

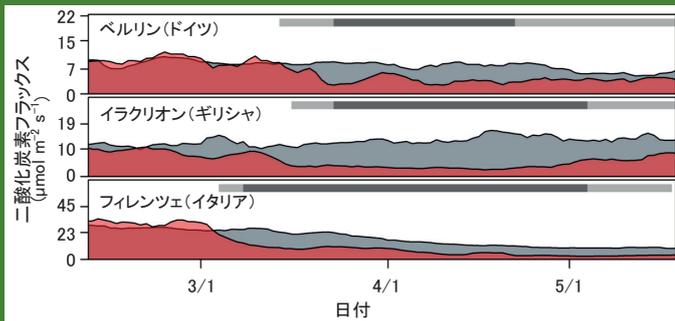


# WMO 温室効果ガス年報

2019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16号 | 2020年11月23日

## 新型コロナウイルス(COVID-19)感染拡大に伴う移動制限措置の影響は、大気中の二酸化炭素濃度に見られるか



2020年2月5日から5月6日までの欧州3都市における日別平均二酸化炭素排出量(赤色の領域)及び前年の同期間における排出量(灰色の領域)。濃い灰色の横棒は公的な封鎖による期間、薄い灰色の横棒は部分的な封鎖や一般規制(例:学校閉鎖、個人の接触機会の抑制、移動制限等)の期間を示す。出典:[6]

人類はCOVID-19に関連した重大な健康と経済の危機に直面している。2020年の早い段階で広く導入され、現在も世界中の多くの場所で継続されている移動制限措置は、複数成分の人為起源の排出に影響を与え、結果として大気中の化学組成に変化を及ぼした。これらの変化は特に都市部で顕著であり、大気汚染物質と温室効果ガスに見られた。しかしながら、移動制限措置による人為起源排出量の減少は、大気中二酸化炭素濃度の年々の自然変動の規模と比較して小さいか、あるいはほとんど同じため、2020年の大気中の二酸化炭素濃度の全球平均値に顕著な影響を認めることはないのであろう。

地球規模での大気中二酸化炭素濃度は、大気中に入り出す二酸化炭素のフラックス収支を表現する。二酸化炭素は乱流混合と大気輸送によってよく混合されるガスであり、長期間にわたり大気中に蓄積され、放出がゼロでなければ大気中濃度の増加につながる。人為起源の二酸化炭素の排出量は、工業化以前(1750年以前)より世界的に年々増加しており、過去10年間で年あたり約1%増加している[1]。この結果、期間中に年間2~3 ppm<sup>(2)</sup>の範囲で大気中の二酸化炭素濃度<sup>(1)</sup>が増加した。この増加は、1年間の大気中二酸化炭素濃度の変化を0.1ppmの精度で監視することができる全球大気監視(GAW)の全球地上観測ネットワークで報告されている。大気中の増加量のうち約1 ppmの年々変動は、ほぼ生態系と海洋による二酸化炭素の吸収の変動に起因する(これらを合わせて毎年の人為起源排出量の約半分を吸収している[2])。化石燃料起源と生物起源の二酸化炭素は、昨年の温室効果ガス年報で記載したように、同位体分析を用いて区別することが可能である。

グローバル・カーボン・プロジェクト(GCP)[3]は、2020年前半の移動制限の最も厳しい時期に、日々の二酸化炭素排出量が2019年の平均的な水準と比較して、世界全体で最大17%削減された可能性があるかと推定した。移動制限措置の期間と程度は依然不明確なため、2020年の二酸化炭素の総排出削減量の予測は非常に難しい。しかしながら、予備的な試算では、2019年の水準と比較して、世界全体の年間排出量は4.2%から7.5%の削減となることが予測されている。地球規模では、この規模の排出量の減少では大気中の二酸化炭素濃度は減少せず、増加速度が若干減少するだけで、結果として、世界的な大流行が発生しなかった場合より、予測される年間の大気中二酸化炭素濃度は0.08~0.23 ppm低くなる。この減少は、1 ppmの自然の年変動の範囲内に収まっており、このことは、COVID-19の移動制限措置の影響は、短期的には年々の自然変動と区別できないことを示している。同様の結論が、カーボン・ブリーフ[4]と統合的炭素循環観測システム(ICOS)[5]で得られている。

自然の二酸化炭素変動が大きい中で化石燃料による変動を検出するためには、複雑なデータモデリングと同様に、ロバスト統計量を決定するための長期間の時系列が必要となる。この検出を行うために、いくつかの手法が用いられている。取り組みの一例として、WMO 統合全球温室効果ガス情報システム(IG<sup>3</sup>IS)は大気観測とモデリングを活用している。ICOS[6]によって採用されている他の取り組みとして、都市内で二酸化炭素排出量を直接測定するものがある。ICOSによる最近の研究では、測定地点の半径数キロ以内の垂直交換フラックスを直接測定する手法を用いて、バーゼル、ベルリン、フィレンツェ、ヘルシンキ、イラクリオン、ロンドン及びペーザロの市内中心部で、最大75%の排出削減を検出している(図参照)。

正味の化石燃料起源の二酸化炭素放出がゼロに近づいたときのみ、生態系と海洋の正味の吸収により、大気中の二酸化炭素濃度が減少し始めると推測される。しかし、たとえその場合でも、既に大気中に放出された二酸化炭素の多くは数世紀にもわたって滞留し続け、気候を暖め続けることになるであろう。さらに、地球の気候システムは、海洋が過剰な熱を緩衝するため、数十年の時間差を持っている。したがって、排出量を早く削減すればするほど、世界がパリ協定で合意した温暖化のしきい値を超える可能性は低くなる。

## 要約

WMO 全球大気監視 (GAW) 計画から得られた観測成果の最新の解析によると、2019年の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、メタン (CH<sub>4</sub>)、一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) の現場観測ネットワークによる地上での世界平均濃度<sup>(1)</sup>は、それぞれ、410.5±0.2 ppm<sup>(2)</sup>、1877±2 ppb<sup>(3)</sup>、332.0±0.1 ppbとなり、解析開始以来の最高値を更新した。これらの値は、工業化以前の、それぞれ148%、260%、123%である。二酸化炭素の2018年から2019年までの濃度増加量は、2017年から2018年までの増加量及び最近10年間の平均年増加量より大きかった。メタンの2018年から2019年までの濃度増加量は、2017年から2018年までの増加量よりわずかに小さいものの、最近10年間の平均年増加量よりはまだまだわずかに大きかった。一酸化二窒素の2018年から2019年までの濃度増加量は、2017年から2018年までの増加量より小さく、最近10年間の平均年増加量とほぼ同等であった。米国海洋大気庁 (NOAA) 年次温室効果ガス指標 (AGGI) [7]によると、1990年から2019年までに、長寿命の温室効果ガス (LLGHG) による放射強制力は45%増加しており、二酸化炭素がそのうちの約80%を占める。

## 2019年のGAW現場観測ネットワークの概要

この WMO 温室効果ガス年報第 16 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変化を報告するとともに、その他の温室効果ガスの概要も示す。上記の 3 種類のガスとフロン 12 (CFC-12) 及びフロン 11 (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 96%<sup>(4)</sup> [7] を占める (図 1)。

WMO GAW 計画 (<https://community.wmo.int/activity-areas/gaw>) は、大気中の温室効果ガス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。参加国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。WDCGGはGAW計画のデータ管理において重要な役割を果たしており、本年で設立30周年を迎えた。

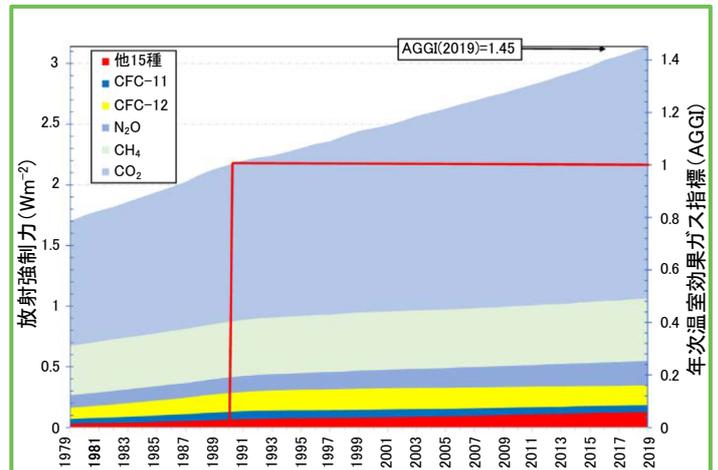


図 1 長寿命の温室効果ガスによる放射強制力 (1750 年を基準) の経年変化と 2019 年の NOAA 年次温室効果ガス指標 (AGGI) [7]。

表 1 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 (2019年) と増加量。単位は乾燥空気のモル分率で誤差幅は68%の信頼限界による [10]。平均手法は、GAWレポートNo.184 [9]に記載している。

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
世界平均濃度 (2019 年)	410.5±0.2 ppm	1877±2 ppb	332.0±0.1 ppb
1750 年と比較した存在比 <sup>a</sup>	148%	260%	123%
2018 年から 2019 年までの増加量	2.6 ppm	8 ppb	0.9 ppb
2018 年からの増加分の比率	0.64%	0.43%	0.27%
世界平均濃度の最近 10 年間の平均年増加量	2.37 ppm/年	7.3 ppb/年	0.96 ppb/年

<sup>a</sup> 工業化以前の濃度を、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) は 278 ppm、メタン (CH<sub>4</sub>) は 722 ppb、一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) は 270 ppb と仮定した。本解析に使用した観測点数は、CO<sub>2</sub> (133 地点)、CH<sub>4</sub> (134 地点)、N<sub>2</sub>O (100 地点)。

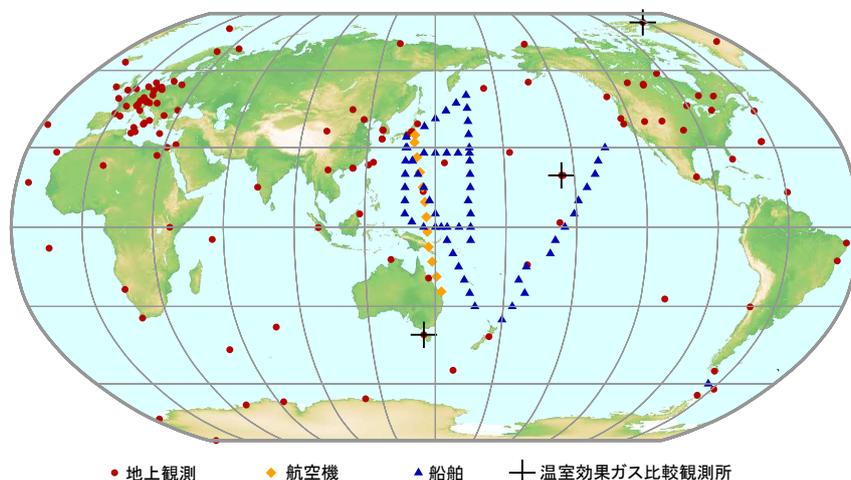
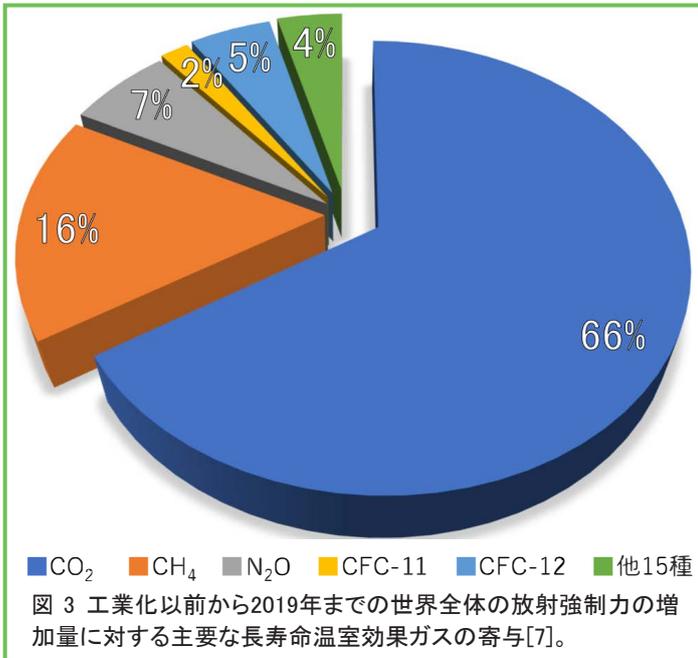


図 2 GAW 観測ネットワークを構成する最近 10 年間の二酸化炭素観測地点。メタンの観測ネットワークもこれと同様である。



この年報でWMO WDCGGが報告する世界平均濃度及び増加量とNOAAが発表した結果[8]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若干の違いによる。WMO WDCGGはGAWレポートNo.184[9]に記載されている手法で解析を行っている。

主な3種の長寿命温室効果ガスの2019年の大気中濃度の世界平均と、2018年から、及び1750年からの濃度変化を表1に示す。移動体観測によるデータ(図2の青の三角と橙の菱形)は、NOAAによる太平洋東部の観測を除き、この解析には使っていない。

表1の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ための貴重な手掛かりを与えるとともに、温室効果ガスの排出量推定の改善や衛星から求めた長寿命温室効果ガスの気柱平均データの評価に利用されている。WMOが推進する統合全球温室効果ガス情報システム(IG<sup>3</sup>IS, <https://ig3is.wmo.int/>)は、国や地方行政区レベルで温室効果ガスの放出源及び吸収源についての更なる見識を与える。

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[7]。AGGIは2019年には1.45となり、放射強制力の合計は、1990年以降2019年までに45%<sup>(4)</sup>、2018年からは1.8%増加した(図1)。2019年の全ての長寿命温室効果ガスによる放射強制力の合計(3.14 Wm<sup>-2</sup>)は、二酸化炭素等価換算濃度で500 ppmに相当する[7]。工業化以前から2019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相対的な寄与を図3に示す。

## 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)

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全体(3.14 W m<sup>-2</sup>)の約66%<sup>(4)</sup>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82%<sup>(4)</sup>、最近5年間でも約82%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約278 ppmであった。二酸化炭素の2019年の世界平均濃度は410.5±0.2 ppmとなった(図4)。2018年から2019年までの年平均値の増加量(2.6 ppm)は、2017年から2018年までの増加量より大きく、最近10年間の平均年増加量(2.37 ppm/年)よりも大きくなった。

大気中の二酸化炭素濃度は、2019年に工業化以前の148%に達した。これは、主として化石燃料の燃焼とセメント生産(2019年の化石燃料による二酸化炭素排出量の予測は二酸化炭素換算で36.7±2GtCO<sub>2</sub><sup>(5)</sup>[1])及び森林伐採とその他の土地利用変化(2009年から2018年までの平均で1年あたり5.5 GtCO<sub>2</sub>)からの放出による結果である。2009年から2018年の期間の人間活動による放出のうち、約44%が大気、23%が海洋、29%が陸上に蓄積され、4%は蓄積先が特定されなかった残差である[2]。化石燃料の燃焼により放出され大気中に残留する二酸化炭素の比率(大気残留比)は、二酸化炭素吸収源の大きな自然変動によって年々変動し、世界全体での変化傾向は確認されていない。

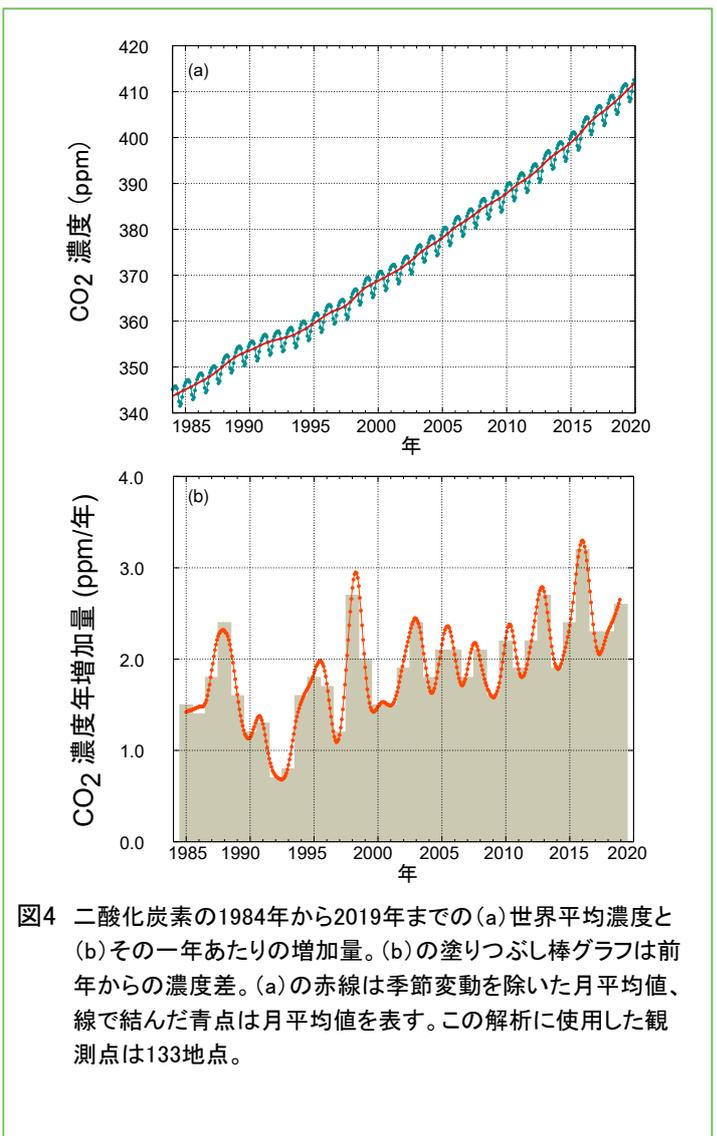


図4 二酸化炭素の1984年から2019年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の塗りつぶし棒グラフは前年からの濃度差。(a)の赤線は季節変動を除いた月平均値、線で結んだ青点は月平均値を表す。この解析に使用した観測地点は133地点。

## パリ協定の気候目標を支援する地域的メタン排出の監視

文: Sander Houweling

本報告書で報告されている2019年の地球全体のメタン(CH<sub>4</sub>)増加量は8 ppb/年で、過去10年間では5~10 ppb/年の増加傾向が継続している。グローバル・カーボン・プロジェクト(GCP)[11]は、その最新の評価で、2008年から2017年の期間の地球全体のメタン排出量を576 TgCH<sub>4</sub><sup>(6)</sup>/年と推定している。この値は、以前の10年間(2000年から2009年)の推定値よりも、年間総排出量の平均で29 TgCH<sub>4</sub>/年大きいことを示している。これらの数値は、GAWの地上観測値と日本の温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)の衛星観測値を用いた逆解析手法を用いたモデルの相互比較から得られたものである。これらのデータを基にした逆解析では、熱帯と東南アジアが最も増加に寄与していることで一致している。しかし、逆解析のアンサンブル結果から、人為起源と自然起源の変化の相対的な重要性に関して、信頼性の高いさらなる詳細な情報を提供することは困難である。実際、GCPの評価は、2007年以降のメタンの再増加について先行研究で提案されてきた幅広いシナリオや可能性のある説明をさらに制約するものではない(例えば、[15]-[18]を参照)。

GCPの評価ではまだ使用されていないが、 $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ から観測された傾向は、微生物と化石燃料の排出量の増加の複合的な増加によって説明されている[18]。この傾向は、メタンの増加がエネルギーと食糧の需要の増加によって主に促進されている可能性が高いシナリオを示唆している。これは、2008年から2015年の間に人為起源の排出源が30 TgCH<sub>4</sub>/年の増加を示しているEDGAR ver.5の排出量インベントリ[19]とほぼ一致しており、観測された増加を説明するのに十分な量となっている。

図5は、2014年以降のメタンの増加とその増加量の加速を、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(AR5)の代表的濃度経路(RCPs)と比較したものである。メタンは、2つの最も強い温暖化シナリオであるRCP6とRCP8.5の間に位置する軌跡をたどっている。いくつかの研究では、メタンの排出量を緩和することによる短期的な気候的便益と高い費用対効果が指摘されている[20], [21]。しかしながら、図5では、パリ協

定の目標達成に向けた国際的な取り組みでは、これまでのところ、メタン排出の緩和はあまり重点的に取り組まれて来なかったことを示している。

図6は、2019年にGHGSat衛星によって最初に検出され、その後、Sentinel-5P衛星のTROPOMIセンサーによって確認されたトルクメニスタン西部での天然ガス漏出を示している[22]。メタンの総カラム量の濃い領域が視認され、その領域は後続の衛星通過時刻では、局地的な風向と一致して方向を変えている。宇宙からメタンを十分な精度で測定することは挑戦的であるが、これらの信号が本物であることは疑いの余地がない。放出量は $142 \pm 34 \text{ ktCH}_4^{(6)}/\text{年}$ と推定されており、これは大きな漏洩量(1秒間に約6 m<sup>3</sup>)であるが、それにもかかわらず、数年間は気付かれていなかった。これまでに収集されたTROPOMIのデータは、世界中でこのような天然ガス漏出がいくつかあることを示している(例えば[23], [24]を参照)。今後数年のうちに、より感度の高いセンサーを搭載した衛星(例えば、MethaneSat衛星)が打ち上げられる予定であり、今年9月にはすでにGHGSatのIris衛星が打ち上げられている。これらの衛星のセンサーにより、より精度良く、数多くの天然ガス漏出を検出できるようになるであろう。

衛星から得られる排出量の推定値を改善するためには、堅固な方法論の開発が依然必要であり、そのためには地上での正確な測定が不可欠である。しかしながら、現在の能力でも、地域的な排出量監視に重要で新たな貢献をすることが既にできている。これは、石油・ガス部門におけるメタン排出量を削減するというIG<sup>3</sup>ISの目標に直接対応する新たな発展の好例である。IG<sup>3</sup>ISは、国際的な科学者と利用者が共に新たな地域的な排出量監視能力を確実に活用するために有利な立場にある。この監視能力は、パリ協定を成功させるべく早急に必要とされる気候行動に利用されるものである。

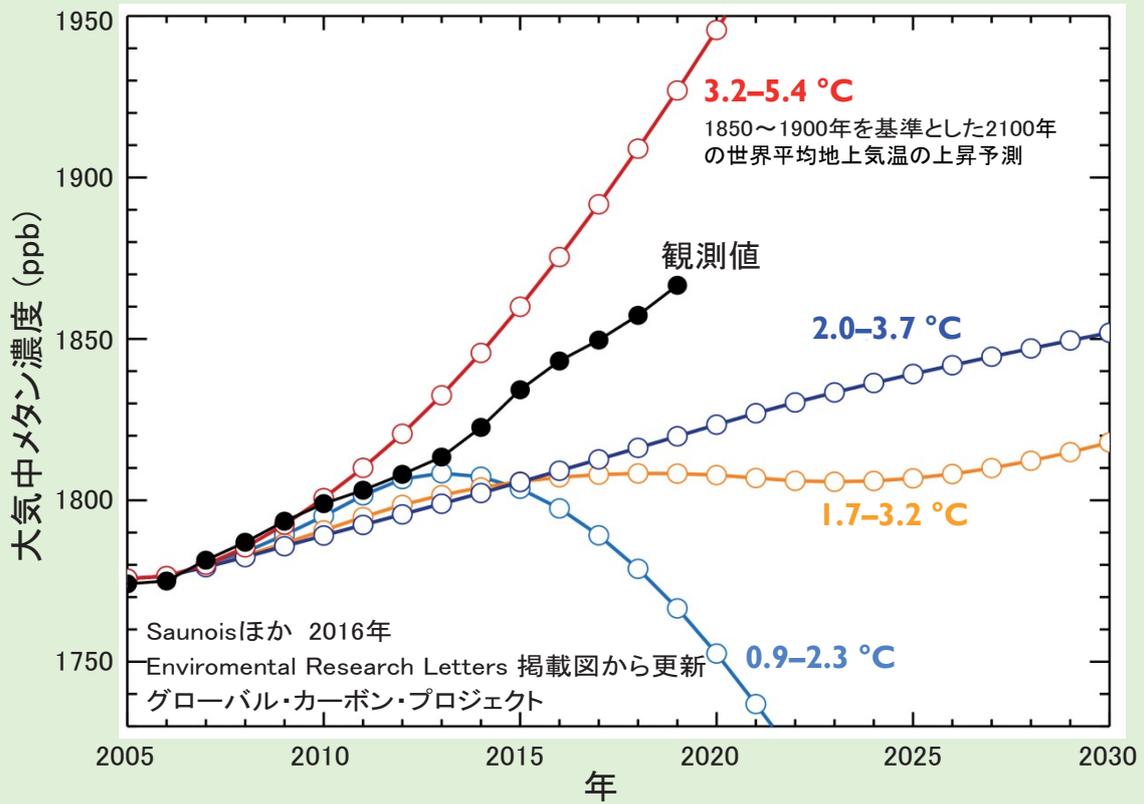


図5 IPCC AR5 RCPシナリオと比較した観測された大気中メタンの全球平均濃度[11]。

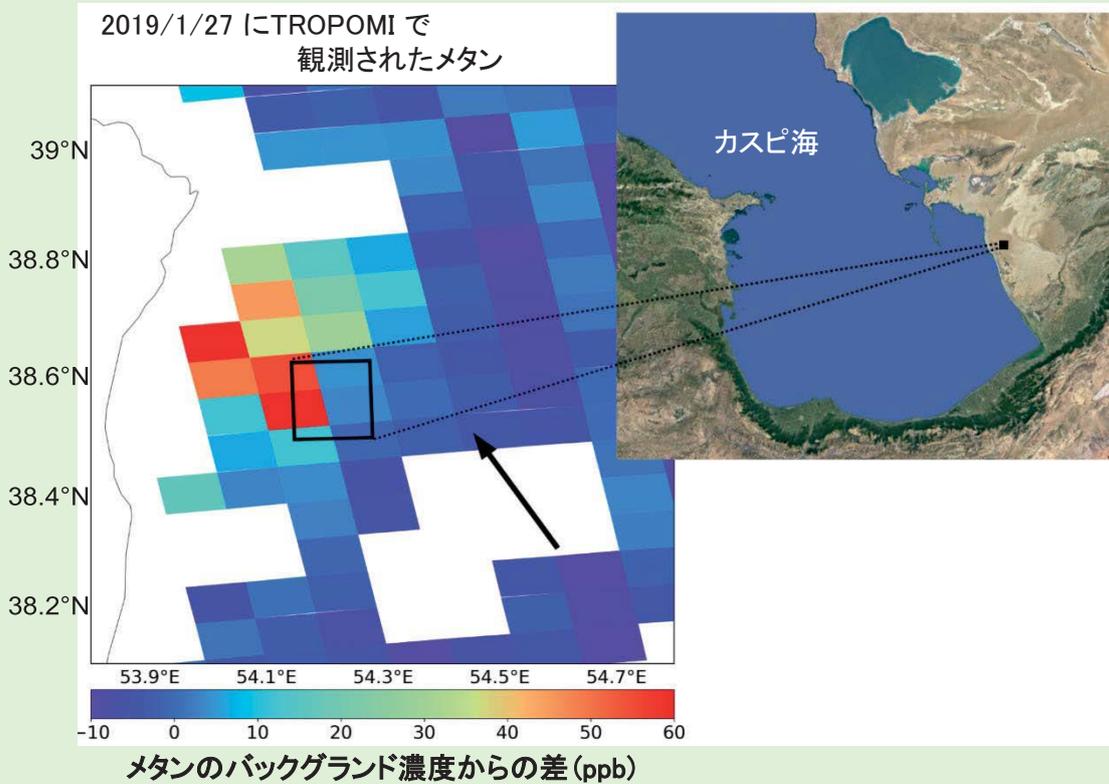


図6 TROPOMIで観測されたトルクメニスタン西部の石油・ガス生産からのメタン放出量[22]。

## メタン(CH<sub>4</sub>)

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%<sup>(4)</sup>を占める。大気中に放出されるメタンの約40%は自然起源(湿地やシロアリなど)であり、人為起源(畜産、稲作、化石燃料採掘、埋め立て、バイオマス燃焼など)によるものは約60%である[11]。現場観測によるメタンの2019年の世界平均濃度は、解析開始以来の最高値を更新する1877±2 ppbであり、前年から8 ppb増加した(図7)。この増加は2017年から2018年までの増加量(9 ppb)よりは小さいものの、最近10年間の平均年増加量よりはまだわずかに大きい。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。2007年以降、大気中メタン濃度は増加しており、人為的な放出増加を反映して工業化以前(約722 ppb)の260%に達した。GAWのメタン観測結果を用いた研究によれば、熱帯の湿地と北半球中緯度での人為排出源からのメタンの放出増加が近年の増加の原因である可能性が高い。

## 一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)

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7%<sup>(4)</sup>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60%)と人間活動(約40%)の両方から放出され、それらは海洋、土壌、バイオマスの燃焼、施肥及び各種工業過程を含んでいる。一酸化二窒素の2019年の世界平均濃度は332.0±0.1 ppbであり、前年から0.9 ppb増加して(図8)、工業化以前(270 ppb)の123%となった。2018年から2019年までの増加量は、2017年から2018年までの増加量より小さく、最近10年間の平均年増加量(0.96 ppb/年)とほぼ同等であった。農地への窒素添加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) TgN<sup>(7)</sup>/年となった。この増加が、主に大気蓄積の増加の原因である[12]。

## 他の温室効果ガス

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で規制されているオゾン層破壊物質であるクロロフルオロカーボン(CFC)類は、他のハロゲン化物と合わせた合計で、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力全体の約11%<sup>(4)</sup>を占める。大気中のCFC類とほとんどのハロン類は減少している一方で、同じ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(HCFC)類やハイドロフルオロカーボン(HFC)類のいくつかは、今のところ量は少ないものの(ppt<sup>(8)</sup>の水準)、比較的急速

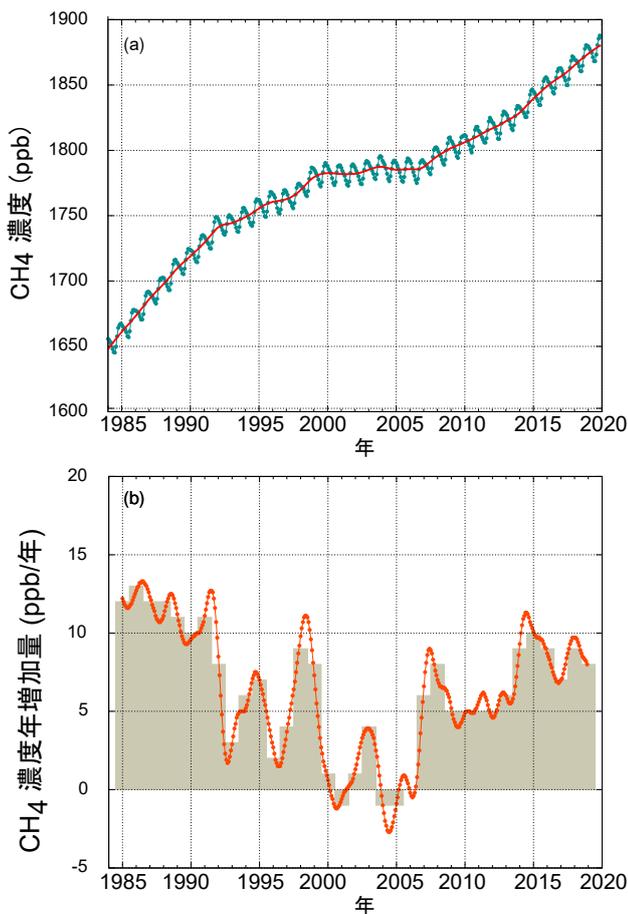


図7 メタンの1984年から2019年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の塗りつぶし棒グラフは前年からの濃度差。(a)の赤線は季節変動を除いた月平均値、線で結んだ青点は月平均値を表す。この解析に使用した観測点は134地点。

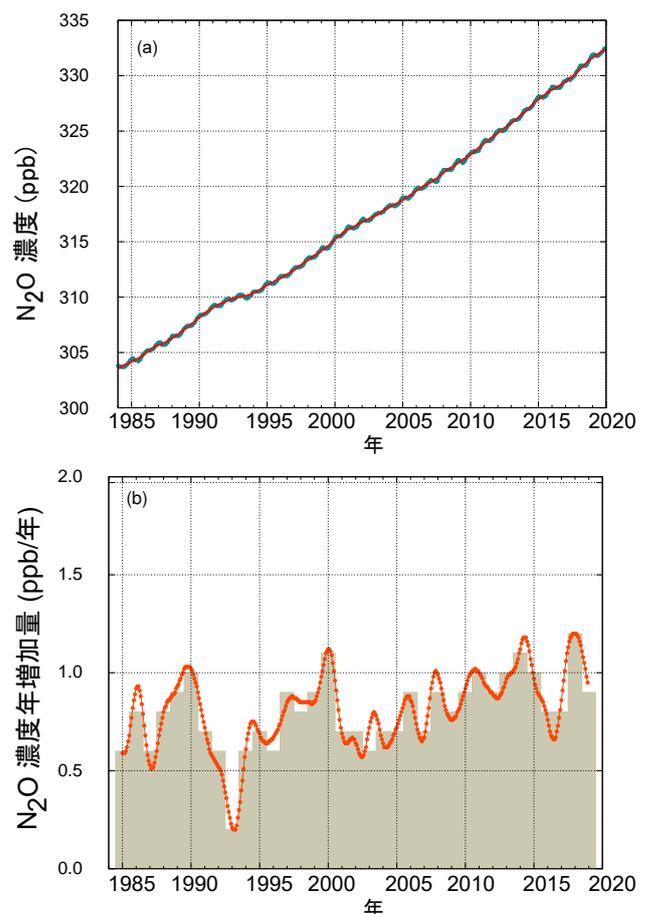


図8 一酸化二窒素の1984年から2019年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の塗りつぶし棒グラフは前年からの濃度差。(a)の赤線は季節変動を除いた月平均値で、この図では月平均値を表す青点と重なっている。この解析に使用した観測点は100地点。

に増加している。六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)も同様に量は少ないが非常に強力な長寿命の温室効果ガスであり、化学工業生産されて主に配電設備の電気絶縁体として使われている。現在の大气中の濃度は1990年代半ばに比べて2倍以上に増加している(図9(a))。

この年報は主に長寿命温室効果ガスを取り扱う。対流圏のオゾンはこちらに比べて短寿命だが、ハロカーボン類に匹敵する放射強制力を持つ[13]。その他多くの汚染物質(一酸化炭素、窒素酸化物、揮発性有機化合物など)は、温室効果ガスとは呼ばれないが、放射強制力に直接的あるいは間接的な影響をわずかに及ぼす。エアロゾル(浮遊粒子状物質)も、放射収支に影響する短寿命の物質である。ここで述べた全てのガス及びエアロゾルは、WMO加盟国や協賛ネットワークから支援を受けてGAW計画により監視されている。

## 謝辞とリンク

WMO加盟国のうちの55カ国がGAW WDCGGに二酸化炭素及び他の温室効果ガスの観測データを提供している。WDCGGに提供されている観測データの約40%がNOAA地球システム調査研究所(ESRL)と協力する観測ネットワークで得られたものである。その他のネットワークや観測所は、GAWレポートNo.255[14]を参照されたい。Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE)も本年報に観測データを提供している。さらに、本年報に用いたデータを提供したGAW観測所は、図2に示すとともに、WDCGGウェブサイト(<https://gaw.kishou.go.jp/>)の一覧表に掲げる。また、スイス気象局によって運営されるGAW観測所情報システム(GAWSIS, <https://gawsis.meteoswiss.ch/>)にも掲載されている。

## 参考文献

- [1] World Meteorological Organization/United Nations Environment Programme//Intergovernmental Panel on Climate Change/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/Intergovernmental

- Oceanographic Commission/Global Carbon Project, 2020: *United in Science 2020: A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information*, [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=21761#.X3w\\_uEBuJjs](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21761#.X3w_uEBuJjs).
- [2] Friedlingstein, P. et al., 2019: Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, 11, 1783–1838, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>.
- [3] Le Quéré, C. et al., 2020: Temporary reduction in daily global CO<sub>2</sub> emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>.
- [4] Evans, S., 2020: Daily global CO<sub>2</sub> emissions 'cut to 2006 levels' during height of coronavirus crisis. Carbon Brief, <https://www.carbonbrief.org/daily-global-co2-emissions-cut-to-2006-levels-during-height-of-coronavirus-crisis>.
- [5] Kutsch W. et al., 2020: Finding a hair in the swimming pool: The signal of changed fossil emissions in the atmosphere. Integrated Carbon Observation System, <https://www.icos-cp.eu/event/917>.
- [6] Integrated Carbon Observation System, 2020: ICOS study shows clear reduction in urban CO<sub>2</sub> emissions as a result of Covid-19 lockdown, <https://www.icos-cp.eu/event/933>.
- [7] Butler, J.H., and S.A. Montzka, 2020: The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratories Global Monitoring Laboratory, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- [8] National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratories, Global Monitoring Laboratory, 2020: Trends in atmospheric carbon dioxide, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- [9] Tsutsumi, Y., K. Mori, T. Hirahara, M. Ikegami and T.J. Conway, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Center for Greenhouse Gases* (WMO/TD-No. 1473). GAW Report No. 184. World Meteorological Organization, Geneva, [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=12631](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12631).
- [10] Conway, T.J. et al., 1994: Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory Global Air Sampling Network. *Journal of Geophysical Research*, 99:22831–22855, <https://doi.org/10.1029/94JD01951>.

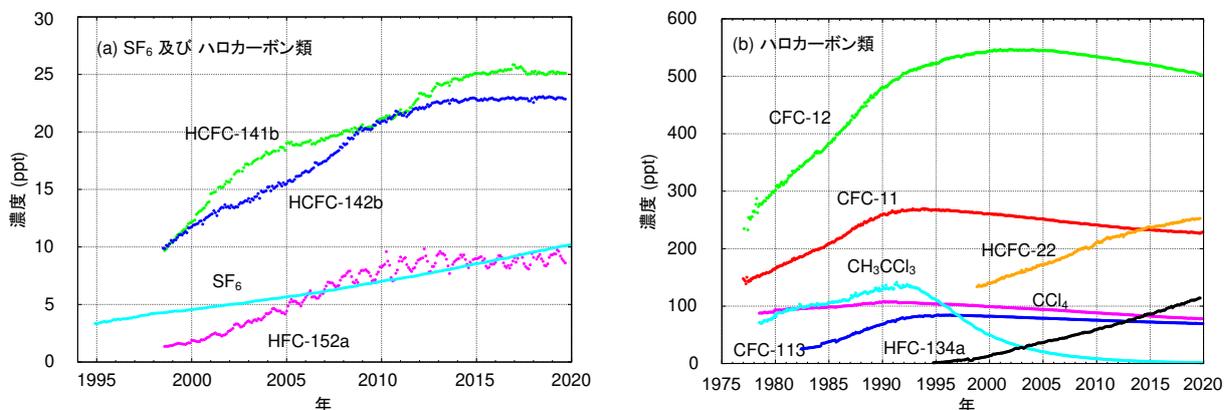


図9 六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)及び主要なハロカーボン類の月平均濃度 (a)六フッ化硫黄及び低濃度のハロカーボン類、(b)高濃度のハロカーボン類。解析に使用した地点数は、SF<sub>6</sub>(87)、CFC-11(23)、CFC-12(25)、CFC-113(22)、CCl<sub>4</sub>(21)、CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>(25)、HCFC-141b(10)、HCFC-142b(15)、HCFC-22(14)、HFC-134a(11)、HFC-152a(10)。

- [11] Saunio, M., A. Stavert, B. Poulter et al., 2020: The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12, 1561–1623, <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>.
- [12] Tian, H., R. Xu, J.G. Canadell et al., 2020: A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*, 586, 248–256, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0>.
- [13] World Meteorological Organization, 2018: *WMO Reactive Gases Bulletin: Highlights from the Global Atmosphere Watch Programme*, No. 2, [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=5244](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5244).
- [14] World Meteorological Organization, 2020: *20th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases and Related Measurement Techniques (GGMT-2019)*. GAW Report- No. 255. Geneva, [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10353](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10353).
- [15] Rigby, M., S.A. Montzka, R.G. Prinn et al., 2017: Role of atmospheric oxidation in recent methane growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(21), 5373–5377, <https://doi.org/10.1073/pnas.1616426114>.
- [16] Hausmann, P., R. Sussmann, and D. Smale, 2016: Contribution of oil and natural gas production to renewed increase in atmospheric methane (2007–2014): top–down estimate from ethane and methane column observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 3227–3244, <https://doi.org/10.5194/acp-16-3227-2016>.
- [17] Schaefer, H., S.E.M. Fletcher, C. Veidt et al., 2016: A 21st century shift from fossil-fuel to biogenic methane emissions indicated by  $^{13}\text{C}$ , *Science*, 352, 80–84, <https://doi.org/10.1126/science.aad2705>.
- [18] Worden, J. R., A.A. Bloom, S. Pandey et al., 2017: Reduced biomass burning emissions reconcile conflicting estimates of the post-2006 atmospheric methane budget. *Nature Communications*, 8(1), 2227. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02246-0>.
- [19] Crippa, M., G. Oreggioni, D. Guizzardi et al., 2019: *Fossil CO<sub>2</sub> and GHG emissions of all world countries: 2019 Report*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, <https://doi.org/10.2760/687800>.
- [20] Höglund-Isaksson, L., 2012: Global anthropogenic methane emissions 2005–2030: technical mitigation potentials and costs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(19), 9079–9096, <https://doi.org/10.5194/acp-12-9079-2012>.
- [21] Shindell, D.T., J.S. Fuglestedt, and W.J. Collins, 2017: The social cost of methane: theory and applications. *Faraday Discussions*, 200, 429–451, <https://doi.org/10.1039/c7fd00009j>.
- [22] Varon, D.J., J. McKeever, D. Jervis et al., 2019: Satellite Discovery of Anomalously Large Methane Point Sources From Oil/Gas Production. *Geophysical Research Letters*, 2019GL083798, <https://doi.org/10.1029/2019GL083798>.
- [23] Pandey, S., R. Gautam, S. Houweling et al., 2019: Satellite observations reveal extreme methane leakage from a natural gas well blowout. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1–6, <https://doi.org/10.1073/pnas.1908712116>.
- [24] Schneising, O., M. Buchwitz, M. Reuter et al., 2020: Remote sensing of methane leakage from natural gas and petroleum systems revisited. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 1–23, <https://doi.org/10.5194/acp-2020-274>.

## 連絡先

世界気象機関 科学開発部大気環境研究課(ジュネーブ)  
E-mail: [gaw@wmo.int](mailto:gaw@wmo.int)

気象庁 温室効果ガス世界資料センター(東京)  
E-mail: [wdcgg@met.kishou.go.jp](mailto:wdcgg@met.kishou.go.jp)  
Web site: <https://gaw.kishou.go.jp/>

- (1) モル分率で表した濃度: モル分率は混合ガスまたは流体の濃度を表すのに用いられる。大気化学分野では濃度を乾燥空気分子に対する着目する成分の分子の存在比率(モル数の比)で表す。
- (2) ppmは乾燥空気分子100万個中の当該ガスの分子数。
- (3) ppbは乾燥空気分子10億個中の当該ガスの分子数。
- (4) ここでいう比率は、1750年以降の全ての長寿命の温室効果ガスによる世界全体の放射強制力の増加量に対して、それぞれのガスが寄与する相対的な割合のこと。
- (5) 1 GtCO<sub>2</sub>は10億トン(10<sup>15</sup> g)の二酸化炭素量を示す。なお、3.664 GtCO<sub>2</sub>は、1 GtC(炭素換算で10億トン)に相当する。
- (6) 1 TgCH<sub>4</sub>は100万トン(10<sup>12</sup> g)のメタン量を示す。1 ktCH<sub>4</sub>は1千トン(10<sup>9</sup> g)のメタン量を示す。
- (7) 1 TgNIは窒素換算で100万トン(10<sup>12</sup> g)の窒素量を示す。なお、1.57 TgN<sub>2</sub>Oの一酸化二窒素量は、窒素換算で1 TgNIに相当する。
- (8) pptは乾燥空気分子1兆個中の当該ガスの分子数。

## (付録)年報中の主な用語

放射強制力: 地球・大気システムに出入りするエネルギーのバランスを変化させる影響力の尺度で、気候を変化させる能力の大きさを示す。1平方メートル当たりのワット数(W m<sup>-2</sup>)で表す。

## 日本語訳について

このWMO 温室効果ガス年報第16号(気象庁訳)は、WMO が2020年11月23日に発行したWMO Greenhouse Gas Bulletin No. 16を気象庁が翻訳したものである。



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](mailto:wdcgg@met.kishou.go.jp)

# 今回紹介する温室効果ガス観測所

多くの GAW 観測所は、世界中の遠隔地に位置している。COVID-19 に関連した移動制限措置は、この遠隔性とそれに対応した移動や輸送の制限のために、物流上の問題を引き起こしている。これらの課題に直面する南大洋と南太平洋の離島に位置する 2 つの観測所について、以下に紹介する。

## アメリカ領サモア観測所 (SMO)



撮影者: NOAA ESRL

NOAA のアメリカ領サモア観測所 (SMO) は、ハワイとニュージーランドのほぼ中間にあたる、南太平洋の中央に位置している。一年中温暖湿潤で、緑豊かな山々と強いサモア文化が特徴である。観測所はアメリカ領サモアのトウトウイラ島北東端、マトウーラ岬に位置している。

2020 年春に COVID-19 の世界的大流行が広がると、アメリカ領サモアでは、島の保健機関が流行を抑え込むため、しばらくの間、貨物便の完全な停止を含む厳格な渡航制限を実施した。貨物や人員の渡航制限により、SMO の重要な校正ガス、フラスコ、その他の重要な資材の再供給が制限され、二酸化炭素の現場分析装置の更新計画が延期された。さらに、世界的大流行が島内で最悪のシナリオに達した場合に備え、観測所を閉鎖し、人員を避難させるための緊急時対応計画が立てられた。さらに、世界的大流行の影響で、通常は広範囲の対面訓練を兼ねた 2~3 週間の重複勤務を含む毎年の観測所長の交替が遅れる恐れが生じた。最終的には、新観測所長は国防総省 (DOD) の人道的支援便で島に到着することができ、前観測所長が別の DOD 便で出発する前に、職員の完全な引継ぎを終えることができた。渡航制限が残っているが、幸運にもアメリカ領サモアの状況は最悪のシナリオに陥ることはなく、SMO でのすべての重要な測定とサンプリングは世界的大流行の間も継続された。

### 所在

所属国: アメリカ領サモア

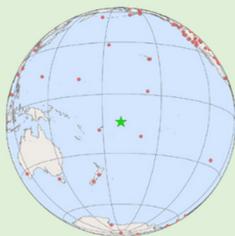
南緯: 14.2474°

西経: 170.5644°

標高: 42.00 m

時差: 現地時間=協定世界時-11 時間

撮影者: P. Roberts



## マッコリー島観測所 (MQA)



撮影者: Barry Becker

マッコリー島はオーストラリアと南極大陸のほぼ中間にあり、南大洋に位置する亜南極の島である。「マッカ」として一般的に知られており、タスマニア公園・野生生物局が管理する世界遺産である。島の北端では、オーストラリア南極局 (AAD) が調査基地を運営している。この研究施設は、海鳥やアザラシの重要な個体群の保護から、本報告書に貢献するオーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO) の 30 年間の大気組成測定に至るまで、多様な科学的研究や長期監視プログラムを支援している。AAD のほか、オーストラリア気象局 (BoM)、オーストラリア原子力科学技術機構 (ANSTO)、ハイデルベルク大学 (ドイツ) 及び GNS サイエンス (ニュージーランド) は全て、CSIRO の長期大気組成監視プログラムの主要な協力機関である。

完全に隔離されたマッカで越冬する職員について COVID-19 ウイルスから安全を確保するために、今年の (南半球の) 夏には、年に一度の職員の入れ替えのために、厳格な検疫手順が実施されている。大気フラスコサンプリング (二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、一酸化炭素、水素及び二酸化炭素の炭素同位体比) や二酸化炭素、メタン及びブドウ糖の現場観測を支援するための BoM 職員の研修は、今年はウェブ形式で行われており、定期的なメンテナンスを行うために島を訪れる同伴の科学者はいない。それにもかかわらず、越冬職員の献身的な努力により、この南半球の重要な観測地点では、2021 年を通してサンプリングと現場観測が継続されることになる。

### 所在

所属国: オーストラリア

南緯: 54.4985°

東経: 158.9385°

標高: 16.00 m

時差: 現地時間=協定世界時+10 時間

撮影者: Vicki Heinrich

