

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02901

研究課題名（和文）CALETデータ解析システムのリアルタイム化によるトランジェント現象の観測

研究課題名（英文）Observation of Transient Phenomena based on the Automated Real-time Analysis System for CALET

研究代表者

浅岡 陽一（ASAOKA, Yoichi）

早稲田大学・理工学術院総合研究所（理工学研究所）・主任研究員（研究院准教授）

研究者番号：40345054

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,600,000円

研究成果の概要（和文）：急速に発展する重力波天文学において、X・ガンマ線等の電磁波と重力波との同時観測は重要な研究対象となる。その威力は中性子星連星の合体イベントGW170817における短時間ガンマ線バースト(sGRB)との同時観測にて実証されている。

本研究では、国際宇宙ステーション搭載・宇宙線電子望遠鏡CALETの地上システムに、リアルタイムデータ解析による突発現象探索システムを新たに構築した。これにより、GeVの高エネルギー成分まで含めたsGRBのガンマ線即時放射と重力波の同時検出を目指した観測を継続的に実施した。さらにそのシステムを応用し、低エネルギー宇宙線電子スペクトルの変動観測と宇宙天気の監視を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国際宇宙ステーションに搭載された宇宙線観測装置であるCALETの主目的は、電子をはじめとする高エネルギー宇宙線のスペクトル観測です。それに対して、本研究ではCALETの地上システムに64コアのサーバーを2台導入しデータ解析を高速化することで、重力波などの突発天体に対応するガンマ線探索を準リアルタイムで行えるようにしました。これにより多数観測された重力波イベントに対してタイムリーにCALETによるガンマ線探索結果を報告することができました。宇宙空間に検出器を持つという貴重な機会を最大限活用するため、今後も継続的にガンマ線探索や宇宙天気の監視を実施します。

研究成果の概要（英文）：In a rapidly growing field of gravitational-wave astronomy, multi-messenger observations including X-ray and gamma rays are highly important as clearly demonstrated by the observations of the neutron star-neutron star merger event GW 170817 by LIGO/Virgo observatory and the associated electromagnetic detections.

The CALorimetric Electron Telescope (CALET) is an instrument for direct measurements of cosmic rays including gamma rays onboard the International Space Station.

In this research project, an automated transient search system has been developed in the CALET ground system in order to search for transients in a semi-real-time manner. Using the system, we have continuously performed GeV-energy gamma-ray searches associated with gravitational-wave events.

In addition, the system was applied to study the temporal variation of low-energy electron flux and to monitor space weather.

研究分野：宇宙線物理学

キーワード：重力波 マルチメッセンジャー CALET ガンマ線 トランジェント ガンマ線バースト 太陽変動

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 2016年2月, Advanced LIGO (aLIGO)による初の重力波検出が報告された[1]. アインシュタインによる予言から実に100年目の快挙である. 検出器感度の段階的向上が成功し,  $<10^{-22}$  という極小の時空の歪み(ストレイン)が抽出可能になったためである. さらに驚くべきことに, 一般相対論による理論波形を用いたパラメータフィットから, 本現象がブラックホール連星の合体であることが判明し, 各連星の質量や合体後の質量, 赤方偏移や角運動量まで推定されている. 重力波天文学の幕開けが, 第一期観測における GW150914, GW151226 の2つの重力波検出により高らかに宣言された. 今後は Virgo も参加する第二期・第三期観測が計画されており, その後は日本の KAGRA も加わって, まますます多くの重力波イベントが検出されていくことは必至である. 重力波イベントに対する電磁波対応天体の同定も非常に重要なテーマとなっており, ガンマ線, X線, 可視光, 電波の多波長での追観測計画が進行中である. 特に起源が重力波天体と考えられる継続時間の短いガンマ線バースト(sGRB)を観測するX線, ガンマ線観測装置による同時観測には大きな期待が集まっている. 長年の謎であったsGRBのセントラルエンジンを特定するだけでなく, 重力波によって決まる連星の質量, 軌道傾斜角や合体のタイミングが, まさに電磁波ではアクセスできない, 過去のGRB研究に欠けていたピースであることから, 電磁波放射モデルを格段に精密化することができる[2]. さらに, 即時放射のあるガンマ線観測と重力波の時間差を用いて, 重力波の速度(重力子の質量)が測定可能である[3]. 一般相対論の検証に大きく寄与することは間違いない.

(2) 2015年10月より国際宇宙ステーション(ISS)での観測を開始した CALorimetric Electron Telescope (CALET) は JAXA と早稲田大学の共同プロジェクトである(図1). 主検出器である撮像型と全吸収型を組み合わせた計30放射長の分厚いカロリメータ(CAL)と, X線・ガンマ線領域でガンマ線バースト(GRB)を監視する副検出器(CGBM)を組み合わせたユニークなシステムであり, ISS軌道上での5年間の観測がスケジュールされている. CALETの主目的は高エネルギー電子をはじめとする荷電宇宙線の精密観測である. TeV領域に及ぶ高精度直接観測により, 電子成分の過剰と陽子・ヘリウムスペクトルの硬化という宇宙線の生成・伝播にかかわる謎の解明に挑戦する. 基盤研究(S)26220708(H26-H30, 代表鳥居祥二)が採択されており, Waseda CALET Operations Center (WCOC)でのミッション運用及びデータ解析を推進している.

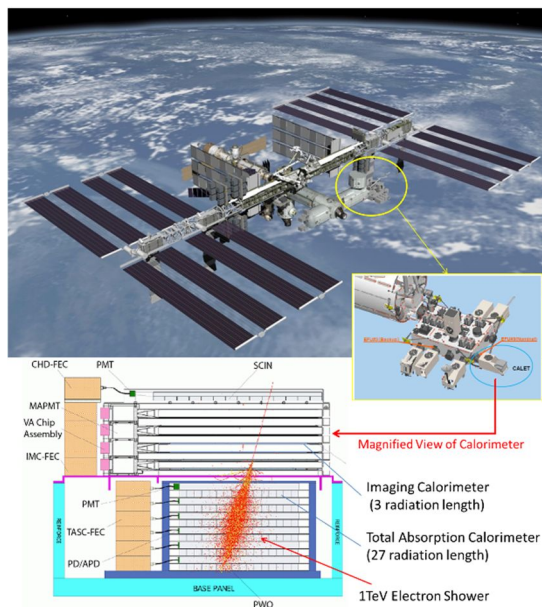


図1: ISS日本実験棟船外実験プラットフォームに設置されたCALET検出器

(3) CALETは観測開始間もなく電荷識別用大面積のシンチレータ検出器(CHD)のカウントレートを用いて, 宇宙天気に関連するMeV電子の雪崩現象を検出し, 論文発表した[4]. 2016年には重力波が初めて直接検出され, 今後は重力波現象に対する電磁波対応天体の同定が非常に重要なテーマとなる. それには, 重力波と駆動時間の短いGRB(sGRB)の同時観測が鍵を握っている(2017年には早くもイベントへの観測が実現している). CALETはGW151226のX線・ガンマ線領域における対応天体を探索し, その潜在能力を示した[5]. CALによるタイムリーな方向決定で, 多波長観測を駆動できるシステムの構築が新たな課題となっている. 宇宙天気の監視も含め, これらの新しい観測対象への対応は基盤研究(S)でカバーされないため, 本研究の実施がCALETによるトランジェント現象のリアルタイム監視実現に必須である.

### 2. 研究の目的

本研究では長期継続観測で意義深い成果が期待される突発現象の観測に焦点を当て, 研究期間内に以下の成果を挙げることを目的とする.

(1) 1GeV領域ガンマ線探索感度の最大化と, リアルタイムガンマ線突発天体探索システムの開発を行い, 重力波イベントのガンマ線領域における対応天体の同時観測を目指す. 図2に本研究の結果として達成されたGeVガンマ線トランジェントに対する感度を示した. 任意の10分間の観測において, 90%の確率でガンマ線を検出可能な上限流束を示している. 図にはこれまでのFermi-LATの観測で, 唯一赤方偏移が測定されたsGRBのライトカーブを $z=0.09$ にスケールして示している[6]. 発生時刻を捉えられれば十分検出可能であることが分かる. 長らく正体が不明であったsGRBの正体を最終的に同定し, 重力波の発生方向を特定して光学, 電波まで含めた多波長観測を実現することは, 関連分野の長年の夢である. CALET-CALによるガンマ線の検出は $1^\circ$ 程度の精度での方向決定を意味し, 確実かつ重厚な残光観測キャンペーンを可

能とする。重力波観測の融合により、今後高エネルギー宇宙の描像が刷新されることは確実である。重力波と sGRB の同時観測はその嚆矢となる。

(2) さらに、準リアルタイムガンマ線突発天体探索システムはその他の過渡現象探索に簡単に応用可能である。第一の応用例が 1-10 GeV の宇宙線電子スペクトルの長期・短期変動の観測である。太陽磁気圏での電子伝播の理解を深め、太陽変調やコロナ質量放出に伴う急激な宇宙流束の減少 (Forbush Decrease) に対する新たな知見を得ることが期待される [7]。第二の応用例が宇宙天気監視である。ISS における放射環境の予測に有効なだけでなく、相対論的電子の落下現象 (REP) の観測や ERG 衛星等との共同研究により [8]、放射線帯の基礎プラズマ物理に貢献できる。

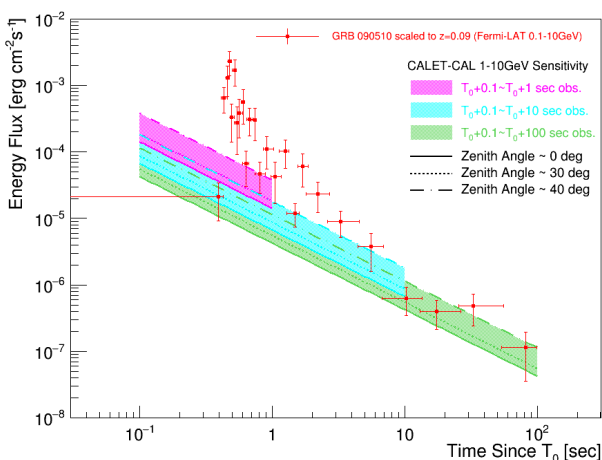


図 2: 重力波と同時検出可能な近傍 sGRB のガンマ線即時放射スペクトル例と CALET の GeV ガンマ線感度 [9]。

### 3. 研究の方法

(1) ISS 軌道上で CALET が取得する宇宙線イベントデータは、JAXA の筑波宇宙センター (TKSC) にて受信する。TKSC ではデータの保存や装置健全性の監視、コマンドの作成・送信を行うと同時に全データを早稲田大学に設置されている Waseda CALET Operations Center (WCOC) へ配信する。2015 年 10 月の運用開始以来、WCOC には研究者が 24 時間体制で常駐し、装置異常の自動検知機能を備えたクイックルックや統計的解析による健全性確認を駆使して監視を行っている [10]。実観測時約 85% の高効率観測が実施できており、順調に高エネルギー宇宙線データを蓄積している。

(2) CALET 主検出器 CAL のデータ解析には、装置較正の適用と入射宇宙線の再構成が必須である。この目的で、科学解析用基礎データ Level1 (L1) から物理解析用データである Level2 (L2) を作成する。実データには装置較正を、モンテカルロ (MC) シミュレーションデータには検出器応答を適用することで L2 において両者は同等となり、その後の事象再構成には全く同じソフトウェアを使用する。各イベントの事象再構成、特に入射方向の再構成を行う L2 の作成には CPU コストがかかる。早稲田大学 WCOC にて CALET 専用に整備されている計算サーバ群 (計 800 コア) を駆使して L2 データを作成している。観測データ 1 時間分の L2 変換には平均 10 時間以上かかる。較正の更新や事象再構成の改良に伴い、全データセットの再作成が必要となる。観測開始後の一年間で、日本チームが責任を持つエネルギー較正・位置較正を完了した [11]。L2 データを国際共同研究の中で共有し、全ての結果をクロスチェックする枠組の構築が完了している。

(3) 上述のデータフローは全観測データを使用し、高統計・低系統誤差が鍵となるスペクトル解析用に最適化されており、レイテンシが 1 か月となってしまう。重力波アラートに対して数時間のスケールで対応天体探索結果を得るには、専用のシステムが必要である。図 3 に、レイテンシを数時間とするリアルタイムデータ解析によるトランジェント現象探索システムの概要を示した。L0 データは一時間毎に受信され、その後数分以内に L1 データが自動生成される (図 3)。本システムはこの L1 ファイルを 1 分単位に分割、中間ファイルを作成し、60 コアで並列に L2 作成を行う。L2 の作成にはデータベースから較正データを取得する必要があるが、アクセス集中を避けるため、マスタプロダクション用のマスターと独立にレプリケーションを用意する。完成した部分 L2 に対しては、各コアでガンマ線同定を行う。イベント選別においては、低エネルギー成分の飛跡再構成改良および幾何条件の緩和と、荷電粒子バックグラウンド削減の工夫により sGRB からの即時放射ガンマ線への感度を最適化する。最後に全ガンマ線候補イベント情報を統合し、同一方向からのガンマ線探索を実施する。1 分間分の L2 データ作成に 10 程度、ガンマ線探索に要する時間は 1 分未満なので、全処理を 30 分以内に完了することができる。これらの探索は重力波アラートの有無にかかわらず毎時間実施する。探索結果についてはクイックルックとして可視化し、WCOC に常駐、またはシフト担当の運用者が毎時確認できるようにする。一般的な  $E^{-2}$  のべきを考慮すると測定可能なエネルギーの下限である 1 GeV 付近が最も感度的に有利だが、100 GeV 以上の高エネルギーガンマ線が検出される可能性も考慮して探索は広いエネルギー範囲で行う。自律的ガンマ線突発天体探索を常時実施しながら、重力波アラートや GRB に備える。

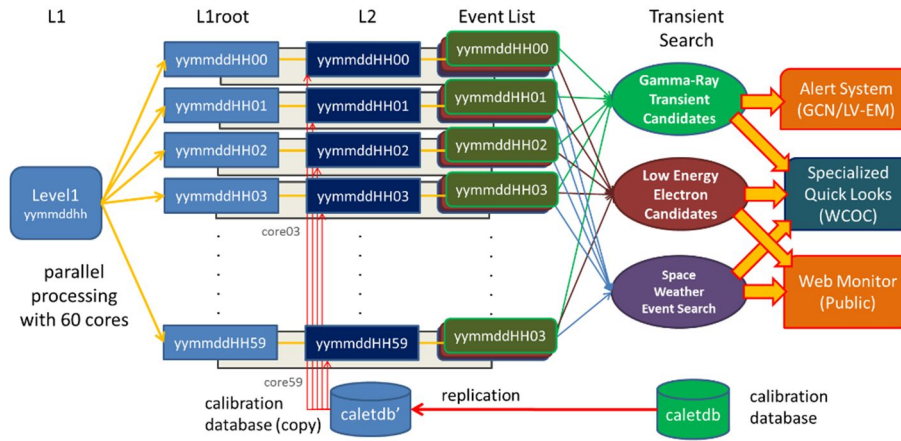


図 3：リアルタイムデータ解析によるトランジェント現象探索システムの概要。

(4) リアルタイムの L2 データ作成が実現すれば、様々な過渡現象解析が可能になる。第一の応用例は 1 GeV ~ 10 GeV の宇宙線電子成分の長期・短期変動監視である。TeV 領域の高エネルギー電子観測を妨げないように、地磁気カットオフの低い極地方での 1 ~ 10 GeV の低エネルギー電子成分の観測を、観測スケジューリングの詳細な最適化により実現している。これにより 5%未満の精度でスペクトルの日変動を継続監視することができる。Forbush Decrease 等の特に興味深い事象が発生した場合は、リアルタイム性を活かして速やかに観測スケジュールを変更し、テレメトリ最大値を考慮した上で低エネルギー電子成分を観測する時間を延ばし、より統計精度を向上させる運用を行う。これまで、REP 事象のモニタには 1 Hz で取得されるハウスキーピングデータを使用していた。CHDX 層、Y 層のカウントレート比と変動の周期性が事象を識別する上で重要な観測量である。さらに宇宙線イベントデータに含まれるカウントレートを使用することで、一桁大きな周波数 (~ 10 Hz) までの周期性解析が可能となる。事象検出時に WCOC シフトに知らせる特別な QL の開発も行う。

#### 4. 研究成果

(1) 2017 年度は、計画通りリアルタイムガンマ線突発天体探索システム用の計算サーバを導入し、関連するデータフローの開発を進めた。リアルタイム監視システムのプロトタイプを稼働させることができた。並行して、過去の観測データとシミュレーションデータを用いた探索感度向上のための研究を行った。この研究では、低エネルギーガンマ線の飛跡再構成に特化した新しいトラッキング手法の開発、拡散成分の観測による感度の推定、バックグラウンドの理解、Point Spread Function の導出を行った。また、共通ソフトウェアの開発効率向上を目的として、専門業者の助けを得てリファクタリングを行った。

(2) 2018 年度には、リアルタイム監視システムのコアとなる 60 コア並列処理による高次データ作成部を完成させ、稼働を開始した。さらに、30%程度ある衛星不可視時間のデータが 1 から 3 時間後に補完されることに対応するため、リアルタイムガンマ線突発天体探索システム用の計算サーバをもう一台導入した。複数回更新される可能性がある L0 データと、最新の L0 データを遅延なくプロセスするため、2 台のサーバを駆使している。CALET の GeV ガンマ線観測により突発天体を識別するには、方向決定精度の保証が必須となる。それまでの観測で十分に蓄積された Geminga, Crab 等の「標準光源」からのガンマ線データを用い、姿勢の絶対較正と方向決定精度の監視・評価を行ってデータ解析に反映させた。同様に方向決定のために不可欠な、Point Spread Function の決定や銀河面からの拡散成分や明るい点源の観測による感度検証結果を、Astrophysical Journal Supplement Series にて出版した[12]。また、Ligo/Virgo O1, O2 の重力波イベントに対する対応天体探索結果を、感度を改善した解析手法を用いて取りまとめ、Astrophysical Journal にて出版した[9]。

(3) CALET 解析のリアルタイム化において鍵となる「60 コアの並列処理にて高次データを作成しガンマ線イベントを探索する部分」は昨年度に完了しており、2019 年度を通して、CALET 科学データ解析における生データである Level0 データを受信する度に(一時間に一回)、継続的にこのプロセスを動作させ続けることができた。衛星不可視時間帯の補完データをプロセスすることを考慮して、一日後に再プロセスする 2 台めのサーバーも予定通り動作した。2019 年度には、LIGO/Virgo の発する重力波アラートと共に公開される重力波天体の方向情報を抽出し、その方向からの GeV ガンマ線を探索し、制限を与えるプログラムを開発した。これにより、重力波が検出されアラートが出されると、2 時間程度で CALET のガンマ線探索に関する解析レポートが自動生成されるようになった。ロボットアーム等、国際宇宙ステーションの不定期なアクティビティに起因する遮蔽物を確認する必要があり、人のチェックは必須ではあるが、これにより重力波観測ラン O3 全体における 57 例のアラートのうち、56 例について Gamma-ray

Coordinates Network (GCN) Circular に CALET の観測結果を報告することができた。表 1 に O3 初期の報告結果についてまとめたテーブルを示す。56 例のうち 26 例で重力波の確率分布と CALET の観測方向に重なりがあり、ガンマ線流量に対する制限値を報告した。図 4 に GW190408 に対する CALET 観測によるガンマ線流束上限値マップを示す。観測ができなかった 1 例は ISS 側の特殊運用に備えて高電圧を落としていたタイミングである。それ以外では全て観測が行えており、非常に高い稼働率を実現した。また宇宙天気に関して、相対論的電子落下現象(REP)による放射線量を推定する論文を発表し[13]、低エネルギー電子や陽子の太陽変動による時間変動の解析も進めて国際会議等で報告している[15,16]。太陽活動極小期が継続している現在、そしてこれからも観測を継続することが重要である。

表 1 : CALET による重力波イベント対応天体からの GeV ガンマ線流束制限 [14,15]

GCN No.	LIGO/Virgo trigger	Trigger time $T_0$ (2019)	Events $T_0 \pm 60$ s	90% C.L. U.L.	Summed probability	CAL $\alpha$ (°)	CAL $\delta$ (°)
24088	S190408an	04-08 18:18:02.288 UTC	0	$2.3 \times 10^{-6} \ddagger$	80%	352.9	8.3
24218	S190425z	04-25 08:18:05.017 UTC	0	$1.0 \times 10^{-4}$	5%	131.3	-43.6
24276	S190426c	04-26 15:21:55.337 UTC	0	$2.5 \times 10^{-5}$	10%	183	-50.9
24403	S190503bf	05-03 18:54:04.294 UTC	0	$4.2 \times 10^{-5}$	10%	169	-45.5
24495	S190510g	05-10 02:59:39.292 UT	0	-	No	295.7	50.8
24531	S190512at	05-12 18:07:14.422 UT	0	$1.9 \times 10^{-5}$	10%	214.9	37.7
24548	S190513bm	05-13 20:54:28.747 UT	0	$6.0 \times 10^{-5} \ddagger$	5%	348	4.4
24593	S190517h	05-17 05:51:01.831 UT	0	-	No	126.2	-31.9
24617	S190519bj	05-19 15:35:44.398 UT	0	-	No	243.1	51.1
24648	S190521g	05-21 03:02:29.447 UT	0	$6.0 \times 10^{-6}$	30%	205.7	49.2
24649	S190521r	05-21 07:43:59.463 UT	0	-	No	225.3	51.4
24735	S190602aq	06-02 17:59:27.089 UT	0	$2.9 \times 10^{-4}$	5%	127.5	45.1

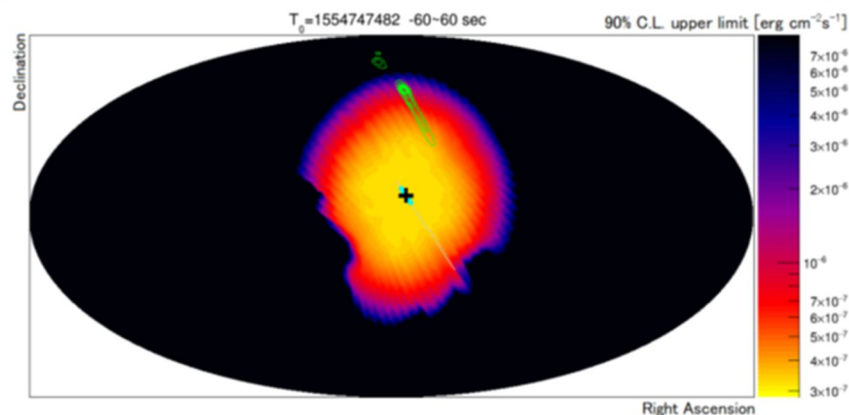


図 4 : GW190408 に対する CALET 観測によるガンマ線流束上限値マップ [14, 15]

<引用文献>

- [1] B.P.Abbott et al., PRL 116 (2016) 061102; PRL 116 (2016) 241103.
- [2] E.S. Phinney, arXiv:0903.0098 (2009).
- [3] A. Abdo et al., Nature 462 (2009) 331; V. Branchina and M.De Domenico arXiv:1604.08530 (2016).
- [4] Ryuho Kataoka, Yoichi Asaoka, Shoji Torii, Toshio Terasawa, Shunsuke Ozawa, Tadahisa Tamura, Yuki Shimizu, Yosui Akaike, and Masaki Mori, Geophys. Res. Lett. 43, doi:10.1002/2016GL068930.
- [5] O. Adriani et al. (CALET collaboration) ApJ 829 (2016) L20.
- [6] M. Ackermann et al., ApJ 823 (2016) L2.
- [7] Y. Komori et al., J. Phys. Soc. Jpn. 78 (2009) Suppl. A 188.
- [8] REP:D.K. Bailey and M.A. Pomerantz, JGR 70 (1965) 5823; ERG:Y. Miyoshi et al., AGU (2013) 103.
- [9] O. Adriani et al. (CALET collaboration), ApJ 863 (2018) 160.
- [10] Y. Asaoka et al. (CALET collaboration), Astropart. Phys. 100 (2018) 29.
- [11] Y. Asaoka et al. (CALET collaboration) Astropart. Phys. 91 (2017) 1.
- [12] N. Cannady, Y. Asaoka et al. (CALET collaboration), ApJS 238 (2018) 5.
- [13] H. Ueno et al., Space Weather (2019) <https://doi.org/10.1029/2019SW002280>.
- [14] M. Mori and Y. Asaoka for the CALET collaboration, PoS(ICRC2019) (2019) 586.
- [15] Y. Asaoka for the CALET collaboration, PoS(ICRC2019) (2019) 1.
- [16] S. Miyake et al. for the CALET Collaboration, PoS(ICRC2019) (ICRC2019) 1126.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 20件 / うちオープンアクセス 17件）

1. 著者名 Adriani O. et al., CALET Collaboration	4. 巻 122
2. 論文標題 Direct Measurement of the Cosmic-Ray Proton Spectrum from 50?GeV to 10?TeV with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 181102 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.181102	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 Akaike Yosui for the CALET Collaboration	4. 巻 1181
2. 論文標題 Measurements of Heavy Cosmic-Ray Nuclei Spectra with CALET on the ISS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012042 ~ 012042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1181/1/012042	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 Asaoka Y, et al., CALET Collaboration	4. 巻 1181
2. 論文標題 The CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station: Results from the First Two Years On Orbit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012003 ~ 012003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1181/1/012003	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 Torii Shoji and Marrocchesi Pier Simone for the CALET collaboration	4. 巻 64
2. 論文標題 The CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 2531 ~ 2537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2019.04.013	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 Paolo Maestro for the CALET collaboration	4. 巻 64
2. 論文標題 Measurement of cosmic-ray carbon and oxygen energy spectra with CALET	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 2538 ~ 2545
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2019.04.015	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 Asaoka Y, et al., CALET Collaboration	4. 巻 208
2. 論文標題 The CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station: Results from the First Two Years of Operation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 13001 ~ 13001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201920813001	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 Ueno H., Nakahira S., Kataoka R., Asaoka Y., Torii S., Ozawa S., Matsumoto H., Bruno A., Nolfo G.A., Collazuol G., Ricciarini S.B.	4. 巻 -
2. 論文標題 Radiation dose during relativistic electron precipitation events at the International Space Station	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Space Weather	6. 最初と最後の頁 20943 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019SW002280	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 Bhattacharyya Saptashwa, Motz Holger, Asaoka Yoichi, Torii Shoji	4. 巻 28
2. 論文標題 An interpretation of the cosmic ray e+ + e- spectrum from 10GeV to 3TeV measured by CALET on the ISS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics D	6. 最初と最後の頁 1950035 ~ 1950035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218271819500354	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 Y. Asaoka et al. (CALET Collaboration)	4. 巻 358
2. 論文標題 The CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Science (ICRC2019)	6. 最初と最後の頁 001 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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. W. Cannady et al. (CALET Collaboration)	4. 巻 358
2. 論文標題 CALET Upper Limits on GeV-energy Gamma-Ray Burst Emission	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Science (ICRC2019)	6. 最初と最後の頁 557 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Y. Kawakubo et al. (CALET Collaboration)	4. 巻 358
2. 論文標題 Gamma-ray burst observations with the CALET Gamma-ray Burst Monitor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Science (ICRC2019)	6. 最初と最後の頁 571 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 A. Bruno et al. (CALET Collaboration)	4. 巻 358
2. 論文標題 Space Weather Observations during September 2017 with CALET on the International Space Station	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Science (ICRC2019)	6. 最初と最後の頁 1063 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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. Miyake, Y. Migita, Y. Asaoka, Y. Akaike, S. Torii, T. Terasawa, R. Kataoka, K. Sakai et al. (CALET Collaboration)	4. 巻 358
2. 論文標題 Solar Modulation of Galactic Cosmic-Ray Electrons Measured with CALET	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Science (ICRC2019)	6. 最初と最後の頁 1126 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Masaki Mori and Yoichi Asaoka for the CALET Collaboration	4. 巻 358
2. 論文標題 High-Energy Gamma-ray Observations Using the CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the ISS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Science (ICRC2019)	6. 最初と最後の頁 586 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Adriani O et al. (corresponding authors: Y. Asaoka, P.S. Marrocchesi, S. Torii), CALET Collaboration	4. 巻 122
2. 論文標題 Direct Measurement of the Cosmic-Ray Proton Spectrum from 50 GeV to 10 TeV with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 181102 ~ 181102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.181102	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 Asaoka Y et al.	4. 巻 1181
2. 論文標題 The CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station: Results from the First Two Years On Orbit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012003 ~ 012003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1181/1/012003	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 Cannady N., Asaoka Y. et al., CALET Collaboration	4. 巻 238
2. 論文標題 Characteristics and Performance of the CALorimetric Electron Telescope (CALET) Calorimeter for Gamma-Ray Observations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 5~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/aad6a3	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 O. Adriani et al. (corresponding authors: M. Mori, Y. Asaoka), CALET Collaboration	4. 巻 863
2. 論文標題 Search for GeV Gamma-Ray Counterparts of Gravitational Wave Events by CALET	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 160~160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aad18f	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 鳥居祥二, 浅岡陽一, 森正樹, 吉田篤正	4. 巻 73
2. 論文標題 カロリメータ型宇宙線電子望遠鏡CALETの初期観測成果	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 388~392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Asaoka Y., Ozawa S., Torii S., et al. (CALET collaboration)	4. 巻 100
2. 論文標題 On-orbit operations and offline data processing of CALET onboard the ISS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 29~37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2018.02.010	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

1. 著者名 Abbott B. P. et al.	4. 巻 848
2. 論文標題 Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aa91c9	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42件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 Yoichi Asaoka
2. 発表標題 Recent Results and Dark Matter Search with CALET on the ISS
3. 学会等名 Dark Matter searches in the 2020s - At the crossroads of the WIMP, ICRR, University of Tokyo, Kashiwa, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka
2. 発表標題 CALET Results after Three Years on the International Space Station
3. 学会等名 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics, Toyama, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka
2. 発表標題 The CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station
3. 学会等名 ICRC2019: 36th International Cosmic Ray Conference (Highlight Talk), Madison, WI, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. W. Cannady
2 . 発表標題 CALET Upper Limits on GeV-energy Gamma-Ray Burst Emission
3 . 学会等名 ICRC2019: 36th International Cosmic Ray Conference, Madison, WI, USA (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y.Kawakubo
2 . 発表標題 Gamma-ray burst observations with the CALET Gamma-ray Burst Monitor
3 . 学会等名 ICRC2019: 36th International Cosmic Ray Conference, Madison, WI, USA (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 A.Bruno
2 . 発表標題 Space Weather Observations during September 2017 with CALET on the International Space Station
3 . 学会等名 ICRC2019: 36th International Cosmic Ray Conference, Madison, WI, USA (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Miyake
2 . 発表標題 Solar Modulation of Galactic Cosmic-Ray Electrons Measured with CALET
3 . 学会等名 ICRC2019: 36th International Cosmic Ray Conference, Madison, WI, USA (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Mori
2. 発表標題 High-Energy Gamma-ray Observations Using the CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the ISS
3. 学会等名 ICRC2019: 36th International Cosmic Ray Conference, Madison, WI, USA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅岡陽一
2. 発表標題 宇宙線直接観測と暗黒物質の間接探索
3. 学会等名 ダークマターの懇談会、早稲田大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥居祥二
2. 発表標題 CALETによる軌道上観測の最新成果
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会、山形大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森正樹
2. 発表標題 CALETにおける高エネルギーガンマ線の観測と解析II
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会、山形大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三宅晶子
2. 発表標題 CALETによる第24太陽活動周期の1-10GeV全電子観測
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会、山形大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥居祥二
2. 発表標題 CALETによる4.5年間の軌道上観測の最新成果
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020) オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅岡陽一
2. 発表標題 CALET: 4年半にわたる軌道上運用のまとめ
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020) オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川久保雄太
2. 発表標題 CALET: ガンマ線バーストの観測と重力波電磁波対応天体の探査
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020) オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三宅晶子
2. 発表標題 CALETによる太陽活動極小期の1-10GeV全電子観測
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020) オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高柚季乃
2. 発表標題 CALETによる低エネルギー陽子・電子計数率の長期時間変化の同時観測
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020) オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鳥居祥二
2. 発表標題 国際宇宙ステーション搭載CALETの最新成果
3. 学会等名 第20回宇宙科学シンポジウム、宇宙科学研究所、相模原
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅岡陽一
2. 発表標題 CALETの運用状況と電子、陽子・原子核スペクトル
3. 学会等名 第20回宇宙科学シンポジウム、宇宙科学研究所、相模原
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Sakamoto
2. 発表標題 High Energy Gamma-rays and Gamma-ray Bursts Observations by CALET
3. 学会等名 第20回宇宙科学シンポジウム、宇宙科学研究所、相模原
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 Recent Results from the CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station
3. 学会等名 The 10th International Workshop on Very High Energy Particle Astronomy (VHEPA2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 Cosmic-ray Electron and Positron Spectrum from CALET Observations on ISS
3. 学会等名 Searching for the Sources of Galactic Cosmic Rays (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 The CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station -- Results from the First Two Years of Operation --
3. 学会等名 26th Extended European Cosmic Ray Symposium and 35th Russian Cosmic Ray Conference (26th E+CRS / 35th RCRC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 The CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station: Results from the First Two Years of Operation
3. 学会等名 20th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions (20th ISVHECRI) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 Latest Results from the CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station
3. 学会等名 International symposium ``Recent progress in heliospheric physics by direct measurements of unexplored space plasmas'' (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 The Calorimetric Electron Telescope (CALET) on the International Space Station: Latest results from the first three-years on orbit
3. 学会等名 TeV Particle Astrophysics 2018 (TeVPA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 Measurement of Cosmic-Ray Electron and Positron Spectrum from CALET on the ISS
3. 学会等名 42nd COSPAR Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Mori, Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 Search for gamma-ray counterparts of gravitational wave events by CALET
3. 学会等名 42nd COSPAR Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森正樹, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 小澤俊介, 藤田峻, 吉川康太, N. Cannady, M. Cherry, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる高エネルギーガンマ線の観測と解析
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三宅晶子, 右田陽太郎, 鳥居祥二, 浅岡陽一, 寺澤敏夫, 小澤俊介, 片岡龍峰, 宗像一起, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる1-10GeV全電子の太陽変動観測
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅岡陽一, CALET共同研究者
2. 発表標題 宇宙線電子望遠鏡 CALET : 3年間の軌道上観測による最新の成果
3. 学会等名 高エネルギー宇宙物理学研究会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川康太, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 森正樹, 小澤俊介, 藤田峻, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETにおけるトランジェントガンマ線観測システムの開発
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 右田陽太郎, 鳥居祥二, 浅岡陽一, 寺沢敏夫, 小澤俊介, 三宅晶子, 片岡龍峰, 宗像一起, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETで観測する低エネルギー電子による太陽変調の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 Search for GeV Gamma-Ray Counterparts of Gravitational Wave Events with CALET
3. 学会等名 Gravitational wave physics and astronomy: Genesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 CALET preliminary results on the cosmic ray observations for the first two-years on the ISS
3. 学会等名 The 2017 Cosmic Ray Anisotropy Workshop (CRA 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shoji Torii, Yoichi Asaoka (presenter) for the CALET collaboration
2. 発表標題 CALET : Summary of the First Two-Years on Orbit
3. 学会等名 TeV Particle Astrophysics 2017 (TeVPA 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森正樹, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 佐藤郁也, 田中瑞樹, N. Cannady, M.L. Cherry, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによるトランジェントガンマ線源の観測
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅岡陽一他, CALET共同研究者
2. 発表標題 CALETによる2年間の宇宙線観測成果
3. 学会等名 平成29年度ISEE研究集会 - 太陽圏宇宙線シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田峻, 鳥居祥二, 浅岡陽一, 森正樹, 小澤俊介, 吉川康太, 田中瑞樹, 佐藤郁也, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETにおけるガンマ線解析手法の改良
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川康太, 佐藤郁也, 田中瑞樹, 藤田峻, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 小澤俊介, 森正樹, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETにおけるトランジェントガンマ線観測システム
3. 学会等名 宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中瑞樹, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 小澤俊介, 佐藤郁也, 吉川康太, 藤田峻, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによるガンマ線トランジェント現象の自動検出方法の開発
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安藤祐貴, 鳥居祥二, 浅岡陽一, 小澤俊介, 三宅晶子, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETにおける低エネルギー電子観測による太陽変動の初期解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017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	片岡 龍峰  (Kataoka Ryuho)  (90462671)	国立極地研究所・研究教育系・准教授    (62611)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	鳥居 祥二  (Torii Shoji)  (90167536)	早稲田大学・理工学術院総合研究所(理工学研究所)・教授    (32689)	
連携研究者	モッツ ホルガ  (Motz Holger)  (30647904)	早稲田大学・理工学術院総合研究所(国際教育センター)・助教    (32689)	
連携研究者	小澤 俊介  (Ozawa Shunsuke)  (60506715)	早稲田大学・理工学術院総合研究所(理工学研究所)・次席研究員    (32689)	
連携研究者	山岡 和貴  (Yamaoka Kazutaka)  (00365016)	名古屋大学・理学研究科・特任准教授    (13901)	
連携研究者	坂本 貴紀  (Sakamoto Takanori)  (00645161)	青山学院大学・理工学部・准教授    (32601)	