

トピックス

I 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の感染拡大が大気中二酸化炭素濃度変動に及ぼす影響

- 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 感染拡大の影響により、2020 年の化石燃料起源の二酸化炭素排出量は減少したことがグローバル・カーボン・プロジェクト (GCP) 等により報告されている。しかしながら、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では、大気中の二酸化炭素濃度は依然として増加が続いている。
- GCP で報告されている二酸化炭素排出量の減少幅から、理論的に推定される大気中の二酸化炭素濃度増加量の変動は、年々の自然変動幅より小さい。WDCGG の解析においても、大気中の二酸化炭素濃度観測による濃度増加量には、COVID-19 感染拡大による排出量減少の影響は確認されていない。

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、2020 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, 2021a)。IPCC 第 6 次評価報告書第 1 作業部会報告書 (IPCC, 2021) によると、1750 年頃以降の大気中温室効果ガスの濃度増加は、人間活動によって引き起こされたことに疑う余地がなく、これらの温室効果ガスのうち、二酸化炭素は地球温暖化に最も大きな影響を及ぼすとされている。大気中の二酸化炭素濃度は、季節変動を伴いながら経年増加している (図 I.1)。この経年増加は、化石燃料の消費や森林破壊等の土地利用変化等の人間活動により二酸化炭素が大気中に排出され、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もたらされる。工業化以前 (1750 年頃) の大気中の二酸化炭素濃度は、大気、海洋及び陸上生物圏の間の炭素交換のバランスを反映して約 278 ppm であったが、2020 年の世界平均濃度は 413.2 ppm となり、工業化以前の約 1.5 倍にまで増えている。

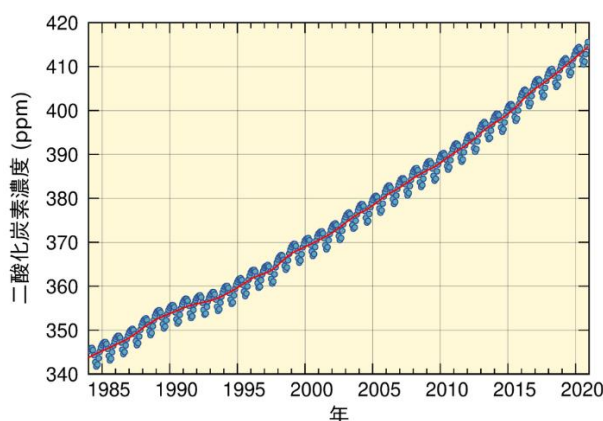


図 I.1 大気中の二酸化炭素の世界平均濃度

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の二酸化炭素の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) を示す (WMO, 2021a)。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 (2022) に掲載されている。

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の感染拡大により、現在に至るまで世界各国で行動制限や防疫措置等の各種対策が継続的に実施されている。2020 年の感染拡大の初期の頃は、世界の各都市における封鎖措置や厳しい移動制限等に伴い社会経済活動が停滞し、結果として世界全体で人

為起源の二酸化炭素排出量が一時的に減少したことが報告されている (WMO, 2020)。グローバル・カーボン・プロジェクト (GCP) ¹ の 2021 年の解析によると、2020 年の化石燃料起源の二酸化炭素排出量は 95 ± 5 億トン炭素となり、2019 年と比較して約 5.4% の減少となった (Friedlingstein et al., 2021)。図 I.2 に、WDCGG による実際の観測に基づいた大気中二酸化炭素濃度の年増加量、及び、陸域生物圏や海洋による吸収がないと仮定した場合に化石燃料起源の二酸化炭素排出量から推定される大気中二酸化炭素の濃度増加量の理論値を示す。実際に観測された 2019 年から 2020 年までの年平均値の増加量 (2.5 ppm) は、2018 年から 2019 年までの増加量 (2.6 ppm) よりわずかに小さかったが、最近 10 年間の平均年増加量 (2.4 ppm/年) よりわずかに大きく、大気中の二酸化炭素濃度の年増加量の傾向は大きく変わっていないことを示している。2020 年の化石燃料起源の二酸化炭素の排出減少量が大気中の二酸化炭素濃度変化に及ぼす寄与は 0.2 ppm 程度と想定され (図 I.2 緑線)、陸域生物圏や海洋の吸収量の自然変動による年々の二酸化炭素濃度変動幅の 1 ppm より十分に小さい。このことは、年々の自然変動と区別できないことを示唆している (WMO, 2020; WMO, 2021b)。

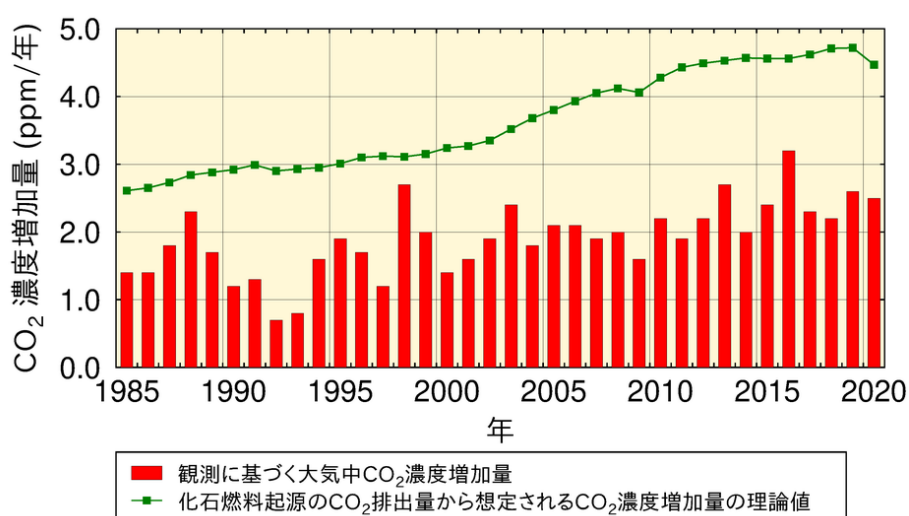


図 I.2 観測された大気中二酸化炭素の濃度増加量と化石燃料起源の二酸化炭素排出量から想定される二酸化炭素の濃度増加量の理論値

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二酸化炭素の年平均濃度増加量 (赤棒)、及び、陸域生物圏や海洋による吸収がないと仮定した場合に化石燃料起源の二酸化炭素排出量から想定される二酸化炭素濃度増加量の理論値 (緑線) を示す。化石燃料起源の二酸化炭素排出量は、グローバル・カーボン・プロジェクト (GCP) の 2021 年の解析値 (Friedlingstein et al., 2021) を用いた。二酸化炭素排出量から想定される二酸化炭素濃度増加量との換算には、21 億 2400 万トン炭素/ppm (Ballantyne et al., 2012) を用いた。

COVID-19 の感染拡大に伴う二酸化炭素等の温室効果ガスや人為起源エアロゾルの排出量減少が気候変動に及ぼす影響を評価するために、世界各国の最新の気候モデルを用いた国際研究チームによるモデル相互比較計画 (略称 CovidMIP) が立ち上がり、日本からは国立研究開発法人海洋研究開発機構と気象庁気象研究所が参画した。その研究成果によれば、2020 年から 2021 年の 2 年間のみ温室効果ガスや人為起源エアロゾル等の排出量が減少しても、2020 年から 2024 年の地上気温や降水量にはほとんど影響せず、COVID-19 による一時的な排出量減少が地球温暖化の進行に与える影響は限定的であることが示唆されている (Jones et al., 2021)。

気象庁の 2021 年までの国内観測点 (綾里、南鳥島及び与那国島) における観測データによると、2021 年の年平均二酸化炭素濃度は、綾里で 419.5 ppm、南鳥島で 416.9 ppm、与那国島で 419.2

¹ 2001 年に発足した国際研究計画で、持続可能な地球社会の実現をめざす国際協働研究プラットフォーム「フューチャー・アース」のコアプロジェクト。

(トピックス)

ppm (いずれも速報値) となり、いずれも観測史上最高を更新した (図 I.3)。前年からの増加量は 2.0~3.2 ppm/年であり、これは最近 10 年間の平均年増加量と同程度であった。国内観測地点の大気中二酸化炭素濃度とメタン濃度の濃度比の解析から、2020 年に化石燃料起源の二酸化炭素排出量の減少を示唆した研究成果 (Tohjima et al., 2020; Tohjima et al., 2022) があるが、2021 年には COVID-19 感染拡大前の水準に戻っていることも報告されている。GCP の 2021 年の解析においても、2021 年の化石燃料起源の二酸化炭素排出量は約 99 億トン炭素となることが予測されている。これは、2020 年と比較して約 4.9% の増加となり、COVID-19 感染拡大前の 2019 年の値 (100±5 億トン炭素) とほぼ同じ水準まで戻ることが報告されている (Friedlingstein et al., 2021)。大気中の二酸化炭素濃度は依然として増加が続いており、引き続き、大気中の温室効果ガス濃度の長期的かつ広域での観測及び解析を継続することが重要である。

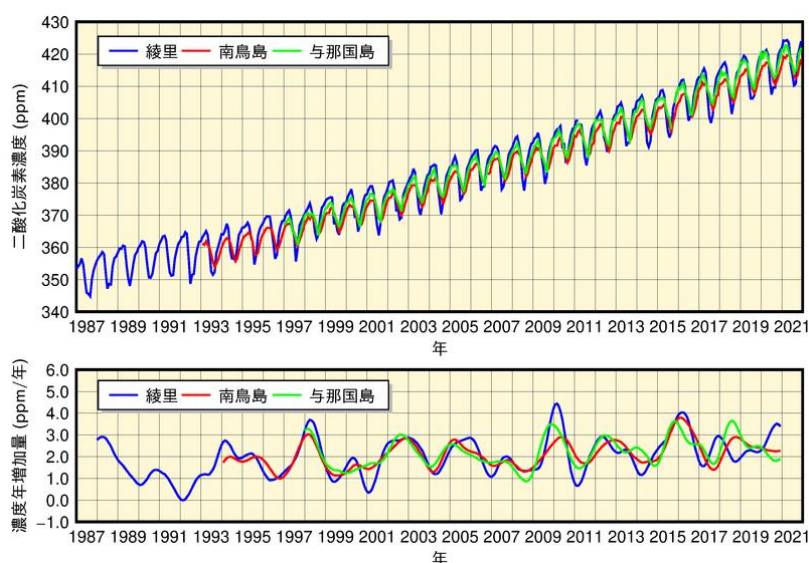


図 I.3 綾里、南鳥島及び与那国島における大気中の二酸化炭素の (a) 月平均濃度と (b) 濃度年増加量の経年変化

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。

II 2021年8月の大雨

- 2021年8月中旬～下旬は西日本～東日本の広い範囲で大雨が続き、総降水量が多いところで1,400mmを超える記録的な大雨となった。西日本日本海側と西日本太平洋側では、1946年の統計開始以降、8月として月降水量の多い記録を更新した。
- 日本の北で発達したオホーツク海高気圧と平年より南に偏って南海上に張り出した太平洋高気圧との間で対流圏下層気温の南北差が強まって、盛夏期にもかかわらず梅雨の後半のような大気の流れとなり、西日本～東日本に前線帯が形成された。そこに中国大陸からと太平洋高気圧の縁辺に沿った水蒸気の流入が集中する状態が続いたため、広範囲で持続的な大雨となった。

(1) 天候の状況

2021年8月中旬～下旬は西日本～東日本の広い範囲で大雨となり、8月11日～26日の期間降水量は九州南部と四国地方の多いところで1,400mmを超えた(図II.1)。特に、8月12日～14日は九州北部地方と中国地方で線状降水帯が発生して、記録的な大雨となった。8月の月降水量は、西日本日本海側で平年の約3.7倍、西日本太平洋側で平年の約3.0倍となり、1946年の統計開始以降、第1位の多雨となった。また、東日本太平洋側でも平年の約2.2倍となり、1946年の統計開始以降、第2位の多雨となった。さらに、呉(広島県)、熊本(熊本県)、枕崎(鹿児島県)等、30地点で月降水量の多い記録を更新した。

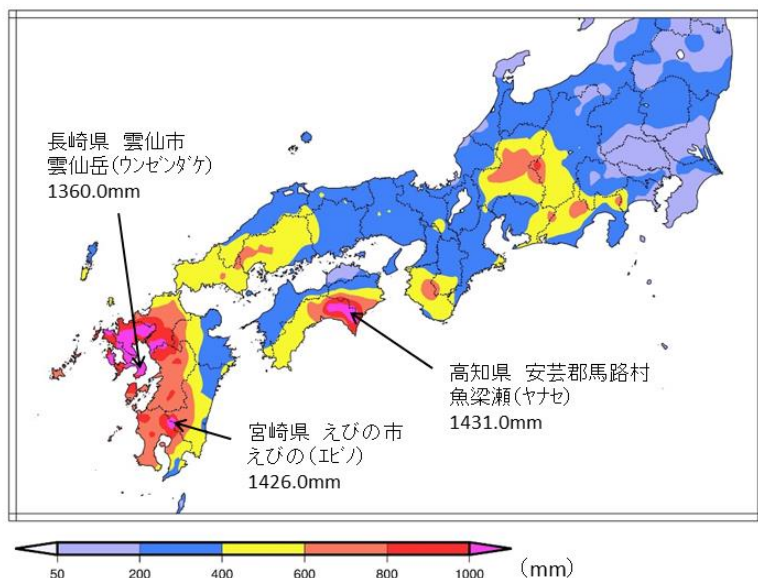


図 II.1 2021年8月11日～26日の期間降水量
単位は mm。

(2) 大気の流れの特徴

気象庁は2021年9月13日に異常気象分析検討会を開催し、大規模な大気の流れから見た大雨の要因を分析し、以下のとおり見解をまとめた。

8月初め以降、日本の北方で持続的に強まった地表のオホーツク海高気圧と日本の南海上に張り出した太平洋高気圧(図II.2a)の間で、対流圏下層で気温の南北勾配が強まり、盛夏期にもかかわらず梅雨の後半のような大気の流れとなり、西日本～東日本付近に前線帯が形成された。そこに太平洋高気圧の縁辺に沿う南からの水蒸気と中国大陸方面の西南西からの水蒸気が集中的に流れ込む状態が持続したことにより、記録的な大雨がもたらされた。

地表のオホーツク海高気圧は、寒帯前線ジェット気流の持続的な蛇行によって8月上旬前半に東シベリアで発達した対流圏上層のブロッキング高気圧(図II.2b)に伴って持続的に強まった。この蛇行には、7月に寒帯前線ジェット気流が特に明瞭だったことが寄与している可能性がある。

(トピックス)

また、太平洋高気圧は平年よりも南偏し、日本の南海上で強く西に張り出した。これには、北西太平洋で対流活動が不活発な状態(図 II.3a)となっていたことが寄与した可能性があり、この対流活動の不活発な状態は熱帯の季節内変動に伴って発生したと考えられる。日本付近には、この太平洋高気圧の縁辺に沿って南から水蒸気が流入しやすかった。加えて、中国の華中においても前線の活動が活発だったため、中国東部で異常多雨となった。中国から日本の上空にかけては、対流圏全体で気温の南北差が大きかったことに対応して対流圏中・下層で偏西風が強かったために、日本付近に華中方面からも水蒸気が流入しやすかった。

東アジア～日本上空では対流圏上層の亜熱帯ジェット気流が平年よりも南に位置し、地表の太平洋高気圧の南偏にも関わった。上層のチベット高気圧は中国南部上空で強まり、その北東側の東シナ海上空では気圧の谷となって(図 II.3b)、亜熱帯ジェット気流が日本の西側で顕著に南下した。この影響で、西日本～東日本付近では上昇気流が起きやすく、降水活動が維持されやすい状況が続いた。8月15日以降は、北大西洋上空で発達した気圧の尾根に伴う偏西風の蛇行の影響により、ユーラシア大陸上の亜熱帯ジェット気流の蛇行が強まり、その影響がさらに東方へ及ぶことによって、日本の西側で上層の気圧の谷を持続させた可能性がある。

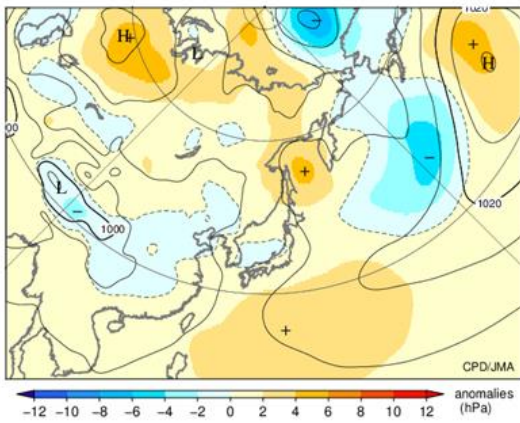
インド洋では負のインド洋ダイポールモード現象²が発生しており、7月中旬～8月上旬の海面水温は、スマトラ島の南西で正偏差、インド洋西部では負偏差となっていた(1.3.1 参照)。この影響でアジアモンスーン域の対流活動が変化し、東アジアの大気循環にも影響を及ぼした可能性がある。アジアモンスーン域の対流活動は、南シナ海～フィリピンの東で平年よりも不活発で、活動の中心は平年よりも南及び西に偏った(図 II.3a)。統計的な調査では、アジアモンスーンが不活発で活動の中心が南及び西に偏った場合には、東アジア上空で全般に亜熱帯ジェット気流が平年より南偏し、さらに日本の西方で気圧の谷となる傾向がある。これらは2021年8月中旬の特徴と一致しており、不活発で南西に偏ったアジアモンスーンの活動が今回の広域での持続的な大雨に影響した可能性がある。

さらに、日本では、長期的には極端な大雨の強さが増大する傾向があり、アメダス地点の年最大72時間降水量には、1976年以降、10年あたり3.7%の上昇傾向が現れている(第2.4.3項参照)。その背景要因として、地球温暖化による気温の長期的な上昇傾向に伴い、大気中の水蒸気量も長期的に増加傾向にあることが考えられる。なお、理論上、気温が1℃上昇すると飽和水蒸気量が7%程度増加することが知られている。更に詳細な調査が必要であるが、今回の一連の大雨には、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあった可能性がある。

西日本～東日本に記録的な大雨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 II.4のとおりとなる。

² 「インド洋ダイポールモード現象」については巻末の用語一覧を参照のこと。

(a) 海面気圧・平年偏差



(b) 500hPa高度・平年偏差

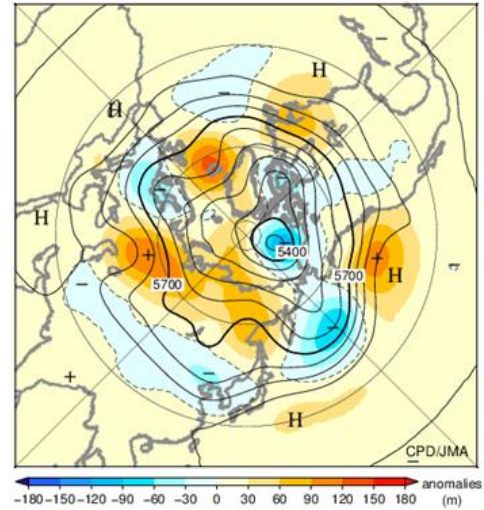


図 II.2 2021 年 8 月平均の (a) 海面気圧・平年偏差、(b) 500hPa 高度・平年偏差
単位は (a) hPa、(b) m で、平年値は 1991~2020 年の平均値。気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55) に基づく。

(a) 外向き長波放射量平年偏差

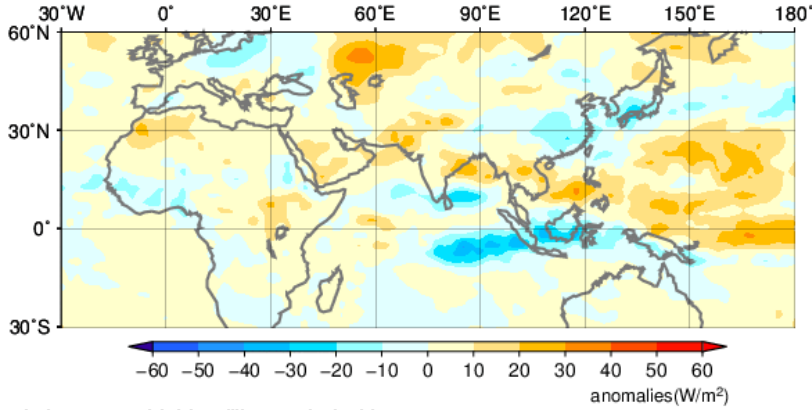
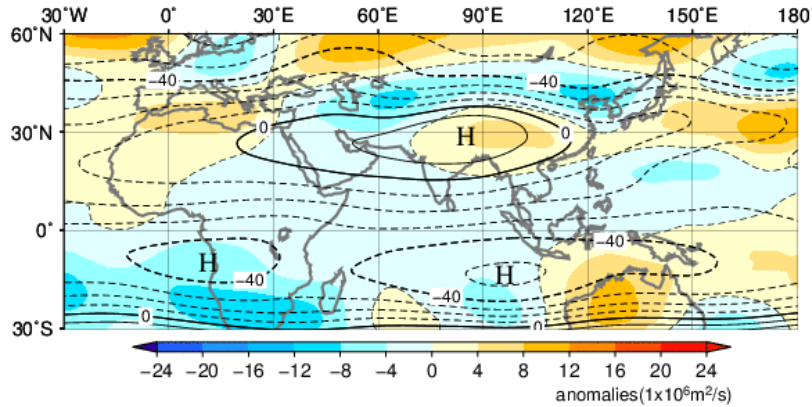


図 II.3 2021 年 8 月平均の (a) 外向き長波放射量平年偏差、(b) 200hPa 流線関数・平年偏差

単位は (a) W/m^2 、(b) $10 \times 10^6 m^2/s$ 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 JRA-55 に基づく。

(b) 200hPa流線関数・平年偏差



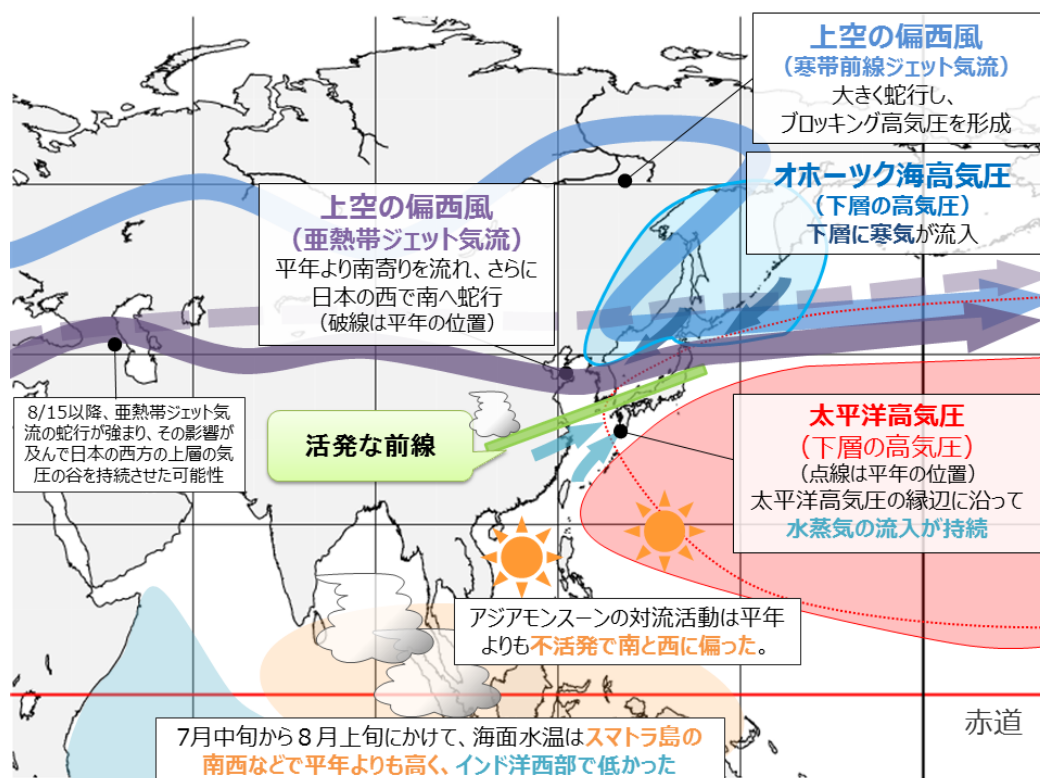


図 II.4 西日本～東日本に記録的な大雨をもたらした大規模な大気の流れの模式図 (2021年8月11日～17日の平均的な状況)

Ⅲ 2021年の日本海、北海道南東方で7月として海面水温が過去最高を記録

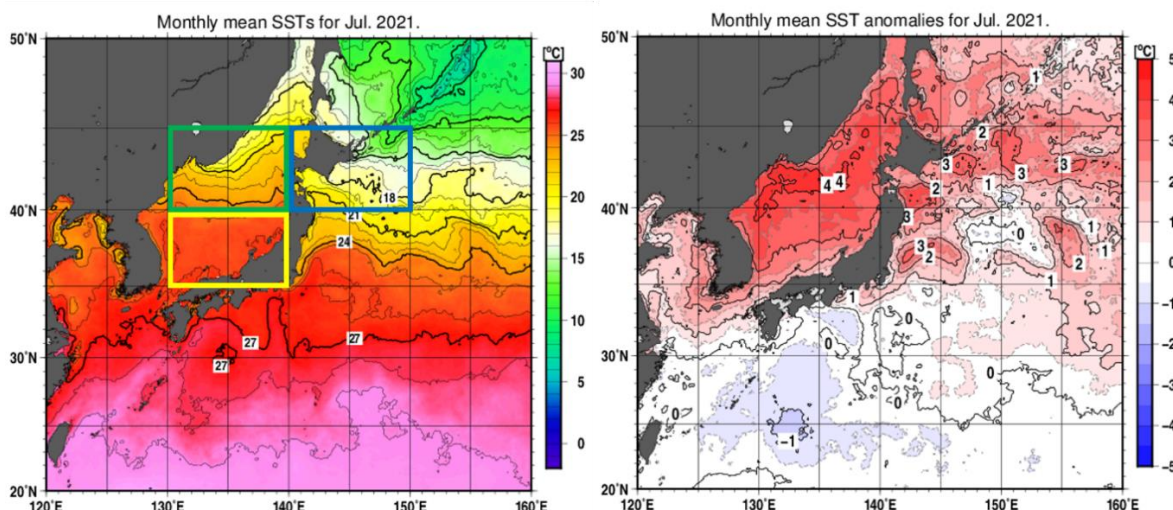
- 2021年7月の日本海や日本の東を中心とした海域の海面水温は、平年よりかなり高くなり、特に、日本海北部・南部、北海道南東方では、解析値のある1982年以降の7月では最も高くなった。

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、北西太平洋の海面水温を解析し、その変動を監視している。2021年7月は、日本海や日本の東を中心とした海域の海面水温が、平年よりかなり高くなった(図Ⅲ.1)。7月の海域別の月平均海面水温は、日本海北部で22.6℃(平年差+3.8℃)、日本海南部で25.7℃(平年差+2.9℃)、北海道南東方で17.7℃(平年差+2.4℃)(いずれも速報値)となり、解析値のある1982年以降の7月の平均海面水温の中で最も高くなった(図Ⅲ.2)。各海域の日ごとの海面水温の推移(図Ⅲ.3)をみると、7月中旬から平年に比べて大きく上昇し、7月下旬には1982年以降の過去最高値を大きく上回った。7月下旬から8月上旬は、日本海ではおおむね一定で、北海道南東方では平年値と同程度の上昇傾向で推移したが、8月中旬にかけて3海域とも海面水温が大きく低下し、平年値と同程度か下回って推移した。

日本海、北海道南東方で海面水温が過去最高になった要因として、2021年7月は、中旬以降から下旬の前半にかけて、北日本を中心に高気圧が強かった(図Ⅲ.4)ため、日本海から日本の東にかけての海域では、平年より風が弱く暖かい空気に覆われたこと、また平年より日射量が多くなったことが挙げられる。なお、8月中旬にかけて、台風第9号から変わった温帯低気圧と台風第10号が本州付近を通過したことや、その後オホーツク海高気圧からの下層の寒気などの影響を受けたため、海面水温が大きく低下した。

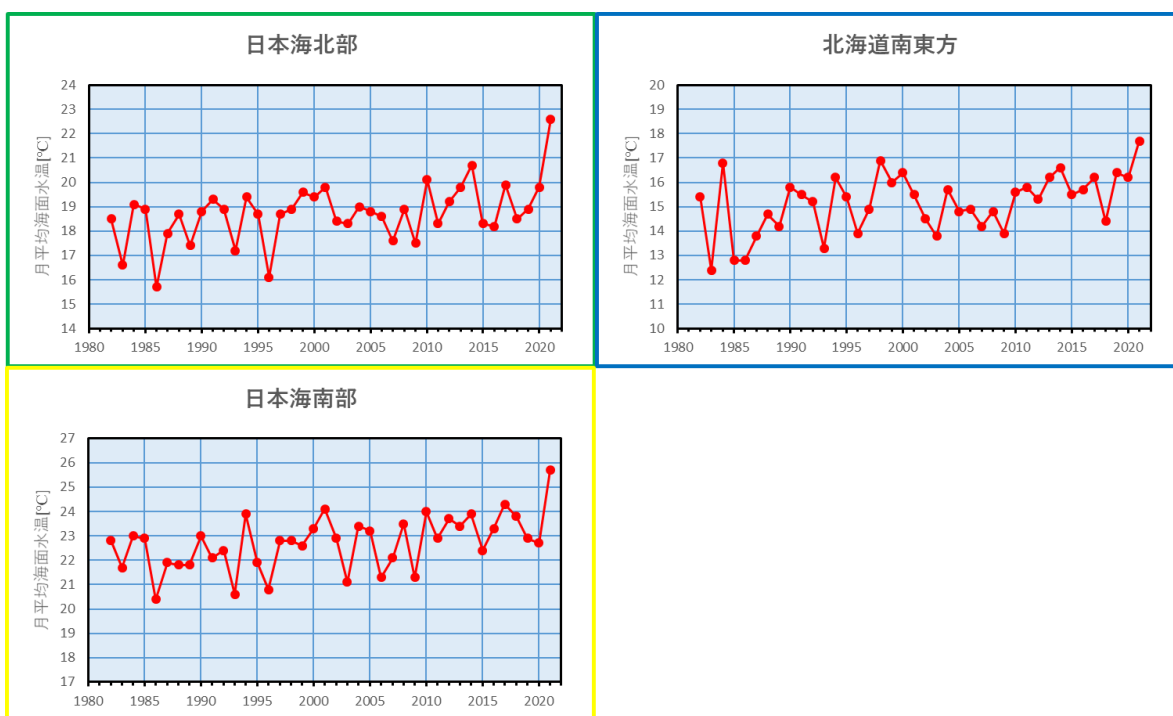
第2.8節で示すとおり、世界や日本近海の海面水温は、長期的な上昇傾向がみられるが、短期的に特定の海域の水温が極端に上昇し、最大数千kmのスケールで数日から数か月に及んで継続する「海洋熱波」とよばれる現象も近年注目されている。「海洋熱波」は、IPCC海洋・雪氷圏特別報告書(IPCC, 2019)でも取り上げられ、海洋の生態系や水産業などに大きな影響を及ぼし、近年、その頻度と強度が増加した可能性が非常に高いとされている。気象庁では「海洋熱波」としての情報発表はしていないが、本トピックで取り上げた2021年夏季の事象については、Kuroda and Setou(2021)が「海洋熱波」の観点から、1982年以降におけるオホーツク海南部から北西太平洋の北部にかけての海域(40°N~50°N、143°E~180°)についての解析結果を示している。この海域における「海洋熱波」の指標を超えた日数のうち、2021年7~8月が占める割合が大きく、特に顕著な現象だったことを示している。また、この要因として、偏西風の極端な北上により高気圧が発達したことなどをあげている。海洋熱波は、大気からの加熱によるだけではなく、海洋の現象を要因とする場合もある。Miyamaら(2021)は、北海道・東北沖の2010年から2016年の夏季に毎年発生していた海洋熱波が、この海域の暖水渦が親潮の南下を妨げたためであるとしている。また、この海洋熱波により北海道太平洋側におけるブリの漁獲量が増えたことを示した。

IPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書(IPCC, 2021)では、「海洋熱波の頻度は、1980年代以降ほぼ倍増しており(確信度が高い)、人間の影響は、少なくとも2006年以降の多くの海洋熱波に寄与していた可能性が非常に高い。」としている。海洋熱波は、漁場の変化や養殖業への被害、サンゴの白化など様々な形で社会経済活動に影響を及ぼすと考えられ、今後も海洋の監視を継続することが重要である。



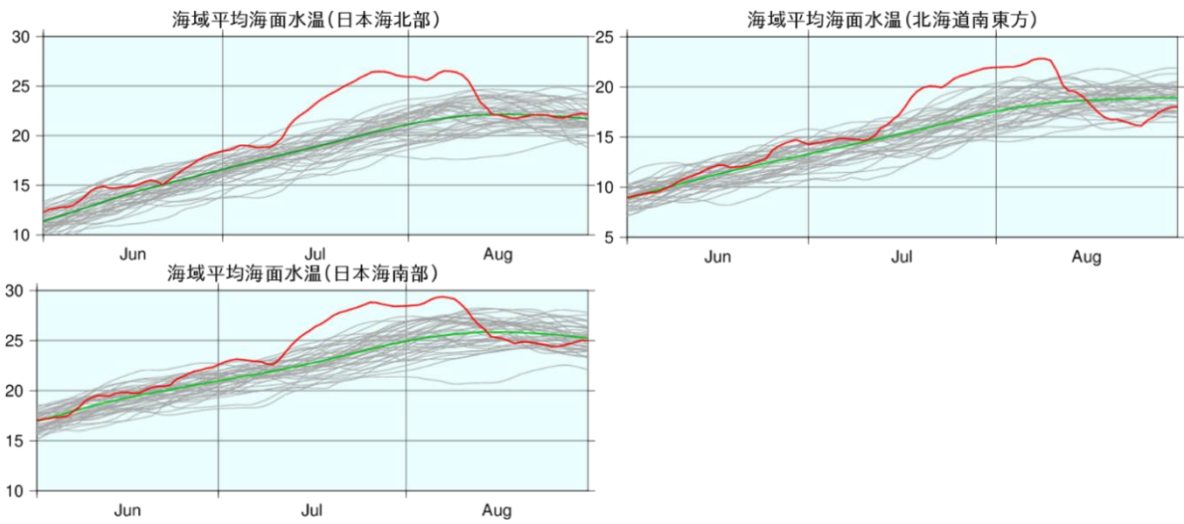
図Ⅲ.1 2021年7月の月平均海面水温（左図）と月平均海面水温平年偏差（右図）

左図の青枠、緑枠、黄色枠が、それぞれ北海道南東方、日本海北部、日本海南部の領域を示す。平年値は1991～2020年の平均値。値は速報値。

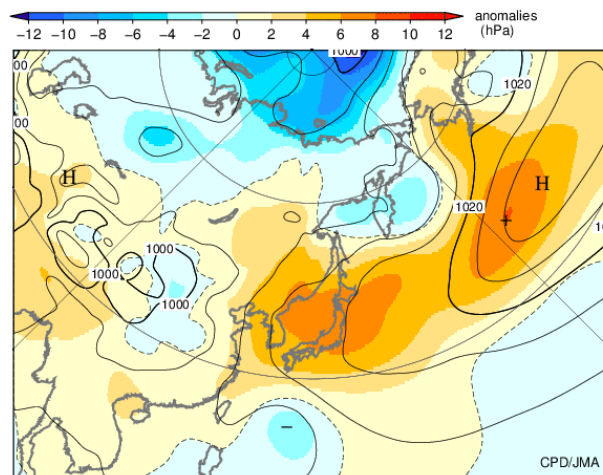


図Ⅲ.2 日本海北部、日本海南部、北海道南東方の7月の月平均海面水温の1982年以降の推移

2021年の値は速報値。



図Ⅲ.3 日本海北部、日本海南部、北海道南東方の日別の海域平均海面水温の6月～8月の推移
 赤線は2021年の値、緑線は日別の平年値（1991～2020年の平均値）、灰色線は1982年～2020年の各年の値。
 単位は℃。2021年は速報値である。



図Ⅲ.4 2021年7月中旬の海面気圧・平年偏差
 単位はhPaで、平年値は1991～2020年の平均値。JRA-55に基づく。