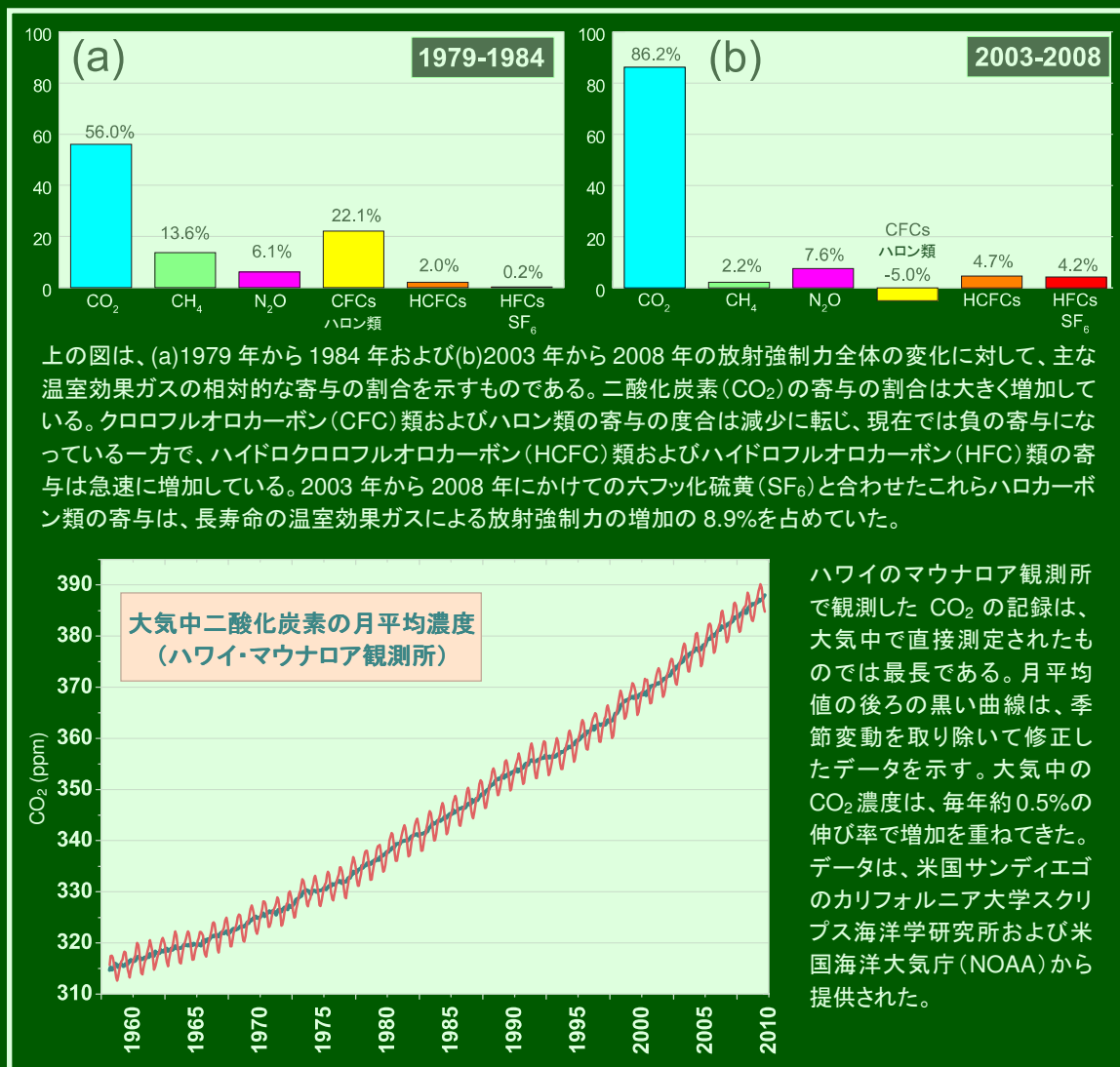


温室効果ガス年報(気象庁訳)

2008年12月までの世界の観測結果を用いた
大気中の温室効果ガスの状況

要旨

WMOの全球大気監視(GAW)計画から得た観測成果の最新の解析によると、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、2008年にいずれもこれまでの最高濃度を更新して、二酸化炭素で385.2 ppm、メタンで1797 ppb、一酸化二窒素で321.8 ppbに達した。これらの濃度は、工業化以前(1750年以前)の値より、それぞれ38%、157%、19%高い。二酸化炭素と一酸化二窒素の2008年の大気中の濃度増加量は、近年と変わっていない。2007年から2008年のメタンの濃度の増加量は7 ppbであり、その前年の増加量と同様であった。米国海洋大気庁(NOAA)温室効果ガス年指標(AGGI)によると、すべての長寿命の温室効果ガスによる放射強制力の合計は1990年から2008年までに26.2%増加した。ハロカーボン類を合わせた放射強制力は、一酸化二窒素の放射強制力のほぼ2倍である。オゾン層破壊物質に関するモントリオール議定書による排出削減の結果、ハロカーボン類の中には緩やかに減少しているものがあるが、それ以外は急速に増加している。

WMO
世界気象機関第5号
2009年11月23日

Global Atmosphere Watch 全球大気監視

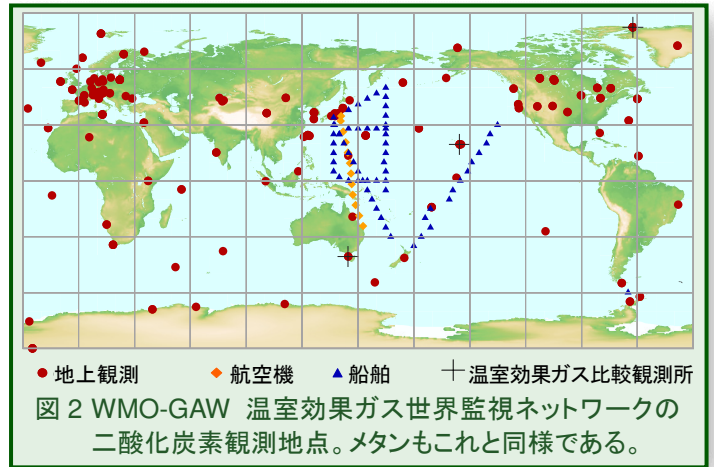


概要

この報告は、WMO-GAW 温室効果ガス年報の第 5 号である。毎年、本年報では、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(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)、CFC-12 および CFC-11 の最近の変化と大気に及ぼす影響に関し世界的に見解が一致していることを報告するとともに、これらより影響の少ない他の温室効果ガスの概要も報告する(図 1)。工業化時代の始まり(およそ 1750 年)以降の長寿命の温室効果ガスの濃度変化による放射強制力増加の約 96%が上記 5 種類のガスによるものである。

世界気象機関(WMO)全球大気監視(GAW)計画は、温室効果ガスおよびその他の大気中の微量成分の組織的な観測および解析を調整している。GAW の二酸化炭素およびメタンの観測網は、全球気候観測システム(GCOS)による総合的な観測網の一端を担っている。温室効果ガスを監視している地点を図 2 に示す。観測データは、参加国から報告され、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(<http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg>)。

主な 3 種の温室効果ガスの現在の世界平均の大気中濃度およびその変化量に関する解析結果を表 1 に示す。この結果は、WMO 世界標準に準拠した観測によるデータセットを使用した全球解析手法(<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/>



gaw/documents/TD_1473_GAW184_web.pdf)によるものである。移動観測点からのデータは、NOAA フラスコサンプリング観測によるものを除き、全球解析には使っていない。

表 1 に示す 3 種の温室効果ガスの大気中濃度は、工業化以降増加している。水蒸気は、最も影響の大きな温室効果ガスであるが、気候のフィードバックのみを通して人間活動と関係している。この年報では、人間活動から直接影響を受け、一般に水蒸気よりも長く大気に留まる温室効果ガスを中心に記述する。3 種の主な温室効果ガスは、人間活動と密接につながっているばかりでなく、生物や海洋と強い相互作用を持っている。大気中の化学反応も温室効果ガス濃度に影響する。大気中の温室効果ガスの将来予測には、多種にわたる排出・吸収過程に関する理解が必要である。

米国海洋大気庁(NOAA)温室効果ガス年指標(AGGI)によると、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力の 2008 年の総計は、1990 年以降に 26.2%、2007 年からは 1.3%それぞれ増加した(図 1、<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi>)。

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、放射強制力全体の 63.5%⁽²⁾を担っている。しかしながら、放射強制力の増加に対し、最近 10 年間は 85%、最近 5 年間では 86%にそれぞれ寄与している。工業化以前の約 1 万年の間、大気中の二酸化炭素濃度は約 280 ppm でほぼ一定であった(ppm は乾燥した空気分子 100 万個中の温室効果ガスの分子数)。二酸化炭素の濃度は、大気、海洋および生物圏の間の炭素交換のバランスで決まる。1750 年以来、大気中の二酸化炭素は 38%増加した。これは、主として化石燃料の燃焼による放出(2007 年には炭素換算で年に約 86.2 億トン)および森林破壊・土地利用変化(2000 年~2005 年に炭素換算で年に 5~25 億トン)によるものである。1958 年に始まった大気中の二酸化炭素の高精度での観測によると、大気中の二酸化炭素の増加量は、平均すると化石燃料の燃焼によって放出された二酸化炭素量の約 55%に相当する。その残りは、海洋や陸上生物によって大気中から除去される。二酸化炭素の 2008 年の世界平均濃度は 385.2 ppm であり、2007 年からの増加は 2.0 ppm であった(図 3)。この濃度増加は、1990 年代の平均(年に約 1.5 ppm)より大きく、主に化石燃料の燃焼による放出の増加による。

⁽²⁾ 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を計算したものである(<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi>)。

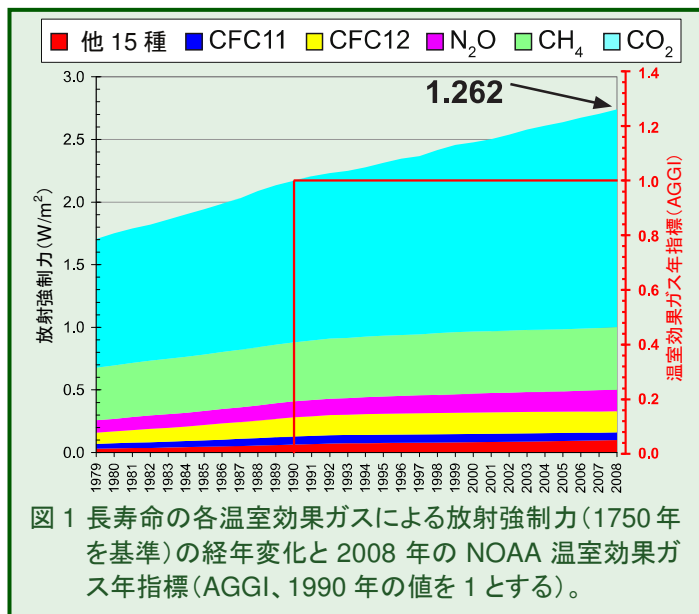


表 1 2008 年の主要な温室効果ガスの世界平均濃度と長期変化傾向(WMO-GAW 温室効果ガス世界監視ネットワークによる)。2008 年の平均濃度は、1 月から 12 月までの平均値として計算した。

	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppb)	N ₂ O(ppb)
世界平均濃度(2008 年)	385.2	1797	321.8
1750 年以降の増加分の比率 ⁽¹⁾	38%	157%	19%
2007 年と 2008 年の濃度差	2.0	7	0.9
2007 年からの増加分の比率	0.52%	0.39%	0.28%
最近 10 年間の世界平均濃度増加量	1.93	2.5	0.78

⁽¹⁾ 工業化以前の濃度を、二酸化炭素(CO₂)は 280ppm、メタン(CH₄)は 700ppb、一酸化二窒素(N₂O)は 270ppb と仮定した。

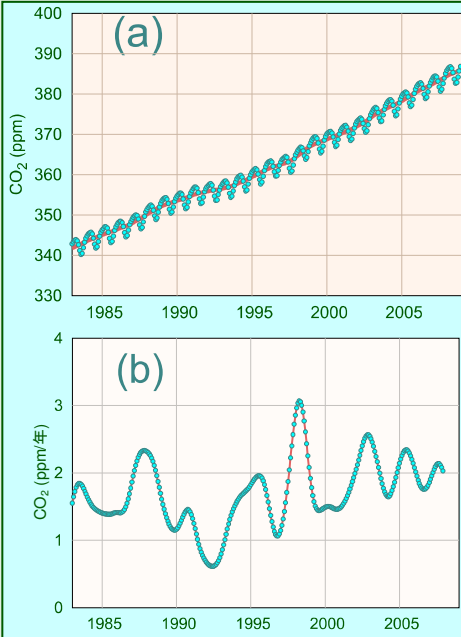


図3 二酸化炭素の1983年から2008年までの世界平均濃度(a)とその一年あたりの増加量(b)

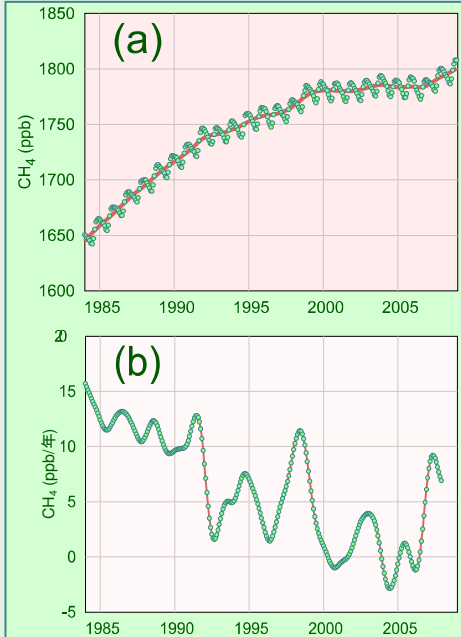


図4 メタンの1984年から2008年までの世界平均濃度(a)とその一年あたりの増加量(b)

メタン(CH₄)

メタンによる放射強制力は、全体の18.2%⁽²⁾を占める。メタンは自然(湿地やシロアリなど合計約40%)や人間活動(反芻動物、稲作、化石燃料採掘、埋立、バイオマス燃焼など合計約60%)によって大気中に放出され、主としてOHラジカルとの反応によって大気中から除去される。工業化以前、大気中のメタン濃度は約700 ppb (ppbは乾燥した空気分子10億個中の温室効果ガス分子数)であった。人間活動からの排出増加によりメタンの濃度は157%増加した。メタンの2008年の世界平均濃度は1797 ppbであり、2007年から7 ppb増加し、2007年に記録した最高値を上回った(図4)。メタンは、1980年代後半には最大で年に13 ppb増加していたが、最近10年間は増加が緩やかであった。2007年から2008年までの7 ppbの増加は、その前年の7 ppbの増加に引き続くもので、1998年以来最大の増加である。この2年間で14 ppbの増加からは、メタンが再び増加傾向に転じたかどうかははっきりしない。メタンの発生に影響する諸過程に対する理解向上のためには、発生地域の近くでもっと実測データを得る必要があろう。

一酸化二窒素(N₂O)

一酸化二窒素の増加による放射強制力は、全体の6.2%⁽²⁾を

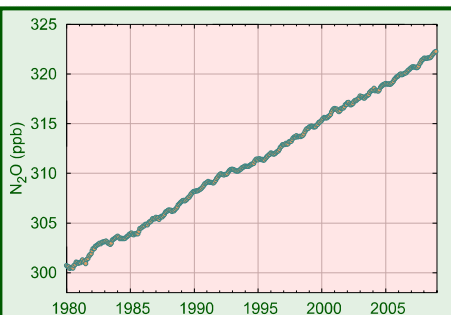


図5 一酸化二窒素の1980年から2008年までの月平均濃度

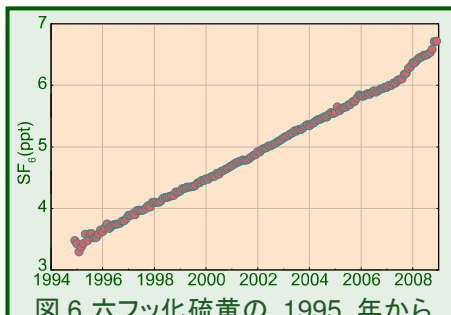


図6 六フッ化硫黄の1995年から2008年までの月平均濃度(観測所24か所の平均)

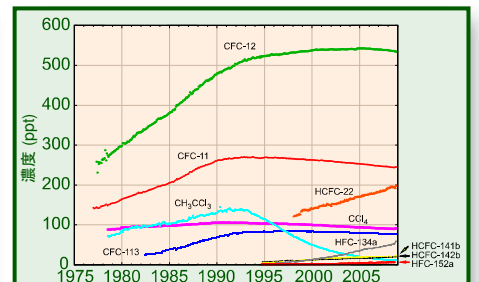


図7 主なハロカーボン類の1977年から2008年までの月平均濃度(観測所7~56か所の平均)

占める。工業化以前の大気中濃度は270 ppbであった。一酸化二窒素は、海洋、土壌、燃料やバイオマスの燃焼、施肥および各種工業過程など自然や人間活動から排出される。放出量全体の約40%は人間活動による。また、成層圏での光化学反応により大気中から除去される。一酸化二窒素の2008年の世界平均濃度は321.8 ppbであり、前年から0.9 ppb増加し、工業化以前に比べ19%高くなった(図5)。最近10年間の平均増加量は年に0.78 ppbである。

他の温室効果ガス

六フッ化硫黄(SF₆)は、京都議定書で規制される長寿命の強力な温室効果ガスである。六フッ化硫黄は、人工的に生産されて

配電器具の電気絶縁体として使われている。大気中の濃度は直線的に増加しており、1990年代半ばより倍増した(図6)。オゾンを破壊す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12%⁽²⁾の放射強制力をもたらしている。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、まだ量は少ないが急速に増加している(図7)。対流圏のオゾンはあまり寿命が長くないが、人間活動に伴う前世紀以来のオゾン増加による温室効果は、確実とは言えないもののハロカーボン類に匹敵する。対流圏のオゾンは、温室効果の点で重要であるが、分布が非常に偏っていることや時間による変動が大きいため、世界的な分布や変化傾向を推定することは困難である。

その他の汚染物質(一酸化炭素、窒素酸化物、揮発性有機物質など)の多くは、温室効果ガスとしては働かないものの、対流圏オゾン、二酸化炭素およびメタンに影響を及ぼすことで放射強制力に間接的な影響を持つ。ブラックカーボンを含むエアロゾル(浮遊粒子状物質)も、放射強制力に影響する短寿命の物質である。

このようなガスおよびエアロゾルは、WMO-GAWネットワークでの観測対象になっており、WMO加盟の各国や協賛する観測ネットワークから支援を得ている。

年報の配布

この年報は、気象庁の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 地球システム調査研究所の支援を得て、世界気象機関(WMO)事務局が作成・配布している。本年報は、GAW 計画のウェブページ (<http://www.wmo.int/gaw/>) のほか、WDCGG (<http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/>) および NOAA 炭素循環温室効果ガスグループ (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/>) の各ホームページからも取得可能である。

謝辞とリンク

WMO 加盟の 45 か国が気象庁の WDCGG へ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 50%が NOAA が支援する観測所で得られたものである。その他のネットワークも、オーストラリア、カナダ、中国、日本および多くのヨーロッパの国々によって維持されている (GAW レポート No.168 の国別報告書 http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/revised_SEPT_2009_GAW_186_TD_No_1487_web.pdf を参照)。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。本年報に用いられたデータを提供した WMO-GAW 観測所は、図 2 に示すとともに、WDCGG のウェブサイト (<http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/>) に一覧表で掲げる。また、スイスの EMPA が運営する GAWSIS (<http://gaw.empa.ch/gawsis/>) にも掲載されている。

連絡先

1. 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/>
2. 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://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/>

日本語訳について

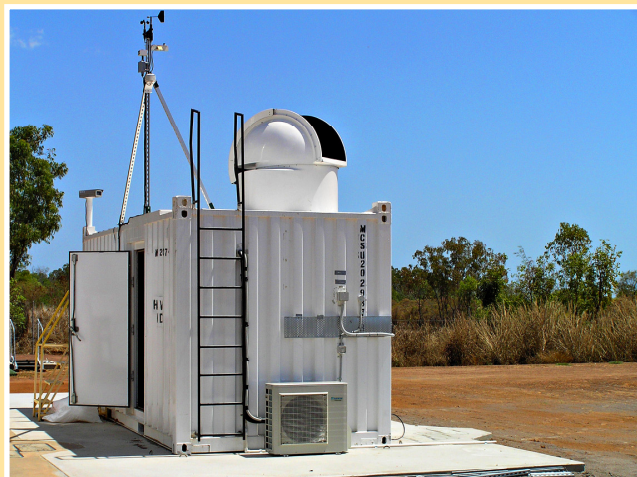
この WMO 温室効果ガス年報第 5 号(気象庁訳)は、WMO が 2009 年 11 月 23 日に発行した WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 5 を気象庁が翻訳したものである。

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)
2009 年 11 月 23 日 初版
〒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

(付録)年報中の主な用語

- OH ラジカル: ラジカルとは遊離基とも言い、酸素原子と水素原子からなる非常に不安定な分子。強い酸化力を持ち、反応性が非常に高い。
- 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/m^2) で表す。

今回紹介する温室効果ガス観測所



オーストラリア・ダーウィンの TCCON 観測所。Total Carbon Column Observing Network(TCCON)は、高精度のフーリエ変換分光器(FTS)の地上ネットワークであり、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素などのガスのカラム平均量を高品質に求めることができる。二酸化炭素のカラム全量観測は、TCCON 観測所上空での航空機による実測鉛直データとの比較を通じて WMO 校正スケールに関係づけられる。TCCON のデータは、鉛直輸送過程の影響を受けず、前方および後方解析モデルの検証に用いられる。このほか、GOSAT や SCIAMACHY のような衛星による二酸化炭素およびメタンのカラム全量観測の検証にも役立つ。TCCON は、2004 年に設立され、2009 年に GAW の協賛ネットワークに加わった。観測所の多くはまた、GAW と提携している Network for Atmospheric Composition Change (NDACC)にも参加している。TCCON は現在、北極近くのスピッツベルゲンからニュージーランドまで 13 か所の観測所で構成されている。詳しくは、TCCON のウェブサイト(<http://www.tccon.caltech.edu>)を参照。写真提供: David Griffith (オーストラリア・ウーロンゴン大学)



カーボヴェルデ大気観測所(サンヴィセンテ島)。2009 年に GAW 全球観測所になった。カーボヴェルデ気象地球物理局、英国ヨーク大学(<http://www.york.ac.uk/capeverde>)、ドイツ・マックスプランク生物地球化学研究所 (http://www.bgc-jena.mpg.de/projects/cape_verde) およびドイツ・ライプニッツ対流圏研究所の共同で運営されている。写真提供: Rene Schwabe (ドイツ・マックスプランク生物地球化学研究所)



米国カリフォルニア州トリニダード岬の大気化学観測所。2009 年に GAW 全球観測所になった。写真提供: Michael Ives (米国ハンボルト州立大学)