

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.

つくばにおける 2010 年以降の FTIR 観測による バイオマス燃焼由来 CO 発生源の推定

我々は、つくば (36.1°N, 140.1°E) における 2010 年～2019 年の FTIR 観測データから、CO (一酸化炭素) 及び HCN (シアン化水素) の高度分布を導出し、CO の発生源の推定を行った。CO は主に化石燃料の燃焼やバイオマス燃焼、炭化水素の酸化等によって生成される。大気中では数週間～2ヶ月程度の寿命を持ち、その存在量や発生源には地域的な大きな偏りが存在する。近年アジア地域からの CO の放出が全球的な濃度変化に大きな影響を与えていることが分かっており、その発生源の推定の高度化が望まれている。本解析では、主にバイオマス燃焼によって生成し、数年程度の寿命を持つ HCN をバイオマス燃焼のプロキシとして用いた。つくばの FTIR 観測スペクトルをインバージョン解析プログラム SFIT4 を用いて解析し、CO と HCN の高度分布を 0-5 km と 5-18 km の 2 層についてパーシャルカラムを求め、

Estimation of emission source of carbon monoxide from biomass burning observed with ground-based Fourier transform infrared spectrometer at Tsukuba since 2010

Carbon monoxide (CO) is mainly produced by fossil fuels, biomass burning, and oxidation of hydrocarbons. It has a lifetime of several weeks to 2 months in the atmosphere, and its regional abundance and source are not uniform. In recent years, it has been found that the emission of CO from Asia has a great influence on the global concentration, and it is desired to improve the estimation of its source. We have retrieved atmospheric abundances of CO and hydrogen cyanide (HCN) with a ground-based Fourier transform infrared spectrometer (FTIR), and we have analyzed the spectra observed at Tsukuba, Japan (36.1°N, 140.1°E), from April 2010 to May 2019. In this analysis, the source of CO was estimated using CO-HCN correlation. HCN has a lifetime of several years and it is mainly produced by biomass burning. HCN was used as a proxy for biomass burning. The FTIR retrievals were carried out with the SFIT4

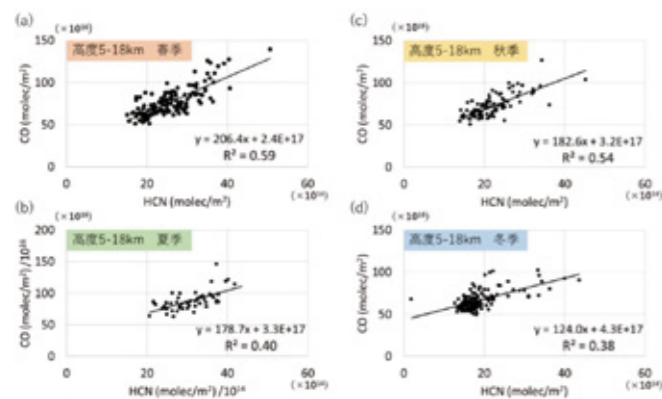


Fig.1 (a) Correlation between partial column of CO and HCN at 5-18 km in spring. (b) Same as (a) but for summer. (c) Same as (a) but for fall. (d) Same as (a) but for winter.

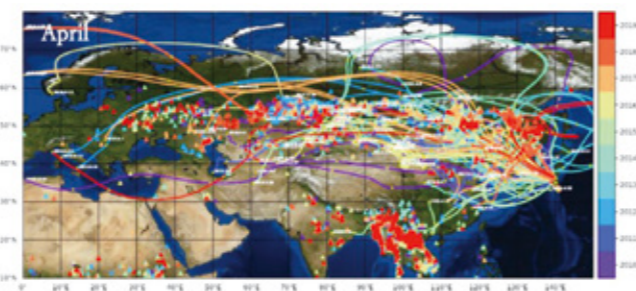
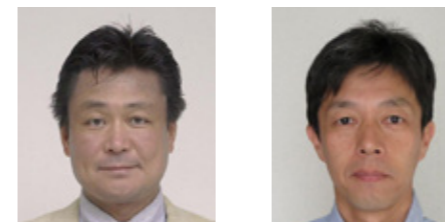


Fig.2 5-days backward trajectory analysis for FTIR analyzed air mass at Tsukuba for altitude of 4 km overlapped with forest fire locations observed MODIS satellites. The color represents the year of observation.



客員教授 中島 英彰
Professor
Hideaki Nakajima

客員教授 町田 敏暢
Professor
Toshinobu Machida

それらの間の相関を解析した。その結果、春季の 5-18 km の CO と HCN カラム量の間に関連関係が確認された。相関解析から得られた CO/HCN 比から、大気中 CO パーシャルカラムにおけるバイオマス燃焼起源 CO の割合を求めた結果、3-5 月の平均で約 70% という値を得た。またこの空気塊の後方粒跡線解析を行った結果、春季の高度 5-18 km において中国東北部からロシアの緯度 50-60°N 帯の地域の森林火災を起源とする CO である可能性が示唆される結果を得ることができた。

航空機と船舶の観測から推定した赤道アジア域における 2015 年の森林火災からの CO₂ 放出

大気輸送モデルの逆解析を利用して 2015 年の強いエルニーニョ現象によって引き起こされた赤道アジア域における泥炭・森林火災からの二酸化炭素 (CO₂) 放出量をトップダウン法で推定した。この逆解析には民間航空機を使った CONTRAIL プロジェクトで得られた高精度の CO₂ 観測データが用いられている (Fig.3)。またこれとは独立した観測である同地域を航行する船舶を使ったプロジェクトでの測定値 (特に CO 濃度) を利用して火災起源 CO₂ の検証を行った。航空機と船舶の観測から推定された 2015 年 9-10 月の火災による炭素放出量は 273 Tg であった (Fig.4)。この 2 ヶ月の放出量は当該地域における年間の火災による放出量の 75%、年間の正味炭素放出量の 45% に相当する。このことは森林火災が赤道アジア域における炭素フラックスの年々変動の主たる要因であることを意味する。感度テストを行ったところ、航空機観測のデータは確実に火災の情報を含んでいるものの、(ボトムアップ法で推定された) 初期値の情報にも逆解析の結果が左右されうることもわかった。逆解析の計算値はボトムアップ法の推定値より低めの値を示すが、この原因の一部は船舶観測の CO と CO₂ の濃度比に起因していると考えられる。将来の地球温暖化の進行によって赤道アジア域は乾燥化が進むと予想され、さらなる泥炭・森林火災が大気への炭素放出を加速する危険性がある。(Niwa et al., *ACP*, 2021)

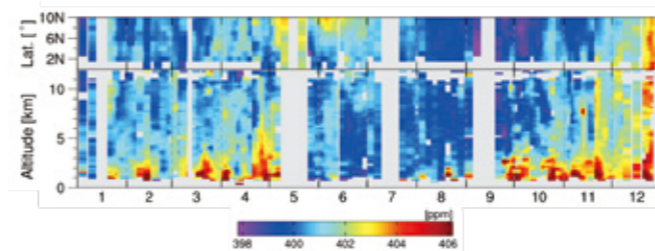


Fig.3 CO₂ mole fractions in the free troposphere around Equatorial Asia observed by CONTRAIL. Upper panel presents a time-latitude cross section from cruising mode data within the longitude range of 90-130 E and the lower panel shows a time-altitude cross section from ascending and descending data over Singapore.

retrieval program. Vertical profiles of CO and HCN were retrieved, and partial column amounts in two layers, 0-5 km and 5-18 km were obtained. Using correlation analysis between CO and HCN, significant positive correlation was found between them at 5-18 km in spring. From the CO:HCN ratio, the biomass burning-derived CO was estimated to be about 70% from March to May. From the backward trajectory analysis of the air mass, it was confirmed that the biomass burning-origin air mass mainly originated from forest fires in northeastern China to Russia in the area of 50-60°N.

Estimation of fire-induced carbon emissions from Equatorial Asia in 2015 using in situ aircraft and ship observations

Inverse analysis was used to estimate fire-induced carbon emissions in Equatorial Asia due to the big El Niño event in 2015. This inverse analysis is unique because it extensively used high-precision atmospheric mole fraction data of carbon dioxide (CO₂) from the commercial aircraft observation project CONTRAIL (Fig.3). Through comparisons with independent shipboard observations, especially carbon monoxide (CO) data, the validity of the estimated fire-induced carbon emissions was demonstrated. The best estimate, which used both aircraft and shipboard CO₂ observations, indicated 273 TgC for fire emissions from September-October 2015. This 2-month period accounts for 75% of the annual total fire emissions and 45% of the annual total net carbon flux within the region, indicating that fire emissions are a dominant driving force of interannual variations of carbon fluxes in Equatorial Asia. Several sensitivity experiments demonstrated that aircraft observations could measure fire signals, though they showed a certain degree of sensitivity to prior fire-emission data. The inversions coherently estimated smaller fire emissions than the prior data did, partially because of the small contribution of peatland fires indicated by enhanced ratios of CO and CO₂ observed by the ship. In future warmer climate conditions, Equatorial Asia may experience more severe droughts, which risks releasing a large amount of carbon into the atmosphere (Niwa et al., *ACP*, 2021).

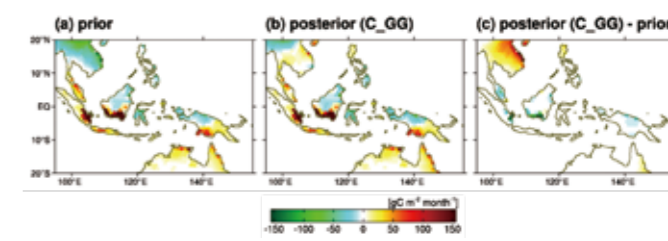


Fig.4 Prior (a) and posterior (b) surface CO₂ flux distributions averaged for September 2015. Differences between prior and posterior fluxes (c) is also shown.