



WMO 温室効果ガス年報(概要)

2025 年 12 月までの世界の観測結果に基づく
大気中の温室効果ガスの状況

第 22 号 | 2026 年 10 月 27 日

要約

WMO 全球大気監視 (GAW) 現場観測ネットワークによる観測結果の最新の解析によると、2025 年の二酸化炭素 (CO_2)、メタン (CH_4) 及び一酸化二窒素 (N_2O) の地上における世界平均濃度⁽¹⁾は、それぞれ 426.8 ± 0.2 ppm⁽²⁾、 1948 ± 2 ppb⁽³⁾ 及び 339.1 ± 0.1 ppb となり、過去最高値を更新した。これらの値は、工業化以前 (1750 年以前) の水準と比較して、それぞれ 53%、167% 及び 26% 高い水準である。二酸化炭素については、2024 年から 2025 年にかけての増加量は、2023 年から 2024 年にかけて観測された異常に大きな増加量よりは小さかったものの、過去 10 年間 (2016 ~ 2025 年) の平均年増加量をわずかに上回った。メタンについては、2024 年から 2025 年にかけての増加量は、2023 年から 2024 年にかけての増加量より小さく、過去 10 年間の平均年増加量も下回った。一酸化二窒素については、2024 年から 2025 年にかけての増加量は、2023 年から 2024 年にかけての増加量と同値で、過去 10 年間の平均年増加量とほぼ同程度であった。米国海洋大気庁 (NOAA) の年次温室効果ガス指数 (AGGI) [17] によると、1990 年から 2025 年までに、長寿命の温室効果ガス (LLGHGs) による放射強制力は 56% 増加しており、この増加の約 81% は二酸化炭素が占めている。

2025 年の GAW 現場観測ネットワークの概要

この WMO 温室効果ガス (GHG) 年報第 22 号は、長寿命の温室効果ガスの中で最も影響の大きい、二酸化炭素、メタン及び一酸化二窒素の大気中の濃度とその変化量を報告するとともに、その他の温室効果ガスの寄与についても概要を示す。上記の 3 種類のガスとジクロロフルオロメタン (CFC-12) 及びトリクロロフルオロメタン (CFC-11) を合わせると、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力全体の約 97%⁽⁴⁾ [14] を占める (図 1)。

WMO GAW 計画 は、大気中の温室効果ガス (GHGs) 及びその他の微量成分の組織的観測及び解析をとりまとめている。最近 10 年間の温室効果ガス観測地点を図 2 に示す。構成員が報告した観測データは、気象庁にある温室効果ガス世界資料センター (WDCGG) が保管・配布している。

この年報で WMO WDCGG が報告する世界平均濃度及びその増加量と NOAA が発表した結果 [18] は、同じ年であっても値が若干異なる。これは解析に使用される観測地点の違い、平均値算出手法の違い、及び値が代表する期間の

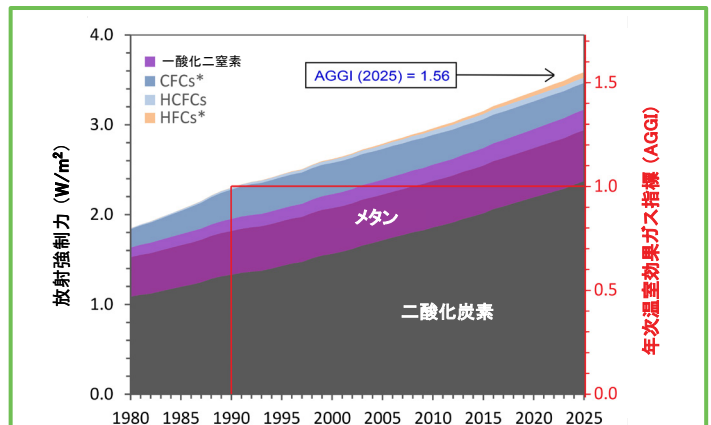


図 1 長寿命の温室効果ガスによる放射強制力の経年変化と 1990 年を基準とした指標である 2026 年更新版の NOAA 年次温室効果ガス指標 (AGGI) [14]。「CFCs*」群には、CFC 類以外の長寿命ガス (CCl_4 、 CH_3CCl_3 、ハロンなど) も含まれる。「HCFCs」群には、これらの物質の中で最も濃度が高い 3 種類 (HCFC-22、HCFC-141b、HCFC-142b) が含まれる。「HFCs*」群には、最も濃度の高い HFC 類 (HFC-134a、HFC-23、HFC-125、HFC-143a、HFC-365mfc、HFC-227ea、HFC-152a) と、完全を期するため SF_6 を含む。

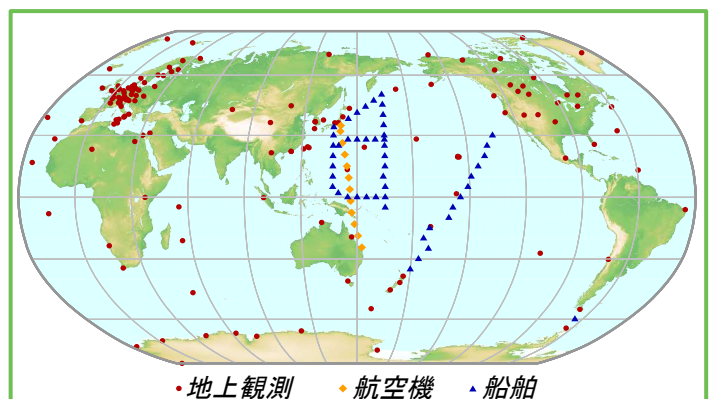


図 2 GAW 観測ネットワークを構成する最近 10 年間の二酸化炭素観測地点。メタンの観測ネットワークもこれと同様である。一酸化二窒素及び他の長寿命温室効果ガスの現場観測ネットワークは、はるかに密度が小さい。

若干の違いによる。WMO WDCGG は [19] と [20] に記載されている手法で解析を行っている。また、この年報で示した解析結果に関する追加情報は、以下で公開されている

https://gaw.kishou.go.jp/publications/summary_figures

主な 3 種の長寿命温室効果ガスの 2025 年の大気中濃度の世界平均と、2024 年から、及び 1750 年からの濃度変化を表に示す。

表 GAW 温室効果ガス観測ネットワークによる主な温室効果ガスの地上の世界平均濃度(2025年)と増加量。単位は乾燥空気中の濃度で誤差幅は68%の信頼限界による。平均手法は[19, 20]に記載されている。

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
世界平均濃度(2025年)	426.8±0.2 ppm	1948±2 ppb	339.1±0.1 ppb
1750年と比較した存在比 ^a	153%	267%	126%
2024年から2025年までの増加量	2.8 ppm	6 ppb	1.1 ppb
2024年からの増加分の比率	0.66%	0.31%	0.33%
世界平均濃度の最近10年間の平均年増加量	2.63 ppm/年	10.2 ppb/年	1.08 ppb/年

^a 工業化以前の濃度を、CO₂は278.3 ppm、CH₄は729.2 ppb、N₂Oは270.1 ppbとした。本解析に使用した観測点数は、CO₂(180地点)、CH₄(172地点)、N₂O(124地点)。

表に示されている3種の温室効果ガスは人間活動と密接に結びついており、生物圏や海洋とも強い相互作用がある。大気中の温室効果ガスの将来変化を予測するには、その様々な放出源や吸収源、大気中の化学反応に加え、気候予測などについての定量的な理解が必要である。GAW計画に基づく観測成果は、これらのガス及び他の長寿命温室効果ガスの収支を解明する上で役に立つ重要な情報を提供している。これらは温室効果ガスの排出量推定の改善と衛星から求めた長寿命温室効果ガスの気柱平均値を評価するためにますます利用される機会が増えている。[統合全球温室効果ガス情報システム\(IG³IS\)](#)は、国[21]や特に都市のレベル[22]で温室効果ガスの放出源及び吸収源についての更なる知見をもたらす。

NOAA 年次温室効果ガス指標(AGGI)では、1990年以降全ての長寿命温室効果ガスによる放射強制力の合計の増加を評価している[17]。AGGIは2025年には1.56となり、放射強制力⁽⁴⁾の合計は、1990年以降2025年までに56%、2024年からは1.2%増加した(図1)。工業化以前からの世界全体の放射強制力の増加量に対する主要な長寿命温室効果ガスの相対的な寄与を図3に示す。

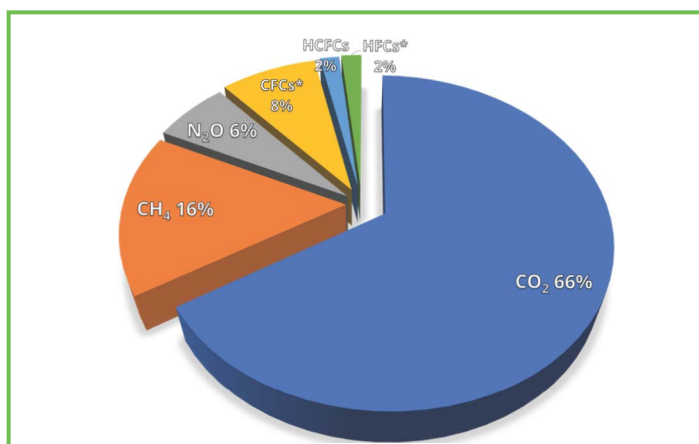


図3 工業化以前から2025年までの世界全体の放射強制力の増加量に対する主要な長寿命温室効果ガスの寄与[17]。

二酸化炭素(CO₂)

二酸化炭素は、最も重要な大気中の人為起源温室効果ガスであり、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力の約66%⁽⁴⁾を占めている。また最近10年間の放射強制力の増加のうちの約83%⁽⁴⁾が二酸化炭素によるものである。工業化以前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278.3 ppmであった。2025年の二酸化炭素の世界平均濃度は426.8±0.2 ppmとなった(図4(a))。また、工業化以前の値に比べて53%の増加となった。2024年から2025年にかけての年平均濃度の増加量は2.8 ppmであり、2023年から2024年に記録された過去最大の増加量3.6 ppmより小さかったものの、過去10年間の平均増加率(2.63 ppm/年)をわずかに上回った(図4(b))。2024年から2025年にかけての増加率が前年と比較してより穏やかであったのは、陸域炭素吸収源の回復及び2025年における森林火災由来の炭素排出量の減少を反映している可能性が高い。しかしながら、年間2.8 ppmの増加は依然として大気への炭素の大幅な追加を意味しており、化石燃料燃焼による大量の排出が継続していることに加え、2024年のエルニーニョ現象の影響が残る時期においても生物圏による炭素吸収が十分には回復していないことを示している。2015年から2024年までの期間における人為起源排出量全体のうち、約50%が大気中に蓄積し、約29%が海洋に吸収され、約21%が陸域に吸収された。また、炭素収支の不均衡はほぼゼロ(0.1%、0.1 GtC/年未満)であった

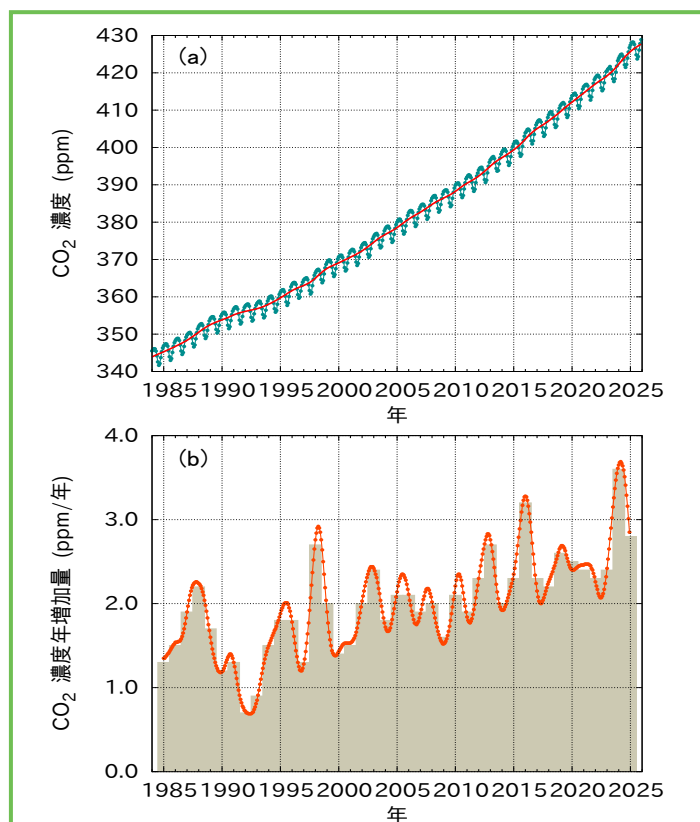


図4 二酸化炭素の1984年から2025年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の塗りつぶし棒グラフは前年からの年平均値の濃度差。(a)の赤線は季節変動を除いた月平均値、線で結んだ青点は月平均値を表す。この解析に使用した観測点は180地点。

[23]。化石燃料の燃焼によって排出された二酸化炭素のうち、大気中に残留する割合(大気残留率(AF))は、(主に陸域の)二酸化炭素吸収源の大きな自然変動によって年々変動するが、大気残留率の長期的な変化傾向を示す証拠はほとんどない([WMO温室効果ガス年報第17号\(気象庁訳\)](#)の表紙特集記事も参照)。

メタン(CH₄)

メタンによる放射強制力は、長寿命の温室効果ガス全体の約16%⁽⁴⁾を占める。大気中に放出されるメタンの約35%は自然起源(湿地やシロアリなど)であり、残りの約65%が人為起源(畜産、稲作、化石燃料採掘、埋め立て、バイオマス燃焼など)である[24]。現場観測に基づいたメタンの2025年の世界平均濃度は、解析開始以来の最高値を更新する1948±2 ppbであり、前年から6 ppb増加した(図5(a))。この増加は、2023年から2024年までの増加量(8 ppb/年)と最近10年間の平均年増加量(10.2 ppb)の両方より小さい。年増加量は、1980年代後半の約12 ppb/年から減少し、1999年から2006年の間はほぼゼロとなった(図5(b))。2007年以降、大気中メタン濃度は再増加している。大気中メタン濃度は2025年に工業化以前(729.2 ppb)の267%に達した。二酸化炭素とは異なり、全球規模で見ると、メタンの人為的発生源は化石燃料関連の排出が大半を占めているわけではなく、農業や廃棄物による発生源が重要な役割を果たしていることに留意する必要がある。GAWのメタン観測結果を用

いた研究によれば、熱帯の湿地からのメタン放出増加と北半球中緯度での人為的発生源からのメタン放出増加が2007年以降の増加の主な原因である可能性が高い([WMO温室効果ガス年報第20号\(気象庁訳\)](#)を参照)。メタンの排出源と吸収源の特定に利用される同位体解析については、本年報の挿入記事概要で紹介している。

一酸化二窒素(N₂O)

一酸化二窒素の放射強制力は、長寿命の温室効果ガス全体の約6%⁽⁴⁾を占め、それらのうちで3番目に大きな寄与がある。一酸化二窒素は自然起源(約65%)と人為起源(約35%)の両方から排出され、それらは海洋、土壌、バイオマス燃焼、肥料の使用及び各種工業過程を含んでいる[25]。一酸化二窒素の2025年の世界平均濃度は339.1±0.1 ppbであり、前年から1.1 ppb増加して(図6(a)、図6(b))、工業化以前(270.1 ppb)の126%となった。2024年から2025年までの増加量は、2023年から2024年までの増加量と同値で、最近10年間の平均年増加量(1.08 ppb/年)に近い値となった。農地への窒素施肥が主な原因である全世界の一酸化二窒素の人為的排出量は、過去40年間で30%増加し年間の窒素量で7.3(4.2~11.4) Tg N/年となった。この増加が、大気中一酸化二窒素の蓄積の増加の主な原因となった[26]。

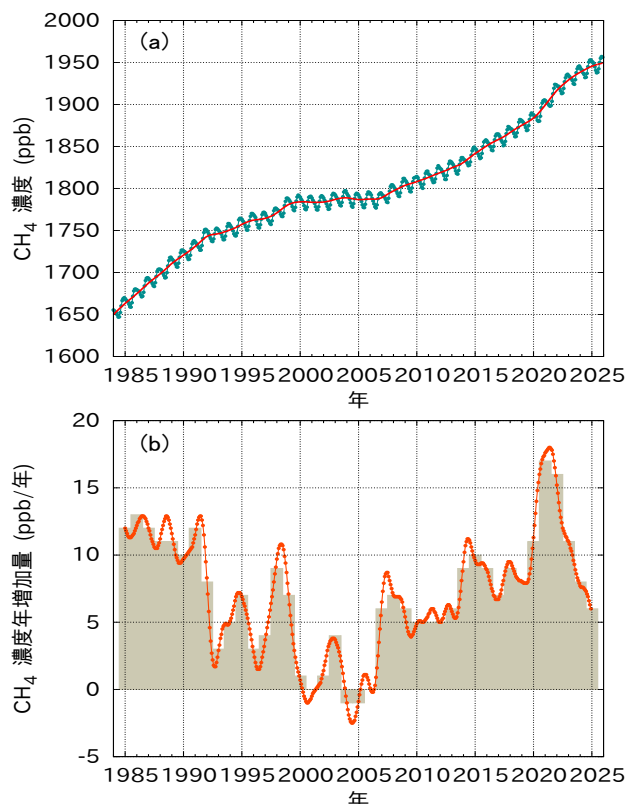


図5 メタンの1984年から2025年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の塗りつぶし棒グラフは前年からの年平均値の濃度差。(a)の赤線は季節変動を除いた月平均値、線で結んだ青点は月平均値を表す。この解析に使用した観測点は172地点。

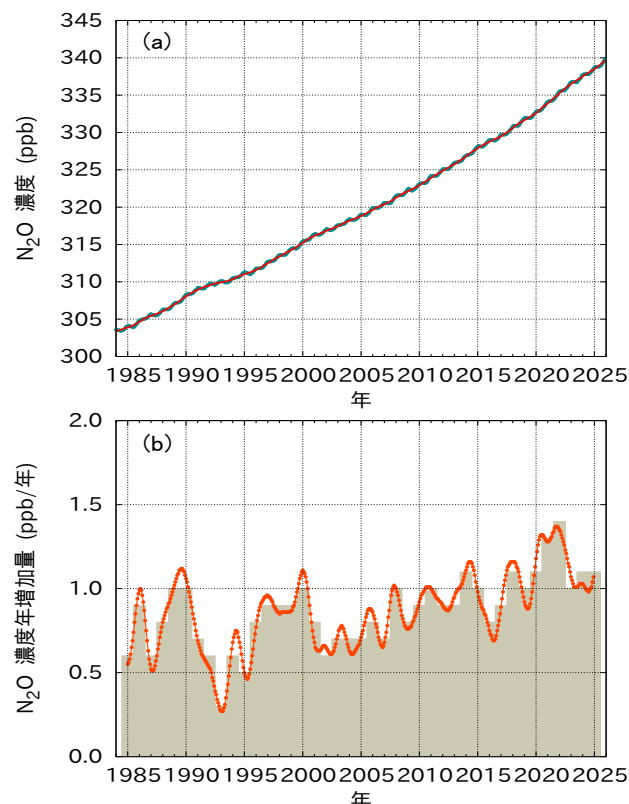


図6 一酸化二窒素の1984年から2025年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の塗りつぶし棒グラフは前年からの年平均値の濃度差。(a)の赤線は季節変動を除いた月平均値で、月平均値を表す青点と重なっている。この解析に使用した観測点は124地点。

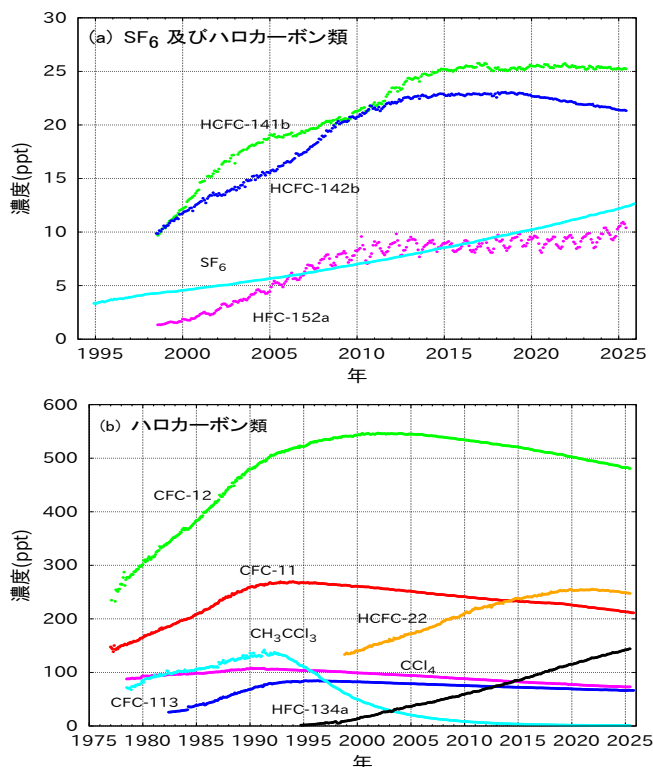


図 7 六フッ化硫黄(SF₆)及び主要なハロカーボン類の月平均濃度。(a) SF₆及び比較的濃度の低いハロカーボン類、(b) 比較的濃度の高いハロカーボン類を示す。解析に使用した観測地点数は、それぞれ以下のとおりである。SF₆(93)、CFC-11(26)、CFC-12(28)、CFC-113(23)、CCl₄(25)、CH₃CCl₃(26)、HCFC-141b(12)、HCFC-142b(16)、HCFC-22(16)、HFC-134a(12)、HFC-152a(12)。

他の温室効果ガス

成層圏のオゾンを破壊するクロロフルオロカーボン類(CFCs)は、オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書によって規制されており、その他の微量なハロゲン化ガスと合わせて、長寿命の温室効果ガス(LLGHGs)による放射強制力全体の約12%⁽⁴⁾を占める。大気中のクロロフルオロカーボン類及びほとんどのハロン類は減少している(図7(b))一方で、同じく強力な温室効果ガスであるハイドロクロロフルオロカーボン類(HCFCs)及びハイドロフルオロカーボン類(HFCs)の一部は、現在も存在量は少ないものの(ppt⁽⁵⁾レベル)、比較的急速に増加している。六フッ化硫黄(SF₆)も同様に存在量は少ないが、極めて強力な長寿命の温室効果ガスであり、化学工業で生産され、主に電力供給設備における電気絶縁用途に使用されている。その濃度はほぼ一定の割合で増加しており、現在では1990年代半ばに観測された水準の3倍を超えている(図7(a))。

本年報は主に長寿命温室効果ガスを取り扱う。比較的短寿命の対流圏オゾンは、ハロカーボン類に匹敵する放射強制力を持つ[27]。しかし、寿命が短いため、水平及び鉛直方向の変動が非常に大きく、図2に示すような観測ネットワークでは世界平均値を十分に把握することが困難である。一酸化炭素(CO)、窒素酸化物及び揮発性有機化合物などの多くの大気汚染物質は、温室効果ガスとはみなされないものの、放射強制力に対して直接的又は間接的な影響を及

ぼしている。エアロゾル(大気中に浮遊する粒子状物質)も放射収支に影響を及ぼす短寿命の物質である。本年報で取り上げたすべての気体に加え、エアロゾルは、WMOの構成員及び協力ネットワークの支援の下、GAW計画により監視されている。

表紙特集記事概要

人為起源の温室効果ガスの大気中濃度の増加は、引き続き全球的な気候の変化を引き起こしており、直近11年間は観測史上最も暖かい11年間となった[1]。地表付近の二酸化炭素及びメタン濃度の増加は、地球の気候における放射強制力の変化を支配する主要な要因である。各国が脱炭素化に向けてエネルギーシステムの対応に取り組む中、発電及び送配電と密接に関連する微量気体である六フッ化硫黄(SF₆)と分子状水素(H₂)に注意を払う必要がある。

六フッ化硫黄は主に送配電設備において火花や放電を防ぐ用途に使用され、世界的な電化の進展に伴って大気中濃度が上昇している。大気中寿命は最大で3,200年で、100年積算の地球温暖化係数(GWP)はCO₂の約24,300倍と、既知の温室効果ガスの中で最も高い[5]。世界平均濃度は1995年の3.5 ppt⁽⁵⁾から2025年には12.24 pptへと継続的かつ加速度的に増加し、この30年間で249%増加した。この増加は、世界各地における発電量の増加と並行している。六フッ化硫黄のほぼすべては人為起源であり、高圧開閉装置(電力設備の電流を制御・遮断する装置)における電気絶縁用途が主な排出源である[6]。唯一の重要な吸収過程は中間圏における光化学的分解であり[8]、現在排出される六フッ化硫黄は今後数千年にわたり放射強制力の増加に寄与し続ける。一方、近年開発されている代替ガスのGWPは六フッ化硫黄と比べて98%低く[10]、導入が期待されている。しかし既に電力設備などに充填されている六フッ化硫黄は、将来的に排出源となり得る重大な潜在的気候リスクである。

水素は、製鉄、海運、長期エネルギー貯蔵など脱炭素化が困難な分野におけるエネルギー貯蔵媒体として利用されるほか、再生可能エネルギーや輸送のためのエネルギー源としても利用されている[11]。しかし、製造設備、パイプライン、貯蔵タンク、燃料電池などからの漏出への懸念が高まっている[12]。水素自体は温室効果ガスではないが、大気的主要な浄化作用を担うヒドロキシルラジカル(OH)と反応することで、大気の酸化能力を低下させる可能性がある。その結果、メタンの大気中寿命が延びるほか、対流圏オゾンの生成促進や成層圏水蒸気の増加を通じて間接的に放射強制力をもたらす[13, 14]。

水素の世界平均濃度は2010年の532 ppbから2024年には560 ppbへ増加し、5.3%の増加に相当する。全球の水素収支では、メタン及び非メタン揮発性有機化合物(NMVOC)の酸化による化学生成と、化石燃料燃焼などに伴う直接排出が主な発生源であり、土壌吸収が主要な吸収源である[13]。長期的な増加傾向は、大気中メタン濃度の上昇と直接排出量の増加を反映している。水素が期待される気候変動緩和効果を発揮するためには、大気中への漏出を最小限に抑える必要がある[15]。

六フッ化硫黄は、産業活動に由来する長寿命温室効果ガスが一度放出されると元に戻すことができず蓄積するという課題を示している。一方、水素はエネルギーキャリアとして利用される気体がもたらす潜在的な間接的気候影響を示している。水素の漏出と六フッ化硫黄の長期残存性はいずれも、エネルギー転換によって期待される気候変動緩和効果を損なう可能性のあるリスクである。こうした変化を検出し、その実態を理解するとともに未然に防ぐためには、地球大気組成の継続的な監視が不可欠である。WMOは全球大気監視(GAW)計画を通じて全球観測を調整し、高品質で持続的な観測を支えている。

挿入記事概要

大気中メタンの安定炭素同位体比の特異な変動が、これまで捉えられなかった発生源・吸収源の変化を示す

大気中のメタン分子(CH_4)は原子レベルで多くの情報を含んでおり、微生物起源、化石燃料起源及びバイオマス燃焼起源のメタンは、それぞれ体系的に異なる同位体比を持つ。また、ヒドロキシル(OH)ラジカル、土壌、成層圏及び海洋由来の塩素との反応によるメタンの除去過程も、大気中に残留するメタンの同位体組成を変化させる。そのため、大気中で観測される安定同位体比($\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$)には、全球的な発生源・吸収源過程が統合的に反映されており、発生源や吸収源の強度変化を読み解くことができる[28, 29]。

$\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ は、メタン濃度とともに約30年にわたりWMO-GAW観測ネットワークで監視されている。メタン濃度と $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ は1999年まではともに上昇し、その後2006年までは停滞した。2007年以降はメタン濃度が上昇する一方で、 $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ は継続的に低下した。湿地や農業に由来する微生物起源メタン放出の加速が、この濃度上昇と $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ 低下を説明する最も可能性の高い要因である[28, 29, 30, 31, 32]。

しかし、最近の観測では $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ が2023年中盤から2024年末にかけて明確な上昇を示した。一方でメタン濃度は引き続き増加したものの、2023年から2024年の増加率は8 ppb/年と、2020年から2022年の15 ppb/年という記録的増加率より小さかった。メタン濃度と $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の従来とは異なる変動関係は約2年間継続し、 $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ が2025年に再び低下し始めるまで続いた。この $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の特異な変動は、メタン濃度観測だけでは把握できない発生源・吸収源変化を検出できるという、メタン同位体観測の独自の価値を示している。

どのような発生源や吸収源が $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の特異な変動を引き起こすのだろうか？

観測された $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の特異な変動は、バイオマス燃焼に由来するメタン放出の増加によって引き起こされた可能性が最も高い。バイオマス燃焼は $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ をより正の方向へ変化させる一方で、全球メタン濃度への影響は比較的小さい[33]。この解釈は、2023年及び2024年に北アメリカやアマゾンで記録的な林野火災が発生したこととも整合的である[34, 35]。これらの火災をもたらした記録的な高温・乾燥条件は、湿地からの微生物起源メタン放出を減少させた

[36]。これは $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の上昇とメタン増加率の低下の両方を説明できる。一方、化石燃料起源排出量は2023年から2024年にかけて大きく変化しておらず[37]、またOHラジカルの回復も $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ に十分な影響を及ぼさないことから[40]、これらが主要因である可能性は低い。したがって、この $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の特異な変動は、主としてバイオマス燃焼の増加と湿地からの微生物起源メタン放出のわずかな減少によって引き起こされた可能性が高い[41, 42, 43]。

メタン動態を理解する上での同位体観測の重要性

メタン排出量の変化を追跡することは気候変動緩和を進める上で不可欠であり、特に近年は化石燃料起源メタン排出の削減が政策上重視されている。大気中メタンの同位体観測は、濃度観測だけでは捉えることのできない発生源・吸収源の変化を検出し、緩和策の効果検証、自然変動の監視、さらには気候変動フィードバックの早期検出に重要な役割を果たす。WMO-GAW観測ネットワークに参加する研究機関は高品質なメタン同位体データを提供しており、このデータは全球メタン収支の変化を定量的に解析する上で極めて有用である[24, 49, 32]。今回観測された $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の特異な変動は、メタン同位体観測の疑う余地のない価値と解析力を示している。

謝辞とリンク

56のWMO構成員が、温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)に CO_2 及びその他の温室効果ガスの観測データを提供している。WDCGGに提供された観測記録の約41%は、NOAA全球監視研究所(GML)が運営する協力全球大気サンプリング観測網の観測地点で取得されたものである。GAW温室効果ガス観測網及び観測手法に関する情報は、[GAW Report No. 317](#)を参照されたい。AGAGE及びICOSも本年報に観測データを提供している。また、本年報にデータを提供したGAW観測所(図2)は、[WDCGGウェブページ](#)の提供機関一覧に掲載されている。さらに、これらの観測所は、スイス気象局(MeteoSwiss)の支援のもと運用されている[GAW観測所情報システム\(GAWSIS\)](#)にも掲載されている。本年報は、GAW温室効果ガス科学諮問部会の監督のもと作成された。

編集部

Huilin Chen, Xin Lan, Alex Vermeulen, Kazuhiro Tsuboi, Oksana Tarasova

著者(アルファベット順)

Huilin Chen (Nanjing University, China), Andrew Crotwell (NOAA Global Monitoring Laboratory and Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado Boulder, United States), Armin Jordan (Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany), Casper Labuschagne (South African Weather Service, South Africa), Xin Lan (NOAA Global Monitoring Laboratory and Cooperative Institute for Research in

Environmental Sciences, University of Colorado Boulder, USA), Soojeong Lee (Korea Meteorological Administration, Republic of Korea), Ingrid Luijckx (Wageningen University and Research, Kingdom of the Netherlands), Sylvia Englund Michel (Institute of Arctic and Alpine Research, USA), John Miller (NOAA Global Monitoring Laboratory, USA), Gabrielle Pétron (NOAA Global Monitoring Laboratory, USA), Motoki Sasakawa (National Institute for Environmental Studies, Japan), Peter Sperlich (Earth Science New Zealand, New Zealand), Oksana Tarasova (WMO), Kazuhiro Tsuboi (Japan Meteorological Agency, WDCGG, Japan), Alex Vermeulen (ICOS European Research Infrastructure Consortium (ERIC)/Lund University, Sweden), Thorsten Warneke (University of Bremen, Germany), Ray Weiss (Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, USA), Camille Yver (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), Paris, France)

参考文献

- [1] World Meteorological Organization (WMO). [State of the Global Climate 2025](#) (WMO-No. 1391). Geneva, 2026.
- [2] Lan, X.; Thoning, K. W.; Dlugokencky, E. J. *Trends in Globally-averaged CH₄, N₂O, and SF₆ Determined from NOAA Global Monitoring Laboratory Measurements*; version 2026-09, 2026. <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10>.
- [3] Pétron, G.; Lan, X.; Baugh, K. et al. *Atmospheric Hydrogen Dry Air Mole Fractions from the NOAA GML Global Greenhouse Gas Reference Network, Carbon Cycle Cooperative Global Air Sampling Network: 2009 – Present*; version 2025-09-30, 2025. <https://gml.noaa.gov/data/dataset.php?item=rpb-h2-flask>.
- [4] Pétron, G.; Crotwell, A. M.; Mund, J. et al. Atmospheric H₂ Observations from the NOAA Cooperative Global Air Sampling Network. *Atmospheric Measurement Techniques* **2024**, 17, 4803–4823. <https://doi.org/10.5194/amt-17-4803-2024>.
- [5] Smith, C.; Nicholls, Z.R.J.; Armour, K. et al. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity Supplementary Material. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A. et al. Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2021. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter07_SM.pdf.
- [6] Simmonds, P. G.; Rigby, M.; Manning, A. J. et al. The Increasing Atmospheric Burden of the Greenhouse Gas Sulfur Hexafluoride (SF₆). *Atmospheric Chemistry And Physics* **2020**, 20, 7271–7290. <https://doi.org/10.5194/acp-20-7271-2020>.
- [7] Harnisch, J.; Eisenhauer, A. Natural CF₄ and SF₆ on Earth. *Geophysical Research Letters* **1998**, 25 (13), 2401–2404. <https://doi.org/10.1029/98GL01779>.
- [8] Ravishankara, A. R.; Solomon, S.; Turnipseed, A. A. et al. Atmospheric Lifetimes of Long-lived Halogenated Species. *Science* **1993**, 259 (5092), 194–199. <https://doi.org/10.1126/science.259.5092.194>.
- [9] Collins, C. F.; Bartlett, F. E.; Turk, A. et al. A Preliminary Valuation of Gas Air Tracers. *Journal of the Air Pollution Control Association* **1965**, 15, 109–112.
- [10] Kieffel, Y.; Biquez, F.; Vigouroux, D. et al. Characteristics of g³ – an Alternative to SF₆. *CIREN - Open Access Proceedings Journal* **2017**, 2017 (1), 54–57. <https://doi.org/10.1049/oap-cired.2017.0795>.
- [11] International Energy Agency (IEA). *Hydrogen Tracker* web page. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/hydrogen-tracker>.
- [12] Sand, M.; Ocko, I. B.; Sun, T. et al. Climate Impacts of Hydrogen Emissions. *Nature Reviews Earth & Environment* **2026**, 7, 359–373. <https://doi.org/10.1038/s43017-026-00792-0>.
- [13] Ouyang, Z.; Jackson, R. B.; Saunois, M. et al. The Global Hydrogen Budget. *Nature* **2025**, 648, 616–624. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09806-1>.
- [14] Warwick, N. J.; Archibald, A. T.; Griffiths, P. T. et al. Atmospheric Composition and Climate Impacts of a Future Hydrogen Economy. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2023**, 23, 13451–13467. <https://doi.org/10.5194/acp-23-13451-2023>.
- [15] Hauglustaine, D.; Paulot, F.; Collins, W. et al. Climate Benefit of a Future Hydrogen Economy. *Communications Earth & Environment* **2022**, 3. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00626-z>.
- [16] Krishnan, S.; Skeie, R. B.; Hodnebrog, Ø. et al. A Multi-model Approach to Constrain the Atmospheric Hydrogen Budget. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2026**, 26, 9509–9539. <https://doi.org/10.5194/acp-26-9509-2026>.
- [17] Montzka, S. A. *The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI)*; NOAA Earth System Research Laboratories Global Monitoring Laboratory, 2026. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- [18] Lan, X.; Tans, P.; Thoning, K. W. *Trends in Globally-averaged CO₂ Determined from NOAA Global Monitoring Laboratory Measurements*; version 2025-09, 2025. <https://doi.org/10.15138/9N0H-ZH07>.
- [19] Tsutsumi, Y.; Mori, K.; Hirahara, T. et al. [Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Center for Greenhouse Gases](#) (GAW Report No. 184; WMO/TD-No. 1473); World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2009.

- [20] Wu, Z.; Vermeulen, A.; Sawa, Y. et al. Investigating the Differences in Calculating Global Mean Surface CO₂ Abundance: The Impact of Analysis Methodologies and Site Selection. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2024**, 24 (2), 1249–1264. <https://doi.org/10.5194/acp-24-1249-2024>.
- [21] Ganesan, A.; Manning, A.; Barrigar, O. et al. [Integrated Global Greenhouse Gas Information System Good Practice Guidance for Estimating National-scale Greenhouse Gas Emissions using Atmospheric Observations](#) (Global Atmosphere Watch (GAW) Report No. 319); World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2025.
- [22] Turnbull, J. C.; Curras, T.; Gurney, K. R. et al. [Integrated Global Greenhouse Gas Information System: Urban Emission Observation and Monitoring Good Research Practice Guidelines](#) (Global Atmosphere Watch (GAW) Report No. 314); World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2025.
- [23] Friedlingstein, P.; O'Sullivan, M.; Jones, M. W. et al. Global Carbon Budget 2025. *Earth System Science Data* **2026**, 18, 3211–3288. <https://doi.org/10.5194/essd-18-3211-2026>.
- [24] Saunio, M.; Martinez, A.; Poulter, B. et al. Global Methane Budget 2000–2020. *Earth System Science Data* **2025**, 17 (5), 1873–1958. <https://doi.org/10.5194/essd-17-1873-2025>.
- [25] Tian, H.; Pan, N.; Thompson, R. L. et al. Global Nitrous Oxide Budget (1980–2020). *Earth System Science Data* **2024**, 16, 2543–2604. <https://doi.org/10.5194/essd-16-2543-2024>.
- [26] Tian, H.; Xu, R.; Canadell, J. G. et al. A Comprehensive Quantification of Global Nitrous Oxide Sources and Sinks. *Nature* **2020**, 586, 248–256. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0>.
- [27] Forster, P.; Storelvmo, T.; Armour, K. et al. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2021. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter07.pdf.
- [28] Schaefer, H.; Mikaloff Fletcher, S.; Veidt, C. et al. A 21st-century Shift from Fossil-fuel to Biogenic Methane Emissions Indicated by ¹³CH₄. *Science* **2016**, 352, 80–84. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aad2705>.
- [29] Oh, Y.; Bruhwiler, L.; Lan, X. et al. Isotopic Constraints in Methane Inversions Reveal Larger Trends in Wetland Emissions with Improved Linkage to Terrestrial Water Storage. *Nature Communications* **2026**, 17. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-74777-4>.
- [30] Lan, X.; Basu, S.; Schwietzke, S. et al. Improved Constraints on Global Methane Emissions and Sinks Using $\delta^{13}\text{C}\text{-CH}_4$. *Global Biogeochemical Cycles* **2021**, 35. <https://doi.org/10.1029/2021GB007000>.
- [31] Nisbet, E.G. Climate Feedback on Methane From Wetlands. *Nature Climate Change* **2023**, 13, 421–422. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01634-3>.
- [32] Dasgupta, B.; Pandey, S.; Houweling, S. et al. Global Methane Emission Estimates from a Dual-isotope Inversion: New Constraints from $\delta\text{D-CH}_4$. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2026**, 26, 8601–8616. <https://doi.org/10.5194/acp-26-8601-2026>.
- [33] Sapart, C.; Monteil, G.; Prokopiou, M. et al. Natural and Anthropogenic Variations in Methane Sources During the Past Two Millennia. *Nature* **2012**, 490, 85–88. <https://doi.org/10.1038/nature11461>.
- [34] Jain, P.; Barber, Q. E.; Taylor, S. W. et al. Drivers and Impacts of the Record-Breaking 2023 Wildfire Season in Canada. *Nature Communications* **2024**, 15. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51154-7>.
- [35] de Laat, A. T. J.; Andela, N.; Forkel, M. et al. Sentinel-5p Reveals Unexplained Large Wildfire Carbon Emissions in the Amazon in 2024. *Geophysical Research Letters* **2026**, 53. <https://doi.org/10.1029/2025GL115123>.
- [36] Quinn, C. A.; Colligan, T.; Ward, E. J. et al. Amazonia Wetland Methane Emission Decrease in 2023: Seasonal Forecasting of Global Wetlands Highlights Monitoring Targets in Critical Ecosystems. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* **2025**, 17. <https://doi.org/10.1029/2025MS005510>.
- [37] International Energy Agency (IEA). *Global Methane Tracker 2026* web page. <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2026>.
- [38] Wang, Y.; Zhao, M.; Tian, X. et al. Global Methane Emissions Rebounded in 2024 Despite a Deceleration in Atmospheric Growth. *Nature Communications* **2026**, 17. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-72764-3>.
- [39] Ciais, P.; Zhu, Y.; Cai, Y. et al. Why Methane Surged in the Atmosphere During the Early 2020s. *Science* **2026**, 391. DOI: [10.1126/science.adx8262](https://doi.org/10.1126/science.adx8262).
- [40] Michel, S. E.; Lan, X.; Miller, J. et al. Rapid Shift in Methane Carbon Isotopes Suggests Microbial Emissions Drove Record High Atmospheric Methane Growth in 2020–2022. *PNAS* **2024**, 121 (44). <https://doi.org/10.1073/pnas.2411212121>.
- [41] Ke, P.; Ciais, P.; Sitch, S. et al. Low Latency Carbon Budget Analysis Reveals a Large Decline of the Land Carbon Sink in 2023. *National Science Review* **2024**, 11 (12). <https://doi.org/10.1093/nsr/nwae367>.
- [42] Editorial. Sinking Carbon Sinks. *Nature Climate Change* **2025**, 15. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02440-9>.

- [43] World Meteorological Organization (WMO). [WMO Greenhouse Gas Bulletin, No. 21](#); WMO: Geneva, 2025.
- [44] Moore, D. P.; Li, N. P.; Wendt, L. P. et al. Underestimation of Sector-wide Methane Emissions from United States Wastewater Treatment. *Environmental Science And Technology* **2023**, 57 (10), 4082–4090. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05373>.
- [45] Song, C.; Ponder, D.; Peng, W. et al. Inconsistent National Reports Undercount Wastewater Emissions. *Nature Climate Change* **2026**, 16, 251–252. <https://doi.org/10.1038/s41558-026-02555-7>.
- [46] Zhang, X.; Maasakkers, J. D.; Roger, J. et al. Global Identification of Solid Waste Methane Super Emitters Using Hyperspectral Satellites. *Environmental Science & Technology* **2025**, 59 (34), 18134–18145. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c14196>.
- [47] Palmer, L. The Hard Road Back from Overshoot. *Nature Climate Change* **2026**, 16, 240–243. <https://doi.org/10.1038/s41558-026-02573-5>.
- [48] Editorial. Living in the Overshoot Age. *Nature Climate Change* **2026**, 16. <https://doi.org/10.1038/s41558-026-02589-x>.
- [49] Umezawa, T.; Brenninkmeijer, C. A. M.; Röckmann, T. et al. Interlaboratory Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ and δD Measurements of Atmospheric CH_4 for Combined Use of Data Sets from Different Laboratories. *Atmospheric Measurement Techniques* **2018**, 11, 1207–1231. <https://doi.org/10.5194/amt-11-1207-2018>.

(注釈)

- (1) 二酸化炭素や他の(温室効果)ガスの大気中の存在量に使用される科学的により正確な用語は、乾燥空気1モル当たりの当該ガスのモル数として表される乾燥空気モル分率であり、多くの場合ppm又はppb(乾燥空気分子100万個又は10億個中の当該ガスの分子数)の単位で表現される。ただし、温室効果ガス年報では、一般読者の混乱を避けるため、より一般的な用語である濃度を使用する。
- (2) ppmは乾燥空気分子100万個(10^6 個)中の当該ガスの分子数を表す単位。
- (3) ppbは乾燥空気分子10億個(10^9 個)中の当該ガスの分子数を表す単位。
- (4) ここでいう割合は、1750年以降に長寿命温室効果ガス全体によって引き起こされた全球放射強制力の増加に対する、当該ガスの寄与割合として計算されたものである。放射強制力とは、成層圏温度が速やかに調整された後において、工業化以前(1750年)以降の温室効果ガス量の増加によって生じる地球のエネルギー収支の変化をいう。「有効」放射強制力には、対流圏の速い調整も含まれる。IPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書で用いられている排出量ベースの放射強制力には、他の大気成分に影響を及ぼすメタンの大気化学に起因する推定間接効果が含まれているのに対し、ここで示した値は、メタン及び二酸化炭素の直接的な放射強制力のみを考慮したものであることに注意されたい。
- (5) pptは乾燥空気分子1兆個(10^{12} 個)中の当該ガスの分子数を表す単位。

日本語訳について

この WMO 温室効果ガス年報第22号(概要)(気象庁訳)は、WMO が2026年10月27日に発行した WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 22 のうち、GAW 温室効果ガス観測ネットワークによる観測結果の部分を気象庁が全文翻訳し、特集記事については気象庁が補筆の上概要を掲載したものである。

発行 2026年10月27日

気象庁 大気海洋部 環境・海洋気象課
温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)
〒105-8431 東京都港区虎ノ門 3-6-9
電話: 03-6758-3900(代表)
E-mail: wdcgg@met.kishou.go.jp



連絡先

世界気象機関 科学開発部大気環境研究課
(スイス、ジュネーブ)

E-mail: gaw@wmo.int

Website: <https://community.wmo.int/activity-areas/gaw>

気象庁 温室効果ガス世界資料センター
(日本、東京)

E-mail: wdcgg@met.kishou.go.jp

Website: <https://gaw.kishou.go.jp/>