

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24403007

研究課題名(和文) ハワイ・ハレアカラ観測拠点における太陽系惑星の可視・赤外高分散分光研究

研究課題名(英文) Visible and infrared high dispersion spectroscopic investigation of the solar system planets in the Hawaii Haleakala observatory

研究代表者

笠羽 康正 (Kasaba, Yasumasa)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10295529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：ハワイ大との協力でマウイ島・ハレアカラ山頂に設置する東北大40cm望遠鏡の広視野・高分散分光能力を活かし、(1)水星ナトリウム大気の変動要因(米MESSENGER探査機と共同)、(2)木星イオトラスの磁気圏活動への影響(JAXA EUV望遠鏡衛星Hisakiと共同)等の解明を行った。また関連する望遠鏡・衛星群の活用により、(3)金星・火星大気流出の検出試行、(4)金星上層大気の世界場・微量成分探索、(5)火星大気の地殻起源物質探索にも研究を拡大した。更に、ハレアカラ山頂へ(6)60cm望遠鏡の移設(2014年秋に観測開始)および2m望遠鏡の建設作業(2016年末の観測開始予定)を遂行した。

研究成果の概要(英文)：We Tohoku Univ. have operated 40cm telescope at Mt. Haleakala of Maui Island by the cooperation with Univ. Hawaii. Utilizing its wide FOV and high dispersion spectroscopic capabilities, we investigated (1) the origin of the variations of Herman sodium atmosphere (with NASA/MESSENGER orbiter), (2) the effects of Io torus to Jovian magnetospheric activities (with JAXA/Hisaki EUV space telescope). We also investigated following targets by related telescope and satellites; (3) the search of escaping atmospheres of Venus and Mars (by Hisaki); (4) the study of velocity field and trace gas elements in the upper atmosphere of Venus (at Kitt Peak, Hida, and Haleakala), and (5) the search of crust origin gas (H₂O/HD₂O, CH₄) in the Martian atmosphere (at Manua Kea, Haleakala). Moreover, at the Haleakala observatory, (6) we moved 60cm telescope from Iitate, Fukushima (first light: fall 2014), and constructed the 2m telescope (first light: the end of 2016) under the collaboration with Univ. Hawaii.

研究分野：太陽系赤外線・電波科学

キーワード：水星希薄大気 木星大気・オーロラ 火星大気 金星大気 ハレアカラ40cm望遠鏡運用 ハレアカラ60cm望遠鏡移設 ハレアカラ2m望遠鏡建設 アメリカ・ハワイ

1. 研究開始当初の背景

惑星・衛星の大気は、組成・構造・温度の時間変動を有する。これらは「生成側」である惑星・衛星の地殻・大気活動、「消失側」である光化学反応や超高層大気活動、およびその空間移動を反映する。この「空間広がり」と「速い時間変動」を伴う「惑星・衛星の大気生成・輸送・消失情報」は、「探査機による近接・In-situ 観測」や「地上・軌道大型望遠鏡」による「高空間分解だがスナップショット的」な大規模研究だけではなく、その間を「小口径広視野望遠鏡による継続観測」すなわち大学規模での継続研究で埋めることでその解明が可能となる。「継続観測」の実現には、晴天率が高い地に独自運営の観測設備を維持する必要がある。これを大学規模（少人数・小予算）で運営するには、「研究室からの遠隔定常運用」と、「非常時の対策・復旧を可能とする現地インフラ」が不可欠である。本グループは十二分な地球・惑星観測の開発実施経験を有するが、この確保が長年の問題であった。

幸い、我々はこの条件を満たしうる観測サイトを設立運営できた。東北大は、ハワイ大・天文学研究所の協力の元、2006年にハワイ・マウイ島・ハレアカラ山頂（標高3005m）に40cm望遠鏡を設置した。この「アマチュアクラス」の小望遠鏡に独自開発の高分解能エシエル分光器を設置し、「随時・連続観測能力」「広視野観測能力」「高波長分解＝高速度分解能力」を駆使した、(1)月や水星のナトリウム大気の生成消滅機構の研究、(2)木星の衛星イオの火山活動によって生成されるイオトーラスの変動研究の2つを遂行。常時目標に向けられる観測設備は世界に他になく、探査機との共同観測等でも注目された。

ハレアカラは、「常設汎用巨大望遠鏡サイト」であるマウナケア山頂（標高4205m）に対し、目的を絞った機動的観測設備を収容する性格をもつ。観測環境は劣るものの、(1)日本国内より圧倒的に良い晴天率を活かした連続観測、(2)カフルイ市街・空港から2時間で到達可能な高アクセス性、(3)山麓のハワイ大・先端技術研究センター(ATRC)および山頂の支援施設を活用でき、ハワイ大スタッフにも緊急対応を依頼することが可能な高い維持・修復性から、大学規模の小規模観測の拠点として世界屈指と我々は認識している。2009-2010年にかけての整備によって遠隔制御もほぼ可能となり、1年を通じた本格的継続運用ができた。

これらの活動と成果はハワイ大側でも高く評価され、(1)ハレアカラの米空軍3.6m望遠鏡やマウナケアの巨大望遠鏡群に対しハワイ大が有する「観測所時間」の援用、(2)ハワイ大 ATRC における観測装置の現地共同開発、(3)惑星・系外惑星の機動的かつ継続観測を可能とする2m級新惑星・系外惑星望遠鏡計画 PLANETS の共同推進が実現されつつあった。2011年4月から鍵谷研究員が現地に

ほぼ常駐し、分光器の共同開発に活躍しつつあり、2012年4月からは岡野教授もハワイ大客員として現地滞在が予定された。

本研究は、この研究環境をフル活用すべく、立案遂行されたものである。

2. 研究の目的

ハワイ大・天文学研究所との協力により、ハワイ・マウイ島・ハレアカラ山頂に東北大が擁する口径40cm望遠鏡の広視野・高分散分光能力を活かした太陽系天体研究を遂行する。すなわち、(1)水星ナトリウム大気の大規模構造・速度場観測（MESSENGER 探査機と共同）(2)木星のイオトーラス活動と磁気圏活動の関連究明（JAXA EUV 望遠鏡衛星 Hisaki と共同）等を実施した。また、関連する望遠鏡・衛星群の活用により、(3)金星・火星大気の宇宙流出検出（JAXA EUV 望遠鏡衛星 Hisaki）(4)金星上層大気の数値場・微量成分探索（キットピーク・飛驒・ハレアカラ）(5)火星大気の大気起源物質探索（マウナケア・ハレアカラ）も推進した。これらは、ハレアカラ山頂で推進中の(6)東北大60cm望遠鏡の移設（福島・飯館から。2014年秋に観測開始）および2m望遠鏡 PLANETS の新設（2016年末に観測開始予定）への展開を予定する。

3. 研究の方法

ハワイ・ハレアカラ40cmの観測能力を主軸として形成されたハワイ大との共同研究を主軸とし、研究期間中に立ち上がる以下の国際共同観測や探査機共同観測を遂行する。また、ハレアカラ山頂観測の充実を進め、2015年以降に向けたその活用の基礎を形成した。

(1) 水星ナトリウム大気の大規模構造・速度場観測：ハレアカラ40cm望遠鏡・可視分光観測により、米水星探査機 MESSENGER と共にナトリウム大気の生成原因（光熱、太陽風、ダスト）およびその宇宙空間への散逸過程の解明を目指した。

(2) 木星のイオトーラス活動と磁気圏活動の関連究明：ハレアカラ40cm望遠鏡・可視分光観測、南米アタカマの東大1m鏡やハワイ・マウナケアの SUBARU 望遠鏡・IRTF 望遠鏡による赤外線観測により、JAXA 極端紫外線観測衛星 Hisaki と共に火山に起因するイオトーラス変動による木星の磁気圏・オーロラ活動への影響の解明を目指した。

(3) 金星・火星大気の宇宙流出検出：JAXA 極端紫外線観測衛星 EXCEED(2014年初頭から観測開始)によって宇宙流出するとみられる大気の検出を試みた。その成果を足場に、ハレアカラ地上観測によるCO₂イオンなど大気超高層成分の直接検出の可能性を検討した。

(4) 金星上層大気の数値場・微量成分探索：2012年6月の金星日面通過を活かし、ハレアカラ山頂の太陽望遠鏡 SOLAR-C および京大・飛驒天文台で高層ナトリウム等の初検出を目指した。また、キットピーク天文台・ハレ

アカラ山頂で、金星上層大気の速度場・温度場・探索観測を行った。

(5) 火星大気の地殻起源物質探索：マウナケア (SUBARU・IRTF) やハレアカラ山頂の望遠鏡群により、 H_2O/HDO 比を活かした火星地殻の水蒸気蒸発量の季節・位置変動の検出を行った。また生成・消滅機構が注目を集めるメタンなどの新検出を目指した。

(6) ハレアカラ山頂の 60cm 望遠鏡移設および 2m 望遠鏡新設：(1)-(5) と平行して、ハワイ大の支援の元、東北大・福島県飯館惑星圏観測所の 60cm 鏡の移設を行い、2014 年 9 月に稼働を果たした。また、ハワイ大他との共同で進行中の新惑星・系外惑星望遠鏡計画「PLANETS」の開発に現地で貢献した。両望遠鏡に装着する観測装置開発・観測検討をハワイ大研究者の協力を得て実施した。

4. 研究成果

(1)-(5) とともに、それぞれ確実な成果を挙げることができた。初検出には至らなかった野心的な目標もあったが、これらの成果は、(6) ハレアカラ山頂の観測手段の充実の暁に、これらによる成果創出の土台となるものである。既に 2m 新望遠鏡は主鏡の研磨プロセスに入った。早ければ 2016 年末に本格稼働する本望遠鏡を活用した展開するとともに、水星 (BepiColombo [2024 年観測開始予定])、金星 (Akatsuki [2015 年末に観測開始予定])、火星 (米・MAVEN [2014 年冬観測開始])、欧・ExoMars Trace Gas Orbiter [2017 年観測開始予定])、木星 (米・Juno [2016 年観測開始予定])、欧・JUICE [2030 年観測開始予定])、土星 (米・Cassini: 観測中) との共同観測へつなげていく予定である。なお、これらの実現には本経費により現地長期派遣した米田研究員の活躍に多くを負った。

(1) 水星ナトリウム大気の大規模構造・速度場観測：米水星探査機 MESSENGER (2015 年春に運用終了) が水星周辺の太陽風や磁気圏・外圏大気観測を行う中、東北大ハレアカラ観測所の本学 40cm 望遠鏡を 2012~2014 年度の観測好適期にフル活用して、現地観測・遠隔制御によって可視分光によるナトリウム D 線によるナトリウム大気の大規模密度・速度分布の観測を世界で最も長時間にわたり追跡することに成功した。水星外圏大気の成因・消失プロセスの解明を進め、ナトリウム大気の生成原因 (光・熱・太陽風・ダスト) について示唆を与えることに成功した。この長期観測の成果として、ナトリウム大気密度が太陽光強度・表面温度 (すなわち太陽距離) と相関しないこと、また時間変動が 5% 程度しかなく太陽風衝突が主因とくい得ないことを示した。黄道面近傍で大気量が増大することから、「惑星圏空間ダスト衝突」がこの生成主因であることを示唆する [14][17]。また、MESSENGER で観測された「磁気圏活動」との相関も見当たらず、高エネルギー粒子による生成可能性も否定された。米 MESSENGER ハ

2015 年 4 月に水星表面に落下したため、地上観測で得られる「広域分布・速度場分解観測」と探査機の結合という好機はしばらく訪れないが、2024 年開始の BepiColombo 時代へ向けて、引き続き研究を進めていく。

(2) 木星のイオトーラス活動と磁気圏活動の関連究明：ハレアカラ 40cm 望遠鏡・可視分光によるナトリウム D 線・硫黄発光輝線 [SII] 観測を、南米アタカマの東大 1m 鏡やハワイ・マウナケアの SUBARU 望遠鏡・IRTF 望遠鏡 (一部をハワイ大観測時間で実施) によるイオ火山赤外線発光や赤外線オーロラ発光の観測と組み合わせることで、イオ火山に起因するイオトーラス変動による木星の磁気圏・オーロラ活動への影響の解明を目指した。2013 年秋から JAXA 極端紫外線観測衛星 Hisaki による紫外線オーロラ全強度およびイオトーラス密度・温度変動の長期連続観測も実現した。Hisaki の EUV 光による「イオトーラスの密度・温度分布 (O^+ , S^+ , S^{++} , S^{3+}) による物質・エネルギー輸送」と、地上観測による中性 (ナトリウム)・プラズマ ([SII]) トーラス分布との結合は、計画の根幹部分として計画され、後者においてはハレアカラ 40cm 鏡が世界で唯一の情報を提供し続けた。これらの成果により、イオ火山活動の検出 [6]、木星極域中性・プラズマ大気の垂直密度・温度構造 [5][12]、木星イオトーラス外縁の電子加熱機構 [7]、木星磁気圏の内部不安定による短期変動とエネルギー流入 [1] 等の数々の成果を得た [2]。2015 年 1 月にはイオ火山活動に伴うイオトーラス大増光現象を先駆けて捉え、この磁気圏・オーロラ活動への影響追尾を実施中である。また、土星の衛星 Enceladus から放出される大量の水に起因する酸素雲の検出にも成功を見ている [8]。

(3) 金星・火星大気の宇宙流出検出：JAXA 極端紫外線観測衛星 Hisaki による金星・火星からの流出大気検出観測 (2014 年春に観測開始) を行った。「火星・金星の酸素 (O^+)・炭素 (O^+)・窒素 (O^+) 量」の検出を狙い、金星上層大気の酸素発光変動の検出に至り、大気下部波動によって上層大気の変動が引き起こされる可能性の示唆にまでこぎつけた [13]。並行して、ハレアカラ山頂望遠鏡のハワイ大所有観測時間の援用による CO^+ イオンなど大気超高層成分の直接検出による流出大気検出の可能性を検討し、観測の準備段階にある。引き続き、Hisaki および米・火星探査機 MAVEN との共同観測を進めていく。

(4) 金星上層大気の数値場・微量成分探索：金星日面通過 (2012 年 6 月) をハレアカラ山頂太陽望遠鏡 Solar-C および京大・飛騨太陽望遠鏡で観測し、未検出であった金星大気の上層ナトリウム成分 (地球大気のナトリウム層と同様、惑星間ダストの降着補給によるものとされる) の上限値を得た [11]。本観測は「系外惑星の日面通過観測」の実地練習としても注目され、その困難さが浮き彫りとなった結果でもあった。太陽観測衛星「ひので」

による観測も実施し、上層大気中のヘイズ量・分布の導出も進めた。また、ケルン大学と共同でキットピーク天文台・マウナケア (IRTF) において金星上層大気の数値場・微量成分観測を行い、GCM との比較による金星上層大気の数値場・微量成分の検出を試行した [9][10]。また、移設がなされた東北大 60cm 望遠鏡にハワイ大・ATRC へ移送し組み立てた「中間赤外線ヘテロダイン分光器」を試験装着し、(3)にもつながりうる上層大気の数値場・温度場の初の長期モニター検出に向けた準備を進めた [16]。2015 年 3 月には金星 CO₂ 吸収線を検出し、高層大気数値場観測 (~10m/s) に耐えるスペクトル取得にこぎつけた。またマウナケア (Subaru) における金星雲層温度場観測の成果も論文としてまとめた [4]。引き続き、Hisaki および JAXA・金星探査機 Akatsuki との共同観測を進めていく。

(5) 火星大気の数値場起源物質探索: マウナケア山頂 SUBARU 8m 望遠鏡や IRTF 3m 望遠鏡 (ハワイ大観測時間も援用) で観測を実施し、水循環指標となる HD₀/H₂O 比の極域~赤道域に至る空間分布と季節変動の取得に成功した。これにより、極冠を軸とする火星大気中での水循環についてモデルと比較しうる観測情報を提供した [15]。また、米着陸機 Mars Science Laboratory の成果を含め議論を呼ぶメタン量について上限量を評価した。ハレアカラ 60cm 望遠鏡の「中間赤外線ヘテロダイン分光器」でも今後この検出および変動追跡を進めていく予定である。これは、2015 年度以降の米・火星探査機 MAVEN および欧・ExoMars Trace Gas Orbiter との共同研究における連携主軸となる。

(6) ハレアカラ山頂の 60cm 望遠鏡移設および 2m 望遠鏡新設: ハワイ大との協力により、東北大 60cm 望遠鏡 (福島・飯館) のハレアカラ移設を行い、環境アセスメント等に起因する遅延をみたものの、2014 年 9 月の開所式・First Light に漕ぎ着けた。また、オフセットグレゴリアン・赤道儀式の 2m 惑星・系外惑星専用望遠鏡「PLANETS」の主鏡・望遠鏡構造・建屋および観測装置開発に現地でも貢献した。2016 年末予定のファーストライト実現に向け、赤外線ヘテロダイン分光器 (既述) やファイバースペクトル分光器・オカルテーションマスク等の開発を含め、ATRC との協力下の元、着々と自歩を固めつつある [3]。

5. 主な発表論文等 (研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

(1) Kimura, T., S.V. Badman, C. Tao, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, F. Tsuchiya, B. Bonfond, A.J. Steffl, A. Masters, S. Kasahara, H. Hasegawa, I. Yoshikawa, M. Fujimoto, and J.T. Clarke (2015), Transient internally driven aurora at Jupiter discovered by Hisaki and

the Hubble Space Telescope, Geophys. Res. Lett., 査読有, 42, 6, 662-1668, doi: 10.1002/2015GL063272.

(2) Kasaba, Y., C. Tao, T. Kimura, M. Fujimoto, and W.M. Morooka (2014), Planetary plasma world: Magnetospheres of giant planets, J. Plasma Fusion Res., 査読有, 90, 12, 769-774.

http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2014_12/jspf2014_12-769.pdf

(3) Sakanoi, T., Y. Kasaba, M. Kagitani, H. Nakagawa, J. Kuhn, S. Okano (2014), Development of infrared Echelle spectrograph and mid-infrared heterodyne spectrometer on a small telescope at Haleakala, Hawaii for planetary observation, Proc. SPIE, 査読有, 9147, Ground-based and Airborne Inst. Astron. V, 91478D, doi:10.1117/12.2055877.

(4) Sato, T.M., H. Sagawa, T. Kouyama, K. Mitsuyama, T. Satoh, S. Ohtsuki, M. Ueno, Y. Kasaba, M. Nakamura, T. Imamura (2014), Cloud top structure of Venus revealed by Subaru/COMICS mid-infrared images, Icarus, 査読有, doi:10.1016/j.icarus.2014.09.004.

(5) Uno, T., Y. Kasaba, C. Tao, T. Sakanoi, M. Kagitani, S. Fujisawa, H. Kita, and S. V. Badman (2014), Vertical emissivity profiles of Jupiter's northern H₃⁺ and H₂ infrared auroras observed by Subaru/IRCS, J. Geophys. Res., 査読有, doi:10.1002/2014JA020454.

(6) Yoneda, M., T. Miyata, C.C.C. Tsang, S. Sako, T. Kamizuka, T. Nakamura, T. Asano, M. Uchiyama, K. Okada, Y. Hayashi, Y. Yoshii, M. Kagitani, T. Sakanoi, Y. Kasaba, S. Okano (2014), Mid-infrared observations of Io's volcanism from the ground in 2011 and 2012, Icarus, 査読有, 236, 153-156. doi:10.1016/j.icarus.2014.01.019

(7) Yoshioka, K., G. Murakami, A. Yamazaki, F. Tsuchiya, T. Kimura, M. Kagitani, T. Sakanoi, K. Uemizu, Y. Kasaba, I. Yoshikawa, M. Fujimoto (2014), Evidence for global electron transportation into the jovian inner magnetosphere, Science, 査読有, 345, 6204, 1581-1584, DOI: 10.1126/science.1256259.

(8) Kodama, K., M. Kagitani, S. Okano, N.M. Schneider (2013), First detection of [OI] 630 nm emission in the Enceladus torus. Geophys. Res. Lett., 査読有, 40, 16, 4177-4181, doi:10.1002/grl.50799.

(9) Sornig, M., G. Sonnabend, D. Stupar, P. Kroetz, H. Nakagawa, and I. Mueller-Wodarg (2013), Venus' upper atmospheric dynamical structure from ground-based observations shortly before

and after Venus' inferior conjunction 2009, Icarus, 査読有, 225, 828-839. Doi: 10.1016/j.icarus.2012.12.005
(10) Nakagawa, H., N. Hoshino, M. Sornig, Y. Kasaba, G. Sonnabend, D. Stupar, S. Aoki, and I. Murata (2013), Comparison of general circulation model atmospheric wave simulations with wind observations of Venusian mesosphere, Icarus, 査読有, 225, 1, 840-849, doi: 10.1016/j.icarus.2013.02.029.
(11) 笠羽康正, 坂野井健 (2013), 2012年5月21日金環日食と6月6日金星日面通過を用いた月・金星ナトリウム大気成分の検出試行, 京都大学大学院理学研究科附属天文台2012年次報告, 査読無, P.9-10. <http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/research/annual/2012/nenji12.pdf>
(12) Uno, T., T. Sakanoi, C. Tao, and Y. Kasaba, The thermosphere of Jupiter investigated by ground-based near infrared observations (2012), Planetary People (Yuu-Sei-Jin), 査読有, 21, 1, 22-28. <https://www.wakusei.jp/book/pp/2012/2012-1/2012-1-022.pdf>

[学会発表](計52件)

(13) Masunaga, K., K. Seki, N. Terada, F. Tsuchiya, T. Kimura, K. Yoshioka, G. Murakami, A. Yamazaki, M. Kagitani, C. Tao, A. Fedorov, Y. Futaana, D. Shiota, I. Yoshikawa, EUV Oxygen Dayglow at Venus Observed by Hisaki, 46th Lunar and Planetary Science Conf., The Woodlands, Texas, USA, March 2015.
(14) Kameda, S., T. Yasuda, and M. Kagitani, Seasonal variability of Mercury's sodium, SPS2015_21, Proc. Sympo. Planet. Sci. 2015, Tohoku Univ., Sendai, March 2015.
(15) Aoki, S., M. Giuranna, G. Sindoni, H. Nakagawa, H. Sagawa, A. Aronica, and Y. Kasaba Seasonal variation of HDO/H₂O ratio in the atmosphere of Mars observed by SUBARU/IRCS and MEX/PFS, European Planetary Science Congress 2014, Portugal, Cascais Centro de Congressos do Estoril, Sep. 2014.
(16) Aoki, S., H. Nakagawa, I. Murata, and Y. Kasaba, Mid-Infrared Laser Heterodyne Instrument (MILaHI): for sensitive search of trace gases on Mars, European Planetary Science Congress 2014, Portugal, Cascais Centro de Congressos do Estoril, Sep. 2014.
(17) Kameda, S., A. Fusegawa, H. Suzuki, M. Kagitani, and S. Sugita, Sodium exosphere on Mercury, Moon and Asteroids, European Planetary Science Congress 2013, London, Sep. 2013.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笠羽 康正 (KASABA, Yasumasa)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 10295529

(2) 研究分担者

坂野井 健 (SAKANOI, Takeshi)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 80271857

村田 功 (MURATA, Isao)
東北大学・大学院環境科学研究科・准教授
研究者番号: 00291245

中川 広務 (NAKAGAWA, Hiromu)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 30463772

鍵谷 将人 (KAGITANI, Masato)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 30436076

(3) 連携研究者

岡野 章一 (OKANO, Shoichi)
東北大学・大学院理学研究科・名誉教授
研究者番号: 10004483

吉川 一朗 (YOSHIKAWA, Ichiro)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号: 10311169

山崎 敦 (YAMAZAKI, Atsushi)
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教
研究者番号: 00374893

亀田 真吾 (KAMEDA, Shingo)
立教大学・理学部・准教授
研究者番号: 30455464

埜 千尋 (TAO, Chihiro)
宇宙物理惑星科学研究所(フランス)・研究員
研究者番号: 80552562

米田 瑞生 (YONEDA, Mizuki)
東北大学・大学院理学研究科・研究支援者
研究者番号: 40626496