

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：32685

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03939

研究課題名(和文) 銀河系中心近傍1pc内での中間質量ブラックホールの探査

研究課題名(英文) Search for IMBHs within the central 1 parsec of the Milky Way

研究代表者

坪井 昌人 (Tsuboi, Masato)

明星大学・理工学部・教授

研究者番号：10202186

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：この研究は銀河系中心(SgrA*)近傍1pc内に存在すると予想される太陽の数千倍から数万倍の質量を有する中間質量ブラックホール(IMBH)を探査をアタカマミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)の観測による位置天文学データ(固有運動)から行おうというものである。(1)ALMAでSgrA*の近傍の約70個の天体の位置を決めた。(2)そのうち65個の天体の固有運動を導出した(3)固有運動と再結合線の視線速度から赤外線天体IRS13E3に内包される天体が太陽の数千倍の質量を持つことを発見した。(4)分子ガスの化学的性質からIRS13E3のSgrA*からの実距離を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

銀河系中心には太陽の400万倍の質量を持つ巨大ブラックホールが存在している。しかし、それがどうやって質量を獲得して現在の姿になったかは明らかではない。ガスが降着するとその重力エネルギーのため明るく輝くがその光の圧力のためガスの降着を妨げられる。この困難を解決するには固まった天体を落とせば良いが普通の星だと頻りに落とす必要があるが、観測的には見つかっていない。そこで太陽の数千倍の質量を有する中間質量ブラックホールがたまに落ちる可能性が考えられた。実際のそんな天体があるだろうか、その探査がこの研究である。そして実際にその候補となる天体を見つけることができた。

研究成果の概要(英文)：This research is to search for an intermediate-mass black hole (IMBH) with a mass several thousand to tens of thousands of times that of the Sun, which is expected to exist within 1 pc near the Galactic Center (SgrA*) using the Atacama Millimeter/submillimeter Array (ALMA). The idea is to use precision position astronomical data (especially proper motion) obtained from observations of ALMA. We obtained the following results; (1) We determined the positions of about 70 IR objects near Sgr A* using ALMA with over 1 mas accuracy. (2) From two epoch data, the proper motions of 65 of the objects were derived. The motions of almost all objects are described by Kepler motions around Sgr A*. (3) The exceptional case was found in IRS13E3 from the proper motions and the radial velocity of the H30a line. The gas in IRS13E3 is rotating around a object with several thousand solar mass. (4) The actual distance of IRS13E3 from Sgr A* was estimated from the chemical properties of the molecular gas.

研究分野：天文学

キーワード：ブラックホール 中間質量ブラックホール 銀河系中心 ミリ波サブミリ波干渉計 大質量星 位置天文学

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。

1. 研究開始当初の背景

天の川銀河の中心核領域には電波から X 線でコンパクト天体として観測される Sgr A*がある。そして、そこには 400 万太陽質量を持つ巨大ブラックホール(GCBH)が存在すると考えられている。しかしこの GCBH がどのように成長して現在の姿になったかはまだ謎のままである。最近アタカマリ波サブミリ波干渉計 ALMA が登場したことにより、この Sgr A*領域の観測が著しく進展し、発見が相次いでいる。

我々も Sgr A*近傍(1pc 以内)において水素再結合線 H30 α の観測を行い、Sgr A*から約 0.13pc (射影距離)の距離に水素再結合線の観測で特異な電離ガス天体を発見した (Tsuboi+, ApJL, 850, L5, 2017)。その強度ピークからガスの流れが 0.1pc 以上に渡ってたなびいているように見えた。この天体中の強度ピークの大きさは半径 400 天文単位以下にすぎないが、輝線の速度幅は 650km/s 以上にもなる。この速度構造は電離ガスが離心率の非常に大きいケプラー運動していると解釈するとうまく再現できた。つまり強度ピーク付近には IMBH に相当する数千から数万太陽質量を持つコンパクト天体があり、その周囲を電離ガスが高速にケプラー運動しているというものである。観測された速度構造はこの解釈以外では再現できないようである。つまり、この速度構造こそこの位置に IMBH が存在する証拠であると考えられる。実は以前から赤外線観測によりこの天体は IRS13E という星団として認識されていた。そしてそのメンバーの星の固有運動から星団中心に IMBH の存在するのではないかと推測されてきた。ただし決定的な証拠には欠けており IMBH が存在しないとする反論もあった。我々の観測は IMBH が存在するか否かの論争に最終的な回答をしたことになる。

さて GCBH の成長過程であるが、このような IMBH が宇宙年齢の間に数 100 個と合体できれば現在の GCBH の 400 万太陽質量は説明できる。しかし、中心近傍に GCBH とこのような IMBH のみがあり軌道運動しているだけのシステムでは合体させるのは非常に難しい。なぜならば、この連星系システムでも重力波を出して軌道半径が減少するが、その減少量は極めて小さく、宇宙年齢以内にこの 2 つの BH が接近し合体することはほぼ起こらないと言えるからである。つまりこれらを合体させて GCBH の質量を増加させるためには他の方法でこの IMBH の軌道運動にブレーキをかけてやる必要がある。この領域にはもちろん星はたくさん存在する。しかしこれら周囲の星がブレーキをかけられるであろうか？ 恒星の質量 (不定性が大きい) はこの IMBH に比べて極めて小さく、実際観測されているようにいくつかの星が逆に外側に弾き飛ばされることはあっても IMBH を内側に効率良く落とす事は難しいようである (ただし、弾き飛ばされた星は IMBH の存在の傍証にはなる)。また周囲の電離ガスも IMBH に比べ質量は小さく同様にブレーキをかけてやる事はできない。

この合体仮説の困難を解決する方法の 1 つは銀河系中心近傍に 2 個以上の IMBH が存在するというものである。GCBH も加えたシステムでは 3 体相互作用が起こりうる。これはパラメータの取り方によっては重力波の放出などに比べてはるかに効率的に GCBH と IMBH を合体させることができる (残った 1 つの IMBH は外側に散乱されるが)。従って、第 3 BH の存在は (その発見自体大きな意味があるが) 上記の GCBH の成長過程シナリオという観点からも大変重要である。

ALMA が登場したことにより、Sgr A*近傍 1 pc 内にある明るい恒星を多数含む中心核星団 (Nuclear Star Cluster, NSC) の位置天文学観測に大きな変化をもたらされた。ALMA は高分解能観測 (ビームサイズ約 20-30 ミリ秒) により Sgr A*の周囲を観測できるが、これまでの電波望遠鏡では検出できなかった『恒星』を検出できるようになった。NSC の位置天文学観測ではこれまで赤外線望遠鏡の独壇場であった。最近では 8m 望遠鏡 (Subaru と同程度) を 4 台結合した赤外線干渉計 GRAVITY が S2 星の Sgr A*への再接近時の位置天文学観測で威力を発揮した。GRAVITY は 3 ミリ秒のビームサイズで観測でき位置精度も 3 μ 秒である。しかし視野は非常に狭く 1" 以下である。一方 ALMA の視野は大変に広く 86GHz で 80", 230GHz で 30" もある。加えて ALMA の位置観測精度は赤外線の adaptive optics を利用した精度よりも良い。このように ALMA の位置観測は GRAVITY とは特徴が異なり相補的性質を持っている。

2. 研究の目的

上記のように GCBH の成長が IMBH との合体で進むならば Sgr A*近傍には複数の IMBH が存在しているはずである。今回の研究の目的は IMBH すなわち Sgr A*近傍 1pc 内に存在すると予想される太陽の数千倍から数万倍の質量を有する IMBH の探査を ALMA の観測による NSC に含まれる星の位置天文学データ (固有運動) から行おうというものである。ALMA の観測による位置天文学データを取得するには ALMA の長基線による観測が必要である。

NSC に含まれる星は赤外線望遠鏡で GCBH の周囲をケプラー運動しているように観測されているが、もし NSC の近傍に IMBH があればケプラー運動がわずかにゆがんで見えるはずである。この方法は複数回の ALMA の長基線による観測により NSC に含まれる星の軌道を求めて、この『ずれ』を検出するというものである。

3. 研究の方法

- (1) 銀河系中心 Sgr A* 近傍 1pc を ALMA の最高分解能と最高感度で観測し NSC に含まれる恒星を検出して Sgr A* に対する相対位置を測定する。まずは3個の観測データが確実に利用可能と判断していた。1個目は2015-2016年のシーズンの観測で申請者自身がPIの共同利用観測であり、この科研費の採択の時点ですべてのデータが処理され撮像されていた。2個目は2017-2018年のシーズンの観測でこれも申請者自身がPIの共同利用観測であり、この科研費の開始の時点で25時間分すべての観測が終了していた。また3個目は2018-2019年のシーズンで申請者がPIではない観測であるが2019年中に実行された。しかし、コロナ禍のために観測所側担当のデータ1次解析に時間がかかり、やっと2021年4月になってアーカイブされた。4個目も当初は利用できるようになると予想していたがコロナ禍とALMAへのサイバー攻撃による長期間の観測中断などの為に現在のアーカイブの予定は2024年9月になっていて、この科研費の研究期間に間に合わなかった。
- (2) 上記の観測データで撮像を行い、NSCに含まれる恒星を検出し Sgr A* に対する相対位置を測定した。ALMAの絶対位置の決定精度はあまり良くなく、恒星の位置が大きく散乱するが、Sgr A* に対する恒星の相対位置は最悪で2ミリ秒最良で 10^{-5} 秒の精度で決定できることがわかった。途中1個目の観測データは精度が悪く2個目3個目と比べて位置観測データとして良くないこともわかった。主に2個目3個目の観測データで求めた恒星の相対位置を比べて固有運動を測定する。
その速度、加速度からIMBHの探査をする。
- (3) 2個目3個目の観測には水素再結合線 H30 α の情報も含まれるのでその撮像を行い、(2)と合わせて3D速度を求めてIMBHの探査をする。
- (4) ALMAの観測データには意図せずに多数の分子輝線が含まれる。これを用いてIMBHの傍証を得る。

4. 研究成果

- (1) ALMAでSgr A*の近傍の約70個の恒星のSgr A*に対する相対位置を最悪で2ミリ秒最良で 10^{-5} 秒の精度で決めた。そのうち65個の天体の固有運動を最悪15 km/s程度の精度で導出した。数個の例外を除き、求めた固有運動はSgr A*が400万太陽質量を持ちこれらの天体がケプラー運動をしているとして矛盾はなかった。(Tsuboi et al., PASJ, 74, 738, 2022) また数個の例外を除き期待された水素再結合線 H30 α は検出できなかった。
- (2) 例外の1つとして、3次元速度で800 km s⁻¹以上の速度を持つ天体を見つけた。この速度ではNSCに定常的に留まることができない。この天体は曲がった電離ガスの尾を持っている。そして尾の曲率の焦点にSgr A*はいない。何の周りを軌道運動しているのであろうかは謎である。1つの可能性として見えないIMBHに軌道が変えられている可能性が考えられる。(Tsuboi et al., URSI GASS, 2023)
- (3) ALMAでSgr A*と位相校正天体の相対位置を比較してSgr A*自体の固有運動を求めた。 $dl/dt = -6.08 \pm 0.01$ mas/year, $db/dt = 0.53 \pm 0.02$ mas/year。そして太陽距離での銀河回転速度を求めた。(Tsuboi et al., URSI GASS, 2023)
- (4) 水素再結合線 H30 α の高分解能観測で大変速度幅が広い赤外線天体 IRS13E3の周囲にリング状の電離ガスを発見した。この電離ガスリングはIMBHの周囲を回転していると考えられるので、その固有運動と再結合線の視線速度から内包される天体が太陽の数千倍の質量を持つことを発見した。(Tsuboi et al., PASJ, 71, id 105, 2019)
- (5) 星間分子は星間輻射場の影響を受ける。特にNSCに含まれる大質量の恒星は膨大な紫外線を出しているので星間分子はすぐに破壊されてしまうはずである。逆にこの化学的性質からIRS13E3のSgr A*からの実距離を推定することができる。求めたIRS13E3の実距離はその射影距離に比べてかなり大きいことがわかった。IRS13E3の質量とSgr A*自体の固有運動が矛盾していないことを示した。(Tsuboi et al., PASJ, 72, id L5, 2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Tsuboi, Masato, Tsutsumi, Takahiro, Miyazaki, Atsushi, Miyawaki, Ryosuke, Miyoshi, Makoto	4. 巻 74
2. 論文標題 ALMA astrometry of the objects within 0.5 pc of Sagittarius A*	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 738 756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac031	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 Peissker, Florian, Zajacek Michal, Sabha, Nadeen B., Tsuboi, Masato, Moultaqa, Jihane, Labadie, Lucas, Eckart, Andreas, Karas, Vladimir, Steiniger, Lukas, Subroweit, Matthias, Suresh, Anjana, Melamed, Maria, Clenet, Yann	4. 巻 944
2. 論文標題 X3: A High-mass Young Stellar Object Close to the Supermassive Black Hole Sgr A*	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical 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) 10.3847/1538-4357/aca977	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 Ryosuke Miyawaki, Masato Tsuboi, Kenta Uehara, Atsushi Miyazaki	4. 巻 73
2. 論文標題 Hot molecular core candidates in the Galactic center 50 km s ⁻¹ molecular cloud	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 943-969
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab056	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 Tsuboi, M., Kitamura, Y., Tsutsumi, T., Miyawaki, R., Miyoshi, M., Miyazaki, A.	4. 巻 528
2. 論文標題 ALMA Astrometry of the IR Stars in the Vicinity of Sgr A*	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ASP Conference Series	6. 最初と最後の頁 315-316
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 Tsuboi, M, Kitamura, Y., Tsutsumi, T. , Miyawaki, R., Miyoshi, M., Miyazaki, A.	4. 巻 528
2. 論文標題 Ionized Gas Ring Rotating Around the Galactic Center IMBH, IRS13E3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ASP Conference Series	6. 最初と最後の頁 155~158
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 Iwata Yuhei, Oka Tomoharu, Tsuboi Masato, Miyoshi Makoto, Takekawa Shunya	4. 巻 892
2. 論文標題 Time Variations in the Flux Density of Sgr A* at 230 GHz Detected with ALMA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L30 ~ L30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab800d	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 Tsuboi Masato, Kitamura Yoshimi, Tsutsumi Takahiro, Miyawaki Ryosuke, Miyoshi Makoto, Miyazaki Atsushi	4. 巻 72
2. 論文標題 Sub-millimeter detection of a Galactic center cool star IRS7 by ALMA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	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/pasj/psaa013	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 Tsuboi Masato, Kitamura Yoshimi, Tsutsumi Takahiro, Miyawaki Ryosuke, Miyoshi Makoto, Miyazaki Atsushi	4. 巻 72
2. 論文標題 How far actually is the Galactic Center IRS 13E3 from Sagittarius A*?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	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/pasj/psaa016	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 Tsuboi Masato, Tsutsumi Takahiro, Kitamura Yoshimi, Miyawaki Ryosuke, Miyazaki Atsushi, Miyoshi Makoto	4. 巻 72
2. 論文標題 Where is the western part of the Galactic Center Lobe located really?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	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/pasj/psaa077	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 Tsuboi Masato, Kitamura Yoshimi, Uehara Kenta, Miyawaki Ryosuke, Tsutsumi Takahiro, Miyazaki Atsushi, Miyoshi Makoto	4. 巻 73
2. 論文標題 Cloud-cloud collision in the Galactic Center Arc	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 S91 ~ S116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa095	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 Tsuboi Masato, Kitamura Yoshimi, Tsutsumi Takahiro, Miyawaki Ryosuke, Miyoshi Makoto, Miyazaki Atsushi	4. 巻 71
2. 論文標題 Rotating ionized gas ring around the Galactic center IRS13E3	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	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/pasj/psz089	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 Tsuboi Masato, Kitamura Yoshimi, Tsutsumi Takahiro, Miyawaki Ryosuke, Miyoshi Makoto, Miyazaki Atsushi	4. 巻 72
2. 論文標題 Sub-millimeter detection of a Galactic center cool star IRS?7 by ALMA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	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/pasj/psaa013	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 Tsuboi Masato, Kitamura Yoshimi, Tsutsumi Takahiro, Miyawaki Ryosuke, Miyoshi Makoto, Miyazaki Atsushi	4. 巻 72
2. 論文標題 How far actually is the Galactic Center IRS 13E3 from Sagittarius A*?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	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/pasj/psaa016	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13件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 坪井昌人, Tsutsumi Takahiro, 三好真, 宮脇亮介, 宮崎敦史
2. 発表標題 Joint Analysis of Proper Motion and Radial Velocity of GCIRS13E; New Mass Estimation of the IMBH Candidate
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坪井昌人, 宮脇亮介, Tsutsumi Takahiro, 三好真
2. 発表標題 Bullet Stars Leave Long Tails in the Galactic Center
3. 学会等名 日本天文学会春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tsuboi, Masato, Tsutsumi, Takahiro, Miyazaki, Atsushi, Miyawake, Ryosuke, Miyoshi, Makoto;
2. 発表標題 ALMA Astrometry of the Nuclear Star Cluster
3. 学会等名 IAU GA 2022 FM7: Astrometry for 21st Century Astronomy (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 TSUBOI Masato, TSUTSUMI Takahiro, MIYAZAKI Atsushi, MIYOSHI Makoto, MIYAWAKI Ryosuke
2. 発表標題 Astrometry of the Nuclear Star Cluster using ALMA
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 TSUBOI Masato, MIYAWAKI Ryosuke, MIYAZAKI Atsushi, TSUTSUMI Takahiro, MIYOSHI Makoto
2. 発表標題 Galactic Center IRS21, Falling Hyper Compact HII Regions?
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 TSUBOI Masato, TSUTSUMI Takahiro, MIYAZAKI Atsushi, MIYOSHI Makoto, MIYAWAKI Ryosuke
2. 発表標題 Astrometry of Sagittarius A* using ALMA
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Tsuboi, Y. Kitamura, K. Uehara, R. Miyawak, T. Tsutsumi, A. Miyazaki, M. Miyoshi
2. 発表標題 Cloud-Cloud Collision in the Galactic Center Arc II
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Tsuboi, T. Tsutsumi, Y. Kitamura, K. Uehara, R. Miyawak, A. Miyazaki, M. Miyoshi
2. 発表標題 The Location of the Western Part of the Galactic Center Lobe
3. 学会等名 日本天文学会春季年会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masato Tsuboi
2. 発表標題 Ionized Gas Rotating around the Galactic Center IMBH, IRS13E3
3. 学会等名 Galactic Center Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Tsuboi
2. 発表標題 ALMA View of Molecular Cloud Cores in the Galactic Center 50 km/s Cloud: Molecular Cloud Cores made by Cloud-cloud Collision
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Tsuboi
2. 発表標題 Rotating Ionized Gas Ring around the Galactic Center IRS13E3
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Tsuboi
2. 発表標題 Sub-millimeter Detection of a Galactic Center Cool Star IRS 7 by ALMA
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masato Tsuboi
2. 発表標題 How far actually is the Galactic Center IRS 13E3 from Sagittarius A*?
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
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	三好 真 (Miyoshi Makoto) (50270450)	国立天文台・JASMINEプロジェクト・助教 (62616)	

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