

PRESS RELEASE

2022 年 10 月 17 日

理化学研究所

中央大学

日本大学

青山学院大学

宇宙航空研究開発機構

国際宇宙ステーション上での X 線天体の国際連携観測

OHMAN（オーマン）プログラム始動

ー全天 X 線監視装置 MAXI と NICER 望遠鏡の自動連携による

X 線突発天体の即時観測ー

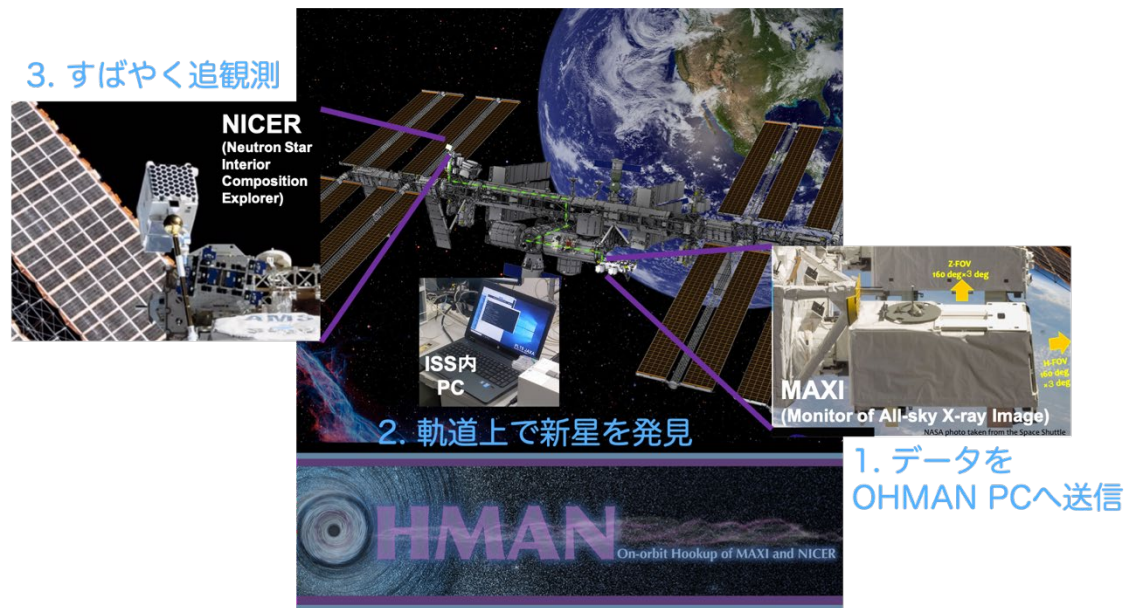
理化学研究所（理研）開拓研究本部玉川高エネルギー宇宙物理研究室の三原建弘専任研究員、中央大学理工学部の岩切渉助教、日本大学理工学部の根来均教授、青山学院大学理工学部の芹野素子助教、宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究所の中平聡志主任研究開発員らの国際共同研究グループ^{*}は、国際宇宙ステーション（ISS）上での X 線突発天体の即時観測計画 OHMAN（On-orbit Hookup of MAXI and NICER、オーマン）を 2022 年 8 月 10 日から開始し、9 月 13 日に連携観測に成功しました。

OHMAN とは、全天広域観測を得意とする全天 X 線監視装置 MAXI（マキシ）^[1] および狭域詳細観測を得意とするアメリカ航空宇宙局（NASA）の NICER（ナイスアー）^[2] という、それぞれ異なる目的で設置された国際宇宙ステーション（ISS）上の観測装置を、リアルタイムに連携させる観測計画です。ISS の利用成果最大化に向けた日米協力枠組み（Japan-U.S. Open Platform Partnership Program: JP-US OP3）のもと、2021 年 4 月の連携に関する合意に基づき準備が進められてきました。

従来、MAXI で観測した X 線突発天体発見の情報はいったん地上にダウンリンクした上で解析され、その後得られた突発現象の情報は電子メール等で他の衛星等に伝えられ、追観測が行われてきました。そのため、X 線突発現象の発見から追観測まで少なくとも 3 時間以上の時間がかかっていました。OHMAN では、MAXI からのデータを ISS 内のコンピュータで処理し、発見された X 線突発現象の情報は地上を経由することなく ISS 上で NICER に伝えられ、自動で追観測を行います。つまり、広域観測での発見と詳細な追観測ができる国際連携天文台が ISS 上に実現したことになります。これにより、発見から追観測までを 10 分以

内に行うことができます。

OHMAN の今後の観測により、過去 MAXI で検出されたのにもかかわらず、追観測で検出されていない正体不明天体 (MUSST 天体^[3]) の正体も解明できると期待されています。



MAXI-NICER 軌道上連携 OHMAN の概念図©NASA/JAXA (NASA/GSFC OHMAN プロポーザルの表紙に加筆)

※国際共同研究グループ

理化学研究所 開拓研究本部 玉川高エネルギー宇宙物理研究室

専任研究員 三原建弘 (ミハラ・タテヒロ)

主任研究員 玉川 徹 (タマガワ・トオル)

中央大学 理工学部 物理学科

助教 岩切 渉 (イワキリ・ワタル)

(理研 開拓研究本部 玉川高エネルギー宇宙物理研究室 客員研究員)

日本大学 理工学部 物理学科

教授 根来 均 (ネゴロ・ヒトシ)

青山学院大学 理工学部 物理科学科

助教 芹野素子 (セリノ・モトコ)

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙科学研究所

主任研究開発員 中平 聡志 (ナカヒラ・サトシ)

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) きぼう利用センター 船外利用推進担当

日本国内の MAXI チーム

理研、JAXA/ISAS、東京工業大学、日本大学、京都大学、青山学院大学、

宮崎大学、中央大学、愛媛大学
航空宇宙局（米国、NASA）
ゴダード宇宙飛行センター（GSFC）
NICER チーム代表 キース・ジェンドロー（Keith Gendreau）
ジョンソン宇宙センター（JSC）ISS チーム

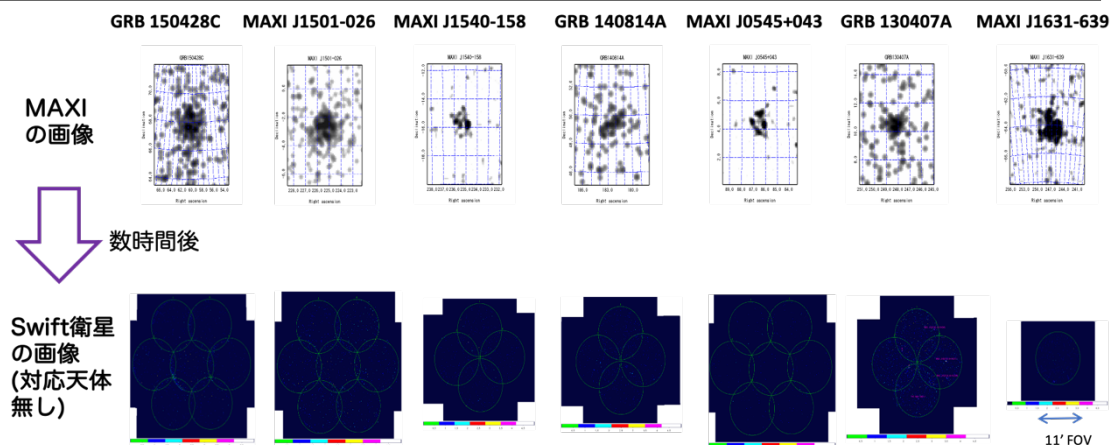
研究支援

本研究は、2017 年度 JAXA/ISAS 小規模プロジェクト「OHMAN-JP（On-orbit Hookup of MAXI and NICER - Japan）」、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業基盤研究（B）「MAXI 即時連携で解明する MAXI 未同定短時間トランジェント（研究代表者：三原建弘）」、同基盤研究（B）「MAXI 発信アラートで展開する短時間 X 線閃光天体研究（研究代表者：三原建弘）」、同新学術領域研究（研究領域提案型）「重力波物理学・天文学：創世記（研究分担者：三原建弘）」、同若手研究（B）「MAXI-NICER 連携で解き明かす X 線スーパーバーストにおける元素合成（研究代表者：岩切渉）」、同基盤研究（C）「重力波源の X 線対応天体の検出と位置決定を目指した MAXI-NICER 連携の構築（研究代表者：芹野素子）」、同新学術領域研究（研究領域提案型）「超小型衛星と MAXI-NICER 連携による定常重力波源の観測網の構築（代表者：岩切渉）」、理研基礎科学特別研究員制度（2016-2017 年度：岩切渉）による支援を受けて行われました。

1. 背景

国際宇宙ステーション上で稼働している全天 X 線監視装置 MAXI は、JAXA と理研が共同開発した「きぼう」船外実験プラットフォームに取り付けられた観測装置です。2009 年 8 月の観測開始以来、連続観測により 34 個の新天体を発見し、そのうち 14 個はブラックホール天体でした。しかし、新天体の中には、正体不明の天体も存在します。特に、MAXI の約 90 分に 1 度のスキャンのタイミングでのみ輝き、数時間後の Swift 衛星 XRT 装置による追観測では既に消滅しているような、急速減光天体という一群の天体があります（図 1）。国際共同研究グループはこれらを MAXI 未同定短時間軟 X 線突発天体（MUSST 天体）と呼んでいます。

近年、MUSST 天体の一つは、ブラックホールもしくは中性子星^[4]が恒星の核に入り込んで超新星爆発^[5]を引き起こす、理論的には予測されていたがこれまでに観測されたことのなかったタイプの超新星爆発であったことが示唆されています。このように、MUSST 天体はいまだかつて人類が見たことのない全く新しい天文現象である可能性を秘めています。しかし、MAXI は視野が広い一方で位置決定精度が粗く、大型の望遠鏡や天文衛星で MUSST 天体の正体に迫るための詳細な観測を行うためには、より精密な位置情報が必要です。そのため、MUSST 天体が消滅する前により早い追観測を行い、天体の位置を絞り込む必要があります。



credit:理化学研究所

図 1 MAXI で確認された MUSST 天体の例

MAXI では上側の図のように非常に強く検出されているが、約半日後の Swift 衛星による追観測では、下側の図のように全く検出されていない。対応天体が分からないため未同定天体となっている。

2. 研究手法と成果

MAXI の観測データはいったん地上に降りてから解析され、突発現象が出現した場合は Swift 衛星等にメール等で情報を送り、追観測の依頼を出します。この一連の流れの中にはどうしても人間の作業が入るため、数時間の遅れが生じ、MUSST 天体の解明には至っていませんでした。そこで国際共同研究グループは、ISS に MAXI と NICER という二つの X 線天文装置が搭載されていることに着目しました。MAXI は広視野モニターで広く浅く X 線突発天体を発見し、NICER は追尾型の X 線望遠鏡で視野が狭く突発現象を発見する能力はありませんが、非常に深い観測ができます。現在この 2 台は地上からの制御で独立に動いていますが、もし、まるで特徴の違うこの 2 台を軌道上でつなぐことができれば、「X 線帯で突発現象を発見し、X 線帯で即座に詳細な追観測をする」という、お互いのデメリットを補完したイノベーティブな国際連携天文台が ISS 上に実現します。日本の MAXI チームとアメリカの NICER チームはその実現のため OHMAN 計画を立ち上げました。

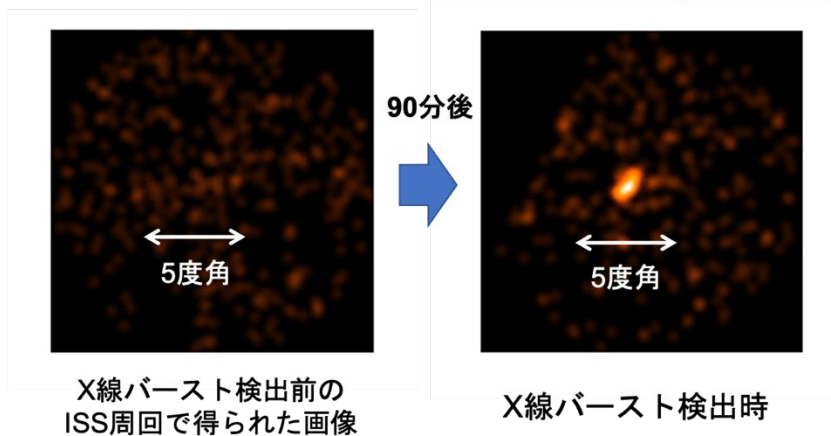
そのためには、MAXI データの新星発見ソフトウェアを ISS 上のコンピュータにインストールし、突発現象の情報を直接 NICER に伝えて自動で観測するようにすることが必要です。そうすれば人の手を一切介さないで、継続時間の短い突発現象を、発生 10 分後から詳細に観測できます（最終目標は 2 分後です）。

2020 年 11 月から NASA ジョンソン宇宙センター（JSC）の ISS チームと宇宙航空研究開発機構（JAXA）の「きぼう」船外利用担当による OHMAN の準備が本格化し、2022 年 5 月 26 日から稼働しました。その後 13 日間の動作検証と 2 カ月半の試験運用を行い、8 月 10 日から本格運用を行っていました。9 月 13 日には、MAXI がペガスス座の M15 球状星団からの X 線バーストを発見し（図 2）、その 5 分 30 秒後から NICER が自動観測を行うことに成功しました（図 3）。

今回は短い X 線バーストで、NICER が追観測を行った時には既に消えていま

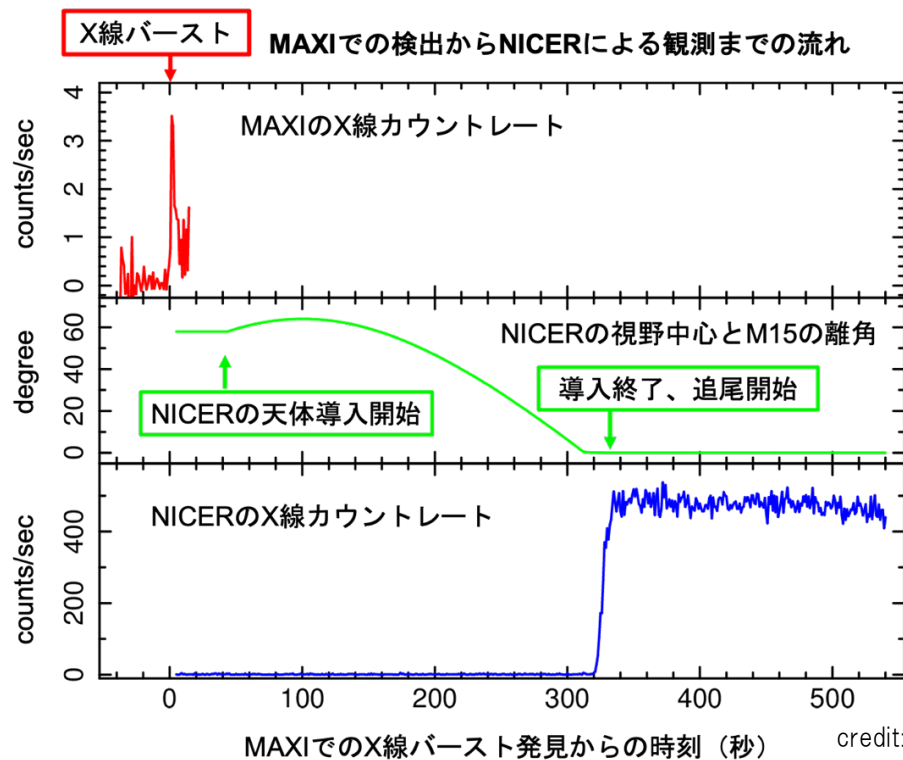
したが、短時間での自動連携観測が実証できたことにより、今後の観測に大きく前進しました。

M15球状星団付近のMAXIによるX線画像(2-10 keV)



credit:理化学研究所

図 2 MAXI による M15 の X 線画像(X 線バースト検出前と検出時)



credit:理化学研究所

図 3 X 線バーストの発見から観測までの流れ

MAXI の X 線強度 (上段)、OHMAN のトリガー時刻(0 秒)からの NICER の動き (中段) を時系列で示したものの。330 秒後に NICER は M15 を視野にとらえたが、すでに X 線バーストは終わっていた (下段)。430 counts/sec は、M15 の通常の X 線強度。これは MAXI では 0.07counts/sec に対応する。

3. 今後の期待

今後、2022 年の春から増えてきた太陽フレアに対するパラメータ調整を行うなど、更に OHMAN 運用の精度を高めます。まだ MUSST 天体は検出されていませんが、MUSST 天体の中には宇宙最初の星である初代星が起こした太古の爆発現象（未発見の初代星ガンマ線バースト）も含まれているかもしれません。また、MUSST 天体の他にも、中性子星表面で発生する暴走的な核融合反応による、X 線バーストの中でも特異な長い継続時間を持つスーパーバーストや、太陽フレアの数千から数億倍の規模の恒星フレアなど、これまで発生初期段階からの詳細な観測が難しかった突発現象の観測も可能になると強く期待できます。

4. 補足説明

[1] 全天 X 線監視装置 MAXI（マキシ）

国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームに取り付けられた日本の観測装置。1998 年に理化学研究所宇宙放射線研究室の松岡勝主任研究員が提案して採択された。現在は玉川高エネルギー宇宙物理研究室を中心として、国内 12 機関から成る MAXI チームのメンバーにより運用・データ解析が続けられている。2009 年 8 月 15 日から全天観測を開始し、観測データは理研のウェブページ（<http://maxi.riken.jp>）で即時公開されている。13 年間で 34 個の X 線新星を発見し、うち 14 個は新発見のブラックホール天体であった。単独衛星/装置によるブラックホール星発見数は、米国の X 線天文衛星（RXTE）の 15 個に次いで歴代第 2 位になった。MAXI は Monitor of All-sky X-ray Image の略。

[2] NICER（ナイサー）

中性子星内部組成探査機のこと。国際宇宙ステーションのトラス部に搭載された NASA のゴダード宇宙飛行センター（GSFC）の X 線望遠鏡である。2017 年 7 月から観測を開始した。運用は Keith Gendreau 氏を筆頭研究者とする NASA/GSFC の NICER チームにより行われている。NICER は Neutron star Interior Composition ExploreR の略。詳細はウィキペディア（<https://ja.wikipedia.org/wiki/NICER>）を参照。

[3] MUSST（マスト）天体

MAXI 未同定短時間軟 X 線突発天体のこと。ガンマ線衛星では検出されておらず、MAXI の 1 スキャンのみで検出された短時間軟 X 線突発天体（検出時の光度曲線の例を図 4 に示す）で、Swift 衛星による追観測が行われたにもかかわらず対応天体が検出されなかったもの。正確な位置が分からなかったため可視光などでの追観測ができず、正体不明天体となっている。MUSST 天体の正体は、X 線フラッシュ（ガンマ線バーストの X 線版）や、近傍の dMe 星からのフレアかもしれない。しかし、重い白色矮星上の急速新星爆発や宇宙最初の星である初代星が起こしたガンマ線バーストのような新しい天体現象の可能性も考えられている。玉石混交の MUSST 天体の中から意中の天体を選び出すには、軟 X 線での即時観測が必要であり、OHMAN による調査が待たれる。MUSST は MAXI unidentified short soft X-ray transient の略。

表 1 MUSST 天体、準 MUSST 天体

credit:理化学研究所

報告天体名	[Crab] ^{注 1)}	発見報告 ^{注 2)}	Swift 追観測
GRB 180829A	0.071	GCN 23186	16h 後
MAXI J0126-745	0.024	ATel 12833	42h
GRB 161123A	0.15	GCN 20203	6h
MAXI J0636+146	0.051	ATel 9707	4h
MAXI J0758-456	0.15	ATel 8983	5h
MAXI J1501-026	0.44	ATel 7954	2h
GRB 150428C	0.16	GCN 17772	5h
MAXI J1540-158	0.1	GCN 17568	50h
MAXI J0511-522	0.014	ATel 7200	12.5h
GRB 140814A	0.23	GCN 16686	6h
MAXI J0545+043	0.2	ATel 6066	26h
GRB 130407A	0.17	GCN 14359	16h
MAXI J1631-639	0.12	ATel 3316	26h

注 1) Crab：カニ星雲の X 線強度を 1 とした X 線強度の単位。クラブと読む。

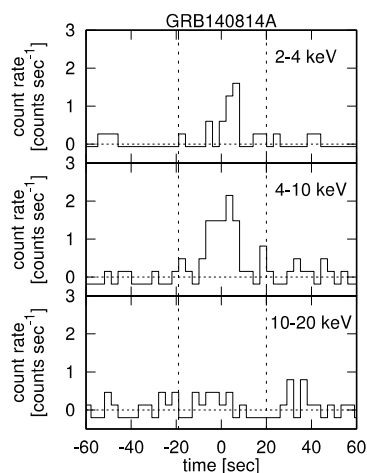
注 2) GCN：Gamma-ray burst coordinated network。ガンマ線バースト速報。

ATel：Astronomical Telegram。国際天文電報。

GCN や ATel の後ろに付いている番号はそれらの号数。

注 3) mCrab：ミリクラブ。1mCrab は 1Crab の 1,000 分の 1。

注 4) CV：Cataclysmic Variable。激変星。実は白色矮星と恒星の近接連星系である。

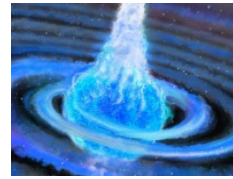


credit:理化学研究所

図 4 MUSST 天体の MAXI スキャン光度曲線

GRB 140814A (*) の MAXI スキャン光度曲線。点線間がスキャン。GRB (Gamma-ray Burst ガンマ線バースト) として報告したが、10-20keV で検出されていない (スペクトルが柔らかい[ソフト]) など、GRB の典型とは性質が異なる。

(*) GRB 140814A はソーン-ジトコフ天体であるという、驚くべき報告がなされた。これは、連星系で先に進化してできたブラックホールなどのコンパクト星が、連星間距離を縮めた結果、伴星に突入し、摩擦により伴星中をスパイラルインして落ちていき、300 年後、ついに中心で伴星の核と合体して、重力崩壊型超新星を起したものである。VLA, Keck による観測論文。Dong+, Science 373, 1125 (2021.9.3.号)



credit:caltech

[4] 中性子星

太陽よりも十分重い星がその寿命を迎えると、超新星爆発を起こす。星の外側部分が吹き飛ぶ一方で、その中心部分は爆縮し、中性子星となる。これは質量が太陽と同程度、半径が 10 km 程の高密度天体で、強い磁場を持っている。自転に伴い、周期的な電磁波のパルス放射が観測される場合、パルサーと呼ばれる。

[5] 超新星爆発

質量の大きい恒星が、星内部での核融合反応の燃料を使い果たし、重力崩壊を起こして潰れると超新星爆発が起きる。超新星は可視光で明るく輝くだけでなく、X 線や電波まで多波長での観測が行われ、超新星 SN1987A では超新星ニュートリノも検出された。超新星爆発の後には、中性子星やブラックホールが残されることがあり、周囲には超新星残骸が形成される。

5. 発表者・機関窓口

<発表者> ※研究内容については発表者にお問い合わせください。

理化学研究所 開拓研究本部 玉川高エネルギー宇宙物理研究室
専任研究員 三原建弘（ミハラ・タテヒロ）

中央大学 理工学部
助教 岩切 渉（イワキリ・ワタル）

日本大学 理工学部
教授 根来 均（ネゴロ・ヒトシ）

青山学院大学 理工学部 物理科学科
助教 芹野素子（セリノ・モトコ）

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
主任研究開発員 中平聡志（ナカヒラ・サトシ）

<機関窓口>

理化学研究所 広報室 報道担当
Tel: 050-3495-0247
Email: ex-press [at] ml.riken.jp

中央大学
Email: kk-grp [at] g.chuo-u.ac.jp



理化学研究所



日本大学
NIHON UNIVERSITY



中央大学
CHUO UNIVERSITY



青山学院大学
AOYAMA GAKUIN UNIVERSITY

お知らせ

日本大学

Tel: 03-3259-0514 Fax: 03-3293-7759

Email: cst.koho [at] nihon-u.ac.jp

青山学院大学

Tel: 03-3409-8159 Fax: 03-3409-3826

取材申込: <https://www.aoyama.ac.jp/companies/interview.html>

宇宙航空研究開発機構 広報部 報道取材対応窓口

Tel. 050-3362-4374

〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台 4-6 御茶ノ水ソラシティ

※上記の[at]は@に置き換えてください。