

航空機観測による大気科学・気候システム研究の推進-日本学術会議への日本気象学会の提案- Promotion of Scientific Research on Atmosphere and Climate System Using Aircrafts: Proposal of MSJ to SCJ

新野 宏^{1*}; 近藤 豊²; 佐藤 正樹¹; 小池 真²
NIINO, Hiroshi^{1*}; KONDO, Yutaka²; SATOH, Masaki¹; KOIKE, Makoto²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 東京大学大学院理学系研究科

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² Graduate School of Science, The University of Tokyo

航空機による地球観測は、人工衛星観測、地上観測と並ぶ地球観測の3本柱の1つとして、大気科学および幅広い地球科学の研究コミュニティで長年にわたりその必要性が議論されてきた。特に最近、日本気象学会（以下気象学会）では学術委員会内に「航空機観測に関する検討部会（部会長 近藤豊（東大院・理）」を設置し、2年間にわたり検討を進めてきた。部会では、これまでの我が国の航空機観測の実績、国際的な航空機観測の状況、地球科学（特に大気科学分野）において航空機観測が必要とされる課題、我が国の現状、若手研究者の育成の必要性、予想される成果、人工衛星・地上観測との連携、実施体制や運用形態などについて、様々な観点から議論が行われた。2012年9月にはこれらの議論を集約した報告書「地球環境変動の研究と自然災害現象の実態とメカニズムの解明のための航空機の利用に関する提案」（http://www.metsoc.or.jp/cgi-bin/kokuki_iken/ikenboshu1_report.pdf）を取りまとめた。この報告書の内容は気象学会の学術委員会および理事会で承認され、計画の実施が推奨された。また地球惑星科学連合に参画する学協会である日本大気化学会（当時、大気化学研究会）運営委員会でも、報告書の内容が検討され、承認された。

このような準備・議論を背景として、気象学会は日本学術会議が公募した第22期学術の大型施設計画・大規模研究計画に関するマスタープラン「学術大型研究計画」に「航空機観測による大気科学・気候システム研究の推進」を提案した。その内容は以下の通りである。

本研究計画の目的は、地球観測研究専用の航空機を導入し、大気科学・気候システム研究を飛躍的に推進することである。地球温暖化を含む地球環境の変動が急速に進行し、人間の経済社会活動や水・食糧供給など生活の基盤に大きな影響を与えつつある。このため地球環境変動の現状を把握し将来を予測し、対策を講じることが重要である。文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会の地球観測推進部会がまとめた「我が国における地球観測の実施方針」においては緊急に解明すべき問題として、温室効果気体の循環、雲物理・降水過程、対流圏大気の変化、極域の気候変化、水循環の変動などが挙げられている。

これらの地球環境問題に対応するには、地上からの観測ばかりでなく航空機を用いた地球観測システムの構築と、そのための広い分野の研究者が長期的な視点から利用できる航空機の運用体制を確立することが必要である。先端的な計測器を用いた航空機による直接観測は、測定項目、精度、時空間分解能の点で優れている。地球規模での観測では人工衛星も重要な役割を果たしているが、航空機観測と人工衛星の観測を組み合わせることにより大きな相乗効果が生じる。

また、地震・津波・洪水などの自然災害や原発事故・海洋汚染などの深刻な事故が起きている。このような災害・事故の際に、的確な観測器を搭載して機動的に観測できる体制を構築することが急務である。これにより迅速な対策を講じることが可能になる。

日本が知的リーダーシップを取り、諸外国の研究者と共同してアジアの環境問題の研究を推進するためには、共同利用できる航空機観測の研究基盤を安定的に供給することが必要である。また、共同利用のための航空機は最先端の測定機器（人工衛星搭載センサーを含む）の継続的な開発・試験のための重要なプラットフォームとなり、将来の航空機観測を担う若手研究者の育成にも不可欠である。これらの目的を達成するために、我が国独自の観測専用機を保有／占有し、大学や各種機関が中心となるボトムアップの共同利用組織により、大気科学を推進するシステムの構築が必要である。今後は、大気科学を中心とした研究課題の内容を深めるとともに、より広い地球科学分野における利用も含めて、計画を充実していく必要がある。

キーワード: 大気科学, 気候システム, 航空機, 日本気象学会, 日本学術会議, 大型研究計画マスタープラン

Keywords: Atmospheric Science, Climate System, Research Aircrafts, Meteorological Society of Japan, Science Council of Japan, Master Plan of Large Research Projects

航空機を利用した大気中温室効果ガスの長期観測 Long-term Observation of Atmospheric Greenhouse Gases using Aircraft

町田 敏暢^{1*}; 松枝 秀和²; 澤 庸介²; 森本 真司³; 青木 周司³

MACHIDA, Toshinobu^{1*}; MATSUEDA, Hidekazu²; SAWA, Yousuke²; MORIMOTO, Shinji³; AOKI, Shuji³

¹ 国立環境研究所, ² 気象研究所, ³ 東北大学大学院理学研究科

¹National Institute for Environmental Studies, ²Meteorological Research Institute, ³Graduate School of Science, Tohoku University

二酸化炭素 (CO₂) などの温室効果ガスの将来濃度を正確に予測するためには、これらのガスの全球循環を定量的に理解する必要がある。大気中温室効果ガスの空間分布や時間変動の把握は、地球表層からの発生量・吸収量の推定誤差を低減するための方法の一つである。しかしながら世界には未だにいくつかの大気観測の空白域が存在し、特に上空の観測は地上での観測に比べて極めて少ないのが現状である。

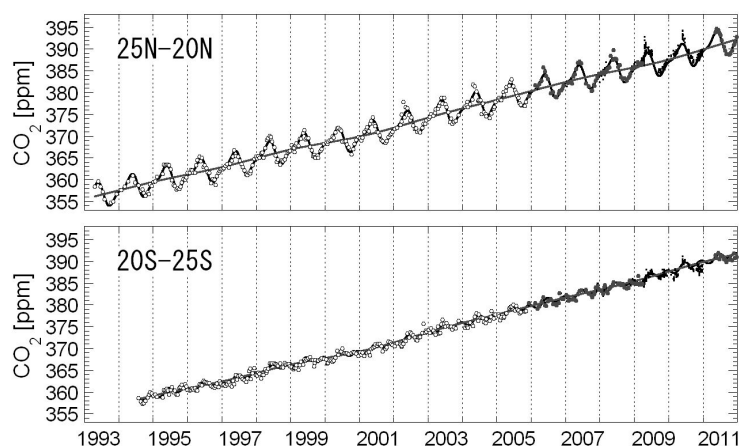
航空機は対流圏から下部成層圏までの高度における大気成分を観測する上で最も信頼のおける手法の一つである。大気中温室効果ガスの三次元分布や時間的な変動を明らかにすることを目的として、いくつかの観測計画が実施されている。

東北大学はチャーター機と定期航空便を利用して日本上空 200m から 10000m における CO₂ 濃度の観測を 1979 年から現在まで続けている。ここで得られた結果は上空の CO₂ 濃度データとしては世界最長の記録である。同じく東北大学は日本航空 (JAL) が運航するシドニー-成田間と成田-アムステルダム間で上部対流圏における CO₂ 濃度の緯度分布観測を 1984 年から 1985 年にかけて実施した。JAL の航空機を利用した日豪間の観測は気象研究所 (MRI) によって自動大気サンプリング装置 (ASE) を使って 1993 年に再開された。2005 年には JAL の観測を継続発展し、改良型 ASE と二酸化炭素濃度自動測定装置 (CME) を使った CONTRAIL プロジェクトが国立環境研究所と気象研究所によって開始された。新旧の ASE で観測された日豪間の上部対流圏における CO₂ 濃度の時系列を図に示す。CONTRAIL の CME は上空における世界の CO₂ 濃度データを飛躍的に増やすことに成功し、これらのデータは炭素循環の解明ばかりでなく、全球の大気循環、モデルの検証、衛星観測の検証などに利用されている。

日本において観測専用の航空機を導入した際には、上述の技術や装置を利用して大気中温室効果ガスを長期的に観測できる体制の構築を提案する。

キーワード: 温室効果ガス, 航空機, 二酸化炭素, 長期観測, 対流圏

Keywords: Greenhouse gases, Aircraft, CO₂, Long-term observation, Troposphere



航空機観測による反応性気体の大気化学解明 Elucidation of atmospheric chemistry of reactive gases from airborne observations

金谷 有剛^{1*}
KANAYA, Yugo^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

大気酸化能を制御する OH ラジカルや、温暖化気体であり大気汚染物質でもある対流圏オゾンの収支を理解するには、前駆物質 (NO_x, CO, VOC など) を含む関連化学種の濃度の変動を、あらゆる時空間スケールでおさえることが重要である。近年、衛星観測の進展によって、NO₂ などの地域～全球スケールの分布情報や季節変動傾向などがとらえられるようになってきた。しかしながら、現在のところ衛星観測から得られる情報は鉛直積分されたカラム濃度であることが多く、高度分布情報は得られにくい。また、得られる水平分解能には限りがある。航空機観測はこのような点を補う情報を提供しうるものである。

航空機による in situ 観測は、NO_x や CO、VOC 類など、他の観測手段 (ゾンデ等) のない成分について、貴重な鉛直分布の情報を提供し、モデルシミュレーションの評価手段となってきた。今後もこのような役割を果たすことが重要である。また次世代の衛星観測解析では、多波長観測情報を組み合わせた高度分離技術が一層進展することが予想され、その検証手段としての航空機観測の重要度は高い。たとえば、衛星等からオゾンや CO については対流圏を高度方向に 2～3 層に分離して計測する試みや計画が進展しており、連携した航空機観測による検証が重要である。とくに、健康・農作物影響などの観点で重要な地表付近 (または大気境界層内) 濃度の把握は重要である。

In situ 計測に加え、航空機からのリモートセンシング計測は、水平・高度分解能を飛躍的に高める可能性を持っている。たとえば、衛星に搭載されるような直下視型のマルチチャンネル型イメージング分光器による航空機観測では、低高度からの観測利点を生かして、百メートル単位の水平分解能の観測が実現でき、都市内の前駆物質の不均一さもとらえることができ、メソスケール大気環境科学へも新風をもたらすことができるだろう。直下視だけでなく、航空機からリム多方向において分光計測を行い、それを多くの高度で行って、それらの結果を合わせて解析することで、詳細な高度分布計測を実現することもできる。

ハロゲン類など未知化学種の動態解明、陸域・海洋との相互作用も視野にいた観測も重要であり、その点についても強調したい。

キーワード: 高度分布, 窒素酸化物, 一酸化炭素, オゾン, 航空機からのリモートセンシング, 水平解像度

Keywords: vertical profile, nitrogen oxides, carbon monoxide, ozone, remote sensing from aircraft, spatial resolution

航空機によるエアロゾルの観測とモデル研究 Aerosol measurements by aircraft and modeling studies

大島 長^{1*}; 近藤 豊²; 小池 真²; 茂木 信宏²; 竹川 暢之³; 北 和之⁴; 中村 尚³
OSHIMA, Naga^{1*}; KONDO, Yutaka²; KOIKE, Makoto²; MOTOKI, Nobuhiro²; TAKEGAWA, Nobuyuki³; KITA, Kazuyuki⁴
; NAKAMURA, Hisashi³

¹ 気象研究所, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ³ 東京大学先端科学技術研究センター, ⁴ 茨城大学理学部
¹Meteorological Research Institute, ²Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ³Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, ⁴Faculty of Science, Ibaraki University

大気中の多くのエアロゾル成分が太陽放射を散乱するのに対し、ブラックカーボン粒子は太陽放射を効率的に吸収し、大気を加熱する。このためブラックカーボンが気候システムに果たす役割は非常に重要であると認識されている。しかしながら、現在の全球モデルによるブラックカーボンの空間分布やその光吸収量の計算には大きな不確実性が含まれている。その主な要因としては、モデルで扱われるエアロゾルの鉛直輸送過程や降水による除去過程に大きな不確実性が含まれていることが挙げられる。エアロゾルの鉛直輸送過程と除去過程は、ブラックカーボンの空間分布や放射影響を直接的に決定するため、これらの過程の理解を深めることは非常に重要である。そのためには、対流圏全高度におけるブラックカーボンの観測が必要であるが、ブラックカーボンの主要な発生源である東アジア域では、2001年春にACE AsiaとTRACE-P観測が実施されて以来、対流圏全高度でのブラックカーボンの航空機観測は実施されてこなかった。

このような状況の中で、2009年3-4月にA-FORCE (Aerosol Radiative Forcing in East Asia) 航空機観測が黄海・東シナ海・西太平洋上において実施され、計120回にわたって、ブラックカーボン粒子、一酸化炭素(CO)濃度、エアロゾル数濃度、雲微物理特性などが高度0-9kmにおいて測定された(Oshima et al., 2012; Moteki et al., 2012; Koike et al., 2012; Takegawa et al., 2013)。その結果、非常に高濃度のブラックカーボンが黄海上空の自由対流圏中において観測された。また本研究(Oshima et al., 2012)では、COをトレーサとして扱うことで(数日間の時間スケールではCOは大気中から除去されないとみなせる)、観測された空気塊中のブラックカーボン濃度とCO濃度の比率の変化を用いて、大気中に排出されたブラックカーボンの何割が除去されずに観測点まで輸送されたかを示す輸送効率(除去過程の指標)を導出した。このブラックカーボンの輸送効率は、空気塊が輸送中に経験する降水量に応じて減少し、高度2-4kmでは70-90%、高度4-9kmでは30-50%程度であった。

引き続き本研究(Oshima et al., 2013)では、これらの観測から得られた知見に基づき、領域三次元化学輸送モデルWRF-CMAQで扱われるエアロゾルの湿性沈着過程に独自の改良を加え、A-FORCE航空機観測との比較を通じて、ブラックカーボンの鉛直輸送過程と除去過程について調べた。観測とモデル結果を比較したところ、モデルは観測から推定した輸送効率を全高度においてよく再現しており、これはモデルで取り扱われているエアロゾルの除去過程の妥当性を示している。春季東アジア域におけるブラックカーボンの輸送経路は主に3種類あり、大気境界層内を東向きに輸送される経路(ブラックカーボンの降水による除去は弱い)に加えて、中国北東域(低気圧活動に伴う上昇、中程度の除去)と中国南部の内陸域(地形性と積雲対流活動に伴う上昇、強い除去)において境界層内から自由対流圏中へと上方輸送され、引き続き西風によって下部対流圏中と中部対流圏中をそれぞれ輸送される経路が存在することが示された。

本講演では、航空機によるエアロゾル観測の重要性と、航空機観測のモデル研究への重要性について焦点を当て、上記の研究成果について発表したい。

参考文献

- Koike, M., et al. (2012), *J. Geophys. Res.*, 117, D17205, doi:10.1029/2011JD017324.
Moteki, N., et al. (2012), *Geophys. Res. Lett.*, 39, L13802, doi:10.1029/2012GL052034.
Oshima, N., et al. (2012), *J. Geophys. Res.*, 117, D03204, doi:10.1029/2011JD016552.
Oshima, N., et al. (2013), *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 13175-13198, doi:10.1002/2013JD020262.
Takegawa, N., et al. (2013), *Aerosol Sci. Technol.*, 47(10), 1059-1065.

キーワード: 航空機観測, エアロゾル, ブラックカーボン, エアロゾルモデル, 物質輸送, 除去過程
Keywords: Aircraft measurements, Aerosols, Black carbon, Aerosol model, Transport, Removal

航空機観測によるエアロゾル-雲相互作用研究 Aircraft measurements of aerosol-cloud interactions

小池 真^{1*}; 茂木 信宏¹; 近藤 豊¹; 竹川 暢之²
KOIKE, Makoto^{1*}; MOTEGI, Nobuhiro¹; KONDO, Yutaka¹; TAKEGAWA, Nobuyuki²

¹ 東京大学大学院・理学系研究科, ² 東京大学・先端科学技術研究センター

¹ Graduate School of Science, University of Tokyo, ² Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo,

1. エアロゾル-雲相互作用研究の重要性

エアロゾルと雲の相互作用は、地球の気候に関わる重要な課題である。エアロゾルは雲凝結核 (CCN) や氷晶核 (IN) として働くことにより、雲粒数濃度や雲の相 (水雲/氷雲) を変化させる。この結果、エアロゾル量の変化は、雲のアルベドや、雲の速い応答 (adjustment) を通じて鉛直積算雲水量や雲量などの変化を引き起こす。これらの雲のミクロ・マクロな変化は、地球の放射収支や降水過程に大きな影響をおよぼすと考えられているが、その見積もりには大きな不確定性がある。

温暖化時の雲のフィードバック過程にも大きな不確定性があり、IPCC 第5次報告書においてもモデル間の下層雲の応答のばらつきが気候感度のばらつきの主要原因となっている。このような雲のフィードバック過程にエアロゾルがどのように関係するかも今後の研究が必要とされる。

一方において雲過程は液相反応によるエアロゾル生成や湿性沈着などを通じてエアロゾルに影響する。エアロゾルと雲の相互作用は、気象学と大気化学、あるいは大気圏と陸上生態系や海洋とを結ぶ重要なプロセスでもある。

2. 航空機観測によるエアロゾル-雲相互作用研究

人工衛星からのエアロゾルや雲物理量の観測は、グローバルなエアロゾルと雲の相互作用研究においてとても重要であるが、観測・推定できる物理量が限られていることや観測・推定の不確定性の問題がある。一方、航空機観測は観測できる時間・場所が限定されるが、エアロゾルと雲の相互作用の根幹であるエアロゾルや雲・降水粒子の粒径分布を直接観測することができる。このような航空機観測の利点により、航空機を主要な観測手段としたエアロゾルと雲の相互作用の観測的研究がこれまでカリフォルニア沖、ペルー沖、熱帯太平洋、インド洋、西アフリカ、北極圏など世界各地で実施されてきている。この結果、地球の放射収支で重要な役割を果たしている東太平洋の層積雲のオープンセル・クローズドセルの形態変化が降水に関係しており、その降水の変動を引き起こす原因のひとつとしてエアロゾルが関与している可能性などが分かってきた。

3. アジアにおける航空機観測

これまでの世界各地の研究から、エアロゾルと雲の相互作用は、エアロゾル数が増えれば雲の寿命が延びるといった単純な関係ではなく、雲システムの環境場に応じてその応答が変化することが報告されている。アジアは世界的に見てもエアロゾル濃度が高く、さらに今後も増大やその化学組成の変化などが予想される領域である。アジアはまた、アジアモンスーンに象徴されるように特徴ある気象条件の中で、様々なタイプの雲・降水システムが形成される。しかしながら、アジアでの航空機観測によるエアロゾルと雲の相互作用研究は極めて限られている。アジアの多様な気象条件において形成される雲へのエアロゾルの影響を体系的に調べていくことは、エアロゾルと雲の相互作用研究に大きな貢献ができることが期待される。

本発表では 2009 年と 2012 年に実施された A-FORCE 航空機観測でのエアロゾル-雲観測を紹介しながら、アジアにおける航空機観測のサイエンスについて議論したい。

キーワード: エアロゾル, 雲, 航空機観測, アジア
Keywords: aerosol, cloud, aircraft measurement, Asia

航空機観測を用いた台風中心付近を対象とした非静力大気海洋結合モデルの結果の評価 Evaluation of a result of a coupled atmosphere-ocean model around a tropical cyclone center using aircraft observations

篠田 太郎^{1*}; 久保 圭之¹; 相木 秀則²; 吉岡 真由美³; 加藤 雅也¹; 坪木 和久¹; 上田 博¹
SHINODA, Taro^{1*}; KUBO, Keishi¹; AIKI, Hidenori²; YOSHIOKA, Mayumi³; KATO, Masaya¹; TSUBOKI, Kazuhisa¹; UYEDA, Hiroshi¹

¹名古屋大学地球水循環研究センター, ²海洋研究開発機構, ³東北大学大気海洋変動観測研究センター
¹HyARC, Nagoya Univ., ²JAMSTEC, ³CAOS, Tohoku Univ.

航空機観測は台風の内部領域(眼や壁雲)の力学的、熱力学的、雲物理的な構造を理解するために有効な手段である。数値シミュレーションも台風の構造を明らかにするためには有効な手段であるが、台風の内部領域の再現性を評価することは大変難しい。本研究では、非静力大気海洋結合モデル CReSS-NHOES を用いて台風の再現実験を行い、その中心付近の構造について航空機観測の結果を用いて再現性を評価した研究の結果を紹介する。

対象とするのは2010年10月に熱帯西部太平洋で発達した第13号台風(T1013, Megi)である。アメリカ合衆国と台湾の強化観測 Impact of Typhoons on the Ocean in the Pacific (ITOP) 期間中、200のドロップゾンデがおよそ高度2.5 kmからT1013の内部領域や周辺に投下された。ドロップゾンデは、落下しながら気圧(高度)、気温、湿度、風向、風速の鉛直プロファイルを観測することができる測器である。これらの鉛直プロファイルを用いて数値実験の結果の評価を行う。数値実験は緯度経度座標系で水平解像度0.02度(およそ2 kmに相当)、T1013が発生してから1日後の10月14日00時(世界時)から7日間にわたって実施した。

数値実験では、台風の進路、中心気圧の変化傾向や最低値などを再現することができた。ドロップゾンデ観測と数値実験の結果を直接比較するために、中心気圧の値や変化傾向を考慮してドロップゾンデ観測が行われた時刻に相当する数値実験の時刻を決定した。ドロップゾンデ観測が実施された時刻における台風の中心位置は、気象庁より提供されるベストトラックデータを線形内挿することで得た。数値実験における対象時刻の中心位置は1時間毎の出力結果にBraunの手法を適用して得た。観測における台風中心に相対的なドロップゾンデ観測の位置を、そのまま数値実験における台風中心に相対的な観測プロファイルを適用した。

本研究では壁雲域を高度2 km以下の全ての層で相対湿度が95%以上、かついずれかの層で風速が 25 m s^{-1} 以上となる格子を含む領域とした。壁雲域の内側を眼の領域、外側を壁雲外域とした。数値実験による壁雲外域の温位、水蒸気混合比、風速の平均値は、ドロップゾンデ観測の平均値からの 1σ (標準偏差)の範囲内に収まっており、統計的には再現されたこれらのパラメータの再現性は良いと考えられる。台風T1013が急発達した後、数値実験では眼の領域で弱風域、壁雲の領域で最大風速域が見られた。これらの点から、定性的には台風の特徴を数値実験で再現できたと考えられる。しかしながら、数値実験では観測結果に比べて、壁雲域での温位がおよそ3 K高く、風速はおよそ 25 m s^{-1} 小さくなっていた。これらの定量的な相違は眼の構造の違いに起因するものであると推定できる。眼の構造についての問題点は航空機観測との比較により初めて明らかにすることができたものである。

キーワード: 航空機観測, 台風, 雲解像モデル, 大気海洋結合モデル, モデル検証

Keywords: aircraft observation, tropical cyclone, cloud-resolving model, coupled atmosphere-ocean model, model evaluation

冬の日本海およびオホーツク海上の飛行機観測 Aircraft observations over the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk in winter

藤吉 康志^{1*}
FUJIYOSHI, Yasushi^{1*}

¹ 北海道大学低温科学研究所

¹ Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.

日本周辺の海域では、冬季の季節風吹き出し時に、大量の熱・水蒸気が海洋から大気に供給され、気団変質と呼ばれる現象が起こる。この気団変質は活発な対流により大気混合層や筋状の雪雲、さらには海氷を発達させる。日本海の雪雲は沿岸に世界有数の豪雪をもたらすと同時に我が国の重要な水資源をもたらす。また、近年の地球温暖化によって急激に面積が減っている北極海周辺の海氷は、大気や海洋の大きな熱的インパクトとして、大気・海洋の循環に大きな影響を与えている。このように、冬の寒冷海洋域は気候や水資源的にも重要な現象が生起している場所であるため、航空機を用いた現場観測を実施した。

日本海の気団変質過程についてはこれまで数値モデルや客観解析データを用いた研究は多数行われてきた。しかし、大気境界層の発達過程を調べるには海面熱フラックスが最大となるロシア沿岸域から日本海上空までの直接観測が必要不可欠である。そこで我々は、寒気の吹き出しの強さが異なる2001年1月と2月にロシア領内の日本海上空でロシア航空機を用いて大気境界層及び雲内観測を行った。飛行は、ハバロフスクを基点として風下方向に約350kmまでの範囲を、複数高度で行った。観測は、寒気吹き出しが弱く筋雲が全く発生しない条件下と、寒気が強く筋雲が発達した条件下、及びその中間の条件下で行った。

また、オホーツク海は冬季に結氷し、海氷は海面の熱・水蒸気フラックスを減少させ、その影響は、局地的にも全球的にも現れる。さらに、オホーツク海では、場所によって海氷密接度に差があり、狭い開水面（リード）を通して気団変質が起きていると考えられる。それを確かめるために我々は、2000年2月にサハリン沿岸からオホーツク海中部まで、海氷の密接度がさまざまに変化する経路上で、海面のアルベド、表面温度、および大気乱流熱フラックスの連続観測、同時に可視・赤外カメラによる海面の撮影を行った。

寒冷海洋域での海氷の長期変動を予測するためには、海氷面積と同時に厚さの情報が必要不可欠であるが、未だ現場測定以外決定版は無い。我々は、オホーツク海沿岸の紋別市に設置したXバンドドップラーレーダを用いて、冬季には海氷観測モードで海氷面積や海氷域の短時間変動を観測している。本レーダは3次元走査が可能であるので、海氷の3次元立体表示を行ったところ、海氷域の凹凸が表示された。しかし、この凹凸が実際の海氷の凹凸にどのように対応しているかどうかは、実測が無いので確認できていない。そこで、2014年2月に航空機で海氷の凹凸を測量し、レーダ画面上の海氷域の凹凸の物理的解釈を行った。

キーワード: 雪雲, 海氷, 海洋境界層

Keywords: snow clouds, sea ice, marine boundary layer

航空機による沿岸、海洋の研究と観測 Use of Aircraft for Coastal and Oceanographic Research and Observations

石坂 丞二^{1*}
ISHIZAKA, Joji^{1*}

¹ 名古屋大学地球水循環研究センター

¹Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University

Aircraft should be useful to observe coastal and ocean environments, including physical, chemical and biological properties, especially under the rapid, unexpected and dangerous conditions, such as typhoon or volcanic eruption, where ship operation is difficult. It is expected that there are two methods of observations from aircraft, other than seaplane, for oceanographic research; one is remote sensing and another is use of air-deployable sensors or platforms. Various remote sensing sensors are available using visible, infrared, microwave and sound waves. They have advantage to satellite-based remote sensors with high resolution and more flexible overflight, and they should be useful for coastal applications. Most of the remote sensing sensors can only obtain surface information; however LIDAR can detect vertical profiles of some parameters such as plankton distribution. Air-deployable sensors have been used for measurements of vertical profiles of temperature (AXB T; Airborne eXpendable Bath yThermograph), salinity (AXCTD; Airborne eXpendable Conductivity Temperature and Depth probes), and current (AXCP; Airborne eXpendable Current Profilers). More recently, vertical profiling floats are developed and deployed for Argo project. There were attempts to deploy one of the vertical profiling floats, Electromagnetic Autonomous Profiling Explorer (EX-APEC), from airplane for typhoon observation and obtained profiles of temperature, density and currents. Autonomous profiling floats are now developing equipped with chemical, optical and biological parameters, and should be deployable from aircraft. Other various types of small autonomous underwater vehicles (AUV) are also underdevelopment and may be deployable from airplane in future. Combination studies of those physical, chemical, and biological parameters in coastal and ocean environments with atmospheric information, such as weather condition and chemical properties, are necessary to understand coupled atmospheric-ocean system.

キーワード: 航空機, 沿岸, 海洋, リモートセンシング, フロート, 台風
Keywords: aircraft, coast, ocean, remote sensing, float, typhoon

航空機搭載高分解能合成開口レーダによる地球観測 Earth Observation by using airborne SAR

浦塚 清峰^{1*}; 上本 純平¹; 児島 正一郎¹; 梅原 俊彦¹; 佐竹 誠¹; 小林 達治¹; 松岡 建志¹; 灘井 章嗣¹
URATSUKA, Seiho^{1*}; UEMOTO, Junpei¹; KOJIMA, Shoichiro¹; UMEHARA, Toshihiko¹; SATAKE, Makoto¹; KOBAYASHI,
Tatsuharu¹; MATSUOKA, Takeshi¹; NADAI, Akitsugu¹

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communications Technology

合成開口レーダ (SAR) は、天候や日射にかかわらず、地上の状況を画像として取得できるため、人工衛星や航空機に搭載されてきているが、その有用性におけるもっとも重要な性能は、高い高度からの観測にかかわらず、高分解能であることである。

衛星搭載の SAR は、1990 年代より継続して打ち上げられてきており、現在までに実証から実用への段階となってきている。しかし、衛星搭載 SAR は、軌道上のセンサであるため観測機会、観測方向に制約がある。この制約に対して、航空機搭載 SAR は比較的自由に観測方向が得られること、場合によっては短期間に集中的な観測も可能であることなど観測機会を自由に三択することができる。航空機 SAR は雲の上からの観測が可能であることから、衛星同様に天候による制約は非常に少ない。性能の面からいえば、航空機センサは、衛星搭載に比べ、重量・寸法・電力等のリソースの制約や信頼性にかかるコストは小さくて済むことから、開発時点での最高の性能と機能を搭載できることが大きなメリットである。

情報通信研究機構 (NICT) は 1993 年より航空機搭載 SAR の開発に着手し、1998 年には 2 周波 (X 帯および L 帯) の航空機 SAR である Pi-SAR の運用を開始した。以降 2007 年まで、Pi-SAR による各種の実証実験を実施してきた。Pi-SAR の L 帯 (波長約 23cm) は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が開発を分担し、X 帯 (波長約 3cm) は NICT の開発であるが、同じ航空機に搭載して同時観測を実施した。それぞれの波長の持つ地表面の散乱特性や透過性を利用した応用的な研究も成果を上げてきた。NICT が開発した X 帯レーダは、表面からの散乱が卓越的であることから L 帯に比べ光学観測に近い判読性のある画像を取得できるほか、1.5m の高分解能性と 2 つのアンテナによる立体観測 (クロストラック・インターフェロメトリ) 機能を有する。高さ方向の精度は約 2m である。また、両波長とも垂直偏波と水平偏波の同時送受信による偏波散乱特性計測 (ポラリメトリ) の機能を有して、地表面の識別能力を高めている。完全なポラリメトリ手法は現在においても衛星 SAR ではリソースの制約が大きく実験的な段階にとどまっている。

X 帯 SAR の高分解能性とポラリメトリ、インターフェロメトリ機能を駆使した自然災害に向けた実際例は、2000 年に発生した北海道有珠山および三宅島の火山噴火であり、数度にわたる継続的な観測と関係機関へのデータ提供を行い、その有用性を実証した。さらに、NICT は 2008 年には分解能を 30cm まで高めた Pi-SAR2 を開発した。Pi-SAR 初号機同様にポラリメトリおよびインターフェロメトリも搭載している。このレーダは、SAR の応用範囲のうち、特に災害監視に重点を置いて実用性を向上させたものである。高分解能の必要性は、2004 年に発生した新潟県中越地震を Pi-SAR 初号機による観測を実施したときに、山岳地域の小規模で多数の土砂崩れに対して十分な判読が困難であったことの反省による。また、被災現地等へのデータの迅速な配信が重要であることが課題となっていた。

こうした課題の解決を目指し開発した Pi-SAR2 により、2011 年の東日本大震災時には、災害発生翌日に東北地方沿岸部を中心とした広域な観測を実施し 24 時間以内に一部データ (単偏波 (白黒画像)、2km 四方) の公開を実施したが、分解能の向上による大量のデータと広大な観測領域を一度に処理解析する能力が追い付かないこと、また大容量なデータを配信・公開する適切な手段がないことが、新たな課題として見いだされた。この問題に対しては、震災から現在までに画像再生処理システムの高速化とデータの公開システムの開発を行ってきた。また、画像再生処理システムは航空機上での処理システムにも応用し、2km 四方の領域であれば観測して航空機が旋回している間に全偏波の画像再生処理を終えて、疑似カラー画像を商用衛星回線経由でネット上に公開することも可能とした。また、データ公開は Pi-SAR 初号機で観測した過去のデータも含めて、オンデマンドで処理要求を受け付けるシステムを開発した。

このように地震や火山をはじめとする自然災害の被害把握を主な目的で開発し、その実績を持つ航空機 SAR であるが、SAR の持つ全天候性や航空機の機動性を活かして、地球科学、地球環境への応用がさらに期待される場所である。Pi-SAR 初号機を用いた応用については、海洋、海水、森林植生、火山などを観測目標にした各種の応用研究で成果を得てきたところであるが、これらの知見に加えて Pi-SAR2 が実現した 30cm の高分解能性能を活用した応用研究も進めているところである。

キーワード: 合成開口レーダ, ポラリメトリ, インターフェロメトリー

Keywords: Synthetic Aperture Radar, Polarimetry, Interferometry, Pi-SAR2

陸域生態系研究についての航空機観測の展開 Applicability of airborne remote sensing to terrestrial ecosystem sciences

鈴木 力英^{1*}
SUZUKI, Rikie^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

航空機は、衛星のように同一地域を何年にもわたり繰り返して観測することは一般的ではなく、また、広域を観測することもできない。しかし、陸域生態系を対象とした場合、航空機観測は衛星観測には無い多くの利点を持っている。一つは、当然であるが、航空機は衛星よりも低高度を飛行することから、画像の水平解像度をずっと高くできることである。一般に入手できる WorldView-2 や GeoEye-1 といった衛星の高解像度画像であっても、森林のような樹木の集団の中の個々の木を判読することは実際にはかなり難しい。しかし、航空機からであれば、一本一本の樹冠の構造や、林床の状態を判読することがきる。2000年に東シベリアのヤクーツク付近で春から夏にかけて行われた航空機観測では、100～150m上空から森林をビデオ撮影し、樹冠の緑葉の有無、林床の積雪の有無を判読することによって、同時に測定した分光反射率が樹冠や林床によってどのように影響を受けるかを明らかにした。その結果、疎な亜寒帯林では、衛星観測から導出された NDVI などの植生指数には林床の影響が大きいことが分かった。さらに低空の数 10m を飛行した場合、樹木の個葉や昆虫まで見分けられるようになり、生物の個体ベースにまで踏み込んだ生物多様性の研究も可能になるだろう。最近では、可視から近赤外域の波長帯に 100 以上のバンドを持つハイパースペクトル・カメラや LiDAR を航空機に搭載する例もある。植物種の同定や、葉の化学的形質や植生構造の推定が可能となり、植生の生態学的機能や生物多様性を把握する際の強力な手法として、今後も発展していくだろう。航空機観測のもう一つの利点として、地表面に対するセンサーの観測角と太陽光の入射角をある程度自由に選ぶことが可能であることが挙げられる。双方向性反射率分布関数 (BRDF) を元にした植生の綿密な光伝達モデルを設計することができるようになり、衛星データによる葉面積指数などの推定の高精度化に寄与できる。

キーワード: 森林生態系, LiDAR, 生態系機能, 生物多様性

Keywords: forest ecosystem, LiDAR, ecosystem function, biodiversity

無人機を利用した地球観測衛星のグランドトゥルスについて Ground Truth of Earth Observation Satellites using UAV

本多 嘉明^{1*}; 梶原 康司¹; 谷川 聡¹; 小野 佑作²
HONDA, Yoshiaki^{1*}; KAJIWARA, Koji¹; TANIGAWA, Satoshi¹; ONO, Yusaku²

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, ² 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター
¹Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, ²Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) is going to launch new Earth observation satellite GCOM-C1 in near future. The core sensor of GCOM-C1, Second Generation Global Imager (SGLI) has a set of along track slant viewing Visible and Near Infrared Radiometer (VNR). These multi-angular views aim to detect the structural information from vegetation canopy, especially forest canopy, for estimating productivity of the vegetation. SGLI Land science team has been developing the algorithm for 10 standard products (above ground biomass, canopy roughness index, shadow index, etc).

In this paper, we introduce the ground observation method developed by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in order to contribute the algorithm development and its validation. Mainly, multi-angular spectral observation method and simple BRDF model have been developed for estimating slant view response of forest canopy. The BRDF model developed by using multi-angular measurement has been able to obtain structural information from canopy. In addition, we have conducted some observation campaigns on typical forest in Japan in collaboration with other science team experienced with vegetation phenology and carbon flux measurement. Primary results of these observations are also be demonstrated.

キーワード: 無人航空機, 多波長光学放射計 (SGLI), 多方向観測, 樹冠, 植生の生産性

Keywords: UAV, Second Generation Global Imager (SGLI), Multi-angular observation, Forest canopy, Vegetation productivity

航空機観測を利用したリモートセンシング研究の新展開 New phase remote sensing stimulated by the use of airborne observation

久世 宏明^{1*}
KUZE, Hiroaki^{1*}

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

¹Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

千葉大学環境リモートセンシング研究センター (CEReS) では、衛星データおよび関連する地上観測データを処理・アーカイブ・公開し、リモートセンシングおよび環境関連分野のコミュニティに幅広く提供を行っている。大気リモートセンシングにおいては、日本を含むアジア地域において放射計ネットワーク (SKYNET) を展開し、関連するライダーや太陽光・天空光スペクトル観測と相まって衛星データ検証や東アジア域における大気エアロゾル・雲・大気汚染などの研究を進めている。植生リモートセンシング分野では、衛星データによる全球のバイオマス量の定量的把握に向け、衛星・地上および無人ヘリ観測によって陸上植生反射率計測の高精度化の研究を行っている。この研究を通じて、JAXA の次世代衛星である GCOM-C1 に向けての植生量リトリーバルアルゴリズムも開発されてきた。マイクロ波リモートセンシング分野では、小型衛星および無人航空機搭載に向けて円偏波合成開口レーダ (circularly polarized synthetic aperture radar, CP-SAR) の開発を進展させてきている。

現在、CEReS を含め、関係する大学附置の研究機関が連携して有人飛行機をチャーターし、大気観測およびリモートセンシングに新展開をもたらす新規研究計画が提案されている。この取り組みを通じ、大気科学・気候システム研究 (東大)・雲・降水システム研究 (名大)・およびリモートセンシングデータの高精度での科学的活用 (千葉大) が大きく進展することが期待される。千葉大 CEReS を中心としたリモートセンシング研究においては、航空機なしでは不可能であった衛星データの高精度大気補正を実現し、陸域、雪氷域、沿岸域などにおけるリモートセンシングデータの高精度化を図ることがその主目標となる。

高分解能の衛星データが増えるにつれ、そのデータから地表面や海洋表面の反射率などの物理量を高精度に導出する必要性が高まっている。その際の最大の問題となるのが大気中で起こる散乱と吸収による観測スペクトルの変化である。大気分子による影響 (レイリー散乱) は比較的簡単に補正が可能である。これに対して、雲とエアロゾルは空間的にも時間的にも変動が大きく、これらによるミー散乱の効果を正確に把握することには困難が伴う。従来は、この大気の影響を調べて補正するため、たとえばサンフォトメータやスカイラジオメータなどの放射測器を多数地上に展開し、エアロゾルや雲の光学特性の計測が行われてきた。また、無人ヘリコプターや無人航空機による地上高度 150 メートル以下での計測を実施してきた。しかし、これらの方法によっても、検証データの広域化には大きな制約があったことは否めない。

今回、立案している航空機プロジェクトでは、有人航空機により高高度からの地表面および放射量観測が実現可能である。放射計やハイパースペクトルカメラなどを無人 (低高度)・有人 (高高度) 航空機に搭載して地表面および大気データを取得することにより、大気補正に関わる放射伝達アルゴリズムの改善を実証的に進めることが可能になる。これによって、陸上植生反射率測定による植生物理量 (バイオマスなど) 推定アルゴリズムの精度を飛躍的に向上させることができる。さらに、CP-SAR を有人飛行機に搭載してデータを取得することにより、全天候型の地表面観測技術の実証試験を行うことができる。

アジア地域は世界でも有数の人口密集地域であり、経済活動の活発化による PM2.5 の越境汚染などの問題が深刻化している。また、気候変動にともなって持続可能な食料生産が問題となっている今日、これまで航空機リモートセンシング観測の空白域であった東アジアにおいて大気汚染物質のその場観測を行い、大気光学特性を明らかにし、衛星データからの高精度物理量導出を可能とするこの意義は大きい。同時に、航空機により計画的に大気・陸面・海洋観測を行うことは、地震・火山・土木・生態系など隣接領域への波及および減災に向けた社会的効果も大きいものと考えられる。

キーワード: リモートセンシング, 航空機観測, 植生, 大気, マイクロ波センサー

Keywords: remote sensing, airborne observation, vegetation, atmosphere, microwave sensor

航空機によって捕集された人為起源およびバイオマス燃焼から発生したエアロゾル
粒子の電子顕微鏡分析
Aerosol particles collected using aircrafts from anthropogenic sources and biomass burn-
ing and electron microscopy

足立 光司^{1*}
ADACHI, Kouji^{1*}

¹ 気象研究所
¹ Meteorological Research Institute

Aerosol particles collected during four sampling campaigns using aircrafts were analyzed using transmission electron microscopes (TEM). The samples were collected from two A-Force campaigns in 2013 (winter and summer) conducted in Japan and Korea, BBOP campaign in 2013 in the USA, and MILAGRO campaign in 2006 in Mexico. These campaigns aim to characterize aerosol particles from regional transportation, biomass burning, and both. The samples collected using aircrafts are useful for characterization of particle agings, especially changes of their mixing states, from emissions as the aircrafts can chase plumes of different aging periods. An example of such aerosol-particle aging is tar ball formation in biomass burning smoke. Tar ball is spherical, organic aerosol particles commonly from combustion smoke of a wide range of biomass burning. At the early stage of the emission, tar balls are liquid but as they age in the smoke, they become solid and spherical. Sets of biomass burning aerosol samples with different aging stages collected using an aircraft revealed such processes in atmosphere. I will also discuss the samples collected over Japan during the A-Force campaigns.

キーワード: 電子顕微鏡, 東アジア, 米北西部, A-Force, BBOP, MILAGRO
Keywords: Electron microscope, East Asia, Northwest US, A-Force, BBOP, MILAGRO

東シナ海上空における窒素化合物の航空機観測 Aerial observations for nitrogen compounds over the East China Sea

定永 靖宗^{1*}; 坂東 博¹; 新垣 雄光²; 加藤 俊吾³; 梶井 克純⁴; 張 代洲⁵; 渡邊 泉⁶; 藤本 敏行⁷; 奥山 喜久夫⁸; 萩 崇⁸; 瀬戸 章文⁹; 高見 昭憲¹⁰; 清水 厚¹⁰; 畠山 史郎⁶
SADANAGA, Yasuhiro^{1*}; BANDOW, Hiroshi¹; ARAKAKI, Takemitsu²; KATO, Shungo³; KAJII, Yoshizumi⁴; ZHANG, Daizhou⁵; WATANABE, Izumi⁶; FUJIMOTO, Toshiyuki⁷; OKUYAMA, Kikuo⁸; OGI, Takashi⁸; SETO, Takafumi⁹; TAKAMI, Akinori¹⁰; SHIMIZU, Atsushi¹⁰; HATAKEYAMA, Shiro⁶

¹大阪府立大学, ²琉球大学, ³首都大学東京, ⁴京都大学, ⁵熊本県立大学, ⁶東京農工大学, ⁷室蘭工業大学, ⁸広島大学, ⁹金沢大学, ¹⁰国立環境研究所

¹Osaka Prefecture University, ²University of the Ryukyus, ³Tokyo Metropolitan University, ⁴Kyoto University, ⁵Prefectural University of Kumamoto, ⁶Tokyo University of Agriculture and Technology, ⁷Muroran Institute of Technology, ⁸Hiroshima University, ⁹Kanazawa University, ¹⁰National Institute for Environmental Studies

In order to clarify long-range transport of air pollutants from the Asian continent, we have conducted aerial observation over the East China Sea and measured air pollutants centering on aerosols, as part of Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas “ Impacts of Aerosols in East Asia on Plants and Human Health (ASEPH) ” . In this presentation, the results of nitrogen compounds such as nitrate are mainly described.

The aerial observations were conducted in October, 2009 (autumn), December, 2010 (winter) and March, 2012 (spring) over the East China Sea. The flights were performed between Fukue Island and the southern offing of Jeju Island and the flight altitudes were 500, 1000, 2000 and 3000 m. Onboard measurements of gaseous total odd nitrogen species, gaseous nitric acid (HNO₃(g)), O₃, SO₂, CO and black carbon were made and particles were collected on filters for ionic and metal component analyses.

The concentration ratios of particulate nitrate (NO₃⁻(p)) to inorganic total nitrate (T.NO₃ = HNO₃(g) + NO₃⁻(p)) were less than 0.5 in most of the flights except under high concentrations of dust particles (Kosa) or transboundary air pollutants. Most of NO₃⁻(p) would be NaNO₃ formed by the reaction of gaseous nitric acid (HNO₃(g)) with sea salt aerosols during the observations in autumn and winter except on October 17 and December 11, when high concentrations of Kosa were transported. In the spring observation, the fraction of NaNO₃ in NO₃⁻(p) was low and a large part of NO₃⁻(p) would be originated from reactions of HNO₃(g) with gas phase ammonia and soil dust particles.

O₃ concentrations decreased with altitude in autumn and increased in winter. Positive and negative correlations between NO_y-T.NO₃ and O₃ concentrations were observed throughout the flights in autumn and winter, respectively. This indicates that the major components of NO_y-T.NO₃ were secondary photochemical nitrogen oxides such as PANs and NO_x, in autumn and winter, respectively. The differences of vertical distribution and NO_y components between autumn and winter may be caused by the variation of solar radiation intensity.

キーワード: 航空機観測, 硝酸(塩), 反応性総窒素酸化物, 東アジア

Keywords: aerial observation, nitrate, total odd nitrogen species, East Asia

航空機搭載ライダーによる水蒸気分布観測 Airborne lidar measurements of water-vapor profiles

阿保 真^{1*}; 長澤 親生¹; 柴田 泰邦¹; 内野 修²; 永井 智広²; 酒井 哲²; 柴田 隆³
ABO, Makoto^{1*}; NAGASAWA, Chikao¹; SHIBATA, Yasukuni¹; UCHINO, Osamu²; NAGAI, Tomohiro²; SAKAI, Tetsu²; SHIBATA, Takashi³

¹ 首都大学東京, ² 気象研究所, ³ 名古屋大学

¹Tokyo Metropolitan University, ²MRI, ³Nagoya University

大気中の水蒸気は、熱や水循環を通して気象・気候に重要な役割を演じている。また、二酸化炭素などの増加に伴う地球温暖化によって大気中の水蒸気がどのように変化していくかを監視していくことは気候の将来予測を行う上で重要である。水蒸気の観測は現在ゾンデや衛星から広く行われているが、飛翔体搭載ライダーを用いればさらに高い高度分解能で広範囲の水蒸気分布の観測が可能となる。我々は最終的には衛星搭載を目指した航空機搭載水蒸気差分吸収ライダーの開発を行い、1999年に実際に航空機に搭載し測定実験を行った。開発されたライダーは当時世界最高性能のものであった。

ライダーの心臓部となるレーザーとして、水蒸気吸収の強いものと弱いもの、それに吸収しない 820 nm 付近の 3 波長のレーザーを 1.2 ms 間隔で発振でき、それらトリプルパルスを送信できる LD (レーザーダイオード) 励起 Nd:YLF レーザー (平均出力 50 W) の SHG (平均出力 30 W、200 mJ、150 Hz) で励起された Ti:sapphire レーザーを開発した [1]。光音響セルを利用して水蒸気の吸収線に同調した単一モードの LD をリング型共振器で構成された Ti:sapphire レーザーに注入同期して、スペクトル幅 0.045 pm、スペクトル安定度 0.06 pm、平均出力 6.8 W (パルス当たり 45 mJ) を得た。

開発したレーザーを航空機に搭載して実験を行った。受信望遠光の口径は 20 cm で検出器には APD を用いた。送信、受信の視野はそれぞれ 0.8、1.6 mrad で、干渉フィルターの半値全幅 0.6 nm であった。観測は名古屋・東京・つくば上空を含む往復で行った。航空機搭載ライダーで測定された水蒸気分布と名古屋大学で同期観測されたラマンライダーによる水蒸気分布はよい一致を示した。

当時は励起用 LD の寿命が短いのが難点であったが、15 年経った今では、LD の技術も進んでおり、よりコンパクトで長寿命の航空機搭載水蒸気ライダーシステムの実現が可能である。

参考文献

[1] Yanagisawa, T., M. Imaki, Y. Hirano, O. Uchino, T. Nagai and C. Nagasawa, Int. Laser Sensing Symposium, 20th Japanese Laser Sensing Symposium, 191(1999)

[2] Nagai, T., O. Uchino, C. Nagasawa, T. Igarashi, T. Nakajima, Y. Hirano, S. Ueno and S. Wakabayashi, Int. Laser Sensing Symposium, 20th Japanese Laser Sensing Symposium, 211(1999)

キーワード: 水蒸気, 航空機搭載, ライダー

Keywords: water vapor, airborne, lidar