



平成28年度

気象研究所研究成果発表会

発表要旨集

平成29年2月28日(火) 13時30分～16時30分
一橋大学 一橋講堂



気象庁気象研究所

ごあいさつ

本日は、気象研究所研究成果発表会にお越し頂き、誠にありがとうございます。

気象研究所は、気象庁の施設等機関として、気象庁が発表する各種情報の改善に役立つ研究や、気象業務の将来を見据えた基盤的な研究など、幅広い研究に取り組み、気象業務の発展に貢献しております。平成 26 年度から「気象研究所中期研究計画」を定め、防災情報や地球環境関連情報の一層の精度向上を目指す研究として、3つの柱「台風・集中豪雨等対策の強化に関する研究」「地震・津波・火山対策の強化に関する研究」「気候変動・地球環境対策の強化に関する研究」を立てて、研究を行っています。

こうした私どもの研究活動を広く皆様方にお知らせして、気象研究所をより身近な存在として感じて頂くために、平成 15 年度からこの研究成果発表会を実施しております。今回は、「自然災害に立ち向かう研究の最前線」というテーマで、豪雨・台風の予測、地震発生状況の即時把握や火山活動評価の高度化といった自然災害に関する最先端の研究をご紹介します。

最初の発表では、当所で行っている自然災害の軽減に向けた研究につきまして、中期研究計画の研究課題や課題間の関連といった概要をご案内いたします。

2 件目は、GNSS（全球測位衛星システム）を使って、海上で水蒸気観測を行うための研究について紹介いたします。周囲を海に囲まれた我が国では、海上からの大量の水蒸気の流入が豪雨発生に重要な役割を果たします。海上での水蒸気観測密度を高めることで、気象予報の精度向上に寄与することが期待されています。

3 件目は、気象衛星ひまわり 8 号のデータから算出される風のデータを使用して、台風の強度・構造変化を捉える研究について紹介いたします。2015 年 7 月に運用が開始されたひまわり 8 号は、大幅な機能の向上が図られており、特に高頻度の観測によって、風の変化が大きな台風領域内でも、時間・空間的に密にデータを取得できるようになりました。この研究は、将来のより詳細な台風解析の業務への応用が期待されます。

4 件目は、伊豆大島での地殻変動観測によるマグマの蓄積を捉える研究について紹介いたします。伊豆大島火山が現在どのような状態にあるのか、火山活動評価の業務に役立つことが期待されます。

最後の 5 件目は、地震多発時においても適切に震源を決定する自動処理手法の開発に関する研究について紹介いたします。大規模な地震がひとたび発生すると、それに伴い数多くの地震が発生します。本研究では、いままで、人の手を介して実施していた詳細な震源・マグニチュードの決定を自動的に行う手法について研究しています。すでに一部は気象庁で業務化されており、本日お話しする昨年 4 月に発生した熊本地震の際も大きな威力を発揮したと高く評価されています。今後、さらに地震活動の推移把握の高度化や、巨大地震の地震像の即時把握にも貢献することが期待されます。

今回の研究成果発表会を通じて、気象研究所の活動についてさらにご理解を賜いますとともに、今後の一層のご支援をお願いいたします。

気象研究所長 高野 清治

プログラム

國本 美華 氏
(気象キャスター)

13:30-13:40 開会の挨拶

気象研究所長

13:40-13:50 気象研究所での自然災害の軽減に向けた研究の概要

研究総務官 齊藤 和雄

13:50-14:20 豪雨予測への貢献をめざした海洋での GNSS 水蒸気観測

気象衛星・観測システム研究部 室長 小司 禎教

14:25-14:55 気象衛星ひまわり 8号の大気追跡風を用いて捉えた台風の強化

台風研究部 主任研究官 小山 亮

15:00-15:10 休 憩

15:10-15:40 伊豆大島で進行するマグマ蓄積 ～火山性地殻変動は何を明らかにしたか～

火山研究部 室長 山本 哲也

15:45-16:15 熊本地震 ～地震発生状況の即時把握技術の開発～

地震津波研究部 研究官 溜瀨 功史

16:20-16:30 閉会の挨拶

気象研究所研究成果発表会実行委員長

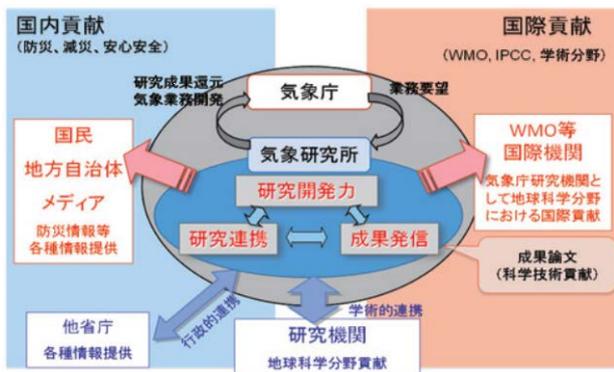
気象研究所での自然災害の軽減に向けた研究の概要

○齊藤和雄(気象研究所研究総務官)

1. はじめに

気象研究所は、気象庁に求められる諸課題に対して、科学技術に立脚した気象業務への研究開発による貢献を目指し、三つの研究分野(台風・集中豪雨等、地震・火山・津波、及び気候変動・地球環境)の対策強化に関する研究を実施している。研究遂行にあたって、5年以内に業務化のめどをつける問題解決型の研究・技術開発として「重点研究課題」を、また5年～10年後をめどとした実用化をめざす基盤的な研究・技術開発として「一般研究課題」を設定している。基本方針として研究開発力を向上し、研究連携を促進させ、成果発信を行い、WMO等国际機関や学術分野への貢献と国民の防災・減災・安心安全など国内貢献に努めている(第1図参照)。

研究成果発表会は、気象研究所の成果発信の一つとして、一般の方々にその研究成果を知って頂くための場として年一回開催している。今年度は、自然災害軽減に向けた研究に関して、研究成果を紹介することにした。



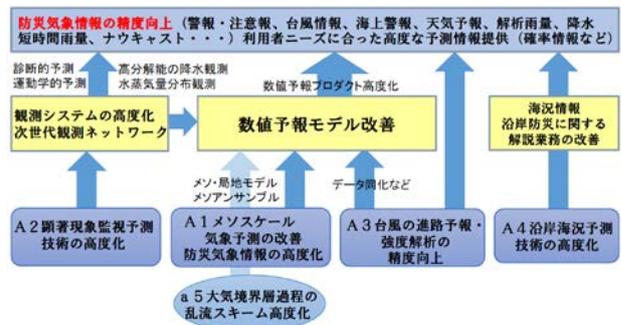
第1図: 気象研究所での研究の基本方針

2. 台風・集中豪雨等の研究

台風・集中豪雨等の研究分野では、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、A2顕著現象監視予測技術の高度化に関する研究、A3台風の進路予報・強度解析の精度向上に資する研究、A4沿岸海況予測技術の高度化に関する研究、の4つの重点研究課題と一般研究課題a5大気境界層過程の乱流スキーム高度化に関する研究、を行っている。台風・集中豪雨等に関する予報・警報等の防災気象情報をよりの確なものとし、それらによる災害を防止・軽減するため、災害をもたらす現象に対する観測・解析技術及び予測技術を高度化する研究である(第2図)。

本日の講演会では、それらの研究の中から、海洋での

GNSS水蒸気観測と気象衛星ひまわり8号の大気追跡風を用いた台風強度解析について、発表する。



第2図: 台風・集中豪雨等の研究と気象業務の関連

3. 地震・火山・津波研究

地震・火山・津波研究分野では、B1緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究、B2地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究、B3津波の予測手法の高度化に関する研究、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、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、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、B7火山ガス観測による火山活動監視・予測に関する研究、の7つの重点研究を行っている。地震、津波及び火山に関する防災情報をよりの確なものとし、それらによる災害を防止・軽減するため、発生した現象の推移をよりの確に観測・解析する技術を開発するとともに、予知・予測技術の高精度化を進める研究である(第3図)。

本日の講演会では、それらの研究の中から、伊豆大島でのマグマ蓄積の監視、熊本地震での地震発生状況の即時把握に関する研究について発表する。



第3図: 地震・火山・津波研究と気象業務の関連

豪雨予測への貢献をめざした海洋でのGNSS水蒸気観測

○小司禎教(気象衛星・観測システム研究部)

1. はじめに

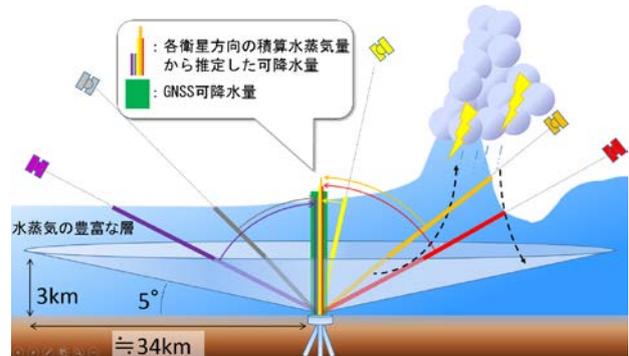
しばしば豪雨や突風など激しい気象現象を引き起こす積乱雲は、地上数百m~1km程度の高度に暖湿な空気が集まることで発生・発達するため、風と水蒸気を、高い時・空間分解能で観測することが機構解明や予測に重要である。GPS(Global Positioning System: 全地球測位システム)に代表される人工衛星を用いた測位システム(GNSS: Global Navigation Satellite System)は、カーナビゲーションやスマートフォンの位置情報アプリケーションとして日常生活に浸透している。あまり知られていないが、GNSSは全天候型の高精度の水蒸気センサーという側面も有する。国土院は1,300箇所以上(平均20km間隔)からなるGNSS観測網(GEONET: GNSS Earth Observation Network System)を展開し、日本列島の地殻変動を監視しているが、GEONETから得られる水蒸気情報は、気象庁の天気予報にも実用されている。

周囲を海に囲まれた日本列島では、海上からの湿潤な空気の流入が豪雨発生に重要な役割を果たすため、海上での水蒸気監視能力等の高度化が求められている(国土交通省, 2015)。ここでは、近年のGNSS技術の進展により可能となりつつある、船舶に搭載したGNSSによる海洋上での水蒸気連続観測技術の研究成果を報告する。

2. GNSSを用いた水蒸気解析(第1図)

GNSSによる位置計測(測位)では、原子時計を搭載し、高度約2万kmを周回する衛星群から発射される電波が、受信機に到達するまでの時間を利用してGNSS衛星と受信機間の距離を計測する。GNSS衛星の位置が既知で時計が正確であれば、3つ以上の衛星からの距離を計測することで受信機の三次元的な位置が求められる。

電波は真空中では光速で伝播するが、大気中では速度が遅くなる。遅れの量は経路上の気圧・気温・水蒸気によって決まる。気圧や気温に比べ、水蒸気は時・空間変動が大きく、GNSS測位に誤差をもたらすノイズである。一方、衛星と受信機の位置を予め求めておけば、衛星から発射された電波が、地上の受信機に到達するまでに経過した時間から、電波の遅れの量(遅延量)がわかる。気圧や気温の寄与を差し引くこ



第1図: GNSSによる水蒸気量解析の概念を説明する模式図。GNSS解析による可降水量は、地上受信局を頂点とする逆円錐空間の代表値である。より多く、ノイズの少ない衛星からの電波を受信することが、測位や水蒸気の解析精度向上をもたらす。

とで水蒸気による寄与のみを抽出することができ、さらには水蒸気量を求めることができる。すなわち、測位解析にとってはノイズとなる水蒸気量を、大気変動のシグナルとして利用することができる。気象庁では各衛星方向の水蒸気量を天頂方向の値に換算した、アンテナを頂点とした逆円錐空間内の代表的な鉛直積算水蒸気量(可降水量、Precipitable Water Vapor: PWV)等を天気予報に利用している。この場合、衛星の位置(軌道)と時計情報は、国際GNSSサービス等外部機関の解析結果を利用し、アンテナは解析期間(例えば24時間)中動かないと仮定して解析を行っている。

3. GNSS技術の革新と水蒸気解析

2010年、日本初の衛星測位システムである準天頂衛星(Quasi-Zenith Satellite System: QZSS)初号機(みちびき)が打ち上げられ、2011年にはロシアがGLONASS(Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)の測位サービスを開始した。測位衛星数の増加は、固定点に加え、移動体測位の高精度化・安定化につながっている。また近年のGNSS技術の高度化により、リアルタイムによる高頻度(1秒)測位解析が行われるようになり、国土院による地殻変動観測のためのGEONETリアルタイム解析システム(REGARD)の開発等に活用されている。

GNSS電波を用いた水蒸気量解析は、衛星からの電波の

遅れを利用するため、衛星の位置・時計誤差、GNSS受信機の位置も高精度に解析する必要がある。陸上固定の場合、アンテナは動かないものとしているのに対し、船舶などの移動体に設置した受信機の場合、時間変動する電波の遅れに加え、受信機の位置も同時に推定する必要がある。従来は事後解析による研究が行われてきたが、上述のような解析技術の高度化により、移動体におけるリアルタイムでのPWV解析を行える環境が整ってきている。

4. 船舶搭載GNSSによる海上でのPWV解析実験

平成27年、4隻の船舶にGNSS受信機を設置し、洋上観測実験を行った(第3図)。移動する受信機位置推定のため、GPS衛星に加え、GLONASS、QZSSを利用し、衛星の軌道情報としてMADCOCA¹⁾によるリアルタイムプロダクトを適用した解析を試みた。さらに、設置場所に制限のある船舶上で影響の大きい反射波による誤差を含む解析結果を除去する品質管理手法を考案した。

解析の結果、近傍の陸上GNSS点で解析された水蒸気量に匹敵する精度で解析できることが確認できた(第4図)(Shoji et al. 2016)。

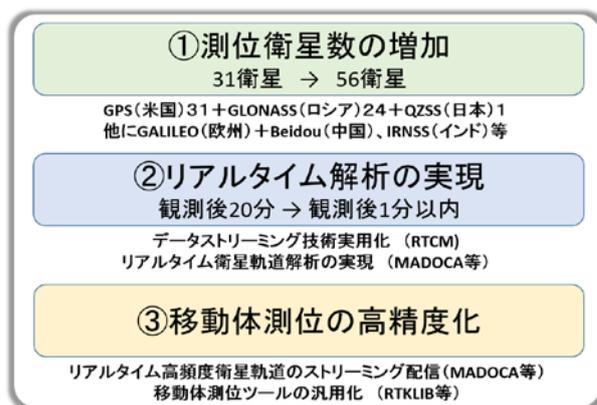
このことは、位置が固定しない海上の船舶や浮遊ブイに搭載したGNSSアンテナで、高精度のPWV解析が可能であることを示している。

実用化に向けた課題として、海洋上でのデータ通信がある。解析する計算機にGNSS観測データ(60MB/日)、衛星軌道情報(150MB/日)を送る必要がある。QZSSは衛星軌道情報を配信する機能を有し、GNSS受信機で受信することができる。4基体制となる2018年には、日本周辺で常時1基以上のQZSSが観測できる。船上で受信したGNSSデータ、衛星軌道情報を用い、船上でPWVが解析できるため、通信データ量の課題はクリアされると期待される。

参考文献

- (1) 国土交通省交通政策審議会気象分科会 2015: 提言「新たなステージ」に対応した防災気象情報と観測・予測技術のあり方, http://www.jma.go.jp/jma/press/1507/29a/bunkakai150729_2.html
- (2) Shoji Yoshinori, Kazutoshi Sato, Masanori Yabuki, and Toshitaka Tsuda 2016: PWV Retrieval over the Ocean Using Shipborne GNSS Receivers with MADOCA Real-Time Orbits, *SOLA*, **12**, 265-271.

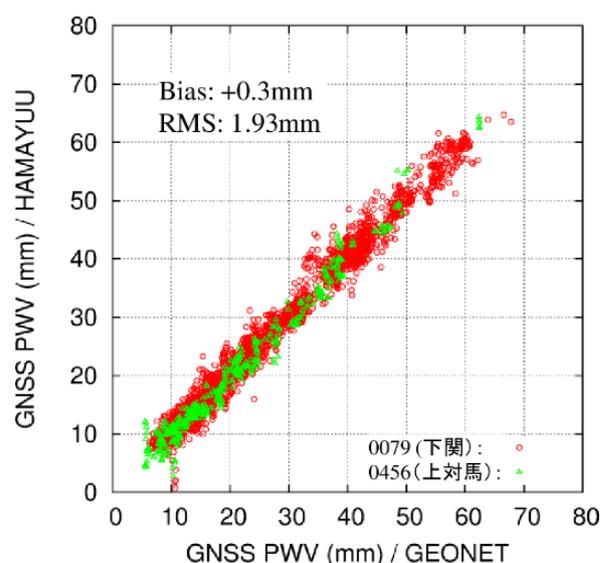
¹⁾ Multi-GNSS Advanced Demonstration Orbit and Clock Analysis の略称。宇宙航空研究開発機構(JAXA)の開発する複数GNSS対応衛星軌道時刻推定ツール。



第2図:準天頂衛星打ち上げ(2010年)以後に実現したGNSS技術の革新。



第3図:船舶に設置したGNSSアンテナの一例(関釜フェリー株式会社の「はまゆう」)。デッキ上部左舷側ポール(赤丸で囲んだ場所)に取り付け、下関と釜山を結ぶ航路上の可降水量を解析した。



第4図:フェリー「はまゆう」で解析されたPWVと、近傍(20km以内)の地上GNSS点で解析されたPWVとの比較(赤点:0079(下関)、緑点:0456(上対馬))。

気象衛星ひまわり8号の大気追跡風を用いて捉えた台風の強化

○ 小山 亮 (台風研究部)

1. はじめに

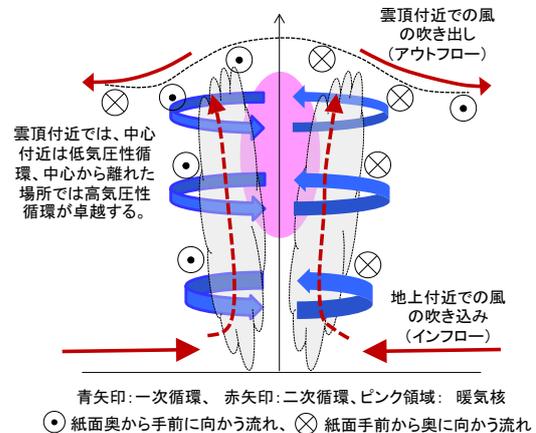
台風は、暖かい海面からの水蒸気及び熱をエネルギー源として発達し、その暴風・大雨により甚大な被害をもたらす。台風の発達、すなわち低気圧性循環(一次循環)の強化には、対流によって水蒸気が凝結することで解放される潜熱と、これに伴って強まる鉛直循環(二次循環)(第1図)が重要であることが、理論的、数値的研究によって知られている。一方、ゾンデ観測をはじめとした現場観測では、時間・空間的に密な観測に基づく台風の発達過程の検証は難しい。このような背景もあり、気象庁他の予報センターの熱帯低気圧強度解析は、主に衛星で観測された雲の形状(眼の明瞭さなど)にもとづいたドボラック法による強度推定に頼っている。

大気追跡風(Atmospheric Motion Vectors: AMV)は、連続する衛星画像から雲及び水蒸気パターンの移動量を算出し、雲の雲頂温度から数値予報モデルの気温プロファイルを参照して高度を求めて得られる風データである。AMVは、現場観測データの少ない海上を含め、広い範囲で定期的に行われる利点があるが、静止気象衛星MTSAT(ひまわり6、7号)、及び2015年7月7日に運用が開始された次世代静止気象衛星ひまわり8号(第2図)の高頻度観測(2.5~15分間隔)を用いると、風の変化が大きな台風領域内でも、時間・空間的に密にデータを得ることができる(小山 2015)。

本研究の目的は、巻雲等の上層雲を追跡して算出されるAMV(第3図)を使用して、台風の雲頂高度付近の一次循環と二次循環を捉え、これらと台風発達との関係を定量的に明らかにすることである。上層AMVを用いた台風への新しいアプローチによって、台風の発達プロセスに関する新たな知見が得られるとともに、台風解析業務への貢献も期待される。

2. データ・手法

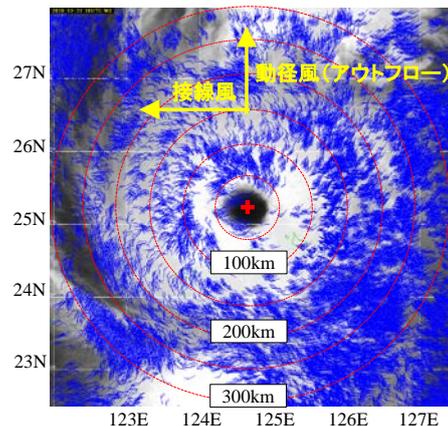
MTSATの北半球領域画像から6時間毎に算出したMTSAT AMVと、ひまわり8号ターゲット観測(2.5分間隔、1000km×1000kmの領域)から10分毎に算出したひまわり8号AMV(Shimaji 2014)を使用した。AMVの高度は100~300hPa面である。一次循環、二次循環の強さは、半径300km内の各半径で求めた上層AMVの接線風、動径風(アウトフロー)の最大値として、それぞれ定義した(第3図)。台風の最大風速(地上)は、気象庁ベストトラックデータを使用した。



第1図: 台風内部の風の模式図



第2図: 2015年7月7日に運用が開始された次世代静止気象衛星ひまわり8号(気象庁HP)

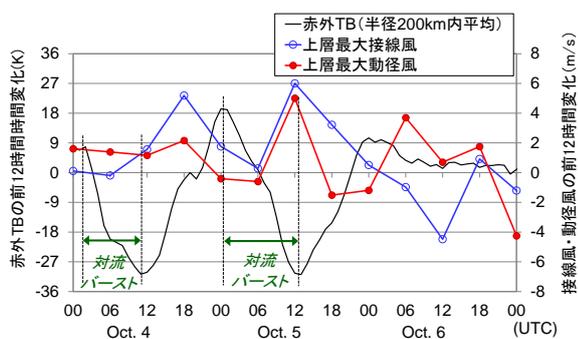


第3図: 2015年台風第15号(Goni)の8月23日18UTCのひまわり8号ターゲット観測の水蒸気画像(バンド10)から算出した上層AMV(青矢羽、高度は100~300hPa面)。

3. 上層AMVが捉えた2013年台風第24号の強化

第4図に、MTSAT AMVを使用して行なった、2013年台風第24号(Danas)の発達期の上層の風の場の解析結果を示す。Danasは、最大 $12.8\text{ms}^{-1}\text{day}^{-1}$ の発達率(最大風速の前24時間変化)で、最大風速 46ms^{-1} まで発達した。発達期において、

MTSATの赤外輝度温度の低下によって示唆される対流の強まり(対流バースト)が2回起こっていたが、これらの対流バーストの終了頃～6時間後にかけて、接線風と動径風の顕著な強化が起こっていた。この上層の風の場にみられた特徴的な変化は、強い対流によって地上付近の大きな角運動量が上層まで運ばれたこと、対流に伴う潜熱解放によって、台風中心付近に周囲より気温が高い領域(暖気核)が形成され、構造が軸対称化したことを示唆している(Oyama et al. 2016)。



第4図: 2013年台風第24号(Danas)の発達期の上層最大接線風(青線)、上層最大動径風(赤線)、及びMTSAT赤外輝度温度(TB)の半径200km内平均(黒線)の前12時間変化。

4. 台風の発達率と上層アウトフローの強さの関係

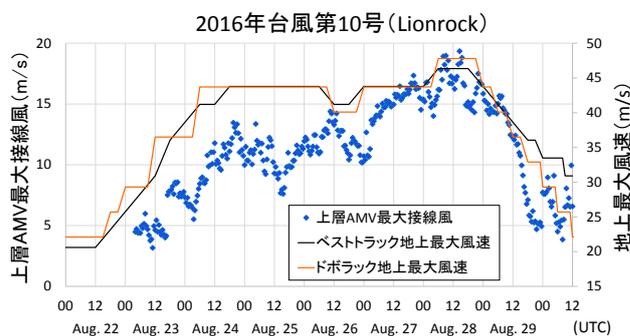
台風の発達率と上層アウトフローが反映する二次循環の強さの関係を定量的に明らかにするため、2011～2014年の44個の台風を対象とした統計調査を、MTSAT AMVを使用して行なった。結果、AMVから求めた上層アウトフローの強さは、発達率が大きな台風ほど強い傾向があることが分かった。また、発達率が大きな台風ほど、台風中心付近に背が高く発達した対流雲を伴う傾向もみいだされ、上層アウトフローの強化が主に台風中心付近の対流の活発化によってもたらされていたことが示唆された。

以上の結果は、軸対称台風モデルを用いた診断的研究、数値シミュレーションを用いた研究とも整合しており、台風中心付近の活発な対流活動が、台風発達に大きく寄与していることを裏付ける結果である。

5. 上層AMVの台風強度診断への活用

台風の雲頂高度付近の一次循環の強さは地上付近に比べて弱い、大気境界層内(地表～およそ高度1km)での一次循環の強化、二次循環による角運動量の鉛直輸送を介して強化される。2011～2014年の44個の台風を対象として行なった統計調査では、地上最大風速とMTSAT AMVから求めた上層最大接線風の間には、比較的明瞭な正相関(0.72)がみられた。この結果は、AMVから求めた上層最大接線風から、地上最大風速の強化を診断できる可能性を示している。

上層最大接線風の時間変化の特徴をより詳しく調べるため、10分毎のひまわり8号AMVを用いた事例解析を行なった。第5図に、2016年台風第10号(Lionrock)の解析例を示す。上層最大接線風の時間変化には、雲の形状に基づくドボラック法で推定した最大風速とベストトラック最大風速からは解析されない、一日以下の時間スケールの変化が明瞭に解析されている。この上層最大接線風強化のタイミングは、極軌道衛星NOAA及びMetOpのマイクロ波探査計AMSU-Aで観測された上層暖気核の発達のタイミングとおよそ一致していることが分かっており、今後、高分解能非静力学モデルを用いた数値シミュレーションとの比較等を行なって、このメカニズムを明らかにしていきたいと考えている。



第5図: 2016年台風第10号の、ひまわり8号AMVから求めた上層最大接線風(青プロット)、ベストトラック最大風速(黒線)、ドボラック法による最大風速(橙線)の時系列。

6. まとめ

近年の静止気象衛星観測の高頻度化によって、時間・空間的に密に得られるようになったAMVは、台風の発達において重要なプロセスである一次循環及び二次循環の強化の解析において、有用な風データであることが示された。また、ひまわり8号の10分毎のAMVデータを用いることによって、従来の観測では捉えることが困難な、一日以下の時間スケールの台風の強度・構造変化を捉える可能性も示唆された。今後は、これまでの調査結果をもとに、台風解析業務への貢献のための台風強度診断手法の開発等を進めていく予定である。

参考文献

- (1) Oyama, R., A. Wada, and M. Sawada, 2016: Intensification of Typhoon Danas (1324) captured by MTSAT upper tropospheric Atmospheric Motion Vectors. SOLA, 12, 135-139.
- (2) 小山亮, 2015: MTSATラピッドスキャン観測データを用いて算出された台風領域の上層大気追跡風の特徴. 天気, 62, 881-894.
- (3) Shimoji, K., 2014: Motion tracking and cloud height assignment methods for Himawari-8 AMV, Proceedings of 12th International Winds Workshop.

伊豆大島で進行するマグマ蓄積

～火山性地殻変動は何を明らかにしたか～

○山本哲也(火山研究部)

1. はじめに

気象庁では、噴火予報及び警報をはじめとして様々な火山防災情報を発表している。この業務のためには、観測データに基づいて、火山が現在どのような状態にあるのか、噴火は差し迫っているのかなどの火山活動評価を行う必要がある。火山の噴火は地下のマグマによって引き起こされる。マグマの蓄積や移動によって火山性地殻変動が生じ、地面のわずかな移動や傾斜、ひずみ、変形が生じる。これらを地殻変動観測でとらえることは、マグマの蓄積の様子を直接的に捉えることになるため、今日最も有力な火山監視手法のひとつとなっている。我々の研究では、火山における地殻変動のデータを活用することで火山活動モニタリングや火山活動評価を高度化することを目指している。

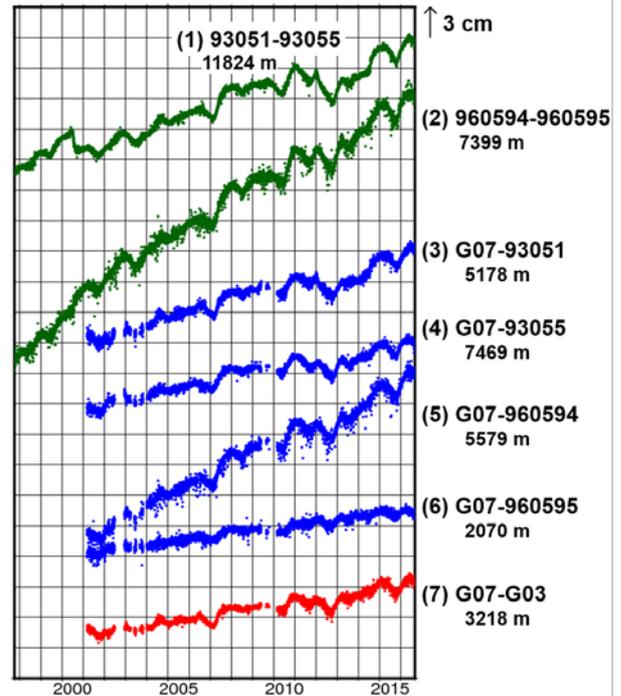
2. 伊豆大島の火山性地殻変動

2. 1. 伊豆大島火山と地殻変動観測

伊豆大島は繰り返し噴火を引き起こしている活火山である。過去3回の中規模噴火は36～38年の間隔で発生しており、前回の中規模噴火は1986年に発生した。噴火の多くは中央火口丘(三原山)からの噴火であり、山頂部のカルデラ域を影響範囲とする程度の規模である。ただし、1986年噴火の際にはカルデラ外の北西山腹にかけて割れ目噴火が発生したため、全住民が島外に避難する措置がとられた。地質学的な調査によれば、過去には山腹、山麓における噴火も度々発生しており、また約1700年前には全島に影響をおよぼすような火砕流を伴う噴火が山頂部で発生したことが知られている。伊豆大島は、現在のところ地表では目立った火山活動の兆候はなく、静穏な状況であるが、前回の噴火から約30年が経過し、次の噴火は近づいているとみられる。

伊豆大島では火山監視や研究のために様々な観測が行われている。その中で気象研究所は火山性地殻変動の研究のためにGNSS(Global Navigation Satellite System)、光波測距、ひずみなどの観測を行っている。今回はGNSSによる成果を中心に紹介する。GNSSは米国が運用するGPSなどに代表される衛星からの電波を利用した測位システムである。精密な解析を行うことで観測点の位置を1cm以内の精度で決定することができ、また、解析結果の長期安定性にも優れている。解析では、我々の観測データに加えて、気象庁の火山

監視のためのデータや国土地理院の電子基準点のデータも用いた。



第1図：伊豆大島における1997～2016年のGNSS観測点間の距離変化(緑：山麓－山麓、青：山頂部－山麓、赤：山頂部－山腹、の観測点間の距離、観測点の位置は第2図を参照)

2. 2. 長期的膨張とマグマの蓄積

第1図に伊豆大島における過去約20年におよぶGNSS観測点間の距離(基線長)の変化を示した。いずれの基線長をみても長期的にはほぼ一定の年率で伸びの傾向がみられ、顕著なものではこの間に約25cm伸びがあった。島の様々な部分が一緒に伸びていることから、伊豆大島は全体として膨張を続けていることがわかる。

第2図に、約10年間の各観測点の水平方向の動きを示した。この間に累積した長期的膨張の様子を表している。地下に球状の圧力源が存在し、それが膨らんだためにこのような動きが生じたと考え、圧力源の位置はカルデラの北部の深さ5.5kmに推定される。この圧力源はマグマ溜まりに相当し、マグマの継続的蓄積によって膨張を続けていると見られている。推定される10年間で蓄積されたマグマの体積は $1.9 \times 10^7 \text{ m}^3$ に及ぶ。1986年の噴火後、この割合で蓄積がすすんでいたとすると、過去30年間の蓄積量は約 $6 \times 10^7 \text{ m}^3$ に達し、前

回の噴火で噴出したマグマの量に匹敵もしくは上回る。マグマの量だけを考えれば次の噴火のためのマグマは既に十分に準備されているとみられる。

2. 3. 短期的収縮・膨張とその推移

第1図の基線長の変化でもう一つ特徴的なのは、周期1～2年程度の縮み・伸びの変化が、各基線長変化に繰り返し見られることである。その縮み・伸びはすべての基線長で同じタイミングで発生しており、伊豆大島全体の短期的な収縮・膨張の変動があることを示している。また、短期的な膨張期には島内の地震活動が活発化することも知られている。

観測点を増強した2009年以降について、短期的な収縮および膨張の変動それぞれについて圧力源を求めると、その位置は長期的膨張と同様にカルデラ北部に推定される。ただし、圧力源の深さは約4km程度と浅い場所に推定されるので、長期的膨張とは別の圧力源である可能性が高い。1回の収縮・膨張で生じる圧力源の体積変動は $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ に及ぶ。

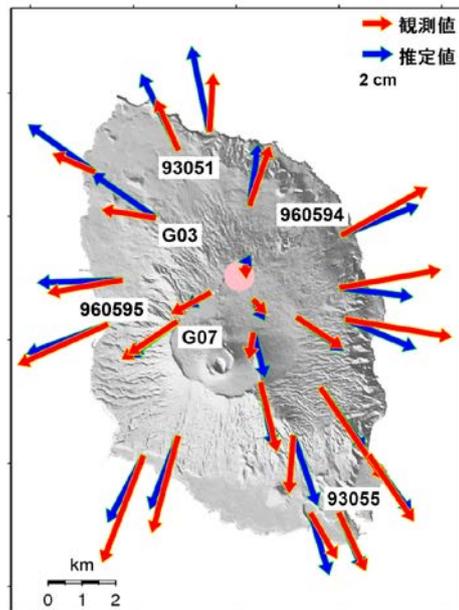
この短期的な収縮・膨張は伊豆大島北部山腹に設置された気象庁の体積ひずみ計の観測でもひずみの変動として捉えられている。第3図に、体積ひずみ計の記録から周期3年以下の帯域の変動を抽出し、面積ひずみに換算したものを示した。同様に伊豆大島北部のGNSS観測点3点の動きから求められた面積ひずみの変動も示した。両者で短期的な変動が発生するタイミングや、その振幅の経年的な変動がよく一致しており、同じ現象を捉えていることが分かる。GNSS観測の開始以前に遡って体積ひずみ計の記録を見ると1990年代前半にはすでに小振幅の短期的変動が発生しており、振幅は2000年代にかけて次第に大きくなっている。また、現用測器ではなく更新前の体積ひずみ計による観測ではあるが、1986年噴火前にも同様の短期的変動があり、しかも振幅がより大きかったことが推定されている。短期的変動の様相は、次の噴火にむけて今後も推移していく可能性があるため、注視していく必要がある。

なお、この短期的な収縮・膨張がどのようなメカニズムで

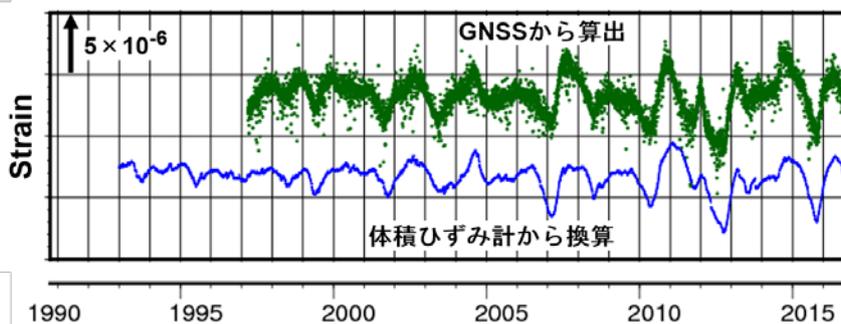
発生しているかは、まだ解明されていない。仮説として、マグマから分離した揮発性成分(火山ガス)が地下で蓄積することで膨張を引き起こし、それが地殻内に散逸することで収縮するというメカニズムが考えられているが、観測データや数値実験などによる検証はこれからである。

3. まとめ

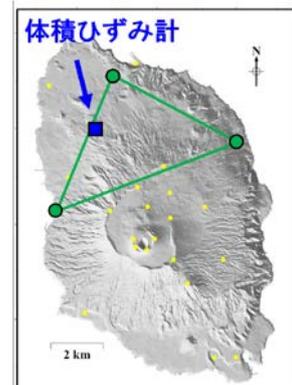
現在静穏な状況の伊豆大島であるが、火山性地殻変動の観測データをみると、マグマの継続的な蓄積に伴うとみられる島全体の長期的な膨張が続いている。膨張するマグマ溜まりはカルデラ北部の地下に推定されている。前回の噴火以降のマグマの蓄積量は、すでに前回の噴出量に匹敵するとみられる。また、火山性地殻変動として周期1～2年程度の短期的収縮・膨張が1990年代から繰り返し起こっている。噴火にむけて変動の振幅が大きくなっている可能性があることから、今後の推移に注目している。



第2図：長期的膨張に対応する各観測点の動き(2001年3月～2011年2月)。赤矢印：観測値、青矢印：球状圧力源による推定値、丸印：圧力源の推定位置(深さは5.5km)



第3図：(左)GNSSおよび体積ひずみ計から求めた面積ひずみの短期的変動、(右)体積ひずみ計および算出に用いたGNSS観測点の位置(緑丸)



熊本地震 ～地震発生状況の即時把握技術の開発～

○溜瀧功史(地震津波研究部)

1. はじめに

4月14日21時26分(マグニチュード(M)6.5)、4月16日01時25分(M7.3)の地震を含む平成28年(2016年)熊本地震の一連の地震活動では、熊本県で最大震度7を2回観測するなど、大きな被害が生じた。また、この一連の地震活動による震度1以上の揺れを伴う地震回数は半年間で4,000回を超え、全体としては減衰しつつも、なお活発な地震活動が続いている。本報告では、熊本地震の一連の地震発生状況と、それを即時に把握するための技術開発について紹介する。

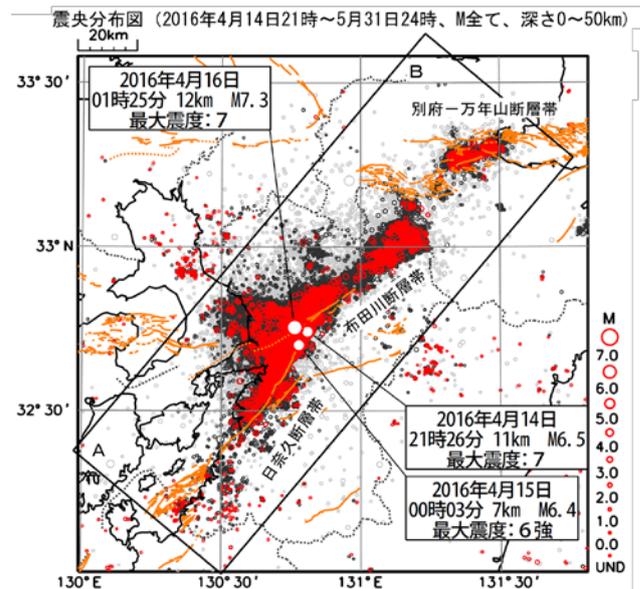
2. 熊本地震の地震発生状況

2.1. 震源の即時推定

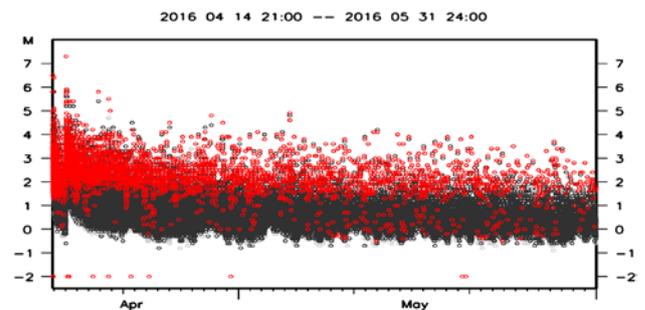
大規模な地震がひとたび発生すると、それに伴い数多くの余震が発生する。通常、信頼性の高い震源の推定は解析者が手動で行っているが、非常に多数の地震が発生している状況下で、迅速に全ての震源を推定することは難しい。そこで、溜瀧・他(2016)¹⁾は、地震多発時においても適切に震源を決定する自動処理手法を開発し、気象庁システムへの導入を進めてきた。この自動処理手法は、通常利用するP波、S波の時刻に加えて、揺れの大きさも考慮することで、通常時であれば内陸のM1.0以上の地震をほぼ全て自動的にリアルタイムに決定することが可能となった。熊本地震では、この自動処理を活用することにより、4月14日から5月末までの期間に、体に揺れを感じない地震も含めて約70,000個もの地震が発生していることが明らかになった(第1図)。これは、解析者が決定した震源(当時約5,000個)に比べて、約14倍もの数に相当する。

震源がリアルタイムに得られることにより、震源域の広がりや地震活動の推移を即時に把握することが可能となる。震源域の広がりに着目すると、4月14日(M6.5)の地震は日奈久断層帯に沿った地震活動が見られた一方で、4月16日(M7.3)の地震以降の震源分布はさらに北東の布田川断層帯や、大分県の別府一万年山断層帯に沿って広がっていることが分かる。また、決定されたマグニチュードの下限に着目すると、人手で精査した震源はM2より大きな規模の地震が概ね決定されているのに対して、自動処理による震源はM0やM1程度の規模の地震についても多数決定できていることが分かる(第2図)。規模の小さい地震も含めて、多数の震源がリアルタイム

に得られることは、地震活動の特徴を知るうえで重要な手がかりとなる。



第1図:熊本地震の震央分布図。赤色は解析者が決定した震源。黒は自動処理結果のうち、精度が良いもの。灰色はそれ以外の自動処理結果。



第2図:第1図矩形領域内の地震活動経過図。縦軸はマグニチュード、横軸は時間(日)を示す。プロットの色付けは第1図中のプロットと同様。

2.2. 自動震源データを用いた地震活動の統計量推定

地震活動を多数の地震の集まりとして見た場合、その特徴を表す様々な統計量を求めることができる。地震の発生頻度と規模にはGutenberg-Richterの法則(G-R則)と呼ばれる経験則があり、地震の規模を表すマグニチュードが大きくなるにつれて、その規模の地震の頻度は指数関数的に減少するこ

とが知られている。この減少の程度をb値という指標で表す。b値が低いと、相対的に規模の大きな地震の発生頻度が多いことに対応する。余震確率の計算では、このb値が重要なパラメータとなっている。また、2011年東北地方太平洋沖地震に先行してb値が低下していたことが報告されており²⁾、規模が大きな地震の発生を予測するうえで重要な指標と考えられる。自動処理による震源は、人手を介しての処理に比べて圧倒的に迅速かつ数多く決定できることから、このような統計量の算出によって、有用なデータとなる。

そこで、自動震源を使用して、b値の推定を行った(第3図)。通常、b値を求める際には、解析対象のM下限を検知力以上の値に設定して解析するが、リアルタイムかつ客観的に算出することを目的として、G-R則のフィッティング具合から自動的にM下限を設定する手法を用いた³⁾。

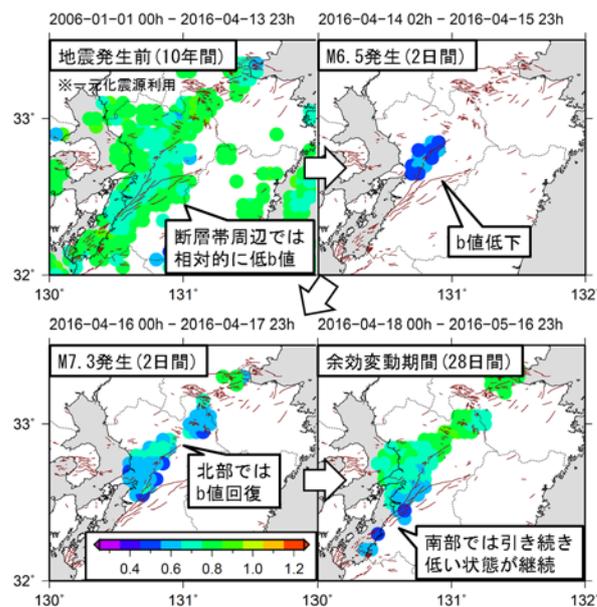
4月14日(M6.5)の地震の発生前の10年間は、b値は概ね0.8程度の値であったが、4月14日の地震後に0.5~0.6程度に低下した。4月16日にはM7.3の地震が発生し、布田川断層帯の北部ではb値は回復した。一方で、その後の地震活動は、ほとんどの領域で地震発生前のb値の状態に回復しているものの、日奈久断層帯の南部では引き続きb値の低い状態が継続していることが明らかになった。このb値の空間分布と合成開口レーダ(SAR)干渉解析による余効変動(大きな地震の後に長期間に渡ってゆっくりと進行する地殻変動)の分布を比較すると、余効変動が大きな領域ではb値は回復しており、日奈久断層帯南部の余効変動が小さな領域では引き続きb値が低いといった対応関係が見られた。

このような高い分解能でb値の空間分布や時間変化を解析するためには、数多くの震源が必要なため、これまで解析を行うことが難しかったが、本研究による自動処理技術の高度化により可能となりつつある。

3. まとめ

自動処理手法の開発により、従来よりも迅速かつ大量に震源を推定することが可能となった。これを熊本地震に対して適用したところ、従来の約14倍にあたる数の震源を自動的に得ることができた。また、この自動処理によって得られた震源を用いて地震活動の統計量の一つであるb値を算出すると、日奈久断層帯北部では4月14日(M6.5)の地震に伴いb値が低下し、4月16日(M7.3)の地震後に回復するといった現象が確認できた。今後、このような地震活動の統計量を迅速かつ安定して推定することにより、地震活動の推移把握の高度化を目指す。さらに、内陸の地震のみならず、海域の地震活動についての自動決定手法を向上させることにより、南海トラフなどの海溝沿いの巨大地震の地震像を即時に把握する技術の

開発を進める。



第3図:b値の空間分布

謝辞

北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市、国立研究開発法人海洋研究開発機構及び気象庁の地震波形と、その波形を気象庁と文部科学省が協力してデータ処理した一元化震源を使用しました。

参考文献

- (1)溜淵功史・森脇健・上野寛・東田進也 2016: ベイズ推定を用いた一元化震源のための自動震源推定手法, 験震時報, 79, 1-13.
- (2)Nanjo, K. Z., N. Hirata, K. Obara and K. Kasahara 2012: Decade-scale decrease in b value prior to the M9-class 2011 Tohoku and 2004 Sumatra quakes, Geophys. Res. Lett., 39, L20304, doi:10.1029/2012GL052997.
- (3)Wiemer, S. and M. Wyss 2002: Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes, in "Advances in Geophysics", ed. by R. Dmowska and B. Saltzman, 45, Academic Press, 259-302.

気象研究所で行っている研究について

気象研究所では、気象庁が発表する気象や地震・火山、気候等に関する各種情報の高度化に向けた実用的な研究を重点的に実施しています。また、将来に向けた我が国の気象業務の健全な発達を図るため、長期的に各種情報の高度化等を見据えた基礎的・基盤的な研究や、世界をリードする研究を実施しています。

1 重点研究

各種防災情報や地球環境情報の高度化など気象業務への貢献を目指し、5年以内に業務化のめどをつける実用的な研究課題で、台風・集中豪雨等対策、地震・火山・津波対策及び気候変動・地球環境対策の強化に資する研究を重点的に実施しています。

1. 1 台風・集中豪雨等対策の強化に関する研究

気象災害を防止・軽減するには、災害をもたらす現象の観測・解析技術及び予測技術を高度化し、予報・警報等の防災情報を避難等防災活動の早期準備や迅速・的確な実施に一層活用可能なものにしていく必要があります。このため以下の研究に取り組んでいます。

- 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
- A2 顕著現象監視予測技術の高度化に関する研究
- A3 台風の進路予報・強度解析の精度向上に資する研究
- A4 沿岸海況予測技術の高度化に関する研究

1. 2 地震・火山・津波対策の強化に関する研究

地震、火山及び津波に関する防災情報をよりの確なものとし、それらによる災害を防止・軽減するためには、発生した現象の推移をよりの確に観測・解析する技術を開発するとともに、地震の予知技術、火山噴火及び津波の予測技術の高精度化を進める必要があります。このため、以下の研究に取り組んでいます。

- B1 緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究
- B2 地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究
- B3 津波の予測手法の高度化に関する研究
- 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
- 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
- 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
- B7 火山ガス観測による火山活動監視・予測に関する研究

1. 3 気候変動・地球環境対策の強化に関する研究

地球温暖化やオゾン層破壊、国境を越えた大気汚染など地球規模の環境問題が顕在化する中、環境と経済を両立し持続可能な社会の発展を実現するため、気候及び地球環境に関する信頼性の高い情報が求められています。このため、以下の研究に取り組んでいます。

- 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
- 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
- C3 地球環境監視・診断・予測技術高度化に関する研究

2 一般研究

気象庁が発表する各種情報の高度化等気象業務への将来の実用化を見据えた基礎的・基盤的な研究や、世界をリードする革新的テーマに挑戦する研究を推進しています。

3 地方共同研究

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地方共同研究として実施しています。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捉え、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しています。さらに、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しています。

4 機動的な研究

竜巻、集中豪雨、地震、火山噴火等の大きな災害を伴う顕著現象が発生した場合は、気象庁本庁・管区気象台・地方気象台等と連携し、現地調査を含む調査研究等を機動的に実施しています。

気象研究所成果報告会 発表題目(平成18年度以降)

H27	気象研究所での気候変動研究概要	蒲地 政文	研究総務官
H27	気候変動予測研究の過去・現在・未来	尾瀬智昭	気候研究部
H27	温暖化予測情報をどう使うか	高藪 出	環境・応用気象研究部
H27	エルニーニョなどの海洋の変化を予測するために	山中 吾郎	海洋・地球化学研究部
H27	成層圏の変動の気候への影響について	黒田 友二	気候研究部
H26	御嶽山噴火ー水蒸気噴火のメカニズム解明に向けてー	横山 博文	火山研究部
H26	南海トラフ沿い巨大地震は予知できるか?ー地震発生シミュレーションからの知見ー	弘瀬 冬樹	地震津波研究部
H26	竜巻等突風の探知ーフェーズドレイレーダーが切り拓く世界ー	楠 研一	気象衛星・観測システム研究部
H26	集中豪雨の発生メカニズム解明に向けてー平成26年8月20日広島豪雨事例ー	加藤 輝之	予報研究部
H26	温暖化に伴い強雨は増えるのか?ーアメダス観測が示す気温と強雨の関係ー	藤部 文昭	環境・応用気象研究部
H26	CONTRAIL プロジェクトー大型旅客機による地球規模の温室効果ガス観測ー	松枝 秀和	海洋・地球化学研究部
H25	GPSが拓く突風・大雨の予測・監視への道	小司 禎教	気象衛星・観測システム研究部
H25	局地的豪雨等の予測精度向上に向けた取り組み	瀬古 弘	予報研究部
H25	津波予測の新展開ー迫り来る津波を捉え予測するー	林 豊	地震火山研究部
H25	地球温暖化とともに変わりゆく日本の気候を考える	佐々木 秀孝	環境・応用気象研究部
H25	海洋のCO2増加と酸性化ー西部北太平洋熱帯・亜熱帯域における実態ー	石井 雅男	海洋・地球化学研究部
H24	地震の揺れのリアルタイム予測:次世代の緊急地震速報を目指して	干場充之	地震火山研究部
H24	ヒートアイランドの現在と未来	青柳曉典	環境・応用気象研究部
H24	グリーンランドから地球温暖化をみる	青木輝夫	物理気象研究部
H24	つくば竜巻:二重偏波レーダーによる実態解明	山内 洋	気象衛星・観測システム研究部
H24	社会的に大きな影響があった顕著現象(平成24年)〜急発達した低気圧・つくば竜巻・九州北部豪雨〜	加藤輝之	予報研究部
H23	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の地震像と巨大地震の早期規模推定に向けた取り組み	吉田康宏	地震火山研究部
H23	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う津波と津波即時予測の研究	対馬弘晃	地震火山研究部
H23	2011年霧島山(新燃岳)噴火対応〜噴煙エコーの解析と降灰の量的予測に関する研究〜	新堀敏基	地震火山研究部
H23	集中豪雨の統計的・解析的研究ー2010年10月20日の奄美豪雨ー	津口裕茂	予報研究部
H23	福島第一原子力発電所事故に伴う大気・海洋の人工放射能の変動	青山道夫	地球化学研究部
H22	台風に伴う竜巻等突風の発生機構ー2006年台風第13号に伴う延岡竜巻の数値シミュレーションー	益子 渉	予報研究部
H22	気候研究のための長期日降水グリッドデータの作成	上口賢治	気候研究部
H22	数値モデルを用いた地球環境解析	眞木貴史	環境・応用気象研究部
H22	衛星データの利用技術に関する研究	増田一彦	気象衛星・観測システム研究部
H22	【記念講演】気象観測鉄塔	石原正仁	気象衛星・観測システム研究部
H21	東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究	齊藤和雄	予報研究部
H21	2008年台風特別観測(T-PARC)結果	中澤哲夫	台風研究部
H21	伊勢湾台風再現実験プロジェクト(re-analysis/forecast of Typhoon Vera(1959) project: ReVera)	別所康太郎	台風研究部
H21	相似地震の発生予測実験	岡田正実(客員)	地震火山研究部
H21	地震波で地下の時間変動を監視する	吉田康宏	地震火山研究部
H21	温暖化による日本付近の詳細な気候変化予測	行本誠史 他	気候研究部ほか
H20	海洋における炭素循環の変動に関する観測的研究II	緑川 貴	地球化学研究部
H20	物質循環モデルの開発改良と地球環境への影響評価に関する研究	柴田清孝	環境・応用気象研究部
H20	接地境界層における乱流の構造に関する研究	毛利英明	物理気象研究部
H20	地震・地殻変動観測データの高度利用に関する研究	前田憲二 他	地震火山研究部
H20	津波の予測精度向上に関する研究	林 豊	地震火山研究部
H20	火山観測データの気象補正等による高精度化に関する研究-ノイズの中から火山活動を抽出する-	山里 平	地震火山研究部
H20	新地殻変動観測手法の研究ースロースリップ検知を目指したレーザー式変位計の開発ー	勝間田明男	地震火山研究部
H20	3次元数値モデルによる地震発生シミュレーションの研究	弘瀬冬樹	地震火山研究部
H19	氷晶発生過程に関する研究	村上正隆	物理気象研究部
H19	上陸台風の構造変化過程とそれに伴う暴風、豪雨、高潮の発生に関する研究	中澤哲夫	台風研究部
H19	日本の異常気象の実態及び気候変動との関連に関する研究	藤部文昭 他	予報研究部ほか
H19	気候システムとその変動特性のモデルによる研究	楠 昌司	気候研究部
H19	高解像度(渦解像)海洋大循環モデルの開発とそれによる水塊の形成、維持、及び変動機構の解明	本井達夫	海洋研究部
H19	海洋データ同化システムの高精度化と海洋現象の季節から経年変動の解析	蒲地政文	海洋研究部
H19	アジア大陸の影響による大気微量気体・エアロゾル・降水降下塵の化学組成変動に関する研究	松枝秀和	地球化学研究部
H18	季節予測システムの構築と経年変動機構・予測可能性の研究	安田珠幾	気候研究部
H18	エアロゾルの地表面放射への影響評価のためのエアロゾル光学特性の推定について	内山明博	気候研究部
H18	大気エアロゾルが積雪面の放射特性に与える影響	青木輝夫	物理気象研究部
H18	海洋における炭素循環の変動に関する観測的研究	緑川 貴	地球化学研究部
H18	【特別報告】太平洋をUターンした津波ー千島列島付近の地震による津波の数値解析結果ー	長谷川洋平	地震火山研究部
H18	ヒートアイランド現象の再現・予測に関する基礎的研究	三上正男	環境・応用気象研究部
H18	都市ビル群上での乱流特性の研究	栗田 進	環境・応用気象研究部
H18	衛星搭載多波長赤外サウンダの利用技術に関する研究	真野裕三	気象衛星・観測システム研究部
H18	【特別報告】2006年11月7日の佐呂間町竜巻の現地調査報告	鈴木 修	気象衛星・観測システム研究部
H18	【特別報告】佐呂間町に竜巻をもたらしたスーパーセルの再現実験-水平解能250mの雲解像モデルの結果から-	加藤輝之	予報研究部
H18	非静力学モデル(NHM)の高度化と同化技術の改善に関する研究	中村誠臣	予報研究部

気象庁気象研究所

連絡先: 気象庁気象研究所企画室
〒305-0052 茨城県つくば市長峰1-1
TEL 029-853-8546
e-mail: ngmn11ts@mri-jma.go.jp

ホームページアドレス: <http://www.mri-jma.go.jp>