

トピックス

I 2022年(令和4年)6月下旬から7月初めの記録的な高温

- 2022年夏は全国的に高温となり、特に6月下旬から7月初めにかけては東・西日本を中心に記録的な高温となった。平均気温偏差は、6月下旬には東日本で+4.0℃、西日本で+3.2℃、7月上旬には北日本で+3.2℃となり、1946年の統計開始以降1位の記録を更新した。
- 日本付近で上層の亜熱帯ジェット気流が北に蛇行し、上層の高気圧と下層の太平洋高気圧がともにこの時期としては記録的に強まったことが主な要因で、これに持続的な温暖化傾向が加わったため、記録的な高温となった。

(1) 天候の状況

6月下旬には、下層の太平洋高気圧の北への張り出しが強まり、7月初めにかけて東・西日本を中心に記録的な高温となった(図 I.1)。平均気温偏差(平年値からの差)は、6月下旬には東日本で+4.0℃、西日本で+3.2℃、7月上旬には北日本で+3.2℃となり、1946年の統計開始以降1位の記録を更新した。また、猛暑日や真夏日となった地点も多く、6月下旬～7月初めに全国914地点のうち24地点で各地点における観測史上最も高い気温の記録を更新した。特に、群馬県伊勢崎市では40℃以上の日最高気温を6月25日、29日、7月1日の3日間観測し、東京でも猛暑日を6月25日から9日間連続(統計開始以降1位)して観測した。

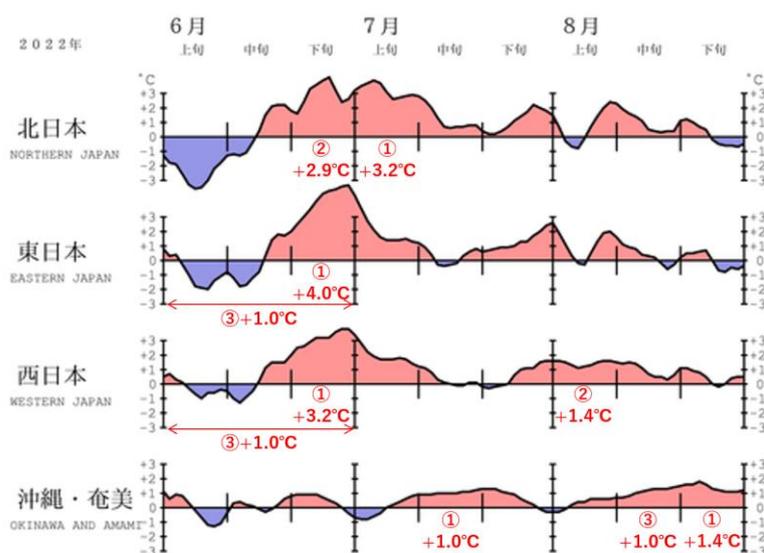


図 I.1 2022年6月～8月の5日移動平均した地域平均気温平年差の推移(℃)

赤字の○数字と値は、各月及び旬における1946年以降の平均気温が高い方からの順位と平年差を表す(上位3位まで)。

(2) 大気の流れの特徴

気象庁は2022年8月22日に異常気象分析検討会を開催し、記録的な高温をもたらした大規模な大気の流れの特徴とその要因を分析し、以下のとおり見解をまとめた。

日本付近では、上層の高気圧と下層の太平洋高気圧がともに、この時期としては記録的に強まった(図 I.2(a)と(b))。日本付近では暖かい空気を伴った背の高い高気圧に覆われ、強い下降気流や安定した晴天の持続による強い日射が昇温をもたらした。これに局地的な山越え気流の影響も加わり、40℃を超える記録的な高温が一部で観測された。

日本付近で上層の高気圧と太平洋高気圧が強まったことには、上層の亜熱帯ジェット気流がユーラシア大陸から日本の東海上にかけて大きく蛇行し、日本付近で北に大きく蛇行し続けたことが影響した。この蛇行の一因として、北大西洋～ヨーロッパ上空でジェット気流が大きく蛇行し、その

影響が東方に及んだことが考えられる（図 I.2(a)）。

さらに6月下旬後半以降、フィリピン付近で積雲対流活動が平年と比べて極端に強まり（図 I.3(a)）、太平洋高気圧の日本付近への張り出しの強化に影響した（太平洋・日本 (PJ) パターン、図 I.3(b)）。フィリピン付近における積雲対流活動の活発化には、周辺で海面水温が平年より高かったことに加え、上層の高気圧が日本付近で強まった影響で、その南側の亜熱帯域に侵入した寒冷渦の影響を受けやすかったことも関連したと考えられる。

上層の高気圧や太平洋高気圧の強まりに加えて、地球温暖化に伴って全球的な気温の上昇傾向が続いていること、さらに 2020 年後半以降、北半球中緯度域で対流圏の気温が全体的に著しく高かったことも、今回の高温をさらに底上げしたものと考えられる。北半球中緯度域で対流圏気温が高い状態が持続していることには、2020 年夏～2021 年春及び 2021 年秋以降持続するラニーニャ現象に伴い、熱帯域の対流圏気温が低下した一方、北半球全体で亜熱帯ジェット気流が平年より北偏したことが影響したとみられる。文部科学省による気候変動予測先端研究プログラムが気象庁気象研究所と協力して実施した、地球温暖化の影響を評価するイベント・アトリビューション¹の結果より、今回の高温事例は、地球温暖化の影響が無かったと仮定した状況下では、同じラニーニャ現象等の影響があったとしても、およそ 1200 年に 1 度という非常に稀な事例であったことが報告されている。このことから、この事例には地球温暖化が影響していた可能性が考えられる。

記録的な高温をもたらした大規模な大気の流れの特徴をまとめると、図 I.4 のとおりとなる。

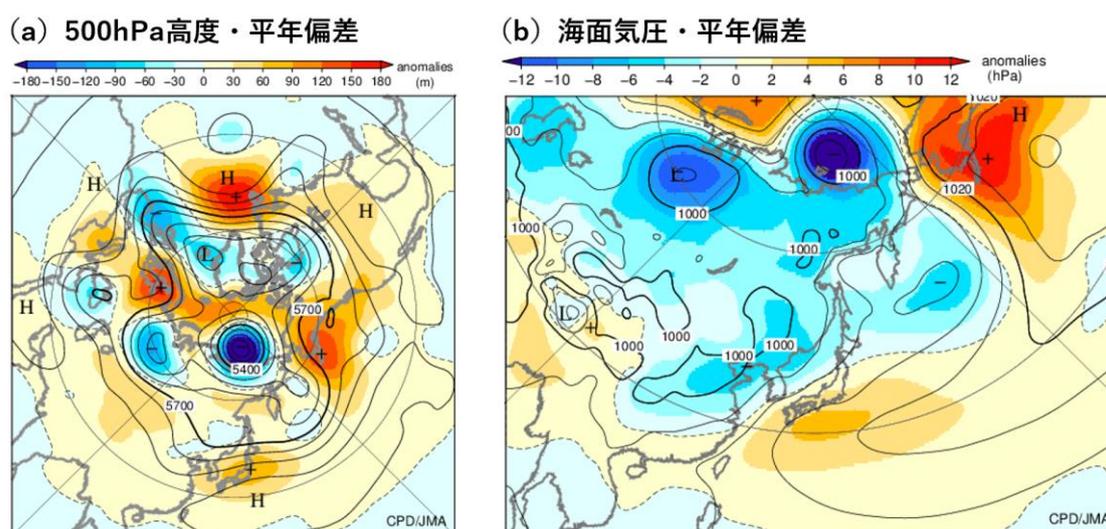


図 I.2 2022 年 6 月下旬で平均した(a)500hPa 高度（等値線）とその偏差（陰影）と(b)海面気圧（等値線）とその偏差（陰影）

単位は、(a)m、(b)hPa で、平年値は 1991～2020 年の平均値。気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55) に基づく。

¹ 気候モデルを用いて、これまでの気候状態を模した数多くの実験を行うとともに、人間活動による温暖化が無いとする仮想的な設定でも数多くの実験を行い、両者の比較から個々の現象の発生確率が温暖化によりどれだけ変わったかを推定する手法。報道発表資料は以下のとおり。

https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_01104.html

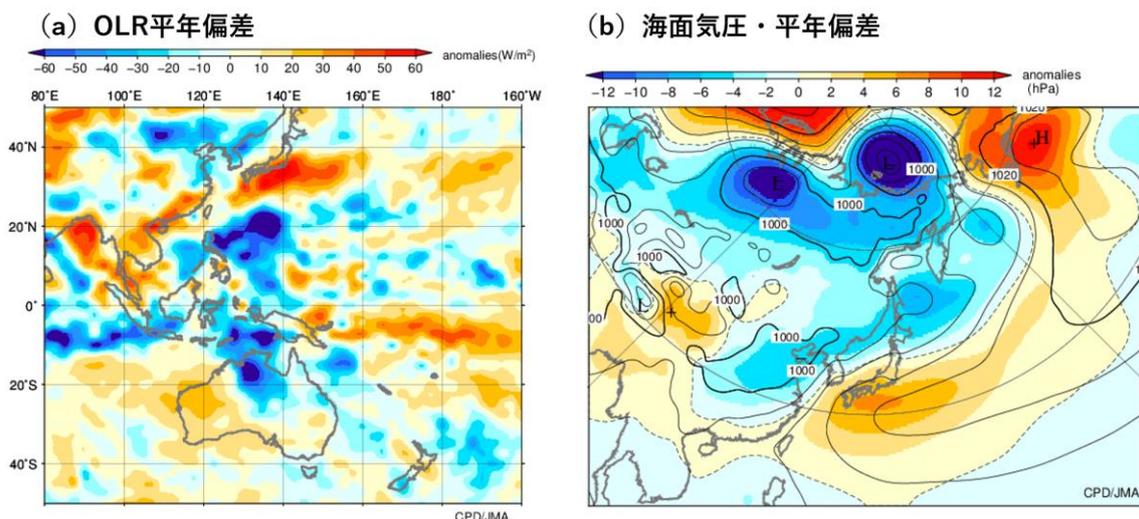


図 I.3 2022 年 6 月 25 日～29 日で平均した(a)外向き長波放射量 (OLR) 平年偏差と(b)海面気圧 (等値線) とその偏差 (陰影)

単位は、(a)W/m²、(b)hPa で、平年値は 1991～2020 年の平均値。(a)は米国海洋大気庁 (NOAA) より提供されたデータ、(b)は気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55) に基づく。

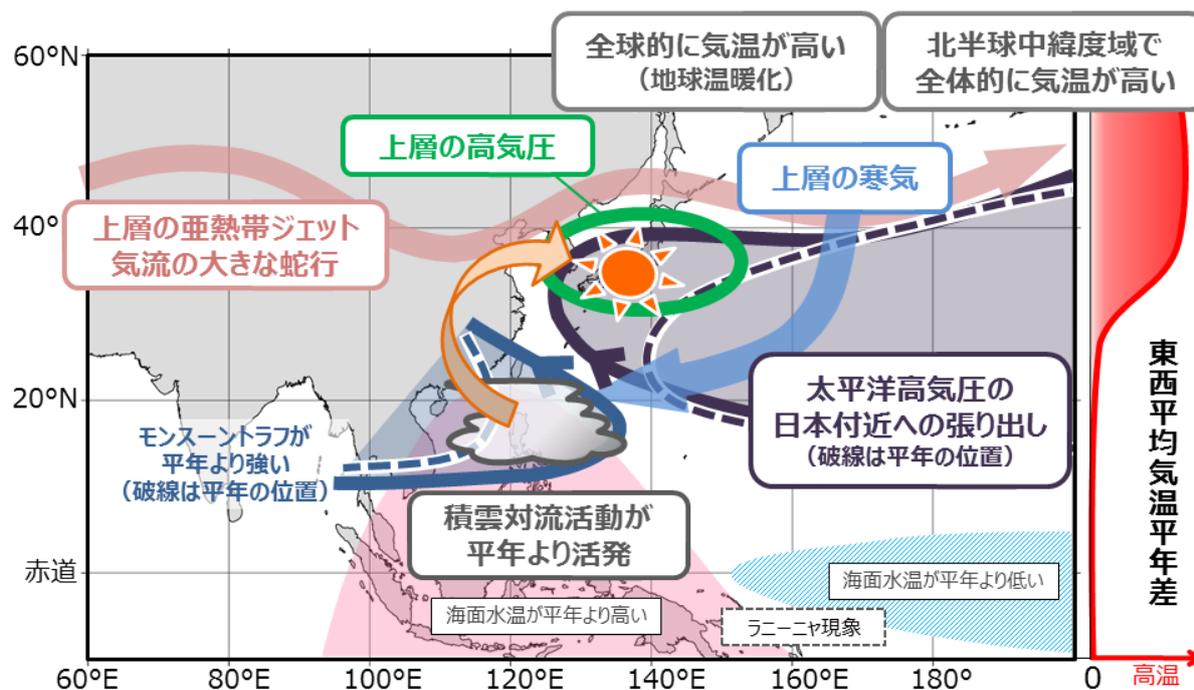


図 I.4 2022 年 6 月下旬～7 月初めの記録的な高温をもたらした大規模な大気の流れに関する模式図

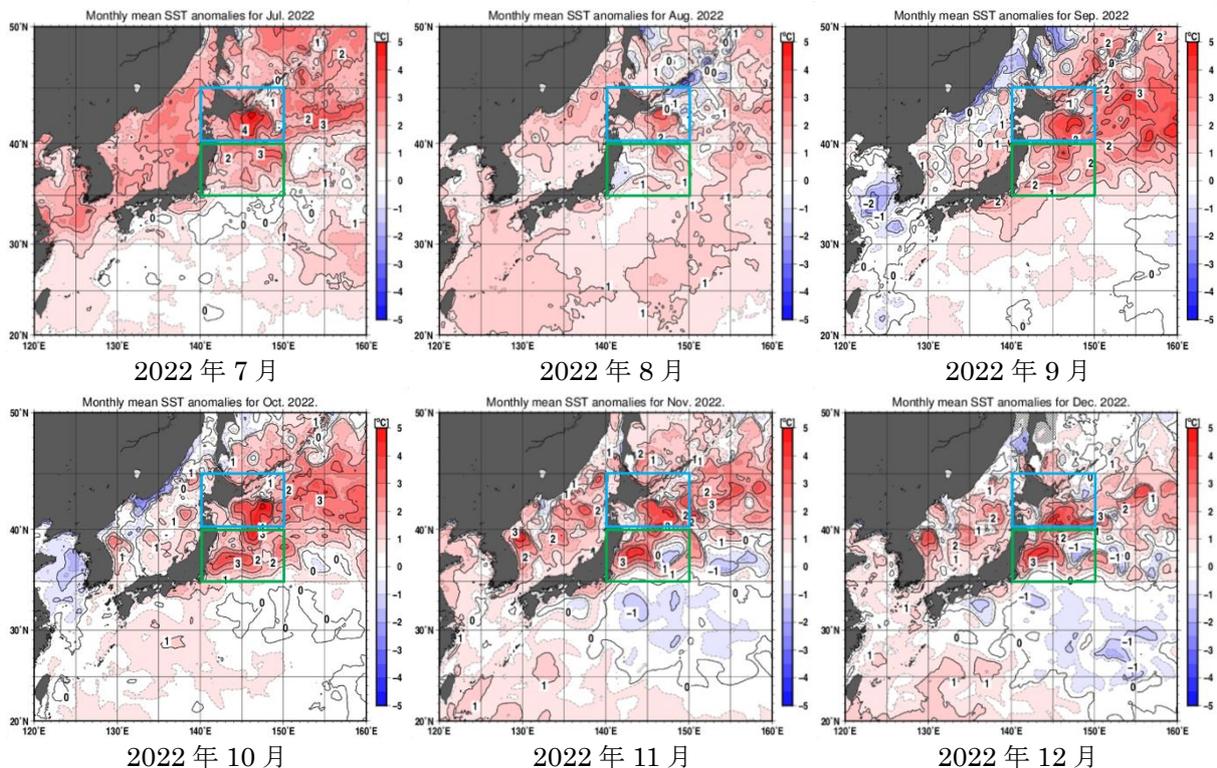
II 2022年7月以降の北海道南東方、本州東方の記録的な高海面水温について

○ 北海道南東方、本州東方の海面水温は、2022年7月以降平年より高く経過し、北海道南東方では7、10、11月、本州東方では10、11月に各月の海面水温として1982年以降で過去最高となった。

気象庁では、人工衛星、船舶、ブイ等による観測データを用いて、日本近海から全球にわたる海面水温を解析し、その変動を監視している。2022年の日本近海の海面水温は、7月から12月にかけて日本の東を中心とした海域で平年より高い状態が続いた(図II.1)。北海道南東方の海面水温は、6月下旬に平年より高くなり、7月上旬には一時的に平年より約3°C高くなった(図II.2)。7月の月平均海面水温は平年差+2.3°Cで、解析値のある1982年以降の第1位となった。月平均海面水温は8月に入ると平年差+0.9°Cで平年との差は小さくなったが、9月から12月にかけて平年差+1.5~+2.1°Cと平年より高い状態が続き、10月と11月の月平均海面水温は第1位、9月と12月は第2位だった。本州東方の海面水温は、北海道南東方のそれとほぼ同様に経過し(図II.2)、月平均海面水温は10月と11月に第1位、7月と9月に第2位、12月に第3位だった。

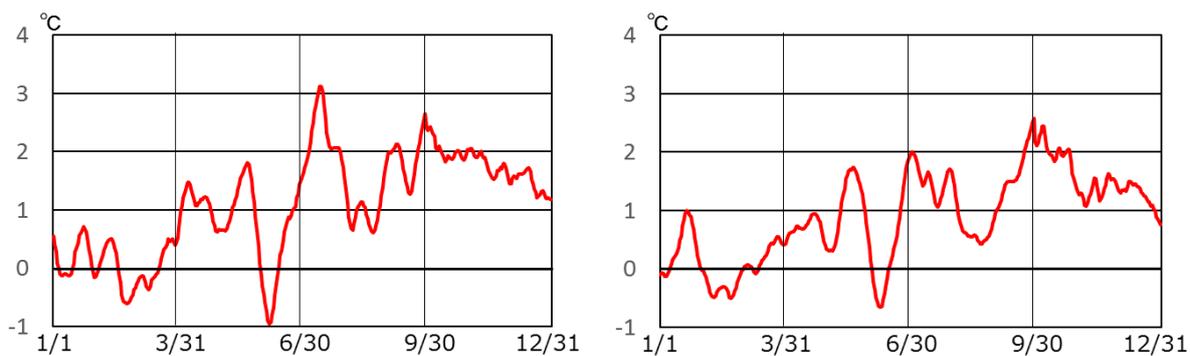
北海道南東方と本州東方の海面水温が2022年7月以降記録的に高く経過した要因として、以下の点があげられる。

- ・暖水渦や黒潮系暖水の影響を受け、100m深の水温でも平年より高い状態が続いた(図II.3)。
- ・6月後半から7月上旬にかけて平年より日射量が多かったことと暖かく湿った空気の影響があった。
- ・9月上旬と中旬に本州東方では平年より日射量が多かったことの影響があった。

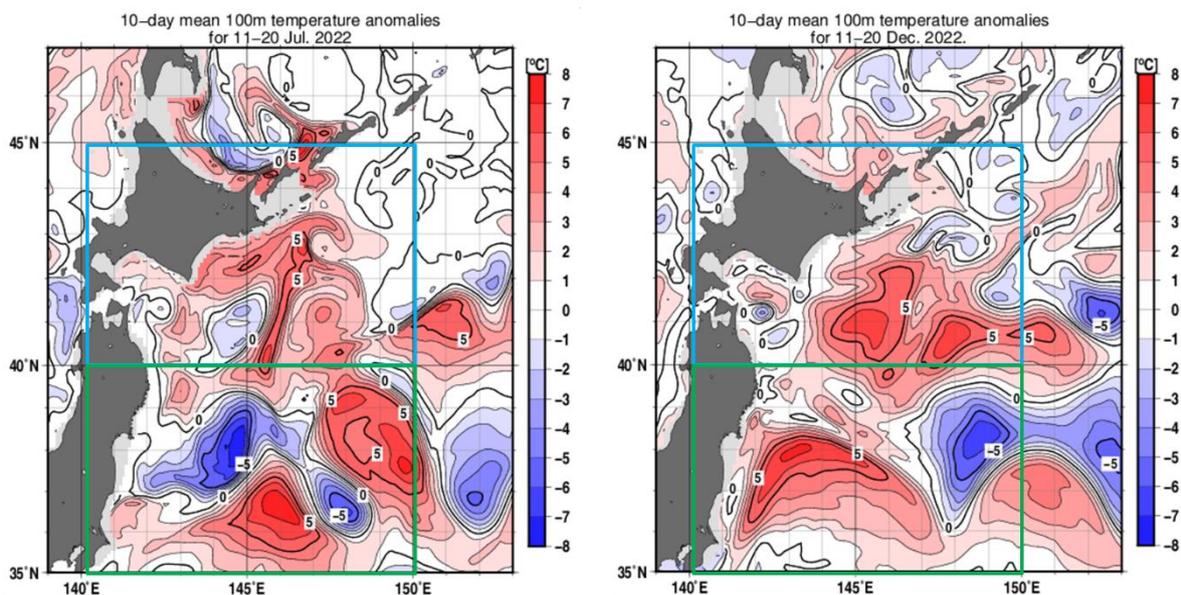


図II.1 2022年7月～12月の月平均海面水温の平年差分布図

青枠は北海道南東方、緑枠は本州東方の領域を示す。7～9月は確定値、10～12月は速報値を用いている。平年値は1991～2020年の平均値。



図Ⅱ.2 北海道南東方（左図）、本州東方（右図）の2022年1～12月の海面水温の平年差の日ごとの推移
平年値は1991～2020年の平均値。

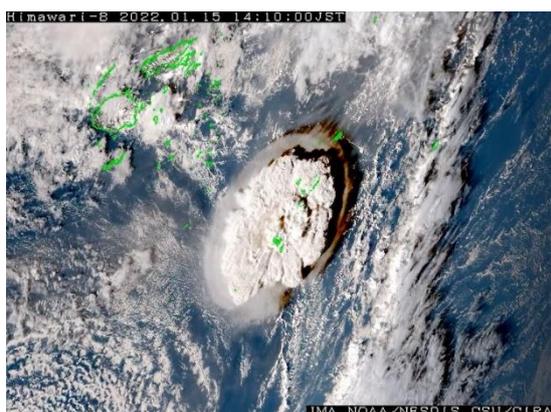


図Ⅱ.3 2022年7月中旬（左図）、12月中旬（右図）の100m深水温の平年差分布図
青枠は北海道南東方、緑枠は本州東方の領域を示す。平年値は1993～2017年の平均値。

Ⅲ フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火に伴う成層圏エアロゾルの広がり と気候への影響

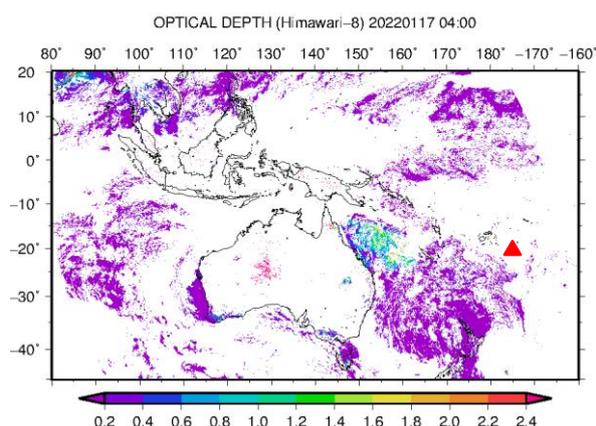
- 2022年1月のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山噴火では40～50万トンの二酸化硫黄（SO₂）が成層圏に運ばれ、これが硫酸エアロゾルに変わって低緯度域から中高緯度域に拡散しつつある。国内では、2022年の時点で、成層圏のエアロゾルに起因する直達日射量の減少は見られていない。
- 過去の大規模火山噴火では、成層圏を浮遊するエアロゾルが日射を遮ることにより、地上気温の低下をもたらした。今回の火山噴火では成層圏へのSO₂注入量が比較的少なかったため、気候への影響は限定的と考えられるが、成層圏への注入量が比較的多かった水蒸気の効果についてはまだわかっていない点も多い。

2022年1月15日に、南太平洋トンガ諸島のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山で大規模な噴火が発生した。火山爆発指数（VEI）は約6（Poli and Shapiro, 2022）と、1991年6月のピナトゥボ火山噴火（フィリピン）に匹敵する規模であり、日本では、南東から北西方向に伝播する気圧変化と、その直後に潮位変化が観測された。噴煙の状況は気象衛星ひまわり8号で観測され（図Ⅲ.1）、噴煙の高度は、複数の衛星観測データによる視差を用いた解析により、一部は成層圏を超え、高度57 kmの中間圏にまで達したことがわかった（Proud et al., 2022）。



図Ⅲ.1 2022年1月15日のトンガ諸島のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の大規模噴火

気象衛星ひまわり8号による1月15日14:10（日本標準時）のトゥルーカラー再現画像。トゥルーカラー再現画像は、気象庁、米国海洋大気庁（NOAA）/NESDIS、コロラド州立大学（CSU）/CIRAとの協力によるプロダクト。



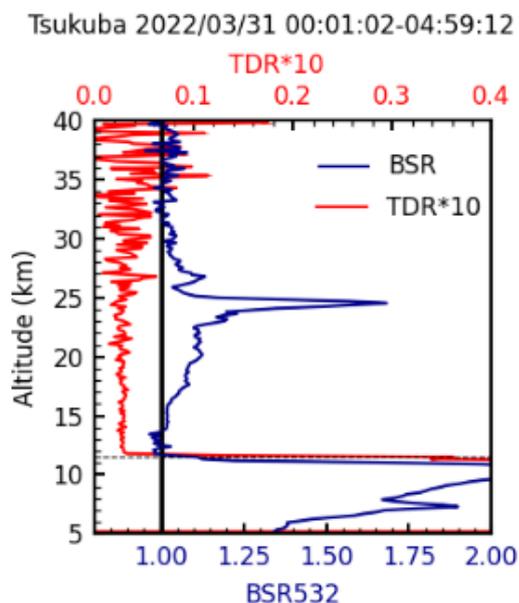
図Ⅲ.2 ひまわり8号の可視・近赤外観測データから算出した噴火2日後（2022年1月17日13:00（日本標準時））のエアロゾル光学的厚さ（AOD）

オーストラリアの北東海上にAODの大きい領域が見られる。白い部分は雲、又は太陽反射や衛星天頂角が大きいなどの理由により計算できなかった領域。▲印はフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の位置。

大規模火山噴火では、火山ガスの主要成分の一つである二酸化硫黄（SO₂）が成層圏に到達して、これが水蒸気との反応を含む酸化反応を経て硫酸エアロゾルに変わって拡散し、地球に入射する太陽光を遮ることにより、世界規模で地上気温の低下をもたらすことが知られている。1991年のピナトゥボ火山噴火では、約2000万トン（20 Tg）のSO₂が成層圏に到達し、硫酸エアロゾルとなって浮遊することにより、全球平均地上気温に約0.5℃の低下を最大1年間もたらした（IPCC, 2013）。一方、今回のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火で成層圏に注入されたSO₂の量は40～50万トン（0.4～0.5 Tg）と推定されており、ピナトゥボ火山噴火と比べて大幅に少なかった（Carn et al., 2022）。

(トピックス)

1月15日のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火で成層圏に到達したSO₂は、次第に硫酸エアロゾルに変化しながら、南半球低緯度域の高度30 km前後の層を西に向かって移動したことが、複数の衛星により観測されている (Sellitto et al., 2022; Legras et al., 2022; Taha et al., 2022)。これは、ひまわり8号の可視・近赤外観測データから算出 (北島ほか, 2021; Yoshida et al., 2018) したエアロゾル光学的厚さにも見られている (図III.2)。成層圏の硫酸エアロゾルは、南半球低緯度域を西進して1月下旬には地球を1周し、その後、成層圏内の子午面方向の循環 (ブリューワー・ドブソン循環) に伴い、2月頃には一部が南半球の中高緯度域に広がり、3月末頃には一部が北半球の中高緯度域にも到達した。3月末には、茨城県つくば市の気象研究所のライダーで高度24 km付近にエアロゾルの層が観測され (図III.3)、4月から6月にかけて欧州や北極域でも一時的に観測された (Khaykin et al., 2022)。



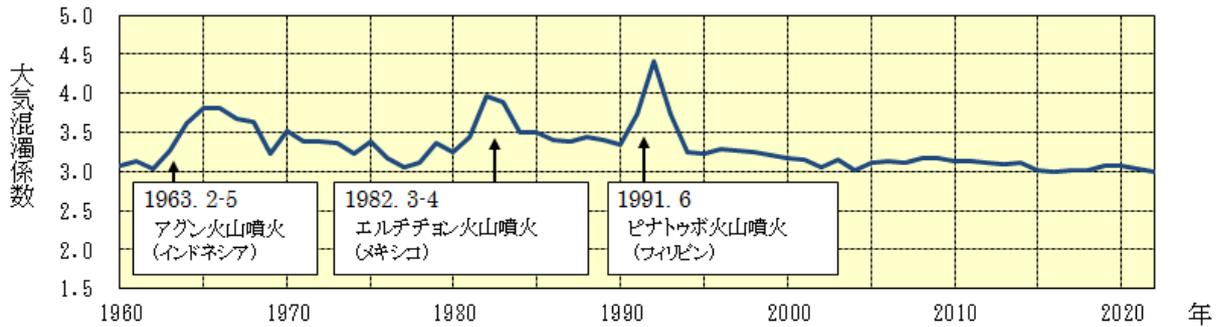
図III.3 つくばの地上ライダーで観測したフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山起源と思われる成層圏エアロゾル層のピーク

つくばでは3月31日の高度24 km付近で初めて観測された (図中の時刻は日本標準時)。青線 (BSR) は後方散乱比 (エアロゾルの混合比に対応)、赤線 (TDR) は偏光解消度 (エアロゾルの非球形度の指標) を示す (いずれも波長 532 nm)。ほぼ球形の硫酸エアロゾルでは偏光解消度は小さな値を示す。高度11 km付近の点線は対流圏界面を示し、それより下の高度では雲 (主に非球形度の高い巻雲) を観測していると考えられる。

過去の大規模火山噴火では、成層圏のエアロゾルが世界規模で広がり、年単位の期間にわたり成層圏大気を混濁させ、地上における日射量の減少をもたらした。図III.4は、国内5地点の直達日射量²観測により得られた大気混濁係数³のバックグランド値の経年変化である (2.2.1節も参照)。大気混濁係数は、エアロゾル等の大気を濁す物質によって直達日射量が減少すると高い値を示す。ここでは、月最小値を用いることにより、短期間で変動する対流圏の影響を除いている。1963年のアグン火山噴火 (インドネシア)、1982年のエルチチョン火山噴火 (メキシコ)、1991年のピナトゥボ火山噴火の後には、成層圏のエアロゾルにより直達日射量が減少し、大気混濁係数の上昇が見られたが、2022年はこのような変化が見られなかった。今回の噴火は成層圏に注入されたSO₂量が少なく大気混濁係数の変化が検出されていない可能性もあるが、これらの過去の火山噴火では国内の大気混濁係数は噴火の数か月から1年半後に上昇が始まっており (Yamauchi, 1995)、今後も注視が必要である。

² 直達日射量とは、太陽から地表面に直接入射するエネルギーである。直達日射量からは大気の濁り具合に関する指標であるホイスナー・デュボアの混濁係数 (大気混濁係数) を算出することができる。

³ 大気混濁係数は、エアロゾルのほか、水蒸気、オゾン、二酸化炭素等の日射の散乱・吸収に寄与する種々の物質を含む現実の大気の光学的厚さ (日射に対する大気の不透明さ、濁り具合) が、酸素や窒素などの空気分子以外の物質が存在しないと仮定した大気的光学的厚さの何倍であるかを表し、値が大きいほど大気を濁す物質が多いことを示す。



図Ⅲ.4 バックグラウンド大気混濁係数の経年変化 (1960~2022年)

大気混濁係数に含まれる水蒸気や黄砂、大気汚染エアロゾル等対流圏の変動による影響を除くため、大気混濁係数の月最小値を用いて国内5地点（網走、つくば、福岡、石垣島、南鳥島、ただし2020年までは網走ではなく札幌の観測値を使用）の平均値を求め、年平均値を算出している。矢印は大規模な火山噴火が発生した時期を示す。

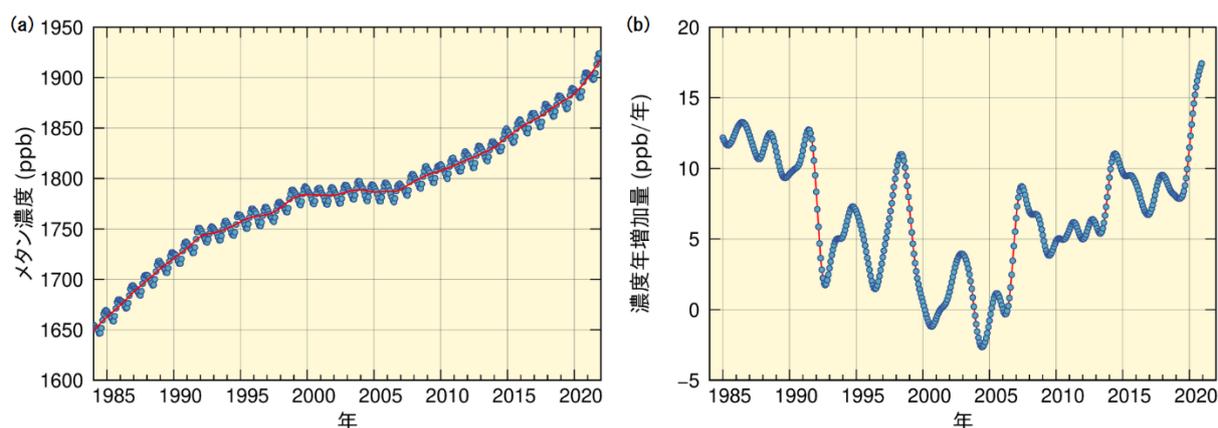
今回のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火では、海底火山の噴火であったため、成層圏全体の水蒸気の10%に相当する約1億4000万トン（140 Tg）もの大量の水蒸気が成層圏に注入された点が注目されている（Millán et al., 2022; Xu et al., 2022）。成層圏に到達したSO₂量のみを考慮した場合、1~2年間にわたり最大で約0.1℃の降温をもたらすものの、気候への影響は限定的と考えられている（Zhang et al., 2022; Witze, 2022）。一方で、水蒸気を考慮した場合、成層圏への水蒸気の注入は正の放射強制力をもたらす（地上の昇温）、エアロゾルによる負の放射強制力（地上の降温）を打ち消す可能性が指摘されている（Millán et al., 2022; Sellitto et al., 2022）。また、水蒸気存在により、SO₂から硫酸エアロゾルへの変化が早まるとともに、硫酸エアロゾルの粒径が大きくなって負の放射強制力を強め、水蒸気による直接的な正の放射強制力を考慮しても、正味で負の放射強制力（約-0.2 W m⁻²）をもたらすという指摘もある（Zhu et al., 2022）。ただし、粒径の速やかな増加は、重力沈降による成層圏からのエアロゾル除去を早める可能性もある（Khaykin et al., 2022）。これらの効果は、1991年のピナトゥボ火山噴火による降温の効果（約-2 W m⁻²の放射強制力）（IPCC, 2021）に比べて絶対値が小さく、今回の噴火の気候への影響は限定的であると考えられるが、水蒸気の効果についてはまだわかっていない点が多く、今後の観測や研究の成果に期待がかかっている。

IV 2021年の大気中メタン濃度の年増加量が観測史上最大を記録

- 世界気象機関（WMO）温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）に報告されている各国の観測値を解析した結果、2020年から2021年までの大気中メタン濃度の増加量は、1984年からの解析期間で過去最大となった。また、気象庁の国内観測地点である綾里及び南鳥島においても、観測史上最大を記録した。
- WMO（2022）によれば、この記録的な大気中メタン濃度の増加量は、メタン放出量の長期的な増加傾向に年々変動が重なっている可能性があるとして指摘されている。2020年から始まったラニーニャ現象により、気温と降水パターンの変化に敏感な熱帯域湿地からのメタン放出量が増加したことが可能性として示唆されている。

気象庁が運営を担う世界気象機関（WMO）の温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）の解析によれば、大気中の主要な温室効果ガス（二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）及び一酸化二窒素（N₂O））の増加が続いており、2021年の世界平均濃度はいずれも観測史上最高を更新した（WMO, 2022）。メタンは二酸化炭素に次いで地球温暖化に及ぼす影響が大きい温室効果ガスであり、1分子あたりの温室効果が二酸化炭素の約27.9倍と大きい。工業化以前（1750年）から2021年までの世界全体の放射強制力の増加量に対するメタンの寄与は、長寿命の温室効果ガス全体の約16%を占める（WMO, 2022）。大気中に放出されるメタンの約40%は自然起源（湿地やシロアリ等）であり、人為起源（畜産、稲作、化石燃料採掘、埋め立て、バイオマス燃焼等）によるものは約60%である（WMO, 2022）。メタンは主に、大気中のヒドロキシル（OH）ラジカル⁴と反応し消失することが知られている。

図IV.1に大気中メタンの世界平均濃度の時系列図を示す。WDCGGにおいて世界的な濃度の把握が可能となった1980年代半ば以降は、大気中のメタン濃度は季節変動を伴いながら上昇を続けてきたが、1999～2006年にかけては濃度増加が停滞し、2007年以降は再増加した。IPCC（2021）では、濃度増加が停滞した原因については、化石燃料による人為起源排出量減少の寄与が指摘されており、2007年以降の増加については、主に化石燃料と農業分野等からの放出の増加によると考えられている。

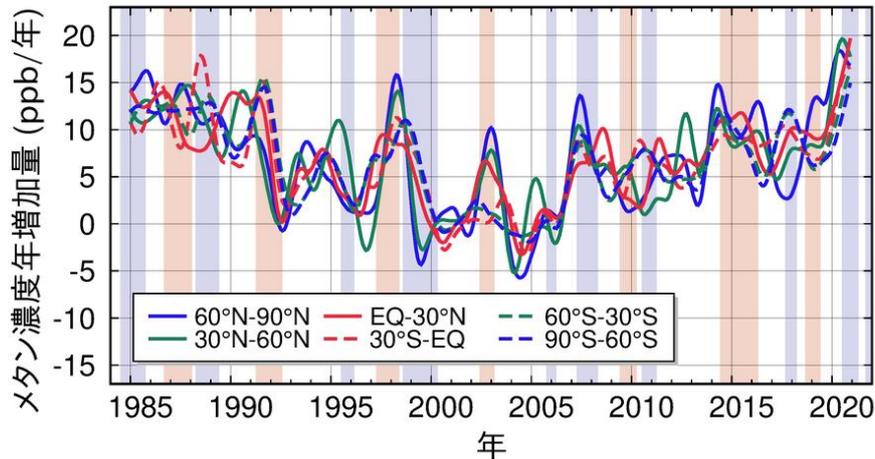


図IV.1 大気中メタンの世界平均濃度と年増加量

温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）が収集した観測データから作成した大気中メタンの（a）月別の世界平均濃度（青丸）と季節変動成分を除いた濃度（赤線）及び（b）年増加量の月別値を示す（WMO, 2022）。算出方法はWMO（2009）による。解析に使用したデータの提供元はWMO（2023）に掲載されている。

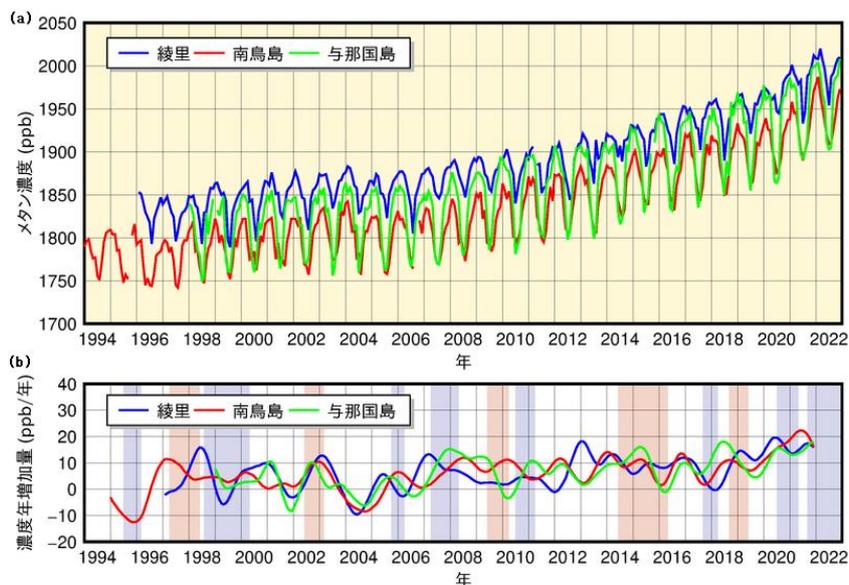
⁴ OHラジカルとは、オゾンに紫外線が作用し光分解することによって生じる酸素原子と、大気中の水蒸気が反応して生成する、極めて不安定で反応性が高い物質。紫外線と水蒸気が豊富な低緯度で多い。

2021年の大気中メタンの世界平均濃度は、工業化以前（1750年）の約729 ppbから約2.6倍の1908 ppbまで増加した。また、2020年から2021年までの大気中メタン濃度の増加量は、1984年からの解析期間で最大の18 ppbとなった。図IV.2に大気中メタンの緯度帯別平均濃度の年増加量の時系列図を示すが、2020年頃から年増加量が急激に大きくなっていることが分かる。同様の傾向は気象庁の国内観測点（綾里、南鳥島及び与那国島）でも見られており、綾里及び南鳥島における2020年から2021年までの大気中メタン濃度の増加量（それぞれ、16 ppb及び19 ppb）は観測史上最大、与那国島は13 ppbで過去第3位の増加量となった（図IV.3参照）。



図IV.2 大気中メタンの緯度帯別平均濃度の年増加量

温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）が収集した観測データから作成した大気中メタンの緯度帯別平均濃度の年増加量を示す。算出方法はWMO（2009）による。解析に使用したデータの提供元はWMO（2023）に掲載されている。薄赤色の背景色はエルニーニョ現象の発生期間、薄青色の背景色はラニーニャ現象の発生期間をそれぞれ示す。



図IV.3 綾里、南鳥島及び与那国島における大気中メタンの (a) 月平均濃度と (b) 濃度年増加量の時間変化
濃度年増加量は、季節変動成分を除いた月別値から、各月の増加量を1年あたりに換算して求めている。算出方法はWMO（2009）による。濃度年増加量の薄赤色の背景色はエルニーニョ現象の発生期間、薄青色の背景色はラニーニャ現象の発生期間をそれぞれ示す。

この記録的なメタン濃度増加量に関して、現時点では明確な原因については分かっていないが、世界の温室効果ガス科学コミュニティにより調査中である。WMO (2022) によれば、メタン放出量の長期的な増加傾向に年々変動が重なっている可能性がある」と指摘されている。さらに、メタンの炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$) の観測によれば、最近のメタン濃度の増加において微生物起源のメタン放出の支配的な寄与が示唆されており、衛星観測を用いた研究においては、熱帯域からのメタン放出量増加が報告されている (Feng et al., 2022)。これらの結果に逆解析モデリングによる解析結果も組み合わせて、熱帯域湿地からのメタン放出量が過去数年間で増加した可能性があることも報告されている。また、熱帯域湿地からのメタン放出は気温と降水パターンの変化に敏感で、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) の影響を受けやすいことが知られており、2020年に始まったラニーニャ現象は、最近の記録的なメタンの濃度増加率の上昇に寄与している可能性が示唆されている (図IV.2も参照)。一方、メタンの定量的な収支評価には、エルニーニョ/ラニーニャ現象に伴う湿地からの放出のほかバイオマス燃焼からの放出及びメタン消滅に寄与する OH ラジカルの変動等、依然として不確実な部分も多い (IPCC, 2021)。

メタンは二酸化炭素と比べて大気中での寿命が短く、1分子当たりの温室効果が大きいことから、メタン排出量の削減により地球温暖化対策への速やかな効果が期待され、メタンの排出削減を二酸化炭素の長期的な排出削減と併せて実施することが、地球温暖化を緩和するために重要である。2021年11月に開催された国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) 第26回締約国会議

(COP26) で開始されたメタン排出削減に関する国際的なイニシアティブであるグローバル・メタン・プレッジでは、世界のメタン排出量を2030年までに2020年比で30%削減することを目標としており、日本を含めて100以上の国と地域が参加を表明している。地球温暖化対策を効果的に推進するために、気象庁としても、温室効果ガスの観測・解析やWDCGG等の国際的な活動を通じて、世界的な温室効果ガス濃度の監視に貢献していく。