

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.

南極昭和基地における FTIR と人工衛星データ、化学気候モデルを用いた塩素化合物の挙動解析

我々は、2007、2011 の 2 年間南極昭和基地において、フーリエ変換赤外分光器 (FTIR) による太陽光を光源にした赤外分光観測を行っている。この観測では、極夜の時期を除き、通年にわたってオゾン (O₃)、塩化水素 (HCl)、硝酸 (HNO₃) 等の量と高度分布を導出することが出来る。我々は今回、FTIR データと人工衛星 Aura/MLS, Envisat/MIPAS データ、及び化学気候モデル MIROC3.2 CCM の結果を併せて解析することにより、南極昭和基地上空でオゾンホールを引き起こすもととなる各種塩素化合物の挙動を解析した (Fig.1)。その結果、冬季極渦内のオゾンを破壊する一酸化塩素 (ClO) と準安定な硝酸塩素 (ClONO₂) との間に反相関係があることが見出された。この反相関は、昭和基地と極渦境界との距離に依存していることが明らかとなった。また、MIROC3.2 を用いた解析 (Fig.2) では、冬季極渦の中心領域で HCl が継続的に減少していく様子が明らかになった。これまでの諸外国のモデル解析ではそのような継続的な減少を再現することができずに、「HCl の矛盾」と呼ばれていたが、

Analysis of chlorine species over Syowa Station, Antarctica, using FTIR, satellite data, and chemistry-climate model results

We made solar infrared spectroscopic measurements using ground-based Fourier-transform infrared spectrometer (FTIR) at Syowa Station, Antarctica, in 2007 and 2011. Vertical profiles of minor species, such as O₃, HCl, and HNO₃, can be retrieved from FTIR spectra. We analyzed temporal variations of chlorine species related to the Antarctic ozone hole, in combination with satellite measurements from Aura/MLS and Envisat/MIPAS (Fig.1). As a result, a negative correlation was found between ClO and ClONO₂ in the winter polar vortex. This negative correlation was associated with the relative distance between Syowa Station and the edge of the polar vortex. We used MIROC3.2 Chemistry-Climate Model (CCM) results to investigate how whole chlorine and related species behave inside the polar vortex in more detail (Fig.2). Continuous loss of HCl in the winter polar vortex core, which has not been reproduced by foreign models to date, was successfully modelled in MIROC3.2 CCM. This continuous

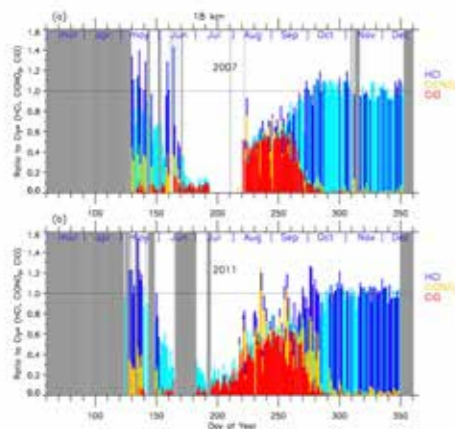


Fig.1 Time series of the ratios of HCl (dark or light blue), ClONO₂ (yellow), and ClO (red) to total chlorine (Cly*) over Syowa Station at 18 km in (a) 2007 and in (b) 2011.

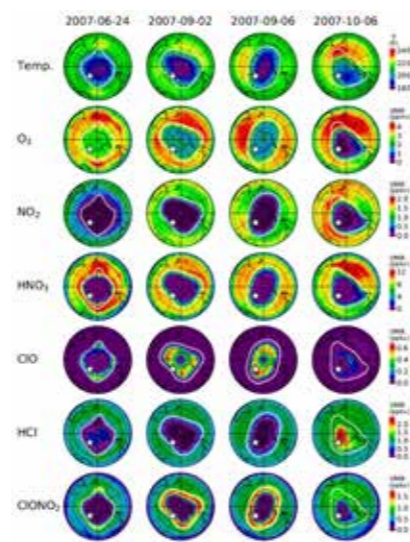
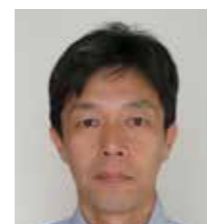


Fig.2 Polar southern hemispheric plots for temperature, O₃, NO₂, HNO₃, ClO, HCl, and ClONO₂ by a MIROC3.2 chemistry-climate model at 50 hPa.



客員教授 中島 英彰
Professor
Hideaki Nakajima



客員教授 町田 敏暢
Professor
Toshinobu Machida

MIROC3.2 と今回の観測データを用いた解析により、HCl の継続的な減少は、極渦周辺域から高緯度への ClONO₂ と水酸化塩素 (HOCl) の継続的な輸送によって引き起こされていることが世界に先駆けて明らかとなった。さらに春先に活性な ClO が準安定な HCl に戻るか ClONO₂ に戻るかのせめぎあいには、周辺の O₃ 量が関連しており、その量に依存してどちらの化学種が生成されるかが明らかとなった。なお本研究成果は、欧州地球科学連合発行の Atmospheric Chemistry and Physics 誌に accept された。

シベリア・ヤクーツク上空における CO₂ 濃度の変動

2017 年に東シベリアのヤクーツク郊外にあるスバスカヤパッド研究林においてロシア科学アカデミー凍土地域生物問題研究所 (IBPC) の協力の下、航空機とタワーを利用した大気採取による温室効果ガスの観測を開始した。航空機は高度 3000m から 100m まで、タワーは高度 30m または 20m で月に 1-2 度の頻度で採取を行った。

Fig.3 に高度 3000m とタワー頂上における CO₂ 濃度の観測値とフィッティングカーブを示す。2018 年以降は高頻度で高品質の観測が続けられてきたことが確認できる。Fig.4 は各高度におけるフィッティングカーブと経年変動である。フィッティングカーブから算出した平均的な季節振幅は高度 3000m において 20.3 ppm、高度 2000m では 23.3 ppm、高度 1000m では 31.4 ppm、高度 100m では 32.6 ppm、タワー頂上では 38.8 ppm であり非常に大きな振幅が内陸地域の特徴を表している。高度 1000 m 以下では春季の他に秋から初冬にかけての極大値が観測されており、この季節の境界層の影響が及ぶ高度を推し量ることができる。経年変動曲線は高度 1000 m 以上で鉛直勾配がほとんど無いことから、Yakutsk 地域全体では CO₂ の放出と吸収がほぼバランスしていると考えられる。同様に CH₄、N₂O、SF₆、CO、H₂ の各濃度についても内陸の森林地帯特有の変動が捉えられている。

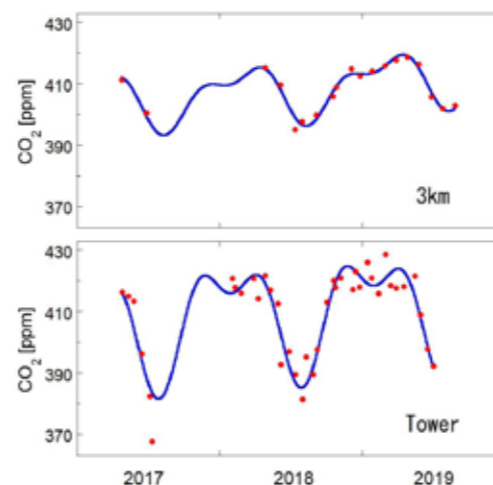


Fig.3 Observed data and the fitting curves of atmospheric CO₂ mixing ratio at 3000 m (top) and at the tower (bottom).

loss occurred due to both the transport of ClONO₂ from the subpolar region to higher latitudes, providing a flux of ClONO₂ from more sunlit latitudes into the polar vortex, and the heterogeneous reaction of HCl with HOCl. The temporal variation of chlorine species over Syowa Station was affected by both heterogeneous chemistry related to polar stratospheric cloud (PSC) occurrence inside the polar vortex as well as the transport of a NO_x-rich air mass from the polar vortex boundary region, which can produce additional ClONO₂ by ClO reacting with NO₂. The deactivation pathways from active chlorine into reservoir species (HCl and/or ClONO₂) were confirmed to be highly dependent on the availability of ambient O₃. This research was accepted in *Atmospheric Chemistry and Physics*, published by the European Geosciences Union (EGU).

Variations in atmospheric CO₂ over Yakutsk, Siberia

Observation of atmospheric greenhouse gases has been conducted since 2017 using air sampling by an aircraft and a tower over the Spasskaya Pad forest research site near Yakutsk, Siberia, in a collaboration with Institute for Biological Problems of Cryolithozone (IBPC), Russian Academy of Science. Air is sampled once or twice a month at altitudes between 100 m and 3,000 m by aircraft and at 20 m or 30 m at the tower.

Fig.3 shows the observed data and the fitting curves of the mixing ratio of atmospheric CO₂ at 3000 m and at the top of the tower. High-frequency and high-quality observations have been available after 2018. Fig. 4 shows the fitting curves and trend curves for CO₂. The averaged seasonal amplitudes derived by fitting curves were 20.3 ppm at 3,000 m, 23.3 ppm at 2,000 m, 31.4 ppm at 1000 m, 32.6 ppm at 100 m, and 38.8 ppm at the tower. These extremely large amplitudes represent the typical features for a continental interior with highly active vegetation. Small maximums were found in not only spring but also late autumn or early winter below 1,000 m. The planetary boundary layer in this season is thought to be influenced below this altitude. Since there is no vertical difference in trend curves over 1,000 m, CO₂ emissions and absorption are balanced around Spasskaya Pad. We obtained the characteristics of variations in atmospheric species over the forest area for not only CO₂ but also CH₄, N₂O, SF₆, CO, and H₂.

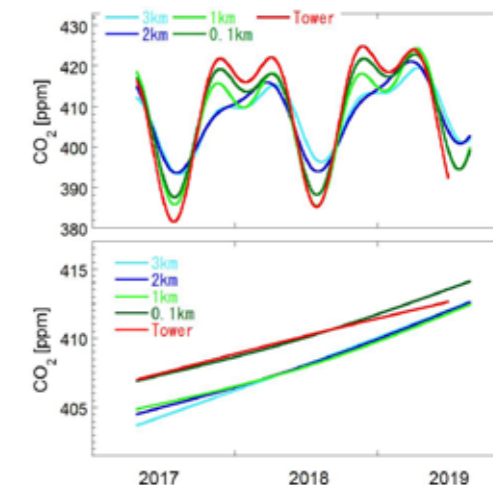


Fig.4 Fitting curves (top) and trend curves (bottom) for CO₂ mixing ratio.