

グローバルな大気環境や炭素循環の変化を捉える

Observation of Global Atmospheric Environment and Carbon Cycle Changes

当講座では地球規模の大気環境変動に関わる大気化学成分の分布や経時変化を計測する観測技術、陸域における炭素収支の観測技術、ならびに地球温暖化を含めたグローバルな大気環境変動解析に関する研究と教育を行っている。具体的には、人工衛星、航空機、船舶、地上観測による大気成分や雲、エアロゾル、ならびにそれらの地表プロセスの観測技術、地上からの各種の遠隔計測技術の開発、アジアや南極、シベリアを含む北極など世界各地における観測活動ならびに取得したデータの処理アルゴリズム、データ解析を行うことによって地球規模での大気環境変動の原因究明に向けた研究を実施している。

In cooperation with the National Institute for Environmental Studies, we are carrying out research on the global atmospheric environment, such as global warming and air pollution. For that purpose, we are developing measurement techniques on atmospheric composition changes and terrestrial carbon budgets. We conduct research and education on measurement principles, data processing algorithm, field experiments, and data analysis on the basis of specific cases of remote sensing and in situ technologies. We also develop applications for atmospheric compositions/clouds/aerosols and their surface processes, utilizing such instruments as satellite-borne, air-borne, ship-borne, and ground-based sensors. We conduct field measurements in Asia, Antarctica, and the Arctic including Siberia, and we study global atmospheric environmental change by analyzing these data.

南極昭和基地上空における塩素化合物の挙動説明

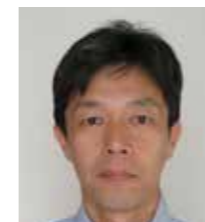
我々は、2007年及び2011年の南極昭和基地(69.0°S, 39.6°E)上空でのオゾン破壊に関連した塩素化合物微量気体成分の変動に着目した解析を行った。人工衛星 Aura/MLS, Envisat/MIPAS、及び地上設置 FTIR 分光器による ClO, ClONO₂, HCl, HNO₃, 及び O₃ の観測値に注目し、高度 18 km 及び 22 km におけるこれら微量気体成分の変動の状況を解析した。毎年 7 月初めには、成層圏気温の低下に伴い、昭和基地上空で極成層圏雲 (Polar Stratospheric Clouds: PSC) が出現し、塩素化合物のリザーブ分子である ClONO₂ や HCl が PSC 表面上の不均一反応によって減少を始める。やがて 7 月初旬に昭和基地上空に太陽光が戻ってくると、活性な ClO が増加し始め、触媒反応によるオゾン破壊が始まる。やがて 9 月初めには成層圏気温の上昇とともに ClO 濃度は減少を始め、代わりに HCl や ClONO₂ 濃度が増加を始めるが、その様相が高度 18 km と 22 km で異なることが判明した。図 1 及び図 2 に、18 km 及び 22 km における 2007 年昭和基地上空の各種塩素化合物の変動の様子を示す。高度 18 km ではオゾンがほとんど破壊されているため HCl への回復が顕著である。一方高度 22 km ではオゾンが一部破壊されずに残ってい

Temporal evolution of chlorine species over Syowa Station, Antarctica

We analyzed temporal variation of ClO, ClONO₂, HCl, HNO₃, and O₃ measured by satellite sensors Aura/MLS, Envisat/MIPAS, and ground-based Fourier-Transform infrared spectrometer (FTIR) installed at Syowa Station, Antarctica (69.0°S, 39.6°E) from March to December 2007 and September to November 2011. Vertical profiles of O₃, HNO₃, and HCl and a vertical column of ClONO₂ were retrieved from solar spectra taken with a ground-based FTIR. We analyzed temporal variation of these species at 18 and 22 km over Syowa Station. In early July, polar stratospheric clouds (PSCs) started to form over Syowa Station. With the return of sunlight to Syowa Station in early July, ClONO₂ and HCl showed depleted values, while ClO showed enhanced values. Figures 1 and 2 show the temporal variation in chlorine species over Syowa Station in 2007 at 18 and 22 km, respectively. When ClO concentrations started to decline at these altitudes in early September, HCl started to increase rapidly, while the increase in ClONO₂ was gradual. The Cl_y partitioning between HCl, ClONO₂, and ClO showed differences at different altitudes. At the altitudes of 18 km, where ozone was almost depleted, ClO and HNO₃ amounts were low, so conversion to HCl was favored rather than ClONO₂. In contrast, at 22 km, sufficient ozone still remained, at a high enough amount that ClONO₂ formation from ClO and NO_y species continued to occur at this altitude. In



客員教授 中島 英彰
Professor
Hideaki Nakajima



客員教授 町田 敏暢
Professor
Toshinobu Machida

ため、HCl より ClONO₂ への回復の方が早く認められた。このように、南極上空における高度によるリザーブ種への回復の違いが初めて明らかにされた。また、秋季に ClONO₂ がなくなった後も HCl が徐々に減少を続ける原因がこれまで不明であったが、その原因が極渦境界における ClONO₂ の再生産であることが明らかになった。

西シベリア上空におけるメタン濃度鉛直勾配の長期変動

ロシア連邦のシベリア地域には広大な森林や湿地帯が広がっており、地球規模の二酸化炭素濃度やメタン (CH₄) 濃度の変動に大きな影響を及ぼしている。我々は西シベリア低地に位置するスルグート (1993 年から) とノボシビルスク (1997 年から) 上空において航空機を使って高度 7 km までの大気をサンプリングすることによって温室効果ガスの長期観測を実施した。CH₄ 濃度の経時変動はどちらの観測サイトでも 2000 年から 2006 年における一時的な停滞が見られたものの増加傾向が観測された (Fig. 3)。季節変動は他のバックグラウンド観測地点で見られるのと同様に冬季に極大値を示すが、西シベリアに特徴的な夏季の極大値も観測されている。スルグート上空では高度 5.5 km と 1.0 km における CH₄ の濃度差が 1995 年から 1999 年の平均値である 64 ppb から 2009 年~2013 年には 37 ppb へと明瞭に減少していることが観測でわかった。これに対してノボシビルスク上空では鉛直勾配の明確な変動は観測されなかった。大気化学輸送モデルを用いたシミュレーションを行ったところ、シベリアの風上に位置するヨーロッパからの CH₄ 放出量が経年減少し、東アジアや南アジアからの放出量が増加すれば観測と整合的であることが確認された (Fig. 4)。また、ノボシビルスク上空ではヨーロッパからの放出の影響は小さかった。さらに、西シベリアからの CH₄ 放出量の変化は鉛直勾配の変動に有意には影響していないことも確認できた。西シベリア上空における CH₄ 濃度鉛直分布の長期的な観測はシベリアや周辺域からの CH₄ 放出量の変動を検知する上で重要な役割を果たしていると言える。

early winter, HCl depletion continued even when the counterpart of the heterogeneous reaction (ClONO₂) disappeared. A possible cause of this depletion could be the mixing of vortex edge air where NO_x is formed by photochemical reaction, resulting in ClONO₂ production and a gradual heterogeneous reaction with HCl.

Temporal characteristics of CH₄ vertical profiles observed over West Siberia

Siberia is one of the most important areas for controlling atmospheric levels of greenhouse gases through activities in forests and wetlands. We have carried out monthly flask sampling using aircraft in the altitude range of 0-7 km over the boreal wetlands in Surgut (61°N, 73°E; since 1993) and a pine forest near Novosibirsk (55°N, 83°E; since 1997), both of which are located in the West Siberian Lowland (WSL). The temporal variation of methane (CH₄) concentrations at all altitudes at both sites exhibited an increasing trend with stagnation during 2000-2006, as observed globally from ground-based networks (Fig.3). In addition to a winter maximum, as seen at other remote sites in northern mid to high latitudes, another seasonal maximum was also observed in summer, particularly in the lower altitudes over the WSL. Our measurements suggest that the vertical gradient at Surgut has been decreasing; the mean CH₄ difference between 5.5 km and 1.0 km changed from 64±5 ppb during 1995-1999 to 37±3 ppb during 2009-2013. No clear decline in the CH₄ vertical gradient appeared at Novosibirsk. Simulations using an atmospheric chemistry-transport model captured the observed decrease in the vertical CH₄ gradient at Surgut when there was a decrease in CH₄ emissions from Europe but an increase in those from the regions south of Siberia, e.g., East and South Asia (Fig.4). At Novosibirsk, the influence of the European emissions was relatively small. Our results also suggest that the regional emissions around the WSL did not change significantly over the period of our observations. Long-term monitoring of the CH₄ vertical profile over West Siberia is the key to detecting changes in CH₄ emissions from the WSL and its surrounding land regions.

Reference: Sasakawa, M., et al. (2017). J. Geophys. Res., 122, 11,261-11,273. doi.org/10.1002/2017JD026836

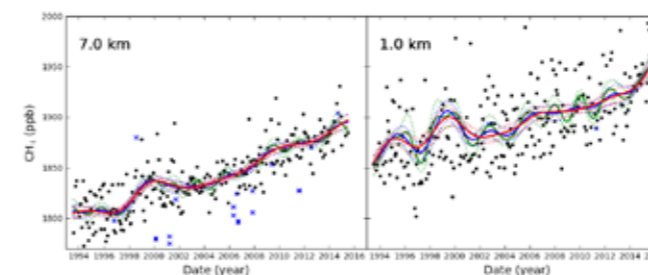


Fig.3 Temporal variation in CH₄ concentrations (black dots) observed over Surgut and their long-term trend lines. Blue crosses denote STE-influenced samples that we did not use for the trend calculation.

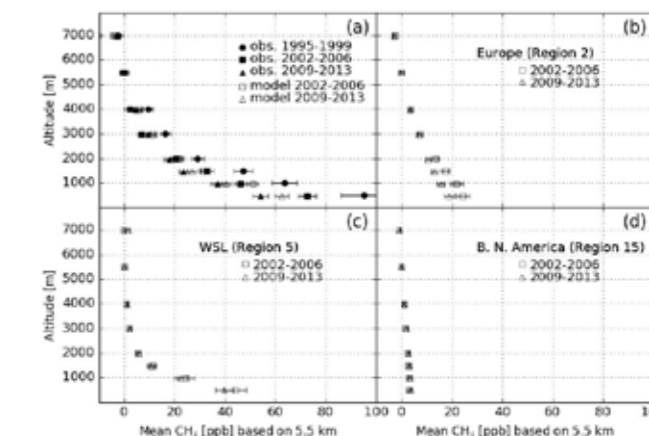


Fig.4 (a) Mean vertical profile of CH₄ over Surgut for the periods of 1995-1999, 2002-2006, and 2009-2013. The data were offset by the mean values of 5.5 km. Error bars indicate standard errors. Closed and open symbols indicate observed and total simulated data, respectively. Contribution from (b) Europe, the (c) WSL, and (d) Boreal North America are shown for the periods of 2002-2006 and 2009-2013.

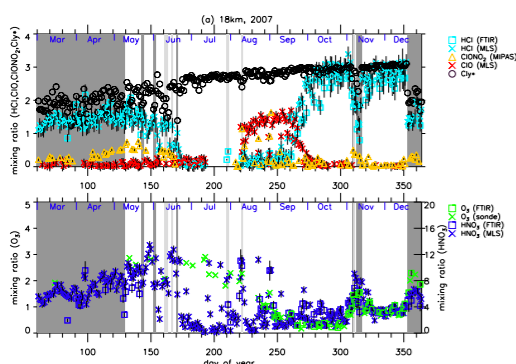


Fig.1 Temporal variation of chlorine and related species at 18 km in 2007 over Syowa Station.

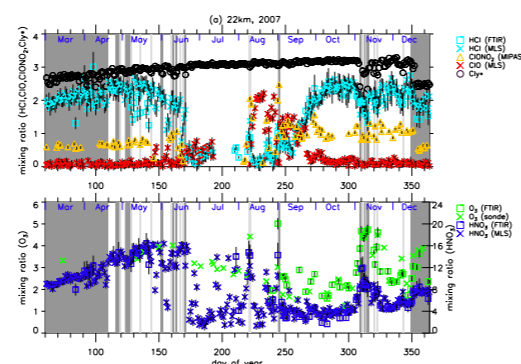


Fig.2 Same as Fig. 1 but for 22 km in 2007.