

平成24年度

地球環境力学分野
共同研究成果報告

特定研究 1「海況モニタリングによる縁辺海の研究」

研究統括者； 市川香

我々が生活している陸上に近い沿岸・縁辺海は、漁業や海運業から海洋レジャーに至るまでの様々な産業や、工業の廃水や漂流性ゴミの漂着などの環境問題などを通じて、人間活動へ大きな影響を及ぼしている。しかし、水深が浅く擾乱に対しての応答が速く、強い潮汐の移流や混合の影響を受け、さらに河川水流入の影響なども受ける、複雑な縁辺海的环境の理解は十分に進んでいない。さらに、活発な漁業活動に伴う観測器の亡失に加え、領海に関する国際問題も存在するため、縁辺海の家況の理解は容易ではない。本特定研究課題では、こうした問題を解決するべく、近年急速に発達してきた海況モニタリングや数値モデリング等を活用して、縁辺海域の海洋環境の調査とその変化の仕組みに関する研究を行うものである。

応募のあった 7 課題は、期せずして水産や生物と関係しているテーマや応募者が多かった。これは、生物活動が高く水産業が盛んな縁辺海ならではの特徴で、こうした分野で、いかに海洋環境の物理的な理解が絶対的な基礎要素として必要であることを反映している。申請額に対して配分額は充分ではないものの、共同研究ならではの直接的な討議によって、議論が深まった。例えば 24 特 1-7 の国立台湾大学の劉教授の課題では、対馬海峡を横断するフェリー「かめりあ」に実際に乗船して海水のサンプリングを行い、台湾海峡で行っている同種の手法と直接比較を行うことができた。次年度以降も、引き続き本特定研究を継続させ、より具体的・定量的な議論を行っていく予定である。

24 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, 四方崇文

【目的】

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。

1. ブリ仔稚魚の移送経路

【方法】

大中型まき網漁獲成績報告書より東シナ海における産卵期（2～6月）の位置別日別ブリ漁獲量を抽出し、農林漁区（30' 格子）および月ごとに集計した。上記によって求められた漁獲データを産卵データとした仮定に基づく受動トレーサ実験を DREAMS_M を用いて実施した。卵と見立てた粒子をトレーサとして産卵海域・時期に投入した。ブリ卵および仔稚魚は表層を漂流・遊泳することから、粒子を強制的に浮上させるようにパラメータを与えた。総粒子量を 6.1 日ごとに集計し、全体に対する各海域の割合を配分率として求めた。以上の実験を 2001～2010 年の 10 年間のデータを用いて実施した。

【結果】

産卵期のブリ漁獲量は 2,000～8,200 トンを推移し、95%以上が 3～5 月に集中した。地理的には 200m 等深線に沿う形で分布しており、時期の経過とともに九州西岸に向かって、その分布は北上していった。年による分布の濃淡が多少見られたものの、これらの傾向に大きな相違は見られなかった

7 月下旬の海域別粒子配分率の年変動を見ると、日本海配分率で 30%（2006 年）から 80%（2008 年）と大きく変動していた。しかしながら、これらの変動とブリ 0 歳魚漁獲量の配分率の変動とに一致は見られなかった（図 1）。一方、日本海中部海域における 7 月下旬での日本海全体に対する配分率と同海域（京都府～石川県外浦）における 7～8 月漁獲量の年間漁獲量に対する割合との間に有意な相関（危険率 5%）が認められた（図 2）。

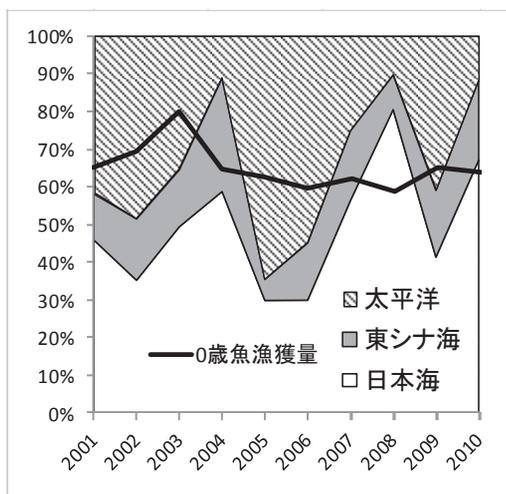


図 1 粒子配分率と漁獲量の 0 歳魚漁獲量の日本海配分率の年変動

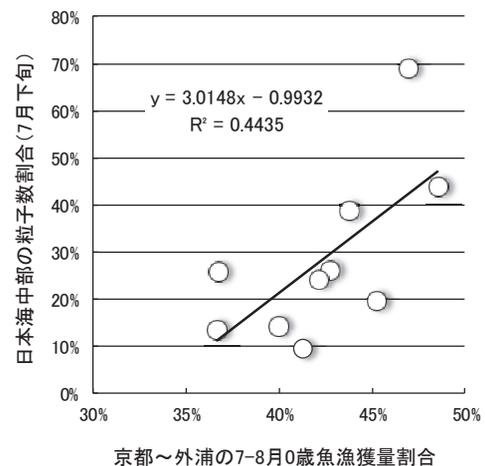


図 2 7-8 月における 0 歳魚漁獲量の割合と粒子量の割合の関係

【考察】

産卵親魚の分布に大きな変動がないものの、日本海と太平洋への粒子配分率は年によって大きく変動した。主産卵場である東シナ海大陸棚縁辺部における僅かの海況の変化が、その後の仔稚魚の移送海域に大きな影響を与えることが示唆された。しかしながら、トレーサ実験結果と実際の0歳魚漁獲量のそれぞれの海域配分率の年変動は一致しなかった。一方、日本海中部海域における0歳魚の漁期の早遅とは、良い一致を示し、移送時期に関しては一定の再現性が見られた。今後、実験条件を再検討することにより、ブリ0歳魚の漁獲予測につながる高い再現性を図っていきたい。

2. スルメイカ成魚の回遊

【方法】

石川県の中型イカ釣り漁船は主に日本海のスルメイカを漁獲対象とし、6～12月の漁期中にはほぼ毎日漁場探索と操業を続けており、操業位置の水温・塩分は漁場が形成される条件を満たしていると考えられる。そこで、石川県水産総合センターで収集している県内の中型イカ釣り漁船約10隻の2001～2010年の漁獲成績報告書の操業位置に最も近いDREAMS_Mの計算格子点のデータを抽出し、スルメイカの主な分布層にあたる22・30・39・50・64・81・100mの各計算深度帯の水温と塩分の範囲（上位・下位の各2.5%のデータを除外した範囲）を月別深度帯別に集計した。そして、全ての深度帯の水温・塩分範囲に合致する海域を推定漁場とし、2011年の推定漁場と実際の操業位置を比較した。

【結果および考察】

2008～2010年の推定漁場と操業位置を比較した結果、操業位置は推定漁場の範囲に概ね収まっており、特に推定漁場が複雑に入り組んだ海域（図3a）や推定漁場の縁辺部に操業位置が多く分布していることが分かった。このような海域はスルメイカの分布に不適な水温度・塩分条件の海域との境界付近になるため、回遊過程でスルメイカが集積・滞留して好漁場が形成されると考えられる。次に、過去の操業位置の水温度・塩分範囲から将来の漁場が予測可能かどうかを評価するため、2001～2010年の水温度・塩分範囲に基づいて2011年の漁場を推定した。その結果、推定漁場と操業位置は概ね一致し、この場合にも推定漁場が複雑に入り組んだ海域や推定漁場の縁辺部に実際の漁場が位置していることが分かった（図3b～h）。以上の結果から、DREAMS_Mの水温度・塩分データを用いることで比較的精度の高い漁場予測が可能と考えられる。

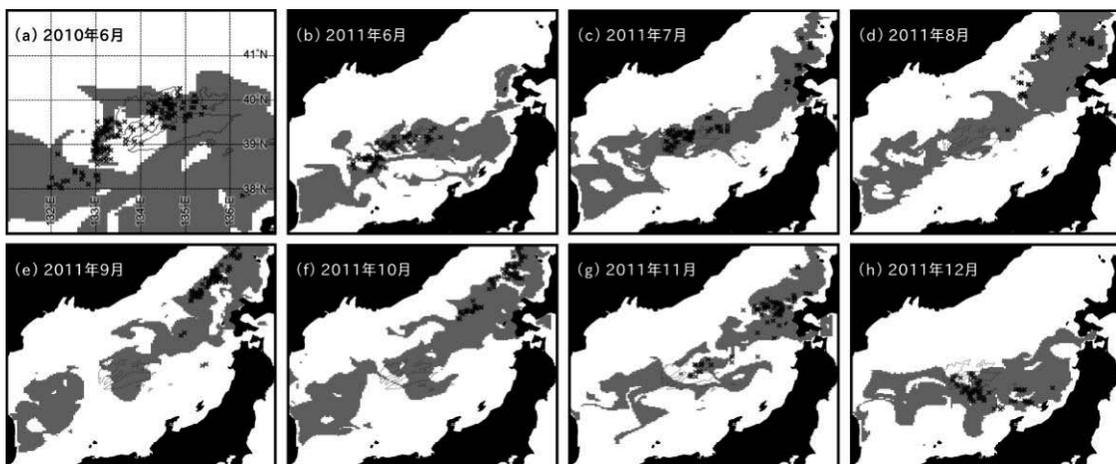


図3 DREAMS_Mの水温度・塩分データから推定した漁場（灰色部分）と実際の漁船操業位置（×印）

3. 発表等実績.

なし

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暖流の影響下にあり、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暖流沿岸分枝流の時間変動と富山湾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富山湾の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

これまでの研究で、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)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、有意な正の相関が認められ、水位差から輪島～舢倉島間の通過流量が推定できることが判明した。しかし、定線観測時のスポット的な ADCP データには、潮汐流や慣性流が含まれている。このため2012年は、3, 6, 9月にこの区間で24時間50分の4往復観測を実施して、観測潮汐や慣性成分を除いた平均的な流量を検討した。さらに、2008年10月～2012年10月の定線観測データからこの区間の潮汐を含む流量と水位差の関係を求めて、対馬海流沿岸分枝の勢力指標としての妥当性を評価した。ADCP データは、石川県調査船「白山丸」に搭載した ADCP (RD社製 150kHz BB-ADCP) で観測したデータを使用した。ADCP 観測は第1層を19m、観測層厚を8mに設定して実施し、パーセントグッド60%以上のデータの占有率がボトムトラック領域で85%以上を占める観測データを抽出して解析した。通過流量は、1分間隔で求めた観測線に直交する方向の各層の平均流速(北東方向を正)に層厚と1分間の観測距離を乗じて得た各層の流量の総和として求めた。なお、流量算出に際して、水面から第1層までは第1層の流速値を適用した。水位データは、九州大学応用力学研究所が舢倉島に設置した水位計と国土地理院輪島験潮場の毎正時のデータを輪島の海面気圧で補正した値を用いた。輪島～舢倉島間の水位差は、ADCP 観測が行われた時間帯の輪島と舢倉島の水位偏差の差の平均値と定義した。

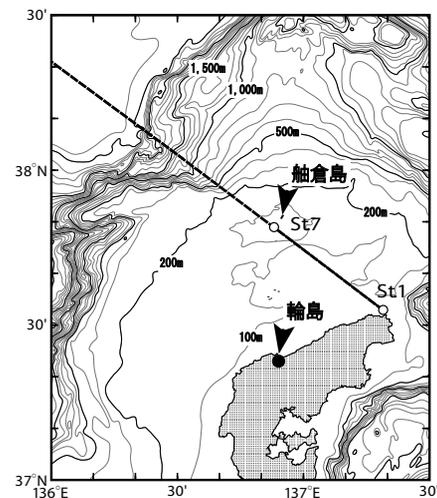


図1 調査海域図 破線は観測定線、実線は往復反復観測区間を示す。

結果と考察

3次の往復反復観測で得られた能登半島北端～舢倉島間の19m層の流れの分布を図2に示す。3月の観測では1～3回目は西向き弱い流れがみられたが、4～8回目は全体に流れが強まり流向も大きく変化した。これは、この時間帯に北東風が8～10m/sに強まり海況が急変したことが要因と考えられるが、データには著しい品質低下が認められなかったことから、そのまま以降の解析に供した。6月及び9月の観測では、全般に安定した北東向きの流れが観測された。また、6月には測線の両端に強流域がみられたのに対し、9月には測線の全域で流れが強まり、陸岸寄りに100cm/s前後の流軸が形成されていた。これらのデータから各観測回の流量とその平均値を求め、対応する水位差を調べた。成

層期である6月と9月の結果を図3aに、非成層期である3月の結果を図3bに示した。各観測次の平均流量（標準偏差）は3月:-0.20(0.12), 6月:0.36(0.03), 9月:1.11(0.08)であり、3月は流量のばらつきがやや大きい、6月と9月は流量の変動幅が小さい結果となった。図3a, 3bには、2008年8月～2012年10月の定線観測で得られた潮汐成分を含む流量と水位差の関係も併せて示した。図中の回帰式は定線観測で得られた潮汐成分を含む流量と水位差の関係を求めたものである。相関係数は成層期(6～10月)で0.972、非成層期(11～5月)で0.948と共に非常に高い値を示している。これらの式と各調査回次の平均水位差から求めた平均流量と潮汐成分を除いた実測平均流量の差は、3月:0.02, 6月:0.13, 9月:0.06といずれも僅かであった。これらのことから、能登半島北端～舳倉島間には潮汐流や慣性振動流の寄与の小さい水位差に支配された流れが存在し、これらは陸棚上を流れるとされる対馬海流沿岸分枝流に該当すると推察された。図中の回帰式を用いて水位差の時系列データから求めた、能登半島北端～舳倉島間の日平均通過流量の推移を図4に示した。日平均通過流量の31日移動平均は、緩やかな季節変動を示し、夏季に通過流量が増加する傾向がうかがわれた。次年度は、水位差から推定される対馬海流沿岸分枝流の流量変動の特徴を整理するとともに、能登半島東岸の流況変動に与える影響について検討を加える計画である。

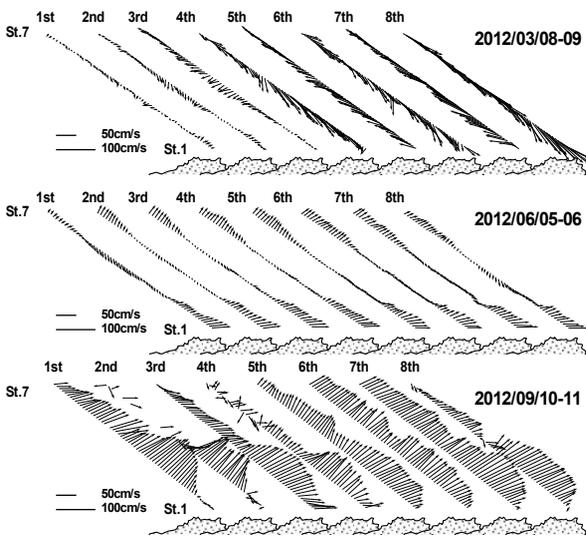


図2 3次の4往復観測で得られた能登半島北端～舳倉島間の19m層の流れの分布。

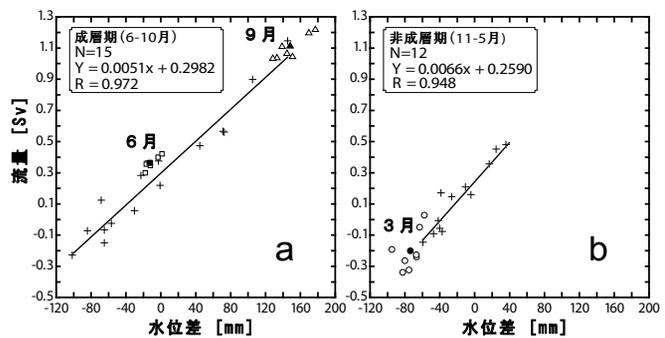


図3 4往復観測で得られた流量と水位差の関係

a:成層期 b:非成層期 □:6月の各観測回値と平均値(■) △:9月の各観測回値と平均値(▲) ○:3月の各観測回値と平均値(●) +:定線観測時のデータから求めた値 枠内の式は定線観測時のデータから求めた水位差と流量の関係を表す。

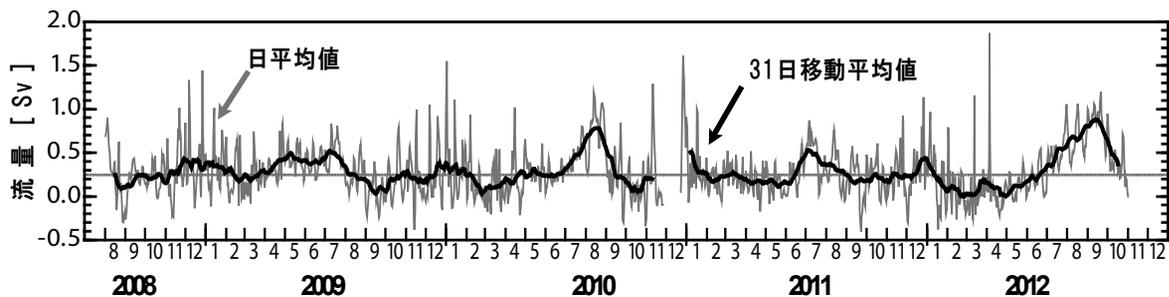


図4 水位差の時系列データから求めた、能登半島北端～舳倉島間の日平均通過流量の推移 細線は日平均値、太線は31日移動平均値を示す。

東シナ海陸棚上における植物プランクトンの律速栄養塩変化に関する研究

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

東シナ海では長江河口域から対馬海峡にかけて海洋中の溶存態窒素と溶存態リンの比(N/P 比)が 100～10 以下と大きく変化する。この変化は、海洋の一次生産者である植物プランクトンの増殖を律速する栄養塩が東シナ海西部ではリン、東部では窒素と変化していることを示している。近年の中国の急激な経済成長により東シナ海・日本海の N/P 比が変化していることが報告されているが、このような変化が当海域の物質循環等にどのような影響を及ぼすかは分かっていない。本研究では、律速栄養塩のこのような変化がどこで起こっているのか、また律速栄養塩の変化により植物・動物プランクトン組成がどのように変化するのかを理解することを目的とする。上記のことを明らかにするためには生態系モデルによる研究が有効であるが、モデル構築のための基礎データが不足しているため、今年度は船舶観測によりモデル構築および検証のためのデータ取得を行う。

2. 参加者

森本 昭彦 (名古屋大学 地球水循環研究センター)
 滝川 哲太郎 (水産大学校 海洋生産管理学科)
 柳 哲雄 (九州大学 応用力学研究所)

3. 研究成果の概要

3-1. 海洋観測

植物プランクトン増殖律速栄養塩を判断する N/P 比が 16 となると予想される済州島南部の東シナ海陸棚上において観測を実施した(図 1)。観測は JAMSTEC の淡青丸により 6 月 23, 24 日に、そして水産大学校の天鷹丸により 10 月 7～11 日に実施した。淡青丸航海では済州島南部の陸棚上の 3 測点で(図 1 の青点)、天鷹丸航海では黒潮域から山陰沖の陸棚上にかけての 13 測点において(図 1 の赤点)、CTD による水温、塩分、蛍光強度等の鉛直分布観測、蛍光強度が最大となる層での植物プランクトンのサンプリング、標準層における栄養塩測点のための採水を行った。また、1 測点おきに NORPAC ネットによる動物プランクトンのサンプリングも行った。

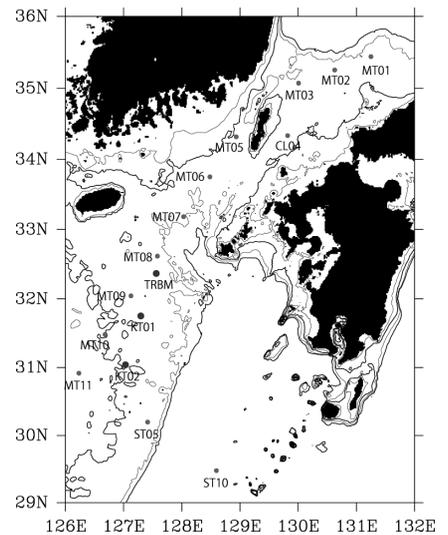


図 1. 海洋観測点図

3-2. 淡青丸航海の観測結果

6 月の淡青丸航海では悪天候のため図 1 に示した 3 測点でしか観測を行うことができなかった。それぞれの観測点でのクロロフィル a 濃度最大層における水温、塩分、クロロフィル a 濃度、栄養塩濃度を表 1 に示す。どの測点も表層で塩分が低く、一方下層では高かった。特に KT01 の表層塩分は 31.43 psu と他の 2 測点より 1 psu 程度低く長江希积水の影響を強く受けていた。また、クロロフィル a 最大層における栄養塩を比較すると KT01 ではリンが枯渇していた。また、クロロフィル a 最大層における N/P 比は TRBM では 31、KT02 では 18 と大きく違っておりこの海域付近で植物プランクトン増殖律速栄養塩が変化している可能性が示唆された。植物プランクトンの検鏡結果によると、KT01 の植物プランク

トン細胞密度が最も多く、珪藻類の *Pseudonitzschia* spp., *Nitzschia* spp、微小鞭毛藻など小型種が卓越していた。一方、TRBM では大型の珪藻類である *Rhizosolenia* や *Chaeticeros* が卓越していた。両測点間の距離は 80NM 程度であるが、N/P 比が大きくことなり卓越する植物プランクトン種も異なることが分かった。このことは東シナ海から日本海へかけて N/P 比が変化することにより低次生態系を通しての物質フローが場所によって変わっていることを示唆している。

表 1. クロロフィル a 濃度最大層での水温、塩分、クロロフィル a 濃度、栄養塩濃度

測点名	水深(m)	水温(°C)	塩分	クロロフィル (μ g/l)	NO ₃ +NO ₂ (μ M/l)	NO ₂ (μ M/l)	SiO ₂ (μ M/l)	PO ₄ (μ M/l)	N/P
TRBM-1	27	22.69	34.02	0.81	1.25	0.22	3.70	0.04	31
KT01-1	28	17.57	33.24	2.07	3.76	0.57	5.56	—	
KT02-1	42	17.95	34.27	0.58	8.02	0.09	10.50	0.44	18

3-3 天鷹丸航海の観測結果

天鷹丸で観測された黒潮域 (ST10) から山陰沖 (MT01) の水温、塩分、クロロフィル a 濃度の断面図を図 2 に示す。水温、塩分とも各測点において水深 50m 付近まで一様であり混合層が発達していることがわかる。塩分は 6 月の淡青丸航海とは異なり比較的高く長江希積水の影響は小さいと考えられる。クロロフィル a の断面図をみると MT11, MT05~MT02 でパッチ状に濃度が混合層全体で高くなっていた。植物プランクトンの検鏡結果をみると、黒潮域では植物プランクトン細胞密度は小さく、東シナ海陸棚上、対馬海峡、山陰沖で大きくなっていた。淡青丸航海のような観測点毎での特徴的な種の違いはそれほど見られなかった。測定機器の故障のため栄養塩サンプルの分析ができていないがクロロフィル a 濃度の分布と水塊構造の比較から、天鷹丸航海時は海面冷却による鉛直混合により表層に栄養塩が供給され、植物プランクトンの増殖は栄養塩濃度に律速されていなかったものと考えられる。

4. まとめ

6 月の観測では、長江希積水の張り出しにより東シナ海陸棚上では N/P 比が空間的に大きく変化している可能性が示された。また、N/P 比の違いによる植物プランクトン種の変化も観測された。一方、10 月の観測では鉛直混合により長江希積水をはっきりと観測できなく、植物プランクトン種の空間変化もはっきりとしなかった。このことから、長江希積水が東シナ海陸棚上に分布する夏季において、東シナ海から日本海へかけての観測を実施する必要があることが分かった。このような観測が実行できれば、N/P 比の違いと植物、動物プランクトン種の間接的な関係を示すことができ、さらにこの観測データをもとに数値生態系モデルを構築することにより N/P 比の空間変化が東シナ海から日本海の物質循環にどのような意味を持つのか明らかにすることができる。

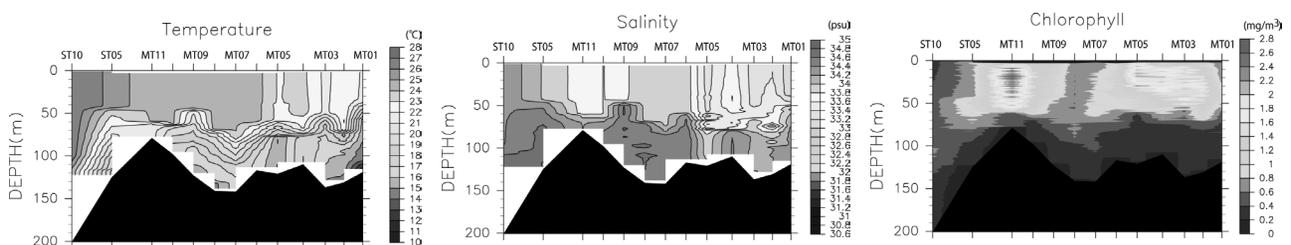


図 2. 図 1 の ST10~MT01 の水温、塩分、クロロフィル a 濃度の断面図

24 特 1-4

対馬海峡横断国際フェリーに搭載した ADCP による流況監視体制の強化

韓国海洋大学校 李 昊珍

目的

応用力学研究所では、韓国の海洋研究機関との国際協力を基に、15年以上の長期間に渡って対馬海峡の国際定期フェリーを利用した ADCP 海流観測を継続しており、世界的にも貴重な海流のデータベースが構築されている。本研究では、2011年度から2012年度にかけて日韓双方で責任者が交代した機会をとらえ、協力体制を再構築し、持続的なモニタリング体制を整えることを目的とする。さらに、博多港・釜山港着岸時の無線データ転送を整備することも急務となっている。観測データの利用についても積極的な推進が求められる。



対馬海峡横断フェリー「ニューかめりあ」

方法

プサン港における無線データ転送を開始し、日韓で観測データの共有化を図る。データ処理の自動スクリプトも韓国海洋大学校にて実行し、韓国での利用促進を目指す。

新世代の無線通信方法(WiMAX など)を利用して、博多港におけるデータ転送を高速化・安定化する。さらにフェリーと応力研の PC を直結した双方向通信も試行する。

過去のフェリー ADCP データを海洋観測船の ADCP データと比較するなど品質検査を厳しくし、ある程度の時空間平均をかけて容量を小さくしたデータセットを作成し、公開する。フェリー ADCP データを縁辺海モデルに同化し、その再現性について解析する。

結果

まず、2011年度までに得られている ADCP データを応力研と韓国海洋大学校で共有し、両者で同様の解析ができるよう処理プログラムの共有化も行った。

リアルタイム通信に関しては、従来は PHS 回線 (DDI ポケットの Air-H) によってデータ転送を行っていたため、転送量が小さく、接続も不安定であった。電波の弱い場所でも DDI ポケットの PHS が使えるようにブリッジに PHS 中継局を導入するなど、データの転送を成功させるのに苦労した経緯がある。それでも転送が停止して自動で復旧できない事象が頻発することがあり、結果として観測トラブルへの

対応の遅れが生じて、データに欠測期間が発生したこともあった。

今回新たに採用した通信方式は WiMAX（高速、大容量のモバイルブロードバンド通信の方式のひとつで、Worldwide Interoperability for Microwave Access の略）通信で、通信速度は最大で下り 40Mbps、上り 15Mbps であり。下り最大 128Kbps であった PHS 方式より大きく高速化できる。工事不要で導入可能である事に加えて、速度制限・容量制限が無いために、容量の大きい詳細な観測データの送信やリモートデスクトップ接続を目的とした今回の用途に適していると判断した。

多数の WiMAX サービスの中で、「WiMAX + 固定 IP + 年間定額」という条件で ASAHI ネット (<http://asahi-net.jp/service/mobile/wimax/>) と契約した。WiMAX 通信をのせた PC に固定 IP を付与してリモートマシン（応力研など）からのアクセスを可能にした。

1 日 1 回（フェリーが博多港に接岸している時間帯）のデータ送信は WinSCP というファイルの暗号化転送が出来るソフトウェアを使用した。テキスト形式で記述された処理を実行するスクリプト機能（バッチ処理機能）があるため、データ転送の自動化が可能であった（そのバッチファイルを最後に資料として示す）。この転送処理は WiMAX が繋がりさえすれば問題なく実行される。

テスト段階において、船体の外郭が鋼鉄製であるため通信状況はあまり良くなく、通信状況の悪い時には接続・切断を繰り返すが、早朝の時間帯では比較的安定する事が分かった。国際フェリーであるために博多港を出航後、沖合や韓国国内では通信が切断されて通信復旧までリトライを繰り返す。通信復旧のリトライ中の表示のまま復旧しないケースがある一方、圏内に復帰時に自動で再接続するケースもあった。通信が止まってしまい再接続できない原因を探るために 1 時間毎にメール送信させたり、仮想的な環境にて様々な通信切断状態を再現させるなどの実験を行ったが、原因は依然として不明である。

結局、船側の ADCP 観測用 PC において、

```
taskkill /f /im wimax.exe  
start "" "C:¥Program Files¥wimax¥wimax.exe"
```

このように WiMAX の通信ソフトの停止・再起動を行うバッチファイルを作成してタスクに登録、博多港に停泊している時間帯に、毎日定時実行することで、安定した通信状況を確保することができた。

結果、従来はデータ送信が難しかった容量の大きい詳細な観測データの送信も可能となり、リアルタイムに近い状態で迅速なデータ活用（日本海海況予報モデルへの境界条件の提供等）やリモートデスクトップ接続による船のデータ収集 PC の遠隔操作も実現された。観測状況を随時確認できるようになり、遠隔操作による観測の設定変更や再スタートが可能になり、良質なデータの継続的な取得が見込め、人的負担も軽減される効果があった。

なお、リモートデスクトップ接続にあたっては、画面タブにおいて

- ・画面の色：15 ビット

エクスペリエンスタブにおいて、

- ・接続速度に低速ブロードバンドを選択
- ・「ビットマップのキャッシュを保持」以外のチェックを外す

のように、軽めの設定を適用することでフリーズしたり遅延したりを防ぐことが可能となる。

付録

データ転送を自動化したバッチファイルの例：データを収集している外部 PC から応力研のサーバにアクセス、データの同期を行う

“testsynchro.bat” 外部 PC で winscp を testexample.txt に従って実行するバッチファイル
"C:¥Program Files (x86)¥WinSCP¥winscp.exe" /console /script=testexample.txt

“testexample.txt” 実行内容のテキストファイル

バッチモードに設定し、確認/問い合わせを無効にする

option batch on

ファイル上書きの確認などを無効にする

option confirm on

外部 PC から RIAM のサーバに接続

open userID:password@xxx.riam.kyushu-u.ac.jp

外部 PC のディレクトリを変更

lcd "C:¥WORK¥xxxx¥"

RIAM サーバでのディレクトリを変更

cd /home/userID/yyyy

外部 PC と RIAM サーバのディレクトリを同期

synchronize remote AAAA/ BBBB/

切断

Exit

なお、ここで **AAAA** はデータのある外部 PC のディレクトリ名、**BBBB** はデータを同期させたい RIAM サーバのディレクトリ名である。

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。対馬暖流は、対馬海峡に位置する対馬によって西水道と東水道通過流の2枝に分かれて、日本海へ流入する。多くの研究では、西水道通過流が東韓暖流と沖合分枝流の2つに分かれ、対馬暖流が日本海南西部で3分枝化することを示している。海洋データ同化の手法を用いた数値モデル研究では、東水道通過流が、山口県萩市沖の見島によって日本沿岸分枝と沖合分枝の2つの北東流に分かれる結果を得ている(広瀬ら, 2009, 海と空)。このように、現在でも対馬暖流の流路について数多くの議論がなされており、平均的な対馬暖流流路の描像は未解明な部分を残している。本研究では、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。また、萩-見島間のフェリーを用い、見島以南のフェリー航路上の表層水温を測定した。

また、夏季の対馬海峡には、中国大陸の長江起源の淡水が多量に流入する。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。

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)に水温・塩分計を設置し、1時間間隔で表層の水温と塩分を測定した。水温・塩分計は、ピストン式ワイパーで電気伝導度センサーを測定毎に自動清掃できるJFEアドバンテック社製のCompact-CTWまたはINFINITY-CTWを使用した。各観測点における観測期間は以下の通りである。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	2012/05/29 14:00 ~ 2012/11/13 09:00
蓋井島	2012/05/29 11:00 ~ 2012/12/27 12:00
青海島通	2012/06/11 10:00 ~ 2012/12/28 05:00

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。蓋井島と通の水温・塩分計の回収時に、ピストン式ワイパーが故障しており、伝導度センサーの内外部に多くの生物が付着していた。

萩市浜崎と、その北北西約45km沖合の見島の間を毎日往復する定期旅客船に、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。さらに、青海島通と見島宇津に小型水位計を設置し、水位差から長門-見島間を通過する流量変動の把握を試みた。本報告での水位データ使用期間は、2012/8/27~11/21(青海島通)と8/29~11/22(見島宇津)であり、現在(2012年2月末)も観測を継続している。本報告では、各島における水温・塩分観測結果と、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

美津島, 蓋井島, 青海島通で得られた水温・塩分の時系列を図1から図3に示す。蓋井島と青海島通では、生物付着防止用ワイパーの故障のため、塩分値は観測期間中に異常値となった。

青海島通と見島宇津で観測された水位と水温の時系列を図4と図5に示す。水位変動は約12時間または約24時間の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。図6に48時間のタイドカラーフィルター(花輪・三寺, 1985, 沿岸海洋研究ノート)を施した両島の水位とその差を示す。水位差($\Delta\eta$)の変動幅は約 ± 4 cmであった。地衡流平衡($f_u = -g\Delta\eta/\Delta y$)を考えると、見島

以南を通過する東方流速 (u) の変動は $\pm 12 \text{ cm s}^{-1}$ と見積もられた (ここで, $f = 8.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$, $\Delta y = 40 \text{ km}$). 見島以南の平均水深 (h) を 70 m とすると, 流量 ($V = u \cdot h \cdot \Delta y$) 変動は, $\pm 0.34 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ となる.

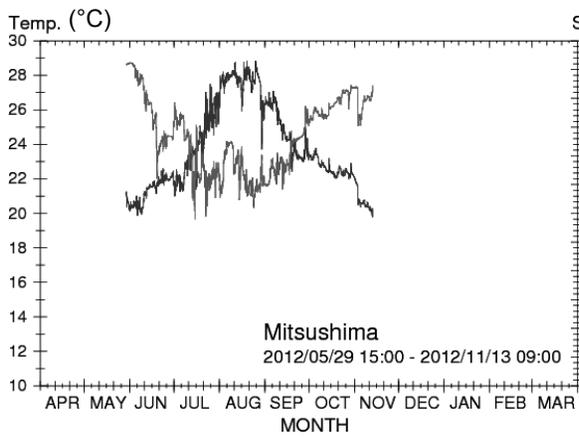


図 1: 美津島における水温 (青)・塩分 (赤) の時系列.

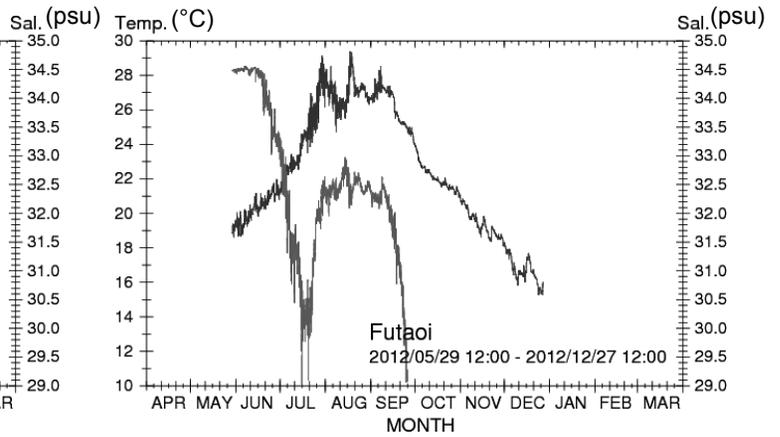


図 2: 蓋井島における水温 (青)・塩分 (赤) の時系列.

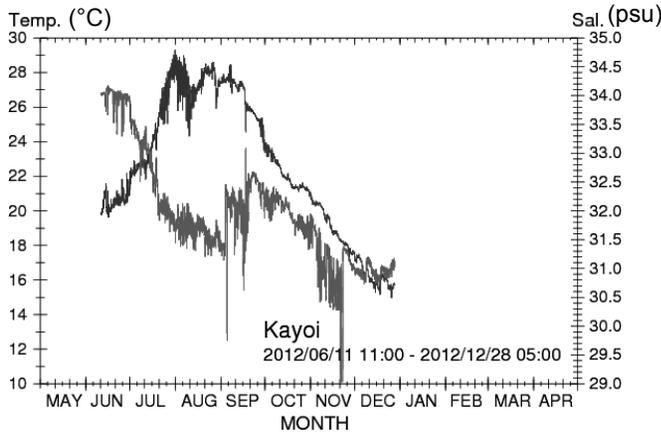


図 3: 青海島通における水温 (青)・塩分 (赤) の時系列.

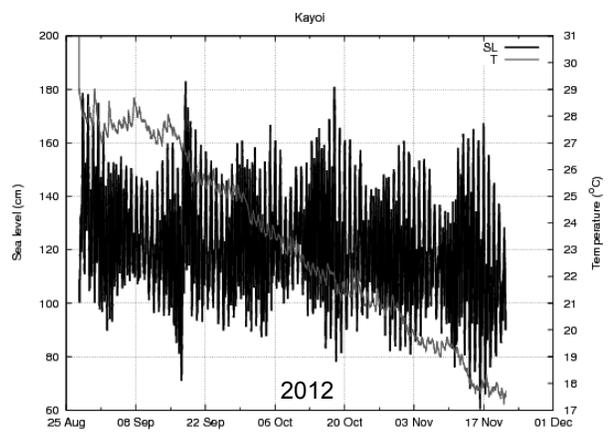


図 4: 青海島通における水位 (黒)・水温 (赤) の時系列.

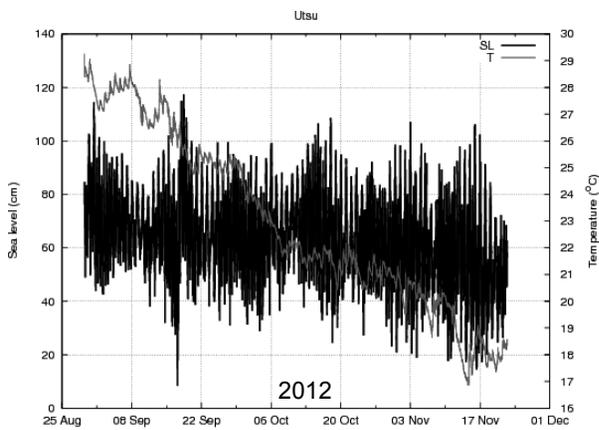


図 5: 見島宇津における水位 (黒)・水温 (赤) の時系列.

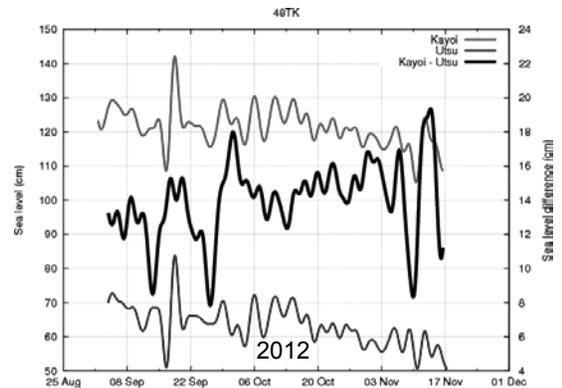


図 6: 48 時間タイドカラーフィルターを施した青海島通 (赤)と見島宇津(青)における水位とその水位差(黒).

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

24 特 1-6

フェリーニューカメラおよびHFレーダーを利用した 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、フェリーニューカメラで取得されたクロロフィル蛍光データに関して、その変動要因について明らかにするとともに、対馬暖流の変動と漁獲データを比較する。

方法

同フェリーで取得されているクロロフィル蛍光に関して、現場データを用いて、クロロフィル a 濃度に変換する。また同フェリーで同時に取得された水温・塩分や、他の船舶および人工衛星のより広域なデータと比較を行なうことによって、対馬海峡でのクロロフィル a の変動に関して解析を行なう。また、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う。

結果・考察

2012年5月13日に、応用力学研究所の松野健博士、台湾国立大学の劉偉騰博士他とともに、博多から釜山までニューカメラフェリーに乗船した。そして、クロロフィル蛍光のキャリブレーションのための連続測定の配管からサンプリングを行なった。またフェリーの復路である14日および15日にも応用力学研究所と台湾国立大学の研究者が乗船し、サンプリングを行った。これらのサンプルは、船上で濾過し、このフィルターをジメチルホルムアミドで抽出した状態で実験室に持ち帰り、Welschmeyer法でキャリブレーション済みの蛍光高度計でクロロフィルaを測定した。その結果、21サンプルのクロロフィルa濃度は、0.084から0.696 mg m⁻³の間であった。この時、フェリーで測定されたクロロフィル蛍光からのクロロフィルa濃度は0.235から1.03 mg m⁻³で、決定係数が0.797、傾きが1.23、切片が0.082と、一部昼間のデータも含んだ状態として、よい相関を示した。一方、台湾国立大学でも同様なサンプリングを行い、アセトン抽出、酸添加法（Holm-Hansen法）で測定したが、こちらでは0.053から0.307 mg m⁻³で、決定係数は0.936とよいものの、傾きが0.378、切片が0.016

と、我々の測定と比較するとかなり低めであった。抽出法および測定法は異なるものの、一般的にはこれらの方法の誤差は小さく、3倍近くの誤差は考えにくく、今後さらに検証が必要と考えられる。また5月15日および17日には、MODIS/AQUAの画像も取得され、パターンはフェリーで測定されたクロロフィルとよく対応した。いずれのデータも、日本周辺と対馬西側、韓国周辺で比較的クロロフィルa濃度が高く、低温である典型的なパターンを示した。

また、2006年夏にフェリーで観測された台風の影響について、月間海洋に投稿した総説が印刷になるとともに、日本地球惑星科学連合の国際台風セッションで招待講演を行った。

一方、玄界灘における鯨の漁場の経年変動は、海表面水温分布から対馬海峡に流入する対馬暖流の方向と関連している可能性が示唆されている。そのため、応用力学研究所のHFレーダーで観測されている同海域の潮汐を除いた流速を調べたところ、玄界灘における対馬暖流の流路がはっきりと確認された。今後、この流路のパターンと鯨の漁場の経年変動を比較することによって、両者の関連がはっきりすることが期待される。

研究成果報告

1. Joji Ishizaka・Akihiko Morimoto・Eko Siswanto・Keiko Yamada・Takashi Makino, Influence of Typhoon to Primary Production of East China Sea and Sea of Japan, 日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会, 千葉市, 2012.5.25 (Invited)
2. 安藤朗彦・中田英昭・石坂丞二 玄界灘における対馬暖流の流動変化がマアジ漁場形成に及ぼす影響, 2012 年度九州沖縄地区合同シンポジウム, 2012.12.7
3. 石坂丞二・エコシスワント・山田圭子・牧野高志 (2012) 東シナ海・日本海における基礎生産への台風の影響、沿岸海洋研究, 50, 39-44.

研究組織

石坂 丞二	名古屋大学地球水循環研究センター	教授	代表者	研究全般
森本 昭彦	名古屋大学地球水循環研究センター	准教授		物理データの解析
Xu Youngjiu	名古屋大学大学院環境学研究科	博士後期課程3年		Chl.データ解析
安藤 朗彦	福岡県水産海洋技術センター	研究部漁業資源課長		漁獲データ解析
市川 香	九州大学応用力学研究所	准教授	世話人	解析に関する助言
広瀬 直毅	九州大学応用力学研究所	准教授		フェリーデータ観測
吉川 裕	九州大学応用力学研究所	准教授		レーダー観測
松野 健	九州大学応用力学研究所	教授		解析に関する助言

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 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、2月21日から22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、古市より東シナ海陸棚上における乱流強度の観測に関する話題提供がなされた。東シナ海での潮流混合の定量的な把握を行うために行われた乱流強度の観測結果が紹介され、乱流強度のパラメタリゼーションの提案がなされた。また、海底から離れた中層における乱流強度の成層強度やシア強度との関連についての先行研究との比較もなされた。一方堤は、瀬戸内海の伊予灘で行われた詳細な乱流強度観測に関する話題提供を行った。海底起伏の激しい場所で抵抗係数が50パーセント程度増加すること、そして海底地形が直上の乱流に及ぼす影響を報告した。次に和方は、潮流楕円の回転方向や長軸の向きなどの鉛直変化の特性について、まず線形解析によりその特徴と原因を整理し、その後非線形項も含んだ数値実験(LES)で検証を行い、概ね線形解析で得られた現象の再現に成功した。吉田は北太平洋西部域での混合過程、とりわけ二重拡散対流の影響に関する話題提供を行った。乱流計で計測した乱流エネルギー散逸率と、二重拡散対流発生の指標となるターナー角などを解析した結果、二重拡散対流によりエネルギー散逸率が2~3倍大きくなったと予想される事例や、二重拡散対流により鉛直シアが強化されうる(鉛直渦粘性係数が負となりうる)事例の紹介があった。井上は、北太平洋亜熱帯域の生物基礎生産と関連する物理過程に関して講演した。INBOX(西部北太平洋物理生物観測実験)と名づけられた観測の成果である、クロロフィルの増加時に鉛直混合が強まる事例や、渦の移動に伴い溶存酸素極大層における溶存酸素濃度の増加が見られた事例などは、いずれも物理場が海洋低次生態系の変動に強く関与していることを示す結果であり、今後のさらなる成果が期待される内容であった。

安田は千島列島に位置するブッソル海峡での乱流混合強度の観測と、そのような混合が北太平洋の海洋構造に及ぼす影響に関して講演した。CTDで計測される密度逆転から乱流エネルギー散逸率を推定する手法を改良し、ブッソル海峡を横断する断面での乱流エネルギー散逸率の分布を求め、その成因として同海峡で卓越する海底捕捉波に伴う乱流混合が重要である可能性を強く示唆する結果を得た。次に日比谷は、深海での内部波に関連して生じるエネルギー散逸に関する従来のパラメタリゼーション(Gregg 1989)の問題点について指摘し、その問題点を克服するための最近の取り組みとその考え方について説明を行ったのち、過去の乱流エネルギー散逸率、成層強度、シア強度の観測データを用いて、パラメタリゼーションの妥当性の検証を行った。その結果、最新のGHPパラメタリゼーションは、概ね良い結果をもたらすことを確認した。遠藤は、東シナ海で行われた観測結果を解析し、夜間対流のエネルギー収支について検討を行った。エネルギー生成率を見積もり、計測された乱流エネルギー散逸率との差を求めたところ、残渣が大気研究などから予想されるエネルギー輸送率と概ね一致することを見出し、海洋における対流境界層のエネルギー収支が大気境界層のそ

れと同様であることを指摘した。丹羽は、潮汐エネルギーの内部波へのエネルギー転嫁率に関する数値実験を行い、エネルギー転嫁率の解像度依存性と、その空間分布およびその要因について詳細な検討を行った。さらに、潮汐エネルギーの散逸が全球深層循環に果たす役割を数値実験で検討した結果、生成された内部波エネルギーが遠方に輸送され散逸する効果を組み込むことで、観測される深層循環を概ね再現するという結果を得た。次に吉川は、海面加熱時の風成流、風成乱流のスケーリングに関する話題提供を行った。海面加熱時の混合層深度の外部パラメータ依存性を観測データから調べた結果、大気境界層の研究で提案されたスケーリングが海洋でも適用可能であることを見出した。さらに数値実験（LES）を行い、混合層深度を用いて渦粘性・拡散係数や風成流や混合層内成層強度もスケーリング可能であることを指摘した。最後に井手は、吹送流に及ぼす熱フラックスの日変化の影響について講演した。現実的な成層強度や風応力変動、熱フラックス変動を与えた実験を行い、熱フラックスの日変化の影響が大きいことを示し、次に日変化する熱フラックスが物質の漂流に対する影響を検討した。

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ーを形成・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 -----

2月21日

- 13:00 - 14:00 古市（環境研）
夏季の東シナ海における乱流強度観測
- 14:00 - 15:00 堤（愛媛大）
伊予灘における乱流強度の時空間変動特性
- 15:00 - 16:00 和方（九大）
潮汐乱流のいくつかの特性について
- 16:00 - 17:00 吉田（東京海洋大）
西部北太平洋での混合過程の研究
- 17:00 - 18:00 井上（海洋研究開発機構）
亜熱帯の木曾生産と物理過程＋その他

2月22日

- 10:00 - 11:00 安田（東大）
密度逆転を利用したブッソル海峡における乱流混合強度の見積もりと海洋構造に対する影響
- 11:00 - 12:00 日比谷（東大）
マルチスケール・プロファイラを用いた深海乱流のパラメタリゼーションの有効性の検証
- 13:15 - 14:15 遠藤（九大）
夜間対流混合層内における乱流運動エネルギー収支の見積もり
- 14:15 - 15:15 丹羽（東大）
全球数値シミュレーションから求められた内部潮汐波エネルギー転嫁率のグローバル分布の水平格子間隔依存性について
- 15:15 - 16:15 吉川（九大）
安定境界層のスケーリング則：混合層深度の全球分布から見えるもの
- 16:15 - 17:15 井手（九大）
海面熱フラックスの日変化が表層吹送流に及ぼす効果とその広域海洋への適用

海洋窒素循環に関する研究

神戸大学 自然科学系先端融合研究環

内海域環境教育研究センター 林 美鶴

1. 目的

海洋の基礎生産にとって重要な栄養塩として窒素やリンが挙げられる。これらの物質は海洋中で、プランクトンなどの有機態や、イオン（硝酸やリン酸など）で無機態として存在する。さらに窒素はリンと異なり、気体としても存在する。これまで海水中の窒素循環過程において、気体としての窒素は十分に評価されてこなかった。しかし気体の中には地球温暖化ガスの一種である一酸化二窒素が含まれており、例えば淀川河口の海水中一酸化二窒素濃度は、海底堆積物中の脱窒に加え、海水中での硝化により生成されて、外洋深層と同程度で高濃度であり、これが直接大気に放出されていることが明らかになっている。また一酸化二窒素は船舶の排ガス中にも含まれ、貿易立国である日本の沿岸には多数の船舶が航行し、大量の一酸化二窒素が排出されている。

国際海事機関(IMO; International Maritime Organization)は、船舶排ガスからの窒素・硫黄酸化物排出規制に続き、温室効果ガス排出規制を検討している。しかし一酸化二窒素は、燃焼後の冷却・減圧過程で化学変化を起こすため測定手法が構築されておらず、運航船舶で排ガス中濃度を実測した例はほとんどない。そこで本研究では、運航中の船舶で一酸化二窒素の濃度測定を実施し、測定手法を構築すると共に、排出量の算定を行う。

2. 方法

観測は神戸大学大学院海事科学研究科付属練習船深江丸で実施した。主機は6気筒4サイクルディーゼル機関で、燃料油には動粘度 1.963cSt、密度 0.8391g/cm³ (15°C)、硫黄分 0.027wt%、窒素分 0.01wt% のA重油を使用している。排ガスは高温で、且つ水分や煤塵などが含まれている。このため図の通り、排ガスエコマイザーを出た直後の排ガスを急激に冷却して化学変化を抑えると共に、乾燥カラムとフィルターを通して除湿と煤塵除去を行った後、一酸化二窒素濃度測定器で濃度を測定した。また、に機関の出力を変化させ、それに伴う濃度変動を解析した。

燃料消費率(g/kwh)および単位時間・単位出力あたりの一酸化二窒素 (N₂O) 排出量 (mg/kwh) は次式を用いて算出した。

$$[\text{燃料消費率}(g/kwh)] = \frac{1000 \cdot [\text{燃料消費量}(m^3/h)] \cdot [\text{燃料密度}(kg/m^3)]}{P(kw)}$$

$$[N_2O\text{排出量}(mg/kwh)] = [\text{排気量}(m^3/h)] \cdot [N_2O\text{濃度}(ppb)] \cdot \frac{[N_2O\text{の分子量}]}{22.4 \times 10^3} \cdot \frac{60}{P(kw)}$$

$$[\text{排気量}(m^3)] = \alpha \cdot N \cdot (\pi D^2 / 4) \cdot L \cdot n$$

$\alpha=0.5$ (4サイクル) N:回転数 (rpm) D:ボア径 (m) L:行程 (m)

n:シリンダ数 (6) [N₂O分子量]=44 P:出力 (kw)

負荷変動実験の結果を用いて、今回の観測期間中に深江丸から排出された一酸化二窒素の排出量を推定した。使用した燃料の量に対しての排出量を求めるために以下の式によって一酸化二窒素排出係数 (mg/kg-Fuel) を算出した。

$$[N_2O \text{ 排出係数 } (mg / kg - fuel)] = \frac{[N_2O \text{ 排出量 } (mg / kwh)]}{[燃料消費率 (g / kwh)]}$$

$$= \frac{[排気量 (m^3 / h)]}{[燃料消費量 (kg)]} \cdot [N_2O \text{ 濃度 } (ppb)] \cdot \frac{[N_2O \text{ 分子量 }]}{22.4 \times 10^6} \cdot 60$$

3. 結果

通常航海状態で排出される一酸化二窒素濃度は、他の機関運転状態に比べ最も高いが、単位時間・単位出力当たりの質量換算値では最小値である。このとき燃料消費率は最も低くなっており、一酸化二窒素の排出低減には燃料消費率の向上が有効であると言える。低負荷時は一酸化二窒素排出量が大きく、不完全燃焼が原因であると思われる。観測期間中の深江丸のからの一酸化二窒素排出量は 115kg であり、二酸化炭素換算で 34ton である。船舶からの一酸化二窒素排出量は、一酸化二窒素濃度(ppb)、排気量(m³/h)、及び燃料消費量(kg)を測定すれば推定可能である。

4. 研究成果報告

なし

5. 研究組織

代表者：林美鶴
 所属：神戸大学
 役職：准教授
 担当：観測

分担者：山下栄次
 所属：岡山理科大学
 技術科学研究所
 役職：教授
 担当：観測

分担者：柳哲雄
 所属：九州大学
 応用力学研究所
 役職：教授
 担当：観測結果評価

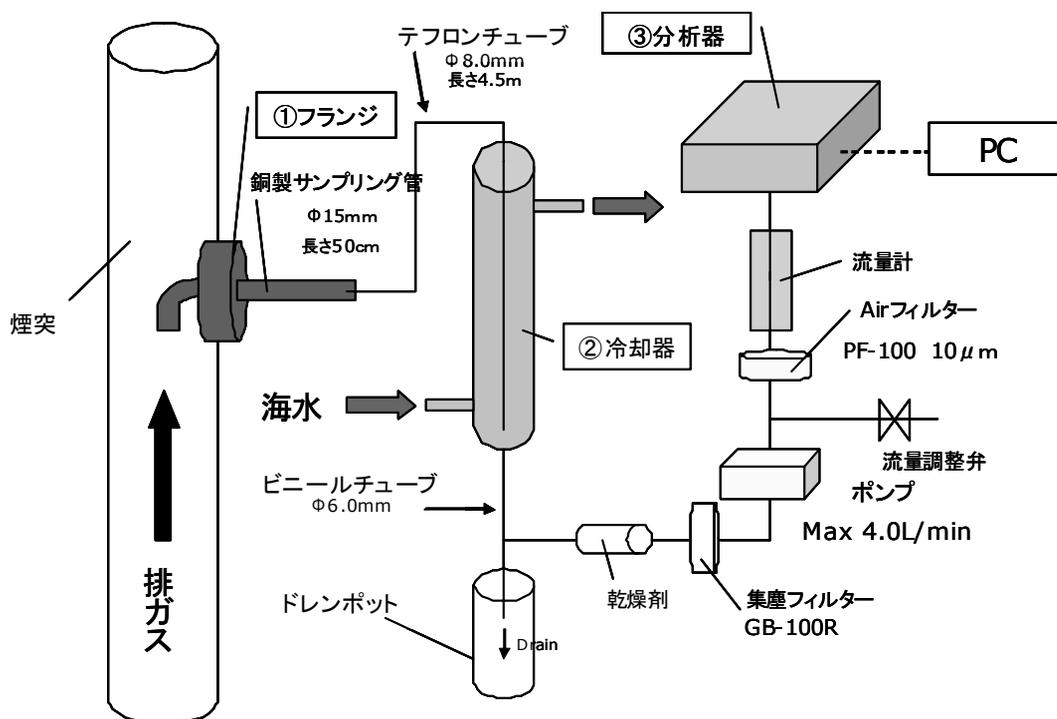


図 船舶排ガス中一酸化二窒素濃度測定器システム

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、改良が終了した応用力学研究所円盤型水中グライダーの海上試験、ビーグル投入・回収装置の改良、JAMSTEC「かいよう」で行われた水中ビーグル試験への参加を行ったので報告する。

2. 円盤型水中グライダーの海上試験

イリジウム通信装置の搭載

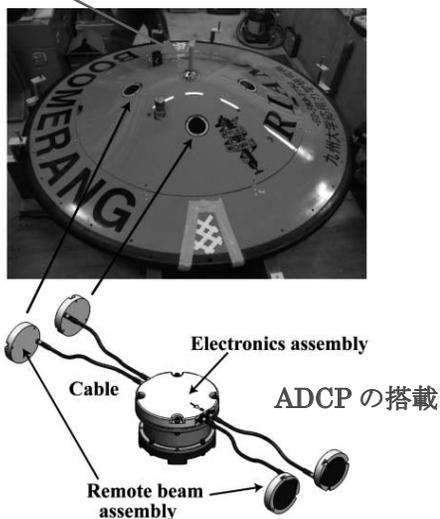


Fig.1 改良が終了した円盤型水中グライダー

ビーグルの動作テストが 2012 年 10 月長崎港沖の水深 50m 海域と 100m 海域で実施された。50m 海域では小型のフロートを準備し、安全のためビーグルとフロートを細いロープでつなぎ、かつ、ダイバーの支援が得られる状態で試験を行った。ビーグル設計最大深度は 100m であるが、動作不良によりビーグルが浮上できなかった場合に備え、第一実験海域はダイバーによる回収が可能な 50m 水深海域とした。ビーグルの浮上位置を Fig.2 に示す。4 回目の浮上時にイリジウム通信装置・GPS のアンテナが破損したため 5 回目の潜航を開始する前にビーグルを回収したが、ビーグルの潜航・浮上動作には問題がないことを確認した。



Fig. 2 第一実験海域におけるビーグル浮上位置

水深 50m 海域での試験が順調に行われ、ビーグルの動作にも問題がないことが確認されたので、次に、水深 100m 海域での試験を安全索無しで実施した。アンテナが破損しているためビーグルの浮上位置を記録することはできなかったが、3 回の連続潜航・浮上に成功した。

実験中は超音波式位置検出装置により本船からのビーグル相対位置を計測し、ビーグル浮上予測位置に本船を移動するように操船を行った。

3. ビーグル投入・回収装置の改良

ビーグルの改造により、艇体上部にアンテナ等が突き出すことになり、波が高いとビーグル回収時にアンテナと投入・回収装置が接触する危険性が指摘された (Fig. 3)。今回は幸い巧みなクレーン操作に

より接触は回避できたが、装置のビークル入り口側の形状を変更することにした (Fig. 4)。かさ上げした部分をケージに固定してしまうと4 tトラックに積み込むことができなくなるため、取り外し可能な構造となっている。改良部分の設計には応用力学研究所技術室丸林賢次氏の協力を得ました。ここに深く感謝の意を表します。



Fig. 3 ビークル回収状況



Fig. 4 改良されたビークル投入・回収装置

4. JAMSTEC「かいよう」で行われた水中ビークル試験への参加

2013年1月に実施されたJAMSTEC所有の水中グライダー「ツクヨミ」の動作試験に参加し、他船で実施される水中ビークルの試験実施方法について情報を収集した。

試験は研究船「かいよう」で実施された。「かいよう」は半没水型の双胴船で、長崎丸の通常タイプのクレーンと異なり、船尾にエーフレームを備えている。

Fig.5 は出向前に専用岸壁に停泊中の「かいよう」で実施された事前動作確認の様子である。主として海水とは比重が異なるため水槽では実施できないビークルの浮力調整が実施された。これは九州大学のビークル試験時にも行われる手順であり、浮力調整容量の小さい水中グライダーでは重要な作業であることが再認識された。



Fig. 5 事前テスト風景

Fig.6 に相模湾で実施された試験終了後のビークル回収時の様子を示す。九大ビークルの回収とは異なり、作業艇の支援を得ての回収作業であった。さらに大型のビークルではスイマーの支援を得ての回収となるとのことであった。水中ビークルの運用では投入・回収作業をいかに簡単にかつ安全に行うことが非常に重要であることがわかった。



Fig. 6 ビークル回収状況

5. 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 (長崎大学水産学部 准教授)
清水健一、内田淳 (長崎大学水産学部 助教)
下田真子 (長崎大学水産学部 技術職員)
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 (九州大学応用力学研究所 技術職員)

【研究の目的】

越前海岸の鷹巣（図1参照）では、一時的に流れが速くなり、地先で行われている定置網では操業ができなくなるときがある。一時的な強い流れの発生は漁業者によって経験的に認識されているものの、その発生過程については十分に理解されていない。そこで本研究では越前沿岸域の表層流の基本特性の解明を目的として、定置網近傍で係留観測を実施して連続データを収集した。観測は日本海研究を先駆的に展開している九州大学応用力学研究所（所内世話人：千手智晴准教授）と、当海域で観測の経験を持つ福井県水産試験場（担当：鮎川航太氏）、福井県立大学の3機関が協力して行った。取得した係留期間中のデータは7月末から8月頃に流れが強くなる現象を示していた。本報告では、この時期の流れと沖合の流れの関連性について主に報告する。

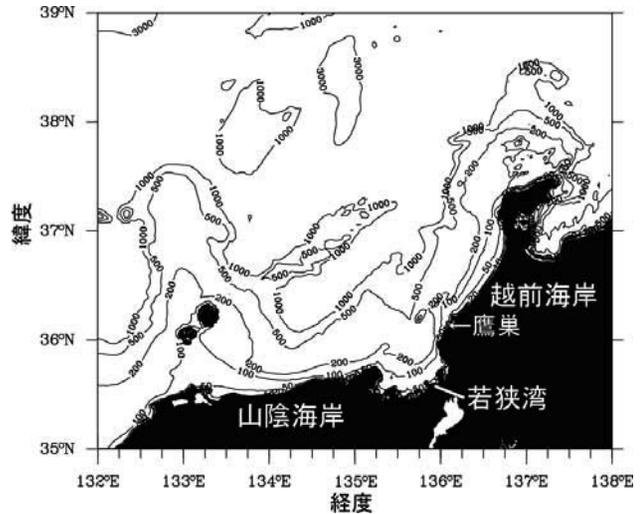


図1 若狭湾および周辺海域：等値線は水深を示している。前海岸に面した鷹巣定置の近傍で観測機器を設置した。

【データ解析および現地観測】

鷹巣の定置網は、若狭湾湾口から約20km東に位置している。係留観測は福井県水産試験場の調査船「若潮丸」を用いて、定置網近傍に流速計、水温・塩分計、水温計（10mから40mまで10mおき）を4月23日～12月13日まで設置した。途中、機器のメンテナンスのため観測機器の交換を実施した。観測機器の測定間隔は流向・流速計および水温計が10分、水温・塩分計（時系列図は省略した）は60分とした。

【結果】

図2には、海面下10mに設置された流速計のデータを示した。鷹巣では岸に沿って北東方向へ向かう流れが最も卓越しているものの、係留期間中に複雑に変化していた。4月から7月中旬までの流速強くても20cm/sec程度であったが、7月下旬に50cm/secを超える強い流れが発生し、その強い流れは8月下旬まで継続した。8月下旬には流向が北東方向から南西方向に急に変わり、流れは10cm/sec程度まで弱くなった。その後は、10cm/sec程度の北東向きと南西向きの流れが交互に発生し、11月頃になると

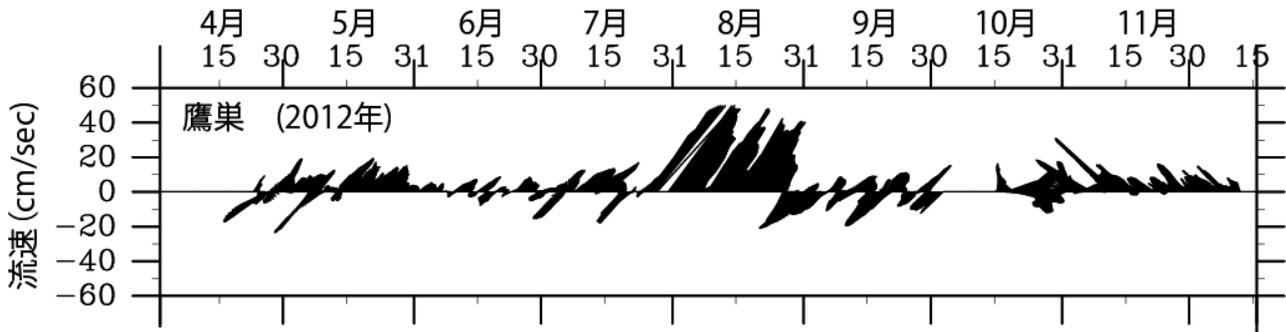


図2 鷹巣の流れ（海面下10m）7月下旬から約1ヶ月にわたって強い流れが観測された。

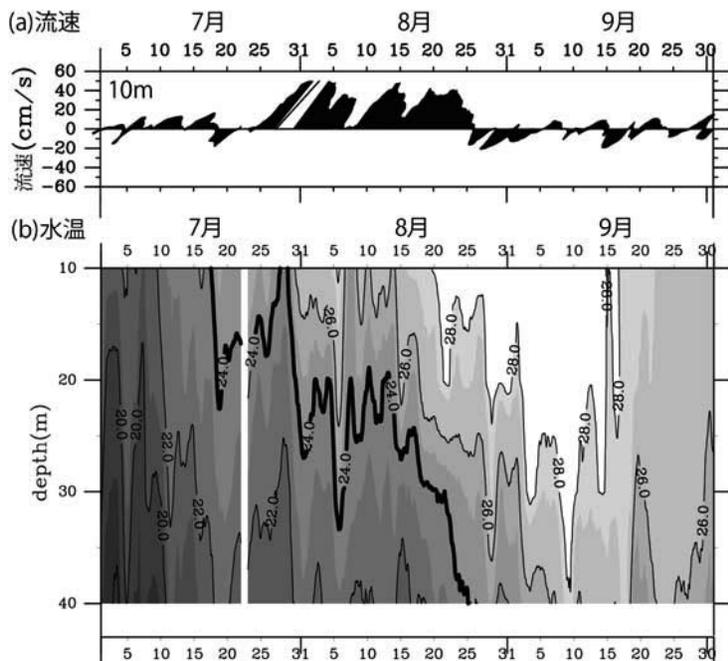
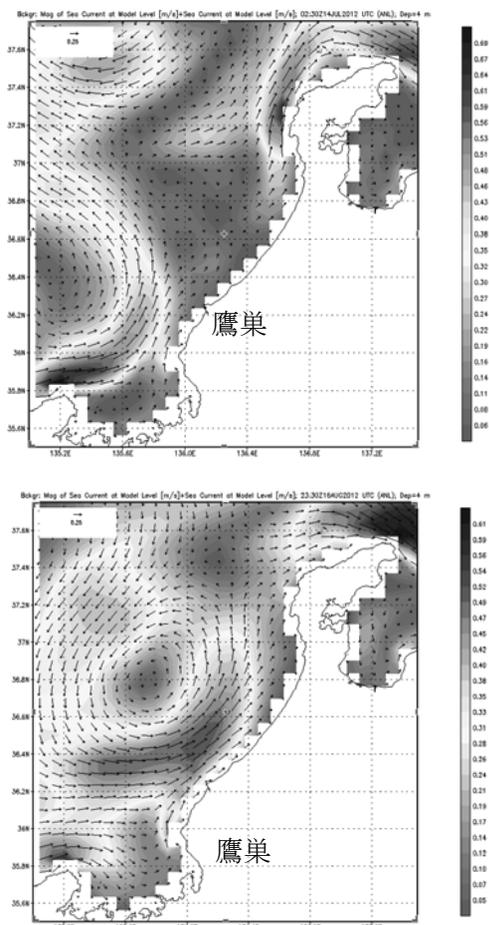


図3 鷹巣における2012年7月1日-9月30日までの海面下10mの流速(a)および水温(b)の時系列。

北西方向の流れに変化した。

図3には、7月から9月までの流速ベクトルの時系列と、水温のイソプレットを示した。北西向きが強く変わった7月下旬頃から、水温構造は急に変化し、暖水層の厚さが次第に大きくなった。(図3では24°Cの等温線を太く示している。)24°Cの海水は7月下旬頃から現れ始め、7月30日頃から8月中旬までは水深25m程度に達した。8月15日頃から再び急に暖水層厚は増加し、8月の下旬頃には上層が28°C程度、下層で24°C程度の水温構造に変化した。7月中旬から、8月上旬にかけての沖合の状況は調査船による観測ではスナップショット的な情報は得られるものの、沖合の流況過程について理解できない。そこで、九州大学応用



↑図4 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、(上図)7月13日(鷹巣の流れが速くなる前)、(下図)8月16日(鷹巣の流れが速いとき)、引用:九州大学応用力学研究所「日本海海況予測システム」(<http://dreams-i.riam.kyushu-u.ac.jp/vwp/>)。

力学研究所が「日本海海況予測システム」(<http://dreams-i.riam.kyushu-u.ac.jp/vwp/>)で公開している同時期の数値シミュレーションの結果を参考にして考察した。図4は鷹巣で流れが速くなる前の7月13日の計算結果と、流れが速くなった8月16日の計算結果を示した。8月16日は福井県水産試験場の調査船「福井丸」が若狭湾内の流況を観測していたので(図省略)、その結果と8月16日の計算結果を比べ、シミュレーションの結果が現実の流動パターンを再現していることを確認した。

流れが速くなる前の7月13日は、若狭湾西部に強い流れは見られるものの、鷹巣の沖合には強い流れはない。一方、8月16日の計算結果をみると若狭湾の沖に反時計回りの循環流が形成され、対馬暖流は鷹巣沖では接岸して北東向きの流れが強くなっていった。観測の結果およびモデルの結果は、対馬暖流が越前海岸沖で接岸流路をとることにより、鷹巣の流速は一時的速くなり、水温構造も変化したことを示していると推察される。

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。

24 AO-5

数値モデル構築に資する植物プランクトンの環境指標性に関する研究

福岡女子大学 国際文理学部 環境科学科 山田真知子

・ 目的

長江から海域に流入する河川水の影響が中国沿岸にとどまらず、東シナ海さらには日本海にまで及ぶことが推定される。そこで、影響を特定できる環境指標として植物プランクトンを選定し、その有用性ならびに影響の及ぶ範囲を検討する。

・ 研究方法

共同研究者の九州大学応用力学研究所の柳 哲雄教授、名古屋大学の森本昭彦准教授、および滝川哲太郎講師により、調査地点が決定され、試料の採取が行われた。各調査定点では **Chlorophyll a** 濃度が最大値を示す水深の海水が 3~6L 採取され直ちに濃縮・固定された。試料中の植物プランクトンを光学顕微鏡観察によって同定・計数し、組成を明らかにした。なお、固定液は固定液により植物プランクトンの細胞が破壊されないようルゴール系固定液を用いた。得られた検鏡結果から、東シナ海、日本海および両海水の混合域に特徴的な出現種の検討を行うとともに、得られた植物プランクトン組成をもとにクラスター分析を行い、地点間の類似度をみることによって、東シナ海と日本海の境界線（混合域）を推測する。

・ 研究結果

図 1 に示す調査地点で、1 回目の調査は 2012 年 6 月 23・24 日に実施されたが、海の時化が著しかったため、サンプル数は 3 試料にとどまった。2 回目調査は 10 月 7~11 日の 5 日間にわたって行われ、13 試料が採取された。

1 回目調査の東シナ海寄りの KT101 地点ではハプト藻の 1 種や微小鞭毛藻（図 2）、珪藻類の *Pseudonitzschia* spp. や *Nitzschia* spp.、日本海寄りの TRBM 地点では大型の珪藻類 *Rhizosolenia* や *Chaeticeros* などが多種出現してボリューム的にも卓越しており、中間に位置する KT102 では植物プランクトンは最も希薄であったが動物プランクトンの糞の多いことが特徴的であった。

2 回目調査で特徴的であったのは、黒潮影響海域である ST10 および ST05 の 2 地点で植物プランクトンが最も希薄で黒潮の特徴を良く反映していた。一方、最も東シナ海寄りの MT11 では珪素類の *Guinardia striata*、*Rhizosolenia alata* および *Rhizosolenia setigeraga* が卓越し（図 3）、組成が豊富であった。また、MT09 を中心に径 2 μ m の球形小型藍藻類の卓越が認められた。日本海側では対馬の日本海側の CL04 を中心に珪藻類の *Guinardia striata* や *Leptocylindrus danicus* が卓越し（図 3）、組成も豊富であった。

このように、東シナ海や日本海に約 40km 以上の間隔で設定された調査地点においては、植物プランクトンはバッチ培養されているかの如く各調査地点で組成が異なっていることが確認され、水塊の特徴を反映する環境指標として使用できる可能性の高いことが示された。今後も、詳細な解析を共同研究者と継続して行う計画である。

・ 研究成果の報告

共同研究者の柳 哲雄教授が研究成果を含めて、次の研究集会で報告を行う予定である。

応用力学研究所研究集会

地球温暖化と急激な経済発展が東アジア域の海洋・大気環境に及ぼす影響の解明

2013 年 3 月 18 日

東シナ海と日本海の低次生態系の相違

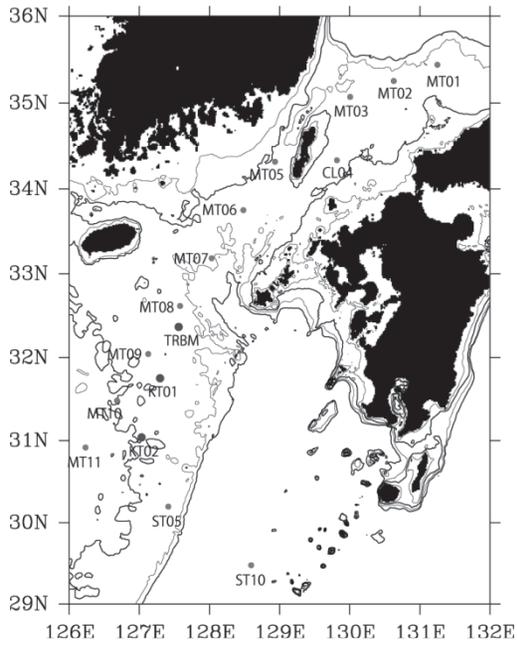


図1 調査地点

●, 7月調査; ●, 10月調査

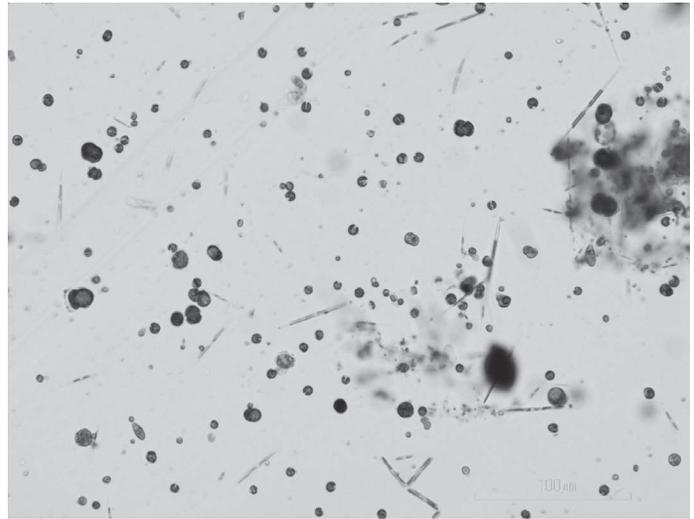
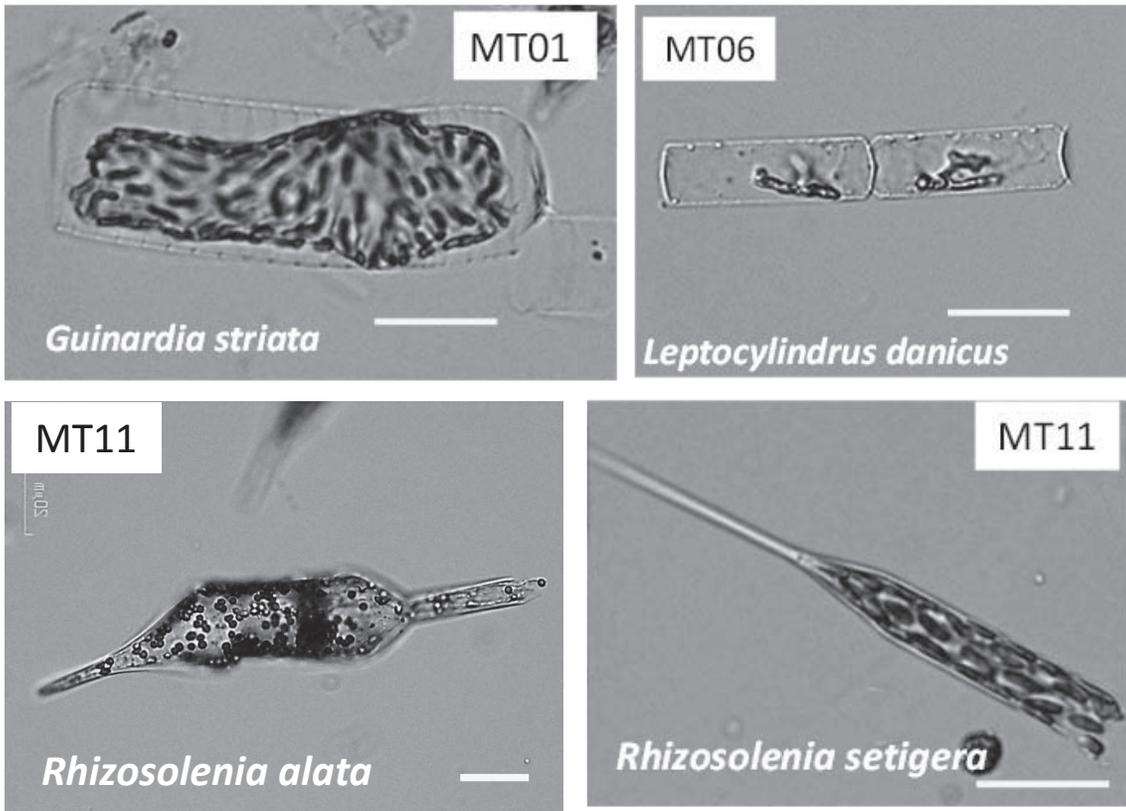


図2 7月調査 KT101 の光学顕微鏡写真
ハプト藻の1種、鞭毛藻や珪藻類 *Nitzschia* sp が観察される



図

図3 10月調査 植物プランクトン優占種の光学顕微鏡写真
いずれも珪藻類
バー: 20 μm

24 AO-6

海洋大循環の力学、とくに中深層循環に及ぼす海岸・海底地形の影響に関する研究

北海道大学大学院 地球環境科学研究院 水田元太

1. 目的

海洋中深層の循環は気候の形成に重要な役割を果たすが、そのしくみは十分には理解されていない。本研究では、数値計算、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、海洋循環のしくみに対する展望を得ることを目的とする。

2. 手法

2012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) 西 武宏・加古真一郎・磯辺篤彦（愛媛大 CMES）「東部亜熱帯モード水形成海域における混合層の変動特性に関する研究」
- (2) 岩崎慎介・磯辺篤彦（愛媛大 CMES）「黄海・東シナ海の沿岸域に見られる双方向の大気海洋相互作用」
- (3) 平原幹俊（気象研）「南大洋における回廊の存在が全球深層循環に与える影響」
- (4) 石崎廣（気象研）「162° E 赤道近傍深層測流結果(1998-2005年)から見えてきたもの—DWBC、平均東西流システム、赤道 Rossby 波—」
- (5) 蓮沼啓一（海洋総合研）「北大西洋深層水の最後」
- (6) 中野英之（気象研）「1.5層QG model による Okuno & Masuda (2003) の追試と、パラメーターを変えた追加実験。—順圧ロスビー波の分散関係として説明されることが多いβ面の二次元乱流スペクトラムの dumbbell-shape パターンは、水平発散を考慮した場合にどの程度成立しているようにみえるか?」
- (7) 増田章（九大応力研）「地球流体で組織だった流れが形成される仕組み — 傾圧不安定ほか —」
- (8) 水田元太（北大地球環境）「表層に捕捉された波源から作られる深層流」
- (9) 西垣肇（大分大教育福祉科学）「再解析データの平均場にみられる親潮海域の流動：鉛直積分流量」
- (10) 和川拓（東北水研）「三陸沿岸・沖合域の水質場と海洋循環」
- (11) 中村浩昭（九大総理工）・吉川裕（九大応力研）「海山周りに発生する渦成循環に関する数値実験」

3. 結果と議論

(1) 東部亜熱帯モード水の形成域における混合層深度の年々変動を1次元混合層モデルによって調べた。この海域では、混合層深度に対する初期成層の寄与が大きな年である OR 年と海面熱フラックスの寄与が大きい AR 年の2つがほぼ同じ割合で存在した。AR 年では冬季の海面水温(SST)と熱フラックスの間に正の相関があり、高 SST ほど熱を失い、混合層深度が深くなるという筋書きが成り立つことを示された。

(2) 冬季の黄海における海上風と海面水温(SST)の相互作用の有無を大気海洋結合モデルにより調べた。1ヶ月以下の変動において、SST と海上風に正の相関が見られ、SST が高いと大気境界層中の運動量輸送が増えるという Wallace らの説と整合する結果となった。この特徴は SST を固定すると見られなかった。

(3) 南極周極流上の偏西風が強化すると北大西洋での沈込みによる子午面循環(AMOC)が強化する「ドレ

「ドレーク海峡効果」のしくみを理解するために一連の数値実験を行った。ドレーク海峡が開いている場合は、閉じている場合に比べ、南極域で形成された底層水が北へ広がりやすく AMOC が強まった。さらに、ある時刻に周極流上に偏西風を与えると、北大西洋高緯度域の海面熱損失が次第に増加し、同時に AMOC が強化した。以上から、ドレーク海峡効果はエクマン流による力学的なものではなく、熱的なものである。

(4) 太平洋の赤道西岸域における深層流の係留観測により、数ヶ月程度以上の周期を持つ東西流の変動が捉えられた。高解像度数値シミュレーションとの比較から、この変動は東向と西向の流れが南北交互に4つのセル状に並んだ構造を持った年周期の赤道ロスビー波の伝播によるものであることが示された。変動の振幅の小さな地点では、縞状に伸びた平均東西流構造の一部と見られる流れも観測された。

(5) 北大西洋で形成される北大西洋深層水の循環について、海洋の気候値データを元に議論をした。北大西洋深層水は、南大洋に到達して高塩分で特徴づけられる周極深層水となり、南大洋を時計回りに循環しながら陸棚起源の水と混合しながら低塩化し、南極底層水へと変質する。最後に太平洋の底層を広がり北太平洋に到達する。北大西洋深層水の高塩分の起源としては地中海流出水の影響が考えられる。

(6) 海洋中深層に見られる東西流の縞状構造の原因に対する理解を深めるために、水平発散の強度に対する地衡流乱流の非線形性発展の依存性を調べた。水平発散がない場合は、乱流のスペクトルのピークは時間とともに、移流効果とロスビー波の伝播が釣り合う臨界波数に近づくのに対し、水平発散があるとその傾向は弱まる。また Okuno & Masuda (2003) が指摘した様に東西流の縞状構造も見られなくなる。

(7) 傾圧不安定の物理的なしくみを、2層準地衡流方程式系に基づく正準方程式によって明らかにした。正準方程式より、順圧モードの擾乱は傾圧モードの擾乱の移流から生じ、傾圧モードの擾乱は順圧モードの擾乱による CIPT (baroclinic Pseudo Topographic) β 効果から生じることが示される。不安定擾乱による渦層厚輸送速度は、界面形状抵抗や Gent & McWilliams の渦パラメタリゼーションと対応し、その収束発散は平均流の時間変化をもたらす。

(8) 中規模擾乱による平均循環形成のメカニズム調べるため、連続成層モデルの表層に擾乱を模した振動強制を与える数値実験を行った。深層には強制の半分の周期を持つロスビー波によって、Holland & Rhines (1980) が指摘した赤道向きの渦位フラックスと風成循環の再循環と同方向の流れが形成された。

(9) 高解像度再解析データを用いて親潮域の循環構造を調べた。亜寒帯循環による流れは、順圧流量で見ると、千島海溝の東に存在する海膨の斜面に沿って南下した後、東に方向を変え、その南北に再循環を伴う。これらの特徴は風成循環の西岸境界流および再循環と類似している。一方、千島海溝上では浅い方を右手に見る流れが卓越し、親潮はその一部である様に見える。

(10) 岩手県沖で得られた高い時空間分解能を持つ水温塩分データの解析を行った。三陸沖では親潮系の水塊が4月に卓越するのに対し、津軽暖流系の水塊が6月と12月の年2回の卓越することが初めて示された。2006年にワカメの養殖に被害を与えた親潮水の張り出しも明瞭に確認された。今後、数値シミュレーションと組み合わせることで、沿岸と沖合の循環の関係の解明や予測に貢献すると期待される。

(11) 初期擾乱を与えた場合に海山上に出来る循環の性質を数値実験により調べた。海山上には、多くの場合、高気圧性の循環が生じるが、その有無は内部変形半径や擾乱の初期速度に依存することが示唆される。また海山の幅や高さが大きく、擾乱が弱い場合には海山を回る流れの速さが2つのピークを持つ。

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、地方水産行政では魚礁の設計等で流れの情報が必要となるなど、地先の流動場の把握は重要である。しかしながら、これまでの流況観測は、半月程度の定点観測か、月 1 回程度の頻度で行われる船舶観測など、時空間的に粗な調査であった。日向灘における詳細な海況把握を目的に、宮崎県水産試験場では、平成 22 年 8 月より、まき網船に既設されている流速計で取得された流向・流速情報を水試ヘリアルタイムで送信・蓄積するシステムを導入し、まき網船による日向灘流況モニタリングを開始した(渡慶次・福田, 2012)。

本研究は、漁船搭載 ADCP により観測された流向・流速記録を用い、日向灘における潮流成分の推定を試みた。

2. 材料と解析方法

解析で使用した流向・流速記録は、まき網船 3 隻の船底設置型 Acoustic Doppler Current Profiler(ADCP)の対地モードで計測された 2010 年 8 月～2013 年 1 月までの水深 10m 以浅の 1 層目の計測値である。計測された流向・流速データは、15 秒間の平均値が 2～3 秒毎に電子データとして出力される。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 分間の平均値を用いた。

図 1 の★で示す地点(北緯 $32^{\circ} 18' 26''$, 東経 $131^{\circ} 44' 11''$)における 15 昼夜流況観測結果によると、主要 4 分潮の潮流楕円の長軸振幅は、 M_2 分潮 15.4cm/s , S_2 分潮 5.5cm/s , K_1 分潮 1.6cm/s , O_1 分潮 1.8cm/s であった(宮崎県農政水産部漁港漁場整備課, 2011)。日周潮の K_1 分潮と O_1 分潮の長軸振幅は、漁船計測の流速分解能 0.1kt (約 5.1cm/s)より小さいので検出できない。そこで、本研究では、日向灘において潮流振幅が大きい半日周潮の M_2 分潮及び S_2 分潮の調和定数を最小自乗法によって求めることにした。

解析では、漁船で計測された ADCP 記録と 15 昼夜連続観測によって得られている既知の調和定数を比較した。次に、緯度・経度 $1/12^{\circ}$ のポリゴン区画内のデータ個数 3,000 以上存在する地点において調和定数を算出し、日向灘における潮流楕円の空間分布を推定した(図 1 の○)。

3. 結果

図 2 は、図 1 の★で示す地点における 15 昼夜連続観測による既知の調和定数を用いた潮流楕円(破線)と、漁船計測データを用いて算出した M_2 及び S_2 分潮の潮流楕円(実線)をそれぞれ示している。漁船計

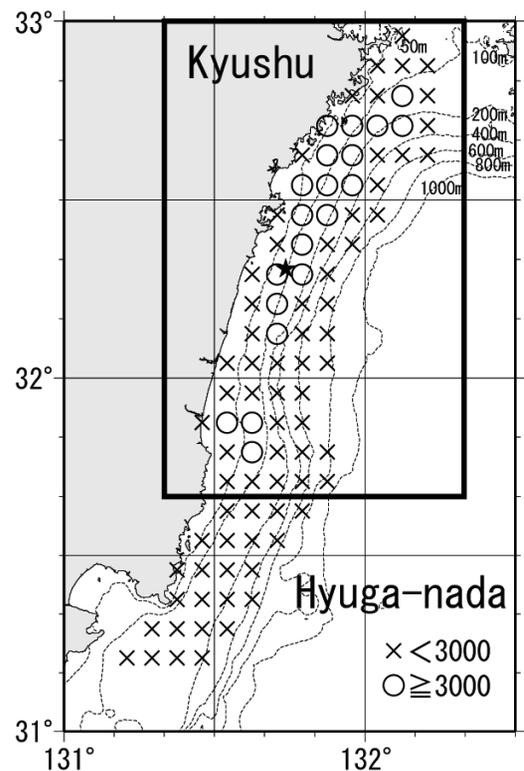


図 1. 緯度・経度 $1/12^{\circ}$ 区画毎におけるデータ個数の空間分布。×はデータ数 3,000 未満を、○はデータ数 3,000 以上の地点を示す。

測データによる調和定数による潮流楕円は、15 昼夜連続観測による結果と比較して、東西成分が小さく扁平となっており、主軸が反時計回り側に若干ずれているが、潮流の特性である長軸の長さや遅角などはおおよそ対応している。図 3 で示す日向灘における潮流楕円の空間分布について、最北地点における M_2 分潮の潮流楕円は、調査船 ADCP により推定された潮流楕円(武岡・菊池, 1991)と長軸の長さ・向き等が酷似していた。すなわち、本研究によって算出された潮流の調和定数は、日向灘における潮流の特性をよく表現していると考えられる。

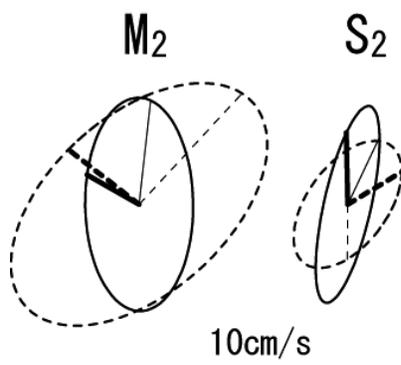


図 2. 図 1 の★における既知の潮流楕円(破線)とその地点を中心とした緯度・経度 $1/12^\circ$ 区画の漁船計測データで算出した M_2 分潮及び S_2 分潮の潮流楕円(実線)との比較。太線は東経 135° における月の正中時の潮流を、細線は前者から位相が $1/4$ 遅れた潮流を示している。

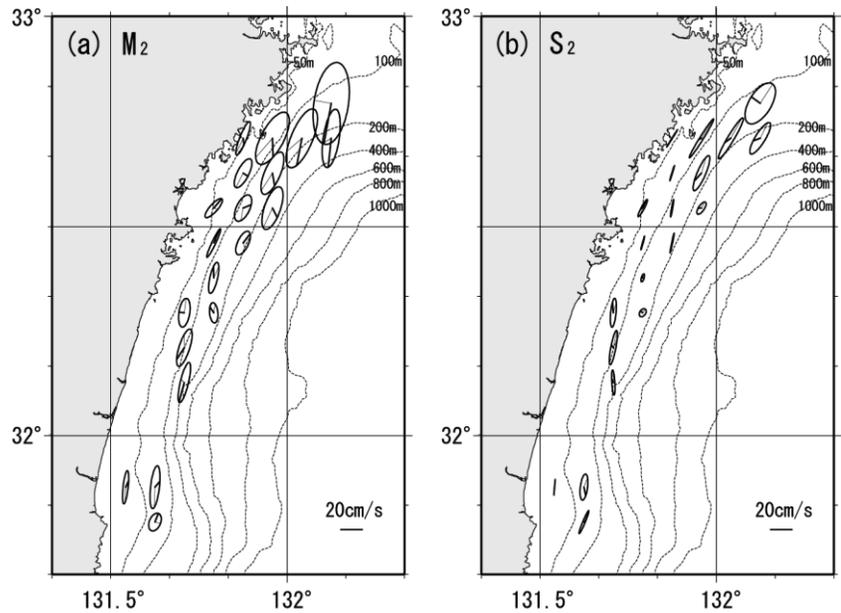


図 3. M_2 分潮(a)及び S_2 分潮(b)の潮流楕円の空間分布。潮流楕円の内容は図 2 と同じ。

4. 成果報告

渡慶次 力・萩原快次・岡部久：海況情報提供における広域連携と漁船情報活用の取り組み. 平成 24 年度水産海洋学会創立 50 周年記念大会シンポジウム.

渡慶次 力：漁船による日向灘海況モニタリング. 第 66 回西日本海洋調査技術連絡会議.

渡慶次 力・福田博文・林田秀一・清水学・市川忠史・柳哲雄：日向灘海況情報提供における漁船情報活用の取り組み. 九州大学応用力学研究所研究集会「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」.

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	柳 哲雄

平成24年度 海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用

平成24年12月12日～13日 参加者名簿 (多目的交流室)

	氏名	所属	職名
1	大島 正資	三菱電機	
2	久木 幸治	琉球大	教授
3	Wen-Son Chiang	TORI	副研究員
4	Shao-Hun Chen	TORI Taiwan	研究員
5	伊藤 浩之	長野日本無線	
6	田中 朗	長野日本無線	
7	藤 良太郎	国総研	交流研究員
8	灘井 章嗣	NICT	
9	吉川 裕	応用力学研究所	准教授
10	西村 一星	海上保安庁	
11	森岡 裕詞	海上保安庁	
12	宮村 茂	(株)マネジメントオフィスMIYA	
13	Saug Ho Lee	Kunsan Univ.	教授
14	吉井 匠	電力中央研究所	
15	川相 隆	三菱電機(株)	
16	森本 昭彦	名古屋大学	准教授
17	山田 寛喜	新潟大学	教授
18	江淵 直人	北大・低温研究所	教授
19	張 偉	北大・低温研究所	院生
20	吴 雄斌	武漢大学	教授
21	川村 誠治	NICT	
22	今村 正裕	電力中央研究所	
23	増田 章	応用力学研究所	教授
24	富田 浩之	名古屋大学	研究員

25	杉谷 茂夫	NICT	
26	小沢 直輝	新潟大学	院生
27	藤井 智史	琉球大	教授
28	油布 圭	応用力学研究所	技術職員
29	Cho Teng Liu	NTU	教授
30	並木 正治	海上保安庁	
31	坂井 伸一	電力中央研究所	
32	日向 博文	国総研	
33	勝呂一彦	3Sオーシャンネットワーク	
34	杉尾 毅	第七管区海上保安本部	
35	桑田 浩二	朝日航洋(株)	
36	滝川 哲太郎	水産大学校	講師
37	水野 信二郎	自宅	
38	井手 喜彦	九大・総理工	D2
39	市川 香	九大・応用力学研究所	教授
40	三城 希雄志	九大・総理工	D3
41	金城 早香	水産大学校	院生
42	デシーベリアンティ	九大・総理工	
43	石橋 道芳	九大・応用力学研究所	技術室長
44	福留 研一	日水研	
45	橋本 典明	九大・工学部	教授
46	広瀬 直毅	九大・応用力学研究所	教授
47	Don Barrick	Codar Ocean Sensors	
48	Belinda Lipa	Codar Ocean Sensors	
49	岩部 伸家	朝日航洋(株)	
50	渡部 敏昭	朝日航洋(株)	

24 AO-8

全球気候モデルと衛星計測データを用いた雲 - 放射 - 力学相互作用過程の研究

東京大学大気海洋研究所 渡部雅浩

1. はじめに

地球温暖化などの気候変化予測における最大の不確定要因である雲および雲と放射・力学場の相互作用は、未解明かつ最先端の課題である。雲の生成消滅に関わる循環場は空間的に連続であり、気候変化の時間スケールを数値計算で扱うためには、全球気候モデル (GCM) を使う必要がある。しかし、GCM の解像度は $O(100\text{km})$ であり、雲システムの直接計算はできない。そこでパラメタリゼーションと呼ばれる粗視化手法を取り入れるが、これはさまざまな誤差を含むため、各々異なるスキームを用いた複数の GCM で計算される温暖化時の雲変化およびその放射への作用は大きくばらついている。したがって、地表の温暖化に対して、下層雲が増加するか減少するかという基本的な問題が未解決で、雲応答のメカニズムに関しても統一的な結論が得られていないのが現状である。

この状況を打破する方向性として、最近データが増えつつある人工衛星からの雲プロダクトで GCM の雲の場を検証すること、および気象予報型のモデル数値実験を行うことで気候平均量ではない速い雲の場の変化を捉えること、などが考えられる。最終的には、GCM の改良とともに大気中 CO_2 濃度の増加に対する雲-放射フィードバックのより確かなメカニズムを明らかにすることが目標となる。本年度は、モデルを用いたメカニズム研究を推進した。

2. モデルと実験

本課題で用いる全球気候モデル MIROC5 は、第 5 次結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP5) へ向けて東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋開発研究機構で開発された最新バージョンで、旧版に比べ気候平均場や自然変動の再現性が向上している (1-3)。標準モデルの解像度は、大気が水平約 1.4 度、鉛直 40 層、海洋が約 0.5×1 度、鉛直 51 層である。雲周辺については、液相・固相それぞれの雲粒子濃度と混合比を予報変数とし、エアロゾルや積雲、境界層過程と結合して解かれる。

本研究では、雲-短波放射フィードバックのメカニズムの理解に向けて、気候モデル MIROC5 の大気部分 (AGCM) を用いた 2 種類の実験設定のもとで、海面水温 (SST) を一様に上昇させたときの熱帯下層雲の応答を調べた。一つは Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP) 実験と呼ばれる、観測された SST 及び海氷被覆を与えて積分した 30 年間の気候再現実験である。もう一つは Transpose AMIP II (TAMIP) 実験と呼ばれる、大気再解析データで初期値化し、10 日間積分した 64 メンバーのアンサンブル・ハインドキャスト実験である。SST 昇温に対する雲の応答の時間スケールは短いと考えられるため、この TAMIP 実験は AMIP 実験における長期平均として得られる平衡応答に向かう過渡応答を捉えることが期待される。どちらの実験設定でも、参照実験とは別に全球 SST を 4K 上昇させて擬似的に温暖化の状況を作り出した実験 (AMIP+SST および TAMIP+SST 実験と呼ぶ) を行い、参照実験からの差で温暖化時の応答を定義する。

3. 結果

MIROC5 の AMIP+SST 実験では、他の多くの GCM 同様に熱帯下降流域で下層雲が減少し、正の雲-短波放射フィードバックを示すが、TAMIP+SST 実験の 10 日積分でもアンサンブル平均で同様の変化が

現れた。TAMIP+SST 実験結果の解析から、海上境界層(marine boundary layer, MBL)の相対湿度が下がることで下層雲が減少していることがわかった。この 10 日間の中に、SST 昇温に対して MBL が自由大気より速く昇温することによって逆転層が弱化し、対流活動が活発化することによって MBL の水蒸気が自由大気に輸送され、相対湿度が低下する。SST 昇温に伴う海面蒸発量の増加は相対湿度を増加させるように働くが、ウォーカー循環の弱化に伴う海上風速の減少によってこの効果は抑制される。すなわち、熱帯海上の下降流域における下層雲量変化の符号は、対流活動による MBL の乾燥化と海面蒸発量増加に伴う乱流混合による湿潤化との競合関係によって決定される。

さらに、MIROC5 AGCM と同一の物理スキームを実装する鉛直 1 次元モデル(SCM)を用いて、GCM における雲の応答メカニズムの検証を行った。標準実験における SST 昇温時の雲の応答が AGCM と定性的に一致することを確認した上で、SCM に与える外部強制や物理パラメータを変えることで、下層雲応答の平均場の逆転層強度や SST 昇温時の海上風速変化に対する感度を調べた。コントロール実験で逆転層が強く、SST 昇温時に海上風速が変化しないか強くなる場合には、積雲対流による MBL の乾燥化が働かず、海面蒸発量の増加によって下層雲が増加することがわかった。この結果は、AGCM の解析から考えられる下層雲の応答メカニズムと整合的であり、これらの要素が GCM 間の下層雲応答のばらつきを説明する上で重要であることが示唆された(4)。

4. 今後

モデルで生じる雲の変化するメカニズムが現実に適用可能かどうかは、モデルのシミュレートする雲生成過程、温度構造などの検証を行うことで判断できる。TAMIP 実験は CloudSAT のような衛星プロダクトと直接比較できることが利点であり、岡本教授の開発した衛星シミュレータ(5-6)を TAMIP の結果に適用済みである。今後は、このようなモデル衛星比較をすすめ、モデルの誤差と温暖化時のフィードバックの関連性を明らかにするような研究が望まれる。

文献

1. Watanabe, M., and Coauthors, 2010: Improved climate simulation by MIROC5: Mean states, variability, and climate sensitivity. *J. Climate*, 23, 6312-6335.
2. Watanabe, M. and Coauthors, 2011: Fast and slow timescales in the tropical low-cloud response to increasing CO₂ in two climate models. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-011-1178-y.
3. Watanabe, M. and Coauthors, 2012: Using a multi-physics ensemble for exploring diversity in cloud shortwave feedback in GCMs. *J. Climate*, 25, 5416-5431.
4. Demoto, S., M. Watanabe, and Y. Kamae, 2013: Mechanism of tropical low-cloud response to surface warming using weather and climate simulations. *Geophys. Res. Lett.*, submitted.
5. Okamoto, H., and Coauthors, 2007: Vertical cloud structure observed from shipborne radar and lidar: mid-latitude case study during the MR01/K02 cruise of the R/V Mirai, *J. Geophys. Res.*, 112, D08216, doi:10.1029/2006JD007628.
6. Okamoto, H., and Coauthors, 2008: Vertical cloud properties in the tropical western Pacific Ocean: Validation of the CCSR/NIES/FRCGC GCM by shipborne radar and lidar, *J. Geophys. Res.*, 113, D24213, doi:10.1029/2008JD009812.

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

本研究は、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およびデータセット化し、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最終的な目標に据える。また、本目標遂行においてエアロゾル輸送モデル等の数値モデルのエアロゾル分布データは非常に有用な情報となる。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も視野に入れる。

本目標遂行のために、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）により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、推定されたエアロゾルデータの時空間変動について考察を行った。結果は、上記アルゴリズムの有用性を示すと共に、アルゴリズムで利用されているエアロゾル光学特性モデルの不完全性とライダーデータの品質向上の必要性も示唆した。

そこで、本研究課題において、より信頼性の高い全球エアロゾルデータの抽出を目的としてライダーデータの品質向上および上記アルゴリズムの改良を目指した数値解析手法の開発を行う。また、これらの開発・改良した解析手法を用いて衛星ライダーデータの全球解析を行い、エアロゾル種毎の全球時空間変動について考察する。また、地上ライダーデータの解析も行い、データセットの作成を進める。

実施方法

ライダーデータの品質向上を目指して、ウェーブレット解析を用いたノイズ除去手法の開発・検討を行う。エアロゾル種分類推定手法で仮定されているエアロゾル光学モデルを全球解析に対応できる様に検討を行う。上記の改良・開発した手法を用いた全球解析では、岡本らの開発した雲・エアロゾルマスク手法を用いて雲のコンタミネーションを除去して、信頼性の高いエアロゾル種毎の全球分布抽出を行う。また、地上ネットワーク観測および船舶観測データの解析、そして衛星ライダーの解析を進める。

結果

昨年開発したライダーシミュレーター（23特1-6）を利用し、ウェーブレット解析を用いたノイズ除去手法の開発・改良を行った。ウェーブレット解析を多重回繰り返し用いる方法を考案し、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。本手法を地上ライダーデータに適用し、エアロゾルや雲の消散係数の推定精度が2倍程度向上させた。また、本手法を衛星ライダーデータに適用してノイズ除去したデータに、岡本らの開発した雲・エアロゾルマスク手法を適用した。導出されたエアロゾルマスクデータは、多波長受動型衛星搭載センサーMODISから導出されたマスクデータと良く一致し、本手法の有効性が実証された。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、シミュレーションデータを用いて行い、その有効性を確認した。

ウェーブレット解析を用いてノイズ除去した衛星ライダーデータにエアロゾル種分類手法を適用した。MODIS から導出されたエアロゾル光学的厚さと比較し、結果が改善されたことを確認した。

エアロゾル光学モデル改良の方策を、文献をベースに検討し、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の統計解析が有効であるという結論に至った。現在データセットの作成を進めている。

考察

ウェーブレット解析の導入により、エアロゾル種分類手法を適用して推定された光学的厚さが改善されたことから、信号ノイズがエアロゾル推定に影響を及ぼしていたことを示している。

一方で、陸域では過小評価が今尚目立つことも判明した（海上では、概ね一致）。特に光吸収性の強い粒子（例えば、バイオマスバーニング起源粒子など）が多い領域（東南アジア）で過小評価が顕著に見られた。これは、本研究で用いた衛星ライダー(CALIOP)の信号自体の推定感度の問題もあるが、現在使用しているエアロゾル光学モデルの改善（特にエアロゾルの光吸収性の考慮）が必要であることも示された。

研究成果報告

Nishizawa, T., N. Sugimoto, I. Matsui, and A. Shimizu, Improvement of NIES Lidar Network Observations by Adding Raman Scatter Measurement Function, *SPIE Proc.*, 8526, doi:10.1117/12.977215, 2012

Nishizawa, T., A. Higurashi, N. Sugimoto, and H. Okamoto, Aerosol and cloud retrieval algorithms using ATLID and MSI data of EarthCARE, CALIPSO, CloudSat, EarthCARE Joint Workshop, 18-22, June, 2012, Paris, France.

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	地上ライダー解析	nsugimoto@nies.go.jp
松井 一郎	国立環境研究所	主任研究員	地上ライダー保守	i-matsui@nies.go.jp
岡本 創	九州大学応用力学研究所	教授	衛星ライダー解析	okamoto@raim.kyushu-u.ac.jp
佐藤 可織	九州大学応用力学研究所	助教	衛星ライダー解析	sato@raim.kyushu-u.ac.jp

化学・物理海洋学からみ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

研究目的

東シナ海は広大な大陸棚を持つ縁辺海であり、沿岸海洋における物質循環メカニズムや人為起源物質による縁辺海の海洋環境への影響を視野に入れた沿岸－外洋間の相互作用等の研究に格好のフィールドである。以前より東シナ海における水塊構造の解明に取り組んでおり、過去 10 ヶ年の衛星観測や現場観測データを分析し、夏季の外部陸棚域には安定した黒潮起源の栄養塩供給を示唆する結果を得ている。過去の共同観測による共同研究を通して、化学海洋学および物理海洋学の異なる視点から理解の共有化を進めることができたが、季節変化に関する問題や鉛直輸送過程の定量的な理解など新たな研究課題も見出されてきている。これらの研究課題は、現象の理解には、様々な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。黒潮中層水の分布や夏季に流入量が増大する長江由来の淡水とともに、しばしば長江との関連が指摘される低酸素水の季節変動を捉えるために、平成 24 年度は夏季および秋季に観測航海を実施した。本研究では、化学的トレーサーを用いて東シナ海における詳細な水塊構造とその変動を把握し、東シナ海の環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、九州大学応用力学研究所との共同研究を実施した。

調査観測・試料採取・データ解析

本年度は、夏季(長崎大学水産学部付属練習船「長崎丸」と秋季(海洋研究開発機構「淡青丸」)の二度にわたり観測を実施した。図 1 に「淡青丸」KT-12-25 次研究航海における試料採取地点を(○:採水, □:採泥, △:プランクトン採取, +: 乱流観測)示している。観測調査の内容を以下に記す。

a). 東シナ海における海洋観測で、各層海水試料の採取を広域で実施し、栄養塩等ルーチン分析・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(夏季)および微細構造プロファイラー TurboMAP による観測(秋季)組み合わせ、詳細な水塊解析とその変動解明を行った。

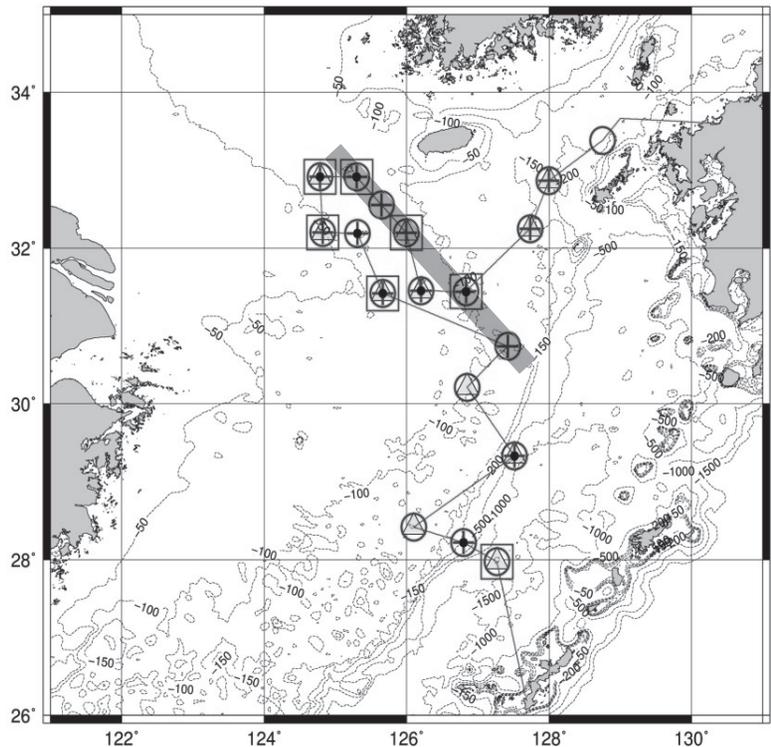


図 1. 試料採取地点(淡青丸 KT-12-25 次航海)

b). 表層堆積物および間隙水試料と同時に懸濁粒子も採取し、底層海水中栄養塩分布との関連を明らかにした。

結果および考察

I). 低酸素海水の分布

図 1 中黒帯部分の溶存酸素(DO)濃度断面図を図 2 に示している。東経 125.5 度付近において、DO 濃度の低い水塊が水深 60m (塩分 34psu) から底層にかけて観測された。また、この水塊の上部には蛍光光度が高く、低い塩分(30psu) が観測され、浅層には長江希釈水 CDW の影響を受け、深層・底層に黒潮由来の高塩分の水が広がることにより、水塊の成層化が強化され、有機物が沈降し分解され DO が消費されたと考えられた。観測された低 DO 水塊の分布から、観測域西側から移流してきた可能性を推測した。

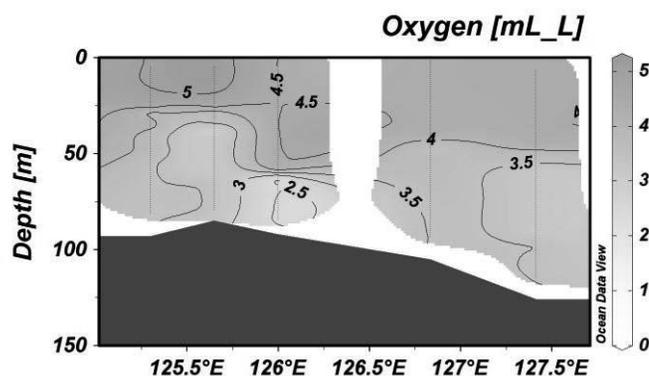


図 2. 黒帯部分の溶存酸素量

II). 海底堆積物間隙水中の栄養塩分布

海底堆積物間隙水中の N, P, Si の濃度は何れも底層海水に比べて数～数十倍高く、海底から底層水へのフラックス($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)を換算したところ、それぞれ N- NO_3^- : 3.94 – 49.8, P: 0.61 – 5.58, Si: 107 – 176 であった。特に DIN/P 比は 0.84 – 3.35 であり、長江水の 125 と長江河口域の 32 に比べて、レッドフィールド比(16)バランスを保つ働きがあると示唆された。

今後、異なる栄養塩類の供給源やそれらの輸送状況の観点から、低 DO 水の時空間的分布と動態をモニタリングしていきたい。

研究成果報告

1. Zhang J., Possible origins of nutrients in the bottom water on the outer shelf of East China Sea. 6th PEACE Workshop, 28-30 Nov. 2012, Nagoya
2. Jiang K., Zhang J., The relationship between nutrients in pore water and low dissolved oxygen concentration in bottom water in the East China Sea. 6th PEACE Workshop, 28-30 Nov. 2012, Nagoya
3. Fujishiro Y., Zhang J., Matsuno T., Ishizaka J., An assessment of dissolved oxygen concentration in the East China Sea. 6th PEACE Workshop, 28-30 Nov. 2012, Nagoya
4. 張勁, 藤城義久
亜表層クロロフィル極大層(SCM)の東シナ海全体の基礎生産に対する寄与
応用力学研究所共同利用研究集会; 東シナ海の循環と混合に関する研究, 2013年2月
5. 藤城義久, 張勁, 松野健, 石坂丞二
最近 10 ヶ年の東シナ海現場観測結果からみる Chl.Max 水塊の分布と基礎生産の推定
2012年度日本地球化学会第 59 回年会, 福岡, 2013年9月

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

ここ数ヶ月、私たちの生活の中で「PM2.5」という言葉がよく聞かれるようになった。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げる。

2. 観測・解析概要

太陽の直達光と周辺光の角度分布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/>）は、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、2012年2月から2012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 μm 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ている。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 and Fujiyoshi, 2003）となる。概ね、2012年の福岡の傾向も似ているが、初夏に高く、盛夏に低い傾向が見られた。この結果は、初期結果であるので、さらに検証が必要ではあるが、オングストローム指数が高い値を示している月も多く、越境する大気汚染物質の影響が観測されている可能性がある。今後も継続した観測を行い、SPRINTARSや衛星観測等と

比較しながら、とりわけ、九州地域を中心に、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たい。

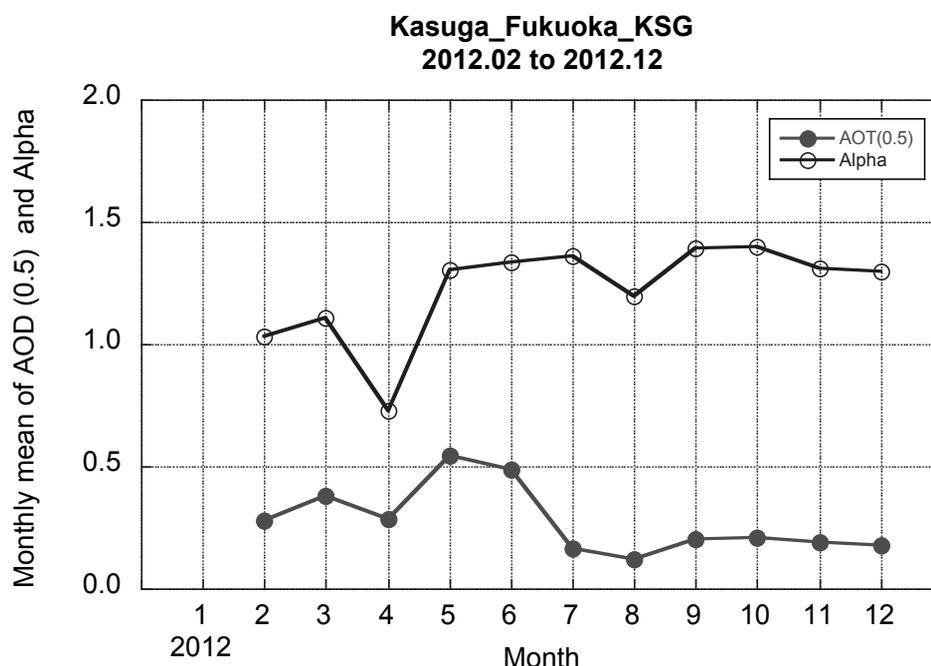


Fig. 1 2012年2月から2012年12月までの福岡県春日市（九州大学応用力学研究所）における0.5 μ mのエアロゾルの光学的厚さとオンゲストローム指数の月平均値

4. 研究成果

Campbell, J. R., J. S. Reid, D. L. Westphal, J. Zhang, J. L. Tackett, B. N. Chew, E. J. Welton, A. Shimizu, N. Sugimoto, K. Aoki and D. M. Winker (2013), Characterizing Aerosol Optical Properties and Particle Composition over Southeast Asia and the Maritime Continent: The 2007-2009 View from CALIOP, *Atmospheric Research*, 122, 520-543.

Kawamura, K., K. Matsumoto, E. Tachibana, K. Aoki (2012), Low molecular weight (C1-C10) monocarboxylic acids, dissolved organic carbon and major inorganic ions in alpine snow pit sequence from a high mountain site, central Japan. *Atmospheric Environment*, 62, 272-280.

Watanebe, K., D. Nishimoto, S. Ishita, N. Eda, Y. Uehara, G. Takahashi, N. Kunori, T. Kawakami, W. Shimada, K. Aoki and K. Kawada (2012), Formaldehyde and hydrogen peroxide concentrations in the snow cover at Murododaira, Mt. Tateyama, Japan. *Bulletin of Glaciological Research*, 30, 33-40.

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)

多用途型コンパクト水中ロボットに関する研究

佐世保工業高等専門学校電気電子工学科 長嶋 豊

1. 目的

近年、水中ロボットの用途は海洋環境調査、災害現場での行方不明者の捜索、藻場造成地における生物調査、海岸工事現場での環境影響評価調査、水中洞窟などの学術分野と一層多岐にわたる要望が増えてきた。そこで本研究では、様々な用途に対応できるような水中ロボット(海亀)を開発し、本年度は具体的に以下の内容について研究を推進した。

(1)4チャンネルソナーによる形状計測システムソフトウェア開発と測定実験を深海機器力学実験水槽で行う。

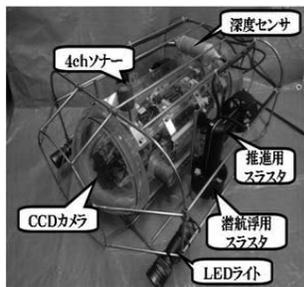
(2)4スラスト方式ROVのセミ自律航行向け実験を深海機器力学実験水槽造波環境下で行う。

(3)小型携帯端末を用いた無線遠隔操縦システムのハードウェア及びソフトウェア開発を行う。

(4)表層域での環境調査ができる小型携帯端末を用いた無線遠隔操縦実験を深海機器力学実験水槽で行う。各種開発を行い、深海機器力学実験水槽および実海域での性能評価実験を行ったので報告する。

2. 多用途型水中ロボットシステム構成

多用途型として様々な現場に柔軟な対応ができるように、筐体は透明アクリル製で設計・製作した。外観写真を図1に主要諸元を表1に示す。表1主要諸元



全長	670[mm]
高さ	300[mm]
幅	440[mm]
質量	18[kg]

図1 水中ロボット外観写真

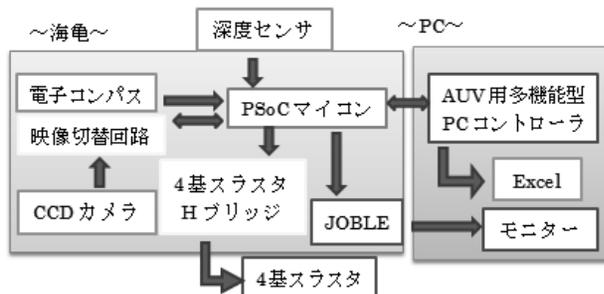


図2 ROV/AUVモード操縦時システム構成図

図2にはROV/AUV時のシステム構成図を示す。一方、携帯端末による遠隔操縦についても取り組み、タブレット型携帯端末に設けた操縦用ボタンにより、ROVに前進、後進、旋回、潜航・浮上、停止を無線LAN経由で指令する場合のシステム構成図を図3に示す。

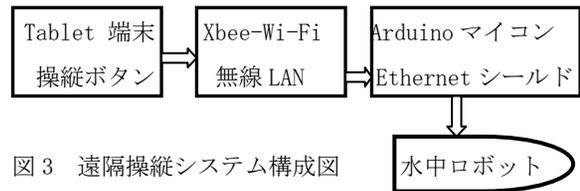


図3 遠隔操縦システム構成図

3. 実験結果及び考察

(1)4チャンネルソナーによる形状計測システムソフトウェア開発と測定実験

実測値と測定平均値の誤差率が7.8[%]~2.9[%]程度に押さえられるように制御プログラムの改善及びアンプの増幅度を調整して安定的なソナーによる距離測定の精度を向上できた。水槽に壁を設けて実験した時の測距結果を図4に示す。

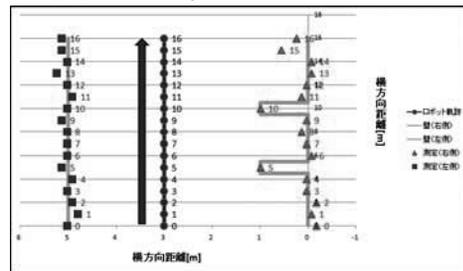


図4 ソナーによる測距結果

(2) 自律航行実験

(a). 方位制御実験

図5に方位制御実験の結果を示す。図が示す通り外乱を与えてから約1[sec]程度で誤差±5[deg]程度に収束でき、制御系の有効性を確認できた。

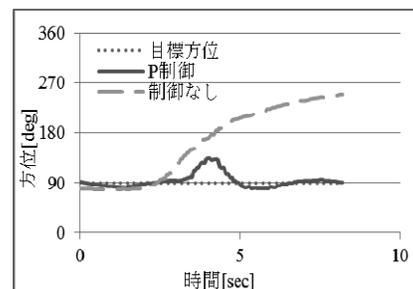


図5 方位自律制御結果

(b). 深度制御実験

図 6 に深度制御実験の結果を示す。図が示す通り目標値 2[m]に対し、オーバーシュート 0.3[m]、誤差 ±0.15[m]程度で収束でき、FF/FB 制御を実現した。

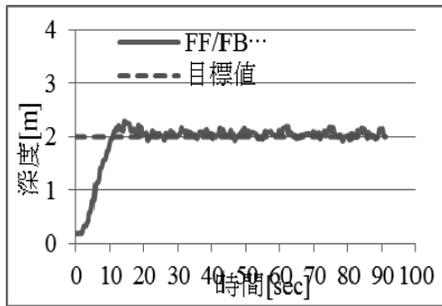


図 6 深度自律制御結果

(3) 小型携帯端末を用いた遠隔操縦実験

深海機器力学実験水槽で行った時の写真を図 7 に示す。無線 LAN に利用する XBee Wi-Fi とルータを経由して ROV の操縦ができる事を確認できた。

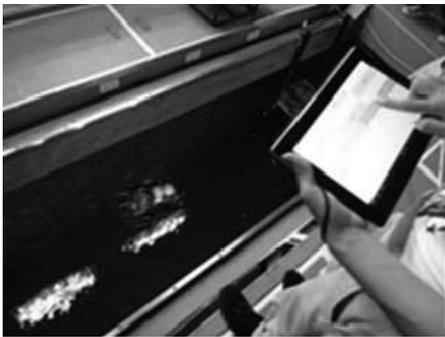


図 7 遠隔操縦実験写真

(4) 慣性センサによる移動距離測定実験

慣性センサー IMU-Z Lite を用いて移動体の距離測定の基本実験を行った。10[m]の直線運動に対し誤差処理後は約 0.5[m]と処理前より減少して演算処理の有効性を確認できた。図 8 に X 軸方向の変位結果を示す。

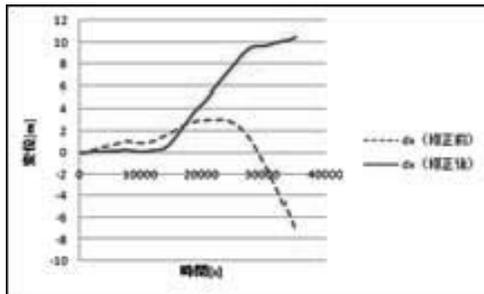
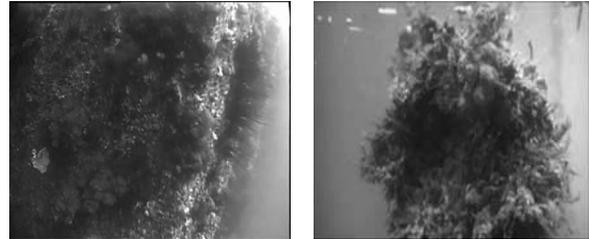


図 8 X 軸方向変位結果

(5) 実海域調査

本研究では自律化等の研究を進めると同時に、開発中のロボットが具体的に実海域でどの程度有効性を発

揮するか検証するために地域貢献も含めて実験を行った。新長崎漁港岸壁工事に伴う環境影響評価の一環として生物分布調査や、ハウステンボス運河で実施している藻場造成現場の水中映像撮影にも取り組んだ。それぞれの写真を図 9 に示す。岸壁の映像を撮る場合、波や潮流の影響にも関わらず、深度の自律制御により明瞭な映像が撮影できた。



新長崎漁港

ハウステンボス運河

図 9 実海域での性能評価実験

4. 結論

本年度は AUV 実現のために、方位と深度に関して自律制御を行うプログラム開発を主眼に行った。更に多用途に利用できるように小型携帯端末を用いた操縦実験にも取り組み実現可能なことを確認できた。今後は、水中洞窟探査に向けた慣性センサーとソナーのセンサー融合による洞窟内形状把握に向けた研究を進める予定である。

最後に、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心より感謝いたします。更に、水槽実験では稲田勝技術職員及び野田穰士朗技術職員にたいへんお世話になりました深く感謝いたします。

5. 研究組織

- ・研究代表者：長嶋豊, 佐世保高専電気電子工学科教授
- ・研究協力者：下尾浩正, 同校電気電子工学科講師
- ・研究協力者：眞部広紀, 同校一般科目数学科准教授
- ・同上：三宅飛翔, 佐世保高専専攻科 1 年
- ・同上：白川知秀, 佐世保高専電気電子工学科 5 年
- ・同上：原田明, 佐世保高専電気電子工学科 5 年
- ・同上：原崎芳加, 佐世保高専電気電子工学科 5 年
- ・同上：福岡聡紀, 佐世保高専電気電子工学科 5 年
- ・所内世話人：中村昌彦, 九州大学応力研准教授

24 AO-13

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」の実験機 ALEX を開発した。ALEX には、水中での静止や後退、垂直降下、スパイラル回転をしながらの浮上／潜降、主翼による翼動推進などの高い運動性能のあることが実証されている。

深度 1500 m までの中深層における海洋環境をモニタリングするために開発を進めているグライダー型海中ロボット SOARER (Fig.1) 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、搭載できる動力源に制約から運用時間に限界のあった海中ロボットに太陽光発電システムを導入することによって、実海域での長期間・広範囲の運用を目指す「ソーラー水中グライダー」の研究開発を進めていて、平成 25 年度の完成を目指している。



Fig.1 主翼独立制御型水中グライダー SOARER

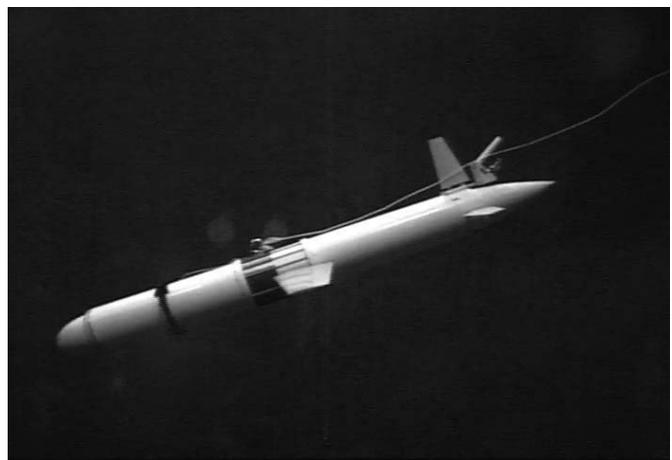


Fig.2 SOARER のグライディング試験（深海機器力学実験水槽にて）

□研究の成果

深海機器力学実験水槽において主翼独立制御型水中グライダーSOARERの潜航試験を実施した。グライディングの様子を水槽壁面にしたビデオカメラで撮影・記録し、画像解析によって、重心位置を変化させたときの機体の姿勢角、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。主翼の形状やサイズは、CFD（数値流体力学）シミュレーションで得られた結果に基づいて設計されているが、SOARER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フィージビリティスタディ, 第24回ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMECH 2012 in HAMAMATSU), B304 p.506-509, CD-ROM,(2012.05).
- M.Arima, H.Tonai: Feasibility Study of an Ocean-Going Solar-Powered Underwater Glider, Procs. of the twentysecond (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2012), pp.532-537, CD-ROM, (2012.06).
- M.Arima, H.Tonai, Y.Kosuga: Development of Underwater Observatory Systems for Monitoring Ocean Ecosystem, Procs. of ICETET-12, (2012.11).
- M.Arima, H.Tonai, Y.Kosuga: Underwater Glider 'SOARER' for Ocean Environmental Monitoring, Procs. of UT2013, (2013.03). (印刷中)
- H. Tonai, M. Arima: Design of an Ocean-Going Solar-Powered Underwater Glider, Procs. of ISOPE 2013, (2013.06). (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
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
小菅 雄紀	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

24 AO-14

アジア大陸から輸送される反応性窒素酸化物およびその構成成分の動態に関する研究

大阪府立大学大学院 工学研究科 坂東 博

【はじめに】

近年の中国における経済発展に伴い、中国国内から排出される窒素酸化物量が増大し、日本国内を含むアジア大陸縁辺地域ではバックグラウンドレベルの反応性総窒素化合物 (NO_y) の濃度増大が今後問題となってくる可能性がある。このような状況下、研究代表者および研究協力者ら (高見昭憲、清水厚、定永靖宗、藤原大) は先行研究で NO_y と全硝酸 (T.NO_3 : ガス状硝酸 $\text{HNO}_3(\text{g})$ と粒子状硝酸 $\text{NO}_3(\text{p})$ の和) の測定装置の開発を行い、現在五島列島福江島、能登半島珠洲および沖縄辺戸岬においてそれらの連続観測を行っている。また、珠洲においては、 NO_y の構成成分として重要であるペルオキシアシルナイトレート(PANs)や有機硝酸エステル(ANs)の連続観測も行っている。一方、九州大学応用力学研究所(所内世話人: 鵜野伊津志) においては WRF/CMAQ 化学物質輸送モデルにより、東アジア地域での汚染物質濃度などが計算されている。本研究では、上記の定点観測とこのモデルを利用して、日本周辺域における NO_y およびその構成成分の広域分布および広域的な動態把握の解明が最終目標である。平成 24 年度では比較的大陸からの気塊が aging していると考えられる珠洲に着目した。具体的には、珠洲の NO_y , T.NO_3 濃度の季節変動の要因について、他の観測地点のデータも比較しつつ解析を試みた。本報告書ではその結果について述べる。また、珠洲における PANs や ANs の観測結果についても述べる。

【観測について】

NO_y , T.NO_3 の濃度測定には Thermo Fisher Scientific 社製 NO_x 計を改良した NO_y , T.NO_3 計を用いた。これらの観測は沖縄辺戸岬では 2008 年 3 月より、五島列島福江島では 2008 年 11 月から、能登半島珠洲では 2009 年 11 月から継続して行なっている。PANs と ANs に関しては、先行研究で開発した熱分解/キャピティ減衰位相シフト分光法により測定した。また、後述するが本解析では CO データも用いている。CO については Thermo Fisher Scientific 社製の CO 濃度計により観測した。

【珠洲の NO_y , T.NO_3 濃度の季節変動の要因について】

福江と珠洲の NO_y の月変動を見ると、大陸の影響を強く受けている福江では大陸性の気塊が多い冬季、春季に濃度が高く、海洋性の気塊が多い夏季に濃度が低くなるという顕著な傾向がある。一方、珠洲の月別変動は春季、夏季に濃度が高く、冬季に低くなる。その理由として、日本からの気塊の寄与が大きいこと、大陸からの寄与が相対的に小さいことが考えられる。それを評価するために、 NO_y の大気寿命を観測結果から求め、それと大陸-珠洲間の輸送時間との比較を試みた。

大気寿命の算出には、福江→辺戸の輸送イベントを用いた。珠洲ではなく、辺戸を用いた理由は福江→辺戸間がほとんど海であり、その間の窒素酸化物の排出による影響が小さいためである。輸送イベントの抽出方法は以下の通りである。福江と辺戸の 2 地点における汚染物質 (CO , NO_y , T.NO_3) の濃度変動を比較し、その中で福江から辺戸への気塊の移動が起こっている可能性があるピークの組を探した。まずはピーク位置の判別が比較的容易であった CO を用いてピークの組を探した後、その日時での NO_y , T.NO_3 について調べ、最後に後方流跡線解析で福江方面から辺戸への気塊の移動を確認した。また、2 地点間の対応する CO ピークのずれの時間幅を輸送時間と定義した。

まず、 NO_y 濃度が一次で減衰すると仮定し、消失速度定数を k とした。初期条件として、福江における NO_y 濃度を $t=0$ における濃度とする。抽出した NO_y 濃度の辺戸/福江比を $R(\text{NO}_y)$ とすると、以

下の関係式が得られる。

$$R(\text{NO}_y) = \exp(-kt)$$

輸送時間に対して $R(\text{NO}_y)$ の自然対数をプロットし、回帰直線の傾きから k の値を算出した。その結果を図 1 に示す。なお、図 1 の白丸は後方流跡線から得られた降水量の和が 1 mm 以上の場合であり、 k の算出からは除外した。回帰直線の傾きから、 $k = (1.16 \pm 0.36) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ と得られ、これから NO_y の大気寿命は $\tau_{\text{NO}_y} = 18\text{--}35 \text{ h}$ と見積もられた。

得られた大気寿命と大陸—珠洲間の輸送時間の比較を行った。図 2 に 2011 年 2 月における大陸—珠洲間の輸送時間の分布を示す。大陸から珠洲に到達する気塊の少なくとも半分程度が寿命より長い結果になった。これは 12, 1 月を除いた期間で同様であった。このことから、大陸から輸送されてくる窒素酸化物は珠洲に到達するころには寿命を迎えているものが多く、珠洲の窒素酸化物については大陸からの寄与が相対的に小さいことを支持していると考えられる。

【PANs, ANs の結果について】

2012 年 11 月に珠洲において PANs と ANs の連続観測を開始した。また、観測所以前より行っている NO_y 、 NO_x 、 T.NO_3 の濃度観測結果と比較し、観測物質の濃度変動について調べた。2013 年 1 月 1 日から 14 日の期間において、 NO_y に対する比をとると PANs は約 20%、ANs は約 10% の割合であった(図 3)。 T.NO_3 の存在割合は 20% 程度であり、これと比較すると有機硝酸塩(PANs, ANs)の寄与は大きく、この時期の NO_y の輸送においてより重要な成分といえる。また、各成分の NO_y に対する比には規則的な日変動パターンは見られなかった。一方、観測した NO_y 濃度と NO_y 成分(NO_x , T.NO_3 , PANs, ANs)濃度の総和はほぼ一致しており、この時期の珠洲においては NO_y の構成成分が NO_x , T.NO_3 , PANs, ANs でほぼ説明できることが判った。

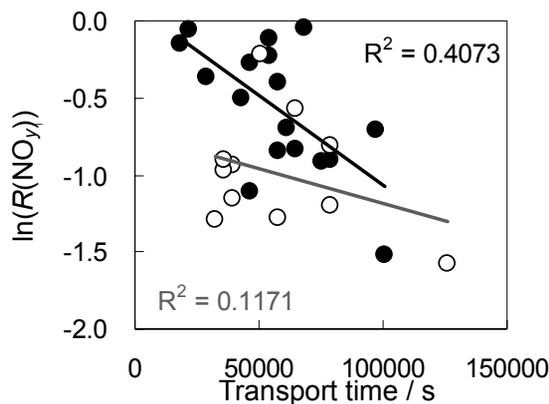


図 1. 輸送時間と $R(\text{NO}_y)$ の対数との関係。黒丸は降水量が 1 mm 未満、白丸は 1 mm 以上を示す。直線は回帰直線を示す。

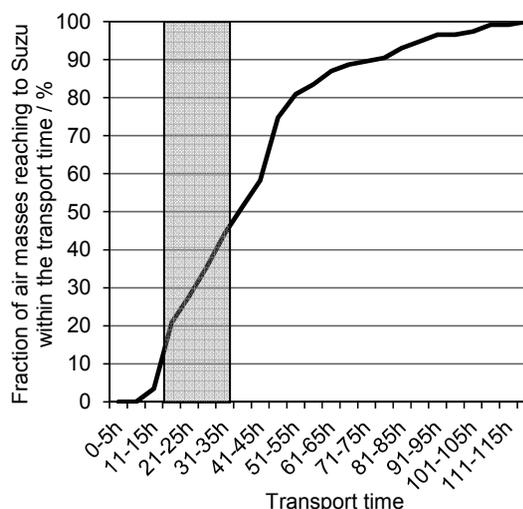


図 2. 2011 年 2 月における大陸—珠洲間の輸送時間の分布 (積み上げグラフ)。灰色の領域は図 1 から算出した NO_y の寿命を示す。

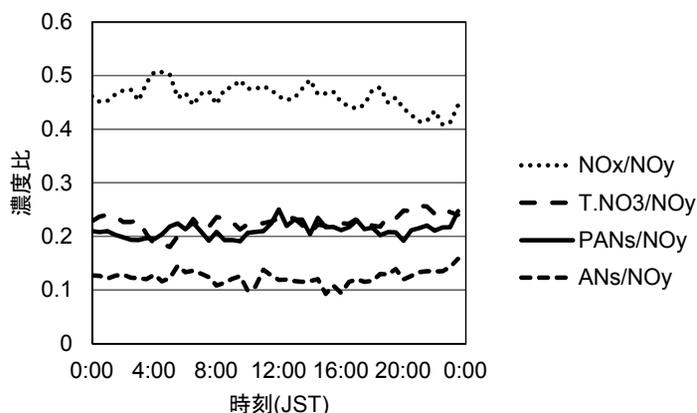


図 3. 2013 年 1 月 1 日から 14 日の間での NO_y 中における各種構成成分の存在割合の平均日変化。

24 AO-15

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

- 目的

中国北西部を起源とする黄砂は、東アジア春季における支配的なエアロゾルの一つである。大気環境、健康被害、気候、海洋の生物化学など多岐に渡る影響が示唆されており、長年にわたりそのライフサイクル（発生・輸送・沈着）が研究されてきた。特に近年においては、数値モデルや衛星・大規模観測ネットワークを用いた研究が隆盛し、それらをデータ同化の技術で結びつけた研究も行われるようになってきている（例えば、Yumimoto et al., 2008, Ku and Park, 2013）。本研究では、従来は黄砂の発生量の推定がメインだった同化研究を一步前進させ、リモートセンシングデータを用いた黄砂の発生量とその粒径分布の逆推定を行った。

- 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 2005 年の 4 月下旬に発生した大規模な黄砂イベントを対象とした。モデルの解像度は 40km で、北京、富山、つくば、仙台、札幌で観測された消散係数の鉛直プロファイルを用い、ゴビ砂漠における黄砂発生量とその粒径分布の逆推定を行った。図 1 に本研究の概略図を示す。

- 結果と考察

まず、本研究で対象とした黄砂イベントについて述べる。2005 年 4 月 25-26 日にかけて、ゴビ砂漠上空を低気圧とそれに伴う寒冷前線が通過、強く冷たい北西の風をもたらし、大規模なダストストームが発生した。ダストストームによって舞い上がった土壌粒子が東へと輸送され、28 日には北京、30 日には日本で黄砂が観測された（詳細は Yumimoto et al., 2007; 杉本ら 2005）。

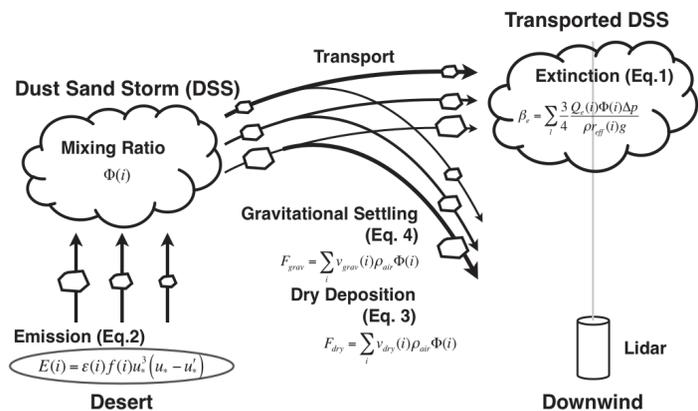


Figure 1. Schematic diagram of the size-resolved inversion.

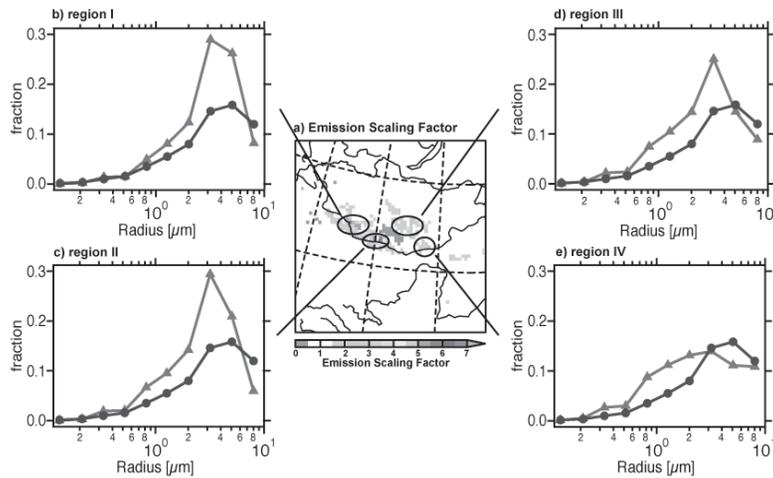


Figure 2. (a) Horizontal distribution of the emission scaling factor. (b–d) a priori (blue line) and a posteriori (red line) size distributions of dust emission fluxes.

次に、同化によって得られた発生量と粒径分布を図2に示す。同化によって、中国北部からモンゴルにかけての領域で黄砂の発生量が大幅に増加した。領域全体では発生量は13.4Tgから18.9Tgに増加した。粒径分布は特徴的な分布を示し、西側(領域IとII)では粒径3.19、5.06 μm の排出量が大きく増加しピークの粒径が5.06 μm から3.19 μm に移ったのに対し、東側の領域では3.19 μm 以下の細かい粒子が増加していることがわかる。特に最も東に位置する領域IVでは0.82–2.01 μm の粒子が増加し、滑らかな粒径分布となった。

最適化された排出量とその粒径分布が輸送される黄砂に与える影響を調べるため、同化前後のオングストローム指数を比較した。オングストローム指数は波長の異なるエアロゾル光学的厚さの比をとったもので、大気中のエアロゾルの粒径分布の特徴を表す。同化によって、ダストストームの前線の部分でオングストローム指数は増加(粗い粒子の割合が増加を表す)、中心部分でオングストローム指数は減少(細かい粒子の割合の増加を表す)した。これは、ダストストームの前線部分と中心部分の輸送高度の違いが関係していると考えられる。

最後に、同化によって得られた黄砂の排出量と粒径分布を衛星などによって観測された地上の状態と比較した。その結果、粒径分布の異なる東と西側では、植生(NDVI)や表層を構成する土壌の種類が異なることがわかった。特に特徴的な分布を見せた領域IVは、土壌水分が乏しく、乾いた土壌の状態が得られた粒径分布に影響を与えていることが示唆された。

- **まとめ**

本研究では、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、従来の排出量の推定からさらに踏み込み、その粒径分布の最適化を行った。今後もデータ同化手法を介し、数値モデルと観測データを結びつけることによって、排出量や粒径分布、化学反応係数や沈着速度などの逆推定など、統合的な研究を進めていく予定である。

- **参考分布**

Yumimoto, K., I. Uno, N. Sugimoto, A. Shimizu, Y. Hara, and T. Takemura (2012), Size-resolved adjoint inversion of Asian dust, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L24807, doi:10.1029/2012GL053890.

流体力学的手法による絶滅遊泳性爬虫類の生体復元

東北大学 学術資源研究公開センター

西 弘嗣

背景および目的

長頸竜類は中生代末に絶滅した四肢動物で、翼状の四肢を用い羽ばたき運動か滑空により泳いだと考えられる。しかし、長頸竜類は、前後の翼の面積が同程度であることや全身に対する頸や頭が占める割合が大きいことという、他の遊泳性動物には無い形質も備える。そのため、その遊泳性能や行動を現生動物のふるまいに基づき推論することには重大な困難があった。

本研究では、長頸竜類の体形と安定性（運動性）の対応を流体力学的手法を用いて定量することを目的とし、それに基づきこれら動物の行動の傾向や生態学的地位を推論してきた。前年度までに、実際の長頸竜類の典型例である頸部が長い種類（L型）と短い種類（S型）を模した2種の模型を用意し、その曳航試験により流体力係数を測定して運動方程式を得ている。今年度は、これらの運動方程式を用いた数値実験を行い、(1) 静安定性を維持できる滑空運動の条件と (2) 縦運動に関する動安定性を算出し、両者の差異を明確なものとすることを試みた。

手法

長頸竜類が自身の比重と前後の翼の向きを制御でき、それによって運動状態を変えられるものとしてシミュレーションを行った。運動方程式は加速度、前進速度、トリム角（=体軸と速度方向がなす角）、前後の翼の取付け角（=体軸と翼弦がなす角）、比重を変量とした。まず、この方程式を加速度ゼロ、前進速度 0.50 m/s ~ 1.00 m/s、トリム角 +0.10 rad ~ -0.10 rad、比重 0.90 ~ 1.10 の領域の値について解くことで、前後の翼の取付け角の組合せを得た。これと曳航試験により得られた失速の条件を併せることで、定常運動できる条件を得た。そして、この条件で作用するピッチモーメントのトリム角に関する微係数に基づき静安定性を評価した。さらに、静安定である状態から速度や加速度がわずかに外れた状態（速度 0.99 ~ 1.01 倍、トリム角 +0.075 rad ~ -0.075 rad、ピッチ角速度 +0.075 rad/s ~ -0.075 rad/s）を初期状態とする縦運動の時間発展を計算し、それが定常状態へと収束するか否かに基づき動安定性を評価した。

結果

L型およびS型の定常運動について、速度-比重-トリム角条件とトリム角に関する静安定性の関係を図 1 に示す。L型は、トリム角が小さい状態 ($|\alpha| < 0.1$ rad) でおよそ静安定であったのに対し、S型ではおよそ全領域で不安定であった。同条件での滑空比はL型の方がS型より2倍程度大きかった。動安定性の評価は、静安定な領域が大きいL型についてのみ行った。この一例を図 2 に示す。いずれの場合にも、トリム角ならびに潜降/浮上角は純減衰し、数分内に定常状態に達した。

考察

L型は、定常運動における滑空比が高く、縦運動に関し動安定な状態領域が広く存在することから、受動的制御により状態を保って移動する低コストの運動・行動を指向したと考えられる。一方のS型は、定常運動における滑空比が低く、縦運動に関し不安定（高運動性）であった。このことから、能動的制御により機

敏に動きまわる高コストの運動・行動を指向したと考えられる。これに対し、化石に基づく行動学的性質は次のとおりである。L型は、遊泳動物だけでなく底生動物（貝類や甲殻類など）を食べており、摂餌と呼吸のための潜水行動（水面と海底との往復）が欠かせなかった。S型は、遊泳動物を追い回して捕食していた可能性が高い。この傾向は、本研究で得られた力学的傾向と整合的と言える。

研究成果

望月 直, 中村昌彦, 西弘嗣 (2012) 水中滑空する長頸竜類の縦動安定性. 日本古生物学会 2012 年年会講演予稿集, p. 22.

望月 直, 中村昌彦, 西弘嗣, 川谷哲也, 植田剛史 (2012) 絶滅した遊泳性爬虫類の遊泳性能評価. 第 23 回海洋工学シンポジウム, OES-088.

研究組織

- 西 弘嗣 (研究代表者, 東北大学学術資源研究公開センター)
- 中村 昌彦 (所内世話人, 九州大学応用力学研究所)
- 望月 直 (研究協力者, 東北大学大学院理学研究科/伊藤忠鉱物資源開発株式会社)

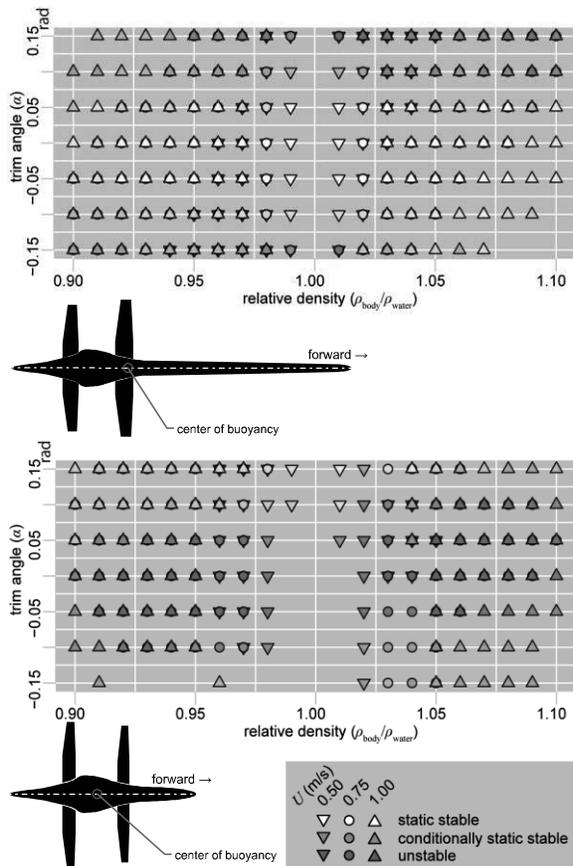


図 1 定常状態での、前進速度—トリム角—比重条件とトリム角に関する静安定性。上：L型；下：S型。

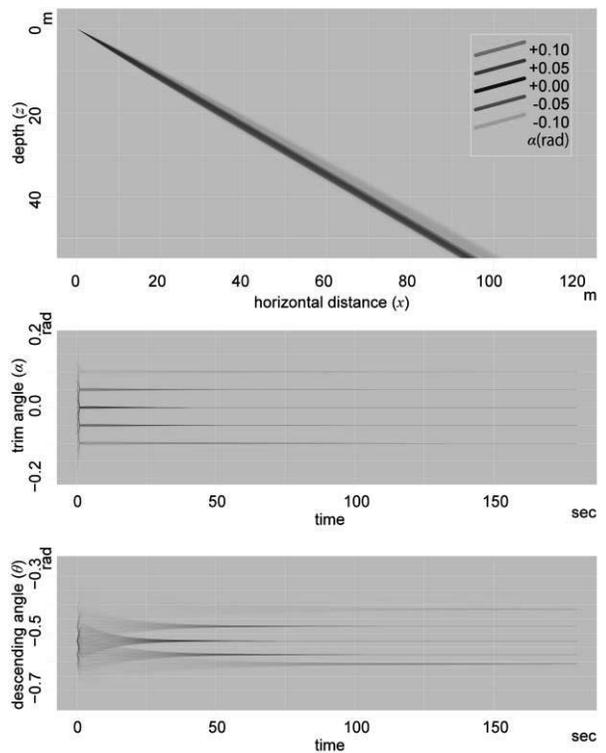


図 2 水中滑空するL型(比重1.06, 前進速度1.0 m/s)の運動に擾乱を与えた場合の、航跡(上)と、トリム角(中)と潜降角度(下)の時間推移。

非線形干渉を考慮した表面波・内部波の平面 2 次元数値解析による研究

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 層流体における弱非線形・弱分散モデルを用いて孤立波の 2 次元相互作用の数値解析を行ない、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、波の非線形性・分散性が共に強い内部波に対してもそのような結果が得られるかどうか不明である。そこで、柿沼が導出した変分法による方程式系に基づく数値モデルを適用し、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 2 次元挙動を数値解析的に研究する。強非線形数値モデルのベースを開発してきた柿沼・中山グループと、辻・及川グループとが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。

過去の共同研究において、まず、平成 19 年度に、計算手法の検討及び 1 次元波動を対象とした数値モデルの開発を行なった。次に、平成 20 年度に、平面 2 次元問題を対象とした数値モデルを開発した。そして、平成 21~22 年度において、孤立波解を初期条件として数値モデルに導入し、1 次元場における、潜堤や斜面上を伝播する内部波の数値解析を行なった。更に、平成 23 年度において、平面 2 次元場を対象とし、地形の起伏や浮体の存在といった様々な条件における表面波及び内部波の 1 次元的、または、2 次元挙動に関して調べた。この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 Mach stem の形成といっ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、鉛直分布関数を適切に選択する必要があるが、各地形特性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) 条件によっては、完全な Euler 方程式の代わりに、高次の非線形項を取り入れた単純化した方程式を用いて議論できる可能性がある。この理論的アプローチも試みる。

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。

- (1) 平面 2 次元場を対象とした数値解析において、差分格子と平行でない鏡面壁面を扱う必要がある場合、完全反射の壁面境界で法線方向流束をゼロとする必要がある。本数値モデルにおいて、これを実現する新しい境界条件の与え方を提案した。
- (2) 平面 2 次元場を対象とし、表面孤立波解を初期条件として与え、2 方向ソリトン波の干渉に関して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 の発生を確認した。
- (3) 平面 2 次元場を対象とし、3 次オーダの内部孤立波解を初期条件として与え、2 方向内部ソリトン波の干渉に関して数値解析を行なった。その結果、平面 2 次元場における内部ソリトン波の干渉に伴う stem の発生を確認し、KP 理論で示されるような増幅率 2 以上の stem を再現した。
- (4) 薄板状浮体構造物と 1 層流体の相互干渉問題の解析ができるよう、本数値モデルを拡張し、浮体波及び水面波の 2 次元伝播の数値解析を行なった。すなわち、まず、本モデルが、既存の実験値を比較的高い精度で再現できることを確認した。次に、薄板状浮体構造物である海上空港を想定し、飛行機が離着陸するときに生成される浮体波及び水面波の平面 2 次元伝播をシミュレートした。

研究成果報告

中山恵介・柿沼太郎・辻 英一・及川正行: 振幅の違いを考慮したソリトン共鳴による大振幅ソリトンの解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. 1-5, 2012.

山下 啓・柿沼太郎・山元 公・中山恵介: マッハシステム形成過程の数値解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. 6-10, 2012.

Kakinuma, T, Yamashita, K., and Nakayama, K.: Surface and internal waves due to a moving load on a very large floating structure, J. Applied Mathematics, Vol. 2012, Article ID 830530, pp. 1-14, 2012.

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., 2012. (in print)

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)

海底ケーブル自動敷設システムの開発

独立行政法人海洋研究開発機構

崔 鎮圭

西田 周平

横引 貴史

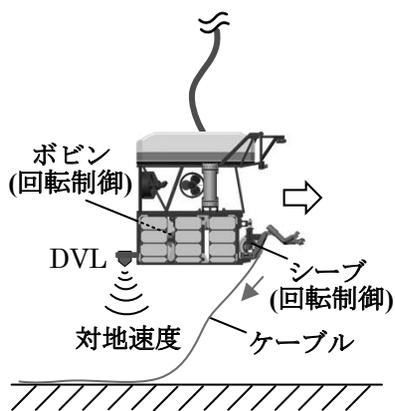
百留 忠洋

目的：

これまで ROV オペレータによって行われてきた海底ケーブル敷設制御を自動的に
行うシステムの開発を行う。本試験では、自動化のために油圧式から電動式へと入れ
替えたケーブルボビン及び繰り出しシーブ駆動用モーター、それらの回転速度・回転
角度を測るセンサー、対地速度を測るための DVL(Doppler Velocity Log)、またこれ
らを統合利用したケーブルの自動展張制御及び自動回収制御の動作確認を行う。

方法：

長さ約 3m、幅約 2.6m、高さ約 1.2m、空中重量約 1350kg、水中重量約 0kg の海
底ケーブル敷設装置を水槽電車の下に取り付け、水中にてケーブルボビン及び繰り出
しシーブ駆動用モーターの特性、回転速度・回転数を測るセンサーの正確度、DVL
との通信等の確認を行った。また、各駆動用モーターの制御パラメーターの調整の後、
水槽電車を走らせ、DVL からの対地速度に合わせてケーブルを自動的に繰り出す制
御及び敷設されたケーブルを回収する回収制御の試験を行い、正しく動作すること
を確認した。図 1 にケーブル敷設制御のイメージを、図 2 に水槽の底に敷設されたケ
ーブルを示す。今後、実際の敷設作業への投入に向けて実海域での試験を行う予定で
ある。



ケーブル敷設制御イメージ



敷設されたケーブル

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

国土が狭く島国である日本では古くから様々な海洋資源の恩恵を受けてきたが、水産資源においては、近年、乱獲による魚の個体数の減少や、魚種の絶滅危機などの問題が注目されており、「獲る漁業」から「つくり育てる漁業」への移行を目指して、養殖漁業の育成や人工漁礁の設置等による漁場形成が実施されている。これらの試みにおいて、漁業施設周辺の海洋環境を調査することは不可欠であり、有効な調査手法の開発が望まれている。

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、浮上を繰り返し、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ており、海洋の長時間連続の観測に適していると考えられる。一方で水産資源量調査では調査海域を自由に航行できる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では、機体形状の非対称性や重心の僅かな変動が機体の運動に大きく影響する。そこで、本研究では、ビークル投入時における定常滑空状態への速やかな移行を実現するため、水中投入直後の水中重量、トリム・ヒール角の自動調節およびその後の定常滑空状態への移行についての調査を行い、初期滑空状態における機体の運動制御方法を検討した。

2. グライダー型海中ビークルの概要

図1にグライダー型水中ビークルの外観を示す。機体寸法は長さ1m、最大高さ0.3m、幅約0.35mで、機体縦断面形状はNACA0030翼形を参考に設計されている。本体内部に複数の浮力調節装置を内蔵し耐圧構造を構成するために、尾翼や舵を持たない無尾翼型の機体を採用している。また、本体カウルと耐圧容器は分離可能であり、メンテナンス性や実海域における運用に優れている。表1に機体の主要目を示す。

本機体の特徴として、図2に示すように、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。図3に示すように、浮力調節装置のアクチュエータヘッドの位置を個別に制御することにより、機体全体の重心位置および浮心位置を変化させ、機体の水中重量と姿勢をコントロールすることが可能となる。ここでは、すべての浮力調節装置のアクチュエータヘッドがシリンダーの中央にある状態を基準状態とし、その位置を各アクチュエータヘッドの基準位置とする。

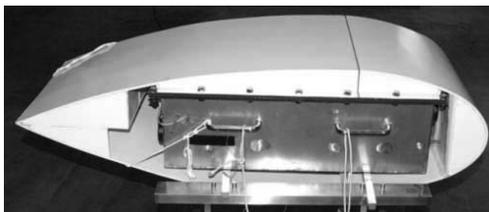


図1 グライダー型海中ビークル



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

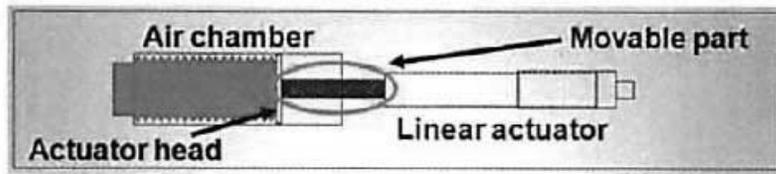


図3 浮力調節装置構造図

3. 機体運動制御系の開発

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、機体運動の自律制御系を開発し、その有効性について調査した。

制御系設計に用いる機体運動のシミュレーション計算には、機体固定座標系に基づく6自由度の運動方程式を用いた。また、運動制御にはPID制御方式を採用し、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た。

4. 機体運動のシミュレーション計算

ビークル投入直後の水中重量、機体トリム・ヒールの自動調整に関するシミュレーションとして、基準状態において機体深度0.1m、ロール角2度、ピッチ角2度を初期状態として与え、目標値を水深1.0m、ロール角0度、ピッチ角0度とする計算を実施した。図4に右前方浮力調節装置のアクチュエータヘッド位置の時刻歴を示す。浮力調節装置の容積変化により、機体深度とロール角、ピッチ角が制御されている様子が分かる。また、図5にはこのときの機体深度の時刻歴を示す。

図6に水中重量、ヒール・トリム角の自動調整終了後の定常滑空状態への移行の様子を示す。図中の赤線は本体重心を固定した場合の前進距離を示しているが、ピッチ角の不足により十分な前進速度が得られていないことが分かる。一方で重心移動装置を設置し、浮力調節装置と共に機体本体の重心を適切に制御した場合には、青線で示すように安定した初期滑空状態を獲得出来ることが確認された。

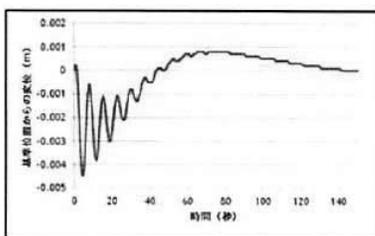


図4 浮力室容積変化

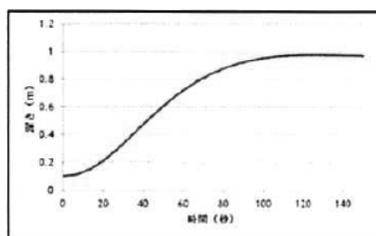


図5 機体深度時刻歴

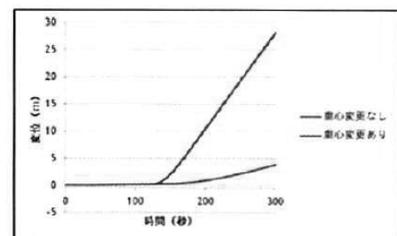


図6 機体前進距離時刻歴

5. まとめ

水産資源量調査を目的としたグライダー型水中ビークルの初期滑空状態における安定性を確認するために、シミュレーション計算を行い、自律運動制御系の開発を実施した。グライダー型水中ビークルを水中に投入した直後の水中重量およびヒール、トリムの自動調整シミュレーション結果より、機体は速やかに目標姿勢に到達出来ることを確認した。また、自動調整後の機体運動の安定性について調査した結果、機体本体の重心を移動させることにより初期滑空状態の機体安定性が確保出来ることが確認された。今後は、設計された自律制御システムを機体の実装し、実験によりその有効性を確認する予定である。

目的

瀬戸内海と太平洋とをつなぐ豊後水道では、黒潮起源の暖水塊が沿岸密度流として北上し、海域内の海況が短時間内に急変する「急潮現象」が発生することが古くから知られている。特に、豊後水道東岸の宇和島湾では、急潮に伴う水温上昇が最大で $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{day}$ にも達し、周辺の養殖業に甚大な被害を与えることが報告されている。急潮の発生前後には豊後水道底層に外洋起源の冷水が侵入する底入り潮の現象も発生することが知られている。豊後水道内における顕著な急潮・底入り潮の発生時期は夏季の小潮時に集中しており、その顕著な周期性から大潮時に強化される鉛直混合との関連性が指摘されている。一方で速吸瀬戸を通じて豊後水道に接続する伊予灘では底部冷水塊を伴った潮汐フロントが形成される。伊予灘・豊後水道底部の冷水中には栄養塩が豊富に含まれることが指摘されており、Takeoka et al. (1993) は各海域の底層冷水中の栄養塩が有光層に運ばれる経路として、鉛直混合（拡散）によって鉛直的に輸送されるプロセスがある一方で、強い鉛直混合が発生する速吸瀬戸を介して各海域成層域の亜表層に水平貫入する栄養塩バイパスを提唱している。このように海水の鉛直混合は伊予灘および豊後水道における海水、栄養塩の動態を左右する極めて重要な要因である。しかし、これまでそれらの海域における鉛直混合強度の見積もりは満足に行われておらず、その時空間分布はおろか、オーダーすらわかっていないのが現状であった。そこで、本研究では伊予灘および豊後水道内において乱流直接観測を行い、鉛直混合強度の定量化を行った。

研究方法の詳細

2012年の7月20日（大潮）と8月6日（小潮）に伊予灘を横断する9点（I1～I9）において（図1(a)）、また7月31日（大潮）に宇和海（U1～U4）と豊後水道（B1～B5）を横断する9点において（図1(a)）、さらに8月20日（大潮）と9月10日（小潮）、豊後水道内の宇和島市日振島沖の5点（S1～S5）（図2(a)）で、九州大学応用力学研究所所有の浅海用乱流計 TurboMAP5 を使用し乱流観測を行った。鉛直混合強度の指標である鉛直拡散係数 K_z は、乱流観測から得られたエネルギー散逸率 ϵ と成層強度 N を Osborn (1980) の式 $K_z = \Gamma \epsilon / N^2$ に代入することにより見積もった。ここで、混合効率 $\Gamma = 0.2$ とした。

結果

伊予灘、豊後水道・宇和海における断面観測から得られたポテンシャル密度と鉛直拡散係数を図1(b)に示す。密度分布から速吸瀬戸付近（I7～I9, B1）では、期待されるように速い潮流によって水柱は良く混合されていた。一方で伊予灘東部（I1～I6）、豊後水道南部（B2～B5）では、密度成層が形成されており、伊予灘では潮汐フロントを伴った底部冷水塊が、豊後水道では外洋からの冷水塊の底部への侵入という典型的なそれぞれの海域における海洋構造が見られた。鉛直拡散係数についても、期待されるように海峡部で大きな値が得られ、そのオーダーは $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ であった。一方で成層域では K_z は $10^{-6} \sim 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ であり海域によって1～3オーダーの隔たりがあることが本観測によって明らかになった。

日振島沖における観測から得られたポテンシャル密度と鉛直拡散係数を図2(b)に示す。大潮時には、小潮時に比べて成層が弱い結果となった。先行研究ではこのような大潮-小潮に同期した成層強度の変化を鉛直混合強度の違いに起因するものと予想したが、実際、どの観測点においても大潮時には小潮時よりも鉛直拡散係数が大きいことが確認された。特に日振島に近い測点 S4, S5 においては、大潮時には、 $K_z \sim 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ に達する非常に強い鉛直混合が観測された。観測した5点における鉛直拡散係数の平均値は大潮の上げ潮時で $K_z \sim 9.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、下げ潮時で $\sim 9.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、また、小潮の上げ潮時で $\sim 1.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、下げ潮時で $\sim 0.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ であった。この結果により、豊後水道における鉛直拡散係数は大潮時と小潮時でおおよそ1オーダーの隔たりがあることが本観測により初めて明らかになった。

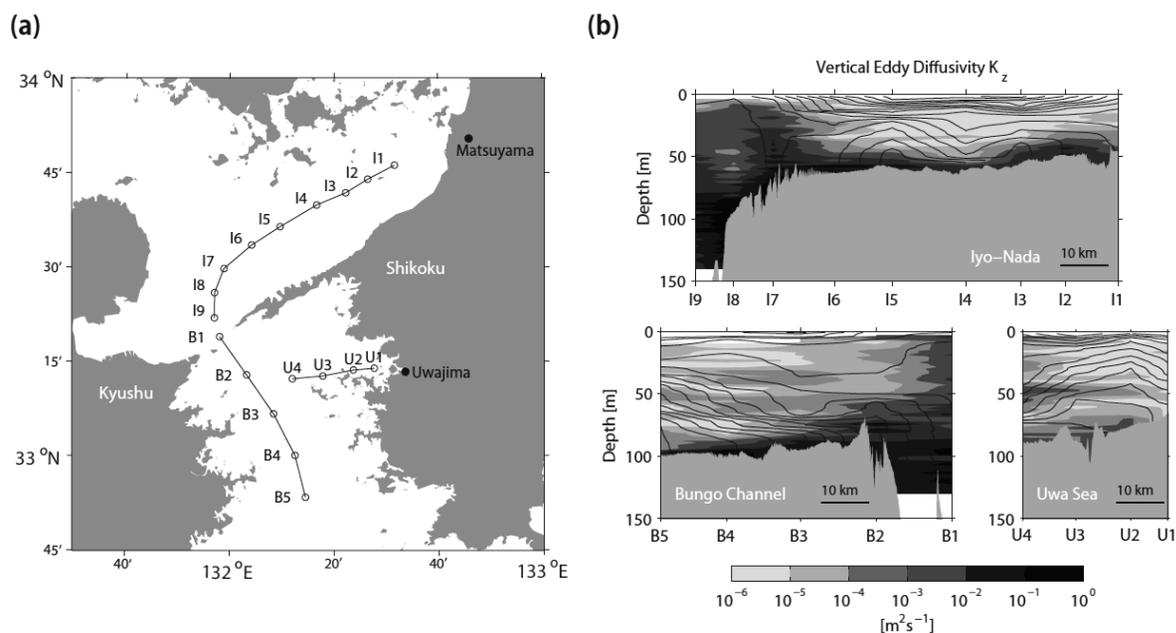


図1：(a) 観測点（伊予灘：I1～I9，豊後水道：B1～B5，宇和海：U1～U4）。(b) 観測から得られた，各海域におけるポテンシャル密度（等値線， 0.2 kg m^{-3} 間隔）と鉛直拡散係数（shade， $\times 10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 間隔）の分布。

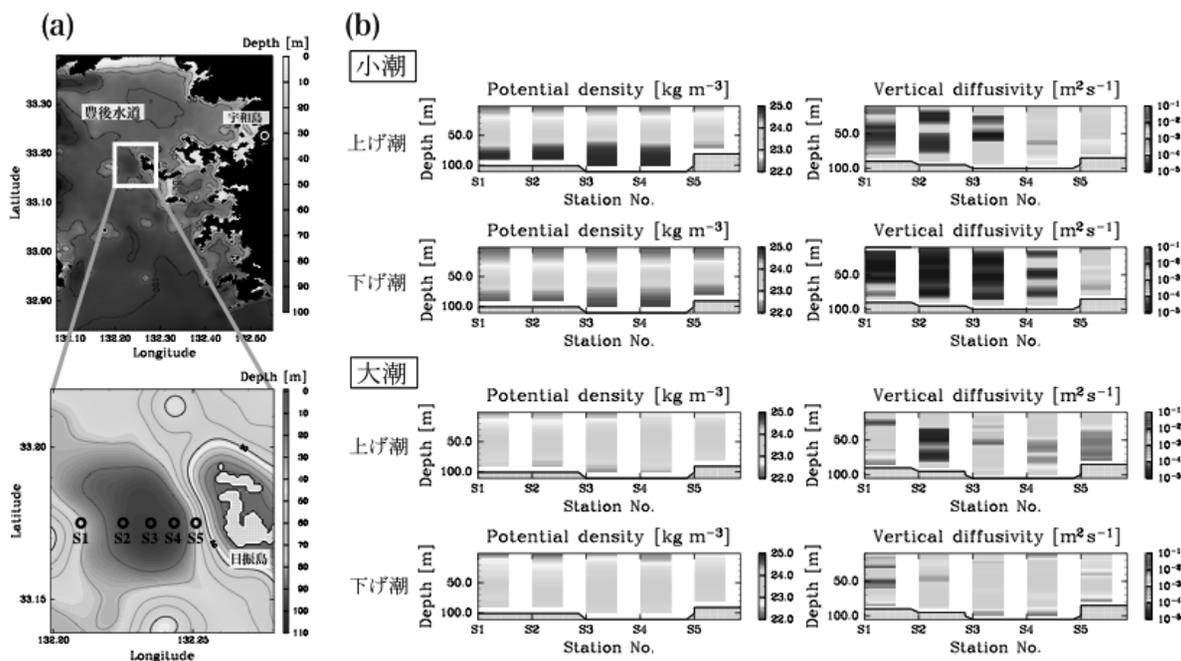


図2：(a) 観測点（S1 ～ S5）。(b) 観測から得られた，各潮時（小潮・大潮時，上げ潮・下げ潮時）におけるポテンシャル密度と鉛直拡散係数の分布。

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）、日比谷紀之（東京大学大学院理学系研究科、研究協力者）、永井 平（東京大学大学院理学系研究科、研究協力者）、堤 英輔（愛媛大学沿岸環境科学研究センター、研究協力者）

里海創生のための沿岸海域の環境保全

広島大学大学院生物圏科学研究科 橋本俊也

1. 目的

瀬戸内海をはじめとする沿岸海域は豊富な水産資源に恵まれた海域であり、この水産資源の持続的生産を実現することは重要な課題である。水産資源の持続的生産のためには、水産生物の生育環境とともに植物プランクトンの光合成からはじまる低次生産構造を定量的に把握することが重用である。さらに、柳哲雄教授が提唱した「里海」の重要な構成体として藻場・干潟を含めた沿岸海域は、物質循環機構と生物生産という役割のみならず、市民の憩いや環境学習などの役割をもっている。このような「里海」としての沿岸海域の環境保全と再生の重要性を明らかにするため、関係研究者のこれまでの研究成果を発表してもらい、活発な討論を行うことを目的とした。

2. 研究集会の概要

日時：2012年12月5日（水）12：50～12月6日（木）11：50

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

発表者：田中 剛（九大応力研，博士課程前期1年）

石丸梨香（愛媛大 CMES，愛媛大学理学部4年）

郭 新宇（愛媛大 CMES，准教授）

中川美和（愛媛大 CMES，愛媛大学理学部4年）

一見和彦（香川大瀬戸内研セ庵治，准教授）

吉江直樹（愛媛大 CMES，講師）

木村桃子（神戸大院海事科学，博士課程前期1年）

古賀竜太郎（神戸大院海事科学，博士課程前期1年）

児玉真史（中央水研，主任研究院）

Jin Guangzhe（広大院総合科学研究科，博士課程後期1年）

多田邦尚（香川大学農学部，教授）

山口一岩（香川大学農学部，助教）

藤井直紀（佐賀大学低平地沿岸海域研究センター，特任助教）

堤 英輔（愛媛大 CMES，研究員）

吉川昌志（広大院総合科学研究科，博士課程前期1年）

小野寺真一（広大院総合科学研究科，准教授）

齋藤光代（愛媛大 CMES，JSPS 研究員）

発表プログラムは資料1に掲載した。

3. 研究成果

発表会の様子（写真）を資料2に、要旨の一部を資料3に掲載した。研究集会では17題の講演発表があり、関係者を含めて約40名の参加があった。講演発表後の質疑応答や懇親会において、里海創生のための沿岸海域の環境保全についての問題点や課題について活発な議論がなされた。

資料 1. 研究集会プログラム

日時：2012年12月 5日(水) 12:50~2012年12月 6日(水) 11:50

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

第1日 2012年12月 5日(水)

趣旨説明 (12:50-13:00) 研究代表者, 所内世話人

- | | |
|--|-------------|
| 01. 瀬戸内海のリン・窒素の起源 | 13:00-13:20 |
| 田中 剛・柳 哲雄(九大応力研) | |
| 02. 大潮と小潮に伴う潮汐フロントと底部冷水の動き：観測結果 | 13:20-13:40 |
| 石丸梨香・郭 新宇・堤 英輔・吉江直樹・武岡英隆(愛媛大 CMES) | |
| 03. 大潮と小潮に伴う潮汐フロントと底部冷水の動き：モデル結果 | 13:40-14:00 |
| 郭 新宇・于 曉杰・武岡英隆(愛媛大 CMES) | |
| 04. 潮汐フロント周辺でのGPS ラジオゾンデ観測：盛夏と初秋の比較 | 14:00-14:20 |
| 中川美和・郭 新宇・堤 英輔・眞野 能・吉江直樹・武岡英隆(愛媛大 CMES) | |
| 05. アマモ場海域における窒素・リンの収支 | 14:20-14:40 |
| 一見和彦(香川大瀬戸内研セ庵治)・上里友子・多田邦尚(香川大農) | |
| 06. 豊後水道における夏季の栄養塩分布と植物群集組成 | 14:50-15:10 |
| 吉江直樹・坂本航平・中川美和・新田 徹・高部由季・堤 英輔(愛媛大 CMES) | |
| 07. 淀川河口域における植物プランクトン種の変動解析 | 15:10-15:30 |
| 木村桃子(神戸大院海事科学)・林 美鶴(神戸大内海域環境教育研究センター) | |
| 08. 淀川感潮域における有毒赤潮に関する研究 | 15:30-15:50 |
| 古賀竜太郎(神戸大院海事科学) ほか | |
| 09. 河口干潟域における環境の変化が二枚貝の炭素・窒素安定同位体比に及ぼす影響 | 15:50-16:10 |
| 児玉真史(中央水研) ほか | |
| 10. Estimation of phosphorus retention in coastal area, using comparative methods of mass balance model and sediment core profile data | 16:10-16:30 |
| Jin Guangzhe (Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University), et al. | |

第2日 2012年12月 6日(木)

- | | |
|--|-------------|
| 11. 沿岸海域における珪藻細胞のSi 溶出とN・P 分解 | 09:20-09:40 |
| 多田邦尚(香川大学農学部) ほか | |
| 12. 播磨灘表層堆積物中の有機物量の現在と過去の比較 | 09:40-10:00 |
| 山口一岩(香川大学農学部) ほか | |
| 13. 有明海における根口クラゲ類の表層分布 | 10:00-10:20 |
| 藤井直紀(佐賀大学低平地沿岸海域研究センター) ほか | |
| 14. 伊予灘・豊後水道における乱流観測 | 10:20-10:40 |
| 堤 英輔(愛媛大 CMES) ほか | |
| 15. 海水再循環の栄養塩供給に及ぼす影響—トレーサー収支に基づく推定— | 10:50-11:10 |
| 吉川昌志(広大院総合科学研究科) ほか | |
| 16. 大和川感潮域の栄養塩動態 | 11:10-11:30 |
| 小野寺真一(広大院総合科学研究科) ほか | |
| 17. 燧灘南西部における地下水流出と流出成分の年齢分布—現場観測と物理流動 | 11:30-11:50 |
| 齋藤光代(愛媛大 CMES) ほか | |

資料 2. 研究集会の様子

第1日 2012年12月 5日 (水)



第2日 2012年12月 6日 (木)



田中 剛¹⁾・柳 哲雄²⁾

(¹⁾:九州大総理工、²⁾:九州大応力研)

キーワード：栄養塩、リン、窒素、単位応答関数、平均滞留時間

1. はじめに

本州と四国、九州に囲まれた瀬戸内海は日本最大の閉鎖性水域であり、世界最大の単位面積当たりの漁獲量を誇る豊かな海として知られていた。しかし、80年代をピークに漁獲量の減少が続き、現在ではピーク時の半分まで減少している。その原因の一つとして、栄養塩の減少が挙げられている。

栄養塩の起源は主に外洋、河川、海底の堆積の三つである。本研究では栄養塩を管理するために瀬戸内海における栄養物質の起源ごとの割合を明らかにする。

2. 方法

河川からの栄養物質負荷量と瀬戸内海の栄養物質濃度の応答関係から推定する単位応答関数法によって、起源別の栄養物質濃度を以下の式から算出した。

$$C_i = C_0 + \frac{1}{V}(L_i + L_{i-1}e^{-b} + L_{i-2}e^{-2b} + \dots + L_{i-20}e^{-20b}) + \alpha T_i$$

C_i (mg/l)は瀬戸内海のTP・TN濃度、 C_0 (mg/l)は外洋のTP・TN濃度、 V は瀬戸内海の容積、 L_i (kg)はある*i*月の河川からのTP・TN負荷量、 b (month⁻¹)は減少勾配、 α (mg l⁻¹ °C⁻¹)は水温に比例した海底堆積物からの溶出の比例係数、 T_i (°C)は底層の水温である。未知数である C_0 、 b 、 α は最小二乗法によって決定し、起源別の割合を算出した。

3. 結果・考察

図1に示した C_0 の観測値と推定値の比較を見て分かるように、推定した C_0 が観測した値と良く一致している。図2に示したように、外洋起源がTP・TNともに58%、海底堆積物起源がTPは33%でTNは29%、河川起源がTPは9%でTNは14%である。

外洋起源の栄養塩はコントロール不可能なので、海底堆積物から溶出する栄養塩を管理することが効果的であることがわかる。

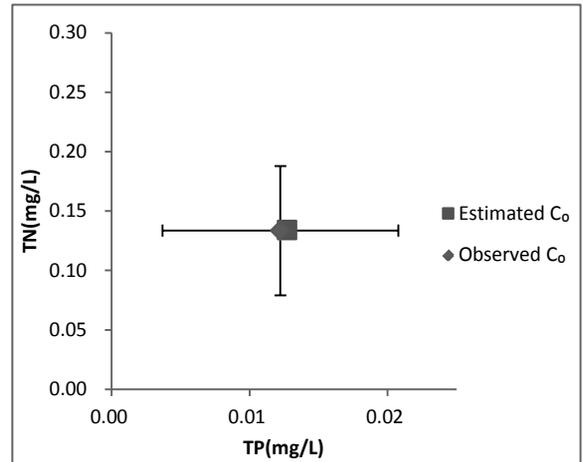


図 1. 外洋の TP・TN 濃度と推定値の比較

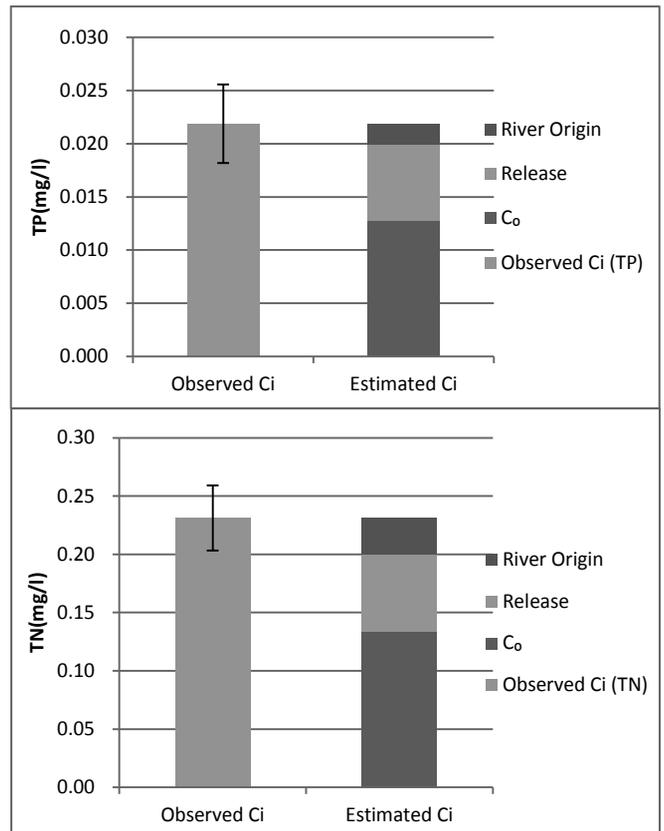


図 2. TP・TN 濃度の観測値と推定値の比較と起源別の割合

地形のダイナミクスとパターン及び境界領域

研究代表者・柳田達雄（大阪電気通信大学）

1 研究集会の開催目的

多くの地形変化のダイナミクスは流体運動とそれに伴う物質移動からなっている。物質移動は、流体運動を規定している境界条件を変化させ、その変化が流れにフィードバックする極めて非線形性の強い現象である。地形変化の代表的な例は、河川流路変化・河岸変化・砂丘移動・鍾乳石形成・熱収縮割れ目の形成などと多岐にわたり、各分野で異なる対象・異なる方法論で取り扱われてきた。

本研究集会では、これらの現象を流れとそれに伴う物質移動による境界の自発的運動として捉え、異分野での理論、数値計算、実験・観測など異なる方法論の研究者が最新の知識を共有することにより、新たな知見や方法論を見出すことを目的としたい。

このような流体の流れ場による固体移動、また、それに起因した流れ場へのフィードバックのダイナミクス及びパターン形成の研究集会は、応用力学研究所の共同研究集会として開催することが最適と考えられる。

2 プログラム

10月30日（火）

14:00-14:45 浸食、輸送、堆積の物理過程を取り入れた地形形成モデル

岡村 誠（九大応力研）、佐伯 亜由美（地圏環境テクノロジー）

14:45-16:00 超水滴法による雲形成・降水の精密シミュレーションとその応用

島 伸一郎（兵庫県立大シミュレーション）

16:00-16:15 休憩

16:15-17:30 火星科学からみた粉体の面白さ

宮本英昭（東大総合研究博物館）

17:30-17:45 休憩

17:45-18:30 格子ボルツマン法とセルオートマトンを組み合わせた流体中の土砂輸送のモデル

中本達哉、新屋啓文、粟津暁紀、西森 拓（広大理）

10月31日（水）

9:30-10:15 重力不安定性の中で形成されるセルパターンの形成

下川倫子（千葉大先進科学センター）、北畑裕之、櫻井建成（千葉大理）

10:15-11:30 小惑星分布の縞構造とリウビル演算子のバンド・スペクトル

野場賢一（大阪府立大工）

11:30-13:00 昼休み

13:00-13:45 砂の供給の有無による横列砂丘の安定性

新屋啓文、粟津暁紀、西森 拓（広大理）

13:45-14:30 移動可能粒子が少ない場に行ける堆積パターンに関する水路実験

谷口圭輔（名大環境）

3 講演内容の概要

浸食，輸送，堆積の物理過程を取り入れた地形形成モデル

岡村 誠，佐伯 亜由美

土砂，流体の保存式による地形形成モデルにおいて，初期値などのパラメーター依存性について考察する．また，尾根近傍における浅水流方程式の妥当性についても議論する．

超水滴法による雲形成・降水の精密シミュレーションとその応用

島 伸一郎

地球の気候システムにおいて雲は極めて重要な役割を果たしており，日々の気象現象や，気候変動の研究を進める上で，雲をどのように予測モデルに取り込むのかは大きな課題である．我々は超水滴法 (Super-Droplet Method) という新しい雲微物理モデルの開発を行なった．超水滴法はエアロゾル・雲粒・降水粒子の運動と変化を，確率的な手法に基づく粒子法を使って統一的に計算する方法であり，経験的なパラメータを使わずに原理的な物理法則に基づいて粒子系の状態変化を計算することができる．さらに，雲に限らず，一般に確率的に衝突併合を繰り返す離散粒子系に超水滴法は適用可能であり，例えば噴霧燃焼や惑星形成のシミュレーションにも応用できるであろう．

本講演では，超水滴法の概要を解説した後，観測と数値計算の比較結果など，最近の研究成果を紹介した．また，雲の Open-cell パターンと Closed-cell パターンの共存の問題についても触れた．

火星科学からみた粉体の面白さ

宮本英昭

近年の惑星探査で明らかにされた地表面の特徴の中で，特に粉体の挙動に焦点をあてて紹介した．特に火星表層にみられる風成地形と，この形成プロセスに関するレビューを，こうした標準的な解釈が持つ問題点を指摘しつつ紹介した．さらに，こうした地形が持つ火星科学全体に対する強いインパクトについても議論し，土星の衛星上における微小重力下での粉体の挙動と，そこから明らかにされる土星系の活動史についても言及した．

格子ボルツマン法とセルオートマトンを組み合わせた流体中の土砂輸送のモデル

中本達哉，新屋啓文，栗津暁紀，西森 拓

格子ボルツマン法と土砂の運動をモデル化した確率的セルオートマトンを組み合わせたモデルを用いて，二次元鉛直断面内における地形について，流体の流れのパターンと，地形の形成や運動およびその安定性との関係を考察する．

重力不安定性の中で形成されるセルパターンの形成

下川倫子，北畑裕之，櫻井建成

重力不安定性の実験で二流体溶液間でセルパターンが形成される．セルパターンのサイズ分布を調べたところ，サイズ分布はベキ則に従うことが実験で分かった．セルパターンの形成機構を理解するためにモデルを提案した．モデルはベキ則を示し，指数も実験値と一致する．これはセルの独立的な成長と出現がセルパターンの形成にとって重要であることを示す．

小惑星分布の縞構造とリウビル演算子のバンド・スペクトル

野場賢一

太陽系に数多く存在する小惑星の分布には，火星と木星の間のメインベルトにおいて，Kirkwood の隙間とよばれる小惑星がほとんど存在しない領域がある．その領域は木星と小惑星の公転周期の比が 2:1, 3:1, 5:2 などの共鳴点に位置している．我々は太陽・小惑星・木星の円制限三体問題における古典的リウビル演算子の固有値問題を考え，小惑星分布の縞構造をその固有値スペクトルに現れるバンド構造として定量的に解析する．

砂の供給の有無による横列砂丘の安定性

新屋啓文，栗津暁紀，西森 拓

一方向流下で形成される横列砂丘は，多くの実験とモデルにより形状の再現がなされている．今回は，近年注目されている横列砂丘の安定性について，砂丘骨格模型を用い検討した．砂丘骨格模型は，一方向の流れにおける砂丘形態を高さ位置の二変数で記述する力学系モデルである．横列砂丘の安定性は，上流からの砂の供給量に強く依存していることが実験，観測，数理モデルにより示唆されている．そこで，供給が存在する連立系（横列砂丘が前後に連なる）と，

存在しない孤立系の2パターンを想定し、初期の摂動やシステムサイズの依存性、最終的な形状へ至るまでのゆらぎの性質を調べた。その結果、連立系の場合、横列砂丘の最終的な状態は初期の摂動によらず内部パラメータにより一意的に定まり、システムサイズの増加は横列砂丘を不安定化させた。また、初期の摂動は横方向の砂の拡散により均一化され、その後のゆらぎの成長率は指数的に変化し、その成長率は内部パラメータで決定した。一方で、砂の供給が存在しない孤立系の場合、横列砂丘は砂の流出により時間の経過とともにゆらぎが成長し、最終的に複数のバルハンが出現する不安定性を示した。

移動可能粒子が少ない場に行ける堆積パターンに関する水路実験 谷口圭輔

南極などで観測されるスノーバルハン、バルハン砂丘の雪のアナログとされてきたが、形態、粒子の移動様式、移動速度を検討した結果、砂丘よりも原始的な「プロトデューン」のアナログであることがわかった。プロトデューン地形に関する先行研究は未だすくないため、全く移動可能粒子のない状態からデューンができるに至る全過程を実験で観察する必要がある。円筒水路を用いた実験により、その過程の一部である、縦列型のサンドリボン地形からサンドパッチを経て横列型のプロトデューン地形が出来る過程が再現された。

4 開催日程, 場所

開催日程 2012年10月30日(火) - 31日(水)

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 8件

参加者数 18人

非線形波動研究の最前線 – 構造と現象の多様性 –

研究代表者 神戸大学理学部 太田 泰広

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上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、数値解析などの各研究分野が活発に相互作用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、微分幾何学、数値解析、計算アルゴリズムなどの諸分野と、思いがけない密接な関係があることが明らかになってきた。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、基礎応用両面において大きな潮流を生み出してきている。

本研究集会の目的は、これまでの非線形波動研究の著しい発展を受けて、「最先端の研究に現れる多様な現象を、様々な分野の立場から多角的に捉え、背後にある構造に注目することによって、現象の理解や制御に関して新たな展開を目指す」ことである。「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、本研究集会在企画された。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、継続して研究集會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會に引き続き、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會が開催されるに至った。

成果の概要

本研究集會は、平成 24 年 11 月 1 日から 3 日までの 3 日間にわたって九州大学筑紫地区共通管理棟 3 階大会議室において開催され、特別講演 4 件と一般講演 28 件（口頭発表 18 件およびポスター発表 10 件）の講演が行われた。

特別講演においては、流体物理学や力学系に関する話題から、非線形波動の数理的構造に関連して、曲面の離散化とその応用といった数学的課題に至るまで、一見まったく異なる分野のテーマでありながら、実は深く関連しあう内容の講演が 4 件行われた。乱流中の渦と波の相互作用に関する講演では、運動エネルギーや粒子の分散についての未解決問題の解説から始まり、Boussinesq 近似のもとで速度場と温度場の間に調和振動子的な結合が現れることに伴って、エネルギーの乱流カスケードに対して成層がどのような効果を与えるかという問題を考察した。次に、速度場を波動的な運動と渦運動とに分離して捉えるための方法が説明され、数値シミュレーションの結果、成層が強くなるにつれて速度場や温度場の水平方向の成分が大きくなっていく様子が報告された。そこでは特に水平方向の移流によって、渦が時間とともにウェッジ型の特徴的な構造を形成していく過程が観察され、そのような構造が Kelvin-Helmholtz 渦へとエネルギーを受渡す役目を果たすことが議論された。エネルギースペクトルなどの数値シミュレーションによる結果が、豊富な図やグラフとともに紹介され、限られた時間ではあったが成層乱流研究の最前線の一端に触れることができた。

様々な振動現象を解析する方法に関して、ネットワークで接続する振動子集団のダイナミクスについての特別講演が行われた。ここでは、生物集団や生体内で起こる同期現象や、弱く結合した系に見られる振動現象などの多彩さについて解説があった後、それらのモデルである結合振動子系に関する解析的数値的研究について講演がなされた。単純な格子のような結合ではなく、複雑なネットワークによって接続された系の場合には、多様な現象が現れる。例えば安定相・不安定相をもつ系において、接続の本数によって安定相の伝搬が制限される様子が見られたり、またネットワークによっては、振動が同期したときの周期のゆらぎが全振動子数に依存することが観察される。結合型の FitzHugh-Nagumo 方程式における解析では、全系が大きくなると周期のゆらぎはシステムサイズの $-1/2$ 乗で小さくなるが、あるサイズでクロスオーバーが起こり、それ以上のサイズでは一定値に近づく。また個々の結合の本数が増えるに従って、そのクロスオーバーは起こりにくくなる。このように多様な振動現象を解析する方法として、位相振動子系の考え方が概説され、同期した状態からの振動について線形化して行列の固有値問題に帰着させることによって、上記のような現象を説明できることが示された。位相振動子の方法は、一般に振動的な解をもつ方程式系に対して適用可能な強力な解析手段であり、様々な現象を体系的に扱えることが理解された。

地球磁場に関して、外核の MHD ダイナモによって自発磁場の発生とその非周期的反転を説明できるかどうかは重要な問題であるが、これに対する数値的研究は、バーチャルリアリティによる可視化につ

いての特別講演の中で解説された。数値シミュレーションによれば、外核において同心円上に分布する円柱状の対流構造が現れ、その円柱に磁力線が巻きつくことによって磁力線の引き延ばしと折り畳みが起こる。また円柱軸方向の流れによって、赤道付近では磁力線の切り繋ぎも観察される。このような電磁流体の複雑な運動を視覚化するための方法が、CGを用いたバーチャルリアリティである。CGにおいて曲面を表現するためには離散化を行う必要があるが、それに関する話題がもう一つの特別講演である。そこでは、レーザー走査で得られた点データから雑音を除去する Gaussian フィルターの話や、点の成す三角形格子からどのように四辺形格子を自動生成するかといった話題に始まり、離散幾何学の最先端についての理論実践両面にわたる詳細な講演が行われた。初等的なベクトル解析における諸概念の自然な離散化を考察し、大域的に整合的な格子を生成する方法が紹介された。ここで特筆すべきは、このような離散曲面の座標が、非線形波動の一つであるソリトンの時間発展とまったく同じ数学的構造をもつということである。すなわち、非線形波動現象を解析することと離散曲面を構成することが、共通の方法によって研究されているのである。一見無関係に見える数学的な研究テーマが、実はその背後で流体における非線形波動と深く関連していることは驚きである。非線形波動の研究における手法や概念が、様々な分野の最先端の研究に現れることは、「非線形波動」の普遍性を表していると言えよう。

一般講演においても、流体やソリトンに関するものから、数値解法、微分方程式、セルオートマトン、曲面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が、いずれも「非線形波動」というキーワードを通して深く結びついている話題であり、参加者による分野を越えた活発な議論が繰り広げられた。一例を挙げれば、フェラデー波の数値計算の講演においては、水槽を上下に加振したとき水面に二次元的な局在構造が現れることに対応して、Hele-Shaw セルを上下に加振すると一次元局在構造ができるかどうか議論された。実験的には、水面の一部を刺激することによって局在構造が形成されると言われているが、数値計算によって、初期の局在構造は側壁での摩擦抵抗を考慮することによって初めて局在状態を維持することが報告された。すなわち一次元の場合、局在構造にとって側壁での摩擦の効果は無視できないことが示された。局在構造は流体に限らず、物性物理などにおける様々な非線形系にも現れる重要な研究テーマであり、多くの聴衆の興味を引いた。全体を通して、非線形波動研究の裾野の広さが実感できる研究集会であり、様々な最先端の研究の情報を交換し、異分野間の相互作用を促進するという当初の目的は、ある程度達成できたと思われる。

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と、研究集会を共催していただいた文部科学省グローバル COE プログラム「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」に対して、参加者を代表して深く感謝申し上げます。

講演プログラムと概要

11月1日(木)

13:00~13:30

弾性波動乱流のスケール依存性と異種乱流の共存について

横山直人(京大工)、○高岡正憲(同大理工)

弾性薄板の波動に関する実験及び数値計算の先行研究では、様々な巾のエネルギースペクトルが観測され、弱乱流理論や次元解析から予想されるスペクトルも含め、統一的理解は得られていない。我々は系のエネルギーをコントロールしたシミュレーションをすることにより、これまでに得られたスペクトルを統一的理解できることを示した。また、大きいスケールでは次元解析で予想されるスペクトルの巾が小さいスケールでは弱乱流理論で予想されるスペクトルの巾という2種類の巾が共存していることを見出した。これら異種乱流の境目となるスケールを見積もる方法を提案し、系のパラメータを変えたシミュレーションの結果と比較して、その妥当性について議論する予定である。

13:30~14:00

初期波形の離散化による AKNS 線形散乱問題の近似解法とその応用

○藤嶋浩史(キャノン光学研)、矢嶋徹(宇都宮大工)

逆散乱変換によって解くことができる非線形方程式群のうち、AKNS形式に書けるクラスを考察する。通常この散乱問題を解析的に解くことは困難であるが、最近我々は、初期波形を多数の矩形区間に分割し、それぞれの区間をつなぐ転送行列を考えることにより、この問題の数値的近似解法を見出した。これにより、任意の初期波形から時間発展をスタートさせた波束の漸近的情報を抽出することができる。本講演では、非線形シュレディンガー方程式に本解析法を適用する。

- 14:00～14:30 **非線形波動系に対するシンプレクティック数値解法と運動量保存則**
佐々成正 (原研計算セ)
ハミルトン系に属する非線形波動方程式に対し、シンプレクティック数値解法の適用を考える。このとき時間発展に対して保存する形式的ハミルトニアンが存在が知られている。このアナロジーとして運動量保存則に対する考察を行う。
- 14:45～15:45 **[特別講演] バーチャルリアリティ技術を利用した科学データの可視化**
陰山聡 (神戸大学)
バーチャルリアリティ (VR) 技術の最終目標は、計算機で構成した「人工世界」を、現実と誤解させることであろう。もちろん、現代の VR 技術はまだそこまで発達していないが、少なくとも視覚に関しては、科学研究の道具として十分に「使える」ほど成熟していると言える。特に、没入型と呼ばれる種類の VR 装置を使うと、仮想現実世界の中に文字通り体ごと入り込み、その世界を 3次元のまま見ることができただけでなく、コントローラを通じてその世界と自由にやりとり (3次元物体を切ったり、作り出したり等) できる。神戸大学統合研究拠点 (神戸市ポートアイランド) に昨年、日本最大の没入型 VR 装置 “ π -CAVE” が設置された。(Port Island にあるので、“ π ” である。) 本講演では、この π -CAVE 装置を使って我々が行っている様々な科学データの可視化について紹介する。その対象データは主に流体・磁気流体力学シミュレーションのデータや、防災・減災 (につながることを目指した) データなどである。データ空間に入り込んでそのデータを可視化することの有効性と、何よりその楽しさが伝わるようにお話ししたい。時間的に余裕があれば、我々が VR 技術をデータ可視化に使う動機となった磁気流体シミュレーション (地磁気の起源解明を目指した地球ダイナモシミュレーション) についても紹介したい。
- 16:00～16:30 **計算アルゴリズムの確率モデルの解析における recursion と非線形波動**
伊藤栄明 (統数研名誉教授)
2進探索木等のソーティングアルゴリズムの解析に用いられる recursion の漸近挙動は Fisher-KPP 方程式の解の漸近挙動と類似している。並列計算における確率モデル (食物連鎖の確率モデルにもあらわれる) より導かれる recursion についてこの類似性もちらいて漸近挙動を議論する。Y. Itoh and P. L. Krapivsky, J. Phys. A. (October 2012).
- 16:30～17:00 **直交多項式の拡張と離散パルルヴェ方程式**
中園信孝 (九大数理)
本講演では、直交多項式の重み関数を q-Pochhammer で拡張することによって得られる規格化因子の保存量と離散パルルヴェ方程式の関係について報告する。
- 17:00～17:30 **有限体と様々な次元における魔方陣**
宮川文香 (立教大理)
数え上げの分野では可積分系との関係も知られている魔方陣について、幾何学的なアプローチではありますが、その構成法を三次元と四次元の具体例を元に、解説したいと思っております。
- 11月2日 (金)
9:30～10:00 **広田三輪方程式の三角圏構造**
弓林司 (首都大理工)
物理、数学の様々な場面に於いて双対性の構造は重要である。最近では、双対性の研究に圏、特に幾何学的情報については三角圏の構造が重要視されている。そこで、本発表では可積分系の母方程式とも言うべき広田三輪方程式の三角圏構造について考えたい。
- 10:00～10:30 **KP 差分方程式系とその解の構造**
広田良吾 (早大名誉教授)
BKP 差分方程式系の構造は Pfaffian の加法公式を使って簡明にできること示したが、KP 差分方程式系とその解の構造も同じ Pfaffian の加法公式を使うと簡明に出来ることを示す。

- 10:30～11:00 **3次元等質空間内の曲面と可積分系**
井ノ口順一 (山形大理)
3次元定曲率空間内の曲面はサイン・ゴールドン型方程式を構造方程式にもち、種々の構成法が知られている。Dorfmeister 氏、小林真平氏との共同研究により、定曲率でない3次元等質空間内の曲面で、可積分系の構造をもち、ループ群を用いた構成法を許容するクラスが発見されたことを報告する。
- 11:10～12:10 **[特別講演] Generation of high quality surface and volume meshes**
Konrad Polthier (Freie Universität Berlin)
In this overview presentation we introduce novel integrable discretization and meshing schemes for discrete surface and volumetric meshes. We stress their efficiency in several industrial applications from scientific computing, computer aided design, architecture and computer graphics. Meshes arising from 3D scans or other 3D imaging techniques are often not well adjusted to the geometry or topology of the underlying shapes. The generation of good meshes is still an active research area in various disciplines. We discuss novel techniques to generate highly structured surface and volume meshes that are consistent with many geometric and topological features of the underlying shapes. We discuss techniques to fill a bounded volumetric shape with a consistent cubical voxel structure. Among the optimization goals are alignment of the voxels with the bounding surface as well as simplicity of the voxel grid. Mathematical analysis of the possible singularities is given.
- 13:25～13:55 **気泡流の非線形波動方程式の全貌の解明に向けて—KdV・NLS・KZK 方程式と液体の圧縮性に係る検討—**
金川哲也 (東大工)
多数の球形気泡を含む静止液体中における有限振幅の圧力波 (音響波) の弱非線形伝播を記述する、様々な非線形波動方程式を、気泡流のモデル方程式系 (基礎方程式系) から、統一かつ系統的に導出する方法を述べる。KdV 方程式、NLS 方程式、KZK 方程式の導出に加えて、液体の圧縮性に伴う音響放射減衰によって波の急速な減衰を表現する方程式をも導く。
- 14:05～15:05 **[特別講演] 安定成層乱流における渦と波の相互作用**
木村芳文 (名古屋大学)
成層乱流の運動は流体の運動方程式と密度場 (温度場) の方程式がカップルした方程式系で記述される。成層が安定な場合 (すなわち重い流体が下で軽い流体が上にある時) にはそのカップリングは調和振動子の運動と類似になって流体の運動に何らかの振動現象が伴うことになる。このように成層乱流中では乱流現象に伴う渦と振動現象によって生じる波が相互作用をして様々な流れの構造を生み出すことが特徴的である。本講演ではこの成層乱流の特徴を渦と波の重ね合わせとして考察し、エネルギースペクトルなどの統計量についての最近の数値解析の結果を報告する。
- 15:15～16:15 **[特別講演] 振動子集団のダイナミクスのネットワーク構造依存性**
郡宏 (お茶の水女子大学)
振動現象、すなわち自発的に起こる周期的活動は、心拍や生物時計などの生命現象や化学反応系、さらにはメトロノームといった機械など、様々な対象で重要な役割を担っている。特に、振動子集団は、振動子間の相互作用によって、同期現象や時空カオスなどの複雑な秩序化現象を起こす。このような秩序化現象には興味深い問題が山積しており、非線形・非平衡物理学は応用数学分野において、歴史的にも現在も重要な研究対象である。この講演では、生命システムにみられる振動子集団のダイナミクスと機能について幅広く紹介した後、近年我々が取り組んできた生命機能と密接に関係する研究について解説する。特に、複雑なネットワークで接続する振動子集団の動的性質を解析的に取り扱った研究をいくつか紹介する。

11月3日 (土)

- 9:30~10:00 **側壁を考慮したファラデー波の数値計算**
 ○高木健太郎(京大理)、松本剛(京大理)
 ファラデー波の直接数値計算では水平方向に周期境界条件を課することが多いが、側壁の影響が無視できないと思われる現象が近年の実験では見つかっている。その中でも最近実験で見つかった局在孤立波 (standing solitary waves) と呼ばれる現象の再現を目指し、滑り無し条件を側壁に課した数値計算により、側壁の影響を調べる。
- 10:00~10:30 **笹野系の q -類似について**
 増田哲(青山大理工)
 パンルヴェ微分方程式の高階化について、近年、著しく研究が進展している。それらの q -類似について考察することは自然であろう。本講演では、笹野系と呼ばれる D 型アフィンワイル群対称性をもつ高階パンルヴェ型微分方程式系に注目し、それらの q -類似の構成について述べる。
- 10:45~11:15 **超楕円曲線に付随する可解カオス系**
 野邊厚(千葉大教育)
 超楕円曲線の対称積からピカル群への全射を用いて、その対称積上に加法を定めることができる。この加法から導かれる可解カオス系について議論する。
- 11:15~11:45 **聴覚の非線形モデル**
 ○石渡信吾(横浜国大理工)、神野晋吾(横浜国大理工)
 耳の内耳にある蝸牛管は音を周波数分解して聴覚神経に伝える器官である。その仕組みは今もって不明な点が多い。我々はこの周波数分解の機能を確率共鳴の観点からモデル化し、電気回路の実験を通してその妥当性を検討する。
- 13:00~13:30 **三角型スピン格子での量子状態転送について**
 ○三木啓司(京大情報)、辻本諭(京大情報)、Luc Vinet(モントリオール大学)、Alexei Zhedanov(ドネツク物理工科大学)
 本講演ではある二次元の XX 型ハミルトニアンが Rahman 多項式と呼ばれる二変数 Krwatchouk 多項式により対角化できることを示す。得られた結果をもとにして、対応する二次元格子での量子状態転送を理論的に観測し、完全状態遷移の有無を調べる。
- 13:30~14:00 **離散凸二次関数の最大値として表される超離散 KdV 方程式の解について**
 中田庸一(東大数理)
 パラメータに依存するある離散凸二次関数の最大値を凸解析の手法を用いて評価することにより、それがソリトン解や周期解を特殊な場合として含む超離散 KdV 方程式の解となることを説明する。
- 14:00~14:30 **B 型箱玉系のソリトン解**
 広田良吾(早大名誉教授)、○長井秀友(東海大理)

$$B \text{ 型箱玉系 } (1+b)f(m-1, n)f(m+1, n+1) = (1-a)f(m, n)f(m, n+1) + af(m-1, n+1)f(m+1, n) + bf(m, n-1)f(m, n+2)$$
 を超離散化した方程式には二種のソリトン解がある。一つは箱玉系のソリトンであり、もう一つは通常のソリトンである。両者の衝突を表す厳密解が求まった。
- 14:30~15:00 **エレメンタリーセルオートマトンの相互相関行列の解析**
 ○金子勇治(東大数理)、時弘哲治(東大数理)、間田潤(日大生産)
 ECA の出力パターン相互相関行列の固有値間隔分布を数値的に調べると、ルール 150 等ではウィグナー分布、ルール 170 等ではポアソン分布にほぼ一致した。基本周期とシステムサイズ等の関係も議論したい。

ポスターセッション概要

(1) 不動点定理について

○齋藤草子(横国大)、齋藤暁(首都大)

「非可積分写像を特徴付ける Julia 集合は可積分極限でどのように消滅するのか」という問題について、不動点定理という観点から考察する。特に、これまで調べられてこなかった周期点で、可積分極限では不定点に漸近するものについて考察する。

- (2) **あるパターン形成系の構築について**
 ○中谷 友洋 (早大)、高橋 大輔 (早大)
 ターゲット、スパイラルパターンを生成する系を、リミットサイクルを有する常差分系の多次元拡張により得る。また、その連続極限から微分のパターン形成系を得る。この系は、時間 2 階の 1 成分系であること、超離散化可能であることが大きな特徴である。
- (3) **4 近傍粒子 CA の Euler-Lagrange 変換について**
 ○山本匠 (早大)、高橋大輔 (早大)
 1 の個数が時間的に保存する 2 進 CA を粒子 CA と呼ぶ。3 近傍粒子 CA である BurgersCA の Euler-Lagrange 変換が既に知られているが、これと同様の手続きを 4 近傍粒子 CA に適用する。また Lagrange モデルにおける初期値問題や確率化についても議論する。
- (4) **拡張された Tzitzeica 方程式と中心アフィン曲面**
 ○三谷浩将 (立教大)、笈三郎 (立教大)、R.Willox (東大)
 負時間を含む結合型 KP 階層の簡約から、Tzitzeica 方程式の一つの拡張が得られる (Willox, 2005)。本研究では、その方程式の持つ 6×6 Lax 形式と、中心アフィン曲面の構造方程式との関係を解析する。
- (5) **離散戸田方程式の解の組合せ論的な表示とその非自励化**
 上岡修平 (京大)
 離散戸田方程式の初期値問題を解くとき、その解は非交叉的な格子路の言葉で組合せ論的に記述することができる。本発表では非自励離散戸田方程式とその初期値問題を考え、方程式の非自励化により解の組合せ論的な表示がどのように拡張されるかを観察する。
- (6) **特異点”解放”による不変周期点代数多様体の生成**
 齋藤暁 (首都大)、弓林司 (首都大)、○脇本佑紀 (首都大)
 特異点閉じ込めなる現象は見方を変えたとそこから代数多様体達を解放する努力であると見做せてこの視点は可積分系を特徴づける上で重要である。ここでは幾つかの例について生じた困難とその解決方法について報告する。
- (7) **離散可積分系の観点からの dqds 法の拡張について**
 ○前田一貴 (京大)、辻本諭 (京大)
 行列の標準固有値計算アルゴリズムである dqds 法を、離散可積分系の観点から拡張することを考える。得られたアルゴリズムは行列の一般化固有値を計算するアルゴリズムとなっていることを明らかにする。
- (8) **ある拡張型離散戸田方程式の漸近挙動について**
 ○飛田明彦 (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)、岩崎 雅史 (京都市府大)、中村 佳正 (京大)
 力学系の局所的な解挙動を調べる際、中心多様体理論が有効である。本発表では、離散戸田方程式を拡張した方程式に対し、中心多様体の存在と平衡点付近での収束性を調べた結果を報告する。
- (9) **振動子ウォーカーの渋滞現象**
 ○江崎貴裕 (東大)、西遼佑 (東大)、柳澤大地 (茨城大)、西成活裕 (東大)
 車の渋滞で用いられる追従モデルに振動子の要素を含めた新たなモデルを提案する。これは自然界の生き物の動きが歩行、羽ばたき等の位相に大きく制約されることを意識して考案されたもので、通常の最適速度模型とは異なる挙動を示す。同期歩行の安定性や位相固定 (phase locking) 現象について紹介する。
- (10) **箱とバスケットと玉の系におけるソリトン解**
 由良文孝 (はこだて未来大)
 Box-basket-ball system における双線形形式およびソリトン解などについて報告する。

開催の期間 平成 24 年 11 月 1 日 ~ 平成 24 年 11 月 3 日

参加者 66 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

水産大学校海洋生産管理学科 滝川哲太郎

2012年12月13日から12月14日にかけて、九州大学筑紫キャンパスにおいて、応用力学研究所共同利用研究集会「日本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。本研究集会は、1998年度の「対馬・津軽海峡の海況モニタリングと日本海の波浪計測に関する研究集会」に始まり、それを引き継ぎ、3回の研究集会名の変更を経て、今年度で15回目を迎えた。長年、本研究集会の世話人を務められた増田 章 教授が、今年度で退官されることもあり、本報告では、本研究集会の歴史とその背景について少し振り返りたい。以下に、開催年度・研究集会名・代表者（敬称略）を示す。

年度	研究集会名	代表者
1998	対馬・津軽海峡の海況モニタリングと日本海の波浪計測に関する研究集会	力石 國男
1999	対馬・津軽・宗谷海峡の海況モニタリングと日本海の波浪計測に関する研究集会	力石 國男
2000～2002	日本海沿岸域における海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会	磯辺 篤彦
2003～2005	日本海沿岸域における海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会	森本 昭彦
2006～2008	日本海沿岸域における海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会	滝川 哲太郎
2009～2012	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	滝川 哲太郎

本研究集会の立ち上げ当初には、日本海と外海をつなぐ宗谷・津軽・対馬海峡での重点的な海況モニタリングが次々に開始された（以下参照）。

- 1997年～ 対馬海峡フェリーADCP観測（九州大学応用力学研究所）
- 1999年～ 津軽海峡フェリーADCP観測（日本原子力研究開発機構）
- 2002年～ 対馬海峡 海洋レーダー（九州大学応用力学研究所）
- 2003年～ 宗谷海峡 海洋レーダー（北海道大学低温科学研究所）

現在、対馬海峡横断フェリー「ニューかめりあ」では、表層水温・塩分・クロロフィル・濁度と海面高度もモニターしている。さらに、日本海区水産研究所によって、日本海の漁業に被害をもたらす大型クラゲ（エチゼンクラゲ）の目視も行われ、物理観測のみならず生物や水産に関するモニターも必要とされている。

2002年と2003年には、それぞれ対馬海峡と宗谷海峡において、海洋レーダーによる表層海況監視が始まり、海洋レーダーの普及が著しく進んだ。そのため、本研究集会で海洋レーダーによる観測結果についての講演が増加する傾向にあった。レーダー観測結果のみならずレーダーに関する技術的な講演も促そうと、2003, 2004年度に「海洋短波レーダーによる日本沿岸海況監視システムの開発（代表者：藤井智史，世話人：吉川 裕）」が共同利用特定研究の課題に採択されたことを契機とし、本研究集会から海洋レーダー研究会が独立することとなった。こうして2003年度から現在に至り、この2つの研究会を連日で開催している。

本研究集会の利点の第一は、現場観測に携わっている多くの方々に継続してご参加頂いてきたことである。第二は、大気や海洋を専門とする研究者が数多く在籍している九州大学応用力学研究所で本研究集会が開かれることである。現場観測と力学研究が相まち、両者の活発な議論を通じて、研究の新たな発見や進展を得ることができる。これが大きな意味を持つと感じた。発表内容は、観測結果に関するものだけでなく、数値シミュレーションを用いた研究発表も多くあり、様々な角度から、日本海や沿岸域の現象を説明する発表も多い。最近では、大気や気象に関する発表も増加している（プログラム参照）。今後、大気－海洋分野での情報交換や共同研究の発展につながればと感じた。

今年度の研究会には、大学および試験研究機関を中心に40名が参加し、合計15題の講演があった（プログラム参照）。例年通り、一題あたり質疑応答を含め30分の時間を割いたため、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。今後とも、日本周辺海域の海況・波浪の研究に携わる研究者らが議論を行う一つの場として、本研究集会が継続・発展していくことを期待する。最後に、本研究集会の開催を承諾して頂いた九州大学応用力学研究所、集会を開催するにあたりお世話して頂いた東アジア海洋大気環境研究センター・海洋力学分野の増田 章 教授をはじめとする諸氏に感謝する。

プログラム

期間：平成 24 年 12 月 13 日（木）～12 月 14 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

所内世話人：増田 章

研究代表者：滝川哲太郎（水産大学校）

----- 12/13(木) -----

13:30-13:40 趣旨説明

滝川哲太郎(水大校)

13:40-14:10 春季における石狩湾周辺海域の流れと海水交換

西田芳則(道中央水試)

14:10-14:40 石川県周辺海域における漁船の操業を利用した ADCP 観測

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), 広瀬直毅(九大応力研), 渡邊達郎(水研セ日水研)

14:40-15:10 能登一佐渡海域で冬期季節風に励起された沿岸捕捉波

井桁庸介, 渡邊達郎, 柿木康児, 奥野 章, 加藤 修(水研セ日水研)

15:10-15:40 能登半島東岸で観測された近慣性内部波の鉛直構造

山崎恵市(水研セ日水研/海洋大院), 井桁庸介(水研セ日水研), 北出裕二郎(海洋大院),
山田東也(水研セ西水研), 千手智晴(九大応力研), 渡邊達郎(水研セ日水研),
大慶則之(石川水総セ), 池田 怜(新潟水海研)

15:40-16:00 休憩

16:00-16:30 東シナ海黒潮近傍に発生する積雲対流に関する熱力学的診断

濱野五月, 万田敦昌(長崎大院水産・環境)

16:30-17:00 冬の黄海・東シナ海における海面水温の経年変動と風の強弱

金城早香, 滝川哲太郎(水大校)

17:00-17:30 日向灘海況情報提供における漁船情報活用の試み

渡慶次 力, 福田博文, 林田秀一(宮崎水試), 清水 学, 市川忠史(水研セ中央水研)・
柳 哲雄(九大応力研)

17:30-18:00 風波と(成長または減衰する)規則波の間の相互作用に関する室内実験研究

水野信二郎

----- 12/14(金) -----

09:00-09:30 萩市見島宇津と長門市青海島通における潮位観測速報

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)

09:30-10:00 船舶曳行式バルーンを用いた空撮と画像解析による沿岸海況モニタリング

宮尾泰幸, 磯辺篤彦, 加古真一郎(愛媛大沿岸セ)

10:00-10:30 沿岸域の海況監視システムの構築に向けて

石崎士郎(気象庁地球環境・海洋部海洋気象課)

10:30-10:45 休憩

10:45-11:15 日本海の海面乱流熱フラックスについて

富田裕之(名大水循環セ)

11:15-11:45 平成 24 年九州北部豪雨の数値実験

万田敦昌(長崎大院水産・環境), 飯塚 聡(防災科研), 美山 透(JAMSTEC-RIGC),
吉岡真由美(東北大院理), 中村 尚(東京大学)

11:45-12:15 2011 年 1 月に観測されたバレンツ海上のポーラーロウの数値実験

三井 拓(長崎大院水産・環境/JAMSTEC-RIGC), 猪上 淳, 堀 正岳(JAMSTEC-RIGC),
万田敦昌(長崎大院水産・環境)

12:15-12:45 仮題「平衡状態にある高波数側スペクトルの形について」

増田 章(九大応力研)

12:45-13:15 総合討論

参加者

	氏 名	所 属		氏 名	所 属
1	石崎 士郎	気象庁	31	三城 希雄	九大・応用力学研究所
2	山崎 恵市	日水研	32	光易 恒	九大名誉教授
3	江淵 直人	北大・低温研究所	33	藤井 智史	琉球大学・工学部
4	小山 悠人	水産大学校	34	朴 松杰	九大・総理工
5	滝川 哲太	水産大学校	35	油布 圭	九大・応用力学研究所
6	金城 早香	水産大学校	36	張 偉	北大・低温研究所
7	井桁 庸介	日水研	37	河野 史郎	いであ(株)
8	福留 研一	日水研	38	井手 喜彦	九大・総理工
9	竹内 謙介	北大名誉教授	39	中村 浩昭	九大・総理工
10	西田 芳則	北海道中央水産試験場	40	窪田 雅也	九大・総理工
11	増田 章	九大・応用力学研究所			
12	石橋 道芳	九大・応用力学研究所			
13	水野 信二	自宅			
14	西村 一星	海上保安庁			
15	森岡 裕詞	海上保安庁			
16	灘井 章嗣	N I C T			
17	渡慶次 力	宮崎水産試験場			
18	富田 裕之	名古屋大学			
19	久木 幸治	琉球大学・理学部			
20	広瀬 直毅	九大・応用力学研究所			
21	吉川 裕	九大・応用力学研究所			
22	宮尾 泰幸	愛媛大学・沿岸センター			
23	高山 勝巳	九大・応用力学研究所			
24	市川 香	九大・応用力学研究所			
25	杉尾 毅	第七管区海上保安庁			
26	千手 智晴	九大・応用力学研究所			
27	万田 敦昌	長崎大学・水産学部			
28	濱野 五月	長崎大学・水産学部			
29	三井 拓	長崎大学・水産学部			
30	登内 茂樹	海上自衛隊			

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 20δ （ δ 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（金）

14:00-14:45 チャンネル内遷移流の大規模秩序運動

塚原隆裕（東京理科大理工）

14:45-15:30 低レイノルズ数ポアズイユ乱流の大規模間欠構造について

福留功二（名工大）、飯田雄章

15:30-15:45 休憩

15:45-16:30 ミニマル平面クエット乱流の遷移と解の対称性について

板野智昭（関大理工）、S. C. Generalis, 二宮隆弘, 関 眞佐子

16:30-17:15 樹木群を有する開水路乱流の抵抗低減のための大規模渦構造の抑制の試み

横嶋 哲（静岡大工）、河原 能久

17:15 懇親会

2月23日（土）

9:00- 9:45 高レイノルズ数チャンネル乱流の非等方スペクトル

森下浩二（神戸大システム情報）、石原 卓、金田行雄

9:45-10:30 乱流境界層の乱流・非乱流界面近傍の条件付き統計解析

石原 卓（名大工）、小笠原 浩樹

10:30-10:45 休憩

10:45-11:30 フィルター法による空間局在構造及び統計性質の抽出

藤 定義（京大理）、寺村俊紀

11:30-12:15 フィルター法による空間局在数値的厳密解の構成

寺村俊紀（京大理）、藤 定義

12:15-13:30 昼休み

13:30-14:15 Attached eddy モデルに基づいた壁面境界条件

水野吉規 (同大理工), J. Jimenez

14:15-15:00 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寄与

山本義暢 (山梨大医工総合), 辻 義之

15:00-15:45 高レイノルズ数におけるチャンネル乱流の直接数値計算

清水雅樹 (阪大基礎工), 河原源太

15:45-16:00 円管乱流中における大規模組織構造の抽出の試み

S. Feng, 藤城敦史, 辻 義之 (名大工)

3 講演内容の概要

チャンネル内遷移流の大規模秩序運動

塚原隆裕

カノニカル壁乱流のチャンネル流 (平行平板間流れ) において, 乱流遷移および逆遷移現象は依然として極めて複雑な問題であり, 円管内流れの垂臨界遷移と同様, 現在でも研究が盛んに行われている. 本研究では, 層流・乱流間遷移レイノルズ数域にあるチャンネル乱流に焦点を当て, 遷移現象の解明と流動特性の評価を目的としている. 特に, 乱れが縞状の空間的間欠性を示す特異な現象 (乱流縞) の解明が主なる課題である. 本講演では, 著者が行ってきた大規模計算領域による直接数値シミュレーション (DNS) および可視化実験などの結果を示し, 国内外の関連研究を交えて, 現状のチャンネル内遷移流に見る秩序について考察した.

低レイノルズ数ポアズイユ乱流の大規模間欠構造について

福留功二, 飯田雄章

低レイノルズ数における平行平板間乱流で確認される大規模間欠構造 (乱流-層流パターン) において, その渦構造に着目し, その構造を議論した. また, 系に回転を加えた場合, パターンが消滅する過程も議論した.

ミニマル平面クエット乱流の遷移と解の対称性について

板野智昭

比較的高いレイノルズ数 (~ 10000) 程度におけるミニマル平面クエット流における不安定な定常進行波解の解析を行った. この解はレイノルズ数の増加とともに層流解に漸近するとともに, 相空間における乱流と層流の遷移境界に存在し続けることがわかっ

た. 以上の事実をもとに, 遷移の実験において観察される流れの対称性と, 従来より知られてきた厳密解の対称性について, 議論した.

樹木群を有する開水路乱流の抵抗低減のための大規模渦構造の抑制の試み

横嶋 哲, 河原 能久

実河川には植生・樹木が繁茂している. 樹木群の存在は河床や側壁の浸食を防ぎ, 水棲生物に多様な生態系を提供するなどの利点を有する反面, 流れの抵抗要素となるため, 洪水時には水位を上昇させ, 洪水氾濫の危険性を高める. 本講演では LES (ラージ・エディ・シミュレーション) に基づく数値実験によって, そういった災害リスクを低減可能な樹木群管理の在り方を探る試みについて報告した.

高レイノルズ数チャンネル乱流の非等方スペクトル

森下浩二, 石原 卓, 金田行雄

最大レイノルズ数 $Re_\tau = 5120$ のチャンネル乱流 DNS により, 壁乱流中の対数領域における小スケールの非等方性に関する普遍性について検証した結果を報告した.

乱流境界層の乱流・非乱流界面近傍の条件付き統計解析

石原 卓, 小笠原 浩樹

自然や工学的応用における流れにおいて, 乱流が渦なしの非乱流領域中に局在し, シャープな境界を形成していることが多い. 乱流・非乱流界面の運動の理解のため, 本研究では, 乱流境界層の直接数値計算によって得られたデータを用いて, 乱流・非乱流界面近傍の条件付き統計解析を行った結果について報

告する。

フィルター法による空間局在構造及び統計性質の抽出

藤 定義, 寺村俊紀

チャンネル乱流では、乱流遷移では乱流班やパフあるいは広範な乱流と層流の共存状態が観測されている。一方、発達した乱流においては、スケールの分離した内層と外層が共存し、その接合領域には普遍性を持つと思われる対数則層が存在している。いずれも、空間的に局在した乱流状態とみなすことができよう。もし、これらの局在性が力学的な独立性に由来するとすれば、この局在性を記述できる自律的な解の存在が期待される。ここでは、空間的なフィルターを基礎方程式に導入し、1) 空間的に局在した定常進行波解を求める、2) 内層を強制的に減衰させ、外層のみの自律的な乱流状態の抽出とその統計性質を調べる、ことを試み、その結果について報告した。

フィルター法による空間局在数値的厳密解の構成

寺村俊紀, 藤 定義

層流-乱流転移において重要な役割を果たすと期待されている空間局在構造を Navier-Stokes 方程式の一つの厳密解として抽出するための手法であるフィルター法について最近の結果を発表した。stream-wise 方向の局在性のモデルとして用いた蔵本-Sivashinsky 方程式の進行方向に局在した定常進行波解について述べた。さらに現在試行している同方程式の進行方向局在周期解、及び2次元平面ポアズイユ流での途中結果についても進行状況を報告した。

Attached eddy モデルに基づいた壁面境界条件

水野吉規, J. Jimenez

固体壁面の近くの乱流場における速度乱れの特徴的な長さスケールは固体壁面からの距離に比例する。このスケール則を満足するような境界条件を与えて内層(壁付近の領域)を除いたチャンネル乱流の数

値シミュレーションを実施し、このスケール則が対数層の形成に本質的な役割を果たしていることを示した。

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寄与

山本義暢, 辻 義之

高レイノルズ数壁面乱流場においては、外層における大規模構造が存在し、この影響により、主流方向乱れ強度が増加することが知られている。本研究では、チャンネル乱流場を対象とし、外層からのエネルギー輸送及び4象限解析に基づき、大規模構造の影響を定量的に評価した。またスーパーコンピュータ京を利用した大規模数値解析によるPMS解析についても言及した。

高レイノルズ数におけるチャンネル乱流の直接数値計算

清水雅樹, 河原源太

DNSにより、高レイノルズ数チャンネル乱流における大規模構造の時空間構造について述べる。また、従来のDNSでは壁垂直方向に多項式によるスペクトル展開が多く用いられてきたが、チェビシェフ多項式を用いた高次数での展開には、微分演算や線形常微分方程式を解く際に問題があることがしばしば述べられている。講演ではこの問題への改善や限界についても述べた。

円管乱流中における大規模組織構造の抽出の試み

S. Feng, 藤城敦史, 辻 義之

粒子画像計測法(PIV法)を用いた円管乱流中の大規模組織構造を抽出する試みについて報告した。実験は配管直径に基づくRe数が5000~50000の範囲で行い、PIV法を用いて、時間空間分解能を十分に保ち、管中心軸を含む断面と垂直断面でおこなった。旋回をとまなう場合の大規模組織構造の存在について考察した。

4 開催日程, 場所

開催日程 2013年2月22日(金) - 23日(土)

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 12件

参加者数 20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 12 日(水)午後(13:00～18:30)

および 13 日(木)午前(9:00～12:10)

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： 50 名

今回の研究集会開始 10 回目に当たり、また、ソウルにて 2012 年 5 月にアジア圏内で初めて開催された海洋レーダの国際集会(Ocean Radar Conference for Asia, 2012/5/17-18)の後を受けて、本研究集会としても日本国内の発表だけでなく近隣国との連携を深めることを目的に、中国、韓国、台湾において海洋レーダの研究や推進を中心的に担っている研究者を招き、招待講演を企画した。また、加えて米国 CODAR 社など外国からの参加者があることも考慮し、1 日目を国際セッションとして英語での発表とした。議論も活発に行われ、今後の研究や運用に関して国際的な連携への発展が期待できる研究集会となった。

3. 発表概要

1 日目の最初は、中国、韓国、台湾でそれぞれ海洋レーダの研究開発の中心を担ってきた研究者による招待講演 3 件が行われた。Wu は、Wuhan 大にて独自に開発してきた OSMAR 海洋レーダの技術的内容と応用研究を紹介した。中国沿岸に 15 基以上展開され、海流観測だけでなく浅海での波浪位相速度の変化から海底地形を推定する方法についても言及した。また、内陸の Wuhan で海洋レーダの開発が行われたのは電離層研究を発端にしているとの逸話は、日本において海洋レーダの研究開発が最初に行われたのが電離層観測拠点である沖縄電波観測所であることと一致しており、興味深かった。Kunsan 大の Lee は、韓国で 25 基展開されている海洋レーダの配置と今後の計画、最近の海洋レーダの観測結果などを紹介した。韓国では行政、大学、研究機関等が連携した

組織 KORF (Korea Ocean Radar Forum)を立ち上げて、海洋レーダの運用や研究などを推進していく体制づくりを行っていることは、日本でも参考にすべきことである。TORI(Taiwan Ocean Research Institute)の Chiang は、台湾島全周をカバーする 15 基の海洋レーダネットワークを紹介した。これらはすべて TORI にてデータ収集を行い運用されており、その観測例がいくつか示された。今後の台湾近海における海洋研究に大いに利用されることが期待できる。

招待講演の後、9 件の発表が行われた。名大 HyARC の森本は、NICT の遠距離海洋レーダのデータを再読み取りした表層流速データセットを構築している。その 2001 年～2008 年のデータを用いて、台湾北東海域での黒潮の変動を解析し、夏冬での流路の季節的変動、上流域での中規模渦による 1 か月程度の変動、台風通過時の影響などについてまとめた。九大応力研の市川は、2012 年 6 月に TORI と共同で行った黒潮上流域での観測を紹介した。海洋レーダ観測海域に日本と台湾から観測船を出して CTD と ADCP 観測に加えて乱流計測を行った。今回は、特に漂流ブイの軌跡と海洋レーダ表層流の相違について言及したのみであった。今後の解析が待たれる。国立台湾大の Liu は、台湾北部の海洋レーダ観測に関して、上記共同観測での台湾側のブイの軌跡、台湾-中国本土とのフェリー観測、モデルなどの潮流楕円との比較から、データの有効性を示した。北大の Zhang は、宗谷海峡での吹送流の構造を海洋レーダ、ADCP、潮位差、気象庁再解析データを用いて議論した。季節風が強く一定である冬季の方が夏に比べて吹送流パラメータの RMS が小さくなることを示した。NICT の灘井は、3 基以上の海洋レーダの視線方向流速から表層流ベクトルを求める際の誤差評価を論じた。国総研の日向は、紀伊水道和歌山側に設置した海洋レーダで得られた東北太平洋沖地震での津波の観測例について詳細を示し、津波に対する海洋レーダ応用に関する今後の計画を述べた。国総研の藤は、海洋レーダでとらえた流動場変動から津波波源を求めるインバージョン手法について、レーダ配置などを変化させてシミュレーションした結果をもとに示した。NICT の川村は、与那国島で台湾の海洋レーダ信号を受信しバイスタティック観測に利用できることを、ソフトウェア無線技術を利用して示した。琉大の久木は、海洋レーダで得られた流速パターンの分類を、教師なし学習法である自己組織化マップにて行う方法を提案した。

2 日目は 6 件の発表があった。うち、後半 4 件は日本語での発表であった。CODAR 社の Lipa は、津波到来検知に海岸線に沿った流速変化をパラメータ化した方法を解説し、その簡単な数値処理で津波検知可能なことを示した。同社の Barrick は、海洋レーダ観測海域での津波による流動場変化をモデル化し、海洋レーダでの津波検知の有効性を示した。新潟大の小沢は、アレイアンテナの開口長や観測時間を約 2 分の 1 にしても、同様の分解能を得ることができる可能性がある、Khatri-Rao 積拡張アレイ処理の適用法を提案した。海上保安庁の西村は、2012 年に新しく導入された相模湾の 24.5MHz レーダについて、漂流ブイとの比較・検証を行い、漂流予測に利用可能なことを報告した。長野日本無線の伊藤は、リアルタイムで連続して流速データを作成する必要がある津波観測に関して、その問題点をまとめ、現用レーダでの実現方法を解説した。朝日航洋の桑田は、カキ養殖の種苗状況の監視のための海洋レーダ応用について報告した。

4. 研究集会プログラム

RIAM Workshop on Oceanographic Radar (12-13 December 2012)

Venue: Room W601 within the Research Institute for Applied Mechanics of Kyushu University,
Kasuga, Fukuoka, Japan (<http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/english/center/access-e.html>)

Wed, 12 December

13:00-13:10 **Introduction and Welcome**

Satoshi Fujii (Univ. of Ryukyus)

13:10-13:45 **The HF oceanographic radar development in China**

Wu Xiongbin (Wuhan Univ.)

13:45-14:20 **Oceanographic radars in Korea**

Sang-Ho Lee (Kunsan Univ.)

14:20-14:55 **Preliminary progress of ocean surface current mapping system in Taiwan**

Wen-Son Chiang, Shao-Hua Chen, Wen-Chang Yang, Jian-Wu Lai, K-I Lin,
and En-Yu Liang (TORI)

15:55-15:05 Break

15:05-15:30 **Variability in Kuroshio axis in the northeast Taiwan**

Akihiko Morimoto, Kyohei Asano (Nagoya Univ.), Shigeo Sugitani (NICT),
Moeto Kyushima (Nagoya Univ.), Kaoru Ichikawa (Kyushu Univ.),
and Daisuke Takahashi (Tohoku Univ.)

15:30-15:40 **Japan-Taiwan joint survey on combining ocean radar data in the Kuroshio upstream region**

Kaoru Ichikawa (Kyushu Univ.), Wen Chang Yang (TORI),
Akihiko Morimoto (Nagoya Univ.), Yutaka Yoshikawa (Kyushu Univ.),
Shigeo Sugitani (NICT), Wen-Shan Chiang, Jian-Wu Lai, En Yu Liang (TORI),
Cho-Teng Liu (NTU), Chang-Wei Lee (TORI), Kei Yufu (Kyushu Univ.),
Moeto Kyushima (Nagoya Univ.), Satoshi Fujii (Univ. of Ryukyus),
Tomoharu Senju (Kyushu Univ.), and Yoshihiko Ide (Kyushu Univ.)

15:40-16:00 **CODAR-observed currents off northern Taiwan**

Cho-Teng Liu and Wei-Teng Tsai (NTU), Takeshi Matsuno,
Kaoru Ichikawa (Kyushu Univ.), Wen Chang Yang, Chang-Wei Lee (TORI),
and Hsien-Wen Chen (CPU)

16:00-16:25 **Estimation of wind drift current in the Soya Strait**

Wei Zhang and Naoto Ebuchi (Hokkaido Univ.)

16:25-16:50 **Probability distribution of estimation error on current vector measurement using multiple HF ocean surface radars**

Akitsugu Nadai (NICT)

16:50-17:00 Break

17:00-17:25 **Velocity fields of propagating tsunami wave and subsequent resonant oscillation revealed by oceanographic radars in the Kii channel, Japan**

Hirofumi Hinata, Ryotaro Fuji (NILIM), Satoshi Fujii (Univ. of Ryukyus),
Tomoya Kataoka (NILIM), Tahahiro Kokai (NJRC),
Nobutoshi Kanatsu (Kokusai Kogyo Co.), and Tomoyuki Takahashi (Kanasai Univ.)

17:25-17:50 **Tsunami waveform inversion based on HF oceanographic radar data**

Ryotaro Fuji and Hirofumi Hinata (NILIM), and Tomoyuki Takahashi (Kanasai Univ.)

17:50-18:15 **Ocean radar bistatic observation in Yonaguni-island**

Seiji Kawamura, Shigeo Sugitani, Hironori Iwai, Jun Amagai, and Hiroshi Hanado (NICT)

18:15-18:40 **Classification of surface currents distribution maps**

Yukiharu Hisaki (Univ. of Ryukyus)

19:00- Reception

Thu, 13 December

09:00-09:25 **HF radar detection of tsunamis**

Belinda Lipa, James Isaacson, Bruce Nyden, and Donald Barrick (CODAR Co.)

09:25-09:50 **Modeling of tsunami current flows**

Donald Barrick, Belinda Lipa, and Chad Whelan (CODAR Co.)

09:50-10:15 **Angular/Doppler-frequency resolution improvement using the Khatri-Rao product array processing in ocean surface current radar**

海洋レーダにおける Khatri-Rao 積拡張アレー処理を用いた角度・ドップラ周波数分解能改善に関する検討

Naoteru Ozawa, Hiroyoshi Yamada, Yoshio Yamaguchi (Niigata Univ.),
Keizo Hirano, and Hiroyuki Ito (NJRC)

10:15-10:30 Break

10:30-10:55 **Renewal of HF ocean radar in Sagami bay and validation of the data**

相模湾海洋短波レーダーの更新とデータ検証について

Issei Nishimura, Hiroshi Morioka, Koshiro Oikawa, and Hiroyuki Yoritaka (JCG)

10:55-11:20 **Improved oceanographic radars for tsunami observation**

津波観測のための海洋レーダの改良

Hiroyuki Ito (NJRC), Hirofumi Hinata (NILIM), Tomoyuki Takahashi (Kansai Univ.),
Satoshi Fujii (Univ. of Ryukyus), Hiroshi Hanado (NICT),
Takashi Kawai (Mitsubishi Elec. Co.), and Isamu Ogasawara (Kokusai Kogyo Co.)

11:20-11:45 **Application of VHF-radar for seed oysters (Crassostrea gigas) dispersion**

海洋レーダによる種苗発生状況調査の事例紹介

Koji Kuwata, Toshiaki Watanabe, and Takayuki Nakauchi (Aero Asahi Co.)

abbr.

CPU: Central Police Univ. (Taiwan)

JCG: Japan Coast Guard

NICT: National Institute of Information and Communications Technology (Japan)

NILIM: National Institute for Land and Infrastructure Management (Japan)

NJRC: Nagano Japan Radio Co.

NTU: National Taiwan Univ.

TORI: Taiwan Ocean Research Institute

「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

東シナ海の生物環境は、長江起源の栄養塩に大きく依存していると同時に、陸棚域の下層に分布する栄養塩の寄与も小さくないと考えられている。下層に分布する栄養塩は表層で生産された有機物が沈降して分解されたものの他に、黒潮亜表層以深から輸送されたものも含まれる。これらの栄養塩が東シナ海の生物生産に大きく寄与していることを考えると、陸棚域の基礎生産を念頭に置いて海水の循環と混合過程を議論することは、当海域の海洋環境を理解する上で必要不可欠である。

出席者は、名古屋大学 2 名、富山大学 2 名、長崎大学 4 名、愛媛大学 1 名、九州大学 8 名であった。本研究集会では、

- 1) 東シナ海における栄養塩の循環と混合
- 2) 基礎生産に関わる栄養塩の供給

の二つにセッションに分け、それぞれ 1) で張勁 (富山大学)、郭新宇 (愛媛大)、梅澤有 (長崎大学)、松野健 (九州大学)、2) で Lee, Keun-Jong (九州大学)、武田重信 (長崎大学)、鋤柄千穂 (名古屋大学)、藤城義久と張勁 (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：2013 年 2 月 5 日 (火) 10:00~17:30

場所：九州大学応用力学研究所 5F W501

1) 東シナ海における栄養塩の循環と混合

張は、東シナ海大陸棚上への栄養塩供給に関して、過去の文献のレビューを行った。台湾海峡からの流量および栄養塩フラックスに関しては、文献による違いが大きく、季節によっては流入か流出かもはっきりしないことが指摘された。流量に関しては現在、九州大学が台湾と共同で行っているフェリーによる流速観測によって、はっきりとする可能性が高い。一方で、栄養塩のフラックスに関しては、測定自体の問題や、濃度から積算フラックスに変換する手法などの問題があることが議論された。また台湾東部沿岸でのフラックスに関しても十分な知見がないことが指摘された。さらに、堆積物からのフラックスについても、測定手法によって大きくその値が異なること、低層が貧酸素化した場合にリンの供給源として重要であることが指摘された。

郭は、生態系モデルの感度解析の結果について話題提供した。このモデルは、N・P・Si、大型・小型の植物プランクトン、栄養塩起源として黒潮、台湾暖流、河川、大気、海底を含んでいる。渤海と黄海はまだ定常に達していないので、主に東シナ海に関して議論を行った。栄養塩は長江河口域で高く、夏には鉛直的な違いが大きかった。クロロフィルは長江河口域では懸濁物で生産が少ないために少なく、

5-8月では濁度の減少する周辺域で高かった。PN ラインでは夏には表層栄養塩は枯渇し、亜表層クロロフィル極大が顕著であるなど、主な栄養塩、クロロフィルの特徴は再現できていた。しかし、堆積物や台湾暖流からのフラックスの実測値の不確定性など、張の話題提供と同様の問題点が再度議論された。また、流量と栄養塩フラックスの季節変動が異なることが指摘された。さらに、栄養塩起源を一つずつなくす感度解析結果が示され、植物プランクトン現存量の年平均が、黒潮で 75%、台湾暖流で 20%、河川で 8%、大気で 5%それぞれ減少することが示され、亜表層クロロフィル極大が主に黒潮と台湾暖流の栄養塩の供給で維持されていることが指摘された。また、詳細には栄養塩起源を完全になくすことによって、NP の利用比の変化などの影響も起こることが指摘された。降水による栄養塩の供給の与え方や、堆積物への有機物の蓄積と栄養塩供給などに関して議論があった。

梅澤からは、アルカリフォスファターゼ活性 (APA) と硝酸の窒素同位体比について話題提供があった。これまで台湾北部では湧昇域よりも黒潮側で APA が高いことが示されているが、今年度の淡青丸では黒潮と長江希积水の一部、長崎丸では韓国側の一部測点で APA が高く、無機リン酸塩が枯渇し硝酸のまだあるような海域で有機態リンが利用されている可能性が指摘された。長江希积水の成層状態との関係や APA のサイズ分画と植物プランクトンの種類との関係などが議論された。硝酸の窒素同位体に関しては、黒潮域の有光層下部での混合は栄養塩濃度が変わっても同位体比は変わらないこと、長江起源水はやや高めの同位体比を持っていること、植物プランクトンがある同位体比で硝酸を変化させると仮定すれば、ある程度長江と黒潮起源の栄養塩を分けられることが指摘された。鋤柄は懸濁物質の窒素同位体のデータをもっており、これを比較する必要性が議論された。

松野は、今年度淡青丸において長江海台付近で観測された貧酸素水塊と高濁度水の関連と、この貧酸素水塊が中国沿岸から移流してきたのか、ローカルに形成されたのかの議論を行った。高濁度水と貧酸素水塊の分布はややずれているので、詳細を検討する必要があることが指摘された。また、底質と巻き上がりやすさ、酸素消費に関して検討する必要性も議論された。

2) 基礎生産に関わる栄養塩の供給

Lee は、これまでの航海で取得されたデータを整理し、亜表層クロロフィル極大の深さや量と他の観測パラメータについて、相関や主成分分析を行った結果について紹介した。極大の深さは酸素極大層、栄養塩躍層や有光層深度などと相関はあったが、密度躍層との相関は弱かった。クロロフィルの積分値が、栄養塩躍層や有光層深度等と正の変動をする主成分と負の変動となる主成分があることが指摘された。正の変動をとる時はクロロフィルが存在する層が厚くなることによって積分値が増加した場合、負の変動をとる時は生物量が多くなることによって有光層が浅くなる可能性などが議論された。クロロフィル蛍光を利用するときには、採水分析結果でキャリブレーションするべきであること、ガウス分布でフィットしたりすることが有効であることなども議論された。クロロフィル極大深度と栄養塩勾配や有光層深度などの差についてもさらに整理する必要性も指摘された。

武田は、亜表層クロロフィル極大と栄養塩の関係について紹介した。亜表層クロロフィル極大の上の栄養塩勾配とクロロフィル勾配が対応し、 $N/Chl=4$ 程度と植物の消費/生産比 ($N/Chl=1$) と比較すると大きいことが指摘された。NP 比は希积水では大きいですが、海底近くでは小さく、P の溶出か脱窒が起きていることなども指摘された。亜表層クロロフィル極大や栄養塩の勾配が急な場合は、下層の海底混合層で濁度が高いケースである可能性も議論された。また、亜硝酸の顕著なピークがみられるが、生産によるものか硝化によるものかはわからないことなども議論された。

鋤柄は、2010年と2011年の長崎丸でのセジメントトラップ実験の結果について紹介した。2010年は長江希积水が顕著で、2011年は長江希积水の多くない大陸棚の水であり、2010年は2011年と比較して、亜表層クロロフィル極も栄養塩躍層もシャープで、生産が高く、沈降量も多かった。層別の生産、沈降フラックス、拡散による栄養塩の供給フラックスを比較することで、生産は2010年は2011年の3倍以上であったが、有光層から沈降するフラックスの量はどちらも20%程度であり、再生産が活発に起こっていることが指摘された。また、亜表層クロロフィル極大では、2010年には70%程度、2010年では50%程度が下からの硝酸塩フラックスによる生産で、かつこの硝酸塩フラックスは沈降フラックスとはほぼ釣り合っていた。一方で、有光層中でも亜表層クロロフィル極大の下には硝酸塩が多く、ここでも盛んに生産がおこなわれていた。生産の採水は密ではないので、クロロフィル蛍光やFRRFのデータと比較をしてみる必要が議論された。また、有光層への沈降粒子と硝酸塩フラックスの比較で、2010年は硝酸塩フラックスが大きかったが硝酸塩フラックスの計算方法について再検討する必要があるや、リンのフラックスを計算することも議論された。

藤城は、過去に行われた観測のクロロフィルデータに関して、蛍光を測定値でキャリブレーションし積算値を求めたところ、比較的積算値が一定であることを報告した。場所等で平均をとってしまっているので、もう少し細分化して他の要因と比較するべきとの議論があった。また、貧酸素水塊と栄養塩の関係についても報告があった。

最後に張（富山大学）が2013年7月18-28日の長崎丸と同期して7月9-29日に中国海洋大学の航海を行うこと、中国籍の留学生であれば乗船が可能であることが報告された。今後、乗船者を決定するとともに、長崎丸と航海計画の調整が必要である。

本研究集会では、東シナ海における栄養塩の循環と混合、基礎生産に関わる栄養塩の供給の二つの研究テーマに絞り、さらに1件あたりに1時間近い時間をかけたために、それぞれ集中した議論ができた。このためお互いに十分理解がすすみ、それぞれについての今後の課題も明確化できた。また、栄養塩の循環と混合では台湾海峡や堆積物の寄与の問題、基礎生産であれば細かい鉛直的な構造を今後どう観測するかなど共通の課題が多いことが理解でき、実りの多い研究集会であった。

プログラム

1. 東シナ海における栄養塩の循環と混合

10:00-12:00 栄養塩の分布とその起源について

張勁・藤城義久（富山大理工）

- ・栄養塩の水平・鉛直分布
- ・栄養塩の起源：黒潮亜表層、台湾海峡、海底
- ・黒潮亜表層と台湾海峡の栄養塩の相違

郭新宇（愛媛大 CMES）

- ・東シナ海の低次生態系モデルによる栄養塩起源に関する感度解析

梅澤有・山口聖・野崎龍（長崎大水産）

- ・硝酸同位体とアルカリフォスファターゼ活性から見た窒素・リン供給の考察

13:30-14:00 KT-12-25 の観測結果

松野 健・Keun-Jong Lee・遠藤貴洋（九大応力研）・張勁（富山大理工）・石坂丞二（名大 HyARC）

- ・2012年9月に見られた底層低酸素・高濁度水と ϵ の鉛直分布

2. 基礎生産に関わる栄養塩の供給

14:30-15:30

Keun-Jong Lee・松野健・遠藤貴洋（九大応力研）・石坂丞二（名大 HyARC）

- ・亜表層クロロフィル極大層とそれに関わる各種要素との関係

武田 重信（長崎大水産）

- ・東シナ海の陸棚上における亜表層クロロフィル極大層と栄養塩躍層の関係

16:00-17:00

鋤柄千穂（名大 HyARC）

- ・長江希积水が下層の生物過程と粒子の沈降に与える影響

張勁・藤城義久（富山大理工）

- ・亜表層クロロフィル極大層(SCM)の東シナ海全体の基礎生産に対する寄与