

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24740117

研究課題名(和文)大規模サーベイ観測と輻射輸送シミュレーションによる超新星爆発の研究

研究課題名(英文)Studies of Supernovae by Large Surveys and Radiative Transfer Simulations

研究代表者

田中 雅臣(Tanaka, Masaomi)

国立天文台・理論研究部・助教

研究者番号：70586429

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：超新星爆発にいたる大質量星が、爆発を起こす直前にどのような姿となっているかを明らかにするため、高頻度の可視光突発天体サーベイ観測を行った。すばる望遠鏡広視野カメラ(Hyper Suprime-Cam)を用いた観測では、超新星爆発の最初期と思われる急増光する明るい天体を発見し、母天体が爆発直前に大規模な質量放出を起こす場合があることを提案した。また、超新星爆発のモデルと観測を直接比較するため、多次元、時間依存、波長依存の輻射輸送シミュレーションコードを開発した。

研究成果の概要(英文)：To study the properties of massive stars just before the supernova explosion, we have performed high-cadence optical transient surveys. With the Subaru telescope and a wide field camera (Hyper Suprime-Cam), we have discovered luminous, rapidly rising transients, and suggested that some massive stars experience intensive mass loss just before the explosion. We have also developed a multi-dimensional, time-dependent, wavelength-dependent radiative transfer simulation code to give the direct comparison between supernova models and observations.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：超新星爆発 輻射輸送 突発天体探査

1. 研究開始当初の背景

宇宙に存在する恒星は長い年月をかけて進化しており、中でも太陽の約8倍よりも重い大質量星は、その一生の最期に「超新星爆発」を起こすと考えられている。超新星爆発は、星が進化の過程で合成してきた重元素を宇宙空間にまき散らすため、現在の我々の宇宙の化学的成り立ちを理解するための重要な現象である。しかし、(1) 超新星爆発を起こす星が一生の最後にどのような姿となっているのか、そして(2) どのようなメカニズムで超新星爆発が起きるのかは、恒星物理学の基本的問題でありながら未だ解明されていない。

大質量星が爆発する直前の姿を探るためには、超新星爆発の最初期の放射を捉える必要がある。そのためには高い頻度で同一領域を観測するサーベイ観測が必要であるが、そのような観測は行われていなかった。

また、超新星爆発の観測から爆発のメカニズムを推定するためには、超新星の質量やエネルギーなど大局的なパラメータだけでなく、多次元的な構造を引き出すことが重要であると考えられている。しかし、特に三次元的な構造を観測から引き出すことは困難であった。

2. 研究の目的

(1) 大質量星進化の研究：大質量星が超新星爆発を起こす直前にどのような姿となっているかを明らかにする。

(2) 超新星爆発メカニズムの研究：超新星爆発における多次元の元素分布を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 大質量星進化の研究：

- ① 木曾観測所広視野カメラ KWFC による高頻度超新星サーベイ
- ② すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) による深宇宙超新星サーベイ

(2) 超新星爆発メカニズムの研究：

超新星輻射輸送「フル」シミュレーションコードの開発と流体力学モデルへの応用

4. 研究成果

(1) 大質量星進化の研究

① 平成 24 年度から平成 26 年度まで、木曾観測所において合計約 300 夜の高頻度突発天体サーベイ (KISS: Kiso Supernova Survey) を行った。これにより 100 天体以上の超新星爆発候補を発見し、国内外の望遠鏡により測光・分光追観測を実施した。当初目的として

いた超新星爆発最初期の放射を捉えることはできなかったものの、このサーベイの初期成果をまとめ、論文を出版した (Morokuma, Tominaga, Tanaka et al. 2014, PASJ, 66, 114, 図 1)。

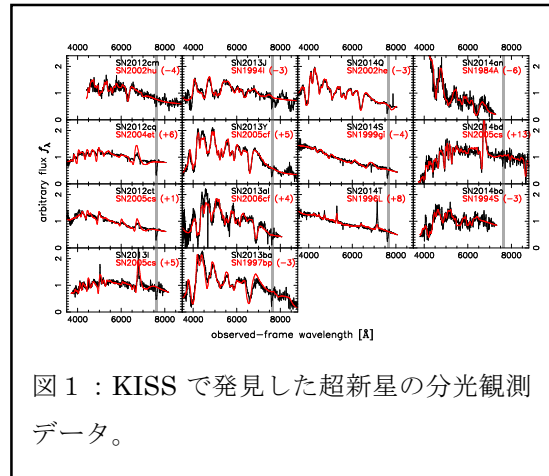


図 1 : KISS で発見した超新星の分光観測データ。

また、高頻度で同一領域を観測するサーベイ戦略によって、短時間変動を示す特異な活動銀河核を発見した。即時に Swift 衛星や国内外の望遠鏡で多波長追観測を実施し、論文を出版した (Tanaka et al. 2014, ApJL, 793, L26, 図 2)。

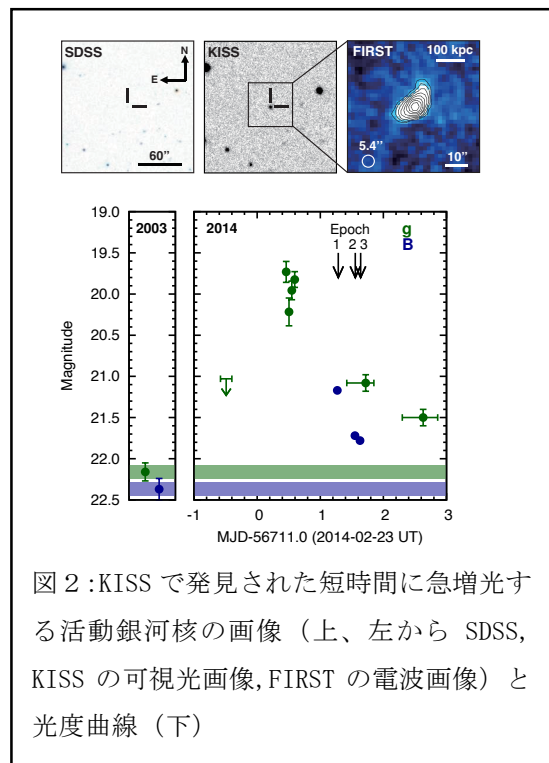


図 2 : KISS で発見された短時間に急増光する活動銀河核の画像 (上、左から SDSS, KISS の可視光画像, FIRST の電波画像) と光度曲線 (下)

② すばる望遠鏡 HSC を用いた高頻度の突発天体サーベイを開始し (図 3)、平成 26 年に取得されたパイロットサーベイのデータから、急増光を示す特殊な突発天体を 5 天体発見した。これらの天体の性質を理論モデルと比較することで、3 天体は超新星爆発最初期の冷

却期にあることを明らかにした。一方、他の2天体は通常のシナリオでは説明できず、母天体が爆発直前に大規模な質量放出を起こしていたことを提案した。

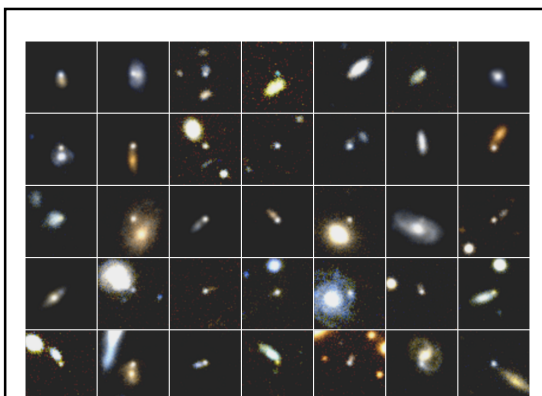


図3:すばるHSCの一晩の観測で見えられた超新星爆発の画像。

(2) 超新星爆発メカニズムの研究

多次元、時間依存、波長依存の輻射輸送シミュレーションコードを開発した。この数値コードの連星中性子星合体への応用を提案し、世界に先駆けて連星中性子星合体からの放射を予想する論文を2編出版した(Tanaka & Hotokezaka 2013, ApJ, 775, 113, Tanaka et al. 2014, ApJ, 780, 31)。また、この数値コードを多次元の超新星爆発モデルに適用し、偏光の性質の計算を行った。

なお、すばる望遠鏡HSCで取得される膨大なデータのリアルタイム解析の必要性が増したことから、本研究課題の最終年度を辞退し、基盤(A)として研究課題を引き継いだ。

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 23 件)

原著論文のみ記載 (他、共著論文 18 件)

① "Discovery of Dramatic Optical Variability in SDSS J1100+4421: A Peculiar Radio-Loud Narrow-Line Seyfert 1 Galaxy?"
Tanaka, M., Morokuma, T., Itoh, R., Akitaya, H., Tominaga, N., et al.
2014, The Astrophysical Journal Letters, 793, L26 (6pp) 査読有り
10.1088/2041-8205/793/2/L26

② "Radioactively Powered Emission from Black Hole-Neutron Star Mergers"
Tanaka, M., Hotokezaka, K., Kyutoku, K., Wanajo, S., Kiuchi, K., Sekiguchi, Y., &

Shibata, M.
2014, The Astrophysical Journal, 780, 31 (9pp) 査読有り
10.1088/0004-637X/780/1/31

③ "Detectability of High-Redshift Superluminous Supernovae with Upcoming Optical and Near-Infrared Surveys - II. Beyond $z=6$ "

Tanaka, M., Moriya, T. J., & Yoshida, N.
2013, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 435, 2483-2493 査読有り
10.1093/mnras/stt1469

④ "Radiative Transfer Simulations of Neutron Star Merger Ejecta"

Tanaka, M. & Hotokezaka, K.
2013, The Astrophysical Journal, 775, 113 (16pp) 査読有り
10.1088/0004-637X/775/2/113

⑤ "Three-Dimensional Explosion Geometry of Stripped-Envelope Core-Collapse Supernovae. I. Spectropolarimetric Observations"

Tanaka, M., Kawabata, K. S., Hattori, T., Mazzali, P. A., Aoki, K., Iye, M., Maeda, K., Nomoto, K., Pian, E., Sasaki, T., & Yamanaka, M.
2012, The Astrophysical Journal, 754, 63 (10pp) 査読有り
10.1088/0004-637X/754/1/63

[学会発表] (計 46 件)

招待講演のみ記載 (他、一般講演 26 件)

① "Time-Domain Science with Subaru/HSC and Gravitational Wave Objects"
The 3rd Workshop on Large Aperture Sub/mm Telescope in the ALMA Era, NAOJ (Tokyo, Japan) March 10-11, 2015

② "突発天体観測"
田中雅臣、コンパクト連星合体からの重力波・電磁波放射とその周辺領域、京都大学(京都府・京都市)、2015/2/12-14

③ "初代星超新星の検出に向けて"
田中雅臣、初代星・初代銀河研究会 2015、東北大学(宮城県・仙台市)、2015/1/19-21

④ "コンパクト連星合体のマルチメッセンジャー研究"

田中雅臣、第27回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学と境界領域」、国立天文台(東京都・三鷹市)、2014/12/24-26

⑤ "Electromagnetic Emission from Neutron

Star Mergers”
Nuclear Physics and Astrophysics of
Neutron-Star Mergers and Supernovae, and
the Origin of R-Process Elements, The
European Centre for Theoretical Studies in
Nuclear Physics and Related Areas (Trento,
Italy) Sep 8-12, 2014

⑥ “Transient Science with Hyper
Suprime-Cam”
Synergy of HSC and Hiroshima CORE-U
projects for Galaxy Cluster and
Astronomical Transients, Hiroshima
University (Hiroshima, Japan) Aug 27, 2014

⑦ “Optical/Infrared Emission from
Supernova and Kilonova”
田中雅臣、超新星・ガンマ線バースト研究会
2014、理化学研究所(埼玉県・和光市)、
2014/8/25-27

⑧ “Time-Domain Science”
Thirty Meter Telescope Science Forum,
Loews Ventana Canyon Resort (Tucson, USA)
July 17-19, 2014

⑨ “重力波源の光学赤外線対応天体”
田中雅臣、日本物理学会 第 69 回年次大会
宇宙線・宇宙物理領域、理論核物理領域合同
シンポジウム「重力波源とその電磁波、ニュ
ートリノ対応天体」、東海大学(神奈川県・平
塚市)、2014/3/28

⑩ “超新星爆発に見る大質量星連星進化の痕
跡”
田中雅臣、「連星天文学」研究会、京都大学(京
都府・京都市)、2014/2/10-12

⑪ “Optical Observations of Extragalactic
Supernovae”
Multi-Messengers from Core-Collapse
Supernovae, Fukuoka University (Fukuoka,
Japan) December 2-6, 2013

⑫ “Time Domain Science with TMT”
Thirty Meter Telescope Science Forum,
Waikoloa Beach Marriott (Hawaii, US) July
22-23, 2013

⑬ “Optical Transient Survey with
Medium-Size Telescopes”
Medium-Size Telescope Science Workshop,
Dianchi Hotel (Kunming, China) June 21-25,
2013

⑭ “超新星爆発の偏光分光観測”
田中雅臣、研究会「光赤外偏光天文学の軌跡
と今後」、リックおがわ(埼玉県・比企郡)、
2013/3/17-18

⑮ “時間変動天体サイエンスと HSC-Euclid サ
ーベイ”
田中雅臣、HSC-Euclid サイエンス検討研究会、
国立天文台(東京都・三鷹市)、2013/1/10

⑯ “超新星の観測”
田中雅臣、第 25 回理論懇シンポジウム「計
算宇宙物理の新展開」、つくば国際会議場(茨
城県・つくば市)、2012/12/22-24

⑰ “Spectropolarimetric Observations of
Supernovae”
Tsinghua Transient Workshop 2012,
Tsinghua University (Beijing, China) Nov
5 - 9, 2012

⑱ “超新星爆発: 可視光観測の現状とこれか
ら”
田中雅臣、高エネルギーガンマ線でみる極限
宇宙 2012、東京大学宇宙線研究所(千葉県・
柏市)、2012/9/25-27

⑲ “2020 年代の恒星研究”
田中雅臣、2012 年度光赤天連シンポジウム
「2020 年に向けてのロードマップ」、国立天
文台(東京都・三鷹市)、2012/8/9-10

⑳ “3D Geometry of Supernovae:
Spectropolarimetric Observations”
Core-Collapse Supernovae: Models and
Observable Signals, Institute for Nuclear
Theory, University of Washington (Seattle,
USA) July 16 - 20, 2012

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)
該当無し

○取得状況 (計 0 件)
該当無し

[その他]

ホームページ等
<http://th.nao.ac.jp/MEMBER/tanaka/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 雅臣 (TANAKA, Masaomi)
国立天文台・理論研究部・助教
研究者番号:70586429

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究者

該当無し