

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	極端気象と観測・予測技術
他言語論題 Title in other language	Extreme Weather and Observation/Prediction Technology
著者/所属 Author(s)	豊田 透 (TOYODA Toru) / 国立国会図書館調査及び立法考査局専門調査員、文教科学調査室主任
書名 Title of Book	極端気象の予測と防災：科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Forecast and Response to Extreme Weather)
シリーズ Series	調査資料 2018-4 (Research Materials 2018-4)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2019-3-29
ページ Pages	5-15
ISBN	978-4-87582-837-2
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
キーワード keywords	異常気象、極端気象、気候変動、地球温暖化、防災
摘要 Abstract	近年頻発している極端気象について、概念定義、我が国における降雨や猛暑の発生の仕組みと事例、降雨の観測・予測技術の研究開発状況について概観する。

- * 掲載論文等は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。
- * 意見にわたる部分は、筆者の個人的見解であることをお断りしておきます。

極端気象と観測・予測技術

国立国会図書館 調査及び立法考査局
専門調査員 文教科学技術調査室主任 豊田 透

目 次

はじめに

I 極端気象に関わる概念定義

II 極端気象の事例—豪雨と猛暑—

1 豪雨

2 猛暑

III 降雨の観測・予測技術

1 気象レーダー

2 数値予報

3 降雨予報

おわりに

【要 旨】

近年、国内外で極端気象、異常気象の発生頻度が高くなっている。「極端」「異常」の定義は、その現象の発生頻度、強度、特殊性、被害規模等により様々に捉えられている。

我が国における極端気象は、豪雨（局地的大雨や集中豪雨）と猛暑（フェーン現象やヒートアイランド現象）が特徴的である。

豪雨は観測・予測が難しく、予期しない災害をもたらす。気象レーダー等の観測技術、スーパーコンピュータによる数値予報、それらを駆使した降雨予報について、技術の高度化のための研究開発が進められている。

こうした研究開発の成果を活用し、今起こりつつある状況を迅速かつ詳細に観測し、早期の対応に結び付ける努力が今後も求められる。また、気象や防災について全ての人が主体的に理解を深めることが必要である。

はじめに

平成 30（2018）年の夏は、西日本を中心とした「平成 30 年 7 月豪雨」、埼玉県熊谷市で国内最高気温を更新した 7 月の猛暑、9 月に日本列島を襲った台風第 21 号及び第 24 号など、激しい気象現象⁽¹⁾、それがもたらした甚大な被害が相次いだ。ここ数年を振り返っても毎年のように豪雨災害等が発生しており（表 1 参照）、気象庁では、重大な災害の危険性が著しく高まっている場合に最大限の警戒を呼び掛ける「特別警報」の運用を平成 25（2013）年 8 月から開始している⁽²⁾。人が一生という短いスパンの中で「今まで経験したことがない」と感じる気象現象の発生頻度が世界的に見ても高くなっており、台風・ハリケーン、熱波・寒波、干ばつ等の激甚化が報告されている⁽³⁾。気候システム⁽⁴⁾のメカニズムは、大規模かつ複雑でありいまだ解明されていない現象が多く、したがって予想も困難だが、地球温暖化とあいまって人々の気象についての関心が高まる中で、その観測と予測のための技術開発が急速に進められている。

本稿では、第 I 章で極端気象に関わる概念定義を紹介し、第 II 章では、我が国において頻発し大きな災害をもたらす極端気象である豪雨及び猛暑の仕組みと事例を概説する。最後に第 III 章で、我が国の防災上重要である降雨の観測と予測の技術動向を解説する。

I 極端気象に関わる概念定義

「極端気象」や「異常気象」が世界規模で研究・議論されるようになる中で、何をもって「極端」「異常」とみなすかによって、様々な定義が用いられている。気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）では、「ある特定の場所及び 1 年のうちのある特定の時期において稀な現象」を「極端気象現象（extreme weather event）」としており⁽⁵⁾、我

* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は、平成 30（2018）年 10 月 22 日である。

(1) 「気象」とは、気温の変化や風など、大気の状態や大気中で起こる全ての現象のことをいう。「気候」とは、十分に長い時間について平均した大気の状態のことをいい、ある期間における気温や降水量の平均値や変動の幅により表される。環境省ほか『気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018—日本の気候変動とその影響—』2018, p.3. <http://www.env.go.jp/earth/tekiou/report2018_full.pdf>

(2) 特別警戒を含む我が国の防災警報については、本報告書の大塚路子「豪雨に関する防災情報と住民避難」においてより詳しく論じている。

(3) 「世界の異常気象」気象庁ウェブサイト <http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/extreme_world/index.html>

(4) 気候を大気、海洋、陸面、雪氷圏、生物圏などのサブシステムが相互に関連する一つのシステムとして捉えて、「気候システム」と呼ぶ。小倉義光『一般気象学 第 2 版補訂版』東京大学出版会、2016, p.293.

が国では気象庁が「ある場所（地域）・ある時期（週、月、季節等）において30年間に1回以下の頻度で発生する現象」を「異常気象」と定義している⁽⁶⁾。これらの定義では、現象そのものの特異さ、すなわち、発生や持続の要因について気象学の観点から説明できない、正常から逸脱した自然現象をいうのではなく、「頻度」に着目している点が共通している。

一方、頻度だけではなく激甚さや特異さにおいて異常と感じられる現象が世界的に増えつつある。気象庁では、豪雨・台風のように頻度としては年に複数回発生することがある現象でも、気象災害を起こしたり社会経済に大きな影響を及ぼす場合があることから、統計上の頻度にかかわらず「極端な現象（extreme event）」と呼んでいる⁽⁷⁾。ただし、マスコミを含め社会一般ではこの「極端な現象」を指して「異常気象」と呼んでいる場合が多く、定義が一定してとは言えない状況である。

本稿で扱う対象については、気象庁の「極端な現象」の定義に依拠し、発生頻度にかかわらず広く「極端気象」として取り上げる。

極端気象は、気象の変化の中で幾つかの条件が重なって生じる突発的な現象であるが、地球温暖化に伴う気候変動も関係しているという指摘がされており、特に人為的な要因による温暖化の進行については温室効果ガス排出削減の国際的な枠組みの中で分析・評価が進められている⁽⁸⁾。極端気象は、人間活動の影響がない場合でも発生してきた現象であり、近年のある特定の現象が端的に人間活動によるものと判断することはできないが、現象が発生する確率が人為的な要因によりどの程度変動したのか定量的な評価・予測が試みられている。こうした研究の結果、現在では、極端気象が地球温暖化によって今後増加するという見方が強い。

II 極端気象の事例—豪雨と猛暑—

1 豪雨

降雨をもたらす積乱雲は、上昇気流からスタートする。上昇気流が生じる要因は、前線や台風・低気圧等の大気現象、あるいは山地等の地形により空気が強制的に押し上げられる場合と、強い日射により地表面が加熱されて空気が上昇する場合がある⁽⁹⁾。積乱雲ができる時、まず水蒸気を多く含む温かく湿った空気がこれらの要因により上昇して雲粒になる。この雲粒は、ミクロン単位⁽¹⁰⁾の非常に小さいものである。さらに、高度数 km まで上昇すると雲粒が集まってはるかに大きなミリ単位の雨粒が形成される。上空で雨粒が次々に蓄積し、上昇気流で支えきれなくなると地表へ落下し降雨となる。雲粒は、現在の気象レーダーでは探知できず、雨粒の段階になって初めて探知される。このことが、特にゲリラ豪雨など短時間の大雨が発生する場所や強さを早期に予測することを困難にしている（Ⅲ参照）。

極端気象の一つとしてしばしば登場する「ゲリラ豪雨」はマスコミ等で用いられる通称であ

(5) Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2014: Synthesis Report*, 2015, p.123. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>

(6) 気象庁『異常気象レポート2014 本編』（近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し— 8）2015, p.ii. <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/2014/pdf/2014_full.pdf>

(7) 「異常気象リスクマップ」気象庁ウェブサイト <<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/extreme.html>>

(8) 以下、地球温暖化については、本報告書の鈴木良典「極端気象と地球温暖化」においてより詳しく論じている。

(9) 冷たく重い空気が下にあり、温かく軽い空気が上にある場合、大気は安定しているが、日射により地表面が加熱されると地表付近の空気が軽くなり上昇する。小林文明『積乱雲—都市型豪雨はなぜ発生する？—』成山堂書店、2018, pp.36-42.

(10) 1 ミクロンは 1mm の 1/1000。

表 1 近年発生した極端気象事例（平成 25（2013）年～）

事 例	日 付	概 要
平成 30（2018）年		
台風第 24 号による暴風・高潮等	9月28日 ～10月1日	南西諸島及び西日本・東日本の太平洋側を中心に暴風。紀伊半島などで顕著な高潮。和歌山県串本町や三重県尾鷲市で過去の最高潮位を超える値を観測。
台風第 21 号による暴風・高潮等	9月3日 ～9月5日	西日本から北日本にかけて暴風。特に四国や近畿地方で顕著な高潮。関西国際空港の滑走路が浸水。
7月中旬以降の記録的な高温		東日本の月平均気温が7月としては統計開始（1946年）以来第1位となった。埼玉県熊谷市で41.1℃を観測し、国内最高気温を更新。
「平成 30 年 7 月豪雨」 注（前線及び台風第 7 号による大雨等）	6月28日 ～7月8日	西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨。広い範囲の多くの観測地点で単位時間当たりの降水量の値が観測史上第1位となった。気象庁は、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与があったと分析している。1府10県で特別警報を発表、河川の氾濫、浸水害、土砂災害が発生し平成最大の豪雨災害となった。
平成 29（2017）年		
「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」注（梅雨前線及び台風第 3 号による大雨と暴風）	6月30日 ～7月10日	西日本から東日本を中心に大雨。7月5日から6日にかけて西日本で記録的な大雨。3県で大雨特別警報を発表。
平成 27（2015）年		
「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」注（台風第 18 号等による大雨）	9月7日 ～9月11日	関東、東北で記録的な大雨。3県で大雨特別警報を発表。
平成 26（2014）年		
「平成 26 年 8 月豪雨」注（前線による大雨）	7月30日 ～8月26日	西日本から東日本の広い範囲で大雨。広島県では土砂災害等により死者75名を出すなど甚大な災害となった。
発達した低気圧による大雪・暴風雪	2月14日 ～2月19日	関東甲信、東北、北海道で大雪・暴風雪。関東甲信において記録的な積雪。
平成 25（2013）年		
平成 25（2013）年夏の日本の極端な高温		高知県四万十市で41.0℃を観測し、国内最高気温を更新（当時）。

（注）気象庁による命名。

（出典）「災害をもたらした気象事例（平成元年～本年）」気象庁ウェブサイト <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html>等を基に筆者作成。

り、気象庁は正式には「局地的大雨」「集中豪雨」などを予報用語として定めている⁽¹¹⁾。「局地的大雨」は、一つの積乱雲による降雨で発生し、突然強く降り出し、数十分程度の短い継続時間の間に狭い範囲に数十 mm 程度⁽¹²⁾の雨量をもたらす雨である。空間的・時間的スケールが小さく、また僅かな条件の違いで結果が大きく異なるため、予測が非常に難しい⁽¹³⁾。大雨や洪水の注意報・警報が発表されるような広範囲な気象状態でなくても局所的に河川や水路等

(11) 「降水」気象庁ウェブサイト <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kousui.html>

(12) 雨の強さは、1時間雨量（mm）で表される。

(13) 齊藤和雄・鈴木修『メソ気象の監視と予測—集中豪雨・竜巻災害を減らすために—』（気象学の新潮流 4）朝倉書店、2016、p.6.

が急激に増水するなど、重大な事故を引き起こすことがある。

一方、積乱雲が組織的に発生・発達を繰り返して数時間にわたり雨が強く降り続ける場合は「集中豪雨」と呼ばれ、100mm から数百 mm の雨量をもたらす。集中豪雨は、梅雨末期における前線の停滞や台風の接近によって起こることが多い⁽¹⁴⁾。次々に発生する積乱雲が列をなし数時間にわたってほぼ同じ場所を通過又は停滞すると「線状降水帯」という雨域が作り出され、長さ 50～300km、幅 20～50km にも及ぶ⁽¹⁵⁾。広島県広島市で 70 人以上が土砂災害の犠牲になった「平成 26 年 8 月豪雨」の際に注目され、その後の「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」、「平成 30 年 7 月豪雨」でも主因の一つとなった（表 1 参照）⁽¹⁶⁾。

2 猛暑

(1) 記録的な高温の要因

表 1 に挙げたように、近年は極端な猛暑の発生も顕著である。このうち平成 30（2018）年 7 月の記録的な高温を例にとると、気象庁はその要因として「太平洋高気圧と上層のチベット高気圧がともに日本付近に張り出し続けたこと」による強い日射の持続を挙げ、その一因は「持続的な上層のジェット気流の大きな蛇行が繰り返されたこと」としている⁽¹⁷⁾。この仕組みは、おおむね以下のとおりである。太陽エネルギーを受け取った地球が放射するエネルギーは、地球が球形であることから、低緯度（赤道付近）では強く高緯度（両極）では弱くなり、温度差が生じる。この温度差を解消するように、赤道付近で暖められた空気は上昇して両極へ、両極で冷やされた空気は下降して赤道付近へ向かう大規模な大気の運動が引き起こされる。この運動は地球の自転の影響（コリオリの力）を受けて、日本を含む北半球中緯度では西寄りの風が吹き、これを偏西風という⁽¹⁸⁾。偏西風は高度が上がるほど強く、上層の特に強い部分を「ジェット気流」と呼び、対流圏界面⁽¹⁹⁾付近で最大となっている⁽²⁰⁾。また、大気の複雑な循環により偏西風は南北に大きく蛇行することがあり、高気圧や低気圧を停滞させるなど通常と異なる状態にし、これがこの例のような猛暑や、寒冬・冷夏・暖冬の原因となる⁽²¹⁾。

また、気象庁では、この平成 30（2018）年 7 月の高温について、地球温暖化に伴う地球全体の気温の上昇傾向や北半球中緯度全域の顕著な高温により、気温が更に底上げされたことも一因と分析している。

(2) フェーン現象とヒートアイランド現象

我が国に局地的な高温をもたらす現象として、フェーン現象とヒートアイランド現象が知られている。

フェーン現象とは、山地を越えた風が反対側に吹き下りる際、空気が乾いて気温が上がる現象であり、日本海側でも太平洋側でも発生する。台風や発達した低気圧が日本海側を進む時、

(14) 齊藤・鈴木 同上, p.5.

(15) 「降水」前掲注(11)を参照。

(16) 小林 前掲注(9), p.57.

(17) 「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」気象庁ウェブサイト <<https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.pdf>>

(18) 低緯度では「貿易風」、高緯度では「極循環」と呼ばれる東寄りの風が生じる。

(19) 対流圏界面とは、雲が成長・発達し天気現象が発生する対流圏と、その上部にあり活発な対流が起こらない成層圏との境界をいう。

(20) 「大気の構造と流れ」気象庁ウェブサイト <<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-1-1.html>>

(21) 小倉 前掲注(4), pp.182-187.

強い南風が山地を越えて吹きフェーン現象が発生し、日本海側が高温となる。一方、日本海上にある高気圧から吹き出す西風が中部山岳を越えて関東地方（特に北関東）にフェーン現象を発生させることもある⁽²²⁾。平成30（2018）年7月の埼玉県熊谷市における国内最高気温の更新（41.1℃）（表1参照）は、(1)に述べた要因に加え、こうしたフェーン現象も一因とされる⁽²³⁾。

ヒートアイランド現象とは、都市部の気温が周囲よりも高くなる現象をいう。地表面が水分を含んでいる草地・森林（植生域）に比べ、都市部におけるアスファルトで舗装された人工的な地表面（人工被覆域）やコンクリートの建物は水分の蒸発が少なく表面温度が高くなり、大気への加熱量が大きくなるため、昼間にヒートアイランド現象が発生する。また、アスファルトやコンクリートは熱容量が大きく、日中に蓄積した熱を保持して夜間になっても大気へ放出し続けるため、夜間の気温低下を妨げる。さらに、都市の建築物の高層化・高密度化は地表の放射冷却や風通しを阻むため、気温の低下を一層妨げることになる。都市部の高温は、このヒートアイランド現象に加え、都市の産業活動、車両、ビル・住宅のエアコン等による人工排熱も大きな要因となっている⁽²⁴⁾。

Ⅲ 降雨の観測・予測技術

大気中で起こる現象には、地球規模のものから極めて局地的なものまで様々なものがある。図1は、気象の分野でしばしば用いられるオランスキ（Isidoro Orlanski）の分類を基に、大気現象の時間スケール及び水平スケールを示したものである⁽²⁵⁾。

こうした気象現象について、我が国においては気象庁を始め国土交通省、地方自治体等が様々な観測を行ってデータを収集し、その品質管理と監視を行う。観測データはスーパーコンピュータや各種システムを駆使した予測・予報に用いられ、国民、自治体、報道機関、民間事業者等への提供を通じ、防災、交通機関の安定運航を始め社会経済活動の様々な場面で利活用される（図2）。

国土交通省交通政策審議会気象分科会では、平成30（2018）年8月に「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方（提言）」⁽²⁶⁾を取りまとめ、重点的な取組事項として観測・予測技術の向上のための技術開発目標を例示している（表2）。

本章ではこうした技術のうち、我が国において防災対策上特に重要となる降雨の観測・予測技術の現状について解説する。

⁽²²⁾ 藤部文昭『都市の気候変動と異常気象—猛暑と大雨をめぐる—』（気象学の新潮流 1）朝倉書店、2012、pp.102-106。

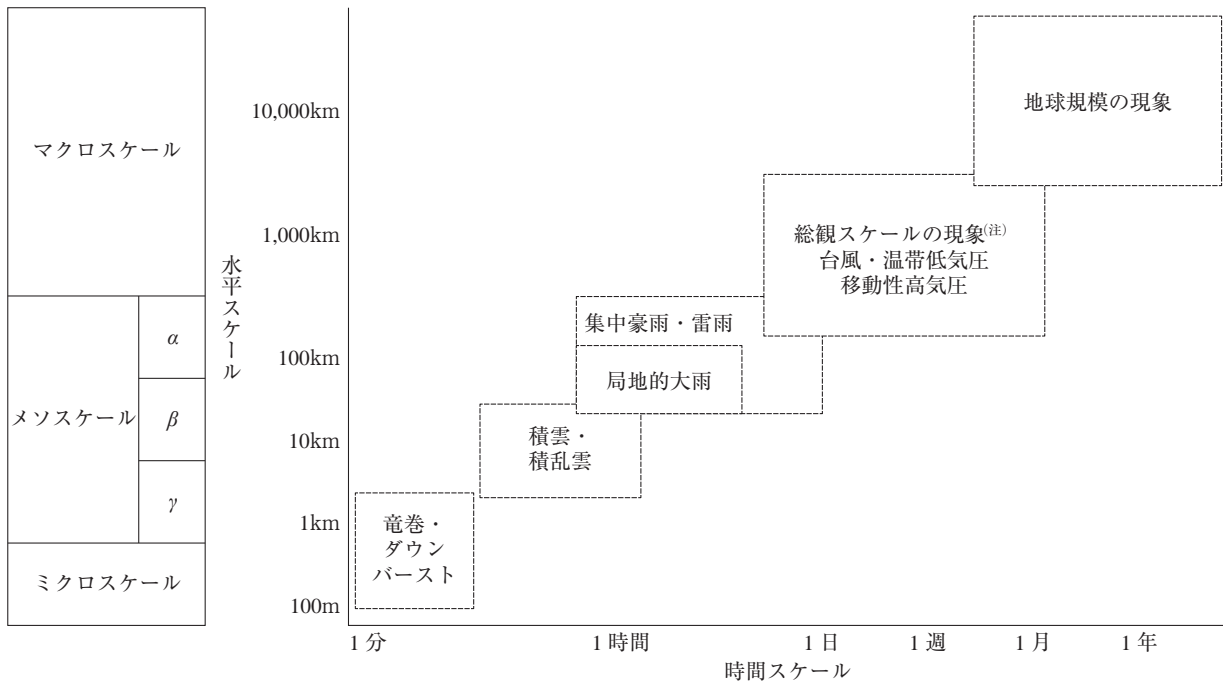
⁽²³⁾ 「「災害級」41.1℃ 熊谷、国内最高を更新 都内初の40℃超、猛暑日241地点」『朝日新聞デジタル』2018.7.24。

⁽²⁴⁾ 小林 前掲注(9)、pp.86-91；「国土交通省ヒートアイランド・ポータル」<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_mn_000016.html>；気象庁「ヒートアイランド現象」気象庁ウェブサイト <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr_faq/index.html>

⁽²⁵⁾ 小倉 前掲注(4)、pp.158-160；齊藤・鈴木 前掲注(13)、p.1。

⁽²⁶⁾ 「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方（提言概要）」（交通政策審議会気象分科会提言）2018.8、p.18。気象庁ウェブサイト <http://www.jma.go.jp/jma/press/1808/20a/bunkakai_gaiyou.pdf>

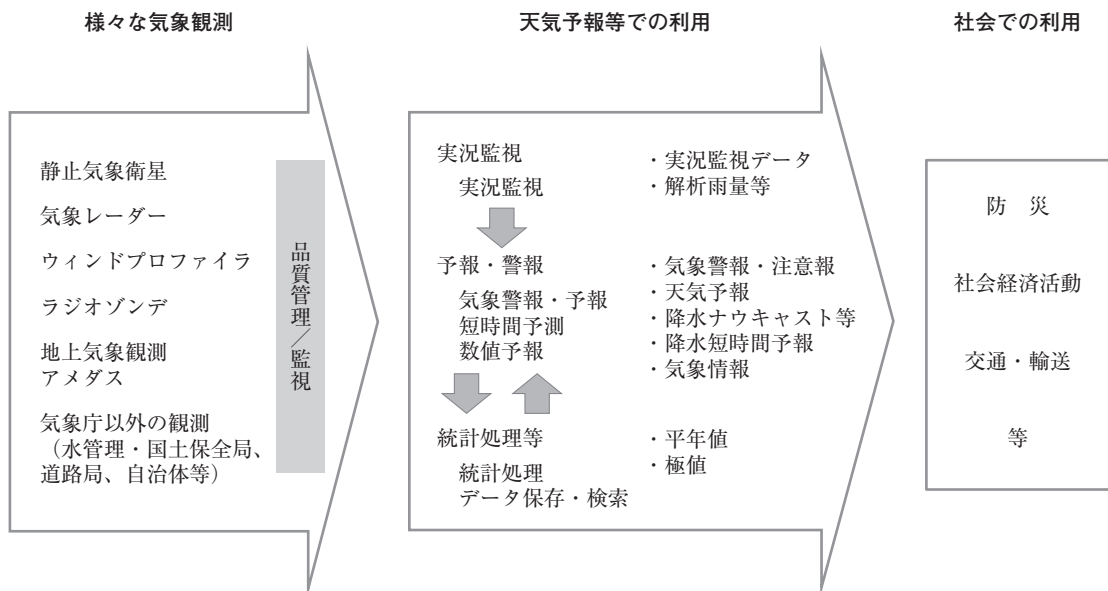
図1 大気現象の時間・水平スケール



(注) 総観スケールとは、水平スケールが約 2,000km から数千 km にわたる現象で、一般的に天気図に現れる低気圧や高気圧、気圧の谷や峰などがこれに属する。小倉義光『一般気象学 第2版補訂版』東京大学出版会、2016, p.158.

(出典) 小倉 同上, pp.158-160; 齊藤和雄・鈴木修『メソ気象の監視と予測—集中豪雨・竜巻災害を減らすために—』(気象学の新潮流 4) 朝倉書店、2016, p.1 等を基に筆者作成。

図2 様々な気象観測データの処理と利活用



(出典) 「気象観測について」気象庁ウェブサイト <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku/weather_obs.html> を基に筆者作成。

表 2 観測・予測精度向上に係る技術開発目標

予測幅	観測・予測	技術開発目標の例	活用場面の例
現在～1時間程度	「いま」の気象状況と直近予測	1時間先の大雨を実況に近い精度で予測	今すぐとるべき避難行動、日々の生活情報等に
～半日程度	早め早めの防災対応等に直結する予測	線状降水帯の発生を含め集中豪雨の予測精度向上	明るいうちからの避難等、早めの対策に
～3日程度	台風予報など数日前からの見通し予測	3日先の進路予測誤差を現在の1日先と同程度へ向上	大規模災害に備えた広域避難等の対策に
～1・2週間 ～1か月	数週間先までの顕著現象の見通し予測	社会的影響が大きい現象の予測に関し、数値予報モデルを改善	農業や物流等への被害軽減対策に
～数か月	数か月先の冷夏・暖冬等の予測	1か月先までの冷夏・暖冬等の予測を週ごとに提供	生産・流通・販売等の生産性向上のために
数十年～100年後	地球温暖化の将来予測	市町村向けのきめ細かな予測情報を提供	自治体や民間における温暖化適応策の策定を支援

(出典)「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方(提言概要)」(交通政策審議会気象分科会提言)2018.8. 気象庁ウェブサイト <http://www.jma.go.jp/jma/press/1808/20a/bunkakai_gaiyou.pdf> を基に筆者作成。

1 気象レーダー

気象観測においては、気象現象を三次元的に把握できるよう、水平分解能や観測高度の異なる観測機器を組み合わせる観測を行っている。地上での気象観測⁽²⁷⁾、地域気象観測システム(アメダス)⁽²⁸⁾、ラジオゾンデ⁽²⁹⁾等が各地点の気象状態を直接測るのに対し、気象レーダー、ウィンドプロファイラ⁽³⁰⁾、静止気象衛星⁽³¹⁾等は、リモートセンシング(電波等を用いて遠隔から観測する方法)により広範囲の観測を行う。

全国に20か所設置されている気象庁の気象レーダーは、アンテナからパルス状の電波を発生して降水粒子(雨粒)に当て、反射して戻ってくる電波(エコー)を受信・解析することで、雨の分布と強さを観測する。また、エコーの周波数のずれ(ドップラー速度)を利用して降水粒子の移動を検知し、それにより降水域内の大気中の風の情報も推定することができる⁽³²⁾。

集中豪雨、局地的大雨、積乱雲など、図1におけるメソスケールの気象現象は、現象の空間的・時間的スケールが小さく観測が困難である。また、現在の技術では積乱雲の雲粒を直接に

(27) 全国に約60か所の気象台・測候所、約90か所の特別地域気象観測所が設置されている。「地上気象観測」気象庁ウェブサイト <<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/chijyou/surf.html>>

(28) 我が国で昭和49(1974)年から運用を開始した無人の観測施設。現在、降水量の観測所として17km四方に1か所の割合で全国に約1300か所設置されており、うち約840か所では風向・風速、気温、日照時間、積雪(降雪地域のみ)も自動で観測している。「地域気象観測システム(アメダス)」気象庁ウェブサイト <<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html>>

(29) 上空データを観測するための小型の観測機器。気圧計や温度計等を取り付けたラジオゾンデを吊り下げた気球を揚げることで上空の大気を直接的に観測する。「ラジオゾンデによる高層気象観測」同上 <<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/upper/kaisetsu.html>>

(30) 地上から上空に向けて電波を発射し、大気中の風の乱れなどによって散乱され戻ってくる電波を受信・処理することで、上空の風向・風速を測定する装置。全国に33か所設置されている。「ウィンドプロファイラ」同上 <<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/windpro/kaisetsu.html>>

(31) 静止気象衛星は、赤道上空約36,000kmの軌道上にあり地球の自転と同じ周回周期を持つため、地球上からは赤道上空に静止して見える気象衛星。地球表面の約1/3を視野に収めることができる観測範囲の広さと地球上の同じ領域を常に観測できることが利点であり、数千キロ規模の雲域から数時間で変化する雲域までを常時監視できる。「静止気象衛星と極軌道気象衛星」気象衛星センターウェブサイト <<https://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/general/geopolar.html>>

(32) 齊藤・鈴木 前掲注(13), pp.18-24; 気象庁「気象レーダー」気象庁ウェブサイト <<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/kaisetsu.html>>

観測することはできない。予測のための観測データが十分ではないという課題もある。しかし、防災上、より正確な情報を必要とするため、新たな技術の研究開発・応用が進められており、現在以下のようなより高性能な降雨観測レーダーが実用化されている。

① MP レーダー

国土交通省では、平成 22 (2010) 年から大都市を中心に、きめ細かい時間・空間単位で大雨を観測できる気象レーダー観測網である「高性能レーダ雨量計ネットワーク (eXtended RAdar Information Network: XRAIN)」を配備し、豪雨災害の観測態勢を強化している。XRAIN では、二重偏波⁽³³⁾を同時に送受信して観測する「MP(マルチパラメータ) レーダー (Multi Parameter Radar)」という高性能なレーダーが使用されている⁽³⁴⁾。XRAIN では X バンドと言われる周波数帯⁽³⁵⁾のマイクロ波を使用する「X バンド MP レーダー」が使用されてきたが⁽³⁶⁾、平成 28 (2016) 年以降、従来の気象観測に広く使用されてきた C バンド⁽³⁷⁾のレーダーをマルチパラメータ化して X バンドレーダーと併用することで、更に観測の精度が向上している⁽³⁸⁾。

② フェーズドアレイ気象レーダー

既存のパラボラ型アンテナによる気象レーダーでは、アンテナが回転し、一周したら仰角を変えて少し上を観測する操作を繰り返すため、雲の下から上まで観測するのに 5 分以上かかり、積乱雲が 10 分ほどで急速に発達するような場合には不都合である。そこで、多数の小型センサーを配置した平面型のアンテナが 30 秒程度で一周するだけで雲全体の三次元観測が可能となる「フェーズドアレイ気象レーダー (Phased Array Weather Radar)」が開発され、平成 24 (2012) 年に大阪大学において試験観測を開始⁽³⁹⁾、平成 27 (2015) 年に気象庁気象研究所に導入されている。

③ マルチパラメータ・フェーズドアレイ・レーダー

MP レーダーは雨量の観測精度が高いという長所を持つが、三次元観測に時間がかかる。一方、フェーズドアレイ気象レーダーは、短時間での観測が可能だが精度が劣る。そこで、両者の長所を併せ持つ「マルチパラメータ・フェーズドアレイ・レーダー (Multi Parameter Phased Array Weather Radar: MP-PAWR)」が開発され、平成 29 (2017) 年 2 月に埼玉大学内に設置された⁽⁴⁰⁾。最大観測範囲は、ほぼ首都圏全体をカバーしており、平成 32 (2020) 年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会の会場や選手・観客への予報提供を視野に入れている。

(33) 水平偏波 (水平方向に振動する電波) と垂直偏波 (垂直方向に振動する電波)。

(34) 大気中を落下する雨粒は空気抵抗の影響を受けて上下方向につぶれた形をしており、このつぶれ方は大きな雨粒ほど大きくなる性質を利用して、雨粒の大きさの分布を観測することができる。

(35) 波長 25~37mm、8~12 GHz の電波。

(36) 「X バンドマルチパラメータレーダ」防災科学技術研究所ウェブサイト <<http://mp-radar.bosai.go.jp/index.html>>

(37) 波長 37~75mm、4~8 GHz の電波。

(38) 川崎将生・土屋修一「C バンドレーダの MP 化によるレーダ雨量情報の高度化」『国総研レポート』2014(13), 2014.4, p.56. <<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoku/2014report/2014nilim037.pdf>>

(39) 牛尾知雄「ゲリラ豪雨の予測を可能に」大阪大学ウェブサイト <http://www.osaka-u.ac.jp/ja/news/storyz/special_issue/research_topics_n174/201612_special_issue02>

(40) 情報通信研究機構ほか「世界初の実用型「マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ (MP-PAWR)」を開発・設置」2017.11.29. <<https://www.nict.go.jp/press/2017/11/29-1.html>>

また、通常のレーダーでは観測できない雲粒・エアロゾル (aerosol)⁽⁴¹⁾等の小さな粒子を観測する技術⁽⁴²⁾や、雨の元である水蒸気を観測・解析する研究⁽⁴³⁾も行われている。こうした研究が進めば、早期の豪雨予測がより正確になり、的確な警報発令や迅速な避難行動に結び付けることができる。

2 数値予報

数値予報とは、コンピュータの中で地球の状態を擬似的に再現する計算プログラムを使用して気候システムの時間変化を予測する方法であり、このプログラムを「数値予報モデル」という。数値予報モデルでは、大気や海洋を三次元の格子に分割し、その格子ごとに実際に観測した気温、風、水蒸気等の値を初期値としてその後の変化を計算（シミュレーション）する⁽⁴⁴⁾。

気象庁では、天気・天候の予報に数種類の数値予報モデルを用いており⁽⁴⁵⁾、例えば1週間先までの天気予報や台風予報に用いる「全球モデル」では、地球上の大気を水平格子間隔約20km、鉛直層100層に分割している。また、防災気象情報では、予報領域を日本周辺に限定したモデルを用いており、数時間から1日先の大雨や暴風など災害をもたらす現象の予報には格子間隔が5kmの「メソモデル」、目先数時間程度の大雨等の予想には格子間隔が2kmの「局地モデル」が使用される。局地モデルによる予報は毎時行われている。

数値予報の精度は、数値予報モデルの精緻化、解析手法の高度化、観測データの増加・品質改善、コンピュータの高性能化により、年々向上している⁽⁴⁶⁾。

3 降雨予報

気象レーダー等により観測された数値は、様々な気象予報に用いられる（図2参照）。気象庁が提供する気象情報のうち、直近の降水に関わる予報システムとして以下のものが稼働している⁽⁴⁷⁾。

①降水短時間予報

30分間隔（速報版は10分間隔）で発表され、6時間先までの各1時間降水量を1km四方の細かさで予報する。解析雨量⁽⁴⁸⁾から求めた毎時間の降水量分布を利用して降水域の移動速度を求め、6時間後までの降水量分布を作成する。

②降水ナウキャスト

降水短時間予報より迅速な情報として5分間隔で発表され、1時間先までの5分ごとの

(41) エアロゾルとは、大気中に分散・浮遊する個体又は液体の微粒子で、雲粒の核となる。主要なエアロゾルとしては、鉱物ダスト、海塩、硫酸塩、有機炭素及び黒色炭素がある。

(42) 小林 前掲注(9), pp.128-139.

(43) 情報通信研究機構「地デジ放送波を使った水蒸気量推定方法の開発に成功」2017.3.9. <<http://www.nict.go.jp/press/2017/03/09-1.html>>

(44) 気候モデルにおいては、時間の経過とともに予測のずれが大きくなっていく。予測の精度を高めるため、一定時間ごとに新たな実測データと突き合わせることでこのずれの修正が行われる。これを「データ同化」という。齊藤・鈴木 前掲注(13), pp.62-64.

(45) 「数値予報モデルの種類」気象庁ウェブサイト <<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/nowcast/whitep/1-3-4.html>>

(46) 「数値予報の精度向上」同上 <<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/nowcast/whitep/1-3-9.html>>

(47) 本節の内容については、以下を参照した。「降水ナウキャスト、降水短時間予報」同上 <<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/nowcast/whitep/1-3-9.html>>; 「高解像度降水ナウキャスト」同 <<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/nowcast/whitep/1-3-9.html>>; 齊藤・鈴木 前掲注(13), pp.32-37.

(48) 解析雨量とは、気象庁の気象レーダーと国土交通省のレーダー雨量計による観測データを、アメダス等の地上雨量計による観測で補正したもの。齊藤・鈴木 同上, p.31.

降水の強さを 1km 四方の細かさで予報する。予測には、気象庁の気象レーダーによる観測やアメダス等の雨量データから求めた降水の強さの分布及び降水域の発達や衰弱の傾向、過去 1 時間程度の降水域の移動や地上・高層の観測データから求めた移動速度を利用する。

③降水 15 時間予報

1 時間間隔で発表され、降水短時間予報の先に当たる 7 時間から 15 時間先までの各 1 時間降水量を 5km 四方の細かさで予報する。予測には、数値予報モデルのうちメソモデルと局地モデルを統計的に処理した結果を組み合わせ、降水量分布を作成する。

④高解像度降水ナウキャスト

②の降水ナウキャストでは、気象庁の気象レーダーによる観測データを雨量計で補正した値を初期値としているのに対し、高解像度降水ナウキャストでは、さらにその他の全国の雨量計データ、ウィンドプロファイラやラジオゾンデの高層観測データ、国土交通省の X バンド MP レーダーのデータも利用・解析して初期値を作成する⁽⁴⁹⁾。また、降水ナウキャストでは二次元で予測するのに対し、降水域内部を立体的に三次元で解析して、250m 四方の細かさで 30 分先までの降水分布を予測する⁽⁵⁰⁾。

現在はこれらの情報の多くがスマートフォン等の新しい手段によって容易にアクセスできる形態で提供されており、一般市民が自身の位置情報と合わせて迅速に近隣の気象情報を得て、防災や生活に活用できる仕組みが整えられつつある⁽⁵¹⁾。

おわりに

本稿では主に豪雨を取り上げたが、気象現象のメカニズムを解明し、今起こりつつある状況を迅速かつ詳細に観測し、早期の対応に結び付ける努力が求められるのは、他のあらゆる気象現象についても同様である。また、突発的な異常現象ばかりに目を奪われず、長い年月をかけて地球や人類に影響を及ぼす気候変動についても同じことが求められる。

極端気象の頻発や地球温暖化の問題が世界的に議論され、気象に対する関心や不安が高まる機運にある現在、経験に頼りがちな気象や防災について、専門家だけではなく我々ひとりひとりが気象に関するリテラシーを主体的に深めていく必要がある。また、予測技術や防災技術の進展は目覚ましいが、同時に、確実性の点でいまだ限界があることも踏まえ、気象の観測、予報・警報、防災、避難活動について一体のものとして改善に取り組んでいく必要がある。

(とよだ とおる)

(49) 降水ナウキャストでは初期値を「実況値」と呼ぶのに対し、高解像度降水ナウキャストでは「解析値」あるいは「実況解析値」と呼んでいる。

(50) 高解像度降水ナウキャストは、こうした技術面の違いに加え、地図上に河川、鉄道、市町村名等を表示できるなど、利用者の利便性を向上させている。

(51) 例として、雨雲の動きを「雨雲の動き（高解像度降水ナウキャスト）」<<https://www.jma.go.jp/jp/highresorad>>で見ることができる。