

平成 21 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18540427

研究課題名(和文) 若い小惑星族小惑星の自転状態と表面状態の解明

研究課題名(英文) Investigations of physical parameters and surface properties of young asteroid families.

研究代表者

吉田 二美 (YOSHIDA FUMI)

国立天文台・国際連携室・専門研究職員

研究者番号：20399306

研究成果の概要：天体の衝突破壊現象の素過程を現在まで良く保存していると思われる形成年代の新しい3つの小惑星族の小惑星を約50個観測し、自転周期分布、形状分布、自転周期と形状の関係を明らかにした。また、形成年代の新しい小惑星族の小惑星と古い小惑星族の小惑星の表面カラーの比較から、小惑星の表面年齢とカラー変化の関係を確認できた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	510,000	3,810,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：月・衛星・小惑星、自転、宇宙風化

1. 研究開始当初の背景

太陽系形成進化史においては天体衝突が極めて重要な役割を果たしているが、これまで天体衝突現象の素過程についてはほとんどわかっていなかった。というのは、天体衝突を正確に模擬した大規模な衝突実験はそもそも地上では不可能であるし、天然の天体衝突実験の結果そのものである小惑星族は、ずっと古い時代に形成され、長期間にわたる軌道進化・衝突進化の結果、族形成時の衝突イベントの情報にはもはや失われていると言われてきたからである。ところが Nesvornyらが現在の小惑星の軌道を過去にさかのぼる数値積分を行って、2002年に3つの非常に

若い小惑星族(二つの族はSタイプ、一つはCタイプ)を発見して状況は一変した。若い小惑星族は天体衝突イベントの新鮮な情報を現在までとどめている可能性が極めて高いからである。若い小惑星族に属する個々の小惑星をつぶさに観測し、彼らの物理パラメータを得ることは、天体衝突実験結果を解析することに他ならない。

さらに、形成年代の明確な若い小惑星族を観測する利点は宇宙風化のタイムスケールを決定できることにもある。小惑星表面の光学特性は表面が宇宙空間に長期間曝されている間に徐々に変化していくことが知られ

ているが、どのくらいのタイムスケールで変化が進行するのかはまだ明らかになっていない。また、小惑星の分光型によってその変化の様子は異なると言われているが、これもまだはっきりと確認されたわけではない。幸い発見された若い小惑星族にはSタイプとCタイプのものがあり、各タイプの若い小惑星族と古い小惑星族の表面カラーを比較することにより、小惑星表面が時間と共にどのように変化して行くのかを読み取ることができるとは思われる。

2. 研究の目的

3つの非常に若い小惑星族に属する小惑星を測光観測して得られる彼らの物理パラメータから、衝突時に個々の衝突破片に分配された角運動量分布や形状、サイズ分布を求める。これらの情報から族形成時の衝突の規模や衝突破壊以前の母天体の大きさや内部構造を推定する手がかりを得る。

また、小惑星表面の光学特性が時間とともにどのように変化するかという「宇宙風化過程」は小惑星表面カラー（または表面スペクトル）に現れるため、形成年代が理論的に明らかでない若い小惑星族小惑星の表面カラーを調べて、古い小惑星族小惑星の表面カラーと比較することで、「宇宙風化過程」の時間スケールを推定する。

3. 研究の方法

比較的望遠鏡時間を長く占有できるウズベキスタンのMaidanak天文台の60cm望遠鏡を借り上げ、集中的に若い小惑星の多色測光観測を行う。本研究のためにウズベキスタンで望遠鏡オペレーターと観測要員を2人雇用し、若い小惑星族小惑星のための観測を常時継続する。年間数十個の小惑星の光度変化曲線と表面カラーの観測の取得を目指す。

4. 研究成果

(1) 3つの若い小惑星族：Karin族（形成年代：580万年前）、Iannini族（形成年代：500万年前）、Veritas族（形成年代：800万年前）に属する小惑星約50個の測光観測を行い、それらの光度変化曲線を取得した（図1はその一例）。

(2) Karin族については自転周期と形状の相関関係を調べ、図2に示すように、細長い形状の小惑星では自転が遅く、球形に近い小惑星の自転は比較的速い傾向があることを発見した（主な発表論文等〔雑誌論文〕(1)(11)(19)、〔学会発表〕(1)(2)(3)(4)(18)(19)(20)(21)参照）。

この傾向は我々が解析しているすばる望

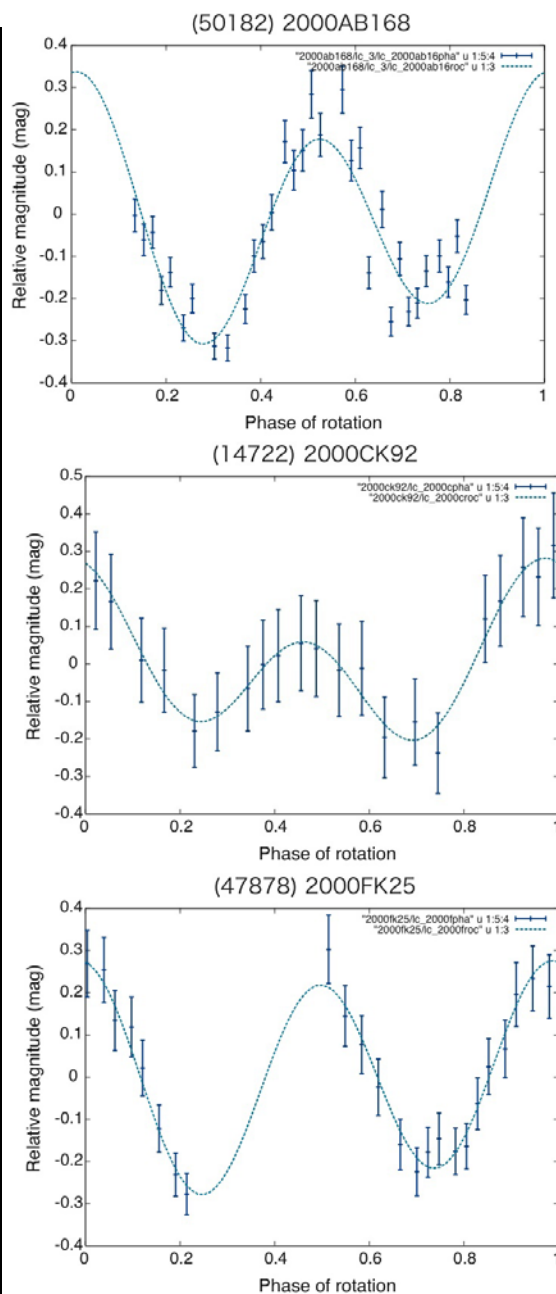


図1 取得した光度変化曲線の一例

遠鏡で取得した微小メインベルト小惑星でも確認されており (B. Dermawan, T. Nakamura, F. Yoshida, Subaru Lightcurve Observations of Sub-km-Sized Main-Belt Asteroids, submitted to AJ 2009, T. Nakamura, B. Dermawan, F. Yoshida, Sphericity Preference in Shapes of Sub-km-sized Fast-rotating Main-belt Asteroids, submitted to AJ 2009, 関連論文等は主な発表論文等〔雑誌論文〕(2)(3)(5)(8)、〔学会発表〕(24)(25)参照)、今後、実験室での衝突破壊実験の結果と共に、天体衝突数値シミュレーションの基本パラメータとして活用が期待される。

Iannini族とVeritas族の小惑星の光度変

化は現在解析中であり、自転周期と形状の測定後、上記のような傾向の有無を確認したい。

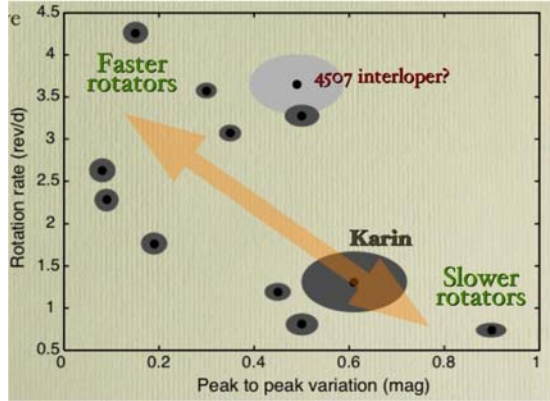


図2 Karin 族小惑星の形状と自転周期の関係

(3) 小惑星の正確な大きさを推定するには絶対等級の推定が不可欠だが、そのためには太陽位相角の異なるいくつかの点からの観測が必要になる。太陽位相角が大きくなると急速に小惑星の光度が下がるため、元々明るい(大きい)小惑星でしかこのような観測はできない。Maidanak 天文台での長期観測中に、いくつかの明るい小惑星を選んで、図2のような位相曲線を求め、いくつかの若い小惑星族小惑星については絶対等級を正確に求めることができた。図3は我々が観測した小惑星の一例である(主な発表論文等〔雑誌論文〕(1)(11)(19)、〔学会発表〕(1)(2)(3)(4)(18)(19)(20)(21)参照)。

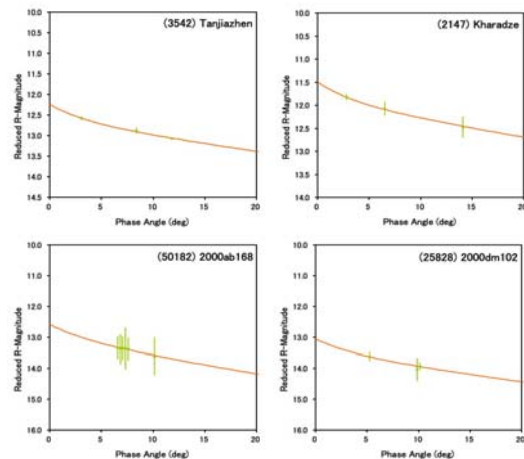


図3 若い小惑星族小惑星の位相曲線の一例

(4) 小惑星表面が宇宙空間に長期間曝されることで光学特性が変化して行くいわゆる「宇宙風化」の過程を調べた。形成年代の新しいSタイプ小惑星族のKarin族とIannini族の小惑星と古いSタイプ小惑星族であるKoronis族の小惑星との表面カラーの比較を行った。また、新しいCタイプ小惑星族のVeritas族の小惑星と古いCタイプ小惑

星族であるThemis族の小惑星との表面カラーの比較を行った。図4は本研究で得た若い小惑星族のカラーと古い小惑星族及び一般の小惑星のカラーの比較である。若い小惑星族では古い小惑星族及び一般の小惑星と比べて、V-I, V-Rともに小さい値を示すことが見て取れ、小惑星の表面年齢とカラーの変化の関係が確認できた。図4に示したのは本研究で行ったカラーの観測の一部である(主な発表論文等〔雑誌論文〕(1)(11)(19)、〔学会発表〕(1)(2)(3)(4)(18)(19)(20)(21)(22)参照)。

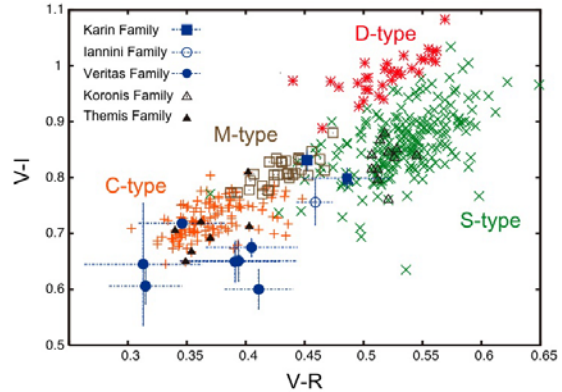


図4 若い小惑星族、古い小惑星族及び一般の小惑星のカラー図

(5) Karin族の最大の小惑星である(832)Karinの表面に宇宙風化起源と思われる表面カラーの変化が存在することを確認した(主な発表論文等〔雑誌論文〕(6)(7)(9)(13)(14)、〔学会発表〕(18)(19)(20)(21)(29)参照)。

若い小惑星族の小惑星に集中して観測し、それらが保持している新鮮な衝突破壊現象の素過程の情報を得、さらに新鮮な小惑星表面から宇宙風化のタイムスケールを見積もるという研究は若い小惑星族が発見されて初めて可能になった研究であり、世界でも継続した観測は我々の研究グループしか行っていない。現在解析中のデータも含めて、若い小惑星族小惑星の物理特性のカタログが完成すれば、この研究分野において非常に大きな財産となる。

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20件)

- ① Fumi Yoshida, et al., Photometric Observations of Young Asteroid Families at Maidanak Observatory, Advances in Geosciences, 2009, 査読有

- (印刷中).
- ② F. Yoshida and T. Nakamura, A comparative study of size distributions for small L4 and L5 Jovian Trojans. *Publ. Astron. Soc. Japan*, 60, 297-301, 2008, 査読有.
 - ③ T. Nakamura and F. Yoshida, A new surface density model of Jovian Trojans around triangular libration points. *Publ. Astron. Soc. Japan*, 60, 293-296, 2008, 査読有.
 - ④ T. Fuse, F. Yoshida, D. Tholen, M. Ishiguro, J. Saito, Searching satellites of asteroid Itokawa by imaging observation with Hayabusa spacecraft. *Earth, Planet, Space*, 60, 33-37, 2008, 査読有.
 - ⑤ F. Yoshida and T. Nakamura, Subaru main belt asteroid survey (SMBAS). *Planet. Space Sci.*, 55, 1113-1125, 2007, 査読有.
 - ⑥ T. Ito and F. Yoshida, Color Variation of a Very Young Asteroid, Karin. *Publ. Astron. Soc. Japan*, 59, 269-275, 2007. 査読有.
 - ⑦ M. Ishiguro, F. Yoshida (10 番目) ら著者全 19 名, Global mapping of the degree of space weathering on asteroid 25143 Itokawa by Hayabusa/AMICA observations. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 42, Issue 10, p. 1791-1800, 2007. 査読有.
 - ⑧ F. Yoshida, M. Yagi, T. Ito, T. Nakamura, B. Dermawan, T. Yanahisawa, H. Kurosaki, A. Nakajima, Lightcurves of sub-km main belt asteroids. Proceedings of the N-body Dynamics Symposium March 7-9, 2007 at Kisarazu National College of Technology Kisarazu, Chiba, Japan, 245, 2007, 査読無.
 - ⑨ T. Ito and F. Yoshida, Surface Color Variation of a New-Born Family Asteroid. Karin. Proceedings of the N-body Dynamics Symposium March 7-9, 2007 at Kisarazu National College of Technology Kisarazu, Chiba, Japan, 232-244, 2007, 査読無.
 - ⑩ 吉田二美, 由小天體的大小分佈 探討 太陽系撞擊史 -38 億年前在月球上鑿孔的天體之真面目. 台北市立天文教育科学館季刊誌「台北星空」, Vol. 35, 7-11, 2007, 査読無.
 - ⑪ T. Ito and F. Yoshida, Lightcurves of the Karin family asteroids, *Advances in Geosciences* (vol. 3 Planetary Science), 317-329, World Scientific, Singapore, 2006, 査読有.
 - ⑫ T. Ito, R. G. Strom, R. Malhotra, F. Yoshida, D. A. Kring, Size distribution of asteroids and old terrestrial craters. *Advances in Geosciences* (vol. 3 Planetary Science), 337-343, World Scientific, Singapore, 2006, 査読有.
 - ⑬ S. Sasaki, T. Sasaki, J. Watanabe, F. Yoshida, H. Kawakita, N. Takato, B. Dermawan, T. Fuse, T. Ito, and T. Sekiguchi, A new-born asteroid 832 Karin with old and new surfaces - SUBARU Spectroscopy, *Adv. Space Res.*, 38, issue 9, 1995-1999, 2006, 査読有.
 - ⑭ T. Sasaki, S. Sasaki, J. Watanabe, T. Sekiguchi, F. Yoshida, T. Ito, H. Kawakita, T. Fuse, N. Takato, and B. Dermawan, Difference in degree of space weathering on newborn asteroid Karin, *Advances in Geosciences*, vol. 3 Planetary Science (Anil Bhardwaj and Wing-Huen Ip, eds.), 331-336, World Scientific, Singapore, 2006, 査読有.
 - ⑮ J. Saito, F. Yoshida (14 番目) ら著者全 34 名, Detailed images of asteroids 25143 Itokawa from Hayabusa, *Science*, 312, 1341-1344, 2006, 査読有.
 - ⑯ W.-H. Ip, F. Yoshida (7 番目) ら著者全 18 名, A mission called SAPPORO, *Advances in Geosciences* (vol. 3 Planetary Science), 241-253, World Scientific Publishing, Singapore, 2006, 査読有.
 - ⑰ 吉田二美, 「隼鷹號」探検船飛降「糸川」小行星, 台北市立天文教育科学館季刊誌「台北星空」, Vol. 34, 6-12, 2006, 査読無.
 - ⑱ 吉田二美, 「木星トロヤ群小惑星のサイズ分布から探る初期太陽系の描像」, *Japan*
-

Spaceguard Association Journal ASTEROID, 15, No. 2, 33-37, 2006 査読無.

- ⑱ 伊藤孝士・吉田二美, 「若い小惑星族の光度曲線」, *Japan Spaceguard Association Journal ASTEROID*, 15, No. 2, 30-32, 2006 査読無.
- ⑳ 吉田二美, 「小天体のサイズ分布から探る太陽系衝突史」, 天文月報, 2006 Vol. 99 No. 6, 298-310 査読無.

[学会発表] (計 28 件)

- ① F. Yoshida, Toward the construction of an Extended Asian network for the Solar system body observation, East-Asian Core Observatory Association EACOA 2009 Meeting, Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics, Taiwan, 16-18 March, 2009.
- ② F. Yoshida, Asteroid observations at the Maidanak observatory, Infrared Working Group Winter Workshop and 30th Meetin, Yongpyong, Korea, 23-24 February, 2009.
- ③ F. Yoshida, Photometric Observations of Young Asteroid Families at Maidanak Observatory, UBAI seminar, Ulugh Beg Astronomical Institute, 19 February, 2009.
- ④ F. Yoshida, An Insight into the Solar System History through the Size Distribution of Jupiter Trojans, NCU seminar, National Central University, Taiwan, 27 May, 2008.
- ⑤ F. Yoshida, Solar system. Japan-Princeton-Taiwan HSC Workshop, NAOJ, Mitaka, Tokyo, 17, 19, and 20, January 2009.
- ⑥ 吉田二美, An Insight into the Solar System History through the Size Distribution of Jupiter's Trojans. 第 41 回天体力学N天体力学研究会, 国立天文台三鷹, 2009年3月13-14日.
- ⑦ 吉田二美, ウズベキスタンのMaidanak天文台での小惑星観測プロジェクト, 第5回始原天体研究会, 国立天文台三鷹, 2009年2月27-28日.
- ⑧ 吉田二美, An Insight into the Solar System History through the Size Distribution of Jupiter's Trojans. 2008年度すばるユーザーズミーティング, 国立天文台三鷹, 2009年1月14-16日.
- ⑨ F. Yoshida, An insight into the solar system history through the size distribution of Jupiter's Trojans, Asteroids, Meteors, and Comets, Baltimore Marriott Waterfront, Baltimore, Maryland, USA, 13-18 July, 2008.
- ⑩ F. Yoshida, Size distributions and total populations of L4 and L5 Jovian trojans, Asia-Oceania Geoscience Society 5th Annual Meeting, Bexico, Busan, Korea, 16-20 June, 2008.
- ⑪ F. Yoshida, An Insight into the Solar System History through the Size Distribution of Jupiter Trojans. NCU seminar, National Central University, Taiwan, May 27, 2008.
- ⑫ F. Yoshida, HSC survey for Small Solar system Bodies. Taiwan-Japan Subaru-HSC Science/Survey Mini Workshop, Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica, Taiwan, December 22, 2008.
- ⑬ 吉田二美, 中村士, 木星トロヤ群小惑星のサイズ分布から探る太陽系史. 日本惑星科学会 2008年秋季講演会, 九州大学箱崎キャンパス, 2008年11月1-3日.
- ⑭ 吉田二美, 中村士, 木星トロヤ群小惑星のサイズ分布から探る太陽系史. 日本天文学会 2008年秋季年会, 岡山理科大学, 2008年9月11-13日.
- ⑮ 吉田二美, 木星トロヤ群の光学観測. 木星圏・トロヤ群探査研究会, 2008年12月8日, 東京工業大学.
- ⑯ F. Yoshida, Survery of celestial objects in Solar System by Suprime-Cam. Subaru Users' Meeting ~ New Strategy of Subaru (II) ~, 29 ~ 31 January 2008, NAOJ.
- ⑰ F. Yoshida, Photometric observations of young asteroid families at Maidanak

- observatory in Uzbekistan, 7th East Asian Meeting on Astronomy – East Asian Network of Astronomy : Research, education and popularization, Fukuoka, Japan, October 8-12, 2007.
- ⑱ F. Yoshida, Observations of Young Asteroid Families at Maidanak Observatory, Asia Oceania Geosciences Society 4th annual meeting, Bangkok, July 30 – August 4, 2007.
- ⑲ 吉田二美, 伊藤孝士, 高橋茂, Ibrahimov, M. A., Marshalkina, A. L., Maidanak天文台における若い小惑星族小惑星の観測. 日本惑星科学会 2007 年秋季講演会, 高知大学朝倉キャンパス, 2007 年 9 月 25-27 日.
- ⑳ 吉田二美, 伊藤孝士, 高橋茂, Ibrahimov, M. A., Marshalkina, A. L., Maidanak天文台における若い小惑星族の多色測光観測. 日本天文学会 2007 年春季年会, 東海大学湘南キャンパス, 2007 年 3 月 28-30 日.
- ㉑ S. Takahashi, F. Yoshida, T. Ito, W. H. Ip, and W. P. Chen, A spectro-photometric study of Karin family asteroids. International Science Symposium on Sample Returns from Solar System Minor Bodies, the 2nd Hayabusa Symposium – In-situ investigation of Itokawa, Sample Analyses Preparation and Spacecraft Operation -, Tokyo, Japan, 2006 July 12-14.
- ㉒ 吉田二美, 木星のトロヤ群小惑星のサイズ分布. 2006, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2006. 5. 14~18, 幕張メッセ.
- ㉓ 吉田二美, 八木雅文、伊藤孝士、中村士、Budi Derwaman、柳沢俊史、黒崎裕久、中島厚, 微小メインベルト小惑星の光度曲線観測. 日本天文学会 2006 年秋季年会, 九州国際大学, 2006 年 9 月 19-21 日.
- ㉔ 吉田二美, 八木雅文、伊藤孝士、中村士、Budi Derwaman、柳沢俊史、黒崎裕久、中島厚, 微小メインベルト小惑星の光度曲線観測. 2006 年日本惑星科学会秋季講演, 兵庫県立美術館, ひょうご国際プラザ, 2006 年 10 月 18-20 日.
- ㉕ 伊藤孝士、吉田二美, 若い小惑星 (832)Karin の近赤外多色測光観測. 200 年日本惑星科学会秋季講演会, 兵庫県立美術館, ひょうご国際プラザ, 2006 年 10 月 18-20 日.
- ㉖ R. Malhotra, R. G. Strom, T. Ito, F. Yoshida, D. A. Kring, Bombardment History of the Inner Solar System. American Astronomical Society, DPS meeting #38, #67.01; Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 38, p. 618, 09/2006
- ㉗ J. Saito, F. Yoshida (27 番目) ら著者全 27 名, Observations of 25143 Itokawa by the Asteroid Multiband Imaging Camera (AMICA) of Hayabusa: Morphology of Brighter and Darker Areas. Sasaki, S.; 37th Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no.1671, 03/2006
- ㉘ Detection of a Large Variation in the Degree of Space Weathering on the Surface of Itokawa by Hayabusa/AMICA Observations. M. Ishiguro, F. Yoshida (6 番目) ら著者全 9 名, 37th Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no.1533, 03/2006

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 二美 (YOSHIDA FUMI)

国立天文台・国際連携室・専門研究職員

研究者番号: 20399306

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし