

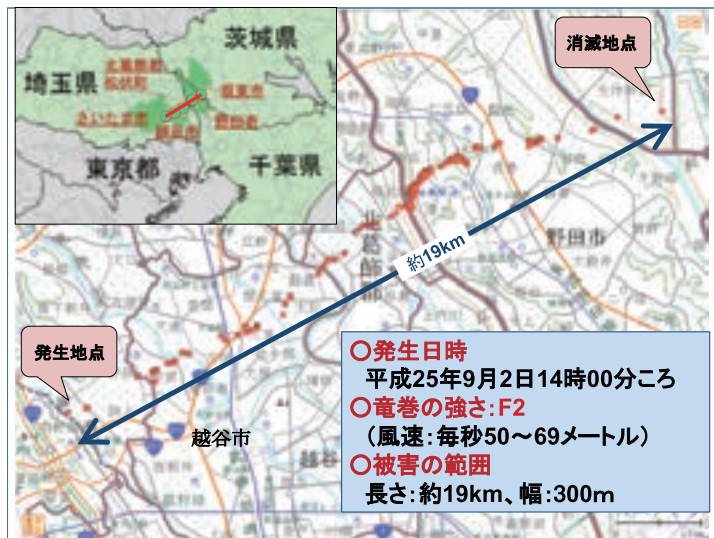
1 9月に全国で大きな被害をもたらした竜巻について

気象庁では、竜巻等の突風による被害が発生した場合に、気象庁機動調査班（JMA-MOT）として被災地に職員を派遣して調査を行い、竜巻やダウンバーストなど突風の種類を特定し、その強さ（藤田スケール）や、被害の幅及び長さ等を取りまとめて公表しています。

2013年9月は、JMA-MOTによる突風調査を開始した2007年以降の平均の1.7倍にあたる合計17個の竜巻が全国で確認され、なかには大きな被害をもたらすものもありました。9月2日には、藤田スケールでF2（風速で毎秒50～69メートル）の強さの竜巻が発生しました。竜巻は、埼玉県から茨城県にかけて19キロメートルにわたって移動し、住家の屋根が飛ばされるなど大きな被害が多数発生しました（図）。

竜巻が発生した場合には、他の地域でも竜巻が発生することがしばしばあります。9月15日から16日にかけては、台風第18号が接近するなか、和歌山県、三重県、栃木県、埼玉県、群馬県で計10個の竜巻が確認されたほか、宮城県と北海道でも突風による被害が生じました（表）。一つの台風の接近に伴い発生が確認された竜巻の個数としては、1961年の統計開始以来歴代1位です。

9月2日に埼玉県さいたま市で発生した竜巻の経路



現地調査風景(9月3日、越谷市)



9月15日から16日にかけて台風第18号の接近に伴い発生した竜巻等突風

発生場所	発生日時	現象区別	藤田スケール	被害幅(m)	被害長さ(km)
和歌山県東牟婁郡串本町	9月15日14時30分ごろ	竜巻	F1	100	9
	9月15日17時10分ごろ	竜巻	F1	200	0.6
	9月15日18時05分ごろ	竜巻	F1	130	0.5
三重県志摩市	9月15日21時10分ごろ	竜巻	F0	60	0.3
栃木県那須郡那須町	9月15日22時30分ごろ	竜巻	F0	150	2
埼玉県熊谷市・行田市・比企郡滑川町 群馬県太田市	9月16日01時30分ごろ	竜巻	F1	200	13
	9月16日02時00分ごろ	竜巻	F1	300	8
	9月16日02時30分ごろ	竜巻	F1	250	3
	9月16日02時40分ごろ	竜巻	F0	200	3
群馬県みどり市・桐生市	9月16日02時20分ごろ	竜巻	F1	200	5
宮城県石巻市	9月16日15時過ぎ	特定に至らず	F0	-	-
北海道厚岸郡厚岸町	9月16日18時30分ごろ	ダウンバースト	F1	1600	3.9

コラム

☑️竜巻に関する普及啓発の取組みが有効だった事例

平成25年7月に東京都の荒川河川敷で落雷による人的被害が発生したことから、関東地方主体に保育園運営や保育士派遣などを行っている会社（株式会社日本ディケアセンター）から気象庁に「雷から子どもたちを守るためにはどうしたらよいか」という問い合わせがありました。

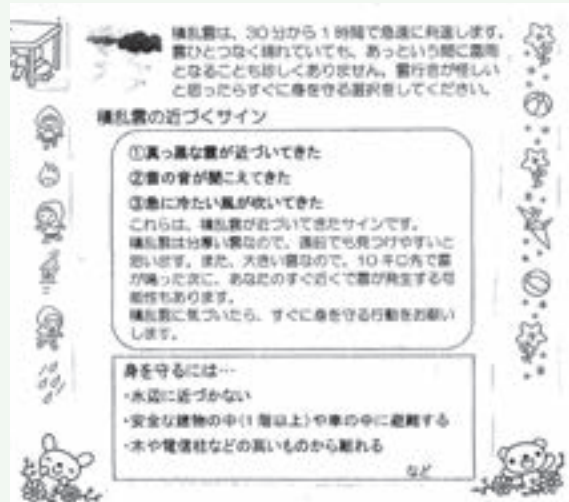
東京管区気象台では、この問い合わせを受けて、保育施設の管理者等に対し、出前講座「急な大雨・雷・竜巻から身を守るために」を実施し、「雷や竜巻からどう身を守るか」や「ホームページを利用した降水・雷ナウキャストなど気象情報の確認方法」等について説明しました。元々の問い合わせは雷に関するものでしたが、雷が発生する気象状況においては、竜巻や急な強い雨に対しても備える必要があるため、これらをまとめて説明したものです。

出前講座の情報は各保育施設に共有され、各保育施設では、子どもたちの散歩や屋外活動前などに気象庁のHPで、気象状況をチェックするようになり、保護者向けの「ほいくだより」に発達した積乱雲による災害から身を守るための記事を掲載するなどの対応をとったとのことでした。

特に、越谷市の保育施設では、9月の竜巻発生の際、窓から黒い竜巻を見つけた保育士が、出前講座の際の知識も生かし、子どもたちを部屋の奥に誘導し、テーブルや布団で囲むようにして竜巻が遠ざかるまで待機するという対応行動ができたとのことでした。

気象庁は今後とも、こうした出前講座などを通して、防災知識の普及啓発に努めていきたいと考えています。

越谷市内の保育施設で配布された「ほいくだより」の一部



(提供:株式会社日本ディケアセンター)

2 平成 25 年 (2013 年) 夏の日本の極端な天候と日本近海の海況

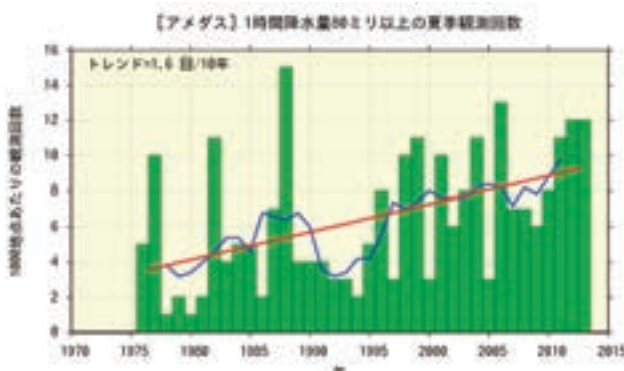
平成 25 年(2013 年)の夏は全国的に高温で、特に、西日本では夏(6～8 月)の平均気温が昭和 21 年(1946 年)の統計開始以降で第 1 位の高温となりました(平年差 +1.2℃、これまでの記録は平成 6 年(1994 年)の +1.1℃)。また、高知県四万十市江川崎では 8 月 12 日の日最高気温が 41.0℃となり、我が国の日最高気温の高い記録を更新しました(これまでの記録は平成 19 年(2007 年) 8 月 16 日に埼玉県熊谷と岐阜県多治見で観測された 40.9℃)。

夏の降水量は東北地方と本州の日本海側で多く、特に、東北地方ではたびたび大雨に見舞われた 7 月の降水量が統計開始以降で最も多くなりました(平年比 182%)。また、山口、島根、秋田、岩手の各県の一部の地域では、記録的な大雨となりました。アメダスによる猛烈な雨(1 時間降水量 80 ミリ以上)のこの夏の観測回数は昭和 51 年(1976 年)以降の夏で 3 番目に多くなりました。一方、東・西日本太平洋側と沖縄・奄美の一部では降水量が少なく、九州南部・奄美地方では 7 月の降水量が統計開始以降で最も少なくなりました(平年比 11%)。

夏の日本の天候を支配する太平洋高気圧(下層の高気圧)とチベット高気圧(上層の高気圧)は、7 月以降ともに平年と比べて優勢でした。特に、太平洋高気圧は西への張り出しの強い状態が続き、沖縄・奄美や西日本では勢力が非常に強くなりました。これらの高気圧がともに優勢となった一因は、海面水温がインドネシアやフィリピン周辺で平年よりかなり高くなる一方、中・東部太平洋赤道域で平年より低くなったことにより、アジアモンスーン域(東南アジアや南アジア)の広い範囲で積雲対流活動が平年と比べて非常に活発になったこととみられます。

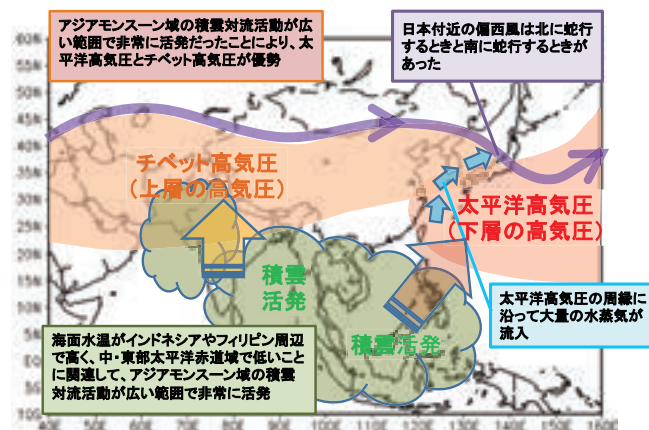
この結果、西日本を中心に全国的に暑夏となり、また、高気圧に覆われやすかった東・西日本太平洋側と沖縄・奄美は少雨となりました。一方、東北地方や日本海側の地域では西に強く張り出した太平洋高気圧の周縁を吹く暖かく湿った空気が流れ込みやすくなり、このことが大雨の要因になったと考えられます。さらに、偏西風の蛇行に伴って上空に寒気が流入する 때가 あり、そのため大気の状態が不安定になったことも大雨を降りやすくとみられます。

アメダス地点で 1 時間降水量が 80 ミリ以上となった夏(6～8 月)の観測回数の経年変化



昭和 51 年(1976 年)～平成 25 年(2013 年)の経年変化。期間を通して均質な統計値を得るために、正時に観測された 1 時間降水量を対象とし、1,000 地点あたりの観測回数を用いた。棒グラフ(緑)は各年の値、折れ線(青)は 5 年移動平均値、直線(赤)は期間にわたる変化傾向を示す。

平成 25 年(2013 年) 7～8 月の日本の極端な天候をもたらした要因(概念図)

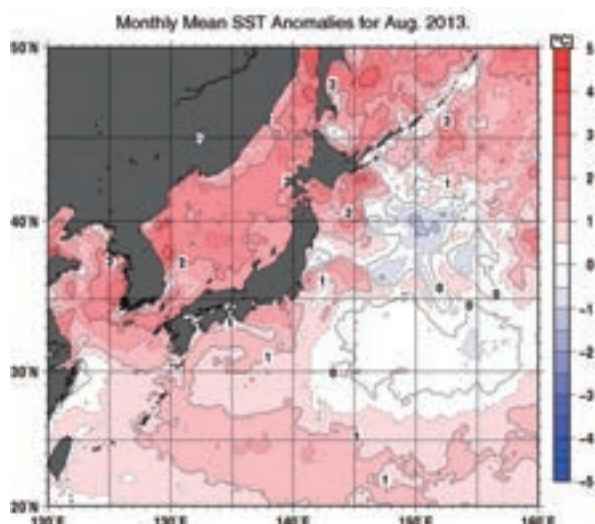


異常気象分析検討会の分析結果(異常気象分析検討会については 76 ページを参照)

太平洋高気圧の西への張り出しが強かったことに関連し、8月の日本近海の海面水温は平年よりかなり高くなりました。特に、四国・東海沖や東シナ海北部では8月の平均値としては昭和60年(1985年)以降の統計で最も高くなりました。これは、高気圧に覆われて日射量が平年より多くなったことに加えて、四国・東海沖では風が平年より弱く、大気への蒸発や下層の冷たい海水との混合が平年より少なかったこと、東シナ海北部では海面に接する大気が顕著に暖かく湿っていたために大気への蒸発による熱の放出が平年より少なかったことが要因と考えられます。

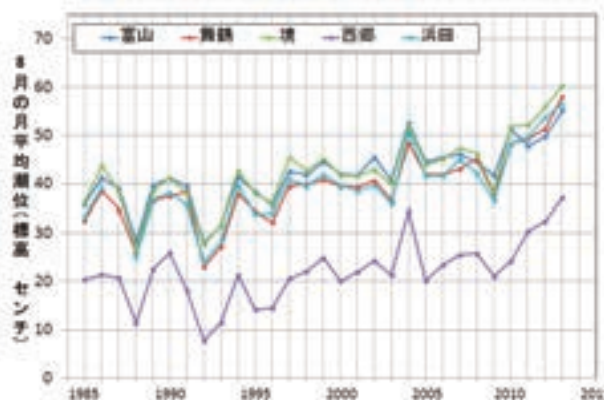
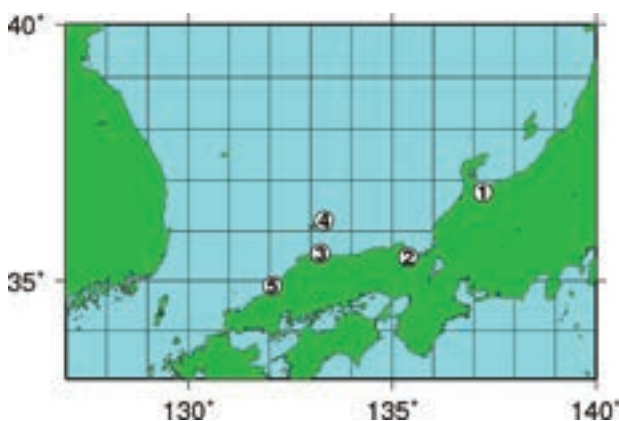
また、山陰から北陸地方の日本海沿岸では、8月中旬以降、潮位が平常と比べて15センチメートル程度高くなる状態が続く「異常潮位」が発生しました。これに伴って、気象庁の潮位観測地点のうち、富山、舞鶴、境、西郷及び浜田では8月の月平均潮位が観測を開始して以降で最も高くなりました。これは、対馬暖流や暖水渦が沿岸近くにあったことや、太平洋高気圧の周縁を吹く南西風が日本海側で卓越し、海面付近の暖かい海水が沿岸側に寄せられたことにより、沿岸付近の海洋内部の水温が高くなって海水が熱膨張したことが一因と考えられます。なお、海面付近の海水は風との摩擦及び地球の自転の効果で風向きに対して右に運ばれることから、南西風は海水を南東方向に移動させる効果があります。

平成25年(2013年)8月の日本近海の海面水温平年差



海面水温の平年値(昭和56年~平成22年(1981~2010年)の30年間の平均値)からの差を示しています。平年差は、図の右にある0.5℃毎のスケールと同じ色で色分けされています。内湾域等は、薄い灰色で示しています。

平成25年(2013年)8月の月平均潮位が最高となった潮位観測地点



地点名	2013年8月の月平均潮位 (標高 単位:センチ)	これまでの最高と その年月	所在地	統計期間
①富山	55.2	52.4 (2010年9月)	富山県富山市草島	1969年~
②舞鶴	58.0	51.4 (2012年8月)	京都府舞鶴市浜	1968年~
③境	60.3	56.0 (2012年8月)	鳥取県境港市境港	1957年~
④西郷	37.1	34.8 (2004年8月)	島根県隠岐郡隠岐の島町港町	1965年~
⑤浜田	56.4	53.1 (2012年8月)	島根県浜田市大辻町	1894年~

地点名の白抜き数字は左上の地図上の白抜き数字に対応している。右上の図は、昭和60年(1985年)以降の8月の時系列。

コラム

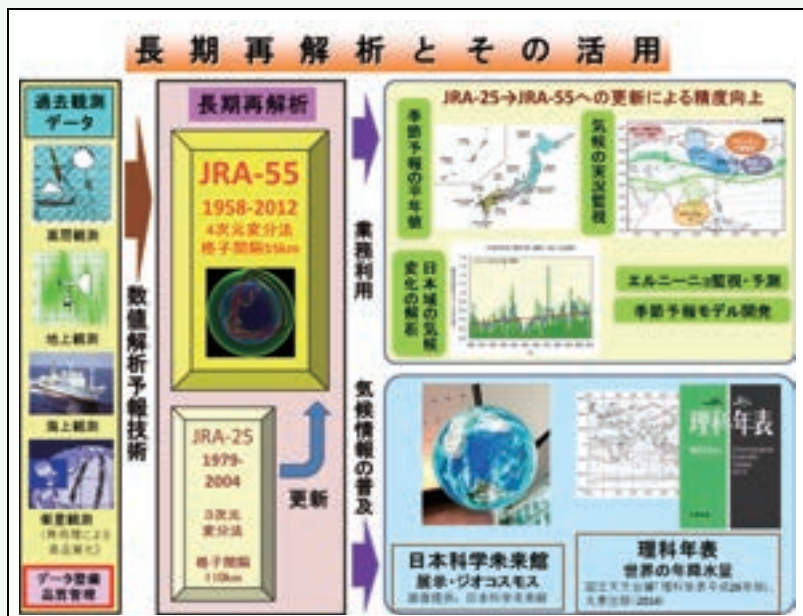
長期再解析 JRA-55 の完成

過去の気候を再現したデータセットである長期再解析は、気候系の監視及び異常気象分析検討会での基礎資料、季節予報のための平年値、過去再予報を利用した数値予報モデルの開発、エルニーニョ監視・予測、海況解析やオゾンの解析など、気象庁内の幅広い業務に活用されています。また、気候情報の一般への普及をはかるため、理科年表への世界の年降水量分布図の提供や、日本科学未来館のジオコスモス等の展示へのデータ提供等を行っています。これらの業務や普及には、これまで（一財）電力中央研究所と共同で実施し、平成17年度に完成した長期再解析（JRA-25）を用いてきましたが、よりきめ細かく高精度で対象期間の長い長期再解析がさまざまな業務の高度化に必要であることから、学識経験者の助言のもと、平成25年（2013年）3月に気象庁55年長期再解析（JRA-55）を完成させました。

JRA-55は、平成21年（2009年）12月時点の数値解析予報技術と品質管理された過去の観測データを用いて、昭和33年～平成24年（1958年～2012年）の気候を均質かつ高精度に再現した長期再解析です。JRA-25〔対象期間は昭和54年～平成16年（1979年～2004年）〕と比較して、より長い期間の気候変化の解析が可能となっただけでなく、古い観測データの品質管理や衛星観測データのシステム変更に起因する誤差の軽減技術導入や、気象庁気象衛星センター、（独）宇宙航空研究開発機構及び欧州気象衛星開発機構をはじめとする、各機関で再処理された衛星データを利用したことにより、大幅に品質が向上しました。気象庁では、これまでJRA-25を使ってきた各種業務に加え、日本周辺の気候変動の解析や高潮事例の調査など様々な業務にもJRA-55を活用し、気候情報をはじめとする各種情報の高度化や、季節予報の精度向上を通じた気候リスク管理の普及を進めていきます。

平成25年10月には、大学等の研究者へのJRA-55データの公開を開始しました。50年以上の高品質の気候データとして海外の数値予報センターや内外の研究コミュニティからの期待も大きく、JRA-25以上に研究での活用が進み、気象庁の技術開発等への更なる還元が期待されます。また、風力発電や太陽光発電といった、再生可能エネルギー発電施設の立地選定等での活用も期待されています。

長期再解析とその活用



コラム

④ 沖縄島北部で見られたサンゴの白化



一般財団法人 沖縄美ら島財団
総合研究センター 研究第一課・水族館事業部
魚類チーム主任 山本 広美
(本人提供)

沖縄美ら島財団では、沖縄島北部に位置する沖縄美ら海水族館の前のサンゴ礁で、1988年から25年にわたりサンゴ群集のモニタリングを行っています。2013年8月に、調査地の浅い水深帯で大規模なサンゴの白化が観察されました。他にも沖縄島各地、久米島、宮古島、石垣島のサンゴ礁で次々と白化が報告され、サンゴ礁生態系への影響が心配されました。

サンゴの白化とは、サンゴという動物の中にすむ単細胞藻類（褐虫藻）が失われ、透明になったサンゴの軟組織を通して白い骨が透けて見える状態のことです。白化が起こる原因は高・低水温、強光などの環境ストレスです。ストレスがなくなれば体内の褐虫藻が再び増えサンゴは回復しますが、サンゴは体内の褐虫藻が光合成で作った栄養に頼って生きているので、白化が長く続くと衰弱し、死んでしまいます。

気象庁の発表によると、8月9日以降の沖縄周辺海域の海面水温は31℃以上を記録しました。昨年のサンゴの白化はこの高水温が原因ではないかとの見解が多いようです。私たちの調査地では白化は長く続かず、追跡調査によって白化の状況や経過を詳しく調べたところ、海水温が低下した10月以降にほとんどのサンゴの回復が見られました。

“サンゴの白化”という言葉が広く知られるようになったのは、大規模な白化現象が起こった1998年からです。この時、今までにないサンゴの大量死が世界各地で報告されました。エルニーニョ現象に伴って、各地のサンゴ礁域が夏季に高水温となったことが原因だと言われています。1998年から15年が経過した今も、沖縄のサンゴ群集は白化前の状態には回復していないのが現状です。

1998年に比べると被害は大きくないものの、サンゴの白化現象は2001、2003、2007年にも報告され、白化が起こる頻度が高くなっています。地球の気候が温暖化傾向にある現在、サンゴ礁で何が起きているのかを継続して調査し、速やかに情報を公開することがますます必要になってくるでしょう。沖縄美ら島財団では、今回の白化を広く知らせるために、調査地点の情報や状況写真とともにホームページに掲載しています (<http://okichura.jp/sango/index.html>)。

さらに重要なことは、専門機関との連携です。生物データだけでなく、詳細な海洋環境データを合わせて状況を把握し、その原因を解明することが環境保全へのアクションへと繋がります。今後も、2013年10月に発足した沖縄気象台の地球環境・海洋課と協力し、沖縄の海で何が起きているのかを広く発信していきたいと思えます。

沖縄県本部町備瀬の礁池で観察された、
白化したチヂミウスコモンサンゴ(2013年8月)



(撮影) 山本広美

3 気候変動の見通しと対応

(1) IPCC 第5次評価報告書第1作業部会報告書

～気候変動に関する最新の自然科学的知見の公表～

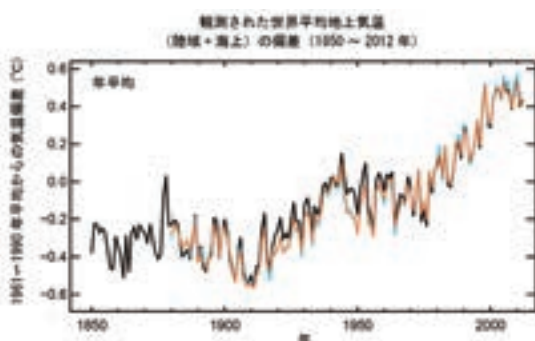
平成25年(2013年)9月23日～26日、スウェーデン・ストックホルムにおいて、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第36回総会及び第1作業部会第12回会合が開催され、IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書(自然科学的根拠)の政策決定者向け要約が承認されるとともに、報告書本体が受諾されました。

IPCCは、人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的に、昭和63年(1988年)に世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)により設立された国連の組織です。第1作業部会では、気候システム及び気候変動の自然科学的根拠についての評価を行い、気象庁は第1作業部会の担当省庁として、報告書の原稿執筆や最終取りまとめにおいて積極的な貢献を行ってきました。また、本報告書には気象庁が実施してきた地球環境の観測・解析結果や地球温暖化の予測結果の論文も多く採用されました。今後、本報告書は「気候変動に関する国際連合枠組条約」をはじめとする、地球温暖化対策のための様々な議論に科学的根拠を与える重要な資料として利用されます。

本報告書には、世界平均地上気温及び深層を含む海水温の上昇、海面水位上昇、雪氷の融解等の状況から、気候システムに温暖化が起きていることに疑いの余地がないこと、人為起源の温室効果ガスの増加など人間活動による影響が20世紀半ば以降の温暖化の支配的な原因である可能性が95%以上であることなどがまとめられました。また将来については、21世紀末(2081年から2100年)における平均気温の上昇量は、1986年から2005年までに比べ、緩和型の低位安定化シナリオでは約1.0℃(可能性が高い予測幅:0.3℃～1.7℃)である一方、非常に高い温室効果ガス排出量となる高位参照シナリオでは約3.7℃(同:2.6℃～4.8℃)と予測しています。

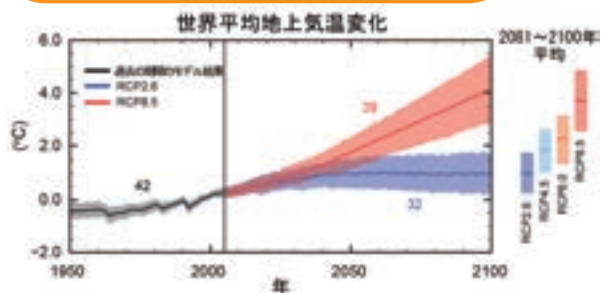
気象庁ホームページでは、IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約の日本語訳を掲載しています。<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/index.html>

世界平均地上気温の観測値の変化



1850年から2012年までに観測された陸域と海上とを合わせた世界平均地上気温の、1961～1990年平均からの偏差。線の色はそれぞれ異なるデータセットを示す。

温室効果ガスの排出シナリオによる21世紀末までの世界平均地上気温予測



1986～2005年平均を基準とした世界平均地上気温変化の予測。図の右側に温室効果ガス等の濃度シナリオごとの上昇量(予測の平均値と幅)を示す。RCP2.6:非常に低い強制力レベルにつながる緩和型の低位安定化シナリオ、RCP4.5:中位安定化シナリオ、RCP6.0:高位安定化シナリオ、RCP8.5:非常に高い温室効果ガス排出量となる高位参照シナリオ。図中の数字は、平均算出に用いたモデルの数を示す。

(2) 日本海海洋気象センターの設立

平成 25 年 10 月 1 日、舞鶴海洋気象台は 66 年余りの歴史に幕を閉じ、地球環境・海洋部海洋気象課の組織として日本海海洋気象センターが京都府舞鶴市に新設されました。これまで海洋気象台で実施していた海洋気象業務は管区・沖縄気象台に移管され、予報業務や気候業務等との連携を深めることにより、気象防災や海洋気象の機能強化が図られます。一方で、日本海は閉鎖的な特殊な海洋であり、一括継続的に調査を行っていくことが重要であるため、日本海海洋気象センターでは、主に日本海の海洋気象業務に関する調査及び技術開発を行っています。

日本海南部の表層には、黒潮水を主な起源とし、対馬海峡を通過して流入する暖かい水が広がっています。その大部分は津軽海峡を通過して太平洋に、一部は宗谷海峡を通過してオホーツク海に流出します。この暖かい水の流れを対馬暖流と呼んでいます。冬季には、シベリアや中国大陸から、乾いた非常に冷たい北西の季節風が吹きますが、この風が日本海の上空を吹く間に海面から熱や水蒸気の補給を受けて暖かく湿った風へと変わり、雪雲が作られます。この雪雲が日本列島の脊梁山脈にぶつかり日本海側の山沿いの地方に多量の降雪をもたらします。もし、日本海がすべて陸地であったならば、冬季の日本海側の地方はもっと寒く、乾燥した気候になっていると考えられます。

このように日本海は我が国の気候に大きな影響を与えていますが、地球温暖化や、周期的な自然変動による影響などにより海面水温が上昇していることが気象庁の解析により明らかになっています。その大きさは日本海中部では 100 年あたり 1.72℃、日本海南西部では 1.26℃と見積もられていて、太平洋側も含めて日本の近海で平均した 1.08℃や世界全体の海で平均した 0.51℃より大きな値になっています。また、気象庁の海洋気象観測船によって 1960 年代より継続されている観測結果から、日本海の深層においても水温が上昇するとともに、海水に溶けている酸素の量が減少していることが分かってきました。

日本海海洋気象センターは、日本海の海面水温や対馬暖流、深層水等の変化を監視するとともに関連する海洋気象情報を発表しています。また、数値モデルの開発や検証、高潮・高波等の顕著現象のメカニズム解明に向けた調査研究を行うことによって気象庁が発表する防災情報の改善に寄与して参ります。

日本海海洋気象センターの業務概要

日本海海洋気象センターは防災情報の高度化を目指します。

日本海の顕著現象・災害事例の調査



高潮災害

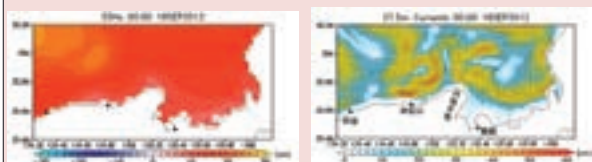
(2012年9月18日京都府舞鶴市)



高波災害

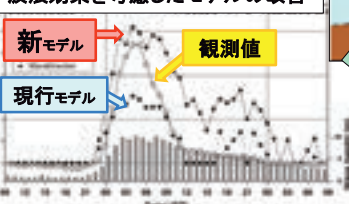
(2008年2月24日富山県入善町)

モデルの高度化



海水温・海流の予測システムを高解像度化し高潮情報の高精度化を目指します。

波浪効果を考慮したモデルの改善



波浪効果による潮位上昇(右上図)を考慮した高潮モデルの高度化。



迅速な避難行動・準備

4 極端気象に関する最新の研究

近年、気象災害がテレビ・新聞等の報道で多く取り上げられています。特に平成 25 年(2013 年)は、大雨、台風、竜巻等の激しい突風による災害が多く発生しました。このような気象災害につながるまれな現象を極端気象といいます。気象庁は、気象研究所を中心に極端気象に関わる様々な研究を行なっています。

その 1 つが平成 22 年度から気象庁及び気象研究所が防災科学技術研究所、東洋大学などと共に取り組んでいる「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」(TOMACS) です。TOMACS は、極端気象の発生機構を明らかにして早期に検知・予測する手法を開発し、防災・減災への実用化に向けた社会実験を行うことを目的とした研究です。局地的大雨や竜巻等の激しい現象をもたらす積乱雲を対象に、前例のない非常に密な観測や予測実験等を行なっており、極端気象の発生・発達メカニズムの解明や予測技術の改善につながる最先端の研究として国内外から注目されています。

本研究は平成 25 年に国連の専門機関である世界気象機関(WMO)の世界天気研究計画が認証する国際的なプロジェクトとなり、平成 25 年 12 月 4 日から 5 日にかけて、国際ワークショップを防災科学技術研究所との共催で気象研究所において開催しました。このワークショップには、観測技術、ナウキャスト、数値予報モデル等を専門としている国内外の研究者が多く参加し、極端気象に関する最先端の研究成果や技術情報が共有されました。これらは TOMACS にとどまらず、広く極端気象に関連した研究に反映されることが期待されます。

また、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」の能力を防災・減災のために用いる文部科学省の補助金事業「HPCI 戦略プロ

ラム分野 3 防災・減災に資する地球変動予測」の研究開発課題においても、気象研究所は海洋研究開発機構等と共同で集中豪雨や竜巻等の現象を高精度に予測するための研究にも取り組んでいます。

その研究の一環として、平成 24 年 7 月九州北部豪雨の予測実験を行ないました。この実験では、毎日の天気予報で使用しているものと同じ数値予報モデルを用いしましたが、数値予報を行なう上で重要な要素の 1 つである初期値(計算を開始する際の気象の状態)を作成する手法を変えました。その結果、熊本県から大分県にかけての大雨の予測が大きく改善されました。また、初期値を微小に変化させたものを多数作成して、それぞれ数値予報を行なうことで、強い雨が降る確率を定量的に求めた場合についての検証も行われています。

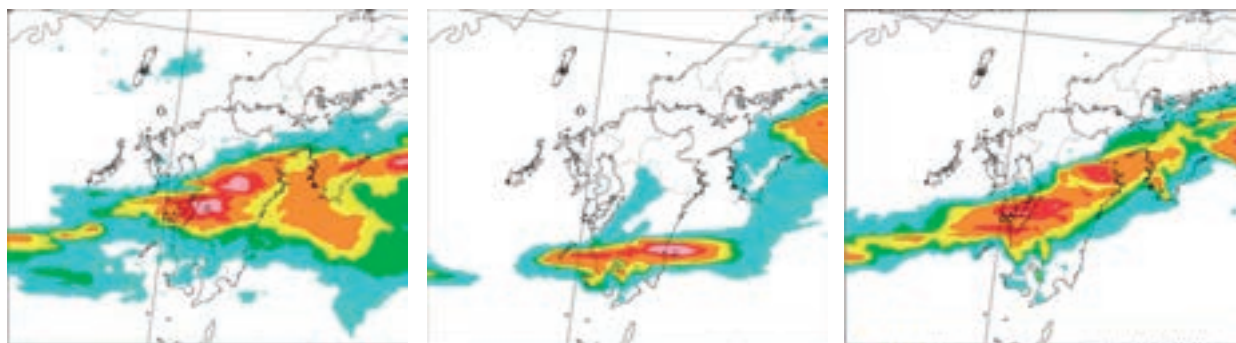
国際ワークショップの様子と参加者



左上及び右上写真：気象研究所の研究者による発表シーン。
下写真：参加者。

ここで示した結果は、「京」の大きな計算能力を用いた研究によるもので、直ちに実用化できる訳ではありませんが、将来的な集中豪雨の予測の改善につながる事が期待されます。今後、手法をさらに改良するとともに他の豪雨事例についても研究を続け、予測手法の信頼性などを調べる予定です。

大雨予測の実験結果



(左図) 平成 24 年 7 月 12 日 6 時から 9 時の観測雨量（レーダー解析による雨量）。
 (中図) 左図に対応する時間での当時の 15 時間前の予測雨量。
 (右図) 左図に対応する時間での今回の実験による 15 時間前の予測雨量。

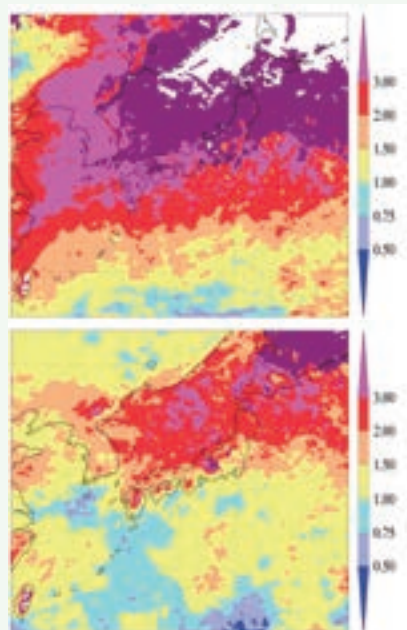
コラム

地球温暖化による強い竜巻発生の将来変化

地球温暖化に伴い、日本では21世紀末の春から秋にかけて、強い竜巻が2～3倍発生しやすくなる、との計算結果が出ました。計算には、平成19年に気候変動に関する政府間パネル (IPCC) から発表された気温上昇予測の複数のモデル結果を用いて、そのモデルで予想された海面水温の上昇や二酸化炭素が倍増するという条件を用いました。強い竜巻とは、竜巻の強さを分類した藤田スケールでF2以上の竜巻です。

理由は、地球温暖化で海面水温が上昇し、それに伴い大気下層の温度も上昇して下層の水蒸気量が増え、積乱雲が現在より発達しやすくなると考えられるためです。

温暖化が進行したときの竜巻が発生する可能性の増加割合



上図:3月～5月 下図:6月～8月
 現在と21世紀末の、竜巻の発生に好適な環境の出現頻度の比。

5 気象観測体制の強化

(1) 次期静止気象衛星「ひまわり8号・9号」

気象庁は、現行の静止気象衛星「ひまわり7号」の後継機として、「ひまわり8号」を平成26年度に打ち上げ、平成27年夏季から運用を開始する予定です。また、「ひまわり9号」を平成28年度に打ち上げて、平成29年度には2機体制での運用を開始する予定です。

製造・試験中の「ひまわり8号」



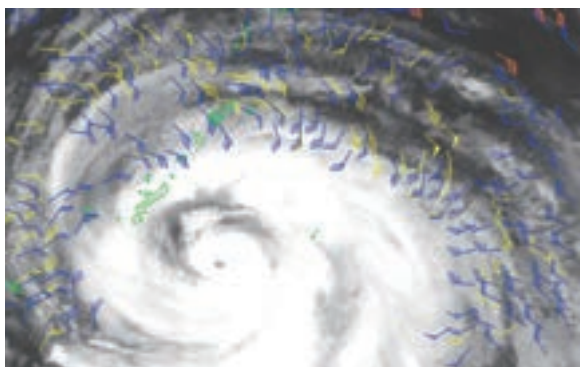
「ひまわり8号・9号」の完成予想図



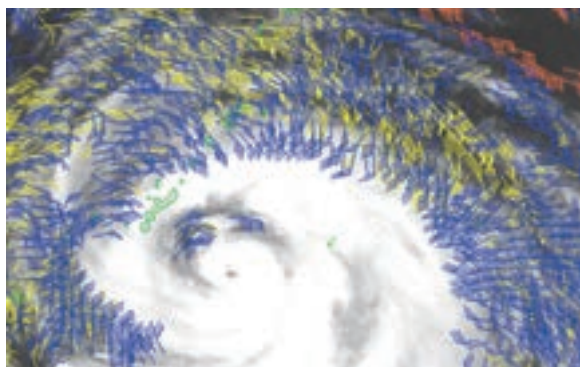
現在の「ひまわり」では30分ごとに観測を行いますが、次期衛星では10分ごとに東アジア・西太平洋地域の全範囲を観測し、それと並行して日本域や台風付近などの領域を2.5分ごとに観測します。また、画像の解像度も2倍に向上し、画像の種類も現行の5種類から16種類へ大幅に増加します。これにより、台風や大雨をもたらす積乱雲の状況を、より詳細かつ早期に捉えることができます。

例えば、連続で観測した画像から雲や水蒸気の動きを捉えて、上空の風の分布を算出することができますが、短い時間間隔で観測した画像を利用することで、よりきめ細かく精度よく風を算出する技術を開発しています。下に示す左図は現行衛星の通常の観測データ、右図は現行の待機衛星「ひまわり6号」により特別に5分ごとに観測したデータから算出した台風付近の風の分布です。右図の方が、きめ細かい風の分布が得られていることが分かります。こうした新たなデータは、台風の進路予測などの精度向上に役立つと期待されています。

通常の観測データから算出した
台風付近の風の分布



5分ごとに観測したデータから算出した
台風付近の風の分布



黄色の矢羽根：雲の動きから算出した対流圏上・中層の風。オレンジ色の矢羽根：雲の動きから算出した対流圏下層の風。
青色の矢羽根：水蒸気の動きから算出した対流圏上層の風。

(2) 上空の風を観測するウィンドプロファイラの更新整備

気象庁は、上空の風向・風速を測定する観測装置であるウィンドプロファイラを全国 33 か所に設置し運用しています。平成 25 年度に機能向上及び老朽化対策として平成 23 年度に整備した 2 か所（仙台・若松）を除く 31 か所の装置を更新しました。

平成 25 年度に更新した装置は、電波の送信電力が大きくなり、より上空の風を観測することが可能になりました（下図「ウィンドプロファイラの観測例」参照）。

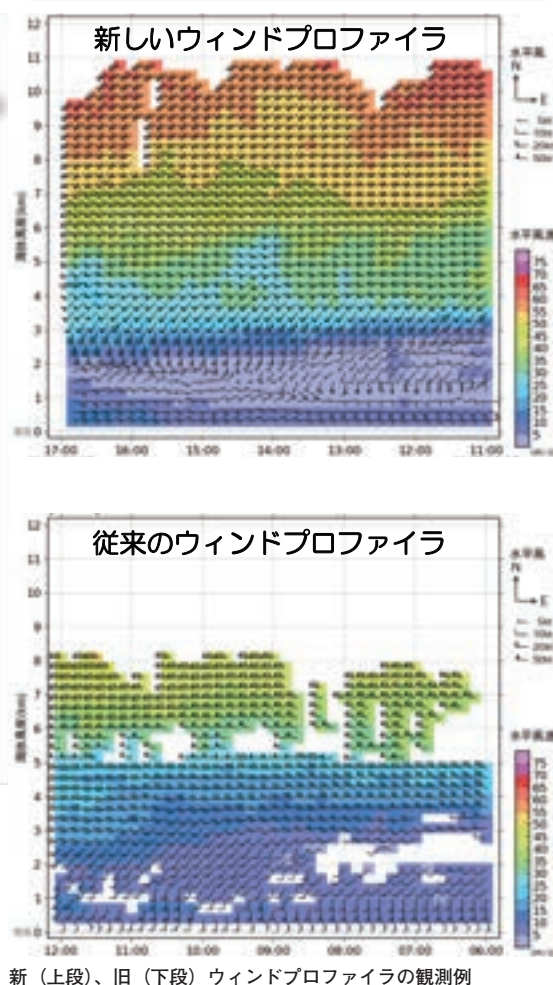
ウィンドプロファイラで得られる観測データは、数値予報に利用され、局地的大雨や突風等の解析や予測に必要不可欠なものとなっています。また、台風や前線に伴う強風などの監視にも役立てられています。全国 33 か所のウィンドプロファイラでより上空の風を連続的に観測することで、豪雨や豪雪などの局地的な気象災害の要因である「湿った空気（湿度が高い空気）の流れ」を捉え、数時間先の大雨の予測の精度向上に大きく寄与するものと期待されます。

また、鉛直方向に風が大きく変化している所では乱気流が発生する可能性があるため、上空の風に関する情報を航空関係者に提供しています。観測能力が向上したウィンドプロファイラから得られる観測データの重要性は、ますます高まっています。

ウィンドプロファイラ観測網



ウィンドプロファイラの観測例



6 火山災害対策のいま

(1) 富士山の火山防災対策の動き

ア. 富士山火山防災対策協議会の設立

富士山は宝永4年(1707年)に大噴火し、大量の火山灰により家屋の倒壊や農地が耕作不能となるほか、江戸(東京)をはじめ関東の広範囲に降り、長期にわたって土石流が続くなど、大きな被害をもたらしました。

その後約300年間、噴火は発生していませんが、平成12年(2000年)から平成13年(2001年)に山体直下の深部で低周波地震が多発する活動があったことで、富士山が改めて活火山であると認識され、富士山の噴火に備えた火山防災対策の検討が始まりました。平成16年(2004年)に国等防災機関が「富士山火山防災マップ」を作成し、平成18年(2006年)に中央防災会議で「富士山火山広域防災対策基本方針」が公表され、防災対策の基本的な方針がまとめられました。また、平成19年(2007年)に気象庁は段階的な防災行動に対応する噴火警戒レベルの運用を開始しました。

このような検討の進展を踏まえて、山梨県、静岡県及び神奈川県の上三県では、富士山の噴火で広域的な住民避難が必要になることから、平成24年(2012年)6月に三県、国及び関係市町村等で構成する「富士山火山防災対策協議会」(以下、協議会)を設置し、具体的な避難計画等の検討を開始しました。

イ. 協議会の事業計画

協議会では、「計画」、「訓練」、「啓発」の3つの事業を行うこととしています。「計画」では、「富士山火山広域防災対策基本方針」を基に、降灰や小さな噴石、融雪型火山泥流などの新たな知見を加えた、避難等の基本的な考え方を広域避難計画にとりまとめ、平成26年(2014年)2月に公表しました。具体的な対策は、今後検討が行われます。また、国・地元防災関係機関による現地での合同会議の運営についても検討されています。「訓練」を、広域避難計画の実効性を検証するために行うこととしています。平成26年(2014年)10月には三県、協議会構成機関及び地元住民による合同訓練が予定されています。「啓発」では、三県の自治体職員を対象とした火山災害に関する専門的な研修を行うことなどを検討しています。

富士山火山防災対策協議会(平成24年6月8日)



溶岩流等の影響想定範囲と避難対象エリア



(提供) 富士山火山防災対策協議会

ウ. 広域避難計画の概要

広域避難計画は、「富士山火山広域防災対策基本方針」を基に、噴火発生が予想される場合は、「第1次・第2次避難対象エリア」を「警戒が必要な範囲」として、噴火警戒レベル3（入山規制）

又は、4（避難準備）を発表し、このエリアの住民等は避難準備等の防災対応を行います。噴火が発生した場合は「第3次避難対象エリア」までを「警戒が必要な範囲」として、噴火警戒レベル5（避難）が発表され、第1次から第3次までの避難対象エリアの住民等は避難することになります。特に溶岩流では、噴火口の位置が確認され、溶岩流の流域を特定出来る場合には、山肌の起伏から「第1次～第3次避難対象エリア」を溶岩流の流域を17に区分した「ライン」を特定し、溶岩流の状況に応じて、段階的に避難対象地域を拡大することになります。

段階的な避難対象範囲	避難対象範囲の説明
①第1次避難対象エリア	想定火口範囲（噴火により火口の発生が想定される範囲）
②第2次避難対象エリア	火砕流、大きな噴石、溶岩流の影響が直ちにおよぶ範囲
③第3次避難対象エリア	溶岩流が24時間以内に達すると想定される範囲

エ. 他火山の火山防災の取り組みへの波及効果

富士山の広域避難計画は、静岡・山梨・神奈川三県の広範囲に渡る大勢の住民を対象とするもので、世界に類を見ない壮大なものとなります。富士山の避難計画をモデルとして、各火山でも大規模な噴火の備えとして具体的な避難計画策定へ向けた取り組みの進捗が期待されます。

コラム

☑「火山防災協議会等連絡・連携会議」第2回目を鹿児島市で開催

火山防災関係府省庁（内閣府、消防庁、国土交通省砂防部、気象庁）は、各地域における火山防災対策などについて、意見交換等を通じて共有することにより、火山防災協議会の設置の促進や活性化を図ることを目的に、火山防災協議会等連絡・連携会議（以下、連絡・連携会議）を定期的で開催しています。第1回目は、平成24年12月19日に気象庁（東京）において開催しました。

2回目の連絡・連携会議は、平成25年8月26日に鹿児島市で開催し62機関、104名が参加しました。

桜島は、大正3年（1914年）の大噴火から、平成25年（2014年）1月で100周年を迎えることや、最近でも年間に800回を超える爆発的噴火を繰り返していることなどから、桜島の地元である鹿児島市で、火山防災について意見交換を行うこととしたものです。会議では、地元火山の桜島、霧島山（新燃岳）の防災対策の取り組みの紹介が行われたほか、参加者全員によるグループ討論（10班に班分け）を行い、関係機関との連携、具体的で実践的な避難計画の策定、降灰対策について議論を行いました。本会議終了後、桜島現地見学会を実施し、桜島の火山の施設見学が行われました。

連絡・連携会議会場



降灰除去対策（ロードスウィーパー）



コラム

富士山が噴火したときの火山灰はどこへ？

気象庁では、火山灰による被害を防止・軽減するため、平成20年3月から、広範囲に降灰の影響があると推定される火山噴火が発生した場合に降灰予報を発表しています。また、内閣府の広域的な火山防災対策に係る検討会は、平成25年5月に大規模火山災害対策への提言をしました。

気象研究所では、宝永噴火と呼ばれる宝永4年(1707年)に富士山で発生した大規模噴火と同じ規模の噴火が発生したときの降灰分布をシミュレートしました。

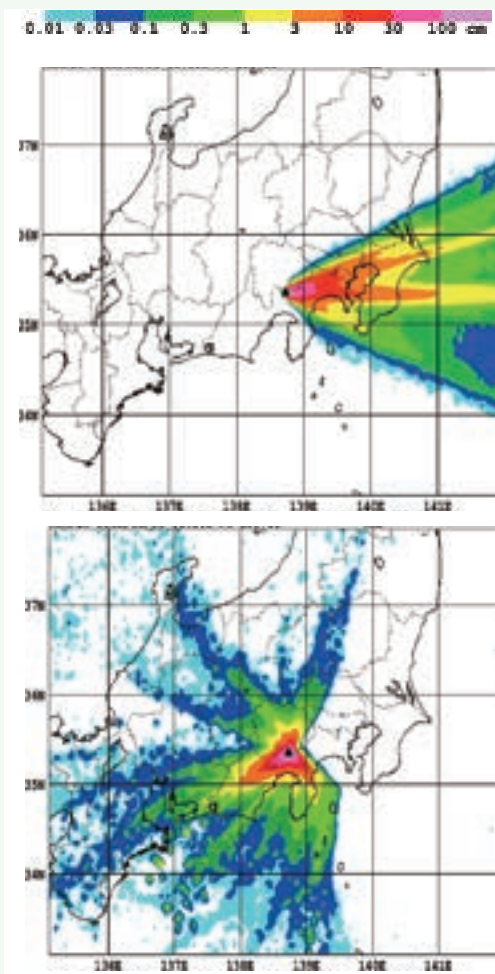
冬は上空を流れる偏西風の影響を強く受けるため、他の季節と比べて短時間で火山灰が関東地方へ到達し、富士山の東側にあたる静岡県東部、神奈川県を中心に大量の火山灰が積もる予測結果となりました。この結果は、冬に発生した宝永噴火当時の降灰分布と似ています。

一方、夏は上空を流れる偏西風が弱まり、さらに台風などの季節特有の現象の影響で、降灰は冬場とは反対の方向に広く拡散される結果となりました。

これらは一つの例であり、噴火時の風向風速によって降灰の分布が大きく変わるため、そのときの風向風速を考慮して降灰予報を発表する必要があります。

このような降灰シミュレーションの結果は、火山防災計画の検討に活用され、住民の避難行動を助けることへの貢献が期待されています。

富士山の宝永噴火を想定した降灰予測の一例



予測分布図の一例。
上図は冬期。下図は夏期。
ただし、風向風速により降灰分布は大きく異なる。

(2) 降灰予報の高度化

ア. 降灰予報とその改善

火山の噴火による降灰は広い地域に様々な被害や影響を及ぼします。気象庁では、これら降灰による被害を防止・軽減するため、平成 20 年(2008 年) 3 月から降灰予報を発表しています。

現在の降灰予報は、6 時間先までの降灰予想範囲を提供するもので、降灰量の情報は含まれていません。火山の噴火による降灰の被害については、建物倒壊、交通障害、ライフラインや農林・水産業への被害、呼吸器系疾患など多岐にわたり、被害の程度も分野ごと降灰量ごとに異なることが知られています。このため、降灰量の予報は防災上、必要なものになっています。

近年、気象庁気象研究所による降灰の量的予測の研究が進む等、降灰量の予測に向けた技術的な進展が図られつつあることから、気象庁では降灰予報を高度化し、降灰量の予測を含めた降灰予報(量的降灰予報)の運用に向けて、準備を進めています。

平成 24 年(2012 年)に、浅間山、霧島山及び桜島周辺等の近年降灰を経験している人を対象とした降灰予報のニーズ調査を行い、また、有識者と関係機関から構成される「降灰予報の高度化に向けた検討会」を設置して、降灰予報を防災情報として適切な内容とするため、降灰予報としての方向性について提言をいただきました(「降灰予報の高度化に向けた提言」(<http://www.jma.go.jp/jma/press/1303/29a/teigen.pdf>))。

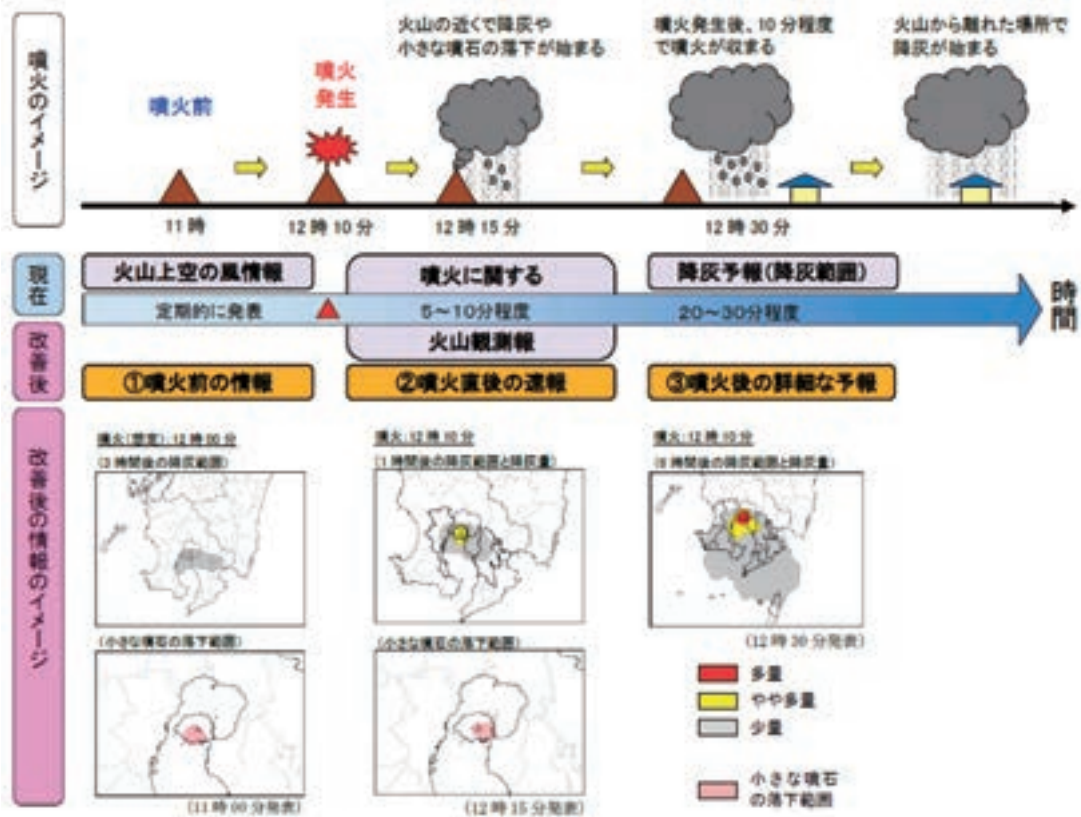
イ. 量的降灰予報

提言をいただいた量的降灰予報の特徴は以下のようなものです。

- ① 降灰予報は、噴火の前後や時間経過に応じて求められる内容が異なることから、噴火のおそれがある火山周辺の住民が計画的な対応行動をとれるようにするための“噴火前の情報”、火山近傍の住民が噴火後すぐに降り始める降灰や小さな噴石に対する対応行動をとれるようにするための“噴火直後の速報”、火山から離れた地域の住民も含め降灰量に応じた適切な対応行動をとれるようにするための“噴火後の詳細な予報”の 3 種類の情報として発表します。
- ② 降灰予報は、降灰量が社会活動に影響があると予想された場合に発表する必要があることから、噴火後の予報は、予想される最大降灰量が基準値を超えた場合に発表し、風に流されて降る小さな噴石の落下範囲の予測も盛り込みます(現在の降灰予報は、降灰量の予測ができないことから、一定以上の噴煙高度が観測された場合に発表しています。)
- ③ 降灰量の状況、その影響、必要な対応行動をわかりやすく住民へ伝えるために降灰量の階級を導入します。

気象庁では、量的降灰予報の発表に必要なシステム整備を行い、平成 26 年度中の運用開始を目指しています。この運用開始に向けて、噴火活動の活発な桜島をモデルケースとして、地元自治体等の協力を得て情報の試験的な提供を行うとともに、情報内容や発表基準等の改善を図っています。

降灰に関する情報の発表の流れのイメージ(現在及び改善後)



- ※ 1: 火山上空の風情報では、桜島など噴火のおそれがある火山について、火山上空の風の予想を発表。
- ※ 2: 噴火に関する火山観測報では、噴火直後(5分程度)に、噴火時刻及び噴煙高度、流向等の情報を発表。

降灰予報で使用する降灰量の階級表

名称	表現例			影響ととるべき行動		その他の影響
	厚さ キーワード	イメージ ^{※1)}		人	道路	
		路面	視界			
多量	1mm以上 【外出を控える】			外出を控える 爆発の噴煙や噴灰層が悪化し、健康な人でも目・鼻・のど・呼吸器などの異常を訴える人が出始める	運転を控える 降ってくる火山灰や積もった火山灰をまきあげて視界不良となり、通行規制や運送制限等の影響が生じる	がいしへの火山灰付着による停電発生や上水道の水質低下及び給水停止のおそれがある
やや多量	0.1mm≦厚さ<1mm 【注意】			マスク等で防護 喘息患者や呼吸器疾患を持つ人は症状悪化のおそれがある	徐行運転する 短時間で積る場合は視界不良の恐れがある。道路の白線が見えなくなるおそれがある(およそ0.1~0.2mmで費用費用は除灰作業を開始)	稲などの農作物が収穫できなくなった ^{※2)} 、鉄道のポイント故障等により運転見合わせのおそれがある
少量	0.1mm未満			窓を閉める 火山灰が衣服や身体に付着する目に入ったときは痛みを伴う	フロントガラスの除灰 火山灰がフロントガラスなどに付着し、視界不良の原因となるおそれがある	航空機の運航不可 ^{※3)}

降灰予報の高度化に向けた提言から引用。
細部は運用開始に向けて適宜見直しを図る。

※1) 掲載写真は気象庁、鹿児島県、(株)南日本新聞社による
※2) 富士山ハザードマップ検討委員会(2004)による想定

7 フィリピンの台風第30号による高潮災害とフィリピン気象局への技術支援

平成25年(2013年)11月4日9時(日本時間)にミクロネシア・チューク諸島の南で発生した台風第30号は、西に進みながら次第に勢力を強め、7日21時にはフィリピンの東の海上で中心気圧が895ヘクトパスカルまで発達しました。8日にはフィリピンを横断して南シナ海へ抜け、同国の各所に甚大な被害をもたらしました。

フィリピンでは、フィリピン大気地球物理天文庁(Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration:PAGASA)が、気象観測・予報や警報などを通じた自然災害の軽減や国民生活の向上などの責務を負っています。一方、気象庁は、世界気象機関(WMO)の枠組みの下で北西太平洋の熱帯低気圧に関する地区特別気象中枢(RSMC)に指名され、PAGASAをはじめとする域内の国家気象機関が行う熱帯低気圧の解析・予報業務を支援するために、台風の解析・予報、気象衛星画像、数値予報資料、高潮予測資料などの即時情報の提供を行ってきています。さらに、台風第30号のフィリピンへの接近に際しては、PAGASAに対して高潮予測の専門家による技術的助言などの臨時対応を行いました。

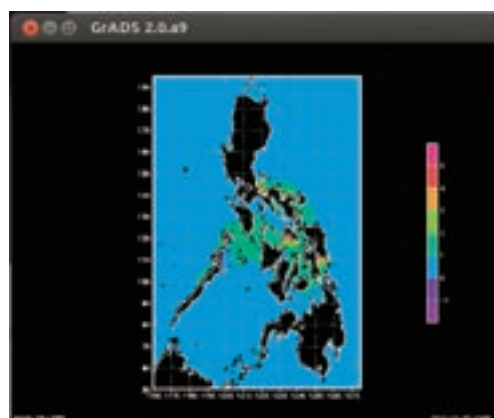
台風の接近などに際して的確な気象警報・情報を発表し、それらが防災活動に有効に活用されるようにするためには、平時から開発途上国等の気象機関の能力向上を図ることが重要です。このため当庁では、国際協力機構(JICA)とともに実施する集団研修「気象業務能力向上」やWMOのRSMCとして毎年実施している予報官研修に、これまでにPAGASAよりあわせて20名近い研修生を受け入れてきたほか、気象庁の高潮予測モデルを提供して必要な訓練を実施するなど、PAGASAの技術力向上を支援してきました。このような技術協力の成果として、今回PAGASAでは気象庁が提供した高潮予測モデルを活用して台風第30号に対する高潮予測を行い、同庁の情報発表に活用されました。それにもかかわらず大きな被害が生じたことから、フィリピンが得た経験と教訓についてWMO等が進める調査に、当庁も専門家の派遣などを通じて協力していきます。

この他に、日本はJICAを通じ、気象レーダー等の無償供与や専門家の派遣等の技術協力プロジェクトをPAGASAに対して実施しており、当庁はこのような支援に専門家の立場から協力しています。気象庁は、PAGASAをはじめとする開発途上国の気象機関に対し、今後とも同様の取り組みを通じてその業務や能力向上を支援し、各国での気象災害の軽減に貢献していきます。

JICA集団研修でレーダー保守管理の実習を行うPAGASA職員



気象庁が供与した高潮予測モデルを利用してPAGASAが作成した高潮予測図



5メートル近くの高潮を事前に予測しています。
(提供) PAGASA

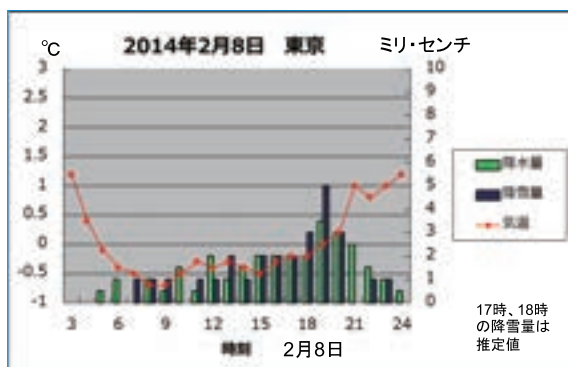
8 雪の予報の難しさについて

平成 26 年 (2014 年) 2 月の関東甲信地方は、8 日から 9 日、14 日から 15 日と短期間の間に 2 回の記録的な大雪となりました。1 回目の大雪では千葉市で 33 センチと観測記録を更新する積雪深となり、2 回目の大雪では甲府市 114 センチ、前橋市 73 センチ、熊谷市 62 センチなど関東甲信地方の各地で観測記録を更新する積雪深となりました。

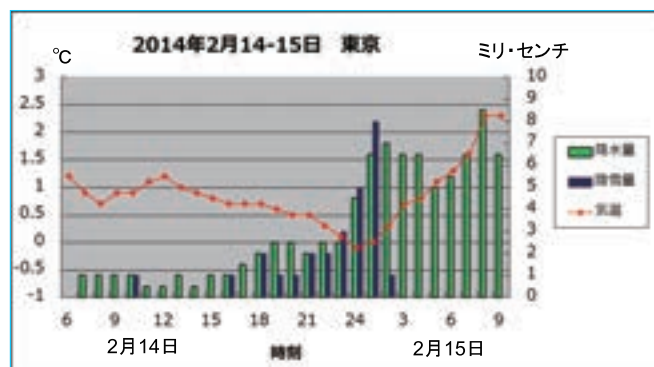
どちらの大雪も「南岸低気圧パターン」とよばれる気象状況によって発生したのですが、「南岸低気圧パターン」では気温のわずかの差により、雨になるか雪になるか、雪となっても積雪が増えるか増えないかが変わるため、雪の予報は難しくなります。

東京 (大手町) では 2 回の大雪で、積雪の深さの最大値がまったく同じ 27 センチとなりましたが、実況経過を見ながら 2 回の大雪の間にどのような違いがあったのか比較してみます。左図は 1 回目の大雪、右図に 2 回目の大雪についての東京 (大手町) の 1 時間降水量、1 時間降雪量、気温のグラフです。ここで、1 時間降水量は雪と雨を併せて雨に換算したら何ミリになるか、1 時間降雪量はその前の 1 時間で積雪深が何センチ増えたかということを意味しているものです。

東京 (大手町) の 1 時間降水量 (ミリ)、1 時間降雪量 (センチ)、気温の時系列 (°C)



2014 年 2 月 8 日



2014 年 2 月 14 日から 15 日

2 月 8 日の雪は気温がほぼ氷点下で降っており、降水量 1 ミリが積雪 1 センチの増加をもたらすような状況となり、総降水量 31 ミリで積雪の深さの最大値が 27 センチとなっています。このときの雪は地面に積もった雪が風に吹かれて舞い上がるような軽い雪となっていました。

一方、2 月 14 日から 15 日の場合は、8 日に比べ気温はやや高い状況で、総降水量 96 ミリで、積雪の深さの最大値が 27 センチとなっています。雪が降った期間は 14 日 5 時過ぎから 15 日 2 時ごろまでで、以降は雨となっています。もともと比較的気温が高いときに降る雪は水分を多く含んでいるため「湿った重い雪」となりやすいことに加え、15 日の関東地方では明け方ごろから雪が雨に変わったため、積もった雪が雨を吸い込みシャーベット状となったことで一段と重さが増加しました。このため、車庫やビニールハウスなどは屋根に水を多く貯めたのと同じ状態になり、重さに耐え切れずに倒壊した被害が多く発生しました。

ところで、雪の予報を行う際に考えなければならない気象条件は、大きくわけて 3 つあります。

1 つ目の条件は、雪のもととなる降水をもたらす雪雲が流れ込んでくるか、あるいは発生するかということです。日本海側では寒気が日本海上空を渡って来る際に、海面から発生する水蒸気を材料に雪雲を発

生させることによって雪が降りますが、その雪雲は山地にさえぎられて太平洋側には流れ込みにくいいため、太平洋側に雪をもたらす雪雲の多くは南の海上を通過する低気圧によってもたらされます。南側の沿岸部を通る低気圧という意味で「南岸低気圧パターン」という表現が用いられています。

2つ目の条件は、地上から上空までの全層で気温が低いかどうかということです。夏場の一時期を除き、上空の雲の中での降水は一般に雪です。この雪が解けずに地上まで届くと雪になり、落下してくる途中に0℃以上の暖かい空気の層があるとそこで解けて雨となります。雪が解ける際に周囲の空気を冷やす効果もありますので、南岸低気圧で雪が降るかどうかという状況においては気温の予想はかなり難しいものがあります。14日の例では気温が1℃程度では積雪はなかなか増えず、0.5℃以下になると積雪が毎時間増えています。少し気温が上がり0.5℃を超えるようになると雪が雨に変わっています。

3つ目の条件は、雪雲からの降水の量が多いか少ないかということです。低気圧の発達、進路やスピードが降水量に影響し、多い場合は大雪となる可能性が高くなりますし、少ないとそうはなりません。

気象庁においては、予報官がこれらの気象条件について、多くの資料を分析して総合的に判断を行っています。大雪が予想される場合には、事前に「大雪に関する気象情報」等の発表を行い、大雪の可能性が高くなってきたときには、大雪注意報、大雪警報の発表を行って皆様に注意や警戒を呼びかけ、さらに状況に応じて気象情報を発表して状況を解説しています。先に説明したように、南岸低気圧に伴う大雪の予想には技術的にいろいろと難しい面がありますが、今後も予報精度を向上させるため取り組みを続けていきます。

平成26年(2014年)2月15日朝の甲府地方気象台の様子



手前が甲府地方気象台の露場（観測施設の設置場所）、その先の建物が甲府地方気象台の庁舎