

## 北極域上空における温室効果気体の変動

町田敏暢<sup>1</sup>、澤庸介<sup>2</sup>、松枝秀和<sup>2</sup>、丹羽洋介<sup>2</sup>、坪井一寛<sup>2</sup>、勝又啓一<sup>1</sup>、笹川基樹<sup>1</sup>、  
村山昌平<sup>3</sup>、森本真司<sup>4</sup>、豊田栄<sup>5</sup>、青木周司<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所

<sup>2</sup> 気象研究所

<sup>3</sup> 産業技術総合研究所

<sup>4</sup> 東北大学

<sup>5</sup> 東京工業大学

研究課題「北極域における温室効果気体の循環とその気候応答の解明」（代表：青木周司）では、北極域上空における温室効果気体の空間分布やその季節変動ならびに経年変動を明らかにするために、航空機観測サブグループを組織し、1) チャーター機を利用したシベリア上空でのデータの収集および、2) 民間航空機を利用した北極域上空における温室効果気体の観測を実施した。

チャーター機による観測は国立環境研究所のモニタリングプロジェクトによって、スルグート(61° N, 73° E)、ノボシビルスク(55° N, 83° E)、ヤクーツク(62° N, 129° E)の3か所上空において高度約7kmまでの大気をサンプリングし実験室に持ち帰って温室効果気体の濃度を分析する方法で実施されている。本課題では観測データを処理し、同じ課題内のモデリングサブグループに提供して温室効果気体の発生源の定量に利用した。また、ノボシビルスク上空で採取された大気サンプルは温室効果気体の濃度分析に加え、亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)の同位体比を測定した。ノボシビルスク上空500mにおけるN<sub>2</sub>Oは濃度が経年的に増加しているのに対し、窒素同位体比は減少していることが確認された。

一方民間航空機を使った観測は、日本と欧州を結ぶ路線上でシベリア上空における高度10-12km付近の大気をサンプリングし、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、メタン(CH<sub>4</sub>)、N<sub>2</sub>O、六弗化硫黄(SF<sub>6</sub>)、一酸化炭素(CO)、水素(H<sub>2</sub>)の各濃度およびCO<sub>2</sub>とCH<sub>4</sub>の安定同位体を測定した。サンプリングは2012年4月より月に1回の頻度で自動大気サンプリング装置(ASE)を用いて行われたが、ASEを搭載できる航空機が2014年3月を最後に欧州路線を飛行しなくなったために、2014年4月から2015年9月までは日本航空の協力を得て観測者が航空機に搭乗して手動大気サンプリング装置(MSE)を使って同じ頻度で継続した。北極域は圏界面の高度が低いために航空機の巡航高度であっても成層圏を飛行することがある。本研究では気象庁の客観解析データを使って渦位が”2”である高度を圏界面とし、圏界面からの温位差によってサンプリング地点の空気塊を分類した。

Figure 1は圏界面からの温位差( $\Delta\Theta$ )ごとのサンプルのCO<sub>2</sub>濃度、CH<sub>4</sub>濃度、N<sub>2</sub>O濃度、SF<sub>6</sub>濃度の時系列である(Sawa et al., 2015)。 $\Delta\Theta$ が負の値は対流圏の空気であることを、正の値は成層圏であることを示す。上部対流圏のCO<sub>2</sub>濃度は陸域生態系の光合成・呼吸のバランスで夏季に低い濃度を示すが、成層圏の濃度は逆に春季から夏季にかけて上昇しており、対流圏とは逆の位相が観測された。成層圏における夏季の濃度上昇は、上部対流圏の低緯度にある大気が圏界面を横切って高緯度の下部成層圏に輸送されるメカニズムによって引き起こされていると考えられる。一方、秋季から春季にかけての成層圏のCO<sub>2</sub>濃度にはわずかな減少傾向が見られる。これは上層にある低濃度のCO<sub>2</sub>が冬季に沈降してくることが要因と思われる。上部対流圏のCH<sub>4</sub>濃度とN<sub>2</sub>O濃度には目立った季節変動はないが、経年的な増加傾向が観測された。これらの濃度増加率は地上での観測値とほぼ同等であった。対流圏のCH<sub>4</sub>濃度はOHラジカルとの反応によって地上付近では夏季に低くなる明瞭な季節変動を示すが、上部対流圏のような低圧下ではOHラジカルとの反応性が低くなるために季節変動は明瞭ではなくなる。N<sub>2</sub>Oは対流圏での寿命が長いために濃度の季節変動は見だしにくい。これに対して成層圏のCH<sub>4</sub>濃度とN<sub>2</sub>O濃度には非常に大きな季節変動が確認できる。季節変動を作り出すメカニズムはCO<sub>2</sub>と同様に、夏季の対流圏大気の流入と冬季の上層大気の沈降であるが、CH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oは対流圏と成層圏の濃度差ならびに成層圏における鉛直方向の濃度差がCO<sub>2</sub>より顕著であるために成層圏での振幅が大きく明瞭になると解釈できる。

SF<sub>6</sub>はN<sub>2</sub>Oと同様に対流圏での寿命が長いので、上部対流圏では濃度の季節変動が見られず、成層圏では対流圏との濃度差と鉛直方向の濃度差があるので、夏季と冬季の輸送によって明瞭な季節変動が観測されている。SF<sub>6</sub>が大気中で安定であることを利用して、今回成層圏で観測された空気塊が対流圏を離れてから経過した平均的な時間(年齢)を知ることができる。成層圏大気の大部分は赤道域の上部対流圏から供給されていると考えられるので、同様な民間航空機による豪州路線で観測された低緯度上部対流圏のSF<sub>6</sub>濃度と高緯度下部成層圏の濃度を比較したところ、 $\Delta\Theta$ が37.5-50Kの下部成層圏大気は5月には22か月の、11月には9か月の時間差が存在していることが明らかになった(Sawa et al., 2015)。

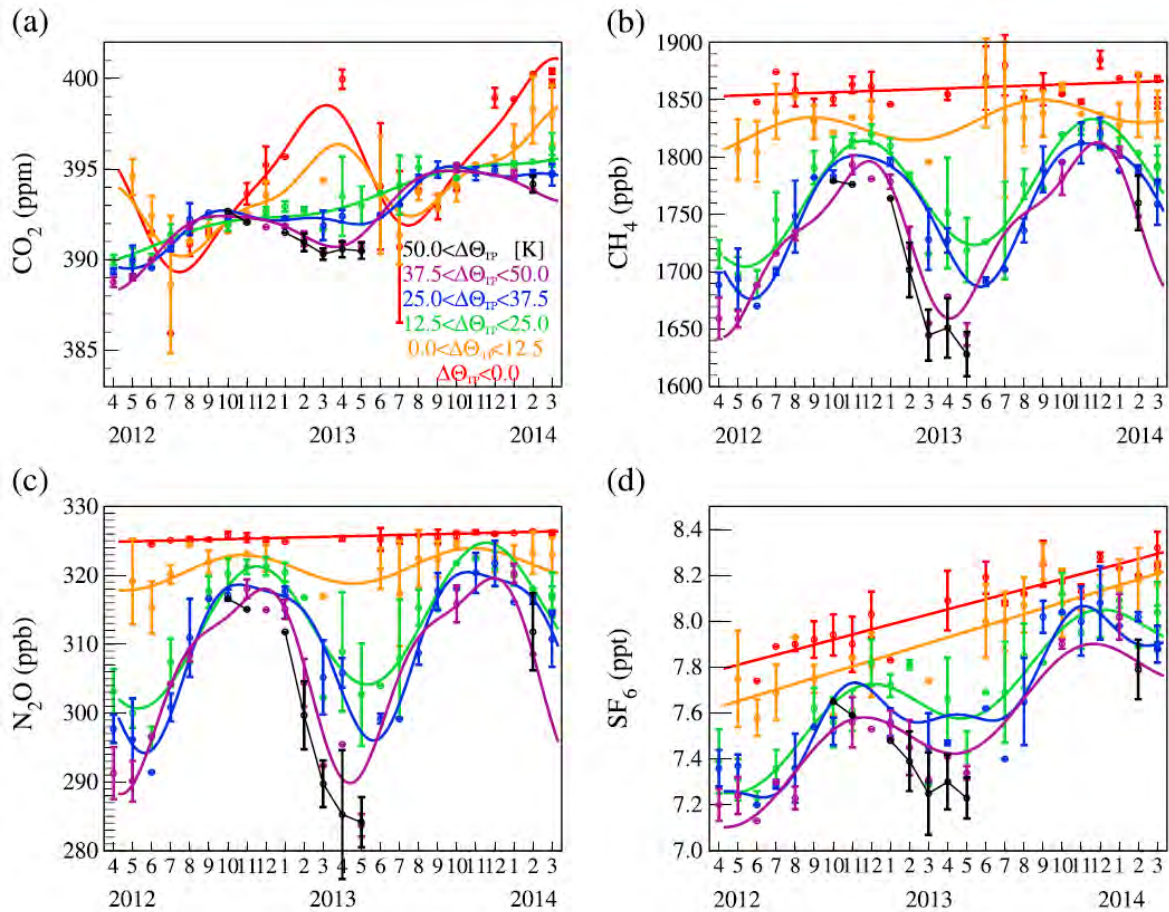


Figure 1. 2012年4月から2014年3月にかけて北極域上空の上部対流圏と下部成層圏で観測された(a) CO<sub>2</sub>濃度、(b) CH<sub>4</sub>濃度、(c) N<sub>2</sub>O濃度、(d) SF<sub>6</sub>濃度の時系列。色の違いは圏界面からの温位差を表す。実線はそれぞれの温位差のデータに対して直線と調和関数で最小二乗フィッティングしたもの。

## References

Sawa, Y., T. Machida, H. Matsueda, Y. Niwa, K. Tsuboi, S. Murayama, S. Morimoto, and S. Aoki (2015), Seasonal changes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and SF<sub>6</sub> in the upper troposphere/lower stratosphere over the Eurasian continent observed by commercial airliner, *Geophys. Res. Lett.*, 42, doi:10.1002/2014GL062734.