

平成 2 3 年度

地球環境力学分野
共同研究成果報告

メソおよび雲解像スケールの大気境界層モデリングと観測的研究

熊本県立大学環境共生学部 張代洲

目的：

大気境界層における物質(水蒸気・降水も含む)循環過程のモデリングとそれに関連した拡散・沈着過程のパラメタリゼーションに向けた数値実験および観測を行う。

まずは、海洋中規模擾乱が海洋大気境界層に与える影響について明らかにすることが主目的の一つである。海洋モデルデータ同化 SST を、初めて雲解像モデルへ適用し、豪雪災害事例に応用した点が特筆すべき点である。

また、天草半島における気象および大気汚染物質の大気境界層構造を係留気球で観測して、大気境界層内や自由対流圏の拡散と沈着の LES モデルや雲解像モデルへの適用に向けたデータ収集をすることである。天草半島は、大陸からの影響が早い段階で到達する場所で、地理的にも応用力学研究所に近く、密接に連携した研究が進められる。

研究方法：

海洋中規模擾乱が海洋大気境界層に与える影響の研究は、応用力学研究所の日本海海洋データ同化システムから得られた渦解像 SST を用いて、名古屋大学で開発された雲解像モデル CReSS による数値計算を行う。海況が大気混合層におよぼす影響に着目した解析を行う。

天草半島の係留気球観測で得られるデータを収集・解析し、境界層および自由対流圏の気象状況の変化とそれに伴う各高度の浮遊粒子の粒径分布や性状について調べ、モデルへの応用や検証に用いる。

結果：

前年度に引き続き、豪雪災害をもたらした 2005 年 12 月 21-30 日の事例について、名古屋大学で開発された雲解像気象モデル Cloud Resolving Storm Simulator (CReSS, Tsuboki and Sakakibara 2001; 2002, Ohigashi and Tsuboki 2007) を用いた数値実験を行った。日本海域を 3 km 水平格子で分割し、地上から 14814 m を 60 層で分割したモデルで、初期値と境界値は気象庁 RSM を用いた。海面温度は、九大応力研日本海データ同化システム(対馬海峡 ADCP 流量や衛星データを結合した RIAMOM)から得られた高解像度(1/12°) データ同化 SST (実験 R) と気象庁の最適内挿 SST(実験 J) の 2 つを用いた。微物理過程は 6 カテゴリー(vapor, cloud, ice, rain, snow and graupel) のバルクモデルを用いた。turbulent kinetic energy を予報する 1.5 次のクロージャーによって、混合過程はパラメタライズされている。

北西の季節風が卓越する状況下で海洋中規模擾乱に対する大気境界層の応答を詳しく調べた。大和堆の北の暖水域では、渦解像海洋データ同化で生じる正の SST anomaly (実験 R – 実験 J) は、熱・水蒸気フラックスを介して、乱流混合、風速、温位、水蒸気量、雲水量、雪水量を増大させる。逆に、朝鮮半島の東沿岸の冷水域では、負の SST anomaly が、乱流混合、風速、温位、水蒸気量、雲水量、雪水量を減らす。他方、佐渡沖の冷水舌では、SST anomaly に対する応答が複雑である。乱流混合と風速は局所的な SST の影響を素早く受けるが、温度や水蒸気・雲水量は北西季節風の移流を介して上流側の SST anomaly の影響が大きい。このように、海洋中規模擾乱の SST のみならず、上流側の海況と大気の相互作用について詳しく調査する必要性が明らかになった。

気象要素の 10 日平均量に関して SST anomaly の影響はたいして大きくないが、10 日積算降水量では顕著な影響が表れる。実験 R と実験 J の間で降水量差は 10% にも達し、SST プロダクトの差異に対して敏感であることが分かった。豪雪災害では降雪の積算量が問題になることから、SST が積算降雪量に与える影響は気象学のみならず災害予測という点でも重要である。

本研究のシミュレーションから、海洋中規模擾乱は数百 km を超えるスケールの気象現象のみならず、メソ β や γ スケールの気象現象においても重要である。加えて、海洋中規模擾乱は寿命が長いので、その海洋擾乱の影響は降雪量のような積算量で顕著に表れることが明らかになった。

天草半島の係留気球観測のモデルへの応用や検証に関しては、温度、湿度、気圧、GPS 高度、エアロゾル粒径別の濃度、ブラックカーボン(BC)の濃度、電子顕微鏡分析用のエアロゾルサンプルを採集したデータや地上および境界層観測データの整理等を行い、CReSS への応用に向けた検討を行った。

発表論文：

M. Yamamoto, T. Ohigashi, K. Tsuboki, and N. Hirose, Cloud-Resolving Simulation of Heavy Snowfalls in Japan for Late December 2005: Application of Ocean Data Assimilation to a Snow Disaster. *Natural Hazards Earth System Science*, **11**, 2555–2565, 2011.

研究組織：

張代洲	熊本県立大学環境共生学部	サブテーマ代表者・観測
大東忠保	名古屋大学水循環研究センター	研究協力者・気象モデリング
坪木和久	名古屋大学水循環研究センター	研究協力者・気象モデリング
広瀬直毅	九州大学応用力学研究所	研究協力者・海洋モデリング
山本勝	九州大学応用力学研究所	所内世話人・気象モデリング

大気化学・エアロゾル気候モデルの開発と検証

名古屋大学大学院環境学研究科 須藤 健悟

1 目的

本研究課題では、大気化学モデル CHASER とエアロゾルモデル SPRINTARS の結合により、大気化学・エアロゾル結合気候モデルの開発を行い、シミュレーション結果の妥当性について詳しく検証する。特に、これまでモデルでの扱いが不十分であった、大気化学過程と関連の深いエアロゾルの表現、およびエアロゾルの微物理過程の表現方法の改良について、新たな計算スキームの導入を検討・実施する。シミュレーション結果については、九州大学・応用力学研究所・大気環境モデリンググループで扱われている SPRINTARS モデルや領域スケール大気質モデル CMAQ などによるシミュレーションの評価方法に準じた検証を行い、大気汚染物質分布やエアロゾル濃度・光学パラメータについて、各種観測データを用いて詳細に評価する。これにより、大気組成・大気汚染の気候への影響の理解・評価における不確定性の低減を図り、気候変動予測の精緻化および精度向上に貢献する。

2 研究方法

名古屋大学で開発されている大気化学モデル CHASER と九州大学・応用力学研究所で開発されているエアロゾルモデル SPRINTARS を結合し、気候モデル中での大気化学過程とエアロゾル過程の同時計算を可能にする。この際、大気化学と関連の深い硫酸塩・硝酸塩や有機エアロゾルの生成については、個別の化学反応スキームを追加・導入し表現する。また現状 SPRINTARS で不十分と思われるエアロゾルの内部混合や粒径分布の表現方法などの微物理的取り扱いについても、改良作業を進める。H23 年度では、ダストの変質過程に着目し、ダスト表面上での不均一反応による二酸化硫黄 (SO_2) の硫酸 (SO_4^{2-}) への変換過程などをモデルに導入し、ダストがおよぼす硫酸塩エアロゾルの全球分布に対する影響の評価を行った。以下に化学・エアロゾル結合モデルの概略と、本年度に行った研究の作業方法・手順について記述する。

(1) 化学モデルとエアロゾルモデルの概略

CHASER モデルおよび SPRINTARS モデルは、ともに東大・気候センター (CCSR)、国立環境研究所 (NIES)、および海洋研究開発機構・地球環境変動領域 (JAMSTEC/RIGC:旧 FRCGC) で開発されている CCSR/NIES/FRCGC 気候モデル (MIROC) を土台としている。CHASER モデルでは、化学反応に加え、大規模移流輸送、積雲対流による鉛直輸送、人為・自然起源地表 emission、雷による NO_x 生成、湿性/乾性沈着が考慮され、光化学過程では対流圏光化学の基本サイクル (O_3 - NO_x - HO_x - CO - CH_4) と非メタン炭化水素 (NMHCs) の酸化反応、および不均一反応が考慮されている。CHASER モデルで計算されたオゾンや各オゾン前駆気体の分布は各観測値と整合的であり、オゾン生成・消滅過程の表現の妥当性が確認されている (Sudo et al., 2002, 2007)。一方、SPRINTARS では硫酸塩 (SO_4^{2-})、黒色炭素・有機炭素 (BC・OC)、土壌ダスト、海塩の各種エアロゾルの全球分布をシミュレートし、これらの大気放射、雲・降水過程への影響を計算する。本研究では、これまでの作業により、CHASER と SPRINTARS の両モデルが結合され、エアロゾルとオゾン化学の同時計算が可能となっており、二次有機エアロゾルの生成過程の計算も導入されている (H22 年度研究)。

(2) 土壌ダストと硫黄成分の相互作用の導入

本研究では、上述の全球化学・エアロゾル気候モデル CHASER-SPRINTARS を用いて、硫酸塩エアロゾルの全球分布に対するダストの影響評価を行った。まず、ダスト表面での SO_2 の不均一反応による硫酸塩の生成、および硫酸塩粒子のダスト表面への凝集過程をモデルに導入し、硫酸成分がダスト表面を被覆することによる影響を数値実験により検討した (実験 1)。次に、雲水 (液相) 中での硫酸と CaCO_3 の中和反応 ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) やダスト中の陽イオン成分による中和を考慮し、液相過程においてダストが硫酸塩の生成・分布に与える影響を定量的に評価した (実験 2)。

3 結果・考察

(1) ダスト表面上の不均一反応の影響

ダスト表面での過程に着目した実験 1 では、ダスト上の SO_2 の不均一反応の導入により、アジア域においてダストの輸送経路にあたる韓国や日本の日本海側の観測サイトの多くで SO_2 のモデル値と観測値との相関が向上することが確認された。不均一反応の取り込み係数 γ を 0.01 とした実験では、 SO_2 のダスト表面上の反応による時定数は、アフリカ北部から西アジアで JJA に最大となり、地表で 1~2 時間、高度 3km では数時間~半日であった。ダスト表面上に被覆されている硫酸層の厚みは、年平均では東アジアで最大をとり、粒径 $0.13\mu\text{m}$ のダストにおいては、ダスト半径の 80~120% 程度の厚さが硫酸に覆われている。また、ダストの粒径に対して覆っている硫酸層の厚みの比 (core/shell 比) は、粒径が小さいダストほど大きくなっている。そして、ダスト表面上に存在する硫酸塩濃度と全硫酸濃度の比は、極域で特に大きくなっており (90% 以上)、SON で最大となった。不均一反応は、ダスト表面の SO_2 の不均一反応の γ が 0.001 および 0.01 のとき、外部混合の硫酸塩エアロゾル総量をそれぞれ 0.02 TgS (2.4%)、0.15 TgS (18.1%) 減少させる効果が見られた。この外部混合の硫酸塩エアロゾルの減少は、 $\gamma = 0.01$ のとき、直接効果及び間接効果の放射強制力をそれぞれ 0.083 (0.038~0.174)、0.127 (0.054~0.327) W/m^2 減少させることに相当する。ダスト表面上での不均一反応による硫酸塩生成量は 12 TgS/year であり ($\gamma = 0.01$)、これは OH による気相反応の硫酸塩生成量に匹敵する。また、 $\gamma = 0.01$ のときダスト表面上の硫酸塩及び外部混合の硫酸塩の湿性沈着/乾性沈着の比は、0.22、7.6 となり、ダスト表面上の硫酸塩は湿性沈着により除去されにくい特徴を持っていた。

(2) 液相過程の影響

実験 2 においては、液相中での硫酸と CaCO_3 との中和反応やダスト中の陽イオンによる酸性度の中和を考慮することで、観測された硫酸成分の湿性沈着量や降水 pH の季節変動をより正確に再現できることが確認された。また、いくつかの感度実験を行い、東アジアにおける液相中での硫酸生成速度への影響を定量化した。中和反応により、 CaSO_4 が生成されることで SO_4^{2-} が除去され、pH が上がることによって、中国沿岸域では硫酸生成速度が大きくなった。ダストの中和反応及びダストの陽イオンの硫酸生成を促進させる効果の和は、 NH_4^+ の効果に匹敵することが示唆された。

4 研究成果報告

・誌上発表

Sudo K. and Y. Ogihara (2012) Global Modeling of Secondary Organic Aerosol in a Chemistry Coupled Climate Model, *Eurozoru Kenkyu*, 27 (1), 51-61.

・学会発表

- (1) Kengo Sudo, T. Takemura, and H. Akimoto, "Evaluating past changes in short-lived climate forcers and their climate impacts with a chemistry-aerosol coupled climate model", 3rd International Workshop on Atmospheric Modeling Research in East Asia, Chengdu, Sichuan Province, China, September 24-25, 2011.
- (2) Kengo Sudo, T. Takemura, and H. Akimoto, "Evaluating past changes in atmospheric pollutants and their climate impacts with a chemistry-aerosol coupled climate model", The 8th International Conference on Acid Deposition, Acid Rain 2011, Beijing China, 16-18 June 2011.
- (3) Kengo Sudo, T. Takemura, and H. Akimoto, "Modelling Short-Lived Climate Forcers: Climate Impacts and Interaction", 2011 International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Melbourne Australia, 28 Jun-07 July 2011.
- (4) 清水俊成、須藤健悟、"硫酸塩生成におけるダストの影響：全球化学・エアロゾル輸送モデルの改良と検証"、日本気象学会2011年度秋季大会、名古屋大学、名古屋、2011年11月16日-18日。
- (5) 須藤健悟、竹村俊彦、秋元肇、"化学・エアロゾル気候モデルを用いた短寿命気候影響物質 (SLCFs) の放射強制力と気候応答の評価"、第17回大気化学討論会、京都大学宇治キャンパス、京都、2011年10月18日-20日。
- (6) Kengo Sudo, Hiroya Endo, Keiichiro Hara, Kazuo Osada, and Toshihiko Takemura, "Simulating black carbon at Syowa station, Antarctic: long-range transport from various source regions", JPGU 2011年度大会, Makuhari Chiba, Japan, 23th May, 2011.
- (7) 須藤健悟、竹村俊彦、秋元肇 "化学・エアロゾル気候モデルを用いた短寿命気候影響物質 (SLCFs) の放射強制力の評価"、日本気象学会2011年度春季大会、国立オリンピック記念青少年総合センター、2011年5月18日-21日。

23 特 1-3

大気化学・気象結合モデルと衛星計測データを用いたアジア域の越境大気汚染の研究

海洋研究開発機構地球環境変動領域 山地一代、入江仁士、金谷有剛、滝川雅之

【はじめに】東アジア地域を対象とする領域化学物質輸送モデルは、日本の遠隔観測地のガス状物質（例えば、EANET 等の O_3 や SO_2 ）の濃度レベルや季節変動を比較的良く再現できている（e.g., 鶴野ら, 2005; Yamaji et al, 2006）。一方、 O_3 前駆物質であり、また、対流圏化学において重要な役割を担っている、二酸化窒素（ NO_2 ）に関しては、特に排出量が集中する中国華北平原において、モデルが衛星による対流圏 NO_2 カラム濃度を著しく過小評価することが報告されている（e.g., Uno et al., 2007）。さらに、華北平原中央に位置する泰山における MAX-DOAS（多軸差分吸収法）、および、地上観測とモデルの比較研究によると、モデルが鉛直約 0-1km の NO_2 濃度を著しく過小評価する傾向にある事が判明している（e.g., Yamaji et al., 2010）。他方、Valin ら（2011）は、発源地域の NO_2 カラム濃度予測に関して、 NO_2 -OH 化学的非線形性に起因するバイアスへのモデル空間解像度の影響を調べ、例えば、LA では 12km、San Joaquin Valley, CA では 4 km の空間解像度が必要である事を示した。我々は、東アジア地域の大気物質濃度のモデル予測精度の向上を進めており、本研究では、モデルの空間解像度の違いによる、冬期（2009 年 1 月）の華北平原における窒素酸化物等の組成や濃度の検証を実施した。

【方法】**【領域ネストモデル】** 本研究では、領域化学物質輸送モデル（CMAQ ver.4.7.1）と領域気象モデル（WRF ver.3.2）を利用した。CMAQ の化学スキームとエアロゾルスキームは、SAPRC-99 と AERO5 を利用した。排出量は、REAS（人為起源）、RETRO（バイオマス・バーニング）、GEIA（植物 NMVOC、土壌 NO_x ）、および、海塩（inline）を用いた。モデルの解像度は、アジア域に対して鉛直方向に 37 層（最上部約 50hPa）、水平方向に 80km 格子（98×78）（D1）とし、華北平原中央部に対してネスト領域（20km 格子（106×98）（D2）、5km 格子（250×250）（D3））を設定した（図 1）。**【衛星観測データ】** Irie et al. (2011) にて実施された、MAX-DOAS 法による観測データによって定量的に検証された衛星観測データ（GOME-2 および OMI）を利用した。

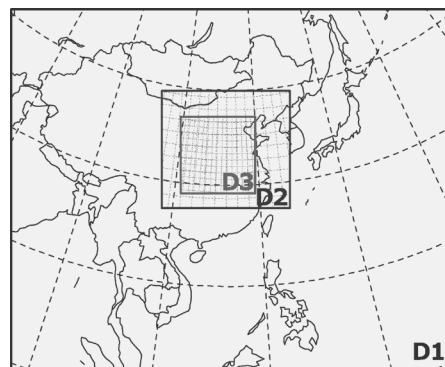


図 1 計算対象領域

【結果】モデルの水平分解度を高めた結果、時刻に関係なく、2009 年 1 月における華北平原の対流圏 NO_2 カラム濃度の増大が確認できた（図 2）。特に、地表付近（高度 0-0.5km）では、D1（80km）-D2（20km）-D3（5km）の空間解像度の変化に伴い、OH の減少と NO_2 の増加が生じた。これは、Valin ら（2011）の高 NO_2 下の OH- NO_2 の挙動と整合する。他方、高度 1-2km では、逆に、空間解像度の変化に伴い、OH は増加し、D3 の NO_2 は顕著に増加した（図 3）。各モデル空間解像度下における対流圏の各窒素酸化物の存在割合を調査した結果、D3 では、 NO_2 （および、PAN 等ガス状）の存在割合が高くなり、逆に、硝酸塩の割合が低くなった。

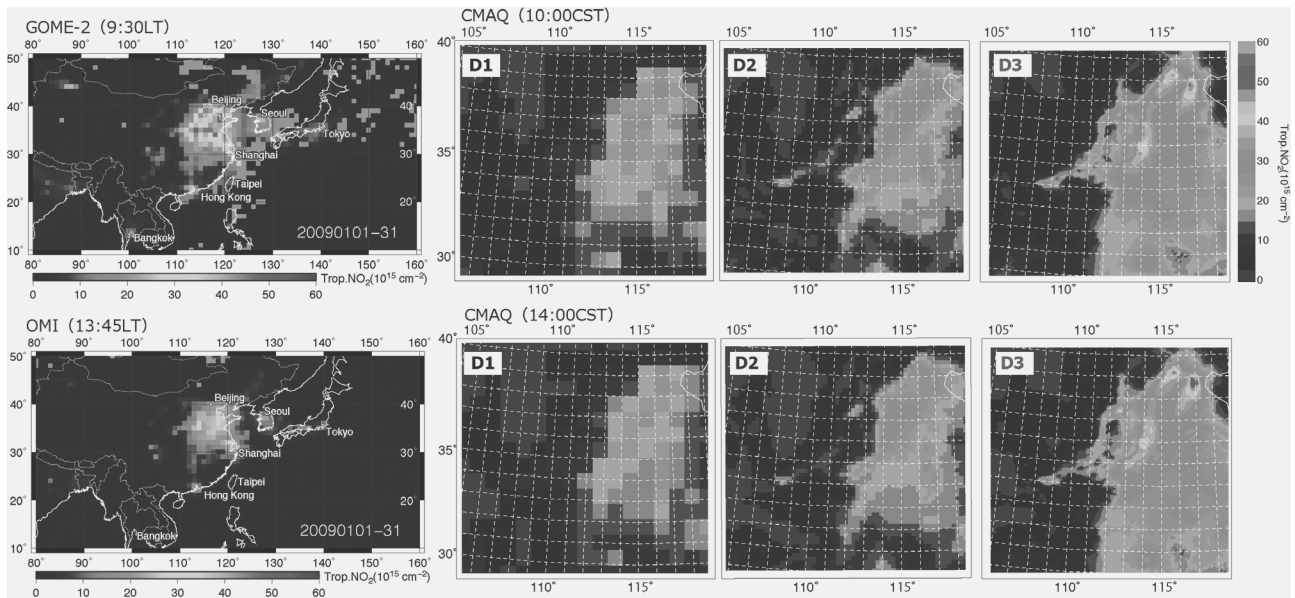


図 2 2009 年 1 月、衛星 (GOME-2・OMI) とモデル (D1 (80km)、D2 (20km)、D3 (5km)) の対流圏 NO₂ カラム濃度の月平均値

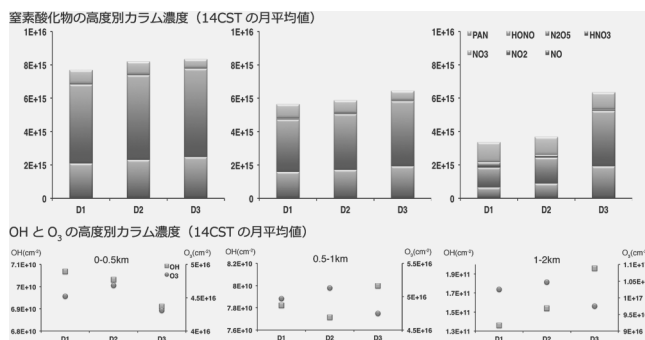


図 3 各モデル空間解像度の窒素酸化物、OH、O₃ 高度別カラム濃度

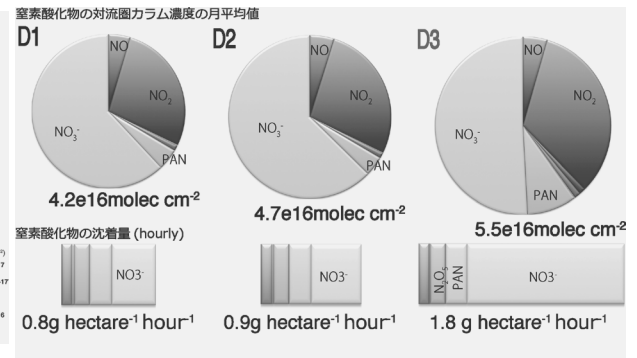


図 4 各モデル空間解像度における窒素酸化物の対流圏カラム量と沈着量

【研究成果報告】

山地一代ら、「領域ネストモデルを用いた窒素酸化物の動態評価」、第 17 回大気化学討論会、2011.10

入江仁士、K.F. Boersma、山地一代ら、「対流圏 NO₂ 衛星データの検証とそれに基づく CMAQ モデル評価」、第 17 回大気化学討論会、2011.10

23 特 1-4

ライダー計測と黄砂輸送モデルを統合した黄砂の発生・輸送過程の研究

国立環境研究所

原 由香里

目的

2010 年 11 月 12 日、西日本から東日本にかけて 37 地点もの気象官署で黄砂が観測された。東アジア域における黄砂現象は春季に起こる頻度が高く、秋季にこのような大規模黄砂現象が発現するのは比較的珍しい。本研究では、4 次元変分法を導入した領域黄砂輸送モデル(RC4; RAMS/CFORS-4DVAR, Yumimoto et al., 2008)と地上/衛星搭載ライダーデータなどの観測データを併せて、秋季の大規模黄砂の発生要因や、その輸送構造を明らかにする。

モデルの概要

本研究で使用した黄砂輸送モデルは RAMS/CFORS (Uno et al., 2004)を基礎とし、4 次元変分法(Four Dimensional Data Assimilation; 4DVAR)を導入したデータ同化システム(RAMS/CFORS-4DVAR; RC4)である。RC4 のデータ同化計算には、NIES ライダー観測の偏光解消度をもとにエアロゾル消散係数を非球形粒子成分(ダスト)に分離した成分を用いた(Shimizu et al., 2004)。データ同化に利用したライダー観測地点は図 1 の 11 地点であり、シミュレーション期間は 2010 年 11 月 5 日～11 月 20 日とした。モデルの計算領域は図 1 に示した領域(計算中心を 37.5°N, 115°E)であり水平解像度を 40km(180×100 格子点)、鉛直解像度は 140-650m で 23km までを 40 層で分割した。RAMS の気象場計算の初期・境界条件には NCEP/NCAR の解像度 2.5°×2.5°の全球再解析データ(6 時間毎)を用いた。モデルの詳細は Yumimoto et al., (2008)を参照の事。

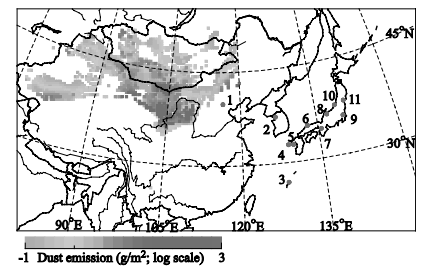


Fig.1 Model domain and distribution of emission intensity (tone level). Dots represent NIES lidar network locations. The NIES lidar sites are: 1, Beijing; 2, Seoul; 3, Hedo; 4, Fukue; 5, Nagasaki; 6,

NDVI, 土壌水分データ

発生源域の地表面状態を調査するため、2000～2010 年における MODIS Terra による Level3 NDVI データセット(MOD13C2.005)を使用した。解像度は 0.05 度である。また、土壌水分データとして 2002～2010 年における Aqua 搭載 AMSR-E (The Advanced Microwave Radiometer - Earth Observing System)の Level 3 Daily Soil Moisture データセットを使用した。

結果と考察

2010 年 11 月 10 日に 500hPa における気温が-30°C 以下に低下した空気塊を伴う低気圧がモンゴルと中国の国境近くを北西から南東に向けて通過した。SYNOP によれば中国の内モンゴルの西部に位置する Bayan Mod において最大風速 17m/s を記録している。ダストブルームは 11 日に中国・韓国を通過し、12 日(Jday316)に日本列島を北上する輸送経路をとった。ライダーとモデルによるダスト消散係数の時間高度断面から、ダストの輸送高度は 2km 以下と低く、春季によく見られる低気圧の寒冷面を輸送される輸送パターンである。秋季としては珍しく高濃度(0.4)が観測されていた。松江においてデータ同化前のモデル結果はダスト濃度を過小評価しており、データ同化により改善されている。ここでは示さないが北京においてはモデルの過大評価が解消されており、図 2 の下段に示すようにデータ同化によって発生源の北側で濃度が減少し、南側で濃度が増加したのが今回のイベントの特徴である。

図 3(a)に RC4 から得られたエミッションファクター(=データ同化によるダストエミッション/データ同化なしのダストエミッション)を示す。実線で囲んだ領域は発生量の解析で定義した領域で上がゴビ領域、下が黄土高原領域である。図 3(b)と(c)はそれぞれゴビ領域と黄土高原領域におけるデータ同化前/後のダスト発生量の比較である。図 3(d)にゴビ領域と黄土高原領域平均の摩擦速度と 10m 風速を示す。図 3(d)から、低気圧が発生源を通過した 11/10 における風速はゴビ領域よりも黄土高原領域で高かった。データ同化なしのダスト発生量はゴビ領域、黄土高原共に 2.5Tg 程度であったが、データ同化により黄土高原におけるダスト発生量は 11/10 に 344%も増加した。一方、ゴビ領域におけるダスト発生量は 30%減少した。

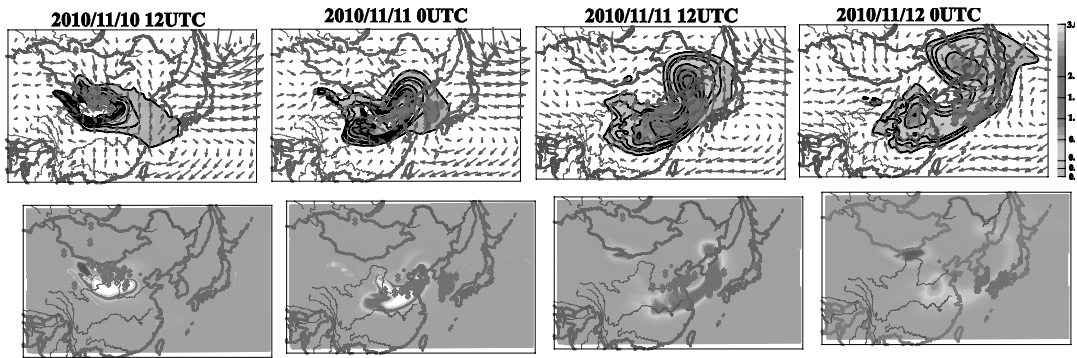


Fig. 2 (Upper) RC4 dust AOT (color and thick black contour), surface wind speed and SYNOP dust code (\$). (Bottom) AOD difference between assimilated results and first guess.

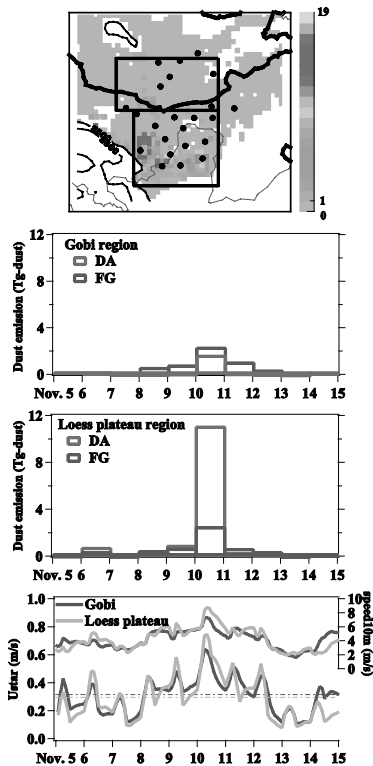


Fig.3 (a)The averaged emission factor, Daily dust emission for (b) Gobi region and (c) Loess Plateau region, (d) Regional averaged modeled wind field at 10m and u^* , and u^*,th for Gobi and Loess Plateau region.

モデルがダスト発生量を多分に過小評価した原因として、風速の過小評価と臨界摩擦速度の過大設定が考えられる。黄土高原領域において、ダスト発生量が大きく増加した原因を明らかにするため、発生量が特に大きく増加した領域に存在する SYNOP station (Minqin:52681, Yulin: 53646)の風速データを用いて、モデルによる風速の検証を行った。発生量の増加が最も大きい領域に位置する Minqin においては、モデルは 11/10 の日平均風速を約 27%, 最大風速を 1.6m/s 過小評価していた。黄土高原に位置する Yulin では 11/10 の日平均風速については 4%過大評価しているが、最大風速を 1.5m/s 程過小評価している。この比較から、モデルはトングリ砂漠と黄土高原において地上風速を過小評価する傾向があったことが示され、モデルがダスト発生量を過小評価した一因と考えられる。続いて、2010 年 11 月の発生源域における地上風速、土壌水分、植生の平年からの偏差を明らかにするため、NCEP 地上風速、AMSR-E 土壌水分データ、MODIS による NDVI データを用いてアノマリー解析を行った(図 4)。2000 -2010 年 11 月における NCEP データから作成した 500hPa 気象場のアノマリーから、2010 年はバイカル湖の北西に低気圧性循環が見られ、特に寒気の南下が起りやすい総観気象場であったことが明らかとなった。このため、モンゴルの西部からゴビ砂漠、黄土高原にかけ特に強風発生頻度が高かったと考えられる。次に、秋季において地表面のダストの舞い上がり易さ(臨界摩擦速度)を変動させる要因として夏季(JJA)の植生が考えられるため、JJA 期の土壌水分と NDVI の最大値のアノマリーを図 4(b)(c)に示す。これらの図から、2010 年の夏季において特にトングリ砂漠と黄土高原で土壌水分の負の偏差が見られる。NDVI についてはトングリ砂漠で負の偏差、黄土高原では正の偏差がみられる。以上のことから、植生が例年より少なく猛烈な強風が吹き荒れたトングリ砂漠においてスポット的に最も多くダストが発生したことが示唆され

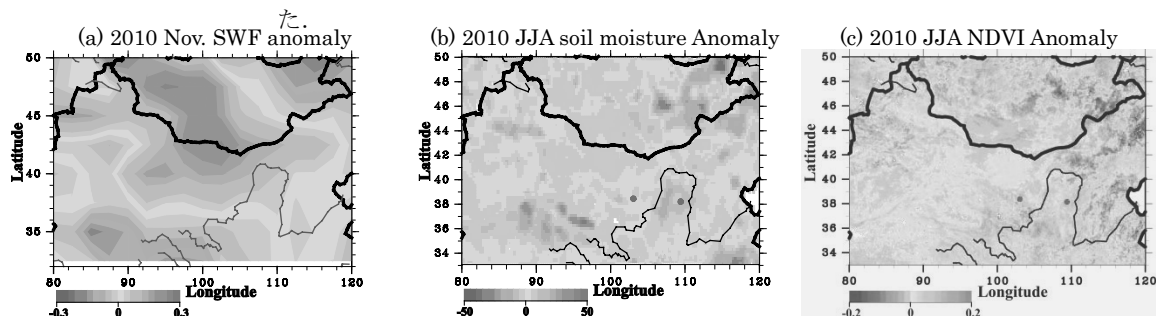


Fig.4 Anomalies of (a) Strong Wind Frequency (SWF) derived from NCEP reanalysis data, (b) Soil moisture and (c) NDVI.

研究成果報告 原由香里, 弓本桂也, 杉本伸夫, 鵜野伊津志, 清水厚, データ同化ダスト輸送モデルによる秋季大規模黄砂の解析, 日本気象学会, 愛知県名古屋市, 2011 年 11 月。

大気エアロゾルと雲の光学的特性が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

越境大気汚染物質や黄砂粒子の影響は、風下側に位置する日本に影響を受けている。とりわけ、近年の東アジア域における化石燃料の大量消費等による人為起源から排出される大気中に浮遊する微粒子（エアロゾル）は、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。本研究では、2003 年から応用力学研究所において継続観測を行っている太陽光を用いたスカイラジオメーターを使ってエアロゾル光学的特性の解析を行っている。そ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の現状を評価することを目的とする。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、地上観測の結果を基にモデルの検証を行う。また、本観測領域（富山、福岡、長崎、福江島、沖縄等）は、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可能な地理的位置にあり、各観測サイトと連携して本研究を行っていく。

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、2008年1月から2010年12月までの福岡県春日市（九州大学応用力学研究所）における $0.5\mu\text{m}$ のエアロゾルの光学的厚さの月平均値を示している。赤丸がSPRINTARS（モデル）から得られた全天大気の光学的厚さ、青丸がモデルから得られた晴天大気の光学的厚さ、緑丸はスカイラジオメーター観測から得られた光学的厚さである。どれも季節変化が見られるが、最大月や絶対値が違っている。モデルと観測は、必ずしも同じ時間で比較しているわけではなく（観測は晴天時日中のみ）、必ずしも同じになることはありませんが、モデルの全天大気の結果に近い傾向にもありますが、違う月も見られるので、今後も継続して観測を行い、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。

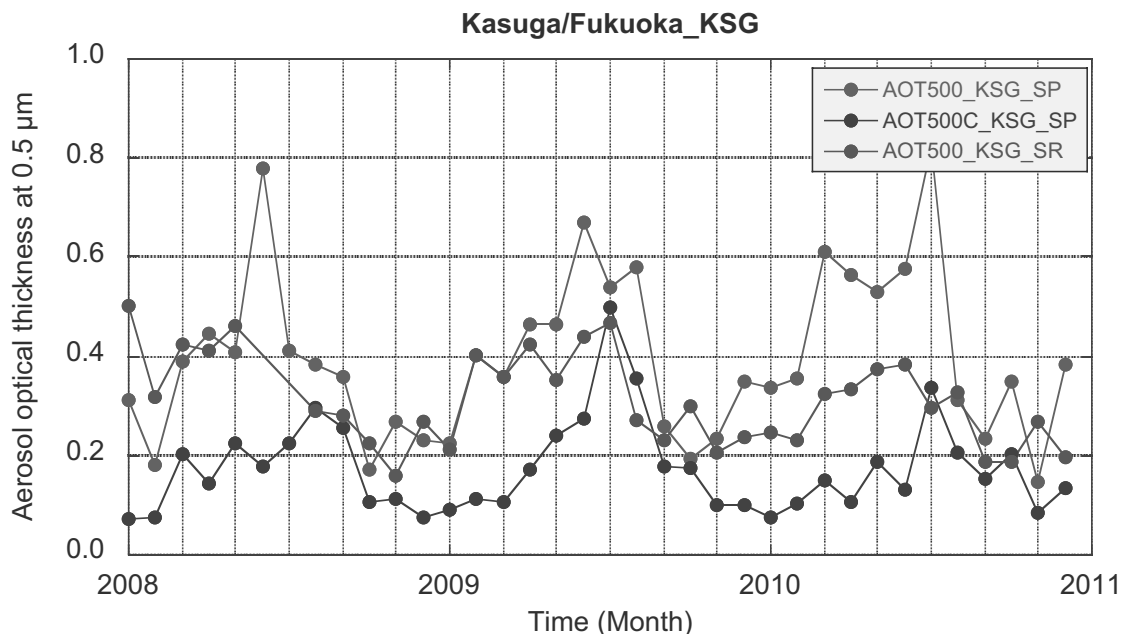


Fig. 1 2008年1月から2010年12月までの福岡県春日市（九州大学応用力学研究所）における0.5 μm のエアロゾルの光学的厚さの月平均値（赤：モデル（全天）、青：モデル（晴天）、緑：観測）

4. 研究成果

Aoki, K., T. Hayasaka, K. Kawamoto, and T. Takemura : Spatial and Temporal Variation of Aerosol Climatology over Japan Measured by Sky radiometer (10th AeroCom Workshop, Kasuga, Fukuoka, 2011.10)

浦 幸帆, 長田 和雄, 香川 雅子, 三上 正男, 的場 澄人, 青木 一真, 篠田 雅人, 黒崎 泰典, 林 政彦, 清水 厚, 植松 光夫 (2011)、非水溶性大気沈着物中のFe含有量を用いた鉱物質ダスト量の推定、エアロゾル研究、26、234-241.

Osada, K., S. Ura, M. Kagawa, M. Mikami, T. Y. Tanaka, S. Matoba, K. Aoki, M. Shinoda, Y. Kurosaki, M. Hayashi, A. Shimizu, and M. Uematsu (2011), Temporal and Spatial Variations of Wet Deposition Flux of Mineral Dust in Japan. SOLA, submitted on January 5, 2011, 7, 049-052, doi:10.2151/sola.2011-013.

Maki, T., K. Aoki, F. Kobayashi, M. Kakikawa, Y. Tobo, A. Matsuki, H. Hasegawa, Y. Iwasaka (2011), Characterization of halotolerant and oligotrophic bacterial communities in Asian desert dust (KOSA) bioaerosol accumulated in layers of snow on Mount Tateyama, Central Japan. Aerobiologia, DOI 10.1007/s10453-011-9196-0.

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)
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)
	小林 有友	(富山大学大学院理工学教育部)

23 特 1-6

地上型および衛星搭載ライダーを用いたエアロゾル消散係数の時間空間変動特性の解析

(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。

そこで本目標遂行のために、ライダーデータからエアロゾル光学特性を抽出するためのアルゴリズムの開発を行い、それを地上および衛星ライダーデータへ適用し、その性能評価と併に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する。更に、エアロゾル輸送モデルの再現性検証のため、衛星搭載ライダーの測定信号シミュレータの開発も推進する。

実施方法

国立環境研究所の2波長偏光ライダーを用いた地上ネットワーク観測データおよび船舶搭載2波長偏光ライダーデータを使用する。エアロゾル消散係数の導出には、これまで西澤らが開発を進めてきた2波長偏光ライダー解析用アルゴリズム（以下、エアロゾル分類推定アルゴリズム）を用いることにする。衛星搭載ライダー解析では、上記アルゴリズムを衛星ライダー用に改良して用いる。また、岡本らの開発した雲・エアロゾルマスク手法（マスクアルゴリズム）を適用する。

結果

JAMSTECの研究船みらいに搭載した2波長偏光ライダーにより測定されたデータにエアロゾル分類推定アルゴリズムを適用して、洋上での海塩粒子・鉱物ダスト粒子・大気汚染粒子（硫酸塩・有機性粒子等）の時空間分布を導出した。2001年（日本海）、2004年（熱帯域大太平洋）、2006年（熱帯域大太平洋）に実施された全8ヶ月間のデータを解析し、データセット化した。日本海上データの解析では、境界層内に海塩粒子がトラップされている状況や、鉱物ダストと大気汚染粒子が混合して日本海上へ輸送されて来た様子を克明に捉えることができた。また、同船に搭載されたスカイラジオメーターから導出されたエアロゾル光学的厚さとオングストローム指数との比較により、本アルゴリズムの妥当性も証明できた。熱帯域大太平洋上では、鉱物ダストは全く見られず先行研究と合致する。境界層内に海塩粒子が存在すると共に、大気汚染粒子が高濃度に存在している地域が見られ（日本-ニューギニア間およびスマトラ島付近）、陸域での人為起源やバイオマス燃焼由来の汚染粒子の海上流出が示唆される。

上記のエアロゾル分類推定アルゴリズムをCALIPSO衛星搭載の2波長偏光ライダー解析用に改良してデータ解析を実施した。本アルゴリズムを適用する前に、マスクアルゴリズムを適用してエアロゾルのみが存在する層を抽出し、その層のみにエアロゾル分類推定アルゴリズムを適用した。これにより雲のコンタミネーションの無い、より信頼度の高いエアロゾル推定が実

現される。2007年の3月から5月までの3ヶ月間の全球データの解析を行った。サハラ砂漠起源およびタクラマカン砂漠起源の鉱物ダストの発生や輸送、そしてアフリカ大陸のバイオマス燃焼由来と考えられる汚染粒子の高濃度領域が赤道付近の大西洋上やインドネシア付近に見られ、エアロゾル種毎の全球分布の特徴を捉えることができた。また、高度分布（経度平均）に関しても、妥当な結果が得られている（境界層が形成される低高度域（2 km以下）にエアロゾル濃度（汚染粒子や海塩粒子）が高く、サハラ砂漠やタクラマカン砂漠が存在する緯度0-30度では高度5km 以下に高濃度の鉱物ダストが推定された）。

これまでに、エアロゾル輸送モデル（SPRINTARS）の再現性検証を目的として、岡本らによってSPRINTARSのエアロゾル出力を用いた船舶搭載の2波長偏光ライダーデータのシミュレーターが開発された。そこで、本シミュレーターを改良して、CALIPSO衛星搭載の2波長偏光ライダーデータのシミュレーターの開発を行った。シミュレーターのプログラム開発を終え、今後実測データとの比較を進めていく。

考察

衛星搭載ライダー用のエアロゾル分類推定アルゴリズムの開発および実測データへの適用を行った。また、マスクアルゴリズムも併用し、より信頼度の高いエアロゾル推定を進めた。推定されたエアロゾル種毎の全球分布は妥当な結果を示している。推定されたエアロゾル濃度の検証として衛星搭載の受動型センサーMODIS により推定されたエアロゾルの光学的厚さとの比較を現在進めている。初期解析結果では、ライダーの過小評価が見られている。その要因として、ライダーデータの品質（ノイズ）およびエアロゾル分類推定アルゴリズムで仮定されるエアロゾル種毎の光学特性モデルの不完全性が挙げられる。今後の課題として、ライダーデータ品質向上のためのノイズ除去手法の開発、そして全球解析に対応できるエアロゾル光学モデルの構築が必要と考えられる。

研究成果報告

黒木翔太、岡本創、西澤智明、萩原雄一郎、衛星搭載ライダーを用いたエアロゾル特性の研究、2011 年秋季気象学会、名古屋大学、2011 年 11 月

Sugimoto, N., T. Nishizawa, A. Shimizu, and H. Okamoto, AEROSOL CLASSIFICATION RETRIEVAL ALGORITHMS FOR EARTHCARE/ATLID, CALIPSO/CALIOP, AND GROUND-BASED LIDARS, *IGARSS Proc.*, 4111-4114, 2011.

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	NIES 特別研究員	サブテーマ代表者	nisizawa@nies.go.jp
杉本 伸夫	国立環境研究所	室長	ライダー観測	nsugimoto@nies.go.jp
松井 一郎	国立環境研究所	主任研究員	ライダー開発	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

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 では温暖化計算時の雲変化およびその放射への作用が大きくばらつく。この状況を打破する一つの方向性として、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。

上記の目的のためには、衛星計測および雲物理量導出アルゴリズムの専門家と、全球気候モデリングの専門家との連携が不可欠である。そこで、本課題では、CloudSAT などの雲の鉛直構造の衛星解析で世界的に認められている岡本教授のグループ(1-2)と、日本のコミュニティモデルの一つである MIROC 最新版の開発リーダーである代表者のグループ(3-5)による共同研究を推進する。MIROC は東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋開発研究機構の共同開発による GCM で、第 3 次・第 5 次結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP3/CMIP5)ヘシナリオ実験をはじめとする多くの実験データを提出している。本格的な共同研究の前段として、MIROC の新旧版における下層雲のフィードバック解析において、岡本教授らが導出した CloudSAT の雲平均場のデータを用いた(4)。その後、以下のような方法でモデル・衛星比較のための作業をすすめた。

2. モデル、データおよび手法

本課題で用いる MIROC5 は、CMIP5 に向けて開発されたバージョンで、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)。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数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。検証に用いる CloudSAT のデータ期間が短いため、気候値での比較が困難で、モデルを初期値化した計算を行って瞬間的な雲の場を比較する必要がある。この目的には、CMIP5 のサブプロジェクトとして提案されている Transpose AMIP¹ 実験が適当である。これは、2008 年 10 月から 2009 年 8 月の Year of Tropical Convection (YOTC) 集中観測期の ECMWF 解析値で大気を初期化して、64 のケースについて 5 日間の疑似気象予報を行うという実験で、ここから得られる 3 時間間隔のデータを利用する。

衛星プロダクトは、いくつかの制約のもとで導出されたデータで、直接 GCM の出力と比較することができない。そこで、岡本教授の開発した衛星シミュレータをモデル結果に適用する。シミュレータは、「衛星が仮にモデル内部を周回した」ときに計測される放射輝度やライダーシグナルを、3 時間ごとの

¹ <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/tamip/index.html>

CloudSAT の周回軌道に沿った鉛直断面で計算するものである。衛星シミュレータが想定するピクセルは GCM の格子よりずっと細かいため、モデル 1 格子の気柱を 100 分割し、雲量などはモデル内の放射スキームが採用する maximum-random オーバーラップの過程に基づいて配分した。

3. 結果と今後に向けて

今年度は、MIROC へのシミュレータ導入方法の検討、Transpose AMIP の計算、シミュレータ導入のテスト、および初期計算結果の比較までを終了した。MIROC へのシミュレータ適用は期待通りに実施され、軌道に沿った雲の場も概ねモデルと衛星で整合的であった。こうした検証研究で重要なのは、似ている似ていない論議で終わらずに、モデルの誤差および、それに起因する放射フラックスの誤差を特定し、対照実験を行って誤差とフィードバックの関係を明らかにすることである。そのため、Transpose AMIP でモデルの系統誤差を軽減する実験、全球の海面水温を上昇させた疑似温暖化実験なども実施した。これらへのシミュレータの適用と解析は今後の作業である。本課題は、1 年間で達成できる内容ではないので、次年度も何らかの形で継続してゆく必要があると考えている。

文献

1. 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.
2. 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.
3. Watanabe, M., and Coauthors, 2010: Improved climate simulation by MIROC5: Mean states, variability, and climate sensitivity. J. Climate, 23, 6312-6335.
4. 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.
5. Watanabe, M. and Coauthors, 2012: Using a multi-physics ensemble for exploring diversity in cloud shortwave feedback in GCMs. J. Climate, accepted.

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、11月22日から23日にかけて、九州大学応用力学研究所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。講演内容は海洋大循環に寄与する海洋深層での乱流混合から、沿岸域での水質改善をもたらす乱流混合まで、幅広い分野にわたった。

最初の講演では、日比谷より海洋深層大循環に寄与する乱流混合に関する話題提供がなされた。現状の深層大循環を維持するのに必要とされる鉛直拡散係数が観測されないという問題は、海洋学の大問題の一つである。この鉛直拡散係数は、海洋内部領域においては内部波の標準スペクトルと目されている GM スペクトルから乱流エネルギー散逸率を推定して見積もられるが、この方法の妥当性について、観測データをもとに検証を行った。その結果、散逸率の推定には GM スペクトルの歪みを考慮する必要があること、この歪みは乱流の励起過程の違いを反映していることなどを示した。一方古市は、海洋表層の乱流混合過程に関する数値実験に基づいた研究を紹介した。近慣性波と共鳴する風応力を与えた場合には乱流混合が著しく増加することなどを示した後、これらの効果を適切に再現する混合層スキームの検討を行った。従来の研究で広く用いられている Mellor and Yamada スキーム、近年大気境界層の分野で成果を上げている Nakanishi and Niino スキームを比較し、後者がより優れていること、さらにそれを海洋用に修正するとさらに再現性が良くなることなどを示した。Noh は、大気境界層の強制力に関係する海表面温度に着目し、その日変化を再現しうる混合層スキームを開発した。さらにそのモデルを大気モデルに結合させたシミュレーションを行った結果、大気場の再現性が向上したことを示した。井手は、熱フラックスの日周変動の季節変化が、観測された表層吹送流の季節変化に重要であることを、数値実験、線形解析、データ解析を通じて示した。

堤は有明海における海底近傍の乱流混合を、データ解析を通じて調べた。その結果、潮流に起因する強乱流混合域は、密度成層に強く制限されていること、計測された散逸率と整合的な乱流応力を、流速データから見積もることに成功したことなどを報告した。また、内部波に伴う乱流混合のパラメタリゼーションが、従来のパラメタリゼーションとは大きく異なる可能性があることを報告した。遠藤は、5 ビーム ADCP を用いて乱流応力の直接測定を試みについて紹介を行った。測定データはノイズの影響が大きく、さらなるデータ処理の必要性があるものの、数値実験から示唆される西向流と東向流の非対称性と矛盾しない結果を示しており、今後のさらなる解析と、数値実験との比較が期待される内容であった。井上は、赤道不安定波が引き起こす密度場と流速場の変化が、内部波励起の変調を引き起こすことを、

詳細な観測データを解析することで示した。また、乱流混合とモード水の変質過程に関する観測計画の紹介を行った。秋友は、海水の状態方程式の非線形性が対流に及ぼす影響について講演し、キャベリング効果は混合層の下に対流を発生させること、サーモバリック効果は対流をさらに強めることを示し、これらの効果の有無により対流を二種類に分類できることを示した。吉川は、熱フラックスの下での吹送流の構造について数値実験を行い調べ、適当にスケーリングすれば相似形で表現できそうであることを報告した。

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を踏まえて、(1) 海洋中の乱流混合現象は海洋大循環など広範囲な現象に影響を及ぼすことの再確認、(2) 海洋循環や海洋構造の高精度予測のためには既存のパラメタリゼーションの検証・改良が必要であること、(3) そのためにも現場の観測データが特に必要であり、モデリングやパラメタリゼーションのグループと連携をとって進めていくことの必要性などが確認され、今後の研究の方向性を考える上で非常に有意義であった。海洋乱流のコミュニティを形成・維持するためにも、このような集会は有効であり、来年度も継続して進めることも確認された。

----- プログラム -----

11 月 22 日

13:30 - 14:30 日比谷 (東大)

Assessment of fine-scale parameterization of diapycnal diffusivity near mixing hotspots

14:30 - 15:30 古市 (東大)

Large Eddy Simulation に基づく海洋混合層モデルの有効性の検証

15:30 - 16:15 NOH (Yonsei Univ.)

Prediction of diurnal variability of SST by an atmosphere-ocean mixed layer coupled model

16:15 - 17:30 井手 (九大)

熱フラックスの短周期変動を考慮した吹送流の数値実験 (LES) 結果

11 月 23 日

09:00 - 10:30 堤 (九大)

乱流微細構造の観測から見た有明海における鉛直混合

10:30 - 11:45 遠藤 (九大)

5 ビーム ADCP を用いたレイノルズ応力の測定

11:45 - 13:15 井上 (JAMSTEC)

(a) Modulation of Equatorial Turbulence by Tropical Instability Waves

(b) Understanding rolls of near-inertial waves and mesoscale processes on formation and modification of STMW

14:15 - 15:15 秋友 (京大)

極域乱流混合層の安定性と深層対流

15:15 - 16:00 吉川 (九大)

熱フラックス下での吹送流のスケーリング則

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(N_2O)が含まれており、例えば淀川河口の海水中 N_2O 濃度は、海底堆積物中の脱窒に加え、海水中的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。沿岸海域の面積は小さいため、地球温暖化の議論において沿岸海域からの温暖化ガス放出は十分に議論されて来なかった。しかしより精度の高い温暖化予測を行うためには、沿岸海域での温暖化ガスの挙動を正しく把握する必要がある。本研究では、大気・海水 N_2O 濃度の海洋での測定、定点での大気中濃度の測定などを元に、大気－海水－海底間隙水－海底地下水間のガスを含めた窒素交換・循環を明らかにする。

本報告では、神戸大学海事科学部所属練習船「深江丸」で実施した観測のうち、二酸化炭素(CO_2)と同時に測定した事例の解析結果について述べる。

2. 方法

図1に、観測を実施した5航海の航跡を示す。 CO_2 濃度は海水中 CO_2 分圧測定装置(大滝ら, 1994の改良版)を用いて測定した。また N_2O 濃度は、同装置を N_2O 用に改良したシステム(山下ら, 2008)を用いて測定した。 N_2O 濃度測定システムの構成を図2に示す。いずれの装置も、平衡器内の海水に既知濃度のキャリアガスをバブリングしてガス交換させ、交換後のサンプルガスを赤外線ガス分析計(CO_2 はLICOR社製 LI-6252、 N_2O はThermo Electron社製 MODEL46C)で計測する。3種類以上のキャリアガスで濃度測定を行い、検量線から海水中濃度を決定した。サンプル海水には船底(水深約3m)からのインテイク海水を使用した。 CO_2 濃度測定は、平衡器内に海水を自動導入して15分毎に行った。 N_2O 濃度測定には、約1時間毎に採水した海水を用いた。

3. 結果

図3に結果の一例を示す。 CO_2 と N_2O には、明確な連動傾向は見受けられなかった。海水中的 CO_2 分圧は、pHにより全炭酸との間で平衡状態が変化する。一方 N_2O は、海水中的硝化(アンモニア態窒素から亜硝酸態窒素への酸化)・脱窒(亜硝酸態窒素からの還元)過程で生成される。この様に海水中的の化学過程が異なるため、両者の濃度変動が連動するとは限らない。一方で大阪湾では、湾奥に向けて CO_2 は急低下、 N_2O は急上昇し、負の関係性が見受けられる。このような変化の原因は、 CO_2 は光合成が活発になるため、 N_2O は表層での硝化と底泥での脱窒が活発になるためである。この様に根本原因は異なるものの、何らかの水質の変化に伴う濃度変動が両者に現れると、連動した変化が起こる可能性がある。

*参考文献

- ・ Yamashita et. al (1993) : JO, Vol.49, 559-596.
- ・ 森ら(2005) : 神戸大学海事科学部紀要、第2号、115-126.
- ・ 大滝ら(1994) : 海の研究、Vol.3, 413-418.
- ・ 山下ら(2008) : 岡山理科大学技術科学研究所年報、第26号、29-40.

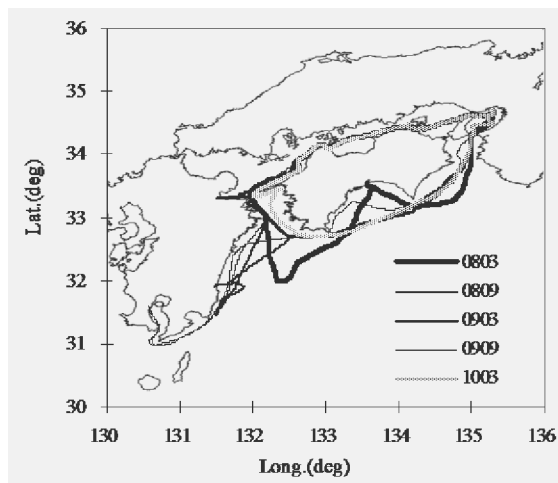


図1 航跡(凡例は YYMM で表記)

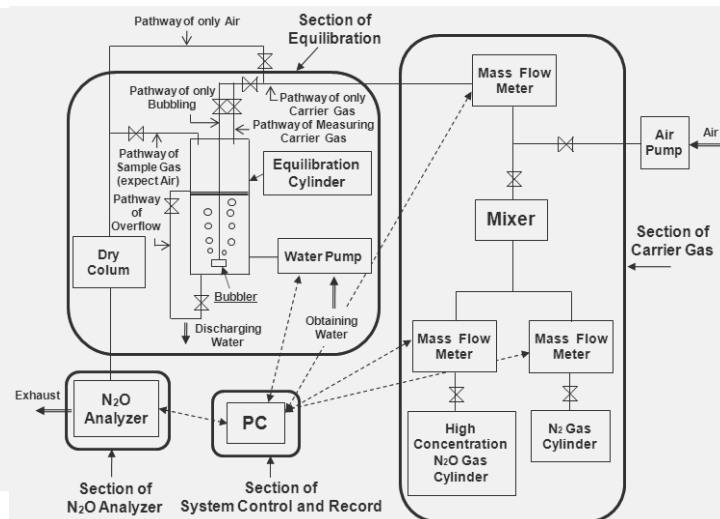


図2 N₂O 濃度測定システム

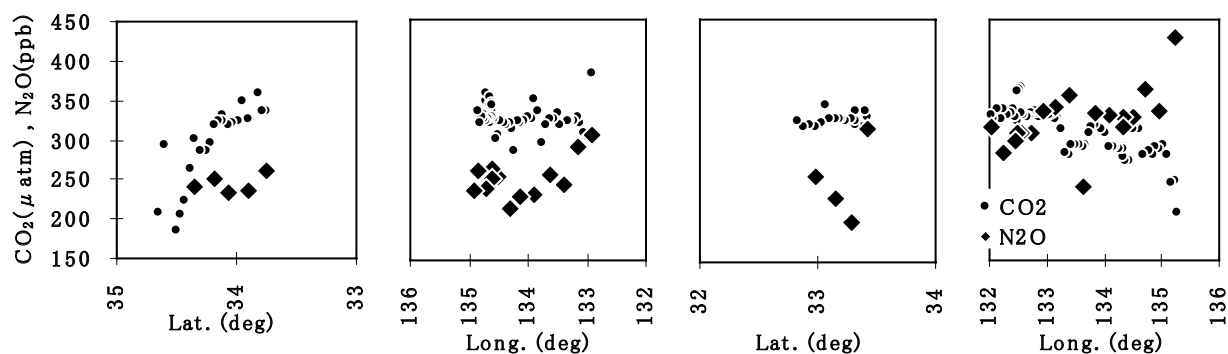


図3 2009年3月航海における海水中二酸化炭素・一酸化二窒素濃度測定結果

右から瀬戸内海(右が東)、豊後水道(右が北)、四国南岸(右が西)、紀伊水道(右が南)で反時計回りにつながる配置

4. 研究成果報告

- Dissolved Inorganic Nitrogen budget in the inner part of Manila Bay, Philippines, La Mer, 49, 221-228, 2011 (in press).
- Estimation of submarine groundwater and TP flux near the intertidal zone by the budget analysis using the marine observation data, EMECS9
- Onboard Observation of Nitrous Oxide (N₂O) and Estimation of N₂O Emission, WESTPAC
- Short time variation of phytoplankton in the Yodo River estuary in Japan, WCMB

5. 研究組織

代表者：林美鶴
所属：神戸大学

分担者：山下栄次
所属：岡山理科大学
技術科学研究所

分担者：柳哲雄
所属：九州大学
応用力学研究所

役職：准教授
担当：観測

役職：教授
担当：観測

役職：教授
担当：観測結果評価

水中ビークル運用のための装備に関する研究

長崎大学・水産学部 吉村 浩

1. はじめに

近年、海洋観測・調査用の海中ビークルは、専用の母船を必要とする大型の物から、専用の母船を必要としない小型のものまで数多く作られ、実用的な段階へと入りつつある。特に、技術者の支援を必要とせず、海洋物理の研究者が比較的容易に海洋観測に使用できる、中、小型のビークルは、専用母船、すなわち専用の母船に装備された投入・回収装置を持たないため、作業がいつそう困難なものとなる。長崎大学、長崎丸は応用力学研究所と共同で長年海洋観測を行っており、応用力学研究所所有の海中ビークル運用の実績を持つ。そこで本研究では、ビークルを損傷することなく、波浪中で、安全にビークルを運用するために必要な装備について調査・研究を行う。多様な形状のビーク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、改造中の円盤型水中グライダーが完成予定であるため海上試験の検討、水中ビークルの海上試験に必要な超音波機器、船舶機装についての調査を実施したので報告する。

2. 円盤型水中グライダーの海上試験について

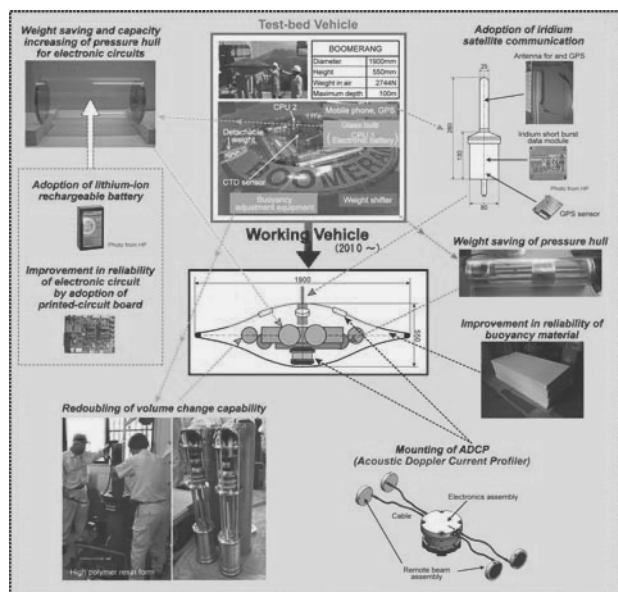


Fig.1 円盤型水中グライダーの実用化に向けた改造

共同海上試験を実施してきた円盤型水中グライダーの実用化に向けた改造 (Fig.1) が今年度完成予定であるため、完成後の海上試験について打ち合わせを行った。

改造完了後の動作試験は 3 月 7 日鹿児島湾内 (Fig.2) の水深 50m 海域において、安全索をビークルにつないだ状態で行う予定である。索の片方は船上で保持するのではなく、浮きにつなぎ海上に投入することで、索がビークル運動に与える影響を軽減する計画である。



Fig. 2 実験予定海域

3. 超音波機器等の水中ビークルに必要な機器の調査

海洋電子 (株) を訪問し、ビークルの位置を知るための超音波式測器に関する調査を行った。

まず、従来型のトランスポンダ (Fig.3) と無指向性のトランスポンダ (Fig.4) の性能について情報を収集し、ビークルに搭載するにはどちらが有利であるか検討を行った。さらに超音波機器テスト用の無音響水槽を見学し、ビークルに搭載した超音波機器のテストが可能かどうか検討を行った。

次に深海で使用する機器の水圧試験機について説明を受けた。試験の依頼が可能かどうかについて打ち合わせを行った結果、水深 1000m 相当までの

の水圧試験は比較的簡単に行ってもらえることがわかった。



Fig. 3 従来型のトランスポンダ



Fig. 4 無指向性のトランスポンダ



Fig. 5 無音響水槽



Fig. 6 水圧試験機

最後に浮力材について情報を収集した結果、

- ・10000m級浮力材は優れた物があるが、高価であり、比重も0.5前後と大きく、浅海用水中ビークルには適さない。
- ・浅海用の浮力材は比重0.2程度の物があるが、吸水率が比較的大きい。
- ・浮力材は切断した場合、端面処理を適切に行う必要がある。

ことがわかった。



Fig. 7 浮力材

4. 観測母船の艤装に関する調査

鹿児島大学の鹿児島丸が新潟造船において新造中であるので新潟造船を訪問し、艤装中の鹿児島丸 (Fig. 8) の艤装について情報収集を行った。

- ・鹿児島丸は2ポッド型の推進器を有し、運用後の高操船性能が期待されている。
- ・電気推進船ではあるが、プロペラ回転数ではなく可変ピッチにより船速が制御される。
- ・プロペラ回転を可変にすると電気回路が複雑になり建造コストが高くなる。
- ・ポッド推進を採用することで大きなスケグが必要となり船尾形状に工夫がなされている。
- ・漁労実習のみならずさまざまな海洋観測が効率的に行えるようにクレーンが配置されている。
- ・CTD計測が効率よく迅速に行えるように、特別格納室が設置されており (Fig. 9)、小型水中ビークルの格納・運用場所としても利用できそうである。



Fig. 8 艤装中の鹿児島丸



Fig. 9 CTD用特別格納室

5. 研究組織

- ・研究代表者
吉村浩 (長崎大学水産学部教授)
- ・研究協力者
青島隆、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)
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)

1. 研究の目的

市川ら(2009)は、土佐湾の基礎生産を透明度データから推定可能であり、透明度が物理環境と魚類資源をつなぐ要素として、過去の生物生産に関わる情報を引き出せる最適なデータとして重要だと指摘している。各県では、月 1 回の沿岸海洋観測にて地先の透明度をはじめとした海洋環境データが長期にわたり蓄積・保存されている。渡慶次・林田(2009)は、日向灘透明度の時空間変動特性の解明を試みたが、隣接する豊後水道を含めた広域の透明度との関係が不明であった。

そこで本研究では、九州東方沿岸域における透明度の季節・経年変動特性の解明を目的とする。

2. 材料と解析方法

大分県、愛媛県及び宮崎県が原則月 1 回実施している 1972 年 4 月～2010 年 3 月までの沿岸定線観測による透明度及び海洋観測記録を使用した。解析で利用した透明度データは、毎月の観測日が各県で異なるため、各月 15 日の値へ線形内挿した。季節変化の解析は、各県とも欠測値が少ない 1990 年 1 月～2009 年 12 月までの各月の調和平均値(平年値と呼ぶ)の全観測地点を用いて、クラスター分析(ウォード法)により区分けされた 4 海域の変動特性を議論した。一方、経年変動の解析では、観測データが長期的に安定して取得されている観測点の平年偏差値を EOF 解析し、卓越する時空間変動成分を抽出して、変動特性を議論した。

3. 結果

3.1 時間平均場

日向灘の透明度は、都井岬東方沖で 24m と最も高く、中部に位置する大淀川河口付近で約 10m と最も低い。一方、豊後水道では、10～17m と日向灘より低く、九州側では四国側よりさらに低い。

3.2 季節変動特性

図 1 の各海域で空間平均した各月の透明度は、ⅣからⅠの順に低い。Ⅰ海域の空間平均の季節変化は、7 月に最小となり、同海域平均の 0m 層塩分値の季節変化と類似していた。一方、Ⅳ海域の空間平均の季節変化は、4 月に最小値となり、長田ら(1996)が示す黒潮内側域の季節変化と類似し、春季ブルームと考えられる(長田・小川,1997)。ⅡおよびⅢ海域平均の透明度については、ⅠとⅣの 2 つの特性を合わせ持つ季節変化をしていた。

3.3 経年変動特性

図 2 に EOF の時係数の経年変動と EOF の固有ベクトルを示し、左図が EOF 第 1 成分を右図が第 2 成分をそれぞれ示している。透明度の EOF 第 1 成分の時空間変動については、寄与率 28%を占め、固有ベクトルの空間分布は日向灘全域で高い正の値となっており、日向灘の変動特性を示していると考えられる。第 1 成分の時係数の経年変動は、大淀川の河川流量及び日本南岸の黒潮流量の変動との関係が示唆された。一方、寄与率 23%を占める透明度の EOF 第 2 成分の時空間変動については、固有ベクトルの空間分布が豊後水道全域で低い負の値を示し、底入り潮の勢力の指標となる豊後水道湾口部の底層水温との関係が示唆された。

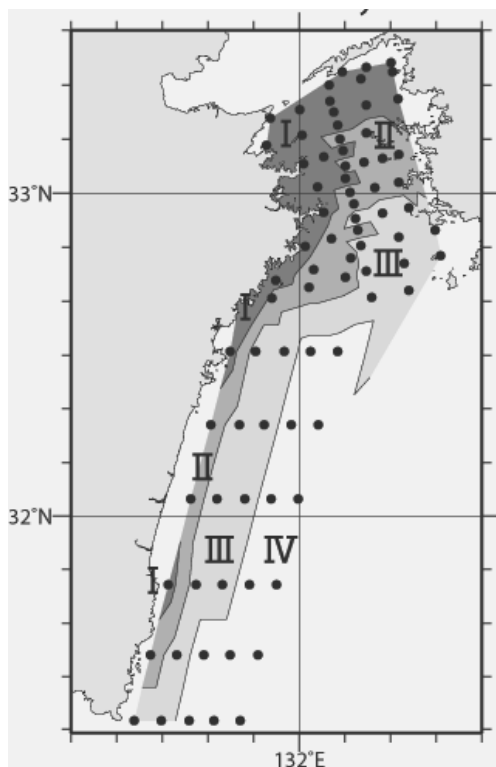


図 1. クラスタ分析（ウォード法）により季節変化を 4 分類した透明度。

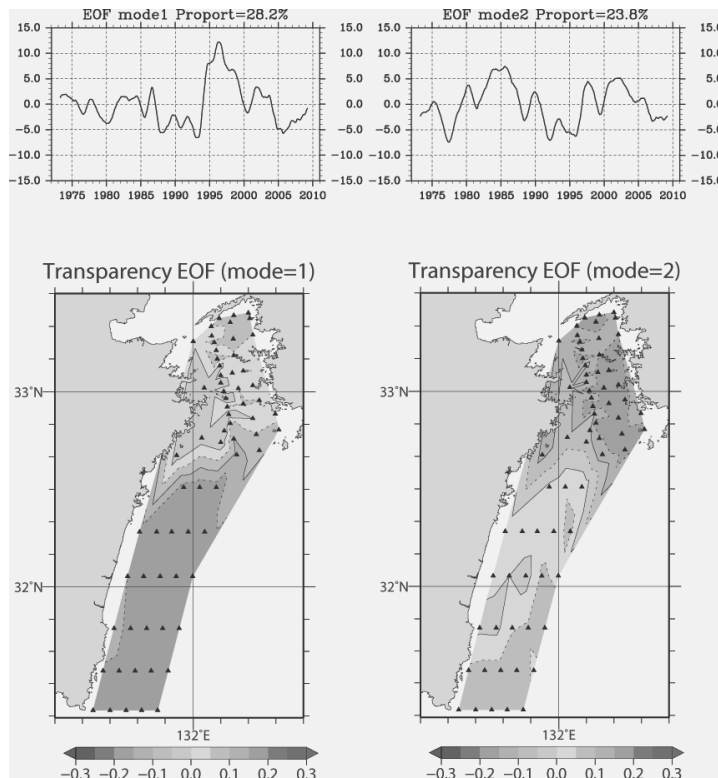


図 2. 透明度 EOF の時係数の経年変動(上段)と固有ベクトルの空間分布(下段)。
左図が EOF 第 1 成分を、右図が EOF 第 2 成分をそれぞれ示している。

4. 今後の展開

透明度の EOF 第 1 成分は宮崎県沿岸漁業の年間漁獲量と、EOF 第 2 成分についてはプランクトンの増減等との関係がみられたことから、物理・化学・生物過程の鉛直積分値である透明度をモニタリングすることは重要である。しかしながら、九州東方沿岸域における詳細な物理・化学・生物過程は、透明度データのみで解明できないことから、今後は、海況データやクロロフィル a 量の鉛直プロファイルデータ等を解析して、その変動特性を明らかにしたい。

5. 成果報告

渡慶次 力・福田博文・林田秀一(宮崎水試)・清水学・瀬藤聡・黒田寛(水研セ中央水研)・柳哲雄(九大・応力研)：漁船データを利用した日向灘海況モニタリング.2011 年度日本海洋学会秋季大会。

渡慶次 力(宮崎水試)・柳哲雄(九大・応力研)・行平真也(大分水研)・橋田大輔(愛媛水研セ)・市川忠史(水研セ中央水研)・林田秀一・福田博文・甲斐史文(宮崎水試)：九州東方沿岸域における透明度の季節・経年変動特性.2011 年度水産海洋学会。

渡慶次 力・福田博文・林田秀一(宮崎水試)・柳哲雄(九大・応力研)：まき網漁船による日向灘海況リアルタイムモニタリング.海の研究(投稿中)。

6. 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

定期旅客船による山口県沖合海域の表層水温観測

山口県水産研究センター 渡辺俊輝

目的

山口県水産研究センターでは漁況予報を年2回程度行っているが、漁業の現場からは、より短期的な予報や盛漁期前の予報の実施についての要望がある。これらのニーズに沿った予報を行うには、短期の海況変動の把握および変動機構の解明が重要である。

本研究では、①萩と見島を結ぶ定期旅客船の航路上で水温モニタリングを行い、時空間的に密な水温データを得ること、そのデータ解析によって ②当海域での短期的な水温変動やそのメカニズムを明らかにすることを目的とする。

短期的な予報を求められる一方で、近年、長期的な変動について説明を求められることが多くなった。そのため、③40年以上も蓄積されている航路上のポイント(34° 38' N, 131° 15' N)における観測資料を整理し、長期的な変動傾向を明らかにすることも目的とした。なお、本研究は、日本海の海洋研究に総括的に取り組み、かつ山口県沿岸の定置網を利用した海況モニタリングの実績のある応用力学研究所 千手智晴准教授に参加して頂き、共同で実施したものである。

モニタリングの概要

観測海域および定期旅客船「おによらず(258トン)」の航路を図1に示す。旅客船に設置している水温計は、古野電気社製TI-20(分解能0.01℃、測定精度±0.2℃)である。水温の収録間隔は2~3秒に1回としており、それら取得データから緯度1分ごとに日平均水温を算出したものを、解析用のデータセットとして蓄積している。水温計は機関冷却水の取込口に設置されており、観測深度は海面下約3~4mとなる。

前年は頻繁に収録装置の不具合が起こったが、2011年は少なかった。しかし、旅客船のエンジントラブルで、1ヶ月以上の期間(8月20日~9月27日)、ドックに入ったため、その期間が欠測となった。

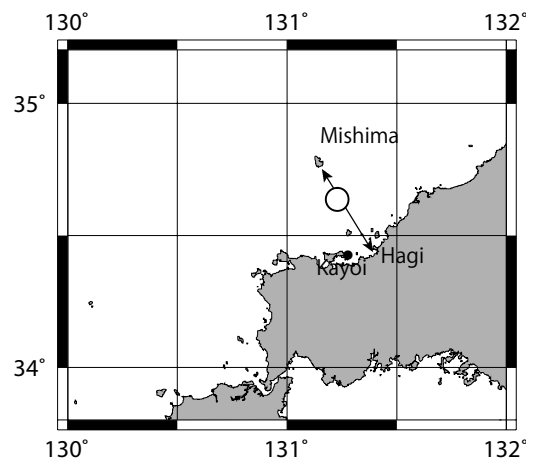


図1 海域図. 矢印が旅客船の航路を示す。
○は長期間、観測が継続されているポイント。

結果

2011年の水温変動

2011年1~12月の水温の緯度-時間断面を図2に示す。冬季(1~3月)には、34.5°N以南に水温フロントが形成された。5月以降になると、例年空間的に変動が複雑になるが、2011年も同様の傾向がみられた。また、7月中旬には航路の中央部で一斉に低温化する現象がみられた。これには7月18~20日にかけて西日本に接近した台風6号が関与していると考えられる。

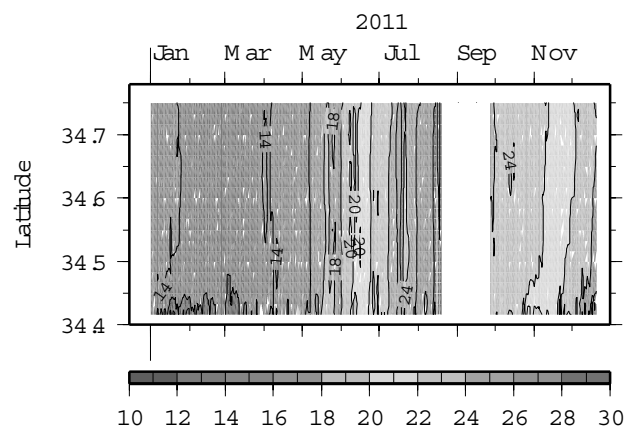


図2 2011年の水温緯度-時間断面図。

過去(2007～2009 年)の水温変動

2006 年 12 月に水温収録装置を取り付け、約 5 年が経過した。データ欠損の比較的少ない 3 年間(2007～2009 年)のデータ(図 3a)を用い、萩-見島間の平均的な季節変化(図 3b)および緯度別の 3 年間平均水温(図 3c)を調べた。また、取得状況の最も良好な 2007 年 11 月 20 日-2008 年 11 月 4 日のデータ(31 日の移動平均値からの残差成分)で EOF 解析を行った。第 1 モードは、海域すべてが同位相で変動するモード(寄与率 83.8%)、第 2 モードは、34.5' N を境にして、その南北が逆位相で変動するモード(寄与率 5.9%)であった。

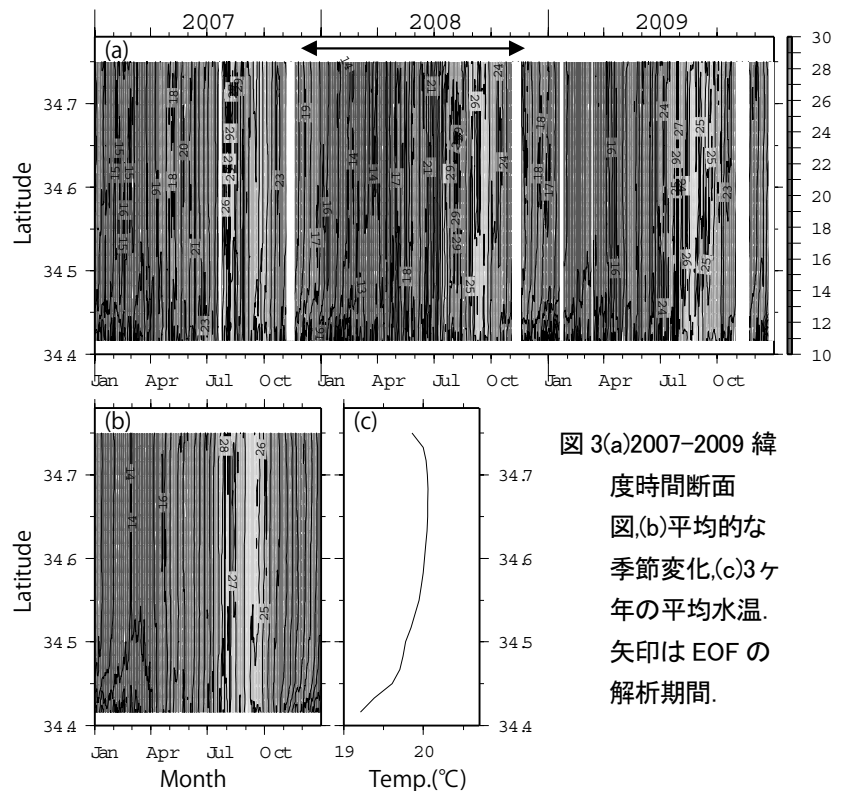


図 3(a)2007-2009 緯度時間断面
図(b)平均的な季節変化、(c)3 年の平均水温。
矢印は EOF の解析期間。

長期の変動

収録装置による観測は、始まって日は浅いが、図 1 に示すポイントでは 40 年以上も観測が継続されている。そのうち 1964-2010 年(47 年間)の資料を用い、旬ごとの水温(10 日平均値)を求めて、各旬の値を平均値からの偏差で評価したのが図 4 である。1980 年代後半から冬季に高め傾向であること、また 1990 年代の後半からは、さらに高め傾向にあることがわかる。

成果報告

結果の一部を 2011 年 6 月 4 日下関市で開催された日本海甲殻類研究会および 2011 年 9 月 26 日福岡市で開催された西海ブロック海況情報分析検討会で発表した。

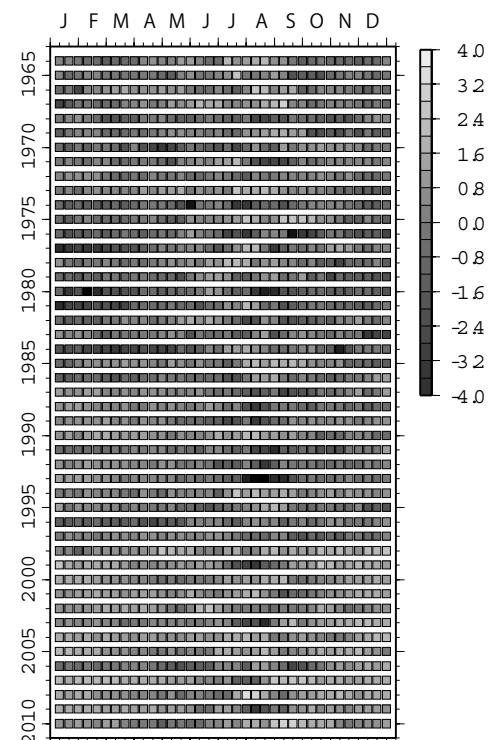


図 4 1964-2010 年の旬水温のタイルプロット。

定期旅客船を利用した能登半島輪島沖での対馬暖流モニタリング

石川県水産総合センター 大慶則之

目的

能登半島東岸では、沿岸の流れが突然速くなる「急潮現象」により、しばしば定置網漁具が大きな被害を被っている。「急潮現象」は、南西風に伴うエクマン輸送により半島西岸に堆積された沖合暖水の沿岸捕捉波あるいは沿岸密度流としての伝播と、沖合域での慣性振動が沿岸域に波及して生じる慣性周期帯の流速変動が重なった現象と理解されている。しかし、半島東岸での現場観測では、気象擾乱との関連性がみられない強流もかなり高い頻度で観測されている。

本研究は、対馬暖流水の富山湾への流れ込みと、能登半島東岸での強流発生とのかかわりを明らかにするとともに、対馬暖流水の流入をモニタリングする手法を開発することを目的とする。

本年度は、輪島～舳倉島間の定期航路で観測される表層水温データの対馬暖流の勢力指標としての利用可能性を評価するため、能登半島～舳倉島間の流量と輪島～舳倉島間の水位差の関係から、能登半島～舳倉島間の通過流量の時間変動を求めて、表層水温の変動との関係を調べた。

観測および観測資料

舳倉航路での水温データの取得方法とデータセットの作成方法は、前報(平成 21 年度研究成果報告書)に述べたとおりである。ここでは、長期間の連続データが得られた 2010 年 2 月～12 月の観測データを対象に EOF 解析を行い、流量変動に対応する変動の抽出を試みた。ADCP データは、半島北端と舳倉島の南西を結ぶ約 48km の定線観測区間

(図 1) で、2008 年 10 月～2011 年 6 月に、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 25 例のデータを使用した。ADCP 観測は第 1 層を 19m、観測層厚を 8m に設定して実施し、水深の 80% 以浅のデータを解析に供した。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、最下層から海底までは最下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舳倉島に設置した水位計と国土地理院輪島験潮所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。ここでは、水位差を各 ADCP 観測が行われた時間帯の輪島と舳倉島の水位偏差の差の平均値と定義した。得られた 25 組の水位差と流量の関係から、通過流量の時間変動を求めた。

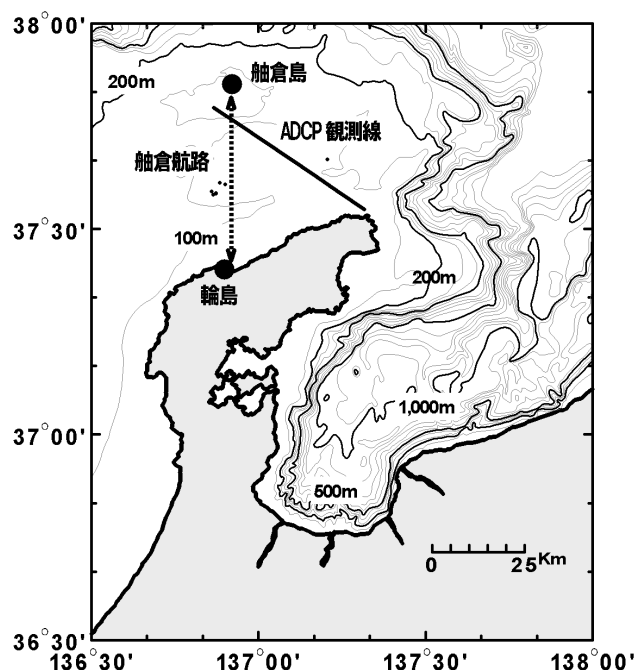


図 1 調査海域図 点線はニューへぐらの航路実線は ADCP 観測線を示す

結果と考察

輪島～舳倉島間の水位差と能登半島～舳倉島間の通過流量の関係を図 2 に示す。両者には、有意な高い正の相関が認められ、輪島～舳倉島間の水位差から、能登半島～舳倉島間の通過流量が推定できることがわかった。水位差の時系列データを用いて 2008 年 8 月～2011 年 6 月の能登半島～舳倉島間

の日平均通過流量の推移を求めた（図は省略）。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。これらのデータを用いて、2010年に着目して日平均値から31日移動平均を除いた流量偏差を求めた（図3C）。次に、舢倉航路上の緯度0.1度ごとに31日移動平均値を差し引いて求めた水温偏差のデータセットに対して、EOF解析を行い水温場の時空間変動特性を調べた。得られたEOF第2モードの固有ベクトルの変動と時係数を図3A, Bに示す。固有ベクトルは輪島側と舢倉島側で対称的な変動パターンを示している。このことからEOF第2モードは、岸沖方向での暖水と冷水の分布パターン、すなわち水位差を示すと考えられる。EOF第2モードの時間変動を表わす時係数と流量偏差の変動を比較すると、両者の変動パターンには類似性が認められる。以上の結果から、水温場にみられるEOF第2モードの変動は流量変動に伴う変動であると推察される。EOF第2モードの寄与率は4.7%と小さく、この結果から、舢倉航路で観測される表面水温データは、通過流量の指標としての利用には適さないと判断される。今後は、水位差から求められる能登半島～舢倉島間の流量変動と、富山湾の沿岸流の変動について解析を試みたい。

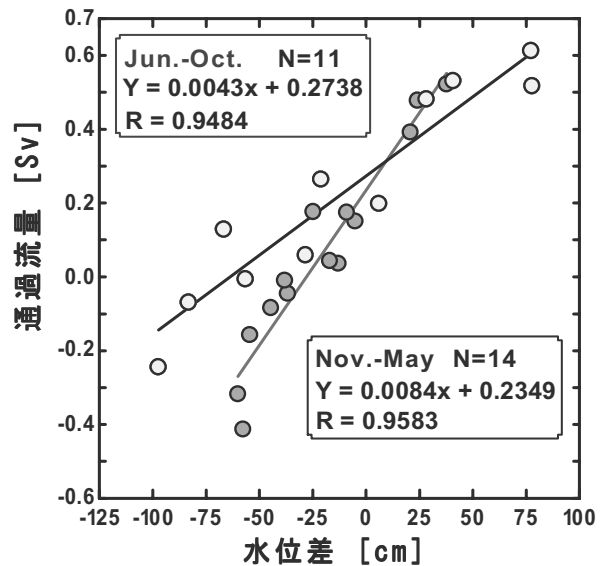


図2 水位差と通過流量の関係

○：成層期（6-10月） ●：非成層期（11-5月）

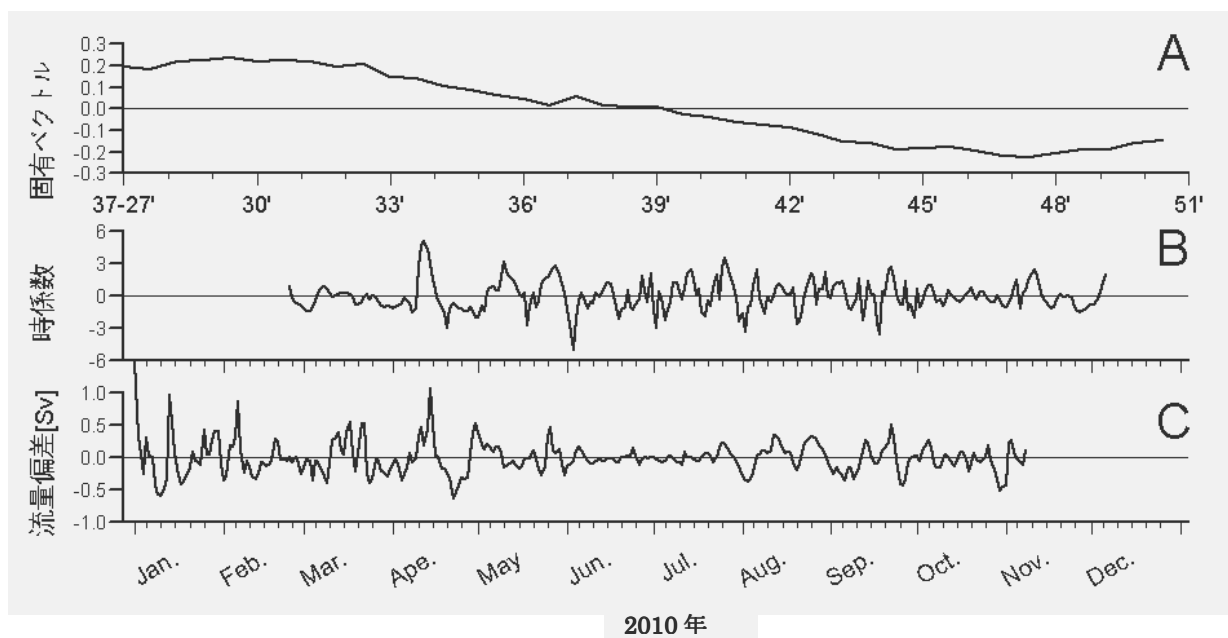


図3 舢倉航路の水温場の日変動におけるEOF第2モードの固有ベクトル分布（A）と時係数（B）および能登半島～舢倉島間の流量偏差の変動（C）

【研究の目的】

越前海岸の鷹巣（図1参照）では、7-10日間にわたって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。この一時的な強流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、観測事例が少ないため流速や発生期間といった基本的な特性でさえ十分に理解されていない。

本研究は、越前沿岸域の表層流の基本特性の解明を目的とし、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、瀬戸久武氏）、福井県立大学の3機関が協力して実施した。初年度にあたる本年度は、今までに鷹巣の定置網近傍で実施された観測データを解析するとともに、同じ場所で現地観測を実施した。

【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東に位置する。この定置網の近傍では、いまだに福井県水産試験場によって流向・流速計を備えた観測用の係留ブイが設置されたことがあり、本研究では2008年のデータを解析した。さらに我々は2011年4月23日～10月12日まで、同じ場所で流向・流速計、水温・塩分計を備えた観測ブイを設置し、回収したデータを解析した。ブイの設置および回収は、福井県水産試験場の調査船「若潮丸」を用いた。流向・流速計は海面下10mと40mに、水温・塩分計は海面下5mに設置し、測定間隔は流向・流速計が10分、水温・塩分計は20分とした。なお、流向・流速データは機器の不調により7月5日以降は欠測であった。

【結果】

まず、2008年7-10月の観測データの解析結果について述べる。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おり、岸に直行する流れの成分は弱かった（図は省略）。また、観測データは8月上旬から20日間程度にわたって30cm/secを超える流れが発生しており、8月15-25日頃には約3日間おきに50cm/secを超える強流が発生していたことがわかった。

次に、2011年の観測結果の一例として、4月23日から7月5日までの流向・流速、水温、塩分の時系列を示す（図2）。流れのデータをみると、2008年と同様に岸に沿う北東方向の流向の流れが卓越していた。そのため、流速の結果は海岸線に沿う方向（北東方向）と直交する方向（南東方向）の流速成分にわけてそれぞれ解析を進めた。ここでは岸と直交する成分は弱かったため省略し、岸と平行成分の

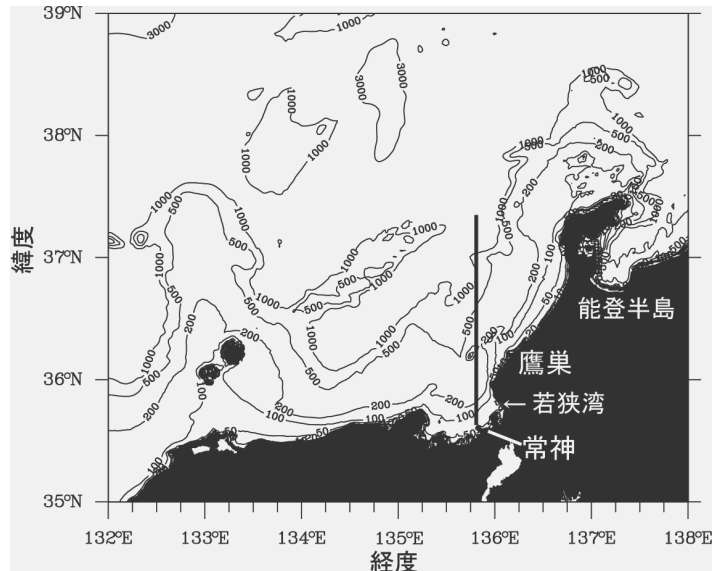


図1 若狭湾および周辺海域：等値線は水深を示している。越前海岸に面した鷹巣では、水温・塩分計を設置した。一方で、若狭湾奥から沖合にかけての定線観測（図中の直線）のデータを収集・解析した。

みを示している（図 2 (a), (b)）。海面下 10m の流速の時系列（図 2 (a)）をみると、観測を開始した頃、海面下 10m の流速は 20cm/sec 程度であったが、5 月上旬から一時的に 30cm/sec を越える流れが測定されるようになり、5 月 10 日頃になると更に一時的に強い流れが生じるようになった。そこで、図 3 には 5 月 1 - 15 日の流速時系列を拡大して示している。5 月 1 日に一時的に 40cm/sec を越える強い流れが計測され、その後は次第に弱くなった。2 日後には南西方向（負の値）になった後、再び北東方向に流向は変化するとともに、流速は 40cm/sec 程度になった。その後も、2-3 日おきに流れは強くなり、5 月 7、10 日に 50cm/sec を越える流れが発生した。その後、しばしば 30cm/sec 程度の流れが発生する状態が 5 月末まで続いたあと、7 月 5 日までは 5-15cm/sec 程度の流れが比較的安定して続いていた。水温、塩分の時系列（図 2 c）の 5 月 10 日頃の変化をみると、13 日頃から塩分は一時的に低下したことを示していた。

これらの観測データがとらえた一時的な強い流れは、漁業者が経験的に発生することを認識していた「強い流れ」と考えられる。2008 年、2011 年に共通してみられた特徴は、50cm/sec を越える特に強い流れは連続的に発生するのではなく、約 3 日おきに繰り返し発生していたことであった。一方、2008 年と 2010 年の強流時の違いは、2008 年は安定して北東方向に流れていたが、2010 年は時々、逆向き（南西）方向に流れるなど流向が複雑に変化した点である。このような違いが生じた理由については、今のところよくわからない。今後は、さらにデータを蓄積して強流時のデータを収集するとともに、水温・塩分データや周辺の風や水位データなども利用しながら強い流れが発生する要因や過程について調べたいと考えている。

【謝辞】

最後に、観測にご協力頂いた福井県水産試験場の調査船「若潮丸」、鷹巣定置組合の皆様には厚くお礼申し上げます。

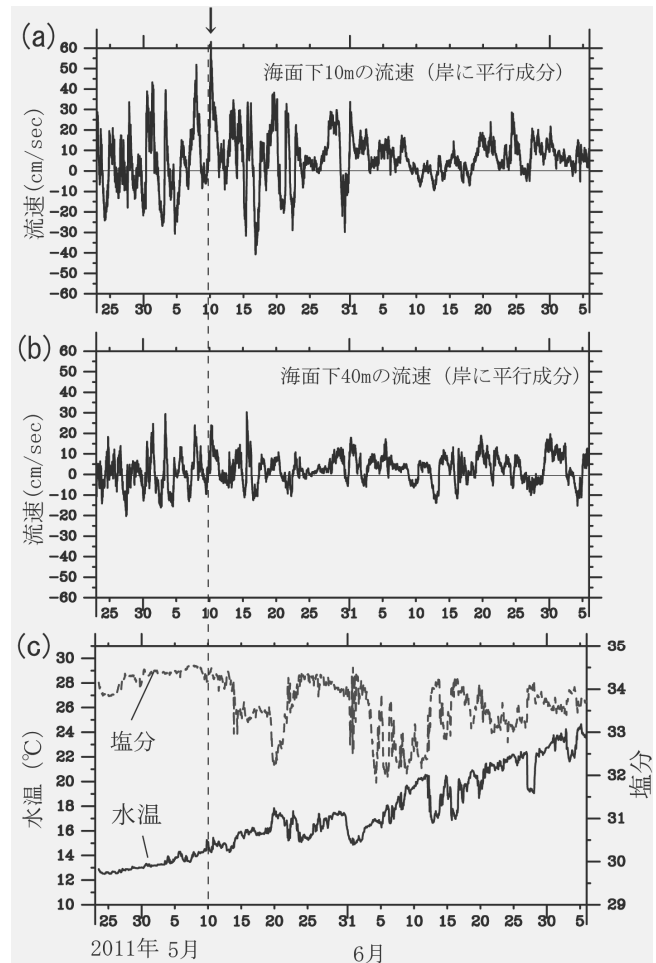


図 2 鷹巣における 2011 年 5 月 23 日から 7 月 5 日までの海面下 10m の流速（岸に平行成分, (a)）、海面下 40m の流速 (b)、海面下 5m の水温（実線）および塩分（破線）(c) の時系列。

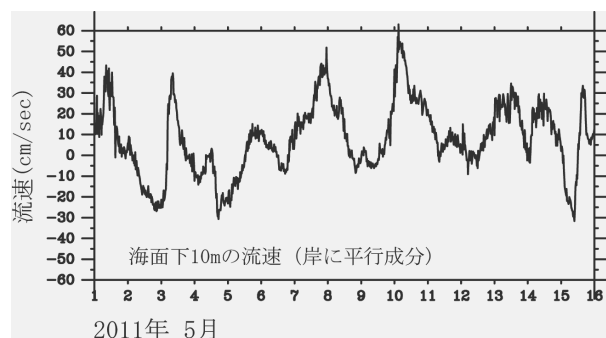


図 3 鷹巣における 2011 年 5 月 1-15 日までの海面下 10m の流速（岸に平行成分）の時系列。5 月 7 日、10 日には、50cm/sec を超える強い流れが一時的に発生した。

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。

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、水中グライダーの研究をされている九州大学大学院工学研究院・山口悟 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る。本年度は、ソーラーパネルの海中での発電性

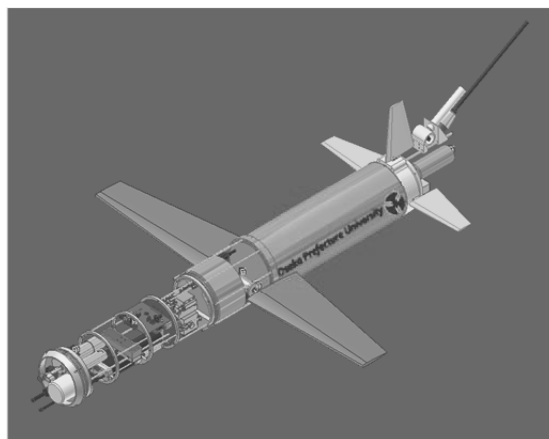


Fig.1 主翼独立制御型水中グライダー
SOARER

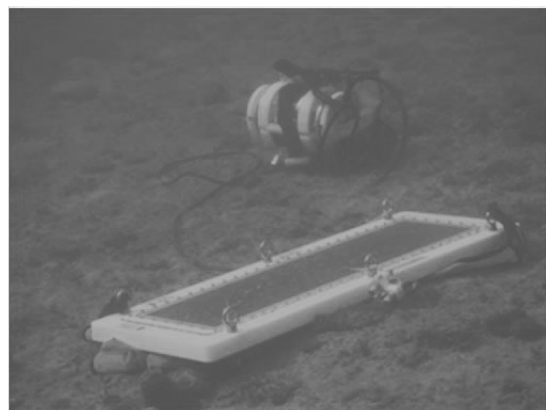


Fig.2 ソーラーパネルマウント
(和歌山県・白浜沿岸にて)

能を明らかにするために、Fig.2 のようなソーラーパネルマウントを設計・製作して、屋外プールおよび実海域での実験を試みた。

□研究の成果

主翼独立制御型水中グライダーSOARERの潜航試験は、本学・生産技術センターの日程の都合で部品の加工に時間がかかってしまい、組み立てが大幅に遅れてしまったことと、貴研究所の深海機器力学実験水槽の工事の都合のため、当初の予定通りの実験をすることができなかった。ソーラー水中グライダーは、亜熱帯海域では水中での発電も可能であることが明らかとなり、今後、運用方法などの詳細を検討することになった。また、貴研究所 中村 昌彦准教授との度重なる討論のお陰で、以下の研究成果を挙げることができた。次年度以降も引き続き共同利用研究の継続を希望するので、実海域で活躍できるグライダー型海中ロボットの研究開発を進めていきたいと考えている。

□研究成果報告

- M.Arima, K.Ishii and A.A.F.Nassirei: Development of the ocean-going underwater glider with independently controllable main wings, SOARER, Procs. of the twentyfirst (2011) International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2011), pp.274-278, CD-ROM, (2011.06).
- 有馬正和, 岡島沢哉, 山田智貴: 自然エネルギーを利用したグライダー型海中ロボットの制御, 第12回「運動と振動の制御」シンポジウム (12th MoViC) 講演論文集, pp.506-509, (2011.06)
- M.Arima, T.Okashima and T.Yamada: Development of a Solar-powered Underwater Glider, Procs. of OCEANS'11 MTS/IEEE Kona, CD-ROM, (2011.09).
- M.Arima and H.Tonai: IFeasibility Study of an ocean-going solar-powered underwater glider, Procs. of the twentysecond (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2012), (2011.06). (投稿中)

□研究組織 (教員のみ)

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
石井 和男	九州工業大学・ 生命体工学研究科	准教授	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

対馬海峡東水道における海洋環境変動

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。特に、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

対馬海峡東水道の3観測点(美津島、沖ノ島、蓋井島)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。美津島と蓋井島の水温・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、沖ノ島には、Sea-Bird社製の水温・塩分計SBE37-SM(生物付着防止アタッチメント付)を設置した。各測点における観測期間は以下の通りである。

美津島	2011/05/27 12:00 ~ 2011/11/15 13:00	Compact-CTW
沖ノ島	2011/04/13 12:00 ~ 2012/01/18 11:00	SBE37-SM
蓋井島	2011/04/24 11:00 ~ 2011/11/22 10:00	INFINITY-CTW

蓋井島と美津島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(写真1)。蓋井島の塩分観測について、過去の観測事例を参考にしつつ報告する。

3. 結果と考察

美津島・蓋井島で得られた水温・塩分の時系列を図1に示す。美津島では、定置網の網替えのために夏季の水温・塩分データが得られなかった。この欠測期間は、8月10日から10月5日であった。蓋井島では、8月8日以降、塩分は正常な値を示さなかった。この頃から、ピストン式ワイパーの不具合が生じていたと考えられる。沖ノ島の水温と塩分の計測は、観測期間を通して成功した。

表1に、過去の蓋井島における水温・塩分観測の実施期間、塩分の欠測期間、使用測機を示す。例年、春に観測を開始し、秋から初冬に観測を終了する場合が多い。Compact-CTWを使用した場合には、塩分の欠測は少なかった。ただし、2005年と2006年の観測期間後半の秋季に欠測となった。近年、JFEアドバンテック社では、Compact-CTWの後継機として、INFINITY-CTWを販売している。INFINITY-CTWによる塩分の観測期間は、2010年に72日間、2011年に77日間であった。本研究では、対馬海峡の夏季の低塩分化に着目しているため、半年程度の期間、塩分を計測し続ける必要がある。この必要な観測期間に比べ、実際のINFINITY-CTWによる塩分観測期間は短かった。

表2に、蓋井島で水温・塩分計を回収・設置した時の塩分のセンサー値を示す。回収時の塩分のセンサー値は、新たに設置したセンサー値と比べ、低い傾向を示した(2010年4月16日を除く)。特に、2009年11月19日の回収・設置時のセンサー値の差は大きく、2.281であった。これらのセンサー値の差の要因として、生物付着とセンサー自体のドリフトの影響が考えられる。センサー値が低下する傾向は、夏の期間に観測した場合に顕著であり、夏季の生物付着量が多いと考えられる。実際、水温・塩分計には、多量の生物が付着していた(写真1)。



写真 1: 回収時の水温・塩分計(2011 年 11 月 22 日, 蓋井島).

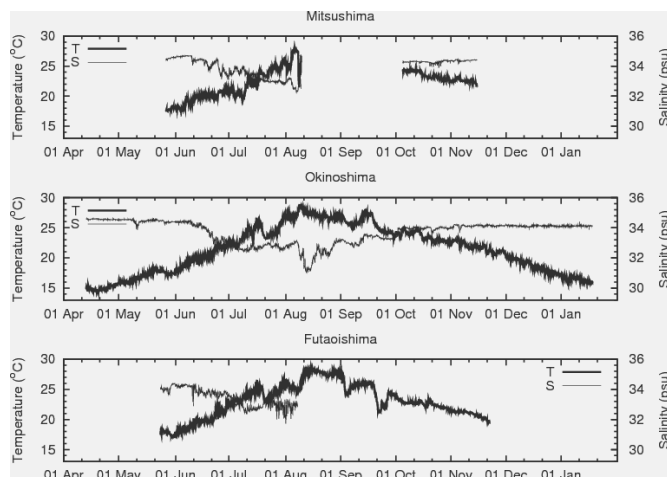


図 1: 美津島(上段), 沖ノ島(中段), 蓋井島(下段)における水温・塩分の時系列(2011 年).

表 1: 蓋井島における水温・塩分観測の期間, 塩分の欠測期間, 使用測機.

観測期間	塩分の欠測期間	測 機	備 考
2002/10/11-2003/05/22	不明	ACT-16K (現 JFE アドバンテック)	生物付着防止の対策なし. 観測期間を通じて徐々に塩分低下
2004/04/16-2005/02/24	なし	SBE37-SM	
2005/02/24-2005/05/19	なし	Compact-CTW	
2005/05/19-2005/10/28	2005/10/09-2005/10/28	Compact-CTW	水温も欠測
2006/05/01-2006/11/21	2006/09/11-2006/11/21	Compact-CTW	
2007/05/09-2007/11/15	なし	Compact-CTW	
2008/05/16-2008/12/03	なし	Compact-CTW	
2009/05/26-2009/11/19	なし	Compact-CTW	
2009/11/19-2010/04/16	なし	Compact-CTW	
2010/04/16-2010/11/18	2010/06/26-2010/11/18	INFINITY-CTW	
2011/05/24-2011/11/22	2011/08/08-2011/11/22	INFINITY-CTW	

表 2: 蓋井島で水温・塩分計を回収・設置した時の塩分のセンサー値.

回収日時(JST)	塩分(psu)	設置日時(JST)	塩分(psu)
2005/02/24 10:00	34.269	2005/02/24 11:00	34.673
2005/05/19 10:00	34.480	2005/05/19 11:00	34.512
2009/11/19 10:00	31.740	2009/11/19 11:00	34.021
2010/04/16 10:00	34.411	2010/04/16 11:00	34.337

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	松井 繁明

【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、竹中規訓、定永靖宗、弓場彬江) はこのような状況下、我々は先行研究で NO_y および全硝酸 (TN: ガス状硝酸 ($\text{HNO}_3(\text{g})$) および粒子状硝酸 ($\text{NO}_3^-(\text{p})$) の和) の測定装置の開発を行い、現在五島列島福江島にある「大学・研究機関共同利用福江島大気観測施設」、能登半島珠洲にある「金沢大学能登スーパーサイト」および沖縄辺戸岬にある「独立行政法人国立環境研究所 大気・エアロゾル観測ステーション」においてそれらの連続観測を行っている。

一方、九州大学応用力学研究所 (所内世話人: 鶴野伊津志) 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、上記の定点観測および、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 23 年度ではまず観測の面からのアプローチを試みた。具体的には、上記の 3 観測地点の中で、五島列島福江島と能登半島珠洲に着目し、これら 2 地点の NO_y , TN 濃度の時系列変化を比較することにより大陸から日本を通過する気塊における NO_y および TN の動態の解析を試みた。本報告書ではその結果について述べる。

【観測について】

NO_y , TN の濃度測定には Thermo Fisher Scientific 社製 NO_x 計を大阪府立大学で改良した NO_y , TN 計を用いた。これらの観測は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。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。

【解析方法】

福江島と珠洲の 2 地点における汚染物質 (CO , NO_y , TN) の濃度変動を比較し、その中で福江から珠洲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 , TN について調べ、最後に後方流跡線解析で福江から珠洲への気塊の移動を確認した。期間については解析に用いるすべての汚染物質が観測できている 2009 年 11 月～2010 年 6 月、2010 年 8 月、2010 年 10 月～2011 年 5 月を解析の対象とした。

次に 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、 NO_y の珠洲でのピーク面積を対応する福江でのピーク面積で除して珠洲/福江比を求め、福江での濃度に対する珠洲での濃度の増減の割合について調べた。ここで NO_y の増加に寄与する要因は日本からの排出の影響である。一方、減少に寄与する要因は大気の拡散と沈着であるが、単に NO_y 濃度の珠洲/福江比を見ただけではその増減をもたらす各要因の寄与の大きさを評価することはできない。 NO_y と同じ人為発生の汚染物質である一方で濃度減少の要因が主に大気の拡散と考えられる CO を用いて NO_y/CO 比を求め、 NO_y に対する拡散の

影響を排除した。その比と NO_y 値とを比較することにより NO_y に対する残り二つの要因について評価を試みた。 TN についても同様な評価を試みた。

【結果および考察】

図 1 (a) に NO_y の珠洲/福江比と NO_y/CO の福珠洲/福江比との関係および、図 1 (b) に TN の珠洲/福江比と TN/CO の珠洲/福江比との関係を示す。図 1 (a) は全体の一部を拡大したものである。 NO_y の珠洲/福江比の多くは 1 以下であり、排出よりも拡散、沈着による影響が大きいことが分かる。また沈着が支配的な領域と拡散が支配的な領域に入る点はどちらも 13 件ずつであったので、福江から珠洲へ輸送中には沈着と拡散の影響を同程度で受けることが考えられる。季節別に見ると沈着が支配的な場合は冬季に多くみられた。また、排出や拡散が支配的な場合は春季によくみられた。一方、 TN の珠洲/福江比の多くは 1 以下であり、生成よりも拡散、沈着による消失の寄与が大きいことが分かる。また、 TN については NO_y と異なり、ほとんどの点が沈着が支配的な領域に入っている。これは、福江→珠洲と輸送される際の TN の消失過程として、沈着が支配的であることを示している。

【まとめ】

これまでおよび今回の解析結果から、大陸由来の窒素化合物について、日本の西端にある福江では大陸からの影響を強く受けている一方、珠洲ではその影響が相対的に弱まっている。その要因としては、 NO_y 、特に TN の沈着によるものが大きいと考えられる。今後は観測を継続しデータを蓄積する。一方、今回は気塊の移動の確認方法として後方流跡線解析を用いたが、より正確に気塊の輸送を確認するために、WRF/CMAQ モデルを用いた解析を行う。更にはモデルを用いて窒素化合物の日本上空の広がりについて解析により検証を行う予定である。

【論文目録】

- ・ 清浄地域におけるガス状硝酸の日内変動要因解析、弓場彬江、定永靖宗、高見昭憲、清水厚、松井一郎、杉本伸夫、畠山史郎、竹中規訓、坂東博、大気環境学会誌, 47 (1), 26-32, 2012.
- ・ 沖縄辺戸岬での長期連続観測による越境大気汚染物質の経年変動、重富陽介、弓場彬江、定永靖宗、高見昭憲、畠山史郎、加藤俊吾、梶井克純、竹中規訓、坂東博、大気環境学会誌, 47(1), 第 1 号, 46-50, 2012. 他 5 件

【学会発表など】 計 39 件

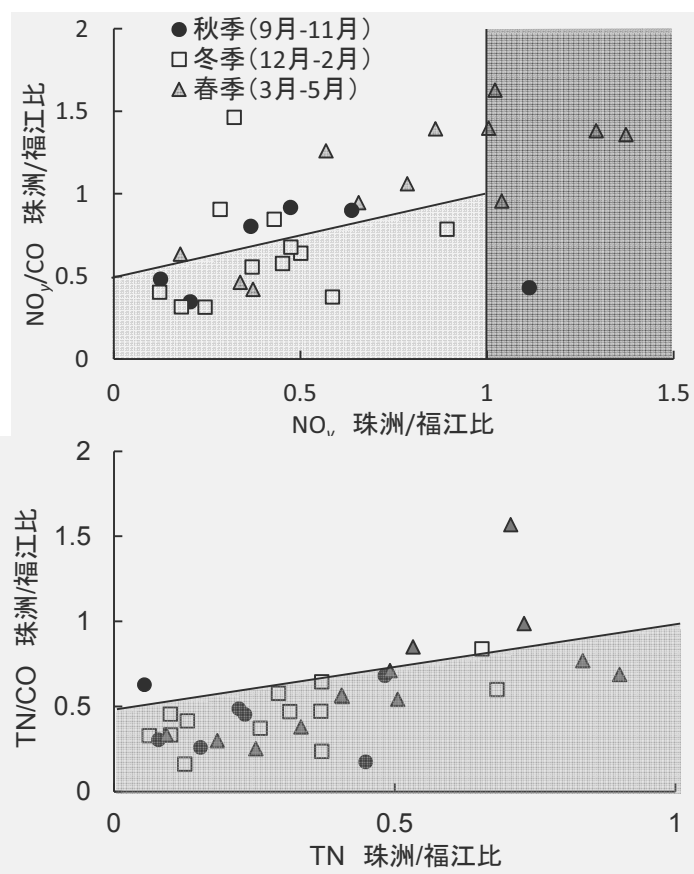


図 1. (a) NO_y の珠洲/福江比と NO_y/CO の珠洲/福江比との関係。および (b) TN の珠洲/福江比と TN/CO の珠洲/福江比との関係。白色の領域は拡散が支配的、薄い灰色は沈着が支配的、濃い灰色は排出が支配的な部分である。

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 地球環境科学研究所 水田元太

1. 目的

海洋の中深層循環は大气による熱塩強制や中規模擾乱の非線型作用により駆動され地形の複雑な影響を受けているが、その仕組みは十分には理解されていない。本研究では理論、観測、数値計算の各分野の研究者が集まり、最新の知見をまとめ、中深層循環に対する包括的な理解を得ることを目的とする。

2. 手法

2011 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) 「全球海洋-海氷モデルを用いた歴史実験に見られるウェッデル海の変動とその深層循環への影響」…… 平原 幹俊（気象研究所 海洋研究部）
- (2) 「観測データから見た南極環海の深層循環」…… 蓮沼 啓一（海洋総合研究所）
- (3) 「再解析データにみられる親潮海域の流動：時間平均場」…… 西垣 肇（大分大学教育福祉科学部）
- (4) 「風成循環の深層再循環に関する研究へ向けて」…… 水田 元太（北海道大学地球環境）
- (5) 「海洋中の東西縞模様」…… 中野英之（気象研究所 海洋研究部）
- (6) 「傾圧不安定を単純に表す方程式とその意味」…… 増田 章（九州大学応用力学研究所）

3. 結果と議論

話題(1)～(2)では南極深層・底層水の循環と年々変動について観測と数値モデルの立場から議論がなされた。(3)では親潮域の循環と海底地形、(4)～(5)では中規模擾乱と中深層循環の関係について考察がされ、(6)では中規模擾乱の発生要因である傾圧不安定の基本的理解について議論がなされた。

(1) 南極底層・深層水の形成に重要な影響を及ぼす Weddell ポリニヤの変動メカニズムを全球海洋海氷結合モデルによって調べた。1948–2006 年の大気強制を与えた結果 1955 年に Weddell 海中に大規模なポリニヤが形成され、それによって深層から底層の水が低温低塩化するという顕著な年々変動が見られた。この様なポリニヤが形成される必要条件として深層水が高温化し密度成層が弱まることがある。さらに 1955 年には Weddell 海の風応力カールに低気圧回りの偏差が存在し、海水を発散させる方向に働くことがポリニヤの形成に寄与すると考えられる。実際この様な発散的な風を与えると他の年でもモデル中で大規模なポリニヤが形成されることが分かった。ポリニヤ形成による深層・底層の低温化は大西洋全域の深層の低温化をもたらす。また南極周極流の強化と太平洋の深層の高温化の原因ともなる。

(2) 南大洋の深層に存在する周極深層水の水平循環の挙動を水塊分布から調べた。周極深層水は中立密度で 28.00 から 28.12 の間の深層に塩分極大を持つ。この中立密度上の塩分は南米沖で最も高く、高塩分で特徴付けられる北大西洋深層水によって影響されていることに対応している。周極深層水の塩分極大は大西洋の経度帯では低緯度側に存在するが、南極周極流によって東へ移流されるにつれ高緯度へ移動し極向きの流れが存在して高塩分水を運んでいることを示唆する。Stommel の深層循環理論では海洋

の内部領域では深層水は赤道から極へ向かって流ることが示されているが、ここで示された周極深層水の塩分分布は Stommel の理論を支持する（ただし周極深層水が東向きに輸送されことには風も影響している）。またオーストラリア東岸では高塩分の周極深層水が北向きに広がっており西岸境界流による太平洋への輸送を示している。

(3) 親潮第 1・第 2 分枝や近年の衛星海面高度計データから指摘されている北東向きのジェット (J1) など複雑な循環が存在する三陸・北海道沖の循環の水平・鉛直構造を海洋の再解析データを用いて調べた。再解析データ中では親潮分枝流や J1 に対応する流れが確認された。密度 26.8 から 27.2 シグマの表層から中層では親潮が渦位のフロントを伴いながら分岐している様子が見られた。一方、密度 27.77 シグマの深層では日本海溝に沿って海底が浅い方を右手に見る流れが顕著であった。この流れは水深が浅くなると共に次第に時計回りに方向を変え表層・中層では海溝を斜めに横切る。また表層・中層で親潮の分岐が起きている場所は深層に高気圧性の循環が存在する場所に対応する様に見えた。

(4) 西岸境界流の続流の深層に存在する再循環の形成メカニズムについて数値実験による考察を行った。再循環の形成についてはロスビー波の放射によって極向きの渦位輸送が生じることが重要であるという Haidvogel and Rhines (1983) の研究と、反対に渦によって赤道向きの渦位輸送が生じることが重要であるとする Rhine and Young (1982) の研究がある。流入流出型の境界条件を与えた数値実験の結果、表層においてロスビー波の放射による極向きの渦位輸送は続流と内部領域の流れの互いに渦位の異なる流れの接続に寄与し、循環の維持に重要な役割を果たすことが示された。一方、深層では赤道向きの渦位輸送が存在した。再循環の渦位収支を診断的に見積もった所、平均流と渦による層厚輸送 u^* の収束に伴う渦柱伸縮と平均渦度（惑星渦度と平均流の相対渦度の和）の移流が釣り合っていた。

(5) 近年、全球海洋の中深層には東向きと西向きの流れが交互に東西に細長く伸びた縞状に存在ことが指摘されている。この東西縞状構造の形成機構に関する研究のレビューと考察を行った。数値モデルによると東西縞状構造は中規模渦を解像する高解像度のモデルにのみ見られる。このことから地衡流乱流における Rhine 効果との関係が指摘されることがあるが十分な理解は得られていない。一方、衛星海面高度計のデータの解析から高気圧性と低気圧性の中規模渦の数には緯度によって偏りがあることが知られている。東西縞状構造はこれらの渦が西進しているものを時間的に平均した時に現れる統計操作上の産物であるとの説がある。しかしなぜその様な渦の符号の偏りがあるかは分かっていない。大気や惑星大気では渦位の分布が東西一様な階段状の構造をとることが知られているが、海洋の数値シミュレーションではこの様な渦位の階段構造は確認されていない。その原因は今後調べる必要がある。

(6) 海洋学、気象学の基本概念の一つである傾圧不安定を直感的に理解するために従来いくつか図解的な説明がされてきたが、例えば擾乱の安定性がなぜ水平スケールに依存するかといったことは十分説明出来ていない。そこで傾圧不安定の本質を表すなるべく簡単な方程式を導出した。二層の浅水波方程式を鉛直モードに展開すると水路中の擾乱の支配方程式を非常に単純な形で書き表すことが出来る。形が単純であることからこの方程式が不安定な解を持つこと、すなわち傾圧不安定が存在することや、不安定な擾乱のスケールは内部変形半径よりも大きいことが直ちに導かれる。不安定は境界面の傾斜によって生じ、擾乱はこの傾斜を弱めることなど傾圧不安定の基本的性質も最低限の式変形によって導かれる。

水産資源量調査用グライダー型海中ビークルの開発

九州大学大学院工学研究院 山口 悟

1. 研究の目的

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水産食料資源問題が注目されており、「獲る漁業」から「つくり育てる漁業」への変遷を目指して、養殖漁業や人工漁礁の設置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、施設周辺の海洋環境を調査することは不可欠であり、調査には様々な方法が用いられている。一方で、近年開発が活発化しているグライダー型水中ビークルは省エネルギー性や静粛性に優れており、海洋環境の長時間の観測に適していると考えられる。そこで本研究では、グライダー型水中ビークルを水産資源量調査に用いることを考え、直進航行における縦運動の安定性と旋回運動の特性についての調査を実施し、機体の運動性能の向上を試みた。

2. グライダー型海中ビークルの概要

水産資源量調査の対象となる海域は潮流や湧昇流などの流れが存在し、機体の運動に大きな影響を及ぼすことが想定される。また、海藻類や漁網、鋼やコンクリート製の人工魚礁が機体に接触し、運転の障害となることも考えられる。このような環境下での使用を想定して計画された、海中ビークル機体の写真を図1に、機体の耐圧殻内部に設置された浮力調節装置を図2に、機体の主要目を表1に示す。



図1 グライダー型海中ビークル機体

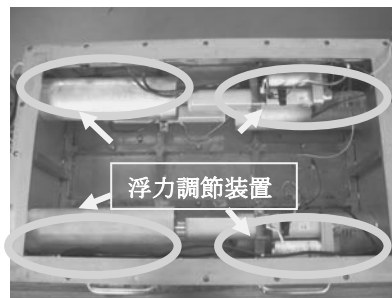


図2 浮力調節装置

表1 機体主要目

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

3. 直進滑空試験と旋回試験

直進滑空時の縦運動安定性及び旋回運動の特性を調査するため、直進滑空試験と旋回試験を応用力学研究所の深海機器力学実験水槽において実施した。実験では慣性センサを機体に搭載し、3軸加速度と各軸周りの角速度を計測した。直進滑空試験の結果、図3に赤線で示すように、水中に投入後の機体のピッチ角は減衰振動を伴いながら一定の角度に収束して行くことが確認された。また、旋回試験の結果、機体浮力中心の横移動により機体のロール角が一定値で釣り合うと共に、機体にヨーモーメントが発生することが確認された。実験におけるヨー角の時刻歴を図4に示す。

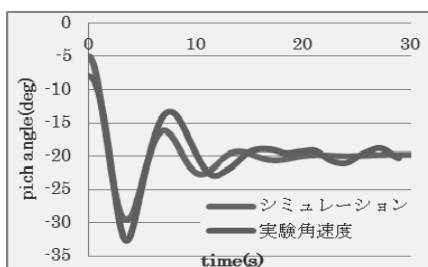


図3 直進滑空におけるピッチ角変動

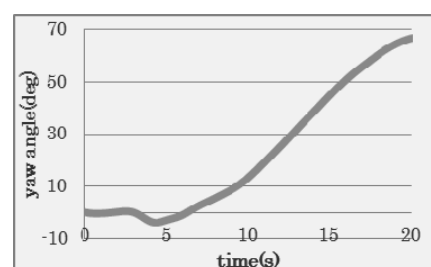


図4 旋回時のヨー角

4. 機体運動のシミュレーション計算

実験で得られたピッチ角の時刻歴を2次の減衰振動系で近似し、機体の縦運動に関する流体力微係数の推定を行った。また、その他の流体力微係数は静的な流体力試験結果と推定式により算出した。得られた流体力微係数を用いた縦運動のシミュレーション計算結果を図3に青線で示す。また、旋回運動のシミュレーション計算を行った結果、実験と同様に正のロール角で右旋回を行うことが確認された。

従来の機体は浮力調節装置の操作による浮心位置、重心位置の変化量が小さく滑空時のピッチ角の制御幅が小さいため、潜降を基準として機体のバラストを調節した場合、浮上時においては安定した滑空状態を保つことが困難となる。この問題を解決するために、後方の2台の浮力調節装置に機体重量の2.5%に当たる重錘を付加することでピッチ角制御幅を増大することを試み、その効果をシミュレーション計算により確認した。改良前後の状態を比較して、機体の縦運動のシミュレーション計算によるピッチ角の時刻歴を図5に示す。青線で示す従来の機体では、浮上時にピッチ角が次第に減少し滑空状態を保つことが出来ないが、改良により赤線で示すように浮上時にも安定した滑空が可能になることが確認できた。これにより、様々な調査海域において、より自由度の高い運動が可能になることが期待できる。

次に、改良機体による潜降・浮上時の旋回運動のシミュレーション計算を実施した。計算において機体は、潜降時は浮心を左舷方向に0.68(mm)移動させ右旋回を行う。潜降開始から1000秒後に浮上を開始するが、潜降時と同じく浮心を左舷方向に0.67(mm)移動する場合(条件①)と、これとは反対に右舷方向に0.67(mm)移動する場合(条件②)について計算を実施した。図6は条件①の場合の機体中心の軌跡、図7は条件②の場合の軌跡である。両条件において浮上時のロール方向が異なるが、機体は安定した滑空状態を保っていることが確認された。

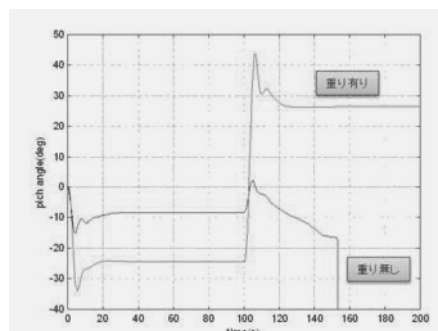


図5 ピッチ角時刻歴

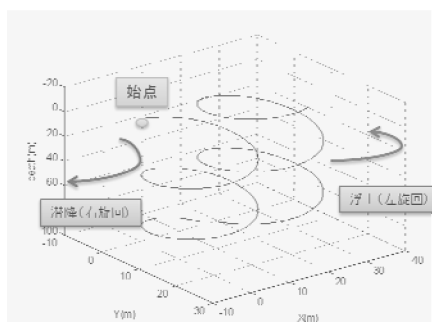


図6 機体中心軌跡 (条件①)

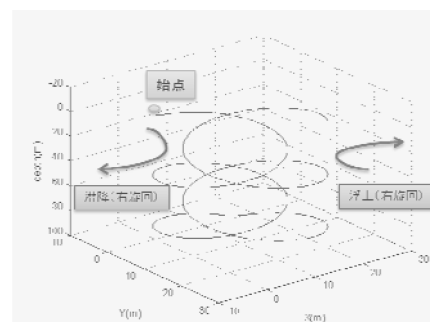


図7 機体中心軌跡 (条件②)

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直進滑空時の安定性を調査するために水槽試験を実施し、その滑空安定性を確認した。また、旋回運動の特性を調査するために旋回試験を行い、試験結果とシミュレーション結果を比較、検討することにより旋回運動のメカニズムを明らかにした。さらに、機体の滑空安定性の向上を目指した改良案の有効性を、シミュレーション計算により確認した。

自律型無人探査機によるセンサ曳航の最適形態に関する研究

独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター

海洋技術開発部

百留 忠洋

研究目的：

自律型無人探査機の普及に伴い、探査機単体だけでなくセンサ等を曳航するような使用法が考えられている。探査機による曳航はこれまでにない新しい使用方であるため、どのような力が働いて、機体がどのような挙動をするのか解析がなされていない、そこで機体に働く流体力や曳航体、アクチュエーターが発生する流体力を試作模型による水槽試験で計測し、機体設計や最適な曳航形態を構築するためにフィードバックする。

方法：

実験に供したビークルを図1に示す。全長 2.5m、全幅 1m、空中重量 150kg である。このビークルを製作するための模型による機体形状の検討をするための実験と、実機の運動特性試験を実施した。模型による試験では、運動の安定性と方向制御性能を決めるための流体力特性を計測した。この流体力を基にシミュレータを構築し、運動性能をシミュレートして翼の形状を選択した。この結果、図1のような翼を採用した。実機試験では、静止した状態で機体の重心位置を制御することで、ピッチ運動とロール運動を制御出来ることを確認した。その1例を図2に示す。

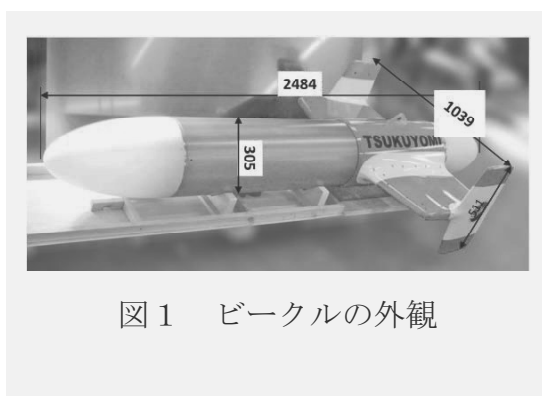


図1 ビークルの外観

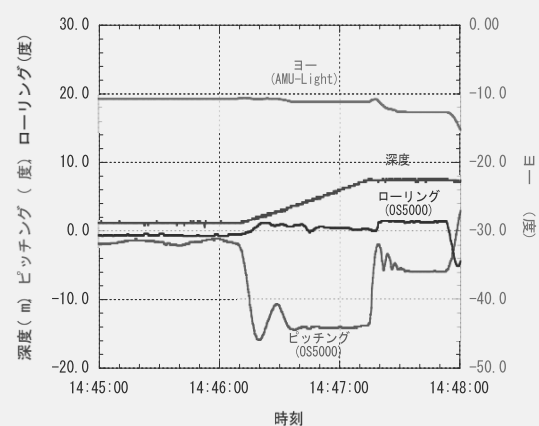


図2 水槽実験の測定データの一例

対馬海峡近海の海面流速場の季節・経年変動に関する研究

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

対馬海峡通過後の対馬暖流の流路については、長年研究が続けられているにも関わらず未だ議論が続いている。これは、対馬暖流の流路変動が大きいこともあるが、日本海南西部では潮流の流速が対馬暖流のそれと同程度あるため、スナップショットの観測では対馬暖流の流路を決定できないためである。我々は 2010 年度の本共同研究により、人工衛星海面高度計データと漂流ブイデータから日本海南西部の平均海面流速場を計算し、それと海面高度計データから計算された海面流速場の時間変動成分を合成することで 1995 年～2010 年までの 7 日毎の海面流速場データセットを作成し対馬暖流流路の季節変化を明らかにした。今年度は、このデータセットを使い、対馬暖流流路の変動特性について解析する。

2. 参加者

森本 昭彦	(名古屋大学 地球水循環研究センター)
伊藤 雅	(名古屋大学大学院 環境学研究科)
柳 哲雄	(九州大学 応用力学研究所)

3. 研究成果の概要

3-1. 日本海南西部の海面高度場の変動特性

人工衛星海面高度計と漂流ブイデータから計算した日本海南西部の平均海面流速場データから、解析範囲の北東端（北緯 40 度、東経 135 度）を基準として海面高度を計算し、海面高度計データと合成することで海面高度時系列データを作成した。海面高度計データの海面変動で最も卓越するのは海水の熱膨張に伴う水位変動のため、年周期の変動を取り除いた後に時間および空間に対する EOF 解析を行い日本海南西部の海面高度場の変動特性の把握を行った。

対象海域の海面高度空間平均からの偏差に対して行った EOF 解析（空間 EOF）と各グリッドでの海面高度時間平均からの偏差に対して行った EOF 解析（時間 EOF）それぞれの、第一モードを図 1, 2 に示す。全変動に対するそれぞれの寄与率は 15%と 11%であった。両者を比べると詳細な空間構造や時定数の変化は異なるものの、韓国東岸に大きな負の偏差、北緯 37 度、東経 131.5 度に正の偏差、北緯 37 度、東経 134.5 度に負の偏差があり、このような空間パターンが経年的に変化しているという共通点がみられる。このことは、日本海南西部において上記のような空間パターンを伴った海面高度変化が卓越することを示している。空間分布で正負の大きな振幅を持つ場所は、海面高度の Root Mean Square (RMS)が大きい場所と一致し、過去の研究との比較から冷・暖水渦が頻繁に見られる場所であることが分かった。

3-2. 日本海南西部の渦の特徴

EOF 解析で振幅が大きな海域を西から①、②、③とし（図 1）、それぞれの海域で見られる渦の寿命や移動を調べるためラグ相関解析を行った。

①の渦は平均寿命 4 ヶ月で、過去の研究で多くの報告があるウルルン暖水渦もしくは冷水渦に対応していた。②の渦は平均寿命 2 ヶ月、竹島冷水渦 (Michell et al., 2005 では Dok Cold Eddy) に対応していると考えられた。③の渦は平均寿命 4 ヶ月、Kurita et al. (1999)や Watanabe et al. (2009)において渦が頻繁に発生するとされている海域であり、これらの渦の特徴を示していると考えられた。

3-3 日本海南西部の対馬暖流の変化

EOF 解析を行う前に除去した海面高度の年周期成分の空間分布をみると、時間平均海面高度場とほぼ一致していた。つまり、この海域で最も卓越するのは、対馬暖流が3つの分枝に分かれそれらの流れの強さが季節変化する現象である。一方、この平均的な成分以外の変動では本研究で示したように3つの渦構造をもつ分布が卓越する。平均場とこの EOF 解析の結果を併せて対馬暖流の流路を考えると、①の渦が冷・暖水渦になることで朝鮮半島に沿って北上する対馬暖流第三分枝 (東韓暖流) の流路が大きく変化することがわかる。図1の時定数をみると、細かい変動をしながら、比較的長い時間正負の値が維持されている。したがって、第三分枝は経年的にその流路を変えていることがわかる。③の渦が冷水渦もしくは暖水渦になることで、日本列島に沿って流れていた対馬暖流が岸もしくは沖側へシフトする。これらについても経年変化することがわかる。

本研究では、日本海南西海域において3つの渦が分布する空間パターンが卓越すること、そしてそれらが対馬暖流の流路を比較的長い時間スケールをもって変えていることが示せた。しかし、なぜ3つの渦が連動するのか、また何が変化の時間スケールを決めているのかは分からない。今後は、これらの渦の生成・消滅要因に注目した研究を進めて行く予定である。

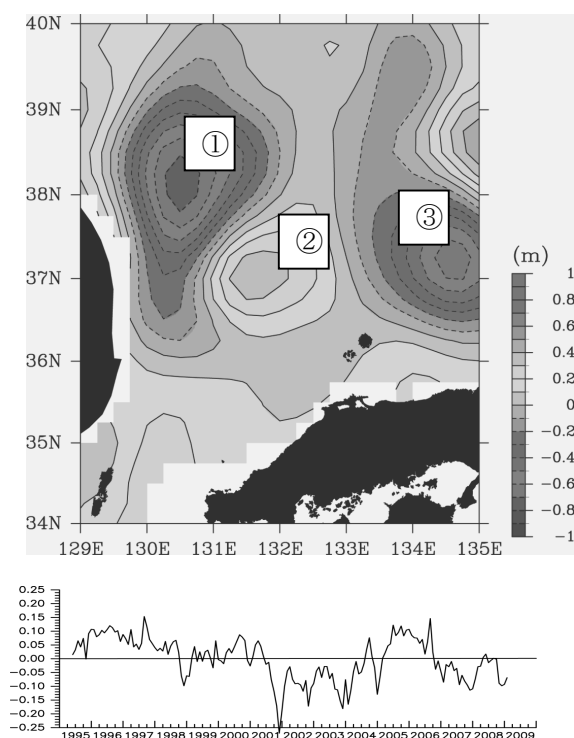


図1. 空間 EOF の空間分布と時定数

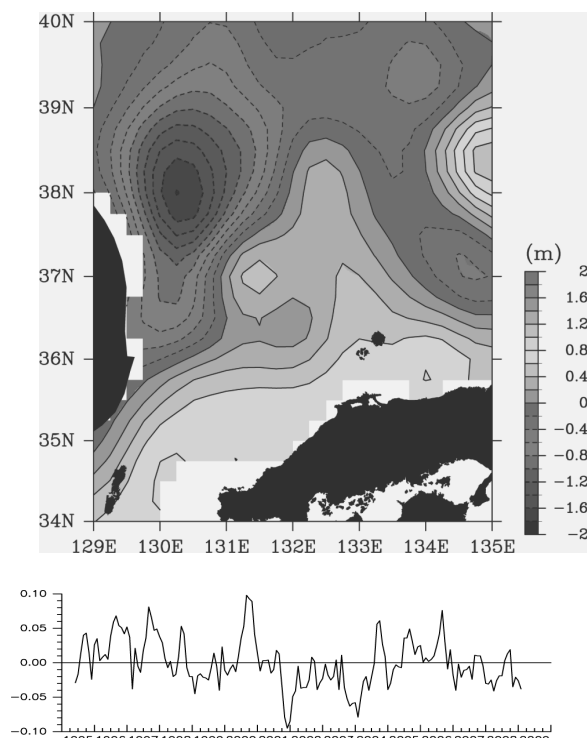


図2. 時間 EOF の空間分布と時定数

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、中期三畳紀から後期白亜紀にかけて生息していた爬虫類の一分類群で、その体は細長い胴体と鰭状の四肢が特徴である。長頸竜類が水棲動物であったことに疑いはなく、四肢を水中翼として用い、羽ばたいたり水中滑空したりしたと考えられる。長頸竜類の各種の体形の違いは主に頸と頭が占める長さで特徴付けられ、さらに頸が短いものほど頭が長いという傾向がある。

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。過年度までの研究では、頸が長いタイプ（以下 L 型）についての性能評価を行ってきた。本年度の研究では頸が短いタイプ（以下 S 型）についての評価を行い、これらを比較した。

手法

長頸竜の体形を模したソリッドモデルを曳航し、それに作用する力とモーメントを測定した。模型の速度（Fig. 1）や胴体に対する翼の取り付け角を変更し、測定された力とモーメントの 6 成分から、流体力係数を求めた。また、圧力中心と重心の相対位置から静安定性を評価した。

曳航模型は、長頸竜を水中グライダーとして復元したもので、細長い回転体の胴体と、その下側に取り付けられた前後 2 組のテーパー翼から構成される。いずれの翼も対称翼で、1/4 翼弦線を軸に取り付け角を変更できるようにした。曳航体の形状は、*Brachauchenius lucasi* の骨格の寸法に基づき、縮尺を 1/5 として設計した。先行研究で用いた L 型の模型とは、頸部および翼以外が同じ寸法（Fig. 2）となる。

模型は完全に水没させ、胴体直径の 3 倍の深さを曳航した。曳航速度は現生脊椎動物の遊泳速度を参考に 0.5~1.0 m/s とした。胴体の長さ基準とした Froude 数は、0.148~0.296 である。

結果

翼を機体軸と平行に保ったままトリム角（Fig. 1）のみを与えて曳航する試験を行った。失速角は機首上げ 9 度および機首下げ 9 度であり、その間で無次元化揚力はトリム角に比例した。測定された縦方向の力とモーメントから圧力中心を求めたところ、浮心（体積中心）の前方に位置した（Fig. 2）。

同様に、斜航角（Fig. 1）のみを与えて曳航する試験を行った。速度方向に対し頭を右に向けるとき右向きの揚力が生じ、圧力中心は浮心の前方に位置した（Fig. 2）。同時に、右翼を上げる向きのロールモーメントも生じた。

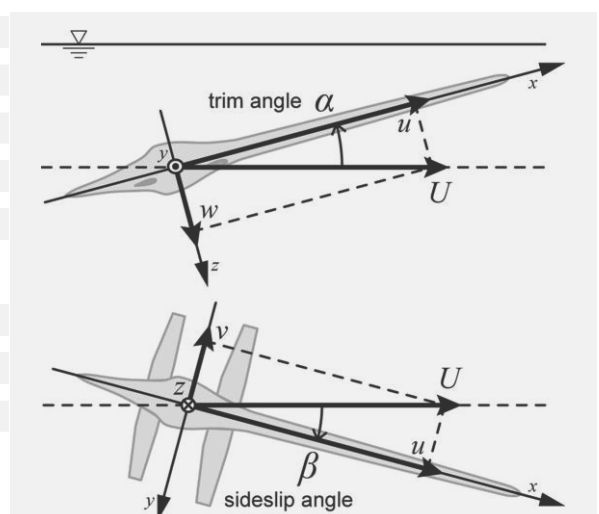


Fig. 1 Definition of trim angle and sideslip angle

考察

本実験で用いた模型は実際の長頸竜の臓器の配置や密度まで再現したものではないが、その重心と浮心の位置はほぼ一致していたと予想される。この仮定のもとで、S型の模型は縦方向および横方向の運動それぞれに関し不安定である。過年度の研究によれば、L型の模型は縦方向に関し静安定、横方向に関し不安定であり (Fig. 2), その運動性に明らかな違いが認められる。

巨大な頭部や頸部は重心位置を決める重要な因子であり、それによって重心と翼との相対位置が異なる。いずれの模型においても後翼は重心より後方に位置して安定化に寄与するが、L型では前翼は重心の前方にあって安定化に、S型では後方にあって不安定化に寄与する。2つの模型では前後の翼面積が異なり、L型では前翼の方が大きいのにに対しS型では後翼の方が大きく、従来からこの翼面積の違いも安定性に影響すると考えられてきた。本実験の結果から運動性を決める要因としては頸の長さの影響の方が強いことが分かった。

各タイプの長頸竜の運動性が互いに異なっていたことは、それぞれが異なる生態学的地位に収まっていたことを示唆する。運動性の高いS型が、機敏に動きまわる獲物を追うことに長けていたことは容易に想像できる。一方、安定性の高いL型の長頸竜は、比較的長い距離を一定して移動する行動が多かったことが考えられる。たとえば、L型の長頸竜化石には底生動物を食べたという直接的および間接的な痕跡が認められる。このことから、L型の長頸竜には、現生の脊椎動物と同様に海面と海底との間を滑空して往復する行動が予想され、彼らの長い首はそれを効率良く実現したものとして解釈することができる。

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)

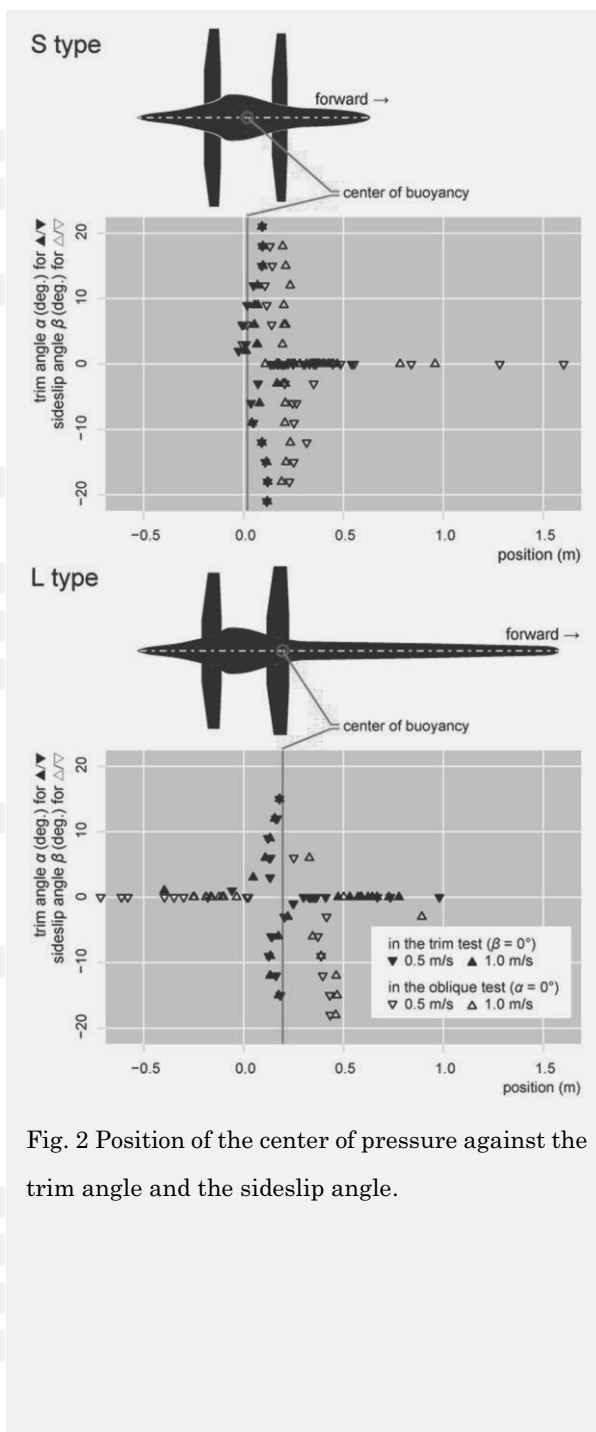


Fig. 2 Position of the center of pressure against the trim angle and the sideslip angle.

多用途型コンパクト水中ロボットに関する研究

1. 目的

近年の地球温暖化の影響は陸上のみならず、海中でも顕著に現れており、環境悪化が一段と進んでいる。閉鎖性海域では夏期になると赤潮や青潮が多発して底生生物に深刻な被害が発生している。一方、地球科学や地下水文学の分野では、水中洞窟の形状や地下水系が学術対象として重要である。洞窟の内壁形状や内部の情報を得るには、人間が自ら赴かなければならないが、自然光や空気、緊急避難場所がない。その解決策として、専用の小型水中ロボットによる探査が考えられるが、視界低下は深刻であり、スラスタによる水流の影響は大きく、複数スラスタを搭載した従来型水中ロボットは使用できない。本研究では、海洋、河川のみならず水中洞窟のような特殊環境に対応可能な小型、コンパクトで多用途向き水中ロボットの開発をめざした。具体的には以下の内容について研究に取り組んだ。

- (1) チルト機構の改善による潜航・浮上速度の改善と航行評価実験を行う。
- (2) 水中スラスタのカップリング部磁界による搭載電子機器への影響防止を検討する。
- (3) ソナーハードウェアシステムを開発する。
- (4) ロボットの航行状況を高精度でグラフィック表示できるコントローラソフトウェアの改善を行う。
- (5) コンパス等を用いた自動制御プログラムの試作

以上の内容についてロボットシステムの開発・改善後、本校大型無響水槽、貴学深海機器力学実験水槽、大村湾、津水湾で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

海洋環境、水産資源、水中洞窟を対象としたため、筐体は透明アクリル製で設計・製作した。更に、海底付近の航行時には底質を巻上げてしまうと視界不良になり調査できなくなるので、本ロボットでは2個の推進用水平スラスタとチルト機構を組み合わせることで3次元の航行ができるように工夫した。その外観写真を図1に示す。カメラは前、後、下の3箇所に取り付け、電子コンパス、深度センサ、今年度新規に開発した4

佐世保工業高等専門学校電気電子工学科 長嶋 豊

チャンネルソナーを搭載した。本ロボットは基本的には遠隔操縦型(ROV)として図2のようなシステム構成とした。ROV制御系、ROV航行データ系及び映像系の3系統同軸ケーブルを用いて信号伝送を行った。操縦者は映像とセンサデータを見ながらコントロールできるように、制御基板を設計・製作した。それに伴ってパソコンを用いた多機能コントローラを改善し、スラスタのPWM制御等きめの細かい操縦と各種情報をグラフィカルに表示できるように工夫し、使い勝手を向上させた。

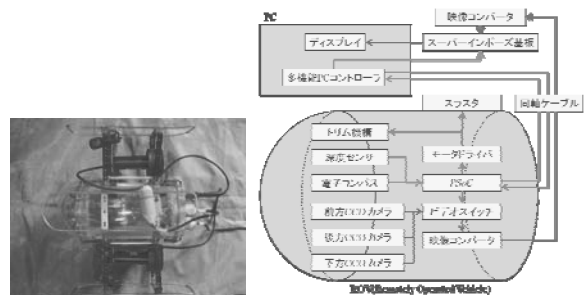


図1 外観写真

図2 システム構成図

3. 実験結果及び考察

(1) チルト機構の改善と性能評価

潜航・浮上用スラスタを搭載する代わりに、チルト機構が必要であるが、昨年開発したステッピングモータ直結式ボールネジと錘の構成方式では、機能的には十分であったが、リードが2mmと細かい仕様のもを使用していたために、潜航・浮上に時間がかかりすぎていた。それを改善するために、今年度は5mmリードの製品を使用して大幅な速度向上が実現した。

(2) 水中スラスタカップリング部の磁界影響防止

昨年度使用したツカサ電工製水中スラスタは、内部モータと外部プロペラをつなぐ磁気カップリング部が強磁界のために電子コンパス等の搭載電子機器に悪影響を与えていた。そこで、今年度は新たに Seabotex 製の 110W スラスタに交換した。磁気の影響もなく、高出力なために、約 1.2 ノットの速度向上が実現した。

(3) 4チャンネルソナーハードウェアの開発

安全航行、周囲の障害物確認及び水中洞窟内の概形調査のため今年度は新たに 4ch ソナーを導入した。図3にハードウェア写真と、図4に回路ブロックを示す。障害物までの測距ソフトウェアを作成して深海機器力

学実験水槽での測距実験結果を図5に示す。実測値にほぼ等しい結果が得られたが、測定距離が少し短い傾向があるので細かい調整を今後行う予定である。



図3 4チャンネルソナー取付図と送受波器

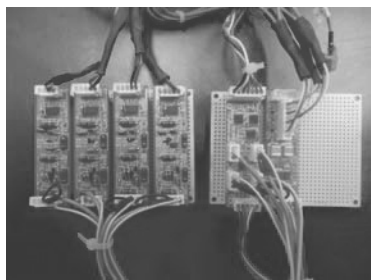


図4 4チャンネルソナー回路ブロック

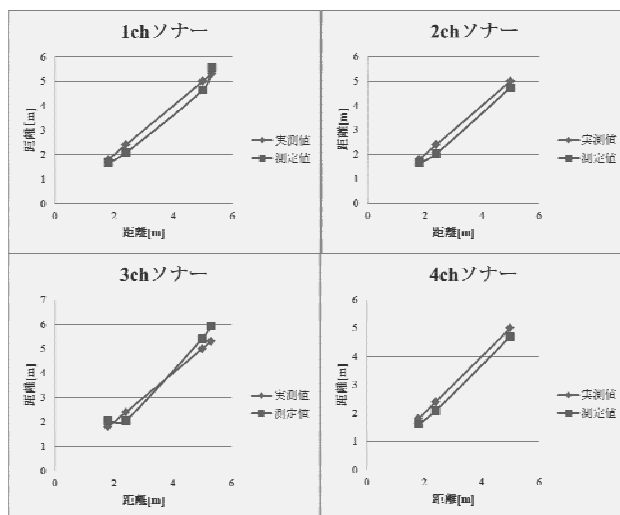


図5 4チャンネル測距結果

(4) 水中ロボット航行軌跡の高精度グラフィック表示

昨年度開発したパソコンを用いた多機能コントローラについて、操縦者の緊張を少しでも和らげることをめざして GUI 画面と機能を改善した。調査対象の全体的な表示をグラフィック的に行うと同時に、リアルタイムで各種データの確認ができる画面配置とした。図6に改善後の多機能コントローラ画面を示す。

(5) コンパス等を用いた自動制御プログラムの試作

広範囲の浅海域調査を行う場合、運用者の長時間ロボット操縦の負担軽減を図る必要がある。コンパスを用いた比例制御(P)実験を試みた。初期方位を50度、目標方位を

180度とし、比例ゲイン K_p を1～3まで変化させた場合の応答変化を図7に示す。スラストのPWM駆動による制御量の飽和が影響していたので、今後改善しPID制御を検討したい。

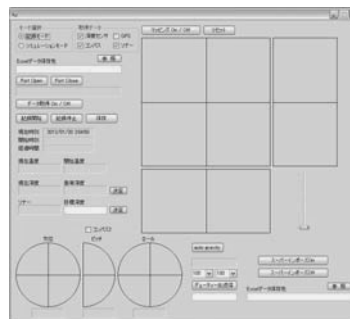


図6 多機能コントローラ画面

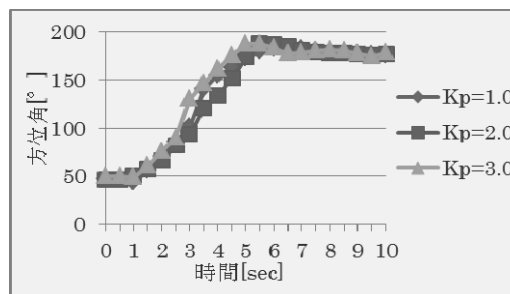


図7 コンパスによる方位自動制御結果

4. 結 論

本年度はスラストや多機能コントローラの改善、新たに4チャンネルソナーのハードウェアを実現した。海洋のみならず、水中洞窟など多用途に適用可能な水中ロボットの開発を進めることができた。今後の課題として、4チャンネルソナーを活用した高精度測距、形状計測システムの開発、PID 制御、無線操縦による負担軽減策の検討等が挙げられる。

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、更に、水槽実験では稲田勝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特任教授
- ・研究協力者：下尾浩正，同校電気電子工学科助教
- ・同上：山口拓朗，佐世保高専専攻科2年
- ・同上：柴田裕貴，佐世保高専電気電子工学科5年
- ・同上：三宅飛翔，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

フェリーニューカメラを利用した対馬海峡のクロロフィル変動に関する研究 No.3

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になる可能性がある。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を中心として、その変動要因について明らかにする。

方法

前年度まではクロロフィル蛍光データのみを解析対象としていたが、今年度は水温と塩分のデータの解析にも取り組む。最新の計測データの補正作業が遅れているため、解析期間は、2005年から2008年までの4年間とする。ただし、塩分データについては生物活動等の影響により、バイアス誤差が生じているため、検定値をもとに、重回帰分析により補正したデータを用いる。

本解析では、観測ラインを46区間に分け（水平解像度 3.7km）、全期間にわたる平均を求めて、どの位置、どの時間に大きく変動しているかを解析する。また、スペクトル解析を行い、周波数依存性を調査する。

最後に、対馬海峡表層塩分の低下要因を明らかにするべく、東アジア域における月平均降水量(JRA25)と対馬海峡両水道における塩分変化の相関関係を調査した。

結果・考察

まず、2005年から2008年にわたる夏季と冬季の平均水温とADCPで計測された流速の平均値を比較した（図1）。西水道において、夏季は、水温のピークが流速のピークとほぼ一致し、対馬暖流に伴う移流の効果が強いと考えられる。一方、冬季では、流速のピークが水平温度勾配の大きい所に位置する傾向があり、地衡流平衡の関係を示唆する。一方、東水道では、年間を通して地衡流平衡が強い傾向にあった。

また、スペクトル解析を行った結果、どの地点においても年周期変化が卓越し、経年変化や季節変化は相対的に小さかった（図2）。10日以内の短周期変化をみると、東水道よりも西水道の方が強い変動をしていた。韓国沿岸（北緯35度以北）での対馬暖流の短周期変動の影響だと考えられる。

4年間平均した塩分の経月変化においては、どの月も韓国沿岸で塩分が低下しており、特に秋季（9月から11月）は著しい塩分勾配が認められた。これらはSenjyu et al. (2006)が示した、東シナ海からの低塩分水、特に長江に代表される陸水の影響が西水道に及びやすいという結果と整合的である。また、2月から4月は34.6という高塩分で、九州西方の暖流に伴う移流効果を示唆している。

水温と同様に、パワースペクトルを調べた所、年周期変化、経年変化、季節内変化の順に変動が卓越していたが、これらはいずれも博多湾側よりも韓国沿岸の方が強い結果となった（図3）。これは塩分変化が水温変化に比べて、正弦的な変化をしていないために生じた、いわばみかけの

変動だと考えられる。

最後に、東アジア域月平均降水量と対馬海峡西水道における塩分変化とのラグ相関解析の結果、東シナ海域の降水が、およそ 1 ヶ月で対馬海峡の塩分低下をもたらし（図 4）、2 ヶ月ラグの相関は弱かった。長江流量だけでなく、海上降水量も、対馬海峡表層の塩分変化に影響を与えていることが示唆される。

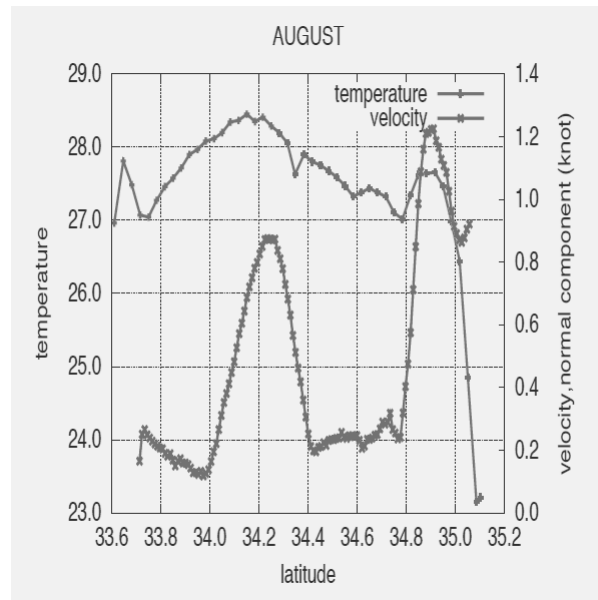


図 1. 8 月の平均水温及び流速の比較図. 横軸は緯度, 縦軸 (左) は水温, 縦軸 (右) は流速 (観測ラインに直交する成分) を表す.

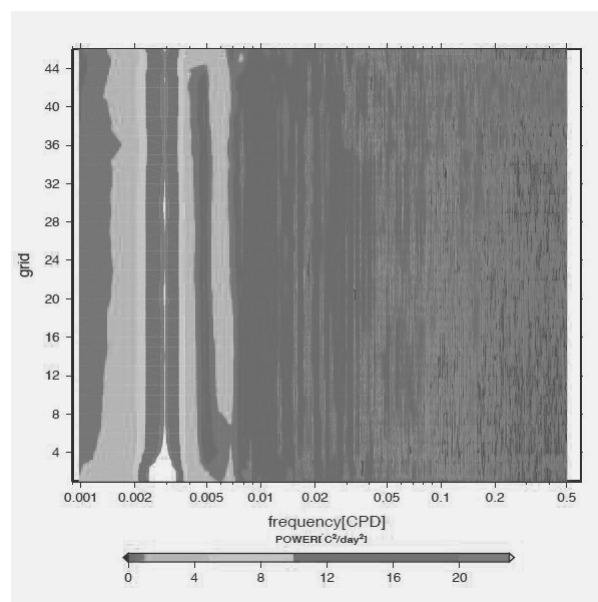


図 2. 水温のパワースペクトル (分散保存型). 横軸は周波数 [CPD], 縦軸は南北グリッド, カラースケール (対数形式) はパワー [$^{\circ}\text{C}^2\text{day}^{-2}$] を表す.

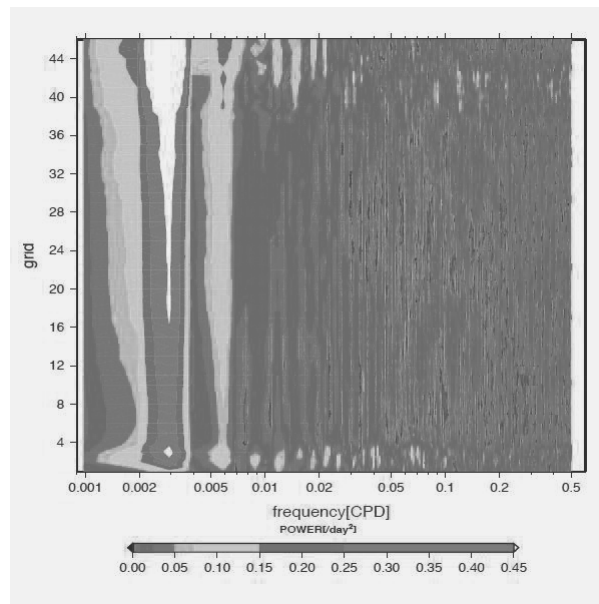


図3．塩分のパワースペクトル（分散保存型）．

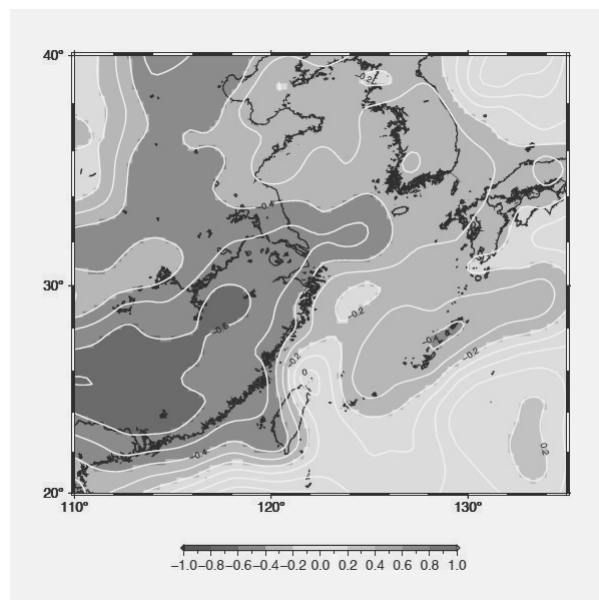


図4．東アジア域における月平均降水量と対馬海峡西水道の塩分変化の1ヵ月ラグ

化学トレーサーを用いた日本海水塊構造と深層循環

富山大学大学院理工学研究科 張 勁

目 的

世界の海洋における動態や循環のメカニズム、大気と海洋の相互作用を解明するためには、世界の海洋大循環と同様の動態を持つ日本海が格好のフィールドである。我々は、日本海における水塊構造解明や、深層海洋循環の駆動力と考えられている沈み込み水について研究を行ってきた。特に、溶存酸素・希土類元素などの濃度を用い日本海の広域においてマッピングを行い、沈み込み水量の推定を行った。一方、希土類元素濃度等の複合型化学トレーサーは水塊を特徴づける有用性が高く、敏感に水塊区分ができる反面、短時間・広範囲調査による議論への展開には不向きであり、時空間的变化を捉える観測にも応用が難しい。

本研究課題の遂行には、物理データとリンクさせて解析する必要性から、日本海の海洋物理構造に関する研究を精力的に行い、豊富な経験をもつ九州大学応用力学研究所との共同研究を実施した。

研究方法の詳細

1. 日本海の海水試料採取とその化学分析
 - a) 日本海において海水試料の採取を行い、塩分・栄養塩等ルーチン分析を行う。
 - b) 酸素同位体比及び溶存態希土類元素の濃度を測定する
2. 日本海における詳細な水塊解析とその変動の解明
 - a) 化学分析データから、日本海の水塊構造と表層起源水の混合状況を把握し、移流水の流入経路も考察する
 - b) 化学分析データに、流速計から得られたデータと組み合わせ、より詳細な水塊解析とその変動解明を行う。

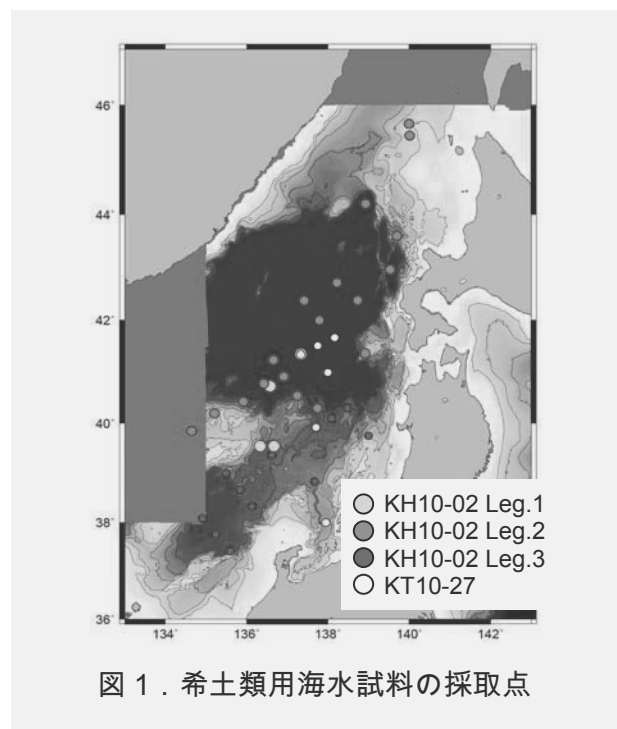


図 1 . 希土類用海水試料の採取点

結果及び考察

本年度は、白鳳丸 KH-10-2 次航海、淡青丸 KT-10-27 次と KT-11-19 次航海の観測データに合わせ、溶存酸素・溶存希土類元素の濃度、日本海東部海域の深層循環および水塊構造の詳細解析を試みた。

KH-10-2 の CTDO 観測(64 測点)より、東部日本海全域における DO のマッピングを行った。海水は、等密度面に沿って移流しやすいことから、 $\sigma_t = 27.20$ 以上の等密度面上での DO 分布図を作成した。その結果、日本海盆では DO 濃度が高く(最大約 $321\mu\text{M}$)、大和海盆で小さくなる(最小約 $200\mu\text{M}$)

ことがわかった。これより、大和海盆深層の DO は、日本海盆から供給されていると考えられた。日本海盆東部において、観測点 CR55 と St.A の水深 200~1000m で DO 極大層を確認した。両観測点の希土類元素濃度をオーストラリア平均頁岩 (PAAS) で規格化したパターン(図2)が類似していることから、同一起源の海水と考えられた。軽希土類元素の1つである Ce は、海水中の粒子へ吸着、除去されることにより、本来海水に含まれる濃度よりも小さくなる負異常(*Ce:Anomaly)が生じる。この*Ce から、海水中の粒子の影響評価することができる。*Ce は、一般的に表層水で最も小さく、水深が深くなるにつれて(滞留時間が長い)大きくなる。DO 極大層の海水は、*Ce が小さく、表層水と類似した値であることから、日本海北部海域で沈み込んだ表層水が起源であると示唆される。深層水形成域付近における表層水、および比較対象海水近傍の酸素極大を示さない海域における同密度の海水の希土類元素パターンを用いて、各水塊の表層水起源割合を算出した。その結果、CR55、St.A の起源は、それぞれ最大 46%、41%が表層水起源であることがわかった。同様に、他の観測点における水塊の表層水起源割合を算出した。また、St.A の観測は CR55 の約5カ月後に行われた。両水塊が同一起源をもつことから、CR55 から St.A へ日本海盆外縁に沿って 1.6~1.8cm/s の速さで移動したと推算できる。表層水起源割合が大きい観測点が流入経路上にあると考え、DO 水平分布図へ起源割合を記載し、日本海深層海水循環の移流経路図を作成した(図 3)。

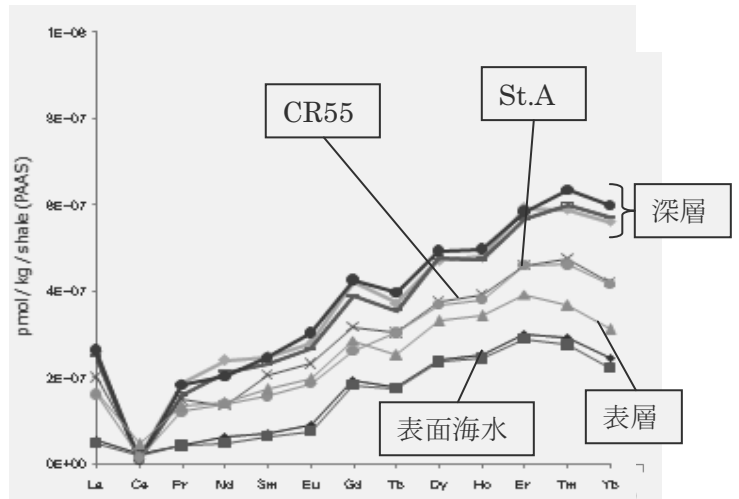


図 2 .頁岩で規格した日本海試料海水の希土類パターン

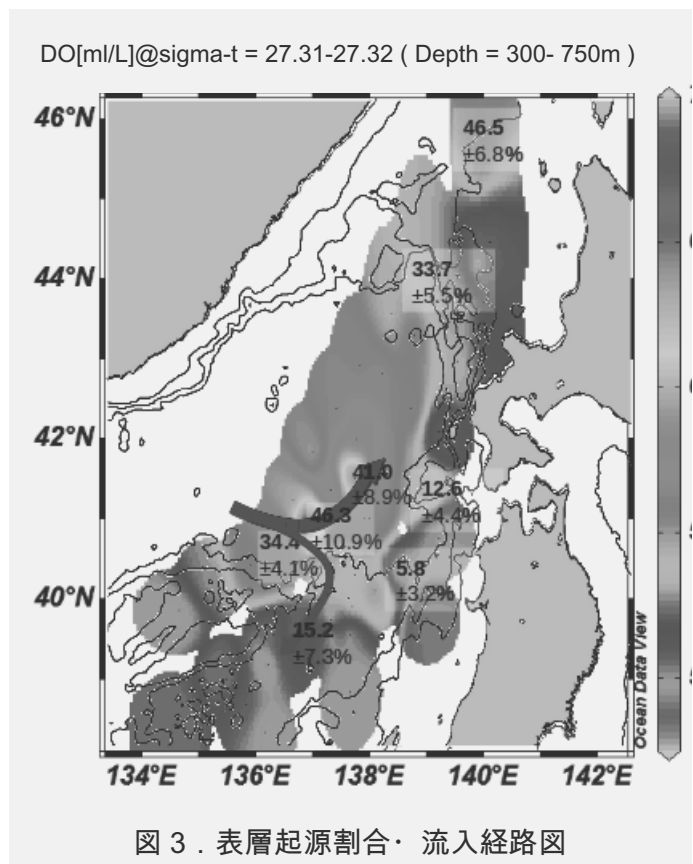


図 3 . 表層起源割合・流入経路図

成果報告

佐々木俊次, 張勁, 千手智晴, 松野健, 溶存酸素・希土類元素分布からみる日本海海水循環と水塊構造の詳細, 2011 年秋季日本海洋学会, 9月, 福岡

佐々木俊次, 張勁, 千手智晴, 松野健, 溶存酸素・希土類元素分布からみる日本海海水循環と水塊構造の詳細, 2012 年 GEOTRACES シンポジウム, 3月, 千葉

地形上を伝播する非線形内部波の平面 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り、更に、底面地形が空間的に変化している場合の内部波の非線形挙動に関しては、未解明な点が多い。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、底面地形の影響を受けながら伝播する表面波及び内部波の 1 次元、または、2 次元の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。本年度は、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、または、2 次元の挙動に関して研究する。

研究の方法

具体的には、reef や bump 等を含む地形上を進行する表面波及び内部波や、平面 2 次元場で相互干渉する内部波等を対象とし、次の各事項を目的として研究を進める。

- (1) 初期値に解析解を用いることができない有限振幅の場合に対して、柿沼の方法に沿った形に及川が書き直した孤立波の 3 次理論解を 2 次元波動場で与えられるようにする。
- (2) 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。
- (3) 各種底面地形と、表面波・内部波の挙動との関係について、数値解析を通して調べる。その際に、表面波・内部波の波形と流速の変化を追跡し、波の非線形性及び分散性に依存する伝播特性を明らかにする。また、複数の内部波の交差に関して、数値実験を行なう。
- (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簡単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、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。
- (3) 薄板状浮体構造物と 1 層、または、2 層の流体との相互干渉問題に対して本数値モデルを適用し、速度ポテンシャルの展開項数を 2 以上とすることによって、既存の実験値を高い精度で再現できることを確認した。また、薄板状浮体構造物上に飛行機が着陸するときのような点荷重の移動に伴い生成される表面波及び内部波の特性を調べ、点荷重の移動速度が表面モード及び内部モードの波速と近い値であるとき、それぞれのモードの表面波や内部波が励起されることを示した。
- (4) 海底地形の変化に伴う津波の生成問題に対して本数値モデルを適用し、底面隆起の速度及び加速度が比較的大きい場合、本モデルにより、tail に発生する短周期波を含む津波波形が正確にシミュレートできることを示した。また、遠地津波の波形に関して、本モデルの結果と、非線形浅水方程式系を基礎方程式とする数値モデルの結果とを比較し、後者が津波高さを過大に評価する等、適用されることの多い後者のモデルを使用する際の留意点を示した。更に、海洋の密度場は、津波の伝播に殆ど影響を与えないことがわかった。

研究成果報告

柿沼太郎・山下 啓・帖佐繁明・藤間功司・中山恵介、津波の生成や伝播に対する流速分布及び密度成層の影響、土木学会論文集 B3（海洋開発）、Vol. 67, 2011.

中山恵介・柿沼太郎・辻 英一・及川正行、ソリトン共鳴により発生する大振幅ソリトンの解析、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol. 67, No. 2, pp.6-10, 2011.

山下 啓・柿沼太郎・中山恵介、薄板状浮体構造物上を移動する荷重により生成される表面波及び内部波の数値解析、土木学会論文集 B3（海洋開発）、Vol. 67, 2011.

Kakinuma, T., Nakamura, K., Yamashita, K., and Nakayama, K., Influence of velocity distribution and density stratification on generation or propagation of tsunamis, Proc. 6th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts, pp.1608-1615, 2011.

Kakinuma, T., Yamashita, K., and Nakayama, K., Interaction of surface and internal waves with very large floating structures, Proc. Int. Conf. Coastal Structures, 2011.

Nakayama, K., Kakinuma, T., Tsuji, H., and Oikawa, M., Large amplitude solitary waves due to solitary resonance, Proc. 6th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts, pp.1770-1777, 2011.

Yamashita, K., Kakinuma, T., and Nakayama, K., Numerical analyses on propagation of nonlinear internal waves, Proc. Int. Conf. on Coastal Eng., No. 32, waves. 24, pp.1-15, 2011.

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）

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：2011年12月6日（火）13：10～12月7日（水）11：20

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：山下栄次（岡山理科大学技術研）

藤井直紀（愛媛大 CMES）

郭 新宇（愛媛大 CMES）

鬼塚 剛（中央水研）

谷本照己（産業総合研究所）

児玉真史（中央水研）

一見和彦（香川大学農学部）

山口一岩（香川大学農学部）

香山美歩（香川大学農学部）

深尾剛志（香川大学農学部）

小森田智大（熊本県立大学環境共生学部）

吉江直樹（愛媛大 CMES）

小野 純（愛媛大 CMES）

山田真知子（福岡女子大）

樽谷賢治（瀬戸内水研）

発表プログラムを資料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、関係者を含めて約40名の参加があり、今後の沿岸海域の低次生産をめぐる物質循環と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：2011年12月 6日（火）13:10～2011年12月 7日（水）11:20

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 2011年12月 6日（火）

1. 河口干潟域に生息する高増殖珪藻 13:15-13:35
一見和彦（香川大学瀬戸内圏研究センター）
2. 近年の瀬戸内海における底泥からの栄養塩溶出 13:35-13:55
多田邦尚・香山未歩・山口一岩（香川大農）・一见和彦（香川大学瀬戸内圏研究センター）
3. 沿岸域物質循環回復のための里海創生実験(2) 13:55-14:15
谷本照己（産業技術総合研究所）
4. 岡山県牛窓におけるCO₂の測定 -1993年～2007年- 14:15-14:35
山下栄次・江國真幸・筈野倫弘・渡辺真士（岡山理科大学技術科学研究所）
5. Downstream nutrient transport by the Kuroshio in the East China Sea and its temporal variations 14:35-14:55
Xinyu Guo, Xiao-Hua Zhu, and Qing-Song Wu
6. 内湾の富栄養化・貧栄養化と漁業生産の関係を考える 15:05-15:25
児玉真史（中央水研）
7. 北九州市洞海湾における水質の長期変動と付着動物組成の変化 15:25-15:45
梶原葉子・寺師朗子・佐々木恵子（北九州市・環科研）・宮崎喜子・桑野知美・山田真知子（福女大・人間環境）
8. 播磨灘における海水の光透過特性 15:45-16:05
山口一岩（香川大農）
9. 瀬戸内海西部におけるミズクラゲ発生予測の試み～宇和海水温情報システムから 16:05-16:25
藤井直紀¹・吉江直樹²・郭 新宇²・小森田智大³・武岡英隆²
(1 佐賀大・低沿セ, 2 愛媛大 CMES, 3 熊本県立大・環境共生)
10. 水深可変型養殖生産システムの研究開発 16:25-16:45
深尾剛志（香川大・農）・小泉喜嗣（愛媛県水産課）・多田邦尚（香川大・農）

第2日 2011年12月 7日（水）

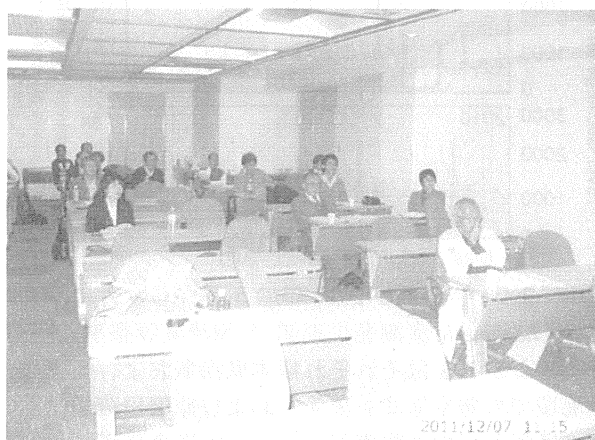
11. 夏季の豊後水道における急潮・底入り潮に伴う低次生態系の応答 9:30- 9:50
吉江直樹¹・藤井直紀²・奥田悠太¹・園本拓彬¹・郭 新宇¹・小森田智大³・磯辺篤彦¹
(1 愛媛大 CMES, 2 佐賀大・低沿セ, 3 熊本県立大・環境共生)
12. 東シナ海における懸濁粒子のモデリング研究 9:50- 10:10
小野 純・郭 新宇（愛媛大 CMES）・田村 仁（海洋研究開発機構）
13. 2011 年夏季に豊後水道で観測した急潮と栄養塩動態 10:10-10:30
小森田智大¹・吉江直樹²・藤井直紀³・郭 新宇²・横川太一²・濱岡秀樹²・磯辺篤彦²
(1 熊本県立大・環境共生, 2 愛媛大 CMES, 3 佐賀大・低沿セ)
14. 瀬戸内海における植物プランクトン群集のサイズ組成 10:40-11:00
樽谷賢治・中川倫寿・辻野 睦・阿保勝之（水総セ瀬戸内水研）
15. 八代海における *Chattonella* 赤潮発生状況の年による違い 11:00-11:20
鬼塚 剛（中央水研）

資料 2. 研究集会の様子

第1日 2011年12月 6日 (火)



第2日 2011年12月 7日 (水)



八代海における *Chattonella* 赤潮発生状況の年による違い

○鬼塚 剛¹・青木一弘¹・児玉真史¹・清水 学¹・櫻田清成²・安東秀徳²・西 広海³・田原義雄³・
松尾 斉⁴・末代勇樹⁴・山本 剛⁴・落合宏紀⁴・松山幸彦⁵・吉田誠⁵・木元克則⁵

¹中央水研 ²熊本水研セ ³鹿児島水技セ ⁴東町漁協 ⁵西水研

キーワード：八代海・*Chattonella* 赤潮・発生時期・*Chattonella* 動態モデル

【はじめに】

九州南西部に位置する八代海は、我が国の代表的な閉鎖性海域の一つで、南部を中心にブリ・タイ等の魚類養殖が盛んに行われている。近年、八代海では有害藻類による赤潮が頻発しており、養殖魚の斃死による漁業被害も報告されている。特に、2008 年以降3年連続でラフィド藻 *Chattonella antiqua* の赤潮が大規模に発生し、2009 年には約 29 億円、2010 年には約 53 億円と2年続けて甚大な漁業被害をもたらした。八代海における本種赤潮の発生機構解明ならびに今後の被害軽減対策のためにも、本種赤潮の出現特性を把握しておく必要がある。

本研究では、まず、既存の観測データを用いて八代海における *Chattonella* 赤潮のこれまでの発生状況を整理し、*Chattonella* 赤潮が発生する夏季だけでなく、その前の冬季から春季にかけての気象条件・海洋環境との関係を検討する。次に、年による発生時期・発生規模の違いとそれらに関わる要因の絞り込みを行うとともに、*Chattonella* 動態を表現可能な数値モデルを開発・適用し、それらの要因が発生時期や発生規模にどのように影響しているか考察する。

【*Chattonella* 赤潮発生状況の年による違い】

図1に2008年と2010年の *Chattonella* 赤潮発生期間を示すが、両年で赤潮発生状況は大きく異なっていた。2008年は梅雨明け後、1ヶ月以上の晴天が続いた後に8月中旬ごろ赤潮が発生したのに対して、2010年は梅雨の最中であった6月末に赤潮を形成し、2008年よりも長期間続いた。同様の図を、八代海で *Chattonella* 赤潮による漁業被害が初めて報告された1988年以降について各年で作成したところ、赤潮発生時期が早いほど長期化する傾向が確認された。年ごとの赤潮発生日はその年の冬季気温（八代市）や梅雨入り日（九州南部地方）と相関関係が認められたことから、冬季気温を反映した水温環境や梅雨時期の光環境が *Chattonella* の増殖に影響し、赤潮形成時期を左右している可能性が示唆された。

また、過去の発生年を大別すると、長期間の晴天後に発生するパターン①（2008年型）と梅雨時期に発生するパターン②（2010年型）に分類され、パターン②の場合に、より長期化し、被害が大きくなる傾向があった。パターン①②の違いの要因として、赤潮形成への河川由来栄養塩の寄与の有無が考えられる。

【*Chattonella* 動態モデル】

栄養塩の細胞内への取り込み、細胞内栄養塩含量の変化、増殖速度の温度・塩分・光依存性、日周鉛直移動等の生物過程を組み込んだ鉛直一次元 *Chattonella* 動態モデルを開発した。栄養塩としては窒素・リンを考慮し、競合種として珪藻、捕食者として動物プランクトンを定義した。生物過程の定式化およびパラメータは Amano *et al.* (1998 *Limnol Oceanogr.*, 43, 117-128) 等の既往知見を参考にした。本研究では、このモデルを *Chattonella* の初期増殖海域とみられる八代海北部海域に適用し、2008年と2010年の発生時期・発生規模の違いの要因について検討を行った。結果の詳細については講演時に述べる。

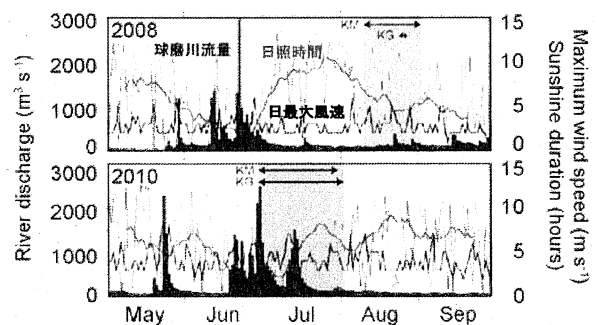


図1 2008年および2010年の5月から9月にかけての *Chattonella* 赤潮発生期間（九州漁業調整事務所、KM および KG はそれぞれ熊本県海域および鹿児島県海域での発生期間を表す）および球磨川流量（国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所）、日照時間・日最大風速（気象庁アメダス）の時系列。

1 研究集会の開催目的

大気・海洋の流れ、プラズマ、工学的応用分野における流れ、そして我々の身の回りの多くの流れは乱流である。これら多様な乱流現象の物理的理解および応用的予測・制御のため、各分野で理論的解析・実験・観測・計算科学などの様々な手法で精力的に研究されている。これら様々な分野で異なる手法を展開する研究者が、互いの情報を交換して議論を通して知識・問題意識を共有する場を設けることは、重要であると思われる。また、乱流が非平衡力学系の一典型であることを考えると、より幅広く様々な非平衡系の研究者と乱流研究者が交流を持ち、その多様な視点をそれぞれの分野に導入し、またそれぞれの問題の背後にある普遍性を探ることは、今後の乱流および非平衡系の研究の展開に有意義であると思われる。日本における国際会議やワークショップを見る限り、このような機会は少ないのが現状だと思われる。本研究集会では、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、新たな知見を見いだすことを目的としたい。このような研究集会は、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

11月10日（木）

- 13:30-14:30 乱流における揺動応答関係 大信田 丈志（鳥取大工）、大槻道夫（青学大理工）、
後藤 晋^o（岡大自研）、中原明生（日大理工）、松本 剛（京大理）
- 14:50-15:20 植物の葉の集団：動的スケーリング則に従う拡大成長 小山耕平（石川県立大生物資源）、日高芳樹（九大工）
- 15:20-15:50 乱流の大規模スケール揺らぎの対数正規性に関するモデル 松本 剛（京大理）、高岡正憲（同大理工）
- 16:10-16:40 一様定常乱流の統計性における高分子の影響 杉本大輝、渡邊 威、後藤俊幸（名工大）
- 16:40-17:10 テイラークエット流れにおける高分子の影響 金 相佑、渡邊 威、後藤俊幸（名工大）

11月11日（金）

- 9:30-10:00 平均場と乱流磁気リコネクション 横井喜充（東大生研）
- 10:00-10:30 回転球殻内の Boussinesq 熱対流問題の安定性と分岐構造及び熱対流が両側球に及ぼす影響 木村恵二、竹広真一、山田道夫（京大数解研）
- 10:50-11:50 超水滴法による雲形成と降水の精密シミュレーション 島 伸一郎（兵庫県立大）、長谷川 晃一（中電 CTI）、S. Arabas (Univ. Warsaw)、草野完也（名大 STE 研）
- 13:30-14:30 非線形 Schrödinger 方程式が記述する世界—変分構造、特異点、基底状態— 名和範人（阪大基礎工）
- 14:50-15:20 量子流体乱流の完結近似に向けて 吉田 恭、有光敏彦（筑波大数理）
- 15:20-15:50 3次元電磁流体乱流における $4/5$ 則の検証 芳松克則（名大工）
- 16:10-16:40 平板乱流境界層における Re_θ が小さいときの平均速度分布の対数領域に関する考察 和田裕貴（名大工）、後藤克基、吉田 潤、川島英幹（海技研）、辻 義之（名大工）
- 16:40-17:10 高レイノルズ数平行平板間乱流 DNS における小スケール統計 森下浩二、石原 卓（名大工、JST CREST）、金田行雄（名大工）

11月12日（土）

- 9:30-10:00 n ヘプタンの簡略反応モデルを用いた乱流中の自己着火現象の直接数値計算 生田博也、石原 卓（名大工）、寺地 淳（日産自動車）
- 10:00-10:30 渦流の 3次元不安定性に対するハミルトニアン分岐理論 福本康秀（九大 MI 研）、彌榮洋一（九大 ITP）

10:50–11:50 南部-ゴールドストーン・モードの関与した時空カオス—ソフトモード乱流—

日高芳樹 (九大工)

13:00–13:30 非双曲性と拡大率スペクトル

宮崎修次 (京大情), 小林 幹 (合原最先端数理モデルプロジェクト), 松井克仁 (京大情)

13:30–14:00 少数自由度カオス系の時間相関関数の構造

富永広貴 (佐賀大医), 森肇 (九大応力研),

石崎龍二 (福岡県立大人社), 森 信之 (九州看護福祉大), 黒木昌一 (福岡女子大)

14:00–14:30 AC トラップにおける少数帯電微粒子の配置の安定性

石崎龍二 (福岡県立大人社), 秦 浩起 (鹿大理), 庄司 多津男, 古田洋輔 (名大工)

3 講演内容の概要

乱流における揺動応答関係

大信田 丈志, 大槻道夫, 後藤 晋, 中原明生, 松本 剛

2 時刻相関関数と応答関数の比例関係を揺動応答関係 (F R R) とよぶ, 直接相互作用近似 (D I A) をはじめとする乱流の統計理論では, 速度ゆらぎに対する F R R が重要な役割を演じてきた. しかし現実の乱流やシェルモデル乱流における F R R の成否, あるいはその破れの定量化は明らかではない. 講演ではこの問題に関する最近の進展を報告した.

植物の葉の集団: 動的スケーリング則に従う拡大成長

小山耕平, 日高芳樹

草本ウバユリの葉の集団に於いて動的スケーリング則が観測された. 個葉の大きさの個体内分布関数を適当に正規化すると, 異なる大きさの個体の関数が 1 つに重なった. また, 個体葉面積は個体葉数のべき関数であった.

乱流の大規模スケール揺らぎの対数正規性に関するモデル

松本 剛, 高岡正憲

毛利ら (2006, 2008, 2009) の風洞実験によって乱流速度, 速度差の 2 乗の粗視化量が, 相関長程度の粗視化スケールの下で対数正規分布に従うことが見出されている. この大規模スケールでの対数正規性を Ornstein-Uhlenbeck 過程を用いてモデル化して解析した結果を報告する.

一様定常乱流の統計性における高分子の影響

杉本大輝, 渡邊 威, 後藤俊幸

多数のダンベルモデルを一様定常乱流中に分散させた直接数値シミュレーションを試みた. エネルギースペクトルや速度勾配, 流体粒子の加速度の確率密度関数の振る舞いが高分子の存在によってどのような影響を受けるかを議論した.

テイラークエット流れにおける高分子の影響

金 相佑, 渡邊 威, 後藤俊幸

本研究では同心 2 円筒間の流体に鎖状高分子を添加した場合の不安定性や乱流状態の変化を, 流れとダンベルモデルによる多数の高分子の直接シミュレーションにより解析する. 特に, 流体の中の個々の高分子の運動を並列計算を用いて直接計算し, 高分子が流れに及ぼす影響を流れの可視化と内側円筒表面での

トルクの変化で評価した.

流れ場の計算は非圧縮性 Navier-Stokes 方程式の右辺に高分子による外力項を加えた式を用いた. 高分子の計算にはダンベルモデルの高分子の重心ベクトルと末端間ベクトルの時間発展の式を用いた. これらの式から計算された個々の高分子からストレス場を求め, 流れ場に反映させた.

上述した方法で数値計算を行った結果, 流体に薄い濃度の高分子を添加することで内側円筒の表面上でのトルクが減少した. 特に, Wi (Weissenberg number) の値によって高分子の運動が変わり, その影響で流れ場と円筒表面のトルク減少率が変わった. しかし本研究では高分子の濃度による違いは見られなかった. 高分子は流れの不安定性にも影響を及ぼしたが, 実験の結果とは異なったのでその原因の究明と計算手法の改良が必要である.

平均場と乱流磁気リコネクション

横井喜充

磁気リコネクションは最も重要な電磁流体現象のひとつである. 当初のモデルでは十分なりコネクション率を達成できず, 太陽表面での磁気リコネクションの説明が困難である. このため, さまざまな改良モデルが提案されてきた. そのひとつに乱流リコネクションがあるが, その理論は必ずしも整備されていない. 本研究では, 大局的な速度や磁場の構造が乱流の統計的性質を決めるという立場からリコネクション現象を捉え, 乱流によって効率的なりコネクションが生じる条件を考察する. リコネクション周りには, クロス・ヘリシティが四重極的に分布し, 結果としてリコネクションの生じる領域が局在し, 効率的なりコネクションが生じることが示される.

回転球殻内の Boussinesq 熱対流問題の安定性と分岐構造及び熱対流が両側球に及ぼす影響

木村恵二, 竹広真一, 山田道夫

回転球殻内の Boussinesq 熱対流問題について, 臨界点から分岐する, 経度方向に伝播する定常進行波を Newton 法によって求め, その安定領域を定めた. またこの定常進行波が両側球面に及ぼすトルクを計算し, その大きさは内側球の回転角速度を変化させるのに十分な大きさであることを見出した. さらに両側球がトルクを受けて三軸回転するモデルを構築し数値計算を行った結果, 臨界点から分岐する定常進行波の安定領域および熱対流パターンは両側球が同期回転する場合とほとんど変化が

ないが、Rayleigh 数を増大させると定常進行波が不安定化し、内側球と外側球の回転軸が同方向の状態から有意な角度をもつ状態へと遷移することを見出した。

超水滴法による雲形成と降水の精密シミュレーション

島 伸一郎, 長谷川 晃一, S. Arabas, 草野完也

雲の精密なシミュレーションは気象学・気候学的に重要な課題である。特に、エアロゾルの振る舞い等を表す雲微物理過程が複雑で難しい。我々は超水滴法という、粒子法による、確率的な雲微物理モデルを開発した。比較的少ない計算コストで正確に雲の振舞いを数値計算できると考えられる。

非線形 Schrödinger 方程式が記述する世界—変分構造、特異点、基底状態— 名和範人

非線形 Schrödinger 方程式は、物理・工学などの様々な分野で現象のモデル方程式として登場する：非線形光学のレーザービームの自己集束 (Kerr 効果) のモデルや、Bose-Einstein 凝縮を記述する Gross-Pitaevskii 方程式として知られる。この方程式は様々な解を持つが、とりわけ、定在波解の中でも最小な「作用」をもつ基底状態と呼ばれる解が、解全体の構造と深い関わりを持って現れる。この講演では、基底状態を定める変分構造と、その (メタ) 安定／不安定性について特異点生成の観点も交えて概観する。

量子流体乱流の完結近似に向けて

吉田 恭, 有光敏彦

液体ヘリウムの超流動成分やボーズ凝縮体のような量子流体乱流は適切な近似のもと Gross-Pitaevskii 方程式に従う。講演者が先に行った GP 方程式の数値シミュレーションで得られたエネルギースペクトルを説明する完結近似の試みについて解説する。

3次元電磁流体乱流における 4/5 則の検証

芳松克則

3次元電磁流体乱流の3次構造関数に関する4/5則を、大規模直接数値計算データを用いて検証した。カルマン・ハワース方程式を3次元一様非等方乱流に対して一般化し、外力の影響、粘性散逸の影響、並びに、非等方性が4/5則に与える影響を定量的に調べた。非等方性の影響が、電気伝導性ない流体の乱流に比べ、強いことが分かった。

平板乱流境界層における Re_θ が小さいときの平均速度分布の対数領域に関する考察

和田裕貴, 後藤克基, 吉田 潤, 川島英幹, 辻 義之

圧力勾配のない平板乱流境界層における平均速度分布において、 Re_θ が小さいときには明確な対数領域が現れないとされている。そこで、 $1100 < Re_\theta < 6010$ において実験を行い、バッファー領域と後流領域との間の直線領域を準対数領域と定義

し、クラウザー線図法を用いて局所抵抗係数を求めた。その結果と Chauhan らによって示されている Composite Profile を用いて求めた局所抵抗係数、DNS による結果および先行研究データとの比較を行った。それにより準対数領域の定義、およびクラウザー線図法に用いることの妥当性を検証した。そして準対数領域の範囲を明らかにし、境界層パラメータとの関係を示した。また、対数則におけるカルマン定数と切片定数の組み合わせについても検証した。

高レイノルズ数平行平板間乱流 DNS における小スケール統計 森下浩二, 石原 卓, 金田行雄

高レイノルズ数平行平板間乱流の直接数値シミュレーション (壁摩擦速度に基づくレイノルズ数 $Re_\tau = 2560$) を用いて、対数領域における小スケールの統計 (エネルギースペクトル) について調べた結果を報告する。

n ヘプタンの簡略反応モデルを用いた乱流中の自己着火現象の直接数値計算

生田博也, 石原 卓, 寺地 淳

本研究では、 n ヘプタンの自己着火過程 (着火前の温度上昇を伴う低温酸化反応) における化学反応・乱流の相互作用、及び温度分布の変化を、簡略化学反応モデルを用いた直接数値計算により調べた結果について報告する。

渦流の 3次元不安定性に対するハミルトニアン分岐理論

福本康秀, 彌榮洋一

楕円形にひずんだ流線をもつ回転流の線形不安定性は縮退する2個の Kelvin 波のパラメータ共鳴で、ハミルトニアンホップ分岐を起こして新たな状態に移行する。弱非線形安定性を調べるとき、オイラー的記述の枠内では、Kelvin 波の非線形相互作用によって誘導される平均流を完全に決めることができない。ラグランジュ変数を用いて渦なし攪乱に制限することによって、Kelvin 波が誘導する平均流をあいまいさ無く決めることができる。これをとっかかりとして Kelvin 波の弱非線形振幅方程式を導き、それがハミルトンの正準形式になることを示す。

南部-ゴールドストーン・モードの関与した時空カオス—ソフトモード乱流—

日高芳樹

液晶を電極に対して垂直に配向させた Homeotropic 系では、連続回転対称性の自発的破れに伴う南部-ゴールドストーン・モードと電場による対流の相互作用によって、対流発生と同時に時空カオス「ソフトモード乱流」が生じる。これまでの液晶電気対流では、液晶配向を異方的で静的な媒質と見なしてきたが、ソフトモード乱流の発見によって、配向自体が対流と相互作用してダイナミクスを示すことが明らかとなった。また、印加電圧の周波数の変化によって、長距離秩序をもたない Oblique Rolls から、長距離秩序をもつ Normal Rolls への秩序—無秩序転移が生じることや、対流場と配向場の相互作用に

おける対称性の破れに伴う線状欠陥 (Black Line) が存在することなどのソフトモード乱流の性質を紹介する。

非双曲性と拡大率スペクトル
宮崎修次, 小林 幹, 松井克仁

安定多様体と不安定多様体が接する非双曲性が局所軌道拡大率 (有限時間リヤプノフ指数) のレート関数をはじめとする大偏差統計関数に非解析性 (q 相転移) をもたらすことが知られている。近年, Covariant Lyapunov Vector (CLV) を用いたローレンツ系の双曲領域と非双曲領域の区別がなされたが, これらの先行研究との比較検討を行いたい。また, 藤坂は大偏差統計関数に現れる母関数を二時間相関関数に見立て, 射影演算子法を用いた大偏差統計関数の数値解析法を提案したが, これについても具体例を用いて議論したい。

少数自由度カオス系の時間相関関数の構造
富永広貴, 森肇, 石崎龍二, 森 信之, 黒木昌一

少数自由度カオス力学系にはカオスの 2 重性を反映した構造が時間相関関数に現れるが, その長時間領域における構造は系の特性時間と記憶関数の特性時間との関係で exponential 型, stretched exponential 型, べき型の減衰を示すことが考えられる。

AC トラップにおける少数帯電微粒子の配置の安定性
石崎龍二, 秦 浩起, 庄司 多津男, 古田洋輔

帯電微粒子を交流電場によって閉じ込める実験において, 少数個の帯電微粒子の運動には, 秩序のある結晶配置や乱れたカオス状態が観測される。私たちは, こうした実験結果を非線形力学系の観点から理解するために, 理論および数値実験を進めている。

1 粒子の運動については, 散逸項を加えた Mathieu 方程式を拡張した数理モデルにより, 固定点が不安定化すると安定周期運動を, 更に, 安定周期運動からカオスが生じることがわかった。特に, カオスが発生するパラメータ領域では, カオスにより確率的に回転方向が変わる, 回転方向の拡散運動が発生することがわかった。2 粒子の帯電粒子の運動は, 線形安定性解析により, 重心は静止し, 相対運動には交流電場による強制振動, そしてカオスが発生することを示した。3 粒子の帯電粒子の運動では, 重心は静止し, 3 つの粒子が三角形配置をとる安定配置をとり, 交流電場による周期で強制振動をする。線形安定性解析により, カオスが起きるパラメータ領域を特定した。カオスが発生する場合, 三角形配置のまわりでカオス的に揺らぐカオス, そして配置転換を間欠的に起こすカオスがあることが数値計算によりわかった。

4 開催日程, 場所

開催日程	2011 年 11 月 10 日 (木) – 11 月 12 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	19 件
参加者数	26 人

RIAM 研究集会「乱流現象及び非平衡系の多様性と普遍性」

日程： 2011 年 11 月 10 日（木）－ 12 日（土）

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）

代表者： 吉田 恭（筑波大学）

所内世話人： 岡村 誠（九州大学）

講演のときに使ったパワーポイントなどのファイルを 11 月の下旬から 1 ヶ月程度の間

http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/fluid/okamura/riam_turb/riam2011turb.htm

でご覧になることができます。ユーザ名は riam2011, パスワードは s2 です。

11月10日（木）

13:30-14:30 乱流における揺動応答関係 大信田 丈志（鳥取大工），大槻道夫（青学大理工），
後藤 晋°（岡大自然），中原明生（日大理工），松本 剛（京大理）

14:30-14:50 休憩

14:50-15:20 植物の葉の集団：動的スケーリング則に従う拡大成長

小山耕平（石川県立大生物資源），日高芳樹（九大工）

15:20-15:50 乱流の大規模スケール揺らぎの対数正規性に関するモデル

松本 剛（京大理），高岡正憲（同大理工）

15:50-16:10 休憩

16:10-16:40 一様定常乱流の統計性における高分子の影響

杉本大輝，渡邊 威，後藤俊幸（名工大）

16:40-17:10 テイラークエット流れにおける高分子の影響

金 相佑，渡邊 威，後藤俊幸（名工大）

11月11日（金）

9:30-10:00 平均場と乱流磁気リコネクション

横井喜充（東大生研）

10:00-10:30 回転球殻内の Boussinesq 熱対流問題の安定性と分岐構造及び熱対流が両側球に及ぼす影響

木村恵二，竹広真一，山田道夫（京大数解研）

10:30-10:50 休憩

10:50-11:50 超水滴法による雲形成と降水の精密シミュレーション

島 伸一郎（兵庫県立大シミュレーション），長谷川 晃一（中電 CTI），

S. Arabas (Univ. Warsaw)，草野完也（名大太陽地球環境研）

11:50-13:30 昼休み

13:30-14:30 非線形 Schrödinger 方程式が記述する世界—変分構造，特異点，基底状態—

名和範人（阪大基礎工）

14:30-14:50 休憩

14:50-15:20 量子流体乱流の完結近似に向けて

吉田 恭，有光敏彦（筑波大数理）

15:20-15:50 3次元電磁流体乱流における 4/5 則の検証

芳松克則（名大工）

15:50-16:10 休憩

16:10-16:40 平板乱流境界層における Re_θ が小さいときの平均速度分布の対数領域に関する考察

和田裕貴，後藤克基，辻 義之（名大工）

16:40-17:10 高レイノルズ数平行平板間乱流 DNS における小スケール統計

森下浩二，石原 卓（名大工，JST CREST），金田行雄（名大工）

17:45 懇親会（W601 号室に集合）

11月12日(土)

9:30-10:00 n ヘプタンの簡略反応モデルを用いた乱流中の自己着火現象の直接数値計算

生田博也, 石原 卓 (名大工), 寺地 淳 (日産自動車)

10:00-10:30 渦流の 3 次元不安定性に対するハミルトニアン分岐理論

福本康秀 (九大 MI 研), 彌榮洋一 (九大 ITP)

10:30-10:50 休憩

10:50-11:50 南部-ゴールドストーン・モードの関与した時空カオス—ソフトモード乱流—

日高芳樹 (九大工)

11:50-13:00 昼休み

13:00-13:30 非双曲性と拡大率スペクトル

宮崎修次 (京大情), 小林 幹 (合原最先端数理モデルプロジェクト), 松井克仁 (京大情)

13:30-14:00 少数自由度カオス系の時間相関関数の構造

富永広貴 (佐賀大医), 森肇 (九大応力研), 石崎龍二 (福岡県立大人社),

森 信之 (九州看護福祉大), 黒木昌一 (福岡女子大)

14:00-14:30 AC トラップにおける少数帯電微粒子の配置の安定性

石崎龍二 (福岡県立大人社), 秦 浩起 (鹿大理), 庄司 多津男, 古田洋輔 (名大工)

23 AO-S3

(研究集会)

地球流体における波動と対流現象の力学

研究代表者

新野 宏 (東京大学 大気海洋研究所)

研究集会の目的

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

研究集会の日時・場所

日 時: 2011 年 12 月 14 日 (水) ~ 12 月 15 日 (木)

会 場: 九州大学筑紫キャンパス 応用力学研究所 本館 3 階 講義室

講演プログラム

12月14日 (水)

12:50-13:00 代表者挨拶 新野 宏 (東京大学 大気海洋研究所)

13:00-13:25 三村 和男 (東海大学 教養学部)

半球規模傾圧不安定波動実験において現れる中立惑星波

放物面状底を持つ、半球規模回転水槽実験装置に、赤道・北極間に温度差を加えるという、傾圧不安定波動実験を行うと、結果として、西進惑星波動が現れる。この西進惑星波動が発生するメカニズムを探るため、赤道・北極間に温度差を一定に保ち、系の回転速度を極めてゆっくり変化させてゆく連続変化実験を行い、その速度場解析を行った。西進惑星波動の東西波数が、0 から 1、1 から 2、2 から 3 に変わっていく様子を紹介した。

13:25-13:50 渡邊俊一、伊賀啓太、横田祥、新野宏、三澤信彦 (東京大学 大気海洋研究所)

円筒容器内で回転する水の表面の変形とその履歴現象

円筒容器に水を入れ、底に取り付けた円盤を回転させることで水を駆動するという室内実験を行った。円盤の回転数が小さいときには水面は軸対称であるが、大きな回転数では多角形のパターンが現れる。特に多角形のパターンに移り変わる回転数領域において、二つの興味深い現象が観察された。一つは、水面が大きく振動する状態と、おだやかで軸対象となる状態を周期的に繰り返す「振動現象」であり、もう一つは、回転数を上げるときと下げるときで同じ回転数でも異なった状態となる「履歴現象」である。さらに簡単な力学モデルを考え、そのモデルを用いて実験の結果を考察した。

13:50-14:15 松田 慧 (東京学芸大学)、佐藤 尚毅 (東京学芸大学)

領域モデル WRF による関東における豪雨の予測可能性

一般に、豪雨は数値モデルによる予測が困難と言われている。領域モデル WRF でアンサンブル手法を用いて、都市型豪雨、台風、温帯低気圧による豪雨の予測実験を行った。都市型豪雨ではアンサンブルメンバー同士で強雨域の予測のバラつきが大きかったのに対して、台風、

温帯低気圧による豪雨の事例ではそのバラつきが比較的小さかった。よって、豪雨の予測誤差としては、都市型豪雨ではランダム誤差、台風、温帯低気圧による豪雨では系統的誤差の寄与が大きいと考えられる。

14:15-14:40 本田 匠（九大院理）、川野 哲也（九大院理）
スーパーセルストーム発達に適した環境場についての数値的研究

スーパーセルストーム発達に適した環境場の条件を数値実験によって調査した。対流圏中層（高度 2-4 km）に乾燥層が存在していると、ストームがあまり発達しなくなった。流跡線解析の結果、ストーム発達の抑制には下層の上昇流内への低相当温位気塊流入、および対流圏中層でのエントレインメントという 2 つのメカニズムが寄与していた。これらのメカニズムの鉛直シア依存性を調べるため、鉛直シアを変えた追加実験もいくつか行った。

14:40-15:00 Break

15:00-15:25 圓井 拓哉、伊藤 久徳（九州大学大学院 理学府）
アリューシャン低気圧・アイスランド低気圧と移動性高低気圧との関係

アリューシャン低気圧（AL）・アイスランド低気圧（IL）の強弱（年々変動）は、北半球冬季の気候に大きな影響を与える。本研究では、これらの変動要因として移動性高低気圧に注目した。まず、AL・IL の強化（弱化）年における高度偏差、移動性低気圧経路、非定常擾乱の高度傾向偏差のコンポジット解析を行い、次に非定常擾乱を強化（弱化）させるために SST の南北傾度を変える感度実験を行った。これらの結果より、移動性高低気圧が AL・IL の変動を強化、維持することが分かった。

15:25-15:50 横田 祥、新野宏、柳瀬亘（東京大学 大気海洋研究所）
ITCZ breakdown に伴って生じる台風の発生・発達過程

太平洋の熱帯収束帯が下層風の不安定性により崩壊して熱帯擾乱になることを ITCZ breakdown という。本研究では非静力メソスケールモデルを用いた理想化実験により、このプロセスで生じる台風の発生・発達過程を調べた。エネルギー収支解析の結果、下層の初期渦の形成にはシア不安定が寄与しているが、breakdown 後は潜熱開放の寄与が大きいことが分かった。発表では breakdown 前後の渦の構造の変化等について詳しく述べた。

15:50-16:15 前島 康光（名古屋大学地球水循環研究センター）
全球静力学-雲解像結合モデルの開発

地球大気は大局的には静力学平衡が良い近似で成り立つが、台風や梅雨前線域など活発な対流を伴う領域では非静力学成分を考慮しなくてはならない。そこで、局所的に高解像度な全球シミュレーションを行うことを目的に、雲解像モデルに全球静力学モデルを結合した数値モデルを開発した。本講演では結合モデルを用いた台風や冬季日本海のメソ擾乱の再現実験を紹介し、総観スケールとメソスケールそれぞれの現象の相互作用について議論した。

16:15-16:40 林 未知也、伊藤 久徳（九大院・理）
熱帯での積雲対流に関連した大規模運動における Nontraditional Coriolis 項の重要性について

惑星渦度水平成分に由来するコリオリ項（Nontraditional Coriolis 項）が、熱帯での積雲対流に関連した大規模運動に与える寄与を定量的に調査した。線形化した赤道 β 面準静力学方程式系に非断熱強制を与えて計算した結果、鉛直渦度（水平風）と圧力・温位・密度摂動に 10% 程の寄与が確認された。その寄与は強制の西側で大きい。また、鉛直渦度と圧力 摂動へ

の寄与は等価順圧的構造を持ち、強制の南北勾配が大きい場合に寄与はさらに大きい。これらは鉛直流南北勾配による惑星渦度水平成分の立ち上げにより統一的に説明される。

16:40-17:05 伊藤 純至（東大大気海洋研）、新野 宏（東大大気海洋研）、中西 幹郎（防衛大学校）
塵旋風のスケーリング

対流は一般的に相似的な構造をもつため、いくつかの物理量によってスケーリングが可能である。本研究では地表面近くの大気混合層に生成される小スケールの鉛直渦である塵旋風（ダストデビル）に着目し、塵旋風に対してもスケーリングができることを示した。

17:05-17:30 河谷 芳雄（JAMSTEC）、Kevin Hamilton（ハワイ大学 IPRC）、野田 彰（JAMSTEC）
赤道準2年振動の将来変化に対する二酸化炭素濃度と海面水温の役割

QBO を表現可能な MIROC-AGCM を用いて、現在の二酸化炭素濃度＋将来の海面水温（FS 実験）、及び将来の二酸化炭素濃度＋現在の海面水温（FC 実験）の理想実験を行い、QBO 変化に対する海面水温と二酸化炭素濃度変化の影響を個別に評価した。将来の海面水温変化は QBO の周期を 1-3 か月、二酸化炭素濃度変化は 1 か月長くする効果があった。FS 実験においては、赤道域上昇流は下部成層圏で顕著に増加する。FC 実験では 80hPa 付近の上昇流が弱まり、QBO は成層圏最下層まで下りやすくなる。

18:00- **＊＊懇親会＊＊**

12月15日（木）

9:00-9:25 杉本 英伍、川野 哲也（九州大学大学院理学府）
梅雨前線帯の低気圧の発達過程と環境場

梅雨前線帯では多くの低気圧が発生・発達する。本研究では、その低気圧の発達過程について、梅雨前線帯の東西の環境場の違いに着目して調査した。梅雨前線帯の環境場は、西側領域では弱い傾圧性と強い水蒸気傾度で特徴づけられるのに対して、東側では相対的に強い南北温度傾度で特徴づけられる。このような環境場の違いが低気圧の発達に及ぼす影響についてデータ解析・数値シミュレーションによって調査した。

9:25-9:50 佐藤 尚毅（東京学芸大学/JAMSTEC 地球環境変動領域）、齊藤 崇裕（東京学芸大学）、城岡 竜一（JAMSTEC 地球環境変動領域）
黒潮/黒潮続流域周辺における冬季の降水量の経年変化

関東地方の冬季の降水量の過去 30 年間の変動を調べた結果、太平洋沿岸で、12 月、1 月の降水量が、2000 年代に増加していることがわかった。降水量の増加は、黒潮/黒潮続流域においてもみられた。短周期じょう乱に伴う対流圏上層の気圧場の変動や、下層の南北熱輸送を調べたところ、どちらも増加傾向にあり、低気圧活動の強化が示唆された。黒潮/黒潮続流域での海面水温の上昇や亜熱帯ジェット強化・北上が低気圧活動の強化に寄与している可能性が考えられる。

9:50-10:15 佐藤 由布子（東京学芸大学）、佐藤 尚毅（東京学芸大学）
東京・名古屋・大阪の気温・風向風速の日変化とその経年変化

アメダスデータを用いて気温と風向風速の 30 年平均の日変化を東京・名古屋・大阪の 3 都市について解析した。一般に、気温の日変化は、沿岸部で小さく、内陸部で大きいことが確かめられた。また、気温の地域差は、夜間に大きくなり、日中に小さくなる傾向が見られた。

この傾向は冬季に顕著である。こうした気温の日変化に対応した風向風速の日変化の地域性や、それらの経年変化についても調べる。

10:15-10:40 山崎 哲、伊藤 久徳(九大院・理)

大気ブロッキング持続メカニズムにおける渦と渦の相互作用 (その2)

我々は、大気ブロッキングの持続メカニズムに関して、渦と渦の相互作用に注目した研究を行っている。これまでの研究では、ブロッキングと移動性擾乱との相互作用において、渦と渦の相互作用メカニズムが重要であることを、流跡線解析やチャネルモデル実験などを用いて示すことができた。今回の発表では、渦と渦の相互作用の効果を定量化する解析や2010年夏のロシアブロッキングの事例解析を通して、予報に関係した上記メカニズムの重要性について述べた。

10:40-11:00 Break

11:00-11:25 安永 数明 (海洋研究開発機構)

赤道波動擾乱における降水特性の違い

衛星搭載のマイクロ波計や降水レーダのデータを用いて、降水特性・雲の組織化と赤道波動の関係について調べた。赤道波をその特徴から、周期の長い回転に特徴的な波(混合ロスビー重力波や赤道ロスビー波)と、周期の短い収束・発散に特徴的な波(慣性重力波や、ケルビン波)に分類した。後者の発散的な波では組織化した降水システムが顕著で、対流圏上層に極大を持つ層状性加熱が特徴的であることを示した。一方で、前者の回転的な波に関しては、水蒸気変動が顕著で、対流性加熱(降水)が特徴的であることを示した。

11:25-11:50 山田 道夫、竹広 真一 (京都大学 数理解析研究所)

Rossby 波による平均流加速 --- 定量的予測について

Rossby 波と平均流の相互作用は古くから論じられている問題であるが、平均流加速については、流体方程式の数値実験によるものか、臨界層を用いた定性的説明が多いようである。ここではベータ面上の2次元流について、波束がシアー流域に入射するときの平均流加速の程度を定量的に議論し数値実験結果と比較検討する。

11:50-13:00 LUNCH

13:00-13:25 杉本 憲彦 (慶大日吉物理)、小林 宏充 (慶大日吉物理)、下村 裕 (慶大日吉物理)、石岡 圭一 (京大理)

浅水系における回転渦系対からの自発的な重力波放射

f 平面浅水系において、同軸回転する渦系対からの自発的な重力波放射過程について調べた。まず、遠方場の解析解を、2次元の渦音理論(ライトヒル理論)を援用し、グリーン関数を用いて求めた。次に、同じ枠組みで非線形数値実験を行い、地球の自転(ロスビー数)と成層(フルード数)の効果を変化させて、重力波放射を定量的に評価した。発表では、特に高低気圧渦からの重力波放射の非対称性を議論した。

13:25-13:50 伊賀 啓太 (東京大学 大気海洋研究所)

折れ線速度近似した基本流のシアー不安定につながる中立波

基本流の渦位が一様でないシアー流の不安定モードにつながる中立波は、基本場の一部の渦位を一様にして現れる中立波を調べるという手法で取り出すことができる。ところが、この基本流を折れ線速度分布で近似した時に、不安定モードにつながる中立波のそれとは対応し

ない。折れ線の区画を細かくした時の振舞いを調べたところ、分散曲線の「湾曲」をつなげた曲線の極限として表現できることが示された。

- 13:50-14:15 岩山 隆寛 (神戸大・理)、渡邊 威 (名工大・工)、末吉 雅和 (気象研・気候)
一般化された2次元流体系における渦列・渦層の線形安定性解析

地球流体力学で知られたいくつかの2次元流体系を統一的に記述する方程式系として、一般化された2次元流体が提唱されている。この系の研究は、乱流研究ばかりが行われてきた。流体力学、地球流体力学的にも重要な問題である、平行流の安定性の問題は扱われてきていない。本講演では一般化された2次元流体の渦層の線形安定性問題を取り上げ、系に含まれるパラメータ α に対する安定性の性質の変化について述べた。

- 14:15-14:40 佐々木 英一、竹広 真一、山田 道夫 (京都大学数理解析研究所)
回転球面上の帯状流の線形安定性

我々は非回転、回転球面上で球面調和関数で表される帯状流の安定性、分岐構造を数値的に調べた。非粘性帯状流の安定性を再吟味したところ、Baines(1976)で得られている臨界回転角速度と約10%異なる結果が得られた。この差異は極付近の臨界層がスペクトル法では解像困難になることによると考えられる。またベータ平面上での半円定理を回転球面上に拡張した。

- 14:40-15:05 松尾 花枝 (九大院理)、中島 健介 (九大院理)
同期回転惑星の海洋循環についての基礎的考察

同期回転する系外惑星における昼夜半球での極端な気候の違いは、東西方向の熱輸送があればより穏やかなものになるだろう。本研究では海洋循環による熱輸送に着目し、その第一歩として線形浅水波方程式を用いた数値計算を行った。昼半球でのみ蒸発と降水がある場合は東西一様な成分が卓越し、その強度は時間に比例していた。この振る舞いは解析的にも求めることができた。

- 15:05-15:30 Break

- 15:30-15:55 木村 恵二、竹広 真一、山田 道夫 (京都大学数理解析研究所)
回転球殻内の Boussinesq 熱対流問題の安定性と分岐構造及び熱対流が両側球に及ぼす影響

回転球殻内の Boussinesq 熱対流問題について、臨界点から分岐する、経度方向に伝播する定常進行波を Newton 法によって求め、その安定領域を定めた。また両側球がトルクを受けて三軸回転するモデルを構築し数値計算を行った結果、臨界点から分岐する定常進行波の安定領域および熱対流パターンは両側球が同期回転する場合とほとんど変化がないが、Rayleigh 数を増大させると定常進行波が不安定化し、内側球と外側球の回転軸が同方向の状態から有意な角度をもつ状態へと遷移することを見出した。

- 15:55-16:20 山下 はづき、伊藤 久徳 (九州大学大学院 理学府地球惑星科学専攻)
テレコネクションパターンの成因 — 中立特異モードと純粋な低周波変動からのアプローチ —

北半球冬季中高緯度対流圏において卓越するテレコネクションパターンは、その時間・空間スケールの大きさから気候全体に大きな影響を及ぼす重要な現象であるといえるが、その力学的成因はいまだに解明されていない。本研究では、時間フィルターを用いたモデルにより移動性 高低気圧を抑制した「純粋な」低周波変動を作り出し、そこに現れるテレコネクションパターンを特異値分解解析により得られる中立特異モードとして解釈することを試みた。

16:25-16:50 加藤 亮平 (九大院理)、杉山 耕一朗 (北大低温研)、中島 健介 (九大院理)
3次元モデルによる木星大気大規模渦の数値実験- 統計的定常状態における 渦の振
る舞いと生成メカニズム-

木星の大赤斑を念頭に置き、大規模渦の振る舞いを3次元モデルを用いて調べた。平均場と擾乱場が統計的定常状態に至ることを期待して、東西風が南北に交代する複数ジェット構造を維持するような強制を様々な強さで加えた。統計的定常状態が得られた場合における大規模渦の振る舞いは強制の強さによって2通りに分かれた。強制が強い場合は大規模渦が生成され常に存在するが、強制が弱い場合は大規模渦の生成は間欠的であり、生成される期間と形成されない期間が存在した。本発表では、大規模渦の生成メカニズムに焦点をあてて議論した。

最後に

各発表は十分な時間を確保し討論を活発に行うことができた。若手研究者の発表や参加も数多くあり、本研究集会が将来を担う若手研究者育成の一助になればと考える。また、本研究集会は、毎年中心となるトピックを選びながら、九州大学・応用力学研究所と東京大学・大気海洋研究所の間で、原則として交互に1年交代で開催している。

開催の期間 平成23年12月14日(水)～15日(木)

代表者 組織名 新野宏 東京大学・大気海洋研究所

参加者 40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

2011 年 12 月 15 日から 12 月 16 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。大学および試験研究機関を中心に 42 名が参加し、合計 13 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。

講演内容は、宗谷海峡域の潮流の季節変化、山陰沖の日周期潮流、日本海固有水、東シナ海混合層の熱収支、九州東方沿岸域における透明度、2011 年 9 月の台風による瀬戸内海の異常潮位、風洞水槽による波浪の実験結果、対馬海峡西水道の内部潮汐、対馬海峡の流動構造の短周期変動、海底エクマン境界層の渦粘性係数分布、丹後半島東岸の近慣性内部波、台風通過に対する上層海洋の応答(数値モデルと力学)についてと非常に幅広いものであった。本研究集会に特に関連するモニタリングでは、宗谷海峡の HF レーダ(2003 年～)、津軽海峡のフェリー ADCP(1999 年～)、対馬海峡のフェリー ADCP(1997 年～)と HF レーダ(2002 年～)による観測があり、それぞれ 10 年前後のデータを蓄積している。これらのモニタリングデータに加え、各大学および試験研究機関で行っている貴重な観測データも数多く存在する。近年、調査船や練習船の減船が進む中で、各々が行っている現場海洋観測の重要性を改めて感じた。

本研究集会では、観測データに基づいたモニタリングや数値モデル等の他の様々な手法によって行われた日本周辺海域の海況に関する研究発表があった。また、近年、講演数が少ない波浪に関する研究発表もあった。今後とも、日本周辺海域の海況・波浪の研究に携わっている研究者が集まり、活発な議論を行う場となることを期待する。最後に、本研究集会の開催を承諾して頂いた九州大学応用力学研究所、集会を開催するにあたりお世話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 23 年 12 月 15 日(木)~12 月 16 日(金)

場所: 九州大学筑紫キャンパス 共通管理棟 3F 大会議室

所内世話人: 増田 章

研究代表者: 滝川哲太郎(水産大学校)

----- 12/15(木) -----

13:00-13:10 趣旨説明

滝川哲太郎(水大校)

13:10-13:40 宗谷海峡域の潮流の季節変化

江淵直人・深町 康・大島慶一郎(北大低温研)

13:40-14:10 日本海山陰海岸沖で観測された日周期潮汐流の空間構造

井桁庸介・渡邊達郎・奥野 章・山崎恵市(水研セ日水研)

14:10-14:40 日本海深層における水温一様層について

西村誠次(九大院総理工)・松野 健・千手智晴(九大応力研)・

堤 英輔(九大院総理工)・日比谷紀之(東大院理)

14:40-15:10 東シナ海混合層の熱収支

万田敦昌(長崎大)・茂木耕作(JAMSTEC)

15:10-15:30 休憩

15:30-16:00 九州東方沿岸域における透明度の季節・経年変動特性

渡慶次 力(宮崎水試)・柳 哲雄(九大応力研)・行平真也(大分水研)・

橋田大輔(愛媛水研セ)・市川忠史(水研セ中央水研)・林田秀一・

福田博文・甲斐史文(宮崎水試)

16:00-16:30 瀬戸内海における 9 月の異常潮位について

石崎士郎(気象庁海洋気象情報室)

16:30-17:00 造波機による正弦波が風速分布と流速分布に及ぼす効果

水野信二郎(元広島工業大学)

----- 12/16(金) -----

09:00-09:30 対馬海峡西水道における内部潮汐の伝播特性

滝川哲太郎・荻原友美・練合千夏(水大校)・森本昭彦(名大水循環セ)・
宮地邦明(水大校)

09:30-10:00 対馬海峡における短周期変動

姜 分順・尹 宗煥(九大応力研)・中小原拓也(九大院総理工)

10:00-10:30 海底エクマン境界層における渦粘性係数分布の推定と対馬海峡への適用

青山皓介(九大院総理工)・吉川 裕(九大応力研)

10:30-10:50 休憩

10:50-11:20 丹後半島東岸で観測された近慣性内部波の周期特性－台風経路による違い－

山崎恵市(水研セ日水研/海洋大科)・北出裕二郎(海洋大科)・
井桁庸介・渡邊達郎(水研セ日水研)

11:20-11:50 Upper ocean responses to Typhoon Abby in the northwestern Pacific
using a three-dimensional primitive equation numerical model

Hong Chul-Hoon(釜慶大学校), Masuda Akira,
Yoon Jong-Hwan(九大応力研)

11:50-12:20 台風通過に対する上層海洋の応答－その基礎力学－

増田 章(九大応力研)・洪 鉄勲(釜慶大学校)

12:20-12:50 総合討論

参加者

	氏 名	所 属
1	川相 隆	三菱電機（株）
2	鐘ヶ江誠一	三菱電機（株）
3	田中 朗	長野日本無線（株）
4	平野圭蔵	長野日本無線（株）
5	桑田浩二	朝日航洋
6	灘井章嗣	N I C T
7	水野信二郎	自宅
8	市川 香	応力研
9	中村浩昭	九大総理工
10	井手喜彦	九大総理工
11	滝川哲太郎	水産大学校
12	吉川 裕	応力研
13	江淵直人	北大低温研
14	花土 弘	N I C T 沖縄
15	石崎士郎	気象庁
16	川村誠治	N I C T
17	藤井智史	琉球大学
18	井桁庸介	日水研
19	山崎恵市	日水研
20	千手智晴	応力研
21	万田敦昌	長崎大学
22	姜 分順	応力研
23	西村誠次	九大総理工
24	久木幸治	琉球大学・理学部
25	洪 鉄勲	釜慶大学校
26	李 根淙	応力研
27	油布 圭	応力研
28	松野 健	応力研
29	橋本 晋	長崎海洋気象台
30	福留研一	応力研

[illegible]

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」報告

研究代表者

琉球大学工学部 藤井 智史

海洋レーダを用いて沿岸域の海況を高い時空間分解能で監視するシステムの構築に向けて、海洋レーダ技術の発展と観測結果の活用などを議論するために、標記の研究集会を 2011 年 12 月 14 日午後(13:30~17:30)および 15 日午前(9:30~11:30)において、九州大学筑紫キャンパス共通管理棟 3 階大会議室にて開催された。今回の研究集会では 10 件の講演があり、参加者は 47 名であった。

以下に各講演に関する概要等をまとめた。

1. 「13MHz 海洋レーダの混信について」 江淵（北大低温研）ほか、

13MHz レーダと ADCP 観測との差が大きい場合があり、その原因として、ノイズが影響しているかどうかについて検討し、ノイズの発生源の簡単な方位探査にも言及した。また、ノイズの大きい部分を取り除いて作成した流速データに関しても報告があった。

2. 「複数の短波海洋レーダを用いた流速ベクトル計測について」 灘井（NICT）

2 台の視線方向流速のベクトル合成についての誤算分布形状については既に報告されているが、3 台の視線方向流速を使ってベクトル合成する場合に、各視線方向流速に含まれる誤差が合成後の誤差分布のどのように影響するかを数式により明らかにした。レーダ普及により同一地点を 3 台以上のレーダで観測する領域が多くなる場合に、誤差評価に利用できることが期待される。

3. 「海洋レーダのリアルタイムデータ処理に関する一検討」 平野（長野日本無線）ほか

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の際に、AD 変換データ収録モードに変更するにあたっての具体的な方法や作業が報告された。この作業によって、湊局（和歌山市）ほかでは津波到来時の流速変動をとらえることができた。これらの経験から、現在一般的な 1 時間程度間隔でのデータ収集だけでなく、より短時間間隔でのデータ収集系についての必要性和その提案が行われた。

4. 「Observations of the March 11, 2011 Japan Tsunami Using HF Radars on Two Continents」 Ramp（Soliton Ocean Services）ほか

同じく東北地方太平洋沖地震の津波を、北海道恵山沖での 41.2MHz レーダで観測された流速から波高分布を求め、短時間間隔で演算した結果をアニメーション化して、津波によるダイナミックな海面変動を二次元場として明らかにした。また、アメリカ西海岸に設置された海洋レーダ群でも津波到来をとらえたとの報告があった。その結果、陸棚に津波が到達した後の海洋レーダでの津波検知の可能性を示した。

5. 「紀伊水道における津波観測結果について」 日向（国総研）ほか

3 の講演で得られた湊局の流速データから、津波到来時の流速変動について、GPS 波高計、海底設置波高計、検潮記録と対比して示した。また、津波で励起されたと考えられる副振動について、陸棚での増幅率が通常時より大きいことを明らかにした。また、その挙動について、湊局の視線方向流速観測領域全体での時間・空間の変化をアニメーションで表し、短時間観測の有用な応用例として示した。

6. 「与那国における海洋レーダのバイスタティック受信実験」 川村 (NICT) ほか

与那国島で台湾から発せられた海洋レーダの信号を受信し、バイスタティック観測を行うための基礎検討を行った。直達波信号成分から参照信号を再構成するにあたって、FMICW での各送受切替ごとの直達信号波形から参照信号を作り受信信号を復調した場合に、距離特性分離が出来るようになることを示した。また、同一周波数で4局が掃引開始時間ずらしで李お湯している場合でも、同様な処理で対応可能であることも示した。

7. 「VHF 帯海洋レーダによる若狭湾東部海域観測」 坂井 (電中研) ほか

VHF 帯 42MHz レーダを若狭湾に設置し厳しい環境下での連続観測を実施した。観測領域での ADCP 観測との比較を行い、湾内流動の解析を行った。長期間観測が乏しい海域のため、観測結果は今後の若狭湾内の物理過程の検証に利用が期待される。

8. 「Synergistic Approach for Stokes Drift Estimation」

Matthews (Environmental Satellite Application/JSPS) ほか

ALOS に搭載された PRISM センサーを用いて、ATSSG (Along Track Sun Stereo Glitter) 観測結果から表層流速を求める手法について解説した。対馬海峡において、ATSSG から求めた表層流速と、42MHz と 13MHz の海洋レーダの周波数に応じた深度での流速ならびに ADCP 観測の結果を合わせて、鉛直プロファイルを示し、ストークスドリフトを見積もった。また、ATSSG で内部波や島影の沿岸フロントが観測可能であることも示した。

9. 「風向変化に対する波向きの変化と、遠距離海洋レーダによる海上風向補正の試み」

久木 (琉大理) ほか

受信信号の一次散乱スペクトル形状から海上風向を求めるにあたって、グラッグ共鳴波浪の波向きを見積もることにより補正する方法について述べた。一次散乱ピークの比と海洋レーダデータ検証用のブイで観測された波高および波向きを比較し、方向分布の時間変化と散布図から風向きの変化に伴うブラッグ波の変化はある程度再現できることを示した。

10. 「短波海洋レーダ観測データのエネルギー補正による波浪推定精度の向上」

永松 (国際航業) ほか

二次散乱スペクトルから波高を求める方法について、五島沖観測のデータからバリック法とベイズ法によって得られた結果と WAM でのシミュレーションと比較した。ベイズ法で合致しない部分があることに対しては、バリック法での2局間の違いを補正する係数を導入して同じの結果が出るように調整したスペクトルに対してベイズ法を施すという補正手法が提案された。その結果が WAM の計算結果によく合致することも示された。

今回研究集会では、海洋レーダの観測技術についてかなり広い分野の内容での発表が行われた。特に、レーダ観測におけるノイズ、ベクトル合成、バイスタティック受信などの技術的課題に関する話題が議論された、また、ADCP や ATSSG などの他の観測方法との比較・統合した解析、ならびに海上風向、波高計測の改善に関する議論も行われた。さらに 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による津波検知の実例から短時間観測の有用性が示された。このような多岐にわたる研究成果は、海洋レーダ研究の進展によるものであり、今後の発展も期待できる研究集会であった。

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

11月4日（金）

14:00-14:45 渦輪の衝突による粒状体表面上のパターン形成

吉田隼也，佐野 理（農工大工）

14:45-15:30 物理過程に基づいた地形形成モデル

岡村 誠（九大応力研），佐伯 亜由美（地圏環境テクノロジー）

15:45-17:15 地球内部のダイナミクスと物質循環

岩森 光（東工大理工）

17:15-18:00 2次元ランダム表面とループ統計—宇宙マイクロ波背景放射を例として—

小林 奈央樹（中大理工），山崎義弘（早大理工），國仲寛人（三重大教育），
香取真理，松下 貢（中大理工），松下聡樹，L.-Y. Chiang（台湾・中央研究院）

18:15-19:00 SPH法を用いた乾燥破壊シミュレーションとその統計的性質

伊藤伸一，湯川 諭（阪大理）

11月5日（土）

9:30-10:15 波打ち際の斜め交差模様のでき方

遠藤徳孝，村上貴志（金沢大理工），泉 典洋（北大工）

10:15-11:45 断層の摩擦法則と粉体ダイナミクス

波多野 恭弘（東大地震研）

13:00-13:45 レイリーテラー不安定性条件下で形成される表面パターン

下川倫子（千葉大先進科学セ）

13:45-14:30 流体力学的相互作用を組み込んだ粒子法による粉体なだれのパターン形成

新屋啓文，栗津暁紀，西森 拓（広大理）

14:30-15:15 液膜流下の結晶成長

上之和人（WDB）

3 講演内容の概要

渦輪の衝突による粒状体表面上のパターン形成

吉田隼也, 佐野 理

渦輪が粒状体表面に衝突すると、渦輪の強さや衝突までの並進運動距離、粒状体の粒径や材質などに応じた特徴的な衝突痕を形成する。この衝突痕は、衝突した渦輪が半径を増大させつつ粒状体表面を掘削することでクレーター状の窪みが形成され、粒状体表面上に形成された二次渦輪が波状変形しつつクレーターの外周部に花卉状の窪みを形成していると推測される。本研究では、渦輪の強さおよび粒状体の粒径・材質を変化させ、衝突痕の形状や形成に必要な渦輪の強さについて実験的に研究を行った。

物理過程に基づいた地形形成モデル

岡村 誠, 佐伯 亜由美

地形形成の基本的な物理現象である土砂の浸食、輸送、堆積を物理過程に基づいてモデル化する。さらに、輸送と地形の特徴的な時間スケールの大きな違いを解決する方法を提案する。また、このモデルは柳田、西森、小西のモデルと似ているので、両者を比較検討する。

地球内部のダイナミクスと物質循環

岩森 光

数値シミュレーションや地球物理学的・化学的データの解析に基づき、プレート運動とマントル対流の特徴と仕組み、およびそれらにともなう物質循環について、レビューと最新の研究成果について発表を行う。

2次元ランダム表面とループ統計—宇宙マイクロ波背景放射を例として—

小林 奈央樹, 山崎義弘, 國仲寛人, 香取眞理, 松下貢, 松下聡樹, L.-Y. Chiang

地形などのランダム界面において、その揺らぎを特徴づける方法の一つとしてマンデルブロの経験則に従い、その等値線や断面を解析する手法が知られている。本研究では、宇宙マイクロ波背景放射の温度揺らぎ図から得られる等温線ループ集団・およびその断面について、そのパターンとしての性質に着目し、2次元ランダム表面で得られた知見を用いて揺らぎの特徴づけを試みた。

SPH法を用いた乾燥破壊シミュレーションとその統計的性質

伊藤伸一, 湯川 諭

我々は日常的に干上がった湖や田んぼ等で乾燥破壊による亀裂パターンを見かける。今回それらのような乾燥破壊パターンを、粒子法的一种であるSPH法を用いて数値シミュレーションで再現し、その統計的な性質について調べたので報告する。

波打ち際の斜め交差模様のでき方

遠藤徳孝, 村上貴志, 泉 典洋

砂浜の波打ち際に出来る、斜面最大傾斜方向に対して斜め2方向に伸び交差する細い溝地形(リル)の形成過程を検討した。斜面傾斜とリル交差角とは正の相関を示し、流水下の砂面に対する線形安定性解析の結果は定性的に一致した。

断層の摩擦法則と粉体ダイナミクス

波多野 恭弘

地震は地殻のすべり破壊であり、岩石の摩擦特性がその破壊伝播ダイナミクスに決定的な影響を与える。そのすべり速度は年間数センチ程度(クリープ)から1メートル毎秒程度(地震すべり)に至るまで実に10桁にわたって変化する。地震発生過程の研究ではこのような幅広い速度レンジにおける摩擦特性を系統的に解明することが必要である。しかし精度よい実験は技術上なかなか困難であり、定性的な実験結果はこれまでいくつか知られていたものの、統一かつ定量的な経験則はこれまで知られていなかった。我々は圧力・すべり速度・温度を精度よくコントロールできる回転式摩擦実験装置を用いて、幅広い速度レンジにおける岩石の摩擦係数の系統的測定にまず成功した。実験結果の解析を通じて、摩擦特性がすべり速度に応じて定性的に異なる3つのステージに分類されることを示し、複数ステージ間の移り変わりが微視的物理過程のクロスオーバーに起因することを論じる。各ステージにおける物理過程についての微視的理論も簡単に紹介する。定常状態間の移り変わりを記述する緩和方程式も理論的に導出できることを紹介する。

レイリーテラー不安定性条件下で形成される表面パターン

下川 倫子

軽い溶液の表面に重い溶液の滴を静かに置くと、二つの溶液界面でレイリーテラー不安定性が起こり、二つの溶液の境界にフラクタル構造、もしくはセル構造が観察される。円筒容器の半径 r と溶液の深さ h を変化させた実験で、 $r > h$ のときセルパターン、 $r < h$ ではフラクタルパターンが出現することが分かった。また、表面パターンの変化に伴い、 $r = h$ を境に垂直方向の流れも変化することから、垂直方向の流れが表面パターンを決定していることが実験で明らかになった。

流体力学的相互作用を組み込んだ粒子法による粉体なだれのパターン形成

新屋 啓文、栗津 暁紀、西森 拓

なだれは、雪崩に限らず、岩屑流や火砕流などの重力流や密度流といった異なる流れで幅広く用いられており、頭部・尾部構造と呼ばれる共通の構造を持つことが知られている。例えば、ポリスチレン粒子を斜面上に流した場合、なだれ前端が不安定化し、波状のパターン（複数の head）が形成すると報告されている。実験では低密度粒子を用いているため、head の形成要因は、なだれの駆動力である重力と空気抵抗であると考えられる。そこで、我々は空気抵抗が粉体なだれへ及ぼす影響を調べるため、粉体・流体間

相互作用を組み込んだ粒子法を構築した。その結果、なだれ前端が不安定化し、複数の head が形成され、head 内部で渦対が発生した。さらに、粒径と head の厚さ、幅にスケーリング則が成り立つことを確認した。

液膜流下の結晶成長

上之和人

(1) 過冷却の液膜で覆われた氷柱、Aufeis、航空機翼前縁への着氷、雹、(2) 過飽和の炭酸カルシウム水溶液の液膜で覆われた鍾乳石や石灰華棚、(3) 過飽和のショ糖溶液の液膜で覆われた金平糖などは、液膜が重力や表面張力、風による摩擦力の作用で流れるとき、固液界面上に数ミリから数センチメートルスケールの凸凹が現れるときがある。液膜の厚さは供給する流量、流れる斜面の角度、風速によって変化し、界面の成長率や波長と液膜の厚さには相関が見られる。結晶化の際の潜熱や溶質の拡散過程と表面張力による Gibbs-Thomson 効果を取り入れた従来の Mullins-Sekerka 理論ではこのような長波長スケールの凸凹を予測することはできず、上述の現象を统一的に説明できる新しい理論体系が必要である。氷柱上の凸凹や Aufeis の初期形態に関する理論モデルを構築したので、実験結果との比較を行い上述の現象との関連を示す。

4 開催日程、場所

開催日程 2011 年 11 月 4 日（金）－11 月 5 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 10 件

参加者数 22 人

(研究集会)

非線形波動研究の進展 – 現象と数理の相互作用 –

研究代表者 立教大学理学部 笥 三郎

研究集会の目的

本研究集会の目的は、「非線形波動」というキーワードの下に、理論面に関心を持つ研究者、現象面に関心を持つ研究者が一堂に会して議論することで、新たな相互作用を引き出し、さらなる発展の新たな可能性を探ることである。非線形波動は、流体力学、プラズマなどを始めとする多彩な系で観測され、それを通して応用の可能性も追求されている。また、それぞれの分野における実験的研究に基づく理論的アプローチから新たな概念が生み出され、さらにそこから新たな展開が広がってきた。近年では、「交通流」とか「疫病の伝播」などのような、広い意味での地球環境をとらえる際に重要となる社会現象にまでも、非線形波動の研究で培われた手法が使われるようになってきている。

非線形波動現象から生まれて、大きく発展した分野の一例として「ソリトン」がある。流体における孤立波の伝搬を記述する理論から生まれた「ソリトン」という概念は、プラズマ中の非線形波動、固体中の電荷密度波など、物理学を貫く一つの視点として広がってきただけでなく、「逆散乱法」をはじめとする理論的解法も、多くの応用数学者の関心を得てきた。日本においては、広田良吾氏による「広田の方法」、および佐藤幹夫氏ら京都スクールによる KP 階層の理論などのように、ソリトン研究において世界的な研究がなされてきた。さらに、それらの理論に基づいた離散化の手法が、現在でも盛んに研究されており、離散ソリトン方程式から新たな数値計算アルゴリズムも生まれてきている。また、ソリトン現象を示すセル・オートマトン系から生まれた「超離散化」と呼ばれる手法は、偏微分方程式モデルとセル・オートマトンモデルとを直接つなぐ方法論を与えた。さらに、そこから交通流を解析する新たなモデルが提案され、逆にそのモデルがソリトン理論を拡張する一つの動機となっている。

「ソリトン」という話題に関して、このように現在でも活発に研究が進められているが、一方で数学理論、数値計算および実験の乖離が見受けられるのも事実である。非線形波動研究初期の頃はこれらが、より有機的に関連していた時期があり、そのことがお互いの進展に相補的に貢献していた。そこで現在の状況を鑑みて、共通の「非線形波動」というキーワードの下に、理論から実験まですべての研究者が一度に会して議論し、お互いの問題意識を確認して話し合う場が必要である。

開催予定地の応用力学研究所は、非線形波動研究の創成期以来、一貫して関連分野の研究における国内外の拠点の一つである。過去にも継続して関連した研究集会が行われてきており、活発な議論が繰り広げられ、そこから生まれた新しい研究分野も多い。本年度もまた多数の研究者の参加によって、さまざまな分野のテーマの有機的なつながりを目指すために、本研究集会の企画に至ったものである。

成果の概要

本研究集会は、平成 23 年 10 月 27 日から 29 日までの 3 日間にわたって開催され、特別講演 3 件と一般講演 33 件（口頭発表 17 件、ポスター発表 16 件）の講演が行われた。さらに、平成 23 年 9 月に急逝された和達三樹氏の非線形波動理論に対する貢献を偲んで、追悼講演が行われた。追悼講演を合わせると、計 37 件の講演が行われた。

特別講演は、「数理的側面」と「実験的側面」をつなぐ話題を選んだ上で、3 名の講演者を選定して依頼を行った。まず流体现象からの話題として、

- 浅水域における 2 次元弱非線形孤立波の相互作用の解析：Mach 反射における Benney-Luke 方程式と KP 方程式
- 界面成長とランダム行列の不思議な関係 – 液晶乱流が示す実験証拠 –

という講演が行われ、2 次元孤立波、および液晶乱流に対する近年の知見が紹介された。液晶乱流での実験結果は、統計物理学の基礎的問題である普遍クラスの分類とも関係する話題であり、その方面からの話題として

- KPZ 普遍クラスにおける厳密解

というタイトルでの講演も行われた。これらの内容は、非線形波動現象およびそれを記述する数学モデルに関して、今後の研究の指針となるべき興味深い内容であった。

一般講演については、関連研究分野の先進的な内容に関する報告が主に行われた。提供された話題は数学や物理の純理論的なものから、実験やシミュレーションの話題を始め、工学的な応用を含んだ多彩なものとなり、聴衆の幅広い興味を集めた。内容を大別すると、

- 非線形波動・非線形力学系の実験と理論
- 離散系の理論と理工学上の諸問題への応用
- 可積分系の数理と応用

であった。2日目の午後にはポスターセッションを行い、大学院生などの若手研究者をはじめとして多くの研究者が参加して、幅広い内容のプレゼンテーションが行われた。一般講演においては、総じて実験から理論までのレベルの高い講演がなされ、それを元に活発な討論が繰り広げられた。

本年度は、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」との共催となった。同プログラムおよびその周辺には、本研究集会の研究協力者をはじめ、関連分野の研究者が在籍しており、それらの方々の参加によって研究集会がより活発なものとなった。昨年度までも同様の試みがなされており、良好な関係性が継続的に築き上げられつつある。

本研究集会は、数学や物理の理論的な話題から工学的な応用問題にいたるまで多彩なテーマを扱いつつ、講演が公募されて自由に発表できることが大きな特色である。しかも、その内容は単に羅列的に提供されているのではなく、多くの研究者が講演ごとに各自の視点から積極的に討論を行って議論を深め、また関連する話題についての情報交換も活発に行われた。非線形波動に関連する研究分野における多くのテーマの有機的なつながりは研究集会の当初の目的であるが、それは十分に果たし得たのではないかと思われる。本研究集会では大学院生や学部生をはじめとした若手研究者の発表の場としても有意義であった。彼らによる新鮮な視点からの発表や討論が行われたことは、特筆しておかねばならない。非線形波動の研究のような、さまざまなテーマが密接に関係し合う研究分野では、本研究集会のような場の存在が大変重要である。このような場を提供して頂いた応用力学研究所の存在意義を、あらためて実感させて頂いた。参加者を代表して心から感謝を申し上げたい。

講演プログラムと概要

10月27日(木)

12:40-13:10 二項係数と Sierpinski 三角形

岩尾慎介(立教大学), 増田哲(青山学院大学)

よく知られているように、Pascal の三角形を2を法として読み換えると、フラクタル図形のひとつである Sierpinski 三角形が得られる。本講演では、任意の素数べき p^q を法とした Pascal の三角形を考察し、そのハウスドルフ次元が $\frac{\log p(p+1)/2}{\log p}$ であることを示す。

13:10-13:40 超離散反応拡散系

村田実貴生(青山学院大学)

我々は微分方程式に対して超離散化を行う系統的な方法を確立した。その方法は1階の微分方程式や反応拡散方程式に適用できるものである。今回は1成分の反応拡散系として知られている Allen-Cahn 方程式について、その手法で得られる方程式とその定常解や進行波解などの厳密解について報告する。また、可能であれば2成分系についても言及したい。

13:40-14:10 max-min 束と ECA

池上貴俊(早稲田大学), 高橋大輔(早稲田大学), 松木平淳太(龍谷大学)

今まで ECA の時間発展則を max-plus 表現によって表記し、解析してきた。ところが、解けたルールにおいては max と + でなく、max と min を基本演算とした構造でまとめられることがわかった。講演ではこの束と呼ばれる構造の定義、および ECA への通用について述べる。

- 14:20-15:20 **【特別講演】 浅水域における 2 次元弱非線形孤立波の相互作用の解析：Mach 反射における Benney-Luke 方程式と KP 方程式**
丸野健一 (The University of Texas-Pan American)
2 次元孤立波の相互作用の研究は、様々な物理現象に関連して、種々の解析的、数値的方法を用いて研究されてきた。弱非線形性・弱 2 次元性の仮定の下、浅水域における流体波の方程式、または、イオンプラズマ音波の方程式から KP (Kadomtsev-Petviashvili) 方程式が導出されたが、その KP 方程式は可積分系であり、可積分系研究において重要な役割を果たしてきた。近年、児玉と Chakravarty により KP 方程式のソリトン解の分類が成され、様々なソリトン相互作用を示す厳密解が見つかった。KP 方程式は流体波の方程式から弱非線形性・弱 2 次元性の仮定の下に導出されるため、これらの厳密解が実際の流体の孤立波相互作用をどの程度まで記述できるかを調べる必要がある。より現実に近いモデル方程式のひとつとして、弱非線形近似ではあるが回転対称性を持つ Benney-Luke 方程式が考えられている。しかしながら、この方程式は非可積分であり、可積分系理論を、直接適用することはできない。2 本講演では、Benney-Luke 方程式の孤立波相互作用を調べるための手法を解説し、それによって得られる結果を報告する。解析手法は広田の方法と摂動法を基本にしたもので、これを用いて Benney-Luke 方程式の (近似的) 2 ソリトン解の具体的な表示を求め、孤立波が壁に対し斜め入射して起こる Mach 反射の問題を考える。この解から入射角に対し異なった相互作用パターンが得られ、その臨界角度を求める。次に、Benney-Luke 方程式の直接数値計算を行い、解析的に得られた臨界角度が数値的にも非常に良く一致する事を示す。この結果を KP 方程式の場合と比較し、KP 方程式の厳密解は実際の浅水域での Mach 反射における 2 次元弱非線形孤立波の相互作用を非常によく記述できることを示す。本講演の内容は児玉裕治氏 (オハイオ州立大)、辻英一氏 (九大・応力研)、Baofeng Feng 氏 (UTPA) との共同研究である。
- 15:30-16:00 **Korteweg 力によって発生する流体現象の実験的アプローチ**
伴貴彦 (大阪大学), 山田 智博 (同志社大学), 高木 洋平 (大阪大学), 岡野 泰則 (大阪大学)
2 溶液の相互溶解過程で発生する Korteweg 力は、100 年以上前に理論的に予測されながら、包括的な実験例がほとんどなされていなかったが、我々は組成依存型の流動現象を実験的に実現することに成功した。
- 16:00-16:30 **ソリトンの有効相互作用：ソリトン粒子力学の構築に向けて**
角畠浩 (富山大学)
ソリトン相互作用を記述する粒子力学にゲージ場的な相互作用を導入し、近似的に並進不変性を保たせることを試みる。
- 10 月 28 日 (金)
9:30-10:00 **離散半線形波動方程式の解の爆発に関する定理**
松家敬介 (東京大学)
非線形項が累乗関数の形をした非線形波動方程式の離散化を報告する。この離散方程式は元の偏微分方程式の解の爆発に対応した性質をもつ解が存在する。元の偏微分方程式が爆発解をもつ条件として空間次元に依存したものが知られており、その離散アナログが得られたことをあわせて報告する。
- 10:00-10:30 **Spiral な境界条件を持つ離散 KdV 方程式とその有限体上への拡張**
神吉雅崇 (東京大学), 時弘哲治 (東京大学), 間田潤 (日本大学)
本講演では、spiral と呼ばれる境界条件のもとで離散 KdV 方程式を考察する。まず保存量の構成方法を紹介し、それらが超離散化できることをみる。次に方程式を有限体上で取扱い、特殊な孤立波現象が観測されることを紹介する。
- 10:30-11:00 **R_{II} 格子と対応する箱玉系について**
前田一貴 (京都大学), 辻本論 (京都大学)
有限超離散戸田格子と箱玉系との対応関係が知られている。本講演では、直交多項式からの離散戸田格子の導出を一般化した、 R_{II} 多項式からの (減算のない) R_{II} 格子の導出を考え、さらにこれを有限格子境界条件の下で超離散化することで得られる超離散系と、対応して現れる箱玉系について議論する。

- 11:15-12:15 **【特別講演】 界面成長とランダム行列の不思議な関係～液晶乱流が示す実験証拠～**
 竹内一将（東京大学理学部）
 液晶乱流を舞台に、成長界面の揺らぎがランダム行列理論の様々な統計則に従うという実験結果を紹介する。数理モデルが示す固有値分布やエアリー過程が、スケール不変性のために成長界面の普遍的性質としてロバストに現れる様は極めて非自明である。
- 13:40-14:10 線形化可能な超離散 **QRT** 系の厳密解と特異点閉じ込めテストについて
 三村尚之（青山学院大学），薩摩順吉（青山学院大学）
 保存量を持つ 2 階非線形差分方程式として、QRT 系がある。一方、超離散方程式の可積分性判定法として、超離散特異点閉じ込めテスト (uSC) が提案されている。本発表では、線形化可能な超離散 QRT 系の厳密解を構成し、uSC を適用した結果との関連について紹介する。
- 14:10-14:40 超楕円曲線の加法と可積分系一差分および超離散一
 野邊厚（千葉大学）
 周期戸田格子などの可積分系の時間発展は超楕円曲線のヤコビ多様体における平行移動（＝加法）であることが知られている。このような加法は超楕円曲線と適当な曲線との交叉を用いて実現できるため、可積分系を平面の写像力学系として解釈可能である。本講演では差分系と超離散系を比較しながらこれらについて議論する。
- 14:40-15:10 **Periodic phase solitons: N-ソリトン解と超離散化**
 広田良吾（早稲田大学名誉教授），太田泰広（神戸大学），長井秀友（早稲田大学）
 周期的位相を持つソリトンを記述する双線形差分方程式の N-ソリトン解と超離散化を議論する。
- 10 月 29 日（土）
 9:30-10:00 符号付き超離散 **Bessel** 方程式とその特殊解について
 奈良 史貴（青山学院大学），礪島伸（青山学院大学），薩摩順吉（青山学院大学）
 符号付き超離散化は符号が一定でない解を持つ差分方程式を超離散化する手法である。本講演では Bessel 方程式の符号付き超離散類似を提出し、その特殊解の構造を議論する。
- 10:00-10:30 **Darboux** 変換の一般化と準可換微分作用素
 松島正知（同志社大学），大宮眞弓（同志社大学）
 Dirac 作用素と Schrödinger 作用素は Miura 変換で結びついているが、この事を用いて Dirac 作用素に関する準可換微分作用素環を構築し、定常 KdV 階層に関する Darboux 変換の一般化を得た。
- 10:30-11:00 離散可積分系と線形回帰モデルの **D-optimal design**
 關戸啓人（京都大学）
 回帰モデルが与えられたとき、最も精度よく推定できる説明変数の組を D-optimal design と呼ぶ。離散可積分系の時間発展が、回帰モデルにおいて事前情報を与えることに対応することを説明し、D-optimal design の構成法を述べる。
- 11:10-12:10 **【特別講演】 KPZ 普遍クラスにおける厳密解**
 今村卓史（東京大学先端科学技術研究センター）
 KPZ 普遍クラスは界面成長等の非平衡系に現れ、その物理量（界面の高さ等）の揺らぎは、時間の $1/3$ 乗に比例するという特徴をもつ。この性質は普遍的で、さまざまな数理モデル（各種界面成長モデルや、ASEP などの粒子モデル、ランダム媒質中のポリマーのモデルなど）に現れる。Kardar, Parisi, Zhang は 1986 年に非線形の確率微分方程式 (KPZ 方程式) を提唱し、上記の指数 $1/3$ 等を解析的に導出した。KPZ 普遍クラスの数理的な理解は最近急速な進展を見せている。2000 年に RSK 対応等の組み合わせ論的な手法を駆使して ASEP におけるカレント分布の厳密解が得られた。また 2010 年からは、KPZ 方程式の厳密解も得られ注目されている。これらの厳密解は Fredholm 行列式を用いて表わされ、長時間極限においてランダム行列理論における最大固有値分布 (Tracy-Widom 分布) に等しくなる。また Painleve 方程式とも深く関連している。本講演では、厳密解のアプローチに基づいた KPZ 普遍クラスの数理的な側面を、我々の最近の研究を中心としてご紹介する。

- 13:30-14:00 反復関数の共役性および準共役性による **Sakaki-Kakei** 方程式の解の構成
近藤弘一 (同志社大学)
Sakaki-Kakei 方程式は超幾何関数で表される保存量をもつ 12 種類の 2 次元非可逆離散力学系である。本論文では、Sakaki-Kakei 方程式の解の構成法を解説する。保存量を求め、方程式を 1 次元化し、その反復関数をもつ共役性または準共役性を利用し一般解または特殊解を構成する。
- 14:00-14:30 q 離散ドリンフェルト・ソコロフ階層と q パンルヴェ方程式
鈴木貴雄 (大阪市立大学)
本講演では、A 型リー代数に付随するドリンフェルト・ソコロフ階層の q 離散化について考察し、その相似簡約として神保・坂井による q パンルヴェ VI 方程式の高階化となる差分方程式系が導かれることを示す。
- 14:30-15:00 古典直交多項式における **Bannai-Ito** 多項式について
辻本論 (京都大学), Luc Vinet (Centre de Recherches Mathématiques Université de Montréal, Canada), Alexei Zhedanov (Donetsk Institute for Physics and Technology, Ukraine)
Bannai-Ito 多項式の持つ古典性および Askey スキームにおける位置づけを明らかにした後、その他の古典直交多項式と異なる固有の性質について、代数的な観点から議論する。

ポスターセッション概要

- (1) 超離散系におけるカルマンフィルター
白瀬裕己 (三菱 UFJ 信託銀行), 磯島伸 (青山学院大学), 薩摩順吉 (青山学院大学)
カルマンフィルターは、線形系の誤差を伴う観測量から実際の物理量を推定するアルゴリズムとして広く用いられている。本講演では、線形系と同様の考え方で超離散系 (区分線形系) に対するカルマンフィルターを提案し、その性質や非線形問題への適用可能性を考察する。
- (2) 中心多様体理論を用いた積型離散ハングリーロトカ・ボルテラ系の局所解析
飛田明彦 (東京理科大学), 福田亜希子 (東京理科大学), 石渡恵美子 (東京理科大学), 岩崎雅史 (大阪市立大学), 中村佳正 (京都大学)
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。本発表では積型の離散ハングリーロトカ・ボルテラ系に対し中心多様体が存在することを示し、収束の最終局面において、解が平衡点に単調に近づくことを示す。
- (3) シフト付き **LR** 変換に付随する離散ハングリー系について
濱洋輔 (東京理科大学), 福田亜希子 (東京理科大学), 石渡恵美子 (東京理科大学), 岩崎雅史 (京都府立大学), 山本有作 (神戸大学), 中村佳正 (京都大学)
非自励な離散ハングリー戸田方程式及び離散ハングリーロトカ・ボルテラ系に対し、シフト付き LR 変換との関連を明らかにすることで、ベックルント変換を導出する。さらに、離散ハングリーロトカ・ボルテラ系における差分間隔がシフト量に対応することを示す。
- (4) **s2s-OVCA** の複数の渋滞が共存する定常解
宇治野秀晃 (群馬工業高等専門学校), 矢嶋徹 (宇都宮大学), 小熊和仁 (東京大学)
超離散化された最適速度模型にスロースタート効果を取り入れた s2s-OVCA について、同じ速度を持つ複数の渋滞が共存する定常解を構成する。また定常解がこの模型の基本図を再現することを示す。
- (5) **s2s-OVCA** の線形化連続極限の定常解と安定性
矢嶋徹 (宇都宮大学), 宇治野秀晃 (群馬工業高等専門学校), 小熊和仁 (東京大学)
スロースタート効果を取り入れた最適速度 CA において、各変数の時間発展が漸近安定なものであるかどうかを調べるため、連続モデルとしての s2s-OV モデルを取り上げ、線形化して定常解まわりの平面波状の摂動の振る舞いを調べる。この摂動が安定に伝わる場合と、不安定成長が観察される場合とに分類し、安定な解が存在する条件を検討する。

- (6) **A study of Hopfions and vortices in the extended Skyrme-Faddeev model**
 戸田晃一 (富山県立大学), 澤渡信之 (東京理科大学), L. A. Ferreira (サンパウロ大学), Juha Jaykka
 Skyrme-Faddeev 模型 (Skyrme 項をもつ $SO(3)$ 非線形 σ 模型) はグルーボールを記述するとされる模型である。今回は, この Skyrme-Faddeev 模型に新たな項 (高階微分項) を追加した, extended Skyrme-Faddeev 模型の, 4 次元ミンコフスキー時空での Hopfion 解と渦解に対する厳密解析および数値解析の結果を報告した。
- (7) **離散可積分系による非交叉歩道の数え上げ**
 上岡修平 (京都大学)
 離散戸田方程式等の離散可積分系は, 直交多項式等の直交関数系や連分数との関係を通じて, 格子上の歩道 (径路) 等の組合せ論的対象の数え上げ問題に結び付く。本講演では離散戸田方程式とその行列式解 (分子解) に着目し, それを用いて三角格子上の非交叉歩道 (non-intersecting walks) の数え上げ問題を解く。
- (8) **超離散化された線形波動方程式と戸田格子方程式**
 儀保伸吾 (九州大学)
 線形波動方程式は音波や電磁波など多くの現象を記述するために重要な方程式である。本研究では, 線形波動方程式の超離散化を試みた。また, 得られた結果と戸田格子方程式との関係についても議論する。
- (9) **口蹄疫伝染パターンと変形 SIR モデル**
 松島弘典 (同志社大学), 大宮真弓 (同志社大学)
 口蹄疫の伝染パターンの数理モデルとして, インフルエンザの流行の数理モデルである SIR モデルを改良し, 2010 年に宮崎県内で流行した口蹄疫の実際のデータに限りなく近い変形 SIR モデルを構成した。
- (10) **A Combinatorial Method for the Vanishing of the Poisson Brackets of an Integrable Lotka-Volterra System**
 伊藤栄明 (統計数理研究所)
 The combinatorial method is useful to obtain conserved quantities for nonlinear integrable systems, as well as the Lax representation. Here we extend the combinatorial method and introduce an elementary geometry to show the vanishing of the Poisson brackets of the Hamiltonian structure for a Lotka-Volterra system of competing species.
- (11) **Van der Pol equation for the oscillation of stock price by majority orienting traders**
 伊藤栄明 (統計数理研究所)
 We consider an interacting particle system for the stock price fluctuation. The change of the stock price with a feedback by the price gives the van der Pol equation as a deterministic approximation (H. Takahashi and Y. Itoh (2004)). Considering the investment position of each trader, we introduce the delayed van der Pol equation. The history of investment positions, for example sell or buy, of each trader for a stock makes a memory effect, which is modeled by using the time retardation (T. Yamashita and Y. Itoh (2007)).

- (12) **Bottom Up and Top Down Design of Ultra Discrete Burgers Cellular Automata for Simulating Traffic Flow**
 中田一紀 (九州大学 INAMORI Frontier Research Center)
 We propose bottom up and top down design for digital VLSI implementation of multiple-value cellular automata for simulating traffic flow. Recently, a family of the Burgers cellular automata (BCA) has been extremely extended for modeling multi-lane traffic flow using the ultra discrete method. The family of BCAs is suitable for digital VLSI implementation because of the discreteness in time and space, and state values in addition to the logical update procedure represented as max and min operators. As a first step, we designed unit circuits for implementing the elementary BCA, and verified fundamental operation in networks with the circuit simulator SPICE. Based on the results, we discuss the bottom up and top down design for large-scale integrated circuit implementation of the family of BCAs.
- (13) **$(n+1, n)$ 型分割に付随した Painlevé 系**
 山本聖爾 (立教大学)
 本研究では、分割 $(n+1, n)$ に対する A 型 Drinfeld-Sokolov 階層を相似簡約することで、新しい高階 Painlevé 型常微分方程式系を導く. この方程式系は $2n$ 階 Hamilton 系として記述され、 $A_{2n}^{(1)}$ 型 affine Weyl 群対称性を持ち、超幾何解を持つ.
- (14) **区分線形型 FitzHugh-Nagumo 方程式の逆超離散化**
 大川豪 (立教大学), 笈三郎 (立教大学)
 神経細胞のモデルである FitzHugh-Nagumo 方程式においては、非線形項の選び方にいくつかのバリエーションがある。その 1 つである区分線形型非線形項の場合 (McKean model) に対し、方程式の持つ定性的な性質を保つような逆超離散化を提案する。
- (15) **連立 Euler-Poisson-Darboux 方程式の対称性**
 三澤彰宏 (立教大学), 笈三郎 (立教大学)
 いわゆる “Euler-Poisson-Darboux 方程式” が sl_2 対称性を持つことは良く知られている。本研究では、1 つの拡張として連立型 Euler-Poisson-Darboux 方程式を考察し、それが sl_2 対称性を持つことを示す。また、連立型の場合の昇降作用素についても、具体的に構成できる。
- (16) **立体魔方陣と有限体**
 宮川文香 (立教大学)
 白川俊博氏は、魔方陣に関する懸賞問題の 1 つである「積で成立する立体魔方陣で $3 \times 6 \times 4$ 未満の数からなるもの」という問いを、サイズ 4 に対して解いた。本研究では、白川氏の魔方陣の背後の幾何的構造について解析する。

開催の期間 平成 23 年 10 月 27 日 ~ 平成 23 年 10 月 29 日

参加者 69 名

平成 23 年度 九州大学応用力学研究所 共同利用研究集会

「非線形波動研究の進展 ー現象と数理の相互作用ー」

期間： 2011 年 10 月 27 日(木) 12:30 ～ 29 日(土) 15:10

場所： 九州大学筑紫地区総合研究棟(C-CUBE) 1F 筑紫ホール

共催： 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」

10月27日(木)

- 12:30-12:40 諸連絡
- 12:40-13:10 岩尾慎介(立教大学), ○増田哲(青山学院大学)
二項係数と Sierpinski 三角形
- 13:10-13:40 ○村田実貴生(青山学院大学)
超離散反応拡散系
- 13:40-14:10 池上貴俊(早稲田大学), ○高橋大輔(早稲田大学), 松木平淳太(龍谷大学)
Max-min 束と ECA
- 14:10-14:20 休憩
- 14:20-15:20 ○丸野健一(The University of Texas-Pan American)
【特別講演】浅水域における 2 次元弱非線形孤立波の相互作用の解析: Mach
反射における Benney-Luke 方程式と KP 方程式
- 15:20-15:30 休憩
- 15:30-16:00 ○伴貴彦(大阪大学), 山田智博(同志社大学), 高木洋平(大阪大学), 岡
野泰則(大阪大学)
Korteweg 力によって発生する流体现象の実験的アプローチ
- 16:00-16:30 ○角畠浩(富山大学)
ソリトンの有効相互作用: ソリトン粒子力学の構築に向けて

10月28日(金)

- 9:30-10:00 ○松家敬介(東京大学)
離散半線形波動方程式の解の爆発に関する定理
- 10:00-10:30 ○神吉雅崇(東京大学), 時弘哲治(東京大学), 間田潤(日本大学)
Spiral な境界条件を持つ離散 KdV 方程式とその有限体上への拡張
- 10:30-11:00 ○前田一貴(京都大学), 辻本論(京都大学)
 R_{II} 格子と対応する箱玉系について
- 11:00-11:15 休憩
- 11:15-12:15 ○竹内一将(東京大学理学部)
【特別講演】
界面成長とランダム行列の不思議な関係 ～液晶乱流が示す実験証拠～

- 12:15-13:40 休憩
- 13:40-14:10 ○三村尚之（青山学院大学），薩摩順吉（青山学院大学）
線形化可能な超離散 QRT 系の厳密解と特異点閉じ込めテストについて
- 14:10-14:40 ○野邊厚（千葉大学）
超楕円曲線の加法と可積分系 ー差分および超離散ー
- 14:40-15:10 ○広田良吾（早稲田大学名誉教授），太田泰広（神戸大学），長井秀友（早稲田大学）
Periodic phase solitons: N -ソリトン解と超離散化
- 15:10-15:20 休憩
- 15:20-16:00 矢嶋徹（宇都宮大学），宇治野秀晃（群馬工業高等専門学校）
【追悼講演】和達三樹先生を偲んで
- 16:00-16:10 休憩
- 16:10-17:50 ポスターセッション
- 18:00 ～ 懇親会

10月29日（土）

- 9:30-10:00 ○奈良崎史貴（青山学院大学），礪島伸（青山学院大学），薩摩順吉（青山学院大学）
符号付き超離散 Bessel 方程式とその特殊解について
- 10:00-10:30 松島正知（同志社大学），大宮眞弓（同志社大学）
Darboux 変換の一般化と準可換微分作用素
- 10:30-11:00 ○關戸啓人（京都大学）
離散可積分系と線形回帰モデルの D-optimal design
- 11:00-11:10 休憩
- 11:10-12:10 ○今村卓史（東京大学先端科学技術研究センター）
【特別講演】KPZ 普遍クラスにおける厳密解
- 12:10-13:30 休憩
- 13:30-14:00 ○近藤弘一（同志社大学）
第 1 型および第 12 型 Sakaki-Kakei 方程式の自己準共役性と特殊解
- 14:00-14:30 ○鈴木貴雄（大阪市立大学）
 q 離散ドリinfeldt・ソコロフ階層と q パンルヴェ方程式
- 14:30-15:00 ○辻本論（京都大学），Luc Vinet, Alexei Zhedanov
古典直交多項式における Bannai-Ito 多項式について
- 15:00-15:10 諸連絡

ポスターセッション（10月28日（金），16:10-17:50）

- 1 白瀬裕己（三菱 UFJ 信託銀行），○礒島伸（青山学院大学），薩摩順吉（青山学院大学）
超離散系におけるカルマンフィルター
- 2 ○飛田明彦（東京理科大学），福田亜希子（東京理科大学），石渡恵美子（東京理科大学），岩崎雅史（大阪市立大学），中村佳正（京都大学）
中心多様体理論を用いた積型離散ハングリーロトカ・ボルテラ系の局所解析
- 3 ○濱洋輔（東京理科大学），福田亜希子（東京理科大学），石渡恵美子（東京理科大学），岩崎雅史（京都府立大学），山本有作（神戸大学），中村佳正（京都大学）
シフト付き LR 変換に付随する離散ハングリー系について
- 4 ○宇治野秀晃（群馬工業高等専門学校），矢嶋徹（宇都宮大学），小熊和仁（東京大学）
 $s2s$ -OVCA の複数の渋滞が共存する定常解
- 5 ○矢嶋徹（宇都宮大学），宇治野秀晃（群馬工業高等専門学校），小熊和仁（東京大学）
 $s2s$ -OVCA の線形化連続極限の定常解と安定性
- 6 ○戸田晃一（富山県立大学），澤渡信之（東京理科大学），L. A. Ferreira（サンパウロ大学），Juha Jäykkä（University of Leeds）
A study of Hopfions and vortices in the extended Skyrme-Faddeev model
- 7 ○上岡修平（京都大学）
離散可積分系による非交叉歩道の数え上げ
- 8 ○儀保伸吾（九州大学）
超離散化された線形波動方程式と戸田格子方程式
- 9 ○松島弘典（同志社大学），大宮眞弓（同志社大学）
口蹄疫伝染パターンと変形 SIR モデル
- 10 ○伊藤栄明（統計数理研究所）
A combinatorial method for the vanishing of the Poisson brackets of an Integrable Lotka-Volterra system
- 11 ○伊藤栄明（統計数理研究所）
Van der Pol equation for the oscillation of stock price by majority orienting traders
- 12 ○中田一紀（九州大学 INAMORI Frontier Research Center）
Bottom up and Top down design of ultra discrete Burgers cellular automata for simulating traffic flow
- 13 ○山本聖爾（立教大学）
($n+1, n$) 型分割に付随した Painleve 系
- 14 ○大川豪（立教大学），笥三郎（立教大学）
区分線形型 FitzHugh-Nagumo 方程式の逆超離散化
- 15 ○三澤彰宏（立教大学），笥三郎（立教大学）
連立 Euler-Poisson-Darboux 方程式の対称性
- 16 ○宮川文香（立教大学）
立体魔方陣と有限体

「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、黒潮亜表層で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。

研究集会には名古屋大学地球水循環研究センターと九州大学応用力学研究所の他、愛媛大学、長崎大学、富山大学からの参加者があった。6日は物理過程と生物・化学過程の2つのセッションを設け、物理過程では混合層中での乱流エネルギーの見積もり、黒潮への渦や台風の影響、海洋の海上風の励起に関して、生物・化学過程は主に亜表層クロロフィル極大と栄養塩躍層、低酸素水塊、栄養塩の循環に関して話題提供があり、議論を行った。7日は今年予定されている共同研究航海に関して打ち合わせを行った。

2. 研究集会の概要

日時：2012年2月6日（月） 13:00～17:00

2月7日（火） 9:30～12:00

場所：九州大学応用力学研究所 6F W601

研究集会では東シナ海における循環と混合過程に焦点を当て、以下の2つのセッションを設けた。

- (1) 東シナ海およびその周辺海域における物理過程について
- (2) 東シナ海陸棚域における生物・化学過程について

1つ目のセッションでは、物理過程を中心に風の影響など、主として大気と関係した海洋の循環・混合過程の話題提供があった。九州大の遠藤は、九州大と名古屋大の研究グループで継続的に実施している東シナ海陸棚域での共同観測から、2007年10月に東シナ海陸棚上で行われた乱流微細構造の時系列観測データを用いて、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った結果について報告した。散逸項には、乱流微細構造観測プロファイラーの測定値を用い、浮力生成項は、鉛直一次元の密度保存式を鉛直積分することにより計算し、シアー生成項は相似則を仮定して見積った。これらの項の残差として見積もられた輸送項は、混合層上部から混合層下部への乱流運動エネルギーの輸送に相当し、混合層深度と同じオーダーの密度逆転が生じていたという観測事実と整合的な結果を示した。この結果は観測に基いて表層混合層における乱流過程を評価したもので、かなり物理的専門性の高いものである。

が、有光層内のプランクトンや物質の挙動の理解に繋がるものでもある。

愛媛大の Guo は、太平洋規模の PDO など気候インデックスと東シナ海周辺域の水位変動の関係という大規模な現象について話題を提供した。東シナ海における黒潮流量の変動は、2003 年を境にその特徴の変化を示し、2003 年以前には PDO に対応した変動が見られたのに対し、それ以降では特に台湾南東海域で形成される顕著な中規模渦に対応した変動が卓越するようになったことを示した。2003 年以降は渦に対応した変動が大きく、PDO に対応した変動は目立たなくなっている。このような大規模なスケール、またレジームシフトのような気候変動と陸棚域の生物環境との関連は現時点では明らかではないが、今後重要なテーマになる可能性が高い。

愛媛大の加古は気候値を用いて SSS と SST に相関があることを示し、そのことから低塩分水の存在が混合層直下の成層を強くして、それによって表層水温を上昇させていることを示した。さらにその表層水温の上昇が海上風を強化することを示し、その海上風の強まりがエクマン輸送を増加させることから、水温上昇によってエクマン輸送が 10% 程度上昇することを示した。今後更に検討すべき点も議論されたが、長江希釈水の広がりが大気変動を経て更に表層循環に影響を与える可能性があることが示され、興味深い。

名古屋大の森本は台風の通過にともなって台湾の北東部の陸棚縁辺域で顕著な冷水域が発達する現象に注目し、大気海洋結合モデルを用いて、遠距離海洋レーダにより黒潮の移動が観測された 2005 年と 2009 年の台風通過を例に取り、黒潮の移動と基礎生産増加に関係する低水温水塊の動きに注目して行った解析の結果を示した。具体的には、低水温水塊は強い南東風による台湾の北での沿岸湧昇により陸棚上に供給され、台湾海峡付近の北東風により励起された台湾に沿った強い流れにより台湾海峡へ輸送されたこと、黒潮がなくても高気圧性の渦が生じること、沿岸湧昇や沿岸流の形成には台湾の存在が重要なこと、黒潮は陸棚上に供給された低水温水塊の鉛直輸送に重要なこと、などが示された。この研究では、台風通過に伴う正味の陸棚上への栄養塩供給は大きくない可能性が示されたが、台湾北東域での下層水の湧昇は陸棚域に供給される外洋起源の栄養塩の挙動と密接に関連しており、個々のプロセスを整理して理解する必要がある。

二つ目のセッションでは、特に陸棚域での最近の観測結果に基づいた生物・化学過程を含んだ話題提供が 5 件あった。最初に富山大の張は、2000 年以降に東シナ海陸棚縁辺部および外部陸棚域で行われてきた観測データを整理し、低酸素水とクロロフィル極大層の分布と挙動の特徴を示した。特に 2003 年以降のデータからクロロフィル濃度を海域で積算し、単位面積あたりのクロロフィル量が同じ季節では比較的一定していることを示した。年によって長江希釈水の分布が異なることを考慮すると興味深い、これが何を意味しているか、今後検討する必要がある。さらに、次年度以降に計画している広範囲の白鳳丸の観測や、中国海洋大学の観測計画などが紹介された。

九州大の松野は、昨年 6 月の名古屋大学における研究集会での報告に引き続いて、主として 2011 年 7 月に長崎丸で観測されたクロロフィル極大の特徴について、2010 年以前の特徴と比較しながら紹介した。2009、2010 年の 7 月には 20m 付近にクロロフィル極大があったのに対し、2011 年にはクロロフィル（蛍光光度）の極大は 30m 付近に見られ、それは成層の下部（それ以深は海底混合層）に位置していたことを示した。前年までとの相違の理由については、栄養塩の分布や光の条件との比較など、今後の検討が必要である。

長崎大の梅澤は 2009 年から 2011 年の観測航海から得られた東シナ海陸棚域における窒素とリンの分布と挙動について、特に硝酸と酸素同位体注目した報告を行った。生物生産の高い表層・亜表層で、

軽い硝酸が生物に取り込まれることによって重い窒素同位体の比率が高くなることを示し、同位体組成の計測から生物生産活動を把握する視点を紹介した。有光層内での再生産の量的評価に応用できる可能性についても議論されたが、何を基準にするかなど難しい問題もあり、今後の研究の進展が期待される。

長崎大の武田は枯渇状態にある表層での栄養塩のナノモルレベルでの観測の試みと、鉛直的に解像度の高い栄養塩の分布測定の結果について紹介した。航走中に実施された表層栄養塩の測定では比較的高栄養塩も見られ、浮遊していた青のりとの関連が示唆された。また、1~3m毎の採水から計測された栄養塩は、非常に顕著な栄養塩躍層や非常に薄いクロロフィル極大層の存在を明らかにしたが、これはクロロフィル極大の形成や鉛直拡散の寄与の評価について再検討が必要になるような興味深い結果であった。

最後に名古屋大の鋤柄は、2010年、2011年7月に長崎丸によって実施された漂流ブイを追跡しながらのセディメントトラップの結果について報告した。そして、東シナ海夏季の沈降粒子について、20m以浅では有光層中の生物起源粒子、30m以深では堆積物由来の粒子が多く含まれていたことから、海面下30m程度まで海底からの再懸濁の影響があることを示し、また、沈降粒子の有機成分は、2010年と2011年で大きく異なり、海域の成層構造や栄養塩環境に強い影響を受けていたことを示す結果を紹介した。実際、上述のように2010年と2011年とでは成層構造に大きな相違があり、クロロフィル極大の深さも10m程違っていた。今後、成層構造や栄養塩の分布と各層における有機物の沈降量との比較から、栄養塩循環に対する沈降有機物の寄与の割合が明らかになってくることが期待される。

総合討論では、これらの最近の研究成果を踏まえて、今年夏季および秋季に計画されている長崎丸と淡青丸の航海で、どのような観測をすべきかなどについて議論を行った。

具体的な観測計画については、特に観測に関心のある参加者が改めて翌日に議論の場を設け、様々な視点から観測の方向性などについて検討を行った。これらの議論に基づいて、それぞれの観測の担当者から、測線・測点図の案を作成し、さらに観測計画を詰めていくことが確認された。

プログラム

2012 年 2 月 6 日 (月)

- 13:30－13:50 遠藤 貴洋・松野 健・吉川 裕・堤 英輔
夜間の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
- 13:50－14:10 Endro SOEYANTO, Xinyu GUO○, Jun ONO, Yasumasa MIYAZAWA
Interannual variability in the sea level and Kuroshio transport in the East China Sea detected by a data assimilation ocean model
- 14:10－14:30 加古真一郎・磯辺篤彦
長江希釈水が励起する東シナ海陸棚上における海上風の変化
- 14:30－14:50 森本昭彦・相木秀則・吉岡真由美・坪木和久
台風通過に伴う台湾北東陸棚上での低水温域の発生
- 14:50－15:10 休憩
- 15:10－15:30 張勁・藤城義久・松野健
最近 10 ケ年の東シナ海観測結果からみる低酸素水塊及び Chl-max 水塊の挙動
- 15:30－15:50 松野 健・遠藤貴洋・吉川 裕・堤 英輔・石坂丞二
2011 年夏の長崎丸航海における Chl-max と鉛直混合の観測結果
- 15:50－16:10 山口聖・梅沢有
東シナ海の窒素・リンの分布と挙動－2009 年～2011 年航海のまとめ
- 16:10－16:30 武田重信・江藤祐輔・迎 雄一
夏季の東シナ海表層における長江起源水の拡がりと栄養塩の動態
- 16:30－16:50 鋤柄 千穂・三野 義尚・Sarat Chandra Tripathy・石坂 丞二・松野 健
夏季東シナ海中央部における粒子状物質の生成・沈降過程について
- 16:50－17:20 総合討論とまとめ

2012 年 2 月 7 日 (火)

- 09:30－ 2012 年の観測計画（長崎丸・淡青丸）について