2.2. 研究年次報告

本節には、気象研究所が平成 22 年度に実施した研究課題について、課題毎に当該年度の研究計画と研究成果等を掲載した（下表）。ただし、平成 22 年度に終了した重点研究課題（1 課題）、地方共同研究課題（2 課題）については、2.3 節で研究期間全体について報告するので、本節には掲載していない。

２．２．１．重点研究

・ 次世代非静力学気象予測モデルの開発に関する研究 …… 23
・ 顕著現象の機構解明に関する解析的･統計的研究 …… 26
・ メソスケールデータ同化とアンサンブル予報に関する研究 …… 29
・ 台風強度に影響する外的要因に関する研究 …… 34
・ 衛星データの利用技術に関する研究 …… 38
・ シビア現象の監視及び危険度診断技術の高度化に関する研究 …… 40
・ 海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究 …… 43
・ 緊急地震速報高度化のための震度等の予測の信頼性向上技術の開発 …… 45
・ 東海地震予知技術と南海トラフ沿いの地殻活動監視技術の高度化に関する研究 …… 47
・ 気象観測技術等を活用した火山監視･解析手法の高度化に関する研究 …… 50
・ 沖合･沿岸津波観測等による津波の高精度予測に関する研究 …… 52
・ 気候変動への適応策策定に資するための気候･環境変化予測に関する研究 …… 54
・ 全球大気海洋結合モデルを用いた季節予測システムの開発 …… 56
・ 異常気象･気候変動の実態とその要因解明に関する研究 …… 58
・ 大気環境の予測・同化技術の開発 …… 61
・ 温暖化への対応策検討に資するための日本域の気候変化予測に関する研究 …… 63
・ 海洋環境の予測技術の開発 …… 65
・ 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 …… 68
・ 大気化学環境変動とそのメカニズムの解明に関する研究 …… 71
・ 海洋中炭素循環変動の実態把握とメカニズム解明に関する研究 …… 74

２．２．２．基礎的・基盤的研究

・ 気候モデルによる気候変動メカニズム解明に関する研究 …… 77
・ 地上観測による大気要素の放射収支への影響の実態解明に関する研究 …… 79
・ 意図的・非意図的気象改変に関する研究 …… 82
・ 大気境界層の乱流構造の統合的研究 …… 84
・ エーロゾル―雪氷相互作用に関する研究 …… 86
・ 都市気象モデルの開発 …… 88
・ 大気エーロゾル粒子の性状とその変動過程に関する研究 …… 90
・ エーロゾル･雲･微量気体に関するリモートセンシング技術の高度化に関する基礎研究 … 92
・ 次世代リモートセンシングに関する研究 …… 94

２．２．３．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場及び予測に関する研究 …… 96

２．２．４．他省庁予算による研究

（1）科学技術振興調整費による研究（文部科学省）

・　渇水対策のための人工降雨･降雪に関する総合的研究 ･･･････････････････････････　97
・　気候変動に伴う極端気象に強い都市創り ･･･････････････････････････････････　102
・　平成 23 年霧島山新燃岳噴火に関する緊急調査研究 ･･･････････････････････････　104

（2）放射能調査研究費による研究（文部科学省）

・　放射性降下物の長期変動と再浮遊に関する研究 ･･･････････････････････････････　105
・　海洋環境における放射性核種の長期挙動に関する研究 ･･･････････････････････　107

（3）地球環境保全等試験研究費による研究（環境省）

・　民間航空機を活用したアジア太平洋域上空における温室効果気体の観測に関する研究 ･･･　109
・　吸収性エアロゾルが大気・雪氷面放射過程に与える影響のモニタリングに関する研究 ･･･　110

（4）環境研究総合推進費による研究（環境省）

・　アジアの水資源への温暖化影響評価のための日降水量グリッドデータの作成 ･･･････････　112
・　マルチ気候モデルにおける諸現象の再現性比較とその将来変化に関する研究 ･･･････････　113
・　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 ･･･････　115
・　海洋酸性化の実態把握と微生物構造･機能への影響評価に関する研究 ･･･････････････････　116
・　大気環境に関する次世代実況監視及び排出量推定システムの開発 ･･･････････････････････　118
・　風送ダストの飛来量把握に基づく予報モデルの精緻化と健康・植物影響評価に関する研究　119

次世代非静力学気象予測モデルの開発に関する研究

研 究 年 次：　2 年目／5 年計画（平成 21 年度～平成 25 年度）
研究代表者：　中村誠臣 [1]、山田芳則 [2]（予報研究部　第一研究室長）
（[1] 平成 22 年 10 月 31 日まで、[2] 平成 22 年 11 月 1 日から）

研究の目的

集中豪雨、豪雪等の顕著現象を精度よく再現できる次世代非静力学数値予報モデルを開発し、気象情報における各種量的予測精度を向上させる。また、海洋モデル、波浪モデルと結合させた非静力学数値予報モデルを開発し、台風の強度予測精度を向上させる。

副課題１　非静力学モデルの高度化

副課題１の研究担当者

中村誠臣、山田芳則、橋本明弘、林　修吾、加藤輝之、永戸久喜、斉藤和雄、村崎万代（予報研究部）、和田章義（台風研究部）、碓氷典久（海洋研究部）、石田純一（気象庁予報部数値予報課）、高野洋雄（気象庁地球環境・海洋部海洋気象課）

副課題１の目標

① 高解像度非静力学モデルの開発とその結果を使った現業モデルの改良
② 非静力学モデル（NHM）へのビン法雲微物理過程の組み込みとその結果を使った現業雲微物理過程の改良
③ リモートセンシングデータを使った雲微物理過程の検証と改良
④ エーロゾルに関わる雲微物理過程の精緻化
⑤ 非静力学大気波浪海洋結合モデルの開発
⑥ NHM による発雷シミュレーションモデルの開発と発雷予測手法改善のための知見の提供
⑦ 様々な状況でのモデル計算に資するための改良

副課題１の本年度の計画

① 250m, 1km と 5km 格子の NHM による梅雨期・夏季および冬季の再現実験を行い、格子サイズによる非断熱加熱分布、境界層の構造等について比較、検証を行い、現業モデルの改良点の検討を行う。
② 非静力学モデルにビン法雲物理過程を導入する。
③ 梅雨期及び冬季の降水事例について、リモートセンシングデータを用いて NHM の予想した雲微物理量の検証を行い、その特性を把握して、雲物理過程の改良や調整を行う。また、衛星搭載降雨レーダ（TRMM/PR）の利用法を検討し開発する。
④ NHM に雲核・氷晶核を含むエアロゾルに関連する諸過程を導入する。
⑤ 非静力学大気波浪海洋結合モデルを開発し、波浪モデルの改善を行う。
⑥ NHM による発雷シミュレーションモデルの結果を観測データを用いて検証し、発雷のメカニズムを解明する。
⑦ NHM の高度化と利用促進のために、様々な状況でのモデル計算に資するための力学過程・物理過程の最適化、外部機関での利用を念頭に置いたツールの整備を行う。

副課題１の本年度の成果

① ア）水平解像度（5 km→1 km→500 m→250 m）および鉛直解像度（最下層高度を 20 m→10 m）の違いが降雪予測にどの程度影響するか、2009 年 12 月 15～20 日の期間、北陸・新潟地方を対象に調査した。あられの生成は 5 km ではがほとんどなく、2 km は 1 km の約半分程度であった。Mellor-Yamada Level 3 と Deardroff スキームとの比較では、前者を用いた場合の方が

海上で顕熱フラックスが多い反面、降水量が少なく、陸上で逆に降水量が多くなることがわかった。また最下層高度を 10 m にすると、計算安定性がかなり損なわれることがわかった。

イ）GPS 可降水量が現業メソデータ同化で利用されるようになった、2010 年夏季（7、8 月）関東域での解像度 1km の NHM による再現実験について、それ以前の年と同様に不安定降水が過小評価となっていることがわかった。降水が不足している事例について、地表面フラックス、境界層スキーム、実験領域の広さや積分時間の影響を調べたところ、それらによる改善効果は確認できなかった。

ウ）1-km NHM、5-km NHM の再現実験結果（2007 年から 3 年間）のうち、梅雨期（九州、四国）と冬期（北陸）の降水量について、強度別頻度、月降水量の観測値との比較を行った。梅雨期（九州、四国）において降雨強度別頻度（1 時間 3 時間 24 時間降水量）のアメダスと比較すると、どの値も 5-km NHM よりも 1-km NHM のほうが観測値に近く、改善が見られた。時間帯別 3 ミリ以上の雨の頻度の空間分布を比較すると、内陸部の午後の降水頻度が多いという観測から見られる特徴を 1-km NHM はある程度捉えていることがわかった。問題点としては、全般に降水量、頻度ともに少なく見積もる傾向があり、海上では逆に降水量を過大見積もりする領域があることが挙げられる。この傾向は、親モデルである 5-km NHM から引き継いでおり、1-km NHM で改善傾向にはあるものの、まだ十分ではない。また、冬期北陸地方のランでは月降水量が日本海側の平野部で 20～30%過少見積もり、山岳地帯で 50%以上の過大見積もりとなることがわかった。

② 粒子（水滴・氷粒子）の状態と物理過程を詳細に記述・再現できる多次元ビン法を NHM に組み込み、小規模な計算環境でテストを行い、孤立雲のライフサイクルを再現することができた。

③ 2008 年 4 月 6 日に低気圧に伴い日本の南に発生した降水系について、CloudSat/CPR 観測との比較により、NHM のバルク法雲微物理過程の検証を行った。CPR で観測された受信電力値と衛星搭載レーダシミュレータ（ISOSIM-Radar）を用いて NHM から計算した受信電力値の比較を行った結果、受信電力の鉛直プロファイルから 4-ice スキームが最も観測に近く、従来の 3-ice スキームでは上層で過大評価、下層で過小評価となった。原因としては、3-ice スキームでは上層の雲氷での減衰が大きいために、その下に存在する雪の層がよく見えていないということによると考えられる。4-ice スキームでは、3-ice スキームと比べて数濃度が大きく、平均粒径が小さい結果となった。この点については、今後さらに検討が必要である。

④ エアロゾル（雲核・氷晶核）の乾性沈着過程を新たに組み込み、エアロゾル沈着量と分布に対する乾性沈着と湿性沈着の寄与を切り分けて評価したところ、降水がある際の沈着量分布に対して異なる効果をもつことが分かった。雲核・氷晶核を組み込んだ NHM による降水過程の再現性評価のための重要な知見が得られた。

⑤ 非静力学大気波浪海洋結合モデル内の波浪モデルと海洋層モデルの結合について、波浪による砕波の効果を海洋乱流混合過程に取り込むことにより、2005 年の台風 Hai-Tang の強度予測実験にて、計算された中心気圧が気象庁ベストトラック解析結果と整合し、その上で海洋冷水域上での顕著な海水温低下を良好に再現することが可能となった。非静力学大気波浪海洋結合モデルを用いた数値実験から、風速と摩擦係数の関係について、高風速時($40ms^{-1}$ 以上)に摩擦係数の単調増加が抑制されるという結果が得られた。

⑥ 高解像度 NHM により再現された各種物理量(上昇流や雲物理量)と、LIDEN による雷観測の比較を行い、5km モデルは物理量と観測された雷との対応はよくなかったが、1km モデルでは霰混合比が実際の発雷とよく対応していることを示した。この 1km モデルによる結果は既存の発雷メカニズムとも整合的であり、高解像度モデルを用いた発雷予測を進める上での重要な知見である。

⑦ ア）気象庁データ提供サーバから RA2 加盟国向けに提供している全球データを用いて、NHM を実行するための環境を整備した。JICA バングラデシュ技術協力に関連して、バングラディシュ側のトレーニング環境構築を手伝った。NHM の出力から予想衛星画像を出力するツール(衛星センター大和田さん作成)を気象研究所スーパーコンピュータに移植した。熱帯域で行っていた実験結果で見られた気温日較差が過小な問題が、非線形数値拡散の雲氷数濃度へのかかり方が原因であることを明らかにし、これを改善した。

イ）NHM のバルク雲微物理モデルで用いられているガンマ関数の計算で、桁落ちせず、かつ高速（現行のコードと比べて約 1.5 倍の速度）なプログラムコードを開発した。

副課題２　全球非静力学モデルの開発

副課題２の研究担当者

吉村裕正、林　修吾（予報研究部）、新藤永樹（気候研究部）

副課題２の目標

① 全球スペクトルモデルへの非静力学スキームの導入
② ２次元分割法の開発

副課題２の本年度の計画

① 20km 程度までの中解像度で全球非静力学モデルの性能の検証を全球静力学モデルと比較しながら行う。
② 全球非静力学モデルの高速化のため、セミラグランジュ法の MPI 通信量が少なくて済む２次元分割法の開発を開始する。

副課題２の本年度の成果

① 全球スペクトルモデルの非静力学版の開発を行った。更に高速化のためスペクトル法の基底関数として球面調和関数の代わりに二重フーリエ級数を使用するオプションの開発を行った。20km と 120km の解像度では、非静力学モデルと静力学モデルで実行結果がほぼ一致することを確認した。
② MPI 通信量が少なくて済む２次元分割法の検討を行い、分割法はほぼ固めた。

顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　藤部文昭（予報研究部　第三研究室長）

研究の動機・背景

集中豪雨、豪雪等の顕著現象を精度よく再現できる次世代非静力学数値予報モデルでの再現実験により、これら現象の機構解明に関する研究等に取り組み、過去の顕著現象の要因に関する解説資料を作成する。また、突発性豪雨などの都市域で頻発する顕著現象に対して都市効果が及ぼす影響を評価する。

副課題１　顕著現象の実態把握・機構解明

副課題１の研究担当者

清野直子、津口裕茂、益子　渉、村崎万代、橋本明弘、林　修吾（予報研究部）、猪上華子（気象衛星・観測システム研究部）、加藤輝之、永戸久喜（予報部数値予報課）

副課題１の目標

① 観測データによる顕著現象の実態把握および雲解像モデルによる顕著現象の発生・発達機構の解明
② 顕著現象の発生要因の速やかな究明と一般社会に向けての情報発信
③ 雲解像モデルを用いた統計的な手法による顕著現象の機構解明
④ 予警報業務における課題やニーズの把握

副課題１の本年度の計画

① 日本海沿岸に発生した大雪をもたらした降雪システムの構造や発生機構について調査する。
② 特に顕著な現象が発生した場合、速やかに各種観測データ・雲解像モデルの実行結果からその原因を調査する。
③ 暖候期九州・四国地方および冬季新潟・北陸地方を対象とした雲解像モデルの結果を用いて豪雨・豪雪をもたらす大気状態を気象庁と協力して、統計的に調査する。
④ 気象庁の研修等で、最新の顕著現象に係わる研究成果を用いて指導・教育する。

副課題１の本年度の成果

① 日本海寒帯気団収束帯に伴う直交型筋状雲の構造と発生機構に関する研究を取りまとめ、論文として発表した。
② ア）2010年10月20日に奄美大島で発生した豪雨について、その発生要因を調査した。 観測データの解析とNHMによる再現実験の結果から、本事例では、奄美大島の東海上から大量の水蒸気が連続的に供給されることで豪雨が発生したことがわかった.
イ）T0918号に伴い土浦市・竜ヶ崎市で発生した竜巻に関して、水平解像度 50m の数値シミュレーションを行い、関東平野特有の局地前線の影響を受けた非スーパーセル型の竜巻であったことを明らかにした。
ウ）2010年12月3日低気圧の接近に伴い鎌倉市・牛久市で竜巻が発生した事例に関して、 観測データと数値シミュレーション結果を用いて初期解析を行ったところ、発生地点は下層の冷気の外出流が強まっている地点であることが示された。
③ ア）2005年12月から行っている1kmNHMの数値予報実験結果に基づき、梅雨期（九州、四国）と冬期（北陸）の降水の強度別頻度、月降水量について観測値との比較をおこなった。その結果、梅雨期の九州地方では全般に降水量、頻度ともに少なく見積もる傾向があり、海上では逆に降水量を過大見積もりする領域があることがわかった。また、冬期北陸地方のランでは月降水量が日本海側の平野部で20-30%過少見積もり、山岳地帯で50%以上の過大見積もりとなる

ことがわかった。1 時間降水 3mm 以上の頻度の空間分布をレーダーアメダス解析雨量と比較すると、日本海側の値が太平洋側に比べ大きいということはよく一致しているものの、頻度の多さはモデルが過大評価しており、沿岸部においては逆に過小評価となっていることがわかった。

イ）顕著現象の長期的傾向をみるため、分解能 20km の地域気候モデルを用いて過去 26 年間の客観解析データのダウンスケーリングを行い、日本域を 7 気候区分に分けて日降水強度とその頻度について調査した。地域気候モデルは日降水 100mm 程度までの雨の頻度については観測とよい一致を示し、気候区分毎の特色も大まかにはよく表現していた。しかし、日降水 100mm 以上の顕著現象については過少見積もりする傾向があり、解像度の限界であることがわかった。

④ 気象大学校での予報業務研修、札幌管区・仙台管区・横浜地台・銚子地台で講演等を行った。

副課題２　顕著現象の要因に関する解説資料の作成

副課題２の研究担当者

清野直子、津口裕茂（予報研究部）、猪上華子（気象衛星・観測システム研究部）、加藤輝之、永戸久喜（予報部数値予報課）

副課題２の目標

① 豪雨事例の客観的な抽出法の確立
② 総観場と豪雨事例との関連性の調査
③ ②を踏まえた過去の豪雨発生の要因に関する解説資料の作成

副課題２の本年度の計画

① 2005～2009 年の豪雨事例（各年約 10 例）の発生要因を客観解析データや雲解像モデルの再現実験から調査する。
② 統計的な調査結果から、下層の水蒸気／中層の相対湿度および温度／鉛直方向の風速差についての判断すべき高度と値を、気象庁と協力して決定する。
③ 年別や月別に見られる総観場の特徴と豪雨事例との関連性を調査する。

副課題２の本年度の成果

① 2000 年 9 月 11、12 日に発生した“東海豪雨”について、NHM による JRA-25 からのダウンスケール実験を行った。その結果、従来は難しいとされていた“東海豪雨”の再現に成功した。2010 年暖候期の複数の豪雨事例について、500m 高度の相当温位・500m 高度を基準とした自由対流高度・浮力がなくなる高度、3km と 500m 高度間の鉛直シア、500hPa の温度、345K 等温位面の渦位等について調査し、それぞれがある閾値を満たしていた期間に多くの豪雨が発生していたことがわかった。
② 南海上からの下層暖湿気の流入と北からの上空寒気や高渦位域（寒冷渦）の流入に着目し、2010 年の梅雨前線帯（東経 130 度、九州西岸付近）の特徴を 2001 年以降のものと比較して、大雨をもたらした環境場を調査した。多くのケースで上空の寒気の影響は受けておらず、暖域内で大雨が発生していることがわかった。
③ 客観的に抽出した集中豪雨事例について、降水の特性（年・月別の頻度、分布の地域的な特徴など）や降水系の特徴（形状、走向など）について統計調査を行った。また、集中豪雨をもたらす総観規模擾乱についての統計調査を行った。

副課題３　都市効果が気象に及ぼす影響の評価

副課題３の研究担当者

清野直子、藤部文昭（予報研究部）、青柳曉典（環境・応用気象研究部）

副課題３の目標

① 都市域で発生する顕著現象に対して都市効果が及ぼす影響の評価
② 大都市圏での高温・強雨事例の発生環境・発生機構の調査
③ 大都市圏でのメソスケール環境場の特性の調査

副課題３の本年度の計画

① SiB（Simple Biosphere）モデルを併用した都市気象モデル（水平解像度 1km）の結果と観測データを比較してモデル性能を調査する。
② 改良された人工排熱分布を与えた都市気象モデル（水平解像度 1km）と観測データとを比較してモデル性能（中小規模都市を含む）を調査する。
③ メソ解析データと各種観測データを用いて関東のメソスケール環境場の特性（温度および水蒸気場）を調査する。

副課題３の本年度の成果

① 都市の地表面過程をより現実的に表現するための単層都市キャノピースキームを導入した NHM について、モデル性能を調査した。従来のスキームを用いた場合と比べ、都市キャノピースキームでは都心部を中心に夜間の気温低下が小さく、都市気象の特徴を表現していた。都市キャノピースキームで用いるパラメータに異なる設定条件を与えた計算から、都市における熱収支は、建物の面積割合（密集度）や壁面積指数（立地面積に対する建物面積の比）だけでなく、建物の種別（木造・コンクリートなど）に応じて決まる熱物性パラメータにも大きく依存することがわかった。また、より現実的なパラメータ設定のため、手始めとして、東京都で整備されている都市計画地理情報システムのデータセットを借用し、東京都内の個々の建物の壁面積指数（立地面積に対する表面積の比）の調査を行った。大手町や新宿など、高度に発達した都心では壁面積指数は 10 近くを示すが、それ以外の地域では概ね壁面積指数は 4 程度の値であることがわかった。
② 2010 年 7 月 5 日に東京都で発生した短時間強雨について数値実験を行い、強雨の発生過程を調べた。この事例においては、都市キャノピースキームを用い都心の都市の熱的効果を強めた実験での降水の強化はわずかだった。
③ 関東のメソスケール環境場の特性（温度および水蒸気場）と土地利用の関わりに着目し、2006 年夏季のメソ解析データを初期値・境界値とした完全境界実験を行った。地表面状態に 1976 年版と 2006 年版の国土数値情報データセットをそれぞれ用い、30 年間の土地利用変化が環境場をどう変化させたかについて調査した。その結果、この間の土地利用の変化がもたらす地上気温の変化量は､観測データから得られた過去 30 年間の気温上昇とほぼ同程度であることが示された。ただし、1976 年にすでに都市化が進んでいた都心部（大手町など）では、人工排熱の増加やビル群の高層化などの影響も考慮しなければ、観測データに見られるような気温の上昇トレンドが再現されないことも判明した。水蒸気圧は、シミュレーションでは都市化に伴って減少傾向が示された。

メソスケールデータ同化とアンサンブル予報に関する研究

研 究 年 次：　2 年目／5 年計画（平成 21 年度～平成 25 年度）
研究代表者：　齊藤和雄（予報研究部　第二研究室長）

研究の目的

非静力学数値予報モデルの初期値改善を通じて市町村単位での降水の短時間の予測の精度を向上させるとともに、予測に信頼度や確率情報を付加する技術を開発する。

副課題１　メソデータ同化技術の高度化

副課題１の研究担当者

齊藤和雄、青梨和正、瀬古　弘、川畑拓矢、露木　義（予報研究部）、國井　勝（台風研究部）、本田有機（気象庁予報部数値予報課）

副課題１の目標

非静力学モデルで降水系を予測するためのデータ同化技術として、次の４項目について研究を実施する。

① 雲解像度４次元変分法同化システム（NHM-4DVAR）の開発
② アンサンブル予報を用いた変分法的データ同化法の開発
③ 局所アンサンブル変換カルマンフィルタの開発
④ 台風初期値の改善と熱帯域同化実験

副課題１の本年度の計画

① 現業メソ同化システムとの親和性を高める。
② 周辺のアンサンブル予報を用いた変分法的データ同化法のシミュレーションデータ、実データを用いた雲解像モデルへのインパクト検証を行う。
③ 豪雨同化実験を継続し、共分散膨張手法やメンバー数の検討を行う。

副課題１の本年度の成果

① 現業非静力学メソ４次元変分法同化システム(JnoVA)との親和性を高めるため、予報部数値予報課より JNoVA の非線形コード、接線形コード、アジョイントコードの提供を受けた。これらのコードに対し、雲物理過程の組み込みを行っている。
② 位置ずれ誤差補正とアンサンブルに基づく変分法的同化法を組み合わせたデータ同化法をマイクロ波放射計データ以外のデータにも適用するプログラムを開発し沖縄梅雨特別観測期間（2004 年 6 月）について、マイクロ波放射計データと高層ゾンデデータを同化する初期的な実験を行った結果、局所化のスケールを流れに依存して物理量毎に変更する必要があることがわかった。これに基づき、以下の様な新しいアンサンブルに基づく変分法的同化法の基本的なアイデアを創案した。
　① 局所化のスケールを流れに依存して変える Adaptive Localization を導入する。
　② 解析時刻と違う時刻の観測データを使えるように同化法を４次元化する。

この Adaptive Localization や変分法的同化法の４次元化のため、NHM のアンサンブル予報誤差相関の流れ依存性や lag correlation の調査を始めた。初期的な結果として以下のことがわかった。

① NHM の物理量の予報誤差の自己相関は、その空間・時間スケールが降水の有無によって大きく変動する。
② NHM の物理量の予報誤差の相互相関も降水の有無によって変わる。
③ 降水に関連する物理量については、サンプリング誤差のため高い予報誤差相関を持った点が広い範囲で散在する。

③ ア）兵庫県佐用町の豪雨に局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）を適用し、豪雨の再現を試みた。再現されたアンサンブルメンバーの出力を用いた解析結果から、豪雨は、中国山地の風上側にあった冷気が南風によって山地に押し付けられ、厚みを増した冷気によって南からの暖湿な気塊がより高い高度まで持ち上げられて、発生していることがわかった。

イ）メンバー数の検討に関して、メンバー数を 60、40、20 に設定して、アンサンブル実験を行い、再現された降水域を比較した。アンサンブルメンバー数が 20 では再現が十分でなく、40 の場合は 60 と再現された降水域と良く似ていた。これらから、50 程度のアンサンブルメンバーが必要であることがわかった。共分散膨張手法についても、調査を着手した。

ウ）インクリメンタル法を用いる水平分解能 40km の領域 LETKF について、初期シードと側面境界摂動を振幅調整を加えた週間 EPS から与えられるようにした。これにより、側面境界付近のアンサンブルスプレッドの過小が大きく改善することを確認した。

副課題２　観測データ利用手法の高度化

副課題２の研究担当者

齊藤和雄、青梨和正、瀬古　弘、小司禎教、川畑拓矢、露木　義（予報研究部）、國井　勝（台風研究部）、石元裕史（気象衛星・観測システム研究部）

副課題２の目標

非静力学モデルの初期値を改善させるための観測データの利用手法として、次の４項目について研究を実施する。

① マイクロ波放射計データ同化手法の開発
② GPS データ同化手法の開発
③ NHM-4DVAR への同化実験
④ 局所アンサンブル変換カルマンフィルタへの同化実験

副課題２の本年度の計画

① ア）NASA や JAXA による特別観測データ等を用いて、固体降水粒子に対する雲解像モデルの観測演算子の検証を行う。
イ）地上設置型マイクロ波放射計のアジョイントコードを作成し同化実験を実施する。
② ア）海洋ブイ搭載 GPS の解析手法の開発、精度評価を行う。
イ）国外 GPS 点を含めた視線遅延量のデータ同化実験を行う。
ウ）GPS 掩蔽データの同化実験を行う。
③ レーダー反射強度データ、RASS データ、ライダー動径風の同化実験を行う。
④ GPS データ、動径風、プロファイラー、ライダーデータ等の同化を行う。

副課題２の本年度の成果

① ア）非球形の現実的な固体降水粒子モデルのマイクロ波特性をパラメタライズした放射伝達モデルを、4 ice scheme をもつ雲解像モデルの出力用に改変して、マイクロ波特性へのインパクトを調べた。その結果、4 ice scheme で予報された、雨の粒径分布を使うと、低周波のマイクロ波の輝度温度が過小評価されることがわかった。この計算結果などから、熱帯降水観測衛星のマイクロ波放射計の 85 と 37 GHz の輝度温度の低下の比を使うと、固体降水の層厚が推定できることがわかった。85 と 37 GHz の輝度温度の低下の比が小さい降水は、固体降水の層厚が小さく、熱帯降水観測衛星のレーダの降水強度に対して、マイクロ波放射計の輝度温度低下も小さくなることがわかった。85 と 37 GHz の輝度温度の低下の比や降水の非一様性を用いた降水のタイプ分けを行い、熱帯降水観測衛星のレーダーとマイクロ波放射計の観測データの特徴を解析した結果、37GHz の輝度温度の低下が、雨の粒径分布に感度を持つことがわかった。

イ）地上設置型マイクロ波放射計観測データを直接同化するため、これまで開発されてきた１次元変分法同化用プログラムを NHM-4DVAR へ組み込むために改良を行っている。また、同化

実験を実施すべき事例について検討し、選定を行った。

ウ）2009 年四国でのマイクロ波放射計観測からリトリーブされた気温や水蒸気プロファイルの JNoVA による同化実験の準備に取り掛かった。

② ア）室戸沖 GPS 津波計を用いた天頂遅延量解析実験を実施し、現在の手法では観測衛星数に依存して、精度が変化することを確認した。10 個以上の衛星が捕捉されている場合は可降水量にして 5mm 程度の精度で解析が可能だった。衛星数が少ない場合の精度劣化を抑えるための手法を検討中。

イ）視線遅延量同化手法において、観測誤差のモデル化、観測データの間引き法の開発を行った。これらを用いて、2009 年 8 月に発生した那覇ガーブ川事例において、視線遅延量のデータ同化実験を行い、可降水量、天頂遅延量の同化結果と比較した。その結果、視線遅延量同化の有効性が確認できた。

ウ）2008 年にミャンマーを襲ったサイクロン Nargis について、国外 GPS 観測点を用いた可降水量同化実験を実施し、その結果を気象集誌に発表した。国外 GPS 点の視線遅延量解析については、特に GPS 衛星や受信機のアンテナ位相中心変動の考慮に関する開発が遅れているため同化実験を行うまでには至っていない。

エ）GPS 掩蔽データの同化実験に関して、屈折角のフォワードモデルを作成した。気象庁 MANAL と COSMIC プロジェクトによる解析を比較した結果、COSMIC プロジェクトで解析された屈折角は、屈折率同様、対流圏下層に負のバイアスがみられることが分かった。バイアス原因の考察と、補正方法を検討している。

オ）屈折角を利用した大気境界層高度検出手法の開発として、COSMIC プロジェクトで解析された屈折角を用いることで、全球の境界層高度の地域・季節・日変化などの特徴をとらえ得ることを確認した。

③ ア）2009 年 8 月に発生した那覇ガーブ川事例において、RASS データの同化および 3 時間予報を行った。第一推定値と比べて、RASS データを同化した場合、那覇付近の降水帯が強化されるなど RASS データ同化の降水予報に対する有効性が確認された。

イ）2008 年 8 月の雑司ヶ谷豪雨事例において、レーダー反射強度データの同化実験を行った。この結果、予報開始時において、対流の表現が改善されることを確認した。

ウ）ライダーデータ同化のために、2008 年 8 月に発生した雑司ヶ谷豪雨事例のデータの利用可能性について検討した。また、2010 年 7 月 5 日における板橋豪雨事例について、NICT によるライダーデータを用いたデータ同化実験を実施する方向で打ち合わせを行った。

② ア）GPS 可降水量データの同化実験については、2008 年 7 月 28 日の神戸の大雨の事例に適用した結果を論文にまとめた。さらに手法を高度化する取り組みを開始した。

イ）ドップラーレーダの動径風は、2009 年 9 月 5 日に発生した堺市の雷雨の事例について、新たに作成した LETKF ネスティングシステムの内側モデル（降水間隔 2km）での同化法の開発に着手した。

ウ）同じく 2009 年 9 月 5 日の事例について、NHM 用の 3DVAR システムを用いてプロファイラーの屈折率を同化することによって、下層により湿った気塊が分布するように初期値を変更できる可能性を示した。

副課題３　メソアンサンブル予報技術の開発

副課題３の研究担当者

齊藤和雄、原　昌弘、瀬古　弘、露木　義（予報研究部）、國井　勝（台風研究部）藤田　匡（気象庁予報部数値予報課）

副課題３の目標

アンサンブル予報に基づいて短期量的予測に信頼度や確率情報を付加するための技術開発として、次の４項目について研究を実施する。

① 各種摂動手法の比較と改良

② 物理過程摂動手法の開発

③　予測信頼度の評価や確率予報の検証
④　熱帯域・台風アンサンブル実験

副課題３の本年度の計画

①　ア）各種初期値摂動手法の比較と改良を継続する。
　　イ）局地豪雨のための雲解像アンサンブル予報の摂動手法について検討する。
②　確率的物理過程摂動手法を導入する。
③　日本域でメソアンサンブル予測を継続的に行い、予測信頼度や誤差の定量化手法や確率予報の手法開発を継続する。
④　熱帯域や台風を対象とするアンサンブル予報を実行し、結果を評価する。

副課題３の本年度の成果

①　ア）北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、コントローランに比べて降水量が最も降水が強化されたメンバーに注目し、降水の強化に寄与した摂動の分布を調べた。メソ SV 法は対流の上昇流域で気温等が増加し、全球 SV は比較的に大きいなスケールで中層の気温が低くなって不安程度を増していたこと、LETKF とブリーディング法は摂動のパターンが良く似ていて、共に対流の付近の下層で気温が高められていたことがわかった。

イ）ローパスフィルターを用いて全球 SV の摂動エネルギーが梅雨前線のスケールで極大となるように変更した。その結果、下層の波数 20 付近に水蒸気エネルギーの極大が現れるメンバーが出現した。この手法を 2009 年 7 月豪雨に適用した結果 30mm/3hrs の降水確率を増大させる効果が認められた。

ウ）2010 年梅雨期に改良した全球 SV 法によるアンサンブル予報実験を行った。5km-JMA/NHM で予測困難だった豪雨事例に対して、15km メソアンサンブルで豪雨発生域にある程度以上の降水を表現できるメンバーが出現した。共通しているのはコントロールに比べて強い潜在不安定域を表現できていることである。ただし、量的には十分ではなかった。

エ）北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、週間 EPS のダウンスケール、全球 SV 法、メソ SV 法、メソ BGM 法、メソ LETKF の5つの摂動手法の比較を行った論文を国際誌(Tellus)に投稿し受理された。改訂作業において、各摂動手法によるエネルギーノルムの大きさや鉛直分布、成長率の違いなどについて調べ、全球 SV はノルムの成長が継続すること、メソ SV は予報開始初期の成長率が大きいこと、メソ BGM とメソ LETKF は似た傾向を持つが、成長率は BGM 法の方がやや大きいことなどがわかった。

オ）北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、BGM 法と LETKF 法の摂動生成サイクルにおける境界摂動の影響を調べた。ブリーディングサイクルやアンサンブルカルマンフィルタサイクルに境界摂動を加える方がノルムでみた摂動の成長が早くなり、BGM 法では各ブレッドベクトル間の直交性が増すことがわかった。

カ）2008 年8月の世田谷区雑司ヶ谷の局地豪雨の事例について、水平解像度 2km の雲解像モデルによるアンサンブル実験を行った。コントロール予報の初期値として、ルーチンメソ解析では、降水が不足気味だったが、GPS 可降水量を同化した JNoVA による解析におきかえることで降水量が改善することがわかった。

③　ア）2010 年の梅雨期について、週間アンサンブルの摂動を規格化して与えた実験を行い、西日本に大雨をもたらした 7 月 11 日から 14 日について、大雨の観測された時刻の降水量と、それ以前の地上の気温や相当温位、水蒸気フラックスなどとの相関の空間分布を調べた。その結果、降水量をより正しく表現できる 2km のダウンスケール実験の出力では、対流スケールの変動が大きく対応が不明瞭なこと、格子間隔 15km の親モデルでは水蒸気フラックスの対応は良くないものの、相当温位や気温では、比較的高温な領域が移流してきて降水が発達している事例があることがわかった。このことから、降水量の表現にはダウンスケールが必要だが、その強雨をもたらす要因については、親モデルの地上の相当温位等に注目するなど、用途に応じて出力を使い分ける必要があることがわかった。

イ）北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、週間 EPS のダウンスケール、全球 SV 法、メソ SV 法、メソ BGM 法、メソ LETKF の5つの摂動手法の比較を行った論文を国際誌(Tellus)に投稿し受理された。改訂作業において、各摂動手法による降水の確率予測について Brier Skill Score

を調べ、全球 SV は弱い雨について、メソ SV、メソ BGM、メソ LETKF は強い雨について確率予測の成績が良いことを示した。

ウ) 北京オリンピックのアンサンブル予報実験の事例について、BGM 法と LETKF 法の摂動生成サイクルにおける境界摂動の降水予測への影響を調べた。ブリーディングサイクルやアンサンブルカルマンフィルタサイクルに境界摂動を加える方がブライアスキススコアが大きく改善し、その影響は延長予報における境界摂動の影響よりも大きいことがわかった。

④ ア）2008 年にミャンマーで未曾有の高潮被害を発生させたサイクロン Nargis とその高潮のメソアンサンブル予報実験を行った論文が気象集誌に掲載された。この事例について、LETKF を用いた QuikSCAT 海上風の同化実験を行った。

イ）2007 年 1 月のジャカルタ周辺の豪雨についての 20km メソモデルを用いたラグアンサンブル実験を京都大学との協力で行った。北風モンスーンの侵入に伴う降水量の増大など総観規模の気象場とメソスケール降水の対応が確認できた。

台風強度に影響する外的要因に関する研究

研 究 年 次：　2 年目／5 年計画（平成 21 年度～平成 25 年度）
研究代表者：　徳野正己（台風研究部　第二研究室長）

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、台風強度に影響する外的要因に関する研究を進める。

副課題１　衛星データを用いた台風強度推定に関する研究

副課題１の研究担当者

星野俊介、徳野正己、中澤哲夫（台風研究部）

副課題１の目標

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１の本年度の計画

① マイクロ波放射計（TMI および AMSR-E）データを用いた台風強度推定法の改良を行う。
② AMSU 探査計データから求めた台風の三次元風分布と、MTSAT による大気追跡風分布を比較する。
③ 開発した AMSU 探査計データからの台風強度推定法を AMSU データを用いた他の方法と比較する。
④ QuikSCAT 散乱計データを用いて、発達期以降の台風周辺の風速分布の特性を調査する。QuikSCAT からの最大風速をマイクロ波データなどから算出された台風強度と比較する。
⑤ CloudSat、CALIPSO からの雲解析を基に、可視赤外放射計データを用いた雲の特性を分類する手法を開発する。

副課題１の本年度の成果

① 当研究部が開発したマイクロ波放射計の輝度温度から最大風速を推定する手法の精度は、台風の雲パターンに対応する輝度温度分布のパターンに応じて推定式を選択することにより改善されることがわかった。
② AMSU 探査計から求めた台風内部の温度偏差分布と、MTSAT による大気追跡風分布との関係を T0813 のデータを用いて調査した結果、偏西風の影響を受けていない最盛期の段階では温度偏差分布と台風周辺の低気圧性循環の半径に相関パターンが見られたが、偏西風の影響を強く受け温帯低気圧化も進行していた段階ではこの関係は認められず、大気追跡風の分布から台風の発達・温帯低気圧化の段階を判定できる可能性があることがわかった。
③ 発達初期の台風に対して開発された台風強度推定法を、発達期の台風に対して適用可能かどうか検討するため、CIMSS※で既に発達期の台風に対して用いられている AMSU による強度推定法のレビューを行い、手法の違いについて比較検討を行った。その結果、CIMSS では AMSU-A のチャンネル 8 (55.5GHz)の温度偏差から最低中心気圧を推定しており、当研究部で開発された複数チャンネルによる 3 次元の気温偏差を求める手法は有効であることがわかった。

※CIMSS: Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies Space Science and Engineering Center / University of Wisconsin-Madison

④ QuikSCAT による海上風分布を T0813 について時系列で解析した結果、最盛期までの風速分布と、一旦衰弱し温帯低気圧として再発達した場合の風速分布とでは、進行方向と中心からみた最大風速領域との位置関係が明確に違っていることがわかった。
⑤ 台風の壁雲の対流雲域の雲頂の変化が、3.8μm 帯チャンネルで観測される雲の反射率の違いにある程度現れることがわかった。

副課題２　台風の最適観測法に関する基礎的研究

副課題２の研究担当者
中澤哲夫、星野俊介、山口宗彦（台風研究部）

副課題２の目標
台風周辺の感度領域解析の特性の抽出や詳細衛星風ベクトルデータの解析的研究を行う。

副課題２の本年度の計画
① 引き続き、大気追跡風の計算アルゴリズムおよびパラメータの設定間における精度の違いについてより詳細に検証を行う。台風周辺の大気追跡風の精度指標についても検討を行う。
② 詳細大気追跡風のデータを用いた事例解析を行う。
③ 全球同化システムを用いて、最適観測法による台風予測へのインパクト実験を行い、予測改善効果を調べる。

副課題２の本年度の成果
① T-PARC 期間中の短時間小領域の詳細大気追跡風とゾンデとの比較を行った結果、湿度の鉛直プロファイルに複数のピークが見られる場合についても、大気追跡風の精度低下が確認された。精度指標として用いられている QI は必ずしも小さくなく、この精度低下は高度決定アルゴリズムに起因すると考えられる。台風の縁辺域においては上層の巻雲の下に中下層の対流雲が存在する構造になっている場合が多く、これらの領域から算出された大気追跡風を利用する際注意する必要があることがわかった。
② T-PARC 期間中の T0813 および T0815 について下層の大気追跡風データを用いた事例解析を詳細に行うため、短波長赤外チャネル（IR4）からの大気追跡風の算出を試みたが、解析に十分な数の下層風が得られなかった。この問題を解決し、短波長赤外チャネルのデータを有効利用するために、赤外チャネル（IR1）と短波長赤外チャネル（IR4）の差分画像から風ベクトルを算出する試みを開始し、算出に必要な差分画像 HRIT ファイルの作成まで完了した。
③ 気象庁本庁から気象研究所に移植された全球同化システムを用いた最適観測法による台風予測へのインパクト実験を ITOP (Impact of Typhoons on the Ocean in the Pacific) データを用いて開始した。更に、最適観測法の有効性を評価するために、台風周辺で算出される感度領域の力学的特性を調査した。また、最適観測法研究を支援するシステムとして、各国の数値予報センターのアンサンブル台風進路予報結果を準リアルタイムで取得し、可視化するウェブサイト（昨年度導入済み）を拡充した。具体的には、描画図やインターフェースの改良を行った。

副課題３　台風の強雨・強風構造の実態解明

副課題３の研究担当者
北畠尚子、湊　信也（台風研究部）、村田昭彦（環境・応用気象研究部）、益子　渉（予報研究部）、楠　研一（気象衛星・観測システム研究部）

副課題３の目標
レーダー等の観測値、客観解析値、数値シミュレーション等から、台風の発達過程、強雨・強風の詳細な構造、及びそれに関わる環境場を調査する。また、全球客観解析値を初期値、境界値にして、非静

力学モデルを用いた台風の５日程度の長期積分を行い、台風の発達過程や強雨・強風などに関して再現性を調査する。

副課題３の本年度の計画

① 引き続き、日本に接近する台風を対象とする観測とデータ収集・数値実験を行い、台風に伴う強雨・強風・インナーコアの解析を行う。特に、現業ドップラーレーダーのデータを用いて台風に伴うレインバンド周辺の気流を調べる。また T0704 等に伴う大雨の構造について引き続き解析を行い降水効率を調べる。

② 中緯度における台風の構造変化と強度等についての気候学的調査を長期再解析データを用いて行う。

③ 非静力学モデルで再現された台風の強度、進路やコア域の構造を中心に統計的に調査を行い、観測データとの比較を含め、妥当性を評価する。

副課題３の本年度の成果

① ア）関東地方の北を通過した T1004 に関連して、つくばでゾンデ観測を行い、台風に向かって南から流入する湿潤な気流に関するデータが得られた。また台風と海洋環境場との関係を調査するためアルゴフロートのデータ収集を開始し、T0914 等いくつかの台風の近傍で 700m 深まで水温変動があることを見出した。

イ）T0813 が四国沖を通過していた期間に伴っていたレインバンドについて現業ドップラーレーダー観測データの解析を行い、台風北側で東西に伸びる顕著なアウターバンドが、中層で台風に対し流入する南向きの気流と、台風上層での台風からの北向きアウトフローを伴っていたことがわかった。

ウ）T0704 及び T0709 による日本国内の大雨事例を対象にして、非静力学モデルによる数値シミュレーションを行い、降水効率を計算した。その結果、両事例とも大雨となった期間の降水効率はそうでない期間に比べて高いことがわかった。これは以前に行った T0421 のシミュレーション結果と整合的である。

② 中緯度における台風の構造変化と強度等についての気候学的調査を、1979 年からの 26 年分の長期再解析データを用いて行った。客観的な判定基準で最終的に温帯低気圧化したと判定されたのは、全台風 687 個中 274 個（40%）、6－8 月期は 30%程度だが、9・10 月期は 60%近くに上り、季節による差異が顕著にみられた。この季節による差異は台風の熱的非対称化開始から寒気核化までと定義した遷移期間にもみられた。また温低化と判定された台風のうち 16.8%は熱的非対称化より寒気核化が先行していたことがわかった。

③ 2008 年 8 月～2010 年 9 月までの顕著な台風（最低気圧が 950hPa 以下）12 事例に対して、発生期から最盛期までの 73 初期値について、5 日積分を行い、予報進路や強度に関して統計調査を行った。特に進路誤差が著しかった T0813 の 2008 年 9 月 11 日 12UTC 初期値に関しては、初期値に存在する波数 1 の顕著な非軸対称成分が反時計回りに伝搬することで進路誤差を生じさせていることを、風の場から定量的な評価を行い明らかにした。また急発達事例の T0815 に関しては、台風強度を過小評価していると同時に、急発達期に特徴的な眼の収縮や 2 重眼などが再現できていないなどの問題点が明らかになった。

副課題４　熱帯の熱的環境解析（フィージビリティスタディ）

副課題４の研究担当者

大野木和敏、上清直隆、石橋俊之、山口宗彦（台風研究部）

副課題４の目標

全球大気モデルのデータ同化システムを用いて、各種衛星データを同化し、熱帯の熱的環境が、台風の発生・経路にどう影響しているか調査するとともに、衛星データ同化による水蒸気量などの予測精度へのインパクトを調査する。

副課題４の今年度の計画

① 観測データの同化手法の改良、衛星データの高度な同化、観測データ同化インパクト実験を行うための全球大気データ同化実験システムを構築する。
② データ同化（変分法）の誤差共分散行列の最適化スキームを導入する。観測データのインパクト評価を行い、衛星データ同化による熱帯の水蒸気量などの熱的環境の精度への効果を調べる。
③ 多チャンネルのサウンダデータを有効に同化するため、データ同化への主成分分析の利用を検討する。熱帯海洋上での衛星データの有効な同化により、熱帯域の解析精度への効果を調べる。
④ 熱帯の熱的環境が台風の発生に与える影響を調査する。水蒸気解析値偏差の水平分布や対流不安定など、大気の安定度を調べる。

副課題４の本年度の成果

① 変分法の誤差共分散行列の最適化に関しては、気象研究所のデータ同化システムに最適化スキームを移植した。観測データのインパクト評価を実施し、接線型仮定は概ね 48 時間予報まではよい近似であるが、熱帯下層の湿度では 24 時間程度で非線形性が顕著に現れること、衛星の輝度温度同化は、南半球の気温や風の予報精度を支配しているが、熱帯では衛星輝度温度と従来型データの寄与は同程度であることなどがわかった。さらに、解析誤差の推定スキームの開発、マルチアウターループの試験を行った。
② 多チャンネルのサウンダデータの主成分分析を利用した同化については、シミュレーションにより、AIRS データを使った晴天域の気温と水蒸気のリトリーバルの有効性を調査し、効率的なデータ同化が可能であること、季節性や地域性の考慮が必要であることなどを確認できた。
③ 熱帯の熱的環境が台風の発生に与える影響については、気象庁の熱帯域の水蒸気の解析値は、対流圏中層において、ECMWF と比較して月平均で約 1g/kg 少ないことがわかった。水蒸気解析値の偏差の水平分布や大気の安定度等について調査をすすめている。
④ 本庁数値予報課の全球大気データ同化実験システム「NAPEX」を数値予報課の協力を得ながら気象研究所に移植し、データ同化実験が可能な環境をほぼ整えた。また、そのための計算機環境整備として、スーパーコンピュータのジョブクラス構成の変更を申請して実現し、全球データ同化用サーバ・ストレージ装置の導入を行った。これにより、研究推進のための環境が整備された。

衛星データの利用技術に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　増田一彦（気象衛星・観測システム研究部　第一研究室長）

研究の目的

近年運用が開始された多波長赤外サウンダのデータを全球数値予報モデルの初期値作成に導入しその予報精度を改善させるとともに、それに必要な基盤技術を強化することが本研究の目的である。

副課題１　衛星サウンダの数値予報モデルでの利用技術に関する研究

副課題１の研究担当者

石元裕史、岡本幸三、真野裕三（気象衛星・観測システム研究部）

副課題１の目標

多波長衛星サウンダデータを数値予報モデルで有効に活用するために、次の２項目について研究を実施する。

① 多波長赤外サウンダの最適チャネル選択技術の確立
② 多波長赤外サウンダの雲域や陸域・海氷域へのデータ利用拡大技術の確立

副課題１の本年度の計画

① チャネル間の誤差相関を考慮してハイパースペクトル赤外サウンダ（IASI/Metop）の最適チャネル選択を行い、その影響を評価する。
② ハイパースペクトル赤外サウンダデータの全球データ同化実験を開始し、雲域および陸域・海氷域でのデータ利用の問題点を把握する。

副課題１の本年度の成果

① 干渉計型サウンダIASIについて、装置関数のアポダイゼーション（装置関数の凹凸を軽減するために行われる操作）に起因する誤差相関が最適チャネル選択に与える影響を調査した結果、ほとんど影響がないことが明らかになった。
② 全球データ同化実験への準備として、雲の効果を簡単に考慮した放射伝達モデルを用いて、解析前処理や一次元変分法の動作を確認した。同化処理における雲の吸収やモデル分解能と衛星観測の空間スケールの違いの扱いなどに、不十分な点があることを確認した。

副課題２　衛星サウンダ利用の基盤技術に関する研究

副課題２の研究担当者

石元裕史、岡本幸三、真野裕三（気象衛星・観測システム研究部）

副課題２の目標

将来の更なる初期値改善に向けての基盤技術を強化するために、次の３項目を目標に研究を実施する。

① 多波長サウンダによる大気プロファイル推定に必要な放射伝達モデルの開発
② ①を基にした多波長サウンダによる大気プロファイル推定技術の開発
③ 多波長赤外サウンダのより高度な利用技術に関する研究

副課題２の本年度の計画

① ハイパースペクトル赤外サウンダに関する基盤研究用に開発した放射伝達モデル（MITRAN）の海面射出率モデルを改善する。
② Aqua/AIRSデータを使った事例解析を引き続き行うとともに、水蒸気ライダーを利用して検証用データを取得する。
③ チャネル合成手法、複合利用手法などに関する基礎的研究を引き続き実施する。

副課題２の本年度の成果

① 開発中の MITRAN を干渉計型サウンダ IASI に対応できるように拡張するとともに、吸収線データベース（HITRAN）の改訂への対応、海面での多重反射を導入した海面射出率モデルの改良、により精度向上を行った。

② MITRAN を使って AIRS/Aqua データから求めた海域および陸域での水蒸気の鉛直分布を求めた。水蒸気ラマンライダーによる観測値と比較した結果は、おおむね良い一致を示した。また、陸域においては適切な陸面射出率モデルを利用することの重要性も明らかになった。

③ 昨年度実施した、多波長赤外サウンダのチャネル間の透過率の相関に注目した放射モデルの高速化の検討を進め、とりまとめを行った。干渉計型サウンダ IASI の場合、計算時間は概ね 50%減少した。

シビア現象の監視及び危険度診断技術の高度化に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　鈴木　修（気象衛星・観測システム研究部　第二研究室長）

研究の目的

近年、特に社会的要請が高まっている突風・大雨・落雷（以下「シビア現象」という）に対する防災気象情報の高度化や交通の安全運行等への貢献を目的として、数分から15分以内に発生する竜巻等突風の監視技術の高度化、及び1時間以内の短時間強雨の移動・盛衰を監視・直前予測するための技術を開発する。同時に、シビア現象監視の基盤である気象レーダー観測の精度を向上させるための技術を開発・改良する。

また、シビア現象に対してより高度な情報を提供するため、既存観測システムに比べてより高分解能・高精度な観測技術・システムを開発するとともに、それらによる観測からシビア現象の構造・メカニズムを解析し、シビア現象の早期探知や高度予測技術を実現するための基礎的基盤的知見・技術を得る。

副課題１　シビア現象に関する気象レーダー観測技術の高精度化に関する研究

副課題１の研究担当者

鈴木　修、中里真久、山内　洋、猪上華子、楠　研一（気象衛星・観測システム研究部）、林　修吾、益子　渉（予報研究部）星野俊介（台風研究部）、高谷美正（衛星研究部　客員研究員）

副課題１の目標

① 気象レーダー観測の精度向上のための技術開発を行う。
② シビア現象の監視・直前予測技術の開発・検証のための事例解析・統計解析を行う。

副課題１の本年度の計画

① ア）実データを用いたドップラー速度折返し補正アルゴリズムの検証・改良。
　イ）時間・空間的なサンプリングの制約を軽減する降水強度推定手法の開発。
　ウ）開発したセルトラッキング・アルゴリズムの検証。
② ア）固体素子二重偏波ドップラーレーダー観測と、GPSゾンデ観測等によるシビア現象と顕著事例の解析。
　イ）関東域で顕著なシビア現象発生の際の現地調査。
　ウ）顕著なシビア現象についての事例解析。

副課題１の本年度の成果

① ア）折り返し補正を含め、ドップラー速度の算出方法に起因する問題点の軽減のため、IQ信号を直接用いて、応用上重要な渦検出アルゴリズムを対象とした開発を行った。疑似データにより、従来手法より、計算精度が向上すること、折り返し補正の前処理が不要なことを確認した。ただし、計算負荷が大きいため、現行レーダーに直ちに適用可能ではない。
　イ）河川局によるXバンドマルチパラメータレーダーの試験運用が開始されるなど、降水強度推定に偏波情報が現実的に使える可能性が高まったため、同レーダーのデータの蓄積を行うシステムの構築､観測データを気象研開発のツールで処理できるようソフトウェアの整備を行っている。
② ア）関東地方で突風や大雨の発生が予想される場合に、固体素子二重偏波レーダーによる観測を実施した。その結果、2010年7月5日に東京都で発生した局地的大雨事例や、2010年12月3日に茨城県牛久市で発生した突風事例などのデータを収集した。
　イ）2010年12月3日に茨城県牛久市で発生した突風災害の現地調査を水戸地方気象台と合同で実施し、現象・強度・発生時刻等のデータを得た。
　ウ）以下の顕著なシビア現象について、事例解析を行った。
　・ 2007年4月28日，関東全域に突風・降雹・雷雨をもたらした事例の解析を行った。特に、

被害が報告された東京湾岸地帯での降水システムについて、追加の現地調査、気象研および気象庁の計4台のCバンドレーダーなどを用いた詳細な解析を実施した。その結果、被害をもたらしたのは，いわゆるbow echo（ボウエコー：反射強度分布が弓形をした準ライン状の降水システム）の中に埋め込まれたマイソサイクロンによることが判明した。また，このマイソサイクロンの発生約10分前に，中層のレーダーデータに前兆現象と思われる動径収束が観測された。

- 2009年10月8日に関東で3つ発生した竜巻のうち、土浦市で発生した竜巻について、ドップラーレーダー、ゾンデ観測等を用いた事例解析を行った。被害地上空に直径数100mの竜巻渦とみられるドップラー速度パターンの存在は確認できたが、中層にはメソサイクロンがなく、親雲はスーパーセルではなかったことがわかった。鉛直シアが強すぎてスーパーセルに適さない環境場であった可能性がある。
- 2010年12月9日に新潟県上越市で発生した竜巻について気象庁新潟レーダーを用いて初期解析を行った。その結果、竜巻は小低気圧の前線に対応する活発なライン状エコーが通過した際に発生していたこと、エコー内には複数の水平スケール数km、鉛直方向に4-5kmまで達する渦が観測されており、その1つが被害域上空を通過していたことがわかった。

副課題２　シビア現象の監視・直前予測技術に関する研究

副課題２の研究担当者

中里真久、鈴木　修、山内　洋（気象衛星・観測システム研究部）

副課題２の目標

① 数分～15分以内に発生する竜巻等突風や落雷を監視・直前予測する技術・システムの改良及び新たな開発を行う。
② 1時間以内に発生する短時間強雨を監視・直前予測する技術の開発を行う。

副課題２の本年度の計画

① 改良したメソサイクロン・ダウンバースト等の検出を行うアルゴリズムによる竜巻等突風事例の検証と統計的評価。
② 竜巻等突風のポテンシャル予測及び実況監視（レーダー等の観測データ）を組みあわせた危険度診断手法の事例による検証と統計的評価。
③ 竜巻等突風の監視・予測アルゴリズムにセルトラッキングを取り入れた改良を行い、事例による検証と改良。
④ 改良アルゴリズムの気象庁への提案。

副課題２の本年度の成果

① 冬季の竜巻を含め、比較的小規模の渦パターンを伴う竜巻が多いことから、ドップラーレーダーによる､レーダービーム分解能程度のスケールの竜巻等の渦の観測特性の検討を行った｡調査は、ビーム幅や方位方向のサンプリング、ドップラー速度算出方法の影響をシンプルなシミュレーションを用いた。その結果、ドップラー速度の算出には、従来用いられている平均法よりも、ドップラースペクトルの最頻値を用いる（モード法）ほうが、渦の最大接線速度の推定精度が良いことが明らかになった。ただし、渦の直径の推定では平均法による推定値は過大評価に、また、モード法の場合は過小評価となる傾向であり、特に優劣はなかった。
② 副課題1で開発したIQ信号を直接用いるアルゴリズムを擬似データを用いて検証し、現行のアルゴリズムより、小規模の渦パターンに対して精度が良いことを確認した。計算負荷が大きいため、現行レーダーに直ちに適用可能ではないものの、方位角方向の過度の平滑化や折返しの誤補正の軽減に対して有効と考えられる。

副課題３　局地的シビア現象を対象とした高精度センシング技術に関する研究

副課題３の研究担当者

楠　研一、中里真久、山内　洋、猪上華子（気象衛星・観測システム研究部）、林　修吾、益子　渉（予報研究部）、星野俊介（台風研究部）

副課題３の目標

① 既存観測システムに比べてより高分解能・高精度な観測を利用して、シビア現象を発生させる降水システムおよび大気環境の基礎的な調査を行う。
② 以下に資する知見をとりまとめる。
　(a) シビア現象に関わる現業数値モデル・注意情報の検証・改良
　(b) 局地領域における、シビア現象の探知・予測技術と気象庁の情報を組み合わせた重層的な探知・予測技術の策定

副課題３の本年度の計画

① 局地的シビア現象を発生させる降水システムおよび大気環境の基礎的な調査を継続して行う。
② 局地的シビア現象の雲解像モデル再現実験を通し現業 NHM モデルの問題点を考察する。
③ 竜巻など突風の探知から竜巻注意情報の検証を行う。
④ 雷放電の 3 次元標定から雷監視システムの雷探知の検証を行う。
⑤ 共同研究で得られた高精度の観測結果に基づき、ドップラーレーダー・次世代アメダス・ドップラーライダー・雷監視システムの新たな利用法の提言をする。
⑥ 共同研究で開発される高精度センシング技術と気象庁のシステム・情報との組み合わせによる、より重層的な探知・予測技術の策定をする。

副課題３の本年度の成果

① 局地的シビア現象を発生させる降水システムおよび大気環境の基礎的な調査を実施した。特に、突風をもたらす渦状の降水システムについて高層ゾンデ観測を最高頻度 30 分間隔で行うことができた。突風のメカニズム解明につながるほか、発生予測や現業 NHM モデルの問題点を考察する基礎資料となる。
② 雷放電装置を庄内平野に４カ所に設置した。このことにより、雷放電の精密な３次元標定が可能となり、雷監視システムの雷探知の検証の基礎資料となることが期待される。さらに同領域に５ヵ所に設置した電界計により、雷放電を起こす大気電場の知見の獲得が期待される。
③ 雷放電装置で観測された雷放電と、MANAL・レーダーを組み合わせ、雷放電時の雲頂温度と-10℃層高度について解析した結果、従来の冬季雷の電荷生成機構と整合的であることが示された。このことにより、雷放電を起こす環境場の知見の獲得が期待される。

海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究

研 究 年 次：　1年目／5年計画（平成22年度～平成26年度）
研究代表者：　吉川澄夫（地震火山研究部長）

研究の目的

海溝沿い巨大地震発生直後にその震源断層の広がりや断層のすべり分布を把握する手法開発を行うと共に、推定された震源断層の広がり・すべり分布に基づき地震動分布を推定する手法を開発することにより、巨大地震に係るいっそう適切な評価や被害把握等、災害の拡大防止等に直結する地震防災情報の提供を可能にし、国民の安全・安心に寄与する。

副課題１　巨大地震の震源断層の広がりとすべり分布の把握

副課題１の研究担当者

吉川澄夫、勝間田明男、吉田康宏、青木重樹、弘瀬冬樹、木村一洋、小林昭夫、平田賢治、対馬弘晃、大竹和生（地震火山研究部）、碓井勇二、足達晋平、上野　寛（気象庁地震火山部地震予知情報課）、山崎　明（地磁気観測所）

副課題１の目標

巨大地震の断層のおよその広がりを地震発生直後2～3分以内に把握する手法を開発する。現在10～20分程度で求められる断層のすべりの大きさや方向の解析について、処理時間の短縮（5～10分）と信頼性向上を図る。余震の震源分布を地震発生後10～20分以内で把握するための震源決定手法を開発する。断層の大まかなすべり分布を地震発生後10～20分で求める手法を開発する。

副課題１の本年度の計画

① 地震波形データを収集し、断層の巨視的パラメータを把握する手法の検討を開始する。
② モーメントテンソル解析・自動地震検出・自動震源決定・震源過程解析・地震動の地盤補正手法等の調査を行う。
③ 震源計算のための基本速度構造を設定する。
④ 南海トラフ沿いにおいて、地震波速度構造及び地震活動把握のため自己浮上式海底地震計による海域地震観測を行う。

副課題１の本年度の成果

① 断層破壊過程を即時的にイメージするための手法として、規格化短周期波形エンベロープを用いた震動源探索手法(改良SSA法)を開発し、数値シミュレーションでその有効性を示すとともに、平成6年（1994年）三陸はるか沖地震や平成15年（2003年）十勝沖地震などの実際の地震に適用した。
2000年以後日本付近で起きたマグニチュード7以上の地震について、2004年スマトラ沖地震を用いて開発した歪計を用いて破壊の方向を推定する手法の有効性を確かめた。歪計から見込む角度の解像度は約10度となっており、それより大きな変化については検出できることがわかった。
2009年にサモアで起きた地震について、歪計の記録をデコンボリューションすることで震源時間関数を求める手法を適用し、この地震が正断層とスラストの２つのメカニズムの地震が連発して起きている事を確かめた。
すべり分布推定の自動化に向けた課題の抽出を行った。
② モーメントテンソル解の精度向上に向けて、初動解との系統的な比較を実施し、大局的には両者は一致していることを示した。また、メカニズム解分布の比較のために、三角ダイヤグラムを利用した統計的手法を開発した。
自動震源決定に関して、トリガ処理として、余震の震源決定を想定し、地震検出時間帯の中でも振幅が大きくなった部分を検出する処理を開発した。地震識別・震源決定処理として、ノイズ的データの除去に有効とみられるグリッドサーチによる震源決定法を開発した。
余震分布から推定した平成16年（2004年）新潟県中越地震の断層配置の複雑さと余震活動度の

関係についての調査を進めた。
③ 三次元速度構造震源計算について、これまでの結果において不適当な震源分布の原因の一つとなっていた速度不連続面を除いて速度構造を設定し、浅い部分の速度構造を推定した上で震源決定に適用した。
④ 南海トラフ沿いの地震活動の把握と海域における震源の正確な位置の把握のため、潮岬南方沖において自己浮上式海底地震計を用いた観測を実施した。
紀伊半島潮岬はるか沖南海トラフ周辺で、24 台の自己浮上式海底地震計を用いて海底地震観測を実施した。
⑤ 断層の大まかなすべり分布を地震発生後短時間で求める手法の開発の一環として、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の震源過程解析を行い、断層のすべり分布を求めた。求めたすべり分布については、気象庁の報道発表資料に使用された。

副課題２　巨大地震発生直後の地震動の把握

副課題２の研究担当者

吉川澄夫、勝間田明男、吉田康宏、青木重樹、弘瀬冬樹、木村一洋、小林昭夫、岩切一宏（地震火山研究部）、西宮隆仁（気象庁地震火山部地震津波監視課）

副課題２の目標

観測地震データと断層上のすべり分布推定結果に基づいて、さまざまな周波数帯の地震動分布を地震発生後 10～20 分後に推定する手法を開発する。

副課題２の本年度の計画

① 過去地震の地震動調査
- 震動分布把握のため、地震波形データを収集する。
- 震動とすべり分布の関係調査のため、震源過程解析結果を収集する。
- 地震動の地盤補正のため、地盤情報を収集する。

② 地震観測データ及びすべり分布を考慮した地震動推定
- 地盤補正手法を調査する。
- 地震動推定手法を調査する。

副課題２の本年度の成果

① 各管区において保管してきた過去の地震波形について、それらを収集し計算機処理可能な形態に編集処理した。
② 2000 年以後日本付近で起きた大きな地震について、周期 1 秒ー10 秒の応答スペクトルのデータベースを作成した。

緊急地震速報高度化のための震度等の予測の信頼性向上技術の開発

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　干場充之（地震火山研究部　第四研究室長）

研究の目的

緊急地震速報の処理の高度化に結びつく技術開発を行う。余震・群発活動・連発地震に対応した処理手法の開発や海底地震計を有効に利用する手法を開発し、また断層面の広がりに即時的に対応する手法の開発に関する研究等に取り組み、特に、東南海・南海地震等の海域に発生する巨大地震について、緊急地震速報における震源、マグニチュード及び震度の予測精度を向上させる。

副課題１　緊急地震速報のための余震・群発活動・連発地震に対応した処理手法の開発

副課題１の研究担当者

大竹和生、干場充之、岩切一宏（地震火山研究部）、下山利浩（気象庁地震火山部地震津波監視課）

副課題１の目標

地震が連発する余震活動や群発地震のような状況においては、適切に個々の地震を分離して自動的に認識できるかが重要となる。特に、連発する地震の中で発生したやや大きな地震に対して、個々の地震を分離し適切に震源決定処理ができる技術を開発する。

副課題１の本年度の計画

① 気象庁や他機関の過去の地震波形の収集および手法開発のための標準データセットの作成。
② 作成した標準データセットを用いて、地震多発時にも震源決定を行うことができる処理手法の開発（従来手法による解析と評価の継続）。
③ 研究対象となる地震が発生した場合には地震波形収集に努める。

副課題１の本年度の成果

① 気象庁・他機関からの地震波形データの収集とデータセットの作成を継続した。内陸の比較的大きな地震（およびその余震）・群発地震等の連続波形記録をはじめ、緊急地震速報を発した全波形記録の保存と編集を進めた（ただし、システムの不具合により一部消失）。なお、ここで得られたデータは,緊急地震速報の処理が不適切だった場合(たとえば､平成22年9月16日の地震(M2.7)でM5.1と過大評価した等）の原因の検証と対策の考察にも用いられた。
② 震源決定の自動処理・地震波形の信号処理・地震の相判別等に関する文献や資料の調査、開発者への聞き取り等を行い、従来手法の調査と評価を継続した。各種手法の利点、欠点についての調査を行った。
③ 平成23年度東北地方太平洋沖地震とその余震の地震波形の収集を行った。

副課題２　震源・マグニチュードの即時推定精度および震度の予測精度の向上に関する研究

副課題２の研究担当者

干場充之、大竹和生、岩切一宏（地震火山研究部）、下山利浩（気象庁地震火山部地震津波監視課）

副課題２の目標

① 緊急地震速報では、震源により近い地点で地震波を捉えることが迅速化につながる。海域で発生する海溝型地震に対しては、ケーブル式海底地震計が有効である。そこで、海溝型地震の迅速な震源決定に結びつけるため、海域特有の特性を考慮することにより、ケーブル式海底地震計をより有効に活用する技術を開発する。

② 正確な震度予測のためには、正確なマグニチュードの推定が重要である。緊急地震速報では、迅速化のために（通常の震源決定よりも）少数の観測点でマグニチュードを決定する必要がある。そこで、マグニチュードの推定を迅速かつ的確化すること、観測点ごとの補正値の適正化を図ることにより震度予測の手法の改良を行う。
③ 巨大地震では断層面の広がりを無視できないため、震源を点として捉えている現在の緊急地震速報では、震度予測が適切に行えない。そこで、巨大地震の震源の広がりの効果を取り入れることにより震度の予測精度の向上につなげる。

副課題２の本年度の計画

① 海底地震計に関して気象庁・他機関データ等の資料の調査と解析を継続する。また、海底地震計に関して現在の手法における適応性の吟味の継続と業務化判断のための資料提供を行う。さらに、海底地震計を用いた震源推定手法の改良の検討を行う。
② 現在の震度推定手法における観測点補正値の改良と業務化に向けた資料提供を行うとともに、震度やマグニチュードの推定手法の改良の検討を行う。
③ 既往の震源域推定手法の調査と緊急地震速報への適応の検討を継続する。

副課題２の本年度の成果

① 東南海沖に設置したケーブル式海底地震計データを緊急地震速報に適用するに当たり、海底地震計の記録について吟味した。気象庁ばかりでなく他機関データ等の資料の調査と解析を継続し、１観測点で震源距離を求める現在の手法における適応の可否について調べ、その結果（現在のパラメータでも概ね適応可能であること）を論文にまとめ報告した。また、複数の観測点で震源決定する手法における観測点ごとの走時補正値について検討をすすめた。海底地震計特有の補正値が必要となるわけではなさそうである。
② ア）震度の予測精度向上の一環として、現在の震度推定手法における観測点補正値の改良の検討を進めた。昨年度は、震度観測の実測に基づく補正値を推定し、従来の微地形区分に基づく補正値を用いる方法より精度向上が期待できることを示したが、今年度は改良を進め、その結果を論文にまとめ、さらに業務化に向けて本庁に計算方法等の資料を提供した。また、震度の予測精度に大きな影響を及ぼす地表最大速度や震度の距離減衰式について評価を行った。特に近距離に注目し、地表最大速度を介するよりも直接震度を推定する方が比較的精度が良いことを示し、論文にまとめた。
イ）１観測点で震源距離を求める手法では、地震波の到来方向の推定が重要である。そこで、１観測点の解析結果が比較的多く用いられる島しょ部について、到来方向の推定精度を向上させることを検討した。従来用いられているよりも短い時間長を用いる方が精度が良くなる結果を得た。
ウ）マグニチュードは地震波振幅から求められるので、電気的ノイズや機器不良により不適切な振幅が入ると、マグニチュードの推定が悪くなる。そこで、これらのノイズを瞬時に判定する手法を考察し、マグニチュードの推定精度を向上させる手法を検討している。
③ 震源域の広がりに対応した震度予測の一環として、既往の震源域推定手法の調査を進めるとともに、過去に日本近海で発生したＭ８クラスの地震の波形記録に現在の緊急地震速報の処理を適用し、マグニチュードや震度の推定の振舞を調査した。その結果、Ｐ波部分から求めるマグニチュードでは、（過小評価ばかりでなく）過大評価する場合もあること、また、震度４以上を予測する領域は、実際の観測よりもやや広めであることがわかった。
④ 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の波形の特徴を調べ、既往のマグニチュードの即時的推定手法について吟味を行った。

東海地震予知技術と南海トラフ沿いの地殻活動監視技術の高度化に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25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）

研究の目的

東海地震予知技術の精度向上及び南海トラフ沿いの領域等の地震・地殻活動監視技術の拡充のため、海溝型巨大地震発生シミュレーションモデルの高度化、地震波速度場変化及び地殻変動の監視・解析技術の高度化、地震活動評価手法の高度化に関する研究等に取り組み、東海地震の発生シナリオの改善及び地殻活動状態変化のモニター手法の拡充を図る。

副課題１　監視・解析技術の高度化

副課題１の研究担当者

吉川澄夫、前田憲二、林　豊、勝間田明男、小林昭夫、吉田康宏、青木重樹、木村一洋、弘瀬冬樹（地震火山研究部）、足達晋平、潟山弘明（気象庁地震火山部地震予知情報課）、太田健治（仙台管区気象台技術部地震火山課）、岡田正実（地震火山研究部　客員研究員）

副課題１の目標

① 精密制御震源装置（アクロス）を用いた監視技術に関する研究として、信号の時間変化の効率的な監視手法を開発する。
② 地殻変動データを用いた監視技術に関する研究として、次の研究を行う。
- レーザー式変位計による観測と長期的スロースリップ等の異常地殻変動検知技術開発を行う。
- 歪計等データによるスロースリップ等の異常地殻変動検出手法の改良を行う。
- 数十年以上にわたる長期的地殻変動の特徴を把握する。

③ 地震活動評価の高度化のために、地震活動の特徴抽出による地震活動度および地震発生確率を評価する。

副課題１の本年度の計画

① アクロス信号を解析し、時間変動要因を分析する。
② ア）短期的スロースリップの効率的な検出方法の検討を行う。
イ）長期的スロースリップ現象の再解析と降水影響に関する経験的モデルの改良を行う。
ウ）水準測量・潮位の過去データの統合処理を行う。
③ ア）a値およびb値から地震の発生確率を求める。
イ）応力と地震の関連性の既存モデルによる評価を行う。
ウ）相似地震等の基礎的統計モデルの作成を行う。

副課題１の本年度の成果

① ア）アクロスとHi-net森観測点間の伝達関数の走時の時間変化について、気圧・気温・降水量など気象要素との相関を調べ、変動要因の分析を行った。その結果、降水量の影響が最も効いていることがわかった。また、4段のタンクモデルでほぼ変動の説明がつくことを明らかにし、大域的探索法（SCE-UA法）を用い、各タンクの最適パラメータを求めた。
イ）今後の弾性波伝搬媒質のリアルタイムかつ能動的な監視に向けて、自動的に伝達関数の走時変化とエネルギー比を計算、図示するプログラムを開発した。
② ア）歪計による監視において、基準を下げた上で複数観測点での同期現象を監視することにより、短期的スロースリップイベントのような規模の小さな現象についても、精度良く検知することが可能であることを明らかにした。また、より小さな地下深部の現象を捉えるためには、24時間階差以外に72時間階差などの長期間の階差が有効であることを明らかにした。

イ）2005 年に四国西部で発生した長期的スロースリップについて、期間別のすべり分布などの解析を進め、論文としてまとめた。
歪計による短期的な地殻変動の監視を行う上では、現在用いているＡＲ法による降水補正よりも、タンクモデルによる降水補正の方が有効であることを明らかにした。
豊後水道における長期的スロースリップ現象について解析を進め、GPS により観測された以前にもほぼ一定間隔で同規模の地殻変動が発生していたことを明らかにした。

ウ）レーザー式変位計の基線長 200ｍの場合と 400ｍの場合の潮汐・気圧応答の違いについて解析し、潮汐応答の時間変化・気圧応答の大きさなどに差があることを明らかにした。。
体積歪計の観測開始からの長期的な時系列データを用い、1980 年代の東海の長期的スロースリップとの関連を調査した。
一部の体積歪計の観測点において、気圧補正係数や潮汐補正係数の振幅の変化など、経年的に感度が変わっていることを明らかにした。
四国地域における水準測量・潮位・GPS データの統合処理を進めた。

③　ア）３次元地震波速度と過去に発生した M6.0 以上の地震との関連を調査した。その結果、深さ 30km における地震波速度が平均よりも遅い地域で比較的多く M6.0 以上の地震が発生し、両者の関係を対数正規分布で近似できることがわかった。発生個数で重み付けした頻度分布に基づき、各グリッドの速度構造から地震発生率に変換し、既存の地震発生予測モデル（地震の規模別頻度分布を Gutenberg-Richter（G-R）則またはマグニチュードに上限値を設定する改良 G-R 則で近似し、地域毎に適切な方を採用して地震発生率を推定する MGR モデル）に組み込むことで、全体的な予測精度が若干向上した。

イ）静岡県西部において観測された群発的な地震活動を、間隙水圧の変動による有効法線応力の変化と、地球潮汐による応力変化により定量的に説明するモデルを作成した。

ウ）基本的統計モデル（ベイズ統計対数正規分布モデル）を用いて、事前予測を行い、観測データによる検証を行った。これまでの予測実験結果を取りまとめた。
国内の大地震（1988～2010 年に発生した M6.7 以上、深さ 120km 以浅の地震）の前に地震活動の静穏化現象が伴ったかどうかを明田川・伊藤の手法（2008）により検証した結果、太平洋プレート沈み込み帯付近のプレート境界型地震には高い割合（約 70%）で静穏化現象が出現することが確認され、この場合、静穏化領域と静穏化継続期間の地震規模（M）に対する定量的関係も認められた。

副課題２　地震発生シミュレーション技術の高度化

副課題２の研究担当者

前田憲二、木村一洋、弘瀬冬樹（地震火山研究部）、潟山弘明（気象庁地震火山部地震予知情報課）

副課題２の目標

①　地震発生シミュレーション技術の高度化を行い、以下の予測を行う。
- 東海地震発生に先行する地殻変動等の予測を行う。
- 東南海・南海地震発生に先行する地殻変動等の予測を行う。

副課題２の本年度の計画

①　シミュレーションモデルの改良を行い、東海地域の割れ残りを再現する。

副課題２の本年度の成果

①　数値シミュレーションを用いて、南海トラフ沿いで繰り返し発生する巨大地震、東海地域および豊後水道で繰り返し発生している長期的スロースリップイベント（LSSE）の再現を試みた。主な結果は以下の通り。
- 紀伊半島沖を破壊開始点とする東南海地震・南海地震が約 110 年のサイクルで発生し、２回に１回は東海地域まで破壊が進展する（２回に１回は東海地域が割れ残る）モデルが得られた。

これは安政および昭和の巨大地震の発生様式を概ね再現している。

- 地震発生サイクル中に、東海地域で約 15-18 年、豊後水道で約 6-10 年の周期を持つ LSSE が発生した。LSSE の周期は時間が経過するとともに短くなり、規模は大きくなる傾向を示した。東海地域の LSSE の規模は、東海地域が割れ残った後のサイクルにおいて大きくなった。豊後水道の LSSE は、東海地域の割れ残りの影響は見られなかった。

気象観測技術等を活用した火山監視・解析手法の高度化に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　山里　平（地震火山研究部　第三研究室長）

研究の目的

気象レーダー等を用いた噴煙観測等新たな観測手法の開発、移流拡散モデルによる降灰予測及び火山灰拡散予測手法の高度化に資する研究、地殻変動等の火山観測データのノイズ除去手法の開発等による火山監視手法の研究に取り組み、噴火等の様々な火山現象をより迅速・正確に把握するための監視・データ解析技術を開発する。

副課題１　噴火現象の定量的監視技術の開発

副課題１の研究担当者

福井敬一、新堀敏基、安藤　忍、鬼澤真也、山里　平（地震火山研究部）、楠　研一（気象衛星・観測システム研究部）、橋本明弘（予報研究部）

副課題１の目標

気象レーダー等のリモートセンシング技術を用いた噴煙観測手法や空振観測等から、噴火発生やその規模を迅速に検知する手法を開発するとともに、降灰予測及び火山灰拡散予測手法に用いる噴煙、移流拡散モデルの改善を行う。

副課題１の本年度の計画

① 既存の気象レーダーによる噴煙の動力学的研究を行う（主として鹿児島空港気象ドップラーレーダー）。
② 過去の観測事例をもとに降灰予測に用いる噴煙、移流拡散モデルの開発・改良を行う。
③ 火山灰拡散予測に用いる全球版移流拡散モデルの開発を行う。
④ 空振アレイによる噴火の観測を開始する。
⑤ SO_2カメラによる噴煙の試験観測を行い、SO_2放出量を定量的に評価する手法の開発に着手する。

副課題１の本年度の成果

① 2009年に発生した桜島の爆発543例の種子島レーダーデータを収集し、爆発噴煙の検知率を調査した。噴煙高度2400m以上の爆発噴煙5例はすべて検知され、噴煙高度が低くなるにつれ検知率は低下する。低下の割合はレーダーの走査パターンから推測されるものにあっており、走査頻度を増せば、小規模な爆発も検知可能なことがわかった。レーダーによって観測される爆発噴煙の平均的な構造を求め、噴煙上昇に伴う火山灰粒子の大気中での振る舞いを推測した。2010年の桜島の爆発896例についても種子島レーダーデータの収集を進めている。
② ア）降灰予測に用いているメソ版移流拡散モデルで降灰量の換算方法を高分解能化して、2009年桜島の全予報事例について量的予測を検証した。観測値と同じオーダーの予想降灰量が求められたが、最大降灰深はいずれも1 mmに満たず、より規模の大きい噴火による事例検証が必要である。
　イ）非静力学モデルによる2008年8月霧島山新燃岳の噴煙－降灰シミュレーションを実行した。降灰分布に対する降水の影響と大気環境場の再現性が重要であることを確認した。
③ 気象庁の次期システムで運用予定の航空路火山灰拡散モデルの拡張に着手した。アイスランドの火山噴火に伴う火山灰拡散予測の試行およびベンチマーク試験を実施した。
④ 霧島山新燃岳噴火に伴う空気振動データから、水蒸気爆発に伴う空気振動が噴煙が大気に突入することによって励起されることで説明可能であることを明らかにした。
⑤ 噴火した霧島山新燃岳において、SO_2カメラと野外電源装置を組み合わせた試験観測を実施した。

副課題２　火山観測データ処理技術の高度化に関する研究

副課題２の研究担当者

新堀敏基、山里　平、福井敬一、鬼澤真也、安藤　忍（地震火山研究部）、近澤　心（気象庁地震火山部火山課）、小司禎教、橋本明弘（予報研究部）

副課題２の目標

火山性震動の客観的・定量的な処理手法等の開発によって、火山異常をより迅速・正確に把握するための監視・データ解析技術を開発する。また、干渉 SAR（合成開口レーダー）による地殻変動観測について、気象の影響の除去手法を開発する。

副課題２の本年度の計画

① 干渉 SAR データの水蒸気ノイズについて、高解像度非静力学モデルの数値予報 GPV を用いた水蒸気量の時空間分布の変化によるノイズの補正手法のプロトタイプを開発する。
② 火山性震動の客観的分類手法を活動的火山の火山性地震や微動に適用して、活動との関係を検討する。

副課題２の本年度の成果

① 高解像度非静力学モデルによる数値予報 GPV から大気遅延量を算出し SAR 干渉解析に含まれる水蒸気ノイズを補正処理するためのプロトタイプを開発した。
② ア）火山性震動の客観的分類手法を三宅島直下の地震活動に適用し、３つのタイプに客観的に分類でき、ごく小規模な噴火の直前に高周波地震からやや低周波地震へと波形が変化していくことを明らかにした。
　イ）桜島の C 型微動に伴う超低周波音を解析し、C 型微動は火口直下ごく浅部で発生し、超低周波音は昭和火口から射出されること、超低周波音の励起率は爆発地震あるいは BL 型地震発生後、時間とともに減少することを明らかにし、大気にオープンな共鳴体が収縮・閉塞していく過程を見ている可能性を示した。

沖合・沿岸津波観測等による津波の高精度予測に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　前田憲二（地震火山研究部　第一研究室長）

研究の目的

沿岸へ到達する前に津波を予測するためには、津波波源の推定、津波伝播の再現および、予測誤差低減のための沖合津波データ等活用が必要である。本研究では、津波予測の精度向上に資するため、これら津波予測の３要素に関する研究を行うことを目的とする。

副課題１　地震津波の発生・伝播メカニズムに関する研究

副課題１の研究担当者

平田賢治、林　豊、対馬弘晃、前田憲二（地震火山研究部）、中田健嗣（気象庁地震火山部地震津波監視課）

副課題１の目標

津波波源（地震断層運動；津波伝播計算に必要な初期値）に関する知識の蓄積・改善および、津波伝播過程の高精度な再現を図るために、次の２項目について研究を実施する。

① 地震津波の発生メカニズムに関する研究
② 津波伝播に伴う津波減衰特性の研究

副課題１の本年度の計画

① 日本周辺および国外の地震津波の発生メカニズムの調査
② 遠地津波について、検潮所での津波観測波形のデジタル化と減衰特性の抽出

副課題１の本年度の成果

① 昨年度実施した海域調査データの解析を進め、2004年12月スマトラ島沖巨大地震の津波波源域において海底断層の分布を明らかにした。また、これらの海底断層の活動度や活動時期を調べるため、今年度も同海域において反射法地震探査などを実施した。
② 津波の減衰過程において、移動自乗平均振幅の3倍以上の半振幅の波が出現することが稀だという性質に、移動自乗平均振幅の時間減衰の近似関数を組み合わせれば、津波警報の解除のタイミングの予告を伴う情報発表が可能になることを示した。
③ 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の津波波源域が、岩手県沖から茨城県沖にまで及んでいることを津波観測データから推定し、報道発表を行った。
④ 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震に伴う津波について、茨城県、千葉県の太平洋沿岸において、沿岸津波痕跡調査を行った。

副課題２　沖合津波観測データ等を用いた津波予測手法に関する研究

副課題２の研究担当者

林　豊、平田賢治、対馬弘晃、前田憲二（地震火山研究部）、中田健嗣（気象庁地震火山部地震津波監視課）

副課題２の目標

沖合津波観測データの津波予測への活用手法を検討するとともに、津波波源の推定手法に関する技術基盤を強化するために、沖合津波観測データを用いた津波予測手法の開発を行う。

副課題２の本年度の計画

① 海岸付近での津波を高精度かつ効率的に計算可能な津波数値計算手法の検討
② GPS 波浪計の津波観測精度の評価
③ 東海海底水圧計のデータ収集
④ 海底水圧計の部分試作

副課題２の本年度の成果

① ア）2010 年 2 月のチリ地震津波において、海岸の潮位観測施設と全国港湾海洋波浪観測網(NOWPHAS)の沖合波浪観測施設との両方で津波の記録が得られた観測例を収集し、両者での津波第一波振幅と最大振幅の関係、第一波の到着時間差を調べた。
イ）沖合波浪観測施設での津波振幅から海岸の潮位観測施設の津波振幅を求める予測式を導き、GPS 波浪計で観測される津波振幅を津波注警報に活用する方法を提案した。
② ア）GPS 波浪計の位置または類似環境の海上点での津波を予め数値計算し、経験的な津波高比の関係を適用して海岸での津波の高さに換算した値を用いることで、津波データベースの信頼性の向上が図れることを示した。
イ）海底水圧計の波形データを用いたインバージョンにより津波波源を推定し、その推定波源から沿岸の津波波形を数値計算により予測する手法を開発するとともに、水圧計に加え GPS 波浪計も用いた場合についての数値実験を行い、両データの併用が、広範囲の沿岸地域に対する津波予測精度の向上につながりうることを示した。
③ 東海海底水圧計のデータを当研究部で利用できるようデータ取得環境を整備した。
④ 海底水圧計の構成ユニットである、水晶発振式水圧センサーおよび高精度水温計を整備した。

気候変動への適応策策定に資するための気候・環境変化予測に関する研究

研 究 年 次：　1年目／5年計画（平成22度～平成26年度）
研究代表者：　鬼頭昭雄（気候研究部長）

研究の目的

地球温暖化が不可避となることが予想される近年の状況において、気候変動への対応策の立案・実施に向けて、費用対効果や優先順位等を検討するための判断材料が求められている。また、アジア諸国の経済発展や土地利用変化などに伴い、アジア太平洋域における環境変化予測情報へのニーズが高まっている。それらを提供可能にするべく、20～数十年程度先の近未来を対象とした高度な気候および環境の変化予測を行うことを目的とする。

副課題１　地球システムモデルによるアジア太平洋域の2050年までの地域気候・環境変動予測

副課題１の研究担当者

行本誠史、保坂征宏、石井正好、足立恭将、新藤永樹、楠　昌司、遠藤洋和、水田　亮、尾瀬智昭、吉村裕正、小畑　淳、坂見智法（気候研究部）、柴田清孝、田中泰宙、出牛　真（環境・応用気象研究部）、蒲地政文、山中吾郎、辻野博之（海洋研究部）

副課題１の目標

高解像度（約20km）全球大気モデル及び高精度全球海洋モデルを結合した高解像度地球システムモデルを開発する。このモデルを用いて2050年までの予測実験を行い、我が国およびアジア太平洋地域に大きな影響を及ぼす諸現象（台風、梅雨等）の変化、極端現象の地域的な変化、およびアジア太平洋域の環境変化予測を行う。

副課題１の本年度の計画

- 中解像度モデルによるCMIP5長期予測実験を行う。
- 高解像度大気モデルを地球システムモデルと結合し再現性を最適化する。
- 解像度、ネスティング等、高精度全球海洋モデルの構成検討を行う。
- 地球システムモデルの高度化を行う。

副課題１の本年度の成果

- 積雲対流スキームに、エントレインメント・デトレインメント率を浮力に依存させるオプションを追加した。
- 中解像度地球システムモデル向けに、大気海洋結合モデルの弱点であるダブルITCZの改善を目指した積雲対流スキームを中心としたチューニングを行った。具体的には、大気中の水物質の滞留時間を延ばすように、積雲から出る水物質を大規模凝結過程にできるだけ渡し、雲スキームによって降水を作るような調整である。その結果、ダブルITCZ傾向が若干改善し、ENSOやMJOのシグナルが強くなり、モデルのパフォーマンスに改善が見られた。
- 上向き短波フラックスの南大洋域における過小バイアスと北太平洋域における過大バイアスを低減することを目指し、主として雲過程・放射過程において、時間変化項の変更・パラメタ変更・新過程の導入により調整・制御を行った。特に時間変化項の変更には、氷晶落下について自然な定式化への変更を行い、新過程の導入には、雲体積保存による雲量の幾何変換を導入した。
- 陸面モデル（HAL）への積雪変態・アルベドプロセスモデル（SMAP）を導入し、エーロゾル沈着なども反映して積雪アルベドが物理的に表現されるようになった。
- 全球エーロゾルモデル（MASINGAR mk-2）で、IPCC RCPエミッションデータベースに準拠したシナリオランを行うことができるようにモデルを改良した。また、エーロゾルモデルと全球大気化学モデル（MRI-CCM2）との相互作用、および海氷・陸面における積雪アルベド計算への相互作用が行えるようにモデルを改良した。さらに、大型計算機上で高速に実行が可能となるように並列化によってモデルの実行効率を改良した。

- オゾン化学モデルを地球システムモデルに結合するとともに、モデルの高速化および解像度などの最適化を図った。さらにオゾン化学モデルを改良し、モデルの化学反応モジュールを改良することで、モデルの数値安定性と再現精度の向上を図った。
- 地球システムモデル（大気海洋結合気候モデルを含む）で多数の調整実験を実施し、総合的に調整することで、放射収支、水収支、降水量、海氷分布などが改善した。併せて、各サブモデル結合による不具合を修正もした。
- CMIP5 長期予測実験の実施に必要な境界データを整備した。
- 中解像度地球システムモデルによる CMIP5 長期予測実験の実験環境の構築を行った。この実験環境を用いて、産業革命前スピンアップ、産業革命前基準実験、歴史気候実験、将来気候予測実験、気候感度実験等、主な CMIP5 長期実験を行った。
- 実験の出力データを CMIP5 で要請された形式に変換するツールを作成し、変換作業を行った。
- 第 2 期雲強制力モデル比較プロジェクト CFMIP2 に参加するため、雲観測シミュレータパッケージ（COSP）をモデルに組込み、CMIP5 実験の一部について、CFMIP2 に対応する出力ができるシステムを構築した。
- カップラーScup について、デバッグ用のオプションを追加し、また特定の状況での不具合を修正した。
- 高精度地球システムモデルの開発に向けて、解像度、ネスティング等、高精度全球海洋モデルの構成を検討した。

副課題２　初期値アンサンブルによる地域気候変動の近未来予測

副課題２の研究担当者

石井正好、行本誠史、保坂征宏、足立恭将、新藤永樹、楠　昌司、遠藤洋和、水田　亮、尾瀬智昭、吉村裕正（気候研究部）、蒲地政文、山中吾郎、辻野博之（海洋研究部）

副課題２の目標

十年規模の気候の内部変動も含む観測データを取り込んだ初期値からアンサンブル実験を行い、適応策策定に必要な確率的情報を含む地域気候・環境変化予測を行う。

副課題２の本年度の計画

- 中解像度モデルによる CMIP5 近未来予測実験を行う。
- 高解像度近未来予測アンサンブル実験のモデルスペック、工程等の実験設計を行う。

副課題２の本年度の成果

- 副課題１による大気海洋結合モデルに、Mochizuki et al. (2010) で使用された、近未来予測に有効と思われる初期値化手法を導入した。近未来気候予測、すなわち、数年から数十年先の気候予測のためには、過去の長い期間に亘り、良質な観測データで気候モデルを初期値化することが必要である。予測期間が長くなることから、ここでは海洋のデータの同化の重要性が高い。使用する過去の海洋観測データの品質に関わる研究を併せておこない、歴史的データのバイアスを除去する手法が、近未来予測に有効であることを、別途行った実験により確認した。また、火山の噴火が近未来予測に与える影響についても、モデル実験を実施し、量的に信頼のある結果を得た。
- 上記手法を用いて初期値を作成し、CMIP5 近未来予測実験（多数のアンサンブル実験）を行った。

全球大気海洋結合モデルを用いた季節予測システムの開発に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　尾瀬智昭（気候研究部　第二研究室長）

研究の目的

高分解能全球大気海洋結合モデルおよびその初期値作成に関する研究に取り組み、次世代季節予測システムを開発・検証する。

研究担当者

安田珠幾、仲江川敏之、籔　将吉、行本誠史、足立恭将、釜堀弘隆（気候研究部）、蒲地政文、山中吾郎、藤井陽介（海洋研究部）

研究の目標

① 気象庁気候情報課と共同で、気象庁新全球大気モデル（ReducedGrid版TL159L60上端0.1hPa）と気象研究所全球海洋海氷モデル（3極一般化座標版 約0.5度×1度 51層）および結合インターフェース（Scup）らなる高分解能全球大気海洋結合モデルを新たに開発する。
② 同化システム（準結合同化システム）と結合ブリーディング法を開発する。
③ ①と②の研究成果をもとに次世代季節予測システムを開発する。システムに対応した全球海洋の初期値を作成し、システム全体の試験を行う。

本年度の研究計画

① 大気海洋結合モデルの長期基本実験を行い、モデルの気候特性を調べる。
② 大気海洋結合モデル実験などを通して、モデルの改良・調整を行う。
③ 大気海洋結合モデル・大気モデルを用いて、海氷の変動が季節予測に及ぼす影響を調査する。
④ 準結合同化システムの改良と再解析を行う。また、結合ブリーディング法の開発を開始する。

本年度の成果

① 次期季節予報モデルに使用する海洋モデル（平成21年度に仕様決定の全球海洋海氷モデルMRI.COM：3極一般化座標版格子間隔約0.5度×1度鉛直53層）を用いて、JRA-25海上気象要素を駆動力とする歴史実験を行った。熱帯表層や海氷を中心に、再現性の調査やモデル調整を実施中である。
- 大気海洋結合モデルを用いて2010年猛暑の季節予測実験を実施した。4月初期値ではラニーニャ現象の発生を適切に予測し、インド洋や大西洋熱帯域の昇温、日本付近の高温偏差など、世界の夏の天候の大まかな特徴を予測することができた。1月初期値ではラニーニャ発生の時期が遅れて、日本付近の高温偏差などの再現性は良くなかった。
- 夏季日本・東アジア域の確率的な季節予測精度が高い年の特徴を調べたところ、熱帯域の海面水温偏差とこれに対する大気応答の予測に成功している年には日本・東アジア域での季節予測精度は良いが、そうでない年は精度が不十分であった。このことは、現季節予測モデルにおける熱帯域の海面水温・大気の応答を改善することにより、日本・東アジア域での季節予測精度改善の余地があることを示す。

② 全球大気モデルの長波放射スキームに関して、従来よりも高速でかつ散乱過程を考慮できる多方向近似スキームを開発している。今年度は雲の鉛直オーバーラップや雲粒の長波に対する散乱特性パラメータなどを考慮しながら、新スキームの全球大気モデルへの実装を行った。さらに、現実の海面水温データを用いた予測実験を行い、気候特性などへの影響を確認した。
複数の1km全球土地被覆データセットから全球陸面モデル用の土地被覆データセットを作成し、その不確実性を調査した。調査の結果を踏まえ、これまでのISLSCP1データセットに替えて、Global Land Cover 2000 データセットを基本として、その土地被覆22分類を13分類に簡単化した新土地被覆データを作成した。1か月予報実験によれば、夏季大陸上の気温の予測精度はや

や向上する初期結果を得た。
１か月現業大気モデルの積雲対流スキームに乱流混合の効果を組み込んでインパクトを調べた。

③ 次期季節予報モデルに使用する予定の大気モデルにおいて、海洋モデルと結合する際の結合及び海氷部分に大幅な書き換えが必要となることが判明した。気象研究所の地球システムモデルで使われている、海氷と海洋および陸面と海洋の混合格子技術の導入についての書き換え作業を開始した。

④ 準結合同化システムの改良を行った。
ブリーディング法についての文献調査を行った。大気・海洋結合モデルのスペックが検討中のため、結合ブリーディング法の開発は、スペックが決まり次第開始することとなった。
次期季節予報モデル用海洋モデルに対応した全球海洋データ同化システムの開発を開始した。来年度にかけて誤差統計量の精緻化等の開発を進めていく。

異常気象・気候変動の実態とその要因解明に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　釜堀弘隆（気候研究部　第五研究室長）

研究の目的

異常気象・気候変動の実態とその要因解明に関する解析的研究等に取り組み、異常気象・気候変化の要因に関する解説資料の作成を通じて、異常気象や気候変動についての国民や関係機関の理解促進を目指す。

副課題１　異常気象の実態とその要因解明

副課題１の研究担当者

釜堀弘隆（気候研究部）、藤部文昭（予報研究部）、遠藤洋和（気候研究部）、小林ちあき（気候研究部）、清野直子（予報研究部）

副課題１の目標

① 過去の異常気象の実態や特徴をデータ解析によって明らかにし、その要因解明を行う。
② 再解析データの整備により、日本の気候変動と熱帯域など大気循環場の変動との関連を明らかにする。
③ 異常気象が発現した際には、すみやかにデータを収集・解析し、その実態と要因の解明を行う。

副課題１の本年度の計画

① 極値統計手法を使って過去の異常気象の定量化を行う。
② 観測格子点降水量データから熱帯低気圧場のコンポジットを行い、JRA-25 の熱帯低気圧場コンポジットと比較し、JRA-25 の熱帯低気圧の表現性を調べる。
南シナ海モンスーンおよび北西太平洋モンスーンの気候ジャンプを調べる。可能であれば、気候ジャンプの要因を調べる。
③ 異常気象が発現した場合には、すみやかに各種データを収集・解析し、その実態と要因の解明を進める。

副課題１の本年度の成果

① 極値統計手法を使って顕著現象の再現期間や再現期待値を定量的に求める際の問題点について、モンテカルロ・シミュレーションに基づく検討を行った。極値統計解析においては、その精密度だけでなく、データに含まれる確率変動に伴う信頼性にも配慮する必要のあることが明らかになった。また、日本の極端降水の発生頻度分布を、その時間スケール別に調べ、時間スケールによって緯度や地形への依存性に違いがあることを見出した。
② 衛星導出降水量データを用いて各海洋における平均的な台風場の降水量を調べた。台風中心から約5度以内ではガウス分布型の降水量分布をしており、その外側では台風の対流活動に伴う沈降流などのため負の降水量偏差（気候値より降水量が少ない）が生じることがわかった。また、平均的な台風降水量場は強さ・空間的大きさ共に各海域で同程度であるが、北東太平洋のみ他と較べて小さいことがわかった。これらの特性は JRA-25 から得られた結果と整合的である。北東太平洋のみ小さい原因として発生領域である熱帯収束帯が南北に狭い事が上げられる。
気象研究所の他の研究で作成されたアジア域の降水量格子点データを用いて、中国華南地方の夏期降水量の年々変動を調べた。1990年代前半に降水量が負偏差から正偏差に変化しており、気候場が変わったことを見出した。
③ 2010年夏の異常天候の要因分析のため、観測された海面水温を下部境界条件とした大気モデル実験を行った。その結果、日本南海上の強い太平洋高気圧を良く再現できることがわかった。また、

大気モデルによる海面水温感度実験により、北半球亜熱帯域の海面水温が、中緯度の帯状平均高度の強い正偏差をもたらした要因である可能性が示された。台風発生数が統計開始以来最少となった要因を気象庁気候同化プロダクト（JCDAS）を用いて調べ、インドネシア付近ー南東インド洋で対流活動が平年より活発であったため、北半球から南半球へ向かう大規模循環場が形成され、結果的に北西太平洋が発散偏差となったことがひとつの要因であることがわかった。

副課題２　気候変動の実態とその機構解明

副課題２の研究担当者

藤部文昭（予報研究部）、黒田友二（気候研究部）、石原幸司（気候研究部）、小林ちあき（気候研究部）、行本誠史（気候研究部）、遠藤洋和（気候研究部）

副課題２の目標

① 国内外の気候データの収集・整備により、日本とその周辺の気候の長期変動の実態を解明する。
② 中層大気の変動が気候に及ぼす影響を明らかにする。

副課題２の本年度の計画

① 前年度に収集したデータについて、品質のチェックを行った上で、既存のデータと合わせてデータセットとして整備する。
過去半世紀の気候変動を定量的に解析するための基盤データとして、再解析プロダクトを整備する。
日本の気温の長期変動における都市化因子の解析を継続する。また、降水の長期変動について、地域的・季節的特徴を明らかにする。
② 中層大気変動の気候への影響、特に突然昇温や極渦強化等に関するデータ解析を行う。

副課題２の本年度の成果

① 日本の気象官署データについて、NOAA の NCDC（米国気候データセンター）が公表しているGHCN（全球歴史気候データネットワーク）と比較することで、そのデータ品質を評価し、GHCNの更なる品質向上のため日本の気象官署データを NCDC に提供することになった。また、気象庁が行っている全球平均気温の新たな陸上データセットを作成しており、年度内に完了する予定である。
長期再解析システムの気象研究所計算機への移植作業を行い、特定期間についての同化サイクルの実行を可能にした。
アメダス地点の気温の長期変動を風速別・降水別に評価した。都市域では強風時や降水時の気温上昇率が弱風時や無降水時よりも小さく、気温の長期的な上昇傾向に都市の効果が関わっていることが確認された。また、日本における 100 年間の降水の長期変動を地域・季節ごとに調べた。降水日数の減少傾向はほぼ全国的かつ年間を通じて認められる。さらに、1901 年～2009 年の東・西日本の 37 観測地点の日降水量データを元に、梅雨の季節進行の長期変化を調べた。この解析期間は既存研究に比べて格段に長い。梅雨初期（６月１日～20 日）の降水量は、信頼度 90%以上で有意に減少トレンドにあり、20 世紀前半に明瞭な数十年規模の変動が卓越している。一方、梅雨末期（７月 11 日～31 日）は、日本海側地域では信頼度 95%以上で有意に増加トレンドにある。梅雨中期（６月 21 日～７月 10 日）および梅雨期全体（６～７月）では有意なトレンドは見られない。過去 109 年に観測された梅雨明けの遅れのトレンドは、気候モデルが予測する温暖化に伴う気候変化に似ている。A2 シナリオを用いた地域気候モデル（MRI-RCM20）による計算結果に地域頻度解析を適用することで、鹿児島県（奄美諸島を除く）における日降水量の 30 年確率値の将来変化を評価した。その結果、約 100 年後、日降水量の 30 年確率値は、鹿児島県平均で約 18%増との予測結果が得られた。さらに、同予測結果を用いて、不確実性の評価を行い、約 100 年後、30 年確率日降水量の 5%-95%範囲は、鹿児島県平均で約 18±11%増であることを示した。

② 成層圏突然昇温（SSW）と極渦強化（VI）の際の、熱帯域の対流活動について統計的に調べた。その結果、熱帯の対流活動は、SSW の際には南半球側にシフトし、逆に VI の際は北半球側にシフトしやすいことが判明した。この原因について調べたところ、SSW の場合に、プラネタリー波の一部が圏界面付近を熱帯方向に伝播強化され、それが作る波強制が対流活動を変化させているためとわかった。また、2009 年の SSW について事例的に調べたところ、ＳＳＷに伴う典型的な南半球側への熱帯対流のシフトが見出された。

大気環境の予測・同化技術の開発

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25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）

研究の目的

全球規模の予測精度及び対流圏、成層圏を対象とした全球のオゾン化学モデル、エーロゾルモデルと同化技術の研究、局地規模（メソスケール）の予測精度向上のため、メソスケールのオゾン化学モデル、エーロゾルモデルと同化技術の研究等に取り組み、全球規模及び局地規模でのオゾン、黄砂を含むエーロゾル、紫外線、広域大気汚染物質等の環境予測精度の向上を図る。

副課題１　オゾン化学モデルの高度化

副課題１の研究担当者

眞木貴史、関山　剛、田中泰宙、出牛　真、大島　長、梶野瑞王（環境・応用気象研究部）

副課題１の目標

これまで開発してきた全球のオゾン化学モデルをベースに、オゾン－化学物質に係る、以下の研究開発を実施し、予測に必要な初期値解析並びに温暖化気体に関する実況監視機能の基礎技術を高度化する。

①　化学・物理・輸送過程の高度化
②　観測値の同化技術の導入

また、新たに、

③　領域オゾン化学モデル開発

を行い、越境大気汚染対応、紫外線予測などの監視・予測技術を高度化する。

副課題１の本年度の計画

①　成層圏オゾン化学モデル長期ランの解析として、化学－気候モデル検証活動（CCMVal）のマルチアンサンブルの解析を行い、モデルの検証を行う。
　大気化学＆気候モデル比較プロジェクト（ACCMIP）の長期予測実験として、化学－エーロゾル－気候モデルを用いた将来予測実験を行う。
②　同化時の動的なパラメータ（地表エミッションなど）推定の技術開発を行う。
③　局地循環の力学フレーム気象庁領域非静力学モデル（JMA-NHM）と輸送モジュール（セミラグランジュ輸送スキーム）を結合した輸送モデル（化学なし）を構築する。

副課題１の本年度の成果

①　化学－気候モデル検証活動（CCMVal）用の長期ラン結果を用いて、成層圏における物質輸送特性の長期変動の解析を行った。
　短寿命の化学種の予測精度を向上するためより安定で精度の良い EBI 法と呼ばれる化学反応における数値計算法を導入し、短寿命種の予測精度を向上した。幾つかの対流拡散スキームを用いた対流輸送計算の感度実験を行い、対流圏上部での輸送計算精度の改善を図った。10年間程度の数値積分を行い、その実験結果を観測値と比較することでモデル予測精度を検証した。力学モジュール（大気大循環モデル）の更新を行った。
②　局所アンサンブルカルマンフィルター（LETKF）手法を用いた、対流圏オゾン関連化学種の同化システムを構築し、理想実験を行った。
③　気象庁領域非静力学モデル（JMA-NHM）の一ヶ月以内程度の短期的な計算を行い、モデルの動作確認を行った。

副課題２　エーロゾルモデルの高度化

副課題２の研究担当者

眞木貴史、関山　剛、田中泰宙、出牛　真、大島　長、梶野瑞王（環境・応用気象研究部）

副課題２の目標

これまで開発してきた全球のエーロゾルモデルをベースに、エーローゾルに係る、以下の研究を実施し、黄砂などの予測に必要な初期値解析並びに実況監視機能の基礎技術を高度化する。

① 化学･物理･輸送過程の高度化
② 観測値の同化技術の導入

また、新たに、

③ 領域エーロゾルモデル開発

を行い、黄砂予測技術を高度化する。

副課題２の本年度の計画

① 各種エーロゾルの発生過程・化学過程のモジュール化を行う。
自然起源エーロゾル（DMS 起源の硫酸塩、鉱物ダストおよび海塩粒子）放出過程スキーム改良と検証を行う。
エーロゾルモデルの高度化のために、不均質反応を考慮した硝酸エーロゾルのモデルを開発する。

② 東アジア域以外のダストエーロゾル解析の精度検証を進める。
地上ライダーによるエーロゾル観測のデータ同化精度の向上を図る。

副課題２の本年度の成果

- 地上ライダー観測のデータ同化システムの開発をさらに進め、東アジア域ダストエーロゾルの解析精度が著しく向上することを確認した。
- 衛星ライダー観測のデータ同化システムを改良するため、モデルバイアスの自動補正スキームと風向風速データ同時解析スキームをシステムに加えた。その結果、エーロゾル同化解析の安定性と精度が著しく向上した。
- 春季東アジア域で実施された航空機観測により得られたデータを解析することで、ブラックカーボンの大気中から除去率が、空気塊が経験する降水量により支配されていたことを明らかとした。
- 東アジア域でのブラックカーボンの地上観測結果と領域三次元化学輸送モデルによる計算結果を組み合わせて、中国におけるブラックカーボンの排出源データの評価を行った。
- 自然起源エーロゾル放出過程スキームの高度化のため、海塩エーロゾルの発生過程を全球モデルから分離・モジュール化し、様々な条件における海塩エーロゾル放出過程スキームの検証や、スキーム変更等を行いやすくなるように変更を行った。
- ダスト沈着量観測ネットワークデータとエーロゾルモデルによってシミュレートされたダスト沈着量を比較し、鉱物ダストの巨大粒子の発生過程の改良を行った。
- IPCC 第５次報告書に向けてのモデル比較実験に用いられる排出量インベントリーを扱うためのモジュールを開発し、全球モデルに組み込んだ。これによって、0.5°×0.5°の高解像度での二酸化硫黄、黒色炭素、有機エーロゾルの排出量インベントリーを扱うことが可能となった。
- MPI 並列化、OpenMP によるノード内並列化、内部アルゴリズムの改良によってモデルの実行効率を向上させた。
- 昨年度構築した気象研究所気象庁二酸化炭素輸送モデル（MJ98-CDTM）の輸送モデル実験を通じて鉛直輸送パラメータの調整を行った。
- 本庁の現業版全球モデル（GSAMv2）に対して、化学変化を含まないトレーサー（CO_2、SF_6、Rn^{222}）の輸送スキームを構築し、プロトタイプを作成した。
- MASINGAR を用いた逆解析によるエーロゾル（黄砂）排出量推定システムを構築した。

温暖化への対応策検討に資するための日本域の気候変化予測に関する研究

研 究 年 次：　1年目／4年計画（平成22年度～平成25年度）
研究代表者：　栗原和夫（環境・応用気象研究部　第三研究室長）

研究の目的

主要な山脈、谷、平野などの地形効果を含む高精度な非静力学地域気候モデルの研究及び同モデルによる近未来・21世紀末の気候変化予測の研究に取り組み、日本における温暖化・異常気象の発生傾向・顕著な現象の将来変化予測に関する情報を作成するとともに、地球温暖化の影響評価に資する予測データを高度化する。

研究担当者

高薮　出、栗原和夫、佐々木秀孝、村田昭彦、花房瑞樹、日谷道夫（環境・応用気象研究部）、石原幸司、遠藤洋和（気候研究部）、村崎万代（予報研究部）、大泉三津夫（気象大学校）、平原翔二（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

研究の目標

温暖化に対する具体的な対応策を検討するための指針を提供することを目的として、下記の研究項目により、詳細な非静力学地域気候モデルによる予測を行うとともに、予測制度など予測データの活用に必要な情報を提供する。

① 地域気候モデル（MRI-NHRCM）による温暖化予測
② 地域気候モデルによる現在気候の再現実験
③ 地域気候モデルデータの信頼性確保
④ 次世代地域気候モデルの開発

なお、上記成果を、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」の次期報告に反映するよう努力する。

本年度の研究計画

① 非静力学地域気候モデル（MRI-NHRCM）の計算結果を用いた関東甲信越領域温暖化予測の解析と検討を行う。IPCC AR5への地域気候モデルによる貢献を目指し、RMIP等に参加する。
② 非静力学地域気候モデル（MRI-NHRCM）を用いた、再解析を境界条件とする5年間の長時間積分を実施する。また非静力学地域気候モデルを、気象研究所全球モデルにネストした日本の各領域の現在気候再現計算を15年間の連続期間において実施する。これらの結果を解析し、モデルの気候再現精度を検討する。また計算に用いるモデルの解像度を検討する。
③ モデルの予測・再現性評価手法の開発を引き続き行い、その結果を非静力学地域気候モデルへ適用する。
④ 地域気候モデルの境界条件作成手法の検討を継続する。

本年度の成果

① 関東甲信越地方を領域とする非静力学地域気候モデル（MRI-NHRCM）を地球システムモデルにネスティングした温暖化予測実験の結果を解析し、夏季及び冬季の降水の変化予測を求めた。予測結果は地球システムモデルの大規模場の変化を反映しているが、特に山岳における降水量の増加が顕著に見られるなど、高解像度の変化パターンが得られた。
RMIPのための東アジアの広域を対象とする現在気候再現実験と温暖化予測実験を実施している。当初高温バイアスなどの問題が見られたが、地表面過程、境界条件等の検討を行い、問題を解決することができた。年度内に、現在気候再現実験、温暖化予測実験を終了する予定である。
② 再解析を境界条件として、5km解像度の非静力学地域気候モデル（MRI-NHRCM）で九州領域、関西領域に関して各3年ずつ長時間積分を実施し、精度評価を行った。いずれの領域も、よい現在気候再現精度が確認できた。
モデルの計算効率化を実施し、3倍近い高速化を達成した。これにより日本全体を1つの領域で

計算することが可能になった。「地球温暖化予測情報第 8 巻」のための計算を実施するモデルの解像度は、客観解析を境界条件とする計算などの結果を勘案して 5km に設定した。
非静力学地域気候モデルの現在気候再現精度は、境界値を与える全球気候モデルの精度に依存している。これまで計算を行っている全球気候モデルの再現結果を検討し、20km 解像度の全球気候モデルの再現精度が最もよいと考えられることから、これを、境界条件とし、15km 解像度非静力学地域気候モデル、5km 解像度非静力学地域気候モデルと 2 重ネストする計算システムを構築した。
計算システムの自動化を行い、計算を大幅に省力化することができた。
これにより、20km 解像度の全球気候モデルにネストした日本の各領域の現在気候再現計算を連続期間において実施している。
5km 解像度のモデルの計算結果を観測値と比較し、地域的な気温、降水等がよく再現できていることを確認した。
日本域の過去の詳細な気候変化を調べるため、JRA-25 を境界条件として 20km 解像度の静力学地域気候モデル RCM20 をランさせることにより 20km メッシュダウンスケーリングデータを作成した。そして雨の強さの再現性について検証した。RCM20 は JRA-25 に比べ強い雨の再現性が向上することがわかった。また、強い雨の頻度の年々変動についても観測値とよく合っていることがわかった。
日本域の気候変化における詳細な海洋データの効果を調べる目的で、前年度に、JRA-25 を大気強制とし、日本周辺の海流を表現できる高解像度海洋モデルの長期積分 1979 年からの 26 年間実行した。またその結果を用いて RCM20 による 20 年積分（1985 年から）、海流を表現していない（JRA-SSTrun)を行った。今年度は、両者の比較をおこなった。海洋モデルでの黒潮大蛇行周期などは観測結果と一致しているわけではないが、自然界の変動と同様、大蛇行期と非大蛇行期が現れた。そこで、2 つの期間に分け、大気場について比較した。その結果、大蛇行時の時に現れる冷水域では上昇流が押さえられ、降水も減少していることが明らかになった。

③ モデルの高度化に伴い、より時空間解像度の優れたモデルが開発されるようになってきた。その際問題になるのは、モデルによる気候再現性の向上を客観的に計ることが非常に難しいという点である。これには、モデル解像度と観測値の解像度（あるいは地点代表精）の評価が困難なためである。同じ地点観測データをもちいて高解像度のモデルと低解像度のモデルを領域平均して比較することはモデル性能の適切な評価とは言えない。そこで、本年度は相関係数を用いたクラスター化の手法を用いて、モデル格子点データ（GPV）と観測点データの地点代表精を評価する研究を行った。その結果、日本域で特徴的な大循環場に対応するクラスターが明らかになった。

④ 地域気候モデルの境界条件作成手法の検討を行った。現在 SBC 法（Spectral Boundary Coupling）を用いているが、東アジア全域程度の広領域ではある程度の強い拘束を与えないと計算が境界条件から大きく乖離することが確認された。日本周辺の狭い領域においては、SBC 法を使わない場合、大規模場では大きな問題はないが、小スケール擾乱の発達が過大になるなどの問題点が見られた。また、Spectral Nudging 法に関して、非静力学地域気候モデルへの適用可能性に関する情報収集を行った。

海洋環境の予測技術の開発

研 究 年 次：　2 年目／5 年計画（平成 21 年度～平成 25 年度）
研究代表者：　山中吾郎（海洋研究部　第一研究室長）

研究の目的

海洋環境モデル（海洋・海氷結合モデル、物質循環・海洋生態系モデル）の研究並びに海洋環境モデルや観測データ等を用いた海洋環境変動機構の解明の研究に取り組み、海洋における 3 次元炭素分布を作成することにより、海洋環境情報の高度化を図る。

高波や高潮等を精度よく予測できる日本近海監視・予測システムのアルゴリズムを開発する。

副課題 1　海洋環境モデルの開発

副課題 1 の研究担当者

山中吾郎、辻野博之、平原幹俊、中野英之（海洋研究部)、安田珠幾、小畑　淳（気候研究部)、緑川貴、石井雅男、青山道夫（地球化学研究部)、石川一郎（気象庁地球環境・海洋部気候情報課)、中野俊也（気象庁地球環境・海洋部海洋気象課）

副課題 1 の目標

海洋環境情報の高度化を図るために、次の 4 項目について研究を実施する。

① 従来の海洋・海氷結合モデル（MRI.COM）の物理スキームを改良するとともに海洋物質循環過程（海洋生態系過程を含む）を組み込んだ、海洋環境モデルを開発する。
② 海洋環境モデルを歴史的外力で駆動し、3 次元炭素分布を作成する。
③ 国際標準実験（CORE）に基づいた長期歴史実験により海洋環境変動の再現性を検証し、海洋環境モデルの今後の改良点を明確にする。
④ 将来に向けて、全球渦解像モデルの開発を進め、諸水塊形成に及ぼす渦・擾乱の効果を評価する。

副課題 1 の本年度の計画

① 前年度に引き続き、海洋環境モデルの開発を行う。主として海洋生態系過程を導入する。
② 海洋環境モデルを国際標準実験（CORE,OCMIP）に基づいた外力で駆動した実験を引き続き行うとともに、以下の実験を実施する。
　(a) CORE-II：CLIVAR/WGOMD による歴史的データを用いた 50 年程度の現在海洋再現実験
　(b) OCMIP-C：人為起源の CO2 の影響を評価するために、大気 CO2 濃度を一定とした炭素循環再現実験
③ 国際標準実験（CORE-I）の実験結果に対し、両極域海氷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した検証を行う。
　国際標準実験（OCMIP, OCMIP-C）の実験結果に対し、137E 線および 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した検証を行う。
④ 気象研究所大型計算機に最適な計算スキームを引き続き検討する。
　北極域まで含んだ全球渦解像モデルを開発し、気候値強制実験に着手する。

副課題 1 の本年度の成果

① 海洋生態系過程として、簡易生態系モデル（NPZD モデル）に加えて、より高次な海洋生態系モデル（nNEMURO）を導入した。
　海洋での炭素循環再現実験におけるオフラインモデルのオプションとして、新たに化学トレーサー（CFC11 及び CFC12）を計算できるようにした。
　渦輸送パラメタリゼーションである層厚拡散の係数について、密度勾配から診断するオプションを精緻化した。また、チューニングパラメータの変更を容易にするためソースコードを改良した。
　氷山流入がある場合の塩分の取り扱いを改良し、深層水形成過程の再現性を高めた。
② CLIVAR/WGOMD による、歴史的海洋モデル駆動用データ（1948 年から 2007 年）を使用して、

以下の手順により現在海洋気候再現実験を行った。

(a) 1948 年から 2006 年の線形トレンドを除いたデータを再作成し、これを繰り返し用いて長期積分を行い（CORE-I）、現在の海洋気候の平均状態を再現する場を得た。

(b) 実験(a)に引き続き、線形トレンドを含む本来のデータにより、1948 年から 2007 年の国際標準実験（CORE-II）を行った。

(c) 実験(b)で得られた物理場を用いたオフラインモデルによる炭素循環再現実験（OCMIP）を行った。

(d) 人為起源の CO_2 の影響を評価するために、実験(c)で大気 CO_2 濃度を一定とした炭素循環再現実験（OCMIP-C）を行った。

③ ②の実験(a)について平均的両極域海氷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した検証を行い、全般的に良好な再現性を確認した。

②の実験(b)について、太平洋を中心に両極を含む海域について、海洋気候変動の再現性を検証した。南極の海氷過程を含めた再現性には課題が残るものの、熱帯・亜熱帯域、および北極域の海氷について良好な再現性を確認した。

②の実験(b)について、日本沿岸水位の数十年規模変動に着目して解析を行った。日本沿岸平均水位には、過去 100 年間に渡る線形トレンドは見られないが、1980 年代以降に上昇トレンドが顕著であり、1950 年代と 2000 年代に高水位偏差であった。モデル結果は、観測に見られる日本沿岸全体が同符号で変動する 20 年周期変動を再現した。さらに、北太平洋の主要な風応力ベクトル回転（curl）変動に数年のラグで応答することが示された。1980 年代以降の水位上昇トレンドには、全球平均水位上昇の寄与があることが明らかとなった。また、1950 年代の高水位偏差は、北太平洋の風応力ベクトル回転（curl）偏差がもたらしたことが示唆された。

②の実験(b)について、太平洋亜熱帯セル（STC）の長期変動に着目した解析を行った。モデルは、観測で見られる 1960 年代から 1990 年代半ばにかけての STC の弱化傾向と 1990 年代半ば以降の強化傾向を再現していた。上部密度躍層内の流量変動を調べたところ、内部流と西岸境界流は逆位相で変動していた。また、STC の総流量の長期変動は、概ね Ekman 輸送量の変動と対応していることがわかった。

南大洋における深層循環の変動について解析した。観測より過大ながらウェッデル・ポリニアと同様の現象が発生していることを確認した。これに伴う変動は、周極流からウェッデル海深層への熱・塩分供給による対流ポテンシャルの単調増加と、表層への淡水供給で維持される塩分躍層の破壊に続く深い鉛直混合の繰り返しとして説明できることがわかった。

②の実験(c)と実験(d)の解析において、黒潮続流域における人為起源二酸化炭素の吸収には、温度依存性の増大が本質的に重要であることがわかった。

気象庁の WHP-P9 観測の解析に資するために、モデルの 137E における経年変動を解析した。137E における溶存無機炭素濃度の上昇は(CFC から見積もった)水塊が形成された時の大気の二酸化炭素濃度上昇によく対応していることがわかった。このことは、137E の地球化学研究部の石井室長らの解析結果を支持していた。また、この二酸化炭素濃度上昇のトレンドに加えて明瞭な数十年変動があることがわかった。

④ 平成 21 年度に導入された SR16000 大型計算機に対する最適化を行い、メモリーコピーを最小限に抑えることにより、高精度だが計算負荷が重い SOM スキームが 2 割弱高速化された。

昨年度導入された大型計算機において、全球渦解像モデルの動作テストを行った。

副課題２　日本近海の海洋環境変動の予測可能性に関する研究

副課題２の研究担当者

山中吾郎、辻野博之、坂本　圭、小川浩司（海洋研究部）、中川憲一（気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室）

副課題２の目標

日本近海の監視・予測システムのアルゴリズムを開発するために、次の 3 項目について研究を実施する。

① 日本近海の海洋環境変動の予測可能性を調査するために、高解像度日本近海モデルを開発する。

② 国際標準実験（CORE）に基づいた長期歴史実験により日本近海の海洋環境変動の再現性を検証

し、高解像度日本近海モデルの今後の改良点を明確にする。
③ 将来に向けて、波浪の効果や起潮力を導入することにより、日本近海監視・予測システムのプロトタイプを開発する。

副課題２の本年度の計画

① 前年度に引き続き、高解像度日本近海モデルを開発する。
② 前年度に引き続き、高解像度日本近海モデルを国際標準実験（CORE-II）に基づいた外力で駆動した実験を行う。さらに、観測データとの比較検証を行い、高解像度日本近海モデルの再現性を解析する。
③ 気象研究所大型計算機に最適な計算スキームを検討する。さらに、波浪モデルと結合した高解像度日本近海モデルの作成に着手する。

副課題２の本年度の成果

① 高解像度日本近海モデルを全球・北西太平洋・日本近海の多段ネスティングモデルとして再構築した。
② 北西太平洋モデルを CLIVAR/WGOMD による歴史的データ（1948 年から 2007 年）で駆動して国際標準実験（CORE-II）を行い、日本南岸の黒潮大蛇行の長期変動が概ね再現されることを確認した。
③ 本庁海洋情報室からの要請を受けて、異常潮位や急潮等海況監視の高度化に資する、水平解像度 2km 程度の日本近海モデルの開発に着手した。

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

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　蒲地政文（海洋研究部長）

研究の目的

海洋環境モデル（海洋・海氷結合モデル、物質循環・海洋生態系モデル）及び海洋同化システムの研究並びに同化システムや観測データ等を用いた海洋環境変動機構の解明の研究に取り組み、海洋における海洋長期再解析データを作成することにより、海洋環境情報の高度化を図る。

浅海波浪過程を導入した波浪モデルの開発、波浪同化モデルの開発、波浪・海流相互作用の研究等に取り組み、高波や高潮等を精度よく予測できる日本近海監視・予測システムのアルゴリズムを開発する。

副課題１　変分法同化技術の高度化

副課題１の研究担当者

藤井陽介、蒲地政文、碓氷典久、岩尾尊徳、豊田隆寛（海洋研究部)、石崎士郎（気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室)、曽我太三（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

副課題１の目標

海洋環境情報の高度化を図るために、次の4項目について研究を実施する。

① 従来の海洋データ同化システムは、モデルが緯度・経度の水平座標系であるため、それに合わせた同化システムである。現在開発中の地球システムモデルで用いられている海洋モデルは、3極の一般化座標系であり、その座標系を用いた同化技術を開発する。

② 新しい観測データの同化技術を開発する。オホーツク海での海氷モデルへの海氷密接度データの同化手法（ナッジング法、3次元変分法）を開発する。海面塩分観測衛星Aquariusの同化技術の開発を行う。

③ 1950年代からの海洋長期再解析を実施する。この再解析のデータを、国際研究計画（GOOS/GODAE_OceanView, JCOMM/ET-OOFS, CLIVAR/GSOP）に提供し、国際的な比較実験に参加すること。また同化実験結果を用いた海洋中の気候変動について検証し同化スキームの改良点を明確にする。

④ 長期計画で使用するために4次元変分法の開発（アジョイントモデルの作成）を行う。誤差共分散行列は、既存の3次元変分法で使用されている行列を基本的には用いる。制御変数の選択、非線形の制約条件等を新しく開発する。

副課題１の本年度の計画

① 地球システム（全球海洋モデル）用同化システム（3次元変分法）開発を行う。一般化座標系での誤差統計量を算出する。観測値のみによる解析値を求め、その精度を評価する。

② 新しい観測データの同化技術開発。

(1) 海氷同化スキーム等の開発を行う。特に、海氷密接度を制御変数とする3次元変分法の開発を開始し、同化実験を行い、観測データとの比較検討、及び前年度のナッジング法での同化結果と比較検討する。気象庁での現業用スキームとして提供する。

(2) 海面塩分観測衛星Aquariusデータの精度検証を行う。また、Aquariusデータの同化技術の開発を開始する。

④ 前年度に引き続き4次元変分法スキームの開発を行う。

副課題１の本年度の成果

① 次期季節予報システムに向けて、北極を含む海洋モデルを用いた3次元変分法によるデータ同化システムのプロトタイプを作成し、同化シミュレーションを行った。その結果、北極の海氷など

が適切に再現されることが確認された。また、同化に必要な統計量の作成ルーチンの改良を行い、月ごとに変化する統計量の作成を行った。この統計量を利用して、次年度長期再解析を行う。

② 現業用海氷モデルがマルチカテゴリを採用した最新のモデルに変更されることに伴い、マルチカテゴリ海氷モデルに対する海氷密接度のナッジング手法の開発を行った。また、同化実験を行い、オホーツク海の海氷が適切に再現されていることを確認した。本スキームは、海洋気象情報室で運用中の北西太平洋システムに導入され、その精度について海洋気象情報室で検証を行っている。なお、当初は、3 次元変分法の開発を開始することを予定していたが、モデルの変更と気象庁での現業導入予定に合わせて、上記開発を優先させた。

③ アジョイントモデルの積分計算を、途中で中断した後に継続計算が可能となるようにプログラムの改良を行った。また、気象庁海洋情報室で運用中の北西太平洋モデルに合わせたアジョイントモデルのバージョンアップを行い、特に海氷モデルをフォワードモデルに含む場合でも、アジョイントモデルの計算が可能となるような改良を行った。このアジョイントモデルを用いて、観測データをモデルに同化するスキームの開発を開始した。

副課題２　日本近海の海況監視・予測技術の開発

副課題２の研究担当者

蒲地政文、碓氷典久、小川浩司、辻野博之、中野英之（海洋研究部）、和田章義（台風研究部）、石崎士郎、高野洋雄（気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室）

副課題２の目標

日本近海監視システムの基礎を確立するために、次の 3 項目について研究を実施する。

① 平成 20 年 3 月から現業化された北西太平洋の監視･予報を行う新総合海洋解析システム（MOVE/MRI.COM-WNP）の親潮海域での低温バイアスを低減する。その為に低温バイアスに関する制約条件や中規模渦まわりのフロント構造に準拠した非等方的な誤差統計量の算出方法を開発する。その結果、亜寒帯域における水温・流速の精度向上を行う。

② 既存の沖合い用の波浪モデルを浅海域用に改良する。また、波浪の混合層での混合過程ひいては海流への影響を研究する。

③ 大気・波浪・海洋混合層結合（領域）モデルの境界条件として、海洋データ同化結果を用いて、その影響評価を行う。また、同モデルを用いて、局所的な大気海洋相互作用、特に海面水温フロント付近の海上風の変動を調べる。

副課題２の本年度の計画

① 総合海洋解析システムを高度化する。特に亜寒帯域での低温バイアスを低減するスキームの開発、縁辺海での塩分精度向上を行う。結果を観測結果と比較し、精度検証を行う。また、次年度精度検証を行うための観測を東北水研と共同で、東北沖で実施する。

② 浅海波浪スキーム及び天文潮を導入した高潮モデルの改良（本庁と共同研究）を行い、気象庁での現業運用に供する。また、波浪・海流相互作用に関するスキームを開発（本庁、及び海洋環境予測研究（第 1 研究室）と共同研究）するために、まず波浪モデルのチューニングを行う。

③ 大気・海洋再解析データを用いた大気海洋相互作用の研究を行う。前年度に引き続き、既存の大気再解析データ及び海洋再解析データを用いた解析、特に海洋の貯熱量と台風活動を解析する。また、非静力学大気波浪海洋結合モデルにより、台風・顕著現象の再現に対する海洋同化データの影響評価を行う。

副課題２の本年度の成果

① 東北沖などの海洋フロント域では、同化結果の精度向上に誤差の非ガウス的な性質を考慮する必要があることが分かった。これまで、ガウス分布の誤差を仮定していた観測データの品質管理の手法を改良し、フロント域で解析精度が向上することを確認した。加えて、非ガウス的な誤差の性質を考慮した拘束条件を開発し、同化システムの改良を図った。また、縁辺海での塩分精度向

上に向けて、淡水フラックス修正量の見積を行った。上記開発スキームの内、品質管理の改良手法は海洋気象情報室で運用中の北西太平洋システムに導入された。

② 現行の深水波用波浪モデルに、浅海効果（屈折・海底摩擦及び非線形効果の補正）を導入し、プロトタイプを完成した。理想実験を行いパフォーマンスの検証を行った結果、期待されるパフォーマンスを持っていることがわかった。波浪モデルのチューニングについては、波浪モデルの発達項を修正し、冬季の検証では、衛星観測値との比較で精度が改善（RMSE, BIAS の減少）した。

③ 東太平洋海域のハリケーンと北西太平洋海域の台風について、IBtRACS ベストトラックデータセット、北太平洋(0.5°)及び全球海洋再解析データセット、TRMM/TMI と AMSR-E 合成海面水温データを用いて、2002～2007 年の台風と海面水温及び海洋熱容量の関係を調査し、東太平洋においても、最大風速と海洋熱容量の相関が、海面水温との相関よりも高いこと、また北西太平洋と比較して東太平洋海域では同じ海洋熱容量で最大風速がより強まっているという結果が得られた。黒潮続流域の中規模渦が台風強度予測に与える影響を調べるために、非静力学大気波浪海洋結合モデルにより 2009 年台風 14 号（Choi-Wan）の数値シミュレーションを実施した。現在のところ進路の転向が再現できないことから、初期値及び側面境界値の検討を行うこととした。

大気化学環境変動とそのメカニズムの解明に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　松枝秀和（地球化学研究部　第一研究室長）

研究の目的

温室効果ガスの大気増加・海洋吸収の変動評価及びその人為的・気候的要因の診断解析手法を開発し、地球温暖化の監視技術の高度化を図る。

副課題１　温室効果ガスの時空間変動の実態把握に関する観測研究

副課題１の研究担当者

坪井一寛、澤　庸介、松枝秀和、丹羽洋介、馬淵和雄（地球化学研究部）、和田　晃（気象大学校）

副課題１の目標

定期航空機や地上大気観測所における温室効果ガスの連続測定を継続し、これまでにない高密度（～数分/数10km）な長期観測データベースを構築する。

副課題１の本年度の計画

① 定期航空機と気象研究所露場における温室効果ガスの観測を継続して測定データを収集し、データベース化を図る。
② 綾里・与那国島・南鳥島の大気観測所におけるラドン濃度の観測を継続して測定データを収集し、データベース化を図る。
③ 気象庁と標準ガス比較検定実験を実施し、情報を提供する。
④ 進展が著しい新しい分光型温室効果ガス測定手法について、観測実用化のための精度試験を実施する。

副課題１の本年度の成果

① 定期航空機を利用した二酸化炭素連続観測とフラスコサンプリングによる毎月2回の観測を継続し、新たに1年間の温室効果ガス測定値が取得できた。また、気象研究所の鉄塔を利用した3つの高度（25m、100m、200m）と露場の高さ 1.5m の温室効果ガス濃度の連続観測も継続した。但し、鉄塔の撤去に伴い3つの高度の観測は夏季に終了した。得られた観測値はすべてデータベースに追加し、サブ課題2の解析に利用した。
② 綾里・与那国島・南鳥島の大気観測所における大気ラドン濃度の連続観測を継続し、1 時間平均の測定データが一年を通してほぼ欠損なく取得された。また、3 つの観測所に設置されたラドン測定器の相互比較を行い、目的とする精度が維持されていることが確認された。これによって、ラドン観測データベースの品質を評価することができた。
③ 気象庁との二酸化炭素・メタンの標準ガス及びオゾン計の比較検定実験を2回実施し、昨年までの検定結果も合わせて情報交換を行った。その結果、この一年間に大きな濃度ドリフトは生じていないことが確認でき、お互いの観測基準に変化が無かったことがわかった。
④ CRD 型のメタン測定装置と VUV 型の一酸化炭素測定装置について、流量制御機能を組み込んで精度試験を実施した。その結果、両機器ともドリフトが小さく、1ppb 以下の高精度で濃度分析ができることが確認された。本試験により、これらの分光型測定手法をバックグランド大気の温室効果ガス観測に利用できることがわかった。

副課題２　温室効果ガスの変動メカニズムの解明に関する解析研究

副課題２の研究担当者

澤　庸介、坪井一寛、松枝秀和、丹羽洋介、馬淵和雄（地球化学研究部）

副課題２の目標

観測データベースを用いて様々な時空間スケールの変動を把握し、その輸送メカニズムを解明するために、気象データ解析・輸送モデル実験等による診断解析手法を確立する。また、本研究で得られた観測データを炭素循環モデルに導入して地域別の発生・吸収源の分布と変動を再評価する。

副課題２の本年度の計画

① 観測で得られた高分解能のデータベースを利用して、温室効果ガス濃度の時系列解析を行い、濃度変動の特徴を把握する。
② 気象庁再解析気象データを利用した解析手法を適用して、温室効果ガス変動における輸送メカニズムを解明する。

副課題２の本年度の成果

① 1992 年から長期に継続してきた気象研究所の鉄塔を利用した二酸化炭素（CO_2）濃度の高分解能の観測データベースを利用して、2009 年までの長期的増加傾向、季節変動及び日変化の特徴を詳細に把握することができた。鉄塔 200m の CO_2 濃度は岩手県綾里の観測値と比較すると約 6ppm～8ppm 程度高いことが分った。また、地上付近の CO_2 濃度には顕著な日変動が認められ、夜間に地表付近に溜まった気塊が日の出後に上空の空気と混合する過程を、鉄塔による高度別の CO_2 観測で明瞭に捉えることができた。鉄塔の観測データは、GOSAT などのリモートセンシング観測や CO_2 輸送モデルの検証にも利用され、関連研究の進展にも貢献した。
② オセアニア路線の定期航空機観測による上部対流圏のデータベースの解析から、上空の CO_2 濃度の南北分布が ENSO と密接に関連して年々変動していることが見出された。３次元の CO_2 輸送モデル（NICAM－TM）を気象庁再解析気象データ（JCDAS）で駆動させた結果、観測の変動をほぼ再現することができた。その結果、輸送による変化に比べて、陸上の CO_2 の発生・吸収源の年々変動が上空の南北分布により強い影響を与えていることが分った。特に、熱帯地域で発生するバイオマス燃焼による CO_2 の放出量が ENSO による気象変化によって大きく年々変動し、その影響が上空の南北勾配を変化させる重要な要因の一つであることが強く示唆された。

副課題３　高度化陸域生態系過程を導入した気候モデルによる大気―陸面相互作用に関するモデル研究

副課題３の目標

炭素循環変動に対する気候要因を解析するために、陸域生態系モデルの高度化とそれを導入した気候モデルを開発する。また、それを用いた数値実験を通して、陸域物理生物過程と気候との相互作用、および関連する炭素循環過程に関するメカニズムの理解を進展させる。

副課題３の研究担当者

馬淵和雄、澤　庸介、松枝秀和、坪井一寛（地球化学研究部）

副課題３の本年度の計画

① 現存の陸域生態系モデルについて、動的過程の導入を含めたバージョンアップを引き続き行う。
② 新バージョンの陸域物理生物過程モデルを導入した３次元モデルによる数値シミュレーションを行い、炭素循環過程の改善点について検討する。
③ 陸域炭素循環への海氷変動インパクトに関する数値実験研究を継続して行う。
④ 陸域物理生物過程諸要素に関して、衛星データとモデルシミュレーション結果の相互利用に向け

ての検証研究を継続して行う。

副課題３の本年度の成果

① 陸域物理生物過程モデルのバージョンアップおよび精度検証を目的として、最新バージョンのオフラインモデル化を行った。また、客観解析データを外力とした検証積分結果から、最新バージョンで用いている、陸域物理生物諸過程のパタメータ値の妥当性の確認ができた。

② 陸域物理生物過程最新バージョンを組み込んだ３次元全球気候モデルにおける、極域大気上層で生じていた不自然な CO_2 濃度変動について、力学的移流項および拡散項に関する取り扱いの見直しを行った結果、問題点を改善することができた。また、現実的な大気気候場における大気―陸域相互作用および炭素循環を再現した３次元モデル実験結果を解析した結果、観測値に現われている大気 CO_2 濃度の年々変動の特徴を良く再現できていることが確認できた。

③ ３次元全球気候モデルを用いた海氷インパクト数値実験について、統計的解析精度の向上を目的として、コントロール実験の例数を増やすためのモデル積分を追加して行った。また、実験データから、各物理・生物過程諸要素の時間平均値およびアンサンブル平均値を作成し、それにより数値実験解析用のデータベースを完成させた。

④ 陸域諸要素に関する衛星観測データとの比較が可能な、2000 年代の期間を対象とした３次元全球気候モデル数値実験を行い、対象期間中のモデル気候場の再現性の検証を行った。その結果、降水量、地上気温、および短波放射量などの陸域物理生物過程の変動に強い影響を与える気候要素について、衛星データとの比較検証を行うに十分な精度の数値実験結果が得られていることが分かった。また、それらに伴う大気―陸域相互作用の年々変動の特徴を再現できていることが確認できた。

海洋中炭素循環変動の実態把握とメカニズム解明に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　石井雅男（地球化学研究部　第二研究室長）

研究の目的

温室効果ガスの大気増加・海洋吸収の変動評価及びその人為的・気候的要因の診断解析手法を開発し、地球温暖化の監視技術の高度化を図る。

副課題１　長期変化傾向を検出するための観測・品質管理手法の開発

副課題１の研究担当者

石井雅男、笹野大輔、小杉如央、青山道夫、緑川　貴（地球化学研究部）

副課題１の目標

- 海水のpH及び全アルカリ度を高精度で効率的に測定する装置とその測定データの品質管理手法を開発し、観測マニュアルを作成する。
- 溶存酸素の高密度観測のための酸素センサーを実用化する。
- 栄養塩変動の解析を可能にする栄養塩標準の確立と分析マニュアル作成を行う。

副課題１の本年度の計画

① 全アルカリ度測定装置の分光光度測定を改善する。測定に使用する塩酸の定量精度を向上させる。
② クロロフィルセンサーの性能試験を行い、酸素センサーと併用できるようにする。
③ 全炭酸・全アルカリ度・pH測定用の２次標準海水の安定性を向上させる。
④ 栄養塩標準の確立及び分析マニュアル出版のための国際活動を行う。

副課題１の本年度の成果

① 分光光度計への光入力と出力信号の関係が非線形な領域があることを確認し、最適な入力光強度範囲を評価した。これに基づき、より精度の高い全アルカリ度データが取得できるよう機器の設定や測定条件を改善した。また、全アルカリ度測定に必要な塩酸溶液の濃度検定に用いる電量滴定装置を設計し、製作した。
② 凌風丸10-07航海に担当官が乗船し、西部北太平洋上で新規に購入したクロロフィルセンサーの性能試験を実施した。鉛直的に高密度のデータを取得できたが、出力信号にノイズが発生するなどの問題も発生し、納入業者に改善を求めている。また、酸素センサーデータの検定方法に関する論文を執筆し、投稿した（改訂中）。
③ 栄養塩がほぼ枯渇している亜熱帯域の表面水を150リットル以上使用して、250cm^{3}ガラス瓶入りの２次標準海水をおよそ200本調製し、認証標準物質とともに分析作業に使用した。ガラス瓶への採水時に殺菌剤を添加し、栓へのグリースの塗り方を徹底することで、有意な濃度ドリフトがない２次標準海水を調製できた。
④ 栄養塩分析マニュアルを、国際的な共同作業で完成させ「Determination of Dissolved Nutrients (N, P, SI) in Seawater with High precision and Inter-Comparability Using Gas-Segmented Continuous flow Analyzers」として出版した。さらにこのマニュアルは「The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: A Collection of Expert Reports and Guidelines, IOCCP Report Number 14, ICPO Publication Series Number 134」として他の項目の分析マニュアルとともにこれからの世界標準として普及される。栄養塩標準物質の作製と国際栄養塩スケールの確立については、11編の論文からなる「Comparability of nutrients in the world's ocean」（ISBN 978-4-9904863-0-3）を出版した。このなかで、国際栄養塩スケールの確立手法を提案した。また、この間の比較可能性を確保した分析についての詳細な報告をこの出版物の中に掲載した。

副課題２　温室効果ガスの海洋蓄積の実態把握

副課題２の研究担当者

石井雅男、笹野大輔、小杉如央、緑川　貴（地球化学研究部）、増田真次、平石直孝（気象庁地球環境・海洋部）

副課題２の目標

① 副課題１で開発した観測技術を駆使して、北太平洋などにおける炭酸系及び関連物質の各層時系列観測を実施する。取得した観測データについて品質評価を行った上で、データセットを WDCGG から公開する。
② 各層時系列観測データから、北太平洋西部における海洋内部の CO_2 蓄積や酸性化の長期変化傾向を明らかにする。
③ 北太平洋西部における炭素循環の年々変動の要因を明らかにする。

副課題２の本年度の計画

① 気象庁と協力して、引き続き、北太平洋などにおいて炭酸系パラメータや溶存酸素等の鉛直観測を実施する。
② 品質をチェックした後、データセットを作成して温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）などから公開する。
③ 東経 137 度、165 度の各深度における CO_2 蓄積速度や海洋酸性化の状況を解析する。

副課題２の本年度の成果

① 西部北太平洋と南大洋において、炭酸系パラメーターや溶存酸素等の鉛直観測並びに各層採水を計画通りに実施し、持ち帰った海水試料を分析した。特に 7 月～9 月に凌風丸で実施した東経 137 度の WOCE 再観測では、凌風丸に搭載された炭酸系分析装置の調整などを支援したほか、担当官 1 名が乗船して観測作業に従事し、高精度データの取得に貢献した。
② 気象庁の担当官と協力して、観測データの品質評価を行った。
③ 1994 年以降に東経 137 度などで行っている全炭酸濃度の高精度各層観測データについて、時系列データの品質評価方法を考案し、CO_2 蓄積速度や海洋酸性化の速度を観測点・深度ごとに解析した。結果は、IPCC 海洋酸性化ワークショップなどで発表した。

副課題３　海洋中炭素循環変動メカニズムの解明

副課題３の研究担当者

石井雅男、笹野大輔、小杉如央、青山道夫、緑川　貴（地球化学研究部）、中野英之（海洋研究部）、和田章義（台風研究部）、本井達夫（気象大学校）

副課題３の目標

・ 海洋物質循環モデルを改良し、これを活用して炭素循環の変動要因を定量的に評価する診断的解析手法を開発する。
・ 海洋 CO_2 吸収の年々変動の要因を明らかにする。
・ 海洋内部の栄養塩変動の要因を明らかにする。
・ CO_2 吸収・蓄積メカニズム及びこれに伴う酸性化に関する情報を集約して公表する。

副課題３の本年度の計画

① 海洋物質循環モデルの改良と診断的解析手法の開発を進める。
② 台風通過に伴う海洋表層炭酸系の変動を数値シミュレーションにより再現するため、化学過程を非静力学大気海洋結合モデルに組みこむ。
③ 過去の全球の栄養塩データの解析を行い、さらに炭素を加えた炭素／窒素／リン比の変動を検討

する。

副課題３の本年度の成果

① 東経 137 度線における全炭酸濃度及び CO_2 分圧の時系列について、物質循環モデルの結果と観測データを比較し、各海域における変動の特徴の差異について検討した。比較結果に基づいて海洋物質循環モデルの改良について議論を進めた。

② 海洋大循環モデルに化学過程を組みこみ、東シナ海の 2 つの台風通過事例について、海洋表層の物理場や炭酸系の変動に関する数値シミュレートを行った。その結果を、過去の定点観測ブイにおける CO_2 分圧の時系列データと比較・検証し、台風通過後の炭酸系と海洋－大気間 CO_2 フラックスの変動の解析結果を取りまとめて論文に投稿した。非静力学大気波浪海洋結合モデルに同様の化学過程を組み込み、2005 年の台風事例について、数値シミュレーションを実施し、そのパフォーマンスを確認した。

③ BEAGLE2003 航海（P6,A10,I03/04 再観測）、MR0502 航海（P10 再観測）、MR0505 航海（P3 再観測）、MR0704 航海（P1 再観測）、MR0706 航海（P14 再観測）および MR0901 航海（P21 再観測）で得られた栄養塩データを基準とし、緯度経度 0.5 度毎、深度 50m毎 136 層の格子点をもつ、比較可能性が明示的に確保された世界で初めての全球栄養塩 データセット（Global Nutrients Dataset 2010 : GND10）をほぼ完成させた。作成された GND10 を解析し、次のような知見を得た。WOA05 を用いて計算した窒素、リン、珪素、酸素の全海洋総量と比べると GND10 で得られる窒素、リン、珪素、酸素の全海洋総量は大きな違いはない。しかし、過去の窒素総量についての文献値に比べると 5～10%程度大きな値である。また GND10 では 2000m から 6000m までの個々の格子点で の N/P 比の分布が WOA05 に比べ小さくなる傾向にあり、N/P 比は WOA05 が 14.6 を示すのに対し、GND10 では 14.3 となる。また全海洋中総量では WOA05 では 14.3 であるのに対し GND10 では 14.1 となった。

気候モデルによる気候変動メカニズム解明に関する研究

研 究 年 次：　1年目／4年計画（平成22年度～平成25年度）
研究代表者：　楠　昌司（気候研究部　第一研究室長）

研究の目的
気候モデルを高解像度化および高精度化して精度を向上する。その気候モデルを用いて古気候実験、過去再現実験などを実行して気候変動のメカニズムを解明する。

副課題１　大気モデルの高度化に関する研究

副課題１の研究担当者
小畑　淳、吉村　純、村上茂教、上口賢治、水田　亮、遠藤洋和、藪　将吉、坂見智法、保坂征宏、足立恭将、新藤永樹（気候研究部）

副課題１の目標
大気モデルを構成する陸面、降水、炭素循環、海氷、エアロゾルなどに関する物理過程を改良する。それらを大気モデルに組み込んで大気モデルの精度評価を行う。さらに大気モデルを高解像度化も行う。改良した大モデルを温暖化特研で開発している地球システムモデルに提供する。

副課題１の本年度の計画
① 大気モデルの高解像度化を行う。
② 陸面過程、降水過程、海氷過程、炭素循環、雲物理、放射、境界層などの改良を行う。

副課題１の本年度の成果
① 地球システムモデルの大気部分の高解像度化を行い、60kmの解像度での現在気候実験を行った。
② 地球システムモデル版大気 TL159（120km 格子）にエアロゾルモデルを結合し、気候値の海面水温（SST）で3年積分した。現在の大気モデルでは、季節内振動（MJO）のシグナルが弱いため、MJOを再現できるような積雲対流スキームの調整を行った。具体的には、大気中の水物質の滞留時間を延ばすように、積雲から出る水物質を大規模凝結過程にできるだけ渡し、雲スキームによって降水を作るような調整である。この方法により、積雲スキームの種類によらずに、MJOのシグナルを強めることができた。

副課題２　気候変動メカニズム解明に関する研究

副課題２の研究担当者
鬼頭昭雄、楠　昌司、小畑　淳、吉村　純、村上茂教、上口賢治、水田　亮、遠藤洋和（気候研究部）

副課題２の目標
改良した大気モデル、大気海洋結合モデル、地球システムモデルを用いて、古気候実験、過去再現実験、境界条件や物理過程の影響を調べる実験などを行い、気候変動のメカニズムや気候変動の予測可能性を研究する。

副課題２の本年度の計画
① 完新世中期と最終氷期最盛期の気候再現実験を行う。
② 結合モデルのコントロール実験による数十年変動の再現性を調査する。
③ 大気モデルによる20世紀再現実験と解析を行う。
④ 地球システムモデルによる炭素循環効果実験を行う。

副課題２の本年度の成果

① 完新世中期実験を開始し、予備的結果を第 3 次古気候国際比較実験計画（PMIP3）ワークショップで発表した。
最終氷期最盛期実験のために環境整備を行った。地形、海底地形、河川網、植生、重力波抵抗等など各種境界値ファイルを作成した。
最終氷期最盛期実験に必要な氷期地形に整合した大気初期値を作成するため、スピンナップを開始した。

② ローレンツが提唱した地球全体のエネルギー・サイクルの局所的様相を解析するための新しいスキームを考案した。
MIROC モデルによる PMIP2 最終氷期(LGM)実験結果に対し、上記の局所的様相を解析するための新しいスキームを適用した。

③ 地球システムモデル版大気 TL95（180km 格子）にエアロゾル・モデルを結合したモデルで 20 世紀再現実験を行うために、海面水温や温室効果ガスなどの境界条件、外的強制力のファイルを整備した。
革新プロジェクト後期実験モデルの大気 TL95（180km 格子）により行った 20 世紀再現実験の結果を用いて、気候の長期トレンドや数十年変動の再現性を検証するツールを作成した。
モデルは、全球平均した年平均地上気温の過去 100 年の長期的な気温のトレンドを良く再現していた。また、20 世紀半ばに見られる、気温の数十年変動も良く再現していた。

④ 気候炭素循環モデル（陸域炭素循環モデルは高度化版、気候モデルは従来の MRI-CGCM2）に化石燃料消費二酸化炭素排出量を与えた実験における炭素循環の効果を評価した。現在から 2100 年までは SRES-A2 シナリオである。炭素循環を温暖化した気候状態と結合させた実験は結合させない実験に比べ、特に土壌有機炭素の微生物による呼吸分解が活発化することで、大気二酸化炭素増加が 10%以上増えて温暖化を加速することがわかった。この結果は既存の各国研究機関のモデルと整合しており、将来予測における気候炭素循環相互作用の重要性が改めて認識された。
気候炭素循環モデルを用いた大気メタン急激増加温暖化実験について、感度実験を幾つか行いモデル諸過程の役割を評価した。暁新世から始新世高温期に起こったのではないかという現象に対応している。その結果、高温が引き起こす陸域生態系衰退（大気二酸化炭素が増加）による温暖化促進効果や、陸域植生の二酸化炭素施肥効果（生産が増加して大気中の二酸化炭素の増加が抑制）による温暖化抑制効果が、温暖化の強さを 20%も変えることが分かり、陸域生態系炭素循環の影響の大きさが認識された。

地上観測による大気要素の放射収支への影響の実態解明

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　内山明博（気候研究部　第三研究室長）

研究の目的
気候変動、大気環境の監視技術を高度化する要請に応え、雲やエーロゾルの影響を精密に把握するためには、気象現業機関で実施されている放射観測を高度化する必要がある。そのために必要な基盤技術の開発を行うとともに、雲・エーロゾルの放射影響の実態を把握する。

副課題１　雲・エーロゾルの監視と放射影響の実態解明に関する研究

副課題１の研究担当者
内山明博、山崎明宏、坂見智法、工藤　玲（気候研究部）

副課題１の目標
気候変動や大気環境の監視の高度化と実態把握のために次の３項目について実施する。
①　観測精度向上のための研究
②　測定データの解析ソフトウェアの開発・改良
③　雲・エーロゾル特性、放射影響の変動特性の実態把握

副課題１の本年度の計画
①　観測精度向上のための研究
- マイクロ波放射計、シーロメーターによる連続観測を開始する。
- 観測データ、解析データ、補助データを総合的に管理できるようにする。
- 同時に、WEB閲覧システムのデータ拡充を行い、気象研究所外へクイックルックを公開する。
- 太陽周辺光の分布画像を撮る手法の開発を進める。

②　測定データの解析ソフトウェアの開発・改良
- 前年度に決定した検定定数を使用してスカイラジオメーターのデータの再解析を引き続き行う。
- スカイラジオメーターの近赤外チャンネルを利用したエーロゾル・雲特性の推定法の開発を進める。
- 直達分光日射計の近赤外データの利用法を検討する。
- 赤外放射計算コードを整備する。
- 引き続き、スカイラジオメーター等の測器の校正法の改良を行う。

③　雲・エーロゾル特性、放射影響の変動特性の実態把握
- 連続観測を実施しデータの蓄積を図る。
- 開発した手法を用い、ネフェロメーター、PSAPのデータを解析して一次散乱アルベドの変動特性を調べる。
- 前年度に収集した国内14地点の日射データの解析。
- 成果の一部をまとめて投稿する。

副課題１の本年度の成果
①　観測精度向上のための研究
- マイクロ波放射計による連続観測を11月から実施した。シーロメーターについては機器が故障したため当面はデータの取得をしない。
- 地点毎に観測データ、解析データを管理することにして、データを統合的に管理できるデータベースの構築の準備を進めた。
- 広ダイナミックレンジの画像センサーを用いたカメラで太陽と太陽周辺光を測定し、測定可能

であることを確認した。カメラの画素の角度分解能、感度むらを決定した。
- 昨年度作成の WEB 閲覧システムを引き続き運用し、所内公開した。所外公開は、検討中である。
- スカイラジオメーターの校正の効率化のため、光源を用いたスカイラジオメーターの比較測定を試験した。太陽を光源にしたときに比べ、可視域では数パーセント過大に、近赤外域では数パーセント過小になる傾向があった。

② 測定データの解析ソフトウェアの開発・改良
- 直達分光日射計の近赤外データの利用法を検討した。ガス（H_2O、CO_2、O_3）の中で十分な精度で推定できそうなのは H_2O のみであった。エーロゾルに関しては、波長 2.2μm までの測定を使うことで、粒形分布は、半径 3μm までは推定できる可能性が明らかとなった。結果的には、限定的であるが活用の有効性が見出された。
- 過去に作成された赤外放射計算コードを見直し、いくつかのバグの修正をして整備した。また、ガス吸収を最新の HITRAN2008 のデータベースに更新するためのプログラムを作成した。
- 放射伝達モデルに対する逆問題に関して、最尤法によるベイズ推定やカルマンフィルタによる推定といった複数の推定法を用いることによって、地表面観測による雲情報に関するリトリーバル手法を開発した。さらに、雲存在の不連続性を推定するために、すなわち大域的最適解を求めるために、オーダー探索や多点探索といった手法を、開発したリトリーバル手法へ導入した。
- スカイラジオメーターの水蒸気チャンネル（中心波長 940nm）の校正法を開発し、推定された透過率から水蒸気量を推定する方法を開発した。精度は±0.1g/cm² 程度である。
- スカイラジオメーターの検定定数が既知のチャンネルから他のチャンネルの検定定数を推定する方法を開発した。センサー出力の自己チェックにも有効な手法となる。
- スカイラジオメーターのデータを SkyRad.pack（ver4.2）と研究室で開発した最尤法に基づくプログラムで解析し、推定量を比較したところ、SkyRad.pack（ver4.2）で一次散乱アルベドが大きくなる傾向が改善されていることがわかった。

③ 雲・エーロゾル特性、放射影響の変動特性の実態把握
- 前年度に収集した国内 14 地点の日射データの解析し、過去 30 年のエーロゾルの長期変動を調べた。同時に、環境省で長期に行ってきたエーロゾルのサンプリング観測のデータを収集し、日射データを解析した結果との関連について調べた。
- つくばで過去 36 年に渡って行ってきた日射観測から、エーロゾルの長期変動と地上日射への影響を調べ、アメリカの国際誌に投稿し、掲載された。
- ネフェロメーター（３波長、2000～2010 年）、PSAP（1 波長、2000～2010 年、３波長、2006～2010 年）を解析し、エアロゾルの光学特性の変化傾向を調べた。消散（散乱＋吸収）係数は、僅かに減少する傾向にあること、一次散乱アルベドは、冬に小さく夏に大きい季節変化をしながら僅かながら増加傾向（吸収が減少）にあることがわかった。
- Sky.Rad.pack（ver4.2）と研究室で開発したプログラムを使用して 2004 年から 2010 年のつくばと 2002 年から 2009 年の青島のスカイラジオメーターのデータの再解析を行った。

副課題２　エーロゾルの光学特性の測定とモデル化に関する研究

副課題２の研究担当者

内山明博、山崎明宏、坂見智法、工藤　玲（気候研究部）、五十嵐康人、財前祐二（環境・応用気象研究部）、増田一彦、石元裕史（気象衛星・観測システム研究部）

副課題２の目標

エーロゾル特性を地上で測定し、光学特性を理解することにより、サブ課題１の更なる高度化を進めるため、次の３項目について実施する。

① エーロゾル光学特性測定法の改良
② エーロゾルの基礎物理・化学量の測定と実態把握
③ エーロゾル光学特性の観測値と計算値の比較によるモデル化

副課題２の本年度の計画

① エーロゾル光学特性測定法の改良
- ネフェロメーター（エコテック社製の M9003）を用いてエアロゾルの光学特性の連続観測を行う。
- インレットの改良を行うなど測定精度の改善を図る。

② エーロゾルの基礎物理・化学量の測定と実態把握
- 過去データ（2009 年 3,4 月の福岡での観測データ）を分析して、黄砂粒子、すす粒子の形状データを提供する。また、個々の粒子の組成を調べる。

③ エーロゾル光学特性の観測値と計算値に比較によるモデル化
- 鉱物粒子について､作成した粒子形状モデルを用いて FDTD 法と幾何光学近似法を併用した観測波長についての一次散乱特性のデータベースを作成する。
- スス粒子の形状モデルを作成し、同様の散乱特性計算を開始する。

副課題２の本年度の成果

① エーロゾル光学特性測定法の改良
- 前年度光源を改良した 3 台の M9003 を再校正し､比較試験を行った｡その結果､2 台の 700nm チャンネルの S/N がかなり悪いこと､検定定数は 1 ヶ月程度であれば変動が小さいことがわかった。
- チューブドライヤー（中空糸膜使用）を用いてサンプル空気を乾燥させる方法を、年度内に試行する予定である。

② エーロゾルの基礎物理・化学量の測定と実態把握
- 2010 年 10 月及び 11 月につくばにてエアロゾル粒子サンプルの採取を行った。電子顕微鏡で分析した結果、化学組成は、基本的に、海塩、鉱物、硫酸塩、煤、有機物の混合と考えられることが分かった。煤は、その多くが硫酸塩または有機物と内部混合していた。

③ エーロゾル光学特性の観測値と計算値の比較によるモデル化
- 2009 年 3 月に福岡で採取した黄砂の画像データと前年度開発した形状決定手法を用いて、鉱物粒子の形状をモデル化した。FDTD 法と改良型幾何光学近似法を併用し、可視および近赤外の波長における粒子の散乱特性データベースを作成した。

意図的・非意図的気象改変に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　村上正隆（物理気象研究部　第一研究室長）

研究の目的

人工降雨で代表される意図的気象改変技術の確立および雲・降水の数値予報精度の向上や気候変動に影響を及ぼすエアロゾルの間接効果（非意図的気象改変）の解明を目的とする。

研究担当者

村上正隆、折笠成宏、齋藤篤思、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、石元裕史（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）

研究の目標

- 雲核（CCN）・氷晶核（IN）のモニタリング観測
- 大気中エアロゾルによる雲粒・氷晶発生過程の定式化
- 大気中エアロゾルによる雲粒・氷晶生成過程に関する観測
- エアロゾルの間接効果の解明
- エアロゾルの物理化学特性とCCN・INの活性化スペクトルの直接測定法の確立
- 各種リモセン技術を用いたエアロゾル・雲・降水の微物理構造の遠隔測定法の確立
- 詳細雲物理ボックスモデルの確立
- エアロゾル・雲・降水統一雲物理パラメタリゼーションの開発・改良と非静力学モデル（NHM）への組込

本年度の計画

① 雲生成チェンバーや雲核計・氷晶核計、各種エーロゾル測定装置等を用い、エーロゾルの物理化学特性、CCN・INの活性化スペクトルに関するモニタリング観測を実施する。
② 雲生成チェンバーや雲核計・氷晶核計等を用い、色々な大気環境（気温・上昇流）の下で、無機炭素、有機炭素エアロゾルの物理化学特性とCCN･INとしての活性化特性に関する実験を行い定式化する。その結果に基づき詳細雲物理ボックスモデルを改良する。
③ 観測用航空機・地上からのリモセン観測データを用いて、エーロゾルから雲粒・氷晶が生成する過程を調べる。
④ 多波長ドップラーレーダ・2波長偏光ライダー・多波長マイクロ波放射計などの遠隔測定手法を用いたエーロゾル・雲・降水のモニタリング技術の開発・改良を行う。
⑤ 直接観測によるエーロゾルのキャラクタリゼーション、CCN・INの活性化スペクトル、雲・降水粒子の時空間分布の測定技術の開発・改良を行う。

本年度の成果

① 地上エーロゾル観測システム（主にSMPS（走査型モビリティ粒径分析装置）、OPC（光散乱式粒子計数器）、雲核計、氷晶核計）を低温実験施設別棟に構築し、モニタリング観測を開始した。2010年6月高知市で取得した地上モニタリング観測データの解析結果から、平均的なエーロゾル粒子数濃度としてD>0.01、0.3、1.0μmそれぞれ、約4,000、70、0.5 個/ccを計測、1,000 個/cc程度がCCN（SS=1.0%）として働くことが示された。つくばにおける観測値と比較可能な値であり、都市域汚染の影響を受けた海洋性大気であることが示唆された。
2010年3～4月及び10～11月につくばにてエーロゾル粒子サンプルの採取を行い、電子顕微鏡で分析した。海塩、鉱物、硫酸塩、無機炭素、有機炭素などの混合と考えられることがわかった。CCNとしては、基本的に硫酸塩が多数を占めるが、水溶性成分を含む黄砂粒子や有機物粒子の影響が大きい可能性があることが示唆された。
② ダスト粒子からの雲粒および氷晶発生過程をより詳細に測定するための課題となっていた湿度測定に関して、高性能露点計およびTDL方式湿度計の整備及び雲粒子検出性能の向上を図り実験精度を

高めた。ダスト粒子を用いた実験データセットを更新し、あわせて、詳細雲物理ボックスモデルによる比較実験を行った。
炭素エーロゾルの物理化学特性と CCN･IN としての活性化特性に関する実験に着手するため炭素粒子発生を整備し、エーロゾルバッファータンクへの導入試験を行った。さらに、基礎的なエーロゾル・雲核特性についてデータを取得した。
雲生成チェンバーを用いた CCN の活性化特性に関する実験を行い、それに基づいて詳細雲物理ボックスモデルを改良した。
NHM に予報変数として組み込んだエーロゾルの移流・拡散・沈降過程を検証した。

③ 高知県上空での航空機観測データの解析結果から、過飽和度0.7%で活性化するCCN数濃度は0.1μm以上のエーロゾル粒子数濃度と良い相関があり、雲粒数濃度は0.3%付近で活性化するCCNに対応することが示された。海塩粒子、硫酸アンモニウムを仮定したエーロゾル粒径分布から推定したCCN数濃度は実測値よりも数倍大きく、雲核性能の低い各種エーロゾル粒子との外部混合あるいは内部混合が進んでいることを示唆した。

④ ２波長偏光ライダー測定データ（後方散乱係数、偏光解消度、２波長比）から推定したエーロゾル数濃度・タイプは、航空機測定データと対応することがわかった。
X バンドレーダまたは Ka バンドレーダの観測データの使用を想定して、電波の消散を利用した乾燥雪に対する雲微物理量の導出法の定式化を行った。

⑤ 氷晶のリモートセンシング技術を高度化するため、観測用航空機の２D イメージプローブで得られたデータを用い複雑な形状をもつ氷晶のモデル化を試みた。得られた氷晶モデルに対して FDTD 法や改良型幾何光学近似法を用いて粒子散乱特性を求め、その形状依存性やリトリーバルへの影響について調べた。
氷晶核計は、検出部におけるエーロゾル粒径分布に応じて、氷晶検出のための閾値をサンプリング毎に計算することにより、精度良く氷晶を検出できるよう解析処理手法を改良した。

大気境界層の乱流構造の統合的研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　毛利英明（物理気象研究部　第二研究室　主任研究官）

研究の目的
次世代数値モデルにおける大気境界層乱流パラメタリゼーションを高度化する。

研究担当者
栗原和夫（環境・応用気象研究部）、中川慎治、萩野谷成徳、小野木茂、北村祐二（物理気象研究部）

研究の目標
次世代数値モデルにおける大気境界層乱流パラメタリゼーション高度化の基盤となる知見を得るため、大気境界層の乱流構造に関し、以下の4項目について研究を実施する。

① 数値モデルのサブグリッド乱流過程や接地境界層過程パラメータのうち、計算結果に大きく影響するパラメータを特定する。
② Large Eddy Simulation （LES）に基づく大気境界層乱流の新たな数値計算手法を実用化する。
③ 粒子画像風速測定（PIV）を用いた地上付近の風速測定など新たな風洞実験・野外観測手法を実用化する。
④ ①,②,③に基づく数値計算・風洞実験・野外観測から、数値モデルに大きく影響する乱流過程に関し、従来提案されてきた普遍則を再検討し、新たな普遍則を見出すことを目指す。

本年度の計画
① 気象研究所非静力学モデル（NHM）のサブグリッド乱流過程および接地境界層過程に関し感度実験を行う。
② LESを用いて境界層乱流の数値計算を行い、風洞実験と比較検証する。
③ 気象研究所風洞・露場においてPIVの開発を行う。
④ a) 気象研究所風洞において境界層乱流の実験を乱流のスケール間相互作用に着目して行う。
④ b) 気象研究所露場において様々な大気の安定状態のもと大気境界層乱流の観測を行う。

本年度の成果
① NHMが大気境界層を再現する信頼性を統計的に調べるため、現実の側面境界条件を与えて長時間積分を実施し、計算結果を観測値と比較した。平均気温は良く再現できたが、最低気温は冬季に高温となることを確認され、安定度が強い場合に乱流による鉛直輸送が過小評価される可能性を見いだした。
① LESを用いて対流混合層の発達に関する数値計算を行い、基準データセットを作成した。気象研NHMを用いて同じ条件で数値計算を行い、格子間隔をLES程度にまで細かくした場合の境界層対流の構造についてLESの計算結果と比較した。
② 気象研究所大型風洞を用いて安定境界層の実験を行った。得られた境界層乱流の鉛直プロファイルを、前年度までに開発したLESに基づく数値計算の結果と比較し、計算結果が実験結果を良く再現することを確認した。
③ 風洞PIV実験用の各種装置および解析用プログラムの製作が完了し、気象研究所小型風洞において検証実験を行い性能を確認した（論文投稿中）。また野外PIV観測用光源とトレーサ粒子発生装置を製作し、有効に動作することを確認した。
④ 気象研究所大型風洞において取得した中立境界層の実験データを用い、境界層乱流のスケール間のエネルギー収支が評価できることを示し、結果を論文として発表した。
④ 気象研究所露場において様々な大気の安定状態のもと、韓国の研究者と共同開発した高精度ライシメーターを用いた観測を行い、従来は困難だった夜間結露量の測定に成功した。
④ 気象研究所露場における観測から、気温・湿度・気圧・全天日射量の日平均値から長波放射量の

日平均値を推定する既存の関係式が、各物理量の 10 分値平均値あるいは 1 時間値平均値の間の関係も良く再現することを明らかにした。

エーロゾル ― 雪氷相互作用に関する研究

研 究 年 次：　1年目／4年計画（平成22年度～平成25年度）
研究代表者：　青木輝夫（物理気象研究部　第三研究室長）

研究の目的

エーロゾルが大気中及び雪氷面において放射収支を変化させるプロセスを観測及びモデル化することにより、気候へ与える効果を明らかにすると共に、衛星観測により積雪物理量と雪氷面アルベドの変化を監視する。

研究担当者

青木輝夫、朽木勝幸、庭野匡思（物理気象研究部）、田中泰宙（環境・応用気象研究部）

研究の目標

光を吸収する性質の吸収性エーロゾル（主にすすとダスト）は雪氷面に沈着し、アルベドを低下させることにより温暖化を加速する効果を持っている。その効果を定量的に明らかにするため、雪氷・放射観測、放射過程のモデル化、全球エーロゾル輸送モデル、衛星観測の手法を用い、下記３項目について研究を実施する。

① 雪氷面放射過程の解明と雪氷面アルベド物理モデルの高度化
② 吸収性エーロゾル沈着による雪氷面アルベド低下と大気エーロゾル変動が気候に与える影響評価
③ 衛星観測による積雪物理量や雪氷面アルベドの抽出技術の改良と雪氷圏変動の監視

本年度の計画

① 札幌にて放射収支等観測の実施、アルベド物理モデルの積雪粒径過程を改良、積雪層構造を再現するモデルの開発
② エーロゾル光学モデルを高度化し、全球エーロゾル輸送モデルによる積雪不純物及び大気エーロゾル変動による気候影響評価を実施
③ 衛星リモートセンシングの積雪粒径用新チャンネル及び不純物指数の導入

本年度の成果

気候モデルで用いることができる積雪アルベド物理モデルを開発し、札幌における放射、気象、積雪等観測データによって検証し、その結果を論文として投稿した。気候モデルで用いることができる積雪変質モデルである積雪変態・アルベドプロセス（Snow Metamorphism and Albedo Process: SMAP）モデルを開発し、上述の札幌におけるデータを用いて精度評価を行った。SMAPモデルのサブモデルである積雪アルベド物理モデルと積雪粒径計算過程は、気象研究所地球システムモデルへ組み込まれた。2010年4月から気象研究所において大気エーロゾル中カーボンの連続測定を実施し、有機炭素（OC）と元素状炭素（EC）各濃度の日々の変動や季節変化を観測した。また、各種テスト分析を行い、測定手法を検討した。衛星リモートセンシングでは、積雪2層モデルアルゴリズムを開発し、衛星データから積雪粒径、黒色炭素濃度、広波長帯域アルベドを抽出し、地上検証を行った。また、衛星と地上放射計それぞれから抽出した黒色炭素濃度と積雪粒径を相互に比較し、既存の衛星アルゴリズムの問題点等を明らかにした。

① 札幌における放射収支等観測を継続し、日射観測データに対する架台の影響を補正するための方法を考案した。これらのデータを用いて、積雪アルベド物理モデルの中で用いるサブ波長バンド数、及びモデルで用いる積雪層数がアルベド及び積雪内部の短波加熱率の計算精度に与える効果を検証した結果、３以上のサブ波長バンド数、５層以上の積雪層数をモデル中で用いる必要があることが分かった。SMAPモデルの根幹を成す積雪粒径計算過程においては、雪温勾配が日変化する場合に進行する積雪変態過程を考慮するようにした。その上で、札幌と十勝における観測データを用いてSMAPモデルの検証を行った。なお、十勝のデータを用いてSMAPモデルを実行する際には、全天分光日射計によって抽出された積雪不純物量を使用するという新しい試みを行

った。その結果、大気―積雪間の熱交換に影響を与える積雪アルベドと雪面温度は全般に良い精度で計算できることがわかった。一方で、積雪内部の物理量である雪温と積雪密度の計算精度については、依然として改善の余地が残されていることがわかった。

② 「黒色炭素の複素屈折率に関する他研究者による最新の研究成果に基づき、その光学特性を前年度に作成したコア・シェル型のエーロゾル一次散乱特性計算モデルを用いて計算し、データベース化した。2010 年 4 月から気象研究所において大気エーロゾル中カーボンの連続測定を開始した。OC、EC 濃度は、風向や降水に依存して日々変動している様子が観測された。月平均値でみると、11、12 月はそれ以前に比べて OC、EC 濃度ともに増加した。また、サンプリング前にフィルターを加熱処理した場合、ガス状有機物の吸着量が増加し、OC 濃度の正のバイアス誤差となることがテスト分析から確認された。

③ 積雪粒径用新チャンネル（波長 1.24 μm）を追加することにより、積雪２層（表層と下層）の積雪粒径及び１層（全層）の黒色炭素濃度を抽出するための新しいアルゴリズム（積雪 2 層アルゴリズム）を開発し、Terra 衛星 MODIS データを用いてそれら物理量を抽出した。その結果、表層粒径と黒色炭素濃度は地上検証観測データと整合的であったが、下層の積雪粒径は過小評価であった。この原因は１層目の幾何学的厚さを固定したためと考えられる。衛星と地上放射計それぞれから同様のアルゴリズムによって抽出した黒色炭素濃度と積雪粒径を相互に比較した。その結果、黒色炭素濃度は衛星が過大評価となり、観測地点（北海道十勝地方）周辺の道路や防風林の影響が含まれていること、衛星抽出結果は衛星の幾何条件に大きく依存し、衛星のアルゴリズムで使用されている双方向反射率モデルに問題があること等が示唆された。

都市気象モデルの開発

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　高藪　出（環境・応用気象研究部　第二研究室長）

研究の目的

全国的な都市化の進行とともに顕在化してきているヒートアイランド、都市豪雨等への都市効果を、定量的に表現・予測することは大きな社会的要請となっている。気象庁ではこれら社会の要請に答えるべく、ヒートアイランドの実態把握、都市化影響の評価を行う「ヒートアイランド監視報告」を定期的に発表しているが、これらの情報作成に用いる都市気象モデルの更なる高度化が要請されている。また、都市の関連する豪雨や異常高温等の極端現象を非静力学モデルで再現、予測を行うための都市効果をより正しく表現するスキームが求められている。これらの要請に応えるべく、都市気象を精度良く再現、予測可能な都市気象モデルを開発提供し、都市気象メカニズムの解明と都市気象にともなう極端現象の解析・予測を通じた気象庁の情報発信の高度化に資する。

副課題１　都市気象全般を表現可能な都市気象モデルの開発

副課題１の研究担当者

高藪　出、栗田　進、日谷道夫、青柳曉典（環境・応用気象研究部）、清野直子（予報研究部）

副課題１の目標

- １層都市キャノピーモデルへの水文過程の導入
- 都市モデルの多層化とモザイク化
- 都市領域の拡散モデルの開発

副課題１の本年度の計画

① 降水の各種水文過程の改良と非静力学モデル（NHM）への組み込み
② 異常高温、短時間強雨の顕著事例に対するNHMの予測精度確認
③ 中立大気を仮定したモデルの開発と観測・実験データおよびLES（Large Eddy Simulation）データとの比較検討
④ 都市放射観測と観測結果の解析・データベース化
⑤ 多層化した放射モデルの開発と観測・実験データとの比較
⑥ モザイクカテゴリー、モデル入力パラメータの決定。入力パラメータの収集・整備。都市・森林・水田などの各モデルを結合したモザイクモデルの作成とNHMへの組み込み。

副課題１の本年度の成果

① 冬の事例について1カ月間計算を行いモデルパフォーマンスを確認した。人工排熱の影響が顕著であることが判明した。
② 顕著な降雨事例である2010年7月5日について詳しい解析を行い、NHMの予測精度を確認した。
③ 中立大気を仮定したモデルの開発を行い、比較検討のためのデータを集積した。
④ 本庁屋上における放射データの取り込みとデータベース化を行った。
⑤ モデル構造・比較実験結果のとりまとめと論文投稿を行った。
⑥ 東京都のGISデータを基として建物情報を収集し、都市モデルに入れられるよう整備した。

副課題２　LESによる都市気象モデルの検証と微気象LESモデルの開発

副課題２の研究担当者

栗田　進、高藪　出、青柳曉典（環境・応用気象研究部）

副課題２の目標

- 都市大気境界層を表現する LES モデルの開発
- 微気象 LES モデルの開発

副課題２の本年度の計画

① LES モデルの改良と検証
② モデル改良と副課題１に用いる検証データ作成
③ 急峻地形の LES モデルへの導入（一般座標系の導入）
④ 植生 LES モデルの検討

副課題２の本年度の成果

① LES モデルの検証に必要な地表面データをアメダスデータより作成した。
② LES モデルの改良に必要な粗度・零面変位の安定度依存性について明らかにした。
③ 一般座標系の導入に伴い採用せねばならなくなるコロケート格子について調査・研究を行った。
④ 植生面の様な、非均一なキャノピーの効果について基礎的研究を行い、蒸発散過程のモデル化を検討した。

大気エーロゾル粒子の性状とその変動過程に関する研究

研 究 年 次：　2 年目／5 年計画（平成 21 年度～平成 25 年度）
研究代表者：　五十嵐康人（環境・応用気象研究部　第四研究室長）

研究の目的

気象庁は、平成 20 年、黄砂予測情報、地球温暖化予測情報の提供などを含む地球環境業務の高度化を重点施策として進めることとし、気象研究所では、予測技術の高度化などを通じてその施策に貢献することを目指している。本研究はその一環として、大気エーロゾルの移流・変質にかかる素過程（発生・輸送・変質・沈着過程）の高度化による予測スキームの改善に必要なパラメータの設定などのため、大気エーロゾル粒子の混合状態、生成過程、吸湿特性、ダスト沈着量などについて実験・観測により現象の解明を行い、予測技術の高度化に資することを目的とする。

研究担当者

五十嵐康人、財前祐二、直江寛明、梶野瑞王（環境・応用気象研究部）

研究の目標

気象研究所の全球エーロゾル輸送モデルによる将来予測精度の向上の一環として、エーロゾルの発生・輸送・変質・沈着過程、各々の段階に対応したパラメータやモデルスキームの改善を図るため、電子顕微鏡や化学分析等の手法を用いて、以下の観点から典型的な大気エーロゾル粒子の物理・化学特性と諸過程の解明に取り組む。

① 大気エーロゾル粒子の粒径分布・組成・混合状態の実態とその変動・変質の解明
② 先駆気体の観測・解析などに基づく硫酸・硫酸塩粒子を含むエーロゾルの生成過程の解明
③ 組成・混合状態がエーロゾル粒子の吸湿特性に及ぼす影響の解明、特に粒径変化に関する実験的パラメータの取得とモデル化
④ 黄砂を含む風送ダストの輸送・沈着の量的な評価

本年度の計画

① サンプル採取と分析を継続。海塩粒子、鉱物粒子の粒径分布とその変質・混合状態測定方法を確立する。
② つくばにて予備観測を継続し、観測方法を確立する。
③ 海塩・硫酸塩、すす、鉱物粒子を人工的に発生させる技術及び、吸湿特性測定技術を確立する。
④ データセットを取りまとめ、モデル検証に提供する

本年度の成果

① 2009 年冬季（12 月）に新穂高（標高 2165m）で採取したエーロゾルの組成と混合状態を電子顕微鏡（TEM）で調べた。後方流跡線解析の結果から、これらのエーロゾルは、アジア大陸からの長距離輸送の影響が強いことが示唆された。微小粒子（0.2－1μm）は硫酸塩、すす及びそれらが内部混合した粒子が多く、すす粒子の約 40%は硫酸塩と内部混合していた。また、硫酸塩のほとんどはサテライト状の液滴リングを持っていることから、中和されていない酸を含んでいることが分かった。粗大粒子（1μm 以上）は主に硫酸塩、海塩と少数の鉱物粒子からなっていた。この観測結果は、国内外の学会で報告した。榛名山頂（標高 1370m）で採取した試料については、気象研究所最上階で採取したサンプルと合わせて、2010 年 3 月の黄砂イベントについて解析を行った。その結果、黄砂本体の前にプレイベントと呼ぶべき南経由で輸送された黄砂があること、輸送経路によって変質の程度に違いがみられることなどがわかった。「エーロゾル－雪氷相互作用に関する研究」にて実施している EC（元素状炭素）/OC（有機炭素）用のフィルター試料を分割し、イオンクロマトグラフ装置を用いて、水溶性イオン成分の観測値を得ている。山岳でのサンプリングは 4 月、6 月、10 月に新穂高、木曽駒ケ岳で実施した。しかし、高い山岳での自動採取は、低濃度、低温や降雪などにより、質のよいサンプルは採取できていないことから、システ

ムの改善を進めるとともに、現地に滞在して短期集中的なサンプル採取を行うこととした。

② 気象研究所最上階において、SMPS（粒径分布測定装置）を新たに整備し、SO_2 計、サルフェートモニター等による前駆気体および粒径別粒子個数濃度の連続測定を一部の期間実施した。SMPS については、８月以降連続測定を開始した。

③ 塩化ナトリウム、硫酸アンモニウム、炭酸カルシウム、標準黄砂、カーボンブラックの各粒子を発生させる室内での実験を継続して行った。また、湿度特性の測定を行うために、湿度を変化させるシステムを整備した。学術的に意味のあるデータを取得するためには、システム全体の温度を均一にし、かつ１℃程度の誤差でコントロールする必要があるため、システム全体を断熱材で包むなどの改良を行うこととした。

④ 関係研究機関に降下塵試料を提供し、過去の気候変動を知るうえで、多くの成果を得た。例として、降下塵中の石英粒子の ESR による計測が進んだ。我が国での降下物は、アジア大陸起源の風送塵と現地表土の混合物と考えられ、具体的には秋田･福岡の降下塵では、ともに細粒の方が風送塵を多く含んでいること、さらに年や月によって混合の割合が変動することがわかった。また、微量元素（特にヨウ素）の降下量の経年変動についての知見を得た。これらの成果は国内外の学会で発表した。

⑤ エーロゾルモデルの開発および、観測による検証・改良を研究内容に追加した。混合状態と粒子形状を考慮できる 3 次元オイラー型エーロゾル化学輸送モデルを開発し、その成果を国際誌に 2 報投稿し、うち 1 報は受理された（1 報は査読中）。モデル検証としては、これまで、PILS（粒径別エーロゾル無機イオン成分重量濃度）、COSMOS（ブラックカーボン重量濃度）、SP2（ブラックカーボン粒径分布、混合状態）、VTDMA（ブラックカーボン混合状態）などとの比較検証は成功した。さらに、気象研究所非静力学モデル（NHM）とのオフライン連結化に着手した。また、SMPS による粒径分布測定や電子顕微鏡による混合状態観察の結果と検証するために、モデルの定式化にも着手した。関連する研究成果として、東アジアにおける硫黄化合物の相互授受量解析に関する研究成果が国際誌に 1 報受理され、六甲山の滑昇霧イベントにおけるエーロゾルの霧活性に関する研究成果をまとめて国際誌に 1 報投稿し、多環芳香族炭化水素の動態解析研究の成果については国内外の学会にて発表した。

エーロゾル・雲・微量気体に関するリモートセンシング技術の高度化に関する基礎研究

研 究 年 次：　1年目／4年計画（平成22年度～平成25年度）
研究代表者：　真野裕三（気象衛星・観測システム研究部　第三研究室長）

研究の目的

数値予報・環境・気候に関わる物質監視のために、ライダーおよび性能向上が進みつつある地球観測衛星・極軌道気象衛星・静止気象衛星を用いた雲・エーロゾル・微量気体に関する衛星データ利用技術を高度化し、数値モデル等におけるライダー・衛星データの利用拡大を図る。

副課題１　ライダーによるエーロゾル・雲・微量気体の観測技術の高度化

副課題１の研究担当者

永井智広、酒井哲、中里真久（気象衛星・観測システム研究部）

副課題１の目標

① ライダー観測からのエーロゾル微物理量導出手法の開発や巻雲の光学特性の把握、観測データを用いた全球エーロゾル輸送モデルの検証及びモデルでのライダー観測データ利用の評価を行う。
② 対流圏オゾンの実態把握と発生起源の識別アルゴリズムの開発・改良、ならびにオゾン以外の微量気体成分の観測手法の開発を行う。

副課題１の本年度の計画

① 実大気中でのライダーと直接サンプリングによる同時観測と、エーロゾル光学特性と微物理特性の関係の調査を行う。
② 二酸化窒素観測に必要な波長の生成実験・装置の構築、対流圏オゾン観測および観測データの事例解析および試験観測及び既存観測からの二酸化硫黄の試験的な導出を行う。

副課題１の本年度の成果

① 2010年4月29日と5月4日に気象研屋上でライダーと直接サンプリング等によるエーロゾル観測を行った。その結果、地上付近の大気中では、ライダー偏光解消度が低い場合でも、鉱物粒子が液滴状で存在していることがわかった。
② 二酸化窒素観測用ライダーの装置構成を検討し、観測シミュレーションを行った。第3高調波をメタンと重水素を用いてラマンシフトさせることにより生成される波長組395.6/396.8nmを使用した場合、1000ショットの積算で高度20km程度まで、統計誤差10%程度で測定可能との見通しを得た。
対流圏オゾンライダーを用いて観測された春季オゾン極大期（2006年6月1日）の高濃度オゾン事例について、気象研究所化学輸送モデル（MRI-CCM2）を用いた事例解析を行った。地上から高度4kmまでの$2\times10^{18}m^{-3}$程度のやや高濃度のオゾンはMRI-CCM2でよく再現されていた。しかし、これに重畳されている高度1～3kmに見られた$3\times10^{18}m^{-3}$以上の高濃度オゾンは、再現されなかった。$2\times10^{18}m^{-3}$程度のオゾンは、成層圏オゾンとは連続しておらず、大陸からの人為起源のオゾンであると考えられた。
二酸化硫黄の導出については、平成21年度に実施、成功している。

副課題２　衛星によるエーロゾル・雲。微量気体の観測技術の高度化

副課題２の研究担当者

真野裕三、増田一彦、岡本幸三、石元裕史（気象衛星・観測システム研究部）

副課題２の目標

① 気象衛星によるエーロゾルプロダクトを改良する。
② 地球観測衛星、気象衛星による雲の微物理量算出アルゴリズムを開発・改良する。
③ 非球形粒子散乱モデルの開発・改良および放射伝達モデルを改良する。
④ 地球観測衛星、気象衛星による微量気体のリトリーバル技術を開発する。

副課題２の本年度の計画

① エアロゾルの複素屈折率・陸面反射率の調整、NOAA 用の陸面エーロゾル LUT（ルックアップテーブル）改良・検証を継続する。また、エーロゾルの赤外放射モデル開発を行う。
② 氷雲の微物理量導出アルゴリズム開発に着手する。
③ 非球形粒子散乱モデルによるエーロゾルの散乱特性を計算する。
④ 微量気体のリトリーバル手法の文献調査を行う。

副課題２の本年度の成果

① NOAA 衛星による陸域エーロゾルの光学的厚さの推定において、黄砂および Gray haze のエーロゾルの複素屈折率の調整を行い、地上観測値(AERONET)との対応が大きく改善された。また、衛星推定値のバイアスも定量化できた。黄砂と Gray haze の識別のため、赤外窓領域の輝度温度差の調査を行い、符号により識別の可能性があることがわかった。また、エーロゾルの赤外放射モデルを試作した。
② 非球形粒子の改良型幾何光学近似計算手法の高速化を行い、ボロノイ形状を想定した鉱物性エーロゾル粒子の散乱分布関数のデータベースを作成するとともに、氷晶粒子の散乱分布関数の計算に着手した。
③ 鉱物性エーロゾル粒子モデルとして考えたボロノイ型仮想形状粒子について、FDTD 法を用いた散乱特性計算を実施し、予定の波長および粒子サイズ範囲での散乱特性データベースを作成した。スス粒子については電子顕微鏡画像による形状特性とフラクタル・ボロノイ型凝集体構造を用いた形状モデル化を行った。
④ 微量気体のリトリーバル手法の文献調査を行った。

次世代リモートセンシングに関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　小林隆久（気象衛星・観測システム研究部　第四研究室長）

研究の目的

偏波機能、多周波観測、高速スキャンなど今後大きな発展が期待されている地上・衛星搭載レーダーやウィンドプロファイラにおいて雲・降水観測精度の向上とデータ利用の高度化を図り、防災気象や気候研究に不可欠な雲・降水メカニズムの解明、今後の気象観測システム構築に資するのが本研究の目的である。

研究の目標

固体化・偏波レーダー、ウィンドプロファイラ、衛星搭載レーダー等のリモートセンシング手法を気象観測で有用に活用するために以下の研究を実施する。

1）固体化レーダー観測基盤技術の確立、観測データの検証・評価
2）リモートセンシングデータの高度利用化技術の開発
3）リモートセンシングデータの利用高度化による雲・降水過程の解明

研究担当者

足立アホロ、山内　洋、鈴木　修、猪上華子（気象衛星・観測システム研究部）、小野木茂（物理気象研究部）

本年度の計画

① 固体化・偏波レーダーによる観測の解析を行い、その検証を行う。具体的には今年度開発した固体化・偏波レーダーデータ処理・解析システムを用いて、地上観測装置上空およびその方向の降雨時の偏波パラメータを抽出する。
② 次に降雨による電波の受信強度の減衰を、偏波パラメータを用いて補正し、補正後の信号強度と偏波パラメータなどから推定した降水強度を地上観測装置の値と比較してその効果を評価する。この減衰補正法の検証は地上の降水強度の観測値を用いて行う。
③ 地上観測により最適な粒径分布近似式を求め、偏波パラメータから降水強度を推定する際に用いる手法を開発する。さらに、偏波パラメータの温度依存性が指摘されていることから、気温の測定を行えるよう機器を整備し順次観測を行う。

本年度の成果

① 気象研究所のCバンドの固体化・偏波レーダーによる観測を行い、昨年度開発した固体化レーダーデータ処理・解析システムを用いて降雨時の偏波パラメータを抽出する手法を開発した。
② 得られた偏波パラメータから降水量を推定し、熊谷地方気象台や国土交通省江戸川河川局所管の関宿雨量観測局の観測データと比較した。その結果、従来の反射強度のみを用いて推定した降水強度は、降雨減衰を受け観測された値の半分程度であったのに対し、偏波パラメータから推定した降水強度はほぼ観測値に一致することがわかった。ただし、偏波パラメータの抽出に用いる手法は、空間／時間的な分解能がやや劣化するというトレードオフがあるために改善が必要なことが判明した。

レーダーの観測とシミュレーションや地上観測の比較から、レーダーの観測データに記載される方位や距離に誤差があり、実際の観測地点と一致していない（方位角数度、距離最大1km程度）ことがわかったため、機器の調整を行い誤差を修正した。また、レーダーの水平と垂直偏波の受信器に時間的に変化する感度の差があることが判明し、これによって偏波パラメータ、例えば反射因子差にバイアスが発生していることがわかった。このバイアスは降雨強度の推定に大きな誤差をもたらす可能性があるものの、時間的に変化しており、方位や距離の誤差のように機器の調整や改修で修正できるものではないため、このバイアス量を観測から推定し、観測値を補正する

手法を開発した。

③ 偏波パラメータから降水強度を推定する場合に、雨滴粒径分布と共に降水の温度や観測仰角の影響が無視できないことがシミュレーションにより判明した。雨滴粒形分布については地上観測から解析中であり、また温度については観測装置を新たに整備し現在気象研究所構内で試験観測中である。仰角の影響に関しては、その影響が大きい偏波パラメータについてシミュレーションにより補正値を計算し固体化・偏波レーダーデータ処理・解析システムに導入した。また、衛星搭載レーダーで降水を観測する場合に問題となる多重散乱についてシミュレータで計算し、降水強度に及ぼす誤差について検討した。

都市域に強雨をもたらす降水系の構造と環境場及び予測に関する研究

研 究 年 次：　1年目／2年計画（平成22年度～平成23年度）
研究代表者：　金子法史（東京管区気象台　気候・調査課）

研究の目的

都市域に強雨をもたらす降水系について、事例解析と都市キャノピースキームを適用した数値モデル実験による調査を継続して行うことにより、降水系の発生過程や内部構造と環境場の相互作用に関する基礎的な知見をさらに蓄積する。また、GPS可降水量を予測に活用する上での基礎的な調査を充実させるとともに、強雨発生や継続時間の予測可能性に関する調査も行い、事例解析による調査成果とあわせ、防災気象情報の精度向上に資する成果を得ることを目的とする。

研究担当者

金子法史、木村光一、片岡　彩、藤原宏章（東京管区気象台）、由比栄造、松浪岳司、肆矢朗久、高瀬真治、森本奈歩、竹内孝夫、渕上隆雄、成瀬由紀子、太田弘彦（名古屋地方気象台）、藤部文昭（予報研究部）、青柳曉典（環境・応用気象研究部）

研究の目標

- 関東地方や東海地方の都市域に強雨をもたらす降水系の発生過程や内部構造に関する基礎的な知見の蓄積を進める。
- 都市キャノピースキームを適用した数値モデル実験を活用することで、ヒートアイランドが都市域の強雨に与える影響について知見を蓄積する。
- GPS可降水量を予測に活用するための基礎的な調査を行う。
- GPS可降水量や各種観測データを用いた、強雨発生や継続時間の予測可能性に関する知見を得る。
- 上記調査における個々の成果を総合的に分析し、予報現業作業で有用となる強雨の前兆現象、継続時間、雨域の移動方向、降水量予測などに関する知見を見出すことにより、防災気象情報の精度向上に資する。

本年度の計画

① ドップラーレーダーデータを用いた三次元事例解析。
② GPS可降水量による降水予測に関する調査。
③ 都市キャノピースキームを適用した数値実験による再現・感度実験。(関東地方対象)

本年度の成果

① 東京及び名古屋付近の都市域に発生した短時間強雨の事例を抽出し、地上観測、アメダス、高層観測、ウィンドプロファイラなどの観測データを用いた環境場の解析と共に、降水系の内部構造を把握するために複数のドップラーレーダーデータを用いた三次元事例解析を行い、解析事例を蓄積した。

② 東京管区気象台では、大気遅延量から算出される勾配パラメータに可降水量を掛けたベクトルの収束と強雨との対応を調査するとともに、非一様成分の分散値の変動と都市域で発生した短時間強雨との関係についても調査を行った。また、名古屋地方気象台では、GPS可降水量、気柱相対湿度から計算したSSI及びGPS可降水量下層風FLUX（毎時大気解析925hPa風を利用）と、強雨との統計的な関係を調査するとともに、都市域で発生した短時間強雨の事例について、GPS可降水量FLUXや勾配パラメータとの関係も確認した。

③ 東京管区気象台で、東京周辺の都市域に短時間強雨をもたらした事例について、現業MSMと同様の地表面過程を用いた再現実験、都市キャノピースキームを用いた感度実験、また、都市地表面パラメータを農地用パラメータに置き換えた感度実験を行い、これらの結果より都市域の効果に関する考察を行った。

渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究

研 究 年 次：　5年目／5年計画（平成18年度～平成22年度）
研究代表者：　村上正隆（物理気象研究部　第一研究室長）

研究の目的

国連は2025年までに世界の２／３の人口が水不足に直面すると指摘している。日本でも人口集中域では潜在的な水不足の状態にある。地球温暖化が進むと、少雨・渇水や豪雨・洪水などの異常気象が頻発することも指摘されている。今後予想される渇水等の災害軽減対策を早急に講じる必要がある。

本研究では、安定的水資源確保や即効的渇水対策のための人工降雨・降雪技術を確立する。

副課題１　人工降雨・降雪による水資源確保・渇水被害軽減の可能性評価に関する研究

副課題１の研究担当者

藤部文昭（予報研究部）、釜堀弘隆、仲江川敏之（気候研究部）、高橋清利（気象庁気候情報課）

副課題１の目標

- 過去の渇水要因を明らかにし、人工降雨・降雪による水資源確保・渇水被害軽減の有望な地域・時期を特定する。
- 渇水時の天気パターンを明らかにする。

副課題１の本年度の計画

① 21年度までに行った気象・水文データ解析を継続・集約する。それにより，渇水をもたらす大規模循環パターンと，渇水対策への季節予報の利用可能性について，成果を取りまとめる。
② 渇水をもたらす大規模循環パターンについては，これまでに行った事例解析の成果を集約し，循環場の観点から見た渇水の要因を整理する。
③ 後者に関しては，コストロスモデルによる渇水に対する季節予測実験結果の有用性解析の結果をまとめる。また，新たな季節予測実験結果に対して，統計補正した結果を用いた場合の，利根川流域を対象とした損失軽減率の改善率について結果をまとめる。

副課題１の本年度の成果

① 2010年暖候期降水の状況と循環場との関連を調べた。期間を通して太平洋高気圧が強かったにも関わらず渇水は発生しなかった。その要因として，太平洋高気圧の西側を回る水蒸気フラックスが大きかった。このため，特に南西諸島では降水が多く渇水にはならなかった。
② 予測手法の経済価値について，コストとロスを定数としたときの基本的な考え方を取りまとめた。
③ 現業季節予報とMOSを使った利根川流域の季節予報精度の評価を行った。これまで大気モデルによる季節予測の潜在的予測可能性については，200km程度の解像度のモデルで議論されてきたが，本研究では，約60kmのモデルを用いて，河川流量の潜在的季節予測可能性とその水平解像度依存性について，基礎的調査を行った。

副課題２　リモートセンシング技術を用いた人工降雨・降雪に関する研究

副課題２の研究担当者

石原正仁、増田一彦、真野裕三、石元裕史、永井智広、酒井哲、山内洋、中里真久、足立アホロ、猪上華子（気象衛星・観測システム研究部）

副課題２の目標

- 各種リモセン技術を用いた微物理構造導出アルゴリズムを開発する。それに基づき、シーズンを通した有効雲の出現頻度を把握する。

・　航空機などを用いたシーディング実験時に、種々のリモートセンシング技術を用いて雲の内部構造の変化を測定し、リモセン観測によるシーディング効果の物理的評価手法の高度化を行う。

副課題２の本年度の計画

① 暖候期に、X－バンドレーダ、Ka－バンドレーダ、多波長マイクロ波放射計、マイクロレインレーダ、２波長ライダーを用いて３週間程度の集中観測及び、この期間を含んだ約３ヶ月間のモニタリング観測を実施する。
② 走査型 X－バンドレーダについては、暖候期のシーディング実験時に観測を実施し、シーディング位置におけるエコーの変化を調査する。
③ 天頂観測用 X－バンドレーダ及び Ka－バンドレーダについては、H22 年度暖候期観測を行い、複数アルゴリズムによる雲微物理量の解析及び相互比較を実施する。
④ 多波長マイクロ波放射計については H22 年度暖候期観測を行い、H21 年度寒候期データとともに数値モデルおよびゾンデデータを用いた解析を実施する。
⑤ ２波長ライダーについて、他の測器との比較を通じ、雲底付近（直下）の雲粒子やエーロゾル粒子について、ライダーデータからの微物理特性導出手法の開発を行う。
⑥ 研究期間全体のとりまとめを行う。

副課題２の本年度の成果

① 暖候期に高知県において針木サイトまたは鏡サイトに、X－バンドレーダ、Ka－バンドレーダ、多波長マイクロ波放射計、２波長ライダーを用いて３週間程度の集中観測及び、この期間を含んだ約３ヶ月間のモニタリング観測を実施した。X－バンドレーダ、Ka－バンドレーダ、多波長マイクロ波放射計については、当初の計画どおりの観測を行った。２波長ライダーについては、停電による装置停止期間（７月２～８日）以外ライダーは観測データを取得した。
② 走査型 X－バンドレーダで、暖候期のシーディング実験に同期して観測を実施し、シーディングによるエコーの変化を調査した。シーディング位置より 20km ほど離れた山地においてエコーの発生を捉えた事例があったが、その形状・経路が、シーディング経路とは異なっているため、シーディングによって発生したエコーであるとは判断できなかった。
③ X バンドレーダ又は Ka バンドレーダの電波の消散を利用した乾燥雪に対する雲微物理量の導出法の定式化を行った。
④ 観測輝度温度データについて 1km-NHM データを初期値とした 1DVAR 解析を行いゾンデの観測結果と比較した。温度と水蒸気プロファイルの 1DVAR 解析の結果が初期値よりもゾンデ観測結果に近付いていることが特に高度２km 以下の下層で確認された。
⑤ ２波長ライダーによるエーロゾル微物理特性（数濃度とタイプ）推定結果を、航空機観測データと比較することにより検証した。その結果、ライダー532 nm 後方散乱係数は、光学相当直径>0.3 □m エーロゾル数濃度と高い相関を示し（相関係数 0.88）、CCN 数濃度と低い相関（相関係数 0.66）を示すことがわかった。また、2008 年７月１日の観測データについて、ライダー偏光解消度・2 波長比から推定したエーロゾルタイプは、航空機で採集したエーロゾルの電子顕微鏡観測データと定性的に対応することがわかった。

副課題３　航空機等の直接観測手法を用いた人工降雨・降雪に関する研究

副課題３の研究担当者

村上正隆、折笠成宏、斎藤篤思（物理気象研究部）、大竹秀明（物理気象研究部客員研究員）

副課題３の目標

・　航空機による直接観測を実施し、雲の内部構造・降水機構の解明を行う。シーディング前後の雲の微物理構造の変化から増雨・増雪効果を定量化する。
・　適切な降水量決定因子を選定することによって、S/N 比の高い統計的手法によるシーディング効果の評価法を開発する。

副課題３の本年度の計画

① 前年度と同様、５月から７月までの一夏を通した観測期間中に、６月の３週間、早明浦ダム周辺

で地上からのリモセン観測・ゾンデ観測等と同期した航空機による吸湿性粒子シーディング実験および雲の直接観測を含めた集中観測を実施する。
② 人工降雨に関しては、計３シーズンのシーディング前後の観測データを総合的に解析し、人工降雨に適した雲の内部構造やシーディング効果を明らかにする。
③ 人工降雪に関しては、降水量および降水の微物理に関する地上観測データの解析を継続し、副課題２のリモセン観測によって得られる風上側の一般気象要素・雲物理要素への依存性を明らかにすることによって、S/N 比の高いシーディング効果の統計的評価法の改良を行う。
④ 今まで得られた、シーディング前後の航空機観測データ・リモセン観測データ、数値シーディング実験データを用いて、シーディング効果のより高精度な定量的評価を行う。
⑤ 上記成果の取りまとめを行う。

副課題３の本年度の成果

① 5 月から 7 月までの一夏を通した観測期間中に、6 月の約 3 週間、早明浦ダム周辺で地上からのリモセン観測・ゾンデ観測等と同期した航空機による吸湿性粒子シーディング実験および雲の直接観測を含めた集中観測を実施した。
② 人工降雨に関しては、計３シーズンの航空機観測データを総合的に解析し、人工降雨に適した雲の内部構造を調べた。吸湿性粒子シーディング前後のデータを詳細に解析し、シーディング効果の可能性を調べた。
③ 人工降雪に関しては、降水量および降水の微物理に関する地上観測データを引き続き解析し、副課題２のリモセン観測によって得られる風上側の一般気象要素・雲物理要素への依存性をより詳細に調べた。より適した降水量決定因子を選択することによって S/N 比の高いシーディング効果の統計的評価法を改良することが出来た。
④ 今まで得られた、シーディング前後の航空機観測データ・リモセン観測データを比較整理し、数値実験データとの比較検証も同時に進めながらシーディング効果の定量的評価法の改良に関する総合的な解析を行った。
⑤ 研究期間全体を通して、上記成果のとりまとめを行った。

副課題４　数値モデルを用いた人工降雨・降雪に関する研究

副課題４の研究担当者

加藤輝之（気象庁数値予報課）、林　修吾、橋本明弘（予報研究部）、田尻拓也（物理気象研究部）、財前祐二（環境・応用気象研究部）、山下克也（物理気象研究部客員研究員）

副課題４の目標

・ シーディング技術に関する最新情報に基づいて、それぞれのシーディング技術の有効性を評価する。
・ 室内実験や詳細雲物理ボックスモデルを用いた数値実験から、最も有効なシーディング物質（粒子）の物理化学的特性を同定する。
・ 最適シーディング法を確立し、野外シーディング実験の計画立案に役立てる。
・ 総合的水資源管理システム（気象モデル・積雪融雪流出モデル・水管理モデルを複合）を構築する。総合的水資源管理システムを用いて、航空機または地上からのシーディングによる人工降雪の水資源確保および渇水対策技術としての有効性を実証的に定量化する。
・ 人工降雪による広域の環境影響評価を行う。

副課題４の本年度の計画

１）非静力学モデルを用いた人工降雨・降雪実験に関する研究
① 前年度同様に、四国・九州地方を予想領域として４月～８月の期間、北陸・新潟　地方を予想領域として 4 月～5 月、10 月～3 月の期間を対象に 1km 分解能の非静力学モデル(1km-NHM) を実行する。副課題３の観測を支援するために、観測域（人工降雨：四国地方）を対象とした 1km-NHM を暖候期に準ルーティン的に実行して提供する。
② 前年度に改良を行ったドライアイスを用いた最適シーディング法による 1km-NHM の冬季を通した数値実験を２～３シーズン行い、増雪効果を再評価する。

③ パーセルモデルに昨年度組み込んだバルク法による結果とオリジナルのビン法の結果を比較し、バルク法雲物理モデルによる吸湿性シーディングの取り扱いを検討し、バルク法 NHM を用いた吸湿性シーディング実験として、野外観測を行った事例を対象に行う。
④ ビン法 NHM についても、理想的な環境場でのシーディング実験を試みる。
⑤ 成果の取りまとめを行う。

2）雲生成チェンバーおよび詳細雲物理ボックスモデルを用いた吸湿性粒子シーディング実験に関する研究
① 引き続き、雲生成チェンバーを用いた吸湿性粒子シーディング実験、雲物理ボックスモデルによる室内実験の評価実験および詳細雲物理モデルを組み込んだ 2 次元モデルによる理想化シーディング実験を進展させ、大気中エーロゾルの分布状態における最も有効なシーディング物質の物理化学的特性を調べる。
② 野外シーディング実験（３年目）に使用する吸湿性粒子の選定および撒布手法の改善を図る。マイクロパウダー法およびフレアー法について野外実験の環境に即したシーディング実験事例を蓄積する。
③ 結果の相互比較を詳細に行い、精度の高いシーディングの条件、有為なシーディング物質および撒布量を評価し、吸湿性粒子シーディングの適用範囲について取りまとめる。
④ 人工降雨技術の総合的評価に必要な基礎的実験データを提供するとともに、成果を気象予報モデルの改良へと繋げる。
⑤ 成果の取りまとめを行う。

副課題４の本年度の成果

１）非静力学モデルを用いた人工降雨・降雪実験に関する研究
① 前年度同様に、四国・九州地方を予想領域として４月～８月の期間、北陸・新潟　地方を予想領域として 4 月～5 月、10 月～3 月の期間を対象に 1km 分解能の非静力学モデル(1km-NHM) を実行した。副課題３で行う集中観測を支援するために、観測域（人工降雨：四国地方）を対象とした 1km-NHM を暖候期に準ルーティン的に実行し観測支援資料として提供した。
② 副課題３と協力して観測データを用いたモデル結果の検証を行い、モデルを改良した。前年度に改良を行ったドライアイスを用いた最適シーディング法を組み込んだ 1km-NHM を用いて冬季を通した数値実験を実行し、ドライアイスシーディングの増雪効果を再評価した。
③ パーセルモデルに昨年度組み込んだバルク法による結果とオリジナルのビン法の結果を比較し、バルク法雲物理モデルによる吸湿性シーディングの取り扱いを検討した。バルク法 NHM に簡略化した吸湿性シーディング過程を組み込み、野外観測を行った 2008 年夏を対象に、数値実験を行った。
④ ビン法 NHM のテスト実験を行い、ビン法微物理過程の妥当性を検証した。理想的な環境場でのシーディング実験を行った。

2）雲生成チェンバーおよび詳細雲物理ボックスモデルを用いた吸湿性粒子シーディング実験に関する研究
① 室内実験から得られたエアロゾルの粒径分布および CCN 活性化スペクトラム、吸湿度を雲物理ボックスモデル数値計算の初期値に組込むことで室内実験の評価数値実験が反復的に実行できるようになった。制御性再現性のある硫酸アンモニウムをバックグランドエアロゾルとしたシーディング実験精度を向上させた。２次元モデルによる理想化シーディング実験では、雲底下におけるシーディング物質散布領域を現実的な条件にした場合や雲厚を変えた場合の計算を実行した。
② 大気中エーロゾルの分布状態における最も有効なシーディング物質の物理化学的特性の調査として、引き続きマイクロパウダーと吸湿性フレアーを対象試料とし、③の取組みを通じて解析および評価を行った。
③ 多湿な環境下で実施する夏季野外実験において使用する吸湿性粒子の選定および撒布手法については確立済みである。野外実験の環境として現地観測および航空機観測から標準的な大気状態としてエアロゾル粒子数濃度 4,000#/cc, CCN 数濃度（SS=0.7%）2,500#/cc を得た。また、航空機観測よる吸湿性粒子散布直後の計測結果を基に吸湿性粒子の標準的分布状態を評価した（例えばマイクロパウダーの場合、D＞1μm の粒子数濃度は 20#/cc)。室内実験においては、標準的な大気状態を硫酸アンモニウムにより模し、吸湿性粒子の付加量を標準的分布状態を基準に変化させることで、野外実験の環境に即したシーディング実験が可能となった。
④ マイクロパウダーおよび吸湿性フレアーに関する雲生成チェンバーシーディング実験および雲物

理ボックスモデルによる評価実験を行い、データの蓄積を図るとともに、雲粒成長への影響の定量化を図り、有為なシーディング物質および撒布量を評価し、吸湿性粒子シーディングの適用範囲について取りまとめた。

⑤ 雲生成チェンバー実験と雲物理ボックスモデル評価実験により吸湿性粒子シーディングによるCCN 活性化から初期雲粒粒径分布および雲粒成長への影響に関する定量的な基礎データを蓄積した。

気候変動に伴う極端気象に強い都市創り

研 究 年 次：　1年目／5年計画（平成22年度～平成26年度）

研究の目的

理学・工学・社会学の研究者で構成される研究チームにより、首都圏に稠密気象観測網を構築して極端気象の発生プロセスとメカニズムを解明し、現象を早期に検知しエンドユーザーに伝達する「極端気象早期検知・予測システム」を開発し社会に実装することにより、気候変動により増加および巨大化が懸念される極端気象に対して強い都市創りを行うことを目的とする。このため、関係機関・地方公共団体・民間企業・住民との連携の下で社会実験を行う。

副課題１　稠密観測による極端気象のメカニズム解明

副課題１代表：　石原正仁（気象衛星・観測システム研究部長）

副課題１の研究担当者

鈴木　修、楠　研一、中里真久、猪上華子、小林隆久、足立アホロ、山内　洋（気象衛星・観測システム研究部）、山田芳則、清野直子、小司禎教、藤部文昭（予報研究部）
［所外研究協力者：村山泰啓、佐藤晋介、石井昌憲、岩井宏徳、小田僚子（情報通信研究機構）、藤吉康志、川島正行（北海道大学低温科学研究所）、牛尾知雄、吉田　智、森本健志、河崎善一朗（大阪大学）、加藤輝之、田中恵信（気象庁予報部）、金子法史、片岡　彩（東京管区気象台）、泉川安志、大阪いづみ（気象衛星センター）］

副課題１の目標

最新の観測システムと既存観測システムを結集して首都圏を対象とする稠密気象観測を実施し、多数の積乱雲を観測する。それによって、環境場、積乱雲の発生要因、発生・発達・衰弱までのプロセスを理解した上で、データ解析、数値モデル再現実験等により災害をもたらす積乱雲、及び災害をもたらさない積乱雲の発生・発達・衰弱メカニズムを解明するとともに、副課題２「極端気象の監視・予測システムの開発」で使用するデータセットを作成する。

副課題１の本年度の計画

（新たな観測技術の開発・実用化）
- Kuバンドレーダー（周波数15GHz 帯のレーダー）に関する利用技術に関する開発を行う。

（稠密気象観測によるメカニズム解明）
- 平成23年度～25年度に実施する首都圏稠密観測に必要な観測システムの整備を行うとともに、既存の観測データを利用した予備的なデータ解析等を行う。

（統計的解析）
- 首都圏に発生する極端気象に関連する統計解析を行う。

副課題１の本年度の成果

（新たな観測技術の開発・実用化）
- 大阪大学において同大学が開発した同型のKu バンドレーダーを調査し、性能と設置条件について確認した。
- 首都圏稠密観測に必要なCバンドMP レーダーの近距離観測精度向上のために参画機関（(株)東芝）が開発したレーダーの２周波対応回路を評価し、試験の結果良好な性能を得た。

（稠密気象観測によるメカニズム解明）
- 高密度地上気象観測網のための測器の整備と校正、東京都内 12 地点の設置地点の選定・借用手続等を行った。
- 首都圏稠密観測における Ku バンドレーダーの設置地点を東京都武蔵野市に選定し、借用手続きを行った。
- Ku バンドレーダーの製作を実施し、平成23年3月から気象研究所にて予備観測を開始した。
- CバンドMP レーダー校正用サイトを東京都板橋区に選定し、借用手続きを行った。

・ 降水発生環境として大気境界層の構造解析のため、防衛大学校と共同でシンチロメータ等の設置地点を東京都板橋区に選定し、借用手続きを行った。気象研究所で温度プロファイラ等の予備観測を実施した。
・ 水蒸気観測のため東京都東部に設置する GPS 受信機４台を購入し、それを含む５台の設置地点を選定し、借用手続きを行った。
・ 予備解析として、平成 22 年７月 5 日に東京都板橋区に豪雨をもたらした降水システムの複数ドップラーレーダーMUSCAT 法解析を行い、内部の気流場についての知見を得た。
・ 予備解析として、同豪雨に関して都市効果を強めた数値シミュレーションを実施し、都市境界層と大雨発生についての基礎的な知見を得た。
・ 予備解析として、平成 20 年 8 月 5 日に発生した東京都豊島区雑司ヶ谷の下水工事現場での出水事故の当日に、首都圏で発生した積乱雲の基本的性質の統計調査を行った。
・ 米国オクラホマ大学及びコロラド州立大学を訪問し、偏波レーダー研究についての最新情報を取得した。

（統計的解析）
・ 短時間強雨の頻度分布を 16 年間のアメダス資料を使って統計的に調べ，緯度や地形との関係を明らかにした。

副課題２　極端気象の監視・予測システムの開発

副課題２の研究担当者

齊藤和雄、瀬古　弘、小司禎紀、川畑拓矢（予報研究部）、鈴木　修、中里真久（気象衛星・観測システム研究部）

［所外研究協力者：杉浦伊織（気象庁予報部）］

副課題２の目標

社会実験の対象分野の各機関と双方向のやりとりを通じて、防災機関や国民が準備対応をおこなうに十分な精度と余裕時間を与える極端気象の監視・予測技術を開発する。

副課題２の本年度の計画

（数値予報モデルを活用した監視予測技術の開発）
・ 既存の大気３次元解析の技術を首都圏域高解像度観測に応用するため、計算領域や解像度の設定、観測されるデータの取り扱いや第一推定値を得るための数値モデルの整備など予備的な開発を行う。

（運動学的予測手法の開発）
・ 既存の運動学的予測手法の問題点を調査し、移動予測手法の改善のための予備的な開発を行う。

副課題２の本年度の成果

（数値予報モデルを活用した監視予測技術の開発）
・ GPS 可降水量や視線遅延量データの解析と同化手法についての開発を進め、2008 年 8 月の局地豪雨ケースについて、GPS 可降水量や視線遅延量データを同化した解析場を作成した。
・ C バンドドップラーレーダー動径風データ、レーダー反射率データをモデル初期値に利用する研究開発を進めた。
・ ライダーデータを大気３次元解析に利用するための準備に着手した。

（運動学的予測手法の開発）
・ 既存の運動学的予測手法の問題点の調査を行い、移動予測手法の改善のためのアルゴリズム作成の検討を行った。

平成 23 年霧島山新燃岳噴火に関する緊急調査研究

担当副課題　噴火現象の観測及び火山灰等の拡散予測研究

研 究 年 次：　1 年目／1 年計画（平成 22 年度）
研究担当者：　福井敬一、新堀敏基、安藤　忍、鬼澤真也（地震火山研究部）、橋本明弘（予報研究部）

研究の目的

平成 23 年 1 月 26 日に本格的なマグマ噴火が始まった霧島山新燃岳では、多量の火山灰の放出による航空機の欠航や農作物の降灰による被害さらには爆発的噴火に伴う強い空振による建物被害が発生した。火山の噴火活動は、長期化を呈する場合が多く、このような状況においては、火口近傍を含む火山体や噴煙の観測を行い、これをもとに噴火活動の状況・実態の把握や推移の予測あるいは降灰などの災害要因の予測が火山防災及び復旧活動等において最も重要であり、緊急の課題である。

このため、マグマ噴火が発生し、降灰による被害と今後の噴火の推移が懸念される霧島山新燃岳において、霧島山新燃岳の噴火に対する防災対策に貢献するとともに全国の火山噴火における推移予測研究にも貢献するため、火口周辺部の観測強化などによる噴火推移把握のための観測研究とレーダー等による噴火現象の観測及びシミュレーションによる火山灰等の拡散予測研究を実施する。

研究の目標

映像や降灰調査による噴煙の詳細観測、気象レーダーにより観測されたエコーデータの分析による噴煙高度観測、火山灰の拡散・降灰の数値シミュレーションの高度化のため、予測精度を上げるためのシミュレーション手法の改善のための研究を実施する。

研究の計画

① 火山灰の放出・拡散状況を把握し、レーダーデータとの比較検証、火山灰輸送シミュレーションの初期値として利用可能なデータを取得するために、噴煙の映像観測および降灰調査を実施する。
② 気象レーダーにより観測された噴煙エコーデータの分析を行い、気象レーダーによる噴煙高度の監視の可能性について評価する。
③ 火山灰の拡散・降灰の数値シミュレーションについて、今までのシミュレーションでは考慮していなかった噴煙高度の時間変化を取り込んだ手法を開発し、予測精度について評価する。

研究の成果

① 2011 年 1 月 29 日から 3 月 30 日にかけて（重点研究課題による観測期間を含む）、3 月 13 日の一部期間を除き、ほぼ連続的に噴煙の画像データを取得した。取得した画像データを解析した結果、爆発噴煙は噴出直後加速しながら上昇するが、ある程度上昇すると減速に転じること、ブルカノ式の爆発噴煙でも複合的な構造を伴い部分ごとにかなり異なる上昇速度となる場合があることが分かった。また、降灰については、高時間間隔の直接採取を行った。その結果、火口から 7～10km 離れた地点においては、噴火開始後 20～30 分後に降灰が開始することがわかった。
② 2011 年 1 月 26 日から 3 月 31 日までに発生した新燃岳噴火を対象として、気象レーダーにより観測された噴煙エコーデータの分析を行った結果、気象レーダーにより噴煙高度の細かな時間変化が観測できることを確認した。
③ 噴煙高度の時間変化を取り込んだ手法を開発し、①、②によって得られたデータをもとにしてシミュレーションを行った結果、従前の手法に比べ予測精度が改善されることがわかった。

放射性降下物の長期変動と再浮遊に関する研究

研 究 年 次：　5 年目／5 年計画（平成 18 年度～平成 22 年度）
研究代表者：　五十嵐康人（環境・応用気象研究部　第四研究室長）
研究担当者：　青山道夫（地球化学研究部）、財前祐二、直江寛明、梶野瑞王（環境・応用気象研究部）

研究の目的

旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所事故により放出された放射能は地球規模で環境汚染を引き起こした。現在、原子力発電所並びに関連施設は世界的に増加・拡大の傾向にあり、旧動燃アスファルト固化施設火災爆発事故や JCO 臨界事故に見られるように、事故等により大気中へ放射性物質が放出される可能性が懸念されている。また核実験についても依然として懸念がある。

大気中に放出された放射能は、人間環境に直接・間接に影響を及ぼすことが予想される。そこで、大気中の放射能レベルを把握するため、国内の複数地点において降下物の人工放射能を測定し、この測定結果をもとに、大気環境における放射性物質の長期的動態の把握と、近年主要なプロセスとなっている再浮遊について解明することを目的とする。

研究の目標

- 重要な粒子状中長半減期人工放射性核種（^{90}Sr、^{137}Cs、Pu 同位体）に注目して観測を継続し、地球環境に大規模に放出された放射能の長期的変動を解明する。
- ここ数年間活発化している大陸起源の再浮遊（黄砂などの大規模風送塵による）について研究する。

本年度の研究計画

① 引き続き、粒子状中長半減期人工放射性核種（^{90}Sr、^{137}Cs、（Pu 同位体））の降下量を精密観測し、バックグラウンドレベルとなるベースラインデータを求める。
② 引き続き、パーティクルカウンタによる粒子個数の観測をつくばと山岳地点で行う。
③ 引き続き、大陸表土試料の入手を行い核種分析を行う。
④ 5 ヵ年のまとめとして、人工放射性核種降下量の長期変動を評価するとともに、再浮遊の長距離輸送成分と近傍成分の寄与の評価を行う。

本年度の成果

前年度に引き続き降下物試料中に含まれる人工放射性核種（^{90}Sr、^{137}Cs 等）、天然放射性核種等の観測を行い、発生源情報についても調査研究を進めた。現状は、新規の汚染事象は発生しておらず、過去の大気圏内核実験で地表に降下して表層に残留している人工放射性核種が表土ダストとともに大気中に再浮遊し、試料として捕集されることにより、本研究課題での精密な観測によって検知されている状況である。したがって、ダストが人工放射性核種の運搬体（キャリヤー）となっているが、長距離輸送される黄砂と採取地点の近傍から発生する局地的なダストとの両方の寄与がある。山岳地点では長距離輸送成分を、平地では長距離輸送分に加え、近傍のローカルダストの寄与があると想定でき、両地点の差分から長距離輸送成分の見積もりが期待できる。詳細を以下に記す。

① 平地のつくば市および山岳地点の榛名山において人工放射性核種、天然放射性核種等についての月間降下量の精密観測を継続した。また、精密観測の基礎となる分析の品質管理について、分析者の交替があったため、確認作業を実施して良好であるとの結果を得た。
榛名山での降下量データを取りまとめ、放射能調査研究成果報告会（2010 年 12 月）において、初めて報告した。榛名山 90Sr 降下量は、秋季のデータに黄砂頻発年の北日本・日本海側での最大降下量水準に届くものがあった。特に 2007 年 9 月はおよそ 150 mBq/m2 となったため、再分析、安定体分析、気象解析などにより検討を加えた。その結果、事故、核施設からの放出、黄砂などのいずれにも該当せず、大気中を輸送された物質を捉えたとの確証を得られなかったため、

データを棄却することにした。今後、より客観的なデータ棄却判定基準（大気中輸送物以外の混入事例の判別）を検討するとともに、原因の究明を行っていく必要がある。
データ確定後のつくば市の気象研究所における人工放射性核種の降下量は、2007-2008 年降下量として、^{90}Sr：50 mBq/m^2 以下、^{137}Cs：180 mBq/m^2 以下となった。他方、榛名山頂での降下量は、^{90}Sr：220 mBq/m^2 以下、^{137}Cs：280 mBq/m^2 以下となり、つくばよりも降下量が多かった。

② 2006 年から、榛名山頂でエアロゾル質量濃度と粒径分布の測定を継続した。質量濃度の極大は、榛名山では春季、近傍の平野では夏季に見られ、異なる季節変動を示した。大陸から長距離輸送される黄砂ダスト雲は複雑な三次元構造をとるが、榛名山頂と比べ平野部での黄砂到達時刻が数時間以上遅れることがしばしば発生していることを、事例解析から明らかにした。黄砂の輸送に際しては、関東地方北側と西側に位置する山岳が、その侵入をブロックしている様子が判明した。このことは、放射能観測でみられた山岳と平地での人工放射能降下量の差を説明する基礎的知見となる。

③ 乾式で簡便な分粒装置を作成し、モンゴルで採取した表土試料の分粒に活用した。分粒器は、発塵部、二連のサイクロン(10 μm と 1 μm 用)とバックアップフィルタで構成された分離部よりなる。現在、微小粒径に分離されたダスト画分の放射能分析を精力的に進めている。
従来の 53 μm メッシュ篩処理で得たモンゴル表土の分析値について、解析を進めた。^{137}Cs 比放射能を横軸として ^{137}Cs/^{90}Sr 比をプロットすると、つくばの降下物と大陸表土は別の領域に分布することがわかった。モンゴル表土とタクラマカン表土のデータは同じ傾きの直線により近似でき、ほぼオーバーラップする。つくばでの春季の降下物データは、つくば表土の直線と大陸表土の直線との間に分散し、1990 年代のデータと 2000 年代でのデータの分布に差がみとめられた。2007 年春季の降水事象では、モンゴル表土のより湿潤な地域のデータ領域内の位置にプロットされる事例があり、黄砂発生源の変動がつくばの降下物に反映されていることが推測できた。

④ つくばでの ^{137}Cs/^{90}Sr 比は、榛名山頂での比よりも大きい傾向を示した。同じ起源のダストを両地点で捉えていれば、この比は等しくなるはずなので、つくばでの過剰分は、つくば近傍のローカル寄与分と推定できる。大陸現地調査およびつくば市周辺で採取した表土でのデータを用い、もっとも単純な２成分混合と仮定して同位体希釈の式を適用すると、つくばの降下量における大陸由来の黄砂の寄与率を見積もることができる。その結果、^{90}Sr では 4～8 割、^{137}Cs では、3～5 割程度の寄与があることがわかった。

海洋環境における放射性核種の長期挙動に関する研究

研 究 年 次：　5 年目／5 年計画（平成 18 年度～平成 22 年度）
研究代表者：　青山道夫（地球化学研究部　第二研究室　主任研究官）
研究担当者：　五十嵐康人（環境・応用気象研究部）、中野英之（海洋研究部）、本井達夫（気象大学校）

研究の目的

太平洋の海水中の人工放射性核種の分布を立体的に調査すると共に、それらの時間変動を調べ、海洋環境における人工放射能の実態の把握を行うとともに内部輸送過程についての知見を得る。この中で、特に 1960 年代の大規模核実験に由来する人工放射能が海洋表面に降下したのち、50 年間にどのような挙動をしたかを知る。

人工及び天然の放射性核種を指標として用い、海水中の放射性核種の物理的・生物地球化学的挙動の解明を行う。

研究の目標

① 1960 年代前半の大規模大気圏核実験に由来し南北両半球の中緯度に降下した ^{137}Cs、プルトニウム等の長寿命人工放射性核種について、2000 年代後半での太平洋海水中の濃度分布を把握する。鉛直分布の観測結果をもとにして海水中蓄積量を評価する。
② ^{137}Cs の極低レベル放射能測定が現状の数分の 1 の量（正味で 0.1mBq）ではかれるように高感度化を達成する。
③ ^{137}Cs、プルトニウム等の長寿命人工放射性核種の、海洋表層から中層にかけての海洋内部輸送過程について本研究で得られる詳細な空間分布データに基づく知見を得る。
④ 過去の海水中の人工放射能のデータベースを更新し公表する。
⑤ 本研究で得られる最新のデータセット、過去の海水中の人工放射能のデータベースおよび海洋大循環モデルによる再現計算結果をあわせて化表層から深層までの太平洋全域での、1945 年からの時空間での変動を再解析し記述する。
⑥ 天然放射性核種（主にトリウム系列）をあわせて用いて、物理的・生物地球化学的素過程を記述する。その成果を利用して、海洋の ^{137}Cs、プルトニウム等の長寿命人工放射性核種の分布や挙動について定量化を図る。

本年度の計画

① 5 カ年の研究をとりまとめる。

本年度の成果

① 太平洋で採取したすべての海水試料の測定を終え、それらの結果を解析した。
② 東経 165 度線に沿う ^{137}Cs の断面で見られた濃度極大の特徴（Aoyama et al., 2008, GRL）および北緯 24 度 P3 線に沿う ^{137}Cs の鉛直分布の特徴はすでに報告した（青山ほか、文部科学省環境放射能調査研究発表会、2008）。この 2 年間の測定により、東経 179 度 P14 線に沿う観測結果でも東経 165 度線と同様に、深さにして 400－600m、密度にして σ_θ=26.0－26.5 付近に濃度の極大が見出され、これらの極大は、北緯 24 度線日付変更線の東側の深さ 400－500m に見られる極大とつながっており、中央モード水による ^{137}Cs の海洋内部の輸送経路を明瞭に捉えることができた。太平洋の広い範囲での 3 次元分布を得ることができた。さらに、1960 年代初期に北太平洋中緯度に降下量の極大を持つ ^{137}Cs（Aoyama et al., 2006）の南向き輸送の検討を行った。また、この検討には海洋大循環モデルと粒子追跡法を用いた太平洋域での ^{137}Cs の解析の結果も加味している。北太平洋中緯度に降下した ^{137}Cs は、中央モード水による内部輸送（亜熱帯循環内を北緯 24 度線日付変更線の東側では南西方向に輸送される）に乗るが、西端で深度が浅くなるとともに赤道に沿う東向き輸送となり、太平洋の東端で赤道を越え、赤道の南で西向きに輸送される。その後一部はタスマン海に輸送される。北太平洋では、一部は亜熱帯循環沿って日本沿岸に戻ると推測された。
③ 1990 年代後半までは、表面海水中 ^{137}Cs の濃度は見かけの半減時間 15.7 年で減少していた

（Aoyama et al., 2006; Hirose and Aoyama, 2003; 青山・廣瀬, 2006）。また 1995 年から 2005 年までの 10 年間において ^{137}Cs の濃度は減少していないというすでに報告した特徴は 2009 年まで引き続き起こっており、亜表層から中層における中緯度から低緯度側への南向きの内部輸送の後、南向きに輸送された ^{137}Cs の一部が亜熱帯循環に乗って再び日本周辺に輸送されている現象は継続していると判断された。

④ 2004 年に公表した HAM データベース（Aoyama et al., 2004）では、^{137}Cs では 7737 レコードであった。その後、本研究においてデータベースの追加や更新作業を行った結果、^{137}Cs では 34192 レコードが収録された。他の核種の収録数も 2 倍以上増加した。

⑤ 中規模の解像度(水平解像度 1 度)を持つ海洋大循環モデル(Parallel Ocean Program)による ^{137}Cs 濃度の再現計算を実施した(Tsumune et al., 2010)。計算結果は、2003 年の観測値である南太平洋(南緯 32 度)、インド洋（南緯 20 度）、南大西洋（南緯 32 度）の経度方向断面の観測値と比較し、よい結果を示すことを確認した。^{137}Cs は北太平洋に多く降下していることが観測から指摘されており、北太平洋に降下した ^{137}Cs は 40 年程度の時間スケールの海域間の水塊交換を通じて、インド洋を経由して南大西洋、また南太平洋、北極海への供給源になっていることを計算結果から把握した。モデルのバージョンを更新し(POP 1.4.3 → POP 2.0)、新しいモデルのほうが ^{137}Cs の貫入が深く、観測値により近くなっていることがわかった。

民間航空機を活用したアジア太平洋域上空における温室効果気体の観測に関する研究

研 究 年 次：　5 年目／5 年計画（平成 18 年度～平成 22 年度）
研究担当者：　松枝秀和、澤　庸介、坪井一寛、丹羽洋介（地球化学研究部）

研究の目的

地球表層の炭素循環を定量的に明らかにするための航空機観測データ、特に鉛直方向の観測結果は決定的に不足しており、最終的な収支見積の精度向上を阻む原因となっている。本研究は、民間航空機を利用したアジア太平洋域上空を中心とする高頻度と広領域にわたる温室効果気体の時間・空間分布観測を実施して、大量のデータを収集することを目的とする。収集された観測データのデータベース化を通して、全球の炭素循環の解析的研究に利用すると同時に、インバースモデルや温室効果気体観測衛星の精度向上に役立てる。

研究の目標

二酸化炭素濃度連続測定装置（Continuous CO_2 Measurement Equipment：CME）によって航空機の飛行中に連続して CO_2 濃度を測定すると同時に、自動フラスコサンプリング装置（Automated Air Sampling Equipment：ASE）によって大気試料を採取し、実験室において多種類の微量気体を測定する。これらの民間航空機を活用した観測を通して、アジア太平洋域上空並びに北米・欧州航路上において広域かつ高頻度のデータを収集し、データベースを作成することを目標とする。このデータベースを利用して地域別の濃度変動の違いを解析し、全球にわたる上空の炭素循環の実態解明に役立てる。また、ホームページを立ち上げて観測の概要や知見を迅速に情報発信する同時に、モデルや衛星観測の分野と連携して検証研究に貢献する。

本年度の計画

① 引き続き、日本航空（JAL）所有の 5 機に観測航空機に CME と ASE を搭載して観測を実施する。
② 新たに観測されたデータを追加して、高品質データベースを更新する。
③ データベースを利用して、時・空間変動解析のまとめを行う。

本年度の成果

① 今年度も引き続き、JAL 所有の 5 機の大型旅客機に CME を搭載した CO_2 の連続観測を継続し、アジア・欧州・北米路線における水平飛行と離着陸時における CO_2 濃度の高密度データを取得した。年度後半は B747-400 型機が退役したため、B777-200ER 型の 3 機で CME- CO_2 のデータを収集した。一方、ASE から手動方式に変更したフラスコサンプリング観測も、オセアニア航路において毎月 2 回の頻度で継続した。これら今年度の観測を含めて、本研究で計画した 5 年間の長期観測をほぼ予定通り達成することができた。

② 本研究で開発されたデータ品質評価の自動処理ソフトウエアを適応して、2005 年 11 月から 2009 年 12 月までの 4248 フライトで収集した 220 万 7656 個の CME-CO_2 濃度測定値を高精度データとして選別した。さらに、今年度の観測で得られたデータについても同じ手法で品質評価を行い、2010 年 12 月までの高品質データベースの作成を完了した。

③ 過去 4 年間の CME-CO_2 のデータベースを利用して、対流圏下層から下部成層圏にかけての CO_2 濃度の緯度－高度断面分布とその季節変化の解析を行った。解析に当たっては、気象庁の再解析データ（JCDAS）を利用して気象パラメータ（渦位・温位・境界層高度・等価緯度等）を計算し、これらを基準とした CO_2 濃度分布の月別気候値を求めた。この解析を通して、北半球中・高緯度の陸域生態系の活動によって生じる CO_2 濃度の季節変動が、大気の輸送によって地球規模に伝播する過程を世界で初めて観測データから明瞭に捉えることに成功した。その特徴の一つとして、4 月から 6 月にかけて北半球の高濃度 CO_2 が上部対流圏を通して南半球へと広がり、10 月頃の南半球の濃度上昇ピークを形成していることが認められた。また、上部対流圏の高濃度 CO_2 の一部は夏季に下部成層圏へと急速に流入していくことが見出された。一方、夏季の特徴的な空間分布として、ユーラシア大陸の上空に非常に低い CO_2 濃度が広範囲に出現することが明瞭に見られた。これは夏季の活発な光合成活動と対流活動による鉛直輸送の強化との相乗効果によって形成される大規模な現象であることがわかった。

吸収性エアロゾルが大気・雪氷面放射過程に与える影響のモニタリングに関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究代表者：　内山明博（気候研究部　第三研究室長）

研究の目的
地球温暖化を加速する効果を持つ吸収性エアロゾルの分布、雪氷面への沈着量、それによって引き起こされる雪氷面アルベド変動をモニタリング（監視）すること、さらにエアロゾル輸送モデルによって気候への影響評価を行うことを目的とする。

副課題１　東アジア域における大気中のエアロゾルの地上観測によるモニタリング

副課題１の研究担当者
内山明博、山崎明宏、坂見智法、工藤玲（気候研究部）

副課題１の目標
中国、日本の特徴ある地点に放射計及び光学特性測定装置(重点地点のみ)に配置して連続観測を実施し、吸収性エアロゾルに着目してエアロゾルの空間・時間分布の実態を明らかにする。同時に下向き放射量を測定しエアロゾルの放射量への影響を監視する。

副課題１の本年度の計画
① 観測点の測器を連続観測ができるように保守を行う。
② 重点観測点を決め（福岡の予定)、光学特性測定装置を設置する。
③ 基準放射計、観測点放射計の校正を行う。
④ 放射計データの解析法の改良を行う。

副課題１の本年度の成果
① 国内観測点（宮古島、南鳥島、福岡、つくば）及び中国（北京、青島）の放射計の保守を行った。国内各観測点の放射計は、気象研究所に返送し、比較検定を行い再設置した。国外観測点は、準器を現地に送り、比較観測を行う（3月に実施予定)。北京の日射量測定の精度を上げるため、直達と散乱に分離して測定するようにする（3月に実施予定)。北京のエアロゾル吸収率計が、しばしば、過負荷のためテープ切れを起こしたため、現地と連絡を取り、流量の最適化を図った。
② 重点観測点を福岡とし、福岡大学の協力のもと観測を開始した。設置する機器の動作確認、比較観測を気象研究所構内で実施し後、8月に設置した。日射量の測定は、精度を上げるため、直達と散乱に分離して測定するようにした。設置後、ネフェロメーターのデータ収録が、校正ガス計測時にエラーをしばしば起こすため収録ソフトウェアの改訂を行った。
③ 11月にマウナ・ロア観測所で、直達分光観測の基準となる直達分光日射計とスカイラジオメーターの校正用データの取得を行った。1月に、本課題で準器とする直達日射計を気象庁の絶対放射計（WMO地区準器）と比較して校正を行った。各観測点のスカイラジオメーター、全天日射計、直達日射計、赤外放射計の比較検定は気象研究所構内で実施した。
④ 気象研究所で開発したスカイラジオメーター解析ソフトが、従来ものとどのような差があるか調べた。従来のものに比べ短波長側で一次散乱アルベドが小さくなり、不自然に大きくなる(1に近づく)傾向が緩和された。エアロゾル吸収係数の波長依存を調べた結果、通常はオングストローム指数が 1 前後であるが、黄砂粒子が卓越する場合に2前後になることが分かった。これにより、吸収係数への黄砂粒子と黒色炭素の寄与を分離できる可能性があることが分かった。フィルターにエアロゾルを累積させて吸収率を測定する方法は、誤差が大きいため多くの補正法が考案されている。それらの文献調査を行った。

副課題２　積雪不純物濃度及びアルベドの地上観測及び衛星リモートセンシングによるモニタリング

副課題２の研究担当者

青木輝夫、朽木勝幸、庭野匡思（物理気象研究部）

副課題２の本年度の計画

① 札幌と帯広における観測を継続し、観測事例を増やすと共に、積雪中吸収性エアロゾルとアルベド監視を行う。
② 観測データに基づき、積雪アルベド物理モデルの中の短波加熱率計算過程を改良する。

副課題２の本年度の成果

① 札幌における過去５冬分の積雪サンプルを分析し、積雪中ダスト、元素状炭素、有機炭素濃度を求め、アルベド低下に与える効果を定量的に調べた。
② 積雪アルベド物理モデルの高度化では積雪粒径計算過程及び短波加熱過程を改良し、気象研究所の地球システムモデルに組み込んだ。また、札幌における積雪断面観測データに基づき、積雪中の短波加熱率を計算した結果、融雪期の開始と積雪粒径の増加に関係があることが分かった。衛星リモートセンシングによる積雪アルベド抽出アルゴリズム開発では、積雪アルベド物理モデル用いて、新規アルゴリズムを開発し、過去の地上検証データによって精度評価を行った。

副課題３　全球エアロゾル輸送モデルによる吸収性エアロゾルと雪氷面アルベド変動のシミュレーション

副課題３の研究担当者

田中泰宙（環境・応用気象研究部）

副課題３の本年度の計画

① 吸収性エアロゾルと積雪アルベド物理モデルを組み込んだ全球モデルの開発を継続する。
② 組み込んだモデルの気温､積雪分布の季節変化が観測と比較して妥当な値となるように改良する。
③ 積雪観測値との比較を行うための積分を開始する。

副課題３の本年度の成果

① 地球システムモデル（MRI-ESM1）の新しい陸面過程モデル HAL に全球エアロゾルモデル MASINGAR mk-2 を結合し、吸収性エアロゾルの沈着フラックスが陸面・海氷上の積雪アルベドに反映させるように全球デルを改良した。また、IPCC AR5 のモデル比較用排出量データベース RCP に対応し、エーロゾル前駆物質の歴史的な排出量データベースの扱いを可能とし、19 世紀中盤からのシナリオに沿った歴史的実験の実行を可能にした。
② この改良された MRI-ESM1 を用いて、黒色炭素とダストの積雪アルベドへの予備的な感度実験を行った。
③ IPCC RCP データベースに基づき、現在（2000 年代）の黒色炭素排出量および 1850 年代の排出量に基づいて 10 年間の積分を行い、黒色炭素・ダストの積雪への沈着の有無を比較して感度を調べた。

アジアの水資源への温暖化影響評価のための日降水量グリッドデータの作成

担当副課題　高解像度気候モデルの検証、及びそのための観測降水グリッドデータ内挿手法の改良に関する研究

研 究 年 次：　5 年目／5 年計画（平成 18 年度～平成 22 年度）
研究担当者：　鬼頭昭雄、上口賢治（気候研究部）

研究の目的

高解像度気候モデルの検証や、アジアの水資源・水循環への温暖化影響評価のためには、空間解像度が高くかつ地形を考慮した長期日降水量グリッドデータが必要である。本研究では、雨量計をベースに降水への地形効果を考慮した高解像度日降水グリッドデータを作成することを目的とする。

研究の目標

高解像度降水グリッドデータの内挿手法や品質管理手法の開発を行い、作成した観測データを用いて全球気候モデルでシミュレートされた降水量の検証を行う。

本年度の計画

① 引き続き降水観測データの QC 手法・降水内挿手法を改良するとともに、降水グリッドデータを用いた、モデル評価に関する応用研究、降水量と地形の関係や、極端現象の解析などを行う。
② 研究の取りまとめを行う。

本年度の成果

① 総合地球環境学研究所が担当している副課題と協力し、収集雨量計データに存在する異常値の品質管理手法（QC）を改良した。V0902 で問題となっていた、降水分布が空間的に滑らかになり過ぎる問題に対応するため、重み関数の計算に降水量の空間相関距離を考慮したスキームを導入した。統計的な空間相関距離は、気象研究所全球 20km 大気モデルでシミュレートされた降水量から計算した。これらの新しい手法を使って、日降水グリッドデータ APHRO_PR_V1003(モンスーンアジア、中東、ロシア ; 期間 1951-2007 年 ; 水平解像度 0.25 度)及び APHRO_JP(日本域 ; 期間 1900-2009 年 ; 水平解像度 0.05 度)を作成して公開した。
② 作成したグリッドデータに信頼性情報を付加するため、全球 20km モデルでシミュレートされた降水量を擬似雨量計観測値として用い、内挿誤差の客観的評価を行った。捕捉率補正スキームを入れたプロダクトを、プロジェクトの最終プロダクトとして公開した。
作成したプロダクトを用いて極端降水の経年変動を調べた。例えば日本において降水日数はここ 100 年間でほとんどの場所で有意な減少を示していることや、年最大日降水量を L-moments 解析した結果、平均と分散の年々変動が地上気温の変動と強い相関を持っていることが分かった。
作成したプロダクトを用いて、革新プログラムで使用している気候モデルの検証を行った。APHRO_JP と比較したところ、全球 20km 大気モデルの年最大日降水量の再現性は、積雲対流に荒川シューバートを使っている前期モデルは悪かったが、吉村スキームに変更した後期モデルでは、観測と非常に良く一致していることがわかった。

地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究（テーマ２）

マルチ気候モデルにおける諸現象の再現性比較とその将来変化に関する研究

担当副課題　季節予測に係わる短期気候変動の再現性とその将来予測

研 究 年 次：　4 年目／5 年計画（平成 19 年度～平成 23 年度）

研究担当者：　尾瀬智昭、鬼頭昭雄、楠　昌司、保坂征宏、足立恭将、安田珠幾、行本誠史、小林ちあき、遠藤洋和、石原幸司（気候研究部）、柴田清孝（環境・応用気象研究部）

研究の目的

本研究の目的は、将来気候に関する重要な現象をできる限りカバーするように個別現象についてサブテーマを設定し、PCMDI に集約されている気候モデルの現在気候再現性および将来予測を比較評価することである。そのために、焦点を当てる各現象に対して豊富な知見を持つ研究者によってテーマを分担する。

研究の目標

- 集約された気候モデル出力という制約の下で現象の再現性を評価する手法を抽出することを視野にすえて観測データ解析を行う。
- 上記で検討した指標を用い、PCMDI に集約された 20 世紀結合実験データと観測データの解析結果を比較し、各サブテーマが注目する現象に対するスキルスコアを求める。
- 課題としてサブテーマ間の結果について総合的に議論し、現象間の相互関係を検討する。
- モデル毎現象毎に求めた現在気候の再現性のスコアを参照しながら、各モデルの SRES A1B シナリオ予測実験結果の評価とその信頼性に対する評価を行う。その中で各現象の発現が温暖化に伴いどのように変化するか、モデル間の異同およびその原因について環境場の変化との関連から検討する。
- 上記で得られた個別現象に対する各モデルのスキルスコアを総括課題に提供する。

本年度の計画

① 平成 19 年～21 年度に作成した指標、作成方法をもとに、各モデルの SRES A1B シナリオ予測実験結果の評価とその信頼性に対する評価を行う。
② 次世代型高解像度モデルにおけるスキルスコアの評価を行う。
③ 前述の結果をとりまとめた総合的な予測に関する情報をとりまとめる。

本年度の成果

（梅雨）

CMIP3 モデルによる東アジア域の梅雨期（６～７月）の降水量と降水強度の地理分布について、Whetton et al. (2007), Abe et al. (2009) の手法に従い、モデル間の相互の類似度を空間相関係数で調べた。現在気候実験（1991～2000 年）については正相関が多く、モデルの集合は観測値の周りに均一分布しているのではなく、偏りがあることがわかった。これは、CMIP モデルのサンプリングに問題があることを意味しており、しかもモデルにバイアスがあることの反映でもある。

上記と同様な計算を、現在気候の再現性が良い上位５つのモデルで行うと、モデル間の相関は、他の場合より大きい傾向があった。これは、再現性が良いモデルの降水の地理分布がよく似ていること、逆に、再現性が悪いモデルの降水の地理分布が似ていないことを意味する。

上記と同様な計算を、A1B 排出シナリオによる将来気候実験（2091～2100 年）にも適用した。現在気候と同様に、相関係数の分布は正の場合が多かった。また、現在気候の再現性が良い上位５つのモデルで行うと、モデル間の相関は、他の場合より大きい傾向があった。

Abe et al. (2009) が提唱した「現在気候・将来気候相関」すなわち、現在気候のモデル間相関と将来気候のモデル間相関との相関を計算した。その結果、降水量と降水強度ともに高い正相関が得られた。これは、現在気候で似ているモデルは、将来気候でも似ていることを意味する。現在気候の再現性が良い上位５つのモデルでは、特にその傾向が強い。これは、再現性が良いモデルの将来予測値は一致しやすく、信頼性が高いことを示唆する。

(ヤマセ)

5～8月を対象にCMIP3の18の大気海洋結合モデルデータセットを用いてヤマセ頻度と地上気圧分布の将来変化予測を行った。すべてのモデルを用いて将来予測を行うと、ヤマセは5月に減少して8月に増加する傾向を多くのモデルが示した。また、現在気候の再現性能の良いモデルを用いると、そのような傾向はさらに明瞭となった。6月と7月の将来変化については、すべてのモデルを用いると傾向が不明瞭だったが、再現性の良いモデルを用いると、オホーツク海付近の変化傾向の一致率が高くなった。

(エルニーニョ)

温暖化時の北半球夏季に海洋大陸域において降水量が減少するモデルは、同季節にエルニーニョ的な海面水温変化を示すモデルに限られている。温暖化時の冬季にエルニーニョ的な海面水温変化を示すモデルは、北半球夏季の亜熱帯北西太平洋で降水量増加が少なく予測されている。さらに、同季節の日本付近の東アジアにおいても、冬季にラニーニャ的な海面水温変化を示すモデル集団と比べて多めの降水量増加が予測されている。

(日本沿岸水位)

CMIP3の大気海洋結合モデルにおける日本沿岸水位の十年規模変動を調べた。20世紀におけるモデルの日本沿岸水位の十年規模変動の振幅は観測の60-80%であった。変動の要因として考えられる北太平洋中央部の風応力変動との対応は、20世紀では15モデル中9モデルで観測と同様のラグ相関が認められた。これらのモデルでは、風応力変動と水位変動の振幅が観測に近く、風応力変動に対する海洋の力学的応答が重要であることが示唆された。

日本周辺海域の海面高度場の将来変化に関して、CMIP3の大気海洋結合モデルによるA1Bシナリオ将来予測実験結果を調べた。風応力場から予想される海洋循環が北上するほど、海面高度の南北勾配が最大となる緯度が北上するという傾向があった。また、風応力場から予想される日本東方海域の東向き海洋輸送量の変化と、南北の海面高度差の変化の間にも有意な相関があった。このように、温暖化に伴う日本付近の海面高度の応答が大気大循環の変化の違いにより生じていることが明らかとなった。

(成層圏)

下部成層圏の気温やオゾンの変動がもたらす対流圏循環への影響は、マルチ気候モデル実験において、北半球でもみられるのか、調査を行った。成層圏オゾンの経年変化を考慮したモデル平均のほうが、考慮しないモデル平均より、極域気温トレンドの季節変化、北半球亜熱帯ジェットのトレンドを現実的に再現している。成層圏オゾン減少に関連した極域成層圏下部の気温の下降トレンドが、亜熱帯ジェットの極側での強化と関連している傾向はSon et al (2010)と一致する。

CMIP3参加にしている22個のモデルについて南半球における中層大気のエルニーニョ・南方振動（ENSO）のシグナルと対流圏のENSOシグナルの関係を調べた。観測データ（ERA40）によると、ENSOの南半球でのシグナルとして対流圏中層で120° W, 60° Sに年を通して存在する高気圧があり、対流圏上層ではその高気圧シグナルが冬季から春にかけて見られる。成層圏中層ではこの高気圧は7月から9月にかけて顕著になる。11月にはこの高気圧が60° Wにジャンプし、1月まで持続する。

いくつかのモデルは、対流圏中層の持続的に存在する高気圧を再現しているが、冬季の成層圏の高気圧を再現しているモデルは少ない。中でも、11月に120° Wから60° Wにジャンプする高気圧は一つのモデルのみが再現していた。

地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究（テーマ３）

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

研 究 年 次：　4 年目／5 年計画（平成 19 年度～平成 23 年度）
研究代表者：　高薮　出（環境・応用気象研究部　第二研究室長）
研究担当者：　高薮　出、栗原和夫、佐々木秀孝、村田昭彦、花房瑞樹、青柳曉典（環境・応用気象研究部）、清野直子（予報研究部）、仲江川敏之、石原浩司（気候研究部）

研究の目的

将来気候予測モデルの結果を影響評価研究へ繋ぐために、まずマルチモデルアンサンブルにより信頼性の高い日本域の 20km 格子の将来気候予測シナリオを作成する。次に此を更にダウンスケールし、日本域の詳細な影響評価モデルに載せるデータを不確実性の幅をもって提供できるようにすることを目指す。また、このプロセスの中で地域気候モデルの精度向上、地域気候モデルのマルチモデルアンサンブル手法の開発、精度の高いダウンスケーリング手法の開発を行う。そして国内の地方・県レベルでの流域での検証を通じて手法の高度化を行い、広くアジア域への適用を目指す。

研究の目標

① マルチモデルアンサンブル手法の開発と適用を行う。
② 20km 地域気候モデルのバイアス補正と長期積分を実行する。
③ 都市気候モデルによる都市化の効果の評価を行う。
④ 20km 地域気候モデルの検証とバイアス特定を行う。
⑤ 20km 地域気候モデルの結果のダウンスケーリングによる詳細なデータの創出を行う。
⑥ 双方向ネストモデルの積分を実施し、マルチモデルアンサンブルメンバーに参加する。
⑦ ここで完成したダウンスケールの手法は広くアジア域に拡張する。

本年度の計画

① IPCC AR5 により計算された AOGCM を境界に 20kmRCM を積分する。
② 都市の将来予測シナリオを用いた都市気候モデルによる関東域将来予測実験を行う。
③ MME 手法を改良し、20kmRCM の IPCC AR5 のシナリオによる将来予測の結果に適用する。

本年度の成果

① IPCC AR5 により計算された AOGCM を境界に 20kmRCM の積分を行った。将来予測と現在再現合わせて 40 年分の計算を実施した。計算結果に対しては初期的な解析を行い、気候再現性を確認した。
② 開発を進めてきた都市気象モデルの検証を継続すると共に新たに気候実験に着手するための準備を進めている。(a) 2007 年を対象とした完全境界実験による都市気候モデル検証、(b) 長期計算実行のため都市スキームもリスタート計算を可能とするための改良、(c) 計算結果を影響評価グループに提供するためのプロダクトの試作。また、都市気候モデルによる将来予測実験を開始した。その第 1 段階として、IPCC AR5 により計算された RCP4.5 シナリオの 20km 地域気候モデルによる 50 年後のダウンスケーリングを夏季 20 年に渡り実施し、都市モデルを実行する参画機関に配布した。
③ MME 手法（ベイズ統計手法）を全球モデルの結果を用い改良し、これを地域気候モデルの結果に適用した。そのためにまず現在再現実験への適用研究を行い、季節降水量についてベイズ統計によるアンサンブルの効果を確認した。引き続き温度情報に関しても同様の実験を実施中である。また、関連してモデルの空間解像度に応じた観測データと検証方法について検討を行った。

海洋酸性化の実態把握と微生物構造・機能への影響評価に関する研究

担当副課題　太平洋における海洋 pH の高精度各層観測による酸性化の実測

研 究 年 次：　3 年目／3 年計画（平成 20 年度～平成 22 年度）
研究担当者：　緑川　貴、石井雅男、笹野大輔、小杉如央、松枝秀和、澤　庸介、馬淵和雄、坪井一寛（地球化学研究部）、中野英之（海洋研究部）、本井達夫（気象大学校）

研究の目的

本研究では、化石燃料の消費による二酸化炭素（CO_2）の排出に起因して起こる海洋酸性化の実態を把握し、酸性化が海洋生態系に及ぼす影響予測に資するため、酸性化に伴う微生物群集の構造や機能の変化に関する知見を得ることを目的とする。

研究の目標

日本をとりまく北太平洋の外洋域を主な対象として、10 年スケールで酸性化の実態を評価できる観測手法を開発し、太平洋広域の海洋各層で pH を実測して、酸性化の進行状況を把握する。

本年度の計画

① pH 測定装置の分光光度測定を改善し、色素添加の補正精度を向上させる。
② 製作した装置を用いて西部北太平洋などで観測を行い、観測手法や精度管理手法を確立する。
③ 北太平洋や南大洋などにおける過去データを利用して、酸性化傾向を評価する。
④ 他の副課題の実験に参加し、支援する。
⑤ 他の副課題の結果を統合し、海洋酸性化の微生物群集や物質循環への影響を評価する。

本年度の成果

① pH 測定の精度向上にあたっては、フィルター挿入により光量調整を行って、幅広い吸光度で安定した測定ができるように改良した。また、色素溶液自体の pH 変化を防ぐための CO_2 吸収管を設置すると共に、色素添加量の調整を行って、色素添加に伴う pH 変化が吸光度測定に及ぼす影響を低減した。
② 本研究で開発し、気象庁の海洋気象観測船に搭載された、pH 測定装置を使用して、2010 年 7 月～9 月に実施された東経 137 度線の高密度観測（WHP-P9 再観測）において、海洋表面から海底にわたる pH のデータセットを作成した。この結果と 1994 年に行われた WHP-P9 当時の pH を比較した。表面から内部にわたって幅広い範囲で pH が低下しており、10 年スケールでの海洋酸性化の状況が明らかとなった。
③ 国内外の炭酸系観測データを収集して、北太平洋亜熱帯域及び南大洋における海洋酸性化の進行状況を評価し、国際極地年オスロ科学会議や日本海洋学会等において報告した。
④ 北太平洋亜熱帯の各海域で見積られた pH は、いずれも長期的に有意な低下傾向を示した。特に、水温変化の寄与を除いた pH の低下速度は、亜熱帯東部で大きく、亜寒帯系の高全炭酸水が流入して酸性化を加速させている可能性が見出された。また、pH の低下は、40 年前に比べて近年加速しており、今後の CO_2 の排出シナリオに応じてさらに速くなると推定された。
⑤ 南大洋で過去に取得された炭酸系観測データを利用して、pH の長期的変化傾向を推定した。海面 pH は、南大洋亜熱帯から極域にわたる広範囲において長期的に有意な低下傾向を示した。その進行の状況が海域によって異なり、特に、季節海氷域に近い南大洋南部で海水中 CO_2 濃度の増加速度および pH の低下速度が大きいことがわかった。その原因として、当該域における風速が強まって、下層からの全炭酸の供給量が増加している可能性が示唆された。
⑥ データ統合の二次品質管理作業を推進するため、(財) 日本水路協会海洋情報研究センターが担当している副課題と協力して、”Carbon data synthesis workshop” の第 2 回 （2010 年 6 月 2-4 日　東京）と第 3 回（同 10 月 22-23 日　米国・ポートランド、PICES（北太平洋海洋科学機関）の第 18 回年次総会内）を開催し、それぞれコンビナーを務めた。これらのワークショップの結果、方法について合意形成を図りながら作業を進捗させることができた。炭酸系データについては、航海毎の系統誤差の暫定値を評価できた。

⑦ 筑波大学生命環境科学研究科が担当している副課題の微生物培養実験に参加し、CO_2 濃度等の条件設定及び pH や全炭酸濃度の測定を行った。多様な組成からなる生物群集の CO_2 分圧及び pH 依存性等について解析し、実験後半において増殖するハプト藻類に高い pH 依存性があることを見出した。当該生物種については、低 pH 下における増殖阻害が繰り返し認められ、酸性化の影響を評価する指標生物種になる可能性が提示できた。また、物質循環系への影響として、特に窒素収支における沈降粒子による鉛直輸送の寄与が低 pH 下で大きくなることがわかった。

大気環境に関する次世代実況監視及び排出量推定システムの開発

担当副課題　二酸化炭素およびエアロゾル地表面フラックス推定に関する研究

研 究 年 次：　2年目／5年計画（平成21年度～平成25年度）
研究担当者：　柴田清孝、眞木貴史、関山　剛、出牛　真（環境・応用気象研究部）、小林ちあき（気候研究部）

研究の目的

最先端のデータ同化手法であるアンサンブルカルマンフィルター（EnKF）と高性能の化学輸送モデルを用いて、大気微量成分の4次元データ同化システムを開発し、炭酸ガス、オゾン、エアロゾルのそれぞれについて、衛星観測データの利用環境の整備、EnKFの最適化、化学輸送モデルの精度向上を図り、4次元データ同化システムの性能向上を図る。

研究の目標

① アンサンブル･カルマンフィルタ（EnKF）を利用して大気微量成分の4次元データ同化システムを構築し、全球および東アジアにおけるオゾンとその関連化学種および大気中エアロゾルの数か月程度の実験的再解析を実施する。
② エアロゾルおよび二酸化炭素の地表面フラックス推定技術の開発と、衛星観測データを用いた地表面フラックスおよび大気中濃度の推定を可能とする。
③ GOSATデータの利用により地表フラックスの推定精度がどの程度改善するのかについて、4次元データ同化システムに基づく数値実験から明らかにする。

本年度の計画

① TOMS 等のオゾン全量のみの情報からオゾンプロファイルの推定に及ぼす影響評価を化学―輸送モデルの疑似的なデータを使って行う。
② GOSATによる二酸化炭素観測データを用いて、品質評価手法を開発し、データ同化システムで利用できるデータセットを自動的に作成できるシステムを構築する。
③ ダストストームが頻発する東アジア域・春季の CALIPSO 観測データを用いてエアロゾルの同化実験を繰り返し行い、低中解像度（数百 km メッシュ）かつ短期（数週間～数ヶ月程度）の再解析値を作成する。

本年度の成果

① CALIPSO衛星搭載ライダー観測を用いたデータ同化システムの改良を進め、それによって東アジア域ダストエアロゾル（黄砂）の地表面フラックス量の逆推定に成功した。
② その地表面フラックス推定値を利用して作成したダストエアロゾル解析値を AD-NET（東アジアで国立環境研究所が展開する地上ライダーネットワーク）の観測値と比較検証し、解析精度の向上を確認した。
③ 二酸化炭素に関しては、海洋研究開発機構と共同で観測システムシミュレーション実験を実施して各観測データのインパクトやデータ同化に適したパラメータに関する調査を行い、実観測データ利用のための準備を行った。2009 年1月に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）に関しては、2%程度の低濃度バイアスが確認されたため、独立解析データを利用したバイアス補正システムを構築した。輸送モデル相互比較実験の結果から、輸送モデルのパラメータを調整した。
④ オゾンに関しても、データ同化システムで用いるオゾン化学モデルの高度化を図るとともに、その結果を論文としてまとめた。また、成層圏オゾンを対象としたデータ同化システムを構築し、各種観測データ（衛星によるオゾン全量・プロファイル観測データおよびオゾンゾンデデータ）についての観測システム実験（OSE）を行った。また、2004－2010年の衛星観測データ（MLSのLevel2のデータ）を入手してフォーマット変換等を実施した。

風送ダストの飛来量把握に基づく予報モデルの精緻化と健康・植物影響評価に関する研究

担当副課題　黄砂予報モデルの精緻化に関する研究

研 究 年 次：　2 年目／3 年計画（平成 21 年度～平成 23 年度）
研究担当者：　三上正男、眞木貴史、田中泰宙、関山　剛（環境・応用気象研究部）

研究の目的

本課題では、他の副課題で収集する NIES 型ライダーネットワークデータおよび東アジア黄砂発生域の観測情報を用いて、黄砂予測モデルの精度向上のためモデルの改良とその検証を行い、北東アジアにおける黄砂の被害緩和に資する高精度な黄砂飛来予測数値モデル（黄砂予報モデル）を開発することにある。

研究の目標

気象研究所が開発し我が国の黄砂予報業務でも利用されている黄砂予報モデル（MASINGAR）の改良と高度化を達成することにより、国内の黄砂情報（環境省/気象庁 HP 上の黄砂情報も含む）の精度向上と TEMM 各国の黄砂予報モデルの精度向上への科学・技術的貢献を行うことを達成目標とする。

本年度の計画

① 現地集中観測を行い、ダスト発生一次元飛散モデルの検証と改良を行う
② ライダーネットワークを用いたデータ同化による MASINGAR の精緻化と黄砂予測実験を行う。

本年度の成果

① モンゴル半乾燥草地上にダストフラックス観測タワーを設置し、2010 年 6 月 20 日から 23 日にかけてテスト観測を行い、フラックス観測手法の有効性を確認した.
② 2007 年春季の黄砂事例を対象として全球エーロゾルモデル MASINGAR でのダストストーム発生に対するパラメータの感度実験を行い、ダストの発生強度に関係する要因を調査した。現在のモデルのダスト濃度は 3 月に過小評価、5 月に過大評価となる傾向が見られるが、これは大陸上の積雪とその融雪による土壌水分量の不確実性に起因することが、感度実験から示された。黄砂予測モデルによるダスト発生プロセスをより改良するため、現在提唱されている様々なダスト発生モデルによる比較実験を行い、それぞれの特性を調査した。比較実験からは、全球モデルでの適用例の多い Marticorena and Bergametti (1995) は、Lu and Shao (1999) や Shao (2004) と比較してアジア域では過大評価になることが多いことなどが示された。
③ また、NIES 地上ライダー観測網のデータ同化システム開発をさらに進めた結果、これまで見られたダスト濃度が過小評価されるバイアスはほぼ解消した。日本および韓国の NIES 観測網データだけでなく、中国あるいはモンゴルの NIES 観測網データも利用することで日本へ到来する黄砂の解析精度が著しく向上することを確認した。