

2. 研究報告

2. 1. 研究課題

本節には、気象研究所が平成 29 年度に実施したすべての研究について、研究区分（または外部資金）ごとに分類し、研究課題名を掲載している。

重点研究・一般研究

重点研究は、中期研究計画の 5 年間（平成 26 年度開始）に達成すべき研究目標を見据え、5 年以内に業務化のめどをつける問題解決型の研究・技術開発である。また、一般研究は、5 年～10 年後をめどとした実用化をめざす基盤的な研究・技術開発である。平成 29 年度は、次の 20 課題を実施した。

（A）「台風・集中豪雨等対策の強化」分野

課題区分	研究課題	研究期間	代表研究部
重点研究	（A1）メソスケール気象予測の改善と防災気象情報の高度化に関する研究	H26～H30	予報研究部
重点研究	（A2）顕著現象監視予測技術の高度化に関する研究	H26～H30	気象衛星・観測システム研究部
重点研究	（A3）台風の進路予報・強度解析の精度向上に資する研究	H26～H30	台風研究部
重点研究	（A4）沿岸海況予測技術の高度化に関する研究	H26～H30	海洋・地球化学研究部
一般研究	（a5）大気境界層過程の乱流スキーム高度化に関する研究	H26～H30	環境・応用気象研究部

（B）「地震・津波・火山対策の強化」分野

課題区分	研究課題	研究期間	代表研究部
重点研究	（B1）緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究	H26～H30	地震津波研究部
重点研究	（B2）地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究	H26～H30	地震津波研究部
重点研究	（B3）津波の予測手法の高度化に関する研究	H26～H30	地震津波研究部
重点研究	（B4）大規模噴火時の火山現象の即時把握及び予測技術の高度化に関する研究	H26～H30	火山研究部
重点研究	（B5）地殻変動観測による火山活動評価・予測の高度化に関する研究	H26～H30	火山研究部
重点研究	（B6）南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視と津波地震の発生状況即時把握に関する研究	H28～H32	地震津波研究部
重点研究	（B7）火山ガス観測による火山活動監視・予測に関する研究	H28～H32	火山研究部

(C)「気候変動・地球環境対策の強化」分野

課題区分	研究課題	研究期間	代表研究部
重点研究	(C1) 気候モデルの高度化と気候・環境の長期変動に関する研究	H26～H30	研究調整官
重点研究	(C2) 季節予報の高度化と異常気象の要因解明に関する研究	H26～H30	気候研究部
重点研究	(C3) 地球環境監視・診断・予測技術高度化に関する研究	H26～H30	環境・応用気象研究部
一般研究	(c4) 放射収支の監視システムの高度化と気候変動要因解明に関する研究	H26～H30	気候研究部
一般研究	(c5) 雪氷物理過程の観測とモデル化による雪氷圏変動メカニズムの解明	H26～H30	気候研究部
一般研究	(c6) 大気海洋結合データ同化システムの開発に関する研究	H26～H30	研究調整官
一般研究	(c7) 海洋モデルの高度化に関する研究	H26～H30	海洋・地球化学研究部
一般研究	(c8) 環境要因による局地気候変動のモデル化に関する研究	H26～H30	環境・応用気象研究部

地方共同研究

地方共同研究は、気象業務の現場において取り組むべき研究課題について、気象研究所と気象官署が共同して行う研究である。地方共同研究により、気象業務の現場における潜在的なニーズを的確にとらえ、気象研究所の研究方針や内容に適宜反映させることによって、気象業務の高度化に貢献する。また、研究活動を通じて気象研究所と気象官署の連携を強化し、気象官署における調査業務の支援を図るとともに、職員の資質向上にも貢献する。平成 29 年度は、次の 5 課題を実施した。

研究課題	研究期間	実施官署	担当研究部
沖縄地方（島嶼部）における荒天時地動ノイズの特性調査と震源自動決定処理への応用	H28～H29	沖縄気象台、石垣島地方気象台、宮古島地方気象台、南大東島地方気象台	地震津波研究部
気象レーダーを用いた噴煙の汎用的解析手法に関する研究	H29～H31	鹿児島地方気象台	火山研究部
積雪変質モデルを用いた積雪層に関する研究	H29～H30	東京管区気象台、宇都宮地方気象台、長野地方気象台、富山地方気象台、岐阜地方気象台、	予報研究部、気候研究部
立山カルデラ新湯周辺の火山活動と水位変動に関する調査	H29	富山地方気象台	火山研究部
事例解析・比較及び数値実験による大雨の調査	H29～H30	広島地方気象台	予報研究部

若手研究

若手研究は、気象研究所内の若手研究者が革新的研究テーマに挑戦して実施する萌芽的研究である。平成 29 年度は、次の 1 課題を実施した。

研究課題	研究期間	担当研究者
火山性流体採取法における技術的検討	H29	火山研究部 谷口 無我

他省庁予算による研究

他省庁予算による研究は、国土交通省以外の省庁が運用する制度のもとで実施する研究である。平成 29 年度は、次の 5 課題を実施した。

（１）地球環境保全等試験研究費による研究（環境省）

地球環境保全等試験研究費は、地球環境問題のうち、地球温暖化分野を対象として、各府省が中長期的視点から計画的かつ着実に関係研究機関において実施すべき研究に活用される経費である。

研究課題	研究期間
分光日射観測とデータ同化によるエアロゾル・雲の地表面放射収支に与える影響監視に関する研究	H26～H30
南鳥島における多成分連続観測によるバックグラウンド大気組成変動の高精度モニタリング	H26～H30
民間航空機による温室効果ガスの 3 次元長期観測とデータ提供システムの構築	H28～H32
光吸収性エアロゾルの監視と大気・雪氷系の放射収支への影響評価 ー地球規模で進行する雪氷圏融解メカニズムの解明に向けてー	H29～H33

（２）放射能調査研究費による研究（環境省）

放射能調査研究費は、放射能・放射線に対する国民の安全を確保し、安心感を醸成するため、環境中の天然放射能、及び核爆発実験、原子力施設、投棄された放射性廃棄物等からの人工放射能の環境放射能レベルに関する調査研究を目的とする研究に活用される経費である。

研究課題	研究期間
人工放射性核種のバックグラウンド大気監視と数値解析に関する研究	H27～H31

共同研究

共同研究は、気象研究所が、その所掌事務と密接に関連する事項について、気象庁以外の者と共同して行う調査及び研究である。平成 29 年度は、次の 65 課題を実施した。

共同研究区分	研究課題名	相手機関
統合的気候モデル高度化プログラム	統合的気候変動予測	気象業務支援センター
	気候モデルを用いた気候変動再現実験のマルチモデル比較	東京大学大気海洋研究所
ポスト「京」重点課題	ポスト「京」重点課題④「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」に関わる革新的な数値天気予報と被害レベル推定に基づく高度な気象防災の開発	海洋研究開発機構
気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT)	「気候変動適応技術社会実装プログラム (信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発)」に関わる近未来予測及び海洋ダウンスケーリング手法の開発	海洋研究開発機構
	「気候変動適応技術社会実装プログラム (信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発)」に伴う超高解像度ダウンスケーリング技術の確立・汎用化	海洋研究開発機構、防災科学技術研究所
戦略的創造研究推進事業 CREST	ビッグデータ同化による局地的豪雨予測のための数値天気予報に関する研究	理化学研究所
	「サステイナブル漁業に向けたデータ指向型リアルタイム解析基盤の開発」における On-Spot データ同化手法の開発	海洋研究開発機構
地球環境変動観測ミッション (GCOM)	地上放射観測網からの GCOM-C 大気プロダクト検証データの提供	宇宙航空研究開発機構
	改良粒子散乱モデルを用いた氷雲・エアロゾル解析手法の開発	
降水観測ミッション (PMM)	GSMaP とアンサンブル予測を利用した顕著現象の監視から予測までの包括的プロダクトの開発	宇宙航空研究開発機構
	台風の暖気核形成への潜熱加熱の寄与の評価	
	TRMM 統計から求められたマルチレジーム物理量 PDF を用いた、次世代 MW 降水アルゴリズム	
	GPM 及び GSMaP データを用いた台風強度の統計予報モデルの開発	
地球観測研究公募に関する共同研究	衛星シミュレーションを用いた、雲・降水域データの同化及び相互検証に関する研究	宇宙航空研究開発機構
	TRMM, GPM 統計から求められたマルチレジーム物理量 PDF を用いた、次世代 MWI 降水アルゴリズム	
	静止気象衛星ひまわり 8 号エアロゾルプロダクトによるデータ同化を用いた準リアルタイムエアロゾル予測システムの構築	

共同研究の区分	研究課題名	相手機関
陸域観測技術衛星（ALOS-2）	干渉 SAR 手法を用いたプレート間固着による定常的な地殻変動の検出	宇宙航空研究開発機構
NEDO 太陽光	電力系統出力変動対応技術研究開発事業	東京大学生産技術研究所
雪氷防災実験棟利用公募に関する共同研究	積雪粒径測定手法の相互比較実験（その3）	防災科学技術研究所
つくば産学連携強化プロジェクト	季節予報の精度向上と予測情報の社会発信	筑波大学
UAE 降水強化プロジェクト	意図的・非意図的気象変化に関する研究	名古屋大学

・その他の共同研究

研究課題名	相手機関
気象レーダーを活用した火山噴煙に関する研究	鹿児島大学
アンサンブル予報による顕著現象の予測可能性研究	筑波大学計算科学研究センター
エアロゾルモデルの高度化研究	理化学研究所
衛星搭載3次元風観測ドップラーライダー開発・利用に関する研究	情報通信研究機構
気候システムの形成と変動に係わる諸過程の研究	筑波大学
Jcup と Scup を統合したカップラーの開発	高度情報科学技術研究機構
領域気候モデルを活用したメッシュ気象データの精度向上	海洋研究開発機構
4次元変分法データ同化システムを用いた高分解能海洋再解析	海洋研究開発機構
SSR モード S 気象データによる数値予報の精度向上と航空機の安全運航に関わる気象予測情報の高度利用に関わる研究	電子航法研究所
領域気候モデルの比較を通じた我が国の温暖化予測の精度向上及び電力設備の温暖化影響評価	電力中央研究所
GOSAT-2 のデータ解析システム開発に関する研究	国立環境研究所
海洋生態系モデルの社会的利用に向けた海洋生態系同化モデルの開発	北海道大学
地形が大気境界層における拡散現象に及ぼす影響の研究	龍谷大学
フェーズドアレイ気象レーダーによる顕著現象の探知に関する基礎研究	情報通信研究機構
GNSS データと地震計データを用いた断層すべり推定に関する研究	国土地理院
東海地域における弾性波アクロスを用いた地殻状態変化検出に関する研究	名古屋大学、静岡大学
民間航空機を用いた温室効果ガス観測に関する研究	国立環境研究所、日本航空株式会社、株式会社ジャムコ、JAL 財団

研究課題名	相手機関
エアロゾルモデルのモジュールの開発と検証に関する共同研究	東京大学、名古屋大学
南海トラフ沈み込み帯におけるゆっくりすべりに関する共同研究	京都大学防災研究所、東北大学
海洋大循環モデル COCO,RIAMOM,kinaco,OFES,MRI.COM の開発・改良共有基盤の構築	東京大学、九州大学、北海道大学、海洋研究開発機構
プレート境界の海底地震活動に関する共同研究	東海大学
南九州の活動的火山の災害軽減に関する共同研究	京都大学防災研究所、防災科学技術研究所、気象庁地震火山部
北太平洋深層循環における東西経路の解明	東京大学大気海洋研究所
現地観測と気象予報モデルの連携による極域気候システムの動態の解明	情報・システム研究機構
大雨や大雪をもたらす降水雲・降雪雲の観測的数値的研究	北海道大学
避雷飛行支援システムの研究開発	宇宙航空研究開発機構、海上・港湾・航空技術研究所
静止海色衛星による海表面塩分の高時空間分解能観測データセットを用いた日本沿岸モデルの再現性検証	神戸大学
水蒸気のリモートセンシングに関する研究開発	情報通信研究機構
なだれ予測の精度向上に資する積雪変質モデルの基礎的研究	防災科学技術研究所
稠密地上気象観測と数値モデルによる降雪雲の微細構造に関する研究	酪農学園大学
バイオエアロゾル放出源を考慮したエアロゾルモデルの高度化	茨城大学、国立環境研究所
南鳥島におけるハロカーボン類のモニタリング	国立環境研究所
台風解析・予報の高度化に資する台風発生の環境要因の解析及びメカニズム推定	横浜国立大学、気象庁予報部
高精度センシング技術を用いた、列車運行判断のための災害気象の監視・予測手法の開発	東日本旅客鉄道株式会社
箱根山における多項目観測データを活用した総合的火山活動評価に関する研究	神奈川県温泉地学研究所
火山ガス等の化学的手法と物理観測データに基づく火山活動評価研究	東海大学
古気候の形成とその変動に係わる諸過程の研究	京都大学
傾斜・ひずみデータを活用したスロー地震解析等に関する研究	防災科学技術研究所
東京都区部における豪雨等に対する水蒸気の影響評価	東京都環境科学研究所
積雪地域における雲の放射影響の研究	北見工業大学
超高解像度物理モデルへの放射伝達過程組み込みにおける最適放射計算手法の調査	兵庫県立大学
領域モデルを用いた長期再解析に関する研究	東北大学
ひまわり 8 号大気追跡風を用いた台風強化プロセスに関する研究	富山大学
粒子画像解析に基づく乱流計測技術に関する研究	国立環境研究所

環境研究総合推進費による研究（環境省）

環境研究総合推進費は、研究活動による科学的知見の集積や科学的側面からの支援等を通じ、オゾン層の破壊や地球温暖化など、数々の地球環境問題を解決に導くための政策に貢献・反映を図ることを目的とした研究に活用される経費である。H29年度からは環境再生保全機構交付の個人補助金となった。

研究課題	研究期間
SLCP の環境影響評価と削減パスの探索による気候変動対策の推進	H26～H30
歴史的海洋表層水温観測データの再整備とその気候学的評価	H27～H29
地球温暖化に伴う気候変動と日本・東アジア域の降水現象の変化に関する研究	H27～H29
多様な環境影響評価に資する風送エアロゾル濃度分布情報提供システムの構築	H27～H29
PM2.5 の成分組成、酸化能、呼吸器疾患ハザードとそのモデル予測に関する研究	H28～H30
地球温暖化に関わる北極ブラックカーボンとダスト粒子の動態と放射効果	H29～H31
温室効果ガスの吸排出量監視に向けた統合型観測解析システムの確立	H29～H31

科学研究費助成事業による研究

科学研究費助成事業（科研費）は、人文・社会科学から自然科学まであらゆる分野で、独創的・先駆的な研究を発展させることを目的として文部科学省、日本学術振興会により制度化されている研究助成費であり、研究者が計画する学術研究に対して、ピア・レビュー（専門分野の近い複数の研究者による審査）が行われ、重要と認められた計画に助成される「競争的研究資金」である。

なお、科研費は個人としての研究者に交付されるものであるが、研究者が所属する研究機関が、科研費について管理・諸手続を研究者に代わって行うことと定められている。

【研究代表者として実施している研究課題】

課題区分	課題名	研究期間
新学術領域研究 (研究領域提案型)	太陽活動が海洋変動と気候に与える影響の解明	H28～H29
	黒潮再循環域の表層・亜表層における生物地球化学的循環の解明	H28～H29
基盤研究(A)	降水によるエアロゾル発生現象：大気-森林相互作用の新展開	H29～H31
	水蒸気稠密観測システムの構築による首都圏シビアストームの機構解明	H29～H31
基盤研究(B)	実時間地震動予測：実況値を反映させる手法の構築	H25～H29
	太陽活動の北極振動への影響とメカニズムの解明	H26～H29
	マルチスケール大気放射モデルを用いた全球雲解像放射エネルギー収支の定量化	H27～H29
	冬季関東を巨大チャンバーに模した、CCN生成過程に関する研究	H27～H31

基盤研究(B)	機動的海洋気候変動研究に資する海洋モデル駆動用リアルタイムデータセットの構築	H27～H30
	熱帯太平洋観測システム効率化への成長擾乱・時空間変動特性の利用に関する研究	H27～H30
	偏波・フェーズドアレイレーダー統合システムを利用した積乱雲電荷構造の超高速解析	H27～H30
	アンサンブルデータ同化のための最適摂動手法に関する研究	H28～H31
	揺れの数値予報：広帯域時刻歴波形のリアルタイム予測	H29～H32
	粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する不確実性の解明	H29～H31
	離散雲の三次元分布、微物理・光学特性の観測と地上日射への三次元放射効果の実態解明	H29～H31
	首都圏の突発的・局地的豪雨の解明に向けた次世代都市気象予測システムの開発	H29～H32
基盤研究(C)	二重偏波レーダーによる豪雨の高精度直前予測手法の開発	H27～H29
	台風強度予測精度向上のための台風強化停止プロセスの解明	H27～H29
	数値予報精度改善に向けた、衛星搭載風ライダーのシミュレーションと同化に関する研究	H27～H29
	雲解像モデルのアンサンブルに基づく同化システムを用いた台風発生過程の解明	H27～H29
	二重偏波レーダーと数値シミュレーションを用いたスーパーセル竜巻の前兆現象の解明	H27～H29
	台風及び非台風降水の地球温暖化による変化予測	H28～H30
	階層的なモデルの比較を通じた台風強度の理解	H28～H30
	氷粒子の多様性を考慮したバルク法雲微物理モデルの設計と構築	H28～H30
	発生初期における巻雲の氷晶発生・成長機構解明に関する実験的研究	H28～H30
	トレーサー濃度と気象観測値の同時データ同化による移流拡散シミュレーション高精度化	H29～H32
	偏光情報を用いた積雪物理量の計測技術開発と衛星データによる雪氷圏監視システム	H29～H31
	火山ガス成分と火山物理の融合的観測・分析による火山活動度の評価の研究	H29～H31
	観測情報の拡充による全球大気予測の高度化に関する研究	H29～H32
挑戦的研究(萌芽)	日射影響を受けない新たな地上気温観測手法による気候変動検出精度向上技術の開発	H29～H31
若手研究(A)	全球エアロゾル化学気候モデルの開発と黒色炭素粒子の放射効果の高精度評価	H26～H29
若手研究(B)	中部山岳域における積雪分布と積雪構造の把握、及び地球温暖化に伴う積雪変化予測	H26～H29

若手研究(B)	気候モデルによるアンサンブル季節予報を用いた極端異常気象予測	H26～H29
	リアルタイム津波予測に向けた沿岸の津波伝播特性の補正法の高度化	H27～H29
	海底熱源が作る深層循環 3 次元構造の解明と物質循環への影響	H27～H30
	気候に影響を与える光吸収性有機エアロゾルの個別粒子解析に関する研究	H28～H30
	次世代データ同化とアンサンブルシミュレーションによる積乱雲の発生・発達機構の解明	H28～H30
	薄氷から厚氷までの全海水データ同化による北極海熱・水輸送解析と気候変動予測の改善	H28～H31
	巨大アンサンブルデータ同化を基としたマルチスケールデータ同化手法の開発	H28～H30
	次世代極域気候モデル開発と広域観測によるグリーンランド氷床質量損失メカニズム解明	H29～H30
	超高密度観測網に基づく地震動即時予測に向けて：機械学習による地震波の自動識別	H29～H31
	フェーズドアレイレーダーを用いた台風環境下における竜巻発生メカニズムの解明	H29～H32
	首都圏の高精度雨雪判別手法確立に向けた降雪機構の実態解明	H29～H31
	西太平洋ーインドモンスーンと台風の変動メカニズムの解明	H29～H32
	超高解像度陸面データ同化システムの開発	H29～H31
研究活動スタート支援	背景誤差共分散のモデル空間直接局所化による遠隔・高密度観測データの LETKF 同化	H29～H30
特別研究員奨励費	高解像度全球予報システムによる成層圏界面上昇現象のメカニズム及び予測可能性の解明	H28～H30
国際共同研究加速基金	孤立峰における雲風洞を用いたエアロゾル・雲相互作用に関する研究	H29～H31

【研究分担者として実施している研究課題】

課題区分	研究課題	研究期間
特別推進研究	グローバル水文学の新展開	H28～H32
新学術領域研究 (研究領域提案型)	太陽周期活動の予測とその地球環境影響の解明	H27～H31
基盤研究(S)	過去 120 年間におけるアジアモンスーン変動の解明	H26～H30
	豪雨と暴風をもたらす台風の力学的・熱力学的・雲物理学的構造の量的解析	H28～H32
基盤研究(A)	東アジアの人為起源エアロゾルの間接効果	H26～H29
	熱帯大気海洋系変動と日本の異常天候に関する数値的研究	H26～H29

基盤研究(A)	エアロゾル地上リモートセンシング観測網による数値モデルの気候変動予測の高度化	H27～H31
	次世代積雪物理量測定技術開発と精密積雪物理モデルに基づく雪氷圏変動監視手法の確立	H27～H31
	等温位/等密度座標に基づく大気/海洋大循環の解析	H27～H31
	海峡力学過程の統合と解剖	H28～H32
	日本周辺の海面水温場が局所的な豪雨・豪雪の予測可能性に与える影響の定量的評価	H28～H31
	遠隔操作の多項目観測による西之島形成プロセスの解明	H28～H30
	近年のグリーンランド氷床表面の暗色化と急激な表面融解に関する研究	H28～H31
	熱帯域における成層圏－対流圏力学結合過程	H29～H31
	結合データ同化システム開発の方法と応用	H29～H33
	大気エアロゾルが雲・降水過程に及ぼす影響解明に関する研究	H29～H31
基盤研究(B)	衛星搭載アクティブ・パッシブセンサーデータの複合利用による全球エアロゾル解析	H27～H29
	大気中アルゴン濃度の超高精度観測に基づく気候システム温暖化のモニタリング	H27～H29
	階層ベイズモデルを用いたリアルタイム津波予測の高正確度・高精度化に関する研究	H27～H30
	エアロゾル複合分析と個別粒子解析に基づくアジア低緯度域の粒子混合状態の解明	H28～H30
	アジアのオゾン汚染の実態把握と越境汚染の影響評価：衛星観測と化学輸送モデルの比較	H28～H30
	降水時の爆発的火山噴火に関するレーダ気象学的研究	H28～H31
	南西諸島とフィリピンのドップラーレーダーを用いた台風の構造と強度の関係解明	H28～H30
	海洋バクテリアの長期炭素隔離機能に対する海洋酸性化の影響評価	H28～H30
	次世代静止気象衛星と数値モデルを融合したエアロゾル統合研究の新展開	H28～H31
	C帯偏波フェーズドアレイ気象レーダのシステムデザイン	H29～H32
	寒冷渦が竜巻・突風現象発現の予測可能性に与える定量的評価	H29～H32
基盤研究(C)	北日本における春季／夏季気温の強い負相関に関する気候学的要因の解明	H26～H29
	気象モデルからの雲物理過程を考慮した新積雪物理量推定手法の開発	H28～H30
	西岸境界流続流における組織的流れの形成メカニズムに関する研究	H29～H32
	日本の夏の気候を規定するチベット・オホーツク海高気圧の形成機構	H29～H31

基盤研究(C)	里山における大気汚染物質と熱の輸送・拡散過程の解明	H29～H31
挑戦的研究(開拓)	長基線レーザー伸縮計ネットワークによるサブミリヘルツ帯の 固体地球物理現象の探究	H29～H31
特別研究促進費	平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害に関する総合的研究	H29

2. 2. 研究年次報告

本節には、気象研究所が平成 29 年度に実施した重点研究、一般研究、地方共同研究、若手研究について、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、平成 29 年度に中間評価を実施した研究課題（1 課題）については 2.3 節で、平成 29 年度に終了した研究課題（2 課題）については 2.4 節でそれぞれ報告する。

2. 2. 1. 重点研究・一般研究

・ A1 メソスケール気象予測の改善と防災気象情報の高度化に関する研究	23
・ A2 顕著現象監視予測技術の高度化に関する研究	29
・ A3 台風の進路予報・強度解析の精度向上に資する研究	35
・ A4 沿岸海況予測技術の高度化に関する研究	42
・ a5 大気境界層過程の乱流スキーム高度化に関する研究	44
・ B1 緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究	46
・ B2 地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究	48
・ B3 津波の予測手法の高度化に関する研究	50
・ B4 大規模噴火時の火山現象の即時把握及び予測技術の高度化に関する研究	52
・ B5 地殻変動観測による火山活動評価・予測の高度化に関する研究	55
・ B6 南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視と津波地震の発生状況即時把握に関する研究	58
・ B7 火山ガス観測による火山活動監視・予測に関する研究	61
・ C1 気候モデルの高度化と気候・環境の長期変動に関する研究	64
・ C2 季節予報の高度化と異常気象の要因解明に関する研究	67
・ C3 地球環境監視・診断・予測技術高度化に関する研究	70
・ c4 放射収支の監視システムの高度化と気候変動要因解明に関する研究	75
・ c5 雪氷物理過程の観測とモデル化による雪氷圏変動メカニズムの解明	78
・ c6 大気海洋結合データ同化システムの開発に関する研究	80
・ c7 海洋モデルの高度化に関する研究	81
・ c8 環境要因による局地気候変動のモデル化に関する研究	83

2. 2. 2. 地方共同研究

・ 気象レーダーを用いた噴煙の汎用的解析手法に関する研究	85
・ 積雪変質モデルを用いた積雪層に関する研究	86
・ 事例解析・比較及び数値実験による大雨の調査	88

A1 メソスケール気象予測の改善と防災気象情報の高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 小泉 耕（予報研究部 部長）

研究の目的

数値予測モデルとその初期値作成技術の高度化、顕著現象の機構解明、種々の雲の形成過程・降水機構に関する研究を通じて、メソスケール気象予測の改善や集中豪雨・豪雪や竜巻など顕著現象による被害を軽減するための防災気象情報の高度化など気象業務に寄与する。

副課題1 高精度高分解能モデルの開発と精度検証

副課題1の研究担当者

山田芳則、吉村裕正、橋本明弘、林 修吾、伊藤純至（予報研究部）、北村祐二（環境・応用気象研究部）、南雲信宏（気象衛星・観測システム研究部）、齊藤和雄（研究総務官）、坂本雅巳（気象庁予報部）、大竹秀明、宇野史睦（客員）

副課題1の目標

高精度高分解能の数値予報モデルの開発及びその精度検証を行い、激しい気象現象や積乱雲の時間発展の再現性を向上させる。

副課題1の本年度の計画

- ①水平分解能が125m, 250m, 500m, 1km, 2 km, 5 km等のNHMによる梅雨期・夏季および冬季の再現実験を行い、降水・降雪量や地表面フラックス量、境界層の構造、乱流輸送量、日射量予測等について異なる解像度間の比較・検証を行い、現業モデルの改良点の検討を行う。インパクト実験も適宜実施する。NHMによる降雪予測精度については、検証方法も含めた検討も行う。
- ②引き続き、バルク法やビン法雲微物理モデルによる降水・降雪過程モデルの改良や高度化を行う。
- ③引き続き、NHMの物理過程全般についての開発・改良を行う。single columnモデルの利用も検討する。
- ④引き続き、NHMによる発雷シミュレーションモデルの結果を検証し、発雷のメカニズムの解明をすすめる。メカニズムの解明に基づいて、発雷モデルの改良も検討する。
- ⑤引き続き、LESを用いた境界層モデルの改良・開発の可能性に関する検討を行う。
- ⑥ asucaの利用については引き続き数値予報課と調整する。
- ⑦引き続き、非静力学モデルの力学フレームについて開発や改良を行う。
- ⑧ 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孤立積乱雲や線状降水帯の高解像度の理想実験を開始した。線状降水帯について解像度依存性を調べたところ、グレーゾーンとされる解像度において、地上降水量が極大となった。
- ②夏季熱雷事例について、水平解像度500mとし、境界層モデル3種類（MYNN、MYNNのグレーゾーン対応モデル、Deardroff）を用いた場合を比較した結果、系統的な優劣はみられないことがわかった。
- ③氷粒子の温度別昇華成長量および雲粒捕捉成長量を新たな予報変数として加え、モデルが出力する雲・降水粒子特性を精緻に診断するための機能を加えた。新しいモデルを用いて、雪崩災

害をもたらした過去の大雪事例（那須雪崩・妙高雪崩）について水平解像度 1km の再現実験を行い、その結果を降雪粒子観測データを用いて検証した。

- ④多数の夏季熱雷事例について、水平解像度 125m までの再現実験を行い、250m までは水平解像度向上に応じてわずかながら再現性の改善することを確認した。ただし水平解像度 125m では 250m よりも再現性が悪化した。
- ⑤モデルの凍結セル体積と雷放電活動および偏波レーダ情報との比較を行い、雷放電活動高度の低下と対置放電の増加が氷粒子体積の鉛直分布変化とよく対応していることがわかった。
- ⑥小さな氷晶から雪までの成長をより自然に表現可能なバルク微物理モデルを開発して、水平解像度 1 km で予備的な実験を行った。降雪の場合には、1～3 時間積算降水量は Yamada (2016) のモデル結果とは顕著な違いが見られなかったが、現行モデルよりもよりレーダー観測に近い降雪分布を表現していた。また、豪雨の事例では、微物理モデルの違いが 1～3 時間降水量や降水量の空間分布に与える効果は小さいことが分かった。
- ⑦あられ過程で、氷晶と雪のライミング量を予報変数として、あられ形成過程で用いるモデルをオプションとして組み込んだ。
- ⑧気象庁現業全球モデル最新版 GSM1705 をベースに、気象研で開発した高速化・二重フーリエ級数オプション・非静力学オプションを導入した。更に地球シミュレータ向けに最適化を行った。高速化等の情報を本庁に提供した。

副課題 2 高解像度データ同化とアンサンブル予報による短時間予測の高度化

副課題 2 の研究担当者

瀬古 弘、川畑拓矢、大塚道子、堀田大介、澤田洋平、横田 祥、荒木健太郎、小泉 耕（予報研究部）、岡本幸三（台風研究部）、小司禎教（気象衛星・観測システム研究部）、齊藤和雄（研究総務官）、幾田泰醇、江河拓夢、國井 勝（気象庁予報部）、露木 義（気象大学校）、伊藤耕介、大泉 伝、Le Duc、福井 真（客員）

副課題 2 の目標

高解像度データ同化技術の開発やアンサンブル手法を用いて、顕著気象等の短時間予測精度を向上させるとともに、確率論的予測を行って極端シナリオの抽出法や利用法等を提案する。

副課題 2 の本年度の計画

- ①引き続き、Hybrid-4DVar の開発と LETKF システムの局所化や海洋結合等の高度化、EnVar の開発を行う。超高解像度 4D-VAR システムの開発、粒子フィルタについての情報収集を行う。
- ②引き続き、2 重偏波レーダーや静止衛星のラピッドスキャン等の新規の同化技術の開発を行う。同化技術の開発に利用する現業メソ同化サイクル実験システムの移植を開始する。
- ③引き続き、シナリオ予測の高度化・確率密度を用いた各種気象要素の量的予報の高度化、観測インパクト実験や観測システムシミュレーション実験を行う。

副課題 2 の本年度の成果

- ①新しいデータ同化手法の研究（ハイブリッド同化や EnVAR など）
 - ・前年度に開発した、観測局所化を用いた EnVAR と LETKF の統合システムに、EnVAR のイテレーションの中で予報を繰り返し行う 4 次元化手法を実装した。低解像度全球モデル SPEEDY を予報モデルとする観測システムシミュレーション実験 (OSSE) を行い、80 メンバー以上でこれまでの EnVAR より予測精度が高くなることを確認した。
 - ・NHM を用いた粒子フィルタ (NHM-PF) の開発を開始した。これまでに、NHM アンサンブルシステム、NHM へのシステムノイズ導入、観測誤差共分散の動的推定を含むリサンプリング、二重偏波レーダー、直接観測データ、GNSS 可降水量データの観測演算子の実装を行った。
 - ・NHM-4DVAR と NHM-LETKF によるゲインハイブリッドシステムを構築した。ハイブリッド

によるメリットについて調査中。

- NHM-LETKF による従来型観測のみを同化するシステムを用いて、再解析の観点から、アンサンブル平均を第一推定値とする LETKF において一般的な手法の問題点を指摘し、解析からの決定論的予報を第一推定値とする手法のメリットを示した。
- アンサンブルデータ同化におけるアンサンブル摂動作成手法として広く用いられているアンサンブル変換の問題点を、SPEEDY-LETKF や NHM-LETKF で調査し、アンサンブル変換行列非対角成分による摂動が大域的な構造を保持していないことを示した。
- アンサンブル変換行列の持つ数学的な特性を調査し、変換行列のトレース（固有値）平均値に単位行列をかけたものでアンサンブル摂動を作成することにより、アンサンブル予報の精度が改善することを統計的に検証した。
- アンサンブルカルマンフィルタによるマルチスケールデータ同化の方法として、PV inversion を用いる方法を提案した。浅水モデルについてデータ同化実験を行い、アンサンブルメンバー数が小さいほど、この方法が有効であることを示した。

②新しい観測データの利用または既存の観測データの利用方法の改善

- 二重偏波レーダーデータについて、KDP を用いたリトリーバル法と偏波パラメータの直接同化法の二種類の観測演算子を NHM-4DVAR へ組み込み、2014 年 6 月 24 日の事例について、同化実験を行った。どちらを用いた場合でも第一推定値に対して若干の改善が見られた。
- ひまわり 8 号の日本域高頻度観測による大気追跡風について、高層ゾンデやプロファイラ観測等との比較から各チャンネルのデータ特性に関して調査を行った。2016 年 6 月の寒冷渦の事例で、JNoVA による同化実験を行い、10 分毎の高頻度でデータを利用した。風予報をウィンドプロファイラ観測で検証した結果、700hPa より下層あるいは予報時刻の初期で若干の改善がみられた。
- ひまわり 8 号のラピッドスキャン衛星風を同化することにより、平成 29 年 7 月九州北部豪雨の降水強度の予測が改善すること示した。
- 関東平野を通過した平成 27 年の降水域について、航空機の高頻度観測データである MODE-S データの同化実験を気象研究所に移植したメソ NAPEX を用いて行った。その結果、シアラインやそれに伴う降水域の用土や位置が改善することを示した。
- 二重偏波レーダーの偏波間位相差で減衰補正した反射強度をより効果的に直接同化する手法として、降水が予測されていない点に大気場と相関を持つ反射強度の微小なアンサンブル摂動を与えて同化する手法を開発した。この手法を水平解像度 1km の LETKF による同化実験（対象事例：2012 年 5 月 6 日のつくば竜巻と 2013 年 9 月 2 日の越谷・野田竜巻をもたらした降水システム）に適用し、反射強度の同化に伴って大気場が適切に修正されることと、それによって降水の短時間予測精度が向上することを確認した。
- ひまわり 8 号の雲域の輝度温度同化が特に積乱雲スケールの予測精度向上に寄与できるか調査した。観測演算子を分離した NHM-LETKF を用いて空間分解能 2km の NHM に同じく空間分解能 2km のひまわり 8 号の赤外放射輝度を同化する実験を孤立した積乱雲が発生するような事例に対して実施し、積乱雲スケールの解析精度・予測精度が改善されることを確認できた。またデータ同化のスピンアップを早めるために Running-in-place 法をテストするなどして積乱雲スケールにおける高頻度な衛星データの最適な同化法について調査を行った。
- ひまわり 8 号の最適雲解析（OCA）プロダクトの同化に向けて、雲水量の NHM との比較や、推定した雲底高度のシーロメータ観測による比較などの検証を行った。平成 27 年関東・東北豪雨の事例では、OCA から求めた疑似湿度データを NHM-LETKF によって同化する初期的な実験を行い、下層の水蒸気の解析や降水予報にインパクトがみられた。
- 河川一大気強結合アンサンブルデータ同化システムを構築し、河川流量観測データを同化して大気モデルの状態量を解析できるシステムを構築した。観測システムシミュレーション実験により、洪水時の河川流量観測を同化することで、降水量の短時間予測の精度を向上させることが理論上可能であることを示した。
- 2017 年 10 月 21 日と 22 日に得られた台風第 21 号の航空機観測を JNoVA に同化するシステムを構築した。

③アンサンブル予報の高度な利用方法の検討

- ・2014年8月20日に発生した広島豪雨について、複数のアンサンブル実験の予報シナリオに基づく感度解析を行い、広島湾下層の北向き水蒸気フラックスが大きいほど土石流災害の発生した広島市八木の降水量が多くなることを確認した。
- ・2012年5月6日に発生したつくば竜巻の事例において、高分解能地上データや2重偏波レーダーのデータを同化して作成した初期値から水平解像度 50m、33 メンバーのアンサンブル実験を行い、竜巻に対応する地表付近の渦の強さとその環境場との相関を求めた。これにより、地上 1km のメソサイクロンが強く、地上 100m 以下の水蒸気が多いほど、数分後に竜巻が発生しやすいことを明らかにした。また、竜巻渦の循環解析の結果から、渦の起源が竜巻の発生にとって本質的でないことを示唆する結果を得た。
- ・2016年8月4日につくば市で発生した非常に局地的な降水を、LETKF を用いた稠密観測データの同化によって水平解像度 1km のアンサンブル実験（300 メンバー）で再現し、降水強度と大気場の相関関係から、強い降水が発生する時の大気場の特徴を統計的に調査した。
- ・2001年8月26日に東京・神奈川で発生した局地豪雨事例について、メソ解析に特異ベクトル法による摂動を加えた雲解像モデルによる再現実験を行い、海風の侵入に伴う地表収束と対流イニシエーションの関係を明らかにして論文にまとめた。

副課題3 顕著現象の実態把握・機構解明に関する事例解析的研究

副課題3の研究担当者

清野直子、益子 渉、津口裕茂、荒木健太郎、橋本明弘、林 修吾（予報研究部）、廣川康隆（気象庁予報部）、青柳暁典（気象庁地球環境・海洋部）、北畠尚子（気象大学校）

副課題3の目標

集中豪雨や竜巻等、災害をもたらす顕著現象の事例解析を行い、都市の影響も含めて実態把握・機構解明を行う。

副課題3の本年度の計画

- ①過去に発生した大雨・大雪事例については、引き続き解析を行う。
- ②引き続き特に顕著な大雨や竜巻などが発生した場合、速やかにその発生原因を調査し、原因が特定できた場合には報道発表を行う。
- ③昨年度抽出した過去 15 年分（2002 年～2016 年）の気象官署の突風事例について、引き続き統計的に特徴を調査する。
- ④高解像度モデル用の竜巻発生ポテンシャル予測指数であるアップドラフトヘリシティについて非スーパーセル竜巻の事例に適用した場合について調査する。
- ⑤南岸低気圧による関東甲信地方での降雪現象について、環境場と降水過程に着目した解析を行う。
- ⑥引き続き都市キャノピースキームを導入した非静力学数値予報モデルを用い、都市が降水に及ぼす影響とその要因の分析に取り組む。また、都市域における局地的大雨や顕著な高温事例についての事例解析を進める。

副課題3の本年度の成果

- ①ア) 2012年5月6日つくば市で発生した竜巻を対象にした水平解像度 10m の実験結果について、多重渦構造を中心に論文にまとめた。
- イ) 2017年3月27日、本州南岸を通過した低気圧に伴う大雪により、栃木県那須町で表層雪崩による災害が発生した。この大雪の事例解析の結果、3月27日の大雪事例では低気圧接近に伴い、湿潤な北～東風の強まりとともに形成された地形性上昇流が過冷却の水雲を下層で発生させていた。この下層雲と低気圧に伴う雲からの降雪が、Seeder-Feeder メカニズム

を通して那須岳の北～東斜面で降雪を強化し、局地的な短時間大雪をもたらしていたことがわかった。

ウ) 2017 年台風第 21 号の左側で発生した、西日本の強風と内陸の強雨に関して、現業メソ解析を用いて解析を行った。下層では北陸～近畿には相当温位傾度の大きい前線帯と、それに沿った高渦位が見られ、その西側に北寄りの下層ジェットが生じていた。等相当温位面解析では、この下層ジェットはほとんど上昇がなく、一方、南東～東からの高相当温位の空気が近畿地方で上昇していたことが示された。この高相当温位空気の上昇に伴う降水とそれによる下層高渦位生成が、低相当温位側の下層ジェット形成に寄与したと考えられる。

- ② 2017 年 7 月に発生した「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」について、速やかに解析を行った。その結果、この大雨は線状降水帯が長時間にわたって持続・停滞したことでもたらされたことがわかった。また、気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) による再現・感度実験から、脊振山地や九州北部の山地は、線状降水帯の形成にとって必要不可欠なものではなく、降水の強化や集中化に寄与していたことを明らかにした。これらの結果については、報道発表を行った。
- ③ 2002 年から 2016 年までの全国の気象官署 151 地点の地上データを用いて突風の統計調査を行った。突風率を主とした条件を課して解析した結果、25m/s 以上の突風発生日数は平均すると 1 年当り 0.51 日となり、ある 1 地点でみた竜巻の遭遇率が数万年に 1 度程度と言われているのに対して極めて発生頻度が高いことが明らかになった。発生した突風のうち台風に伴うものが約半数を占めており、進行方向右前方で発生数が多く、眼の壁雲付近を含め中心近傍でも発生していた。また、抽出された事例の約 9% が気象庁突風データベースの事例と同じ環境場内で発生しており、その内 2012 年 5 月 6 日に河口湖で発生した突風は、つくば竜巻発生約 2 時間前につくば竜巻をもたらした線状の対流システムの通過の際に発生していたことが分かった。
- ④ 2010 年 12 月 9 日新潟県上越市で非スーパーセル竜巻が発生した事例について、水平解像度 1km の実験を行った。その結果、竜巻が発生したストーム後方の局地前線上でアップドラフトヘリシティが大きくなっており、非スーパーセル竜巻に対してもアップドラフトヘリシティがある程度有効な指数であることが分かった。
- ⑤ 関東甲信地方で降雪時に市民から雪結晶画像を募集する「# 関東雪結晶 プロジェクト」を実施し、2016 ～ 2017 年冬季観測結果により、市民科学による雪結晶観測の有効性を確かめ、降雪特性の実態把握を試みた。雪結晶の撮影にはスマートフォンのカメラを採用し、ソーシャル・ネットワーキング・サービスを用いた画像収集を行った。これにより、ごく簡易な雪結晶観測手法を確立し、市民科学として効率的な観測データ収集を実現した。この結果、ひと冬を通して 1 万枚以上の雪結晶画像が集まり、そのうち解析可能なものは 73% だった。この取り組みによって首都圏での時空間的に超高密度な雪結晶観測が実現できた。観測結果は、現象の実態解明だけでなく、数値予報モデルの検証・改良などにも応用可能であることがわかった。
- ⑥ 首都圏における近年の短時間強雨事例のうち、2011 年 8 月 26 日と 2013 年 7 月 18 日について、大気環境場の特徴と都市の効果を、観測データと数値実験から調べた。2km 格子の NHM に都市キャノピースキーム SPUC を用い、関東域を現実的な都市設定とした数値実験では、仮想的に建物効果を少なくしヒートアイランドを弱めた数値実験に比べ都心部での降水量が多く、より現実に近い降水分布が得られた。降水開始時実験間の降水開始時の大気場の違いから、都市の高温化に伴う都市部での収束や上昇流の強化といった循環の変化が降水の強化に結びつくことが示唆された。この結果は首都圏の非継続成性降水に対して得られた都市域の高温化による降水増加及びその要因の統計解析結果と整合的である。

副課題 4 雲の形成過程と降水機構に関する実験的・観測的・数値的研究

副課題 4 の研究担当者

財前祐二、折笠成宏、田尻拓也、橋本明弘（予報研究部）、村上正隆（客員）

副課題4の目標

室内実験・野外観測・数値実験に基づいて雲微物理素過程を解明し、エアロゾル・雲・降水過程を統一した雲微物理モデルを開発する。

副課題4の本年度の計画

- ①エアロゾルの物理化学特性及び雲核・氷晶核の高精度・高分解の地上モニタリング観測を継続して行う。特に -20°C よりも暖かい温度領域で活性化する低濃度の氷晶核測定に昨年度に引き続き重点を置く。CVI を用いて氷晶残渣の採取・分析実験を行う。
- ②各種人為起源エアロゾルおよび既知のエアロゾル粒子からなる外部・内部混合粒子の雲核能・氷晶核能に関する実験を行う。特に金属酸化物などの人為起源エアロゾルや混合状態の影響に重点を置く。
- ③新たに得られた室内実験結果をもとに、エアロゾルの雲核能・氷晶核能の定式化を進める。
- ④航空機による直接観測データ、地上設置の各種リモートセンサーを用いたシナジー観測および多次元ビン法を用いたバルク法雲水-雨水変換 (AutoConversion) スキームの検証結果に基づき、バルク法スキームの改良を図る。特に UAE で実施予定の地上や航空機観測実験の結果を活用する。
- ⑤エアロゾル・雲・降水統一雲物理モデルに室内実験およびボックスモデルにより作成されたスキームを実装する。エアロゾルの変化による感度実験を行う。
- ⑥ハイブリッドフレアを用いた雲生成実験を行い、シーディング物質の性能評価を行う。

副課題4の本年度の成果

- ①エアロゾルの物理化学特性及び雲核・氷晶核の地上モニタリング観測を継続した。インパクターのカットオフ径の違いに着目し、エアロゾル濃縮器を用いた氷晶核測定を継続実施し、氷晶核数濃度の粒径依存性と温度依存性を解析した。
- ②酸化アルミニウムおよび二種類の酸化鉄について、金属酸化物粒子の物理化学特性と雲核・氷晶核能の関係を雲生成チャンバー等の室内実験を通じて調査し、その雲核活性の過飽和度依存性および雲粒凍結過程における氷晶発生の温度依存性を評価した。また、混合雲での氷晶検出技術を向上させ氷晶生成のオンセットを精度良く捉えるためにエアロゾル・微水滴計測センサー (CAS) に偏光機能を付加した CAS - DPOL への改修を実施し、測定精度を評価した。
- ③②で得られた室内実験結果や最新の知見より、金属酸化物粒子の雲核・氷晶核能を評価し、雲核能については吸湿度パラメーター κ 、氷晶核能については ice nucleation active surface site (INAS) 密度による定量化を進め、導出した各値をボックスモデルに取り込み、モデルの改良に取り組んだ。
- ④UAE での航空機観測を 2017 年 8～9 月、地上リモートセンシング観測を 2017 年 1 月～2018 年 1 月まで計画通り実施しデータ取得した。データ品質管理と一次解析処理を行い、バルク法スキーム改良のためのデータセットをほぼ整備した。
- ⑤CCN2 成分系雲活性スキームを、ビン法雲物理ボックスモデルを用いて開発し、これをバルク法雲物理モデルに導入した。浅い対流雲を対象とする理想実験・実大気実験を行い、モデルの振る舞いをチェックするとともに改良に取り組んだ。
- ⑥ハイブリッドフレアを用いた雲生成実験に先立ち、ヨウ化銀フレアを用いて、発生粒子の物理化学特性と雲核・氷晶核能の関係を調査した。生成した物質は、塩化カリウムとヨウ化銀が内部混合した粒子であり、強い吸湿度を持つ塩化カリウムの影響を受け、高い吸湿度を持ち、かつ -15°C 以下において、水未飽和領域から氷晶活性する能力を有することが示された。年度内に吸湿性フレアとヨウ化銀フレアのハイブリッドタイプのフレアについても同様に雲核・氷晶核能を評価し、引き続いて氷晶生成の温度依存性に対する知見を得るため、雲生成チャンバー実験を通じて調査する予定である。

A2 顕著現象監視予測技術の高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）
 研究代表者： 鈴木 修（気象衛星・観測システム研究部 部長）

研究の目的

局地的大雨・集中豪雨や竜巻等の突風など甚大な災害に直結する顕著現象の監視予測技術の高度化により、国民の安心・安全への貢献を目指す。また、次世代の気象監視予測をになう観測システム構築に資する技術を開発する。

副課題1 診断的予測技術に関する研究

副課題1の研究担当者

清野直子、益子 渉、津口裕茂、荒木健太郎（予報研究部）、廣川康隆（気象庁予報部）

副課題1の目標

数値予報や客観解析資料、さらに高解像度非静力学モデルを活用して豪雨発生および終焉要因について統計的に調査し、気象庁予報担当者の予報現業での診断的予測技術向上に資する知見・手法を得る。

副課題1の本年度の計画

- ①引き続き、気象庁の予報業務研修での講義や各官署に出向き指導・教育することにより、予警報業務の課題やニーズを把握する。
- ②線状降水帯発生条件を高度化するために、線状降水帯の走向を決定する要因について調査する。
- ③水平解像度1kmの非静力学モデルを用いて、複数の過去の豪雨事例の再現実験を行うことで、豪雨の発生・終焉要因を統計的に調査する。
- ④引き続き、豪雨や大雪発生時の大気環境場の統計解析を行う。

副課題1の本年度の成果

- ①気象庁の予報業務研修での講義や各官署に出向き、予警報業務の課題やニーズの把握を継続した。
- ②・津口・加藤(2014)の手法で、1989～2015年(27年間)の4～11月を対象に集中豪雨事例を抽出し、それらをもたらした降水域の形状についての統計解析を行った。その結果、抽出された715事例中の368事例が「線状」の降水域と判定された。
 ・抽出された事例について、水平格子間隔5kmの気象庁非静力学モデルによる再現実験を行った。線状降水帯の再現性が高いものについて、線状降水帯の走向と様々な高度間の鉛直シアーとの関係を統計解析したところ、高度500mと500/600hPaの鉛直シアーが特に相関が高いことが明らかになった。
- ③「平成27年9月関東・東北豪雨」や「平成25年8月の秋田県・岩手県の大雨」の再現実験を行い、豪雨・大雨の発生・終焉要因として、大気下層の暖湿気塊の流入量や大気中層への乾燥空気流入量などが重要であることを明らかにした。
- ④・2006～2015年の暖候期(4～10月)において、日本周辺を通過した低気圧を対象に、降水システムに対する寄与を調査した。降水強度別・発達率別の低気圧トラックを調べたところ、低気圧の発達や進行方向、進行速度を目安として、降水強度を直接診断することは難しいことがわかった。一方、環境場の特徴は降水強度別に分類でき、上層擾乱や大気下層の水蒸気場、大気成層に着目することが降水システム発達の診断に有効であることが示唆された。

- ・2017年3月27日、本州南岸を通過した低気圧に伴う大雪により、栃木県那須町で表層雪崩による災害が発生した。本研究ではこの大雪事例に関連して、1989～2017年の那須における降雪事例について統計解析を行い、降雪・気象場の諸特性を調べた。その結果、この事例と同規模の大雪は約3年に1度、3月としては約19年に1度発生していた。那須で大雪となる気圧配置は西高東低の冬型が63%、低気圧が30%であり、いずれも日降雪時間が長いほど日降雪深が大きかった。しかし、低気圧による降雪の場合には例外的に短時間で大雪になることがあり、これらの事例の多くは閉塞段階の低気圧が関東付近を通過していることがわかった。

副課題2 監視・予測技術改善のための研究・開発

副課題2の研究担当者

楠 研一、小司禎教、足立アホロ、南雲信宏、猪上華子、足立 透、吉田 智（気象衛星・観測システム研究部）、山田芳則、林 修吾、益子 渉（予報研究部）、佐藤英一（火山研究部）、入口武史（台風研究部）

副課題2の目標

二重偏波レーダー、GPS 視線方向遅延量、高密度観測網等を用いて、顕著現象をもたらす積乱雲等のじょう乱の発生・発達にとり重要な要素である水蒸気・雨水・固体粒子といった水に関する高精度観測を行い、現象の時空間分布・発生機構の解明を行うとともに、顕著現象の検出・直前予測・短時間予報の改善に資する観測データ処理アルゴリズムを開発する。

副課題2の本年度の計画

- ①積乱雲の内部構造を観測し、竜巻等突風、局地的大雨および台風環境下における激しい風雨の解析を行う。高速スキャンレーダーによる竜巻等突風および局地的大雨の探知・予測アルゴリズム開発の一環として、フェーズドアレイレーダーおよび可搬型ドップラーレーダーにより、庄内平野に新規に設置される XRAIN 型レーダーと連携することを含め、竜巻渦の3次元探知アルゴリズムの動作試験及び改良を行うとともに、降水コア検出の開発を進める。
- ②雷詳細観測を行い、雷放電・発雷機構の解析をする。さらに雷放電と関連の深い、アラレや上昇気流と雷活動・電荷構造の関連についてフェーズドアレイレーダーや二重偏波レーダーを用いて解析を行う。
- ③ドップラーライダーと二重偏波レーダーとを組合せた晴天ガストフロント検出アルゴリズムの概念モデルを作成する。
- ⑤副課題3③の成果を用い、固体素子二重偏波レーダーによる関東地方の顕著現象の観測を行うとともに、顕著現象の解析を行う。
- ⑥副課題3⑤の成果を用い、局地的な水蒸気の非一様の度合い、水蒸気のスケールハイトや下層水蒸気量と、豪雨や突風等の顕著気象との関係を調査する。

副課題2の本年度の成果

- ①・竜巻等突風・局地的大雨等の観測研究として、気象研究所を含む全国5ヵ所（つくば市、千葉市、大阪市、神戸市、沖縄県恩納村）の PAR を用いた観測データの解析を行った。2015年8月12日につくば市を通過したスーパーセルの解析を進め、メソサイクロンの強化に係る物理過程を明らかにするとともに、当該成果に係る学術論文を執筆した。
- ・また、平成28年台風第9号の観測データについて、台風中心部の立体構造の時空間変化を明らかにするとともに、地表面付近における筋状の強風構造（ストリーク）の3次元解析を実施し、当該現象の立体構造を広域に渡って捉えた。さらに気象研究所 PAR を運用し、竜巻等突風や局地的大雨、降雹の観測とそれらの即時的解析を実施した。これらの観測・解析研究によって、PAR が竜巻等突風から台風に至る様々なスケールの顕著現象の理解に有用であることを示すとともに、降水・竜巻発生確度ナウキャストの飛躍的な高度化に資する

観測装置であることを明らかにした。

・JR 東日本と共同で開発した突風探知アルゴリズムが、JR 東日本により、冬季の山形県庄内地域を対象とした運転規制に平成 29 年 12 月 19 日から実用化された。山形県庄内平野において、風速計と気圧計から成る多点型地上観測システム (LAWPS) とドップラーレーダーを用いて冬季日本海側で発生する竜巻渦の高密度観測を行い、2014 と 2015 年度冬季に日本海から上陸し LAWPS を通過した渦 24 事例について、地上と上空の渦の特徴を比較するとともに、地上付近の渦の水平構造を詳細に解析し、渦の統計的特徴を明らかにした。上記実用化に伴って 2016 年度冬季に庄内平野に新設され低高度を高頻度かつ比較的遠距離まで観測することが可能なドップラーレーダーで、可搬型ドップラーレーダーとも合わせ、背の低い冬季日本海の線状降水帯に発達する渦列の形成から発達までのプロセスについて複数の初期解析を行なった。

- ② 2015 年度から 2016 年度までの観測で得られた、北関東周辺 (夏季) および庄内周辺 (冬季) の雷放電 3 次元データの解析を行った。両者の比較により、夏季雷と冬季雷では電荷分離が活発になる高度は大きく異なるものの、電荷分離が -10°C 付近で最も活発化することを示した。これまで夏季雷の電荷分離機構では -10°C 付近で電荷分離が活発になる着氷電荷分離機構が有力であると考えられてきたが、冬季雷でも同様に着氷電荷分離機構が有力であることを示した。
- ③ 以下のようなドップラーライダーと二重偏波レーダーとを組合せた晴天ガストフロント検出アルゴリズムの概念モデルを作成した。(a) ガストフロントに伴うエコーの反射体を昆虫と雨滴の混合体と仮定し、この反射体の持つ、雨滴と異なる偏波特性 (ZDR (high), ρ_{hv} (low)) に着目し二重偏波レーダーからガストフロントの領域を把握し、さらにドップラーライダーの観測範囲内のシアアの強さを算出した。(b) アルゴリズム前半の二重偏波レーダー・ドップラーライダーから得られた情報を組合せ、ガストフロントの位置、伝播速度、予測されるシアアの強さを算出した。
- ⑤ 前年に引き続き、2015 年 8 月 12 日につくば市を通過したメソサイクロン発生時の偏波情報の特徴を解析した。竜巻を伴った他のスーパーセルとの比較を実施した結果、親雲の強雨域縁辺、セルの進行方向前面の降水域における下降流 (FFD: Forward Flank. Downdraft) 域で ZDR の極大 (大粒の雨粒)、及び KDP の負値 (大粒子の集中)、さらにフックエコー域での ρ_{hv} 低下 (低い降水粒子の均一性) 等、共通の特徴があることがわかった。本結果は AMS レーダー会議 2017 にて報告した。前年に引き続き、2016 年 1 月 29 日につくば周辺で観測された凍雨・雨氷事例の解析を行った。昨年度までは、逆転層構造を持つ上空の温度構造との関連が明らかにしたが、今年度 VAD 法を用いた鉛直流解析を行い、凍結が温度に加え鉛直流とも関係があることが示唆された。
- ⑥ 視線遅延量を用いた水蒸気非一様性の度合い (WVI 指数と呼ぶ) が、高解像度降水ナウキャストの発達衰弱予測に有効か確認するため、観測課担当者の要望により 2016 年 7 - 9 月、5 分間隔の WVI 指数データを提供した。高層气象台と共同で、2017 年 6 月 16 日の関東での落雷降雹事例について調査し、降水強化の 30 分程度前に WVI の強まりを確認した。

副課題 3 次世代観測システム構築に向けた研究

副課題 3 の研究担当者

小司禎教、石元裕史、永井智広、楠 研一、上清直隆、足立アホロ、酒井 哲、太田芳文、南雲信宏、猪上華子、足立 透、吉田 智 (気象衛星・観測システム研究部)、瀬古 弘、林 修吾 (予報研究部)、岡本幸三 (台風研究部)、佐藤英一 (火山研究部)、山内 洋、梶原佑介 (気象庁観測部)、真野裕三、増田一彦、石原正仁、小林隆久、内野 修、新井健一郎、石津尚喜、藤原忠誠、小野村史穂 (客員)

副課題 3 の目標

フェーズドアレイレーダー・3次元雷センサ・水蒸気観測用ラマンライダー・衛星ラピッドスキャン等を用いて、激しい降水をもたらす積乱雲の微細構造を観測するための手法の開発、数値予報精度向上に資する水蒸気分布観測等最新技術の導入、および次期静止気象衛星観測の活用等様々な新しい観測技術の特性を把握するとともに、OSSE などの技術を用いて、それらの監視・予報精度向上への

有効性について客観的に評価する技術を開発し、次世代観測システム構築に資する知見を得る。

副課題3の本年度の計画

- ①可搬型ドップラーレーダーについて、セクタースキャンによる高速化と可搬性を生かした顕著現象の詳細観測を実施し、竜巻の高解像度観測機能を評価する。フェーズドアレイレーダーについて、ビッグデータ運用パラメータに依存した現象の解像度やノイズ特性等の調査と気象場に応じたデータ品質の検証によって、現業での利活用を見据えた機能評価を実施するとともに、解析・図化アルゴリズムの改善を行う。
- ②雷放電路3次元可視化機動ネットワークシステムの標定精度向上のためのアルゴリズム開発を行う。
- ③二重偏波情報を用いた減衰補正手法の開発、豪雨や竜巻等の顕著現象の解析手法の開発、粒子判別アルゴリズムの開発、地形クラッターの位相を用いた下層水蒸気分布の推定アルゴリズムの開発、を引き続き行う。
- ④機動観測用水蒸気ラマンライダーを用いた機動観測を行うとともに、水蒸気ライダーの開発・改良を行い、数値モデルの検証やデータ同化実験等、予測への効果を調査する。
- ⑤引き続き、リアルタイムで視線水蒸気量を解析する手法、海上での準リアルタイム水蒸気解析手法、水蒸気3次元情報の抽出に関する手法の開発を行う。
- ⑥・ひまわり8号データを用いたOCA雲解析について、導入した雲2層アルゴリズム改良による雲推定精度の向上を図る。OCA また新規の火山灰事例に対しOCA解析を利用した水・氷雲混入の判定を試みる。
 - ・赤外サウンダを用いた火山灰物質推定については、リトリーバル手法の改良とAIRS・IASIのサウンダデータ両サウンダデータを用いた解析事例の整備を行い、また推定した光学定数から作成したLUTのVOLCATへの組み込みを試みてVOLCATリトリーバル結果への影響を調べる。
 - ・内部混合エアロゾル粒子の可視・近赤外散乱データベース、凝集体氷粒子の広域マイクロ波散乱データベースの構築を継続して行なう。
 - ・X線 μ -CTデータを使った積雪粒子モデルの改良を継続して実施する。
- ⑦ひまわり8号の赤外輝度温度データの雲域での輝度温度同化に向けて、引き続きモデルとの比較を進める。この結果を元に、A1、A3課題と連携して、同化前処理（観測誤差設定、品質処理）の開発・改良を行い、同化実験により効果を確認する。
- ⑧昨年度開始した観測システムシミュレーション実験についてのアルゴリズムを引き続き実験環境の整備を行うとともに、可搬型観測装置などから得られるデータを想定した同化手法の開発に着手する。
- ⑨気象衛星ひまわり8号の観測バンドに対応したアジョイント放射モデルの開発と高度化を進める。また、アジョイント放射モデルを使った感度解析を行い、ひまわり8号の観測バンドがもつ情報を定量的に調査する。

副課題3の本年度の成果

- ①気象研究所PARについて、様々な気象場における運用を実施するとともに、取得されたデータの品質調査を行い、クラッター低減技術や折り返し補正等の品質管理手法を改善した。また、将来のリアルタイム現業利用を想定して、PARによって得られるビッグデータを効率的に収集・処理する技術や、流線解析等を用いた気流構造の3次元解析・可視化技術を開発した。さらに、気象衛星ひまわりや現業気象レーダーを含めた他の観測データを融合解析・図化する手法を開発し、より効果的な現象理解や監視・予測技術につながる基盤技術を確立した。
- ②雷放電路3次元可視化機動ネットワークシステムを用いた、新たな標定手法について文献検索や検討を行った。現在は、複数設置しているLF帯雷センサーで受信した雷放電に伴う電磁波パルスのピーク到達時間を用いた到達時間差法を用いて標定を行っている。一方で、到達時間差法と異なる干渉法を用いた雷放電標定手法の研究開発が、大阪大学等を中心に開発が進んでいることが明らかとなり、干渉法を用いた最新の標定手法について検討を行った。また、PAR

等を用いた積乱雲構造の高頻度・高密度観測が、電荷構造の理解に極めて有用な技術であることを見出した。

- ③・二重偏波レーダーの観測データから、経験式を用いずに理論的に降雨による電波の減衰の補正と雨滴の粒径分布・降水強度とを高精度に推定する手法について、地上観測との比較による精度評価、自動化・高速化のための開発、並びに高精度化のための改良を引き続き行っている。地上観測との比較による降水強度の精度評価の結果、従来の経験式に基づく手法より精度が高く、また一昨年開発したプロトタイプよりも精度は向上していることを確認した。しかし推定された降水強度はまだバラツキがあり、今後も改良が必要であることも判明した。
- ・固体素子二重偏波レーダーと地上のディストロメーターの複合観測網を用い、降水粒子判別に資する観測・解析を行っている。今年度はディストロメーターをつくば市北部に移設し、雷雨や凍雨、雪等の連続観測を開始した。2016年1月29日の関東平野の凍雨・雨水事例のデータについて、凍雨時の偏波レーダーから得られるZ DRの増加は、降水粒子の凍結に伴う変形及びその落下姿勢による横長形状の特徴をよく捉えていることを明らかにした。
- ・レーダー電波の位相を用いた下層水蒸気分布推定アルゴリズム開発のために、懸案であった位相補正不具合問題を明らかにし、解消した。位相情報の観測を行い、予報研究部に提供した。
- ④・昨年度までに開発した機動観測用ラマンライダーを用いて、神奈川県茅ヶ崎市、川崎市の沿岸部で水蒸気の鉛直分布の観測を行った。長期安定的に観測機器が動作することを確認し、観測データも良好であることを確認した。
- ・一方で、2016年8月18日に栃木県、群馬県で発生した大雨の事例に関して、機動観測用ライダーを用いてつくばで気象研のラマンライダーで得られた水蒸気鉛直分布データを用いてデータ同化実験を行った。データ同化により、水蒸気ライダー観測サイトの風下側の水蒸気分布に大きなインパクトを与えることを示し、水蒸気ラマンライダーを用いたデータ同化の可能性を示した。
- ・2016年度につくばで行った約4ヶ月間の連続観測データをラジオゾンデデータ、GNSS可降水量データ、局地解析値と比較し、検証を行った。その結果、ライダーは高度0.15～0.51 kmで水蒸気混合比を1%～8%過小評価していることが分かった。これは、受信に用いた光電子増倍管の光電面の感度の不均一性に主な原因があると想定され、補正するための係数を求めて適用した結果、ラジオゾンデデータと良好な一致（夜間の高度範囲0.14～5.5 kmで平均差10%以内）を得た。
- ⑤・船舶に搭載したGNSS受信機による観測データから、複数の衛星測位を用いてRMS 2mm程度で可降水量を推定する手法を開発した。結果を論文誌Earth Planets, Spaceに投稿し、その論文が「Highlighted papers 2017」の一つに選ばれた。平成30年度気象庁予算として、当技術を用いる「海上の水蒸気観測による集中豪雨予測精度向上のための研究」が正式に認められた。
- ・水蒸気3次元情報の抽出について、既存の変分法同化システムを用いることで、水蒸気のみでなく気温や風などの高頻度解析を行う技術開発に着手した。2012年5月6日の事例では、GNSS可降水量と地上比湿を同化することにより、東京湾から茨城県西部にかけての竜巻発生前の12時頃は、NHMによる背景場で過小評価であった下層水蒸気量が増加し、メソ解析に近づいたことがわかった。
- ⑥・積雪粒子モデル改良のため μ -CTで計測した積雪構造データから個別積雪粒子の物理特性を抽出するアルゴリズムを開発した。抽出した積雪粒子の光散乱計算結果から現実の積雪粒子による光散乱特性を明らかにし、研究まとめ論文を発表した。
- ・VOLCAT火山灰プロダクトの精度向上のため、衛星赤外サウンダデータから火山灰物質情報を取り出してVOLCATアルゴリズムに反映させるルックアップテーブル(LUT)を作成した。またひまわりが観測した火山噴火事例に同LUTを適用したVOLCAT解析を行った。また赤外サウンダによる火山灰光学定数推定について気象研究ノート原稿を執筆した。
- ・平成29年度も黄砂・エアロゾルプロダクトや氷雲プロダクトを共同で開発している国内各

機関のモデル開発者を支援するため、粒子形状やエアロゾル内部混合状態に依存した粒子散乱特性データベースを開発し提供した。

- ・ ひまわり 8 号データを用いた OCA 雲解析では、フルディスクの夏季 1 ヶ月解析を行い巻雲の光学的厚さや有効半径の日変化や高層雲頻度の NICAM との違いなどを明らかにした。
- ・ 降雪のレーダー反射特性からの降水量推定精度の向上を目的として、部分融解した雪片のマイクロ波散乱特性を計算する数値シミュレーション実験を開始した。

⑦衛星センターで開発中のひまわり全天放射輝度プロダクト (ASR) を使って、簡易雲スキームに基づいたひまわり 8 号の雲域同化予報実験環境を NAPEX 上に構築した。構築した実験環境を使って同化予報実験を行い、晴域データの同化等との比較・調査を行った。

⑧昨年度開始した観測システムシミュレーション実験について実験環境の整備を行いその作業を完了した。また可搬型観測装置などから得られるデータを想定した同化手法の開発に着手した。

⑨気象衛星ひまわり 8 号用のアジョイント放射伝達モデルの高度化を進めた。特に、雲・エアロゾルパラメータについての線形計算スキームを導入し、曇天大気における計算精度の検証を進めた。また、東京海洋大学の協力により、ひまわり 8 号・9 号の観測バンドに対応したガス吸収モデルの高度化を行い、オゾンや二酸化硫黄等の新たなガス成分を導入するための検討作業を進めた。

A3 台風の進路予報・強度解析の精度向上に資する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 青梨和正（台風研究部 部長）

研究の目的

台風進路予報の改善と台風強度の実況推定及びその予報可能性に焦点を当てた研究を行い、気象庁が実施する台風解析・予報業務の改善に資する。

副課題1 全球及び領域解析・予報システムを用いた台風進路予報の精度向上に関する研究

副課題1の研究担当者

中川雅之、岡本幸三、和田章義、石橋俊之、山口宗彦、小田真祐子（台風研究部）、吉村裕正（予報研究部）、新藤永樹（気候研究部）、石元裕史、上清直隆（気象衛星・観測システム研究部）、齋藤 慧（気象庁予報部）、金田幸恵、中澤哲夫（客員）

副課題1の目標

全球解析・予報システムと領域解析・予報システムを用いて、台風進路予報の精度向上に資する研究を行う。

- ①雲降水域での衛星データ、特に、次期ひまわりのデータを全球大気データ同化システムへ導入する。初期場の改善により台風進路予報の改善を図る。次世代につながる新しいデータ同化手法の開発に着手する。
- ②気候モデルで効果のあった積雲対流スキームを全球モデルに導入する。その他の物理過程についても、気候モデルで効果のあったスキームを導入する。それらにより、台風進路予報の改善を図る。
- ③台風進路・強度予報のため、領域非静力データ同化システムを開発する。雲降水域の衛星リモセンデータを領域非静力データ同化システムへ導入する手法を開発する。また、領域非静力・海洋波浪結合モデルを含む同化システムによって台風進路・強度予報改善に関する知見を得る。
- ④台風進路予報誤差が大きかった事例等について、TIGGE データや特別観測プロジェクト等のデータを用い、誤差要因とその改善方策に関する知見を得る。また、TIGGE データ等を用いて台風発生の予測可能性を研究する。

副課題1の本年度の計画

- ①全球大気データ同化システム開発
 - ・アンサンブルを用いた同化システムの研究を従来の4DVARと比較しながら進める。特に4次元の背景誤差による高精度解析の実現を図る。
 - ・全球大気解析に利用する観測情報の拡充のために、観測データのインパクトや誤差共分散行列等の診断を行う。これらの診断結果を用いて、観測データの品質管理の改良や誤差相関の導入など、同化システムの改良を進める。将来導入される観測網の評価のために、複数の手法のOSSEの構築、比較を行う。
 - ・衛星搭載風ライダーのOSSEについて、引き続き観測誤差や品質管理などを改良しながら、データのより有効な活用方法を調査する。
 - ・雲域でのひまわり8号の赤外輝度温度データを、全球大気データ同化システムで同化するため、雲散乱計算を考慮した高速放射伝達モデルを導入した解析前処理や4DVARを開発する。雲域でのモデルの再現性を調査し、雲の効果を考慮した品質管理手法の検討を行う。同化や放射伝達計算の相互検証を行うため、Joint-Simulatorを全球大気データ同化システムに導入する。
 - ・アンサンブルを用いた同化システムの研究について、予報誤差相関構造を調査し、局所化の方

法を探る。

- ・赤外ハイパーサウンダの雲域データ同化システムの品質管理手法を見直し解析ならびに予報精度改善を図る。
- ・ひまわり 8 号データを用いた雲 2 層モデル OCA による水・氷雲の 1DVar 解析を継続して実施するとともに、衛星センターでの開発状況に則した OCA コードの改良を行なう。また OCA による台風解析事例を増やすことで台風域における雲特性調査を実施する。

② 全球モデル物理過程改良

- ・平成 29 年度に本庁で現業化される GSM17XX をベースに、気候モデルで効果のあった積雲対流スキームやその他の物理過程を導入し、台風進路予報の改善を図る。MRI-NAPEX を使用して予報スコア・台風予測スコアの確認を行う。

③ 領域大気データ同化システム開発

- ・アンサンブルに基づく変分法的同化法を用いて、台風 1518 事例と PALAU2013 の台風発生期事例について、実際の衛星搭載マイクロ波放射計データを同化する予報解析サイクルの実験を行なう。その結果に基づき、アンサンブルに基づく変分法的同化法プログラムの改良を行なう。
- ・NHM-LETKF の台風強度、位置、強風半径情報のデータ同化手法を他の台風事例に応用し、そのインパクトについて調査を継続する。また、NHM-LETKF を基に開発した領域大気波浪海洋結合同化システムを 2015 年関東東北豪雨の台風事例に利用し、海面水温変動が台風解析及び豪雨に与えるインパクトを調査する。
- ・マイクロ波放射計データから降水強度を推定するアルゴリズムを開発する。また、このアルゴリズムで計算するマイクロ波放射計データの第 1 推定値の誤差を研究するため、TRMM と GPM の観測データを用いた解析を行なう。
- ・アンサンブルに基づく変分法的同化システムの改良や高速化のため、Joint-Simulator を利用を高度化する。

④ TIGGE データ等を用いた予測可能性研究

- ・航空機観測データを用いた同化・予報実験を行う環境を整備し、航空機観測の台風予報へのインパクトを調査する。
- ・台風発生予報のために台風追跡アルゴリズムを開発する。

副課題 1 の本年度の成果

① 全球大気データ同化システム開発

- ・観測情報の拡充のために誤差共分散行列の高精度推定を行い、推定された共分散行列を用いることで解析、予報精度が顕著に改善することを MRI-NAPEX 上での実験で示した。特に、衛星の輝度温度データや、風の遠隔観測について観測誤差膨張した場合に最も精度が高くなることがわかった。これらの開発は次期 NAPS での早期現業化を目指しており、4 次元変分法本体プログラムや誤差評価プログラムなどについては数値予報課に提供した。数値予報課データ処理グループの月例会合への出席、数値予報課コロキウム、全球モデル検討会（3 月予定）等で情報共有した。
- ・予報精度の評価について、ERA5 を用いた信頼性の高い評価を行い、既存の評価と比較した。対自解析検証には原理的に問題があり、正しい精度評価とならない場合があることを示した。このことは外国センターでも特に解析システムの開発で問題となっており、対独立解析検証を開発の指標とすべきである。①と同様の会合や推本評価 SG で情報共有した。
- ・背景誤差共分散行列の精度向上（アンサンブル予報を用いた同化）のために、変分法によってアンサンブル生成と決定論的な解析をともに行う同化システムを開発しており、メンバー数を 192 まで増加させること等によって、気候学的な誤差情報を全く使わなくても、解析、予報精度が顕著に改善することがわかった。また、随伴モデルを使わない場合でも、気候学的な情報を 20% 混ぜることで、予報初期などで精度改善が得られることがわかった。
- ・衛星搭載風ライダー（DWL）の同化手法に関して、品質管理の厳格化、観測誤差の拡大などを行い、初期場だけでなく疑似真値場に対しても改善を確認した。また極軌道 DWL と熱帯軌

道 DWL のインパクトの比較を行い、熱帯域の短期予測は熱帯軌道 DWL が勝り、2 日以降の予測では極軌道 DWL が勝るという結果を得た。この原因について、熱帯域での誤差発展の特徴と、OSSE の疑似真値場の作成手法との関係について考察した。

- ・ 全球モデルの短期予測から雲散乱を考慮した高速放射伝達モデル RTTOV を実行できるように、全球大気データ同化システムの前処理部分を改修した。ひまわりの赤外輝度温度観測値と比較すると、RTTOV を用いたシミュレーション結果は輝度温度が高すぎ雲の効果が小さいことが分かった。
- ・ アンサンブル予報誤差相関構造の調査をし、局所化の方法を探した。
- ・ 雲 2 層モデル OCA による夏季 1 ヶ月の OCA 雲解析を実施し、巻雲の光学的厚さや有効半径の日変化や高層雲頻度の NICAM との違いなどを調べた。

② 全球モデル物理過程改良

- ・ 気象庁現業全球モデル最新版 GSM1705 ベースの非静力学・二重フーリエ級数モデルで、7km 解像度台風予測実験を実施した。以前の GSM1403 ベースのモデルで見られた台風の過発達はかなり抑えられることを確認した。接地境界層スキームの更新による海面からの顕熱の減少が、その一因と考えられる。
- ・ 気象庁現業全球モデル最新版 GSM1705 をベースに Kawai (2017) の層積雲スキームを導入したモデルで、低解像度の 4 メンバー一年積分実験 (COOL 実験) および単発予報実験を行い、放射フラックスのバイアスが減少する、下層雲の不自然に不連続な構造が解消するといった、先行研究と整合する改善が見られることを確認した。

③ 領域大気データ同化システム開発

- ・ 大気側に加えて、海洋側もアンサンブル同化により摂動を作成する領域大気海洋結合同化システムを用いて 2015 年台風第 17 号・第 18 号及び関東東北豪雨の解析を実施した。解析された海面水温は気象庁日別海面水温データ (MGDSST) と比べて、ひまわり 8 号による毎時海面水温解析値及び定置ブイにおける海面水温観測値に対する相関が高くなった。この海面水温解析の精度向上により、対ゾンデ検証から対流圏下層の気温、相対湿度、風の精度が向上し、また解析雨量に対するスレッドスコアも全般的に良くなった。
- ・ NHM-LETKF を用いたひまわり 8 号の全天候輝度温度の同化研究において、局所化等のパラメータの調整、CloudSat 等の他の観測を用いた評価システムの開発等を行った。全天候輝度温度を同化することにより、ゾンデや CloudSat による雲氷への整合性が改善することを確認した。現業で実施されている晴天輝度温度同化との比較を行うための、準備を進めている。
- ・ アンサンブルに基づく変分法的同化法を用いて、PALAU2013 期間中の台風 1306 号について、各種の衛星搭載マイクロ波放射計輝度温度 (TMI, AMSR2, SSMIS) のデータを NHM に同化する実験を行なった。その結果、これらの輝度温度同化による、相対湿度や風速の解析インクレメントによって、NHM の台風 1306 号の発生の予報に大きなインパクトがあることが分かった。
- ・ マイクロ波放射計データから降水強度を推定する散乱アルゴリズムの誤差を研究するため、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) と全球降水観測衛星 (GPM) の観測データと全球解析値等から求めた環境パラメータを用いた解析を行なった。その結果、散乱アルゴリズムのバイアスや TRMM や GPM で観測された固体降水の厚みは、全球解析値の下層大気の安定度、相対湿度と相関すること、但しこの相関は地表面気温や海、陸、海岸など地表面状態によって大きく変動することが分かった。また、これらの結果を基に、散乱アルゴリズムのバイアスを減らす手法を開発した。

④ TIGGE データ等を用いた予測可能性研究

- ・ 台風の発生予報を実現するために必要となる、台風の発生に対応した追跡プログラムを新たに開発した。2013 年の気象庁週間アンサンブル予報の全事例を対象としてプログラムを実施し、ECMWF の追跡アルゴリズムを用いた追跡結果と比較し、台風発生の的中率、捕捉率とともに同様の結果が得られることを確認した。開発したプログラムは本庁へ提供した。これにより、気象庁全球アンサンブル予報による台風発生予測プロダクトが作成できるようになった。
- ・ 熱帯低気圧の強度推定及び強度予測の改善を目指した太平洋アジア地域観測実験 (T-PARCII) のもと、2017 年の台風第 21 号 (LAN) に対して航空機観測を実施した。10 月 21 日 05 ~

07UTC の間に 21 個のドロップゾンデ観測が得られた。新しく得られた観測データの台風進路・強度予報へのインパクトを調査するために、MRI-NAPEX で整備されている気象庁全球予測モデル (TL959L100)、4 次元変分法 (TL319L100) を用いて観測システム実験を行った。結果、ドロップゾンデ観測の台風進路・強度予報へのインパクトは小さかった。そもそも同初期時刻の予測は、ドロップゾンデ観測を同化しない実験でも進路・強度予報の精度が良く、改善の余地が少なかった。また、本実験で用いたアウター/インナーモデルの水平解像度はそれぞれ 20/60km で、今回の観測が台風の中心付近で実施されたことを考えると粗すぎるのかも知れない。

- MRI-NAPEX で整備されている 4 次元変分法で用いられているアジョイントモデルを用いて、台風の強度変化を対象とした感度解析システムを開発した。観測システム実験を実施した初期時刻を対象とする感度解析結果によると、台風の 2 次循環、特に台風西側の 2 次循環が台風の強度変化に対して感度があることが分った。例えば、台風中心から 100 ~ 500km, 高度 200hPa くらいのアウトフロー領域は感度が高かった。Lan を対象とした観測では高感度領域にドロップゾンデ観測が得られなかった。感度解析プロダクトに基づいた OSE、及び感度解析プロダクトの評価は来年度以降の課題である。
- WGNE 現業全球モデルによる台風予測の国際比較の取りまとめを行い、1) 進路予報誤差は、全球、半球毎、海域毎の検証の何れでも減少傾向である、2) 例えば北西太平洋域では、過去およそ 20 年間で予報期間にして 2.5 日分の誤差が減少している、3) コンセンサス手法による進路予報は、南インド洋域を除いてどの海域でも有効である、4) 海域毎に予測の難しさが異なること、等が分った。ハリケーン Joaquin のようにどの全球モデルでも誤差が非常に大きい「大外し事例」が少なからず存在し、またどの全球モデルでも年間予報誤差の平均値は中央値よりも大きい。これは「大外し事例」の減少が更なる年平均誤差の減少に繋がることを期待させるものである。
- 領域数値予報モデルによる台風進路予報の有効性を調査するために、気象庁非静力学モデル (水平解像度 5km) を用いて 2012 ~ 2014 年の全事例 (ただし、12UTC 初期値のみ) に対して予報実験を行った。実験の結果、1-2 日の進路予測に関しては、平均的に見て気象庁全球モデルによる予測よりも良く、特に水平風の鉛直シアが強い場合に改善率は最大で 20% に達することが分かった。
- ECMWF が研究目的で公開している ECMWF の全球モデル OpenIFS が気象庁の初期値から実行出来る環境を整備した。NuSDaS 形式の気象庁 P 面解析値から、ECMWF のモデル面へ変換し、さらに格子波変換を行い、ECMWF の初期値を作成する。T21L19, TL159L60 で動作確認を行い、正常終了することを確認した。

副課題 2 台風の強度推定と急発達・構造変化過程の解明及び予測可能性に関する研究

副課題 2 の研究担当者

岡本幸三、和田章義、小山 亮、入口武史、沢田雅洋、嶋田宇大、柳瀬 亘 (台風研究部)、川畑拓矢 (予報研究部)、大和田浩美 (気象庁予報部)

副課題 2 の目標

台風の強度・構造変化の予報の改善に必要な、台風強度推定の精度向上、急発達・構造変化過程の解明、及び台風強度等の予測可能性に関する研究を行う。

- ①衛星観測データによる既存の台風強度推定法の検証に現業ドップラーレーダーデータを活用すると共に、検証結果を元に推定手法を改良し、その精度向上を図る。
- ②台風の急発達・構造変化過程について、観測データ解析及び数値シミュレーションを用いてプロセスを解明するとともに、モデルパラメータ設定や物理過程の影響を調べることにより、強度予報の精度向上に資する知見を得る。
- ③日本に大きな影響を与えた台風事例について、観測データ解析・数値シミュレーションにより

強雨・強風構造のメカニズム解明を行う。

副課題2の本年度の計画

①強度推定手法の改善

- ・ ATMS による台風中心気圧推定の精度検証を引き続き行う。
- ・ ドップラーレーダーによる強度推定値の精度検証を引き続き行うとともに、中間プロダクトである高度 2km の風速データの活用法を調査する。
- ・ ひまわり 8 号の上層大気追跡風を用いた強度診断手法の開発を進める。

②プロセス解明・予測可能性検討

- ・ 上層 AMV（ひまわり 8 号及び MTSAT）やその他のデータを用いて、急発達台風事例の解析を行い、急発達のプロセスを調べる。ひまわり 8 号 AMV の特性の検証を行うとともに、上層 AMV を用いた地上最大風速診断の可能性について検討を行う。
- ・ 2016 年台風第 18 号など、強度の急な変化や強風等の顕著現象を伴った台風事例について、ドップラーレーダーなどの観測データ解析と数値シミュレーションにより、その原因やプロセスについて調査する。
- ・ 2013 年台風第 30 号の発達プロセスと最大強度に対する海洋の役割に関する研究及び台風強度変化と大気海洋環境場の不確実性の関係に関する研究を引き続き実施する。数値シミュレーションにより、2016 年台風第 10 号の特異な経路に伴う強度変化と海水温低下の関係を明らかにする。2014 年台風第 19 号の発達率・サイズに対する解像度依存性について、引き続き詳細な解析を行う。ひまわりラピッドスキャンデータの非静力学モデルへの同化による台風の強度や構造変化に対するインパクトの研究に着手する。
- ・ SHIPS や LGEM などの台風強度ガイダンスに有効な新しいパラメータ調査を行い、精度向上を図る研究を行う。
- ・ TCGI（台風発生予測ガイダンス）について、適切なパラメータに関する調査、参照する環境場の半径が予測精度に与える影響などについて調査を実施する。

③顕著台風事例解析

- ・ 2017 年の台風シーズンの顕著な台風について、必要に応じて速報解析を行い、強度や強雨・強風構造について明らかにする。

副課題2の本年度の成果

①強度推定手法の改善

- ・ 2015 ～ 2017 年の台風を対象として、ATMS を用いた強度推定の精度検証を実施し、AMSU 強度推定よりも精度が高いことを確認した。また、ATMS 推定とドボラック推定のコンセンサス推定の精度が、ドボラック推定の精度より高いことも確認した。
- ・ ドップラーレーダーによる強度推定法の改善を行った。新たな品質管理アルゴリズムを導入することで、風速プロファイルの時間平均値が使用可能になり、その結果、推定値が 5 分毎に不規則変動しなくなった。

②プロセス解明・予測可能性検討

- ・ 水平解像度 3km の非静力学大気波浪海洋結合モデルを用いて、2016 年台風第 10 号衰退期における対流バーストと海水温変動の関係を調査した。結合モデル及び大気モデルによる計算結果を比較した結果、台風による海面水温低下の効果は、台風の眼の壁雲内の水蒸気フラックス量を減少させたことが分かった。衰退期であり、海洋結合による水蒸気フラックス量の減少があったにもかかわらず、移動速度が速かったことから進行方向右側前方の摩擦収束域にて対流バーストが生じた。対流バーストに伴う比較的強い上昇流、潜熱放出による加熱及び気圧傾度力増加の効果により最大風速は維持された。
- ・ 2016 年台風第 18 号の強度・構造変化を観測データに基づき調査した。台風は最盛期には推定中心気圧 900-910hPa、高度 2km の軸対称平均接線風で 70m/s 以上あったが、沖縄本島接近時には急衰弱していた。この時、アウターレインバンドは発達過程にあり、対流圏中層に風

速極大が見られた。その後、アウターレインバンドの軸対称化とともに対流圏下層のインフロー、対流圏界面付近のアウトフロー強化が見られ、接線風領域は外側に拡大した。解析期間の最後には、部分的な眼の壁雲交換が開始した。

- 2015 年台風第 6 号が先島諸島近海通過時に眼の壁雲が形成され再発達したについて、レーダー及び地上観測データを用いて調査を行った。この台風は、約 5 時間の間に高度 2km の軸対称平均接線風速が 30m/s から 50m/s に増大した事例で、200-850hPa 間の鉛直シアアが 11m/s 以上の対流不安定な環境場で発達したことが特徴的だった。強いシアアにより台風渦が傾いたことが対流バーストのトリガーとなり、その後の発達につながったと考えられる。またその際、台風渦が一度アップシアア側に歳差運動しており、一連の振る舞いの特徴は、台風渦が鉛直シアアに対抗して直立化するという理論と定性的に整合するものだった。
- 2015 年台風第 15 号の眼の壁雲交換後の急発達についてレーダー解析を行った。この台風は、急発達開始時に、最大風速半径 (RMW) すぐ外側の対流圏下層にアウトフローが存在したことが特徴的だった。このアウトフローは下層 RMW の急収縮に寄与し、その結果、RMW の傾斜が次第に大きくなった。さらにこの時の境界層プロセスを調べるため、境界層数値モデルを用いて、境界層構造を診断した。その結果、対流圏下層のアウトフロー卓越域に対応する領域で、摩擦収束と超傾度風が起きていたことがわかった。
- SHIPS に台風内部構造情報を追加することにより、SHIPS の精度が向上することが分かった。将来の強度変化に対し、統計的に有意な相関を持つ内部構造情報として、軸対称度、最大降水量半径、降水分布率、全積算降水量、ロスビー数が抽出された。これらの説明変数を SHIPS に追加することで、最大 7% の精度改善が得られた。特に強度が定常の台風に対して改善が大きく、15% 以上の改善率が得られた。一方、発達台風の改善は一部を除きほとんどなく、課題が残った。
- 2016 年台風第 10 号を対象として、ひまわり 8 号 AMV、衛星マイクロ波データ他の観測データを用いて、台風強化時の内部コアの解析を行なった。解析によって、内部コア内の接線風強化が暖気核の発達と対応していたことや、これらが対流強化の直後に出現していたことなどを示した。さらに、非静力学大気海洋結合モデルを用いたシミュレーションに基づく検証を行ない、衛星データ解析から示唆されたこれらのプロセスが、シミュレーション結果と整合的であることを確認した。
- 早期ドボラック解析 (EDA) 対象擾乱の経路予測を行うため、GSM の予測値を入力とした移流モデル RTAB を実行する環境を構築し、EDA 対象擾乱から台風に発達する可能性を計算する処理を高度化した。台風急発達 (RI) インデックスで利用されている説明変数を用いて、2013 年から 2015 年に発生した T 数 1.0 以上の EDA 擾乱が 48 時間以内に台風に発達する可能性を計算する台風発生予測ガイダンス (TCGI) を実行し、精度検証を実施した。
- 鉛直シアアが台風に及ぼす影響の緯度依存性を理想化実験で体系的に調べた。低緯度ほど鉛直シアアが台風の発達を抑制する効果が強いが、この効果は中緯度では傾圧的なプロセスの影響によって現れにくくなることを確認した。
- コンセンサス手法による台風強度予測の有効性を示した。本庁で試験的に利用されている。最も精度の良い個々のガイダンスよりも 5% 程度 RMSE が減少し、統計的手法 (SHIFOR) に比べるとコンセンサス予報は 30% 程度 RMSE が減少する。さらに、NHM による強度予報をコンセンサスに加えるとさらに精度が改善することが分った。
- 2016 年台風第 2 号 (Nepartak)、第 14 号 (Meranti)、第 20 号 (Megi) に対して、ひまわり 8 号の高時空間解像度 AMV を同化することによる台風予報への影響を評価した。進路予報に対して、高解像度 AMV を加えるほど予報時間後半で改善が見られた。ただし、高解像度 AMV を加えるほど初期値の台風に伴う低気圧性循環 (初期渦) が弱まり、発達が遅くなる傾向が見られた。第 14 号 (Meranti) について追加実験を行い、3DVAR ではなくアンサンブルハイブリッド変分法を用いることで、初期渦の弱화가軽減され、強度予報の弱化バイアスが改善されることが確かめられた。

③顕著台風事例解析

- ひまわり 8 号 AMV 他の観測データを用いた解析を行い、2017 年台風第 5 号が急発達直前に

明瞭な二次循環を伴う対流バーストを伴っていたことや、構造（サイズ）変化が台風周辺の大気海洋環境場の変化に対応して起こっていた可能性が示唆された。

A4 沿岸海況予測技術の高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 堤 之智（海洋・地球化学研究部 部長）

研究の目的

日本沿岸海況変動の要因解明とその予測可能性に関する研究、およびそれらを踏まえた日本沿岸海況監視予測システムの開発と性能評価に関する研究を行い、沿岸防災・海況情報の適切な利用と精度向上に貢献する。

副課題1 日本近海の海況変動の予測精度向上に関する研究

副課題1の研究担当者

山中吾郎、辻野博之、中野英之、坂本 圭、浦川昇吾（海洋・地球化学研究部）、平原幹俊、佐々木勇一（気象庁地球環境・海洋部）

副課題1の目標

- ①沿岸海況変動を再現する現業用高解像度日本近海海洋モデル(MRI.COM-JPN)の開発を行う。
- ②開発されたモデルの検証を行い、各種沿岸海況変動の要因解明を行う。
- ③副課題2の成果と合わせて、日本沿岸海況監視予測システムを構築し、平成30年度に気象庁で現業利用できるシステムとして完成させる。

副課題1の本年度の計画

- ①現業用高解像度日本近海モデルを用いた長期（10年程度）の過去再現実験を行い、統計的な再現性を検証する。
- ②現実的な初期値を用いて予報実験を実施し、海洋顕著現象の再現性検証を行う。その際に、ケーススタディの円滑な実行のためにモデルパッケージの整備を行う。
- ③再現性検証を踏まえて、現業用高解像度日本近海モデルの改良を行う。

副課題1の本年度の成果

- ・2002～2011年の長期積分を行い、モデルが安定に動作することを確認した。具体的には、一定の時間ステップ間隔(3分)でモデルが破綻することなく動作すること、現実的な範囲から乖離した水温・塩分値が現れないこと、黒潮や親潮の流路が観測される領域内に維持されること、などを確認した。
- ・2012年9月の異常潮位事例を対象にしたハインドキャスト実験を行い、高解像度の海面強制力であるMSMデータを用いることで水位上昇を現実的に再現できることを確認した。また、海洋気象情報室担当官と協議の上同化・予測パッケージの構成の見直しを行った。
- ・日本沿岸モデルの外側モデルとなる水平解像度10kmの北太平洋モデルについては、対馬、津軽、宗谷の各海峡の地形に対する通過流量の感度を調査し、現実的な海峡通過流量が得られるようにチューニングを行った。
- ・河川からの淡水流入過程の高度化については、神戸大学より提供された高解像度海面塩分データセットを用い、瀬戸内海モデルで再現された大出水時の河川プリュームの再現性を検証した。また、海面塩分場再現性検証のため瀬戸内海海面塩分観測データの整備を行った。

副課題2 アジョイント法に関する同化手法の開発とその応用に関する研究

副課題2の研究担当者

辻野博之、藤井陽介、碓氷典久、豊田隆寛、広瀬成章（海洋・地球化学研究部）、杉本裕之、谷崎知穂、吉田久美、本山龍也、檜垣将和、桜井敏之（気象庁地球環境・海洋部）、倉賀野連（客員）

副課題2の目標

- ① 全球及び北西太平洋アジョイントシステムの構築及び潮汐同化手法、海水同化手法の開発を行う。ダウンスケーリングするためのインクリメンタル4DVARを開発し、副課題1で開発する日本近海海洋モデルの初期値作成技術の開発を行う。
- ② 上記データ同化手法による再解析実験により、同化手法の検証と各種沿岸海況変動の要因解明を行う。同化結果の検証のため、海洋気象観測船等による海洋観測を実施する。
- ③ 副課題1の成果と合わせて、日本沿岸海況監視予測システムを構築し、平成30年度に気象庁での現業利用できるシステムとして完成させる。

副課題2の本年度の計画

- ① 全球海洋4DVARデータ同化システムの性能を評価し、同化手法等の改良を進める。また、海水データ同化手法の開発・改良を進めるとともに、海水モデルのアジョイントコードの開発を行う。高精度の全球海洋再解析データの作成を継続する。
- ② 北太平洋4DVARデータ同化システムによる同化・予測実験を実施して、その性能を評価し、同化手法等の改良を進める。
- ③ 日本近海インクリメンタル4DVARシステムの開発・改良を進める。
- ④ 検潮データ、観測船データ、衛星データ、部外海洋関連機関のデータ等を用いて、海洋再解析データにおける海洋現象の再現性を検証する。

副課題2の本年度の成果

- ・ 日本沿岸海況監視予測システムの試作版を作成し、同化・予測実験を2011年から2015年にかけて実施し、システムの性能を評価した。特に2013年の駿河湾の急潮現象に関して30日間程度の予測可能性が確認された。
- ・ 海面高度データの同化において、海面高度変動から順圧応答成分、海水の純増減をあらかじめ取り除く改良スキームを北太平洋システムおよび全球システムに適用し、従来システムにみられた表層の高温バイアスが低減することが確かめられた。
- ・ 日本近海インクリメンタル4DVARシステムに対し、数日以上タイムスケールで変化するメソスケール、及びそれより大きなスケール（数十キロメートル以上）の場のみを修正するため、時空間フィルターを用いた初期化手法を開発した。
- ・ 全球海洋4DVARシステム（解像度東西1度×南北0.3-0.5度）において、結氷点付近の水温解析の取り扱いやバイアス補正スキームなどを改良し、2010～2015年の期間について安定してデータ同化が実行できることを確認した。また、その結果を用いて季節予報用大気-海洋結合モデルの海洋部分を初期化するスキームを作成した。海面水温客観解析やアルゴデータとの比較による精度検証を行った。
- ・ 気象研究所共用海洋モデルの海水及びフラックス部分のアジョイントコードを開発し、これを用いた全球モデルにおける海水感度実験を行った。
- ・ 改良したデータ同化手法を取り入れた3DVARシステムによる長期再解析実験を行ない、海洋再解析相互比較プロジェクト用に結果を供出した。

a5 大気境界層過程の乱流スキーム高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 毛利英明（環境・応用気象研究部 第五研究室長）

研究の目的

気象庁数値予報モデル高度化に向けた大気境界層過程の次世代サブグリッド乱流スキーム開発の指針を得る。

研究担当者

北村祐二、水野良規、守永武史（環境・応用気象研究部）、伊藤純至（予報研究部）、保坂征宏（気候研究部）、小野木茂（気象庁観測部）、米原 仁（気象庁予報部）、西澤誠也、萩野谷成徳（客員）

研究の目標

大気境界層乱流の「グレイゾーン」における空間構造の特性や運動量・熱・水輸送等の統計則を①数値計算、②風洞実験、③野外観測から明らかにする。

- ①気象研 LES を用いて大気安定度等の条件を変えて境界層乱流の数値計算を行い、データベースを構築して解析する。必要に応じて計算手法の改良も行う。
- ②気象研風洞において安定度等の条件を変えて境界層乱流の実験を行い、データベースを構築して解析する。必要に応じて数値計算検証用データの取得や実験・観測技術の開発も行う。
- ③気象研露場において接地気象観測装置や PIV 装置を用いて運動量・熱・水などの乱流輸送について通年連続観測を行いデータベースを構築して解析する。必要に応じて気象研鉄塔等の観測データも解析する。

得られた知見を総合的に検討して「グレイゾーン」に適した大気境界層過程の次世代サブグリッド乱流スキームを開発する方向性を見出す。

本年度の計画

- ①大気境界層過程の次世代サブグリッド乱流スキームを気象研 LES や気象庁 asuca に実装して検証を行う。
- ②安定・不安定な境界層乱流の実験を気象研風洞で行い、特に境界層乱流の空間構造や乱流輸送に着目してデータを解析する。
- ③潜熱の乱流輸送について観測を気象研露場等で行い、特に乱流空間構造との関連に着目してデータを解析する。

本年度の成果

最終年度にむけて①数値計算②風洞実験③野外観測の各分野で成果が順調に蓄積されつつある。

- ①前年度までに開発した乱流スキームを改良して asuca に実装し直した。計算結果を参照しつつ乱流スキームの調整を行った。
- ②気象研大型風洞において中立・安定・不安定な乱流境界層の実験を行い、各種統計量の鉛直分布や時系列データを解析した。
- ③気象研露場において様々な安定度条件のもと超音波風速計と赤外線水蒸気濃度計を用いて風速や水蒸気変動の時系列データを取得した。これらのデータを用いてスペクトル解析を行った。

本研究課題からは大気境界層乱流について以下の学術的知見を得て論文として発表している。

- ①ア) 乱流における移流拡散スカラーの多点空間相関を固有値問題として解くための新しい手法を提案し、4点間の相関関数を例として、本手法が安定で効率的であることを示した（Ooi

et al., 2018)。

イ) 境界層乱流の中立時における各種物理量の2点相関関数を理論的に導出し、水平方向の風速変動と鉛直方向の風速変動やエネルギー散逸率とでは関数形が異なることを示した(Mouri *et al.*, 2017)。

②ア) 上で理論的に得られた相関関数の関数形が実際の境界層乱流における関数形と矛盾しないことを気象研風洞における実験から示した (Mizuno *et al.*, 2018)。

イ) 境界層乱流の弱安定時・弱不安定時における温度変動の分散が高度の対数関数で記述されることを気象研風洞における実験から示した (Mouri *et al.*, 2017)。

③ア) 大気境界層エネルギー収支の簡易推定に利用される下向き大気放射量の計算式について、気象官署の観測データを利用した精度評価を行い、観測地の地域特性を考慮した改良法を提案した (藤枝鋼ほか, 2018)。

イ) 気象官署で得られたデータを統計的に解析して地上気圧の日変動が周辺地形や観測地の地表面状態に大きく依存することを示した (萩野谷ほか, 2017)。

B1 緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 干場充之（地震津波研究部 第三研究室長）

研究の目的

緊急地震速報の精度向上・迅速化、および長周期地震動への拡張が求められている。そこで、近年の観測網の増強やリアルタイム化に対応した手法を構築することで精度向上と迅速化に結び付けるとともに、長周期地震動までを含めた様々な周期での地震動即時予測へ拡張する技術を開発する。

副課題1 震度予測精度の向上

副課題1の研究担当者

干場充之、小木曾 仁、小寺祐貴（地震津波研究部）、足達晋平、林元直樹、齋藤 潤（気象庁地震火山部）

副課題1の目標

現在、緊急地震速報に用いられる観測点からの通信は徐々に強化されており、震度や最大振幅など波形の代表値のみでなく、地震波形データそのものを送り出す観測点数も増加している。さらに、海域での多点観測網も新たに展開され始めている。これにより、地震動の分布をリアルタイムで把握することが可能となっており、今回の計画ではこれらの多点観測点のリアルタイムデータを最大限活用する手法の開発を狙う。

具体的には、観測震度に対して予測震度が概ね震度差1以内に収まる精度を目指す。また、震源位置やMが決まっていない段階においても震度予測ができる迅速性・堅牢性の向上も目指す。これらの予測手法は、現場への応用を考慮し、実時間よりも早く計算が行えるようにする。

副課題1の本年度の計画

実データへの適用を進め、未解決の問題を検討するとともに、減衰構造や速度構造の精緻化により予測モデルの構築を進める。得られた地盤増幅特性（観測点補正值）に対して応用を図り、新たに展開されつつある海域観測網からのデータの有効な活用方策を探る。また、震度予測の迅速化と精度向上を狙って、観測面（アレイ処理技術の改良を目指した構内での観測、など）、および計算面（計算速度の向上、より現実に近い仮定での計算、など）の両面からのアプローチを引き続き行い、それぞれの手法の改良を進める。

副課題1の本年度の成果

- ・H28年度までに、“揺れから揺れを予測する”という考え方において、減衰構造（吸収強度と散乱強度）を導入することにより精度向上に結びつくことが分かってきた。今年度は、定量的に解析を進め、簡易的な推定手法（2次元での推定）でも震度推定精度が12%（10秒後予測）や15%（20秒後予測）程度、向上できることが分かった。さらに、精緻な手法（3次元での推定。また、速度構造の導入）での推定方法を考察している。ただし、この場合、地震波散乱の角度依存性の仮定も重要であることが分かってきた。
- ・“揺れから揺れを予測する”という方法で、P波成分を自動識別できれば迅速化に結びつくことが期待される。特に、同時に多発する地震や、広い震源域を持つ巨大地震において、（S波群中から）P波を抽出することが出来ることが求められる。そこで、震動軌跡からP波を判定する手法を開発し、2011年東北地方太平洋沖地震や他22個のM7以上の地震のデータに適用し、猶予時間を延ばすことができることを確認した。
- ・緊急地震速報への実運用を目的とした海底地震計の解析を進め、（陸上観測点に比べ）地盤増

幅特性がかなり大きいこと、また、強震入力時の筐体の傾動の影響が現れ易いことが分かってきた。ただし、これらの影響は上下動成分には比較的少なく、上下動を積極的に用いることでこれらの影響を軽減できる。さらに、観測記録に現れる特異な波形（見かけ上の永久速度振幅）について、筐体の揺動の影響である可能性を示した。

副課題2 長周期地震動の予測

副課題2の研究担当者

干場充之、小木曾仁、小寺祐貴（地震津波研究部）、大河原斉揚、久保剛太、山本 麦（気象庁地震火山部）

副課題2の目標

地震波は周期帯によりその振舞が異なり、震度（比較的短周期の波、およそ1～2秒くらいが中心）で得られた経験的な予測手法がそのまま適用可能とは限らない。短周期の波に比べて長周期の波は比較的遠方まで伝わりやすく、また、地盤の増幅特性も周期によって異なる（短周期は観測点直下、長周期は盆地や平野といった大きな構造によることが多い）。震度の大きい地域が、そのまま、長周期の揺れが大きいとは限らない。

これまでの研究において、震度を対象とした予測手法や地盤増幅特性等を検討してきている。今回の計画では、これらに加えて、長周期まで（およそ10秒程度）の様々な揺れの予測に対応できるように拡張・強化する。

副課題2の本年度の計画

副課題1で進めている手法を長周期でも適用可能なように調整し、実データへの適用行い、改良を進める。

副課題2の本年度の成果

副課題1の予測手法は長周期地震動においても有効であるが、多くの大都市が立地する堆積平野や盆地構造上では長周期地震動の継続時間が延びることが知られており、その対策が重要となる。そこで、地盤増幅特性を補正するフィルターに位相の遅れを導入し、地震動継続時間の延伸を表現することを考察している。これにより、継続時間の予測に結びつけることが可能となる。

B2 地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 勝間田明男（地震津波研究部 第一研究室長）

研究の目的

気象庁や地震調査委員会等の国が行う必要のある地震活動・地殻変動の監視・評価において、監視技術や評価手法、地震発生シミュレーション技術の高度化を通じ、国民へのよりの確かな情報提供につながる研究を行う。

副課題1 地震活動評価手法の高度化

副課題1の研究担当者

勝間田明男、小林昭夫、田中昌之、宮岡一樹、弘瀬冬樹、溜渕功史、橋本徹夫（地震津波研究部）、前田憲二、廣田伸之（気象庁地震火山部）、吉川澄夫（客員）

副課題1の目標

これまで地震発生前の変化が報告されている地震活動に関する指標を逐次的に解析する手法を構築する。

副課題1の本年度の計画

- ・地震活動の変化を表すパラメータの定常的変化解析手法の構築を進める。
- ・気象庁デジタル加速度記録から、随時繰り返し相似地震の発生を調査する。新たに確認した相似地震は、当該相似地震の発生間隔データを用いて、ベイズ統計対数正規分布モデルなどを用いて長期的発生確率予測を行う。更に、予測結果の比較に基づいて、最良な統計モデルをについて検討を加える。

副課題1の本年度の成果

- ・東日本の太平洋沖で1990年以降に発生したM7.0以上の本震前の規模別頻度分布はG-R則から逸脱し、本震後にG-R則に従う傾向にあることがわかった。この特徴に基づくシンプルな予測モデルを構築した。M7後半～M8前半（M7.6-8.5）の地震を予測対象とした場合、北海道東方沖及び関東東方沖～南東沖に顕著な異常が検出された。
- ・地震発生と潮汐との相関を表すp値について、先行研究において地震前における変化が報告されていたトンガ・ケルマディック海溝沿いのプレート境界地震の潮汐相関について追加調査した結果、p値を用いた地震予測の有効性は低い、M7.0以上の地震に限ればその発生時が特定の範囲の潮汐位相角の範囲内で発生している場合が有意に多いことがわかった。
- ・中規模繰り返し地震について、発生状況のモニタリングと発生確率予測を行い、2017年7月末で予測期間が終了した3年確率予測の予測成績を調べた。中規模の繰り返し相似地震79系列を対象に実施し、平均対数尤度とブライアスコアの指標による結果は、指数分布モデルよりも事前分布を用いたベイズ統計対数正規分布モデルの成績の方が良いことを定量的に確認した。
- ・活断層域の余震活動に関する情報発信のあり方について検討を加えた。
- ・1707年宝永地震、富士山宝永噴火を記した飯作家文書中の「大地震富士山焼之事覚書」の原本を確認し、全文翻刻した。この史料の観測地は『新収日本地震史料』に記された静岡市ではなく、富士山本宮浅間神社のある富士宮と考えられる。

副課題2 地殻変動監視技術の高度化

副課題2の研究担当者

小林昭夫、勝間田明男、宮岡一樹、安藤 忍（地震津波研究部）、木村久夫、甲斐玲子、木村一洋（気象庁地震火山部）

副課題2の目標

長期的な地殻変動の把握を行うとともに、これまでよりも微小な地殻変動を検出できる技術を開発する。

副課題2の本年度の計画

- ・島田川根ひずみ計観測点近隣の河川の水位用いた、ひずみ補正手法の改良を行う。
- ・スタッキング手法によるすべり量の推定結果の評価を行う。
- ・水準測量・潮位データによる変動履歴復元を行い、ゆっくりすべり発生有無など長期的地殻上下変動推移について調査する。

副課題2の本年度の成果

- ・GNSS 日値を用いた全国基線長変化について、この1年間に新たに発生した非定常な現象がないことを確認した。なお、2013年からの東海地域、2014年からの紀伊水道の長期的ゆっくりすべりはいずれも2016年にほぼ終息した。
- ・ひずみ計データのスタッキングにより、短期的ゆっくりすべりの時間的・空間的分布を概観する手法を開発した。
- ・房総半島中南部の水準測量、潮位データを解析した。1966～2001年には同地域で3cmを超える有意な地殻上下変動をもたらすような非定常現象は発生していなかったと考えられる。

副課題3 地震発生シミュレーション技術の高度化

副課題3の研究担当者

小林昭夫、勝間田明男、弘瀬冬樹、藤田健一（地震津波研究部）、前田憲二（気象庁地震火山部）

副課題3の目標

地殻変動解析で得られた知見などを地震サイクルシミュレーションモデルに取り込むとともに、前駆すべりの多様性を表現できる大地震発生モデルの構築を目指す。

副課題3の本年度の計画

- ・日本海溝について、引き続き地震発生間隔や発生域の再現を試みる。
- ・より細かなメッシュを用いるため、計算高速化のための処理手法について検討する。

副課題3の本年度の成果

- ・従来のアスペリティモデルと階層アスペリティモデルの2モデルを軸に、東北地方～関東地方の太平洋沖で発生するM7-9の主な地震を再現できるモデルを構築した。メッシュサイズの細密化により、規模の小さな地震発生の再現が可能となった。

B3 津波の予測手法の高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 山本剛靖（地震津波研究部 第四研究室長）

研究の目的

津波の面的把握と即時予測の精度向上、および遠地津波の注警報の解除時期の予測に貢献する。

副課題1 多点観測データ等を用いた津波即時予測手法の高度化に関する研究

副課題1の研究担当者

山本剛靖、中田健嗣、対馬弘晃（地震津波研究部）、丹下豪、小上慶恵（気象庁地震火山部）

副課題1の目標

- ①稠密な観測データを高度に活用し、津波成分を抽出する手法や現況を面的に把握する手法を開発する。
- ②波源推定に基づく予測手法の高度化および波源推定に基づかない新たな予測手法の開発を行う。

副課題1の本年度の計画

- ①津波現況の面的即時把握手法の開発
 - ・新たに入手する海底水圧計データの品質を検証する。特に地震時に記録される様々な不定型ノイズが津波成分抽出に与える影響を評価し、除去手法を開発する。
 - ・特性化した津波波源モデルを用いた津波伝播計算によって沖合津波観測網による仮想津波観測データを作成し、これに津波波高分布の現況を面的に把握する手法を適用して、必要に応じて手法の改良を行う。
- ②津波即時予測手法の開発・高度化
 - ・津波波源を推定した上で津波の即時予測を行う手法について、多点の沖合津波観測データの活用が津波波源の時間歴の把握に有効であるか、理論的考察で得られた仮設の妥当性を数値実験によって検証し、その結果を踏まえ必要に応じて手法の改良を行う。
 - ・波源推定に基づかない津波予測手法について、面的な仮想津波データを使用したとして、波動理論に基づく予測手法の高速化、波線理論に基づく予測手法の高精度化の両面から開発を進め、予測精度等の検討を行う。
 - ・津波即時予測手法の検証に用いる地震津波発生シナリオを作成する。また、東北地方太平洋沖地震の津波波源域の推定を継続する。

副課題1の本年度の成果

- ①津波現況の面的即時把握手法の開発
 - ・地震発生時に実際の海底水圧データに記録される非地殻変動オフセット等のノイズの影響を除去する手法については、②の津波即時予測手法の改良において津波成分と同時分離推定することで対応した。
 - ・最適内挿法によるデータ同化を、空間的な広がり大きい・小さい規模の仮想津波を S-net で観測した場合のデータに適用し、手法の性質を検証した。その結果、マグニチュード8クラスのような広がり大きな津波では既に示されているように良好に再現できることが確認できたが、地下浅部の高角断層に伴う津波のような広がり小さな津波では再現できず現状の観測密度でも不十分であることがわかった。
- ②津波即時予測手法の開発・高度化
 - ・波源推定に基づく津波即時予測手法について、地震発生時に実際の海底水圧データに記録され

る非地殻変動オフセット等のノイズを津波成分と同時分離推定できるように改良した。

また、地下浅部の高角断層に伴う津波のような広がりの小さな津波に対しては波源推定の空間分解能が十分でない場合があることがわかったため、解析領域全体の広さとの両立を図りつつ、場合によって波源の空間分解能を細かくする解析アルゴリズムを考案し、想定した性能を発揮することを確認した。

- ・津波波線追跡により沖合津波観測点と津波予報区との対応関係を調査し、比較的陸に近くても観測点によっては複数の津波予報区と関係づけられることがわかった。
- ・津波即時予測手法の検証に用いるため、様々な空間サイズをもつ津波シナリオを作成し、面的把握手法の検証にも活用した。

副課題2 遠地津波の後続波と減衰特性のモデル化の研究

副課題2の研究担当者

山本剛靖、中田健嗣、対馬弘晃（地震津波研究部）、丹下豪、小上慶恵（気象庁地震火山部）

副課題2の目標

遠地津波の後続波および減衰特性のモデル化を行い、遠地津波の継続時間の予測を行うことにより津波警報解除の時期の予測手法を開発する。

副課題2の本年度の計画

遠地津波の後続波の出現タイミングと振幅の時間減衰傾向を含めた全期間の振幅時間変化を説明できるよう構築した数理モデルを南米沖の地震津波等実際の観測事例と比較することにより、各事例のモデルパラメータを推定する。推定したモデルパラメータの特徴について調査する。

副課題2の本年度の成果

チリ沖（1960年、2010年、2014年、2015年）及びペルー沖（2001年、2007年）で発生した地震に伴う遠地津波の日本沿岸における観測データについて、地震発生時、第1波到達時、最大波発現時及び継続時間の関係を整理した。第1波到達時からの経過時間で整理すると、約12時間後までの津波振幅変化の特徴はチリ中部沖とチリ北部～ペルー沖の二つに大別されるが、約12時間以降の変化は両方で共通していて、その振幅は地震のマグニチュードと関係していることを明らかにした。

B4 大規模噴火時の火山現象の即時把握及び予測技術の高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 徳本哲男（火山研究部 第二研究室長）

研究の目的

大規模噴火に対処可能な「噴石に関する情報」、「量的降灰予報」、「航空路火山灰情報」の高度化のため。

副課題1 リモートセンシング等に基づく噴火現象の即時把握に関する研究

副課題1の研究担当者

徳本哲男、佐藤英一、新堀敏基、石井憲介、高木朗充、福井敬一（火山研究部）、吉田知央（気象庁地震火山部）、稲澤智之（気象衛星センター）

副課題1の目標

気象レーダー、震動観測等を活用した噴火現象の即時的な把握技術の開発。

副課題1の本年度の計画

- ・可搬型レーダー（XバンドMPレーダーおよびKuバンド高速スキャンレーダー）と二次元ビデオディストロメーターなどによる桜島での噴煙観測を継続すると共に、これまで得られた事例の解析を行う。
- ・可搬型レーダーデータ、既存の気象レーダーデータから噴煙の立体構造や粒径、火山灰量を推定するための手法の開発を進め、観測データをデータ同化システムに渡すための一次解析データの作成を行う。
- ・ひまわり8号等の衛星観測データを収集し、火山灰雲のモデル化、火山活動の規模評価を進める。特に、ひまわり30秒観測データも利用し、噴火直後の噴煙の解析を試みる。

副課題1の本年度の成果

- ・引き続き、XバンドMPレーダー（二重偏波ドップラーレーダー）、二次元ビデオディストロメータ(2DVD)、および1分毎に三次元データを取得可能なKuバンド高速スキャンレーダーによる観測及び解析を行った。
- ・2016年3月26日の桜島噴火事例について、Kuバンド高速スキャンレーダーによって得られた噴煙の3次元構造の解析を進めた。また、XバンドMPレーダーについても、2016年4月29日など複数の事例で得られた噴煙の鉛直構造の解析を進めており、噴煙内部の二重偏波パラメータの変化傾向が得られている。引き続き、これらのレーダーデータを解析することにより、噴煙内部の物理量（密度や粒径分布など）を推定や供給源モデルが可能となることが期待される。
- ・2017年10月霧島山（新燃岳）の噴火では、曇天や雨天の影響により、目視（遠望カメラ）で噴煙高度が観測出来ない時間帯があった。そのような時間帯においても、気象レーダー（気象庁一般気象レーダー）によって、噴火現象の推移（消長）を得ることが出来た。解析結果は、火山噴火予知連絡会拡大幹事会に速報として提出し、Webに掲載された。
- ・2018年1月23日草津白根山の噴火においても、目視（遠望カメラ）によって噴煙高度は得ることが出来なかったが、気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定を行い、 $5440 \pm 488\text{m}$ (1σ) と推定した。解析結果は、火山噴火予知連絡会拡大幹事会に速報として提出した。
- ・噴煙高度推定への活用を目指して、ひまわり8号の30秒観測データを用いて、桜島の爆発噴煙の初期成長過程を解析している。これまでの所、解析可能な事例は数例のみであるが、空間

分解能 500m のバンド 3 データで日中に捉えられる噴煙の影を追跡することで、噴煙柱上端の高度、広がり、時間変化を精度良く抽出することができた。

- ・2017 年 5 月に噴火活動が再開した西之島において噴火様式の観察を海洋気象観測船上で行った結果、継続する溶岩流の他、1 時間に 1 回程度のブルカノ式噴火と 1 分に 1 回程度のストロンボリ式噴火が発生していることを確認した。
- ・噴火が継続する西之島の火口から約 2 km 地点の噴煙下を海洋気象観測船で繰り返し横断して火山灰の観測を実施し、 $220 \text{ kg/m}^2/\text{day} \cdot \text{m}$ の降灰強度であることを確認した。この降灰強度は 2016 年の桜島における同程度の距離の年平均と同程度であった。

副課題 2 数値モデルに基づく火山灰等の拡散予測の高度化に関する研究

副課題 2 の研究担当者

新堀敏基、石井憲介、佐藤英一、徳本哲男、福井敬一（火山研究部）、橋本明弘（予報研究部）、吉田知央（気象庁地震火山部）、土山博昭（気象庁予報部）

副課題 2 の目標

噴煙柱及び移流拡散モデルを活用した火山灰等の高精度な予測技術の開発。

副課題 1 の観測値と副課題 2 の予測値に基づく火山噴出物データ同化・予測システムを構築し、即時的に把握した噴火現象から高精度な火山灰等の拡散予測を実行して、上記目的を達成することを目指す。

副課題 2 の本年度の計画

- ・気象レーダーや衛星などによる噴煙観測データを移流拡散モデルの初期値に利用するために、引き続き、火山灰データ同化システムの開発をすすめる。
- ・領域移流拡散モデルによる降灰量および降灰範囲の予測と実測された値とを比較検証しながら、予測値を改善するためのモデル改良を継続するとともに、高時間分解能モデル面 GPV の移流拡散モデルでの利用を検討する。

副課題 2 の本年度の成果

- ・2016 年 10 月 8 日阿蘇山噴火の降灰予報について引続き検証した。その結果、推定した総噴出量及び予想降灰量が過多になった原因はモートンの式で仮定した単発噴火の継続時間（10 分）が約 3 倍長かったこと、分布主軸の予想がやや北偏した原因は設定した噴煙高度が 800 m 程度低かったこと、遠地（岡山）で見逃しがあった原因は予報時間後に降灰の可能性があったことを示した。降灰の観測あり／なしに対する RATM（領域移流拡散モデル）の予測あり／なしのカテゴリー検証結果からは、噴煙高度 13.1 km（海拔）の場合が最も降灰分布を再現することを示し、なお近地で過少、遠地で過多となる予想降灰量は移流拡散モデルへの凝集過程の導入が必要であること、遠地（高松）で長時間観測された降灰現象は同モデルへの再飛散過程の導入等が必要であることを指摘した。また花粉センサーでは同事例の降灰現象は捉えられていなかったことを確認した。
- ・2017 年 10 月新燃岳噴火について、遠望カメラにより噴煙高度が確認できた 11 日～14 日の降灰予測を RATM により実行した。このうち 14 日 08 時 23 分再噴火後の降灰はウォッシュアウトの影響があることを示した。
- ・移流拡散モデルに入力するモデル面 GPV の入力時間間隔を 60 分から 10 分に高頻度化しても火山灰の分布予測は顕著に改善しないことを、2013 年桜島、2014 年御嶽山、2015 年口永良部島と阿蘇山、2016 年桜島と阿蘇山噴火の計 8 事例で確認した。
- ・降灰ハザードマップの改良等の研究に活用するために、2015～2017 年の気象場の下で、富士山および桜島の大規模噴火を想定した RATM による降灰シミュレーションを行い、1096 事例の計算結果を蓄積した。

- ・ ひまわり 8 号による火山灰プロダクトを用いて GATM(全球移流拡散モデル) の初期値に同化するシステムの開発を進めた。2015 年 5 月 29 日の口永良部島噴火において、火山灰プロダクトを GATM の初期値に同化することによって、予測精度が向上し、大気中の火山灰濃度予測の可能性を示した。現業者解析を観測値として同化システムを実行するシステムを作成し、本庁の NAPS9 に環境を構築し試験運用を開始した。

B5 地殻変動観測による火山活動評価・予測の高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 山本哲也（火山研究部 第一研究室長）

研究の目的

気象庁の噴火予警報業務に資するために、地殻変動観測による火山活動評価手法および噴火に至る火山活動の推移想定の高度化を図る。

副課題1 火山活動モニタリング手法の高度化およびマグマ活動の推定

副課題1の研究担当者

山本哲也、高山博之、鬼澤真也、森健彦、奥山哲、岡田純、川口亮平、長岡優、高木朗充、福井敬一（火山研究部）、小林昭夫、安藤忍、宮岡一樹（地震津波研究部）、木村一洋、影山勇雄、中橋正樹、鎌田林太郎（気象庁地震火山部）

副課題1の目標

火山活動の異常検出のために地殻変動観測データ等のモニタリング手法を高度化し、地殻変動源のモデル化や地殻変動シミュレーションによってマグマの蓄積・挙動の推定手法を高度化する。

副課題1の本年度の計画

- ①伊豆大島においてGPS、光波測距、多成分ひずみ、重力の稠密地殻変動観測を行う。浅間山等においてGPS観測等を行う。
- ②伊豆大島をはじめとする全国の火山を対象として、気象庁総合観測点データの収集を行い、GPS、傾斜データなど地殻変動のデータの解析を行う。
- ③伊豆大島の地殻変動データの解析において、圧力源推定の精度・時間分解能の向上を図るとともに、地下のマグマの状態・挙動の推定を行う。
- ④SARのデータによる地殻変動解析を行う。また、SAR等電磁波を用いた地殻変動観測データについて数値気象モデルを用いた補正手法の改良を進める。
- ⑤地殻変動が観測された活動的火山について地下の圧力源モデルを推定する。
- ⑥水蒸気噴火のポテンシャルが高い火山として、草津白根山で光波測距の観測を行う。

副課題1の本年度の成果

- ①・伊豆大島において、GNSS、光波測距、多成分ひずみ計による地殻変動観測、および重力の繰り返し観測を引き続き行った。
 - ・ボアホール型多成分ひずみ計を2013年に伊豆大島南西部に設置し、その後データの蓄積が進んだことから、各成分の中長期的な挙動を調べるため、近隣のGNSSデータおよび球状圧力源モデルから推定したひずみとの比較を行った。その結果、多成分ひずみ計の成分によっては、中長期的な地殻変動の把握にも活用できるとの見通しをえた。
 - ・伊豆大島での繰り返し重力データの定量的評価に向けて、重力計スケール検定、鉛直勾配測定を実施し、これらの影響の補正方法を検討した。スケールについては、絶対重力点における検定データに基づき、スケール時間変化の素性を明らかにするとともにその補正方法を提示し、繰り返し観測データで認められた見掛け上の重力変化を補正した。また、重力点における鉛直勾配の実測とGNSSデータの利用により、観測点の上下変動に伴う重力変化を定量的に評価し、三原山で継続している重力増加は概ね三原山の局所的沈降で説明できることを明らかにした。
 - ・また、CG-5重力計の登山を伴う野外調査時における重力値安定性の基礎調査を行い、運搬による擾乱の大きさやドリフトの挙動は運搬時間の長さに依存しないことがわかった。

- ・なお、予定していた浅間山における GNSS 観測は、山頂付近の立入りが規制されていたため今年度は実施しなかった。
- ②・吾妻山周辺の GNSS 連続観測データの統合解析システムを構築し、データ解析を行った。気象庁の GNSS 連続観測データに加え、国土地理院の GEONET データを同時に解析処理に組み込むことで、従来法による解析ソフトウェアや解析パラメータ、基準点の取り方の違いによる誤差が解消され、火山の浅部と深部を統一的に評価できるようになった。広域変動場を除去した解析の結果、2014-2015 年に大穴火口付近を中心とする明瞭な隆起・膨張が検出された。この変動源は浅いため、火口直下の浅部の熱水活動との関連が示唆される。
- ・北海道大学、北海道地質研究所等と共同で十勝岳における重力観測を実施し、隆起量では説明できない重力値の低下が継続していることを確認した。
- ③・伊豆大島の GNSS 観測により得られた地殻変動データを長期的変動、短期的変動に分離し、短期的変動（膨張、収縮）と伊豆大島周辺で地震が群発した時期を比較したところ、地震は膨張期に群発していること、地震が静穏な時期は収縮期にあたることが多いことがわかった。また、長期的地殻変動（膨張）について、各 GNSS 観測点で得られた上下変位のデータを精査したところ、カルデラ域には山腹部を基準として 0.5cm / 年程度の相対的沈降が存在する可能性があること、山腹・山麓についても球状圧力源から期待される量の半分程度の隆起量しかないことが分かった。
- ④・SAR 衛星 ALOS-2 のデータを用いた解析により、全国の活火山周辺の地殻変動検出を行った。うち、雌阿寒岳、霧島山などの 25 火山において火山活動に伴う地殻変動を面的な分布として検出した。雌阿寒岳については、圧力源を仮定し、複数方向からの観測結果を説明するモデルの位置・深さ・体積変化量を推定した。霧島山については、えびの高原（硫黄山）周辺の局所的地殻変動について、その時間変化を調査し、2015 年以降ほぼ一定速度で膨張が継続していることを明らかにした。西之島については、4 月の再噴火に伴う地表変化を検出し、8 月上旬にかけての陸域面積の拡大を明らかにした。また、海外の火山では、イタリアのカンピフレグレイ火山について火山活動に伴う地殻変動を検出し、点圧力源を仮定したモデル推定を行い、地震分布との比較を行った。
- ・また数値気象モデルを用いた補正のために、水平・鉛直方向に均一な大気を仮定した場合の経験的な補正方法の限度についての検証を行った。その結果、大気の状態がほぼ同様と考えられる同季節、特に水蒸気量の少ない冬季のデータでは良好な結果を得たが、季節の異なるデータでは数 cm の残存位相が確認され、大気の空間的不均一による影響が明らかとなった。
- ⑤・マグマ溜り内の気泡の上昇による地殻変動のモデル化を行った。伊豆大島で観測されている短期的な膨張・収縮サイクルと比較した結果、変動の周期や地殻変動量を適切なモデルパラメータを与えることで説明できることを明らかにした。
- ・地震波干渉法を用いて、霧島山の 3 次元 S 波速度構造を推定した。その結果、霧島山の真下から北西方向に約 10km にわたって、海拔下 5-10km に低速度異常が存在すること明らかになった。
- ⑥・草津白根山における光波測距は、湯釜火口を横断する測線で 2 回実施したが、以前からの湯釜浅部の収縮傾向は明瞭にはみられなかった。

副課題 2 火山活動の推移想定に関する研究

副課題 2 の研究担当者

山本哲也、高山博之、鬼澤真也、森 健彦、奥山 哲、岡田 純、川口亮平、長岡 優、高木朗充、山里 平（火山研究部）、安藤 忍（地震津波研究部）、加藤幸司（気象庁地震火山部）

副課題 2 の目標

火山における地震活動と地殻変動の過去事例の整理・解析を通して火山活動の推移の想定を行う。

副課題2の本年度の計画

- ・地殻変動、地震活動、表面現象異常事例についての内外火山についての事例を収集する。また、地殻変動や地震活動等の比較検討を行う。火山現象の定量的・確率的な側面を考慮した火山活動シナリオの作成に取り組む。

副課題2の本年度の成果

- ・火山活動の推移想定的基础となる噴火、噴火未遂などの火山活動に関連する資料・観測データの収集を行った。
- ・霧島硫黄山における火山活動に関して、観測データを整理し、活動の推移についてとりまとめを行った。また、4月からの硫黄山浅部の地殻変動及び9月の地殻変動を伴った地震活動について傾斜変動源の推定を行い、霧島硫黄山浅部の活動モデルの推定を行った。
- ・全国の活火山でこれまでに観測された各種地殻変動についてとりまとめ、これを火山業務教科書へ掲載した。
- ・噴火警戒レベルの判定基準の根拠を明示して公表するために気象庁が進めている精査作業に技術的な協力を引き続き行った。各火山監視・警報センターと協力して、過去のデータを改めて精査し、注目すべき現象の整理、判定基準のできるだけの具体化、および必要な見直を行った上で、平成29年9月までに、15火山の「噴火警戒レベルの判定基準」及び「噴火警戒レベルの判定基準とその解説」を公表した。

B6 南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視と津波地震の発生状況即時把握に関する研究

研究年次： 2年目／5年計画（平成28年度～平成32年度）

研究代表者： 橋本徹夫（地震津波研究部 部長）

研究の目的

切迫性の高い南海トラフの大規模地震に関連し、プレート境界におけるスロースリップ、プレスリップなど固着状態の変化を検出するための手法を高度化するとともに、観測された現象と大地震発生との関連性を理解し、地震発生前の的確な情報発信を可能とする。さらに、津波地震を含む巨大地震の多様な発生状況を想定した地震の規模・震源域の広がり等を迅速に把握するための手法を開発し、津波地震に対する津波警報の適切な発表や、東海・東南海・南海地域の時間差発生対応のための割れ残りの判定により、的確な災害対策に貢献する情報発信を可能とする。これらにより大地震、津波から国民の生命と財産を守る。

副課題1 南海トラフ沿いのプレート間固着状態監視技術の高度化

副課題1の研究担当者

小林昭夫、勝間田明男、宮岡一樹、西宮隆仁、安藤 忍、弘瀬冬樹、中田健嗣、藤田健一、橋本徹夫（地震津波研究部）、案浦 理、木村久夫、甲斐玲子、前田憲二（気象庁地震火山部）

副課題1の目標

- ・プレート間の固着状態の変化による地殻変動を面的に詳細に把握するため、人工衛星リモートセンシング手法の一つである SAR 干渉解析手法の改良を行う。
- ・プレート間のゆっくりしたすべり現象について、数か月から数年間継続する長期的スロースリップによる地殻変動をひずみ計、GNSS 等を用いて客観的に検出するなど、すべり現象の変動源を推定する手法の改良を行う。
- ・観測された固着状態の変化の物理的背景の理解を進めるとともに、プレスリップにつながるなど将来の大地震の発生に結びつく可能性について評価する手法を開発する。

副課題1の本年度の計画

- ・干渉 SAR の気象補正方法の開発及び改良を行う。
- ・地殻変動データを用いたスロースリップの客観的検出手法の改良を行う。
- ・東海大学・京都大学と共同で、海底地震計・海底水圧計観測を行う。
- ・過去の巨大地震の破壊域や発生間隔に加え、近年観測されたすべり欠損を再現するよう数値モデルの改良を進める。

副課題1の本年度の成果

- ・中国地方を領域固定した GNSS 日値を用い、フィリピン海プレートの沈み込みと逆方向の成分について、南海トラフのプレート等深線 30km 沿いに並べた地点を中心とする一定範囲内の平均を求め、1 週間の傾斜期間を持つランプ関数との相関を取ることで、南海トラフ沿いの短期的スロースリップ（数日から 1 週間程度の継続時間）の客観的な時空間分布を得る手法を開発した。
- ・GNSS 日値を用いた長期的スロースリップの客観検知手法により、2000～2002 年の紀伊水道長期的スロースリップのすべり分布を推定した。
- ・やや長期間のひずみデータを用いたスタッキングにより、東海地域の短期的スロースリップの時空間分布を明らかにした。

- ・東海大学と共同で、駿河湾における海底地震計観測を継続した。
- ・京都大学と共同で、南海トラフ軸付近の海底水圧計の回収および設置を行った。
- ・GNSS 日値の解析から、2014 年半ばから始まった紀伊水道における長期的スロースリップの規模が 2017 年 1 月時点で Mw6.7 相当であることを明らかにした。
- ・南海トラフ沿いの巨大地震シミュレーションにおいて、巨大地震の発生履歴、比較的よくわかっている昭和東南海・南海地震のすべり分布、最新のすべり欠損レート分布、そして繰り返す長期的スロースリップを再現するモデルを構築した。各地震のすべり分布は概ね再現しているが、宝永→安政→昭和の発生順は再現できていない。
- ・プレート境界でのスロースリップを捕捉することをめざし、防災科研が有する傾斜データの提供を受け、各種補正作業を進めた。
- ・SAR 衛星 ALOS-1 のデータを用いた時系列解析により、御前崎、潮岬、足摺岬周辺の定常的な地殻変動の検出を行った。
- ・海底観測システムである DONET の 2015 年 9 月から 2016 年 4 月までの連続地震記録を解析し、その結果南海トラフの島弧側において浅部微動活動が発生していることを確認した。微動活動は 2015 年 10 月と 2016 年 4 月に発生しており、深部の微動活動と同様に地震動によるトリガ現象が確認された。この微動活動はトリガ現象に見られるように応力状態に敏感であり、この周辺の応力状態をモニターする上でも重要な現象とみられる。

副課題 2 津波地震などに対応した即時的地震像把握手法の開発

副課題 2 の研究担当者

勝間田明男、小林昭夫、田中昌之、宮岡一樹、西宮隆仁、安藤忍、中田健嗣、藤田健一、溜渕功史（地震津波研究部）、上野 寛、森脇 健、田中美穂（気象庁地震火山部）、吉田康宏（気象大学校）

副課題 2 の目標

- ・津波地震や海底地すべりの発生を検知し、津波予測に用いるための規模等を推定するための手法を開発する。
- ・発生した地震の震源域の広がり把握や、余震発生予測等に寄与するため、地震発生直後の余震の発生状況について即時に把握する手法を改良する。
- ・津波予測や連動発生地震の監視に寄与するため、発生した地震のすべり分布を迅速に推定するための手法を改良する。

副課題 2 の本年度の計画

- ・スロー地震について、地震波形の特徴について事例解析を進めるとともに、規模推定手法の開発を行う。
- ・山体崩壊による津波の再現計算を行う。
- ・自動震源決定手法の問題点の調査を行い、手法の改善を行う。
- ・遠地実体波震源過程解析の自動解析手法を近地強震波形震源過程解析にも適用し、近地強震波形震源過程解析の迅速化及び自動化の開発を行う。

副課題 2 の本年度の成果

- ・山体崩壊による津波について、実地形で崩落させた土砂の移動を計算して、その結果を津波計算に与える方法を、歴史津波観測高の得られている 1741 年渡島大島及び 1792 年雲仙眉山の事例に適用し、概ね妥当な予測結果を得た。
- ・スロー地震タイプの津波地震の規模を即時かつ適正に推定する手法として、変位を積分した波形の振幅を用いて、地震の規模が推定可能であることを確認した。更に、遠地実体波のスペクトル解析から、スロー地震タイプの地震の特徴抽出を行った。
- ・1998 年パプアニューギニアにおける海底地すべりによる津波に関して、以前の調査に加えて

地震観測点を追加して地すべりによる地震波が検出されるかどうか検証したが、地すべりによる地震波の相は検出されなかった。

- 解析結果の公表までに時間を要していた遠地実体波震源過程解析の迅速化のため、自動解析プログラムを改良し、領域端に生ずる見かけ上のすべりがより抑制された解が得られるようにした。また、スケーリング則に基づき解析パラメータを設定する同手法を近地震源過程解析に導入し、2016 年 11 月の福島県沖の地震を解析し、適正に解が得られることを確認した。
- 国内外で発生した規模の大きな地震に伴う地殻変動について干渉 SAR 解析を行った。このうち、イタリア中部で発生した地震とフィリピンレイテ島で発生した地震については、震源過程解析から得られたすべり分布との比較を行い、矩形断層モデルの推定を行った。
- 単独観測で得られる地震動データから、津波来襲の可能性の検知が可能であるかどうか調査した。想定したセンサーは安価な MEMS 加速度センサーであり、加速度記録を積分して得られる 20 秒周期の変位を用いた。比較的最近発生した M8 クラス以上の地震のデータを用いて、観測点近傍における M8 クラスの地震の発生が、誤検知はある程度含まれるものの識別可能であることを確認した。
- 2011 年 (M6.1) と 2016 年 (M6.3) に茨城県北部において発生した 2 地震の震源過程を推定した。余震分布から、これらの 2 地震は全く同じ断層面の活動として解析した。2011 年の地震の場合には震源近くに大きなすべりが推定された。2016 年の地震の場合には、震源からみて北側の領域においてすべりが大きかったと推定された。2 地震は共通の断層面の活動ではあったが、すべりが大きかった領域は重なりあってはいないとみられる。
- 2014 年 7 月～2014 年 12 月までの連続地震波形を用いて、西南日本の南海トラフ沿いの深部低周波地震活動に Matched Filter (MF) 法を適用してイベントの検出を行った。その結果、5188 個のイベントを検出し、3744 個の震源を決定した。イベント検出の際の誤検出率は約 4.0% と低い値であるにも関わらず、MF 法で決定した震源数是一元化震源カタログに掲載されている同期間、同領域の深部低周波地震数の約 2 倍となった。このことは MF 法により深部低周波地震の活動推移を監視することが可能であることを示唆している。

B7 火山ガス観測による火山活動監視・予測に関する研究

研究年次： 2年目／5年計画（平成28年度～平成32年度）

研究代表者： 高木朗充（火山研究部 第三研究室長）

研究の目的

気象庁の噴火予警報業務の改善に資するために、火山ガスの観測によって水蒸気噴火など火山噴火の前兆を早期に把握する監視手法を開発し、火山活動予測の高度化を図る。

研究の目標

火山ガスによる昼夜連続監視が可能な観測手法を開発するとともに、火山ガス組成の精密分析などによる火山ガス放出機構のモデル化を進めることで、化学的手法に基づく火山活動監視・予測手法を確立する。

副課題1 火山ガス放出量観測に基づく火山活動監視・予測の研究

副課題1の研究担当者

高木朗充、谷口無我、福井敬一、長岡 優、森 健彦（火山研究部）、安藤 忍（地震津波研究部）

副課題1の目標

火山ガス放出量を昼夜連続監視可能な土壌ガス観測手法を開発するとともに、既存の火山ガス放出量観測データや地殻変動データなど多項目の観測データを組み合わせた解析によって火山ガス放出変動機構をモデル化し、火山活動監視・予測の改善を図る。

副課題1の本年度の計画

- ・土壌ガス連続観測装置の気象研究所構内における試験観測を継続する。得られたデータから土壌ガスと気象条件等との関連を調査する。
- ・吾妻山で土壌ガス面的観測を実施するとともに、連続観測装置による観測を開始する。
- ・重点研究 B5「地殻変動観測による火山活動評価・予測の高度化に関する研究」と共同し、伊豆大島にて土壌ガス面的観測を実施し、伊豆大島における土壌ガス放出の実態を把握するとともに、伊豆大島において観測されている短期的膨張・収縮地殻変動との関連の解明に取り組む。
- ・ひまわり 8 号等の衛星観測データなどリモートセンシング手法により、火山ガス放出活動の規模評価を進める。
- ・気象場と噴煙拡散モデルを利用した、二酸化硫黄放出量算出法の開発を進め、測定値の高精度化を進める。

副課題1の本年度の成果

- ・土壌ガス連続観測装置を吾妻山大穴火孔南方に設置し、観測を開始した。
- ・海洋気象観測船（啓風丸）の協力により、小型紫外分光計を用い、噴火活動が再開した西之島の SO_2 放出率観測（4 回目）を 2017 年 5 月に実施し、2015 年 10 月に観測されたレベル（約 500 トン／日）に戻っていることを確認した。神奈川県温泉地学研究所に SO_2 放出率観測の技術指導を行うと共に、箱根山において同観測を共同で実施し、2015 年噴火後も二酸化硫黄の放出が継続していることを確認した（3 月）。
- ・ SO_2 放出率の連続観測化へ向けた取り組みの一環として、噴煙の一部分の濃度から SO_2 放出率の見積もりが可能かどうかの実証実験を諏訪之瀬島にて実施した。火山活動の変化によって生じる桁オーダーの放出率の違いは見積もることが可能であることが得られたが、より誤差を少なくするためには、より高度な噴煙拡散モデルとの融合が必要であることがわかった。

- ・草津白根山、高原山（2月予定）および伊豆大島（3月予定）で土壌ガス面的観測を実施した。
- ・遠望観測による噴煙の高さと気象庁メソ客観解析データを用いて、火山から放出されているH₂O量を推定した。適切なパラメータ（主に噴煙と外気との温度差）を用いると遠望観測資料から季節変化を含まない形で火山活動を評価できる可能性があることを示した。

副課題2 火山ガス組成観測に基づく火山活動監視・予測の研究

副課題2の研究担当者

高木朗充、谷口無我、福井敬一、長岡 優、森 健彦（火山研究部）、北川隆洋（気象庁地震火山部）

副課題2の目標

火山ガス組成の連続観測と精密分析によって水蒸気噴火などの微細な前兆変動を検出するとともに、ガス組成変動機構のモデル化を行い、副課題1の成果と合わせ火山活動監視・予測技術の高度化を図る。

副課題2の本年度の計画

- ・気象庁が整備した、多成分火山ガス連続観測装置によって得られたデータから火山ガス組成比を精密に評価するため、解析手法の高度化を進める。
- ・機動観測用多成分火山ガス観測装置により、吾妻山、草津白根山、箱根山等で観測を実施し、本装置および多成分火山ガス連続観測装置の性能を評価するとともに、火山活動との関係を調査する。
- ・気象庁が過去に実施した火山ガス濃度観測データを整理・評価し、火山活動との関連について調査する。
- ・噴気孔から放出される火山ガスおよび火口湖の湖水や温泉水といった熱水試料を採取し、主要・微量化学組成を分析して火山活動との関連について調査するとともに、多成分火山ガス連続観測装置による組成比と噴気孔から採取した火山ガスの組成比とを比較調査し、連続観測装置の性能を評価する。
- ・脱ガス機構のモデル化のために必要な知見を収集する。

副課題2の本年度の成果

- ・火山化学実験室にガスクロマトグラフ、イオンクロマトグラフ、原子発光分析装置等を設置し調整するとともに、湿式分析環境を整備した。
- ・機動観測用多成分火山ガス観測装置を用い、九重山、西之島や樽前山において、可搬型の多成分火山ガス装置を用いた観測を行い、直接火山ガス採取による分析値との比較検討に着手した。また、これらのうち九重山では、気象庁が多成分火山ガス連続観測装置を設置しており、火山ガス組成比を精密に評価するための解析に着手した。
- ・霧島山（硫黄山）、箱根山、吾妻山、硫黄島、草津白根山、高原山、雌阿寒岳、アトサヌプリ、十勝岳、樽前山、焼岳、御嶽山において火山ガスを採取して化学組成の分析を実施した。このうち、気象庁が整備した御嶽山の火山ガス連続観測装置で得られた組成比が2つのグループに分かれている点に着目し、その原因が異なる二つの火口（1979年噴火と2014年噴火）由来であるという仮説を立て、現地で採取した火山ガスを分析したところ、その仮説が概ね正しいことを確認した。
- ・西之島と霧島山（新燃岳）では、採取した火山灰から水溶性火山ガスの付着成分の分析を実施した。西之島では、塩化物イオンと硫酸イオンのモル比（Cl⁻/SO₄²⁻）が2.0と高く、高温の火山ガスが関与していることがわかった。また、2017年10月に噴火した霧島山（新燃岳）では、11～14日に採取した火山灰の分析からはCl⁻/SO₄²⁻モル比は0.31～0.40であったが、15、16日の火山灰の分析からは0.055、0.022と漸減した。これらの変化は噴火活動の低下を示したものであると思われる。この分析結果は噴火警戒レベルの引き下げの判断の一助となった。

- ・霧島山（硫黄山）、草津白根山、蔵王山、硫黄島では、火口湖水や熱水に溶存する火山ガス起源物質の分析を実施した。霧島山（硫黄山）では、 Cl^- と SO_4^{2-} から計算される Cl/S 比が 2017 年 4～5 月にかけて上昇し 6 月末にかけて減少する時間変化を明らかにし、地震活動等の推移と連動していることを示した。
- ・霧島山（硫黄山）、箱根山、吾妻山、高原山、アトサヌプリ、雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、焼岳、御嶽山、伊豆大島、九重山、雲仙岳において火山ガスを採取するとともに化学組成および水素・酸素安定同位体比の分析を実施した。

C1 気候モデルの高度化と気候・環境の長期変動に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 大野木和敏（研究調整官）

研究の目的

地球温暖化による全球および地域レベルの気候・環境変化に関する情報の作成と適応策の策定に貢献する。

研究の目標

- ①シームレス化を目指して気候再現性とともにより短期・季節の予測精度に優れた高精度の地球システムモデルを開発し、数年から数十年、さらに長期の気候・環境変動を対象とする予測を行う。プロセスレベルの解析や古気候実験、各種感度実験を実施し、気候変動およびそれに関連する気候と物質循環の相互作用に関わるプロセスやメカニズムを解明する。
- ②地域気候モデルを高精度化・高分解能化し、地球温暖化に伴う21世紀の気候変化予測を詳細に行う。より信頼度の高い予測データを得るための手法を開発するとともに、データの活用に必要な信頼性情報を開発し提供する。また、異常気象をもたらすような地域的な気候現象の予測可能性を調べる。
- ③得られた成果により「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」報告や気象庁温暖化業務に寄与する。

副課題1 地球システムモデルの高度化による気候・環境変動予測の高精度化

副課題1の研究担当者

行本誠史、尾瀬智昭、川合秀明、新藤永樹、吉田康平、楠 昌司、高谷祐平、今田由紀子、小畑淳、石田春磨、石井正好、村崎万代、水田 亮、遠藤洋和、仲江川敏之、保坂征宏（気候研究部）、吉村裕正（予報研究部）、眞木貴史、直江寛明、田中泰宙、大島 長（環境・応用気象研究部）、山中吾郎、辻野博之、浦川昇吾（海洋・地球化学研究部）、出牛真、足立恭将、坂井めぐみ（気象庁地球環境・海洋部）、藪 将吉（気象庁予報部）、村上茂教（気象大学校）、神代 剛、荒川 理、亀井 誠（気象業務支援センター）、鬼頭昭雄、野田 彰、杉 正人、相澤拓郎（客員）

副課題1の本年度の計画

- ① CMIP6の基本的な実験（AMIP実験、産業革命前スピニアップと基準実験、CO₂ 1%/yr 漸増実験、CO₂ 瞬時4倍増実験、および歴史実験）を行う。さらにCFMIP、ScenarioMIPなど主要なEndorsed-MIPの実験を実施する。また、十年規模予測のための初期値化実験を実施し、予測実験を開始する。
- ②地球システムモデルの気象庁全球モデルGSAMフレームへの移行を進め、エーロゾルモデル、大気化学モデルとの結合部分、主要スキームのGSAMへの組み込みを行う。
- ③大気大循環モデルの各物理過程（特に雲物理過程、境界層過程、積雲対流過程、陸面過程）について、中期的に取り組む改良・高度化を進める。
- ④気候変動および気候・物質循環相互作用に関するプロセス・メカニズムについて、引き続き以下の実験・解析を進める。
 - ・雲微物理過程と大規模場の相互作用に関する実験および解析
 - ・成層圏気候変動に関する実験および解析
 - ・古気候実験および解析
 - ・気候予測の不確実性に関する実験および解析
 - ・大気-化学-エーロゾル相互作用に関する実験および解析

- ・ 陸域炭素循環過程に関する実験および解析
- ⑤ 全球非静力学フレームに基づく次世代気候モデルの開発を引き続き進める。

副課題1の本年度の成果

- ① ・ CMIP6に向けたMRI-ESM2を完成させ、産業革命前条件で1000年のスピナップを行ない、気候ドリフトの十分小さい初期状態を得た。その初期状態からスタートし、正式なCMIP6の基本実験（DECK）である産業革命前基準実験、歴史実験、二酸化炭素年率1%漸増実験、二酸化炭素瞬時4倍増実験、及びAMIP実験を行った。ただし、アンサンブル実験のうち一部のメンバーは未実施。
 - ・ CMIP6からの強制力データ提供が遅れているため、ScenarioMIP等は未実施。
 - ・ 十年規模予測のための初期値化実験システムを改良し、2016年について初期値化実験と予測実験を試験的に行った。
- ② ・ 気象庁現業全球モデル最新版GSM1705ベースのモデルに気象研究所開発の積雲スキーム（Yoshimura）、雲スキーム（Tiedtke）を導入し、テスト実験を行った。
 - ・ 大気海洋結合部分の組み込み方法を決め、試験的なコーディングを行った。
- ③ ・ MRI-CGCM3からMRI-ESM2への雲表現の大幅な改善について様々な要因を特定する解析を行ない、国際会議等で報告を行った。
 - ・ MRI-ESM2に導入した太陽活動に関連する高エネルギー粒子に伴う大気化学効果を高度化した。
 - ・ エロゾルの有効放射強制力を推定した。その結果、全強制力は -1.14Wm^{-2} と見積もられ、MRI-CGCM3に比べて約20%小さくなった。エロゾルの直接効果が強まった一方、間接効果は弱まり、雲量よりむしろ雲の特性による寄与が大きいことがわかった。
- ④ ・ CMIP5マルチモデルデータを使用して海霧についての解析を行った。海霧の再現性を調査した結果、MRI-CGCM3の再現性が最も高いことがわかった。また、温暖化時の北半球の海霧の変化を調査し、海面水温が高くなると北太平洋高気圧が弱くなることに伴い、海霧は北太平洋西部で減少し、東部で増加することが示された。
 - ・ 新たに開発した下層雲量の指標を用いて、気候感度を大きく左右する下層雲の将来変化の解釈を試みた。この指標を用いると、温暖化した際に温度的な安定度が大きくなっても下層雲が減少するという一見矛盾する変化をうまく説明できることがわかった。
 - ・ MRI-ESM2で再現される成層圏準2年周期振動（QBO）について、長期的変化傾向を調べ、産業革命前から現在気候にかけて観測と同様に熱帯下部成層圏でQBOの振幅が弱化していることが確認された。
 - ・ 火山噴火による日射減少や寒冷化で一般に減ると予想される植生の純一次生産について、地球システムモデルの巨大火山噴火実験結果を用いて緯度別に調べたところ、高温への途上に極大を持つ光合成特性と寒冷化による呼吸減少のため、中高緯度と反対に熱帯では火山噴火寒冷化によりむしろ純一次生産が増加することが判明し、モデルに含まれていない降灰被害を別とすれば、農作物の収穫量増加が示唆された。
 - ・ 高解像度全球大気モデルMRI-AGCM3.2による地球温暖化実験で降水量の変化を調べた。年平均降水量より極端降水量の変化率が大きく、極端降水量の変化率は熱力学的に理論的に期待される上限値に近いことがわかった。また、北極域において年平均降水量と極端降水量が増加し、低緯度からの水蒸気輸送の増加が寄与していることが示唆された。
 - ・ SST分布がもたらすの大気へのインパクトについて明らかにするため、海流をある程度表現できる高解像度SST(MGDSST: 分解能約 0.25°)を使って作成した全球客観解析プロダクト(JRA-55CHS)を境界条件として使用し、5km分解能NHMを用いた長期ダウンスケーリング実験を行うことにより、SSTの表現の違いが気温、降水量、雲量等モデルの再現性にどの程度寄与するか調査した。
- ⑤ ・ 気象庁現業全球モデル最新版GSM1705ベースのモデルに非静力学オプション、ダブルフォーリエ展開を組み込み、テスト実験を行った。

副課題2 地域気候モデルによる気候変動予測に関する研究**副課題2の研究担当者**

佐々木秀孝、村田昭彦、川瀬宏明、野坂真也、高藪 出、志藤文武（環境・応用気象研究部）、田中昌太郎、山田 賢、西村明希生（気象庁地球環境・海洋部）、大泉三津夫（気象大学校）、栗原和夫、伊東瑠衣、日比野研志（客員）

副課題2の本年度の計画

- ① NHRCM01 の物理過程の改良を行うなどして現在気候再現性の向上を図り、500km 四方程度の計算領域における温暖化予測実験を行う。
- ② NHRCM02 による温暖化予測データの不確実性の評価、バイアス補正を含めた極端現象の将来予測方法の検討を行う。
- ③ SST が気候再現性に与える影響についての評価を行う。
- ④ 地方固有の気候現象について、バイアス補正や不確実性を考慮した将来変化予測の方法についての検討を行う。

副課題2の本年度の成果

- ① ・長野県を対象に NHRCM01 の実験を実施し、長野県が収集した北アルプス周辺の積雪の観測データと比較したところ、北アルプスの入り組んだ地域において、高解像度実験によって積雪の再現性が向上したことを確認した。
- ② ・NHRCM05 を境界値、強制力として格子間隔 2km でオフライン SiB を実行した。その際、強制力の降水をメッシュ気候値で補正することにより、バイアスの低減に成功した。
 - ・NHRCM02 による将来予測の実験の結果、年最大 1 時間降水量及び 99 パーセンタイル値については、概して平均降水量よりも将来変化率が高くなることが分かった。
- ③ ・FORA-WNP30 の SST に時間・空間スムージングを施した SST による NHRCM の長時間積分を実行した。その結果、平均場への SST の時空間分解能の影響は小さいが、豪雨に対してはスムージングの影響が大きいことが分かった。
- ④ ・NHRCM02 による温暖化予測実験の結果、北海道北西部での極端降水の将来変化率が高くなることが判明した。4 つのメンバーのデータを使うことにより、不確実性を見積もることができる可能性のあることが分かった。
 - ・北海道を除く日本域で、d4PDF 20kmNHRCM を基にした 5km 大規模アンサンブル過去実験（約 300 年）を実施することで、通常の計算では評価が困難な発生頻度の低い強い降雪の特徴を把握した。また、地域別に極端降雪発生時の総観場の特徴を明らかにした。
 - ・中部山岳域を対象に NHRCM02 を用いた過去 16 年分の積雪再現実験を行い、立山 カルデラ砂防博物館及び富山大学等と共同で観測した積雪データと比較することで、これまでは評価が困難であった高い山での積雪の再現性を確認し、今後の山岳 積雪のバイアス補正を行う上で必要不可欠な知見を得た。
 - ・NHRCM02 の将来予測実験の結果、将来のやまじ風の発生頻度がやや少なくなる可能性があることが分かった。

C2 季節予報の高度化と異常気象の要因解明に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 尾瀬智昭（気候研究部 部長）

研究の目的

季節予報システムの改良と異常気象の要因解明を行い、現業季節予報の精度向上と適切な利用に貢献する。

研究の目標

次世代季節予測システムを開発するとともに、異常気象の要因と予測可能性の解明を行い、季節予報および異常気象の予測改善を図る。

- ①季節予測システムの全球大気海洋結合モデルおよび大気海洋初期値の改良と性能評価を通じて、将来（平成31年度以降）の現業季節予報システムを開発する。
- ②異常気象の実態とその予測可能性をデータ解析やモデル実験などによって明らかにし、異常気象の要因解明を行うとともに異常気象予測を改善する。
- ③異常気象の要因解明や予測精度評価に必要な、再解析プロダクトなどの基盤データを整備する。

副課題1 季節予測システムの改良と性能評価に関する研究

副課題1の研究担当者

高槻 靖、高谷祐平、今田由紀子、齊藤直彬、小林ちあき、行本誠史、川合秀明、保坂征宏（気候研究部）、山中吾郎、浦川昇吾、辻野博之、藤井陽介、豊田隆寛（海洋・地球化学研究部）小森拓也、平原翔二、久保勇太郎、石川一郎、杉本裕之（気象庁地球環境・海洋部）

副課題1の目標

季節予測システムの全球大気海洋結合モデルおよび大気海洋初期値の改良と性能評価を通じて、将来（平成31年度以降）の現業季節予報システムを開発する。

副課題1の本年度の計画

- ①季節予測システムについて、以下の開発を行う。
 - ・次期季節予測システムとして、全球渦許容海洋モデルと高分解能（60km、モデルトップ0.01hPa）全球大気モデルを結合し、単体及び結合モデル実験（長期ラン）を実施しつつ改良する。
 - ・構築した次期季節予報システム用4次元変分法全球海洋データ同化システムを用いて、渦許容モデルを用いた予測実験のための海洋・海水初期値の整備、評価する。
 - ・熱帯海洋高分解能結合モデル実験を行い、熱帯不安定波動などが解像できることによる、平均場と変動場に与える影響を評価する。
- ②現業季節予測システムについて、以下の評価を行う。
 - ・現業季節予測システムのハインドキャストデータなどを用いて、北極振動、エルニーニョ現象に伴う中高緯度大気変動などの年々変動の再現性、予測精度の評価を行う。
 - ・現業季節予測モデルのインパクト実験等を実施して、エルニーニョ現象に関する特性評価や、インド洋・大西洋などの海洋変動の影響を評価する。

副課題1の本年度の成果

- ①季節予測システムについて、以下の開発を行った。
 - ・次期季節予報システムに用いる大気モデルの開発・改良と、海洋モデルとの結合化を本庁と協力して行なっている。

- ・次期季節予報システムに用いる全球渦許容海洋モデル（解像度 0.25° ）の本庁における開発を支援している。
 - ・4次元変分法による海洋同化、及び3次元変分法による海水密接度の同化を適用した全球海洋データ同化システムを完成させた。また、その解析値を用いて、全球海洋渦許容モデルを初期化するスキームを開発した。
 - ・次世代の季節予測システム開発に向けて、熱帯海洋高解像度結合モデルによりヒストリカル実験を行った。熱帯海洋高解像度化により熱帯不安定波とそれに伴う大気の大擾乱の再現、熱帯太平洋 SST の低温バイアスや東西流速の過小評価傾向などが改善することを示した。また同モデルによるハインドキャスト実験を行い、東部太平洋赤道域 SST の予測スキルが改善することを示した。
- ②季節スケールの予測可能性及び現象メカニズムの解明に向け、以下の解析・評価を行った。
- ・現業季節予測システムのハインドキャストデータなどを用いて、予測可能性が低いと考えられてきた北極振動の予測可能性を評価した。冬前半に比べ、冬後半から春にかけては予測可能性が高いことを明らかにし、これには冬後半に予測可能性が大きく増す成層圏循環が関係していることを示した。
 - ・現業季節予測モデルを用いた感度実験により、2016 年夏季前半の北西太平洋における台風活動について、エルニーニョ現象の遅延影響により昇温したインド洋が夏前半の台風活動を抑制することを明らかにし、台風予測可能性の季節依存性を指摘した。
 - ・現業季節予測モデルを用いた感度実験により、2010 年夏季の熱帯大西洋の海面水温の高温偏差が熱帯の対流圏温度を温め、インド洋では対流圏温度の南北コントラストが減少してインドー北西太平洋モンスーンの弱化に寄与していたことを明らかにした。また、海面水温の上昇を長期トレンド分とエルニーニョ現象の関係分に分けて評価すると、熱帯の対流圏温度に対しては両者が同程度寄与していた。

副課題 2 異常気象の要因解明と予測可能性の研究

副課題 2 の研究担当者

仲江川敏之、小林ちあき、原田やよい、釜堀弘隆、今田由紀子、黒田友二、吉田康平、村崎万代、水田 亮、遠藤洋和（気候研究部）、吉村裕正（予報研究部）、太田行哉（気象庁予報部）、古林慎哉、吉本浩一、竹村和人、佐藤大卓（気象庁地球環境・海洋部）、野口峻佑（客員）

副課題 2 の目標

- ①異常気象の実態とその予測可能性をデータ解析やモデル実験などによって明らかにし、異常気象の要因解明を行うとともに異常気象予測を改善する。
- ②異常気象の要因解明や予測精度評価に必要な、再解析プロダクトなどの基盤データを整備する。

副課題 2 の本年度の計画

- ①成層圏の変動がもたらす異常気象の予測可能性を研究するため、成層圏・中間圏初期値の予測インパクト実験を実施する。また、予測可能性の統計的法則を見出すため、アンサンブルハインドキャスト実験から 1979 年以降の多数の事例を解析する。
- ②長期 AMIP 実験（文科省創生プログラムで実施）を解析し、過去 100 年に観測された対流圏および成層圏の気候変化の要因を検討する。
- ③次期再解析（JRA-3Q）の開発に資するため、JRA-55 再解析について、以下の調査を行う。
 - ・JRA-55C データ同化システムによる再解析実験やダウンスケーリング実験を行い、海面水温やオゾンなどの境界条件が再解析データに与える影響についての調査を行う。
 - ・熱帯季節内変動、ENSO や温暖化に関連した大気の中長期変動について JRA-55 ファミリーの相互比較を含めた調査を行い、JRA-3Q において改善すべき点や実施するファミリーの構成を検討する。

- ④社会的に影響の大きな異常気象が発現した場合には、関連するデータを収集・解析し、その実態と要因の解明を速やかに行う。

副課題2の本年度の成果

- ①成層圏の変動がもたらす異常気象の予測可能性について、以下の研究を行った。
- ・熱帯下部成層圏 20hPa 付近で成層圏準二年振動に伴う東風が強い時に、北半球夏季季節内振動の振幅が極端に強くなる傾向があることを明らかにした。
 - ・1958～2015年のJRA再解析データを用いて、太陽活動が高い時期と低い時に2分割し、それぞれの時期における北大西洋振動指数に対する回帰解析を加速成因別の東西平均運動量加速量および波エネルギーに対して行い比較し、太陽活動に伴うNAOの変調が、エネルギー及び運動量の観点からどのように起こっているかを調べた。
 - ・衛星観測の利用可能期間に対し、観測データを用いて太陽活動の北大西洋域への影響について回帰解析を使って調べた。
 - ・気象研で開発した地球システムモデルの過去再現実験の結果を用いて太陽活動11年周期変動の影響の解析を行った。
 - ・冬季亜熱帯ジェットの維持と変動メカニズム、環状モードとの関係、北半球と南半球のそれらの比較を行った。
- ②長期AMIP実験や観測データを用いて、長期気候変化について以下の研究を行った。
- ・2016年のアジア域の異常高温頻発について気象研高分解能(60km)大気モデルを用いた過去60年100メンバーのシミュレーション(d4PDF)を用いて解析し、温暖化の寄与率の時空間変化の特性を調査した。
 - ・日本域の極端降水の長期変化について、観測と全球モデル大規模アンサンブル実験(d4PDF)の比較を行った。観測(気象官署51地点平均)のRx1d(年最大1日降水量)およびRx5d(年最大5日降水量)は、過去100年スケールでは増加トレンドだが、過去60年では増加していなかった。モデルによる過去60年のRx1dとRx5dのトレンドは、減少から増加まで幅広く分布した。すなわち、過去60年程度の日スケールの大雨のトレンドにおいてはシグナルがノイズに比べて十分に大きくないことが示唆された。
 - ・ENSOの中緯度循環への影響のうち、帯状平均場への影響メカニズムについて、再解析プロダクトを用いて調べた。El Nino時のEP fluxの収束、発散偏差と子午面循環偏差が整合的であることを確認し、波活動偏差により子午面循環偏差が生じ、中緯度域は上昇流偏差となり、低温偏差傾向になることがわかった。
 - ・19世紀末以降の東海地方における区内降水量観測のデータレスキューにより、過去120年間に大雨頻度が増加していること、またこの増加と同時に大きな数十年規模変動も見られることを示した。
- ③JRA-55再解析データの特性について、以下の研究をおこなった。
- ・再解析における東西波数2の惑星規模波動の振幅は、観測データセットと比較して、成層圏圏界面付近より上層で寡少傾向が顕著であること、成層圏のいずれのレベルでも寡少傾向が共通してみられていることが分かった。
 - ・FX100に移植した再解析システムを用いて、JRA-55CのSSTを従来の低解像度版から高解像度版に変更した実験を行った。高解像度SSTを用いた影響が黒潮域およびメキシコ湾流域で熱フラックスや降水量場に顕著に表れていることを見出した。
 - ・JRA-55におけるエネルギー収支の評価を観測および他再解析との比較により行った。JRA-55は大気上端における上向長波放射が大きく、約10W/m²の射出超過であることが分かった。
- ④社会的に影響の大きかった2016年のアジア域の異常高温頻発に対してイベント・アトリビューションを実施した。2016年のアジア域の異常高温頻発に対して、2015年末から2016年春頃まで持続したエルニーニョが影響を与えていたものの、人間活動による地球温暖化が無ければこのような事態は起こり得なかったことを示した。

C3 地球環境監視・診断・予測技術高度化に関する研究

研究年次：4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者：高薮出（環境・応用気象研究部 部長）

研究の目的

東アジア、西部北太平洋におけるエアロゾル、オゾン、温室効果ガス等の観測を通じ当該物質の実態把握と変動メカニズムを解明すると共に、化学輸送モデルとデータ同化・解析技術を用いて地球環境の監視・診断・予測技術を高度化させ、サイエンスコミュニティや気象業務等に貢献する。

副課題1 エアロゾルの監視

副課題1の研究担当者

五十嵐康人、梶野瑞王、足立光司、川端康弘（環境・応用気象研究部）、財前祐二（予報研究部）
山崎明宏、石田春磨、工藤 玲（気候研究部）、永井智広、酒井 哲、吉田 智（気象衛星・観測システム研究部）佐藤陽祐、猪股弥生、内山明博、内野 修（客員）

副課題1の目標

- ・エアロゾル粒径、組成、混合状態、光学特性、鉛直分布のデータ蓄積とデータ公開
- ・エアロゾル素過程、物理・化学過程を考慮した詳細モデルの開発
- ・視程情報高度化に向けたもや・煙霧・黄砂現象を区別する観測手法の開発

副課題1の本年度の計画

- ①モニタリング・電頭分析
 - ・つくばや野外観測で得られた試料の観測、個別粒子分析を行う。データの公開を行う。
- ②長距離輸送エアロゾル
 - ・東アジア起源のPM2.5、黄砂等を対象に、西日本・山岳での観測、サンプル分析を行う。
- ③予測モデル開発
 - ・3モーメントビン法を実装したNHM-Chemにより東アジアスケール及び国内都市スケールの過去再現実験を行い、パフォーマンスを評価した後、本庁に納入する。
- ④視程情報高度化
 - ・つくばで、偏光OPC、サルフェートモニター、視程計（測器センター）による連続測定を実施し、電頭分析との比較を行う。春季に西日本（福岡）を対象とし、エアロゾルモデルを用いた視程予測実験を行う。
- ⑤光学特性観測
 - ・引き続き放射・光学特性観測点で連続観測を行い連続観測データの解析を進める。
 - ・観測から解析されたエアロゾルの微物理・光学特性の結果のデータベース化を進める。
- ⑥鉛直分布観測（ライダー）
 - ・エアロゾルライダーによる対流圏・成層圏エアロゾルの連続観測を継続し、その分布状況をモニタリングする。
 - ・定期的にデータ解析を行い、データ質の評価及び火山噴火等の影響を監視する。

副課題1の本年度の成果

- ①モニタリング・電頭分析
 - ・有機エアロゾルの加熱特性にかかわる研究成果をまとめ論文発表を行った（Adachi *et al.*, 2018 AST）。
 - ・電頭データ公表用のデータベースを構築するとともに、そのデータを用いてモデルとの比較実

2.2. 研究年次報告

2.2.1. 重点研究、一般研究

験を進めた。

②長距離輸送エアロゾル

- ・福岡や北極域での観測を行い、長距離輸送エアロゾルの解析を進めた。

③予測モデル開発

- ・NHM-Chem のエアロゾル表現の高度化を行った。(1) 電頭から得られた情報に基づいて領域気候計算用 5 カテゴリー法を新たに確立し、(2) 世界標準手法である大気質計算用 3 カテゴリー法、(3) 高速化を実現した現業予測用バルク平衡法の 3 手法を実装し、東アジアにおけるエアロゾルの物理・化学・光学特性の整合性評価と、無機物質の領域収支（発生、輸送、変容、沈着）の整合性評価を行い、論文にまとめた。

④視程情報高度化

- ・つくばでのエアロゾル観測データ（偏光 OPC など）を用いて、非降水時の視程（消散係数）を再現する実験を行った。MASINGAR に実装された計算方法による再現性は、比較的良好であることがわかった。

⑤光学特性観測

- ・放射・光学特性観測点において連続観測が順調に行われ、連続観測データの解析を進めている。
- ・スカイラジオメータのデータ管理・解析システムの改良を行い、データ解析・データ転送システムを構築した。解析した日々一次処理結果は、気象研究所モデル検証として提供した。また、2017 年 12 月に打ち上げられた衛星 GCOM-C の地上検証としても解析データが使われている。

⑥鉛直分布観測（ライダー）

- ・エアロゾルライダーによる連続観測を継続し、観測データを解析した。
- ・成層圏エアロゾル長期観測データを外部機関（NCAR, リーズ大学, メリーランド大学）に提供した。
- ・オゾンライダーの観測結果を副課題 4 に提供し、化学輸送モデル（MRI-CCM2）との比較検証を行った。
- ・2017 年 8 月以降に成層圏最下部で観測された森林火災起源と思われるエアロゾルについて、本庁環境気象管理官に情報提供を行った。

副課題 2 オゾン及び関連物質の監視

副課題 2 の研究担当者

永井智広、酒井哲、吉田 智（気象衛星・観測システム研究部）、内野 修（客員）

副課題 2 の目標

- ・対流圏オゾンライダーによる観測の継続によるデータ蓄積とデータ公開
- ・対流圏 NO₂ ライダーの開発
- ・ライダー観測データを用いた化学輸送モデルの改良への貢献

副課題 2 の本年度の計画

開発したライダーを用い、対流圏オゾンと二酸化窒素の鉛直分布の同時観測を行い、データの評価を行う。

副課題 2 の本年度の成果

二酸化窒素観測用ライダーについて、改良した波長変換方式を用いても送信光学系に損傷が生じたため、損傷条件などの詳細の調査を進めた。

副課題 3 大気・海洋の炭素循環に関する観測と診断解析

副課題3の研究担当者

松枝秀和、石井雅男、小杉如央、遠山勝也、小野 恒、澤 庸介、坪井一寛、丹羽洋介、堤 之智（海洋・地球化学研究部）、増田真次、笹野大輔、小嶋 惇、飯田洋介、川崎照夫、細川周一、古積健太郎（気象庁地球環境・海洋部）、横内陽子、齋藤尚子（客員）

副課題3の目標

- ・二酸化炭素同位体連続観測の実施と温室効果ガス観測データベースの構築
- ・上記データベースを用いた温室効果ガス発生源の観測的評価とモデル診断解析
- ・水中グライダーによる高頻度の海洋内観測の実現や分光光度法による pH 測定法の高効率化など、海洋物質循環観測の高度化による大気・海洋炭素循環過程や海洋酸性化実態の理解の促進

副課題3の本年度の計画**大気炭素循環解析****①微量気体の観測**

- ・綾里・与那国島・南鳥島・父島の大気観測所におけるラドン濃度と水素等の微量気体（父島）の観測を継続し、過去のデータと併せてデータベースを更新する。
- ・南鳥島のハロカーボン観測について、採取試料の分析を気象研にて開始する。綾里にて酸素濃度連続観測を開始する。

②観測技術の標準化・高度化

- ・二酸化炭素安定同位体測定装置の実用化試験を行う。気象庁と標準ガス比較実験を年2回実施し、これまでの実験結果も踏まえながら、気象庁から要請のある標準ガス校正装置更新および新手法の確立の技術検討を行う。現業化を見据えた次世代の観測技術（酸素、ハロカーボン類、 14CO_2 等）の確立のために、気象庁と協力して航空機観測や大気観測所で採取した実大気試料を用いた検証分析を継続して実施する。

③微量気体変動の解析

- ・更新されたラドンのデータベースを用いて、数日スケールの短周期変動におけるラドンと他の微量気体組成との比の長期変化を詳細に解析し、アジア大陸の発生源の変化傾向を定量的に把握する。

④アジアの微量気体発生源の評価

- ・実験検証を終えた4次元変分法（4D-Var）によるデータ同化システムを導入した逆解析手法に、実際の観測データを適応して、高解像度で精度の高い CO_2 フラックスを算定し、アジアの発生・吸収源の再評価を行う。

海洋炭素循環解析**①水中グライダー運用試験**

- ・房総半島南東の黒潮再循環域において、4月～6月に60日間程度の運用試験を行う。これにより冬の深い鉛直混合の状態から夏への成層化と生物生産期における物理的・化学的な海洋鉛直構造の変化を把握する。合わせて運行性能や観測性能などを確認し、データ処理方法の開発を進める。

②観測手法高度化

- ・使用する分光器の違いによる pH 測定値の違いを評価する。
- ・スクリプス海洋研が主催する海水中の全炭酸・全アルカリ度・pH 測定の国際比較実験に参加し、国内外他機関との測定値の整合性を確認する。
- ・CRDS 法による海水 CO_2 分圧測定試験を行い、性能を評価する。

③亜熱帯域トワイライトゾーン

- ・東経 165 度の亜寒帯・亜熱帯移行領域から亜熱帯域にかけて海洋亜表層で観測されている溶存酸素濃度の 10 年スケール変動の状況を解析し、その原因を究明する。全炭酸濃度や溶存酸素濃度の観測データから、亜熱帯域とその周辺域における人為起源 CO_2 の蓄積速度を評価する。

④モード水形成域

- ・海洋物質循環モデルの結果を活用して、モード水形成などサブダクションによる海洋内部への

人為起源 CO₂ 輸送速度を評価する。北西太平洋のモード水形成域とその周辺海域における海洋表層 CO₂ 分圧や全炭酸濃度の長期変化や季節変化を評価する。

副課題3の本年度の成果

大気炭素循環解析

①微量気体の観測

- ・データベースを更新し、ハロカーボンと酸素の観測を開始した。

②観測技術の標準化・高度化

- ・同位体の実証試験を開始し、標準ガス比較実験と実大気検証分析を実施した。

③微量気体変動の解析

- ・発生源変動に関連する微量気体組成比の長期変化傾向を初期解析した。

④アジアの微量気体発生源の評価

- ・初期解析による CO₂ の発生源・吸収源の再評価を進めた。

海洋炭素循環解析

①水中グライダー運用試験

- ・平成 29 年 5 月～6 月に本州南東沖の亜熱帯循環域で、水中グライダーによる低気圧性中規模渦の断面観測に成功した。低気圧性渦の中心付近で、上昇流による栄養塩供給が亜熱帯域亜表層の生物生産を活発化させていることを実証できた。

②観測手法高度化

- ・平成 29 年 10 月～12 月に、学術研究船白鳳丸の航海に参加し、三陸沖と本州南方の亜熱帯循環域で、キャビティリングダウン分光装置 (CRDS) による海洋表層 CO₂ 分圧観測と、分光光度法による全アルカリ度観測の同時航走観測に成功した。
- ・米国・スクリプス海洋研究所が主催した海水中の全炭酸濃度・全アルカリ度分析の国際比較実験に参加し、気象研究所と気象庁のこれらの測定が世界の先端レベルにあることを実証できた。

③亜熱帯域トワイライトゾーン

- ・気象庁海洋観測定線の東経 165 度の海洋内部の酸素濃度の長期観測データの解析を進め、親潮域と比較した。北太平洋西部の貧酸素化傾向が、親潮域から亜熱帯域北部や亜熱帯・亜寒帯移行領域に伝播している様相を明らかにできた。

④モード水形成域

- ・海洋物質循環モデル結果のラグランジュ解析により、大気から海洋への人為起源 CO₂ 吸収速度が 1990 年半ばに毎年 2.04 PgC、モード水形成などサブダクションによる海洋内部への輸送速度が毎年 4.96 PgC であり、海洋内部から表層へのオブダクションによる輸送速度が 4.50 PgC と評価できた。海洋内に蓄積された人為起源 CO₂ が海洋循環によって表層に戻る過程や、表層混合層から海洋内部への拡散が、海洋における人為起源 CO₂ の輸送に重要なことが分かった。
- ・気象庁海洋観測定線の東経 137 度における海洋表層 CO₂ の長期観測データの解析手法を改良した。黒潮の南の北緯 32 度から 20 度付近の亜熱帯循環域では、海洋表層の CO₂ 増加速度が、大気の CO₂ 増加速度と同等で、近年、加速傾向にあることが分かった。

副課題4 化学輸送モデル・同化解析技術の開発・高度化

副課題4の研究担当者

眞木貴史、直江寛明、関山 剛、田中泰宙、大島 長、梶野瑞王（環境・応用気象研究部）、丹羽洋介（海洋・地球化学研究部）、出牛 真、福山幸生、中村 貴、池上雅明、鎌田 茜、小木昭典、辻健太郎、須藤大地（気象庁地球環境・海洋部）、柴田清孝、弓本桂也、板橋秀一（客員）

副課題4の目標

- ・全球化学輸送モデル（エーロゾル、オゾン）高度化及び大気化学統合モデルの開発

- ・オンライン領域化学輸送モデル開発とオフライン領域化学輸送モデルの高度化
- ・全球化学データ同化の高度化（現業化）及び領域化学データ同化手法の開発
- ・化学輸送モデルとデータ同化技術を用いた応用研究（大気組成再解析、視程、放出量逆推定等）の実施

副課題4の本年度の計画

①全球化学輸送モデル

- ・引き続きユーロゾル、オゾンを対象とした全球化学輸送モデルの改良を行うと共に、両モデルの統合モデル構築作業を継続する。

②領域化学輸送モデル

- ・研究懇談会で受けた要望事項（初期場作成への協力、高解像度モデルの開発）を継続すると共に、オンライン版についても開発を進める。NHM-Chem のアンサンブルシミュレーションを行い、確率論的なメソ化学輸送モデル利用の可能性について探る。

③データ同化

- ・NHM-Chem-LETKF のプロトタイプ版を改良する。
- ・MASINGAR- データ同化システムの改良を進め、ひまわり 8/9 号のデータ利用を念頭に置いた全球ユーロゾルシステムの本庁への移植支援を行う。
- ・複数衛星観測データの利用を可能とする二酸化炭素データ同化システムの改良を行う。

④応用研究

- ・排出量逆推定手法の改良を進める。
- ・次期 JRA-3Q 再解析のオゾン境界条件を作成するために、衛星観測データの評価、バイアス補正法の開発等を行う。
- ・ユーロゾル再解析値プロトタイプ版の評価・検証を行う。

副課題4の本年度の成果

①全球化学輸送モデル

- ・全球ユーロゾルモデル等の改良を引き続き実施して気象研究所 CMIP-6 用地球システムモデルの開発に貢献すると共に、統合モデルの開発を進めた。

②領域化学輸送モデル

- ・観測データナッジングに関して本庁に技術支援を行うと共に、高解像度版モデルの開発を進めた。

③データ同化

- ・ひまわり 8 号データ同化システムの論文を発表すると共に気象研究所において毎日準リアルタイムで実行する環境を整えた。

④応用研究

- ・ユーロゾル再解析（JRAero）Ver. 1 を開発し、論文で発表すると共にデータを公開した。
- ・JRA-3Q 用オゾンに関して継続的なオゾン衛星観測がはじまった 1978 年から最新（2016 年）までの期間、利用できる全ての Level 2 オゾン全量データを収集し、地上観測から衛星測器毎のバイアスや経年ドリフトを評価した。
- ・BC 逆推計に向けた準備を行った。

c4 放射収支の監視システムの高度化と気候変動要因解明に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 山崎明宏（気候研究部 第三研究室主任研究官）

研究の目的

気候変動を決定づける大気放射収支の変動とその主要因となる雲・エアロゾルの監視技術の高度化と気候変動への影響解明を目的とする。

副課題1 気候変動（放射収支）・大気環境監視のための観測システムの構築

副課題1の研究担当者

山崎明宏、石田春磨、工藤玲（気候研究部）、石元裕史（気象衛星・観測システム研究部）、湯浅大樹（気象庁地球環境・海洋部）、内山明博（客員）

副課題1の目標

大気放射収支とその変動要因を監視するために「①日射・放射観測の高度化と連続観測システムの構築」、「②雲・エアロゾルの推定技術の高度化」を実施する。

副課題1の本年度の計画

- ・全天分光日射計の検定法の改良を進める。
- ・地上設置及び衛星搭載の放射計データからの雲物理量の推定法の開発・改良を引き続き行う。
- ・太陽周辺光の分布画像を撮る手法の開発を引き続き進める。
- ・EarthCARE 搭載ライダーと放射計を使ったエアロゾルの推定アルゴリズムの開発を引き続き行う。更に、それにより導出された値から大気放射収支を評価するための解析アルゴリズムの開発を行う。
- ・より現実的な大気場に対応した放射伝達計算コードの開発・改良を行う。

副課題1の本年度の成果

- ・分光型全天日射計をハワイ島マウナロア観測所で検定し、検定値を得た。
- ・スカイラジオメータを月光観測による夜間観測が行えるように改良し、試験的な観測を行った。太陽・月センサーによる月の自動追尾については、満月から半月頃まで自動追尾できることを確認できた。
- ・晴天～太陽からの光を飽和せずに記録できる広ダイナミックレンジの全天カメラを開発し、JAXA の設備を用いて校正を行った。また、ダイナミックレンジは通常のデジタルカメラと同等だが、可視と赤外波長の2つのカメラを搭載した手のひらサイズの全天カメラを開発した。両全天カメラとも、ハードウェアを試作した段階であり、今後実用に耐えるか試験を重ねていく。
- ・可視波長全天カメラ、赤外波長カメラの校正や解析のために、それぞれが観測する物理量を計算するフォーワードモデルを開発した。そして、赤外カメラ用のフォーワードモデルにより、実観測との比較を行い、良好な結果が得られた。また、雲底高度推定の可能性について調べた結果、空間一様性の高い雲であれば、十分に可能性がある事が分かった。
- ・開発していたスカイラジオメータの雲物理量推定手法では、局所解に陥りやすく、正しい解が得られない懸念があった。それを改善するため、大局的な解を得ることが出来る実数値遺伝的アルゴリズムを開発し、導入した。しかし、計算負荷を実用的な範囲に抑えたやり方では、従来の方法とあまり差が出ないことが分かった。そこで、コーディングの高速化と別なアルゴリズムである進化戦略の導入を検討した。

- EathCARE 衛星のエアロゾルの研究プロダクトの開発を進めている。EarthCARE 打ち上げ前のため、既存衛星の CALIPSO と MODIS のデータを使ったアルゴリズムの試験を行っている。地表面アルベドの影響もあり、エアロゾルが薄い時に、MODIS のデータが推定結果に悪影響を及ぼしていた。これを回避するため、MODIS のデータに対して、エアロゾルの光学的厚さに依存した重みづけをすることにより、安定して推定結果を得られるようになった。
- EarthCARE 衛星のエアロゾル標準プロダクトの開発を進めており、EarthCARE 搭載ライダーからエアロゾルと雲の光学特性を導出するアルゴリズム開発に着手した。通常行われる鉛直方向の平滑化に加え、水平方向の平滑化を加えることにより、より良い推定結果が得られることが分かった。また、標準プロダクトの処理には、20 分の制限時間がある。この時間内に処理を終えるため、コードの並列化を行い、成功した。
- 人工衛星や地上設置の放射観測データによる雲種識別の精度向上及び利便性向上のため、複数の機械学習アルゴリズムを組み合わせた識別手法を提案し、プログラムを作成した。試験事例として夜間低層雲の識別に使用し、妥当な識別結果が得られた。
- 現実的な大気場に対応した放射伝達計算コードの開発の一環として、三次元放射伝達計算手法の開発・改良を引き続き実施した。特に今年度は、広帯域フラックスの計算を可能にした。また、開発した計算コードを高解像度大気モデルの出力データに対して応用し、雲内部の微細な空間構造と放射エネルギー収支の関係を評価した。
- 2018 年度打ち上げ予定の人工衛星 EarthCARE に搭載される高波長分解能ライダー、レーダー、及び多波長イメージャーを活用した地球放射収支及び大気環境監視のため、これらのセンサーを複合利用した放射量推定プログラムの開発を引き続き実施した。特に今年度は、衛星模擬データによる試験解析によって改良すべき点を調査し、その結果に基づいてプログラムを修正した。

副課題 2 観測データから放射収支へ影響を与えている要素の評価と変動特性の解明

副課題 2 の研究担当者

山崎明宏、石田春磨、工藤玲（気候研究部）、湯浅大樹（気象庁地球環境・海洋部）、内山明博（客員）

副課題 2 の目標

副課題 1 で開発された観測システムで得られたデータを元に、大気放射場の季節～年々変動とその要因を解明する。

副課題 2 の本年度の計画

- 引き続き過去の放射計データ及び光学特性測定データの解析を進め、エアロゾル特性の時空間変動を解析する。
- 引き続きスカイラジオメータとライダーデータを解析し、エアロゾルの時空間変動を解析する。

副課題 2 の本年度の成果

- つくばのスカイラジオメータとライダーのデータを使ったエアロゾルの鉛直分布の季節変動を解析し、さらに、その結果を一次元大気境界層モデルに入力することで、大気境界層の発達に対するエアロゾルの影響評価を行った。その結果を論文にまとめ、投稿した。
- 約 10 年分の SKYENT 観測網（日本、韓国、タイ）のスカイラジオメータのデータを解析し、エアロゾル組成を導出した。既存の知識の通り、大陸寄りになるほど、エアロゾルが増えていること、離島などで海塩粒子が多く出ることが示された。今後、季節、年々変動について解析していく。
- 約 10 年分の SKYNET と AD-Net の観測網（日本、韓国、タイ）のスカイラジオメータとライダーのデータを解析した。まだ処理が終わったばかりのため、結果は出ていないが、エアロゾルの光学特性を大気境界層と自由大気に分けて解析することで、輸送されるエアロゾルの変動

に着目した解析を行っていく予定。

- CALIPSO-MODIS 複合解析によるエアロゾルの全球分布の解析を行った。1 年分の結果を MODIS の標準プロダクトと比較したところ、概ね同等の光学的厚さを得ることが出来た。今後、感度実験により、与えた仮定に対する影響を評価していく。

c5 雪氷物理過程の観測とモデル化による雪氷圏変動メカニズムの解明

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 保坂征宏（気候研究部 第六研究室長）

研究の目的

雪氷圏変動の実態把握のため、地上観測装置及び衛星リモートセンシングによる雪氷物理量の観測・監視を行い、それらを基に雪氷放射過程や積雪変質過程などの物理プロセスモデルを高度化し、雪氷圏変動メカニズムの解明及び予測精度向上に資する。

研究担当者

谷川朋範、庭野匡思（気候研究部）、青木輝夫（客員）

研究の目標

地球温暖化の影響が最も顕著に現れる雪氷圏変動の実態把握、変動メカニズム解明、予測精度向上のため、放射伝達理論に基づき、以下の3つの研究を実施する。

①雪氷物理量を測定するための新しい技術開発と連続観測

雪氷物理量を測定するための近赤外カメラ、全天分光日射計、波長別アルベド・反射率測定装置、カーボン・エアロゾル分析装置等の開発・改良、及び放射伝達理論に基づいた解析アルゴリズムを開発する。これらの装置と自動気象観測装置を合わせて雪氷の放射特性、物理特性の長期監視を行う。

②積雪・エアロゾル等放射過程の改良と衛星による雪氷物理量の監視

積雪・エアロゾル等の非球形粒子の光学特性を精度良く計算するための非球形散乱モデル、及び光吸収性エアロゾルの混合モデルを改良する。また、これらを用いて衛星リモートセンシング・アルゴリズムを改良し、主に極域及び日本周辺における雪氷物理量の空間変動と15年以上の監視を行う。さらに、下記③の積雪変態・アルベド・プロセス・モデル（SMAP）（Niwano *et al.*, 2012）における衛星データの利用試験を行う。

③各種ホストモデルで利用できる雪氷物理プロセスモデルの高度化

地球システムモデルや領域気象予測モデル等で利用できる雪氷放射過程や積雪変質過程などの精度向上を図り、積雪アルベド物理モデル（PBSAM）（Aoki *et al.*, 2011）による短波アルベドの精度で5%、SMAPによる積雪深の精度で10%以上を目標とする。さらに、JMA-NHMへのSMAPモデルの組み込み試験を行う。

本年度の計画

①雪氷物理量を測定するための新しい技術開発と連続観測

- ・札幌、芽室、長岡における放射・気象・積雪等の観測を継続する。札幌・長岡においては、積雪サンプルについて不純物濃度を分析する。
- ・同時に、平成27年度に開発した濾過フィルター透過率測定装置からBC濃度を測定し、カーボン分析装置を用いて推定した値と比較・検証を実施する。
- ・平成27年度に開発した野外用の積雪中近赤外反射率測定装置を用いた観測テストを多数実施し、積雪粒径の鉛直分布を抽出するためのアルゴリズムの精度向上に取り組む。
- ・SMAPで計算される積雪粒径と全天分光日射計の測定結果の相互比較を引き続き継続する。平成27年度に導入した改良型雨量計の捕捉率評価を実施する。

②積雪・エアロゾル等放射過程の改良と衛星による雪氷物理量の監視

- ・衛星データから積雪粒径及び不純物濃度の高速計算可能なリモートセンシング・アルゴリズムのさらなる改良を行う。平成29年度後半に打ち上げ予定のGCOM-C/SGLIデータの実解析を想定し、極域及び日本周辺における積雪物理量の空間変動と長期変動モニタリングを行う。また海水の検知精度の向上等を目的とした海水放射伝達モデルを開発する。

③各種ホストモデルで利用できる雪氷物理プロセスモデルの高度化

- ・日本周辺域、及びグリーンランドに適用されている SMAP モデルと JMA-NHM の結合システムを用いた長期気候計算を行い、精度評価を実施する。具体的には、地上気象要素の AWS データとの比較、モデルで計算された表面積雪粒径の衛星抽出データとの相互比較を行う。

本年度の成果

- ①・札幌・芽室・長岡における放射・気象・積雪の観測を継続し、北見における観測の活用を開始した。このうち札幌では 2017 年 11 月に自動気象観測装置の老朽化したセンサー（放射計、気圧計、雪温計）の更新の更新を行った。札幌・長岡・北見では定期的な積雪サンプリングを行い、積雪中不純物濃度の冬期間の季節変動の監視を行った。初期結果からは、過去に札幌と長岡において得られた特徴と定性的には同様の傾向があることが示唆された。積雪サンプル等の BC 濃度について、濾過フィルター透過率測定装置とカーボン分析装置による測定を行い、比較・検証を進めた。SMAP で計算される積雪粒径と全天分光日射計の測定結果の相互比較を引き続き継続した。改良型雨量計と従来型雨量計での冬期の降雪量の相互比較を継続した。
 - ・つくばの大気中の光吸収性エアロゾル成分である黒色炭素 (BC)、有機炭素 (OC)、ダストの分析・監視を通年で継続した。
 - ・可搬型積雪粒径測定装置（積雪中近赤外反射率測定装置）について、長岡等における多数のフィールドテストを活かして開発・改良を進めた。現地で積雪が混入するという問題を解決し、現場観測で実用可能なバージョンの完成につなげた。
- ②・海氷の検知精度の向上等を目的として、気泡・ブラインなどを含む大気－積雪－海氷系の多重散乱放射伝達モデルの開発に取り組んだ。海氷の大気上端・下端の波長別アルベド、反射率の計算が可能になった。
 - ・ひまわり 8 号データによる積雪域の検知手法に関するプロダクトの改良を行い、従来よりも積雪検知率が飛躍的に向上することが確認された。また質的情報を含む新規積雪プロダクトの開発に着手した。
 - ・衛星データから積雪粒径及び不純物濃度を評価するためのリモートセンシング・アルゴリズムをさらに改良した。
 - ・平成 29 年 12 月に打ち上げられた GCOM-C/SGLI データの実解析を想定し、MODIS 等の既存衛星データを用いて極域及び日本周辺における積雪物理量の空間変動と長期変動モニタリングを行った。
- ③・NHM-SMAP v1.00 が完成した。2011-2014 年のグリーンランド氷床における精度検証を行い、良好な結果を得た (Niwano *et al.*, 2018)。グリーンランド氷床において 1980 年からの長期気候計算を開始した。また、NHM-SMAP v1.00 を日本域にも適用し、長期気候計算を開始した。

c6 大気海洋結合データ同化システムの開発に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 大野木和敏（研究調整官）

研究の目的

大気と海洋の物理的バランスのとれた初期値作成を可能とする大気海洋結合データ同化システムを開発し、将来の季節予報やエルニーニョ予報、再解析、台風予報等の精度向上に貢献する。

研究担当者

尾瀬智昭、高槻 靖、高谷祐平、齊藤直彬、釜堀弘隆、小林ちあき、原田やよい（気候研究部）、青梨和正、中川雅之、石橋俊之、入口武史、小田真祐子（台風研究部）、堤 之智、辻野博之、藤井陽介、豊田隆寛（海洋・地球化学研究部）、小森拓也（気象庁地球環境・海洋部）

研究の目標

大気海洋結合データ同化システムを開発し、

- ・熱帯擾乱の再現性と予測性向上
- ・熱帯季節内変動の再現性・予測性向上
- ・大気海洋結合系現象（ENSO など）の時間発展の予測性向上
- ・熱帯降水量気候値の再現性向上

を図る。

本年度の計画

- ① Perturbed Observation（観測擾乱）法を用いて結合同化システムによりアンサンブルメンバーを作成するスキームを開発する。
- ② 短期解析予報システムとしての性能を評価するため、結合同化からの短期結合予測実験を継続する。
- ③ 1か月予報での結合同化システムの有用性を評価するため、結合同化からの1か月予測実験を行う。結合同化システムに適したアンサンブルメンバー作成手法の開発に着手する。
- ④ 非結合の同化解析結果と比較し、結合データ同化システムで作成した再解析データの精度について検証する。

本年度の成果

- ① Perturbed Observation（観測擾乱）を用いたアンサンブルメンバー作成手法の開発に着手した。
- ② 結合同化からの大気海洋結合モデルによる短期結合予測実験の結果について解析し、対流圏下層について、現業数値予報システムの解像度を結合モデルと同程度に落としたものと比べて、良い予報精度を持つことを確認した。
- ③ 結合同化からの一ヶ月結合予測実験を実施し、非結合同化からの予測実験の結果と比較したところ、極域で予報の改善が見られることを確認した。
- ④ 結合再解析の結果を解析し、同システムによる非結合の再解析と比べて降水量の分布や熱帯の降水量と海面水温のラグ相関関係の再現性に改善が見られることを確認した。

c7 海洋モデルの高度化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 山中吾郎（海洋・地球化学研究部 第一研究室長）

研究の目的

気象庁の基盤モデルの一つである海洋モデルの開発・改良、及び海洋モデルを用いた海洋変動機構の解明に関する研究を行い、海洋環境情報の高度化に貢献するとともに次世代海況予測システムの基盤技術を確立する。

研究担当者

辻野博之、中野英之、坂本 圭、浦川昇吾（海洋・地球化学研究部）、石川一郎、中野俊也、平原幹俊（気象庁地球環境・海洋部）、石崎 廣（客員）

研究の目標

- ①海洋モデルの各種物理スキームやネスティング手法、海洋物質循環過程を高度化することにより、モデルの各プロセスの再現性能の向上を図る。
- ②海洋モデルを用いた過去再現実験を行い、再現性評価を通じて必要な改良点を明らかにする。
- ③過去の海洋変動の実態や特徴をモデル実験などによって明らかにし、その要因解明を行う。

本年度の計画

- ①再現性検証結果を踏まえて、スキームやモデルの改良を行う。
- ②CMIP6の枠組みのもとで実施されるOMIP実験を実施する。
- ③港湾モデルを用いて、再現性を検証する。
- ④モデルの高速化・軽量化を実施する。
- ⑤海洋モデルの開発基盤の整備を行う。

本年度の成果

- ①・海氷モデルにおいて、海氷力学に関わる強度パラメータの修正を行った。これにより、高分解能モデルでの海氷の集積が強化されて、北極海中央部の厚い多年海氷の再現性が向上した。一方で、高分解能モデルでの極端な集積を避け、安定な積分を行うために、リッジングのスキームを改良した。
- ・全球低解像度モデルを用いて、駆動外力であるJRA55-doデータセットの特定の年の大気強制を繰り返し課す気候値実験を3ケース行い、外力の違いが海洋大循環場の再現性に与える影響を調査した。また、JRA55-doデータセットのマイナーバージョンアップにあわせた感度実験を行い、これに伴う海洋大循環場再現性の変化について調査した。
- ・全球低解像度モデルにおいて、同化システムでの利用を前提として移流スキームにMPDATAを用いた実験を行い、循環場等への影響を調査した。
- ・全球低解像度モデルにおいて、層厚拡散係数の下限値を下げた実験を行い、循環場等への影響を評価した。過小評価であった大西洋子午面循環流量が増大する一方で、低温の南極底層水の張り出しが弱まり、全球平均温位のバイアスは増加することがわかった。また南極環流（ACC）の流量はより大きくなり、最新の観測に基づく見積りと比べてもやや過大評価に傾くことがわかった。
- ・全球低解像度モデルにおいて、パフォーマンス論文用を実施した感度実験の水塊変質率解析を行った。標準設定と比べて過去に用いていたスキーム・パラメータ設定では南大洋内部領域で大きな偽のdiapycnal mixingが生じ、底層水の北部への張り出しを弱めることが明らかになった。一方で、一般的に用いられているスキーム・パラメータ設定では底層水北上流量が標準設定実験よりも大きく、観測による見積りに近づくものの、大西洋子午面循環流量は

より過小評価となり、ACC 流量は過大評価となる。総合的観点から、標準設定実験が最も海洋大循環場の再現性が高いことがわかった。

- ・熱帯太平洋の海面水位変動は、三つの気候モードによって支配されていることが明らかになった。第1モードは ENSO に関連した南北対称な変動、第2モードは ENSO および長周期変動に関連した南北非対称な変動、第3モードは中部から東部太平洋赤道域で卓越する変動である。これらの水位変動は、熱帯太平洋の風応力変動と強く関連していた。
 - ・全球海洋モデルの性能評価に資することを目的に、密度面座標での解析を定量化するオンライン解析コードを整備した。
- ②・実験に必要な境界条件ファイルおよび初期条件ファイルを整備した。生物地球化学モデルの仕様を確定し、スピニアップ実験ならびに本実験実施のための実行環境を整備した。大気外力に COREv2 データセットを用いたスピニアップ実験を開始した。
- ・全球海洋炭素循環モデルを用いた経年変動実験を実施し、東経 137 度線の観測で見られた、密度面 (26.8 σ) における溶存無機炭素の十年規模変動のメカニズムを解析した。その結果、137 年測線に見られた DIC 濃度の十年変動は、亜熱帯循環の深さの変化に伴う水塊の移動で説明できることがわかった。
- ③・平成 28 年度に開発した解像度 100m の長崎湾モデルを用いて、あびき現象の再現実験を行った。解像度 2km モデルの日本沿岸モデルに比べて水位上昇が増大し、観測に近づくことを確認した。
- ④・全球渦解像モデルにおいて OpenMP 化やメモリアクセス最適化、時間ステップを長くとり工夫等を実施し、約 40% の高速化を達成した。
- ⑤・MRI.COM の新しい安定版 (ver.4.4) を平成 29 年 10 月にリリースした。本モデルは次期の地球システムモデル (MRI-ESM2.0) の海洋パートとなり、従来の安定版に対してそのための多数の機能が追加されている。
- ・高速化のための OpenMP の適用や、平成 30 年度に予定されている日本沿岸モデルの納入に向けて、MRI.COM について不定値参照など多数のバグの洗い出しを行った。
 - ・本課題で進めてきた MRI.COM の開発管理の高度化に関して論文にまとめ、投稿した。

c8 環境要因による局地気候変動のモデル化に関する研究

研究年次： 4年目／5年計画（平成26年度～平成30年度）

研究代表者： 田中泰宙（環境・応用気象研究部 第二研究室長）

研究の目的

多様な土地利用状態を反映した高精度の気候情報を提供し、ヒートアイランド等の緩和方策の検討や地上観測所の適切な維持運用に資する。

副課題1 都市キャノピーモデルの高度化

副課題1の研究担当者

田中泰宙、山本哲、志藤文武、川端康弘（環境・応用気象研究部）、清野直子（予報研究部）、新藤永樹（気候研究部）、青柳暁典、山下和也（気象庁地球環境・海洋部）、藤部文昭（客員）

副課題1の目標

都市キャノピーモデルを改良し、領域気候モデル等の精度向上に資する。

副課題1の本年度の計画

都市キャノピーモデルの高度化のため、陸面モデル単体で動作するオフライン数値実験システムの構築を早期に行う。また、本実験システムと、所内スパコンを用いたオンライン数値シミュレーションとの比較解析を行う。

副課題1の本年度の成果

- ・最新版 SPUC の振る舞いを詳細に調べるために、冬季晴天日のヒートアイランド現象事例として2017年1月14日、および2017年2月15日の関東地方を対象として都市モデルの再現性を調べた。都市キャノピーモデルを用いた実験では、平板モデルを用いた場合と比較して、都市グリッドでの夜間から明け方の気温が観測に近く、ヒートアイランドをよく再現していた。ヒートアイランドの要因別の分析からは、冬季の関東地方でのヒートアイランドにおいては人工排熱よりも都市キャノピーの立体構造、すなわち建物による熱収支の変化が夜間の冷却の抑制に重要であることが示唆された。
- ・都市気候モデル NHUCM で用いるための最新版の土地利用データを作成し、土地利用情報の変更に伴う影響評価を行った。また、そのデータと結果を気候情報課に提供した

副課題2 地上観測値の空間代表性に関する研究

副課題2の研究担当者

田中泰宙、山本哲、志藤文武、川端康弘（環境・応用気象研究部）、清野直子（予報研究部）、青柳暁典（気象庁地球環境・海洋部）、藤部文昭（客員）

副課題2の目標

観測環境等に対応した地上気温等の観測値の変動実態を明らかにし、観測運用およびモデル検証の向上に資する。

副課題2の本年度の計画

- ①モデル出力との比較に基づく地上観測値の空間代表性の評価

- ・気象官署・アメダス等での気温観測値と領域モデルの違いと、さまざまな環境因子との関係を調べる。気象庁の地上気象観測環境等の歴史的変遷や世界各国における地上気象観測環境の現状を把握する。

②観測所周辺の微気候の実態解明

- ・大手町の露場内2地点と本庁ビル屋上で行ってきた気温・風速観測については縮小し、蓄積された都市微気候データに基づき、ミクロな気象変動の解析を進める。

副課題2の本年度の成果

- ・観測環境が地上気温に与える影響を調べる目的で、気象庁構内の大手町露場内2地点（露場中央、露場東端）と本庁ビル屋上における気温等の都市微気候観測を継続し、露場における風向風速（地上高度2.5 m）が直近の構造物等によりどの程度影響を受けているのか解析を進めた。露場内では夏季の日中を中心に植栽に囲まれた露場東端の気温が高い傾向にあり、日射が多い夏季晴天日に、露場中央の風速が1～3 m/sの場合に気温差が大きくなりやすく、同風速が強め（3 m/s以上）の日は露場内の気温差が該当月平均より小さめ（概ね0.5℃以下）となる傾向があることがわかった。これは、気温差が日射以外に、風の場合による影響もを受けていることを示唆する。
- ・大手町露場・鉄塔と北の丸露場における観測値から、鉛直温位差による大気成層状態を解析した。北の丸露場は夜間に安定成層、日中は成層が崩れ不安定となり、太陽が南中する昼前に最も不安定に寄っていた。大手町露場では夜間においても中立成層から弱い安定成層だが安定度は12月が最も大きかった。日中、不安定成層となるが温位差の季節変化は北の丸公園より小さく、露場にビルの影がかかると中立成層となっていた。このため、冬季から春季の午前中においては、北の丸露場が大手町露場の気温観測値に比べて平均的に高温になっていたと推測される。
- ・極細熱電対が現業通風筒と同等の精度で気温を観測できることを評価観測により確認した。これを用いて、露場1.5 m高度気温の支配要因を特定していくために、これまで22回の気温の高度分布・地表面温度観測を大手町露場において年を通じて実施し、分布の季節変化の特徴を捉えた。
- ・気象庁創立当時の観測環境等および世界各国における観測環境の現状と問題点について解析を進めた。東京など初期気象官署の設置環境の実態を写真等を発見して明らかにした。

気象レーダーを用いた噴煙の汎用的解析手法に関する研究

研究年次：1年目／3年計画（平成29年度～平成31年度）

研究代表者：佐藤英一（火山研究部 第二研究室研究官）

研究担当者：稲葉博明、小窪則夫、重信有三、池亀孝光、竈原宏之、河野太亮、小枝智幸、山下千尋、竹下孝弘、渡辺 茂、長山泰淳、井上温史、青柳雄也、千馬竜太郎、福島秀樹、末次秀規、満永大輔（鹿児島地方気象台）

研究の目的

地方官署（現業）における気象レーダー網を用いた汎用的な噴煙解析技術を確立する。また、本研究を通じて、まだコミュニティの規模としては小さい、気象レーダーを用いた火山噴煙解析分野の裾野を拡大する。

研究の目標

汎用的な火山噴煙解析ツールを作成する。

本年度の計画

- ・地方官署職員を対象とした火山噴煙解析手法の講習。
- ・火山噴煙解析手法の検討。
- ・技術開発環境の構築。
- ・噴火事例の解析。

本年度の成果

6月に鹿児島地方気象台で打ち合わせを行い、研究計画の概要などについて、気象研究所から説明を行った。また、7月24日と28日に、気象レーダーの基本的な処理・データフォーマット・解析ソフトウェアなどについて、講習を行った。

解析用PCのセットアップや必要なソフトのインストールと並行して、事例（2017年11月13日桜島（南岳）噴火事例など）の調査も行った。調査段階では、ブラウザベースでレーダーデータを見ることが出来る気象レーダーデータ共有装置（RISS）を用いている。

11月28日に鹿児島地方気象台で行われた鹿児島地区研究会で、研究の概要とRISSによる観測結果、現状の問題点、今後の方針について発表を行った。

積雪変質モデルを用いた積雪層に関する研究

研究年次：1年目／2年計画（平成29年度～平成30年度）

研究代表者：渡辺記秀（東京管区気象台気象防災部防災調査課 調査官）

研究担当者：庭野匡思（気候研究部）、荒木健太郎（予報研究部）、渡辺記秀、長屋幸一、植村恵子（東京管区気象台）、本村栄朗、森 洋、浅尾宏紀、高木康征、草野修平（宇都宮地方気象台）、小林幸博、大沼啓人、松沢裕次、花棚浩一、奥田智紀、仲 香織（富山地方気象台）、河野智一、横木保則、藤井拓也、高橋恵美子（長野地方気象台）、涌井和夫、東屋義幸、青山大輔、早野冴由希、倉田麻貴、加藤弘明、木村光一（岐阜地方気象台）

研究の目的

気象研究所で開発された積雪変質モデルを用い、過去の積雪層（時系列）の構造を調査し、積雪層の雪質や安定度から、なだれの起こりやすさを新たな視点から検討を行い、なだれ注意報等の運用の改善に資することを目的とする。

研究の目標

現在用いている、なだれ注意報等の運用の改善に資することを成果の到達目標とする。

本年度の計画

- ①研究に関わる基礎知識の習得
 - ・なだれ及び積雪層の知識を取得する。
 - ・関連する先行研究内容を習得する。
- ②積雪変質モデルの理解及び習熟
 - ・積雪変質モデルの内容の理解と利用の習熟を行う。
 - ・モデル結果の可視化について習得・習熟する。
- ③積雪変質モデルを用いた過去の積雪層の資料作成
 - ・過去の2積雪期について、アメダスデータにより、積雪変質モデルを用いて計算を行い、積雪層の雪質や安定度の把握を行う。
- ④総観場、環境場（気温、降水）の解析
 - ・③で計算した、2積雪期について、総観場、環境場、実際になだれ発生した事例の解析を行い、気温場や降水の把握を行う。
- ⑤なだれ注意報の運用方針改善の検討
 - ・③と④の資料となだれ注意報発表状況等から、なだれ注意報等の運用の改善を検討する。

本年度の成果

- ①研究に関わる基礎知識の習得
 - ・気象研究所研究官による講演やなだれに関する図書・論文等の勉強会実施等により、なだれ及び積雪層の知識や関連する先行研究内容を習得することができた。
- ②なだれ発生事例についての総観場や環境場の解析、及び積雪変質モデルの出力結果の解析から弱層の再現を確認
 - ・県防災担当機関等から収集し選定したなだれ発生事例を含む積雪期（11月～4月）について、アメダスデータ等による積雪変質モデルを用いた計算を行った（下表参照）。また、これらの事例について、総観場や環境場の解析、及び積雪変質モデルの出力結果の解析を行った。この解析により、2017年3月27日に那須町で発生した雪崩事例では、積雪層内に水分を含まない新雪があり、その安定度が相対的に低く表現されることを確認できた。その他の事例では、「ぬれざらめ雪」や「表面霜」等の弱層が再現されることを確認できた。一方、弱層とみられる積雪層の安定度が低く表現されないといった課題もみられた。

官署名	対象積雪期	対象としたアメダス観測署名
東京管区	2013/2014	河口湖、甲府、安塚
	2015/2016	河口湖、守門
	2016/2017	安塚
宇都宮	2013/2014	奥日光、土呂部
	2015/2016	土呂部、那須高原
	2016/2017	那須高原、白河
長野	2013/2014	野沢温泉、飯山、津南、菅平、軽井沢、長野、松本、開田高原、高山
	2014/2015	飯山、野沢温泉、菅平、草津、津南
	2015/2016	野沢温泉、菅平
富山	2015/2016	氷見、伏木、富山県立山町の立山格子※
	2016/2017	富山県立山町の立山格子※
岐阜	2014/2015	河合、神岡、白川
	2015/2016	河合、白川
	2016/2017	河合、神岡、白川

※富山地台ではアメダス近傍の雪崩災害が無かったことから、アメダスデータを使用せず、JMANHM で作成したデータから計算を行った。

事例解析・比較及び数値実験による大雨の調査

研究年次：1年目／2年計画（平成29年度～平成30年度）

研究代表者：北野昌寛（広島地方気象台 予報官）

研究担当者：瀬古 弘、横田 祥、伊藤純至（予報研究部）、北野昌寛、久家好夫、西森靖高、石本 歩、中村 剛、澤田達也、松本幸爵（広島地方気象台）

研究の目的

- ・線状降水帯を含む大雨の発生機構について、データ同化やアンサンブル予報、感度実験の結果から新しい知見を得る。
- ・局所アンサンブル変換カルマンフィルター（LETKF）を用いたデータ同化アンサンブル予報実験や感度実験の結果の解析で得られる「線状降水帯を含む大雨の発生要因とその要因と最も関連性のある気象要素」を整理する。そして、予警報作業時に利用できるよう実況や予想図上の着目点をワークシートなどにまとめ、防災・減災に役立てる。

研究の目標

- ・広島県の顕著な大雨事例（3時間雨量100ミリ以上）について、アンサンブル予報を用いて解析を行い、大雨発生の判断基準の作成を目指す。
- ・それらの整理を行い、現業作業にフィードバックするように努める。

本年度の計画

- ・研究所から提供を受けた広島県の顕著な大雨事例のLETKFを用いたデータ同化アンサンブル予報実験や感度実験の結果の解析を行う。
- ・その解析結果から、実況や予想図上の着目点を抽出する。
- ・模式図を作成する。
- ・アンサンブル予報の理解を深め、将来、現業での利用法の検討を行う。

本年度の成果

記録的な豪雨について、広島豪雨と他の豪雨や大雨事例の比較を通じて、以下の結果を得た。

- ① 2014年8月に広島で発生した豪雨事例と同年の9月の大雨事例(集中豪雨にならなかった事例)の解析・比較を行い、豪雨発生の要因を探った。解析・比較の結果、①最下層が湿潤でその上がやや乾燥した気層（地上～700hPa）全体が上昇気流によって持ち上がり800～700hPaの気温が低下したため、潜在不安定な大気成層が維持されたこと、②九州山地の東西を迂回する高暖湿流が山口・広島県で合流する状態が数時間持続したことによって降水系の停滞が維持されていたことの二点が要因として働き、2014年8月の広島豪雨が発生したことがわかった。
- ② 2014年に広島で発生した豪雨と2000年の東海豪雨、および豪雨に至らなかった2014年の広島県での大雨事例を対象に、積乱雲発達、積乱雲組織化、降水系停滞、降水系の発達維持に分け比較・考察した。その結果、東海豪雨が顕著な地上収束線が同じ場所に長く停滞し暖湿気の供給が長時間持続したため、R24が2014年に広島県に発生した豪雨の2倍以上になっていた。潜在不安定な環境の中で、地上・下層収束が長時間同じ場所に停滞し、豊後水道から顕著な暖湿気の流入が持続すれば、広島県でも東海豪雨並みの豪雨になる可能性があることがわかった。
- ③ 豪雨の発生要因を発生機構の観点から4つの要因（積乱雲発達、積乱雲組織化、降水系停滞、降水系発達維持）に分け、2014年8月16日から20日にかけて発生した2つの豪雨事例と1つの大雨事例を対象に、要因毎に気象要素等を比較・考察した。その結果、豪雨事例では総観規模の高度場に変化がない中で潜在不安定な大気成層を持続していたこと、風の鉛直シアがあって降水系が線状化しやすい環境であったことなど、すべての要因が揃っていたことがわかった。大雨事例では4つの要因のうち、満たしていたのは積乱雲発達の要因のみであった。
- ④ 2014年に広島で発生した豪雨を参考として、対馬海峡からの暖湿気が前線に流入し豪雨となった事例と豪雨にまで至らなかった事例を比較し、4つの豪雨発生要因（積乱雲発達、積乱雲

組織化、降水系組織化、降水系発達維持）及びそれら要因に対応させる気象要素を整理した。豪雨となる重要な条件は、「前線が強化・停滞し、暖気側の収束域が移動しない」「前線の走向が東西で広島県を指向」「鉛直シアがあり、中層の風は前線にほぼ平行に吹き、海上で発生した降水セルが広島県を指向」になっていること、4つの豪雨発生要因に対応させる主な気象要素は950hPaと700hPaの要素であることがわかった。

当初計画から変更した点（研究手法の変更点など）

調査対象事例を増やし、それらの事例について実況解析・比較を行って、改めて大雨の発生に必要な要素（大雨の要因）を整理し直すこととした。この調査結果とLETKFを用いたデータ同化アンサンブル予報実験・感度実験結果の解析を総合的に調査して、実況や予想図上の着目点を抽出することとし、研究手法を少し変更した。

このため、研究課題名を「LETKFを利用した広島県の大雨調査」から「事例解析・比較及び数値実験による大雨の調査」へ変更した。

2. 3. 研究中間報告

本節には、気象研究所が実施し、平成 29 年度に中間評価を実施した研究課題のうち気象研究所予算による下記課題について、課題毎に計画と研究成果等を掲載した。

2. 3. 1. 地方共同研究

- ・ 立山カルデラ新湯周辺の火山活動と水位変動に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・ 91

立山カルデラ新湯周辺の火山活動と水位変動に関する調査

研究期間：平成29年度～平成30年度

研究代表者：齊藤直子（富山地方気象台 火山防災調整係長）

研究担当者：鬼澤真也、川口亮平（火山研究部）

研究の目的

- ・立山カルデラ地域の現在の火山活動の把握
- ・新湯の水位変動のメカニズム解明

研究の目標

- ・立山カルデラ地域の現在の火山活動の状況把握
- ・新湯の水位変動の原因解明

主な研究成果・目標の達成状況

（観測データ）

6月から10月の約4ヶ月間、新湯において観測を実施した。

①水位観測

- ・4ヶ月の観測期間中、水位の変動が継続していることが確認され、およそ7回の満水と干上がりとを観測した。
- ・水位上昇期には、上昇と下降とを繰り返した後、上昇のみに転じ満水に至ることが観測された。上昇のみに転じる水位には閾値がある可能性があることを指摘した。

②地震観測

- ・5～15 Hzの短周期成分については、周期的な微動振幅の増大が見られた。これは、水位上昇時、満水時に生じている可能性がある。また、満水時から水位下降に転じるタイミングでの振幅減少も認められた。
- ・0.01～0.1 Hzの長周期成分では、満水時、下降時、干上がり時、上昇時のいずれでもパルス状の波形が観測された。このパルス状の波形は、上下動に比べ水平動の振幅が格段に大きいことから、振動源が浅い場所にあることを指摘した。また、震動軌跡を見ると、いくつかの卓越する方向が認められることから、到来方向の異なる複数の振動源が存在する可能性がある。

③pH

- ・期間中、5回の測定を行った。この結果、満水時はpH3.4程度、水位上昇時はpH6程度と、水位の違いによりpHが変化する結果が得られた。
- ・また、新湯が水位変化を開始する以前の1950年代から2000年代の測定結果を文献調査により取りまとめたところ、これらはpH3程度でほぼ安定していた。
- ・これらのことから、新湯のpHは水位変化と関連していることが示唆された。

（文献調査）

新湯が冷水の池であった時期、間欠泉活動を行っていた時期、行っていなかった時期等について文献を調査することにより、時系列として取りまとめた。

これら初年度の成果は、「平成29年度東京管区調査研究会誌」へ取り纏めているところである。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

本研究課題は、当初、単年度で実施する予定であったが、新湯において初めて観測点を設置することもあり、当初の想定以上に観測点維持管理に時間・労力を割かれることとなった。このため、これまで観測データの初歩的な解析に止まり、地震動が水位変動に伴って生じていると見られることが分かってきたものの、確証的なことを言うに至らなかった。また、詳細なデータ解析は現在も継続中である。さらに、当初の目標であった「新湯の水位変動の原因解明」「立山カルデラ地域の現在の火山活動の状況把握」にまで、十分に踏み込むことが出来なかった。このため研究機関を1年延長することとした。

期間を延長することにより、初年度に取得したデータ解析をさらに進め、水位変動と地震動との関連性についてさらなる知見が得られることが期待される。また、並行して文献調査を進めることにより、間欠泉活動や新湯をはじめとする当該地域に関する知見を増やすことができる。これらの背景を持った上で次年度の観測に臨むことにより、新湯で生じている現象の理解が大きく進むことが期待される。

成果の他の研究等への波及状況

本研究で得られる知見は、新湯周辺の現在の火山活動を評価するための基礎資料として活用が期待される。また、新湯で観測された結果は、間欠泉の理解に向けた研究においても意義がある。

今後の研究の進め方

(初年度内)

- ・引き続き、初年度に取得したデータの解析を進め、水位変動と地震動との関連性について調査を進める。
- ・並行して、文献調査により、間欠泉活動や新湯をはじめとする当該地域に関する知見を増やす。
- ・これらを基に、次年度に計画している観測に向けて、現象の着眼点を整理する。

(次年度)

- ・年度当初から、観測を行う上での各種申請手続きを進める。
- ・積雪のない6月から10月にかけて観測を行う。初年度と同様に、水位、地震動、pHを測定する。さらに、初年度の地震観測から振動源が浅部にあることが示唆されたことから、水面付近で生じる現象との関連性を調べるために、タイムラプスカメラにより画像を取得する。
- ・2年間の研究結果を、調査研究会誌へ取り纏める。

研究成果及びその活用に関する意見（中間評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所研究課題評価委員会において中間評価を実施した。中間評価の総合所見については、104ページを参照。

成果発表一覧

査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説等）：

齋藤直子，立山カルデラ新湯の間欠泉化に伴う現地観測結果．平成29年度東京管区調査研究会誌，No.50，富山県．

2. 4. 研究終了報告

本節には、気象研究所が実施し、平成 29 年度に終了した研究課題のうち気象研究所予算による下記課題について、課題毎に計画と研究成果等を掲載した。

2. 4. 1. 地方共同研究

- ・ 沖縄地方（島嶼部）における荒天時地動ノイズの特性調査と震源自動決定処理への応用・・・ 94

2. 4. 2. 若手研究

- ・ 火山性流体採取法における技術的検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 96

沖縄地方（島嶼部）における荒天時地動ノイズの特性調査と震源自動決定処理への応用

研究期間：平成28年度～平成29年度

研究代表者：草野利夫¹⁾、川合亜紀夫²⁾（沖縄気象台 主任技術専門官）

研究担当者：草野利夫¹⁾、川合亜紀夫²⁾、野田真彦¹⁾、仲間 豊、盛島真羽²⁾（沖縄気象台）、山城 浩（宮古島地方気象台）、川門義治（石垣島地方気象台）、稲葉忠司¹⁾、下地康博（南大東島地方気象台）、勝間田明男、溜渕功史²⁾（地震津波研究部）

研究の目的

沖縄地方の観測点ごとのノイズ特性を詳細に調査し、ノイズを効率よく除去するための手法構築などによって地震の検知能力、自動処理決定率と決定精度の向上を図ることを目的とする。

研究の目標

沖縄地方の観測点での地動ノイズの評価を行い、その特性を明らかにする。得られた特性に基づき、荒天時の地動ノイズ低減フィルターの評価とその手法のリアルタイム処理導入について提言を行う。

主な研究成果・目標の達成状況

静穏時からノイズレベルの大きい観測点、周波数帯を解明した。また、台風接近中などの荒天時にノイズレベルが大きくなる周波数帯を解明した。地震波形にかけるフィルターにおいて5-10Hz程度のフィルターが最適であると判明した

- ・震源決定数について確認したが、台風がよく通過した2015年7月には他の時期に比べ震源決定数が数分の1程度に減少したことを確認した。
- ・静穏時には、多くの観測点の短周期地震計においては1Hzくらいにピークのあるノイズ状態であるが、荒天時は0.2Hz付近にピークのあるノイズ状態になるとともに、全周波数帯にわたり高ノイズ状態となることを確認した。
- ・静穏時のノイズについて、10-30Hzのノイズレベルが異常に高い観測点を確認された。
- ・荒天時の0.2Hz付近のノイズレベルは、静穏時に比べて100倍以上に達する場合があった。
- ・0.2Hz帯のノイズは台風が遠方にある段階から非常に高くなる割に、台風が接近しても更にノイズレベルが非常に高くなるものではなかった。
- ・1～30Hzのノイズレベルは、台風の接近に従い次第に高くなり、静穏時の10倍から数十倍のノイズレベルになっていた。
- ・台風接近の荒天時には低周波数帯から高周波数帯の全ての帯域においてノイズレベルが高くなり、ノイズレベルが上がりにくい帯域は確認できなかった。
- ・数Hzよりも低い帯域を抑制するフィルターを地震記録にかけると、荒天時にも地震波の確認が容易となることを確認した。
- ・自動震源決定処理において、事前処理のフィルターを従来の5-10Hzから3-5Hz, 2-10Hz, 1-20Hzなどに入れ替えてその処理結果を確認したが、従来の5-10Hzから震源決定能力の向上は確認できなかった。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

一年目は調査対象の観測点を管内の全観測点から、各地域において代表とみなす一地点に変更した。得られた特性に基づき、荒天時の地動ノイズ低減フィルターの評価とその手法のリアルタイム処理導入について提言を行うことを考えていたが、調査の結果現行の5-10Hz程度のフィルターが最適であると判明した。

¹⁾ 平成28年度まで、²⁾ 平成29年度から

成果の他の研究等への波及状況

なし

今後の課題

観測点毎に異なるノイズについて、原因を調査して解決することが必要。また、観測点毎、対象とする地震毎のフィルターをかけて地震の検知、相の自動検出の手法を開発するとともに、ノイズ波形固有の特徴について調査することが必要。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所研究課題評価委員会において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、105 ページを参照。

成果発表一覧

学会等発表

ポスター発表

・国内の会議・学会等

1. 草野利夫, 仲間豊, 野田真彦, 山城 浩, 川門義治, 稲葉忠司, 下地康博, 勝間田明男, 沖縄地方（島嶼部）における荒天時の地動ノイズの特性調査, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 2017 年 5 月, 千葉県千葉市

火山性流体採取法における技術的検討

研究期間：平成 29 年度

研究代表者：谷口無我（火山研究部 第三研究室研究官）

研究の目的

観測対象とする火山の噴気地帯に複数の噴気孔が発達する場合、化学分析に供する火山ガスをどの噴気孔から採取するべきかを、観測者の安全性を考慮に入れて検討する。

研究の目標

箱根山、雲仙岳等の熱水系が発達する火山の噴気地帯において、複数地点から火山ガスを採取・化学分析し、各地点における火山ガス組成の時間変化を比較する。

具体的には、ある対象とする火山の噴気地帯において、活発な噴気活動の中心部、噴気活動が静穏な噴気地帯の縁辺部などで火山ガスを採取・分析し、その値を比較する。両者の化学的性質に大きな違いが認められないのであれば、静穏な噴気地帯を観測点とすることで火山ガス観測の安全上のリスクを低減できる可能性がある。

主な研究成果・目標の達成状況

本若手研究の旅費を活用し、雲仙岳南西麓の雲仙地獄や霧島山硫黄山周辺等に発達する噴気地帯で火山ガス観測を実施した。雲仙地獄は 1990 ～ 1996 年の普賢岳の噴火によって形成された平成新山（普賢岳）の南西約 4.5km に発達する噴気地帯である。

当該地域には複数の噴気地帯が発達しており、本研究では、現在最も噴気活動が活発な大叫喚地獄近傍の噴気孔、および噴気活動が最も静穏な旧八幡地獄の 2 ヶ所で火山ガスを採取した。その結果、両地点で採取した火山ガスに含まれる二酸化炭素の硫化水素に対する比率（CO₂/H₂S 比）は互いに非常に近い値であることが明らかとなった。なお、本研究で分析した火山ガスの CO₂/H₂S 比には、1990 年代当時に観測された火山ガスの CO₂/H₂S 比と比較して顕著な変化は認められない。この他、本研究では箱根山、草津白根山、霧島山硫黄山 などでも火山ガスの観測を実施した。

当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

本研究計画申請時点では、職員旅費として国内学会 2 件への参加を想定していたが、この国内学会 2 件が今年度は共同開催となったことにより、国内学会の参加費が節減できた。この節減した旅費を活用して、当初計画では「箱根山（神奈川県）等の熱水系が発達する火山」、および「雲仙岳（長崎県）」としていた観測予定の火山に霧島山硫黄山、草津白根山（群馬県）の観測を追加した。なお、研究手法には変更点はない。

成果の他の研究等への波及状況

報告者が所属する火山研究部第三研究室では、重点研究課題 B7「火山ガス観測による火山活動監視・予測に関する研究」において、火山ガスの採取・化学分析に取り組んでいる。この取組は平成 31 ～ 35 年度の次期中期計画の重点研究課題 V でも引き継がれる研究内容である。これら研究の中で取り組む火山ガスの採取・化学分析方法は、本若手研究で実施した手法と同一であり、本研究で得られた成果は経常研究（現行の重点研究課題 B7、および次期中期計画の重点課題 V）の研究を進める上での基礎となる。

今後の課題

本研究で得られた観測結果が、全国の他の火山に共通するかどうかを検証することが今後の課題である。また、火山ガスの化学組成の時間変化は長期間にわたって観察を続ける必要がある。本研究は研究期間が単年のため、今後長期的なデータを蓄積することも課題である。

研究成果及びその活用に関する意見（終了時評価の総合所見）

本研究課題については、気象研究所研究課題評価委員会において終了時評価を実施した。終了時評価の総合所見については、106 ページを参照。

成果発表一覧

なし