

令和 元年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02075

研究課題名（和文）大規模サーベイ観測による時間軸天文学のフロンティアの開拓

研究課題名（英文）Exploring the Frontier of Time-Domain Astronomy with Large Survey Observations

研究代表者

田中 雅臣（TANAKA, Masaomi）

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：70586429

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 29,000,000円

研究成果の概要（和文）：すばる望遠鏡の超広視野カメラHyper Suprime-Camを用いて、宇宙における突発天体の探査観測を行った。突発天体を即座に見出すためのシステムを開発し、データ解析を行ったところ、これまで知られていなかった1日以内で変動する短時間突発天体を見出した。それらの天体の性質と理論計算の比較から、宇宙における大質量星のうち1%以上が、超新星爆発の直前に大規模な質量放出をしていることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙において、1日以内で変動する突発現象はこれまでほとんど知られていなかった。本研究は、すばる望遠鏡を用いて高頻度かつ高感度な突発天体サーベイ観測を実施することで、これまで未開拓であった時間領域に、どのような突発天体現象が存在するのかを明らかにした。また、観測データを理論的に解釈することで、古典的な恒星進化の理論からは予想されない振る舞いが見られることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We have performed time-domain transient surveys using a wide-field camera Hyper Suprime-Cam installed to the Subaru Telescope. Using a dedicated real-time transient finding system that we developed, we have discovered transient objects with timescales shorter than 1 day. By comparing the observed properties and results of theoretical calculations, we show that more than 1% of massive stars in the Universe experience intensive mass loss just before the explosion.

研究分野：天文学

キーワード：光赤外線天文学 時間軸天文学 突発天体 超新星爆発

1. 研究開始当初の背景

天文学における宇宙のサーベイ観測は (A) 探査する領域の広さと (B) 到達する深さ (検出限界) で特徴づけられ、より広くより深いサーベイを目指して様々な観測が行われてきた。さらに近年ではこれらに加えて、サーベイ観測を時間的に反復して行うことで、超新星爆発などの突発天体を捉える、時間軸に注目したサーベイも行われている (時間軸天文学)。このような突発天体サーベイでは、(C) 反復する頻度が重要なパラメータとなり、サーベイの戦略は、上記3つのパラメータの設定により決定される。

これまでの突発天体サーベイは Ia 型超新星など約 20 日程度で変動する爆発現象の検出を目指していたため、反復頻度は 1-3 日程度であった。このため、1 日以下のタイムスケールで変動する天体を検出することが出来なかった。すなわち、1 日以下のタイムスケールで変動する突発天体の研究は、時間軸天文学の未開拓領域となっていた。

2. 研究の目的

1 日以下の時間領域には、超新星爆発の瞬間 (ショックブレイクアウト) を始め、様々な天体現象が潜んでいる可能性がある。そこで、本研究は口径 8.2m すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いて突発天体サーベイ観測を行うことで、時間軸天文学のフロンティアを開拓することを目的とした。

3. 研究の方法

HSC は 104 の CCD チップ (約 900 メガピクセル) を有する視野 1.75 平方度の巨大なカメラであり、一回の露出で 2 GB、一日の観測で約 300 GB のデータが得られる。このようなビッグデータを扱う天文学では、望遠鏡、観測装置に並んでデータ解析システムを整備することが重要となる。そこで、本研究ではまず、リアルタイムな突発天体発見を可能にする自動データ処理パイプラインを開発した。このシステムを用いて、すばる望遠鏡 HSC を用いたパイロット観測と戦略的観測のデータを解析し、変動のタイムスケールが短い天体の網羅的な探査を行った。

4. 研究成果

(1) HSC パイロット観測を用いた短時間突発天体の探査

すばる望遠鏡 HSC のパイロット観測のデータを解析し、短時間突発天体の検出を行った。その結果、赤方偏移 $z=0.384-0.821$ の範囲で、急速な増光を示す天体を 5 天体発見した (図 1)。これらの天体の絶対等級は -16 mag から -19 mag 程度で、GALEX 衛星で発見されていた重力崩壊型超新星の爆発直後 (爆発から 2 日以内) と考えられている天体に酷似している。図 2 はこれらの天体のタイムスケールと明るさを他の天体と比較したもので、本研究で発見された天体が 1 日以下の短いタイムスケールを持っていることが分かる。

これら 5 天体の特徴を超新星爆発の理論モデルと比較した結果、発見された 5 天体のうち、暗い側の 3 天体は赤色超巨星の爆発初期の冷却期で説明できることを示した。一方で、明るい

側の 2 天体は超新星爆発の冷却期の予想光度よりも明るく早く進化しており、冷却期の放射ではなく、超新星爆発直前に放出された星周物質からのショックブレイクアウトである可能性を提案した。その場合、必要な質量放出率は 10^{-3} Msun/yr 程度で、通常銀河系内の赤色超巨星で観測される質量放出率よりも 10-100 倍程度大きい。このような明るい短時間突発天体の頻度は重力崩壊型超新星の頻度の 1% 以上であったことから、少なくとも大質量星の 1% 程度が爆発の数年前に激しい質量放出を起こしている可能性を示唆した (Tanaka et al. 2016, ApJ, 819, 5)。

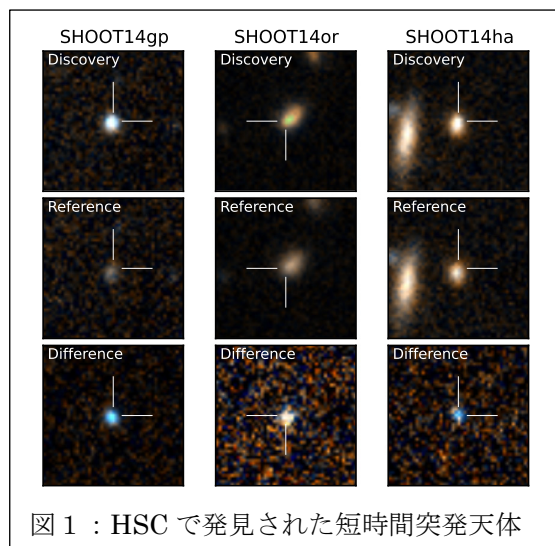
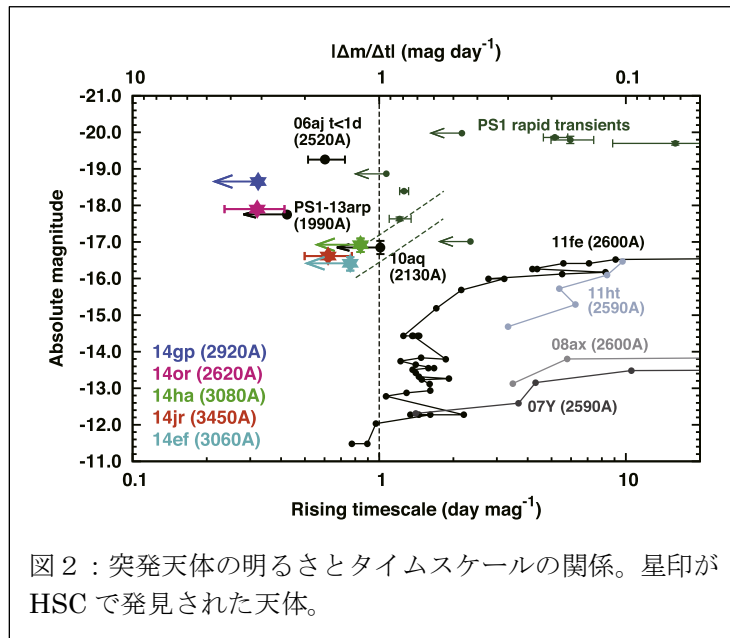
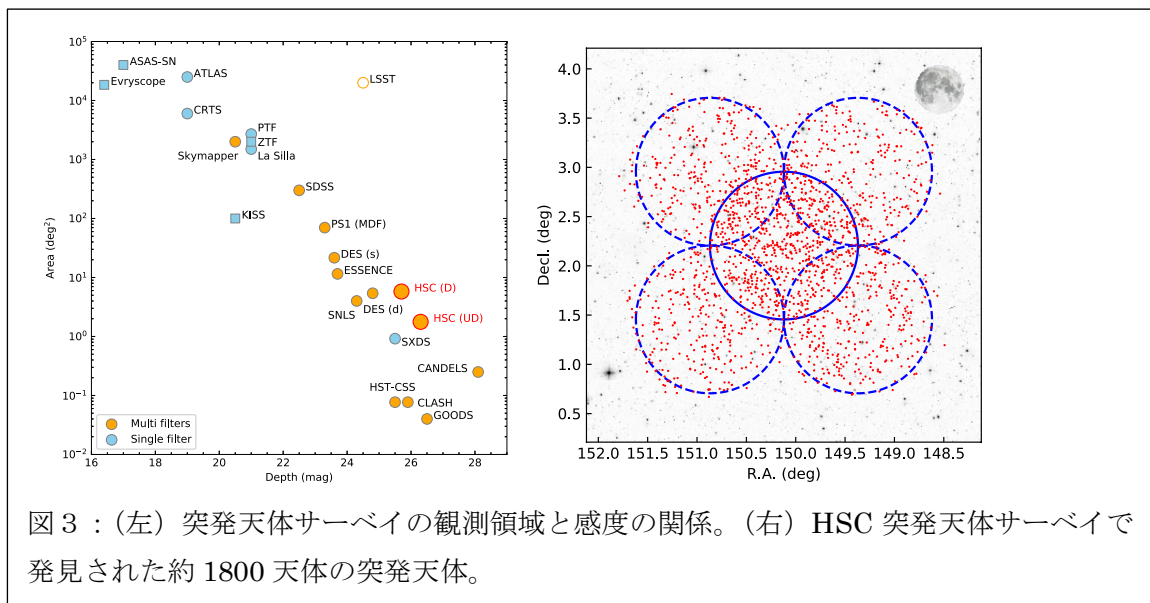


図 1 : HSC で発見された短時間突発天体



(2) HSC 戦略的観測を用いた短時間突発天体の探査

すばる望遠鏡 HSC の戦略的観測のデータを用いて、1 平方度以上をカバーする観測としてはこれまでで最も高感度の突発天体サーベイを行った(図 3)。この観測は COSMOS 領域をターゲットに、半年間にわたって継続的に行われた。データ解析の結果、合計で約 1800 天体の突発天体が発見された(Yasuda, Tanaka, et al. 2019, PASJ, in press, arXiv:1904.09697)。COSMOS 領域の分光情報などを合わせることで、突発天体を測光的に分類し、(A)少なくとも約 400 個が Ia 型超新星と分類され、(B)そのうち 58 天体が赤方偏移 $z > 1$ であることを確認した。さらに、同じデータを用いて、短時間突発天体の候補を約 20 天体同定した。



最後に、本研究で開発された突発天体の解析システムやすばる望遠鏡 HSC を用いた突発天体サーベイ観測のノウハウとデータは、変動情報を用いた活動銀河核の同定(Morokuma et al. 2016, PASJ, 68, 40)、重力波天体の同定(Tominaga et al. 2018, PASJ, 70, 28)、ニュートリノ対応天体の観測にも応用されていることを追記しておく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 48 件)

- ① “Properties of Kilonovae from Dynamical and Post-Merger Ejecta of Neutron Star Mergers”
Tanaka, M., Kato, D., Gaigalas, G., et al.
2018, ApJ, 852, 109 (12pp) 査読有り
DOI: 10.3847/1538-4357/aaa0cb
- ② “Subaru Hyper Suprime-Cam Survey for An Optical Counterpart of GW170817”
Tominaga, N., Tanaka, M., Morokuma, T., Utsumi, Y., Yamaguchi, M. S., Yasuda, N., et al.
2018, Publications of the Astronomical Society of Japan, 70, 28 査読有り
DOI: 10.1093/pasj/psy007
- ③ “Three-Dimensional Explosion Geometry of Stripped-Envelope Core-Collapse Supernovae. II. Modelling of Polarization”
Tanaka, M., Maeda, K., Mazzali, P. A., Kawabata, K. S., Nomoto, K.
2017, The Astrophysical Journal, 837, 105 (11pp) 査読有り
DOI: 10.3847/1538-4357/aa6035
- ④ “OISTER Optical and Near-Infrared Monitoring Observations of a Peculiar Radio-Loud Active Galactic Nucleus SDSS J110006.07+442144.3”
Morokuma, T., Tanaka, M., Tanaka, Y. T., Itoh, R., Tominaga, N., et al.
2017, Publications of the Astronomical Society of Japan, 69, 82 (20pp) 査読有り
DOI: 10.1093/pasj/psx075
- ⑤ “Kilonova from Post-merger Ejecta as an Optical and Near-infrared Counterpart of GW170817”
Tanaka, M., Utsumi, Y., Mazzali, P. A., Tominaga, N., Yoshida, M., Sekiguchi, Y., Morokuma, T., et al.
2017, Publications of the Astronomical Society of Japan, 69, 102 (7pp) 査読有り
DOI: 10.1093/pasj/psx121
- ⑥ “Rapidly Rising Transients from Subaru Hyper Suprime-Cam Transient Survey”
Tanaka, M., Tominaga, N., Morokuma, T., Yasuda, N., Furusawa, H., et al.
2016, The Astrophysical Journal, 819, 5 (15pp) 査読有り
DOI: 10.3847/0004-637X/819/1/5
- ⑦ “Kilonova/Macronova Emission from Compact Binary Mergers”
Tanaka, M. 2016, Advances in Astronomy (invited review), Article ID 6341974 査読有り
DOI: 10.1155/2016/6341974
- ⑧ “An Effective Selection Method for Low-Mass Active Black Holes and First Spectroscopic Identification”
Morokuma, T., Tominaga, N., Tanaka, M., Yasuda, N., Furusawa, H., et al.
2016, Publications of the Astronomical Society of Japan, 68, 40 (10pp) 査読有り
DOI: 10.1093/pasj/psw033
- ⑨ “J-GEM Follow-Up Observations to Search for an Optical Counterpart of The First Gravitational Wave Source GW150914”
Morokuma, T., Tanaka, M., Asakura, Y., et al.
2016, Publications of the Astronomical Society of Japan, 68, L9 (12pp) 査読有り
DOI: 10.1093/pasj/psw061

〔学会発表〕（計 45 件）

- ① "GW170817: Optical and Infrared Observations and Kilonova"
Tanaka, M., Fifth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan (Hawaii, US) October 23-27, 2018
- ② "Electromagnetic signature of r-process nucleosynthesis"
Tanaka, M., EMMI Rapid Reaction Task Force: The physics of neutron star mergers at GSI/FAIR, GSI (Darmstadt, Germany) June 4-15, 2018
- ③ "Time domain astronomy and gravitational wave sources"
Tanaka, M., CREST International Symposium on Big Data Application (Tokyo, Japan) January 16 - 17, 2018
- ④ "Kilonova Emission from Compact Binary Mergers: Opacities of Lanthanide-rich and Lanthanide-free Ejecta"
Tanaka, M., Electromagnetic Signatures of r-process Nucleosynthesis in Neutron Star Binary Mergers, Institute for Nuclear Theory (Seattle, US) July 24 - August 18, 2017
- ⑤ "Optical/NIR Follow-up Observations of Neutron Star Mergers"
Tanaka, M., The Physics of Extreme-Gravity Stars, NORDITA (Stockholm, Sweden) June 5 - 30, 2017
- ⑥ "Multi-Messenger from Supernovae"
Tanaka, M., Workshop on Supernova at Hyper-Kamiokande, University of Tokyo (Tokyo, Japan) Feb 12 - 13, 2017
- ⑦ "Kilonova/Macronova Emission from Compact Binary Mergers"
Tanaka, M., Gravitational-Wave Astrophysics in the High Event Rate Regime, University of Tokyo (Tokyo, Japan) Dec 5 - 6, 2016
- ⑧ "Three-dimensional geometry of core-collapse supernovae: observations and modelling"
Tanaka, M., Bridging the gap: from massive stars to supernovae, Kavli Royal Society Centre (Buckinghamshire, UK) June 1-2, 2016
- ⑨ "Transient Surveys with Subaru/Hyper Suprime-Cam"
Tanaka, M., The Ninth Harvard-Smithsonian Conference on Theoretical Astrophysics "The transient sky", Sheraton Commander Hotel (Boston, US) May 16-19, 2016
- ⑩ "Supernovae: Toward Multiwavelength Studies"
Tanaka, M., Paving the Way to Simultaneous Multi-Wavelength Astronomy, Lorentz Center (Leiden, Netherlands) July 13-17, 2015

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）
該当なし

○取得状況（計 0 件）
該当なし

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名： 富永 望

ローマ字氏名： TOMINAGA, Nozomu

所属研究機関名： 甲南大学

部局名： 理工学部

職名： 教授

研究者番号 (8桁)： 70586429

研究分担者氏名： 諸隈 智貴

ローマ字氏名： MOROKUMA, Tomoki

所属研究機関名： 東京大学

部局名： 大学院理学系研究科

職名： 助教

研究者番号 (8桁)： 10594674

研究分担者氏名： 安田 直樹

ローマ字氏名： YASUDA, Naoki

所属研究機関名： 東京大学

部局名： カブリ数物連携宇宙研究機構

職名： 教授

研究者番号 (8桁)： 80333277

(2) 研究協力者

研究協力者氏名： 古澤 久徳

ローマ字氏名： FURUSAWA, Hisanori

※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。