

2.3. 研究終了報告

本節には、気象研究所が実施し、平成 19 年度に終了した研究課題のうち気象研究所予算による下記課題について、課題毎に計画と研究成果等を掲載した。

2.3.1. 融合型経常研究

- ・上陸台風の構造変化過程とそれに伴う暴風、豪雨、高潮の発生に関する研究 …………… 89

2.3.2. 一般経常研究

- ・氷晶発生過程に関する研究 …………… 103
- ・高解像度(渦解像)海洋大循環モデルの開発と
それによる水塊の形成、維持、及び変動機構の解明 …………… 108
- ・海洋データ同化システムの高精度化と海洋現象の季節から経年変動の解析 …………… 116

2.3.3. 地方共同研究

- ・西太平洋におけるバリエーションの形成・分布に関する研究 …………… 127
- ・大都市域に強雨をもたらす降水系に関する研究 …………… 131
- ・台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 …………… 135

上陸台風の構造変化過程とそれに伴う暴風、豪雨、高潮の発生に関する研究

研究期間：平成17年度～平成19年度

研究代表者：榊原 均¹⁾、富樫正明²⁾（台風研究部長）

課題構成及び担当者

(1) 日本に接近・上陸する台風の移動、強度及び構造変化過程の研究

北島尚子、中澤哲夫、上野 充、別所康太郎²⁾、星野俊介²⁾、村田昭彦、和田章義（台風研究部）、加藤輝之（予報研究部）

(2) 顕著現象発生と台風の構造変化との関連に関する研究

中澤哲夫、上野 充、北島尚子、楠 研一、別所康太郎、村田昭彦、高野洋雄、益子 渉、國井 勝（台風研究部）、吉崎正憲¹⁾、中村誠臣²⁾、藤部文昭（予報研究部）、鈴木 修、山内 洋、中里真久（気象衛星・観測システム研究部）

研究の目的

2004年は、平年の約4倍に当たる10個の台風が日本に上陸した。それらのうち、例えば台風第16号は瀬戸内海で高潮災害を、台風第18号は北日本も含めた広範囲に暴風被害をもたらした。また台風第22号は突風災害を、台風第23号は大雨災害をもたらした。このような日本本土に災害をもたらす諸現象は、台風が中緯度傾圧帯の影響を受けて温帯低気圧への構造変化過程にあることから、前線に伴う広範囲の上昇流と大量の水蒸気、下層寒気や中層の乾燥空気の流入などにより生じるということが、近年認識され始めている。このような現象を解明することは、台風及びそれに伴う顕著な現象の予測精度の向上につながることから、2004年に日本に接近・上陸した台風のうち大きな被害をもたらした台風を中心に、中緯度における台風の構造変化過程と、それに伴う暴風、豪雨、高潮などの発生の関連を調べ、防災情報の高度化に資することを目的とする。

（以下、台風番号については、「2004年の台風第16号」を「台風0416号」のように、各年の台風番号の前に西暦年下2桁の数字を付した4桁の番号を用いて表記する。）

研究の目標

2004年度に作成したデータベースを用いた解析、再現実験などにより①中緯度における台風の構造変化過程への大気・海洋環境場の影響および②暴風、豪雨、高潮の発生への台風および周辺の大気構造の影響を明らかにする。

研究の概要

2004年度に作成した上陸台風に関するデータベースを用いた解析および数値モデルによる再現実験をもとに以下の研究を行う。

- ・台風の日本への接近・上陸および強度変化に与える熱帯・亜熱帯の大気・海洋環境場の影響を調べる。
- ・台風および周辺の大気構造を調べ、台風から温帯低気圧への構造変化過程を明らかにし、中緯度上層ジェット・前線系および下層前線との関連を調べる。
- ・甚大な被害をもたらした暴風、豪雨、高潮の実態を明らかにし、構造変化過程にある台風の構造(下層寒気、中層乾燥空気の有無など)、中緯度擾乱(上層ジェット、上層、下層前線にともなう上昇流の範囲、強さなど)、山岳地形との関連を調べる。台風により顕著被害が発生した場合は地方官署と連携して被害調査を可能な限り実施する。類似台風事例についても解析、再現実験を行い、2004年の上陸台風との比較を行う。

研究成果

- ・2004年に台風が日本に最多上陸した原因の一つに、熱帯域の季節内変動が寄与していることがわかった。
- ・台風の強度とその急激な変化と海洋との相互作用は密接な関係があることが明らかとなり、また非静力学大気海洋モデルによる数値実験の実施により、局所的な海面水温低下が日本上陸台風の発達抑制を促

¹⁾ 平成17年度、²⁾ 平成18～19年度

していたことを確認した。特に海面水温だけでなく、海洋表層における貯熱量が台風の強度とその急激な変化と関連していることなど、新たな知見が得られた。

- ・日本に上陸した台風は、盛夏期に東日本・西日本に上陸したものを除き、中緯度の傾圧帯の影響を受けて構造変化(温帯低気圧化)の過程にあった。そして擾乱の構造及びそれに伴う諸現象の多様性は、構造変化の進行の度合いに関連し、またそれは下層傾圧帯の強さや上層トラフ・ジェットストリークのスケールや強さに関連していたことがわかった。
- ・日本に接近・上陸する台風の多くは構造変化過程にあり、暴風の分布にも多様性が現れる。研究期間には、2004年の複数の台風に伴う突風や2006年の台風0613号に伴って甚大な被害を出した竜巻等突風が発生した。これらの現象について、ドップラーレーダーや高分解能数値モデルなどを用いた本研究での解析により、そのメカニズム解明が進んだ。また、台風0422号に伴う関東南部で生じた進行方向後面左側の強風に関し、下層の冷気存在と山岳と台風の位置関係によってもたらされたことが明らかとなった。
- ・台風に伴う豪雨について、数値シミュレーションと観測結果から、太平洋側だけではなく内陸や日本海側でも豪雨となった事例について、下層寒気の流入とそれに伴う前線帯の強化が寄与していることが明らかとなった。
- ・2004年の台風による高潮でもっとも顕著な例である、台風0416号と台風0423号の事例について、メカニズムと特徴について特定できた。

今後に残された問題点

- ・台風の日本上陸に、熱帯の季節内変動や、エルニーニョ/ラニーニャが関連していることがわかった点は、今後の更なる研究の足がかりとなるものである。今後、季節内変動の内部構造(赤道波の振舞い)と台風の発生及び移動経路との関連や、エルニーニョ時に日本の南海上に現れる高気圧偏差をもたらしているメカニズムの解明などについて調査していく必要がある。
- ・マイクロ波放射計を用いた最大風速推定法について、気象庁台風センターで実際の現業利用について検証が進められているが、今後、台風センターからのフィードバックを受けて改善していく必要がある。
- ・マイクロ波探査計を用いた研究については、現業利用には至らなかったものの、強度推定法や温帯低気圧化判定法についての開発に今後つながる成果が得られており、今後この研究を更に進める必要がある。
- ・台風強度と海洋貯熱量の関係については、海洋貯熱量と台風発生や台風の数年～数十年スケール変動への関連も注目されつつあり、更に調査を続ける必要がある。海洋再解析データは、海洋貯熱量の評価だけではなく、非静力学大気海洋結合モデルによる台風強度予測への海洋初期値として効果的であることが示されたが、その精度が台風強度予測に与える影響については更なる調査が必要である。
- ・中緯度との相互作用については、中緯度に存在する上層・下層それぞれの擾乱が台風の構造変化に寄与し、またそれぞれの相対的な寄与の大きさによって構造変化が異なることが示されたが、今後、中緯度地方の中でも地域や季節などによって異なる環境場の条件の中での台風の構造変化の差異と、それに伴う顕著現象について、調査を行う必要がある。
- ・日本付近で構造変化しつつある台風について、その暴風の多様な特性の一端を事例解析と統計的な手法で解明できた。こうした知見を蓄積・体系化し、その物理的理解を進めるとともに、きめ細かい防災情報へ活かしていくことが今後の課題である。
- ・台風に伴う竜巻等突風現象について、期間中に複数の台風に伴う複数のメカニズムによる事例解析を行い、有益な知見が得られた。ただ、良質な観測データが得られる例は、空港ドップラーレーダー周辺に限られており、デュアルドップラー観測の可能な範囲も極めて狭く、十分な数の解析ができたとは言えないことから、今後とも同様な解析を進めて、知見の蓄積を行う必要がある。
- ・衛星搭載マイクロ波観測のデータにより、温帯低気圧化過程にある台風の周辺では成熟期の台風とは異なる特異な風分布が生じていることがわかった。これは日本における台風の風災害対策にとって非常に重要な知見である。このような特異な分布の多様性やそれが生じる環境場の条件などについて、今後更に調査する必要がある。
- ・台風が海面水温の比較的低い領域へ進んでも、より低温の下層寒気が流入することで海面からの顕熱・潜熱フラックスが増大することは、台風に伴う降水だけではなく、台風強度にも影響することが考えられるので、今後、調査を行う必要がある。また、台風に伴う豪雨に関する解析事例を増やす必要が

ある。

- ・高潮の詳細な振る舞いには局所的な要因の影響が重要になってくるので、これらのメカニズムの更なる調査と台風の微細構造等による局所的な風の変化の影響等を調査する必要がある。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

日本に大きな災害をもたらす上陸台風について、種々の観測、解析、数値計算を総合してマクロ及びミクロの立場から多くの優れた科学的成果を出している。熱帯季節内変動の台風移動経路への影響や海洋貯熱量と台風の強度・発達との高相関の発見は特筆に値し、また、暴風・豪雨の事例解析を重ねて中緯度における構造変化という視点から災害事例に言及していることは今後の防災にも有益と考えられる。瀬戸内海の高潮に関門海峡の影響があることの指摘も興味深い。気象業務に貢献する重点研究として、学会向けの英文の論文だけでなく、和文の報告や解説を多数発表している点も高く評価できる。

本研究課題の重要性は現時点においても変わるものではなく、これらの成果を更に発展させていくことが必要である。今後も事例や詳細な観測・解析を行っていくとともに知見をどのように蓄積・体系化していくか検討してほしい。また、混合層だけではない海洋モデルとの結合等による再現・予測の高精度化についても期待する。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 59 件
- ・口頭発表件数 106 件

(1) 日本に接近・上陸する台風の移動、強度及び構造変化過程の研究

副課題目標

台風の最多上陸をもたらした熱帯・亜熱帯の大気・海洋環境場の特徴を抽出するとともに上陸までの台風の強度変化に及ぼす海面水温の影響（台風通過時の海面水温低下の影響を含む）を評価する。さらに台風から温帯低気圧への構造変化過程を調べ、中緯度擾乱（上層ジェット・前線系および下層前線）の役割の解明を目指す。

研究の概要

2004 年度に作成した上陸台風に関するデータベースを用いた解析および数値モデルによる再現実験をもとに以下の研究を行う。

- ・2004 年を含め、台風上陸が多かった年の環境場の特徴についてまとめるとともに、環境場以外の要因についても移動への影響の定量化を試みる。
- ・台風と海面水温、海洋貯熱量の関係及び海気相互作用を含む非静力学モデルによる台風数値実験を行う。
- ・日本に上陸した台風の三次元構造の多様性について、2004 年を中心として事例による環境場との相互作用の相違を解析し、関連して生じる顕著現象のメカニズムについても考察を行う。

研究成果

① 移動・強度

- ・2004 年の台風の事例を対象に台風移動と一般風の間関係を把握するために、全球客観解析の風データを用いてトラジェクトリー解析を行った。対流圏上、中、下のどの特定層の一般風よりも対流圏全層の平均風から得られるトラジェクトリーが台風移動に最もよく合致することを確認した。
- ・台風の移動機構を理解するために数値実験の結果を用いて回転風や発散風の台風移動への寄与を調べた結果、それらは単独では一般風に相当する程の大きな寄与を有すること、その寄与はお互いに相殺される傾向があること、ともに渦軸傾斜に起因するものであることなどが分かった。そういった風の影響の他に、2004 年の上陸台風について台風コア域の降水の偏りに伴う非対称な質量損失の台風移動への影響を観測データから見積もった結果、場合によっては無視できない影響を及ぼしている可能性があることが示唆された。
- ・2004 年に台風が日本に最多上陸した原因の一つに、熱帯域の季節内変動が寄与していることがわかった。地球を 1 ないし 2 ヶ月で東進する熱帯域の季節内変動が、熱帯北西太平洋で活発になると、フィリピン東方海上のモンスーントラフが強まり、台風が発生するとともに、強まったモンスーントラフ

フに沿って台風が台湾や南西諸島に移動するため、その後転向して日本に上陸・接近しやすいことがわかった。

- ・マイクロ波放射計の輝度温度を用いた台風の最大風速推定法を開発した。AMSR-Eを用いた推定法では、5～6m/s程度の誤差で強度を推定することができた。
- ・マイクロ波探査計から求められた台風内部および外部環境の温度構造に着目し、台風の発達および温帯低気圧化時にどのような特徴がみられるかを調査した。その結果、200hPa面の中心部の気温偏差と台風の発達・衰弱・温帯低気圧化がよく対応しており、また、温帯低気圧化時には200hPaで台風周辺で非対称な温度分布をしていること、西側から上空100hPa付近に中心を持つ高温気塊が接近してくる事例がいくつかみられることが確認された。

② 海洋との相互作用

2004年には、日本南方海域で台風の通過経路に沿った海域で局所的な海面水温低下が多く見られたことをTRMM/TMI 3日平均海面水温データによる解析から確認した。2004年の台風0410号、台風0423号について、非静力学大気海洋結合モデルによる数値実験結果から台風通過による海面水温低下が台風発達の抑制に貢献していたことを示した。特に台風0410号については、海洋観測データ数の違いによる数値実験初期時刻における海洋環境場の違いよりも局所的な海面水温低下が台風強度予測に与えるインパクトが大きかった。1998～2004年の台風事例について、発生から最盛期に至るまでの台風中心気圧は、海面水温よりも台風中心付近の海洋表層貯熱量と良い相関を示していた。海洋大循環モデルによる台風0416号と台風0418号の数値実験結果から、台風0416号よりも台風0418号の方が台風中心海域での海洋貯熱量と良い相関を示した。

③ 中緯度との相互作用

- ・台風0418号が西日本通過時に衰弱が小さかったのは上層ジェットストリーク（ジェット気流の中で特に風速の大きい領域）に伴う発散が、また北日本付近で再発達したのは傾圧性と上部対流圏の顕著な短波長トラフの寄与が考えられる。他の上陸台風については温帯低気圧化時の下層前線の強さや上層トラフのスケール・強さに差異があった。
- ・9月上旬に九州に大きく影響したが特徴に大きな相違のあった2個の台風である台風0418号と台風0514号について、衛星データや客観解析データを用いて、特徴とその環境場との関係を比較考察した。台風0418号が九州に強風をもたらしたのは、下層の前線と上層のトラフ・ジェットストリークの条件が、台風をあまり衰弱させないまま北上させるのに好都合であり、台風0514号が豪雨をもたらしたのは下層の前線が相対的に強く台風に伴う循環が前線沿いの上昇流をさらに強化したためと考えられる。
- ・2004～2006年に日本本土に上陸した台風について、上陸時の構造を調べた。盛夏期を中心とした時期に西日本・東日本に上陸した台風は成熟期の特徴である暖気核・軸対称構造を持ち、北日本に上陸した台風は寒気核・非対称構造の温帯低気圧的な構造を持っていた。9月中旬以降に西日本・東日本に上陸した台風は温帯低気圧化途中の暖気核・非対称構造を持ち、このことが突風や前線性豪雨のような顕著現象の発現に関連していると考えられる。
- ・温帯低気圧化にともなって通常、台風は衰退するが、上層の高渦位気塊の流入するケースではその勢力が維持する。非静力学モデルを用いての絶対渦度収支解析の結果、対流活動だけではなく、流入した高渦位気塊の渦が発散項による引き伸ばし効果も加わり台風の勢力が維持していたことが分かった。

(2) 顕著現象発生と台風の構造変化との関連に関する研究

副課題目標

暴風、豪雨、高潮の発生環境の特徴を抽出し、数値モデルによる再現を行い、暴風、豪雨の発生への（構造変化過程にある）台風および周辺の大気構造の影響、高潮の発生と台風の特性(台風の移動方向、速度、中心気圧、風分布等)との関連を明らかにする。

研究の概要

2004年度に作成した上陸台風に関するデータベースを用いた解析および数値モデルによる再現実験をもとに、甚大な被害をもたらした暴風、豪雨、高潮の実態を明らかにし、構造変化過程にある台風の構造(下層寒気、中層乾燥空気の有無など)、中緯度擾乱(上層ジェット、上層、下層前線にともなう上昇

流の範囲、強さなど)、山岳地形との関連を調べる。台風により顕著被害が発生した場合は地方官署と連携して被害調査を可能な限り実施する。類似台風事例についても解析、再現実験を行い、2004年の上陸台風との比較を行う。

研究成果

① 暴風

- ・台風0418号の地上風分布と台風9119号との比較解析を行い、中心後方の降雨帯の有無が強風分布の違いを作り出したことを示した。
- ・1979～2004年に関東以西に上陸した70個の台風について、地上風分布型を5つに分類し、それぞれの特徴と季節的・地域的特性を明らかにした。
- ・日本海通過中の台風0418号と台風0416号に関する衛星搭載マイクロ波散乱計の観測データでは、もとの台風中心の渦の西に、傾圧性低気圧の存在を示唆する弱風域が見られた。
- ・台風0421号東側のアウトバウンド上で発生した藤田スケールF1の竜巻について、那覇のドップラーレーダーデータを解析した。竜巻を発生させたメソサイクロンは、沖縄本島を東経128.0度に沿って北上し、被害のあった名護市豊原及び古宇利島付近で下層の渦の強化が見られた。また、古宇利島付近ではメソサイクロンは複数存在していたことが分かった。
- ・台風0422号について、関東域での三次元的な風のデータセット作成した(トリプル解析)。このデータをもとに、2004年10月9日に横浜で発生した突風をもたらした台風中心付近を解析し、突風発生時頃に、京浜地域には陸上に下層1km以下に極大を持つ北寄りの強風域が存在し、台風コアの西側にスケールが10km以下の小低気圧が存在していたことなどが分かった。
- ・台風0613号の接近時に延岡市等の6地点で発生した竜巻等の突風事例について、現地調査資料や地上気象観測データ、WINDASデータ等を用いた解析を行った。その結果、竜巻親雲を含めて複数スーパーセルが台風の外側降水帯で発生した事を示した。(※この事例は、途中より内閣府の災害対策総合推進調整費(2006年度)で遂行されたものであるが、本研究計画の中で解析を開始されたものである)
- ・台風0310号、台風0417号、台風0418号について、沖縄付近での、レーダーエコーで見た眼の形状の消長と地上気象データの解析を行なった。眼の非対称構造の回転を反映した、気圧・気温変動と反時計回りの伝播が見られた。これらの位相関係、地上変動と多角形眼の回転周期のスペクトル解析から、壁雲の内部に埋め込まれたメソ渦の存在が示唆された。
- ・台風0003号、台風0422号、台風0507号、台風0511号、台風0517号について、関東付近での、空港気象ドップラーレーダーとACARSデータの組み合わせで解析を行った。地上付近の冷気流とその上空の台風循環の組合せで地表面付近に波エネルギーを保持する特殊な成層(ダクト層)が形成され、内部重力波が伝播したことが示された。波がもたらす風速差は航空機の安全運航の基準を超えており、台風の風自体が弱い領域でも防災上関心を払うべき必要性が示唆された。重力波発生の有無は、上空の台風循環、地上前線形成のタイミングや位置など、台風の温帯低気圧化のプロセスに支配されていることが示された。
- ・台風の豪雨をもたらす積乱雲について、その発生過程と地形効果の詳細メカニズムの解明および細密化する非静力学モデルの検証のため、可搬型ドップラー気象レーダーを2005年度末に新規整備した。2006年度には北関東で性能評価と試験観測(熱雷、温帯低気圧、秋雨前線、熱帯低気圧(台風0616号から変化))を実施し、2007年度には台風の高機動観測のための車載化試験および台風0704号、台風0709号の観測を実施した。降水系について数百mスケールの3次元データを得た。
- ・台風の暴風発生域の特徴や非対称な強風分布をもたらした原因を明らかにする予備調査として、台風研究における空港気象ドップラーレーダー利用可能性の評価を行った。全国8箇所にある空港気象ドップラーレーダーで観測されたすべての台風データをリスト化し、さらに1977年～2005年のベストトラックデータを用いて個々のレーダーの観測可能性について統計的に調査した結果、台風中心は、各レーダー観測領域内に1個/年、1時間～11時間以上留まることがわかった。このことにより、空港気象ドップラーレーダーは台風中心部の観測について十分なポテンシャルを持つことがわかった。
- ・台風0422号の通過に伴い関東南部に強風被害をもたらした局地現象について、2way多重移動格子モデルを用いた再現実験を行い、強風の構造、メカニズムを明らかにした。強風は台風と関東山地の位置関係により、下層に存在していた冷気が相模湾へ向けて"地峡風"と同等のメカニズムで流出することによって生じていたことが示された。感度実験や台風0511号との比較から、強風の発生には下層の冷気存在と台風と山岳との位置関係が重要であることが分かった。

②豪雨

- ・台風 0421 号の影響で 2004 年 9 月 29 日に起きた紀伊半島での豪雨を、数値シミュレーション結果と観測データをもとに解析した。その結果、停滞する降水系と移動する降水系があることが分かった。重要な物理過程として、地形性上昇流による対流不安定の解消、東風と南東風の境界における強い水平風による水蒸気輸送の増大、レインバンドに伴う冷氣プールによる水平風の収束、が挙げられる。降水量を水蒸気フラックス収束で除したもので定義した降水効率、停滞する降水系に移動してきた降水系が融合したときに大きくなることが分かった。これは、移動降水系内の背の高い積雲による雨水が、停滞降水系内の比較的背の低い積雲の雲水を捕捉するためである。
- ・レーダーアメダス解析雨量データや衛星搭載マイクロ波放射計によって得られた降水強度データを用いて 2004 年の台風について台風中心から半径 100km 以内の降水最大の出現方位と環境風の鉛直シアや台風移動との関係を調べた。その結果、降水最大は台風の移動方向に関わらずダウンシア左象限に出現しやすいことが分かった。台風 0416 号のシミュレーション結果についてトラジェクトリー解析を行った結果、降水最大が台風中心のダウンシア左象限に出現しやすいのは、気塊がアップシア側の下降流域を通過中に乾燥してしまいダウンシア側に達してもすぐには対流が生じないためであることが分かった。また、理論的考察と簡単な数値実験から台風中心まわりの降水の偏りの大きさは鉛直シアの強さだけでなく台風自体の強度や台風コア域内の成層状態にも依存することが分かった。
- ・台風 0421、0422、0423、0514 号で見られた、台風前面から南方に直線状に伸びる長さ数百 km の線状降水系について、台風の進路との関係、総観スケール及びメソスケールの環境場、ドップラーレーダーによる降水の三次元構造、デュアルドップラー解析による風速場を調べた。線状降水系は、北太平洋の高気圧から吹き出す低相当温位の東～南風（台風 0421 号の場合、厚さ 3km 程度）と台風を中心に向かって吹き込む高相当温位の西～南西風で形成される収束域に発生していた。台風 0422 号の場合は、他の場合と比べて、降水系の形が直線的でなかったことや台風接近前の高気圧からの風向などに特徴的な違いが見られた。東西断面等から、強雨域（台風 0421 号の場合 40dBZ 以上）と高度 1～2km 付近の収束域が降水系内の西部に分布しており、重力流の構造と似たものであった。
- ・台風 0423 号の広範囲の大雨域のうち洪水災害のあった西日本日本海側では、台風前面で温暖前線の強化に伴った降水と、日本海の比較的高い海面水温の影響を受けた下層寒気内の後面の降水により総降水量が多くなったと考えられる。

③高潮

- ・高解像度大気メソスケールモデル (MSM) の解析値を外力とした高潮モデルを用いて、台風 0416 号による瀬戸内海の高潮の特性について解析を行い、観測結果と比較してほぼ妥当な状況が再現されていることがわかった。
- ・台風 0416 号による瀬戸内海の高潮の数値計算における誤差について、海上風の推算誤差に焦点を当てて評価を行った。その結果、地形ごとに吹き寄せ効果が卓越する風向が異なっており、風速以上に風向が高潮に影響していた。また、周囲の地形の影響を受けた風向のために、高潮が局所的に発生しているところがあった。
- ・台風 0416 号による瀬戸内海の高潮の数値計算では、モデルを高解像度化して関門海峡の海水の通り抜けを表現した場合に、高潮ピーク後の負偏差が大きく改善された。関門海峡のように細い海峡も海水補給に重要な働きをすることが明らかになった。
- ・台風 0423 号による土佐湾の高潮と波浪について計算を行い、室戸岬の地点以外ではほぼ妥当な結果が再現された。
- ・室戸岬の誤差を評価するために波浪の推算を行い、その影響について評価した。その結果、高潮の推算誤差と波高は強い相関を示し、大きな高潮は波浪の影響を強く受けたものであることが示された。

成果発表一覧

- ・査読論文

1. Rajendran, K. and T. Nakazawa, 2005: Systematic differences between TRMM 3G68 PR and TMI rainfall estimates and the possible association with Life cycle of convection. *SOLA*, **1**, 165-168, doi:10.2151/sola.2005-043.
2. Nakazawa, T., 2006: Madden-Julian Oscillation activity and typhoon landfall on Japan in 2004.

- SOLA*, **2**, 136-139, doi:10.2151/sola.2006-035.
3. Bessho, K., M. DeMaria and J. A. Knaff, 2006: Tropical cyclone wind retrievals from the Advanced Microwave Sounding Unit: Application to surface wind analysis. *J. Appl. Meteor. and Climatol.*, **45**, 399-415.
 4. Tao, W.-K., E. A. Smith, R. F. Adler, Z. S. Haddad, A. Y. Hou, T. Iguchi, R. Kakar, T. N. Krishnamurti, C. D. Dummerow, S. Lang, R. Meneghini, K. Nakamura, T. Nakazawa, K. Okamoto, W. S. Olson, S. Satoh, S. Shige, J. Simpson, Y. Takayabu, G. J. Tripoli and S. Yang, 2006: Retrieval of latent heating from TRMM measurements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **87**, 1555-1572.
 5. Fujibe, F., N. Kitabatake, K. Bessho and S. Hoshino, 2006: Comparison of Surface-Wind Fields between Typhoon 0418 (Songda) and Typhoon 9119 (Mireille) in Western Japan, *Pap. Meteorol. Geophys.*, **57**, 1-9, doi:10.2467/mripapers.57.1.
 6. 高野洋雄, 鎌倉和夫, 峯松宏明, 依岡幸広, 久重和久, 清水栄一, 佐藤祐一, 福永昭史, 谷脇由彦, 谷條薫一, 2006: 2004年の台風第16号 (Chaba)による瀬戸内海における高潮の発生メカニズム. *天気*, **53**, 845-856.
 7. Wu, C.-C., K.-H. Chou, P.-H. Lin, S. D. Aberson, M. S. Peng, and T. Nakazawa, 2007: The impact of dropsonde data on typhoon track forecasts in DOTSTAR. *Weather and Forecasting*, **22**, 1157-1176.
 8. Rajendran, K., A. Kitoh, R. Mizuta, S. Sajani and T. Nakazawa, 2007: High resolution simulation of mean convection and its intraseasonal variability over the tropics in MRI/JMA 20-km Mesh AGCM. *J. Climate*, in press.
 9. Hoshino, S. and T. Nakazawa, 2007: Estimation of tropical cyclone's intensity using TRMM/TMI brightness temperature data. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 437-454.
 10. Sajani, S., T. Nakazawa, A. Kitoh and K. Rajendran, 2007: Ensemble simulation of Indian summer monsoon rainfall by an atmospheric general circulation model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 213-231.
 11. Nakazawa, T. and K. Rajendran, 2007: Relationship between tropospheric circulation over the western North Pacific and tropical cyclone approach/landfall on Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 101-114.
 12. Wada, A. and N. Usui, 2007: Importance of Tropical Cyclone Heat potential for tropical cyclone intensity and intensification in the western North Pacific, *J. Oceanogr.*, **63**, 427-447. 10.1007/s10872-007-0039-0.
 13. Kitabatake, N., S. Hoshino, K. Bessho, and F. Fujibe, 2007: Structure and intensity change of Typhoon Songda (0418) undergoing extratropical transirion. *Pap. Meteorol. Geophys.*, **58**, 135-153.
 14. Kitabatake, N., 2008: Extratropical transition of tropical cyclones in the western North Pacific: Their frontal evolution. *Mon. Wea. Rev.*, in press.
 15. Kitabatake, N. and K. Bessho, 2007: Cyclone phase of tropical cyclones landfalling in Japan in 2004-2006. *SOLA*, **4**, 21-24, doi:10.2151/sola.2008-006
 16. Fujibe, F., and N. Kitabatake, 2007: Classification of surface wind fields of tropical cyclones at landfall on the Japan main islands, *J. Meteorol. Soc. Japan.*, **85**, 747-765
 17. Ueno, M., 2007: Observational analysis and numerical evaluation of the effects of vertical wind shear on the rainfall asymmetry in the typhoon inner-core region. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 115-136.
 18. Mashiko, W, 2008: Formation Mechanism of a Low-Level Jet during the Passage of Typhoon Ma-on (2004) over the Southern Kanto District. *J. Meteor. Soc. Japan*, **86**, 183-202.
 19. Suzuki T., K. Kusunoki, K. Hattori, and Y. Ando, 2008: Recent developments and new experiments in portable weather radars for research. *IEEJ Trans. FM.*, 128-2-4.

・査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 北島尚子, 星野俊介, 別所康太郎, 藤部文昭, 2005: 台風 0418 の構造と強度の変化,及びそれに対する環境場の影響. *月刊海洋*, 号外 42, 76-84.
2. 北島尚子, 香月麻由 (訳), 2005: 湿潤絶対不安定: 静的安定性の 6 番目の状態. *測候時報*, 72, 23-52.
3. 北島尚子, 2005: 前線の考え方の過去と現在. *気象庁研究時報*, 57, 27-57.
4. 北島尚子, 2005: 温帯低気圧と前線の構造と時間発展 — 概念モデルにおける表現 —. *天気*, 52, 742-750.
5. 楠研一, 益子渉, 2006: 台風 0418 号のインナーコアの構造と時間変化. 京都大学防災研究所研究集会 17K-01 台風被害の軽減に関する総合討論会報告書. 84-89.
6. 中澤哲夫, 2005: 2004 年台風の発生・日本最多上陸に果たした季節内変動の役割, *月刊海洋*, 号外 42, 12-19.
7. 和田 章義, 2005: 2004 年の日本上陸台風と海面水温場、大気場及び海洋貯熱量の関係. *月刊海洋*, 号外 42, 30-39.
8. 和田 章義, 2005: 衛星観測データ及び非静力学大気海洋混合層結合モデルによる台風強度維持と台風による海面水温低下の関係. *月刊海洋*, 号外 42, 203-211.
9. 高野洋雄, 檜垣将和, 上野大輔, 2005: 2004 年の台風 23 号による室戸岬の高潮について. *月刊海洋*, 号外 42, 154-161.
10. 加藤輝之, 2005: 日本海を北上中の台風 0418 の勢力維持機構に関する非静力学モデルを用いた絶対渦度収支解析. *月刊海洋*, 42, 85-93.
11. 中澤哲夫, 経田正幸, 山口宗彦, 2005: 気象庁週間アンサンブル予報データに見る台風発生, *日本風工学会誌*, 30, 23-27.
12. 上野充, 2005: 台風中の降水の非対称と台風移動や鉛直シアーの関係, *月刊海洋*, 号外 42, 120-126
13. 藤部文昭, 北島尚子, 別所康太郎, 星野俊介, 2005: 台風 0418 の強風分布の特徴-台風 9119 との比較-. *月刊海洋*, 号外 42, 128-135.
14. 益子渉, 2005: 台風 0422 による関東南部での寒気場内における強風のメカニズム. *月刊海洋*, 号外 42, 145-152
15. 気象研究所台風研究部, 2006: 平成 16 (2004) 年日本上陸台風の概要. *気象研究所技術報告*, 49, 1-36.
16. 北島尚子, 藤部文昭, 星野俊介, 別所康太郎, 2006: 台風の温帯低気圧化に関する現状の理解とその解析・予報の問題, *測候時報*, 73, 87-116
17. 北島尚子, 星野俊介, 別所康太郎, 藤部文昭, 2006: 台風第 0418 号の温帯低気圧化. *気象庁技術報告*, 129, 110-119.
18. 上野充, 2006: 台風の移動機構. *気象庁技術報告*, 129, 270-272.
19. 中澤哲夫, 2006: 総観場の状況と台風移動への寄与. *気象庁技術報告*, 129, 273-278.
20. 中澤哲夫, Kavirajan Rajendran, 2006: 北西太平洋の循環場と日本への台風接近・上陸との関係. *月刊海洋*, 38, 678-687.
21. 別所康太郎, 中澤哲夫, 西村修司, 加藤浩司, 2006: 台風へ発達する可能性のあるクラウドクラスターとその温暖核構造, 第 56 回理論応用力学講演会 講演論文集, 37-40.
22. 気象研究所台風研究部, 榊原 均, 中澤哲夫, 高野洋雄, 2006: ハリケーン・カトリーナについて. *天気*, 53, 49-59.
23. Wada, A., 2006: Numerical experiments of typhoons in 2004 typhoon season using a non-hydrostatic atmospheric model coupled with a mixed-layer ocean model. WMO, *CAS/JSC WGNE Report*. 9-09.
24. Wada, A., 2006: Numerical experiments of typhoon Namtheun (T0410) using different atmosphere-ocean coupled models. WMO, *CAS/JSC WGNE Report*. 9-13.
25. Wada, A., 2006: Typhoon-ocean interaction in Typhoon Megi (T0415) using an atmosphere-mixed-layer ocean coupled model. WMO, *CAS/JSC WGNE Report*. 9-15.
26. Kato, T., 2006: Budget Analysis of Absolute Vorticity, Simulated by a Nonhydrostatic Model, for the Maintenance Mechanisms of the Intensity of Typhoon SONGDA (T0418) under

- Traveling over the Sea of Japan. *CAS/JSC Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling*, 36, 5.25-5.26.
27. Ueno, M., 2006: Observed and simulated relationship between storm motion, vertical wind shear, and rainfall asymmetries in typhoons. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **36**, 2.45-2.46.
 28. Murata, A, 2006: A cloud-resolving numerical simulation for orographic rainfall associated with typhoon Meari (2004). *CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling*, No. **36**, 5.37-5.38.
 29. 村田昭彦, 2006: 台風 0421 による紀伊半島での豪雨とその環境場, 京都大学防災研究所 研究集会 17K-01 台風被害の軽減に関する総合討論会 2004 年の台風による強風・豪雨による被害の実態解明, 2006 年 3 月, 5-8.
 30. 益子涉, 山内洋, 2006: 関東南部に強風被害をもたらした台風 0422 号のコア域の微細構造-高解像度非静力学モデルとドップラーデータを用いた解析-. 台風被害の軽減に関する総合討論会報告書, p143-148.
 31. 別所康太郎, 中澤哲夫, 西村修司, 加藤浩司, 2007: 台風へ発達する可能性のあるクラウドクラスターとその温暖核構造. *月刊海洋*, **39**, 145-151
 32. 和田章義, 2007: 表層海洋変動が台風に与える影響, *月刊海洋*, **39**, 164-169.
 33. 北島尚子, 2007: 台風の温帯低気圧化に関する理解の現状 -主に擾乱の多様性に関連して-, *月刊海洋*, **39**, 183-187.
 34. Wada, A. and A. Murata, 2007: Effects of horizontal resolution and sea surface cooling on simulations of tropical cyclones in case of Typhoon Namtheun (2004) by a coupled MRI tropical cyclone-ocean model. WMO, *CAS/JSC WGNE Report*, 9-09.
 35. Kohno N., K. Kamakura, H. Minematsu, Y. Yorioka, K. Hisashige, E. Shimizu, Y. Sato, A. Fukunaga, Y. Taniwaki, and S. Tanijo, 2007: The Mechanism of the Storm Surges in the Seto Inland Sea Caused by Typhoon Chaba (0416). *Technical Review of the RSMC Tokyo-Typhoon Center, JMA*, **No. 9**, 1-18.
 36. 上野充, 2007: 台風コア域構造に波数 1 の非対称をもたらす機構, *月刊海洋*, **39**(3), 216-221.
 37. Ueno, M., 2007: An analytical expression for the amplitude of wavenumber-one vertical velocity in the inner-core region of tropical cyclones under the influence of vertical ambient shear. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, **WMO/TD-No.1397**, 2.29-2.30.
 38. 村田昭彦, 2007: 台風 0421 に伴う紀伊半島での豪雨の数値シミュレーション, *月刊海洋*, **39**, 211-216.
 39. Murata, A, 2007: Precipitation efficiency in numerically simulated orographic rainfall associated with typhoon Meari (2004). *CAS/JSC WGNE Res. Activities in Atm. and Oceanic Modelling*, No. **37**, 5.17-5.18.
 40. Murata, A, 2007: A mechanism for heavy precipitation over mountainous region associated with typhoon Meari (2004). Proceedings of the 6th Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia (ICMCS-VI), Taipei, Taiwan, 6-8 November 2007, 131-137.
- ・ 口頭発表
1. Kitabatake, N., 2005: Structure and intensity of Typhoon Songda (2004) undergoing extratropical transition. WMO International Workshop on Tropical Cyclone Landfall Processes.
 2. Kitabatake, N., S. Hoshino and K. Bessho, 2005: Extratropical Transition of the Tropical Cyclones that Made Landfall on Japan in 2004: Overview and Case Studies. WMO/TMRP International Workshop on Tropical/Extratropical Interactions incorporating the third International Workshop on Extratropical Transition.
 3. Nakazawa, T., 2005: TRMM Status/Research in Japan. US Precipitation Measuring Mission

- Science Team Meeting. December 12, 2007. Monterey, CA, USA.
4. Nakazawa, T., 2005: New paradigm for weather forecast system in Asia. WMO-JMA Public Forum Workshop at World Conference on Disaster Reduction, Kobe, Japan.
 5. Fujibe F., N. Kitabatake, K. Bessho, S. Hoshino, 2005: Features of the wind fields associated with Typhoon 0418(Songda) compared with those of Typhoon 9119 (Mireille). Agenda of the UJNR 37th Joint Panel Meeting.
 6. 北島尚子, 星野俊介, 別所康太郎, 藤部文昭, 2005: 台風 0418 の構造と強度の変化, 及びそれに対する環境場の影響. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, A462.
 7. 和田 章義, 2005: 2004 年の日本上陸台風・台風強度維持と海面水温場の関係. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集. 92.
 8. 和田 章義, 2005: 台風に対する海洋の応答—レビュー及び 2004 年台風シーズンの表層海洋変動. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集. 366.
 9. 加藤輝之, 2005: 日本海を北上中の T0418 の勢力維持機構に関する非静力学モデルを用いた絶対渦度収支解析. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演要旨集, A464.
 10. 加藤輝之, 2005: 日本海を北上中の台風 0418 の勢力維持機構に関する非静力学モデルを用いた絶対渦度収支解析. 第 7 回 非静力学モデルに関するワークショップ.
 11. 高野洋雄, 檜垣将和, 上野大輔, 2005: T0423 による室戸岬沖の高潮・高波について. 日本海洋学会 2005 年度春季大会講演要旨集.
 12. 中澤哲夫, 2005: 21 世紀の気象予測システム, 第 3 回 21 世紀地球科学技術を考える会
 13. 楠研一, 益子渉, 2005: 台風 0418 号のインナーコアの構造と時間変化. 2005 年度日本気象学会秋季大会予稿集 A310.
 14. 上野充, 2005: 2004 年上陸台風域内の降水の非対称と台風移動, 鉛直シアーとの関わり, 日本気象学会 2005 年度春季大会予稿集, A458.
 15. 上野充, 2005: 台風コア域内の降水の非対称と鉛直シアーの関わり —衛星データの利用—, 日本気象学会 2005 年度秋季大会予稿集, A356.
 16. 藤部文昭, 北島尚子, 別所康太郎, 星野俊介, 2005: 台風 0418 の強風分布の特徴? 台風 9119 との比較?. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, A461.
 17. 藤部文昭, 北島尚子, 2005: 日本に上陸する台風の地上風速分布の統計的分類. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, A311.
 18. 村田昭彦, 2005: 2004 年台風 21 号による紀伊半島での豪雨. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, A307.
 19. 村田昭彦, 2005: 台風 0421 による紀伊半島での豪雨とその環境場. 台風被害の軽減に関する総合討論会.
 20. 益子渉, 2005: 超高解像度非静力学モデルによって再現された T0418 号, T0422 号のコア構造. 日本気象学会 2005 年度春季大会.
 21. 益子渉, 山内洋, 2005: 関東南部に強風被害をもたらした台風 0422 号のコア域の微細構造—高解像度非静力学モデルとドップラーデータを用いた解析—. 台風被害の軽減に関する総合討論会.
 22. 益子渉, 2005: 台風 0422 号による関東平野での下層寒気場内の強風のメカニズム. 日本気象学会 2005 年度秋季大会予稿集.
 23. Bessho, K., T. Nakazawa, S. Nishimura, K. Kato, and S. Hoshino, 2006: Statistical analysis of organized cloud clusters on western North Pacific and their warm core structure, Proc. of 27th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, American Met. Soc., <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/108684.pdf>.
 24. Kitabatake, N., 2006: Tropical cyclones landfalling on Kyushu and their interaction with the midlatitude environment: The cases of Typhoon Songda (0418) and Typhoon Nabi (0514). Korea-Japan-China Second Joint Conference on Meteorology.
 25. Nakazawa T. and K. Rajendran, 2006: Role of large-scale circulation on tropical cyclone landfall in Japan. Preprints, 27th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, CA, Amer. Meteor. Soc., 11C.5.

26. Nakazawa, T., 2006: THORPEX Pacific Asian Regional campaign (TPARC): Asian perspective. Second THORPEX International Science Symposium, December 6, Landshut, Germany (<http://www.pa.op.dlr.de/stiss/>).
27. Nakazawa, T., 2006: GPM for Tropical Meteorology. The 6th GPM International Workshop, November 7, Annapolis, USA (<http://gpm.gsfc.nasa.gov/6thworkshop/>)
28. Nakazawa, T. and K. Rajendran, 2006: Relationship between Tropospheric Circulation Fields over the Western North Pacific and Tropical Cyclone Approach/Landfall on Japan. China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, October 12, Goyang, Korea. (<http://www.komes.or.kr/kjc05.html>).
29. Nakazawa, T., 2006: THORPEX Pacific Asian Regional Campaign (TPARC) in 2008. China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, October 11, Goyang, Korea. (<http://www.komes.or.kr/kjc05.html>).
30. Nakazawa, T., 2006: Asian THORPEX, Our Strategy to Mitigate Disasters, Asia Oceania Geosciences Society 3rd Annual Meeting.
31. Nakazawa, T. and K. Rajendran, 2006: Role of Large-scale Circulation on Tropical Cyclone Landfall in Japan. Proc. of 27th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, American Met. Soc., <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/108375.pdf>.
32. Yamaguchi, M., T. Iriguchi and T. Nakazawa, 2006: Observing system experiments using a singular vector method for 2004 DOTSTAR cases. China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, October 12, Goyang, Korea. (<http://www.komes.or.kr/kjc05.html>).
33. Kohno N., A. Murata, W. Mashiko, 2006 : The impact of roughness changes by sea state under typhoon field. The 9th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting. <http://www.waveworkshop.org/9thWaves/Papers/Kohno.pdf>
34. Ueno, M., 2006: Wavenumber-one rainfall asymmetry observed in typhoons and its relevance to ambient wind shear. AOGS 3rd Annual Meeting 2006.
35. Mashiko, W., 2006: Numerical Simulation of wind structure in the inner-core of Typhoon MA-ON (2004). AOGS 3rd Annual Meeting 2006.
36. Mashiko, W., 2006: Generation mechanism of strong winds in the left-rear quadrant of Typhoon MA-ON (2004) during its passage over the southern Kanto district, eastern Japan. ICMCS-V 2006.
37. Kusunoki K. and W. Mashiko, 2006: Doppler radar investigations of the inner core of Typhoon Songda (2004) Polygonal / elliptical eyewalls, eye contraction, and small-scale spiral bands. Preprints, 27th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, CA, Amer. Meteor. Soc., P4.10.
38. Kusunoki K. and K. Irie, 2006: Gravity wave-like structures observed in onshore typhoon boundary layer of Typhoon Kirogi (2000). Preprints, 27th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, CA, Amer. Meteor. Soc., P4.11.
39. Kusunoki K., 2006: Assessment of the Doppler Radar for Airport Weather (DRAW) system in Japan as a research tool for studying typhoon. Preprints, 27th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, CA, Amer. Meteor. Soc., P5.10.
40. Kusunoki K. and W. Mashiko, 2006: Intense Small scale boundary layer rolls observed in Typhoon Songda (2004): As a potential hazard to buildings. Proceedings, 4th US-Japan Workshop on Wind Engineering, Tsukuba, Japan.
41. Kusunoki K., T. Nakazawa, O. Suzuki, M. Nakazato, H. Yamauchi, M. Murakami, T. Tajiri, Y. Ohigashi, 2006: The design and testing of portable X-band Doppler radar for fine-scale meteorological observations, Preprints, 4th European Conf. on Radar and Hydrology.
42. Kusunoki K. and W. Mashiko, 2006: Wavenumber structure and evolution of Typhoon Songda (2004) inner core by Doppler radar. Proceedings, 5th Int. Conf. on Mesoscale Meteorology and Typhoon, Boulder, CO.

43. Kusunoki K., W. Mashiko, and K. Irie, 2006: Generation of internal gravity waves in onshore typhoon boundary layer. 5th Int. Conf. on Mesoscale Meteorology and Typhoon, Boulder, CO.
44. 北島尚子, 2006: 台風 0514 の構造に対する環境場の影響. 日本気象学会 2006 年春季大会講演予稿集, P451.
45. 北島尚子, 2006: 台風の温帯低気圧化に関する理解の現状: 主に擾乱構造の多様性に関連して. 東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会「台風の力学: 何が理解されていないのか?」
46. 北島尚子, 榊原均, 2006: 伊勢湾台風の構造の再検討 - 昔のデータに最近の知見を適用する -. 日本気象学会 2006 年秋季大会講演予稿集, C308.
47. 別所康太郎, 中澤哲夫, 西村修司, 加藤浩司, 2006: 北西太平洋上における台風へ発達する可能性のあるクラウドクラスターの統計解析とその温暖核構造, 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集, C305.
48. 別所康太郎, 中澤哲夫, 西村修司, 加藤浩司, 2006: 台風へ発達する可能性のあるクラウドクラスターとその温暖核構造. 東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会「台風の力学: 何が理解されていないのか?」
49. 別所康太郎, 中澤哲夫, 西村修司, 加藤浩司, 2006: JRA-25 からみた台風へ発達する可能性のあるクラウドクラスター, 日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集, C302.
50. 別所康太郎, 中澤哲夫, 西村修司, 加藤浩司, 2006: 台風へ発達する可能性のあるクラウドクラスターとその温暖核構造. 第 56 回理論応用力学講演会論文集.
51. 和田章義, 碓井典久, 2006: 海洋貯熱量分布と台風の発生・急発達との関係. 日本気象学会 2006 年春季大会講演予稿集, P149.
52. 和田章義, 2006: 表層海洋変動が台風に与える影響 - 研究の現状と将来展望 -. 東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会「台風の力学: 何が理解されていないのか?」
53. 中澤哲夫, Kavirajan Rajendran, 2006: 台風の日本上陸・接近とエルニーニョ現象との関連について. 日本気象学会 2006 年秋季大会予稿集 B107.
54. 中澤哲夫, 内山達, Kavirajan. Rajendran, 2006: TRMM 3G68 データに見る PR と TMI の降水量推定差について, 日本気象学会 2006 年秋季大会予稿集, C101.
55. 中澤哲夫, 2006: 台風のための双方向予報システムの構築に向けて, シンポジウム「台風ー伊勢湾台風から 50 年を経てー」, 日本気象学会 2006 年秋季大会.
56. 中澤哲夫, 2006: 台風研究の最前線. 平成 18 年度東海大学代々木公開講座「災害を知る」
57. 中澤哲夫, 2006: 台風防災のための新しい観測法~最適観測法~. 京都大学防災研究所「台風の機動的観測に基づいた予報精度の向上と災害軽減に関する研究集会」.
58. 益子渉, 2006: 台風 0422 号の進行方向後面左側で生じた強風のメカニズム, 日本気象学会 2006 年秋季大会予稿集, C305
59. 益子渉, 2006: T0422 号の通過に伴い関東南部で生じた強風のメカニズム, 第 8 回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 25-26.
60. 益子渉, 山内洋, 鈴木修, 2006: 関東南部に被害をもたらした台風 0422 号による強風のメカニズム 高解像度非静力学モデルとドップラーレーダーを用いた解析. 第 52 回風に関するシンポジウム
61. 山口宗彦, 入口武史, 中澤哲夫, 2006: 台風予報を対象とした観測システム実験, 日本気象学会 2006 年秋季大会予稿集 A209.
62. 星野俊介, 別所康太郎, 2006: AMSU データを用いた台風の暖気核構造の追跡. 日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集, C301.
63. 上野充, 2006: 鉛直シアーにより生成される台風コア域内降水非対称の大きさについて, 日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集, C303.
64. 上野充, 2006: 台風コア域内降水非対称の強制力指標としての「鉛直シアー」の妥当性, 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集, C304
65. 楠研一, 入江和紀, 2006: 台風 0003 号のアウトバウンド下層に見られた重力波構造. 2006 年度日本

- 気象学会春季大会予稿集 C310.
66. 楠研一, 2006: 空港気象ドップラーレーダーによる台風の観測的研究について. 2006 年度日本気象学会春季大会予稿集 C311
 67. 楠研一, 中澤哲夫, 鈴木修, 中里真久, 山内洋, 村上正隆, 田尻拓也, 大東雄二, 2006: 詳細気象観測のための可搬型ドップラー気象レーダーの設計と試験. 2006 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会.
 68. 楠研一, 中澤哲夫, 鈴木修, 中里真久, 山内洋, 村上正隆, 田尻拓也, 大東雄二, 2006: 詳細気象観測のための可搬型ドップラー気象レーダーの開発. 日本気象学会 2006 年度秋季大会予稿集 D164.
 69. 楠研一, 益子 渉, 入江和紀, 2006: 台風アウターバンド下層の重力波出現時の総観場の特徴. 日本気象学会 2006 年度秋季大会予稿集 C306.
 70. 中里真久, 鈴木修, 山内洋, 高谷美正, 井上豊志郎, 森真理子, 2006: 台風中心の南方に出現する特異な線状の降雨帯の成因と構造. 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集, C309.
 71. 村田昭彦, 2006: 台風 0421 号に伴う紀伊半島での豪雨における降水強化機構, 日本気象学会 2006 年秋季大会予稿集, C304
 72. 鈴木修, 2006: 平成 18 年 9 月台風 13 号強風被害, 日本風工学会報告会
 73. Nakazawa, T., 2007: Observational network in southern Japan. International Implementation Workshop of the East Asian Monsoon Field Experiment
 74. Nakazawa, T. and M. Yamaguchi, 2007: Predictability of tropical cyclogenesis in the JMA ensemble forecasts - a case study of the 2004 Typhoon Season. Joint Conference on Meteorology
 75. Nakazawa, T., 2007: Eastward-moving Cloud Clusters in a MJO in January 2007. MJO Workshop
 76. Nakazawa, T., 2007: Field experiments on predictability of Typhoon. East Asian Field Observation Workshop
 77. Nakazawa, T., 2007: T-PARC - Japanese Contribution. 5th Asian THORPEX Regional Committee Meeting
 78. Nakazawa, T., 2007: Predictability of Tropical Cyclogenesis over the western Pacific in 2004. IUGG
 79. Nakazawa, T., M. Kyouda and M. Yamaguchi, 2007: Predictability of Typhoon Formation in JMA Ensemble Forecast Data. 21st Pacific Science Congress
 80. Nakazawa, T., 2007: Typhoon Landfall Mode on Japan. International Symposium on Global Change, Asian Monsoon and Extreme Weather and Climate
 81. Nakazawa, T., 2007: TRMM Science in Climate and Weather. US Precipitation Measuring Mission Science Team Meeting.
 82. Nakazawa, T., 2007: THORPEX Pacific Asian Regional Campaign in 2008. International Typhoon and Disaster Prevention Expert Workshop.
 83. Nakazawa, T., 2007: THORPEX PARC Asia, T-PARC Planning Meeting.
 84. Kohno N., K. Kamakura, H. Minematsu and D. Ueno, 2007: The case study of the storm surges in the Seto Inland Sea caused by Typhoon Chaba. Proc. of the 1st JCOMM Scientific and Technical Symposium on Storm Surges, 7.3, 1-15.
 85. Ueno, M., 2007: An analytical expression for the amplitude of wavenumber-one vertical velocity in the inner-core region of tropical cyclones under the influence of ambient vertical shear. IUGG, July 2, Perugia, Italy.
 86. Kusunoki, K., and Takashi Ichiyama, 2007: The MRI portable X-band Doppler radar (X-POD): Status and Applications. Preprints, 33rd Conf. on Radar Meteorology, Cairns, Australia, Amer. Meteor. Soc. P13A.8.
 87. Kusunoki, K., and H. Iwasaki, 2007: High resolution observations of terrain modified storms using the MRI portable X-band Doppler radar (X-POD). Preprints, 33rd Conf. on Radar

- Meteorology, Cairns, Australia, Amer. Meteor. Soc. P13A.9.
88. Kusunoki, K., Hideyo Ikema, Seisyun Ootate, Masayuki Yonaha, Masayuki Kitano, Katsuto Koyama, Hiroyuki Tatsuma, Yoshitaka Kamiya, Yoshinobu Sai, Noboru Nakama, 2007: Surface wind and pressure perturbations within polygonal/elliptical eyewalls of Typhoons Maemi, Aere, and Songda. Preprints, 6th Int. Conf. on Mesoscale Meteorology and Typhoon, Taipei, Taiwan.
 89. Kusunoki, K., T. Chagihira, Y. Motodate Yutaka, T. Aoshima, H. Kobayashi, F. Taka, F. Mawashi, Y. Hirakawa, H. Kiyota, 2008: An assessment of clear-air echo occurrences to develop an advanced wind shear detection system for precipitation-free conditions. Preprints, 13th Conf. on Aviation, Range and Aerospace Meteorology, New Orleans, LA, Amer. Meteor. Soc., P1.21.
 90. 北島尚子, 2007: 台風0423号の構造変化と大雨の特徴. 日本気象学会 2007年春季大会講演予稿集, P338.
 91. 北島尚子, 別所康太郎, 2007: 日本本土に上陸した台風の構造. 日本気象学会 2007年秋季大会講演予稿集, B364.
 92. 北島尚子, 2007: 台風0423号の構造変化と大雨の特徴. 日本気象学会 2007年春季大会講演予稿集, P338.
 93. 和田章義, 碓氷典久, 新野 宏, 2007: 台風予測に対する海洋観測データのインパクト (2004年台風10号の事例). 2007年度日本海洋学会講演要旨集. P220.
 94. 和田章義, 2007: 表層海洋変動が台風に与える影響. 日本気象学会 2007年春季大会講演予稿集. P432.
 95. 和田章義, 2007: 非静力学台風モデルによる2004年台風10号の予測実験. 日本気象学会 2007年秋季大会講演予稿集. B358.
 96. 中澤哲夫, 2007: 台風上陸モードの季節推移. 日本気象学会 2007年春季大会予稿集 A401. 5月16日, 東京.
 97. 中澤哲夫, 2007: MJO in Dec. 2006. MJO (2006年12月) とマレーシア豪雨に関する研究会, 5月23日. 横浜.
 98. 中澤哲夫, 2007: 東進するスーパークラスターの構造. 日本気象学会 2007年秋季大会予稿集 A303.
 99. 中澤哲夫, 2007: 2004年のMJOと台風発生. 京都大学防災研究所「台風に伴う強風, 豪雨などの気象災害の被害軽減に関する研究集会」.
 100. 星野俊介, 別所康太郎, 北島尚子, 中澤哲夫, 2007: 台風の温帯低気圧化時に見られるAMSU気温データの特徴. 日本気象学会 2007年度秋季大会講演予稿集, B362.
 101. 上野充, 2007: 台風境界層内の風の非対称と環境風の鉛直シア, 日本気象学会 2007年度春季大会講演予稿集, D407
 102. 上野充, 2007: 数値モデルで得られた台風中心軸の傾斜と気温変化, 日本気象学会 2007年度秋季大会講演予稿集, B353
 103. 楠研一, 2007: 気象研究所における可搬型ドップラー気象レーダーを用いた研究—これまでと今後—, 2007年度日本気象学会春季大会予稿集 B151.
 104. 楠研一, 池間英世, 大立清俊, 与那覇正之, 北野昌幸, 小山克人, 立間啓之, 神谷吉隆, 仲間昇, 裁吉信, 2007: メソ渦の存在を示唆するインナーコア周辺の地上風と気圧変動 -T0314 と T0417 の事例-, 2007年度日本気象学会春季大会予稿集 C403.
 105. 楠研一, 上江洌司, 裁吉信, 2007: メソ渦の存在を示唆するインナーコア周辺の地上風と気圧変動 II -眼の回転パターンとの関係-, 2007年度日本気象学会秋季大会予稿集 C258.
 106. 益子渉, 2007: 2006年台風第13号に伴う竜巻の数値シミュレーション, 京都大学防災研究所研究集会「台風に伴う強風, 豪雨などの気象災害の被害軽減に関する研究集会」

氷晶発生過程に関する研究

研究期間：平成15年度～平成19年度

研究代表者：村上正隆（物理気象研究部 第一研究室長）

研究参加者：森 一正¹⁾、楠 研一²⁾、折笠成宏、斎藤篤思³⁾、田尻拓也⁴⁾（物理気象研究部）
永井智宏、酒井 哲⁵⁾（気象衛星・観測システム研究部）、橋本明弘⁶⁾（予報研究部）

研究の目的

種々の雲における氷晶発生過程を明らかにし、新しい雲物理パラメタリゼーションの開発を通して降水短時間予報精度の向上、気候変動予測の研究推進、航空機への着氷域予測精度の向上、水循環・エネルギー循環の解明に資することを目的とする。

研究の目標

- ・降水粒子ゾンデや航空機を用いたや雲生成チャンバーと氷晶核計を用いた実験から、色々な雲の条件下での氷晶発生メカニズムの同定と定量化を図る。
- ・TRUTHとして使用できる詳細雲物理ボックスモデルを開発し、その結果に基づき、氷晶核濃度を予報変数に追加した非静力学モデル用の新しい雲物理過程のパラメタリゼーションを開発する。
- ・観測とモデルの結果から、氷晶発生過程の雲・降水形成過程に対するインパクトを明らかにする。

研究の概要

観測、室内実験、数値モデルの手法を組み合わせ、総合的な研究を実施し、種々の雲における氷晶発生過程の解明を図る。

本研究は、

- (1) 氷晶核と雲内初期氷晶分布に関する観測的研究
- (2) 氷晶発生過程に関する実験的研究
- (3) 数値モデルを用いた氷晶発生過程に関する研究

という3つの副研究課題を有機的に推進することによって、これまでの研究では解明できなかった部分へのアプローチを試みる。

- ・雲粒子ゾンデや航空機による雲の微物理構造の直接観測と氷晶核計による氷晶核の空間分布観測から得られたデータを総合的に解析することにより、色々な雲における氷晶発生過程の解明を図る。
- ・動的な雲生成チャンバーと静的な氷晶核計を用いて色々な雲の条件下で氷晶発生に関する比較実験を行い、氷晶発生メカニズムの同定と定量化を図る。
- ・室内実験の結果と詳細雲物理ボックスモデル（TRUTHモデル）の結果の比較から氷晶発生過程を定式化する。その結果を取り込んだ、氷晶核濃度を予報変数に追加した新しい雲物理過程のパラメタリゼーションを開発し非静力学モデルに適用する。
- ・観測とモデルの結果を比較検討し種々の雲における氷晶発生過程の解明を図ると共に、氷晶発生に引き続く雲・降水形成過程に対するインパクトを明らかにする。

研究成果

- ・層状性の氷晶雲内の氷晶数濃度は雲頂温度が $-50\sim-70^{\circ}\text{C}$ でも数100個/Lと比較的低濃度であること、雲頂温度 $-10\sim-30^{\circ}\text{C}$ の雲では上昇流や過冷却雲粒の共存下で比較的高濃度の氷晶が観測されること、 -40°C 以下の対流雲の上昇流コア中では数1000個/Lの高濃度の氷晶が観測されること、気流系が比較的単純な波状雲については氷晶核濃度と初期氷晶濃度に概ね良い対応が見られること、などを明らかにした。
- ・雲生成チャンバー・氷晶核計について種々の改良を施して、これらの装置を使った実験を行い、自然大気中のエアロゾルや有機炭素エアロゾルや鉱物粒子などのテストエアロゾルの氷晶核としての活性化能力を測定した。自然大気中の氷晶核濃度は、観測から得られた初期氷晶濃度の雲頂温度依存性と矛盾しない結果となった。

¹⁾平成15年度、²⁾平成15～16年度、³⁾平成16～19年度、⁴⁾平成17～19年度、⁵⁾平成18～19年度、

⁶⁾平成19年度

- ・観測・実験結果から、活性化する氷晶核数濃度の温度依存性は Fletcher 経験式より弱いこと、通常の雲では凝結凍結核の活性化が卓越し、昇華核の活性化は副次的であることが明らかとなった。
- ・エアロゾル（水溶性と不溶性エアロゾルの混合）、水滴（水質量、溶質質量）、氷粒子（水質量、形状ファクター、バルク密度）を陽に取り扱う詳細雲物理ボックスモデルを開発した。その中で、雲核、昇華核形成および凝結凍結核形成を統一的に扱えるよう定式化した。
- ・すべての雲・降水粒子の粒径分布を任意のガンマ関数で取り扱える 3 次元非静力学モデル用の 2-moment 雲物理バルクパラメタリゼーションを開発し、氷晶発生スキームを改良した。
- ・新しい氷晶発生スキームの採用によって、上層雲の過大評価を大幅に改善すること、冬季季節風時の雪雲では降雪量や地形に相対的な降雪分布が氷晶発生過程のパラメタリゼーションに依存することなどが示された。
- ・これまで実施してきた航空機観測データを詳細に解析することによって、山岳性降雪雲内の初期氷晶濃度は、黄砂飛来時に通常時の平均値より 1/2 オーダー高濃度となっており、黄砂粒子が氷晶核として有効であることが示された。しかし、黄砂飛来時でなくてもそれに近い値が観測される場合もあり、黄砂以外の粒子が氷晶核として働いていることも示唆された。

今後に残された問題点

本研究では、氷晶核の活性化スペクトルの空間分布・季節変化の解明、色々な雲システムにおける氷晶発生過程の解明と、そのモデル化を目指した。5 年間の研究期間中にすべてを解明することは出来なかったが、実験・室内実験・数値実験に必要な最新のツールを整備することができた。これらの研究テーマはますますその重要性が高まっており、今後も本研究で開発・整備したツールを駆使して研究を継続する必要がある。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

氷晶発生過程についての研究は、気象分野の中でも基礎的な研究ではあるが、短期の天気予報から地球温暖化などの気候変動予測まで、予測モデルの精緻化に伴いその重要性がかつてないほど大きくなっている。本研究は、種々の雲における氷晶発生過程について、その解明を目指す基礎的・基盤的研究であり、観測データ解析、室内実験、数値モデル実験の三位一体による研究手法は極めて複雑な氷晶発生過程を解明する上で、大変オーソドックスではあるが適切なものであったといえる。

一部に遅れや未達成はあるものの、副課題毎にそれぞれの成果を上げている。特に、副課題 2 での世界最高水準の雲生成チャンバー及び氷晶核計の開発及び副課題 3 での詳細雲物理ボックスモデルの開発は大きな成果として評価できるとともに、今後の研究発展に大きな期待が持てる。降水の短時間予測や、地球温暖化・気候変動予測の精度向上に確実に貢献できるよう、非静力モデル及び気候モデルのグループと協議し具体的な目標を定めて、基礎的な研究を進めていくことを期待する。

また、氷晶は物理的にも化学的にも多様であり、実験で取り扱う場合、化学的性質に着目するなど新たな戦略も必要と思われるので、ぜひ検討をお願いしたい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 19 件
- ・口頭発表件数 19 件

成果発表一覧

- ・査読論文
1. Murakami, M., Y. Yamada, T. Matsuo, K. Iwanami, J.D. Marwitz and G. Gordon, 2003: The precipitation process in convective cells embedded in deep snow bands over the Sea of Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 515-531.
 2. Yoshida, S. Asano, A. Yamamoto, N. Orikasa, and A. Yamazaki, 2004: Radiative properties of mid-latitude frontal ice-clouds observed by the shortwave and longwave radiometer-sondes. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 639-656.
 3. Kusunoki, K., M. Murakami, M. Hoshimoto, N. Orikasa, Y. Yamada, H. Mizuno, K. Hamazu, and H. Watanabe, 2004: The characteristics and evolution of orographic snow clouds under weak cold advection. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 174-191.

4. Orikasa, N., M. Murakami, M. Hoshimoto, and Y. Yamada, 2005: Re-evaluation of the collection efficiency of the hydrometeor videosonde for dry snow particles. *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 439-448.
5. Kusunoki, K., M. Murakami, N. Orikasa, M. Hoshimoto, Y. Tanaka, Y. Yamada, H. Mizuno, K. Hamazu and H. Watanabe, 2005: Observations of quasi-stationary and shallow orographic snow clouds: Spatial distributions of supercooled liquid water and snow particles. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 743-751.
6. Hashimoto, A., M. Murakami, C. Muroi, M. Yoshizaki, Y. Wakazuki, S. Kanada, K. Yasunaga, T. Kato, K. Kurihara and A. Noda, 2005: Characteristics of the averaged vertical profiles of hydrometeors in the Baiu season simulated with a non-hydrostatic regional climate model. *SOLA*, **1**, 141-144.
7. Sakai, T., N. Orikasa, T. Nagai, M. Murakami, K. Kusunoki, K. Mori, A. Hashimoto, T. Matsumura, and T. Shibata, 2006: Optical and microphysical properties of upper clouds measured with the Raman lidar and hydrometeor videosonde: A case study on 29 March 2004 over Tsukuba, Japan. *J. Atmos. Sci.*, **63**, 2156-2166.
8. Sakai, T., T. Nagai, M. Nakazato, T. Matsumura, N. Orikasa and Y. Shoji, 2007: Comparisons of Raman lidar measurements of tropospheric water vapor profiles with radiosondes, hygrometers on the meteorological observation tower, and GPS at Tsukuba, Japan, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **24**, 1407-1423.
9. Hashimoto, A., M. Murakami, T. Kato and M. Nakamura, 2007: Evaluation of the influence of saturation adjustment with respect to ice on meso-scale model simulations. *SOLA*, **3**, 85-88.

・査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. Hashimoto, A., M. Murakami, T. Kato, C. Muroi, M. Yoshizaki and S. Hayashi, 2004: Improvement of microphysical parameterization in a Japan Meteorological Agency nonhydrostatic model with a high resolution and its effect on simulation result. *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling/WMO*, **34**, 4-11 - 4-12.
2. 村上正隆, 2005: 第2章 第1節 降雪雲と降雪分布 (降雪の気象), 雪と氷の事典, 朝倉書店.
3. 村上正隆, 2005: 第1編 第5章 雲と降水の物理学, 気象ハンドブック(第3版), 朝倉書店.
4. 村上正隆, 橋本明弘, 森一正, 折笠成宏, 黒岩博司, 民田晴也, 2005: 梅雨前線に伴う降水雲の航空機観測と数値実験, 「メソ対流系」(吉崎正憲, 村上正隆, 加藤輝之 編), *気象研究ノート*, **208**, 53-64.
5. 村上正隆, 折笠成宏, 星本みずほ, 高山陽三, 堀江宏昭, 黒岩博司, 民田晴也, 2005: 航空機による混合層及び筋状対流雲の発達過程の観測, 「メソ対流系」(吉崎正憲, 村上正隆, 加藤輝之 編), *気象研究ノート*, **208**, 233-242.
6. 村上正隆, 星本みずほ, 折笠成宏, 高山陽三, 黒岩博司, 堀江宏昭, 岡本創, 亀井秋秀, 民田晴也, 2005: 航空機による日本海寒帯気団収束帯帯降雪雲の内部構造観測, 「メソ対流系」(吉崎正憲, 村上正隆, 加藤輝之 編), *気象研究ノート*, **208**, 251-264.
7. 村上正隆, 折笠成宏, 星本みずほ, 高山陽三, 黒岩博司, 堀江宏昭, 岡本創, 民田晴也, 中井専人, 2005: 航空機による日本海ポーラーローの内部構造観測, 「メソ対流系」(吉崎正憲, 村上正隆, 加藤輝之 編), *気象研究ノート*, **208**, 347-354.
8. 折笠成宏, 村上正隆, 2005: ゾンデ観測の統計, *気象研究所技術報告*, **48**, 30-34.
9. 村上正隆, 2005: 初期氷晶分布と氷晶発生機構, *気象研究所技術報告*, **48**, 48-55.
10. 村上正隆, 2005: 温帯低気圧の雲と降水, 2004年度秋季大会シンポジウム「極東域の温帯低気圧」の報告, *天気*, **52**, 751-759.

・口頭発表

1. Murakami, M., N. Orikasa, M. Hoshimoto, K. Kusunoki, H. Kosuge and H. Ikeda, 2003: Present state of Japanese research on orographic snow cloud modification for water resources

- augmentation. Preprint of the 8th WMO Scientific Conference on Weather Modification.
2. Kusunoki, K., M. Murakami, N. Orikasa, Y. Tanaka, K. Iwanami, M. Maki, S. Park, R. Misumi, K. Hamazu, and H. Kosuge, 2003: Ka-band radar observations of orographic snow clouds and flows across a steep mountain ridge. Preprints, 31st Conference on Radar Meteorology., 104-107.
 3. 橋本明弘, 村上正隆, 林修吾, 室井ちあし, 加藤輝之, 吉崎正憲, 2003: JMANHM 雲物理過程の改良 ~雲水・雨水 2 - moment 化の効果~, 第5回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 18-19.
 4. Orikasa, N., M. Murakami, K. Mori, H. Kuroiwa, and H. Minda, 2004: Microphysical properties of anvils obtained from aircraft measurements during X-BAIU-02 field campaign. Proceedings of 14th Int'l Conf. on Clouds and Precipitation, 888-891.
 5. Kusunoki, K., M. Murakami, N. Orikasa, Y. Tanaka, K. Iwanami, M. Maki, P. SangGoon, R. Misumi, K. Hamazu, and H. Kosuge, 2004: Transition of leeside precipitation properties observed by Ka-band radar and ground-based 2D-Grey probe. Preprints, 14th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, ICCP, 827-830.
 6. Kusunoki, K., M. Murakami, N. Orikasa, Y. Tanaka, M. Hoshimoto, Y. Yamada, H. Mizuno, K. Hamazu, and H. Watanabe, 2004: Observations of quasi-stationary, shallow orographic snow cloud: Spatial distributions of super liquid water and ice hydrometeor. Preprints, 14th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, ICCP, 823-826.
 7. Murakami, M., N. Orikasa, K. Kusunoki, K. Mori, A. Ikeda and M. Saito, 2004: Inner structure and precipitation mechanism in orographic snow clouds over the complex terrain in central Japan. Preprint of the 14th Int'l Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, ICCP, 1541-1544.
 8. Murakami, M., A. Hashimoto, N. Orikasa, K. Mori, H. Kuroiwa, A. Kamei and H. Minda, 2004: Mesoscale and microscale structures of precipitation bands associated with Baiu front: Aircraft observation and numerical simulations. Preprint of the 14th Int'l Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, ICCP, 1187-1190.
 9. Hashimoto, A., K. Yasunaga, Y. Wakazuki, S. Kanada, M. Murakami, T. Kato, C. Muroi, H. Sasaki, K. Kurihara, M. Yoshizaki, 2004: The effect of microphysical parameterization on simulation results with a high resolution regional climate model. Proceedings of the International Conference High-Impact Weather and Climate 2004, Seoul, Korea, 408-411.
 10. Hashimoto, A., M. Murakami, S. Hayashi, C. Muroi, T. Kato and M. Yoshizaki, 2004: An Improvement for Liquid-phase Microphysics in JMA-NHM. Preprints, 14th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, ICCP, 1515-1518.
 11. 村上正隆, 2005: 雲を人工的に変える, 名古屋大学地球水循環研究センター公開講演会「雲をつかむ」要旨集.
 12. Kusunoki K., M. Murakami, N. Orikasa, A. Saito, H. Hashiguchi, Y. Ohigashi and M. Saito, 2005: Preliminary observations of small scale wakes generated by complex terrain using a portable X-band radar. Preprints, 32st Conference on Radar Meteorology., JP7J.1.
 13. Murakami, M., 2005: Weather modification and other related activities at MRI, JMA. 2nd International Mini-Workshop on Weather Modification, Soul, Korea.
 14. 橋本明弘, 村上正隆, 林修吾, 加藤輝之, 2006: 非静力学モデルを用いた人工降雪実験, 第8回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 12-13.
 15. Orikasa N. and M. Murakami, 2006: Characteristics of cirrus crystal shapes from hydrometeor videosonde data. Proceedings of the 12th Conference on Cloud Physics, 10-14 July, 2006, Madison WI, P1.53.
 16. Tajiri, T., M. Murakami, N. Orikasa, A. Saito and K. Kusunoki, 2006: Laboratory experiments of ice formation in cloud simulation chamber. Proceedings of the 12th Conference on Cloud Physics, 10-14 July, 2006, Madison WI, P2.53.

17. Hashimoto, A., M. Murakami, N. Kuba, R. Misumi, N. Orikasa, K. Maruyama, A. Saito, and J-P. Chen, 2006: New Parcel Model with Detailed Cloud Microphysics. Proceedings of the 12th Conference on Cloud Physics of the AMS, 10-14 July 2006, Madison, WI, P1.28.
18. Murakami, M., N. Orikasa, H. Horie, H. Kuroiwa, and H. Minda, 2006: Development of convectively mixed layer and formation in it observed-- by an instrumented aircraft. Preprints of 12th AMS conf. on Cloud Physics. P1.30.
19. Hashimoto, A., M. Murakami, S. Hayashi, and T. Kato, 2007: Statistical Analysis with CRM Data Set on Seeding Potential for Winter Orographic Cloud in Japan. Proceedings of the International Symposium on Weather Modification, 31 January - 1 February 2007, Tsukuba, Japan, 21-24.

高解像度(渦解像)海洋大循環モデルの開発とそれによる水塊の形成、維持、及び変動機構の解明

研究期間： 平成15年度～平成19年度
 研究代表者： 本井達夫（海洋研究部 第一研究室長）
 研究参加者： 石崎 廣、山中吾郎、平原幹俊、辻野博之、中野英之、中野俊也（海洋研究部）、
 安田珠幾（気候研究部）、石川一郎¹⁾（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

研究の目的

海洋大循環モデルを用いた将来的な業務・研究の資質向上のために、気象研究所共用海洋モデル(MRI.COM)の改良・開発・維持を図るとともに、種々の海洋現象の形成・維持・変動の機構を解明する。

研究の目標

高解像度(渦解像)海洋大循環モデルを開発し、同モデル結果の解析から大気海洋相互作用や海水混合によって形成される同じ性質を持つ海水の団塊(水塊)の形成・維持・変動の機構を解明する。

(なお、本研究での高解像度とは、海洋の傾圧不安定による擾乱(内部変形半径、中緯度で約30km程度)を十分表現できることであり、約10km以上の分解能を意味する。)

研究の概要

従来の気象研モデル(MRI.COM)に含まれる種々の物理過程を高度化しその数値表現を改良すると共に、高解像度(渦解像)海洋大循環モデルを開発して北太平洋及び全球を対象とする実験を行い、その結果得られる水塊形成過程について調べる。渦解像モデル実験は国内外の諸機関で開始されたばかりであり、未知の分野である。

(1) 海洋モデルの改良・開発と大循環シミュレーション

海洋モデルの改良・開発として、種々の物理過程の高度化と新たな導入を図り、それらを適切に表現できる数値スキームの改良・開発を行う。全球版に対する北極海の導入、高解像度(渦解像)版に最適な移流・拡散過程の選択とその数値表現の改良、及び海底境界層・非静力学過程の導入等を実施する。これらに基づき高解像度(渦解像)海洋大循環モデルを開発し、北太平洋(期間前半)ならびに全球(期間後半)を対象としたシミュレーション実験(それぞれ50～100年積分、1ないし2ケース)を行う。渦解像モデルのパフォーマンス評価のため、並行して、表層循環の多ケース実験及び深層熱塩循環の長期積分のために、中解像度(渦許容)モデルを用いて実験を行う。また、海洋モデル自体の精度評価のため、与えられた設定に対して行う国際比較プロジェクト(OMIP)に参加する。

(2) 計算結果による海洋現象の解析

シミュレーション結果に対して、気候に密接に関連する表層、中層、深層それぞれに特徴的な水塊の形成・維持・変動機構の解明に関する解析を行う。表層については黒潮-親潮混合水域の諸水塊及び亜熱帯及び中央モード水を、中層については黒潮と亜寒帯水とから形成される北太平洋中層水を、また、深層については北大西洋深層水と南極底層水のグローバル気候変動に伴う勢力消長のメカニズムをそれぞれ主な研究対象とする。また、モデル結果の検証として実施する赤道太平洋での深層循環測流結果の解析も併せて行う。

研究成果

(1) 海洋モデルの改良・開発と大循環シミュレーション

(a) 海洋モデルの改良・開発

- ・北極海導入のために極移動と一般直交座標系を開発した。これにより、北極海での特異点問題が解消されるとともに、高低緯度での格子間隔格差の削減が実現し全球海洋モデルの計算効率が向上した。
- ・海底境界層を導入することによって深層水形成過程が改良され、深層水の密度が現実に近づいた。

¹⁾平成15～17年度

- ・海面混合層の各種スキームを改良し海面での大気海洋相互作用の過程を精緻化した。
- ・海氷過程の熱力学過程を高精度化するとともに動力学過程を導入し、海氷の生成・成長・融解・移動の再現性を向上した。
- ・潮汐混合過程を考慮することによって、縁辺海と外洋（例えばオホーツク海と北太平洋）の海水混合過程を精度よく表現した。
- ・非静力学課程のスキームを開発するとともに、現実地形への実用化に向けて地形がある場合にも対応できるスキームへ拡張した。
- ・水平分解能が約 200m、鉛直分解能が 50m、タイムステップ 24 秒の非静力学モデルを準備して、海面冷却による対流実験を行った。この実験から水平解像度が 1km 未満で非静力学過程が効く可能性があることが示された。
- ・非静力学過程の全球モデルへの組み込みを検討したところ、全球モデルにネスティングして非静力学過程が働くだけ解像度を上げるには計算負荷を低減する必要があることが分かった。
- ・高解像度海洋モデルに用いる新しい移流・拡散スキームを導入し、水平解像度 $1/12^\circ$ に対応する高精度の高解像度（渦解像）海洋モデルの開発に成功した。
- ・汎用性の高い海洋モデルシステムである気象研究所共用海洋モデル（MRI.COM）に導入されているすべての物理過程の説明と実際に使用するための手引きとして、マニュアル（気象研究所技術報告第 47 号）を完成した。これにより、MRI.COM を使う研究者及び実務担当者にとって海洋モデルの作動操作を比較的簡単に行うことが可能となった。
- ・沿岸域テストモデル（水平分解能 $1/120^\circ$ の西日本近海モデル）を作成し高潮のシミュレーションを行い、瀬戸内海における潮位計のデータをよく再現することを確かめた。
- ・沿岸域テストモデルの分解能に対する高潮感度実験で海流の構造に変化が見られたが内湾の高潮に大きな変化は見られなかった。

(b) 大循環シミュレーション

- ・中解像度（渦許容）海洋モデルを用いて、ERA40（ECMWF 再解析データ）の大気境界条件による 1979～2000 年の歴史実験と、海底境界層の感度実験を行った。歴史実験では経年変動が風の場の変動に対する応答としてよく説明できること、感度実験では深層水が重く保たれることが確認できた。
- ・海洋モデル相互比較プロジェクト（OMIP と CLIVAR/WGOMD）実験において現実的な海洋と海氷の状態と熱・塩（淡水）輸送を再現することができた。
- ・中小規模擾乱の非等方性を考慮し、拡散と粘性のパラメタリゼーションに非等方性を表現するスキームを導入した。
- ・北太平洋高解像度（渦解像）モデル（水平解像度：東西 $1/12^\circ$ 、南北 $1/12^\circ$ 、鉛直 62 層）を開発し、気候的強制実験と歴史的強制実験を行い、5 日毎のデータを採取した。このデータは共用して種々の解析に供された。
- ・全球高解像度（渦解像）モデル（水平解像度：東西 $1/8^\circ$ 、南北 $1/12^\circ$ 、鉛直 54 層）を開発し、気候的強制実験と感度実験を行い、5 日毎のデータを採取した。このデータは、北太平洋高解像度（渦解像）モデルによる気候的強制実験と歴史的強制実験のデータと同様に、共用して種々の解析に供された。

(2) 計算結果による海洋現象の解明

- ・北太平洋と全球の高解像度（渦解像）モデル気候値強制実験結果の解析により、黒潮－親潮混合水域の諸水塊及び冬季冷却によって形成されるモード水といった表層・中層の種々の水塊の再現性が従来の海洋モデル結果に比して現実に近づくことが確認できた。
- ・北太平洋高解像度（渦解像）モデル歴史的強制実験結果の解析により、表層では亜熱帯モード水と中央モード水が場所的・密度的に明確に区別でき、中層では北太平洋中層水に関わる塩分極小がよく発達する。この原因として、中規模渦よりも更にスケールの小さい小規模擾乱を再現できることが挙げられることが明らかとなった。
- ・北太平洋モデルにネスティングした北西太平洋高解像度（渦解像）モデル実験により対馬・津軽・宗谷海峡における水位変動は沿岸捕捉波や傾圧ロスビー波等によって説明でき、これらの海峡における水位変動によって対馬・津軽・宗谷暖流の流量季節変動が起こっていることが示された。
- ・北太平洋高解像度（渦解像）モデル歴史的強制実験から、経年変動においては、冬季にオホーツク海から日本海に海水が流入（例年に比べて逆流）する年があるが、この逆流現象は宗谷海峡で宗谷岬側よりもサハリン側の水位が高いために起こっているということが分かった。

- ・全球表層変動実験により、西部北太平洋での表層水温変動は、偏西風の南北移動と強弱変動の2モードに対する力学的応答であること、また、十年規模の大気強制によって、太平洋の赤道域から緯北20度にかけての十年規模の水温偏差伝播が生じることを解明した。
- ・モデルにおける北太平洋亜熱帯モード水体温の変動と、気象庁観測船によって東経137度で長期間継続して観測された亜熱帯モード水層厚との比較を行い、モデルが亜熱帯モード水体温の長期変動を良く再現していることが示された。
- ・全球熱塩循環実験では、海底境界層の感度実験の結果、南極環海および北大西洋において深層水の密度が大きく保たれ、深層水塊の形成過程を再現するうえで海底境界層の導入の有効性が確認された。
- ・非静力学過程の深層水塊への影響を調べたところ、海底斜面を下る密度流がエントレインメントを起こしながら深層水塊が形成されることが精度良く表現された。
- ・モデル結果の検証のための赤道太平洋2海域4点の深層測流係留系観測データを取得した。
- ・太平洋熱塩循環変動機構を解析した結果、赤道付近の深層流速は2ヶ月程度の時間スケールで変動しており、測流結果と一致していることが見出された。
- ・変動時間スケール以上の平均的な深層流を調べたところ、モデル結果に対応するような南ないしは東向きの流れを示す期間があることが明らかとなった。

今後に残された問題点

地球温暖化、海洋酸性化や海氷激減などが観測・解析され、海洋環境変動とその地球環境への影響に関する情報の高度化が求められている。このため、大気と海洋の熱及び二酸化炭素などの気体の交換や、海洋における炭素などの物質循環、海氷・大気・海洋の相互作用に関する詳細な知見が求められている。しかしながら、中小規模渦をはじめとする海洋の諸現象がこれら海洋環境及び地球環境の変動において果たしている役割の詳細については未解明なところが多い。従って、今後、観測・解析研究と連携して、本研究で開発され用いられた高解像度（渦解像）海洋大循環モデルを更に精緻化して発展させ、二酸化炭素等物質と海氷を含めた海洋環境変動のメカニズム解明を行っていくことが喫緊の課題である。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

適切な研究実施体制の下、世界的にもトップレベルの高解像度海洋大循環モデルの開発に成功し、それを用いて、水塊の形成、維持、及び変動機構について新たな知見を得ている。特に、海洋において長らく議論の対象であった、中層水の形成や黒潮離岸について新たな知識を加えることができた。これらは非常に高く評価できる。

また、本研究で開発された海洋モデルが、新海洋総合解析システムとして気象庁海洋情報室に納入され、平成20年3月から海況予報の現業で運用されることとともに、季節予報システムとして開発された結合モデルの海洋モデルとして気象庁気候情報課に納入されエルニーニョ予報のために平成20年2月から現業運用されるなど、気象庁業務への貢献も大きい。研究所内においても、単体モデルとしてだけでなく季節予報モデルや地球システムモデルに組み込まれる等、所内他課題との連携が十分になされている。論文も着実に発表されている。

以上のことから、非常に優れた研究であったと高く評価する。今後、このモデルを用いて、トレーサーとの組み合わせによる広域の物理循環・物質循環像の明確な理解など引き続き研究を発展してほしい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 26件
- ・口頭発表件数 60件

成果発表一覧

- ・査読論文
1. Yasuda, T. and Y. Kitamura, 2003: Long-term variability of the North Pacific Subtropical Mode Water in response to the spin-up of the subtropical gyre, *J. Oceanogr.*, **59**, 279-290.
 2. Ishizaki, H. and I. Ishikawa, 2004: Simulation of formation and spreading of salinity minimum associated with NPIW using a high-resolution model., *J. Oceanogr.*, **60**, 463-485.
 3. Tsujino, H. and T. Yasuda, 2004: Formation and circulation of mode waters of the North Pacific in

- a high-resolution GCM, *J. Phys. Oceanogr.*, **34**, 399-415.
4. Galperin, B., H. Nakano, Huei-Ping Huang and S. Sukoriansky, 2004: The ubiquitous zonal jets in the atmospheres of giant planets and Earth's oceans., *Geophys. Res. Lett.*, **Vol. 31**, L13303, doi:10.1029/2004GL019691.
 5. 石川一郎, 辻野博之, 平原幹俊, 中野英之, 安田珠幾, 石崎廣, 2005: 気象研究所共用海洋モデル (MRL.COM) 解説. 気象研究所技術報告第 47 号, 189pp.
 6. Nakano, H. and H. Hasumi, 2005: A Series of zonal jets embedded in the broad zonal flows in the Pacific obtained in eddy-permitting ocean general circulation models, *J. Phys. Oceanogr.*, **35**, 474-488.
 7. Murazaki, K., H. Sasaki, H. Tsujino, I. Takayabu, Y. Sato, H. Ishizaki and K. Kurihara, 2005: Climatic change projection for the ocean around Japan using a high-resolution coupled atmosphere-ocean regional climate model. *SOLA*, **1**, 101-104, doi:102151/SOLA2005-027.
 8. Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu, K. Murazaki, Y. Sato and H. Tsujino, 2006: Preliminary results from the Coupled Atmosphere-Ocean Regional Climate Model at the Meteorological Research Institute. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 389-403.
 9. Usui, N., Y. Fujii, S. Ishizaki, H. Tsujino, T. Yasuda, M. Kamachi, 2006: Introduction of the Meteorological Research Institute Multi-Variate Ocean Variational Estimation System (MOVE-System). *Journal of Advanced Space Research*, **37**, 806-822.
 10. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii, M. Kamachi, 2006: Short-range prediction experiments of the Kuroshio path variabilities south of Japan. *Ocean Dynamics*, **vol.56**, 607-623, DOI 10.1007/s10236-006-0084-z.
 11. Ishizaki, I. and I. Ishikawa, 2006: High Parallelization Efficiency in Barotropic-Mode Computation of Ocean Models Based on Multi-Grid Boundary Ghost Area. *Ocean Modelling*, **13**, 238-254.
 12. Yasuda, T. and K. Sakurai, 2006: Interdecadal variability of the sea surface height around Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01605, doi: 10, 1029/2005GL024920.
 13. Tsujino, H., N. Nusui, and H. Nakano, 2006: Dynamics of Kuroshio path variations in a high-resolution GCM, *Journal of Geophysical Research - Oceans*, **111**, C11001, doi:10.1029/2005JC003118.
 14. Sato, Y., S. Yukimoto, H. Tsujino, H. Ishizaki and A. Noda, 2006: Response of North Pacific ocean circulation in a Kuroshio-resolving ocean model to an Arctic Oscillation (AO)-like change in Northern Hemisphere atmospheric circulation due to greenhouse-gas forcing, *Journal of Meteorological Society of Japan*, **84**, 295-309.
 15. Nakano, T., I. Kaneko, T. Soga, H. Tsujino, T. Yasuda, H. Ishizaki and M. Kamachi, 2007: Mid-depth freshening in the North Pacific subtropical gyre observed along the JMA repeat and WOCE hydrographic sections. *Geophysical Research Letters*, **34**, L23608, doi:10.1029/2007GL031433.
 16. Hasegawa, T., T. Yasuda and K. Hanawa, 2007: Generation mechanism of quasidecadal variability of upper ocean heat content in the equatorial, *Pacific Ocean, J. Geophys. Res.*, **112**, C08012, doi:10.1029/2006JC003755.
 17. Hirabara, M., H. Ishizaki and I. Ishikawa, 2007: Effects of the westerly wind stress over the Southern Ocean on the meridional overturning. , *J. Phys. Oceanogr.*, **37**, 2114-2132.
 18. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii, M. Kamachi, 2007: On the Kuroshio large meander in 2004: generation of a trigger meander. *Journal of Geophysical Research*, **113**, C01012, doi:10.1029/2007JC004266.
 19. Hasegawa, T., T. Yasuda and K. Hanawa, 2007: Multidecadal variability of the upper ocean heat content anomaly field in the North Pacific and its relationship to the Aleutian Low and the Kuroshio transport, *Papers in Meteor. and Geophys.*, **57**, 155-166.
 20. Nakano, H., H. Tsujino and R. Furue, 2007: The Kuroshio Current System as a jet and twin

“relative” recirculation gyres embedded in the Sverdrup circulation. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, accepted.

21. Tsujino, H., H. Nakano and T. Motoi, 2007: Mechanism of the currents through the straits of the Japan Sea: The mean state and the seasonal variation, *Journal of Oceanography*, accepted.

・査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 石崎廣, 石川一郎, 2005: 歴史的な風応力を用いた高解像度モデル実験結果から見た日本周辺海面高度の変動. *測候時報*, **72**, 特別号, S91-S100.
2. 安田珠幾, 2005: 日本近海海面高度の数十年規模変動—北太平洋の風応力と海面熱フラックスの変動との関係—. *測候時報*, **72**, 特別号, S-S.
3. 石川一郎, 石崎廣, 2005: 高解像度北太平洋モデルにおける黒潮流路の変動と日本近海の水位変動との関係について. *測候時報*, **73**, 特別号, S45-S50.
4. Tsujino, H. and Y. Fujii, 2007: Improved representation of currents and water masses in the upper layer of the North Pacific Ocean in eddy-resolving OGCMs. *Clivar Exchanges*, **Vol. 12, No.3**, 19-21.
5. Nakano, H., M. Hirabara, H. Tsujino and T. Motoi, 2007: Development of the global ocean model with the resolution of $1^\circ \times 1/2^\circ$ and $1/8^\circ \times 1/12^\circ$. *Clivar Exchanges*, **Vol. 13, No.1**, 11-13.

・口頭発表

1. 平原幹俊, 石崎廣, 2003: 南大洋の風が海洋深層循環に及ぼす影響, 2003 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
2. 平原幹俊, 石川一郎, 石崎廣, 2003: 南大洋の風が海洋深層循環に与える影響II, 2003 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
3. 安田珠幾, 石崎士郎, 2003: 日本沿岸水位の長期変動の要因, 2003 年度日本海洋学会秋季大会.
4. 石崎士郎, 安田珠幾, 2003: 偏西風の南北移動に伴う北西太平洋表層水温変動, 2003 年度日本海洋学会秋季大会.
5. 辻野博之, 安田珠幾, 2003: 高解像度モデルによるモード水の経年変動, 2003 年度日本海洋学会秋季大会.
6. 石川一郎, 石崎廣, 2003: 渦許容モデルに見られる黒潮の自励的経年変動と琉球海流との関係. 2003 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
7. 平原幹俊, 石川一郎, 石崎廣, 2004: 海面フラックス計算に使うスカラー風速の補正と海洋大循環モデル結果の改善, 2004 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
8. Tsujino, H. and T. Yasuda, 2004: Long-term variability in the Kuroshio-Oyashio extension region in a high resolution GCM, 2004 Ocean Sciences Meeting.
9. Yasuda, T., 2004: Decadal variability of the upper ocean in the western part of the midlatitude North Pacific, AGU 2004 Fall Meeting.
10. 安田珠幾, 2004: 1990 年代後半以降の北太平洋中緯度域表層水温変動, 2004 年度日本海洋学会秋季大会.
11. 石川一郎, 石崎廣, 2004: 渦解像北太平洋モデルの開発 I. 2004 年度日本海洋学会秋季大会.
12. Ishikawa, I. and H. Ishizaki, 2004: Spontaneous interannual to decadal scale variations in the Kuroshio and its recirculation in a high-resolution North Pacific Model. 2004 AGU Fall Meeting.
13. 中野英之, 辻野博之, 2004: 高解像度海洋モデルにおける西岸境界流のダイナミクス, 2004 年度日本海洋学会秋季大会要旨集.
14. Nakano, H. and H. Tsujino, 2004: Dynamics of separation of Kuroshio in eddy-permitting general circulation models in an idealized basin, 2004 AGU Fall Meeting.
15. 安田珠幾, 2004: 1990 年代後半以降の北太平洋中緯度域表層水温変動. 2004 年度日本海洋学会秋季大会要旨集.
16. Yasuda, T., 2004: Decadal variability of the upper ocean in the western part of the midlatitude

- North Pacific. AGU 2004 Fall Meeting.
17. Tsujino, H. Nakano, N. Usui and M. Kamachi, 2005: Dynamics of Kuroshio path variations in a high resolution GCM. Proceedings of the Colloquium in honour and in memory of Christian Le Provost.
 18. 平原幹俊, 石川一郎, 石崎廣, 2005: 全球海洋モデルにみられる南半球高緯度の熱塩振動 2005 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
 19. Hirabara, M., H. Ishizaki and I. Ishikawa, 2005: Effects of the Westerly Wind Stress over the Southern Ocean on the Abyssal Circulation. Dynamic Planet 2005, IAPSO, Abstract, PTH0102.
 20. Yasuda, T., 2005: Interdecadal variability of sea surface height around Japan: An OGCM simulation, International meeting on the long-term variability of sea level and water temperature in the North Pacific Ocean related to the global warming.
 21. 安田珠幾, 2005: 北太平洋における海面高度の十年規模変動, 2005 年度日本海洋学会春季大会.
 22. 上原裕樹, 安田珠幾, 花輪公雄, 2005: 数値モデルを用いた高密度 XBT 観測による熱輸送量評価スキームの検証 (II), 2005 年度日本海洋学会春季大会.
 23. Hasegawa, T., T. Yasuda and K. Hanawa, 2005: A quasi-decadal variability in the tropical Pacific: Propagation characteristics of upper ocean heat content and variation of Sverdrup transport, Dynamic Planet 2005.
 24. 長谷川拓也, 安田珠幾, 花輪公雄, 2005: 海洋大循環モデルによる太平洋中部赤道域における海洋表層貯熱量の 10 年スケール変動の研究, 2005 年度日本海洋学会秋季大会.
 25. 石川一郎, 石崎廣, 2005: 北太平洋モデルにおける水平分解能の渦輸送に及ぼす影響. 2005 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
 26. 石崎廣, 中野俊也, 四竈信行, 2005: 東経 165 度赤道近傍での深層測流(2)ー北太平洋深層水の行方ー. 2005 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
 27. 中野英之, 辻野博, 2005: 西岸境界流の離岸について. 2005 年度日本海洋学会秋季大会要旨集.
 28. 辻野博之, 碓氷典久, 中野英之, 2005: 高解像度モデルにおける黒潮蛇行の特性. 2005 年度日本海洋学会春季大会要旨集.
 29. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 蒲地政文, 2005: 気象研北西太平洋海況予測システムによる黒潮流路予測実験, 日本海洋学会 2005 年度春季大会講演要旨集.
 30. 辻野博之, 中野英之, 2005: 対馬海流の形成および変動要因について. 2005 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
 31. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 蒲地政文, 2005: 黒潮流路予測実験に見られた誤差発展の特性, 日本海洋学会 2005 年度秋季大会講演要旨集 P101.
 32. Yasuda, T., 2005: Interdecadal variability of the sea surface height around Japan: an OGCM simulation. International meeting on the long-term variability of sea level and water temperature in the North Pacific Ocean related to the global warming, JMA, Tokyo.
 33. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii, S. Ishizaki, M. Kamachi, 2005: Reanalysis experiment using MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System in the Western North Pacific. Proceedings of the Fourth WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 34. 安田珠幾, 2005: 北太平洋における海面高度の十年規模変動. 2005 年度日本海洋学会春季大会要旨集.
 35. 中野英之, 辻野博之, 古恵亮, 2006: 黒潮続流の南北の再循環の力学構造について 2006 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 68.
 36. 平原幹俊, 石崎廣, 山中吾郎, 石川一郎, 2006: 小規模擾乱が担う熱・塩輸送の特徴, 2006 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 221.
 37. 本井達夫, 辻野博之, 石川一郎, 2006: 宗谷海峡における海水・海氷輸送量の季節変化と経年変動: 渦解像海洋大循環モデルによるシミュレーション, 2006 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 96.

38. 安田珠幾, 石川一郎, 2006: 渦解像海洋大循環モデルで再現された北太平洋亜熱帯モード水, 2006年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 104.
39. 安田珠幾, 2006: 20世紀後半における海面水位トレンドの熱膨張成分, 2006年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 147.
40. Yasuda, T. and T. Hasegawa, 2006: Decadal variability of the sea surface height in the North Pacific, 2006 Ocean Sciences Meeting.
41. Hasegawa, T. and T. Yasuda, 2006: Multidecadal variability of heat content anomaly field in the North Pacific and its relationship to the Aleutian Low and the Kuroshio transport, 2006 Ocean Sciences Meeting.
42. 安田珠幾, 石川一郎, 2006: 渦解像海洋大循環モデルで再現された北太平洋亜熱帯モード水, 2006年度日本海洋学会春季大会.
43. 長谷川拓也, 安田珠幾, 花輪公雄, 2006: エルニーニョ・イベント終焉期における赤道太平洋表層貯熱量の振る舞い, 2006年度日本海洋学会春季大会.
44. 安田珠幾, 2006: 20世紀後半における海面水位トレンドの熱膨張成分, 2006年度日本海洋学会秋季大会.
45. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii, M. Kamachi, 2006: Formation process of the Kuroshio Large Meander in 2004, Proceedings of the 15 years of progress in Rader Altimetry Symposium.
46. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii, M. Kamachi, 2006: Formation process of the Kuroshio Meander southeast of Kyushu in 2003 fall, Proceedings of the 2006 Western Pacific Geophysics Meeting.
47. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 蒲地政文: 2004年黒潮大蛇行の形成過程 -九州沖小蛇行の形成メカニズム-, 2006年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
48. 中野俊也, 金子郁雄, 曾我太三, 辻野博之, 安田珠幾, 石崎 廣, 蒲地政文, 2006: 北太平洋亜熱帯循環域中層の低塩分化. 2006年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
49. 長谷川拓也, 安田珠幾, 堀井孝憲, 花輪公雄, 2006: エルニーニョ期間中の赤道太平洋海洋表層貯熱量の discharge メカニズム, 2006年度日本海洋学会秋季大会.
50. 山中吾郎, 安田珠幾, 石崎廣, 2006: 西部熱帯太平洋における季節から経年スケールの表層熱収支, 2006年度日本海洋学会秋季大会.
51. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. kamachi, 2006: A process study of the Kuroshio large meander in 2004 using a regional assimilation system MOVE/MRI.COM-WNP, Proceedings of the 3rd GODAE Symposium.
52. Nakano, T., I. Kaneko, T. Soga, H. Tsujino, T. Yasuda, H. Ishizaki, M.Kamachi, 2006: Freshening of the mid-depth in the North Pacific subtropical gyre observed along JMA's repeat and WOCE hydrographic sections. The 21st Century COE International Symposium 2006 "Climate Change: Past and Future", Proceedings of the 21st Century COE program, Advanced Science and Technology Center for the Dynamic Earth in Tohoku University.
53. Yasuda, T., H. Tsujino, I. Ishikawa and H. Ishizaki, 2006: Modeling Studies on the Mode Waters in the Midlatitude North Pacific, The symposium "Climate Change: Past and Future", COE Symposium, Tohoku Univ., Sendai.
54. Yasuda, T., 2006: Linear Trend of Global Mean Sea Level due to Thermal Expansion during 1960-2001: OGCM Experiments, The symposium "Climate Change: Past and Future", COE Symposium, Tohoku Univ., Sendai.
55. 本井達夫, 平原幹俊, 辻野博之, 中野英之, 石川一郎, 2007: 利尻・礼文島への流水接岸を伴ったオホーツク海表層低塩分水の日本海への冬季流出, 2007年度日本海洋学会秋季大会.
56. 中野英之, 石川一郎, 2007: 十年規模の風応力変動による黒潮続流の南北移動, 2007年度日本海洋学会秋季大会.
57. 石崎廣, 石川一郎, 2007: 渦解像モデルの混合域中層における親潮水と黒潮水の渦輸送, 2007年度日本海洋学会秋季大会.
58. 山中吾郎, 石崎廣, 平原幹俊, 石川一郎, 2007: 北太平洋渦解像モデルにおける亜熱帯前線の十年

- 規模変動, 2007 年度日本海洋学会秋季大会.
59. 平原幹俊, 石崎廣, 山中吾郎, 石川一郎, 2007: 渦許容モデルにおけるサブグリッド熱・塩輸送のパラメタリゼーション, 2007 年度日本海洋学会秋季大会.
60. Yamanaka, G., H. Ishizaki, M. Hirabara and I. Ishikawa, 2007: Decadal variations of the Subtropical Front in a North Pacific Eddy Resolving OGCM, AGU 2007 Fall Meeting.

海洋データ同化システムの高精度化と海洋現象の季節から経年変動の解析

研究期間：平成15年度～平成19年度

研究代表者：蒲地政文（海洋研究部 第二研究室長）

研究参加者：中野俊也、藤井陽介、碓氷典久、松本 聡¹⁾（気象研究所）、石崎士郎²⁾（気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室）

研究の目的

最近の海洋でのデータ同化研究の発展に伴う知見を踏まえた上で、過去の海洋現象について同化実験を行い、海洋変動の解析を行う。また、同化システムの開発・改良を行う。

研究の目標

過去の海洋現象について同化実験を行い、海洋再解析データセットを作成する。そのデータセットや観測データを用いて表層蓄熱量や水塊構造に関連した水温場・塩分場の解析を行う。これと平行してデータ同化システムの高度化のための同化システム（3次元変分法、4次元変分法）の開発・改良を行う。

研究の概要

- ① 既存の海洋データ同化システムを用いた過去の同化実験を行い、その結果得られる4次元のデータセットを用いて、北太平洋の水温・塩分構造、表層蓄熱量と大気との関係、海洋での水塊構造と変動への塩分と南北熱輸送の影響など、海洋の変動機構に関する解析を行い、種々の気候変動に係る海洋変動現象を解明する。また、その結果を用いて同化システムを改良する。これらの過去の同化実験、同化手法の検証・改良を行い、かつ観測データだけから経年変動の特徴を抽出し理解するために、TOPEX/POSEIDON、Jason-1、ENVISAT等の衛星海面高度計、船舶等による海中の水温、塩分、流速などの観測データの解析についても、併せて行う。
- ② 気象研究所共用海洋モデル(MRI.COM)のアジョイント形を開発し、各種海洋データをそのモデルに同化する手法を開発し、検証実験を行う。

研究成果

- ① 過去の同化実験と解析並びに同化システムの改善
 - (a) 全球3次元変分法の改良
 - ・異なる衛星海面高度計のバイアス補正を行い連続したデータを算出し、同化実験に使用した。
 - ・同化実験の結果を観測データと比較し、海域ごとに再現性の精度が異なることが判明した。そのため海域毎の誤差統計量の算出をより細かい海域区分で行って同化結果を改善した。
 - ・熱帯太平洋での東西風とバランスする海洋内部のサーモクラインの傾き（圧力勾配）が、海洋観測の同化によって決められる海洋内部のサーモクラインの傾き（圧力勾配）と整合性がとれていないことがわかり、その結果、偽の鉛直循環が起こることがわかった。この問題の解決の為に海上風を修正する同化手法を開発し、同化システムに組み込み同化実験を行い海洋状態の再現性の精度が向上した。
 - (b) 再解析データセットの作成
 - ・改良を行ったデータ同化システムを用いて、過去の同化実験（海洋再解析）を1949年～2006年までを行い、4次元データセットを作成した。しかしながら、1949～80年代の塩分場の再現性が不十分であることが、水塊解析から明らかになった。この期間は、観測データが少なく気候値の精度も低い。そのため、今後気候値の改善をはかる手法を開発することが残された課題である。
 - ・このデータを用いて、国際研究計画 GOOS/GODAE と CLIVAR/GSOP での相互比較に参加し、よい成績を収めた。
 - ・このデータセットを融合型経常研究「季節予測システムの構築と経年変動機構・予測可能性の研究」でのエルニーニョ予測実験の初期値として提供した。
 - (c) 再解析データと観測データを用いた気候変動解析
 - ・熱帯太平洋での塩分とバリエイヤーの経年変動を解析した。バリエイヤーの厚さと海面水温・

¹⁾平成17～18年度、²⁾平成15～16年度

表層蓄熱量との間には比例関係があることを明確にした。更に、南太平洋回帰線水の熱帯への移動により淡水プールより下の密度構造が変動することでバリエーションの厚さが変動することがわかった。

- ・表層蓄熱量と大気フラックス（海上風）の再解析データセットを用いて、EOF 解析を行った。その結果、海上風の強度及び最大強度の南北緯度の変動を表す EOF モードに対応して、表層蓄熱量の分布からわかる亜熱帯循環の強度及び循環の位置がそれぞれ経年的に応答しており、強度変動と緯度変動の各々が経年スケールで交互に現れることが初めてわかった。その変動に表層蓄熱量も応答していることがわかった。
- ・北太平洋回帰線水の季節変動、及び経年変動について解析を行った。夏季に高く冬期に低い塩分場の季節変動傾向を示すが、その振幅は小さいことがわかった。経年変動に関しては、海面での海上風と淡水フラックスの水平分布・変動が亜熱帯循環の構造を数年ごとに変え、その結果として高塩分水である北太平洋回帰線水が日本近海へ数年ごとに流入することが初めて明らかになった。
- ・北太平洋中層水の季節から 10 年の変動を観測データ（気象庁 137°E 定線データ）から明らかにした。中層水は季節変動が見られないことがわかった。しかし、経年変動に関しては、北太平洋中央部の風応力場の変動に伴って励起された傾圧ロスビー波第 1 モードが北太平洋の中緯度を西へ伝播し、亜熱帯循環および再循環強度を変え、それに伴い中層水が東西シフトすることによって変動することがわかった。10 年変動に関しては、北太平洋中央部の風応力場と黒潮続流域の熱フラックスの変動が起こってから、非線形のロスビー波により 11 年後に再循環強度の変動が起こることがわかった。この再循環の変動に従って日本南方の中層水が変動していることがわかった。
- ・北太平洋中層から表層の水温躍層にかけて高温化と共に低塩化（約 0.0015/yr）していることがわかった。低塩化の原因としては、表層水温の昇温により等密度面深度が深くなったことと、長期的に亜熱帯循環が強化されたことによる。しかし、低塩化のトレンドの大きさには空間分布があり、異なる海域での形成とそこからの循環経路の違いによる可能性がある。この点に関しては、海洋大循環モデルによる感度解析を行う必要があり、今後の研究により解明する予定である。

② アジョイント法の開発

(a) 4次元変分法（アジョイント法）の開発

- ・4次元変分法の開発に関しては、気象研共用海洋モデル(MRI.COM)のアジョイントモデルを作成した。
- ・観測オペレーター（モデル変数から異なる時間・場所での観測変数への変換を行う行列）の非線形性に対しても使用できる非線形降下法を開発した。
- ・混合層過程で起こる混合過程に対して、拡散過程で近似する実用的で有効な手法を開発した。
- ・上記3点の開発と改良により海面高度と混合層をより精度よく同化可能なデータ同化システム（4次元変分法）を構築した。
- ・上記システムを用いて同化実験を行った。その同化実験で、初期値よりも初期時刻の前後にわたる時間で最適な状態を求めて、予測精度を高めることができた。これはデジタルフィルターのアジョイントモデルを導入したことに対応し、高周波のノイズが効果的に減少できて同化・予測精度が向上した。

(b) 黒潮海域の海況変動の感度実験

- ・アンサンブル手法（ブリーディング法）を用いた予測実験により黒潮の予測可能性が向上することがわかった。
- ・開発した北西太平洋でのアジョイント法を用いて、日本南方の黒潮海域の変動（特に大蛇行）の起源を求める感度実験を行い、2ヶ月前の変動の起源が九州南東の表層と中層の中規模渦の位相差にあることがわかり、傾圧不安定の発生と一致することがわかった。
- ・さらに、その九州南東の変動起源から定常大蛇行に移行するには、小蛇行の東進速度と、小蛇行の南東にある高気圧渦の強さが必要であることがわかった。また、それらの条件は傾圧不安定の発生だけでなく、大蛇行が定常になる（紀伊半島沖に留まる）条件となることがわかった。

(c) 波浪モデルの同化に関する情報収集

- ・外国（ECMWF 及びマックスプランク研究所）で用いられている海面過程（波浪）のデータ同化手法を調査した。沿岸域の海岸地形を考慮した海域分け、および波浪（特に波長）の違いによって異なる背景誤差の統計量を用いることにより精度が向上すると考えられることがわかった。

③ 気象庁で業務化された事項

- ・海洋データ同化システムは、融合型経常研究「季節予測システムの構築と経年変動機構・予測可能性の研究」(平成16～18年度)で開発された結合モデルと共に平成18年度に気象庁気候情報課に納入されエルニーニョ予報のための海洋初期値作成の現業で平成20年2月から運用が開始された。
- ・本研究課題の副課題①で改良し黒潮大蛇行の予測研究を行った北西太平洋の海洋データ同化システムは、本研究の前身である経常研究「海洋観測データの同化技術の高度化」(平成11～14年度)及び「北西太平洋の力学的海況予報に関する研究」(平成13～17年度)で開発されたシステムである。この北西太平洋の海洋データ同化システムは平成18年度に気象庁海洋気象情報室に納入され海況予報の現業で平成20年3月から運用となった。その検証・運用試験に本研究の成果が生かされた。

今後に残された問題点

- ・1949～80年代の塩分場の再現性が不十分であることが、水塊解析から明らかになった。この期間は、観測データが少なく気候値の精度も低い。そのためまず気候値の改善をはかる必要がある。
- ・北太平洋中層から表層での低塩化は、異なる海域での形成とそこからの循環経路の違いによる可能性がある。この形成域と循環経路の特定の為に、今後海洋大循環モデルによる感度解析を行う予定である。

成果の活用に対する意見(事後評価の総合所見)

海洋データ同化システムを改良し、精度の高い長期再解析データセットを作成し、それにより種々の気候変動解析を行い、今後の気候研究に有効であることを示した。再解析データセットは国際的に見て一級の水準であり、その過程で国際的な連携もよく進めた。開発した海洋データ同化システムは、季節予報システムとして開発された結合モデルと共に本庁のエルニーニョ予報に導入され、また、黒潮蛇行等の海況予報に導入される予定になっており、気象庁業務への貢献も非常に高い。論文としての発表数も多く、また、本研究において、2人の博士も生み出した。

以上のことから、非常に優れた研究であったと高く評価する。

この分野は他機関との競合の厳しい分野であるが、今後も企画部門や気象庁本庁と連携し、的確な研究戦略の下、世界をリードする研究へと発展されることを強く期待する。再解析データによる研究は、他機関との共同研究等の連携を推進しつつ、さらに進めていただきたい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 46件
- ・口頭発表件数 91件

成果発表一覧

- ・査読論文
1. Fujii, Y. and M. Kamachi, 2003a: A reconstruction of observed profiles in the sea east of Japan using vertical coupled temperature-salinity EOF modes. *Journal of Oceanography*, **59**, 173-186.
 2. Fujii Y. and M. Kamachi, 2003b: Three dimensional analysis of temperature and salinity in the equatorial Pacific using a variational method with vertical coupled temperature-Salinity empirical orthogonal function modes. *Journal of Geophysical Research* (C9), **3297**, doi: 10.1029/2002JC001745.
 3. Fujii Y. and M. Kamachi, 2003c: A nonlinear quasi-Newton method without inversion of a first-guess covariance matrix in variational analyses. *Tellus*, **55A**, 450-454.
 4. Kuragano, T. and M. Kamachi, 2003: Altimeter's capacity of reconstructing realistic eddy fields using space-time optimum interpolation. *Journal of Oceanography*, **59**, 765-781.
 5. Iwao, T., M. Endoh, N. Shikama and T. Nakano, 2003: Intermediate Circulation in the Northwestern North Pacific Derived from Subsurface Floats. *Journal of Oceanography*, **59**, 893-904.
 6. Kamachi, M., T. Kuragano, S. Sugimoto, K. Yoshita, T. Sakurai, T. Nakano, N. Usui and F. Uboldi, 2004: Short-range prediction experiments with operational data assimilation system for the

- Kuroshio south of Japan. *Journal of Oceanography*, **60**, 269-282.
7. Kamachi, M., T. Kuragano, H. Ichikawa, H. Nakamura, A. Nishina, A. Isobe, D. Ambe, M. Arai, N. Gohda, S. Sugimoto, K. Yoshita, T. Sakurai and F. Uboldi, 2004: Operational data assimilation system for the Kuroshio south of Japan: Reanalysis and validation. *Journal of Oceanography*, **60**, 303-312.
7. Isobe, A., M. Kamachi, N. Masumoto, H. Uchida and T. Kuragano, 2004: Seasonality of the Kuroshio transport revealed in a Kuroshio assimilation system, *Journal of Oceanography*, **60**, 321-328.
8. Kuragano, T. and M. Kamachi, 2004: Balance of volume transports between horizontal circulation and meridional overturn in the North Pacific subarctic region. *Journal of Oceanography*, **60**, 439-451.
9. Shimizu, Y., T. Iwao, I. Yasuda, S. Ito, T. Watanabe, K. Uehara, N. Shikama and T. Nakano, 2004: North Pacific Intermediate Water formation process traced by $26.7\sigma_{\theta}$ -isopycnal floats. *Journal of Oceanography*, **60**, 453-462.
10. Fujii, Y., 2005: Preconditioned Optimizing Utility for Large-dimensional analyses (POpULar), *Journal of Oceanography*, **61**, 167-181.
11. Fujii, Y., S. Ishizaki and M. Kamachi, 2005: Application of nonlinear constraints in a three-dimensional variational ocean analysis. *Journal of Oceanography*, **61**, 655-662.
12. Nakano, T., I. Kaneko, M. Endoh and M. Kamachi, 2005: Interannual and Decadal Variabilities of NPIW Salinity Minimum Core Observed along JMA's Hydrographic Repeat Sections. *Journal of Oceanography*, **61**, 681-697.
13. Usui, Y., Y. Fujii, S. Ishizaki, H. Tsujino, T. Yasuda and M. Kamachi, 2005: Introduction of the Meteorological Research Institute Multi-Variate Ocean Variational Estimation System (MOVE-System). *Advances in Space Research*, **37**, 806-822.
14. Watanabe, Y. W., H. Ishida, T. Nakano and N. Nagai, 2005: Spatiotemporal decreases of nutrients and chlorophyll-a in the surface mixed layer of the western North Pacific from 1971 to 2000. *Journal of Oceanography*, **61**, 1011-1016.
15. Derber, J., D. McLaughlin, A. O' Neill and M. Kamachi, 2005: What can the research and operations communities offer each other? *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **Vol.131**, 3683-3693.
16. 蒲地政文, 藤井陽介, 石崎士郎, 松本聡, 中野俊也, 安田珠幾, 2006: 熱帯太平洋での気候変動に関連した海洋データ同化の最近の発展. *統計数理*, **第54巻第2号**, 223-245.
17. Midorikawa, T., M. Ishii, K. Nemoto, H. Kamiya, A. Nakadate, S. Masuda, H. Matsueda, T. Nakano and H. Inoue, 2006: Interannual variability of winter oceanic CO₂ and air-sea CO₂ flux in the western North Pacific for two decades. *Journal of Geophysical Research*, **111**, C07S02, doi:10.1029/2005JC003095, 2006.
18. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. Kamachi, 2006: Short-range prediction experiments of the Kuroshio path variabilities south of Japan. *Ocean Dynamics*, **vol.56**, 607-623, DOI 10.1007/s10236-006-0084-z.
19. Nakano, T., I. kaneko, T. Soga, H. Tsujino, T. Yasuda, H. Ishizaki and M. Kamachi, 2007: Mid-depth freshening in the North Pacific subtropical gyre observed along the JMA repeat and WOCE hydrographic sections. *Geophysical Research Letters*, **34**, L23608, doi:10.1029/2007GL031433.
20. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. Kamachi, 2008: Generation of a trigger meander for the 2004 Kuroshio large meander. *J. Geophys. Res.* **113**, C01012, doi:10.1029/2007JC004266.

・ 査読論文以外の著作物 (翻訳、著書、解説)

1. 蒲地政文, 倉賀野連, 杉本悟史, 吉田久美, 2003: 北太平洋実用同化システム. 海洋データ同化セミナー2002, 日本海洋科学振興財団, 126-150.

2. 藤井陽介, 2003: 気象研究所海洋データ同化システムについて. 海洋データ同化セミナー2002, 日本海洋科学振興財団, 187-203.
3. 岩尾尊徳, 遠藤昌宏, 四竈信行, 中野俊也, 2003: 中層フロートによる中層水の循環像. 月刊「海洋」, 号外 No.32, 122-130.
4. 倉賀野連, 蒲地政文, 2003: 同化モデルによる亜寒帯循環の解析, 月刊「海洋」, 号外 No.32, 140-146.
5. 中野俊也, 金子郁雄, 遠藤昌宏, 2003: 東経 137 度線における北太平洋中層水の十年規模変動. 測候時報, 特集「海洋気象観測船による気候変動に関連する海洋変動の監視」, 第 70 巻特別号, S35-S46.
6. 杉本悟史, 蒲地政文, 吉田久美, 村上潔, 川江訓, 三浦雄美利, 谷政信, 吉岡典哉, 湊信也, 宮城直文, 瀬河孝博, 岡野克彦, 2003: 海洋総合解析システムの検証, 測候時報, 特集「海洋総合解析システムの検証」, 第 70 巻特別号, s71-s105.
7. 蒲地政文, 倉賀野連, 杉本悟史, 2003: 海洋データ同化プロダクトの評価の現状: GODAE Metrics の紹介, 測候時報, 特集「海洋総合解析システムの検証」, 第 70 巻特別号, s107-s122.
8. 渡辺豊, 石田洋, 小埜恒夫, 中野俊也, 永井直樹, 西堀文康, 2003: 化学データからみた北太平洋における水塊形成量の減少の可能性とその影響. 月刊「海洋」, vol.35, 6-12.
9. 藤井陽介, 2004: MRI Ocean Variational Estimation System(MOVE-System)の紹介, 海洋データ同化セミナー2003, 日本海洋科学振興財団, 19-38.
10. 磯辺篤彦, 升本順夫, 内田裕, 蒲地政文, 倉賀野連, 2004: 四国沖の黒潮流量の季節変化, 月刊「海洋」, 号外 No.37, 41-55.
11. 蒲地政文, 倉賀野連, 市川洋, 中村啓彦, 仁科文子, 磯辺篤彦, 安倍大介, 荒井正純, 江田憲彰, 杉本悟史, 吉田久美, 桜井敏之, 2004: 実用データ同化実験—結果と検証一, 月刊「海洋」, 号外 No.37, 181-195.
12. 蒲地政文, 倉賀野連, 杉本悟史, 吉田久美, 桜井敏之, 中野俊也, 碓氷典久, 2004: 日本南岸での黒潮の流路と流量の変動予測, 月刊「海洋」, 号外 No. 37, 198-210.
13. 蒲地政文, 倉賀野連, 杉本悟史, 吉田久美, 桜井敏之, 碓氷典久, 藤井陽介, 辻野博之, 2005: 気象庁, 気象研究所における海況予報システムの現状 月刊「海洋」, vol.37, 257-262.
14. 碓氷典久, 2005: データ同化の基本原則, 海洋データ同化セミナー2004, 日本海洋科学振興財団, 11-22.
15. 藤井陽介, 石川洋一, 2005: アジョイント法, 海洋データ同化セミナー2004, 日本海洋科学振興財団, 41-44.
16. 藤井陽介, 2005: 降下法と背景誤差相関の取り扱い, 海洋データ同化セミナー2004, 日本海洋科学振興財団, 45-62.
17. 石崎士郎, 藤井陽介, 碓氷典久, 蒲地政文, 2005: 気象庁における海洋データ同化システム, 海洋データ同化セミナー2004, 日本海洋科学振興財団, 81-102.
18. 淡路敏之, 蒲地政文, 2005: 海洋観測とモデルの統合化—現状と今後の戦略的推進一, 月刊「海洋」, vol.37, 631-634.
19. 蒲地政文, 2005: GODAE 計画の国際的な動向, 月刊「海洋」, vol.37, 635-640.
20. 倉賀野連, 北村佳照, 蒲地政文, 2005: 気象庁における海洋データ同化の現状, 月刊「海洋」, vol.37, 641-646.
21. 蒲地政文, 2005: GODAE と ARGO, 月刊「海洋」, vol.37, 709-715.
22. 中野俊也, 倉賀野連, 蒲地政文, 2006: 北太平洋亜熱帯循環域における表層貯熱量の変動. 月刊「海洋」, 号外 43, 113-122.
23. 蒲地政文, 碓氷典久, 藤井陽介, 松本聡, 中野俊也, 2006: データ同化プロダクトの評価方法について — GODAE Metrics から —. 月刊「海洋」, vol.38, 528-535.
24. 松本聡, 中野俊也, 石崎士郎, 碓氷典久, 藤井陽介, 蒲地政文, 2007: 再解析データを用いた亜熱帯域における海洋表層貯熱量の長期変動の解析, 測候時報, 海洋気象特集, 第 74 巻特別号, S89-S98.
25. 蒲地政文, 藤井陽介, 松本聡, F. Hernandez, T. Lee, 2007: GODAE の現状. 月刊「海洋」, vol.39, 422-427.

26. 蒲地政文, 碓氷典久, 2007: 海洋モデルとデータ同化を用いた海況予報. *オペレーションズ・リサーチ*, vol.52, 211-215.

・口頭発表

1. Kamachi, M. and T. Awaji, 2003: Recent Developments of Ocean/Coupled Data Assimilation Studies at JMA-MRI and FRSGC-ES, Proceedings of the Second EU-Japan Symposium on Climate Research.
2. 蒲地政文, 倉賀野連, 杉本悟史, 吉田久美, 桜井敏之, 2003: 黒潮流路の1か月予測, 日本海洋学会 2003年度春季大会講演要旨集シンポジウム C-7.
3. 中野俊也, 金子郁雄, 蒲地政文, 遠藤昌宏, 2003: 気象庁 137° E 定線における北太平洋中層水の短期変動について. 日本海洋学会 2003年度春季大会講演要旨集 P19.
4. Fujii, Y. and M. Kamachi, 2003: Application of Nonlinear Preconditioned Descent Method Without Inversion of a First-Guess Covariance Matrix in Variational Analyses. Proceedings of the IUGG2003.
5. 藤井陽介, 蒲地政文, 碓氷典久, 石崎士郎, 安田珠幾, 倉賀野連, 杉本悟史, 吉田久美, 桜井敏之, 2003: MRI Ocean Variational Estimation System (MOVE-System) の紹介, 2003年データ同化夏の学校講義録.
6. Fujii, Y., S. Ishizaki and M. Kamachi, 2003: Three-Dimensional Analysis of Temperature and Salinity in the Equatorial Pacific Using a Variational Coupled Temperature-Salinity EOF Modes. Proceedings of the International Workshop on the Low-Frequency Modulation of ENSO.
7. Kamachi, M., Y. Fujii, S. Ishizaki, N. Usui, T. Nakano, T. Yasuda and H. Tsujino, 2003: Three-dimensional analyses of salinity and temperature in the Pacific using a variational method with vertical coupled temperature-salinity EOF modes - Salinity impacts in the Equatorial and North Pacific Assimilation. Proceedings of the First Argo Science workshop
8. Kamachi, M., 2004: Data Assimilation and Ocean Prediction (GODAE). Proceedings of the IGOS International Workshop.
9. Kamachi, M., Y. Fujii, S. Ishizaki and T. Yasuda, 2004: Three Dimensional Analysis of Temperature and Salinity in the Equatorial Pacific Using a 3DVAR-Coupled EOF Decomposition Method. Proceedings of the Sixth IOC/WESTPAC International Scientific Symposium "Challenges for Marine Science in the Western Pacific.
10. Kamachi, M., 2004: JMA Operational Ocean State Estimation and Prediction System in the North Pacific. Proceedings of the Sixth IOC/WESTPAC International Scientific Symposium "Challenges for Marine Science in the Western Pacific.
11. Fujii, Y., S. Ishizaki, N. Usui, T. Yasuda, H. Tsujino and M. Kamachi, 2004: Impact of salinity correction in the Meteorological Research Institute Ocean Variational Estimation System, Proceedings of the COSPAR2004.
12. 碓氷典久, 2004: データ同化の基本原理解, 海洋データ同化セミナー2004 講義録, 日本海洋科学振興財団, 11-22.
13. 藤井陽介, 石川洋一, 2004: アジョイント法, 海洋データ同化セミナー2004 講義録, 日本海洋科学振興財団, 41-44.
14. 藤井陽介, 2004: 降下法と背景誤差相関の取り扱い, 海洋データ同化セミナー2004 講義録, 日本海洋科学振興財団, 45-62.
15. 石崎士郎, 藤井陽介, 碓氷典久, 蒲地政文: 気象庁における海洋データ同化システム, 海洋データ同化セミナー2004 講義録, 日本海洋科学振興財団, 81-102.
16. 倉賀野連, 蒲地政文, 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 石崎士郎, 安田珠幾, 杉本悟史, 吉田久美, 桜井敏之, 2004: 気象庁・気象研究所における海況予報システムの現状, 日本海洋学会 2004年度秋季大会講演要旨集.
17. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 蒲地政文, 2004: 気象研北西太平洋データ同化システム (MOVE)

- のパフォーマンス, 日本海洋学会 2004 年度秋季大会講演要旨集.
18. 石崎士郎, 藤井陽介, 碓氷典久, 安田珠幾, 蒲地政文, 2004: 気象研海洋同化システム(MOVE)による全球水温塩分解析—熱帯太平洋に着目して—, 日本海洋学会 2004 年度秋季大会講演要旨集.
 19. Fujii, Y., N. Usui, S. Ishizaki, H. Tsujino, T. Yasuda, M. Kamachi, K. Yoshita, T. Sakurai, K. Sakamoto, T. Yoshida, T. Kuragano and Y. Kitamura, 2004: Assimilation of ARGO Float Salinity Data in Ocean Data Assimilation Systems in the Japan Meteorological Agency. Proceedings of the International. Workshop on the application of ARGO.
 20. Fujii, Y., N. Usui, S. Ishizaki and M. Kamachi, 2004: Preconditioned Optimizing Utility for Large-dimensional analyses (POpULar) in the MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System, Proceedings of the GODAE Summer School 2004.
 21. Kamachi, M., Y. Fujii, S. Ishizaki, N. Usui, T. Nakano, T. Kuragano, S. Sugimoto, T. Sakurai, K. Yoshita and N. Yoshioka, 2004: Data assimilation in the Pacific Ocean as an application of observing system to physical oceanography and climate research. Proceedings of the PICES 13th Annual Meeting.
 22. Fujii, Y., N. Usui, S. Ishizaki and M. Kamachi, 2004: MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System Part 1: System Design.2004.11: Proceedings of the Second Symposium on the Global Ocean Data Assimilation System "GODAE in Operation: Demonstrating Utility".
 23. Ishizaki, S., T. Yasuda, Y. Fujii, N. Usui and M. Kamachi, 2004: MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System. Part 2: Global Experiment and Reanalysis Product. Proceedings of the Second Symposium on the Global Ocean Data Assimilation System "GODAE in Operation: Demonstrating Utility".
 24. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. Kamachi, 2004: MRI Multi-Variate Ocean Variational Estimation (MOVE) System. Part 3: Western North Pacific Experiment and Reanalysis Product, Proceedings of the Second Symposium on the Global Ocean Data Assimilation System "GODAE in Operation: Demonstrating Utility".
 25. Kamachi, M., S. Sugimoto, K. Yoshita, T. Sakurai, T. Nakano and T. Kuragano, 2004: Prediction of Kuroshio meander with JMA operational ocean assimilation-prediction system (COMPASS-K) Proceedings of the Second Symposium on the Global Ocean Data Assimilation System "GODAE in Operation: Demonstrating Utility".
 26. Masuda, S., M. Kamachi, T. Awaji, N. Sugiura, Y. Ishikawa and H. Igarashi, 2004: Dynamical Ocean State During 1990-2002, Estimated from a 4 Dimensional Variational Data Assimilation. Proceedings of the Second Symposium on the Global Ocean Data Assimilation System "GODAE in Operation: Demonstrating Utility".
 27. Fujii, Y., N. Usui, S. Ishizaki, H. Tsujino, T. Yasuda and M. Kamachi, 2004: MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System, Proceedings of the OSTST Meeting 2004.
 28. Tsujino, H., Nakano, N. Usui and M. Kamachi, 2005: Dynamics of Kuroshio path variations in a high resolution GCM. Proceedings of the Colloquium in honour and in memory of Christian Le Provost.
 29. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii, S. Ishizaki and M. Kamachi, 2005: Short-range prediction experiments of the Kuroshio path variabilities south of Japan, Proceedings of the Colloquium in honour and in memory of Christian Le Provost.
 30. Kamachi, M., S. Ishizaki, S. Masuda, N. Usui, Y. Fujii, K. Yoshita, T. Kuragano and T. Awaji, 2005: Inter-comparison of Ocean Data Assimilation Systems in the Pacific: Preliminary Results of GODAE IC Pilot Project, Proceedings of the Colloquium in honour and in memory of Christian Le Provost.
 31. 蒲地政文, 2005: GODAE と ARGO, シンポジウム「ARGO の現状と未来」, 日本海洋学会 2005 年度春季大会講演要旨集.
 32. 蒲地政文, 2005: GODAE に関する国外の動向, シンポジウム「海洋観測とモデルの統合化: 現状と

- 今後の戦略的推進」, 日本海洋学会 2005 年度春季大会講演要旨集.
33. 倉賀野連, 蒲地政文, 北村佳照, 2005: 気象庁での海洋データ同化システム, シンポジウム「海洋観測とモデルの統合化: 現状と今後の戦略的推進」, 日本海洋学会 2005 年度春季大会講演要旨集.
 34. 辻野博之, 碓氷典久, 中野英之, 2005: 高解像度モデルにおける黒潮蛇行の特性, 日本海洋学会 2005 年度春季大会講演要旨集.
 35. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 蒲地政文, 2005: 気象研北西太平洋海況予測システムによる黒潮流路予測実験, 日本海洋学会 2005 年度春季大会講演要旨集.
 36. Kamachi, M., 2005: An overview of application of ocean data assimilation. Proceedings of the Fourth WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 37. Kamachi, M., S. Sugimoto, K. Yoshita, T. Sakurai, T. Nakano and T. Kuragano, 2005: Prediction of Kuroshio Meander With JMA Operational Ocean Assimilation-Prediction System (COMPASS-K), Proceedings of the Fourth WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 38. Derber, J., D. McLaughlin, A. O'Neil and M. Kamachi, 2005: Panel discussion: What can the research and operations communities offer each other?. Proceedings of the Fourth WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 39. Fujii, Y., N. Usui, H. Tsujino and M. Kamachi, 2005: A new strategy with a time-spreading correction technique in the 4DVAR version of MRI Multivariate Ocean Variational Estimation System (MOVE-4DVAR). Proceedings of the Fourth WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 40. Ishizaki, S., T. Yasuda, Y. Fujii, N. Usui and M. Kamachi, 2005: Global temperature and salinity reanalysis experiment using MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System. Proceedings of the Fourth WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 41. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii, S. Ishizaki and M. Kamachi, 2005: Reanalysis experiment using MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System in the Western North Pacific. Proceedings of the Fourth WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 42. Fujii, Y., N. Usui, H. Tsujino, H. Nakano, S. Ishizaki and M. Kamachi, 2005: The Kuroshio meandering south of Japan: Prediction with the MRI multivariate ocean variational estimation (MOVE) system and a sensitivity study with an adjoint code. Proceedings of the EGU.
 43. Ishizaki, S., Y. Fujii, T. Yasuda and M. Kamachi, 2005: Correction of zonal wind stress data based on oceanic observation in the equatorial Pacific in an ocean data assimilation system. Proceedings of the Dynamic Planet 2005, IAPSO.
 44. 中野俊也, 倉賀野連, 蒲地政文, 2005: 北太平洋亜熱帯循環域における表層貯熱量の変動, 日本海洋学会 2005 年度秋季大会講演要旨集 P306.
 45. 藤井陽介, 松本聡, 安田珠幾, 蒲地政文, 2005: 南太平洋回帰線水(SPTW)と太平洋赤道域の表層水温, 日本海洋学会 2005 年度秋季大会講演要旨集 131.
 46. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 蒲地政文, 2005: 黒潮流路予測実験に見られた誤差発展の特性, 日本海洋学会 2005 年度秋季大会講演要旨集 P101.
 47. Nakano, T., T. Kuragano and M. Kamachi, 2006: Variabilities of Upper-Ocean Heat Content in the North Pacific Subtropical Region. 2006 Proceedings of Ocean Sciences Meeting.
 48. 中野俊也, 松本聡, 藤井陽介, 曾我太三, 蒲地政文, 2006: MOVE/MRI.COM-G による北太平洋亜熱帯循環域表層塩分場の変動の再現性. 2006 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 49. 松本聡, 石崎士郎, 中野俊也, 碓氷典久, 藤井陽介, 蒲地政文, 2006: 気象研究所海洋データ同化シ

- ステムによる長期再解析実験と長期変動の解析①, 2006年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
50. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 蒲地政文, 2006: 気象研北西太平洋海況予測システムによる海面水温の再現性, 2006年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 51. 藤井陽介, 碓氷典久, 辻野博之, 蒲地政文, 2006: 気象研究所海洋アジョイントモデルによる同化実験, 2006年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 52. 中野俊也, 神谷ひとみ, 青山道夫, 2006: 長崎海洋気象台PN線での物理化学生物観測結果にみる長期変動. 2006年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 53. 習田恵三, 藤村昌彦, 有吉正幸, 延与和敬, 東吉一, 谷口秀隆, 中野俊也, 松本聡, 藤井陽介, 蒲池政文, 2006: 西部太平洋赤道域におけるバリアレイヤーの形成・分布について. 2006年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 54. 有吉正幸, 延与和敬, 東吉一, 谷口秀隆, 藤村昌彦, 中野俊也, 松本聡, 藤井陽介, 蒲池政文, 習田恵三, 2006: 西部太平洋におけるバリアレイヤーの形成・分布について. 海洋気象学会 2006年度第1回例会講演要旨集.
 55. Fujii, Y., S. Matsumoto, S. Ishizaki, T. Yasuda and M. Kamachi, 2006: Variation of the South Pacific Tropical Water in an ocean data assimilation system (MRI-MOVE) and its relation to ENSO, Proceedings of the Second Argo Science Workshop.
 56. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. Kamachi, 2006: Formation process of the Kuroshio Large Meander in 2004, Proceedings of the 15 years of progress in Rader Altimetry Symposium.
 57. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. Kamachi, 2006: Formation process of the Kuroshio Meander southeast of Kyushu in 2003 fall, Proceedings of the 2006 Western Pacific Geophysics Meeting.
 58. Nakano, T., S. Matsumoto, Y. Fujii, T. Soga and M. Kamachi, 2006: Variability of North Pacific Tropical Water using reanalysis of MRI ocean data assimilation system (MOVE/MRI.COM-G) from 1993 to 2004. Proceedings of the 2006 Western Pacific Geophysics Meeting.
 59. 藤井陽介, 松本聡, 安田珠幾, 蒲地政文: 南太平洋回帰線水(SPTW)と太平洋赤道域の表層水温(2), 2006年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
 60. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 蒲地政文: 2004年黒潮大蛇行の形成過程 -九州沖小蛇行の形成メカニズム-, 2006年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
 61. 中野俊也, 金子郁雄, 曾我太三, 辻野博之, 安田珠幾, 石崎廣, 蒲地政文, 2006: 北太平洋亜熱帯循環域中層の低塩分化. 2006年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
 62. Kamachi, M., 2006: An overview of application of ocean data assimilation, Proceedings of the 4th WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 63. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. Kamachi, 2006: Reanalysis experiment using MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System in the Western North Pacific, Proceedings of the 4th WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 64. Fujii, Y., N. Usui, H. Tsujino and M. Kamachi, 2006: A new strategy with a time-spreading correction technique in the 4DVAR version of MRI Multivariate Ocean Variational Estimation System (MOVE-4DVAR), Proceedings of the 4th WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 65. Kamachi, M., S. Sugimoto, K. Yoshita, T. Sakurai, T. Nakano and T. Kuragano, 2006: Prediction of the Kuroshio Meander with JMA Operational Ocean Assimilation-Prediction System (COMPASS-K), Proceedings of the 4th WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography.
 66. Ishizaki, S., T. Yasuda, Y. Fujii, N. Usui and M. Kamachi 2006: Global temperature and salinity reanalysis experiment using MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System, Proceedings of the 4th WMO International Symposium on Assimilation of

- Observations in Meteorology and Oceanography.
67. Fujii, Y., N. Usui, S. Ishizaki, S. Matsumoto, H. Tsujino, T. Yasuda, T. Nakano and M. Kamachi, 2006: Modeling of background error statistics with temperature-salinity coupling, Proceedings of the 3rd GODAE Symposium.
 68. Kamachi, M., T. Sakurai, Y. Kurihara and T. Kuragano, 2006: JMA_MGDSST: Operational Product of Japan GHRSSST - Merged Satellite and In-situ Data Global Daily SST -, Proceedings of the 3rd GODAE Symposium.
 69. Matsumoto, S., T. Nakano, Y. Fujii, S. Ishizaki and M. Kamachi, 2006: MOVE/MRI.COM System: Practical Implementations of Multivariate Structure in B-Matrix and Water Mass Analyses, Proceedings of the 3rd GODAE Symposium.
 70. Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii and M. kamachi, 2006: A process study of the Kuroshio large meander in 2004 using a regional assimilation system MOVE/MRI.COM-WNP, Proceedings of the 3rd GODAE Symposium.
 71. Nakano, T., I. Kaneko, T. Soga, H. Tsujino, T. Yasuda, H. Ishizaki and M. Kamachi, 2006: Freshening of the mid-depth in the North Pacific subtropical gyre observed along JMA's repeat and WOCE hydrographic sections. The 21st Century COE International Symposium 2006 "Climate Change: Past and Future", Proceedings of the 21st Century COE program, Advanced Science and Technology Center for the Dynamic Earth in Tohoku University.
 72. Fujii, Y., S. Matsumoto, S. Ishizaki, T. Yasuda and M. Kamachi, 2006: Variation of the South Pacific Tropical Water in an ocean data assimilation system (MRI- MOVE) and its relation to ENSO. Proceedings of the 2006 AGU Fall Meeting.
 73. Kamachi, M., Y. Fujii, T. Yasuda, S. Matsumoto and T. Nakano (2007): Ocean State Estimation for Climate Analysis and Prediction in the Pacific. Proceedings of the Symposium on the Predictability of the Climate Variations in the Indo-Pacific Sectors.
 74. 蒲地政文, 2007: ARGO と GODAE, 2007 年度日本海洋学会春季大会シンポジウム「Argo の現状と課題」講演要旨集.
 75. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 石崎士郎, 倉賀野連, 蒲地政文, 2007: 気象庁次期海況予測システム(MOVE/MRI.COM-WNP)の再現性(I)—システムと同化実験の概要—, 2007 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 76. 安田珠幾, 高谷祐平, 松本聡, 2007: 大気海洋結合モデルによるエルニーニョ予測システムの開発, 2007 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 77. 山中吾郎, 安田珠幾, 藤井陽介, 松本聡, 吉川郁夫, 石川一郎, 石川孝一, 2007: 2006/07 のエルニーニョ現象の発生について (速報) , 2007 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 78. 藤井陽介, 碓氷典久, 辻野博之, 石崎士郎, 倉賀野連, 蒲地政文, 2007: 気象庁次期海況予測システム(MOVE/MRI.COM-WNP)の再現性(II)—数値モデルと同化手法の概要—, 2007 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 79. 中野俊也, 松本聡, 碓氷典久, 辻野博之, 蒲地政文, 2007: 気象庁次期海況予測システム(MOVE/MRI.COM-WNP)の再現性(III)—気象庁定線観測データとの比較—, 2007 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 80. 石崎士郎, 倉賀野連, 斎藤幸太郎, 碓氷典久, 辻野博之, 蒲地政文, 2007: 気象庁次期海況予測システム(MOVE/MRI.COM-WNP)の再現性(IV)—過去の実況及び現在の現業システムとの比較, 2007 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 81. 松本聡, 中野俊也, 碓氷典久, 辻野博之, 蒲地政文, 2007: 気象庁次期海況予測システム(MOVE/MRI.COM-WNP)の再現性(V)—北西太平洋における水塊特性の比較—, 2007 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
 82. 碓氷典久, 辻野博之, 藤井陽介, 蒲地政文, 2007: 2004 年黒潮大蛇行の形成過程(II), 2007 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
 83. 安田珠幾, 松本聡, 石川一郎, 2007: 北太平洋亜熱帯モード水の体積及び水温の長期変動, 2007 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.

84. 藤井陽介, 安田珠幾, 松本聡, 中江川敏之, 山中吾郎, 蒲地政文, 2007: 結合モデルと海洋観測データの統合(準結合同化)による気候変動の再現, 2007年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
85. 中野俊也, 松本聡, 藤井陽介, 蒲地政文, 小島豊, 延与和敬, 伊藤渉, 佐藤佳奈子, 長谷川拓也, 2007: 西部太平洋赤道域表層の海洋構造の変動, 2007年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集.
86. 藤井陽介, 松本聡, 安田珠幾, 蒲地政文, 2007: 気象研・気象庁の海洋データ同化システム及び結合モデルを用いた ENSO の解析と予測における TAO-TRITON アレイの役割について. 2007年度日本海洋学会秋季大会シンポジウム「太平洋・インド洋における大気海洋観測研究」—表面ブイの役割と今後の課題—講演要旨集.
87. Kamachi, M., T. Nakano, S. Matsumoto, N. Usui, Y. Fujii and S. Ishizaki, 2007: An example of operational ocean data assimilation and prediction. Proceedings of the PICES 16th Annual Meeting.
88. Kamachi, M., S. Matsumoto, T. Nakano, Y. Fujii and T. Yasuda, 2008: Ocean Reanalysis and its Application to Water Mass Analyses in the Pacific. Proceedings of the 3rd WCRP International Conference on Reanalysis.
89. Fujii, Y., T. Yasuda, T. Nakaegawa and M. Kamachi, 2008: Coupled Ocean and Atmosphere Analysis by Assimilating Ocean Observation Data to a Coupled Model. Proceedings of the 3rd WCRP International Conference on Reanalysis.
90. Fujii, Y., S. Matsumoto, T. Nakano, T. Yasuda and M. Kamachi, 2008: Salinity variability in the tropical and subtropical Pacific in the MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System. Proceedings of the 2008 Ocean Sciences Meeting -From the Watershed to the Global Ocean-.
91. Matsumoto, S., T. Nakano, Y. Fujii, S. Ishizaki and M. Kamachi 2008: Ocean Climate Variability and Water Mass Variability in the Reanalyses of the MRI Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) System. Proceedings of the 2008 Ocean Sciences Meeting -From the Watershed to the Global Ocean-.

西太平洋におけるバリエイヤーの形成・分布に関する研究

研究期間：平成17年度～平成19年度

研究代表者：今井正直¹⁾、岩尾尊徳²⁾（神戸海洋気象台海洋課）

研究参加者：蒲地政文、中野俊也、藤井陽介（海洋研究部）、神戸海洋気象台

研究の目的

神戸海洋気象台海洋気象観測船「啓風丸」搭載の表層水温塩分連続観測装置（曳航式CTD）等の観測及び海洋データ同化システムの結果を用いて、西太平洋におけるバリエイヤーの形成域・分布域の構造及び空間的・時間的な変動、並びに大気海洋相互作用を明らかにする。また、観測結果による海洋データ同化システムの結果の検証を通じて、海洋データ同化システムの改良に資する。

研究の目標

啓風丸搭載の曳航式CTD、電気伝導度水温水深計(CTD)+超音波多層流速計(LADCP)、表層海流計(ADCP)、表層水温水深計(XBT)及び総合海上気象観測装置による海洋気象観測を行うとともに、海洋データ同化システムの結果もあわせて、西太平洋におけるバリエイヤーが存在する海域の構造と流速場及び大気との関係を解析し、バリエイヤーの形成域及び分布域の大気海洋構造の特徴、及びバリエイヤーの空間的・時間的な変動を詳細に捉える。

- ・バリエイヤーの形成域・分布域の構造(水温・塩分・流速場)と気象要素との関係を抽出し、形成過程の推論を行う。
- ・海洋データ同化システムの改良に資するため、従来観測報告がほとんど行われていないバリエイヤーの分布と流速場の関係の特徴を見出す。

研究の概要

1. 観測について

海洋研究部：解析によりバリエイヤー海域の推定を行い、観測海域を選定し神戸海洋気象台へ報告する。

神戸海洋気象台：観測計画を策定し、観測を行う。

2. 解析について

海洋研究部：同化手法によるデータセットを作成し、広域のバリエイヤーの抽出を行い、神戸海洋気象台へ報告する。

神戸海洋気象台：観測（他機関を含む）によるデータセットを作成し、バリエイヤーの抽出を行い、海洋研究部へ報告する。

3. バリエイヤーの形成、分布域の特徴、形成メカニズムの解析について

海洋研究部：バリエイヤーの発達条件・要素、形成メカニズムについて、海洋構造の把握及び大気海洋相互作用を理解する観点から助言と資料提供等を行い、神戸海洋気象台の解析支援を行う。

神戸海洋気象台：水温、塩分、流速場とバリエイヤーの消長、並びに気象要素（降雨、風等）とバリエイヤーの消長について解析を行う。

4. 同化システムの検証及び改良について

海洋研究部：解析に基づく検証及びシステム改良を行う。

神戸海洋気象台：同化システムの改良のための資料とするため、観測と同化結果の比較・検討を行う。

5. 2005年のバリエイヤー関連の情報提供について

海洋研究部：2005年分の同化システム結果を神戸海洋気象台へ提供し、解析支援を行う。

神戸海洋気象台：2005年のデータ同化システムの結果を基に赤道域のバリエイヤーに関する情報の作成を行う。

¹⁾平成17～18年度、²⁾平成19年度

研究成果

(A) データセットの作成

2005年・2006年の神戸海洋気象台海洋気象観測船「啓風丸」の夏季航海において、2年連続で赤道上の157°~165°Eの間を曳航式CTDで連続観測することに成功した。この観測を含めた海洋観測データ及び海上気象観測データによる赤道周辺海域の海洋気象データと、TAO/TRITONブイデータから、総合的なデータセットを構築した。このデータセットを用い、バリエイヤーの分布を算出し、解析に必要な要素の鉛直断面図及び空間分布図を作成した。得られた曳航式CTDの連続データから、詳細なバリエイヤー等の海洋構造を観測から捉えることができた。

(B) 2005年の観測結果

157°~163°Eにかけて、35.4以上の高塩分水が層状に分布していた。ADCPによる流れのデータと合わせた解析で、南太平洋回帰線水が層構造を成して貫入してきている可能性が示唆された。このような南太平洋回帰線水の層構造は初めて観測されたものであり、詳細な観測・解析が今後必要である。海上の風向が北から南に変化している160°30'Eより東に塩分フロントが形成されており、この塩分フロントより東に向かって厚いバリエイヤーが形成されていた。

(C) 2006年の観測結果

30°C以上の暖水は、165°~164°Eの海面付近から100m深付近にかけてのみみられ、海面付近では80cm/s以上の東向きの流れがあった。2005年と同様、層構造となった35.4以上の高塩分水がみられた。この高塩分水は南太平洋回帰線水と考えられ、ここでは水温の鉛直勾配が小さい等温層となっていた。海面付近の30°C以上の暖水域が時間と共に縮小したのに伴い、バリエイヤーは急激に厚くなった。また海面塩分も急激に変化したことから、観測中に暖水プールの端の通過を捉えたものと考えられる。

(D) 2005年と2006年の比較

通常期である2005年夏季とエルニーニョへの遷移期である2006年夏季の比較を行い共通点と相違点を調べた。海面付近の東向きの流れは2006年夏季の方が強かった。また両時期とも35.4以上の高塩分水の層状構造はみられるが、その厚さは2006年夏季の方が厚く、塩分の値も高かった。このことは南太平洋回帰線水の当該海域への流入が、2006年夏季の方が多かった可能性を示唆している。この二つの時期の違いに関する観測結果は、データ同化結果から解析された結果と同じであり、南太平洋回帰線水の流入と、その結果生じた厚いバリエイヤーを通じて、混合層内及び海面での水温上昇に影響していることが示唆される。エルニーニョと通常期における南太平洋回帰線水の変動を捉えたのは初めてである。

(E) 同化データによる解析

海洋データ同化システムの出力データを解析すると、南太平洋回帰線水起源の高塩分水は、ニューギニア島およびニューアイルランド島の沿岸を等密度面に沿って西に流れた後、それぞれ140°E付近および150°E付近で東に転向し、赤道を東に流れる様子が見られる。この高塩分水と北太平洋回帰線水起源の高塩分水は赤道湧昇によって隔てられているため、明瞭な混合はみられない。啓風丸の観測で見られた赤道上で層状に見られる高塩分水は、南太平洋回帰線水起源によるものであると考えられる。このような層状現象の再現は、海洋データ同化システムの今後改良すべき一つの方向性を示すものである。

今後に残された問題点

本研究では、南太平洋回帰線水が表層の低塩分水の下に潜り込みバリエイヤーを形成する過程が初めて詳細に観測されたが、今回の曳航式CTDによる観測は赤道上の東西断面のみで、その3次元的な構造は把握できていない。また、今回は、曳航式CTDによる観測数が少なく、バリエイヤーとエルニーニョの発生との関係についても十分な解析ができていないので、今後も、観測・研究を継続する必要がある。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

西太平洋赤道域におけるバリエイヤーは、エルニーニョ、ラニーニャ現象の発生、発達、衰退に影響していると考えられるが、詳細な観測例は少なかった。本研究において、啓風丸の曳航式CTD等を用いてバリエイヤーを含む西部熱帯太平洋域の詳細な海洋表層構造を初めて明らかにした点は、科学的に価値の高い研究として高く評価できる。また、気象庁観測船による曳航式CTDの連続観測の優位性が示されたとも評価できる。本研究の成果を活用して、観測データの品質管理手法の高度化やデータ

同化システムの改善によるエルニーニョ予測などの改善につながることを期待する。

ただし、現時点ではやや断片的な観測結果の解析に終わっていると思われるところがあり、海洋データ同化システムの改良にどう資する成果が得られたのか明確でない。特に、データ同化システムで経験直行関数を用いていることと、今回のような新しい観測データとの整合性をどうとっていくかが不明である。この点は、今後の課題である。

事前評価を反映し、神戸海洋気象台と気象研究所の役割分担をはっきりさせ、適切に研究を実施したことも評価できる。

国際・国内会議等での発表は十分に行われている。世界初の南太平洋回帰線水の連続観測であれば新規性は十分にあり、気象研究所の指導の下、しかるべき学会誌へ論文として投稿することを強く希望する。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 1 件
- ・口頭発表件数 14 件

成果発表一覧

- ・査読論文
なし

- ・査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 今井正直, 中村哲也, 習田恵三, 2006: 海洋表層の詳細な観測のための曳航式電気伝導度水温水深計(曳航式 CTD). 測候時報海洋気象特集号.

- ・口頭発表

1. Kamachi, M., H. Ishizaki, T. Nakano, Y. Fujii, S. Masuda, T. Awaji (2005): Observing systems from a viewpoint of modeling and data assimilation in the Pacific. International Ship-Based Hydrography Workshop
2. 中野俊也, 松本 聡, 藤井陽介, 曾我太三, 蒲地政文, 2006: MOVE/MRI.COM-G による亜熱帯循環域表層塩分場の変動の再現性、日本海洋学会 2006 年度春季大会講演要旨集.
3. 松本聡, 石崎士郎, 中野俊也, 碓氷典久, 藤井陽介, 蒲地政文, 2006: 気象研究所海洋データ同化システムによる長期再解析実験と長期変動の解析①、日本海洋学会 2006 年度春季大会講演要旨集
4. 習田恵三, 藤村昌彦, 有吉正幸, 延与和敬, 東吉一, 谷口秀隆, 中野俊也, 松本聡, 藤井陽介, 蒲地政文 2006: 西部太平洋赤道域におけるバリエイヤーの形成・分布について. 日本海洋学会 2006 年度春季大会講演要旨集
5. 藤村昌彦, 2006: 曳航式 CTD による観測(その 2). 平成 17 年度三官庁海洋測器専門委員会.
6. 有吉正幸, 延与和敬, 東吉一, 谷口秀隆, 藤村昌彦, 中野俊也, 松本聡, 藤井陽介, 蒲地政文, 習田恵三, 2006: 西部太平洋におけるバリエイヤーの形成・分布について. 海洋気象学会 2006 年度第 1 回例会
7. 小島豊, 2006: 西部太平洋赤道域の表層海洋構造—2005、2006 年の海洋観測より—. 第 36 回南海・瀬戸内海洋調査技術連絡会
8. 藤井陽介, 松本聡, 安田珠幾, 蒲地政文, 2006: 南太平洋回帰線水 (SPTW) と太平洋赤道域の表層水温(2). 2006 年度日本海洋学会秋季大会講演予稿集
9. Fujii, Y., S. Matsumoto, S. Ishizaki, and T. Yasuda, 2006: Variation of South Pacific Tropical Water in an ocean data assimilation system (MRI-MOVE) and its relation to ENSO. 2006 AGU fall meeting.
10. 小島豊, 永井千春, 有吉正幸, 東吉一, 延与和敬, 矢頭秀幸, 伊藤渉, 中野俊也, 長谷川拓也, 藤井陽介, 蒲地政文, 2007: 曳航式 CTD による西部太平洋赤道域の海洋表層構造の観測—2005 年と 2006 年の共通点と相違点—. 海洋気象学会 2006 年度第 2 回例会
11. 小島豊, 永井千春, 有吉正幸, 東吉一, 延与和敬, 矢頭秀幸, 伊藤渉, 中野俊也, 長谷川拓也, 藤井陽介, 蒲地政文, 2007: 曳航式 CTD による西部太平洋赤道域の海洋表層構造の観測—2005 年と

2006年の共通点と相違点一. 日本海洋学会 2007年度春季大会

12. 中野俊也, 小島豊, 永井千春, 有吉正幸, 延与和敬, 伊藤渉, 藤井陽介, 蒲地政文, 2007: 西部太平洋赤道域表層の海洋構造. 海洋気象学会 2007年度第1回例会
13. 中野俊也, 松本聡, 藤井陽介, 蒲地政文, 小島豊, 延与和敬, 伊藤渉, 佐藤佳奈子, 長谷川拓也, 2007: 西部太平洋赤道域表層の海洋構造の変動. 2007年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集
14. Kamachi, M., S. Matsumoto, T. Nakano, Y. Fujii, and T. Yasuda, 2008: Ocean Reanalysis and its Application to Water Mass Analyses in the Pacific. Proceedings of the 3rd WCRP International Conference on Reanalysis.

大都市域に強雨をもたらす降水系に関する研究

研究期間： 平成18年度～平成19年度

研究代表者： 市川 寿¹⁾、松浦和幸²⁾（東京管区気象台気候・調査課）

研究参加者： 藤部 文昭（予報研究部 第三研究室長）

林 広樹、阪田正明、山本暁子、渡辺記秀¹⁾、立石貴広¹⁾、満田沙恵子¹⁾、戸川裕樹²⁾、
幾田泰醇²⁾、庭野匡思²⁾、山根彩子²⁾（東京管区気象台）

渡邊 進、山田 卓、矢代和也、島田 誠、川本直樹¹⁾、窪田邦晃¹⁾、岡田健一¹⁾、
藤井博徳²⁾、吉村 香²⁾（名古屋地方気象台）

研究の目的

大都市域で発生した、災害を伴うような強雨の事例について、部外データを含む各種の観測データを収集し、その際の降水の実態（降水量の詳細な分布やその時間変化など）、降水系の構造や振る舞いの把握（系内部の気流構造やその時間変化など）、降水系の環境場の特徴を明らかにする。このことを通じ、防災気象情報の改善につながる知見を収集・整理する。

研究の目標

- ・大都市域に強雨をもたらす降水系の3次元構造や振る舞いの調査。
- ・大都市域に強雨をもたらす降水系の環境場の詳細な把握。
- ・東京管区気象台管内の大都市における短時間強雨の経年変化の調査。

研究の概要

- ① 東京管区気象台管内の大都市における短時間強雨の経年変化の調査。

近年整備された気象資料電子データベースをもとに、東京管区気象台管内の短時間強雨の経年変動を降水強度のランク別に調査し、また都市の規模への依存性についても評価を試みる。東京管区気象台では、平成17年度、Webアプリケーション「階級別日数の経年変化表示・トレンド検定ツール」を作成しており、本アプリの応用で気象資料電子データベースを活用する。

- ② 大都市域に強雨をもたらす降水系の3次元構造や環境場の調査

大都市域の強雨事例を対象にして、部外データを含む地上観測データ、ウィンドプロファイラデータ、ゾンデデータ、および一般気象レーダーや空港気象レーダーデータの資料を収集する。これらのデータを利用し、

○現象の3次元構造や振る舞いの詳細な解析

○降水系の環境場（収束域の分布やその時間変化など）の解析を行う。

なお、前者については、現象の発生位置がドップラーレーダーによるデュアル解析に適している場合には、その手法により降水系内部の反射強度、気流系の3次元構造を解析する。部外データの追加により密に存在する地上データと総合して、降水強度と降水系との詳細な関係を求める。後者については、地上付近の部外データを含む豊富な資料から気温分布や気流の分布を詳細に求める。またウィンドプロファイラの（降水の無い場所での）鉛直速度の分布、3点の水平速度の分布から収束・発散域の3次元構造を解析する。

この調査の過程で収集した部外データについては、データベース化し、再利用に適したものとする。また、気象庁非静力学モデルを用いて再現実験を行い、さらに地表面粗度などを変更した感度実験等を行う。

研究成果

- ① 東京管区気象台管内の大都市における短時間強雨の経年変化

ア 大都市における短時間強雨の経年変化の東京と名古屋での解析

- ・約100年間の降水量の経年変化をみると、東京、名古屋共に年降水量は減少傾向があり、名古屋では季節別降水量でも減少傾向がみられた。

¹⁾ 平成18年度、²⁾ 平成19年度

- ・また、1時間降水量20mm以上の出現回数の10年毎のヒストグラムで短時間強雨の出現頻度をみると、東京では1977年以降は増加傾向、名古屋では1957年以降に増加傾向がみられた。季節別には、夏よりも秋で年代ごとの増減が大きく、名古屋については、夏は減少傾向、秋は増加傾向があった。
- ・東京、名古屋共に近年は短時間強雨が増加しているといえるが、それ以前においても増加していた期間があった。

イ 近年の短時間強雨の分析

- ・東京周辺におけるアメダス地点の降水量データを用いて短時間降水の再現期間が、近年どのような変化傾向を示しているかを統計的に調査した。降水の再現期間に関する多くの先行研究では、L積率による母数推定の方法に極値系列（1年間の極値によるデータ系列）を用いているが、今回の調査では閾値超過系列（任意の閾値を超えたデータによるデータ系列）を用いている。この理由として統計期間が短い場合に極値系列は利用できるデータ数が少ないという欠点があるが、閾値超過系列では十分なデータ数を確保できるという利点があることによる。そこで個々のアメダス地点における短時間降水量の分布母数推定を、閾値超過系列を用いたL積率の方法によって行い、その結果からモンテカルロシミュレーションによって再現期間を計算した。その結果、郊外の都市と比較して東京近郊では近年において短時間降水の再現期間が短縮傾向にあり、特に練馬や大手町では再現期間の短縮傾向が顕著であるという結果が得られた。

② 都市域において短時間強雨をもたらした事例の解析

- ・東京都周辺の都市域で発生した災害をもたらすような短時間強雨事例について4事例を取り上げ、うち3事例についてはアメダスデータ、部外データ、ドップラーレーダーデータなどを用いて強雨をもたらした積乱雲の立体構造・環境場の影響について詳細な解析をおこなった。他の1事例については、気象庁非静力学モデルを利用して降水系の構造や時間発展、都市熱の効果を調べた。それらの概要は次のとおりである。
- ・2007年8月24日夜、都心部で発生し1時間に90mmを超える猛烈な雨をもたらした積乱雲の発生過程及び構造について調査した。地上気象解析及びデュアルドップラー解析の結果から、海風の収束と高温域の存在が積乱雲の発生・発達に寄与していたと推察した。都市の存在による高温域が気圧傾度力を作り、海風に伴う下層水平収束を強化した可能性が考えられる。
- ・2005年8月15日夜、東京地方では23区西部を中心に雷雨となり、練馬で1時間に58mmの非常に激しい雨が観測され、周辺で床上浸水などが発生した事例を取り上げた。環境場としては、東京23区で地上風が収束し、その収束付近の気温が相対的に高い状態の中、寒気を伴ったトラフが上空を通過していた。羽田・成田の2台のドップラーレーダーによるデュアル解析では、顕著な降水セルが2つ見出され、その起源が1.北西風と北～北北東風の地上収束によるものと、2.北風と、冷たい東風に乗り上げた南風により高度3km付近で形成されたシャーラインによるものがあると判明した。また後者の発達過程として、前者からの冷氣外出流の存在や、発生場所となったシャーライン付近への(南からの)暖湿気塊の補給が続いていたことなどが、地上気象も含めた解析から分かった。
- ・また、同事例について、21～22時頃にかけて短時間強雨が発生した際の総観場、メソスケール場の解析、及びその期間の高解像度地上観測データを用いた局地解析を行い、発生メカニズムを考察した。その結果、日中に奥秩父付近で発生した雷雲が、ヒートアイランドとなっている東京23区付近に夕方から夜にかけて移動してきた場合に、上空の大気の状態が中程度に不安定であれば、ヒートアイランドとそれに伴って形成されるヒートロー、及びそれが影響を与える地上の風の収束が雷雲の再発達を促す可能性があると考えられた。
- ・都市域で線状エコーが停滞し発達した事例として、2005年9月4日の事例を取り上げた。この事例は東京都練馬区で1時間107mmを記録し浸水被害をもたらした。この線状エコーに伴う雷雲の構造を、エコーが線状化した最盛期を中心にドップラーレーダーを使い解析した。線状エコー全体を見ると複数のセルが発生・併合・消滅しながら700hPaの風に流されて移動していく様子が見えた。セル単体でみるとエコー下で冷氣プールが形成され、そこに東京湾から相対的に暖かい東風が入り続けたことにより持続的に下層空気が上昇している様子が見えた。また、東京・埼玉県境以北にセルが侵入すると、東京湾からの相対的に暖かい東～東南東風の流入がなくなり、鹿島灘から相対的に冷たい東北東風が下降流気味にセルの下層に流入している様子が見られた。

- ・東京都多摩西部から東進した降水が都市域において強化された 2006 年 5 月 30 日の事例について、気象庁非静力学モデルにより東京近郊の降水系と下層水平循環に対する都市熱の寄与を解明するため感度実験を行った。格子あたりの土地利用状況から幹線道路と建物の占める割合に応じて加熱し、異なる加熱量で実験を行った。その結果、下層水平循環系では下層水平収束の形状が変化し強化されることが分かった。対象とする降水系に対してデュアルドップラー解析を行った結果、この下層水平循環系が降水系の維持に寄与している様子が解析された。また都市の加熱により局所的に潜在不安定が促進され対流性降水の発生しやすい環境が再現され、地上気温の上昇によって都市部で低圧化したために気圧傾度力の影響を受け、東京湾からの高比湿気流の流入が促進された。これらを要因として、都市部において降水系は下層高相当温位気塊の持ち上げと水平収束による鉛直運動の強化により維持・発達する様子が再現され、都市の加熱量を増やし実験することで計算される降水量が増加することが確認できた。

今後に残された問題点

大都市圏に豪雨をもたらす降水系の特徴は多岐にわたっていることから、今後も事例解析を積み重ねて知見を広げ、予報作業における豪雨発生の前兆現象の把握や降水量の予測のための基礎資料として蓄積していく必要がある。その際、平成 20 年度から提供される GPS 可降水量データ等、新しいデータの活用をはかっていくことが望まれる。

また、過去の降水データは近年関心の高まっている気候変動の実態解明にとっても貴重な資料であり、今後もその活用に向けた取り組みが期待される。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

近年注目されている都市型の豪雨災害に焦点を当て、一方ではその降水系の構造及び環境場を詳細に把握すること、また、他方ではその発生に関して非常に長期にわたる統計的変化傾向を探ることを目標に掲げ、それぞれに成果をあげていることは高く評価できる。

前者については、研究対象となる事例が少なく、個別の事例解析を行ったという段階ではあるが、部外を含む高密度データを収集し、ドップラーレーダーのデュアル解析、非静力学モデルによる都市熱の影響を調べるなど先進的な取り組みを行っている。気象台職員の技術力も高まり、今後の気象官署での調査研究の見本となる研究となったと考えられ、高く評価できる。今後も事例解析を積み重ね、非静力学モデルによる数値実験により、ヒートアイランドを中心とする都市気象が集中豪雨に及ぼす影響の解明と、予測の改善に向けた調査研究に発展させてほしい。

後者については、地球温暖化問題により気候に関して社会的に関心が極めて高くなっている現状に鑑み、時機を得た研究であった。最適と考えられる統計手法を適用し、短時間強雨の出現頻度の増加傾向を示すなど、新規性のある成果を得ている。今後、東京、名古屋以外の都市についても調査を進めていくことを期待する。

研究の実施体制については、管区気象台と気象研究所の連携がかみ合っており、地方共同研究の成功の典型を示す一例と考える。

研究成果の発表については、現時点では、残念ながら管区内の研究発表会での口頭発表にとどまっている。東京管区気象台の成果報告書として取りまとめる予定はあるが、統計解析部分の成果は新規性があり、英文で国際誌に投稿する価値のある成果である。高い目標かもしれないが、気象研究所の研究者のリーダーシップにより、成果を広く公表し、IPCC の評価報告書に引用されるような論文発表を目指してほしい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 1 件
- ・口頭発表件数 7 件

成果発表一覧

- ・査読論文
なし
- ・査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 東京管区気象台, 2008: 地方共同研究「大都市域に強雨をもたらす降水系に関する研究」成果報告書.

・口頭発表

1. 満田沙恵子, 市川寿, 林広樹, 2006: 2005年8月15日に東京23区西部で短時間強雨をもたらした雷雲の解析, 東京管区気象台, 平成18年度東京管区調査研究会誌.
2. 立石貴広, 上木原聡, 2006: 2005年9月4日に東京都練馬区で短時間強雨をもたらした線状エコーのドップラーレーダーを用いた解析, 東京管区気象台, 平成18年度東京管区調査研究会誌.
3. 渡邊進, 山田卓, 藤井博徳, 矢代和也, 島田誠, 吉村香, 2007: 大都市域に強雨をもたらす降水系に関する研究(2年計画第2年度), 名古屋地方気象台, 平成19年度東京管区調査研究会誌.
4. 幾田泰醇, 2007: L積率と閾値超過系列から求められる関東地方のアメダス降水量におけるリターンピリオドの特徴, 東京管区気象台, 平成19年度東京管区調査研究会誌.
5. 幾田泰醇, 2007: 気象庁非静力学モデルを用いたインパクト実験による都市熱が下層循環と降水系に与える影響, 東京管区気象台, 平成19年度東京管区調査研究会誌.
6. 山根彩子, 2007: 都心部に短時間強雨をもたらした積乱雲の解析 -2007年8月24日の事例-, 東京管区気象台, 平成19年度東京管区調査研究会誌.
7. 庭野匡思, 2007: 2005年8月15日に東京23区西部で引き起こされた短時間強雨の事例解析 -都市の存在の影響に着目して-, 東京管区気象台, 平成19年度東京管区調査研究会誌.

台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究

研究期間：平成18年度～平成19年度

研究代表者：楠 研一（台風研究部 第二研究室主任研究官）

研究参加者：栽 吉信、仲間 昇（沖縄気象台）、三浦 誠（那覇航空測候所）、砂川徳松（南大東島地方気象台）、池間英世（宮古島地方気象台）、小山克人（石垣島地方気象台）

研究の目的

空港気象ドップラーレーダーや現業レーダーなどの観測データを使って台風中心部を詳細に解析し、その構造を明らかにするとともに、地上データを用いて地上風速との関係を調べる。さらにゾンデ、ACARS、ウインドプロファイラによって環境場との関係を調べる。

研究の目標

- ・台風中心部の詳細な構造の把握。
- ・地上へ突風をもたらすメカニズムの調査。
- ・大気成層が台風中心部の構造へ与える影響の調査。

研究の概要

- ・台風中心部の詳細な構造の把握
過去の台風について、空港気象ドップラーレーダーや現業レーダーにより台風中心部の詳細な構造を解析する（気象官署：台風中心部の領域のレーダーデータセット作成、データ収集とレーダーエコーパターン特徴抽出、総観スケールの解析、気象研究所：反射強度・ドップラー速度の解析）。
- ・地上へ突風をもたらすメカニズムの調査
台風中心部が気象官署の上空を通過した事例について、台風中心部の構造と地上風速との関係を調査し、地上へ突風をもたらすメカニズムを解析する（気象官署、気象研究所）。
- ・環境場との関係の調査
ゾンデ、ACARS、ウインドプロファイラのデータから、台風中心部の構造と環境場との関係を解析する（気象官署、気象研究所）。

研究成果

①台風事例の選定とデータベースの構築

- ・研究の第一段階として、台風の中心が沖縄管内を通過した事例を選択し、データベースを構築した。台風は上陸後に地形や成層など複雑な要因で変質するため、台風中心部の構造を把握するには、海上の事例を解析する必要がある。そのため観測範囲の大部分が海上にあり、また台風の接近頻度の多い沖縄周辺でのデータベースが構築されたことは当該共同研究にとどまらない大きな成果と考えられる。
- ・データベース構築に加え、解析内容の共有と意見交換により効率的な研究を進めることを目的にイントラネットにサイトを立ち上げた。サイト上で研究関係者が各種の気象資料を相互参照して解析できるデータ多画面表示ソフトを開発し、各種データや参考資料をダウンロードできる環境が整備された。その結果、非常に活発な意見交換が可能となり、意見交換や文献等をとおして、新たな解析方法や知見を得ることができ、解析に大きな進展が見られた。

②台風中心部の解析（平成18年度）

- ・2003年台風第10号：四角形が卓越する直径100kmの多角形眼であることがわかった。台風中心のウインドプロファイラ（独）情報通信研究機構（NICT）：沖縄本島北部上空通過時のデータから、眼の中では10m/s以下の弱風域が下層～上層（高度12000m）にわたり見られ、壁雲では40m/s以上の強風域が下層～中層（高度5000m以上）に分布し、壁雲の最も内側の下層（高度1000～2000m）に50m/s以上の強風コア域が埋め込まれていたことがわかった。
- ・2004年台風第17号：直径が約110kmではぼ停滞する眼の中のゾンデ観測を石垣島にて実施した。衛星輝度温度および目視観測から、眼の中心部に雲が形成されている事例である。ゾンデは眼の中をスパイラル状に飛揚し、眼の中の大気成層を詳細に捉えた。眼の中は周辺より気温が高く850hPa付

近に逆転層が見られたほか、下層～上層まで湿っており、眼の中で観測された雲の形成に対応しているものと思われる。

- 2003 年台風第 14 号: 多角形眼（特に六角形）が顕著で、かつ明瞭な二重眼構造を持っていた。宮古島の 3 箇所の地上観測データから、六角形の非対称構造の回転を反映した、約 15 分周期の気圧・気温変動と反時計回りの伝播が解析された。さらに内側の眼の内部では、上昇流・下降流の激しい入替わりを示唆する地上気温の小刻みな変動があった。それと対照的に、外側の眼の中では地上気温の変動はなく、眼内外での構造の違いを示唆している。
- 2005 年台風第 14 号: 眼の直径が約 100km のほぼ円形眼構造を持っていた。台風中心（壁雲近傍）のウィンドプロファイラ(南大東島) 上空通過時のデータには、壁雲近傍の眼の中で 10m/s 以上の風が見られ、またまばらに分布する下層雲からの弱い雨が観測された。壁雲では 40m/s 以上の強風域が下層～中層（高度 5000m 以上）に分布し、壁雲の最内側の下層(高度 1000～2000m)に 50m/s 以上の強風コア域が埋め込まれていた。

③台風中心部の解析（平成 19 年度）

- 2003 年台風第 14 号: 眼の二重構造に対応して動径風速の収束・発散が確認された。また、台風の内側では、気圧と気温に 32 分と 16 分の卓越周期が見られた。アイウォールでは風向、風速、気温に約 25 分の卓越周期が見られ、気圧変動の卓越周期と一致しており、最大瞬間風速の形成要因の 1 つだと考えられる。
- 2004 年台風第 17 号: 衛星画像から、眼の中心付近で大きなメソ渦と周辺に小さなメソ渦 4 個が確認でき、レーダーエコーの多角形の頂点に対応していた。最大瞬間風速は多角形の頂点の通過時に観測された。地上観測データから、インナーコアでは動径風速と接線風速に 15 分のズレが見られ、接線風速では 51 分、動径風速には 32 分の卓越周期が見られた。
- 2005 年台風第 14 号: 高層観測資料から、気圧の鉛直分布には地上から高度約 1.2km までは気圧変化がなく、その上層 2.5km まで急速に低くなり、その後は緩やかに下降したことがわかった。風の極大域は高度 1.5km から 2.5km 付近に見られ、アイウォール内では強い降水帯が内側に向かって移動していた。地上気圧には約 25.8 分、平均風速には 21.3 分の卓越周期が見られた。
- 2003 年台風第 10 号: 高層観測資料から、台風の西側（進行方向は北向き）約 100km 以内では、地上付近から高度約 14km 付近までは、動径風速は台風中心に吹き込む風で、その上は中心から外側に吹き出していたことがわかった。また、発達した対流雲は衛星輝度温度の集中している部分に対応していた。
- 2004 年台風第 23 号: 台風中心部の海面気圧分布や風の鉛直分布等について解析した。観測値と R. W. Schloemer の気圧分布のモデル式を用いて中心付近の気圧分布を解析した結果、中心付近で気圧の傾きが大きく周辺部ではやや緩やかになっていた。台風の動径風速は、台風中心に対する相対的な位置により鉛直分布に違いが見られた。
- 2003 年台風 10 号、2004 年台風 17 号、2004 年台風 18 号について、沖縄付近でのレーダーエコーで見た眼の形状の消長と地上気象データの解析を行なった。眼の非対称構造の回転を反映した、気圧・気温変動と反時計回りの伝播が見られた。これらの位相関係、地上変動と多角形眼の回転周期のスペクトル解析から、壁雲の内部に埋め込まれたメソ渦の存在が示唆された。

今後に残された問題点

本研究は以下の 3 項目を目標とした。

- (1) 台風中心部の詳細な構造の把握
- (2) 地上へ突風をもたらすメカニズムの調査
- (3) 大気成層が台風中心部の構造へ与える影響の調査

そのうち(1)、(2)については想定以上の達成度が得られたが、(3)は、台風中心部およびその付近の解析は 2004 年台風 17 号と 2004 年台風第 23 号の 2 事例のみにとどまった。台風中心部でのゾンデ観測事例は少なく、また ACARS については台風時の航空機の欠航によりデータそのものが得られなかったためである。上空の大気の状態を詳細に観測できるウィンドプロファイラは、近年沖縄管内に整備されたデータが取得されている。熱力学的な大気成層状態を測定することはできないものの、上空の細かい風の変動を詳細にとらえられる。今後に残された問題点として、ウィンドプロファイラの積極的な活用により、従来では観測できなかった台風の特徴的な構造の解明が必要である。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

台風中心部の強風の研究は、科学的にも、防災の観点からも非常に重要なものであり、意義深い研究である。台風が比較的変質しておらず、かつ、台風の接近頻度の大きい沖縄に着目した点が優れており、沖縄気象台と気象研究所がうまく役割を分担し、解析内容の共有と意見交換により効率的に研究を進める為、イントラネットにサイトを立ち上げ、各種の気象資料を相互参照できるデータ多画面表示ソフトを開発しているなど、研究体制も適切であったと評価できる。また、今回の研究では沖縄管内の発表も数多く、沖縄気象台職員のスキルが上がったと判断され、高く評価できる。

研究内容については、多くの事例について、貴重な観測データ等に基づき、十分な解析が行われている。台風中心部の詳細な構造について、メソ渦の存在や短周期変動の詳細を明らかにするなど貴重な科学的知見が得られており、高く評価できる。また、作成したデータベースは今後の台風研究の重要な資料として評価できる。一方、当初の主要目的であった、水平対流ロールと強風の解析については、十分な成果が得られなかったようであり、事例を絞った詳細な解析・現象発生要因に迫った研究成果も必要であったと考える。

研究成果の発表については、国内会議だけでなく、国際会議にも発表が行われており評価できる。今後、総合的なとりまとめとしての報告書の作成や、国際誌への投稿も見据えた論文の作成を強く期待する。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 なし
- ・口頭発表件数 15 件

成果発表一覧

- ・査読論文
なし
- ・査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）
なし
- ・口頭発表
 1. Kusunoki, K and W. Mashiko, 2006: Wavenumber structure and evolution of Typhoon Songda (2004) inner core by Doppler radar. Preprints, 5th Int. Conf. on Mesoscale Meteorology and Typhoon, Boulder, CO, N5.
 2. Kenichi Kusunoki and Wataru Mashiko ,2006: Intense Small Scale Boundary Layer Rolls Observed in Typhoon Songda (2004): - As a Potential Hazard to Buildings -. Preprints, 4th US-Japan Workshop on Wind Engineering, Tsukuba, Japan.
 3. 知念浄, 宮里智裕, 親富祖努, 仲間昇, 2006: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 (a) 2003 年台風第 10 号. 沖縄管内気象研究会誌第 35 号.
 4. 友利健, 上原政博, 濱辺真次, 2006: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 (b) 2004 年台風第 23 号. 沖縄管内気象研究会誌第 35 号.
 5. 小山克人, 立間啓之, 神谷吉隆, 2006: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 (c) 2004 年台風第 17 号. 沖縄管内気象研究会誌第 35 号.
 6. 池間英世, 大立清俊, 与那覇正之, 北野昌幸, 2006: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 (d) 2003 年台風第 14 号. 沖縄管内気象研究会誌第 35 号.
 7. 玉城善伸, 屋比久光博, 金城盛男, 2006: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 (e) 2005 年台風第 14 号. 沖縄管内気象研究会誌第 35 号.
 8. 楠研一, 池間英世・大立清俊・与那覇正之・北野昌幸, 小山克人・立間啓之・神谷吉隆, 仲間 昇・裁 吉信, 2007: メソ渦の存在を示唆するインナーコア周辺の地上風と気圧変動 -T0314 と T0417 の事例-, 2007 年度日本気象学会春季大会予稿集 C403.
 9. 楠研一, 上江洌司, 裁吉信, 2007: メソ渦の存在を示唆するインナーコア周辺の地上風と気圧変動 II -眼の回転パターンとの関係-, 2007 年度日本気象学会秋季大会予稿集 C258.

10. 神谷保, 奥平貞雄, 上江洌司, 2007: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 2003 年台風第 10 号その 2. 沖縄管内気象研究会誌第 36 号.
11. 石垣雅和, 西銘勇, 上江洌司, 2007: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 2004 年台風第 23 号その 2. 沖縄管内気象研究会誌第 36 号.
12. 富村盛宏, 砂川徳松, 根間幸美, 2007: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 2005 年台風第 14 号その 2. 沖縄管内気象研究会誌第 36 号.
13. 東舟道博昌, 饒平名 辰三, 北野昌幸, 2007: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 2003 年台風第 14 号その 2. 沖縄管内気象研究会誌第 36 号.
14. 新垣英世, 新垣和則, 神谷吉隆, 久保直紀, 2007: 台風中心部の強風メカニズムに関する基礎研究 2004 年台風第 17 号その 2. 沖縄管内気象研究会誌第 36 号.
15. Kusunoki, K., H. Ikema, S. Ootate, M. Yonaha, M. Kitano, K. Koyama, H. Tatsuma, Y. Kamiya, Y. Sai, N. Nakama, 2007: Surface wind and pressure perturbations within polygonal/elliptical eyewalls of Typhoons Maemi, Aere, and Songda, Preprints, 6th Int. Conf. on Mesoscale Meteorology and Typhoon, Taipei, Taiwan.