

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2011

課題番号：20244015

研究課題名（和文） 全天X線監視装置MAXIによる巨大ブラックホールのX線変動質量推定法の検証と応用

研究課題名（英文） Mass estimation of massive black holes by X-ray variability with Monitor of All-sky X-ray Image, MAXI

## 研究代表者

三原 建弘 (MIHARA TATEHIRO)

独立行政法人理化学研究所・MAXI チーム・前任研究員

研究者番号：20260200

## 研究成果の概要（和文）：

全天X線監視装置MAXIは2009年8月15日から観測を開始した。本科研費により地上解析計算機と地上ソフトウェアの整備を行い、2009年12月から観測データの自動世界公開を行っている。MAXIは3年9か月を経た現在でも順調に観測を続けている。3年間の観測で $|b| > 10^\circ$ の高銀緯領域において0.6mCrab以上の502個のX線源を検出した。14個のセイファート銀河からも有意なパワースペクトルを得たが、検出器数が予定より半減、観測時間が半減したため統計負けし、精度の良いブラックホールの質量推定には至っていない。

## 研究成果の概要（英文）：

Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) started the observation on 2009 August 15. This fund enabled us to prepare ground computers and their analysis software. MAXI data are open to world-wide through the internet since 2009 December. MAXI is being operated properly now for 3 years and 9 months after the launch. MAXI has detected 502 X-ray sources with flux  $> 0.6$  mCrab in the high galactic region. MAXI also detected significant power spectra from 14 Seyfert galaxies. However, because the number of detectors is a half of the planned and the observation time is a half, the data are poor in statistics, which prevents us to obtain precise black hole masses of AGNs.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2009年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2010年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2011年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
総計	32,700,000	9,810,000	42,510,000

研究分野：数物系化学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：宇宙科学、宇宙物理、X線天文学、人工衛星

国際宇宙ステーション、全天監視、活動銀河核、フーリエスペクトル

## 1. 研究開始当初の背景

活動銀河核(AGN)は、その光度から推定して  $10^5 \sim 10^9$  倍の太陽質量( $M_{\odot}$ )を持つ巨大ブラックホール(BH)に質量降着が起こり、高効率( $\epsilon \sim 0.1$ )で電波・可視光からX線までの広帯域で輝いている。変動が大きいブレーザーを除くAGNは、降着円盤から放射していると考えられる(これを以下では単にAGNと表記する)。それには低光度のセイファート(Sy)銀河、高光度の電波銀河やクエーサー(QSO)などがある(現代の天文学8巻)。しかしそのBHの質量( $M_{BH}$ )は可視光で数十個で求められているだけで多くは推定の域を出ない。可視光ではreverberation mapping法という先行研究があり35個のSy銀河とPG QSOにおいて  $10^6 \sim 10^9 M_{\odot}$  の測定がある(Peterson et al. 2004, Kaspi et al. 2000)。X線では鉄ラインのエネルギー変化(Iwasawa et al. 2004)でNGC3516のみで  $M_{BH}$  が求められている。

実はもう1方法、国内で初実用され国外でも使用されている、X線の変動を用いてBHの質量を推定する「X線変動質量推定法」という方法がある。それは、X線データのフーリエスペクトル(Power Spectrum Density: PSD)における折れ曲がり周波数を、質量が既知である白鳥座 X-1 ( $\sim 10 M_{\odot}$ , 10Hz)と比較し、BHのスケーリング則( $t \propto M_{BH}$ )を仮定して、 $M_{BH}$  を推定する方法である。アイデアはEXOSAT衛星の時代からあったが(McHardy 1988)、本研究グループの林田は先駆的に「ぎんが」衛星の観測に応用し、6個のSy銀河の  $M_{BH}$  を  $10^5 \sim 10^7 M_{\odot}$  と求めている(Hayashida et al. 1998)。その後Markowitz et al. 2003ではRXTE/PCAを用いて、折れ曲がり周波数の方法により7個(うち3個は林田と同じ天体)の  $M_{BH}$  を測定した。これは望遠鏡衛星を3年以上動員した大観測であった。これ以上、観測を進めるには、多天体での感度の良い長期間連続観測が必要であり、そのために全天X線監視装置MAXI(マキシ Monitor of All-sky X-ray Image)が開発されている。

MAXIはISSのJEM曝露部に搭載される第1期の科学ミッション3つのうちの1つで、理研から松岡、三原らが提案したものである。打ち上げは2009年3月にスペースシャトルで行われる予定である。X線天文学ではAll-sky monitor (ASM)により全天の明るくなっているX線天体を検出し、狭視野の望遠鏡衛星で1天体ずつ観測する研究方式を取っている。MAXIは過去のASMを20倍上

回る感度を持ち、観測対象は我々の銀河系を越えて、全天の複数の明るい( $1mCrab$  以上の)AGNが初めて観測対象となる(Mihara et al. 2001)。日本の望遠鏡衛星としては「すざく」が活躍中で、MAXIは相補的役割でもって「すざく」など世界の望遠鏡衛星と連携する。またMAXIは40個程度のAGNについて光度曲線を精度良く観測でき、rev.法とほぼ同数のAGNの  $M_{BH}$  をX線で測定できる見込みである。MAXIは、本研究課題を遂行する上で理想的な装置である。MAXIの製作・打上費用はJAXAで支払われ、理研はその「高度化(性能向上、データ処理ソフトなど)」を担当したが、打ち上げが当初より5年も延期されたため科学解析の費用までは確保できていない。そこで本科研費を用いてMAXIの科学的成果の創出を行う。

## 2. 研究の目的

本研究は、国際宇宙ステーションに搭載された全天X線監視装置MAXIを用いて、全天の活動銀河核(AGN)の無バイアス連続観測を行い、そのデータにX線変動質量推定法を適用することで、明るい約40個のAGNの中心巨大ブラックホールの質量を推定するものである。まずMAXI装置を適切な状態で運用し、それからMAXIの観測データを整約して、X線変動質量推定法と、他の質量推定方法(Magorrian関係など)との推定ブラックホール質量の比較を行う。求められたブラックホール質量のQSOなどの天体種類別の分布、X線のHigh/Lowスペクトル状態と光度の関係などについて議論を行う。

## 3. 研究の方法

本研究においては、まず第一にMAXIを無事に軌道上に打ち上げ、正常動作させる。初年度(H20)はそのためにMAXIの環境試験、解析ソフトウェア整備、RXTEのデータを使つての模擬解析を行う。2年目(H21)の前半年にMAXIが打ち上げられ、MAXIを立ち上げる。2年目の後半と3年目(H22)は観測を行うと同時にデータ解析も行う。MAXIでは1週間で  $1mCrab$ 、36個程度のAGNが検出される。これはHEAO-I A2のPiccinottiサンプルと同数である。1週間ごとにHEAO1レベルのマップが生成できるようになれば、MAXIの活躍の足場が整う。それを目指して開発研究を行う。1週間で検出できるAGN約36個(うちII型は2個程度)についてPSDを書いてBH質量を求め、目的に述べた解

析・議論を行う。絶えず観測や解析ソフトにフィードバックをかけ MAXI の効率良い運用を行い、ソフトウェアの完成度を高める。4 年目(H23)には最終解析で最終値を出し、本研究のまとめを行う。

#### 4. 研究成果

第1年度(H20)は、「MAXIを無事に軌道上に打ち上げ、正常動作させること」と、打ち上げ後すぐにデータ解析が行えるように「解析ソフトウェアの整備」を行った。

MAXIの環境試験では、H20年4月のEMC(電磁干渉)試験、7月の最終電気試験、9月の輸送前試験、そして11月のアメリカKennedy宇宙センターにおける搭載前試験など、一連のMAXIフライトモデルの試験を行った。これらの試験によりMAXIのX線検出器が正しく動作することが確認され、MAXIの打ち上げ(2009年3月予定)に向けての準備が整った。

解析ソフトウェアの整備では、検索の速い「光子データベース」を利用したデータ蓄積システムを構築し、理研に計算機クラスタを構築してソフトウェアを実装した。X線検出器の応答は、X線のエネルギーや入射位置により微妙に異なる。次に MAXI の検出器の応答関数を、理研での較正実験やKEKでのKエスケープ率測定の数値に基づいて作成した。

第2年度(H21)の7月に MAXI は予定より4ヶ月遅れで打上げられ8月15日から観測を開始した。その後8-9月においては最適な観測条件の決定を行った。RBM (Radiation Belt Monitor)による上空バックグラウンドの把握、アンチコインシデンスのレベルと太陽回避角などの最適化を行った。太陽回避角は当初30度であったが4度にまでせばめ、著しく観測領域を広げることができた。観測開始1ヶ月後にカメラ2台の芯線が破断するという不測の事故が起こり、観測機器数が減った。原因は高緯度での高バックグラウンドによって誘起された放電であると判明し、2009年9月23日以降は低緯度のみで運用している。さらに2010年4月以降は放電のおそれのあるカメラでは高圧を1650Vから1550Vに下げることによって「放電無し」運用を行うことにした。これらにより MAXI は安定して観測ができるようになった。しかし MAXI の観測効率は当初見込みの約1/4になった。

次に実際の天体のデータを元にカウンタの応答関数の構築を行った。1650Vカメラにおいては応答関数が完成し論文にまとめた。データ転送と解析ソフトウェアの開発

では信頼性を高めたソフトを開発した。JAXAからのデータ転送は自動運転され、日々の運用に供されている。解析ソフトでは、X線天体ごとのライトカーブ・イメージ・スペクトルを毎日、自動生成し、2009年12月からMAXIホームページで公開することに成功した。

第3年度(H22)はデータ解析方法の確立とAGN光度曲線の取得を行った。MAXIのある1天体のデータは、2009年の観測開始から今日までのすべての日のデータに含まれているので、抽出するには全データにアクセスしなければならない。それには約30時間かかる。それを迅速に行う方法として、データベース技術を用いたデータストレージ方法と、あらかじめ天空を約3度四方の領域に分けてデータソートしておく方法の2つを試した。どちらも3時間程度に高速化できた。しかし各形式に整形する時間が前者では数か月、後者では1週間と大差があり、後者の方が実用的であることが分かった。

X線変動質量推定法では、まず、信頼できる連続的な光度曲線を作成することが必要となる。MAXIでは、特定の天体を観測するカメラの数や、視野内での天体位置は毎スキャンごとに変化していく。それを適切に補正し数年にわたり均質な光度曲線を得る。本研究では、3種類のデータセレクション方法と3種類のバックグラウンド除去方法を実際のデータに適用し、最善なものを決定した。そうして、最善なAGNの光度曲線を得た。

第4年度(H23)は全天の活動銀河核(AGN)の無バイアス連続観測の中から、明るいセイファート銀河14天体について時間変動のフーリエスペクトル(Power Spectrum Density: PSD)を得ることができ、うち3天体についてはX線変動質量推定法を適用した結果、先行研究と矛盾のない結果を得た。しかし統計が悪く、精度の良い値を得るには至っていない。同時に変動の周期探索も行ったが、連星巨大BHの証拠となる1ヶ月から1年程度の周期性は発見されなかった。

3年間のデータを用いてMAXIカタログを作成したところ、 $7\sigma$ 検出感度で0.6mCrabを達成したことが確認できた。そこでは $|b| > 10$ 度の高銀緯帯で502個の天体が検出されている。そのうちセイファート銀河は125個であった。

#### 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)

- ①Asai, K., Matsuoka, M., Mihara, T.他 6 名  
Slow and Fast Transitions in the Rising  
Phase of Outbursts from NS-LMXB  
Transients, Aquila X-1 and 4U 1608-52  
PASJ (2012) 64 128-1 - 128-14 査読有
- ②Serino, M., Mihara, T. 他 6 名  
Superburst with Outburst from EXO  
1745-248 in Terzan 5 with MAXI  
PASJ (2012) 64 91-1 - 91-7 査読有
- ③Usui, R., ..., Mihara, T. 他 29 名 5 番目  
Outburst of LS V +44 17 Observed by  
MAXI and RXTE, and Discovery of a Dip  
Structure in the Pulse Profile  
PASJ (2012) 64 79-1 - 79-7 査読有
- ④Nakahira, S.,...,Mihara, T.他 35 名 6 番目  
A Spectral Study of the Black Hole  
Candidate XTE J1752-223 in the High/Soft  
State with MAXI, Suzaku and Swift  
PASJ (2012) 64 13-1 - 13-12 査読有
- ⑤Mihara, T. 他 18 名  
Gas Slit Camera onboard MAXI on ISS  
PASJ (2011) 63 S623 - S634 査読有
- ⑥Sugizaki, M. 他 19 名  
In-Orbit Performance of MAXI Gas Slit  
Camera (GSC) on ISS  
PASJ (2011) 63 S635 - S644 査読有
- ⑦ Yamamoto, T., Sugizaki, M., Mihara, T.,  
Matsuoka, M., Makishima, K. 他 3 名  
Discovery of Cyclotron Resonance Feature  
in the X-ray Spectrum of GX 304-1 with  
RXTE and Suzaku during Outbursts  
Detected by MAXI  
PASJ (2011) 63 S751 - S757 査読有
- ⑧Ueda, T., ..., Mihara, T. 他 32 名 9 番目  
Revisit of the Local X-ray Luminosity  
Function of Active Galactic Nuclei with the  
MAXI Extragalactic Survey  
PASJ (2011) 63 S937 - S945 査読有
- ⑨Morii, M., ..., Mihara, T. 他 35 名 9 番目  
MAXI GSC Monitoring of the Crab Nebula  
and Pulsar during the GeV Gamma-ray  
Flare in 2010 September  
PASJ (2011) 63 S821 - S825 査読有
- ⑩Shidatsu, M.,...,Mihara, T.他 30 名 9 番目  
Long-term Monitoring of the Black Hole  
Binary GX 339-4 in the High/Soft State  
During the 2010 Outburst with MAXI/GSC  
PASJ (2011) 63 S803 - S811 査読有
- ⑪Uzawa, A., ..., Mihara, T. 他 36 名 10 番目  
A Large X-ray Flare from a Single Weak-  
lines T aturi Star TWA-7 Detected with

MAXI GSC

- PASJ (2011) 63 S713 - S716 査読有
- ⑫Hiroi, K., ..., Mihara, T. 他 32 名 10 番目  
The First MAXI/GSC Catalog in the High  
Galactic Latitude Sky  
PASJ (2011) 63 S677 - S689 査読有
- ⑬Mueller, D., , Mihara, T., 他 3 名 4 番目  
No apparent accretion mode changes  
detected in Cen X-3  
A & A (2011) 535 102-1 - 102-4 査読有
- ⑭Isobe, N.,...,Sugizaki, M. 他 30 名 6 番目  
Bright X-ray flares from the BL Lac object  
Mrk 421, detected with MAXI in 2010  
January and February  
PASJ (2010) 62 L55 - L60 査読有
- ⑮Nakahira, S., Sugizaki, M.,他 30 名 3 番目  
MAXI GSC observations of a spectral state  
transition in the black hole candidate XTE  
J1752-223  
PASJ (2010) 62 L27 - L32 査読有
- ⑯Nakajima, M., Mihara, T., Makishima, K.  
Energy-dependent Harmonic ratios of the  
cyclotron features of X0331+53 in the  
2004-2005 outburst  
Astrophys. J. (2010) 710 1755-1768 査読有
- ⑰Matsuoka, M., Kawasaki, K., Ueno, S.,  
Mihara, T., Sugizaki, M.他 28 名 3,9,10 番目  
The MAXI mission on the ISS: Sciences  
and Instruments for Monitoring All Sky  
X-ray Images  
PASJ (2009) 61 999 - 1010 査読有

[学会発表] (計 39 件)

国外学会

- ①Mihara Tatehiro  
New MAXI results  
Astr. with AGILE: Five Years of Surprises  
2012.4.16. ESA, Frascati, Italy
- ②Sugizaki Mutsumi  
MAXI Calibration Status  
IACHEC 2012  
2012.3.26. Napa, California, USA
- ③Mihara T.  
Binary pulsars observed with MAXI  
The First Year of MAXI  
2010.12.1. Aoyama, Tokyo
- ④Sugizaki M.  
Status of Calibration and Data Analysis of  
MAXI GSC  
The First Year of MAXI  
2010.11.30. Aoyama, Tokyo
- ⑤Sugizaki M.  
MAXI X-ray transients in the first year  
COSPAR 2010

2010.7.24. Bremen, Germany

⑥ Sugizaki M.

Status of MAXI instrument calibration  
IACHEC 2010

2010.4.13. Massachusetts, U.S.A.

⑦ Mihara T.

MAXI/GSC Instrument and Early results  
HEAD 2010, 2010.3.2. Hawaii, USA

⑧ Sugizaki M.

Monitor of X-ray transients with MAXI  
GSC onboard ISS

HEAD 2010, 2010.3.2. Hawaii, USA

⑨ Sugizaki M.

First results of monitoring X-ray  
transients with MAXI GSC onboard ISS  
First Year of Fermi

2009.11.3. Washinton USA

⑩ Mihara T.

Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI)  
JISCRISS 2009, 2009.9.18. Tokyo

⑪ Mihara T.

MAXI on the International Space Station  
IACHEC 2009

2009.4.27. Shonan-int'l vil. Kanagawa

⑫ Sugizaki Mutsumi

Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI)  
Mission on International Space Station  
IEEE 2008 Nuclear Science sympo.,  
2008.10.21. Dresden, Germany

⑬ Mihara Tatehiro

Cyclotron line studies of the X-ray  
binary pulsars

COSPAR 2008,

2008.7.20. Montreal, Canada

国内学会

① 三原 建弘

LMXB の回帰活動時の降着円盤の状態

日本物理学会 2013 春季年会

2013 年 3 月 28 日 広島大学 (東広島市)

② 杉崎 睦

ISS 搭載全天 X 線監視装置 MAXI の運用 3 年間  
の観測環境と応答関数の校正

日本天文学会 2013 春季年会

2013 年 3 月 21 日 埼玉大学 (さいたま市)

③ 浅井 和美、三原 建弘

低質量 X 線連星 4U1608-52 と Aql X-1 の光度  
曲線の特徴と降着円盤の状態

日本天文学会 2013 春季年会

2013 年 3 月 21 日 埼玉大学 (さいたま市)

④ 杉本 樹梨、三原 建弘

MAXI による AGN・縮退星のパワースペクトル  
日本天文学会 2013 春季年会

2013 年 3 月 21 日 埼玉大学 (さいたま市)

⑤ 森鼻 久美子、三原 建弘

X 線新星 MAXI J1305-704 の発見

日本天文学会 2013 春季年会

2013 年 3 月 21 日 埼玉大学 (さいたま市)

⑥ 杉崎 睦

ISS 搭載全天 X 線監視装置 MAXI の運用 3 年間  
の観測環境と応答関数の校正

日本物理学会 2012 秋季年会

2012 年 9 月 14 日 京都産業大学 (京都市)

⑦ 三原 建弘

MAXI による変動 X 線天体の観測

日本天文学会 2012 秋季年会

2012 年 9 月 20 日 大分大学 (大分市)

⑧ 浅井 和美、三原 建弘

MAXI で観た中性子星低質量 X 線連星のもう一  
つの状態遷移について

日本天文学会 2012 秋季年会

2012 年 9 月 20 日 大分大学 (大分市)

⑨ 杉本 樹梨、三原 建弘

MAXI による AGN の長期変動の観測

日本天文学会 2012 秋季年会

2012 年 9 月 19 日 大分大学 (大分市)

⑩ 三原 建弘

炭素燃焼スーパーバーストとそれに誘起さ  
れた降着アウトバースト -Terzan 5 の観測-

日本物理学会 2012 春季年会

2012 年 3 月 25 日 関西学院大学 (西宮市)

⑪ 杉崎 睦

超軟 X 線トランジェント MAXI J0158-744

日本物理学会 2012 春季年会

2012 年 3 月 25 日 関西学院大学 (西宮市)

⑫ 杉崎 睦

MAXI, Swift, RXTE で観測された中性子星連星  
MAXI J0556-322 の 1 年間のスペクトル変化

日本天文学会 2012 春季年会

2012 年 3 月 20 日 龍谷大学 (京都市)

⑬ 浅井 和美、三原 建弘

MAXI/GSC と Swift/BAT による LMXB 4U 1608

-52 と Aql X-1 のアウトバーストの観測

日本物理学会 2012 春季年会

2012 年 3 月 20 日 龍谷大学 (京都市)

⑭ 杉崎 睦

全天 X 線監視装置 MAXI 発見、X 線トランジェ  
ント MAXI J0556-322 の初期変動

日本天文学会 2011 秋季年会

2011 年 9 月 21 日 鹿児島大学 (鹿児島市)

⑮ 三原 建弘

全天 X 線監視装置 MAXI の新発見天体

日本物理学会 2011 秋季年会

2011 年 9 月 18 日 弘前大学 (弘前市)

⑯ 三原 建弘

MAXI : 運用開始 1 年 7 ヶ月の現状

日本物理学会 2011 春季年会  
2011 年 3 月 25 日 新潟大学 (新潟市)

⑰ 杉崎 睦

MAXI/GSC 1.5 年の観測成果とデータ解析  
日本天文学会 2011 春季年会  
2011 年 3 月 18 日 筑波大学 (つくば市)

⑱ 三原 建弘

全天 X 線監視装置 MAXI/GSC の 1 年間の観測  
日本天文学会 2010 秋季年会  
2010 年 9 月 23 日 金沢大学 (金沢市)

⑲ 杉崎 睦

ISS 搭載 MAXI/GSC の軌道上バックグラウンド  
日本物理学会 2010 秋季年会  
2010 年 9 月 11 日 九州工業大学 (北九州市)

⑳ 三原 建弘

全天 X 線監視装置 MAXI の GSC の観測状況  
日本天文学会 2010 春季年会  
2010 年 3 月 27 日 広島大学 (東広島市)

21. 三原 建弘

全天 X 線監視装置 MAXI の GSC の観測状況  
日本物理学会 2010 春季年会  
2010 年 3 月 21 日 岡山大学 (岡山市)

22. 三原 建弘

全天 X 線監視装置 MAXI/GSC の初期観測結果  
日本天文学会 2009 秋季年会  
2009 年 9 月 15 日 山口大学 (山口市)

23. 三原 建弘

全天 X 線監視装置 MAXI/GSC の初期観測結果  
日本物理学会 2009 秋季年会  
2009 年 9 月 12 日 甲南大学 (西宮市)

24. 杉崎 睦

全天 X 線監視装置 (MAXI) の解析ソフト  
ウェアとデータ処理システム  
日本物理学会 2009 春季年会  
2009 年 3 月 28 日 立教大学 (東京都)

25. 三原 建弘

全天 X 線監視装置 MAXI 搭載 GSC 比例計  
数管の K エスケープの位置依存性  
日本天文学会 2009 春季年会  
2009 年 3 月 26 日 大阪府立大学 (堺市)

[図書] (計 2 件)

① The First Year of MAXI  
-Monitoring variable X-ray sources-  
Mihara, Serino (2012) 389 ページ

② Astrophysics with All-sky X-ray  
Observations

Kawai, Mihara, Kohama, Suzuki  
(2009) 404 ページ

[その他]

ホームページ等

<http://maxi.riken.jp/>

MAXI 国際会議「First Year of MAXI」  
開催 (2010.11.30-12.2)

MAXI 国際会議「Astrophysics with  
All-sky X-ray Observations」開催  
(2008.6.10-12)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三原 建弘 (MIHARA TATEHIRO)  
独立行政法人理化学研究所・MAXI チーム・先  
任研究員  
研究者番号: 20260200

(2) 研究分担者

杉崎 睦 (SUGIZAKI MUTSUMI)  
独立行政法人理化学研究所・MAXI チーム・基  
幹研究所研究員  
研究者番号: 00469933

磯部 直樹 (ISOBE NAOKI)

京都大学・理学系研究科・COE 研究員

研究者番号: 80360725

(H21→H23: 連携研究者)

(3) 連携研究者

牧島 一夫 (MAKISHIMA KAZUO)

東京大学・理学部・教授

研究者番号: 20126163

根来 均 (NEGORO HITOSHI)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号: 30300891

林田 清 (HAYASHIDA KIYOSHI)

大阪大学・理学部・准教授

研究者番号: 30222227

宮田 恵美 (MIYATA EMI)

大阪大学・理学部・准教授

研究者番号: 30399547

上野 史郎 (UENO SHIRO)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科  
学研究本部・研究員

研究者番号: 60415916

松岡 勝 (MATSUOKA MASARU)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科  
学研究本部・研究員

研究者番号: 30013668

吉田 篤正 (YOSHIDA ATSUMASA)

青山学院大学・理工学部・教授

研究者番号: 80240274