

# グローバルな炭素循環の変化を捉える

## Observation of Changes in Global Carbon Cycle

We, in cooperation with National Institute for Environmental Studies, carry out research on global atmospheric environment, such as global warming, and air pollution. For that purpose, we develop 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 the 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 at Asia, the Antarctica and the Arctic including Siberia, and study global atmospheric environment change by analyzing these data.

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。

### 衛星観測とモデルを用いた極成層圏雲がオゾン破壊に与える影響の定量化

国立環境研究所では、人工衛星 CALIPSO/CALIOP と Aura/MLS のデータを用いて、極域オゾン破壊の引き金を引く極成層圏雲 (PSC) が塩素化合物の活性化に与える影響の定量化を行った。PSC のタイプが同定できる CALIOP データから、2009/2010 北極初冬の PSC が初めて現れた空気塊を選び出し、5 日間の前方・後方粒跡線計算を行った。そのトラジェクトリーにマッチした MLS のデータから、HCl 及び ClO の変化の様子を解析した (Fig.1)。その結果、空気塊の気温が緩やかに低下するときは NAT タイプの PSC が、急速に低下するときは STS や Ice タイプの PSC が生成することを明らかにした。さらに、トラジェクトリー上での各種微量気体成分の変動の様子を、トラジェクトリー化学モデル ATLAS による結果と比較することにより、塩素化合物の活性化には  $T_{NAT-4K}$  の閾値温度が重要であることを明らかにした。以上研究の成果は、以下の論文に発表された。

Nakajima, H., et al. (2016): Polar stratospheric cloud evolution and chlorine activation measured by CALIPSO and MLS, and modeled by ATLAS, Atmos. Chem. Phys., 16, 3311-3325, doi:10.5194/acp-16-3311-2016.

### 地上観測とリモートセンシングによる陸域生態系の炭素収支の研究

国立環境研究所では、地上観測やリモートセンシングを活用し、森林での炭素収支、炭素の蓄積量などを広域で精緻に評価することにより、気候変動緩和策 (REDD+ や二国間クレジット制度等) の実現に資する研究を進めている。人工衛星から観測される植生の分光反射率は、世界の森林による CO<sub>2</sub> 吸収量の広域推定を行う上で有力なデータであることから、各地の CO<sub>2</sub> フラックス観測サイトでは、分光放射計を観測タワーに設置して衛星データの検証や広域化手法の開発改良を行う研究が進められている。このたび、タワーなどの構造物や天空光の混入の影響を効果的に取り除き、植生のみ分光反射光を正確に測定することのできる遮蔽装置を開発した (Fig.2)。この装置を実際の森林 (国立環境研究所富士北麓フラックス観測サイト) に設置して長期的な影響評価を行ったところ、従来の方法 (非遮蔽時) の反射率は遮蔽時の最大約 3 倍になり、分光反射率から算出される植生指標が 8 ~ 22% 過小評価されるなど植生指数の値にも大きな影響が認めら

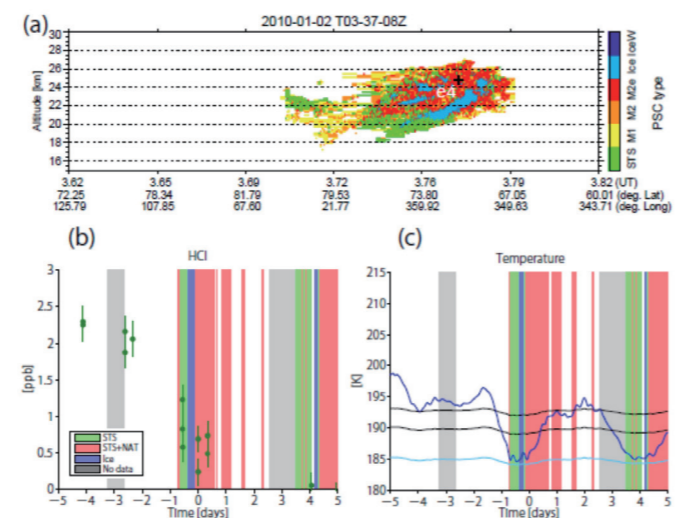


Fig.1 (a) Time-altitude plot of the PSC distribution measured by CALIOP, and HCl variation (b) along the forward trajectory starting at e4 (+) point in (a), as well as temperature history (c) along the trajectory.



客員教授 中島 英彰 Professor Hideaki Nakajima  
客員教授 三枝 信子 Professor Nobuko Saigusa  
客員教授 町田 敏暢 Professor Toshinobu Machida

れた。今後はこのような遮蔽装置の普及により、植生による分光反射率の精度向上が期待できる。この研究の成果は以下の論文に発表された。

Ide R., Hirose Y., Oguma H., Saigusa N. (2016) Development of a masking device to exclude contaminated reflection during tower-based measurements of spectral reflectance from a vegetation canopy. Agricultural and Forest Meteorology, 223, 141-150

### 温室効果ガスの地球規模観測

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そ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まだ十分ではない。特に地表以外の上空の観測値は決定的に不足している。われわれ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。

上空大気の観測データを高頻度で獲得するために、2005 年より定期旅客便に観測装置を搭載した観測プロジェクト (CONTRAIL プロジェクト) が国立環境研究所や気象研究所などのグループによって実施されている。定期旅客便を使った定期的な CO<sub>2</sub> 濃度の観測は世界で初めてである。これらのデータは上空における CO<sub>2</sub> 濃度の情報を著しく増やしつつあり、炭素循環の解明ばかりでなく、大気輸送モデルの検証、大気輸送メカニズムの解析、衛星観測データの検証にも大きく貢献している。

Fig.3 は日本の成田空港上空 (上図) とインドのデリー空港上空 (下図) で観測された二酸化炭素濃度鉛直分布の季節変化である。縦軸は高度を、横軸は月を表しており、年をまたがった季節変化がわかり

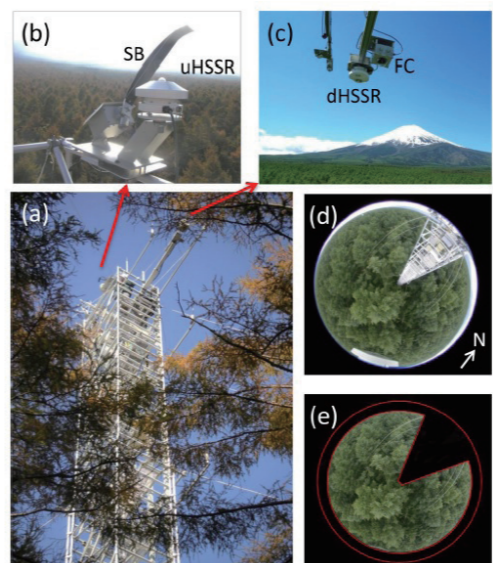


Fig.2 Flux tower and the spectral measurement system.

やすいように 2 年分の変動を示している。日本上空でもインド上空でも、二酸化炭素濃度は 8 月から 9 月にかけて陸上植物の光合成活動による吸収の影響を受けて非常に低い濃度を示し、さらに夏季は地表が暖まりやすく大気の下層混合が盛んになるため、地表から高度 12km 付近の上空までほぼ同時に濃度が下がっていることがわかる。夏が終わると、人為的な排出に加えて、植物の呼吸活動が光合成の活動を上回るため、二酸化炭素濃度は地表から上昇を始める。この季節は夏ほど大気の下層混合が活発ではないので、二酸化炭素は地表付近から蓄積していき、徐々に上空へと伝わっていく様子が日本上空のデータから明確に確認できる。日本以外でも、北半球の多くの観測サイトでこれに類似した季節変化が観測されている。これに対してインド上空では、10 月から 12 月にかけて濃度上昇が始まることは確認できるが、1 月から 3 月までは地表付近であっても非常に低い濃度が観測されている。デリー上空における二酸化炭素濃度の鉛直構造を解析した結果、デリー周辺では 1 月から地表付近での二酸化炭素吸収が強く、2 月から 3 月にかけて最大になることがわかった。デリー周辺には穀物地帯が広がっており、1 月から 3 月までは冬小麦の生育時期と一致していることから、Fig.3 下図の特徴的な季節変化は冬小麦の栽培によって作り出されることがわかった。さらに、この地域の陸上生態系が吸収した二酸化炭素の量は人為放出量の 2 倍近くに及ぶと推定できた。この結果によってインドを含む南アジア域における炭素循環の理解が大きく進むものと期待できる。この研究の成果は以下の論文に発表された。

Umezawa, T., Y. Niwa, Y. Sawa, T. Machida and H. Matsueda (2016), Winter crop CO<sub>2</sub> uptake inferred from CONTRAIL measurements over Delhi, India, Geophys. Res. Lett. doi: 10.1002/2016GL070939.

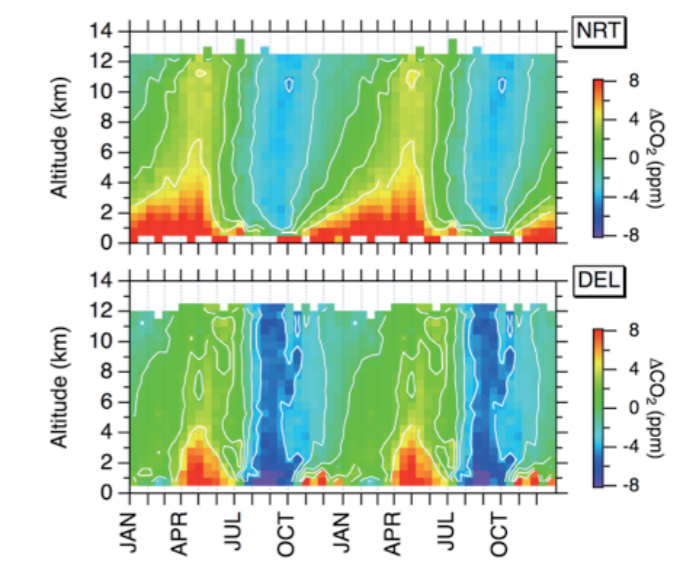


Fig.3 Seasonal variations of vertical profile in CO<sub>2</sub> mixing ratio observed over Narita (NRT), Japan (upper panel) and Delhi (DEL), India (lower panel).