

平成26年度

地球環境力学分野
共同研究成果報告

26 特 1-1

ブリ・スルメイカの回遊に影響を与える対馬暖流域の海洋環境

石川県水産総合センター 辻 俊宏

1. 目的

ブリは、主に 3～6 月に東シナ海および日本海西部海域で発生し、対馬暖流に乗って日本海沿岸各地に回遊する。石川県では、その年生まれたブリ幼魚（以下 0 歳魚という。）は 7 月には定置網で漁獲されるようになり、10 月になると体重 1 kg 前後のサイズにまで成長し高値で取引される。このようにブリ 0 歳魚は石川県において季節を代表する重要な魚種銘柄の 1 つであり、その豊凶は、漁獲金額に大きな影響を与えることから、その予測に関しては漁業者の関心が高い。

そこで本研究では、対馬暖流域を網羅した海洋同化モデルである応用力学研究所の DREAMS_M を用いて、ブリ 0 歳魚の漁獲量と水温との関係を調べ、相関する海域・水深・季節を明らかにすることにより、石川県における 0 歳魚漁獲量の予測を試みた。

2. 方法

1995～2013 年の各月 1 日における水深 4m, 50m, 100m, 200m のメッシュ水温値を DREAMS_M から抽出した。次に同年の石川県主要 10 港定置網におけるブリ 0 歳魚の漁獲量を 2 ヶ月単位で集計した。これらの水温と漁獲量の相関関係をそれぞれメッシュごとに求めたうえマッピングすることにより、漁獲量と関係が深いと考えられる海域や深度を抽出した。その結果から抽出された海域・深度の平均水温と漁獲量との回帰式から 2014 年漁期のブリ 0 歳魚漁獲量を予測した。

3. 結果および考察

10～11 月漁獲量と 10 月 1 日における水深 200m 水温との相関係数の分布（図 1a）を見ると、特に富山湾から佐渡島までの海域において有意（危険率 5%）な正相関が認められた。一方、他の漁獲時期における漁獲量と各月および各水深の水温との相関係数の分布を確認したものの、能登半周辺海域に有意な相関係数は認められなかった。そこで、漁獲量の集計期間を 10～3 月に延ばして、10 月 1 日における水深 200m 水温との相関係数の分布を見たところ、富山湾周辺に有意な相関係数の分布が認められた（図 1b）。これらの結果から、東経 137 度 30 分以西、北緯 37 度 30 分以南の富山湾を漁獲量と関係のある海域と設定し、当該海域の平均水温を年ごとに求めた。その平均水温と 10～3 月漁獲量とを線形回帰分析したところ、以下の回帰式が得られた。

$$\text{Catch} = 136 \times \text{Temp} + 147$$

Catch : 石川県主要 10 港定置網における 10～3 月ブリ 0 歳魚漁獲量（トン）

Temp : DREAMS_M における富山湾海域に 10 月 1 日水深 200m 水温の平均値（℃）

上記式に DREAMS_M によって得られた、2014 年 10 月 1 日 200m 予測水温の富山湾平均値 6.40℃を代入した結果、2014 年 10 月～翌年 3 月のブリ 0 歳魚予測漁獲量として 723 トンが見積もられた。この予測結果を、同年 9 月 30 日に石川県水産総合センター「石川県漁海況情報」によって発表した。

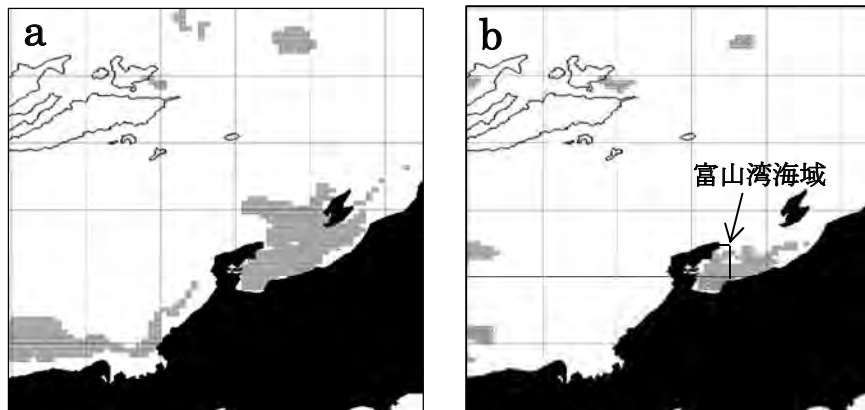


図 1. ブリ 0 歳魚漁獲量と 10 月 1 日 200M 水温とに有意な正の相関係数が見られた海域（灰色）
a : 10～11 月漁獲量, b : 10～3 月漁獲量

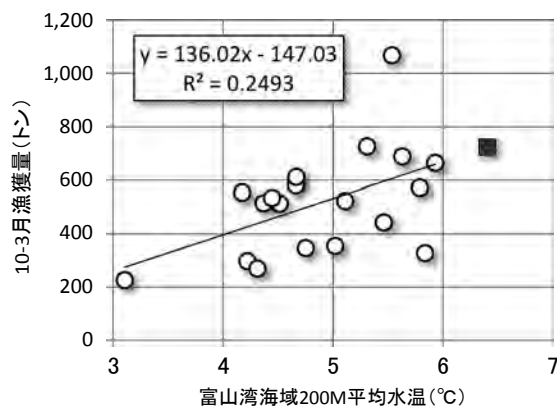


図 2. 富山湾海域の平均水温と 10～3 月漁獲量との関係
○ : 1995～2013 年実績値, ■ : 2014 年予測値

4. 発表等実績

辻 俊宏 対馬暖流域におけるブリ卵・仔稚魚の輸送シミュレーション. RIAM フォーラム 2014 講演集, 2014.53-57.

辻 俊宏 平成 26 年度のブリ漁況予測と今後の見通しについて. 第 54 回ブリ予報技術連絡会議, 2014.10.6-7, 敦賀市

石川県水産総合センター フクラギの漁況見通し（予測期間：10 月から来年 3 月）. 石川県漁海況情報, 2014.

5. 研究組織

研究代表者	石川県水産総合センター	辻	俊宏	研究主幹
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	石川県水産総合センター	石山	尚樹	技師
研究協力者	九州大学応用力学研究所	千手	智晴	准教授
研究協力者	九州大学応用力学研究所	高山	勝己	研究員

輪島～舢倉島間の通過流量の季節変動と富山湾の流況

石川県水産総合センター 大慶則之

目的

富山湾沿岸はブリを始めとする多くの回遊性魚類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、富山湾周辺の海況変動機構の理解が重要である。富山湾は能登半島沿岸を北上する対馬海流の影響下にあり、沿岸分枝流の季節変動に対応して、富山湾内に入り込む流れと富山湾口を横断する流れが強弱を繰り返すことが知られている。本研究では、輪島～舢倉島間の水位差から求められる能登半島沿岸の対馬海流沿岸分枝流の時間変動と能登半島周辺の定置網漁場に配置された係留系の流れの連続観測データを解析することで、沿岸分枝流の季節変動とそれに対応した沿岸流の変動を詳細に解析することを目的とする。

観測および観測資料

能登半島北端と舢倉島の南西を結ぶ約 48km の定線観測区間（図 1 に示す St. A～St. B）で収集した ADCP データから推算した流量（以下沿岸分枝流量）と、輪島～舢倉島間の水位差には、有意な正の相関があり、水位差から沿岸分枝流量の推定が可能である。流量の算定に際しては、九州大学応用力学研究所が舢倉島漁港に設置した水位計と、国土地理院輪島験潮場の毎正時の観測データを輪島特別地域気象観測所の海面気圧で補正し、これらの 5 年平均値（2008/8/1～2013/7/31）に対する偏差の差を水位差と定義して、水位差と流量の回帰式から毎正時の値を算定した。沿岸の流れのデータは、図 1 に示す石川県西岸から富山湾沿岸の 12 ヶ所の観測点（水深 24～91m）の 10m 水深帯に係留した電磁流速計（JFE アドバンテック AEM-RS/C-EM）で観測された毎正時のデータを用いた。解析期間は 2010 年から 2013 年である。

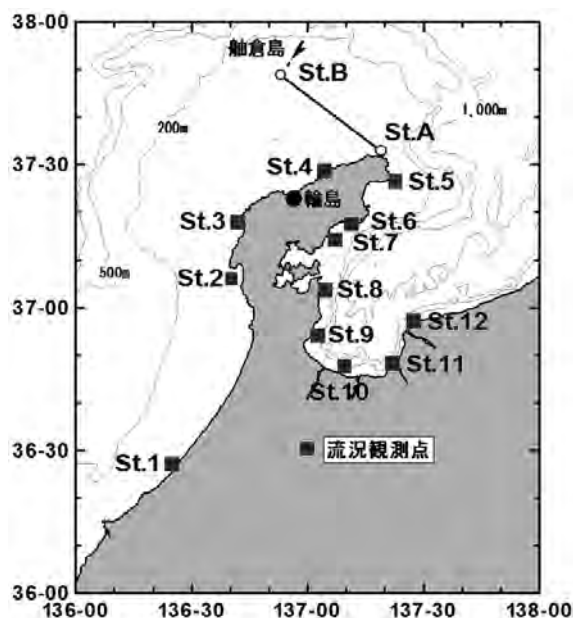


図 1 調査海域図 実線は流量計算区間を示す。

結果と考察

沿岸分枝流量と各測点における卓越流向成分の経月変動を図 2 に示す。沿岸分枝流量の変動と卓越流向成分の変動を比較すると、能登半島西岸の St. 2～St. 4 では、夏季の沿岸分枝流量の強化に対応して、陸岸を右に見る方向の流れが強まる傾向がみられた。一方で、St. 4 と St. 2 では、春季にも大きな流速値が現れたほか、県西岸南部の St. 1 では、夏季に陸岸を左にみる弱い流れが現れるなど、流量変動と直接的に対応しない流れの変動もみられた。半島東岸から富山湾の St. 5～12 では、半島西岸と比較して全般に流速が小さい値を示した。季節的にみると St. 5～11 では冬季に岸を左に見る方向の流れが強まる傾向がみられ、この傾向は半島東岸北部の観測点（St. 5）に強く現れた。また、富山湾沿岸の St. 8～11 では、夏季に陸岸を右に見る方向の弱い流れがみられた。これに対して、富山湾東端の St. 12 では、周年にわたり陸岸を右に見る流れが卓越した。夏季（6 月）と冬季（12 月）のベクトル平均流速の分布を図 3 に示した。半島東岸から富山湾沿岸では、冬季に時計回り、夏季に反時計回りの環流が形成されていることがうかがわれる。半島東岸から富山湾にみられる夏季の反時計回りの環流は、沿岸分枝流の岸に沿った流入で説明できる。一方、冬季の時計回りの環流は、夏季の沿岸分枝流の流路が離岸して沖合いから湾内に流入することが原因となっている可能性が推察される。今後は、

既存のCTD観測データから力学計算によって能登半島東岸から富山湾域の地衡流の流動パターンを求めて、沿岸流や沿岸分枝流の変動との関連性を検討する予定である。

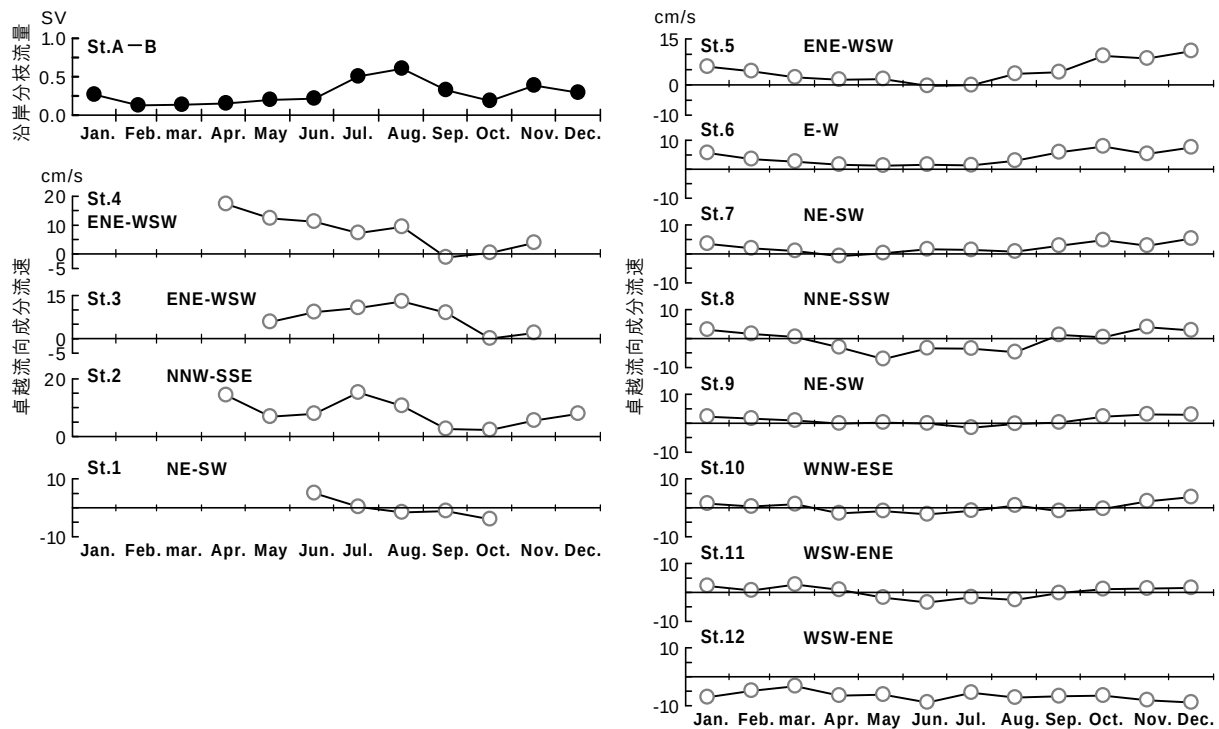


図2 卓越流向成分と能登半島北西沖の対馬海流沿岸分枝流量の季節変動

卓越流向成分は St.1~4 (西岸) では陸岸を右 (左) に見る方向を正值 (負値)、St.5~13 (東岸) では陸岸を左 (右) に見る方向を正值 (負値) で示す、沿岸分枝流量は北東方向の流量を正值で示す

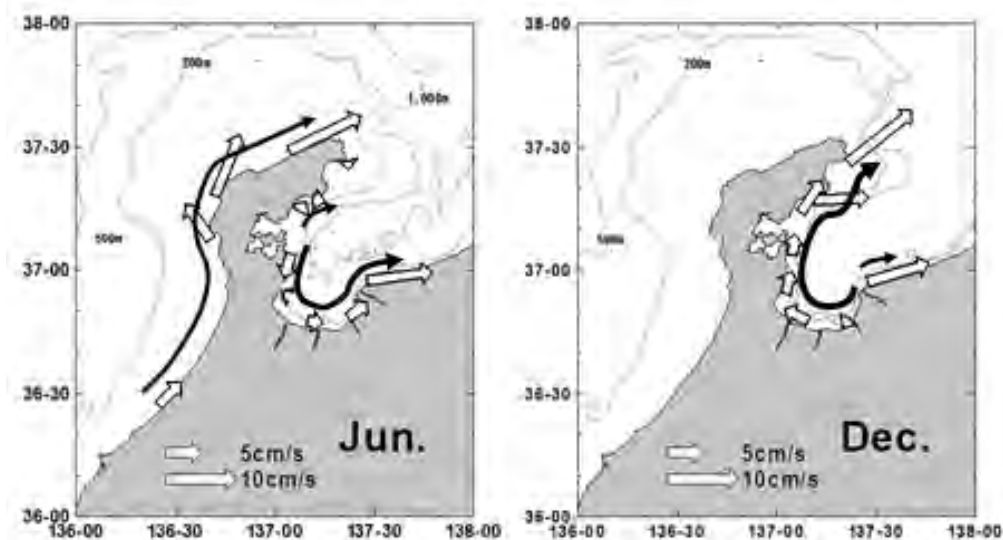


図3 夏季 (左図) と冬季 (右図) のベクトル平均流速の比較

実線の矢印は流軸を模式的に示したもの

海洋微細構造と植物プランクトン動態の関係

独立行政法人水産総合研究センター 鬼塚 剛

1. 目的

近年、八代海などの九州沿岸域では有害な植物プランクトンによる赤潮が頻発しており、漁業被害も報告されている。植物プランクトンは増殖する際に光と栄養塩を利用するため、その挙動は、分布深度や栄養塩環境に影響を与える海洋の混合過程と密接な関わりがあることが知られている。本研究では、九州西部海域を対象として、有害プランクトンが発生する夏季に海洋微細構造プロファイラー等を用いた観測を実施し、有害種を含む各種植物プランクトンの鉛直分布・増減過程と微細構造の鉛直分布との対応関係を明らかにすることを目的とした。

2. 観測及びデータ

九州西部に位置する八代海の Stn. A ($32^{\circ}21.3'N$, $130^{\circ}16.4'E$, 水深約 37 m) において、2014 年 7 月 30 日 10 時から 8 月 1 日 8 時にかけて、瀬戸内海区水産研究所所属の「しらふじ丸」による 46 時間の昼夜連続観測を行った (Fig. 1)。観測中は、2 時間ごとに多項目水質計 (AAQ-RINKO, JFE アドバンテック) および微細構造プロファイラー (TurboMAP-N9, JFE アドバンテック) を用いて、水温・塩分・蛍光強度・光強度・濁度・流速シアの鉛直分布を測定し、得られた流速シアから乱流エネルギー散逸率 ε を算出した。また、2 時間もしくは 4 時間ごとに海底上 1 m まで 1~5 m 間隔で各層採水を実施した。採水試料は、船上で 10 μm 目合いのふるいを用いた濃縮検鏡によって有害プランクトン細胞密度を計数するとともに、一部を持ち帰り栄養塩分析を行った。

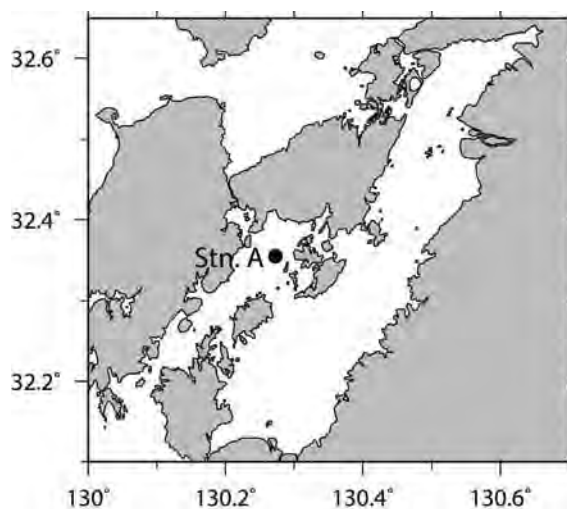


Fig. 1 観測実施点 (Stn. A)

3. 結果と考察

46 時間の昼夜連続観測結果を Fig. 2 に示す。観測期間を通して 10 m 以浅に密度躍層が形成され、半日周期で数 m 上下動していた。乱流エネルギー散逸率 ε は概して密度躍層以浅や海底近傍で高く、 $10^{-5} \sim 10^{-7} W kg^{-1}$ であった。また、7 月 31 日および 8 月 1 日の 4 時に海面から 10 m 深付近まで、海底近傍では下げ潮時に 20 m 深付近まで、それぞれ ε は高い値を示した。植物プランクトンの指標となる蛍光強度の極大層は 8 月 1 日 0 時まで、 ε が比較的小さい密度躍層下部で確認され、躍層の上下動とも対応していた。一方、優占種ではなかったものの有害な鞭毛藻 (鞭毛による遊泳能を備えた植物プランクトン) の一種である *Cochlodinium polykrikoides* が観測期間中に低密度で確認された。本種の極大層は、蛍光強度の極大層とは一致せず、昼間に表層付近、夜間に 20~30 m 深に分布していたことから、本種が昼夜の日周鉛直移動をしていたと推察された。夜間の分布深度である 20 m 以深は表層に比べて DIN 濃度が高く、鉛直移動によって下層の栄養塩を利用できたと考えられる。極大層深度の時間変化を基に算出された上昇・下降速度は $3 \sim 6 m h^{-1}$ 程度となり、遊泳能力を持つ他の鞭毛藻類と比して大きいことが

判明した。本種の鉛直分布には躍層深度や乱流エネルギー散逸率 ε との明瞭な対応関係は認められず、その理由として高い遊泳能力が考えられた。

4. 研究組織

鬼塚 剛	独立行政法人水産総合研究センター	グループ長	研究代表者：現場観測・データ解析
吉川 裕	京都大学大学院理学研究科	准教授	研究協力者：現場観測・データ解析
油布 圭	九州大学応用力学研究所	技術職員	研究協力者：現場観測
松野 健	九州大学応用力学研究所	教授	所内世話人

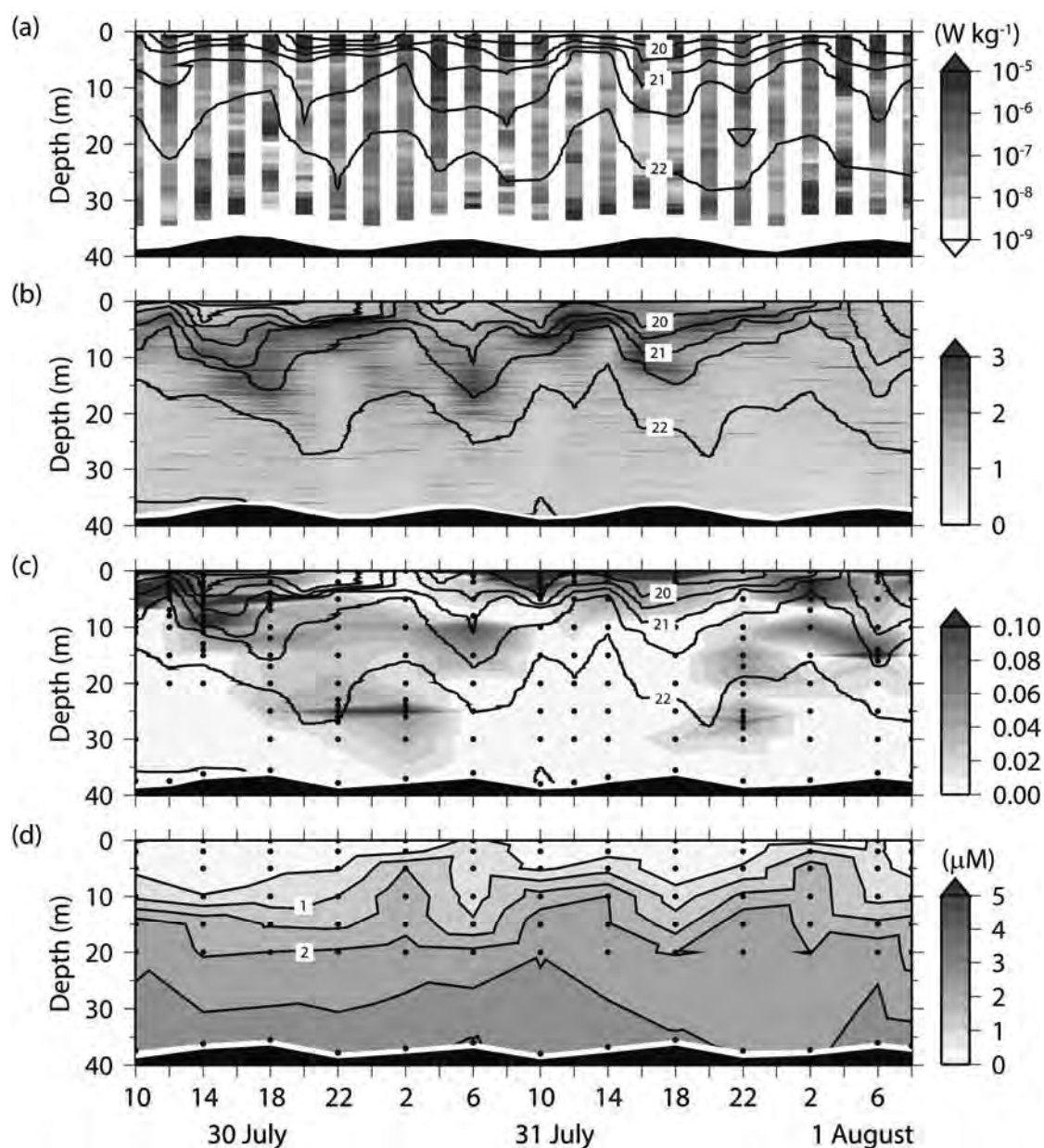


Fig. 2 2014年7月30日10時から8月1日8時にかけての (a) 乱流エネルギー散逸率 ε , (b) 蛍光強度, (c) *Cochlodinium polykrikoides* の水柱における存在割合 (細胞密度/鉛直積算密度), (d) DIN 濃度, の鉛直分布時系列。(a) ~ (c) の等値線は海水密度 σ_t を表す。

対馬暖流第一分枝流と第二分枝流の観測

名古屋大学地球水循環研究センター 森本 昭彦

1. 研究の目的

対馬海峡から流入し日本海を北上する対馬暖流は、対馬海峡通過後 2 つもしくは 3 つの分枝流に分かれるとされている。対馬暖流の流路については諸説あり、未だ決定的な結論を得て無く、近年においても様々な流路が提唱されている。これは対馬暖流の時空間変動が大きいことと、その変動を捉える観測が実施できないためである。本研究では、レーダサイトから約 200 km の範囲の海面流速を高い時空間分解能で観測できる遠距離海洋レーダにより、対馬暖流が分岐するとされる海域の表層流の連続観測と、遠距離海洋レーダ観測海域での流速計の係留観測により、対馬暖流の分枝流の季節・季節内変化を明らかにすることを目的とする。遠距離海洋レーダサイトの構築は終了したが、測定システムの開発を現在も行っていることから、本報告では、係留系および GPS 漂流ブイで得られた流速データと、遠距離海洋レーダにより測定された海面流速を比較し、遠距離海洋レーダの精度検証を行った結果について述べる。

2. 参加者

森本 昭彦 (名古屋大学地球水循環研究センター)
市川 香 (九州大学応用力学研究所)

3. 研究成果の概要

3-1. 遠距離海洋レーダの概要

本研究で使用する遠距離海洋レーダは、情報通信研究機構が開発し、2001 年から約 10 年間台湾北東海域の黒潮を観測したレーダである。本レーダの送信周波数は 9.2 MHz、出力は 1 kW であり、3 エレ八木アンテナを送信に、2 エレ八木アンテナを受信アレイとして利用したシステムである。2 つのレーダを、長崎県対馬の北端と山口県萩市沖の相島に設置した。本レーダの観測範囲はレーダサイトから約 200km、海面流速を空間分解能約 7km、時間分解能 30 分で観測できる。それぞれのレーダサイトでは、ビーム方向（視線方向）の流速のみが観測され、両局のビームが交差する範囲において流速ベクトルを計算できる。対馬、相島両局から送受信するモノスタティックモードと、対馬から送信、対馬と相島で受信するバイスタティックモードの 2 つの方法による測定ができる。今回は、2014 年 6 月 11 日～9 月 8 日までに行われたモノスタティックモードのデータを使用し解析する。

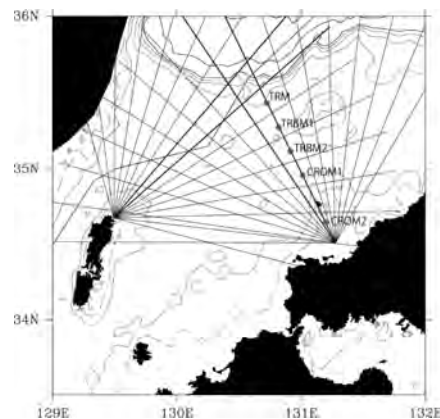


図 1. 対馬レーダと相島レーダのビーム配置（青線）と、海底設置式流速計の係留場所（赤点）。

3-2. 係留系および GPS 漂流ブイ観測

遠距離海洋レーダにより測定される海面流速の精度検証を行うため、2014 年 6 月 15 日～7 月 24 日まで海底設置式流速計 5 台を遠距離海洋レーダ観測海域に係留した（図 1）。海底設置式架台 TRBM, TRM, CROM に超音波流速計 ADCP を内蔵し係留した。ADCP の測定間隔は 10 分、鉛直に 4m 毎のデータが得られ

ている。GPS 漂流ブイ観測は、新青丸 KS-14-9 次航海（2014 年 6 月 13–22 日）と、KS-14-12 次航海（2014 年 7 月 21–28 日）において実施した。KS-14-9 次航海ではブイに抵抗体は取り付けず漂流させ、一方、KS-14-12 次航海では、抵抗体が海面下 1m に位置するように取り付け漂流させた。位置データは 1 分毎に記録され、遠距離海洋レーダデータと比較できるように 30 分の平均流速とした。

3-3. 遠距離海洋レーダデータの精度検証結果

対馬レーダの視線方向流速データと、30 分平均した GPS 漂流ブイデータとの比較を行った（図 2）。両者の比較においては、遠距離レーダの視線方向流速データを GPS 漂流ブイデータの観測位置へ補間し行った。両者の相関係数は 0.3、RMS は 36.6 cm/s であった。この値は、過去に他の海域で行われた海洋レーダ観測の結果に比べかなり悪い値であった。特に、GPS 漂流ブイ観測では大きな流速となっているにもかかわらず、遠距離レーダでは強い流れがほとんど観測されていなかった。GPS 漂流ブイとの比較では、漂流ブイの観測方法にも問題がある可能性

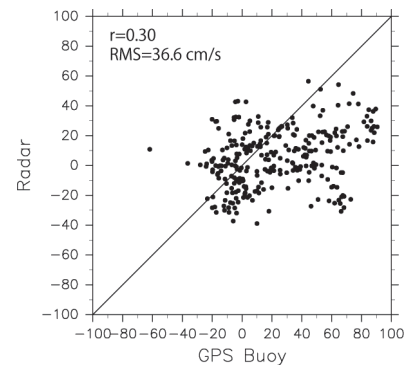


図 2. GPS 漂流ブイと対馬レーダの視線方向流速の比較。

があると考え、海底設置した ADCP データと対馬レーダの視線方向流速の比較を行った（図 3）。ここで、ADCP データは海面付近のデータが取得できないため、海面下 10m のデータを使用した。また、海面下 10m では海面付近の吹送流を捉えることが難しいため、主に潮流との比較を目的に、ADCP データは 25 時間移動平均値からの偏差とした。相関係数は GPS 漂流ブイに比べ高く、RMS も小さく、遠距離海洋レーダはそれなりに海面流速を測定していると考えられた。場所的な違いをみると、対馬レーダの正面に位置する測点 TRM、TRBM1 では相関係数は高かったが、対馬レーダの正面から南に位置する測点 TRBM2、CROM1 では相関係数が低くなっていた。ADCP との比較を行った海域での潮流の空間変化はそれほど大きくないことから、場所による違いは遠距離海洋レーダのデータ処理に問題があることを示唆している。

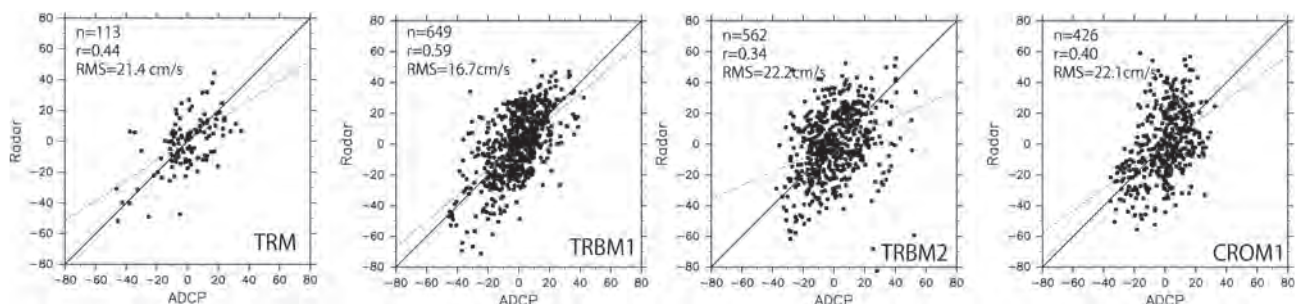


図 3. 海底設置した ADCP の海面下 10m の流速の 25 時間移動平均からの偏差と対馬レーダの視線方向流速の比較。

4. まとめ

対馬と相島に設置した遠距離海洋レーダにより測定された海面流速データと、海洋レーダ観測海域において係留系、GPS 漂流ブイにより観測された流速データの比較を行った。両者の比較から、遠距離海洋レーダの海面流速データは全体的な流動パターンを捉えることができるデータであることが分かった。しかし、データ処理部分の問題に起因して大きな誤差がある可能性が示唆された。この問題は、おそらくレーダのビームフォーミングに関わる部分と思われることから、今後データ処理を改良していく予定である。

26 特 1-5

高解像度衛星海面 flux データを用いた日本海の大気海洋相互作用研究

名古屋大学地球水循環研究センター 富田裕之

1. 目的

高解像度の衛星海面 flux データセット (J-OFURO2, 0.25 度格子, 2002~2008 年, 日平均値) を解析することで日本海における海面 flux の変動特性について研究する。昨年度までに、日本海における J-OFURO2 データについて、陸域付近のデータ処理などの追加処理を行い、現場データや大気数値モデル出力を用いた検証を実施した。また日本海の海洋循環に深く関係すると考えられる沿岸付近の海面 flux の分布について時空間変動を調べた。本年度は、J-OFURO2 に見られた特徴的な海面 flux の時空間変動特性について詳しく解析を行う。

2. 研究結果概要

最初に顕熱 flux の冬季平均の空間分布を示す (図 1)。J-OFURO2 の顕熱 flux の分布は他のデータセットによる顕熱 flux の分布と比較すると空間解像度が高く、陸域近くに特化したデータ処理手法 (CSF) により沿岸域付近に値が含まれることから顕熱 flux の分布は他のデータセットと特徴が異なる (昨年度の報告書も参照)。J-OFURO2 では沿岸域で値が大きく、日本海中央部で値が小さい分布を示す。図 2 は、北緯 41 度における顕熱 flux の東西変化を J-OFURO2 と、大気再解析データである NCEP 再解析 (NRA) と 衛星 flux プロダクトである HOAPS3 について示したものである。NCEP 再解析は、大陸側でやや大きな値を示すものの、J-OFURO2 と比べるとかなり小さく、全体としてもほぼ一様な顕熱 flux の分布であることが分かる。また J-OFURO2 と同様に衛星プロダクトである HOAPS3 では、全体としての値が小さく、東西変化の様子も他のデータとはかなり異なる。

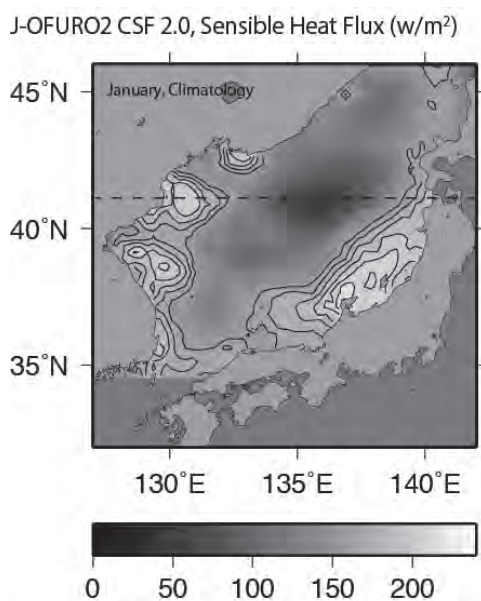


図 1. J-OFURO2 顕熱 flux (w/m^2)
冬季 (1 月) 気候学的月平均値。

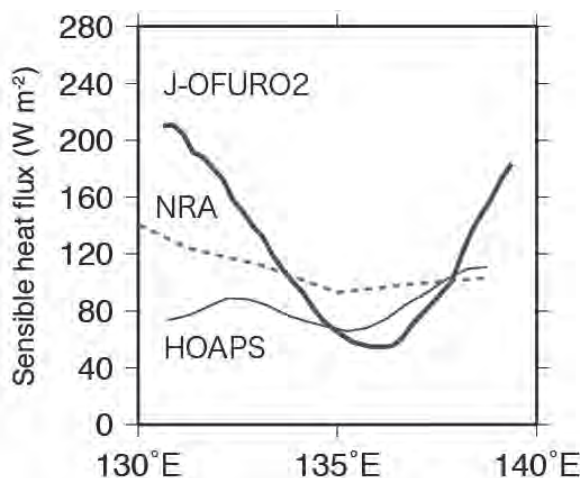


図 2. 北緯 41 度 (図 1 破線参照) における顕熱 flux の比較

この様な顕熱 flux の分布特徴のデータセット間の違いは大きな問題である。特に、大陸側の海面 flux の分布は日本海の深層を含めた海洋循環の駆動要因となっている可能性が高く、海面 flux の分布の特徴が現実的であるかは重要である。現場観測データの比較結果から観測データの豊富な日本付近の検証は可能であり、それらの比較結果から J-OFURO2 の精度が良好であることは示したが（昨年度の報告書参照）、大陸側での現場データが得られないことや、分布の全体的な特徴を検証することは現場データとの比較だけでは難しい。しかしながら、各データの海面 flux の変動特性を決める要因を把握し物理的な解釈を行うことである程度の検証を行うことは可能である。そこで、日本海における顕熱 flux の分布の特徴と、他のデータセットとの差異についてさらに詳しく検討した。図 3 は、北緯 41 度における顕熱 flux の平均値からの偏差を J-OFURO2 のデータについて示したものである。各破線は、顕熱 flux 偏差を説明する要因について調べるために、主要な規定要素である海面水温、海上気温、海上風の顕熱 flux 偏差への寄与を示す。この図より、J-OFURO2 の北緯 41 度における顕熱 flux 偏差を決める要因は、主に海面水温と気温の両方にあることが分かる。また、それらの寄与の割合は西部、中央部、東部で異なることが分かる。中央部では気温と水温が同程度の割合で海面 flux に寄与しているが、西部では気温が主要な要因であり、一方で、東部では気温の寄与は小さく、むしろ水温の寄与が大きい。一方、海上風の寄与は全体を通してあまり大きくは無かった。データセット間の違いは、主に海面水温の分布の違いによることが多かった（図省略）。例えば、NCEP などの大気再解析データでは、データの空間解像度が小さく、日本海の海面水温の分布を正しく表現できていないとも言えない。特に中央部に存在する水温フロントの存在や、大陸近くの水温分布を再現するかが重要であることが分かった。また、HOAPS では、海面水温については解像度の高く J-OFURO と似た分布を示すが、気温の推定に大きな問題があることも分かった。

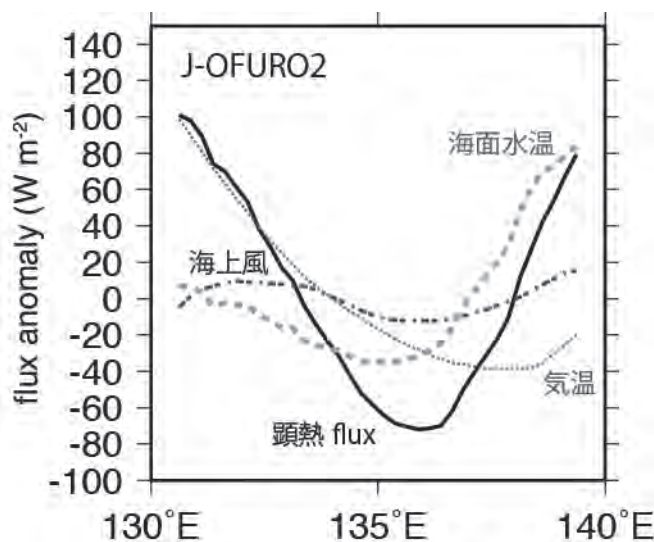


図 3. 北緯 41 度（図 1 破線参照）における顕熱 flux 偏差とその変動要因。破線は、顕熱 flux 偏差を規定する海面水温、海上気温、海上風による顕熱 flux 偏差への寄与を示す。それぞれの変数の寄与は顕熱 flux を計算するバルク式を線型化することで海面 flux への主要な寄与を示したものである。

3. 研究体制

研究代表者 名古屋大学地球水循環研究センター 富田裕之
 所内世話人 九州大学応用力学研究所 千手智晴
 研究協力者 九州大学応用力学研究所 広瀬 直毅, 高山 勝巳

対馬海峡から日本海山口県沖にかけての海洋環境モニタリング

水産大学校海洋生産管理学科 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、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、沖ノ島、蓋井島、青海島通）に生物付着防止機能の付いた水温・塩分計を春から初冬にかけて設置し、1時間間隔で表層の水温と塩分を測定した。美津島、蓋井島、青海島通については漁業用定置網に、沖ノ島については海底からブイを立ち上げ、それぞれ4～5 m 深に計測機器を設置した。

青海島通と見島宇津に小型水位計（Rugged TROLL100, In-Situ 社）を2012年8月下旬から設置し、10分間隔で2測点の水位を計測している（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。さらに、萩市浜崎（図1）と見島の間を約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。本報告では、青海島・見島の水位とフェリーによる水温観測結果について報告する。

3. 結果

青海島通と見島宇津で観測された水位に、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、潮汐成分を除去した。図2に、潮汐成分除去後の青海島と見島の水位と水位差を示す（2012年8月下旬～2014年10月下旬）。平成25年度報告でも指摘したとおり、2013年7月から10月の4か月間、水位差の変動幅は約20 cmであり、通常の変動幅8 cmと比べ2.5倍程度大きかった。他の測流結果（海底設置型ADCP, 観測期間：2013年6月8日～7月1日）を用いると、この大きな水位差変動（幅20 cm）は、約 57 cm s^{-1} の流速変動に相当すると見積もられた。

2013年1月から2014年10月までのフェリー航路上の水温を図3に示す。2014年と比べ2013年の夏季は高温であった。2013年夏季の水温の南北勾配も2014年に比べ大きい。今後、これらの水温変動と大きな流速（水位差）変動との関係について検討する必要がある。

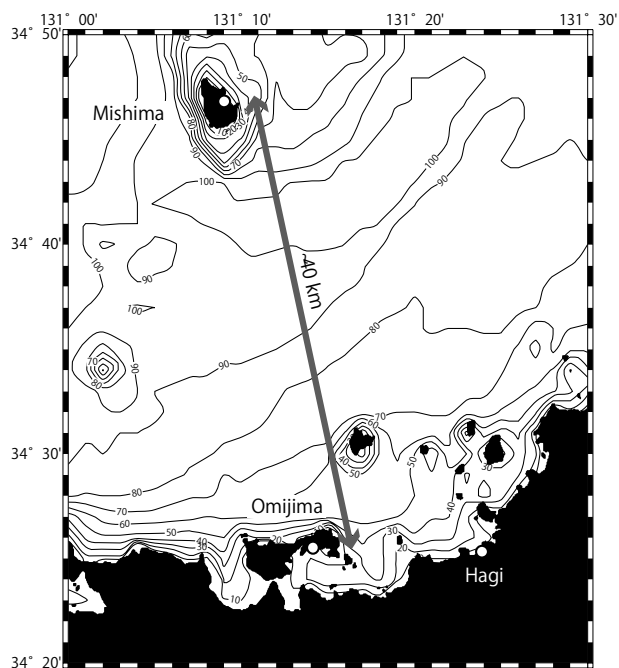


図 1. 観測海域.

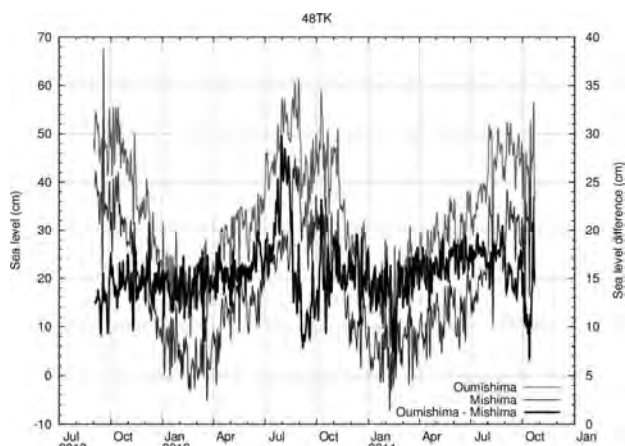


図 2. 青海島（赤）と見島（青）の水位（移動平均）. 黒線は両島間の水位差を示す.

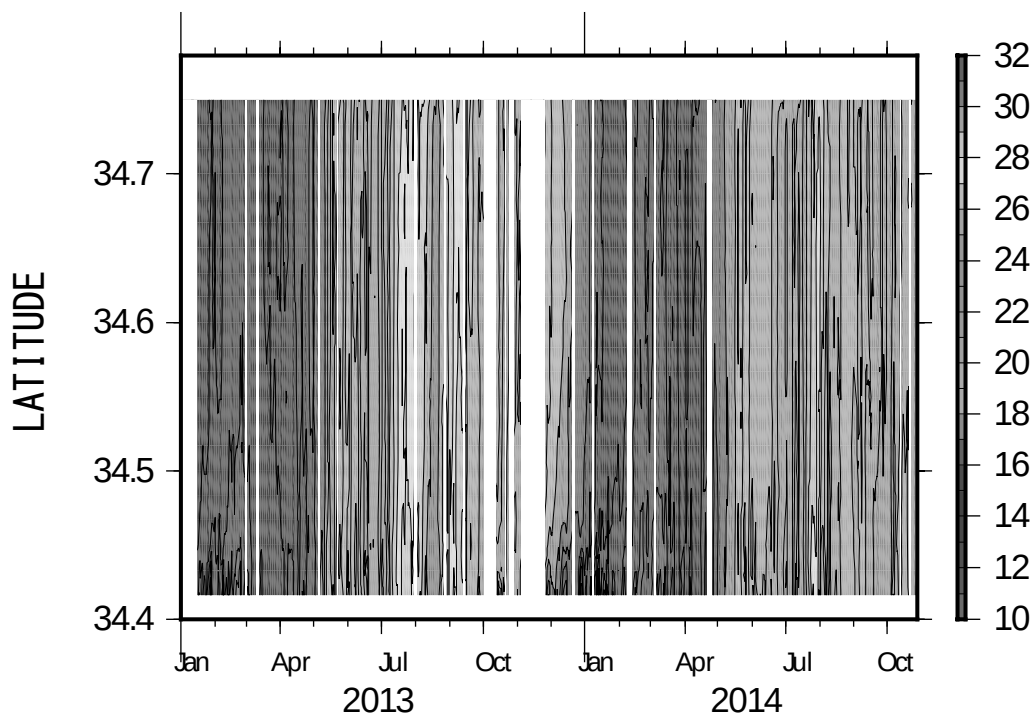


図 3. 萩ー見島間フェリー航路上の水温の緯度時間断面図.

4. 研究組織

研究代表者	水産大学校	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
研究協力者	福岡県水産海洋技術センター	内藤 剛
	山口県水産研究センター	渡辺 俊輝
	名古屋大学地球水循環研究センター	森本 昭彦

東シナ海・対馬海峡の物理変動に対する生物応答の研究

名古屋大学地球水循環研究センター 石坂丞二

目的

最近東シナ海の環境変化に伴って、赤潮やエチゼンクラゲなどの問題がすでに起こっており、また長江に三峡ダムが建設されるなど、今後の環境変化も予想される。また、対馬海峡は東シナ海と日本海をつなぐ海峡である。九州大学応用力学研究所では、東シナ海の海洋観測を行ってきており、また博多と釜山間を運航するフェリーニューカメリアで流速、水温・塩分、クロロフィル蛍光など、海洋レーダーでも周辺海域の表層の流れ場がモニタリングされており、すでに数年分のデータが蓄積されている。そこで、本研究では、東シナ海および対馬海峡での、生物データの変動要因について物理データと比較しながら明らかにする。今回は特に、東シナ海と対馬海峡の植物プランクトンの群集構造に関して、特に着目して解析した。

方法

2011 年および 2012 年の 7 月に、長崎大学水産学部附属練習船長崎丸を利用して、九州大学応用力学研究所と共同で行った調査で採取した植物プランクトン色素分析用サンプルを、高速液体クロマトグラフィによって分析した。その色素組成からクロロフィル a を構成する植物プランクトンの割合を計算する CHEMTAX プログラムで解析した。

結果・考察

2011 年には九州西岸から対馬海峡までを、2012 年には九州西岸から済州島南西までの東シナ海を観測した（図 1・2）。2011 年には、九州西岸域では高温・高塩分の黒潮系の水の性質を示し、対馬海峡では比較的低温で塩分も少し低かったが、長江希积水は存在しなかった。一方、2012 年には、九州西部で高温・高塩分の黒潮系の水が見られ、東シナ海の西側で低塩分の長江希积水の張り出しが確認された。2012 年の対馬海峡から九州西岸にかけては、N:P 比はほとんどの海域で Redfield 比（16）よりも低かった。2011 年では、長江希积水海域で 100 を越し、長江からの栄養塩、特に窒素の過剰供給を示した。クロロフィル a は、黒潮系水では 0.25 mg m^{-3} と低い、対馬海峡ではやや高く、長江希积水では 2 mg m^{-3} を超えるほど高かった。

植物プランクトン群集組成も、黒潮系水と長江希积水、そして対馬海峡域で大きく異なっていた。黒潮系水ではブリムネシオ藻と藍藻類が多く、特に黒潮の影響が強いと考えられる九州西岸の南では原始緑藻類が優占した。対馬海峡の特に日本の沿岸では珪藻が多く、長江希积水では珪藻とクリプト藻が多かった。夏季の鉛直成層によって、表層では長江希積

水以外では栄養塩は枯渇していた。亜表層クロロフィル極大は黒潮以外のすべての海域で観測され、東シナ海の亜表層クロロフィル極大では異なった種類がパッチ状に分布した。一方で 2012 年では表層と比較的似た組成であった。

このように、東シナ海と対馬海峡の植物プランクトン群集の分布ははっきりと異なり、水塊構造がその要因と考えられた。特に、長江からの栄養塩の流入は、東シナ海で高い N:P 比を作り出し、東シナ海と対馬海峡の植物プランクトン群集組成の違いを招いている可能性を示している。

研究成果報告

特になし。

研究組織

別紙の通り。

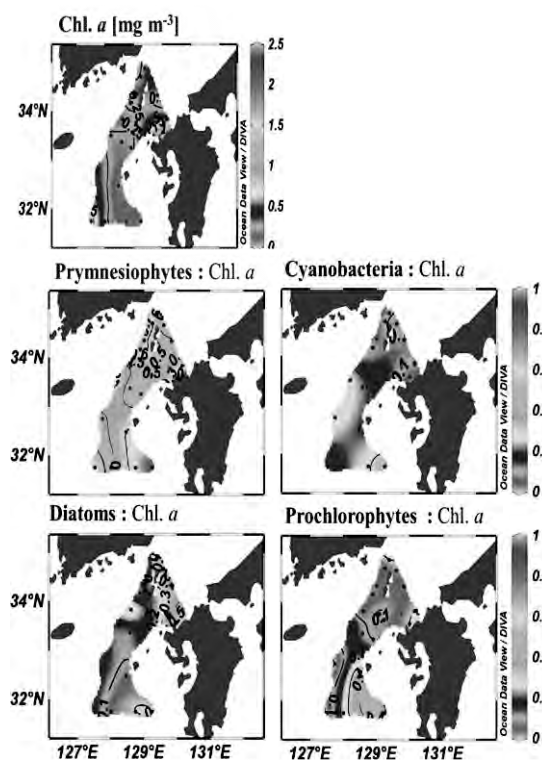


図1 2011年7月の観測によるクロロフィルa濃度 (Chl a) と植物プランクトン群集。

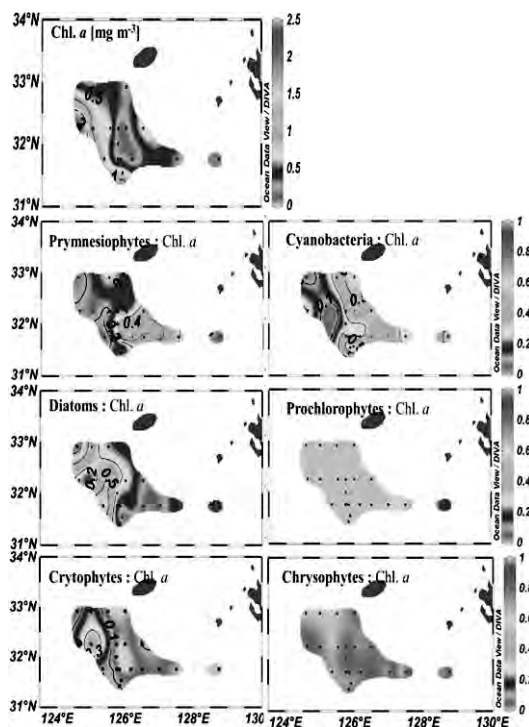


図2 図1と同じ。2012年7月。

海洋環境モニタリングのためのグライダー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、海洋環境のモニタリングを行うためのグライダー型海中ロボットの自律制御システムを確立することである。研究代表者らは、広範囲の海洋環境モニタリングや海洋探査に利用するための水中グライダーの実用化を目指して、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」の SOARER を開発した。また、長期間・広範囲に亘る海洋生態系モニタリングを実現するための実海域用ソーラー水中グライダー Tonai60 (Twilight Ocean-zonal Natural-resources and Animals Investigator) を研究開発している。Tonai60 には、サンゴ礁の蛍光撮影や被度のマッピングを行うための高感度ネットワークカメラと海棲哺乳類の音響観測を行うための水中音響データロガー、多項目海洋環境データロガーを搭載している。Fig.1 に示す Tonai60 には実海域での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、水中グライダー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。同研究所・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優れた実績があり、中村昌彦准教授との情報交換によって、本研究の飛躍的な進展が図れると考えたことも共同利用研究の目的のひとつである。また、将来的には、潜航深度 1,500m の SOARER との協調制御などによって、群知能水中グライダーシステムを構築して、長期間・広範囲に亘る海洋環境・生態系モニタリングの実現を目指したいと考えている。

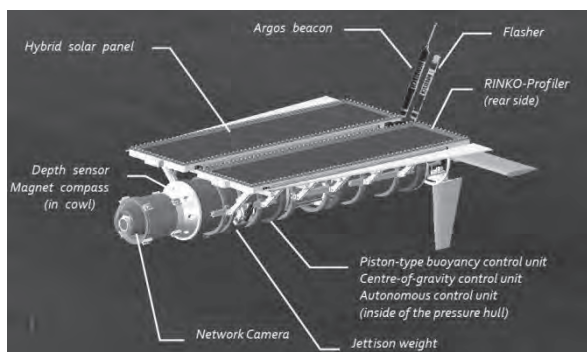


Fig.1 実海域用ソーラー水中グライダー Tonai60

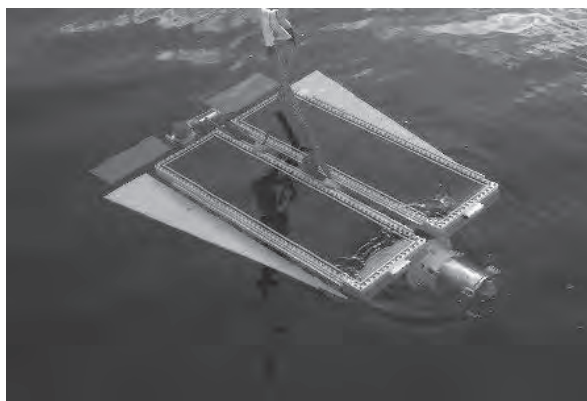


Fig.2 Tonai60 の実海域試験（鹿児島湾）

□研究の成果

深海機器力学実験水槽において実海域用ソーラー水中グライダーTonai60の潜航試験を実施した。浮心・重心などを調整した後、Tonai60のグライディング性能を水槽壁面に設置したビデオカメラで撮影・記録して、画像解析によって重心位置や水中重量を変化させたときの機体の姿勢角およびグライディング角、グライディング速度を求めることができた。そして、12月に鹿児島湾で実施した実海域試験では、SSBL位置検出装置を用いてグライディング性能を計測したが、水槽試験と同じグライディング性能を有することを確認できた。



Fig.2 Tonai60の潜航試験（深海機器力学実験水槽にて）

□研究成果報告

- M.Arima: Development of Underwater Gliders at Osaka Prefecture University, [Oral Presentation] Pusan National University and Osaka Prefecture University Joint Seminar, (2014.06).
- M.Arima, H.Tonai, K.Yoshida: Development of an ocean-going solar-powered underwater glider, Procs. the twentyfourth (2014) International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2014), Vol.2, pp.444-448, (2014.06).
- 宮本雅之, 有馬正和: 実海域用ソーラー水中グライダーの制御系の構築, 第27回ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2015 in KYOTO) 論文集, (2015.05).
〔投稿中〕

□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	准教授	代表者・総括, システム計画
宮本 雅之	大阪府立大学工学部	学生 B4	実験補助
石井 和男	九州工業大学・ 生命体工学研究科	教授	水中ロボットの自律制御
中村 昌彦	九州大学・応用力学研究所	准教授	所内世話人

Development of an Ocean-Going Solar-Powered Underwater Glider

Masakazu Arima, Hirofumi Tonai, Kana Yoshida
Department of Marine System Engineering, Osaka Prefecture University.
Sakai, Osaka, Japan

ABSTRACT

The purpose of this research is to develop an ocean-going solar-powered underwater glider, named Tonai60, for a long-term and wide-range monitoring of ocean environment and ecosystem. The maximum operation depth is 60 metre in the twilight ocean zone. The Tonai60 glider is equipped with a multi-parameter data logging profiler for monitoring ocean environment, a network camera for coral reef monitoring, and an acoustic data logger for monitoring marine mammals. This paper deals with the design of the Tonai60 glider and gliding performance obtained from tank test and sea trials.

KEY WORDS: Ocean-going solar-powered underwater glider; Tonai60; piston-type buoyancy control unit; ocean-environment monitoring; RINKO-Profiler; underwater acoustic data logger.

INTRODUCTION

Ocean covers over 70% of the Earth's surface, and it is estimated to have about 97% of water volume on the Earth. From a period of great antiquity, humans have lived on various kinds of blessing from diverse organisms and ecosystems of the ocean. It is essential to promote the conservation and sustainable use of marine biodiversity, for the survival of human beings with such blessings from the ocean. It is also important to recognise marine biodiversity and realise a wide-range and long-term monitoring of sound ocean ecosystems. Japanese Ministry of the Environment has formulated the 'Marine Biodiversity Conservation Strategy' in March 2011 (Japanese Ministry of the Environment, 2011). Characteristics of marine ecosystems were given in this Conservation Strategy as follows:

Important in consideration on the marine environment and the ecosystems there is the existence of an extensive water body. In the ocean, there are layers with different water flow at different depths, and organisms and ecosystems distribute three-dimensionally. Plants with photosynthesis as primary producers occur in photic zones down to about 200m from the water surface, and on sea bottoms of the shallow coastal water. There occur completely different ecosystems in the deep sea.

It is widely-known that the effects of the climate change become a serious problem of the ocean ecosystems:

Coral reefs are suggested to be vulnerable to the climate change, and their large-scale bleaching by the increased seawater temperature has been observed frequently in recent years around the world. Furthermore, increasing ambient concentrations of carbon dioxide will lead to more carbon dioxide dissolved into seawater and subsequent aggravation of its acidification. Acidification of seawater will then suppress calcification to produce calcium carbonate for the skeleton of corals and the shell of plankton. Some species may not be able to form its skeleton or shell, and balance of the ecosystem may be lost due to changes in the species composition.

And the Strategy also stated about improvement of scientific information and knowledge:

To implement the measures necessary for marine biodiversity such as conservation, to check the effects of those measures and to react adaptively, changes in marine ecosystems must be observed, and monitoring must be encouraged. Through survey programs such as Monitoring Sites 1000, data on the natural environment such as data on biota of shallow water ecosystems (seaweed beds, tidal flats, coral reefs, etc.) will be improved continuously. At the same time, data on sea turtles, sea birds, marine mammals and so on will be collected and organized. In addition, the marine environment will be continually monitored to evaluate the state of marine pollution. Furthermore, if information that has not been collected continuously turns out to be important in detecting changes in marine biodiversity, a method to monitor such information will be examined, and efforts will be made to accumulate it.

Recently underwater robotic vehicles such as ROV (remotely operated vehicle) and AUV (autonomous underwater vehicle) have been involved in scientific researches in the ocean, and they achieved magnificent results (Maki, 2013). Underwater glider is one of the most useful AUVs, for reasons of greater efficiency in energy use, low-cost manufacturing and maintenance of the vehicle (Rudnick, 2004). Typical underwater glider has no propulsive machinery such as thruster, but it has an ability to realise wide-range and long-term operations by using a buoyancy-control device and a centre-of-gravity control device.

The authors have developed several kinds of underwater gliders. The ocean-going underwater glider with independently controllable main wings, named SOARER, was designed for the use of ocean environmental monitoring to the middle depths (Arima, 2011). The feasibility of the solar energy use under water was investigated in detail (Arima, 2012a) and then the ocean-going solar-powered underwater glider was designed (Tonai, 2013). This paper deals with development of an ocean-going solar-powered underwater glider for a long-term and wide-range monitoring of ocean environment and ecosystem.

THE TONAI60 GLIDER

The ocean-going solar-powered underwater glider was named Tonai60 as an abbreviation of “Twilight Ocean-zonal Natural-resources and Animals Investigator.” The maximum operational depth is 60 metre in the twilight ocean zone and the purpose of this vehicle is a wide-range and long-term monitoring of marine mammals by underwater acoustic observation and reef corals by image analysis. External view and specifications of the Tonai60 glider are shown in Fig. 1 and Table 1, respectively.

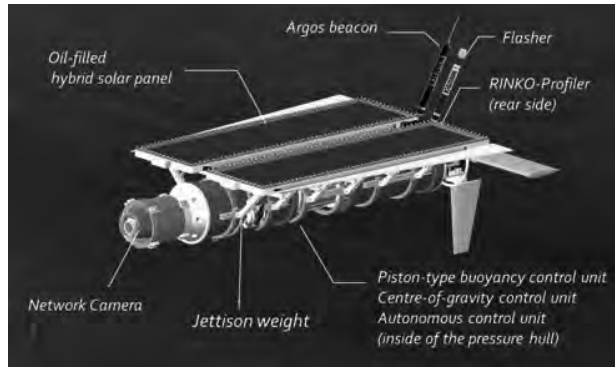


Fig. 1 Ocean-going solar-powered underwater glider, Tonai60.

Table 1. Specifications of the Tonai60 glider.

Length	1.650 m
Breadth (wing span)	1.030 m
Height (including rudder)	0.528 m
Diameter of fuselage	0.200 m
Mass	abt. 92.0 kg
Volume excluding ballast tank	abt. 92.5 ℓ
Volume of ballast tank	1.0 ℓ
Mass of jettison weight	3.0 kg
Time to pour/discharge sea water	abt. 2.5 min. at sea surface
Cruising speed	abt. 0.2 ~ 0.5 m/s
Maximum operational depth	60 m

Specifications of on-board devices and sensors for navigation are shown in Table 2.

Table 2. Specifications of equipped devices and sensors.

Hybrid solar cell VISORA M-HS210 × 2 (Kaneka Corp.)	Max. output: 21.0 W Size: 240 × 998 × 6 mm ³ Weight: 3.1 kg / module
LifePO4 Battery LFX18L1-BS12 × 2 (Shorai Inc.)	Voltage: 12 V Current: 18 A/Hr PbEq Size: 148 × 66 × 105 mm ³ Weight: 1.038 kg / module
GPS module GH-81 (Furuno Electric Co., Ltd.)	16 channels Size: 21 × 21 × 10 mm ³ Weight: 10 g Horizontal accuracy: 15 m
Depth sensor EP101A-C11-C20A*B (Yokogawa Electric Corp.)	Range: 0 ~ 1 MPa abs Output: 1 ~ 5 V DC
Navigation system OS5000US (Ocean Server Technology Inc.)	Magnetic compass Accelerometers for detecting roll and pitch angle
PC for autonomous control PICO820 (Axiomtec Co., Ltd.)	CPU: IntelAtom Z510/ Z530 Size: 100 × 72 mm ² OS: Microsoft Windows 7 Professional
Micro-computer for a depth sensor and a buoyancy control unit H8SX/1655 (Renesas Electronics Corp.)	CPU: 32bit H8SX (CISC) Memory: 512 KB ROM 40 KB RAM 10 bit ADC × 2ch 10 bit DCA × 2ch

A couple of oil-filled-pressure-compensated hybrid-type solar panels were arranged on the top of the glider. The MPPT (Maximum Power Point Tracking) control was introduced to maintain the optimal utilisation of photovoltaic generation. And a balance charge circuit and a load controller were also applied for realising optimal charge and discharge of the rechargeable battery (Tonai, 2013). A piston-type buoyancy control device was introduced for controlling its attitude and the gliding performance. The cylindrical buoyancy control device has a length of 797 mm and a radius of 105 mm. A piston was controlled by a DC motor (RE35, Maxon Motor AG) with gear-head (GP32HP, Maxon) using ball screw mechanism. Water volume in the ballast tank is controlled as the position of the piston by a servo controller (ESCON 50/5, Maxon). Maximum useable depth of the Tonai60 glider is 70 m, and this is limited by the maximum torque, 8 Nm of this DC motor so as to exhaust sea water from the ballast tank against water pressure at a depth of 70 m. And a lead-made 1.75 kg movable weight was also used for controlling the glider's attitude. Weight was controlled by a DC motor (RE-max21, Maxon) with gear-head (GP22C, Maxon) using ball screw mechanism. Maximum torque of the motor is 2 Nm. The position of the weight is controlled by a digital position control unit (EPOS2 24/2, Maxon). Practical stroke of the movable weight is 470 mm, and pitching angle of the glider can be changed between about ±20 degrees from horizontal condition. The vehicle can realise optimal gliding by repeating diving and surfacing. Right-and-left tailplanes can be controlled independently and it functions as aileron. Aileron and rudder can be controlled by PC through microcomputer using three servomotors (KRS-4034HVICS, Kondo Kagaku Co., Ltd.).

CONTROLLER OF THE TONAI60 GLIDER

Systems configuration and wiring diagram of the Tonai60 glider are shown in Figs. 2 and 3, respectively. Network camera and 3-axis digital compass are connected with an on-board PC through LAN and USB cables, respectively. Depth sensor is connected with micro-computer through USB cable. The PC and the microcomputer are connected with each other through RS-232C cable. Buoyancy control unit is controlled by the PC using signal from the depth sensor. On the other hand, balance weight unit is controlled by the PC using signal from 3-axis digital compass. Pan and tilt angle of the network camera is also controlled by PC using signals of the fuselage's attitude for recording target objects continuously. Network camera, balance weight unit, buoyancy control unit, aileron and rudder are controlled by PID feedback control.

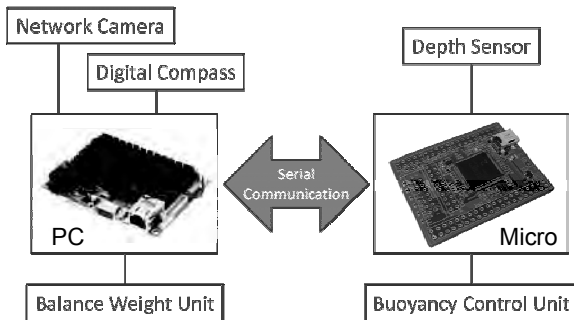


Fig. 2 Systems configuration of Tonai60's controller.

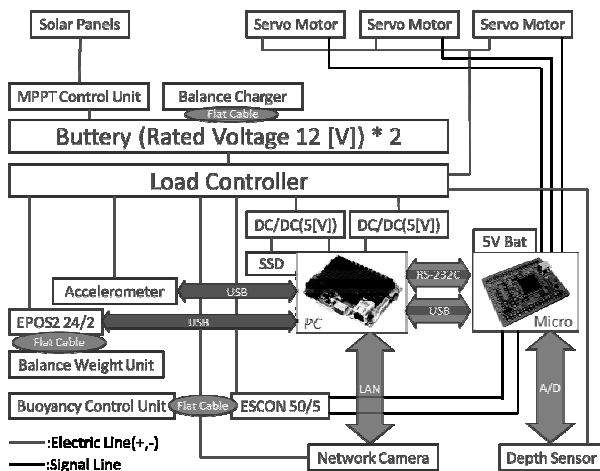


Fig. 3 Wiring diagram of Tonai60's controller.

Application software for controlling the Tonai60 glider was established by C++ language. Language is Japanese for the practical use in Japan. Control panel of the application is shown in Fig. 4. This application runs on the on-board PC, and motion mode such as initialisation, calibration or operation can be selected without writing in and resetting the micro-computer. Remote desktop operation is available through wireless LAN when the vehicle is at surface, and this helps to conduct initialisation of the vehicle and/or calibration of buoyancy adjustment.



Fig. 4 Application software 'Tonai60 APP' for controlling Tonai60.

ENVIRONMENT AND ECOLOGY MONITORING SYSTEM

The Tonai60 glider is equipped with an environmental multi-parameter data logger profiler 'RINKO-Profiler' (JFE Advantech Co., Ltd.), a network camera 'VB-M40' (Canon Inc.) for monitoring coral reefs, and an acoustic data logger 'A-tag' (Marine Micro Technology Corp.) for monitoring marine mammals. There is no requirement for such a solar-powered underwater glider to dive into deep sea. Adequate sunshine may reach to a hundred metre or thereabouts in the middle of transparent ocean. On the contrary, sunshine may reach only several metres at the enclosed marginal sea. There are various kinds of invaluable marine organisms in the sunlight boundary layer, so-called twilight ocean zone.

Network Camera VB-M40 for Image Analysis

Coral reefs are very sensitive to environmental changes, and then they can be one of environmental indices such as global warming. The protection of coral reef is also an issue of great urgency. Covered area and species of coral reefs are usually investigated by scuba divers, but there are difficulties in diving time and depth. Then the authors plan to operate the Tonai60 glider for coral monitoring. The solar-powered underwater glider has the ability to be recharged at sea surface in the daytime, and reef corals can be analysed from fluorescent image with ultraviolet light at night. Fig. 5 shows an example of image analysis of reef corals. The experiment was conducted using network camera and OS5000US sensor at Coral Tank of Enoshima Aquarium, Japan.



Fig. 5 Reef corals excited by ultraviolet light and its binarised image.

Underwater Acoustic Data Logger, A-tag

The underwater acoustic observation system has an ability to detect marine mammals such as killer whale (*Orcinus orca*) and to estimate the number of individuals. Killer whale is situated in the highest position of a food chain in the ocean. Killer whales do not act independently and they usually behave with their family, called ‘pod’. The soundness of the ocean area can be thus evaluated from the number of killer whales over the relevant sea area (Arima, 2012b). Fig. 6 shows an external view of A-tag, which has a couple of hydrophones for estimating the direction of killer whales’ vocalisation source. A-tag is usually attached on the base under the solar-panel unit. An example of killer whales’ behaviour obtained by A-tag in Southern Alaska is shown in Fig. 7. A-tag was towed singly by a small fishing vessel for validation of this acoustic data logger. The time histories of the sound pressure (red lines), time difference (direction of sound source) (black dots) and pulse interval (blue dots) indicate that at least two killer whales have passed around A-tag (red ellipse).



Fig. 6 Acoustic data logger, A-tag.

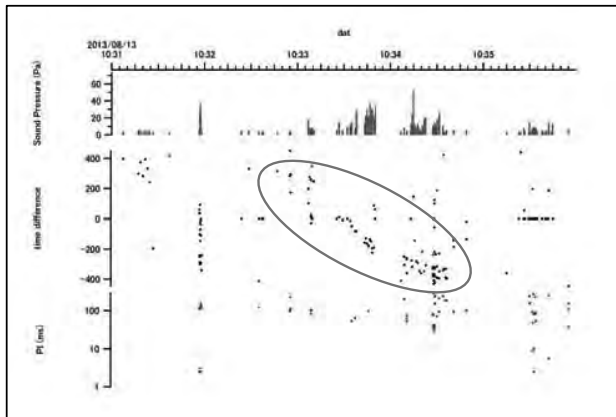


Fig. 7 An example of killer whales’ behaviour obtained by A-tag.

Environmental Data Logger, RINKO-Profiler

The Tonai60 glider is equipped with an ocean-environment monitoring data logger, RINKO-Profiler of JFE Advantech Co., Ltd. Exterior view of original RINKO-Profiler and its specifications are shown in Fig. 8 and Table 3, respectively.



Fig. 8 RINKO-Profiler (JFE Advantech Co., Ltd., 2013).

Table 3. Measuring items of RINKO-Profiler (JFE Advantech, 2013).

Items	Sensor type	Range	Resolution	Accuracy
Depth	Semiconductor pressure sensor	0~1,000m	0.01m	±0.3%FS
Temperature	Thermistor	-3 ~ 45 °C	0.001 °C	±0.01°C (0 to 35 °C)
Conductivity	Electrode	2~70mS/cm	0.001mS/cm	±0.01mS/cm (2 to 65 mS/cm)
Salinity	PSS-78	2 ~ 42	0.001	±0.01 (2 to 40)
DO	Phosphorescent	0~20mg/ ℓ	0.001mg/ ℓ	±2%FS
Chlorophyll	Fluorimeter	0~400ppb	0.01ppb	±1%FS Zero drift ±0.1ppb
Turbidity	Backscattering	0~1,000FTU	0.03FTU	±0.3FTU or measured value ±2%

*Time constant: DO 0.4 seconds, others 0.2 seconds

The RINKO-Profiler’s measuring items are depth, temperature, conductivity, salinity, dissolved oxygen (DO), chlorophyll-*a* and turbidity. The RINKO-type DO sensor is epoch-making device for realising short time measuring. Measurement of dissolved oxygen (DO) using conventional DO sensor takes several seconds usually. However, newly developed RINKO-Profiler has a short time constant of 0.4 seconds, and this enables to achieve successive measurement by underwater vehicles. RINKO-Profiler was installed into the rear cap of Tonai60’s pressure hull without the titanium case and sensor guard. About 10 hours monitoring data can be stored into a built-in memory card. Battery charging and data transmission can be done by connecting cables with each pressure-resistant connector on the rear cap.

TANK TEST AND SEA TRIAL OF THE TONAI60 GLIDER

Tank test was conducted at the Ocean Engineering Tank of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University. The purpose of this tank test was to verify the initial design of the Tonai60 glider. The position of the centre of gravity, centre of buoyancy and buoyancy were checked under water, and the optimal position was fixed. Then, gliding test was tried by shifting the centre of gravity systematically. Gliding angle of diving was about 20~30 deg. as was expected.

Field test was conducted at Kagoshima Bay, South Kyushu, Japan on 10 December, 2013. Fig. 9 shows the Tonai60 glider hanged from the mother vessel, Nansei-maru of Kagoshima University. There appear often bottlenose dolphins in Kagoshima Bay, but no marine mammals' vocalisation data was recorded by A-tag in this field experiment.

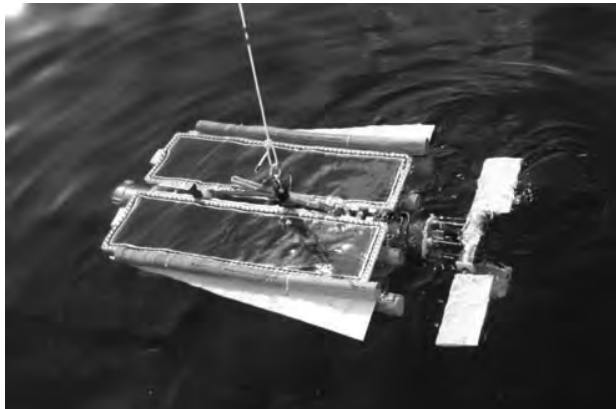


Fig. 9 Sea trial of the Tonai60 glider at Kagoshima Bay.

Accurate location of the mother vessel, Nansei-maru, was obtained by a portable GPS device. The depth of experimental field was about 200 m. Tonai60 was tethered to a winch system of the mother vessel through a pulley. Additional weight of 3.0 kg was fastened around the centre of gravity so that the weight in water was adjusted to be 1.0 kg and the Tonai60's attitude became to be the same condition as the tank test. By setting negative buoyancy of the vehicle and nose-down attitude, Tonai60 started gliding. Tethered cable was veered out to the maximum length of 20 m and then the vehicle was refloated to the sea surface. Time histories of ocean environmental data obtained by the RINKO-Profiler are shown in Fig. 10. Upper-side yellow-band zones mean diving period of the Tonai60 glider.

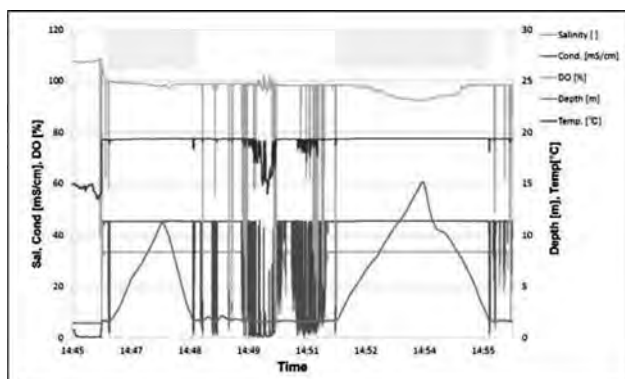


Fig. 10 Time histories of ocean data obtained by RINKO-Profiler.

Findings from this time histories including two dives are as follows; Maximum depth of two dives were 11.2 m and 15.2 m, respectively. Water temperature was about 19.4 centigrade. Salinity was about 33.5 psu. Dissolved oxygen dropped slightly as the depth increased. Conductivity was around 45.4 [mS/cm]. The gliding angle was estimated to be about 34~49 deg. from the relationship between maximum gliding depth and cable length under water. It was windy, and Nansei-maru might have drifted slightly.

CONCLUSIONS

In this research, an ocean-going solar-powered underwater glider, Tonai60, was developed and the systems were verified by tank test and field experiment. It was demonstrated that Tonai60 had an ability to realise gliding under water and the controller worked well as was expected. Autonomous control program based on PID control is now under construction. For future works, autonomous cruising procedures at sea will be completed by repeating field experiments. Actual endurance should be also investigated through field tests, because performance of photovoltaic power generation may be deteriorated due to biofouling.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express our deepest appreciation to Associate Professor Masahiko Nakamura, Mr Masaru Inada and Mr Jyoushiro Noda of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University for their valuable advices in the tank test. Acknowledgement is also due to Associate Professor Tomoko Yamamoto and crews of Nansei-maru of Kagoshima University for their kind cooperation in the field test at Kagoshima Bay.

This work was supported by the KAKENHI (23360393), Grant-in-Aid for Scientific Research (B).

REFERENCES

- Arima, M, Ishii, K and Nassirei AAF (2011). "Development of the ocean-going underwater glider with independently controllable main wings, SOARER," *Procs. of the twentyfirst (2011) International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2011)*, Vol. 2, pp.274-278.
- Arima, M, Tonai, H (2012a). "Feasibility Study of an Ocean-Going Solar-Powered Underwater Glider," *Procs. of the twentysecond (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2012)*, Vol.2, pp.532-537.
- Arima, M, Tonai, H, Kosuga, Y (2012b). "Development of Underwater Observatory Systems for Monitoring Ocean Ecosystem," *Procs. of 2012 Fifth International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET-12)*, pp.143-146.
- Arima, M, Tonai, H, Kosuga, Y (2013). "Underwater Glider 'SOARER' for Ocean Environmental Monitoring," *Procs. of 2013 IEEE International Underwater Technology Symposium (UT13)*, UT2013-1096, pp.1-5.
- Japanese Ministry of the Environment (2011). "Marine Biodiversity Conservation Strategy," Japanese Ministry of the Environment.
- JFE Advantech Co., Ltd. (2014). Data given in the table are available as of 20 January 2014, Ocean and River Instruments Division, JFE Advantech Co., Ltd. website: <http://www.jfe-advantech.co.jp/eng/ocean/rinko/rinko-profiler.html>
- Maki, T, Sato, Y, Matsuda, T, Kume, A, Sakamaki, T, Ura, T (2013). "AUV Tri-TON -A Hover Capable Platform for 3D Visualization of complicated surfaces-," *Procs. of International Symposium on Underwater Technology 2013 (UT'13)*, UT2013-1091, CD-ROM.
- Rudnick, DL, Eriksen, CC, Fratantoni, DM, and Pery, MJ (2004). "Underwater gliders for ocean research," *Marine Technology Society Journal*, MTS, Vol.38, No.1, pp.48-59.
- Tonai, H, Arima, M (2013). "Design of an Ocean-Going Solar-Powered Underwater Glider," *Procs. of the twentythird (2013) International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2013)*, Vol.1, pp.345-349.

PM2.5 エアロゾル濃度変動に関わる $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ の動態解明に関する研究

名古屋大学大学院 環境学研究科 長田 和雄

目的

これまでに進められてきた越境大気汚染の数値モデル研究では、その主な対象が、硫酸塩エアロゾルや黄砂エアロゾルに置かれてきた。しかし、昨今の中国での高濃度の PM2.5 汚染が引き金となって、越境輸送されてくる PM2.5 や国内で生じる PM2.5 への関心が高まっている。PM2.5 は直径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の微小粒子状物質の「集合体」で、硫酸塩以外にも、硝酸塩、アンモニウム塩 (NH_4^+) など様々なエアロゾル成分を含む。粒子中の NH_4^+ 塩は、硫酸塩や硝酸塩を中和するカウンター成分として重要であるが、その動態については十分に研究されてきていない。

本研究では、科学研究費基盤 S 研究「多波長ライダーと化学輸送モデルを統合したエアロゾル 5 次元同化に関する先導的研究」で新たに導入された大気エアロゾル化学成分連続自動分析装置 (ACSA) や多波長ライダー計測とタイアップして、いままで測定されてこなかったアンモニア (NH_3) ガスと粒子態アンモニウム塩の測定と解析を行い、PM2.5 エアロゾル濃度変動に関わる NH_3 と NH_4^+ の役割を明らかにする。

観測方法

NH_3 と NH_4^+ の測定には、研究代表者が開発した連続測定装置 (Osada et al., AAQR, 11, 170-178, 2011) を用いる。この装置を九州大学筑紫キャンパスの G 棟 607 号室に設置し、2014 年 7 月 31 日から観測を継続している。この測定装置では、大気中の NH_3 と NH_4^+ の分配状態を乱さずに、34 分毎にデータセットが得られる。また、研究協力者の所有する ACSA を用いることで、時別の粒径別 NO_3^- や SO_4^{2-} 濃度などが得られるので、これらを合わせることで、PM2.5 エアロゾル濃度のモデルシミュレーションの精緻化に資する。

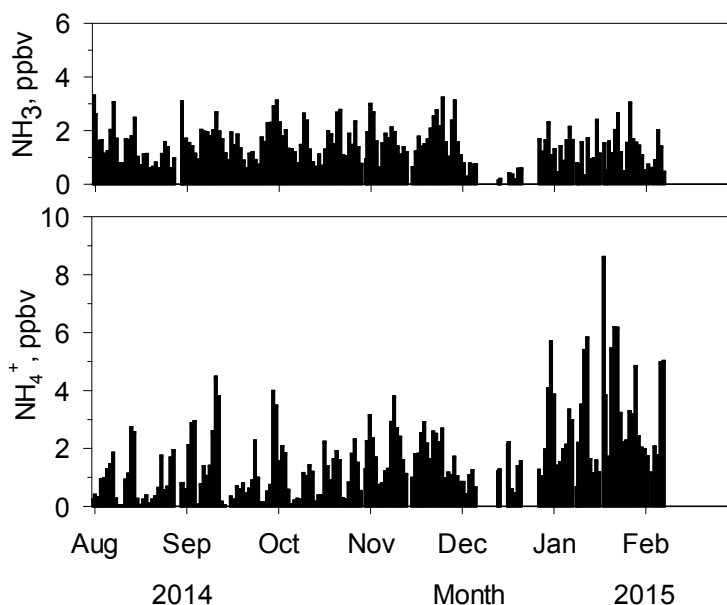


図 1 筑紫キャンパス G 棟で観測した日平均 NH_3 濃度と NH_4^+ 濃度

結果と考察

図 1 に示すのは、観測開始以来の NH_3 と NH_4^+ の日平均濃度である。装置のトラブルで 12 月に数日間の欠測となったが、計画停電や装置メンテナンスを除き、ほぼ連続してデータを取得できた。ここまでの日平均値の概要としては、 NH_3 濃度が $0.1\sim 3$ ppbv 程度、 NH_4^+ 濃度は $0.1\sim 6$ ppbv 程度であった。夏から秋にかけて、 NH_3 濃度が NH_4^+ 濃度より高いか同程度の日が多いのに対し、1 月以後は、粒子態の濃度がガス態を上回ることが多い。また、粒子態の濃度は数日おきに増減を繰り返す傾向があるの

に対し、ガス態の濃度の増減は粒子態の濃度変化に追従しないことも多い。

図 2 に示したのは、9 月に観測された日内変化の例である。日中に気温が高くなると同時に NH_3 の濃度も高くなり、その際に NH_4^+ の濃度が低下している事例が観測された。これは、気温の上昇に伴う粒子態からガス態への相変化を示唆する。

図 3 に示したのは、2015 年 1 月に観測された高 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度イベントである。微小粒子中の SO_4^{2-} 濃度と NO_3^- 濃度の和と、 NH_4^+ 濃度はほぼバランスしており、硫酸アンモニウムと硝酸アンモニウムの混合物が存在していたことを示唆する。

以上のように、初年度の観測からは、モデルシミュレーションの精緻化に繋がる、たいへん興味深い時別観測値が得られた。今後は春～初夏のデータを取得し、通年のデータを解析する予定である。

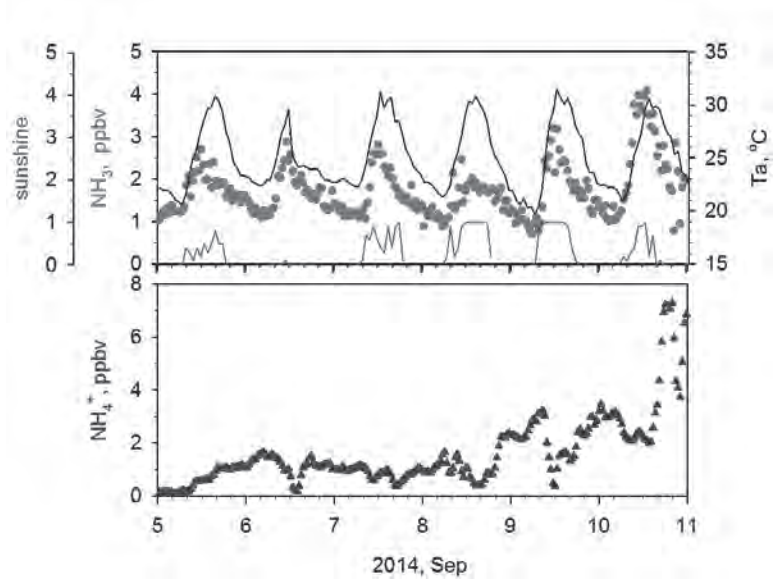


図 2 2014 年 9 月の日内変化観測例。気温と日照は太宰府（気象庁・アメダス）での値。

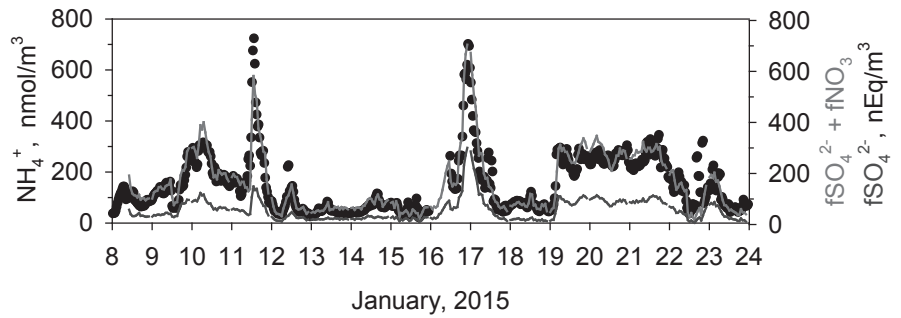


図 3 2015 年 1 月の $\text{PM}_{2.5}$ 高濃度イベント時の NH_4^+ (本研究)、 fSO_4^{2-} 、 fNO_3^- (ACSA) 濃度の観測例。

研究成果報告：
特になし

研究組織

氏 名	所 属	職名	役割・担当分野
長田 和雄	名古屋大学	准教授	$\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ 観測・解析
原 由香里	九州大学応用力学研究所	助教	数値モデル
鵜野 伊津志	九州大学応用力学研究所	教授	総合解析

26 AO-3

洋上および海中を航走するビークルに働く流体力解析・機体挙動に関する研究

独立行政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 ASV 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。全長 2m、全幅 0.9m、空中重量 300kg 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キールおよびポッド部を幽する。これは実機の 1/3 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を中心に速度による変化による抵抗の変化や波の変化による動揺の程度を計測し、解析した。この結果の 1 例を図 2 に示す。



図 1 実験風景

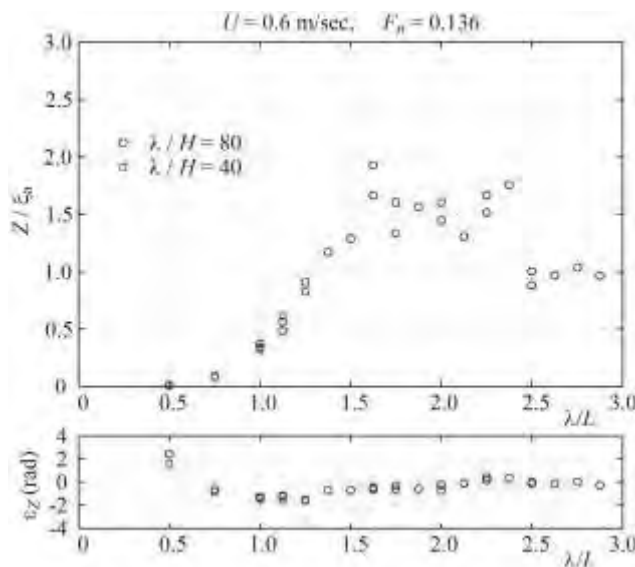


図 2 水槽実験の測定データの一例

【研究の目的】

越前沿岸域の流れは対馬暖流沿岸分枝の影響を受けやすいことが経験的に知られているが、そのことを説明できるデータは少なかった。近年、越前岬から北東 20km 程度に位置する鷹巣（図 1 参照）で流速の観測が行われるようになり、九州大学応用力学研究所で日本海高解像度沿岸モデルが開発されたこともあって、越前沿岸域の流況が次第に理解できるようになった。本研究は越前沿岸域の表層流の流動変動の特徴を明らかにすることを目的とし、当海域の鷹巣で実施された観測データおよび上記の高解像度沿岸モデルの計算結果の解析を行った。

【観測および解析】

福井県水産試験場の調査船「若潮丸」用いて鷹巣の定置網近傍に多層流速計（Nortek Aquadopp profiler, 600kHz）と電磁流速計（JFE アドバンテック, compactEM）を設置し、2014 年 5-10 月のデータを取得した。また、データ解析には観測で取得したデータと、同じ測点で以前に取得したデータを利用し、沖合の情報として九州大学応用力学研究所が web サイトで公開している日本海高解像度沿岸モデルの計算結果（DREAMS_C）を利用した。

【結果および考察】

図 2 には、鷹巣で取得したデータを利用して 2014 年 5-10 月の流速の時系列（海面下 10m 層）を示した。越前海岸に沿うように北東へ向かう流れが発生していたことが多いことがわかる。また、8 月 5 日に急潮が発生し、12 日まで強い流れが続いている。この図から読み取ることは難しいが、一時的に流速は 50cm/sec を超えていた。

日本海高解像度沿岸モデルの計算結果を利用して、鷹巣で急潮が発生する前から発生するまでの流動構造の変化を調べた。その一例として、図 3 には急潮発生前の 8 月 1 日と、急潮発生時の 8 月 6 日の流況図を示した。8 月 1 日の流況図をみると、対馬暖流沿岸分枝は若狭湾西



図 1 若狭湾および観測を実施した鷹巣の位置

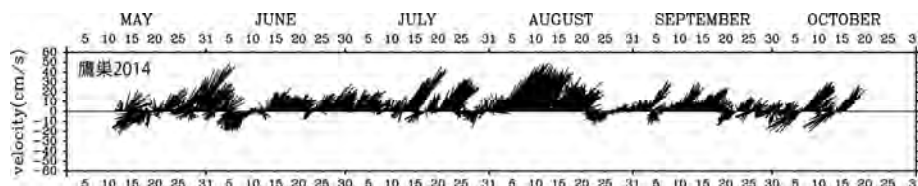


図 2. 鷹巣における流速の時系列（2014 年，海面下 10m）

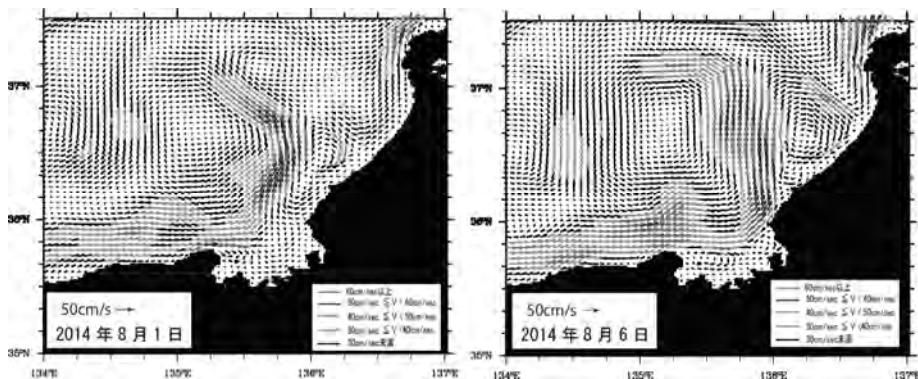


図 3. 急潮発生前の数値計算の結果（左，2014 年 8 月 1 日）
急潮発生時の数値計算の結果（右，2014 年 8 月 6 日）

部の丹後半島付近では接岸していたものの東へ進むにつれて沖を流れるようになり、鷹巣沖では離岸していた。次に急潮が発生していた8月6日の計算結果をみると、対馬暖流沿岸分枝は丹後半島から越前岬に向かう流路に変わり、鷹巣沖で接岸流路を取っていたことが示された。この計算結果から、8月5日頃に鷹巣で発生した急潮は対馬暖流沿岸分枝の越前海岸への接岸によって引き起こされたと推察した。

さらに、日本海高解像度沿岸モデルの計算結果を利用して急潮が発生したときに鷹巣沖と同様に流れが強くなった範囲や、3日前からの流況の時間変化について検討した。8月4-8日の数値モデルの計算結果を利用して鷹巣沖の流速と他のメッシュの流速との相関を計算し、相関係数を地図上にプロットした(図4)。相関係数が高い場所(図は正の相関のみ着色)は、急潮発生時に鷹巣と同じように流れが強化された場所を示している。若狭湾-鷹巣沖に注目すると、流れが強くなった範囲は越前海岸の岸から80km程度で強化されていたことがわかる。次に、鷹巣で流れが強くなる3日前に流れが強くなった場所について調べるため、鷹巣における上記の期間の流速値と他のメッシュの3日前(8月1-5日)の流速値を利用してLag相関を計算した(図5)。図5の相関係数マップから、鷹巣で流れが強くなる3日前には、若狭湾口部で流れが強くなっていたことが明らかになった。

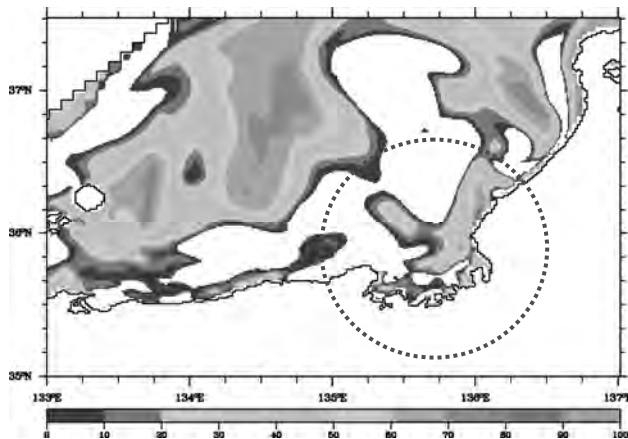


図4. 鷹巣沖の流速と各計算メッシュの流速の相関係数(解析期間2014年8月4-8日)

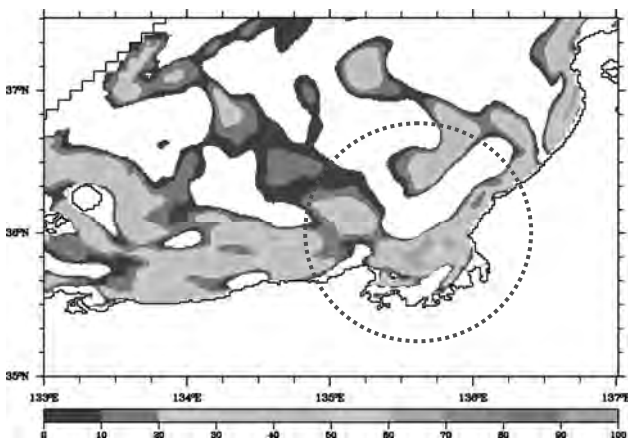


図5. 鷹巣沖の流速(期間は図4と同じ)と各計算メッシュの3日前の流速の相関係数(-3日のLag相関の結果)

急潮はその強烈な流れによって定置網などの漁具被害が発生することが知られており、急潮の発生予測は地域の水産業に対して有益な情報になると考えられている。今回の結果は、対馬暖流沿岸分枝の接岸に注目することが重要であること、さらに鷹巣で急潮が発生する3日程度前に若狭湾の湾口付近で流れが強化される傾向がある可能性を示した。これらのことは、今度の鷹巣における急潮予測に関連する重要な知見といえる。今後も鷹巣で流速観測は継続される予定であることから、同様の解析を行うことによって、さらに詳細な急潮発生過程を把握できる可能性がある。

【研究成果報告】

鷹巣沖における流動変動とその発生要因、兼田淳史・鮎川航太・熊木豊・千手智晴・広瀬直毅・渡邊達郎、日本海洋学会春季大会(2015年3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

1. 研究の目的

日向灘で漁獲される多くの沿岸資源の漁獲量は、豊後水道内の漁獲量と同期しており（渡慶次ほか、2014）、日向灘と豊後水道において資源的な繋がりが示唆されている。そのため、日向灘北部沿岸域における沿岸資源の卵・仔稚魚の輸送や成魚の移動に影響を与える流動場の把握は重要な課題であった。

本報告では、漁船で計測された流況データを主に使用し、九州東岸沿岸域における表層流動場の季節変動特性の解明を目的とした。

2. 使用したデータ

使用したデータは、北浦漁港を拠点として、日向灘北部の水深 100～300m 海域を主に操業する 19 トンのまき網船 1 隻と、細島港を拠点とする表層型浮魚礁「うみさち 2 号」を主に操業する約 5 トンの曳縄船 1 隻が計測した流況データを使用した（図 1）。解析期間は、前者が 2010 年 9 月から 2014 年 8 月までの 4 年間、後者が 2013 年 12 月から翌年 10 月までの 11 ヶ月間とした。流況データは、渡慶次ほか（2013）と同様な方法でクオリティチェックをし、1 分間の時間平均値にした。解析では、船底の泡切れ等により流況データが適切に取得されていない可能性がある操業及び高速移動中を除いた船速 2～12kt の流況データを使用した。

漁船で計測した流況データと比較・検討するため、宮崎水試が実施している船舶の CTD 観測による水温データを使用した。

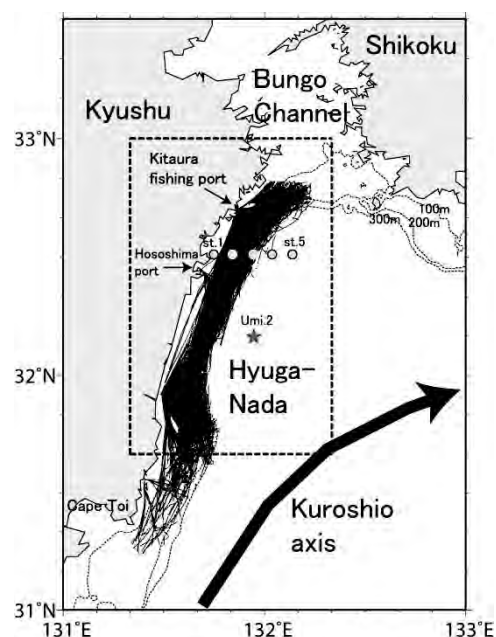


図 1. 研究対象海域。黒点はまき網の航跡，○は CTD

観測地点，☆はうみさち 2 号を示す。

3. 結果

まき網船により計測された九州東方海域の表層流動場は、季節変化をしていた。冬季は、 $0.2 \sim 0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の北上流が卓越し、夏季は、 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下の南下流が卓越していた（図 2）。春季と秋季については、広域で流速が遅かった。次に、冬季と夏季の沿岸域から陸棚斜面域における水温の鉛直断面図に注目した（図略）。冬季は、沿岸側で低温、沖合側で高温となっており、水温の水平勾配は海面から海底まで同程度の大きさであった。一方、夏季は、海面付近において沿岸側で低温、沖合域で高温となっており、その水平勾配

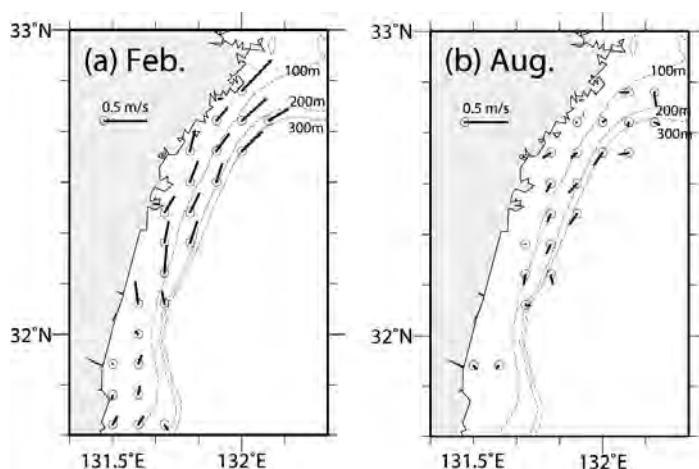


図 2. 緯度・経度 0.1° 区画で月平均した海面下約 5m 層の流速ベクトルの空間

分布。○は流速ベクトルの始点を示す。

は海面から水深約 50 m にかけて次第に小さくなり、50 m 以深で逆転していた。

細島港とうみさち2号間の北西－南東方向を高頻度で操業する曳縄船で計測した冬季（2月）と夏季（8月）の流況データに注目した（図3）。2014年2月は、沿岸域から陸棚斜面域で $0.1 \sim 0.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ の北上流、陸棚斜面海域より沖合域で約 $0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ の南下流となっており、両海域とも表層に最大値となる流速構造をしていた。一方、同年8月は、沿岸域から陸棚斜面域において下層で最大値となる約 $0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ の南下流、陸棚斜面海域より沖合域で海面から下層まで同程度の流速値となる南下流が存在していた。

日向灘北部海域において、冬季は、北風が沖合域で強く、沿岸域で弱いため、時計回りの風応力場となっており、流動場の空間分布と類似していた。夏季は、解析期間において、九州東方沖合域の黒潮流軸は接岸していた。九州東方海域の黒潮が夏季に接岸すると、黒潮より沿岸側で湧昇構造を伴うことが知られている（兼田ほか、2002）。以上のことから、日向灘北部の沿岸域において、冬季の北上流は時計回りの風応力による流れで、夏季の南下流は黒潮接岸による湧昇構造に伴った流れであったと考えられる。

今後は、日向灘で卓越する流況変動の時空間スケールを整理し、スケール毎に変動要因を分析しつつ、流動場と水産資源変動との関係解明を目指したい。

4. 成果報告

渡慶次力（2014）：宮崎県海域の海洋環境と漁業の概要，水産海洋研究，78(2)，132-133.

渡慶次力，市川忠史，児玉武稔，清水学，柳哲雄，広瀬直毅，千手智晴（2014）：日向灘で観測された海洋フロント，水産海洋研究，78(2)，143-144.

5. 研究組織

研究代表者	宮崎県水産試験場	主任技師	渡慶次 力
所内世話人	九州大学応用力学研究所	教授	広瀬 直毅
研究協力者	九州大学応用力学研究所	准教授	千手 智晴
研究協力者	中央水産研究所 海洋・生態系研究センター	生態系モデルグループ長	清水 学
研究協力者	中央水産研究所 海洋・生態系研究センター	モニタリンググループ長	市川 忠史

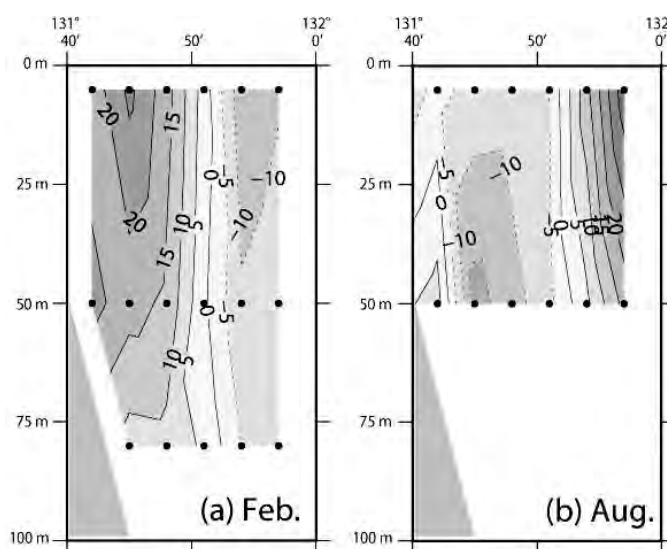


図3. 細島港～うみさち2号間における北方流速成分の鉛直断面図。

コンターインターバルは $5 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$

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 地球環境科学研究所 水田元太

1. 目的

海洋の大循環は気候や生物環境の形成に重要な影響を与えるが、そのしくみを体系的に理解することは必ずしも十分には行われていない。本研究では数値計算、観測、理論など様々な分野の研究者が最新の知見を持ち寄り、それらを整理することで、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

2014 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取って発表が行われ、研究者間で活発に議論を行うことにより有効に研究が進められた。

- (1) 潮汐モデルを利用して黄海の海底地形データを修正する：山口博愛・広瀬直毅(九大応力研)
- (2) ロスビー波による南向き(?)渦位輸送：水田元太(北大地球環境)
- (3) 日本海溝斜面およびその東方の大洋底における深層流の変動特性(2)：柳本大吾(東大大気海洋研)
- (4) 北緯 12 度 50 分、東経 137 度における長期測流結果 -- 1989-1997 年、500-4500m (4 層) --：石崎廣(気象研)
- (5) 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)、黒木聖夫(JAMSTEC)、羽角博康(東大大気海洋研)
- (6) 黒潮続流の分岐に対する Shatsky Rise の影響：中野英之(気象研)
- (7) 黒潮続流の渦エネルギーは東に運ばれるのか？西に運ばれるのか？：相木秀則(JAMSTEC)
- (8) 親潮海域の平均場の力学：理想化モデル実験：西垣肇(大分大教育福祉科学)
- (9) 低気圧と植物プランクトン：磯辺篤彦(九大応力研)
- (10) 海面加熱時の混合層深度と風成流のスケーリング則：吉川裕(京大理)
- (11) 黒潮前線に対する大気応答の風向依存性--観測・モデル、そして領域的テレコネクションの提案：笠毛健生(九大応力研)
- (12) 海に見える化する：蓮沼啓一(海洋総合研)
- (13) IG 方程式とその応用 --台風に対する海の応答を中心に--：増田章(九大応力研)

3. 結果と議論

- (1) 縁辺海の潮汐を数値的に予測する際、海底地形データが不十分なことがしばしば影響する。その影響を系統的に調べた所、渤海の潮汐予報には渤海内部の地形よりも黄海の地形の誤差の影響が大きいことが分かった。また Green 関数法を用いて海底地形の誤差やモデルパラメータを評価する方法について検討した。
- (2) 西岸境界流の再循環域において深層で赤道向き渦位輸送が生じる理由を調べた。2 層モデルの上層に振動する外力を与えると倍調波のロスビー波によって下層に赤道向きの渦位輸送が生じることが、再循環域に相当する広いパラメータ範囲で確認された。また極限的な場合において倍調波と渦位輸送の出来方を調べた。
- (3) 北太平洋西部の深層で観測された流速変動の解析を行った。変動は海底勾配が急なほど海底に捕捉され、

変動の主軸は低周波数ほど海底地形に沿う傾向がある。これらの性質は海底捕捉波と整合的であることから平面波を仮定し、波の波数、群速度を推定し、変動の起源を議論した。

(4) フィリピン海における長期係留観測から 500-700m では 4 年周期程度の東西流変動、4500m では北北東向きの定常流が存在することが示された。これらは数値シミュレーションと概ね一致し、500-700m の変動は日付変更線以東から伝播していることが分かった。また全層で 70 日程度の変動が顕著であることも示された。

(5) 黒潮南方の北緯 30 度では 5、60 日程度の周期帯に顕著な流速変動が存在することが深層係留観測によって示された。解析期間の限られていた先行研究と異なり、変動の伝播速度は順圧ロスビー波では説明がつかない。数値シミュレーションとの比較から黒潮再循環によって移流される渦であることが示唆される。

(6) 黒潮続流がシャツキー海膨によって枝分かれすることが観測から示唆されている。このことを理想化した数値実験によって確かめた。続流が海膨に当たり生じた擾乱から東西縞状構造を持つ流れが形成され、それが枝分かれに対応することが示された。縞状構造はスベルドラップ流で移流され十年規模で変動する。

(7) ロスビー波によるエネルギー輸送を圧力がなす仕事から求めた場合と、群速度から求めた場合では結果が異なり、非発散なベクトル分のずれがある。ここでは準地衡流近似を行わずに、群速度に平行なエネルギー輸送の形式を導いた。これを西岸境界流のエネルギー収支に適用すると従来より明瞭な結果が得られる。

(8) 2 層モデルを用いて親潮潮域の海底地形を理想化した数値実験を行った。モデル上層では千島海溝沖にある海膨を低気圧周りに迂回する循環が生じた。この循環は亜寒帯前線に沿った流れと定性的に一致する。その形成要因として海膨周りの順圧流によって傾圧ロスビー波の特性曲線に双曲点が生じたことが挙げられる。

(9) 日本海ではブルーム時に植物プランクトンが日射を吸収することで海面水温が 1 度近く上昇することが混合層モデルから示された。この水温上昇を領域大気モデルに与えた所、弱風時に本州東方の低気圧活動が強まった。このことからブルーム時期を決める海洋混合層の変化が低気圧活動に影響することが示唆される。

(10) 海面が加熱される時の混合層の厚さの指標として Monin-Obukov 長とエクマン層の厚さが知られているが、これらは地球自転または浮力の効果を無視しており、そのままでは現実には適合しない。衛星データの解析から Zilitinkevich の提唱した折衷的なスケーリング則が全球規模で成り立つことが示された。

(11) 観測と数値実験、データ解析から東シナ海の黒潮上で短期的に風が弱まる現象が発見された。また黒潮に平行に風が吹くときは直交する方向に風が吹くときに比べ風が収束し降水が生じやすくなることが分かった。東シナ海の黒潮上の風向は日本海にある低気圧に左右される傾向がある。

(12) 近年、海象・海上気象に関する観測、予測が様々な研究機関で公開されている。気象庁で公開されているデータでは津軽暖流水の季節変動や春先に現れる宗谷暖流水前駆水が現実的に捉えられている様である。また、これらの情報を海上にいる漁業者に知らせ、計画的な漁業活動に貢献する試みが紹介された。

(13) 準地衡流近似が適用出来ない慣性周期より短い時間スケールの変動等を含む現象を体系的に記述することを試みた。 f 平面で一変数のみを含む方程式 (IG 方程式) を議論し、台風通過時における低温水域や慣性振動の発生、風応力に対する沿岸流の応答などへの適用例を示した。赤道 β 面への拡張も試みた。

海洋乱流の観測およびモデリング研究

京都大学大学院 理学研究科 准教授 吉川 裕
九州大学 応用力学研究所 教授 松野 健

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、今後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が十分に解明されていないことが、その原因の一つである。

本研究課題では、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、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、12月23日に京都大学大学院理学研究科で研究会を開催した。プログラムの詳細は最後に掲載するとおりである。出席者数は20名であった。

最初の講演では、遠藤が東シナ海の海底乱流境界層における流動・乱流構造の観測結果を報告した。海底境界層は大きく分けて上部と下部に分けられること、下部では半日周期の潮流が、上部では日周期の潮流がそれぞれ混合を引き起こすこと、密度の水平勾配とそれを横切る潮流の時間変化に起因して、鉛直密度勾配も周期的変動をするが、上部では勾配の移流が、下部では流速の鉛直シアによる鉛直勾配の生成が重要であり、同じ境界層でも上部と下部で性質の異なることが示された。次に古市は、同じく東シナ海の潮流混合とそれに伴う懸濁粒子の巻き上がりや沈降の様子を明らかにするため、ラージエディシミュレーションを用いた数値実験の結果の報告をした。懸濁粒子の粒径や抵抗係数などを考慮して実験を行った結果、粒子の移動速度は概ね流速に等しいこと、乱流がある場合にも粒子の自重で定まる沈降速度で平均的には沈降する様子が示された。一方後藤は、現場で乱流を計測する測器として近年その有用性が期待されているCTDフレーム搭載型乱流計(MicroRider)の計測精度の検証結果について報告を行った。既存の乱流計との比較を行ったところ、CTDの沈降速度が一定でない場合には計測値に大きな誤差が生じることや、高速水温センサーの応答速度に関する問題を補正する方法などについての検討結果が紹介された。次にNohは表層乱流混合を引き起こすと考えられているラングミュア循環の影響を乱流混合スキームに組み込み、海洋大循環モデルでその性能評価を行った結果について報告を行った。ラングミュア循環は高緯度で成層の弱い時期により表層混合を強化し、現状でみられるモデルのバイアスを大幅に減少させることなどを示し、新たな混合スキームの有効性を実証した。山崎は自身が開発したレーザーを用いて、乱流と植物プランクトンなどの微細懸濁物のサイズとの関係に関する先進的な観測結果を紹介した。その結果によれば、コロモゴロフ長よりも小さい粒子の長径は、乱流強度の大きさとともに線形に増加することなどが、黒潮域や湖水域など幅広い環境の見出され、また粒子サイズの平均値ではなく分散値が植物プランクトンの維持に重要である可能性が示された。島田は北極海の最新の研究成果と、乱流現象に関連した流動現象に関する観測結果の報告を行った。北極海では近年海水面積の減少が著しいが、その原因の一つは北極海の海水が融けて動くようになり、それが海洋循環を引き起こし、その結果暖かい海水が海水域に運ばれさらに海水が融けるなど、正のフィードバックが働いていることに起因していることが示された。また、海水下の流動構造を観測した結果、混合層内で慣性振動が卓越していること、その慣性振動は流氷速度に関係していることなどが示された。田中は、ベーリング海陸棚縁辺域で高い基礎生産を生み出す要因として鉛直混合に着目し、

鉛直混合や流動構造の現場観測を行った。その結果、高い基礎生産は硝酸塩と鉄に律速されていること、鉄は陸棚海底から潮流混合により巻き上がり、等密度面混合を経て陸棚縁まで輸送されること、外洋で高い値をもつ硝酸塩が陸棚縁まで輸送されること、などを示した。また、数値模型を用いた実験を行い、以上の過程が矛盾なく起きることを示した。最後に田中は赤道域にみられる熱帯不安定波に着目し、その変動が深層における海洋内部はを引き起こす過程について解析結果を紹介した。OFES と呼ばれる高分解の海洋大循環モデルの結果を解析し、不安定波の収束・発散が引き起こす鉛直流が Lee Wave を引き起こしていることを、線形解析解との比較を通じて明らかにした。

以上の話題提供とその後に行われた質疑応答や議論は、予定を大幅に超えて活発に行われた。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。とりわけ今回は若い大学院生の参加も多く、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が確認できた。この研究会は来年度も継続して進めることも確認された。

プログラム

2014 年 12 月 23 日

09:30 - 09:40 吉川（京大理）

趣旨説明

09:40 - 10:10 遠藤（東大）・他

東シナ海陸棚上の海底混合層内で観測された成層および乱流強度の潮汐周期変動

10:10 - 10:40 古市（環境研）・他

LES に基づく海底混合層過程の数値実験

10:40 - 11:00 休憩

11:00 - 11:30 後藤（東大）・他

高速水温センサを用いた CTD フレーム搭載型乱流計測の応答検証

11:30 - 12:00 Noh, Yign(Yonsei Univ)・他

Parameterization of Langmuir Circulation in the Ocean Mixed Layer Model Using LES and its Application to the OGCM

12:00 - 14:00 休憩

14:00 - 14:30 山崎（東京海洋大）・他

海洋乱流と植物プランクトンの微細構造

14:30 - 15:00 島田（東京海洋大）・他

北極海における海水運動と海水下の流速変動と海水変動

15:00 - 15:20 休憩

15:20 - 15:50 田中（東大大海研）

ベーリング海南東部陸棚縁辺域での栄養塩輸送を支える水塊構造と乱流鉛直混合に関する研究

15:50 - 16:20 田中（東大理）・他

高解像度 OGCM でみられる太平洋赤道域の内部波

16:20 - 17:20 総合討論

海洋表層境界層における乱流混合の観測

京都大学大学院 理学研究科 准教授 吉川 裕
九州大学 応用力学研究所 教授 松野 健

1. 目的

風による海洋表層の乱れは、100m以下の小さい規模の現象であるが、混合層深度や海面水温などを変化させることで、大規模な海洋・大気場に影響を与える。このような風による乱れは、風に加えて海面加熱や波浪に影響を受けるが、その影響の詳細は不明な点が多く、海洋モデルの不確定要素であると同時に海洋の長期予報の不確実性の原因の一つとなっている。そこで本研究では、海洋表層の乱れを計測し、その風や海面加熱、波浪に対する依存性を明らかにすることを目指して行った。

2. 観測の概要

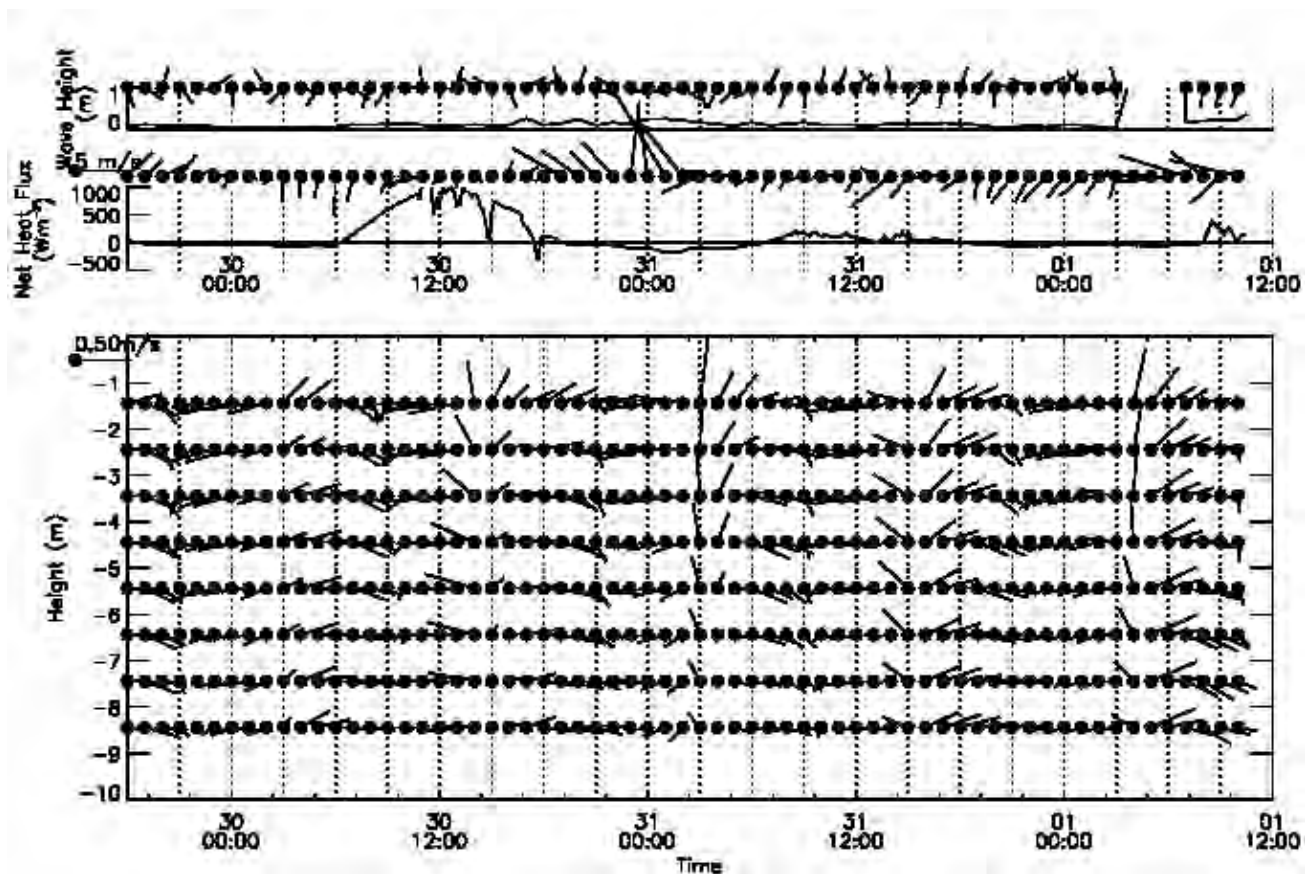
現場観測は八代海と和歌山県白浜沖でそれぞれ行った。八代海の観測は、水産研究所瀬戸内水産研究センターのしらふじ丸による有害赤潮の観測航海にて行った。7月29日16時45分から8月1日10時にかけて、北緯 $32^{\circ} 21.3'$ 東経 $130^{\circ} 16.4'$ に流速計と波浪計を係留し、流速と波浪の連続観測を行った。係留系は、水平流速の水平分布を計測可能な流速計(RDI社製、HADCP600kHz、水深2m)と、水平流速の鉛直分布を計測可能な流速計(RDI社製、WorkHorse1200kHz、水深10m)、GPS波浪ブイ(ゼニライト社製)からなり、応用力学研究所の油布技術職員が制作したブイを用いて係留した。また、係留地点において、乱流微細構造プロファイラーを用いた乱流エネルギー散逸率の観測を7月30日10時30分頃より8月1日8時30分ころまで2時間おきに行った。

一方、白浜での観測においては、京都大学防災研究所の白浜海象観測塔(北緯 $33^{\circ} 43'$ 、東経 $135^{\circ} 20'$)に八代海でも用いたHADCPを塔脚に取り付けた(設置水面は約3m)。また水深4m、8mの位置に小型メモリー式水温計も設置した。さらに塔から約30m離れた水深10mの地点に、波浪計測モードを備えたADCP(RDI社製、WorkHorse 1200kHz)と、小規模流動構造を計測可能なADCP(RDI社製、SV20)を設置し、波浪と流速の小規模構造の計測を試みた。

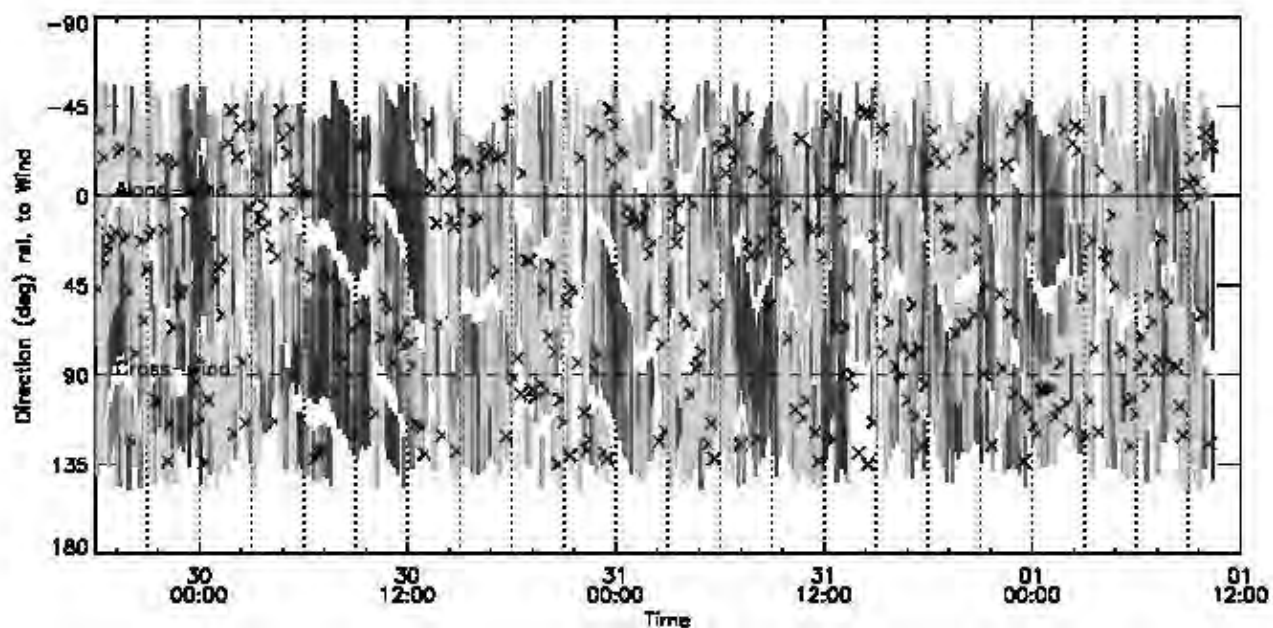
3. 観測結果

八代海観測時には、7月31日0時頃に5m/sを超える強い風が吹いたが、反閉鎖性である八代海では有義波高は0.5mにも及ばなかった。それでも波浪に伴う軌道運動流速は大きく、風向き方向の流速成分に大きな流速変動が検出された。また、10分間平均した水平流速は、10m以上の深さにまで風が引き摺る流れがおよぶ様子を検出した。乱流散逸率は2時過ぎに深さ10m以上にまで大きく、風による乱れが発達し、運動量を下層へ輸送することで、水平流速が徐々に深まっていくことが確認された。

また、白浜観測においては、波浪に伴う軌道運動流速を明瞭に捉えることができた。周波数解析など詳細な解析を行うことで、波浪と水平流との関係について、今後調べてゆく予定である。



八代海観測結果の例。上段：有義波高および波向き。中断：風向・風速および海面熱フラックス。下段：水平流速の鉛直分布。



水平流速変動強度の時間変化。横軸は時間、縦軸は風向からの相対角度。風向が強いときに、乱れが大きくなっている様子が見て取れる。

水産資源量調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

グライダー型水中ビークルはプロペラやスラスターといった一般的な推進装置を持たず、浮力調節により潜降、浮上することで海中を滑空して航行する。このため省エネルギー性や静粛性に優れ、近年需要の高まっている海洋の自律長時間連続観測に適していると考えられる。一方で、魚類の個体数計測等の水産資源量調査ではビークルに高い運動性能が要求されるが、スラスターを持たないグライダー型水中ビークルの場合、機体形状や重心位置などの僅かな変化が機体の運動性能に大きな影響を与える。そこで本研究では、これまでの研究で設計した運動制御系をグライダー型水中ビークルに実装し、実海域において運動制御試験を実施すると共に、実海域試験結果を用いて機体の運動モデルの精度を検討し、流体力係数の見直しを行った。

2. グライダー型海中ビークルの概要

水産資源量調査を目的として開発中の海中ビークルの機体を図1に示す。全長は1.04m、最大高さは0.3m、幅0.356mであり、機体断面形状はNACA0030の翼型を参考に製作している。機体は箱形の耐圧容器と翼型の外殻で構成され、耐圧容器内部に滑空推進のための水中重量調節機構が装備されている。表1に機体の主要目を示す。

本機体の特徴として、耐圧容器内部に4本の独立した浮力調節装置を持つことが挙げられる。浮力調節装置の写真を図2に示す。浮力調節装置は図3に示すように、リニアアクチュエータと筒状のジャバラ、アクチュエータヘッドにより構成されている。アクチュエータヘッドの位置をリニアアクチュエータにより変化させジャバラ内部の容積を調節することで、機体全体の重心位置と浮力、浮心位置の変動により機体の水中重量と姿勢を制御することが可能となる。



図1 グライダー型海中ビークル

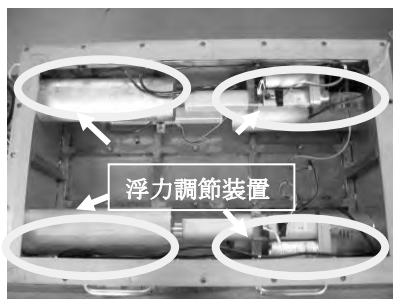


図2 機体内部構造

表1 機体主要目

Length (m)	1.000
Breadth (m)	0.356
Height (m)	0.300
Weight (kg-f)	62.6

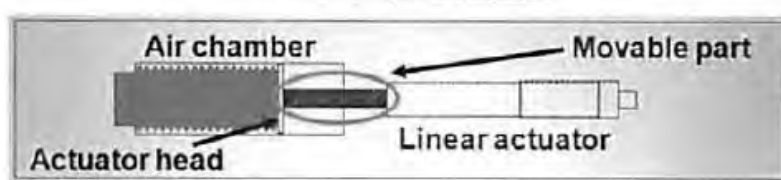


図3 浮力調節装置構造図

3. 機体運動制御系

機体には圧力センサーと加速度センサーを搭載しており、機体深度とロール角、ピッチ角を観測し、フィードバック制御系を構成する。ここではPD制御系により各浮力調節装置のアクチュエータヘッド

の制御量を決定し、機体の深度と姿勢を制御する。(1)式に制御量算出式を示す。

$$\begin{aligned}
 l_p - l_p^* &= -\frac{1}{4}K_z(Z-h) + \frac{1}{4}K_z \frac{d}{dt}(Z-h) - \frac{1}{4}K_z(\theta-\theta^*) - \frac{1}{4}K_z \frac{d}{dt}(\theta-\theta^*) \\
 l_r &= -\frac{1}{4}K_z(Z-h) - \frac{1}{4}K_z \frac{d}{dt}(Z-h) - \frac{1}{2}K_z(\phi-\phi^*) \\
 &\quad - \frac{1}{2}K_z \frac{d}{dt}(\phi-\phi^*) - \frac{1}{4}K_z(\theta-\theta^*) - \frac{1}{4}K_z \frac{d}{dt}(\theta-\theta^*) \\
 l_s &= -\frac{1}{4}K_z(Z-h) - \frac{1}{4}K_z \frac{d}{dt}(Z-h) + \frac{1}{2}K_z(\phi-\phi^*) \\
 &\quad + \frac{1}{2}K_z \frac{d}{dt}(\phi-\phi^*) - \frac{1}{4}K_z(\theta-\theta^*) - \frac{1}{4}K_z \frac{d}{dt}(\theta-\theta^*)
 \end{aligned} \tag{1}$$

l_p, l_r, l_s, l_{bl} : 各アクチュエータヘッドの制御量
 Z, ϕ, θ : 機体深度、ロール角、ピッチ角の検出量
 h, ϕ^*, θ^* : 機体深度、ロール角、ピッチ角の目標値
 $K_z, K_z, K_\phi, K_\phi, K_\theta, K_\theta$: ゲイン定数

4. 鹿兒島湾実海域試験

設計した PD 制御系を用いた運動制御試験を鹿兒島湾において実施した。水深 2m まで潜降した後 0.5 m まで浮上する指令を与えた際の機体深度とピッチ角の時刻歴を図 4 に示す。機体は約 2.3m まで潜降した後浮上を開始し、潜航開始後約 60 秒で深度 0.6m に到達した。また、この間のピッチ角は -20° から -50° と常に機首下げの姿勢であった。

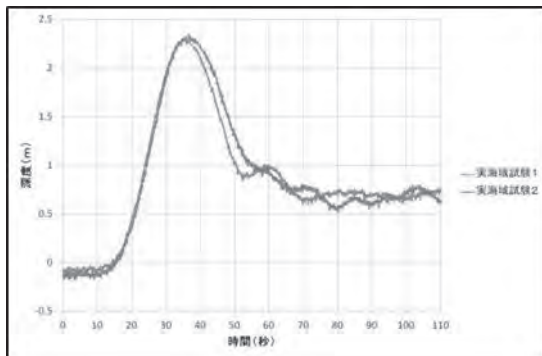


図 4 実海域試験結果（機体深度）

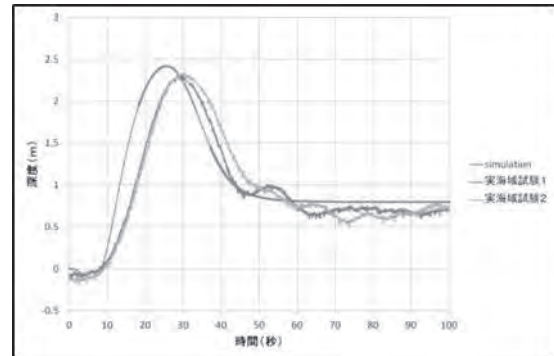


図 5 シミュレーション計算結果（機体深度）

5. 機体運動モデルの精度の検討

機体固定座標系における 6 自由度運動方程式に基づき、機体運動のシミュレーション計算を実施した。実海域試験と制御系設計に用いた流体力係数によるシミュレーション結果の間には差異が見られ、幾つかの流体力係数の精度が不十分であることが認められたため、試験結果を元に流体力係数等の値を再考し運動モデルの精度向上を計った。図 5 に実海域試験と新たに推算した流体力係数によるシミュレーション計算を比較して示す。シミュレーション計算結果の方が深度 2m への到達が約 6 秒早い等、若干の違いが見られるが、実海域試験結果を概ね再現する運動モデルが得られた。

6. まとめ

機体深度、ロール角、ピッチ角をフィードバックし、浮力調節装置を用いてグライダー型水中ビークルの機体運動を制御する PD 制御系を実装し、実海域において運動制御試験を実施した。機体運動モデルの流体力係数の精度向上を計り、その有効性を確認した。

● 目的

黄砂は中国内部の砂漠域で舞い上がった土壌粒子が、下流域である朝鮮半島や日本列島、北太平洋へと輸送される現象であり、その活動は東アジアの春季で顕著となる。土壌から大気へと輸送される黄砂の量は 300Tg に達する。黄砂は、視程のような大気環境だけではなく、健康被害、海洋の生物循環、気候など幅広く影響を与える。こういった影響を調べるためには、黄砂の発生・輸送・沈着といった一連の過程を把握することが必要である。この目的のため、観測や数値モデルを用いた研究が行われてきたが、観測だけでは全体像を把握するのが難しく、数値モデルによるシミュレーションだけでは定量的にも不確実性が残されてしまう。われわれの研究グループでは、データ同化技術を応用し、観測データと数値モデルをより密接に結びつけることにより、黄砂の発生量の逆推定を行うとともにモデルの予報精度の向上などの取り組みを行ってきた(例えば、Yumimoto et al., 2012; Yumimoto and Takemura, 2013)。本研究では、開発した同化システムと衛星観測データを用い、長期間に及ぶ黄砂発生量の逆推計を行い、黄砂版の再解析データの整備を行った。

● 実験方法

エアロゾル同化システムには SPRINTARS/4D-Var (Yumimoto and Takemura, 2013)を用いた。SPRINTARS は大気大循環モデルと結合した全球エアロゾル気候モデルで、黄砂を含めた対流圏の主要なエアロゾルを取り扱う。エアロゾルやその気候影響に関する様々な研究に用いられている他、日々の予測計算にも使われている。同化データには極軌道衛星 TERRA と AQUA に搭載された可視センサー MODIS で観測されたエアロゾル光学的厚さを用いた。本研究では 2005–2012 年の 8 年間におよぶ逆推定計算を実行し、最適化された黄砂の発生強度・分布から黄砂の 4 次元分布・沈着量・放射強制力などを求めた。また、国立環境研究所が展開する地上ライダー観測ネットワーク(AD-Net)などの観測データを用いて結果を詳細に検証した。

● 結果と考察

図 1 に逆推計に対する検証結果を示す。松江ライダーサイトにおける黄砂消散係数の時間-高度断面の比較である。各図上段から、観測、逆推計前後の値、逆推計前後の差 (increment) である。モデルの空間解像度は約 2.8 度と粗いが、観測された黄砂の到来時期と濃度を全体的に良く再現出来ている。逆推計前後の差を見てみると、逆推計による黄砂発生量の最適化によって消散係数が増減 (黄砂の濃度が増減) している。特に特徴的なイベントは、2006 年 4 月 20–23 日、2007 年 5 月 12–14 日、2009 年 5 月 18–21 日に到来した黄砂イベントで、モデルの過大な消散係数が逆推計によって緩和され、観測に近い値となっていることがわかる。逆に、2011 年 5 月 19–21 日の黄砂イベントでは、モデルは観測ではみられなかった濃いダスト層を高度 2–4 km に予測したが、逆推計を行うことで修正されている。他にも、逆推計によって 2006 年 5 月 29–30 日を初めとするモデルの過大評価や、2010 年 5 月 3–5 日といった過大評価イベントが改善された。

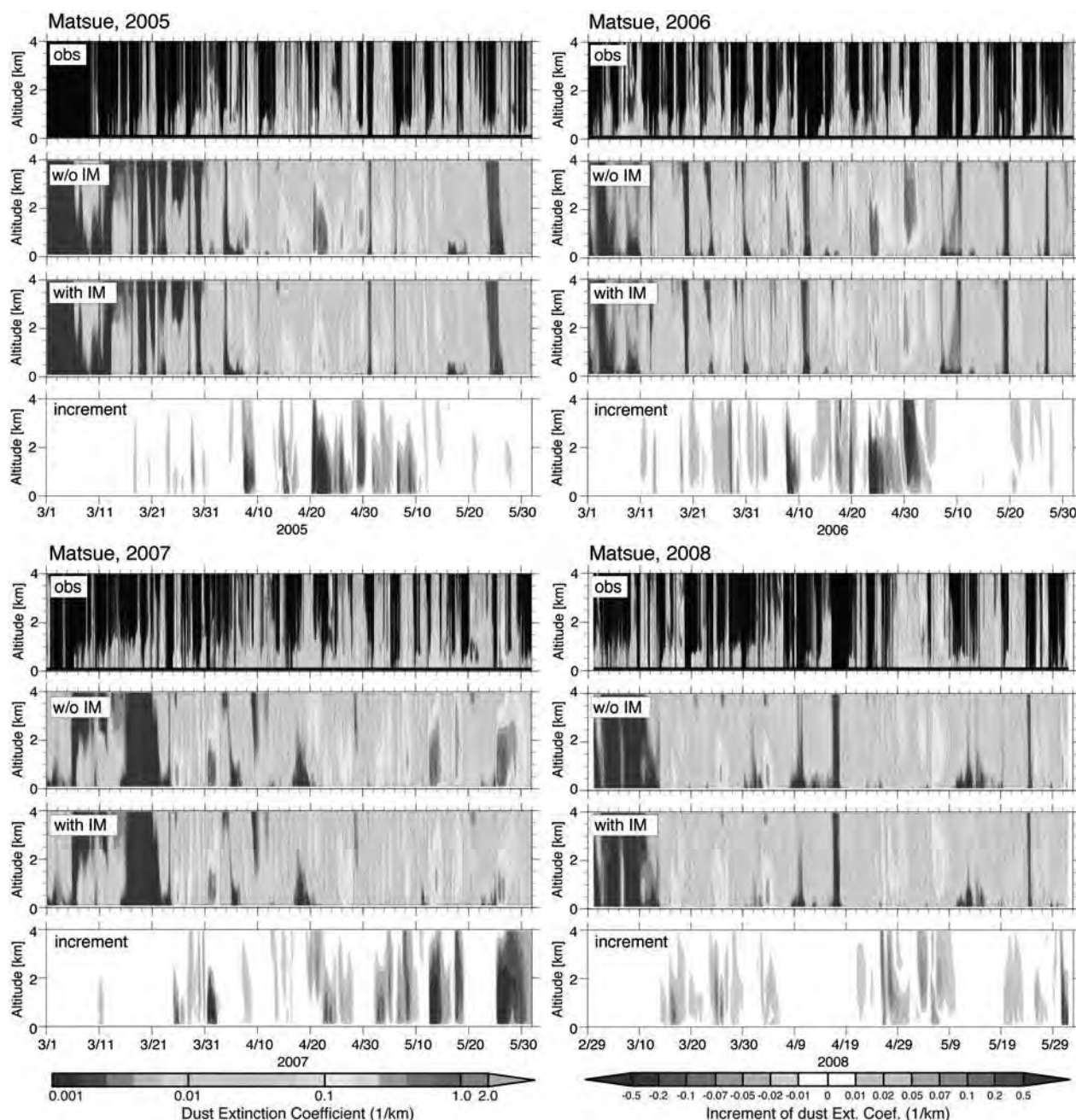


図 1. 松江におけるダスト消散係数の時間高度断面の比較。(上段) AD-Net ライダーで観測されたダスト消散係数。黒塗りの領域は雨や雲による欠損を表す。(二段目、三段目) モデルによるダスト消散係数(逆推計無、有)。(4 段目) 逆推計有の結果から逆推計無を引いた差。

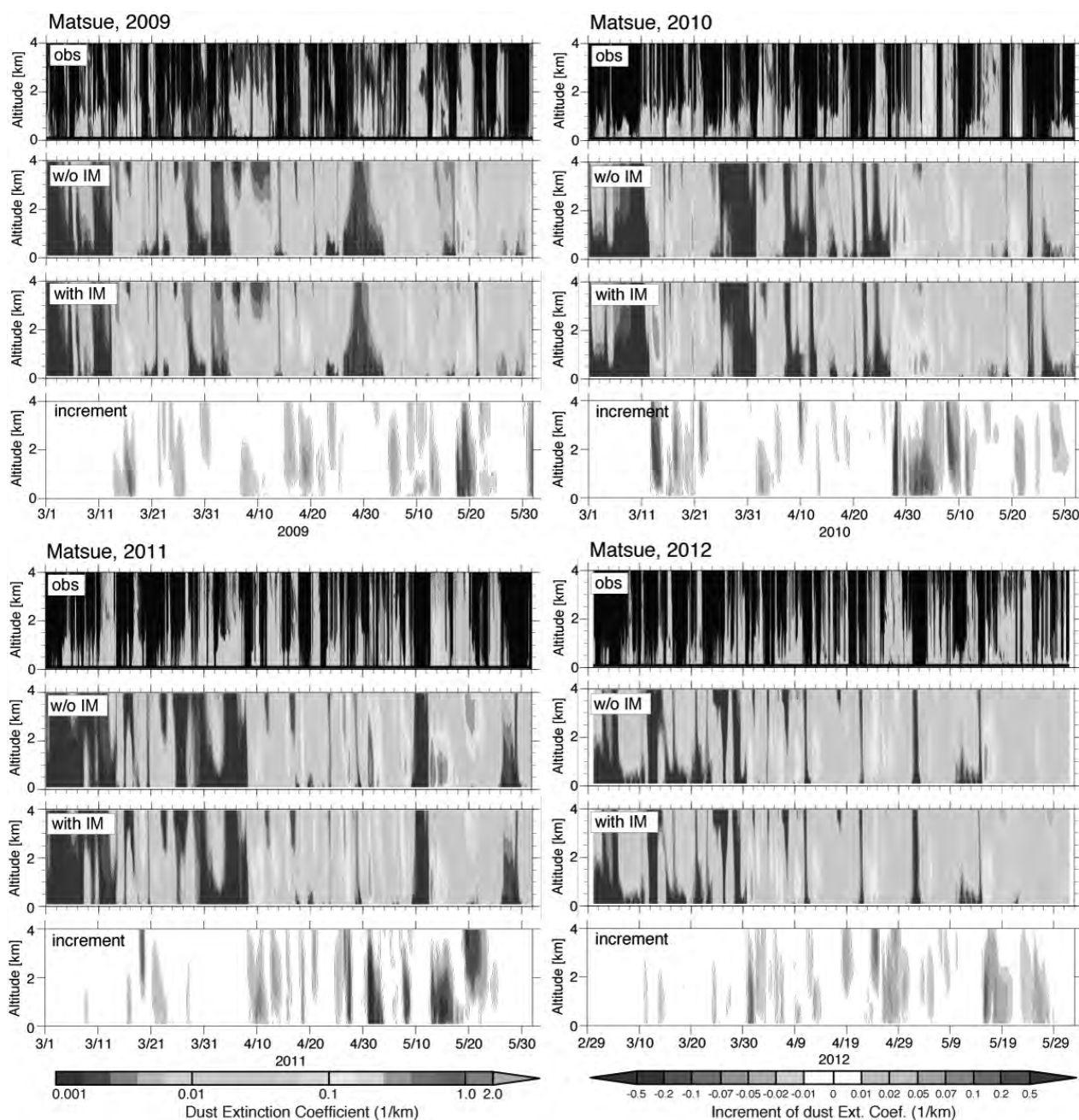


図 1. (続き)

図 2 にゴビ砂漠およびその周辺地域での黄砂発生量の年々変動を示す。逆推計によって得られた黄砂発生量の 8 年平均値は 332 Tg/year で、逆推計前と比べ僅かだが減少した。これは、モデル自体に大きなバイアスは存在しないことを意味している。しかし、各年を見てみると、逆推計によって発生量が大きく変化していることがわかる。例えば、2006, 2008, 2009, 2010, 2012 年は発生量が 0.6–61.1%増加したが、2005, 2007, 2011 年は逆に 12.3–26.3%減少した。逆推計によって 2007 年のピークや、2009–2010 年の谷はなだらかになり、年々変動の振幅は逆推計前に比べて小さくなったが、それでも依然として大きな年々変動が存在している（8 年間の標準偏差は 55.3 Tg/year）。

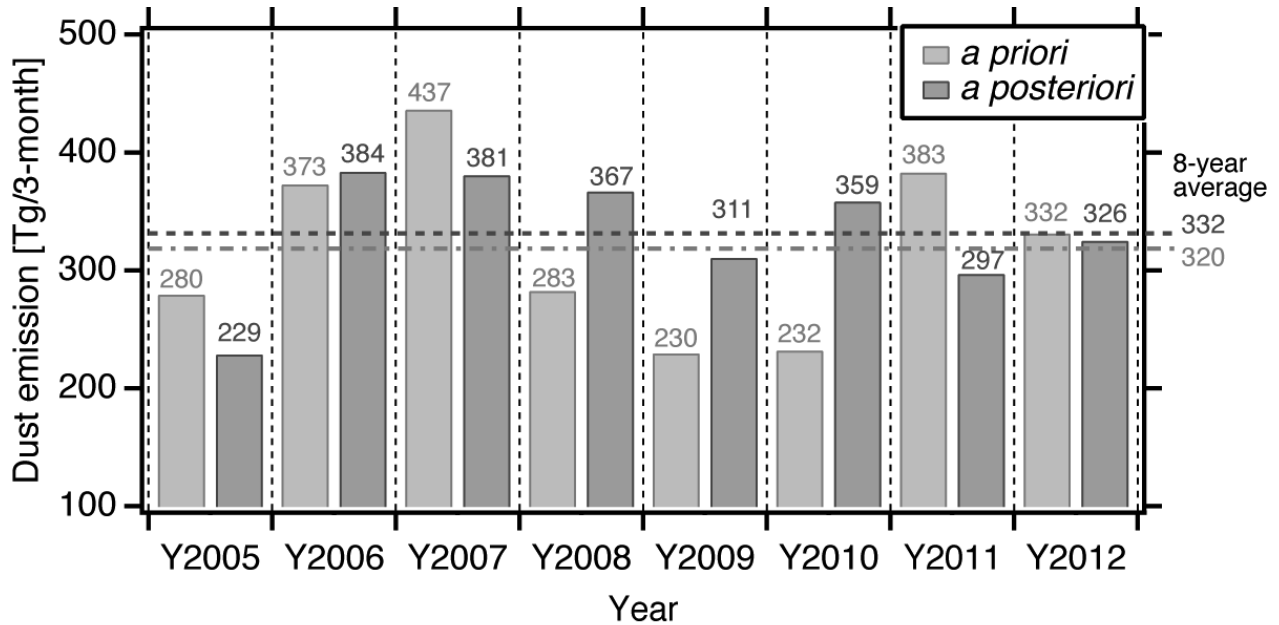


図 2. ギビ砂漠・内モンゴル周辺地域におけるダスト発生量の年々変動。灰色と赤色のバーはそれぞれ逆推計無、逆推計有の結果。

破線と鎖線、および欄外の数字は 8 年間の平均値を表す。

- まとめ

本研究では、衛星観測を同化することで黄砂の発生量の長期間逆推計を行った。地上ライダー観測と比較することで、逆推計による発生量の最適化がモデルシミュレーションを改善していることがわかった（二乗誤差で 38–50%）。逆推計によって得られた戈壁砂漠とその周辺地域の黄砂発生量の 2005–2008 年の平均値は 332 Tg/year で、大きく年々変動していることがわかった。逆推計によって得られたシミュレーション結果は黄砂版再解析データとして、輸送経路の理解、空間分布の年々変動、海洋への沈着量推定、北米への長距離輸送、放射強制量の見積もり、健康被害調査のためのインプットデータなど幅広く利用されることが期待できる。

- 参考文献

Yumimoto, K. and Takemura T.: The SPRINTARS/4D-Var Data Assimilation System: Development and Inversion Experiments Based on the Observing System Simulation Experiment Framework, *Geosci. Model Dev.*, 6, 2005–2022, doi:10.5194/gmd-6-2005-2013, 2013

Yumimoto, K., and Takemura T.: Long-term inverse modeling of Asian dust: Interannual variations of its emission, transport, deposition, and radiative forcing, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, doi:10.1002/2014JD022390, 2015

26 AO-11

複合雲解析アルゴリズムのための衛星赤外サウンダを使った水蒸気プロファイル解析手法の開発

気象研究所 気象衛星・観測システム研究部 石元裕史

・目的

雲の生成や雲微物理特性には水蒸気場の変化や水蒸気の過飽和度が深く関与しており、広い空間スケールでの雲の微物理情報とその生成過程を明らかにするためには衛星データを用いた水蒸気場の解析が重要である。衛星赤外サウンダは衛星マイクロ波センサーに比べて高い水平・鉛直分解能で温度と水蒸気の鉛直プロファイルを推定することができる。特に Atmospheric Infrared Sounder (AIRS)の輝度温度データから求めた温度・水蒸気場は、ほぼ同時刻に同じ場所を周回する A-Train 衛星群の衛星雲レーダ CloudSat と衛星ライダー(CALIPSO)データによる複合的雲微物理解析の結果を解釈する上で有力な情報となると考えられる。本研究では AIRS 輝度温度データを用いて海・陸域および一部下層雲域に解析対象域を拡張した水蒸気プロファイルのリトリバルアルゴリズムを開発する。このアルゴリズムから求めた水蒸気場や水蒸気過飽和情報と、九大応力研・岡本教授研究グループが開発した CloudSat/CALIPSO データを複合的に利用した雲微物理リトリバルアルゴリズムでの解析結果とを組み合わせることで、新たな統合的雲物理解析システムを開発する。

・研究方法

赤外サウンダの輝度温度データから温度と水蒸気のプロファイルを推定する手法として 1 次元変分法 (1D-Var) を用いる。1D-Var で必要な前方計算には気象研究所で開発した AIRS 用の高速放射モデル (MITRAN) を使用する。また背景場として気象庁数値モデルによる全球客観解析場(GANAL)を用いる。比較的湿度プロファイルに精度のよい GANAL を初期値に用い、また McNally and Watts (2003) の手法を応用して、対流圏中上層のリトリバルが可能な大気条件を AIRS の 110 の CO₂ チャンネル輝度温度から判定する。リトリバル条件が適合したときに AIRS の 45 の水蒸気チャンネルを用いて、水蒸気と湿度のプロファイルを推定する。

・研究結果

まず 1D-Var 計算による水蒸気推定の効果を調べるため、冬季 50 日間における AIRS とゾンデ観測との全球マッチアップデータを作成し、AIRS データと GANAL を用いた 1D-Var 結果とゾンデ観測結果とを比較した。その結果、対象となる 200-600hPa 高度において 1D-Var 解析による水蒸気場（比湿・相対湿度）は GANAL 初期値に比べて有意にゾンデ観測値に近づいており、また NASA が提供している AIRS の標準プロダクトによる水蒸気プロファイルよりも良い結果であった。このことから我々の解析手法の有効性が明らかとなった。次に幾つかの事例を選んで、1D-Var で解析した対流圏中上層の水蒸気場と九大応力研 岡本研究室による CloudSAT/CALIPSO 解析結果とを比較した。AIRS の 1D-Var 解析では、対流圏中上層の氷雲近傍において水蒸気の氷過飽和が推定される場合が多い。CloudSAT/CALIPSO データとの比較により、氷雲が存在する高度と、氷過飽和が推定された高度がよく対応しているという結果が得られた。このことは氷雲の生成に水蒸気の氷過飽和が伴っていることを示唆するとともに、氷雲の生成・消滅に関わる微物理過程を複合的な衛星観測によって広範囲に調べることが可能であることを示している。これらの結果についてまとめた論文は J. Geophys. Res.誌に投

稿・掲載された (doi:10.1002/2014JD021706)。その後、主に気象研側で行っていた 1D-Var 計算のデータおよび解析コードを九大応力研 岡本研究室に移植し、応力研で長期間のデータ解析が行える環境を整備した。さらに夏季冬季のそれぞれ数か月の期間について CloudSat/CALIPSO と AIRS のマッチアップデータを作成し 1D-Var 計算を実施した。計算結果を用いた雲解析結果については九大応力研メンバーが主著として学会発表等を行った（下記成果報告参照）。

・考察

アルゴリズム改良や計算の高速化など、幾つかの課題が残っているが、概ね当初の予定通りの解析を実施し、成果をまとめることができたと考えている。また解析コードや数年分の AIRS データ GANAL データを移植したことで、九大での衛星データの統合的解析環境がより充実した。

・成果報告

査読付き論文

Ishimoto, H., Okamoto K., Okamoto H., Sato K. (2014). One-dimensional variational (1D-var) retrieval of middle to upper tropospheric humidity using AIRS radiance data. J. Geophys. Res. Atmos., 119, 7633-7654, doi:10.1002/2014JD021706.

学会発表（主著）

Ishimoto H., Okamoto K., Okamoto H., Sato K., Humidity around ice clouds in middle to upper troposphere retrieved by using AIRS radiance data. AOGS2014, AS48-A011, Sapporo.

石元裕史、岡本幸三、岡本創、佐藤可織、「赤外サウンダ AIRS データの 1DVAR リトリバールから推定した北極域対流圏中上層の水蒸気場と CloudSat/CALIPSO 解析による雲情報との関係」、日本気象学会 2014 年度春季大会 D202、横浜

学会発表（共著）

Sato K., Okamoto H., Ishimoto H., Updated treatment for warm cloud microphysics: Its foundation and application, AOGS2014, AS48-A040, Sapporo.

Okamoto H., Sato K., Hagihara Y., Ishimoto H., Borovoi A. Development of EarthCARE CPR, ATLID and MSI algorithm for cloud microphysical retrievals, AOGS2014, AS48-A028, Sapporo.

岡本 創、佐藤可織、田中健太、牧野利行、石元裕史、「CloudSat-CALIPSO-AIRS 衛星の複合利用による過飽和度と氷雲微物理特性の解析」、日本気象学会 2014 年度春季大会 D203、横浜

田中健太、岡本 創、佐藤可織、石元裕史、「衛星搭載雲レーダ・ライダ・赤外サウンダの複合利用による氷水量と過飽和度の解析」、日本気象学会 2014 年度秋季大会 C105、横浜

佐藤可織、岡本 創、石元裕史、「衛星搭載アクティブセンサ複合解析手法の改良：下層雲への適用」、日本気象学会 2014 年度秋季大会 C106、福岡

Tanaka K., Okamoto H., Sato K., Ishimoto H., Relationship between ice cloud microphysics and supersaturation from spaceborne cloud radar, lidar and infrared sounder, AUG fall meeting, A21-3158, San Francisco.

Okamoto H., Sato K., Hagihara Y., Tanaka K., Ishimoto H., Makino T., Nishizawa T., Sugimoto N., Evaluation of ice cloud retrievals using CloudSat/CALIPSO/MODIS/AIRS and EarthCARE, AGU fall meeting, A13P-02, San Francisco.

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 兼原 壽生

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、作業がいつそう困難なものとなる。長崎大学、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、海中を浮遊しているビークルの回収と海底に着底しているビークルの位置特定手法について報告する。

2. 円盤型水中グライダーの海上試験

円盤型水中グライダーの動作テスト・海洋観測が2014年11月長崎新漁港近海の水深55m海域で実施された (Fig.1)。実験風景を Fig.2 に示す。



Fig. 1 ビークル実験海域



Fig. 2 ビークル実験風景

3. 海中浮遊ビークルの回収

一回目の潜航開始後、ビークルの潜航深度がビークル搭載の超音波式位置検出装置 (SSBL) によると11.2mより増大しなくなってしまった。ビークル内に空気が残留してしまい、浮力過多となり、潜航できずに海中を浮遊していると考え、網によるビークルの回収を試みた。

Fig.3 に船上で急遽作成した網を示す。二本の金属パイプの間に網を張り、上部のパイプには12m程度のロープを介して浮き玉を設置し、下部パイプにはウエイトを取り付けた。網を低速で曳航すると、浮き玉とロープにより網が水深11m程度の海中を曳航され、下部パイプのウエイトにより網が垂直になり、ビークルが網に捕らえられるはずである。



Fig. 3 船上で製作された網

網の曳航状態を Fig.4 に示す。

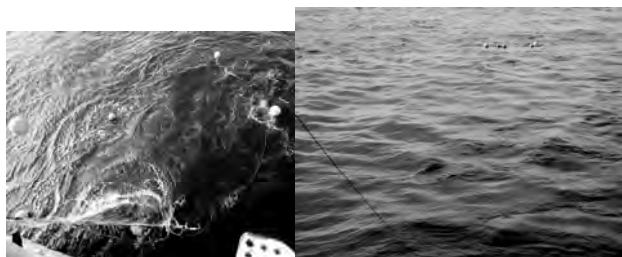


Fig. 4 網の曳航状態

ところが、位置検で計測したビークル位置を通過するが、ビークルを回収できず、長崎丸の魚探でもビークルが検出されなかった。状況を下記に示す。

- ・ビークルが船の 12 時方向になるように操船し、位置検で計測したビークル位置に接近する。
- ・ビークルとの距離が 60m 程度に接近すると位置検の位置情報が不安定になる。ビークル位置が 3 時方向や 6 時方向などにばらつくが距離は 60m ぐらいで安定している。
- ・ビークルの上を通過しても距離は 60m ぐらいで安定しており、方向だけがばらつく。
- ・ビークル上を通過した後はビークル位置が 6 時方向で安定しだし、距離も増大していく。

以上の挙動より、位置検の深度計測がおかしく、ビークルは水深 60m 程度の海底に着底していると判断し、網による回収作業を中止した。実験終了後、位置検メーカーより、実験中は 1/5 の深度を表示していたとの連絡があった。マイコンに深度計（圧力計）のスペックを設定する際のミスとのことであった。やはりビークルは水深 56m の海底にプログラムに従って着底していたことになる。

4. 海底に着底しているビークルの位置特定

深度の計測に信頼がおけない状況になったため、深度情報を使用する位置検（SSBL）によるビークル位置の計測を断念し、三点測量による位置特定を試みた。位置検によるビークルまでの距離は深度情報を用いず計測されるので信頼性がある。そこで、長崎丸の位置を三度変更し、それぞれの位置においてビークルまでの距離を位置検により計測した。船の位置は GPS により計測される。ビークルの着底水深を 58m としてそれぞれの位置から計測距離を

半径として円を描くとその交点がビークル位置となる。この手法により特定できたビークル位置は、緯度：32 度 46.0596 分、経度：129 度 45.9461 分であった。参考までに、位置検（SSBL）による計測位置は緯度：32 度 46.0536 分、経度：129 度 45.9615 分、網で回収作業中に海底上に魚探の反応（ビークルとは確定できないが）があった位置は緯度：32 度 46.02 分、経度：129 度 45.940 分であった。また、ビークル着水後イリジウム通信で送られてきた、ビークル搭載の GPS による 1 回目潜航開始直前の位置は緯度：32 度 46.05528 分、経度：129 度 45.9669 分であった。

三点測量による位置と SSBL による位置の距離は 21.8m、潜航開始直前のビークル位置と SSBL による位置の距離は 9.4m である。四つの方法で計測したビークル位置を Fig.5 に示す。

ビークルの回収作業では、三点測量による位置を信用し、ダイバーが潜水したところ、三点測量による位置直近にビークルが着底していることが確認された。

4. 研究組織

・研究代表者

兼原壽生（長崎大学水産学部教授）

・研究協力者

青島隆、森井康宏、山脇信博、内田淳
（長崎大学水産学部 准教授）

木下宰、山田弥知（長崎大学水産学部 助教）

中村昌彦（九州大学応用力学研究所 准教授、
所内世話人）

野田 穰士朗

（九州大学応用力学研究所 技術職員）



Fig. 5 ビークルの計測位置

東アジア域における大気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

1. はじめに

一般市民からの目線で考えると「PM2.5」という言葉が昨年はじめて出来たような雰囲気になっているが、今に始まったことではない。日本国内から排出される大気汚染物質に加え、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、それらが複合した影響は、風下側に位置する日本に影響を受けている。特に、大陸から近い九州地方では、東アジア域における化石燃料消費等による人為起源の大気浮遊微粒子（エアロゾル）の輸送により、健康被害や気象障害など、私たちの生活にも影響している。本研究は、2003 年から応用力学研究所屋上に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連続観測を行い、「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、定量的な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には、応用力学研究所大気環境モデリング分野で開発・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がることを目的としている。

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、九大応力研の屋上をはじめ、様々な場所において、晴天時の日中に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、東アジア全体の広域的な放射強制力のさらなる精度向上を目指している。

3. 結果及び、考察

Fig. 1は、2014年1月から2014年12月までの福岡県春日市（九州大学応用力学研究所）における $0.5\mu\text{m}$ 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)の月平均値である。昨年(2013年)の季節変化と同様にエアロゾルの光学的厚さは、春に最大となり、秋から冬にかけて最小になる傾向が見られた。また、オングストローム指数を見てみると、春に黄砂粒子を中心とした大粒子の影響が春に確認されるとともに、人為起源のエアロゾルの影響が8月のオングストローム指数を高めていることが確認された。今後も継続した観測を

行うことにより、SPRINTARSや衛星観測等と比較しながら、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と考える。

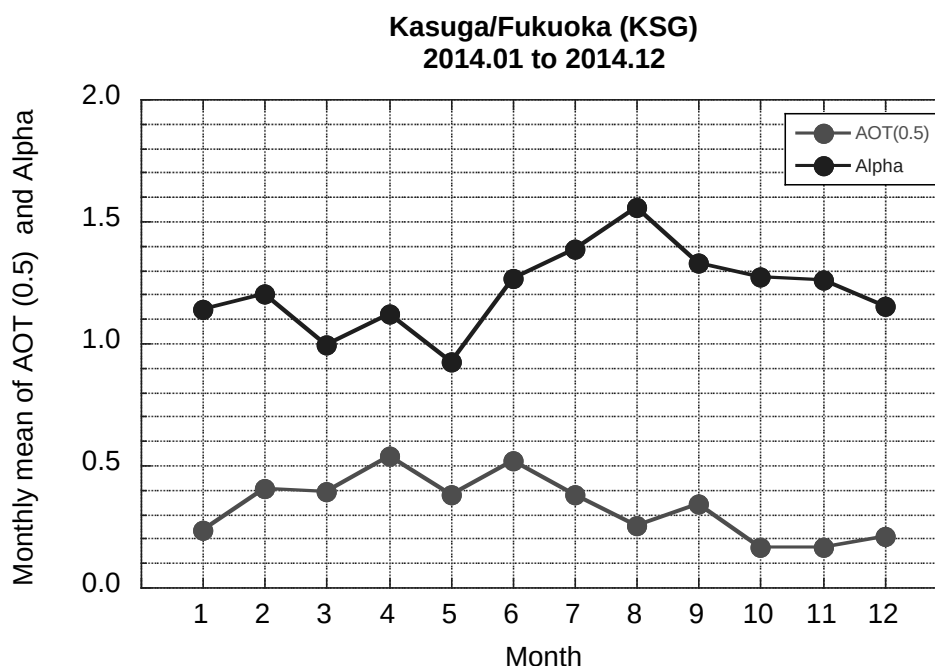


Fig. 1 2014年1月から2014年12月までの福岡県春日市（九州大学応用力学研究所）における $0.5\mu\text{m}$ のエアロゾルの光学的厚さ（AOT(0.5)）とオングストローム指数（Alpha）の月平均値

4. 研究成果

Teppe J. Yasunari, K.-M. Lau, Sarith P. P. Mahanama, Peter R. Colarco, Arlindo M. da Silva, Teruo Aoki, Kazuma Aoki, Naoto Murao, Sadamu Yamagata, Yuji Kodama, (2014) The GODdard SnoW Impurity Module (GOSWIM) for the NASA GEOS-5 Earth System Model: Preliminary Comparisons with Observations in Sapporo, Japan, SOLA, 10, 57-61.

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）

地上ライダーネットワークおよび衛星搭載ライダーデータを用いた
エアロゾル光学特性の時間空間変動研究

(独) 国立環境研究所環境計測研究センター 西澤智明

目的

エアロゾルの気候・環境への影響を評価するためには、エアロゾル光学特性の時間・空間的に密なデータを取得し、それらを複合的に解析する必要がある。本研究では、船舶観測を含めた地上ライダーから得られる時間的に高分解能な観測データと、衛星搭載ライダーから得られる全球網羅観測データを複合解析することで、時間・空間的に包括したエアロゾル光学特性データを取得し、そのデータからエアロゾルの時間・空間変動に関する知見を抽出することを目標に据えた観測研究を推進する。

本目標遂行のために、応用力学研究所大気物理研究室の岡本創教授と H23 応用力学研究所特定研究で、衛星ライダーデータからエアロゾル種毎（鉍物ダスト、海塩、大気汚染粒子）の鉛直濃度を抽出するルックアップテーブル法を用いたアルゴリズム（エアロゾル種分類推定手法）の開発を行い、それを衛星ライダーデータへ適用した。結果は、上記アルゴリズムの有用性を示すとともに、ライダーデータ自体の品質向上の必要性和アルゴリズムで利用されているエアロゾル光学モデルの不完全性を示唆した。そこで、H24 年応用力学研究所一般研究にて、ウェーブレット解析を用いたノイズ除去手法を開発・改良した。それを地上や衛星ライダーデータへ適用し、信号雑音比(SN 比)にして2倍以上の改善を図ることに成功した。また、信号ノイズに対して頑強な数値解法として最尤法を用いた最適化手法の検討を行い、その有効性を確認した。H25 年一般研究では、本研究を継続し、エアロゾル種分類推定手法等で用いるエアロゾル光学モデルの改良を目指し、全球規模で展開されている地上スカイラジオメーターの解析データをクラスター解析により統計解析し、光学モデルの構築を推進した。また、推定精度向上を目指し、より高度な数値解法（最適化法）の導入を検討した。

そこで、本研究課題では、昨年度の研究をさらに進めて、数値解法およびエアロゾル光学モデルの高度化によりアルゴリズムの強化および信頼性の高い全球エアロゾルデータの抽出を推進する。

実施方法

エアロゾル種分類推定手法への最適化手法の導入による信号ノイズに頑強な解析手法の実現を進める。地上スカイラジオメーターにより得られているエアロゾル光学特性データにクラスター解析を適用して統計解析し、エアロゾル光学モデルの構築を図る。また、アルゴリズムの高度化へ向けた他のアイデアを検討する。

結果と考察

CALIPSO 衛星搭載ライダーを用いたエアロゾル種分類推定アルゴリズムへの最尤法を用いた最適化手法の導入を進めた。また、その発展形となる CALIPSO 衛星搭載ライダーと衛星搭載受動型測器モーディスを複合利用したエアロゾル種分類推定アルゴリズムの開発も進めた。このライダー・モーディス複合アルゴリズムにも最尤法を用いた最適化法を導入し、現在プログラムの構築を行っている。最尤法を用いた手法は、ルックアップテーブル法を用いた手法に比

べ計算コストが非常に大きいことが再確認された。計算コスト低減へ向けたアイデアの検討も今後の課題となる。

全球規模で展開されている地上スカイラジオメーターの解析データにFuzzy c-means法を用いたクラスター解析による統計解析を昨年に引き続き進めた。スカイラジオメーターデータの選別（雲によって影響されたデータの除去や、推定誤差の大きなデータの除去など）を行い、エアロゾル光学モデルの高度化を行い、全球でのエアロゾル光学モデルのプロトタイプを構築した。また、アフリカ地域へ特化した詳細な解析も実施し、アフリカ域でのエアロゾル光学モデルの構築を進めた。

エアロゾル種分類推定アルゴリズムの高度化を目指し、2006年から2010年の5年間のCALIPSOデータへエアロゾル種分類推定手法を適用し、その推定結果を他の研究グループの解析結果（CALIPSO標準プロダクト）と比較した。本研究で推定された全エアロゾルの光学的厚さは、CALIPSO標準プロダクトに比べ、洋上で大きく、陸上で小さいという傾向が見られた。この差の要因として、本アルゴリズムの洋上での鉱物ダストの推定値が大きいことや陸域での大気汚染粒子の推定値が小さいことが示唆された。より長期にわたる解析データの比較や他の観測データとの比較を今後進め、アルゴリズムの改良に関する基礎データを蓄積していく必要がある。

研究成果報告

Nishizawa, T., A. Higurashi, N. Sugimoto, R. Kudo, E. Oikawa, and H. Okamoto, Aerosol and cloud retrieval algorithms from ATLID and MSI measurements, EarthCARE workshop, Tokyo, Japan, September 2014 (Oral)

Nishizawa, T., A. Higurashi, N. Sugimoto, R. Kudo, E. Oikawa, and H. Okamoto, Aerosol and cloud observation with the JAXA/ESA EarthCARE high spectral resolution lidar, 1st international workshops on space-based lidar remote sensing techniques and emerging technologies, Paris, France, September 2014 (Oral, invited)

Nishizawa, T., A. Higurashi, N. Sugimoto, R. Kudo, E. Oikawa, and H. Okamoto, Japanese aerosol and cloud retrieval algorithms using EarthCARE ATLID and MSI, Washington, USA, November 2014 (Poster)

研究組織

氏名	所属	職名	役割・担当	メールアドレス
西澤 智明	国立環境研究所	主任研究員	代表者	nisizawa@nies.go.jp
杉本 伸夫	国立環境研究所	室長	地上ライダ解析	nsugimoto@nies.go.jp
松井 一郎	国立環境研究所	主任研究員	地上ライダ保守	i-matsui@nies.go.jp
岡本 創	九州大学応用力学研究所	教授	衛星ライダ解析	okamoto@raim.kyushu-u.ac.jp
佐藤 可織	九州大学応用力学研究所	助教	衛星ライダ解析	sato@riam.kyushu-u.ac.jp

26 AO-15

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

目的

混合域と成層域が共存する瀬戸内海では、鉛直拡散と水平移流による物質輸送のプロセスが海域の栄養塩動態や生物生産にとって重要である。しかしこれらの二つのプロセスそれぞれについての定量的な評価は未だ確立されていない。その原因の一つとして鉛直拡散の定量的な見積もりがなされていないことが挙げられる。本研究では、このような海域の代表例である瀬戸内海西部に位置する伊予灘において、実測による鉛直拡散係数の見積もりを行う。特に伊予灘の海底には水平波長が 500 メートル前後、波高が約 10 メートルの顕著なサンドウェーブが存在する海域があり、その上部を流れる潮流との相互作用によって非常に強い乱流混合が存在することが昨年度の共同研究により明らかになりつつある。しかし、その詳細な力学過程は不明な点が多いため、この点に注目して研究を行う。

研究方法の詳細

2014 年 9 月 11 日と 10 月 24 日に、それぞれ伊予灘の西部の測点 I7(サンドウェーブ上)と中央部の測点 I4(平坦な海底地形)において、九州大学応用力学研究所所有の浅海用乱流計 TurboMAP-5 を使用し、愛媛大学沿岸環境科学研究センター調査研究船「いさな」にて乱流観測を行った。1 回の観測で 3~4 回の TurboMAP のキャストを 1 セットとして 30 分ごとに計測を行い、約 6 時間の準定点観測を行った。乱流の計測と同時にいさな搭載の Workhorse ADCP (300kHz) を鉛直解像度 1m、測定間隔 0.8 秒に設定し、高解像度の水平流速の鉛直分布を得た。

結果

9/11 の測点 I7 における観測では大潮期であり流れが強かったため、船を漂流させながらサンドウェーブを縦断しつつ流速観測を行う形となった。1 セットの計測の中で、顕著なサンドバンク(図 2 横軸距離 500 m 付近)の上流側と下流側で TurboMAP のキャストを実施した結果、図 3 に示すように上流側に比べて下流側の方が大きな値の乱流運動エネルギーの散逸が得られた。特に水深 20~40m においては 1 オーダー以上の顕著な ε の値の上昇が見られたが、同位置では流速の観測結果に縞状の構造が見られたことから(図 1; 赤点線に囲まれた部分)、サンドバンクと潮流との相互作用で発生した lee wave が顕著な乱流混合を引き起こした要因の一つであると推測された。10/22 の平坦な海底上で実施された計測では同様の現象は観測されなかった。

研究組織

郭 新宇(愛媛大学沿岸環境科学研究センター、研究代表者)、松野 健(九州大学応用力学研究所、所内世話人)、堤 英輔(愛媛大学沿岸環境科学研究センター、研究協力者)

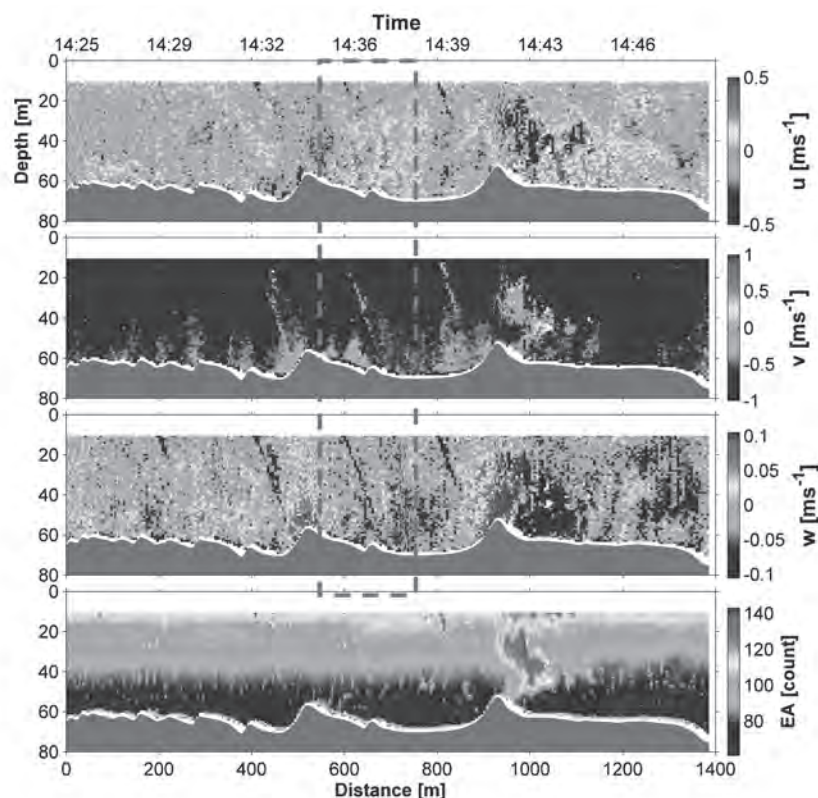


図1 測点I7におけるADCP観測結果の一例.上から,船の漂流方向(南西)に対する直交流速成分 u ,平行成分 v ,鉛直流速 w ,反射強度 EA .流速は10サンプル(約8秒間)毎の平均値である.赤い点線で囲んだ部分はサンドバンクの下流側に位置し,海底上20~30m, 水平距離200m程度にわたって縞状の流速構造が見られる. なお距離1000m付近(横軸)における高い反射強度はカタクチイワシの魚群によるものであり流速の値は信頼できない.

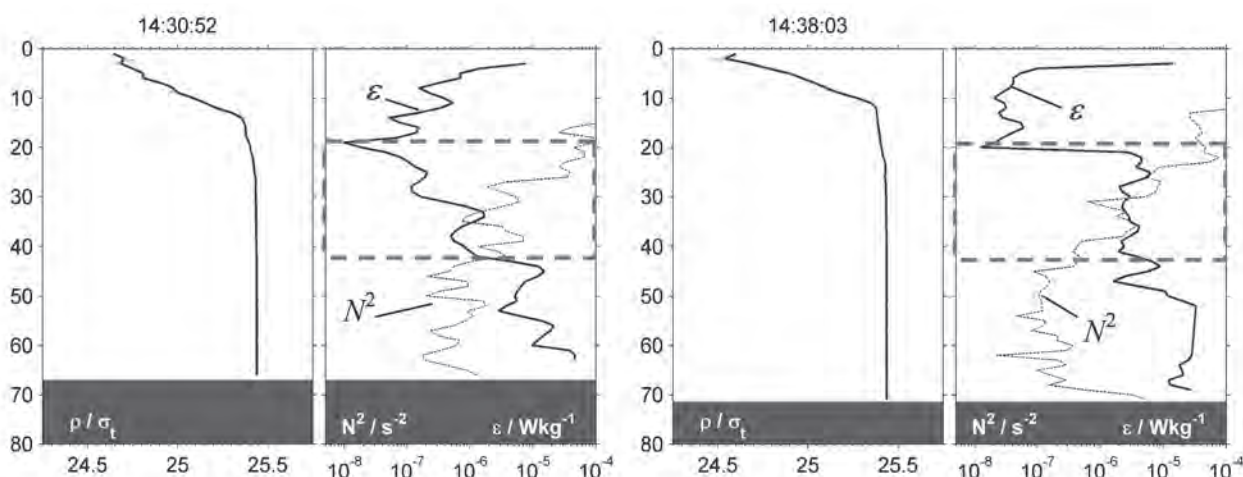


図2 9/11のTurboMAPによる海水密度 ρ , 浮力振動数 N^2 , 乱流運動エネルギー散逸率 ε の計測結果. 縦軸は海面からの距離[m]. (左) 計測終了時刻が14:30:52のキャスト, (右) 計測終了時刻が14:38:03のキャストでそれぞれ図1に示す距離500m付近に位置するサンドバンクの上流側と下流側における観測結果. 下流側では上流側に比較して海底(灰色)上と中層(水深20~40m; 赤点線)において ε の上昇が見られる.

有明海における潮流と成層構造に関する観測的研究

研究代表者 愛媛大学沿岸環境科学研究センター 堤 英輔

目的

九州西部に位置する有明海では、2000 年の大規模な養殖ノリの色落ち発生を契機にこれまで多数の漁業被害や海洋環境悪化が報告されてきた。多数の機関によって調査が行われてきた中で、特に物理の分野では流れ場と鉛直混合の変化が注目され多数の流速の観測や数値実験が行われているが、環境変化を明確に説明できるような結果は提示されていない。そのような中で近年我々の現地観測によって、有明海で成層期に内部潮汐が発生し顕著な鉛直混合を生じ得るといった新しい知見が得られつつある。しかし有明海のような極浅海域における内部潮汐は世界的に見ても観測例が極めて少なく、その解析方法も確立されていない。本研究では有明海において流速観測を行ってデータを蓄積するとともに、内部潮汐成分を適切に分離し、その物理的特性をより厳密に議論できる解析法を確立することを目的とする。

研究方法の詳細

内部潮汐流を観測する目的で係留系を用いた流速測定を諫早湾湾口付近の測点 A と有明海中央部の測点 B において(図 1)、2014 年 8 月 20 日から 9 月 28 日まで行った。応用力学研究所所有の超音波流速計 Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP; 600kHz Workhorse, TRDI 社) を海底に設置して用い、流速を海底上 1.2 m から海面下約 1m まで 0.5 m 間隔で計測した。測点 A の ADCP は 1 Hz のサンプリング周波数で 30 分毎に 600 サンプルを記録するバーストモードで、測点 B の ADCP は 1/4 Hz のサンプリング周波数で 10 分毎に 150 サンプルのアンサンブルを記録するモードで使用した。

結果

海域には観測開始から9月中旬まで比較的強い成層が存在し、その後緩やかに弱まっていったことが別の現地観測により確認されている。測点Bにおいて得られた流速には、顕著な海底境界層を持った半日周期の順圧的な潮流が確認される一方で(図2a)、海洋中層において傾圧的な流速構造も認められる(図2b赤破線枠)。このような流速の傾圧成分を見積もるために、カットオフ周波数 1/30, 1/4 [cph] を持つバンドパスフィルターを通過させた流速(潮流流速)の u, v 成分に対してCEOF解析を行い、海底境界層を持つ順圧流速成分を経験的に見積もった。これをもとの潮流流速から差し引くことで傾圧流速成分を見積もった(図3)。このようにして得られた順圧、傾圧流速の鉛直構造は、ともに理論的に予測されるものと矛盾がなく、鉛直平均流を順圧成分とする従来の解析方法よりもより適切に内部潮汐の解析が展開できると期待される。

研究組織

堤 英輔(愛媛大学沿岸環境科学研究センター、研究代表者)、松野 健(九州大学応用力学研究所、所内世話人)

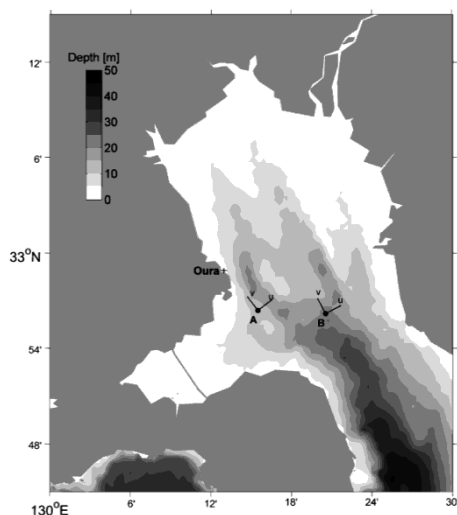


図 1 有明海における流速観測点 Stn.A ($130^{\circ}15.50'E$, $32^{\circ}56.40'N$, 平均水深 11.4 m)および Stn.B ($130^{\circ}20.55'E$, $32^{\circ}56.20'N$, 平均水深 25.0m). 図中の u , v は半日周期潮流楕円の短径および長径の向きを示す.

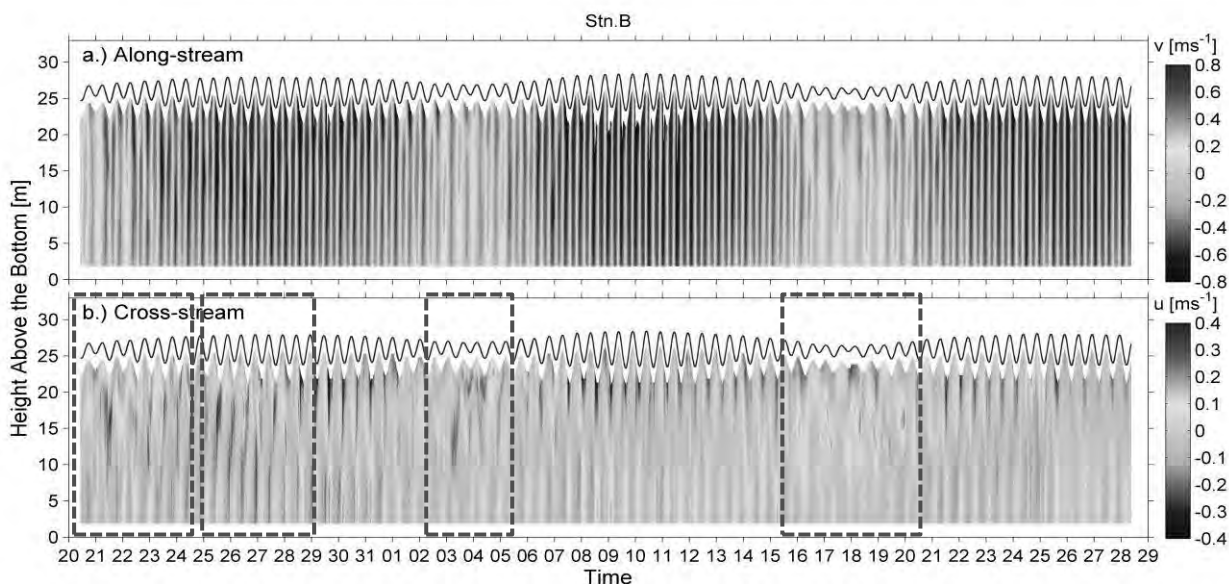


図2 測点Bにおける30分平均流速の (a) 長径 v 方向成分と(b) 短径 u 方向成分. 赤い破線の枠は内部潮汐と思われる鉛直構造が見られる箇所を示す。

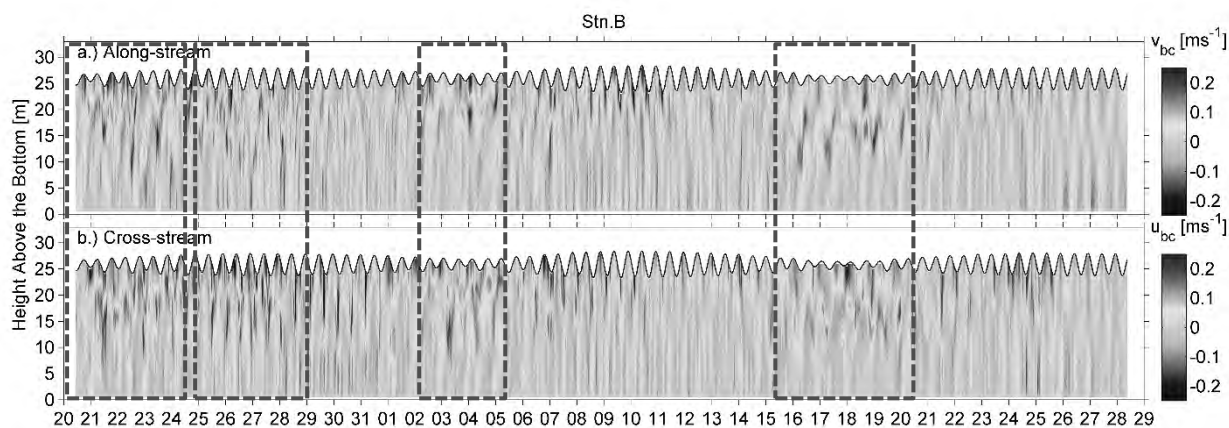


図3 測点Bにおける傾圧流速の (a) 長径 v 方向成分と(b) 短径 u 方向成分. 赤い破線の枠は図2と同様。

水中洞窟系のロボット探索とソナーによる形態計測システムに関する研究

佐世保工業高等専門学校一般科目 眞部 広紀

1. 目的

少人数で対応できる小型水中ロボットは浅海域表層や海底の構造物・生態系・遺跡など多様な対象の計測・調査に活躍している。本研究グループは、水中洞窟系探索にも対応できるロボットシステムの研究開発を行ってきた。複雑な形状の未知環境である水中洞窟系の探索ミッションには、自己位置推定可能でケーブルに拘束されない自律型水中ロボット(AUV)が適している。平成 26 年度の研究目的は、PID 制御による自律航行システムと、水中洞窟内における自己位置推定のための 3D 環境地図作成とした。鹿児島県徳之島の浅間湾屋洞穴において探索計測実験を実施した。低視界環境である未調査アンキアライン水没部「ウンブキ」奥に、PID 制御探索によって未知の水中洞窟を発見し撮影記録を行った。さらにソナー計測によって「ウンブキ水中洞窟」の 3D 概形モデルを作成した。

2. 水中ロボットシステム

本研究では、少人数の運用を想定して、小型軽量コンパクトな水中ロボット(ROV)をテストベッドとした(図1)。全長670mm、高さ300mm、幅440mm、重量18kgの機体には、PSoC3を基盤とした操縦支援・姿勢方位計測・4方向ソナー測距等の各システムを搭載している(図2)。また、PCモニターのコントローラー画面で、PIDの制御定数の変更や、手動操縦(ROV)モードと自律航行モード(AUV)の切り替えが可能である。

①水中洞窟の概形計測:

4方向ソナー・深度センサー・電子コンパスにより上下左右方向の距離・水深・方位・姿勢を計測(図3)

②3D環境地図作成:

計測データとケーブル長をもとに、上下左右の4線を配置・補間してサーフェスモデルを作成(図4)

3. 実験結果及び考察

自律航行のための PID 制御試験、ソナー等の校正は本校の無響水槽で実施した。その結果をもとにして、鹿児島県奄美諸島徳之島の浅間湾屋洞穴において、水中ロボット探索計測実験を実施した。ロボットを投入した湾屋洞穴はアンキアライン環境であり、「ウンブキ(海の谷)」と呼ばれる水没部は本校が実験を行うまで未調査であった(図5,6)。

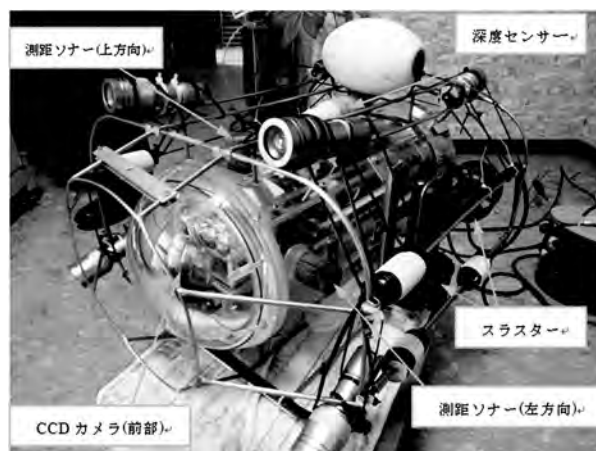


図1. ロボット外観

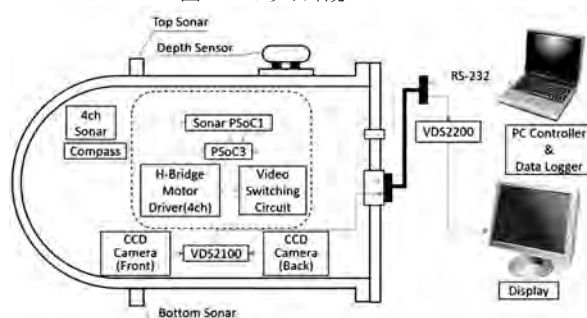
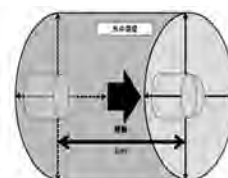


図2. システム構成



ケーブル1[m]間隔で停止
各センサのデータ記録

図3. 4方向ソナー計測

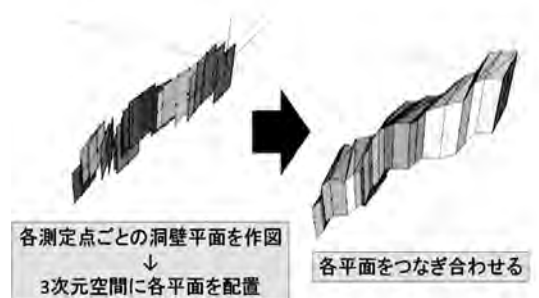


図4. 3D概形モデル化



図5. 湾屋洞穴「ウンブキ」(全景)



図6. 前進基地

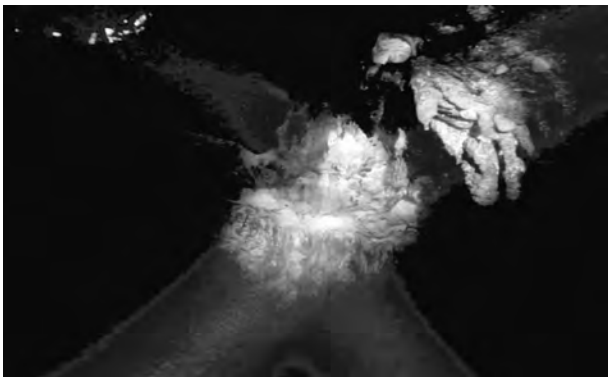
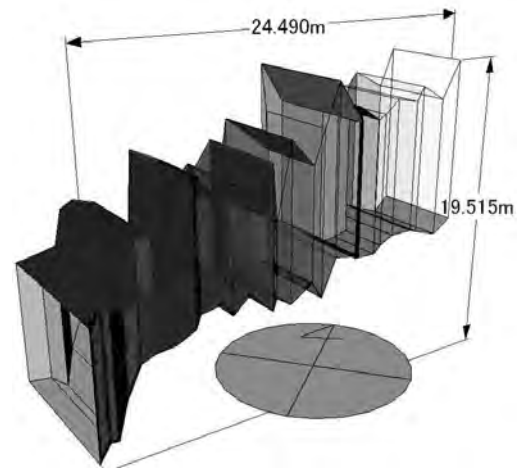


図7. 「ウンブキ」水面下に発見した鍾乳洞

深海機器力学実験水槽実験の準備段階でロボットの部品等に故障が生じて実験を実施できなかったため、本校実験水槽において、水中ロボットの各自律航法モード(方位直進・方位保持・深度保持)の実験を行った。その結果に基づいて、低視界環境の「ウンブキ」水面下をPID制御によって探索し、未知の水中洞窟を発見した(図7)。概形計測実験の計測対象を水面直下からケーブル長の最大延長区間に設定した。①は(1)~(3)を反復する：



- (1) ケーブル長を 1m 間隔で記録
- (2) 水中ロボットを一時停止させ、水平姿勢と深度を保持
- (3) 上下左右方向の4距離と水深・方位・姿勢を計測
計測データを後処理して②の3D概形モデルを作成した(図8)。

4. 結論

本年度は、鹿児島県徳之島浅間湾屋洞穴「ウンブキ」における水中ロボット探査計測実験によって、未知の水中洞窟を発見・撮影記録した。また、水中洞窟の形状データ計測と3D概形モデルの作成を行い、対象区間の形状・方位トレンドを表現することによって、水中洞窟探査への有用性を実証した。今後の課題としては、ソナー計測の詳細化・精密化、3D概形モデル生成の同時リアルタイム処理が挙げられる。

本研究を推進するにあたり、九州大学応用力学研究所中村昌彦准教授には有益なご助言やご指導を頂きました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 眞部広紀, 長嶋豊, 原田明, 福岡聡紀 他:
徳之島浅間湾屋のウンブキ水中洞窟におけるロボット探査とソナーによる形態計測の予備実験,
佐世保工業高等専門学校研究報告第51号 pp.19-27, 2015年
- 2) 原田明, 長嶋豊, 眞部広紀, 川下智幸:
**3Dモデリングを目指した
水中洞窟探査用自律型水中ロボットの開発**,
日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会
2014 in Toyama, 講演要旨集 1A1-G0

強非線形・強分散内部波の相互干渉

研究代表者 鹿児島大学大学院理工学研究科 柿沼太郎

研究の目的

辻・及川らは、2層流体における有限小振幅モデルを用いて孤立波の2次元相互作用の数値解析的研究を行ない、初期の孤立波の振幅の4倍を超えるような新しい波の生成が起こり得ることを示した。しかしながら、非線形性・分散性が共に強い内部波の相互作用の場合に対しては、そのような結果が得られるかどうか明らかにされていない。そこで、柿沼が開発した、変分法に基づく手法を適用し、内部波の非線形性・分散性を十分に考慮して、内部波の挙動を数値解析的に研究する。柿沼・中山グループと辻・及川グループで協力して、この問題の解明にあたらうとするのが、本共同研究の目的である。

昨年度の研究により、非線形干渉を伴う表面波及び内部波の2次元挙動に関して、水の波が、曲率を有するような壁面において反射するような場合も対象として研究を進めた。今年度は、大振幅孤立波を含む複数の内部波が、1次元、または、2次元伝播する場合の非線形相互干渉に関して、数値解析に基づき研究を実施する。

研究の方法

具体的には、1次元、または、2次元伝播する内部波を対象とし、次の各事項を目的として研究を進める。

- (1) 柿沼の方法では、鉛直分布関数を適切に選択する必要があるが、内部波の初期条件・境界条件に応じて精度よく効率的に計算を進められるような分布関数を見出す。
- (2) 多方向内部波が干渉する波の場を対象とし、stemの形成といった非線形現象を数値シミュレーションにより再現し、その生成メカニズムを考察する。
- (3) 大振幅孤立波を含む複数の内部波が、1次元伝播する場合の非線形相互干渉に関して、波の変形等のメカニズムを考察する。

これらの各段階において、数値解析や理論式に関する仕事を分担し、計画の遂行にあたる。全メンバーが直接会う機会を持ち、議論を行なう。

主要な成果

本研究の主要な結論は、次の通りである。

- ・上記の研究の目的の(1)に関して、強非線形・強分散内部波方程式系の定常進行孤立波の数値解を得る手法を開発した。すなわち、Newton-Raphson法により移流方程式系の収束解を求める手法を適用し、変分原理に基づく非線形波動方程式系の孤立波解を求めた。そして、理論解や、Euler方程式系の数値解析解と比較し、得られた数値解の妥当性を検討した。その結果、内部孤立波解に関して、既存の3次元数値解析結果との比較により、本研究で用いている基礎方程式系の解が、速度ポテンシャルの展開項数を3とした場合に、精度の高いものであることが確認された。そして、内部波の振幅が大きくなるにつれて、界面形が台形状に近

付くことが確認された。また、この方法により孤立波を入射させ、津波の伝播解析といった、表面波・内部波共存場の応用計算を行なった。本手法は、Boussinesq 型方程式系といった、他の表面波や内部波のための波動方程式系の定常孤立波解を得るためにも適用可能な、汎用的な手法であると考えられる。

- ・ **研究の目的の (2)** に関して、平面 2 次元場を対象とし、内部孤立波を初期条件として与え、これが鉛直壁に入射し、その壁面で反射する場合の波の干渉問題の数値解析を行なった。その結果、平面 2 次元場におけるソリトン波の干渉に伴う stem の生成が認められた。
- ・ **研究の目的の (3)** に関して、得られた大振幅孤立波解を初期条件として与えた時間発展解析を行ない、大振幅を有する定常進行内部波の伝播や、非線形干渉に関して調べた。内部孤立波の 1 次元伝播解析では、大振幅孤立波が一定速度で変形せずに進行することが確められた。また、鉛直壁に衝突する内部孤立波の数値解析の結果、入射波の振幅がゼロ、または、内部孤立波の最大振幅に近い場合に、鉛直壁位置における波高増幅率が入射波の振幅の 2 倍程度となり、線形波に類似した性質が現れることがわかった。

研究成果報告

山下 啓・柿沼太郎・吉本明日妃・吉川 諒: 大振幅内部孤立波の伝播過程における非線形現象, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp. 6-10, 2014.

山下 啓・柿沼太郎・木村晃彦: 深水域から浅水域に伝播する内部孤立波の数値解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp. 11-15, 2014.

吉川 諒・柿沼太郎・山下 啓・立和田英樹: 地殻及びマントルの運動を考慮した津波伝播の数値解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp. 171-175, 2014.

組 織

研究代表者 柿沼太郎 (鹿児島大学大学院理工学研究科 生命環境科学専攻)
研究協力者 中山恵介 (北見工業大学工学部 社会環境工学科)
研究協力者 及川正行 (福岡工業大学工学部 知能機械工学科)
所内世話人 辻 英一 (九州大学応用力学研究所 地球環境力学部門)

東シナ海陸棚域における海底境界層の栄養塩輸送過程

富山大学 大学院理工学研究部 張勁

目的

2013 年度夏季には東シナ海の日本側を「長崎丸」、中国側を中国海洋大学研究考察船「東方紅 2」，韓国の排他的経済水域では「長崎丸」及び「東方紅 2」による同時期連携観測が行われ，データ・試料の共有など真の意味での共同研究が始まった。東シナ海的环境を支配する栄養塩の供給動態を精査することを目的として，本年度はこれまで「長崎丸」及び上述の共同観測で得られたデータを用い，化学海洋学および物理海洋学の異なった視点から分析解析を実施した。

観測調査及び分析解析

7 月に，東北海洋生態系調査研究船「新青丸」により東シナ海陸棚縁辺域中央，長崎大学付属練習船「長崎丸」を用いて対馬海峡・九州南西海域において観測航海を実施し，下記の内容の観測・分析および解析を行った。

- 各層海水採取を実施し，栄養塩等の分析・酸素水素同位体組成などの化学分析データに，漂流ブイ観測と微細構造プロファイラーによる水塊混合強度とその変動解析を行った。
- 堆積物・間隙水と同時に懸濁粒子も採取し，海水中栄養塩分布との関連を明らかにした。
- 平成 25 年夏期に行われた「長崎丸」と「東方紅 2」による日本・中国同時期連携観測の結果を中心に，物理・化学などの試料・データの分析と解析を行った。

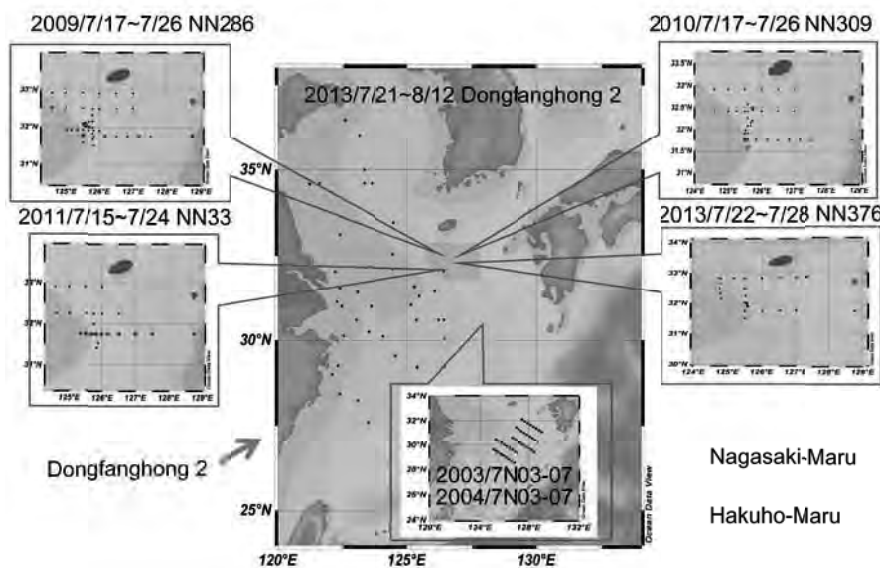


図 1. 研究海域 (2013 年に「東方紅 2」(Dongfanghong2)と「長崎丸」は cross station で同期観測を行った)

結果・考察

図 1 に本研究の観測海域と測点を示している。2003，2004，2009，2010，2011，2013 年の長崎大学付属練習船「長崎丸」によって得られた現場観測データ(塩分，水温，溶存酸素濃度)，採水データ(塩分，溶存酸素，栄養塩等)，また，2013 年「東方紅 2」によって得られた現場観測データ(塩分，水温，溶存酸素濃度)に基づいた結果を下記にまとめた。

済州南西水深 40～50m の海域において密度躍層以深(20m～)では，ほぼ毎年の夏期に低い溶存酸素水(LDOW)の分布が確認された(図 2)。2011 年は，例外的に台風通過直後に観測が

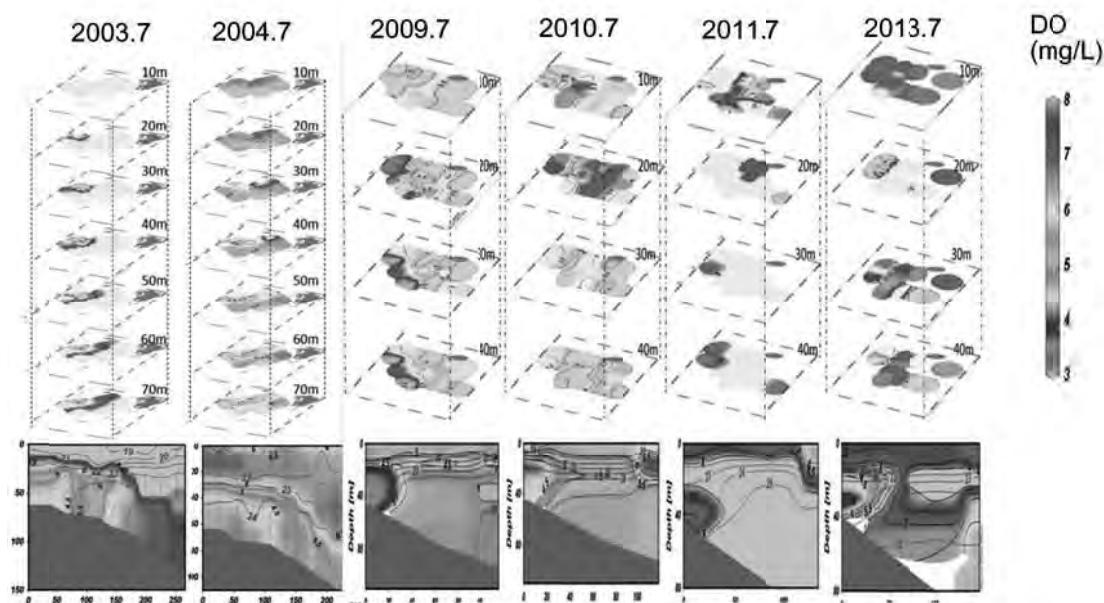


図2. 東シナ海陸棚域におけるLDOW分布の経年変化

行われ、海水の鉛直混合が発達しており、LDOWは見られなかった。また、同時観測が行われた「東方紅 2」では、長江河口域の水深 15～30m に LDOW の分布が観測された(図3)。更に、長江河口域の LDOW 測点は、旧河道域に位置していることを考慮すると、済州南西域に分布するLDOWは長江や周辺地下水に由来する可能性が考えられた。

上述のように、昨年度の中国海洋大学等との連携観測の成功を元に、来年度秋期に、東シナ海韓国経済排他的水域や陸棚縁辺部から黒潮軸の東部までより広範囲に亘り、学術研究船「白鳳丸」と「東方紅 2」の共同・連携観測調査が予定されており、今後、中国側の観測データと併せて広域・総括的な学際共同研究が期待できる。

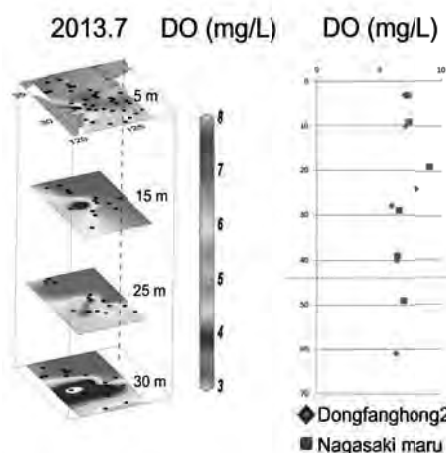


図3. 「東方紅 2」の LDOW 分布図

研究実績

論文:

1. Andreas R. and Zhang J., Characteristics of Adsorption Interactions of Cadmium(II) onto Humin from Peat Soil in Freshwater and Seawater Media.
Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 92, 352-357, 2014.

学会発表:

1. J. Zhang, Y. Fujishiro, T. Matsuno and J. Ishizaka
Water mass interaction and chlorophyll/nutrient distribution in the cross-slope area of the northeastern edge of the East China Sea. 10th Cross-Strait Marine Science Conference, Taipei, May.
2. J. Zhang, Z.-Y. Luan, H.-L. Ma and M.-X. Zhao
Distribution of low oxygen water mass and its changes in the south-western area off Jeju island, East China Sea. The 7th Program of the East Asian Cooperative Experiments (PEACE) Ocean Science Workshop, Qindao, China, October, 2014.

対馬暖流の長期変動と回遊性魚類の漁場変化

福岡県水産海洋技術センター 安藤 朗彦

目的

近年、九州北部沿岸では、回遊性魚類のマアジやケンサキイカの漁場が沖合化しているという現場漁業者が増えている。当海域に流れ込む対馬暖流は、この2魚種の漁場形成要因に深く関わっていることが報告されている。そこで過去10年間の人工衛星観測結果と応用力学研究所において長期継続している定期航路客船（カメラ）を利用した東西対馬海峡の観測結果から対馬暖流の長期変動を捉え、漁場沖合化との関連を明らかにすることを目的とした。

方法

衛星の観測データは、2000～2012年に衛星NOAAで観測されたAVHRR信号を処理した水温データを用いた。観測時の天候条件により、良好なデータが得られるものを選別した。

定期航路客船（カメラ）に搭載され過去10年間に観測されたADCP観測結果を観測日毎に整理した東西対馬海峡における全流量の記録を用いた。

同様に過去10年間玄界灘で操業する中型まき網漁船の日別操業記録を整理し、データセットとして解析に用いた。

結果・考察

定期航路客船（カメラ）で観測されたADCPのデータを整理しデータセットを作成した。観測された航路上の流速と玄界灘で操業される中型まき網漁船の漁場は、同じ海域ではないため解析方法とデータの取り合わせについて検討を行った。さらに衛星データについては観測結果が時空間的に一致するようなデータの選択と解析方法を検討することが必要であると考えられた。

また中型まき網漁船の操業状況は、年により集中分散が見られるが、出漁頻度が高い漁場は、毎年ある程度の傾向がみられ、海洋構造との関連が示唆された。また漁場により漁獲物の組成が異なる傾向がみられたが、組成の違いは違いに漁場の条件だけで決定されるものではなく、近年の原油価格の高騰等、漁業経営体が抱える諸条件により変化することが伺われ、今後の解析については充分注意して解析することが必要であると考えられた。

研究成果報告

特になし

研究組織

研究代表者	福岡県水産海洋技術センター	安藤	朗彦
所内世話人	九州大学応用力学研究所	広瀬	直毅
研究協力者	日本船用エレクトロニクス（株）	宝槻	孝行

風送ダストに関する現状と今後の展開に関する研究集会

名古屋大学 長田 和雄

1. 目的

福岡はアジア起源の黄砂・大気汚染の影響が深刻な地域である。応力研グループでは、アジア域における越境大気汚染に関する数値モデル研究と平行し、偏光光散乱式粒子数濃度計(Polarization Optical Particle Counter; POPC)、多波長ライダー、エアロゾル化学成分連続自動分析装置(ACSA-12)などエアロゾルの多成分化学・物理特性の計測も開始しており、今だ十分に明らかにされていない大気中黄砂の化学・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。その他、黄砂の発生フラックスの現地観測・ライダー観測・沈着観測・化学分析・黄砂全球モデリングなど、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、黄砂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、黄砂研究の推進や黄砂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

日 時：平成26年12月11日(木)～12日(金)

場 所：九大筑紫キャンパス大気海洋環境システム学専攻棟(G棟)

11日：2階会議室 12日：2階講義室

3. 研究成果

研究集会では国内の黄砂研究に関わる幅広い専門家が数多く集まり、19題の講演発表があった。関係者を含めると60名程度の参加があった。黄砂の発生源における飛砂プロセス、輸送途中におけるバクテリアの取り込みや化学・物理的変質、海洋の生物生産に重要となる黄砂の沈着の実態、黄砂の長距離輸送、黄砂のデータ同化予報など、様々な分野から最新の黄砂研究についての発表がなされ、闊達な議論がなされた。昨年度開催された、本共同利用研究集会がきっかけとなり、研究分野を超えたリンクに基づいて、平成26年度に海洋研究開発機構の長島佳菜研究員を代表者とする科研費基盤B「湖年縞堆積物および雪氷コアを用いたアジアダスト輸送の季節性と沈着フラックスの解明」が採択されることとなり、本研究発表会が黄砂コミュニティにおいて大きな貢献を果たしている。

以下に研究集会プログラムを掲載する。

資料 1

九州大学応用力学研究所 共同研究集会 風送ダストに関する現状と今後の展開に関する研究集会

日 時： 平成 26 年 12 月 11 日（木）～12 日（金）
場 所： 九州大学筑紫キャンパス 大気海洋環境システム学専攻等(G 棟)
11 日：2 階会議室 12 日：2 階講義室
研究代表者：長田和雄(名古屋大学)
所内世話人：原由香里

プログラム 12 月 11 日(木)

13:15-13:20 はじめに

13:30-13:40 岩本 洋子（東理大・理）海洋に沈着した陸起源ダストの性状

13:40-14:00 谷水 雅治（海洋研究開発機構 高知コア研究所）金属元素安定同位体比の人為起源エアロゾル指標としての可能性

14:00-14:20 河田 綾（東大・大気海洋研）太平洋東部赤道海域から西部北太平洋における微小エアロゾルの雲凝結核特性と化学組成

14:20-14:40 福島 聡（熊本県大・環境共生）黄砂時地上付近エアロゾルの変動

14:22-14:40 村田浩太郎（熊本県大・環境共生） 粒径別黄砂サンプル中に存在する空气中細菌の量と生存状態:2013 年と 2014 年春期の天草西岸部における観測

14:40-15:00 植松 光夫（東大・海洋研・東理大） 北太平洋上に飛来した黄砂

15:00-15:20 休憩

15:20-15:40 杉本 伸夫（環境研）黄砂と大気汚染エアロゾルの混合状態と光学モデルの検討

15:40-16:00 Pan, X., Uno, I. et al.(九大・応力研) Simultaneous transport of mineral dust aerosols with anthropogenic pollutants revealed by Polarization Optical Particle Counter (POPC) occurred in springtime, 2014

16:00-16:20 原 由香里（九大・応力研）一週間継続した汚れた黄砂のモデル解析

16:20-16:40 長田和雄（名大・環境）夏の黄砂は珍しい？

16:40-17:00 三浦和彦（東理大・理）富士山系におけるエアロゾル計測

17:00-17:20 青木一真（富山大・理工）日本における黄砂の光学的特性の時間・空間変動

18:30～ 懇親会

12月12日(金)

09:00-09:20 石塚正秀（香川大）福島県浪江町における放射性物質の地表面からの再飛散に関する研究

09:20-09:40 三上 正男（気象研）モンゴルにおけるダスト飛散過程の観測

09:40-10:00 黒崎 泰典（鳥大乾地研）モンゴル・ツォクトオボーにおける砂塵観測（その2）

10:00-10:20 西川 雅高（東理大・環境セ）十砂十色の黄砂発生源土壌

10:20-10:40 原 和崇（鳥大・乾地研）砂漠の植物表面に存在する氷核活性微生物の探索

10:40-11:00 長島 佳菜（JAMSTEC）堆積物を用いたアジアダストの長距離輸送の季節性の検証

11:00-11:40 清水 厚（国環研）国内におけるライダー黄砂消散係数とSPM・PM_{2.5}の関連

11:40-12:00 総合討論とまとめ

(研究集会)

非線形波動研究の現状—課題と展望を探る—

研究代表者 青山学院大学理工学部 増田 哲

研究集会の目的

非線形波動は、海洋や大気の流れ、物質やエネルギーの輸送などにおいて普遍的に現れる現象であり、その性質を研究することは地球環境を理解するうえでも重要な役割を果たす。非線形波動現象の研究は現在まで、理論、実験、数値解析などの各分野が相互に密接に関連しながら発展してきた。例えば、観測や実験によって捉えられた様々な流体現象を記述するために KdV 方程式や KP 方程式などが導入され、非線形波動現象の解明はもちろん、プラズマ物理など他の分野へも応用されるようになった。また、現象を記述する方程式系の数学的構造に対する理解が深まるにつれて、セル・オートマトン系、トロピカル幾何学、数値計算アルゴリズムなど思いがけない分野との密接な関係が明らかになり、更には、そうした分野での成果が諸現象の解析にフィードバックされてきた。このように様々な研究分野間の交流によって、新しい研究テーマや解析手法が開拓され、基礎、応用の両面において大きな潮流を産み出し続けている。

本研究集会の目的は、これまでの非線形波動研究の進展を受け、「最先端の研究に現れる多様な非線形現象を様々な分野の立場から捉え直すことで、現象の理解や制御に関して新たな展開を目指す」である。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やその広がり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して、本研究集会は企画された。伝統ある共同利用研究拠点の一つである応用力学研究所において、継続して研究集会を開催することには重要な意義があり、過去に開催された関連する研究集会に引き続き、本年度も多彩な分野の研究者の参加のもと、異分野の相互作用による研究の促進を目指して本研究集会が開催されるに至った。

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 26 年 10 月 30 日から 11 月 1 日までの 3 日間にわたり九州大学筑紫地区筑紫ホールにおいて開催され、特別講演 3 件と一般講演 27 件（口頭発表 15 件およびポスター発表 12 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、セル・オートマトンに関する話題として、

- 実データに基づくセル・オートマトンモデルの構成

という講演が行われ、現象理解を仮定せずに観測データから直接セル・オートマトンを構成する方法について、最新の知見が紹介された。また、生物行動の現象解析の話題として、

- アリの採餌行動における意思決定とゆらぎ—数理モデルと行動実験による複合的アプローチ

という講演が行われた。アリの採餌行動に着目し、先行研究の批判的検討から、実験・観察、シミュレーションによる解析、理論的考察に至るまで、たいへん興味深くかつ詳細な解説があった。さらに、生物種の動態に関する数理モデルの話題から、

- 一回繁殖型の非線形 Leslie モデルの連続化と分岐解析

という講演が行われた。モデルとなる非線形差分方程式の分岐現象を考える際に、連続極限として得られる微分方程式の解析が有効であることを示す内容の報告がなされた。これら特別講演の内容は、非線形現象およびそれを記述する数学モデルに関して、今後の研究の指針となるべき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、非線形可積分方程式の漸近解析やハミルトン構造などの理論的な話題から、種々のセル・オートマトン系に関する興味深い性質、交通流や RNA ポリメラーゼが関わるダイナミクスといった現象のモデル化の話題、クラスター代数や（超）離散パルヴェ方程式に関するものまで、多種多彩な内容の報告が行われた。総じて水準の高い講演がなされ、それらをもとに、分野を越えた活発な議論が繰り広げられた。

本研究集会は、数学や物理学の理論的な話題から工学的な応用に至るまで多彩なテーマを扱いつつ、講演が公募されて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、非線形波動およびその関連分野の有機的なつながりが実感できる研究集会であり、「最先端の研究に現れる多様な非線形現象を様々な分野の立場から捉え直すことで、現象の理解や制御に関して新たな展開を目指す」という当初の

目的は、ある程度達成できたと思われる、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。

発表論文および学会発表 無し

講演プログラムと概要

10月30日(木)

13:30-14:00

一般化戸田格子の超離散化

野邊 厚 (千葉大)

Lie 環を用いた戸田格子の拡張 (一般化戸田格子) において、とくにアフィン Lie 環に付随する戸田格子の離散化・超離散化を行い、戸田型セルオートマトンや周期箱玉系との関係について議論する。

14:00-14:30

Totally positive matrix と特異曲線上の因子

岩尾 慎介 (青山学院大)

Totally positive matrix の分解問題と離散可積分系の positive part との関係について知られていることを説明し、これらの対象と特異曲線上の positive part との関係を述べる。時間があれば、トロピカル幾何との関係も説明したい。

14:45-15:45

実データに基づくセル・オートマトンモデルの構成

川原田 茜 (静岡県立大)

セル・オートマトンは全ての変数が離散値をとる離散力学系である。局所的な相互作用によって時間発展規則が定義され、単純な規則からも複雑で多様な挙動を示すために数理モデルとして重宝されている。しかし規則の単純さ故、実際の現象に対してそれを模倣するセル・オートマトンを構成することは一般に容易ではない。本講演では、現象理解を仮定せずに観測データから直接セル・オートマトンを構成する方法について紹介する。尚、本講演は飯間信氏 (広島大学) との共同研究に基づくものである。

16:00-16:30

タイリング問題と可積分系および直交多項式との繋がり

上岡 修平 (京都大)

組合せ論におけるアステカダイヤモンドや六角形領域のタイリング問題は (厳密に数え上げ可能という意味で) 可解である。本講演ではタイリング問題と (厳密解を持つという意味で) 可解な可積分系、およびそれに付随する直交多項式との関係を調べる。特に行列式に基づくタイリング問題の証明法について解説する。

16:30-17:00

各種多面体上の離散ソボレフ不等式の最良定数

○山岸 弘幸 (都立産技高専), 亀高 惟倫 (阪大), 永井 敦 (日大), 渡辺 宏太郎 (防衛大), 武村 一雄 (日大)

各種多面体 (正多面体, 切頂正多面体, フラーレン, カーボンナノチューブトラス) 上の離散ソボレフ不等式の最良定数を求めた。多面体の頂点に適切な番号付けをして離散ラプラシアンを導入し、擬グリーン行列 (ペンローズ・ムーア一般化逆行列) とグリーン行列 (逆行列), 離散熱核を求めた。最良定数は擬グリーン行列やグリーン行列の対角成分で求められる。

17:00-17:30

陽的および陰的シンプレクティック数値積分法における運動量保存則

佐々 成正 (原研)

非線形偏微分方程式の時間発展に対し、シンプレクティック数値積分法を適用した時、位相空間内におけるある積分が不変量となる。その積分不変量と (近似的) 運動量保存則の関係について考察する。

10月31日(金)

10:00-10:30

簡略化された **path-preference model** のダイナミクスについて

中田 庸一 (東京大)

Path-preference model は RNA ポリメラーゼが転写中に行うダイナミクスを記述するセルオートマトンであるが、このモデルについてある条件下で流量を測ったところ期待された挙動以外の不連続な変化が起ることが確認されたので、そのことについて説明する。

- 10:30-11:00 変分原理による多孔質岩石中内にある間隙水内の超臨界二酸化炭素吸収過程の解析
○深川 宏樹 (九州大), 辻 健 (九州大)
自由エネルギーを使う二成分系混合流体モデルでは潜熱や熱流を十分に考慮することができない。今回、これらを考慮できる変分原理を使ったモデルを提案し、間隙水内の超臨界二酸化炭素の吸収過程を解析する。
- 11:10-12:10 アリの採餌行動における意思決定とゆらぎ —数理モデルと行動実験による複合的アプローチ—
西森 拓 (広島大)
アリはハチの祖先から進化し、個々の構造や振る舞いを単純化させる一方でコロニーとしての協調行動を複雑化させ、現在地球上のほとんどの地域で繁栄を謳歌している。我々は、アリの採餌行動に着目し、トビイロケアリに関する実験と数理モデリングを行ってきた。実験では、トビイロケアリの採餌行動が、これまで広く知られている化学走性だけでなく、視覚情報や記憶にも依拠し、これら複数の因子の精妙な組み合わせで行動決定を行っていることが分かってきた。また、数理モデルでは、アリの化学走性にゆらぎ (エラー) の効果を付与し、採餌効率とゆらぎの関係を調べた。その結果、ある給餌環境の変化に応じて、「最適採餌集団」が、同等のエラーをもった「一様集団」から、高いエラー率をもったアリとエラーがほとんどないアリの「2 極混合集団」に鋭く転移することがわかった。講演では、以上の実験・計算結果を報告するとともに、現象をより抽象化した理論的試みを紹介する。
- 13:30-14:00 可積分離散非線型シュレーディンガー方程式の漸近解析
山根 英司 (関西学院大)
defocusing な可積分離散非線型シュレーディンガー方程式 (Ablowitz-Ladik model) は逆散乱法で解ける。本講演では、逆散乱法の発展である非線型鞍点法によって解の $t \rightarrow \infty$ における漸近展開が得られることを述べる。
- 14:00-14:30 高次分散を取り入れた Green-Naghdi 方程式とハミルトン構造
松野 好雅 (山口大)
Green-Naghdi (GN) 方程式は大振幅波動伝播の記述に有効な水の波のモデル方程式であるが、分散効果は最低次しか考慮されていない。ここではこれを高次分散項を含む方程式に拡張する。具体例として、 δ^4 のオーダーの分散項を含む GN 方程式 (δ^4 モデル) を導出する (δ は浅水パラメータ)。得られた方程式系は GN 方程式と同様のハミルトン構造を有することを示す。さらにこの系が Zakharov のハミルトン形式と等価であることを証明する。最後に、 δ^4 モデルの孤立波解を摂動法により求める。
- 14:45-15:15 高次保存量を持つセルオートマトンについて
○高橋 大輔 (早稲田大), 松木平 淳太 (龍谷大)
状態変数の 2 次以上の保存密度を持つセルオートマトンについて、そのような保存量を持つ仕組み、解の構造、基本図の構成などについて解説する。また確率変数を導入した場合の基本図の解析についても述べる。
- 15:15-15:45 セルオートマトンの逆超離散化における重ね合わせ原理とその応用
○吉井 理比古 (東京大), 星野 隆行 (東京大), 満洲 邦彦 (東京大)
逆超離散化において CA のルールが拡張トロピカル多項式で記述できれば重ね合わせの原理が成り立つことを証明した。また、その応用として ECA からフィルター関数を含まない PDE を導出し、そのダイナミクスを解析した。
- 11 月 1 日 (土)
10:00-10:30 時間遅れをもつ交通流モデルの離散化とその解について
○松家 敬介 (東京大), 金井 政宏 (東京大)
本講演では、Newell が提案した時間遅れ微分方程式で記述される交通流モデルの離散化及び超離散化を紹介する。また、離散化及び超離散化で得られた差分方程式は時間遅れをもち、それらの進行波解についても議論する。「本講演では、Newell が提案した時間遅れ微分方程式で記述される交通流モデルの離散化及び超離散化を紹介する。また、離散化及び超離散化で得られた差分方程式は時間遅れをもち、それらの進行波解についても議論する。」この離散化は時間遅れをもつ差分方程式であり、進行波解の連続極限及び定数解の線形安定性について議論する。

- 10:30-11:00 交通流モデルによる歩行者の引き込み現象の解析
金井 政宏 (東京大)
引き込みとは、弱い結合によって複数の振動子の位相が揃う現象である。今回、歩行を周期運動と捉え、基本的な交通流モデルである最適速度 (OV) モデルから着想を得て作られたモデルにより歩調が揃う現象を解析する。
- 11:10-12:10 一回繁殖型の非線形 **Leslie** モデルの連続化と分岐解析
今 隆助 (宮崎大)
Leslie モデルは年齢構造を持つ単一種の個体群動態を記述する差分方程式である。本講演では非線形の Leslie モデルの自明平衡点 (絶滅平衡点) の分岐について考える。特に、最終齢の個体だけが繁殖できる一回繁殖型の Leslie モデルについて考える。このような Leslie モデルは、微分方程式によって近似することがでる。本講演では、この微分方程式を解析することによって、元の差分方程式の分岐に関して理解できることを紹介する。
- 13:30-14:00 パンルヴェIII 型方程式のある特殊解系列の超離散極限
磯島 伸 (法政大)
差分パンルヴェIII 型方程式は、その成分が差分ベッセル方程式の解で与えられる行列式を用いて表される特殊解の系列を持つ。本講演では、成分に差分ベッセル関数を与えた場合の特殊解系列の符号付き超離散極限を、一般のシステムパラメータに対して与える。
- 14:00-14:30 クラスタ代数と **q-Painleve** 方程式
大久保 直人 (東京大)
クラスタ代数はクラスタ変数、係数 (と呼ばれる変数)、quiver に mutation と呼ばれる操作を繰り返すことで定義される。本公演では mutation-period と呼ばれる性質をもつ適当な quiver を考えたとき、クラスタ変数、係数の満たす関係式が、いくつかの **q-Painleve** 方程式の双線形形式、非線形形式となることを紹介する。

ポスターセッション概要

- (1) 離散ハングリーロトカ・ボルテラ系に基づく非対称帯行列の全固有対の計算
○竹内 弘史 (東京理科大), 相原 研輔 (東京理科大), 福田 亜希子 (芝浦工大), 石渡 恵美子 (東京理科大)
離散ハングリーロトカ・ボルテラ (dhLV) 系に基づく、ある非対称帯行列の複素固有値を計算する方法が知られている。本研究では、dhLV 系の時間発展を利用して固有ベクトルを計算する方法を示す。さらに、固有ベクトルの各成分の陽的な表現を与える。
- (2) 離散戸田方程式のある拡張に基づく **Totally Nonnegative** 行列の固有値計算アルゴリズム
○隅蔵 亮 (東京理科大), 福田 亜希子 (芝浦工大), 石渡 恵美子 (東京理科大), 山本有作 (電通大), 岩崎 雅史 (京都府立大), 中村 佳正 (京都大)
本発表では、箱に番号が付いた箱玉系に由来する離散戸田方程式の拡張を基に、**Totally Nonnegative** 行列の固有値を計算するアルゴリズムを示す。また、収束加速のための原点シフトを導入する。
- (3) 平面離散曲線の例について
○井ノ口 順一 (山形大), 加藤 慎也 (山形大)
離散可積分系理論の発展に鼓舞されて、微分幾何学的対象の離散化が研究されるようになった。これまでの研究では離散可積分系で統制される離散曲線や離散曲面が主に扱われてきたが、離散曲線そのものをどのように研究対象としていくかについてはまだ研究が少ない。ハイポサイクロイドの離散化に関する研究結果を報告する。

- (4) **Max-Min-Plus 表現を用いた 5 近傍粒子 CA の確率化について**
○津川 未希 (龍谷大), 松木平 淳太 (龍谷大), 高橋 大輔 (早稲田大)
セルオートマトンの時間発展に確率を導入する研究が活発に行われている。確率を導入することにより、さらに現実に近いモデルとして応用が可能となることが期待できる。しかしながら、確率変数を含んだ Max-Min 表現の発展方程式を得る方法はまだ確立されていない。本研究では、基本図と発展方程式の関係を用いて、幾何学的な観点から、確率変数を含んだ Max-Min-Plus 表現の発展方程式を得ることに成功した。従来の方法では、4 近傍・5 近傍の粒子セルオートマトンの確率化は難しいとされていたが、本研究で用いた手法により 4 近傍では 4 個、5 近傍では 16 個のルールの確率化に成功した。
- (5) **病理モデルにおける連続型と超離散型との対応関係**
○関口真基 (都立荻窪高), 石渡恵美子 (東京理科大)
連続型病理モデルを超離散化することで得られる超離散型病理モデルの解の挙動が、もとの連続型モデルと同様に議論できることを示し、解の大域的性質が、連続型モデルと超離散型モデルで対応することを示す。
- (6) **Jeu de taquin slide と超離散 KP 方程式**
○片山 陽介 (立教大), 笥 三郎 (立教大)
三上・太田は、組合せ論における jeu de taquin slide の操作を差分方程式で表し、超離散 KP 方程式との関係を議論した。本研究では、三上・太田の結果に若干の変更を加え、逆操作にも適用可能な方程式を提案する。
- (7) **情報提供による、分岐のある道路における交通流の最適化**
今井 武晃 (東京大), 西成 活裕 (東京大)
分岐のある道路においては、カーナビゲーションシステムや ITS などの交通情報提供装置によって交通が制御されている。しかし、情報提供の内容によっては、交通量が一つの道路に偏りかえって交通状況を悪化させるようなことが起こる。最適な交通状況を実現するための情報提供内容と情報提供方法についての研究の成果を示す。
- (8) **群衆の出口選択における歩行者同士の相互作用について**
井上 翔介 (東京大), 西成 活裕 (東京大)
部屋に複数の出口があった場合、歩行者の出口選択には近接する人の選択につられ、混んでいる出口を避けるという仮定のもとでシミュレーションをし、その相互作用がどのように流れに影響するのかを調べた。
- (9) **平面渦の定常配置と安定性**
○上野 拓 (立教大), 笥 三郎 (立教大)
Hemery と Veselov は、2 次元平面での完全流体における渦の定常配置に対して、新しい例を構成した。本研究では、それらの安定性を考察する。
- (10) **表面張力入りの Hele-Shaw 問題**
○野見山 雅之 (立教大), 笥三郎 (立教大), 梶原健司 (九大)
Hele-Shaw 問題において、ある種の表面張力効果を考慮すると、Dym 方程式に外力項を付け加えた方程式が得られる。本研究では、その方程式を双線形化法の立場から議論する。
- (11) **結合型変形 KdV 方程式のソリトン解の構造**
○中川 剛 (立教大), 笥 三郎 (立教大)
岩尾・広田によって提出された結合型変形 KdV 方程式のソリトン解は、多くのパラメータを含んだ複雑な構造を持つ。本研究では、ある意味で“1-ソリトン解”を調べれば十分であることを示す。
- (12) **楕円曲線と Hankel 行列式**
由良 文孝 (はこだて未来大)
楕円曲線上の点の Hankel 行列式表示について議論する。

開催の期間 平成 26 年 10 月 30 日 ~ 平成 26 年 11 月 1 日

参加者 70 名

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 26 年 12 月 11 日（木）－12 日（金）

州大学応用力学研究所東アジア海洋大気環境研究センター

「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(長崎大学)

2014年12月11日から12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53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、時には講演時間を超過することもあった。

例年に変わらず、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。

プログラム

「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」

日程: 平成 26 年 12 月 11 日 (木) - 12 日 (金)

場所: 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6
階 W601

(<http://www.kyushu-u.ac.jp/access/map/chikushi/chikushi.html>)

本研究集会は 12 月 10 日午後・11 日午前に開催されます「海洋レーダに関する研究集会」(代表者: 藤井智史 (琉球大)) に引き続き行います.

----- 12/11(木) -----

13:30-13:40 趣旨説明

13:40-14:40

Shoaling Internal Solitary Waves in South China Sea

Ren-Chieh Lien (APL, University of Washington)

14:40-15:00

2013 年夏から秋に山陰沿岸で観測された顕著な水位差変動

滝川哲太郎 (水大校), 渡辺俊輝 (山口水研セ), 千手智晴 (九大応力研),

森本昭彦 (名大水循環セ)

15:00-15:20

2014 年 6 月に山陰沖・遠距離海洋レーダ観測海域で得られたプランクトン分布

永沼元、滝川哲太郎 (水大校)、小針統 (鹿大水産)、森本昭彦 (名大水循環セ)、杉谷茂夫、岩井宏徳 (NICT 沖縄)、久島萌人

(名大水循環セ)、藤井智史 (琉大工)、市川香 (九大応力研)、雨谷純 (NICT 沖縄)

15:20-15:30

休憩

15:30-15:50

4 次元変分法を用いた北西太平洋海洋データ同化システムによる予測実験について

石崎士郎(気象庁)

15:50-16:10

気象庁海洋観測定線東シナ海 PN 線の長期変化（その2）

村上 潔（気象庁海洋気象課）

16:10-16:30

日向灘北部沿岸域における流況の季節変化

渡慶次力（宮崎水試）・清水学（水研セ中央水研）・市川忠史（水産庁）・広瀬直毅・千手智晴（九大応力研）

16:30-16:40

休憩

16:40-17:00

漁船による流況観測に見られた沿岸捕捉波の時空間変動

福留研一（水研セ日水研）・井桁庸介・（水研セ日水研）・大慶則之（石川水総セ）・千手智晴（九大応力研）・渡邊 達郎（水研セ日水研）

17:00-17:20

気象庁 wave setup 現業モデル開発および防波堤が wave setup に及ぼす影響について

近澤昌寿 気象庁日本海海洋気象センター

17:20-17:40

風波と規則波が吹送流に及ぼす、波と流れの相互作用の相違について

水野信二郎（元広島工業大学）

12/11 講演終了後 懇親会

----- 12/12(金) -----

09:00-10:00

傾圧海洋の慣性・準地衡線形応答

増田章(九大応力研)

10:00-10:20

対馬海峡周辺における水温・塩分の短周期変動から見た低塩分水の挙動

富石悠太（九州大院総理工）・松野健（九州大応力研）・千手智晴（九州大応力研）

10:20-10:40

対馬海峡と宗谷海峡における表面流速の相関関係とその要因について

佐原賢紀（京大理）、吉川 裕（京大理）、江淵 直人（北大低温研）

10:40-10:50

休憩

10:50-11:10

2014 年 2-3 月における津軽海峡への日本海水の流入について

渡邊修一、佐々木建一、脇田昌英、田中義幸、川上創、山本秀樹、津幡圭介、吉川泰司（海洋研究開発機構むつ研究所）、齊藤誠一、小林直人（北海道大学水産科学研究院）

11:10-11:30

対馬暖流の水塊起源の特定

高谷周平(富山大院・理工), 松浦知徳(富山大院・理工), 広瀬直毅(九大応力研)

11:30-11:50

淀川感潮域における海水遡上に対する物理現象の把握

小山悠人（神戸大院海事）・中田聡史（神戸大院海事）・林美鶴（神戸大内海域セ）

11:50-12:10

総合討論

共同利用研究集会

「海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用」

琉球大学工学部 藤井 智史

1. 目的と経緯

海洋レーダは、高い時空間分解能で継続的に沿岸海域をモニタリングすることが可能である。また、陸上設置の観測器であることから、洋上または船舶の観測に比べて運用保守などが容易であるという利点がある。この特徴を生かして、海洋環境の把握や防災への活用、海運や水産業への貢献などが期待されている。

海洋レーダを用いた沿岸域の海況監視システムの構築に向けて、精度向上や効率的運用、信号処理の高度化などのレーダ技術の発展と、観測結果の検証、応用分野や利用範囲の拡大などを議論することを目的として標記研究集会を開催した。この研究集会は、2003 年度に応用力学研究所共同利用研究の一環として開始され、国内の海洋レーダに関係する研究者、利用者が一堂に参加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： 2014 年 12 月 10 日(水) 午後(13:00～17:30)

11 日(木) 午前(9:00～12:00)

開催場所： 九州大学応用力学研究所東アジア海洋大気環境研究センターW601 号室

参加者： 10 日 48 名

11 日 45 名

3. 発表概要

本研究集会では 14 題の発表があり、観測システムの高度化から観測データの解析・検証まで広い分野での議論が 2 日に渡って活発に行われた。特に今回の企画として、1 日目後半に今まで海洋レーダを利用していないテーマでの海洋レーダデータの適応検討とその期待についての講演 4 題を設け、応用分野拡張の可能性について議論することとした。

1 日目前半では 4 件の講演があり、まず北海道大学の Wei らが、紋別沿岸に設置の CODAR/SeaSonde レーダのスペクトルデータの形状ならびに伝搬損失のシミュレーションから流氷の検知法について報告した。海外でも報告例が少ない応用であり水平線越えでの流氷検知が実用になれば効果が期待できる。電力中央研究所の坪野らは、グリーン関数を視線方向流速に適用して M2 潮流の内挿を行った。本来、視線方向流速しか得られないドップラレーダでは、複数レーダを用いてそのビームの重なる方向でのベクトル合成が基本であったが、より広域に渡る内挿が可能になる点で有用な手法と考えられる。名古屋大学の森本から、NICT・九大・水産大学校・琉大との共同プロジェクトである遠距離海洋レーダを用いた対馬海流観測に関して、海底設置 ADCP や漂流ブイとの流速精度検証について報告があった。これはプロジェクト全体の初期的結果であり、今後の成果が期待される。JAMSTEC の佐々木からは、昨年度末に稼働し始めた津軽海峡東口での観

測の現状について報告があった。定性的には妥当な流速パターンが観測されているとのことであり、今後の継続的な観測とデータ提供への期待が大きい。

1 日目後半の 4 題は、上述の通り、いままで海洋レーダのデータを使用されていなかったテーマに関して、海洋レーダに対する期待を含め、その可能性について講演を依頼したものである。JAMSTEC の石川は、海洋レーダデータのデータ同化への活用とその可能性を念頭におき、前講演で紹介された津軽海峡東口の観測結果を用いて、海洋レーダデータの特徴に関して論じた。モデル計算の結果との比較から、レーダ観測での流速が小さいことを指摘し、その原因の究明とより詳しいデータ解析の必要性を明らかにした。気象研究所の碓氷も、データ同化へのレーダデータ利用の可能性について述べた。気象庁で現用の海象予報システムと同化モデルについての解説と沿岸域での高精度化のために未利用の流速データの同化方法とその有用性に触れた。中央水研の青木からは、橘湾と有明海での赤潮発生メカニズムの紹介があり、流動場と塩分分布が関係しているとの報告があった。表層流速分布の時間変化の観測は海洋レーダの得意とするところであり、さらに海洋レーダデータを用いた塩分計測の可能性の報告もあることから、研究連携が期待される。九大総理工の経塚は、潮流・海流発電の現状を紹介し、同分野への海洋レーダの期待を述べた。発電機設置場所の調査・選定にあたっては、現用レーダの能力を超える分解能が要求されたが、同分野での環境調査への海洋レーダの期待が示された。

2 日目は、主にレーダのハードウェアと観測手法についての 6 件の講演があった。新潟大学の龍川らは、Khatli-Rao 積拡張を用いた仮想アレイによる角度分解能を向上させて得られた表層流速の評価を報告した。アレイアンテナで構成される海洋レーダシステムにおいては、その必要面積が大きいことから、このような技術による設置場所選定における要求条件緩和が期待される。情報通信研究機構の杉谷らは、同様にアレイアンテナ構成での海洋レーダに対する技術革新として、受信機間の信号同期に関する新しい方式について紹介した。これは、各素子アンテナに受信機を配備した場合に必要となるものであり、アンテナ配置の自由度向上に貢献する技術である。東京農工大の宇野らの講演では、海洋レーダの受信信号スペクトルから海上の船舶を検知できることを示された。最近国外の研究で、船舶からの反射エコーに関する報告が出てきているが、国内の既存レーダでも十分可能であることが示された。琉球大学の久木は、レーダスペクトルを海上の直交格子内で平均化後、自己組織化マップを用いてその形状分類することで波浪スペクトルを推定する手法を紹介した。従来の方法に比べて推定領域やレーダの数などを自由に設定できる利点がある。電力中央研究所の坂井らは、津波検知を目的とした短時間観測での観測精度について遠州灘での VHF 海洋レーダを用いた実観測から検証した。観測範囲や測得率が時間的変化し、風速による影響があることや、係留流速計との比較から 3 分間隔の流速との相関がやや低いことなど、実際の津波観測への課題が示された。三菱電機の石川らは、海洋レーダの視線方向流速からレーダ覆域内での津波波高を推定する計算方法について述べた。実際の海洋レーダの観測時間間隔やそれに応じた流速精度との検証が今後必要と思われる。

今回の研究集会では、1 日目と 2 日目の 2 回討論の時間を設けた。1 日目は、主に海洋レーダの無線局免許方針が総務省より示されたことに対する、現行レーダでの問題点と対処方法に関する議論を行った。実用局として免許されるようになることに対して必要となる事項を検討し、今後の実験局免許の取扱と実用局への転換についての対策が議論され、各レーダ局管理者ならびにメーカや

代理店等関係者の連携と総務省との調整の必要性が示された。2日目の総合討論では、現在の海洋レーダを取りまく状況や今後の方向性など、研究集会での議論のまとめを行い、研究集会を終了した。

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： 平成 26 年 12 月 10 日(水)～11 日(木)

場所： 九州大学応用力学研究所

東アジア海洋大気環境研究センター W601 号室

=====

12 月 10 日(水)

13:00-13:05 あいさつ・趣旨説明

藤井智史(琉球大)

13:05-13:30 Drift Ice Detection by HF radar off Mombetsu

張偉、江淵直人(北大低温研)

13:30-13:55 グリーン関数法を用いた有明海における視線方向の M2 分潮流速の物理的内挿

坪野考樹、三角和弘、津旨大輔、坂井伸一(電力中研)

13:55-14:20 対馬・相島遠距離海洋レーダの精度検証

森本昭彦(名大 HyArc)、杉谷茂夫(NICT)、市川香(九大応力研)、久島萌人(名大 HyARC)、
滝川哲太郎(水産大学校)、藤井智史(琉球大)、岩井宏徳、雨谷純(NICT)

14:20-14:45 海洋短波レーダーによる津軽海峡東口表面流計測の現状について

佐々木建一、渡邊修一、吉川泰司、柳谷敏典、脇田昌英、田中義幸、山本秀樹、津幡
圭介(JAMSTEC)

14:45-15:00 休憩

15:00-15:25 津軽海峡 HF レーダーデータのデータ同化にむけて： レーダーデータの基礎的な解
析結果

石川洋一、佐々木健一、渡邊修一(JAMSTEC)

15:25-15:50 気象研究所における沿岸同化モデルの開発

碓氷典久、藤井陽介、坂本圭、倉賀野連(気象研)

15:50-16:15 橘湾・有明海における Chattonella 赤潮出現特性の把握

青木一弘、清水学(中央水研)、山砥稔文、石田直也、土内隼人(長崎水試)、片岡智哉(国
総研)

16:15-16:40 日本における潮流・海流発電の現状と海洋レーダへの期待

経塚雄策(九大院総合理工)

16:40-17:30 議論・情報提供

12月11日(水)

- 09:00-09:25 仮想レーザを用いた角度分解能向上による二次元表層流速推定結果について
龍川卓也、山田寛喜、山口芳雄(新潟大)、平野圭蔵、伊藤浩之(長野日本無線)
- 09:25-09:50 分散型海洋レーダ開発にむけての高精度同期信号供給システム開発
杉谷茂夫、雨谷純、岩井宏徳(NICT)
- 09:50-10:15 既存海洋レーダを用いた船舶検知等の調査検討
宇野亨(東京農工大)、藤坂孝彦(東京海洋大)、藤井智史(琉球大)、赤井秀樹(総合研究
奨励会)、澤谷邦男(東北大)、鈴木真二(東京大)
- 10:15-10:25 休憩
- 10:25-10:50 海洋レーダによる波浪方向スペクトル推定手法の拡張
久木幸治(琉球大)
- 10:50-11:15 外海域における津波検知のための基礎観測
坂井伸一、松山昌史(電中研)、奥田康三、上原史洋(中部電力)
- 11:15-11:40 海洋レーダで算出された表層流速分布から津波の波高を推定する手法の検討
石川博章、永野隆文、中西孝行(三菱電機)、谷智之、金戸俊道(東京電力)
- 11:40-12:00 総合討論

「東シナ海の循環と混合に関する研究」

"Workshop on the Circulation and Mixing in the East China Sea"

研究代表者 石坂丞二（名大地球水循環研究センター）

1. 目的と開催経過

東シナ海の生物生産には、東シナ海の流動や混合による栄養塩の流入や供給が欠かせない。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数年以上にわたって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。ここでは、流動や混合などの物理環境と、生物生産との関係を明らかにすることに焦点を当てた研究集会を開催することとした。

出席者は、名古屋大学3名、長崎大学2名、富山大学1名、環日本海環境協力センター2名、東京大学1名、九州大学5名であった。本研究集会では、

石坂丞二（名古屋大学）、伊藤雅（名古屋大学）、Hao Qiang（名古屋大学、中国第2海洋研究所）、武田重信（長崎大学）、梅澤有（長崎大学）、遠藤貴洋（東京大学）、張勁（富山大学）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

日時：2015年2月2日（月） 10:00～17:00

場所：九州大学応用力学研究所 6F W601

石坂は、日本海の高気圧性渦が日本海の生産に与える影響について、2003年と2004年の春季ブルームに注目して発表した。海面高度計データによると、2003年にはウルルン海盆、大和海盆の2か所、2004年にはウルルン海盆、大和海盆、ウラジオストック沖の3か所で高気圧性の渦が確認された。春季ブルームは、空間的に変動が激しかった。2004年のウラジオストック沖以外の渦では、春季ブルームが渦内では外よりも遅く始まり、これは渦の中では冬季に混合層が深かったことによる可能性が考えられた。渦が比較的沿岸近くにあった2004年のウルルン海盆と大和海盆の渦では、渦の外に比較して中のピーク濃度が高かったが、他の渦ではそれほど大きく異ならなかった。衛星の解像度、亜表層のクロロフィル、低気圧性渦などについての議論が行われた。

つぎに伊藤は、日本海の数値計算で、夏の対馬海峡の下層から流入する栄養塩を変化させると、春季ブルームには影響は出ないが、秋季に日本海の広い範囲で植物プランクトン量を変化させることを示した。今回は人為的な影響で栄養塩がたまった場合の変化を表すために、栄養塩のみを対馬海峡の境界条件で変化させている。現実の黒潮系と黄海底層冷水切り替わるような場合は、物理構造の変化も考慮する必要があることなどの議論があった。

Hao は、渤海、黄海、東シナ海の衛星のクロロフィル a データを現場データで合わせこんで、濁りによる衛星データの過大評価を減少させ、季節変化を再現させた。その結果、浅い海域では濁りによって、夏季に最大値を示すが、夏に懸濁物が少ない沖合では春季ブルームが存在することが明らかとなった。また、現場の基礎生産のデータを利用して、表面光によって水柱で最大のクロロフィル a あたりの基礎生産 ($P_{B_{opt}}$) を表すことで、衛星によって通年の基礎生産を計算した。これによって、これまで一般的だった温度依存性のモデルの過大評価を小さくすることができ、の基礎生産データを魚類の生活史と比較した。

武田は、2014 年の長崎丸航海で取得された、東シナ海と対馬海峡でのクロロフィル蛍光と硝酸塩の詳細プロファイルと比較した結果を示した。亜表層クロロフィル極大が厚い場合には、硝酸塩躍層が複数見られ、栄養塩が枯渇した場合でも高いクロロフィルが存在する場合があった。一方、極大が狭い場合には、硝酸塩躍層は一つである傾向があった。また、ケイ素の取り込みから推定した珪藻の増殖は必ずしも、クロロフィル蛍光や硝酸塩プロファイルの特徴と対応はしていなかった。また、藍藻類は珪藻の少ないときに観察された。

梅澤は、2014 年の長崎丸で懸濁物のサイズ分画を行い、N/P 比を測定した結果を示した。亜表層クロロフィル極大域に関して、大型の懸濁物は N/P 比の変動が大きくレッドフィールド比よりも高い場合があったが、小型の懸濁物に関しては比較的レッドフィールドに近く変動も小さかった。現場の栄養塩の N/P 比の変動と対応はしていなかったが、大型珪藻が長江起源の高い栄養塩を蓄えている可能性や窒素固定するトリコデスミウムの影響を示した。しかし、懸濁物中には植物プランクトン以外も含まれ、食物連鎖への影響は実験室で調べる必要があると考えられた。

遠藤は、2011 年の長崎丸で観測した済州島南西での ADCP と TurboMAP の時系列データを用い、底層混合層内での乱流微細構造と潮汐流の力学的関係について解析を行った。密度の時間変動は、混合層上部では潮汐流による背景で決まるのに対して、混合層下部では密度場の水平移流で決まっていた。また、上部では半日周期以外に日周潮が観測されるのに対して、下部では半日周期のみであった。さらに、成層の時間変動は、上部ではほぼ移流によったが、下部では **Straining** と移流によった。

張は、2015 年秋に予定されている、白鳳丸と東方紅 2 号の共同調査に関して紹介した。白鳳丸は 10 月 14 日—11 月 2 日に東京—長崎で、東方紅は 10 月 19 日—11 月 7 日に青島—青島で予定されており、名簿の最終確定は、白鳳 6 月末、東方紅は 4 月であることが確認された。

すべての発表ののちに、2015 年夏に予定されている長崎丸の航海に関して、打ち合わせを行った。航海期間は 7 月 18—27 日である。議論の末、測点を三角形に設け、時系列観測を行うこととなった。

九州大学応用力学研究所研究集会

「東シナ海の循環と混合に関する研究」

日時 2015 年 2 月 2 日 (月)

場所 九州大学応用力学研究所 W601

10:00-10:40 Influence of mesoscale eddies on spatial and temporal variability of spring phytoplankton bloom in the Japan Sea

Eligio Maure、石坂丞二

10:40-11:20 対馬海峡を通過する栄養塩量の変化に伴う日本海の植物プランクトン量の変化

伊藤 雅・森本昭彦・石坂丞二・高山勝巳

11:20-12:00 Temporal and spatial variation of satellite primary production in the eastern China seas

Hao Qiang

昼 食

13:30-14:10 東部東シナ海の亜表層クロフィル極大層付近における栄養塩の動態と珪藻類の増殖活性

増田阿美、森川誠聖、武田重信

14:10-14:50 夏季の東部東シナ海における画分別の懸濁態粒子の NP 比の変動

野崎 龍、尾崎健史、山岸龍ノ介、梅澤 有

14:50-15:30 東シナ海陸棚上の海底混合層内で観測された成層および乱流強度の潮汐周期変動

遠藤貴洋

15:30-16:10 2015 年の東シナ海日中共同観測

張 勁

16:10-17:00 議論

