

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03741

研究課題名（和文）レーダー・音波併用気温プロファイル測定システム（RASS）の高機能化

研究課題名（英文）Development of an advanced retrieval method of temperature profiles with Radio Acoustic Sounding System (RASS)

研究代表者

津田 敏隆 (Tsuda, Toshitaka)

京都大学・生存圏研究所・研究員

研究者番号：30115886

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：インドネシアの西スマトラ州に設置されている赤道大気レーダー(EAR)に音波発射器を併設してRadio Acoustic Sounding System (RASS)を構成し、高度2-10kmにおける気温の高度プロファイル連続測定した。EAR-RASSデータに最新の機械学習法を適用して水蒸気量の高度プロファイルを推定するアルゴリズムを開発した。また、同時に行った1時間間隔のラジオゾンデ集中観測による大気安定度および電波屈折率を併用し、大気乱流による電波散乱特性を解明した。一方、小型低軌道衛星によるGNSS電波掩蔽観測のデータを用いて赤道域における大気擾乱現象のグローバル特性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大気力学過程を理解するうえで風速、気温および水蒸気量の時空間変動の精密測定が重要である。従来の研究でEAR-RASSにより風速と気温を同時測定できているが、さらに水蒸気量の導出が課題であった。機械学習手法を新たに導入することで水蒸気プロファイルの推定精度が向上した。また、1時間毎に20-30回にわたり放球した稀少なラジオゾンデデータを活用して、乱流散乱エコーと大気安定度等との関連を優れた時間分解能で明らかにできた。EARを運用するインドネシアの研究機関と共同研究を進める過程で若手研究者のcapacity building に貢献した。

研究成果の概要（英文）：We observed temperature profiles at 2-10 km altitudes every 10-20 min. in the tropical troposphere with the Radio Acoustic Sounding System (RASS), which is constructed by attaching a sound wave transmitter to the Equatorial Atmospheric Radar (EAR) located in west Sumatra, Indonesia. We have developed an advanced algorithm with the machine learning method for retrieving a water vapor profile from the EAR-RASS data. Using the simultaneous hourly launches of radiosondes, we studied characteristics of the turbulence scattering of radio waves with particular focus on the atmospheric stability and the radio wave refractive index gradient. We also clarified the global distribution of atmospheric disturbances in the equatorial region from the GNSS radio occultation data obtained by small low-Earth-orbit satellites.

研究分野：大気科学

キーワード：RASS 赤道大気レーダー（EAR） 熱帯対流圏 大気乱流 気温プロファイル 水蒸気プロファイル GNSS電波掩蔽 機械学習

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 風速・気温・水蒸気のリモートセンシング

電波・光を用いて大気現象の時間・高度変動をリモートセンシングする手法が多く開発されている。なかでも対流圏・下部成層圏および中間圏において、大気乱流による電波散乱から風速3成分の高度プロファイルを時間連続で観測する大気レーダーが重要である。1984年に信楽に設置された中層・超高層大気レーダー(Middle and Upper Atmosphere Radar: MU radar)の技術を基礎に、2001年にインドネシア・西スマトラ州に赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)が建設された。これに音波発射器を併設し、音波面からの電波散乱のドップラーシフトから音速を測定して気温プロファイルを求めるRadio Acoustic Sounding System(RASS)が実装されている。本研究ではEAR-RASSの高機能化を図るとともに、気温に加えて水蒸気の高高度プロファイルを推定するアルゴリズムを開発し、赤道域の対流圏・下部成層圏における大気擾乱現象の解明を目指す。

(2) 水蒸気の全天候型リモートセンシング手法

大気擾乱の研究には風速・気温・水蒸気の測定が重要で、それぞれ運動エネルギー・顕熱・潜熱に関係している。気球搭載のラジオゾンデは地表から高度約30kmに至る風速・気温・湿度を直接測定できるが、放球間隔が一般には6-24時間であり、詳細な時間変動の解明は難しい。気温・水蒸気プロファイルはライダーで観測されるが荒天時には利用できない。我々は、熱帯域で特徴的な激しい積雲対流の際にも気温・水蒸気を測定できる手法としてEAR-RASSに着目した。乱流散乱エコー強度(E)と気温(T)から水蒸気(q)プロファイルを求める研究を続けており、既に、大気屈折率の高度勾配(M)の絶対値と E の関係式を明らかにしたが、 $|M|$ の符号を知る決定的な方法がなく、安定的に q を導出することが困難であった。本研究では、最新の機械学習手法を適用して(M を介さずに)、 q の推定を試みる。

(3) 赤道域における大気変動特性

赤道域では強烈な太陽放射により対流圏で積雲対流が活発に起こり、さらに中層大気を伝播する種々の大気波動が生成される。特にインドネシアはエルニーニョや Madden Julian Oscillation (MJO)等の特異現象が現れる地域である。我々は1990年よりラジオゾンデや小型レーダーを用いたフィールド観測をインドネシア各地で継続している。さらに2001年以降の約20年間にわたるEAR観測データもあわせて、大量の観測結果をデータベース化している。赤道の真上に位置する観測拠点は世界でも稀であり、このユニークなアーカイブデータを活用して、赤道大気の特徴的な種々の大気現象を解明する。

一方、近年GNSS電波掩蔽観測が注目され、多くの小型衛星ミッションが打ち上げられている。我々は、ラジオゾンデに匹敵する高度分解能で得られる気温・水蒸気量の高高度プロファイルを活用して、赤道域に特異な現象に着目してそれらのグローバル特性を研究している。

2. 研究の目的

インドネシアのBRIN(インドネシア研究革新庁)との国際共同で、EAR-RASSの観測手法を高機能化するとともに、データ解析アルゴリズムを改良し、対流圏から下部成層圏における風速・気温・水蒸気の高高度プロファイルを測定する。

過去のEARおよびラジオゾンデ等の地上観測データ、およびGNSS電波掩蔽データも加えて、熱帯対流圏における積雲対流等の大気擾乱、大気乱流の生成過程、成層圏の大気波動などの大気現象、あるいは、大気微量成分の輸送・混合過程に重要な役割を果たす対流圏界面(高度約15km)の気温変動の特性を研究する。

3. 研究の方法

(1) EAR-RASSの観測手法の高度化

初年度(2018)にRASSに用いる音響発射システムを整備し、並行して自動観測に向けたリアルタイムレーダー制御システムの開発等を行って、2019-2020年度にEAR-RASS実験を企画していた。しかし、2019年度半ばにEARが雷害で損傷し、その後、新型コロナ禍により、復旧作業のためにインドネシアに出張できなかったため、当初3年間で企画した課題を3回延長した。2022年度にEAR改修部品の一部を調達して整備を試みたが、レーダー全体を早急に完全復旧する見通しが立たなかった。このため、新たなEAR-RASS実験を断念し、下記のデータ解析に専念することにした。

(2) 機械学習手法を用いた水蒸気プロファイルの導出

EAR-RASS観測による乱流エコー強度、気温等の各種データに機械学習アルゴリズムを適用

して、水蒸気プロファイルを導出する解析手法を開発する。

- (3) アーカイブデータを用いた赤道大気的气候学的特性の解析
2001 年以來約 20 年に亘って蓄積されている EAR 観測結果ならびにラジオゾンデをはじめとする多種の地上観測データ、さらに GNSS 電波掩蔽ミッション等の衛星観測データを活用して熱帯域の対流圏・下部成層圏における大気擾乱特性の解明を目指す。

4. 研究成果

- (1) EAR-RASS による気温測定手法の高度化

EAR-RASS 観測システムの整備：

基本的な観測スキームは、RASS を用いた気温測定と乱流散乱による風速 3 成分の標準観測とで構成され、これら 2 つの観測モードを数分毎に交互に繰り返す。RASS 観測では音波が引き起こす屈折率変動からの電波散乱 (RASS エコー) を受信し、まず音波面の (見かけの) 伝播速度を求める。さらに、標準観測で得られる視線方向の風速を補正して真の音速を定め、状態方程式から気温 (仮温度) を得る。

RASS 観測においても、標準観測の乱流散乱と同様に、屈折率変動のスケールが電波波長の 1/2 となる Bragg 条件を満たすことで強い RASS エコーが得られる。このため、音波波長を電波波長の 1/2 に調整する必要がある。EAR の送信周波数は 47MHz (波長が約 6.4m) なので、地表付近で Bragg 条件を満たす音波波長は約 3.2m (周波数で約 100Hz) となる。しかし、対流圏では高度が上がると気温が低くなっていき、音速も高度とともに遅くなる (音波波長が短くなる)。したがって、固定周波数の音波を送信した場合、Bragg 条件を満たす高度範囲は狭くて限定的になる。対流圏の広い高度範囲で Bragg 条件を満たすために、気温プロファイルを考慮して、周波数変調した音波パルス (FM チャープ信号) を設計した。

また、標準観測の乱流散乱で得られる視線方向の風速は $\pm 10\text{m/s}$ 程度以内であるのに対して、音速は約 300m/s にもなり、かつ遠ざかる方向に限られる。したがって、 0m/s を中心に両サイドに 300m/s ものドップラースペクトル幅を用意するのは無駄である。このため、RASS 観測で受信信号を復調する際に、参照信号の周波数を約 100Hz シフトして、RASS エコーがスペクトルの中心付近に現れるように工夫して効率を向上させた (Juaeni, 2018)。

EAR アンテナビーム方向の自動制御：

Bragg 条件は、音波面の伝搬方向とレーダーのアンテナビームが平行となることも要請している。音波は背景風の影響で伝搬方向が短時間で大きく変動するため、アンテナビームを的確かつ迅速に走査する必要がある。2016 年に行われた EAR - RASS 観測の結果をもとに、アンテナビーム方向の選択方法あるいは、EAR アンテナ面の中央および周辺に配置する音波発射器の構成を検討した (Juaeni et al., 2018)。

さらに、EAR による風速プロファイルを用いて音波の伝搬特性をリアルタイムでモデル計算し、アンテナビーム走査を最適に自動制御する手法を開発して観測効率を向上させた。また、今後の EAR の多チャンネル受信システムへの改良に向け、汎用のソフトウェア無線機を用いた EAR 用受信機の開発も行った (Aris et al., 2019)。一方、RASS 観測時の騒音問題軽減のため、超指向性のパラメトリックスピーカーを試作し、1.3GHz ウィンドプロファイラーによる RASS 観測実験で性能を評価した (Adachi et al., 2019)。

- (2) EAR-RASS による水蒸気プロファイル推定

乱流散乱強度と水蒸気の関係：

我々は既に乱流エコー強度 ()、大気屈折率勾配 (M) および水蒸気量 (q) の間の理論的關係式を明らかにしている。しかし、EAR-RASS では M^2 しか得られないため、各高度点における $|M|$ の符号判定が難題であった。本研究では、 q と M の関係を介さずに、EAR-RASS による気温 (T) 等のデータから q を推定する機械学習手法を開発した。数値予報モデル (ERA5) およびラジオゾンデデータを学習データとして複数のアルゴリズムを試した結果、検証用データと EAR-RASS による推定値が高精度で一致した。水蒸気プロファイル (q) を高度約 2-10 km において高度分解能 150m で約 10 分毎に全天候リモートセンシングする有力な手法が得られたことは大きな収穫である。

機械学習データ：

今後、機械学習の教師データとして、 dT/dz と dq/dz の相関関係や GNSS 気象学手法による可降水量 (PWV) データを組み込むことでさらに q の推定精度が向上すると期待される。我々は EAR 観測所に GNSS 受信機を設置しており、インドネシア直上の静止軌道に配置されている QZSS を含めたデータ収集を継続している。特に、QZSS を用いた PWV データは EAR 上空の水蒸気状態に関する空間代表性が優れていることから、 q プロフ

ファイルの高度積分値に強い拘束条件を与えられられる。

(3) 大気現象の解明

乱流エコーの特性：

2005年11-12月にラジオゾンデを1時間間隔で20-30回放球するという世界的にもユニークなキャンペーンが7回にわたり実施されている。ラジオゾンデは約5m/sで飛翔するため、高度約30kmに到達するには2時間弱かかる。このキャンペーンでは3台の受信システムを用意し、ラジオゾンデの通信周波数をずらして混信を防いだ。

乱流散乱のエコー強度()は主に大気屈折率勾配(M)と乱流エネルギー強度に依存することが知られている。EARの標準観測から および乱流強度の指標となるエコーのスペクトル幅()を解析した。一方、ラジオゾンデデータから水平風速・気温・水蒸気量を高度・時間分解能10m・1時間で求め、 M および乱流生成の指標であるRichardson数(Ri)を算出した。高度約10km以下の湿潤大気では M は主に水蒸気の高高度勾配(dq/dz)で定まり、 M が dq/dz に強く依存することが分かった。一方、 Ri の値から対流不安定(convective instability)あるいはKHI(Kelvin Helmholtz Instability)が起こっていると推測される時間・高度領域と にある程度の相関が認められた。

また、高度6-9kmで孤立的な大気重力波が卓越した事例では、大気波動の鉛直伝播に伴って M および Ri が時間高度変動する様子が捉えられた。これらが および の分布に影響していることが分かった。

成層圏の大気波動：

ラジオゾンデのアーカイブデータを用いて、下部成層圏における大気波動の周波数スペクトル解析を行い、卓越成分として一日周期大気潮汐波、赤道波(混合ロスビー重力波、ケルビン波)を同定し、それらの鉛直伝播特性を明らかにした。また、大気重力波の鉛直波数(m)スペクトルが飽和重力波理論によるモデル(m^{-3})にほぼ合致することを示した。

ラジオゾンデのデータサンプル間隔が10mであることから、鉛直スケールが約20mの擾乱現象まで鉛直波数スペクトルを分析できる。この利点を活かして、高波長域において、大気重力波の飽和スペクトル(m^{-3})から大気乱流のスペクトル($m^{-5/3}$)(さらに白色ノイズでは m^0)へと変遷する様子を試行解析したが、明確なレジーム変化は確認できなかった。今回のケーススタディをmotivationとして、大量のデータを用いて統計的検証を進めることは今後の課題である。

対流圏界面の特性：

GNSS電波掩蔽ミッションによる気温データを用いて、対流圏界面で局所的低温(Cold Point Tropopause: CPT)となり大気安定度が急激に高度変化する現象(tropopause sharpness)を解析した結果、そのグローバル分布が熱帯域特有の大気擾乱と相関があることが明らかになった(Noersonadi et al., 2018)。

なお、GNSS電波掩蔽で得られる伝播経路の偏角()の高度プロファイルにおいて、その変節点に対流圏界面に関係するという先行研究がある(D.N.Rao et al., 2007; Geophys. Res. Lett.)。我々は、中緯度域の標準大気モデル(NOAA)を想定し、水平一様で同心球の積層大気モデルを作成して電波屈折率(n)の高度プロファイルを求め、GNSS電波の伝播経路を計算した。 と大気パラメータの関係を分析した結果、偏角の高度微分($d\theta/dz$)と大気安定度の指標であるBrunt-Väisälä周波数の自乗(N^2)に良い相関が認められた。具体的には、 $d^2\theta/dz^2$ と dN^2/dz の局所的な極大値が高度差約100mで一致した。つまり、 $d^2\theta/dz^2$ の極大値に対応する高度付近において大気安定度の高度変化が最大勾配になることを意味している。この高度は一般に用いられるLRT(Lapse Rate Tropopause)に比べて約1.4km低かった。

対流圏界面の定義として一般にLRTとCPTが用いられるが、我々が示したGNSS電波の伝播特性をもとに大気安定度の最大高度勾配を基準とする新たな対流圏界面が定義されれば、特に熱帯域における対流圏界面の気温構造の特性解明に役立つ可能性がある。

赤道域の対流圏・下部成層圏のグローバル特性：

GNSS電波掩蔽データを活用した熱帯域の対流圏・下部成層圏における気温構造と大気擾乱の研究に関するレビューを共同執筆し(Scherllin-Pirscher et al., 2021) 対流圏界面付近の温度構造が大気波動(赤道ケルビン波、大気重力波等)の影響で時間高度変動すること、これらの気温変動と対流圏の積雲対流・降雨量と相関すること、また気候変動(温暖化、火山噴火等)により長期変動すること、さらに大気微量成分の混合・輸送への影響等を総括した。今後、EAR-RASS観測による赤道上の局所点における詳細な時間・高度変動と対比する研究に進展すると期待される。

研究成果を 2024 年 9 月にドイツで開催される第 16 回 MST レーダーワークショップ、あるいは 11 月に京大で行われる MU レーダー 40 周年記念シンポジウムで発表する他、国際論文誌で公表する予定である。

なお、上記の研究課題を BRIN との国際共同で進めた。BRIN の若手 2 名（内 1 名は別経費）を 2018 年度に、2022 年度にも 2 名（別経費）を招聘して交流を深め、さらに 2022 - 2023 年度に亘って ZOOM による研究打合わせを定期的に継続して capacity building に貢献した。また、BRIN の研究者 1 名が京都大学大学院に留学し、GNSS 電波掩蔽観測に関わる研究により博士学位を取得した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Scherllin-Pirscher Barbara, Steiner Andrea K., Anthes Richard A., Alexander M. Joan, Alexander Simon P., Biondi Riccardo, Birner Thomas, Kim Joowan, Randel William J., Son Seok-Woo, Tsuda Toshitaka, Zeng Zhen	4. 巻 34
2. 論文標題 Tropical Temperature Variability in the UTLS: New Insights from GPS Radio Occultation Observations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 2813 ~ 2838
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-20-0385.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 N. A. M. Aris, H. Hashiguchi, and M. Yamamoto	4. 巻 55
2. 論文標題 Evaluation of EAR Spaced Antenna Performance Using Multiple Receiving Antennas Orientations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radio Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019RS007049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 N. A. M. Aris, H. Hashiguchi, and M. Yamamoto	4. 巻 54
2. 論文標題 Development of Software-Defined Multichannel Receiver for EAR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radio Sci.	6. 最初と最後の頁 671-679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019RS006817	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 A. Adachi and H. Hashiguchi	4. 巻 12
2. 論文標題 Application of Parametric Speakers to Radio Acoustic Sounding System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmos. Meas. Tech.	6. 最初と最後の頁 5699-5715
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/amt-12-5699-2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Juaeni Ina, Tabata Hiraku, Noersomadi, Halimurrahman, Hashiguchi Hiroyuki, Tsuda Toshitaka	4. 巻 70
2. 論文標題 Retrieval of temperature profiles using radio acoustic sounding system (RASS) with the equatorial atmosphere radar (EAR) in West Sumatra, Indonesia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-018-0784-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Hiroyuki Hashiguchi
2. 発表標題 A Review on Equatorial Atmosphere Radar (EAR) Observations
3. 学会等名 2nd International Conference on Radioscience, Equatorial Atmospheric Science and Environment (INCREASE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立アホロ・橋口浩之
2. 発表標題 パラメトリックスピーカーによるRASS観測の精度
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本衛・橋口浩之・横山竜宏・津田敏隆
2. 発表標題 Status of Equatorial MU Radar project in 2019
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本衛・橋口浩之・横山竜宏・宮岡宏・小川泰信・塩川和夫・野澤悟徳・吉川顕正・津田敏隆
2. 発表標題 太陽地球系結合過程の研究基盤形成
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mamoru Yamamoto, Hiroyuki Hashiguchi, and Toshitaka Tsuda
2. 発表標題 The MU radar, Equatorial Atmosphere Radar, and future project EMU
3. 学会等名 URSI-Japan Radio Science Meeting（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koki Muguruma and Hiroyuki Hashiguchi
2. 発表標題 Development of a low noise RASS speaker using a parametric array
3. 学会等名 39th International Conference on Radar Meteorology（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 衛、橋口 浩之、津田 敏隆
2. 発表標題 赤道MUレーダー計画の現状2018
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 衛、橋口 浩之、宮岡 宏、小川 泰信、塩川 和夫、野澤 悟徳、吉川 顕正、津田 敏隆
2. 発表標題 太陽地球系結合過程の研究基盤形成
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 InaJuaeni・HirakuTabata・Noersomadi, Halimurrahman・HiroyukiHashiguchi・Tsuda Toshitaka
2. 発表標題 Retrieval of Temperature Profiles using Radio Acoustic Sounding System (RASS) with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) in West Sumatra, Indonesia
3. 学会等名 第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noersomadi, 津田 敏隆, 藤原 正智
2. 発表標題 Characteristics of the tropical tropopause inversion layer using high resolution temperature profiles by COSMIC GPS-R0
3. 学会等名 第144回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ina Juaeni, Hiroyuki Hashiguchi, Ginaldi Ari Nugroho, Halimurrahman, Syafrizon, Ridho, and Toshitaka Tsuda
2. 発表標題 Variability of the troposphere and the tropopause parameters at the tropical region
3. 学会等名 1st International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ina Juaeni, Hiraku Tabata, Noersomadi, Halimurrahman, Hiroyuki Hashiguchi, and Toshitaka Tsuda
2. 発表標題 The Effect of the Acoustic Source Location on the Height Profiles of Virtual Temperature in the Tropical Troposphere
3. 学会等名 The 3rd Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	橋口 浩之 (Hashiguchi Hiroyuki) (90293943)	京都大学・生存圏研究所・教授 (14301)	
研究分担者	矢吹 正教 (Yabuki Masanori) (80390590)	京都大学・生存圏研究所・特定研究員 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
インドネシア	インドネシア研究革新庁(BRIN)			
オーストリア	Graz Univ.			
米国	UCAR	NorthWest Research Associates CoRA		
オーストラリア	Australian Antarctic Division			