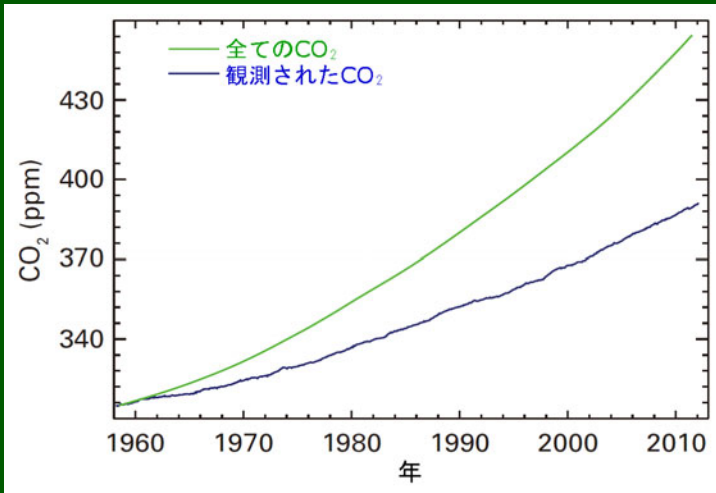




WMO (気象庁訳) 温室効果ガス年報

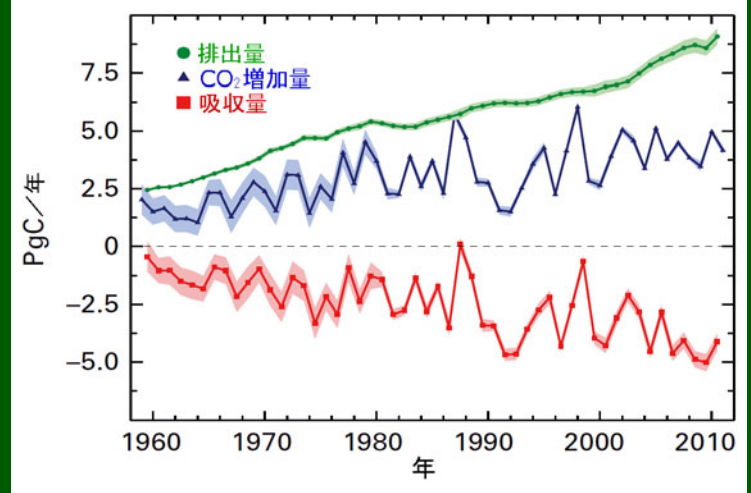
2011年12月までの世界の観測結果に基づく
大気中の温室効果ガスの状況

第8号 | 2012年11月19日



産業革命以降、炭素換算でおよそ3750億トンの人為起源のCO₂が大気中に排出された。大気中の濃度測定によって、このCO₂の約半分が大気に残留しており、これまで海洋と陸域の吸収量が着実に増加してきたことが分かっている。

WMO/GAW協力機関による精密な大気CO₂濃度の測定結果は、大気に排出されたCO₂のゆくえを理解する基礎データとなっている。左図は測定から推察される1958年以降の世界平均CO₂濃度(青線)と、海洋と陸域の吸収がないと仮定した場合の推定量(緑線)である。右図は、化石燃料燃焼とその他の産業活動による年間のPgC^[1]単位の排出量と、大気中の増加



量、各年で吸収により大気から取り除かれる量を示している。吸収量は、海洋や陸域生物圏と大気の間でやりとりされる大きな移動量(～100PgC/年)の差をとった小さな量である。この正味の小さな差はエルニーニョやラニーニャ現象のような周期的な気候の変動に伴って変化する。海洋の吸収は、陸域生物圏と比べて人類の干渉の影響を受けにくい。しかし、この正味のCO₂の吸収は海洋を酸性化させつつあり、海の世界連鎖に大きな影響を与える可能性がある。(図と文は、Ballantyne et al.,2012 と Levin,2012に基づく)

要旨

WMO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、2011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(モル分率)は、それぞれ、390.9±0.1ppm^[2]、1813±2ppb^[3]、324.2±0.1ppb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)以前の値の、それぞれ140%、259%、120%である。2010年から2011年にかけての二酸化炭素の濃度増加量は過去10年間の平均増加量と同じ値である。しかし、一酸化二窒素の2010年から2011年の増加量は、2009年から2010年にかけての増加量及び最近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3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2011年までに、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力は30%増加しており、二酸化炭素はそのうちの約80%を占める。

概要

このWMO/GAWの温室効果ガス年報第8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)、一酸化二窒素(N₂O)、フロン12(CFC-12)及びフロン11(CFC-11)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5種類のガスは、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力増加の約96%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。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。

主な3種の長寿命温室効果ガスの2011年の大気中濃度の世界平均と、2010年及び1750年からの濃度変化を下表に示す。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をもとにした全球解析(WMO, 2009)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)のフラスコ観測によるものを除き、この解析に使っていない。

表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。

2011年のNOAA年次温室効果ガス指標(AGGI)は1.30で、長寿命の温室効果ガスによる放射強制力の総計は、1990年から30%、2010年から2011年にかけては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等価換算濃度で473ppmに相当する。

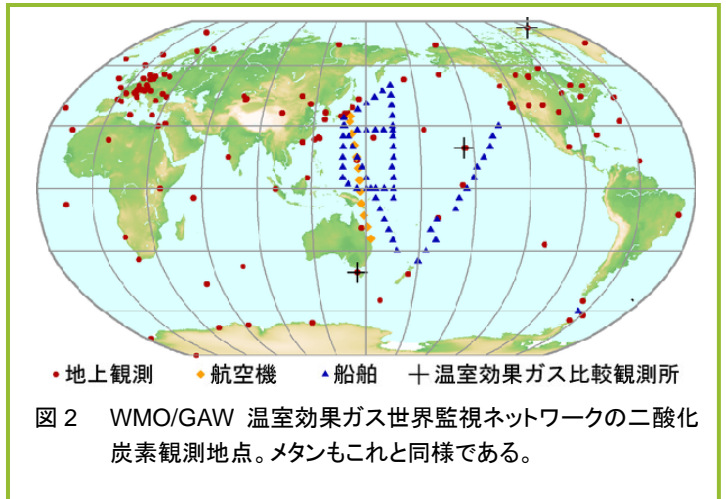


図2 WMO/GAW 温室効果ガス世界監視ネットワークの二酸化炭素観測地点。メタンもこれと同様である。

(<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/> を参照)

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85%、最近5年間で見ると81%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280ppmであった。大気中の二酸化炭素は2011年に、工業化以前の140%に達した。これは、主として化石燃料の燃焼による放出(2010年には化石燃料の燃焼による排出合計が炭素換算で年に91±5億トン <http://www.globalcarbonproject.org/>)及び土地利用変化(2010年に9±7億トン、主に森林伐採)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。大気中に残る二酸化炭素量は年によって変動しているが、その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2011年の世界平均濃度は390.9±0.1ppmであり、2010年からの増加は2.0ppmであった(図3)。この濃度増加は、1990年代の平均(年に約1.5ppm)より大きく、最近10年の平均増加量(年に2.0ppm)と同じである。

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、2011年の大気中のメタンの濃度は、工業化以前の約700ppbの259%に達した。メタンの2011年の世界平均濃度は過去最高値を更新する1813±2ppbであり、前年から5ppb増加した(図4)。メタン濃度の増加率は1980年代前半に13ppb/年だったものが、その後鈍化し、1999年から2006年までほとんど増加しなかった。2007年以降3年間の大気中メタンは再びほぼ一定の割合で増加している。このようなメタン濃度の新たな増加傾向について

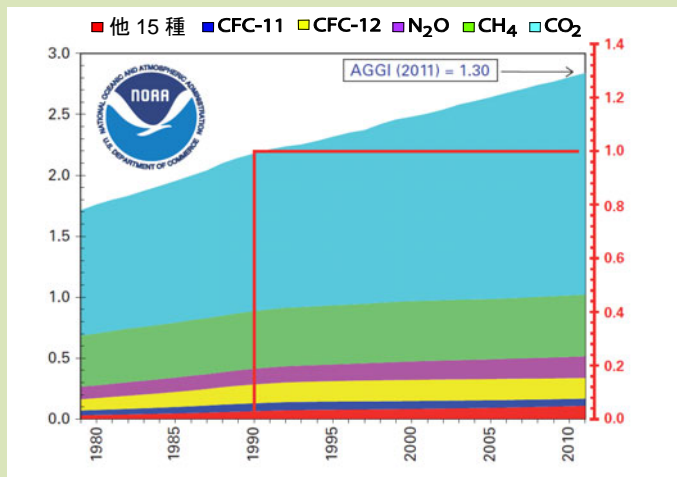


図1 長寿命の温室効果ガスによる放射強制力(1750年を基準)の経年変化と2011年のNOAA年次温室効果ガス指標(AGGI, 1990年の値を1とする)。

表は、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(モル分率)と増加量。2011年の平均濃度は12か月間の平均値。

| | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|----------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 世界平均濃度(2011年) | 390.9±0.1 ^[5] ppm | 1813±2 ^[5] ppb | 324.2±0.1 ^[5] ppb |
| 1750年と比較した存在比* | 140% | 259% | 120% |
| 2010年から2011年の増加量 | 2.0ppm | 5ppb | 1.0ppb |
| 2010年からの増加分の比率 | 0.51% | 0.28% | 0.31% |
| 世界平均濃度の最近10年間の平均年増加量 | 2.0 ppm/年 | 3.2 ppb/年 | 0.78 ppb/年 |

* 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。

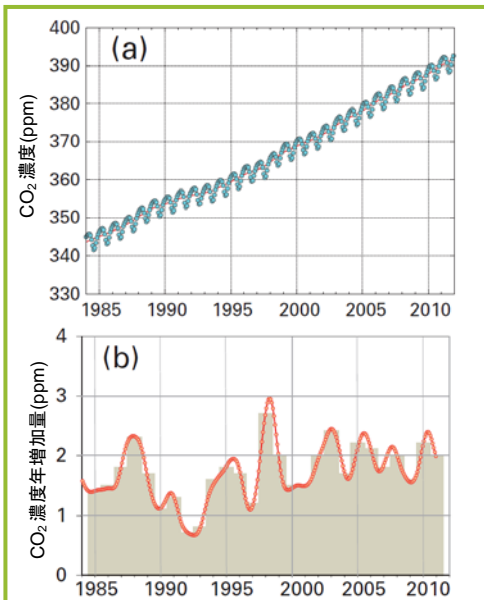


図3 二酸化炭素の1984年から2011年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の棒グラフは前年からの濃度差。

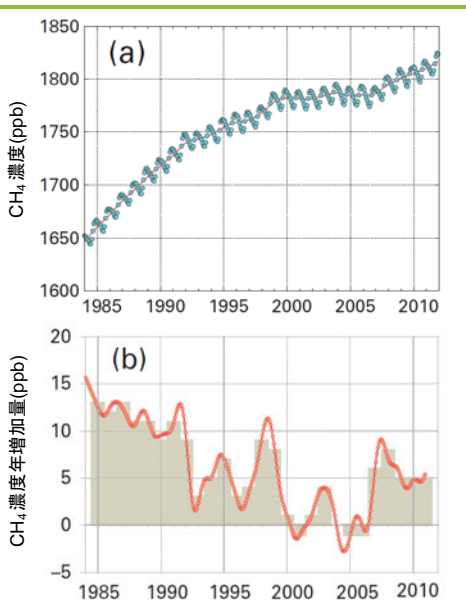


図4 メタンの1984年から2011年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の棒グラフは前年からの濃度差。

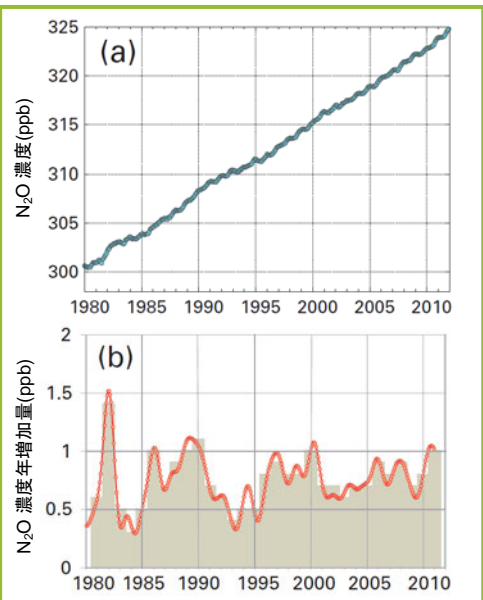


図5 一酸化二窒素の1980年から2011年までの(a)世界平均濃度と(b)その一年あたりの増加量。(b)の棒グラフは前年からの濃度差。

完全に理解するためには、利用できる観測点が充分ではなく、特に熱帯域で不足している。

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2011年の世界平均濃度は324.2±0.1ppbであり、前年から1.0ppb増加して(図5)、工業化以前(270ppb)の120%である。2010年から2011年にかけての増加量は、最近10年間を平均した年増加量0.78ppb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、今のところ濃度は小さい(ppb^[6])の程度、図7)が、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。対流圏のオゾンは

それらに比べて寿命が短い、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、温室効果ガスとして言及されないが、直接的あるいは間接的に少しずつ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つつ、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。

謝辞とリンク

WMO加盟の50カ国が気象庁の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

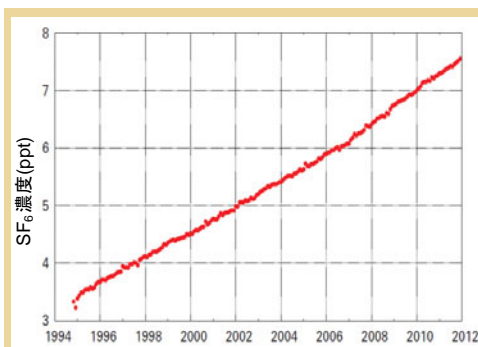


図6 六フッ化硫黄の1995年から2011年までの月平均濃度。(観測所20か所の平均)

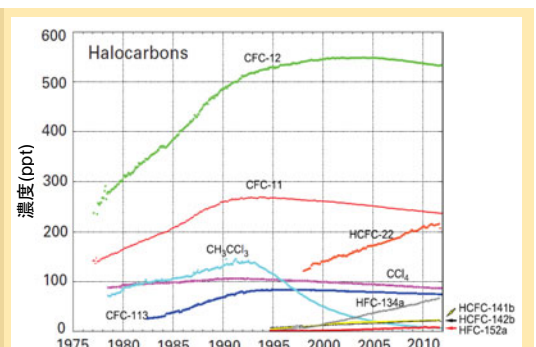


図7 主なハロカーボン類の1977年から2011年までの月平均濃度。(観測所7~19か所の平均)

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/>)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/>)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。

参考文献

- Ballantyne, A.P., C.B. Alden, J.B. Miller, P.P. Tans and J.W.C. White, 2012: Increase in observed net carbon dioxide uptake by land and oceans during the past 50 years. *Nature*, 488:70–72, doi:10.1038/nature11299.
- Conway, T.J., P.P. Tans, L.S. Waterman, K.W. Thoning, D.R. Kitzis, K.A. Masarie and N. Zhang, 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, doi:10.1029/94JD01951.
- Levin, I., 2012: Earth science: The balance of the carbon budget. *Nature*, 488:35–36, 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] 表示された誤差中はConway et al.,1994にならってブートストラップ法で計算された。

[6] pptは乾燥した空気分子 1 兆個中の当該ガスの分子数

日本語訳について

このWMO温室効果ガス年報第8号(気象庁訳)は、WMOが2012年11月19日に発行したWMO Greenhouse Gas Bulletin No. 8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

(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。

今回紹介する温室効果ガス観測所



J. HATTAKA

パラス・ソダンキュラ

GAW観測所は、ヨーロッパ北部に位置しており、北極域への微量気体への通り道にあたる。この観測所はパラス(67.93°N, 24.12°E, 海拔565 m)とソダンキュラ(67.36°N, 26.63°E, 海拔179 m)の2つに分かれていて、両者はおおよそ150km離れている。温室

効果ガスと反応性ガス、幅広いエアロゾル要素が清浄な国立公園内のパラスで観測され、GAWのデータベースに報告されている。CO₂とCH₄の渦相関フラックス法による微気象学的な観測が、それぞれの生態系を代表して双方で行われている。(http://en.ilmatieenlaitos.fi/greenhouse-gases, http://fmiarc.fmi.fi/)

ドイツによる南極大陸の大気化学観測点であるノイマイヤー観測所は、アタカ湾から約8kmのエクストロム氷棚に位置する建物からさらに1.5km内陸に設けられている(70.666°S, 8.266°W, 海拔42 m, http://www.awi.de/en/infrastucture/stations/neumayer_station/)。夏の間、アタカ湾と近くの海岸では



R. WELLER

海氷が消失する。孤立した場所にあるため、極めて清浄な大気環境で観測を実施できる価値ある基準観測点となっている。観測所はアルフレッド・ウェーゲナー極地海洋研究所とハイデルベルグ大学環境物理研究所が共同で運営しており、多くの温室効果ガスとその同位体成分を現地でも同時観測している。



A. RESHTNIKOV

ティクシ北極水文気象観測所

(71.59°N, 128.92°E, 海拔5 m)は、ラプテフ海のレナ河口近くに位置しており、観測は大気化学組成の変動に関連した研究を目的に行われている。観測所の周辺はほぼ一様で、この地域で典型的な湿潤・乾燥ツンドラ植

生、季節河川、頁岩の大地、永久凍土が入り混じっている。2010年からCO₂とCH₄の連続観測とフラスコ観測の両方が行われている。ロシア気象局、ロシア科学アカデミー、NOAA、フィンランド気象研究所などの幾つかの研究グループが観測を行っている。