

平成25年度

地球環境力学分野  
共同研究成果報告

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, 四方崇文

ブリおよびスルメイカは対馬暖流域における重要な水産資源の一つである。両種は東シナ海および日本海西部海域で発生し、仔稚魚期は流れに、成魚期は水温変化に依存して移送・回遊することが知られている。

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、ブリ仔稚魚の移送経路とスルメイカ成魚の回遊と海洋環境との関係をそれぞれ明らかにすることにより、新たな漁期・漁場予測手法の開発を目的とする。前者では、東シナ海の大陸棚縁辺上の産卵場で発生したブリ卵稚仔のその後の輸送過程を受動トレーサー実験によって再現した。後者では、近年発生している中型イカ釣り漁船の漁場北偏化と海水温の関係を調べた。

1. ブリ仔稚魚の移送経路

**【方法】** 実験は 2001～2010 年の 10 年間を対象とし、それぞれ 8 月までの輸送状況を計算した。東シナ海におけるブリ親魚漁獲量を産卵量の指標とし、漁獲量に比例した卵稚仔トレーサーをモデル内の各海域に投入した。投入深度はモデル 1 層目（水深 0～8m）とし、実験期間を通じてトレーサーを強制的に浮上させるようパラメータを与え、モデル格子ごとのトレーサー濃度を計算するとともに海域ごとの総トレーサー数とその比率を求めた。さらに、トレーサーの初期条件（ブリ親魚漁獲量）を 10 年間の平均値で固定した対照実験も併せて実施した。実験結果の検証のための観測データとして、東シナ海におけるブリ仔稚魚採集結果（西海区水産研究所）、日本海におけるモジャコ調査結果（山口水産研究センター）およびブリ 0 歳魚漁獲量を用いた。

**【結果と考察】** 東シナ海の大陸棚縁辺部で投入されたトレーサーは、縁辺部に沿って北東方向に輸送された後、太平洋に輸送されるものと、さらに北上し日本海へと輸送されるものに分かれた。対馬暖流域における分布の先端は 5 月には対馬海峡、6 月には隠岐諸島、7 月には能登半島、8 月には北鹿半島周辺に達した。濃度分布は年によって若干異なるものの、日本海の沿岸域全般に拡大していく傾向は一致していた。これらの濃度分布は、東シナ海における仔稚魚分布、日本海におけるモジャコの出現時期ともよく一致していた。さらに、日本海沿岸各地の定置網において概ね同時期（6 月後半から 8 月）に本種 0 歳魚が漁獲され始める現象をうまく説明している。

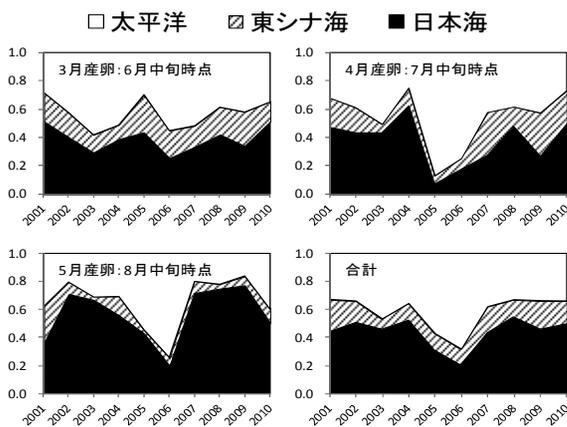


図 1. 3 ヶ月後における海域別トレーサー数比率の年変動  
縦軸は比率，横軸は再現年を示す

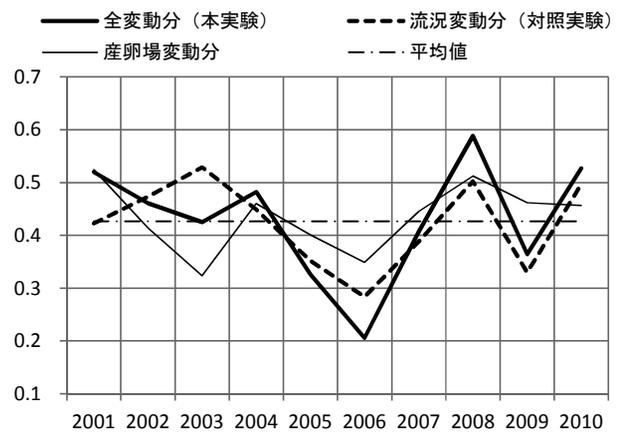


図 2. 日本海比率の年変動の実験間比較  
縦軸は比率，横軸は再現年を示す

産卵月（トレーサー投入月）ごとに3ヶ月後におけるトレーサー数の海域別比率を求めた。そのうち日本海比率は、3月産卵39%、4月産卵37%、5月産卵57%（いずれも10年平均）であり、これまで太平洋に多く輸送されると考えられていた3月産卵を含め多くの卵稚仔が日本海へと輸送されていることが示された。一方、3月産卵では年変動が比較的小さいものの、4,5月産卵では大きかった（図1）。これらの年変動は流況と産卵場の双方の変化によってもたらされていることが示された（図2）。

各産卵月合計の比率（10年平均）は、日本海：東シナ海：太平洋＝44：15：41であった。一方、同期間の0歳魚の漁獲量比率は65：4：31であり、実験結果に対して日本海の比率が高かった。これは実験の再現性や本種の能動的遊泳などに起因するほか、海域における本種の生残率の違いが影響している可能性があり、今後の重要な検討課題となろう。

## 2. スルメイカ成魚の回遊

【方法】石川県水産総合センターで収集している中型イカ釣り漁船の操業記録から操業位置の年別月別平均緯度を求め、これを漁場の北偏の指標とした。DREAMS\_Mの2003～2012年の水温について、年別月別深度別に緯度1度昇目の平均水温を求めた。そして、操業位置の平均緯度と各昇目の平均水温の時系列の相関から漁場の北偏に関係していると考えられる海域や深度を抽出した。

【結果】小木港の冷凍イカ水揚量の急減には9～11月期の漁場の北偏が強く関係していることから、同期間を対象に解析を行った。緯度1度昇目の平均水温と操業位置の平均緯度の相関を調べたところ、日本海沖合の50m深水温の低下が漁場の北偏に関係していることが示唆された。そこで、北海道沿岸部を除く北緯41度以北の海域を北部沖合域とし、同海域の50m深平均水温と操業位置の平均緯度の関係を調べたところ、両者の間には有意な負の相関（ $R=-0.77$ ,  $P<0.01$ ）が認められた。さらに、北海道西日本海の経度方向への水温勾配と操業位置の平均経度の関係を調べたところ、両者の間には有意ではないものの中位程度の正の相関（ $R=0.67$ ）が認められた。一般的に暖水と冷水が交わる潮境には生物が集積・滞留しやすく漁場が形成されやすい。従って、北部沖合の水温低下にともなって道西日本海の経度方向への温度勾配が大きくなり、このことによって同海域に漁場が形成されやすくなったことが漁場北偏の要因と考えられる。本結果を踏まえ、今後は温度勾配に着目した漁場予測手法を検討する計画である。

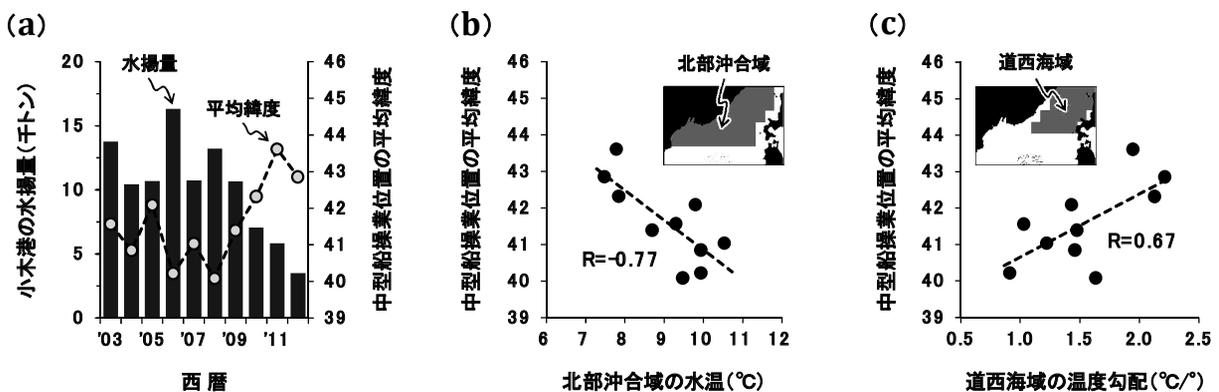


図3. 小木港の冷凍イカ水揚量と9～11月期の中型船操業位置の平均緯度 (a)、北部沖合域の50m深平均水温と操業位置の平均緯度の関係 (b)、道西海域の50m深水温の経度方向への温度勾配と操業位置の平均経度の関係

## 3. 発表等実績.

辻 俊宏・広瀬直毅 ブリ卵稚仔の輸送シミュレーション. 2013年度水産海洋学会研究発表大会, 京都市, 2013.11.23-24.

## 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基本的に重要である。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沿岸の定置網漁場に配置された流速観測ブイ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、水位差から輪島～舢倉島間の通過流量の推定が可能である。ここでは 2013 年の水位観測データから通過流量を算定した。通過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、両地点の 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流量を算定した。沿岸の流れのデータは、図 1 に示す能登半島北西岸の門前（水深 80m）、能登半島北東岸の小泊（同 60m）及び小浦（同 90m）の 10m 水深帯に係留した電磁流速計（JFE アドバンテック製 AEM-RS）で 2013 年に観測された毎正時のデータを用いた。流量と流速のデータは、755 時間移動平均を行った長周期成分と生データから 755 時間移動平均値を除いた後、25 時間移動平均を行った短周期成分に別けて相互の関連性を検討した。また、舢倉島で海上保安庁が観測した風の変動と、流量・流速変動との関わりを調べた。

（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流量を算定した。沿岸の流れのデータは、図 1 に示す能登半島北西岸の門前（水深 80m）、能登半島北東岸の小泊（同 60m）及び小浦（同 90m）の 10m 水深帯に係留した電磁流速計（JFE アドバンテック製 AEM-RS）で 2013 年に観測された毎正時のデータを用いた。流量と流速のデータは、755 時間移動平均を行った長周期成分と生データから 755 時間移動平均値を除いた後、25 時間移動平均を行った短周期成分に別けて相互の関連性を検討した。また、舢倉島で海上保安庁が観測した風の変動と、流量・流速変動との関わりを調べた。

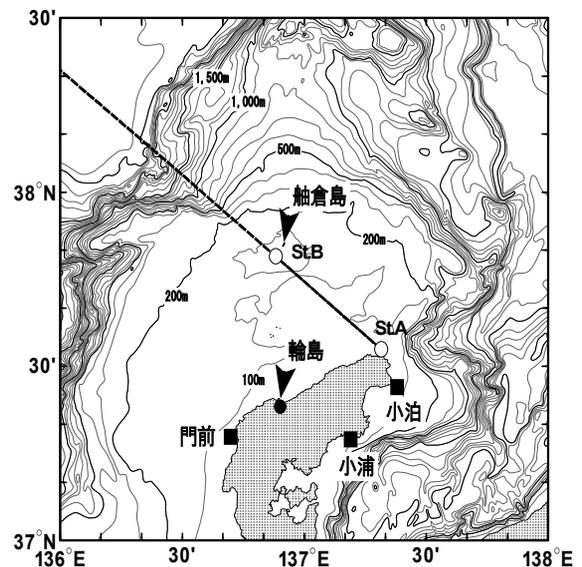


図 1 調査海域図 破線は観測定線、実線は流量計算区間を示す。

## 結果と考察

舢倉島の風速、輪島～舢倉島間の通過流量（以下沿岸分枝流量）、門前、小泊、小浦の流速の変動を図 2 に示した。風速は、石川県の海岸線に平行な北東－南西方向の風速成分、流速は各観測点の流軸方向の流速成分で示した。沿岸分枝流量は、長周期成分が 7～9 月にかけて増加し 8 月にピークを示したが、短周期成分には明瞭な周期変動は認められなかった。短周期成分の変動と風速変動を比較すると、低気圧や台風の日本海通過に伴い強い南西風が吹いたケースで北東向きの流量が増加し（図 1 の A, B, C, D）、逆に台風が本州南岸を通過して、強い北東風が吹いたケースでは流れが南西向きに転じる傾向（同 E, F）がみられた。これは、南西風（北東風）によるエクマン輸送が、輪島の水位を上昇（低下）させて、舢倉島との水位差が変化した結果と考えられる。沿岸分枝流量と流れの長周期成分の変動を比較すると、能登半島北西に位置する門前では夏季に沿岸分枝流量の増加に対応した北北東向き

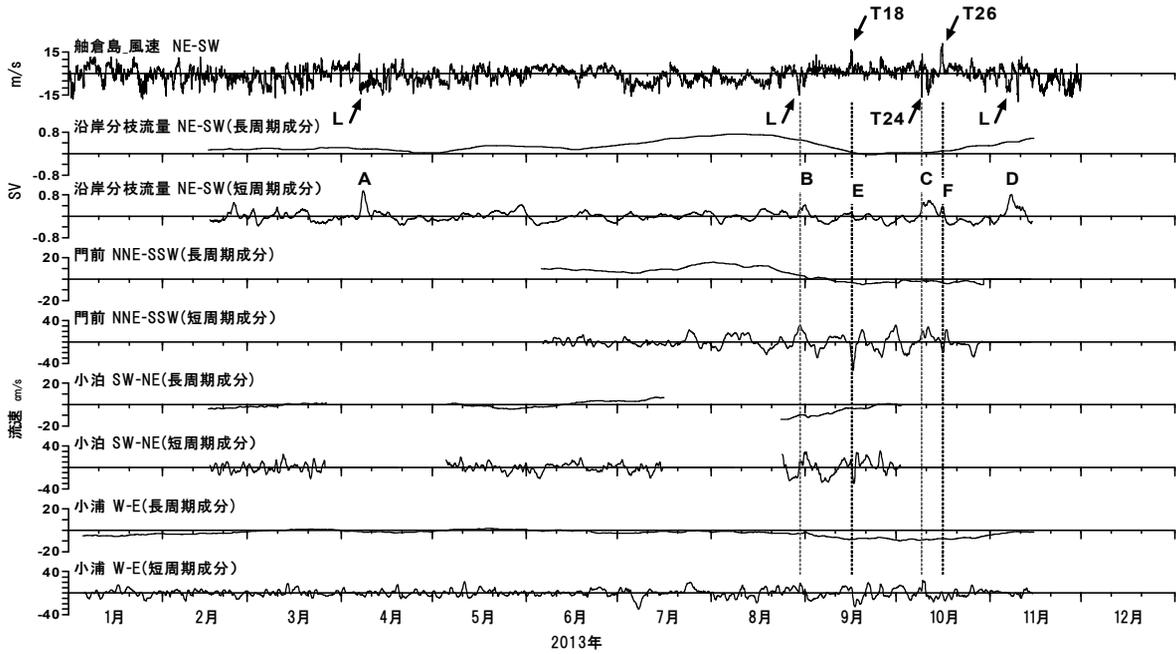


図2 舳倉島の風速、輪島～舳倉島間の通過流量（沿岸分枝流量）と門前・小泊・小浦の流速変動

流速の明瞭な増加が認められた。能登半島北東岸についてみると、小泊では夏季の流速値が長期間欠測したが、8月下旬から9月上旬に得られた変動傾向からは、夏季に北東向きの流れが強まる様子が見えてきた。また、小浦では9月から10月に東向きの流れが強まる傾向がみられた。以上のとおり、能登半島北東岸の測点では、夏季の沿岸分枝流の強まりに対応する明瞭な流れの変動は確認されなかったが、小泊と小浦の双方で、夏季から秋季に陸岸を左に見る流れが強まる傾向が分かった。これらは、富山湾内に形成された時計回りの環流に起因するものと考えられ、沿岸分枝流の変動が富山湾内の流動に及ぼす影響は今後の検討課題である。次に、沿岸分枝流量と流れの短周期成分の変動を比較する。前述のとおり、沿岸分枝流量の短周期成分には気象擾乱に対応した変動がみられる。南西風に対応して北東向きの流量が増加したB, Cのケースでは、同時期に門前で北北東向きの流れが強まる一方、半島東岸の小泊で南西向き、小浦で西向きの流れが生じている。これに対して、北東風に対応して沿岸分枝流が反流に転じたE, Fのケースでは、同時期に門前で南南西の流れが強まり、小泊で北東向き、小浦で東向きの流れが生じている。これらは、気象擾乱に伴って能登半島沿岸に発生する急潮に相当し、B, Cのケース（E, Fのケース）は半島北西岸に形成された沈降域（湧昇域）の伝播と推察される。8月～10月の沿岸分枝流量と3測点の流れの短周期成分データを標準化（平均値を引いて標準偏差で除算）して相互相関を調べた結果を図3に示した。小泊では南西向きの流速が流量の増大にやや先行して強まる関係が、門前と小浦では北北東向きと西向きの流速が流量の増大に先行して強まる一方、逆方向の流速が流量の増大に遅れて強まる関係が見られた。しかし、相関はいずれも低くこれらから相互の関係を検討することは適切でないと考えられた。以上の通り、対馬海流沿岸分枝流の長周期変動は能登半島沿岸の流れの変動に影響を及ぼしていると考えられるが、短周期変動が及ぼす影響は明確にできなかった。今後は、解析対象海域を県全域に拡大して、過去の観測データに遡って解析を進めることで、沿岸分枝流と沿岸流の変動の関連性をさらに検討したい。

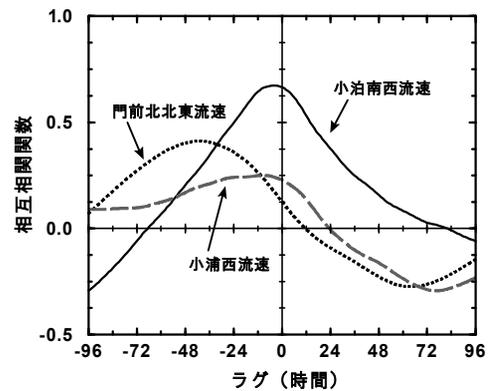


図3 沿岸分枝流量と各測点の流速変動の短周期成分の相互相関

## 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、漁業被害も生じている。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、植物プランクトンの挙動は、その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報告されている。本研究では、八代海において、有害植物プランクトンが発生する夏季に微細構造プロファイラー等を用いた海洋微細構造観測を実施し、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姫戸沖定点 (32°25.5'N, 130°27.7'E, 水深約 27m) において 2013 年 8 月 3 日から 4 日にかけて瀬戸内海区水産研究所所属の「しらふじ丸」によって 24 時間の昼夜連続観測を行った (Fig. 1)。観測中は超音波ドップラー流速計 (Workhorse ADCP 300 KHz, 1200 KHz, Teledyne RD Instruments) で流速の鉛直分布を測定するとともに、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、4 時間ごとに 16 m 深まで 2 m 間隔で各層採水を実施した。得られた流速シアから乱流エネルギー散逸率  $\varepsilon$  を算出し、 $\varepsilon$  と浮力振動数  $N$  から鉛直拡散係数  $K_v$  を見積もった。採水試料は船上でプランクトン検鏡を行うとともに、一部を持ち帰りクロロフィル  $a$ ・栄養塩 (DIN, DIP, DSi) 分析を行った。昼夜連続観測前後には周辺海域で姫戸沖定点を含む鉛直断面観測を実施した。

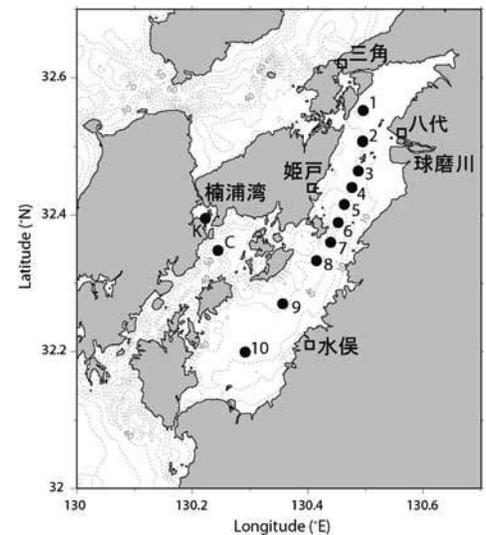


Fig. 1 調査海域図。24 時間の昼夜連続観測は姫戸沖の Stn.5 付近で実施した。

## 3. 結果と考察

8 月 3 日から 4 日にかけて実施した 24 時間の昼夜連続観測結果を Fig. 2 に示す。クロロフィル  $a$  濃度の極大層が密度躍層内の 7~13 m 深に継続して確認された。層厚は 2~5 m 程度、極大値は高いところで  $20 \text{ mg m}^{-3}$  以上に達し、8 月 3 日 16 時以降は  $\sigma_t$  が 21.5 の等値線に沿って分布していた。船上検鏡によると、この極大層は *Chaetoceros* spp. を主体とする中型の珪藻類で構成されていた。鉛直拡散係数は 5 m 以浅や 15 m 以深では概して  $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  を超える比較的高い値であったのに対し、クロロフィル極大層が形成されていた 5~15 m 深では  $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  程度と相対的に値が小さかった。一方、渦鞭毛藻 *Ceratium furca* は密度躍層を超えて活発に日周鉛直移動しており、クロロフィル極大と異なる挙動を示した。DIN 濃度は 8 月 3 日の観測開始時には表層と 6 m 深を除いて  $1 \mu\text{M}$  を超えていたが、その後低下していき、8 月 4 日には 10 m 以浅で  $1 \mu\text{M}$  以下となった。 $1 \mu\text{M}$  の等値線は徐々に深くなっており、クロロフィル極大層の深度変化と対応していた。昼夜連続観測前後も含む 8 月 1 日から 4 日までの姫戸沖定点における

鉛直分布を比較すると、クロロフィル極大は8月1日から4日にかけて10 m 深付近で急激に発達し、この間に DIN 濃度は10 m 以浅で約  $2 \mu\text{M}$  減少していた (Fig. 3)。この数日間で、珪藻類が栄養塩を取り込み増殖し、相対的に鉛直拡散係数の小さい亜表層に極大を形成したと推察された。

#### 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
石井大輔	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

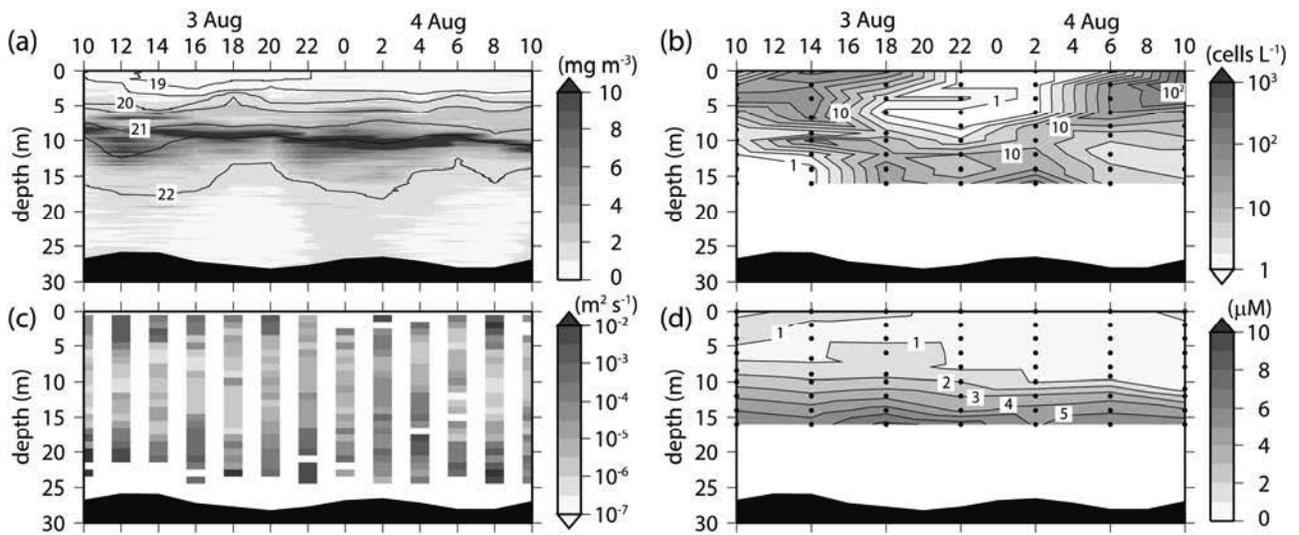


Fig. 2 8月3日～4日のクロロフィル *a* 濃度 (クロロフィル *a* 分析値と蛍光強度の関係式から換算) および密度  $\sigma_t$  (a), 渦鞭毛藻 *Ceratium furca* 細胞密度 (b), 鉛直拡散係数  $K_v$  (c), DIN 濃度 (d) の鉛直分布時系列

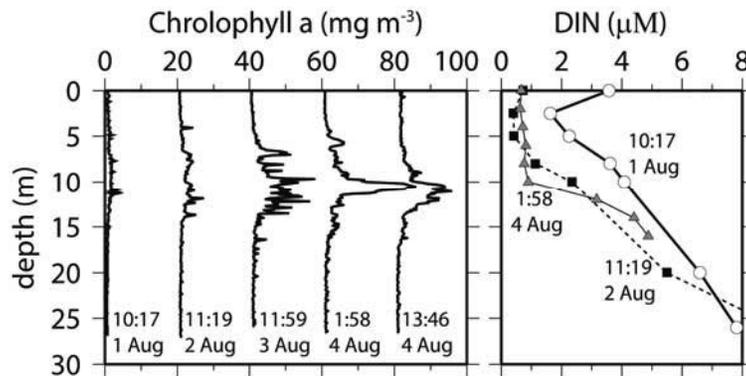


Fig. 3 8月1日～4日のクロロフィル *a* 濃度 (左) および DIN 濃度 (右) の鉛直分布 (クロロフィル *a* 濃度は  $20 \text{ mg m}^{-3}$  ずつずらして描画)

## 黄海・東シナ海の高精度海面高度計データセットの作成

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

東シナ海・黄海では富栄養化や大型クラゲの大発生など様々な環境問題が発生しておりその影響は日本海まで及んでいる。これらの問題に対処するためには、東シナ海・黄海から日本海への物質輸送過程を明らかにする必要がある。しかし、観測データの不足している東シナ海・黄海では物質輸送に大きな影響を与える表層流の変動を調べることは容易ではない。本研究課題では、表層流を観測できる衛星海面高度計データの高精度化を行い、黄海・東シナ海の表層流変動を明らかにするためのデータセットの作成を目的とする。黄海・東シナ海における海面高度計データに含まれるエラーの大部分は潮汐に起因するものである。そこで、日本、韓国、中国の験潮所データと衛星海面高度計データから計算された潮汐調和定数を同化する潮汐同化モデルを開発し、衛星海面高度計データの潮汐補正の精度を向上させる。

### 2. 参加者

森本 昭彦	(名古屋大学地球水循環研究センター)
伊藤 雅	(名古屋大学大学院環境学研究科)
岩清水 徳堂	(名古屋大学大学院環境学研究科)
市川 香	(九州大学 応用力学研究所)

### 3. 研究成果の概要

#### 3-1. 潮汐同化モデルの開発

本研究の潮汐同化モデルは Princeton Ocean Model (Mellor, 2004)をベースにした水平解像度  $1/36^\circ$ の水平 2 次元モデルである。計算領域は図 1 に示す黄海・東シナ海を含む海域とし、開境界条件として NAO.99Jb (Matsumoto et al., 2000)の調和定数による水位変動を与えた。対象とする分潮は  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $Q_1$ ,  $P_1$ ,  $K_2$ ,  $N_2$ の 8 分潮であり、それぞれの分潮毎に計算を行い計算の各種パラメータは分潮毎で最適になるように調節した。同化データとしては、日本と韓国、中国沿岸の験潮所の潮汐調和定数、海面高度計 TOPEX/Poseidon (T/P) と Jason-1 (J-1)、Jason-2 から得られる調和定数を使用した。特に、T/P と J-1 に関しては Interleaved Tandem Mission のデータも使用し、T/P 単

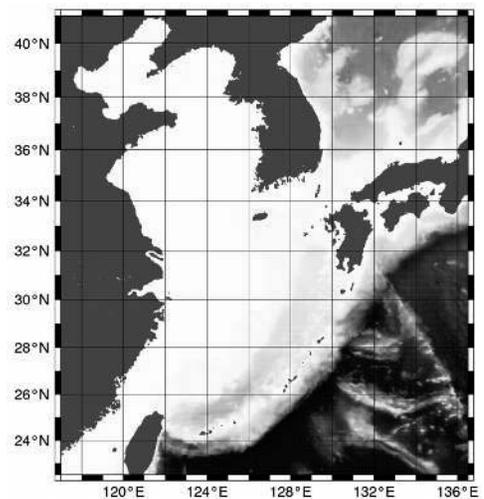


図 1. 潮汐同化モデルの計算領域

独の場合に比べて倍の数の海面高度計データを同化した。

本研究で開発した潮汐同化モデルの誤差を調べるため、モデルにより計算された各分潮の調和定数と同化しなかった海面高度計から計算された調和定数を比較した。計算領域全体で NAO.99Jb の 8 分潮の誤差は 17.7cm だったのに対し、本モデルの誤差は 8.7cm であった。海域毎に分けて誤差を見ると、黄海では NAO.99Jb が 23.5cm なのに対して本モデルは 8.7cm、東シナ海では 18.1cm に対して 7.6cm であった (表 1)。いずれの海域でも本モデルの誤差は NAO.99Jb より小さくなっており、誤差の空間分布を見ると局所的に改善されたのではなく全体的に誤差が小さくなっていった。ただし、どの分潮も杭州湾から長江河口、江蘇省沖にかけて誤差が大きかった。この大きな誤差はモデ

ル内の海底地形が正しくないためと思われる。

表 1. 本モデルと NAO.99Jb との東シナ海と黄海での誤差の比較

	分 潮	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	O <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	合計
東シナ海	本研究	1.9	0.7	1.5	0.7	0.7	1.2	0.5	0.5	7.6
	NAO.99Jb	3.7	1.7	3.1	3.9	0.8	1.2	2.4	1.2	18.1
黄 海	本研究	1.6	0.8	1.4	1.8	0.5	0.7	0.8	0.6	8.2
	NAO.99Jb	5.4	3.9	3.3	3.6	1.3	1.3	3.2	1.5	23.5

### 3-2. 黄海・東シナ海を対象とした海面高度データセット

潮汐モデルで得られた潮汐情報を用いて黄海・東シナ海の海面高度計データを処理し絶対表層流速を算出し、東シナ海における現場観測データと比較、検証した。観測データの時間変動成分と海面高度計データの時間変動成分は非常に似た傾向を示していた。このことより、本研究で開発した潮汐同化モデルにより海面高度データから正しく潮汐が除去できたことが確認できた。

海面高度計データから得られた東シナ海における1995年から2009年における表層流速場の時間変動成分と漂流ブイのデータから平均海面流速場を計算し、季節毎の平均的な表層流動場を計算した(図2)。この結果から、Lie *et al.* (2000) で示されている済州暖流、Isobe(2008)等で指摘されている台湾暖流の夏期及び冬期の流速(量)の変動も捉えることが出来た。また、杭州湾沖の東シナ海中央部に、黄海から対馬海峡へ渦のように回り込む季節変化のない流れが見られた。黄海の季節変化のない流れは現場観測に基づいて議論している Niino and Emery (1931) で示されている流れに近いものであった。更に、冬季に台湾北部で黒潮の流れが北方へ広がる傾向を見る事が出来た。

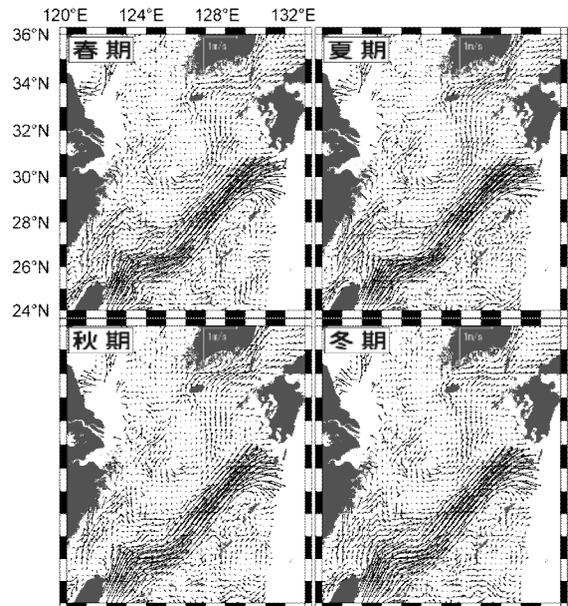


図 2. 1995年～2009年における、春期(3月～5月)、夏期(6月～8月)、秋期(9月～11月)、冬期(12月～2月)の絶対表層流速場

### 4. まとめ

新たな潮汐同化モデルを開発したことで、黄海・東シナ海の海面高度データの高精度化に成功した。特に、中国沿岸を除けば潮汐誤差は8分潮で5cm程度であり、海面高度計データを使い黄海・東シナ海の海面流速変動を解析できる精度に達したと思われる。しかしながら、中国沿岸での潮汐誤差は海面高度変動より大きくさらなるモデルの改良が必要である。

## 25 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

日本海は日本の気象や気候に大きな影響を与える。それには日本海の海洋循環やそれを駆動する大気海洋相互作用現象が深く関係している。しかしながら、現場観測が困難なことから、大気海洋相互作用の実態の理解は十分ではない。そこで、新たに開発された高解像度の衛星海面フラックスデータ (J-OFURO2) の解析を行うことで、これまでに不可能であった日本海全体の海面フラックスの詳細な時空間変動を観測的かつ統一的な視点で明らかにし、大気海洋相互作用現象の理解を深めるとともに、海洋循環との関わりを議論することを目的とする。本年度は高解像度版 J-OFURO2 の平均場の特徴や推定精度の検証を行うために、日本海における現場データとの比較や他のデータセットとの相互比較を行う。

#### 2. 研究結果

最初に冬季の乱流熱フラックスの平均場の特徴を確認するために高解像度の海面フラックスデータ (J-OFURO2) を含む各種のデータセットの比較を行った。例として、顕熱フラックスの 1 月平均値の空間分布をそれぞれのデータセットについて示す (図 1)。データセットの空間解像度の違いは明らかであるが、それをふまえても、それぞれのデータセット間の違いはかなり大きいことが分かる。一方で、潜熱フラックスについては、定性的な分布の特徴はそれほど大きな違いは無かった (図省略)。顕熱フラックスについて、J-OFURO2 は、日本海中央部にフラックスの極小域があり、沿岸付近では相対的に大きな値があるという、他のデータセットでは確認できない空間分布の特徴を有する。日本側の大きな値は、対馬暖流による高い海面水温分布、大陸側の大きな値は冬季の寒気の吹き出しに伴う低い気温分布に関連づけられる。

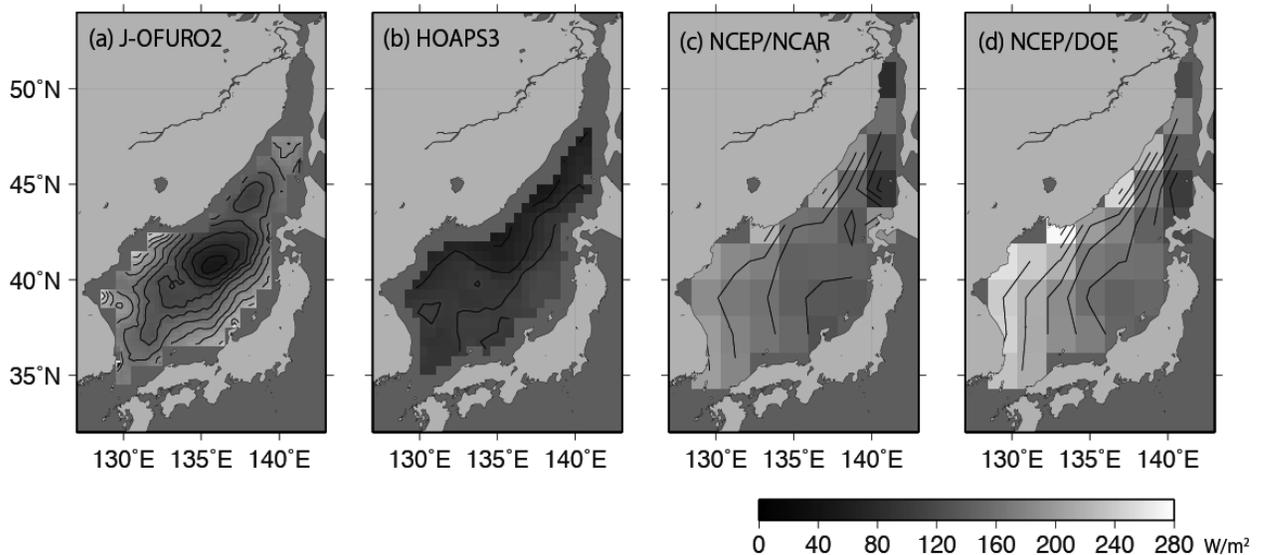


図 1. 上向き顕熱フラックスの分布：1 月平均値, 2002～2006 年, 単位:  $W/m^2$

次に現場データを用いた精度検証を行った。現場データは、ICOADS IMMA (Release 2.4) に含まれる主に船舶による気象観測データの瞬間値から推定された海面フラックスである。ただし現場観測は日本側の海域にかたよっていることに注意する必要がある。図 2 に、データセット間の差が大きかった顕熱フラックスについて ICOADS の現場観測値との比較結果を示す。J-OFURO2 は、バイアスや全体的な

ばらつきが小さく、他のデータセットと比べて比較的良い精度で顕熱フラックスの値を推定していることが分かる。

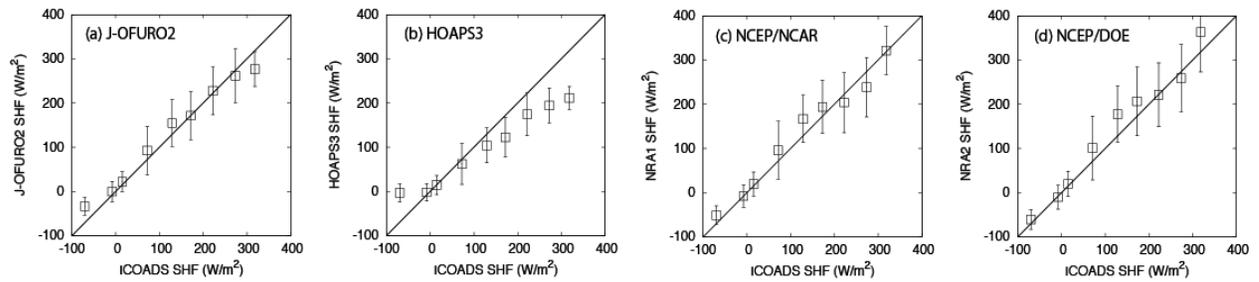


図 2. ICOADS 現場データとの比較: 顕熱フラックス[W/m<sup>2</sup>] (a) J-OFURO2, (b) HOAPS3, (c) NCEP/NCAR 再解析, (d) NCEP/DOE 再解析

本研究では、さらに沿岸域におけるフラックス推定を行った。これは主に、沿岸付近のデータ処理を見直した事と、陸域の影響をできるかぎり除く外挿法 (Kara et al. 2008) を適用したことにより行われた。図 3 に 1 月の平均場を例として示す。ICOADS の沿岸域付近のデータを用いて精度検証により、再解析の値や CSF を適用しない場合の外挿値と比べて、かなり現実的なフラックスの値であることが確認された。

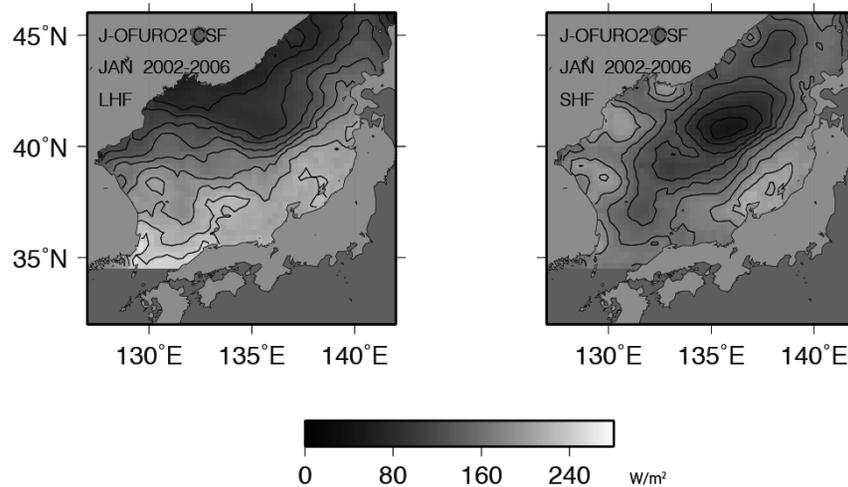


図 3. 沿岸域のデータ処理および CSF 適用後の J-OFURO2 上向き乱流熱フラックス。1 月平均値 (2002 から 2006 年) (a) 潜熱フラックス, (b) 顕熱フラックス。単位: W/m<sup>2</sup>。

### 3. 研究成果報告

H. Tomita and M. Kubota, Fine scale features in air-sea turbulent heat flux over the Japan/East Sea, Ocean Science Meeting, February 23-28, 2014, Hawaii Convention Center

### 4. 研究組織

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 研究員
所内世話人	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	広瀬 直毅 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

## 対馬海峡から日本海山口県沖にかけての海洋環境変動

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。沖ノ島では、現在（2012年2月末）も観測を継続中である。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4~5m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（RuggedTROLL100, 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）。東京湾平均海面（TP）は、水位計設置時にDGPSを用い測量した。さらに、萩市浜崎と見島の間を約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、1年以上のデータが蓄積された青海島通と見島宇津の水位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と時系列を図2と図3に示す（2012年8月下旬~2013年10月下旬）。両島ともに、潮汐周期が卓越しており、約15日周期の大潮・小潮の変動を確認できる。沖合の見島に比べ沿岸寄りの青海島の潮汐変動が大きかった。季節変動に着目すると、両島ともに、2月頃に最低水位、8月頃に最高水位となった。

48時間のタイドキラーフィルター（花輪・三寺, 1985, 沿岸海洋研究ノート）を施した後、両島の水位差（ $\Delta\eta$ ）を求めた（図4）。2012年9月から2013年6月までの間、水位差（ $\Delta\eta$ ）の変動幅は約 $\pm 4$ cmであったが、2013年7月以降、変動幅が約 $\pm 10$ cmと大きくなった。2013年7月に青海島の水位は上昇傾向にあったが、見島の水位は殆ど上昇しなかった。8月に見島の水位が急激に上昇し、両島間の水位差が小さくなった。その後、両島の水位が急激に低下したが、水位差変動は、2013年6月以前と比べ大きい状態が続いた。

水位差（ $\Delta\eta$ ）の変動幅が約 $\pm 10$ cmのとき、地衡流平衡（ $fu = -g\Delta\eta/\Delta y$ ）を考えると、見島以南を通過する東方流速（ $u$ ）の変動は $\pm 30$  cm s<sup>-1</sup>と見積もられる（ここで、 $f = 8.2 \times 10^{-5}$  s<sup>-1</sup>,  $g = 9.8$  m s<sup>-2</sup>,  $\Delta y = 40$  km）。見島以南の平均水深（ $h$ ）を70mとすると、流量（ $V = u \cdot h \cdot \Delta y$ ）変動は、 $\pm 0.84 \times 10^6$  m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>となる。今後、このような大きな流速・流量変動が実際に起こったかどうか検討する必要がある。

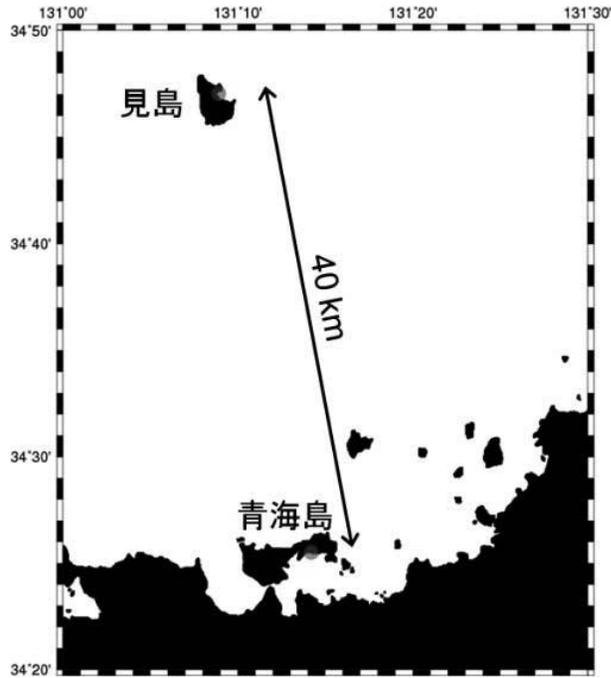


図1. 水位計設置位置 (赤丸).

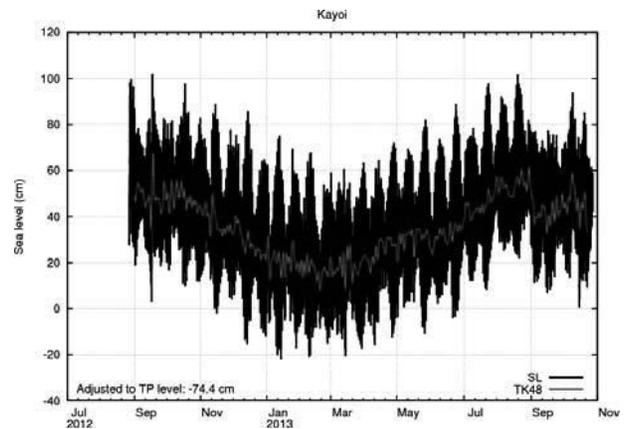


図2. 青海島の水位 (黒線). 赤線は48時間移動平均を示す.

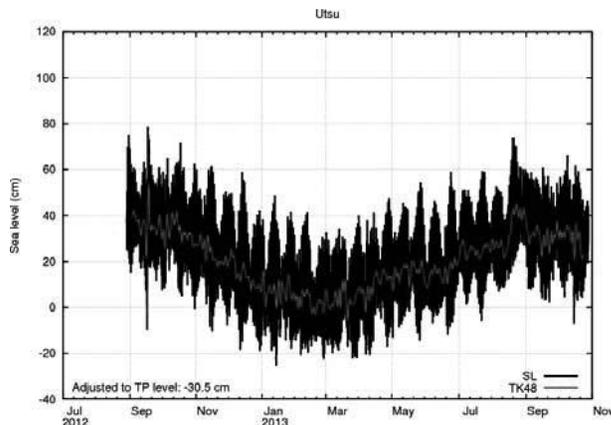


図3. 見島の水位 (黒線). 赤線は48時間移動平均を示す.

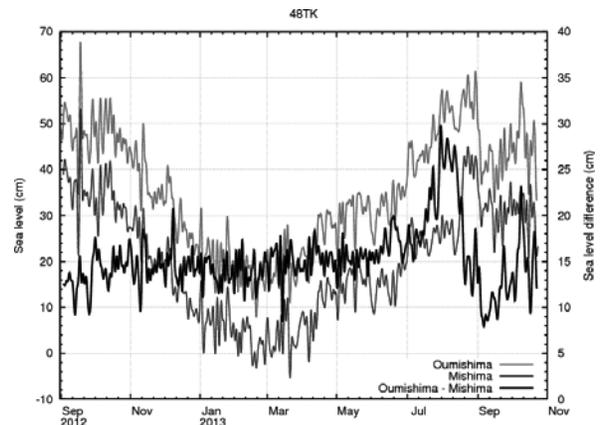


図4. 青海島 (赤) と見島 (青) の水位 (移動平均). 黒線は両島間の水位差を示す.

#### 4. 研究組織

研究代表者	水産大学校
所内世話人	九州大学応用力学研究所
研究協力者	福岡県水産海洋技術センター
	山口県水産研究センター
	名古屋大学地球水循環研究センター

滝川 哲太郎
千手 智晴
内藤 剛
渡辺 俊輝
森本 昭彦

## 25 特 1-7

### フェリーニューカメラおよび HF レーダーのデータを使った 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

対馬海峡は東シナ海と日本海をつなぐ海峡であり、最近東シナ海的环境変化に伴って、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。九州大学応用力学研究所では、博多と釜山間を運航するフェリーニューカメラで流速、水温・塩分、クロロフィル蛍光などのモニタリングを行っており、すでに数年分のデータが蓄積されている。この中でもクロロフィル蛍光は、生物海洋学的なデータであり、東シナ海的环境変化の指標となる可能性がある。また、海洋レーダーでも周辺海域の表層の流れ場が測定されている。そこで、本研究では、特に衛星表面水温によって推定した対馬暖流の変動とマアジの漁獲データを比較し、海洋レーダーのデータと合わせて考察した。

#### 方法

水温のデータは、衛星 NOAA の AVHRR 信号を処理し、記録保存した海面水温のデータを用いた。玄界灘に流入する対馬暖流の流動パターンを推定するため東西対馬水道と壱岐水道をとおり韓国沿岸まで達する 4 本の Line A-D と九州北岸から玄界灘の中央部の対馬北東海域をとおり韓国沿岸に達する 4 本の Line E-H を設定した。観測時雲が少なく良好な観測結果を用いて、Line 海洋レーダーによって対馬暖流の位置を調べ筑前海の漁業データと比較を行った。A-D と Line E-H 各 4 本のライン上の水温を離岸距離 1km 毎に平均し、さらに各地点の年別月平均水温を算出した後、3 区間の移動平均値を求めた。漁獲データは、玄界灘の操業海域を緯度経度 2 分毎のメッシュに区分した区域を漁区として設定し、2001-2012 年に依頼した中型まき網漁船の日別操業記録を用いた。各年 5 月のマアジ漁獲量を集計すると共に各漁区の中央点の緯度経度を漁獲位置として、日別に各漁獲位置の漁獲量で加重平均した日別加重平均位置を求め、基準線から各日別加重平均位置までの距離を求めた。

#### 結果・考察

玄界灘中央部を通り対馬北東海域を経て、韓国沿岸に至る Line E-H 上の月平均水温の分布は、2001~2007 年は離岸距離 100km から沖合へ向けて水温は低下し、約 150km 付近でやや上昇しているのが見られるが、韓国沿岸域に向けて再び低下していた。これに対し 2008~2012 年は、対馬東岸海域の離岸距離 100km から 150km までの変化は乏しく、約 175km 付近から韓国沿岸域に向けて水温は低下していた。

そこで各年離岸距離 50～150km の移動平均の値から最小二乗法により近似直線を求め、2001～2007 年と 2008～2012 年の切片を比較した結果、これらの傾きに有意な差 ( $P<0.05$ ) があることが分かった。この結果は、2008 年を境に、対馬東側から北東の海域に暖水域が広がっていると考えられた。また全ての年において、離岸距離約 175km 以遠は、韓国沿岸に向けて水温が著しく低下していることから、対馬暖流と韓国沿岸水の間には水温のフロントが形成されていることが示唆された。

毎年 5 月の玄界灘は、水温の昇温期で設定した Line E-H 上の相対的に水温が高い海域は東シナ海から流入してきた対馬暖流を示し、2008 年を境に対馬東側から北東の海域にかけて暖水域が広がっていたことは、対馬西水道から日本海へ流入する対馬暖流の流況が 2008 年を境に変化し、結果として暖水域が広がっていたと考えられた。この変化は、吉川 他 (2012) が九州北岸及び対馬沿岸に設置された HF レーダーの観測結果から、2008 年以降対馬東水道に比べ対馬西水道を通る対馬暖流の流速が増加している経年変化の結果と一致している。

つまり対馬西水道を通る対馬暖流の流量の増加により玄界灘の対馬暖流北端フロントの北上に伴ってマアジの漁場が形成される海域も北上したことからまき網漁船の漁場が沖合化したと考えられた。

#### 研究成果報告

1. 安藤朗彦・宝槻孝行 対馬暖流の長期変動とマアジ漁場の沖合化, 2013 年度九州沖縄ブロック水産海洋地域集会

#### 研究組織

別紙参照

## 25 AO-1

### 日本海での乱流熱フラックス決定に果たす対馬暖流の役割の理解

東北大学大学院理学研究科 杉本周作

#### 1. 目的

日本海では、冬の間、海洋から大気に膨大な熱が放出されており、その時間変動も大きいことが知られている。この熱フラックス変動は、大陸からの乾燥した寒気の吹き出し（冬季季節風）が主因であると報告されている（松村・謝 1998 等）。そして、海上から多くの水蒸気を受け取った季節風が、日本海側の諸都市に降水をもたらすとされている（Manabe 1957 等）。一方で、最近、冬季の日本海側降水の要因として、対馬暖流流量の重要性が指摘されつつある（Hirose and Fukudome 2006）。これは、海面水温こそが熱放出決定の主因になることを示唆するものである。そこで、本研究では、日本海での熱放出決定（特に潜熱に注目）に果たす海面水温の役割の定量化を試みた。そして、この熱変動が日本の降水量変動に及ぼす影響を調べることで、大気海洋系の新たな知見を得ることを目的とした。

#### 2. 研究方法

潜熱フラックスは、OAFlux データ（Yu et al. 2008）の変数（海面水温、海上気温、海上比湿、海上風速等）を用い、バルク公式から独自に算出したものを使用した。Watanabe（1990）が提案した monsoon index（MOI）を季節風強度の指標として用いた。また、対馬暖流流量時系列は、対馬海峡を横断する博多・釜山間のフェリー観測に基づき算出されたものを使用した（Hirose and Fukudome 2006）。さらに、AMeDAS の降水量データを使用した。本研究の解析期間は、1990 年から 2010 年までの 21 年間であり、潜熱放出が多い 12 月を対象とした。

#### 3. 研究結果

潜熱フラックスは、日本海東部で大きい変動をもつことがわかった（図 1a）。そこで、本研究では、日本海東部領域（137°–140°E, 38°–43°N）に着目した。図 1b は、日本海東部領域平均潜熱フラックスの時系列を表す。経年変動が卓越することがわかる。

つづいて、この潜熱フラックス変動の要因を調べた。ここでは、Sugimoto and Hanawa（2011）で採用された数値実験（生データと長期平均値を組み合わせるフラックスを計

算：表 1 参照）を行うことで、フラックス決定に果たす各変数（海面水温・海上気温・海上風速）

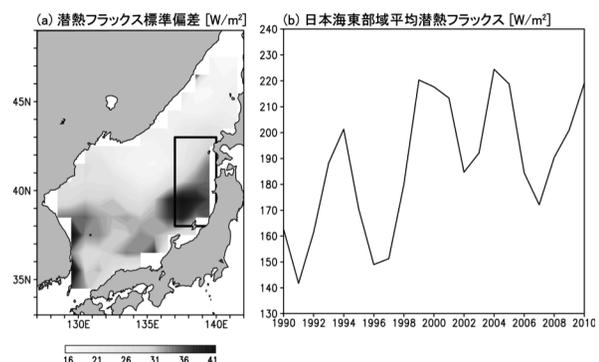


図 1. (a) 12 月平均潜熱フラックス標準偏差分布図 [ $\text{W m}^{-2}$ ]. 黒線枠は日本海東部領域を表す. (b) 日本海東部領域潜熱フラックス時系列.

間の相対的な寄与を調べた。その結果、位相・振幅の再現性の観点で、海面水温が、潜熱フラックス変動の主因であることがわかった。

そこで、日本海東部領域での海面水温変動の要因を調べた。Hirose et al. (2009) で指摘されたように、暖候期の対馬暖流流量と有意な関係にあることがわかった。また、大気海洋間熱交換の影響を評価するために、同海域での海上風速変動との関係を調べた。その結果、海面水温とは無相関の関係にあることがわかった。一連の解析より、日本海東部領域の海面水温は、大気強制によるのではなく、海洋変動（対馬暖流）の結果であると指摘した。

上記解析により、日本海東部領域での水蒸気供給量は、海面水温によることがわかった。そこで、この潜熱放出が日本の降水量変動に及ぼす影響を調べた。その結果、特に、北日本の降水量に関係することがわかった（図2b）。また、興味深いことに、この領域の降水量は、冬季季節風に影響されない場所であった（図2a）。すなわち、日本海東部領域の海洋場は、日本の気候形成に重要な役割を果たすことを示している。以上、本年度得られた研究成果は、日本海の大気海洋相互作用系の実態解明に資するものであり、日本の気候系の理解に貢献するものである。

#### 4. 研究成果

- Sugimoto, S., and N. Hirose, 2014: Variations in latent heat flux over the eastern Japan Sea in December. SOLA, 10, 1-4.
- 杉本周作, 広瀬直毅: 12月の日本海東部潜熱フラックス変動に果たす海面水温の役割 ～北日本降水量変動への影響～. 日本気象学会 2013年秋季大会, P161, 仙台, 仙台国際センター, 2013年11月19日. ポスター発表.

表 1. 潜熱フラックス算出実験時に使用した変数の組み合わせ

	海面水温	海上気温	海上風速
海面水温実験	日別生データ	日別気候値	日別気候値
海上気温実験	日別気候値	日別生データ	日別気候値
海上風速実験	日別気候値	日別気候値	日別生データ

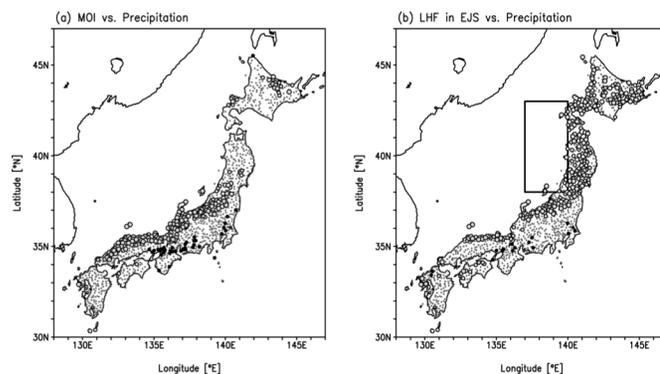


図 2. AMeDAS 降水量と(a) MOI, (b) 日本海東部領域平均潜熱フラックスとの相関係数分布図。白丸（黒丸）は、10%有意水準を満たす正（負）の係数が得られた観測点を表す。また、灰色丸は、有意でない観測点である。

## 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。

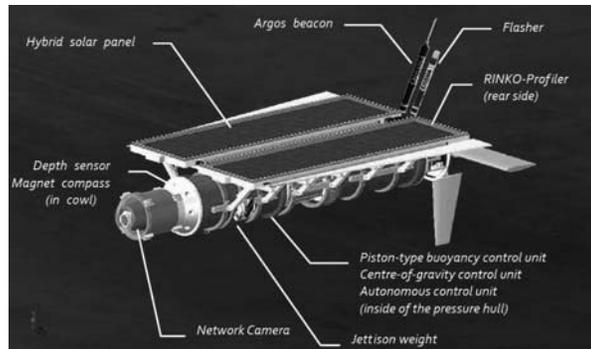


Fig.1 実海域用ソーラー水中グライダー Tonai60



Fig.2 Tonai60 のグライディング試験 (深海機器力学実験水槽にて)

□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推定することができた。そして、Tonai60 が設計通りのグライディング性能を有することを確認できた。本水槽試験を経て、12 月中旬に鹿児島湾にて実海域試験を実施して、海洋環境データを取得することができた。

□研究成果報告

- 藤内裕史, 有馬正和: 実海域用ソーラー水中グライダーの充放電システムに関する研究開発, 第 25 回ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2012 in TSUKUBA) 論文集, 2A2-O04, pp.1-4, CD-ROM,(2013.05).
- H. Tonai, M. Arima: 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, (2013.06).
- 有馬正和, 藤内裕史: サンゴ礁モニタリングのための水中グライダーの研究開発, 第 16 回日本サンゴ礁学会講演要旨集, P1, p.53, (2013.12).
- M.Arima, K.Yoshida, H.Tonai: Development of a coral monitoring system for the use of underwater vehicle, Procs. of OCEANS' 14 MTS/IEEE Taipei, (2014.04).
- 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), (2014.06).

□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
藤内 裕史	大阪府立大学・ 大学院工学研究科	学生 M1	研究補助
吉田 桂奈	大阪大学工学部	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

## 海洋乱流の観測およびモデリング研究

東京大学大学院 理学系研究科 教授 日比谷 紀之  
 九州大学 応用力学研究所 教授 松野 健  
 京都大学大学院 理学研究科 准教授 吉川 裕

地球温暖化や海洋酸性化など、環境変化に果たす海洋の役割は大きい。そ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。しかし、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、3月6日から7日にかけて、東京大学理学部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。

最初の講演では、堤より、伊予灘南部から豊予海峡に向かう測線上において、TurboMAPによる乱流観測の結果が報告された。水深が深くなる付近に見られるサンドウェーブ上において乱流強度が大きくなること、非成層期においても見られること、壁法則を用いて海底の Drag coefficient  $C_d$  を求めると、サンドウェーブ上で  $C_d$  が大きくなることを示した。なお、小潮期にエラーバーが大きくなるのは、成層によって境界層の厚さが薄くなるためと説明した。次に遠藤は、東シナ海陸棚上での乱流微細構造観測時に得られた、5 ビーム ADCP の計測データに分散法を適用して、レイノルズ応力の見積もりを試みた結果について紹介した。計測データに直接分散法を適用するとノイズが多いものの、単位時間あたりのピン発信数を増やし、かつ計測データから上方とコヒーレントな流速変動をフィルターで除去すると、この海域で卓越している半日周潮に伴う、レイノルズ応力の周期的な変動が得られることを示した。和方は、東シナ海陸棚上の海底混合層内で観測された乱流微細構造のシミュレーション (LES) 結果を紹介した。乱流微細構造プロファイラーで観測した乱流運動エネルギー散逸率は、混合層下部で 1/4 日周期、上部で日周期の時間変動が卓越していたが、後者を再現するためには、背景塩分場の水平勾配、もしくは、非慣用コリオリ力による乱流発達の方性を考慮する必要性のあることが示された。松野は、日本海底層水の一様性と長期的水温上昇の物理過程を理解するために行った、VMP5500 を用いた深層乱流の直接計測の結果と 1 次元モデルを用いた実験による結果の解釈について紹介した。計測された深層での乱流強度は小さかったが、地殻熱流量を評価したモデルによって、観測される深層構造と水温上昇がうまく説明できることが紹介された。なお、モデルで仮定されている水温の水平勾配はデータから持ってくることはできないのではないかという質問があったが、平均的な値に対して変動が大きいので難しいという回答があった。古市は、浅海域の海洋モデルの高精度化に不可欠な、乱流混合過程のパラメタリゼーションの有効性を調査した。東シナ海や東京湾での乱流微細構造の現場観測との比較を通じて LES の有効性を確認し、またその LES との比較を通じて、Furuichi et al. (2012) で提案された乱流混合パラメタリゼーションスキームが海底境界層でも妥当であることを確認した。一方吉川は、海洋表層混合過程の鍵となる現象の一つである、ラングミュア循環の現場観測に関する取り組みの報告を行った。八代海で水平流速の水平構造の観測を行い、水平構造の風向依存性や風や波、熱フラックスとの関係から、シアー乱流、夜間対流、ラングミュア循環に対応すると考えられる短周期変動が見られたことが報告された。

秋友は、海面加熱時の潮流が作る海底乱流に着目し、海底境界層の厚さのパラメータ依存性を数値実験を通じて調べた。潮流速度と潮流振動数に加えて、混合道上部の密度成層強度に依存するスケーリング則と、海面での浮力加速度フラックスと水深に依存するスケーリング則の二つが海底境界層の混合層厚さのスケーリングとして考えられることを見出し、数値実験でその妥当性を確認した。程は赤道を横断する南北断面での微細構造の観測やソープスケールを用いた推定により、乱流エネルギー散逸率の空間分布を報告した。赤道からやや離れた領域で散逸率が大きいことや、散逸率が内部波の砕波により生じたと仮定した場合の散逸率の緯度依存性に関する議論を行った。勝又は、北太平洋の支午面循環を維持するのに必要な乱流エネルギーの見積もりを報告した。最新の観測値に基づく支午面循環を維持するのに必要な乱流エネルギーの注入量は600GWであること、またそのうち潮汐が400GW程度を担っていることを報告した。また、残りの200GWについては、風成乱流、境界層乱流、対流、生物乱流などのおよその値を評価し、それらの可能性について議論した。長井は黒潮続流域での内部波の生成と散逸に関する数値実験結果と観測結果の報告を行い、黒潮の自励的な傾圧不安定および付随する前線形成過程が内部波を生成すること、数値実験結果は観測された内部波とその散逸をおおむね説明すること、内部波の散逸には水平流の鉛直シアとコンフルエントが重要であることなどを示した。また低塩分水の潜り込みに伴いソルトフィンガー型の二重拡散対流が発生している可能性があることも報告した。日比谷は起伏のある海底上を流れる潮流が生成する内部波とその散逸についての報告を行った。内部波の散逸効率や減衰特性距離は水平波数に依存すること、その依存性は内部波のレジームによって異なることを数値実験により示し、その依存性を内部波の鉛直方向の群速度を用いて説明した。

以上の話題提供とその後に行われた活発な質疑応答や議論は、今後の研究の方向性を考える上で非常に有意義であった。海洋乱流のコミュニティを形成・維持するためにも、このような集会は有効であり、来年度も継続して進めることも確認された。

----- プログラム -----

3月6日

13:00 - 13:45 堤 (愛媛大)・他3名

伊予灘サンドウェーブ上における成層期と非成層期の乱流観測結果の比較について

13:45 - 14:30 遠藤 (九大)・他4名

東シナ海陸棚上の海底混合層内におけるレイノルズ応力の計測

14:30 - 15:15 和方 (九大)

東シナ海の潮汐乱流の数値シミュレーション

15:15 - 15:30 休憩

15:30 - 16:15 松野 (九大)・他2名

日本海海底一様層の維持と水温上昇に関わる地殻熱流量の役割

16:15 - 17:00 古市 (環境研)

LESに基づく海底混合層における乱流パラメタリゼーションの性能評価

17:00 - 17:45 吉川 (京大)・他4名

海洋表層境界層における水平流動構造観測の試み

3月7日

09:30 - 10:15 秋友 (京大)・衣川

海面加熱時の潮流海底境界層のスケーリングについて

10:15 - 11:00 程 (海洋大)

Turbulent dissipation in the equatorial region inferred through the internal wave field

11:00 - 11:45 勝又 (JAMSTEC)・丹羽

太平洋の子午面循環のエネルギー収支

11:45 - 12:00 休憩

12:00 - 12:45 長井 (海洋大)・他6名

黒潮流軸直下の乱流混合と近慣性シアの準ラグランジュ流観測

12:45 - 13:00 日比谷 (東大)・高木

深海底上で潮流により励起された内部波エネルギーの散逸過程に関する数値的研究  
- 海底境界混合のパラメタリゼーションに向けて -



## 水中ビーグ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・調査用の海中ビーグルは、専用の母船を必要とする大型のものから、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、小型のビーグルは、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グル運用の実績を持つ。そこで本研究では、ビーグルを損傷することなく、波浪中で、安全にビーグ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。多様な形状のビーグルに対応可能な装備は、海洋観測・調査に大きく貢献するものと考えられる。

本年度は、応用力学研究所円盤型水中グライダーの回収作業について報告する。

### 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2013年3月長崎港沖の水深100m海域で実施された。ビーグルの浮上位置をFig.1に示す。ビーグルの浮上位置を示す白色のバルーンがバーチャルモアリング目標位置周辺にままとまっている。実験時の潮流速度は北西に0.11m/sec、北西の風1.25mであった。

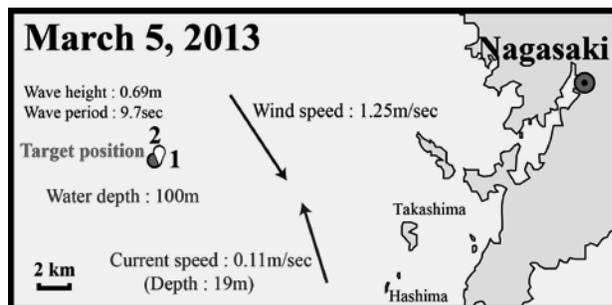


Fig. 1 ビーグル浮上位置

Fig.2はイリジウム通信で送られてきたCTD観測結果である。水温分布は長崎丸のXBTによる計測と非常によく一致している。

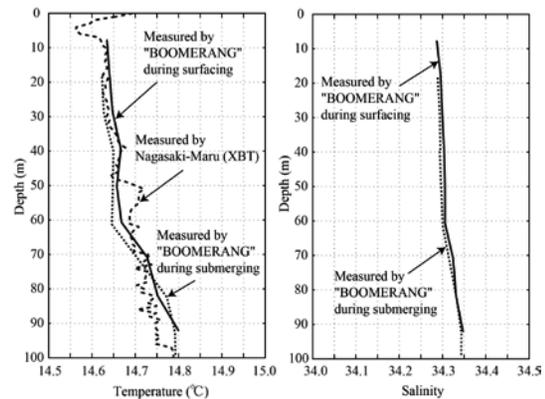


Fig. 2 CTD 観測結果

Fig.3はイリジウム通信で送られてきたADCP観測結果である。点線が南北方向流速分布、実線が東西方向流速分布、一点鎖線がパーセントグッドを示している。流速は北への流れ、東への流れをプラスで表示している。計測は1秒間隔で60ピンの計測を70秒ごとに繰り返している。Fig.3には水深19mにおける流向流速をベクトル表示で長崎丸の気象ログと比較した結果も同時に示されている。わずかに60秒間の平均と、海洋観測においては瞬時値に近い値の比較であること、ビーグルに搭載したADCPはまだ磁方位修正がなされていないことを考えると、流向流速ともによく一致していると言える。

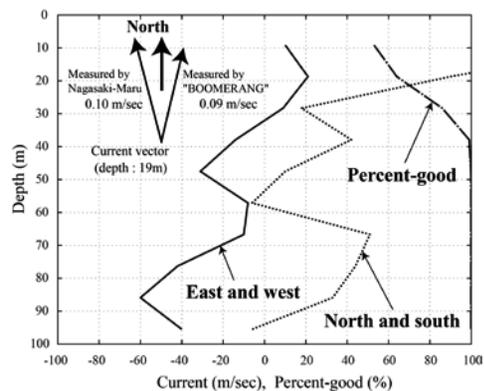


Fig. 3 ADCP 観測結果

Fig.1 において浮上位置を示すバルーンの数が少ないのはビークルが 3 回目の潜航中に動作を停止してしまったためである。

### 3. 円盤型水中グライダーの搜索・回収

長崎丸、鶴洋丸によって実施されたビークル搜索・回収作業は次に示すとおりである。

(2013 年 3 月 5 日)

- ・緊急浮上装置作動開始 ( 16:55 )
- ・ビークル浮上せず、超音波式位置検によるビークル深度 99m ( 17:45 )
- ・長崎丸位置を移動し、3 か所でビークルの位置を測定 32 度 42.11986 分、129 度 34.83403 分 ( 18:00 ~ 18:37 )
- ・日没により、浮上したとしてもビークルの視認ができないので実験海域離脱

(2013 年 3 月 6 日)

- ・長崎丸 錨泊場所から前日のビークル実験海域に向け航行開始 ( 7:50 )
- ・長崎丸搭載の計量魚群探知機 ((株)KAIJO KFC-3000N 型) を使用し、前日計測したビークル位置付近を搜索 ( 9:04 ~ 9:34 )
- ・ビークル実験海域より約 5 マイル程度南下しながら、ビークルが浮上していないか目視で搜索 ( 9:35 ~ )
- ・約 10 マイル程度北上しながら、ビークルが浮上していないか目視で搜索 ( 10:00 ごろ ~ )
- ・ビークル実験海域へ約 5 マイル程度南下しながら、ビークルが浮上していないか目視で搜索 ( 11:00 ごろ ~ )
- ・ビークル発見できず長崎丸航行性能試験実施のためビークル実験海域離脱 ( 11:45 )

(2013 年 3 月 9, 12, 17 日)

- ・鶴洋丸搭載の精密海底地形探査装置 HS-600F、計量魚群探知機 FQ-80 により実験海域付近を搜索
- ・17 日にビークルが発見されたが (32 度 42.3375 分、129 度 35.0109 分)、5 日に超音波式位置検で計測した位置と異なっている。

(2013 年 4 月 8 日)

- ・長崎丸 ビークル回収作業のため出港 ( 14:45 )
- ・超音波式位置検によりビークル位置を特定 32 度 42.1215 分、129 度 34.8315 分 ( 16:23 )
- ・3 月実験終了時の超音波式位置検によるビークル着底位置とほぼ同じなので、この位置を目標に回収作業を行うことに決定
- ・一回目トロール網による回収作業 (網入れ) 開始 ( 16:35 ~ )
- ・トロール網巻き取り終了、ビークル回収できず

( 17:25 )

- ・二回目トロール網による回収作業 (網入れ) 開始 ( 18:05 ~ )
- ・トロール網巻き取り終了、ビークル回収できず ( 19:00 ごろ )
- ・ビークル着底位置にもどり、再度位置検でビークル位置計測 ビークル位置に変化なし ( 19:10 ~ 19:15 )

(2013 年 4 月 9 日)

- ・位置検でビークル位置計測 ビークル位置に変化なし ( 6:30 )
- ・三回目トロール網による回収作業 (網入れ) 開始 ( 6:47 ~ )
- ・トロール網巻き取り終了、ビークル回収成功 ( 7:36 )

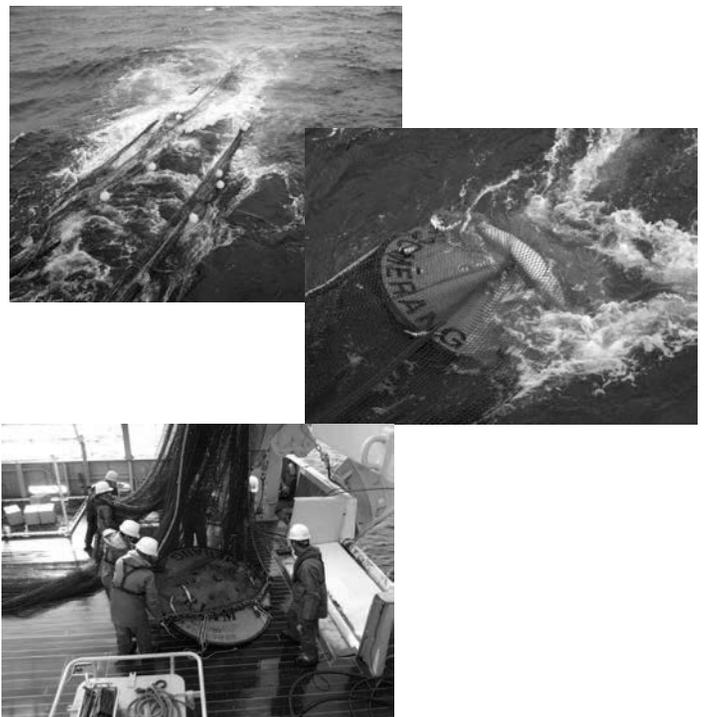


Fig. 4 トロール網によるビークルの回収

### 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、清水健一  
(長崎大学水産学部 准教授)  
内田淳、下田真子 (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)  
稲田勝、野田 穰士朗  
(九州大学応用力学研究所 技術職員)

## シャトル型水中ビークル「ツクヨミ」のピッチ角制御実験

独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター

長期観測技術グループ

浅川 賢一

渡 健介

## 【研究目的】

海洋環境変動予測のためには、鍵となる海域で長期的な連続観測を行うことが必要である。現在、長期間の定点観測は主にブイシステムによって行なわれている。しかし、その設置と保守には大型船を必要とするなど、多大な労力と費用が必要となる上、観測点の変更も容易でない。そこで、このような課題を克服する手段として、海洋研究開発機構では、長期に渡って一定海域に留まり、海底から海面までの海洋観測を行う水中グライダーの構想を提案し、プロトタイプの開発を進めている。すでに、亡失対策用の細径ロープ付きであるが、水深500m までの潜水実験を実施している。今回、その縦方向の運動制御システム開発の一環として、九州大学の深海機器力学実験水槽を利用して、縦方向運動制御実験を行う。

## 【実験方法】

海洋研究開発機構で開発した長さ約 2.5m、幅約 1.2m 高さ約 0.6m、空中重量約 150kg の水中グライダー「ツクヨミ」(図 1) に使用して、下記 2 種類の実験を行った。

- ① 水中にテグスで吊り下げ、ピッチ角一定 制御の実験を行い、安定した制御ができる制御係数範囲を確認した。
- ② テグスをリリースして滑走状態でのピッチ角制御実験を行った。この際、水中重量、ピッチ角の組み合わせをパラメーターとし、約 0.2m/s の低速状態から約 0.5m/s の水槽内で実施可能な高速状態までの制御係数範囲を確認した。(図 2)



図 1 水中グライダーツクヨミ

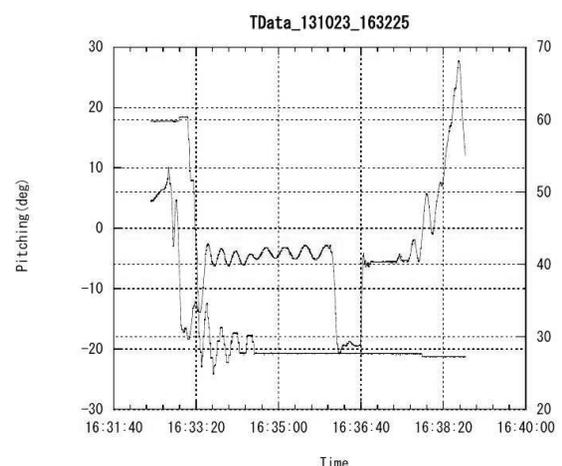


図 2 取得姿勢データ例

## 【成果報告】

海洋工学シンポジウム 2014

タイトル：長期定域観測用水中グライダーの水槽試験



### 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 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・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。全球・領域規模でのエアロゾルの気候・環境影響評価には、エアロゾル輸送モデル等の数値モデルによる評価が不可欠となる。そこで、数値モデルの再現性やデータ同化技術の向上に資するライダーデータ解析技術の開発およびデータセットの作成も本研究は視野に入れる。

本目標遂行のために、昨昨年、応用力学研究所大気物理研究室の岡本教授との共同研究(23特1-6)で、衛星ライダーデータからエアロゾル種毎(鉱物ダスト、海塩、大気汚染粒子)の鉛直濃度を抽出するための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共に、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。これを改良すべく昨年度(24AO-9)、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。また、エアロゾル光学モデル改良の方策を検討し、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統計解析することにした。現在データセットの作成を進めている。

以上の経緯を踏まえ、本研究では、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を強化し、より信頼性の高い全球エアロゾルデータの抽出を目指す。改良したアルゴリズムを用いて衛星および地上ライダーデータの解析を行い、エアロゾル種毎の全球時空間変動およびデータセットの作成を推進する。

#### 実施方法

最適化手法の検討・開発を進め、アルゴリズムに導入し、より信号ノイズに頑強な解析手法を実現する。また、地上スカイラジオメーターの解析データのデータセット化を推進し、その統計解析を実施し、エアロゾル光学モデルの改良を図る。統計解析の手法としては、クラスター解析を実施する。

#### 結果

地上でネットワーク展開しているミー・ラマンライダー解析用に最尤法とガウスニュートン

法を組み合わせた最適化手法を用いたアルゴリズムの開発を行った。上記ライダーからは4つの測定値（波長 532nm での消散係数、後方散乱係数、偏光解消度、および波長 1064nm での後方散乱係数）が得られ、その測定値に上記アルゴリズムを適用することで、鉱物ダスト、海塩粒子、ブラックカーボン、ブラックカーボンを除く大気汚染粒子の4種エアロゾルの波長 532nm での消散係数を導出する。黄砂飛来時等のいくつかのイベントデータへの適用を行い、対流圏下部での黄砂やブラックカーボンの浮遊層や、境界層内での海塩粒子や大気汚染粒子を捉えた。

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行った。全球では6個程度のクラスター（グループ）にデータが安定して分類されることが判明した。分類されたデータの特徴（光学特性）やその地域から、6個のクラスターは、海洋性粒子、バイオマス燃焼起源粒子、鉱物ダスト粒子、大気汚染粒子、そしてそれらの混合（鉱物ダスト+大気汚染、バイオマス燃焼+大気汚染）を表しているとし唆される。

### 考察

最尤法とガウスニュートン法を用いた最適化法を導入した。誤差解析や観測データへの適用例が十分ではなく、今後推進する。本手法は汎用性も高く有用な手法といえる。他のアルゴリズム（ライダーと受動型センサーの複合等）への応用も検討する。

全球データへのクラスター解析を実施し、6つのタイプへの分類が可能であることが分かった。より詳細にエアロゾルの特徴をみるには、地域毎（例えば、アジア、ヨーロッパ、アフリカ等）にクラスター解析を行うことが有用と考えられる。よって、今後地域毎のクラスター解析を実施していく予定である。

### 研究成果報告

Nishizawa, T., N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, Introduction of raman scatter measurement function to NIES lidar network observation, International, Symposium on Remote Sensing 2013, Chiba, May, 2013 (Oral)

及川栄治、西澤智明、中島映至、クラスタリングを用いた AERONET データのエアロゾルタイプ分類、気象学会秋季大会、仙台、2013年11月 (Oral)

### 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

### 【研究の目的】

日本海中部沿岸域では一時的に強い流れが発生することが知られている。その流れは急潮と呼ばれ、周期の有無や発生要因によって「気象擾乱の通過に伴う突発的な流れ」、「周期変動する強流」、「気象擾乱と無関係に発生する強い流れ」の3つに分類されることがわかってきた(千手, 2009)。これらのうち3つ目は対馬暖流の接岸に伴うものと推察されているが、その実態や発生要因について不明な点が多く、予測がつきにくい急潮とされている。若狭湾の東部海域(図1)は、上記の3つ目の特徴をもつ急潮が発生することが明らかになりつつある。この海域の流動変動の特徴を理解することを目的として、越前岬から北東20km程度に位置する鷹巣(たかす)の定置網近傍で流向・流速計を用いた観測を実施し、既得データも含めて解析を行った。

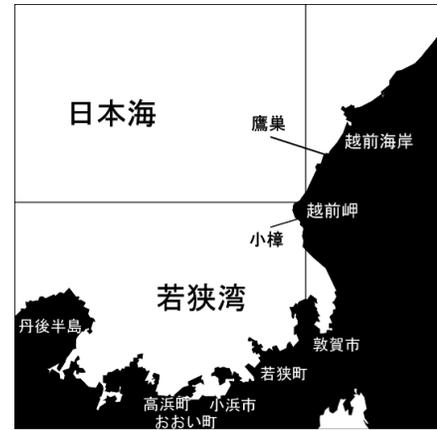


図1 若狭湾および観測を実施した鷹巣の位置

### 【観測および解析】

当海域の鷹巣(図1)の定置網近傍で多層流向流速計(Nortek Aquadopp profiler, 600kHz)と水温計(Hobo Water temp Pro v2)を用いて係留観測を実施した。鷹巣での係留観測は福井県立大学、福井県水産試験場、九州大学が所有する観測機器を利用して実施し、係留系の設置作業は福井県水産試験場の調査船「若潮丸」を用いた。2013年5月上旬から10月末まで30分ごとに測定した流向・流速データと10分ごとに測定した水温データを解析した。また、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】

2013年5月から7月にかけて鷹巣では20-30cm程度の北東向きの流れが卓越し、2°C程度の水温成層が発達していた(図省略)。7月になると上り潮(のぼりしお)と呼ばれる西向きの流れの流れが頻繁に発生していたが、8月上旬になると上り潮は見られなくなり、特に8月上旬には30cm/secを超える東向きの強い流れが発生した(図2a)。東向きの流れは全層で発生し、30cm/secを超える流れは海面から20mの層厚で生じていた。同時期に26-27°Cの高温水が見られるようになり、東向きの流れが発生した時期にその厚さは増加した(図2b)。8月下旬頃から9月中旬頃にかけて流れはやや弱くなったものの東向きの流れは継続し、表層では28-30°C程度、下層26°C程度の水温構造を維持していた。また、8月上旬にみられた強流時の原因を把握するため、高解像度沿岸モデルを解析した。結果の一例として、図3には8月10日の高解像度沿岸モデルの計算結果を示した。若狭湾口から越前海岸にかけて岸に沿うように対馬暖流分枝流が存在し鷹巣付近の流れも強化していたことから、対馬暖流が越前海岸付近で接岸流路をとることにより、この急流が生じたと推察された。

この海域では流れが急変する観測事例が少ないことから、さらにデータを蓄積することが望まれる。最後に、観測にご協力頂いた福井県水産試験場の調査船「若潮丸」、鷹巣定置組合の皆様には厚くお礼申し上げます。

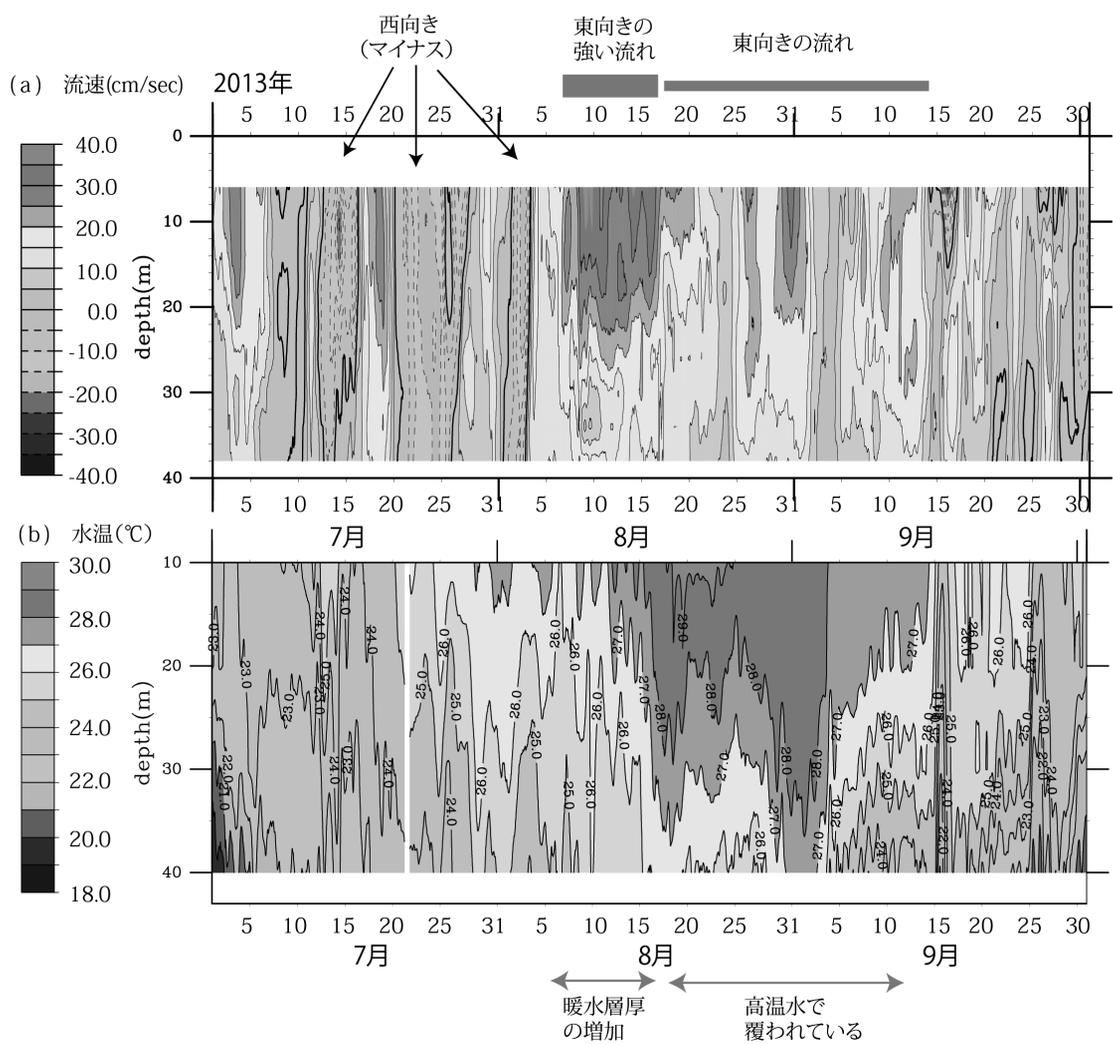


図2：鷹巣での流速（東向きが正）(a) および水温の時系列(b) (2013年7月1日から9月30日まで)

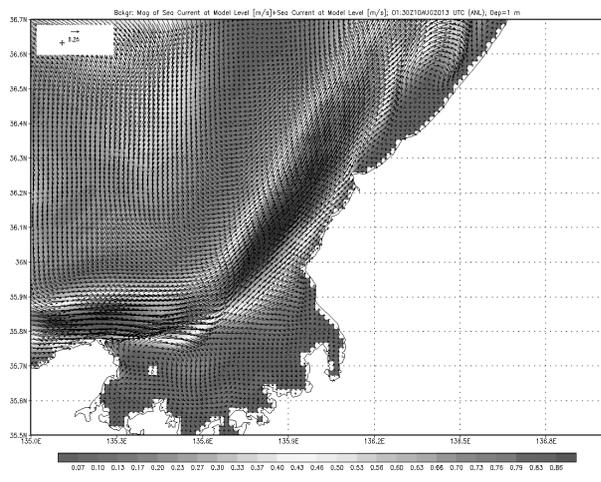


図3：日本海海況予測システムによる鷹巣沖の流況のシミュレーション結果、2013年8月10日、九州大学応用力学研究所「日本海海況予測システム」より  
<http://dreams-i.riam.kyushu-u.ac.jp/vwp>

**【研究成果報告】**

越前岬周辺の短期流動変動特性、兼田淳史、都築純、鮎川航太、千手智晴、渡邊達郎、日本海洋学会秋季大会、(2013年9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

## 25 AO-8

### 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なされていない。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ことを目的とする。また、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示されているが、その詳細な力学過程については明らかでない。これらの点について、乱流観測専用の機器が整備され近年精力的に海洋乱流の研究が行われている応用力学研究所との共同研究によって、上記の瀬戸内海の混合域と成層域における鉛直拡散係数の把握および鉛直拡散に対する潮汐や海底地形や影響を明らかにする。

#### 研究方法の詳細

2013 年の 4 月 18 日(小潮)と 4 月 23 日(大潮)に伊予灘を横断する 9 点(S1~S9)において(図 1)、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線「いさな」にて乱流観測を行った。乱流の計測と同時に TurboMAP 搭載の CTD センサーによって水温、塩分を、いさな搭載の WorkHorse ADCP (BB300kHz) によって水平流速の鉛直分布を得た。鉛直混合強度の指標である鉛直拡散係数  $K_z$  は、TurboMAP で測定された乱流運動エネルギー散逸率  $\varepsilon$  と浮力振動数  $N^2$  から Osborn(1980) の式  $K_z=0.2\varepsilon N^{-2}$  を使って見積もった。

#### 結果

2 回の観測ともに水柱は概ね混合していたが、大潮の方が期待されたように密度成層は弱かった(図 2)。一般流の水平流速は小潮期で  $0.1\sim 0.2 \text{ ms}^{-1}$ 、大潮時で  $0.4\sim 0.6 \text{ ms}^{-1}$  と大潮時の概ね 3 倍程度大きかった。それに対応するように鉛直拡散係数も小潮期よりも大潮期の方が概して約 1 オーダー大きかった。 $K_z$  が最も大きく鉛直混合が強いと考えられるのは測点 S5 から S7 周辺の海域であり、サンドウェーブが発達する地点であった。サンドウェーブの鉛直混合への寄与は、その形状抵抗による乱流シア応力によって説明されると考えられる。本研究によって伊予灘における鉛直混合に対する海底地形の効果や潮汐による変化が示された。

#### 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)

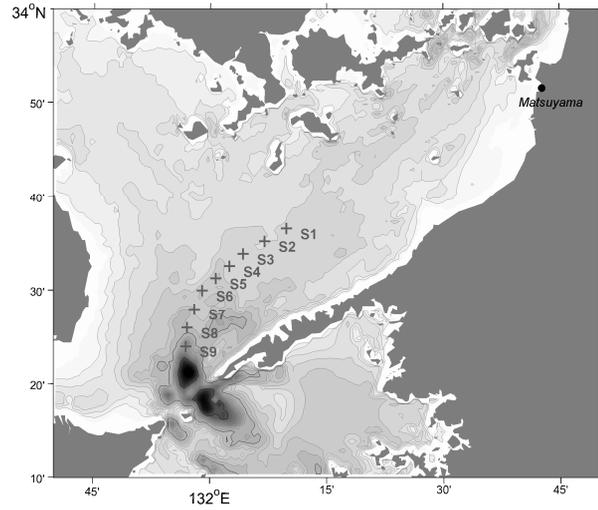


図1: 瀬戸内海伊予灘における観測点(S1-S9)。

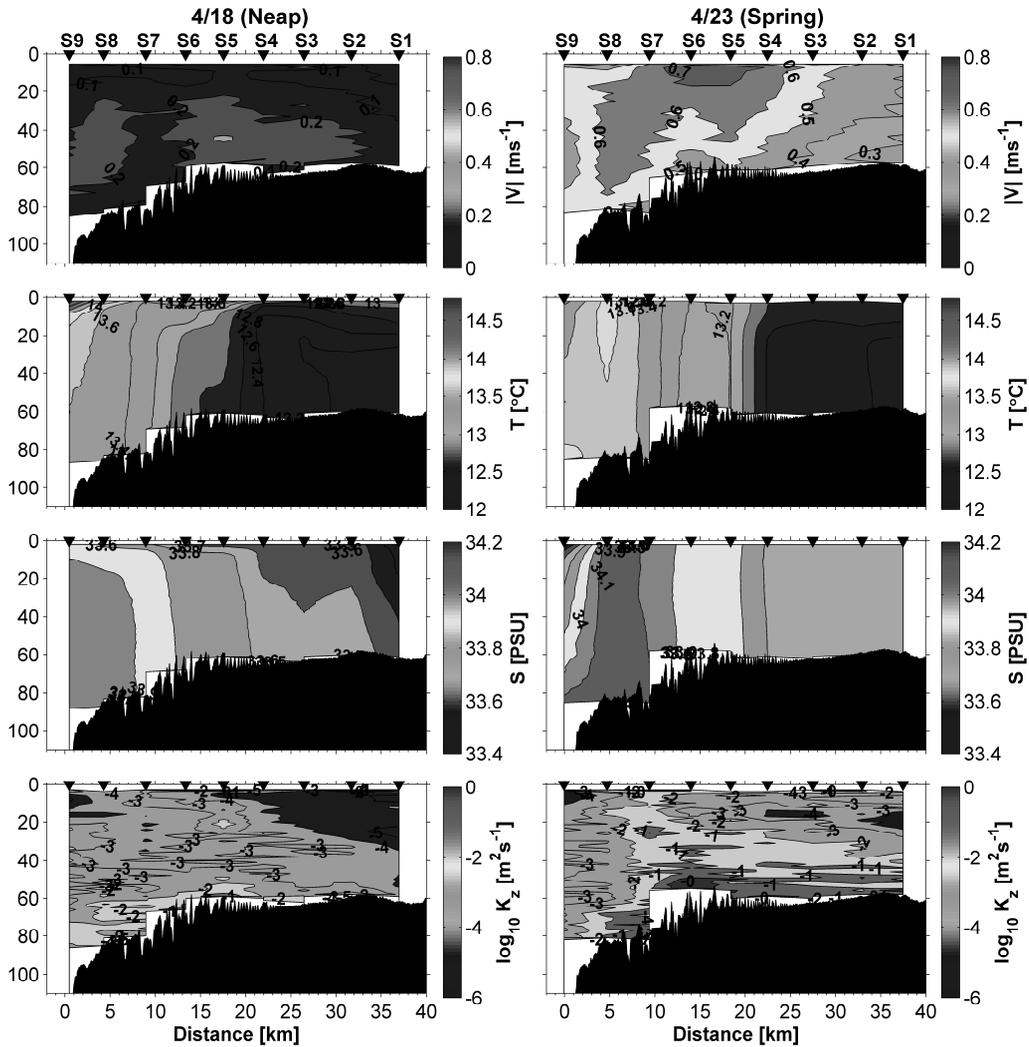


図2: 観測から得られた、各潮時(左列:小潮、右列:大潮)における流速ベクトル $V$ の絶対値、水温 $T$ 、塩分 $S$ 、鉛直拡散係数 $K_z$  (上段-下段)の空間分布。縦軸は深度[m]、横軸は水平距離[km]、黒い影は海底地形を示す。

## 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

昨年（2013年）から急に「PM2.5」という言葉が騒がれるようになってきているが、日本国内から排出される大気汚染物質や中国大陸から越境する大気汚染物質、黄砂粒子、森林火災などは、今にはじまったことではない。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、私たちの生活に対する懸念材料が多い。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っている。

「PM2.5」を含んだ人為起源と自然起源エアロゾルの光学的特性の長期モニタリングとして、観測及び解析を行っている。本研究は、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、地球観測衛星の検証のためにも、定量的な地上観測データの蓄積が重要となっている。エアロゾル気候影響を評価する場合、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ことが有効とされている。特に、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測定し、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

波長別の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、2013年1月から2013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とオングストローム指数の月平均値を示した。日本のエアロゾルの光学的厚さの季節変化は、春に最大となり、秋から冬にかけて最小になる傾向

（Aoki et al. 2013, Aoki and Fujiyoshi, 2003）にあるが、春に最大、次に8月に高く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、春に光学的厚さが最大となる理由として、オングストローム指数が低いため、黄砂粒子を中心とした大粒子の影響が示され、8月の光学的厚さが高くなる理由として、オングストローム指数が高いため、微小粒子、

すなわち、人為起源のエアロゾルの影響が観測されていることがわかった。PM2.5が騒がれはじめた1月は、オングストローム指数が比較的高く、人為起源エアロゾルなど越境する大気汚染物質の影響がプラスされたのではないかとと思われる。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。

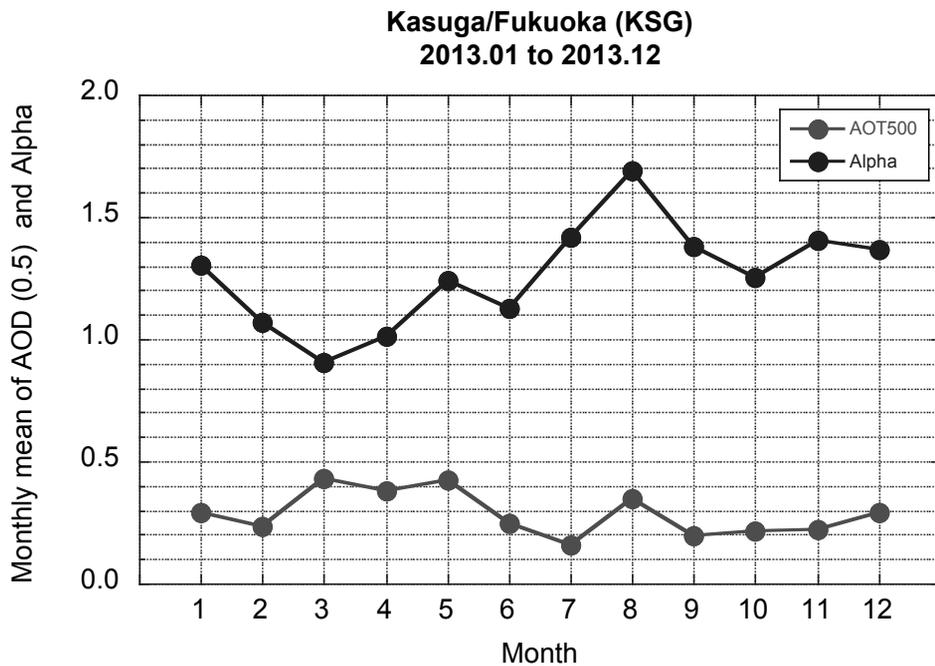


Fig. 1 2013年1月から2013年12月までの福岡県春日市（九州大学応用力学研究所）における0.5 $\mu$ mのエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の月平均値

#### 4. 研究成果

Osada, K., Ura, S., Kagawa, M., Mikami, M., Tanaka, T. Y., Matoba, S., Aoki, K., Shinoda, M., Kurosaki, Y., Hayashi, M., Shimizu, A., and Uematsu, M.: Wet and dry deposition of mineral dust particles in Japan: factors related to temporal variation and spatial distribution, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 13, 21801-21835, doi:10.5194/acpd-13-21801-2013, 2013.

Aoki, K., T. Takemura, K. Kawamoto, and T. Hayasaka (2013), Aerosol climatology over Japan site measured by ground-based sky radiometer, *AIP Conf. Proc.* 1531, 284 (2013); doi: 10.1063/1.4804762.

#### 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)

## 25 AO-10

### 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

海洋の大循環のしくみを理解することは、気候変動や海況の予測をする上での重要な基礎となる。本研究では、数値計算、観測、理論の分野の研究者がそれぞれの立場から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

2013年11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) 親潮海域の平均場の力学：傾圧成分・傾圧成分による理解：西垣肇(大分大教育福祉科学)
- (2) 「南極中層水」を中心とした南極海の鉛直循環系に関して：蓮沼啓一(海洋総合研)
- (3) 海洋再解析アンサンブルによる北太平洋混合層の経年 -- 十年規模変動の研究：豊田隆寛(気象研)
- (4) Influence of the Coriolis Force on the Formation of a Seasonal Thermocline: Noh Yign (Yonsei University)
- (5) 日本海沿岸で発生する急潮のシミュレーション：広瀬直毅(九大応力研)
- (6) 深層測流結果にみられる赤道ロスビー波のシグナル：石崎廣(気象研)
- (7) 海洋深層における中規模スケールの変動：宮本雅俊(東大大気海洋研)
- (8) 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：柳本大吾(東大大気海洋研)
- (9) バルーン搭載の可視・赤外カメラが捉えた沿岸表層の微細な物理構造について：宮尾泰幸、岩中祐一(愛媛大 CMES)
- (10) 振動強制による南北渦位輸送の分布：水田元太(北大地球環境)
- (11) 1.5層QG model による Okuno and Masuda (2003) の追試と、パラメーターを変えた追加実験 2 -- アンサンブル実験：中野英之(気象研)
- (12) 回廊における傾圧不安定と南北熱輸送：平原幹俊(気象研)
- (13) 不規則な渦から組織だった秩序ある平均流が発生してくる仕組み--問題と考察：増田章(九大応力研)

#### 3. 結果と議論

(1) 再解析データに鉛直モード展開を適用し、親潮域の循環のしくみを考察した。千島海溝沖には海膨が存在するため、傾圧、順圧モードともそれよりも西側では東側とは力学的に独立な循環が生じる。順圧モードでは千島海溝に捕捉された浅い方を右手に見る流れが卓越し、傾圧モードでは海膨上を低気圧方向に回る循環が卓越する。親潮など亜寒帯域の主な循環はこれらの重ね合わせで表現される。

(2) 太平洋の底層から中層までの水塊の鉛直構造を歴史的観測資料に基づき議論した。底層には南極大陸起源の水塊、深層には北大西洋起源の水塊がそれぞれ存在する一方で、中層には塩分極小層が存在する。津軽暖流域との比較から、塩分極小層は亜寒帯、亜熱帯起源の水の境界と解釈される。

- (3) 様々な同化手法を用いた再解析データを統合することで、長期間にわたる混合層深度データセットを構築した。異なるモデルを組み合わせることでバイアスが相殺され、Pacific Decadal Oscillationに伴う中央モード水や東部亜熱帯モード水形成域での混合層深の十年規模変動などが明瞭に見られた。
- (4) 理想化された条件での数値実験と観測データの解析によって海洋が過熱される夏季の混合層形成機構を調べた。中高緯度域では、コリオリ力が働くことによってある特定の深さのみで成層が発達し、明瞭な混合層と季節躍層が形成される。混合層の深さはエクマン層の厚さの1/2乗に比例する傾向がある。
- (5) 若狭湾に発生する急潮を分解能1.5 kmの数値モデルによって再現した。急潮現象は対馬暖流の接岸や台風による擾乱によって生じた渦が湾内部を陸棚波的に伝播することに対応する。この渦は、丹後半島の陸岸地形によって物体後流の剥離渦に対応する渦が発生したものであることが強く示唆される。
- (6) 赤道太平洋深層で係留系によって南北に4セルの構造を持つ年周期の擾乱の伝播が観測された。数値シミュレーションとの比較から、4セル構造は第1から第5モードの赤道ロスビー波の重ね合わせであったことが示された。モードの位相関係によってセルの南北幅は変動し得る。
- (7) 北太平洋深層における深層流の擾乱に関するレビューを行った。黒潮から十分離れた海底の比較的平坦な海域では順圧ロスビー波によく対応する擾乱が観測されている。今後、数値シミュレーション結果の解析と新たな係留観測を組み合わせ、擾乱の詳しい性質やメカニズムを考察する予定である。
- (8) 北太平洋での5年間にわたる深層係留観測によって、数10から100日程度の周期を持った擾乱が観測された。擾乱は海底に捕捉されており、流れの主軸は海底地形に沿う傾向がある。海底捕捉波のカットオフ周期より短い周期ではその様な傾向は見られない。
- (9) 気球からの空撮によるブイ追跡と漂流物の集積の観測が、沿岸河口域の微細な流れの構造の把握に有効であることが示された。河口フロントによる収束帯は数値シミュレーションでも見られ、今後、観測と詳しい比較を行うことで、フロントのスケール等を決めるメカニズムが明らかになると期待される。
- (10) 与えられた外部強制によって生じるロスビー波の渦位輸送分布を解析的に求めた。渦位輸送の分布の南北スケールは強制に共鳴する波の波長から決まり、強制のスケールには依存しないことが示された。
- (11) 水平発散を含む地衡流乱流のスペクトルの時間発展を、アンサンブル実験を行うことによって高精度で数値的に求めた。外力がなく乱流が自由減衰する場合、長時間経つと東西波数が1、移流の時間スケールとロスビー波の時間スケールの比が約1/3の所にエネルギーの極大が見られることが示された。
- (12) 東西に周期的な水路モデル中に与えられた傾圧流の時間発展を数値的に調べた。傾圧流から生じる不安定擾乱からは順圧的な東西流が形成される。惑星ベータ効果は擾乱の水平スケールとエネルギーを小さく抑える働きがある。このとき擾乱によって生じる東西流の南北スケールも小さくなる。
- (13) 線型ロスビー波の三波相互作用に基づいた地衡流乱流の理論模型を提唱した。それによって初期に高波数の擾乱を与えた場合の、発達初期段階におけるエネルギースペクトルのピーク位置が解析的に計算され、数値実験でも確認された。不規則な流れによって海底地形に沿った流れが生じるしくみとの関連性についても議論を行った。

水中洞窟系のロボット探査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

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・調査に少人数で対応できる小型水中ロボットの需要が高まっている。本研究グループは、国内研究機関では唯一、水中洞窟系探査に対応できるロボットシステムの研究開発を行ってきた。水中洞窟系は複雑な形状の未知環境であるため、自己位置推定可能でケーブルの拘束がない自律型ロボット(AUV)が適している。平成25年度は、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用の3D環境地図作成を研究目的とした。

2. 水中ロボットシステム

テストベッド用の水中ロボット(ROV)は、全長670mm、高さ300mm、幅440mm、重量18kgと小型軽量コンパクトで少人数の運用に適している(図1)。多様なミッションに対応可能なPSoC3をシステムの基盤とし、自律化に向けた操縦支援・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のロボットコントローラー画面で自律航行の操縦モードやPIDの制御定数を変更できる。

本年度は、水中洞窟の3D環境地図作成を、①②の2つのプロセスに分けて実現した(図3)：

- ① 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
- ② 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

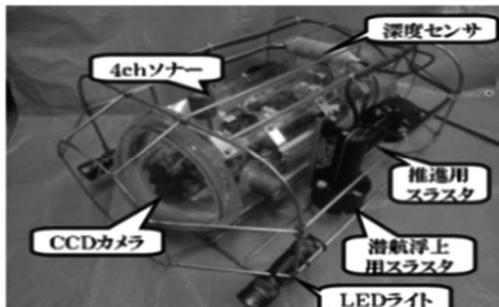


図1 ロボット外観

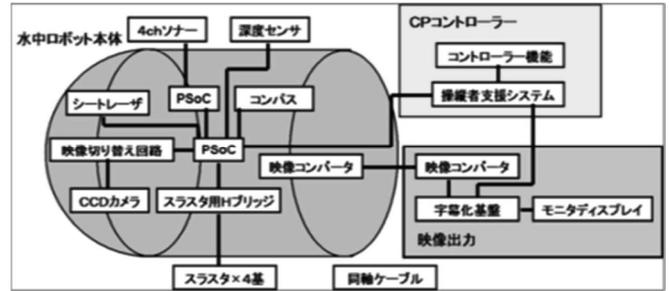


図2 システム構成

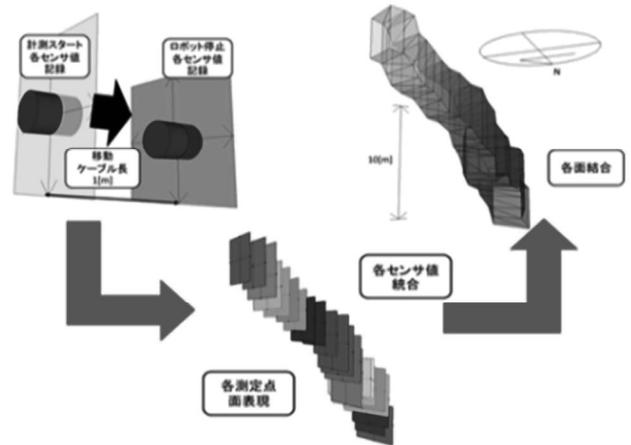


図3 4方向ソナー計測と3D概形モデル化

3. 実験結果及び考察

自律航行システムの実験は応用力学研究所の深海機器力学実験水槽で実施した。PID制御定数や実験水槽の人工波浪条件を切り替えながら、水中ロボットの方直進・方位保持・深度保持の各モードで自律航行を行った。深度保持については良好な結果であるが、方位保持の後半は鋭さが低下した(図4, 5)。これはケーブルの張力によりロボットの姿勢変更に抵抗が生じたことに起因している。

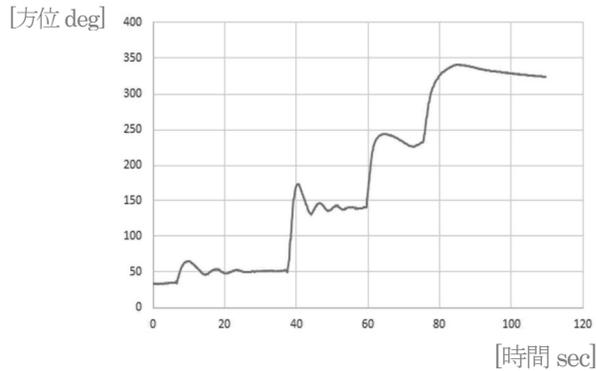


図4 方位グラフ

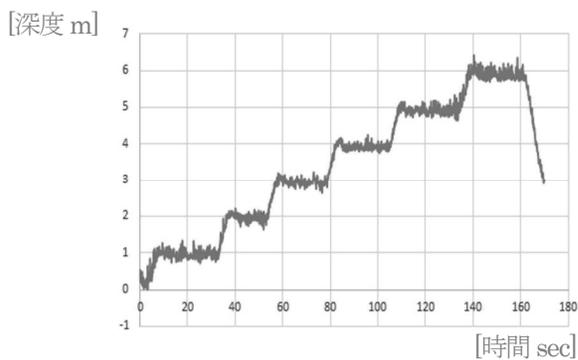


図5 深度グラフ



図6 実験現場の岩戸洞外湧泉（外観と水中）

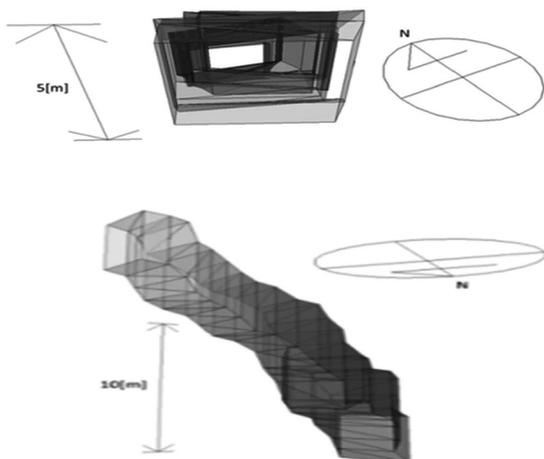


図7 岩戸洞水中洞窟3D概形モデル（正面と側面）

洞窟概形計測システムの実験は熊本県球磨村の岩戸洞外湧泉で行った。実験現場は湧泉奥の緩い U 字型水中洞窟で、計測対象を水面直下から最深部手前までの通路状区間に設定した（図6）。①の形状計測は(1)~(3)を反復した：

- (1) ケーブル長 1m 間隔で記録して一時停止
  - (2) 水中ロボットの姿勢を水平に保持、深度を保持
  - (3) 上下左右方向の4距離・水深・方位・姿勢を計測
- 3Dモデル化の計算設定を簡易化するために (2)を手順に含めたが、現場の水中洞窟では水流による攪乱で水中ロボットの姿勢・深度が安定保持するまでに時間がかかり、計測作業全体の時間が大幅に増えていた。

②の3D概形モデルは計測データを後処理することで作成した。対象とした通路状区間の形状トレンドを概ね表現することができた。

#### 4. 結論

本年度は、水中ロボットのPID制御により、設定した方位・深度を時不変定数として保持した自律航行が可能なことを実証した。また、水中洞窟3D環境地図作成を、ソナー・センサー類による洞窟の形状データ計測と3D概形モデル作成の2プロセスに分けて実現し、水中洞窟探査への有用性を確認した。

今後の課題としては、安定保持に時間のかかる計測手順(2)の省略、方位・深度の与えられた時系列データに追従する自律航行、3D概形モデルの精密化、チェンバー・ホール・屈曲部・分岐の表現、①②を統合した反復プロセスによる3D概形モデルのリアルタイム生成が挙げられる。

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。水槽実験では稲田勝技術職員と野田穰士朗技術職員には大変お世話になりました。深く感謝申し上げます。

## 25 AO-12

大気エアロゾル同化システムとリモートセンシングデータを用いたエアロゾルに関する統合的研究

気象庁気象研究所 弓本 桂也

九州大学応用力学研究所 原 由香里

### ● 目的

春季東アジアは、中国内陸部を起源とする黄砂にしばしば覆われ、その主要な構成物質である土壌性粒子による大気環境・健康・気候など多岐にわたる影響が示唆されている。こういった黄砂の影響を調べるためには、発生・輸送・沈着といった一連の過程を理解することが必要であり、観測や数値モデルを用いた研究が行われてきた。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、同化モデルで予報された沈着量を地上沈着量データ(DRy And wEt deposition MOnitoring Network; DRAEMON ; Osada et al., 2014)と比較、同化モデルによる黄砂沈着量の再現性について検証・考察を行った。

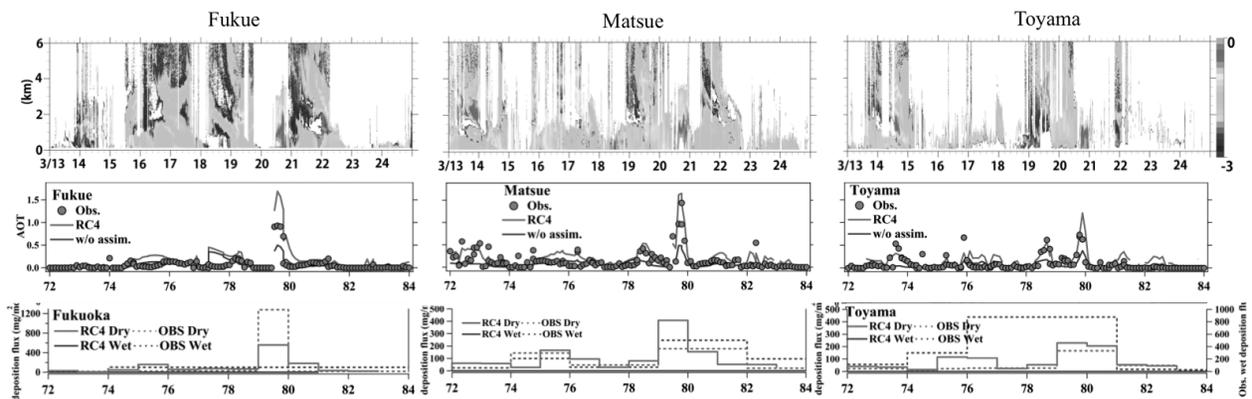
### ● 実験方法

エアロゾル同化システムにはRAMS/CFORS/4D-Var(RC4; Yumimoto et al., 2008)を用いた。RC4は化学輸送モデルRAMS/CFORS(Uno et al., 2004)を基本としており、土地利用データなどの外部データやメソ気象モデルで計算された土壌水分・摩擦速度を元に黄砂の発生量を計算している。RAMS/CFORS、RC4ともに東アジアの黄砂・大気環境の研究に広く用いられている(例えば、Hara et al., 2009)。同化データには、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の観測データを利用した。環境研のライダーでは、射出した532nmのパルス信号の後方散乱係数および偏光解消度を測定し、エアロゾルの鉛直プロファイルを測定することができる。本研究では2010年3月に発生した大規模な黄砂イベントを対象とした。DRAEMONは黄砂の乾性・湿性沈着量を計測するプロジェクトで2009-2010年にかけて全国6地点で観測が行われた。

### ● 結果と考察

図1(上段)に福江、松江、富山に設置されたライダーで観測されたダスト消散係数の時間—高度断面を示す。2010年3月は13-17日(以後、E1と呼ぶ)に比較的中規模な、18-22日に大規模な黄砂(E2と呼ぶ)が日本に到来した。地上ライダーはこの二つの黄砂イベントを明確に捉えている。E2は黄砂濃度も非常に濃く、消散係数で $1.0 \text{ km}^{-1}$ を、エアロゾル光学的厚さで1.0を超えている。黄砂層の厚さは2-3kmであり、濃い黄砂が地上付近を輸送されている。

図1の中段にライダーとモデルの光学的厚さの比較を示す。モデル(同化前)は黄砂の到来時期を正確に捉えているものの、特にE2でその量を大幅に過小評価(観測に比べ、30-40%程度)している。一方で、観測データを同化し、発生量を最適化したモデル計算は定量的にもライダー観測と非常によく一致している。松江や富山ではE2の期間に観測された小規模な黄砂イベントも同化によって定量的に再現する



**Figure 1.** Time-height cross section of dust extinction coefficient [1/km] measured by NIES Lidar (upper panels), time series of dust aerosol optical thickness (AOT) from NIES Lidar (closed circles) and model results (blue line: without assimilation, red lines: assimilated results) (middle panels), and dust deposition fluxes [mg/m<sup>2</sup>] (lower panels) at Fukue, Matsue, and Toyama.

ことに成功している。

図1の下段には、日積算黄砂沈着量(mg/m<sup>2</sup>/day)の比較を示す(福江は近隣の福岡での値)。赤線は乾性沈着の量を表している。モデルは観測された乾性沈着を概ね再現し、データ同化によって定量的にも再現性が向上した。しかし、地点によってはデータ同化後でも若干の過大・過小評価が見られる。特に福江では、モデルは光学的厚さに対して過大、沈着量は過小という結果になった(ただし、光学的厚さを計測した福江と沈着量を計量した福岡では180kmほどの距離がある)。乾性沈着は地表面付近の黄砂濃度、地上付近の気象(乱流など)が大きく影響する。黄砂濃度に加え、比較的小さなスケールの現象の再現性、乾性沈着過程のより正確なモデル化(パラメタリゼーション)が、乾性沈着量の評価の改善に必要であると考えられる。

一方、湿性沈着はデータ同化後であっても、どの地点でも大幅な過小評価であった。図示しないが、黄砂輸送モデルを駆動する気象モデルによって計算された降水をみていると、観測に比べて過小評価であり、気象モデルの降水の再現性の改善が急務であることがわかった。

- まとめ

本研究では、大気エアロゾル同化システムでリモートセンシングデータを同化し、モデルで予報された黄砂沈着量と地上沈着量測定ネットワークによる観測値の比較を行った。観測データの同化により、モデルの光学的厚さ・乾性沈着量の改善が見られたが、湿性沈着量に関しては大幅に過小評価だった。黄砂の予報精度に加え、気象モデルによる降水分布・強度・タイミングの再現性が湿性沈着量の再現に重要である。今後もさまざまな観測データとデータ同化結果を比較し、モデル・同化システム両者の評価・改良を進めていく予定である。

- 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.

Osada, K. et al.: Wet and dry deposition of mineral dust particles in Japan: factors related to temporal variation and spatial distribution, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 1107-1121, doi:10.5194/acp-14-1107-2014, 2014.

Yumimoto, K., Uno, I., Sugimoto, N., Shimizu, A., Liu, Z., and Winker D.M.: Adjoint inversion modeling of Asian dust emission using lidar observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 2869-2884, 2008.

## 1. 研究の目的

漁業者は操業時の縄や網の状況等を流向・流速で判断しており、広域・高頻度の流況情報の提供を希望している。しかしながら、これまでの流況観測と情報提供は、表層型浮魚礁の定点観測か、月 1 回程度の船舶観測など、時空間的に粗な調査によるものであった。これらの課題を解決すべく、宮崎県水産試験場（以下、宮崎水試）では、2010 年 8 月よりまき網船による日向灘の流況モニタリングを開始した（渡慶次・福田，2012）。しかし、まき網船の操業海域の特徴により、漁場となっている南北方向に連なるフロント構造を捉えるための東西方向の流況データが不足していた（渡慶次ら，2013）。そこで、宮崎水試では、2013 年 12 月に沖合域に設置されている表層型浮魚礁を 1 日でピストン操業する曳縄船に潮流計を設置して、流況モニタリングの体制を強化した。本報では曳縄船による流況観測結果を紹介する。

## 2. 使用したデータ

流向・流速記録は日南市漁協所属の曳縄漁船の船底設置型 ADCP(フルノ製潮流計 CI-88)の海流演算モードで計測した 2013 年 12 月 16 日と 24 日の 3 層(海面下 2m, 35m, 75m) の計測値である。解析では、渡慶次ら(2013)と同様の手法を用いて、クオリティチェックを施した 1 分間の時間平均値を用いた。

流況観測と同日に、海面下 1m の水温連続観測(村山電機製作所製 DS-2NR)と航路上の 5 地点(図 1 ●)で CTD (JFE アドバンテック製 Rinko-Profiler ASTD152) による水温鉛直観測を実施した。

流況観測を実施した海域の海面水温は、2013 年 12 月 15 日から 23 日にかけて、都井岬沖の黒潮離岸に伴って、高温から低温へと変化していた(図 2)。

## 3. 結果

図 3 a で示す 2013 年 12 月 16 日の水深 2m 及び 35m 層の流速ベクトルは、全域で北上流となっており、Sta.1~2 の沿岸側で

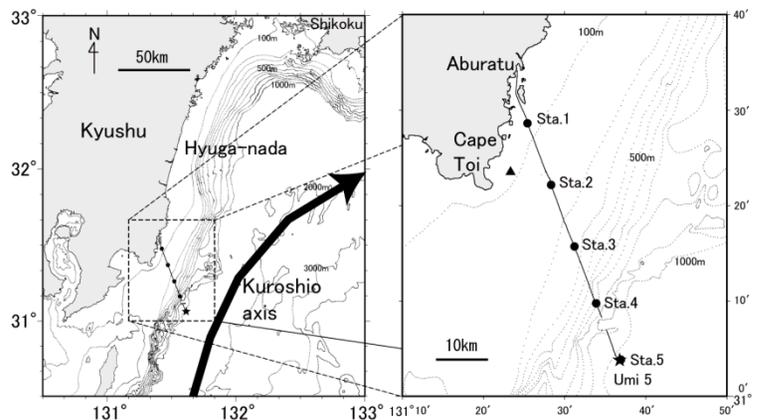


図 1. 曳縄船の航跡(細実線)と水温の鉛直観測地点(●)。★Umi5 は表層型浮魚礁うみさち 5 号の設置位置を、▲は 15 昼夜の流況調査地点をそれぞれ示す。

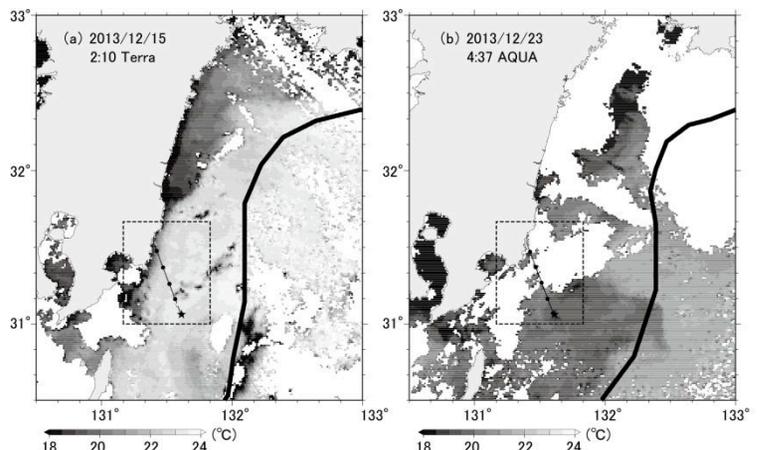


図 2. 2013/12/15 (a) と 2013/12/23(b) に Terra/AQUA 衛星の MODIS センサーにより観測された海面水温。太実線は MIRC の黒潮流軸位置を、空白域は雲によるデータ欠測海域を示し、細実線と●は図 1 と同じ。

流速 1kt 以上と速く、沖合側で遅くなっている。70m 層の流速ベクトルは、2m と 35m 層に比べて流速が遅く、Sta.1 と Sta.3 付近で 2 つのピークが見られる。この時の水温の鉛直断面分布は、等温線が下に凸となっており、暖水渦の存在が伺える。特に Sta.1~3 における水温の水平勾配は大きく、海面から計測水深まで及んでいた。Sta.1 とほぼ同水深に位置する図 1 の▲において潮流振幅が最も大きかった M2 分潮の長軸振幅は 0.2kt 程度である(宮崎県農政水産部漁村振興課, 2013)。したがって、曳縄船が観測した北上流は、潮流成分より大きく、地衡流であったと考えられる。

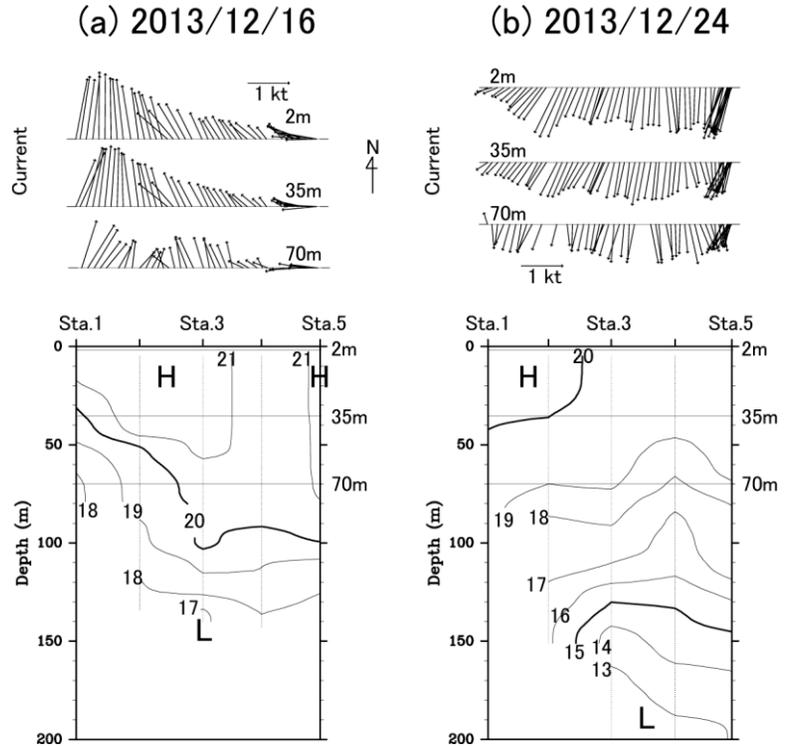


図 3. 2013 年 12 月 16 日 (a) と 2013 年 12 月 24 日 (b) に曳縄船により観測された 3 層の流速ベクトル、水温の鉛直断面分布図。

一方、図 3 b で示す 2013 年 12 月 24 日の 3 層の流速ベクトルは、前回の観測から 8 日しか経過していないにもかかわらず、

全域で 1kt 程度の南下流となっている。この時の水温の鉛直断面分布は等温線が上に凸となっており、黒潮離岸に伴う黒潮内側域の冷水渦(黒潮小蛇行)の一部を捉えていたと考えられる(図 2 b)。

以上の結果から、両観測日に観測された日向灘南部の表層流動場は、主に地衡流で、黒潮離接岸に伴う黒潮内側域の水温構造を反映して変動していたことが明らかになった。今後も流況モニタリングを続けていき、日向灘における流況変動の特性を明らかにするとともに、得られた流況情報を宮崎水試が提供する海況図に反映させていきたい。

#### 4. 成果報告

渡慶次力・林田秀一・福田博文・清水学・市川忠史・柳哲雄 (2013) : 漁船情報を利用した日向灘海況日報の作成と情報提供の試み, 水産海洋研究, 77(4), 299-306.

渡慶次力・福田博文・林田秀一・柳哲雄 (2013) : まき網漁船によりリアルタイム計測された流向・流速データの特徴と有効性, 水産工学, 50 (1), 51-58.

中西健二・渡慶次力 (2013) : 宮崎県における浮魚礁の現状, 水産工学, 49 (3) , 211-213.

#### 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

## 25 AO-14

### 強非線形・強分散表面波・内部波方程式系による水の波の2次元伝播解析

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・分散性が共に強い表面波及び内部波の相互作用の場合に対してそのような結果が得られるかどうか不明である。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、表面波及び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。

昨年度の共同研究により、2次元平面において、内部ソリトン波の干渉による stem の発生が数値解析で確認され、KP理論で示されているような増幅率2以上の内部波が再現された。本年度は、こうした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や、緩やかな勾配上を進行する場合も含めて、研究を進める。

#### 研究の方法

具体的には、2次元平面を伝播する表面波・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、速度ポテンシャルの展開項の鉛直分布関数を適切に選択する必要があるが、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) 多方向表面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) 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。
- (4) 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の stem の形成過程を調べる。

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・強分散表面波・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することに成功した。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。これにより、安定して進行する孤立波形の入射波を与えることが可能となった。そして、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、精度の高いものであることが確認された。

- ・ **研究の目的の (2)** に関して、平面2次元場を対象とし、表面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 が発生した。そして、この stem の増幅率が、従来求められている増幅率と調和的であった。
- ・ **研究の目的の (3)** 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 が発生した。しかしながら、弱非線形理論による解との比較ができたものの、高精度な他の解が実験や数値計算で得られていないため、本研究で得られた解の精度を検証するには、至らなかった。
- ・ 表面孤立波が、緩やかな勾配の斜面上を進行する際の波の増幅に関して、1次元伝播の数値解析を実施した。この実現象としては、緩やかな勾配の海浜に、津波が来襲する場合を挙げることができる。その結果、入射した表面孤立波は、浅水変形により、先鋭で、大きく増幅した波に変形した。ただし、この増幅率は、従来知られている値よりも大きいため、今後、増幅のメカニズムを考察し、分散が正確に再現されているかといった計算精度を検討する必要がある。
- ・ **研究の目的の (4)** に関して、水の波が、曲率を有する壁面において反射する場合の壁境界の条件を考察し、数値モデルに組み込むことができた。任意形状の壁面に対する、本手法の精度検証ができなかったが、平面の壁面に対しては、精度の向上が確認された。

## 研究成果報告

佐藤之信・吉江裕人・中山恵介・柿沼太郎・駒井克昭: 河川津波の進行・発達と河道内における変形に関する解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. 161-165, 2013.

山下 啓・柿沼太郎: 非線形波動方程式系に基づく表面孤立波及び内部孤立波の数値解, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. 6-10, 2013.

Nakayama, K., Kakinuma, T., Tsuji, H., and Oikawa, M.: Nonlinear oblique interaction of large amplitude internal solitary waves, Proc. 33rd Int. Conf. on Coastal Eng., waves. 19, 6 pages, 2013.

Yamashita, K., Kakinuma, T., and Nakayama, K.: Shoaling of nonlinear internal waves on a uniformly sloping beach, Proc. 33rd Int. Conf. on Coastal Eng., waves. 72, 13 pages, 2013.

## 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)  
所属世話人 辻 英一 (九州大学応用力学研究所 地球環境力学部門)

## 化学物理海洋観測から見る東シナ海の水塊構造

富山大学 大学院理工学研究部 張勁

### 目的

これまで東シナ海北東海域における水塊構造の解明を目的とする調査観測が何度も行われてきており、季節変化や鉛直輸送過程の定量等新たな研究課題が見出されている。これらの課題の解明には、観測によって得られる化学データを物理データとリンクさせて解析する必要がある。本研究は、化学及び物理観測によって東シナ海における詳細な水塊解析とその変動を把握し、東シナ海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、九州大学応用力学研究所との共同研究を実施した。

### 観測調査

平成25年度は夏季に、長崎大学附属練習船「長崎丸」を用いて観測航海を実施し、下記の内容を行った。

a). 東シナ海陸棚域において各層海水試料の採取を広域で実施し、栄養塩等のルーチン分析・酸素水素同位体組成などの化学分析データに、水温・塩分・栄養塩センサー等の観測に加え、さらに漂流ブイ観測および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。

b). 表層堆積物・間隙水試料と同時に懸濁粒子の採取を試み、海水中栄養塩分布との関連を明らかにした。また、中国海洋大学研究船「東方紅」2号を利用し、中国側との同時期連携観測に成功した。クロスステーションを設け、各々の観測船で物理・化学・生物の観測データを収集し、それらの比較・同化を試みた。

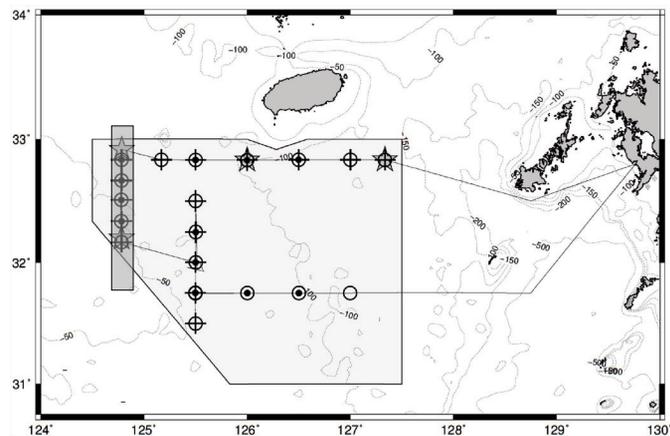


図1. 試料採取地点(長崎丸 NN376 次航海)

### 結果・考察と今後の展望

試料採取地点を図1(○:採水, +:乱流観測, ・: PRR, ☆: 採泥, 灰色部: 韓国 EEZ)に、また、観測海域西端(図1の黒帯部分)の溶存酸素濃度の断面を図2に示している。

図2の北緯32.2度付近水深40mから底層にかけて溶存酸素濃度が20%低い水塊が観測された。この水

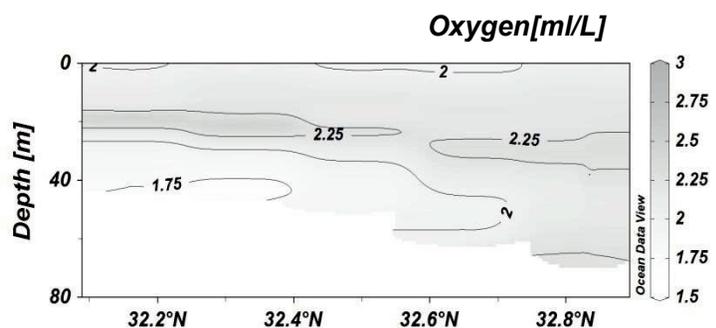


図2. 溶存酸素濃度断面図

塊の塩分は 31 PSU 前後であり、長江希釈水であると考えられる。この低い酸素濃度は上層に存在するクロロフィルによって生産された有機物が、沈降・分解される過程で酸素が消費されて形成されたと考えられる。今後、異なる栄養塩類の供給源および輸送状況に合わせ、低酸素水の時空間的分布と動態をモニタリングする予定である。

上述のように、本航海では韓国の排他的経済水域内において中国海洋大学の研究観測船「東方紅」2号との連携観測を実施した。この観測では、漂流ブイの追跡観測を24時間連携して行い、同じ水塊に対する2隻でのCTD観測及び採水に成功している。連携観測の結果として、双方のセンサー値の比較および校正を行うことができ、今後は中国側のデータと併せて広域・総合的な調査観測が期待できる。

さらに、2003年・2004年の陸棚縁辺の観測結果と2009～2011年の東シナ海外部陸棚域北部の観測結果を使用し、クロロフィル極大層の分布について検証・解析を行った。その結果、各航海においてクロロフィル極大層は水深10mから40mに分布し、クロロフィル極大層の分布はリン酸、硝酸や亜硝酸等の栄養塩の躍層に対応していることから、東シナ海における夏季の植物プランクトンの分布は栄養塩に支配されていることが確認された。

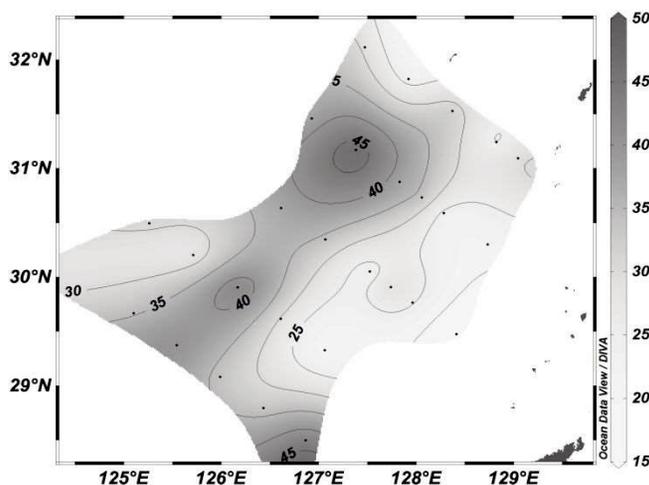


図3. クロロフィル積算値(mg/m<sup>2</sup>)の水平分布

観測毎に単位面積あたりのクロロフィル鉛直積算値を算出・比較したところ、①対象海域全域においてクロロフィル総量の変動は約1割程度となった。また、2003年・2004年の陸棚縁辺部を含む観測では、②陸棚斜面域に対して陸棚上の積算値が2割程度大きい、③黒潮域においても陸棚上の8割程度のクロロフィル量が存在していることが分かった。以上のことから、夏季の本海域におけるクロロフィル極大層の形成に寄与する栄養塩供給が安定していることが示唆された。今後は、水塊解析を進め、区分ごとにおける栄養塩供給状況や動態の把握、鉛直フラックスの精査などを進める。

### 研究実績

K. Jiang, J. Zhang, Nutrient flux at the sediment - water interface in the northern East China Sea and its impact on the marine environment. The 17th PAMS Meeting, 23-25 Apr. 2013, Hangzhou, China

Y. Fujishiro, J. Zhang, T. Matsuno, J. Ishizaka, Primary productivity and distribution of nutrients concentration in last 10 years in the northern East China Sea. The 17th PAMS Meeting, 23-25 Apr. 2013, Hangzhou, China

## 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

開発中のグライダー型水中ビークルは、プロペラやスラスタ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ため、省エネルギー性や静粛性に優れ、海洋の長時間連続観測に適していると考えられる。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求められるが、スラスタを持たないグライダー型水中ビークルの場合、特に滑空速度の遅い初期の状態において、機体形状の非対称性や重心の僅かな変動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、ビークルの投入から定常状態に至る初期滑空状態における機体の運動制御方法について調査した。

## 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写真を図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。図3に示すように浮力調節装置は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駆動して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心位置を変化させ、機体の水中重量と姿勢を制御することが可能となる。

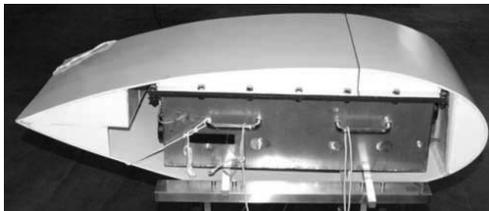


図1 グライダー型海中ビークル

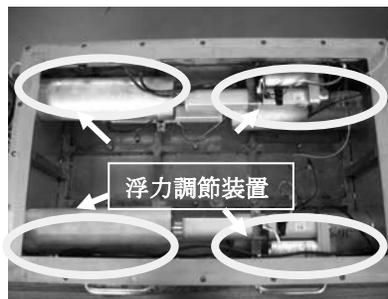


図2 機体内部構造

表1 機体主要目

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

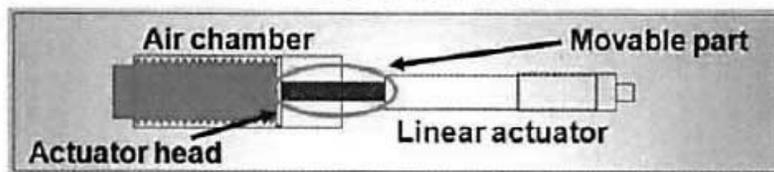


図3 浮力調節装置構造図

## 3. 機体運動制御系

ビークルが海中に投入されると、機体は水中重量とトリム・ヒール角の自動調整を開始する。その後、計画された定常滑空状態へと移行することとなるが、海中投入から定常滑空状態までの間は機体の前進速度が小さく、機体運動が不安定となることが懸念される。ここでは、この初期滑空状態における機体

の安定性を確保するために自律制御系を開発し、その有効性について調査した。

浮力調節装置を用いた機体の水中重量と姿勢の制御には、PD 制御方式を採用した。各浮力調節装置のアクチュエータヘッドの制御量を、機体深度、ロール角、ピッチ角をフィードバックすることで決定する。

#### 4. 初期滑空状態のシミュレーション計算

開発された制御系に基づき、機体が水中に投入されてから定常滑空状態に移行するまでの初期滑空状態について数値シミュレーション計算を実施した。計算開始時には、すべての浮力調節装置のアクチュエータヘッドが基準位置にあるものとし、トリム 3.0 度、ヒール 3.0 度を初期条件として与える。水中重量を中性浮量、ヒール、トリム角を 0 度とするために、機体深度の目標値として 0.5m を与え、ロール角とピッチ角の目標値は共に 0 度とする。次に、これらの自動調節終了後、定常滑空状態へ移行するため深度目標値として 12.0m と 0.5m をそれぞれの時刻に与えている。この時の機体ピッチ角の時刻歴を図 4 に示す。計算開始後 50 秒で潜降を開始しピッチ角は約 4 度の機種下げとなる。計算開始後 100 秒からは浮上に移行しピッチ角の最大値は約 3 度の機首上げとなる。図 5 には機体深度の時刻歴を示す。本計算条件においては 50 秒間で約 7m 潜降し、その後 50 秒間で約 4m 安定に浮上することが確認された。

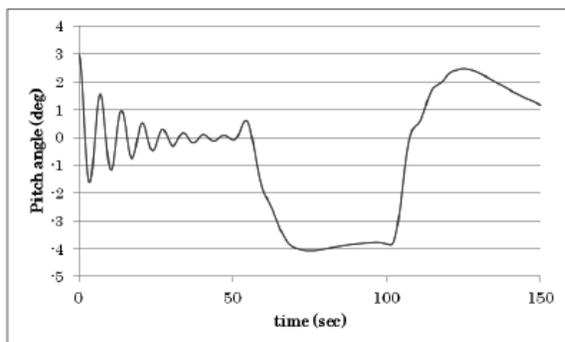


図 4 ピッチ角の時刻歴

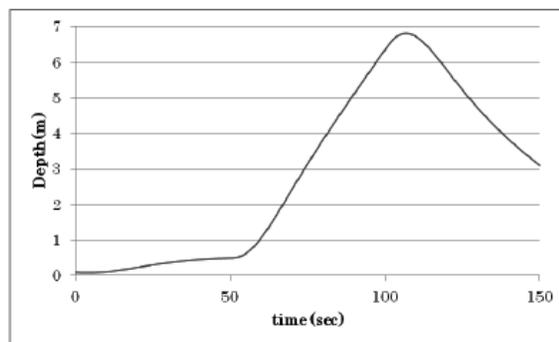


図 5 機体深度の時刻歴

#### 5. 水槽試験

開発された初期滑空状態用運動制御系の有効性を検討するために、水槽試験を実施した。ここでは、運動計測用センサーの調整とその記録システムの試験を行い、グライダー型海中ビークルの運動計測方法について検討した。

#### 6. まとめ

グライダー型水中ビークルの初期滑空状態における機体運動の安定性の確保と定常滑空状態への速やかな移行を目的として、運動制御系を開発しその有効性を数値シミュレーションにより調査した。その結果、設計された制御系により機体投入後約 50 秒で水中重量と姿勢が安定することを確認した。さらに、自動調節後の定常滑空状態への移行についても調査し、設計された制御系に目標深度を適宜与えることにより安定した滑空運動が得られることを確認した。また、今後実施予定の運動性能試験のために、グライダー型海中ビークルの運動計測手法について調査を実施した。

## 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

応用力学研究所の黄砂研究グループは、世界的に見てもアクティブに研究を進める研究グループの一つであり、モデル研究と平行して、3波長のレーザーレーダーを導入して黄砂と大気汚染粒子の同時計測を開始している。福岡は特にアジア起源の黄砂・大気汚染の影響が深刻な地域であり、応力研グループによる数値モデルと観測データを統合した解析や、多波長データ同化による黄砂の粒径分布の推定は、今だ十分に明らかにされていない大気中黄砂の物理特性に関する科学的ブレークスルーをもたらすとして、国内外から大きく期待されている。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1月9日（木）～10日（金）

場 所：九州大学応用力学研究所 9日：6階セミナー室 W601 10日：2階会議室

### 3. 研究成果

研究集会では黄砂研究の第一人者から若手の研究者まで幅広い専門家が数多く集まり、20題の講演発表があった。関係者を含めると40名程度の参加があった。資料1に研究集会プログラム、資料2に研究会の様子(写真)を掲載する。各方面の専門家の立場から黄砂研究の最前線と今後の研究課題が示され、講演発表後の質疑応答や懇親会にて現状の黄砂研究の問題点やコミュニティ内でのリンクの可能性などについて活発な議論がなされた。

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 1 月 9 日（木）～10 日（金）\* 9 日の夜懇親会を行います

場 所：九州大学応用力学研究所

9 日：6 階セミナー室 W601

10 日：2 階会議室

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

1 月 9 日(木)

13:00-13:10 はじめに

13:10-13:28 原 由香里 (九大・応力研) ダストイベント毎の粒径分布の差異に関する研究

13:28-13:46 長田 和雄 (名大・環境) 沈着ダストの粒径分布

13:46-14:04 弓本 桂也 (気象研) 粒径分布を考慮した発生量逆推定

14:04-14:22 青木 一真 (富山大・理工) 太陽放射観測から得られる風送ダストの光学的特性

14:22-14:40 神慶孝 (名大院環境) 衛星ライダーを用いたダストの光学特性の推定に及ぼす  
雲-エアロゾル誤判別の影響

14:40-14:58 植松 光夫 (東大・海洋研・東理大) 北太平洋上に飛来した黄砂

14:58-15:15 休憩

15:15-15:33 福島 聡 (熊本県大・環境共生) 熊本県天草で採取された黄砂粒子とすす粒子の  
混合状態の観察

15:33-15:51 井上 淳 (大阪市大・理) 球状炭化粒子の元素組成による発生域推定

15:51-16:09 宮本 知治 (九大・理) 北部九州脊振山頂にて採取された降下風送塵の化学組成  
～その季節変化と経年変化～

16:09-16:27 長島 佳菜 (JAMSTEC) 個別石英粒子のカソードルミネッセンス分析に基づく  
ダスト供給源推定

16:27-16:45 清水 厚 (国環研) ライダーで見た黄砂イベントと PM2.5 全国分布との関係

16:45-17:00 1 日目の総合討論

1 月 10 日(金)

09:00-09:18 三上 正男 (気象研) 黄砂に関する WMO SDS-WAS および TEMM DSS 計画の  
現状と課題

09:18-09:36 石塚 正秀 (香川大) 風送ダスト発生メカニズムの機構解明に関する観測的研究

09:36-09:54 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

09:54-10:12 村田 浩太郎 (熊本県大・環境共生) 熊本における黄砂時と非黄砂時の空气中浮遊  
細菌の観測

10:12-10:30 休憩

10:30-10:48 J.Y. Kang, T.Y. Tanaka○, M. Mikami (気象研) 残留した枯れ草がダスト発生  
に及ぼす影響の数値実験

10:48-11:06 小林 拓 (山梨大・生命環境) 組成別エアロゾルモニターとしての偏光 OPC の  
評価

11:06-11:24 杉本伸夫 (国環研) 偏光 OPC と 2 波長+偏光ライダーによる黄砂と大気汚染エ  
アロゾルの内部混合の推定

11:24-11:42 鶴野 伊津志 (九大・応力研) 九大応力研鶴野研究室での PM2.5 とダスト研究の  
最前線の紹介

11:42-12:00 西川 雅高 (東理大) 北京の PM2.5—温故知新的紹介—

12:00-12:30 総合討論とまとめ

資料 2





## 非線形波動研究の拡がり

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。特に、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、微分幾何学、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拡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。

### 成果の概要

本研究集会は、平成 25 年 10 月 31 日から 11 月 2 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 25 件（口頭発表 15 件およびポスター発表 10 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、流体现象からの話題として、

- 回転球面上の 2 次元 Navier-Stokes 流の分岐構造

という講演が行われ、帯状流の分岐構造や、高レイノルズ数流れと不安定解の関係について最新の知見が紹介された。また、反応拡散モデルの話題として、

- Theta logistic モデルを伴った Fisher 方程式の解の分岐について

という講演が行われた。生物種の分布を表す Fisher 方程式の遺伝子選択部分に Theta logistic モデルを適用した場合の解の分岐について、詳細な解説があった。さらに、カオス力学系に関する話題から、

- 非双曲力学系の不安定周期軌道解析

という講演が行われた。これらの内容は、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、ソリトンとその相互作用に関するものから、反応拡散系やパターン形成、種々のセル・オートマトン系に関する興味深い性質、交通流や生産ラインにおける組み立てプロセスといった工学的な話題、離散曲線の幾何学に関するものまで、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。

### 講演プログラムと概要

11 月 1 日 (木)

13:30~14:00 **空間離散曲線の等周変形と離散  $K$  曲面**  
井ノ口順一 (山形大理), 梶原健司 (九大 IMI), 〇松浦望 (福岡大理), 太田泰広 (神戸大理)  
離散曲線の離散時間発展について最近分かったことを報告する。とくに定振率な空間離散曲線を、離散 mKdV 方程式あるいは離散 sine-Gordon 方程式をもちいて等周変形することにより、離散的な負の定曲率曲面が構成できることを述べる。

14:00~14:30 **変形 KdV 階層による平面曲線の運動と戸田階層**  
〇寛三郎 (立教大理), 梶原健司 (九大 IMI)  
井ノ口らは、変形 KdV 方程式による平面曲線の運動に関する明示公式を与えた。本講演では、Goldstein-Petrich が導入した、変形 KdV 階層の高次方程式による運動も含めた明示公式を与え、リー代数的意味も議論する。

14:45~15:45 **回転球面上の 2 次元 Navier-Stokes 流の分岐構造**  
佐々木英一 (京大情報)  
惑星大気には東西方向の強いジェット流が存在し、帯状流と呼ばれる。回転球面上の 2 次元 Navier-Stokes 流は惑星大気の最も単純なモデルの一つとして注目を集めてきた。本講演ではこのモデルにおける帯状流の分岐構造、並びに高レイノルズ数流れと不安定解の関係について議論する。なお本研究は京都大学数理解析研究所の竹広真一氏、山田道夫氏との共同研究である。

16:00~16:30 **非可換インスタントンの ADHM 構成法**  
〇浜中真志 (名古屋大多元), 中津了勇 (摂南大理工)  
非可換空間上のインスタントンの ADHM 構成法について議論する。厳密解構成とモジュライ空間の特異点解消を説明したのち、この文脈で要となる公式を用いて非可換インスタントン数 (特に  $U(1)$  の場合) の起源を明らかにする。

16:30~17:00 **超離散 sine-Gordon 方程式におけるソリトンの相互作用**  
〇 Ralph Willox (東大数理), Basil Grammaticos (パリ第 7 大学), Alfred Ramani (エコール・ポリテクニク)  
超離散 sine-Gordon (sG) 方程式には、ソリトンの分裂と融合のような現象が存在することは約 15 年前から知られているが、超離散極限等の普段に用いられている数学的手法では、厳密解がうまく構成できず、ソリトン現象の分析は困難である。本講演では、離散 sG 方程式と離散 KdV 方程式を結ぶ Miura 変換に基づき、超離散 sG 方程式のソリトン相互作用を完全に記述するための手法を紹介する。

17:00~17:30 **質量を交換しながら相互作用する 2 粒子**  
角島浩 (富山大工)  
ソリトン相互作用と類似した質量交換を伴う 2 粒子系を考察する。

11 月 2 日 (金)

10:00~10:30 **離散 Gray-Scott モデルの解の収束について**  
松家敬介 (東大数理)  
Gray-Scott モデルは、解に様々な時空パターンを与える 2 変数反応拡散系として知られている。村田実貴生氏との共同研究により、時空パターンを保存した離散化及び超離散化が得られた。本講演では、連続系と離散系の解の対応を見るために、離散 Gray-Scott モデルの解の収束について議論する。

10:30~11:00 **超離散反応拡散方程式における多次元進行波**  
村田実貴生 (農工大工)  
反応拡散方程式に正值性を保つ離散化と超離散化を適用することで、系統的に超離散方程式を構成することが可能である。今講演では、その手法で得られた超離散反応拡散方程式に見られる多次元進行波について報告する。

11:10~12:10 **Theta logistic モデルを伴った Fisher 方程式の解の分岐について**

野原勉 (東京都市大知識工)

R. A. Fisher はある種の生息地が海岸線のようにまっすぐ延び、一様分布している種の人口分布モデルをつぎのように考えた。もし、どこかの場所で交配の結果優勢遺伝子を持つ種が突然変異で起きたとする。この優勢遺伝子種は対立劣勢遺伝子種の生息地を犠牲にしてその個体数を増加させることが予想される。優勢遺伝子種は突然変異の起きた近くでまず最初にその個体数を増加させるが、近接する周りの領域へ徐々に広がりつつ増加していく。優勢遺伝子をもつ子孫の生息場所の領域が両親の生息場所との距離より大きくなったと仮定すると、優勢遺伝子群の増加は海岸線を伝搬する波のようになる。この進行波を考えると最も簡単な条件を課すと「遺伝子選択モデル」を得る。このモデルにおいては、優勢遺伝子の発生頻度が 0 でない限り時間極限においてそれは 1 に収束する。すなわち、遺伝子選択モデルは対立劣勢遺伝子を排除してしまう。そこで Fisher は遺伝子選択モデルと拡散モデルを合成した反応拡散モデル (Fisher 方程式あるいは KPP 方程式) を考えた。このモデルにおいては、優勢遺伝子の存在確率は時間定常解として 0 にも 1 にもなり得る。以後おおくの研究者がこのモデルを解析したが、Kolmogorov らは特に進行波解についてどのような初期条件が進行波解を形成するのかあるいは、その速度はいくらになるのかという問題に取り組んだ。本稿においては Fisher 方程式の遺伝子選択部分に Theta logistic モデルを適用し、その解の分岐現象について解説する。

参考文献：応用微分方程式講義, 野原勉, 東京大学出版会, 2013

13:30~14:00  **$R_{II}$  格子と非自励離散 mKdV 方程式**

○前田一貴 (京大情報), 辻本諭 (京大情報)

モニック対称  $R_{II}$  多項式のスペクトル変換の両立条件として、非自励離散 mKdV 方程式が導出されることを示す。このことを用いて、モニック型  $R_{II}$  格子と非自励離散 mKdV 方程式の間の Miura 変換を与える。さらに、半無限格子境界条件の場合の解 (分子解) も Hankel 行列式を用いて与える。

14:00~14:30 **ローラン双直交多項式とアステカダイヤモンド定理**

上岡修平 (京大情報)

アステカダイヤモンドのドミノタイリングに関する Elkies, Kuperberg, Larsen, Propp (1992) の定理に対して Laurent 双直交多項式を用いた新しい証明を与える。

14:50~15:20 **B 型箱玉系の混合解について**

長井秀友 (東海大理)

本発表では超離散 KdV 方程式のソリトン解と超離散戸田タイプのソリトン解を持つ B 型の超離散ソリトン方程式について、これら 2 種のソリトン解が混在した厳密解について紹介する。

15:20~15:50 **有限体上における箱玉系と類似したソリトン方程式について**

由良文孝 (はこだて未来大)

「デジタル化」された可積分系として、箱玉系は活発に研究されてきた。超離散化を通して得られた知見をもとに、箱玉系の類似を有限体上で考察して得られたソリトン系とその解について調べる。

11 月 3 日 (土)

10:00~10:30 **符号付き超離散第六パウルヴェ方程式**

竹村剛一 (中央大理工)

$q$  差分第六パウルヴェ方程式を基にして符号付き超離散第六パウルヴェ方程式を導出する。解の様子についても解説する。本講演は筒井栄光 (2012 年度修士) との共同研究による。

10:30~11:00 **線形波動方程式の超離散極限と幾何音響学の高周波近似に関する考察**

儀保伸吾 (九大芸術工)

幾何音響学では音波を高周波近似で扱うため、音波を粒子のように扱う (音線)。一方、音波の伝播を記述する線形波動方程式を超離散化すると、超離散戸田格子方程式になり、その解は粒子的に振る舞う。本講演では、高周波近似と超離散極限との類似性から両者の対応を考察する。

- 11:10~12:10 **非双曲力学系の不安定周期軌道解析**  
 齊木吉隆 (一橋大商)  
 カオス力学系には一般に無限個の不安定周期軌道が埋め込まれている。しかし、不安定周期軌道はその不安定性ゆえに数値的にも検出に困難を伴うため、これまでに十分調べられているとは言えない。また、双曲性の破れた力学系に関する研究も発展段階である。本講演では、まず、カオス力学系の不安定周期軌道に関するいくつかの基本的性質を紹介する。その後、系のパラメタ変化に伴う非双曲構造 (安定多様体と不安定多様体の Tangency) の発生と不安定周期軌道の関連をリアプノフ解析を用いて議論する。また、非双曲力学系が生み出すカオス軌道統計量を不安定周期軌道の不安定性ならびに双曲性の度合いを用いて特徴づける試みを紹介したい。
- 13:30~14:00 **楕円・超楕円関数に対するソリトン理論的アプローチ**  
 ○松島正知 (同社生命医), 岡本沙紀 (同社生命医), 大宮眞弓 (同社生命医)  
 楕円関数に対する Weierstrass 標準形を定常 KdV 方程式の包含的な第一積分を用いて複素解析を用いずに代数的に構成する方法, および, この類推として, 種数が 2 の超楕円関数に対する標準形を高階定常 KdV 方程式の第一積分を用いて同様に構成する方法について報告する。
- 14:00~14:30 **特異点閉じ込めと三角圏の射影分解**  
 ○弓林司 (首都大理工), 齋藤暁 (首都大理工), 脇本佑紀 (首都大理工)  
 我々は以前広田三輪方程式に八面体構造を見出した。本発表ではこれを押し進め、広田三輪方程式の三角圏構造をより厳密に扱い、更にその局所化 (~写像化) を扱った。特に、この局所化と特異点閉じ込めを通して、 $\tau$  関数の不定点集合が射影分解され不変周期点多様体の列と同一視される事を見出した。最終的には本研究を通して圏論的な可積分性についても言及したい。

## ポスターセッション概要

- (1) **周期離散戸田格子の幾何学的実現とトロピカル化**  
 野邊厚 (千葉大)  
 周期離散戸田格子の時間発展を超楕円曲線と他の平面曲線との交叉を用いて幾何学的に実現する。また、それらをトロピカル化することで、周期箱玉系の時間発展を幾何学的に実現する。
- (2) **超離散 KP 階層 (の簡単な場合) の解およびその簡約について**  
 中田庸一 (東大)  
 離散 KP 階層 (の簡単な場合) の超離散類似について解の再帰的表示を提出した。また表示の起点となる解のクラスを提出し、ある超離散ソリトン方程式の両立条件について議論を行った。
- (3) **箱に番号が付いた新しい箱玉系について**  
 ○柿崎苑美 (東京理科大), 福田亜希子 (東京理科大), 石渡恵美子 (東京理科大), 山本有作 (神戸大), 岩崎雅史 (京都府大), 中村佳正 (京大)  
 箱玉系の拡張の 1 つとして、箱に番号が付いた箱玉系を報告する。この新しい箱玉系を、既知の箱玉系と対応付けるためのベックルント変換を導出する。また、ベックルント変換を利用して、新しい箱玉系の保存量を明らかにする。
- (4) **パターン生成 CA の方程式と解について**  
 新田真奈美 (早稲田大), 高橋大輔 (早稲田大)  
 セルオートマトン (CA) には、特徴的なパターンを示す解を持つものが数多く存在する。max-plus 系あるいは束の演算を用いて、その生成メカニズムを方程式の解の視点から議論し、どのようなパターン生成 CA が存在するかを検証する。
- (5) **4 つの確率変数を含む統合確率粒子系**  
 ○木村俊之 (早稲田大), 高橋大輔 (早稲田大)  
 複数の粒子が確率規則に従って一次元的に移動する系は、ASEP や交通流モデルなど理論・応用の両面で興味深い研究の対象となっている。本ポスターでは、以前に報告された 4 つの可解な確率粒子系を統合したモデルとその解析結果を発表する。

- (6) **セルオートマトンを用いた信号機のある交通流の解析**  
○伊藤秀剛（東大），西成活裕（東大）  
現在、信号機は定性的かつ経験的な知識に頼り制御されている。本研究では、セルオートマトンの近似的な解や、シミュレーション結果を用いることで、信号機の青の最適な長さの定量的評価を行った。
- (7) **粒子排他過程としての組立プロセス**  
○江崎貴裕（東大），西成活裕（東大）  
生産ラインにおける組立のプロセスをある確率過程によって排他粒子の流れとしてモデル化した。このモデルにより、在庫の分布が自発的に非対称になる等の興味深い現象を発見した。
- (8) **群集中の退出経路の形成について**  
○石川晴基（東大），江崎貴裕（東大），柳澤大地（茨城大），西成活裕（東大）  
本研究では、群集の一定の割合が部屋に留まり残りが退出する現象を解析した。初期密度と残留割合を変化させてフロアフィールドモデルを用いてシミュレーションを行い、退出経路のパフォーマンスによって、退出時間および群集の分布に特徴的なパターンを見た。
- (9) **ドメイン壁境界条件下での対称性付き 6 頂点模型の分配関数とタウ関数**  
○渡邊拓弥（立教大），笈三郎（立教大）  
Foda, 高崎らにより、ドメイン壁境界条件下での 6 頂点模型に対する分配関数は、KP 階層のタウ関数の構造が隠れていることが指摘されている。今回は、対称性を加えた場合においても、同様のことが成り立つかを考察する。
- (10) **6 角形領域における菱形タイリングの分配関数とタウ関数**  
○田村律（立教大），笈三郎（立教大）  
6 角形領域における菱形タイリングの分配関数は、Hahn アンサンブルに対する行列積分で表されることが、Johanson によって示されている。その分配関数と離散戸田方程式のタウ関数との関係について議論する。

**開催の期間** 平成 25 年 10 月 31 日 ~ 平成 25 年 11 月 2 日

**参加者** 62 名



## 「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)

2013年12月19日から20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台の講演があった(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。

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

今後とも、観測データに基づいたモニタリングやモニタリング結果を活用した様々な手法により、日本周辺海域の海況・波浪の研究に携わる研究者・関係者が一堂に会する集会になることを期待する。最後に、本研究集会の開催を承諾して頂いた九州大学応用力学研究所、集会を開催するにあたりお世話いただいた東アジア海洋大気環境研究センターの広瀬直毅教授をはじめとする関係各位に深甚なる謝意を表す。

プログラム

期間: 平成25年12月19日(木) - 20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>

----- 12/19(木) -----

13:30-13:40 趣旨説明

13:40-14:05

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ついて  
石崎士郎(気象庁)

14:05-14:30

複数の海洋データ同化モデルから推定した主要海峡通過流の季節変化  
韓修妍(九大総理工)、広瀬直毅(九大応力研)

14:30-14:55

山口県北西沖海域における水温の長期変化  
渡辺俊輝(山口水研セ)、千手智晴(九大応力研)、種子田雄(西水研)

14:55-15:20

日本海の海面水温が冬季の気候に及ぼす影響  
力石國男(ノースアジア大学総合研究所)

15:20-15:35

休憩

15:35-16:00

風波と規則波を加えたケースの、波と流れの相互作用について  
水野信二郎

16:00-16:25

能登半島周辺海域における流れの季節変動特性

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

16:25-16:50

佐渡島周辺における沿岸捕捉波の南北風との共鳴による増幅  
井桁庸介・山崎恵市・渡邊達郎（水研セ日水研）

16:50-17:15

山陰～京都府沿岸において台風 1216 号通過後に発生した急潮に伴う流速変動  
山崎恵市・北出裕二郎(海洋大院)・井桁庸介・渡邊達郎(水研セ日水研)・太田太郎(鳥取水試)・熊木豊(京都海洋セ)

12/19 講演終了後 懇親会

----- 12/20(金) -----

09:00-09:25

気象庁海洋観測定線東シナ海 PN 線の長期変化  
村上 潔（気象庁海洋気象課）

09:25-09:50

海面気圧変動に対する黄海\*東シナ海の順圧応答  
姜 分順（九大応力研）、広瀬 直毅（九大応力研）

09:50-10:15

東シナ海の黒潮が大気に及ぼす影響  
万田敦昌（長崎大学院水産・環境）

10:15-10:30

休憩

10:30-10:55

海洋表層境界層における流動場の水平構造の観測

吉川裕（京大理）、油布圭（九大応力研）、鬼塚剛（中水研）、紫加田知幸（中水研）、木元克則（西水研）

**10:55-11:20**

発表タイトル：短波放射の日周変動に対する大気・海洋結合境界層の応答  
窪田雅也（九大応力研）、吉川 裕（京大理）

**11:20-11:50**

総合討論

## 25 AO-S4

# 壁乱流における大規模構造の統計法則と動力学に果たす役割

研究代表者・辻 義之（名古屋大学）

## 1 研究集会の開催目的

壁面に沿って発達する流れ（乱流境界層）には、様々な長さスケールを有する渦構造（組織的構造）が存在することが古くから知られ、境界層中の乱れエネルギーの生成や散逸に重要な役割をはたしている。近年、直接数値計算（DNS）の結果から、スパン方向へ時空間的に揺らぎながら、流れ方向へ $20\delta$ （ $\delta$ は境界層厚さ）程度の大きさをもつ構造が対数領域から粘性低層に存在することが、豪州の研究グループにより報告されている。このようなスパン方向への運動を含み、流れ方向へ大きなスケールを持つ構造は、従来の組織構造の概念を超えるものでSuper Structure（SSと略記する）と名付けられた。SSは乱流境界層中の平均速度プロファイルのみならず、運動量やエネルギーの輸送にも大きな影響を与えることが予想される。SSと乱流統計量、その動力学は明らかになっておらず、広い分野の研究者らの活発な議論をおこないたい。SSは壁との相互作用から壁面でのせん断応力生成への関与も指摘されている。その過程を明らかにすることから、壁面でのせん断応力の低減方法について考察する。壁乱流は、大気海洋などの広範な分野にみられ、抵抗低減など省エネに関する応用研究へも発展が期待される。応用力学研究所における異分野研究の相互の利点を生かした研究を実施することは意義あることと考えられる。

## 2 プログラム

2月22日（土）

13:00-13:45 乱流遷移領域に見られる大規模間欠構造について

福留功二（立命館大理工），刺刀一匡，大上芳文

13:45-14:30 超音速境界層の遷移初期段階における流入攪乱スペクトルの影響

渡辺大輔（富山大理工）

14:45-15:30 壁面進行波状プレテターミンド制御による乱流摩擦抵抗低減及び再層流化現象

守 裕也（東京農工大），岩本 薫，村田 章

15:30-16:15 乱れのダイナミクスにおける大規模構造の役割

水野吉規（同志社大理工）

16:30-17:15 高レイノルズ数チャンネル乱流場における大規模構造の影響と寄与

山本義暢（山梨大医工総合），辻 義之

2月23日（日）

9:00- 9:45 機能性塗料を用いた抵抗低減効果

高木洋平（阪大基礎工），中本真義，山本 功

9:45-10:30 高レイノルズ数実流試験設備と管摩擦係数

古市紀之（産総研），寺尾吉哉

10:45-11:30 乱流のラテラルコンタミネーションの臨界条件について

稲澤 歩（首都大），浅井雅人

11:30-12:15 一様剪断乱流における自己維持過程とバースト現象

関本 敦（マドリード工科大），Siwei Dong, Javier Jimenez

12:15-12:30 総合討論

### 3 講演内容の概要

乱流遷移領域に見られる大規模間欠構造について  
福留功二, 刺刀一匡, 大上芳文

乱流遷移域に見られる大規模間欠構造についてその構造とダイナミクスを議論する。特に、レイノルズ数効果と大規模間欠構造の角度の影響を述べる。また、実験における結果も報告する。

超音速境界層の遷移初期段階における流入攪乱スペクトルの影響  
渡辺大輔

M2.5の超音速境界層において、主流乱れの影響を非定常空間発展DNSの実行により調べた。上流で与える攪乱の振幅およびエネルギースペクトルの分布がストリーク構造形成に及ぼす影響についての研究結果を紹介する。

壁面進行波状プレデターミンド制御による乱流摩擦抵抗低減及び再層流化現象  
守裕也, 岩本薫, 村田章

乱流摩擦抵抗は層流に比べ著しく増大することが知られており、これを低減する手法の開発は工学的には輸送コストの削減などに大きな貢献ができると期待されている。本研究では抵抗低減制御の一つである壁面進行波状制御について注目する。この制御はセンサを必要としないプレデターミンド制御手法の一つであり、大きな摩擦抵抗低減効果を有する。近年では摩擦抵抗低減のみならず乱流を層流化させることも報告されており、本講演では制御効果及びその流れ場の詳細について述べる。

乱れのダイナミクスにおける大規模構造の役割  
水野吉規

壁乱流において流れ方向に長大な乱れの構造が現れることは非常によく知られている。これら大規模構造の時間・空間スケールは、乱れの活発なスケールからかけ離れており、レイノルズ応力への寄与はほとんどない。しかしながら、これら大規模構造は、レイノルズ応力を担う乱れを誘起するせん断場を与える背景場の役割を持っており、乱れのダイナミクスにおける役割は必ずしも無視できるものではないと考えられる。本研究では、同時に実行される2つのチャンネル乱流の数値計算に対して、一方の一部の情報を

他方に定期的にコピーするデータ同化を行うことで、大規模構造の動的な役割を検証する試みを行った。

高レイノルズ数チャンネル乱流場における大規模構造の影響と寄与  
山本義暢, 辻義之

高レイノルズ数チャンネル乱流場のDNS結果に基づき、大規模構造の影響を調べた。これまで報告されているレイノルズ数域を上回る条件下における、PMS及び2点間相関係数とその可視化結果を示す。また、DNSデータベースを用いてフィルタを施し、4象限解析における大規模構造の役割を検討するとともに、LESにおける再現性、スマゴリン係数のレイノルズ数効果について言及する。

機能性塗料を用いた抵抗低減効果  
高木洋平, 中本真義, 山本功

従来防汚性を重視していた船底塗料に新たな機能を付加し、粘性摩擦抵抗を減らす省エネルギー技術が注目されている。しかし、その抵抗低減メカニズムについては未解明な部分が多く、最適な材料及び塗装技術は求められていない。本講演では機能性塗料による摩擦抵抗低減効果を解明するために行った壁乱流の直接数値計算結果を中心に議論を行う。

高レイノルズ数実流試験設備と管摩擦係数  
古市紀之, 寺尾吉哉

産業技術総合研究所における高レイノルズ数実流試験設備を用い、10の7乗を超えるレイノルズ数域において、高精度な管摩擦係数の実測試験を実施した。設備を紹介するとともに、その実験結果を発表する。

乱流のラテラルコンタミネーションの臨界条件について  
稲澤歩, 浅井雅人

平板境界層における乱流くさびの拡がり(ラテラルコンタミネーション)の開始の条件について風洞実験により調べた結果を発表する。

一様剪断乱流における自己維持過程とバースト現象  
関本 敦, Siwei Dong, Javier Jimenez  
一様剪断乱流のシミュレーションを長時間行うと, 発  
達した乱流場は計算領域の拘束を受けているものの,  
壁乱流と同様に準周期的なバースト現象が観測でき,  
その統計量は壁乱流の対数領域のものによく一致す

る. この乱流は大スケール運動が計算領域による拘  
束を受けるという意味でミニマル乱流である. 本研  
究では, ニュートン法を用いて求めた不安定周期解  
を詳しく調べ, 一様剪断乱流の自己維持課程やバー  
スト現象との関連性について議論する.

## 4 開催日程, 場所

開催日程 2014年2月22日(土) - 23日(日)

開催場所 九州大学応用力学研究所西棟6階多目的研究交流室(W601号室)

講演数 9件

参加者数 18人



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、沿岸海域を継続的に時空間分解能の高い広域モニタリングを実施することが可能である。この利点を生かして、海洋環境の把握や防災への活用、海運水産業への貢献が期待されている。

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 年度から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： 2012 年 12 月 18 日(水)午後(13:30～17:30)

および 19 日(木)午前(10:00～12:00)

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： 18 日 38 名、19 日 37 名

今回の研究集会では 10 題の発表があり、観測システムから観測結果の解析や今後の観測計画など広い分野での議論が 2 日に渡って活発に行われた。

3. 発表概要

1 日目は、前半が観測システムに関する話題、後半が観測結果に関するわだいについて発表が行われた。

CODAR 社の Whelan は、SeaSonde システムの最新の特徴を解説するとともに、新しいアンテナパターン計測法を示した。最新の SeaSonde システムは非常に低電力で小型のシステムになっていることが示された。また、従来はトランスポンダを使って測定してきたアンテナパターン計測を、船舶からの反射エコーを使い AIS 情報を活用することで、トランスポンダなどの送信器材なしに連続的にアンテナパターンを計測できる技術は、経済的にも継時的変化への対応の点でも有効であると考えられる。新潟大学の小沢らは、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、アンテナ本数を減らしても角度分解能を保つことができる Khatli-Rao 積拡張アレイ処理を適用した場合について、計算機シミュレーションの結果からその有効性を示した。今後は、より海面流速場に近いシミュレーションや実際の観測値を用いた結果への発展が望まれる。長野日本無線の平野らは、海洋レーダの流速読み取りの際に影響を与えるドップラスペクトル上でのノイズの同定に関して、疑似ノイズを受信機の信号処理段階に挿入した場合にドップラスペクトル上にどのようなパ

ターンが現れるか見ることできるシステムの構築方法を示した。実用的な応用には、定量的な評価への進展が期待される。三菱電機の西岡らは、短波帯電波の海上伝搬モデルから減衰量を見積もるとともに、実際のレーダ信号強度を海上と陸上で測定した値と比較することで、その妥当性について評価し、その差が 3dB 程度であることを示した。

1 日目後半では、まず、国土技術政策総合研究所の藤らから、海洋レーダの視線方向流速測定から津波波源を逆推定する際のレーダパラメータが推定精度へ与える影響について発表した。特に、観測時間（流速計算のための積分時間）とレーダ設置位置と波源との位置関係に着目して比較した。シミュレーションからは、観測時間を 1 分程度に短くとれば十分な推定ができること、沿岸到達エネルギーの大きいところとやや離れたところへ設置することで推定精度が向上するという結果を得た。これは、海洋レーダを津波観測に応用しようとした場合の配置方法に、定量的な指標を与えることができることを示した点で有用であろう。北海道大学の張らは、宗谷海峡に展開している海洋レーダを用いて、吹走流の見積もりを海底設置 ADCP と潮位データとともに解析し、季節変動を明らかにした。琉球大学の久木らは、石垣島と西表島に設置した 24.5MHz レーダから得られた流速マップを自己組織化マップを用いて分類し、日平均流速ベクトルのパターンについて論じるとともに風、海面水温、モデル計算と比較することで、石垣島北方海域での流動パターンの特徴を示した。

2 日目は、観測計画について 3 つの話題があった。NICT の杉谷らは名古屋大学の森本らを中心としたグループで実施している対馬海峡北方での対馬海流構造の観測計画についての進捗状況が紹介された。大がかりな施設設置を伴う計画の苦勞が良く現れていた。JAMSTEC の渡邊らからは、津軽海峡で計画されている観測網の紹介があった。2007 年以降新規開設が止まっていた以来初めての新局免許であるとともに、新たな定常観測海域であることから、そのいち早い稼働が期待される。愛媛大の磯辺は、沿岸域を海洋レーダと高解像度衛星海面高度計、沿岸アルゴシステムを用いた詳細観測とモデルとの結合により 100m 格子の同化プロダクトを提供しようという計画を解説した。これは、日本海洋学会からマスタープランとして提案された内容であり、沿岸海洋学のブレークスルーとなるものであり海洋学の社会貢献に大きく寄与すると期待されるが、その実効性についてのフィージビリティスタディが求められているという課題も述べられた。

最後に、現在の海洋レーダを取りまく状況と研究集会での議論のまとめを行い終了した。

#### 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 25 年 12 月 18 日(水)～19 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18日(水)

13:30-13:40 あいさつ・趣旨説明

藤井 智史 (琉球大)

13:40-14:10 New SeaSonde Features for Remote Operations: Low Power Systems and Automated Antenna Patterns from AIS Vessels

Chad Whelan, Donald Barrick, and Laura Pederson(CODAR)

14:10-14:40 Khatri-Rao 積拡張レーザ処理を用いた海洋レーザの計算機シミュレーションによる特性評価

小沢 直輝、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)

14:40-15:10 海洋レーザ装置とノイズに関する一検討

平野 圭蔵、伊藤 浩之、藤田 裕一、小海 尊宏(長野日本無線)

15:10-15:40 MF 帯/HF 帯地上波伝搬特性の予測と実測

西岡 泰弘、小林 立範、中西 孝行、稲沢 良夫、宮下 裕章(三菱電機)、高橋 智幸(関西大)、藤井 智史(琉球大)、花土 弘(NICT)、日向 博文(国総研)

15:40-16:00 休憩

16:00-16:30 海洋レーザを利用した津波波源逆推定に対するレーザ観測時間の影響

藤 良太郎、日向 博文(国総研)、藤井 智史(琉球大)、高橋 智幸(関西大)

16:30-17:00 Estimation of Wind Drift Current in the Soya Strait

張 偉、江淵 直人、深町 康(北大低温研)

17:00-17:30 石垣・西表島北方沖の海洋レーザ観測 (その2)

久木 幸治(琉球大)、鹿島 基彦(神戸学院大)、児島 正一郎(NICT)

18:00- 懇親会

12月19日(木)

10:00-10:30 遠距離海洋レーザによる対馬暖流分岐流の観測計画

杉谷 茂夫、岩井 宏徳、雨谷 純(NICT 沖縄)、森本 昭彦(名大 HyARC)、藤井 智史(琉球大)、滝川 哲太郎(水産大学校)、市川 香(九大応力研)、久島 萌人(名大 HyARC)、川村 誠治、花土 弘(NICT)

10:30-11:00 津軽海峡東口における海洋レーザ観測

渡邊 修一、吉川 泰司、佐々木 建一(JAMSTEC むつ研)

11:00-11:30 海洋レーザを活用した沿岸海洋科学の重点化構想

磯辺 篤彦(愛媛大沿岸センター)、日本海洋学会

11:30-12:00 総合討論 ー課題と展望ー



## 地球流体における波動と対流現象の力学

研究代表者

新野 宏 (東京大学 大気海洋研究所)

## 研究集会の目的

近年の計算機技術の著しい進歩により、地球・惑星大気や海洋の小規模渦から大規模循環まで、計算機の上で再現できるようになった。そして、人工衛星による宇宙からの観測は、地球・惑星全域での広域情報の入手を可能にした。今日では、地球科学は再現と検証の手段を得て、先端科学のひとつに変貌しつつある。そのような状況に於いて、地球流体力学は数値計算の結果や衛星観測の膨大なデータを整理し統一的な理解を得るのに、重要な役割を担う学問である。本研究集会の目的は、複数の分野の地球流体力学に関連した研究者が一堂に会し、相互に最新の情報を交換し、新しい学問の展開を模索するものである。

## 研究集会の日時・場所

日 時: 2013年11月27日(水)～11月28日(木)

会 場: 九州大学筑紫キャンパス 応用力学研究所 本館3階 講義室

## 講演プログラム

## 11月27日(水)

13:00-13:10 代表者挨拶 新野 宏 (東京大学 大気海洋研究所)

13:10-13:50 伊藤 久徳 (九大院理), 林 未知也 (東大理)  
対流を伴う熱帯不安定擾乱の東進メカニズム: Madden-Julian 振動における遅い位相速度に関わって

赤道  $\beta$  面線形方程式系に正のみの加熱を与えた数値モデルにおいて、遅い東進性擾乱 (SED) が現れた。SEDはこれまで知られているものとは異なる東進性擾乱であり、その本質は非断熱加熱が断熱冷却を上回ることによる対流域での実効静的不安定である。SEDの東進は以下のように説明できる: 対流域下層における惑星渦度ストレッチングによる赤道を挟んだ低気圧性渦度対の生成→赤道域での西風傾向と対流域東側での下層収束傾向→対流域の東進。

13:50-14:30 尾堂 深南, 伊藤 久徳 (九大院理)  
渦と渦の相互作用 – 2次元乱流における upward cascade の物理的実体 –

2つの渦の相互作用は相対渦度の輸送という概念で考えることができ、2つの渦がつくる初期の渦度分布によって merge/separate が決まる。本研究では2次元乱流における upward cascade を、渦と渦の相互作用という観点から直感的・物理的に説明することを目的とし、非発散スペクトルモデルを用いた数値実験を行った。複数の渦を並べた実験において、2つの渦の場合と同様に初期の渦度分布の違いによる相互作用の違いが確認でき、渦と渦の相互作用の考え方が適用できることがわかった。また、 $\beta$  効果を考慮した実験を行い、渦と渦の相互作用に基づく Rhines スケールの検証を行った。

14:30-15:10 中島 健介(九大), 高橋 芳行(CPS/神戸大), 大淵 濟(JAMSTEC), 石渡 正樹(北大)、  
林 祥介(CPS/神戸大)  
国際水惑星大循環モデル比較実験 APE

APE は国内外の15グループが参加して行なわれた水惑星設定でのAGCM比較実験であり、海陸分布などの外的要因を排除したことにより、各モデルの個性が赤裸々に現われ得る「最も過酷なテスト」と言える。ここでは、東西一様海水温での赤道域擾乱の構造、および、海水温異常への応答を中心に、その結果の概要を提示するとともに、今後の同様の比較実験に向けた「教訓」を述べる。

15:10-15:30 Break

15:30-16:10 河谷 芳雄(JAMSTEC), Kevin Hamilton (IPRC, Univ. Hawaii), Jae Lee (NASA  
Goddard Space Flight Center)  
熱帯成層圏における水蒸気の年々変動

熱帯圏界面を通過して成層圏へ入ってくる水蒸気量は、圏界面温度で決定される。10年に亘るMLS衛星観測を用いて成層圏水蒸気の年々変動を調べた。年々変動成分は、高度10hPa以下では上方輸送、高度10hPa以上では下方輸送されている事が新たに分かった。気候モデルを用いて検証したところ、これらの変動にはそれぞれQBOによる圏界面温度の変調と、QBOによる二次的な鉛直循環が関連している事が判明した。

16:10-16:50 本田 匠(九大院・理), 川野 哲也(九大院・理)  
スーパーセルに伴う竜巻発生過程の数値実験

スーパーセルと呼ばれる特殊な積乱雲に伴う竜巻発生過程を数値実験によって調べた。強い鉛直シアを持つ水平一様な基本場内に暖気塊を設置して数値実験を行ったところ、典型的なスーパーセルの構造を持つ積乱雲が再現された。この親雲に伴って、計算開始から約50分後に地表付近において $0.4 \text{ s}^{-1}$ を超える非常に強い鉛直渦(竜巻)が形成されていた。この地表渦の強化過程について、流跡線解析や循環解析を用いて調査した結果を報告する。

16:50-17:30 辻 宏樹, 伊藤 久徳(九大院理)  
台風 like な渦の大きさの変化メカニズム

風速15 m/s以上の領域の半径(R15)で定義される台風(熱帯低気圧)の大きさは、台風を特徴づける重要な要素の一つである。しかし、台風の大きさの変化メカニズムの解明は十分ではない。本研究では、熱帯低気圧を簡略化した渦に積乱雲を想定した加熱強制を与え、強制を与える位置が渦の大きさに与える影響を調べる数値実験を行った。その結果、強制が誘起する二次循環が初期渦のR15の外に達するか否か、および渦の外はどこまで達するかが渦の大きさに影響することが示された。

17:30-18:10 水野 信二郎(元九大応研)  
正弦波と流れの相互作用によるLangmuir循環流  
—海洋混合層の数値実験と室内水槽実験の比較—

海洋の乱流運動をLES数値モデルでsimulateした数値実験(McWilliams 1997)では、正弦波のStokes wave driftと渦度の相互作用によるLangmuir乱流が通常のShear乱流よりも支配的で、最近の海洋混合層の乱流研究では海洋波の存在が注目されている。他方、造波機で正弦波を風向

きに加えると、風波で発生したLangmuir循環流をむしろ減衰させる効果があり、波の効果は数値実験とは全く逆向きに作用する。この違いは、水面を伝播する正弦波が風によって空間的に成長するか否かによって説明できる事が最近判明した。波と流れの相互作用によるLangmuir循環流の発生・減衰機構は波令（波速と風速の比）の大小に強く依存する事を発表で指摘する。

18:10-       \*\*懇親会\*\*

## 11月28日（木）

9:30-10:10 伊賀 啓太(東大大気海洋研究所)  
円筒水槽内の回転する底面上の軸対称流に伴う境界層と角運動量輸送

円筒水槽に水を入れて底面を高速に回転させる実験では、多角形渦・対称渦と非対称渦の間の遷移の際の履歴現象・揺動現象など、さまざまな興味深い現象が起こるが、その解析の基礎となる軸対称流を決定するには、境界層の構造を詳細に調べておく必要がある。底面・側面・内部の遷移層にできる各境界層の構造を境界層理論を用いて解析的に求め、その結果を用いて、水槽内全体に形成される軸対称流の循環の様子を定量的に評価した。

10:10-10:50 三村 和男(東海大学教養学部)  
半球規模の傾圧不安定回転水槽実験に現れるロスビー波

曲率をもたせた底面により地球のコリオリパラメータの緯度変化を模した回転水槽内で発生するロスビー波の挙動を、PIV法による解析により詳細に調べた。水槽の回転数の増減により特性の異なる波動の出現を確認し、理論解との比較等を行った。

10:50-11:10 Break

11:10-11:50 岩山 隆寛(神戸大理), 渡邊 威(名工大工)  
減衰性2次元乱流の普遍的赤外領域スペクトル

いくつかの地球流体力学的2次元流体系を統一的に記述できる一般化された2次元流体系の減衰性乱流において、エンストロフィースペクトルの低波数領域(赤外領域)に形成されるスペクトルを議論する。赤外領域のエンストロフィースペクトルの波数の冪則は、系に含まれるパラメータ $\alpha$ に依存せず普遍的であることを、完結理論と数値実験により示す。

11:50-12:30 松田 佳久(東京学芸大学・自然科学系), 高木 征弘(京都産業大学・理)  
金星のスーパーローテーションのメカニズムについて

熱潮汐波メカニズムとギーラッシュメカニズムについて、それぞれどのような平均東西流が維持されるか調べた。その結果、熱潮汐波メカニズムでは赤道ジェット型、ギーラッシュメカニズムでは高緯度ジェット型、両者の組み合わせでは低～中緯度で等速度型の平均東西流が維持されることがわかった。雲層付近の金星大気スーパーローテーションの形成には、両メカニズムの寄与が強く示唆される。

最後に

各発表は十分な時間を確保し討論を活発に行うことができた。若手研究者の発表や参加も数多くあり、本研究集会が将来を担う若手研究者育成の一助になればと考える。また、本研究集会は、

毎年中心となるトピックを選びながら、九州大学・応用力学研究所と東京大学・大気海洋研究所の間で、原則として交互に1年交代で開催している。

開催の期間 平成25年11月27日（水）～28日（木）

代表者 組織名 新野宏 東京大学・大気海洋研究所

参加者 19名

参加者

野田暁(JAMSTEC)、水野信二郎（元九大応研）、辻宏樹（九大理）、本田匠（九大理）、尾堂深南（九大理）、伊藤久徳（九大理）、河谷芳雄(JAMSTEC)、山本勝（九大応研）、三村和男（東海大学）、中島健介（九大理）、宮原三郎（九大理）、辻英一（九大応研）、松田佳久（東京学芸）、新野宏（東大大気海洋研）、岩山隆寛（神戸大理）、廣岡俊彦（九大理）、伊賀啓太（東大大気海洋研）、王喜風（九大応研）、和方吉信（九大応研）

### 「東シナ海の循環と混合に関する研究」

"Workshop on the vertical processes in the shelf region of 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した。また、これまでに蓄積してきた共同観測によって得られたデータのアーカイブについても検討することを目的とした。

出席者は、名古屋大学 4 名、長崎大学 5 名、富山大学 1 名、愛媛大学 3 名、福岡女子大 2 名、京都大学 1 名、九州大学 9 名であった。本研究集会では、

石坂丞二 (名古屋大学)、山口聖 (長崎大学)、鋤柄千穂 (名古屋大学)、Lee, Keun-Jong (九州大学)、郭新宇 (愛媛大)、松野健 (九州大学)、山田真知子 (福岡女子大)、森本昭彦 (名古屋大学)、武田重信 (長崎大学)、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：2014 年 2 月 7 日 (金) 10:00~17:00、2 月 8 日 (土) 09:30~12:30

場所：九州大学応用力学研究所 6F W601

7 日 10:00~12:00

石坂は 2013 年夏季におけるエチゼンクラゲの黄海・東シナ海における出現状況について報告した。また、黄海南部および済州島南方海域で観測されたエチゼンクラゲの分布を元に、JCOPE-II を用いたバックトレース実験により、特に黄海で観察されたクラゲについては、起源が長江からその北側沿岸で水温が 15°C になる時期前後に浮遊期になることを推測する結果を示した。またその移動には、風が大きな影響を及ぼしていること、長江希積水の塩分がモデルと現場値で食い違ったことも示された。

つぎに山口は、東シナ海における植物プランクトンの種組成とリン要求性について、特に無機リンが不足しているときに、有機態リンの加水分解酵素アルカリフォスファターゼ(AP)を発現させ、その活性によって溶存有機リンを利用する形態が盛んになることを紹介した。実際に N/P の高い長江希積水域で、AP 活性が高いことが示された。また、栄養塩の組成の変化によって植物プランクトンの組成も異なってくることを示され、栄養塩の取り込み比が水塊や種によって異なっているのではないかということが

示唆された。

7日 13:30~17:00

鋤柄は新たに分析された2012年および2013年の観測時の栄養塩データを加えて、2010年からの5航海における栄養塩の分布を示した。硝酸塩躍層は概ね水温躍層に一致しており、層厚は年によって異なり、2010年と2013年では水温躍層の層厚が比較的薄かったのに対し、2011年では層厚は厚かった。また、長江希積水中のクロロフィル濃度は高く、希積水のないところでは亜表層（水温躍層の下部）にクロロフィル極大（SCM）が見られることを示した。

Leeは亜表層クロロフィル極大に供給される栄養塩の起源について、栄養塩の鉛直拡散フラックスに注目し、栄養塩躍層付近でN/Pの小さい場合、すなわち下層起源の栄養塩と考えられる場合には鉛直フラックスが大きく、逆にN/Pの大きい長江起源の栄養塩の影響が大きいことを示すところでは鉛直フラックスが小さいことを示した。また、SCMと栄養塩躍層との相対的な深さについても、N/Pによって微妙な相違があることを示唆した。

郭は東シナ海の低次生態系モデリングの問題点として、栄養塩に対するsedimentからの影響、すなわち海底との間の窒素のやりとり、および基礎生産に対する懸濁物の影響を採り上げた。様々な要素を除いたモデル実験結果を、基準モデルの結果と比較し、それぞれの要素の寄与について検討した結果を示した。

松野は、済州島南方海域を中心に2007年から実施してきた共同観測の概要をまとめるとともに、得られたデータの整理と共有化について、検討すべき点を呈示した。また、観測毎に異なるSCMの深さと成層構造および鉛直拡散の強さについて、今までの例を紹介した。海底混合層内の懸濁物が光を制限し、その上端にSCMが形成されていたケースなど、浅海域における海底混合と基礎生産の関連性について議論した。

8日 09:30~12:30

2013年7月の観測航海によって得られた植物プランクトン試料の分析結果を山田が紹介した。済州島の南を境に植物プランクトンの組成が大きく異なっており、長江希積水の影響の有無によって、プランクトンの組成が異なることが示された。クラスター分析によって、済州島南西海域でも2通りのグループがあることが示唆され、長江起源水の影響下においても、その程度によって、特徴の異なる分布を示すことが示唆された。

森本は、同じ観測時における栄養塩組成の特徴と動物プランクトンの計測結果について報告した。大陸よりの海域で、夜光虫の赤潮が見られたほかに、クラスター分析により、大きく3つのグループに分かれることが示された。また、栄養塩は塩分の低い長江希積水域でN/Pの小さい特徴がいくつかの点で見られ、一般にN/Pの高いと言われる長江希積水とは異なる特徴を持っていることが示された。

武田は2012年と2013年の航海時における表層のナノレベルの溶存態窒素、リンの分布について紹介し、126°以東では窒素、リンともにナノモルレベルで、特にリンは南側の測線で10nM以下とほぼ枯渇していることが示された。また、特定の海域に限定してみると、硝酸と亜硝酸は、ナノモルレベルでも塩分と逆相関があることが示され、低塩分ほど栄養塩濃度が高いことが示された。

話題提供終了後、これまでに得られたデータのアーカイブと共有の方法について議論がなされた。計測項目は多岐に亘っており、それらを統一的にまとめることは困難であることから、基礎データのみを

共有することをまず考えればよく、詳細については各航海のクルーズレポートに記載されているので、それをまとめておけばよい、ということになったが、そういう情報が一目でわかるデータセットが有用であろうということから、データ項目リストを一覧するための書式を作って、各共同研究者がそれに入力することになった。また、具体的なデータについては web を利用する案も出された。

プログラム

**東シナ海の循環と混合に関する研究**

日時：2014年2月7日 10:00~17:00、8日 9:30~12:30

場所：九州大学応用力学研究所 **W601** (6階)

7日

10:00-12:00

石坂丞二・Xu Youngjiu (名大 HyARC)

2013年のエチゼンクラゲの分布と輸送

山口聖・梅澤有 (長崎大水産・環境)

東シナ海大陸棚上における長江希釈水とアルカリフォスファターゼ活性の関係

13:30-15:00

鋤柄千穂 (名大 HyARC)

陸棚域における栄養塩分布

Lee K-J・松野健 (九大応力研)

Relationship between nutrient supply and N/P ratio around subsurface chlorophyll maximum in the East China Sea

15:30-17:00

郭新宇 (愛媛大 CMES)

東シナ海の低次生態系モデリングの問題点

松野健 (九大応力研)

2008年以降の東シナ海陸棚域における共同観測

8日

09:30-11:00

山田真知子 (福岡女子大)・森本昭彦 (名大 HyARC)

2013年7月長崎丸航海における植物プランクトン

森本昭彦 (名大 HyARC)

2013年7月長崎丸航海における動物プランクトン・栄養塩

武田重信・江藤祐輔 (長崎大水産・環境)

2012~13年の東部東シナ海表層における栄養塩のナノモルレベル変動について

11:00-12:30

東シナ海陸棚域の観測航海データの整理とデータの共有について