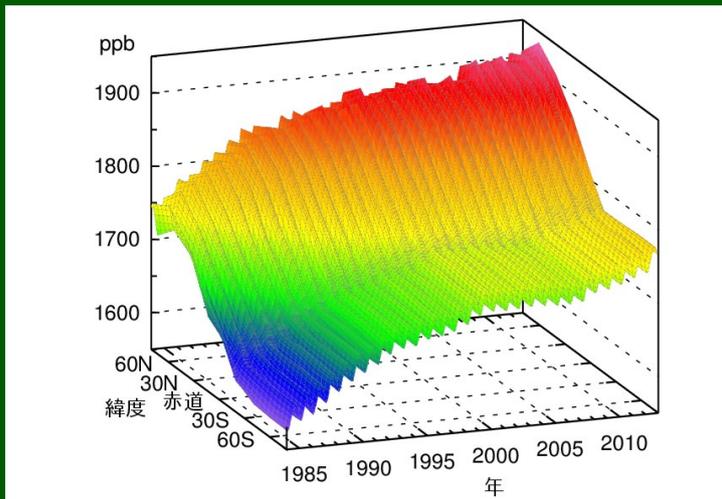




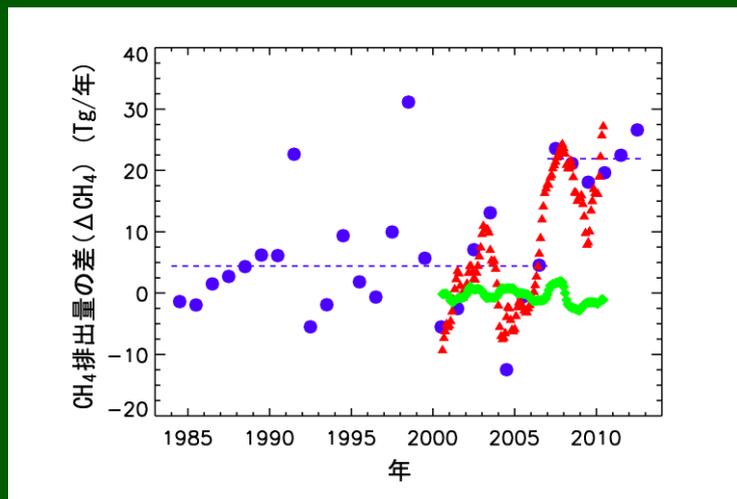
WMO (気象庁訳) 温室効果ガス年報

2012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9号 | 2013年11月6日



左側の図は、WMO全球大気監視(GAW)観測所における観測データから内挿された緯度帯別の大気中のメタン(CH₄)の分布である。大気中のメタンは、1999年から2006年までほぼ一定の状態が続いた後、2007年に再び増加し始めた。世界全体の排出量は、観測された大気中のメタンの量と増加速度と、メタンの大気中での寿命の推定値(9年程度)を組み合わせることで計算することができる。右側の図の青丸は2003年から2005年の平均排出量からの排出量の差(Δ CH₄)をプロットしており、青い点線は1984年から2006年と、2007年から2012年のそれ



ぞれの平均値を示している。1984年から2006年にかけての排出量は激しく変動しつつも、1991年と1998年を除けば、常に2007年から2012年よりも低い。化学輸送モデルによって求められた月平均の排出量の差(単位はTg CH₄/年:(注)メタンの重さで10⁶トン/年)を、全球(赤)と北極域(緑)について示す(Bergamaschi, et al., 2013)。このデータ解析は、2007年以降の大気中メタンの増加に、熱帯と北半球中緯度からの排出が寄与しており、北極域からのメタンの排出量はまだ目に見えて増加していないことを示している。

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、2012年の二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)の世界平均濃度は、それぞれ、393.1±0.1 ppm^[2]、1819±1 ppb^[3]、325.1±0.1 ppbとなり、これまで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141%、260%、120%である。2011年から2012年にかけての二酸化炭素の濃度増加量は過去10年間の平均増加量よりも高い値である。一酸化二窒素の2011年から2012年の増加量は、2010年から2011年にかけての増加量よりも少ないが、最近10年の平均増加量よりも大きくなっている。大気中のメタンは引き続き増加しており、最近4年間の傾向とほぼ同じである。米国海洋大気庁(NOAA)年次温室効果ガス指標

(Annual Greenhouse Gas Index)によると、1990年から2012年までに、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力は32%増加しており、二酸化炭素がそのうちの約80%を占める。

概要

このWMO/GAWの温室効果ガス年報第9号は、長寿命の温室効果ガス(LLGHGs)の中で最も影響の大きい、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)及び一酸化二窒素(N₂O)の大気中の濃度と変化を報告するとともに、これら以外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%^[4]をもたらしている(図1)。

WMO/GAW計画(<http://www.wmo.int/gaw/>)は、温室効果が

ス及びその他の微量成分を含む大気組成の組織的観測及び解析をとりまとめている。過去10年間の温室効果ガス監視地点を図2に示す。2012年中にこの観測地点数は減少した。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。

主な3種の長寿命温室効果ガスの2012年の大気中濃度の世界平均と、2011年及び1750年からの濃度変化を表1に示す。この結果は、WMO世界標準に準拠して観測されたデータセット(WMO, 2009)をもとにした解析によって得られた。移動観測によるデータは、図2で太平洋に青い三角で示す米国海洋大気庁(NOAA)の観測によるものを除き、この解析に使っていない。

表1にまとめられている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理解が必要である。

2012年のNOAA年次温室効果ガス指標(AGGI)は1.32で、長寿命の温室効果ガスによる(1750年を基準とする)放射強制力の総計は、1990年以降2012年までに32%、2011年からは1.2%増加した(図1)。全ての長寿命温室効果ガスによる放射強制力の合計は、CO₂等価換算濃度(モル分率)で475.6 ppmに相当する(<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>)。

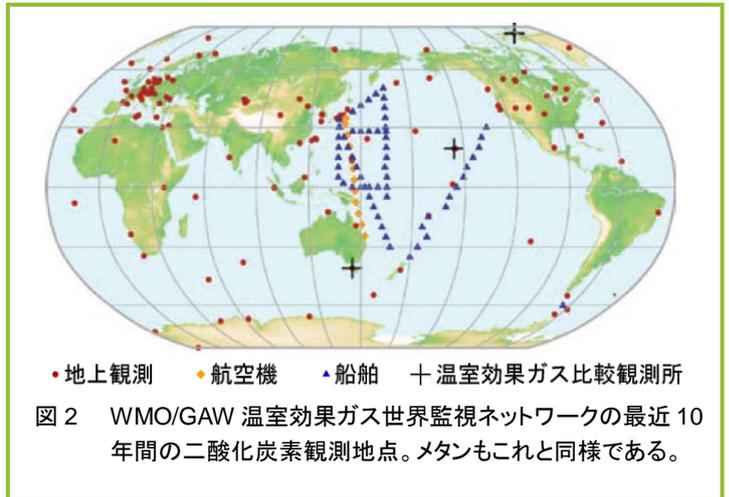


図2 WMO/GAW 温室効果ガス世界監視ネットワークの最近10年間の二酸化炭素観測地点。メタンもこれと同様である。

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64%^[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84%、最近5年間で見ると82%が二酸化炭素の効果による。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は2012年に、工業化以前の141%に達した。これは、主として化石燃料の燃焼による放出 (<http://www.globalcarbonproject.org/>) によれば、2011年の化石燃料の燃焼による排出合計は炭素換算で年に95±5億トン^[1]及び森林伐採とその他の土地利用変化(2011年に9±5億トン)によるものである。大気中の二酸化炭素の増加量は、化石燃料の燃焼によって放出された二酸化炭素量のうち平均して約55%に相当する。残りの約45%は海洋や陸上生物圏によって大気中から除去されてきた。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(airborne fraction)は、二酸化炭素吸収源の自然の変動によって年々変動し、世界全体での変動傾向は確認されていない。二酸化炭素の2012年の世界平均濃度は393.1±0.1 ppmである(図3)。2011年から2012年にかけての年平均増加量は2.2 ppmであり、これは2010年から2011年にかけての増加量や、1990年代の平均(約1.5 ppm/年)、最近10年の平均増加量(2.0 ppm/年)よりも大きい。

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18%^[4]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、人間活動(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。人間活動による排出の増加により大気中のメタンの濃度は、工業化以前の約700 ppbの260%に達した。メタンの2012年の世界平均濃度は過去最高値を更新する1819±1 ppbであり、前年から6 ppb増加した(図4)。メタン濃度は、1980年代前半に約13 ppb/年で増加したもののその後は鈍化し、1999年から2006年までほとんど増加しなかった。2007年以降は熱帯と北半球中緯度からの排出によって再びメタン濃度が増加してい

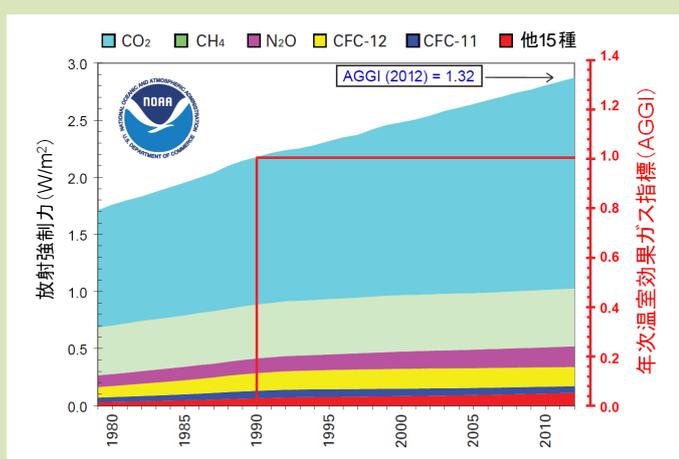


図1 長寿命の温室効果ガスによる放射強制力(1750年を基準)の経年変化と2012年のNOAA年次温室効果ガス指標(AGGI)。

表1は、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世界平均濃度と増加量。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。

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
世界平均濃度(2012年)	393.1±0.1 ^[5] ppm	1819±1 ^[5] ppb	325.1±0.1 ^[5] ppb
1750年と比較した存在比*	141%	260%	120%
2011年から2012年の増加量	2.2 ppm	6 ppb	0.9 ppb
2011年からの増加分の比率	0.56%	0.33%	0.28%
世界平均濃度の最近10年間の平均年増加量	2.02 ppm/年	3.7 ppb/年	0.80 ppb/年

* 工業化以前の濃度を、二酸化炭素(CO₂)は278 ppm、メタン(CH₄)は700 ppb、一酸化二窒素(N₂O)は270 ppbと仮定した。

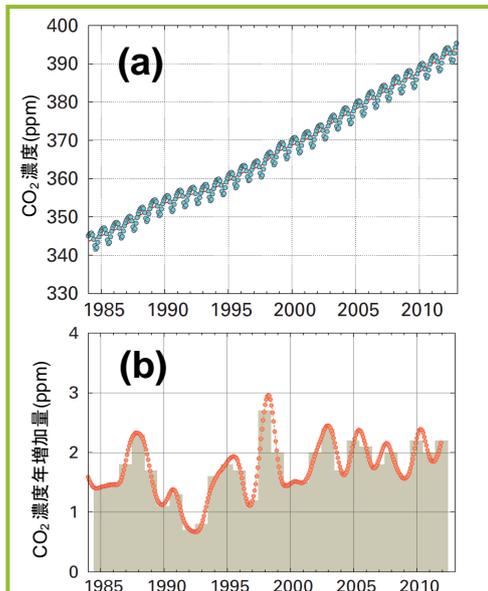


図3 二酸化炭素の1984年から2012年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の棒グラフは前年からの濃度差。

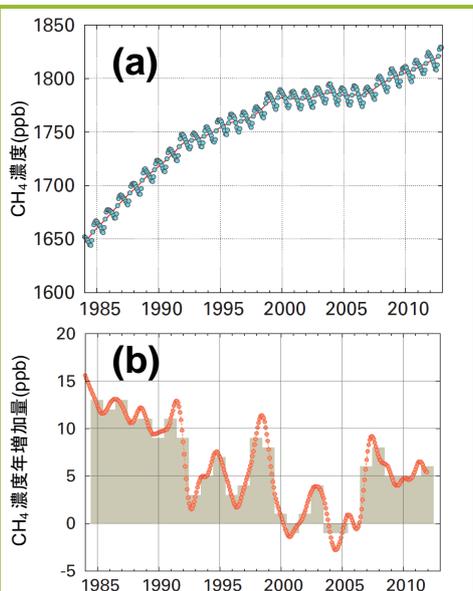


図4 メタンの1984年から2012年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の棒グラフは前年からの濃度差。

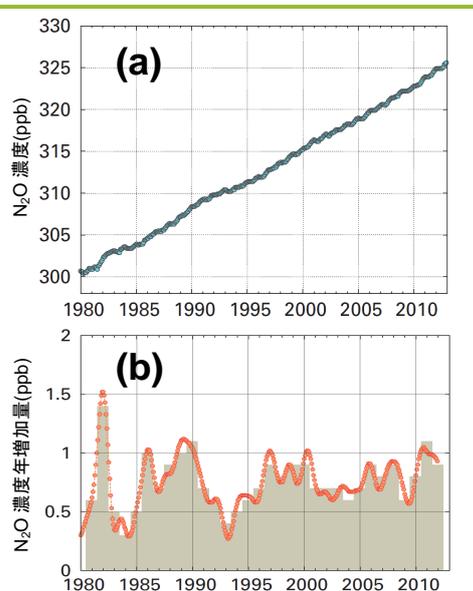


図5 一酸化二窒素の1980年から2012年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の棒グラフは前年からの濃度差。

る。現在の観測網は地域や生成過程ごとの排出量を特定するには不十分であり、最近のメタン濃度の増加傾向について人為起源か自然起源かを特定することは難しい。

一酸化二窒素(N₂O)

一酸化二窒素の濃度増加による放射強制力は、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、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む、自然起源(約60%)と人間活動(約40%)の両方から放出される。一酸化二窒素の2012年の世界平均濃度(モル分率)は325.1±0.1 ppbであり、前年から0.9 ppb増加して(図5)、工業化以前(270 ppb)の120%である。2011年から2012年にかけての増加は、最近10年間を平均した年増加量0.80 ppb/年よりも大きい。

他の温室効果ガス

六フッ化硫黄(SF₆)は、長寿命の強力な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。大気中の濃度は1990年代半ばに比べて倍増した(図6)。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、放射強制力全体の約12%^[4]をもたらしている。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)類は、今のところ量は少ないものの急

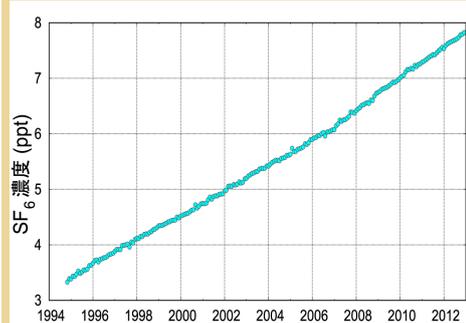


図6 六フッ化硫黄の1995年から2012年までの月平均濃度(20か所の観測所の測定による)

速に増加している(ppt^[6]の程度、図7)。

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)はこれらに比べてあまり寿命が長くないが、ハロカーボン類に匹敵する温室効果がある。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、わずかに直接的、あるいは間接的に放射強制力に影響する。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計画に基づいて観測されている。

年報の配布

温室効果ガス年報は、気象庁が運営する温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)とGAW温室効果ガス科学諮問部会の協力のもと、NOAA地球システム研究所(NOAA/ESRL)の支援を得て、世界気象機関(WMO)事務局が作成・配布している。過去に発行されたものも含め、以下に記載したGAW計画、WDCGGのウェブサイトから取得可能である。

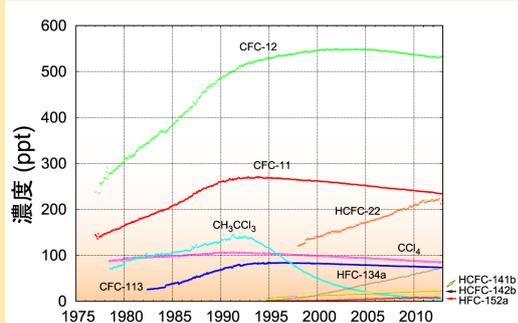


図7 主なハロカーボン類の1977年から2012年までの月平均濃度(7~19か所の観測所の測定による)

謝辞とリンク

WMO加盟の50カ国がGAWのWDCGG に二酸化炭素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47%がNOAAの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)を参照されたい。GAWに協力する観測ネットワークであるAdvanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE)も本年報に観測データを提供している。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(<http://gaw.empa.ch/gawsis/>)にも掲載されている。

参考文献

- Bergamaschi, P., Houweling, S., Segers, A., et al.: Atmospheric CH₄ in the first decade of the 21st century: Inverse modeling analysis using SCIAMACHY satellite retrievals and NOAA surface measurements, *J. Geophys. Res.*, 118, 7350–7369, 2013, doi:10.1002/jgrd.50480
- Conway, T. J., Tans, P. P., Waterman, L. S., Thoning, K. W., Kitzis, D. R., Masarie, K. A. and Zhang, N. 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, 1994.
- Levin, I., Earth science: The balance of the carbon budget, *Nature*, 488, 35–36, 2012, doi:10.1038/488035a
- WMO, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Centre for Greenhouse Gases* (Y. Tsutsumi, K. Mori, T. Hirahara, M. Ikegami and T. J. Conway). GAW Report No. 184 (WMO/TD No. 1473), Geneva, 29 pp.

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: AREP-MAIL@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] 1 PgC = 炭素換算で10億トン

[2] ppmは乾燥した空気分子100万個中の当該ガスの分子数

[3] ppbは乾燥した空気分子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を計算したものである。

[5] 表示された誤差幅はConway et al., 1994にならってブートストラップ法で計算され、標準偏差の幅に相当する68%の信頼限界を持つ。

[6] pptは乾燥した空気分子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 平方メートルあたりのワット数 (W/m²) で表す。

日本語訳について

このWMO温室効果ガス年報第9号(気象庁訳)は、WMOが2013年11月6日に発行したWMO Greenhouse Gas Bulletin No. 9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



ロサ高原観測所
(45.93°N, 7.71°E, 海拔3480m) は、ヨーロッパで最も高い場所にあるGAW地域観測所のひとつであり、アルプスのイタリア側、マッターホルンの近くに位置

している。運営はイタリア国立天体物理研究所のトリノ研究所が担当する。都市や汚染地域から遠く離れ、植生のない山岳の厚い積雪の上で自由対流圏内にあり、温室効果ガスのバックグラウンド観測に適している。温室効果ガス(二酸化炭素とメタン)と対流圏オゾンは公的合資会社であるRSE社(Research on Energy System)により定期的に測定されている。二酸化炭素の観測期間は20年以上で最も長い(1989~1997年の採取観測と1993年以降現在までの連続観測あり)。

ニュージーランドのローダー大気研究観測所(45.038°S, 169.684°E, 海拔370m)は、GAW全球観測所である。この観測所は、ニュージーランド国立水圏大気研究所(NIWA)に所属して



いて、データの少ない南半球高緯度の清浄な環境で高品質の観測を行っている。ローダーでは専用のフーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)を使って、オゾン化学に関連する大気微量成分や、二酸化炭素の鉛直積算量を高精度に観測している。温室効果ガスの現地観測は、フラスコ採取やリモートセンシングの技術を使って継続的に実施される。この観測所の温室効果ガス観測は1990年から継続して実施されている。

(<http://www.niwa.co.nz/our-science/atmosphere/lauder>)