

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 31日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22310004

研究課題名（和文）可視紫外同時分光観測による地表境界層オゾンのリモートセンシング手法の開発

研究課題名（英文）Development of remote sensing technique for lower tropospheric ozone by simultaneous measurement of UV and visible solar scattered light spectra

研究代表者

北 和之 (KITA KAZUYUKI)

茨城大学・理学部・教授

研究者番号：30221914

研究成果の概要（和文）：

広域的な地表オゾン増大の実態解明等のための下部対流圏オゾンのリモートセンシングを実現するため、可視紫外同時分光観測による手法を開発し、その精度検討と実証観測を行った。地上観測により、可視域でも実用的な精度でオゾンカラム量が推定できるめどが立った。地表反射スペクトルの干渉やエアロゾルの影響について、観測および放射伝達計算により推定する手法を開発した。検証のため航空機観測を実施し、現在解析を進めている。

研究成果の概要（英文）：

A remote sensing technique to measure lower tropospheric ozone with a simultaneous measurement of UV and visible solar scattered spectra has been developed for investigating extensive surface ozone increases. Error analyses and validation measurements were conducted. Based on the surface observation, evaluation of ozone column amount from visible spectra has been succeeded with enough accuracy. The interference by surface Albedo spectra and the influence by aerosol scattering have been estimated with observational data and radiative transfer model calculations. Aircraft observations were conducted for the validation of the technique, and their data analyses are on-going now.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2011年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境計測、対流圏オゾン、リモートセンシング、衛星観測、越境汚染

1. 研究開始当初の背景

(1) アジアでの経済発展にともなう越境汚染による広域環境影響

近年中国などでの急速な経済発展に伴い、

対流圏オゾンなどアジア大陸からの越境汚染が日本などアジア諸国で重大な問題となりつつあり、またアメリカでも大きな関心事となっている。日本では、オゾン前駆気体で

ある一酸化炭素や炭化水素類および窒素酸化物濃度が漸減傾向にあるにもかかわらず、地表オゾン濃度は全国的にむしろ増加傾向にあり、地方自治体の常時監視局の95%以上でオキシダントが環境基準を超過する事態となっている。また光化学スモッグ注意報の発令も再び増加しつつあり、新聞報道されるなど社会的な関心も高まっている。特に、従来光化学スモッグ発生の少なかった九州や日本海側などでの発生が目立っており、大陸からの越境汚染が重要な寄与をしている可能性が指摘されているが、その実態はまだ十分理解されていない。

(2) 越境汚染理解のための静止衛星観測実現の機運と静止衛星オゾン観測の問題点

その実態の解明のため重要な地表オゾン他の直接観測については、日本以外のアジア諸国ではまだ全く不十分であり、データ公開も進んでいない。越境汚染で重要な海上での定常観測は困難である。そこで衛星データの利用が盛んになりつつある。特に静止衛星が利用できれば、1時間程度の間隔でオゾンやその前駆気体の刻々の濃度分布変動を観測でき、オゾン分布の動態解明やそのモデル予測などに極めて有効であると考えられる。静止衛星からの大気汚染物質観測については、現在ヨーロッパ EUMETSAT で MTG-S 衛星での IRS/UVN センサが Phase-A 段階に入り、アメリカでも GeoCAPE 計画が提案され米地球物理学連合 (AGU) 秋季大会で静止衛星観測についてのセッションが企画されるなど、その実現への機運が高まっている。アジアでは、韓国でも静止衛星からの大気オゾンや二酸化窒素の観測計画がうたわれている。

日本においても、平成 18 年度より大気化学研究会に大気環境観測衛星検討会が設置され、静止衛星による大気環境観測の科学目標の設定やその実現のための各種シミュレーションなどの活動が開始された。昨年より宇宙研究開発機構 (JAXA) ととも委員会を立ち上げ、具体的な衛星センサの実現可能性などの検討を行っている。本研究グループは、研究代表者が先の検討会で科学目的検討チームの主査を務めるなど、静止衛星計画検討で中心的な活動を行ってきた。その一環として行われた、紫外・可視分光センサによる対流圏オゾン観測可能性検討において、低軌道周回衛星で従来行われてきた太陽散乱光

の紫外分光観測を (赤道を除き) 直下視が不可能な静止衛星で実施すると、紫外域では太陽放射の大部分が地表境界層より上で散乱されてしまうため、地表付近のオゾンに対し感度が大きく低下し、肝心の地表境界層中のオゾンが測定できないことがわかった。

(3) 可視-紫外同時分光観測による境界層オゾン導出法の着想

そこで、従来の紫外域に加え、可視域でのオゾン吸収も用いる方式も検討したところ、後者は静止衛星観測の場合でも地表付近のオゾンに対し感度が低下しないことがわかった。そこで、可視・紫外の両方で同時に太陽散乱光の分光観測を行うことで、両者の光路に対応する傾斜オゾンカラム量の差分から、地表付近のオゾン量を検出できる可能性を考え付いた。しかし、この手法により境界層あるいは下部対流圏のオゾン量が十分な精度で測定可能であるか、観測およびシミュレーションの両面から十分な検証を行う必要がある。

2. 研究の目的

中国などでの経済発展に伴い、対流圏オゾンなどアジア大陸からの越境汚染が日本などで重大な問題となりつつある。その実態を理解するためには、アジア域での静止衛星からのオゾン分布観測が有効であると考えられる。しかし、従来の低軌道周回衛星で行われてきた太陽散乱光の紫外分光観測を静止衛星で実施すると、地表付近のオゾンに対し感度が低下することがわかった。一方、可視分光観測であれば静止衛星からでも地表付近のオゾンに対してあまり感度が低下しない。

そこで、可視・紫外の両方でオゾンの同時分光観測を行うことで、両者で得られる傾斜オゾンカラム量の差から、地表付近のみのオゾン量を検出できる可能性が高いことに気がついた。衛星観測で地表境界層のオゾン量が導出できればこれまでに例のない画期的なことであり、そのためのアルゴリズム開発と検証観測を実施し手法を確立することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

本研究では、可視・紫外域の両方で太陽散乱光の同時分光観測を行い、地表付近のオゾン量を導出する手法の確立を目標に以下の

項目について研究を実施した。

- (1) 紫外域・可視域の太陽散乱光スペクトルを測定しオゾン傾斜カラム量を精度良く求めるため必要な分解能や波長域など仕様を定め、その仕様を満足し山頂や航空機などから観測ができる小型の分光観測システムを開発する。
- (2) 上記小型分光観測システムを用いて、地上からの可視・紫外域太陽スペクトルの同時観測を行い、実際の性能が仕様を満たしているか確認するとともに、太陽直達光スペクトルの観測によって可視・紫外域の双方での差分吸光フィッティングによるオゾンカラム量導出精度を確認する。そのために、作成した小型分光観測システムの装置特性を補償した差分吸光フィッティングのアルゴリズムを開発する。
- (3) 作成した小型分光観測システムを用い、山頂および航空機からの実証観測を実施する。その際に検証データとして、精度の高いオゾン高度分布をも同時に測定する。
- (4) 観測する太陽後方散乱光スペクトルには、地表反射光成分が特に可視域で多く含まれているため、地表アルベドのスペクトルを推定し除去することは非常に重要である。航空機観測の際に低高度で観測した後方散乱スペクトルと放射伝達モデルから、様々な土地利用毎に地表アルベドのスペクトルを推定する。
- (5) 大気エアロゾルによる散乱は、光路長を大きく変えるため観測から求めたオゾンカラム量から、下部対流圏オゾン量を推定するためには、エアロゾル散乱影響を精度良く推定する必要がある。様々なケースについて、エアロゾルの推定誤差が下部対流圏オゾン量推定に与える影響をシミュレーションし見積るとともに、航空機観測の際の観測スペクトルから推定されたエアロゾル光学厚および同時に直接観測されたエアロゾルパラメーターにより下部対流圏オゾン量推定精度を改善する。
- (6) これまでの一連の観測および放射伝達計算・シミュレーションをまとめ、可視・紫外同時分光観測による地表境界層オゾン量のリトリーバル手法の確立、その導出精度の限界と精度決定要因の確定を行

い、この手法により静止衛星ないし低軌道周回衛星で地表付近のオゾン量を測定できる可能性を定量的に明らかにする。また、従来の低軌道周回衛星による観測データへの適用可能性も検討する。

4. 研究成果

前記の各項目について、本研究においてこれまでに得られた成果について以下にまとめる。

- (1) 紫外域・可視域の太陽散乱光スペクトルからオゾン傾斜カラム量を精度良く求めるために必要な波長域および波長分解能について、吸収断面積の波長変化などを考慮した観測のシミュレーション計算を元に決定した。波長域は、紫外域が 300～385nm、可視域は 400～640nm をカバーすることとし、波長分解能は約 0.5nm で 4-5 倍のオーバーサンプリングとすることにした。この使用を満足する小型の分光観測システムとして、Ocean Optics 社のクロスステルニーター型分光計 MAYA2000PRO を用いたシステムを作成した。感度を高めるため裏面照射型の CCD を用い、スペクトルは 16bit 分解能で記録される。
- (2) 上記小型分光観測システムを用いて、まず地上からの可視・紫外域太陽直達光スペクトルの同時観測を行った。直達光では、波長による光路長の違いが小さいので、可視・紫外域の双方での差分吸光フィッティングによるオゾンカラム量導出精度を確認することが可能である。観測は、2012 年 11 月 16 日茨城大学構内にて実施した。太陽追尾装置 (TM-2DX) に減光フィルターを装着して、太陽直達光を石英光ファイバーで分光器 (MAYA2000pro) に導入した。差分吸光フィッティングによりオゾンカラム量を求める際、小型分光観測システムの装置特性を補償する必要があるが、水銀ランプ輝線スペクトルおよび太陽ブラウンフォーファー線を利用して非線形最小自乗法で推定するアルゴリズムを開発した。差分吸光フィッティングで得られたオゾンカラム量は、可視および紫外域でそれぞれ $7.68 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ および $7.41 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ と 4% の範囲で一致している。

当日の気象庁によるつくばでのオゾン全量は $7.66 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ でありほぼ一致している。これらの違いは、特に紫外域でのフィッティング残差に、オゾン吸収断面積に同期した構造が見られることから、装置特性推定の誤差によるものであり、可視域でも正しくオゾンカラム量が推定できるものと考えられる。現在、さらに装置特性の補償アルゴリズムの改善を行っている。

- (3) 作成した小型分光観測システムを用い、航空機からの実証観測を実施した。2012年9月10日および13日につくば上空にて航空機観測を行った。25000ft と 2500ft の 2 高度で飛行し、天頂および鉛直下方、 20° 斜め下方からの紫外・可視太陽散乱光スペクトルの分光観測と比較検証のためオゾンの直接観測を行った。他に検証のため、オゾンゾンデおよび対流圏オゾンライダーによるオゾン高度分布の観測、さらに PASS およびネフェロメータによるエアロゾルの光学特性の観測を実施した。
- (4) 地表反射光の影響を分離しオゾン導出精度を向上させるため、航空機観測の低高度 2500ft で測定された天頂および鉛直下方からの散乱スペクトルの比から、水田、森林、市街地など地表状態で異なる地表反射スペクトルを推定した。観測されたスペクトルと土地利用の関係については、航空機観測時に取得していた CCD カメラによる地表撮像データを用いる。高度が低くとも、大気による影響があることから、エアロゾルの状態を仮定して、放射伝達モデル計算によりその影響を推定除去した。今後、実際のエアロゾル条件を組み入れて精度を向上させていく予定である。
- (5) 大気エアロゾルによる散乱は、光路長を大きく変えるため観測から求めたオゾンカラム量から、下部対流圏オゾン量を推定するためには、エアロゾル散乱影響を精度良く推定する必要がある。紫外・可視太陽散乱光分光観測では、 0_4 のカラム量測定を通じて、複数波長域でのエアロゾルの光学厚を推定することが可能であり、おのおの測定時のエアロゾルによる影響をある程度推定可能である。しか

し、エアロゾル高度分布や単一散乱アルベドなどについての情報を得ることは困難である。よって、それらの不確定による誤差について理解しておく必要がある。まずシミュレーションにより、これらの誤差の影響についての推定を行う。シミュレーションは、SCIATRAN ver.3 (Rozanov et al., 2005) により、北緯 35 度の夏至時、太陽天頂角は 22.8° の条件で、気温気圧高度分布、オゾン他の高度分布および地表面アルベドは、0.1 を仮定した。エアロゾルの高度分布は、つくばでのライダー観測による消散係数の月ごとの平均高度分布に、高度 0-1.5km、1.5km 以上の 2 層に分けてスケールハイトを仮定し高度とともに単調に減少する関数をフィッティングして作成した。エアロゾル粒径分布や単一散乱アルベドなどについては、(Hess et al., 1998) の 4 種類のエアロゾルタイプ (Continental average, Urban, Maritime and continent および Maritime clean) を想定した。これらの仮定の下で、光路長がエアロゾルの諸パラメータの違いによりどのように変わるか、それが対流圏オゾン推定にどのような誤差をもたらすかについて、推定を行った。その結果、エアロゾル光学厚の測定誤差や高度分布の仮定の誤差による大きな違いは存在しない。しかし、エアロゾルの組成については、主に単一散乱アルベドの違いによって、場合によっては対流圏オゾンカラム量に約 60% の誤差を与えることが明らかになった。紫外分光観測からはエアロゾルにより光吸収量も推定できるが、それをリトリーバルに取り入れることで誤差をある程度小さくできると考えられるので、今後その手法を検討していく必要がある。

- (6) これまでの一連の観測および放射伝達計算・シミュレーションをまとめ、可視・紫外同時分光観測による地表境界層オゾン量のリトリーバル手法の確立、その導出精度の限界と精度決定要因の確定を行い、この手法により静止衛星ないし低軌道周回衛星で地表付近のオゾン量を測定できる可能性を定量的に明らかにすることが最終的な目的であるが、最終的な評価にはまだ至っていない。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件、すべて査読あり)

- ① Noguchi, K., A. Richter, J. P. Burrows, H. Irie, K. Kita, A study of BRDF over Tokyo for the spaceborne measurements of atmospheric trace gases, *Proceedings of SPIE*, Vol. 8524, 85242D, doi:10.1117/12.974818, March 2013.
- ② Pinardi, G., M. Van Roozendaal, N. Abuhassan, C. Adams, A. Cede, K. Clémer, C. Fayt, U. Frieß, M. Gil, J. Herman, C. Hermans, F. Hendrick, H. Irie, A. Merlaud, M. N. Comas, E. Peters, A.J.M. Pijters, O. Puentedura, A. Richter, A. Schönhardt, R. Shaiganfar, E. Spinei, K. Strong, H. Takashima, M. Vrekoussis, T. Wagner, F. Wittrock, and S. Yilmaz, MAXDOAS formaldehyde slant column measurements during CINDI: Intercomparison and analysis improvement, *Atmospheric Measurement Techniques*, 6, 167-185, doi:10.5194/amt-6-167-2013, February 2013.
- ③ Irie, H., K. F. Boersma, Y. Kanaya, H. Takashima, X. Pan, and Z. F. Wang, Quantitative bias estimates for tropospheric NO₂ columns retrieved from SCIAMACHY, OMI, and GOME-2 using a common standard, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5, 2403-2411, doi:10.5194/amt-5-2403-2012, October 2012.
- ④ Takashima, H., H. Irie, Y. Kanaya, and F. Syamsudin, NO₂ observations over the western Pacific and Indian Ocean by MAX-DOAS on Kaiyo, a Japanese research vessel, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5, 2351-2360, doi:10.5194/amt-5-2351-2012, October 2012.
- ⑤ Irie, H., H. Iwabuchi, K. Noguchi, Y. Kasai, K. Kita, and H. Akimoto, Quantifying the relationship between the measurement precision and specifications of a UV/visible sensor on a geostationary satellite, *Advances in Space Research*, 49, 1743-1749, doi: 10.1016/j.asr.2012.03.012, 2012.
- ⑥ Nakatani, A., S. Kondo, S. Hayashida, T. Nagashima, K. Sudo, X. Liu, K. Chance, I. Hirota, Enhanced Mid-latitude Tropospheric Column Ozone over East Asia: Coupled effects of stratospheric ozone intrusion and anthropogenic sources, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 90(2), 207-222, doi:10.2151/jmsj.2012-204, 2012
- ⑦ S. Itahashi, I. Uno, K. Yumimoto, H. Irie, K. Osada, K. Ogata, H. Fukushima, Z. Wang, and T. Ohara, Interannual variation in the fine-mode MODIS aerosol optical depth and its relationship to the changes in sulfur dioxide emissions in China between 2000 and 2010, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 2631-2640, doi:10.5194/acp-12-2631-2012, 2012.
- ⑧ Xu, J., P.-H. Xie, F.-Q. Si, A. Li, K. Dou, W.-Q. Liu, Y. Kanaya, and H. Irie, Comparison of NO₂ slant columns between two ground-based MAX-DOAS, *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi/Spectroscopy and Spectral Analysis* 32 (2), 558-564, 2012. (<http://www.gpxygpx.com/qikan/manage/wenzhang/2012-02-0558.pdf>)
- ⑨ Pijters, A. J. M., K. F. Boersma, M. Kroon, J. C. Hains, M. Van Roozendaal, F. Wittrock, N. Abuhassan, C. Adams, M. Akrami, M. A. F. Allaart, A. Apituley, J. B. Bergwerff, A. J. C. Berkhout, D. Brunner, A. Cede, J. Chong, K. Clémer, C. Fayt, U. Frieß, L. F. L. Gast, M. Gil-Ojeda, F. Goutail, R. Graves, A. Griesfeller, K. Großmann, G. Hemerijckx, F. Hendrick, B. Henzing, J. Herman, C. Hermans, M. Hoexum, G. R. van der Hoff, H. Irie, P. V. Johnston, Y. Kanaya, Y. J. Kim, H. Klein Baltink, K. Kreher, G. de Leeuw, R. Leigh, A. Merlaud, M. M. Moerman, P. S. Monks, G. H. Mount, M. Navarro-Comas, H. Oetjen, A. Pazmino, M. Perez-Camacho, E. Peters, A. du Piesanie, G. Pinardi, O. Puentedura, A. Richter, H. K. Roscoe, A. Schönhardt, B. Schwarzenbach, R. Shaiganfar, W. Sluis, E. Spinei, A. P. Stolk, K. Strong, D. P. J. Swart, H. Takashima, T. Vlemmix, M. Vrekoussis, T. Wagner, C. Whyte, K. M. Wilson, M. Yela, S. Yilmaz, P. Zieger, and Y. Zhou, The Cabauw Intercomparison campaign for Nitrogen Dioxide measuring Instruments (CINDI): design, execution, and early results, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5, 457-485, doi:10.5194/amt-5-457-2012, February 2012.
- ⑩ Lee, H., H. Irie, M. Gu, J. Kim, and J. Hwang, Remote sensing of tropospheric aerosol using UV MAX-DOAS during hazy conditions in winter: Utilization of O₄ absorption bands at wavelength intervals of 338-368 and 367-393 nm, *Atmospheric Environment*, 45(32), 5760-5769, doi:10.1016/j.atmosenv.2011.07.019, October 2011.
- ⑪ Noguchi, K., A. Richter, H. Bovensmann,

A. Hilboll, J. P. Burrows, H. Irie, S. Hayashida, and Y. Morino, A feasibility study for the detection of the diurnal variation of tropospheric NO₂ over Tokyo from a geostationary orbit, *Advances in Space Research*, 48, 9, doi: 10.1016/j.asr.2011.06.029, 1551-1564, July 2011.

⑫ Irie, H., H. Takashima, Y. Kanaya, K. F. Boersma, L. Gast, F. Wittrock, D. Brunner, Y. Zhou, and M. Van Roozendaal, Eight-component retrievals from ground-based MAX-DOAS observations, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4, 1027-1044, doi:10.5194/amt-4-1027-2011, June 2011.

⑬ Takashima, H., H. Irie, Y. Kanaya, and H. Akimoto, Enhanced NO₂ at Okinawa Island, Japan caused by rapid air mass transport from China as observed by MAX-DOAS, *Atmospheric Environment*, 45(15), 2593-2597, doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.10.055, May 2011

⑭ Zieger, P., E. Weingartner, J. Henzing, M. Moerman, G. de Leeuw, J. Mikkilä, M. Ehn, T. Petäjä, K. Clémer, M. van Roozendaal, S. Yilmaz, U. Friess, H. Irie, T. Wagner, R. Shaiganfar, S. Beirle, A. Apituley, K. Wilson, and U. Baltensperger, Comparison of ambient aerosol extinction coefficients obtained from in-situ MAX-DOAS and LIDAR measurements at Cabauw, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 2603-2624, doi:10.5194/acp-11-2603-2011, March 2011.

⑮ H. K. Roscoe, M. Van Roozendaal, C. Fayt, A. du Piesanie, N. Abuhassan, C. Adams, M. Akrami, A. Cede, J. Chong, K. Clémer, U. Friess, M. Gil Ojeda, F. Goutail, R. Graves, A. Griesfeller, K. Grossmann, G. Hemerijckx, F. Hendrick, J. Herman, C. Hermans, H. Irie, P. V. Johnston, Y. Kanaya, K. Kreher, R. Leigh, A. Merlaud, G. H. Mount, M. Navarro, H. Oetjen, A. Pazmino, M. Perez-Camacho, E. Peters, G. Pinardi, O. Puentedura, A. Richter, A. Schönhardt, R. Shaiganfar, E. Spinei, K. Strong, H. Takashima, T. Vlemmix, M. Vrekoussis, T. Wagner, F. Wittrock, M. Yela, S. Yilmaz, F. Boersma, J. Hains, M. Kroon, A. Piters, and Y. J. Kim, Intercomparison of slant column measurements of NO₂ and O₄ by MAX-DOAS and zenith-sky UV and visible spectrometers, *Atmospheric Measurement Techniques*, 3, 1629-1646, doi:10.5194/amt-3-1629/2010/, 2010

[学会発表] (計 8 件)

① 板橋 良平、北 和之ほか、衛星からのUV・Vis同時分光観測による下部対流圏オゾン量導出シミュレーション～エアロゾルによる影響、日本地球惑星科学連合大会、2013年05月19日～23日、千葉県千葉市

② 福寿 旅人、北 和之、野口克行ほか、リモートセンシングによる下部対流圏オゾン導出～地表面アルベド推定、日本地球惑星科学連合大会、2013年05月19日～23日、千葉県千葉市

③ 山口裕樹、北 和之ほか、リモートセンシングによる下部対流圏オゾン量導出のための検証観測、日本地球惑星科学連合大会、2013年05月19日～23日、千葉県千葉市

④ 山口裕樹、北 和之ほか、リモートセンシングによる下部対流圏オゾン量導出のための検証観測、日本気象学会、2013年05月15日～18日、東京都

⑤ 山口裕樹、北 和之ほか、リモートセンシングによる下部対流圏オゾン導出の試み～航空機からの検証実験、大気化学討論会、2012年11月06日～08日、福岡県朝倉市

⑥ 北 和之、入江仁士ほか、新しい宇宙からの大気環境観測計画～GMAP-AsiaとAPOLLO、日本地球惑星科学連合大会、2012年05月20日～25日、千葉県千葉市

⑦ 野口克行、入江仁士、北 和之ほか、静止軌道およびISSによる対流圏NO₂観測における地表面BRDFの影響、日本地球惑星科学連合大会、2012年05月20日～25日、千葉県千葉市

⑧ 北 和之、大竹 翔、入江仁士ほか、山頂からの可視-紫外分光による下部対流圏オゾン導出シミュレーション観測、大気化学討論会、2010年11月17日～19日、東京都八王子市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北 和之 (KITA KAZUYUKI)
茨城大学・理学部・教授
研究者番号：30221914

(2) 研究分担者

入江 仁士 (IRIE HITOSHI)
千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授
研究者番号：40392956

野口 克行 (NOGUCHI KATSUYUKI)
奈良女子大学・理学部・助教
研究者番号：20397839

(3) 連携研究者

林田 佐智子 (HAYASHIDA SACHIKO)
奈良女子大学・理学部・教授
研究者番号：70180982