

## 2.2. 研究年次報告

本節には、気象研究所が平成 19 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。ただし、他省庁予算による研究を除き、平成 19 年度に終了した研究課題については、2.3 節で研究期間全体について報告するので本節では掲載していない。

また、各課題の関連論文に掲載している番号は、6.1 論文等にある平成 19 年度に学術雑誌等に掲載された論文の整理番号を示している。

### 2.2.1. 特別研究費及び気候変動予測研究費による研究

- ・東海地震の予測精度向上及び東南海・南海地震の発生準備過程の研究 …………… 22
- ・マグマ活動の定量的把握技術の開発とそれに基づく火山活動度判定の高度化に関する研究 … 24
- ・温暖化による日本付近の詳細な気候変化予測に関する研究 …………… 26

### 2.2.2. 融合型経常研究

- ・非静力学モデルによるメソ現象の予測と解明に関する研究 …………… 28
- ・日本の異常気象の実態及び気候変動との関連に関する研究 …………… 33
- ・大気海洋結合季節予測モデルとそのアンサンブル手法の開発に関する研究 …………… 36
- ・物質循環モデルの開発改良と地球環境への影響評価に関する研究 …………… 38
- ・エーロゾルと放射過程の観測及びモデル化のための研究 …………… 41
- ・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 …………… 44
- ・地震・地殻変動観測データの高度利用に関する研究 …………… 46
- ・海洋における炭素循環の変動に関する観測的研究Ⅱ …………… 49
- ・アジア大陸の影響による大気微量気体・エーロゾル・降水降下塵の化学組成変動に関する研究 …… 51
- ・火山観測データの気象補正等による高精度化に関する研究 …………… 53
- ・津波の予測精度向上に関する研究 …………… 54

### 2.2.3. 一般経常研究

- ・気候システムとその変動特性のモデルによる研究 …………… 56
- ・接地境界層における水蒸気と熱の乱流輸送に関する研究 …………… 58
- ・都市気象モデルを用いた都市気象の再現・予測のための基礎研究 …………… 59
- ・能動型リモートセンサーによる大気観測技術の高度化に関する研究 …………… 61
- ・リモートセンシングを用いた下層大気の物理量抽出手法に関する研究 …………… 63
- ・衛星データの解析処理技術の高度化に関する研究 …………… 64

### 2.2.4. 地方共同研究

- ・九州に接近した台風の構造変化とそれに伴う諸現象に関する研究 …………… 66
- ・強雨をもたらす線状降水帯の形成機構等の解明及び降水強度・移動速度の予測に関する研究 …… 67
- ・非降水エコーの出現状況の把握と利用可能性に関する研究 …………… 68

### 2.2.5. 他省庁予算による研究

#### 原子力試験研究費による研究

- ・ラドン壊変生成物による降水時の高ガンマ線量率事象解明に関する研究 …………… 70

#### 放射能調査研究費による研究

- ・放射性降下物の長期変動と再浮遊に関する研究 …………… 71

・海洋環境における放射性核種の長期挙動に関する研究	72
<b>科学技術振興調整費による研究</b>	
・渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究	73
・スマトラ型巨大地震・津波被害の軽減策	76
・東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究	77
・竜巻等の実態および発生予測と対策	79
<b>地球環境保全等試験研究費による研究</b>	
・エアロゾルによる放射強制力の変動及びメカニズムの実態解明に関する研究	81
・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	83
<b>地球環境研究総合推進費による研究</b>	
・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 日降水量グリッドデータによる気候モデル降水量の評価	84
・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 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 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	85
温暖化予測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	87

## 東海地震の予測精度向上及び東南海・南海地震の発生準備過程の研究

研究期間：平成16年度～平成20年度  
研究代表者：森 滋男（地震火山研究部長）

### 目的

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

### (1) 地震活動によるプレートの詳細構造の解明

#### 研究担当者

森 滋男、勝間田明男、前田憲二、山崎 明、吉田康宏、岩切一宏、小林昭夫、山本剛靖、高山博之、弘瀬冬樹（地震火山研究部）

#### 本年度の計画

- ・東海・東南海・南海地域の海域において海底地震観測を実施し、これらの海域で発生する地震の震源を精密に求め、プレート境界付近の震源分布を詳細に把握する。また、フィリピン海プレートの形状を決定する。

#### 本年度の成果

- ・紀伊半島南東沖で実施した3回の余震観測について、(独)海洋研究開発機構によるフィリピン海プレートの構造探査結果と余震分布を比較し、プレート構造と余震活動の関係について詳細な検討を行った。その結果、海溝軸の北側に海溝軸に並行で鉛直ないくつかの地震クラスターを見出すことができた。この地震クラスターはプレートから付加体内まで延びており、超低周波地震から推定される断層面との関連性において注目される。

#### 関連論文

105-2

### (2) 地殻活動モニタリング手法の開発

#### 研究担当者

森 滋男、勝間田明男、小林昭夫、吉田康宏、山崎 明、山本剛靖、岩切一宏、前田憲二、高山博之（地震火山研究部）、西 政樹（気象庁地震火山部地震予知情報課）

#### 本年度の計画

- ① アクロス信号の解析を行い、地殻状態のモニタリング手法を改良する。
- ② 海水温観測及びGPS観測を継続し、海況データを利用した潮位データ解析手法を改良する。

#### 本年度の成果

- ① 静岡県森町から送信されたアクロス信号をHi-net等のデータを用いて解析し、震央距離100kmまで至る伝達関数を求めた。
  - ・伝達関数の波群と理論走時とを比較をして、地震波の同定を行った。
- ② 潮位記録から地殻上下変動を推定するための津村(1963)の方法で用いられる海域区分について、月平均潮位を対象にクラスター分析手法を用いて検証を行った。その結果、津村(1963)の海域区分はほとんどの地点で適切であるが、他の海域に区分した方が適切な検潮所もあることを示した。各検潮所間の相関係数の高い地点を用いた海況補正の方が、津村の区分を用いるより補正効果が向上することが確認された。

### 関連論文

48-1, 138-1

### (3) 新地殻変動観測手法の開発

#### 研究担当者

森 滋男、勝間田明男、小林昭夫、山本剛靖、前田憲二、岩切一宏、高山博之（地震火山研究部）、  
小山卓三（気象庁地震火山部地震津波監視課精密地震観測室）

#### 本年度の計画

- ① 静岡観測坑道内において大型レーザー式変位計による試験観測を継続し、必要な改良を行う。
- ② レーザー式変位計で観測された地殻変動データを歪計及び GPS 観測データと比較し、精度等を評価する。

#### 本年度の成果

- ① 静岡県浜松市の観測坑道に設置したレーザー式変位計の光路長を延長し、試験的な地殻変動データの取得に成功した。レーザー式変位計の試験観測に基づいて改良点の検討を行い、干渉信号を効率的に変位データに変換するアルゴリズムの開発、レーザー出力変動の影響除去のための測定機構の追加、レーザー干渉不良を補正する光学機構の追加等、必要な改良を行った。
- ② レーザー式変位計による観測データを解析し、短期的な観測精度が潮汐歪を十分に観測できる程度に達していること、観測された潮汐歪が理論的予測値と概ね一致していることを確認した。
  - ・歪計及び GPS によって検知可能な地殻変動速度を定量的に評価し、それが実際の観測事実と調和的であることを示した。

### 関連論文

### (4) 三次元数値モデルによる巨大地震発生シミュレーション

#### 研究担当者

森 滋男、前田憲二、勝間田明男、小林昭夫、山本剛靖、弘瀬冬樹、高山博之、林 豊（地震火山研究部）、木村一洋（気象庁地震火山部地震予知情報課）

#### 本年度の計画

- ① 改良されたプレート形状データを取り込み、シミュレーションを改良する。
- ② スロースリップなどの地殻変動観測データや地震活動データとシミュレーションの結果の比較を行い、モデルを改良する。

#### 本年度の成果

- ① 地震波速度構造や震源分布などの最新の研究成果に基づいた、より現実に近いと考えられるプレート形状を作成し、東海地震および東南海・南海地震のシミュレーションを高度化した。
  - ・東南海・南海地震の連動モデルのシミュレーションにおいて、プレート境界の形状が応力の集中や地震の開始点を決める重要な要素であることを示すとともに、最新の研究成果に基づいて作成したプレート境界を採用することにより、モデルから得られる結果は、過去に実際に観測された地震の破壊開始点と整合することを示した。
- ② 沈み込んだ海嶺の影響を取り入れることなどにより、東海地域におけるスロースリップのモデルを改良し、モデルで示されるスロースリップの領域が実際に発生している領域に近づいた。

### 関連論文

74-2, 74-3, 112-3

## マグマ活動の定量的把握技術の開発とそれに基づく火山活動度判定の高度化に関する研究

研究期間： 平成 18 年度～平成 22 年度  
研究代表者： 森 滋男（地震火山研究部長）

### 目的

地殻変動をより効果的に検知する観測手法を導入し、それによって得られる観測データにこれまでに開発した有限要素法による数値シミュレーション手法を適用することにより、地殻変動を物理的に評価し、地下のマグマの動きを定量的に把握することで、火山活動度レベル\*の高度化を図り、防災に貢献する。

### (1) 地殻変動に基づく火山活動度判定手法の開発

#### 研究担当者

森 滋男、山里 平、福井敬一、高木朗充、坂井孝行、安藤 忍（地震火山研究部）、加藤幸司（気象庁地震火山部火山課）

#### 本年度の計画

- ① 有限要素モデル作成（伊豆大島）。
- ② 傾斜観測装置の設置、GPS、光波測距、傾斜、重力観測（伊豆大島）。
- ③ 地震活動の解析と地殻変動データとの比較（伊豆大島）。
- ④ 合成開口レーダー（SAR）のデータ収集、解析環境の整備。

#### 本年度の成果

- ① 伊豆大島について、地殻変動解析の基礎となる、実地形及び、1999 年の火山体構造探査の解析結果をもとにした地震波速度構造を取り込んだ有限要素モデルを作成した。
  - ・伊豆大島の静穏期における山体の膨張と収縮について均質構造を仮定した圧力源のモデリングを行い、膨張源が収縮源より浅部にあることがわかった。
- ② 伊豆大島のカルデラ内の 3 箇所傾斜計を設置して連続観測を開始した。
  - ・伊豆大島の静穏期の地殻変動の詳細を知るため、GPS 及び光波測距の連続観測を実施するとともに、GPS、光波測距、精密重力の繰り返し観測を実施し、データを蓄積している。
- ③ 伊豆大島と同様の玄武岩質火山である三宅島における地震活動について、観測される地震波形のスペクトルから発生する地震の分類を客観的に行える手法を開発し、小噴火前に地震波形が系統的な時間変化をしていることを発見した。
- ④ 地球観測衛星だいち搭載の合成開口レーダー（SAR）のデータ収集を行い、雲仙岳をテストケースとして溶岩ドームの沈降を検出した。

#### 関連論文

54-2, 54-3, 133-1, 134-1

\* 気象庁では、これまで導入してきた「火山活動度レベル」を平成 19 年 11 月に廃止し、防災対応とレベルの関係を明確化した「噴火警戒レベル」を導入した。今後は、「噴火警戒レベル」の判断に資する火山活動度の判定の高度化を目指す。

## (2) マグマ上昇シナリオに基づく火山活動評価手法の開発

### 研究担当者

森 滋男、山里 平、福井敬一、高木朗充、坂井孝行、安藤 忍（地震火山研究部）、加藤幸司（気象庁地震火山部火山課）

### 本年度の計画

- ① マグマ上昇量・速度を推定するための技術開発。
- ② 重力探査（霧島山）。

### 本年度の成果

- ① マグマ上昇の数値シミュレーションの実施に向けて、マグマの粘性や地殻の弾性率等の組み込むべきパラメータの整理を開始した。減圧によるマグマ内の気泡成長の時間発展を記述するプログラムを作成して、マグマ上昇の原動力となる浮力の獲得において、マグマ内の揮発性物質の濃度が極めて重要なパラメータであることを確認した。
- ② 霧島山の新燃岳、御鉢の山頂～山腹部において重力探査を実施し、稠密データを取得した。ただし、御鉢の山頂～東山腹については、今後追加探査が必要である。

### 関連論文

---

## 温暖化による日本付近の詳細な気候変化予測に関する研究

研究期間： 平成 17 年度～平成 21 年度

研究代表者： 鬼頭昭雄（気候研究部長）

### 目的

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

### (1) 温暖化予測地球システムモデルの開発

#### 研究担当者

行本誠史、小畑 淳、吉村 純、遠藤洋和、楠 昌司、尾瀬智明、保坂征宏、足立恭将、坂見智法、鬼頭昭雄（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）、石崎 廣、本井達夫、平原幹俊、辻野博之、中野英之（海洋研究部）、諸岡浩子（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

#### 本年度の計画

炭素循環モデルを大気海洋結合モデルに組み込み、現在気候再現実験や過去気候実験等によりモデルの精度を評価する。

#### 本年度の成果

- ・大気モデルの水平解像度を TL95（約 190 km）および TL159（約 110 km）に高解像度化した。また海洋モデルを  $1^\circ \times 0.5^\circ$  の 3 極 (tripolar) 座標とした。その他各コンポーネントの改良された新しいバージョンを結合し、地球システムモデルとして動作することを確認した。
- ・大気モデルの海氷過程に簡易的な海氷厚分布（格子内での海氷厚の不均一性）を考慮することにより、大気海洋結合モデルにおいて海氷分布の再現性が向上し、また長期積分におけるドリフトを小さくすることができた。
- ・地球システムモデルの雲および放射分布を調査し、雲の温暖化へのインパクトを解析した。大気上端の放射収支は全球平均・帯状平均で見た場合、よく再現されている。エーロゾル活性化のパラメタリゼーションを乱流風速の大きさと関連づけて行っているため、乱流風速の小さい自由大気中ではエーロゾルの活性化が弱くなり、従来モデルに比べて雲量が少なくなる傾向がある。
- ・大気化学気候モデルにおいて、詳細な対流圏化学反応過程としてオゾンのみならずメタンの詳細な化学過程を取り入れ、成層圏だけでなく対流圏の予測も可能とした。
- ・海洋モデルにおいて Tripolar 座標の使用により Joukowski 座標の 1.2 倍程度の計算コストで北極海では数倍の高解像度化が可能であることがわかった。
- ・従来は陸面モデルで湖とされていた黒海を海洋モデルで扱うようにした。
- ・領域別海面フラックス等の診断ツールを整備した。
- ・現行バージョンの結合モデルにおける現在気候再現実験結果について調査し、以下のような問題が明らかになった。
  - －赤道域の温度躍層は現実よりも水温勾配が小さく、過大な鉛直混合が示唆される。
  - －北大西洋の子午面循環において初期の状態から約  $1[\text{Sv}/10 \text{年}]$  の減衰傾向があり、100 年積分後には  $10\text{Sv}$  程度まで弱まる。

#### 関連論文

38-3, 38-9, 46-1, 61-3

## (2) 精緻な地域気候モデルの開発

## 研究担当者

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

## 本年度の計画

- ① 雲解像モデルを長時間積分し問題点を把握し、モデルを改良する。
- ② 領域大気海洋結合モデルによる現在気候再現実験を行い、モデルの改良を行う。

## 本年度の成果

- ① 4km メッシュ雲解像地域気候モデルについて、気象庁の領域客観解析データを境界条件とした長期積分を2001年8月から2006年9月までを対象に行い、結果を解析した。年間を通じて月降水量、平均・最高・最低気温はよく再現されており、降水3時間降水強度といった強雨の頻度分布についてもよく再現されていることが確認された。
  - ・4km メッシュ雲解像地域気候モデルで、全球気候モデルCGCM2.3.2にネスティングした現在気候再現実験を実施した。その結果、冬季については、ほぼよい結果が得られたが、夏季については降水量が過大であった。また気温についても夏季に低温傾向が見られた。同様の傾向が、領域大気海洋結合モデルでも見られ、この改善のためには全球気候モデルを含めたシステム全体の検討が必要である。
  - ・降水量の観測値について検討を行った。アメダス、解析雨量、メッシュ気候値、国土交通省の雨量データを比較検討した。標高の高い山岳域では、アメダスの観測点がなく、解析雨量のデータは山岳域の降水量が過少である可能性があることがわかった。国土交通省のデータも標高の高い地域ではデータがなく、山岳域での降水の精度評価は、さらに検討を要することがわかった。
- ② 4km メッシュ雲解像地域気候モデルで、全球気候モデルCGCM2.3.2の結果に、領域大気海洋結合モデルを介してネスティングして、計算を行うようにモデルを整備した。
  - ・領域大気海洋結合モデルによる、全球気候モデルCGCM2.3.2にネスティングをした現在気候再現実験を実施した。実験の結果、全球気候モデルと領域モデルで大気側の計算結果にずれが生じると、海洋の予測結果に、黒潮の離岸位置が北上、黒潮続流域の流れの表現が悪くなるなどの問題が生じることがわかった。
  - ・上記の問題を受けて、領域大気海洋結合モデルの領域、境界条件のパラメータの検討、放射の雲量のパラメータの検討、水蒸気の水平拡散の検討などを行い、計算結果が、全球気候モデルの大規模場を忠実に再現するように改良した。
  - ・領域大気海洋結合モデルの並列化性能を改善し、計算速度を向上させた。
  - ・改良した領域大気海洋結合モデルについて現在気候再現実験を再度実施し、海洋についてはある程度の再現性能が得られることを確認した。大気側については、冬季の結果はよいが、夏季の結果では、降水量の過大などの傾向が見られることを確認した。
  - ・大気側については、客観解析を境界条件とする長期積分の結果をみると、月降水量は冬季、夏季ともよく再現されている。このため、全球気候モデルの計算結果を含め、システム全体としての検討が必要である。
  - ・領域大気海洋結合モデルの海洋部分の高解像度化の検討のため、海洋部分に対してJRA-25再解析データによる海上大気データを駆動力として現在気候再現実験を行い、結合ランのための初期値、および結合モデルと比較するための海洋データを作成した。
  - ・領域大気海洋結合モデルを気象庁に提供し、その予測結果は気象庁の「地球温暖化予測情報 第7巻」として取りまとめられ、平成19年度末に公表された。

## 関連論文

57-1, 72-3, 72-4



## 非静力学モデルによるメソ現象の予測と解明に関する研究

研究期間：平成19年度～平成21年度

研究代表者：中村誠臣（予報研究部 第一研究室長）

### 目的

高解像度非静力学モデル、メソ観測データ同化手法、アンサンブル予測手法を開発・改良し、豪雨・豪雪、台風などのメソ現象の予測精度向上を図る。また、これらのメソ現象の発現機構を解明し、得られた科学的知見を通じて防災技術の高度化に貢献する。

### (1) メソ現象予測のためのモデルの高度化とメカニズム解明

#### 研究担当者

中村誠臣、大泉三津夫、加藤輝之、永戸久喜、林 修吾、橋本明弘、斉藤和雄（予報研究部）、上野 充、村田昭彦、高野洋雄、和田章義、益子 渉、國井 勝（台風研究部）、原 旅人（気象庁予報部数値予報課）

#### 本年度の計画

##### ① 非静力学大気モデルの高度化

- ・250m、1km、5km 格子の非静力学モデル（NHM）による夏季の関東域の予報結果を比較、検証、解析し、境界層の発達の問題を調べる。
- ・雲物理過程について、エーロゾル、雹の予報変数化を導入する。
- ・梅雨期の降水事例について、リモートセンシングデータを使って NHM の予想した雲微物理量を検証し、その特性を調べる。
- ・陸面過程について、積雪の多層化による積雪・融雪過程の高度化を行う。

##### ② 台風予測に関わる諸過程の高度化

- ・非静力学大気海洋混合層結合モデルの中に改良した乱流混合過程を導入する。このモデルで海面水温の日変化が再現できるよう、海面境界層過程を改良する。
- ・混相流直接計算モデルを開発する。また NHM-波浪結合モデルに海洋飛沫の効果を導入してその影響を評価する。
- ・雲解像数値実験結果を使用して、積雲の質量フラックスと格子スケールの量との関係を調べる。
- ・台風中心近くの強雨や境界層内の強風の分布が台風の移動や環境場によってどのように規定されているかについて調べる。
- ・メソ4次元同化システムを熱帯域でも使用できるように改良する。
- ・GPS 掩蔽データを同化し、台風初期値に対する影響の調査を行う。

##### ③ メソ現象のメカニズム解明

- ・佐呂間町や延岡で発生した竜巻の NHM による再現実験結果の解析を行い、発生メカニズムを解明する。
- ・平成18年豪雪などの大雪の事例について、NHM による事例解析を行い、メカニズムを解明する。
- ・過去の台風に伴う顕著現象に対し、モデルの再現性を確認するとともに現象をもたらした環境場や現象と直接関係した（数十 km スケール、スーパーセルを含む）現象の解析を行う。
- ・台風により甚大な風害をもたらす顕著現象が発生した場合には可能な限り高解像度非静力学モデルを実行し、現象の解析を行う。

#### 本年度の成果

##### ① 非静力学大気モデルの高度化

- ・2006年夏季（7～8月）の関東域を対象とした、250m、1km、5km 格子の NHM による再現実験結果を解析し、250m、1km 格子では 5km 格子に見られない境界層の対流セル（ロール）が表現されること、また、1km 格子では日中の混合層の発達が遅れること、250m 格子に比べて不安定性降水が過大に表現されやすいことなどが分かった。更に 2007年夏季の関東域を対象に同様の再現実験を行った。雹を導入した NHM で 2007年5月10日のつくばでの降雹事例の再現実験を行った。モデルは観測されたしゅう雨を再現したが、降水強度は過剰だった。モデルの降雹強度は、目視による推定強度と比べて1～2桁小さかった。雹の導入は降水強度を増加させる役割を果たしていることが分かつ

た。

- 2004年6月の沖縄梅雨集中観測中に発生したメソ降水系について、NHMによる再現結果をマイクロ波輝度温度やレーダー反射強度と比較し、雲微物理量の予測特性を調査した。NHMは雪の粒径を過大評価していること、モデルの水平解像度や雪の落下速度及び雪からあられへの変換の閾値が雪の過大評価の緩和に寄与することが分かった。
- 現業メソ数値予報モデルの地上気象要素予報値を強制力に用いるオフライン SiB (陸面過程モデル) を作成し、NHMの SiB 用モデル気候値を計算した。3河川での再現実験から、妥当な融雪情報が提供できることが分かった。多層化に向けて積雪サブモデルのソースコードとアルゴリズムの検討を開始した。
- WWRP 北京 2008 予報実証/研究開発プロジェクト (B08FDP/RDP) での予報実験で、夏季対流性降水が過少であること、猛暑日の最高気温に低温バイアスがあることを見出した。Kain-Fritsch 積雲対流スキームの降水転換閾値を小さくすることにより対流性降水の過少が緩和できることが分かった。
- 高解像度での実行のために NHM を高速化した。スーパーコンピュータ (SX) 上で、自動並列を使わない場合に従来の 10%、自動並列を使う場合には約 2 倍の高速化を達成した。

## ② 台風予測に関わる諸過程の高度化

- 非静力学大気海洋混合層結合モデルの海面境界層過程を改良し、海面水温の日振幅が表現できるようにした。このモデルを用いて 2004 年梅雨期の九州地方での降水の日変化に関する数値実験を行った。海面水温の日振幅が小さいときは見られなかった九州地方陸域の早朝に降水のピークが出現した。
- 混相流直接計算のため、粒子法による波浪水槽モデルを開発し、海洋波の検証を行った。弱非線形の海洋波を妥当に表現できることを確認した。砕波による運動量輸送の効果を加える等、海洋混合層モデルを改良して非静力学台風モデルと結合し、2004 年台風 10 号の強度予測実験を行った。中心気圧の深まりは海洋モデル非結合時よりも 15hPa 抑制された。海洋モデル結合時の中心気圧の変化傾向は非結合時に比べて改善された。
- 積雲に対する雲解像 NHM の結果を解析し、雲量が湿潤静的エネルギーの時間変化率に与える影響を評価した。モデルの格子サイズが小さくなるほど雲量に起因する誤差が大きくなり、5km 格子では無視できない大きさになることが分かった。
- 台風とともに移動する座標系での定常性を仮定することにより、台風コア域の熱力学量の非対称構造が、環境風、台風の移動速度、軸対称構造、鉛直流および非断熱加熱による正味の加熱強制から定量的に診断できることが分かった。また、加熱強制、降水、境界層内の風分布の非対称構造は環境風の鉛直シアや台風強度に密接に依存していることが分かった。
- メソ 4 次元変分法同化システムを熱帯域で使用できるよう、システムの構築および異なる予報時間の予報の比較 (NMC 法) による背景誤差統計計算に基づいた制御変数の再設計を行った。
- GPS 掩蔽データを同化できるよう改良し、サイクル同化のための高速化を行った。2007 年台風 5 号の事例で、熱帯域でのメソ 4 次元変分法の有用性、および GPS 掩蔽データの有効性を確認した。

## ③ メソ現象のメカニズム解明

- 50m 格子の NHM で再現に成功した佐呂間竜巻について初期値・境界値の与え方による再現性の可否について調べ、高度 1~2km に強い上昇流をとまなうメソサイクロンが 250m 格子の NHM でシミュレートされ、竜巻の再現につながったことが分かった。
- 延岡で発生した竜巻に関して、水平解像度 1km と 50m の実験を行った。ミニスーパーセルは延岡に近づくにつれ構造が崩れていったが、高度 1km 以下では渦度や上昇流が顕著に強まっていること、再現された竜巻の 1 つでは地表付近の鉛直渦度の強化が発生に重要であること、などが分かった。
- 2001 年 1 月に日本海沿岸地域に大雪をもたらした日本海寒帯気団収束帯上の帯状雲について、航空機や船舶による直接観測結果と NHM による再現実験結果を使って解析した。その結果、これまで問題になっていた T モード雲 (帯状雲の走向に直交する方向の雲列) について、北東から南西に向かうに従って発達することや各雲が高さと共に北東方向に傾いていること、水平風の鉛直シアとほぼ同じ方向に向いていることが分かった。
- 2007 年梅雨期 (5 月~7 月) の九州・四国領域を対象に、浮力がなくなる高度と 1km 格子の NHM が予想した雲頂高度との関係を調べ、良く対応していることが分かった。5km 格子の NHM では予想された雲頂高度は不自然な分布を示した。

### 関連論文

21-1, 21-2, 23-1, 23-2, 32-1, 32-2, 32-5, 32-7, 32-8, 47-1, 52-9, 52-13, 52-14, 52-15, 52-16, 52-17, 98-1, 98-3, 98-5, 98-6, 99-1, 99-2, 98-3, 125-3, 114-1, 141-3, 141-4, 141-5

## (2) メソ現象予測のための初期値解析技術の高度化

### 研究担当者

斉藤和雄、青梨和正、瀬古 弘、小司禎教、川畑拓矢、武田重夫、柳野 健（予報研究部）、國井 勝（台風研究部）、中里真久（気象衛星・観測システム研究部）、本田有機（気象庁予報部数値予報課）

### 本年度の計画

- ① メソデータ同化技術の開発と高度化
  - ・NHM-4DVAR（NHM-4次元変分法）の開発：レーダー反射強度データ観測演算子の検討を行う。L-BFGS法に変わる降下法としてBundle法を検討する。
  - ・アンサンブルカルマンフィルタの開発：雲解像モデルの水物質等の予報誤差共分散をアンサンブル予報の出力を用いて調べる。メソ解析領域を対象とする局所変換カルマンフィルタ法の検討を行う。
- ② メソ観測データ利用手法の高度化
  - ・GPSデータの同化：地上GPS視線遅延量解析手法の開発と評価を行う。掩蔽データについて、大気下層における負のバイアスの補正手法を開発する。
  - ・マイクロ波放射計（衛星・地上）データの同化：輝度温度計算の第一推定値を求める。放射伝達モデル計算方法を開発する。
  - ・ウィンドプロファイラデータの同化：屈折率の最適な同化法を開発する。
  - ・メソ解析を北京域を対象として適用する実験を行う。
- ③ 大気場の客観的解析技術の高度化
  - ・3次元レーダーデータの解析の改善：複数のモデル的関数の当てはめによる3次元レーダーデータ解析技術の検討を行う。
  - ・対流現象に関連する力学的・熱力学的な基礎解析：数値モデルの整備と簡単なテストを行う。
  - ・ドップラーレーダーデータのシングル解析法の研究：シングル解析を行う場合に障害となる悪条件問題に関する理論研究を進展させる。
  - ・顕著現象発生時の3次元解析：ドップラーレーダー等の3次元データを解析して、その特徴を調べる。

### 本年度の成果

- ① メソデータ同化技術の開発と高度化
  - ・雲物理過程を組み込んだNHM-4DVARに、レーダー反射強度データについての観測演算子を導入した。2004年9月に発生した首都圏豪雨の事例を対象に、水平解像度2kmのNHM-4DVARを用いて10分間同化ウィンドウによる連続同化実験を実施した。ドップラー動径風に加えて反射強度を同化することにより、同化ウィンドウにおける降水量が改善しモデルの水物質から計算した反射強度について良い再現性を得た。力学場のバランスについて改善の余地が残っているため、今後同化ウィンドウの延長などを改善する。
  - ・4次元変分法における最小値探索のための降下法として、従来使われているL-BFGS法に代わる手法として、連続性の悪い場合に有効とされるBundle法の検討を行い、L-BFGS法と同程度の精度を得た。
  - ・アンサンブルカルマンフィルタの開発として、水平解像度5kmで100メンバーのアンサンブル予報を実行し、雲解像モデル物理量の予報誤差分布の特徴を調べた。降水域付近での降水物理量混合比、全水物質の飽和混合比に対する割合、鉛直速度の予報誤差分布が、分散の大きさの違う正規分布の混合に近いことが分かった。さらに、マイクロ波放射輝度温度から算出される地上降水強度は、直接関係する降水物質以外に、対流性上昇流域の鉛直速度と高い予報誤差相関を持つこと、などが分かった。今後、アンサンブルカルマンフィルタを用いたマイクロ波放射輝度温度から算出したデータの同化実験を行う。また、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ法のメソモデル初期値解析への応用に着手した。
- ② メソ観測データ利用手法の高度化
  - ・地上GPSデータ利用手法の高度化として、可降水量に比べ3次元的な情報を持つ視線遅延量の準リアルタイム同化に向けた開発を行った。評価の結果、最新の観測時間より1時間ほど前から誤差が増

大していることが分かり、解析手法の改善に着手した。

- ・GPS 掩蔽データについては、大気下層における負のバイアスを補正するため、データの誤差を調査し、屈折率の鉛直勾配を用いた品質管理手法を開発した。2006年9月13日に観測された COSMIC 衛星の GPS 掩蔽データを用いた同化実験を行い、掩蔽データの同化により新潟から紀伊半島に伸びる降水域の予報が改善されるインパクトを確認した。
  - ・地上マイクロ波放射計データの直接同化に向けた開発として、降水がある場合の扱いを含めるための放射伝達モデルを改良した。
  - ・北京域を対象としたメソ4次元変分法同化システムの実験環境を構築し、中国地上観測降水データや、北京周辺の解析雨量を同化できるようシステムを改良し、インパクト実験を行って限定的ながら結果が改善することを確認した。
  - ・ウィンドプロファイラ屈折率からの水蒸気データの同化については、単独の同化では十分なインパクトが得られないことがわかった。このため、GPS データと一緒に同化する研究に着手した。
  - ・降水量と河川流量の関係を評価するための流出雨量モデルとして、3 段タンクモデルプログラムを作成した。
- ③大気場の客観的解析技術の高度化
- ・3次元レーダーデータの解析技術の改善として、複数のモデル的関数の当てはめに成功したと見られる事例があった。対流の理想化実験のために、非静力学モデル利用の準備を進めた。ドップラーレーダーデータのシングル解析を行う場合に障害となる悪条件について調査し、その解決法を研究した。その知識をウィンドプロファイラ風算定における誤差増幅の理論解析に適用し、誤差増幅を低減する方式を研究した。これらの結果について論文のとりまとめに入った。

#### 関連論文

2-3, 35-1, 35-3, 43-7, 52-10, 62-6, 68-1, 68-5, 68-6, 68-12, 68-13

### (3) メソ現象の予測可能性に関する研究

#### 研究担当者

中澤哲夫、北畠尚子、別所康太郎、國井 勝（台風研究部）、柳野 健、原 昌弘、斉藤和雄、大関 誠、瀬古 弘（予報研究部）、三好建正（気象庁予報部数値予報課）

#### 本年度の計画

- ① メソアンサンブル予報技術の開発
  - ・メソモデルを用いた特異ベクトル法：メソモデルを用いた特異ベクトル法の改良を行う。アンサンブル初期摂動の作成方法に関して調査する。季節の異なる様々な事例について特異ベクトルをもとめ、その成長や構造の特徴を調べる。
  - ・メソモデルによる BGM 法とアンサンブルカルマンフィルタの応用：メソモデルを用いた BGM 法の有効性を調査する。
  - ・日本域を対象としたメソアンサンブル予報の特性調査：日本域対象とする全球ダウンスケールアンサンブル法の有効性を調査する。側面・下部境界条件への摂動付加調査、物理過程摂動に向けた基礎調査、顕著現象の短期予測実験等を実施する。
  - ・カオス系における計算スキーム感性に関する研究：カオス系における計算スキーム感性を調べる。
- ② メソ現象予測のための観測手法と予測信頼度の評価
  - ・アンサンブル予報を用いた台風発生予測・強度傾向の研究：週間アンサンブル予報資料を用いて、アンサンブル平均やスプレッドが、台風発生にどう変動しているか、2004年の事例で調査する。
  - ・アンサンブル予報を用いた台風の温帯低気圧化過程の研究：アンサンブル予報資料から、台風や温帯化過程の台風について、進路や強度などの予測誤差特性を事例解析する。
  - ・ターゲット観測の予測感度実験：ターゲット観測を行う手法の開発や、予測感度実験を行う環境整備を行う。台風アンサンブルダウンスケール実験の開発を行う。（WWRP 北京オリンピック予報実証研究開発プロジェクトへの参加）
  - ・北京域を対象とするアンサンブル予報予備実験：コントロール予報初期値へのメソ4次元変分法の適用と側面・下部境界条件への摂動の付加について検討する。THORPEX への予備実験として、全球特異ベクトルダウンスケールアンサンブル法の有効性を調査する。また日本域を対象としてアンサンブル予報の有効性調査を行い、予測信頼度の評価につなげる。

### 本年度の成果

#### ① メソアンサンブル予報技術の開発

- メソモデルを用いたアンサンブル予報の初期値摂動手法として、メソモデルによる特異ベクトル法、メソモデルを用いた BGM 法、全球ターゲット特異ベクトル法、全球週間アンサンブル予報のダウンスケール手法の開発を進めた。
- メソモデルを用いた特異ベクトル法の開発では、特異ベクトルの計算に必要な、接線形モデル・随伴モデルを最新版に更新し再直交化手法について検討を行った。さらに、初期摂動の振幅を、解析誤差を指標にして決定できるようにした。
- メソモデルによる BGM 法では、メソモデル 12 時間予報の摂動を、解析誤差程度に規格化して解析に加える BGM サイクルを構築し、新潟・福島豪雨の事例に適用して、降雨のスプレッド特性が改善されることを確認した。
- 全球ターゲット特異ベクトル法の開発では、気象庁で台風アンサンブル用に開発された全球ターゲット特異ベクトル法を気象研究所に移植し、ノルムのとり方による初期値摂動の入り方を調べた。さらに、平成 19 年 7 月の九州豪雨予報実験を実施し、九州北部の強雨域の予測が改善することを確認した。
- 全球週間アンサンブル予報のダウンスケール実験では、メソアンサンブル予報を延岡や佐呂間などで竜巻が発生した事例に適用し、竜巻発生のパテンシャル予報にアンサンブル予報が有用であることを示した。
- 下部境界摂動として、地中温度に初期摂動を与えられるようにし、立ち上げ直後の予報スプレッドが改善することを確認した。しかし、初期値摂動の構造に影響を受けるため、改善の度合いを大きくするためには課題を残している。

#### ② 顕著気象現象の観測手段と予測信頼度の評価

- アンサンブル予報を用いた台風発生予測・強度傾向の研究：週間アンサンブル予報資料を用いて、アンサンブル平均やスプレッドが、台風発生に関連してどう変動しているか、2004 年の事例で調査した。その結果、アンサンブル予報が、熱帯の季節内変動の活発化をよく予報できていること、熱帯の季節内変動に伴い、台風が発生していること、個々の台風で見ると、およそ 5 日先の台風発生を予報できているが、ばらつきも大きいこと、台風 23 号の場合には、9 日先まで予報できていたこと、これらの予報に、対流圏下層の西風強化を予報できていることが重要であることが示唆されることなどが分かった。
- アンサンブル予報を用いた台風の温帯低気圧化過程の研究：2004 年台風 18 号の転向 2 日前を初期値とした現業週間アンサンブル予報資料について事例解析を行った。予報で台風が転向せず西進したメンバと比較的早く転向し北上したメンバでは、後者は前者と比較して台風の 1000km 以上北を西進する上層トラフが深い傾向があった。転向後に温帯低気圧化し再発達したメンバと温帯低気圧化後に衰弱したメンバとの比較では、台風の南西側に進む上層短波長トラフ（温帯低気圧化への寄与が大きいとして従来知られているもの）は両方のメンバで見られたが、そのさらに 1000km 以上北の別の短波長トラフの有無が大規模場のパターンの違いを生じさせていた。
- ターゲット観測の予測感度実験：2004 年の台風第 4 号（Conson）の例について、DOTSTAR のゾンデデータを用いて、湿潤特異ベクトル法による感度解析結果に基づき、感度領域の感度実験を行った。その結果、感度領域に近いゾンデデータを用いた場合に台風の進路予測が格段に改善された。

### 関連論文

52-2, 52-3, 52-11, 52-19, 52-20, 68-3, 68-11, 93-1

## 日本の異常気象の実態及び気候変動との関連に関する研究

研究期間： 平成17年度～平成20年度\*  
研究代表者： 藤部文昭（予報研究部 第三研究室長）

### 目的

一昨年のもう猛暑や豪雨、相次ぐ台風の上陸に象徴されるように、近年日本では異常気象の多発に対する社会的関心が高まり、気象庁として情報を提供していくことが求められている。本研究はこのような情報提供に資するよう、日本の異常気象（豪雨、異常高温、台風の接近・上陸数など）について詳細な実態把握を行うとともに、気候変動との関連を明らかにすることを目的とする。

### (1) 日本の異常気象の実態とその長期変動に関する研究

#### 研究担当者

藤部文昭（予報研究部）、千葉 長（気候研究部）  
栗原和夫、佐々木秀孝、高藪 出、小畑 淳、村崎万代、内山貴雄（環境・応用気象研究部）

#### 本年度の計画

- ① 豪雨・異常高温等の長期変動の解析を継続するとともに、異常気象の広域的特徴に関する知見（副課題(2)）と合わせ、日本の異常気象の実態と気候変動との関連に関する科学的知見を取りまとめる。
- ② 改良された地域気候モデルによる、再解析データを用いた地域気候モデルによるダウンスケーリングを実施し、分解能20kmのデータセットを作成する。地域気候モデルの計算結果を解析し、観測データから得られた解析結果と比較検討する。
- ③ 以上で得られた結果を取りまとめる。

#### 本年度の成果

- ① 日本の異常気象の変動実態の解析  
アメダスの日降水量データを利用して、極端な短時間強雨の長期変化を調べた。その結果、1時間80mmあるいは6時間300mmの強雨は、年々の変動は大きいが増加する傾向が見出された。日本の近年の気温変化に対する都市効果の寄与を、561地点の27年間の資料を使って解析した。各地点は半径3km以内の人口密度によって分類した。人口密度の低い地点（100人/km<sup>2</sup>未満）に比べ、最も人口密度の高い群（3000人/km<sup>2</sup>以上）は昇温率が0.12°C/10年大きかった。人口密度がさほど大きくない群（100～300人/km<sup>2</sup>）でも、それ以下の群に比べて昇温率が0.04°C/10年大きかった。この結果は、日本の気候変動の解析に当たって都市効果に注意すべきことを示している。
- ② 地域気候モデルを用いた背景場の長期変動の解析  
改良された地域気候モデルにより、再解析データJRA-25の全期間を対象に、分解能20kmのダウンスケーリングを実施し、データセットを作成した。この地域気候モデルの計算結果を解析し、個々の強雨などのイベントを再現できていること、降水量、気温などの観測された気候値をよく再現できていること、また強雨の発生頻度などの年々変動やトレンドなどを再現していることなどを示した。

#### 関連論文

108-3, 108-4, 108-6, 108-8

### (2) 日本の異常気象と大気循環場との関連に関する研究

#### 担当研究者

千葉 長、高橋清利、田中 実、石原幸司、鬼頭昭雄、仲江川敏之（気候研究部）、  
中澤哲夫（台風研究部）、萩野谷成徳（物理気象研究部）

\* 平成21年度に予定されている気象研究所の独立行政法人化への準備として、平成19年度までの3年計画であった本研究課題を平成20年度まで延長し、これまでの研究を進展させるとともに、補足的な解析を行う。台風経路の長期変動と循環場との関係については、台風研究部のフィージビリティ研究の中で一部継続して行うこととする。

### 本年度の計画

- ① 前年度の解析を継続するとともに、東アジア域の異常気象・気候変動や、それらと大気循環場との関連についての解析結果を取りまとめ、日本の異常気象の広域的特徴を見出す。
- ② 副課題(1)で得られる高分解能データセットを用いて日本の異常気象と周辺域の大気循環場の関連を解析し、上記の取りまとめに反映させる。
- ③ 台風経路の長期変動に関して得られた知見を取りまとめ、日本の異常気象の長期変動に関する取りまとめに反映させる。

### 本年度の成果

- ① 東アジア域の異常気象と大気循環場の変動の解析

#### (1) 降水量の変動

インド気象局によって作成されたインド域高分解能日降水量データと JRA-25 再解析雨量との比較を行った。インドの領域全体としての年々変動は非常に良い精度で観測と一致しているが、南部と北部に分けて比較すると一致していない年代のあることが明らかになった。強雨クラス 10 の降水量の年々変動も降水量自体よりは落ちるものの、よく再現されており、豪雨発現の気候的解析において再解析データが十分使用し得ることがわかった。

#### (2) 気温の変動

1916 年から 2006 年の 91 年間のアジア地域の月平均気温、海面気圧、海面水温データに基づき、日本付近における夏の気温変動とアジアモンスーン (20N 付近のモンスーントラフ)、太平洋高気圧 (日本付近の強さ) との関連を 10 年スケールの変動を中心に解析した。1916 年から 1945 年まではアジアモンスーンが強く、P-J パターンにより太平洋高気圧が強い。高気圧 (モンスーントラフ) に近い北・東日本 (西日本・南西諸島) で高温 (低温) となる。1947 年～1976 年については、モンスーンは年々の変動が大きくなったが、太平洋高気圧はまだ強く北・東日本で高温が続いている。西日本・南西諸島では気温の変動が目立った。1977 年～2006 年はモンスーン・太平洋高気圧共に弱く、北・東日本 (西日本・南西諸島) で低温 (高温) が観測された。したがって北・東日本では 1916 年から 2006 年までの 91 年間に夏 (7、8 月) の気温の寒冷化が見出された。

#### (3) 蒸発散

0.1 度グリッドの NDVI (正規化植生指数) と気候湿潤度との関係をチベット域においてより詳細に検討した。これらの間には地形条件や地面条件により、その代表する水平スケールが異なることが分かった。中国域の解析結果から湿潤域では NDVI と気候湿潤度間に特徴的な傾向は見られない。一方、乾燥・半乾燥域では NDVI と気候湿潤度間に 1 対 1 の良い対応関係が見られる。このことからチベット域は、乾燥域から半湿潤域に属す気候条件であるため、NDVI と気候湿潤度が 1 対 1 に対応し、NDVI から地表面フラックスを求め易い地域であることが判明した。中国域 195 地点の気象台観測地点において、土地利用条件を仮定した蒸発量マップを作成した。実際の土地利用条件に基づいた蒸発量マップ作成のため、0.0625 度 (約 8km) グリッドの土地利用条件データセットから中国域を切り出した。

#### (4) モデル実験

AMIP 実験、および Niño 海域の海面水温を観測値で固定した Pacemaker 実験で再現された北半球夏 (7 月) の解析を行った。観測に比べ梅雨に相当する降雨帯が両者共に日本の南のほうに位置し、観測とは大きく異なっている。観測された 850hPa の日本付近の気温とモデル実験の結果の比較では AMIP 実験が比較的良く対応しているものの、Pacemaker 実験ではほとんど実況を再現しておらず、エルニーニョ海域の海面水温変動が夏の気温変動の支配的要因ではないことを示した。

モデルに再現される合成図を見ると、冷夏の時にはオホーツク海高気圧と梅雨トラフが発達し、降水偏差に関しては赤道域で多雨、亜熱帯で少雨、日本付近で多雨、オホーツク海域で少雨の 4 極構造が見出される。対応して偏西風も日本付近で南北方向に強弱の偏差が東西の帯状に分布する。モデルのオホーツク海高気圧の発達する原因として、日本の西方において WAF (ロスビー波の活動度フラックス) が北東向きの成分が現れ、これがオホーツク海付近で碎波することが考えられる。

- ② 台風経路の長期変動と循環場との関係の解析

北西太平洋の循環場に日本への台風接近と関連する特徴的なパターン (台風上陸モード) が、台風シーズンに存在することがわかった。このモードについて、6 月から 10 月にかけての季節推移を調べたところ、フィリピン近海から日本の南海上で、常に低気圧性偏差が存在すること、中国東北区からオホーツク海、そしてカムチャツカ半島へと東進する高気圧性偏差が見られた。また、これらの偏差は対流圏

の中下層で順圧的であることがわかった。この台風上陸モードは日本における異常気象の長期変動の理解に役立つものと考えられる。

**関連論文**

93-4, 93-9, 97-1



## 大気海洋結合季節予測モデルとそのアンサンブル手法の開発に関する研究

研究期間：平成19年度～平成21年度

研究代表者：尾瀬智昭（気候研究部 第二研究室長）

### 目的

季節予報システムを高度化し、現業における力学的季節予報、特に暖寒候期予報の精度向上を図る。また、地球システムモデルや非静力学モデルによる季節予測技術に関する研究を行い、将来の高度化の方向性を検討する。

### (1) 季節予測のための大気海洋結合モデル・アンサンブル及び同化技術の高度化

#### 研究担当者

蒲地政文、山中吾郎、藤井陽介、松本 聡（海洋研究部）、尾瀬智昭、仲江川敏之、安田珠幾、稲葉守生（気候研究部）

#### 本年度の計画

- ① 既存の海洋データ同化システムの誤差統計量を改良する。海洋アンサンブル手法の開発を行う。
- ② 大気海洋結合モデルによる既存の季節予測実験を検証する。
- ③ 既存の結合モデルの海洋モデル部分に3次元変分法を適用する。
- ④ 日変化と入射角を考慮した短波放射を取り扱うスキームを大気海洋結合モデルへ導入し、予備的な実験を行う。
- ⑤ 既存のマルチモデルアンサンブル実験データを元に、マルチモデルを用いた予測・解析システムの統計開発手法を開発する。

#### 本年度の成果

- ① 既存の海洋データ同化システムの誤差統計量に関する海域分けと衛星高度計データの取扱を改良し、特に南大西洋でのバイアスを低減した。大気モデルでのブリーディング法によって作成された海上風を用いた海洋アンサンブル手法を開発した。気象庁でエルニーニョ予測のために実施している大気海洋結合モデルのLAF法の結果と比較して良い成績を収めた。
- ② 大気海洋結合モデルによる季節予測実験を行い、気象庁の季節予報結果（大気モデルのみによる予測）と比較・検証した。その結果、概ね良い成績を収めた。
- ③ 既存の結合モデルにおいて、海洋モデル部分のみ3次元変分法を適用して同化を行う準結合同化システムを開発した。そのシステムによる同化結果を既存の大気モデル結果(AMIP)と比較し、降水域やモンスーントラフの再現等がより現実的であることがわかった。
- ④ 日変化と入射角を考慮した短波放射を取り扱うスキームを大気海洋結合モデルへ導入し、予備的な実験を行って、スキームが正常に動作することを確認した。また、海洋単体実験の解析から、本スキームの平均場への影響は、熱帯表層と北太平洋亜寒帯域で顕著であることがわかった。
- ⑤ 既存のマルチモデルアンサンブル実験データを元に、マルチモデルを用いた予測・解析システムの統計解析手法を開発するために、手法の調査を行い、次年度以降の研究の方向性を得た。

#### 関連論文

33-6, 33-7, 94-1, 129-1

### (2) 地球システムにおける季節予測可能性の研究

#### 研究担当者

仲江川敏之、保坂征宏、上口賢治、足立恭将、坂見智法、新藤永樹、尾瀬智昭、黒田友二、安田珠幾、稲葉守生（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）

**本年度の計画**

- ① エルニーニョ海域の海面水温偏差などを観測値に固定した実験（ペースメーカー実験）を行う。
- ② 地球システムモデルを軽量化し、長期ランとモデルチューニングを実施する。
- ③ 河川流量の実験データを整備する。
- ④ 海氷の実験データを整備する。
- ⑤ 成層圏の実験データを整備する。
- ⑥ エーロゾルの実験データを整備する。

**本年度の成果**

- ① 全球モデル(gsmuv-TL95L40)(水平解像度約 180km 格子)を用いて、AMIP 型実験・Pacemaker 実験を 1948 年から 2005 年まで、各 10 メンバーのアンサンブル実験を行った。
- ② 軽量化した地球システムモデルの実験ランを行った結果、海面水温が著しく低下することから、放射収支ならびに海面での運動量フラックス・エネルギーフラックスの交換について検討が必要であることがわかった。
- ③ 河川流量チューニング法を開発し、観測流量とモデル流量の位相が一致するような、実効流速を全球主要 70 河川について算定した。河川モデルに地下水層を導入し、地下水層の導入による陸面水文過程の再現性の向上について調査した。これらの結果を全球大気モデルに反映させたところ、陸水総貯留量の観測推定値再現性が高まった。
- ④ 海氷の実験データ・観測データを整備した。さらに、2005 年 12 月の日本域の異常低温の原因について、大気・雪氷初期値および境界条件である海氷・海面水温への依存性を調べるモデル実験を実施した。その結果、基本的にこれらの境界条件は大気の初期値と比較して直接的な原因として重要でないことがわかった。
- ⑤ オゾンに関係する化学過程を組み込んだモデルを使って、成層圏—対流圏結合に関するモデル実験を行い、その実験データを整備した。
- ⑥ ピナツボ火山に伴う成層圏へのエーロゾル注入の実験を行い、その実験データを整備した。

**関連論文**

14-1, 14-2, 90-1

**(3) 非静力学モデルを用いた季節予測技術の開発****研究担当者**

保坂征宏、新藤永樹、吉村裕正（気候研究部）

**本年度の計画**

- ① 領域非静力学モデル実験・比較システムを構築し、テスト実験を行う。
- ② 2次元 (X-Z) の非静力学モデルを開発する。

**本年度の成果**

- ① 非静力学モデルを用いた季節予測技術開発のために、気象研究所非静力学モデル (NHM) に JRA 等再解析データを初期値・境界値として与える力学的ダウンスケーリングを行うシステムを導入した。2004 年 10 月の熱帯西太平洋条件の事例についてテスト積分を実施し、ダウンスケーリングの有効性に関して調査した。熱帯域で比較的乾燥している再解析データを初期値・境界条件に用いた場合は、積雲対流の再現性が不十分になることがわかった。
- ② 水平—鉛直 2 次元の非静力学モデルを開発し、過去に行われたモデル比較実験でのテストケースについて実行した結果、計算精度から見た実用性が確認できた。

**関連論文**

\_\_\_\_\_

## 物質循環モデルの開発改良と地球環境への影響評価に関する研究

研究期間：平成16年度～平成20年度

研究代表者：柴田清孝（環境・応用気象研究部 第一研究室長）

### 目的

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

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

#### 研究担当者

柴田清孝、忠鉢 繁、関山 剛、出牛 真（環境・応用気象研究部）

#### 本年度の計画

- ① 対流圏成層圏化学輸送モデルの長期ランのアンサンブル数を増やし、その詳細な解析を行う。
- ② 気象研究所化学-気候モデル（MRI-CCM）の対流圏化学反応過程の開発・改良を行う。特に、湿潤沈着過程と鉛直拡散過程の高度化を図る。
- ③ 気象研究所エアロゾルモデル（MASINGAR）とMRI-CCMを結合することで、対流圏エアロゾルと気体微量成分の相互作用の影響評価を行う。
- ④ 観測およびモデル大気中のオゾンの地域毎の気候値あるいは経年変動成分の要因を調べる。

#### 本年度の成果

- ① 成層圏化学-気候モデルの将来予測長期ランの解析を行った。気象研究所の化学-気候モデルは成層圏オゾン層の回復時期などについて世界の他のモデルと同様な値であった。
  - ・成層圏化学-気候モデルの過去再現アンサンブル実験の解析から、大気やオゾンのトレンドと、赤道準二年振動（QBO）、太陽11年周期変動、エルニーニョ南方振動（ENSO）、火山噴火による変動が再現されていることがわかった。
  - ・オゾンの同化システムのシミュレーション計算に成層圏化学輸送モデルを使用し、データ同化に最適な統計手法を、気象庁数値予報課の技術的サポートを受けながら調査しアンサンブル・カルマン・フィルターの採用を決定した。この手法を用いることにより、地上分光観測・オゾンゾンデ観測・衛星観測の実測データおよびモデルシミュレーション結果の双方を客観的かつ合理的に統合することができるようになり、観測データの時間的・空間的な欠測の補完、シミュレーション結果の観測データによる補正も可能となることが期待される。
- ② 対流圏化学-気候モデルを開発し、湿潤沈着過程はin-cloudとbelow-cloudに分離し、鉛直拡散過程も晴天領域と降雨領域で異なるスキームを使うようにした。その予備的なランから、地表付近のオゾン濃度や一酸化炭素等の水平分布や季節変化が現実的な値で再現できることがわかった。
- ③ 成層圏の火山エアロゾル実験に対してMASINGARとMRI-CCMを試験的に結合させた。対流圏化学輸送モデルには不均一反応の影響とそのフィードバックが非常に大きいことが推定されたので、off-line結合で実験をおこなっている。
- ④ 南極オゾンホールが始まる直前の6月から7月上旬において、極方向にオゾン全量が減少するという8月にみられるオゾンホールに類似した構造があらわれることを明らかにした。南極オゾンホールにつながるオゾン全量の減少は、8月初旬に昭和基地と同じ緯度の上空付近から始まり、南極点およびアライバルハイツでは約半月後にオゾン全量の減少が始まることを明らかにした。減少の速度やオゾン全量減少がもっとも大きい時期も明らかにした。

#### 関連論文

46-1, 61-1, 61-3

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

## 研究担当者

柴田清孝、財前祐二、高橋 宙、田中泰宙（環境・応用気象研究部）

## 本年度の計画

- ① 次期黄砂予測モデルの開発・改良。
- ② エーロゾルと大気光化学との相互作用の影響評価。
- ③ エーロゾルが雲の維持・消滅に関わる過程（第一種・第二種間接効果）の評価。
- ④ 硫酸系エーロゾルに関係する化学過程を精密化し、DMS（ジメチルサルファイド）の生成や除去過程を高度化する。
- ⑤ アンサンブル短期ランによる第一種、第二種間接効果の評価の開始。

## 本年度の成果

- ① 気象研究所統一気候モデル（MRI CGCM3）をベースとした黄砂予測モデルに、ナッジングによるデータ同化の導入、水平解像度約 60km(TL319)への高解像度化を行った。
- ② エーロゾルモデル（MASINGAR）には化学気候モデル（MRI-CCM）で計算された酸化剤(OH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>)の混合比を取り入れ、MRI-CCM では MASINGAR によって計算されたエーロゾルの表面積密度を取り入れるといった、大気光化学に関わる量についてモデル間で相互にやりとりができるようにした。これにより、1991 年 6 月のピナツボ火山噴火に起因するエーロゾルのシミュレーションを行うなど、火山噴火の成層圏オゾンへの影響評価のシミュレーションが可能となった。
- ③ MRI CGCM3 を用いて、エーロゾルの大気放射への直接効果と間接効果を効率よく推定するため、エーロゾルの気候値的な分布を作成し、統一気候モデルに読み込んで使用できるようになった。
- ④ pH が高い海塩粒子では、オゾンによる二酸化硫黄の酸化反応が重要になり、pH が 5 以下になると過酸化水素による酸化反応が重要になることがわかった。
- ⑤ 第一種間接効果の仕組みは組み込んだ。第二種間接効果は気候システムモデル側で行うチューニングの際のエーロゾルの情報の入出力についての詳細と役割分担を決めた。

## 関連論文

79-1

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

## 研究担当者

栗原和夫、馬淵和雄（環境・応用気象研究部）、小畑 淳（気候研究部）

## 本年度の計画

- ① 炭素循環気候モデルの改良を兼ねた実験として、化石燃料消費の他に土地利用による炭素排出量も加えた産業革命以後の温暖化実験を行う。また、北大西洋への氷床融水流入に対するモデルの応答については、産業革命以後の温暖化時についても実験を行い、産業革命以前を対象とした前年度の結果と比較することにより、将来の気候や炭素循環の変動の仕組みを明らかにする。
- ② BAIM(生物圏-大気圏相互作用モデル) およびそれを組み込んだ気候モデルによる感度実験を行い、陸域生態系が気候変動・炭素循環変動におよぼす影響を調べる。

## 本年度の成果

- ① 土地利用による炭素排出が入っていない実験では、現代の大気二酸化炭素濃度が観測値と比べて過小評価となっていた。土地利用による炭素排出を加えた実験を行った結果、観測値との差が以前の 3 分の 1 と縮まったが、完全には改善されなかった。これは温暖化と二酸化炭素施肥効果による陸域の純一次生産増加がモデルでは過大評価されていることによると思われる。
- ・北大西洋への淡水流入実験を将来の化石燃料炭素排出実験についても行った。その結果、北大西洋熱塩循環停止による寒冷化は、高濃度の大气中の二酸化炭素による温室効果で実験開始 200 年後にはほぼ解消された。炭素循環については、陸域生態系の衰退よりも、海洋の深層への輸送の弱まり

による炭素吸収の減少が顕著となり、大気中の二酸化炭素は淡水流入無しの標準実験に比べて増加した。前年度の産業革命以前を対象にした実験も含めた一連の淡水流入実験により、通常は相関の良い気温と大気二酸化炭素濃度が時として逆相関（寒冷化と二酸化炭素増加）を示す仕組みが明らかになった(Obata 2007 J. Climate)。

- ②・気候モデル用の陸面植生モデルとして開発された BAIM Ver.1 の植物生態モデルとしての特性をより高め、植物内および土壌中炭素蓄積量をモデル内変数として取り入れた BAIM Ver.2 (BAIM2)を組み込んだ地域気候モデルによる数値実験を行った。本地域気候モデルの対象領域は、シベリア南部、中国、インド、インドシナ半島、フィリピン、および日本を含む東アジア域(基準経度 105° E)である。モデルの分解能は、水平グリッド数 151x111、鉛直 23 層とし、水平分解能は Lambert 基準緯度(15° N、50° N)で 60km である。
- ・まず、BAIM2 を組み込んだ地域気候モデルに現存植生を与え、1998 年夏からの 1 年間のシーズンサイクルを与え続けて土壌と植生の炭素量を安定化させ初期値をつくるためのスピニングコントロール数値実験を実施した。その後、1999 年の夏から 2006 年末までの積分を行い、2000 年から 2005 年の 6 年間における、東アジアにおける植生活動の変動と気候との関係、およびそれに伴う陸域炭素収支変動の特徴について解析した。気象要素の境界値としては、JRA-25 再解析データを与え、また海面水温および海水データは、HadISST データ（英国ハドレーセンターによる解析データ）を与えた。
  - ・本数値実験により再現されたモデル領域内陸域植生の LAI の年々変動を、衛星観測データより求められた NDVI の年々変動と比較し、検証を行った。モデルによる LAI の時間変化は、日単位で見積もられる単位面積当たりの葉炭素蓄積量の時間変化から求めた。検証は、東アジア域の計 7 領域ごとに行った。モデルにより再現された LAI の季節ごとの年々変動は、特に中国東部域において、衛星による植生指数 (NDVI) の年々変動と良く一致していた。日本付近においても、モデル LAI の年々変動は、衛星 NDVI の年々変動の特徴を再現できていると考えられる。年平均値の偏差に関する比較では、モデル LAI と衛星 NDVI の年々変動の相関係数は、日本付近において 0.87、中国東部領域において 0.96 と良い正相関関係を示した。
  - ・インドシナ半島および海洋大陸地域を対象としたアジア域の熱帯林の減少が、地域的な水循環に及ぼす影響に関して、森林減少過程をより現実に近い形で再現した数値実験を行った。数値実験は、陸域生態系モデル BAIM2 を導入した全球気候モデル（水平分解能 1.875 度、鉛直 21 層）を用いて行った。FAO（国際連合食糧農業機関）による最近の統計に基づき、実験対象領域の森林が年平均約 1.3%減少することを想定し、モデルの実験対象領域の森林域グリッドポイントの植生を年間 2 グリッドづつ草原タイプ (C4) へと変更して 100 年間の積分を行った。その結果、特に海洋大陸域では、積分開始後 30 年経過したあたりから、地域的な降水量の減少傾向が見え始め、40 年経過後からは、明確な降水量の減少が再現された。この間、地上気温は徐々に上昇する傾向があり、森林植生から草原植生への変化により、高温乾燥化が進行する過程が本数値実験により再現された。純一次生産量 (NPP) について、インドシナ半島においては、積分開始初期においては大気中二酸化炭素濃度上昇による施肥効果により徐々に増加するが、40 年経過後より増加傾向が無くなりほぼ一定の値で推移した。これは、C4 光合成過程の特徴が現れたものと考えられる。一方、海洋大陸域における NPP は、積分開始初期においてはインドシナ半島と同様に徐々に増加するが、積分開始後 30 年経過したあたりではほぼ一定となり、その後減少傾向を示した。これは、C4 光合成過程の特徴とともに、高温乾燥化の影響が現れたものと考えられる。

#### 関連論文

29-1, 119-1

## エアロゾルと放射過程の観測及びモデル化のための研究

研究期間：平成19年度～平成21年度

研究代表者：内山明博（気候研究部 第三研究室長）

### 目的

気候形成にとって重要な放射フラックスがエアロゾルの特性や雪氷面の特性とどのような関係にあるかを実験室や野外での観測によって調べ、それらの放射効果の評価と放射フラックス計算の精度向上を図ることによって、温暖化予測の不確実性低減に寄与する。

### （1）大気エアロゾル粒子の組成と吸湿特性に関する研究

#### 研究担当者

岡田菊夫、財前祐二、高橋 宙（環境・応用気象研究部）

#### 本年度の計画

- ① エアロゾル加湿装置の整備と試験。
- ② 光学顕微鏡を用いた粒子の吸湿特性測定用の小型恒湿装置の整備と試験。
- ③ 黄砂粒子、煤粒子の採集。
- ④ 電子顕微鏡による既存試料の分析。

#### 本年度の成果

- ① エアロゾルを含む空気の加湿方法の検討を済ませ、加湿装置を構成する部品（ガラス容器等）や機器（湿度計等）を整備した。また、本研究で使用するオプティカルカウンターの個数濃度を検定するためのシステムを構築した。この検定は、静電式エアロゾル分級器（DMA）で個数濃度が分かっている単分散粒子を作り、それをオプティカルカウンターに導入することにより行った。その結果、ポリステレンラテックス粒子を用いた場合でも、オプティカルカウンターによって計測された半径  $0.15\sim 0.25\ \mu\text{m}$  の個数濃度が実際の個数濃度と比較して最大2倍もの違いがあることが分かった。
- ② 光学顕微鏡のステージに載せることが可能な小型恒湿装置を整備した。なお、この装置は、電顕グリッドに採集した試料の観察に用いる。
- ③ 煤粒子の採集を6月と10月につくばにおいて実施した。得られた試料を電子顕微鏡で分析すると共に、エアロゾル加熱装置による粒子の揮発特性との関連で解析した。加熱（ $300^\circ\text{C}$ ）した場合の結果も併せて評価すると、周辺に揮発性物質を持つ煤粒子が主要（全体の煤粒子の約70%）に存在していることが分かった。
- ④ 電子顕微鏡による既存試料の組成と混合状態の分析を推進した。富士山山頂で採集されたエアロゾル粒子の分析を行い、カリウムを含む硫酸塩粒子に着目して解析した。その結果、東南アジアでの森林火災に起因する粒子が長距離輸送されていたことが示唆された。また、つくばの風塵時に採集された試料の分析を推進し、その結果を中国砂漠・乾燥地域で採集された大気鉱物粒子の元素組成と比較した。つくばの風塵の粒子には、カルシウムがほとんど含まれないこと、また、珪素と比べてアルミニウムの重量濃度が高いものが多く存在することが分かった。

#### 関連論文

9-3

### （2）エアロゾルの特性が地表面放射に与える影響に関する研究

#### 研究担当者

内山明博、山崎明宏、工藤 玲（気候研究部）

#### 本年度の計画

- ① 各種放射計の改良、検定法の改良・確立を行う。
- ② 各種放射計データの解析法の改良を行う。

- ③ エーロゾルの光学特性（散乱係数）を測定する装置の改良を行う。
- ④ 散乱係数、吸収係数の解析法の改良を行う。
- ⑤ つくば、宮古島、南鳥島で連続観測を行いデータの蓄積を図る。
- ⑥ 蓄積した地上観測データ（ADEC 期間中のデータも含む）を解析し、エーロゾルの光学特性を推定する。
- ⑦ 放射強制力評価のための放射量データを用いて整備する。

### 本年度の成果

- ① 各種放射計の改良、検定法の改良に関しては、スカイラジオメーター（POM-02）の出力の直線性を調べ、約 103 あることを確認した。近赤外域の光学系に問題があることが分かり、検出器を直径 1mm から 3mm のものへ交換しピンホールを通過した光をすべて入力するようにした。また、レンズをアクロマティックレンズに変え、色収差を小さくするようにし、焦点距離の調整を行った。その結果、瞬時視野角の形が改善した。
  - ・ 全天日射計及び直達日射計の検定法について取りまとめた結果は論文として掲載された。全天分光日射計のデータ（フラックスデータ）と直達分光日射計のデータを解析しエーロゾルの光学特性を推定する方法について取りまとめ論文として投稿し、受理された。
  - ・ 日射計、直達分光日射計の検定に関しては、東アジア域で観測を行っているグループに対して基準データを提供したり、検定定数の転写を行ったりすることによって寄与している。
- ② 可視・近赤外広帯域日射計の直達・散乱光からエーロゾルの光学特性を推定する手法を開発した。既存の 8 通りのエーロゾルモデルを使ってシミュレーションした可視・近赤外の直達・散乱光に対して、新手法を適用した。その結果、光学的厚さ、Single scattering albedo、Asymmetry factor の推定精度は、約  $1\mu\text{m}$  以下の波長に対して誤差 0.05 以内であり、既存のデータ解析法と比べて遜色ない精度であった。また、新手法によって同時に推定されるエーロゾルの組成については、定性的な議論に使える程度であることが分かった。さらに、この手法を 2007 年 1～7 月の実際のデータに適用した結果、過去の論文にあるような、冬に吸収が大きく、夏に吸収が小さい変化を示しており、新手法の信頼性が確保された。
- ③ Echotech 社製ネフェロメーター M9003 の光源を改良して 3 波長化（450、525、700nm）した。また、光源に使用されている発光ダイオード(LED)を 1 個ずつ点灯し、角度分解能は低い散乱光の角度分布を測定できるようにした。各光源の強度の角度分布を考慮して校正する方法を開発した。
- ⑤ 宮古島、南鳥島、つくばの観測データは、日本国内のエーロゾル・雲・放射観測ネットワークの間で相互に提供し合うことで、衛星検証、輸送モデル検証のデータとして活用されている。
- ⑥ 昨年度開発した分光放射計からエーロゾルの光学特性を推定する手法を用いて、2004～2007 年にかけてのデータ解析を行った。その結果、推定されたつくばのエーロゾル光学特性 ( $0.38\sim 0.87\mu\text{m}$ ) は、過去の論文に示されているような顕著な季節変動を示した。また、エーロゾル放射強制力の Forcing efficiency( $\beta$ )と single scattering albedo の比例関係が見られた。
- ⑦ つくばでのエーロゾル放射強制力を評価するため必要な、可視・近赤外地上日射量、ゾンデ、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_3$  の 1997～2007 年のデータを収集し、これらのデータを用い、1997～1999、2004～2007 年分の放射強制力を計算した。1997～1999 年と 2004～2007 年のエーロゾル地上放射強制力を Radiative efficiency( $\beta$ )のパラメータで比較したところ、近年の  $\beta$  の絶対値は数十  $\text{W/m}^2$  減少していた。この現象を確認付けるために日射計の検定値の経年変化を検証する必要がある。

### 関連論文

19-1, 19-2

### (3) 雪氷面放射過程の観測及びモデル化の研究

#### 研究担当者

青木輝夫、田中悦子、朽木勝幸（物理気象研究部）

#### 本年度の計画

- ① 現在の積雪アルベド陸面準物理モデルの検証、札幌における放射・雪氷・エーロゾル観測データ解析。
  - ・ 過去の積雪サンプルを用いた黒色炭素濃度分析手法の確立。
- ② 南極で取得した放射・雪氷観測データ解析と積雪物理量のリモートセンシング結果の検証とアルゴ

リズム改良。

- ③ 気候モデルにおける大気エアロゾル光学モデルを改良、吸収の強さの異なったエアロゾルの扱いについて簡略化。

### 本年度の成果

#### ① 積雪アルベドモデルの改良と検証

- ・昨年度開発した大気大循環モデル用積雪アルベド物理モデルの中の、エアロゾル過程を改良した。改良点は従来の黒色炭素とダストに加え、有機炭素の効果を追加したこと、ダストの光学特性を実測吸収特性に改訂したこと、それらエアロゾルが積雪中に存在するとき、湿度依存性を持つことなどである。これらの改良により、実測の積雪不純物によるアルベド低下を精度良く計算できるようになった。
- ・積雪アルベド物理モデルを海氷上の積雪に導入するためのプログラム提供を行った（作業は気候研究部）。

#### ② 積雪物理量の衛星遠隔測定

- ・衛星リモートセンシングの検証手法を改良するため、全天分光日射計から積雪物理量を間接的に推定する方法を開発した。北海道における1冬季間の測定結果にこの方法を適用して実測値と比較したところ、積雪不純物濃度と積雪粒径を実用可能な精度で推定できることが分かった。
- ・南極域氷床上では、積雪表面の粒径が気温変化に敏感であるため、表面粒径の監視によって気候変動監視に役立つことが期待される。このため、積雪表面の粒径に感度の高い、波長  $1.6\mu\text{m}$  のチャンネルによる積雪表面粒径抽出アルゴリズムを開発し、東南極域の Terra/MODIS データに適応した結果、顕著な高度依存性と季節依存性を見出した。地上検証として、ドームふじ基地で撮影された積雪粒子結晶写真を解析し、光学的有効粒径を求め、衛星抽出粒径と比較した結果、概ね季節変化の傾向は一致したものの、過小評価のバイアス誤差を確認した。
- ・積雪物理量のリモートセンシングに及ぼす地表面の凹凸の効果を検証した。人工的に凹凸をつけた雪面の反射率を測定したところ、凹凸の向きや高さによって反射率が変化することが確認され、この結果は地表面の凹凸を考慮した3次元放射伝達モデル計算によって再現された。
- ・放射伝達モデルに南極氷床上で重要なサスツルギ（雪面の凹凸）の効果を導入したところ、衛星天頂角及び太陽天頂角が大きくなるほど、積雪粒径の抽出誤差が大きくなることが示された。さらに、衛星から得られた南極点付近の反射率の日変化を解析した結果、サスツルギが積雪粒径抽出の誤差要因となっており、2波長における反射率の比をとることによってこの誤差を軽減できることが確認された。

#### ③ 大気エアロゾルモデルを中心とした放射伝達モデルシステムの改良

- ・5種類のエアロゾル（ダスト、黒色炭素、有機炭素、海塩、硫酸）の湿度依存性に関するモデル計算を行った。特に、ダスト、黒色炭素、有機炭素では、不溶性粒子が核となりその周囲に水が付いた混合状態（coated sphere）を再現することができるようになった。この結果、従来の一様な内部混合に比べ、吸収が1.0倍（黒色炭素）-1.25倍（ダスト）増加することを確認した。
- ・紫外域日射放射伝達モデルの検証として、札幌の Brewer 分光光度計データを用いて、大気エアロゾルと積雪時のアルベドの効果を調べた。その結果、エアロゾルモデルの季節別のタイプは春が大陸性、夏が海洋性、秋冬が都市型とおおよそその特徴をつかむことができた。また、札幌における新雪時のアルベドは、コンクリートと新雪を7:3で混合した場合に最適であることが分かった。

### 関連論文

1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5



## 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

研究期間：平成19年度～平成21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）

### 目的

ドップラーレーダーを含む各種の観測データを用いて、シビア現象の発生可能性をポテンシャル予測する手法、現象の前兆（竜巻に対するメソサイクロン等）を用いて実況監視する手法を高度化し、「突風等短時間予測情報」の提供に貢献する。

### (1) シビア現象の観測・解析手法の高度化

#### 研究担当者

鈴木 修、中里真久、山内 洋（気象衛星・観測システム研究部）

#### 本年度の計画

- ①晴天エコー等を用いたシビア現象の観測・解析手法の高度化のため、レーダーデータ（強度、ドップラー速度）とアメダスデータを併用し、晴天下の収束線自動検出能力の改善をはかる。
- ②シークラッタや最大折返し速度範囲を超えるドップラー速度データに対処するため、3次元的なデータを用いるドップラー速度折返し補正アルゴリズムを開発する。
- ③既存のセルトラッキングアルゴリズムについて調査・プログラム作成を行い、実事例を用いて評価し問題点を明らかにする。

#### 本年度の成果

- ② ドップラー速度が最大折返し速度範囲を超える場合のデータの補正のため、2次元的な連続性を利用する既存アルゴリズムを改良した。3次元的なデータを用いるアルゴリズム開発の準備を行った。
- ③ ・セルトラッキングアルゴリズムについて文献調査をした。最新のアルゴリズム（第3世代）は、数値モデルや10～15分間隔以下の衛星データも用いるものであった。ただし、我が国では現時点で入手困難なデータを必要とするため、レーダーエコーのみを用いる第2世代のアルゴリズムの開発とプログラムの試作を行っている。今後、このアルゴリズムに、セルの発生・消滅を考慮した改良を行う予定。
  - ・メソサイクロン検出アルゴリズムの出力から、メソサイクロンのトラッキングを行うアルゴリズムを開発、プログラム化した。

#### 関連論文

---

### (2) シビア現象の解析と前兆現象の抽出

#### 研究担当者

鈴木 修、中里真久、山内 洋、小林隆久、小野木茂、猪上華子（気象衛星・観測システム研究部）、加藤輝之（予報研究部）

#### 本年度の計画

- ① 関東地方でシビア現象が発生する可能性がある場合にレーダー、ゾンデ等で観測を行う。
- ② 過去の突風等の複数事例について、数値シミュレーションを行い、レーダー、ウィンドプロファイラ、アメダス、地上気象観測データ等のデータも用いて解析する。
- ③ 顕著なシビア現象が発生した場合は、現地調査、各種の観測データの収集等を行い、事例解析をする。
- ④ 事例解析の結果から、シビア現象の前兆現象として利用可能な特徴を抽出する。

### 本年度の成果

- ① 関東地方において、雷雨・シビア現象が発生した 12 事例について、気象研究所 C バンドドップラーレーダーでの観測を行い、その内 11 事例について空港気象ドップラーレーダーのデータをデータベース化した。
- ② 2006 年 4 月 20 日に神奈川県藤沢市で寒冷前線上の NCFR (narrow cold frontal rainband) の通過に伴い竜巻が発生した事例について、気象庁非静力学モデルを用いて水平解像度 5km、1km、250m でのシミュレーションを行った。水平解像度 1km、250m のシミュレーションでは NCFR がよく再現されており、これらの結果を用いた環境場と親雲の構造についての解析を実施中である。
- ③ 2007 年 6 月 10 日白井市で撮影された漏斗雲事例について現地調査を実施し、竜巻であったことや基本的な情報を確認した。また、気象庁が把握した 2007 年度の突風事例について、本庁・地方官署を支援し、かつ、観測データや現地調査資料を収集した。
- ④ 竜巻以外の複数事例においても、ドップラーレーダーが親雲中にメソサイクロン的な渦パターンを検出しており、これが前兆現象として使える可能性があることが判った。

### 関連論文

15-1

### (3) 危険度診断手法の高度化

#### 研究担当者

鈴木 修、中里真久、山内 洋、小林隆久、小野木茂、猪上華子 (気象衛星・観測システム研究部)

#### 本年度の計画

- ① 平成 18 年度に内閣府および気象庁が災害対策総合推進調整費により実施した「竜巻等による突風災害対策に関する調査」の一環として作成した「竜巻等突風のデータベース」を使用し、大気環境パラメータを用いたポテンシャル予測の統計的検証を 1991 年まで遡って行う。
- ② 前研究計画で開発した竜巻の風速推定手法の検証とまとめを行う。
- ③ メソサイクロン検出アルゴリズムについて、品質管理手法を強化・改良する。
- ④ ダウンバースト、落雷の危険度診断のためのプログラムを作成する。
- ⑤ 事例解析から得られた前兆現象の知見に基づき、危険度診断のアルゴリズムを改良する。

#### 本年度の成果

- ① 計画①については、平成 19 年度途中より開始した科学技術振興調整費「竜巻等の実態および発生予測と対策」においてより包括的に事例を扱うことになったことから、本融合型経常研究による成果と合わせ、成果全体を科学技術振興調整費の課題の方に記載した。
- ② 前研究計画で開発した竜巻の風速推定手法と同じ仮定のもとで、竜巻のコアの直径と角速度の推定アルゴリズムを作成した。予備的な計算では、竜巻の発生地点の周辺で竜巻直径の推定値が小さい傾向があった。角速度は最大で  $1\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$  のオーダーであった。鉛直シアと大気的不安定から計算される対流雲内の気塊のトラジェクトリの計算プログラムを作成した。
- ③ メソサイクロン検出アルゴリズムの高速化と品質管理部分の改良を行い、ドップラー速度の折り返し補正ミスや強い風の鉛直シアによる誤検出を削減することができた。

### 関連論文

## 地震・地殻変動観測データの高度利用に関する研究

研究期間：平成16年度～平成20年度  
 研究代表者：森 滋男（地震火山研究部長）

### 目的

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

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

#### 研究担当者

前田憲二、高山博之、大竹和生、弘瀬冬樹、勝間田明男、岩切一宏（地震火山研究部）、  
 中村雅基(気象大学校)

#### 本年度の計画

- ① 3次元速度構造の改良。
  - ・全国の3次元速度構造の改良。
  - ・局所的な速度構造の改良。
  - ・改良された3次元速度構造を用いた震源パラメータの決定。
- ② 地震活動パラメータの地殻構造との関連性調査。
- ③ 緊急地震速報改善のための調査。

#### 本年度の成果

- ① ・日本全国を対象とした3次元速度構造モデルについて海底地震計（OBS）のデータを取り入れ補正処理を行った。また、屈折法探査結果などを参照して、3次元速度構造の初期値を見直し、速度構造を改良した。さらに、新たに開発した3次元速度構造を用いた2重走時差（Double Difference：DD）震源決定法を中越沖地震の余震活動に適用し、詳細な余震分布を得た。
  - ・DD トモグラフィ法を用いて、関東地方下に沈み込むフィリピン海プレートの3次元速度構造を推定し、同時に震源を再決定した。
- ② ・東北内陸の浅い地震活動について応力と地震活動の関連性の調査を行い、大地震による静的応力及び動的効果が活動変化に影響を及ぼしている可能性があることを示した。
  - ・地震発生層と地形の関連性の調査を行い、四国から近畿の地域を除き、地震発生層が深くなると標高が高くなるという相関を認めた。地下の温度構造の影響を反映したものと推測した。
  - ・繰り返し地震の地震活動パラメータを求めるため、更新過程対数正規分布モデルを適用し、パラメータ事前分布を地震データから求めた。その結果を用い、相似波形地震の確率予測を試み、非ベイズ統計による種々の方式（32方式）より成績が良いことを見出した。
  - ・速度マグニチュード決定法とその経年安定性について検討し、その結果を公表した。
- ③ ・緊急地震速報において用いられるテリトリ法の震源決定手法について、東海沖の海底地震計データの取り込み、また将来の他機関等とのデータ統合を視野に入れた改良を行い、そのプロトタイプを作成した。
  - ・緊急地震速報において、震度マグニチュードを全ての震度計に適用することで、現行の方法よりも震度推定精度が向上することを見出した。運用中の緊急地震速報に近い条件で適用した場合は、ある程度の有効性は確認した。
  - ・緊急地震速報において、震度観測点の過去の観測記録と距離減衰式を用いて観測点補正値を求め、観測点の地盤増幅特性としての有効性を調査した結果、過去データが多い観測点については、現行の方法に比べて観測点補正値が震度推定精度の向上に貢献することを確認した。

### 関連論文

31-1, 31-2, 74-1, 105-1, 105-4

## (2) 地震発生機構と地殻構造に関する基礎的研究

### 研究担当者

勝間田明男、高山寛美、前田憲二、林 豊、吉田康宏、山崎 明、岩切一宏（地震火山研究部）、青木重樹（気象庁地震火山部地震予知情報課）、藤井郁子（気象庁地磁気観測所）

### 本年度の計画

- ① 地殻構造と震源過程との関連性を調査する。
- ② 地殻構造と地震活動との関連性を調査する。
- ③ 低周波地震（微動）発生域について調査する。
- ④ 西南日本背弧の地殻比抵抗構造を調査する。

### 本年度の成果

- ① 「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」の破壊過程を近地の地震波形を用いた解析を行い、震源の南側に大きな破壊域があることが判明した。
- ② 「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」の大学等と海底地震計 32 台による共同緊急余震観測を実施（当研究所からは 3 台）した。海底地震計による余震観測の解析結果によって、本震の主たる震源断層が南東傾斜であるという解明に貢献した。
- ③ ・深部低周波地震震源域の速度構造について調査し、東日本の火山地域においては、低速度になっているのに対し、関西地域の孤立分布の深部低周波地震の発生域は、相対的に高速度になっていることを見出した。  
・東海地域における深部低周波微動の活動度・スロースリップ・通常地震活動度の関係などについて調査し、これらが相互に関係していることを明らかにし、それを説明する概念モデルを提示した。
- ④ 西南日本背弧の比抵抗構造を調査する目的で、山陰沖において 2007 年 6 月～8 月にかけて海底電位磁力計 5 台を設置し観測を行った。海底電位磁力計の設置と回収作業は清風丸(舞鶴海洋气象台)を使用して行った。なお、この観測に併せて中国地方の陸域においても電磁気観測を行い、海域データと併せて解析した。

### 関連論文

31-3

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

### 研究担当者

勝間田明男、高山寛美、林 豊、小林昭夫、山本剛靖（地震火山研究部）

### 本年度の計画

- ① 二層式歪・三成分歪・傾斜・地下水位・水温の観測を行い、地下水位応答の除去手法を検討する。
- ② 汎用的な変動原因推定手法の開発を進め、過去の変動事例への適用などにより性能評価を行う。
- ③ 海水中の測距技術においてさらに問題点を検討し改良すべき点を探ると共に、設置方法など実用上の問題を検討する。

### 本年度の成果

- ① 湯河原観測点における地下水位観測データを活用して、歪変化と降水量・地下水位変化との関係について解析し、地下水流出過程に基づくモデル化を行った。その結果、地下水位変化が降水直後に現れるのに対し歪変化には季節的影響として現れるという時定数の違いは、帯水層の深さの違いを反映していることを明らかにした。このことを考慮すると地下水位変化と歪の降水による影響の大きさに明瞭な相関が見られることから降水による影響の大半を除去できることを示した。
- ② ・気象研究所で開発した変動原因推定ソフトウェアにより、2007 年 9 月から 10 月に愛知県東部で発

生じた短期的スロースリップの時間依存すべり分布の逆解析を行い、すべり分布が遷移的に移動したことを明らかにした。また、気象庁震源データに低周波地震フラグが付く以前の1995年5月から1999年8月の愛知県・長野県南部の低周波地震発生領域に震源を持つ全地震波形を見直して4期間・20個の低周波地震を見いだしたが、いずれも対応する期間に歪変化は見られなかった。また既に歪変化のみから短期的スロースリップに対応する変化として検出した1995年8月、1997年8月、1998年8月の期間について地震波形を確認したところ、3期間とも低周波地震・微動が発生しており、歪変化のみからの検出が妥当だったことを示している。

- ・国土地理院 GEONET 座標値を用いて伊豆諸島周辺及び九州地方の地殻変動解析を行った。2000年伊豆諸島北部の地震火山活動以降の伊豆諸島周辺における地殻変動が、活動最盛期と同じ変動源では説明することができないことを確認し、伊豆半島や御蔵島の動きは伊豆ブロックの南側境界である銭州海嶺で逆断層的な変動源を考えることで説明できることを示した。九州東部の地殻変動は、日向灘のプレート間カップリングが北部で強く南部で弱いというモデルによって説明できる。一方、九州西部での別府-島原地溝帯とその南部で南向きの変位と南北方向の伸張及び九州南部での南東方向の変位と北西-南東方向の伸張は、沖縄トラフでの熱い物質の上昇とフィリピン海プレートが沈み込む海溝の後退が引き起こすマントルにおける流れによって生ずると推定した。

- ③ 房総沖ケーブル式海底圧力計データの水温による影響について検討し、水温による誤差成分の除去を試みた。しかし、房総沖スロースリップによる上下変位を検出できるほどに精度を向上することはできなかった。

#### 関連論文

73-1, 136-1

## 海洋における炭素循環の変動に関する観測的研究Ⅱ

研究期間：平成19年度～平成20年度

研究代表者：緑川 貴（地球化学研究部 第二研究室長）

### 目的

本研究では、海洋によるCO<sub>2</sub>吸収の動向を把握し、ひいては温暖化予測の精度向上に資するため、海洋における炭素循環の変動の実態と要因に関する知見を得ることを目的とする。国際的な研究分担として、北太平洋西部などの海域における炭酸系および関連物質（栄養塩や溶存酸素など）の時空間変動を観測により把握し、気候変動に伴う海洋炭素循環の変動、人為起源CO<sub>2</sub>の蓄積状況、海洋表層の酸性化、および炭素循環に密接に関連する物質循環の変動の解明に重点を置いて研究する。

### (1) 海洋表層における炭酸系の季節・経年変動の解明に関する研究

#### 研究担当者

石井雅男、緑川 貴、斉藤 秀、時枝隆之、笹野大輔、松枝秀和（地球化学研究部）、  
中館 明（気象庁地球環境・海洋部海洋気象課汚染分析センター）

#### 本年度の計画

- ① 凌風丸・啓風丸の東経137度・東経165度等の各航海において表層2000mの各層採水を行い、全炭酸濃度、pH、全アルカリ度の高精度測定を実施する。
- ② 取得したデータの異常値の検出や精度などの品質を評価する。関連する物理情報や、栄養塩などの化学・生物情報と合わせてデータセットを作成する。
- ③ 亜表層の観測データから、生物分解による全炭酸濃度と酸素濃度の変動比（呼吸商）の評価を試みる。
- ④ 前年度までに観測したクロロフルオロカーボン(CFCs)濃度に基づいて、水塊年齢を評価する。

#### 本年度の成果

- ① 凌風丸・啓風丸での各層採水と全炭酸濃度、pH、全アルカリ度の高精度測定  
啓風丸07-04、凌風丸07-06、啓風丸07-06、凌風丸07-10の各航海で、計画通りの観測点で水深2000mまでの各層からサンプルを採水し分析した。これらのデータは、来年度以降、品質管理を施した上で海洋炭酸系の変動実態の調査に用いる予定である。
- ② 時系列各層観測データの取得と公開
  - ・1996年に気象庁が開始した東経165度の定線観測の溶存酸素濃度・栄養塩濃度・全炭酸濃度のすべての各層採水データについて、含まれていた異常値を特定し、品質の向上したWOCE Exchange Formatのデータセットを作成した。
  - ・平成4年から平成17年度末までに気象研究所が気象庁観測船で採水した全炭酸濃度やpHの高精度データを含むデータセットを完成させて温室効果ガス世界資料センターに送付した。これらのデータは、同センターから公開されている。
- ③ 海洋炭酸系の変動の実態把握と要因の評価（生物による影響）
  - ・東経137度、北緯30度付近（亜熱帯循環域北西部）の表面から水深50m付近の表層では、冬季の鉛直混合に伴う下層からの栄養塩供給に依存する生物生産に続いて、成層化した春季から秋季にかけて窒素固定による生物生産（正味の二酸化炭素消費）が起きていることが確認でき、その鉛直積算量と年々変動や、表面水の二酸化炭素分圧変動への寄与を定量的に評価できた。
  - ・窒素固定に伴って表面付近で主に夏季に消費された二酸化炭素の大半は、準易分解性の溶存態有機物として海洋表層に蓄積されていることが分かった。
  - ・水深100m付近の亜表層では、夏季に有機物分解によって全炭酸濃度が増加しており、冬季には表層との混合によって、その濃度がむしろ減少していることが分かった。
- ④ 海洋炭酸系の変動の実態把握と要因の評価（CFCs濃度に基づく水塊年齢の評価）
  - ・時系列CFCsデータに基づいて、全炭酸濃度の主要な変動要因のひとつである海洋循環場の変動について評価した結果、水深700m付近に観測される北太平洋中層水以深では、水塊形成量の減少を示唆する水塊年齢の増加傾向が見られた。一方、中層水以浅では水塊形成量の増加を示唆する水塊年齢の

減少傾向が見られ、特にその傾向は赤道域および亜寒帯域において顕著だった。

- ・水塊年齢分布の時間変動から、この海域における人為起源二酸化炭素の蓄積速度が中層以深では減少し、中層以浅では増加していることが示された。

#### 関連論文

10-4, 10-5, 116-11

### (2) 海洋内部の生元素の変動の研究

#### 研究担当者

廣瀬勝己、緑川 貴、青山道夫 (地球化学研究部)

#### 本年度の計画

- ① 2006年に実施した栄養塩標準の国際比較実験の取りまとめについて、標準に関する国際会議『第11回生物・環境標準に関する国際シンポジウム』で公表するとともに、技術報告として出版する。上記会合を通して、栄養塩国際スケールの確立に向けた国際活動を行う。
- ② P1 (49N)およびP14 (175E) の WOCE 再観測において、標準物質の使用により comparability を確保した栄養塩の観測を実施し、これまでの観測結果との比較解析を行う。

#### 本年度の成果

- ① 栄養塩標準の国際比較実験の取りまとめと国際スケールの確立
  - ・国際比較実験を行った結果、現在世界で得られている栄養塩データの comparability は、栄養塩標準の均一性 (0.2~0.3%) や繰り返し分析精度 (最高では 0.1~0.2%) に比べると一桁大きく、認証標準物質の実現と国際的な栄養塩スケールを確立することにより comparability が飛躍的に良くなることを実証できた。このことについて、標準に関する国際会議『第11回生物・環境標準に関する国際シンポジウム』で講演した他、栄養塩国際スケールを確立するための国際共同行動を行うことを合意した。
- ② 海盆規模での物質循環の長期的変動の解明
  - ・「みらい」による WOCE 再観測の 5 航海 (P1, P3, P10, P6, P14NC) および WOCE 時の観測データを経度 1 度、深さ 50m 毎 (あるいはポテンシャル水温 0.05 度毎) のグリッドデータとして、栄養塩データを中心に水温・塩分・酸素等の他の項目もあわせてスナップショットの比較検討を行った。今回は、特にポテンシャル水温 1.2 度以下の深層について解析した。
  - ・WOCE 再観測の栄養塩データについては、分析に際してすべての測点で標準物質を使い、時間と空間についての comparability を確保することができた。一方、過去の WOCE 観測では comparability が確保されていないため、たとえば 1992 年の P14N 航海のケイ酸塩の値に対しては約  $6 \mu \text{mol kg}^{-1}$  の補正が必要な場合もあった。
  - ・P1, P3 および P6 での南極海から太平洋に流れ込む底層水の流路に沿ったところでのケイ酸塩は、10 年間でおよそ  $1 \sim 2 \mu \text{mol kg}^{-1}$  増加していることが分かった。これは濃度にするとおよそ 10 年間で 1% の変化に相当する。これらのケイ酸塩濃度の増加は、深澤や河野ら (Fukawasa et al., 2004; Kawano et al., 2006) が見出した深層での水温上昇と一致する結果となる。
  - ・太平洋東経 175 度線に沿う P14N での水温 1.0 度から 1.2 度の領域でのケイ酸塩、硝酸塩および溶存酸素量の 15 年間の差は、海域によって増減の傾向が異なることが分かった。また、ケイ酸塩と硝酸塩の変化には正の相関があり、ケイ酸塩と溶存酸素量との間には負の相関が見出され、循環速度の変化との関連が示唆された。
  - ・海洋における生物生産を制限する微量金属元素 (特に鉄) について、化学モデルに基づいた海洋における溶存状態の解析と銅イオンとの競争反応との関連から、生物に対する役割を議論した結果、海洋表層では、銅イオンとの競争反応により、鉄が低濃度になっている可能性があることを明らかにすることができた。

#### 関連論文

4-9

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

研究期間： 平成17年度～平成20年度\*

研究代表者： 松枝秀和（地球化学研究部 第一研究室長）

### 目的

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

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

### (1) アジア大陸起源の汚染気塊の化学組成とその輸送に関する研究

#### 研究担当者

澤 庸介、松枝秀和、石井雅男、時枝隆之、斉藤 秀（地球化学研究部）、  
内山明博、山崎明宏、古林絵里子、工藤 玲（気候研究部）、  
岡田菊夫、財前祐二、高橋 宙、柴田清孝（環境・応用気象研究部）

#### 本年度の計画

- ① 気象庁大気観測所並びに気象研究所露場・鉄塔を利用して、ラドン、微量気体及びエアロゾルの観測を継続する。
- ② 本研究で得られた観測データセットを作成し、アジア大陸からの汚染の影響に関する変動を解析する。
- ③ モデル実験を実施して、観測データセットと比較することによって、化学組成変動を引き起こすアジア大陸の発生源の影響を地域別に評価する。
- ④ 二酸化炭素及びメタン等の標準ガスに関して、気象庁の保有している WMO 基準との比較実験を継続し、結果をまとめる。

#### 本年度の成果

- ① 気象研究所の露場・鉄塔を利用した微量気体濃度の長期観測を継続すると同時に、微量気体組成の解析から、一酸化炭素を指標として人為発生源の影響を自然発生源による変動と分別して評価できることがわかった。南鳥島の気象庁大気観測所に新型の高感度ラドン計を導入して観測データを収集した結果、旧型のラドン計では検出できなかった微弱な大陸からの影響も明瞭に捉えられることが可能となった。また、南鳥島の二酸化炭素濃度が夏季に異常に低下する興味深い現象が見出された。この現象を詳細に解析した結果、特異的な気象条件の形成による急速な南北輸送によって、陸域生態系の影響が南鳥島まで到達しうることが明らかになった。
- ② 一酸化炭素(CO)濃度のデータセットを作成するために、気象庁の大気観測所を含めた国内の研究機関で実施されている合計8地点の観測データを収集・統合した。このデータベースを利用して、2005年3月から4月に見出された3つの顕著なCO濃度上昇を伴う汚染イベントについて解析した結果、汚染気塊の広域拡散分布とその時間変化の実態を明瞭に把握することができた。
- ③ 3次元の輸送モデル実験により、観測された汚染イベントの通過に伴うCO濃度の上昇現象をほぼ再現することができた。モデルの結果を解析することによって、寒冷前線の発達とその東進に伴う大陸からの汚染気塊のアウトフローの空間構造を詳細に把握することができた。また、COの発生源を地

\* 平成21年度に予定されている気象研究所の独立行政法人化への準備として、平成19年度までの3年計画であった本研究課題を平成20年度まで延長し、これまでの研究を発展させるとともに、補足的な解析を行う。



域別に分けたモデル実験から、中国、韓国、日本などの汚染源の寄与を定量的に見積もることができた。

- ④ 気象研究所の二酸化炭素及びメタンの標準ガスと気象庁の保有している WMO 基準ガスとの比較実験によって得られたデータをまとめた結果、両機関のトレーサビリティが長期に維持されていることがわかった。

#### 関連論文

60-1, 60-2, 60-3, 60-4, 60-5, 60-7, 116-2, 116-4

### (2) 大気化学環境変動と海洋環境変動との関連に関する研究

#### 研究担当者

五十嵐康人、青山道夫、廣瀬勝己、緑川 貴（地球化学研究部）、千葉 長（気候研究部）

#### 本年度の計画

- ① 降水、エアロゾルに含まれる窒素と関連化合物、風送ダストの観測結果をとりまとめ、アジア大陸からの影響を評価する。
- ② 生物・化学的な新規トレーサーに関する基礎技術について評価を行う。
- ③ 窒素・リンの海洋への供給量と栄養塩変動、基礎生産変動との関連性について評価する。
- ④ モデル計算結果との比較により総合的な評価を行う。

#### 本年度の成果

- ① 物質輸送の活発な春季に着目して 2007 年から、気象研究所において、湿性及び乾性沈着物の採取を行い、水溶性化学成分を測定した。3 月中旬の乾性降水量は、その前後の期間と比較して少ない傾向が認められ、この期間の相対湿度は前後の期間と比較して低く、JCDAS 再解析データによると、日本はアジア大陸北西部（中国東北地方、朝鮮半島）を通過した乾燥した大気に覆われていた。一方、その前後の相対湿度の高い期間には、アジア大陸西部（中国）上空からの湿った大気が日本に到達していた。このことから、空気塊の履歴の変動に伴い、水溶性成分の乾性沈着物の降水量が変動していることが示唆された。
- ② 視点を変えて植物（真核生物）に着目し、富士山頂で黄砂時期に採取し保管していたダスト試料を産業技術総合研究所・ヒューマンストレスシグナル研究センターの岩橋 均氏らと生物化学的に分析した。その結果、コケ類、カビ類およびトマトの遺伝子を検出・同定することができた。トマトをはじめ植物は、生育・栽培されている地域、領域が比較的よくわかっていて、ダストの生物トレーサーとして微生物よりも適している可能性があり、新規トレーサーの候補を見いだすことができた。
- ③ 気象研究所の全球エアロゾル輸送モデル (MASINGAR) を用いて窒素の海洋への供給量を評価についての検討を行った。観測で得た沈着物中の  $\text{NO}_3^-$  および  $\text{NH}_4^+$  の重量濃度にモデルのダスト沈着量を乗ずることで、窒素化合物の沈着量を評価できることがわかった。
- ④ 2007 年春のダスト沈着量を気象研究所の MASINGAR により計算した。この沈着量をつくばにおける湿性及び乾性沈着物の観測値と比較したところ、対応の良くないことが明らかになった。原因としては、観測が一点であることに対し、モデルの水平解像度が約 100km 四方の格子であるため比較そのものの妥当性があげられる。モデルによる降水事象の発生が現実とあわなかった事およびこのことに起因するモデルの中での降水時のダストの除去量が違ってしまいうことが明らかになった。

#### 関連論文

## 火山観測データの気象補正等による高精度化に関する研究

研究期間：平成18年度～平成20年度

研究代表者：山里 平（地震火山研究部 第三研究室長）

### 目的

火山の地殻変動は地下のマグマの動きを直接的に反映するため、火山監視の有力な手法として活用されている。ただし、GPS観測データなどには対流圏の大気に起因する変動があり、それが火山活動評価の障害になっている場合がある。このため、気象データ等を活用した火山観測データの精度改善の手法を開発し、迅速・的確な火山活動評価を可能とし、火山監視の高度化に資する。

### 研究担当者

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

### 本年度の計画

- ① 基礎データとなる火山体での気象要素の連続観測を行う。
- ② 火山体での現地気象観測データによる大気補正の検証を行う。
- ③ 格子点データを用いた大気補正手法を開発する。
- ④ 電離層が測位精度へ及ぼす影響の評価を行う。
- ⑤ 気象データを利用した、火山ガス放出量観測の精度向上、及び空振源決定の精度向上の研究に着手する。

### 本年度の成果

- ① 浅間山山頂部において、気象データを用いた補正手法の基礎データとなる火山体での気象要素（気圧、気温、湿度）の連続観測を開始した。火山ガスの影響による機器の故障があったが、火山ガス対策を施した上で観測を再開した。
- ② 上記の火山体での現地気象観測データを利用した大気補正を、光波測距データについて適用する検証を行った。その結果、気象格子点データを用いた手法よりもやや改善されるものの、大きな差異はないことがわかった。
- ③ 光波測距データの補正に加え、GPSについても格子点データを用いた大気補正手法を開発するため、メソスケール数値モデル（MSM）データの利用による検討を開始した。
- ④ 電離層がGPSの測位精度へ及ぼす影響評価のため、過去の1周波GPSデータを再解析し、みかけの年周変化による無視できない量（3ppm程度、10kmの測線で3cm）の影響があることがわかった。さらに、周辺の2周波観測点データで内挿補正することでその影響を除去することが可能であることがわかった。
  - ・電離層の影響を除去することにより、GPSデータを用いて御嶽山における微噴火前の局所的な地殻変動を捉えることができた。
  - ・紫外域放射伝達モデルを用いて、DOAS（紫外域リモートセンシング手法を用いた火山ガス観測装置）によるSO<sub>2</sub>観測に与える太陽高度、エアロゾルの影響を評価する手法を検討した。
- ⑤ 三宅島や桜島などにおける空振記録を解析し、桜島において高層風が空振の走時へ与える影響を評価した。さらに、高層風による影響を補正した空振源決定手法を開発し、2つの火口からの噴火を従来よりも正確に判別できる可能性を示した。

### 関連論文

## 津波の予測精度向上に関する研究

研究期間：平成18年度～平成20年度

研究代表者：高山寛美（地震火山研究部 第一研究室長）

### 目的

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

### 研究参加者

高山寛美、平田賢治、林 豊、吉田康宏（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）

### 本年度の計画

- ① 沖合の津波観測データを利用した沿岸での津波予測
  - ・ 沖合実測データ特性の調査・分析。
  - ・ 津波数値計算を用いた沖合データと沿岸データとの関係分析・解明。
  - ・ 沖合実測データから津波成分を分離抽出する手法の調査・開発。
- ② 歪計・広帯域地震計の観測波形データによる破壊様式の推定
  - ・ 歪計・広帯域地震計の観測波形データの過去事例の収集。
  - ・ 歪計・広帯域地震計の観測波形データを用いて破壊様式を推定する手法の開発。
- ③ 津波の予測誤差発生の要因調査
  - ・ 昨年度選定したケーススタディの津波数値計算と誤差発生要因分析。
  - ・ 調査対象ケースの拡張と地形データセット作成。
  - ・ 各ケースの津波数値計算と誤差発生要因分析。
  - ・ 沖合と沿岸での津波後続相観測事例に基づく挙動特性の分析。

### 本年度の成果

- ① 沖合の津波観測データを利用した沿岸での津波予測
  - ・ (独)海洋研究開発機構の室戸沖および釧路沖の海底津波計の観測データを収集した。フィルタ処理を用いて適用することにより、おおむね良好に津波成分を抽出することができた。
  - ・ 移流項と海底摩擦項を含む非線形長波式に基づく数値計算法と単純な震源モデルを用いて、津波観測波形再現の可能性について検討を行い、沖合データと一部の沿岸データについては特徴を再現できることがわかった。
- ② 歪計・広帯域地震計の観測波形データによる破壊様式の推定
  - ・ CD-ROM に収録された歪み計記録から、日本周辺で起きた大地震の波形記録を切り出し、データベースを作成した。
  - ・ スマトラ島西方沖の地震で開発した歪計を用いて破壊域の時空間分布を求める手法を2006年と2007年の千島列島東方の地震に適用し、両者の震源時間関数の違いを見いだすことができた。水平成層を仮定して、多成分歪計の理論記象を計算する手法を開発した。
- ③ 津波の予測誤差発生の要因調査
  - ・ 既発行のデジタル水深データ、等水深線データを用いて、東経140度線を基準とした直交座標系で釜石沖海底津波計と釜石湾を含む領域の17m、50m、150mメッシュの水深データを作成した。
  - ・ 沖合における巨大津波実測値として、衛星海面高度計による2004年インド洋津波での観測値から海洋変動成分を除去して、津波成分を抽出した。その誤差の大きさから、沖合で10cm程度の津波は衛星海面高度計で検知できる可能性があることが分かった。
  - ・ 2004年スマトラ沖地震で最も大きな津波が発生したスマトラ北西沖海底での津波発生機構として、プレート境界の運動の他に、陸側プレート中の分岐断層が運動した可能性があることが分かった。従来の津波予測において、分岐断層は全く考慮されておらず、津波を予測するうえで新たな誤

差要因として考慮・検討する必要がある。

- 2006年11月千島列島東方の地震による津波では、第一波の到達から数時間経って、顕著な後続相が太平洋岸の検潮所に現れた。後続相は、ほとんど長周期成分を含まないこと、天皇海山列南端の海山を源とする散乱波であることを、観測波形のスペクトル時系列解析と散乱波理論からの考察などにより明らかにした。また、最大振幅を記録した時刻以降の観測津波波形をコーダ部と呼ぶと、コーダ部では強度が時間とともに指数関数的に減衰すること、コーダ部の波高出現頻度がレーリー分布を用いて説明できることが分かった。

#### 関連論文

100-1, 100-2, 100-3, 102-2, 102-3, 102-4, 102-5

## 気候システムとその変動特性のモデルによる研究

研究期間：平成15年度～平成20年度\*

研究代表者：楠 昌司（気候研究部 第一研究室長）

### 目的

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

### （1）気候システムに関する基礎的研究

#### 研究担当者

楠 昌司、鬼頭昭雄、保坂征宏、上口賢治、足立恭将、坂見智法、新藤永樹、黒田友二、行本誠史、小畑 淳、吉村 純、遠藤洋和（気候研究部）

#### 本年度の計画

- ① 気候－陸域システム相互作用のメカニズムの解明に関する数値実験を引き続き行う。
- ② 平成18年度に行った古気候実験の解析を行う。
- ③ 成層圏における太陽活動や火山噴火による強制が対流圏および海面水温へ与える影響を調べる。

#### 本年度の成果

- ①② 完新世中期（6,000年前）および最終氷期最盛期（21,000年前）の気候再現実験において気候・植生オフライン結合実験を終了した。気候・植生オフライン結合実験と植生変化を含まない実験を比較した結果、気候・植生相互作用により完新世中期（6,000年前）と現在気候との気温差、最終氷期最盛期（21,000年前）と現在気候との気温差はともに大きくなることが分かった。
- ③ 太陽活動による北大西洋振動（NAO）の変調におよぼす赤道準二年振動（QBO）とエルニーニョ南方振動（ENSO）の影響を観測データから調べた。その結果、太陽活動によるNAOの変調はQBO西風フェーズの場合により増強され、冬の信号はより北極振動（AO）的となり上部成層圏まで伸びる。また、夏のAO信号はより強く現れることが分かった。ラニーニャの場合も統計的に独立ではないが、QBO西風の場合と同様な信号が解析された。

#### 関連論文

38-1, 38-2, 38-4, 38-5, 38-6, 46-2, 93-3

### （2）気候システムのモデル化に関する研究

#### 研究担当者

楠 昌司、保坂征宏、上口賢治、足立恭将、坂見智法、新藤永樹、行本誠史（気候研究部）

#### 本年度の計画

- ① 気候モデルへのHinesの重力波抵抗スキームによる強制に関して気候値および年々変動の応答を調べる。
- ② 非静力学の雲解像度モデルを利用して積雲対流スキームを改良する。
- ③ 海氷過程の改良を引き続き行い、氷縁部の改善に努める。
- ④ 陸面過程の精緻化を行う。

\*平成21年度に予定されている気象研究所の独立行政法人化への準備として、平成19年度までの5年計画であった本研究課題を平成20年度まで延長し、これまでの研究を発展させるとともに、補足的な解析を行う。

### 本年度の成果

- ①・確率化した Hines の重力波抵抗スキームを改良し、長期積分 (15 年以上) に対しても QBO や SAO (半年周期振動) に類似した変動の表現が可能になった。
  - ・中層大気的气候値の改善を目的として複数の重力波抵抗スキームの組み合わせによる東西平均風と CIRA86 (Cospar International Reference Atmosphere 1986; 標準的な大気モデル) を比較した。
    1. 極夜ジェットの等値線の長軸が CIRA86 より高度に関して傾かない、
    2. 極夜ジェットの高度は CIRA86 より低い、
    3. モデル大気上端において東西風の等値線が閉じない、という重力波抵抗スキームを使用しないモデルの共通した問題を抽出し、新たに開発した重力波抵抗スキームが有効であることを示すことができた。
- ② 雲解像モデルを参照して全球モデルの対流パラメタリゼーションを改善する目的として、雲解像モデル用の前処理ツールを作成した。このツールにより、世界各地の任意の領域について、雲解像モデルの初期・境界条件を気象庁全球客観解析データや全球モデルの出力値を用いて作成することができるようになった。テストケースとして台風 0422 のシミュレーションを雲解像モデルと全球 20km メッシュのモデルで行い比較したところ、物理過程の違いにより全球 20km メッシュのモデルでは弱い雨域が広がることが分かった。
- ③・氷床モデルの高解像度化 (20km)、南極への適用を行った。
  - ・氷縁部の海氷過多については目立った改善は見られないが、薄氷を予報変数化したことでより挙動の安定性が増し、特に、北極海内部の多年氷については、長期の積分でもフラックス修正無しでほぼ観測値を再現することが可能となった。
- ④ 1つの格子に複数の植生種が共存することができるモザイク対応の新陸面モデル HAL の開発を行った。

### 関連論文

---

## 接地境界層における水蒸気と熱の乱流輸送に関する研究

研究期間： 平成18年度～平成20年度  
研究代表者： 三上正男（物理気象研究部 第二研究室長）  
研究担当者： 萩野谷成徳、毛利英明、北村祐二（物理気象研究部）

### 目的

地表面と大気との間でどの程度の水蒸気・熱フラックスが交換されているかを定量的に見積もることは、日々の天気予報精度向上をはじめとしてアジアモンスーンの季節変動や年々変動、ひいては地球規模の気候変動の解明や予測などを行うモデルにとって必須不可欠である。これらを解決するために観測と実験、そして自主開発した数値乱流モデルを相補的に用いて、大気境界層乱流による水蒸気・熱輸送の物理過程の理解を深める。

### 本年度の計画

- ① 既存観測データの収集と露場観測及びデータ解析。
- ② 乱流慣性領域に関する風洞実験。
- ③ 数値計算コード作成と風洞実験結果を用いた検証。

### 本年度の成果

- ① 熱収支データの収集と解析
  - ・半乾燥地帯の地表面観測データセットを解析し、衛星データセットから物理量を算定する手法の改良を行った。
  - ・地表面熱収支の要素の1つである地表面での地中熱流量を求める新たな方法を開発し、他の熱収支要素の残差との比較を行いその有効性を確認した。
  - ・従来の気象研究所の露場観測データセットでは2月～3月の寒冷乾燥期の観測データがほとんどなく欠測となっていたが、今年度はそのデータが取得できた。これらのデータは、従来からのデータと併せて草地上の通年の熱収支解析に利用される予定である。
- ② 乱流慣性領域に関する風洞実験
  - ・境界層乱流と噴流のデータセットを用い、乱流の微細構造のサイズ・強さ等のレイノルズ数依存性を調べ、その結果を論文として発表した (Mouri et al., 2007)。
  - ・格子乱流のデータを用い、乱流の慣性領域の物理量の大スケール変動を調べ、その結果を論文として発表した (Mouri et al., 2008)。
  - ・格子乱流、境界層乱流、および噴流のデータセットを用い、乱流の慣性領域の大スケール変動を調べた。現在、論文を準備中である。
- ③ 数値計算コード作成と風洞実験結果を用いた検証

LESに基づく大気境界層乱流モデルの作成を行い、既存の乱流パラメタリゼーションスキームを組み込んで数値実験を実施することが可能になった。本年度は、既存のスキームの性能評価を行うために4種類の乱流パラメタリゼーションスキームについて数値実験を実施し、得られる乱流輸送の特徴についての比較・検討を行った。また、パラメタリゼーションによって表現される乱流フラックスの妥当性を定量化するために、モデル結果の自己整合性に基づく解析手法の提案を行った。これらの成果の一部について国内学会で報告した。数値モデルを運用するための素地は整いつつあり、今後風洞実験との結果の比較を行う予定である。

### 関連論文

97-1, 120-1, 126-1, 126-2, 126-3

## 都市気象モデルを用いた都市気象の再現・予測のための基礎研究

研究期間：平成19年度～平成21年度  
 研究代表者：中川慎治（環境・応用気象研究部 第二研究室長）  
 研究担当者：栗田 進、清野直子、青柳暁典（環境・応用気象研究部）、  
 氏家将志（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

### 目的

大都市圏のヒートアイランド効果を顕わに入れた都市気象モデルを開発し、都市気象の予測を可能とする技術基盤を確立する。

### 本年度の計画

- ① 高解像度 NHM（数 100m メッシュ）をベースとした都市キャノピー過程の改良。
- ② 高解像度に対応可能な前処理（標高・土地利用・人工排熱データ等の作成）部の整備を行う。
- ③ キャノピー⇔大気潜熱輸送過程の導入を検討する。
- ④ モデル物理過程検証のため、気象庁本庁屋上でビル群の放射過程に関する放射観測を行う。

### 本年度の成果

- ① 高解像度 NHM に適用可能な単層都市キャノピースキームの改良
  - (a)ビル面への熱伝導方程式の導入
 

建物の蓄熱効果をより現実的に表現できるよう、建物温度を診断による方法から熱伝導方程式により予測する方法に改良した。これにより、建物内部の温度が日没後まで高温に保たれることで夜間の建物表面温度が下がりにくくなり、接地気層の冷却も抑制される効果が表現されることを確認した。
  - (b)天空率と日光率の導入
 

都市キャノピーと大気との長波放射交換を左右する天空率や、建物による日向・日陰面積割合（日光率）を、これまでの暫定的な値から、建物の占有面積や形状・太陽高度に依存するパラメータに変更した。これにより、街区の特性に応じた、より現実的な放射収支の取扱が可能になった。
- ② 高解像度に対応可能なデータの整備
  - (a)土地利用データに基づく都市キャノピーパラメータの算定
 

100m メッシュ土地利用データ（国土地理院）から、各モデル格子内の建物の占有面積を求めるプログラムを作成し、現実の建物密度を反映したモデル計算を可能とした。また、土地利用変化が気象場に及ぼす影響の評価に対応するため、NHM の地表面パラメータ設定用前処理プログラムの改良を行った。
  - (b)人工排熱データの導入
 

キャノピースキームで用いる人工熱源として、関東域の詳細なエネルギー消費統計値に基づく月毎の人工排熱量（時別値）（妹尾他、2004）を導入した。
  - (c)モデルの性能評価
 

上記①-(a)、①-(b)、②-(a)を取り入れた都市キャノピースキームを用いて、4km 格子 NHM による関東平野部（約 200km 四方）における 2005 年 8 月の予備的シミュレーションを実施し、東京都の気温を中心にスキームの有無による違いを調べた。その結果、都市キャノピーを考慮した場合、最低気温については、建物の蓄熱効果で日没後も大気への顕熱輸送が維持されるため、晴天時の都心部で 1～2℃程度冷却が抑えられていた。一方、日中は、潜熱が減少するものの、建物内部へ輸送される熱量が多くなるため、最高気温に大きな差はみられなかった。

東京・練馬・青梅の 3 地点でアメダス気温との比較を行ったところ、夜間の気温低下の抑制が都市キャノピースキームの導入でよりよく表現され、予測の改善につながる可能性が示唆された。日中の気温は、上記の 3 地点で観測に近い値が再現されていたが、晴天時の内陸部への高温域の広がりには実況に比べて弱かった。
- ③ キャノピー⇔大気潜熱輸送過程に関する検討
 

降雨・降雪に伴うキャノピー大気間の潜熱輸送過程について、既存の研究等を基に、基本的な表現手法の検討を行った。実装方法については来年度以降に検討を行う。



## ④ モデル物理過程検証のための観測データ整備

## (a) 気象庁本庁屋上における放射観測

気象庁本庁屋上において、短波・長波放射の上下両成分の観測を実施した。1年間にわたる観測データと気象庁本庁でのルーチン観測（下向き短波長放射）データとの比較を行い、周辺ビル群の影による影響を除けば、概ね1%（夏季最大で $10\text{W/m}^2$ 程度）の範囲で安定して測定されていることを確認した。

## (b) 気温検証データの整備

気温の検証用として、気象庁のアメダスに加え、東京都環境局の観測データ（約50地点）のデータベース化を行うとともに、モデルとの検証を行うツールの整備を行った。

## 関連論文

---

## 能動型リモートセンサーによる大気観測技術の高度化に関する研究

研究期間：平成19年度～平成21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）

研究担当者：永井智広、中里真久、酒井 哲（気象衛星・観測システム研究部）

### 目的

ライダー等能動型リモートセンシングを用いたエアロゾル・雲・オゾン等の大気観測手法の高度化を行い、まだ不確かさの多いエアロゾル、オゾンの動態解明やエアロゾル間接効果の評価また気候・環境の監視強化に資する。

### 本年度の計画

- ① 実験室でエアロゾルの光学特性を測定する装置を開発するとともに、ライダーでエアロゾル・雲の観測を行う。
- ② エアロゾルの微物理量や氷晶雲と黄砂の関係を求める観測解析手法を開発する。
- ③ 対流圏オゾンライダーの比較・検証を行い、精度を確認する。

### 本年度の成果

- ① 室内実験部品を調達し、ライダー装置を組み立てた。また、ラマンライダーと気球を用いたエアロゾル・雲の観測を5月に行い、本年度の計画②の解析に利用した。
- ② ラマンライダーによって後方散乱係数と消散係数が観測されたときにエアロゾルのサイズ分布を求めるアルゴリズムを開発した。理論計算により、後方散乱係数は3波長(355、532、1064nm)の、消散係数は2波長(355、532nm)の観測値を用いる場合、球形エアロゾルのサイズ分布は、サイズ0.1～1 $\mu\text{m}$ の範囲で実用的な情報が得られることがわかった。観測波長をさらに1つ追加することにより、サイズ分布の推定精度は顕著に向上した。ただし、非球形エアロゾルの場合、後方散乱のサイズ依存性が球形エアロゾルよりもかなり低いため、このアルゴリズムで精度よくサイズ分布を求めることは困難であることが分かった。このため、まず非球形エアロゾルのサイズ情報を得るための条件を理論的に明らかにしたうえで、現実のライダーの設定を考えていく必要がある。
  - ・ エアロゾルと氷晶雲の関係を調べるために、「本年度の成果」①に記載した通り、ラマンライダーとエアロゾルゾンデ・雲粒子ゾンデを用いて、エアロゾルと雲粒子の光学・微物理特性を測定した。対流圏中～上部(5～10 km)で、エアロゾルサイズ分布は半径0.8 $\mu\text{m}$ に極大を示し、偏光解消度は10%以上であったことから、非球形の黄砂が分布していたと考えられる。対流圏上部(高度8～12km)で、大きさ10～200 $\mu\text{m}$ 、数濃度最大0.15個 $\text{cm}^{-3}$ の氷晶を観測した。氷晶のライダー後方散乱比は10、偏光解消度は30～38%であった。氷晶雲の水相対湿度(最大130%)は黄砂の氷晶化条件を満たしており、黄砂が氷晶核として作用した可能性が示唆された。
- ③ 2005年と2006年に観測された計111日分の対流圏オゾンライダーの観測データを用いて、対流圏オゾンの季節変化を調べた。つくばにおける対流圏オゾンは、1月から4月の成層圏オゾンの侵入、2月から6月にかけて増加してゆく春季オゾン極大、夏季の高度2km以下に現れる都心からの人為起源オゾン等の移流によって特徴付けられる。
  - ・ 対流圏オゾンの起源の識別アルゴリズムを試作した。本アルゴリズムは、観測されたオゾン濃度の高度分布データのみを用いたパターン認識技術に基づいている。いくつかの観測事例に適用し、想定される程度の性能があることを確認した。
  - ・ 夏季の境界層内に現れる都心起源の対流圏オゾンについて、化学輸送モデルWRF/chemと対流圏オゾンライダーとの比較を行った。2005年7月28日に観測された $2.5 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ を越える高濃度オゾンがWRF/chemでも再現された。しかし、観測とモデルとの不一致も多く見られた。一般的に、境界層内で観測結果に比べてモデルの方がオゾン濃度は大きく計算され、自由対流圏内でモデルの方が小さい傾向がある。
  - ・ 南極において対流圏オゾンライダーを用いた研究観測を行うことを想定して、フィージビリティ・スタディを実施した。つくばでの対流圏オゾンライダー観測データを用いて、最小検出可能濃度や観測可能高度範囲に関する検討を行った結果、南極に対流圏オゾンライダーを設置した場合、地上オゾン急減現象(SOD)の原因調査や、対流圏—成層圏物質交換などの研究に使用可能であること

が分かった。

関連論文

55-1, 92-1, 92-3.

## リモートセンシングを用いた下層大気の物理量抽出手法に関する研究

研究期間：平成19年度～平成21年度

研究代表者：小野木 茂（気象衛星・観測システム研究部 主任研究官）

研究担当者：小林隆久、中里真久、足立アホロ（気象衛星・観測システム研究部）

### 目的

下層大気の風向・風速を高分解能・低コストで観測する技術を開発し、予報精度の向上や突風やダウンバースト、ヒートアイランド現象などの監視技術の開発に貢献する。また、ウィンドプロファイラの測定機能を向上させることにより、低層観測性能の向上、降水粒子（当面は雨滴）の対気落下速度の検出を図る。

### 本年度の計画

- ① 変調型ライダーについて必要な諸性能の検討とシステム設計。
- ② 変調型ライダー投受光部製作。
- ③ ウィンドプロファイラ観測の機器性能向上のための解析。
- ④ 他の比較検証用観測データの取得。

### 本年度の成果

- ① 変調型ライダーに必要な精度・諸特性の検討と概略設計を行った。
- ② 変調型ライダーの光学系部の製作が終了し、近距離にある反射物体の移動による受光の変化を視認できる状況である。
- ③ ウィンドプロファイラについては、従来、メーカーのアプリケーションにより作成されるスペクトルデータを使用して研究を進めていた。今年度、受信機から出力される受信信号（電気信号）からスペクトルデータを得る部分のプログラムを開発し、信号解析の自由度を向上させ、内蔵されているAD変換ボードの代わりに、外付けのより高機能のAD変換器を使用することで、受信信号に含まれる大気の移動速度などの種々の大気物理量に関する有用な情報を抽出できる可能性が高いことが分かった。
- ④ 雲粒の成長過程において、雲粒がある臨界の大きさを超えると、雲粒は雨滴へ急速に成長することが知られている。TRMM衛星搭載の降雨レーダーによる降雨強度と可視・赤外放射計の2波長放射輝度観測データから、放射伝達方程式を用いて雲特性を解析し、この臨界有効半径が約15～20 $\mu\text{m}$ であることが分かった。

### 関連論文

28-1, 49-1

## 衛星データの解析処理技術の高度化に関する研究

研究期間：平成19年度～平成21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）

研究担当者：石元裕史、佐々木政幸、真野裕三（気象衛星・観測システム研究部）

### 目的

放射伝達モデルを充実させるなど衛星データ解析の技術基盤の高度化を図り、予報精度の向上や気候・環境の監視強化に資することを目的とする。

### 本年度の計画

- ・サウンダの利用技術に関する研究
  - ① 多波長赤外サウンダによる気温・水蒸気の測定精度向上のために、非線形性を考慮したチャンネル選択手法の開発を行う。
  - ② 干渉計赤外サウンダ IASI のチャンネル選択を行う。
  - ③ 赤外海面射出率モデルの高度化を行い、放射伝達モデルで利用される海面射出率の海面温度への依存性を調べる。
  - ④ 地上設置型マイクロ波サウンダによる気温・水蒸気の測定精度向上のために、放射モデルの改善を行う。
- ・雲・エアロゾルの光学パラメータ推定技術に関する研究
  - ① 衛星データを利用した氷晶雲の解析のために、非球形氷晶粒子の単散乱を計算する手法の開発・改良を行い、散乱分布関数のデータベース作成を開始する。
  - ② 地球観測衛星データから巻雲の光学的厚さ等のパラメータ導出手法の改善に着手する。
  - ③ 陸域での、気象衛星による黄砂などの光学的厚さの導出手法を開発する。

### 本年度の成果

- ・サウンダの利用技術に関する研究
  - ① 多波長赤外サウンダデータ AIRS/Aqua の最適チャンネル選択において、水蒸気チャンネルの非線形性を考慮することにより、データ同化に悪影響を与えうるチャンネルを除去する方法の開発を行った。
  - ② 干渉計サウンダ IASI/METOP の 8461 チャンネルのうち、300 チャンネルのデータが各国の数値予報センターに配信される予定である。気象庁数値予報課でのデータの利用に向けて、これらのチャンネルの優先順序付けを行うプログラムの開発を行った。
  - ③ 海面射出率は海水の複素屈折率の虚数部の温度依存性に大きく影響されること、その影響は観測角が  $60^\circ$  以上で顕著に現れるが、観測角が  $50^\circ$  程度以下である通常の衛星観測データの利用には重大な影響を与えないことを示した。
  - ④ 次元変分法に対応した放射伝達プログラムの開発および輝度温度計算の精度改善を行い、気温と水蒸気のプロファイル推定の事例解析を行った。気温と水蒸気の推定精度の改善が認められた。
- ・雲・エアロゾルの光学パラメータ推定技術に関する研究
  - ① 波長  $0.63\mu\text{m}$  と  $1.61\mu\text{m}$  での散乱分布関数を、正六角柱、集合型、フラクタル型の形状に対して、サイズパラメータが 100 程度以上について幾何光学手法で、50 程度以下について FDTD 法 (Finite-difference time-domain method : Maxwell 方程式を差分化して時間領域で解く方法) で作成した。さらに、降雪域でのマイクロ波放射計やレーダーのデータ処理の高度化のための、雪片のような複雑形状をもつ粒子の散乱分布関数の計算も FDTD 法により可能になった。
  - ② 各種形状の氷晶粒子の単散乱分布関数の利用が可能になり、いくつかの事例について AVHRR(NOAA、METOP)の  $0.63\mu\text{m}$  と  $1.61\mu\text{m}$  の 2 チャンネルから氷晶雲の光学的厚さと有効半径を求めた。同じ事例について、AVHRR の熱赤外チャンネル( $10.8\mu\text{m}$ ,  $12.0\mu\text{m}$ )を利用した解析を行った。
  - ③ 陸面の反射特性モデルを導入することにより、MTSAT および AVHRR(NOAA、METOP)の可視チャンネルを利用した陸域における黄砂の光学的厚さ導出アルゴリズムを開発し、結果の検証を開始した。

関連論文

13-1, 115-1

## 九州に接近した台風の構造変化とそれに伴う諸現象に関する研究

研究期間：平成19年度～平成20年度

研究代表者：出口 一（福岡管区気象台予報課）

研究担当者：中西信彦、折口征二（福岡管区気象台予報課）、北畠尚子（台風研究部）

### 目的

九州に接近した台風について、その温帯低気圧化に伴う三次元構造の変化と、付随して生じた地上風・降水分布の多様性、及びそれによる災害の特徴の関係を明らかにする。

### 本年度の計画

- ① 過去に九州に接近した台風に伴って生じた地上風・降水分布、及び災害の発生状況を時系列的に整理する。
- ② 過去に九州に接近した台風について、観測データ及び数値予報 GPV を用いて台風の三次元構造の変化を解析する。

### 本年度の成果

- ① 過去3年間の九州接近台風、及び過去10年間に顕著な災害をもたらした九州接近台風について調査を行った。過去10年間に台風に伴って生じたとされている16事例の突風害のうち、竜巻とされているものは14事例あった。突風害のほとんどが9～10月の台風に伴うもので（8個中7個）、16事例の突風害のうち13事例が台風の進行方向の前方右側、3事例が前方左側で発生した。また、台風中心近傍で発生したのは、わずか1事例（北西側15km）であり、その他は全て台風中心から約200km以上離れた地点で発生していた。
- ② 2006年台風第13号について、現業予報作業資料（レーダーエコー図、雲画像、高層天気図等）の特徴から台風の構造変化段階を Klein et al. (2000) の定義に基づき3つのステージに分けた。そして、それぞれのステージにおける三次元構造についてメソ解析（MANAL）GPV を用いて解析し、突風害・塩風害の発生との関係について考察した。突風害は、第1ステージから第2ステージに移行する頃に、台風の進行方向右側前方で発生した。これは、温帯低気圧化の構造変化段階において、中層乾燥空気の流入によって、進行方向右側前方に対流不安定層を形成していた可能性があり、突風害の発生しやすい成層状態が温低化に伴う構造変化によって形成された可能性があることがわかった。塩風害は、第2ステージの段階で台風中心が通過した地域（山口県、福岡県、佐賀県、長崎県）で発生した。塩風害は降水が少なく強風となった地域で発生することが知られており、このときも台風中心南側の地上では降水がなくなり10分間平均風速20m/s前後の強い風が吹いていた。メソ解析では台風南側で中層～下層まで乾燥空気の流入があり、降水域の消失に結びついた可能性がある。

### 関連論文

---

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

研究期間：平成19年度～平成20年度

研究代表者：瀬古 弘（予報研究部 第二研究室 主任研究官）

研究担当者等：大阪管区気象台（気候・調査課、予報課、観測課）

彦根地方気象台、京都地方気象台、奈良地方気象台、和歌山地方気象台、鳥取地方気象台、松江地方気象台、広島地方気象台、徳島地方気象台、舞鶴海洋気象台、神戸海洋気象台

### 目的

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

### 本年度の計画

- ① 線状降水帯の事例を選定する。
- ② GPS データや動径風データから、可降水量分布や風の3次元分布を作成する。
- ③ これらのデータやアメダス・地上データを使って解析し、個々の降水帯の構造や維持機構を見出す。
- ④ 非静力学モデルなどを用いて再現実験を行う（必要があればデータ同化を行う）。

### 本年度の成果

- ① 気象研究所以外の官署毎では1～2事例の線状降水帯を選定し、メイリングリストや大阪管区内のホームページを用いて情報交換を行いつつ、解析を進めた。
- ② 成果①で選定した事例について、気象研究所と大阪管区気象台気候・調査課が協力して、ドップラーレーダやGPSなどの新しいデータを取得した。GPS可降水量は、管区気象台気候・調査課を通じて地方官署に配布した。

- ③④ 官署毎に1～2事例の線状降水帯を選出し、降水帯の解析を進めた。ここでは、気象研究所の成果について報告する。気象研究所では、昨年まで解析を進めてきた2003年4月8日の線状降水帯について、地形の影響や線状降水帯付近の環境の影響を調べるために、以下の感度実験等を行った。

- ・領域全体の地形や四国の東部や淡路島の地形を取り除いた実験や、領域全体の地形を南北にずらした実験を行って、線状降水帯の地形に対する影響を調べた。
- ・モデルの予報値から、降水帯周辺の南からの下層風の風速や湿度を変えた模擬データを作り、メソ4次元変分法を用いてデータ同化を行って、これらの環境の影響を調べた。
- ・モデルで予報値から、線状降水帯が発達している時の降水帯周辺の成層を数十点取り出し、その成層を一様に与えて、成層毎の地形に対する寄与を調べた。

これらの実験から、上記の事例では、南の気流を湿らせたり、中層の気塊を湿らせたりすると線状降水帯の降水量が増加すること、強い降水帯の形成には、降水帯周辺の南西風と南風の収束が特に重要であり、紀伊水道と瀬戸内海という収束を生みやすい地形が降水帯の位置を決める上で重要であることがわかった。また、2003年4月8日の線状降水帯のほかに、地形の効果が特に大きいと考えられる1994年9月に発生した伊丹豪雨について、JRA-25再解析データを用いた数値実験を行い、今後詳細に解析する予定である。

### 関連論文



## 非降水エコーの出現状況の把握と利用可能性に関する研究

研究期間：平成19年度～平成20年度

研究代表者：楠 研一（台風研究部）

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

### 目的

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

### 本年度の計画

- ① 非降水エコー出現にかかわるデータベース構築
  - ・発生日時の抽出  
レーダーアメダスによる降水有無チェック／顕著事例ピックアップ
  - ・データ収集  
アメダス、地上気象、ACARS、ゾンデ等のデータを収集する。
  - ・出現についての統計調査  
非降水エコーの日変化、季節変化／鉛直・水平分布／形状、反射強度特性を調査する。
- ② 気象現象との関連性の調査と解析
  - ・事例の詳細解析

### 本年度の成果

- ① 晴天ウィンドシアや雷雨発生前（晴天時）の風場を高い時間・空間分解能で把握することは防災上あるいはデータ同化の観点から重要であり、そのためにはドップラーレーダーで観測される非降水エコーの利用が有望である。しかし非降水エコーの出現状況が不明なことが、非降水エコーの利用の支障となっている。そのため非降水エコー出現の統計的特徴を、新千歳航空測候所、成田航空地方気象台、中部航空地方気象台、福岡空港測候所にある4機の空港気象ドップラーレーダーのデータで取りまとめた。本年度は、まず2005年6月～11月（6ヶ月間。福岡航空測候所のみ2005年8月～2006年1月）についての調査で以下のことがわかった。

- ・水平分布  
出現した非降水エコーの頻度分布を調査した結果、その出現領域は陸上中心であり、海上にはほとんど出現しないことがわかった。
- ・非降水エコーの日変化の特徴  
6ヶ月間に出現した非降水エコーについて、1日あたりの出現頻度を1時間間隔で時刻ごとにまとめた。その結果、非降水エコーは基本的には日中に出現することがわかった。さらに、その出現は日の出時刻、消滅は日の入時刻とほぼ一致した。また日中の出現とは別に、日の出、日の入前後の薄暮期に別な出現ピークをもち、日変化としては2～3つのピークをもつ特性があることもわかった。
- ・季節変化の特徴  
暖候期には、非降水エコーは非降水時のうち30～80%（日中は80%前後）出現する反面、11月以降はほとんど出現しないことがわかった。
- ・地上気象との関係  
空港気象ドップラーレーダー近傍のアメダスデータおよび、官署データをもとに、非降水エコーの出現と地上気象との関係を調査した。その結果、非降水エコーは気温と風速に大きく依存し、低温時および強風時には出現頻度が減少することがわかった。

#### ー現業利用に関する留意事項ー

- ・非降水エコーは豊富に出現するため、将来の晴天大気モニターの現業化の潜在的なポテンシャルを持つ。
- ・出現特性に関連し、現業利用の制限があることが示唆された。  
# 利用領域は陸上のみ。

# ほぼ日中に限られる。

# 風速が強い、あるいは気温が低いと出現しない。従って、空港気象ドップラーレーダーにて、非降水エコーを現業利用する場合は、地上気温や風速などを同時にモニターして品質管理する必要がある。

② 顕著な現象について数事例を収集した。詳細な解析は来年度実施する。

#### 関連論文

---

## ラドン壊変生成物による降水時の高ガンマ線量率事象解明に関する研究

研究期間：平成17年度～平成19年度

研究代表者：千葉 長(気候研究部 第五研究室長)

研究担当者：佐々木秀孝(環境・応用気象研究部)、五十嵐康人、廣瀬勝巳、青山道夫(地球化学研究部)

### 目的

近年、福島県や茨城県の原子力施設及び周辺で観測されているラドン壊変生成物による降水時の高ガンマ線量率事象について、メカニズムの解明や人為的原因との識別のための基礎データの提供を目指す。

### 本年度の計画

- ① ラドン散逸量の経年変化を入れた放射性核種移流拡散モデルによる実験。
- ② 日本全域および外国におけるモニタリングデータの収集と解析。
- ③ 研究のまとめ。

### 本年度の成果

- ① ・ラドン-エーロゾル変換過程の数値モデルを組み込んだ放射性核種移流拡散モデルによる実験  
気象研究所全球エーロゾル輸送モデル(MASINGAR)に名古屋大学で作成された地表面からのラドン散逸量マップを組み込み、ラドンの輸送実験を行った。一方、地表面からのラドン散逸率を地域、季節に関わらず一定とした実験も行い両者を比較した。ラドン散逸量マップを組み込んだ実験結果の方が一様放出の場合に比較して、ラドン散逸量の季節変化を反映して、東アジアでは秋から冬に大気中ラドン濃度の増加が顕著となり、その結果降水に伴うラドン壊変物質の地表面への効果量も増加することが明らかになった。さらに高緯度では積雪や地面の湿潤の度合いが大きいほどラドン散逸量の減少が見られ、冬季日本付近では北方から流れてくる空気塊のラドンが少なくなることを明らかにした。  
・観測結果によるモデル検証のための評価手法の検討  
富士山頂で実施した大気中ラドン濃度の通年観測データの提供をうけ(島根県衛生科学研究所)、これとシミュレーション結果を比較した。両者は季節によっては違いが見られるものの良い一致を示し、特に冬季と6、7月に顕著に一致していた。大気中水蒸気量とラドン濃度の相関を調べると、冬季、11月～3月は正相関、4～10月の暖候期は無相関となった。冬季は南西方向からの風が吹くときにラドン濃度、水蒸気濃度が高く、北西もしくは北の風の場合には低くなる。また鉛直流の寄与も大きく、北西もしくは北寄りの風の場合には下降流が卓越し、ラドン、水蒸気共に少なくなる。暖候期には大陸で発生したラドンは北方に多く輸送され、かつ上層に運ばれている。日本付近が高気圧に覆われ下降流が卓越するときには上層から高濃度のラドンを含む空気塊が降りてくるが水蒸気は少ない。また南東、もしくは南風の場合、海洋性の気団が日本を覆うため、ラドン濃度は小さいが水蒸気が多くなる。このほかにも暖後期にはさまざまな大気の循環が現れるため、ラドン濃度と水蒸気濃度の関係は寒候期のようにわかりやすい関係になっていない。
- ② ラドン大気中濃度のデータベース作成及びラドン発生量マップの改良  
・東アジアラドン観測ネットワークによる観測を継続し、大気中ラドン濃度データの取得とデータベースへの追加を行った。  
・2000年から2004年までの5年間についてJRA-25再解析データで得られた月平均土壌データを用い、各月のラドン散逸量を評価した。得られた結果は総量としては気候値を用いて評価したラドン散逸量と同程度となっているが季節変化特性に大きな違いが見られた。特にアジア域では秋から冬にかけてラドン散逸量が最大となり、これは中国、韓国などでの地表面でのラドン濃度観測のデータの季節変化と一致する。
- ③ *J. Geophys. Res.*誌に①及び②の成果をまとめた論文原稿を作成している(平成20年4月投稿)。

### 関連論文

82-1

## 放射性降下物の長期変動と再浮遊に関する研究

研究期間： 平成18年度～平成22年度  
研究代表者： 五十嵐康人（地球化学研究部 第二研究室 主任研究官）  
研究担当者： 青山道夫、廣瀬勝己（地球化学研究部）

### 目的

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。

### 本年度の計画

- ① 昨年度に引き続き、粒子状中長半減期人工放射性核種（ $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\text{Pu}$  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 表土試料を空気力学的に分粒する装置を整備する。
- ④ 大陸表土試料の入手を開始する。

### 本年度の成果

- 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（ $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  等）、天然放射性核種および超ウラン元素等についての月間降下量の精密観測を継続した。2000年代のバックグラウンドレベルとなるベースラインデータを2006年までのデータ取得した。
- ② つくば市および榛名山にエアロゾル観測機器を設置し、粒径別個数濃度の観測を実施しデータを取得した。
  - ①、②に加えて個別降水の事例観測を行った結果、下記が明らかになった。
    - ・2007年春季の観測の結果、人工放射性核種を輸送した確実な黄砂沈着事例を見いだした。特に4月2～4日の降水は、重量、放射性核種の月間降下量の30～60%を占めた。また、4月のダストの沈着は、湿性沈着が主体だった。
    - ・沈着した人工放射性核種の比放射能、組成比はいずれの降水でも、2000年代に収集したつくば表土とは異なる特徴を示した。
    - ・比放射能、放射能組成比データからは、つくばにおいても従来の黄砂と発生源が異なる「新型黄砂」の影響がうかがえた。各降水事象は局所的なものではなく、我が国の一定の範囲に同様の性質の風送ダストが沈着したと考えられる。個別降水事例で具体的に長距離再浮遊の影響を確認できた。
  - ③ 表土試料を空気力学的に分粒する装置を整備する準備を開始した。
  - ④ 長距離輸送される再浮遊成分の発生源情報を得るため、風送ダストの発生地域のアジア大陸で表層土壌試料を採取した。このサンプリングは、「新型黄砂」が発生していると考えられるモンゴル国で、モンゴル気象水文学研究所と（独）農業環境技術研究所からの協力を得て実施した。

### 関連論文

104-3

## 海洋環境における放射性核種の長期挙動に関する研究

研究期間：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：廣瀬勝己、緑川 貴、五十嵐康人（地球化学研究部）

### 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。

人工およ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。

### 本年度の計画

- ① 北太平洋での試料採取および試料の前処理を行う。
- ② 深層水の極低バックグラウンドでの精密測定を継続する。
- ③ HAM データベース（過去の海水における人工放射能データベース）を更新する。
- ④ 1945年からの時空間変動の再解析準備（最新データの準備）。
- ⑤ 粒子状物質によるプルトニウムの輸送過程についての研究。

### 本年度の成果

- ① 北太平洋での試料採取および試料の前処理を行った。
- ② 深層試料について、新しく開発したカリウム40を除去する方法で極低バックグラウンドでの測定を継続し、P3再観測（太平洋北緯24度線）での約100試料について値を得た。1000m以浅の試料についても測定をおこない、約100試料について値を得た。
- ③ HAM データベース（Aoyama and Hirose, 2004）として公表してきたデータベースの更新を行い、国際原子力機関と協力して太平洋中心であったデータベースを全球へ拡張した HAM2007 Global Version を作成した。
- ④ 北太平洋中緯度海洋表面に降下した人工放射性核種は、サブダクションによる亜表層から中層における南向きの内部輸送により中緯度から低緯度側へ輸送され、2002年には東経165度線では北緯20度付近の深さ250mおよび400-500m付近に極大を示すことが明らかになり、論文として公表した（Aoyama et al., 2008）。これは、すでに明らかにしてきた<sup>137</sup>Cs蓄積量でみたときに南側への輸送がおきていることと一致していた（Aoyama and Hirose, 2001, 2003）。亜熱帯循環域から太平洋赤道域に輸送されたものは、さらに海洋の表層大循環に乗って、南太平洋、インド洋および南大西洋に輸送されていることも明らかになった。
  - ・北緯24度線上の日付変更線付近で深さ300mを中心に極大を示すことがわかった。この極大は、165度線上で見える極大とつながっており、亜熱帯循環域での<sup>137</sup>Csの3次元構造が明らかになった。
  - ・1990年代後半までは、すでに報告したように（Aoyama et al., 2006; Hirose and Aoyama, 2003 ; 青山・廣瀬, 2006）、表面海水中<sup>137</sup>Csの濃度は見かけの半減時間15.7年で減少しているが、最近の10年間を見ると見かけの半減時間が27年とほとんど減少していないことがわかった。大気側からの新たな供給がない状況で、海洋表層での<sup>137</sup>Csの濃度を維持するためには、相対的に高濃度の海水の移流が<sup>137</sup>Csのソースとして必要となる。すでに、亜熱帯域で半減時間が長くなることは報告しており（Aoyama and Hirose, 2004）、サブダクションによる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効果によることを明らかにしている。今回見られている濃度が減少しない現象は、海洋表面に降下したのち南向きに輸送された<sup>137</sup>Csの一部が表層にもどり、亜熱帯循環（黒潮）に乗って再び日本周辺に輸送されてきたためと推測した。
- ⑤ 南太平洋中緯度域の表層のプルトニウムの濃度分布をもとめることができた。この海域のプルトニウム濃度は北太平洋中緯度域と同程度ないしやや低いことが分った。

### 関連論文

4-1, 4-8, 104-1, 104-2

## 渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究

研究期間：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）

### 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。

### （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

研究担当者：藤部文昭（予報研究部）、高橋清利、仲江川敏之（気候研究部）

#### 本年度の計画

- ① 前年度に引き続き、過去の渇水時のデータに基づく気象条件とダム貯水量の関係、及びメソスケールの降水量変動とそれに関わる天気パターン・大規模循環場の解析を行う。その結果に基づき、人工降雨・降雪が有望な地域・時期について検討する。
- ② 大気モデルや大気・海洋結合モデルによる予測実験に基づき、渇水・少雨の予測可能性を検討する。また、少雨持続のメカニズムや、その地域性・季節依存性が生じるメカニズムを大規模循環場の観点から調べる（富山大の協力による）。

#### 本研究の成果

- ① 全国的主要なダムについて降水量とダム貯水量の変動関係を調べ、早明浦ダムにおける渇水頻発の背景要因として、早明浦ダム周辺は降水の定常性に乏しいこと、早明浦ダムは貯水量を維持するために多く降水が必要であり、少雨時の貯水量の減少が急であることを示した。
- ・前年度に行ったEOF解析による月降水量パターンと各地域の降水量変動との関係を調べ、EOF解析の主要モードでかなりの地域の月降水量変動が説明されることを確認した。この主要モードに伴う日本付近の気圧場等の状況を調べ、梅雨パターンと台風接近パターンが主要モードの変動に関係することを確認した。
- ② 利根川上流ダム群を対象として、観測データの解析と大気・海洋結合モデルによる季節予報実験から渇水傾向の検出がアンサンブル平均として、即ち決定論的に可能かどうかを調査した。観測値の解析結果から、利根川上流では、8月ダム貯留量は、冬季からの積算流入量との相関が高いことが示されたので、X月（X=2～8）から8月までの積算流入量の予測値を観測値で検証したところ、3月から8月までの予測値のみが、予測を全く利用しない時よりも、有用な情報を含んでいることが示された。

#### 関連論文

### （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

研究担当者：高山陽三、増田一彦、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）

#### 本年度の計画

- ① 引き続き寒候期モニタリング観測と3週間程度の集中観測を実施し、東北大学が別副課題で開発した雲構造観測手法の検証を行う。
- ② 衛星による雲物理パラメータ抽出アルゴリズムの改良を図る。
- ③ シーディング時、レーダー等観測を実施しデータを収集する。効果検出手法の改良を行う。
- ④ ライダーの製作に着手する。

**本研究の成果**

- ① 天頂型 X バンドレーダーの取得・調整、小型 X バンドレーダーのデータ表示プログラムの作成・ディストロメータによる校正・データ配信プログラムの開発を行った。11 月に冬季観測サイトへ小型 X バンドレーダー、天頂型 X バンドレーダー、マイクロ波放射計を設置し、データ収集を行った。また 12 月 21 日以降は天頂型 X バンドレーダー、マイクロ波放射計、(株) 三菱電機特機システムがこの副課題で開発中の FM-CW 型 Ka バンドレーダーによる寒候期モニタリング観測を継続しデータの取得を行った。
- ② 前年度 2 月の観測時の GMS データを収集し、 $3.7\mu\text{m}$  と  $11\mu\text{m}$  のデータを用いて水雲と過冷却雲の空間分布を 30 分間隔で作成した。
- ③ 小型 X バンドレーダーの観測シーケンスについて、高仰角 PPI 観測を増やし、また一定方位の RHI 観測を長時間継続させる改善を行い、シーディングトラックと見られる降雪雲を捉えることができた。
- ④ エーロゾル観測目的のために、ライダーの受信部を、可視 532nm、近赤外 1064nm の 2 波長で観測が出来るようライダーを改造した。

**関連論文****(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**

研究担当者：村上正隆、折笠成宏、斎藤篤思（物理気象研究部）

**本年度の計画**

- ① 引き続き初冬（12 月）に航空機によるシーディング実験と航空機・地上からの雲・降水の直接観測も含めた 3 週間程度の集中観測を実施する。雲の内部構造・降水機構の解明を行うとともに、シーディングに伴う微物理構造の変化、増雪効果を定量化する。
- ② 降水量決定因子を用いた、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。

**本研究の成果**

- ① 初冬の集中観測期間中（12 月の 3 週間）、矢木沢ダム周辺で地上降雪観測・地上からのリモートセンシング観測（副課題 2）と同期した航空機によるドライアイスシーディング実験と雲の直接観測を実施した。
  - ・平成 20 年度から予定している人工降雨実験の準備として、吸湿性粒子フレアーラックおよび吸湿性マイクロパウダー散布装置の取り付け方や散布方法に関する具体的検討を行った。
  - ・リモートセンシング観測（副課題 2）や非静力学モデル計算（副課題 4）の結果と比較・検証できるようにするため、航空機観測データを用いて、シーディングに伴う降雪雲の微物理構造の変化の解析や、増雪効果の定量化を行った。
- ② ひと冬を通した 2 次元数値実験の結果を解析し、ダム集水域の降水量決定因子として風上側の鉛直積分雲水量・雲内平均風速・雪粒子数濃度などが有望であることが分かった。

**関連論文**

123-1

**(4) 数値モデルを用いた人工降雨・降雪に関する研究**

研究担当者：加藤輝之、大泉三津夫、永戸久喜、林 修吾（予報研究部）、  
田尻拓也（物理気象研究部）、岡田菊夫、財前祐二（環境・応用気象研究部）

**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  
暖候期のダム域を対象に 1km 分解能の非静力学モデル(1km-NHM)を実行し、シーディングに適した雲の出現頻度について調べる。2005 年度を対象に、12~3 月を通したモデル計算によるシーディング実験を行い、シーディングによる降水量の定量的な評価を行う。副課題 2、3 から得られる観測

データを用いて 1km-NHM の予報精度を検証し、NHM の改良を行う。吸湿性エアロゾル（雲核）から雲粒子・降水粒子までをカバーするビン法雲物理モデルを開発し、NHM に組み込む。

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

吸湿性エアロゾル（雲核）から雲粒子・降水粒子までをカバーするよう詳細雲物理ボックスモデルを改良する。雲生成チェンバーや詳細雲物理ボックスモデルを用いて、いろいろな大気中エア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（粒子）の物理化学的特性を同定する。

### 本研究の成果

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

- ・2007年5～7月の九州・四国域を対象に1km-NHMの降水予報精度をアメダス雨量と比較したところ、総降水量の分布はほぼ良い再現性があることを確認した。ただし、停滞性降水の数例の事例について予想できなかった。また、シーディングに適した雲の出現頻度について調べた結果、四国では早明浦ダム周辺も含め山岳部で高出現頻度域が解析された。
- ・簡易的な最適シーディング法を開発し、これを用いて1km-NHMによるひと冬を通したシーディング実験を行い、ダム集水域での増雪効果を定量的に評価した。その結果、約2割程度の増雪効果が得られることが分かった。さらに最適シーディング法の改良が必要であることも分かった。
- ・ダム域を中心とした小領域を対象にシーディング無しとありの実験を1km-NHMを用いて実行し、シーディング効果の予測値を観測支援資料の一部として提供できるシステムを整備した。
- ・NHMに組み込むためのビン法モデルのビン解像度依存性を評価した結果、ビン・時間分解能ともに、モデル結果にほとんど影響を与えないことが分かった。

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

- ・吸湿性粒子シーディングチェンバー実験を随時行えるようになり、吸湿性粒子（主にNaCl）の種類や導入量（数濃度）、大気環境の初期条件を変化させた実験事例を積重ねた。
- ・吸湿性粒子の粒度や化学組成を同定するため、試料サンプリングおよび電子顕微鏡解析を行い、吸湿性粒子の他に固結防止剤の化学組成に関する情報を得た。
- ・チェンバー実験と比較するため雲物理ボックスモデルを用いて、雲核粒径分布の初期値を室内実験値に合わせた数値実験を行った。
- ・チェンバー実験と雲物理ボックスモデル数値実験結果から、雲粒生成開始から100秒程度で雨の芽として働く直径30ミクロン程度の雲粒が生成し、雲粒発生初期段階におけるシーディング効果が確認された。

### 関連論文



## スマトラ型巨大地震・津波被害の軽減策

研究期間：平成17年度～平成19年度

研究担当者：吉田康宏、小林昭夫、平田賢治（地震火山研究部）

### 目的

歪観測による破壊様式の解明 スマトラ型巨大地震に伴う災害の軽減策を、我が国の地震・津波・防災関係者が連携して提言する。また、日本の地震・津波・防災研究者がリーダーシップをとり、アジアの関係者とも連携して実施することにより、我が国が国際社会における地震・津波防災の中核拠点となることを目指す。

### 本年度の計画

#### ① 歪観測による破壊様式の解明

日本付近で起きた地震やスロースリップに開発したプログラムを適用し、メカニズム解の推定を行う。研究のとりまとめを行う。

#### ② 津波の発生・伝搬過程を考慮した津波予警報システムの検討

- ・海底地形データの高精度化作業を継続する。
- ・津波数値シミュレーションを行い、破壊伝播などによって津波の発生・伝播がどのような影響を受けるのかの基本的な検討を継続する。
- ・結果をとりまとめ、将来の津波予警報システムの能力向上案について検討する。

### 本研究の成果

#### ① 歪観測による破壊様式の解明

- ・2006年と2007年に千島列島で起きた2つの巨大地震について歪計を用いて、震央の位置が早期に推定できることを確かめた。また、歪計から震源時間関数を求める手法を用いて、2つの地震は同じ規模であるのに、継続時間が違うことを確認した。
- ・歪計は短周期側では約10秒まで記録しているが、従来の方法では約30秒までしか計算できなかった。そこで、周期10秒まで計算できるようにし、これによってM7以下の中規模の地震についても理論波形と計算波形を比較して、細かい部分まで議論できるようになった。

#### ② 津波の発生・伝搬過程を考慮した津波予警報システムの検討

数値シミュレーションに基づき、スマトラ沖地震の際の、地震の破壊伝播速度と津波振幅の関係を検討した。その結果、地震の破壊伝播速度が遅くなればなるほど津波の振幅が大きくなり、例えば、スマトラ・ニコバル海溝沿いの仮想巨大地震（長さ500km）からスリランカ沖に到達する津波の振幅は、破壊伝播速度2.5km/secで+14%、1.0km/secで+38%も、それぞれ増加する現象が数値的に認められた。すなわち、破壊伝播速度が1.5km/secよりも遅い、津波地震のようなスロー地震の場合に破壊伝播の影響は無視できない。また、通常の破壊伝播速度を持つ「通常の地震」の場合でも津波振幅は場所により10%前後増加することがわかった。

### 関連論文

102-4, 102-5

## 東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究 実用モデル開発・応用実験

研究期間：平成19年度～平成21年度

研究担当者：齊藤 和雄、瀬古 弘、林 修吾、川畑拓矢（予報研究部）、國井 勝、  
上野 充（台風研究部）

### 目的

近年、東南アジア域においても、地球規模の気候変動との関連や経済活動高度化に伴う社会の脆弱化によって、熱帯低気圧やスコールラインなどに伴う暴風雨災害が増加しつつあり、このような社会的経済的に影響の大きい気象災害の予測・低減が急務となっている。

本研究では、東南アジア地域での高分解能なダウンスケール数値天気予報実験を国際的連携の下に継続実施して、気象災害、特に集中豪雨災害の軽減に資する対策判断支援システムを構築することを目的とする。

本研究は、東南アジア諸国における我々の大気科学研究の協力・連携を強化し、オープンで対等な官・学の多層的パートナーシップの構築を通して、東南アジア域さらには熱帯域、全地球的な気象災害軽減に資するための「東南アジア地域気象災害軽減国際共同研究推進ネットワーク」の立上げを行う。

### 本年度の計画

- (1) 気象庁メソモデルの精緻化と検証予報実験
  - ① 雹まで含んだ4-iceスキーム雲物理過程を用いた予報実験とその検証を行う。
  - ② 気象庁メソモデルを熱帯域に応用し台風発生実験を実施する。
  - ③ 気象庁全球アンサンブル予報による摂動を用いたダウンスケールアンサンブル実験を実施し、結果の検証を行う。
- (2) メソモデル国際共同研究のための環境整備
  - ① 気象庁メソモデルの汎用的な実行に必要なモデルデータ処理ツール等を整備する。
  - ② 気象庁メソモデルの英文ドキュメントを整備する。
- (3) メソモデル用データ同化システムを用いた熱帯域同化実験
  - ① 熱帯域メソ4次元変分法の計算領域の設定と背景誤差相関の統計計算を行う。
  - ② 熱帯域メソ4次元変分法の制御変数の最適化を行う。
  - ③ 台風ボーガスデータ検証用の観測データの収集。

### 本研究の成果

- (1) 気象庁メソモデルの精緻化と検証予報実験
  - ① 気象庁メソモデル(NHM)の精緻化として、雹まで含んだ4-iceスキーム雲物理過程を用いた予報実験を行った。4-iceスキームの安定実行にはまだ問題があることが分かり、今後、問題点の改善及び高速化を引き続き行う。
  - ② NHMの熱帯域への応用実験として、2004年10月台風22号の発生予報実験を行った。気象庁全球解析、JRA-25再解析データを用いて、台風が組織化してボーガスデータが解析に入るようになる前後の段階からモデルを実行し、NHMが積雲群の組織化と台風の発生をシミュレートできることを確認した。また気象庁全球解析に水平解像度5kmのNHMをネストして2006年12月や2007年2月のジャカルタの豪雨や2005年7月のムンバイの大雨の再現実験を行い、強雨や強風の発生に良い再現性を得た。
  - ③ アジア域ダウンスケールアンサンブル実験に向けた予備開発として、気象庁全球週間アンサンブル予報による摂動を用いた15km解像度NHMによるダウンスケールアンサンブル実験システムを構築した。2006年8月8日～20日を対象とし、日本域で11メンバーのアンサンブル予報を実行した。その結果、地表気象要素の予測において、アンサンブル平均はコントロールランの精度を上回ることがわかった。また、降水予測に関しては、アンサンブル平均のバイアス特性は弱い雨を過剰に、強い雨を過少に評価するものの、雨量強度1～20mmの広い範囲でスレットスコアが改善しており、アンサンブル予報の有効性が確認できた。
- (2) メソモデル国際共同研究のための環境整備
  - ① NHMによる予報実験としては、これまで気象庁メソ解析を初期値として気象庁領域モデルの予報値

を境界値に与える実験が多く行われてきたが、NHM の利用を通じた国際共同研究推進のためには、日本域以外で NHM が汎用的に実行できる環境を準備する必要がある。今年度は海外研究者にも利用可能な公開データとして、米国環境予測センター(NCEP)の全球解析値および予報値を気象庁数値予報課の標準データセットシステム NuSDaS 形式のファイルに変換し、現業メソ数値予報で用いられている前処理ツールを適用して初期値・境界値を作成し NHM を実行出来る環境を整備した。また同様に気象業務支援センターや JRA-25 再解析データも NuSDaS 形式に変換して NHM を実行するツールのテストおよび改善を行った。

- ② NHM の国外利用を進める場合の必要となる英文ドキュメントの整備に着手し、実行時の設定を行う Namelist パラメータ等の解説を英語化した。公開データから実行する時の簡単なユーザズガイドの英語版を作成し、実行環境をまとめた CD-ROM を作成した。また本研究の海外研究者向け英文ホームページを作成し、気象研究所ホームページで公開した。

(3) メソモデル用データ同化システムを用いた熱帯域同化実験

- ①② 熱帯域でのメソスケールデータ同化を可能とするためにメソ 4 次元変分法を熱帯域に適用するための実験環境の構築に着手した。今後熱帯域同化のための制御変数の最適化を行う予定である。
- ③ 数値モデルで台風を予測する場合の初期場改善のための方策として、台風ボーガスが用いられるが、その改善のため 2004～2007 年の 4 年分の観測データを収集した。今後、収集した観測データについて台風ボーガスを検証できる形に編集する予定である。

## 関連論文

---

## 竜巻等の実態および発生予測と対策

研究期間： 平成19年度

研究担当者： 加藤輝之（予報研究部）、益子 渉（台風研究部）、鈴木 修、中里真久、山内 洋、猪上華子（気象衛星・観測システム研究部）

### 目的

竜巻やダウンバーストなど極めてローカルではあるが激しい気象擾乱は我が国で年間 20 件程度発生しており、人的被害や建築物や鉄道への被害は少なくない。これらは通常の観測網では捕捉することが難しく、発生メカニズム、発生頻度、被害実態などの詳細は分かっていない。予測ができないため人的被害の率も高い。これら突風の発生機構および被害実態の調査研究、発生を予測するための技術の開発を行い、突風防災の一助とする。

### 本年度の計画

#### （1）竜巻を生み出す環境場及び竜巻の発生機構の研究

- ① 気象研究所で開発された雲解像モデル（CRM）を用いて、実際に観測された事例（2006年の佐呂間・延岡）で低気圧・台風スケールといった大規模な環境場から竜巻までのシミュレーションを行い、その発生機構を調べる。
- ② 客観解析データを用いて竜巻の発生しやすい環境場を明らかにすることでサブテーマ（2）の竜巻等の発生のポテンシャル予測に対する知見を与える。
- ③ 研究のとりまとめを行う。

#### （2）竜巻等の発生予測手法及び監視技術の開発

- ① 竜巻等の発生ポテンシャルの予測可能性に関する研究
  - ・新たな大気環境パラメータの開発。
  - ・竜巻等突風に関するデータベース中の事例について、大気環境パラメータを用いた予測の可能性について調査し、検証を行う。
- ② 単ドップラーレーダーによる竜巻等発生の予測可能性に関する研究
  - ・メソサイクロン検出アルゴリズムの改良を行う。
  - ・複数の空港官署の数年分のドップラーレーダーデータにメソサイクロン検出アルゴリズムを適用し、検証を行う。
  - ・検出されたメソサイクロンの何%が竜巻を伴っていたか、メソサイクロンの検出が竜巻等の発生に対してどれくらいのリードタイムを持っているかを統計的に明らかにする。

### 本研究の成果

#### （1）竜巻を生み出す環境場及び竜巻の発生機構の研究

- ① 佐呂間竜巻について、水平分解能 250m の CRM を用いて竜巻をもたらした親雲の発生・維持機構について調べた。再現された親雲は 0.01/s 以上の強い鉛直渦を持つ強い上昇流と顕著な下降流を対として持ち、2 時間以上持続していたことからスーパーセルと判断した。また、水平分解能 50m の CRM では竜巻が観測された位置から 5km 以内の場所に渦度 0.6/s 以上の強い鉛直渦度をもつ竜巻類似の渦の再現に成功した。
  - ・延岡竜巻について、水平分解能 50m の CRM を用いて数値シミュレーションを行った。その結果竜巻そのものの再現に成功し、再現された竜巻の構造と発生過程に関して調べた。再現された竜巻は、地表付近で鉛直渦度が 1.0/s に達し、直径は約 500m とかなり現実の竜巻に近いものであった。竜巻は進行方向右側でのみ風が約 50m/s と強くなっており、顕著な非軸対称構造をしていた。竜巻はスーパーセルに伴う後方ガストフロント上で発生し、それに沿って移動していた。
- ② 気象庁領域客観解析データ（RANAL、水平分解能 20km、時間分解能 6 時間）を用いて竜巻の発生しやすい環境場を統計的に調査した。対流有効位置エネルギー（CAPE）・ストームに相対的なヘリシティ（SREH）・鉛直シアエネルギー・下層の鉛直シアおよび相対湿度を主な統計量とした。
  - ・2004～2006 年に日本付近で観測された強い竜巻の複数の事例に対して、水平解像度 5km の気象庁非静力学モデルおよび水平解像度 1km の CRM で竜巻をもたらした積乱雲の再現を試み、その再現の可能性を検討した。また、RANAL と比較することで、竜巻が発生する環境場の特徴の水平分

解能および時間分解能依存性を調べた。

(2) 竜巻等の発生予測手法及び監視技術の開発

- ①・2001年から2007年の間に発生した竜巻等突風について、竜巻等の突風データベース（気象庁HP）に記載されている発生日（188日分）の客観解析データ（RANAL）を用いて、新たに開発したパラメータを含む44種類の環境パラメータを計算することにより、ポテンシャル予測能力の統計的検証を行った。
  - ・上記の統計的検証を進める中で、融合型経常研究で開発したいくつかの環境パラメータが竜巻発生位置付近（水平拡がり100km程度かそれ以下）で特異な値を取る傾向にあることが分かってきた。
- ②・ドップラーレーダーデータから、メソサイクロンを用いて自動検出するアルゴリズムを改良した。また、GUI機能を備えたメソサイクロンの解析ツールの開発を行った。
  - ・年間を通した発生状況の確認のため、2004年について、羽田・成田・千歳・那覇の各空港気象ドップラーレーダーの1年分の全データをデータベース化し、開発したメソサイクロン検出アルゴリズムの実行とその結果の解析を行い、アルゴリズムの性能向上の確認（誤検出の減少と検知性能の向上）、検出された小スケールの渦（すべてがメソサイクロンとは限らない）に関する統計的調査を行った。
  - ・研究期間中に発生した竜巻等の事例について、9月14日午後には秋雨前線の延岡市で現地調査を行い、漏斗雲の発生を確認した。3月28日の鹿児島県の串木野市及び垂水市で発生した竜巻の現地調査を行い、エコーとの対応、被害状況・発生位置・移動速度・直径等が判った。

関連論文

---

## エアロゾルによる放射強制力の変動及びメカニズムの実態解明に関する研究

研究期間：平成17年度～平成19年度

研究代表者：内山明博（気候研究部 第三研究室長）

研究担当者：山崎明宏、工藤 玲、千葉 長（気候研究部）、  
青木輝夫、田中悦子、朽木勝幸（物理気象研究部）、田中泰宙（環境・応用気象研究部）

### 目的

エアロゾルが直接及び間接的に放射強制力へ影響をもたらすメカニズムを明らかにするとともに、そのメカニズムを考慮した放射物理モデルを数値モデル（大気大循環モデル+エアロゾルモデル）に組み込み、放射強制力のより信頼度の高い変動実態を明らかにすることによって、地球温暖化の予測精度向上に資する。

### 本年度の計画

- ① 地表面での放射とエアロゾル特性の観測  
観測を継続して観測事例を増やす。湿度特性のパラメータ化の改良を行う。エアロゾルの光学特性の湿度依存とその放射効果についてまとめる。
- ② エアロゾル-雪氷相互作用に関する観測  
観測を継続し、観測事例を増やす。衛星データから積雪不純物濃度を抽出し、化学輸送モデルまたはオフラインモデルで予想した積雪不純物濃度とアルベドを広域で検証する。また、モデルで計算したエアロゾル沈着量、アルベド、不純物濃度を実測値で検証する。
- ③ 数値モデル計算によるエアロゾルの放射強制力への影響評価  
気候形成への影響評価、地球規模の放射収支の評価を行い、結果をまとめる。

### 本年度の成果

- ① 地表面での放射とエアロゾル特性の観測
  - ・エアロゾル散乱係数の湿度特性の測定を実施した南鳥島（海洋性）、宮古島（海洋性）、つくば（黄砂飛来時）、北京（黄砂飛来時）の観測期間中のデータをまとめた。相対湿度 RH で加湿されている状態での散乱係数 ( $\sigma_{sca}(RH)$ ) と低湿度での散乱係数 ( $\sigma_{sca}(RH \leq 40\%)$ ) の比を growth factor  $f$  と呼ぶ。相対湿度 80% 時の growth factor  $f(80\%)$  ( $f(80\%) = \sigma_{sca}(80\%) / \sigma_{sca}(RH \leq 40\%)$ ) の観測結果と海塩モデル (OPAC: Hess et al., 1998) とダストモデル (ADEC-2: Aoki et al., 2005) との比較を行った。海洋性エアロゾルについて、 $f(80\%)$  の値は、過去にエアロゾル全球シミュレーションで使用されている事例 (Chin et al., 2002) の値より小さかった。また、黄砂については相対湿度の変化に対する光学特性の変化が小さいことが確認できた。黄砂に関する湿度特性の観測例はほとんど無く、貴重な結果を得ることができた。
  - ・海洋性エアロゾルと黄砂の湿度特性の観測結果から、散乱係数の湿度特性のパラメータ化を行った。パラメータ化は、過去の論文で使用されているフィッティング関数を参考に 3 種類のフィッティングを行い、それぞれの関数の係数を決定した。海洋性エアロゾルと黄砂の観測から決められたフィッティング関数は副課題 (2) に提供し、海洋性エアロゾルと黄砂の湿度特性を考慮した一次散乱モデルに反映された。
- ② エアロゾル-雪氷相互作用に関する研究
  - ・2005/2006 年冬期の札幌観測データに対してバルク法により、雪面上の熱収支解析を行った結果、融雪への寄与は短波放射が 7 割以上を占めることが分かった。
  - ・冬期の積雪断面観測から得られた積雪表層のサンプルをフィルターに濾過し、カーボン分析装置とフィルター重量測定によって各種積雪不純物濃度を求めた。その結果、積雪不純物濃度は一般に 12~2 月の積雪期に低く、3 月の融雪期の黄砂後に最大となった。4 ヶ月間の平均値は黒色炭素: 0.48 ppmw、有機炭素: 4.4 ppmw、ダスト: 79 ppmw で、アルベド低下への寄与は積雪期には黒色炭素、融雪期にはダストが主要因であることが分かった。
  - ・2003/2004 年冬期の札幌における積雪断面観測、放射収支観測、カーボン分析装置解析結果の各データを用いて、積雪アルベド物理モデルを検証した結果、可視域アルベドの再現性は良好、近赤外域はやや過小評価であった。この計算結果を用いて、積雪不純物によるアルベド低下がもたらす積雪表面における放射強制力は、12~3 月の 4 ヶ月間の平均値で約  $10W/m^2$  の加熱という結果が得られた。
  - ・副課題 (1) による観測結果に基づき、海塩、ダスト、黒色炭素の各エアロゾルの湿度依存性を計算

し、気候モデル用エアロゾル光学特性データセットを作成した。

③数値モデル計算によるエアロゾルの放射強制力への影響評価

エアロゾルの吸湿性、および雪面への沈着によるアルベド低下の効果をとり入れたモデルを用い、長期積分を行うことによって全球での気候への影響を評価した。

- エアロゾルの吸湿性が放射強制力に及ぼす影響の実験では、相対湿度の上限を 0%、50%、90%とした場合と、相対湿度によってエアロゾルの光学特性が変化する場合とのエアロゾルの放射収支への影響を調べた。実験によるエアロゾルの放射収支への影響の全球平均値は、相対湿度を 0%と仮定した場合は $-0.54 \text{ W m}^{-2}$ 、光学特性が変化する場合 $-1.48 \text{ W m}^{-2}$ となり、相対湿度によるエアロゾルの湿潤効果はエアロゾルの冷却効果を顕著に強めることが明らかとなった。また、特に海塩エアロゾルは吸湿性の影響が大きいと、吸湿性の効果は海洋上で大きくなる。また、東アジアでは海塩の影響に加えて硫酸塩、炭素系エアロゾルも多くなるため、吸湿性の影響は特に大きくなることが示された。
- エアロゾルの雪面への沈着による雪氷アルベド変化による影響を調べる実験では、15年間の積分を行い、黒色炭素と鉱物ダストの積雪アルベドへの影響の有無による大気上端における放射収支差と、地表付近気温への影響を調べた。その結果、エアロゾル沈着による年平均の全球放射収支への影響は雲の影響を含めた場合 $+0.42 \pm 0.35 \text{ W m}^{-2}$ 、雲の影響を除外した場合には $+1.04 \pm 0.20 \text{ W m}^{-2}$ となった。これはエアロゾルの直接・間接効果による放射強制力の値にも匹敵するものであり、積雪へのエアロゾル沈着の影響が無視できない大きさであることを示している。黒色炭素、鉱物ダストの影響はそれぞれ $+0.09 \pm 0.27 \text{ W m}^{-2}$ と $+0.04 \pm 0.30 \text{ W m}^{-2}$ となり、若干の加熱効果を示した。また、この効果は積雪量へのフィードバックの影響が大きく、年々変動が大きいことが示された。

関連論文

1-6, 19-1

## 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

研究期間： 平成18年度～平成22年度  
研究担当者： 松枝秀和、澤 庸介（地球化学研究部）

### 目的

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。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。

### 本年度の計画

- ① 航空機用観測機器 ASE (Automatic Air Sampling Equipment : 自動大気採取装置) で採取された空気の微量気体分析のための自動化を図る。
- ② 日本航空 (JAL) 所有の 5 機に観測機器 CME (Continuous CO<sub>2</sub> Measuring Equipment : 二酸化炭素濃度連続測定装置) と ASE を搭載して観測を実施し、データを収集する。
- ③ 収集された観測データの品質評価手法を確立する。

### 本年度の成果

- ① 航空機搭載用の ASE 装置で採取された空気試料を既存の分析装置に自動で導入するために、試料空気切り替え導入システムを構築し、試験測定を実施した。その結果、目的とする精度の高い測定値が自動制御によって得られることが実証された。これによって、分析処理能力が大幅に改善され、今後の頻繁な観測によるサンプル数の増加にも対応が可能となった。
- ② JAL 所有の 5 機に観測機器 CME と ASE を搭載した観測がほぼ計画通り実施できた。2007 年における ASE による観測は豪州と日本を結ぶ路線において合計 19 回行われた。一方、2007 年の CME による CO<sub>2</sub> 観測は、5 機の合計で 1500 以上のフライトで実施され、アジア・欧州・北米路線で膨大な観測データを収集することに成功した。
- ③ CME によって得られた CO<sub>2</sub> 観測データに対する一次品質評価として、観測装置のセンサーの記録と測定された CO<sub>2</sub> 濃度の異常との対応関係を丹念に調査した結果、データの良否を適切に分別できることがわかった。さらに、二次品質評価として、気象データを利用した渦位解析との対応関係を調査し、成層圏と対流圏データの分別について検討を行った。その結果、渦位解析による手法が空気塊の起源分別に有効であることが確認できた。これらの調査と検証の作業を繰り返し実施することによって、データの一次及び二次品質評価手法をほぼ確立することができた。

### 関連論文

116-1, 116-10



## 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

研究期間：平成18年度～平成20年度

研究担当者：鬼頭昭雄、上口賢治（気候研究部）

### 目的

アジア地域の水資源・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日降水量グリッドデータが必要であり、本研究では、雨量計や衛星の各データを組み合わせることで、地形効果を反映した新たな高解像度降水グリッドデータを作成することを目的とする。

### 本年度の計画

- ① 南アジアの日降水量の検証を行う。
- ② 地形（標高や開放角など）と降水量、及び大気場の関係を詳細に調べる。
- ③ 降水量の第一推定値を決める手法を改善する。
- ④ 統計的降水特性を使って、モデル降水量を推算データとして補完する手法を開発する。

### 本年度の成果

- ① サブグループ1（総合地球環境研究所）が新たに作成した APHRO\_PR(0804)を使い、南アジアについて先行研究プロダクトである Xie and Yatagai (2007)の東アジア域日降水量データ（EA）との比較を行った。主に乾季で EA に見られた異常値は APHRO\_PR では除去されており、雨量値推算アルゴリズムの刷新が有効であることなどが分かった。
- ② EA 及び APHRO\_PR を用いて、気象研究所全球大気大循環モデルの降水量との比較を行った。EA と水平解像度 20km、60km、120km、180km、280km の全球モデルを用いて標高と降水量の関係を調べたところ、20km モデルは降水の場所だけでなく、量も非常に良く再現していることが分かった。また、平均降水量だけでなく強い降水についても、解像度を上げるにつれて EA の鉛直プロファイルに近づく傾向があり、20km モデルは EA と良く一致することが分かった。これらの結果から、山岳降水量を高精度で再現するためには、モデルの水平解像度が極めて重要であることが示唆された。
  - ・ EA と NCEP 再解析データを使い、降水量と下層風の関係を調べた。また同じ解析を全球 20km モデルでも行い両者の結果を比較した。EA では中国東北部の大興安嶺山地やヒマラヤ山脈では、標高の高い方に風が直角に向う時に最も降水量が多く、この場所では地形成上昇流によって降水が強化されるタイプの降水が多いと考えられる。一方、中国南東部の南嶺山地やインドのガーツ山脈などでは、標高の低いほうに風が向いている時に降水量が多く、ローカルな地形の影響よりも大規模季節風の影響が大きいことが示唆された。ただし、このような風向、地形と降水量の関係は EA とモデルで異なる場所も見られたため、今後その理由について更に解析を進める必要がある。
- ③ APHRO\_PR と衛星観測降水データと比較したところ、雨量計の少ない場所で推定誤差が大きい可能性が高いことが分かった。このため、雨量計以外の降水データ（JRA-25 再解析や衛星降水量など）をマージするための手法の開発を始めた。
- ④ APHRO\_PR では、観測された雨量計データをグリッドに内挿する際に基準となる気候値を必要としている。これまでは Xie and Yatagai (2007)に従い、山岳の効果を取り入れた PRISM (Daly et al. 1994)などを用いていたが、今回気候値の影響を調べるために、全球 20km モデルで作成した気候値を与えて内挿を行った。その結果、基準気候値のバイアスは内挿後の雨量にはほとんど影響しない一方、基準気候値の雨量の水平パターンは大きく影響することが分かった。
  - ・ 東アジア域での全球 20km モデルの降水量再現性ならびに西アジア域での将来の降水・河川流量変化に関する論文をとりまとめた。

### 関連論文

38-8

## 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（サブテーマ：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）

### 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

研究期間：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、仲江川敏之、安田珠幾、行本誠史、遠藤洋和、石原幸司、高橋清利、千葉長（気候研究部）、柴田清孝（環境・応用気象研究部）

#### 目的

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サブテーマを分担する。

\*気候モデル診断・相互比較プログラム（PCMDI：Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison）

#### 本年度の計画

- ① 既存の地上気温観測データおよび降水量等の補助観測データを収集・整理し、気候モデルの地上気温など地上要素の時間的・空間的な再現性の評価を行う上での指標を作成する。
- ② 大気再解析データ・海洋同化データ・降水量データなどの解析データおよび解析ツールを整理し、夏冬モンスーン・エルニーニョ南方振動・北半球環状モードの変動特性の表現方法およびモデル間で比較する方法を検討し、適切な指標を作成する。
- ③ 積雪・海氷被覆率について、観測と20世紀結合実験のマルチモデル相互比較を行い、スキルスコアの指標を作る。積雪深など、そのほかのデータについても利用可能なデータを模索する。

#### 本年度の成果

- ① 気温の年々変動と日々変動気温の変動の解析を行った。特に地上気温の日々変動は、陸上で値の大きいモデルは海上でも大きい。モデル平均は陸上では観測値と近いが、海上での値が小さい。将来の地上気温日々変動の変化は、中緯度の夏季の陸上で増加、他の季節の陸上と海上では一年を通しての減少が見られた。地域を問わず海上で日々変動が減少している。
- ・IPCC 全球気候モデルにおける地上気温の再現性評価のために不可欠な、再解析データ4種（JRA-25、ERA40、NCEP/NCAR、NCEP/DOE）、観測データ2種（気象庁、CRU（Climatic Research Unit））の年平均気温の時系列変化、空間分布等を比較した。観測データ2種はともによく似た傾向を示しているが、再解析データとは特に海洋域において違いが見られた。また、再解析データ間では、JRA-25とERA40、NCEP/NCARとNCEP/DOEがよく似ているが、南緯60度以南においては4種の再解析とも大きく異なっている。
- ・CMIP3（第3期結合モデル相互比較プロジェクト）に参加した大気海洋結合モデルによる夏の東アジア・モンスーンの降雨強度再現性を調査した。16個の大気海洋結合モデルによる20世紀再現実験から出力された日降水量を用い、梅雨期の6～7月について単純降水指標（SDII）や日降水量30mm以上の降水日数などの降水強度の指数を計算した。バイアス、根2乗平方根誤差、空間相関係数、テラーによる評価指数などの客観的な指標によりモデルの精度を評価した。降水の気候値が良いモデルは、強い降水の再現性が良いことが分かった。
- ② CMIP3に参加した24個の大気海洋結合モデルの20世紀再現実験におけるエルニーニョの変動に伴う世界の降水量変動のうち、特に熱帯西太平洋における降水量変動について調べた。エルニーニョの振幅がピークを示す冬季についてもモデルによっては現実の降水量変動が示されていないことがわかった。この点に関して、気象研究所の大気海洋結合モデル（CGCM2）の再現性は、夏冬とも世界最高クラスであった。
- ・エルニーニョ南方振動に関連する熱帯太平洋表層貯熱量の変動特性について、海洋観測水温及び海面高度計・大気再解析データを使用して調べた。全てのモデルで熱帯太平洋において観測に似た表層貯熱量偏差の移動が見られるが、モデルの10°-15°Nにおける表層貯熱量偏差は観測より速く東岸から西岸に伝播する。この要因として赤道域の海面水温偏差に対する風応力curlの応答の違いが考えられる。また、ENSO周期が短いモデルでは表層貯熱量偏差がENSOの位相反転により

大きく寄与するが、ENSO 周期が長いモデルでは表層貯熱量偏差が水温躍層フィードバックを介して ENSO を成長させる傾向にあることが示唆された。

- ・現在気候における北極振動（AO）および北半球環状モード（NAM）の再現性を調べた。AO の再現性は多くのモデルで観測との相関が良いが、帯状平均東西風気候値の再現性とはほとんど相関は見られない。帯状平均東西風の NAM 構造のうち対流圏の構造は気候値の再現性とかなり相関がある。
  - ・成層圏の影響が対流圏の気候に及ぼす影響が CMIP3 のモデルにおいて正しく表現されているかについて、モデルトップが成層圏界面より低く成層圏の鉛直分解能が充分でない対流圏モデルとモデルトップが成層圏界面より高く成層圏の鉛直分解能が高い中層大気モデルを対象に比較を行うことを目的として、今年度は、中層大気モデルである気象研究所成層圏化学-気候モデル(MRI-CCM)の長期ランを調べた。これは、MRI-CCM を観測に基づく各種フォーシングで 1980-2004 年の 25 年間駆動した過去再現実験である。気候値のフォーシングで駆動した大気大循環モデル（GCM）と比較すると真冬の突然昇温の回数が増え、また波数 2 の昇温が増えるなど系統誤差の改善が見られた。さらに、CCM 将来予測実験（1980-2099）では温室効果気体の増加により、成層圏は冷え、極夜ジェットは強くなり、それに呼応するかのよう、成層圏突然昇温（SSW）の頻度は減少し、時期も遅くなっていることがわかった。
- ③ 海氷量の将来変化についてマルチモデル相互比較を行った。フラックス調整を行っているいくつかの気候モデルでは、エネルギー収支が成り立っていないため、他のモデルと比較して海氷量が不自然な減少の仕方をしていることがわかった。

## 関連論文

---

## 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（サブテーマ：温暖化予測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）

研究期間：平成19年度～平成23年度

研究代表者：高藪 出（環境・応用気象研究部 第三研究室主任研究官）

研究担当者：栗原和夫、佐々木秀孝、村崎万代、内山貴雄、清野直子、青柳暁典（環境・応用気象研究部）、大泉三津夫（予報研究部）、石原幸司（気候研究部）

### 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。次にこれ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旨とする。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。

### 本年度の計画

- ① 20kmRCM（地域気候モデル）を豊水・平水・渇水年で積分し、モデルの性能評価を行う。
- ② 都市気候モデルの開発を行う。
- ③ マルチモデルアンサンブル（MME）手法の開発を行う。

### 本年度の成果

- ① 20km 気象研究所非静力学モデル（MRI-NHM）について、2002～2004年のJRA-25再解析データを側方境界条件に積分した。積分結果の内、降水量・平均気温についてアメダスデータによる検証を進めた。地表面気温が弱い負のバイアスであることが確認された。予測の不確実性についての検討を同時に行い、格子点の選び方の影響、積分助走時間の影響、側方境界条件の解像度の影響について明らかにした。その結果降水量の再現には擾乱の再現性が大きな影響を与えることが明らかになった。また、積雪データについて、防災科学技術研究所・長岡雪氷防災センターのデータを用いての検証を開始した。アメダス地点を用いた検討では格子点情報との比較の精度を明らかにした。月平均気温について県単位での検証方法について従来のモデルデータを用いて検討を行った。ウェルチの検定を用いた手法によって県別昇温量を統計的に有意な形で示すことに成功した。
- ② 20km 格子モデルでは解像するのが難しい都市域特有の熱収支を気候シミュレーションに反映させるため、都市キャノピースキームを組み込んだ都市気候モデル（水平格子間隔4km）の開発を行った。また、都市域において空間的に細かなモデルとの比較・検証を行うために、アメダスに加え東京都環境局の地上気象観測データを収集し、モデル検証用のツールを作成した。このモデルを用いて夏季の中部日本域（おおよそ400km四方）を対象に2006年8月の1ヶ月間のシミュレーションを実施し、様々な天候状態のもとで導入したスキームの効果を確認するとともに観測との比較を行った。地表面状態として都市キャノピー層を考慮し、放射配分や地表面熱収支等を修正することによって、特に夜間の気温予測の精度が向上していることが明らかになった。
- ③ マルチモデルアンサンブル（MME）手法の開発を行うため、統計手法の研究・過去の研究のレビューを行った。これらに基づいた手法の開発に着手した。EUで進められている「PRUDENCE」、「ENSEMBLES」といったマルチRCM実験の結果を用いてシナリオを作る先行研究を調査した。これらプロジェクトの論文のレビュー、研究集会への参加を通じMME手法に関する情報を入手した。これらの情報を元に、様々なMME手法の比較を行い、ベイズ統計を用いた手法の開発に着手した。

### 関連論文