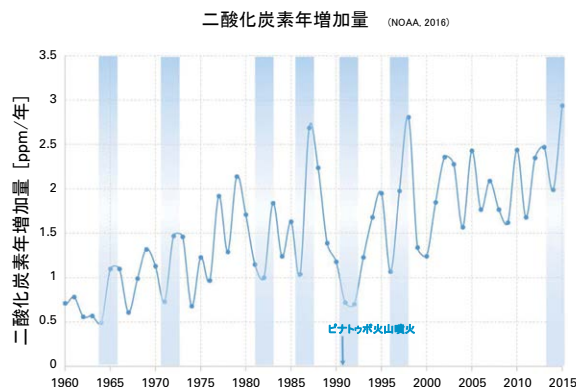
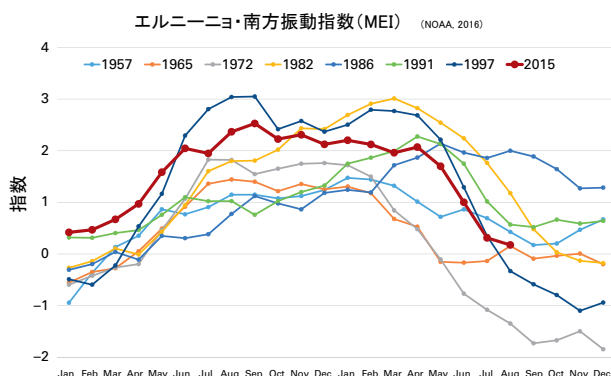




WMO 温室効果ガス年報

2015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12号 | 2016年10月24日



2015年:エルニーニョ現象の影響を強く受けた温室効果ガスの変動

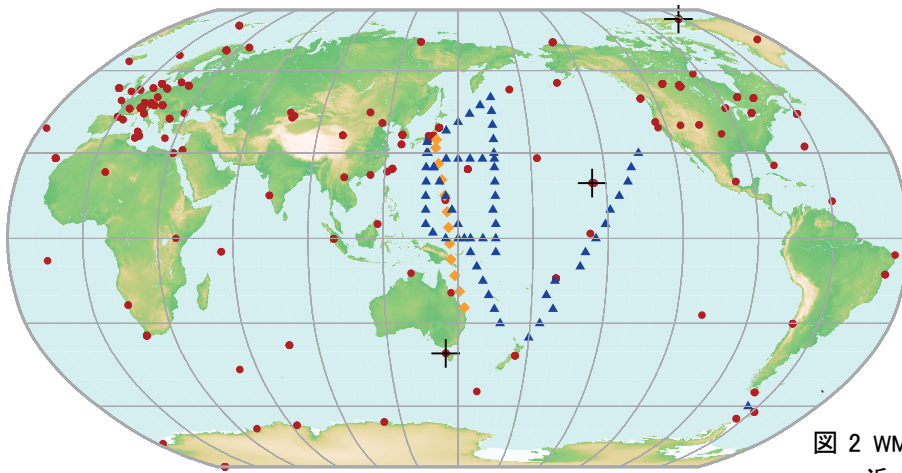
2015年は顕著なエルニーニョ現象が発生した^(訳注1)。エルニーニョ現象は、太平洋赤道域で海水温が通常より高くなる気候システムの自然変動であり、ある地域で強い嵐が発生する一方、別の地域で干ばつや洪水が発生するといった異常気象と関連している。典型的なエルニーニョ現象は9か月から2年ほど継続し、概ね2~7年ごとに発生するが、このような顕著なエルニーニョ現象は過去18年間発生していなかった。

左図はエルニーニョ現象の強さを表すエルニーニョ・南方振動(ENSO)指数の、1950年以降の顕著なエルニーニョ現象時の月別値を示す[1]。2015年から2016年にかけてのエルニーニョ現象は、1950年以降の8回の顕著なエルニーニョ現象のうちの一つであり、16か月連続で全球月平均気温を更新したことと関連している[2]。1991年のピナトゥボ火山の噴火後の数年間の例外を除いて、エルニーニョ現象後には、大気中二酸化炭素(CO₂)濃度の増加量が伸びている(右図)。この図は米国海洋大気庁(NOAA)の全球の現場観測ネットワークによる1960年以降のCO₂全球濃度増加量[3]を表す。背景の青色は、1960年以降の7回の顕著なエルニーニョ現象の発生期間を表す。

2014年から2015年にかけて全球での人為的排出量がほぼ変

わらなかったのにも関わらず、WMO 全球大気監視(GAW)計画の観測結果から計算したCO₂増加量は、最近10年の平均年増加量より大きかった。直近のデータによれば、増加量の伸びは2016年もなお続いており、これはCO₂増加量とENSO指数の間にあると考えられている時間差と一致している。このことから、2016年はマウナロア観測所のCO₂濃度が年間を通して400ppm⁽¹⁾を超える状態が続く最初の年となり、今後何世代もそれが続く予測される[4]。

化石燃料エネルギーからのCO₂排出が増加しているにもかかわらず、海洋と陸上生物圏は人為的排出量のおよそ半分を吸収し続けている[5]。しかし、これらのCO₂吸収源は飽和状態となる可能性があり、そうなると排出されたCO₂が大気中に残留する割合は増加し、大気中CO₂濃度の増加は加速するだろう。エルニーニョ現象の間、通常は陸域によるCO₂吸収は減少する。前回の1997年から1998年にかけての顕著なエルニーニョ現象の時のように、熱帯域での干ばつの増加が植生によるCO₂吸収の低下と森林火災によるCO₂放出をもたらす、正味でCO₂の放出が増加する可能性が高い。全球火災放出量データベース(Global Fire Emissions Database)[6]によれば、2015年のアジア赤道域のCO₂放出量は0.34PgC⁽²⁾だった(1997年から2015年の平均は0.15PgC)。エルニーニョ現象の他に、北極圏の大規模な海水氷の消失、温暖化による内陸の干ばつの増加[7]、永久凍土の融解、熱塩循環の変化(エルニーニョ現象の影響はわずかでしかない)に関連した変化がフィードバックをもたらす可能性も見込まれる。



●地上観測 ◆航空機 ▲船舶 ×温室効果ガス比較観測所

図2 WMO/GAW 世界監視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。

要旨

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、2015 年の二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)の現場観測ネットワークによる地上での世界平均濃度⁽³⁾は、それぞれ、400.0±0.1 ppm、1845±2 ppb⁽⁴⁾、328.0±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(1750 年)以前の、それぞれ 144%、256%、121%である。2016 年はマウナロア観測所の二酸化炭素濃度が年間を通して 400 ppm を超える状態が続く最初の年となり、今後何世代もそれが続く予測される[4]。二酸化炭素の 2014 年から 2015 年までの濃度増加量は、2013 年から 2014 年までの増加量や過去 10 年間の平均年増加量を上回った。2015 年のエルニーニョ現象は、気候変動と炭素循環の間の複合的な相互作用を通じて、この増加量の伸びに寄与した。メタンの 2014 年から 2015 年までの濃度増加量は、2013 年から 2014 年までの増加量や過去 10 年の平均年増加量よりも大きかった。一酸化二窒素の 2014 年から 2015 年までの濃度増加量は、2013 年から 2014 年までの増加量と同じであったが、過去 10 年の平均年増加量より大きかった。米国海洋大気庁(NOAA)年次温室効果ガス指標(Annual Greenhouse Gas Index)[8, 9]によると、1990 年から 2015 年までに、長寿命の温室効果ガス(LLGHG)による放射強制力は 37%増加しており、二酸化炭素がそのうちの約 80%を占める。

序論

工業化(1750年)以前と比べ、人間活動による排出により、長寿命の温室効果ガスの大気中濃度はかなり増加している。人口の増加、農業活動の強化、土地利用及び森林伐採の増加、工業化及び関連した化石起源エネルギーの使用は全て近年の長寿命温室効果ガス濃度の大きな増加をもたらしている。

これらの増加は、今我々が経験している地球温暖化をもたらしている可能性が極めて高い[5]。また、地球システムは、温室効果ガスの自然の吸収放出の変化を含むフィードバックを伴って、気候変動にตอบสนองしている可能性も高い。このフィード

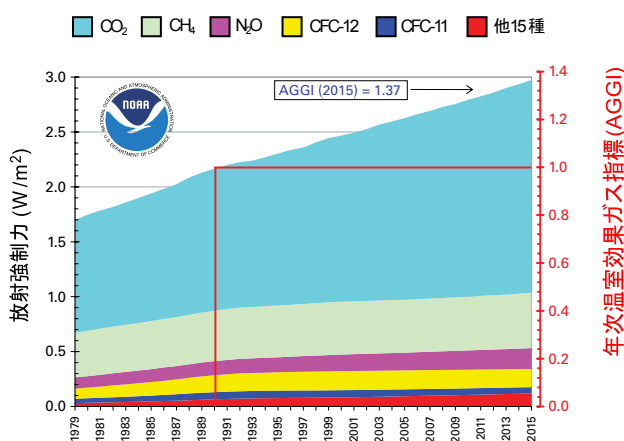


図1 長寿命の温室効果ガスによる放射強制力(1750年を基準)の経年変化と2015年のNOAA年次温室効果ガス指標(AGGI)[8, 9]。

表1 WMO/GAW世界温室効果ガス監視網による主な温室効果ガスの地上の世界平均濃度(2015年)と増加量。単位は乾燥空気のマール分率で誤差幅は68%の信頼限界による[10]。平均手法は、文献[11]に記載している。

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
世界平均濃度(2015年)	400.0±0.1 ppm	1845±2 ppb	328.0±0.1 ppb
1750年と比較した存在比 ^a	144%	256%	121%
2014年から2015年の増加量	2.3 ppm	11 ppb	1.0 ppb
2014年からの増加分の比率	0.58%	0.60%	0.31%
世界平均濃度の最近10年間の平均年増加量	2.08 ppm/年	6.0 ppb/年	0.89 ppb/年

^a 工業化以前の濃度を、二酸化炭素(CO₂)は 278ppm、メタン(CH₄)は 722ppb、一酸化二窒素(N₂O)は 270ppb と仮定した。本解析に使用した観測点数は、次のとおり。CO₂(125 地点)、CH₄(123 地点)、N₂O(33 地点)。

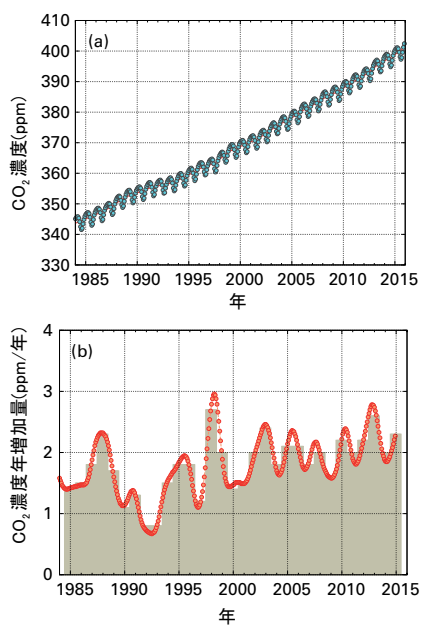


図3 二酸化炭素の1984年から2015年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の背景の棒グラフは前年からの濃度差。

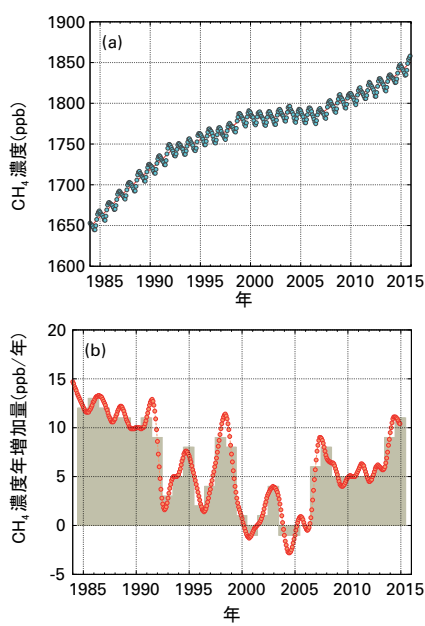


図4 メタンの1984年から2015年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の背景の棒グラフは前年からの濃度差。

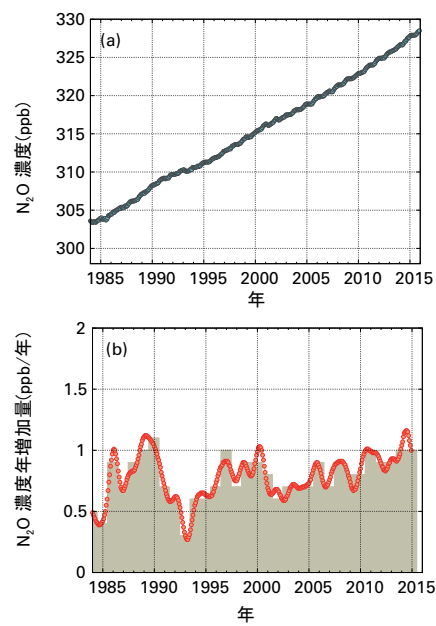


図5 一酸化二窒素の1984年から2015年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の背景の棒グラフは前年からの濃度差。

バックは、大気中の温室効果ガス濃度増加の加速または減速をもたらすものであり、それゆえ気候変動の加速または減速をもたらす。このフィードバックの方向や大きさは非常に不確実なものであり、ごく最近の研究の中には、将来の気候変動が干ばつに与える強い影響によって陸上での二酸化炭素吸収が弱まり、更なる大気中二酸化炭素の増加が進むことを示唆するものがある。また、通常の排出が、従来の予測より強い温暖化をもたらすとする研究もある。さらに、世界の気温上昇を2°Cより低く抑えるという国連気候変動枠組条約(UNFCCC)第21回締約国会議(COP21)の合意が達成されたとしても、南極の氷の融解による海面上昇が、最新の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)報告で考えられている最大値の2倍になるとする研究もある [12, 13, 14]。

GAW計画の現場観測のように、長期間かつ高精度の密な大気観測を行い、これが衛星観測や数値モデルにより補われたときのみ、全球の大気組成の変化を理解することが可能となる。これらの観測は、COP 21の合意によって生じる排出削減が大気中の長寿命温室効果ガス濃度に対して期待される効果を及ぼすかどうかや、長期的な濃度低減に成功するかどうかの情報を提供するだろう。この情報は、地球システムのフィードバックメカニズムの効果により、更なる緩和策が必要となるかどうかの政策決定の指針となるだろう。

2015年のGAW現場観測ネットワークによる観測結果の概要

このWMO/GAWの温室効果ガス年報第12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%⁽⁵⁾[15]を占める(図1)。

WMO/GAW計画 (<http://www.wmo.int/gaw>) は、長寿命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。

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[3]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、平均値算出手法及び値が代表する期間の違いによる。WMO WDCGGはWMO/TD-No.1473[11]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2015年の大気中濃度の世界平均と、2014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は、図2で東太平洋に青い三角で示す米国海洋大気庁(NOAA)の定点観測によるものを除き、この解析には使っていない。

表1の3種の長寿命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。大気中の長寿命温室効果ガスの将来変化を予測するには、その様々な発生源や吸収源、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の観測成果は、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同時に、温室効果ガスの排出インベントリ改善の支援と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検証に利用されている。

2015年のNOAA年次温室効果ガス指標(AGGI)[8]は1.37で、長寿命温室効果ガスによる放射強制力(1750年を基準)の合計は、1990年以降2015年までに37%、2014年からは1.3%

統合全球温室効果ガス情報システム (IG³IS)

2015年12月に国連気候変動枠組条約(UNFCCC)はパリ協定を採択し、自国が決定した貢献(NDCs)という考えを成文化した。NDCsは国家、地理的な地域及び経済能力により変わる。適用される戦略や対策に関係なく、長期的な政策とその管理を効果的に実施するためには、温室効果ガス(GHG)の排出量とその長期変化傾向に関する一貫して信頼できる適時の情報が必要である。

2010年に、大気、炭素循環及び気候変動の科学コミュニティにおいて、「GHG国家インベントリに関するIPCCタスクフォース(IPCC TFI)」の2006年版指針[19]に記述されている統計的手法に沿って作成されたGHG排出インベントリの精度を、それとは独立して評価するための大気中のGHG濃度測定とモデル解析の可能性についての研究[16, 17, 18]が行われた。これらの報告では、このアプローチの完全な実現のためには、研究への追加投資、十分に較正された大気中GHGの測定の高密度化、大気輸送モデリングとデータ同化の能力向上が必要であると結論された。

WMOは、2010年以降の研究、測定及びモデリングに関する進展を認め、「統合全球温室効果ガス情報システム(IG³IS)」の構築に着手した[20]。WMO GAWは大気測定の標準を提供し、IG³ISは、排出削減の政策及び対策のより良い情報提供と遂行のため、大気中GHG濃度測定結果のモデルを使った逆解析結果(トップダウン)が、時空間的に明示された社会経済的な排出インベントリデータ(ボトムアップ)との結合を可能とするための、方法論的標準の確立、普及および長期にわたる改善を行う。

IG³ISは、国連環境計画(United Nations Environment Programme)、国際度量衡局(International Bureau of Weights and Measures)、地球観測に関する政府間会合(Group on Earth Observations)など多くのWMOの連携機関との国際的な調整メカニズムの役目を果たす。IG³IS計画の成功のためには、IG³ISの情報の顧客やエンドユーザーのニーズを理解するために彼らと繋がる努力をして、彼らの信頼を獲得し、効果的な排出削減活動の目標とともに彼らが受け取る情報の価値を示す必要がある。長期にわたり、IG³ISの枠組みは先進的な技術力(例えば、新しい衛星観測及びセンサー)を促進し、それらを受け入れて、情報の品質や信頼性を継続的に改善できなければならない。

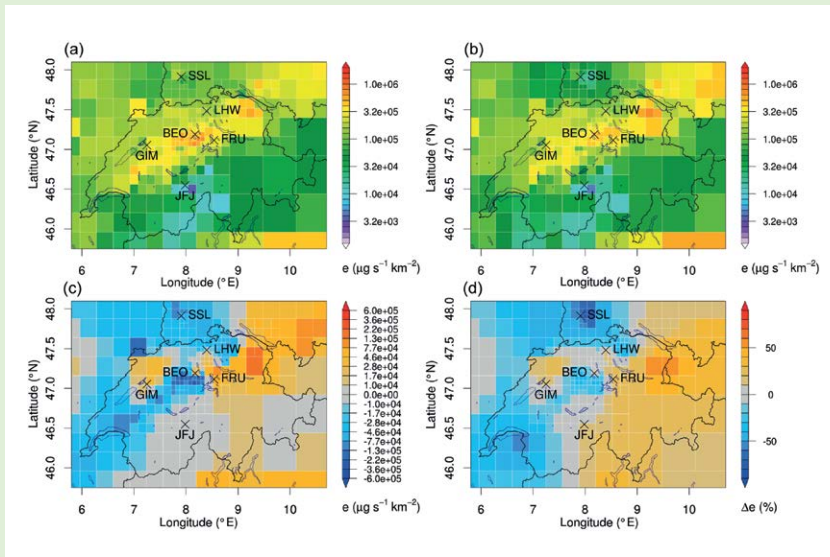
IG³ISの実施は、現在、構想文書[20]で定義した原理と3つの対象分野に従い進みつつある。(1)UNFCCCに報告する国

家排出インベントリの不確実性の低減、(2)今まで知られていない排出削減機会の場所の特定、定量化及び排出者への通知、(3)排出削減目標の進展を支援するため、国家及び国以外の主体の排出に関する量・傾向・要因に関する適時かつ定量的な情報の提供。IG³ISの実施は、対象分野ごとに次の2通りの活動に沿って進んでいる。(1)選択された手法の能力を高め、情報の価値について関係者と信頼を構築する短期パイロットプロジェクトの開始、及び(2)国家、州、都市及び私企業をこれらの情報システムの実施に導く対象分野ごとの体系的な計画の準備。対象分野ごとの成功事例の増加がIG³IS実施の基盤となる。次の例がIG³ISの価値を実証している。

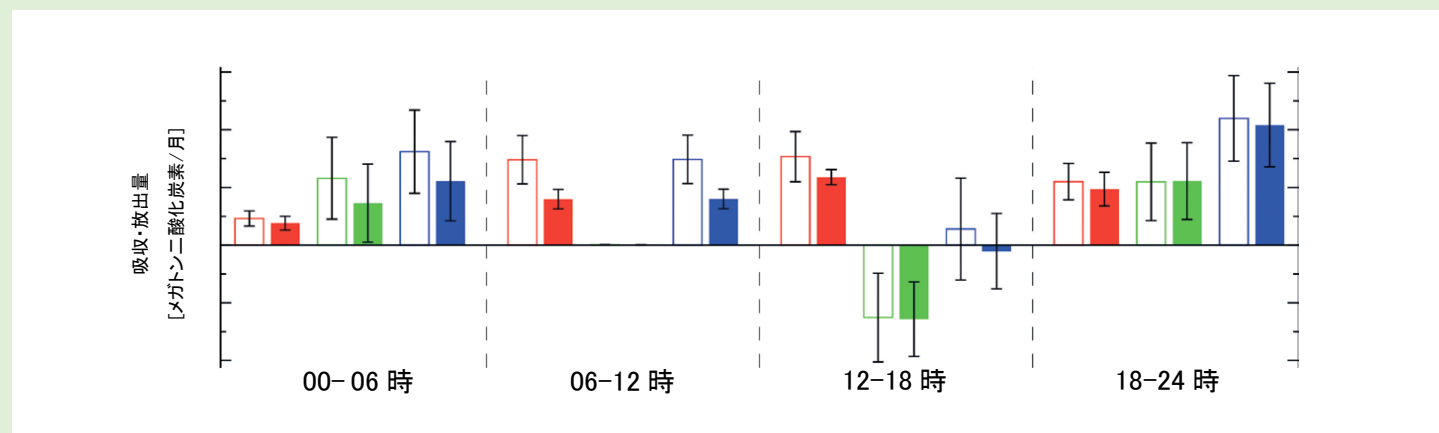
スイス及び隣国のメタン排出量の空間分布を推定するため、スイス高原の4地点と他の2地点の観測所におけるメタンの連続測定値が、大気輸送シミュレーションと逆解析モデリングのフレームワークと結びつけられた[21]。スイスにおける2013年3月から2014年2月までの逆解析によるメタン放出量合計の推定値は 196 ± 18 Gg/year⁽⁶⁾だった。この値は、2015年にスイスからUNFCCCに報告された2012年から2013年にかけての国別排出量合計 206 ± 33 Gg/yearとほぼ一致している。ボトムアップとトップダウンの手法を組み合わせることにより、報告された排出量合計の推定値が概ね正しいことが確認され、報告値の不確実性は16%から9%に縮小した。

逆解析システムは、カテゴリ別の放出量を最適化するのではなく、放出量合計の空間分布を推定する。しかし、逆解析により推定された放出量の空間分布の情報から、ある領域で卓越している放出源カテゴリに関する定性的な知見を得ることができる。明瞭な空間パターンはスイス北東部における逆解析後の推定放出量の増加を示唆している(5ページの上図を参照)。この増加をもたらす原因の候補として、この地域とその他の地域の畜産形態の違い、すなわち家畜一頭当たりの放出量の違いが可能性として考えられる。他の人為起源や自然の放出源は、この地域からの予想以上の放出量に寄与するかもしれない。この放出源を検証し特定するために、さらに観測が必要である。スイスと英国の両国は、UNFCCCへの国別報告の一部としてトップダウンの情報を含めている[22]。

全球の大気中メタン濃度は増え続けているが、自然及び人為起源の放出源の両方に対する全球の増加率の変動とその原因については十分理解されていない。過去の研究では、石油・天然ガスの供給プロセスからのメタン排出量の様々な推定値が報告されており、この産業全体からの温室効果ガス排出量について対立する主張が生まれた。広範囲の大気採取に基



(a)はスイスの逆解析を行う前の排出量インベントリの空間分布を示す。(b)は逆解析を行った後の放出量を示す。(c)と(d)は絶対的及び相対的な差(逆解析後-逆解析前)を示す。観測地点(X印)に近い場所では高解像度となり、離れた場所では粗い解像度となる変則的な逆解析格子を使用した。([21]から抜粋)



吸収・放出量の30日間の合計推定値を6時間毎の4つの時間帯で示した。人為起源の排出(赤)、生物起源の吸収・放出量(緑)、合計値(青)。白抜きが逆解析前の推定値、塗りつぶしが逆解析後の推定値を示す。午前及び午後時間帯における不確か性の縮小が明らかである。([26]から抜粋)

ついたトップダウンの推定値は、排出源ベースの排出量インベントリに基づいたボトムアップの推定値より大きいことが多い。環境保護基金(Environmental Defense Fund)と米国海洋大気庁(NOAA)が主導した取り組み[23]では、米国のある主要な天然ガス生産地域において繰り返し行った測定とデータ統合技術を用いたトップダウンとボトムアップのメタン推定排出量が一致している。この手法の成功に基づき、IG³ISは、石油・天然ガスの供給プロセスからのメタン排出源を明らかにする際に、高い信頼性と精度を世界中に広めることが可能な原型を作成して、標準的な手法を改良していくことを意図している。大量排出域の細部を特定し量化することができれば、廃棄物処理や農業からのメタン排出と同様に、石油・天然ガスシステム事業者にとって新たな緩和の機会の指針となるであろう。

パリ協定のリマ・パリ行動アジェンダは、化石燃料による二酸化炭素(CO₂)排出量の70%以上を占める都市(広域の都市域排出源)等、国以外の主体の役割を規定した。いくつかの研究において、大気観測ネットワークと高解像度の逆解析モデル

を使った解析により、都市におけるGHGの排出量とトレンドの定量化の改善の可能性が示された[24, 25]。化石燃料起源のCO₂(FFCO₂)の場合、大気の逆解析の要件はより厳しい。しかし、十分に高密度で適切に配置された観測ネットワークと排出源に関する空間的に明確な先験情報を組み合わせたモデルによる逆解析により、都市域でのFFCO₂排出量のより良い定量化ができる証拠がある[26](本ページの下図を参照)。都市からのFFCO₂排出量合計のトレンドは有用だが、都市計画立案者及び管理者にとって排出削減機会を得るための分野ごとの情報が必要となる。観測システムのシミュレーション実験を利用した最近の研究では、低コストかつ中程度の精密測定を行うより高密度な観測ネットワーク(パリで30~70地点)が、都市域の排出量に関する分野ごとの空間的に明確な情報を作成できることを示した[27]。都市域の広範な排出源と自然の陸域からの放出量について不十分なボトムアップの統計情報しか持たないであろう新興国では、上述のような、大気の逆解析手法が特に有用な情報源となることが判る。

増加した(図1)。2015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は、二酸化炭素等価換算濃度(モル分率)で485 ppmに相当する[9]。

二酸化炭素(CO₂)

二酸化炭素は、大気中で人間活動から排出される温室効果ガスの中で最も影響が大きく、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力全体の約65%⁽⁵⁾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81%、最近5年間で見ると約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。大気中の二酸化炭素濃度は、2015年に工業化以前の144%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(2014年の両者の二酸化炭素排出量合計は炭素換算で98±5億トン)及び森林伐採とその他の土地利用変化(2005年から2014年までの平均で9±5億トン[7])からの放出による結果である。2005年から2014年までの大気中の二酸化炭素の平均増加量は、人間活動によって放出された二酸化炭素量のうち約44%に相当し、残りの約56%は海洋や陸上生物圏によって除去された。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。

二酸化炭素の2015年の世界平均濃度は400.0±0.1ppmである(図3)。2014年から2015年までの年平均値の増加量は2.3ppmであり、これは2013年から2014年までの増加量や、最近10年の平均年増加量(約2.08 ppm/年)よりも大きい。2015年の増加量がそれ以前に比べて大きくなったのは、直近のエルニーニョ現象に関連した二酸化炭素の自然放出が大きかったためである。

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17%⁽⁵⁾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(反芻動物、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。人為的な排出が増加した結果、大気中のメタンの濃度は工業化以前の約722ppbの256%に達した。2015年の現場観測による世界平均濃度は、解析開始以来の最高値を更新する1845±2ppbであり、前年から11ppb増加した(図4)。年増加量は、1980年代はじめの約13ppb/年から減少し、1999年から2006年の間はほぼゼロだった。2007年以降は再び大気中のメタン濃度が増加している。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その原因である可能性が高い。

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%⁽⁵⁾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などを含んでいる。一酸化二窒素の2015年の世界平均濃度(モル分率)は328.0±0.1ppbであり、前年から1.0ppb増加して(図5)、工業化以前(270ppb)の121%となった。2014年から2015年までの増加量は、最近10年間の平均年増加量(0.89ppb/年)よりも大きい。この濃度増加は、農業における肥料の使用の増加と、大気汚染物質由来の大気中窒素が過剰に沈着することにより、土壌からの一酸化二窒素放出が増加したことが原因である可能性が高い。

他の温室効果ガス

六フッ化硫黄(SF₆)は、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器具の電気絶縁体として使われている。現在の大気中の濃度は1990年代半ばに比べて倍増した(図6(a))。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、他のハロゲン化合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12%⁽⁵⁾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

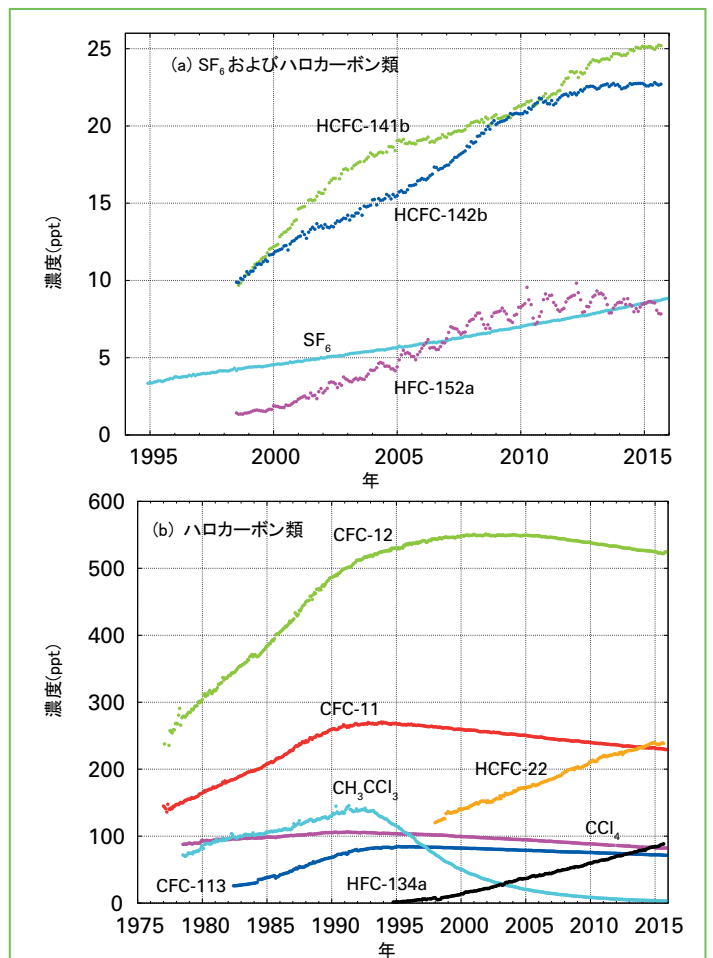


図6 六フッ化硫黄を含むハロゲン化合物類の月平均濃度 (a)六フッ化硫黄及び低濃度のハロカーボン類、(b)高濃度のハロカーボン類

全球解析に使用した地点数は次のとおり。SF₆(24)、CFC-11(23)、CFC-12(24)、CFC-113(23)、CCl₄(21)、CH₃CCl₃(24)、HCFC-141b(10)、HCFC-142b(14)、HCFC-22(14)、HFC-134a(10)、HFC-152a(9)。

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(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⁽⁷⁾の水準)、比較的急速に増加している。

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(O₃)はこれ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。その他多くの汚染物質(一酸化炭素(CO)、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(粒子状浮遊物質)も、放射収支に影響する短寿命の物質である。このようなガス及びエアロゾルも、WMO加盟の各国や協力する観測網から支援を受けて、GAW計画に基づいて監視されている。

謝辞とリンク

WMO加盟の51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。GAWに提供されている観測データの約46%がNOAA地球システム研究所(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.206(<http://www.wmo.int/gaw> から入手可)[28]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(<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/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(<https://gawsis.meteoswiss.ch>)にも掲載されている。

参考文献

- [1] NOAA ESRL, 2016: Multivariate ENSO Index (MEI), <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>.
- [2] NOAA, 2016: August marks ongoing trend of recordbreaking heat for the globe, <http://www.noaa.gov/news/august-marks-ongoing-trend-of-record-breaking-heat-for-globe>.
- [3] Dlugokencky, E. and P. Tans, 2016: NOAA/ESRL, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- [4] Betts, R.A. et al., 2016: El Niño and a record CO₂ rise. *Nature Climate Change*, 6(9):806–810, doi:10.1038/nclimate3063.
- [5] Stocker, T.F. et al., 2013: Technical Summary. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Stocker, T.F., D. Qin et al., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, United States.
- [6] Giglio, L., J.T. Randerson and G.R. van der Werf, 2016: Global Fire Emissions Database, www.globalfiredata.org.
- [7] Le Quéré, C. et al. 2015: Global carbon budget 2015. *Earth System Science Data*, 7(2):349–396, doi:10.5194/essd-7-349-2015.
- [8] Butler, J.H. and S.A. Montzka, 2016: The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- [9] NOAA ESRL, 2016: NOAA's Annual Greenhouse Gas Index, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>.
- [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. *J. Geophys. Res.*, 99:22831–22855.
- [11] WMO, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Centre for Greenhouse Gases* (Y. Tsutsumi, K. Mori, et al.). GAW Report No. 184 (WMO/TD-No. 1473). Geneva, 29 pp, https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD_1473_GAW184_web.pdf.
- [12] Berg, A. et al. 2016: Land–atmosphere feedbacks amplify aridity increase over land under global warming. *Nature Climate Change*, 6(9):869–874, doi:10.1038/nclimate3029.
- [13] Frölicher, T.L., 2016: Climate Response: Strong warming at high emissions. *Nature Climate Change*, 6(9):823–824, doi:10.1038/nclimate3053.
- [14] DeConto R.M. and D. Pollard, 2016: Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, 531:591–597, doi:10.1038/nature17145.
- [15] IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer, eds.). IPCC, Geneva, 151 pp.
- [16] National Academy of Science, 2010: *Verifying Greenhouse Gas Emissions: Methods to Support International Climate Agreements*. The National Academies Press, Washington, D.C., doi: 10.17226/12883.
- [17] Ciais, P. et al., 2010: *GEO Carbon Strategy*. GEO Secretariat, Geneva/FAO, Rome, 48 pp.
- [18] IPCC, 2010: *Expert Meeting on Uncertainty and Validation of Emission Inventories* (H.S. Eggleston, J. Baasansuren, K. Tanabe and N. Srivastava, eds.). Meeting Report of the Expert Meeting on Uncertainty and Validation of Emission Inventories, Utrecht, Netherlands, 23–25 March 2010, Pub. IGES, Japan.
- [19] IPCC, 2006: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- [20] WMO, 2016. Integrated Global Greenhouse Gas Information System (IG³IS), <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/IG3IS-info.html>.
- [21] Henne, S. et al., 2016: Validation of the Swiss methane emission inventory by atmospheric observations and inverse modelling. *Atmos. Chem. Phys.*, 16:3683–3710, www.atmoschem-phys.net/16/3683/2016/.
- [22] http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/9492.php.
- [23] Zavala-Araiza et al., 2015: Reconciling divergent estimates of oil and gas methane emissions. *PNAS*, 112(51):15597–15602, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1522126112.
- [24] Lauvaux, T. et al., 2016: High-resolution atmospheric inversion of urban CO₂ emissions during the dormant season of the Indianapolis Flux Experiment (INFLUX). *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2015JD024473.
- [25] McKain, K. et al., 2015: Methane emissions from natural gas infrastructure and use in the urban region of Boston, Massachusetts. *PNAS*, 112(7):1941–1946, doi:10.1073/pnas.1416261112.
- [26] Bréon, F.M. et al., 2015: An attempt at estimating Paris area CO₂ emissions from atmospheric concentration measurements. *Atmos. Chem. Phys.*, 15:1707–1724, <http://www.atmos-chemphys.net/15/1707/2015/acp-15-1707-2015.html>.
- [27] Wu, L. et al., 2016: What would dense atmospheric observation

networks bring to the quantification of city CO₂ emissions? *Atmos. Chem. Phys.*, 16:7743–7771.

<http://www.atmos-chem-phys.net/16/7743/2016/acp-16-7743-2016.html>.

[28] WMO, 2012: *16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT-2011)*. Wellington, New Zealand, 25–28 October 2011 (G. Brailsford, ed.). GAW Report No. 206. Geneva.

連絡先

世界気象機関 研究部大気環境研究課(ジュネーブ)

E-mail: gaw@wmo.int

Web site: <http://www.wmo.int/gaw>

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

Web site: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/jp/>

- (1) ppmは乾燥した空気分子100万個中の当該ガスの分子数
- (2) 炭素換算で10億トン(10¹⁵ g)は1 PgC(ペタグラムカーボン)とも表記される。
- (3) 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。
- (4) ppbは乾燥した空気分子10億個中の当該ガスの分子数
- (5) ここでいう比率は、1750年以來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。
- (6) Ggはギガグラム(10⁹グラム)
- (7) pptは乾燥した空気分子1兆個中の当該ガスの分子数

(訳注1) 本年報では、顕著なエルニーニョ現象に着目しているため、2014年から2016年のエルニーニョ現象については、現象が顕著となった2015年に発生したものとして記述されている。

(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平方メートルあたりのワット数(W/m²)で表す。

排出インベントリ:大気中に排出される人為起源および自然起源の大気微量成分の量を推計しデータベース化したもの。

日本語訳について

この WMO 温室効果ガス年報第 12 号(気象庁訳)は、WMO が 2016 年 10 月 24 日に発行した WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 12 を気象庁が翻訳したものである。



気象庁 地球環境・海洋部 環境気象管理官
温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)
〒100-8122 東京都千代田区大手町 1-3-4
電話: 03-3212-8341(代表)
E-mail: wdcgg@met.kishou.go.jp

今回紹介する温室効果ガス観測所



ケープグリム・ベースライン大気汚染観測所(40.68°S, 144.69°E, 海拔94m)は、十分な機能を果たしているWMO GAW 全球観測所である。この観測所はオーストラリア・タスマニア島の北西端の海岸沿いの崖の上にある。南西からの卓越風が南極海の上を横断してくるため、長期間にわたり陸や人為的排出源の影響をほとんど又は全く受けることがなく、南半球中緯度におけるベースライン観測にとって絶好の場所となっている。また、北風(メルボルン市上空を經由)や南東風(農業地域を經由)の周辺環境の影響を一時的に受けた空気をサンプリングすることもある。この観測所はオーストラリア気象局(BoM)によって運営され、BoMとオーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO)が共同で運営する科学プログラムに従う。協力機関にはオーストラリア原子力科学技術機構とウーロンゴン大学のほか、いくつかの国際組織や観測計画も含まれる。科学プログラムには、微粒子及び多相大気化学、スペクトル分光と放射、オゾン・反応性ガス、二酸化炭素とその安定同位体、CO₂以外の温室効果ガス、空気アーカイブ、ラドンも含まれる。この観測所は1976年に開設され、2016年には40年にわたる観測とその科学的な功績が祝われる。



コシェイツェ観測所(49.58°N, 15.08°E, 海拔534m)はチェコ水文気象研究所によって運営されている。この観測所はボヘミア・モラヴィア高地にある人口密度の低い田園地域にある。この観測所は1988年に、チェコの地域レベルでの環境質の監視と研究に特化した観測所として設立された。大気質(窒素酸化物、オゾン、二酸化硫黄、メタン、一酸化炭素、揮発性有機化合物(VOCs)、多環芳香族炭化水素(PAHs)、降水化学)、一部のエアロゾルや気象要素の観測を重点的に行っている。1996年からはガスクロマトグラフを用いてメタンの連続観測を実施している。この観測所は現在、欧州の統合炭素観測システム(ICOS)の観測ネットワークに参加しており、最新の装置で二酸化炭素とメタンを測定している。