



平成30年度 気象研究所研究成果発表会

発表要旨集

平成30年11月10日(土) 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ご来場いただき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、科学技術を基盤とする気象庁の技術を支える研究開発を通じて我が国の気象業務の発展に貢献しております。気象研究所では、概ね5年毎の期間を対象とする「気象研究所中期研究計画」（現計画は平成26年度から30年度）を定めており、自然災害の軽減や地球環境問題対応に資する研究として、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。

（中期研究計画 URL <http://www.mri-jma.go.jp/Research/mri-plan.pdf>）

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いただくために、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。より多くの方々にこの発表会に来ていただけるよう、昨年度に引き続き土曜開催とさせていただきます。今回は「気象業務を支える研究の最前線」というテーマで、最新の研究を紹介いたします。

本日の発表会では、まず個別の発表に先立ち、気象研究所の紹介を兼ねて、当所の研究を取り巻く状況、研究の状況等を「1. 気象業務を支える研究の最前線」として、お話させていただきます。

「2. 台風・集中豪雨研究の現状と課題」では、今年災害をもたらした気象事例を中心に3件の研究発表を行います。1件目は、四国・近畿地方を中心に強風と大雨となり、顕著な高潮が発生した平成30年台風第21号について、主に強風及び高潮の特徴と要因について発表します。2件目は、死者行方不明者230名以上と甚大な災害となった平成30年7月豪雨について、その要因の1つである局地的な線状降水帯の形成に関する解析結果を発表します。3件目は、平成30年7月豪雨を事例として取り上げながら、近年の豪雨に対する地球温暖化が及ぼす影響について発表します。

「3. 次世代の火山監視 -気象レーダーで視た桜島・新燃岳噴火-」では、気象レーダーを用いた噴煙の観測事例と、応用に向けた開発の状況について紹介します。本レーダー観測網における観測技術が実用化すれば、曇天時など、遠望カメラによるデータが得られないときにも噴煙の高さが得られるだけでなく、噴煙に含まれる火山灰の量を推定することが可能となり、気象庁の降灰予報の高精度化が期待されます。

「4. 日本を取り巻く海の詳細な把握に向けて -海の「天気予報」の最前線-」では、海の天気予報のしくみと、気象研究所で開発している、新たな沿岸海況予測システムを用いて再現された黒潮大蛇行について紹介します。新システムでは、外洋域の海洋現象のみならず沿岸現象までを予測対象としており、海況情報や沿岸防災情報の高度化に貢献することが期待されます。

なお、気象研究所では、この研究成果発表会以外にも、気象研究所ホームページからの情報発信、施設公開やお天気フェアなど一般の方々への広報活動を行っております。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りますとともに、今後の一層のご支援をお願いいたします。

気象研究所長 隈 健一

プログラム

司会：鈴江 奈々
(日本テレビアナウンサー)

13:30-13:40 開会の挨拶

1. 気象業務を支える研究の最前線 気象研究所長 隈 健一

13:45-14:55 2. 台風・集中豪雨研究の現状と課題

13:45-14:00 ① 平成 30 年台風第 21 号による強風・高潮 (速報)

海洋・地球化学研究部 室長 高野 洋雄

台風研究部 主任研究官 嶋田 宇大

14:05-14:25 ② 平成 30 年 7 月豪雨の局地的な特徴

予報研究部 室長 清野 直子

14:30-14:50 ③ 地球温暖化で変わりつつある日本の豪雨

環境・応用気象研究部 主任研究官 川瀬 宏明

14:55-15:10 休憩

15:10-15:40 3. 次世代の火山監視 -気象レーダーで見た桜島・新燃岳噴火-

火山研究部 主任研究官 佐藤 英一

15:45-16:15 4. 日本を取り巻く海の詳細な把握に向けて -海の「天気予報」の最前線-

海洋・地球化学研究部 主任研究官 碓氷 典久

16:20-16:30 閉会の挨拶

研究総務官 高薮 出

平成30年台風第21号による強風・高潮(速報)

○高野洋雄(海洋・地球化学研究部)、嶋田宇大(台風研究部)

1. はじめに

平成30年台風第21号は、9月4日12時頃に非常に強い勢力(最大風速45m/s、中心気圧950hPa)で徳島県南部に上陸し、日本海へ抜けた台風である。この台風に伴い、四国・近畿地方を中心に強風と大雨となった。また、大阪湾等では記録的な高潮が発生し、関西国際空港等で浸水災害も発生した。気象研究所では、台風の強風と高潮について緊急に状況を調査したので、その概要を紹介する。

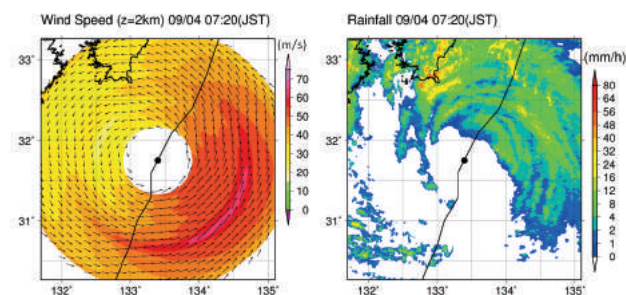
2. 台風第21号による強風と高潮

2. 1. 台風の構造と強風の特徴

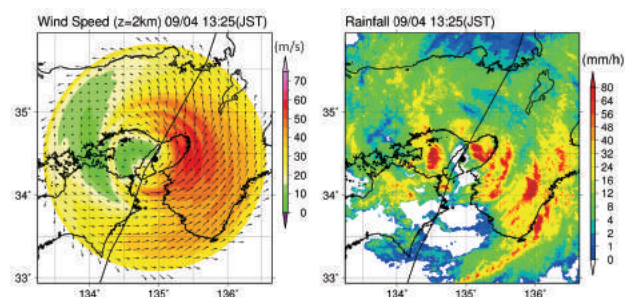
気象庁室戸岬レーダーの観測データを使用し、四国・近畿地方を移動中の台風第21号の降水分布と強風の特徴を調べた。降水分布に関しては、台風特有の構造である「眼の壁雲」のような構造が形成された点が特徴的だった。台風が四国沖にあった頃、降水分布は進行方向前面側に偏在し、眼の壁雲はなかった(第1図右)。一方、台風が四国地方に接近すると、台風中心に近いところで対流が活発化した(第2図右)。特に強い降水域は台風中心から半径30-40km付近にあり(第3図右)、台風が四国沖にあった頃と比較すると(第3図左)、この頃、眼の壁雲のような構造が一時的に形成されたように見えた。眼の壁雲の接近に伴い、各地で50mm/h以上の非常に激しい雨が観測された。

強風に関しては、台風の風速分布が非対称だったことが特徴的だった。台風が四国沖を北上していた頃、高度2kmの最大風速は55-65m/sに達し、進行方向右側の台風中心から半径80-100km付近に最大風速域が分布していた(第1図左)。高度2km付近でも台風を押し動かす環境場の風速が15m/sと比較的大きかったため、このような非対称な風速分布となっていた。台風が高知県に上陸して以降、風速の非対称分布はさらに顕著になった(第2図左)。高度2kmでは、進行方向右側の台風中心から半径40-50km付近で風速が最も大きく、その値は55-60 m/sを維持していた。一方、進行方向左側では、第1図と比べ、風速がさらに減少した。台風の移動速度は台風が四国沖にある時と大きく変化していないため、進行方向左側での風速のさらなる減少は陸地の影響による減衰が考えられる。方位角平均した接線風速の分布によると、最大風速半径は約5時間の間に、眼の壁雲の形成に合わせて、

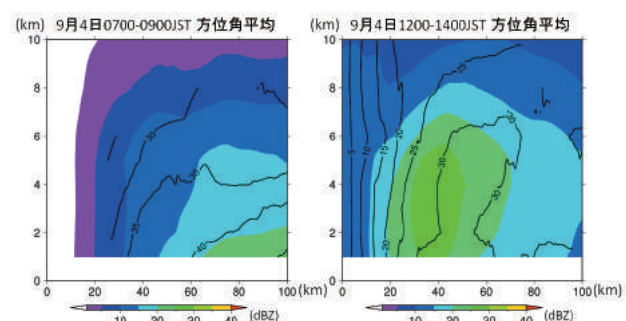
半径100km以遠から半径45-60km付近に位置するよう変化した(第3図)。台風の最大風速域の通過に伴い、台風進路右側に当たる紀伊水道及び大阪湾の沿岸地域で40m/s以上の最大瞬間風速が観測された。



第1図: 9月4日7時20分頃の高度2kmの(左図)風速、(右図)降水の分布。黒線は台風の経路を示す。風速場推定手法の精度的限界のため、風向には不確実性があることに注意が必要。風速の空白域は、ドップラー速度の観測値がないため、風速の推定値がないことを示す。



第2図: 9月4日13時10分頃の高度2kmの(左図)風速、(右図)降水の分布。



第3図: 台風中心を原点とした円筒座標系で方位角方向に平均した、台風接線風速(実線)と反射強度(カラー)の動径・高度分布。(左)9月4日7時から9時までの平均、(右)9月4日12時から14時までの平均。反射強度が大きいほど、強い降水があることを示す。

2. 2. 高潮の概要と特徴

台風第21号は強い南風を伴って北上したことから、大量の海水が近畿地方の海岸に吹き寄せられて各地で大きな高潮が発生、大阪や神戸など6地点の検潮所では、過去最高潮位を超えた。表1に主な検潮所における高潮の観測結果を示す。

表1. 検潮所で観測された最大偏差と最高潮位

観測地点	都道府県	最大偏差 (cm)	時刻	最高潮位 (cm)	時刻
大阪※	大阪	277	14:18	329	14:18
御坊※	和歌山	260	12:48	316	12:48
神戸※	兵庫	181	14:09	233	14:09
阿波由岐※	徳島	152	12:08	203	12:08
室戸岬	高知	150	10:50	194	10:50
淡輪	大阪	124	15:10	179	15:10
洲本	兵庫	124	15:13	174	15:13
小松島	徳島	122	12:16	168	12:16
白浜※	和歌山	107	13:02	164	13:02
串本※	和歌山	102	13:20	173	13:20

※は過去最高潮位を超える値を観測した地点

全地点で最大潮位偏差(高潮)と最高潮位は同じ時刻に観測されており、高潮が直接最高潮位につながったといえる。台風の北上に伴って南の地点から最高潮位(最大偏差)が観測されているが、淡輪(関西国際空港の近く)と洲本の最高潮位は、北の大阪や神戸よりも1時間ほど後に観測されている。台風の北上・通過に伴って単純に高潮が発生しただけではないことが示唆される。

2. 3. 高潮発生の要因について

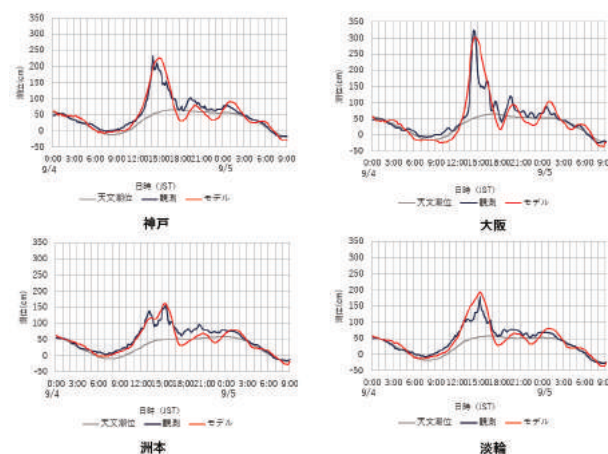
台風第21号の速報解析を用いて高潮モデル(解像度30秒)による再現計算を行った。神戸、大阪、洲本、淡輪の検潮所における潮位の時系列を第4図に示す。4地点とも計算された潮位はピークや変動状況などが総じて観測と一致した。

潮位の変化を見ると、神戸や大阪では潮位が急激に上昇し、潮位の低下後しばらくは、小さな振動がみられる。一方、洲本では明瞭な二つのピークがあり、淡輪でも小さな第1ピークが観測にみられ、最高潮位は後のピークとなっている。

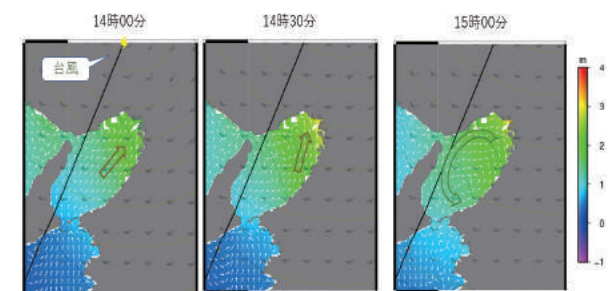
大阪や神戸の高潮は、単一の大きな潮位上昇として最高潮位となったが、洲本や淡輪では、二つの潮位上昇が起きていた。ピークの時刻を考慮すると、洲本と淡輪の第1ピークは、台風の接近・通過に伴って直接作られたもの、第2ピークは、

大阪湾内における海水の運動(副振動)によって作られたものと考えられる。

大阪湾では台風の北上に伴い、北部湾奥では海水が吹き寄せられて大きな高潮となる。風が弱まると海水は南へ戻り、大阪湾内で副振動が発生した(第5図)。洲本や淡輪では、この副振動によって大きな高潮が作られた。



第4図: 検潮所地点における再現結果。神戸、大阪、洲本、淡輪における潮位の推算結果。灰色は天文潮位、青は観測値、赤はモデルによる推算結果を示す。



第5図: 大阪湾における海水の動き。湾奥に吹き寄せられた海水は、大阪や神戸で大きな高潮を発生、風が弱まると南に動き洲本や淡輪で潮位が高くなる。

3. まとめ

9月4日に近畿地方で大きな災害をもたらした台風第21号の強風と高潮について、緊急調査を行った。

記録的な強風が紀伊水道及び大阪湾の沿岸地域で吹いた要因として、台風が非常に強い勢力だったこと、台風を押し動かす下層環境場の風速が比較的大きかったこと、台風中心から半径30-40km付近に眼の壁雲のような構造が形成していたことがあげられる。

台風の強風によって大阪湾北部では記録的な高潮となった。また、湾内を海水が移動して副振動が発生しており、大阪湾南部ではこの副振動による高潮が大きかった。

平成30年7月豪雨の局地的な特徴

○清野直子、津口裕茂(予報研究部)、廣川康隆(気象庁予報部)、加藤輝之(気象庁観測部)

1. はじめに

平成30年6月28日から7月8日にかけて、西日本から東海地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となった。気象庁は、全国各地に甚大な被害をもたらしたこの豪雨を「平成30年7月豪雨」と名付けた。梅雨前線の停滞と台風第7号の影響を受けた平成30年7月豪雨の総雨量は、1982年以降の豪雨災害時の雨量と比べて極めて大きかった(気象庁、2018)。

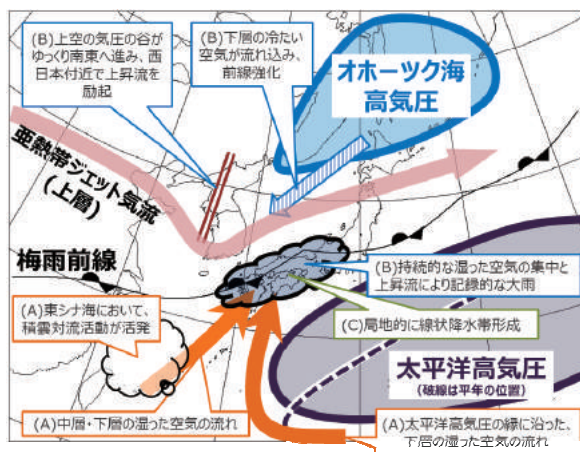
なかでも、7月5日から8日にかけては、西日本を中心に広範囲にわたり大雨が発生した。その気象要因は、次の三つと考えられる(第1図)。

(A) 多量の水蒸気を含む二つの気流が西日本付近で持続的に合流

(B) 梅雨前線の停滞・強化などによる持続的な上昇流の形成

(C) 局地的な線状降水帯の形成

ここで、(A)と(B)が大雨の主要因であり、(C)の寄与が大きい地域もあった(気象庁、2018)。本稿では、平成30年7月豪雨における局地的な降水の特徴や、線状降水帯の発生状況に着目した解析結果を紹介する。



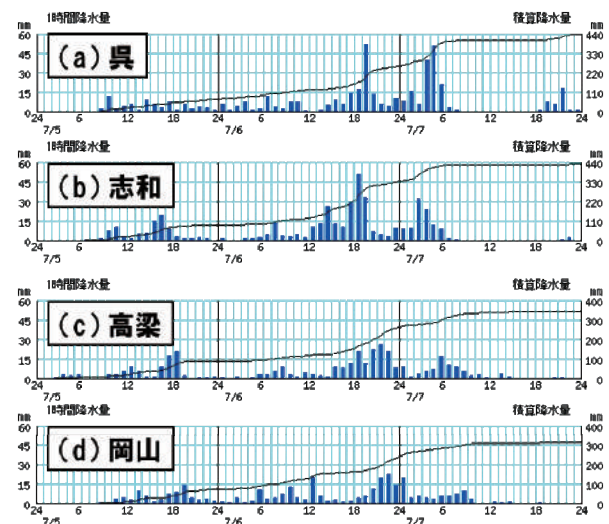
第1図: 平成30年7月5日から8日の記録的な大雨の気象要因(気象庁、2018より引用)。

2. 解析結果

これまでの前線や台風による大雨事例と比べ、平成30年7月豪雨の大きな特徴は、特に2日間(48時間)から3日間(72時間)の積算降水量が、普段は比較的雨の少ない中国・四国地方の瀬戸内海側も含め、広い範囲で記録的に多かったこと

である(気象庁、2018)。また、11日間の総降水量が7月の月降水量平年値の2~4倍となった観測地点も多かった。

甚大な被害のあった広島県と岡山県では、7月6日の夕方から翌朝にかけて降水量が多くなっていた(図2)。広島県の呉市では、7月6日の19時前後と7月7日の5時前後に特に降水が強まっていた。広島市や東広島市でも同様の降水の推移が見られた。気象庁解析雨量から、これらの時間帯には、広島県付近に明瞭な線状降水帯が発生していた(図3)。線状降水帯は、大気下層(高度約500m)に、豊後水道から広島県方面に多量の水蒸気が流入するタイミングで形成されていた。また、レーダー画像から、これらの線状降水帯は、バックビルディング型の形成過程により生じていたことがわかる。他方、岡山県では、明瞭な線状降水帯の影響は見られなかったものの、7月5日から7日を中心にやや強い降水が長時間持続した。広島県と岡山県では、48時間降水量や72時間だけでなく、24時間降水量や12時間降水量でも、観測開始以来の記録が更新されたアメダス観測地点が多かった。



第2図: アメダス観測地点 (a) 呉 (広島県呉市)、(b) 志和 (広島県東広島市)、(c) 高梁 (岡山県高梁市)、(d) 岡山 (岡山県岡山市) における7月5日から7日までの1時間降水量(棒グラフ)および積算降水量(実線)の推移。

気象庁では、線状降水帯の定義を、「次々と発生する発達

した雨雲（積乱雲）が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ50～300km程度、幅20～50km程度の強い降水をとまなう雨域」としている。本研究では、7月5日から8日までの4日間（96時間）の気象庁解析雨量のデータ（過去事例との比較が可能となるよう、5kmメッシュに平滑化したもの）を用いて、

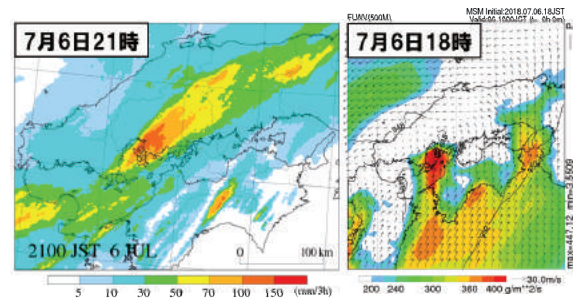
- ① 3時間積算降水量が80ミリ以上の分布域が線状（長軸対短軸の比が2以上）
- ② その面積が500km²以上
- ③ ①の領域内の3時間積算降水量の最大値が100ミリ以上の三つの条件を満たすものを線状降水帯として抽出した。この際、線状降水帯の出現位置が時刻によって変わっても、前時刻との連続性が高いと判断した場合には同一のものとみなした。

その結果、九州から東海地方の広い範囲で16事例の線状降水帯が検出された（第4図）。対象とした96時間の積算降水量に対する線状降水帯の寄与率を、各線状降水帯によってもたらされた降水量と96時間積算降水量の比の最大値（検出した線状降水帯の領域内の最大値）を用いて見積もったところ、23～69%となった。これは、平成29年7月九州北部豪雨において同じ手法で検出された4事例の線状降水帯の寄与率（50～98%）に比べると小さい。大雨の継続期間に比べ、線状降水帯の出現時間が相対的に短かったことに加え、線状降水帯の停滞性が弱かったことが、その一因と考えられる。しかし、線状降水帯が発生した地域では、激しい降水が持続した時間帯があったことで、概して周辺に比べて総降水量が多く、線状降水帯が降水量の局地的な強化に一定の役割を果たしていたといえる。

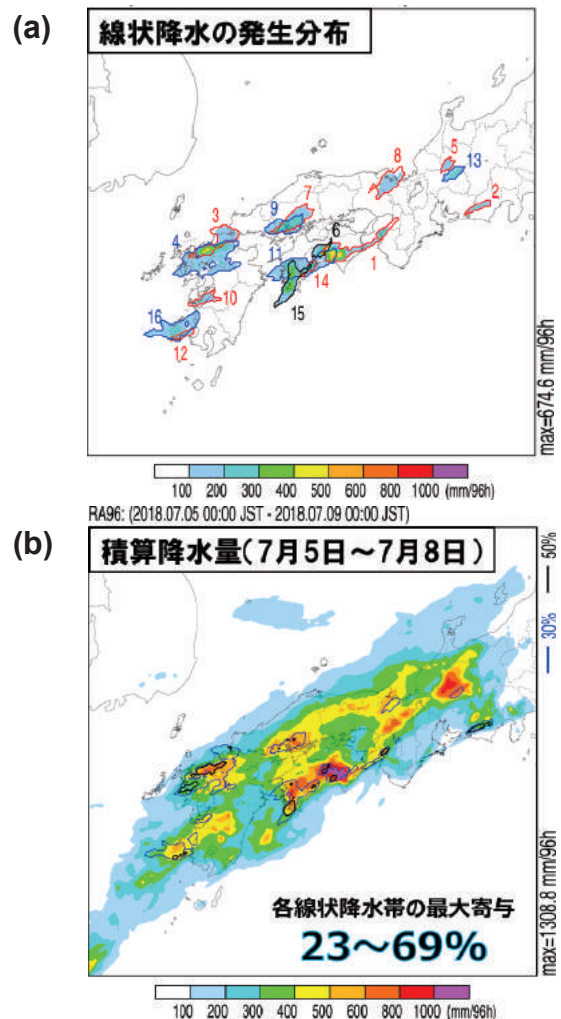
3. まとめ

平成30年7月豪雨では、7月5日から8日を中心に西日本付近に停滞した梅雨前線に向けて、極めて多量の水蒸気が流れ込み続けたことで、広い範囲で大雨となった。西日本から東海地方では48時間雨量や72時間雨量の極値を更新した地点が多くみられた。また、7月5日から8日までの4日間に、16事例の線状降水帯が検出された。総降水量に対する線状降水帯の寄与は顕著ではなかったが、それぞれの線状降水帯が発生した時間帯には降水が強まっており、短時間の局地的な降水量の増大に影響を与えていた。

本研究の手法を用い、過去の事例に遡って線状降水帯の発生状況を調べることが可能である。線状降水帯がどのような気象条件下で発生しやすいのかを詳しく調べ、大雨の予測精度向上につなげることが、今後の研究の課題である。



第3図：気象庁解析雨量による7月6日21時の前3時間積算降水量（左）および気象庁メソ解析による7月6日18時の高度約500mにおける水蒸気フラックス量の分布（右）。



第4図：（a）7月5日から8日までの期間に検出された線状降水帯および線状降水帯による降水量（カラー）の分布、（b）7月5日から8日までの96時間積算降水量分布（カラー）と線状降水帯による降水量への寄与率（コンター、%）。

参考文献

- (1) 気象庁 2018:「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について。
<https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.pdf>

地球温暖化で変わりつつある日本の豪雨

○川瀬宏明(環境・応用気象研究部)

1. はじめに

温室効果ガスの増加に伴い、世界の平均気温は100年あたり約0.73度、日本の平均気温は100年あたり約1.2度の割合で気温が上昇している(都市化の影響を除く)。気温上昇に伴い、大気中に含みうる水蒸気量が増加することが分かっており、今年発生した平成30年7月豪雨に対しても、地球温暖化が影響したとの指摘もある。気象庁では過去の観測データを解析し、近年、大雨が増加していることを指摘している。ただ、降水量は自然変動の影響を大きく受けるため、近年豪雨が多いからといって、必ずしもそれが地球温暖化の影響とは限らない。そのため、平成30年7月豪雨に対して、どの程度温暖化が寄与したかはまだ分かっていない。一方で、温暖化の緩和策を講じず、このまま温暖化が進行すると、21世紀末には産業革命前に比べて気温が4度程度上昇し、さらに豪雨が増加する可能性が指摘されている(IPCC第五次報告書)。

そこで本発表では、過去に観測された日本の気温や降水量の変化を踏まえたうえで、地球温暖化が近年の豪雨の発生頻度に及ぼす影響及び平成30年7月豪雨に与えた影響を評価した研究を紹介する。

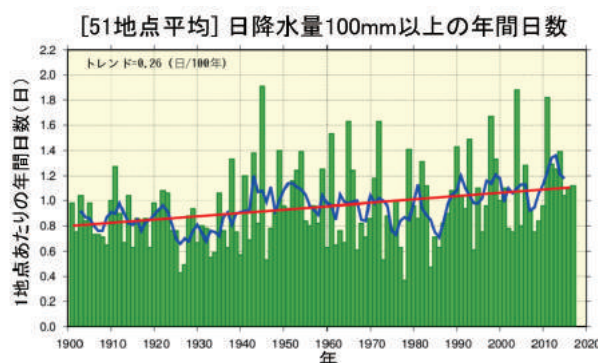
2. 過去の大雨の変化と地球温暖化の影響

2. 1. 過去の大雨の変化

気象庁では、観測データの均質性が長期間継続されている51地点の観測を用いて、1901年から2017年までの117年間の降水量変化を調査した。それによると、日降水量100mm以上の大雨の年間日数は、100年間に0.26日の割合で増加しており(第1図)、これは統計的にも信頼できる変化(信頼度99%以上で統計的に有意)である。また、日降水量200mm以上の日数においても同様の増加傾向がみられる。一方、日降水量1mm以上の日数は有意に減少していることも分かっている。つまり、現在は過去に比べて、雨の降り方が極端化している(雨の降らない日が増えていますが、降る時にはたくさん降る)と言える。

気象庁は上記の長期観測に加え、1970年代後半からはアメダスと呼ばれる地域気象観測所での観測を行っている。降水量の観測は全国約1,300地点あり、面的に緻密な観測が行われていることから、局地的な大雨なども捉えることができる。アメダスの観測値をもとに、1時間に50mm以上の非常に激し

い雨の年間発生回数の変化を調べると、過去約40年で統計的に有意な増加傾向が見られた。最近の10年間(2008～2017年)は、統計期間の最初の10年間(1976～1985年)に比べ、50mm以上の1時間降水の年間発生回数が、約1.4倍に増加していた。

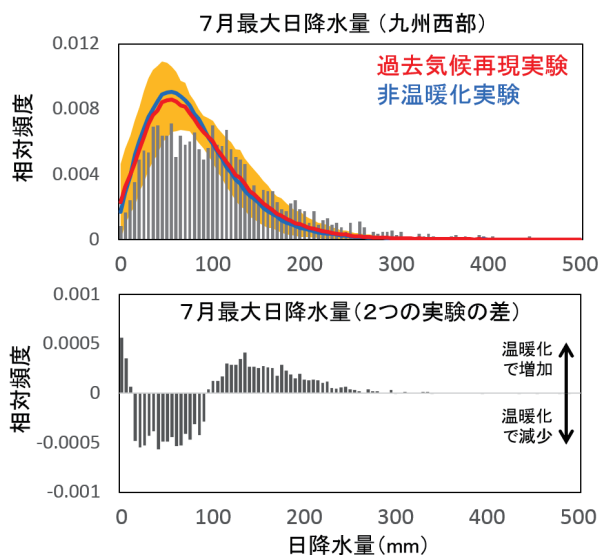


第1図: 日降水量100mm以上の年間日数の経年変化(1901～2017年)。緑棒は1地点あたりの年間日数。青線は5年移動平均値、赤線は長期変化傾向を示す。(気候変動監視レポート2017の図の文字を一部改変)

2. 2. 20世紀の温暖化が大雨頻度に及ぼす影響

観測された降水量の変化は、地球温暖化の影響だけでなく、様々な大気其自然変動(例えば、エルニーニョ・ラニーニャ現象)の影響を受ける。また、地点数や観測期間が十分でないため、地球温暖化が大雨に及ぼす影響を地域別に評価するのは困難である。そこで、地域気候モデルを用いた数値シミュレーションの助けを借りることで、20世紀の温暖化が近年の大雨発生頻度に及ぼす影響を評価する。ここでは、「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」(d4PDF)の20km格子間隔のデータ等を用い、過去の温暖化が加味されている過去実験と温暖化(20世紀の気温上昇)を除外した非温暖化実験を解析した。今回は、平成29年7月九州北部豪雨及び平成24年7月九州北部豪雨が発生した地域を含む、九州西部における大雨発生頻度の変化を調べた。

7月最大日降水量の頻度分布に関して、過去実験と観測を比べると、観測は過去実験のばらつきの範囲内に含まれており、大雨頻度の再現性は良好であった(第2図)。過去実験と非温暖化実験の比較から、温暖化によって弱い雨が増え、中程度の強度の雨は減少、強い雨が増加することがわかった。



第2図: 過去実験(1981年-2010年)と非温暖化実験で計算された九州西部の7月最大日降水量の頻度分布(上段)と両実験の差(下段)。上段の灰色棒は観測、赤線が過去実験、青線が非温暖化実験。橙色の陰影は過去実験のばらつき(±1標準偏差)を示す。

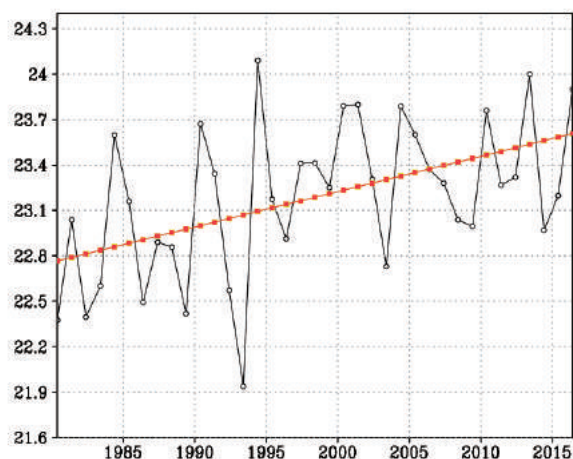
2. 3. 平成30年7月豪雨の再現実験と温暖化の影響

2. 2では温暖化は統計的に近年の強い雨の増加をもたらしたことを示したが、今年発生した平成30年7月豪雨に地球温暖化は影響していたのだろうか。今回の豪雨をもたらした原因はオホーツク海高気圧と太平洋高気圧の間で強化された梅雨前線であり、温暖化がなくても発生したと考えられる。一方、気温や海面水温の上昇は大気中の水蒸気の増加をもたらし、降水量を増やすことが分かっている。そのため、今回のような豪雨に対して、近年の気温上昇が幾らか影響を及ぼした可能性は十分考えられる。その影響を量的に見積もるために、気象モデルを用いた数値シミュレーションを実施した。

数値シミュレーションに用いた気象モデルは、格子間隔5 kmの非静力学地域気候モデル(NHRCM)である。まず、気象庁55年長期再解析(JRA55)をもとに広域の大気場の情報をNHRCMに与え、20km格子間隔で計算した。その結果を基に、西日本を対象として5km格子間隔で平成30年7月豪雨の再現実験を実施した。再現された降水量は、解析雨量と比べると全体的にやや過小であったが、四国や九州で1000mm以上、中国地方で400mmから600mmの総降水量が再現された。

次に、JRA55を用いて1980年～2017年の日本周辺の夏季気温変化の傾向を大気下層から上層まで計算した。地上付近(1000hPa)の経年変化を第3図に示す。気温は年々で変動しながら上昇傾向を示し、期間内で約0.85度上昇していた。なおこの昇温量には、温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の影響だけでなく、自然変動も含まれている。

ここで得られた気温上昇と海面水温の上昇量を、JRA55の2018年6月と7月の場合から引いて同様の実験を行った。すると、温度上昇を引いた実験では、6月28日から7月8日で積算した降水量が、再現実験に比べて6パーセント前後減少した。ただし、降水量の変化は地域によるばらつきが大きく、計算を開始する初期時刻によっても変化する。今回の豪雨は長時間かつ広域で発生したため、気温上昇に伴う水蒸気量の増加の影響が、比較的検出しやすい事例であったといえる。



第3図: 西日本周辺における地上付近(1000hPa)の夏季平均気温の経年変化(黒線)と変化傾向(橙線)。夏季平均気温はJRA55の6月から8月の気温を東経120度から145度、北緯30度から40度の領域で平均したもの。

3. まとめ

これまでの気象庁の観測から、日降水量100mm以上の日数は増加傾向が見られた。地域気候モデルを用いた過去実験と非温暖化実験の解析から、20世紀の温暖化により、九州西部では強い日降水は増加した可能性が高いことが分かった。また、1980年以降の気温上昇が平成30年7月豪雨に及ぼした影響を調べたところ、期間総降水量に対して6%程度増加させた可能性があることが分かった。

謝辞

本研究の計算は文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム(テーマC)」の支援のもと実施された。

参考文献

- (1) 川瀬宏明, 今田由紀子, 村田昭彦, 野坂真也, 仲江川敏之, 佐々木秀孝, 高薮出, 2018: 地球温暖化が近年の西日本の大雨発生頻度に及ぼす影響, 日本気象学会2018年度秋季大会予稿集, B307.

次世代の火山監視

— 気象レーダーで見た桜島・新燃岳噴火 —

○佐藤英一(火山研究部)

1. はじめに

火山噴火による影響は、登山客や火口周辺の住民を危険に晒すだけでない。火山灰は広い範囲に拡散し、陸上交通の妨げや航空機のエンジンの故障の原因にもなり得る。そのため、噴火の監視や火山灰の拡散予測は広域の防災に対しても重要で、それらの高度化のために期待されている技術の一つが、気象レーダーによる観測である。

気象レーダーは元々、降水の観測をターゲットとしているが、火山噴煙も捉えることが可能である。ただし、火山噴煙を捉える観測技術及び事例が十分でないことから、定量的な推定手法は未だ確立されていない。観測技術については、降水の観測分野において革新が進んでいる。具体的には、降水種別が判別できる二重偏波(またはマルチパラメータ(MP))レーダーや瞬時に立体的にとらえる高速スキャンレーダーが登場し、火山噴煙の定量的観測や3次元観測への応用が期待されている。また、火山噴煙の観測事例は、日本全国をカバーする気象レーダー網により蓄積されつつある。

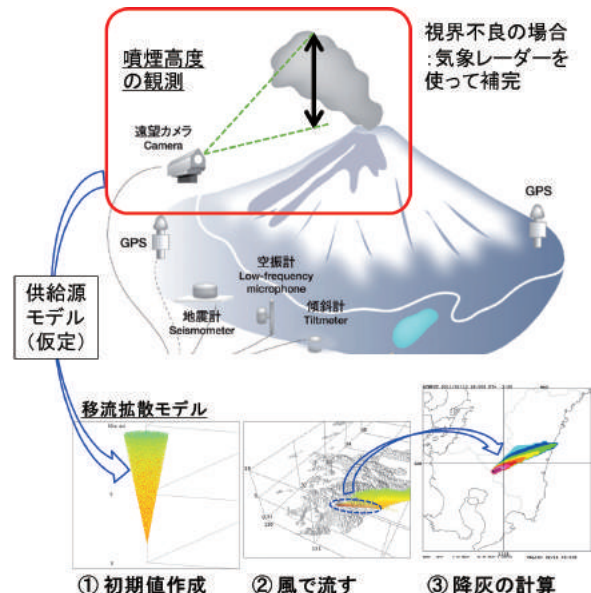
気象研究所では、既存の気象レーダーを有効活用して、火山噴煙を高精度に観測する手法を開発すると共に、最新鋭のレーダーを用いて、噴火監視・火山灰予測技術を高度化するための研究開発を行っている。本発表では、噴火の観測事例を紹介するとともに、今後の展望についても述べる。

2. 火山灰予測へのレーダー観測の有効性について

気象庁では、地面へ降る火山灰に関する「降灰予報」と大気中に浮遊する火山灰に関する「航空路火山灰情報」という火山灰に関する2種類の予報・情報を出している。これらは、スーパーコンピュータを用いて、火口上空の噴煙領域(初期値として逆円錐型の噴煙を仮定)の火山灰が大気中の風で流れる行き先を移流拡散モデルで予測している(第1図)。モデルの計算に必要な初期値を作成するために重要なパラメータが噴煙高度だが、遠望(カメラ)観測が天候に依存することや初期値の仮定に大きな不確実性があることが課題となっている。予測精度向上のためには、気象レーダーによる観測結果を用いて、噴煙の形や噴煙中の火山灰の量を把握することが有効である。

また気象研究所では、データ同化と呼ばれる技術を用いてレーダーの観測結果を移流拡散モデルの初期値に取り込む

ことで、予測結果を改善するための技術開発も行っており、噴煙のレーダー観測が予測の精度向上に直結する。

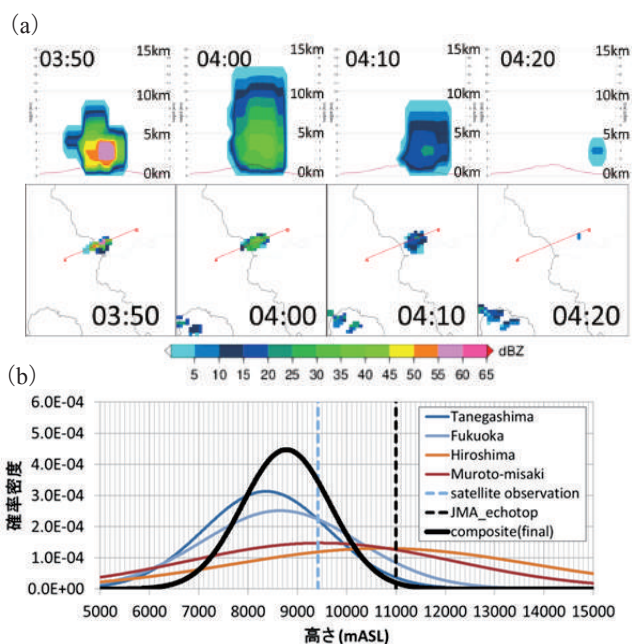


第1図: 降灰予報(詳細)が出来るまでの流れ。

3. 噴煙高度の確率的推定手法について

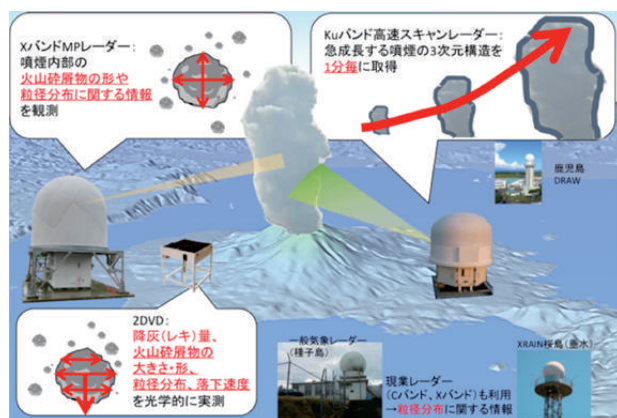
これまでの気象レーダーによる噴煙観測事例によって明らかになった問題の一つが、ビーム幅による誤差である。気象レーダーのビームは一定の広がりを持つことから、気象レーダーから離れた位置で観測された噴煙高度は過大に評価されることが多い。この問題を解決するために気象研究所で開発したのが、噴煙高度の確率的推定手法である。複数の気象レーダーで噴煙を捉えた場合に、噴煙高度を個々のレーダーのビーム幅を考慮した確率密度分布で表現し、合成することで、少数の「外れ値」の影響を抑えるとともに、推定誤差を定量的に評価できる。

2017~2018年霧島山(新燃岳)噴火のなかで、最大規模の噴火(気象衛星ひまわりによる解析で噴煙高度は海拔約9,400m)の気象庁一般気象レーダーによる観測事例を示す(第2図(a))。従来の気象レーダーによるエコー頂高度推定手法(黒点線)では、海拔約11,000mと過大評価だったが、確率的推定手法(黒太線)では海拔8,780±892m(1σ)の結果が得られた(第2図(b))。これは、衛星による解析値(水色の点線)と整合的であり、過大評価の影響が抑えられていることが確認できる。



第2図: 2018年4月5日3時31分からの霧島山(新燃岳)連続噴火の一般気象レーダーによる解析結果。(a) 3時50分~4時20分の反射強度の鉛直断面図(上)と海拔3km高度平面図(下)。(b) 噴煙高度の確率的推定結果(最終結果: 黒太線)。

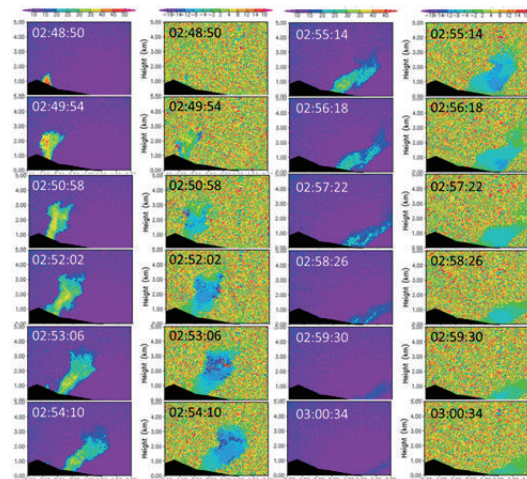
4. 桜島におけるレーダー観測



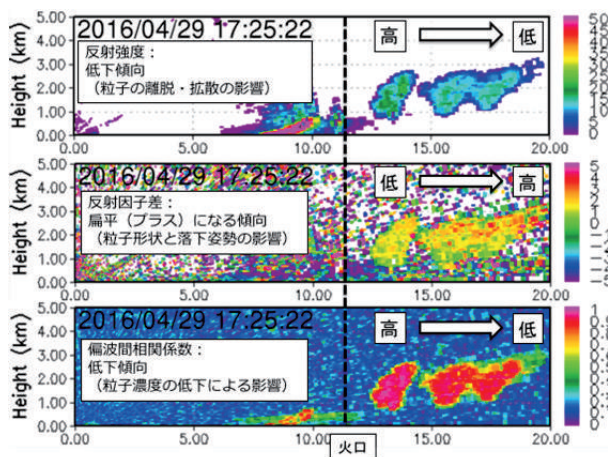
第3図: 桜島における噴煙観測レーダー網。

移流拡散モデルの予測結果を本質的に改善するためには、噴煙内部の火山灰量を把握する必要があるが、降水を監視するために全国に展開している従来型のレーダーでは、十分な観測データを得ることが難しい。そのため気象研究所では、2016年3月から鹿児島県の桜島周辺に最新鋭の気象レーダー2台を設置し、観測を行っている(第3図)。そのうち1台はKuバンド高速スキャンレーダー(MRI-Ku)で、噴煙の3次元分布を高頻度(約1分毎)に得ることで、移流拡散モデルの初期値にとって重要な噴煙の構造を得ることができる。もう1台はXバンドMPLレーダー(MRI-XMP)で、噴煙を構成する火山灰粒子の形状に関する情報を得ることが出来る。

第4図はMRI-Ku、第5図はMRI-XMPによる桜島の噴火観測例である。気象研究所では、MRI-Kuによって世界で初めて約1分毎の噴煙の3次元詳細構造を得ることに成功した。MRI-XMPでは、定性的ではあるが、噴煙内部の火山灰濃度や粒子形状の変化傾向を得ている。



第4図: MRI-Kuによる2016年3月26日2時48分桜島爆発的噴火の観測結果(左: 反射強度、右: ドップラー速度)。



第5図: MRI-XMPによる2016年4月29日17時17分桜島爆発的噴火の観測結果(上: 反射強度、中: 反射因子差、下: 偏波間相関係数)。

5. まとめ

気象研究所では、気象レーダー観測によって噴煙高度を確率的に推定する手法を開発し、過大評価を低減すると共に、推定誤差を量的に評価することを可能にした。また、桜島では最新のレーダーを用いて観測を行い、噴煙内部に含まれる火山灰量の定量的な推定技術の開発を行っている。本研究の成果が実用化すれば、全天候的な火山噴火の監視が可能になるとともに、高精度な降灰予報や航空路火山灰情報の提供へとつながる。

日本を取り巻く海の詳細な把握に向けて ―海の「天気予報」の最前線―

○碓氷典久(海洋・地球化学研究部)

1. はじめに

南北に連なる日本列島は、北太平洋の亜熱帯循環と亜寒帯循環の境界の緯度帯に位置しており、周囲を流れる黒潮や対馬暖流、寒流である親潮の存在は、変化に富む気候の形成や、豊富な水産資源を育む上で大きな役割を果たしている。これらの海流のダイナミックな変動を正確に把握し、予測することは、気象や気候、防災、水産資源、海上交通、海洋エネルギー、海洋汚染、漂流物問題など、幅広い分野の進展に貢献する。

気象庁では、海の「天気予報」ともいうべき、日本周辺の海流や水温等の実況を解析し、予測するシステムを2000年より運用している。気象研究所では、その基盤となる、海洋モデルとデータ同化と呼ばれる実況の解析技術の開発を行っている。本発表では、海の天気予報のしくみについて解説するとともに、最新のモデルで再現された、昨年来発生している日本南岸の黒潮大蛇行について紹介する。

2. 海の天気予報に必要なモデル・観測・データ同化

海の天気予報は、気象予報と同様に、数値モデルをベースとして、①モデルと海洋観測データを組み合わせることによる実況解析(データ同化)、②データ同化の結果を初期値とした予測、という手順で行われる(第1図)。

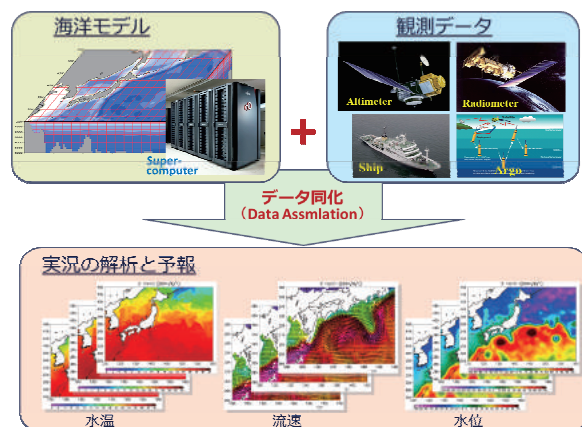
現在、気象庁では、水平解像度約10kmの海洋モデルと3次元変分法と呼ばれるデータ同化手法が日本周辺海域を対象とした海の解析・予測に用いられている。第2図(右)に10km解像度のモデルを用いて解析された、2017年10月22日の海面水位の分布を示す。この図は、「海の天気図」とみることができ、日本の周辺に多数存在する、中規模渦と呼ばれる100kmスケールの渦が、大気の高気圧に相当する。海洋中規模渦は、地上天気図の高気圧(第2図左)と比べると、その空間スケールが圧倒的に小さく、モデルで再現するためには、少なくとも10km程度の水平解像度が必要となる。

気象研究所では、外洋の中規模渦による変動に加えて、より小スケールの変動が卓越する、沿岸域の海洋現象までも表現可能な新たな海の天気予報システムの開発を行っている。核となるのは、水平解像度2kmのモデルであり、潮汐や気圧による海面水位変化を陽に表現し、また河川水をモデルに取り入れるなど、現行のモデルから多くの改良が加えられ

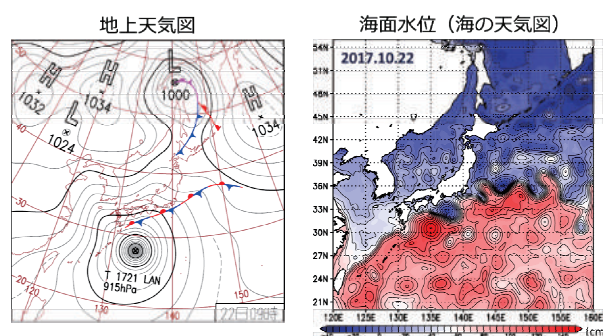
ている。

実況を解析するデータ同化には、衛星による海面水温、海面高度データ、また、船舶やアルゴフロートによる水温、塩分データが用いられる。特に、衛星海面高度とアルゴフロートは、海洋内部の水温、塩分、流れの分布を推定する上で欠かせない観測データとなっている。しかしながら、現在、最も高密度な観測網である、衛星海面高度計をもってしても、中規模渦をかくらうじて捉えられるにすぎず、100km以下の小スケールの現象を解析するためには、データ同化手法の高度化が重要となる。

現在、気象研究所で開発している新たなシステムには、4次元変分法と呼ばれるデータ同化手法が採用されている。この手法では、モデルを利用して、まばらな観測の情報を時空間的に補間することで、観測のみでは把握が困難である小規模の現象をより高精度に解析することが可能となる。



第1図: 海の天気予報の模式図。



第2図: 2017年10月22日の(左)地上天気図と(右)海面水位分布。水位分布に見られる、100kmスケールの中規模渦は、大気の高気圧に相当するため、この分布は、「海の天気図」とみることができる。

3. 2017年に生じた黒潮大蛇行の再現

日本の南を流れる黒潮は、世界最大規模の海流であり、その変動は周辺の海洋環境に多大な影響を及ぼすため、海の天気予報の重要なターゲットとなっている。昨年8月下旬に黒潮の流路が東海地方の沖合で大きく南に迂回する、「黒潮大蛇行」と呼ばれる現象が12年ぶりに発生し、発生から1年以上経過した2018年10月現在も持続している。

黒潮大蛇行は、沿岸の潮位や水産業、海上交通などに大きな影響を与えるとともに、関東地方に降雪をもたらす南岸低気圧の挙動に大蛇行が影響を及ぼしているといった指摘もある(Nakamura et al. 2012)。

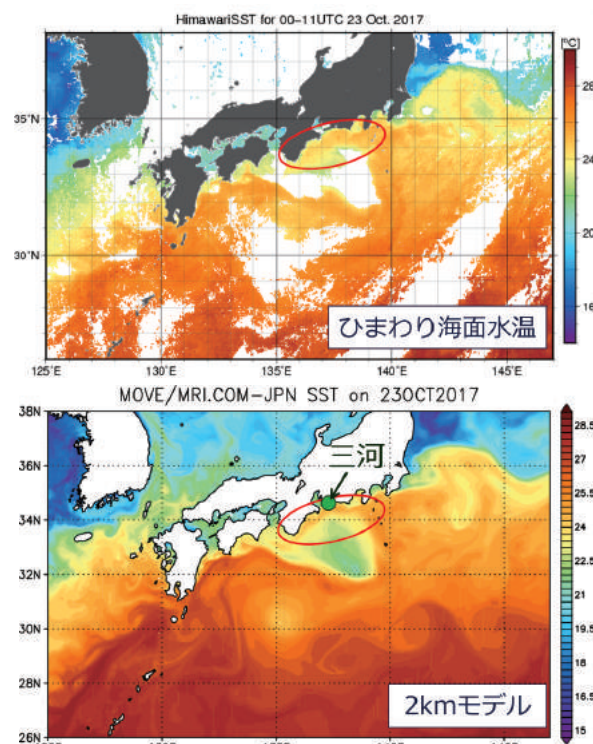
今回の大蛇行を最新の2kmモデルを用いたシステムで再現した結果について紹介する。第3図に2kmモデルを用いて解析された2017年10月23日の海面水温分布を気象衛星ひまわり8号による海面水温画像と比較する。東海地方の沖合で、黒潮が大きく南に蛇行し、蛇行の内側では、冷水域が広く分布している。また、伊豆半島付近で黒潮本流から分岐した高水温舌が東海地方の沿岸に沿って分布している。2kmモデルは、これらの特徴をよく再現している。

東海地方の沿岸に東から暖水が入り込む現象は、大蛇行時にしばしば発生し、漁業に大きな影響を及ぼすとともに、沿岸潮位も変化させる。第4図に示すように、暖水が沿岸に張り出す、10月16日頃から20日過ぎにかけて暖水の影響により、緩やかに潮位が上昇している。その後、東海地方に上陸した2017年台風第21号(第2図左)による影響で急激に水位が上昇し、東海地方で高潮による被害が生じた。2kmモデルは、両要因による水位上昇をよく再現しており、本モデルが海況情報のみならず沿岸防災情報の高度化に資することが期待される。

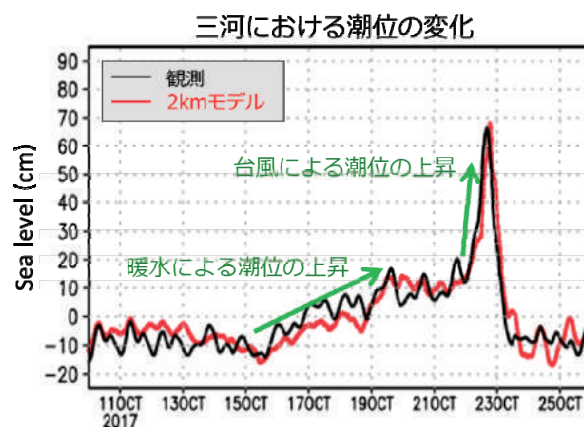
通常、大蛇行が発生する際、前兆となる小規模な蛇行が九州沖に形成され、その後、蛇行が東に移動しつつ振幅が増大し、東海沖に大蛇行が形成される(Usui et al. 2008)。また、九州沖の小規模な蛇行の発生とその後の発達には、第2図で見た、中規模渦が重要な役割を担っている。発表時には、今回の大蛇行の発生過程とそのメカニズムについても紹介する。

4. まとめ

海の天気予報のしくみと、気象研究所で開発している、新たな海の天気予報システムを用いて再現された黒潮大蛇行について紹介した。新システムでは、外洋域の海洋現象のみならず沿岸現象までを予測対象としており、海況情報や沿岸防災情報の高度化に貢献することが期待される。



第3図: 2017年10月23日の(上)ひまわり8号、(下)2kmモデルによる海面水温分布。黒潮から分岐した暖水が分布する東海地方沿岸域を赤丸で囲ってある。また、第4図の三河の潮位計の位置を下図に示している。



第4図: 愛知県三河湾における2017年10月10日から10月26日にかけての(黒)観測と(赤)2kmモデルによる潮位の変化。期間平均からの偏差を表示している。また、潮汐成分は除去している。

参考文献

- (1) Nakamura, H., A. Nishina, and S. Minobe 2012: Response of storm tracks to bimodal Kuroshio path states south of Japan, J. Climate, 25, 7772-7779.
- (2) Usui, N., H. Tsujino, H. Nakano, and Y. Fujii 2008: Formation process of the Kuroshio large meander in 2004, J. Geophys. Res., 113, C08047, doi:10.1029/2007JC004675.

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・津波・火山対策の強化に関する研究

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、地震活動の評価技術、津波及び火山噴火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20年度以降)

H29	気象研究所での自然災害軽減に向けた研究の最前線	隈 健一	気象研究所長
H29	「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」の発生要因についてー線状降水帯の形成・維持メカニズムー	津口裕茂	予報研究部
H29	日本における極端降水の将来変化	村田昭彦	環境・応用気象研究部
H29	揺れの数値予報:次世代の緊急地震速報を目指して	干場充之	地震津波研究部
H29	気象庁海洋気象観測船「啓風丸」で観測された西之島の火山活動	高木朗充	火山研究部
H28	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	研究総務官
H28	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
H28	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
H28	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
H28	熊本地震 ～地震発生状況の即時把握技術の開発～	溜渕功史	地震津波研究部
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 薮 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ア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 他
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ーノイズの中から火山活動を抽出するー	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

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: mriseika@mri-jma.go.jp

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