

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22367

研究課題名（和文）近代アナログ観測を用いた激甚宇宙天気現象の規模推定・定量比較の試験的研究

研究課題名（英文）A preliminary study for magnitude estimates and quantitative comparisons of the extreme space weather events based on the early modern analog observational records

研究代表者

早川 尚志 (Hayakawa, Hisashi)

名古屋大学・高等研究院（宇宙）・特任助教

研究者番号：10879787

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、宇宙天気に関する各種統計が本格的に開始する国際地球観測年（1957-1958）以前の激甚宇宙天気現象について複数の試験的事例研究を行い、太陽表面、地磁気、オーロラなどの各種アナログ観測記録を検討することで、その時系列や規模を復元した。その結果、観測史上最大とされる1859年のキャリントン・イベントや1930年～1950年の激甚宇宙天気現象の太陽フレア、磁気嵐、オーロラ低緯度境界の時間変化や規模を定量的に復元した。また、774/775年のスーパーフレア候補についても、複数のデータをもとにフレアの規模推定を行った。これにより歴史的なアナログ記録による宇宙天気研究の可能性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現代文明が科学技術インフラへの依存の度を深めるにつれ、太陽面爆発に伴う激甚宇宙天気現象の現代文明への脅威は加速的に増大しつつある。本研究では過去のアナログ観測記録を充填的に検討することで、各種統計が本格的に開始された国際地球観測年（1957-1958）以前の激甚宇宙天気現象について複数の事例研究を行った。この結果、過去180年の間に起きていた複数の激甚宇宙天気現象の時系列や規模が定量的に復元され、アナログ観測記録や歴史文献を用いての過去の激甚宇宙天気現象の復元研究についての実現可能性が実証された。

研究成果の概要（英文）：This project has conducted preliminary several case studies on extreme space weather events by the International Geophysical Year (1957-1958), where majority of the space weather statistics started. This project has reconstructed their magnitudes and temporal evolutions on the basis of historical analog observational records for solar surface, geomagnetism, and visual aurorae. On this basis, we have quantitatively reconstructed the temporal evolutions and the magnitudes of the source solar flares, geomagnetic disturbances, and equatorward auroral boundaries for the extreme space weather events in 1859 (the Carrington event; allegedly the greatest space weather event) and 1930s-1950s. This project has also reconstructed the source flare magnitude of the super flare candidate in 774/775. On their basis, this project has proven feasibility for the space weather researches on the basis of historical analog records.

研究分野：宇宙天気、太陽地球物理、環境史

キーワード：宇宙天気 太陽地球物理 環境史 地磁気 オーロラ

1. 研究開始当初の背景

太陽活動は黒点数から評価され、太陽活動が活発なときには黒点で発生したコロナ質量放出 (CME) が地球に到来して磁気嵐とオーロラを引き起こすことが知られている。そのため、過去の長期の太陽活動を検討する上で、過去の黒点とオーロラの記録の分析が求められている。このような現象は「宇宙天気現象」と称され、稀に生じる極端に大規模な激甚宇宙天気現象は近代インフラへ甚大な影響を及ぼすことが知られている。

このような宇宙天気現象の中で最も人類社会に影響を及ぼし得る磁気嵐の規模は、磁気圏内の赤道環電流の効果を反映する中緯度の四観測所で計測される Dst 指数によって評価されている。現状、この Dst 指数は国際地球観測年 (1957 年～1958 年) から都合 65 年間分のデータベースが構築され、以来観測された激甚宇宙天気現象で最大規模のものは $Dst = -589$ nT に達したことが知られている。

一方で、史上最大級の激甚宇宙天気現象と考えられるキャリントン・イベントが発生したのは 1859 年 9 月とされている。この時期は Dst 指数や関連のデータベースのカバー範囲の遙か以前である。この激甚宇宙天気現象については、これまでも定量的な規模推定の試みがあったものの、原典となる観測データそのものへのアクセスの困難から、その重要性にもかかわらず、実際の規模や発生頻度の評価には大きなばらつきがあった。

一方、19 世紀後半～20 世紀前半にかけては、太陽面、地磁気、オーロラなどについての観測が行われており、そのアナログ観測記録がキャリントン・イベントなどこのような過去の激甚宇宙天気現象を実際に捉えていることがある。このような過去のアナログ記録については、これまで必ずしも利用が進んでおらず、近年破棄された物もあり、宇宙物理・地球物理の各コミュニティでは「データレスキュー」の必要性も提唱されている。

2. 研究の目的

そこで、本研究においては、このような過去のアナログ記録からどの程度過去の宇宙天気現象を定量的に復元し得るのかについて、試験的検討を試みた。本研究では、特にキャリントン・イベント (1859) ～国際地球観測年 (1957～1958) の激甚宇宙天気現象を対象に、同時代の太陽面観測、地磁気観測、オーロラ観測などのアナログ記録を検討し、その規模と時系列について事例研究を試みた。これにより、以下の点について特に検討を試みた。

- (1) キャリントン・イベントの規模について、アナログ記録の原典から定量評価
- (2) アナログ記録による激甚宇宙天気現象の復元についての妥当性
- (3) 過去の太陽表面の様子の復元可能性
- (4) 他の激甚宇宙天気現象の復元検討と比較

3. 研究の方法

本研究では、過去の激甚宇宙天気現象について、同時代のアナログ記録を用い、定量評価を試みた。この際特に注目したのは、以下の三点である。

- (1) 太陽表面観測 (太陽黒点、太陽フレア等)
- (2) 地磁気観測
- (3) オーロラ観測

本研究では、(1) と (2) を組み合わせて過去の太陽フレアの規模、(2) を用いて磁気擾乱の規模の直接評価と Dst 指数の推定、(3) を用いてオーロラオーバルの低緯度境界の復元を試みた。既存の経験則からオーロラオーバルの低緯度境界は磁気擾乱の規模と良い相関があると知られているためである。上記目的のため、本研究では関連の各種世界資料解析センター (World Data Center) のデータのみならず、過去の年報、太陽面スケッチ、マグネトグラム、オーロラなどの各種報告アナログを世界各地から蒐集し、代表的事例について試験的検討を行った。

4. 研究成果

本研究では、過去の激甚宇宙天気現象の規模・時間発展の定量評価について事例研究を行うことで、過去のアナログ記録が激甚宇宙天気現象研究において極めて重要な役割を果たし得ること、またこのような研究の実現可能性は極めて大きいことを示した。当該プロジェクトの代表的研究成果は以下の通りである。

(1) キャリントン・イベントの検討

1859 年のキャリントン・イベントは太陽フレア、CME 速度、地磁気擾乱、オーロラ可視範囲の 4 点に基づき、しばしば観測史上最大の激甚宇宙天気現象と考えられている。本研究ではこの 4 点につき、同時代のオーロラ観測記録や地磁気観測に基づき、アナログ記録による定量的な再検討の可能性を模索した。オーロラ記録については、特にこれまで検討の進んでいなかった南アメリカ、南太平洋の記録を検討した。これにより、当時のオーロラの可視範囲、オー

ロラオーバルの広がりについて、先行研究の知見を大きく更新した(Hayakawa *et al.*, 2020, *Earth, Planets and Space*, **72**, 122)。また、これまでキャリントン・イベントが史上最大の地磁気擾乱を起こした証拠としてしばしば提示されていたのはボンベイの地磁気観測記録だが、その原典は科学コミュニティに提示されておらず、独立検証が困難だった。本研究では、この当時のボンベイの地磁気観測年報について、英国他の文書館でそのコピーを入手することに成功し、独立に検討を行った。結果、この年報からはこれまで知られていなかった地磁気の東向き成分(Y成分)、鉛直下向き成分(Z成分)について新たなデータが導出されたほか、既存の水平成分(H成分)やCME速度などについても先行研究の知見を大きく改訂する結果となった(Hayakawa *et al.*, 2022, *The Astrophysical Journal*, **928**, 32)。このような成果はキャリントン・イベントの異常性を担保した太陽フレア、CME速度、地磁気擾乱、オーロラ可視範囲の四点の内、三点について既存の知見を大きく更新する結果となった。

(2) アナログ記録による激甚宇宙天気現象の復元についての妥当性

このような検討にあたっては、過去のアナログ記録に基づく復元が既存のデータベースとどの程度合致するかが重要となる。本研究では、特にDst指数による計測の始まった国際地球観測年(1957-1958)の激甚宇宙天気現象について、アナログ観測記録による復元研究を進めた。当時の地磁気観測データについて検討を行った結果、過去のアナログ記録に基づいてDst推定値を復元した場合も、既存のDst指数と極めて近い結果が出ることが確認され、当該研究手法の妥当性が確認された(Hayakawa *et al.*, 2021, *The Astrophysical Journal*, **908**, 209)。また、当時のオーロラ観測記録について、本邦各地での眼視観測記録を蒐集し、そこから1957年3月、1957年9月、1958年2月の激甚宇宙天気現象についてオーロラ低緯度境界の復元を行うとともに、その時間発展が地磁気擾乱の時間発展とよく一致することも確認した(*Geoscience Data Journal*, DOI: 10.1002/GDJ3.140)。こちらについては反響も大きく、国内メディア各紙にて関連の報道が行われた。

(3) 過去の太陽表面の様子への復元可能性

こちらについて、過去の太陽面スケッチの検討を行うことで、激甚宇宙天気現象の発出点としての太陽表面の挙動、またその背景文脈としての太陽活動の復元の可能性を模索し、事例研究を行なった。この結果、過去の太陽フレアや黒点観測記録について、少なからぬアナログ記録があまり検討されないまま残っていることが明らかになり、この検討の妥当性も確認された。このような検討は20世紀の太陽フレアの観測にてその有用性が確認されたのみならず(Hayakawa *et al.*, 2020, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **497**, 5507-5517)、17世紀に至るまで太陽黒点観測のアナログ観測記録でも検討の有用性が、複数の事例研究から確認された(Hayakawa *et al.*, 2021, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **506**, 650-658; Hayakawa *et al.*, 2021, *The Astrophysical Journal*, **909**, 29; Hayakawa *et al.*, 2021, *The Astrophysical Journal*, **909**, 194; Hayakawa *et al.*, 2021, *The Astrophysical Journal*, **909**, 166)。

(4) 他の激甚宇宙天気現象の復元検討と比較

過去の激甚宇宙天気現象について、いくつかのアナログ観測記録に基づく事例研究を行うことで、少なくとも1859年以来、7つの磁気嵐がminimum Dst < -500 nTという異常値を示したことを確認できた。また、この際、地磁気観測記録のみならず太陽表面観測やオーロラ観測記録も合わせて検討することで、このような激甚宇宙天気現象の時間発展、オーロラ低緯度境界の復元も並行して行った。この中でも特に成果が大きかったのは1930-1940年代の一連の激甚宇宙天気現象についての検討である(Hayakawa *et al.*, 2020, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **497**, 5507-5517; Hayakawa *et al.*, 2021, *The Astrophysical Journal*, **908**, 209; Hayakawa *et al.*, 2021, *The Astrophysical Journal*, **909**, 197; Hayakawa *et al.*, 2022, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, DOI: 10.1093/mnras/stab3615)。また、このような検討の中にあつて、より古い時代の宇宙天気現象についても同手法の有用性が確認された点も特筆に値する(Knipp, Bernstein, Wahl, and Hayakawa, 2021, *Journal of Space Weather and Space Climate*, **11**, 29)。これはマウンダー極小期やダルトン極小期の周辺についても然り(Silverman and Hayakawa, 2021, *Journal of Space Weather and Space Climate*, **11**, 17; Hayakawa *et al.*, 2021, *The Astrophysical Journal*, **909**, 29. DOI: 10.3847/1538-4357/abb3c2; Hattori, Hayakawa, and Ebihara, 2021, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **73**, 1367-1374)。さらに同様の手法で宇宙天気現象の編年を過去3000年まで遡らしめ得ることを示した点(Van der Sluijs and Hayakawa, 2022, *Advances in Space Research*, DOI: 10.1016/j.asr.2022.01.010)も少なからぬ科学的意義を持ち得る。

このように、本研究プロジェクトにおいては、過去のアナログ記録から激甚宇宙天気現象について極めて有用な知見が得られることが実証された。このようなアプローチは過去の宇宙天気現象のさらなる包括的検討、各種数理モデルとの比較検討において極めて重要なものとなり得る。実際にこのようなアプローチはBBCをはじめとする世界各国のメディアで取り上げられ

るなど社会的反響も大きい。また、学術的な反響も大きく、このような過去のアナログ記録の検討について、分野をまたいで学術誌特集号企画 (*Geoscience Data Journal* など) 国際学会企画セッション企画 (IAGA/IASPEI 2021 など) など、国境や分野を跨いだ学術交流の機運も醸成しつつある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Hayakawa Hisashi, Ebihara Yusuke, Pevtsov Alexei A, Bhaskar Ankush, Karachik Nina, Oliveira Denny M	4. 巻 497
2. 論文標題 Intensity and time series of extreme solar-terrestrial storm in 1946 March	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5507 ~ 5517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1508	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 Oliveira Denny M., Hayakawa Hisashi, Bhaskar Ankush, Zesta Eftyhia, Vichare Geeta	4. 巻 72
2. 論文標題 A possible case of sporadic aurora observed at Rio de Janeiro	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-020-01208-z	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 Bhaskar Ankush, Hayakawa Hisashi, Oliveira Denny M., Blake Sean, Silverman Sam M., Ebihara Yusuke	4. 巻 125
2. 論文標題 An Analysis of Trouvelot's Auroral Drawing on 1/2 March 1872: Plausible Evidence for Recurrent Geomagnetic Storms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA028227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA028227	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 Oliveira Denny M., Zesta Eftyhia, Hayakawa Hisashi, Bhaskar Ankush	4. 巻 18
2. 論文標題 Estimating Satellite Orbital Drag During Historical Magnetic Superstorms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Space Weather	6. 最初と最後の頁 e2020SW002472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020SW002472	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 Hayakawa Hisashi、Ribeiro Jose R.、Ebihara Yusuke、Correia Ana P.、S?ma Mitsuru	4. 巻 72
2. 論文標題 South American auroral reports during the Carrington storm	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-020-01249-4	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 Cliver E. W.、Hayakawa H.、Love J. J.、Neidig D. F.	4. 巻 903
2. 論文標題 On the Size of the Flare Associated with the Solar Proton Event in 774 AD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 41 ~ 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abad93	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 Hayakawa Hisashi、Schlegel Kristian、Besser Bruno P.、Ebihara Yusuke	4. 巻 909
2. 論文標題 Candidate Auroral Observations Indicating a Major Solar-Terrestrial Storm in 1680: Implication for Space Weather Events during the Maunder Minimum	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 29 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abb3c2	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 Hayakawa Hisashi、Blake Sean P.、Bhaskar Ankush、Hattori Kentaro、Oliveira Denny M.、Ebihara Yusuke	4. 巻 908
2. 論文標題 The Extreme Space Weather Event in 1941 February/March	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 209 ~ 209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abb772	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 Hayakawa Hisashi, Hattori Kentaro, Pevtsov Alexei A., Ebihara Yusuke, Shea Margaret A., McCracken Ken G., Daglis Ioannis A., Bhaskar Ankush T., Ribeiro Paulo, Knipp Delores J.	4. 巻 909
2. 論文標題 The Intensity and Evolution of the Extreme Solar and Geomagnetic Storms in 1938 January	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 197 ~ 197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abc427	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 Hayakawa Hisashi, Nevanlinna Heikki, Blake S?an P., Ebihara Yusuke, Bhaskar Ankush T., Miyoshi Yoshizumi	4. 巻 928
2. 論文標題 Temporal Variations of the Three Geomagnetic Field Components at Colaba Observatory around the Carrington Storm in 1859	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 32 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac2601	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 Hayakawa Hisashi, Ebihara Yusuke, Hata Hidetoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 A review for Japanese auroral records on the three extreme space weather events around the International Geophysical Year (1957?1958)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoscience Data Journal	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) 10.1002/GDJ3.140	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 Hayakawa Hisashi, Oliveira Denny M, Shea Margaret A, Smart Don F, Blake Se?n P, Hattori Kentaro, Bhaskar Ankush T, Curto Juan J, Franco Daniel R, Ebihara Yusuke	4. 巻 -
2. 論文標題 The Extreme Solar and Geomagnetic Storms on 20-25 March 1940	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	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) 10.1093/mnras/stab3615	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 Hattori Kentaro, Hayakawa Hisashi, Ebihara Yusuke	4. 巻 73
2. 論文標題 The extreme space weather events in October 1788	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1367 ~ 1374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab079	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 Marinus Anthony Van der Sluijs, Hayakawa Hisashi	4. 巻 -
2. 論文標題 A candidate auroral report in the Bamboo Annals, indicating a possible extreme space weather event in the early 10th century BCE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	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) 10.1016/j.asr.2022.01.010	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

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 早川尚志、海老原祐輔、服部健太郎
2. 発表標題 過去1.8世紀の歴史的アナログ記録に基づく激甚磁気嵐の規模推定の事例研究
3. 学会等名 第148回総会及び講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hisashi Hayakawa, Yusuke Ebihara, Kentaro Hattori
2. 発表標題 Extreme space weather events in the observational history: the Carrington event and others
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 2021, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早川尚志
2. 発表標題 アナログ記録による過去の激甚宇宙天気現象の事例研究：磁気擾乱とオーロラ低緯度境界
3. 学会等名 GIC研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hisashi Hayakawa
2. 発表標題 Archival investigations of extreme space weather events with the historical documents,
3. 学会等名 ISSI: Solar Extreme Events: Setting Up a Paradigm（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hisashi Hayakawa
2. 発表標題 Historical observations of intensities and time series of the extreme space weather events in the 1940s
3. 学会等名 SCOSTEP & 15th Quadrennial Solar-Terrestrial Physics Symposium（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川尚志
2. 発表標題 アナログ観測記録・歴史文献に基づく過去の太陽活動と宇宙天気の復元
3. 学会等名 生存圏 ミッションシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早川尚志、海老原祐輔、服部健太郎
2. 発表標題 過去の観測記録から復元する1940年3月の激甚宇宙天気現象
3. 学会等名 日本天文学会・春学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川尚志
2. 発表標題 歴史文献による過去3000年間の 激甚太陽嵐の調査と定量復元
3. 学会等名 知の開拓者 コンソーシアム総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川尚志
2. 発表標題 キャリントン・イ ベント時のボンベイでの地磁気変動: 原典史料分析
3. 学会等名 STE 現象報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hisashi Hayakawa
2. 発表標題 Analyses of the Extreme Solar and Geomagnetic Storms in March 1940
3. 学会等名 IAGA-IASPEI 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hisashi Hayakawa
2. 発表標題 A brief overview on the archival investigations for the historical solar storms: past, present, and future
3. 学会等名 Extreme solar particle storms at Earth (国際学会)
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------