

令和元年6月19日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03965

研究課題名(和文) MAXI即時連携で解明するMAXI未同定短時間トランジェント

研究課題名(英文) Revealing MAXI unidentified short transient by prompt followup

研究代表者

三原 建弘 (MIHARA, TATEHIRO)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・専任研究員

研究者番号：20260200

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)：全天X線監視装置MAXIの運用を続け、MAXIによる天体増光現象の監視と、トランジェント天体の発見・速報を行った。2017(H29)年6月にISSにNICER装置が取り付けられた。これによるMAXI新星などの追跡観測をまず地上経由で始め、2019年3月現在で21天体の観測に成功した。軌道上連携のOHMANは日本側の整備を終了した。なお2016年4月には日本天文学会欧文報告誌(PASJ)にてSuzaku-MAXI特集号(No.68 sp1号)を刊行した。2016年12月には国際シンポジウム「MAXIの7年間の観測」を理化学研究所で開催した。集録は2017年4月に発行した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界で唯一のX線全天モニタであるMAXIが観測を続けることで、そのX線新星発見などに端を発する時間領域天文学が世界的に盛んになった。世紀の明るいX線新星MAXI J1535-571とMAXI J1820+070の出現では、ブラックホール連星の電波からガンマ線にわたる多波長詳細観測が行われた。また国際宇宙ステーション上のMAXIとNICERの連携観測は、国際宇宙ステーションの国際協力の典型としても注目されている。

研究成果の概要(英文)：We keep operations of MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) onboard ISS. We have found MAXI transients and informed them to the astronomers in the world promptly. NICER instrument was attached on ISS in 2017 June. We performed NICER follow-up observations of MAXI novae etc. through the ground network. We observed 21 objects till 2019 March. The Japanese side of the on-orbit network OHMAN was built. We published Suzaku-MAXI special issue (PASJ No 68 sp 1) on 2016 April. We held a MAXI international conference “7 years of MAXI” in RIKEN in 2016 December. The proceeding was published in 2017 April.

研究分野：X線天文学

キーワード：天文学 X線天文学 宇宙科学 国際宇宙ステーション 国際協力 全天監視

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

全天 X 線監視装置 MAXI は国際宇宙ステーション(ISS)に設置された装置であり、2009 年 8 月から 92 分ごとに全天をスキャン観測している。1 天体のスキャン時間は 60 秒程度である。2015 年 10 月現在、69 個の GRB と 29 個の MAXI 天体を発見している。このうちすべての GRB、8 個の MAXI 天体は、1 スキャンで 0.1 Crab 以上と言う明るい状態で検出されたが、92 分後の次スキャンでは検出限界以下であった。この半数弱に対しては、3~24 時間後に米の Swift 衛星で追観測が行われた。GRB であれば、90%程が X 線残光を持ち、X 線残光が発見され GRB だと確定する(26 個)。

しかし 8 例では Swift で対応天体が無かった。我々は MAXI Unidentified Short Soft Transient (MAXI 未同定短時間軟 X 線トランジェント、MUSST)と名付けた。GRB 衛星で受かっていなくて (X 線は出ていない = Soft) MAXI の次スキャンでも Swift 追観測でも検出されなかった(Short) トランジェント天体という意味である。もちろんこれらの中には、X 線残光を伴わなかった(弱くて X 線残光も暗かった)GRB や、天体位置が Swift XRT 望遠鏡の視野外であった場合もあるだろう。しかし確率的に考えても「未同定」の原因は、その X 線減光が速すぎて追観測で検出できなかったためである。MAXI の位置精度(約 0.3 度)は可視光の追観測には不十分なので「未同定」に終わる。X 線がまだ出ているうちに早く見て、位置を決めることが肝要なのである。

タイミング良く登場するのが NICER (Neutron-star Interior Composition ExploreR) である。これは 2016 年 8 月に ISS に設置予定の NASA のポインティング型の大面積 X 線検出器である。主目的はパルスプロファイル測定から単独パルサーの質量と半径を決めることである。星を追尾する経緯台の上に 56 台の「集光鏡+シリコンドリフト検出器」を載せて 0.2-12keV で大面積(2300cm²)を持つ。副目的に MAXI が発見した天体の追観測も挙げられている。全天をスキャンする MAXI は突発現象を捉える能力は高いが、急速減光天体の連続観測はできず位置精度も粗い。他方 NICER は感度や位置精度が高く追尾観測もできるが、視野が狭く突発天体をとらえられない。両者が連携すれば、単独では不可能な観測が可能になる。

2. 研究の目的

X 線 (10keV 以下)での短時間(1 時間以下)の領域はディスカバリスぺースである。MAXI の未同定 短時間トランジェント天体は半日後の Swift の追観測時にはすでに消えているため未同定なのである。そこで同じく ISS に 2016 年に搭載される NICER (ナイサー)と即時連携し、新星の即時位置決めやスペクトル観測を行う。地上の追観測により、これら未知の天体(宇宙論的に赤方偏移したガンマ線バースト[GRB]、GRB の親なし残光、重力波天体、古いマグネターなど)の正体を解明する。既知の天体(恒星フレア、X 線閃光、軟 X 線新星、静穏時の中性子星連星での X 線バーストなど)に対しては爆発時の詳細観測を行う。MAXI の監視観測を継続し、NICER という新装置を連携させ、時間領域に残されたフロンティアを探る。

3. 研究の方法

本研究では、最終的には ISS 上に新星発見計算機を設置し、短時間トランジェントを MAXI の発見後、数秒で NICER に通知し、約 2 分の駆動後から追観測を行う。最初は、地上経由で通知し 1 時間程度で追観測を行うことを目指す。NICER はイメージ機能は無いが、16 ポインティングにより約 3 分間で感度 1 mCrab で MAXI の誤差領域を覆うことができる。NICER の視野 5 分角の精度で求められた天体の位置は地上に速報され、可視光望遠鏡などの追観測が可能になる。NICER 自身の観測でも MAXI 新星のような 1 Crab 級の明るい X 線源を、XMM-Newton 衛星の 2 倍の有効面積で、CCD 並みのエネルギー分解能で観測することで、爆発時の詳細なスペクトルや時間変動などが得られる。こうして得られた情報から、MUSST 天体の正体が解明されると期待される。

4. 研究成果

(1) MAXI の継続運用を行い、MAXI のデータ公開を続けた。約 400 天体の活動を日々モニタし、MAXI HP から発信した。

(2) MAXI による天体増光現象の監視と、トランジェント天体の発見・速報を継続した。2017 年 9 月 3 日には、新天体 MAXI J1535-571 を発見した。本天体はその後、明るくなり、見かけの明るさが 21 世紀で最大の X 線新星となった。Swift 衛星による追観測により、正体はブラックホール X 線連星だと判明した。その他 MAXI J1621-501 (2017/10/19)、MAXI J1630-276 (2017/11/18)、MAXI J1813-095 (2017/2/20)、MAXI J1820+070 (2017/3/11) の

4つのX線新星を発見した。()内は発見日。追観測の結果、前者2つは中性子星低質量X線連星、後者2つはブラックホールX線連星だと判明した。また、既知天体の近くに出現し大きく増光したSwift J0243.6+6124 (2017/9/30)は、おしくも第一発見は逃したが、追観測の結果、その正体はパルス周期10秒のBe型X線連星パルサーと分かった。

NICERは2017(H29)年6月に打ち上げられた。2018年6月7日にMAXIが発見したMAXI J1727-203では、MAXI-NICER地上連携を用いNICERで追観測を行った。NICERでは手動スキャンではあったが、今後は一連の動作を自動化するという目途がたった。2018年12月1日発見のMAXI J1810-222では、太陽位置近くでも観測できるNu-STAR衛星で追観測し、正確な位置が求められた。この他、MAXI J1724-298 (2018/10/16)、MAXI J1631-479 (2018/12/21)、MAXI J1348-630 (2019/1/26)を発見した。

MAXI-NICER連携の即時観測の地上ルートの実施と高速化を図った。地上ルートでは、2018年8月から半年間、大学院生をNASA/GSFCに派遣し、NICER打ち上げから2019年3月までに食変光星アルゴルのフレアなど22例の観測を行った。

(4)MAXI-NICER連携の機上ルートの準備を、日本側はJAXAと、アメリカ側はNICERチームと相談しながら進めた。OHMAN日本側ソフトウェアは地上試験を進め2019年1月にISSの機上PCで動作させることに成功した。2018年7月のISS R&D会議においてはMAXIとNICERからOHMANについて発表を行いNASAの関係者に広めた。

特記事項として、H28年4月には日本天文学会欧文報告誌(PASJ)にてSuzaku-MAXI特集号(No.68 sp1号)を発行した。H28年8月でMAXIの観測開始7年を迎えたため、国際シンポジウム「MAXIの7年間の観測」を2016年12月5-7日に理化学研究所で開催した。143名(外国人28名を含む)の参加を得た。集録も2017年4月に発行した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計25件)

1. Gotthelf E. V., Halpern J. P., Alford J. A. J., Mihara T., Negoro H., Kawai N., Dai S., et al. 2018 X-Ray and Radio Outburst of Magnetar XTE J1810-197 Ap J 874 2019年 L25(1-7pp) 査読有
2. Nakahira Satoshi, Shidatsu Megumi, Makishima Kazuo, Ueda Yoshihiro, Mihara Tatehiro, et al. Discovery and state transitions of the new Galactic black hole candidate MAXI J1535-571 Publications of the Astronomical Society of Japan 70 2018年 95(1-9pp) 有
3. Yatabe Fumiaki, Makishima Kazuo, Mihara Tatehiro, Nakajima Motoki, Sugizaki Mutsumi, et al. An application of the Ghosh & Lamb model to the accretion-powered X-ray pulsar X Persei Publications of the Astronomical Society of Japan 70 2018年 89(1-11pp) 有
4. Sugita Satoshi, Kawai Nobuyuki, Mihara Tatehiro, Yamaoka Kazutaka, Nakajima Motoki et al. MAXI upper limits of the electromagnetic counterpart of GW170817 PASJ 70 2018年 81(1-10pp)有
5. Kawamuro T., Ueda Y., Shidatsu M., Hori T., Morii M., Nakahira S., Mihara T., et al. The 7-year MAXI/GSC X-Ray Source Catalog in the High Galactic Latitude Sky (3MAXI) The Astrophysical Journal Supplement Series 238 2018年 32(1-15pp) 有
6. Hori T., Shidatsu M., Ueda Y., Kawamuro T., Morii M., Nakahira S., Mihara T., et al. The 7-year MAXI/GSC Source Catalog of the Low-Galactic-latitude Sky (3MAXI) The Astrophysical Journal Supplement Series 235 2018年 7(1-40pp) 有
7. Shidatsu Megumi, Tachibana Yutaro, Yoshii Taketoshi, Negoro Hitoshi, Mihara Tatehiro, et al. Discovery of the New X-Ray Transient MAXI J1807+132 Ap J 850 2017年 155 有
8. Abbott B. P.,, Mihara Tatehiro et al. Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger Ap J 848 2017年 L12 有
9. Sugizaki Mutsumi, Mihara Tatehiro, Nakajima Motoki, Makishima Kazuo Correlation between the luminosity and spin-period changes during outbursts of 12 Be binary pulsars observed by the MAXI/GSC and the Fermi/GBB PASJ 69 2017年 100(1-22pp) 有
10. Serino Motoko, Kawai Nobuyuki, Negoro Hitoshi, Mihara Tatehiro, Nakahira Satoshi et al. X-ray upper limits of GW151226 with MAXI PASJ 69 2017年 85(1-7pp) 有

11. Kawai Nobuyuki, Negoro Hitoshi, Serino M., Mihara T., Tanaka K., Masumitsu T., Nakahira S,
X-ray upper limits of GW150914 with MAXI PASJ 69 2017 年 84(1-7pp) 有
12. Sugimoto Juri, Kitamoto Shunji, Mihara Tatehiro, Matsuoka Masaru
Orbital modulations of X-ray light curves of Cygnus X-1 in its low/hard and high/soft states
Publications of the Astronomical Society of Japan 69 2017 年 52(1-10pp) 有
13. Laplace, Eva; Mihara, Tatehiro; Moritani, Yuki; Nakajima, Motoki; Takagi, Toshihiro; et al.
Possible regular phenomena in EXO 2030+375 A and A 597 2016 年 124(1-9pp) 有
14. Serino, Motoko; Iwakiri, Wataru; Tamagawa, Toru; Sakamoto, Takanori; Mihara, Tatehiro; et al.
MAXI observations of long X-ray bursts PASJ 68 2016 年 95(1-15pp) 有
15. Tsuboi, Yohko; Yamazaki, Kyohei; Sugawara, Yasuharu; Mihara, Tatehiro; et al.
Large X-ray flares on stars detected with MAXI/GSC PASJ 68 2016年 90(1-20pp) 有
16. Kawamuro, Taiki; Ueda, Yoshihiro; Shidatsu, Megumi; Negoro, Hitoshi; Mihara, Tatehiro et al.
Hard X-ray luminosity function of tidal disruption events: First results from the MAXI extragal. survey
Publications of the Astronomical Society of Japan 68 2016 年 58(1-17pp) 有
17. Asai, Kazumi; Mihara, Tatehiro; Matsuoka, Masaru; Sugizaki, Mutsumi
Hard-tail emission in the soft state of LMXB PASJ 68 2016年 50(1-15pp) 有
18. Malacaria, C.; Mihara, T.; Santangelo, A.; Makishima, K.; Matsuoka, M.; Morii, M.; Sugizaki, M.
Probing the stellar wind environment of Vela X-1 with MAXI A and A 588 2016 年 100(1-10pp) 有
19. Tomida, Hiroshi; Uchida, Daiki; Tsunemi, Hiroshi; Imatani, Ritsuko; Kimura, Masashi; et al.
The first MAXI/SSC catalog of X-ray sources in 0.7-7.0 keV PASJ 68 2016 年 S32(1-14pp) 有
20. Imatani, Ritsuko; Tomida, Hiroshi; Nakahira, Satoshi; Kimura, Masashi; Sakamoto, Takanori; et al.
Soft X-ray observation of the prompt emission of GRB 100418A PASJ 68 2016 年 S29(1-7pp) 有
21. Takagi, Toshihiro; Mihara, Tatehiro; Sugizaki, Mutsumi; Makishima, Kazuo; Morii, Mikio
App. of the Ghosh & Lamb relation to the spin-up/down in 4U 1626-67 PASJ 68 2016年 S13(1-14pp)有
22. Morii, Mikio; Yamaoka, Hitoshi; Mihara, Tatehiro; Matsuoka, Masaru; Kawai, Nobuyuki
Search for soft X-ray flashes at the fireball phase of novae PASJ 68 2016年 S11(1-9pp) 有
23. Sugimoto, Juri; Mihara, Tatehiro; Kitamoto, Shunji; Matsuoka, Masaru; Sugizaki, Mutsumi; et al.
MAXI observations of long-term variations of Cygnus X-1 in the low/hard and the high/soft States
Publications of the Astronomical Society of Japan 68 2016 年 S17(1-17pp) 有
24. Sakamoto, Takanori; Oda, Ryoma; Mihara, Tatehiro; Yoshida, Atsumasa; Arimoto, Makoto; et al.
Swift/BAT and MAXI/GSC broadband transient monitor PASJ 68 2016 年 S2(1-11pp) 有
25. Negoro, Hitoshi; Kohama, Mitsuhiro; Serino, Motoko; Mihara, Tatehiro; et al.
The MAXI/GSC Nova-Alert System and results of its first 68 months PASJ 68 2016 年 S1(1-22pp)有

〔学会発表〕(計 42 件)

天文学会 2019 春季大会

1. 佐々木亮、三原建弘 MAXI--NICER 連携 (MANGA) による GT Mus の巨大フレア観測
2. 河合誠之、三原建弘 XTE J1810--197 増光の MAXI の発見と NuSTAR のフォローアップ
3. 浅井和美、三原建弘 中性子星低質量 X 線連星(NS-LMXB) の長期変動について
4. 根来 均、三原建弘 MAXI J1810-222 の発見と MAXI の 2018 年度後半 の突発現象

天文学会 2018 秋季大会

5. 岩切渉、三原建弘 MAXI-NICER 連携(MANGA)による巨大恒星フレアの軟 X 線観測
6. 中島基樹、三原建弘 MAXI, Swift, RXTE による GS 1843-02 の軌道位相 X 線スペクトル
7. 根来 均、三原建弘 MAXI J1727-203 の発見と MAXI 2018 年度前半の突発現象
8. 杉崎睦、三原建弘 重力波に対応した X 線放射の監視観測のための MAXI の運用状況

9. Tatehiro Mihara New eyes on X-ray astrophysical objects 2018 年 11 月 (招待講演) (国際学会)
Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) : results and calibration

10. Tatehiro Mihara The First Annual Area Symposium on GW genesis 2018 年 7 月
The MAXI mission

11. Tatehiro Mihara ISS Research and Development conference 2018 年 7 月 (招待講演) (国際学会)
MAXI - NICER cooperation on ISS

12. Tatehiro Mihara PANDA3 symposium 2018 年 6 月 (招待講演) (国際学会)
MAXI on ISS watching the X-ray sky

13. Tatehiro Mihara HEAD of AAS special meeting 2018 年 3 月 (国際学会)
Recent results of MAXI on ISS

天文学会 2018 春季大会

14. 谷田部史亮, 三原建弘 Ghosh & Lamb 降着トルクモデルの X 線パルサー X Persei への適用

15. 中島基樹, 三原建弘 MAXI, Swift, RXTE 衛星の X Persei の約 7 年の長周期 X 線活動

16. 杉崎睦, 三原建弘 MAXI GSC ガスカウンターの稼働状況と性能変化

物理学会 2018 春季大会

17. 杉崎睦, 三原建弘 Be 星 X 線連星パルサーにおける降着スピナップ機構の系統的検証

天文学会 2017 秋季大会

18. 三原建弘 MAXI-NICER リアルタイム連携計画 OHMAN

19. 根来 均, 三原建弘 MAXI J1807+132 の発見と MAXI/GSC の 2017 年度前半の突発現象

20. Tatehiro Mihara 新学術「重力波対応天体」会議 2017 年 8 月
MAXI overview and highlights

21. Motoki Nakajima, Tatehiro Mihara, Mutsumi Sugizaki Be X-ray Binaries 2017 (国際学会)
Observational Results of X-ray Outbursts from Be/X-ray Binary pulsars

天文学会 2017 春季大会

22. 三原建弘 MAXI 短時間軟 X 線トランジェント MAXI J0758-456 は激変星なのか?

23. 岩切渉, 芹野素子, 三原建弘 MAXI によるへび座 X-1 からのスーパーバーストの検出

24. 中島基樹, 三原建弘 Be/X 線連星のノーマルアウトバーストの定量的評価(2)

25. 根来 均, 三原建弘 MAXI が検出した 2016 年度後半の突発現象と MAXI J0636+146 の発見

物理学会 2016 秋季大会

26. 三原建弘 X 線パルサーの自転周期変化率-光度関係から推定する中性子星の質量と半径

天文学会 2016 秋季大会

27. 中平聡志 MAXI/SSC による銀河中心周辺の拡散 X 線放射の観測 2

28. 須藤雅之, 三原建弘 Swift/XRT による X 線連星 GRS 1739-278 のブラックホール質量推定

29. 高木利紘, 三原建弘 Ghosh & Lamb の式と Be 型 X 線連星パルサー X Per の中性子星の磁場

30. 芹野素子, 三原建弘 MAXI による重力波源からの X 線放射の探索

31. 浅井和美, 三原建弘 MAXI と Swift/BAT による LMXB の Z ソースのコンプトン成分 II

32. 中島基樹, 三原建弘 Be 型 X 線連星パルサー GX304-1 の X 線アウトバーストの観測

33. Eva Laplace, Tatehiro Mihara Possible regular phenomena in EXO 2030+375

34. 杉崎睦, 三原建弘 MAXI/GSC と Fermi/GBM による Be/X 線連星パルサーの連続監視データをを用いた降着トルクによる中性子星スピナップの定量的検証

7 years of MAXI 2016 年 (国際学会) 2016 年 12 月

35. Tatehiro Mihara MAXI 7years highlights

36. Motoki Nakajima, Tatehiro Mihara MAXI observation of outbursts from Be/X-ray binary pulsars

37. Mustumi Sugizaki, Tatehiro Mihara Lx and spin-up relation in X-ray pulsars with MAXI and GBM

38. Juri Sugimoto, Tatehiro Mihara Observation of long-term variability of Cygnus X-1 with MAXI

39. Kazumi Asai, Tatehiro Mihara Spectral states in NS-LMXBs observed with MAXI and Swift/BAT

40. Motoko Serino, Tatehiro Mihara MAXI detections of superbursts

41. 三原建弘 初代星・初代銀河研究会 2016年10月
MAXI未同定短時間軟X線トランジェント(MUSST、マスト天体)

42. Tatehiro Mihara ISS R&D 2016 (国際学会) 2016年7月
Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) : Watching stars in X-Rays from ISS

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

MAXIホームページ <http://maxi.riken.jp/>

MAXI国際会議「MAXIの7年間の観測」
7 years of MAXI : monitoring X-ray transients
<http://maxi.riken.jp/conf/sevenyears/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：芹野 素子

ローマ字氏名：Serino Motoko

研究協力者氏名：杉崎 睦

ローマ字氏名：Sugizaki Mutsumi

研究協力者氏名：根来 均

ローマ字氏名：Negoro Hitoshi

研究協力者氏名：岩切 渉

ローマ字氏名：Iwakiri Wataru

研究協力者氏名：牧島 一夫

ローマ字氏名：Makishima Kazuo

研究協力者氏名：榎戸 輝揚

ローマ字氏名：Enoto Teruaki

研究協力者氏名：森井 幹雄

ローマ字氏名：Morii Mikio

研究協力者氏名：松岡 勝

ローマ字氏名：Matsuoka Masaru

研究協力者氏名：上野 史郎

ローマ字氏名：Ueno Shiro

研究協力者氏名：河合 誠之

ローマ字氏名：Kawai Nobuyuki

研究協力者氏名：米徳 大輔

ローマ字氏名：Yonetoku Daisuke

研究協力者氏名：坪井 陽子

ローマ字氏名：Tsuboi Yoko

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、研究者個人に帰属されます。