

2.3. 研究終了報告

本節には、気象研究所が実施し、平成 21 年度に終了した研究課題のうち気象研究所予算による下記課題について、課題毎に計画と研究成果等を掲載した。

2.3.1. 重点研究

- ・温暖化による日本付近の詳細な気候変化予測に関する研究（特別研究）…………… 94

2.3.2. 地方共同研究

- ・都市域に強雨をもたらす降水系の構造と環境の調査…………… 108
- ・北海道東方沖における震源決定のための走時計算法改良の検討…………… 113
- ・ウィンドプロファイラを用いた台風の立体構造に関する解析的研究…………… 115
- ・沖縄地方の固有的な地震に関する研究…………… 118

温暖化による日本付近の詳細な気候変化予測に関する研究（特別研究）

研究期間： 平成 17 年度～平成 21 年度
 研究代表者： 野田彰¹⁾、鬼頭昭雄²⁾（気候研究部長）

課題構成及び研究担当者：

副課題 1 温暖化予測地球システムモデルの開発

鬼頭昭雄、行本誠史、楠 昌司、尾瀬智昭²⁾、吉村 純、小畑 淳³⁾、内山貴雄⁴⁾、馬淵和雄⁵⁾、保坂征宏、足立恭将²⁾、遠藤洋和²⁾、坂見智法²⁾（気候研究部）、柴田清孝、直江寛明⁶⁾、田中泰宙⁷⁾、出牛 真⁷⁾（環境・応用気象研究部）、石崎 廣、本井達夫⁷⁾、平原幹俊、辻野博之、中野英之²⁾（海洋研究部）、井上豊志郎¹⁾（気象衛星・観測システム研究部）、諸岡浩子⁸⁾、及川義教⁹⁾、吉松和義¹⁰⁾、大野浩史⁶⁾（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

副課題 2 精緻な地域気候モデルの開発

栗原和夫、佐々木秀孝、高薮 出、村崎万代、内山貴雄¹¹⁾（環境・応用気象研究部）、石崎 廣、本井達夫⁷⁾、平原幹俊、辻野博之（海洋研究部）、齋藤仁美⁹⁾、北島俊行⁶⁾（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

研究の背景・目的

わが国における地球温暖化対策を推進するため、特に、水資源・河川管理、治山・治水、防災、農業、水産業や、保健・衛生などの分野など気候の変化に敏感で脆弱な分野を考慮した温暖化予測情報を提供できるよう、地域的温暖化予測を総合的に行う数値モデルを開発し、日本付近の地域気候変化予測を行う。

研究の到達目標

別研究課題により開発している炭素循環モデル、エーロゾル化学輸送モデル、オゾン化学輸送モデルなどの各種物質輸送モデルを大気海洋結合モデルに取り込んだ「温暖化予測地球システムモデル」（以下「地球システムモデル」）を開発する。また、わが国特有の局地的な現象を表現できる分解能を持った精緻な地域気候モデル（雲解像地域気候モデル）を開発して予測の不確実性を低減し、各種施策の検討に必要な空間的にきめ細かな予測を行う。

主な研究成果

（課題全体の研究成果の概要）

地球システムモデルを開発した。また、精緻な 4km メッシュ非静力学地域気候モデル（NHRCM）を開発した。地球システムモデルを用いた温暖化予測実験を行い、その実験結果を境界値とし、4km メッシュ NHRCM により空間的にきめ細かな予測を行った。

（副課題ごとの研究成果）

副課題 1 温暖化予測地球システムモデルの開発

新しい大気海洋結合モデル MRI-CGCM3 を開発し、それに炭素循環モデル、エーロゾル化学輸送モデル、大気化学気候モデル（オゾン化学輸送モデル）を組込んだ地球システムモデルを開発した。これにより、地球の気候システムを構成する気候要素（大気、海洋、陸面、雪氷、生態）間の物質交換と輸送を取り扱うことができるようになり、温室効果気体やエーロゾルの排出シナリオから直接温暖化予測を行うことが可能となった。このモデルを用いて、温室効果気体やエーロゾルの排出量を与えた温暖化予測実験を行い、モデルの精度評価と予測結果の解析を行った。モデル開発の詳細は以下のとおり。

モデル統合

- ・ IPCC 第 5 次評価報告書への寄与をも考慮し、世界トップレベルの性能を目指すべく、大気

¹⁾ 平成 17～18 年度、²⁾ 平成 19～21 年度、³⁾ 平成 17～18 年度は環境・応用気象研究部所属、⁴⁾ 平成 17 年度、⁵⁾ 平成 18 年度、⁶⁾ 平成 20～21 年度、⁷⁾ 平成 18～21 年度、⁸⁾ 平成 17～20 年度、⁹⁾ 平成 18～19 年度、¹⁰⁾ 平成 21 年度、¹¹⁾ 平成 18～20 年度

モデルの水平解像度を TL159 (約 110km)、海洋モデルを $1^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ の 3 極 (tripolar) 座標とした。最新の精緻化されたエアロゾル化学輸送モデル、大気化学気候モデルは計算コストが大きい、開発したカップラー Scup によって異なる解像度で結合可能とし、地球システムモデルとして効率的に動作するように開発した。これを用いた基準実験では気候および各種物質循環についてほぼ満足すべき現在気候の表現性能が確認された。

- ・ 気候モデルにおいて、取り扱う物質の厳密な保存性が重要である。そこでまず水収支を常時監視する仕組みを組み込み、大気、海洋、陸面 (河川、氷床含む) で厳密な保存性の確認と移動量の把握ができるようになった。この仕組みは将来、他の物質についても拡張可能となっている。

大気モデル関連

- ・ 地球システムモデルの基本となるコンポーネントである大気モデル (GSMUV) について、新スキームの導入、様々な改良を行った。

- ・ 新積雲対流スキームの導入

新しいマスフラックス型積雲対流スキームの開発を行い、大気モデルに組込んだ。このスキームでは、最大および最小のエントレインメント率を持つ二つの積雲プリュームを精緻に計算し、その中間のエントレインメント率を持つ積雲アンサンブルの効果も補間的に計算して表現している。積雲上昇流 (アップドラフト) では組織的エントレインメント・組織的デトレインメント・乱流エントレインメント・乱流デトレインメントを考慮している。積雲の背の高さ別に CAPE の大きさを求めマスフラックスを決定するクロージャー仮定を用いている。また、積雲下降流 (ダウンドラフト) の表現、積雲による水平運動量輸送の気圧傾度力なども精緻に取り扱っている。鉛直輸送に保存性のあるセミラグランジュ法を使用するなど各所に独自性を備えている。

エアロゾルモデル・オゾンモデルとの結合への対応として、積雲による輸送計算に必要なエントレインメント・デトレインメント等の情報を Scup 経由で渡すようになっている。また、新しい雲スキームへの対応として、積雲スキームの中で雲水と雲氷を独立した予報変数にするオプションを用意した。

- ・ 2モーメントバルク雲スキームの導入

エアロゾル-雲相互作用を表現し、エアロゾルの直接効果・間接効果を精緻に表現するため、雲粒数・雲粒の有効半径に依存する雲スキーム・雲放射スキームを新たに導入した。同種であっても異なる半径のエアロゾルが核となる雲粒の数を正確に評価するためのビン法を開発し、ダストと海塩が核となる雲粒に対して導入した。雲粒の有効半径に関しては Takemura (2005) 層積雲用から拡張した Liu (2006) を組み込んだ。エアロゾルの数密度の湿度依存性に関して Chin (2001) による方法 (エアロゾルが溶解しない仮定) と Kohler 理論にもとづく方法 (エアロゾルが完全に溶解すると仮定) と 2 種類組み込んで比較した。以上のスキーム開発により、エアロゾル自身による放射強制力およびエアロゾルを核とする温かい雲による放射強制力・エアロゾルに依存する雲水-降水変換率を定量的に評価できるようになった。

この雲スキームを用いて雲および放射分布と雲の温暖化へのインパクトを解析した。大気上端の放射収支は全球平均・帯状平均で見た場合、よく再現されている。乱流風速の小さい自由大気中ではエアロゾルの活性化が弱いため、従来のモデルに比べて雲量が少なくなる傾向があることがわかった。

- ・ 新陸面モデルの開発・導入

陸面モデルは、これまで simple biosphere (SiB, Sellers et al. 1986; Sato et al. 1989) に土壌 3 層化などの改良をした SiB0109 を用いてきたが、積雪と土壌について任意の層数をとることを可能とし、さらに格子内の複数植生 (モザイク植生) を取り扱い可能とする新しいモデル HAL (Hosaka, in preparation) を開発し導入した。

- ・ 海面過程の改良

大気モデル海面過程にスラブ海洋モデルを組み込み、気候感度の評価等が容易に計算可能とした。海水過程に簡易的な海水厚分布 (格子内での海水厚の不均一性) を考慮することにより、大気海洋結合モデルにおいて海水分布の再現性、長期積分におけるドリフトをある程

度制御できるようになった。また、海面スキン（表皮）層を簡易な方法で導入し、日変化等の短い時間スケールの海面表皮温度の変化と積雲対流等との相互作用が表現可能となった。

- ・ 大気化学気候モデルとの結合に適合するように大気モデルの鉛直レベルの検討を行い、新しい鉛直構造を選定した。鉛直層の数を 48、モデルトップを 0.01hPa として、上部成層圏まで十分に表現可能とした。
- ・ 大気モデルの解像度によらない河川モデル、ならびに湖スキームを導入することにより水循環表現の高度化を行った。
- ・ 大気境界層過程の改良

境界層スキームは、Mellor and Yamada (1974,1982) (MY) で提唱された乱流モデルであり、2次クロージャーモデルである。これに Nakanishi (2001), Nakanishi and Niino (2004, 2006) (MYNN) を参考に、クロージャー定数と混合長の評価を変更した。MYNN は、Large Eddy Simulation (LES) の結果を用いてクロージャー定数の見直しを行い、MY では無視していた浮力の効果を表す項と風速シアの効果を表す項を導入した。

海洋モデル関連

- ・ 全球海洋モデルにおいて地理座標をモデル座標とした場合の北極点での特異性を回避するために、まず、モデルの極を(75N, 40W)と(75S, 140E)に移動した球座標系による全球海洋モデルを開発した。しかしながら、極移動した球座標系による全球海洋モデルには、①極付近の格子点集中による計算効率の低下、②モデル赤道と地理赤道の不一致、という問題がある。そのため、ジューコフスキー (Joukowski) 変換によって生成される座標系を用いた全球海洋モデルを開発した。このジューコフスキー (Joukowski) 変換によって生成される座標系は、①全領域で比較的一様な解像度を実現できる、②モデル赤道と地理的赤道とのずれが小さい、③地理座標に変換せず物理量の分布を概観できる、などの点で極移動した球座標系に比べて優れている。最後に、3極 (Tripolar) 座標を使用した全球海洋モデルを開発した。この座標系のモデルにより、北極点での特異性を回避し、かつジューコフスキー変換によって生成される座標系の 1.2 倍程度の計算コストで北極海の数倍の高解像度化が可能であることを確認した。また、3極座標ではベーリング海峡以南は地理座標と一致するため、ジューコフスキー変換によって生成される座標系と比較して取り扱いが容易である。以上のことから、地球システムモデルでは、海洋モデルに3極座標を用いることとした。
- ・ 水平解像度に関しては、水平分解能 1×1 度、低緯度で緯度 0.3 度としてテストランを行い、海氷も含めて順調な結果が得られた。次に、1×0.3 度の格子で海洋単体ランを行った結果、黒潮の日本海への流入を抑制でき、低解像度 (1 度以上) 版で生ずる日本海の昇温バイアスは改善された。一方、黒潮が房総沖で離岸せず低解像度における結果よりも高速で北上するため、三陸沖の昇温バイアスはむしろ増大することがわかった。このことから、地球システムモデルで用いる海洋モデルの解像度は 1×0.5 度が適当であると判断し、これを採用することとした。
- ・ 海洋モデル (MRI.COM) に任意の個数の受動的トレーサを置き、各瞬間の3次元的な流速場に乗って移流拡散させることが可能となった。任意の初期状態の設定も可能である。移流過程・拡散過程の標準形式及びオプションは能動的トレーサ (水温・塩分) とまったく同じである。生成・消滅項は各トレーサごとに別々に与えなければならないが、種々の化学物質などの移流拡散過程を一括して扱えるようになった。
- ・ 海洋モデルにおける物質拡散・粘性スキームを改良し、渦拡散パラメタリゼーションにおける非等方性を表現することを可能にした。
- ・ その他、従来は陸面モデルで湖とされていた黒海を海洋モデルで扱うようにした。また領域別海面フラックス等の診断ツールを整備した。
- ・ 気候の変動性と予測可能性に関する研究 (CLIVAR) のモデルパネルである海洋モデル開発ワーキンググループ (WGOMD) で、温暖化実験で用いられる海洋モデルには実行することが国際的に推奨されている CORE (Coordinated Ocean Reference Experiments; Griffies et al., 2009) に準拠した実験を行った。適切な外力を与えるとき、北大西洋子午面循環や南極周極流などの主要な海洋循環を現実的な範囲で再現可能であることを確認した。また、予備

的に行われた結合実験の結果と比較したところ、結合モデルの海洋では亜熱帯循環・亜寒帯循環境界が低緯度側へシフトする傾向が見られた。海洋にとっての外力である海面西風応力の位置が現実よりも南偏していることがこの原因と考えられる。

エーロゾルモデル

- 改良版エーロゾルモデル MASINGAR-mk2 を大気モデル GSMUV とカップラー Scup によって結合することができるよう開発した。また、オゾンモデル (MRI-CCM) との間も Scup によりオンラインで結合することが出来るよう開発し、エーロゾル-微量気体の相互作用を含む数値実験も実行可能となった。

大気化学モデル

- 気象研究所成層圏オゾン化学気候モデル (MRI-CCM) に、カップラー Scup を組み込み、最新の大気モデル (GSMUV) と MRI-CCM が Scup を用いて相互作用を伴い結合できるようにする開発を行った。計算機資源節約のため MRI-CCM と大気モデル GSMUV 間の結合を空間解像度が異なる場合でも対応できるようにした。また、MRI-CCM の高速化も行った。
- さらに、大気化学気候モデルにおいて詳細な対流圏化学反応過程の導入を行うことで、オゾンのみならずメタンの詳細な化学過程を取り入れ、対流圏オゾンの予測を可能とした。
- 新たに組み込んだ対流圏大気化学過程の再現性を評価するために、現在気候の再現実験を行いさまざまな観測値との比較を行った。その結果、モデルで再現された対流圏オゾン濃度は高緯度域において若干のバイアスがあるほかは全球的に観測と良い一致を示し、その季節変動も現実的なものであることがわかった。また、21 世紀後半まで行った長期シミュレーションにおいては、オゾンホールが 1980 年代のレベルに回復する時期が約 2060 年ごろであるという結果となっており、他の世界的な研究機関において示された予測時期と整合的な結果となった。

陸域炭素循環モデル

- 陸域炭素循環モデルの感度実験として、大気二酸化炭素増加による光合成促進効果 (施肥効果) を除去した場合、21 世紀の大気二酸化炭素増加と温暖化は従来の 3 割増しとなり、陸域生態系の表現の不確かさが温暖化予測に大きな影響を与えることが明らかになった。
- 気候炭素循環モデルを用いて、氷期終了以降の環境激変 (北大西洋への氷床融水流入) に対する気候炭素循環系の応答の解析を行った。その結果、北大西洋熱塩循環の弱まりによる北半球の寒冷化で陸域生態系が衰退し、これが古気候記録に見られる大気二酸化炭素微少増加 (10ppm 未満) の原因であることが明らかになった。
- 気候炭素循環モデルを用いて、北大西洋への淡水流入実験を将来の化石燃料炭素排出実験を行った。その結果、北大西洋熱塩循環停止による寒冷化は、高濃度の二酸化炭素による温室効果で実験開始 200 年後にはほぼ解消された。炭素循環については、陸域生態系の衰退よりも、海洋の深層への輸送の弱まりによる炭素吸収の減少が顕著となり、大気二酸化炭素は淡水流入無し標準実験に比べて増加した。これら一連の淡水流入実験により、通常は相関の良い気温と大気二酸化炭素濃度が時として逆相関 (寒冷化と二酸化炭素増加) を示す仕組みが明らかになった。
- 陸域生態系炭素循環過程モデルの高度化を行った。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。予備的実験としてこのモデルを従来の気候モデル (MRI-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。これにより、気温が大きく上昇した気候において、植物の光合成より呼吸の増大が卓越し炭素吸収が抑制される効果が表現できるようになった。
- 陸域生態系の炭素循環について植物の生理 (酵素や気孔の働きによる光合成等) や動的植生を表現する世界水準へ高度化したモデル (陸域生態系炭素循環モデル) を地球システムモデル (MRI-ESM, MRI-CGCM3) へ組み込んだ。
- 陸域生態系炭素循環モデルに対して地球システムモデルの予め計算された気候場を与えた非

結合実験を行い、モデルの植生分布や炭素循環の各要素（純一次生産、植生・土壌の炭素量等）がほぼ再現されることを確認した。

- ・ 陸域（高度化版）及び海洋の炭素循環モデルを MRI-CGCM2 へ組み込んだ気候炭素循環モデルを用いて、古気候の事例（暁-始新世高温期）に関連した大気メタン急激増加時の実験を行い気候炭素循環系の応答を解析した。その結果、メタンの激しい温室効果による高温化（全球で 6°C 上昇）が再現され、その高温障害により低緯度を中心として陸域生態系が急激に衰退する（全球で 3 割減）等、従来の 21 世紀温暖化予測を凌駕する環境激変であることが明らかになった。

海洋炭素循環

- ・ 生物化学過程をモジュール化して海洋モデル (MRI.COM) に組み込み、海洋炭素循環モデルを構築した。海面フラックス駆動の海洋単体モデルで物理場をスピニアップした後、一般的な化学トレーサ場を初期値として 100 年間の炭素循環シミュレーションを行い、おおむね妥当な結果を得た。

氷床モデル

- ・ グリーンランド氷床モデルを作成した。氷床は気候モデルが扱う現象と時間スケールが大きく異なるため、地球システムモデルへの組み込みはオンラインの結合でなく、境界値ファイルを介して行うこととした。

カップラー

- ・ 地球システムモデルの複数のコンポーネントモデルを結合する目的で汎用カップラー Scup (Simple coupler) の開発を行い完成した。Scup は、地球システムモデルの複数のコンポーネントモデルを結合する目的で開発された汎用カップラーである。「大気モデル (GSMUV)」と「海洋モデル (MRI.COM)」、「大気化学気候モデル (MRI-CCM)」、「エアロゾルモデル (MASINGAR)」を柔軟かつ効率的に結合することができる。欧州では汎用カップラー OASIS3, OASIS4 が開発されているが、高機能であるが故に極めて複雑な構造となっている。Scup は OASIS3, OASIS4 を参考としつつも、気象研究所のモデル群とスーパーコンピュータシステムに良く適合し、簡潔で使い易い機能を目指した。所内 WEB サイトを開設し、最新情報の共有化を容易にした。
- ・ カップラー Scup にコンポーネントの機能を追加し、モデル内の複数のコンポーネント（例えば大気と河川）がそれぞれ別の時間ループ・タイムステップを持つ場合に対応可能にした。

副課題 2 精緻な地域気候モデルの開発

わが国特有の局地的な現象を表現できる精緻な 4km メッシュ NHRCM を開発した。4km メッシュ NHRCM の下部・側面境界条件に用いる領域大気海洋結合モデルの高度化を行った。温暖化予測地球システムモデルを用いた温暖化予測実験の結果を境界値として、雲解像地域気候モデルにより、関東甲信越地方を対象に空間的にきめ細かな予測実験を行い、モデルの精度評価と予測結果の解析を行った。その詳細を以下にまとめる。

精緻な地域気候モデルの開発

- ・ 気象庁で開発・運用されている非静力学モデルをベースに、長期積分が可能な 4km メッシュの地域気候モデル（雲解像地域気候モデル）を開発した。領域は関東甲信越地方に設定した。
- ・ モデルには雲物理過程が組み込まれ、陸面過程には植物圏モデル (SiB) を用い、地表面付近の大気状況の表現の改善が見込まれるとともに積雪・土壌水分量などの予測も可能である。
- ・ 4km メッシュ雲解像地域気候モデルの精度評価のために、客観解析を境界条件とした長期積分を 2001 年 8 月から 2006 年 9 月までを対象に行い、結果を解析した。月降水量、平均、最高、最低気温などは年間を通じてよい再現がされること、降水 3 時間降水強度の頻度も、よく再現されることが確認された。
- ・ 4km メッシュ雲解像地域気候モデルの計算結果および国土交通省の観測データを比較しながら解析し、観測データから山岳における夏季の降水が標高とともに増加する傾向があること、雲解像地域気候モデルはこの特性をよく再現していることを明らかにした。
- ・ 4km メッシュ雲解像地域気候モデルを地球システムモデルにネスティングし、現在気候再現

計算、温暖化予測計算を行うシステムを整備した。

- 4km メッシュ雲解像地域気候モデルで、全球気候モデルにネスティングした現在気候再現実験を実施し、結果の解析を行った。その結果、冬季については、ほぼよい結果が得られたが、夏季については降水量が過大であった。また気温についても低温傾向が見られた。このようなバイアスは地球システムモデルのバイアスを引き継いでおり、この改善のためには地球システムモデルを含めたシステム全体の検討が必要であることがわかった。
- 4km メッシュ雲解像地域気候モデルを全球気候モデルにネスティングし、約 30 年後を対象に、関東甲信越地方について温暖化予測を行い、温暖化による気候変化の検討を行った。

領域大気海洋結合モデルの高度化

- 境界からのノイズが北海道・関東地方に影響を与える問題を解決するために、計算領域の拡大を行った。この結果、ノイズが日本の陸地にかかることは無くなり、計算精度が向上した。
- 冬型が系統的に弱く計算される問題に対応するために、20km メッシュ大気モデルの外側境界条件を与える 60km メッシュ大気モデルの計算領域を広域化した。
- 大気モデルの領域の広域化とともに、スペクトル境界結合 (SBC 法) のチューニングを行い、全球気候モデルの結果が、より強く反映されるようにした。これにより大規模場については全球気候モデルの結果が以前より忠実に再現されるようになった。
- 従来のモデルでは雲を多めに診断しているため、地上気温の日較差が観測よりも小さく、また海面水温にも影響している可能性が考えられる。そのため、雲量換算のチューニングを行った。また、地上気温のバイアスを補正するために、陸面過程モデルの改良を行った。
- 日本海北部における海面水温の高温バイアス解消のため、熱フラックスバルク式で、海面水温が海上気温より高い場合に風速を増すことにより、海洋から大気への潜熱・顕熱フラックスを増加させた。これは、重力不安定による対流が起こったときに、風の収束が起きることを模したものである。これにより、3 月の日本海北部における海面水温は最大 3°C 程度低下した。
- 領域大気海洋結合モデルの並列化性能を改善し、計算速度を向上させた。
- 領域大気海洋結合モデルの海洋部分については、日本周辺を 0.1 度 (緯度・経度) に高解像度化した海洋モデルを開発し、海洋モデル単体で JRA-25 を大気強制として再現実験を行ったところ、黒潮大蛇行の発生のタイミングなどは観測と必ずしも一致しないものの、黒潮流路などに改善が見られることを確認した。また日本海の SST の年々変動も観測とよく一致している。
- 日本周辺を 0.1 度 (緯度・経度) に高解像度化した海洋モデルによる海面水温を用いて、20km メッシュの地域気候モデル (RCM20) による 1985 年～2004 年までの 20 年間の連続積分を行い、高解像度の海面水温が日本周辺の気候に与える影響を調べた。その結果、黒潮の大蛇行、非大蛇行期の海上と日本列島沿岸部での大気場の対流活動の違いが明確に現れ、黒潮上での対流活動は強化されることが確認された。また、対馬暖流が日本列島の日本海側の降水に影響を及ぼしていることも示唆された。
- 地球システムモデルの結果と高解像度の海面水温を用いて、約 30 年後を対象に、RCM20 により温暖化予測を行い、温暖化による気候変化の検討を行った。疑似温暖化手法を用いた場合、疑似温暖化時には強い雨の頻度が増加する傾向があることが示された。RCM20 の結果を、4km メッシュ雲解像地域気候モデルを用いてダウンスケーリングし、温暖化時の結果の検討を行った。4km モデル結果では現在気候実験で降水量が過大に見積もられるなど、まだ改良の余地が残っているものの、気候場の細かい地形の影響などがより明瞭に現れた。

成果の他の研究等への波及状況

本研究で得られた成果は、21 世紀気候変動予測革新プログラムの「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」に対して有益な知見を与え、同研究の推進に寄与した。また地球環境研究総合推進費による「温暖化影響評価のためのマルチモデルアンサンブルとダウンスケーリングの研究」の推進にも寄与している。なお、RCM20 は地球環境研究総合推進費 S-4「温暖化影響総合予測プロジェクト」において広く利用された。また、それ以外にも日本域の各種影響評価研究

に、登場時本邦唯一の 20km ダウンスケーリングデータとして活用された。

今後に残された課題

地域気候モデルの結果は、境界値として用いる地球システムモデル（特に全球大気モデル）における対象領域の気候再現性に大きく影響されることがわかった。本研究で開発された地球システムモデルは、日本付近の特に夏季における気候再現性において、今後改良すべき点が見いだされた。モデルを高解像度化するとともに、積雲対流、雲・放射過程、大気境界層過程などの各種物理過程を高度化し改良して、梅雨や台風などアジア太平洋域に特徴的な現象を現実的に表現し、日本付近における気候再現性を向上させることが今後の課題である。

研究成果及びその活用に関する意見（事後評価の総合所見）

平成 22 年度に気象研究所評議委員会にて、事後評価を実施予定。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 56 件
- ・口頭発表件数 80 件

成果発表一覧

(1) 査読論文

1. Ashrit, R., 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.
2. Bates, B. C., Z. W. Kundzewicz, S. Wu and J. P. Palutikof (Eds.), 2008: Climate Change and Water, *Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
3. Cagnazzo, C., E. Manzini, N. Calvo, A. Douglass, H. Akiyoshi, S. Bekki, M. Chipperfield, M. Dameris, M. Deushi, A. M. Fischer, H. Garny, A. Gettelman, M. A. Giorgetta, D. Plummer, E. Rozanov, T. G. Shepherd, K. Shibata, A. Stenke, H. Struthers and W. Tian, 2009: Northern winter stratospheric temperature and ozone responses to ENSO inferred from an ensemble of Chemistry Climate Models, *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 8935-8948.
4. 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**, D16205, doi:10.1029/2007JD008432.
5. Kitoh, A., M. Hosaka, Y. Adachi and K. Kamiguchi, 2005: Future projections of precipitation characteristics in East Asia simulated by the MRI CGCM2, *Advances in Atmospheric Sciences*, **22**, 467-478.
6. Kitoh, A., and T. Uchiyama, 2006: Changes in onset and withdrawal of the East Asian summer rainy season by multi-model global warming experiments, *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 247-258.
7. Kitoh, A., 2008: Climate change, *Asia-Pacific Coasts and Their Management: States of Environment*. [Mimura, N. (ed.)], Springer, The Netherlands, 18-25.
8. Krishnan, R., V. Kumar, M. Sugi, and J. Yoshimura, 2009: Internal feedbacks from monsoon-midlatitude interactions during droughts in the Indian summer monsoon, *J. Atmos. Sci.*, **66**, 53-578.

9. Kurihara, K., K. Ishihara, H. Sasaki, Y. Fukuyama, H. Saitou, I. Takayabu, K. Murazaki, S. Yukimoto and 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.
10. 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.
11. Kusunoki, S. and R. Mizuta, 2008: Future Changes in the Baiu Rain Band Projected by a 20-km Mesh Global Atmospheric Model: Sea Surface Temperature Dependence, *SOLA*, **4**, 85-88.
12. Kusunoki, S., T. Nakaegawa, O. Arakawa and I. Yagai, 2009: Simulations of land-surface air temperature and land precipitation in the twentieth century by the MJ98 AGCM, *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 473-495.
13. Meehl, G. A., T. F. Stocker, W. D. Collins, P. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J. M. Murphy, A. Noda, S. C. B. Raper, I. G. Watterson, A. J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 747-845.
14. Murazaki, K., H. Sasaki, H. Tsujino, I. Takayabu, Y. Sato, H. Ishizaki and K. Kurihara, 2005: Climatic change projection for the ocean around Japan using a high-resolution coupled atmosphere-ocean regional climate model, *SOLA*, **1**, 101-104.
15. Obata, A., 2007: Climate-carbon cycle model response to freshwater discharge into the North Atlantic, *J. Climate*, **20**, 5962-5976.
16. Obata, A., 2009: Study of coupled climate-carbon cycle system by numerical modeling: oceanic interannual variability and response to freshwater discharge into the North Atlantic, *Doctoral dissertation, University of Tokyo*, 111 pp.
17. Sasaki, H., K. Kurihara and 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.
18. Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu, K. Murazaki, Y. Sato and H. Tsujino, 2006: Preliminary results from the Coupled Atmosphere-Ocean Regional Climate Model at the Meteorological Research Institute, *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 389-403.
19. Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu and T. Uchiyama, 2008: Preliminary experiments of reproducing the present climate using the non-hydrostatic regional climate model, *SOLA*, **4**, 25-28.
20. Sasaki, H. and K. Kurihara, 2008: Relationship between Precipitation and Elevation in the Present Climate Reproduced by the Non-hydrostatic Regional Climate Model, *SOLA*, **4**, 109-112.
21. Sato, Y., S. Yukimoto, H. Tsujino, H. Ishizaki and A. Noda, 2006: Response of North Pacific ocean circulation in a Kuroshio-resolving ocean model to an Arctic Oscillation (AO)-like change in Northern Hemisphere atmospheric circulation due to greenhouse-gas forcing, *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 295-309.
22. Sato, T., F. Kimura and A. Kitoh, 2007: Projection of global warming onto regional precipitation over Mongolia using a regional climate model, *Journal of Hydrology*, **333**, 144-154.
23. Scaife, A. A., F. Kucharski, C. K. Folland, J. Kinter, S. Bronnimann, D. Fereday, A. M. Fischer, S. Grainger, E. K. Jin, I. S. Kang, J. R. Knight, S. Kusunoki, N. C. Lau, M. J. Nath, T. Nakaegawa, P. Pegion, S. Schubert, P. Sporyshev, J. Syktus, J. H. Yoon, N.

- Zeng and T. Zhou, 2009: The CLIVAR C20C project: selected twentieth century climate events, *Clim. Dyn.*, **33**, 603-614.
24. Takayabu, I., H. Kato, K. Nishizawa, Y. N. Takayabu, Y. Sato, H. Sasaki, K. Kurihara and A. Kitoh, 2007: Future projections in precipitation over Asia simulated by two RCMs nested into MRI-CGCM2.2, *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 511-519.
 25. Yamaguchi, K., A. Noda and A. Kitoh, 2005: The changes in permafrost induced by greenhouse warming: A numerical study applying multiple-layer ground model, *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 799-815.
 26. Yamaguchi, K., and A. Noda, 2006: Global Warming Patterns over the North Pacific: ENSO versus AO, *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 221-241.
 27. Yoshimura, H. and S. Yukimoto, 2008: Development of a Simple Coupler (Scup) for Earth System Modeling, *Papers in Meteorology and Geophysics*, **59**, 19-29.
 28. Yoshizaki, M., C. Muroi, S. Kanada, Y. Wakazuki, K. Yasunaga, A. Hashimoto, T. Kato, K. Kurihara, A. Noda and S. Kusunoki, 2005: Changes of Baiu(Mei-yu) frontal activity in the global warming climate simulated by a non-hydrostatic regional model, *SOLA*, **1**, 25-28.
 29. 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), *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 333-363.
 30. Yukimoto, S., A. Noda, T. Uchiyama, S. Kusunoki and A. Kitoh, 2006 : Climate changes of the twentieth through twenty-first centuries simulated by the MRI-CGCM2.3, *Pap. Meteor. Geophys.*, **56**, 9-24.
 31. Yukimoto, S. and K. Kodera, 2007: Annular Modes forced from the Stratosphere and Interactions with the Oceans, *J. Meteor. Soc. Japan.*, **85**, 943-952.
 32. Yun, K.-S., S.-H. Shin, K.-J. Ha, A. Kitoh and S. Kusunoki, 2008: East Asian Precipitation Change in the Global Warming Climate Simulated by a 20-km Mesh AGCM, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, **44**(3), 233-247.
 33. Zhao, Z., A. Kitoh and D.-K. Lee, 2008: Warming in East Asia as a consequence of increasing greenhouse gases, *Changes in the Human-Monsoon System of East Asia in the Context of Global Change. (C. Fu, J.R. Freney and J.W.B. Stewart, Eds.)*, World Scientific Publishing, 105-114.

(2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

1. 遠藤洋和, 蒔苗仁, 森浩俊, 倉橋永, 栗原和夫, 2007: 20km 格子地域気候モデルによるヤマセ型低温の再現性と将来予測, *日本気象学会東北支部創立 50 周年記念文集*, 53-58.
2. 気象庁, 2005: IPCC の SRES A2 シナリオを用いた地域気候モデルおよび都市気候モデルによる気候予測, *地球温暖化予測情報第 6 巻*.
3. 気象庁, 2008: IPCC 温室ガス排出シナリオ A1B および B1 による日本の気候変化予測, *地球温暖化予測情報第 7 巻*.
4. 鬼頭昭雄, 2005: 温暖化で大雨は増えるのか, *科学*, **75**, 1155-1158.
5. 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.
6. 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.
7. 鬼頭昭雄, 2007: 気候モデルによる温暖化予測, *平成 18 年度地球温暖化防止対策国際合意形成調査研究報告書*, (財)地球産業文化研究所, 11-23.
8. 鬼頭昭雄, 2007: 地球温暖化—気候変動の行方—観測とシミュレーションの最新知見から見えてくるもの~, *資源環境対策*, **43**(15), 29-33.
9. 鬼頭昭雄, 2007: 地球シミュレータによる 100 年後の日本の気候, *エネルギー—いんぷおめいし*

よん, **31(8)**, 2-19.

10. 鬼頭昭雄, 2007: 温暖化で暖くなると豊作になる?, *環境会議*, **28**, 64-69.
11. 鬼頭昭雄, 2007: 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.
12. 鬼頭昭雄, 2009: 地球温暖化と異常気象, *理大科学フォーラム*, **296**, 27-31.
13. 鬼頭昭雄, 2009: 気候変動シナリオの実際と将来予測, *水循環 貯留と浸透*, **71**, 6-12.
14. 鬼頭昭雄, 2009: 地球システムモデルによる気候研究～温暖化研究と古気候研究の接点～, *日本地球惑星科学連合ニュースレター*, **5(4)**, 1-3.
15. 楠昌司, 2009: 地球温暖化と降水傾向, *季刊 河川レビュー*, **38(146)**, 4-11.
16. 楠昌司, 2010: 特集・今後の河川管理のあり方 気候の変化, *河川*, **66(3)**, 21-27.
17. 倉橋永, 遠藤洋和, 森浩俊, 栗原和夫, 2007: 20km 格子地域気候モデルによるヤマセ型低温の再現性と将来予測, *日本気象学会東北支部創立 50 周年記念文集*, 47-52.
18. 仙台管区气象台, 環境・応用気象研究部, 2008: 地球温暖化による東北地方の気候変化に関する研究, *気象研究所技術報告*, **52**, 82pp.
19. 高薮出, 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.
20. 高薮出, 2007: 地域気候モデルシステムによる日本周辺での降水の様相の将来の変化予測, *天気*, **54**, 617-621.
21. 虫明功臣, 福岡捷二, 鬼頭昭雄, 門松武, 2008: 気候変動と今後の対策, *河川*, **64(1)**, 12-25.
22. 行本誠史, 2007: 温暖化予測技術の高度化に関する研究, *地球環境研究センターニュース*, **18(7)**, 8-9.
23. 行本誠史, 2007: 地球温暖化予測の最近 20 年の進展, *天気*, **54**, 111-114.

(3) 会議・学会等発表

① 国際会議・学会等での発表

1. Ha, K.-J., K.-S. Yun, S.-S. Lee, S.-R. Jang, A. Kitoh and S. Kusunoki, 2007: Changes in the dominant patterns of Changma and rainy season, Third China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, November 13-16, 2007, Beijing, China.
2. Kitoh, A, 2006: East Asian monsoons in the future projected by IPCC AR4 models, East Asia Climate (EAC) Workshop, March 31-April 1, 2006, Nantou, Taiwan.
3. Kitoh, A, 2006: Monsoon simulations for the past, present and future by a coupled ocean-atmosphere GCM, Fourth International Symposium of IGCP-476, Septemebr 3-6, 2006, Pusan National University, Pusan, Korea.
4. Kitoh, A., and collaborators, 2007: Next generation model development at MRI, Third China-Korea-Japan Joint Conference on Meteorology, November 13-16, 2007, Beijing, China.
5. Kitoh, A., 2007: Recent climate modeling activity at MRI, Japan-Taiwan Joint Workshop for the EAMEX and MAHAASRI, 17-18 December 2007, Goura, Hakone, Japan.
6. Kitoh, A., 2007: Asia-Pacific climate in the future, Korean Meteorological Society Symposium Global Warming and Its Socio-Economic Impacts, 21 March 2007, Seoul, Korea. [Invited]
7. Kitoh, A., 2007: How robust is the ENSO-monsoon teleconnection? JMS011: Monsoon Systems, IUGG2007, July 2-13, 2007, Perugia, Italy. [Invited]
8. Kitoh, A., 2007: Projection of the change in future weather extremes, 2nd Asian Ministerial Conference on Disaster Risk Reduction, 7-8 November 2007, New Delhi, India. [Invited]
9. Kitoh, A., 2008: Simulation and projections of monsoon variability over South and East Asia, Institute on "The Asian Monsoon System: Prediction of Change and Variability", 2-12 January 2008, East-West Center, Honolulu, USA. [Invited Lecture]
10. Kitoh, A., 2008: Impact of climate change on Asian monsoon characteristics, WMO 4th

- International Workshop on Monsoons (IWM-IV), 20-25 October 2008, Beijing.
11. Kitoh, A., M. Hosaka and K. Kamiguchi, 2008: Impact of climate change on precipitation and riverflow, Symposium on Science and Practice of Basin-scale Water Policy for Population Upsurging Asia, 日本科学未来館.
 12. Kitoh, A., 2009: How is the climate of Japan changing and projected to change?, 日英ワークショップ: 気候モデリングとビジネスリスク, 駐日英国大使館.
 13. Kitoh, A., 2009: Climate modeling for adaptation to climate change in Asia, The Third GEOS Asia-Pacific Symposium, 4-6 February 2009, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan.
 14. Kitoh, A., 2009: Climate modeling activity in Japan, The Third GEOS Asia-Pacific Symposium, 4-6 February 2009, Kyoto Research Park, Kyoto, Japan.
 15. Kitoh, A., 2009: Toward seasonal climate forecasting and climate projections in future, Tokyo Climate Conference, Tokyo. [Keynote Lecture]
 16. Kitoh, A., 2009: Climate change projection for adaptation, Forum for Centennial Strategy for Adapting Climate Change and Reducing Water-related Disaster Risks, 29 September 2009, MITA KAIGISHO, Tokyo. [Keynote Speech]
 17. Kitoh, A., 2009: Climate change projection for adaptation, National Workshop on Adaptation to Climate Change in the Philippines: Development of Climate Change Scenarios, 19 October 2009, Torre Venezia Hotel, Quezon City, Philippines. [Keynote Speech]
 18. Kitoh, A., 2009: Climate change projection for adaptation, Local Seminar in Indonesia on the JICA regional training course "Capacity Development for Adaptation to Climate Change in Asia - Climate Change Analysis", 21 October 2009, Shangri-la Hotel, Jakarta, Indonesia. [Keynote Speech]
 19. Kitoh, A., 2009: Climate change projection for adaptation, JMA Seminar, JAMSTEC, Yokohama.
 20. Kitoh, A., 2009: Climate modeling activity at MRI, 12th International specialist meeting on the next generation models on climate change and sustainability for advanced high performance computing facilities, 24-26 March 2010, Epochal Tsukuba, Tsukuba.
 21. Kitoh, A., 2010: Climate change projection for adaptation, Seminar 2: Climate Change Master Plan for Energy Pricing Fluctuation and Food Security, Siam City Hotel, Bangkok, Thailand.
 22. Kurihara, K., 2008: Research on Regional Climate Projection at MRI, Seminar in KORDI (Korea Ocean Research and Development Institute), Korea.
 23. Kurihara, K., H. Sasaki, I. Takayabu, K. Murazaki and T. Uchiyama, 2008: Recent development of Regional Climate Models in MRI, Meeting of Regional Climate Modeling Intercomparison Project (RMIP) for Asia (Phase III), Beijing, China.
 24. Kurihara, K., 2010: Non-hydrostatic Regional Climate Model in MRI, RMIP (Regional Climate Model Intercomparison Project for East Asia) International Workshop, Tsukuba.
 25. Kusunoki, S., 2009: Modelo de proyección del clima de Japón, estudios de caso (日本の気候モデルによる温暖化予測の研究例), メキシコ・ユカタン半島における気候変動適応策策定支援 JICA プロジェクトによるセミナー, メキシコ, チェトマル市, 17 November 2009.
 26. Kusunoki, S., 2010: Future change in precipitation intensity of East Asian summer monsoon. Workshop on Predicting the Climate of the Coming Decades, 12 January 2010, Miami, Florida, USA.
 27. Murazaki, K., K. Kurihara, H. Sasaki, I. Takayabu, T. Uchiyama, 2007: A Regional climate simulation over Japan nested with JRA-25, Third WCRP International Conference on

- Reanalysis, Tokyo.
28. Kitoh, A., 2009: MRI Earth System Model, Joint IPCC-WCRP-IGBP Workshop: New Science Directions and Activities relevant to the IPCC AR5, 3-6 March 2009, East-West Center, Honolulu, USA.
 29. Obata, A., 2009: Climate-carbon cycle model study in MRI/JMA WMO Pre-CAS Technical Conference on "Environmental Prediction in the Next Decade: Weather, Climate, Water and the Air We Breathe", Incheon, Korea.

② 国内会議・学会等での発表

1. 荒川隆, 吉村裕正, 2008: 21世紀気候変動予測革新プログラムにおけるカップラー開発, 日本気象学会 2008年度春季大会.
2. 石原幸司, 2007: MRI-RCM20による温暖化予測結果に基づく不確実性の評価について, 日本気象学会 2007年度秋季大会.
3. 石原幸司, 2008: 地球温暖化に伴う確率降水量変化の都道府県別評価に向けて, 日本気象学会 2008年度秋季大会.
4. 尾瀬智昭, 末吉雅和, 2008: エルニーニョに伴う西太平洋降水変動の CMIP3 モデルによる再現性, 日本気象学会 2008年度春季大会.
5. 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.
6. 小畑淳, 2009: 大気メタン急激増加に対する気候炭素循環モデルの応答—1000倍増加に対する数十年規模の応答について—, 日本気象学会 2009年度秋季大会.
7. 鬼頭昭雄, 2006: 温暖化予測, 気候変動問題に対する中長期的取組みのあり方に関する検討委員会.
8. 鬼頭昭雄, 2007: 気候変化の自然科学的根拠, 地球環境と大気汚染を考える全国市民会議 (CASA).
9. 鬼頭昭雄, 2007: 気候変動予測の最前線, 第7回水資源に関するシンポジウム.
10. 鬼頭昭雄, 2007: 全球気候予測, IPCC WGI AR4 出版記念講演会.
11. 鬼頭昭雄, 2007: 地球温暖化の予測の最前線, 技術交流 in つくば.
12. 鬼頭昭雄, 2007: 気候変動予測研究の最前線, 地球環境と水の安全保障研究会.
13. 鬼頭昭雄, 2008: GCM 研究の最前線 (II), 気候変動将来推計情報の水分野での利用促進シンポジウム.
14. 鬼頭昭雄, 2008: 地球温暖化予測の最前線, 国土交通先端技術フォーラム.
15. 鬼頭昭雄, 2008: 地球温暖化の科学的評価, 気象大学校大学部4年生特修課程「気象業務論」.
16. 鬼頭昭雄, 2009: モンスーンと ENSO のモデリング—過去・現在, 日本地球惑星科学連合 2009年大会.
17. 鬼頭昭雄, 2009: 気象研究所地球システムモデルによる過去・現在・将来気候の研究, 気候変遷ミニ・ワークショップ.
18. 鬼頭昭雄, 2009: 地球温暖化の影響, 東京理科大学セミナーハウス特別講義「環境とエネルギー」.
19. 鬼頭昭雄, 2009: 気候変動への適応は国際的な課題—途上国の気候変動将来予測への支援—, 平成21年度気象研究所研究活動報告会
20. 楠昌司, 2009: 気候モデルの出力をどう使うか?, 日本気象学会 2009年度春季大会 シンポジウム「地球温暖化に関する化学的根拠の解明と脆弱性評価のさらなる連携に向けて」.
21. 楠昌司, 2010: 地球温暖化で異常気象はふえるのか?, 最先端サイエンスのやさしい講座
22. 楠昌司, 荒川理, 鬼頭昭雄, 2007: 大気海洋結合モデルによる梅雨期の降水強度の再現性, 日本気象学会 2007年度秋季大会.
23. 楠昌司, 水田亮, 松枝未遠, 2008: 60km 格子全球大気モデルのアンサンブル実験による梅雨の変化, 日本気象学会 2008年度秋季大会.
24. 栗原和夫, 2007: 日本付近の詳細な気候予測を目指した地域気候モデルの現状, 平成19年度気

象研究所研究活動報告会.

25. 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い未来をつくる」.
26. 坂見智法, 尾瀬智昭, 保坂征宏, 田中泰宙, 2008: 気象研究所地球システムモデルにおけるエアロゾル-雲相互作用の開発, 日本気象学会 2008 年度秋季大会.
27. 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.
28. 高薮出, 佐々木秀孝, 村崎万代, 栗原和夫, 廣田知良, 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.
29. 高薮出, 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.
30. 田中泰宙, 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.
31. 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.
32. 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.
33. 西本基樹, 木村富士夫, 飯泉仁之直, 鬼頭昭雄, 横沢正幸, 2007: 地球温暖化にともなう異常気象・集中豪雨などの予測のための地域気候モデルによる現在気候/温暖化実験, 土木学会第 15 回地球シンポジウム.
34. 向野智彦, 鬼頭昭雄, 2008: WCRP CMIP3 マルチモデルデータによる地上気温の年々変動と日々変動の将来変化, 日本気象学会 2008 年度春季大会.
35. 吉村純, 2008: 日本における地球温暖化懐疑論の現状 (招待講演), 日本地球惑星科学連合 2008 年大会.
36. 吉村裕正, 水田亮, 村上裕之, 行本誠史, 2009: エントレインメント率に幅を持たせたセミラグランジュ積雲スキーム, 日本気象学会春季大会.
37. 出牛真, 柴田清孝, 2009: 21 世紀予測実験に基づいた成層圏における物質輸送特性の長期変動解析, 日本気象学会 2009 年度秋季大会.
38. 村崎万代, 栗原和夫, 2009: SST の高分解能化が日本域の気候再現実験に与える影響, 日本気象学会 2009 年度春季大会.
39. 村崎万代, 栗原和夫, 佐々木秀孝, 内山貴雄, 高薮出, 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.
40. 村崎万代, 栗原和夫, 佐々木秀孝, 内山貴雄, 高薮出, 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.
41. 遠藤洋和, 蒔苗仁, 森浩俊, 倉橋永, 栗原和夫, 2007: 20km 格子地域気候モデルによるヤマセ型低温の再現性と将来予測, 日本気象学会 2007 年度春季大会.
42. 遠藤洋和, 2008: ヤマセに関連した大規模循環場の将来変化について, 日本気象学会 2008 年度春季大会.
43. 村崎万代, 佐々木秀孝, 高薮出, 内山貴雄, 栗原和夫, 2007: JRA-25 を境界条件とした地域気候モデルを用いた過去の気候再現実験, 日本気象学会 2007 年度春季大会.
44. 佐々木秀孝, 高薮出, 栗原和夫, 内山貴雄, 村崎万代, 2007: 非静力学地域気候モデルによる現在気候再現実験, 日本気象学会 2007 年度春季大会.
45. 高薮出, 佐々木秀孝, 栗原和夫, 村崎万代, 内山貴雄, 大泉三津夫, 2007: MJ-SiB を組み込んだ地域気候モデルによる積雪の再現について, 日本気象学会 2007 年度春季大会.
46. 内山貴雄, 斎藤仁美, 栗原和夫, 佐々木秀孝, 高薮出, 村崎万代, 辻野博之, 諸岡浩子, 行本誠史, 2007: 領域大気海洋結合モデルを用いた日本の温暖化予測, 日本気象学会 2007 年度春季大会.

47. 村崎万代, 栗原和夫, 2007: JRA-25 を境界条件とした地域気候モデルを用いた過去の気候再現実験 (その2), 日本気象学会 2007 年度秋季大会.
48. 佐々木秀孝, 高薮出, 栗原和夫, 内山貴雄, 2007: 非静力学地域気候モデルによる現在気候再現実験 (その2), 日本気象学会 2007 年度秋季大会.
49. 高薮出, 佐々木秀孝, 村崎万代, 栗原和夫, 廣田知良, 2007: RCM による CGCM のダウンスケーリング –西方擾乱と一般場の関連について–, 日本気象学会 2007 年度秋季大会.
50. 高薮出, 佐々木秀孝, 村崎万代, 栗原和夫, 廣田知良, 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.
51. 村崎万代, 佐々木秀孝, 高薮出, 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.

都市域に強雨をもたらす降水系の構造と環境の調査

研究期間： 平成 20 年度～平成 21 年度
 研究代表者： 金子法史（東京管区气象台 気候・調査課 調査官）
 研究担当者： 東京管区气象台、名古屋地方气象台、藤部文昭（予報研究部 第三研究室長）

研究の背景・目的

近年都市域での豪雨が増える傾向があり、社会的関心がますます高まっている。また、豪雨の継続時間が長くなる傾向があり、それに伴って被害も増大している。このため、地方共同研究により平成 18 年度～19 年度の 2 カ年計画で、大都市域に強雨をもたらす降水系の内部構造や環境場の特徴、および短時間強雨の経年変化の調査を目的に、「大都市域に強雨をもたらす降水系に関する研究」を実施した。この研究では、都市の高温域に対応した低圧部の形成が対流を発生させやすくし豪雨をもたらしていることや、都市では短時間強雨の再現期間が最近は短縮しているなど、関東地方での都市域の強雨に関する知見を得ることが出来た。しかし、予報現業作業において特に有用な豪雨発生の前兆現象の把握や降水量の予測までは至っていない。またヒートアイランドの範囲や強さに対応した豪雨の定量的な特徴も十分に把握できていない。さらに、関東地方以外でも都市域の豪雨が発生しているが、研究が少なく解明は不十分である。

そこで、本研究では、都市域における豪雨の発生過程や内部構造・環境場を調査し、あわせて数値予報モデルにより再現実験・感度実験を行い、降水系の内部構造と環境場の相互作用を把握する。また、GPS 可降水量から豪雨の発生や継続時間の予測可能性を調査する。これらから、防災上注目すべき要素を抽出して、予報現業作業における実況把握や予報のシナリオ作成に資することを目的とする。

研究の到達目標

- 東京管区气象台が平成 19 年度から 2 年計画で実施した「ドップラーレーダーを用いたメソ対流系に関する調査研究」の初年度の成果である、ドップラーレーダーデータから風の三次元分布を得るシステムを使った解析を中心に、ウインドプロファイラデータや部外データも使って、降水系の内部構造と環境場の相互作用を把握する。あわせて GPS 可降水量と雨量との関係把握、および数値予報モデルを用いた再現実験や感度実験を行い、降水系の発生過程やヒートアイランドなどの都市気象が都市域の強雨に及ぼす影響を調査する。これにより、豪雨発生の前兆現象や継続時間、雨域移動など防災上注目すべき要素などを抽出し、防災気象情報の精度向上に資する。
- 関東地方以外については、東海地域を対象にドップラーレーダーによる三次元解析や「極値統計手法」を用いた強雨再現期間の検証を行い関東地方との共通点・相違点を把握し、東海地方の防災気象情報精度向上に資する。

主な研究成果・目標の達成状況

(1) ドップラーレーダーデータを用いた三次元事例解析

- 都市域に発生した短時間強雨の発生過程や強雨をもたらす降水系の内部構造と環境場との相互作用を把握するため、ドップラーレーダーデータを用いた三次元解析を中心とする事例解析を行った。
- 2008 年 7 月 29 日夜、都心部に局地的強雨をもたらした降水系を対象に解析した結果、都心部にヒートアイランドと見られる高温域が存在しており、下層では高温域に吹き込むように複数の気流が収束していたことがわかった。都心部での高温による静的安定度の減少及び気圧低下による下層風の収束強化が強雨の一因となった可能性が考えられる。強エコー域では、降水系下層に水蒸気を供給する東京湾からの南東風と、その上を滑昇する相模湾からの南西風が降水系北側の冷たい気流と収束する内部構造が確認できた。2008 年 9 月 6 日夜に東京都心に短時間強雨をもたらした降水系の解析では、降水系は都心の高温域の西側で発生し、都心の周辺を反時計回りに移動した。降水系の下層で南東風が卓越した領域は、都心から北西方向に広がる高温域の位置に対応しており、この高温域により下層の乱流エネルギーが増加すれば、通常夜間に起こる混合層の衰弱を抑制し、南東風を相対的に強化されることが考えられることから、都市の存在が南東風及

び収束の強化の一因となり、降水系を強化した可能性が示唆された。また、2007年8月20日夜間に名古屋市周辺で雷雲が再発達した事例では、三重県北部からの一般風を含む陸風(西風)と濃尾平野に吹き込む海風(南風)による収束が発達のトリガーとなったことがわかった。ウインドプロファイラやデュアルドップラー解析などから、濃尾平野に流れ込む海風は上空1.0~1.5km付近にまで達しており、収束をより強化したと考えられた。2009年6月18日に名古屋市で短時間強雨をもたらした降水系では、海陸風による日変化の南風が都市域に進入することで下層シアによる収束場が形成され、この収束場で強い上昇気流を伴って急速に発達した構造が解析されている。

- ・これらの降水系の発達には海風などのその地方特有な複数の風系が大きく寄与しており、これらの風系が収束することによって上昇流が強化され、降水系が発達していることが確認できた。また、都心部での高温域がこれらの風系を変化させたり、収束を強化し降水系の発達を助長する可能性や、降水系の発生位置に寄与する可能性が示唆された。

(2) GPS 気象学による可降水量と雨量との関係把握

- ・関東平野におけるGPS可降水量と夏季の降水との関係について統計的な調査を行った。2時間積算降水量が50mm以上の場合の多くは可降水量が50mm以上、60mm以上では可降水量が55mm以上となるなど、可降水量の値が高いほど降水の頻度・量が増加することが確認できた。しかし、2008年6月のデータからは、月の前半と後半で可降水量の絶対量が大きく異なり、可降水量に15mm近い差があったにもかかわらず、同程度の雨量が観測された。これは梅雨前線の位置の差によるものであると考えられるが、このように可降水量の絶対量は気団によって値が大きく異なるものでもあることから、可降水量の値のみでは有効な指標となり得ないことがわかる。可降水量の増減量と降水量の関係では、可降水量が増加した場合、その増加量が大きいほど降水の量・頻度が増加し、逆に、減少した場合、減少量が大きいほど降水の量・頻度が増加する傾向があることが示された。
- ・さらに、GPS可降水量が都市域における強雨発生を予測する上での指標と成り得るかを検討するため、東京都および周辺県と愛知県において短時間強雨をもたらした事例について、強雨発生前後の水蒸気変動について調査した。2008年7月29日夜、都心部を中心に発生した局地的短時間強雨の事例では、降水現象に先行して、地上風の水平収束に対応する領域で可降水量の増加が見られ、降水が発生する領域では、可降水量の極大域に向かう大気遅延量の勾配パラメータが見られたことから、GPS気象観測から得られる可降水量及び勾配パラメータが短時間強雨の先行指標として有効であることを確認できた。2009年6月18日に名古屋市付近で発生した短時間強雨の事例においても、この可能性を確認している。また、2008年7月4日や2008年8月31日の事例においては、GPS可降水量や可降水量FLUX[※]を監視することが、メソ対流系の発達・衰弱や雨量の予測に有効であることが示唆された。

※ 可降水量FLUX：地上の風ベクトルとGPS可降水量を掛けたもので、水蒸気の収束・発散域を把握するもの。

(3) 数値実験による再現実験・感度実験

- ・都市の存在が都市とその周辺で発生する強雨に与える影響を調べるために、気象研究所環境・応用気象研究部で開発中の気象庁非静力学モデル用都市キャノピースキームを用いた感度実験を行った。
- ・2008年8月5日の日中に東京都心部で発生した局地的大雨の事例へ都市キャノピースキームを適用した実験では、これを適用していない気象庁非静力学モデルの結果と比較し、都心付近で気温の上昇、下層の乱流エネルギーの増加、地上風速の増加がみられた。また、予想された地上風の収束線および降水系の位置が、実況で局地的大雨が発生した豊島区の位置に近づいており、さらに、最大1時間降水量が増加して実況に近づくなど、都市キャノピースキームの適用による予測精度向上の可能性が認められた。
- ・都市のヒートアイランドが顕著となる夜間の降水現象の調査として、東京都心で夜間に短時間強雨が発生した2008年9月6日の事例についても感度実験を行った。都市キャノピースキームを適用した実験では、都心から北西方向に広がる高温域が、実況に近い分布で表現された。降水の再現性は十分ではなく、都心の西側の収束線で降水系が発達する様子は再現されなかった。しかし、都心から北西方向に広がる高温域で下層の乱流エネルギーが増加し、地上風速が増加する様

子は再現された。このことにより、事例解析で指摘された都市の降水系への関与の可能性が数値モデルでも示唆された。

(4) 極値統計手法を用いた東海地方の強雨再現期間の把握

- ・東海地方を対象に、水文統計解析により、確率雨量、再現期間を推定し、およそ 30 年毎にその変化を調べ、都市化による影響について考察を行った。使用データは名古屋および周辺の観測地点から 5 地点（名古屋、津、岐阜、高山、浜松）を選択し、夏期と秋期の日最大 1 時間降水量の年毎の極値とした。なお、使用データは全てデジタルデータの品質管理を実施している。気象庁が異常気象リスクマップで用いた方法に倣い、再現期間は、各々の地点、各期間のデータを元に、それぞれが最もよく当てはまる確率分布を検討し、最適な確率分布から降水量最大値とその再現期間のグラフを作成した。
- ・その結果、夏期の再現期間は、ヒートアイランドの影響が大きいと考えられる名古屋や岐阜では、近年に向かって再現期間が短くなる傾向は見られず、反対に長くなる傾向が見られた。一方、周辺都市では浜松や高山で再現期間の短縮が見られるが、津では長くなっており、ヒートアイランドや地球温暖化により短時間強雨が増加しているとは言えない結果となった。また、秋期は、岐阜を除き、名古屋、津、浜松、高山で再現期間が短くなっており、特に近年は短くなる傾向が明瞭である。一方、岐阜は近年で再現期間が大幅に長くなっている。秋期はヒートアイランドや地球温暖化の影響も考えられるが、東海地方でヒートアイランドの影響が大きいと見られる名古屋と岐阜で再現期間の傾向が異なる結果となった。

今後に残された課題

都市キャノピースキームを適用した感度実験については、研究 2 年度目となる今年度（平成 21 年度）、気象研究所環境・応用気象研究部の青柳研究官ならびに予報研究部の清野主任研究官のご尽力により管区での実験環境の構築が完了し、実事例についての実験に着手できた。調査結果としては都市域の存在が地上風速に影響を与え、降水を強化させた可能性が示唆されるなど、貴重な成果が得られた反面、事例によりその影響の仕方も様々であることが考えられることから、今後は事例の蓄積が望まれる。

また、GPS 可降水量に関する調査では、GPS 可降水量及び勾配パラメータの短時間強雨の先行指標としての有効性や、GPS 可降水量と可降水量 FLUX の収束・発散域の監視がメソ対流系の発達・衰弱や雨量の予測に有効であるなど基本的な性質に関する成果が得られた。これらの結果を都市域で発生する豪雨や短時間強雨の予測精度向上に結び付けるための調査手順について、更なる検討が必要である。

ドップラーレーダーデータによる三次元事例解析においても、降水系の内部構造に関する知見など有益な成果が得られている。今後は、引き続き知見の蓄積を行うとともに、他のテーマで得られた成果を踏まえた調査の方向性を探る必要がある。さらに、今回の取り組みでは、予報現業作業において有用となる豪雨や短時間強雨の前兆現象の把握、その継続時間、雨域の移動方向や降水量の予測に関する知見を得るまでには至らなかったことから、これらの取り組みも今後の課題となる。

研究成果及びその活用に関する意見（事後評価の総合所見）

（目標の達成度）

到達目標のうち「防災上注目すべき要素などを抽出し、防災気象情報の精度向上に資する」ところまでは到達しなかったものの、「降水系の内部構造と環境場の相互作用を把握する」の目標については内部構造の把握と相互作用に係る示唆、「都市気象が都市域の強雨に及ぼす影響を調査する」の目標については調査の実施、「東海地域を対象に強雨再現期間の検証を行い、関東地方との共通点・相違点を把握」については東海地域内ではあるが共通点・相違点を把握、と概ね目標は達成している。

（成果）

都市域の強雨に着目して事例解析を行って強雨現象の内部構造を明らかにしていること、GPS 可降水量の値のみでは有効な指標とはならず可降水量の勾配パラメータを組み合わせることで短時間強雨の先行指標としての有効性を示していること、など今後の調査研究に役立つ知見が得られている。

(実施手法・体制の妥当性)

多くの目標設定の中、気象台と気象研究所が協力して行わなければならないところ、これだけ多くの成果を得ており、協力体制は妥当であったと考える。実施手法については専門的な見地からみて一層の工夫の余地があったように思われる。

(まとめ)

多くの知見が得られており、優れた研究であったと評価する。ただし、これらの知見を堅実に活かす調査等を引き続き行う場合には、例えば都市化やヒートアイランド等関連する知識や数値モデル技術の現状を十分理解した上で実施手順や手法を吟味するなど、より専門的な知見や技術が必要になってきている点に留意が必要であろう。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 2件
- ・口頭発表件数 14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. 山根彩子, 2009: 2008年7月29日東京都23区西部に局地的短時間強雨をもたらした降水系に関する事例解析, 天気, **56**, 664-668.
2. 村規子, 2009: 2008年8月5日に東京都で発生した局地的な大雨についての事例解析とJMANHMによる再現実験, 天気, **56**, 933-938.

(3) 口頭発表

1. 山根彩子, 都心部に局地的強雨をもたらした降水系に関するデュアルドップラー解析 — 2008年7月29日の事例 —, 東京管区気象台, 平成20年度東京管区調査研究会, 平成20年12月.
2. 山根彩子, 都心部での局地的短時間強雨発生時における水蒸気変動に関する解析 — 2008年7月29日の事例 —, 東京管区気象台, 平成20年度東京管区調査研究会, 平成20年12月.
3. 木下信好, 2008年8月31日に東京都で短時間強雨をもたらした大雨事例について, 東京管区気象台, 平成20年度東京管区調査研究会, 平成20年12月.
4. 中村直治, 東京都内で急速に衰弱したメソ対流系の事例解析 — 2008年7月4日の事例 —, 東京管区気象台, 平成20年度東京管区調査研究会, 平成20年12月.
5. 村規子, 山根彩子, 2008年8月5日に東京都で発生した大雨について — 事例解析とGPS可降水量を用いた調査 —, 東京管区気象台, 平成20年度東京管区調査研究会, 平成20年12月.
6. 渡邊進, 山田卓, 岸伸恵, 林真由, 地方共同研究「都市域に強雨をもたらす降水系の構造と環境の調査」統計的手法を用いた都市域における強雨特性の変化, 名古屋地方気象台, 平成20年度東京管区調査研究会, 平成20年12月.
7. 近田忠宏, 武野康弘, 肆矢朗久, 高瀬真治, 谷善典, 吉村香, 岡野潔, 松浪岳司, 地方共同研究「都市域に強雨をもたらす降水系に関する研究」都市域周辺で再発達した雷雲について, 名古屋地方気象台, 平成20年度東京管区調査研究会, 平成20年12月.
8. 村規子, 都心に短時間強雨をもたらした降水系に関するデュアルドップラー解析 — 2008年9月6日の事例 —, 東京管区気象台, 平成21年度東京管区調査研究会, 平成21年12月.
9. 藤原宏章, 山根彩子, 関東平野における夏季の降水とGPS可降水量の統計調査, 東京管区気象台, 平成21年度東京管区調査研究会, 平成21年12月.

10. 村規子, 都市が降水系に与える影響についての感度実験 -2008年8月5日の事例-, 東京管区气象台, 平成21年度東京管区調査研究会, 平成21年12月.
11. 村規子, 都市が降水系に与える影響についての感度実験 -2008年9月6日の事例-, 東京管区气象台, 平成21年度東京管区調査研究会, 平成21年12月.
12. 木下信好, 2008年8月31日に東京都で短時間強雨をもたらした大雨事例について -デュアルドップラー解析-, 東京管区气象台, 平成21年度東京管区調査研究会, 平成21年12月.
13. 近田忠宏, 武野康弘, 松浪岳司, 肆矢朗久, 高瀬真治, 谷善典, 太田弘彦, 吉村香, 岡野潔, 都市域に強雨をもたらす降水系の構造と環境の調査 2009年6月18日名古屋市で発生した短時間強雨の解析について, 名古屋地方气象台, 平成21年度東京管区調査研究会, 平成21年12月.
14. 竹内孝夫, 淵上隆雄, 滝沢勝彦, 岸信恵, 林真由, 地方共同研究「都市域に強雨をもたらす降水系の構造と環境の調査」統計的手法を用いた都市域における強雨特性の変化, 名古屋地方气象台, 平成21年度東京管区調査研究会, 平成21年12月.

北海道東方沖における震源決定のための走時計算法改良の検討

研究期間： 平成20年度～平成21年度
 研究代表者： 勝間田明男（地震火山研究部 第二研究室長）
 研究担当者： 札幌管区气象台、網走地方气象台

研究の背景・目的

気象庁では全国一律の一次元速度構造の走時表を用いて震源決定を行っているが、北海道東方沖で発生する地震に関しては、太平洋プレートのもぐりこみなどによる地震波速度構造の異方性により、観測点によっては標準の走時とは大きく異なるため、標準の走時表の他に同地域専用の走時表を併用したり、一部の観測点を震源計算から除外したりすることで震源決定を行っている。しかし、地域専用の走時表は作成された時期も古く、標準の走時表に比べ精度や分解能が劣るため、震源決定精度（特に深さの精度）が悪いうえ、走時表の切り替えが発生する領域の境界付近は震源の位置が不連続になるなどの問題がある。

北海道東方沖では、津波を伴う海溝型巨大地震が繰り返し発生しており、その切迫性が指摘されている。これらの地震発生時に迅速・的確に津波予報を発表するためには、迅速に精度の高い震源を求める必要があり、震源決定手法の改良が急務となっている。

北海道東方沖における地震波速度構造の異方性を考慮した走時計算法を用いた震源決定手法を開発し、同地域に発生する地震に対して新手法による震源決定精度および処理速度について検証を行い、改善点や問題点を明らかにする。

研究の到達目標

- 北海道東方沖における地震波速度構造の異方性を考慮した走時計算法を用いた震源決定手法を開発し、その有効性を示すことにより、津波予報作業への同手法の導入の可能性を探る。
- 過去の地震について、新手法により震源の再計算を行い、同領域の地震活動の詳細を明らかにする。

主な研究成果・目標の達成状況

- 3次元速度構造推定プログラムを改良し、北海道周辺地域の3次元速度構造を改良した。
- 3次元速度構造を用いることにより、通常走時表と地域専用走時表を合わせて用いることなく、北海道東方から千島域の震央の偏差の少ない震源を求めることが可能であることを確認した。
- 千島列島で発生した2006年11月15日の地震(M7.9)及び2007年1月13日の地震(M8.2)は、前者が沈み込むプレート境界の地震、後者がアウトターライズ(海溝軸から沖側)の地震であるため、それらの余震の震央分布は異なることが期待されるが、通常計算の震央分布では両者が全く混じり合っていて分離できていない。3次元速度構造を用いて再計算した震央分布では、明瞭に分離していないものの後者の余震分布がやや沖合に寄り、相対的な震源決定精度の向上に若干の効果が認められた。
- 2004年12月14日に発生した留萌支庁南部の地震(M6.1)の余震を対象とし、余震域を含む北海道北部地域の3次元速度構造の推定、並びに、その構造に基づく震源再決定を行った。
- 得られた速度構造には、分厚い堆積層を反映しているとみられる表層付近の低速度域、日本海東縁ひずみ集中帯と関係する可能性のある深さ10km付近で南北方向に広がる低速度域と高速度域の交互分布などの不均質構造の特徴が見いだされた。
- 震源再決定の結果、通常計算の震源では深さ0km及び5kmより深い部分の二つの塊に分離していたものが、再決定震源では東に傾き下がる一つの塊にまとまった。この東に傾き下がる分布は、北海道大学が臨時観測点を設置して解析した震源分布や、本震のCMT解の一方の節面の傾きと調和的である。このことから今回求めた3次元速度構造によって震源分布がかなり改善することが確かめられた。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

地震波速度の異方性を考慮するよう開発した震源決定手法について、その震源決定精度を評価するために実施する震源の再計算には、北海道内陸の地殻内地震も対象に含めることにした。

成果の他の研究等への波及状況

気象研究所における重点研究「震源精度向上と地震活動情報の高度化に関する研究」の速度構造検討に、この研究成果が寄与した。

今後に残された課題

不均質構造の有効性は確認されたが、改善の余地は認められた。また、震源精度向上には観測点分布やP・S相以外の活用などの課題がある。

研究成果及びその活用に関する意見（事後評価の総合所見）

（目標の達成度）

到達目標のうち「北海道東方沖における地震波速度構造の異方性を考慮した走時計算法を用いた震源決定手法を開発し、その有効性を示す」という本研究の基本を成す部分については達成したものと評価する。ただし、その後続く「津波予報への同手法の導入の可能性を探る」ことや「地震活動の詳細を明らかにする」という点は達成していないと評価する。

（成果）

現在、気象庁の現業業務で用いられている震源決定手法よりも精度のよい震源決定が行える技術が得られていることは成果である。

（実施手法・体制の妥当性）

手法の検証を、そもそも正確な震源の位置が不明な北海道東方沖で行うことに無理があり、内陸の地震を研究対象に加える変更を行ったのは妥当である。

しかし、津波予報への導入可能性等気象庁の業務に活用するための研究実施手順は不明瞭なままであり、実際にどのように行われたか曖昧なままである点は残念である。

（まとめ）

気象業務に活用していくに必要となる、精度向上についての定量的な整理に至っていない点はあるが、現業業務で用いられている震源決定手法よりも震源の位置の決定精度を改善する技術が得られている点や北海道とその周辺の地殻等の構造についての新たな知見が得られている点を評価する。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 なし
- ・口頭発表件数 4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）

なし

（3）口頭発表

1. 勝間田明男, 山本剛靖, 松山輝雄, 平山達也, 新山亮二, 塩谷栄吉, 山崎一郎, 佐鯉央教, 笹部忠司, 小木曾仁, 菅ノ又淳一, 山本麦, 2009: 北海道東方・千島列島域における地震の震源決定のための走時計算法の検討, 日本地震学会 2009 年秋季大会.
2. 小木曾仁, 菅ノ又淳一, 山本麦, 2009: 走時残差分布から推定される北海道地方の 3 次元速度構造, 平成 21 年度道央地区気象研究会.
3. 笹部忠司, 佐鯉央教, 小木曾仁, 2009: 3 次元速度構造を用いた北海道の地殻内地震の震源再決定, 平成 21 年度道央地区気象研究会.
4. 笹部忠司, 佐鯉央教, 小木曾仁, 2009: 3 次元速度構造を用いた北海道の地殻内地震の震源再決定, 平成 21 年度札幌管区気象研究会.

ウインドプロファイラを用いた台風の立体構造に関する解析的研究

研究期間： 平成20年度～平成21年度
 研究代表者： 楠 研一（気象衛星・観測システム研究部 第二研究室 主任研究官）
 研究担当者： 鹿児島地方气象台、沖縄气象台、南大東島地方气象台、宮古島地方气象台

研究の背景・目的

ウインドプロファイラ（WPR）は、ドップラー気象レーダーのようにターゲットとなる雨滴や雪片などの降水粒子が存在する必要がなく降水の有無によらず風を測定できるうえに、風に乗って水平方向に流されるゾンデと異なり飛揚地点真上の風を測定するという大きな特徴を持っている。またドップラー気象レーダーやゾンデよりも高い時間空間分解能をもつため、細かな風速変動を詳細に観測することができる。気象庁が展開する現業ウインドプロファイラ（局地的気象監視システム：ウィンドラス）は2001年4月から観測を開始し、2003年には31台に増設され、今後も多くの台風事例を観測するものと期待される。本地方共同研究は、ウインドプロファイラの周辺を通過した台風について、大掛かりなデータベースを作成しそれを解析することで、ウインドプロファイラによって初めて詳細に把握できる台風の特徴を調査する。さらに現業への波及という観点から、2004年に現業化され2006年から5kmメッシュで運用されている非静力学モデル（NHM）に着目する。NHMにより再現された台風について、その構造を観測データと系統的に比較した調査はこれまではない。本地方共同研究では、台風の接近頻度の多い管内の特徴を生かしてこれに着手し、将来の台風予報の精度向上に資することを旨とする。

研究の到達目標

- ・ ウインドプロファイラによる台風の立体構造の把握
- ・ 現業 NHM のプロダクトとウインドプロファイラによる台風の立体構造の把握との比較によるモデルの問題点抽出

主な研究成果・目標の達成状況

- （1）台風事例の選定とデータベースの構築（H20年度）
 - ・ 事例を選定のうえデータベースを構築し、ウインドプロファイラを中心とした解析を行なった。
 - 1) WPR データ、高層観測データ、地上気象観測原簿・地上気象観測1分値データ、衛星画像、現業レーダー画像、空港気象ドップラーレーダーデータ
- （2）ウインドプロファイラによる台風の立体構造の把握（H20-21年度）
 - ・ 2007年台風5号：延岡 WPR データから、台風接近時は高度1km付近に風速の極大（49m/s:中心から70km）、離反時には高度4.5km付近に極大（37m/s:中心から15km）が見られた。また約100～400kmの高度2～4km付近にも弱い極大域（約20m/s）があった。また台風前面の下層では吹き込みの風が強く中上層で吹き出しの風がみられた一方、後面では中層付近の吹き出しの風が比較的顕著であった。この違いはRSMもほぼ示唆していたが、より定量的な比較と、後面での比較的顕著な吹き出しの風と上陸後の衰弱との関連性を、さらに多くの事例解析を行なって明らかにしていく予定である。
 - ・ 2008年台風13号：屋久島 WPR データから、台風接近時は高度4km付近に風速の極大（49m/s:中心から30km）、離反時には高度4km付近に極大（46m/s:中心から30km）が見られ、種子島ドップラーレーダーでも観測された。また台風前面の下層では吹き込みの風が強く中上層で吹き出しの風がみられた一方、後面ではほとんど吹き込みの風となっており、この違いはGSM、MSMもほぼ示唆していた。より定量的な比較と、屋久島付近の中上層で卓越していた亜熱帯高気圧縁辺の西寄りの風との関連性を、今後さらに多くの事例解析を行って明らかにしていく予定である。
 - ・ 2007年台風4号：（独）情報通信研究機構（NICT）のウインドプロファイラから、台風の最接近時（13日12時頃）に高度1km以下に風速60m/s以上の強風核と思われる風の分布が確認できた。また、高度4km以下で風速45m/s以上の風が約30分周期で出現しており、名護特別地域観測所の観測値で得られた風速偏差の周期解析で32分のピークと合う結果となった。今後MSMや他の調査研究の成果との比較を行い本事例の特徴について考察していく必要がある。

- ・ 2007 年台風 20 号：南大東島 WPR の風速時系列図から強風核が高度 1km 付近に存在し、その時間変化に周期性が見られた。しかし明瞭な眼を持たない台風であること、最接近時でも南大東島から 100km 程度は離れていたため、地上データの周期解析との関係を議論することはできなかった。
- ・ 2009 年台風 8 号、18 号、20 号：T0908 は与那国島 WPR、T0918 と T0920 は、南大東島 WPR の観測データを用い、台風に対外的な動径風と接線風に変換し立体的な気流構造を初期解析した。気流の最大風速軸は台風の中心から外側に傾斜、風速の最大値は地表から 1km 付近の層に存在するという結果が得られた。
- ・ 2007 年台風 11 号：那覇の空港気象ドップラーレーダーデータにより台風内部における風速分布推定を試みた。プロファイラデータは用いなかったが、今後推定法を高度化して行くことで、台風の最大風速のモデルとの比較など、当該共同研究に役立つプロダクトが得られるものと思われる。

(3) NHM のプロダクトと観測結果の比較によるモデル問題点の抽出 (H21 年度)

- ・ モデルの問題点を系統的・定量的に抽出するためには、単純にパターンの差異に着目するのではなく、NHM への実践的な理解の裏づけが前提と考えた。そのため予備的な作業としてまず現業 NHM のプロダクトを用いるのではなく官署において独自に NHM モデル実験を試みた。
- ・ モデル実験は、台風の実験にはかなり狭いものの水平解像度 5km、格子数 140×140×50、その他パラメータは現業 NHM と設定を同じにした。対象とした台風は 2007 年 20 号と 2009 年 18 号の 2 事例で、うち 2007 年台風 20 号は再現に失敗した。2009 年台風 18 号は台風の経路や勢力とその維持については実況と比較的によく合っていることを確認した。台風の移動に相対的なプロダクトとして、接線風の強度と分布や壁雲付近の上昇流のモデル結果における分布を求めた。これからモデルで再現された上昇流から壁雲の水平スケールを見積もりどの程度再現できているのかスケールなどに着目し評価する。さらに今年度末までに本庁ルーチンの NHM 予報値データを用いた本調査を行う。

今後に残された課題

NHM のプロダクトと観測結果の比較によるモデルの問題点の抽出について、今後は本庁ルーチンの NHM 予報値データを用いて進める。具体的には強度予報の精度に大きなインパクトを与える台風中心に着目し、ウインドプロファイラによる観測で台風中心部が捉えられている事例について当該管内の領域で検証する。

研究成果及びその活用に関する意見 (事後評価の総合所見)

(目標の達成度)

「ウインドプロファイラによる台風の立体構造の把握」という到達目標は概ね達成したと考えられるが、「現業 NHM のプロダクトと把握した台風の立体構造の比較によるモデルの問題点抽出」の目標は達成していないと評価する。

(成果)

今後の調査研究にも利用しうる台風事例のデータベースが構築されている。台風の事例解析から、解析を行った台風の強風分布の立体構造などの知見が得られている。

(実施手法・体制の妥当性)

研究手法を変更することなく、しかし結果として現業 NHM の問題点抽出に至らなかったことから、効率良く研究が行われたとは言えないのではないかと。また、気象台で独自に NHM モデル実験を試み、それと解析結果の比較を行うなど、到達目標に向けた研究手順としては疑問が残る部分もある。さらに、到達目標が 2 つであるところ、3 つの成果でもって達成としている等、研究の実施手順には少なからず混乱があり、最後まで軌道修正がなされずに終了に至ったものと推察する。意欲的な研究であっただけに残念である。

(まとめ)

台風事例のデータベースの構築等一定の成果をあげている点を評価する。

結果として、気象台職員のウインドプロファイラのデータや NHM の取り扱いのスキルアップが

図られており、本研究は地方共同研究として意義の高いものであると評価する。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 なし
- ・口頭発表件数 11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）

なし

(3) 口頭発表

1. 平山久貴, 木下仁, 西郷雅典, 濱邊和人, 仮屋崎純, 金澤健一郎, 長門信也, 2008: 台風 0705 号の九州通過時における構造の変化について, 平成 20 年度鹿児島県気象研究会.
2. 平山久貴, 木下仁, 西郷雅典, 濱邊和人, 仮屋崎純, 金澤健一郎, 長門信也, 2008: 台風 0813 号の九州通過時における構造の変化について, 平成 20 年度鹿児島県気象研究会.
3. 平山久貴, 木下仁, 西郷雅典, 濱邊和人, 仮屋崎純, 金澤健一郎, 長門信也, 2009: 台風 0705 号の九州通過時における構造の変化について, 平成 20 年度九州南部気象研究会.
4. 平山久貴, 木下仁, 西郷雅典, 濱邊和人, 仮屋崎純, 金澤健一郎, 長門信也, 2009: 台風 0813 号の九州通過時における構造の変化について, 日本気象学会九州支部発表会.
5. 新屋盛進, 金城盛男, 山田崇, 久保直紀, 2008: ウィンドプロファイラを用いた台風の立体構造に関する解析的研究 (2007 年台風第 4 号), 平成 20 年度沖縄管内研究会.
6. 川門義治, 嶺井幸雄, 大城隆, 大城正巳, 出原幸志郎, 2008: ウィンドプロファイラを用いた台風の立体構造に関する解析的研究(2007 年台風第 20 号), 平成 20 年度沖縄管内研究会.
7. 岩間陽介, 島袋秀樹, 友利健, 比嘉良守, 阿波連正, 2008: ドップラーレーダーを用いた台風の立体構造に関する解析的研究～ 2007 年台風第 11 号の事例～), 平成 20 年度沖縄管内研究会.
8. 大塩健志, 川門義治, 崎濱秀晴, 大城隆, 2009: ウィンドプロファイラを用いた台風の立体構造に関する研究, 平成 21 年度沖縄管内研究会.
9. 岩間陽介, 島袋秀樹, 渡口治, 阿波連正, 友利健, 2009: ドップラーレーダーを用いた台風の立体構造に関する解析的研究 (2007 年台風第 11 号その 1), 平成 21 年度沖縄管内研究会.
10. 友利健, 岩間陽介, 島袋秀樹, 渡口治, 阿波連正, 2009: ドップラーレーダーを用いた台風の立体構造に関する解析的研究 (2007 年台風第 11 号その 2), 平成 21 年度沖縄管内研究会.
11. 裁吉信, 山田崇, 親富祖努, 崎原富好, 仲島用尚, 森田穰, 堀川英春, 中川勝之, 2009: ウィンドプロファイラを用いた T0908, T0918, T0920 の立体構造の解析, 平成 21 年度沖縄管内研究会.

沖縄地方の固有的な地震に関する研究

研究期間： 平成 21 年度
 研究代表者： 上地清市（沖縄気象台地震火山課長）
 研究担当者： 沖縄気象台、地震火山部地震予知情報課、前田憲二（地震火山研究部）

研究の背景・目的

固有地震は、震源、規模、波形がほぼ同一な地震を指しており、同一のアスペリティにおいて同じ大きさの歪解放を繰り返し発生すると考えられている。また、発生周期の規則性から今のところ数少ない長期的予測が可能な地震と見られる。これまでに岩手県釜石沖、福島県沖など、主に東北地方でマグニチュード（M）5クラスの固有地震が知られており、昨年宮古島地方でも新たにM5クラスの固有地震が見つかった。しかしながら、調査が不十分であり全国の固有地震の実態の解明には至っていない。M5クラス以上の地震は沖縄気象台管内で年間20～30個、全国で年間100～200個発生しており、これらを系統的に調査し、固有地震活動を短期間に把握するためには、関係官署と研究機関の協力が重要である。

科学技術・学術審議会による「地震予知のための新たな観測研究計画(第2次)」(平成16～20年度)の中で、東北地方の固有地震について研究の必要性が謳われると共に、関東・東海地域でも同様の現象が報告されるようになり、ここ数年における固有地震の研究の進展が著しい。気象庁としても地震活動の監視業務を進めている中で固有地震の発生は見逃ごせない状況となっている。気象研究所では、融合型経常研究の一環として固有地震の発生予測の評価研究を進めており、現在は東北大学の協力を得ながら東北地方の固有地震（M2.5～4.0の相似地震）を対象とした調査を行っている。一方、M4～7クラスの固有地震の発生状況の調査については未着手である。こうした状況で沖縄地方でも固有地震が発見されたことから、同地域の探索は緊急の課題である。

そこで、本研究では、沖縄気象台と地震火山部地震予知情報課および気象研究所が協力し、沖縄気象台管内の地震について固有地震の探索調査を進め、発生機構を解明し確率予測の事例を積み重ねることを目的とする。

研究の到達目標

- ・ 沖縄地方の新たな固有地震を系統的に探索調査する。
- ・ 発見された固有地震を用いてプレート運動との関連を考察し、次の地震の発生確率評価を行う。

主な研究成果・目標の達成状況

(1) 固有地震の探索結果

- ・ 宮古島東方沖、宮古島南方沖、沖縄本島近海（国頭村東方沖）、沖永良部島西方沖の4つの領域で、プレート境界で発生する中～大規模（M4～6クラス）の固有地震活動を見出した。
- ・ 2009年8月5日に宮古島南方沖で発生したM6.5の地震（最大震度4）の強震波形を過去の記象紙と比較し、固有地震が約22年間隔で繰り返し発生していることを見出した。
- ・ 宮古島東方沖や沖縄本島近海（国頭村東方沖）の事例では、M4～5クラスの固有地震の近傍でありながら、規模がひと回り小さい固有地震が準周期的に発生していることを見出した。
- ・ 宮古島東方沖の事例では、規模の小さな固有地震に連動して規模の大きな固有地震が発生する場合があることから、規模の小さな固有地震をモニタすることの有用性を確認した。
- ・ 沖永良部島西方沖の事例では、M5クラスの固有地震を引き起こすふたつのアスペリティが極めて隣接しているにもかかわらず、これまで同時に発生した事例は観測されていないことを明らかにした。また、片方の発生周期だけが乱された事例が観測された。

(2) 固有地震の解釈

- ・ 抽出された固有地震群を震源再計算することにより、同一のアスペリティの破壊によって固有地震が引き起こされていることを確認した。
- ・ 抽出された固有地震群のすべり量から、プレート間相対速度の推定を行うことができた。

(3) 固有地震の発生確率

- ・ 規則的に発生している固有地震群について、次の地震の発生確率を計算した。その結果、小標本

論対数正規分布モデルを用いた場合、研究期間中に発生した5例のうち4例が70%の信頼区間内で発生したことが分かった。

今後に残された課題

(統一した基準を用いた網羅的な相似地震解析)

今回の調査ではいくつかの固有的な地震活動を見出したものの、利用できる波形データや震源精度の時間的・空間的な不均質性が大きいと、沖縄地方の固有地震を網羅したとまではいえない。新たな固有地震の発見のためには、領域ごとのデータ精度に応じた、さらに細かな調査を行う必要がある。また、バンドパスフィルタや相似地震として抽出する基準によって、抽出される相似地震のグループが異なる場合があるため、グルーピングをする際にはMに応じて客観的な指標を検討する必要がある。このような調査を行うには、容易にデジタル波形にアクセスできる環境を構築することも重要である。

(発生確率の検証)

研究期間中に発生確率の計算を行っていた固有地震は5事例であったが、このような少ない事例では確率密度関数の選択やパラメータの推定手法の妥当性について十分な議論を行うことは難しい。今後更なる事例の収集、検証を行う必要がある。

(プレート運動との関連性)

繰り返し地震からプレート間相対速度を大まかに見積もることはできたものの、プレート運動の加速、減速といった小さな変化を捉えるためには、さらに小さな規模の地震について繰り返し地震を抽出する必要がある。

研究成果及びその活用に関する意見（事後評価の総合所見）

(目標の達成度)

到達目標は、分かり易く言えば「沖縄地方での固有地震の発生の有無を明らかにする」、「固有地震からプレート運動に関する情報を抽出するとともに、次の固有地震の発生確率評価を行う」であり、目標を十分達成していると評価する。

(成果)

沖縄地方の地震活動という、あまり調査がなされていない現象を対象としながら、沖縄地方の新たな固有地震を発見する、海域が多い沖縄地方において推定が困難なプレート間相対速度を固有地震から推定する、それら固有地震の地震発生確率を算出する、といった新たな知見が得られている。

(実施手法・体制の妥当性)

沖縄地方の地震活動という、あまり調査がなされていない現象を対象としながら、1年間という比較的短い期間でこれだけの成果をあげており、効率良く手順を踏んで研究が行われたものと推察する。

(まとめ)

学術的に意義の大きな研究であった。

また、1年間の地方共同研究であるということを考えれば、成果を学会で発表、査読付き論文に投稿している点を高く評価する。

施策への成果の活用に関し、固有地震発生時に次の地震の発生確率等を解説資料に記載することが防災情報としての役割を果たすかについては吟味が必要と思われるものの、成果を地方における気象業務の中で速やかに活用しようとしており、本研究は地方共同研究の有効性を示す特筆すべき成功例であると評価する。

成果発表状況

- ・印刷発表件数 4件
- ・口頭発表件数 3件

成果発表一覧

(1) 査読論文

1. 溜瀧功史, 山田安之, 石垣祐三, 高木康伸, 中村雅基, 前田憲二, 岡田正実, 2010: 宮古島近海

における固有地震活動, *地震* **2**, 62, 193-207.

(2) 査読論文以外の著作物 (翻訳、著書、解説)

1. 溜瀧功史, 山田安之, 石垣祐三, 高木康伸, 中村雅基, 前田憲二, 岡田正実, 富士井啓光, 2009: 沖縄本島近海 (国頭村東方沖・沖永良部島西方沖) の固有地震 (繰り返し地震), *地震予知連絡会会報*, **82**, 417-422.
2. 中村雅基, 今村翔太, 溜瀧功史, 高木康伸, 山田安之, 石垣祐三, 前田憲二, 岡田正実, 2010: 中～大規模の繰り返し地震についての規則性と不規則性, *地震予知連絡会会報*, **83**, 613-632.
3. 溜瀧功史, 仰木淳平, 谷晃, 上地清市, 山田安之, 中村雅基, 前田憲二, 岡田正実, 高木康伸, 石垣祐三, 2010: 沖縄地方の固有的な地震に関する研究, *沖縄技術ノート*, **72**, 1-6.

(3) 口頭発表

1. 溜瀧功史, 山田安之, 石垣祐三, 高木康伸, 中村雅基, 前田憲二, 岡田正実, 2009: 宮古島近海における固有地震的地震活動, 地球惑星科学連合 2009 年大会 (S149-004), 平成 21 年 5 月.
2. 溜瀧功史, 山田安之, 石垣祐三, 高木康伸, 中村雅基, 前田憲二, 岡田正実, 2009: 琉球弧で見つかったいくつかの固有地震的地震活動, 地球惑星科学連合 2009 年大会 (S149-P005), 平成 21 年 5 月.
3. 溜瀧功史, 仰木淳平, 上地清市, 山田安之, 中村雅基, 前田憲二, 岡田正実, 高木康伸, 石垣祐三, 2009: 沖縄地方の固有的な地震に関する研究, 平成 21 年度沖縄管内気象研究会, 平成 21 年 11 月.