

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 7 月 29 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01979

研究課題名(和文) 雷嵐の電波観測と高速気象レーダ観測との融合による極端気象雷災害の監視と予測

研究課題名(英文) Monitoring and forecasting of extreme weather and lightning disasters by combining radio wave and high-speed meteorological radar observations of thunderstorms

研究代表者

芳原 容英 (Hobara, Yasuhide)

電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授

研究者番号：10303009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究期間では、日本最高の高時空間分解能を有するフェーズドアレイレーダやXバンドMPレーダデータによる雷雲観測と、雷放電の多周波電波の同時観測により、極端気象や電荷量の大きな雷放電と雷嵐の気象学的特性の導出を目指した。コロナ禍により、雷観測ネットワークの構築と観測開始にかなりの遅延が生じたが、いずれの極端事象に関しても期間中に事例を捉えることに成功し、初期解析を行うことができたことから、当初の研究目的は達成され、世界初の研究成果も得られた。今後も本研究に関連する学術論文等が発表されるとともに、本研究期間にて構築/整備された機材群による連続観測も鋭意継続しており、さらなる研究成果が見込まれる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化のため、全世界的に豪雨やそれらに伴う強力な雷放電をはじめとした極端気象災害が頻発しており、我々の社会生活への大きな脅威となっている。本事象は、短時間に発達するため予測が困難である。本研究では、事象の発生機構や短時間予測への有効性が示されている、雷放電との関係性を世界最高の観測速度を有する気象レーダを用いて詳細に調査した。その結果、雷と気象条件の間に有意な関連性が得られたことから、将来の極端気象災害の軽減が大いに期待されるとともに、本観測の今後の重要性が明確に認識された。

研究成果の概要(英文)：In this study, simultaneous observations of thunderstorm activities using phased radar with the highest spatiotemporal resolution and X-band MP radar data in Japan and multi-frequency radio waves of lightning discharges were used to derive the meteorological characteristics of extreme weather events and highly energetic lightning discharges and thunderstorms. Although the corona disaster caused considerable delays in the construction of the lightning observation network and the start of observations, we succeeded in detecting cases of both types of extreme events and were able to carry out initial data analysis, so the initial research objectives were achieved and significant scientific research results have been obtained. Further results are expected in the future, as scientific papers related to this research will be published, and continuous observations using the established observation network.

研究分野：地球・宇宙電磁環境、大気電気学、災害監視予測、宇宙プラズマ理工学、地震電磁気学

キーワード：トータル雷 極端気象 電波観測 フェーズドアレイレーダ 災害監視・予測

1. 研究開始当初の背景

近年、全地球的な気候変動の影響により、国内外で豪雨や竜巻、ダウンバースト等の極端気象が多数報告されている。これまで、申請者グループによる電波観測から、極端気象に先行して雷放電数の顕著な増加が報告されている。また、被害が甚大である大電荷量を伴う落雷の電荷量の遠隔推定についても低周波電波観測を用いて実施してきた。しかし、極端気象、大電荷量雷を発生する雷雲の特性把握は、発達が時間的に極めて速いため、現在データが一般公開されている気象レーダー観測における時間分解能では不十分かつ未解明のままである。

2. 研究の目的

本研究では、日本国内で発生する極端気象である豪雨や突風、また雷災害を引き起こす大きな電流や電荷量を発生させる雷嵐に対して、現在日本最高の高時空間分解能を有するフェーズドアレーレーダによる雷雲の3次元空間観測と、雷放電に伴う電磁放射の多周波数による同時観測を行う。これらの同時詳細観測から、自然災害を発生させる雷嵐の気象学的特徴や、これら極端イベントに先行する雷放電について詳細に調査し、気象学的特徴と電気的特徴との対応関係の調査から、それらの発生機構に迫り、将来の雷とレーダー観測を併用した極端気象や雷災害の予測や監視手法の開発や自然災害被害の予防に貢献する。

3. 研究の方法

(1) 極端気象や大電荷量雷を発生させる雷嵐の気象学的特性の導出

大都市圏における極端現象を伴う雷嵐のフェーズドアレーレーダとマルチパラメータレーダーを併用した超高時間分解能3次元空間観測により、雷嵐の全ステージ(発達、成熟、衰退)にわたる、気象学的特性である降水量、降水粒子や雷雲内の気流の時空間分布を調査する。

(2) 極端気象や大電荷量雷を発生させる雷嵐の雷活動の時空間特性の導出

雷嵐中に発生する雷放電について、①LF帯干渉計を製作し、関東地域に展開し夏雷放電路の3次元標定(放電開始~終了までの時空間分布)、②ELF帯電磁波観測により、落雷モーメント及び落雷電荷量の推定を行う。③日本トータル雷観測(DC~HF帯)により、雷雲内放電、落雷の位置の標定、落雷極性(正、負のどちらの電荷が中和されたか)、落雷電流を導出する。

4. 研究成果

本研究期間内に、上記に示した2つの大目標とも期間中におおよそ達成することができ、世界初の研究成果も得られた。今後も本成果に関連する学術論文等が発表されるとともに、連続観測も継続しており、さらなる研究成果が見込まれる。以下にその具体的内容を簡単に記述する。

4. 1 極端気象を発生させる雷嵐の雷活動と気象学的特性の導出

今回の研究において構築された関東圏3次元雷観測ネットワークは、数kmから数十km間隔で設置した複数のLF帯広帯域干渉計によって構成される。このネットワークの配置および装置の外観を図1示す。

図2に、東京都で発生した極端気象(降雹)に関連する、雷嵐のフェーズドアレーレーダデータに基づく粒子判別結果の一例を示す。本結果からは、高密度霰が急速に増加したのちに、それらが雹に変化し、雨として地上に降る様子が、極めて高い時間、空間分解能で確認できた。また、霰や雹の増加量のピークが確認できたのちに降雨量や地上付近の反射強度の増加が確認されたことから、突発的な降雨の高精度な予測への応用が期待される。

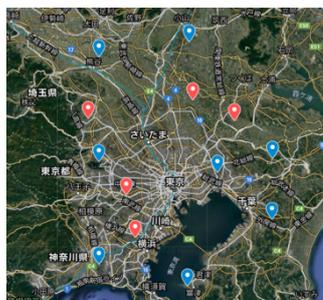


図1 関東圏3次元雷観測ネットワークを構成する干渉計の配置図(左)および、同観測装置外観(右)

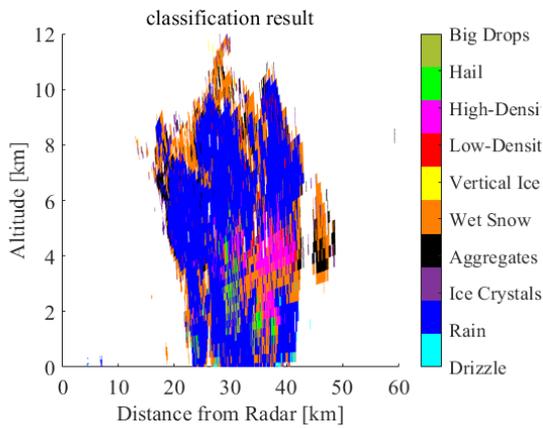


図 2.16 2019 年 5 月 4 日 15 時の粒子判別結果

4. 2大電荷量雷を発生させる雷嵐の雷活動と気象学的特性の導出

日本国内で発生した雷災害を引き起こした、大きな電流や電荷量の落雷を発生させる雷嵐に対して、国交省 X-バンドの 2 重偏波ドップラーレーダ(X-band MP レーダ)による雷雲の 3 次元空間観測と、雷放電に伴う電磁放射の多周波数による同時観測 (ELF 帯磁場観測ネットワーク、LF 帯落雷位置標定システム)を行い、第電荷量落雷に注目した事例解析を行った。以下に落雷事例の一つを示す。

図 3 に、2021 年 5 月 1 日に ELF 帯磁場観測システムで観測された大電荷量を伴う ELF 帯空電の波形を示す。

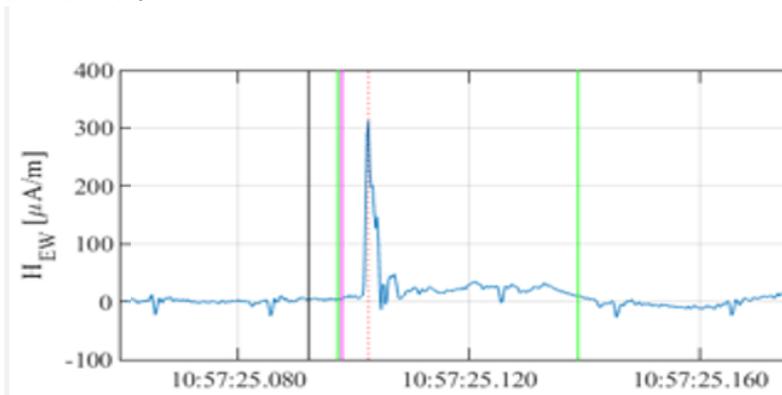


図 3 ELF 帯トランジェント磁場波形の例

次に、図 1 の落雷イベントが発生した地点における雷雲の東西方向、南北方向の断面図を図 7 に示す。

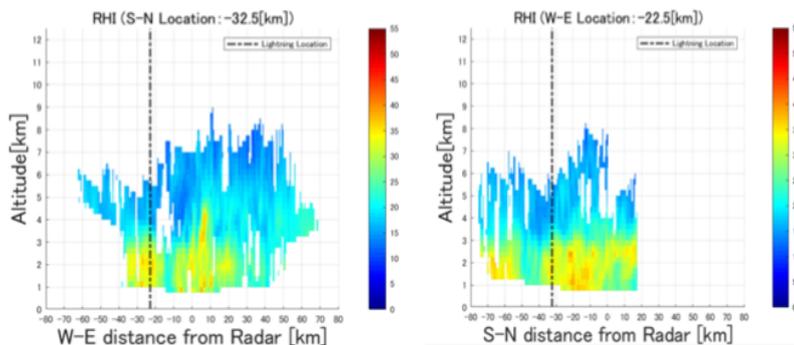


図 4 降水量の垂直断面図(左：東西方向、右：南北方向)

図 4 より、本雷嵐では層状の融解層が確認されており、当該領域に大量の電荷が蓄積されていることが示唆される。さらに、この融解層の高度を雷道距離は 2.5km と仮定すると、落雷電荷量は極めて大きく、365 C となることから、解析対象落雷イベントは、雷嵐中でも非常に強力な落雷であり、雷災害を引き起こすに十分な強度であることが判明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 K. Asai, H. Kikuchi, T. Ushio, and Y. Hobara	4. 巻 38
2. 論文標題 Validation of X-Band Multiparameter Phased-Array Weather Radar by Comparing Data from Doppler Weather Radar with a Parabolic Dish Antenna	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Atmospheric and Oceanic Technology	6. 最初と最後の頁 1561-1570
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JTECH-D-20-0213.1	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 -
1. 著者名 H. Kikuchi, E. Yoshikawa, T. Ushio, and Y. Hobara	4. 巻 -
2. 論文標題 Adaptive Beamforming Using Steering Vector Correction for Phased-Array Weather Radar	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	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） 10.1109/JSTARS.2021.3106002	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 -
1. 著者名 Y. Hobara, T. Ohashi, T. Shiraishi and K. Shiokawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Spatio-Temporal Distributions of Lightning Stroke Charge Using ELF and Meteorological Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering InECCE2021	6. 最初と最後の頁 329-337
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-16-8690-0_30	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 -
1. 著者名 S. Akama, Y. Hobara, A. Izzani Mohamed, C. Gomes, K. Shiokawa, S.Hirai, H. Kikuchi & M. Stock	4. 巻 -
2. 論文標題 Spatio-Temporal Characteristics of Energetic Lightning in Southeast Asia: Preliminary Statistical Results	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering InECCE2021	6. 最初と最後の頁 317-327
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-16-8690-0_29	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 -

1. 著者名 H. Kikuchi, E. Yoshikawa, T. Ushio, and Y. Hobara	4. 巻 17
2. 論文標題 Clutter Reduction for Phased-Array Weather Radar Using Diagonal Capon Beamforming With Neural Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Geoscience and Remote sensing Letters	6. 最初と最後の頁 2065-2069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LGRS.2019.2962558	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 H. Kikuchi, T. Suezawa, T. Ushio, N. Takahashi, H. Hanado, K. Nakagawa, M. Osada, T. Maesaka, K. Iwanami, K. Yoshimi, F. Mizutani, M. Wada, and Y. Hobara	4. 巻 58
2. 論文標題 Initial observations for precipitation cores with X-Band dual polarized phased array weather radar	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 3657-3666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TGRS.2019.2959628	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 S. Pal, S. Sarkar, S. K. Midya, S. K. Mondal, and Y. Hobara	4. 巻 125
2. 論文標題 Low latitude VLF radio signal disturbances due to the Extremely Severe Cyclone Fani of May, 2019 and associated mesospheric response	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JGR Space Physics	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) 10.1029/2019JA027288	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29件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 平井 周, 芳原 容英, 菊池 博史, M. Stock
2. 発表標題 複合電波観測を用いた台風に伴う大気圏と電離圏の関連性に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会EMCJ研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池博史, 及川夏依, 芳原容英, 中村佳敬, 吉川栄一, 森本健志, 牛尾知雄
2. 発表標題 気象用二重偏波フェーズドアレイ気象レーダとLF帯雷放電標定装置を用いた夏季積乱雲の観測
3. 学会等名 第100回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浅井 啓太郎, 菊池 博史, 芳原 容英, 牛尾 知雄
2. 発表標題 マルチパラメータフェーズドアレイ気象レーダを用いた3次元降水コアトラッキング手法の検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平井 周, 芳原 容英, 菊池 博史, M. Stock
2. 発表標題 台風に伴う大規模気象擾乱の電離圏への結合過程に関する研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池 博史, 亀井 悠平, 中村 佳敬, 吉川 栄一, 森本 健志, 牛尾 知雄, 芳原 容英
2. 発表標題 LF帯3次元雷放電標定装置と二重偏波フェーズドアレイ気象レーダを用いた夏季積乱雲の観測事例
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤間 俊介, 平井 周, 芳原 容英, 菊池 博史, A. Mohamed, C. Gomes, 塩川 和夫, M. Stock
2. 発表標題 東南アジアにおけるエネルギー別落雷の時空間特性に関する初期解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Hobara, H. Kikuchi, R. Kitamura, M. Sato, Y. Takahashi, T. Adachi, T. Ushio, and M. Suzuki
2. 発表標題 Global Distributions of Lightning Electrical Properties Obtained from International Space Station
3. 学会等名 URSI GASS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Hobara, H. Kikuchi, R. Aoyagi and M. Stock
2. 発表標題 Total Lightning Activity associated with Extreme Meteorological Events in Japan a View from X-band Radar and Meteorological Satellite
3. 学会等名 URSI GASS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Hobara, K. Matsuki, M. Watanabe, H. Kikuchi, and A. Setiwan
2. 発表標題 Relationship between Atmospheric Electric Fields and Lower Ionospheric Disturbances Associated with Earthquakes
3. 学会等名 IAGA- IASPEI 2021 Virtual conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北村 隆之介, 芳原 容英, 菊池 博史, 佐藤 光輝, 高橋 幸弘, 足立 透, 牛尾 知雄, 鈴木 睦
2. 発表標題 Global distributions of lightning charge moment changes obtained from ISS
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 及川 夏依, 菊池 博史, 中村 賢人, 牛尾 知雄, 芳原 容英
2. 発表標題 MP-PAWRを用いた粒子判別と降雨推定の可能性の調査
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池 博史, 及川 夏衣, 中村 賢人, 牛尾 知雄, 芳原 容英
2. 発表標題 気象用二重偏波フェーズドアレイレーダを用いた高時間分解能降雨観測
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芳原 容英, 菊池 博史, 青柳 理紗子, Stock Michael
2. 発表標題 Meteorological conditions for lightning jump associated with downburst and heavy precipitation in Japan inferred from from X-band radar and Himawari-8 satellite data
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 S. Pal, S. Sarkar, S. K. Midya, S. K. Mondal and Y. Hobara
2 . 発表標題 Response of the mesosphere and lower ionosphere to an extremely severe cyclone Fani of May, 2019 over the Indian Ocean
3 . 学会等名 Versim2020 virtual meeting (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Hobara, H. Kikuchi, C. Gomes, A. Mohamed, M. Stock and K. Shiokawa
2 . 発表標題 Monitoring energetic lightning in Southeast Asia using ELF magnetic field observations in Malaysia
3 . 学会等名 Versim2020 virtual meeting (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 S. Hirai, Y. Hobara, S. Kanazawa and J. L. Pinson
2 . 発表標題 F- Layer critical frequency deduced from lightning whistlers
3 . 学会等名 Versim2020 virtual meeting (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 及川夏依, 菊池博史, 芳原容英, 牛尾智雄
2 . 発表標題 二重偏波フェーズドアレイレーダを用いた粒子判定結果とTotal Lightning Networkによる雷観測結果の比較
3 . 学会等名 第99回日本大気電気学会
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下志保, 平井周, 芳原容英, 菊池博史, Michael Stock
2. 発表標題 雷嵐特性のアンサンブル学習を用いた突風発生の予測
3. 学会等名 第99回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浅井啓太郎, 菊池博史, 牛尾知雄, 芳原容英
2. 発表標題 二重偏波フェーズドアレイ気象レーダの偏波パラメータに関する精度検証
3. 学会等名 第99回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平井周, 星野龍一, 芳原容英, 菊池博史, M. Stock
2. 発表標題 台風に由来する大気圏-電離圏結合に関する研究
3. 学会等名 第99回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 亀井悠平, 菊池博史, 芳原容英, 中村佳敬, 吉川栄一, 森本健志, 牛尾知雄
2. 発表標題 関東圏における3次元雷放電標定装置を用いた初期観測結果
3. 学会等名 第99回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤間俊介, 平井周, 芳原容英, 菊池博史, Amir Izzani Mohamed, Chandima Gomes, 塩川和夫, Michael Stock
2. 発表標題 東南アジアにおける落雷エネルギー別雷嵐の時空間特性
3. 学会等名 第99回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池博史, 牛尾知雄, 芳原容英
2. 発表標題 二重偏波フェーズドアレイ気象レーダを用いた2019年台風15号の3次元観測
3. 学会等名 第99回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芳原容英, 宮島理紗, 渡辺真子, 松木翔, 菊池博史
2. 発表標題 地震に関連する大気電界変動
3. 学会等名 第99回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺真子, 芳原容英, 菊池博史, 松木翔
2. 発表標題 北海道女満別における地震に伴う大気電界変動の調査
3. 学会等名 第99回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松木翔, 宮島理紗, 芳原容英, 菊池博史
2. 発表標題 地震に伴う大気電界と下部電離層擾乱の関連性に関する研究
3. 学会等名 第99回日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北村隆之介, 芳原容英, 菊池博史, 佐藤光輝, 高橋幸弘, 足立透, 牛尾知雄, 鈴木睦
2. 発表標題 国際宇宙ステーションからの光学観測に基づく世界雷の空間分布と電気的特性に関する研究
3. 学会等名 環境電磁工学研究会 (EMCJ)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. C. Kok, 芳原容英, 平井周, 菊池博史
2. 発表標題 台風 15 号および 19 号の発生から消滅までの雷特性
3. 学会等名 第98回日本大気電気学会
4. 発表年 2020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	菊池 博史 (Kikuchi Hiroshi) (40783105)	電気通信大学・宇宙・電磁環境研究センター・助教 (12612)	

6. 研究組織（つづき）

	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	牛尾 知雄 (Ushio Tomoo) (50332961)	大阪大学・工学研究科・教授 (14401)	

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			
マレーシア	マレーシア国立大学バハン校			