



「日本の気候変動2020—大気と陸・海洋に関する 観測・予測評価報告書—」の紹介

文部科学省研究開発局環境エネルギー課^{*1}・
気象庁大気海洋部気象リスク対策課気候変動対策推進室^{*2}

1. はじめに

文部科学省と気象庁は、国や地方公共団体、事業者、あるいは国民が、気候変動緩和・適応策や影響評価の基盤情報として使えるよう、日本及びその周辺における大気中の温室効果ガスの状況や気候システムを構成する諸要素(気温や降水、海面水位、海水温など)の現在までに観測されている変化と将来予測される変化をまとめ、「日本の気候変動2020—大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書—」として2020年12月に公表しました(<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>)。

報告書は、国や地方公共団体等で気候変動対策に携わる担当者向けの「本編」と、研究者の利用も想定した「詳細版」の2種類を作成しました。また、本編を基に報告書の特徴や主な内容を要素別にまとめたプレゼンテーション資料形式の「概要版」も用意しています(第1図)。今後、「日本の気候変動2020」を基に、各地方における気候変動の観測・予測に関するリーフレットも作成する計画です。

本稿では、当該報告書の内容の一部を紹介します。

2. 「日本の気候変動2020」作成の背景

近年、平均気温の上昇や大雨発生頻度の増加など、気候変動が世界各地で進行しており、この問題に対す

る懸念が広がっています。2015年12月には、国連気候変動枠組条約(UNFCCC)の第21回締約国会議(COP21)において、「工業化以前と比べた世界全体の平均気温の上昇を2℃より十分低く保つとともに、1.5℃までに抑える努力を追求すること」等を世界共通の長期目標とするパリ協定が採択されました。

日本は、このパリ協定を締結するとともに、国内でも、地球温暖化対策推進法に基づく地球温暖化対策計画を策定して温室効果ガスの削減目標を設定し、気候変動適応法に基づく気候変動適応計画を策定して気候変動の影響を軽減するための取組を行うなど、緩和・適応両方の取組を進めています。2020年10月には、菅総理大臣より、革新的なイノベーションによる「2050



第1図 「日本の気候変動2020」概要版、本編及び詳細版。

^{*1} Environment and Energy Division, Research and Development Bureau, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)

^{*2} Office of Climate Change, Weather Disaster Mitigation Division, Atmosphere and Ocean Department, Japan Meteorological Agency (JMA)

© 2021 日本気象学会

年カーボンニュートラル，脱炭素社会の実現」を目指す方針も示されました。

気候変動適応法では，国の責務として，気候変動に関する科学的知見の充実及びその効率のかつ効果的な活用を図ること等が挙げられています。文部科学省と気象庁は，2018年度に「気候変動に関する懇談会」を立ち上げ，その助言を踏まえて今般の報告書を作成することにしました。

3. 使用したデータ等

「日本の気候変動2020」にまとめたこれまでの長期変化傾向は，気象庁の観測データや再解析データ，世界気象機関（WMO）の枠組で国際交換されているデータなどにに基づきます。

将来の気候は，大気に関する諸要素については，気候変動リスク情報創生プログラム及び統合的気候モデル高度化研究プログラムにおいて開発された水平解像度20kmの全球大気モデル（MRI-AGCM）及び水平解像度5kmの非静力学地域気候モデル（NHRCM05）を使用し，気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書で用いられた代表的濃度経路（RCP）シナリオのうちRCP2.6とRCP8.5に基づいて予測しました。

海洋に関する諸要素のうち海洋酸性化については，第5期結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP5）で行われた地球システムモデルによる予測結果に加え，長期海洋観測に基づいて作成した重回帰モデルに地球システムモデルによる将来変化を適用した結果を使用しました。高潮及び高波については，外部文献に基づき取りまとめました。

その他の海洋に関する諸要素については，気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）の下で作成された日本周辺海域の将来予測データセットを使用しました。

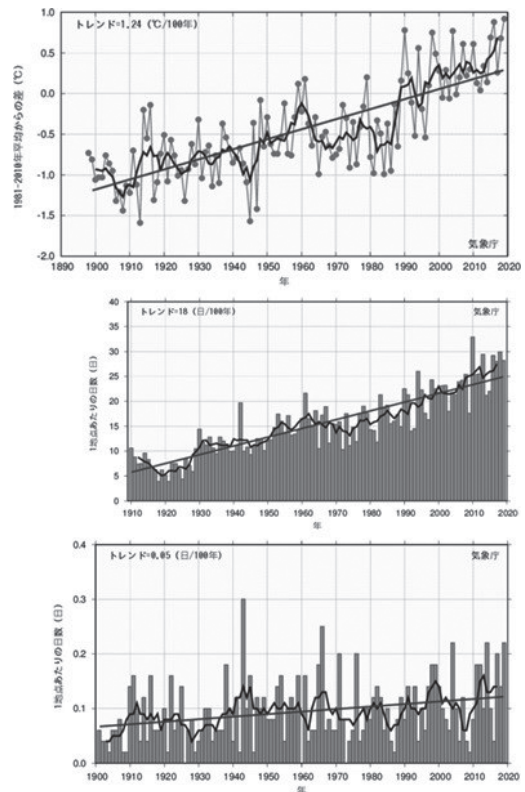
また，まれにしか起きない極端現象の発生頻度の変化等については，気候変動リスク情報創生プログラムの下で作成された「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）」に基づいて評価しました。

なお報告書では，観測値の長期変化傾向や予測に，不確実性や確信度を付記しています。

4. 観測された変化と将来予測される変化

「日本の気候変動2020」より，現在までに観測されて

いる変化（●）と将来予測される変化（○）の一部を紹介します。後者は，特段の説明がない限り，日本全国について，21世紀末に予測される気候を20世紀末又は現在と比較したものです。報告書では，RCP2.6とRCP8.5を「2℃/4℃上昇シナリオ」と呼称し，それぞれ「パリ協定の2℃目標が達成された世界」と「現時点を超える追加的な緩和策を取らなかった世界」で



第2図 上：年平均気温の1981～2010年平均値からの偏差の経年変化(1898～2019年)。
中：日最低気温25℃以上（熱帯夜）の年間日数の経年変化(1910～2019年)。
下：日降水量200mm以上の大雨の年間日数の経年変化(1901～2019年)。
気温は都市化の影響が比較的小さいと見られる気象庁の15観測地点の平均。降水は気象庁の観測点のうちデータの均質性が長期間継続している51地点の平均。いずれも，5年移動平均及び全体の長期変化傾向を併せて示す。なお，最新の値は気象庁のウェブサイトを参照されたい。
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html

あり得る気候の状態に相当すると説明しました。

【大気中の温室効果ガス】

- 温室効果ガスである二酸化炭素、メタン及び一酸化二窒素の大気中の濃度は、人間活動により増加を続けている。
- 大気からの下向きの赤外放射量（温室効果ガスがもたらす温室効果の強さに対応）にも増加傾向が見られる。

【気温】

- 日本国内の都市化の影響が比較的小さい15地点で観測された年平均気温は、1898～2019年の間に、100年当たり1.24℃の割合で上昇している（第2図上）。
- 1910～2019年の間に、真夏日、猛暑日及び熱帯夜の日数は増加し、冬日の日数は減少した（第2図中）。特に猛暑日の日数は、1990年代半ばを境に大きく増加している。
- 年平均気温は、2℃上昇シナリオの場合は約1.4℃、4℃上昇シナリオの場合は約4.5℃上昇すると予測される（第3図左）。
- 猛暑日の年間日数は、2℃上昇シナリオの場合は約2.8日、4℃上昇シナリオの場合は約19.1日増加すると予測される。
- 熱帯夜の年間日数は、2℃上昇シナリオの場合は約9.0日、4℃上昇シナリオの場合は約40.6日増加すると予測される。

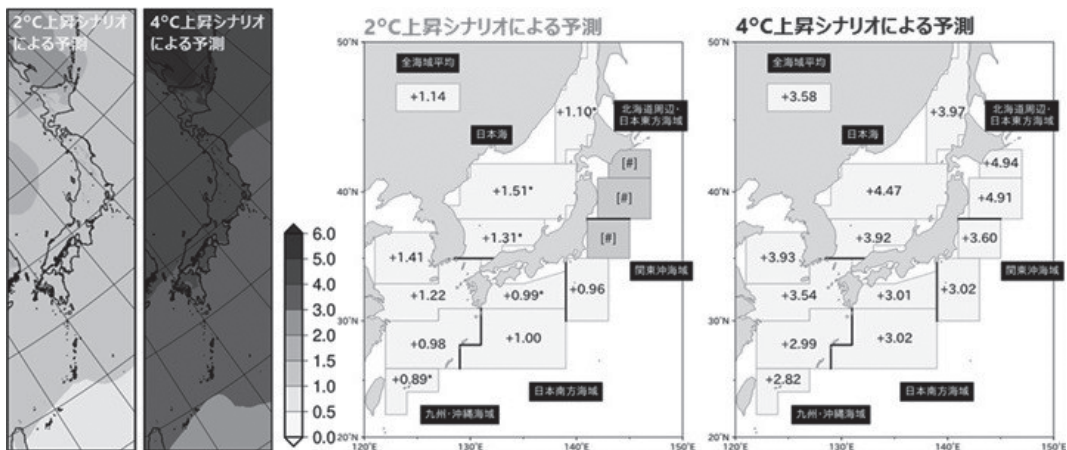
- 冬日の年間日数は、2℃上昇シナリオの場合は約16.7日、4℃上昇シナリオの場合は約46.8日減少すると予測される。

【降水】

- 大雨及び短時間強雨の発生頻度は有意に増加し、雨の降る日数は有意に減少している（第2図下）。
- 一方、年間又は季節ごとの降水量（合計量）には統計的に有意な長期変化傾向は見られない。
- 日降水量200mm以上の年間日数は、2℃上昇シナリオの場合は約1.5倍、4℃上昇シナリオの場合は約2.3倍に増加すると予測される。
- 1時間降水量50mm以上の頻度は、2℃上昇シナリオの場合は約1.6倍、4℃上昇シナリオの場合は約2.3倍に増加すると予測される。
- 日降水量の年最大値は、2℃上昇シナリオの場合は約12%（約15mm）、4℃上昇シナリオの場合は約27%（約33mm）増加すると予測される。
- 日降水量1.0mm未満の年間日数は、2℃上昇シナリオの場合は有意な変化が予測されないが、4℃上昇シナリオの場合は約8.2日増加すると予測される。

【降雪・積雪】

- 1962年以降の日本海側における観測データからは、年最深積雪（一冬で最も多く雪が積もった量）や、1日の降雪量が20cm以上となった日の年間日数に減少傾向が見られる。



第3図 左：21世紀末（2076～2095年平均）における年平均気温の20世紀末（1980～1999年平均）からの偏差。
右：21世紀末（2081～2100年平均）における日本近海の海域平均海面水温の20世紀末（1986～2005年平均）からの偏差。SI-CATモデルデータによる。*はその値が95%以上で統計的に有意であることを、#は統計的に有意な変化傾向が見出せないことを表す。

- 積雪深の年最大値及び降雪量は、2℃上昇シナリオの場合は北海道ほか一部地域を除き約30%、4℃上昇シナリオの場合は北海道の一部地域を除き約70%減少すると予測される。
- 降雪期間は、4℃上昇シナリオの場合、短くなる(始期が遅れ、終期が早まる)と予測される。
- 10年に1回程度の、ごくまれにしか発生しない大雪の降雪量は、4℃上昇シナリオの場合、本州の山岳部や北海道の内陸部でむしろ増加する可能性があるとして予測される(気温が0℃を超えている地域では大雨が降る)。

【熱帯低気圧(台風)】

- 台風の発生数や日本への接近数・上陸数には、長期的な変化傾向は見られない。
- 「強い」以上の勢力となった台風の発生数や全体に占める割合に、長期的な変化傾向は見られない。
- 日本付近の台風の強度が生涯で最大となる緯度は、北に移動している。
- 日本の南海上における非常に強い熱帯低気圧の存在頻度は、いずれのシナリオでも増加すると予測される。
- 日本付近における台風の強度は、いずれのシナリオでも強まると予測される。
- 台風による雨と風は、いずれのシナリオでも強まると予測される。

【大気循環(気圧配置や季節風)】

- 冬季には、日本の南東で気圧が上昇するという、暖冬の際に見られる特徴と似た変化傾向が見られる。
- 夏季には、日本の南で気圧が上昇し北で低下する傾向が見られる。
- 冬季には、いずれのシナリオでも、アリューシャン低気圧が北に偏り、北日本では西寄りの季節風が強まる。その他の地域では北寄りの季節風が弱まると予測される。
- 夏季には、太平洋高気圧が強まる一方、北への張り出しは弱くなり、南西風が強まると予測される。

【海水温】

- 日本近海の平均海面水温は、1900～2019年の間に、100年当たり1.14℃の割合で上昇している(世界平均は0.55℃/100年)。
- 昇温の度合いは、季節や海域により異なる。

- 日本近海の平均海面水温は、2℃上昇シナリオの場合は約1.14℃、4℃上昇シナリオの場合は約3.58℃上昇すると予測される(第3図右)。
- なお、世界の平均海面水温は、2℃上昇シナリオの場合は約0.73℃、4℃上昇シナリオの場合は約2.58℃上昇すると予測されている。

【海面水位】

- 日本沿岸では、自然変動と思われる長周期の変動が卓越しているが、1980年以降に限れば明瞭な上昇傾向が見られる。
- 日本沿岸の平均海面水位は、2℃上昇シナリオの場合は約0.39m、4℃上昇シナリオの場合は約0.71m上昇すると予測される。
- なお、世界平均海面水位は、2℃上昇シナリオの場合は約0.39m、4℃上昇シナリオの場合は約0.71m上昇する(21世紀後半から加速度的に上昇する)として予測されている。

【高潮】

- 日本沿岸における高潮の発生数や大きさには、有意な長期変化傾向は見られない。
- 東京湾、大阪湾及び伊勢湾における最大潮位偏差は、いずれのシナリオでも増加すると予測される。

【高波】

- 日本沿岸における高波には、波高が増加する傾向が見られ、その変化量は太平洋側で大きい。
- 日本沿岸の平均波高は、4℃上昇シナリオの場合、約10%減少すると予測される。
- 日本沿岸の波の周期は、4℃上昇シナリオの場合、減少すると予測される。
- 日本沿岸の高波の波高は、4℃上昇シナリオの場合、増加すると予測される。

【海水】

- オホーツク海の年最大海水面積は、1971～2020年の間に、10年当たり6.1万km²(最大海水面積の平均値の5.3%に相当)の割合で減少している。
- 1956年以降のオホーツク海沿岸海水観測データからは、1980年代後半以降の流氷量の減少が著しいことが読み取れる。
- 3月のオホーツク海の海水面積は、2℃上昇シナリオの場合は約28%、4℃上昇シナリオの場合は約

70%減少すると予測される。

【海洋循環（黒潮）】

- 日本南岸の黒潮流量には、1970年以降で有意な長期変化傾向は見られない。
- 黒潮流量の平均値や黒潮続流の緯度には、いずれのシナリオでも、有意な変化は予測されない。

【海洋酸性化】

- 1983年以降の東経137度沿いの観測データからは、世界平均（水素イオン濃度指数（pH）が10年当たり約0.02の割合で低下）と同程度の割合で酸性化が進んでいることが分かる。
- 日本沿岸でも、全体としては酸性化傾向が見られている。1978～2009年間のpHの低下速度は、年間最小値をとる夏季で10年当たり0.014、年間最大値をとる冬季で0.024と、外洋域の観測値と同程度の値が報告されている。
- 日本南方の表面海水pHは、2℃上昇シナリオの場合は約0.04、4℃上昇シナリオの場合は約0.3低下すると予測される。
- なお、世界の表面海水pHは、2℃上昇シナリオの場合は21世紀半ばまでに約0.065低下するがその後は変化しない、4℃上昇シナリオの場合は約0.31低下すると予測されている。

5. おわりに

「日本の気候変動2020」は、日本の気候変動に関する自然科学的知見を概観した資料です。2020年12月の公表以降、環境省が気候変動適応法（平成30年法律第50号）第10条に基づき取りまとめた「気候変動影響評価報告書（総説）」第2章をはじめ、様々なところで基盤情報として活用され始めています。

「日本の気候変動2020」では、各要素に関する記事を互いに独立に書いており、読者の関心に応じて好きなところから読めるようにしています。大学での講義や市民向けの講演、各種会議での発表の素材として、皆様もぜひご利用ください。

特に本編は、冒頭で「気候変動と大気・海洋の諸要素の変化」と題して各要素がどのように関連し合って変化するのか概観したり、各記事を見出しと簡条書きの構成にしたりと、手に取ってもらいやすい工夫を凝らしました（第4図）。専門家ではない読者を想定した構成・内容としつつ、必要に応じて詳細版を参照

できるよう関連する項番を付記していますので、気候変動を学び始めた学生の皆様や、所属機関で初めて気候変動を担当することになった方々の入門書としてもおすすめです。

謝 辞

「日本の気候変動2020」は、文部科学省と気象庁が2018年度から共催している「気候変動に関する懇談会」及び同懇談会下の「評価検討部会」における議論を踏まえ、同懇談会・部会の委員（第1表）をはじめとする有識者の協力を得て作成しました。

特に詳細版の作成にあたっては、京都大学防災研究所の森 信人教授に第12章及びコラム8の執筆者として、同研究所の志村智也准教授に第13章の執筆者として、東京都立大学の藤部文昭特任教授と海洋研究開発機構の岡田靖子研究員には第4章から第6章の執筆協力者として、名古屋大学の坪木和久教授には第7章の執筆協力者として、国立環境研究所の岡 和孝主任研究員及び石崎紀子研究員には付録3の執筆協力者として、それぞれご協力いただきました。また、コラム4は国土交通省水管理・国土保全局河川計画課より寄稿

1. 温室効果ガスの大気中濃度は増加を続けている

- 温室効果ガスである二酸化炭素、メタン及び一酸化二窒素の大気中濃度は、人間活動により増加を続けている。
- 大気からの下向きの赤外線放射量は増加傾向にある。

代表的な温室効果ガスの濃度は過去80万年間で前例のない水準になっている

- 18世紀半頃の工業化以降、人間活動に伴い、大気中の温室効果ガスの濃度は増加し続けている。代表的な温室効果ガスである二酸化炭素、メタン及び一酸化二窒素の濃度は、少なくとも過去80万年間で前例のない水準に達しており、また、過去100年間の濃度の平均増加率は、過去2万2000年間に前例のないほど急進である。（IPCC第5次評価報告書）（詳細版第3.1.1項）

大気中の二酸化炭素濃度は工業化以前の約1.5倍に達した

- 大気中の二酸化炭素の2019年の世界平均濃度は410.5ppm²で、工業化以前の148%に達した（WMO,2020）。また、2019年までの10年間の平均的増加率（1年当たり2.4ppm）は、1990年代の増加率の約1.5倍に相当する。（詳細版第3.1.1項）
- 日本国内で観測される二酸化炭素、メタン及び一酸化二窒素の大気中の濃度は上昇を続けている。2019年も、綾里、南鳥島及び与那国島のいずれの観測点においても、二酸化炭素濃度は観測史上最も高い値を記録した。（詳細版第3.1.2項）

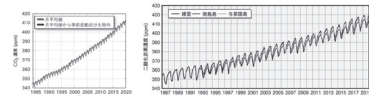


図1.1 大気中の二酸化炭素濃度の変化
左は世界平均、右は日本国内の観測点における変化。

大気からの下向きの赤外線放射量は増加傾向にある

- 大気中の雲、水蒸気、二酸化炭素等から地表に向かって放射された地上を達する下向きの赤外線放射量は、温室効果ガスがもたらす温室効果の強さに対応する。つくばで観測された下向きの赤外線放射量は、世界の他の観測地点のものと同様、増加傾向が見られる。（詳細版第3.2節）

【参考】大気中の温室効果ガスの増加

化石燃料の消費や森林破壊等の土地利用変化といった人間活動に伴い、二酸化炭素が大気中に放出される。そのおよそ半分は陸上生物圏や海洋に吸収されるものの、残りが大気中に蓄積されることにより、大気中の二酸化炭素濃度が増加している。また、工業化以降の大気中メタンの増加は人間活動によるものであると評価されており（IPCC第5次評価報告書）、更に、強力な温室効果ガスである代替フロンの大気中の濃度も増加している。

7 対象物質ごとの程度大気中に存在しているかを表す割合。ppm (parts per million) 10⁶（標準状態の分子100万個中に1個）。

第4図 本編記事の例。

いただきました。

この場をお借りして御礼申し上げます。

略語一覧

CMIP : Coupled Models Intercomparison Project 結合モデル相互比較実験

COP : Conference of the Parties 締約国会議

d4PDF : database for Policy Decision making for Future climate change 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

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル

MRI-AGCM : Meteorological Research Institute Atmo-

spheric General Circulation Model 気象研究所大気大循環モデル

NHRCM : Non-Hydrostatic Regional Climate Model 非静力学地域気候モデル

RCP : Representative Concentration Pathways 代表的濃度経路

SI-CAT : Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology 気候変動適応技術社会実装プログラム

UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change 国連気候変動枠組条約

WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関

第1表 気候変動に関する懇談会及び同評価検討部会委員。

気候変動に関する懇談会 委員

石川洋一	海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 情報エンジニアリングプログラム プログラム長
鬼頭昭雄	気象業務支援センター 研究推進部 第一研究推進室 研究員
木本昌秀	国立環境研究所 理事長
小池俊雄	土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター センター長
三枝信子	国立環境研究所 地球システム領域 領域長
高橋 潔	国立環境研究所 社会システム領域 副領域長
竹村俊彦	九州大学 応用力学研究所 教授
中北英一	京都大学 防災研究所 所長/教授
◎ 花輪公雄	東北大学 名誉教授/山形大学 理事・副学長
保坂直紀	サイエンスライター/東京大学 大学院新領域創成科学研究科 特任教授
山崎 登	国土館大学 防災・救急救助総合研究所 教授

(◎…会長)

気候変動に関する懇談会 評価検討部会 委員

◎ 鬼頭昭雄	気象業務支援センター 研究推進部 第一研究推進室 研究員
塩竈秀夫	国立環境研究所 地球システム領域 地球システムリスク解析研究室 室長
須賀利雄	東北大学大学院理学研究科 教授
浜田 崇	長野県環境保全研究所 自然環境部 温暖化対策班 主任研究員
藤部文昭	東京都立大学 都市環境学部 特任教授
保坂直紀	サイエンスライター/東京大学 大学院新領域創成科学研究科 特任教授
町田敏暢	国立環境研究所 地球システム領域 地球環境研究センター 大気・海洋モニタリング推進室 室長
渡辺真吾	海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター センター長代理
渡部雅浩	東京大学 大気海洋研究所 教授

(◎…部会長)

※いずれも五十音順, 敬称略. 所属・役職は2021年4月1日現在.