

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.

北海道・陸別における FTIR による HCFC-22, HFC-23 観測値から見積もった中国由来 HFC-23 排出量の推定

我々は、北海道陸 (43.5°N, 143.8°E) における 1997年~2020年までの FTIR 観測データから、HFC-23 (CHF₃) の濃度を導出する手法を開発した。また、同じ FTIR データから、HCFC-22 (CHClF₂) の濃度導出も行った。FTIR による解析は SFIT4 と呼ばれる解析プログラムを用いてなされた。さらに、陸別で観測された空気塊の後方軌跡線解析を行って空気塊の起源を推定したところ、2000年の冬季には中国由来の空気塊が多く観測されていたことが判明した。そこで、中国由来と推定された空気塊について解析された HCFC-22 と HFC-23 の、バックグラウンド濃度からの増加量を見積もった。その結果、HCFC-22 に対する HFC-23 の増分の間に、有意な正相関があることが見いだされた。もともと HFC-23 は、工業的に冷媒である HCFC-22 を生産するときの副産物として放出されるガスであり、両者の間に正相関があるということは、両ガスの増加分は、中国における HCFC-22 の生産時に放出された HCFC-22 と HFC-23 を

Estimation of HFC-23 emission in China by the FTIR measurements of HCFC-22 and HFC-23 in Rikubetsu, Hokkaido

We have developed a procedure for retrieving atmospheric abundances of HFC-23 (CHF₃) with a ground-based Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) and have analyzed the spectra observed at Rikubetsu, Japan (43.5°N, 143.8°E). We also analyzed abundances of HCFC-22 (CHClF₂) with the same spectra. The FTIR retrievals were carried out with the SFIT4 retrieval program. We conducted a backward trajectory analysis to examine the origins and transport pathways of the air masses arriving at Rikubetsu. Many air masses that had originated from China were found in the winter of 2000. A good positive correlation was found between the enhancements of HCFC-22 and HFC-23 from their background values. HFC-23 is a by-product of HCFC-22 production from source gases. The existence of a positive correlation between these two gases presumes that the observed enhancements of HCFC-22 and HFC-23 were emitted in the course of HCFC-22 production in China. By using the reported HCFC-22 production amount in China (Wan et al., 2009) and observed HCFC-22 enhancement in Rikubetsu, we can estimate the Chinese HFC-23 emission amount in 2000, which is 1.18

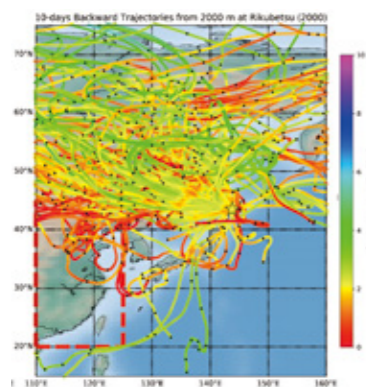


Fig.1 10-day backward trajectories of the air masses arriving at 2000 m above Rikubetsu at the time of the FTIR observations in 2000. Each point on the trajectories is color-coded by altitude above ground level.

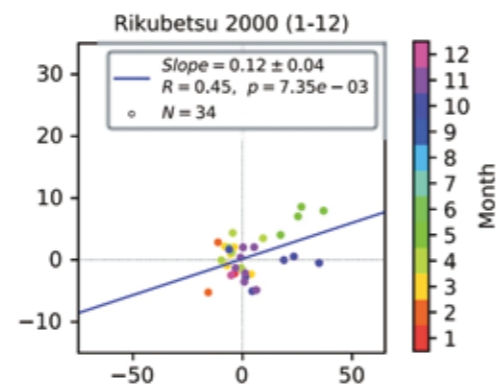
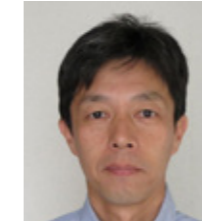


Fig.2 Correlation between Δ HCFC-22 and Δ HFC-23 at Rikubetsu in 2000. Color of each point represents the month of observation. Blue line is the linear regression line, with values of slope, correlation coefficient (R), p-value (p), and number of observations (N).



客員教授 中島 英彰
Professor
Hideaki Nakajima



客員教授 町田 敏暢
Professor
Toshinobu Machida

観測していると推定できる。そこで、文献 (Wan et al., 2009) によって報告されている中国における 2000 年の HCFC-22 の放出量から HFC-23 の放出量を推定したところ、1.18 Gg/y という値を得た。この値は、別の文献 (Simmonds et al., 2018) で報告されている値 (2.83 Gg/y) の約 40% の値であった。この違いは、FTIR で観測された空気塊が、中国南部からの影響を反映していないためであると考えられる。

対流圏界面付近における温室効果ガスの極めて大きな季節変動

大気中の温室効果ガスのグローバルな循環を解明するためにはこれらのガスの空間分布や時間変動を知る必要があるが、世界の観測データは未だ十分とはいえない。特に地表以外の上空の観測値は極めて不足している。我々の研究室では地上ステーションや船舶を利用した観測に加えて航空機を使った温室効果ガスの3次元観測を推進している。

Fig.3 は航空機が対流圏界面付近を飛行した際に、圏界面直下の上部対流圏と直下の下部成層圏で観測した二酸化炭素 (CO₂) 濃度の時間変動である。ここでは気象庁の客観解析データを使って、圏界面からの温度差 ($\Delta\theta$) によって空気塊を分類した。Fig.3 で $\Delta\theta$ が負の値 (赤色) は対流圏の空気であることを、正の値 (青色) は成層圏であることを示す。CO₂ 濃度は対流圏においては陸上生態系の光合成活動で夏季に減少するが、下部成層圏では夏季に流入する低緯度対流圏大気の影響で濃度増加を示す。また、冬季から春季にかけての下部成層圏は沈降流によって濃度が下がる。

メタン (CH₄) 濃度は成層圏においては高度と共に急激に減少している。従って冬季の沈降流の影響を受けると下部成層圏の CH₄ 濃度は大きく減少し、夏季に対流圏から高濃度 CH₄ の流入を受けると濃度が急激に増加するために、極めて大きな季節変動が観測されることになる (Fig.4)。

これらの観測からは温室効果ガスの発生源・吸収源の情報が得られるばかりでなく、成層圏付近の大気輸送やその長期変動を知る手がかりになると期待されている。

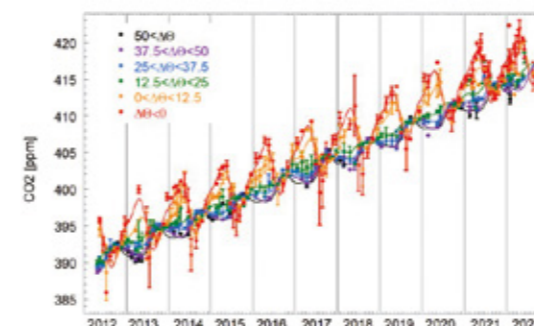


Fig.3 Time series of carbon dioxide mixing ratio observed in the upper troposphere and the lower stratosphere.

Gg/year. This amount is about 40% of the value (2.83 Gg/year) reported by Simmonds et al. (2018). The discrepancy between our estimation and the literature can be attributed to the fact that our measured air masses do not cover the southern part of China, where substantial HCFC-22-manufacturing factories might operate.

Large seasonal variations in greenhouse gases around the tropopause region

We need to know the spatial distribution and temporal variations of atmospheric greenhouse gases (GHGs) to understand the global distribution of their sources and sinks. However, observed GHG data are still insufficient, especially in the upper atmosphere. Our laboratory conducted GHG observation by using ground-based stations, ships, and aircraft.

Fig.3 shows the temporal variations in carbon dioxide (CO₂) at the upper troposphere (UT) and lower stratosphere (LS) observed by aircraft flight around the tropopause. We categorized the air mass by the difference in the potential temperature from the tropopause ($\Delta\theta$) calculated from the meteorological fields of the Japan Meteorological Agency Climate Data Assimilation System. The negative values in $\Delta\theta$ indicate the air mass in the UT (red color in Fig.3), and positive values are in the LT (blue colors in Fig.3). The CO₂ mixing ratio in the UT decreases in summer season by photosynthesis activities, whereas in the LS, CO₂ shows an increase in summer by intrusion of tropospheric air from lower latitudes. From winter to spring, CO₂ in the LS gradually decreases by downward motion of stratospheric air.

A steep vertical gradient can be found in the methane (CH₄) mixing ratio in the stratosphere. Therefore, downward motion in the winter season causes a rapid decrease in CH₄ at the LS (Fig.4). In contrast, a rapid increase of CH₄ can be seen in summer due to air intrusion from the troposphere. As a result, extremely large seasonal variations were observed in the LS.

From the results, we can extract information not only for sources and sinks of their gases but also for air transport in the stratosphere and long-term changes in air transport.

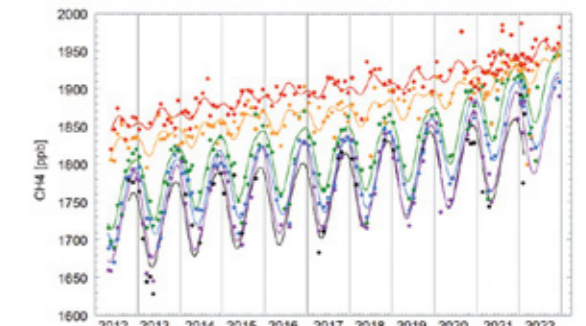


Fig.4 Same as Fig. 3 but for methane mixing ratio.