

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	極端気象と地球温暖化
他言語論題 Title in other language	Extreme Weather and Global Warming
著者／所属 Author(s)	鈴木 良典 (SUZUKI Yoshinori) / 国立国会図書館調査及び立法考査局農林環境課
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	17-29
ISBN	978-4-87582-837-2
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
キーワード keywords	地球環境
摘要 Abstract	極端気象の背景として、地球温暖化の影響が指摘されている。本稿では、地球温暖化と極端気象との関係、地球温暖化と極端気象に関する観測事実及び将来予測について紹介する。

- * 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。

極端気象と地球温暖化

国立国会図書館 調査及び立法考査局
農林環境課 鈴木 良典

目 次

はじめに

I 地球温暖化のメカニズムと極端気象

- 1 気候システムと極端気象
- 2 気候変動とそのメカニズム
- 3 地球温暖化とその要因
- 4 地球温暖化と極端気象

II 地球温暖化と極端気象に関する観測事実

- 1 気温・降水の長期変化傾向
- 2 極端気象の長期的な傾向

III 地球温暖化と極端気象に関する将来予測

- 1 気候変動の将来予測
- 2 気温・降水に関する将来予測
- 3 極端気象に関する将来予測

おわりに

【要 旨】

熱波や短時間強雨等の極端な気象現象は、頻度は低いものの、人為的な影響の有無にかかわらず、一定の確率で自然に生じ得る現象であるが、地球温暖化はそうした気象現象の発生頻度等を変化させる。例えば、地球温暖化により気温や海面水温が上昇すれば、大気中の水蒸気の量も増大し、短時間強雨等が発生しやすくなる。

世界の平均気温は、1880 年から 2012 年までの間に 0.85℃ 上昇している。こうした地球温暖化の進行に伴い、1950 年頃以降、世界では熱波や強い降水現象の頻度増加などが観測されてきた。日本でも、真夏日・猛暑日の増加、短時間強雨の発生回数の増加などが観測されている。

21 世紀末の世界平均地上気温は、温室効果ガス排出量が最も多いシナリオで、20 世紀末頃と比べて 2.6～4.8℃ 上昇するとの予測がある。温暖化の進行に伴い、世界及び日本において、熱波や短時間強雨等の発生頻度が増加していくと考えられている。

はじめに

近年、極端気象⁽¹⁾に伴う災害が毎年のように世界及び日本で発生しており、その背景として地球温暖化の影響が指摘されている。本稿では、地球温暖化のメカニズム及び地球温暖化と極端気象との関係について簡単に整理した後、地球温暖化と極端気象に関する近年の観測事実、そして地球温暖化と極端気象に関する将来予測について紹介する。

I 地球温暖化のメカニズムと極端気象**1 気候システムと極端気象**

大気の状態は常に変化しており、この変化を十分に長い時間にわたって平均したものを「気候」と呼んでいる。気候を具体的に表す値としては、ある期間における気温や降水量などの平均値や変動の幅などが挙げられる⁽²⁾。

大気は、海洋、陸地、雪氷等との間で相互に影響を及ぼし合っているため、これらの各要素は一つのシステムを構成していると見ることができる(気候システム)⁽³⁾。気候システムの状態は、各要素間の相互作用等によって常に変動し、揺らぎが生じている。そうした揺らぎの中で、様々な気象現象が発生しているが、気候システムの平均状態、すなわち気候から大きく離れた気象現象(熱波や短時間強雨等)が発生する頻度は低い。しかし、ある時点において、気候システムの揺らぎが非常に大きくなり、極端な気象現象(極端気象)が発生する可能性もないわけではない⁽⁴⁾。したがって、極端気象は、頻度は低いものの、人為的な影響の有無にかかわらず、一定の確率で自然に生じ得る現象であると言える。

* 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 31 (2019) 年 1 月 10 日である。

(1) 極端気象(極端な現象)の定義については、本報告書の豊田透「極端気象と観測・予測技術」を参照。

(2) 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—」2018.2, p.3. <http://www.env.go.jp/earth/tekiou/report2018_full.pdf>

(3) 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) 2015.3, p. i. <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/2014/pdf/2014_full.pdf>

(4) 遠藤新「異常気象 日本における異常気象のこれまでとこれから その出現傾向と地球温暖化」『エネルギーレビュー』38(4), 2018.4.10, p.10.

2 気候変動とそのメカニズム

前述のとおり、気候システムはその平均状態（気候）を中心として常に揺らいでいるが、より長期的な時間スケールで見ると、気候そのものも変動している。このような長期的な変動を広く「気候変動」と言う⁽⁵⁾。

地球規模の気候は、太陽から地球が受け取るエネルギーと地球から出ていくエネルギーの収支に影響される。太陽から地球に入ってくる光エネルギー（太陽放射）の一部は宇宙空間に反射されるが、残りは大気と地表面に吸収されて大気と地表面の温度を上昇させ、地球はその温度に応じた熱エネルギーを放出する（地球放射）。地球の温度は、地球が受け取るエネルギー（入射する太陽放射）と地球から出ていくエネルギー（反射+地球放射）の収支によって決まる。入射超過であれば地球の温度が上昇し、放出超過であれば下降していく⁽⁶⁾。

具体的なエネルギーの流れを見ていくと、太陽放射のうち、一部は雲やエアロゾル⁽⁷⁾、そして地表面によって宇宙空間に反射され、残りが地表面と大気に吸収される。暖められた地表面からは熱が放射されるが、その多くは大気中の水蒸気や二酸化炭素といった物質⁽⁸⁾等に吸収される。これにより暖められた大気から、熱が全方向に再放射され、上向きの熱放射（地球放射）は宇宙空間へ放出され、下向きの熱放射は大気下層と地表面を暖める。この結果、大気は上層ほど冷たく、地表面に近いほど暖くなる（温室効果）⁽⁹⁾。

こうした太陽放射と地球放射のバランスは、「気候システム外部からの影響（強制力）」⁽¹⁰⁾によって変化する。外部から与えられる強制力には、自然起源によるものと人為起源によるものがある。前者の例としては、太陽活動や地球の公転軌道の変動等があり、後者の例としては、温室効果ガスの排出増加等が挙げられる⁽¹¹⁾。こうした様々な外部要因の変化が、気候に対してどれだけの影響力を持つかの尺度を「放射強制力」という。ある要因が地表面を加熱していればその放射強制力は正の数値となり、逆に冷却していれば負の数値となる⁽¹²⁾。

3 地球温暖化とその要因

地球全体の平均気温は、後述（II1(1)）のとおり、過去1世紀の間に上昇してきている。こうした気温上昇は、主に人為起源の要因、すなわち人間活動に伴う大気中の二酸化炭素濃度の増加によって生じたと考えられている。例えば、気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）⁽¹³⁾の第5次評価報告書（The Fifth Assessment Report: AR5）⁽¹⁴⁾のうち、気候変動の自然科学的根拠をテーマとする第1作業部会の報告書（WG1-AR5）は、工業化が始まった時期である1750年と比較した場合、2011年における「放射強制力の合

(5) 同上; 環境省ほか 前掲注(2)

(6) 環境省ほか 同上, p.4; 鬼頭昭雄『異常気象と地球温暖化—未来に何が待っているか—』岩波書店, 2015, pp.39-40.

(7) 「大気中に浮遊する固体または液体の微粒子」を指す。環境省ほか 同上, p.3.

(8) 後述のように、こうした水蒸気や二酸化炭素等は、温室効果をもたらすことから「温室効果ガス」と呼ばれる。

(9) 環境省ほか 前掲注(2), p.4; 鬼頭 前掲注(6), pp.40-43; 中島映至・田近英一『正しく理解する気候の科学—論争の原点にたち帰る—』技術評論社, 2013, pp.32-37.

(10) なお、気候は、「気候システム外部からの影響（強制力）」のほかに、「気候システム内部の影響」によっても変化する。そうした内部要因としては、「熱帯太平洋の海面水温が数年規模で変動するエルニーニョ/ラニーニャ現象」等が挙げられる。環境省ほか 同上, p.3.

(11) 同上, pp.3-5.

(12) 同上, pp.5-6; 中島・田近 前掲注(9), p.134.

(13) 1988年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により設立された政府間組織で、人為起源による気候変動について、包括的な評価を行うことを目的としている。「IPCC(気候変動に関する政府間パネル)」気象庁ウェブサイト <<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/index.html>>; IPCC website <<https://www.ipcc.ch/>>

計は正であり、その結果、気候システムによるエネルギーの吸収をもたらしている。合計放射強制力に最大の寄与をしているのは、1750年以降の大気中の二酸化炭素濃度の増加である⁽¹⁵⁾と評価している。このような、ここ1世紀の「人為起源の要因による気温の上昇」が一般に「地球温暖化」と呼ばれている⁽¹⁶⁾。

4 地球温暖化と極端気象

(1) 地球温暖化と極端気象の関連

地球温暖化のような気候変動（気候システムの長期的な変動）が生じた場合、気候システムの短期的な揺らぎにも影響を及ぼし、その結果、それ以前には発生頻度が低かった、熱波や短時間強雨等の発生頻度が増加していくと考えられている。例えば、地球温暖化により気温や海面水温が上昇すれば、大気中の水蒸気の量も増えるため、短時間強雨等が発生しやすくなるとされている⁽¹⁷⁾。また、台風等の熱帯低気圧については、地球全体の発生数が減少する⁽¹⁸⁾、強い熱帯低気圧が発生しやすくなる⁽¹⁹⁾、発生位置が変化する⁽²⁰⁾といった影響が生じるものと考えられている。

(2) 地球温暖化と個別の気象現象の関連

前述のように、極端気象は、人為的な影響の有無にかかわらず、一定の確率で自然に生じ得る現象である。したがって、ある特定の気象現象（イベント）が発生した場合、それが確実に地球温暖化等の人為的な影響に起因するものであると判断することはできない。ただし、特定のイベントの発生確率が人為的な影響によってどの程度変化したのかを、気候モデル（Ⅲ1(1)を参照）を用いたシミュレーションによって評価することは可能である。これを「イベント・アトリビューション」（Event Attribution: EA）と言う⁽²¹⁾。EAの具体的な事例としては、2013年夏に西日本で発生した熱波に関する研究があり、地球温暖化によって当該熱波の発生確率が1.73%から12.4%となり、10%ほど増大したと結論付けている⁽²²⁾。

(14) AR5については、2013年9月27日に気候変動の自然科学的根拠をテーマとする第1作業部会報告書、2014年3月31日に気候変動の影響・適応・脆弱性をテーマとする第2作業部会報告書、2014年4月13日に気候変動に対する緩和をテーマとする第3作業部会報告書がそれぞれ公表され、2014年11月2日に統合報告書が公表された。「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書（AR5）等について」<<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/index.html>>

(15) 気候変動に関する政府間パネル（気象庁訳）『気候変動2013—自然科学的根拠—政策決定者向け要約』（気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書第1作業部会報告書）2015.12.1, p.11. <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf> なお、温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）の解析によれば、2017年の世界の平均二酸化炭素濃度は、1750年以前の平均的な値と比べて46%増加している。「二酸化炭素濃度の経年変化」気象庁ウェブサイト <https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html>

(16) 気象庁 前掲注(3), p.ii.

(17) 遠藤 前掲注(4), pp.10-11; 日本気象学会地球環境問題委員会編『地球温暖化—そのメカニズムと不確実性—』朝倉書店, 2014, pp.92-93.

(18) 地球温暖化で大気中の水蒸気の量が増大すると、熱帯の積乱雲の活動が活発になる。積乱雲の中では、雲ができる際に出る凝結熱が大気を加熱し、加熱された大気が上空に輸送される。このため、地球温暖化が進行すると、積乱雲の活動が活発になった熱帯では、大気上層の気温が大きく上昇する。その結果、大気下層で暖められた空気が上層へと上昇する上昇気流が弱くなり、熱帯低気圧の発生数が減少すると考えられている。日本気象学会地球環境問題委員会編 同上, pp.65-68; 気象庁 前掲注(3), p.183.

(19) 水蒸気は熱帯低気圧のエネルギー源となるので、地球温暖化の進行に伴い大気中の水蒸気の量が増えると、強い熱帯低気圧が発生しやすくなると考えられている。日本気象学会地球環境問題編 同上, p.68; 気象庁 同上

(20) 地球温暖化による海面水温の上昇は、地域によって上昇幅が異なるものと考えられている。したがって、地球温暖化によって海面水温の分布が変化し、それに伴って熱帯低気圧の発生位置も変化すると考えられている。気象庁 同上

(21) 環境省ほか 前掲注(2), p.30; 鬼頭 前掲注(6), p.94.

II 地球温暖化と極端気象に関する観測事実

WG1-AR5 は、「気候システムの温暖化には疑う余地がなく、また 1950 年代以降、観測された変化の多くは数十年から数千年間にわたり前例のないものである」⁽²³⁾としている。以下では、近年の地球温暖化とそれに伴う気候システムの変化について、WG1-AR5 及び気象庁が発表したデータを中心に、観測された主な事実を見ていく。

1 気温・降水の長期変化傾向

(1) 世界における平均気温・降水量の長期変化傾向

世界における平均気温は、WG1-AR5 によれば、1880 年から 2012 年までに 0.85℃ 上昇している⁽²⁴⁾。一方、降水量については、「北半球中緯度の陸域平均では、降水量が 1901 年以降増加している（1951 年までは中程度の確信度、それ以降は高い確信度）。その他の緯度帯については、領域平均した長期的な増加又は減少の変化傾向の確信度は低い」⁽²⁵⁾としている。

(2) 日本における平均気温・降水量の長期変化傾向

日本の年平均気温は、気象庁によれば、1898 年以降、100 年当たり 1.19℃ の割合で上昇している⁽²⁶⁾。一方、年降水量については、1898 年から 2017 年までの間では「長期変化傾向は見られない」⁽²⁷⁾ものの、「1970 年代から 2000 年代までは年ごとの変動が比較的大きかった」⁽²⁸⁾としている。

このように、ここ 100 年程度の平均気温については、世界、日本とも上昇が観測されているが、降水量については、必ずしも長期的な増加傾向が指摘されているわけではない。

2 極端気象の長期的な傾向

(1) 世界における極端気象の長期的な傾向

WG1-AR5 では、1950 年頃以降、多くの極端気象について発生頻度等が変化し、それに温室効果ガスの排出増加等の人間活動が寄与している可能性があるとの評価がなされている⁽²⁹⁾。具体的には、「ヨーロッパ、アジア、オーストラリアの大部分で熱波が増加している可能性が高い。…（中略）…強い降水現象の頻度もしくは強度は、北アメリカとヨーロッパで増加している可能性が高い」⁽³⁰⁾とするなど、特定の地域における極端気象の増加を示唆している。

⁽²²⁾ Yukiko Imada et al., “The Contribution of Anthropogenic Forcing to the Japanese Heat Waves of 2013,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Sep2014 Supplement, 2014.9, pp.S52-S54.

⁽²³⁾ 気候変動に関する政府間パネル 前掲注(15), p.2.

⁽²⁴⁾ 同上, p.3.

⁽²⁵⁾ 同上 WG1-AR5 において「確信度」は、「モデル、解析あるいはある意見の正しさに関する不確実性の程度を表す用語であり、証拠（例えばメカニズムの理解、理論、データ、モデル、専門家の判断）の種類や量、品質及び整合性と、特定の知見に関する文献間の競合の程度等に基づく見解の一致度に基づいて定性的に表現される」。具体的には、「非常に高い」、「高い」、「中程度」、「低い」、「非常に低い」の 5 段階で評価されている。「第 5 次評価報告書における可能性と確信度の表現について」文部科学省ウェブサイト <http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/26/04/attach/1347084.htm>

⁽²⁶⁾ 気象庁『気候変動監視レポート—世界と日本の気候変動および温室効果ガスとオゾン層等の状況— 2017』2018.7, pp.31-32. <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2017/pdf/ccmr2017_all.pdf>

⁽²⁷⁾ 同上, p.37.

⁽²⁸⁾ 同上

⁽²⁹⁾ 気候変動に関する政府間パネル 前掲注(15), pp.3, 5.

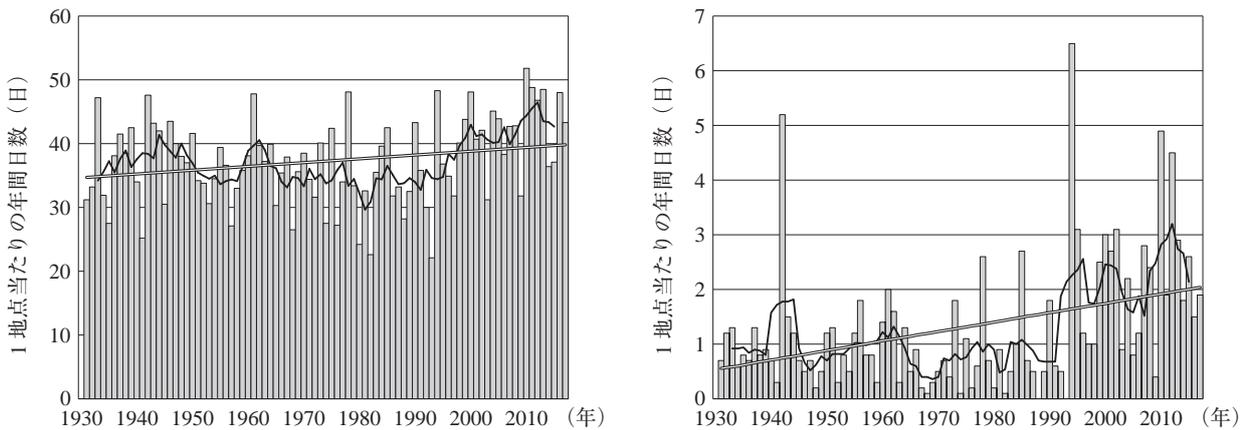
(2) 日本における極端気象の長期的な傾向

日本では、真夏日・猛暑日、大雨、短時間強雨については増加傾向が見られるが、台風については変化傾向が見られない。

(i) 真夏日・猛暑日

気象庁によれば、真夏日及び猛暑日⁽³¹⁾の年間日数は、1931年から2017年までの間で増加傾向にある(図1)⁽³²⁾。特に、猛暑日の年間日数は、「1990年代半ば頃を境に大きく増加している」との指摘がある⁽³³⁾。

図1 真夏日(左図)及び猛暑日(右図)の年間日数の経年変化(1931~2017年)



(注) 棒グラフは、各年各有効地点の年間日数の合計を各年の有効地点数で割った値(1地点当たりの年間日数)を示す。折れ線は5年移動平均値(当該年及び前後2年分の計5年分を平均した値)、直線は長期変化傾向(この期間の平均的な変化傾向)を示す。

(出典)「大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化」気象庁ウェブサイト <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html>に基づき筆者作成。

(ii) 大雨

気象庁によれば、日降水量が100mm以上の大雨となった年間日数と、200mm以上の大雨となった年間日数は、1901年から2017年までの間でともに増加傾向にある(図2)⁽³⁴⁾。

(30) 同上, p.3.

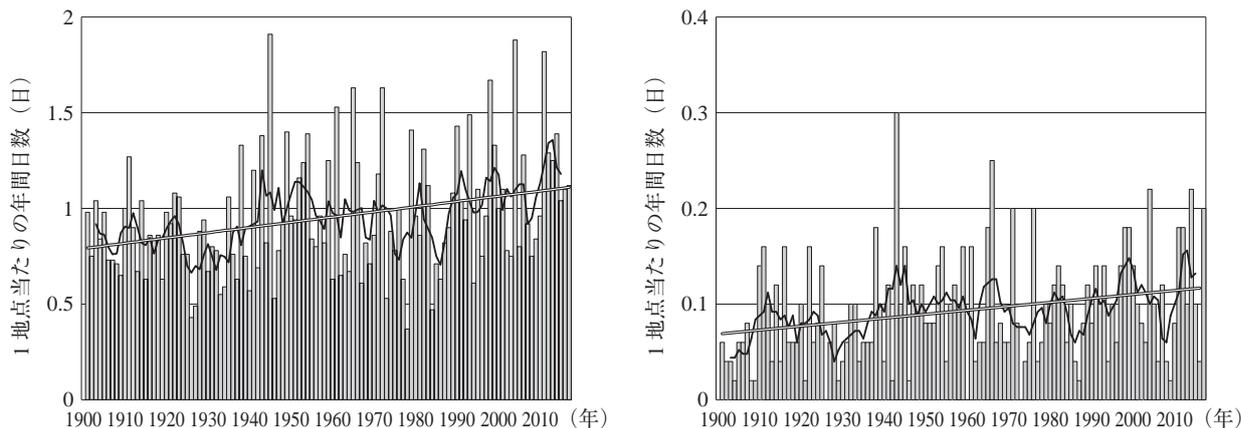
(31) 真夏日は「日最高気温が30℃以上」の日、猛暑日は「日最高気温が35℃以上」の日を言う。気象庁 前掲注(26), p.33.

(32) 同上

(33) 同上

(34) 同上, p.38.

図2 日降水量 100mm 以上 (左図) 及び 200mm 以上 (右図) の年間日数の経年変化 (1901~2017 年)



(注) 棒グラフは、各年各有効地点の年間日数の合計を各年の有効地点数で割った値 (1 地点当たりの年間日数) を示す。折れ線は 5 年移動平均値 (当該年及び前後 2 年分の計 5 年分を平均した値)、直線は長期変化傾向 (この期間の平均的な変化傾向) を示す。

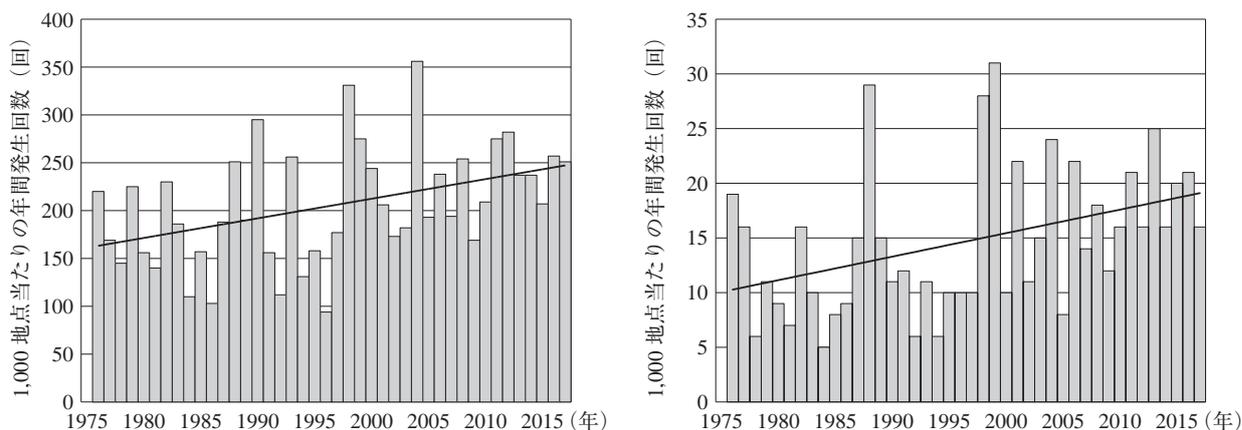
(出典) 「大雨や猛暑日など (極端現象) のこれまでの変化」気象庁ウェブサイト <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html> に基づき筆者作成。

(iii) 短時間強雨

気象庁は、1974 年から「地域気象観測システム」(Automated Meteorological Data Acquisition System)、通称「アメダス」を運用し、全国に設置された約 1,300 の地域気象観測所で降水量等の自動観測を実施している⁽³⁵⁾。アメダスによる観測の特徴として、「アメダスの地点数は気象台や測候所等の約 8 倍あり面的に緻密な観測が行われていることから、局地的な大雨などは比較的よく捉えることが可能である」⁽³⁶⁾と指摘されている。

アメダスの観測値に基づく気象庁の分析によれば、1 時間の降水量が 50mm 以上となった短時間強雨の年間発生回数と、80mm 以上となった短時間強雨の年間発生回数は、1976 年から 2017 年までの期間でともに増加傾向にある (図 3)⁽³⁷⁾。

図3 1 時間降水量 50mm 以上 (左図) 及び 80mm 以上 (右図) の年間発生回数の経年変化 (1976~2017 年)



(注) 棒グラフは、各年の年間発生回数を示す (全国のアメダスの観測値を 1000 地点あたりに換算した値)、直線は長期変化傾向 (この期間の平均的な変化傾向) を示す。

(出典) 「大雨や猛暑日など (極端現象) のこれまでの変化」気象庁ウェブサイト <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html> に基づき筆者作成。

⁽³⁵⁾ 「地域気象観測システム (アメダス)」気象庁ウェブサイト <<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html>>

⁽³⁶⁾ 一方、前述のとおりアメダスの運用が開始されてから約 40 年しか経過していないため、気象の長期変化傾向を分析するためには、更なるデータの蓄積が必要と指摘されている。気象庁 前掲注⁽²⁶⁾, p.39.

(iv) 台風

気象庁は、台風について、「1990年代後半以降はそれ以前に比べて発生数が少ない年が多くなっている…(中略)…ものの、1951～2017年の統計期間では長期変化傾向は見られない」⁽³⁸⁾としている。また、「強い」⁽³⁹⁾以上の勢力となった台風の発生数についても、「1977～2017年の統計期間では変化傾向は見られない」⁽⁴⁰⁾としている。

III 地球温暖化と極端気象に関する将来予測**1 気候変動の将来予測****(1) 気候モデル**

気候変動の将来予測は、「気候モデル」と呼ばれる計算プログラムを用いて、気候システムをコンピューター上で近似的に再現することによって可能となる⁽⁴¹⁾。気候モデルは各国の研究機関によって開発されており、例えば気象庁気象研究所では、高解像度の全球大気モデル(MRI-AGCM)や、日本付近の詳細な予測を行う非静力学地域気候モデル(NHRCM)等を開発している。国内外でこうした気候モデルを用いた将来予測を行っており、国際的な枠組みにおいて、その結果を相互比較する取組も行われている⁽⁴²⁾。

(2) RCP シナリオ

気候変動の将来予測では、温室効果ガスの排出量など、人為起源による放射強制力(I₂を参照)がどのように変化するかに関して、幾つかの仮定(シナリオ)を用意した上で気候モデルを運用している。これによって、様々な気候モデルによる予測結果を相互に比較することが可能となる⁽⁴³⁾。

WG1-AR5では、「代表的濃度経路(Representative Concentration Pathways: RCP)」と呼ばれるシナリオ⁽⁴⁴⁾を用いている。具体的には、以下の4つのシナリオがある。

- ①低位安定化シナリオ (RCP2.6 シナリオ)
- ②中位安定化シナリオ (RCP4.5 シナリオ)
- ③高位安定化シナリオ (RCP6.0 シナリオ)
- ④高位参照シナリオ (RCP8.5 シナリオ)

⁽³⁷⁾ 同上

⁽³⁸⁾ 同上, p.43.

⁽³⁹⁾ 気象庁は、台風の強さを最大風速によって階級分けしている。具体的には、風速33m/s以上44m/s未満を「強い」、44m/s以上54m/s未満を「非常に強い」、54m/s以上を「猛烈な」としている。「台風の大きさと強さ」気象庁ウェブサイト <<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/typhoon/1-3.html>>

⁽⁴⁰⁾ 気象庁 前掲注(26), p.43.

⁽⁴¹⁾ 気候モデルを用いた将来予測は、具体的には、「世界全体をグリッドに区切り、そのグリッドごとに気温、風量、水蒸気等の時間変化を物理法則に従って計算することにより、将来の気候変化を予測する」ものである。環境省ほか 前掲注(2), p.18.

⁽⁴²⁾ 同上, pp.18-20.

⁽⁴³⁾ 同上, p.23.

⁽⁴⁴⁾ RCPシナリオは、「政策的な温室効果ガスの緩和(削減)策を前提として、将来の温室効果ガスが安定化する濃度レベルと、そこに至るまでの経路のうち代表的なもの(代表的濃度経路)を選び作成したシナリオ」である。環境省・気象庁「21世紀末における日本の気候—不確実性評価を含む予測計算—」2015.3, p.23. <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/pamph_tekiou/2015/jpnclim_full.pdf>

RCPに続く数値(2.6~8.5)は、2100年における1750年に対する単位面積当たりの放射強制力の増加量(単位:ワット/m²)を示すものであり、値が大きいほど温室効果ガス排出量が多いシナリオ、つまり厳しい地球温暖化対策を行わなかったシナリオであることを意味する⁽⁴⁵⁾。

なお、RCPシナリオは、日本の気候に関する将来予測でも用いられている。RCPシナリオを用いた日本の気候に関する将来予測のうち、代表的なものとしては、環境省・気象庁の「21世紀末における日本の気候」(2015年)と気象庁の『地球温暖化予測情報 第9巻』(2017年)がある。前者は①~④の4つのRCPシナリオを用いて予測を行っており⁽⁴⁶⁾、後者はRCP8.5シナリオを用いて予測を行っている⁽⁴⁷⁾。

(3) 将来予測の不確実性

気候変動の将来予測には、様々な要因により不確実性がある。主な要因としては、以下の3つがある⁽⁴⁸⁾。

- ①気候シナリオの不確実性
- ②気候の内部変動の不確実性
- ③気候モデルの不確実性

①は「将来の社会経済予測に関わる温室効果ガス排出シナリオが持っている不確実性」を、②は「気候システムが本来持っている不確実性」を、③は「与えられた温室効果ガス排出シナリオに対する気候モデルの応答の不確実性」⁽⁴⁹⁾を、それぞれ意味している。気候変動に関する将来予測の結果を利用する場合には、これらの不確実性に留意することが必要である。

2 気温・降水に関する将来予測

21世紀末の平均気温については、世界・日本とも上昇が予測されているが、降水量については必ずしも明確ではない。

(1) 世界における平均気温・降水量に関する将来予測

2081~2100年の世界平均地上気温が1986~2005年平均に対してどの程度上昇するかについて、WG1-AR5は、「RCP2.6シナリオでは0.3~1.7℃、RCP4.5シナリオでは1.1~2.6℃、RCP6.0シナリオでは1.4~3.1℃、RCP8.5シナリオでは2.6~4.8℃の範囲に入る可能性が高

⁽⁴⁵⁾ 同上; 鬼頭 前掲注(6), pp.106-107; 気候変動に関する政府間パネル 前掲注(15), p.27. 4つのシナリオのうち、④高位参照シナリオ(RCP8.5シナリオ)は、現時点を超える地球温暖化対策を行わなかったシナリオであり、2100年以降も放射強制力の上昇が続く。これに対し、①低位安定化シナリオ(RCP2.5シナリオ)では、放射強制力は2100年までにピークを迎えその後減少する。②中位安定化シナリオ(RCP4.5シナリオ)及び③高位安定化シナリオ(RCP6.0シナリオ)はこれらの間に位置し、放射強制力が安定化するのは2100年以降である。環境省ほか 前掲注(2), p.23; 気象庁『地球温暖化予測情報 第9巻』気象庁, 2017, p.I. <<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf>>

⁽⁴⁶⁾ 環境省・気象庁 前掲注(44), p.2.

⁽⁴⁷⁾ なお、RCP8.5シナリオについては、「4つのRCPシナリオのうち最も温室効果ガスの排出が多く、予測される気温の上昇や大雨の頻度の増加が最も大きいことから、防災分野をはじめとして、地球温暖化による影響が最も大きな場合を想定した影響評価に不可欠なシナリオである」と指摘されている。気象庁『地球温暖化予測情報 第9巻』気象庁, 2017, p.1. <<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol9/pdf/all.pdf>>

⁽⁴⁸⁾ 環境省ほか 前掲注(2), p.33.

⁽⁴⁹⁾ 予測結果の不確実性に対する寄与は、近い将来の予測では②が最大で、予測の対象が未来になるほど③が大きくなる。しかし、より遠い将来(21世紀後半以降)を予測する際には、①が重要となる。同上

い」⁽⁵⁰⁾としている。

また、世界平均降水量について、WG1-AR5は、長期的には世界平均地上気温の上昇に伴って増加することがほぼ確実であるとしている⁽⁵¹⁾。ただし、地域的に見ると、RCP8.5シナリオの場合、今世紀末までに年平均降水量が増加する可能性が高い地域（高緯度域と太平洋赤道域、多くの中緯度の湿潤地域）もあれば、逆に年平均降水量が減少する可能性が高い地域（中緯度と亜熱帯の乾燥地域の多く）もあると予測されている⁽⁵²⁾。

(2) 日本における平均気温・降水量に関する将来予測

日本における21世紀末（2080～2100年）の年平均気温（全国平均）について、環境省及び気象庁の「21世紀末における日本の気候」は、全国的に上昇するとし、1984～2004年の平均値に対して、RCP2.6シナリオでは0.5～1.7℃、RCP4.5シナリオでは1.3～2.7℃、RCP6.0シナリオでは1.6～3.6℃、RCP8.5シナリオでは3.4～5.4℃の範囲で上昇すると予測している⁽⁵³⁾。地域別に見ると、「低緯度より高緯度のほうが、気温上昇が大きい傾向がみられます」⁽⁵⁴⁾としている。また、気象庁の『地球温暖化予測情報 第9巻』では、21世紀末（2076～2095年）までの年平均気温は全国的に上昇し、全国平均で20世紀末（1980～1999年）の平均値に対して、RCP8.5シナリオで4.5℃上昇すると予測している。地域別に見ると、高緯度地域ほど上昇が大きい傾向が見られる⁽⁵⁵⁾。

また、日本における21世紀末（2080～2100年）の年降水量について、「21世紀末における日本の気候」は、「増加するケースと減少するケースがあり、有意な傾向は見られません」⁽⁵⁶⁾としている。『地球温暖化予測情報 第9巻』では、RCP8.5シナリオにおいて、21世紀末（2076～2095年）の年降水量は、「ほぼ全国的に有意な変化傾向が見られない」⁽⁵⁷⁾としている。

3 極端気象に関する将来予測

(1) 世界における極端気象に関する将来予測

世界における極端気象について、WG1-AR5は、将来変化の予測を行っている⁽⁵⁸⁾。例えば、

⁽⁵⁰⁾ 気候変動に関する政府間パネル 前掲注(15), p.18. なお、IPCCが2018年10月に発表した特別報告書では、地球温暖化が現状と同様のペースで進行すれば、2030年から2052年までの間に、工業化以前からの世界平均地上気温の上昇が1.5℃に達する可能性が高い（高い確信度）としている。IPCC, “GLOBAL WARMING OF 1.5 °C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty: Summary for Policymakers,” 2018.10.6, p.6. <http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf>

⁽⁵¹⁾ RCP2.6シナリオ以外では、世界平均降水量は、世界平均地上気温の上昇量1℃当たり、1～3%増加する可能性が高いと予測されている。RCP2.6シナリオでは増加幅は0.5～4%となる。Thomas Stocker et al., eds., *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2013, p.1032. <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf>

⁽⁵²⁾ 気候変動に関する政府間パネル 前掲注(15), p.21.

⁽⁵³⁾ 環境省・気象庁 前掲注(44), p.4.

⁽⁵⁴⁾ 同上

⁽⁵⁵⁾ 気象庁 前掲注(47), pp.7-9.

⁽⁵⁶⁾ 環境省・気象庁 前掲注(44), p.12.

⁽⁵⁷⁾ 気象庁 前掲注(47), p.23.

⁽⁵⁸⁾ なお、IPCCが2018年10月に発表した特別報告書では、工業化以前と比較して1.5℃温暖化すると、極端な気温の上昇、強い降水現象の頻度・強度・降水量の増加等が生じる可能性があるとしている。また、2℃温暖化した場合の極端気象のリスクは、1.5℃温暖化した場合に比べて更に高まる可能性があるとしている。IPCC, *op.cit.*(50), p.9.

地球温暖化の進行とともに、21世紀末にはほとんどの陸域で「熱波の頻度が増加し、より長く続く可能性が非常に高い」⁽⁵⁹⁾と予測している。また、極端な降水についても、「中緯度の陸域のほとんどと湿潤な熱帯域において、今世紀末までに極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高い」⁽⁶⁰⁾としている。強い熱帯低気圧については、21世紀末に北西太平洋と北大西洋で、活動が活発になる可能性がどちらかと言えはるとしている⁽⁶¹⁾。

このように、熱波、極端な降水、熱帯低気圧のいずれについても、21世紀末までにより強くなる可能性があることが示唆されている。

(2) 日本における極端気象に関する将来予測

日本では、真夏日・猛暑日、大雨、短時間強雨については、おおむね増加することが予測されている。台風については、発生数は減少するものの、強力な台風の出現が増加する可能性が示されている。

(i) 真夏日・猛暑日

21世紀末(2080～2100年)の真夏日の年間日数について、「21世紀末における日本の気候」は、1984～2004年と比べて全国的に増加するとし、その増加する平均年間日数はRCPシナリオによって約10日(RCP2.6シナリオ)～約50日(RCP8.5シナリオ)と予測している⁽⁶²⁾。地域別に見ると、西日本で増加幅が大きくなり、特に沖縄・奄美では約90日増加する(RCP8.5シナリオ)など全国平均よりも増加幅が大きくなるとしている⁽⁶³⁾。

また、『地球温暖化予測情報 第9巻』では、RCP8.5シナリオにおいて、21世紀末(2076～2095年)の真夏日の年間日数は、20世紀末(1980～1999年)と比べて全国平均で約49日増加すると予測している。地域別では、沖縄・奄美で増加量が大きい(約88日の増加)としている⁽⁶⁴⁾。同様に、21世紀末の猛暑日については、20世紀末と比べて全国平均で約19日増加し、沖縄・奄美で増加量が大きい(約54日の増加)としている⁽⁶⁵⁾。

(ii) 大雨

21世紀末(2080～2100年)の大雨による降水量⁽⁶⁶⁾について、「21世紀末における日本の気候」では、1984～2004年と比べて全国的に増加するとし、その量はRCPシナリオによって約10%(RCP2.6シナリオ)～約25%(RCP8.5シナリオ)増加すると予測している⁽⁶⁷⁾。ただし、沖縄・奄美では、RCPシナリオによっては減少するケースもあるとしている⁽⁶⁸⁾。

また、『地球温暖化予測情報 第9巻』では、RCP8.5シナリオにおいて、21世紀末(2076～2095年)における日降水量100mm以上及び200mm以上の発生回数は、20世紀末(1980～1999年)と比べて、「夏の九州東部から近畿地方にかけて部分的に明瞭な減少傾向が現れているが、

(59) 気候変動に関する政府間パネル 前掲注(15), p.18.

(60) 同上, p.21.

(61) 同上, p.5.

(62) 環境省・気象庁 前掲注(44), p.8.

(63) 同上

(64) 気象庁 前掲注(47), p.18.

(65) 同上, p.17.

(66) ここでは、「上位5%の降水イベントによる日降水量」と定義している。環境省・気象庁 前掲注(44), p.14.

(67) 同上

(68) 同上

ほぼ全ての地域及び季節で有意に増加する」⁽⁶⁹⁾と予測している。特に、日降水量 200mm 以上となる大雨の年間発生回数（全国平均）は、20 世紀末と比べて 2 倍以上となるとしている⁽⁷⁰⁾。

(iii) 短時間強雨

『地球温暖化予測情報 第 9 巻』では、RCP8.5 シナリオにおいて、21 世紀末（2076～2095 年）における「バケツをひっくり返したように降る雨（1 時間降水量 30mm 以上の短時間強雨）」及び「滝のように降る雨（1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨）」の発生回数は、20 世紀末（1980～1999 年）と比べて、「減少している地点が一部見られるものの、全ての地域及び季節で有意に増加する」⁽⁷¹⁾と予測している。また、「滝のように降る雨（1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨）」の年間発生回数（全国平均）は、20 世紀末と比べて 2 倍以上となるとしている⁽⁷²⁾。

(iv) 台風

地球温暖化の進行に伴い、西太平洋域における台風発生数は減少するとの予測がある⁽⁷³⁾。また、西太平洋域で最も台風の発生数が多い海域は、現在はフィリピン近海であるが、将来はやや東方に移ると予測されている。その結果、日本列島から離れた東方海上を進む台風の割合が増加し、日本への台風接近数は減少する可能性がある⁽⁷⁴⁾。

気象庁気象研究所が 2017 年に発表した将来予測は、RCP8.5 シナリオにおいて、21 世紀末には、「全世界での熱帯低気圧（台風）の発生総数は 3 割程度減少するものの、日本の南海上からハワイ付近およびメキシコの西海上にかけて猛烈な熱帯低気圧の出現頻度が増加する可能性が高い」⁽⁷⁵⁾としている⁽⁷⁶⁾。

おわりに

1950 年代以降、熱波や短時間強雨等の気象現象の増加が世界及び日本で観測されてきた。地球温暖化が更に進行していけば、これまでの想定を超えるような気象現象の発生する可能性は、ますます高まっていくものと考えられる。

既に一部の諸外国では、地球温暖化に関する将来予測を踏まえて、堤防や可動堰^{せき}を整備する、土地利用規制を行うなどの対策が実施されている。例えば、英国やドイツでは、降雨量の将来予測値から洪水流量の将来変化率を設定し、それに対応可能な堤防・橋梁の整備等を進めている

(69) 気象庁 前掲注(47), p.27

(70) 同上

(71) 同上, p.30.

(72) 同上

(73) 日本気象学会地球環境問題委員会編 前掲注(47), p.91; Thomas R. Knutson et al., “Tropical Cyclones and Climate Change,” *Nature Geoscience*, 3 (3), 2010, pp.157-163.

(74) 日本気象学会地球環境問題委員会編 同上; Satoru Yokoi and Yukari N. Takayabu, “Multi-model Projection of Global Warming Impact on Tropical Cyclone Genesis Frequency over the Western North Pacific,” *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 87 (3), 2009, pp.528-529. なお、台風の将来予測は、他の気象現象の予測に比べて大きな不確実性があることに留意が必要である。日本気象学会地球環境問題委員会編 同上, pp.91-92.

(75) 気象庁気象研究所「地球温暖化で猛烈な熱帯低気圧（台風）の頻度が日本の南海上で高まる一多数の高解像度温暖化シミュレーションによる予測—」2017.10.26, p.1. <http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H29/291026_d4pdf/press_release.pdf>

(76) Kohei Yoshida et al., “Future Changes in Tropical Cyclone Activity in High - Resolution Large - Ensemble Simulations,” *Geophysical Research Letters*, 44 (19), pp. 9910-9917. <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017GL075058>>

る⁽⁷⁷⁾。我が国でも、2018年11月27日に閣議決定された「気候変動適応計画」では、堤防や洪水調整施設等について、地球温暖化による将来の豪雨・高潮等の増大を考慮し、「できるだけ手戻りがなく追加の対策を講ずることができる順応的な整備・維持管理等を進める」⁽⁷⁸⁾としている。地球温暖化と極端気象に関する科学的な知見を踏まえ、温室効果ガスの排出削減に努めるとともに、防災対策の見直しやインフラの整備を進めていく必要がある。

(すずき よしのり)

(77) 社会資本整備審議会「水災害分野における気候変動適応策のあり方について—災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ— (答申)」2015.8, pp.9-13. <<http://www.mlit.go.jp/common/001101554.pdf>>

(78) 「気候変動適応計画」2018.11.27, p.53. <<http://www.env.go.jp/earth/tekiou/tekioukeikaku.pdf>>