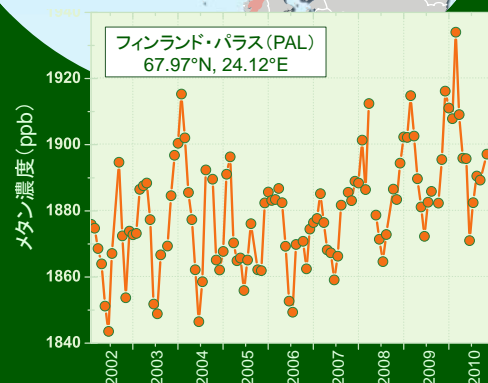
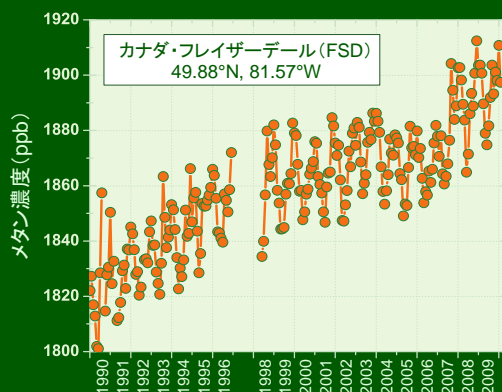
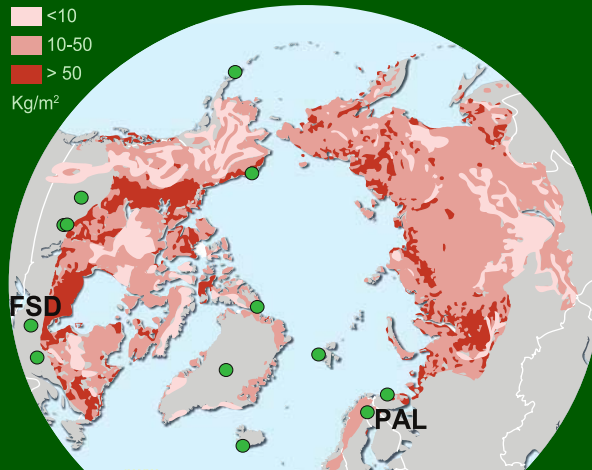


温室効果ガス年報(気象庁訳)

2009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

有機炭素を含む永久凍土は、メタンクラスレートとともに、北極地域に存在する大きな炭素貯蔵庫であるが、これらは気候の変化による影響を受けやすい。急速に温暖化が進んでいる北極地域は、このような炭素貯蔵庫から大気に多量のメタンが発生する可能性があり、その場合には気候を更に温暖化させる作用をもたらしかねない。右の地図は、北極地域の土壤に含まれる炭素量を示す(国連環境計画地球資源情報データベース(GRID)アレンダールの Riccardo Pravettoni 氏による。<http://maps.grida.no/go/graphic/arctic-soil-organic-carbon-content> 参照)。



全球大気監視 (GAW) 計画の観測ネットワークで得られた観測データによると、10年近く増加していなかったメタンが2007年から2009年にかけて世界的に増加している。北極地域のGAW観測所のうち、メタンの観測を行いデータをWMO温室効果ガス世界資料センター(<http://gaw.kishou.go.jp/wdceg/>)に報告しているものを地図上に緑丸で示す。そのうち2か所の観測所で得られたデータを上図に示す。いずれも地域的あるいはもっと広い範囲から発生したメタンの影響を受けたものである。左図で2007年にメタン濃度が急増したのは、観測所近くに大規模な湿地があることと局地的な気象の影響である。その一方で右図では同年の増加は比較的緩やかである。GAW計画に参加の各国は世界各地でメタン観測を拡充させつつあり、メタン発生に関係する様々な過程について科学的に理解を深めるのに寄与している。

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、2009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386.8 ppm、メタンで1803 ppb、一酸化二窒素で322.5 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%、158%、19%高い。二酸化炭素と一酸化二窒素の2009年の大気中の濃度増加量は、近年の傾向と大きく変わってはいないが2008年よりはやや小さかった。一方でメタンの濃度は、10年ほど増加していない期間が続いていたが最近3年間は増加している。メタン濃度が再び増加するようになった理由ははっきりしていないが、可能な要因の一つとして北半球高緯度や熱帯で自然の過程によりメタンが発生したのではと考えられている。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すべてによる放射強制力の合計は1990年から2009年までに27.5%増加しており、二酸化炭素による増加分はそのうち80%近くを占めている。ハロカーボン類をすべて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。



WMO
世界気象機関

第6号
2010年11月24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 6 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 及び CFC-11 の最近の変化とこれらが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、これらよりも影響の少ない他の温室効果ガスの概要も示す (図 1)。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) の全球大気監視 (GAW) 計画は、温室効果ガス及びその他の大気中の微量成分の組織的な観測及び解析を調整している。GAW の二酸化炭素及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。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 (<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及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 世界標準に準拠して観測された世界のデータセットを解析 (手法は GAW レポート No. 184 を参照。http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD_1473_GAW

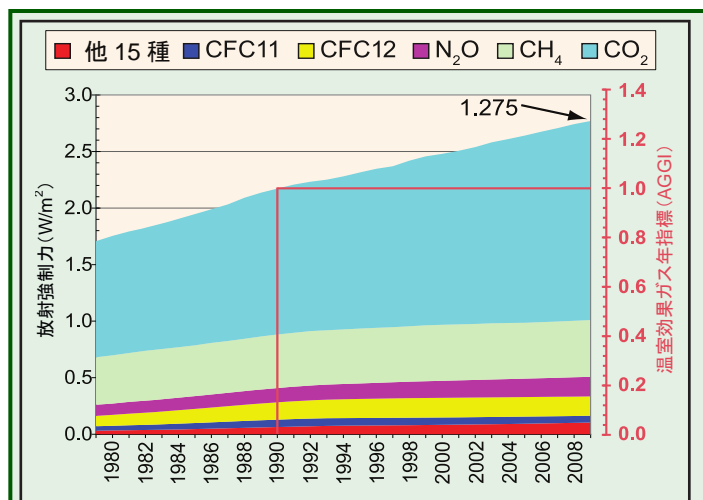


図 1 長寿命の温室効果ガスによる放射強制力 (1750 年を基準) の経年変化と 2009 年の NOAA 温室効果ガス年指標 (AGGI、1990 年の値を 1 とする)。

表 1 2009 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)。2009 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 (2009 年)	386.8	1803	322.5
1750 年以降の増加分の比率 ⁽¹⁾	38 %	158 %	19 %
2008 年と 2009 年の濃度差	1.6	5	0.6
2008 年からの増加分の比率	0.42 %	0.28 %	0.19 %
世界平均濃度の最近 10 年間の平均年増加量	1.88	2.2	0.77

⁽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。

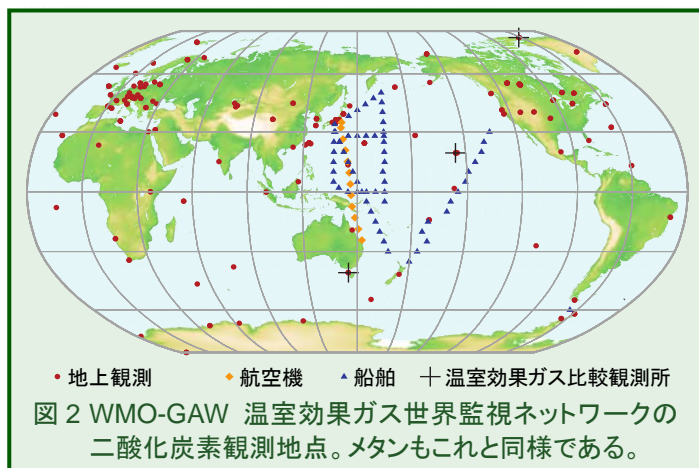


図 2 WMO-GAW 温室効果ガス世界監視ネットワークの二酸化炭素観測地点。メタンもこれと同様である。

184_web.pdf) したものである。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) フラスコ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。これらの温室効果ガスは、最も影響の大きな温室効果ガスである水蒸気とは異なり人間活動から直接影響を受けるとともに、一般に水蒸気よりも長く大気に留まる。また、人間活動と密接に関連しているばかりでなく、生物や海洋と強く相互作用する。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、多岐にわたる排出・吸収過程について理解することが必要である。

NOAA の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 2009 年の総計は、1990 年以降に 27.5%、2008 年からは 1.0%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、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力全体の 63.54%⁽²⁾を担っている。放射強制力の増加に対しては、最近 10 年間は 85%、最近 5 年間では 83%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、海洋及び生物圏の間の炭素交換のバランスで決まる。1750 年以降、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 (2008 年には炭素換算で年に約 87 億トン、<http://www.globalcarbonproject.org/>参照) 及び森林伐採・土地利用変化によるものである。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、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すると約 55%に相当する。残りの約 45%は海洋や陸上生物によって大気中から除去される。大気中の二酸化炭素量は年によって変動しているが、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 2009 年の世界平均濃度は 386.8 ppm であり、2008 年からの増加は 1.6 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) より大きい、最近 10 年の平均増加量よりは小さい。

⁽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>)。

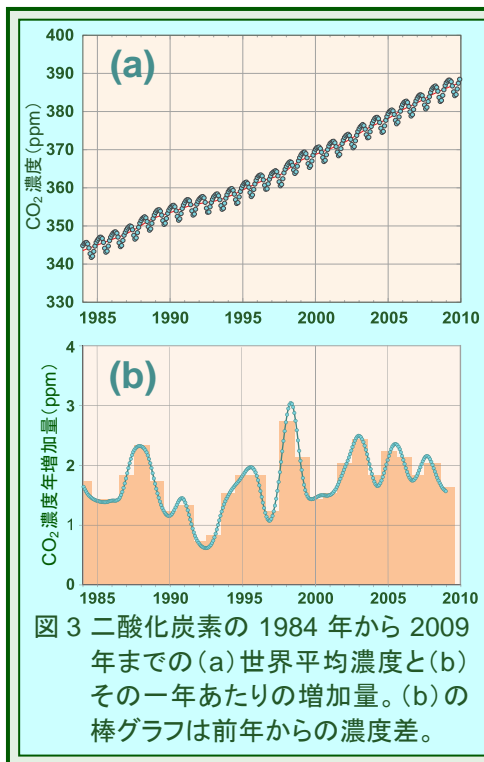


図3 二酸化炭素の1984年から2009年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の棒グラフは前年からの濃度差。

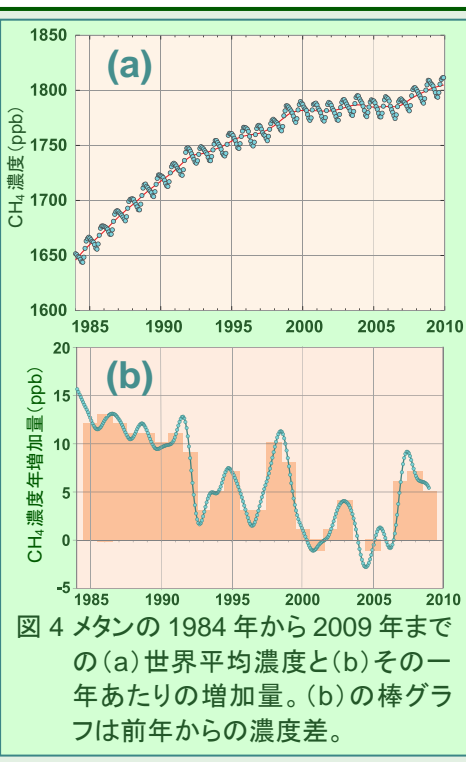


図4 メタンの1984年から2009年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の棒グラフは前年からの濃度差。

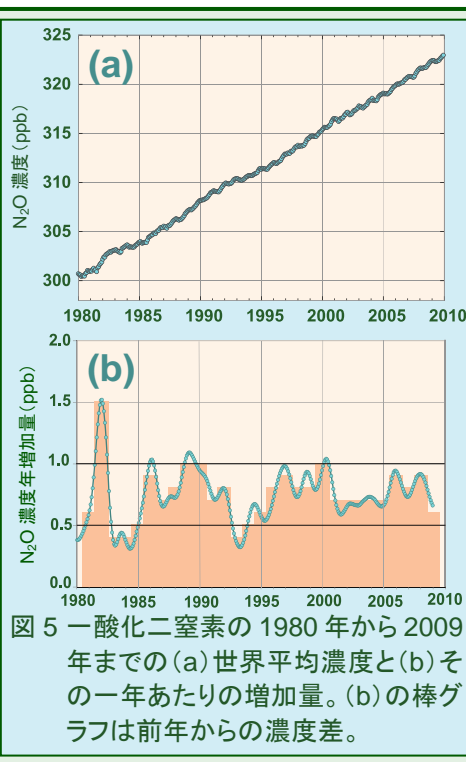


図5 一酸化二窒素の1980年から2009年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の棒グラフは前年からの濃度差。

メタン(CH₄)

メタンによる放射強制力は、全体の18.1%⁽²⁾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合計)であり、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)によるものは約60%である。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158%増加した。メタンの2009年の世界平均濃度は1803 ppbであり、2008年から5 ppb増加し、2008年に記録した最高値を上回った(図4)。メタンは、1980年代前半には最大で年に13 ppb増加していたが、1999年から2006年までほとんど増加しなかった。2007年からは再びメタン濃度が増加しており、2006年から2008年までに13 ppb増加したのに続いて2009年には5 ppb増加した。GAW観測ネットワークのデータを解析した研究によると、最近のメタン増加の推定要因として、2007年に異常高温のため北半球高緯度の湿地で、2007年から2008年にかけてラニーニャ現象に伴う多雨のため熱帯地域の湿地で、それぞれメタンが多く発生したことが示されている。しかしながら、最近のメタン濃度増加の理由は十分には分かっておらず、同様の増加傾向が今後も続くかどうかははっきりしていない。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のに加え、衛星による大気中メタンの観測も必要である。

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6.24%⁽²⁾を占める。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、バイオマスの

燃焼、施肥及び各種工業過程など自然や人間活動から放出される。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2009年の世界平均濃度は322.5 ppbであり、前年から0.6 ppb増加し(図5)、工業化以前に比べ19%高くなった。最近10年間平均の年増加量は0.77 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り、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1990年代半ばに比べて倍増した(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放射強制力全体の12%⁽²⁾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

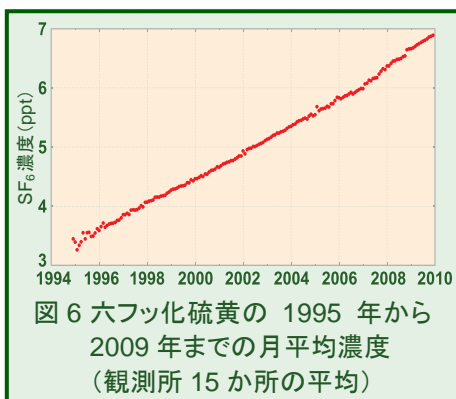


図6 六フッ化硫黄の1995年から2009年までの月平均濃度(観測所15か所の平均)

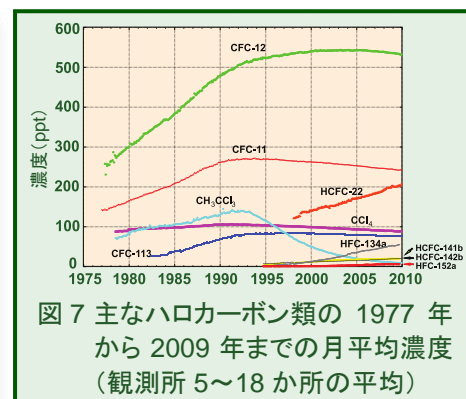


図7 主なハロカーボン類の1977年から2009年までの月平均濃度(観測所5~18か所の平均)

いもののハロカーボン類に匹敵する。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。

その他多くの汚染物質（一酸化炭素、窒素酸化物、揮発性有機物質など）は、温室効果ガスとして効果はないが、対流圏オゾン、二酸化炭素及びメタンに影響することで間接的に放射強制力に影響する。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。

このようなガス及びエアロゾルは、WMO 加盟の各国や協賛する観測ネットワークから支援を受けつつ、GAW ネットワークで観測されている。

年報の配布

温室効果ガス年報は、気象庁の温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)と GAW 温室効果ガス科学助言部会の協力のもと、NOAA 地球システム研究所(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 GAW 計画、WDCGG 及び NOAA 炭素循環温室効果ガスグループ (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/>)の各ウェブサイトからも取得可能である。

謝辞とリンク

WMO 加盟の 48 か国が気象庁の 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 49%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も、オーストラリア、カナダ、中国、日本及びヨーロッパの多くの国々が運営している (<http://www.wmo.int/gaw> に GAW レポート No.168 として掲載されている国別報告書を参照)。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://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/>)に一覧表に掲げる。また、スイスの EMPA が運営する GAW 観測所情報システム (<http://gaw.empa.ch/gawsis/>)にも掲載されている。

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/>

(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。

メタンクラスレート: メタンが他の化合物の結晶格子中に閉じ込められた状態の物質で、水分子の間にメタンが閉じ込められているメタンハイドレートはその一例。

日本語訳について

この WMO 温室効果ガス年報第 6 号(気象庁訳)は、WMO が 2010 年 11 月 24 日に発行した WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 6 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



チャカルタヤ観測所は、ボリビアのアンデス山脈東部の南緯 16.2 度、西経 68.1 度、標高 5320m に位置し、2010 年に GAW 地域観測所になった。観測所は、サン・アンドレス大学物理学研究所の大気物理研究室が運営しており、観測のための機器及び設備が時期によって稼働している。観測所はまた 1948 年に原子核乾板を宇宙線に晒すことによるパイ中間子発見の舞台となった宇宙線研究室として知られている。ボリビア、フランス、イタリア及びスイスによる国際チームが世界最高地の大気観測所でエアロゾル、反応性ガス及び温室効果ガスの観測を行っている。詳しくは、観測所のウェブサイト (<http://chacaltaya.edu.bo>) を参照。



ネパール気候観測所「ピラミッド」は、北緯 27.95 度、東経 86.82 度、標高 5079m に位置し、ネパールヒマラヤ東部クンブ地方のエベレスト・ベースキャンプに近い。観測所は 2006 年 1 月から 2 月にかけて建設され、2 月末に観測が開始された。2010 年 9 月に GAW 全球観測所になり、高品質の連続観測がエアロゾル物理特性、地上オゾン、日射、気象について行われているほか、AERONET の枠組みでのエアロゾル光学的厚さの観測、ハロゲン化物質やエアロゾル化学特性の観測のための試料採取が行われており、これらには再生可能エネルギーを利用している。観測所は、イタリアの学術会議、ウルビノ大学、新技術・エネルギー・環境庁、フランス国立科学研究センター、ネパール科学技術アカデミーが共同で設立した委員会「EV-K2-CNR」が運営している。また、大気褐色雲(ABC)プロジェクトにも参加している。詳しくは、ウェブサイト (<http://evk2.isac.cnr.it>) を参照。