

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。

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・炭素蓄積量の観測

国立環境研究所では、地上観測や衛星リモートセンシングを併用し、大気中二酸化炭素濃度とその他の地表でのフラックス(単位時間・単位面積当たりの交換量)の観測データに基づいて、森林での炭素収支、炭素の蓄積量、森林伐採に伴う炭素放出量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)の実現に資するための研究を進めている。従来、炭素蓄積量を広域で評価するには膨大な数の樹木を現地にて調査することが必要であったが、このたび衛星データを利用して森林の炭素蓄積量を精緻に計測できる技術を開発し、北海道とボルネオ島で検証を行ったところ、有効な結果が得られた。利用した衛星データは、レーザー光を利用するライダーを搭載したNASAのICESat衛星のデータである。この衛星は、軌道直下において170mごとに約60m径の範囲をレーザー光で照射し、地表で反射したレーザー光の強度変化を記録し、その波形の長さや形状を解析することで、樹高や森林バイオマスを推定することができる。

まず北海道(温帯林)とボルネオ島(熱帯林)という、森林タイプの異なる2地域をテストサイトとして、技術開発を行った。衛星ライダーによる観測波形の特徴量を複数組み合わせることで、バイオマスが非常に大きく従来の方法では正確な計測が困難であった熱帯林においても、樹高と森林バイオマスを高精度に計測できることを示した。計測精度(自乗平均平方根誤差)は、樹高については約4m、森林バイオ

マスについては1 haあたり約40トンであった。この技術を利用して、ボルネオ島の森林バイオマス総量は約1.034×10¹⁰トンであること、2004～2007年においてボルネオ島の森林が年間2.4%の速さで消失したことなどを算定することにも成功した。この技術は、これまで統計情報などに頼ることが多かった全球規模の森林資源評価に強力なツールを提供するばかりでなく、森林を含めた炭素循環過程を解明するうえでも大きく期待される。また、高い生物多様性をもつ熱帯林においても高精度で樹高やバイオマスを計測できるため、地球規模での生物多様性の指標開発にも応用できると考えられる。これらの成果は、下記2件の論文に発表された。

- ・Hayashi M, Saigusa N, Yamagata Y, Hirano T, 2015: Regional forest biomass resources estimation using ICESat/GLAS spaceborne LiDAR over Borneo. Carbon Management, 6, 19-33.
- ・Hayashi M, Saigusa N, Oguma H, Yamagata Y, Takao G, 2015: Quantitative assessment of the impact of typhoon disturbance on a Japanese forest using satellite laser altimetry. Remote Sensing of Environment, 156, 216-225.

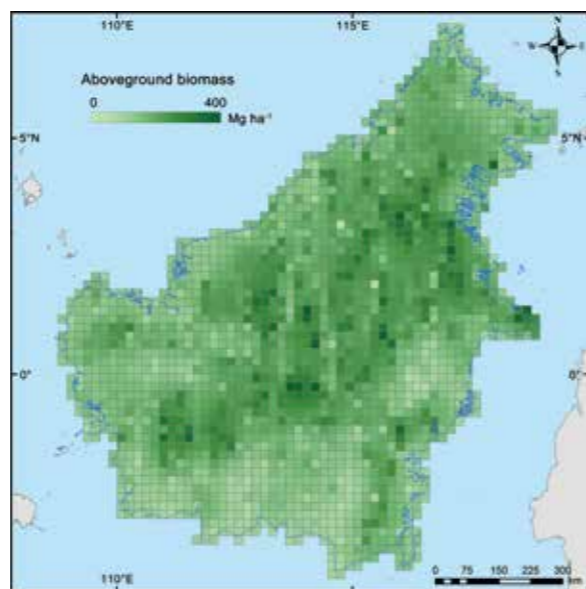
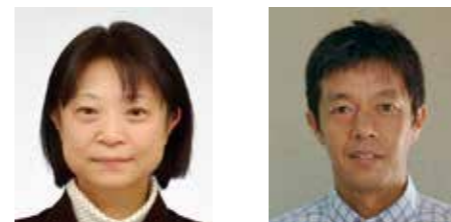


Fig.1 Spatial distribution of aboveground biomass in Borneo.



客員教授 三枝 信子
Professor Nobuko Saigusa
客員教授 町田 敏暢
Professor Toshinobu Machida

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常的なCO₂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CO₂濃度の情報を著しく増やしつづあり、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。CONTRAILではこれまで8機のボーイング777-200ER型機を使った観測を実施してきたが、2015年2月より大型のボーイング777-300ER型機による観測が開始され、より広範囲の観測が可能になった。

Fig. 3は日本と欧州を結ぶ路線上のシベリア域上空でCONTRAIL観測装置を使って得られたCO₂濃度、CH₄濃度、N₂O濃度、SF₆濃度の時系列である。北極域は圏界面の高度が低いために航空機の巡航高度であっても成層圏を飛行することがある。この研究では気

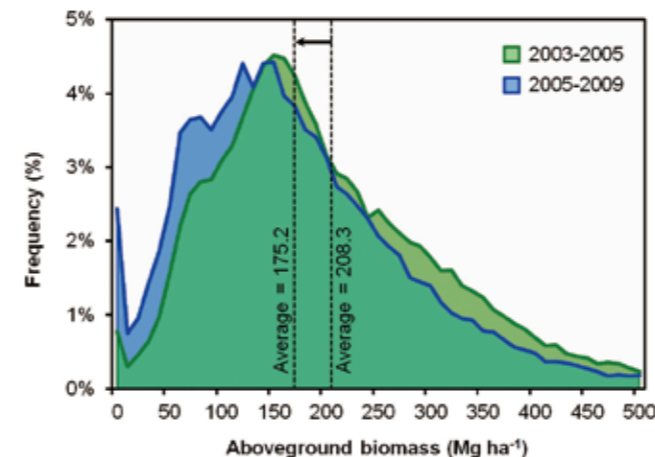


Fig.2 Aboveground biomass histograms estimated in Borneo over forested area based on dividing the ICESat/GLAS data into data from two periods (2003 to 2005 and 2005 to 2009).

象庁の客観解析データを使って渦位が"2"である高度を圏界面とし、圏界面からの温位差(Δθ)によってサンプリング地点の空気塊を分類した。Fig. 3でΔθが負の値は対流圏の空気であることを、正の値は成層圏であることを示す。上部対流圏のCO₂濃度は陸域生態系の光合成・呼吸のバランスで夏季に低い濃度を示すが、成層圏の濃度は逆に春季から夏季にかけて上昇しており、対流圏とは逆の位相が観測された。成層圏における夏季の濃度上昇は、上部対流圏の低緯度にある大気が圏界面を横切って高緯度の下部成層圏に輸送されるメカニズムによって引き起こされていると考えられる。一方、秋季から春季にかけての成層圏のCO₂濃度にはわずかな減少傾向が見られる。これは上層にある低濃度のCO₂が冬季に沈降してくることが要因と思われる。上部対流圏のCH₄濃度、N₂O濃度およびSF₆濃度には目立った季節変動はないが、成層圏と対流圏の濃度差ならびに成層圏での鉛直方向の濃度差が大きいので、夏季と冬季の輸送によって成層圏では明瞭な季節変動が観測されている。温室効果ガスの観測は、それらのガスの放出源・吸収源の定量を行うばかりでなく、地球大気の循環に関する知見も得ることができる。これらの成果は以下の論文に発表された。

- ・Sawa, Y., T. Machida, H. Matsueda, Y. Niwa, K. Tsuboi, S. Murayama, S. Morimoto, and S. Aoki (2015), Seasonal changes of CO₂, CH₄, N₂O, and SF₆ in the upper troposphere/lower stratosphere over the Eurasian continent observed by commercial airliner, Geophys. Res. Lett., 42, doi:10.1002/2014GL062734.

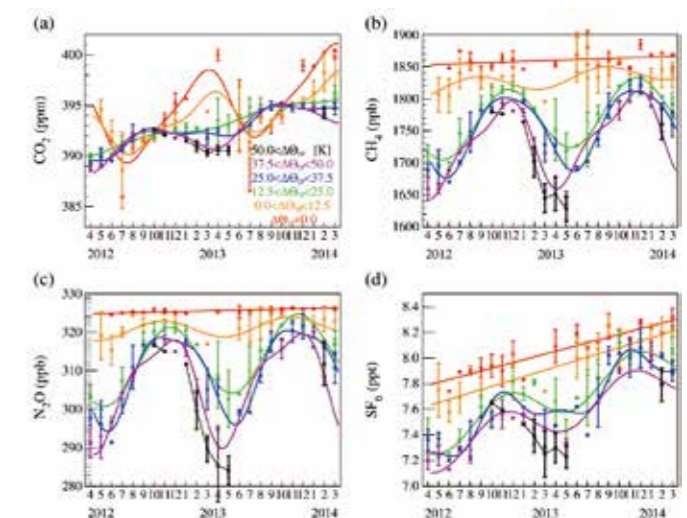


Fig.3 Time series of greenhouse gases observed in the upper troposphere and the lower stratosphere between. Monthly means and standard deviations for (a) CO₂, (b) CH₄, (c) N₂O, and (d) SF₆. The colors represent the mole fractions observed at every 12.5 K bin from the local tropopause. The lines are the fitted curves to the data, each composed of a linear trend with or without harmonics.