

2.3. 研究終了報告

本節には、気象研究所が実施し、平成 20 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。

「研究年次報告掲載 研究課題と掲載ページ」

特別研究

- ・東海地震の予測精度向上及び東南海・南海地震の発生準備過程の研究……………70

融合型経常研究

- ・物質循環モデルの開発改良と地球環境への影響評価に関する研究……………79
- ・地震・地殻変動観測データの高度利用に関する研究……………93
- ・日本の異常気象の実態及び気候変動との関連に関する研究……………107
- ・アジア大陸の影響による大気微量気体・エアロゾル・降水降下塵の
化学組成変動に関する研究……………121
- ・火山観測データの気象補正等による高精度化に関する研究……………131
- ・津波の予測精度向上に関する研究……………135
- ・海洋における炭素循環の変動に関する観測的研究Ⅱ……………141
- ・台風強度推定手法とその外的要因の評価に関する研究……………148
- ・海洋環境モデル・同化システムの開発と海洋環境変動機構の解明に関する研究……………156

一般経常研究

- ・気候システムとその変動特性のモデルによる研究……………165
- ・接地境界層における水蒸気と熱の乱流輸送に関する研究……………181
- ・意図的・非意図的気象改変に関する研究……………186

地方共同研究

- ・九州に接近した台風の構造変化とそれに伴う諸現象に関する研究……………190
- ・強雨をもたらす線状降水帯の形成機構等の解明及び降水強度・移動速度の予測に関する研究……………193
- ・非降水エコーの出現状況の把握と利用可能性に関する研究……………198

東海地震の予測精度向上及び東南海・南海地震の発生準備過程の研究

研究期間： 平成16年度～平成20年度

研究代表者： 濱田信生¹⁾、伊藤秀美²⁾、森滋男³⁾、吉川澄夫⁴⁾（地震火山研究部長）

研究担当者：

（副課題1）地震活動によるプレートの詳細構造の解明

濱田信生¹⁾、伊藤秀美²⁾、森滋男³⁾、吉川澄夫^{1,4)}、勝間田明男⁵⁾、小林昭夫、吉田康宏、山崎 明、山本剛靖、青木重樹⁶⁾、岩切一宏⁷⁾、前田憲二、干場充之⁴⁾、高山博之、中村雅基¹⁾、弘瀬冬樹⁵⁾（地震火山研究部）、中村浩二¹⁾、森脇健²⁾（気象庁地震火山部地震予知情報課）

（副課題2）地殻活動モニタリング手法の開発

濱田信生¹⁾、伊藤秀美²⁾、森滋男³⁾、吉川澄夫^{1,4)}、勝間田明男⁵⁾、小林昭夫、吉田康宏、山崎 明、山本剛靖、青木重樹⁶⁾、岩切一宏⁷⁾、前田憲二⁵⁾、干場充之⁴⁾、高山博之⁵⁾（地震火山研究部）、高濱聡⁸⁾、西政樹⁹⁾（気象庁地震火山部地震予知情報課）、山崎一郎⁶⁾（気象庁地震火山部地震津波監視課）

（副課題3）新地殻変動観測手法の開発

濱田信生¹⁾、伊藤秀美²⁾、森滋男³⁾、吉川澄夫^{1,4)}、勝間田明男⁵⁾、小林昭夫、山本剛靖、青木重樹⁶⁾、岩切一宏⁷⁾、前田憲二⁵⁾、干場充之⁴⁾、高山博之⁵⁾（地震火山研究部）、小山卓三（気象庁地震火山部地震津波監視課）、菅沼一成¹⁰⁾（気象庁地震火山部地震予知情報課）

（副課題4）三次元数値モデルによる巨大地震発生シミュレーション

濱田信生¹⁾、伊藤秀美²⁾、森滋男³⁾、吉川澄夫^{1,4)}、前田憲二、干場充之⁴⁾、高山博之、中村雅基¹⁾、大竹和生⁹⁾、青木重樹⁴⁾、黒木英州⁸⁾、弘瀬冬樹⁵⁾、勝間田明男⁵⁾、小林昭夫、山本剛靖、林 豊⁵⁾（地震火山研究部）、甲斐（青木）玲子⁸⁾、木村一洋⁹⁾（気象庁地震火山部地震予知情報課）

研究の目的

東海地震の予測ならびに東南海・南海地震に対する観測業務に役立てるため、これまでの特別研究の成果を土台に、数値シミュレーションの対象地域をさらに南海トラフとその周辺域に拡大するとともに、地殻活動観測技術の適用範囲を広げ観測・解析手法の向上を図る。

研究の到達目標

数値シミュレーションの対象地域を東海地域から南海トラフとその周辺域に拡大することにより、東海地震の予測精度を向上させるためのシナリオの改良を図ると共に巨大地震相互の連動性を評価できるようにシミュレーション手法を改良する。このため地殻・プレートの詳細構造を明らかにすると共に、地殻活動をより広範かつ詳細に観測するための新たな観測・解析手法を導入する。

研究計画の概要

- ・東海地域に適用した3次元摩擦構成則に基づく物理モデルを南海トラフ沿いに拡張し数値シミュレーションを行って巨大地震相互の影響評価により連動の可能性を探る。また現実に近いスロースリップの再現実験を行う。
- ・精密な力学モデルを得るため東南海・南海地域の地殻・プレート構造調査を進める。
- ・地殻活動をモニターする手法として、精密制御震源（アクロス）からの信号を既存の地震観測網により観測し連続的な物性値の変化を解析する。さらに上下変動については、潮位、GPSなどを中心に推定精度の向上を図る。
- ・水平地殻変動に関しては、スロースリップなどの現象を的確に観測するため、GPS、体積歪計など地殻変動測器との中間の時空間分解能を持つレーザー変位計の技術開発を進める。

主な研究成果

南海トラフ沿いのフィリピン海プレート沈み込み域について地震発生シミュレーションモデルを作

¹⁾ 平成16年、²⁾ 平成17～18年、³⁾ 平成19年、⁴⁾ 平成20年、⁵⁾ 平成17～20年、⁶⁾ 平成16～17年、

⁷⁾ 平成18～20年、⁸⁾ 平成16～18年、⁹⁾ 平成19～20年、¹⁰⁾ 平成18年

成し、地震発生に関わるプレート形状効果・摩擦パラメーターの等のいくつかの条件について明らかにした。また、東海地域におけるスロースリップに関するシミュレーションモデルを開発し、数値実験を通じて、スロースリップが繰り返された後に東海地震の発生に至る可能性があることを明らかにした。

東海地域の長期的スロースリップについて、潮位変化の長期間の変動データを解析し、同様な現象が約 10 年間隔で繰り返して発生している可能性を明らかにした。

GPS などがとらえる長期にわたる地殻変動の変化と歪計などがとらえる短時間の地殻変動の両方をリアルタイムで精度よく観測できるようレーザー式変位計による観測手法を開発し、数か月という長周期から秒単位の短周期にわたる広い帯域での地殻変動を、高い S/N 比をもって観測することに成功した。

プレート境界付近の状態変化を捉えるための準備として精密制御震源による信号の反射波をモニターする手法を開発し、地殻等の状態変化に際して生じると考えられる地震波の走時の変化を、ミリ秒単位という高い精度で捉える事が可能になった。

今後に残された問題点

数値シミュレーションにより、長期的スロースリップを繰り返した後に東海地震に至る可能性があることが明らかになったが、長期的スロースリップの発生場所が実際のものとは位置が若干ずれている、計算領域の端から徐々に移動するなど、再現精度には課題が残った。東海地震の発生領域やスロースリップの発生領域は、東南海・南海地震の発生領域と同じプレートの境界面にあり、スロースリップは東南海・南海地震の発生準備過程に伴う歪の蓄積や広域での応力変化にも影響を受けるのではないかと考えられ、その場合、シミュレーションにおいて計算領域が東海地域のみであるなどその影響を十分取り込めていないこと等が再現精度の悪化につながっているものと推察される。東海地震の予知に結びつけるべく東海地震の発生とスロースリップとの関連性を明確にするためには、地震発生シミュレーションにおいてスロースリップの発生場所や周期などの再現性を向上させることが必要であり、そのためには今後、東南海・南海地震の発生領域の状態を考慮するなど広域応力場が精密に反映されたシミュレーションモデルの構築、シミュレーションでの計算パラメーターのさらなる精査、等が必要と見込まれる。

長基線でのレーザー式変位計の観測は始まったばかりで観測期間が短く、長期的スロースリップのより確実な検出のためには、年周変化など長期的なノイズレベルの評価が必要である。短期的スロースリップに伴い観測される複数項目の地殻変動から、その発生場所や規模を速やかに推定する技術は確立できておらず、これらの的確な監視に向けて課題が残っている。また、精密制御震源装置の信号においては、プレート境界からの信号を同定し、プレート境界の状態変化として信号を取り出す技術の開発が今後の課題である。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

平成 21 年度 評価委員会で評価を実施予定

成果発表状況

- ・印刷発表件数 20 件
- ・口頭発表件数 54 件

（副課題 1）地震活動によるプレートの詳細構造の解明

副課題の到達目標

地震発生シミュレーションモデル開発のため地殻・プレートの詳細構造を明らかにする

副課題の概要

自己浮上式海底地震計を用いた自然地震観測により、東南海・南海地域の地殻・プレート構造調査を進める。

副課題の成果

(フィリピン海プレートに関わる地震活動の観測)

- ・気象庁と共同で自己浮上式海底地震計を用いた観測を行い、それに基づき、平成 16 年 9 月に紀伊半島南東沖において発生した地震の高精度の余震分布を得た。深さ 30km から 50km であった気象庁一元化震源に比較して、余震の震源決定精度、特に深さの決定精度が格段に改良され、余震の深さは概ね 30km 以浅であると、プレート構造と比較しても矛盾のない結果が得られた。余震分布はいくつかのクラスターに分かれており、単純な 1 枚の断層面ではなく、深さ 5~10km の比較的浅い地震群と深さ 15~30km の比較的深い地震群に分かれ、浅い地震群は主として付加帯内に分布し、深い地震群は前震・本震の破壊域とみられる海溝軸下の上部マントル内に分布していることが判明した。
- ・紀伊半島南方沖の南海トラフ軸の周辺海域において気象庁と共同で海底地震観測を実施し、観測の結果、南海トラフの軸に沿って約 150km にわたり、比較的顕著な微小地震活動が存在することが見出された。この地震活動は気象庁一元化震源にはなく、海底地震観測によって初めて明らかにされた地震活動と言える。また地震活動の分布は、活動の活発な領域と静穏な領域のセグメント構造を形成しているらしいことがわかった。震源の深さは 10km~25km に分布し、これより深い場所では地震はほとんど起こっておらず、地震が起こりにくい物理状態になっているものと推定される。この南海トラフ軸沿いの地震活動はプレートを下方に折り曲げる応力が地震を引き起こしているものと考えられるが、東南海・南海地震との関連性において注目される。

(速度構造推定に基づくプレート形状の推定)

- ・二重走時差 (Double Difference, DD) トモグラフィ法を用いて速度分布からプレートの構造調査を行った。速度構造の V_p/V_s 比が大きな領域がフィリピン海プレートの海洋性地殻にあたるとして、プレート上面を推定し、新たな構造モデルとして学会等に提示した。

(副課題 2) 地殻活動モニタリング手法の開発

副課題の到達目標

地殻活動をより広範かつ詳細に観測するための新たな観測・解析手法を導入する。

副課題の概要

地殻活動をモニターする手法として、精密制御震源 (アクロス) からの信号を既存の地震観測網により観測し連続的な物性値の変化を解析する。さらに上下変動については、潮位、GPS などを中心に推定精度の向上を図る。

副課題の成果

(精密制御震源装置からの信号解析)

- ・静岡県森町に設置した精密制御震源装置 (弾性波アクロス: Accurately Controlled Routinely Operated Signal System, ACROSS) により、信号の連続モニターを行った。その結果、精密制御震源装置から震央距離 100km に及ぶ範囲での地震計において、複数の波群からなる信号を確認した。波群には P 波・S 波に相当する波群などとともに、それに後続する複雑な波群が認められた。そこで、地殻等について地震波速度構造モデルを仮定して走時解析を行い、主な波群を識別した。
- ・異なった時期に得られた信号間の波形の相関をとり、地震波の走時について、0.1ms~数 ms という非常にわずかな変化を検出することに成功した。この走時の変化は観測点毎に異なっていることから、精密制御震源装置近傍の何らかの変化に起因するものではないと結論付けられた。また、単一の観測点において観測された複数の波群において波群毎に異なった走時変化をしていることから、観測点直下の同じ場所の状態変化によるのではなく、さらに深い部分の地震波の伝播経路での状態変化が走時に影響を与えているものと結論付けられた。なお、一部の観測点における走時の変化は、降雨の有無と相関があることが分かった。
- ・複数の波群の中からプレート境界からの信号を同定するため、信号の到来方向を調査するため臨時アレイ観測を行い、地殻の深い部分からの反射波と見られる、みかけ伝播速度が比較的速い波群を確認した。

(潮位観測)

- ・舞阪における潮位記録を解析し、2000 年秋から発生していた東海地域の長期的スロースリップに伴う地盤の隆起に対応する潮位の変化が見られることを確認した。これをもとに過去の潮位記録を解析したところ、同様の変化が 1980~82 年と 1988~90 年にも見られ、東海地域において過去にも繰り返

返し長期的スロースリップが発生していた可能性を明らかにした。

- ・潮位記録から地殻上下変動を推定するための津村（1963）の区分についてクラスター分析手法を用いて検証を行い、一部を除きほとんどの地点で区分が適切であることを確認した。各検潮所間の相関係数の高い地点を用いた海況補正の方が、津村の区分を用いるより補正効果が向上することを確認した。

（副課題3）新地殻変動観測手法の開発

副課題の到達目標

水平地殻変動に関して、スロースリップなどの現象を的確に観測する装置を開発する。

副課題の概要

GPS、埋込式歪計など地殻変動測器との中間の時空間分解能を持つレーザー式変位計の技術開発を進める。

副課題の成果

（レーザー式変位計）

- ・静岡県浜松市天竜船明観測点において、地殻変動観測用としては日本最長である基線長 400m のレーザー式変位計を構築し、試験観測に成功した。測定方法としてマイケルソン干渉計を用いることとし、開発にあたっては、長基線を実現するための光学設計・温度による影響をより小さくするための材質・気体の影響を抑えるための高真空光路などを取り入れた。
- ・2008 年 8 月から 9 月にかけて発生した短期的スロースリップによる地殻変動を検知し、その記録が他の地殻変動機器の記録と整合的であることを確認した。
- ・精密地殻変動にとって障害となる降雨の影響が、レーザー式変位計においては既存の多成分歪計に比較して小さいことを確認した。
- ・ノイズレベルの解析に基づき、多成分歪計・GPS・レーザー式変位計の異常現象検知レベルについて評価した。1 年程度からより短時間での範囲の地殻変動に対しては、レーザー式変位計が既存の観測機器よりも小さな変動をとらえる能力を持つとみられる結果を得た。これはレーザー式変位計により、長期的スロースリップをより早期に検知できる可能性を示している。

（GPS 等の解析）

- ・GPS 解析値について観測時間とばらつきの関係を検討し、中でも 6 時間解析値が、地殻変動の監視の上で精度と速報性の両立に相当であることを確認した。また、観測時間が短い場合に頻発する突発的な誤差（外れ値）が生じても、地殻変動の監視への影響を抑え、空間的に異常を識別できる面的監視手法を開発し、気象庁の EPOS システムに導入した。

（副課題4）三次元数値モデルによる巨大地震発生シミュレーション

副課題の到達目標

数値シミュレーションの対象地域を東海地域から南海トラフとその周辺域に拡大することにより、東海地震の予測精度を向上させるためのシナリオの改良を図ると共に巨大地震相互の連動性を評価できるようにシミュレーション手法を改良する。

副課題の概要

東海地域に適用した三次元摩擦構成則に基づく物理モデルを南海トラフ沿いに拡張し数値シミュレーションを行って巨大地震相互の影響評価により連動の可能性を探る。また現実に近いスロースリップの再現実験を行う。

副課題の成果

（シミュレーション手法の改良）

- ・シミュレーションの対象領域に応じたメッシュサイズの設定を可能とするため、メッシュサイズを細分化（東海・東南海・南海地震の連動モデルは 10km から 5km へ、東海地域のスロースリップモデルは 5km から 3km へ）できるようプログラム改良を行った。実際の計算は、計算資源の能力も考慮し、研究効率の良い 10km、5km のメッシュサイズで主に行った。また、東海・東南海・南海地震の

連動性の評価を可能とするため、アプリオリに与える拘束条件の少ないシミュレーションが行えるように手法を改良したプログラムを開発した。

(東海地震のシナリオの改良)

- ・シミュレーションを用いて、東海地震の想定震源域近傍で比較的規模が大きな地震が発生した場合の東海地震の発生に与える影響について調査したところ、東海地震の発生時期に与える影響の幅は数日から数年程度であり、その地震が発生する場所により、東海地震を早める場合も遅らせる場合もあることを明らかにした。
- ・東海地域のスロースリップのモデルを改良することにより、観測されているスロースリップの領域、すべり量と整合的なモデルを他の研究に先駆けて作成するとともに、スロースリップを繰り返しながら東海地震に至る可能性があることを明らかにした。

(南海トラフ沿いの巨大地震のシミュレーション)

主に巨大地震の発生順序と破壊開始点に関する調査のためのシミュレーションを行い、以下の成果を得た。

- ・東海・東南海・南海地震の連動モデルを用いて、プレート境界の性質を表現するパラメーターを変化させながら実施し、また、仮定するプレート形状を平面としたり、3次元に変えたりしながら、地震発生シミュレーションを複数行った。その結果、アスペリティが小さい場合の方が、また、摩擦パラメーター $|a \cdot b|$ ($a \cdot b$ はすべり速度の変化による摩擦力の変化量に相当する) が小さい場合の方が、より早く地震が発生するという特徴を明らかにした。
- ・また、フィリピン海プレートと大陸側のプレートとの境界について、複数の形状ですべり応答関数を用いてシミュレーションを行ったところ、DD トモグラフィーの解析結果などから新たに作成した、より現実に近いと考えられるプレート境界の形状 (3次元) を用いると、過去の南海トラフ沿い巨大地震の破壊開始点と概ね整合した地震発生結果を得ることが分かった。3次元のすべり応答関数を用い、破壊開始点を概ね再現したシミュレーションとしては初めてのものである。
- ・さらにプレート境界に異なる摩擦特性を与えてシミュレーションを行い、東南海・南海地震の連動について調査したところ、場合によってはプレートの沈み込みの速度の影響がプレート形状による影響よりも大きくなり、それぞれの地震の発生順序が変わることがある例があることが分かった。また、GPS による地殻変動の観測データとシミュレーションによる結果を比較することにより、より適切なモデルパラメーターを推定することを他の研究に先駆けて行った。その結果、摩擦パラメーター $a \cdot b$ の負の領域が従来考えられていた 10-30km の深さの範囲より狭い可能性があることを示した。

成果発表一覧

研究成果リスト

1. 査読論文

1) 地震活動によるプレートの詳細構造の解明

1. Wiemer, S., A. Yoshida, K. Hosono, S. Noguchi, and H. Takayama, 2005: Correlating seismicity parameters and subsidence in the Tokai region, central Japan. *J. Geophys. Res.* **110**, B10303.
2. 弘瀬冬樹, 中島淳一, 長谷川 昭, 2007: Double-Difference Tomography 法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定. *地震* **2**, **60**, 1-20.
3. 山崎 明, 青木 重樹, 吉田 康宏, 小林 昭夫, 勝間田 明男, 阿部 正雄, 森脇 健, 大河原 斉揚, 長田 芳一, 松岡 英俊, 吉田 知央, 関谷 博, 新納 孝壽, 平松 秀行, 2007: 海底地震計を用いた 2004 年紀伊半島南東沖地震の余震観測. *気象研究所研究報告*, **59**, 65-82.

2) 地殻活動モニタリング手法の開発

1. 小林昭夫, 吉田明夫, 2004: 舞阪の潮位変化から推定される東海スロースリップの繰り返し発生. *測地学会誌*, **50** (3), 209-212.
2. Yoshida, Y., H. Ueno, S. Takahama, Y. Ishikawa, S. Yoshikawa, A. Katsumata, T. Kunitomo and M. Kumazawa, 2007: Characteristics of ACROSS signals transmitted from the Tono

transmitting station and observed by Hi-net. Ellsevier, submitted.

3. 小林昭夫, 2008: 潮位記録を用いた地殻上下変動推定のための津村による海域区分の検証. *駿震時報*, **71**, 1-17.

3) 新地殻変動観測手法の開発

1. 小林昭夫, 2005: GPS 東海地域 3 時間解析値の面的監視. *駿震時報*, **69**, 99-104.
2. Kobayashi, A., Akio Yoshida, Takeyasu Yamamoto, and Hiromi Takayama, 2005: Slow slip in the focal region of the anticipated Tokai earthquake following the seismo-volcanic event in the northern Izu Islands in 2000. *Earth Planets Space*, **57**, 507-513.
3. 小林昭夫, 2006: GPS 東海地域 6 時間解析値の面的監視. *駿震時報*, **70**, 67-72.
4. Yamamoto, T., A. Kobayashi, A. Katsumata, and S. Mori, 2008: Evaluation of detection level of crustal deformation observation in the time domain through power spectrum analysis. *Journal of the Geodetic Society of Japan*, **54**, 2, 81-91.

4) 三次元数値モデルによる巨大地震発生シミュレーション

1. Kuroki, H., Hidemi M. Ito, H. Takayama, and A. Yoshida, 2004: 3-D Simulation of the Occurrence of Slow Slip Events in the Tokai Region with a Rate- and State-Dependent Friction Law. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **94**, 2037 - 2050.
2. 高山博之, 黒木英州, 前田憲二, 2007: シミュレーションを用いた東南海・南海地震の発生順序について. *気象研究所研究報告*, **58**, 127-134.
3. 高山博之, 前田憲二, 弘瀬冬樹, 2008: 南海トラフ沿い大地震の開始位置に与えるプレート境界の形状の効果. *地震*, **60**, 279-284.
4. 甲斐玲子, 前田憲二, 高山博之, 2008: 想定震源域付近で地震が発生した場合の東海地震への影響. *駿震時報*, **71**, 79-87.
5. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 高山博之, 東海地域の長期的スロースリップイベントおよび地震サイクルの再現の試み, *地震*, (印刷中) .

2. 査読論文以外の著作物 (翻訳、著書、解説)

2) 地殻活動モニタリング手法の開発

1. 吉田康宏, 上野寛, 松岡英俊, 石川有三, 國友孝洋, 熊澤峰夫, 2004: 気象庁・Hi-net 観測点で受信した東濃弾性波アクロス信号の特性. *月刊地球号外 No.47 地球内部のアクティブ・モニタリングー4D地球内部診断を目指してー*, 124-131.
2. 笠原順三, 鶴我佳代子, 羽佐田葉子, 山岡耕春, 藤井直之, 吉田康宏, 國友孝洋, 熊澤峰夫, 2004: アクティブ・モニタリングによるプレート沈み込みのプレート境界イメージングの提案. *月刊地球号外 No.47 地球内部のアクティブ・モニタリングー4D地球内部診断を目指してー*, 141-147.
3. 吉田康宏, 勝間田明男, 岩切一宏, 高濱聡, 國友孝洋, 熊澤峰夫, 増田 俊明, 2007: 低周波アクロスによる東海監視—静岡県森町—. *月刊地球*, **29** (8), 498-505.

3) 新地殻変動観測手法の開発

1. 気象庁気象研究所. 2009: レーザー式変位計によってとらえた短期的スロースリップ (2008 年 8~9 月) による地殻変動. 地震予知連絡会会報, 印刷中.

4) 三次元数値モデルによる巨大地震発生シミュレーション

1. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 高山博之, 南海トラフ沿い巨大地震の破壊開始点および発生時期の推定—フィリピン海スラブの 3 次元沈み込み形状を用いた地震発生シミュレーション—. *月刊地球*, **31** (5), 255-263.

3. 口頭発表

- 1) 国際会議・学会等での口頭発表件数: 12 件
- 2) 国内会議・学会等での口頭発表件数: 42 件

Abstract, Proceeding などに掲載があるものは下記に記載。

- 1) 地震活動によるプレートの詳細構造の解明

1. 青木 元, 山崎 明, 吉田康宏, 石川有三, 阿部正雄, 眞坂精一, 竹内新, 2004: 自己浮上式海底地震計の繰り返し観測による東海沖の地震活動---過去5年間の観測結果とフィリピン海スラブ沈みこみ形状の推定---. *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, S045-P016.
 2. 濱田信生, 小林昭夫, 吉川一光, 2004: 1944 年東南海地震発生前の紀伊半島周辺の地震活動の特徴について. *日本地震学会 2004 年秋季大会予稿集*, A038.
 3. 山崎 明, 青木重樹, 吉田康宏, 小林昭夫, 阿部正雄, 長田芳一, 森脇健, 関谷博, 2005: 海底地震計による「2004 年 9 月 5 日東海道沖の地震 (Mj=7.4)」の余震観測. *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, S045-P010.
 4. 山崎 明, 青木重樹, 吉田康宏, 小林昭夫, 阿部正雄, 長田芳一, 森脇健, 関谷博, 2005: 海底地震計による「2004 年 9 月 5 日東海道沖の地震 (Mj=7.4)」の余震観測. *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会*, S045-P010.
 5. 山崎明, 青木重樹, 吉田康宏, 小林昭夫, 勝間田明男, 長田芳一, 阿部正雄, 松岡英俊, 森脇健, 吉田知央, 大河原斉揚, 関谷博, 新納孝寿, 平松秀行, 2006: 海底地震計による「2004 年 9 月 5 日東海道沖の地震」の余震観測 (2). *日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集*, S110-P008.
 6. 丹下豪, 中村雅基, 三上直也, 山崎明, 2006: 海底地震計による臨時観測データを用いた 2004 年紀伊半島沖地震 (前震・本震・余震) の震源再決定. *日本地震学会 2006 年秋季大会予稿集*, P210.
 7. 山崎明, 岩切一宏, 弘瀬冬樹, 吉田康宏, 青木重樹, 田中昌之, 久保田勲, 森脇健, 松岡英俊, 大河原斉揚, 甲斐玲子, 阿部正雄, 西新三郎, 関谷博, 2007: 紀伊半島南方沖の南海トラフ軸周辺における地震活動. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, S144-P011.
 8. Yamazaki, A., 2008: Aftershock observation of the 2004 off the Kii Peninsula earthquake using ocean bottom seismometers. *Proceeding of the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, X2-029.
 9. Yamazaki, A., 2008: Seismic activity around the Nankai trough axis south off the Kii Peninsula obtained by ocean bottom seismometers. *Proceeding of the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, X2-030.
- 2) 地殻活動モニタリング手法の開発
1. Yoshida, Y., H. Ueno, Y. Ishikawa, T. Kunitomo and M. Kumazawa, 2004: The observation and analysis of ACROSS signals by seismic networks - Determination of the transfer function -. *Proceedings of 1st international workshop on active monitoring in the solid earth geophysics*, 258-261 (S5-P01) .
 2. Kasahara, J., K. Tsuruga, Y. Hasada, K. Yamaoka, N. Fujii, Y. Yoshida, T. Kunitomo and M. Kumazawa, 2004: A proposal of imaging of the plate boundary using the active monitoring method -. *Proceedings of 1st international workshop on active monitoring in the solid earth geophysics*, 44-48 (S2-03) .
 3. 吉田康宏, 上野寛, 石川有三, 國友孝洋, 熊澤峰夫, 2004: 広域地震観測網によるアクロス信号観測とその解析 (その 2) ---伝達関数の決定---. *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, J084-P004.
 4. 吉田康宏, 高濱聡, 針生義勝, 國友孝洋, 熊澤峰夫, 2004: 広域地震観測網によるアクロス信号観測とその解析 (その 3) ---第 5 回試験送信の解析結果---. *日本地震学会 2004 年度秋期大会予稿集*, B061
 5. 笠原順三, 鶴我佳代子, 羽佐田葉子, 山岡耕春, 國友孝洋, 渡辺俊樹, 吉田康宏, 藤井直之, 熊澤峰夫, 2004: 沈み込むプレート境界の連続的アクティブ・モニタリングの提案. *日本地震学会 2004 年度秋期予稿集*, B062.
 6. 小林昭夫, 吉田明夫, 2004: 東海スロースリップ現象に対応した舞阪の潮位及び地震活動の変化. *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, D007-005.
 7. 吉田康宏, 吉川澄夫, 高濱聡, 國友孝洋, 熊澤峰夫, 2005: 広域地震観測網によるアクロス信号観測とその解析 (その 4) ---伝達関数の時間変化---. *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, S080P-003.

8. 吉田康宏, 吉川澄夫, 2005: 気象研究所におけるアクロス信号観測とその解析. *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, S088-008.
 9. 吉田康宏, 勝間田明男, 青木重樹, 高濱聡, 國友孝洋, 増田俊明, 熊澤峰夫, 2006: 静岡県森町における弾性波アクロス送信装置の設置—東海地震震源域の能動的監視を目指して—. *日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集*, S207-P001.
 10. 吉田康宏, 勝間田明男, 岩切一宏, 高濱聡, 國友孝洋, 熊澤峰夫, 増田俊明, 2007: 静岡県森町におけるアクロス信号送信. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, S231-P005.
 11. 小林昭夫, 2007: 潮位記録による地殻上下変動推定～津村による区分の確認と新たな提案～. 第 42 回海岸昇降検知センター総会.
 12. 吉田 康宏, 勝間田 明男, 岩切 一宏, 國友 孝洋, 熊沢 峰夫, 増田 俊明, 2008: 静岡県森町から送信されているアクロス信号の解析 —伝達関数の特徴—. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会*, O135-009.
 13. 吉田 康宏, 岩切 一宏, 勝間田 明男, 2008: 天竜船明トンネルに設置した地震アレイによる森町アクロス送信信号の解析. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, O135-002.
 14. 勝間田 明男, 吉田 康宏, 岩切 一宏, 2008: 弾性波アクロス送信波のフィリピン海プレート境界反射点. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, O135-003.
 15. 小林昭夫, 2008: 潮位記録を用いた地殻上下変動推定のための津村による海域区分の検証. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, D107-P001.
 16. Yoshida, Y., A. Katsumata, K. Iwakiri, M. Nishi, T. Kunitomo, M. Kumazawa and T. Masuda, 2008: The temporal change in travel time detected by seismic ACROSS transmitter at Mori-machi. *Proceeding of the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, X3-080.
 17. Iwakiri, K., Y. Yoshida, A. Katsumata, H. Itoh, N. Fujii, M. Kumazawa, T. Kunitomo, M. Satomura, 2008: Analysis of seismic ACROSS signal at Morimachi using seismic array installed near Mt. Fuji Shizuoka Airport. *Proceeding of the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, X3-078.
 18. Kobayashi, A., 2008: Long-term slow slip events in the Bungo Channel deduced from tide gauge data. *Proceeding of the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, Y4-204.
- 3) 新地殻変動観測手法の開発
1. 小林昭夫, 山本剛靖, 吉川澄夫, 2004: GPS 東海地域 3 時間解析値の面的監視. *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, D008-013.
 2. 吉田明夫, 小林昭夫, 2004: 2000 年伊豆諸島北部地震火山活動時の地殻変動から推定される伊豆半島北部境界. *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, T054-007.
 3. 山本剛靖, 小林昭夫, 吉川澄夫, 2004: 東海, 南関東地域における GPS 観測. *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, D008-014.
 4. 吉川澄夫, 2004: スロースリップとプレート間地震の発生への影響. *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, D007-004.
 5. 吉川澄夫, 2004: スロースリップの発生とプレート間巨大地震への影響. *日本測地学会 2004 年度秋季大会予稿集*, P91.
 6. Kobayashi, A., 2004: Loosening of the interplate coupling in the focal region of the anticipated Tokai earthquake induced by the 2000 seismo-volcanic event in the northern Izu Islands. *Proceeding of The 5th Joint Meeting of the UJNR Panel on Earthquake Research*.
 7. 勝間田 明男, 山本 剛靖, 吉川 澄夫, 濱田 信生, 2005: 波長スweep式マイケルソン干渉計による絶対長測定に関する検討. *日本地震学会 2005 年度秋季大会予稿集*, C093.
 8. 小林昭夫, 山本剛靖, 吉田明夫, 2005: 2004 年伊豆半島南東沖地震 (M7.1 及び M7.4) 後に観測された地殻変動. *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, D007-010.
 9. Katsumata, A., T. Yamamoto, N. Hamada, and S. Yoshikawa, 2006: Laser Interferometer for

- detection of slow-slip events. *Proceeding of The 6th Joint Meeting of the UJNR Panel on Earthquake Research*, P20.
10. 勝間田明男, 山本剛靖, 2007: レーザー干渉計のデータ処理と波長スイープ制御. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, S147-002.
 11. 勝間田 明男, 山本 剛靖, 浜田 信生, 吉川 澄夫, 2008: スロースリップ検知のための長基線レーザー伸縮計の開発. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, S144-010.
 - 4) 三次元数値モデルによる巨大地震発生シミュレーション
 1. 黒木英州, 伊藤秀美, 高山博之, 吉田明夫, 2004: 3次元シミュレーションによる東南海・東海地震の連動性の評価 (序報). *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, S044-019.
 2. 高山博之, 伊藤秀美, 黒木英州, 吉田明夫, 2004: 東南海・南海地震の連動性の3次元シミュレーション (序報). *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, S044-020.
 3. 黒木英州, 高山博之, 前田憲二, 伊藤秀美, 吉田明夫, 2004: 2つのアスペリティの連動的破壊に関する数値実験 -東南海・南海地震の発生をモデルとした場合-. *日本地震学会 2004 年度秋季大会予稿集*, A11.
 4. 黒木英州, 前田憲二, 高山博之, 伊藤秀美, 2004: 東海道沖の地震 (2004/9/5 M7.4) が想定東海地震に及ぼす影響-3次元シミュレーションモデルによる検討-. *日本地震学会 2004 年度秋季大会*, PK16.
 5. 青木玲子, 黒木英州, 前田憲二, 高山博之, 伊藤秀美, 2005: 想定震源域内で地震が発生した場合の東海地震への影響. *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, S044P-007.
 6. 高山博之, 前田憲二, 弘瀬冬樹, 伊藤秀美, 2006: 地震時の取り扱いの違いによるシミュレーション結果の比較. *日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集*, S109-003.
 7. 弘瀬冬樹, 高山博之, 前田憲二, 黒木英州, 伊藤秀美, 2006: 地震波放射減衰係数の変化が東海地震のシミュレーションに与える影響. *日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集*, S109-P010.
 8. 弘瀬冬樹, 高山博之, 前田憲二, 伊藤秀美, 2006: 東海地域のスロースリップイベントの再現. *日本地震学会 2006 年度秋季大会予稿集*, P095.
 9. 甲斐玲子, 前田憲二, 高山博之, 弘瀬冬樹, 2006: スロースリップに相当する応力解放が発生した場合の東海地震の発生時期の変化. *日本地震学会 2006 年度秋季大会予稿集*, P096.
 10. 高山博之, 弘瀬冬樹, 前田憲二, 伊藤秀美, 2007: プレート境界の形状の違いによる南海トラフ沿いの大地震シミュレーションへの影響について. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, S143-012.
 11. 弘瀬冬樹, 高山博之, 前田憲二, 伊藤秀美, 2007: 東海地域の長期的スロースリップイベントの再現-その2-. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, S143-P008.
 12. 高山博之, 前田憲二, 弘瀬冬樹, 2008: シミュレーションと GPS 観測による南海トラフ沿いの地域の地殻変動の比較. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, S142-015.
 13. 弘瀬冬樹, 前田憲二, 高山博之, 2008: 東海地域の長期的スロースリップイベントの再現-その3-. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, S142-P010.
 14. Hirose F., K. Maeda, and H. Takayama, 2008: Simulation of the Recurrence of Long-term Slow Slip Events in the Tokai Region with Locally Elevated Pore Pressure. *Proceeding of the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, X3-053.
 15. Takayama H., K. Maeda, and F. Hirose, 2008: Estimation of a-b Value by Comparing Simulated Crustal Movement with GPS Observation. *Proceeding of the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, X3-062.
 16. Maeda K., Hirose F., and H. Takayama, 2008: Simulated Seismicity Rate Variation Related to the Long-term Tokai Slow Slip. *Proceeding of the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, X3-063.

物質循環モデルの開発改良と地球環境への影響評価に関する研究

研究期間： 平成 16 年度～平成 20 年度

研究代表者： 柴田清孝（環境・応用気象研究部 第一研究室長）

研究担当者

（副課題 1）オゾン化学輸送モデルの開発・改良とオゾンの将来予測に関する研究

柴田清孝、忠鉢繁、関山剛、出牛真（環境・応用気象研究部）

（副課題 2）エアロゾル化学輸送モデルの開発・改良とエアロゾルの影響評価に関する研究

柴田清孝、財前祐二¹⁾、高橋宙¹⁾、千葉 長¹⁾、直江寛明²⁾、田中泰宙²⁾（環境・応用気象研究部）

（副課題 3）炭素循環モデルの開発・改良と大気中二酸化炭素濃度の将来予測に関する研究

栗原和夫、馬淵和雄（環境・応用気象研究部）、小畑淳（気候研究部）、増田真次³⁾（気象庁地球環境・海洋部海洋気象課）

研究の目的

大気中のオゾンや二酸化炭素等の化学種、エアロゾルなどの微量物質濃度の将来予測やそれらが放射強制力に及ぼす影響の評価を行う。

研究の到達目標

大気中の化学種、エアロゾルなどの微量物質についての挙動を監視・予測するための数値モデルの開発・改良を行い、数値モデルによるこれらの影響評価を行う。

研究計画の概要

① オゾン化学輸送モデルの開発・改良とオゾンの将来予測に関する研究

- ・既存の成層圏化学輸送モデルをベースにして、最初是对流圏化学輸送モデルを開発し、次に両モデルをマージさせる。そのためモデルトップを低くする代わりに化学種の数を増やし、対流圏の物理過程が化学種に及ぼす影響のパラメタリゼーションの精度を上げる。
- ・化学輸送モデルの検証のため、それぞれの達成段階において、観測値を解析してモデル結果と比較し、モデルの改良へと繋げる。さらに、観測の時空間の不連続を解消するツールとしてモデル結果を補完的に使い、オゾンに関わる現象の解明（成層圏オゾン減少の機構、化学的要因、力学的要因、対流圏オゾンの変動要因、全オゾン変動への寄与）を進めると同時に、オゾンの将来予測に役立てていく。

② エアロゾル化学輸送モデルの開発・改良とエアロゾルの影響評価に関する研究

- ・既存のエアロゾル輸送モデルをベースにして、水酸基等の基幹となる化学種の与え方を改良するとともに、それぞれのエアロゾルの放射の一次散乱量のルックアップテーブル作成し、モデルに組み込んで多重散乱や大気場との相互作用をとおしてエアロゾル自身の放射効果（直接効果）を調べる。
- ・エアロゾルが雲に与える影響も調べられる過程を開発する。最初は雲生成過程での粒径に及ぼす効果（第一種間接効果）を表現するスキームを作り、次に雲粒子成長過程での滞留時間に及ぼす効果（第二種間接効果）を表現するスキームを作り、最終的には雲のライフサイクルである生成・維持・消滅過程のすべてを精度良く表現できるようにする。
- ・エアロゾル輸送モデルの検証のため、それぞれの達成段階において、観測値を解析してモデル結果と比較し、それをモデルの改良へと繋げる。さらに、観測の時空間の不連続を解消するツールとしてモデル結果を補完的に使い、エアロゾルの影響評価の精度を上げる。

③ 二酸化炭素モデルの開発・改良と大気中濃度の将来予測に関する研究

- ・炭素循環過程を組み込んだ大気海洋結合大循環モデル（炭素循環気候モデル）を開発・改良する。特に、現在のところ不確実性の大きい炭素循環モデルの陸域生態系部分については、精巧な陸域生態系モデル BAIM を組み込んだ気候モデルの長時間積分を実施して様々な変動機構を調べ、その結果を炭素循環気候モデルの調整・改良に役立てる。

¹⁾ 平成 16～17 年度、²⁾ 平成 18～20 年度、³⁾ 平成 17 年度

- ・国内初の試みとして、炭素循環気候モデルを用いた温暖化予測実験を行い、気候要素や炭素分布の変動を明らかにする。また、海洋や陸域の炭素循環を含まない場合の実験も幾つか行うことにより、温暖化における海洋や陸域の炭素循環の役割を明らかにする。

主な研究成果

- ・100年以上にわたって安定に積分できる成層圏オゾン化学輸送モデルを開発し、オゾン層の将来予測の評価も行うことが出来た。また、地表付近の大気環境の影響評価のために、化学種の数約2倍の対流圏化学輸送モデルも開発し、数年の積分を安定に行うことができた。このモデルは引き続いて積分を継続しており、安定な長期積分の目安となる10年程度の積分が期間内に行える予定である。
- ・種々の組成（ダスト、海塩、硫酸系、炭素質系）のエ어로ゾルをエ어로ゾル化学輸送モデルに組み込んで取り扱えるようになり、長期積分を行いその放射強制力を評価することができた。ただし、エ어로ゾルの間接効果については、第一種間接効果は比較的簡単なので旧バージョンの気象研究所気候モデル（MRI・JMA98）で行った。
- ・炭素循環モデルの開発と、その大気海洋結合モデルへの組み込み（気候炭素循環モデル）を行い、モデルを用いた平均場の再現と歴史及び将来予測実験、各種変動実験を順序立てて実施した。これらにより、温暖化における海洋や陸域の炭素循環の役割を、特に気温と二酸化炭素が負の相関になり得る現象を、現実的に再現することができた。また、精巧な陸域生態系モデルBAIM（Biosphere-Atmosphere Interaction Model）を組み込んだ気候モデルの長時間積分を実施して様々な変動機構を調べた。
- ・対流圏から中層大気まで包括的に予測できる化学気候モデルを開発し、気象庁紫外線予測のためのモデルとして提供し、また光化学オキシダント予測支援のためのプロトタイプモデルとして運用できるように開発を行った。
- ・化学-気候モデル検証（CCMVal）への参加を通して成層圏オゾンの将来予測データ提供する予定。これは2010年のオゾン層科学アセスメントに使われる予定である。
- ・気象庁へ紫外線予測情報提供のためのモデルを提供した。
- ・気象庁へ光化学オキシダント予測用プロトタイプモデルを提供した。
- ・気象庁へ黄砂予測モデルの各プロセスの改良版を提供した。
- ・本研究で開発された炭素循環モデルは今後精緻化等の改良を施され、地球システムモデルの一部として地球環境監視・予測業務やIPCC（気候変動に関する政府間パネル）に貢献する予定である。

今後に残された問題点

- ・エ어로ゾルの第二種間接効果については雲から雨への変換スキームが入ってくるため、雲が予報変数である新しい気象研究所統一気候モデルで行うしか方法がなく、適切な影響評価は行えなかった。今後は大気モデル側と歩調を合わせ、影響評価について研究を進める必要がある。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

気候システム・気候変動に関わる大気物質循環についてのモデルをオゾン、エ어로ゾル、二酸化炭素についてそれぞれ構築し、今後の地球システムモデルの高度化に向けての重要な基盤作成を行ったことは評価に値する。また、紫外線・光化学オキシダント予測等の気象庁業務への貢献、WMO等国際機関への連携・貢献、各種マスコミへのアウトリーチ活動等、研究以外にも多くの活動が行われている。研究活動自体についても、開発・改良されたモデルの性能や査読論文数などから十分評価され得ると考えられる。ただ、エ어로ゾルの第二種間接効果については大気モデル側の進捗と位相が合わず残念であるが、今後の発展に期待する。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 44件
- ・口頭発表件数 113件

(副課題1) オゾン化学輸送モデルの開発・改良とオゾンの将来予測に関する研究

副課題の到達目標

- ・観測データの時間的空間的制約を補うツールとして成層圏オゾンや対流圏オゾンを精度良く表現できるモデルを開発・改良し、そのモデルによる長期ランデータと観測データの解析を併せてオゾンの変動機構を明らかにする。

副課題の概要

既存の成層圏化学輸送モデルをベースにして、最初是对流圏化学輸送モデルを開発し、次に両モデルをマージさせていく。そのため、モデルトップを低くする代わりに化学種の数を増やし、対流圏の物理過程が化学種に及ぼす影響のパラメタリゼーションの精度を上げる。

化学輸送モデルの検証のため、それぞれの達成段階において、観測値を解析してモデル結果と比較し、それをモデルの改良へと繋げる。さらに、観測の時空間の不連続を解消するツールとしてモデル結果を補完的に使い、オゾンに関わる現象の解明（成層圏オゾン減少の機構、化学的要因、力学的要因、対流圏オゾンの変動要因、全オゾン変動への寄与）を進めると同時に、オゾンの将来予測に役立てる。

副課題の成果

- ・成層圏オゾン化学輸送モデルを用いたオゾン全量の短期予測精度検証を行った。
- ・対流圏から中層大気まで包括的に予測できる化学-気候モデルを開発し、気象庁紫外線予測のためのモデルとして提供し、また光化学オキシダント予測支援のためのプロトタイプモデルとして運用できるように開発を行った。
- ・WCRP（世界気候研究計画）の SPARC（成層圏過程とその気候への影響に関する研究計画）のコアプロジェクト Chemistry-Climate Model Validation Activity（CCMVal）に参加して、成層圏オゾンの過去再現（1980-2004 年）と将来予測（1980-2099 年）の長期積分を行い、4 年ごとに刊行される「オゾン層の科学アセスメント 2006 (WMO Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006)」に貢献した。
- ・成層圏オゾンの長期モデルシミュレーションを行い、太陽周期変動現象の詳細な解析を行った。
- ・成層圏オゾン化学輸送モデルおよびエロゾル化学輸送モデルを用いたデータ同化システムの開発を行った。

(副課題2) エロゾル化学輸送モデルの開発・改良とエロゾルの影響評価に関する研究

副課題の到達目標

- ・エロゾル化学輸送モデルを改良し、さらにエアロゾルの雲へ及ぼす影響（間接効果）を新たに組み込んで、エロゾルが放射強制力へ及ぼす影響評価を行う。

副課題の概要

既存のエロゾル輸送モデルをベースにして、水酸基等の基幹となる化学種の与え方を改良するとともに、それぞれのエロゾルの放射の一次散乱量のルックアップテーブル作成し、モデルに組み込んで多重散乱や大気場との相互作用をとおしてエロゾル自身の放射効果（直接効果）を調べる。

エロゾルが雲に与える影響も調べられる過程を開発する。最初は雲生成過程での粒径に及ぼす効果（第一種間接効果）を表現するスキームを作り、次に雲粒子成長過程での滞留時間に及ぼす効果（第二種間接効果）を表現するスキームを作り、最終的には雲のライフサイクルである生成・維持・消滅過程のすべてを精度良く表現できるようにする。

エロゾル輸送モデルの検証のため、それぞれの達成段階において、観測値を解析してモデル結果と比較し、それをモデルの改良へと繋げていく。さらに、観測の時空間の不連続を解消するツールとしてモデル結果を補完的に使い、エロゾルの影響評価の精度を上げていく。

副課題の成果

- ・エロゾル粒子内における液相反応ならびに微物理過程における硫黄化合物の取り込みをモデル化し

た。

- ・黄砂予測モデルの大気境界層過程・地表面過程の改善を行った。
- ・エーロゾル化学輸送モデルを開発し、エーロゾルの直接効果、および、(第一種) 間接効果(雲アルベド効果) の評価を行った。
- ・成層圏硫酸エーロゾル過程を開発し、エーロゾルと大気光化学との相互作用の影響評価を行った。

(副課題3) 炭素循環モデルの開発・改良と大気中二酸化炭素濃度の将来予測に関する研究

副課題の到達目標

- ・炭素循環過程の陸域生態系部分に調整・改良を加え、炭素循環過程を大気海洋結合大循環モデルに組み込み炭素循環モデルを開発し、改良する。炭素循環モデルを用いて温暖化予測実験を行い、気候要素や炭素分布の変動を明らかにする。

副課題の概要

炭素循環過程を組み込んだ大気海洋結合大循環モデル(炭素循環気候モデル)を開発・改良する。特に、現在のところ不確実性の大きい炭素循環モデルの陸域生態系部分については、精巧な陸域生態系モデル BAIM を組み込んだ気候モデルの長時間積分を実施して様々な変動機構を調べ、その結果を炭素循環気候モデルの調整・改良に役立てる。

国内初の試みとして、炭素循環気候モデルを用いた温暖化予測実験を行い、気候要素や炭素分布の変動を明らかにする。また、海洋や陸域の炭素循環を含まない場合の実験も幾つか行うことにより、温暖化における海洋や陸域の炭素循環の役割を明らかにする。

副課題の研究成果

- ・陸域と海洋の炭素循環モデルを開発し、気象研究所大気海洋結合大循環モデル(MRI-CGCM2)へ組み込み、気候炭素循環モデルを作成し、産業革命以前に相当する定常状態を再現した。
- ・産業革命以後の化石燃料消費による二酸化炭素排出量をモデルに与えて歴史実験を行い、現代までの温暖化と大気二酸化炭素増加を再現した。
- ・化石燃料炭素排出シナリオによる 21 世紀予測実験を行い、温暖化と大気二酸化炭素増加について各国研究機関の同様なモデルによる予測範囲に入る妥当な結果を得た。
- ・モデルの北大西洋に淡水を与えた実験(氷床融水を想定)では、北大西洋熱塩循環停止による北半球の寒冷化で陸域生態系が衰退、大気二酸化炭素が 10ppm 未満増加し、約 13000 年前の古気候記録とほぼ一致した。
- ・将来の化石燃料炭素排出の場合の淡水流入実験では、深層への輸送の弱まりによって海洋の化石燃料炭素吸収が減少するため、大気二酸化炭素は淡水流入無しの実験に比べて増加した。これらの実験により、通常は相関の良い気温と大気二酸化炭素濃度も、分離した振る舞い(寒冷化と二酸化炭素増加)を示し得る事が明らかになった。
- ・陸域生態系モデル Biosphere-Atmosphere Interaction Model (BAIM) の植物生態モデルとしての特性をより高め、植物内及び土壌中炭素蓄積量をモデル内変数として取り入れた BAIM Ver.2 (BAIM2)を開発した。
- ・全球気候モデルおよび地域気候モデルの陸域生態過程を BAIM2 にバージョンアップすることにより、物理的気象要素及び大気中二酸化炭素濃度の時間的・空間的変動と、陸域植生の物理的形状及び植生・土壌内炭素蓄積量の時間的・空間的変動の相互作用が full-couple で再現できるモデルを開発した。
- ・全球気候モデルについて検証を行った結果、大気中二酸化炭素濃度の南北半球における季節変化の違い、および年々増加の特徴などを再現できていることが分かった。また、植生タイプごとの炭素収支についても、その特徴を再現できていることが分かった。
- ・全球気候モデルによる数値実験を行った結果、アジア域熱帯林における植生変動は、地域的なエネルギー収支・炭素収支に有意な変動をもたらすことが明らかとなり、森林植生変動と気候変動・炭素循

環変動との関係に関する新たな科学的な知見が得られた。

- ・東アジア域を対象とした地域気候モデルによる数値実験を行った結果、東アジアにおける陸域生態系が介在した炭素循環と気候要因の変動の間には、地域ごとの典型的な関係があることが分かった。

成果発表一覧

1. 査読論文

1. Austin, J., K. Tourpali, E. Rozanov, H. Akiyoshi, S. Bekki, G. Bodeker, C. Bruhl, N. Butchart, M. Chipperfield, M. Deushi, V. I. Fomichev, M. A. Giorgetta, L. Gray, K. Kodera, F. Lott, E. Manzini, D. Marsh, K. Matthes, T. Nagashima, K. Shibata, R. S. Stolarski, H. Struthers, W. Tian, 2008: Coupled chemistry climate model simulations of the solar cycle in ozone and temperature, *J. Geophys. Res.*, **113**, D11306, doi:10.1029/2007JD009391.
2. Gettelman, A., T. Birner, V. Eyring, H. Akiyoshi, D. A. Plummer, M. Dameris, S. Bekki, F. Lefevre, F. Lott, C. Bruhl, K. Shibata, E. Rozanov, E. Mancini, G. Pitari, H. Struthers, W. Tian, and D. E. Kinnison, 2008: The tropical tropopause layer 1960-2100, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **8**, 1367-1413.
3. Mabuchi, K., K. Takahashi and K. N. Nasahara, 2008: Numerical investigation of climate factors impact on carbon cycle in the east Asian terrestrial ecosystem. *J. Meteor. Soc. Japan*. (accepted).
4. Naoe, H., S. Hasegawa, J. Heintzenberg, K. Okada, A. Uchiyama, Y. Zaizen, E. Kobayashi, A. Yamazaki, 2008: State of mixture of atmospheric submicrometer black carbon particles and its effect on particulate light absorption. *Atmospheric Environment*, (in press).
5. Shibata, K. and M. Deushi, 2008: Long-term variations and trends in the simulation of the middle atmosphere 1980-2004 by the chemistry-climate model of the Meteorological Research Institute, *Annales Geophysicae*, **26**, 1299-1326.
6. Son, S.-W., L. M. Polvani, D. W. Waugh, H. Akiyoshi, R. Garcia, D. Kinnison, S. Pawson, E. Rozanov, T. G. Shepherd, K. Shibata, 2008: The impact of stratospheric ozone recovery on the southern hemisphere westerly jet, *Science*, **320**, 1486-1489, doi:10.1126/science.1155939.
7. Tourpali, K., Bais, A. F., Kazantzidis, A., Zerefos, C. S., Akiyoshi, H., Austin, J., Bruhl, C., Butchart, N., Chipperfield, M. P., Dameris, M., Deushi, M., Eyring, V., Giorgetta, M. A., Kinnison, D. E., Mancini, E., Marsh, D. R., Nagashima, T., Pitari, G., Plummer, D. A., Rozanov, E., Shibata, K., and Tian, W., 2008: Clear sky UV simulations in the 21st century based on ozone and temperature projections from chemistry-climate models, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **8**, 13043-13062.
8. Charlton, J. A., L. M. Polvani, J. Perlwitz, F. Sassi, E. Manzini, K. Shibata, S. Pawson, J. E. Nielsen, and D. Rind, 2007: A new look at stratospheric sudden warmings. Part II. Evaluation of numerical model simulations, *J. Clim.*, **20**, 470-488, doi:10.1175/JCLI3994.1.
9. Eyring, V., D. W. Waugh, G. E. Bodeker, E. Cordero, H. Akiyoshi, J. Austin, S. R. Beagley, B. A. Boville, P. Braesicke, C. Bruhl, N. Butchart, M. P. Chipperfield, M. Dameris, R. Deckert, M. Deushi, S. M. Frith, R. R. Garcia, A. Gettelman, M. A. Giorgetta, D. E. Kinnison, E. Mancini, E. Manzini, D. R. Marsh, S. Matthes, T. Nagashima, P. A. Newman, J. E. Nielsen, S. Pawson, G. Pitari, D. A. Plummer, E. Rozanov, M. Schraner, J. F. Scinocca, K. Semeniuk, T. G. Shepherd, K. Shibata, B. Steil, R. S. Stolarski, W. Tian, and M. Yoshiki, 2007: Multimodel projections of stratospheric ozone in the 21st century, *J. Geophys. Res.*, **112**, D16303, doi:10.1029/2006JD008332.
10. Kodama, C., T. Iwasaki, K. Shibata, and S. Yukimoto, 2007: Changes in the stratospheric mean meridional circulation due to increased CO₂: Radiation- and sea surface temperature-induced effects, *J. Geophys. Res.*, **112**, D16103, doi:10.1029/2006JD008219.

11. Kuroda, Y. and K. Shibata, 2007: Simulation of solar-cycle modulation of the Southern Annular Mode using a chemistry-climate model, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L05703, doi:10.1029/2005GL025095.
12. Kuroda, Y., M. Deushi, and K. Shibata, 2007: Role of solar activity in the troposphere-stratosphere coupling in the southern hemisphere winter, *Geophys. Res. Lett.*, L21704, doi:10.1029/2007GL030983.
13. Obata, A., 2007: Climate-carbon cycle model response to freshwater discharge into the North Atlantic. *Journal of Climate*, **20**, 5962-5976. DOI: 10.1175/2007JCLI1808.1.
14. Tanaka, T. Y., Te. Aoki, H. Takahashi, K. Shibata, A. Uchiyama and M. Mikami, 2007: Sensitivity study of the optical properties of mineral dust on the direct aerosol radiative perturbation using a global aerosol transport model, *SOLA*, **3**, 033-036, doi:10.2151/sola.2007-009.
15. Butchart, N., A. A. Scaife, M. Bourqui, J. de Grandpre, S. H. E. Hare, J. Kettleborough, U. Langematz, E. Manzini, F. Sassi, K. Shibata, D. Shindell, and M. Sigmond, 2006: Simulation of anthropogenic change in the strength of the Brewer-Dobson circulation, *Climate Dynamics*, **27**, doi:10.1007/s00382-006-0162-4, 727-741.
16. Chubachi, S., K. Miyagawa and Y. Makino, 2005: A case study of the low total ozone event over Europe on 14 February, 2001, *International Journal of Remote Sensing*, **Vol. 26**, 3423-3431, DOI:10.1080/01431160500076459.
17. Eyring, V., N. Butchart, D. W. Waugh, H. Akiyoshi, J. Austin, S. Bekki, G. E. Bodeker, B. A. Boville, C. Bruhl, M. P. Chipperfield, E. Cordero, M. Dameris, M. Deushi, V. E. Fioletov, S. M. Frith, R. R. Garcia, A. Gettelman, M. A. Giorgetta, V. Grewe, L. Jourdain, D. E. Kinnison, E. Mancini, E. Manzini, M. Marchand, D. R. Marsh, T. Nagashima, P. A. Newman, J. E. Nielsen, S. Pawson, G. Pitari, D. A. Plummer, E. Rozanov, M. Schraner, T. G. Shepherd, K. Shibata, R. S. Stolarski, H. Struthers, W. Tian, and M. Yoshiki, 2006: Assessment of temperature, trace species and ozone in chemistry-climate model simulations of the recent past, *J. Geophys. Res.*, **111**, D22308, doi:10.1029/2006JD007327.
18. Kodera, K. and K. Shibata, 2006: Solar influence on the tropical stratosphere and troposphere in the northern summer, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L19704, doi:10.1029/2006GL026659.
19. Li, J. and K. Shibata, 2006: On the effective solar pathlength, *J. Atmos. Sci.*, **63**, 1365-1373.
20. Mabuchi, K. and H. Kida, 2006: On-line climate model simulation of the global carbon cycle and verification using the in situ observation data. In: Voinov, A., Jakeman, A., Rizzoli, A. (eds). Proceedings of the iEMSs Third Biennial Meeting: "Summit on Environmental Modelling and Software". *International Environmental Modelling and Software Society*, Burlington, USA, July 2006. CD-ROM.
21. Naoe, H., K. Okada, 2006: Modification of sea-salt particles in the remote marine atmosphere in the North Pacific. *Papers in Meteorology and Geophysics*, **57**, 47-54. doi:10.2467/mripapers.57.47.
22. Tanaka, T. Y. and M. Chiba, 2006: A numerical study of the contributions of dust source regions to the global dust budget, *Global and Planetary Change*, **52**, 88-104, doi:10.1016/j.gloplacha.2006.02.002.
23. Yukimoto, S., A. Noda, A. Kitoh, M. Hosaka, H. Yoshimura, T. Uchiyama, K. Shibata, O. Arakawa, and S. Kusunoki, 2006: Present-day climate and climate sensitivity in the Meteorological Research Institute coupled GCM version 2.3 (MRI-CGCM2.3), *Journal of Meteorological Society of Japan*, **84**, 333-363.
24. Chubachi, S., K. Miyagawa and Y. Makino, 2005: A case study of the low total ozone event over Europe on 14 February, 2001, *International Journal of Remote Sensing*, **Vol. 26**, 3423-3431, DOI:10.1080/01431160500076459.
25. Hirota, M., K. Miyagawa, K. Nagata, K. Shibata, T. Nagai, T. Fujimoto, Y. Makino, O. Uchino, and H. Fast, 2005: Apparent stratospheric ozone loss rate over Eureka in 1994/95, 1995/96, and 1996/97 inferred from ECC ozonesondes observations, *Polar*

- Meteorology and Glaciology*, **19**, 67-81.
26. Mabuchi, K., Y. Sato and H. Kida, 2005a: Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part I: Case of the Northern Hemisphere summer. *J. of Climate*, **18**, 410-428.
 27. Mabuchi, K., Y. Sato and H. Kida, 2005b: Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part II: Case of the Northern Hemisphere winter and impact on the extratropical circulation. *J. of Climate*, **18**, 429-446.
 28. Miyazaki, K., T. Iwasaki, K. Shibata and M. Deushi, 2005: Roles of transport in the seasonal variation of the total ozone amount, *J. Geophys. Res.*, **110**, D18309, doi:10.1029/2005JD005900.
 29. Miyazaki, K., T. Iwasaki, K. Shibata, M. Deushi and T. Sekiyama, 2005: The impact of changing meteorological variables to be assimilated into GCM on ozone simulation with MRI CTM, *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 909-918.
 30. Sekiyama, T. T. and K. Shibata, 2005: Predictability of total ozone using a global three-dimensional chemical transport model coupled with the MRI/JMA98 GCM, *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 2262-2274.
 31. Shibata, K. and M. Deushi, 2005: Partitioning between resolved wave forcing and unresolved gravity wave forcing to the quasi-biennial oscillation as revealed with a coupled chemistry-climate model, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L12820, doi:10.1029/2005GL022885.
 32. Shibata, K. and M. Deushi, 2005: Radiative effect of ozone on the quasi-biennial oscillation in the equatorial stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L24802, doi:10.1029/2005GL023433.
 33. Shibata, K., M. Deushi, T. T. Sekiyama, and H. Yoshimura, 2005: Development of an MRI chemical transport model for the study of stratospheric chemistry, *Papers in Meteorology and Geophysics*, **55**, 75-119.

2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. Alexandrov, G. A., D. Chan, M. Chen, K. Gurney, K. Higuchi, A. Ito, C. D. Jones, A. Komarov, K. Mabuchi, D. M. Matross, F. Veroustraete, and W. W. Verstraeten, 2008: Model-data fusion in studies of the terrestrial carbon sink. In A. J. Jakeman, A. A. Voinov, A. E. Rizzoli and S. H. Chen (eds.) *Developments in Integrated Environmental Assessment*, Vol. 3. **Environmental Modeling**, Software and Decision Support. Amsterdam: Elsevier, 329-344.
2. Shibata, K. and M. Deushi, 2008: Simulation of the stratospheric circulation and ozone during the recent past (1980-2004) with the MRI chemistry-climate model, *CGER's Supercomputer Monograph Report Vol.13*, National Institute for Environmental Studies, Japan, 154 pp.
3. 馬淵和雄, 2007: 物理気候モデルへの陸域生態システムの導入とそれによる圏間相互作用研究. 京都大学基礎物理学研究所「物性研究」88-4、507-512.
4. Matthes, K., K. Kodera, L. Gray, J. Austin, A. Kubin, U. Langematz, D. Marsh, J. McCormack, K. Shibata, D. Shindell, 2007: Report on the first SOLARIS workshop, *SPARC Newsletter*, **28**, 19-22.
5. Shibata, K. and M. Deushi, 2007: Solar signals of 11-year cycles in temperature and ozone in the middle atmosphere simulated with a chemistry-climate model of Meteorological Research Institute, *CGER's Supercomputer Activity Report Vol.14-2005*, 19-24, National Institute for Environmental Studies, Japan.
6. 田中泰宙, 2007: エアロゾル輸送モデルの開発と現業黄砂予報への応用, *日本風工学会誌*, **32** (3), 379-388.
7. Alexandrov, G. A., D. Chan, M. Chen, K. Gurney, K. Higuchi, A. Ito, C. D. Jones, A. Komarov, K. Mabuchi, D. M. Matross, F. Veroustraete, W. W. Verstraeten, 2006:

- Model-data fusion in the studies of terrestrial carbon sink. The iEMSs Third Biennial Meeting: "Summit on Environmental Modelling and Software". *International Environmental Modelling and Software Society*, Burlington, USA, July 2006. CD-ROM.
8. 忠鉢繁、2006；共同監修、*南極大図鑑*、小学館、PP208.
 9. Shibata, K. and M. Deushi, 2006: Radiative effect of ozone on the relation between dynamical field and ozone in the QBO: Simulation by the stratospheric chemical transport model of Meteorological Research Institute, *CGER's Supercomputer Activity Report Vo1.13-2004*, 19-24, National Institute for Environmental Studies, Japan.
 10. Tanaka T. Y., 2006: Current status of yellow sand forecasting research. *TCC News*, **5**, 6–7 Tokyo Climate Center.
 11. Shibata, K. and M. Deushi, 2005: Ozone QBO simulated by the stratospheric chemical transport model of Meteorological Research Institute (MJ98-CTM), *CGER's Supercomputer Activity Report Vo1.12-2003*, 41-50, National Institute for Environmental Studies, Japan,.
3. 口頭発表
1. Chubachi S. 2008: Total ozone amounts over the Antarctic in the polar night period, *QOS2008 アブストラクト*, CDROM.
 2. 出牛真・柴田清孝, 2008: 気象研究所全球化学気候モデルを用いた 2007 年 5 月 8 日、9 日の広域的な光化学オキシダント汚染の再現実験 *日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集*, P345.
 3. Deushi, M., and K. Shibata, 2008: Effects of the Eruption of Mount Pinatubo on the Quasi-Biennial Oscillation as Revealed with MRI Chemistry-Climate Model, *SPARC 2008 4th General Assembly Programme and Abstracts*, ID: 00411.
 4. 出牛真・柴田清孝・眞木貴史, 2008: 成層圏・対流圏の化学－気候研究および大気汚染予測に向けた成層圏・対流圏の化学－気候研究および大気汚染予測に向けた気象研究所化学気候モデルの構築, *第 14 回大気化学討論会*, P-02
 5. 馬淵和雄, 2008: アジア域熱帯林減少の地域的な水・炭素収支への影響に関する新たな数値実験について. *日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集*, 54.
 6. 馬淵和雄, 2008: アジア域熱帯林減少の地域的なエネルギー・炭素収支への影響 (II). *日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集*, 258.
 7. 直江寛明, 2008: 気液平衡を仮定した液相化学反応モデルの開発. *日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集*, C207.
 8. 直江寛明・長田和雄, 2008: 遠洋大気中における海塩粒子と低濃度 SO₂ について. *第 14 回大気化学討論会*, K-9.
 9. 直江寛明, 2008: 気液平衡を仮定した液相化学反応モデルの開発. *日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集*, C207.
 10. 直江寛明・柴田清孝, 2008: 北半球冬季に QBO が中高緯度へ与える力学的な影響. *日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集*, D166.
 11. 直江寛明・長田和雄, 2008: 遠洋大気中における海塩粒子と低濃度 SO₂ について. *第 14 回大気化学討論会*, K-9.
 12. 直江寛明・柴田清孝, 2008: 北半球冬季に QBO が中高緯度へ与える力学的な影響. *日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集*, D166.
 13. 小畑淳, 2008: 北大西洋への淡水流入に対する気候炭素循環モデルの応答, *日本地球惑星科学連合 2008 年大会*.
 14. Sekiyama, T. T., T. Y. Tanaka, and T. Miyoshi, 2008: Assimilation of Asian dust aerosol using a 4-dimensional local ensemble transform Kalman filter, *IGAC Conference*

2008 Abstracts.

15. Sekiyama, T. T., M. Deushi, and T. Miyoshi, 2008: Assimilation of total ozone using a local ensemble transform Kalman filter, *SPARC 2008 4th General Assembly Programme and Abstracts*.
16. Sekiyama, T. T., A. Smith, D. Marsh, and K. Matthes, 2008: Simulation of ozone and temperature responses to the 27-day solar variation: The influence of the quasi-biennial oscillation and the 11-year sunspot cycle, *Proceeding of the Quadrennial Ozone Symposium 2008 in Tromso*.
17. 関山剛・田中泰宙・三好建正, 2008: 4次元アンサンブル・カルマン・フィルタを用いた CALIPSO エアロゾル観測のデータ同化, 第14回大気化学討論会.
18. Tanaka, T. Y., 2008: Dust emission and deposition in global models, *Third international workshop on mineral dust*, Leipzig, Germany.
19. Tanaka, T. Y., 2008: Climatic effects of aerosols using the MRI Earth System Model. *JSPS-DFG Round Table on 'Climate System Research – Status and Perspective'*, Hamburg, Germany.
20. 田中泰宙, 出牛真, 坂見智法, 行本誠史, 他 温暖化特研グループ, 2008: 火山起源硫酸塩エアロゾルのシミュレーション: 20世紀の火山起源エアロゾルによる放射収支への影響, 日本気象学会 2008年度秋季大会講演予稿集, P194.
21. 忠鉢繁, 2007: 南極オゾンホール開始時期, 日本気象学会 2007年度春季大会講演予稿集, P206.
22. 忠鉢繁, 2007: 南極上空の極夜期間のオゾン全量, 日本気象学会 2007年度秋季大会講演予稿集, P310.
23. 出牛真・柴田清孝, 2007: 全球化学気候モデルで再現された火山性エアロゾルが成層圏赤道準二年振動に与える影響について. 日本地球惑星科学連合 2007年大会, F207-P006.
24. 出牛真・柴田清孝, 2007: 気象研究所対流圏—成層圏化学気候モデルの開発 —モデル概要と予備実験結果—. 日本気象学会 2007年度秋季大会講演予稿集, P317.
25. Deushi, M., and K. Shibata, 2007: Effects of volcanic eruptions on the quasi-biennial oscillation as revealed with MRI chemistry-climate model. *Second International Conference on Earth System Modelling*, A-00152.
26. Mabuchi, K., 2007: On-line simulation of global carbon cycle and regional carbon balance in the Asian tropical region using a terrestrial ecosystem model integrated into a global climate model. *Proceedings of The Second International Conference on Earth System Modeling*. Hamburg, Germany. CD-ROM.
27. 馬淵和雄, 高橋清利, 西田顕郎, 2007: BAIM2を導入した地域気候モデルにより再現された陸域植生 LAI の年々変動と衛星 NDVI による検証. 日本気象学会 2007年度秋季大会講演予稿集, 348.
28. 馬淵和雄, 2007: 陸域生態系モデルを導入した気候モデルによる 3次元炭素循環数値実験と大気中 CO₂ 観測データ利用の可能性. 第2回「航空機による大気観測データ利用小委員会」.
29. Mabuchi, K., 2007: Estimating components of the terrestrial carbon sink using BAIM. 国立環境研究所 OGED セミナー.
30. 直江寛明, 2007: DMS サイクルにおける海塩粒子への捕捉消失過程, 日本気象学会 2007年度春季大会講演予稿集, P111.
31. 直江寛明, 2007: 海塩エアロゾルが液相化学反応によって変質するメカニズム 日本気象学会 2007年度秋季大会講演予稿集, D216.
32. 小畑淳, 2007: 北大西洋への淡水流入に対する気候炭素循環モデルの応答—産業革命以後の温暖化実験について, 日本気象学会 2007年度春季大会講演予稿集.
33. 小畑淳, 2007: 気候炭素循環モデルによる地球環境変動評価, 気象庁・地球環境フロンティア研究センター研究懇談会第3回会合.

34. 関山剛・出牛真・三好建正, 2007: アンサンブル・カルマン・フィルタによるオゾン全量のデータ同化, 第13回大気化学討論会.
35. 関山剛・Anne Smith・Dan Marsh・Katja Matthes, 2007: 太陽活動の27日周期変動が中層大気に及ぼす影響: QBO及び太陽11年周期変動の影響を含んだシミュレーション, 第17回大気化学シンポジウム研究集会講演集.
36. 柴田清孝・出牛真, 2007: 気象研究所大気大循環モデルにおける突然昇温について(気候値ランと強制力ランの大昇温の比較) 日本気象学会、2007年度秋季大会講演予稿集、D308.
37. 柴田清孝・出牛真, 2007: 赤道成層圏準二年振動(QBO)の子午面構造(化学-気候モデル過去再現実験と観測との比較)、2007年度春季大会講演予稿集、D304.
38. Tanaka, T. Y., T. Aoki, and M. Hosaka, 2007: Climatic role of dust aerosol deposition on snow surface, *Third China-Korea-Japan joint conference on meteorology abstract collection*, 261.
39. Tanaka, T. Y., M. Deushi, T. Sakami, S. Yukimoto, and A. Noda, 2007: Simulation of the Aerosols produced by Mt. Pinatubo Eruption using MRI Earth System Model, *Second International Conference on Earth System Modelling*, ICESM2007-A-00114.
40. 田中泰宙, 出牛真, 坂見智法, 行本誠史, 他 温暖化特研グループ, 2007: 気象研究所地球システムモデルによるピナツボ火山起源エアロゾルのシミュレーション(その2): エアロゾルとオゾン光化学, 大気放射の相互作用, 日本気象学会 2007年度秋季大会講演予稿集, P118.
41. 田中泰宙, 出牛真, 坂見智法, 行本誠史, 野田彰, 他 温暖化特研グループ, 2007: エアロゾルモデルの気象研究所地球システムモデルへの結合と火山性エアロゾルによるエアロゾル・放射結合実験, 日本気象学会 2007年度春季大会講演予稿集, C105.
42. 田中泰宙, 2007: エアロゾル輸送モデルの開発について, 気象庁・FRCGC 第2回研究懇談会, 2007年1月, 海洋研究開発機構東京事務所.
43. 忠鉢 繁, 2006、南極極夜域のオゾン濃度の高度分布(南極オゾンホール開始時期)、日本気象学会 2006年度春季大会講演予稿集, P307.
44. 忠鉢 繁, 2006、南極オゾンホール開始時期、第29回極域気水圏・生物圏合同シンポジウムプログラム講演要旨、P16.
45. 忠鉢 繁、2006、平成18年度研究集会講演要旨集、南極オゾンホール開始時期(ドブソン分光光度計によるオゾン全量データの解析)、第17回大気化学シンポジウム.
46. 出牛真・柴田清孝, 2006: 化学気候モデルバリデーション(CCMVal)シナリオに基づいたオゾン層の再現および将来予測実験のトレンドを含む長期変動の解析. 日本気象学会 2006年度春季大会講演予稿集, B109.
47. 出牛真・柴田清孝, 2006: 成層圏化学気候モデルによる塩素リザーバーの長期的な濃度変動の再現精度の向上について. 日本気象学会 2006年度秋季大会講演予稿集, D103.
48. Deushi, M., and K. Shibata, 2006: Impacts of assimilation towards observed wind on the long-term trends of inorganic chlorine in the CCMVal REF1 simulation with MRI chemistry-climate model. *2006 AGU Fall Meeting*, A51B-0065.
49. 出牛真・柴田清孝, 2006: 気象研究所化学輸送モデルで再現された極渦内オゾン場の精度向上について. 日本気象学会 2005年度春季大会講演予稿集, P321.
50. 馬淵和雄、木田秀次、2006: アジア熱帯域森林植生変動が炭素循環に与える影響について—BAIM2を導入した全球気候モデルによる数値実験—. 日本気象学会 2006年度春季大会講演予稿集、68.
51. 馬淵和雄、高橋清利、木田秀次、2006: 近年の東アジア陸域における炭素収支変動の特徴—BAIM2を導入した地域気候モデルによる数値実験—. 日本気象学会 2006年度秋季大会講演予稿集、134.
52. Mabuchi, K. and H. Kida, 2006: Numerical experiment of the relationship between the carbon balance and the climate under deforestation conditions in the Asian tropical region. *Proceedings of The AGU 2006 Fall Meeting*, San Francisco, USA. CD-ROM.

53. 馬淵和雄、2006: 物理気候モデルへの陸域生態システムの導入とそれによる圏間相互作用研究. 「環境物理学—先端境界領域の創出へ向けて」研究会議
54. Mabuchi, K., H. Kida, 2006: On-line climate model simulation of the global carbon cycle and verification using the in situ observation data. *Third Biennial Meeting of International Environmental Modelling and Software Society*.
55. 直江寛明・柴田清孝・出牛真・田中泰宙, 2006: 対流圏硫酸塩エアロゾルモデルの開発. 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集, B107.
56. 直江寛明, 2006: 海洋大気中における硫黄サイクル. 日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集, D158.
57. 直江寛明, 2006: 海洋大気中における硫黄サイクル, 日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集, D158.
58. 小畑淳, 2006: 北大西洋への淡水流入に対する気候炭素循環モデルの応答, 日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集.
59. 田中泰宙, 青木輝夫, 高橋宙, 柴田清孝, 内山明博, 三上正男, 2006: 鉱物ダストが放射収支に及ぼす直接効果の光学特性による違い, 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集, P229.
60. 田中泰宙, 青木輝夫, 保坂征宏, 2006: エアロゾル沈着による雪氷面アルベド変化の感度実験, 日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集, D151.
61. 忠鉢繁、宮川幸治、牧野行雄、2005: 北半球オゾン「ミニ」ホールの統計的考察、日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, B104.
62. 忠鉢繁、宮川幸治、牧野行雄、2005: 北半球中高緯度に出現する小さなオゾン全量の統計的調査、第 28 回極域気水圏シンポジウム予稿集, 88.
63. 出牛真・柴田清孝, 2005: 全球化学輸送モデルにおける中緯度成層圏—対流圏物質交換の再現精度の検証. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, P145.
64. 出牛真・柴田清孝, 2005: モデルで再現される成層圏—対流圏物質交換の鉛直解像度依存性. 第 16 回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 229-231.
65. 馬淵和雄、木田秀次、2005: 陸面植生モデル BAIM Ver.2 (BAIM2) とそれを組み込んだ気候モデルによる数値実験 (II) . 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, 219.
66. Mabuchi, K. and H. Kida, 2005: On-line simulation study of the carbon cycle between land surface and the atmosphere using 3-D. global climate model. *Extended abstracts of The 7th International carbon dioxide conference*. CD-ROM.
67. 馬淵和雄、木田秀次、2005: 炭素循環システムの理解に向けた植生—大気 on-line 結合 3 次元気候モデルの開発. 炭素循環および温室効果ガス観測ワークショップ講演要旨集、138-139.
68. 馬淵和雄、木田秀次、2005: 陸面植生モデル BAIM2 を組み込んだ全球気候モデルによる炭素循環数値実験. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, 124.
69. 馬淵和雄、2005: 全球気候モデルを用いた植生と気候の相互作用に関する数値実験. 第 5 回名古屋大学地球水循環研究センター公開講演会講演要旨集、32-40.
70. 馬淵和雄、佐藤康雄、木田秀次、2005: アジア域熱帯林変動が気候に及ぼす影響について. 気候植生フォーラム.
71. 馬淵和雄、2005: 陸面モデル BAIM2 を組み込んだ 3 次元気候モデルによるアジアモンスーン域大気—陸面相互作用・水循環システムの解明. ポスト GAME 計画立案のための国内ワークショップ.
72. 馬淵和雄、2005: 植生モデル BAIM2 を導入した気候モデルによる炭素循環実験. 京都大学理学部セミナー.
73. 直江寛明・柴田清孝・出牛真、2005: 気象研究所対流圏エアロゾルモデルの開発—大気硫黄サイクル—、日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集、P151.
74. 直江寛明・岡田菊夫・内山明博・古林絵里子・山崎明宏・松瀬光太郎、2005: 大気煤粒子の混合状態と光吸収特性について 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, B302.

75. 小畑淳,2005:気候と炭素循環の相互作用－気象研モデルによる評価, 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集.
76. 小畑淳,2005:陸域二酸化炭素施肥効果の不確定性が温暖化予測に及ぼす影響, 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集.
77. 関山剛・柴田清孝・出牛真・小寺邦彦・J. L. Lean, 2005: 成層圏オゾンの 11 年周期太陽シグナル: 応答遅延のコンポジット解析, 第 11 回大気化学討論会.
78. 関山剛・柴田清孝・出牛真・小寺邦彦・J. L. Lean, 2005: 中層大気における微量化学成分の太陽周期変動シミュレーション, 第 15 回大気化学シンポジウム研究集会講演集.
79. 柴田清孝・出牛真, 2005: 熱帯成層圏準 2 年振動 (QBO) のシミュレーション: その 3 QBO の中高緯度への影響 (於 Interactive オゾンラン), 日本気象学会 2005 年度春季大会予稿集, D107.
80. 柴田清孝・出牛真, 2005: 太陽黒点 11 年周期の放射強制力, 日本気象学会 2005 年度秋季大会予稿集, D203.
81. 柴田清孝, 2005: Connection between the solar sunspot cycle and the middle atmosphere CAUSES workshop 2005 (第 6 回宇宙天気/気候シンポジウム).
82. 高橋 宙・柴田清孝・田中泰宙・今井宏治・千葉 長, 2005: 鉱物ダストの放射強制力～年々変動とその要因～, 日本気象学会 2005 年度秋季大会予稿集, P346
83. Deushi, M. and K. Shibata, 2004: Sensitivity of Age-of-air and Ozone to Vertical Resolution in Chemical Transport Model Coupled With a GCM, *Abstract of 2004 AGU Fall Meeting*.
84. 出牛真・柴田清孝, 2004: 気象研究所化学輸送モデルにおける熱帯下部成層圏オゾン場の精度向上について, 日本気象学会 2004 年度春季大会講演予稿集, P336.
85. 出牛真・柴田清孝, 2004: 気象研究所化学輸送モデルにおける輸送過程の精度評価, 日本気象学会 2004 年度春季大会講演予稿集, P379.
86. 出牛真・柴田清孝, 2004: モデルで再現された QBO の 2 次子午面循環とオゾン場の関係, 第 15 回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 278-281.
87. Dokiya, Y., Y. Igarashi, Y. Sawa, H. Takahashi, N. Kaneyasu, K. Yoshioka, Y. Katayama, T. Akagai, Atmospheric Chemistry Observation at the Summit of Mt. Fuji, 2004: A Proposal for a Permanent Ground Base Platform of Free Troposphere, *IGOS International Workshop "Towards the implementation of the Integrated Global Observing Strategy (IGOS)"*, Tokyo.
88. Dokiya, Y., Y. Igarashi, Y. Sawa, H. Takahashi, N. Kaneyasu, K. Yoshioka, Y. Katayama, T. Akagi, 2004: Mt. Fuji - A proposal for permanent ground base platform in the free tropospheric *8th International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Conference*, Christchurch NZ.
89. 五十嵐康人, 吉岡勝廣, 澤庸介, 小村和久, 高橋宙, 堤之智, 土器屋由紀子, 松枝秀和, 2004: ^7Be と ^{222}Rn を大気トレーサーとして利用した富士山頂での大気化学観測, 第 5 回「環境放射能」研究会, つくば.
90. Igarashi, Y., Y. Sawa, K. Yoshioka, H. Takahashi, H. Matsueda, K. Fujii, Y. Dokiya, Monitoring of SO_2 concentration at the summit of Mt. Fuji, 2004: *8th International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Conference*, Christchurch NZ.
91. 五十嵐康人, 澤庸介, 吉岡勝廣, 藤井憲治, 高橋宙, 松枝秀和, 土器屋由紀子, 2004: 富士山頂における SO_2 濃度季節変動, 第 10 回大気化学討論会, 東京.
92. M. Deushi and K. Shibata, 2004: Sensitivity of Age-of-air and Ozone to Vertical Resolution in Chemical Transport Model Coupled With a GCM, *2004 AGU Fall Meeting*, A21B-0723.
93. 馬淵和雄, 木田秀次, 2004: 陸面植生モデル BAIM Ver.2 (BAIM2) とそれを組み込んだ地域気候モデルによる予備的数値実験. 日本気象学会 2004 年度秋季大会講演予稿集. 119.
94. Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida, 2004: Climatic impact of vegetation change in the

- Asian tropical region. *Extended abstracts of The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME*. CD-ROM.
95. 馬淵和雄、2004: BAIM を導入した気候モデルによる数値実験. 「熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が熱帯林の水循環・生態系に与える影響」全体会議.
 96. 小畑淳、2004: 炭素循環気候モデルによる温暖化予測, 日本気象学会 2004 年度春季大会講演予稿集.
 97. 小畑淳、2004: 地球温暖化における陸と海の炭素循環の役割, 日本気象学会 2004 年度秋季大会講演予稿集.
 98. Sakane, Y., I. Suzuki, T. Akagi, S. Hatakeyama, H. Takahashi, Y. Sawa, Y. Igarashi and Y. Dokiya, 2004: Concentration of H₂O₂ at the Summit of Mt. Fuji: Summer-Autumn Campaigns '99, 01 and 02, *16th International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols (ICNAA)*, Kyoto, 789.
 99. Sekiyama, T. T., K. Shibata, M. Deushi, K. Kodera, and J. L. Lean, 2004: Stratospheric Ozone Variation Induced by the 11-Year Solar Cycle: Recent 40-Year Simulation using 3-D Chemical Transport Model with Reanalysis Data, *Eos Trans. AGU 2004 fall meeting*.
 100. Sekiyama, T. T., K. Shibata, M. Deushi, K. Kodera, and J. L. Lean, 2004: Stratospheric Ozone Variation Induced by the 11-Year Solar Cycle: Recent 40-Year Simulation with 3-D Chemical Transport Model Using Reanalysis Data, *Proceeding of the Quadrennial Ozone Symposium 2004 in Kos*.
 101. 関山剛・柴田清孝・出牛真・小寺邦彦・J. L. Lean, 2004: 成層圏におけるオゾンと気温の 11 年太陽周期変動: 3 次元化学輸送モデルと ECMWF 再解析値を用いた 40 年シミュレーション, 日本気象学会 2004 年度秋季大会講演予稿集, C120.
 102. Shibata, K. M. Deushi, and T. Sekiyama, 2004: Simulation of the response of stratospheric ozone and circulation to the 11-year solar cycle with 3-D CTM, *Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium 2004 in the island of Kos, Greece*, 787.
 103. Shibata, K. and M. Deushi, 2004: Effect of nudging and vertical resolution on ozone profiles simulated with MJ98-CTM, *Abstract of 8th International Global Atmospheric Chemistry Conference*, 71.
 104. 柴田清孝・出牛真、2004: 熱帯成層圏準 2 年振動 (QBO) のシミュレーション: その 1 Non-interactive オゾン、気象学会 2004 年度秋季大会予稿集、D156.
 105. 柴田清孝・出牛真、2004: 熱帯成層圏準 2 年振動 (QBO) のシミュレーション: その 2 Interactive オゾン、気象学会 2004 年度秋季大会予稿集、P342.
 106. 柴田清孝・出牛真、2004: 気象研究所化学輸送モデルにおける CTM と GCM の疎結合について、第 14 回大気化学シンポジウム研究集会講演集、110-111.
 107. Takahashi, H., Y. Igarashi, T. Tanaka, K. Yoshioka, N. Kaneyasu, K. Watanabe, Y. Dokiya, 2004: Mineral dust and black carbon at the summit of Mt. Fuji, *Abstract of 8th International Global Atmospheric Chemistry Conference*, 121.
 108. 高橋宙、五十嵐康人、田中泰宙、土器屋由紀子、渡辺幸一、2004: 富士山頂における LPC 観測とモデルによる再現～その 2 2003 年春期黄砂～、第 14 回大気化学シンポジウム研究集会講演集、133.
 109. 高橋宙、五十嵐康人、田中泰宙、土器屋由紀子、2004: 富士山頂における LPC 観測とモデルによる再現～その 2 2003 年春期ロシア森林火災～、第 14 回大気化学シンポジウム研究集会講演集、134.
 110. 高橋宙、田中泰宙、今井宏治、千葉長、柴田清孝、2004: 気象研エアロゾルモデル MASINGAR による鉱物ダストの放射強制力, 2004 年度日本気象学会秋季大会, 福岡, 198.
 111. Watanabe, K., Y. Takebe, N. Sode, H. Takahashi, Y. Igarashi and Y. Dokiya, 2004: Sea-Salt Components and Magnesium Loss in Rain Water at a High Elevation Site,

16th International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols (ICNAA),
Kyoto.

112. 財前祐二、田中泰宙、岡田菊夫、柴田清孝、2004 : エアロゾル輸送モデルを用いた PACE-7 観測結果の再現、*2004 年秋季気象学会予稿集* p337
113. 栗原和夫、馬淵和雄、佐々木秀孝、高藪出、小畑淳、村崎万代、山本哲、清野直子、三上正男、佐藤康雄、長友利晴、石原幸司、真木貴史、増田真次、日本の地域気候変動予測をめざして、気象研究所、*研究成果発表会発表用要旨集*.

地震・地殻変動観測データの高度利用に関する研究

研究期間：平成16年度～平成20年度

研究代表者：濱田信生¹⁾、伊藤秀美²⁾、森滋男³⁾、吉川澄夫⁴⁾（地震火山研究部長）

研究担当者

（副課題1）不均質な場を考慮に入れた震源パラメータ及び地震活動パラメータの推定手法に関する研究
前田憲二、干場充之⁴⁾、高山博之、中村雅基¹⁾、大竹和生⁵⁾、青木重樹⁴⁾、黒木英州⁶⁾、弘瀬冬樹⁷⁾、高山寛美²⁾、勝間田明男⁸⁾、林 豊⁹⁾、岩切一宏⁵⁾（地震火山研究部）、細野耕司¹⁾、西 政樹⁹⁾（気象庁地震火山部）中村雅基⁷⁾（気象大学校）

（副課題2）地震発生機構に関する研究

吉川澄夫¹⁾、勝間田明男⁷⁾、吉田康宏、山崎 明、青木重樹¹⁰⁾、岩切一宏⁸⁾、高山寛美¹¹⁾、前田憲二⁸⁾、林 豊（地震火山研究部）、青木重樹¹²⁾（気象庁地震火山部）、藤井郁子⁵⁾（地磁気観測所）、勝間田明男¹⁾（気象大学校）

（副課題3）地震サイクルの中で様々な時空間的特徴をもつ地殻変動に関する研究

吉川澄夫¹⁾、勝間田明男⁷⁾、小林昭夫、山本剛靖、高山寛美¹¹⁾、林 豊（地震火山研究部）

研究の目的

近年地震・地殻変動関係の全国基盤観測網の観測データが公開される体制が整備された結果、プレート間のスロースリップや、地殻底下部での低周波地震（微動）の発生など今まで予想されなかったような興味深い現象が次々と発見されている。このような新しい観測データの有効利用がすすめば、さらに色々な知見が得られることが期待されることから、今後の研究を効率よく進めるため、これら観測データの有機的に結合し、一層の有効利用のための手法の開発を進める。

研究の到達目標

地殻構造の不均質性については、内陸部の地殻については10kmメッシュの三次元構造モデルの確立と、その震源決定精度向上への応用技術の開発を目指す。地震活動については、高密度高感度の観測データを活用した巨大地震などの破壊過程の解析や地震発生準備過程の評価手法の改善を図る。地殻変動に関しては解析技術の向上によるS/N比の向上により、スロースリップなど各種変動の検出レベルの改善と、変動要因の分析による知見の蓄積をはかる。

研究計画の概要

下記の3つのサブ課題に沿って研究を行い、観測データの有効利用のための手法の開発を進める。

- ① 不均質な場を考慮に入れた震源パラメータ及び地震活動パラメータの推定手法に関する研究
- ② 地震発生機構と地殻構造に関する基礎的研究
- ③ 地震サイクルの中で様々な時空間的特徴をもつ地殻変動に関する研究

主な研究成果

- ・3次元不均質速度構造モデルを構築し、それを用いた詳細な震源分布の解析や、プレート形状の把握を行うことができた。
- ・地震波速度の不連続面の推定手法の改良により地殻構造の推定精度を向上させることができた。
- ・地震活動評価に関しては、物理モデルに基づく地震活動の変化の定量的予測の可能性を示すと共に、相似地震を1つのモデルとして、統計的地震発生予測における地震活動パラメータの推定方法の改良を行うなど、今後の地震活動の予測研究につながる研究成果をあげた。
- ・研究期間内に発生した大地震及び過去のいくつかの大地震の破壊過程の解析を行った。

¹⁾ 平成16年度、²⁾ 平成17～18年度、³⁾ 平成19年度、⁴⁾ 平成20年度、⁵⁾ 平成19～20年度、⁶⁾ 平成16～18年度、⁷⁾ 平成17～20年度、⁸⁾ 平成18～20年度、⁹⁾ 平成17年度、¹⁰⁾ 平成16～17年度、¹¹⁾ 平成16～19年度、¹²⁾ 平成18～19年度

- ・それぞれの地震の余震活動の解析により地殻内の複雑な断層構造の存在を明らかにし、地震ごとの余震活動度の違いを解明した。
- ・地震発生に至る過程の評価手法の改善については、規模の大きな地震でも同じ破壊を繰り返していることの確認・地殻変動に対応した地震活動等の変化の検知などの関連研究成果をあげた。
- ・地殻変動解析技術の向上による S/N 比の向上については、歪変化に対する降水・地下水位の影響の除去手法の研究を進め、数ヶ月から数年程度における変動検出レベルの改善が図られた。
- ・地殻変動の要因分析による知見の蓄積については、愛知県下の短期的スロースリップを中心に、変動源推定手法の改善を行い、その結果、それにより現象の解明が進んだ。
- ・海域の地殻変動観測技術の開発については、資料調査による既存技術・データ精度の検討にとどまった。
- ・気象庁および各管区気象台で実施予定の地震活動のレベル化に向けた準備の業務において、地震活動の推移を評価するための予備的処理ツールとして開発した「デクラスター処理プログラム」が使用されている。
- ・メカニズム解の自動決定手法、各種地震活動パラメータの推定プログラム（気象庁と共同開発）が気象庁業務に使用開始された。
- ・本研究で改良した近地加速度記録を利用する破壊過程解析プログラムの気象庁業務での使用が開始された。
- ・3 次元震源計算手法による震源分布を用いて地震火山部が作成した資料等が、地震防災対策強化地域判定会・地震調査委員会・地震予知連絡会等に提示され、地震活動の評価や東海地震の検討に利用された。
- ・近年発生した大地震の破壊過程解析や余震活動の詳細な調査を気象庁地震火山部と共同で実施した。これらの成果は地震調査委員会、地震予知連絡会等に提出され、地震活動の評価に利用された。
- ・愛知県および長野県南部の短期的スロースリップに関する解析結果について、地震防災対策強化地域判定会・地震調査委員会・地震予知連絡会等に報告した。
- ・東北大学と協力して、東北日本の沿岸で発生する相似地震の確率予測実験を開始した。
- ・DD トモグラフィーを用いた詳細なフィリピン海プレートの形状は当所の特別研究「東海地震の予測精度向上及び東南海・南海地震の発生準備過程の研究」に活用された。

今後に残された問題点

- ・大地震の破壊過程解析今後も精度や迅速性など更なる解析技術の向上が必要である。特に海域では陸域に比べて震源決定に必要な精度が得られていないことから、自己浮上式海底地震計の機動観測による構造モデルの改良などを通じ観測精度向上が求められる。
- ・海底地殻変動観測技術の開発が十分な成果を上げられなかった点については、海域の地殻変動を早期に捕捉することは重要な課題であるので今後も検討をおこなう。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

地震および地殻変動の分野の多岐にわたる研究項目を含んでおり研究目標も多かったが、各目標について一定の成果を上げていることは評価できる。

3 次元構造モデルが確立できたことにより、気象庁ルーチン業務で 1 次元モデルに基づき行っている震源決定の精度を今後飛躍的に向上させる可能性がある。この成果は地震活動評価の精度にも直結するものであり、ルーチン業務への早期導入が望まれる。大地震の破壊過程解析は、地震発生直後に緊急に開催される地震調査委員会や地震予知連絡会などの提出資料に使用されており気象庁業務に大きく貢献している。今後も精度や迅速性など更なる解析技術の向上が必要である。特に海域では陸域に比べて震源決定に必要な精度が得られていないことから、自己浮上式海底地震計の機動観測による構造モデルの改良などを通じ観測精度向上が求められる。

東海地域の歪計で初めて確認された短期的スロースリップについての本研究の事例解析の結果は、想定震源域周辺の現象として東海地震との関連性を位置づけるものであり、監視業務に貢献した業績は大きい。海底地殻変動観測技術の開発が十分な成果を上げられなかった点については体制が不十分であったということも原因と考えられるが、海域の地殻変動を早期に捕捉することは重要な課題であるので今後も検討の継続を期待する。

3つのサブ課題相互の関連性については他分野の研究者からは分かりにくい面もあったかもしれない。今後は地震と地殻変動の広い帯域の現象を説明できる物理モデルの確立に期待したい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 48 件
- ・口頭発表件数 116 件

(副課題1) 不均質な場を考慮に入れた震源パラメータ及び地震活動パラメータの推定手法に関する研究

副課題の到達目標

- ・全国を対象とした内陸浅部 10km、その他 20km メッシュの 3 次元速度構造モデルの確立と、それを用いた震源パラメータと地震活動パラメータの精度向上への応用技術の開発を目指す。また、火山等観測点分布の密な地域におけるより詳細なメッシュの 3 次元速度構造モデルを確立し、震源パラメータと地震活動パラメータの精度向上を目指す。さらに、3 次元速度構造をはじめとする不均質な場と、求められた震源パラメータや地震活動パラメータとの関連について明らかにする。

副課題の概要

- ・全国規模で 3 次元速度構造を内陸浅部 10km、その他 20km メッシュで求める。また、代表的な火山を対象として、より細かなメッシュで 3 次元速度構造を求める。
- ・求められた 3 次元速度構造に基づいた震源、発震機構の決定手法を開発する。また、3 次元速度構造をはじめとする不均質な場と、求められた震源パラメータとの関連について明らかにする。
- ・3 次元速度構造を用いて決定された震源パラメータを基に、群発地震活動等を対象にして時空間不均質性を考慮した地震活動パラメータの推定手法を開発する。また、3 次元速度構造をはじめとする不均質な場と、求められた地震活動パラメータとの関連について明らかにする。

副課題の成果

(3 次元速度構造および地殻構造の推定)

- ①日本全国を対象とした 3 次元速度構造について、気象庁一元化業務で得られたデータや海底地震計のデータ、さらには、屈折法探査の結果を用いて、当初の目標どおり、陸域については 10km、それ以外については 20km の高解像度のモデルを構築し、さらに、改良を重ねた。この 3 次元速度構造モデルを用いることにより、プレート形状に整合的な沖合の地震の震源分布が得られるようになるとともに、内陸の地震でもクラスター構造の識別が可能となるなどの改善が見られた。さらに、富士山付近・霧島山付近の詳細な 3 次元速度構造モデルを構築した。
- ②関東地方に沈み込むフィリピン海プレートの詳細な 3 次元構造を求め、この地域でのプレート形状モデルを構築した。さらに、微小地震までのメカニズム解を求めた。これらにより、関東直下に沈み込むプレートの凹凸がわかり、さらにはフィリピン海プレートばかりでなく、太平洋プレートも局所的に窪んでいることが新たに分かった。
- ③走時データを用いて不連続面の深さを推定する手法を改良し、これまで一例しかなかった日本列島域にわたるコンラッド面・モホ面の深さ分布推定結果を得た。
- ④鳥取沖および島根沖の測線において海底電磁気観測を実施した。得られた観測データを陸上での観測データと併せて解析することにより、深さ約 100km までの信頼度の高い比抵抗構造を得ることができた。

(地震活動パラメータの推定)

- ⑤応力変化と地震活動度変化を関連付ける地震発生の物理モデルに基づき、大地震の周辺における地震活動の変化を定量的に再現することを試みた。その結果、大地震による静的応力変化だけでなく、動的効果(地震動による影響)をも加味したモデルにより、実際の地震活動の変化をよく説明できることが分かった。
- ⑥地震活動パラメータの 1 つである b 値(規模別頻度分布の傾き係数)を詳細に調査し、海域でのアス

- ペリティ分布、長期的スロースリップの発生領域、プレート間カップリングの強弱、内陸大地震の発生域などとの関連性を示唆する結果を得た。また、地震発生層の深さを調査し、それが深くなると標高が高くなるという関係を見出した。これは、地下の温度構造の影響を反映したものと推定される。
- ⑦地震の長期確率予測について 40 余りの予測モデルを用いた予測実験を行い、ベイズ統計や小標本論（精密標本論）による予測モデルの予測成績が良いことを明らかにした。また、相似地震について種々の予測方式を検証し、予測手法のプロトタイプを作成した。
- ⑧P 波や S 波の初動の押し引きを自動的に読み取るアルゴリズムを開発し、また、実際のデータに対して適用することを行った。これにより、発震機構解を求める作業の効率化に結びついた。
- ⑨地震活動の評価をするために、地震活動の中で代表的な地震だけを抽出（デクラスター）する処理手法を開発した。
- （緊急地震速報の技術改良）
- ⑩緊急地震速報の震源決定手法の 1 つであるテリトリ法の改良を行ない、そのプロトタイプを作成した。B-Δ 法の海底地震計のデータへ適用の可否について解析を進め、おおむね適用できることを明らかにした。また、震度からマグニチュードを推定する手法として提案されている「震度マグニチュード」の適用を吟味し、その有効性を確認した。震度予測において、震度観測点に補正值を加えることを検討し、誤差を 10% 程度軽減できることを確認した。さらに、現在の緊急地震速報で用いられている方法で、震度の予測誤差をどの程度まで小さくできるのか、について調査し、誤差として 0.4 以下にすることが極めて難しいことを示した。

（副課題 2）地震発生機構と地殻構造に関する基礎的研究

副課題の到達目標

- ・地震データ等を用いて大地震の震源過程と地震活動の時空間変化にどのような関連性があるかを調べる。同時に地球物理データを用いて詳細な地殻内構造を明らかにし、地震活動との関連性について定量的な評価を行い、大地震の発生までに至る物理過程の解明を目指す。

副課題の概要

- ・既存の国内外の地震データ等を用い、震源過程と地震活動を解析する手法の高度化を行う。これらの手法を用いて従来よりも詳細な震源過程を求め、地震活動や応力降下量などとの関連性について調査を行う。
- ・地震学的手法等を用いて、地殻内不連続面等の構造を求める手法の高度化を図る。これらの手法を実際の観測データに適用し、構造や地殻物性の時空間分布を求め、震源過程や地震活動との関連性の解明を目指す。

副課題の成果

（大地震の破壊過程に関する事例解析）

- ①気象庁加速度計等の加速度記録を用いて、2003 年に起きた宮城県沖の地震（M7.1）と宮城県北部の地震（M6.4）・2004 年 11 月 29 日に起きた釧路沖の地震（M7.1）・2005 年 8 月 16 日に起きた宮城県沖の地震（M7.1）・平成 19 年（2007 年）能登半島地震（M6.9）等の破壊過程を明らかにした。
- ②2004 年 11 月 29 日の釧路沖の地震（M7.1）と 1961 年 8 月 12 日に同地域で起きた地震（M7.2）の強震計の波形を比較し、良く似た波形をした相似地震であることを明らかにした。
- ③遠地実体波を利用して、2006 年および 2007 年に発生した千島列島東方の地震の破壊過程や応力降下量を明らかにした。
- ④2005 年福岡県西方沖の地震（M7.0）の初期破壊過程、地震動の面的な分布を調べた結果、通常より遅い速度で初期破壊が伝搬したことを明らかにするとともに、大規模な平野・盆地では長周期地震動が生じ、建物被害が集中した場所では建物の固有周期付近の地震動が卓越し、それが局所的に励起されたものであることを明らかにした。
- ⑤破壊過程を複数の断層面上で推定する手法を開発し、2007 年中越沖地震（M6.8）が、共役な 2 つの断層面にわたり破壊が進行した可能性があることを明らかにした。

(大地震の余震活動調査)

- ⑥2004 年新潟県中越地震の余震分布を詳細に調査し、その複雑な断層配置を明らかにした。
- ⑦1945 年三河地震 (M6.8) 等の余震域周辺の現在の地震活動を詳細に調べ、それらの断層配置の推定を行った結果、断層配置が余震の活動度に関連していることが分かった。
- ⑧自己浮上式海底地震計観測により 2007 年中越沖地震 (M6.8) の詳細な余震分布を得た。

(副課題 3) 地震サイクルの中で様々な時空間的特徴をもつ地殻変動に関する研究

副課題の到達目標

- ・地殻変動データの解析技術の向上により、スロースリップなど各種変動の検出レベルの改善と、変動要因の分析による知見の蓄積をはかる。連続観測が困難とされる海域の地殻変動観測技術の開発を進める。

副課題の概要

- ・既存の地殻変動観測点における観測を継続し、観測データの S/N 比改善のための手法を高度化すると共に、広域の地殻変動観測データを総合的に処理解析するための解析手法を高度化する。これらの解析手法を用いて地震サイクルの中で様々な時空間的特徴を有する変動要因の分析・解明をはかる。
- ・地震に関連する海底下の地殻変動をリアルタイムに捉えるための手法として、音響学的手法、光学的手法など様々な測定技術を原理的側面と実用的側面から検討し、実現の可能性の高いものを見出す。

副課題の成果

(短期的スロースリップと低周波微動の活動調査)

- ①気象庁歪観測データや国土地理院 GPS データの調査・解析を行い、愛知県東部の短期的スロースリップ活動や富士山直下の地震活動と関連づけられる地殻変動を明らかにした。愛知県の短期的スロースリップによる歪変化の過去調査を行い、1984 年 7 月から 1999 年 8 月までの約 15 年間に 11 回、1999 年 9 月から 2005 年 8 月までの 6 年間に 20 回の歪変化を検出した。また、20 年以上の長期間にわたる短期的スロースリップの活動度変化を世界で初めて明らかにし、長期的スロースリップ発生期間には、短期的スロースリップが活発化していたことを明らかにした。
- ②深部低周波微動の発生間隔とスロースリップの発生の関係に注目して解析し、地殻変動として観測されているスロースリップに先行する微動活動の変化を明らかにした。深部低周波微動・地震発生要因として新たにプレート境界付近における脱水モデルを提案した。
- ③大域的最適化手法を利用し、観測データ以外の事前情報が少ない条件下において地殻変動源を推定するソフトウェアの開発を行い、短期的スロースリップによる歪観測データに適用した結果、事前情報が少なくても活動領域の違いを反映して異なる変動源も区別して推定できることを確認した。また、時間的に遷移する地殻変動源を推定するソフトウェアの開発を行い、2007 年 9 月から 10 月に発生した歪変化に適用した結果、短期的スロースリップが遷移的に移動したことを推定できることができた。

(地殻変動観測に及ぼす環境ノイズ除去手法の開発)

- ④歪観測に及ぼす降水・地下水位影響の除去手法の開発を行った。敦賀観測点の降水－歪関係について地下水流出過程を考慮することにより、数ヶ月から 1 年程度の周期における歪観測データへの降水の影響を概ね除去できることを示した。湯河原観測点の降水－地下水位－歪関係について同じ手法を適用することにより、観測点周辺の帯水層が多層構造をもつことが推定でき、さらに降水の影響の大半が除去できることを明らかにした。また、三ケ日体積歪観測点で観測された人工的な歪・水位変化が、近くの地下水の汲み上げに伴うことを明らかにし、歪・水位変化の特徴を透水係数の場所による違いを用いて説明しうることを明らかにした。
- ⑤海水中の測距技術について資料調査等を行い、ケーブル方式の距離変化測定法・水温影響等の改良法・データ精度等について検討を行った。房総沖ケーブル式海底圧力計データを利用して水温影響除去手法の適用を試みたが、房総沖のスロースリップに伴う地殻の上下変動の変化の検出には至らなかった。

成果発表一覧

1. 査読論文

1. Nakamura, M., 2004, Automatic determination of focal mechanism solutions using initial motion polarities of P and S waves, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **146**, 531-549.
2. 高山博之・吉田明夫、2005、クラスター活動の中で続いてさらに大きな地震が発生する現象を用いた M5 以上の地震の発生予測、*地震* **2**, **57**, 409-418.
3. 細野耕司・西 政樹・吉田明夫、2006: 内陸大地震の余震活動域の深さの時間変化, *地震* **2**, **59**, 29-37.
4. 明田川 保・伊藤秀美・弘瀬冬樹, 2006: X Window System を用いた地震検索・地震活動解析プログラム (REASA) の開発, *駿震時報* **70**, 51-66.
5. 伊藤秀美・明田川 保, 2006: 余震活動解析プログラムの改良, *駿震時報*, **70**, 15-28.
6. Yamamoto, J., H. Kagi, Y. Kawakami, N. Hirano, M. Nakamura, 2006: Paleo-Moho depth determined from the pressure of CO₂ fluid inclusions: Raman spectroscopic barometry of mantle- and crust-derived rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **253**, 369-377, DOI: 10.1016/j.epsl.2006.10.038.
7. Katsumata, A., 2007: Magnitude determination of deep-focus earthquakes in and around Japan with regional velocity-amplitude data, *Pap. Met. Geophys.*, **58**, 31-61.
8. 勝間田明男, 2007: 機械式地震計の周波数特性を持つ再帰型デジタルフィルター, *駿震時報*, **71**, 85-87.
9. 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川 昭, 2007, Double-Difference Tomography 法による関東地方の 3 次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, *地震* **2**, **60**, 123-138.
10. 岡田正実・高山博之・弘瀬冬樹・内田直希, 2007: 地震長期発生確率予測に使用する更新過程対数正規分布モデルのパラメータ事前分布, *地震* **2**, **60**, 85-100.
11. Hirose, F., J. Nakajima, and A. Hasegawa, 2008, Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, *J. Geophys. Res.*, **113**, B09315, doi:10.1029/2007JB005274.
12. Nakamura, M. et al. 2008: Three-dimensional P- and S-wave velocity structures beneath Japan, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **168**, 49-70.
13. 岡田正実: 繰り返し地震および余震の確率予測, 2008: *地震第2輯 60 周年記念特集号*, 投稿中.
14. Yoshida, Y. and D. Suetsugu, 2004: Lithospheric thickness beneath the Pitcairn hot spot trail as inferred from Rayleigh wave dispersion, *Phys. Earth Planet. Int.*, **146**, 75-85, doi:10.1016/j.pepi.2004.03.001.
15. 浜田信生・吉川一光・近藤さや・鎌谷紀子・明田川保・松浦律子・鈴木保典, 2004: 日本の震源カタログの改善—1923 年～1925 年部分の新規作成と 1926 年以降の改善—, *駿震時報*, **68**, 1-24.
16. Aoki, S., M. Nishi, K. Nakamura, T. Hashimoto, S. Yoshikawa, and H. M. Ito, 2005: Multi-planar structures in the aftershock distribution of the Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004, *Earth Planets Space*, **57**, 411-416.
17. 岩切一宏・増田与志郎, 2006: 2005 年福岡県西方沖の地震による地震動の特徴, *駿震時報*, **70**, 1-14.
18. Shinohara, M., T. Kanazawa, T. Yamada, K. Nakahigashi, S. Sakai, R. Hino, Y. Murai, A. Yamazaki, K. Obana, Y. Ito, K. Iwakiri, R. Miura, Y. Machida, K. Mochizuki, K. Uehira, M. Tahara, A. Kuwano, S. Amamiya, S. Kodaira, T. Takanami, Y. Kaneda, and T. Iwasaki, 2008: Precise aftershock distribution of the 2007 Chuetsu-oki Earthquake obtained by using an ocean bottom seismometer network, *Earth Planets Space*, **60**, 1121-1126.
19. 青木重樹・吉田知央, 2008: 震源過程, 「2006 年 11 月 15 日及び 2007 年 1 月 13 日の千島列島東方の地震」, *駿震時報*, **71**, 114-119.

20. Ide, S, K. Imanishi, Y. Yoshida, C. Beroza and D. R. Shelly, 2008: Bridging the gap between seismically and geodetically detected slow earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L10305, doi: 10.1029/2008GL034014.
 21. 鎌谷紀子・勝間田明男, 2004: 火山から離れた地域で発生している深部低周波微動・地震—その分布と発生原因—, *地震* **2**, **57**, 11-28.
 22. 吉田明夫・小林昭夫・塚越利光, 2006: 富士山直下の低周波地震活動は 2000 年秋になぜ活発化したか?, *地震* **2**, **58**, 401-406.
 23. 小林昭夫・山本剛靖・中村浩二・木村一洋, 2006: 歪計により観測された東海地域の短期スローリップ(1984~2005 年), *地震* **2**, **59**, 19-27.
 24. Takayama, H. and A. Yoshida, 2007: Crustal deformation in Kyushu derived from GEONET data, *Journal of Geophysical Research*, **112**, B06413, doi:10.1029/2006JB004690.
 25. Yamamoto, T., 2007: Continuous observation of crustal movement by the Japan Meteorological Agency, *Journal of the Geodetic Society of Japan*, **53**, 147-156.
 26. 吉田康宏・迫田浩司, 2009: 震源過程, 「平成 19 年(2007 年) 能登半島地震」, *験震時報*, **72**, 31-33.
 27. 林豊・前田憲二, 2009: 日本の主要活断層帯の古地震発生履歴を説明する更新過程の統計モデルの比較, *活断層研究*, **30**, 27-36.
2. 査読論文以外の著作物(翻訳、著書、解説)
1. 気象庁気象研究所・東京大学地震研究所, 2006: 硫黄島島の熱映像観測結果(2006 年 7 月 5 日), *第 105 回火山噴火予知連絡会会報*.
 2. 長谷川 昭・中島淳一・弘瀬冬樹, 2007: スラブ地殻内の相転移の深さと上面地震帯—短期的 ゆっくり滑り・深部低周波微動の発生を規定?—, *月刊地球*, **29**, 364-375.
 3. 岡田正実, 2007: 津波予警報システムの歴史. *津波の事典*, 朝倉書店, 309-312.
 4. Hoshiba, M., 2008: Nationwide earthquake early warning in Japan: Information before strong ground shaking, *UJNR Panel on Wind and Seismic Effects, Newsletter* (<http://www.pwri.go.jp/eng/ujnr/ujnr.htm>), **Vol.6**, No.3.
 5. 前田憲二, 2008: 大地震によって励起される地震活動の評価, 地震活動のモデルと予測に関する研究, *共同研究リポート*, 統計数理研究所, **211**, 99-106.
 6. 山崎 明・重野伸昭・山本輝明・熊谷佳子・伊藤信和, 鹿屋の絶対観測室内の磁気異常とその経年的安定性について, *2008: Conductivity Anomaly 研究会 2008 年論文集*, 106-111.
 7. 藤 浩明・笠谷貴史・下泉政志・新貝雅文・大志万直人・吉村令慧・塩崎一郎・山崎 明・藤井郁子・村上英記・山口 覚・上嶋 誠, *2008: 西南日本背弧の海底電磁気観測, Conductivity Anomaly 研究会 2008 年論文集*, 27-34.
 8. 青木重樹・西政樹・中村浩二・橋本徹夫・伊藤秀美, 2004: 日本地震学会ニュースレター表紙(平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震とその余震の震源分布図等), *日本地震学会ニュースレター*, **16**, 1-2.
 9. 伊藤秀美・弘瀬冬樹・中村浩二・吉田康宏・吉田明夫, 2005: 2003 年宮城県沖地震(M7.1)—断層モデルと前後の地震活動—, *月刊地球*, **27**, 8-16.
 10. 気象研究所地震火山研究部・気象庁地震予知情報課(青木重樹・西政樹・中村浩二・橋本徹夫・伊藤秀美), 2005: 平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震の余震分布に見られる二重の地震面, *地震予知連絡会会報*, **73**, 341-345.
 11. 青木重樹・西政樹・中村浩二・橋本徹夫・伊藤秀美, 2005: 平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震の全体像, *月刊地球*, **53**, 34-41.
 12. 青木重樹, 2005: 余震分布の詳細構造, *気象庁技術報告「平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震調査報告」*, **127**, 14-20.
 13. 伊藤秀美・弘瀬冬樹・中村浩二・吉田康宏・吉田明夫, 2005: 2003 年宮城県北部地震(M6.4)—断層モデルと前後の地震活動—, *月刊地球*, **27**, 92-99.
 14. 吉田康宏, 2005: 平成 15 年(2003 年)十勝沖地震調査報告, 1.3 近地震波解析による震

源過程, 気象庁技術報告, **126**, 9-14.

15. 吉田康宏, 2005: 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震調査報告, 1.3 震源過程, 気象庁技術報告, **127**, 7-11.
16. 気象庁・気象研究所, 2006: 歪計により観測された東海地域の短期的スロースリップ, 地震予知連絡会会報, **75**, 431-437.
17. 気象研究所(小林昭夫), 2007: 歪計により観測された東海地域の短期的スロースリップ(1984~2005 年), 地震予知連絡会会報, **77**, 498-503.
18. 鎌谷紀子・勝間田明男, 2007: 東海地域のスロースリップと深部低周波微動および地震活動変化, 月刊地球, **29**, 6, 397-405.
19. 吉田康宏・青木重樹・迫田浩司, 2008: 近地地震波形解析による震源過程, 気象庁技術報告「平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震調査報告」, **131**, 18-22.
20. 干場充之・松森敏幸, 2009: 地震の揺れの前に警報を —緊急地震速報—, 中国科学技術月報, (http://www.spc.jst.go.jp/trend/hottopics/r0901_hoshiba.html), 2009 年 1 月号, 27.
21. 干場充之・松森敏幸, 2009: 地震の揺れの前に警報を —緊急地震速報—, 中国・日本科学最前線 —研究の現場から—, 2009 年版, 231-234.

3. 口頭発表

1. 中村雅基, 2004: 3次元速度構造を用いた震源決定, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, S045-001.
2. 中村雅基, 2004: 3次元速度構造を用いた発震機構解の決定, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, S045-002.
3. 中村雅基・高木朗充・藤原健治, 2004: 富士山付近の P 波および S 波の 3次元速度構造, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, V055-P012.
4. 鍵 裕之・川上曜子・山本順司・中村雅基, 2004: マントル捕獲岩に含まれる二酸化炭素含有物の残留圧力測定によるモホ面の決定, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, K038-007.
5. 高山博之・細野耕司・吉田明夫, 2004: 気象庁震源データによる地殻内地震の深さ分布 (第 2 報), 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, S045-P003.
6. 高山博之・吉田明夫, 2004: クラスターの活動の中で更に大きな地震の発生は予測できるか? (改訂震源カタログを用いた場合), 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, S049-003.
7. 細野耕司・高山博之・吉田明夫, 2004: 地殻内地震発生層の深さとプレートの沈み込み, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, S053-002.
8. 細野耕司・吉田明夫, 2004: 2003 年宮城県沖地震に先行した震源域とその周辺の地震活動の変化, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, S045-010.
9. 野口伸一・吉田明夫・細野耕司, 2004: 関東地域下に沈み込むフィリピン海プレートの形状と地震テクトニクス, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, S045-013.
10. 安藤利彦・竹中博士・村越 匠・大財綾子・高山博之・仲底克彦・小河原隆広, 2004: レシーバ関数解析による松代直下に沈み込むスラブの検出, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, I021-P023.
11. 勝間田明男, 2004: 走時データ解析による日本列島下のモホ不連続面の深さの推定, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集, S053-P006.
12. Yamazaki, A., Y. Kumagai, N. Shigeno, and T. Ookawa, 2004: On the magnetic anomaly in the Kanoya's absolute observation room caused by dug the ground for setting up stable pillars, *XIth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing proceedings*, 157.
13. Yamazaki, A., S. Nakajima, and T. Ookawa, 2004: An investigation of anomalous magnetic secular changes caused by the falling of thunderbolts: A case study at Kusatsu-Shirane Volcano, *XIth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory*

- Instruments, Data Acquisition and Processing proceedings*, 240.
14. Ookawa, T., K. Koike, T. Tokumoto, S. Nakajima, T. Owada, and A. Yamazaki, 2004: The artificial disturbance monitoring observation with the urban development around the observatory, *XIth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing proceedings*, 252-255.
 15. 高木朗充・高山博之・前田憲二・中村雅基・黒木英州・卜部 卓, 2004: 硫黄島火山の地震活動, *日本火山学会 2004 年秋季大会予稿集*, B12.
 16. 細野耕司, 2004: 2004 年 9 月東海道沖の地震前にフィリピン海プレート内で見られた広域的な前駆的地震活動変化, *日本地震学会 2004 年秋季大会講演予稿集*, PK35.
 17. 勝間田明男, 2004: 走時データ解析による日本列島下のモホ不連続面の深さの推定(2), *日本地震学会 2004 年度秋季大会講演予稿集*, P129.
 18. Maruyama, T., K. Hosono, and A. Yoshida, 2004: LURR method and Seismic Quiescence: A Case study of the LURR method: To investigate change in the Y value before the 2000 western Tottori earthquake of M7.3 in Japan, *4th ACES Workshop in China*.
 19. 前田憲二, 2005: 応力ステップと地震活動度変化に基づく摩擦構成則パラメータ $A\sigma$ の推定—2003 年十勝沖地震により誘発された内陸地震の例—, *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, S044-005.
 20. 高山博之・前田憲二・吉田明夫, 2005: 地殻内地震のリアルタイム分離と活動の自動監視, *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, S045-P015.
 21. 高山博之・卜部卓・前田憲二・中村雅基・黒木英州・辻 浩, 2005: 硫黄島における地震観測, *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, S048-004.
 22. 中村雅基・坂井孝行・鍵山恒臣・増谷文雄, 2005: 霧島火山群の P 波および S 波の 3 次元速度構造, *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, V055-P027.
 23. 前田憲二, 2005: 地震活動度の応力ステップ応答に基づく応力蓄積率の推定, *日本地震学会 2005 年秋季大会*, C034.
 24. Maeda, K., 2006: Estimation of the fault constitutive parameter $A\sigma$ and stress accumulation rate from seismicity response to a large earthquake, *The 4th International Workshop on Statistical Seismology, proceedings*.
 25. 弘瀬冬樹・高山博之・前田憲二, 2006: 日本周辺の b 値の空間分布, *日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集*, S110-P015.
 26. 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川昭, 2006: Double-Difference Tomography 法によるフィリピン海スラブの速度構造の推定, *日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集*, S113-P009.
 27. 勝間田明男, 2006: 三次元不均質構造における震源計算の高速化(2), *日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集*, S113-P008.
 28. 前田憲二, 2006: 2003 年宮城県沖地震の誘発地震活動による応力蓄積率の推定, *日本地震学会 2006 年度秋季大会講演予稿集*, D057.
 29. 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川昭, 2006: Double-Difference Tomography 法によるフィリピン海スラブの速度構造の推定—その 2—, *日本地震学会 2006 年度秋季大会講演予稿集*, P178.
 30. 丹下豪・中村雅基・三上直也・山崎明, 2006: 海底地震計による臨時観測データを用いた 2004 年紀伊半島沖地震(前震・本震・余震)の震源再決定, *日本地震学会 2006 年度秋季大会講演予稿集*, P210.
 31. 勝間田明男, 2006: 震源計算のための三次元速度構造, *日本地震学会 2006 年度秋季大会講演予稿集*, C034.
 32. 勝間田明男, 2007: 三次元速度構造を用いた Double-Difference 震源決定による新潟県中越沖地震の余震分布, *日本地震学会 2007 年度秋季大会講演予稿集*, D31-12.
 33. 勝間田 明男, 2007: 1977 年以後の変位マグニチュードと速度マグニチュードの比較, *日本地震学会 2007 年秋季大会予稿集*, P3-31.
 34. 外勢康貴・中村雅基・笹部忠司, 2007: 布田川・日奈久断層帯周辺の 3 次元速度構造, *日本地*

球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, S152-P030.

35. 笹部忠司・中村雅基・外勢康貴, 2007: 鈴鹿東縁断層帯および養老一桑名一四日市断層帯における 3 次元速度構造, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, S152-P012.
36. 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川昭, 2007, Double-Difference Tomography 法による関東～九州下の 3 次元地震波速度構造およびフィリピン海スラブの形状の推定, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, S152-P018.
37. 中島淳一・長谷川昭・弘瀬冬樹, 2007, フィリピン海スラブ内の地震活動: 上面地震帯と起震応力場, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, S152-005.
38. 長谷川昭・中島淳一・弘瀬冬樹, 2007, フィリピン海スラブ地殻内の上面地震帯と相転移の深さ, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, S152-006.
39. 内田直希・松澤 暢・中島淳一・長谷川昭・弘瀬冬樹, 2007, 小繰り返し地震からの変換波による関東地方のフィリピン海プレートの形状推定, 日本地震学会 2007 年度秋季大会, B21-01.
40. Uchida, N., T. Matsuzawa, J. Nakajima, A. Hasegawa and F. Hirose, 2007, Configuration of the Philippine Sea plate in the Kanto district, Japan, estimated from SP and PS converted waves, *AGU Fall Meeting*.
41. 前田憲二, 2007: 静的および動的応力変化による地震活動度変化の評価, 日本地震学会 2007 年度講演予稿集, D32-08.
42. 前田憲二, 2007: 大地震によって励起される地震活動の評価, 統計数理研究所共同研究集会「地震活動のモデルと予測に関する研究」講演予稿集, 155-166.
43. 青木重樹, 2007: P 波初動極性を用いた発震機構解の動きうる範囲の評価について, 日本地球惑星科学連合 2007 年度大会予稿集, S151-P010.
44. 吉田明夫・細野耕司・高山寛美・前田憲二, 2007: 地震活動と地殻変動が示す和歌山群発地震活動域の下の熱い物質の存在, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, T154-P001.
45. 高山博之・細野耕司・吉田明夫, 2007: 地震発生層の深さと地形高度, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, S144-005.
46. 吉田明夫・細野耕司・高山博之, 2007: 中央構造線は熱いか?, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, T154-002.
47. 岡田正実・内田直希・高山博之・弘瀬冬樹・前田憲二, 2007: 北海道・東北東方沖で発生する相似波形地震の発生確率予測, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, S148-006.
48. 大竹和生・中村浩二・清本真司・渡邊幸弘・上垣内 修・齋藤 誠・長谷部大輔, 2007: 緊急地震速報に用いられるテリトリ法の改良, 日本地震学会 2007 年度秋季大会講演予稿集, A22-07.
49. 岩切一宏・大竹和生・清本真司・堀内茂木, 2007: 震度観測点への震度マグニチュードの適用, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, S145-P003.
50. Hoshiba, M., S. Takahama, Y. Ishikawa, S. Mori, H.M. Ito, 2007: Comparison of hypocenters determined using Jeffreys-Bullen and AK135 velocity models for Earthquakes in Japan, *IUGG2007, Abstract No.12791*.
51. 笠谷貴史・大志万直人・藤 浩明・下泉政志・塩崎一郎・吉村令慧・藤井郁子・山口覚・村上英記, 2007: 山陰地方における海域・陸域電磁気観測, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 122 回講演会予稿集, A003-11.
52. Oshiman, N., H. Toh, T. Kasaya, R. Yoshimura, M. Shimoizumi, I. Shiozaki, I. Fujii, M. Shingai, S. Yamaguchi, H. Murakami, A. Yamazaki and M. Uyeshima, 2007: Preliminary Report on Seafloor Electromagnetic Observations off Tottori in the Sea of Japan, *AGU Fall meeting*, GP33B-1255.
53. 森 滋男・干場充之・高濱 聡・石川有三・伊藤秀美, 2007: わが国とその周辺の地震についての ISC 震源の評価—ISC で利用を検討している速度構造モデル—, 日本地震学会 2007 年度秋季大会講演予稿集, P03-33.
54. 干場充之・澤田純男・岩田知孝, 2008: 地震波散乱理論を背景とした統計的グリーン関数のエ

- ンベロープ表現とその地域性、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会*, S146-P008.
55. 岩切一宏・中村浩二・山田安之, 2008: 最大速度の距離減衰式を利用した震度観測点の地盤増幅特性の検討、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会*, S146-P028.
 56. 前田憲二・弘瀬冬樹・高山博之, 2008: 地震サイクルシミュレーションによる東海地震震源域および周辺における地震活動度変化の評価、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, S142-016.
 57. 岡田正実・内田直希・前田憲二・高山博之, 2008: 種々の統計モデルによる相似地震の確率予測とその成績、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, S145-006.
 58. 中島淳一・長谷川 昭・弘瀬冬樹, 2008: 太平洋スラブとフィリピン海スラブの衝突による変形と関東地方の地震テクトニクス、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, J248-004.
 59. 細野耕司・弘瀬冬樹, 2008: 九州地方のフィリピン海スラブ内 b 値分布、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, S143-P020.
 60. 長谷川 昭・中島淳一・弘瀬冬樹・辻 優介・北 佐枝子・岡田知己・松澤 暢, 2008: スラブの衝突に起因する関東下のスラブ内地震の特異な分布と相転移の深さ、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, S147-006.
 61. 笠谷貴史・大志万直人・藤 浩明・下泉政志・塩崎一郎・吉村令慧・藤井郁子・山口 覚・村上英記・山崎 明, 2008: 海域・陸域データを用いた山陰地方の比抵抗構造、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, E110-011.
 62. 山崎 明・重野伸昭・山本輝明・伊藤信和, 2008: 絶対観測室内の磁気異常とその時間変化について、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, E111-P003.
 63. 勝間田 明男, 2008: 走時データ解析による日本列島下のモホ不連続面深さ推定(3) , *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, S147-001.
 64. Iman Suardi・勝間田 明男・上垣内 修, 2008: インドネシアにおける津波警報のための早期震源パラメーター決定、*日本地球惑星科学連合 2008 年大会*, S144-P010.
 65. 干場充之・大竹和生・岩切一宏・明田川 保・中村洋光・山本俊六, 2008: どこまで震度は正確に予測できるか?—現在の緊急地震速報の方法における予測震度のばらつきに関する一考察—、*日本地震工学会大会 2008 梗概集*, 198-199.
 66. Hoshiba, M., K. Ohtake, K. Iwakiri, T. Aketagawa, H. Nakamura, S. Yamamoto, 2008: How precise can we anticipate seismic intensities? -A study of fluctuation of anticipated seismic intensities by the method of current Earthquake Early Warning -, Programme and abstracts. *The 7 th general assembly of Asian Seismological Commision and the 2008 fall meeting of seismological society of Japan*, A32-01.
 67. Ohtake, K., K. Nakamura, Y. Yamada, T. Aketagawa, T. Matsumori, 2008: A preliminary study of applying the B-delta method to OBSs, Programme and abstracts. *The 7 th general assembly of Asian Seismological Commision and the 2008 fall meeting of seismological society of Japan*, A32-11.
 68. Hoshiba, M., 2008: Tsunami Warning, Earthquake Information, and Earthquake Early Warning in Japan -Development of recent 15 years-, *World Observatories Forum of 140th anniversary of Kandilli Observatory*, Turkey. proceedings.
 69. Maeda, K., 2008: Seismicity Rate Change Jointly Triggered by Static Stress Step and Dynamic Effect, *Evison Symposium on Seismogenesis and Earthquake Forecasting*, in Wellington, Proceedings, p.26.
 70. Maeda, K., F. Hirose, and H. Takayama, 2008: Simulated Seismicity Rate Variation Related to the Long-term Tokai Slow Slip, *The 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, X3-063.
 71. Okada, M., N. Uchida, H. Takayama, and K. Maeda, 2008: A statistical prediction experiment and its testing for interplate small repeating earthquakes by renewal

- models. *Programme and Abstract of 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and 2008 Fall Meeting of Seismological Society of Japan*, 336.
72. 岡田正実・内田直希・前田憲二・高山博之, 2008: 相似地震の確率予測実験—統計モデルの成績と展望—. *地震・火山噴火予知研究計画シンポジウム*. 公開ホームページ
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/nenji/2008PPT/okada.pdf>
 73. 岡田正実・内田直希・高山博之, 2008: 相似地震の確率予測実験と成績検証. *研究集会「地震活動の物理・統計モデルと発生予測」*, 公開ホームページ
<http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/viewdoc/ZISINyosoku/18okada.pdf>.
 74. 青木重樹, 2004: 平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震の余震分布に見られる二重の地震面, *平成 16 年度気象研究所研究成果発表会要旨集*, 6.
 75. 青木重樹・西政樹・中村浩二・橋本徹夫・吉川澄夫・伊藤 秀美, 2005: 平成 16 年新潟県中越地震の余震分布に見られる複数の地震面, *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, S101-003.
 76. 青木重樹・浜田信生・吉田康宏, 2005: 一元化震源でみる余震活動度の高い過去の内陸地震の痕跡—1945 年三河地震(MJMA6.8)と 1943 年鳥取地震(MJMA7.2)—, *日本地震学会 2005 年度秋季大会講演予稿集*, P052.
 77. 吉田康宏・吉田知央・中村浩二・明田川保, 2005: 2004 年 11 月 29 日に起きた釧路沖地震の余震活動と震源過程, *地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会予稿集*, S052-007.
 78. 青木重樹, 2006: 活発な余震活動を伴った内陸地震の複雑な断層配置—平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震と 1945 年三河地震の解析結果—, *北淡活断層シンポジウム 2006 講演要旨集*, 63-66.
 79. 青木重樹・浜田信生, 2006: 国内の内陸地震の断層配置とその最大余震, *日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集*, S110-P011.
 80. 鎌谷紀子・弘瀬冬樹・山田安之・西政樹・林元直樹・碓井勇二・吉川澄夫・勝間田明男, 2007: 東海地震の想定震源域地殻内の地震活動変化とその意味, *日本地震学会 2007 年秋季大会予稿集*, B11-05.
 81. 鎌谷紀子・勝間田明男, 2007: 東海長期的スロースリップの進行に伴うスラブ内静穏化領域の拡大, *日本地球惑星科学連合 2007 年度大会予稿集*, S231-002.
 82. 平田直・佐藤比呂志・金沢敏彦・酒井慎一・岩崎貴哉・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・高波鉄夫・村井芳夫・日野亮太・伊藤喜宏・植平賢司・小平秀一・山崎明, 2007: 2007 年新潟県中越沖地震の余震活動と本震震源断層, *日本地震学会 2007 年秋季大会予稿集*, A11-05.
 83. 篠原雅尚・金沢敏彦・山田知朗・望月公廣・中東和夫・桑野亜佐子・橋本信一・八木健夫・村井芳夫・町田裕弥・三浦亮・雨宮晋一郎・高波鉄夫・日野亮太・伊藤喜宏・植平賢司・内田和也・田原道崇・尾鼻浩一郎・小平秀一・金田義行・山崎明・岩切一宏, 2007: 海底地震計を用いた 2007 年新潟県中越沖地震の余震観測, *日本地震学会 2007 年秋季大会予稿集*, P1-058.
 84. 鎌谷紀子・明田川 保・阿南恒明・福満修一郎・林元直樹・吉田知央・青木重樹・五十嵐陽子・菅沼一成・森脇健・太田健治・林 幹太・浦田紀子・桑山辰夫・吉川澄夫, 2007: 2006 年 11 月と 2007 年 1 月の千島列島東方の地震について, *日本地球惑星科学連合 2007 年度大会予稿集*, S144-P016.
 85. 井出 哲・今西和俊・吉田康宏: 100 秒程度のゆっくり地震広帯域微動解析による検証, *日本地震学会 2007 年秋季大会*, C21-02.
 86. Ide, S., K. Imanishi and Y. Yoshida, 2007: *Slow earthquakes with duration of about 100 s suggested by the scaling law*, *AGU Fall Meeting*, T13F-06.
 87. 篠原雅尚・金沢敏彦・山田知朗・中東和夫・酒井慎一・加藤愛太郎・平田 直・岩崎貴哉・高波鉄夫・村井芳夫・日野亮太・伊藤喜宏・植平賢司・小平秀一・山崎 明, 2008: 海陸高密度地震観測網による余震分布から推定した平成 19 年新潟県中越沖地震の断層面, *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*,

88. M. Shinohara, T. Kanazawa, T. Yamada, A. Kuwano, K. Nakahigashi, K. Mochizuki, S. Sakai, A. Kato, N. Hirata, T. Iwasaki, T. Takanami, Y. Murai, R. Hino, Y. Ito, K. Uehira, S. Kodaira, A. Yamazaki, and Group for the aftershock observation of the 2007 Niigataken Chuetsu-oki Earthquake, 2008: Velocity structure and aftershock distribution of the Chuetsu-oki Earthquake by a dense marine and seismic network, *The 7th general assembly of Asian seismological commission*,
89. 中橋正樹・勝間田明男・鎌谷紀子, 2004: S波振動方向とP/S振幅比による深部低周波地震・微動の発震機構の推定, *2004年地球惑星科学関連学会予稿集*, S045-P007.
90. 石垣祐三・鎌谷紀子・勝間田明男・小沢慎三郎, 2004: 東海スロースリップと低周波微動活動の同期について, *2004年地球惑星科学関連学会予稿集*, S045-016.
91. 勝間田明男・鎌谷紀子, 2004: デコンボリューションを用いた深部低周波微動の震源決定, *日本地震学会 2004年度秋季大会講演予稿集*, A006.
92. 勝間田明男・鎌谷紀子, 2004: 深部低周波地震の発生機構について, *日本地震学会 2004年度秋季大会講演予稿集*, P166.
93. Katsumata, A., 2004: Low-frequency tremor and slow slip around the probable source region of the Tokai earthquake: *A indicator for the Tokai earthquake prediction provided by unified seismic networks in Japan*, UJNR2004.
94. 山本剛靖・小林昭夫・吉川澄夫, 2004: 近畿地方北部における地殻変動連続観測, *日本測地学会 第102回講演会要旨*, 189-190.
95. 勝間田明男・鎌谷紀子, 2005: 深部低周波微動の活動間隔とスロースリップイベントの予知, *2005年地球惑星科学関連学会予稿集*, S045-002.
96. 鎌谷紀子・勝間田明男, 2005: 連続波形の解析で見えてきた1999年以前の深部低周波微動活動ー愛知県東部ー, *2005年地球惑星科学関連学会予稿集*, S045-001.
97. 勝間田明男・鎌谷紀子, 2005: 深部低周波微動の活動間隔とスロースリップイベントの予知(2), *日本地震学会 2005年秋季大会講演予稿集*, P041.
98. 鎌谷紀子・勝間田明男, 2005: 深部低周波微動発生の新モデルー歪計でとらえた愛知県東部の短期的スロースリップと深部低周波微動活動の同期が示唆するものー, *日本地震学会 2005年秋季大会講演予稿集*, C022.
99. 中村浩二・吉川澄夫・橋本徹夫・竹中 潤・木村一洋・青木玲子・露木貴裕・菅沼一成・高野 淳・小林昭夫・山本剛靖, 2005: 2005年7月東海地域で観測された短期的スロースリップ, *日本地震学会 2005年秋季大会講演予稿集*, P019.
100. 小林昭夫・山本剛靖・中村浩二・吉川澄夫・橋本徹夫・竹中 潤・木村一洋・青木玲子・露木貴裕・菅沼一成・高野 淳, 2005: 東海地域で歪計により観測された短期的スロースリップ, *日本測地学会 第104回講演会要旨*, 70.
101. 小林昭夫・山本剛靖・中村浩二・木村一洋, 2006: 愛知県短期的スロースリップの歪計による過去調査, *日本地球惑星科学連合 2006年大会予稿集*, J241-P001.
102. 小林昭夫・吉田明夫, 2006: 2000年以降の東海・中部地域における地殻変動, *日本地球惑星科学連合 2006年大会予稿集*, D124-P004.
103. 山本剛靖・小林昭夫, 2006: 敦賀観測点における歪の季節変化について, *日本地球惑星科学連合 2006年大会予稿集*, D124-P016.
104. 勝間田明男・鎌谷紀子, 2006: 深部低周波微動・地震の発生機構, *日本地球惑星科学連合 2006年大会予稿集*, J241-013.
105. 鎌谷紀子・勝間田明男, 2006: 深部低周波微動活動とフィリピン海プレート内地震の静穏化, *日本地球惑星科学連合 2006年大会予稿集*, J241-012.
106. 山本剛靖・小林昭夫, 2006: 大域的最適化手法による断層パラメータの推定, *日本測地学会 第106回講演会要旨*, 68.
107. 鎌谷紀子・勝間田明男, 2006: 東海長期的スロースリップに伴う地震活動の変化とテクトニクスモデル, *日本地震学会 2006年度秋季大会講演予稿集*, A005.
108. 小林昭夫, 2007: 愛知県短期的スロースリップの過去調査ー低周波地震の確認ー, *日本地球惑*

星科学連合 2007 年大会予稿集, S229-P006.

109. 勝間田明男・鎌谷紀子, 2007: 深部低周波地震発生域のマントル上部速度構造, *日本地球惑星科学連合 2007 年度大会予稿集*, S229-008.
110. 山本剛靖・小林昭夫, 2007: 敦賀観測点における地殻変動観測への JR 北陸線直流化の影響, *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, D107-P001.
111. 山本剛靖・小林昭夫, 2007: 湯河原観測点における降水量・地下水位・歪の関係, *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, D107-P002.
112. 小林昭夫・吉田明夫, 2007: 2000 年伊豆イベント後の伊豆諸島間の距離変化とそのテクトニックな意義, *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, D107-P003.
113. 小林昭夫・山本剛靖・近澤 心・木村一洋・吉田明夫, 2008: 三ヶ日観測点における地下水の汲み上げによる体積歪変化, *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, D107-P002.
114. 山本剛靖・小林昭夫, 2008: 愛知県東部における短期的ゆっくりすべりの時間発展インバージョン, *日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集*, D107-P003.
115. Katsumata, A. and N. Kamaya, 2008: Deep tremor activity before and after the Tokai long-term slow-slip event, *The 7th general assembly of Asian seismological commission*, D31-04.
116. Katsumata, A. and N. Kamaya, 2008: Quiescent period variation of deep tremor prior to slow-slip events in southwest Japan, *AGU 2008 Fall Meeting*, U33A-0032.

日本の異常気象の実態及び気候変動との関連に関する研究

研究期間： 平成 17 年度～平成 20 年度

研究代表者： 藤部文昭（予報研究部 第三研究室長）

研究担当者

（副課題 1）日本の異常気象の実態とその長期変動に関する研究

藤部文昭、清野直子⁷⁾（予報研究部）、山崎信雄¹⁾、千葉 長⁵⁾（気候研究部）、栗原和夫、馬淵和雄⁴⁾、佐々木秀孝、高藪 出、小畑 淳³⁾、村崎万代、内山貴雄⁵⁾（環境・応用気象研究部）

（副課題 2）日本の異常気象と大気循環場との関連に関する研究

山崎信雄¹⁾、千葉 長⁵⁾、高橋清利³⁾、田中 実、釜堀弘隆⁴⁾、石原幸司⁵⁾、仲江川敏之、鬼頭昭雄²⁾、新藤永樹⁶⁾（気候研究部）、萩野谷成徳（物理気象研究部）、栗原和夫⁶⁾、高藪 出⁶⁾（環境・応用気象研究部）、中澤哲夫³⁾（台風研究部）

研究の目的

2004 年の猛暑や豪雨、相次ぐ台風の上陸に象徴されるように、近年日本では異常気象の多発に対する社会的関心が高まり、気象庁として情報を提供していくことが求められている。本研究はこのような情報提供に資するよう、日本の異常気象（豪雨、異常高温、台風の接近・上陸数など）について詳細な実態把握を行うとともに、気候変動との関連を明らかにすることを目的とする。

研究の到達目標

日本の異常気象（豪雨、異常高温等）の長期変動を明らかにするとともに、都市化の寄与や東アジア域の異常気象及び大規模循環場の変動との関連についての解明を目指す。得られた研究成果を、日本の異常気象の実態と気候変動との関連に関する科学的知見として取りまとめる。

研究計画の概要

日本における過去 100 年間の異常気象（豪雨、異常高温等）の変動を解析し、それらの地域的、時間的特性を明らかにするとともに、長期変動における大規模場の変動と都市化の寄与を分離する。また、地域気候モデルを用いて日本域の気候変動研究に利用できる高解像度データセットを作成する。

長期再解析データ等を利用して、大気循環場の変動とりわけ東アジアの異常気象の時間空間的特性を解析し、その結果に基づいて日本の異常気象の広域的特徴を見出す。また、台風の移動経路と循環場との関係を調べ、その長期変動特性を明らかにする。

主な研究成果

日本の異常気象の長期変動について、降水（大雨・少雨）については 100 余年、気温（高・低温）については 75 年間にわたる変動実態を明らかにした。加えて、降水についてはその空間的集中度の変化、気温については都市効果の寄与の評価を行った。一方、20km 解像度の地域気候モデルにより、再解析データ（JRA-25）のダウンスケーリングが可能であることを確認し、それに基づく日本域のダウンスケーリングデータ作成を完了するとともに、その精度の検証を実施した。これにより、JRA-25 の全期間にわたる 20km 解像度のデータセットが作成できた。

アジア地域の降水分布について、JRA-25 と地点観測・衛星観測から導出されたものとの比較検証を行い、おおむね JRA-25 が、観測された降水を再現していること、特に日本に近い東アジア域での再現性が良いことを確認した。また、アジア地域の気温、気圧の観測データを収集・整理し、冬季及び夏季について気温、気圧の長期的変動を明らかにした。数値実験を通した夏の気温変動に及ぼす海面水温の影響評価の実験においては、観測に見出される冷夏、暑夏の特徴が再現され、異常気象のメカニズム解明につながるものと期待できる結果が得られるとともに、直接的な海の影響の定量化についての道筋を与える結果が得られた。加えて、蒸発散量の推定に関して長年にわたって使われている NDVI から求

¹⁾ 平成 17 年度、²⁾ 平成 17-18 年度、³⁾ 平成 17-19 年度、⁴⁾ 平成 17、20 年度、⁵⁾ 平成 18-20 年度、

⁶⁾ 平成 19-20 年度、⁷⁾ 平成 20 年度。

める方法を開発し、台風の移動経路と中緯度および熱帯の循環場との関係に関して再解析データを用いて台風経路の長期変動特性を明らかにすることができた。

今後に残された問題点

- ・異常気象をもたらす顕著現象の長期変動の実態が統計的な観点から明らかにされたが、その変化の気象学的実態はまだよく理解されていない。個々の顕著現象に対する分析的な研究など、よりきめ細かい解析が求められる。また、大規模場の変動と都市化によるものとの分離については、もっと長期間を対象にした解析が望まれる。データ整備をさらに進めることによってそのような研究を行うことが求められる。また、近年はスケールの小さい微気候的効果が気候変動に与える影響が問題視されており、これについての評価を併せて進めていく必要がある。
- ・日本の気候変動、特に異常気象に関する研究のためには高解像度のダウンスケーリングデータが有用である。本研究で解像度 20km の約 25 年間のデータを作成したが、観測と比較しながら背景場の長期的な変動を調べるためには、より長期間のデータが必要である。特に異常気象に関しては現象の水平スケールが小さい場合が多く、また地形の効果も重要であるなど、20km の解像度では必ずしも十分でないため、数 km の解像度で、対流を陽に取り扱えるモデルによるダウンスケーリングを行う必要があり、このためのモデルや、ダウンスケーリング手法の開発、結果に関する精度評価手法の検討などが課題となる。また日本の気候変動にはより広い範囲での気候状況が影響を及ぼしている花王製があり、このためにアジア域におけるダウンスケーリングデータ作成の可能性も検討する必要がある。
- ・日本及びアジアにおける降水量の観測に基づくデータベースの整備が進められ、JRA-25 再解析データとの比較検証がより簡便に且つ高精度で行えるようになってきている。再解析データはおおむね観測の様子を再現しているが、なお解析方法や衛星データの導入などによる影響が大きく、次期再解析の精度向上にこれまでの解析結果を踏まえながら貢献することが求められる。
- ・日本及びその周辺の気温変動は冬季は PDO の影響が大きいようであるが、ENSO との関係も含めた長期的な解析が必要であり、そのためのデータの整備をさらに進めていくべきである。温暖化の指標となる世界の平均気温の算出においても、データ（まだ利用されていないデータ）の掘り起しが重要である。
- ・蒸発散量の分布図作成に使用した地表面被覆状態のデータセットは、耕作地が 1 種類の分類になっている。実際には無次元蒸発量が水田で 0.8、畑で 0.6 と大きく異なる。地表面被覆状態において耕作地を水田と畑の 2 種類に分類したものをを用い、蒸発量マップを作成するとともに、得られたマップと JRA-25 などの既存の結果との比較を行うことが求められる。
- ・数値モデルを用いた実験から、気温や大気循環が海面水温だけでは一義的に決まらないことも明らかにされた。しかしながら実験結果の中には、観測に見出されるような気温や降雨の変動が再現されており、発生のメカニズムに踏み込んだ実験結果の解析を深めることが必要と考えられる。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

日本の異常気象の実態解明については、豪雨、異常高温など異常気象が多発したことや、温暖化との関連で社会的関心も高く時期を得た研究である。

各サブ課題においては、日本及び東アジア域において各種気象観測の長期データセットを整備したこと、その中から強雨/少雨の有意な頻度増加の長期傾向を示したことや、チベット域での蒸発散データから気候湿潤度の分布傾向について示したこと、JRA-25 を外部境界条件とする 20km ダウンスケーリングデータを作成したことなどの成果が生み出されており、概ね目標を達成しているものと評価できる。しかしながら、各サブ課題相互の連携については残念ながら不十分であったと言える。例えば、サブ課題 1 の②地域気候モデルによるダウンスケーリングの検証、サブ課題 1 の①の日本の異常気象の長期変動、サブ課題 2 の①の長期再解析の検証の比較検討などが不十分である。また、サブ課題の中でも、例えばサブ課題 2 の①で取り上げている項目は相互に関連が乏しく、結果として、自己評価にある通り掘り下げが不足という感が否めない。東アジアの蒸発量については、マップを完成させ観測データで検証するとともに、再解析データと比較検討するなど成果の活用が必要である。サブ課題 2 の②の台風経路の年々変動についても、一定の成果が得られてはいるが、掘り下げ不足の印象が残る。観測データのデジタル化、再解析データの利用というのは画期的な研究環境の変化であり、今後は融合型研究の利点を活かし、さらなる研究の発展に努めてほしい。また、20km ダウンスケーリングデータのアジア他地域への拡張を行うことも今後の研究の発展方向の 1 つと言える。

研究成果の発表については、論文としてだけでなく、各種のシンポジウムや講演会で発表されてお

り、マスコミにも注目、掲載されたものも多く、アウトリーチの面では高く評価できる。社会的関心が高い研究であることから、学会向けの英文の論文だけでなく、和文の報告や解説などによる成果の発信も引き続き取り組んでほしい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 49 件
- ・口頭発表件数 85 件

(副課題 1) 日本の異常気象の実態とその長期変動に関する研究

副課題の到達目標

- ・日本における豪雨・干魃・異常高温等の異常気象について、過去 100 年間の変動実態とその地域的・時間的特性を明らかにする。また、気温の長期変動について大規模場の変動に伴うものと都市化によるものとを分離する。
- ・再解析データ等の大規模場の情報を地域気候モデルによりダウンスケーリングし、高分解能（分解能 20km）データセットを作成する。

副課題の概要

日本における過去 100 年間の豪雨・干魃、異常高温等の地域的・時間的特性を、新たにデジタル化された日・時別データ等を利用して解析する。また、気温の長期変動を解析することにより、大規模場の変動の寄与と都市化の寄与を分離する。

日本域について、再解析データ等の大規模場の情報を地域気候モデルによりダウンスケーリングし、日本域の気候変動研究に用いられる分解能 20km のデータセットを作成し、陸面状態を含めて検証する。

以上の研究成果と副課題 2 の成果を、日本の異常気象の実態及び気候変動との関連に関する科学的知見として取りまとめる。

副課題の成果

① 日本の異常気象の変動実態の解析

- (1) 気象庁観測部で品質チェックされた国内 51 地点の 1901 年以降の日降水量データを利用して、大雨と少雨状態の頻度の長期変化を調べた。大雨については、日降水量 100mm 以上の日数、年間最大日降水量、累年の上位 100 事例等の各指標とも、過去 100 年間に有意に増加していることが見出された。地域的に見ると、増加傾向は西日本で著しい。少雨については、日降水量 1mm 未満の日数、31 日間降水量の下位 1% 事例などを調べた結果、これらの日数や回数はいずれも有意に増加しており、後者の増加率は 10%/10 年に及ぶことが分かった。
- (2) 上記 51 地点の資料を利用し、降水の空間的集中度の経年変化を調べた。集中度の尺度として、周囲の地点の平均降水量からの偏差を使った。その結果、弱～中程度の降水について、空間集中度の増加傾向が認められた。同様のことは、5 日～31 日降水量についても得られた。
- (3) 国内の顕著な大雨・強風事例の再現期間を算出し、再現期間が極端に大きい 1896 年の近畿地方の豪雨について、過去の資料からその特徴と発生環境を取りまとめた。
- (4) 日本における極端な高低温の長期・短期変動を、75 年間（1931～2005）の 17 地点の日最高・最低気温等を使って調べた。その結果、日最高気温については月間最高値・最低値・平均値がほぼ並行して上昇し、上昇率は近年ほど大きいこと、日々変動幅にはほとんど長期変化がないことが見出された。日最低気温は月間最低値の上昇率が大きく、日々変動幅は減少していた。また、極端な高低温には短期的な変動があり、それは平均値と日々変動幅の双方の変動と対応していること、後者は数ヶ月～1 年程度の継続性があり、南北温度傾度の変動と対応関係があることが見出された。
- (5) 日本の近年の気温変化に対する都市効果の寄与を、561 地点の 27 年間の資料を使って解析した。各地点は半径 3km 以内の人口密度によって分類した。人口密度の低い地点（100 人/km² 未満）に比べ、最も人口密度の高い群（3000 人/km² 以上）は昇温率が 0.12℃/10 年大きかった。人口密度がさほど大きくない群（100～300 人/km²）でも、それ以下の群に比べて昇温率が 0.04℃/10 年大きかった。この結果は、日本の気候変動の解析に当たって都市効果に注意すべきことを示している。また、各地点の風速の経年変化率と気温変化率との関係を調べた結果、年平均風速が大きい地点（1.5m/s 以上）では昼間に、年平均風速が小さい地点（1.0m/s 未満）では夕方に負の相関が認められ、観測所周辺の

環境変化に伴う開放度の長期変化が、気温に影響を与えていることが示唆された。

② 地域気候モデルを用いた背景場の長期変動の解析

- (1) ダウンスケーリングに用いるための地域気候モデルについて、側面境界条件、陸面過程、放射過程などの改良とチューニングを行った。このモデルを使い、JRA-25 データをまず 60km 解像度地域気候モデル (RCM60) を使ってダウンスケーリングし、さらに、20km 解像度モデル (RCM20) をネスティングする手法を実施したが、RCM60 の気候再現性が十分ではなく、JRA-25 に RCM20 を直接ネスティングする方法に変更した。これにより、20km 解像度でも日本周辺の気候がよく再現できることがわかった。
- (2) RCM20 により、JRA-25 の全期間にわたる長期積分を実施し、日本周辺の解像度 20km のダウンスケーリングデータを作成した。このデータセットは、日本周辺の異常気象の長期変動解明のために有用であることが期待される。
- (3) 計算されたデータセットの気候再現精度の検証を行い、日本を 7 分割した地域ごとの月平均気温、月降水量が十分な精度で再現されること、日降水量の時系列がよく再現されること、過去の強い降水などの事例についても再現できていることが確認された。
- (4) 日本を 1 度×1 度の BOX に分割し、ダウンスケーリングの結果と観測データとを比較した。降水量、強い降水の発生頻度、それらの長期変動などが観測とよく一致することが確認された。
- (5) JRA-25 の期間中に、冬季については降水量および強い降水頻度の増加が実際の観測値及びダウンスケーリングしたデータの両方で見られ、特に JRA-25 期間の後半で、降水量の増加は関東以西の南岸、および北陸以北の日本海側で見られることが分かった。冬型指数との相関をとると、日本海側では冬型における降水量の増加、本州南岸では冬型指数と逆相関となっていることが分かった。本州南岸では JRA-25 期間後半で風の変動が大きいことから、今回分かったこれらのことは、南岸低気圧の活発化によるものであることが示唆される。また、南岸での降水量の増加はこれに関連していると考えられる。
- (6) JRA-25 期間の夏季の変動を調べるために、夏季について期間の前半と後半の降水量の差を調べた。後半で 降水量の増加している領域は、太平洋高気圧をめぐる縁辺流の北辺周辺に対応しており、太平洋側からの水蒸気補給の大きい場所であると考えられる。6 月から 8 月の季節変化において、太平洋高気圧が次第に北上し、それに特徴的な降水の増減パターンが月とともに北上している傾向が見られることが分かった。
- (7) 雲解像モデルによる再解析データの分解能数 km へのダウンスケーリング手法についての検討を行った。その結果、再解析データあるいは今回作成した 20km ダウンスケーリングデータには雲粒や雨粒などの水成分量の情報がないために、分解能数 km へのダウンスケーリングのためには雲解像モデルでもって多重ネスティングを行う必要性を認識した。
- (8) 東アジアにおけるダウンスケーリングの可能性を、陸面植物生態モデル BAIM2 を組み込んだ地域気候モデルの結果をもとに検討した。これによると、東アジアの結果を観測値と比較すると、降水量についてよい一致が見られ、東アジアのスケールでのダウンスケーリングの可能性が示唆された。

(副課題 2) 日本の異常気象と大気循環場との関連に関する研究

副課題の到達目標

- ・日本の異常気象の広域的特徴やそれをもたらす大気循環場の特徴を知るため、東アジア域の異常気象（豪雨・干魃、異常高低温等）の実態及びそれとアジアモンスーンの長期トレンドの関係、亜熱帯高気圧変動などの大気循環場との関連、太平洋数十年変動・エルニーニョ等の関係とその長期的変化を明らかにする。
- ・台風の移動経路と中緯度および熱帯の循環場との関係を調べ、再解析データ及び全球気候モデルを用いて台風経路の長期変動特性を明らかにする。

副課題の概要

日本の異常気象の広域的特徴やそれをもたらす大気循環場の特徴を知るため、東アジア域の異常気象（豪雨・干魃、異常高低温等）や気温・海面水温・気候湿潤度変動の地域的・時間的特性を明らかにする。また、これらとアジアモンスーンの長期トレンドの関係、亜熱帯高気圧変動などの大気循環場との

関連、太平洋数十年変動・エルニーニョ等の関係とその長期的変化を明らかにする。得られた結果に基づき、日本の異常気象の広域的特徴を見出す。

台風の移動経路と中緯度および熱帯の循環場との関係を調べ、再解析データ、全球気候モデルを用いてその長期変動特性を明らかにする。

副課題の成果

① 東アジア域の異常気象と大気循環場の変動の解析

(1) 降水量

- ・1979年～2001年の期間について、GPCP、CMAPの5日平均降水量データと長期再解析データの5日平均降水量データに対してグリッド毎に全降水量を基準にした降水強度毎の降水階級10クラスを定義し、解析を行った。その結果、陸域では明瞭な変化傾向は見られないが、海上ではCMAPを除くすべてのデータに1980年代末からクラス10の強雨が増加する傾向が見られた。また、GPCPも含め、SSM/Iデータを利用したプロダクトにはSSM/I導入前後で降雨特性に不連続が見られることを確認した
- ・Xie and Yatagaiにより作成された東アジア域高分解能日降水量データ、インド気象局によって作成されたインド域高分解能日降水量データおよびアメリカ気象局で作成された北アメリカ日降水量データ等の地上観測に基づくグリッド化日降水量データを利用して、各種再解析データにおける豪雨の再現性を調べた。手法は5日平均の場合と同じ手法を日データに対して適用し、解析は1979～2001年の23年間について行った。年降水量の年々変動については概ね良く再現されており、特に日本に近い中国東北部での再現性が良いことが確認されたが、中緯度に比べ、低緯度で再現性が悪くなる傾向が見られた。特にインドの降水を見ると領域全体としての年々変動は非常に良い精度で観測と一致しているが、南部と北部に分けて比較すると一致していない年代のあることが明らかになった。強雨クラス10の降水量の年々変動も降水量自体よりは落ちるもののよく再現されており、豪雨発現の気候的解析において再解析データが使用に十分耐え得ることがわかった。しかし、トレンドの評価に関しては使用されている衛星観測データのインパクトが大きく、再解析データの利用に当たってはその影響を除く工夫が必要であることがわかった。
- ・南シナ海の夏期降水量と熱帯太平洋の海面水温との間に正相関のある時期と負相関のある時期とがあり、南シナ海モンスーンとENSOとの関係が数十年スケールで変動していることを見出した。JRA-25再解析データから台風周辺の降水量を抽出し、台風による年間降水量データを作成し、その年々変動を調べた。その結果、北西太平洋においては、台風による降水量はENSOと高い相関を示すものの、年々変動が無いことを見出した。

(2) 気温の変動

- ・日本付近における冬（1・2月）の気温の変動は1914年から2006年までの93年間についてみると、1914年から1986年までの期間はシベリア高気圧（SH）とアリューシャン低気圧（AL）はシーソーのような変動をしており、宮古の気温は、SH、ALがともに発達しているときに低温となっていること、1987年以降はSHとALの西半分は弱く、この期間の宮古の気温は非常に高くなっていることを見出した。
- ・1916年から2006年の91年間のアジア地域の月平均気温、海面気圧、海面水温データに基づき、日本付近における夏の気温変動とアジアモンスーン（20N付近のモンスーントラフ）、太平洋高気圧（日本付近の強さ）との関連を10年スケールの変動を中心に解析した。1916年から1945年まではアジアモンスーンが強く、P-Jパターンにより太平洋高気圧が強いこと、高気圧（モンスーントラフ）に近い北・東日本（西日本・南西諸島）で高温（低温）となること、1947年～1976年はモンスーンは年々の変動が大きくなったが太平洋高気圧はまだ強く北・東日本で高温が続いていること、西日本・南西諸島では気温の変動が目立っていること、を見出した。また、1977年～2006年はモンスーン・太平洋高気圧共に弱く、北・東日本（西日本・南西諸島）で低温（高温）が観測されており、したがって北・東日本では1916年から2006年までの91年間に夏（7・8月）の気温の寒冷化があったことを見出された。
- ・世界の平均気温の算出において、格子内における観測データ数などを考慮して、算出された平均気温の不確実性の評価を進めた。推計の不確実性にもっとも大きな影響を与えるのは観測点の密度および欠測の大小であったことが分かった。
- ・日本及び東アジアにおける夏と冬の気温、気圧変動の長期変動を比較すると、冬（1・2月）はアリューシャン低気圧とPDOの十年スケールの変動により気温が変化し、夏は数十年スケールの海陸の

温度差の変化によるモンスーンの強弱の変動により気温が変化していたことを見出した。

- ・世界の平均気温の変動とその ENSO との関係性について、基礎的な統計解析を行った。その結果、ENSO のピーク時より 3 か月程度遅れてインド洋に同じ位相の偏差域が現れることで、海面水温の変動、さらに遅れて陸上の気温偏差が生じていることが分かった。

(3) 蒸発散

- ・気候湿潤度の長期変動：チベットを含む中国域の気象台データから、 $P = (\text{降水量 } Pr, \text{ポテンシャル蒸発量 } Ep, \text{気候湿潤度 } WI)$ の空間分布やそのトレンド、および 1951 年から 10 年毎に計算した P の変動の大きさ（標準偏差）やその 10 年トレンドの空間分布の特徴を調べた。なお、ここで考えている降水量などは通年積算値または数ヶ月積算値である。その結果、ポテンシャル蒸発量の空間分布は西高東低、その長期変動傾向は内陸部で増加、周辺部で減少傾向であることが分かった。この特徴は、小型 Pan 蒸発計（直径 20cm）蒸発量と同じ傾向であった。気候湿潤度の空間分布は降水量と同じ東高西低、その長期変動傾向は内陸部で減少、周辺部で増加傾向であることが分かった。10 年毎の気候湿潤度の変動の大きさのトレンド（標準偏差のトレンドを標準偏差で規格化した量）は周辺部で増加傾向、中央部で減少傾向、東北部は増加傾向と減少傾向が混在、トレンドの大きさは西側と東北部で顕著であった。

比較のため日本域について同様な解析を行った。日本ではポテンシャル蒸発量は増加傾向、一方気候湿潤度は減少傾向であった。ポテンシャル蒸発量は大型 Pan 蒸発計（直径 1.2m）蒸発量の長期変動と逆の傾向であった。大型 Pan 蒸発計蒸発量はその近傍での温度や風速に強く依存するので、この傾向は局所的な観測環境の変化によるものと考えられる。そこで観測所である気象台周辺の建物などの粗度要素の高度や密度に関係する粗度長 z_0 を突風率と境界層理論から推定したところ、大部分の観測所で粗度長の増加傾向が認められた。

- ・気候湿潤度と NDVI との関係：チベット高原上の正規化植生指数 NDVI と気候湿潤度の間には 1 対 1 の対応関係が見出されている。そこで気象台データのないところでの気候湿潤度を把握するために、NDVI と気候湿潤度との間に成り立つ実験的關係を求めて、NDVI から気候湿潤度を推定した。更にその結果と気候湿潤度と無次元蒸発量の関係を用いて、広域の熱収支を推定する手法について検討した。本手法をまずチベット高原上に適用し、有効であることを確認した。引き続きチベット以外の中国域の NDVI と気候湿潤度との関係を求めた。その結果、乾燥域から半湿潤域に属す地域 ($WI < 1$) では、NDVI と気候湿潤度が 1 対 1 に対応し、NDVI から地表面フラックスを求め易いことが判明した。他方、湿潤地域 ($WI > 1$ 、中国南東部地域) では、NDVI と気候湿潤度の間に 1 対 1 の対応関係は見られず、NDVI からフラックスを求めるのは容易ではないことが分かった。
- ・蒸発量推定：気候湿潤度と無次元蒸発量との間には数ヶ月以上の積算値について、土壌条件や土地利用形態に対応した実験的關係が得られている。今回得られた気候湿潤度の空間分布から蒸発量の空間分布と経年変化をチベット域について求めた。また中国域では 195 地点の気象台観測地点において、土地利用条件を仮定した蒸発量マップを作成した。 $WI > 1$ の湿潤地域では無次元蒸発量が頭打ちになり、ポテンシャル蒸発量も一定値になる傾向であるので、蒸発量の年々変動は小さく、 $WI < 0.1$ の乾燥地域では、降水量が蒸発量にほぼ等しくなるので蒸発量は降水量の変動そのものになること、 $0.1 < WI < 1$ では、気候湿潤度の増加に伴い、流出量も増加するので無次元蒸発量の増加傾向が緩やかになること、その大きさは土壌条件や土地利用形態に大きく依存すること、が分かった。
- ・中国国内の 200 箇所弱の気象台地点の観測データを使用して、数ヶ月単位から通年の蒸発量マップを作成した。作成手順は以下の通り。まず、中国域を $WI < 1$ と $WI \geq 1$ の領域に分ける。前者は NDVI から WI を推定、後者は気象台地点から一定の距離以内の領域は、その気象台の WI がその領域を代表するとして使用。次に、各領域内の地表面被覆状態を特定する。最後に、地表面被覆状態毎に得られている、 WI と無次元蒸発量の関係を使って蒸発量を推定する。なお、今回使用した地表面被覆状態のデータセットでは、耕作地は 1 種類の分類である。現実には無次元蒸発量が水田で 0.8、畑で 0.6 と大きく異なる。蒸発量マップでは、両方の場合を作成した。得られた結果を JRA-25 の再解析データと比較したところ、蒸発量の地理的分布は南東部で大きく、北西部で小さい。JRA-25 による結果と全体的な傾向は類似している、チベット高原の南西部における蒸発量は JRA-25 に比べて過小評価である、との結果を得た。

(4) モデル実験

- ・年最大月降水量の推定におけるアンサンブル実験の有効性について全球大気モデルを用いて調べた。観測 SST を与えた 20 世紀気候再現実験を、全球大気モデルを用いて 6 メンバーで行い、各メンバーを 1 つの実現値の標本と見なし、メンバー毎に年確率年最大月降水量を推定した結果と 6 メンバーを

コンボジットして1つの標本と見なし、同様に推定した結果を比較した。まず、モデルによる極値の再現性を調べるために、50年確率年最大月降水量をグリッド化された観測値から得られた推定値とモデルから得られた推定値を比較したところ、おおまかな地理分布は良く再現されていた。ただし、年平均気候値が過大評価となっている地域は、50年確率年最大月降水量でも過大評価となった。河川計画などで使われる200年確率年最大月降水量を推定したところ、基本的には地理分布をよく再現していたが、過大、過小評価となる地域は50年確率年最大月降水量と同様の評価となる地域と一致した。日本の領域については、観測値と比較して、北海道、東北、西日本のコントラストをよく再現していた。

- 歴史的全球観測海面水温を与える AMIP 型大気モデル実験、ならびに熱帯太平洋では海面水温観測値を与え、他海域では海洋混合層スラブモデルで海面水温を予測する **pacemaker** 実験を2005年12月分まで延長した。計算は **TL95** (200km) モデルを用いて行っており、1948年1月以降の58年間について各10例のアンサンブルデータを整備した。**TL95** (200km) モデルと **TL959** (20km) モデルによる AMIP 実験の東アジア気候再現性について調査し、20km モデルの方が、夏季平均降水量のバイアスが小さいこと、梅雨前線帯の構造の再現が優れていることが分かった。
- AMIP 実験、Pacemaker 実験で再現される北半球夏(7月)の解析を行った。観測に比べ梅雨に相当する降雨帯が両者共に日本の南のほうに位置し、観測とは大きく異なり、観測された850hPaの日本付近の気温とモデル実験の結果の比較では AMIP 実験が比較的良く対応しているものの、Pacemaker 実験ではほとんど実況を再現しておらず、エルニーニョ海域の海面水温変動が夏の気温変動の支配的要因ではないという結果を得た。
- モデルに再現される合成図を見ると、冷夏の時にはオホーツク海高気圧、梅雨トラフの発達、降水帯が赤道域で多雨偏差、亜熱帯で少雨、日本付近で多雨、オホーツク海域で少雨の4極構造が見出された。対応して偏西風も日本付近で南北方向に強弱の偏差が東西の帯状に分布していた。モデルのオホーツク海高気圧の発達する原因として、日本の西方において WAF (ロスビー波の活動度フラックス) が北東向きの成分が現れ、これがオホーツク海付近で砕波することが考えられる。
- 全球モデルに1945年から2005年までの観測された海面水温、海氷密接度を境界条件として10例のアンサンブル実験をおこなった。この結果を用い日本の夏(8月)の冷夏猛暑の再現特性についての解析を行った。JRA-25再解析データ、GPCP降水量データと比較すると発現する年は一致しないものの、全球モデルにおいても冷夏猛暑が現れた。猛暑と冷夏のときの海面更正気圧、200hPaの東西風に注目してみると全球モデルの結果と解析との間には猛暑のときにはオホーツク海高気圧は弱く、日本付近の200hPaのジェットは北で強く、南で弱いという結果となった。また、フィリピン東方の降水が増すなどの共通の特徴も見られた。しかしながらユーラシア大陸全般にわたるジェット気流の北上や太平洋高気圧の日本の南方での強化などの観測に見られる特徴は見えていない。

② 台風経路の長期変動と循環場との関係の解析

- (1) ERA-40 及び JRA-25 の全球再解析データを用いて、6月から10月までの平均循環場と、台風の接近・上陸数との関連について調査を行った。主成分解析を行った結果、ENSO モードの他に、台風上陸 (TCLF) モードの存在を見いだした。すなわち、日本への台風の接近・上陸数が少なかった年(64、73、77、80、84、83、87年)は、太平洋高気圧の西端が中国大陸付近まで西に大きく張り出しており、台風は高気圧にブロックされて北上できず、中国大陸南部や南シナ海へ向かっていた一方、多い年(58、60、62、65、66、78、90、97年)は、太平洋高気圧の西端が台湾付近にとどまり、西への張り出しが弱かったことが分かった。また、フィリピン付近に、上昇気流を生み出し、台風が中国大陸方向に進むのをブロックするモンスーントラフが強い傾向が見られた。

さらに、台風シーズン(6~10月)の日本への台風の接近数、上陸数とエルニーニョ/ラニーニャ年との関連を調べた。その結果、ENSO モードの時間変化係数と台風接近数との散布図をすべての年で調べると、ほとんど相関はないのに、台風接近数が多かった年と少なかった年だけを選んで、その中でエルニーニョ年、ラニーニャ年を調べたところ、エルニーニョ年には台風接近数が多く、逆にラニーニャ年には少ないことがわかった。ラニーニャ(エルニーニョ)年には、偏東風偏差が強まる(弱まる)こととなるので、TCLF モードで偏東風偏差が強まる(弱まる)時と似たような状況になるものと推測される。さらに、エルニーニョ(ラニーニャ)年には、日本の南海上、北緯30度、東経140~150度付近に、対流圏下層で、高気圧(低気圧)偏差が見られ、それらの西にあたる九州の南海上に、気圧の谷が南北に解析されている。この高度偏差が、台風の日本上陸と関わっている可能性が高い。

(2) 気象庁と JTWC のベストトラックの比較を行ったところ、北西太平洋における飛行機観測が中止された 1987 年以降両者に顕著な差があることが分かった。台風の気候学的研究を行う際には、ベストトラックの再解析が必要と考えられる。

(3) 亜熱帯低気圧の解析

西太平洋 (120~180E) 地域で亜熱帯低気圧 (熱帯と温帯低気圧の両方の性質があり上空の寒冷渦と下層の対流雲がある) の発生と経路の調査を 1978 年から 2006 年までの 29 年間について行った。発生する期間と場所は 4 月から 10 月まで 25~38N であった。発生は 40~50N 付近に背の高い高気圧が形成されその南方の東風領域に寒冷渦が南下することが前兆として認められた。寒冷渦が亜熱帯西風ジェットより南方に南下し、海面水温が 18℃以上であると対流が発生し亜熱帯低気圧が寒冷渦の下に形成され、また、東部 (160~180E) の発生は 50N 180E 付近のブロッキング高気圧が形成されたときに亜熱帯低気圧が多く発生していた。

成果発表一覧

1. 査読論文

1. Fujibe, F., N. Yamazaki, M. Katsuyama, K. Kobayashi, 2005: The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years. *SOLA*, **1**, 41-44, doi: 10.2151/sola.2005-012.
2. 藤部文昭・山崎信雄・勝山 税, 2005: 日本における雷頻度の時刻別経年変化. *天気*, **52**, 235-239.
3. Hayashi, M., T. Hitota, Y. Iwata, I. Takayabu, 2005: Snowmelt energy balance and its relation to Foehn events in Tokachi, Japan. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **83**, 783-798.
4. Kurihara, K., K. Ishihara, H. Sasaki, Y. Fukuyama, H. Saitou, I. Takayabu, K. Murazaki, S. Yukimoto, A. Noda, 2005: Projection of climatic change over Japan due to global warming by high-resolution regional climate model in MRI. *SOLA*, **1**, 97-100, doi: 10.2151/sola.2005-026.
5. Murazaki, K., H. Sasaki, H. Tsujino, I. Takayabu, Y. Sato, H. Ishizaki, 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: 10.2151/sola.2005-027.
6. Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu, 2005: Comparison of climate reproducibility between a super-high resolution atmosphere general circulation model and a Meteorological Research Institute regional climate model. *SOLA*, **1**, 81-84, doi: 10.2151/sola.2005-022.
7. Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu, K. Murazaki, Y. Sato, H. Tsujino, 2006: Preliminary results from the coupled atmosphere-ocean Regional Climate Model at the Meteorological Research Institute. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **84**, 389-403.
8. Fujibe, F., N. Yamazaki, K. Kobayashi, 2006: Long-term changes in the diurnal precipitation cycles in Japan for 106 years (1898-2003). *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **84**, 311-317.
9. Fujibe, F., N. Yamazaki, K. Kobayashi, 2006: Long-term changes of heavy precipitation and dry weather in Japan (1901-2004). *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **84**, 1033-1046.
10. 藤部文昭, 2006: 本州~九州の梅雨入りに先立つ 5 月末ごろの少雨期. *天気*, **53**, 785-790.
11. Fujibe, F., K. Kobayashi, 2007: Long-term changes in the spatial concentration of daily precipitation in Japan. *SOLA*, **3**, 53-56, doi: 10.2151/sola.2007-014.
12. Fujibe, F., N. Yamazaki, K. Kobayashi, H. Nakamigawa, 2007: Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan. *Pap. Meteorol. Geophys.*, **58**, 63-72.
13. 藤部文昭, 2008: 強風の極値統計における特異事例と地形要因との関連. *第 20 回風工学シンポジウム論文集*, 19-24.

14. Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu, T. Uchiyama, 2008: Preliminary experiments of reproducing the present climate using the Non-hydrostatic Regional Climate Model. *SOLA*, **4**, 25-28, doi: 10.2151/sola.2008-007.
15. Sasaki, H., K. Kurihara, 2008: Relationship between precipitation and elevation in the present climate reproduced by the non-hydrostatic regional climate model. *SOLA*, **4**, 109-112, doi: 10.2151/sola.2008-028.
16. Fujibe, F., H. Togawa, M. Sakata, 2009: Long-term change and spatial anomaly of warm season afternoon precipitation in Tokyo. *SOLA*, **5**, 17-20, doi:10.2151/sola.2009-005.
17. Mouri, H., S. Haginoya, K. Kurihara, A. Hori, Y. Kawashima, 2005: Turbulent diffusion from a patchy surface into the boundary layer. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **83**, 409-415.
18. Xu, J., S. Haginoya, K. Saito, K. Motoya, 2005: Surface heat balance and pan evaporation trends in Eastern Asia in the period 1971-2000. *Hydrol. Process.*, **19**, 2161-2186.
19. Xu, J., S. Haginoya, K. Masuda, R. Suzuki, 2005: Heat and water balance estimates over the Tibetan Plateau in 1997-1998. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **83**, 577-593.
20. Wang, K., Z. Wan, P. Wang, M. Sparrow, J. Liu, X. Zhou, S. Haginoya, 2005: Estimation of surface long wave radiation and broadband emissivity using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) land surface temperature/emissivity products. *J. Geophys. Res.*, **110**, D11109.
21. Wang, K., P. Wang, J. Liu, M. Sparrow, S. Haginoya, X. Zhou, 2005: Variation of surface albedo and soil thermal parameters with soil moisture content at a semi-desert site on the western Tibetan Plateau. *Bound.-Layer Meteorol.*, **116**, 117-129.
22. Takahashi, K., N. Yamazaki, H. Kamahori, 2006: Trends of heavy precipitation events in global observation and reanalysis datasets. *SOLA*, **2**, 96-99, doi:10.2151/sola.2006-025.
23. Nakazawa, T., 2006: Madden-Julian oscillation activity and typhoon landfall on Japan in 2004. *SOLA*, **2**, 136-139, doi:10.2151/sola.2006-035.
24. Oku, Y., H. Ishikawa, S. Haginoya, Y. Ma, 2006: Recent trends in land surface temperature on the Tibetan Plateau. *J. Climate*, **19**, 2995-3003.
25. Kamahori, H., N. Yamazaki, N. Mannoji, K. Takahashi, 2006: Variability in intense tropical cyclone days in the western North Pacific. *SOLA*, **2**, 104-107, doi:10.2151/sola.2006-027.
26. Nakazawa, T., K. Rajendran, 2007: Relationship between tropospheric circulation over the western North Pacific and tropical cyclone approach/landfall on Japan. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **85**, 437-454.
27. 仲江川敏之, 2007: アンサンブル実験に基づく東アジア地域の確率年最大月降水量の推定. *水工学論文集*, **51**, 295-300.
28. Wang, K., Z. Wan, P. Wang, M. Sparrow, J. Liu, S. Haginoya, 2007: Evaluation and improvement of the MODIS land surface temperature/emissivity products using ground-based measurements at a semi-desert site on the western Tibetan Plateau. *Int. J. Remote Sensing*, **28**, 2549-2565.
29. Kim, K-Y., A. Kitoh, K.-J. Ha, 2008: The SST-forced predictability of the sub-seasonal mode over East Asia with an atmospheric general circulation model. *Int. J. Climatol.*, **28**, 1599-1606.
30. 仲江川敏之, 安田珠幾, 高谷祐平, 2008: 利根川上流域を対象とした渇水対策のための力学的季節予測結果の利用に関する基礎的研究. *水工学論文集*, **52**, 517-522.
31. Kitoh, A., S. Kusunoki, 2008: East Asian summer monsoon simulation by a 20-km mesh AGCM. *Climate Dyn.*, **31**, 389-401, doi: 10.1007/s00382-007-0285-2.

32. Ueno, K., T. Morimoto, S. Sugimoto, J. Asanuma, S. Haginoya, K. Takahashi, N. Okawara, A. Shimizu, K. Dairaku, M. Mano, A. Miyata, 2008: Establishment of CEOP Tsukuba reference site. *Tsukuba Geoenviron. Sci.*, **4**, 17-20.
33. J. Xu, S. Yu, J. Liu, S. Haginoya, Y. Ishigooka, T. Kuwagata, M. Hara, T. Yasunari, 2009: The implication of heat and water balance changes in a lake basin on the Tibetan Plateau. *Hydrol. Res. Lett.*, **3**, 1-5. doi:10.3178/HRL.3.1

2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 藤部文昭、2005: 近年の豪雨の実態と長期的傾向. *河川レビュー*, (130)、12-18.
2. 藤部文昭、2005: 気候変化の実態とその検出. *エストレーラ*, (136)、24-29.
3. 藤部文昭、2005: 都市気候はどう変わってきたかー大都市の猛暑と降雨の実態. *科学*, **75**, 1177-1180.
4. 高藪 出、2005: 地域気候モデルの特性と課題について. *水文・水資源学会誌*, **18**, 547-556.
5. 藤部文昭、2006: 日本の大雨と少雨の長期変化. *河川*, (715)、10-14.
6. 藤部文昭、2006: 異常気象の長期変化と都市のヒートアイランド. *21世紀の環境とエネルギーを考える*, (32)、5-18.
7. 藤部文昭、2007: 都市のヒートアイランド. *天気*, **54**, 9-12.
8. 沖 大幹、辻本哲郎、藤部文昭、門松 武、2007: 異常気象と今後の対応. *河川*, (726)、12-24.
9. 藤部文昭、西田 渉、2007: 自然外力の脅威を知る：豪雨は本当に増えているの？. *土木学会誌*, 92(7)、32-33.
10. Fujibe, F., 2007: Long-term changes in precipitation in Japan. *J. Disaster Res.*, **3**, 51-60.
11. 山崎信雄、2005: 東アジアにおける近年の雨の降り方の変化. *国立環境研究所地球環境研究センターニュース*, (16)、11-12.
12. 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.
13. 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.
14. 中澤哲夫、K. 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*, (436)、678-687.
15. 石原幸司、2008: 二十四節気は本当に日本の季節変化とずれている？. *天気*, **55**, 929-933.
16. 大野木和敏、釜堀弘隆、竹内綾子、海老田綾貴、筒井純一、高橋清利、2008: 第3回 WCRP 再解析国際会議報告. *天気*, **55**, 947-959.

3. 口頭発表

1. 藤部文昭、山崎信雄、小林健二、2005: 日本における降水の日変化形の経年変化（1898～2003年）. *日本気象学会 2005年度春季大会講演予稿集*, A406.
2. 藤部文昭、山崎信雄、小林健二、2005: 日本における1日～31日間降水量・降水頻度の階級別経年変化（1901～2004年）. *日本地理学会 2005年度秋季学術大会講演予稿集*, 503.
3. 藤部文昭、山崎信雄、小林健二、2005: 日本における大雨と少雨の増加傾向：1901～2004年. *日本気象学会 2005年度秋季大会講演予稿集*, B353.
4. 藤部文昭、2005: 日本における猛暑と大雨の実態と長期変動. *第3回環境研究機関連絡会成果発表会梗概集*, 4-5.
5. 高藪 出、佐々木秀孝、村崎万代、栗原和夫、広田知良、2005: 地域気候モデルによるチベット高原の積雪過程のシミュレーション実験. *日本気象学会 2005年度春季大会講演予稿集*, P314.
6. 高藪 出、佐々木秀孝、村崎万代、栗原和夫、広田知良、2005: チベット氷河の涵養メカニズムに関するモデル研究. *日本気象学会 2005年度秋季大会講演予稿集*, B366.

7. 村崎万代、佐々木秀孝、高藪 出、栗原和夫、佐藤康雄、辻野博之、石崎 廣、行本誠史、野田 彰、2005：大気海洋結合地域モデルを用いた温暖化予測実験. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集、P213.
8. 馬淵和雄、木田秀次、2005：陸面植生モデル BAIM Ver.2 (BAIM2) とそれを組み込んだ気候モデルによる数値実験 (II) . 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集、D202.
9. 小畑 淳、2005：気候と炭素循環の相互作用－気象研モデルによる評価. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集、P301.
10. 藤部文昭、山崎信雄、小林健二、中三川 浩、2006：日本における著しい高温・低温の経年変動. 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集、A103.
11. 藤部文昭、2005：本州～九州の梅雨入りに先立つ 5 月末ごろの少雨期. 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集、A105.
12. 藤部文昭、小林健二、2006：日本における降水の空間的集中度の長期変化. 日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集、A103.
13. 藤部文昭、2006：都市温暖化の実態とメカニズム. 第 23 回資源生物科学シンポジウム講演要旨集、6-7
14. 藤部文昭、2007：アメダス地点における気温の経年変化率と人口密度との関係. 日本地理学会 2007 年春季学術大会、710
15. 藤部文昭、2007：近年の日本の気温上昇傾向における都市効果. 日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集、A453.
16. 村崎万代、佐々木秀孝、高藪 出、内山貴雄、栗原和夫、2007：JRA-25 を境界条件とした MRI-RCM による過去の気候の再現実験. 日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集、P322.
17. 藤部文昭、2007：都市豪雨の実態と長期変化. 第 42 回地盤工学研究発表会、2007 年 7 月 5 日.
18. Fujibe, F、2007: Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan、10th International Meeting on Statistical Climatology. Beijing、21 Aug. 2007.
19. 馬淵和雄、高橋清利、西田顕郎、2007：BAIM2 を導入した地域気候モデルにより再現された陸域植生 LAI の年々変動と衛星 NDVI による検証. 日本気象学会 2007 年度秋季大会講演予稿集、D368.
20. 村崎万代、栗原和夫、2007：JRA-25 を境界条件とした MRI-RCM による過去の気候の再現実験(その 2). 日本気象学会 2007 年度秋季大会講演予稿集、P184.
21. Kurihara、K、2008：Research on Regional Climate Projection at MRI. *Seminar in KORDI (Korea Ocean Research and Development Institute)*
22. Kurihara、K、H. Sasaki、I. Takayabu、K. Murazaki、T. Uchiyama、2008：Recent development of Regional Climate Models in MRI. *Meeting of Regional Climate Modeling Inter-Comparison Project (RMIP) for Asia (Phase III). Beijing.*
23. 栗原和夫、2008：地球温暖化と日本の気候変動の予測. 技術交流 in つくば 2008 講演会「あなたの一歩が明るく未来をつくる」予稿集 (つくば研究学園都市交流協議会). 3-6.
24. 藤部文昭、2008：日本における極端豪雨の再現期間の評価. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集、A405.
25. 佐々木秀孝、栗原和夫、2008：地域気候モデル検証用降水データについて. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集、P326.
26. 村崎万代、栗原和夫、佐々木秀孝、内山貴雄、高藪 出、2008：JRA-25 のダウンスケーリングデータによる冬季の日降水の年々変動. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集、P428.
27. 高藪 出、2008：地域気候モデルによる温暖化予測. 日本気象学会 2008 年度秋季大会シンポジウム予稿集、6-10.
28. 藤部文昭、2008：アメダス地点における気温の経年変化率と風速の経年変化率の関係. 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集、A204.
29. 藤部文昭、戸川裕樹、阪田正明、2008：東京都心における暖候期午後の短時間降水の増加

- 傾向 —118 年間の毎時資料による解析—. 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集、A205.
30. 村崎万代、栗原和夫、佐々木秀孝、内山貴雄、高藪 出、2008: JRA-25 のダウンスケーリングデータによる夏季降水量の変化. 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集、P139.
 31. 藤部文昭、2008: 強風の極値統計における特異事例と地形要因との関連. 第 20 回風工学シンポジウム、4.
 32. Fujibe, F., H. Togawa, M. Sakata, 2009: Long-term change and spatial anomaly of warm season afternoon precipitation in Tokyo. *AMS 89th Annual Meeting*, Phoenix, AZ, J10.4.
 33. 山崎信雄、2005: 東アジアにおける短時間強雨の長期傾向. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集、A407.
 34. 田中 実、2005: 20 世紀におけるアジアモンスーンの長期変動と夏の気温・海面水温の関係. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集、P418.
 35. 田中 実、2005: 20 世紀におけるアジアモンスーンの長期変動と東アジアの夏の気温の関係. 2005 年度月例会 (長期予報と大気大循環).
 36. 中澤哲夫、2005: 台風の発生・日本上陸の機構. 東京大学海洋研究所シンポジウム「台風のライフサイクル: 発生から温低化まで」.
 37. 中澤哲夫、2005: 日本に接近・上陸台風の多かった年と少なかった年での循環場の違いについて. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集、A355.
 38. 初鹿宏壮、筒井純一、門倉真二、和田浩治、釜堀弘隆、中澤哲夫、2005: JRA-25 長期再解析データによる台風の移動と大規模場の関係. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集、A362.
 39. Yamazaki, N., 2005: Long-term trend of heavy precipitation in the East Asia and its connection with large-scale circulation. *The 5th International Symposium on Asia Monsoon System*.
 40. 楠 昌司、2005: 日本における初夏の地上気温の再現期間. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集、B207.
 41. 山崎信雄、2005: 東アジアにおける強雨の長期変動と大規模場の変動との関連. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集、B354.
 42. 高橋清利、山崎信雄、釜堀弘隆、2005: 再解析データ (JRA-25、ERA40、NCEP1/2) における降水頻度特性. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集、B360.
 43. 萩野谷成徳、2005: 日本におけるポテンシャル蒸発量の長期変動. 日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集、P332.
 44. 山崎信雄、高橋清利、釜堀弘隆、2006: JRA-25 を用いた夏季東アジア周辺の循環場と降水量の年々変動. 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集、B453.
 45. 高橋清利、山崎信雄、釜堀弘隆、2006: 再解析データ (JRA-25、ERA40、NCEP1/2) における半月及び日降水特性. 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集、B454.
 46. 釜堀弘隆・山崎信雄・高橋清利、2006: 再解析に表現される台風のコンポジット解析 (その 3) —台風場の降水量、加熱量の全球場への寄与—. 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集、B457.
 47. 田中 実、2006: 20 世紀における日本付近の冬の気温とシベリア高気圧・アリューシャン低気圧 (PDO)・北極振動の関係. 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集、P146.
 48. 萩野谷成徳、2006: 突風率から推定した地表面粗度の長期変化. 日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集、P244.
 49. Haginoya, S., J. Q. Xu, 2006: A climatological estimate of heat and water fluxes over the Tibetan Plateau. *1st International Workshop on Energy and Water Cycle over the Tibetan Plateau*, 4–6 September, 2006, Lhasa, Tibet, China.
 50. Nakazawa, T., K. Rajendran, 2006: Relationship between tropospheric circulation fields over the western North Pacific and tropical cyclone approach/landfall on Japan.

The second China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology.

51. 山崎信雄、高橋清利、釜堀弘隆、2006: 日本付近の冬の階級毎降水量のトレンド. *日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集*, B306.
52. 中澤哲夫、K. Rajendran、2006: 台風の日の上陸・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 年度秋季大会講演予稿集*, B107.
53. 田中 実、2006: アジア・西太平洋地域における長期気候データベースの作成及び解析の応用. *日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集*, P170.
54. 萩野谷成徳、徐 健青、2006: NDVI から推定したチベット高原上の熱収支. *日本気象学会 2006 年度秋季大会講演予稿集*, P373.
55. 田中 実、2007: 北西太平洋地域における亜熱帯低気圧の発生とその地理的分布. *日本気象学会 2007 年春季大会講演予稿集*, P335.
56. 田中 実、2007: 20 世紀における日本付近の冬の気温とシベリア高気圧・アリューシャン低気圧・北極振動・ENSO の関係. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P420.
57. Takahashi, K., H. Kamahori, K. Oonogi, 2007: Status of JRA-25 and JCDAS. *6th CEOP Implementation Planning Meeting, Program and Abstracts volume*, p.29
58. Takahashi, K., M. Chiba, N. Yamazaki, H. Kamahori, 2007: Comparison of intense precipitation variations between gridded observational and reanalysis datasets over the Asia. *21st Pacific Science Congress*.
59. Takahashi, K., N. Yamazaki, M. Chiba, H. Kamahori, 2007: Intense precipitation events in the reanalysis datasets over the Asia. *10th International meeting on Statistical Climatology. Program & Abstracts*, p.128
60. 高橋清利、千葉 長、山崎信雄、釜堀弘隆、2007: 再解析データにおける陸域日降水量特性の検証. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P419.
61. 山崎信雄、千葉 長、高橋清利、釜堀弘隆、2007: 日本付近の冬の強い降水と周辺場の関連. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, A454.
62. 釜堀弘隆、尾瀬智昭、高橋清利、千葉 長、山崎信雄、2007: 再解析に表現される陸域降水量と土壌水分量. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P319.
63. 高橋清利、藤部文昭、2007: 日本における暖候期の月降水量分布の変動パターンと大気循環場の関係. *日本気象学会 2007 年度秋季大会講演予稿集*, P383.
64. 高橋清利、中澤哲夫、別所康太郎、2007: GMS IR データによる西太平洋熱帯域における雲量トレンド. *日本気象学会 2007 年度秋季大会講演予稿集*, A301.
65. 山崎信雄、千葉 長、高橋清利、釜堀弘隆、2007: 日本付近における地上気圧の長期傾向と強い降水の関連. *日本気象学会 2007 年度秋季大会講演予稿集*, D362.
66. Haginoya, S., J. Q. Xu, 2007: A climatological estimate of heat and water fluxes over the Tibetan Plateau. *Asia Oceania Geosciences Society 4th Annual Meeting*, 31 July – 4 August, 2007, Bangkok, Thailand.
67. 萩野谷成徳、徐 健青、2007: チベット高原上の広域熱収支解析. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, D155.
68. 萩野谷成徳、2007: チベット高原上の広域熱収支の推定－WI が代表する空間スケール－. *日本気象学会 2007 年度秋季大会講演予稿集*, P329.
69. 中澤哲夫、2007: 台風上陸モードの季節推移. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, A401.
70. Nakazawa, T., 2007: Typhoon landfall mode on Japan. *International Symposium on Global Change, Asian Monsoon and Extreme Weather and Climate*.
71. Nakazawa, T., M. Kyouda, M. Yamaguchi, 2007: Predictability of typhoon formation in JMA ensemble forecast data. *21st Pacific Science Congress*.
72. Nakazawa, T., 2007: Predictability of tropical cyclogenesis over the western Pacific in 2004. *IUGG*.
73. 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 年度秋季大会講演予稿集*, A303.

74. Nakazawa, T., 2007: Eastward-moving cloud clusters in a MJO in January 2007. *MJO Workshop*.
75. Nakazawa, T., M. Yamaguchi, 2007: Predictability of tropical cyclogenesis in the JMA ensemble forecasts – a case study of the 2004 typhoon season. *The third China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology*.
76. 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」
77. 釜堀弘隆、高橋清利、山崎信雄、2008 : JRA-25 に表現される地上気温と衛星導出植生分布との比較. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集、P327.
78. 釜堀弘隆、高橋清利、山崎信雄、2008 : 中国華南地方の夏季降水量変動と熱帯太平洋海面水温との関係. 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集、C304.
79. 釜堀弘隆、2008 : JRA-25 に表現される熱帯低気圧場とその年々変動. 異常気象と長期変動研究会.
80. 田中 実、2008: 20 世紀における日本とアジア地域の夏の気温とアジアモンスーン・太平洋高気圧・PDO の関係. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集、P319.
81. 釜堀弘隆、2008 : JRA-25 再解析に表現されるインド洋熱帯低気圧活動とその変動. 南アジアにおける気象災害と人間活動に関する研究集会.
82. 萩野谷成徳、2008: 西チベット改則における長期熱収支観測—地表面での地中熱流量推定—. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集、P202.
83. 萩野谷成徳、2008: 中国域の蒸発量マップ作成. 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集、P133.
84. 石原幸司、2009: 地球温暖化の最新情報. *NPO 気象キャスターネットワーク 2009 年度定例総会*.
85. 石原幸司、2009: 地球温暖化について考えよう. 日本科学未来館友の会 *DAY*.

アジア大陸の影響による大気微量気体・エアロゾル・降水降下塵の化学組成変動に関する研究

研究期間： 平成 17 年度～平成 20 年度

研究代表者： 松枝秀和（地球化学研究部 第一研究室長）

研究担当者

（副課題 1）アジア大陸起源の汚染気塊の化学組成とその輸送に関する研究

松枝秀和、澤庸介、石井雅男、時枝隆之、斉藤秀（地球化学研究部）、内山明博、山崎明宏、古林絵里子、工藤玲（気候研究部）、岡田菊夫¹⁾、柴田清孝、財前祐二、直江寛明（環境・応用研究部）

（副課題 2）大気化学環境変動と海洋環境変動との関連に関する研究

五十嵐康人、青山道夫、篠田佳宏²⁾、緑川貴、広瀬勝己（地球化学研究部）、千葉長（気候研究部）

研究の目的

地上観測所、気象鉄塔、海洋気象観測船並びに航空機等を利用して、西部北太平洋域における温暖化ガスを含む大気微量気体の分布や変動の長期観測とエアロゾル・降水降下塵の放射・化学的特徴に関する予備的観測を実施すると同時に、この地域における既存の定常観測データも統合して総合解析に必要なデータセットを作成し、アジア大陸からの影響による大気化学環境変動の実態を詳細に把握すると共に、その変動を支配する輸送過程や大陸の人為発生源との関係を解明する。

また、モデル実験の結果と観測データを比較することによって、アジア大陸の微量気体発生源を特定し、発生源を定量的に評価すると同時に、降水・エアロゾルによって大陸から海洋に供給される微量化学成分が海水中の物質循環に与える影響についての知見を得る。

研究の到達目標

アジア大陸から西太平洋へのアウトフローによる大気微量気体・エアロゾル・降水降下塵の化学組成変動の実態を観測とデータ解析を通して解明すると同時に、モデル実験を通してその影響を定量的に評価する。

研究計画の概要

アジア大陸は人口の密集地帯であり、今後の経済発展による人間活動の増大が見込まれている。このため、アジア地域で発生する大気汚染気体や汚染煙霧及び酸性雨などが、西太平洋地域の気候、陸上・海洋生態系並びに人体の健康に深刻な影響を及ぼすことが懸念されている。この地域の大気化学組成変動の実態解明とその影響を評価するために、副課題 1 では特にラドン観測を重点においた汚染気塊の化学組成とその輸送の側面からアプローチする一方、副課題 2 では窒素収支に重点をおいてエアロゾル観測と新規手法の開発の側面から研究を進める。これら 2 つの副課題で得られた観測結果と解析を基礎にして、モデル実験による比較を行い、両課題の結果を合せてアジア大陸の発生源が西太平洋の大気質や海洋環境に与える影響を総合的に評価する。

主な研究成果

西部北太平洋の広域を対象とした大気微量気体・エアロゾル・降水降下塵の化学組成変動に関連した観測データを収集し、時系列データベースを作成した。このデータベースを利用して、微量気体やエアロゾルの時・空間変動を解析し、アジア大陸からの影響が西部北太平洋地域へと広域拡散している実態とその出現パターンの特徴を把握した。特に、本研究における重点研究の一つとして計画した、大気中ラドンの高精度観測を与那国島、南鳥島及び綾里の 3 箇所の大気観測所において開始した。これによって、大陸を起源とする化学トレーサーとして有効なラドン変動のデータを収集することに成功した。このラドン観測データと微量気体濃度の短周期変動の対応関係を詳細に解析することによって、アジア大陸の人類活動や陸域生態系からの影響による現象を明瞭に捉えることができた。さらに、気象解析、流跡線解析、3 次元モデルを利用した診断解析を実施し、アジア大陸の発生源地域の特定と大陸からの物

¹⁾ 平成 17～19 年度、²⁾平成 17～18 年度

質流出を導く長距離輸送メカニズムが明らかになった。

今後に残された問題点

本研究で得られたアジア大陸影響の観測データやその輸送メカニズムの知見は、化学輸送モデルの検証とその精緻化に極めて有用な情報であるため、今後、モデルを利用した越境汚染や黄砂等の環境変動予測情報の精度向上に資する実用化研究へと発展させることが必要である。また、今後のアジアの人類活動の増大とその地球環境への影響を監視するために、観測データを長期的かつ広域に収集するための観測研究を強化していくことが重要な課題である。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

日本でも西日本を中心に都市域以外の場所でも光化学スモッグが発生する等、アジア地域の発展による大気化学環境への影響が懸念されている。このようにアジア大陸からの越境汚染について社会的にも関心が高まっている中、越境汚染や黄砂飛来の問題を正面から取り上げ、種々の大気微量化学成分等の観測にモデル実験も加味して変動の実態とメカニズムの解明にまで研究を進めたことは、時宜を得た目標設定であり、また、科学的にも社会的にも十分に意義のある研究成果を含むものと評価する。着実に論文も出版されていることも高く評価できる。

高精度ラドン計の開発による低濃度変動の検出、気象庁・他の機関の微量気体標準ガス・オゾン計測器との比較実験により観測データの標準化を進めたことや地域規模のデータベースを構築したことなど今後の発展の基礎となる成果である。特に南鳥島のラドン観測は想定以上の成果をあげ今後に期待できる。高精度ラドン計と TEOM は気象研究所の研究推進費によって整備した機器であり、それらを有効に使用し、アジア大陸の影響と考えられる現象を観測できたことは、研究推進費のモデルケースとしても評価できる。

また、モデルによる再現実験で、ある程度観測結果の再現に成功しており、実態把握とメカニズムの解明に向けた重要なステップとして評価できる。しかし、研究目標では、微量気体の発生源の特定と定量的評価までを行うとしており、研究の成果を効果的に活用するには、正確な発生源の特定と定量化を図ることが必要と考えられる。今後は、モデル研究との連携をいっそう強化して、3 次元的な分布とその変動の詳細な実態解明に向けて研究を発展させていくことを期待したい。

生物トレーサの研究は新規性も高く、越境汚染等への研究への応用性もあるものと考えられるが、まだこれからの課題と言える。他機関との共同をより進め、今後とも継続して研究することを期待する。一方、残念な点としては、成果が単発的な解析成果であり有機的な統合の効果が不足している印象が否めない。融合型研究としてサブ課題毎の成果を融合した研究成果が生まれることを希望する。また、衛星観測や外国の観測との連携など他の研究とどう結びつけ科学的成果を出していくかの観点についても検討してほしい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 30 件
- ・口頭発表件数 60 件

（副課題 1）アジア大陸起源の汚染気塊の化学組成とその輸送に関する研究

副課題の到達目標

- ① 微量気体及びエアロゾルの長期観測データの収集
これまで気象研究所で実施してきた観測の継続と新たな観測項目を追加するため、地上大気観測所、海洋気象観測船、気象鉄塔、及び定期航空機を利用した観測を実施し、広範囲に西太平洋の長期観測データを収集する。また、南鳥島大気観測所におけるエアロゾル観測システムの構築と試験観測を実施する。
- ② 観測データの統合とそれを利用したアジア大陸の影響による変動の解析
本研究で収集された観測データとともに、気象庁の定常観測や他の機関の研究並びに定常観測で得られたデータを統合するために、観測データの基準となる標準ガス及び分析計の比較実験を実施し、高精度のデータセットを作成する。このデータセットを基に、西太平洋地域における汚染気塊の広域分布とその化学組成の特徴を解析し、アジア大陸の影響による汚染気塊の実態を把握する。
- ③ 3 次元の全球化学輸送モデルによる影響の定量的評価

3次元の全球化学輸送モデル実験を実施し、モデルと観測結果を比較することによって、汚染気塊の発生源地域や輸送過程を定量的に評価する。

副課題の概要

地上大気観測所、気象鉄塔、及び定期航空機等を利用して、大気微量気体とエアロゾルの観測を継続実施し、3次元的な観測データを収集する。特に、ラドンを新たに重点観測項目に追加し、綾里、与那国、南鳥島の3箇所の大気観測所において高精度ラドン観測を実施する。これらの観測データを統合してデータベース化し、アジア大陸の影響による変動の解析を行う。さらに、気象データや3次元全球化学輸送モデルによる発生源の特定とその輸送過程の解明を行う。

副課題の成果

① 微量気体及びエアロゾルの長期観測データの収集

- ・与那国島における大気中ラドンの観測は2006年3月から本格的に開始し、長期的に観測データを収集した結果、季節変動と同時に、数日スケールで起こる大陸性空気塊の流入による濃度上昇イベントを明瞭に捉えることができた。一方、南鳥島ではラドン濃度が極めて低く、従来型のラドン計では正確な濃度変動を観測できないことがわかった。このため、新規に開発された高感度ラドン計を2007年9月に南鳥島に導入した結果、低レベルのラドン濃度の変動を明瞭に観測することに成功した。さらに、綾里大気環境観測所にもラドン計を設置して観測を開始した。
- ・露場及び鉄塔を利用して微量気体濃度(CO₂, CH₄, CO, H₂等)の連続観測を継続した結果、陸域の人為及び自然発生源が引き起こす微量気体組成変動の違いが明らかになった。また、2006年11月に鉄塔を利用した短期集中観測を実施し、ラドン濃度や温度・風速などの鉛直分布の日周変動を観測し、夜間の接地境界層内における微量気体濃度の上昇現象を数種のパターンに分類し、そのメカニズムの違いを解析した。
- ・南鳥島にエアロゾル観測用の空気取り入れ口を新設し、2006年10月からPSAP装置による粒子の光吸収係数の連続観測を本格的に開始した。また、2007年5月からはネフェロメーターによる粒子の光散乱係数の連続観測を開始し、エアロゾルの放射特性の時間変動に関するデータを収集した。

② 観測データの統合とそれを利用したアジア大陸の影響による変動の解析

- ・気象研究所における微量気体標準ガスとオゾン計を用いた気象庁の観測との比較実験を年2回の頻度で定期的実施し、濃度スケールの違いや長期安定性を検証した。この結果と他の研究機関との相互比較実験結果に基づいて微量気体の観測データの標準化を進め、アジア・西部北太平洋地域に展開されている多数の観測地点のデータを収集・統合し、地域規模の解析に必要なデータベースを構築した。
- ・統合データベースを利用して、2005年3月から4月に実施されたABC・アジア国際共同観測で見出された3つの一酸化炭素(CO)濃度上昇イベントについて解析を行った結果、西部北太平洋への汚染空気塊の広域拡散とその詳細な時間変動の実態を把握することができた。また、気象解析を通して、それらの汚染イベントが寒冷前線の発達とその東進によって引き起こされていることを明らかにした。
- ・南鳥島における定常観測で得られた二酸化炭素濃度(CO₂)の長期変動記録を詳細に調査した結果、夏季にCO₂濃度が異常低下する興味深い現象が見出された。この時の微量気体組成の変化と流跡線解析の結果、陸上植生の強いCO₂吸収を受けた大陸性空気塊が、特異的な気象条件の下で急速に南北輸送されていることが明らかになった。

③ 3次元の全球輸送モデルによる発生源とその影響の定量的評価

- ・西部北太平洋域における汚染イベントを対象にモデルを利用した数値実験を実施し、その現象をほぼ再現することができた。これによって、汚染空気塊の空間構造とその時間変化のメカニズムを詳細に解析することができた。また、モデルを利用した領域別の放出実験を実施し、様々な地域の発生源の寄与率を定量的に評価した。
- ・夏季のCO₂異常低下現象についてモデルを利用した数値実験を実施した結果、その現象をほぼ再現することができ、シベリア、中国北方及び東南アジアの陸上生態系によるCO₂吸収の影響であることが明らかになった。また、モデルの再現分布から、低濃度CO₂の境界層内における急速南北輸送はITCZによってブロックされ、その一部は上空へと急速に輸送されることが示された。

(副課題2) 大気化学環境変動と海洋環境変動との関連に関する研究

副課題の到達目標

降水、エアロゾルなどに含まれる硝酸やアンモニア、関連する化合物、風送ダストなどを研究対象として、高所、平地、海洋で観測し、全球輸送モデルとの比較を行い、その影響を定量的に評価する。特に海洋への窒素、リンの降下とその影響について評価を試みる。物理・化学的なアプローチに加えて、生物・化学的な新規トレーサーなどに関する基礎的な研究を行い、標準的手法の確立を行う。将来的に問題となる可能性のある微量物質等についても予備的に調査を進める。

副課題の概要

降水、エアロゾルに含まれる窒素と関連化合物、風送ダストの観測を実施する。また、ダスト輸送に関連した生物・化学的な新規トレーサーに関する基礎技術の開発を行う。さらに、アジア大陸からのエアロゾル降下による窒素リンの海洋への供給量と栄養塩変動、基礎生産変動との関連性を評価する。

副課題の成果

① 降水・エアロゾルの窒素とその関連物質と風送ダストの観測

- ・降水、エアロゾルなどに含まれる NO_3^- , NH_4^+ 、リン、微生物、その他の微量物質等の運搬体（キャリアー）として重要である風送ダストなどの発生、輸送、沈着過程を研究するため、大気中のエアロゾル重量濃度を連続的に測定できる装置、TEOM（粒子状浮遊物質モニター装置）を導入し、観測を行った。
- ・春季に観測した黄砂および近傍からの風塵と考えられるダストイベントについて、大気中ダストTEOMで得た重量濃度およびOPCで得たダスト粒径分布の解析を行った。その結果、黄砂と近傍からの風塵ではその粒径別の分布に差が見られ、風塵では大粒径粒子の増加が主であることを見出すことができた。また、イオン成分の分析で黄砂は風塵に比べ、 nss-Ca^{2+} および SO_4^{2-} 濃度が高いという特徴が明かとなった。
- ・物質輸送の活発な春季に着目して2007年から、気象研究所において、湿性及び乾性沈着物の採取を行い、水溶性化学成分を測定した。3月中旬の乾性降水量は、その前後の期間と比較して少ない傾向が認められ、この期間の相対湿度は前後の期間と比較して低かった。それは、JCDAS再解析データによると、日本はアジア大陸北西部（中国東北方、朝鮮半島）を通過した乾燥した大気に覆われていたことを示している。一方、その前後の相対湿度の高い期間には、アジア大陸西部（中国）上空からの湿った大気が日本に到達していたことが分かった。このことから、空気塊の履歴の変動に伴い、水溶性成分の乾性沈着物の降水量が変動していることが示唆された。

② 生物・化学的な新規トレーサーの有効性

- ・新規に生物・化学的なトレーサーについて研究し、その応用の可能性について検討するため、微生物を中心に所内で検討を継続した。しかし、微生物種の同定やトレーサーとしての使用種選定の困難性などが明かとなり、微生物種を用いた場合の新たな新規トレーサーについては、確立するには至らなかった。
- ・視点を変えて植物（真核生物）に着目し、富士山頂で黄砂時期に採取し保管していたダスト試料を産業技術総合研究所・ヒューマンストレスシグナル研究センターとともに生物化学的に分析した。その結果、コケ類、カビ類およびトマトの遺伝子を検出・同定することが出来た。トマトをはじめ植物は、生育・栽培されている地域、領域が比較的良好にわかっていて、ダストの生物トレーサーとして微生物よりも適している可能性があり、新規トレーサーの候補になりうるということが分かった。しかし、なぜトマトの遺伝子だけが検出されて、他の植物遺伝子が検出されなかったかについては不明な点があり、今後も考察・検討を続ける必要がある。具体的には、たとえば、杉のような裸子植物により適したプライマーを用いた実験などが考えられる。

③ 窒素とリンの海洋への供給と基礎生産との関連性

- ・降水中のリン化合物の濃度観測については、通常の方法では下限値以下になってしまうため、試料を変質させずに濃縮する方法について検討を行い、降水中のリンの濃縮法として冷蔵庫を利用する方法を確立した。数点の試料につき分析値を得たが、まだ海洋へのリン化合物の降水量評価などに繋げる段階には至っていない。

- ・気象研の MASINGAR モデルを用いて窒素の海洋への供給量を評価できないか、検討した。観測で得た沈着物中の NO_3 および NH_4^+ の重量濃度とモデルのダスト沈着量から、海洋学的に興味の持たれる日本周辺海域への窒素化合物の沈着量の予備的な評価を行ったが、実測値との比較や再現性の検討などの課題が残った。

④ 全球輸送モデルによる窒素とダスト輸送の観測結果との比較

- ・全世界の風送ダスト発生域から日本へのダスト輸送及び沈着量について、CTM（化学輸送モデル）によるモデル計算結果と観測結果とを比較した。その結果、領域別に評価した計算では、サハラ領域からの輸送、沈着の寄与もあることと、中央アジア、西アジア、中近東などからの寄与が大きいことが示唆された。
- ・気象研の MASINGAR モデルにより、降水事象を含めた気象場の再現特性、黄砂の時空間分布の妥当性について詳しい解析を進め、これに基づいたモデルの改良をおこない、2007 年、2008 年について湿性および乾性ダスト沈着量を計算したところ、つくばでの実測値とかなりよい一致をみた。この結果を元にして、黄砂頻発年と非頻発年との大陸での黄砂発生条件の違い、日本への輸送ルートの違いなどにつき検討を行った。また、黄砂頻発年であった 2007 年と非頻発年であった 2008 年とで乾性沈着量を比較したところ、大きな差がみられないことから、つくばの乾性沈着量は、ローカル発生源に大きな影響を受けていると推定された。一方、湿性沈着量は、黄砂による影響を大きく受けることがわかった。

成果発表一覧

1. 査読論文

1. Tanimoto, H., Y. Sawa, H. Matsueda, I. Uno, T. Ohara, K. Yamaji, J. Kurokawa, S. Yonemura, 2005: Significant latitudinal gradient in the surface ozone spring maximum over East Asia. *Geophysical Research Letters*, **32**, L21805, doi:10.1029/2005GL023514.
2. Inoue, H. Y., H. Matsueda, Y. Igarashi, Y. Sawa, A. Wada, K. Nemoto, H. Sartorius, C. Schlosser, 2006: Seasonal and long-term variations in atmospheric CO_2 and ^{85}Kr in Tsukuba, Central Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **84**(6), 959-968.
3. Igarashi, Y., Y. Sawa, K. Yoshioka, H. Takahashi, H. Matsueda, Y. Dokiya, 2006: Seasonal change of SO_2 plume transport over Japan: Observations at the summit of Mt. Fuji from winter to summer. *Atmospheric Environment*, **40**, 7018-7033.
4. Lee, H. N., Y. Igarashi, M. Chiba, M. Aoyama, K. Hirose, T. Tanaka, 2006: Global model simulation of the transport of Asia and Sahara dust: Total deposition of dust mass in Japan. *Water, Air and Soil Pollution*, **169**, 137-166, DOI: 10.1007/s11270-006-1895-8.
5. Kaneyasu, N., Y. Igarashi, Y. Sawa, H. Takahashi, H. Takada, H. Kumata, R. Höller, 2007: Chemical and optical properties of 2003 Siberian forest fire smoke observed at the summit of Mt. Fuji, Japan, *Journal of Geophysical Research*, **112**, D13214, doi:10.1029/2007JD008544.
6. Wada, A., Y. Sawa, H. Matsueda, S. Taguchi, S. Murayama, S. Okubo, Y. Tsutsumi, 2007: Influence of continental air mass transport on atmospheric CO_2 in the western North Pacific. *Journal of Geophysical Research*, **112**, D07311, doi:10.1029/2006JD007552.
7. Sawa, Y., T. Tanimoto, S. Yonemura, H. Matsueda, A. Wada, S. Taguchi, T. Hayasaka, H. Tsuruta, Y. Tohjima, H. Mukai, N. Kikuchi, S. Katagiri, K. Tsuboi, 2007: Widespread pollution events of carbon monoxide observed over the western North Pacific during the East Asian Regional Experiment (EAREX) 2005 campaign. *Journal of Geophysical Research*, **112**, D22S26, doi:10.1029/2006JD008055.
8. Yonemura, S., S. Kawashima, H. Matsueda, Y. Sawa, S. Inoue, H. Tanimoto, 2008: Characteristics of temporal variations in ozone concentrations derived from principal component analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, **92**, 47-58.
9. Tanimoto, H., Y. Sawa, H. Matsueda, S. Yonemura, A. Wada, H. Mukai, T. Wang, S. Poon, A. Wong, G. Lee, K. R. Kim, M. H. Lee, N. H. Lin, J. L. Wang, C. F. Ou-Yang, C. F. Wu, 2007:

- Evaluation of standards and methods for continuous measurements of carbon monoxide at ground-based sites in Asia. *Papers in Meteorology and Geophysics*, **58**, 85-93.
10. Tanimoto H., H. Mukai, Y. Sawa, H. Matsueda, S. Yonemura, T. Wang, S. Poon, A. Wong, G. Lee, J. Y. Jung, K. R. Kim, M. H. Lee, N. H. Lin, J. L. Wang, C. F. Ou-Yang, C. F. Wu, H. Akimoto, P. Pochanart, K. Tsuboi, H. Doi, C. Zellweger, J. Klausen, 2007: Direct assessment of international consistency of standards for ground-level ozone: Strategy and implementation toward metrological traceability network in Asia. *Journal of Environmental Monitoring*, **9**, 1183-1193.
 11. Miyazaki, Y., Y. Kondo, S. Han, D. Kodama, M. Koike, Y. Komazaki, H. Tanimoto, H. Matsueda, 2007: Chemical characteristics of water-soluble organic carbon in the Asian outflow. *Journal of Geophysical Research*, **112**, D22S30, doi:10.1029/2007JD009116.
 12. Miyaoka, Y., H. Y. Inoue, Y. Sawa, H. Matsueda, S. Taguchi, 2007: Diurnal and seasonal variations in atmospheric CO₂ in Sapporo, Japan: Anthropogenic sources and biogenic sinks. *Geochemical Journal*, **41**, 429-436.
 13. Matsueda, H., T. Machida, Y. Sawa, 2007: Evaluation of atmospheric CO₂ measurements from new air sampling of JAL airliner observation. *Papers in Meteorology and Geophysics*, **59**, 1-17.
 14. Nakajima, T, S. C. Yoon, V. Ramanathan, G. Y. Shi, T. Takemura, A. Higurashi, Tamio Takamura, Kazuma Aoki, Byung-Ju Sohn, Sang-Woo Kim, H. Tsuruta, N. Sugimoto, A. Shimizu, H. Tanimoto, Y. Sawa, N. H. Lin, C. T. Lee, D. Goto, N. Schutgens, 2007: Overview of the Atmospheric Brown Cloud East Asian Regional Experiment 2005 and a study of the aerosol direct radiative forcing in east Asia. *Journal of Geophysical Research*, **112**, D24S91(1-23).
 15. Inoue, H.Y., Y. Fukazawa, H. Tanimoto, H. Matsueda, Y. Sawa, A. Wada, 2008: Atmospheric CO₂ and O₃ observed on Rishiri Island from December 2006 to March 2008. *Papers in Meteorology and Geophysics*, **59**, 31-38.
 16. Kuwata, M., Y. Kondo, Y. Miyazaki, Y. Komazaki, J. H. Kim, S. S. Yum, H. Tanimoto, H. Matsueda, 2008: Cloud condensation nuclei activity at Jeju Island, Korea in spring 2005. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, **8**, 2933-2948.
 17. Tanimoto, H., Y. Sawa, S. Yonemura, K. Yumimoto, H. Matsueda, I. Uno, T. Hayasaka, H. Mukai, Y. Tohjima, K. Tsuboi, and L. Zhang, 2008: Diagnosing recent CO emissions and ozone evolution in East Asia using coordinated surface observations, and a joint inverse modeling, and MOPITT satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **8**, 3867-3880.
 18. Suzuki, I, K. Hayashi, Y. Igarashi, H. Takahashi, Y. Sawa, N. Ogura, T. Akagi, Y. Dokiya, 2008: Seasonal variation of water-soluble ion species in the atmospheric aerosols at the summit of Mt. Fuji. *Atmospheric Environment*, **42**, 8027-8035.
 19. Sahu, L. K., Y. Kondo, Y. Miyazaki, M. Kuwata, M. Koike, N. Takegawa, H. Tanimoto, H. Matsueda, S. C. Yoon, Y. J. Kim, 2008: Anthropogenic aerosols observed in Asian continental outflow at Jeju Island, Korea, in spring 2005. *Journal of Geophysical Research*, (in press).
 20. Wada, A., S. Murayama, H. Kondo, H. Matsueda, Y. Sawa, 2008. Development of a compact and sensitive Radon-222 measuring system for use in atmospheric observation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, (submitted).
 21. Saito, T., K. Kawamura, U. Tsunogai, T. Y. Chen, H. Matsueda, T. Nakatsuka, T. Gamo, M. Uematsu, B. J. Huebert, 2008: The effect of mixing and OH oxidation on non-methane hydrocarbon compositions and their stable carbon isotope ratios in air masses over East Asia. *Journal of Geophysical Research*, (submitted).
 22. 五十嵐康人・猪股弥生・高橋宙・篠田佳宏・田中泰宙・青山道夫・千葉長, 2009: 2006年春季に

つくばで観測したダスト事象の解析－黄砂と近傍からの風塵－. 天気 (7月号印刷中)

23. Inomata, Y., Y. Igarashi, M. Chiba, Y. Shinoda, H. Takahashi, 2009: Dry and wet deposition of water-insoluble dust and water-soluble chemical species during spring 2007 in Tsukuba, Japan, *Atmospheric Environment* (in press).
24. Inomata, Y., Y. Igarashi, M. Mikami, T. Y. Tanaka, M. Chiba, 2009: Seasonal and yearly variations of dust deposition in Tsukuba: Linked to variations of dust emission over the Asian continent. *SOLA* (submitted).
25. Inomata, Y., Y. Igarashi, K. Yoshioka, T. Y. Tanaka, M. Chiba, 2009: Temporal variation of ^{222}Rn at the summit of Mt. Fuji associated with the Asian continental outflow. *Journal of Geophysical Research* (submitted).

2. 査読論文以外の著作物 (翻訳、著書、解説、講演発表の要旨集など)

1. 松枝秀和, 2005: 旅客機を利用した大気中微量気体の長期観測. *ぶんせき*, **No. 9**, 490-495.
2. 松枝秀和, 2005: 地球温暖化を監視する旅客機. *PILOT*, **No.2**, 6-11.
3. 松枝秀和・石井雅男, 2007: 気象研究所における二酸化炭素の研究観測. *気象研究ノート*, **215号**, 34-35.
4. 五十嵐康人, 2008: *大気と微粒子の話－エアロゾルと地球環境*, (笠原三紀夫, 東野達監修, 太田幸雄, 大原利眞, 奥山喜久夫, 畠山史郎編集, 分担執筆), 京都大学出版会.
5. 五十嵐康人, 2008: *新化学小事典*. (池田長生・小熊幸一監修, 三省堂編集所編, 分担執筆) 三省堂.

3. 口頭発表

(1)国際会議・学会等での口頭発表件数: 13件

(2)国内会議・学会等での口頭発表件数: 46件

1. 松枝秀和・澤庸介・田口彰一・五十嵐康人, 2005: 富士山山頂で2003年春季に観測されたシベリア森林火災による顕著なCO濃度上昇. *日本気象学会2005年度春季大会講演予稿集*, P428.
2. 大久保沙貴・和田晃・松枝秀和・澤庸介・田口彰一・村山・堤之智, 2005: 南鳥島における大気中CO₂濃度の顕著な低下現象について. *日本気象学会2005年度春季大会講演予稿集*, P129.
3. 澤庸介・松枝秀和・田口彰一・五十嵐康人・堤之智・関山剛, 2005: 富士山山頂で冬季に観測された顕著なCO濃度上昇. *日本気象学会2005年度春季大会講演予稿集*, B201.
4. Sawa, Y., H. Matsueda, S. Taguchi, Y. Igarashi, Y. Tsutsumi, 2005: Variations and transport of carbon monoxide over the Western Pacific. *The First International Symposium by the China, Korea, and Japan Meteorological Societies*.
5. Matsueda, H., Y. Sawa, A. Wada, S. Taguchi, 2005: Interannual variations of carbon dioxide in the upper troposphere observed over the western Pacific from 1993 to 2005. *Proceeding of 7th International Carbon Dioxide Conference*, FF-177.
6. Sawa, Y., H. Matsueda, S. Taguchi, Y. Igarashi, Y. Tsutsumi, 2005: Episodic enhancements of CO₂ and CO at the summit of Mt. Fuji (3776m), Japan. *Proceeding of 7th International Carbon Dioxide Conference*, EC-178.
7. 谷本浩志・澤庸介・松枝秀和・鶴野伊津志・大原利眞・米村正一郎・山地一代・黒川純一, 2005: 北東アジアにおける地表オゾンの季節・年々変動: 観測事実とモデル解析. *第11回大気化学討論会*.
8. Tanimoto, H., Y. Sawa, H. Matsueda, S. Yonemura, I. Uno, T. Ohara, 2005: Interannual variations and recent trends of ground-level ozone over East Asia. *2005 Gordon Research Conference*.
9. 松枝秀和, 2005: 定期航空機による上部対流圏の温室効果気体観測. *炭素循環および温室効果ガス観測ワークショップ*.
10. 篠田佳宏・五十嵐康人, 2006: 2006年春季につくばで観測した黄砂および風塵現象の解析. *日本気象学会2006年度秋季大会講演予稿集*, P305.

11. 萩谷聡・和田晃・澤庸介・松枝秀和, 2006: 北西太平洋上における大気中二酸化炭素濃度の不連続とその要因. *日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集*, P250.
12. 松枝秀和・町田敏暢・澤庸介・中川由紀夫・近藤直人・石川和敏・中澤高清・小川利紘・末永民樹, 2006: 定期航空機によるフラスコサンプリングで観測される二酸化炭素濃度の変動. *日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集*, P401.
13. 澤庸介・谷本浩志・米村正一郎・田口彰一・松枝秀和・早坂忠裕・鶴田治雄・遠嶋康德・向井人史・菊地信行・片桐秀一郎・和田晃, 2006: ABC-EAREX2005 期間中に観測された CO 濃度の上昇. *日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集*, P301.
14. 松枝秀和・村山昌平・和田晃・澤庸介・近藤裕昭, 2006: 大気中ラドンの測定装置の改良. *第 12 回大気化学討論会大会講演要旨集*, P55.
15. 佐伯田鶴・松枝秀和・中澤高清・青木周司・菅原敏, 2006: 日本上空及び西太平洋上空のメタン濃度変動要因の考察. *第 12 回大気化学討論会大会講演要旨集*, P32.
16. 松枝秀和, 2007: 大気と海洋における地球温暖化原因物質の長期変動に関する観測研究. *平成 18 年度気象研究所活動報告会後援要旨集*, P4-5.
17. 澤庸介・谷本浩志・米村正一郎・田口彰一・松枝秀和・早坂忠裕・鶴田治雄・遠嶋康德・向井人史・和田晃, 2006: ABC-EAREX2005 期間中に観測された CO 濃度の上昇. *第 12 回大気化学討論会大会講演要旨集*, P23.
18. 和田晃・澤庸介・松枝秀和・堤之智・坪井一寛, 2007: 与那国島および南鳥島における大気中ラドンの濃度変動について. *第 17 回大気化学シンポジウム大会講演要旨集*, P-52.
19. 宮崎雄三・近藤豊・韓盛喜・児玉大輔・小池真・駒崎雄一・谷本浩志・松枝秀和, 2007: 韓国済州島における水溶性有機エアロゾルの化学特性. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, C102.
20. 近藤裕昭・菅原広史・澤庸介・村山昌平・松枝秀和・石島健太郎・和田晃・三枝信子・飯塚悟, 2007: 気象研鉄塔で観測された夜間の安定成層状態と乱流輸送. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P212.
21. 近藤裕昭・村山昌平・澤庸介・松枝秀和・和田晃・菅原広史・石島健太郎・三枝信子・飯塚悟, 2007: 安定大気境界層中の物質輸送の研究—ラドンをトレーサとして—. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, C206.
22. 松田結・大久保沙貴・和田晃・松枝秀和・澤庸介・坪井一寛・堤之智, 2007: 気象庁の大気バックグラウンド汚染観測所における一酸化炭素濃度変動の解析. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P101.
23. 石島健太郎・村山昌平・近藤裕昭・松枝秀和・澤庸介・和田晃・三枝信子・菅原広史, 2007: 冷温帯落葉広葉樹林と気象研究所構内における土壌水分量及びラドンフラックスの測定—2006 年集中観測結果—. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P213.
24. 村山昌平・澤庸介・松枝秀和・和田晃・近藤裕昭・菅原広史・石島健太郎・三枝信子・飯塚悟, 2007: 気象研究所鉄塔で観測された大気中ラドンと CO₂ 濃度の日々の変動. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P211.
25. 和田晃・村山昌平・松枝秀和・澤庸介・石島健太郎・菅原広史・三枝信子・飯塚悟・近藤裕昭, 2007: 高時間分解能をもつラドン濃度測定法の改良. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P210.
26. 丹羽洋介・今須良一・佐藤正樹・町田敏暢・下山宏・松枝秀和, Shamil Maksyutov, 2007: NICAM を用いた CO₂ 地表面フラックスのインバージョン解析. *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P107.
27. 宮崎雄三・近藤豊・児玉大輔・小池真・駒崎雄一・谷本浩志・松枝秀和, 2007: 韓国・済州島で観測された水溶性有機エアロゾルの化学特性. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, F118-006.
28. 丹羽洋介・今須良一・佐藤正樹・松枝秀和・町田敏暢・下山宏・Maksyutov Shamil, 2007: インバージョン解析を用いた上空における CO₂ 濃度変動の解析. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, F118-024.

29. 和田晃・松枝秀和・澤庸介・坪井一寛・堤之智, 2007: 与那国島における大気中ラドンおよび微量気体の濃度変動について. 第13回大気化学討論会講演要旨集, P-01.
30. 和田晃・村山昌平・松枝秀和・澤庸介・近藤裕昭・石島健太郎・菅原広史・三枝信子・飯塚悟, 2007: 大気中ラドン測定装置の改良と気象研究所鉄塔における微量気体の観測. 第13回大気化学討論会講演要旨集, P-02.
31. 篠田佳宏・五十嵐康人・高橋宙・田中泰宙・猪股弥生・青山道夫・千葉長, 2007: 2006年春季につくばで観測したダストイベントの解析. 日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集, P112.
32. 猪股弥生・高橋宙・五十嵐康人・篠田佳宏・千葉長, 2007: 春季におけるダスト現象について. 第27回酸性雨問題研究会シンポジウム - 「越境大気汚染と山岳観測」 -.
33. 五十嵐康人, 2007: 日本での観測で風送ダストをどう紐解くかー私見. 環日本海域の環境シンポジウム: 地球環境地域学の創成を目指して.
34. 岩橋均・北河恵美子・五十嵐康人, 2008: 黄砂試料に含まれる真核生物由来遺伝子の解析. 第2回バイオエアロゾルシンポジウム
35. 近藤裕昭・石島健太郎・滝川雅之・村山昌平・澤庸介・松枝秀和・和田晃・菅原広史, 2008: 気象研タワー観測における Rn, CO, CO₂ 濃度日変化の数値シミュレーション. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集, C102.
36. 松枝秀和・澤庸介・村山昌平・近藤裕昭・石島健太郎・和田晃, 2008: 接地境界層内の大気ラドン観測による生態系呼吸量の評価. 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集, C360.
37. 和田晃・村山昌平・近藤裕昭・松枝秀和・澤庸介・坪井一寛, 2008: 高精度ラドン計による南鳥島での大気中ラドンの連続観測. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集, P438.
38. 松枝秀和・澤庸介・坪井一寛・工藤則安, 2008: 世界気象機関(WMO)における標準ガスの濃度スケールについて. 第3回(平成19年度)標準ガスクラブ.
39. 江崎雄治・松枝秀和・澤庸介, 2009: 気象庁における全球大気監視校正センター業務. 第4回(平成20年度)標準ガスクラブ.
40. Matsueda, H., Y. Sawa, S. Murayama, H. Kondo, A. Wada, 2008: Trace gases variations in the surface boundary layer observed by MRI meteorological tower in Tsukuba, Japan. *Proceeding of Integrating and scaling processes for plot to landscape ecosystem study*, P41.
41. Wada, A., S. Murayama, H. Kondo, H. Matsueda, Y. Sawa, K. Tsuboi, 2008: Development of an electrostatic Radon-222 measuring system for ground based observation. *Proceeding of Integrating and scaling processes for plot to landscape ecosystem study*, P40.
42. Murayama, S., A Wada, H. Matsueda, Y. Sawa, H. Kondo K. Tsuboi, 2008: Development of new electrostatic radon monitor for ground based observation. *Asia-Pacific Workshop on Carbon Cycle Observations*.
43. Wada, A., Y. Sawa, H. Matsueda, S. Taguchi, S. Murayama, S. Okubo, Y. Tsutsumi, 2008: Influence of continental air mass transport on atmospheric CO₂ in the Western North Pacific. *Asia-Pacific Workshop on Carbon Cycle Observations*.
44. Sawa, Y., H. Tanimoto, S. Yonemura, S. Taguchi, H. Matsueda, T. Hayasaka, H. Tsuruta, Y. Tohjima, H. Mukai, A. Wada, N. Kikuchi, S. Katagiri, K. Tsuboi, 2008: Widespread pollution events of CO observed over the western North Pacific during the ABC-EAREX2005. *Asia-Pacific Workshop on Carbon Cycle Observations*.
45. 和田晃・村山昌平・澤庸介・松枝秀和・近藤裕昭・田口彰一・坪井一寛, 2008: 南鳥島における大気中ラドンの観測と輸送過程の解析. 第14回大気化学討論会講演要旨集, P-19.
46. 猪股弥生・吉岡勝廣・五十嵐康人・田中泰宙・千葉長, 2008: 富士山頂で観測されたラドンの濃度変動と大気循環場との関係—MASINGAR による解析—. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集, P340
47. 三浦和彦・永野勝裕・小林拓・藤田慎一・速水洋・兼保直樹・高橋宙・五十嵐康人, 2008: 富士山周辺の自由空間の気温と山頂の気温の違い. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集,

P248

48. 鈴木一成・五十嵐康人・高橋 宙・土器屋由紀子・赤木 右, 2008: バックグラウンド黄砂の化学的特徴. 日本地球惑星科学連合大会.
49. Igarashi, Y., H. Takahashi, Y. Shinoda, S. Fujita, H. Hayami, S. Kato, 2008: Sulfur oxide observed at Mt. Fuji during summer seasons. *The 25th Symposium on Aerosol Science & Technology in conjunction with International Aerosol Symposium 2008*.
50. Miura, K., D. Okamoto, H. Kobayashi, Y. Igarashi, H. Furutani, Y. Iwamoto, Y. Narita, M. Uematsu, H. Fukuda, A. Takami, 2008: Size distribution of nano particles in marine and mountain atmosphere (2), *The 25th Symposium on Aerosol Science & Technology in conjunction with International Aerosol Symposium 2008*.
51. Takemura, N., H. Okochi, T. Funakura, Y. Minami, Y. Igarashi, 2008: Study of fog water chemistry and wet deposition in Mt. Fuji (3), *The 25th Symposium on Aerosol Science & Technology in conjunction with International Aerosol Symposium 2008*.
52. Takahashi, H., Y. Igarashi, H. Naoe, H. Kobayashi, O. Nagahuchi, K. Yokota, 2008: Diurnal wind circulation and properties of aerosol particles at isolated mountain. *The 25th Symposium on Aerosol Science & Technology in conjunction with International Aerosol Symposium 2008*.
53. 三浦和彦・小林 拓・速水 洋・藤田慎一・五十嵐康人, 2008: 富士山頂におけるエアロゾルの粒径分布の特徴. 第49回大気環境学会年会.
54. 船倉崇弘・大河内博・竹村尚樹・皆巳幸也・五十嵐康人, 2008: 富士山におけるガスおよびエアロゾル濃度の観測とその濃度支配要因(1). 第49回大気環境学会年会.
55. 松延明典・大河内博・名古屋俊士・皆巳幸也・五十嵐康人・稲津晃司, 2008: 大気中フミン様物質の定量と化学特性の解明(4). 第49回大気環境学会年会.
56. 前島幸司・大河内博・名古屋俊士・稲津晃司・久松由東・皆巳幸也・五十嵐康人, 2008: 富士山における大気中 PAHs の動態とその濃度支配要因. 第49回大気環境学会年会.
57. 兼保直樹・五十嵐康人・永野勝裕, 2008: 夏季の富士山頂で観測された黒色炭素粒子の発生源. 第49回大気環境学会年会.
58. 藤代恵史・三浦和彦・室崎将史・小林拓・速水洋・藤田慎一・五十嵐康人, 2008: 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集, P388.
59. 五十嵐康人, 2008: 頭を雲の上にも、下にも出して—富士山で眺めた大気エアロゾル—. わかる科学・技術市民講座 (第1回) 「海、山、極地から見た地球環境の変化」.
60. 猪股弥生・五十嵐康人, 2008: つくばで観測した Wet/Dry deposition. ダストの動態解明に関する研究集会 (科研費基盤 A (代表: 三上正男) 第2回研究集会).

火山観測データの気象補正等による高精度化に関する研究

研究期間：平成18年度～平成20年度

研究代表者：山里 平（地震火山研究部 第3研究室長）

研究担当者

山里 平、福井敬一、北川貞之¹⁾、高木朗充、坂井孝行、安藤 忍²⁾（地震火山研究部）、小司禎教（予報研究部）青木輝夫²⁾、朽木勝幸²⁾（物理気象研究部）

研究の目的

火山活動の監視のために、マグマ活動や熱水活動に伴う地殻変動を捉えることは有効かつ重要である。そのため、活動的な火山ではGPS観測や光波測距などの地殻変動観測が行われている。

火山監視・情報センターによる常時観測火山でのGPS連続観測は、開始されて約4年が経過した。この間、火山監視への活用と観測データの蓄積が進められた。それらのデータについては、観測点間の標高差が比較的小さい国土地理院のGEONETによるものと比較して、測位データのバラツキや年周変化の振幅が大きいなど、観測精度が高くないことが指摘されている。

火山体の観測では観測点間の比高が大きくなるために、大気空間的、時間的不均質性に強く影響を受け、地殻変動データの測定誤差が大きくなり、的確な活動評価を容易に行うことができない場合がある。

気象庁のGPS観測網は火山監視に特化したものであり、火山体周辺に設置されている。火山体近傍での地殻変動監視の遂行上、的確な活動評価を行うためには、大気の補正を行い、観測データの測位・解析精度を向上させる必要がある。

このようなことから、対流圏の大気などに関する気象データ等を活用し、火山観測データの精度を改善する手法を研究開発する。この研究により、地殻変動の観測結果からの的確な活動評価を迅速・的確に行うことが可能になり、火山監視の高度化に資するものである。

地殻変動の観測データに加え、紫外線を利用した火山ガス放出量観測や、噴火地点に相当する空振源の決定においても、気象データ利用による補正手法に関する研究を行う。

研究の到達目標

GPS観測では、上下成分の測位・解析精度は水平成分に比べて1桁近く悪い。そのためこれまでは、おもに水平成分の変動分布から地殻変動をもたらす圧力源の位置等を評価していた。山体付近では、地殻変動の上下成分が火山活動の状況を的確に示すと考えられるため、上下成分の測位・解析精度が向上すれば、活動評価の精度も向上することになる。

これまで気象庁が実施してきた火山監視のためのGPS観測では、上下成分について、基準観測点との標高差にしたがって最大8cmほどの季節変動があり、噴火準備過程や噴火直前におけるマグマの蓄積を評価する妨げとなっている。2004年に浅間山で発生した中規模噴火の噴出物は約 $2 \times 10^6 \text{m}^3$ であり、本研究では、深さ5kmのマグマ溜まりが 10^6m^3 程度膨張したときの地殻変動を検出可能にすることを目指す。

気象要素によるGPS測位データの補正は、統計処理を行うことで約5割程度減じることが可能との報告もある。しかしこの研究成果は地殻変動がない期間のデータをサンプルとするものである。本研究では、物理学的アプローチによる補正手法の開発によって、GPS観測の上下成分の季節変動を半減することを目標とする。

また、火山ガス放出量観測データに含まれる誤差を定量的に評価するとともに、気象の影響を加味した空振源の正確な決定手法を開発する。

研究計画の概要

- ・気象学的知見等を利用した火山観測データの高精度解析手法の開発を行う。火山体で地殻変動観測を

¹⁾ 平成18年度、²⁾平成19～20年度、

行い、測位・解析精度の高いデータに向上させるため、気象データ等を用いた解析・補正処理技術の開発を実施する。

- ・浅間山で、GPS 及び光波測距等の地殻変動と気象要素の連続観測を行う。
- ・実況の客観解析、あるいは数値予報モデルによる格子点データを用い、人工衛星からのシグナル経路で生じる伝搬遅延の時間・空間的に詳細な推定モデルを構築し、適切な対流圏ノイズ除去が可能な補正手法を検討・開発する。
- ・大気補正等による精度向上から期待される、時間分解能の改善について検証をおこなう。
- ・浅間山での気象観測データによる補正と、格子点データを用いた補正との比較・検証を行う。
- ・大気補正を行った GPS 観測データ及び光波測距観測データの比較検証を行う。
- ・電離層が測位精度へ及ぼす影響の評価を行う。
- ・紫外域放射伝達モデルを利用して、火山ガス放出量観測データに含まれる対象物までの距離や太陽高度、オゾン量、雲などの影響について評価する。また、風速データ等を用いた補正により、空振源を高精度に決定する手法を開発する。

研究成果

- ・火山観測用の 1 周波 GPS データに対して、周辺の 2 周波 GPS データを用いた解析から電離層遅延補正值を推定する電離層マッピング補正手法を適用してみたところ電離層の影響を軽減することができ、結果として水平成分に見られるみかけの年周変動を従来の処理手法に比べておおむね 1/3 以下までに減少させることができた。
- ・また、対流圏における水蒸気の影響を補正する手法を適用することによって、上下成分のみかけの年周変動を、従来手法に比べ、1/5 程度にまで軽減できた。
- ・上記の手法を、2007 年の御嶽山のごく小規模噴火前後の GPS データに適用することによって、地下深部のマグマと浅部の熱水によると思われる膨張を初めて定量的に捉えることができた。
- ・さらに、気象庁のメソ数値予報モデル (MSM) 客観解析値によって GPS 電波の伝搬遅延量を推定するサブルーチンを開発した。それを浅間山の基線に適用することによって、長周期の年周変動ノイズが除去でき、標高差の大きい基線においても 1cm 未満の上下変化を検出できるまで地殻変動の観測精度の向上に成功した。
- ・一方、観測点近傍での気象観測の実測データを用いて計算した伝搬遅延量を用いた補正解析では、精度の向上は見られなかった。
- ・空振計のデータと噴火強度との関係を整理するとともに、空振の伝搬が上層風の影響を受けることを明らかにした。そして、空振源の位置の推定において、気象観測データを用いた位置補正手法を開発し、近接した異なる火口においてもどちらで噴火したかの判定がより明瞭にできるようにした。
- ・紫外域リモートセンシング手法を用いた火山ガス放出量観測データに含まれる、種々の誤差要因（噴煙高度、太陽高度、オゾン量、雲、噴煙と太陽との水平角など）について、紫外域放射伝達モデルを利用して定量的に評価した。パニング法における距離依存性をほぼ再現出来た。パニング法を利用する場合、観測視野と太陽との方位角の違いによって 30% 以上の誤差が生じることがあること、トラバース法では太陽高度の違いが最も大きな影響を与え、条件によっては数十% 過大に見積もられる可能性があることを明らかにした。
- ・1 周波 GPS 地殻変動観測処理の障害となっていた電離層の影響、対流圏における水蒸気の影響を軽減する、これらの手法は、特別研究「マグマ活動の定量的把握技術の開発とそれに基づく火山活動度判定の高度化に関する研究」においても活用し、それらにより、地殻変動の観測結果からの的確な活動評価をより迅速かつ的確に行い得るようになった。
- ・MSM 客観解析値を利用した補正手法は、1 周波 GPS のみならず、火山観測においても展開が図られてきている 2 周波 GPS においても、標高差の大きい観測点間の基線解析には有効な手法であると考えられる。さらには、干渉 SAR（合成開口レーダー）による地殻変動解析等、他の手法における大気圏の影響による誤差についても、MSM 客観解析値の利用によって軽減できる可能性を示している。
- ・電離層マッピング補正及び対流圏補正手法は、すでに気象庁火山監視・情報センターにおいてオフラインでの地殻変動評価には利用されている。近々、オンライン系においても同様の処理ができるシステムの導入により利用が開始され、リアルタイムでの監視に用いられる予定である。MSM 客観解析値を利用した補正解析が導入できれば、さらなる監視の強化に結びつく可能性がある。
- ・本研究において得られた空振計のデータの活用法は、各火山監視・情報センターにおいて、噴火検知等の基準として利用される予定である。

今後に残された問題点

- ・火山ガス放出量観測における誤差要因についての定量的評価結果は、火山ガス放出量の時間変化の有意性の評価に活用できるが、より正確な評価を行うためには三次元放射伝達モデルを使用する必要がある。今後は、新しい測定器に対応した精度の高いSO₂推定法の開発、自動連続観測システムの開発などが必要である。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

国土地理院によって展開された2周波型GPS観測点は全国で約1300カ所に上るが、個々の火山の地殻変動を監視するには1周波型GPSの多点展開が不可欠である。1周波型GPSは2周波型に比べて観測精度が格段に低いと言われていたが、本研究では1周波型GPSデータに含まれる電離層遅延の補正手法を開発し、2周波GPSと遜色のない地殻変動観測を可能にした。加えて、対流圏での影響を補正するため、メソ数値予報モデル客観解析値を利用した手法を新たに開発し、測位精度を向上させることに成功した。今後、他の火山の監視に適用される可能性があると共に、通常の間山地における地殻変動観測にも利用できる可能性があり、適用範囲の広い補正手法を開発したことは特筆に値する。なお、機会があれば、客観解析値を用いた場合と異なり、実測データを用いた伝搬遅延量の補正では測位精度が向上しなかった理由を、数値予報課の専門家等と協力して、調査してもらいたい。

また空振観測による噴火位置の判定精度やSO₂の観測精度向上についても進歩が認められ次期研究課題の成果も期待できる。

研究成果がすでに気象庁で業務化されている点でも意義が大きい。まさに実用化研究・応用開発であるので、オリジナル性の高い論文ではなくとも、各サブ課題の技術開発・改良を詳細に記述した査読論文としてまとめることが必要であろう。

最新の大気モデルの成果の活用、気象の専門家との連携をとりやすい当研究所のメリットを活かした研究としても評価できる。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 6件
- ・口頭発表件数 18件

成果発表一覧

- 査読論文
 - 山本哲也・高木朗充・福井敬一・大和田毅, 2008: 安達太良山の火山活動の総合的観測と推定される熱水活動. 気象研究所研究報告, **59**, 39-64.
- 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）
 - 高木朗充, 噴火活動後の低周波地震活動. 気象庁技術報告, **128**, 「平成12年（2000年）三宅島噴火及び新島・神津島近海の地震活動調査報告」, 81-88.
 - 福井敬一, 2006: 放熱量観測. 気象庁技術報告, **128**, 「平成12年（2000年）三宅島噴火及び新島・神津島近海の地震活動調査報告」, 115-121.
 - 福井敬一・尾台正信・飯野英樹・宮下 誠・中堀康弘・篠原宏志・風早康平・斉藤元治・A. J. Sutton, 2006: 火山ガス組成比（CO₂/SO₂）観測. 気象庁技術報告, **128**, 「平成12年（2000年）三宅島噴火及び新島・神津島近海の地震活動調査報告」, 161-166.
 - 鍵山恒臣・藤原 智・門脇俊弘・濱崎秀夫・西谷忠師・山崎 明・福井史雄・山本哲也・北川貞之・田中良和・橋本武志・坂中伸也・長谷英彰・谷口宏充・長谷中利昭・後藤章夫・大場 司・中川光弘・佐々木実・三品正明, 2006: 臨時観測点による岩手山における全磁力連続観測. 1999年岩手山集中総合観測報告, 103-109.
 - 高木朗充, 2008: 気象格子点データを用いた光波測距データの補正手法. 気象研究所技術報

告, 53, 216-222.

3. 口頭発表

1. Yamasato, H., T. Sakai, Y. Fujiwara, 2007: Infrasonic observation near active volcanoes in Japan. 61-62, *Infrasound Technology Workshop 2007 (ITW2007)*, Ikebukuro.
2. Yamasato, H., 2007: Volcano-acoustic monitoring in Japan. *Second International Workshop on Acoustic Remote Sensing of Volcanoes (IWARS)*, Shimabara.
3. Yamasato, H., T. Sakai, Y. Fujiwara, 2007: Infrasonic observation near active volcanoes and its results in Japan. 12-O-08, *Cities on Volcanoes 5 Conference*, Shimabara.
4. Kazahaya, K., M. Ohwada, T. Mori, J. Hirabayashi, H. Yamasato, M. Miyashita, Y. Ueda, S. Onizawa, T. Mori, T. Shuto, H. Kagesawa, 2007: Monitoring of sulfur dioxide flux from Asama volcano, Japan. 12-P-53, *Cities on Volcanoes 5 Conference*, Shimabara.
5. Yamasato, H., 2007: Monitoring of volcanic activity and advisory information in volcano crises -case histories of Usu and Miyake in 2000-. 21a-P-19. *Cities on Volcanoes 5 Conference*, Shimabara
6. Andou, S., S. Chikasawa, A. Kaziya, N. Sakuma, M. Odai, 2007: Investigation of effect of meteorological factors to the volcano thermal observation data using infrared thermal camera. 12-P-74, *Cities on Volcanoes 5 Conference*, Shimabara.
7. 千葉 長・藤原善明・坂井孝行・山里 平, 2006: 浅間山噴火に伴う空振現象のレイトレーシング. *日本地球惑星科学連合 2006 年大会*, V101-016.
8. 藤原善明・山里 平・坂井孝行・坂戸宏敏・大塚仁大・安藤忍・山際芳雄・小山 寛・加藤幸司, 2006: 三宅火口近傍における空振観測. *日本地球惑星科学連合 2006 年大会*, V101-P024.
9. 藤原善明・山里 平・坂井孝行, 2006: 空振計ネットを用いた空振源決定について—桜島および三宅島での場合. *日本火山学会 2006 年秋季大会*, 160.
10. 菅井 明・稲葉博明・末峯宏一・平松秀行・坂井孝行・山里 平, 2006: エネルギー積算から見た最近の桜島の火山活動. *日本火山学会 2006 年秋季大会*, 199.
11. 道端秀和・宮村淳一・藤原善明・山里 平, 2007: 三宅島で観測される空振を伴う低周波地震とそれに先駆する地震活動. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会*, V156-30.
12. 藤原善明・山里 平・坂井孝行・北川貞之・棚田理絵, 2007: 高層風が空振走時に与える影響について—桜島南岳爆発的噴火の場合—. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会*, V156-032.
13. 尾台正信・近澤 心・安藤 忍・西田 誠・前川和宏・中村清隆・宮坂 聡・久保田竜, 2007: 口永良部島における航空機を用いた熱調査について. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会*, V237-P004.
14. 尾台正信・安藤 忍・近澤 心・西田 誠・松村智之・井口泰志・飯島 聖・上田義浩, 2007: 航空機による火山熱活動の定量的評価に向けて. *日本地球惑星科学連合 2007 年大会*, V237-P006.
15. 坂井孝行・山里 平・中村清隆・稲葉博明・藤原善明, 2008: 桜島昭和火口 2008 年噴火で発生した爆発的噴火に伴う空振. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会*, V151-P025.
16. 山里 平・坂井孝行・加藤幸司, 2008: 空気振動及び地震動から推定する噴火の強度. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会*, V151-P026.
17. 加藤 幸司・山里 平・増田与志郎, 2008: 桜島昭和火口の噴火活動と噴火に伴う震動波形について. *日本火山学会 2008 年秋季大会*, P38,
18. 山里 平, 高木朗充, 福井敬一, 坂井孝行, 安藤 忍, 藤原善明, 北川貞之, 2009, 火山観測データの気象補正等による高精度化に関する研究—ノイズの中から火山活動を抽出する—, *気象研究所研究成果発表会*.

津波の予測精度向上に関する研究

研究期間：平成18年度～平成20年度

研究代表者：高山 寛美¹⁾ 前田 憲二²⁾ (地震火山研究部 第1研究室長)

研究担当者

高山寛美¹⁾、前田憲二²⁾、平田賢治³⁾、長谷川洋平⁴⁾、林 豊、吉田康宏 (地震火山研究部)、中田健嗣 (地震火山部地震津波監視課)

研究の目的

日本海溝や千島海溝での発生の可能性が指摘されている津波地震に対して、地震波形を用いて推定された震源位置と規模に基づいて予測する現行の津波予報では過小評価となる可能性があるため、沖合の津波観測データを用いて津波予報をキャリブレーションすることによって沿岸での津波予測の精度を向上させる。また、歪計や広帯域地震計の観測波形データを用いて破壊様式を推定し、津波地震を含む津波予測の精度向上に寄与する。津波予報のために作成されたデータベースに含まれる誤差について、種々の要因による誤差を定量的に解明することによって、津波予報システムの改善に寄与する。

研究の到達目標

- ・沖合の津波観測データを用いて沿岸での津波波高を予測する手法の検討・開発
- ・歪計や広帯域地震計の観測波形データから破壊様式を推定する手法の開発
- ・津波予測における誤差要因についての定量的な解明

研究計画の概要

- ・沖合津波観測手法の調査と過去事例のデータ収集を行う。
- ・沖合に設置された津波計の波形データから、地震動・海中音波等によるノイズを分離し、津波成分を抽出する手法の開発を行う。
- ・津波数値シミュレーション技術を用いて、沖合データと沿岸データとの関係を分析・解明し、それに基づいてより精度の高い沿岸での津波予測を行う手法を開発する。
- ・地震の規模をより正確に推定することにより津波予報の精度を向上させるために、歪計や広帯域地震計の観測波形データから破壊様式を推定する手法を開発する。
- ・震源位置、地震規模、断層破壊過程、海底地形、海岸地形などの津波予測における誤差要因について、数値シミュレーション手法を用いて、それぞれの要因による誤差を評価し、沿岸に現れる津波の様相・特徴に影響を与えると考えられる因子を定量的に解明する。

研究成果

①沖合の津波観測データを利用した沿岸での津波予測

- ・気象庁、防災科学技術研究所、東京大学・東北大学、海洋研究開発機構等が開発・設置している沖合の津波観測施設について観測手法を調査し、現在の観測状況を整理・把握した。気象庁の東海沖・房総沖および海洋研究開発機構の室戸沖・釧路沖の海底津波計の観測データを収集し、フィルター処理を適用することにより、良好に津波成分を抽出することができた。これによって得られた沖合の津波計による津波波高と沿岸の津波観測施設での津波波高との統計的関係を調べ、震央距離による補正を行うか否か、振幅あるいは震央距離の関数と仮定するか否かの場合について比較し、沖合と沿岸の津波波高の関係を表現する回帰モデルを国内で初めて得た。非線形長波式に基づく数値計算法と単純な震源モデルを用いて、津波観測波形の再現の可能性について検討を行い、沖合での津波観測データと一部の沿岸でのデータについては特徴を再現できることがわかった。また、沿岸でのデータの再現性の向上のためには沿岸地形の詳細なデータや計算手法の改善などが必要であることもわかった。
- ・衛星海面高度計による2004年インド洋津波時の観測値から海洋変動成分を除去して津波成分の抽出を行い、沖合における巨大津波実測値として得ることに成功した。また、その際の誤差を評価したところ、外洋の衛星軌道直下で10cm程度以上の津波であれば、衛星海面高度計の観測値から津波を検

¹⁾ 平成18～19年度、²⁾平成20年度、³⁾平成19～20年度、⁴⁾平成18年度

知できる可能性があることが分かった。一般に、海岸線から遠い外洋での津波観測が実現すれば、海岸付近での複雑な津波挙動の影響を受けない観測が可能となることから、津波波源の解明に有益な情報を含む高品質な津波観測値が得られることが分かっている。このため、衛星海面高度計は今後、日本周辺域の巨大津波においても活用が期待される。

②歪計・広帯域地震計の観測波形データによる破壊様式の推定

- ・スマトラ島西方沖の地震の解析を行うために開発した、歪計データにより破壊域の時空間分布を求める手法を2006年と2007年の千島列島東方の地震に適用した結果、両者の震源時間関数の違いを見いだすことができた。また、水平成層を仮定して、多成分歪計の理論記象を計算する手法を開発した。
- ・地震破壊の伝播速度と津波振幅の関係については、一様水深の海と単純な形状の津波波源を仮定した、理論的な研究が既になされており、地震の破壊伝播速度が遅くなればなるほど津波の振幅が大きくなること等が判明している。ここでは、2004年スマトラ島西方沖の地震を例に、実際の海および現実的な津波波源を想定し、数値シミュレーションを実行、地震の破壊伝播速度と津波振幅の関係を再検討した。その結果、一様水深の海を仮定する方法では予想できない現象、例えば、インド東岸で振幅が増大する海岸と、振幅が減少する海岸が交互に出現するなど、があることがわかった。このことは、将来、地震の破壊伝播効果を考慮した津波予測システムを構築する場合に、現実的な津波波源形状を考えること等の重要性を示唆している。

③津波の予測誤差発生の要因調査

- ・津波予測誤差を定量的に評価するため、典型的な海溝型巨大地震によるものであり、多数の津波実測データが存在している2003年十勝沖地震に伴う津波について調査を行った。予測誤差要因のうち断層水平位置及び深さについて、これらの要因を少しずつ変化させた多数の津波数値計算を実施したところ、海溝に平行する方向に断層位置が変化する場合に比べ、海溝に直交する、沖から岸へ方向に断層位置が変化の方が誤差が大きくなることがわかった。また、深さ方向に断層位置が変化する場合も誤差が大きくなることがわかった。
- ・海溝型巨大地震である2004年12月のスマトラ島沖地震(M9.2)の際に、もっとも大きな津波発生源となったスマトラ北西沖の海底で、どのような海底変動が発生したかについて検討を行い、プレート境界の運動以外に、海溝より陸側の外縁隆起帯の分岐断層が連動した可能性があることを示した。
- ・千島海溝南部の大地震が繰り返し発生する区域について、これまでの津波研究の成果を統合し、同じ地震発生区域において繰り返し発生する地震についても、地震毎に破壊領域が、海溝と平行方向のみならず、海溝と直交方向にも変化していることを明らかにした。
- ・2006年11月の千島列島東方の地震による津波では、第一波の到達から数時間経って、顕著な後続相が太平洋岸の検潮所で観測された。後続相は、北太平洋中央部に連なる天皇海山列南端の欽明海山を起源とする散乱波であることを、観測波形のスペクトル時系列解析と散乱波理論による考察等から明らかにした。
- ・2006年11月の千島列島東方の地震による津波の後続相について、長周期成分をほとんど含まないこと、波高の出現頻度を非定常のレイリー分布で表現できること、減衰率が太平洋側の各検潮所ではほぼ共通であるといった特徴を明らかにした。
- ・当初の研究計画にはなかったが、本研究では、人工衛星による海面高度観測値を解析し、2004年インド洋津波時の外洋での高品質な津波観測値の抽出に成功した。これにより、インド洋大津波を解析対象とした国内外の研究で広く活用されると期待される基礎的なデータを提供した。また、リモートセンシング技術により外洋での津波を検知できる可能性を示せたことは重要であり、将来の発展が期待される。そして、人工衛星によるリアルタイムの津波検知の実現可能性については、平成20年度に、本研究に参加した研究官が行う、科学研究費補助金による研究課題として認められるに至った。
- ・既知の津波波源から沿岸の津波高を予測する数値計算技術は、津波警報や浸水ハザードマップ作成などさまざまな津波防災対策に利用されており、実用的に十分な計算精度を有するものと考えられている。一方、計算の初期条件として与えられる津波波源は、単純な矩形一様すべり断層モデルから計算したり、震源決定誤差に起因する破壊範囲推定の不確定さを含んだりしており、初期値に内在するこれらの誤差が計算結果に及ぼす影響の評価は重要である。本研究では、初期値の誤差要因のいくつかについて、多数の数値計算を行うことで初期設定をほぼ連続的に変化させ、定量的な評価を行うことができたことは意義深い。

今後に残された問題点

- ・大地震の破壊過程解析今後も精度や迅速性など更なる解析技術の向上が必要である。特に海域では陸域に比べて震源決定に必要な精度が得られていないことから、自己浮上式海底地震計の機動観測による構造モデルの改良などを通じ観測精度向上が求められる。
- ・海底地殻変動観測技術の開発が十分な成果を上げられなかった点については、海域の地殻変動を早期に捕捉することは重要な課題であるので今後も検討をおこなう。
- ・沖合と沿岸の津波の比較は、これまで事例研究的なものはあったものの、統計的に関係を調査したものはない。本研究では、事例数は限られてはいるものの、統計的手法による回帰モデルをはじめて作成することができた。また、シミュレーションによる数値予測を行い、過去の津波波高を一部再現するまでに至った。今後、実用化レベルまで精度を高めるため、更なる研究が必要である。
- ・従来の津波予測において分岐断層は全く考慮されていない。本研究では海溝型巨大地震における分岐断層の可能性とその津波に及ぼす影響を示し、分岐断層が津波を予測する上で考慮すべき大きな誤差要因であることを指摘した。このことは、今後の津波予測において非常に重要である。
- ・本研究期間中に発生した 2006 年千島列島東方の地震による津波では、第一波の到達から数時間も遅れて顕著な散乱波が到達し、従来の津波予測において想定されていない現象を観測した。当初の研究計画にはなかったが、観測された散乱波の起源や減衰の特徴を本研究で明らかにし、この現象の重要性を認識することができたことは意義深い。散乱波など津波の後続波について、過去の観測事例から減衰過程の一般的な特性などを明らかにする研究は、津波注警報の解除・継続の判断の適切化に資するものであり、今後も継続して行う必要がある。

成果の活用に対する意見（事後評価の総合所見）

本研究は、津波に関して、沖合いデータによる沿岸予測の精度向上、長周期波形を用いた予測精度向上、及び予測誤差の解明、を中心とするものであり、詳細地形データの不備による数値計算の沿岸部での精度下落は止むを得ないものの、各サブ課題において計画に沿ったそれぞれの成果を達成しているものと考えられる。特に、2006 年 11 月に発生した千島列島東方の地震による津波について、迅速に研究に取り組み、海山の散乱波の効果を再現できたことは大きな成果である。また、衛星海面高度計データから沖合いでの津波信号の抽出に成功したことは想定外の成果であり、今後の発展が期待される。本課題は全般に防災に直結したものであり、社会的意義は大きく、また、分岐断層や海底地形による散乱が津波予測に大きな影響を及ぼすこと等、新たな知見も得られており、優れた研究であったと考えられる。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 18 件
- ・口頭発表件数 34 件

成果発表一覧

1. 査読論文
1. Li, W., Y. Harry, K. Hirata, and T. Baba, 2007, Ocean-bottom pressure variations during the 2003 Tokachi-oki earthquake, *Phillip Liu Symposium Proceedings*, World Scientific, accepted.
2. Tanioka, Y, K. Satake, and K. Hirata, 2007, Recurrence of recent large earthquakes along the Southernmost Kurile-Kamchatka Subduction Zone, *Geophysical Monograph Series 172*, American Geophysical Union, 145-152.
3. 平田賢治・佐竹健治・山木滋・谷岡勇市郎・山中佳子・西村卓也, 2007, 目撃証言報告に基づく 1952 年十勝沖地震の津波波源の北東縁の検討, *地震* 2, **60**, 21-42.
4. Seno, T., and K. Hirata, 2007, Did the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake involve a component of tsunami earthquakes? *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **97**, S296-S306, doi: 10.1785/0120050615.
5. Hirata, K. , 2008, Tsunami amplification along the eastern coast of India and Sri Lanka due to propagating tsunami sources, *Journal of Earthquake and Tsunami*, accepted.

6. Hirata, K., K. Satake, Y. Tanioka, and Y. Hasegawa, 2008, Variable tsunami sources and seismic gap in the southernmost Kuril Trench (review), *Pure and Applied Geophysics*, accepted.
7. Namegaya, Y., Y. Tanioka, K. Abe, K. Satake, K. Hirata, M. Okada, and A. R. Gusman, 2008, In situ measurements of tide gauge response along the southwestern coast of the northern Honshu, Japan -- Corrections of tsunami waveforms of the 2007 Niigataken Chuetsu-oki earthquake tsunami --, *Pure and Applied Geophysics*, accepted.
8. Hayashi, Y., K. Hirata, T. Kuragano, T. Sakurai, H. Takayama, Y. Hasegawa, and N. Hamada, 2007, Feasibility study on potential of satellite altimetry for detecting seismic geoid changes due to the 2004 Sumatra-Andaman earthquake, *submitted to Earth Planets and Space*, **59**, 1149-1153.
9. Hayashi, Y., 2008, Extracting the 2004 Indian Ocean tsunami signals from the sea surface height data observed by satellite altimetry., *Journal of Geophysical Research*, **113**, C01001, doi:10.1029/2007JC004177.
10. Koshimura, S., Y. Hayashi, K. Munemoto, and F. Imamura, 2008, Effect of Emperor seamounts on trans-oceanic propagation of the 2006 Kuril Island earthquake tsunami, *Geophysical Research Letters*, **35**, L02611, doi:10.1029/2007GL032129.
11. 高山寛美, 2008: 沖合と沿岸の津波の最大波高の統計的關係. *気象研究所研究報告*, **59**, 83-95.
12. Yoshida, Y., 2008, The rupture process of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake viewed from strainmeter data, accepted to *Journal of Earthquake and Tsunami*.
13. 中田健嗣・西前裕司・浦田紀子, 2008: 2006年11月15日及び2007年1月13日の千島列島東方の地震, *駿震時報*, **71**, 125-135.

2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 平田賢治・倉賀野 連・林 豊・佐竹健治・谷岡勇市郎・長谷川洋平・濱田信生, 2006: 宇宙から観た津波と地震断層モデル, *月刊地球* 号外 **56**, 12-18.
2. 林 豊・濱田信生・倉賀野 連・桜井敏之・高山寛美・長谷川洋平・平田賢治, 2006: スマトラ島沖地震に伴うジオイド高変化の衛星海面高度計による検出, *月刊地球* 号外 **56**, 32-37.
3. Hirata, K., K. Satake, Y. Tanioka, and Y. Hasegawa, 2007: A Review on recent studies of tsunamis in the southernmost Kuril Trench, Proceedings of International Workshop on Tsunami - Wave Propagation, Theory, *Numerical Approach and Data Inversion*, Keio Univ., 221-235.
4. 平田賢治, 岩崎伸一（共同執筆）, 2007: 第2章第4節「津波の観測」, *津波の辞典*（編）首藤伸夫, 佐竹健治, 松富英夫, 今村文彦, 越村俊一, 朝倉書店.
5. 谷岡勇市郎, 行谷佑一, 阿部邦昭, 佐竹健治, 平田賢治, 岡田正実, 2008: 2007年新潟県中越沖地震津波の検潮記録, *津波工学研究報告*, 東北大学.

3. 口頭発表

1. 長谷川洋平, 2006: 津波数値計算における初期値の誤差と計算結果との関係について一断層すべり分布の空間位置変化と津波高さ一, *日本地震学会 2006年度秋季大会予稿集*, C008, 82.
2. 平田賢治・倉賀野連・林 豊・佐竹健治・谷岡勇市郎・長谷川洋平・濱田信生, 2006: 2004年インド洋津波の津波波源はどのくらい北まで延びていたか?, *日本地球惑星科学連合 2006年大会要旨集*, S117-005.
3. 林 豊・濱田信生・倉賀野 連・桜井敏之・高山寛美・長谷川洋平・平田賢治, 2006: スマトラ島沖地震に伴うジオイド高変化の衛星海面高度計による検出, *日本地球惑星科学連合 2006年大会要旨集*, S108-P002.

4. 林 豊, 2006: 衛星海面高度計による2004年インド洋津波観測値からの海洋変動成分の除去, *日本地球惑星科学連合 2006 年大会要旨集*, S108-P003.
5. Hirata, K., T. Kuragano, Y. Hayashi, K. Satake, Y. Tanioka, Y. Hasegawa, and N. Hamada, 2006: On the Northern Limit of the Tsunami Source of the 2004 Indian Ocean Tsunami, *Abstracts of Asia Oceania Geosciences Society 3rd Annual Meeting*, SE27/O4-A2-06.
6. Hayashi, Y., N. Hamada, T. Kuragano, T. Sakurai, H. Takayama, Y. Hasegawa, and K. Hirata, 2006: Detection of Seismic Geoid Changes by the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake from Satellite Altimetry, *Abstracts of Asia Oceania Geosciences Society 3rd Annual Meeting*, SE27/O4-A1-08.
7. Hayashi, Y., 2006: Reducing Oceanographical Backgrounds in Sea Surface Height Data on 2004 Indian Ocean Tsunami from Satellite Altimetry, *Abstracts of Asia Oceania Geosciences Society 3rd Annual Meeting*, SE27/O4-P1-01.
8. Yoshida, Y. and H. Ito, 2006: The rupture process of 2004 Sumatra-Andaman earthquake viewing from the data obtained by the strainmeters of JMA, *Abstracts of Asia Oceania Geosciences Society 3rd Annual Meeting*, SE-A0881.
9. Hayashi, Y., 2006: Detection of the 2004 Indian Ocean tsunami by satellite altimetry, *Abstracts of the 6th Joint Meeting of the UJNR Panel on Earthquake Research*, P09.
10. 長谷川洋平・高山寛美・林 豊, 2007: (特別報告)太平洋をUターンした津波—千島列島付近の地震による津波の数値解析結果—, *平成 18 年度気象研究所研究成果発表会要旨集*, 10-11.
11. 高山寛美・林 豊・中田健嗣, 2007: 沖合の海底津波計と沿岸の検潮所での津波の高さの関係, *地球惑星科学連合 2007 年大会要旨集*, S142-P001.
12. Hayashi, Y., S. Koshimura, and F. Imamura, 2007: Convergence process of the 2006 Kuril Island earthquake tsunami observed along the Pacific coast of Japan, *Program & Abstracts of EASTEC Symposium 2007 "Dynamic Earth - its origin and future -"*, 217-220.
13. 林 豊・越村俊一・今村文彦, 2007: 太平洋沿岸で観測された 2006 年千島列島沖地震津波の減衰過程, *日本地震学会 2007 年秋季大会予稿集*, 289.
14. 平田賢治, 徐垣, 町山栄章, 山口はるか, 富士原敏也, 金松敏也, 荒木英一郎, 尾鼻浩一郎, 末廣潔, 荒井晃作, 瀬野徹三, 2007, スマトラ北西沖海域調査の国際的な取り組みと3つの断層モデル仮説, *日本地震学会 2007 年度秋季大会予稿集*, D31-04.
15. 行谷佑一, 佐竹健治, 谷岡勇市郎, 阿部邦昭, 平田賢治, 岡田正美, 2007, 津波からみた平成 19(2007)年新潟県中越沖地震の震源像, *日本地震学会 2007 年度秋期大会予稿集*, P1-092.
16. Satake, K., and K. Hirata, 2007, Review of source models of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake, *AOGS2007*, IWG07-D4-AM1-BR3-002.
17. Yoshida, Y., 2007: Kuril Island earthquakes viewing from strainmeters, *Abstracts of Asia Oceania Geosciences Society 4th Annual Meeting*, SE19-A0011.
18. 佐竹健治, 平田賢治, 2007, 2004 年スマトラアンダマン地震の断層モデル, *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, T235-002.
19. 平田賢治, 2007, 断層の破壊伝播が津波の振幅に及ぼす影響, *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, T235-018.
20. Fabrizio Romano, Stefano Lorito, Alessio Piatanesi, Andrea Antonioli, David L. George, and Kenji Hirata, 2008: The September 25, 2003 Tokachi-Oki Mw 8.3 Earthquake: Rupture Process From Joint Inversion of Tsunami Waveform, GPS, and Pressure Gages Data, *2008 AGU Fall Meeting*.
21. Hirata, K., 2008: A tsunami early warning system based on realistic tsunami source propagation, *2008 AOGS meeting*.

22. Hirata, K.^{1,4}, Jeffrey.A.Hanson², Eric L.Geist³, Tetsuzo Seno⁴, Wonn Soh⁵, Toshiya Fujiwara⁵, Christian Müller⁶, Hideaki Machiyama⁵, Ei'ichiro Araki⁵, Kohsaku Arai⁷, Kazuki Watanabe⁸, Leonardo Seeber⁹, Yusuf.S.Djajadihardia¹⁰, Safri Burhanuddin¹¹, Badrul M.Kemal¹², Nugroho D.Hananto¹³, Hananto Kurnio¹⁴, Yudi Anantasena¹⁰, Kiyoshi Suyehiro, 2008: A new model for the unusual tsunami generation off northwest Sumatra during the 2004 Sumatra-Andaman earthquake, SE81-D5-AM1-102-001, *2008 AOGS meeting*.
23. 平田賢治, 2008, 津波波源の形成伝播(地震の破壊伝播)を考慮した津波予測システムの展望, *日本地球惑星連合 2008 年大会予稿集*.
24. 平田賢治, 佐竹健治, 谷岡勇市郎, 長谷川洋平, 2008, 千島海溝最南部の海溝型大地震の震源域の空間分布に関する最新の解釈, *日本地球惑星連合 2008 年大会予稿集*.
25. 平田賢治, Jeffrey. A. Hanson, Eric. L. Geist, 瀬野徹三, 徐垣, 富士原敏也, Christian Müller, 町山栄章, 荒木英一郎, 荒井晃作, Yusuf. S. Djajadihardia, Safri Burhanuddin, 末廣潔, 2008: 2004 年インド洋大津波波源域南部(スマトラ北西沖)における津波発生メカニズムに関する 5 番目のモデル仮説, *日本地球惑星連合 2008 年大会予稿集*, T228-P002.
26. 谷岡勇市郎・行谷佑一・阿部邦昭・佐竹健治・平田賢治・岡田正実・Aditya R. Gusman, 2008, 2007 年新潟県中越沖地震震源域周辺の験潮井戸応答調査ならびに津波波形補正, *日本地球惑星連合 2008 年大会予稿集*, S148-008.
27. Yuichiro Tanioka, Yuichi Namegaya, Kuniaki Abe, Kenji Satake, Kenji Hirata, Masami Okada, and Aditia R. Gusman, 2008: In situ Measurements of Tide Gauge Response and Corrections of Tsunami Waveforms from the 2007 Niigataken Chuetsu-oki Earthquake, *2008 AOGS meeting*.
28. Hirata, K., 2008, Unusual tsunami generation off northern Sumatra by the 2004 Sumatra-Andaman earthquake : review, *International Workshop on Geodynamics of South-East Asia*, Nagoya University.
29. Hirata, K., 2008: Should the effect of earthquake rupture propagation be included in tsunami forecast/warning systems?, Program and Abstracts, *International Symposium on the Restoration Program from Giant Earthquakes and Tsunamis*, S3-1-8, 121-123, Phuket, Thailand.
30. Yoshida, Y., 2008: The rupture process of giant earthquakes viewing from strainmeter data obtained by JMA, Program and Abstracts, *International Symposium on the Restoration Program from Giant Earthquakes and Tsunamis*, S1-2-13, Phuket, Thailand.
31. Romano, F., S. Lorito, A. Piatanesi, A. Antonioli, D. L. George, and K. Hirata, 2008: Rupture process of the September 25, 2003 Tokachi-Oki (Hokkaido, Japan) Mw 8.3 earthquake from joint inversion of tsunami waveform and GPS data, *Geophys. Res. Abstract*, vol.10, EGU2008-A-09629.
32. 林 豊・越村俊一・今村文彦, 2008: 日本沿岸で観測された 2006 年千島列島沖地震津波のコーダ部の挙動特性, *日本地球惑星連合 2008 年大会予稿集*, S148-P005.
33. Hayashi, Y., S. Koshimura, and F. Imamura, 2008: Characteristics of tsunami Coda observed in Japan due to the 2006 Kuril Island earthquake, *Abstracts of AOGS 5th Annual Meeting 2008*, OS18-A005.
34. Nakata, K., Y. Nishimae, K. Hirano, Y. Igarashi, Y. Hasegawa, 2008: Utilization of GPS buoy data for Tsunami Information of JMA, Programme and abstracts, *The 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and The 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan*, Y3-238.

海洋における炭素循環の変動に関する観測的研究 II

研究期間：平成19年度～平成20年度

研究代表者：緑川 貴（地球化学研究部 第2研究室長）

研究担当者

（副課題1）海洋表層における炭酸系の季節・経年変動の解明に関する研究

石井雅男、斉藤 秀、時枝隆之、笹野大輔、緑川 貴、松枝秀和

（副課題2）海洋内部の生元素の変動の研究

廣瀬勝己、緑川 貴、青山道夫

研究の目的

本研究では、海洋によるCO₂吸収の動向を把握し、ひいては温暖化予測の精度向上に資するため、海洋における炭素循環の変動の実態と要因に関する知見を得ることを目的とする。

国際的な研究分担として、北太平洋西部などの海域における炭酸系および関連物質（栄養塩や溶存酸素など）の時空間変動を観測により把握し、気候変動に伴う海洋炭素循環の変動、人為起源CO₂の蓄積状況、海洋表層の酸性化、および炭素循環に密接に関連する物質循環の変動の解明に重点を置いて研究する。

研究の到達目標

第I期（平成16～18年度）に引き続き、北太平洋西部などの海域で炭酸系および関連する栄養塩等の各層観測を実施して高品質データを取得し、季節変動や数年スケールの気候変動に伴う海洋炭酸系の変動の実態を正確に把握するとともに、その変動の原因となる気候要素や生物地球化学あるいは生態学的な要因を解明することを目標とする。

研究計画の概要

- ・第I期（平成16～18年度）に引き続き、北太平洋西部の東経137度や東経165度などの観測点において、炭酸系および関連物質の各層観測を実施して高品質データを取得し、他機関データも加え、海洋表層における炭酸系の季節変動およびその経年変動の実態を把握する。また、水温・塩分およびCFCsデータの解析から海洋循環の変動の寄与を、溶存酸素、栄養塩、pHおよびアルカリ度等のデータの解析から生物活動の変動の寄与を評価して、炭酸系の変動との関連を調査するとともに、様々な海域における人為起源CO₂の蓄積速度を評価する。
- ・P1 (49N) および P14 (175E) の世界海洋循環実験 (WOCE) 再観測において、標準物質の使用により comparability (コンパラビリティ) を確保した栄養塩の観測を実施し、これまでの観測結果との比較解析を行う。また、2006年に実施した国際比較実験の結果を取りまとめ、標準に関する国際会議『第11回生物・環境標準に関する国際シンポジウム』で公表等を行い、栄養塩国際スケールの確立に向けた国際活動を行う。

主な研究成果・目標の達成状況

本研究では、炭酸系の研究グループと生元素（栄養塩や生物起源の粒子など炭酸系に関連する要素）の研究グループが協力して海洋観測を実施し、取得した観測データの解析にあたった。本研究の2年間で取得した炭酸系および栄養塩などの観測データと過去データも活用して、各要素の季節変動、年々変動および長期的変動のシグナルを検出し、その変動と気候要素との関連性について検討することができた。特に、人為起源CO₂蓄積の見積りにおいて地球温暖化予測にとって不確実性の原因となる「自然的要因による海洋CO₂変動」を溶存酸素濃度の変動に基づいて評価するための、全炭酸と溶存酸素の変動の関係を明らかにすることができた。これらの解析結果を活用して、炭素循環変動の診断的解析手法の開発につなげて行く道筋ができた。

各航海での海洋観測の実施およびデータの取得を計画どおりに行い、過去データに遡って品質評価を実施して、順次データセットの公開を進めている。これまでの各層時系列観測データの解析から、海洋表層における全炭酸インベントリの季節・経年変動の評価を行い、窒素固定の寄与について定量

的な見積りを行うことができた。また、海洋表層の酸性化の状況を把握するなど、当初設定した研究目標は概ね達成された。

海水中栄養塩データのコンパラビリティを確保するための研究の一環として、栄養塩標準の第2回国際共同実験の結果を取りまとめて出版するとともに、第3回国際共同実験の実施を計画通りに進めることができた。さらに、北太平洋深層水中の栄養塩濃度変動について取りまとめ、国際シンポジウムで発表するなど、研究目標は順調に達成されつつある。

文部科学省地球観測システム構築推進プラン「海洋中二酸化炭素の次世代分析装置の開発」(H17-19)で開発し、本研究でさらに改良を進めてきた二酸化炭素分析システムが、平成21年度に気象庁観測船凌風丸と啓風丸両船に装備され、現業観測にも活用されることになった。

東経137度、東経165度それぞれ南北に長い観測線に沿った海洋各層の二酸化炭素の高頻度な定期観測は世界的に類を見ず、海洋内におけるCO₂増加を季節スケールの分解能の時系列データによって示すことができた意義は大きい。

国内では連携拠点(温暖化分野)、国際的には北太平洋海洋科学機関(PICES)の炭素・気候部会を通じて、海洋研究開発機構や米国海洋大気局はじめ内外の機関と太平洋の海洋内CO₂データの統合活動を開始しており、統合したデータベースは、IPCC第5次評価報告書などの作成に貢献すべく、過去10年～20年の海洋におけるCO₂動態の解析や数値モデルの検証と改良に役立てられる。

本研究による標準に関する国際会議(第11回生物・環境標準標準に関する国際シンポジウム)でワークショップを開催して、栄養塩の標準物質調製や分析法のマニュアルの作成、栄養塩標準物質の長期保存性のチェック体制や大西洋版標準物質の調製などに関する協力の枠組みを構築できた。

本研究における国際比較実験の実施などの成果が認められて、ユネスコ/政府間海洋学委員会(IOC)の第25回総会(平成21年6月開催)に対して、「栄養塩の国際的なcomparabilityを確立するための研究グループ」を設立する提案を行なうことがIOCの事務総長の決定により承認され、議論されることとなった。承認されれば、本研究グループの活動において気象研究所は中心的な役割を担うこととなる。本研究における国際比較実験の実施などの活動が契機となって、産業技術総合研究所の計量標準総合センターは、海水ベースの栄養塩標準認証を平成20年度に行うことを決定した。

過去に国際的な海洋学の分野(例:IOC-IAEA-UNEPの1991,1992年のワークショップ)で必要だと認識されていたが実現できていなかった「栄養塩の国際スケールと実体標準」が、本研究の成果で実現可能になろうとしている。このことは、気候変動研究において人為起源CO₂の海水中の蓄積等を評価するための大きな進歩である。

成果の活用に対する意見(事後評価の総合所見)

海洋の全炭酸、栄養塩濃度について世界で最も高精度のデータを提供することができた点は高い評価に値する。全炭酸については、海洋の中層にも人為起源の炭素が蓄積されていることを直接観測から明らかにした点、海水の酸性化に関してpHの直接測定で、海洋の酸性化の兆候を検知することを可能にした点、さらに栄養塩に関しては世界の海洋化学を先導して、標準物質の開発に目処をつけた点が高く評価できる。

観測・測定結果をデータセットとして取りまとめるだけに終わりやすい分野であって、対象とする物質の変動を解析し、その要因を解明して優れた成果を上げるとともに、気象業務や国際共同実験に貢献したことは極めて高く評価できる。

また、研究成果が査読論文として適切にまとめられている点も、本研究は非常に優れた研究であった判断する。

今後の取り組みとしては、海洋内部の物質の変動のモニタリングは地球観測連携拠点(温暖化分野)やPICESを通じて今後も継続すべきでもであり、他の観測研究グループ、モデル研究グループとより一層の連携・協力をはかり、海洋炭酸系の経年変動のプロセス解明や気候変動との関連についての研究を進め、普遍性を高めるとともに、品質管理のマニュアル化・自動化を推進してもらいたい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 12件
- ・口頭発表件数 18件

(副課題1) 海洋表層における炭酸系の季節・経年変動の解明に関する研究

副課題の到達目標

①各層時系列観測データの取得と公開

- ・季節変動およびその経年変動を把握するため、北太平洋西部、赤道域等において炭酸系および関連物質の各層時系列観測を継続して実施し、データを取得する。国際的な海洋 CO₂ データの統合と全球的なデータベース構築に貢献するため、観測データを品質管理した上でデータセットにまとめて公開し、データの相互利用を促進すると共に、将来のモデル化の基礎に資する。

②海洋炭酸系の経年変動プロセスの解明

- ・海洋内部の炭素循環は、表層の物理過程の変動とこれに関連した生物地球化学的諸過程の変動に伴って年々大きく変動することから、こうした短期的な変動の要因を解析して、より長期的な変動の把握とその要因の解明に重点を置いて研究する。

副課題の概要

①時系列各層観測データの取得と公開

- ・第 I 期 (平成 16～18 年度) に引き続き、北太平洋西部の東経 137 度や東経 165 度などの観測点において、炭酸系および関連物質の各層観測を実施して高品質データを取得する。
- ・上記の時系列各層観測データを品質管理した上でデータセットにまとめて公開するとともに、他機関のデータを収集して変動の解析に資する。

②海洋炭酸系の変動の実態把握と要因の評価

- ・上記時系列データを用いて、海洋表層における炭酸系の季節変動およびその経年変動の実態を把握する。
- ・各時間スケールの変動について、水温・塩分および CFCs データの解析から海洋循環の変動の寄与を、溶存酸素、栄養塩、pH およびアルカリ度等のデータの解析から生物活動の変動の寄与を評価して、炭酸系の変動との関連を調査する。
- ・上記の解析結果に基づき、様々な海域における人為起源 CO₂ の蓄積速度を評価する。

副課題の成果

①各層時系列観測データの取得と公開

- ・季節ごとの各航海で海洋観測を計画どおりに実施し、データを取得した。
- ・平成 4 年以後に取得した炭酸系、溶存酸素及び栄養塩等の観測データについて、統計的手法や海洋学的考察を駆使して品質評価を実施した。
- ・平成 4 年から 17 年度までに気象研が気象庁観測船で採水した全炭酸濃度や pH の高精度データを含むデータセットを完成させて温室効果ガス世界資料センターに送付した。これにより、同センターから公開できるようになった。

②海洋炭酸系の経年変動プロセスの解明

- ・東経 137 度及び東経 165 度の各層観測点における溶存酸素及び全炭酸濃度の鉛直分布の季節変動とその年々変動の変動幅を把握し、両者の関係を明らかにすることができた。
- ・亜熱帯域北西部における海水中全炭酸濃度の変動の解析から、人為起源 CO₂ の蓄積による濃度増加の寄与分と生物分解による寄与分を溶存酸素濃度の変動データに基づいて分別することができた。一方、溶存酸素と全炭酸の両分布の季節変動に不自然な対応も見出され、今後、溶存酸素濃度の変動に関するこれまでの定説を検証する必要性があることがわかった。
- ・東経 137 度・北緯 30 度の解析では、海水中の炭素蓄積に関して表層の窒素固定細菌の活動や、亜表層 125-150m 付近における有機物分解が重要であることがわかった。
- ・過去の観測データとの比較から、大気に応答した海洋表層炭酸系の長期的な増加傾向や海洋酸性化の進行状況に関して取りまとめることができた。
- ・時系列 CFCs データに基づいて、東経 165 度の亜表層・中層水の水塊年齢とその変動について評価し、各層の水塊形成量の増減に関する知見を得た。

（副課題2）海洋内部の生元素の変動の研究

副課題の到達目標

- ① 栄養塩標準の国際比較実験の取りまとめと国際スケールの確立
 - ・ 海水中の生元素の観測データにおける **comparability** を確保し、海洋中の生元素の変動を理解するために、栄養塩測定標準試料による国際スケールの確立を目指すとともに標準試料の世界的な普及に寄与する。
- ② 海盆規模での物質循環の長期的変動の解明
 - ・ 北太平洋における生元素（栄養塩など）の時空間変動を明らかにし、その変動要因についての知見を得ることを目標とする。

副課題の概要

- ① 栄養塩標準の国際共同実験の取りまとめと国際スケールの確立
 - ・ 気象研究所等で開発した栄養塩標準試料を用いて 2006 年に実施した国際比較実験の結果を取りまとめ、標準に関する国際会議（第 11 回生物・環境標準標準に関する国際シンポジウム）で公表するとともに、技術報告として出版する。
 - ・ 日本海洋学会、分析化学会などでの学会発表を通しての情宣活動や国際的なワークショップ等において国際スケール確立のための提言を行う。
- ② 海盆規模での物質循環の長期的変動の解明
 - ・ 2007 年に計画されている P1 (49N) および P14 (175E) の WOCE 再観測において、標準物質の使用により **comparability** を確保した栄養塩の観測を実施し、1985、2002 年（P1）もしくは 1992 年（P14）の観測結果との比較解析を行う。
 - ・ サブ課題 1 の炭酸系の時系列観測において、標準物質を用いた栄養塩の観測を実施し、サブ課題 1 におけるデータ解析のために **comparability** の取れた栄養塩の分析値を提供するとともに、本サブ課題での解析に使用する。
 - ・ これらの結果とこれまでに北太平洋で 5～15 年間隔で行われた縦・横断面の観測結果を総合的に解析して、栄養塩などの物質循環の時空間変動を明らかにし、検出した物質循環の変動と海洋循環との関連性などについて検討する。

副課題の成果

- ① 栄養塩標準の国際共同実験の取りまとめと国際スケールの確立
 - ・ 2006 年に実施した栄養塩標準国際共同実験の結果について気象研究所技術報告に取りまとめ、2008 年 12 月に出版することができた。
 - ・ 栄養塩標準の第 3 回国際共同実験を計画通りに実施することができた。国際共同実験のデータは集まり、解析を行なっている。
- ② 海盆規模での物質循環の長期的変動の解明
 - ・ P1 (49N) および P14 (175E) の WOCE 再観測において、標準物質の使用により **comparability** を確保した栄養塩の観測を計画通りに実施することができた。
 - ・ 1980 年代および 1990 年代の航海と 2000 年代の航海で取得された栄養塩データを統合して、航海間の補正を行って太平洋全体の整合性を計り、各年代間の比較可能なデータセットを作成することができた。
 - ・ 南北太平洋の深層水における 1980－1990 年代から 2000 年代にかけての硝酸塩及びケイ酸塩の年平均変化率を見積もり、深層水の流れの上流側と下流側で正反対の濃度の変化傾向を検出することができた。
 - ・ 上記解析から、栄養塩濃度の南北勾配の低下傾向を検出し、長期的に南極海から北太平洋への栄養塩の輸送量が低下している可能性を見出した。
 - ・ 海洋における生物生産を制限する微量金属元素（特に鉄）について、化学モデルに基づき海洋にお

ける溶存状態と銅イオンとの競争反応との関連から、生物に対する役割を議論した結果、海洋表層では、銅イオンとの競争反応により、鉄が低濃度になっている可能性があることを明らかにすることができた。

成果発表一覧

1. 査読論文

1. Lee, S., T. Hama, M. Ishii, S. Saito, K. Yanagi, 2008: Spatial and temporal changes in the concentration of various phosphorus pools and their possible biogeochemical roles in the oligotrophic subtropical western North Pacific, *Journal of Geophysical Research*, **113**, C03017, doi:10.1029/2007JC004330.
 2. Christian, J. R., R. A. Feely, M. Ishii, R. Murtugudde, X. Wang, 2008: Testing an ocean carbon model with observed sea surface pCO₂ and DIC in the tropical Pacific Ocean, *Journal of Geophysical Research*, **113**, C07047, doi:10.1029/2007JC004428.
 3. Nemoto, K., T. Midorikawa, A. Wada, K. Ogawa, S. Takatani, H. Kimoto, M. Ishii, H. Y. Inoue, 2009: Continuous observations of atmospheric and oceanic CO₂ using a moored buoy in the East China Sea: Variations during the passage of typhoons. *Deep-Sea Research II*, **56**, 542-553.
 4. Ishii, M., H.Y. Inoue, T. Midorikawa, S. Saito, T. Tokieda, D. Sasano, A. Nakadate, K. Nemoto, K., N. Metzl, C.S. Wong, R.A. Feely, 2009: Spatial variability and decadal trend of the oceanic CO₂ in the western equatorial Pacific warm/fresh water. *Deep-Sea Research II*, **56**, 591-606.
 5. Takahashi, T., S.C. Sutherland, R. Wanninkhof, C. Sweeney, R.A. Feely, D.W. Chipman, B. Hales, G. Friederich, F. Chavez, C. Sabine, A. Watson, D.C.E. Bakker, U. Schuster, N. Metzl, H.Y. Inoue, M. Ishii, T. Midorikawa, Y. Nojiri, A. Körtzinger, T. Steinhoff, M. Hoppema, J. Olafsson, T.S. Arnarson, B. Tilbrook, T. Johannessen, A. Olsen, R. Bellerby, C.S. Wong, B. Delille, N.R. Bates, H.J.W. de Baar, 2009: Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans, *Deep-Sea Research II*, **56**, 554-577.
 6. Aoyama, M., H. Goto, H. Kamiya, I. Kaneko, S. Kawae, H. Kodama, Y. Konishi, K. Kusumoto, H. Miura, E. Moriyama, K. Murakami, T. Nakano, F. Nozaki, D. Sasano, T. Shimizu, H. Suzuki, Y. Takatsuki, A. Toriyama, 2008: Marine biogeochemical response to a rapid warming in the main stream of the Kuroshio in the western North Pacific. *Fisheries Oceanography*, **17**(3), 206-218, doi: 10.1111/j.1365-2419.2008.00473.x.
 7. Aoyama, M., S. Becker, M. Dai, H. Daimon, L. I. Gordon, H. Kasai, R. Kerouel, N. Kress, D. Masten, A. Murata, N. Nagai, H. Ogawa, H. Ota, H. Saito, K. Saito, T. Shimizu, H. Takano, A. Tsuda, K. Yokouchi, A. Youenou, 2007: Recent comparability of Oceanographic Nutrients Data: Results of a 2003 Intercomparison Exercise using Reference Materials. *Analytical Science*, **23**, 1151-1154.
 8. Hirose, K., 2007: metal-organic matter interaction: ecological roles of ligands in oceanic DOM. *Applied Geochem.*, **22**, 1636-1645.
2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）
1. 松枝秀和・石井雅男, 2007: 気象研究所における二酸化炭素の研究観測. *気象研究ノート*, **215**, 34-35.
 2. 石井雅男, 2008: 二酸化炭素を吸収する海、その酸性化について. *船と海上気象*, **52**(1), 12-13.
 3. Saito, S., M. Ishii, T. Midorikawa, H. Y. Inoue: Precise Spectrophotometric Measurement

- of Seawater pH_T with an Automated Apparatus using a Flow Cell in a Closed Circuit, *Technical Reports of the Meteorological Research Institute*, in press.
4. Aoyama, M., J. Barwell-Clarke, S. Becker, M. Blum, E.S. Braga, S. C. Coverly, E. Czobik, I. Dahllöf, M. H. Dai, G. O. Donnell, C. Engelke, G. C. Gong, Gi-Hoon Hong, D. J. Hydes, M. M. Jin, H. Kasai, R. Kerouel, Y. Kiyomono, M. Knockaert, N. Kress, K. A. Kroglund, M. Kumagai, S. Leterme, Yarong Li, S. Masuda, T. Miyao, T. Moutin, A. Murata, N. Nagai, G. Nausch, M. K. Ngirchchol, A. Nybakk, H. Ogawa, J. van Ooijen, H. Ota, J. M. Pan, C. Payne, O. Pierre-Duplessix, M. Pujo-Pay, T. Raabe, K. Saito, K. Sato, C. Schmidt, M. Schuett, T. M. Shammon, J. Sun, T. Tanhua, L. White, E.M.S. Woodward, P. Worsfold, P. Yeats, T. Yoshimura, A. Youénou, J. Z. Zhang, 2008: 2006 Inter-comparison Study of a Reference Material for Nutrients in Seawater, *Technical Reports of the Meteorological Research Institute*, **No.58**, pp104, Tsukuba.
3. 口頭発表
1. Ishii, M., 2007: National Activity Report of Japan, IOC/UNESCO Surface Ocean CO₂ Variability and Vulnerability Workshop report, *IOCCP report*, **7**, 84-88.
 2. 緑川貴, 石井雅男, 中野俊也, 根本和宏, 神谷ひとみ, 中舘明, 吉川久幸, 2007: 北太平洋西部熱帯域における CO₂ 分圧の変動要因. *2007 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集*, 315.
 3. 高村友海, 石井雅男, 緑川貴, 吉川久幸, 2007: 北太平洋中緯度域における pCO₂ 変動及び CO₂ フラックス. *2007 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集*, 316.
 4. 時枝隆之, 石井雅男, 斎藤秀, 笹野大輔, 緑川貴, 中舘明, 2007: CFC 年齢による西部北太平洋の海洋循環変動と人為起源二酸化炭素蓄積量の評価. *2007 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集*, 318.
 5. 大森裕子, 濱健夫, 石井雅男, 斎藤秀, 2007: 西部北太平洋域における海洋腐植物質の分子量分布の鉛直プロファイル. *2007 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集*, 332.
 6. 吉川久幸・高村友海, 石井雅男・緑川 貴, 中舘 明, 村田昌彦, 2007: 亜熱帯海域における表層炭酸系の時間変動について. *2007 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集シンポジウム「太平洋亜熱帯海域の大気組成と海洋起源物質」－島嶼大気定点観測と海洋観測との接点を探る－*.
 7. 石井雅男, 斎藤 秀, 時枝隆之, 笹野大輔, 緑川 貴, 中舘 明, 神谷ひとみ, 高村友美, 吉川久幸, 小野智志, 大森裕子, 李 相均, 濱 健夫, 2007: 本州南方の亜熱帯域表層における炭素循環の季節変化とその要因. *2007 年度日本海洋学会秋季大会シンポジウム「太平洋亜熱帯海域の大気組成と海洋起源物質」－島嶼大気定点観測と海洋観測との接点を探る－*.
 8. Tokieda, T., M. Ishii, S. Saito, D. Sasano, T. Midorikawa, A. Nakadate, 2007: Evaluation of changes in ocean circulation and anthropogenic CO₂ storage based on CFCs age in the western North Pacific. *Marine Science Organization Sixteenth Annual Meeting Program abstract*, 28-29.
 9. Ishii, M., T. Tokieda, S. Saito, D. Sasano, T. Nakano, T. Midorikawa, A. Nakadate, H. Kamiya, 2008: Trend of DIC increase in the western North Pacific along P9 and P13, *Abstract of 2008 Ocean Sciences Meeting*.
 10. Ishii, M., T. Midorikawa, S. Saito, T. Tokieda, D. Sasano, A. Nakadate, H. Y. Inoue, 2008: Trend of Acidification in the western North Pacific. *2nd Abstract of the Symposium on the Ocean in High-CO₂ World*, 62.
 11. 緑川 貴, 和田章義, 根本和宏, 小川 完, 高谷祐吉, 石井雅男, 吉川久幸, 2008: 台風の通過が引き起こす海洋表層炭素循環の変動. *2008 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集*, 324.
 12. 緑川 貴, 石井雅男, 斎藤 秀, 時枝隆之, 笹野大輔, 中舘 明, 吉川久幸, 2008: 北太平洋西部における海洋表層炭酸系の変化傾向. *2008 年度日本地球化学会第 55 回年会講演要旨集*, 2F08.
 13. 時枝隆之, 石井雅男, 斎藤 秀, 緑川 貴, 中舘 明, 2008: 北太平洋移行領域の直接通気層の経

- 年変動性. 2008 年度日本地球化学会第 55 回年会講演要旨集, 2F11.
14. 斉藤 秀, 石井雅男, 緑川貴, 笹野大輔, 中舘 明, 齊藤一浩, 2008: 西部北太平洋亜熱帯域の pH 減少傾向. 2008 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 342.
 15. 緑川貴, 石井雅男, 斉藤 秀, 時枝隆之, 笹野大輔, 中舘 明, 吉川久幸, 2008: 炭酸系データに基づいた海洋表層の酸性化の推定. 2008 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 343.
 16. Ota, H., M. Aoyama, A. Murata, Y. Arie, K. Fukuda, K. Sato, J. Hamanaka, 2007: Reference Material for Nutrients in Seawater (RMNS) on the Seawater Base. *BERM 11th International Symposium on Biological and Environmental Reference Materials*, TU-B06.
 17. Aoyama, M., T. Midorikawa, K. Hirose, 2007: Recent Comparability of the Nutrients Data in the world Ocean: Results of 2003 and 2006 RMNS Intercomparisons and an "International Nutrients Scale System (INSS) in Sea Water". *BERM 11 11th International Symposium on Biological and Environmental Reference Materials*, TU-B07.
 18. Aoyama, M., M. Fukasawa, T. Kawano, S. Kouketsu, Y. Kumamoto, A. Murata, K. Sato, H. Uchida, 2008: An increase of silicic acid and nitrate concentrations along the pathway of Lower Circumpolar Deep Water in the Pacific Ocean: results of snapshot comparisons. *International Symposium of Effects of Climate Changes on the World's Oceans*, S2.1-4601.

台風強度推定手法とその外的要因の評価に関する研究

研究期間： 平成 20 年度

研究代表者： 富樫正明¹⁾（台風研究部長）、上野充²⁾（台風研究部 第一研究室長）

研究担当者

（副課題 1）衛星データを用いた台風の強度推定法の高度化

別所康太郎、星野俊介（台風研究部）

（副課題 2）台風の最適観測法の検討

中澤哲夫、別所康太郎、星野俊介（台風研究部）

（副課題 3）日本に接近する台風の強雨・強風の実態解明

北畠尚子、楠研一、村田昭彦、益子渉、星野俊介（台風研究部）

（副課題 4）台風初期値の改善と熱帯での実験環境の構築

上野充、國井勝（台風研究部）

（副課題 5）波浪、海洋モデルの結合等による非静力学モデルの高度化

和田章義（台風研究部）、碓氷典久（海洋研究部）、高野洋雄（地球環境・海洋部 海洋気象情報室）

研究の目的

台風の進路予想は、近年の数値予報の向上により改善されつつあるものの、国民の生命、財産を台風による災害から守り、減災するためには、台風の進路予報の改善に加えて、台風の強度（強風、強雨）などに関する地域に即したきめ細かい防災情報が望まれている。

数年後には、計算機資源等の発達により、現状より数倍の高分解能の次期メソ数値予報モデルの運用が考えられている。その中で、台風に関する進路予報の改善及び台風強度の精度向上に資するため、特に台風の強度（強風、強雨）についてより高精度で的確な防災情報を国民に提供することができるように、独法後の中期計画では、台風強度に及ぼす外的要因に関する研究を進める。

このため、

- （1）観測点の少ない海洋上の台風予報の初期値改善のため、台風の強度について、その推定手法の高度化
- （2）台風を含む初期環境場の改善のために、台風の最適観測法の検討
- （3）台風に伴う強雨・強風構造の実態解明を行うことにより、モデルの問題点を抽出
- （4）台風の初期値改善手法そのものについての調査
- （5）波浪、海洋モデルの結合等による非静力学モデルの高度化

を行い、台風の強度予測の向上を図る。

このように、台風に関わる観測・解析・予報モデルの高度化を一体的に行うことにより、台風の予報精度向上のための両輪ともいえるべき初期値改善・モデル高度化という研究テーマが効率的に進めることができ、台風強度予測の向上が可能となる。

研究の到達目標

台風強度推定手法とその外的要因の評価に関する研究としてフィージビリティスタディを行い、今後数年間にわたる台風強度の精度向上に関する研究の礎とする。

研究計画の概要

- （1）観測点の少ない海洋上の台風予報の初期値改善のため、台風の強度について、その推定手法の高度化
- （2）台風を含む初期環境場の改善のために、台風の最適観測法の検討
- （3）台風に伴う強雨・強風構造の実態解明を行うことにより、モデルの問題点を抽出

¹⁾ 平成 20 年 4 月～8 月、²⁾ 平成 20 年 8 月～平成 21 年 3 月

- (4) 台風の初期値改善手法そのものについての調査
- (5) 波浪、海洋モデルの結合等による非静力学モデルの高度化を行う。

主な研究成果

日本 (JMA) と米国 (JTWC) の台風の強度推定値の違いを、静止衛星画像から決定される Dvorak パラメータを用いて 1987 年から 2006 年までの 20 年間のデータについて調べた。北西太平洋では GMS 画像を用いることから同じ衛星画像を用いることとなるため、本来であれば Dvorak パラメータは同じ値になるはずであるが、90 年代および 2002 年から 2005 年に有為な差があることが判明した。

THORPEX 太平洋アジア地域観測計画 2008 (T-PARC2008) に参加することにより、台風周辺での環境場の把握を行なうことができた。MTSAT-2 のラピッドスキャンデータから、大気追跡風の解析を行なった。通常、現業で得られるものと比較して、台風の内部構造の情報をより詳細に得られる可能性があることがわかった。

日本本土に上陸した台風について、台風の地上風分布と、環境場と関連した台風の 3 次元構造との関係を明らかにした。また日本に接近した台風についてウインドプロファイラデータを使った解析を行い、壁雲周辺の気流構造を把握した。台風の発達過程を調査するため、非静力学モデルを用いて、熱帯から中緯度領域を含む領域で台風の再現シミュレーションを行った。台風における降水強化の機構について、雲解像モデルを用いたシミュレーションによって、雨水が雲水を捕捉する過程の重要性を確認した。

台風のメソ構造を予測するための数値モデルの出発点であるメソ解析中の台風構造の特徴を調べ、台風ボーガスについて改善すべき点を明らかにした。また、台風が熱帯域にある場合でもメソ同化実験や予報実験が行えるよう環境を整備した。

非静力学大気波浪海洋結合モデルを試験的に構築した。台風 Hai-Tang(2005) に対し、台風強度予測実験を予備実験として実施し、台風通過時に形成される局所海面水温低下による台風中心気圧低下の抑制が波浪の効果よりも大きいことを確認した。また海洋環境場、暖水渦や冷水渦の分布が発達期における台風強度予測に影響を与えていることを示した。

今後に残された問題点

副課題 (1)

日本と米国の台風強度推定値の差異が、Dvorak パラメータにあることが判明した。米国の推定値が大きい場合が多いが、なぜそうなのか、その理由については明確にできていない。両者の差が有意だった 2002 年から 2005 年のデータを用いて、QuikSCAT の海上風データからの推定値やマイクロ波の各周波数からの推定値などとの比較を行い、原因を調査する必要がある。

副課題 (2)

今年度は大規模な観測をようやく終えることができた段階であり、解析はこれからである。今後、航空機観測から得られた台風周辺の環境場のデータが台風の進路予測にどのようなインパクトがあるかを調べる。また、ラピッドスキャンデータを現業の結果と比較する必要がある。

副課題 (3)

台風による災害のほとんどは地上の強風と地上に達した降水によって発生する。しかし例えば上空の気流の構造と地上風分布を関連付けるメカニズムについては、スケールが小さくまた構造が事例によって多様であることもあり、十分解明されていない。これを解決するには、特に境界層を含む詳細な三次元分布の観測データを取得し解析を行って知見の蓄積を行うとともに、再解析データやモデルシミュレーション結果における構造との対比によって、環境場の影響を受けて変化した台風自体の構造とその内部の詳細な風・降水分布との関係を解明する必要がある。

台風のシミュレーションについては、現在は、事例的な調査を行っているが、今後は非静力学モデル (NHM) による台風シミュレーションの統計調査が行える実行環境を整備し、強度、進路、最大風速半径等の調査を行い、観測データ等との比較を行う必要がある。また、典型事例では高解像度化

等の実験も試行し、NHM を用いた台風強度予測の問題点を整理する必要がある。

副課題（4）

ボーガス台風の熱力学構造とメソ解析で得られるものとの間に系統的な差異が存在する。また、現在の台風ボーガス作成法では最大風速半径に関する情報を取り込めない。これらの問題に対処するにはボーガス台風の熱力学構造を決めるパラメータを高解像度モデル用に最適化するとともに海面気圧の動径分布を決める経験式を改定する必要がある。それとともに擬似観測データとしての台風ボーガスの投入点の配置を最適化する必要がある。

副課題（5）

試験的に構築された非静力学大気波浪海洋結合モデルの大気部分の物理過程は、現在気象庁/気象研究所等で幅広く利用されているモデルと比較して古いバージョンのものを使用しているため、今後は新しいバージョンのモデルと波浪・海洋混合層モデルとの結合作業を行う必要がある。大気－波浪間の物理量の交換に関して、海面状態を表す手法により、計算される台風の強度や構造が異なるという問題について、最適な手法を確立する必要があるものの、今年度は未着手であった。理想実験や現実的な台風強度予測実験内での感度実験を通じ、最適な手法を確立する必要がある。海洋環境場が台風強度予測に少なからず影響を与えることを研究成果として示した。このことに関連して、数日間の台風強度予測だけでなく、数年～10 年スケールでの海洋環境場の変動と台風活動の関連について、調査を進める必要がある。

成果発表状況

- ・論文発表件数 10 件
- ・口頭発表件数 31 件

（副課題 1）衛星データを用いた台風の強度推定法の高度化

副課題の到達目標

関連する各種衛星搭載マイクロ波センサーの観測データを収集し、現存の強度推定手法を適用して、統計解析・事例解析を行い、台風の強度予測の向上を図る。

副課題の概要

- ・マイクロ波放射計・散乱計のデータを収集し、台風強度の指標の一つである台風域内の海上風速を求め、その比較を行う。
- ・マイクロ波センサーを用いた台風の強度推定について、マイクロ波放射計を用いた強度推定法について、これまでに作成した手法における問題点を整理し、その改良を行う。マイクロ波探査計を用いた強度推定法・温帯低気圧化判定法の開発を行う。Dvorak 法の補完という観点から、マイクロ波から得られる情報と T 数/CI 数との関連についても調査する。

副課題の成果

- ・TRMM のデータを用いて作成したマイクロ波放射計による強度推定法を AMSR-E に拡張し、その精度の検証を気象衛星センターおよび太平洋台風センターと共同で行い、問題点を整理した。
- ・マイクロ波を用いた強度推定法との比較および補完対象としての Dvorak 法による強度決定法を検証するため、1987 年から 2006 年の 20 年間における気象庁と JTWC それぞれによる Dvorak 法のパラメータの比較を行った。その結果、90 年代半ばおよび 2002 年から 2005 年にかけて両者の間に有意な差がみられることがわかった。
- ・マイクロ波放射計・探査計・散乱計のデータを収集し、あわせて衛星による各種の台風強度推定手法の調査を行い、問題点を整理した。

（副課題 2）台風の最適観測法の検討

副課題の到達目標

台風周辺の環境把握に有効であり、予報改善にも資する最適観測法を機動観測・各種衛星等のデータを用いて検討する。現業用数値予報ルーチンの計算データなどから台風周辺の環境把握に有効なデ

ータを抽出する。20 年度は T-PARC に参画することにより、これらについてのフィージビリティスタディを行い、台風の強度予測の向上を図る。

副課題の概要

- ・ T-PARC (THORPEX 太平洋アジア地域観測計画、THORPEX Pacific Asian Regional Campaign) に参画することにより、これらについてのフィージビリティスタディを行う。

副課題の成果

- ・ 8 月下旬から 10 月初めまで北西太平洋で行なわれた T-PARC に参加し、台風第 12 号、13 号、15 号の 3 つの台風周辺で行われた小型ジェット機からのドロップゾンデ観測のデータの解析を通じて、台風周辺の環境場の把握を行なうことができた。
- ・ T-PARC 観測期間中に行われた MTSAT2 による 15 分間隔ならびに 4 分または 7 分間隔の衛星画像を用いた詳細大気追跡風データを算出し、MTSAT1R で現業的に行われている大気追跡風データとの比較を行った。また、大気追跡風の計算時のパラメータを変更することによる計算結果の比較を行った。現段階ではまだ比較結果の検証中であるが、台風に特化した設定での風ベクトルの計算によって内部構造を現業データよりも詳細に捉えることができる可能性が示された。

(副課題 3) 日本に接近する台風の強雨・強風の実態解明

副課題の到達目標

日本付近に接近した台風と、地形や季節変化などに依存した環境場との相互作用により生じる強雨・強風の分布に関するフィージビリティスタディを行う。また、可搬型レーダー等による観測を実施し、台風に伴う顕著現象の高解像度データと観測ノウハウの蓄積を行うと共に、現業観測等のデータの収集を行う。さらに、台風に伴う特に顕著な現象について、データ解析及び雲解像モデルを用いたシミュレーションによる雲物理的な降水強化機構などの予備調査を行う。これらにより、台風の強度予測の向上を図る。

副課題の概要

- ・ 再解析データと観測データ等を用いて、日本付近に接近した台風の降水分布の特徴と、それに対する環境場の影響について予備調査を行う。
- ・ 関東周辺において可搬型ドップラー気象レーダーや GPS ゾンデによる台風観測を実施するなど、将来的な台風などの機動観測による観測ノウハウの蓄積を行い、また、現業用ドップラーレーダーやウィンドプロファイラを用いて、台風の詳細な構造に関する予備調査を行う。
- ・ 全球解析値から NHM を用いて台風のシミュレーションが行える環境を整備し、数事例実行する。
- ・ 台風に伴う特に顕著な現象について、データ解析及び雲解像モデルを用いたシミュレーションによる雲物理的な降水強化機構などの予備調査を行う。

副課題の成果

- ・ 日本本土に上陸した 70 個の台風を観測による地上風分布で 5 種類に分類し、その三次元構造について再解析データを用いて調べた結果、それぞれのパターンについて台風自体の熱的構造や環境場の特徴が見られた。例えば中心付近で進路右側も含めて強風が吹くパターンは、やや傾圧性を持ち、降水は進路前方に偏る特徴を持っていた。また地上風の左右の非対称が強いパターンは、軸対称性が強い成熟期の台風の構造か、または傾圧性が強い温帯低気圧化末期の構造で非対称な降水分布を特徴としていた。
- ・ 台風の詳細な構造に関する予備調査として、延岡 WPR, 屋久島 WPR, 南大東島 WPR、独立行政法人 情報通信研究機構 (NICT) のウィンドプロファイラを用い、日本付近に接近した複数の台風接近時の気流構造の初期解析を行った結果、壁雲周辺の気流構造を把握することができた。
- ・ 台風機動観測のための機動観測車の基本設計を行った。強風下の安定観測のためのレドーム付の可搬型ドップラー気象レーダー、ソーダーを搭載し、台風中心付近の微細構造や降水のない眼の領域の気流構造を捉えることが期待される。
- ・ 2008 年台風第 05 号、2008 年台風第 15 号を対象に、全球客観解析値を初期値・境界値にして、水平解像度 5km の NHM を用いたシミュレーションを行った。台風の発達過程を中心に今後調査してい

くため、熱帯から中緯度を含む領域で実験を行った。910hPa まで発達した 2008 年台風第 15 号に関しては、台風が熱帯域で発生する前（熱帯低気圧の段階）を初期値とした、5 日積分の実験も行った。

- ・雲解像モデルを用いたシミュレーションによって T0421 における降水強化機構を明らかにするため、雲物理量を考慮した降水効率の計算を行い、雨水が雲水を捕捉する過程の重要性を確認した。

（副課題 4）台風初期値の改善と熱帯での実験環境の構築

副課題の到達目標

台風強度予測の観点からメソモデルなど高解像度予報モデルの初期値に表現された台風構造の妥当性を観測データや理論に照らし合わせて予備的に検証するとともに、熱帯域で台風のメソ同化実験および予報実験が行える環境を整備する。

副課題の概要

- ・メソ解析に表現された台風のコア域構造について観測データや理論との整合性を調べる。
- ・熱帯域で台風のメソ同化実験および予報実験が行える環境を整備する。

副課題の成果

メソ解析に表現された台風のコア域構造を調べた。台風強度（中心気圧および最大風速）については台風がメソ解析領域の側面境界に近い所に位置している場合は気象庁ベストトラックに比較して明らかに強度が弱すぎる傾向がある一方、側面境界から十分離れた所では非常に強い台風を除き強度のバイアスは比較的小さいことが分かった。また、ベストトラックに比べ最大風速半径が系統的に大きいことが分かった。台風の中心軸は理論的予測に合致して高度とともに環境風の鉛直シアベクトルの左前方に傾斜しており、上層・下層中心間の距離は多くの場合メソ解析の格子間隔より大きかった。

熱帯域でメソ同化実験を行える環境を整備した。その際、熱帯域を対象とした背景誤差統計量の再計算を行い、中緯度帯で使用する地衡風バランスの仮定が成立しないことがわかったため、制御変数の変更を行った。この同化システムを用いて 2008 年のサイクロン・Nargis の事例について同化・予報実験を行ったところ、全球解析を初期値とした予報と比較して進路予報、強度予報ともに改善するという結果が得られた。これにより本システムの有効性が確認された。

（副課題 5）波浪、海洋モデルの結合等による非静力学モデルの高度化

副課題の到達目標

波浪、海洋モデルの結合等による非静力学モデルの高度化に必要な波浪モデルに関する情報と、波浪、海洋が台風強度予測に与える影響に関する知見を整理し、高度化した非静力学モデルによる台風強度予測の実施とその精度向上を図る。

副課題の概要

- ・非静力学大気海洋結合モデル、非静力学大気波浪結合モデルによる台風予測実験を実施し、その知見を踏まえて、非静力学大気波浪海洋結合モデルの開発に着手する。
- ・非静力学大気波浪海洋結合モデル等による台風予測実験で使用する海洋再解析データを更新する。
- ・非静力学大気波浪海洋結合モデルによる台風強度予測に関する知見・情報を整理する。

副課題の成果

波浪・海洋モデルの結合により、非静力学モデル及び台風強度予測の高度化に資するため、以下の作業を実施することにより、非静力学大気モデルに第 3 世代波浪モデルと海洋混合層モデルを結合した非静力学大気波浪海洋結合モデルの試験版を構築した。

- ・波浪モデルの単一モジュール化と MPI 並列計算のためのプログラム改良。
 - ・海洋混合層モデルにおけるエントレインメント率算出法の改善と、海面水温日変化の再現性向上のための海洋表皮層モデルの導入。
 - ・計算速度向上のための最適化及び波浪モデルの NuSDAS データ形式での出力。
- この試験版結合モデルにより、台風 Hai-Tang(2005)の発達期に対する数値実験を実施した。台風 Hai-Tang 通過時に形成される局所的な海面水温低下により、台風中心気圧の深まりは抑制された。一方で波浪モデルの台風中心気圧へのインパクトは、数値実験で使用する海洋初期値及び積分時間に

より、異なった結果となった。また数値実験の結果から、海洋環境場、暖水渦や冷水渦の分布が発達期における台風強度予測に影響を与えていた。台風 Hai-Tang(2005)による海洋への応答は、海洋環境場（初期値となる場）と台風の移動速度により、1 次元の応答と 3 次元の応答に分かれることを海洋再解析データ、Argo データおよび海洋大循環モデルによる数値実験から示した。海洋初期値に関して、大気外力として JRA-25 を使用して、2007 年までの日別海洋再解析データを整備した。国内外における、波浪、海洋が台風強度予測に与える影響を調査した論文を収集し、その情報を整理した。

成果発表一覧

1. 査読論文

1. Kitabatake, N., 2008: Extratropical transition of tropical cyclones in the western North Pacific: Their frontal evolution. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 2066-2090.
2. Kitabatake, N., 2008: Extratropical transition of Typhoon Tokage (0423) and associated heavy rainfall on the left side of its track over western Japan. *Papers in Meteorology and Geophysics*, **59**, 97-114.
3. Wada, A., and J. C. L. Chan, 2008 : Relationship between typhoon activity and upper ocean heat content. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L17603, doi:10.1029/2008GL035129.
4. Nakazawa, T. and S. Hoshino, 2009: Intercomparison of Dvorak parameters in the tropical cyclone datasets over the western North Pacific. *SOLA*, **5**, 33-36.
5. Nakazawa, T. and K. Rajendran, 2009: Interannual variability of tropical rainfall characteristics and the impact of the altitude boost from TRMM PR 3A25 data. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87A**, in print.
6. Nemoto, K., T. Midorikawa, A. Wada, K. Ogawa, S. Takatani, H. Kimoto, M. Ishii, and H. Y. Inoue, 2009 : Continuous observations of atmospheric and oceanic CO₂ using the moored buoy in the East China Sea: Variations during the passage of typhoons. *Deep-Sea Research II*, in print, DOI: 10.1016/j.dsr2.2008.12.015.
7. Ueno, M., and M. Kunii, 2009: Some aspects of azimuthal wavenumber-one structure of typhoons represented in the JMA operational mesoscale analyses. (*J. Meteor. Soc. Japan*, accepted)
8. Wada, A., K. Sato, N. Usui, Y. Kawai, 2009: Comment on "The importance of pre-existing oceanic conditions to upper ocean response induced by Super Typhoon Hai-Tang" by Zheng Z.-W.C.-R. Ho and N.-J. Kuo. *Geophys. Res. Lett.*, in revision.
9. Wada, A., H. Niino, H. Nakano, 2009: Roles of Vertical Turbulent Mixing in the Ocean Response to Typhoon Rex (1998). *Journal of Oceanography*, in print.
10. Murata, A., 2009: A mechanism for heavy precipitation over the Kii Peninsula accompanying typhoon Meari (2004). *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 101-117.

2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 中澤哲夫, 2008: 台風のための双方向予報システムの構築に向けて, *天気*, 日本気象学会, **55(5)**, 374-378.
2. Ueno, M., 2008: On the phase and amplitude of shear-induced wavenumber-one convective asymmetry in the inner-core region of tropical cyclones, *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling*, **38**, 5.25-5.26.
3. Wada, A., H. Niino, H. Nakano, 2008: Sensitivity of tuning parameters in a mixed-layer scheme to simulated sea surface cooling caused by a passage of a typhoon. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling*, **38**, 8.15-8.16.
4. Wada, A., N. Usui, H. Niino, 2008: The impact of oceanic observations on tropical cyclone intensity prediction in the case of Typhoon Namtheun (2004). *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling*, **38**, 9.03-9.04.
5. Wada, A., H. Niino, 2008: Numerical experiments of intensification of an idealized typhoon-like vortex under various sea surface temperatures by a nonhydrostatic atmosphere-ocean coupled model. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling*, **38**, 9.05-9.06.

3. 口頭発表

(1)国際会議・学会等での口頭発表件数：12 件

1. Nakazawa, T., 2008: 10-year Climatology of Tropical Rainfall Characteristics from TRMM Data. 28th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, *American Met. Soc. May 1. Orlando, FL.* <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/138046.pdf>
 2. Nakazawa, T., 2008: Eastward-moving cloud clusters in a super cloud cluster in January 2007. 28th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, *American Met. Soc. May 1. Orlando, FL.*
 3. Bessho, K., T. Nakazawa, and M. Ueno, 2008: Statistical analysis of surface wind distribution of typhoons on western North Pacific observed by scatterometer for 9-years. 28th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, *American Met. Soc. May 1. Orlando, FL.* 15B.2 <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/137995.pdf>
 4. Wu, C.-C., J. H. Chen, M. S. Peng, S. J. Majumdar, C. A. Reynolds, R. Buizza, M. Yamaguchi, S. D. Aberson, T. Nakazawa, K. H. Chou, S. G. Chen, and P. H. Lin: 2008: Inter-comparison of targeted observation guidances for tropical cyclones in the western North Pacific. 28th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, *American Met. Soc. May 1. Orlando, FL.* 7C.3
 5. Parsons, D., P. Harr, T. Nakazawa, S. Jones, and M. Weissmann: 2008: An overview of the THORPEX-Pacific Asian Regional Campaign (T-PARC) during August-September 2008. 28th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, *American Met. Soc. May 1. Orlando, FL.* 7C.7
<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/138431.pdf>
 6. Nakazawa, T., 2008: Overview of T-PARC. *International Joint Workshop on Predictability and Observation Experiment in Korea (ProbeX) and NWP.* November 13. Jeju, Republic of Korea.
 7. Nakazawa, T., 2008: Performance of JMA weekly ensemble forecast for Nargis. *The third workshop on high-resolution and cloud modeling - tropical cyclones and climate.* December 4. Honolulu, U. S. A.
 8. Nakazawa, T., 2008: T-PARC: A new direction for typhoon research/forecast. *International workshop on advanced typhoon and flood research.* December 18. Taipei.
 9. Nakazawa, T., 2008: Targeted observation for tropical cyclones during T-PARC 2008. *Collection of Abstracts of The 2nd THORPEX-Asia Science Workshop*, 85.
 10. Ueno, M., 2008: Numerical study on the effect of ambient vertical wind shear on the inner-core asymmetry and vertical tilt of typhoon vortex. *AOGS2008* (16 June, Busan Exhibition & Convention Center, Busan, Korea)
 11. Bessho, K., T. Nakazawa and M. Weissmann, 2009: Operation of Falcon in T-PARC and Its First Results. *Collection of Abstracts of The 2nd THORPEX-Asia Science Workshop*, 85.
 12. Nakazawa, T., D. Parsons and T. Komori, 2009: Weekly ensemble prediction of Nargis at JMA. *The first international conference on Indian Ocean tropical cyclones and climate change.* March 8. Muscat, Oman.
- (2)国内会議・学会等での口頭発表件数：19 件
1. 星野俊介・中澤哲夫, 2008: 1987年以降の気象庁とJTWCのドボラック法による台風強度推定の比較. *日本気象学会2008年春季大会予稿集* P123. 5月18日. 横浜.
 2. 中澤哲夫・Kavirajan Rajendran, 2008: TRMM降水変動 高度変更の影響か年々変動か?. *日本気象学会2008年春季大会予稿集* B157. 5月18日. 横浜.
 3. 沖理子・清水収司・可知美佐子・岡本謙一・井口俊夫・中村健治・中澤哲夫, 2008: 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の概要と10年間の成果. *日本気象学会2008年春季大会予稿集* B151. 5月18日. 横浜.
 4. 北畠尚子・中澤哲夫, 2008: 週間アンサンブル予報における台風進路に対する環境場の影響. *日本気象学会2008年春季大会予稿集* B301. 5月20日. 横浜.
 5. 山口宗彦・中澤哲夫, 2008: T-PARCにおける台風機動観測と感度解析. *日本気象学会2008年春季大会予稿集* B305. 5月20日. 横浜.
 6. 別所康太郎・中澤哲夫・上野充, 2008: 8年間の散乱計観測による台風域内の海上風分布の統計解析. *日本気象学会2008年春季大会予稿集* B306. 5月20日. 横浜.

7. 本山龍也・佐藤均・新保明彦・徳広貴之・釜堀弘隆・重尚一・高薮縁・尾瀬智昭・中澤哲夫, 2008: 気象庁 1 ヶ月アンサンブル予報モデルによるMJOに伴う鉛直加熱率とTRMM, JRA-25との比較. 日本気象学会2008年春季大会予稿集 C403. 5月21日. 横浜.
8. 中澤哲夫, 2008: サイクロンNargisの経路の特異性. 日本地球惑星科学連合2008年大会 緊急ポスターセッション 水文/気象-7 5月26日. 幕張.
9. 中澤哲夫・酒井亮太・小森拓也, 2008: 気象庁週間アンサンブル予報データのNargis予報結果について. 日本気象学会2008年秋季大会予稿集 B306. 11月21日. 仙台.
10. 北畠尚子, 藤部文昭, 2008: 日本本土に上陸した台風の地上風分布と三次元構造. 日本気象学会2008年度秋季大会講演予稿集, D177.
11. 別所康太郎, 2008: 8年間の散乱計観測による台風域内の海上風分布の統計解析. 日本気象学会2008年度春季大会講演予稿集, B306.
12. Nakazawa, T., 2008: Overview of T-PARC in 2008. 第13回日米気象技術交流会. 11月25日. 東京
13. Bessho, K., 2008: Operation of Falcon in T-PARC and its first results. 第13回日米気象技術交流会. 11月25日. 東京
14. 中澤哲夫・酒井亮太・小森拓也, 2008: サイクロンNargisのミャンマー上陸予測について. 平成20年度京都大学防災研究所一般共同利用研究集会 12月17日. 京都.
15. 別所康太郎, 2008: 台風特別観測実験T-PARC の概要. 平成20年度京都大学防災研究所一般共同利用研究集会 (20K-06) 「台風災害を防ぐー気象学・風工学・土木学・災害学の間に橋を架けるー」
16. 和田章義, Johnny, C. L. Chan, 碓氷典久: 海洋貯熱量変動に見られる台風活動モードと台風経路の関係. 日本気象学会2008年秋季大会講演予稿集, P198
17. 和田章義, Johnny, C. L. Chan, 松本聡: 北西太平洋海域における海洋貯熱量と台風活動の経年変動・相互作用. 日本海洋学会2008年春季大会講演要旨集, P207
18. 上野充, 2008: 数値モデルで得られた台風中心軸の傾斜と気温変化(続報). 日本気象学会2008年度春季大会講演予稿集, C408.
19. 上野充・國井勝, 2008: 台風検証データとしての気象庁メソ解析利用の試み. 日本気象学会2008年度秋季大会講演予稿集, D110.

海洋環境モデル・同化システムの開発と海洋環境変動機構の解明に関する研究 —フィージビリティ・スタディー—

研究期間： 平成 20 年度

研究代表者： 石崎 廣（海洋研究部）

研究担当者

（副課題 1）海洋環境モデルの開発に関する研究

辻野博之、石崎廣、本井達夫、山中吾郎、平原幹俊、中野英之、松本聡（海洋研究部）、安田珠幾、小畑 淳（気候研究部）、緑川 貴、石井雅男、笹野大輔（地球化学研究部）

（副課題 2）海洋環境同化システムの開発に関する研究

藤井陽介、蒲地政文、碓氷典久、松本聡、鳥山暁人（海洋研究部）、石崎士郎、今泉孝男（地球環境・海洋部）

（副課題 3）海洋環境変動機構の解明に関する研究

本井達夫、石崎廣、山中吾郎、平原幹俊、辻野博之、中野英之、蒲地政文、碓氷典久、松本聡（海洋研究部）、安田珠幾、小畑淳（気候研究部）、緑川貴、石井雅男、時枝隆之（地球化学研究部）

（副課題 4）日本近海監視・予測システムに関する研究

蒲地政文、本井達夫、辻野博之、中野英之、碓氷典久、松本聡、和田章義（台風研究部）、今泉孝男、石崎士郎（地球環境・海洋部）

研究の目的

独法中期計画課題（研究目的：海洋環境変動の解析・監視・予報体制の強化を行う為に、海洋環境モデル・同化システムの開発、日本近海監視・予測システムの開発、及び海洋環境変動機構の解明を行う。）の為にフィージビリティ・スタディーを行う。

研究の到達目標

独法化後（平成 21 年度以降）本格的に取り組む中期計画課題に対してフィージビリティ・スタディーとして、課題自体の目的・目標の妥当性を評価して長期展望を模索する。また、各副課題ごとに中心となる研究項目を取り上げ、予備実験・調査及びそれらの初歩的解析を通してスキームの開発・改良を行うことにより、本格的な研究開始に備えるとともに、一部は開始する。

研究計画の概要

海洋研究部では、従来、5 年毎の一般経常研究を重ねて、海洋モデル開発と海洋データ同化手法の開発を別課題として継続してきた。しかし、独立行政法人化を一年後に控え、今後とも気象庁の海洋関連業務に貢献し、また、関係する種々の現象の解析研究を継続・発展させるためには、これらを統合してより緊密な研究体制を構築するとともに、関連する他研究部の研究者の参加も仰いでより広範な研究ニーズをカバーする必要性に迫られている。このような状況の下に独法化後の中期計画課題として「海洋環境モデル・同化システムの開発と海洋環境変動機構の解明に関する研究」を立ち上げた。

本研究は、中期計画課題に対するフィージビリティ・スタディーとして、中期計画課題自体の目的・目標の妥当性を評価して長期展望を模索する。また、各副課題ごとに中心となる研究項目を取り上げ、予備実験・調査及びそれらの初歩的解析を通してスキームの開発・改良を行うことにより、本格的な研究開始に備えるものである。サブ課題間の構造は中期計画のものと同一であり、従来に加えて物質循環も含む海洋環境モデル開発と海洋環境データ同化手法の開発はそれぞれサブ課題 1 とサブ課題 2 で行い、それぞれの計算結果や同化結果を用いた解析をサブ課題 3 で、また、沿岸防災関係への展開として日本近海監視・予測システムの基礎を確立することをサブ課題 4 で行う。

主な研究成果

各サブ課題毎の具体的成果は以下に示されるが、全体としてはほぼ予定どおりに実施された。中心課

題としてはサブ課題 1 では 2 つの国際標準実験の予備実験実施、全球渦解像モデル実験の着手、炭素を中心とする物質循環過程並びに物理素過程スキームの開発・改良、サブ課題 2 では一般化座標系に対する同化技術の開発、海水モデルへの海水データの同化手法開発、海洋漂流ブイ及び定置ブイデータに対する観測システム評価 (OSE) の実施、サブ課題 3 では上記 2 つのサブ課題によるデータの解析、サブ課題 4 では現在の新総合海洋解析システム (MOVE/MRI.COM-WNP) の高度化、特に、亜寒帯域における低温バイアスの低減、等であった。これらはいずれも実施され、次年度以降本格的に開始される 5 ヶ年計画の研究課題に対して、その目的・目標の妥当性を証明するとともに、以下に示されるような現在ある問題点を明示することにより、今後の追求すべき課題と方向性を明確にした。従って、本研究はフィージビリティ・スタディとして成功裏に終了したと考えられる。

今後に残された問題点

各サブ課題の具体的な問題点を以下に示す。

サブ課題 1

- ・来年度以降実施予定の実験の予備実験としては十分なものが実施できたものと考えられるが、CORE については、海洋モデル内ではほぼ完全に熱バランスした状態を得る実験を実施するまでには至らなかった。加速手法を用いて数千年分の計算を実施し、早急に熱的にバランスした状態を得られるようにする予定である。
- ・OCMIP については、本年度のスキーム開発により生物地球化学過程に関して 3 つのスキームを選択肢としてもつこととなったが、これらの性能を十分には把握しきれていない面もあるため、今後感度実験等を進めていく。
- ・全球渦解像モデルは計算の高速化を図ることにより、長期間の積分も実施可能にする必要がある。

サブ課題 2

- ・一般化座標系に対応した同化システムを完成させるためには、今後、極近傍の計算の効率化の他、緯度経度座標で計算された解析結果を一般化座標のモデル場に反映させるスキームを開発することが不可欠である。
- ・海水の同化に関しては、今後、水温・塩分の同化と併用したときの効果や、高度な同化スキーム（変分法、アンサンブル計算の利用など）の適応などを検討する必要がある。

サブ課題 3

- ・海水面積変動と熱塩循環強度との関係や、それらの大気・海洋・陸面炭素循環への影響を調べる必要がある。
- ・新たな酸素センサー等高精度測器で観測され、またモデルでも詳細に再現されている 137E 線及び 165E 線での炭素及び酸素分布の海洋物理・化学・生物に関するより定量的なプロセス研究が必要である。
- ・137E の時系列データに関する観測データと気象研を含む各種研究機関でのモデルシミュレーションデータの相互比較を行い、炭素を含む海洋環境の季節変動・経年・10 年変動と長期変化の変動機構の解明を進める必要がある。
- ・渦輸送解析と粒子追跡解析を継続し、北太平洋の諸水塊、特に北太平洋中層水の長期変化傾向における渦による熱と塩分（淡水）の輸送の役割を調べる必要がある。

サブ課題 4

- ・沿岸域での潮位変動を精度よく再現するためには、沿岸親潮や、黒潮より沿岸に近い海域での黒潮反流に関する海況変動を再現する必要がある。
- ・東北沖の親潮と黒潮が混在する海域での非ガウスの誤差統計量を用いた同化手法の開発が、親潮の再現精度を高めるためには必要である。

今後の 5 ヶ年計画ではモデル研究関連は「海洋環境の予測技術の開発」、データ同化研究関連は「全球及び日本近海を対象とした海洋データ同化システムの開発」という 2 つの融合型経常研究に分かれて実施されることになっている。本研究のサブ課題 1、サブ課題 3 のモデル計算データ解析関連、及びサブ課題 4 の日本近海監視・予測システムの基礎となる高解像度モデルとネスティング手法の開発は前者に、サブ課題 2、サブ課題 3 の再計算結果の解析関連、及びサブ課題 4 の、現行の新総合海洋解析システム (MOVE/MRI.COM-WNP) の高度化を通じての日本近海監視・予測システムへの基礎確立は後者にそれぞれ引き継がれて実施される。以上に示されたような問題点を明確に意識しながらそれぞれの研究課題に取り組んでいく。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 9 件
- ・口頭発表件数 54 件

(副課題 1) 海洋環境モデルの開発に関する研究

副課題の到達目標

海洋環境モデルを開発して、物質循環・海洋生態系・深層循環を解析し、3次元炭素分布を作成する。そのために、フィジビリティ・スタディとしては、物質循環過程等に関するスキームの開発・改良を行うとともに、国際標準実験や全球高解像度実験の予備実験を行い、計算データを公開するとともに、国内外機関との情報交換を行う。

副課題の概要

- ・海洋モデルに関する2つの国際標準実験（CORE、OCMIP）の予備実験を実施し、計算データを公開するとともに、国内外機関との情報交換を行う。
 - ① CORE：CLIVAR/WGOMD による標準データを用いた 500 年程度の現在海洋再現実験
Coordinated Ocean-ice Reference Experiments
 - ② OCMIP：50 年程度の大気再解析データを循環的に使用し、歴史的な大気 CO₂ 濃度を与えた海洋での炭素循環再現実験 Ocean Carbon-Cycle Model Intercomparison Project
- ・北極域まで含んだ全球渦解像海洋モデル（WOCERM）による気候値強制実験及び歴史的強制実験に着手し、解析用の計算データセットを整備する。
- ・主に炭素に関する物質循環過程、海氷過程、トレーサ移流過程についてのスキームの開発・改良を通して再現精度の高度化を図り、その検証を行う。

副課題の成果

- ① 国際標準実験の実施
 - ・独自開発のモデルを相互比較し各々のモデルの改善点や共通の問題点を明確にすることを目的とした国際標準実験に向けて予備実験を実施した。物理場については CORE、炭素循環場については OCMIP である。海洋研究部としては、地球システムモデルの海洋部分の基本性能の確認を主目的としている。来年度以降の本格実験に備え今年度は以下の予備実験を実施した。
 - ・CORE：CLIVAR/WGOMD による標準データを用いた 500 年程度の現在海洋再現実験
本実験は典型的な年の大気状態を用いて海洋モデルを現在の水温・塩分気候値から 500 年間駆動するものである。モデルのチューニングの後に実施した結果、他機関の結果と比較してほぼ標準的な結果が得られたが、観測と比較して北大西洋深層水形成に伴う循環が少し弱い、全球平均水温が高い、塩分が低いなどの傾向がみられた。更新された大気データを使用した結果、上記の問題点に改善の傾向がみられたため、モデルのパラメータの設定は大きくは変更せず本格実験を実施する予定である。
 - ・OCMIP：50 年程度の大気再解析データを循環的に使用し、歴史的な大気 CO₂ 濃度を与えた海洋での炭素循環再現実験
本実験は経年変動する大気再解析データと大気中二酸化炭素濃度により、海洋炭素循環モデルを駆動するものである。本年度は CLIVAR/WGOMD により提供された標準的な経年変動データを用いて 1958-2006 年の実験を行い、他機関の結果と比較してほぼ標準的な結果を得たが、海面二酸化炭素分圧や全炭酸濃度に正のバイアスなどの傾向がみられた。今後、生物地球化学モデルの高度化により、これらの問題解決の可能性の確認を進める。
- ② 全球渦解像海洋モデルの実施
 - ・北極域まで含んだ全球渦解像海洋モデル（WOCERM）により、JRA-25 の再解析データを用いて、1979-2004 年の気候値強制及び歴史的強制実験を行った。これに併せてパッシブトレーサー（¹³⁷Cs）も計算し、東西流ジェットが存在とそれによるパッシブトレーサーの輸送が確認できた。
- ③ スキームの開発・改良
 - ・炭素に関する物質循環過程：植物・動物プランクトンを陽に表現する、NPZD モデル、及び複数のカテゴリーの植物・動物プランクトンの物質循環が表現可能な NEMURO モデルを、従来の比較的簡略化さ

れた生物地球化学モデルに加えて導入した。国内他機関のモデル結果と比較し、同様の結果が得られることを確認した。

- ・海氷過程：海氷の厚さによりカテゴリー分けして、海氷どうしの乗り上げ（リッジング）なども表現可能な海氷モデルを開発し、観測データとの比較により、海氷存在域などの再現性及び北極圏における海氷の厚さが良好であることが確認された。再解析データにより駆動し、2007年夏季の北極における大規模な海氷域後退の再現に成功した。
- ・トレーサー移流過程：トレーサーの格子内分布を考慮し、数値拡散や分散の少ない Second Order Moment (SOM) 移流スキームを導入した。これにより北太平洋亜熱帯モード水の消散が軽減されて水塊としての性質が維持され、日本海の表層高温バイアスが解消されるなどの効果が得られた。

（副課題2）海洋環境同化システムの開発に関する研究

副課題の到達目標

海洋環境同化システムを開発して、海洋長期再解析データを作成する。そのために、フィージビリティ・スタディとしては、地球システムモデルに対応した一般化座標系に対する同化技術の開発及び海氷モデルへの海氷密接度データの同化手法開発に着手する。また、海洋漂流ブイ及び定置ブイによる観測データに対する観測システム評価（OSE）を実施する。

副課題の概要

- ・地球システムモデルに対応した、一般化座標系に対する同化技術の開発に着手し、観測データと比較する。
- ・海氷モデルへの海氷密接度データの同化手法の調査を行い、開発に着手する。
- ・海洋漂流ブイ (Argo) 及び定置ブイ (TAO/TRITON) による観測データに対する観測システム評価 (OSE、その観測データを同化した場合のインパクトの評価) を実施する。

副課題の成果

- ① システムの改良（一般化座標系への対応等）
 - ・一般直交座標系への対応のために必要な、球面距離から背景誤差の相関係数を算出するスキームの開発により、本来、変動の空間スケールが等方的である中・高緯度域で、背景誤差相関を緯度・経度の方向に依存せずに表現することが可能となった。また、これに合わせて背景誤差の計算スキームの高速化を行った。
 - ・長期変動の解析などを通して、従来の同化システムでは 1500m 以深についてデータ同化を行っていないために、海面高度・蓄熱量などの再現性が十分でないことが判明した。そのため、同化に必要な誤差統計量などの再計算を 2000m 以浅とし、全球海洋データ同化システムの改良を行い、1950 年代以降の再解析実験を実施した。その結果、インド洋での蓄熱量の再現性等が向上した。
- ② 海氷のデータ同化技術の開発
 - ・海洋・海氷モデルシミュレーションにおけるオホーツク海の海氷の再現性についての調査の結果、海氷分布の季節進行は概ね表現されるが、海氷域が全体に拡がり過ぎる、北海道オホーツク海沿岸への接岸の時期を十分正確に再現できないなどの問題点もあることが判明し、データ同化による海氷の再現性向上の必要性が明らかになった。
 - ・ナッジング法による海氷密接度の同化実験を行い、その有効性の検証を行った結果、このような初歩的な同化手法を用いても、モデルを破綻させることなく、海氷分布の改善を図ることが可能であることが明らかとなった。また、海氷分布の十分な再現には、1 日程度の時間スケールの海氷分布の修正が必要であることも判った。
- ③ 観測データのインパクト評価
 - ・全球海洋データ同化システム、及びそれを用いた現行の気象庁季節予報システムを用いて、海洋漂流ブイ (Argo フロート) 及び定置ブイ (TAO/TRITON ブイ) による観測データの、太平洋、及びインド洋熱帯域の海面水温予測に対するインパクト実験を行った。その結果、TAO/TRITON ブイについては、太平洋熱帯域東部海面水温の 0-6 ヶ月先の予報の改善に対して、90%以上の有意な効果があることが判明した。また、Argo フロートについては、太平洋熱帯域東部の他、太平洋熱帯域西部やインド洋の熱帯域についても改善の効果が見られた。
 - ・海洋モデルのアジョイントコードを用いて黒潮大蛇行の形成に関する特異ベクトル解析を行った結果、

大蛇行形成の2ヶ月ほど前の九州南東沖で発生する傾圧不安定が大蛇行流路に大きな影響を与えることがわかった。このことから、この海域における観測が大蛇行の予測に対して重要であることが示唆された。

(副課題3) 海洋環境変動機構の解明に関する研究

副課題の到達目標

全球から日本近海・沿岸の海洋環境構造と変動を解析する。そのために、フィージビリティ・スタディとしては、副課題1で実施した予備実験の結果を解析し、観測や他のモデル結果との比較を通して検証を行う。また、同化実験結果を用いた塩分場の気候変動の解析に着手する。

副課題の概要

- ・国際標準実験 (CORE) の予備実験結果に対し、両極域海水分布及び熱塩循環強度に着目し、観測及び他のモデル結果との比較を通じた検証を行う。
- ・国際標準実験 (OCMIP) の予備実験結果に対し、137E 線及び 165E 線での炭素分布に着目し、気象庁の観測結果との比較を通じた検証を行う。
- ・全球渦解像実験 (WOCERM) 結果に対し、北太平洋ばかりでなく他の海域まで拡張して、諸水塊形成に及ぼす渦・擾乱の効果の評価に着手する。
- ・過去の同化実験データを用いた塩分場の経年・10 年変動と長期変化の解析に着手する。

副課題の成果

- ① 国際標準実験 (CORE) の予備実験
 - ・CORE 経年変動予備実験において、他のモデルに先駆けて、人工衛星観測で測定されている近年の北極海の海水面積減少傾向が再現された。また、観測から得られた、南極環海の巨大氷湖、ウェッデルポリニヤ内部の熱塩構造と珪酸塩、溶存酸素、二酸化炭素分圧、海面二酸化炭素フラックスについて調べた結果、冬季ウェッデルポリニヤ内で海洋から大気に二酸化炭素が約 $0.5\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 放出されていたであろうということが分かった。
- ② 国際標準実験 (OCMIP) の予備実験
 - ・OCMIP 予備実験の結果から、日本近海において海洋に吸収された人為起源二酸化炭素は、日本の南方海域と日本海で多く蓄積されていることが示唆された。日本南方海域での蓄積は、気象庁と気象研究所の観測結果と一致していることが分かった。
- ③ 全球渦解像実験 (WOCERM)
 - ・亜熱帯モード水、北太平洋中層水及び南太平洋の水塊が渦による熱と塩分の輸送効果によってどのように変化しているのかということを知るための渦輸送解析や粒子追跡解析に着手した。また、渦解像モデルの結果を用いて、北太平洋の十年規模の海面水温変動が卓越する海域の一つである、亜熱帯前線域の長期変動について調べた結果、1970 年後半の亜熱帯前線の強化、および 1990 年代前半の亜熱帯前線の弱化は、1970 年代半ばの偏西風の変化に対応したモード水の変動と関連していることが明らかになった。
- ④ 過去の同化実験データ
 - ・全球海洋同化実験結果を用いて、北太平洋中層水 (NPIW) の経年・10 年変動と長期低塩化傾向の解析に着手した。NPIW の低塩分水の上流にあたる親潮黒潮混合域でも低塩化傾向が検出された。その低塩化傾向は、親潮水および黒潮水自体の変化によっては説明することができず、その混合比の変化 (親潮水の割合増) によって説明できることが分かった。

(副課題4) 日本近海監視・予測システムに関する研究

副課題の到達目標

日本近海監視・予測システムの基礎を確立する。そのために、フィージビリティ・スタディとしては、平成 20 年 3 月から現業化された新総合海洋解析システム (MOVE/MRI.COM-WNP) の高度化、特に、日本沿岸の潮位データとの比較を行い再現性の検討を行う。また、亜寒帯域における水温・流速の精度向上のため低温バイアスの低減についての改良を行う。

副課題の概要

- ・平成 20 年 3 月から現業化される新総合海洋解析システム (MOVE/MRI.COM-WNP) の高度化、特に、日本沿岸の潮位データとの比較を行い再現性の検討を行う。また、亜寒帯域における水温・流速の精度向上のため低温バイアスの低減についての改良を行う。

副課題の成果

① 潮位データとの比較による再現性の検討

- ・北西太平洋海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM-WNP) の海面高度と、日本沿岸の潮位データとの比較を行った。同化結果の海面高度と検潮記録の対応は良く、特に衛星による海面高度データのあたる 1993 年以降は相関が高く、かつ外洋は高いが、北海道東部の沿岸では、沿岸親潮の再現性が低いいため、両データに差があった。また、黒潮の大蛇行時には海面高度と検潮記録に 10cm 程度の差異があり、沿岸側の黒潮逆流の再現性を高める必要があることがわかった。

② 親潮水の再現性の向上

- ・東北沖の親潮と黒潮が混在する海域で、親潮水の低温バイアスを低減し、水温・流速の精度を向上させた。MOVE で従来使用してきた評価関数では、正規分布を過程した誤差統計量を用いているため、夏季の混乱水域において亜表層の親潮水の水温が低過ぎることが起こることが分かっている。これは、親潮と黒潮が混在し、中規模渦とフロント構造が卓越しているため、従来の正規分布の誤差統計量では、非等方的な現象を再現できないことによるものである。そのため、時空間フィルターの制約条件を付加する手法を開発した結果、観測データのみで作成した客観解析の変動と概ね一致した。しかしながら、非ガウスの確率密度分布関数を取り入れることにより、より精度が上がると思われる。

成果発表状況

- ・論文発表件数：9 件
- ・口頭発表件数：54 件

成果発表一覧

1. 査読論文

1. Fujii, Y., H. Tsujino, N. Usui, H. Nakano, M. Kamachi, 2008: Application of singular vector analysis to the Kuroshio large meander. *Journal of Geophysical Research*, **113**, C07026, doi:10.1029/2007JC004476.
2. Nakano, H., H. Tsujino, and R. Furue, 2008: The Kuroshio Current System as a jet and twin “relative” recirculation gyres embedded in the Sverdrup circulation, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **45**, 135-164, doi:10.1016/j.dynatmoce.2007.09.002.
3. Usui, N., H. Tsujino, H. Nakano, Y. Fujii, 2008: Formation process of the Kuroshio large meander in 2004, *Journal of Geophysical Research*, **113**, C08047, doi:10.1029/2007JC004675.
4. Yamanaka, G., H. Ishizaki, M. Hirabara, and I. Ishikawa, 2008: Decadal variability of the Subtropical Front of the western North Pacific in an eddy-resolving ocean general circulation model, *Journal of Geophysical Research*, **113**, C12027, doi:10.1029/2008JC005002.
5. Balmaseda, M. A., O. J. Alves, A. Arribas, T. Awaji, D. Behringer, N. Ferry, Y. Fujii, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, D. Stammer, 2009: Ocean initialization for seasonal forecasts. Submitted to *Oceanography*.
6. Fujii, Y., S. Mtsumoto, M. Kamachi, 2009: Estimation of the equatorial Pacific salinity field using ocean data assimilation systems. Submitted to *Advances in Geosciences*.
7. Ishikawa, I. and H. Ishizaki, 2009: Importance of eddy representation for modeling the intermediate salinity minimum in the North Pacific: in comparison between eddy-resolving and eddy-permitting models, *J. Oceanogr.*, in printing.
8. Oke, P. R., M. A. Balmaseda, M. Benkiran, J. A. Cummings, E. Dombrowsky, Y. Fujii, S.

Guinehut, G. Larnicol, P.-Y. Le Traon, and M. J. Martin, 2009: Ocean observing System Evaluation. Submitted to *Oceanography*.

2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 蒲地政文, 藤井陽介, 碓氷典久, 松本聡, 増田周平, 淡路敏之, 2008: 海洋現象への最適化法の応用としてのデータ同化: 変動の再現と原因究明. *オペレーションズリサーチ学会第20回RAMPシンポジウム論文集*, 173-182.

3. 口頭発表

1. Balmaseda, M. A., O. Alves, A. Arribas, T. Awaji, D. Behringer, N. Ferry, Y. Fujii, T. Lee, M. Rienecker, T. Rosati, D. Stammer, 2008: Ocean Initialization for Seasonal Forecasts. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
2. Cummings, J.A., L. Bertino, P. Brasseur, I. Fukumori, M. Kamachi, M. Marten, K. Mogensen, P. Oke, C.E. Testut, J. Verron, and A. Weaver 2008: Ocean data assimilation systems for GODAE. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
3. Dombrowsky, E, L. Bertino, G. Brassington, E. Chassignet, F. Davidson, H. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M. Martin, S. Mei and M. Tonani 2008: GODAE systems in operation. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
4. Fujii, Y., S. Matsumoto, N. Usui, H. Tsujino, T. Yasuda, M. Kamachi, 2008: OSE-OSSE activities using the ocean data assimilation and prediction system MOVE/MRI.COM. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
5. Fujii, Y., H. Tsujino, N. Usui, H. Nakano, M. Kamachi, 2008: Singular vector analysis of the Kuroshio large meander. *Proceedings of Asia-Oceania Geosciences Society 2008*.
6. Fujii, Y., T. Yasuda, T. Nakaegawa, M. Kamachi, 2008: Coupled Ocean and Atmosphere Analysis by Assimilating Ocean Observation Data to a Coupled Model. *Proceedings of the Third CLIVAR/GODAE Meeting on Ocean Synthesis Evaluation*.
7. 藤井陽介, 2008: MOVE システムの最近の開発と準結合同化による大気の解析. *2008 年データ同化夏の学校講義録*.
8. 藤井陽介, 蒲地政文, 2008: 背景誤差分散共分散行列の逆行列を必要としない前処理付き降下法 (POpULar) の変分解析への適用. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会講演要旨集*.
9. 藤井陽介, 蒲地政文, 高山勝巳, 2008: 海洋・気象のデータ同化で用いられる最小値探索アルゴリズム (降下法) について. *第2回統計数理研気象研合同ワークショップ要旨集*.
10. 藤井陽介, 辻野博之, 碓氷典久, 中野英之, 蒲地政文, 2008: 気象庁新海洋解析システム (VIII) - 特異値分解を用いた黒潮大蛇行の形成に関する解析-. *2008 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集*.
11. 藤井陽介, 松本聡, 安田珠幾, 蒲地政文, 安藤健太郎, 2008: 気象庁エルニーニョ予測システムによる観測システム評価 (OSE) . *2008 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集*.
12. Hernandez, F., L. Bertino, G. Brassington, J. A. Cummings, L. Crosnier, F. Davidoson, P. Hacker, M. Kamachi, and M. Martin 2008: Validation and intercomparison of analysis and forecast. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
13. 平原幹俊・石崎廣・中野英之・辻野博之, 2008: 非等方的調和型粘性・拡散スキームと渦許容モデルにおける黒潮流路の再現性. *日本海洋学会 2008 年度秋季大会講演要旨集*, P19
14. Imaizumi, T., N. Usui, H. Tsujino, H. Kunitatsu, 2009: Currents of the Okhotsk Sea simulated by MRI/JMA ocean data assimilation system (early results). *Proceedings of the 24th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice (Mombetsu-09 Symposium)*.
15. 石崎廣, 山中吾郎, 平原幹俊, 石川一郎, 辻野博之, 2008: 高解像度モデル結果における粒子追跡による相対分散. *日本海洋学会 2008 年度秋季大会講演要旨集*, P14
16. Kamachi, M. 2008: Japan national reports - main focus on planned future activities and examples of Demonstrations. *Proceedings of Final IGST Meeting*.

17. Kamachi, M. 2008: Japan GODAE Partners and JMA-MRI MOVE systems. Section6. Progress Report. *Proceedings of the Third CLIVAR/GODAE Meeting on Ocean Synthesis Evaluation*.
18. Kamachi, M., G. Brassington, J. A. Cummings, F. Davidson, Y.-H. Kim, J.-M. Lellouche, D. Storky, K. Thompson, and J.-H. Yoon 2008: Regional high resolution analyses and forecasts at the mesoscale. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
19. Kamachi M., Y. Fujii, N. Usui and S. Ishizaki 2008: Application of nonlinear constraints in a variational ocean data assimilation system MOVE/MRI.COM. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
20. Kamachi, M., S. Matsumoto, and T. Nakano 2008: Ocean Change Detected From Ocean Analysis/Reanalysis Datasets MOVE/MRI.COM_RA. *Proceedings of the International Symposium: Sentinel Earth, Detection of Environmental Change*.
21. Kamachi, M., S. Matsumoto, T. Nakano, and T. Yasuda 2008: Ocean Reanalysis, Water Mass Representation and Climate Change systems. Section9. Scientific analysis, including those by CLIVAR basin panels.. *Proceedings of the Third CLIVAR/GODAE Meeting on Ocean Synthesis Evaluation*.
22. Kamachi M., N. Usui, S. Ishizaki, Y. Kanno, and T. Kuragano 2008: Validation of the JMA's operational ocean data assimilation system MOVE/MRI.COM-WNP. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
23. Kamachi, M., N. Usui, H. Tsujino, Y. Fujii, S. Matsumoto and S. Ishizaki 2008: Ocean Data Assimilation and Prediction Experiments in JMA and MRI. *Proceedings of the Special Workshop on Operational Marine Forecasting. Central Weather Bureau 2008 Conference on Weather Analysis and Forecasting*.
24. Kamachi, M., N. Usui, H. Tsujino, Y. Fujii, S. Matsumoto and S. Ishizaki 2008: Operational Ocean Data Assimilation and Prediction System in JMA and MRI. *Proceedings of the International Workshop for Numerical Ocean Modeling and Prediction*.
25. 蒲地政文, 藤井陽介, 碓氷典久, 松本聡, 増田 周平, 淡路敏之, 2008: 海洋現象への最適化法の応用としてのデータ同化: 変動の再現と原因究明. オペレーションズリサーチ学会、第 20 回 RAMP シンポジウム講演要旨集
26. Matsumoto, S., T. Nakano, Y. Fujii, T. Yasuda and M. Kamachi, 2008: Climate variability of North Pacific Intermediate Water analyzed with ocean reanalysis data of MOVE/MRI.COM, *Proceedings of the GODAE final symposium*.
27. Matsumoto, S., T. Nakano, Y. Fujii, T. Yasuda and M. Kamachi, 2008: Ocean climate and water mass variabilities in the ocean reanalyses. *Proceedings of Asia-Oceania Geosciences Society 2008*.
28. Matsumoto, S., T. Nakano, Y. Fujii, T. Yasuda and M. Kamachi, 2008: Climate variability of North Pacific Intermediate Water analyzed with ocean reanalysis data of MOVE/MRI.COM. *Proceedings of the GODAE final symposium*.
29. 松本聡, 中野俊也, 藤井陽介, 安田珠幾, 蒲地政文, 2008: 海洋再解析データを用いた北太平洋中層における長期変化の解析. 2008 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, p.p.246
30. 松本聡, 中野俊也, 石川一郎, 辻野博之, 蒲地政文, 2009: 北太平洋中層における長期変化の要因に関する解析. 2009 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集
31. 松本聡・藤井陽介・中野俊也・石崎士郎・安田珠幾・高谷祐平・蒲地政文 2008: 気象庁新海洋解析システム (VI) -全球海洋データ同化システムと長期再解析- 2009 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集
32. 松本聡, 安田珠幾, 中野俊哉, 藤井陽介, 蒲地政文, 2008: 同化データからみた海洋の長期変動解析. 第 12 回データ同化夏の学校講義録.
33. 本井達夫, 笹井義一, 石井雅男, 緑川貴, 2008: 南極ウェッデルポリニアに伴う深い鉛直対流混合の海洋地球化学的証拠—海洋深層二酸化炭素の大気への冬季大量放出と夏季光合成炭素消

- 費一. 2008 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, P39. Nakano, H. 2008: Mechanism of the Kuroshio Current System. *2008 SCOR 50th Anniversary Symposium*.
35. Nakano, H., 2008: Alternating Zonal Jets in a Series of High-resolution OGCMs. *2008 AGU Fall Meeting*.
 36. Nakano, H., H. Tsujino, and R. Furue 2008: Problem of Western Boundary Current Separation. *2008 AGU Fall Meeting*.
 37. 中野英之、本井達夫、廣瀬勝己、青山道夫、2008: 海洋大循環モデルと粒子追跡法を用いた太平洋 137Cs の解析: 日本海洋学会 2008 年度秋季大会講演要旨集, P64
 38. 中野俊也、金子郁雄、曾我太三、安田珠幾、辻野博之、石崎廣、松本聡、蒲地政文、2008: 北太平洋 亜熱帯循環域中層における塩分の長期トレンドについて. *2008 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集*.
 39. 中野俊也、松本聡、石崎廣、蒲地政文、2008: 気象庁新海洋解析システム (VII) - 同化再解析結果による北太平洋回帰線水の変動 -. *2008 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集*.
 40. Oke, O. R., M. A. Balmaseda, J. A. Cummings, E. Dombrowsky, Y. Fujii, S. Guinehut, G. Larnicol, P.-Y. Le Traon, M. J. Martin, 2008: Observing System Evaluation. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
 41. Soga, T., I. Ishikawa, S. Matsumoto, Y. Fujii, M. Kamachi, 2008: Operational ocean data assimilation System for monitoring ENSO at Japan Meteorological Agency. *Proceedings of the GODAE final symposium*.
 42. 鳥山暁人、2008: データ同化の基礎. 解答編, 第 1 2 回データ同化夏の学校講義録.
 43. 鳥山暁人、松本聡、藤井陽介、蒲地政文、2009: 気象研全球海洋データ同化システム MOVE/MRI.COM-G の改良. *2009 年度日本海洋学会春季大会講演予稿集*.
 44. 辻野 博之・中野 英之・平原幹俊・本井 達夫、2008: 気象研究所共用海洋モデルによる現在気候再現実験でシミュレートされた海氷. *日本海洋学会 2008 年度春季大会講演要旨集*, P107
 45. 辻野博之、西川史朗、坂本圭、中野英之、石崎廣 2008: 北太平洋渦解像モデルにおける渦フラックスの評価. *日本海洋学会 2008 年度秋季大会講演要旨集*, P18
 46. 榎田 貴郎、碓氷典久、大森正雄、石崎士郎、2008: 気象庁海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM) における親潮域の表現. *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「親潮～混合域の観測研究－「親潮」認識の再確認－」講演要旨集*.
 47. Usui, N., S. Ishizaki, Y. Fujii, H. Tsujino, M. Kamachi, 2008: Reproducibility of currents and water masses in the North Pacific subarctic region in MOVE/MRI.COM. *Proceedings of GODAE Final Symposium*.
 48. 碓氷典久、2008: アジョイント法の基礎. 解答編. *2008 年海洋データ同化夏の学校講義録*.
 49. 碓氷典久、今泉孝男、辻野博之、2009: MOVE/MRI.COM への海氷密接度同化の導入に向けて. - オホーツク海を対象とした予備調査と簡易同化実験 -. 平成 20 年度気象庁海洋気象技術検討会講演要旨集.
 50. 碓氷典久、辻野博之、中野英之、藤井陽介、蒲地政文、2008: 黒潮大蛇行の形成条件. -2004 年大蛇行事例による感度実験-. *2008 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集*.
 51. 碓氷典久、辻野博之、中野英之、藤井陽介、蒲地政文、2008: 2004 年黒潮大蛇行の消滅過程. *2008 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集*.
 52. 和田章義, Johnny, C. L. Chan, 松本聡, 2008: 北西太平洋海域における海洋貯熱量と台風活動の経年変動・相互作用. *2008 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集*.
 53. Yasuda, T., Y. Fujii and S. Matsumoto, 2008: Linear trend of global mean sea level due to thermal expansion during 1960-2001: OGCM experiments. *Proceedings of the 2008 Western Pacific Geophysics Meeting*.
 54. 安田 珠幾、高谷祐平、松本聡、2009: 大気海洋結合モデルによる季節予測実験におけるエルニーニョ現象後のインド洋海面水温の上昇. *2009 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集*.

気候システムとその変動特性のモデルによる研究

研究期間： 平成 15 年度～平成 20 年度

研究代表者： 鬼頭昭雄¹⁾、楠 昌司²⁾ (気候研究部 第一研究室長)

研究担当者： 鬼頭昭雄、楠 昌司²⁾、小寺邦彦³⁾、村上茂教⁴⁾、上口賢治、足立恭将、行本誠史、保坂征宏、坂見智法⁵⁾、尾瀬智昭¹⁾、本井達夫⁶⁾、黒田友二⁵⁾、吉村純²⁾、内山貴雄⁷⁾、新藤永樹⁸⁾、馬淵和雄⁸⁾、小畑淳⁹⁾、遠藤洋和⁹⁾ (気候研究部)、藪将吉⁷⁾、川合秀明¹⁰⁾、新保明彦¹¹⁾ (地球環境・海洋部)

研究の目的

これまで主に大気海洋の結合系や対流圏－成層圏間の大気相互作用にとどまっていた気候の理解および気候モデルの範囲を、植生・陸面状態、雪氷・海水分布、大気組成の変化（オゾン、二酸化炭素）に拡大する。

研究の到達目標

従来の大気・海洋結合モデルを用いてのメカニズム研究を引き続いて行い、大気・海洋結合系としての気候の理解を深める。また、植生・陸面、雪氷・海水、大気組成に関連するモデルを導入して、気候モデルの高度化を図り、順次高度化した気候モデルを用いてこれらの諸要素が気候システムのなかで果たす役割について研究する。

研究の概要

(1) 気候システムに関する基礎的研究

従来の大気・海洋結合系モデルを用いてのメカニズム研究は引き続いて行い大気・海洋結合系としての気候の理解を深めるとともに、順次高度化した気候モデルを用いて植生・陸面、雪氷・海水、大気組成が気候システムのなかで果たす役割について研究する。具体的には、インド洋・西太平洋の海洋力学がアジアモンスーンや中高緯度大気に果たす役割、水田の導入等陸面モデルの高度化のインパクト、植生分布の変化がもたらす気候変化の研究、氷床モデルを用いた氷期の氷床の成長維持過程の研究、大気組成変化に伴う大気循環の変化メカニズムの研究を行う。

(2) 気候システムのモデル化に関する研究

(1)に必要な植生・陸面、雪氷・海水に関係するモデルを導入して、気候モデルの高度化をはかる。具体的には、陸面モデルへの耕作地・水田の導入や河川網の整備、積雪モデルの改良、氷床モデルの導入を行う。また気候モデルの高分解能化とこれに伴う積雲対流や雲過程、重力波抵抗の過程の改良も継続して行う。

研究成果

(1) 気候システムに関する基礎的研究

○古気候

- ・大気海洋結合モデル(MRI-CGCM2.2)により、山岳高度を0% (山なし) から140% (現状より40%高い) まで段階的に変えた実験により、熱帯の気候形成に及ぼす山岳の効果を調べた。山岳高度が高いほど熱帯太平洋の海面水温は低く、エルニーニョ南方振動現象の振幅が小さく、かつ非規則的であることが示された。
- ・最終氷期の始まりとされる約115,000年前の地球軌道要素を大気海洋結合モデル(MRI-CGCM2.2)に与え、北半球の高緯度で氷床成長が起こるか否かについて調べた。その結果、カナダ北部の多島海域で越年性の積雪域が現れ、時間積分と共に空間的にも成長を始めることが示された。

¹⁾ 平成 15～16 年度、²⁾ 平成 17～20 年度、³⁾ 平成 15～17 年度、⁴⁾ 平成 15 年度、⁵⁾ 平成 16～20 年度、

⁶⁾ 平成 16～17 年度、⁷⁾ 平成 17 年度、⁸⁾ 平成 18～20 年度、⁹⁾ 平成 20 年度、¹⁰⁾ 平成 18 年度、

¹¹⁾ 平成 19～20 年度

- ・大気海洋結合モデル (MRI-CGCM2.3.4) により完新世中期 (約 6,000 年前) の再現実験を行なった。完新世中期の北極海の海水は夏から秋にかけて現在より後退し、海面水温・塩分ともに高く、北極点付近の海水は氷厚が現在より 1~2m 薄いという結果となった。このため北極海及びその周辺の気温・湿度ともに高いことがわかった。
- ・大気海洋結合モデル (MRI-CGCM2) による完新世中期 (約 6,000 年前) の再現実験を用いて、平均気候場とエルニーニョ南方振動現象(ENSO)に与える影響について調べた。モデルでフラックス補正を用いる場合と用いない場合の比較を行い、平均気候場についてはフラックス補正有りの方が、ENSO の評価についてはフラックス補正無しの方が、それぞれもっともらしい結果を示した。
- ・完新世中期 (6,000 年前) の気候再現実験において気候・植生オフライン結合実験を行なった。最終氷期最盛期 (21,000 年前) についても同様の気候再現実験と気候・植生オフライン結合実験を行なった。気候・植生オフライン結合実験を、植生変化を含まない実験と比較解析した結果、気候・植生相互作用により完新世中期 (6,000 年前) と現在気候との気温差、最終氷期最盛期 (21,000 年前) と現在気候との気温差がともに大きくなることが分かった。

○陸面過程

- ・海陸分布(陸域増加)の降水への影響を調べる実験を行い、陸の増加する領域では降水が減少することを示した。
- ・陸面モデル・気候モデルを用いて、降水の蒸発散と河川流出への配分比に関してブディコの枠組みで調べた。乾燥域では正味放射が降水を蒸発させるのに十分あり流出はほとんどないレジームにあるのに対し、湿潤域では蒸発散はほぼ飽和状態にあつて降水の変化がほぼそのまま流出の変化になるようなレジームにあること、いわゆる半乾燥域は両レジームの中間にあることがわかった。
- ・シベリアの植生変化が気候に及ぼす影響について調べた。その結果、シベリアの針葉樹林がツンドラ化した場合、その領域では年平均で約 3℃地上気温が有意に低下し、その影響は晩冬から初夏にかけてみられ、アルベドの変化と対応していると考えられることが分かった。
- ・陸面植生モデルとして開発された BAIM を導入した全球気候モデルを用い、アジア熱帯域森林破壊の影響に関する数値実験を行った。アジア熱帯雨林地域での継続的な森林の減少が、継続的な大気中からの CO₂ 吸収量の減少傾向の持続をもたらし、大気中 CO₂ 濃度の上昇傾向に拍車をかける可能性をもつことが示唆された。熱帯季節林より熱帯雨林における森林破壊の影響の方が大きくなる可能性があることが分かった。

○エルニーニョ・南方振動 (ENSO) 現象

- ・気象研究所の気候モデル (MRI-CGCM2.2) の 1000 年間積分におけるエルニーニョ南方振動とインドモンスーンについて調べた。両者の間には、観測で見られるものと同様に、負相関 (エルニーニョ時にインドモンスーン降水量が負偏差) となる関係が見出されたが、この関係は数十年スケールで変動していた。ENSO の振幅の数十年スケールでの変動に伴い、赤道東西循環が変動しモンスーンへの関与の強弱が変動することが示された。
- ・熱帯太平洋のエルニーニョが南半球高緯度に及ぼす影響を観測とモデルを比較して調べた。その結果、エルニーニョの影響を最も大きく受ける海域は南極ロス・アムンゼン海 (太平洋セクターの東部) であることが確認された。

○太陽活動の影響

- ・太陽活動の変化、ENSO サイクルによる海洋変化の効果が気候循環に与える複合的な影響について調べるために、1958 年から 1999 年の 41 年間について、太陽活動の活発な時期と不活発な時期にデータを二分し、ENSO の状況を調べた結果、ENSO の進行に違いがあることが見いだされた。
- ・太陽活動の変動に伴って成層圏子午面循環が変化し、熱帯赤道域の成層圏界面付近の気温が変化することが知られている。これに伴い対流圏の赤道域の南北循環の他に東西循環が変化し、その影響によって ENSO サイクルやインドモンスーンに影響が及ぶことをデータ解析から示した。
- ・大気海洋結合モデル (MRI-CGCM2) を用いて、太陽活動 (11 年周期) に相当する仮想的な強制を加えた実験を行い、北極振動の変調の可能性を調べた。太陽活動の極大・極小に対応し、観測に見られるような北大西洋振動 (NAO) と成層圏環状モードとの結びつきの違いが現れた。
- ・太陽活動が対流圏成層圏結合に及ぼす影響を調べた。観測データ及び気象研化学気候モデルの実験結果の解析から南半球のアクティブシーズン (現実大気で 11 月) の環状モードについて調べた結果、

一般に紫外線強度が強いほど対流圏成層圏結合が強くなることを見出された。

- ・北半球冬季の平均した北大西洋振動についても観測データから、紫外線強度が強いほど対流圏成層圏結合が強くなることを見出された。観測データ及びモデルで同化したオゾンデータの解析より、太陽活動が高い場合に冬季の北大西洋振動が夏まで持続性する原因は、冬季に形成される下部成層圏のオゾン偏差がメモリーになるためであることが分かった。

○その他

- ・大気海洋境界における淡水フラックスの熱塩循環への影響を調べる感度実験を行い、簡単な理論モデルによる予測と比較した。その結果、大気側の水蒸気輸送のパターンと熱塩循環の循環様式との関係が明確になった。気象研結合モデルの大西洋熱塩循環は熱塩駆動レジームにあることが示唆される。
- ・8種類の異なる海面水温分布を与えた水惑星実験を行い、データを国際比較実験グループに提供した。
- ・成層圏突然昇温および環状モードの予測可能性を調べた。2001年冬季の成層圏突然昇温（SSW）について気象研大気大循環モデルを用いて予測可能性を調べた所、おおよそ2週間前位から予測可能であることが示された。また、SSWの種を調べた所、先行するヨーロッパのブロッキングの発達度（ブロッキングが発達する時ほどSSWが起きやすい）と関係が深いことが分かった。
- ・大気海洋結合モデル（MRI-CGCM2）を用いて、成層圏に北半球環状モード（NAM）的な応答を生じさせる強制を与えた実験を行い、その対流圏への影響および海洋との相互作用を調べた。

（2）気候システムのモデル化に関する研究

○大気海洋結合モデル

- ・結合モデルにとって重要な放射収支の調整を行った。その結果、短波、長波それぞれの緯度別経度平均値はほぼ観測値と一致するようになった。また、降水分布も同時に改善したことが確認できた。

○海面

- ・標準的な大気大循環モデルでは表現されていない海面水温（SST）の日変化を表現できる海面表層スキームを開発、モデルへ導入した。このスキームは、観測されるSSTの日変化をよく再現できていた。また、熱帯西太平洋の夏期の降水再現性が向上した。

○陸面

- ・陸面モデルへ1x1度版河川網および湖面を導入した。
- ・積雪アルベドにAoki et al (2003) の手法を導入した。融雪期が早すぎるバイアスが大きく改善した。
- ・植生モデルとしてBIOME4を導入しオフライン実験を開始した。
- ・モザイク（単一大気格子に複数の陸面格子を割り当てる設定）植生対応の新陸面モデル（HAL）の開発を行った。
- ・モザイク対応しつつ、積雪や土壌の層を任意に細かく切ることのできるような、新しい陸面モデルを開発した。

○海水

- ・気候モデル（MRI-CGCM3）における海氷過程の改良を行った。北半球の氷縁部の表現には未だ問題があるものの、北極海ではフラックス調整なしでも、100年程度の長期積分で、観測値に近い海氷表現が可能となった。
- ・薄氷を予報変数化したことでより海氷の挙動の安定性が増し、特に、北極海内部の多年氷については、長期の積分でもフラックスコレクション無しでほぼ観測値を再現可能となった。

○氷床

- ・気候モデルに氷床力学モデル（グリーンランド版）の組み込みを行った。
- ・氷床モデルの高解像度化（20km）を行なった。
- ・氷床力学モデルを南極に適用した。

○重力波

- ・重力波抵抗スキームの改良版について長期積分し動作テストを行った。新重力波抵抗スキーム導入に

については、Hines の重力波抵抗スキームを用い、また、準二年振動（QBO）や半年振動（SAO）に対応する現象の表現が可能になった。

- ・ Hines の重力波抵抗スキームを確率化することによって、気候モデル用の粗い鉛直解像度でも QBO-like・SAO-like の表現が可能になった。
- ・ 中層大気の気候値の改善を目的として複数の重力波抵抗スキームの組み合わせによる東西平均風と観測値 CIRA86 を比較した。極夜ジェットの再現性に改良の余地があることがわかった。

○炭素循環

- ・ 気候モデル（MRI-CGCM3）炭素循環過程を導入した。大気中の二酸化炭素濃度を 0 次元、2 次元、または 3 次元で予報、陸面には簡易な生物炭素過程モデルを導入した。また、海面で二酸化炭素フラックスを計算するスキームを組み込んだ。
- ・ 気候変動に対する陸域生態系の応答をより正確に表現することを目的として、特に純一次生産（植物による正味の大气からの二酸化炭素吸収）に関する部分について、観測経験式により簡略に表現していた従来の方法を一新し、生物化学の見地から葉の光合成における酵素、光、気孔のはたらきを考慮した精緻なモデルを開発した。このモデルを従来の大循環モデル（CGCM2）に組み込み、純一次生産や葉面積指数を全球規模でほぼ再現することを確認した。

○積雲対流と雲過程

- ・ 気候モデルにおける降水の強度の頻度分布を調べ、GPCP 等の観測データと比較した。モデルでは弱い雨の頻度が多く、強い雨の頻度が少ないことがわかった。
- ・ 雲解像モデル（NHM）を参照して、全球モデルの対流パラメタリゼーション改善を目的に、雲解像モデルを世界各地、また初期・境界条件を再解析（JRA）、気象庁現業解析（GANAL）や全球モデルを用いて作成する前処理ツールを作成した。これらを用いて、テストケースとして台風 0422 のシミュレーションを雲解像モデルと全球 20km モデルで行い比較したところ、中心気圧や雨の分布についての再現性が異なることがわかった。
- ・ NHM を全球モデル、結合モデルからの力学的ダウンスケーリングするための初期値境界値作成ツールと長期積分に向けた陸面初期値の作成ツールを NHM で利用可能にした。
- ・ NHM の KF 積雲対流スキームのオプションである相対湿度に基づくトリガー関数を全球モデルに導入し、熱帯での KF スキームの特徴と AS スキームとの比較を行なったところ、雨の水平構造が異なることがわかった。

今後に残された問題点

開発してきた各パーツモデルを新しい気候モデル（MRI-CGCM3）に組み込み、正しく現在気候を再現できるか長期積分で確認する必要がある。ある程度、気候の再現性が保証されれば、気候の強制力の変化に対する応答実験や、古気候実験などを行っていきたい。

成果の活用に関する意見（事後評価の総合所見）

本研究は大気・海洋結合モデルを基本にしてさらに植生・陸面、雪氷・海氷等、種々の気候現象に係る諸過程をモデル化して加えることにより気候モデルとして高度化し、それらの諸要素が気候システムの中で果たす役割を研究したものである。着実にモデルを高度化しており、モデルを用いた数値実験で多くの新しい知見が得られ、その成果は多数の論文として公表されており、優れた研究であったと評価できる。いくつかの成果は IPCC の AR4 にも引用されており高く評価できる。

気候モデルの高度化についてはなかなか最終的なゴールにたどり着けるものではなく、本研究においても、積雲対流と雲過程など、一部重要な部分で未達成のところがあるように思われるが、残された課題を着実に解決し、研究を発展継続させてほしい。

成果発表状況

- ・ 印刷発表件数 66 件 （査読論文＋査読論文以外）
- ・ 口頭発表件数 150 件

成果発表一覧

1. 査読論文

平成15年度

1. Zhong, M., I. Naito, A. Kitoh, 2003: Atmospheric, hydrological, and ocean current contributions to Earth's annual wobble and length-of-day signals based on output from a climate model, *J. Geophys. Res.*, **108**, B1, 2057, doi:10.1029/2001JB000457.
2. Abe, M., A. Kitoh, T. Yasunari, 2003: An evolution of the Asian summer monsoon due to mountain uplift - Simulation with the MRI atmosphere-ocean coupled GCM-, *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 909-933.
3. Waliser, D.E., K. Jin, I.-S. Kang, W. F. Stern, S. D. Schubert, K.-M. Lau, M.-I. Lee, V. Krishnamurthy, A. Kitoh, G. A. Meehl, V. Y. Galin, V. Satyan, S. K. Mandke, G. Wu, Y. Liu and C.-K. Park, 2003: AGCM simulations of intraseasonal variability associated with the Asian summer monsoon, *Clim. Dyn.*, **21**, 423-446.
4. Rajendran, K., A. Kitoh, O. Arakawa, 2004: Monsoon low-frequency intraseasonal oscillation and ocean-atmosphere coupling over the Indian Ocean, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L02210, doi:10.1029/2003GL019031.
5. Rajendran, K., A. Kitoh, S. Yukimoto, 2004: South and East Asian summer monsoon climate and variation in MRI coupled model (MRI-CGCM2), *J. Climate*, **7**, 763-782.
6. Kitoh, A., 2004: Effect of mountain uplift on East Asian summer climate investigated by a coupled atmosphere-ocean GCM, *J. Climate*, **17**, 783-802.

平成16年度

7. Abe, M., T. Yasunari and A. Kitoh, 2004: Effects of large-scale orography on the coupled atmosphere-ocean system in the tropical Indian and Pacific oceans in boreal summer, *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 745-759.
8. Tanaka, H.L., N. Ishizaki and A. Kitoh, 2004: Trend and interannual variability of Walker, monsoon and Hadley circulations defined by velocity potential in the upper troposphere, *Tellus*, **56A**, 250-269.
9. Arakawa, O. and A. Kitoh, 2004: Comparison of local precipitation-SST relationship between the observation and a reanalysis dataset, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L12206, doi:10.1029/2004GL020283.
10. Kodera, K., 2004: Solar influence on the Indian Ocean Monsoon through dynamical processes, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L24209, doi:10.1029/2004GL020928.
11. Kodera, K., 2005: Possible solar modulation of the ENSO cycle, *Pap. Meteorol. Geophys.*, **55**, 21-32.

平成17年度

12. Abe, M., T. Yasunari and A. Kitoh, 2005: Sensitivity of the Central Asian climate to uplift of the Tibetan Plateau in the coupled climate model MRI-CGCM1. *Island Arc*, 101-121.
13. Ashrit, R.G., A. Kitoh and S. Yukimoto, 2005: Transient response of ENSO-monsoon teleconnection in MRI-CGCM2.2 climate change simulations. *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 273-291.
14. Braconnot, P., S.P. Harrison, S. Joussaume, C.D. Hewitt, A. Kitoh, J.E. Kutzbach, Z. Liu, B. Otto-Bliesner, J. Syktus and S.L. Weber: Evaluation of PMIP coupled ocean-atmosphere simulations of the Mid-Holocene. In: *Past Climate Variability through Europe and Africa*, R.W. Battarbee et al.(eds), Springer, Dordrecht, *The Netherlands*, 515-533.
15. Gladstone, R.M., I. Ross, P.J. Valdes, A. Abe-Ouchi, P. Braconnot, S. Brewer, M. Kageyama, A. Kitoh, A. Legrande, O. Marti, R. Ohgaito, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier and G. Vettoretti, 2005: Mid-Holocene NAO: A PMIP2 model intercomparison. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L16707, doi:10.1029/2005GL023596.
16. Gregory, J. M., K. W. Dixon, R.J. Stouffer, A. J. Weaver, E. Driesschaert, M. Fichefet, H. Hasumi, A. Hu, J. H. Jungclaus, I. V. Kamenkovih, A. Levermann, M. Montoya, S. Murakami, S. Nawrath, A. Oka, A. P. Sokolov, R. B. Thorpe, 2005: A model intercomparison of changes in the Atlantic thermohaline circulation in response to increasing atmospheric CO₂ concentration. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L12703,

doi:10.1029/2005GL023209.

17. Hosaka, M., D. Nohara and A. Kitoh, 2005: Changes in snow cover and snow water equivalent due to global warming simulated by a 20km-mesh global atmospheric model. *SOLA*, **1**, 93-96.
18. 川村隆一・鬼頭昭雄・荒川理, 2005: 日本の夏季の異常気象に関連する遠隔伝播パターンの抽出とそのインパクト, 「2003 年日本の冷夏」, *気象研究ノート*, **210**, 181-191.
19. Kitoh, A., 2004: Effect of mountain uplift on East Asian summer climate investigated by a coupled atmosphere-ocean GCM. *J. Climate*, **17**, 783-802.
20. Kitoh, A., M. Hosaka, Y. Adachi and K. Kamiguchi, 2005: Future projections of precipitation characteristics in East Asia simulated by the MRI CGCM2. *Adv. Atmos. Sci.*, **22**, 467-478.
21. 鬼頭昭雄, 2005: チベット高原の隆起がアジアモンスーンに及ぼす影響に関する気候モデルシミュレーション, *地質学雑誌*, **111**, 654-667.
22. Kitoh, A., 2006: Asian Monsoons in the Future. Chapter 17. In: *The Asian Monsoon*, Bin Wang (Ed), *Praxis Springer, Berlin*, pp. 631-649.
23. Kodera, K., 2005: Possible solar modulation of the ENSO cycle. *Pap. Meteorol. Geophys.*, **55**, 21-32.
24. Kuroda, Y. and K. Kodera, 2005: Solar cycle modulation of the Southern Annular Mode. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L13802, doi:10.1029/2005GL022516.
25. Kuroda, Y., 2005: Meridional circulation and the surface pressure change associated with the Southern Annular Mode; Comparison with the Arctic Oscillation. *J. Geophys. Res.*, **110**, D18106, doi:10.1029/2005JD005860.
26. Kuroda, Y., 2005: On the influence of the meridional circulation and surface pressure change on the Arctic Oscillation. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2004JD005743.
27. Masson-Delmotte, V., M. Kageyama, P. Braconnot, S. Charbit, G. Krinner, C. Ritz, E. Guilyardi, J. Jouzel, A. Abe-Ouchi, M. Crucifix, R.M. Gladstone, C.D. Hewitt, A. Kitoh, A. Legrande, O. Marti, U. Merkel, T. Motoi, R. Ohgaito, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, I. Ross, P.J. Valdes, G. Vettoretti, S.L. Weber and F. Wolk, 2005: Past and future polar amplification of climate change: climate model intercomparisons and ice-core constraints. *Clim. Dyn.*, **26**, 513-529.
28. Murakami, S. and A. Kitoh, 2005: Euler-Lagrange equation of the most simple 1-D climate model based on the maximum entropy production hypothesis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **131**, 1529-1538.
29. Rajendran, K., A. Kitoh and O. Arakawa, 2004: Monsoon low-frequency intraseasonal oscillation and ocean-atmosphere coupling over the Indian Ocean, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L02210, doi:10.1029/2003GL019031.
30. Rajendran, K., A. Kitoh and S. Yukimoto, 2004: South and East Asian summer monsoon climate and variation in MRI coupled model (MRI-CGCM2), *J. Climate*, **17**, 763-782.
31. Rajendran, K. and A. Kitoh, 2006: Modulation of tropical intraseasonal oscillations by ocean-atmosphere coupling. *J. Climate*, **19**, 366-391.
32. Yukimoto, S. and K. Kodera, 2005: Interdecadal Arctic Oscillation in twentieth century climate simulations viewed as internal variability and response to external forcing, *Geophysical Research Letters*, **32**, L03707.
33. Yukimoto, S., A. Noda, T. Uchiyama, S. Kusunoki and A. Kitoh, 2005: Climate changes of the twentieth through twenty-first centuries simulated by the MRI-CGCM2.3. *Pap. Meteor. Geophys.*, **56**, 9-24.
34. Zhao, Y., P. Braconnot, O. Marti, S.P. Harrison, C. Hewitt, A. Kitoh, Z. Liu, U. Mikolajewicz, B. Otto-Bliesner and S.L. Weber, 2005: A multi-model analysis of the role of the ocean on the African and Indian monsoon during the mid-Holocene. *Clim. Dyn.*, **25**, 777-800.

平成 18 年度

35. Adachi, Y., and S. Yukimoto, 2006: Influence of sea ice thickness on the atmosphere in the winter Arctic region in an atmospheric general circulation model, *SOLA*, **2**, 076-079, doi:10.2151/sola.2006-020.
36. Kageyama, M., A. Laine, A. Abe-Ouchi, P. Braconnot, E. Cortijo, M. Crucifix, A. de Vernal, J. Guiot, C.D. Hewitt, A. Kitoh, M. Kucera, O. Marti, R. Ohgaito, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, A. Rosell-Mele, G. Vettoretti, S.L. Weber, Y. Yu and MARGO Project Members, 2006: Last Glacial Maximum temperatures over the North Atlantic, Europe and western Siberia: a comparison between PMIP models, MARGO sea-surface temperatures and pollen-based reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, **25**, 2082-2102.
37. Kamiguchi, K., A. Kitoh, T. Uchiyama, R. Mizuta, and A. Noda, 2006: Changes in precipitation-based extremes indices due to global warming projected by a global 20-km-mesh atmospheric model. *SOLA*, **2**, 64-67, doi:10.2151/sola.2006-017.
38. Kitoh, A., 2007: ENSO modulation by mountain uplift. *Clim. Dyn.*, **28**, 781-796.
39. Kitoh, A., 2007: Variability of Indian monsoon-ENSO relationship in a 1000-year MRI-CGCM2.2 simulation. *Natural Hazards*, **42**, 261-272.
40. Kitoh, A., 2007: T. Motoi and S. Murakami: El Niño/Southern Oscillation simulation at 6,000 yrs B.P. with the MRI-CGCM2.3: Effect of flux adjustment. *J. Climate*, **20**, 2484-2499.
41. Masson-Delmotte, V., M. Kageyama, P. Braconnot, S. Charbit, G. Krinner, C. Ritz, E. Guilyardi, J. Jouzel, A. Abe-Ouchi, M. Crucifix, R.M. Gladstone, C.D. Hewitt, A. Kitoh, A.N. LeGrande, O. Marti, U. Merkel, T. Motoi, R. Ohgaito, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, I. Ross, P.J. Valdes, G. Vettoretti, S.L. Weber, F. Wolk and Y. Yu, 2006: Past and future polar amplification of climate change: climate model intercomparisons and ice-core constraints. *Clim. Dyn.*, **26**, 513-529.
42. Rajendran, K. and A. Kitoh, 2006: Modulation of tropical intraseasonal oscillations by ocean-atmosphere coupling. *J. Climate*, **19**, 366-391.
43. Kuroda Y. and K. Shibata, 2006: Simulation of solar-cycle modulation of the southern annular mode using a chemistry-climate model. *Geophys. Res. Lett.* **33**, L05703, doi:10.1029/2005GL025095.
44. Matthes K., Y. Kuroda, K. Kodera, and U. Langematz, 2006: Transfer of the solar signal from the stratosphere to the troposphere: northern winter. *J. Geophys. Res.* **111**, D06108, doi:10.1029/2005JD006283.
45. Mabuchi, K., H. Kida, 2006: On-line climate model simulation of the global carbon cycle and verification using the in situ observation data. In: Voinov, A., Jakeman, A., Rizzoli, A. (eds). *Proceedings of the iEMSs Third Biennial Meeting: "Summit on Environmental Modelling and Software". International Environmental Modelling and Software Society, Burlington, USA, July 2006. CD-ROM.*

平成 19 年度

46. Kitoh, A., 2007: ENSO modulation by mountain uplift. *Clim. Dyn.*, **28**, 781-796.
47. Kitoh, A., T. Motoi and S. Murakami, 2007: El Niño/Southern Oscillation simulation at 6,000 yrs B.P. with the MRI-CGCM2.3: Effect of flux adjustment. *J. Climate*, **20**, 2484-2499.
48. Braconnot, P., B. Otto-Bliesner, S. Harrison, S. Joussaume, J.-Y. Peterchmitt, A. Abe-Ouchi, M. Crucifix, E. Driesschaert, T. Fichefet, C. D. Hewitt, M. Kageyama, A. Kitoh, A. Laine, M.-F. Loutre, O. Marti, U. Merkel, G. Ramstein, P. Valdes, S. L. Weber, Y. Yu and Y. Zhao, 2007: Results of PMIP2 coupled simulations of the Mid-Holocene and Last Glacial Maximum - Part 1: experiments and large-scale features. *Clim. Past*, **3**, 261-277.
49. Braconnot, P., B. Otto-Bliesner, S. Harrison, S. Joussaume, J.-Y. Peterchmitt, A. Abe-Ouchi, M. Crucifix, E. Driesschaert, T. Fichefet, C.D. Hewitt, M. Kageyama, A. Kitoh, M.-F. Loutre,

O. Marti, U. Merkel, G. Ramstein, P. Valdes, S.L. Weber, Y. Yu and Y. Zhao, 2007: Results of PMIP2 coupled simulations of the Mid-Holocene and Last Glacial Maximum - Part 2: feedbacks with emphasis on the location of the ITCZ and mid- and high latitudes heat budget. *Clim. Past*, **3**, 279-296.

50. 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.
51. Kitoh, A., 2007: Variability of Indian monsoon-ENSO relationship in a 1000-year MRI-CGCM2.2 simulation. *Natural Hazards*, **42**, 261-272.
52. Kuroda, Y., M. Deushi, and K. Shibata, 2007: Role of solar activity in the troposphere-stratosphere coupling in the southern hemisphere winter, *Geophysical Research Letters*, **34**, L21704, doi:10.1029/2007GL030983
53. Kuroda, Y., 2007: Effect of QBO and ENSO on the solar cycle modulation of winter North Atlantic Oscillation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 889-898.

平成20年度

54. Kim, K-Y., A. Kitoh and K.-J. Ha, 2008 : The SST-forced predictability of the sub-seasonal mode over East Asia with an atmospheric general circulation model. *Int. J. Climatol.*, **28**, 1599-1606.
55. Wohlfahrt, J., S.P. Harrison, P. Braconnot, C.D. Hewitt, A. Kitoh, U. Mikolajewicz, B.L. Otto-Bliesner and S.L. Weber, 2008 : valuation of coupled ocean-atmosphere simulations of the mid-Holocene using palaeovegetation data from the northern hemisphere extratropics. *Clim. Dyn.*, **31**, 871-890.

2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

平成15年度

1. 鬼頭昭雄、平成15年10月 過去のモンスーンと将来のモンスーン、「モンスーン研究の最前線」, *気象研究ノート*, **204**, pp.189-218.

平成16年度

2. Kitoh, A., M. Hosaka, Y. Adachi and K. Kamiguchi, 2004: Future projections of precipitation characteristics in Asia. Proceedings of the 2nd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference, 5-9 July 2004, *Singapore*, 700-707.
3. Kitoh, A., 2004: ENSO-monsoon relationship in a 1000-yr MRI-CGCM simulation, Proceedings CD-ROM of the 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, December 3-5, 2004, Kyoto, Japan, *GAME CD-ROM Publication No.11*, T4AKJul04172155.

平成17年度

4. 鬼頭昭雄, 2005: 温暖化で大雨は増えるのか. *科学*, **75** (10), 1155-1158.
5. Murakami, S., A. Kitoh, S. Yukimoto and A. Noda, 2005: Simulation of the early stage of the Last Glacial period with a coupled general circulation model. *CGER's Supercomputer Activity Report*, Vol. **12**, 21-30.
6. 行本誠史, 2005: MRI-CGCM2による20世紀の気候再現実験における数十年スケールの北極振動の変動. *グロースベッター*, **43**, 84-92.

平成18年度

7. 鬼頭昭雄, 2006: モデルによる将来の気候変化予測. *エネルギー・資源*, **27**, 108-112.
8. 鬼頭昭雄・中島映至・小池俊雄・花輪公雄・住明正・野田彰, 2006: IPCC第1作業部会第4次評価報告書の現状. *天気*, **53**, 589-596.
9. Alexandrov, G. A., D. Chan, M. Chen, K. Gurney, K. Higuchi, A. Ito, C. D. Jones, A. Komarov, K. Mabuchi, D. M. Matross, F. Veroustraete, W. W. Verstraeten, 2006: Model-data fusion in the studies of terrestrial carbon sink. *Proceedings of the iEMSs Third Biennial Meeting: "Summit on Environmental Modelling and Software". International Environmental*

Modelling and Software Society, Burlington, USA, July 2006. CD-ROM.

平成19年度

10. 鬼頭昭雄, 2006: 気候モデルによる気候変化研究—温暖化と古気候の接点—. *低温科学*, **65**, 77-85.
11. 安成哲三・阿部学・鬼頭昭雄, 2007: チベット高原の上昇は新第三紀以降のアジア・太平洋域の気候変化とアジアモンスーンの成立にどのような影響を与えたか?—大気海洋結合大循環モデル(MRI-CGCM)による数値実験結果から—. *天気*, **54**, 421-425.

3. 口頭発表

(1) 国際会議・学会等での論文発表件数: 70 件

(2) 国内会議・学会等での口頭発表件数: 79 件

計 149 件

平成15年度

1. 荒川理、鬼頭昭雄、観測データと客観解析データにおける降水量と海面水温の時間位相関係、日本気象学会 2003 年度春季大会講演予稿集, P306、つくば・エポカルつくば、平成 15 年 5 月
2. 鬼頭昭雄、山岳上昇の ENSO に対する影響、2003 年日本気象学会春季大会、講演予稿集 P317、つくば・エポカルつくば、平成 15 年 5 月
3. 村上茂教、行本誠史、野田彰、鬼頭昭雄、温暖化に伴う海洋循環の変化に対する熱及び淡水フラックスの役割、2003 年日本気象学会春季大会、講演予稿集 P445、つくば・エポカルつくば、平成 15 年 5 月
4. 西澤誠也、余田成男、鬼頭昭雄、環状変動におよぼす地形の影響 —大気海洋結合モデル実験—、2003 年日本気象学会春季大会、講演予稿集 464、つくば・エポカルつくば、平成 15 年 5 月
5. Kodera, K., Dynamical response to the solar cycle、第 23 回国際測地学・地球物理学連合総会、平成 15 年 6 月
6. Kitoh, A., ENSO modulation by mountain uplift, JSP02, IUGG2003, June 30-July 11, 2003, Sapporo、平成 15 年 6 月
7. Nishizawa, S., S. Yoden, A. Kitoh, A parameter sweep experiment on the effect of topographic height on annular variability with a coupled atmosphere-ocean GCM, MI05, IUGG2003, June 30-July 11, 2003, Sapporo、平成 15 年 6 月
8. Kitoh, A., Coupled GCM study on the effect of mountain uplift on Asian monsoons, MC03, IUGG2003, June 30-July 11, 2003, Sapporo、平成 15 年 6 月～7 月
9. Rajendran, K., A. Kitoh, The structure and propagation characteristics of the MJO in MRI coupled GCM: comparison with observation and atmosphere-alone GCM, MC17, IUGG2003, June 30-July 11, 2003, Sapporo、平成 15 年 6 月～7 月
10. Murakami, S., A. Kitoh, Energy-entropy balance of the glacial climate, IUGG2003、平成 15 年 6 月～7 月
11. Wohlfarth, J., S.P. Harrison, P. Braconnot, C.D. Hewitt, J.E. Kutzbach, A. Kitoh, U. Mikolajewicz, B. Otto-Bliesner, N. Weber, Evaluation of coupled model simulations of northern hemisphere extratropical climates in the mid-Holocene, INQUA Congress, July 23-31, 2003, Reno, Nevada, USA、平成 15 年 7 月
12. Kitoh, A., ENSO: modulation by orbital change and mountain uplift, International Conference on Earth System Modelling, September 15-19, 2003, Hamburg, Germany、平成 15 年 9 月
13. 村上茂教、鬼頭昭雄、行本誠史、野田彰、気候変化に対する熱塩循環の長期応答 —理論的側面—、第 11 回スーパーコンピューターによる地球環境発表会、平成 15 年 10 月
14. 足立恭将、保坂征宏、鬼頭昭雄、村田泰洋、「陸域拡大」に対する気候モデルのインパクト実験、2003 年日本気象学会秋季大会、講演予稿集 B156、仙台・宮城県民会館、平成 15 年 10 月
15. 村上茂教、鬼頭昭雄、行本誠史、野田彰、温暖化に対する熱塩循環の長期応答と大気水蒸気輸送の役割: 理論的考察、2003 年日本気象学会秋季大会、講演予稿集 B164、仙台・宮城県民会館、平成 15 年 10 月
16. Rajendran, K., A. Kitoh, Asian summer monsoon in MRI CGCM, SIVOM, October 6-10, 2003, Munnar, India、平成 15 年 10 月

17. 村上茂教、鬼頭昭雄、気候変化に対する熱塩循環の長期応答と大気淡水輸送の役割、第26回極域気水圏シンポジウム、平成15年11月
 18. 小寺邦彦、成層圏力学過程を通じた太陽活動の対流圏への影響 京都大学防災研究所特定研究集会「対流圏長周期変動と異常気象」、平成15年11月
 19. Kitoh, A., Mountain uplift and ENSO-monsoon system, IGCP-476 Symposium "Monsoon Evolution and Tectonics-Climate Linkage in Asia", November 21-23, 2003, Hachioji, Japan、平成15年11月
 20. Yasunari, T., M. Abe, A. Kitoh, Impact of uplift of Tibetan Plateau on evolution of Asian monsoon climate - A simulation by MRI-Coupled GCM -, IGCP-476 Symposium "Monsoon Evolution and Tectonics-Climate Linkage in Asia", November 1-23, 2003, Hachioji, Japan、平成15年11月
 21. Ose, T., M. Sugi, A. Kitoh, Successful simulation of the tropical western Pacific precipitation for JJA closely correlated with the tropical SST for the previous DJF, 15th Symposium on Global Change and Climate Variations, January 11-15, 2004, eattle, Washington, USA、平成16年1月
 22. Abe, M., T. Yasunari, A. Kitoh, An evolution of the Asian summer monsoon associated with the mountain uplift - Study with the MRI coupled GCM, nternational Asian Monsoon Symposium, February 18-20, 2004, Honolulu, Hawaii, USA、平成16年2月
 23. Rajendran, K., A. Kitoh, Tropical Pacific SST anomalies and Indian monsoon: A CGCM study, International Asian Monsoon Symposium, February 18-20, 2004, Honolulu, Hawaii, USA、平成16年2月
 24. 村上茂教、鬼頭昭雄、行本誠史、野田彰、MRI-CGCMによるCMIP淡水フラックス実験ー熱塩循環の長期応答と大気水蒸気輸送の役割ー、地球温暖化予測研究ワークショップ、平成16年3月
 25. 尾瀬智昭、鬼頭昭雄、保坂征宏、吉村裕正、長期間TRMMデータによる全球モデルの降水及び放射フラックスの検証、平成15年度TRMM PI研究成果報告会、東京・地球観測利用推進センター、平成16年3月
- (講演)
26. Kitoh, A., Climate modeling at MRI, CAMP-FRSGC Collaboration Workshop, June 10, 2003, Yokohama、平成15年6月
 27. 鬼頭昭雄、気候系と気候変動について、平成15年度気候情報業務研修、東京・気象庁、平成15年6月
 28. 鬼頭昭雄、大規模山岳の上昇に伴う ENSO・モンスーンの変化ー気象研究所大気海洋結合気候モデルによる数値実験、名古屋大学地球水循環研究センター特別セミナー、名古屋・名古屋大学地球水循環研究センター、平成15年9月
 29. Kitoh, A., Climate and its variability、平成15年度JICA 集団研修「気象学」、つくば・気象研究所、平成15年11月
 30. 鬼頭昭雄、気候モデルによる過去・現在・将来のモンスーンシミュレーション、筑波大学陸域環境研究センター年次報告会、つくば・筑波大学陸域環境研究センター、平成16年3月

平成16年度

31. 村上茂教、鬼頭昭雄、2004: 大西洋の淡水収支と熱塩循環の循環様式、2004年日本気象学会春季大会、講演予稿集B311、東京・気象庁
32. 足立恭将、保坂征宏、鬼頭昭雄、村田泰洋、野沢徹、2004: 温暖化による降水特性の変化、2004年日本気象学会春季大会、講演予稿集B410、東京・気象庁
33. 西森基貴、鬼頭昭雄、2004: 地球温暖化と降水量の変化ー統計的ダウンスケーリング手法を用いた予測の試み、四万十・流域圏学会第4回学術研究発表会、土佐山田・高知工科大学
34. Kitoh, A. and collaborators, 2004: *Water Resource and Its Variability in Asia in the 21st Century, First International CLIVAR Science Conference "Understanding and Predicting our Climate System"*, June 21-25, 2004, Baltimore, Maryland, USA
35. Kitoh, A., M. Hosaka, Y. Adachi and K. Kamiguchi, 2004: *Future projections of precipitation characteristics in Asia, 2nd APHW Conference*, July 5-8, 2004, Singapore
36. Kamiguchi, K., A. Kitoh and M. Hosaka, 2004: *Intercomparison between TRMM, other observation data and MRI-AGCM, 2nd TRMM International Science Conference*, September 6-10, 2004, Nara, Japan
37. 鬼頭昭雄、2004: チベット高原の隆起がアジアモンスーンに及ぼす影響に関する気候モデルシミ

- ュレーション、日本地質学会 2004 年年会シンポジウム、千葉・千葉大学
38. 川村隆一、若林成治、鬼頭昭雄、荒川理、2004: 東アジア夏季の異常気象に関連する遠隔伝播パターンの動態、2004 年日本気象学会秋季大会、講演予稿集 B105、福岡・アクロス福岡
 39. 村上茂教、鬼頭昭雄、2004: 最大エントロピー生成仮説に基づく最も簡単な一次元気候モデルの Euler-Lanrange 方程式、2004 年日本気象学会秋季大会、講演予稿集 D104、福岡・アクロス福岡
 40. 西森基貴、鬼頭昭雄、2004: 統計的ダウンスケーリング手法による温暖化時の日本域降水予測—降水の頻度と強度—、2004 年日本気象学会秋季大会、講演予稿集 P163、福岡・アクロス福岡
 41. 鬼頭昭雄、2004: 全球気候モデル 1000 年ランにおける ENSO-モンスーン関係の長期変動、2004 年日本気象学会秋季大会、講演予稿集 B217、福岡・アクロス福岡
 42. 上口賢治、鬼頭昭雄、保坂征宏、2004: TRMM 3B42, GPCP1DD, と Radar-AMeDAS の日降水相互比較、2004 年日本気象学会秋季大会、講演予稿集 D304、福岡・アクロス福岡
 43. 足立恭将、保坂征宏、鬼頭昭雄、2004: 海氷の厚さが大気と与える影響、2004 年日本気象学会秋季大会、講演予稿集 P357、福岡・アクロス福岡
 44. 本井達夫、鬼頭昭雄、2004: 気候モデルでシミュレートされた南極ロス・アムンゼン・ベリングスハウゼン海域の経年変動、2004 年日本気象学会秋季大会、講演予稿集 P358、福岡・アクロス福岡
 45. Motoi, T. and A. Kitoh, 2004: Interannual variabilities in the Ross, Amundsen and Bellingshausen Seas in a coupled ocean-atmosphere model, 5th International Workshop on Global Change: Connection to the Arctic (GCCA5), November 15-16, 2004, Tsukuba, Japan
 46. Kitoh, A., 2004: ENSO-monsoon relationship in a 1000-yr MRI-CGCM simulation, The Sixth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, December 3-5, 2004, Kyoto, Japan
 47. 本井達夫、鬼頭昭雄、2004: 気候モデルでシミュレートされた南極太平洋セクターでの経年変動、第 27 回極域気水圏シンポジウム、東京・国立極地研究所
 48. 村上茂教、鬼頭昭雄、2004: 大気海洋結合モデルによる最終氷期初期のシミュレーション、第 27 回極域気水圏シンポジウム、東京・国立極地研究所
 49. Kodera, K., 2004: Solar influence on troposphere through the polar and the equatorial stratosphere, AGU 2004 Fall Meeting, December 13-17, 2004, San Francisco, USA
 50. 鬼頭昭雄、2004: 気候モデル実験で得られた山岳上昇に伴うアジアモンスーンの変調、IGCP-476 福岡ワークショップ「アジア・モンスーンの進化、変動理解のための統合的研究戦略」、福岡・九州大学国際研究交流プラザ
 51. Kamiguchi, K., A. Kitoh and M. Hosaka, 2005: Intercomparison among TRMM, GPCP1DD and Radar-AMeDAS, Living with a Limited Water Supply, January 9-13, 2005, San Diego, CA, USA
- (講演)
52. 鬼頭昭雄、2004: 気候モデルによるモンスーンシミュレーション、気候コロキウム、つくば・筑波大学
 53. Kitoh, A., 2004: Modeling of present-day monsoon and ENSO, International School on Climate System and Climate Change, August 23-September 1, 2004, China Meteorological Administration, Beijing, China
 54. Kitoh, A., 2004: Large-scale orography and monsoon, International School on Climate System and Climate Change, August 23-September 1, 2004, China Meteorological Administration, Beijing, China
 55. Kitoh, A., 2004: Modeling of paleo-monsoon, International School on Climate System and Climate Change, August 23-September 1, 2004, China Meteorological Administration, Beijing, China
 56. Kitoh, A., 2004: Modeling of future monsoon and ENSO, International School on Climate System and Climate Change, August 23-September 1, 2004, China Meteorological Administration, Beijing, China
 57. 鬼頭昭雄、2004: 21 世紀のアジアの水資源変動予測、第 2 回環境研究機関連絡会成果発表会、つくば・エポカルつくば
 58. 砂田ほか、2004: モンスーン・アジア地域等における水問題とその構造、研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」第 1 回領域シンポジウム、東京・コクヨホール
 59. Kitoh, A., 2004: Climate and its variability, 平成 16 年度 JICA 集団研修「気象学」、東京・気象庁

平成17年度

60. Motoi, T. and A. Kitoh, 2005: Paleoclimate simulations by using the MRI CGCM. PMIP2 Workshop, April 3-8, 2005, Giens, France
61. Hosaka, M., 2005: The simulated cryosphere by JMA/MRI atmospheric, land surface, and river flow model. The CliC 1st Scientific Conference, April 11-15, 2005, Beijing, China.
62. 野原大輔・鬼頭昭雄・保坂征宏・上口賢治・沖大幹, 2005: 温暖化に伴う河川流量変動の評価. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, A104.
63. 本井達夫・鬼頭昭雄, 2005: 気候モデルによる完新世中期 (6 千年前) の気候再現実験. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, A106.
64. 村上茂教・鬼頭昭雄, 2005: 最終氷期の始まりに関する結合モデルシミュレーション. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, A107.
65. 安成哲三・阿部学・鬼頭昭雄, 2005: チベット高原の上昇は、新第3紀以降のアジア・太平洋域の気候変化とアジアモンスーンの成立にどのような影響を与えたか? —大気海洋結合大循環モデル(MRI-CGCM)による数値実験から. 日本気象学会 2005 年度春季大会春季大会シンポジウム「地球環境の進化と気候変動」.
66. 黒田友二・柴田清孝・小寺邦彦, 2005: 南半球環状モードへのオゾンのインパクト —大気・化学結合モデルの解析—. 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, A302.
67. 保坂征宏, 2005: GCM による極域水循環. 極域・寒冷域研究連絡会.
68. Kuroda, Y., K. Shibata, K. Kodera, 2005: Solar cycle modulation of the southern annular mode. *AMS meeting*, Boston, JP1.5.
69. Kuroda, Y., K. Shibata, 2005: Solar cycle modulation of the southern annular mode. *IAGA/ICMA 2005 Meeting*, Toulouse.
70. Kuroda, Y., K. Shibata, 2005: Solar modulation of the southern annular mode –observation and model simulation–. *CAWSES workshop*, Nagoya, Japan.
71. Kitoh, A., 2005: 20th century simulations by CGCM and AGCM at MRI. *Workshop on Global Change in 20th Century and Seasonal and Interannual Climate Prediction*, July 4-6, 2005, Prague, Czech Republic.
72. Kim, K.-Y., K.-J. Ha and A. Kitoh, 2005: Interannual variability of East Asian summer monsoon (EASM) rainfall and evolution of subseasonal structure in EASM circulation with AGCM ensemble. *The University Allied Workshop for Climate and Environmental Modeling*, July 11-13, 2005, Busan, Korea.
73. Nohara, D., A. Kitoh, M. Hosaka and T. Oki, 2005: Impact of climate change on river runoff. *IAMAS 2005*, August 2-11, 2005, Beijing, China.
74. Kitoh, A., 2005: Mountain uplift and ENSO-monsoon system. *IAMAS 2005*, August 2-11, 2005, Beijing, China.
75. Kim, K.-Y., K.-J. Ha and A. Kitoh, 2005: Inter-annual variability for ensemble mean precipitation forced by observed SST over East Asian monsoon region. *13th International Conference of Women Engineering & Scientist*, August 26-29, 2005, Seoul, Korea.
76. Motoi, T. and A. Kitoh, 2005: Influence of tectonic events on ENSO and monsoon in a coupled ocean-atmosphere GCM. *IGCP-476 Workshop*, September 20-24, 2005, Vladivostok, Russia.
77. Kim, K.-Y., K.-J. Ha and A. Kitoh, 2005: Predictability of interannual variability of East Asian summer monsoon for different ensemble methods with an AGCM. *The 5th International Symposium on Asian Monsoon System (ISAM5)*, October 11-15, 2005, Yongpyong, Korea.
78. Kitoh, A., 2005: Past and future climate simulations by climate models. *RIHN Pre-Symposium*, October 18-20, 2005, PALULU plaza Kyoto, Kyoto, Japan.
79. Kitoh, A., 2005: Past, present and future Pacific climate associated with ENSO modulation. 国際シンポジウム「島の持続性と資源循環型社会」、秋田県小坂町・十和田プリンスホテル.

80. Kitoh, A., 2005: Paleoclimate modeling at MRI. *German-Japan Workshop for Numerical Climate Modeling*, October 31-November 1, 2005, CCSR, Kashiwa, Japan.
81. Kitoh, A., 2005: Climate and its variability, 平成 17 年度 JICA 集団研修「気候学」、東京・気象庁.
82. Kitoh, A., 2005: Monsoon-ENSO modulation by mountain uplift. *3rd KAGI21 International Symposium*, November 8-10, 2005, Wuhan, China.
83. 上口賢治, 2005: 20 世紀の降水エクストリームインデックスの経年変化について. *日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集*, B103.
84. 野原大輔・鬼頭昭雄・保坂征宏・上口賢治・沖大幹, 2005: 温暖化に伴う河川の洪水・渇水頻度の評価. *日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集*, B106.
85. 本井達夫・鬼頭昭雄, 2005: 地球温暖化による海面淡水フラックスと海洋塩分の変化. *日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集*, B153.
86. 黒田友二・柴田清孝, 2005: 太陽活動に伴う南半球環状モードの変調-鉛直方向への伸張の違い-. *日本気象学会 2005 年度秋季大会講演予稿集*, D205.
87. 鬼頭昭雄, 2005: 気候モデルによる過去・現在・将来のモンスーンシミュレーション. 極域・寒冷域研究連絡会, 神戸大学.
88. Nohara, D., M. Hosaka, A. Kitoh and T. Motoi, 2005: Projection of river discharge into the Arctic Ocean using multi-model ensemble. *6th International Workshop on Global Change*, December 12-13, 2005, Tokyo, Japan.
89. Kuroda, Y. and K. Shibata, 2005: Solar cycle modulation of the Southern Annular mode -Simulation with the MRI-chemistry climate model-. *AGU 2005 Fall meeting*, San Francisco, USA, A13A-0900.
90. Murakami, S. and A. Kitoh, 2005: Role of the freshwater forcing on the Atlantic thermohaline circulation in climate changes. *AGU 2005 Fall meeting*, San Francisco, USA.

平成 18 年度

91. Kitoh, A., T. Motoi and S. Murakami, 2006: El Nino/Southern Oscillation Simulation at the Mid-Holocene: Effect of Flux Adjustment. *EGU*, April 2-7, 2006, Vienna, Austria.
92. Ha, K.-J., K.-Y. Kim and A. Kitoh, 2006: Interannual variability of East Asian summer monsoon from AGCM ensembles. *Symposium on Asian Winter Monsoon: Winter MONEX: A Quarterly Century and Beyond (WMONEX 25+)*, April 4-7, 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
93. Kuroda Y., and K. Shibata, 2006: On the influence of ultraviolet radiation and ozone on the stratosphere-troposphere coupling. *EGU2006 general assembly EGU06-A-10082*, Wien, Austria, 2-7 April 2006
94. 鬼頭昭雄, 2006: 大規模山岳が気候形成に及ぼす影響に関する気候モデルシミュレーション. *日本地球惑星科学連合 2006 年大会*. 千葉・幕張メッセ国際会議場.
95. 鬼頭昭雄・本井達夫・村上茂教, 2006: 気象研究所気候モデルによる完新世中期のエルニーニョシミュレーション. *2006 年日本気象学会春季大会*. 講演予稿集 A307. つくば・エポカルつくば.
96. 足立恭将・鬼頭昭雄・保坂征宏・本井達夫・小寺邦彦, 2006: シベリア針葉樹林のツンドラ化に対する気候モデルの応答実験. *2006 年日本気象学会春季大会*. 講演予稿集 P436, つくば・エポカルつくば.
97. 上口賢治, 2006: 20km 格子全球大気モデルによる降水エクストリーム-海面水温依存性-, 2006 年 5 月 24 日, *2006 年度気象学会春季大会*, 東京
98. 黒田友二, 2006: 気候モデルで現れた成層圏突然昇温の性質 *2006 年日本気象学会春季大会* A208, 2006 年 5 月
99. 馬淵和雄・木田秀次, 2006: アジア熱帯域森林植生変動が炭素循環に与える影響について -BAIM2 を導入した全球気候モデルによる数値実験-. *2006 年度日本気象学会春季大会講演予稿集*, 68. 2006 年 5 月

100. 行本誠史・小寺邦彦, 2006: 大気海洋結合モデルによる北極振動の太陽活動による変調の可能性. *日本気象学会 2006 年春季大会講演予稿集*, P346
101. 坂見智法・保坂征宏, 2006: 重力波抵抗パラメタリゼーションと確率過程. *日本気象学会 2006 年度 春季大会講演予稿集*, P234
102. Motoi, T. and A. Kitoh, 2006: Changes in the Asian monsoon system caused by mountain uplift in a climate model. *Workshop on Climate-Tectonic Drilling in Southeast Asia*, June 5-7, 2006, Kochi, Japan.
103. 鬼頭昭雄, 2006: 過去・現在・将来の気候シミュレーション. *日本気象学会夏季特別セミナー (第 18 回夏の学校)*. 伊勢・伊勢青少年研修センター.
104. 鬼頭昭雄, 2006: ENSO・モンスーンシステムの過去。現在、将来. *平成 18 年度気象研究所研究活動報告会*. 東京・気象庁.
105. Kitoh, A., 2006: Monsoon simulations for the past, present and future by a coupled ocean-atmosphere GCM. *Fourth International Symposium of IGCP-476*, September 3-6, 2006, Pusan National University, Pusan, Korea.
106. Kuroda Y., K. Yamazaki, and K. Shibata, 2006: Role of ozone on the solar cycle modulation of the north Atlantic Oscillation. *SOLARIS meeting 2006* NCAR, Boulder USA, 4-7 Oct. 2006
107. Kim, K.-Y., K.-J. Ha and A. Kitoh, 2006: Potential predictability of optimal-use weight function ensemble and simple ensemble for East Asian summer monsoon. *Korea-Japan-China Second Joint Conference on Meteorology*, October 11-13, 2006, IIsan, Korea.
108. 馬淵和雄, 2006: 陸域植生モデル B A I M 2 を導入した地域気候モデルによるアジア域炭素収支数値実験. *環境省 S-1 プロジェクトワークショップ講演要旨集*, 62.
109. 阿部学・安成哲三・鬼頭昭雄, 2006: アジEMONスーンの季節変化におけるヒマラヤ・ヒマラヤ山塊の存在の効果: 夏季アジEMONスーンのオンセットー気象研気海洋結合モデルによる数値実験—. *2006 年日本気象学会秋季大会*. 講演予稿集 P366. 名古屋・ウイルあいち.
110. 花田淳司・川村隆一・鬼頭昭雄・荒川理, 2006: 南米大陸の標高変化がもたらすモンスーン及び南大西洋収束帯の変化. *2006 年日本気象学会秋季大会*. ポスター講演予稿集 P368. 名古屋・ウイルあいち.
111. 黒田友二, 2006: 成層圏突然昇温の熱帯上昇流への影響 *2006 年日本気象学会秋季大会* D204, 2006 年 10 月
112. 馬淵和雄・高橋清利・木田秀次, 2006: 近年の東アジア陸域における炭素収支変動の特徴ーBAIM2 を導入した地域気候モデルによる数値実験—. *2006 年度日本気象学会秋季大会講演予稿集*, 134. 2006 年 10 月
113. Kitoh, A., 2006: Paleo-monsoon and ENSO simulations by a coupled ocean-atmosphere GCM. *Northeastern Asian Symposium 2006* Climate change and carbon cycle, November 6-9, 2006, Station Hotel Kokura, Kitakyushu, Japan.
114. Kitoh, A., 2006: Asia-Pacific monsoon climate at the Mid-Holocene and the Last Glacial Maximum simulated with the MRI coupled model. International Symposium on Dynamics of the Ice Age Climate, November 13-15, 2006, *Symposion Hall of Nagoya University*, Nagoya, Japan.
115. Kitoh, A., 2006: Climate and its variability. *JICA Training Course "Meteorology"*, JMA, Tokyo, Japan.
116. Kuroda Y., 2006: Solar cycle effect on climate -Review and recent works related on the modulation of the Annular Mode-, Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, Seattle, USA, 7Dec. 2006
117. Kuroda Y., 2006: Effect of solar cycle on the troposphere-stratosphere coupling in the southern hemisphere winter. *AGU2006* Fall meeting A11B-0871, San Francisco, USA, 11-15 Dec. 2006

118. Kitoh, A., T. Motoi, S. Yukimoto, O. Arakawa and S. Murakami, 2006: Asia-Pacific monsoon climate in the Past, present and future simulated with the MRI coupled model. *AGU*, December 11-15, 2006, San Francisco, USA.
 119. Mabuchi, K., H. Kida, 2006: Numerical experiment of the relationship between the carbon balance and the climate under deforestation conditions in the Asian tropical region. *Proceedings of the AGU 2006 Fall Meeting, San Francisco, USA, CD-ROM*.
 120. Kitoh, A. and O. Arakawa, 2007: Impact of precipitation characteristics on model's horizontal resolution and orography. *19th Conference on Climate Variability and Change*, January 14-18, 2007, San Antonio, TX, USA.
 121. Hosaka, M. and R. Greve, 2007: The change of Greenland ice sheet simulated by SICOPOLIS due to the global warming, *GCCA-7*, 19-20 February 2007, Fairbanks, USA.
 122. 馬淵和雄, 2007: 陸域植生モデル BAIM2 を導入した気候モデルの開発およびそれによる近年の東アジア陸域炭素収支変動の特徴. 環境省 S-1 アドバイザリーボード会合講演要旨集
 123. Shibata, K. and Sakami T., 2007: Simulation of the QBO with a semi-operational GCM through tuning of non-orographic gravity wave drag scheme. *International Workshop on Atmospheric Gravity Waves and Their Parameterization*. 2007.2.6-8. Seoul.
- 平成 19 年度
124. Kuroda, Y., K. Yamazaki, and K. Shibata. ,2007: Role of ozone on the solar cycle modulation of the North Atlantic Oscillation. EGU2007-A06572. *European Geophysical Meeting*, Wien, Austria, 15-20 April, 2007.
 125. 足立恭将, 行本誠史, 2007: アルベドと海氷厚の取扱の違いによる融解量と結氷量への感度実験. 2007 年日本気象学会春季大会. 2007 年 5 月.
 126. 坂見智法, 保坂征宏, 2007: Hines の重力波抵抗パラメタリゼーションにおける鉛直解像度依存性と確率過程の導入. 2007 年日本気象学会春季大会講演予稿集 P232. つくば・エポカルつくば. 2007 年 5 月 13 日-16 日
 127. 堀正岳, 阿部学, 植田宏昭, 安成哲三, 鬼頭昭雄, 2007: チベット高原が冬季から春期のアジアモンスーンの季節進行に果たす役割 ―AOGCM 地形除去実験を通して 日本気象学会 2007 年度春季大会, 講演予稿集 D101. 東京, 国立オリンピック記念青少年総合センター. 2007 年 5 月 13 日
 128. Abe, M., A. Kitoh, M.E. Hori and T. Yasunari, 2007: Numerical simulation of vegetation change in Asia associated with uplift of the Tibetan Plateau. 日本地球惑星科学連合大会. 幕張メッセ国際会議場, 2007.5.19-24
 129. Hosaka, M. and R. Greve, 2007: Change of Greenland Ice Sheet due to Global Warming Simulated by SICOPOLIS. *IUGG*, July 02-13, 2007, Perugia
 130. Kitoh, A. 2007: How robust is the ENSO-monsoon teleconnection? JMS011: Monsoon Systems, *IUGG2007*, July 2-13, 2007, Perugia, Italy.
 131. Hosaka, M. and R. Greve 2007: Change of Greenland Ice Sheet due to Global Warming Simulated by SICOPOLIS. *Second International Conference on Earth System Modelling*, August 27-31, 2007, Hamberg
 132. Sakami, T., M. Hosaka and K. Shibata, 2007: Effect of stochastic processes and vertical model-resolutions on the QBO simulation using the Hines gravity wave parameterization. *Second International Conference on Earth System Modelling*. 2007.8.27-31. Hamburg.
 133. 安成哲三, 堀正岳, 阿部学, 鬼頭昭雄, 2007: 最終氷期開始(115Kyr)における日射量変化と「雪」のチベット高原の役割. 2007 年度日本雪氷学会全国大会, 富山大学, 富山. 9 月 28 日
 134. 保坂征宏, 2007: 温暖化シミュレーションに見る雪氷と気候, 気象学会秋季大会, 札幌, 北海道大学, 10 月 14 日
 135. 黒田友二, 2007: 南半球における太陽活動の上下結合に及ぼす影響について, 日本気象学会秋季大会, 札幌市北海道大学, 10 月 14-16 日

136. Kuroda, Y., M. Deushi, and K. Shibata, 2007: Role of solar activity in the troposphere-stratosphere coupling in the southern hemisphere winter. *CAWSES 2007 symposium*, 京都大学、10月23-27日
137. Rajendran, K., A. Kitoh and J. Srinivasan, 2007: The effect of SST variation on equatorial ITCZ in Aquaplanet General Circulation Models. *APE Workshop*, 13-15 November 2007, Chiba Institute of Science, Choshi, Chiba, Japan.
138. Kitoh, A., 2007: Effect of topographic uplift on monsoon evolution. *IGCP-476 Workshop*, 6-8 December 2007, Tokyo.
139. Kitoh, A., 2007: Effect of mountains on monsoon evolution. *ISAM6 & EAC9*, 10-13 December 2007, Fukuoka, Japan.

平成20年度

140. Kitoh, A.141. Murakami S. and A. Kitoh, 2008: A coupled AOGCM simulation of the last glacial inception. *EGU General Assembly 2008*, 2008.4.13-18, Vienna, Austria.
141. 村上茂教・鬼頭昭雄 2008: 大気海洋結合モデルによる最終氷期初期のシミュレーション. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会*. 2008.5.25-30 (28)、千葉、幕張メッセ国際会議場.
142. 鬼頭昭雄, 2008: PMIP 6ka/21ka 実験における ENSO/モンスーン. *PAGES 小委員会*. 2008.7.26-27 (26), 札幌, 北海道大学低温科学研究所.
143. Murakami S. and A. Kitoh, 2008: Euler-Lagrange equation of the most simple 1D climate model based on the Maximum Entropy Production Hypothesis. *Workshop on Maximum Entropy Production: Earth, Life and Physical Approaches*, 10-12 September 2008, Kyoto University, Kyoto, Japan.
144. Kitoh, A., and O. Arakawa, 2008: Effect of BIOME interaction on 6ka and 21ka climate in the MRI CGCM2. *PMIP2 Workshop*, 2008.9.14-19 (15), Aspen Lodge, Estes Park, Colorado, USA. [poster]
145. Kitoh, A., 2008: Effect of topographic uplift on monsoon evolution. *Jilin Workshop*, 2008.10.27, Changchun, China.
146. Kitoh, A., 2008: Mid-Holocene climate in the MRI CGCM2 with BIOME interaction. *PAGES Global Monsoon Symposium*, 29-31 October 2008, Shanghai, China.
147. Murakami S. and A. Kitoh, 2008: A coupled AOGCM simulation of the last glacial inception. *EGU General Assembly 2008*, 2008.4.13-18, Vienna, Austria
148. 村上茂教・鬼頭昭雄, 2008: 大気海洋結合モデルによる最終氷期初期のシミュレーション. *日本地球惑星科学連合 2008 年大会*. 2008.5.25-30 (28), 千葉、幕張メッセ国際会議場.
149. 小畑淳, 2008: 北大西洋への淡水流入に対する気候炭素循環モデルの応答, 2008.5, *日本地球惑星科学連合 2008 年大会*.

接地境界層における水蒸気と熱の乱流輸送に関する研究

研究期間：平成18年度～平成20年度

研究代表者：中川慎治¹⁾、三上正男²⁾（物理気象研究部 第二研究室長）

研究担当者：中川慎治¹⁾、三上正男²⁾、萩野谷成徳、毛利英明、北村祐二²⁾（物理気象研究部）

研究の目的

大気-地表面間の程度の熱、水蒸気及びスカラー量（黄砂など）輸送メカニズムの理解と定量的評価は、日々の天気予報精度向上をはじめとして、アジアモンスーンの季節変動や年々変動、ひいては地球規模の気候変動の解明や予測などを行う気候モデルの精度向上にとっても必須不可欠である。本研究は、これらを解決するために観測と実験、そして自主開発した数値乱流モデルを相補的に用いて、大気境界層乱流による熱・水蒸気・スカラー量輸送の物理過程の理解を深める事を目的とする。

- (1) 地表面熱収支項目のうち乱流輸送量を対象として、陸地表面からの水蒸気・熱フラックスの長期変動を各地の気象台観測データを用いて正しく評価する。
- (2) 現実の大気境界層におけるレイノルズ数が非常に高い場合の乱流速度場の振舞を大型気象風洞等を用いた実験から明らかにする。乱流輸送を担う速度場の実態を把握するとともに、大気境界層乱流を対象とする Large Eddy Simulation (LES) あるいは Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) 等の数値乱流モデルを開発する際の指針を得る。
- (3) 乱流を顕わに表現することが可能な数値乱流モデルとして LES を自主開発する。数値乱流モデルが完成すれば、観測・実験では得られないような情報が得られるようになる。LES を用いた大気境界層乱流に関する数値計算を行い、輸送過程を明らかにすると同時に従来の気象モデルにおけるパラメタリゼーションの検証を行う。

研究の到達目標

- (1) 広域かつ長期間にわたる水・熱収支を求めるため、気候湿潤度（降水量／ポテンシャル蒸発量）と無次元蒸発量（実蒸発量／ポテンシャル蒸発量）の間の実験的關係を草地上の露場など様々な地表面状態で得られたデータを用いて求める。
- (2) 慣性領域・エネルギー保有領域の各スケール域で、乱流速度場の各種統計量のレイノルズ数依存性を実験的に調べ、高レイノルズ数における普遍的な振舞を明らかにする。
- (3) 数値乱流モデルとして LES を自主開発し、その精度検証を行うと共に、大気境界層乱流に関する数値計算を行い、既存の乱流パラメタリゼーションの比較・検討を行う。さらに実験データとの比較により LES の有効性を検証する。

研究の概要

- (1) 陸面蒸発は、地表面の乾燥度合いによって異なり、大気側の条件のみでは決まらない。それゆえ本研究では長期の蒸発量を推定するために大気側の条件を表すポテンシャル蒸発量と地面の乾燥度合いを表す降水量の2つのパラメータを用いて推定する。従来の研究で得られている蒸発量、ポテンシャル蒸発量および降水量に関するデータセットを作成するために、既存の熱収支データの収集を行う。また、草地面の代表地点として気象研露場において熱収支観測を実施する。これらのデータから熱収支解析を行い、ポテンシャル蒸発量と実蒸発量および降水量のデータセットを作成する。データセットから様々な地表面状態における気候湿潤度と無次元蒸発量の実験的關係を明らかにする。更に従来から得られている接地境界層における水蒸気・熱の乱流輸送の観点から本方法の有効性を検討する。
- (2) 気象研風洞で低レイノルズ数から高レイノルズ数までの格子乱流・境界層乱流・噴流を生成し、熱線流速計を用いて速度場の時系列データを取得する。慣性領域・エネルギー保有領域の各スケール域においてモーメント等の各種統計量を算出し、レイノルズ数に依存しないような普遍的な振舞の有無を明らかにする。なお、風洞実験データは課題(3)の検証データとしても活用する。
- (3) LES あるいは RANS 等の大気乱流に関する数値乱流モデルを、気象研内のモデル開発グループと連携をとりつつ自主開発し、気象研風洞で得られた実験結果を用いて検証する。数値モデルか

¹⁾ 平成18年度、平成19～20年度

ら得られる平均場や乱流輸送について風洞を用いた実験結果との比較を行い、数値モデルで用いられる乱流パラメタリゼーションスキームの妥当性・一般性について検証するとともに問題点を抽出し、既存の乱流パラメタリゼーションスキームを改善するための指針を得る。

研究成果

- ・気象台観測データを用いて広域の蒸発量(E)算定を行う手法を開発した。これは、ポテンシャル蒸発量(E_p)と降水量(P_r)から計算される無次元パラメータ P_r/E_p と E/E_p を用いて蒸発量を算定するものである。
- ・この2つの無次元パラメータの関係は、観測で決定する必要があるが、本研究では、チベット高原半乾燥裸地、温暖湿潤草地、熱帯畑地、寒冷地など様々な気候条件・地表面条件で得られたデータを用いてこれを新たに求めた。
- ・得られた関係を用い、中国域における、蒸発量 E の分布図を作成した。
- ・風洞実験から、乱流の小スケール運動を担う空間構造である「渦管」の半径・旋回速度・空間分布に関し、レイノルズ数や流れ場に依らない普遍則を見出した。すなわち LES のサブグリッドスケールのパラメタリゼーションスキームを改良するに資する知見を得た。
- ・風洞実験から、乱流エネルギーが、レイノルズ数や流れ場に関係なく、大スケールで、対数正規分布に従い顕著に揺らいでいることを見出した。このような揺らぎは従来の研究で見過ごされていたもので、境界層乱流における運動量輸送などにも同様の現象が存在することを強く示唆している。
- ・乱流を顕著に表現する事が可能な数値乱流モデルとして LES を独自に開発した。LES を用いた数値実験により、野外観測や室内実験では直接得ることが困難な接地境界層の乱流現象について詳細なデータを取得した。
- ・LES のパラメタリゼーションスキームについて既存のスキームの解析・評価を行った。このため、乱流過程をより正確に表現しうる解像度の非常に細かい LES を用いて、解像度の粗い LES のパラメタリゼーションスキームの評価を行う、という新たな手法を開発した。
- ・本研究で開発した手法を用いれば、気象台の現業データと土地利用状態から数ヶ月～1年の積算蒸発量が推定できる。全球的な水収支の把握のみならず気候モデルの検証にも寄与すると期待できる。
- ・従来の風洞実験では、自然条件に近い接地境界層乱流におけるような高いレイノルズ数は再現できなかったが、本研究によりそれを達成することが出来た。また同時に、高精度の統計解析が可能であるような、長大なデータを取得することも出来た。今後、これらのデータセットを活用する事により、より自然の大気条件に近い乱流の統計的振舞の研究を進める事が可能となった。
- ・LES を用いた数値実験により、野外観測や室内実験から直接得ることが困難な接地境界層の乱流現象について、詳細なデータを取得することが可能になった。今後は、都市気象モデルやメソモデルで用いられる乱流パラメタリゼーションの妥当性を検証する新たなツールとして、他のグループとの連携も図りつつ、LES モデルを活用することが期待できる。
- ・LES パラメタリゼーションスキームの検証は、当初計画では想定されていなかったが、研究の途上で、その必要性が明らかになったものである。この問題については十分な検討を行い、有効な検証手法を得ることが出来た。この手法を活用することで、LES パラメタリゼーションスキームを改良する研究を進めることが可能になった。

今後に残された問題点

- ・広域水熱収支の研究に関して、当初の目標は達成した。気候湿潤度の概念を用いた他機関の類似研究は少なく、独自性は高い。また、既存の気象台データを用いた汎用性の高い手法である事も特徴である。
- ・接地境界層を構成するような高レイノルズ乱流について、風洞実験によりこれまで未解明であった乱流の普遍的性質に関する研究成果が得られた。一方、得られた知見に基づいた気象学的にもっとも重要な運動量輸送などに関する研究までには到達できなかった点が反省点である。今後は、このような運動量輸送など気象学に重要な過程に注目して研究を進める所存である。
- ・LES を用いた新たな数値モデルの開発に関しては当初の予定通り完了した。LES パラメタリゼーション・スキームを検証するための手法については、十分に検討を行い一定の成果が得られたが、このため風洞実験との比較には至らず、課題が残る結果となった。

成果の活用に関する意見（事後評価の総合所見）

課題（１）については、蒸発量算定に関して、チベット高原の半乾燥裸地、温暖湿潤草地など様々な気候条件を満たす関係式を導くことができたことから、妥当な研究であったと思われる。課題（２）及び（３）に関して、期間を考えると計画がやや過大であったかもしれないので、自己評価に記載されている残された課題について研究を継続し、特に、境界層乱流における運動量輸送に対する新たな普遍則の確立を期待する。

ただし、個々の研究は基礎的・基盤的な研究として評価できるが、実用化への道筋を明らかにして行く取り組みが必要であり、所内他研究部を含めた研究機関との連携を進め、研究の進展を図っていく必要がある。特に、LES については、観測、解析、モデル化を体現するモデル研究としての進展を期待するとともに、次期５カ年計画では、都市気象モデル及びメソモデルの改良への目に見える貢献が必須であることを、肝に銘じて取り組んで頂きたい。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 10 件
- ・口頭発表件数 23 件

成果発表一覧

1. 査読論文

1. Kitamura, Y., and Y. Matsuda 2006: The $kH-3$ and $kH-5/3$ spectra in stratified turbulence, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L05809.
2. Kitamura, Y., and K. Ishioka 2007: Equatorial jets in decaying shallow-water turbulence on a rotating sphere, *J. Atmos. Sci.*, **64**, 3340-3353.
3. Mouri, H., A. Hori, and Y. Kawashima 2007: Laboratory experiments for intense vortical structures in turbulence velocity fields, *Phys. Fluids*, **19**, 055101
4. Mouri, H., A. Hori, and M. Takaoka 2008: Fluctuations of statistics among subregions of a turbulence velocity fields, *Phys. Fluids*, **20**, 035108.
5. Mouri, H. and A. Hori, 2009: Vortex tubes in turbulence velocity fields at high Reynolds numbers, *Fluid Dynamics Research*, **41**, 021402.
6. Oku, Y., H. Ishikawa, S. Haginoya, and Y. Ma 2006: Recent trends in land surface temperature on the Tibetan Plateau, *J. Climate*, **19**, 2995-3003.
7. Takaoka, M., H. Mouri, and A. Hori, Y. Kawashima, 2007: Isotropy and the Karman-Howarth-Kolmogorov relation in experimental and numerical turbulence, *Physical Review E*, **76**, 066312
8. Wang, K., Z. Wan, P. Wang, M. Sparrow, J. Liu, and S. Haginoya 2007: Evaluation and improvement of the MODIS land surface temperature/emissivity products using ground-based measurements at a semi-desert site on the western Tibetan Plateau, *Int. J. Remote Sensing*, **28**, 2549-2565.
9. Xu, J., S. Yu, J. Liu, S. Haginoya, Y. Ishigooka, T. Kuwagata, M. Hara and T. Tasunari 2009: The implication of heat and water balance changes in a lake basin on the Tibetan Plateau", *Hydrological Research Letters*, **3**, 1-5

2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 毛利英明・高岡正憲, 2008: 乱流統計量の大スケール揺らぎ、ながれ (日本流体力学会誌), **27**, 33-40

3. 口頭発表

1. Arimitsu, T., N. Arimitsu, K. Yoshida, & H. Mouri, 2008: Multifractal PDF analysis of energy dissipation rates in turbulence, *IUTAM symposium on computational physics and new perspectives in turbulence (Springer: IUTAM Bookseries, vol. 4)*, 117-123
2. Haginoya, S., and J. Xu, 2006: A climatological estimate of heat and water fluxes over the

- Tibetan Plateau. *International Workshop on Energy and Water Cycle over the Tibetan Plateau*, 4 September - 6 September, 2006, Lhasa, Tibet, China, 64-67.
3. Haginoya, S., and J. Q. Xu, 2007: A climatological estimate of heat and water fluxes over the Tibetan Plateau, *Asia Oceania Geosciences Society 4th Annual Meeting*, 31 July–4 August, 2007, Bangkok, Thailand, AS07-HS20-D2-PM1-MR4-021.
 4. Haginoya, S., and J. Xu, 2008: Long-term surface heat balance observed in the western Tibet. *5th Annual Meeting AOGS (Asia Oceania Geosciences Society) 2007*, 16 - 20 June, 2008, Busan, Korea, AS23-D3-PM2-103-007.
 5. Kitamura, Y. and Y. Matsuda, 2008: The horizontal energy spectra and cascade processes in rotating stratified turbulence, *IUTAM symposium on computational physics and new perspectives in turbulence (Springer: IUTAM Bookseries, vol. 4)*, 409-414
 6. Kitamura, Y., 2008: An intercomparison and self-consistency verification of subgrid scale parameterization schemes in large-eddy simulation, *International workshop on Rotating Stratified Turbulence and Turbulence in the Atmosphere and Oceans*, Cambridge, UK, Poster Abstracts
 7. Mouri, H., A. Hori, & Y. Kawashima, 2006: Vortex tubes in velocity fields of laboratory turbulence at high Reynolds numbers, *IUTAM Symposium on Elementary Vortices and Coherent Structures: Significance in Turbulence Dynamics (Springer: Fluid Mechanics and its Applications, vol. 79)*, 105-110
 8. Mouri, H., A. Hori, & Y. Kawashima, 2008: Vortex tubes in turbulence velocity fields at high Reynolds numbers, *IUTAM symposium on computational physics and new perspectives in turbulence (Springer: IUTAM Bookseries, vol. 4)*, 221-226
 9. Yoden, S., Y.-Y. Hayashi, K. Ishioka, Y. Kitamura, S. Nishizawa, S. Takehiro and M. Yamada, 2008: Jet formation in decaying two-dimensional turbulence on a rotating sphere, *International workshop on Rotating Stratified Turbulence and Turbulence in the Atmosphere and Oceans*, Cambridge, UK, Programme Abstracts
 10. 北村 祐二 2007: LESにおけるパラメタリゼーションスキームの相互比較, *日本気象学会 2007 年秋季大会講演予稿集*, D110
 11. 北村 祐二 2007: LESにおけるパラメタリゼーションスキームの相互比較, *第 9 回非静力学モデルに関するワークショップ予稿集*, 50-51
 12. 北村 祐二 2008: Germano の恒等式を用いたサブグリッドスケールのフラックスの評価, *日本気象学会 2008 年秋季大会講演予稿集*, P354
 13. 中川慎治・萩野谷成徳 2007: 牧草地におけるポテンシャル蒸発量と実蒸発量の関係, *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, P116.
 14. 萩野谷成徳 2006: 突風率から推定した地表面粗度の長期変化, *日本気象学会 2006 年度春季大会講演予稿集*, P244.
 15. 萩野谷成徳・徐健青 2006: NDVI から推定したチベット高原上の熱収支, *日本気象学会 2006 年秋季大会講演予稿集*, P373.
 16. 萩野谷成徳・徐健青 2007: チベット高原上の広域熱収支解析, *日本気象学会 2007 年度春季大会講演予稿集*, D155.
 17. 萩野谷成徳 2007: チベット高原上の広域熱収支の推定—WI が代表する空間スケール—, *日本気象学会 2007 年度秋季大会講演予稿集*, P329.
 18. 萩野谷成徳 2008: 西チベット改則における長期熱収支観測—地表面での地中熱流量推定—, *日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集*, P202.
 19. 萩野谷成徳 2008: 中国域の蒸発量マップ作成, *日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集*, P133.
 20. 毛利英明 2006: 高レイノルズ数乱流内の渦管構造に関する実験的研究, *京大数理解析研究所講究録 1496*, 173-180

21. 毛利英明・高岡正憲 2007: 乱流局所統計量の揺らぎについて, 京大数理解析研究所講究録 1567, 56-62
22. 毛利英明・高岡正憲・堀晃浩 2007: 乱流局所統計量の揺らぎについて, 日本流体力学会年会 2007 講演アブストラクト集, 75
23. 毛利英明・高岡正憲 2008: 乱流の大スケール変動における対数正規性, 日本物理学会 2008 年秋季大会予稿集, 20pVB-2

意図的・非意図的気象変化に関する研究 －フィージビリティスタディー－

研究期間： 平成 20 年度

研究代表者： 村上正隆（物理気象研究部 第一研究室長）

研究担当者： 折笠成宏、斎藤篤思、田尻拓也（物理気象研究部）

橋本明弘（予報研究部）

永井智広、酒井 哲、中里真久（気象衛星・観測システム研究部）

財前祐二（環境・応用気象研究部）

研究の目的

日々の天気予報、気候変動予測、そして渇水・降雹・集中豪雨などの顕著現象による被害緩和や水資源管理の一手法としての気象変化などに関する技術の向上に大きな期待が寄せられている。雲・降水に関わる諸過程の多くは、これら天気予報・気候変動・気象変化の分野に共通する重要課題として、早急な解明が求められている。

意図的・非意図的気象変化に関する研究は、その研究手法や対象とする物理過程の共通性から、表裏一体の密接な関係にある。意図的気象変化は非意図的気象変化を理解する上で、準実スケールの実験と見なすことが出来る。一方、非意図的気象変化は大気環境の変調を通して、意図的気象変化（シーディング効果）にも大きな影響を与える可能性がある。

本研究では、エアロゾルの雲・降水過程に及ぼす影響に関する実験・観測的研究に基づいたエアロゾル・雲・降水を統一的に扱う雲物理パラメタリゼーションの開発・改良を中心として、研究手法や対象とする物理過程の観点からも密接な関係にある意図的・非意図的気象変化の研究を総合的に実施し、人工降雨で代表される意図的気象変化技術の確立、および降水短時間予報精度の向上・気候変動の解明に資することを目的とする。

研究の到達目標

意図的・非意図的気象変化に関する総合的研究を効率的・効果的に推進するための研究手法・研究体制を検討すると共に、エアロゾルが雲・降水過程に及ぼす影響に関する実験・観測データを用いた予備的研究を通して、エアロゾル・雲・降水を統一的に扱う雲物理パラメタリゼーションの開発・改良に関する 5 年後、10 年後の達成目標を明確にし、そのために必要となる実験・観測的研究のアプローチを検討することを目的とする。

研究の概要

- ・人為起源エアロゾルおよびシーディングエアロゾルが雲・降水分布などに及ぼす影響を統計的手法を用いて解明する。
- ・エアロゾルの物理化学特性と雲核・氷晶核の活性化スペクトルの直接測定法の開発・改良を行う。
- ・間接測定法を用いたエアロゾル・雲・降水の微物理構造の導出法の開発・改良を行う。
- ・直接・間接観測データを解析し、色々な雲の条件下におけるエアロゾルから雲粒・氷晶生成過程の解明を図る。
- ・雲生成チェンバーや雲核計・氷晶核計等を用いて、色々な大気環境の下で、エアロゾル粒子の物理化学特性と雲核・氷晶核としての活性化特性の関係を解明する。その結果を用いて詳細雲物理ボックスモデルを開発・改良する。
- ・室内実験の結果と詳細雲物理ボックスモデルの結果の比較から、種々のエアロゾルからの雲粒・氷晶発生過程を定式化する。その結果を取り込んだ、エアロゾル（雲核・氷晶核）・雲・降水を統一的に扱う新しい雲物理過程パラメタリゼーションを組み込んだ NHM を開発・改良する。
- ・エアロゾル・雲・降水を統一的に扱う雲物理パラメタリゼーション（バルク法、ビン法）を組み込んだ NHM による数値シミュレーションと観測結果を組み合わせ、人為起源エアロゾルやシーディングエアロゾルが種々の雲の微物理構造・寿命・雲量・地上降水量などに及ぼす影響（エアロゾルの間接効果・シーディング効果）の解明を図る。

研究成果

- ・ エーロゾルの物理化学特性と雲核・氷晶核の活性化スペクトルの直接測定を実施するため、エーロゾルスペクトロメータ、OPC、電頭メッシュ用サンプラー、雲核計、自動化した氷晶核計から成る測定システムを構築し、外気の連続モニタリング観測を実施した。0.01~10 ミクロンまでのエーロゾル粒径分布、0.1 ミクロン以上のエーロゾルの元素組成、0.07~2%の過飽和度におけるエーロゾルの雲核能、気温-15~-35℃、氷飽和~10%水過飽和条件におけるエーロゾルの氷晶核能に関するデータを取得した。
- ・ エーロゾルスペクトロメータ、OPC、電頭メッシュ用サンプラー、雲核計に関しては、高度（気圧）変化にも適応できるように改良し、科学技術振興調整費「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」の一環として実施した航空機観測で使用し、エーロゾル・雲・降水に関するデータを取得した。エーロゾルの物理化学特性と雲核能、雲底下のエーロゾルの雲核能と雲底付近の初期雲粒径分布に関する予備的な解析を行った。
 - ・ エーロゾルの氷晶核能と初期氷晶分布の関係を調べるために、航空機搭載用氷晶核計を製作した。今後予定されている航空機観測で使用し、エーロゾルの物理化学特性・雲核能・氷晶核能と雲粒・氷晶発生過程の関係を解明していく予定である。
- ・ 過去に行われた雲粒子ゾンデとエーロゾルゾンデの連結飛揚観測データより、黄砂等のダスト粒子が巻雲の氷晶発生にどの程度寄与しているかを目的として解析を進めた。直接的な同定は現状では困難であるが、今後研究を実施していく上での課題を整理し、各種地上リモートセンシングとの同期観測を実施することによる可能性を検討した。天頂観測用 X バンドレーダー及び FMCW 型 Ka バンドレーダーの観測データを用いて、雲・降水の微物理パラメータ（反射因子・ドップラー速度の波長依存性、消散係数など）の導出を試行した。また、ライダーで観測された2波長後方散乱係数波長依存性と偏光解消度、ライダー比データを用いたエーロゾルキャラクタリゼーション方法の検討を行った。
- ・ 雲生成チェンバーを用いた混合雲の氷晶発生過程に関する実験を実施し、上昇速度や持ち上げ凝結温度と氷晶発生温度域や数濃度との関係について解析を進めた。試料空気として外気だけではなく、ダスト粒子のような特定の粒子を用いた実験も実施した。Arizona Test Dust を用いた初期実験では、雲核としての有効性と-20℃以下での氷晶発生を確認した。
- ・ 人為起源およびシーディングエーロゾルが雲・降水に与える影響を調べるための、バルク法雲物理スキームを開発した。シーディングエーロゾルが冬季山岳性降雪雲に与える影響を調べるための数値実験を行い、シーディングに適した大気条件下では降雪量が増加することを確認した。

今後に残された問題点

- ・ 今後5年間で、雲生成チェンバー・氷晶核計を用いた実験・測定精度向上、各種地上リモートセンシング技術を用いたエーロゾルのキャラクタリゼーション手法の改良などを通して、ダスト粒子・炭素系粒子・海塩粒子・硫酸塩粒子を中心としたエーロゾルの物理化学特性と雲核・氷晶核能の関係を解明するとともに、モニタリング観測からその季節変化などを明らかにする。
数値モデルに関しては、上記の室内実験および詳細雲物理ボックスモデルの結果を組み込んだエーロゾル（雲核・氷晶核）・雲・降水を統一的に扱う雲物理パラメタリゼーション（バルク法、ビン法）を組み込んだNHMを開発する。バルク法を組み込んだNHMを用いた数値シミュレーションと観測結果を組み合わせモデルの検証・改良を行い、人為起源エーロゾルやシーディングエーロゾルが種々の雲の微物理構造・寿命・雲量・地上降水量などに及ぼす影響（エーロゾルの間接効果・シーディング効果）の解明を図る。ビン法を組み込んだNHMによる数値シミュレーションは計算機能力を考慮し、氷粒子の取り扱いを簡略化するなどして狭領域を対象としたケーススタディを実施し、エーロゾル・雲・降水の微物理構造の観測結果との比較・検証を実施する。
- ・ 10年後までには、ダスト粒子・炭素系粒子・海塩粒子・硫酸塩粒子以外のエーロゾルも含め、それらの内部混合・外部混合状態と雲核・氷晶核能の関係を解明するとともに、モニタリング観測からその季節変化などを明らかにする。
数値モデルに関しては、上記の室内実験および詳細雲物理ボックスモデルの結果を組み込んだエーロゾル（エーロゾル種別の雲核・氷晶核能）・雲・降水を統一的に扱う雲物理パラメタリゼーション（バルク法、ビン法）を組み込んだNHMを開発する。ビン法を組み込んだNHMを用いた数値シミュレーションと観測結果を組み合わせモデルの検証・改良を行い、人為起源エーロゾルやシーディングエーロゾルが種々の雲の微物理構造・寿命・雲量・地上降水量などに及ぼす影響（エーロゾルの間接効果・シーディング効果）の解明を図る。上記ビン法NHMの結果を用いてバルク法NHMの改良を図り、広領域を対象としてエーロゾルの間接効果の解明や各種シーディングによる人工降雨・降

雪の可能性を定量的に評価する。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 1 件
- ・口頭発表件数 24 件

成果発表一覧

1. 査読論文 なし
2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）
1. Hashimoto, A., T. Kato, S. Hayashi, and M. Murakami, 2008: Numerical experiment on the sensitivity of precipitation enhancement to cloud seeding position for the winter orographic cloud in Japan, *CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Model*, **38**, 5.09-5.10, (2008)
3. 口頭発表
 - (1) 国際会議・学会等での口頭発表件数：9 件
 1. Orikasa, N., T. Sakai, M. Murakami, A. Saito, T. Tajiri, K. Yamashita, and T. Nagai, 2008: Balloonborne observation of cirrus cloud particles and aerosols measured with hydrometeor videonde, Snow White hygrometer, and optical particle counter. *Proceedings of 15th International Conference on Clouds and Precipitation*, July 7-11, Cancun, Mexico.
 2. Orikasa, N., M. Murakami, and A. Saito, 2008: Characteristics of orographic mixed-phase clouds during JCSEPA field campaigns. *Proceedings of 15th International Conference on Clouds and Precipitation*, July 7-11, Cancun, Mexico.
 3. Tajiri, T., K. Yamashita, M. Murakami, N. Orikasa, A. Saito, T. Nagai, T. Sakai, and H. Ishimoto, 2008: Laboratory experiments of mixed-phase cloud formation. *Proceedings of 15th International Conference on Clouds and Precipitation*, Cancun, Mexico, 6.7.
 4. Yamashita, K., T. Tajiri, A. Hashimoto, M. Murakami, N. Orikasa, and A. Saito, 2008: Nucleation and growth of droplets simulated in the dynamic cloud chamber and the microphysical parcel model. *Proceedings of the 15th International Conference on Clouds and Precipitation*, Cancun, Mexico, P12.15.
 5. Saito, A., and M. Murakami, 2008: Measurement of natural ice nuclei by continuous-flow thermal-diffusion-chamber type ice nucleus counter. *Proceedings of the 15th International Conference on Clouds and Precipitation*, July 7-11, Cancun, Mexico.
 6. Hashimoto, A., T. Kato, S. Hayashi, M. Murakami, 2008: Cloud seeding experiment with three-dimensional cloud resolving model for winter orographic cloud in Japan. *Proceedings of the 15th International Conference on Clouds and Precipitation*, Cancun, Mexico, P9.1.
 7. Murakami, M., and N. Orikasa, 2008: How does Asian dust storm affect the microphysical structures of orographic snow clouds? *Proceedings of 15th International Conference on Clouds and Precipitation*, July 7-11, Cancun, Mexico.
 8. Sakai, T., N. Orikasa, T. Nagai, M. Murakami, T. Tajiri, A. Saito, K. Yamashita, and A. Hashimoto, 2008: Asian dust and cirrus clouds properties as measured by Raman lidar and balloon-borne instruments, *Reviewed and revised papers presented at the 24th International Laser Radar Conference*, 373-376.
 9. Sakai, T., T. Nagai, Y. Mano, and M. Murakami, 2008: Dual-wavelength and polarization lidar system for Japanese Cloud Seeding Experiment and Augmentation (JCSEPA), *Reviewed and revised papers presented at the 24th International Laser Radar Conference*, 76-78.

- (2) 国内会議・学会等での口頭発表件数：15 件
10. 折笠成宏・村上正隆・斎藤篤思, 2008: 航空機による山岳性降雪雲の直接観測 (その 2) - 雲の相から見た統計的特徴 -. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集, P302.
 11. 田尻拓也・山下克也・石元裕史・村上正隆, 2008: エーロゾル・雲粒子センサーの非球形粒子検出特性について (その 2) - MRI 雲生成チャンバー雲物理実験より -. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集, P245.
 12. 山下克也・田尻拓也・村上正隆・折笠成宏・斎藤篤思・財前祐二・岡田菊夫, 2008: MRI 雲生成チャンバーを用いた吸湿性粒子シーディング実験 (その 2) . 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集, B404.
 13. 村上正隆・橋本明弘・小池克征, 2008: 物理的予測因子を用いたシーディング効果判定法の試み - 2D シーディング数値実験の結果を用いて -. 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集, B401.
 14. 三隅良平・村上正隆・加藤輝之・橋本明弘・佐竹晋輔・J.-P. Chen, 2008: 多次元ビン法雲物理モデルの簡略化の検討 - 力学モデルへの導入に向けて -. 2008 年日本気象学会春季大会, P304.
 15. 村上正隆, 2008: 意図的・非意図的気象変化. 日本気象学会夏期特別セミナー.
 16. 村上正隆・JCSEPA 研究グループ, 2008: 人工降雨・降雪研究 (JCSEPA) におけるリモートセンシング技術. 第 34 回リモートセンシングシンポジウム講演論文集.
 17. 酒井 哲・永井智広・村上正隆・JCSEPA 観測グループ, 2008: 2008 年夏季人工降雨実験における 2 波長ライダー観測. 第 34 回リモートセンシングシンポジウム講演論文集, 13-16.
 18. 折笠成宏・村上正隆・斎藤篤思・池田明弘・吉田一全, 2008: ドライアイスシーディングに伴う山岳性降雪雲の微物理構造の変化. 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集, B356.
 19. 田尻拓也・山下克也・村上正隆, 2008: MRI 雲生成チャンバーによる雲物理実験 混合雲における氷晶発生過程について (その 2) . 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集, P381.
 20. 村上正隆・科振費「人工降雨・降雪」夏期観測グループ, 2008: 四国における人工降雨実験観測の概要. 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集, P381.
 21. 橋本明弘・佐竹晋輔・加藤輝之・村上正隆, 2008: ヨウ化銀を用いた地上シーディングに関する数値実験. 2008 年日本気象学会秋季大会, B359.
 22. 酒井 哲・永井智広・村上正隆・JCSEPA 観測グループ, 2008: 2008 年夏季人工降雨実験におけるライダー観測 (速報) . 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集, P173.
 23. 斎藤篤思・村上正隆, 2008: 氷晶核測定装置を用いた氷晶核数濃度の測定 (その 3) . 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集, P150.
 24. 斎藤篤思・村上正隆・折笠成宏・山下克也, 2008: 小規模シーディング実験において散布される吸湿性粒子. 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集, P175.

九州に接近した台風の構造変化とそれに伴う諸現象に関する研究

研究期間： 平成 19 年度～平成 20 年度

研究代表者： 出口一（福岡管区気象台技術部予報課）

研究担当者： 中西信彦¹⁾、折口征二、今藤友紀²⁾（福岡管区気象台）北畠尚子（気象研究所台風研究部）

研究の目的

九州に接近した台風について、その温帯低気圧化に伴う 3 次元構造の変化と、付随して生じた地上風・降水分布の多様性、及びそれによる災害の特徴の関係を明らかにする。

研究の到達目標

- ・九州に接近した台風に伴って発生した地上風・降水分布、及びそれによる災害の特徴を整理する。
- ・九州に接近した台風の 3 次元構造を解析し、傾圧性の影響による成熟期の軸対称構造の台風からの変化の過程を明らかにする。
- ・台風の 3 次元構造の変化と、それに伴って九州付近で生じた地上風・降水分布の特徴、及びそれによる災害の特徴の関係について、考察を行う。

研究の概要

- ・過去に九州に接近した台風に伴って生じた地上風・降水分布、及び災害の発生状況を、後で台風の構造変化過程と関連付けて考察するために、時系列的に整理する。
- ・過去に九州に接近した台風について、観測データ及び数値予報 GPV を用いて台風の 3 次元構造の変化を解析する。主に 2004 年以降の台風を解析対象とするが、必要に応じてそれ以外の事例も解析し比較を行う。
- ・台風の 3 次元構造の変化と、その変化の段階に対して九州付近で生じた諸現象（地上風・降水分布など）、及びそれによる災害の特徴の関係について、考察を行う。

研究成果

- ・過去 3 年間の九州接近台風、および過去 10 年間に顕著な災害をもたらした九州接近台風について調査を行った。過去 10 年間に突風害を発生させた台風は 8 個で、そのうち 7 個が 9～10 月の台風だった。8 個の台風に伴って生じたとされている突風害 16 事例（竜巻とされているものは 14 事例）のうち 13 事例が台風の進行方向の前方右側、3 事例が前方左側で発生した。また、台風中心近傍で発生したのは、わずか 1 事例（北西側 15km）であり、その他は全て台風中心から約 200km 以上離れた地点で発生していた。
- ・九州西海上を北上した台風 3 個（2006 年台風第 13 号、2006 年台風第 14 号、2004 年台風第 21 号）について RSM（気象庁領域モデル）の GPV 等を用いて三次元構造を解析した。いずれも、九州接近時には構造変化の段階にあったが、以下のように相違点が見られた。
 - ①《2006 年台風第 13 号》上部対流圏起源の乾燥した高渦位空気の流入により台風はやや非対称性を持っていた。進行方向右前方において不安定域が形成され、宮崎県付近には竜巻などの顕著現象の発生に好適な環境が形成されていた。その後、経路右側の降水域が消滅し、経路左側降水域が出現する明瞭な降水シフトがあった。
 - ②《2006 年台風第 14 号》台風はまだ比較的軸対称性が強い段階で、T0613 の場合とは異なり、台風北側にあたる九州東岸に北西からではなく東海上から流入した乾燥空気により不安定域が形成されていて、そこで竜巻が発生していた。経路右側の降水域が徐々に消失するとともに、経路左側の降水域も徐々に出現した。
 - ③《2004 年台風第 21 号》台風は非対称性を持ち始めており、北西側からの沈降による中層乾燥空気は台風の南側を大きく回って北東側まで流入し、南側の降水域が消失するだけでなく、東側 400～500km 付近まで降水域が広範囲に弱まった。突風害は九州では特に報告されていないが、関東地方と東海地方では竜巻があったことが報告されている。
- ・本研究に着手した平成 19 年度において、気象庁は竜巻注意情報を業務化した。それに伴って「竜巻

¹⁾平成 19 年度、²⁾平成 20 年度

地方共同研究

・本研究では、過去 10 年間の突風発生位置の統計結果と、2006 台風第 13 号の立体構造解析から、九州における台風に伴う突風災害は、構造変化段階の台風の進行方向右前方 200~300km 付近に発生しやすいという知見が得られた。この結果は、台風が九州から遠い南海上にあつて直接的な影響のない段階において、台風と中緯度傾圧帯の中間領域（中心からかなり離れた所）に発生する突風災害発生の可能性を予測する技術に結びつくと考えられる。

- 九州に接近する台風は成熟期の軸対称構造として説明されることが多いが、調査した3事例については構造変化の段階にあったということが確認されたことで、一定の成果があった。また台風の構造変化と突風災害の関連を示唆することができたことでも一定の成果があった。一方、今回の研究のうち事例解析では、一般に九州で最も災害が大きくなるとされる「九州西海上を北上した台風」の3事例を選定したが、災害と構造変化の関連性を調査するためには、経路の類似した台風事例の比較よりも、災害の類似した台風事例の比較を行ったほうが有効な解析に結びついた可能性があると考えられ、事例選定の考え方に反省点があった。今後は、この反省点を踏まえた台風事例解析を積み重ね、今回の調査を参考に、災害と構造変化の関連性についての一般性を議論するための調査につなげたい。

台風の非軸対称性にもなる風、降水、災害分布についてはこれまでに多く議論されてはいたが、統一的・総合的に調査されることが少なかった。この点に着目し、かなりの数の台風について調査し、統一的に結果をまとめようとする取り組みは、予報業務に貢献するとともに、気象学的にも価値が高いものである。したがって、九州に災害をもたらした 14 個の台風について、地上風、降水分布、災害一覧表をイントラ HP 上に整理し、そのうちの 3 事例について詳細な解析を実施したことはある程度評価できる。また、同様な調査を継続する上でのテンプレートを提供したという面も評価できる。

- ・印刷発表件数 なし
- ・口頭発表件数 4件

– 191 –

4. 出口一・今藤友紀・折口征二, 2008 : 上層乾燥渦位と下層湿潤渦位の振舞いに着目した台風温帯低気圧化過程の研究. 平成 20 年度福岡県気象研究会.

強雨をもたらす線状降水帯の形成機構等の解明及び降水強度・移動速度の予測に関する研究

研究期間： 平成 19 年度～平成 20 年度

研究代表者： 瀬古弘（予報研究部 第二研究室主任研究官）

研究担当者： 大阪管区气象台、彦根地方气象台、京都地方气象台、奈良地方气象台、和歌山地方气象台、鳥取地方气象台、松江地方气象台、広島地方气象台、徳島地方气象台、舞鶴海洋气象台、神戸海洋气象台

研究の目的

ドップラーレーダなどの観測データを使って解析する“豪雨や強雨をもたらす線状降水帯”の事例数を増やし、降水帯の分類や、それぞれの構造、維持機構を明らかにする。さらに、非静力学モデルや同化システムなどの結果を用いて、降水強度の変化・移動と環境場との関係を調べて整理するとともに、整理した関係を元に、降水強度の変化・移動の予測を試みる。

また、この研究から得られた成果は、平成 22 年度から始まる市町村を対象とした注意報・警報の発表のための重要な知見となる。

研究の到達目標

- (1) これまでに観測された線状降水帯などの複数の事例を選び、ドップラーレーダやウィンドプロファイラー、GPS などの観測データを使って解析し、個々の降水帯の構造や維持機構を見出す。
- (2) これまでの複数の事例の観測データや数値モデルの結果を使って、降水帯の発達や移動速度と環境場との関係や、降水強度や移動速度の変化に影響を及ぼす要因を見出す。
- (3) 環境を変えた数値実験を行い、(2) で得られた降水帯の降水強度や移動速度と環境場との関係についての知見を評価・検討する。

研究の概要

- ・ これまでに観測された事例から、解析する事例を複数選び、観測データを収集する。
- ・ ドップラーレーダやウィンドプロファイラーなどの観測データを用いて、降水帯の構造や維持機構を調べる。
- ・ 非静力学モデルなどを用いて再現実験を行い、降水帯の構造や維持機構を調べる。
- ・ 複数の事例の観測データや数値モデルの再現実験の結果から、降水帯の発達や移動速度の要因を調べる。
- ・ 環境を変えた実験を行い、降水強度や移動の要因を評価する。

研究成果

(1) 2003 年 4 月 8 日の線状降水帯（気象研究所）

線状降水帯に対する地形の影響を調べるために、非静力学モデルを用いて、計算領域全体や四国、淡路島等の地形を取り除いた感度実験、領域全体の地形を南北にずらした感度実験を行った。また、線状降水帯の南側から降水帯に供給される気流の風速や湿度などの環境について、模擬観測データを作成し、メソ 4 次元変分法データ同化システムに適用して同化することによって、降水帯の降水強度や移動に与える線状降水帯周辺の環境の影響を調べた。その結果、紀伊水道の南側の中層の水蒸気量を増やすと線状降水帯の降水が強められることから、この事例では下層のみではなく中層も湿っていることが重要なこと、降水帯周辺の南西風と南風の収束が強い降水帯の形成に重要であり、瀬戸内海と紀伊水道という収束を生じさせやすい地形が降水帯の位置を決めるうえで重要であることがわかった。また、瀬戸内海の西風を強くすると降水帯がより速く東に移動することがわかった。

(2) 神戸の雷雨をもたらした線状降水帯（気象研究所・大阪管区气象台・神戸海洋气象台）

2008 年 7 月 28 日に神戸の河川の急激な増水をもたらした事例について、局所アンサンブル変換カルマンフィルタを用いて、現業の同化システムで用いられた地上と高層データ、新しい観測データである GPS 可降水量を同化し、雷雨を引き起こした降水帯の再現実験を行った。その結果、発生し

た時刻が実況よりも早いものの、兵庫県や岡山地方の内陸部から神戸付近の延びる広域の降水帯や、その降水帯が時間とともに南下していく状況については再現できた。GPS 可降水量を同化しないと強い降水帯が再現できないことから、この降水帯の形成には、下層の水蒸気量が重要であることがわかった。また、豪雨発生時における神戸から±50km 内の降水強度と、2 時間前における同じ領域内の地上気温や中層の気温などの関係を、アンサンブルメンバーの予報値から求めたところ、中層の気温が低いメンバーで降水量が大きいことがわかった。

(3) 隠岐に大雨をもたらした降水帯について（気象研究所・松江地方気象台）

2007 年 8 月 31 日に島根県隠岐に大雨をもたらした降水系について、GPS 掩蔽データをメソ 4 次元変分法システムに適用して同化したが、掩蔽データの位置が隠岐から遠かったため、同化のインパクトが小さく、豪雨をもたらした降水帯が再現できなかった。そのため、局所アンサンブル変換カルマンフィルターを用いて、現業の同化システムで用いられた地上と高層データを同化した再現実験を行った。その結果、気象庁現業レーダで観測された降水帯に似た「西に尖った降水域を持つ降水帯」が再現され、西郷測候所で観測された「急激な気圧の下降」に対応する深くて狭い低圧部も再現することができた。この降水系について、流跡線解析等を行ったところ、南からの湿って暖かい気流が、降水帯の側面に沿って上昇していたこと、降水帯の先端部分周辺の高度 3km 以下に高温域があり、それによって地上の低圧部が形成されていたことがわかった。

(4) 2004 年 5 月 13 日の降水帯（大阪管区気象台・京都地方気象台）

2004 年 5 月 13 日の大阪府に大雨をもたらした事例について、地上気圧や GPS 可降水量等の変動を詳細に解析した。解析の結果、瀬戸内を速い速度で東進する地上の低圧部があり、瀬戸内を東進して大阪湾に到達すると、紀伊水道を通過して大阪湾付近に流入する暖湿気の強まりにより、大雨を引き起こす低気圧として顕在化したことがわかった。低気圧の顕在化は、非静力学モデルでも確認できた。数値モデルの結果から、日本海から南下する前線の暖域内にある緩やかな傾度をもつ相当温位分布が、低気圧の振る舞いにより相当温位集中帯を形成・強化されること、この相当温位集中帯に沿って紀伊水道から大阪平野へ流入する暖湿気が上昇して凝結し、線状の降水分布を形成していたことがわかった。

(5) 2007 年 8 月 22 日に鳥取県で発生した線状降水帯の事例（鳥取地方気象台）

岡山県との県境付近に形成されていた海風の収束によって発生した対流セルが次第に組織化して、三国山付近から東に延びる線状降水帯となった。降水帯の最盛期では、対流セルが降水帯の先端の三国山付近で、下層の冷氣塊や地形の効果により発生し、その後、中層の西風によって東に移動していた。対流セルが東に移動している間も、海上からの暖気が降水帯の冷氣外出流と収束し、降水帯に沿って上昇して、降水帯を維持させていた。これらの気流構造から、2007 年 8 月 22 日に鳥取県で発達した線状降水帯は、「バックアンドサイドビルド型」と呼ばれるタイプであることがわかった。

本課題では、GPS 可降水量データなどの観測データ、GPS 掩蔽データを同化した初期値からの予報やアンサンブル予報の結果等を、地方官署の担当者に提供するとともに、ドップラーレーダの動径風を用いた解析法などを大阪管区気象台の地方共同研究のホームページなどに掲載したりして、地方官署の担当者と情報を共有しながら、解析を進めてきた。ドップラーレーダの動径風データや GPS 可降水量データを利用すると、降水帯の 3 次元構造や維持機構を解析することができ、模擬観測データに恣意的な値を与える感度実験の代わりに、アンサンブル予報のメンバーの出力を用いると、より現実に近い状況下での豪雨の要因等を調べることができる。本課題で示したこれらの手法や結果は、今後の地方官署における調査研究の参考になることが期待でき、気象研究所技術報告に投稿するべく作業を進めている。

今後に残された問題点

現段階では、個々の事例解析にとどまっており、目的であった「降水強度の変化・移動の予測を試みる」ことが達成できていない。各事例の共通点、相違点、タイプ別分類、これまでの一般論との関係、新しい知見など、全体としてのまとめを行い、得られた知見が予報現場の作業にどのようにインパクトを与えるのかについても議論する必要がある。

成果の活用に関する意見（事後評価の総合所見）

強雨をもたらす線状降水帯の形成機構解明のため、線状降水帯の振る舞いと構造について、最新の観測データ、数値モデル、同化技術、アンサンブル予報技術を用い、多数の事例解析を行っている。ホームページを利用して研究担当者間で情報共有し、NHM シミュレーションの活用など、専門研究者、管区、各地方官署の連携しながら行なった研究であり、多くの解析結果を得ている。すでに1編の論文が日本気象学会誌「天気」にも投稿されているが、さらに多くの事例の解析結果、あるいは総合報告が学術雑誌に掲載されることを期待する。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 1 件
- ・口頭発表件数 38 件

成果発表一覧

1. 査読論文

1. 栗原佳代子・金森恒雄・瀬古弘、2003 年 7 月 18 日に広島県で発生した線状降水帯 ―気象庁非静力学モデルで解析した気流構造と地形や中層乾燥気塊の効果―、天気、accepted.

2. 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説） なし

3. 口頭発表

1. 朝原信長・瀬川知則・野村武司・鎌倉和夫、大阪平野における前線南下時にみられる線状降水帯の特徴について、大阪管区气象台、平成 19 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 19 年 11 月
2. 斉藤康博・福原正明・山岡英夫・北村美沙子・西秀紘、強雨をもたらす線状降水帯の形成機構等の解明について（その 1）、徳島地方气象台、平成 19 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 19 年 11 月
3. 福原正明・山岡英夫・北村美沙子・西秀紘・斉藤康博、強雨をもたらす線状降水帯の形成機構等の解明について（その 2）、徳島地方气象台、平成 19 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 19 年 11 月
4. 原田延明・友田義則・小菅威、2004 年 5 月 17 日の線状降水帯について、彦根地方气象台、平成 19 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 19 年 11 月
5. 鳥山暁人・濱田岩彦・佐藤兼太郎・石田保明、強雨をもたらす線状降水帯の構造や維持機構について、舞鶴海洋气象台、平成 19 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 19 年 11 月
6. 伏木一朗・井口一・秋山幸三、2007 年 3 月 31 日の前線南下に伴う線状降水系の構造について（気象庁非静力学モデルを用いた考察）、神戸海洋气象台、平成 19 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 19 年 11 月
7. 西川哲也・佐藤祐一・東克彦、紀伊水道付近のエコーの発達、衰弱について（平成 19 年度地方共同研究関連）、大阪管区气象台、平成 19 年度大阪管区調査研究会誌、平成 19 年 11 月
8. 金森恒雄・栗原佳代子・瀬古弘、線状降水帯の気流構造、広島地方气象台、平成 19 年度大阪管区調査研究会誌、平成 19 年 11 月
9. 大谷修一・安田亜樹・金森恒雄、広島湾で発達する降水エコー（2006 年 7 月 2 日）、広島地方气象台、平成 19 年度大阪管区調査研究会誌、平成 19 年 11 月
10. 大谷修一・宇都宮幹也・金森恒雄、広島豪雨の発生メカニズム、広島地方气象台、平成 19 年度大阪管区調査研究会誌、平成 19 年 11 月
11. 金森恒雄・栗原佳代子・瀬古弘、線状降水帯の気流構造 ―2003 年 7 月 18 日―、関西支部 2007 年度第 1 回例会、平成 19 年 11 月
12. 大谷修一・宇都宮幹也・金森恒雄・瀬古弘、広島豪雨の発生メカニズム ―1999 年 6 月 29 日―、関西支部 2007 年度第 1 回例会、平成 19 年 11 月
13. 足立誠・吉村満、2007 年 8 月 31 日の隠岐の大雨について、大阪管区气象台、平成 19 年度大阪管区調査研究会誌、平成 19 年 11 月

14. 足立誠・吉村満、2007 年 8 月 31 日の隠岐の大雨について、大阪管区气象台、平成 19 年度中国地区気象研究会、平成 20 年 1 月
15. 加藤伸一・岸本満・小林光昌・谷口秀隆、奈良県に影響する線状降水帯について、奈良地方气象台、平成 19 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 19 年 11 月
16. 古田圭・矢尾信嗣・池田英紀・寺尾克彦・田中滋司・谷俊昭、2007 年 8 月 22 日の鳥取県東部の線状降水帯について、鳥取地方气象台、平成 19 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 19 年 11 月
17. 河野誠・佐伯準司・新田正明・石山満・一木健史・林哲也・古家隆子、2004 年 5 月 13 日の線状降水帯について（JMANHM による感度実験）、京都地方气象台、平成 19 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 19 年 11 月
18. 山下寛・武田寅彦・栗原佳代子・金森恒雄・熊原義正・瀬古弘、近畿地方や中国四国地方の線状降水帯の構造と維持機構、日本気象学会 2007 年春季大会、平成 19 年 5 月
19. 牧田広道・岩本久雄・飯田早苗・朝原信長・濱崎博史・瀬川知則・鎌倉和夫、大阪平野における線状降水帯の発生機構について～2004 年 5 月 13 日の事例 実況解析編～、大阪管区气象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月
20. 瀬川知則・岩本久雄・飯田早苗・朝原信長・濱崎博史・牧田広道・鎌倉和夫、大阪平野における線状降水帯の発生機構について～2004 年 5 月 13 日の事例 数値実験編～、大阪管区气象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月
21. 牧田広道・岩本久雄・飯田早苗・朝原信長・濱崎博史・瀬川知則・鎌倉和夫、線状降水帯の事例解析、日本気象学会関西支部例会（四国地区）、平成 20 年 12 月
22. 瀬川知則・岩本久雄・飯田早苗・朝原信長・濱崎博史・牧田広道・鎌倉和夫、大阪平野における線状降水帯の発生機構について～2004 年 5 月 13 日の事例～、日本気象学会関西支部例会（四国地区）、平成 20 年 12 月
23. 熊野繁明・平井明宏・斉藤康博・横田力・奥村賢二・北村美沙子、強雨をもたらす線状降水帯の形成機構等の解明について、徳島地方气象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月
24. 石橋正登・中塚賢治・秋山幸三・原田延明・吉田康夫、2008 年 9 月 2 日の線状降水帯について、彦根地方气象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月
25. 佐藤兼太郎・石田保明・佐伯準司、2008 年 7 月 28 日の線状降水帯について、舞鶴海洋气象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月
26. 小山芳太・小西誠二・泉 敏治・金森恒雄、2008 年 7 月 28 日の大雨、神戸海洋气象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月
27. 今野暁・田中秀樹・小山芳太・金森恒雄、2007 年 3 月 31 日の前線南下に伴う線状降水帯の構造について、神戸海洋气象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月
28. 金森恒雄・小山芳太・小西 誠二・根本和宏、2008 年 7 月 28 日に発生した大雨（速報）-六甲山南麓に位置する都賀川で発生した濁流水難事故について-、日本気象学会関西支部例会（四国地区）、平成 20 年 12 月
29. 西川哲也・山本博之・丹治幸子、線状降水帯の形成機構等の解明について（平成 20 年度地方共同研究関連）、大阪管区气象台、平成 20 年度東京管区調査研究会誌、平成 20 年 11 月
30. 瓜生由明・神例孝典・東克彦・末永和貴・菅原道智、2006 年 9 月 16 日から 17 日の大雨について（平成 20 年度地方共同研究関連）、広島地方气象台、平成 20 年度大阪管区調査研究会誌、平成 20 年 10 月
31. 堀川和久・濱田卓二・足立誠・佐々木啓壮、2007 年 3 月 31 日の線状降水帯について、大阪管区气象台、平成 20 年度大阪管区調査研究会誌、平成 20 年 11 月
32. 足立 誠・瀬古 弘、2007 年 8 月 31 日の隠岐の大雨について（第 2 報）、大阪管区气象台、平成 20 年度大阪管区調査研究会誌、平成 20 年 11 月
33. 山本陽子・岸本満・小林光昌・野中栄作・伊藤晋悟、奈良県に影響する線状降水帯について その 2、奈良地方气象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月

34. 若狭剛史・矢尾信嗣・長谷川和美・米井達也・河崎浩志・神谷洋輔・寺尾克彦、2007 年 8 月 22 日の鳥取県東部の線状降水帯について（その 2）、鳥取地方気象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月
35. 坂本啓・河野誠・石山満・小野善史、2008 年 6 月 20 日の線状降水帯の事例について、京都地方気象台、平成 20 年度大阪管区府県気象研究会誌、平成 20 年 11 月
36. 瀬古弘・斉藤和雄・國井勝・原昌弘・三好建正・足立誠・金森恒雄、LETKF を用いた B08RDP 実験と日本域豪雨実験、日本気象学会 2008 年秋季大会、平成 20 年 11 月
37. 瀬古弘・斉藤和雄・國井勝・原昌弘・三好建正・足立誠・金森恒雄、LETKF を用いた日本域の豪雨再現実験、非静力学モデルに関するワークショップ、平成 20 年 11 月
38. 瀬古弘・斉藤和雄・國井勝・原昌弘・三好建正・足立誠・金森恒雄、LETKF を用いた日本域の豪雨再現実験、天気予報研究会、平成 21 年 1 月

非降水エコーの出現状況の把握と利用可能性に関する研究

研究期間： 平成 19 年度～平成 20 年度

研究代表者： 楠研一（台風研究部）

研究担当者： 新千歳航空測候所 成田航空地方気象台 中部航空地方気象台、福岡航空測候所

研究の目的

非降水エコーの出現頻度・空間分布・大気環境との関係を明らかにするとともに、ゾンデデータなど真の風と比較してトレーサーとしての精度を評価する。さらに、台風に伴う暖湿気流と積乱雲発生との関連性や海陸風や水平ロール対流などの局地循環を調べる。

研究の到達目標

- (1) 非降水エコー出現にかかわるデータベース構築
- (2) 気象現象との関連性の調査と解析
- (3) トレーサーとしての精度評価

研究の概要

- (1) 非降水エコー出現にかかわるデータベース構築
 - ①空港気象ドップラーレーダーによる非降水エコー出現の統計調査
 - (a) 日変化、季節変化
 - (b) 鉛直・水平分布
 - (c) 形状、反射強度特性の調査
 - ②ACARS、ゾンデ、地上気象データによる大気環境の調査
上記①で得られた非降水エコー出現日について、地上気温、地上風、湿度、気圧減率など大気環境を特徴付けるパラメータを抽出する
 - ③データベース
①②をデータベース化する。
- (2) 気象現象との関連性の調査と解析
非降水エコーと気象現象との対応（例：海風前線、水平対流ロール、台風に伴う暖湿気流）を調査し、ドップラー速度からわかるウインドシアの状況や降水現象との関連性（例：降水エコーに先行したシアライン、新たな降水雲が発生）を解析する。
- (3) トレーサーとしての精度評価
真の風（ACARS、ゾンデデータ）と非降水エコーのドップラー速度とを比較し、トレーサーとしての精度評価と行なう。

研究成果

(1-1) 非降水エコー出現の統計的特徴

全国 8 箇所にある空港気象ドップラーレーダーのうち、緯度による出現の違いを視野に入れ、北から南まで広く位置するような 4 か所の空港気象ドップラーレーダー（新千歳・成田・中部・福岡）のデータを用いて調査を行った。空港気象ドップラーレーダーは常時、多仰角 PPI スキャンを行なっているが、そのなかで最低仰角の 0.7 度データを利用した。これは、非降水エコーの厚みは過去の研究からせいぜい高度 2km と言われているため、この仰角のデータが解析には最適と考えたためである。また、このように非降水エコーは地面付近の低層に発生することから、エコーの出現特性は地上気象の条件に大きく影響されるものと考えられる。そのため、非降水エコー出現の大気環境を調査するために、地上気象に着目した。地上風、地上気温、日照時間、湿度について、DRAW 官署データや近傍のアメダスデータを用いて、関連性の調査を行なった。その結果、

- ①水平分布：非降水エコーの出現場所の頻度分布を調査した結果、その出現領域日は陸上中心であり、海上にはほとんど出現しないことがわかった。
- ②非降水エコーの日変化の特徴：出現した非降水エコーについて、一日あたりの出現頻度を 1 時間間隔で時刻ごとにまとめた。その結果、非降水エコーは基本的には日中に出現することがわかった。さら

に、その出現は日の出時刻、消滅は日の入時刻とほぼ一致した。また日中の出現とは別に、日の出日の入前後の薄暮期に別な短い出現ピークをもち、日変化全体として2-3峰性の特性をもつこともわかった。

- ③季節変化の特徴：5月ころから出現が始まり、暖候季には、非降水エコーは非降水時のうち30-80%（日中は80%前後）出現する反面、11月以降はほとんど出現しないことがわかった。

④地上気象との関係

空港気象ドップラーレーダー近傍のアメダスデータおよび、官署データをもとに、非降水エコーの出現と地上気象との関係を調査した。その結果、非降水エコーは気温と風速に大きく依存し、低温時および強風時には出現頻度が減少することがわかった。

(1-2) 現業利用に関する留意事項

- ①非降水エコーは豊富に出現するため、将来の晴天大気モニターの現業化の潜在的なポテンシャルを持つ。
- ②出現特性に関連し、現業利用の制限があることが示唆された。
- ・ 利用領域は陸上のみ
 - ・ ほぼ日中に限られる
 - ・ 風速が強い、あるいは気温が低いと出現しない。従って、空港気象ドップラーレーダーにて、非降水以上、エコーを現業利用する場合は、地上気温や風速などを同時にモニターして品質管理する必要がある。

(1-3) 大気現象との関連性の調査と解析

海風前線に代表される、ウインドシアを示唆するライン状の非降水エコーと大気現象との対応を解析した。選択した事例は2005年6月24日7月22日、8月8日、8月15日で、それらの概要は次のとおりである。

いずれの非降水エコーも、ドップラー速度、各種速度シアで風の急変域を示唆するパターンとなっており、さらにその場所はアメダスで解析される収束域に対応していた。ライン状非降水エコーが通過するタイミングで、地上気象（滑走路）の風の急変が見られた。パイロットレポートによるウインドシア遭遇との対応関係はみられなかったが、非降水エコーのパターンによりウインドシアが捉えられることが示された。またドップラー速度と民間航空機の通報するACARSデータの解析から、非降水エコーが及んでいる領域は、1000-3000ftに及んでいることがわかった。

非降水エコーの解析を通じて、航空機に危険な晴天下における低層ウインドシアおよびそれをもたらす局地循環の構造についての詳細な知見を得ることができた。今回の研究を通じて、航空機の安全運航のための予報精度向上に資することが出来るとともに、ドップラーレーダーデータやACARSデータに関する調査・解析能力の向上が見込まれる。

さらに現在は、現業レーダーの急速なドップラー化という観測環境の大きな変革の時期にある。航空官署のみならず、一般現業官署においても調査研究の参考になることが期待される。

今後に残された問題点

- ・ トレーサーとしての精度評価

空港気象ドップラーレーダーで観測される非降水エコーの原因は昆虫などのバイオ粒子と考えられることから、非降水エコーの風のトレーサーとしての精度評価を行う必要があると考えた。そのため真の風と非降水エコーのドップラー速度とを比較する予定であった。この評価のためにはACARS（民間航空機の通報データ）や高層ゾンデが非降水エコーの存在する領域を偶然通過したデータを統計的に解析する必要がある。現実にはこのようなデータは非常に少ないことがわかり、精度評価はできなかった。この評価をするために、今後、民間航空機の発着頻度の多い成田空港などに着目し、統計期間を十分長く取った大掛かりな調査を実施する必要がある。

成果の活用に関する意見（事後評価の総合所見）

以前から断片的に知られていた空港気象ドップラーレーダー観測における非降水エコーの出現に

- ・ACARS だけでなく非降水エコーの発現と近い時刻のラジオゾンデデータやウィンドプロファイラデータ、毎時大気解析データと比較することで一定の精度評価が可能と考えられる。

- ・印刷発表件数 なし
- ・口頭発表件数 7件

1. 査読論文 なし

- ### 3. 口頭発表

- 200 –