方程式中でも最上位に位置するような、KP 階層と呼ばれる微分方程式系を扱う。　本講演では KP 階層の解の性質に関する定理について発表する。

新澤信彦 (西日本工大)
一般的双線形差分方程式と Backlund 変換方程式のソリトン解
一般化双線形差分方程式は離散 BKP 方程式の係数を一般化した方程式である。Backlund 変換を使ってソリトン解を求め、これがもとの方程式や Backlund 変換式の解になる事を示す。

11 月 10 日（金）

○羅宇 (京都大)・辻本諭 (京都大)

Bannai-Ito 多項式の例外型拡張とその古典性について
古典直交多項式の拡張として，例外型直交多項式が知られている．従来，Jacobi, Laguerre, Hermite 多項式を代表とする古典直交多項式について，関連する 2 階微分作用素にダルブー変換を施すことにより例外型直交多項式が導出される．近年，新たに古典直交多項式として認識されるに至った Bannai-Ito 多項式は，鏡像変換を含む Dunkl 型作用素の固有関数となるなど他の古典直交多項式にはない性質を有している．本研究では，Dunkl 型作用素についてダルブー変換を行うことで，例外型 Bannai-Ito 多項式を導出し，その直交性を示した．また、これにより Dunkl 型作用素に付随する代数を明らかにすることも期待できる。

辻本諭 (京都大)
Askey-Wilson 多項式に付随する代数について
古典直交多項式の頂点に位置している Askey-Wilson 多項式に対して，様々な代数的アプローチが知られている．本講演では，q-Oscillator 代数および Double Affine Hecke 代数のそれぞれに対して，Askey-Wilson 多項式との関係について議論する．(Luc Vinet 氏，Alexei Zhedanov 氏との共同研究：arXiv:1612.04038, arXiv:1709.07226)

中川淳一 (新日鐵住金)
[特別講演] 製造プロセスにおける数理的研究の現状と数学と物質・材料の連携、更なる数学連携の展開について
製鉄プロセスは大型装置で高温物質を扱うとともに相変化を伴う現象が多数存在し、大規模・複雑系の典型事例です。さらに、鉄鋼材料ではナノスケールの結晶格子、メソスケールの多結晶組織、マクロスケールの製品をマルチスケールの視点で制御することが求められています。製鉄プロセスと鉄鋼材料には、数理モデリング、逆問題、最適化、制御、ビッグデータ解析等、多くの数学・数理科学の問題を包含しています。本講演では、製鉄プロセスにおける数学の適用事例を使って、数学連携に関する講演者の考え方を紹介した後、いろいろな専門分野の数学者との学術連携を通じて　物質・材料科学系分野の未解決問題である「結晶群から対称性の数値指標を取り出す」、「材料のマクロな特性を決定する重要因子である結晶格子の乱れを記述する」、「ミクロ（離散）とマクロ（連続）を合理的・明示的に繋ぐための階層構造の仕組みを記述する」、ための取り組みを、交通流等の材料以外の事例も交え紹介します。

川崎浩司 (ハイドロソフト技術研究所)
[特別講演] ３次元津波シミュレーションと可視化技術
近年，3 次元数値流体力学ツール OpenFOAM（Open source Field Operation And Manipulation）が海岸・海洋工学分野において利用されつつある．OpenFOAM は，多相流や燃焼，磁場などの用途に応じた各種ソルバを有しており，前処理や後処理のためのアプリケーションも充実している．本稿では，OpenFOAM を用いた 3 次元津波シミュレーションに関する研究事例と計算結果の可視化技術について紹介する．

竹村 剛一 (中央大)
符号付き超離散パンルヴェ第二方程式とその解について
符号付き超離散パンルヴェ第二方程式を連立方程式として再定式化し、より平易な形の式を提示する。これの２パラメーター解をいくつか導出し、ｑパンルヴェ第二方程式の行列式型の解の超離散極限との関係を論じる。本講演は五十嵐光（中大理工修士修了）との共同研究に基づく。

◯渡邉靖之 (早稲田大)・田中悠太 (早稲田大)・城戸真弥 (早稲田大)・筧三郎 (立教大)・丸野健一 (早稲田大)
DKP 方程式のソリトン解のロンスキ型パフィアン表示とネットワーク
KP 方程式のソリトン相互作用の数理構造は，ネットワークを用いてより深く理解できることが知られている．それに対して DKP 方程式のソリトン相互作用の数理構造はまだ十分に理解できていない．DKP 方程式のソリトン解はロンスキ型パフィアン表示を持ち，それは反対称パラメータ行列 B を含む形に一般化される．本講演では，反対称行列 B のある種の標準化とパフィアンの和公式を用いることで，DKP 方程式のソリトン解に対応するネットワークが簡単に構成できることを示す．

11 月 11 日（土）

○金泉大介 (早稲田大)・丸野健一 (早稲田大)
Jackson の第 2 種 q-Bessel 関数の精度保証付き数値計算法
これまで様々な特殊関数の精度保証付き数値計算法が開発されてきたが, 可積分系などの数理物理で現れる q-特殊関数の精度保証付き数値計算法はまだない. q-特殊関数の精度保証付き数値計算法を確立するため, 可積分系で現れる Jackson の第 2 種 q-Bessel 関数の精度保証付き数値計算法の研究を行なった. 本講演では我々が以前提案した交代級数の性質を用いる方法と積分を用いる方法を振り返ると共に, 新たに二重指数関数型積分公式（DE 公式）を用いる方法と漸近展開を用いる方法を提案する.

上岡修平 (京都大)
対称な逆平面分割と離散 2 次元戸田分子
逆平面分割はヤング盤の一種であり、顕著な性質として積表示可能な母関数を持つ。本講演では主対角線に関して対称な逆平面分割を考え、その重み付き母関数（分配関数）と離散 2 次元戸田分子の間の関係を示す。

○井ノ口 順一 (筑波大)・梶原 健司 (九州大)・三浦 憲二郎 (静岡大)・朴 炯基 (九州大)・Schief Wolfgang (University of New South Wales)
相似幾何における弾性曲線とその離散化・CAGD との関連について
CAGD で用いられる対数型美的曲線と呼ばれるクラスの曲線を取り扱う．対数型美的曲線はその相似曲率が定常 Burgers 方程式の解として特徴付けられることを示し，また，相似幾何の下で弾性曲線と類似のエネルギー汎函数に対する平面曲線の変分問題の解として特徴付けられることを示す．さらに離散化について報告する。

野邊厚 (千葉大)
ランク 2 ミューテーションの不変曲線について
ランク 2 のクラスター代数の非自明なミューテーション列を 2 次元離散力学系の時間発展とみることができる。とくに有限型もしくはアフィン型の場合、このような離散力学系の不変曲線は、円錐曲線、楕円曲線もしくはそれらをブローダウンした特異 4 次曲線になることを示す。

○大久保直人 (青山学院大)・鈴木貴雄 (近畿大)
クラスター代数と q-パンルヴェ方程式の退化構造
Fomin と Zelevinsky によって導入されたクラスター代数は，クラスター変数と係数によって定義される可換環であり，その生成系は quiver の変異（mutation）という操作によって定義される．本講演では，q-パンルヴェVI 方程式とその退化で得られる q-パンルヴェ方程式が mutation によって記述されること，quiver の頂点の合流操作が q-パンルヴェ方程式の退化と対応することを紹介する.

ポスターセッション（11 月 10 日 16:00-17:30）

○佐々木幹子（山形大）・○本郷史也（山形大）・西岡斉治（山形大）・村田実貴生（東京農工大）
FitzHugh-Nagumo 方程式の超離散化
2 成分の反応拡散方程式である FitzHugh-Nagumo 方程式に対して,「トロピカル離散化」を適用し，超離散方程式を導出する。FitzHugh-Nagumo 方程式の特徴的現象と類似した現象が，導出した超離散方程式において確認できる。

○坂田 幸太郎 (早稲田大)・延東 和茂 (早稲田大)・高橋 大輔 (早稲田大)
グローバルセルオートマトンの諸性質の解析
大域的情報に基づいて時間発展をする，ある 2 次元の離散力学系をグローバルセルオートマトン (GCA) と名付けている。この GCA のソリトン的振る舞いをする解に着目し，その基本構成や相互作用について詳しく説明する。

○ 時枝佑次 (早稲田大)・高橋大輔 (早稲田大)
max 方程式の単調性と保存量について
1 次保存量を持つ，ある 4 近傍 2 値セルオートマトンを max 方程式によって実数値に拡張する．元の 2

値の系には流束の単調性，高次保存量などの性質が存在し，それら性質を保ったまま拡張するためにどのような max 方程式を選んだか，そしてそれら性質がどのような形で実現したかについて詳しく述べる．

◯ 赤岩 香苗（京都産業大)・谷口 雄大（同志社大)・近藤 弘一（同志社大）
離散戸田方程式を用いた要素および固有値が指定された逆固有値問題の解法
逆固有値問題の 1 つとして、指定した要素と固有値をもつ行列を構成する問題が知られている。本講演では、特に 3 重対角行列に対して、離散戸田方程式を用いた解法を提案する。指定する固有値が重複固有値の場合についても触れる。

◯ 小俣亮 (早稲田大)・高橋 大輔 (早稲田大)
解の複雑度による 4 近傍 max 方程式およびセルオートマトンのクラス判定
初期値問題における解の複雑度という視点で 4 近傍 max 方程式およびそれに付随する CA の分類を議論する. 同様の研究が 3 近傍の max 方程式に対してなされたが，今回はある形式に従う単純な形の 4 近傍の方程式に対して解析を試みる．

◯鈴木　大庸（法政大)・礒島　伸（法政大）
双線形化法による離散時間 Newell-Whitham モデルの特殊解の構成
交通流モデルの 1 つである離散時間 Newell-Whitham モデルの，2 つの従属変数を持つ双線形形式を導き，その特殊解を構成する．従属変数 1 つの双線形形式から得られる既知の特殊解との比較も行う．

◯佐々木裕文 (早稲田大)・佐々木文夫（東京理科大)・山田道夫（京都大）
ブラインド再構成と逆問題
観測データから元データ復元を目的としたブラインド再構成について，基礎的なモデルを用いて紹介する．ブラインド再構成はいわゆる逆問題に対する 1 種のアプローチであり，データ解析で知られるブラインド信号源分離をベースとしている．

三木啓司（気象大学校）
Symplectic 行列束と歪直交多項式
ランダム行列の理論で現れる，歪直交多項式と呼ばれる多項式列にある対称性を課すと，ある Symplectic 行列束が対応する．その関係に注目すると，ある種の固有値問題の解法が構成できることを述べる．

◯ 城戸　真弥（早稲田大)・◯ 田中　悠太（早稲田大)・渡邉　靖之（早稲田大)・筧　三郎（立教大)・丸野　健一（早稲田大）
ソリトンとネットワーク
KP 方程式のソリトン解はネットワークと密接に関係し，ネットワーク表示を用いてソリトン相互作用の詳細を解析できることが知られている．本講演では，DKP 方程式のソリトン解に対するネットワーク表示を用いることで，KP 方程式のネットワーク表示が従来の手法に比べて簡単に得られることを示す．

◯巣山　大地　(早稲田大)・永原　新（早稲田大)・丸野　健一　(早稲田大)
Davey-Stewartson II 方程式のダーク型線ソリトン相互作用と三角形分割
水面波の弱非線形モデルの 1 つである Davey-Stewartson（DS）方程式は多様な厳密解を持つ．特に DS2 方程式と呼ばれる場合にはダーク型線ソリトン解が存在し，それらは複雑な相互作用を示す．しかし，DS ダークソリトンの複雑な相互作用の背後にある数理構造については，未だ十分な理解ができていない．本講演では三角形分割を用いて，DS ダークソリトンのパターンからタウ関数が決定できることを示す．

久保田千尋（津田塾大）
ランダムソーティングネットワークに関連する数値実験
一様ランダムに生成された対称群の最長元の披約語（ランダムソーティングネットワーク）の挙動に関する数値実験の結果が広く知られている。同様の実験を符号付き置換群 (signed permutation) について行った結果について報告する。

前田一貴（関西学院大）
箱玉系の番号・運搬車ルールの拡張について
箱玉系の玉の番号付きルールと運搬車付きルールを合わせた場合について，既知のものとは異なる拡張系を考える．これは非自励離散 KP 格子，および非自励離散 2 次元戸田格子から簡約操作により自然に現れるものである．この系の性質と解について議論する．

◯金丸真理子（立教大）・筧三郎（立教大）
Misanthrope model の流量-密度関係式の導出について
交通流の CA モデルの一つである misanthrope model に関して，金井は 2 レーンの場合の流量-密度関係式を導出した。本研究では，金井が用いた超幾何関数の 2 次変換を用いない導出法を示し，3 レーンへの拡張を試みる。

Tomoaki Hirakawa (九州大)
Ocean wave characteristics around Kyushu
Hourly-wave characteristics, such as the significant wave height and wave period around Kyushu over a period of 10 years (2007-2016) are calculated and analyzed using SWAN (Simulating Waves NearShore).

開催の期間　平成 29 年 11 月 9 日 ～ 平成 29 年 11 月 11 日

参加者　62 名

「日本海及び日本周辺海域における環境急変現象（急潮）のモニタリング、モデリング及びメカニズム解明に関する研究集会」報告
研究代表者: 井桁　庸介（水研機構日水研）

本研究集会は、2017 年 8 月 3 日から 4 日にかけて、九州大学筑紫キャンパス応用力学研究所大気海洋環境研究センターにおいて開催された。この会合は今回が 3 回目の開催であり、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と、海洋物理学的な研究を継続してきた研究者とが議論することを目指したものである。

大学および試験研究機関を中心に、両日とも 35 名が参加し、合計 13 件の講演があった（講演内容はプログラム参照）。一題あたり、質疑応答含む 25 分という十分な時間を割いたため、非常に活発な議論が行われた。

今回は、日本海に関する発表が 8 題、太平洋沿岸～東シナ海沿岸に関する発表が 5 題と、日本全国で実施されているモニタリング・モデリングに関する発表がなされた。沿岸で起きる短期的な環境変動に関わる、海洋物理・水産的な応答に関する数多くの講演がなされ、活発な議論が交わされた。気象擾乱に対する近慣性周期変動の湾・沿岸域における応答の理論的考察、水産資源・一次生産の応答を把握する試み、沿岸捕捉波に伴う流れの岸からの逸脱と急潮発生との関係、津波が引き起こす湾水振動の予測等、海洋物理学的な知見を基盤にした応用的な研究発表があった。加えて、漁業現場でのニーズのとりまとめや、現業で実施されている急潮予測システムの、漁業現場への応用システム等の発表がなされ、今後の発展が期待された。

また、水産試験研究機関におけるモニタリング体制の紹介や、観測計画等の紹介、それから得られたデータの紹介等もあり、各府県におけるモニタリングの現状、取り組み等について共通認識を形成することが出来た。そのような情報共有に基づき、参加者同士の懇親を深めた結果、データを通した共同研究へ発展した事例もあった。今後も、このような議論を引き続き継続することで、新たな研究シーズの創出が見込まれると感じられた。

沿岸・短周期変動をキーワードに参加者の募集を行い、研究者の交流の場を作ることは重要である。今後も、生物、水産系にも積極的に間口を広げ、研究集会を出来るだけ継続することで、研究シーズの創出につながることを期待する。

プログラム

-----8 月 3 日（木）-----
13:30～13:40
趣旨説明

13:40～14:05
敦賀沖の急潮
兼田淳史・高野澪(福井県立大)

14:05～14:30
DREAMS 活用法の検討(仮題)
舩越裕紀・上野陽一郎（京都府水技センター）

14:30～14:55
島根県定置網漁業における急潮予測システムの要望聞取りについて
金元保之・佐藤勇介（島根県水産技術センター漁業生産部海洋資源科）

14:55～15:10
休憩

15:10～15:35
駿河湾の環境急変現象
勝間田高明　（東海大　清水教養教育センター）・仁木 将人（東海大海洋）・田中 昭彦（東海大　清水教養教育センター）・萩原 直樹（東海大　海洋）

15:35～16:00
室戸岬周辺における 2017 年の急潮発生状況（事例紹介）
猪原　亮（高知水試）

16:00～16:25
紀伊水道南方の沿岸水位変動
寄高博行(高知大学黒潮圏科学部門／農林海洋科学部)

16:25～16:50
High-resolution modeling of the Kuroshio variability south of Japan
Tianran Liu · Bin Wang · Naoki Hirose · Toru Yamashiro · Hiroshi Yamada (九州大学応用力学研究所)

-----8 月 4 日（金）-----
9:00～9:25
石川県の定置網漁場ごとにおける急潮の特性ー10 年間の観測結果からー

辻 俊宏（石川県水産総合センター）

9:25～9:50
2017 年 6 月に発生した佐渡沿岸での急潮被害とその発生機構について(仮題)
早瀬賢司（新潟水海研）・井桁庸介（水研機構日水研）・池田怜（新潟水海研）

9:50～10:15
富山湾周辺海域における近慣性内部波による定在波的な振動系の形成機構
賀みづき（水研機構日水研）・井桁庸介（水研機構日水研）・広瀬直毅（九大応力研）

10:15～10:30
休憩

10:30～10:55
丹後半島沿岸における近慣性周期変動の増幅過程に関する考察
山﨑恵市（水研機構中央水研），北出裕二郎（海洋大），井桁庸介（水研機構日水研），熊木豊（京都府海洋セ），渡邊達郎（水研機構日水研），清水勇吾（水研機構中央水研）

10:55～11:20
富山湾東部の流れと海洋構造
小塚晃（富山県農林水産総合技術センター　水産研究所）

11:20～11:45
Quality factor を用いた津波来襲時における湾水振動の予測
遠藤 貴洋（九大応力研）・稲津 大祐（東京海洋大）・早稲田 卓爾（東大院新領域）・日比谷 紀之（東大院理）

11:45～12:00
総合討論

共同利用研究集会

「東シナ海と日本海の海水循環と生物化学過程」

"Water Circulation and Chemical-Biological Processes in East China Sea and Japan Sea"

研究代表者　石坂丞二（名大宇宙地球環境研究所）

１．目的と開催経過

東シナ海・日本海の生物生産には、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。特に東シナ海からの日本海への海水・淡水・物質の流入は、日本海の生態系に大きな影響を与えていると考えられる。応用力学研究所では、東シナ海の陸棚域および黒潮域と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で進めている生物環境との関連も深く、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持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。これまでこの数年は東シナ海に焦点を当てた研究集会を行ってきたが、平成 29 年度から東シナ海と日本海の両海域を含め、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を開催していくこととした。

出席者は、名古屋大学２名、長崎大学３名、愛媛大学２名、京都大学１名、富山大学１名、国際水産資源研究所１名、石川県水産総合センター１名、環日本海環境協力センター1 名、および九州大学６名であった。本研究集会では、遠藤貴洋（九州大学)、森本昭彦（愛媛大学)、滝川哲太郎（長崎大学)、石坂丞二（名古屋大学)、森永健司（国際水研)、武田重信（長崎大学)、近藤能子（長崎大学)、張勁（富山大学)、郭新宇（愛媛大学)、吉川裕（京都大学)、原田浩太郎（石川県水産総合センター)、千手智晴（九州大学）から話題提供があり、それぞれについて議論を行った。

2. 研究集会の概要

研究集会は、2018 年1月31 日(水) 13:30 から2月1日(木)12:30 にかけて、九州大学応用力学研究所3F301 で行った。

遠藤は、2017 年 7 月に長崎丸を用いて東シナ海陸棚縁辺部で観測した、短周期の内部波列に関して説明した。波高 5－10m 程度の内部波が何度も観測されたが、北西伝搬だけが見られた 2016 年とは異なり、南西や西北西への伝搬も見られたことを報告した。また吉川は、海洋混合層中の乱流が生物起源の粒子状物質の沈降過程に与える影響について、LES による粒子追跡で考察した。その結果、表層粒子の沈降速度は変化しないのに対して、中層粒子の沈降速度は減速し、ラングミュア渦のある時にはさらに減速することを明らかにした。張は、複数の化学トレーサーを用いて、東シナ海東部の海峡の通過流に関して水塊の動態解析結果を報告した。例えば、トカラ海峡では、等密度面での混合過程だけでは不十分であり、鉛直混合を考慮する必要があることが明らかとなった。

森本は、低次生態系モデルによって日本海の生産に重要な対馬海峡栄養塩の起源に関して推定した結果について述べ、太平洋黒潮下層水起源がほとんどであり、長江起源の栄養塩は2％程度にしかならないことを

指摘した。一方、郭も起源の異なる栄養塩の東シナ海の基礎生産への寄与に関する見積もりを行った。その結果、夏には雨が多く、大気経由は北部の割合が多い。河川と黒潮、台湾海峡からの流入は、水深別にその寄与が異なっていることを示した。

東シナ海の生物過程では、武田は、2017 年の長崎丸航海での東シナ海東部海域の表層栄養塩類の分布について、低塩分の長江希釈水でも窒素が欠乏し、リンが残っていたことと、窒素固定を行う Rechelia や Trichodesmium が存在していたことを報告した。近藤は、東シナ海およびその周辺海域のビタミン B12 について報告し、その分布は環境要因との関係ははっきりしないが、全体的に要求量を上回る量存在したことを報告した。さらに森永は、太平洋クロマグロの幼魚であるヨコワの加入と北薩海域での黒潮流動変動との関連を調べ、潮位を利用して、数日スケールで予測できる可能性があることを報告した。

一方、日本海の研究として、原田が能登半島周辺海域の流況ついて ADCP 観測結果を考察した。その結果、富山湾の流動は水深によって大きく異なり、風の影響は特に表層で強いが、深い層でも影響があることが明らかとなった。一方、千手は、1999 年以降能登半島北西の日本海大和海盆南縁で行った係留観測で、東進する渦によって、北で半時計回り、南で時計回りに流向が変化することから、地形性ロスビー波がある可能性を明らかにした。さらに、石坂は日本海の渦と春季ブルームに関して、衛星と現場観測を利用して、混合層の浅い低気圧性渦では、高気圧性渦と比較して春季ブルームが早期に置きること。またそのメカニズムも、低気圧性渦ではまだ冷却が起きている中で日射量が増加によって発生するのに対して、高気圧性渦では冷却が止まることによって、水温で推定できる混合層は深いにもかかわらず、乱流が収まったと考えられる浅い層で発生することを示した。また、鉛直一次元モデルによって、これを再現しようしていることを報告した。

また、今年度の特別なトピックとして、滝川は新長崎丸の紹介を行った。新長崎丸は、2017 年 10 月 19 日に進水式を行い、2018 年3月に竣工予定であり、総トン数が 1139 トンと大きくなり、乗員数は 70 名、巡航速度は 13.5knot の予定である。左舷に CTD A フレームがある他、船尾にも A フレーム、船首に曳航用ブーム観測ウィンチが予定されている。さらに、石坂は、2018 年1月6日に東シナ海で事故を起こしたタンカーが、14日に黒潮に近い大陸棚で沈んだ事故に関して、これまでの状況をまとめた。積み荷がコンデンセートと呼ばれるこれまであまり大規模流失の報告のない、毒性が強く、揮発性の軽質油であることから、Greenpeace や Nature などは警告を発して、中国は調査をしている。しかし、日本では JAXA が SAR センサーの ALOS-2 画像を発表しているものの、全体的には報道や調査がほとんど行われておらず、日本海洋学会幹事会としても情報を収集していることを報告した。

すべての発表ののちに、総合討論を行った。遠藤を中心に、名古屋大学宇宙地球環境研究所の共同利用・共同研究での研究集会に応募し、７月に予定している新長崎丸での航海の計画を詰めることとなった。

応用力学研究所共同利用研究集会

東シナ海と日本海の循環と生物化学過程に関する研究

日時：2018 年 1 月 31 日(水) 13:30~2 月 1 日(木)12:30
場所：九州大学応用力学研究所 301　（3 階）

1 月 31 日（水）
13:00-15:00
趣旨説明　石坂丞二（名古屋大 ISEE）
遠藤 貴洋・堤 英輔・松野 健・Chang-Su Hong・Gyu-Nam Baek（九大応力研）2017 年 7 月に東シナ海陸棚縁辺部で観測された短周期内部波列
森本昭彦（愛媛大 CMES）低次生態系モデルによる対馬海峡栄養塩起源の推定
滝川哲太郎（長崎大環境水産）新長崎丸の紹介
石坂丞二（名古屋大 ISEE）東シナ海の長江希釈水・タンカー事故について

15:15-17:15
森永健司（国際水研）ヨコワ（太平洋クロマグロの幼魚）の加入と北薩海域での黒潮流動変動との関連
湯浅大輔・太田景将・武田重信（長崎大院水産・環境／水産学部）東シナ海東部海域の表層における栄養塩類の分布と変動要因
近藤能子・高橋成美・戸倉大揮・武田重信（長崎大学）東シナ海およびその周辺海域のビタミン B 群の測定
張勁・趙尊豪（富山大学大学院）東シナ海東部の海峡通過流に関わる水塊の動態解析～マルチプルトレーサーによるアプローチ

2 月 1 日（木）10:00-12:30
郭　新宇（愛媛大 CMES）起源の異なる栄養塩の東シナ海の基礎生産への寄与に関する見積もり
吉川　裕（京大理）海洋混合層中の乱流が生物起源の粒子状物質の沈降過程に与える影響について
石坂丞二（名大 ISEE）日本海の渦と春季ブルーム
原田浩太郎（石川県水産総合センター）　ADCP 観測からみた能登半島周辺海域の流況
千手智晴（九大応力研）日本海大和海盆南縁の地形性ロスビー波について
総合討論