

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 24年 4月 25日現在

機関番号：62616

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22840009

研究課題名（和文）大質量星進化と超新星爆発メカニズムの統一的解明

研究課題名（英文）Understanding Massive Star Evolution and Explosion Mechanism of Supernovae

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

研究成果の概要（和文）：我々は、超新星爆発における、偏光を含んだ多次元輻射輸送シミュレーションコードを開発し、様々な多次元イオン分布から予想される偏光スペクトルを計算した。さらに、すばる望遠鏡を用いて超新星爆発の偏光分光観測を行い、過去のデータとあわせることで、最大のIbc型超新星の偏光分光サンプルを構築した。シミュレーションと観測の比較から、超新星爆発が普遍的に3次元的構造をもつことが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：We have developed a multi-dimensional radiative transfer code for supernova explosions including polarization, and simulated polarization spectra with various multi-dimensional ion distributions in supernova ejecta. We also performed spectropolarimetric observations of supernovae with Subaru telescope. Adding our new data to the existing datasets, we have constructed the largest data samples of Type Ibc supernovae. By comparing the results of simulations and observations, we showed that a three-dimensional geometry is common in supernovae.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,250,000	375,000	1,625,000
2011年度	1,150,000	345,000	1,495,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：宇宙物理学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：天文学、宇宙物理学、超新星爆発、偏光、輻射輸送

1. 研究開始当初の背景

超新星爆発は恒星が一生の最期に起こす大爆発である。爆発によって、恒星が合成した重元素が宇宙空間にばらまかれ、星間空間に膨大な運動エネルギーが注入されるため、超新星爆発は、銀河の化学的、力学的進化に

重要な役割を果たしている。しかし、その超新星爆発のメカニズムは未だ明らかになっていない。

近年の詳細な数値シミュレーションによると、一次元球対称の仮定の下では、超新星爆発は成功しないことが確定的となっていた（例えば Rampp & Janka 2000, ApJ, 539,

L33)。そこで、超新星がどのような形状で爆発しているかを実際の観測から検証することが急務となっていた。観測的に超新星爆発の多次元形状を探る手法として、偏光分光観測が有力であることが分かっていたが (Wang & Wheeler 2008, ARA&A, 46, 433)、体系的な研究が行われておらず、超新星がもつ一般的な爆発形状は分かっていた。

2. 研究の目的

すばる望遠鏡を用いた近傍の超新星爆発の偏光分光観測や、過去の観測データを集約し、多次元輻射輸送シミュレーションの結果と比較することで、超新星爆発の多次元形状を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) すばる望遠鏡を用いて近傍の超新星爆発の偏光分光観測を行う。また、これまでに取得されたデータを集約する。

(2) 多次元輻射輸送シミュレーションに偏光の輸送を組み込み、観測された偏光の性質を定量的に解釈する。

4. 研究成果

(1) 多次元輻射輸送シミュレーション

自ら開発した超新星における多次元輻射輸送シミュレーションコードに、電子散乱を考慮した偏光の輸送を組み込んだ。これにより、任意のイオン分布に対して、偏光のスペクトルを計算できるようになった。

このコードを使って、様々な形状から予想される偏光スペクトルを計算した。2次元軸対称の分布の場合は、超新星の吸収線における偏光プロファイルは常に角度が一定であり、Q-U 平面上で直線を描くことが分かった。一方で、図1のように、3次元的なクランプ構造では、吸収線の波長で偏光の角度が変化し、Q-U 平面上でループを描くことが分かった(図1下)。これは実際の観測データと比較する基礎になるものである。

(2) 超新星爆発の偏光分光観測

これまですばる望遠鏡を用いて行ってきた、近傍の超新星の偏光分光観測データを集約した。特に爆発の中心部が詳細に調べられるIbc型超新星(水素層を失った星の爆発)のデータを集め、さらに、他のグループが行った偏光分光観測データをあわせることで、合計で6つのIbc型超新星に関する良質のデー

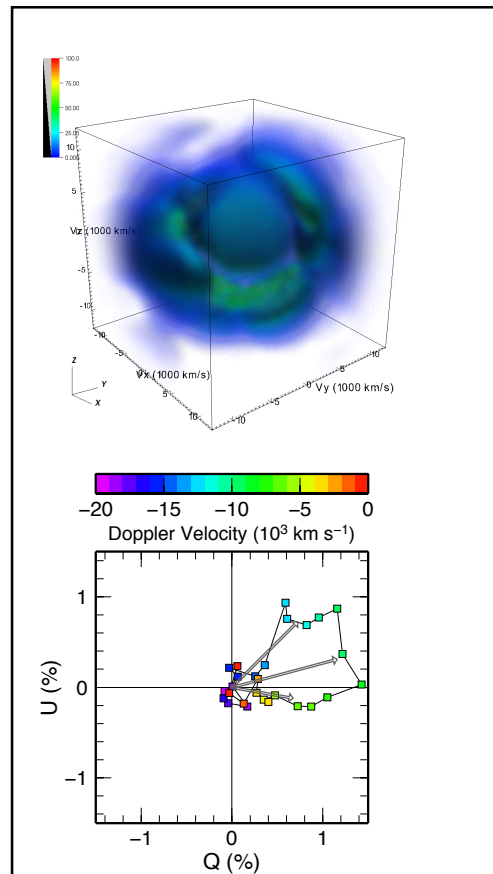


図1：多次元輻射輸送シミュレーションの結果。(上) 仮定した3次元イオン分布と(下) 計算された偏光の性質(Q-U平面)。

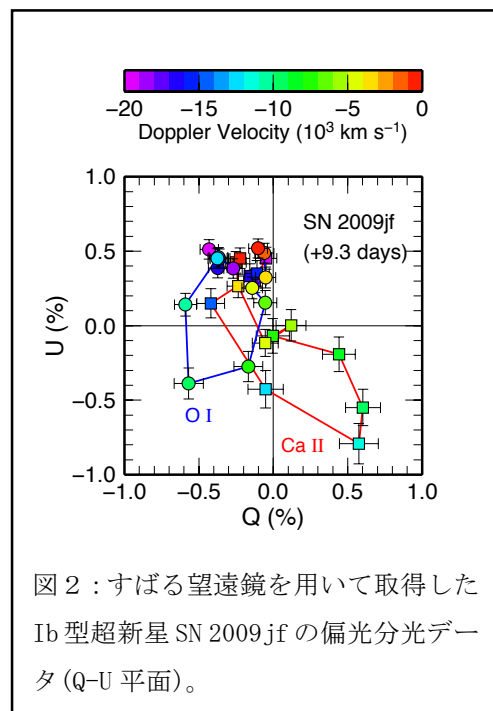


図2：すばる望遠鏡を用いて取得したIb型超新星SN 2009jfの偏光分光データ(Q-U平面)。

タが集約された。

そのうち5天体が、上記の3次元形状のシミュレーション結果のように、偏光のQ-U平面上でループを示すことが分かった(図2)。これにより、超新星爆発が一般的に3次元的なイオン分布をもっている事が明らかとなった。

(3) 偏光の統計的性質

集約した偏光分光観測サンプルを用いて、超新星の偏光度の統計的な性質を調べた。その結果、偏光度が吸収線の深さと相関していることを発見した。図3が示すように、吸収線が深いほど偏光度は大きくなる。さらに、この関係の解析的なモデル化に成功した。

吸収線の深さは直接爆発形状には関係しないため、多次元形状を議論するためには、この効果を補正する必要がある。これにより、異なる天体や異なる吸収線の偏光度の公平な比較が初めて可能となった。

この補正を行った後でも、天体によって偏光度にばらつきがあることが分かった(図4)。サンプル数が少ないため、この原因はまだ明らかではないが、図1のような3次元分布からは自然に偏光度のばらつきが予想されるため、この結果も超新星爆発の3次元形状をサポートするものである。

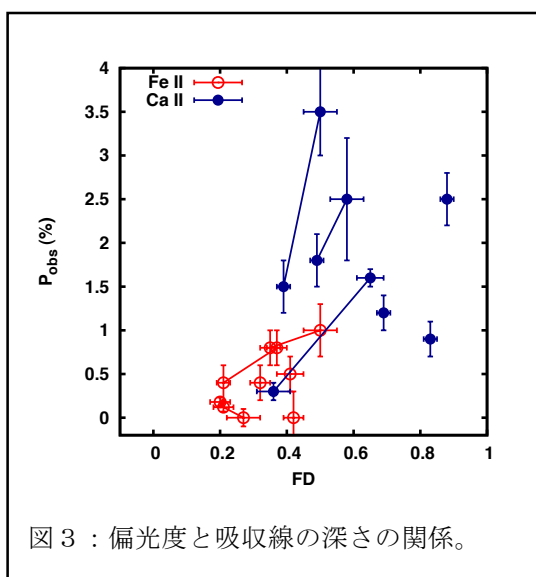


図3：偏光度と吸収線の深さの関係。

以上のように、多次元輻射輸送シミュレーションと、すばる望遠鏡をはじめとする大望遠鏡による偏光分光観測により、超新星爆発の3次元形状が明らかになったことが、この研究の最大の成果である。

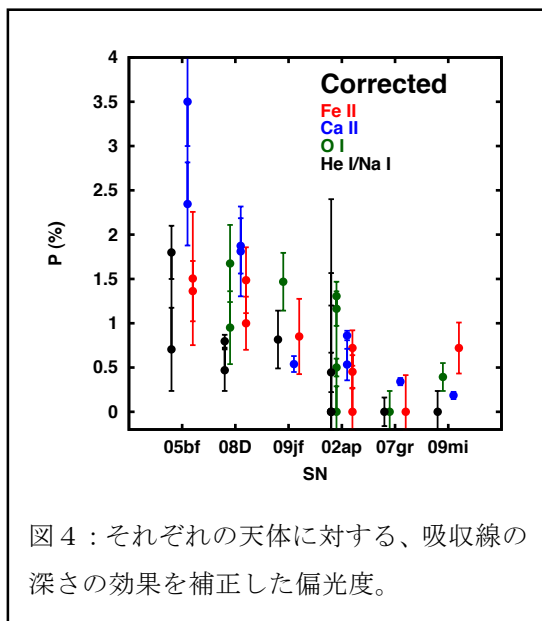


図4：それぞれの天体に対する、吸収線の深さの効果を補正した偏光度。

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5件)

① Tanaka, M., Moriya, T. J., Yoshida, N. & Nomoto, K., “Detectability of High-Redshift Superluminous Supernovae with Upcoming Optical and Near-Infrared Surveys”, 2012, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, in press 査読有り

DOI:10.1111/j.1365-2966.2012.20833.x

② Tanaka, M., Nozawa, T., Sakon, I., Onaka, T., Arimatsu, K., Ohsawa, R., Maeda, K., Wada, T., Matsuhara, H., & Kaneda, H., “A Search for Infrared Emission from Core-Collapse Supernovae at the Transitional Phase”, 2012, The Astrophysical Journal, 749, 173 査読有り
DOI:10.1088/0004-637X/749/2/173

③ Yamaguchi, H., Tanaka, M., Maeda, K., Slane, P. O., Foster, A., Smith, R. K., Katsuda, S., Yoshii, R., “Elemental Abundances in the Possible Type Ia Supernova Remnant G344.7-0.1”, 2012, The Astrophysical Journal, 749, 137 査読有り
DOI:10.1088/0004-637X/749/2/137

④ Folatelli, G., Phillips, M. M., Morrell, N., Tanaka, M., Maeda, K., Nomoto, K., Stritzinger, M., Burns, C. R., Hamuy, M., Mazzali, P., Boldt, L., Campillay, A., Contreras, C., González, S., Roth, M., Salgado, F., Freedman, W. L., Madore, B. F., Persson, S. E., Suntzeff, N. B.,

“Unburned Material in the Ejecta of Type Ia Supernovae”, 2012, The Astrophysical Journal, 745, 74 査読有り

DOI:10.1088/0004-637X/745/1/74

⑤Nozawa, T., Maeda, K., Kozasa, T., Tanaka, M., Nomoto, K., & Umeda, H.、 “Formation of Dust in the Ejecta of Type Ia Supernovae”, 2011, The Astrophysical Journal, 736, 45 査読有り

DOI:10.1088/0004-637X/736/1/45

〔学会発表〕(計15件)

①田中雅臣、Spectropolarimetry of Type Ib/c Supernovae, IAU Symposium 279 “Death of Massive Stars: Supernovae and Gamma-Ray Bursts”, 2012年3月12-16日、日光千姫物語、栃木県

②田中雅臣、Observational Studies of Supernovae with Subaru, すばるユーザーズミーティング 2011年度、2012年2月28日-3月1日、国立天文台

③田中雅臣、A Search for IR Emission from Supernovae in Nearby Galaxies, あかりによる我々の銀河系及び系外銀河の星間物質の研究会、2011年12月15-16日、東京大学

④田中雅臣、広視野カメラによる超新星残骸エコーの探査、日本の新たな広視野カメラを用いた銀河系探査の展望、2011年12月5-6日、東京大学天文学教育研究センター

⑤田中雅臣、可視光偏光分光で探る超新星爆発の3次元構造、次世代の多波長偏光サイエンスの開拓、2011年9月28-29日、国立天文台

⑥田中雅臣、すばる望遠鏡 ToO 観測：超新星爆発の即時偏光分光観測、2011年光赤天連シンポジウム、2011年9月6-7日、京都大学

⑦田中雅臣、KWFCによる超新星サーベイ、木曾シュミットシンポジウム 2011、2011年7月13-14日、木曾勤労者福祉センター、長野県

⑧田中雅臣、Subaru Spectropolarimetry of Supernovae, Stellar Polarimetry: From Birth to Death, 2011年6月27-30日、University of Wisconsin Madison, Madison, USA

⑨田中雅臣、Spectropolarimetry of Type Ib/c Supernovae, Supernovae and Their Host Galaxies, 2011年6月20-24日、Australian National Maritime Museum, Sydney, Australia

⑩田中雅臣、可視偏光観測で見えてきた超新星の3次元形状、超新星からのマルチメッセンジャー、2011年3月3日、国立天文台

⑪田中雅臣、超新星爆発の偏光分光観測、ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」 第四回領域シンポジウム、2011年2月9日、東京工業大学

⑫田中雅臣、初期宇宙のダストは超新星爆発が作ったか？ — 新しい観測アプローチ —、初代星・初代銀河研究会 2011、2011年1月27日、愛媛大学

⑬田中雅臣、SPICAによる超新星爆発ダストの観測、SPICAサイエンスワークショップ(宇宙圏研究会)、2010年12月16日、国立天文台

⑭田中雅臣、超新星の偏光分光観測：TMTへの展望、TMTで切り拓く2020年代の新しい天文学、2010年10月4日、国立天文台

⑮田中雅臣、超新星爆発における3次元偏光輻射輸送シミュレーション、日本天文学会 2010年秋季年会、2010年9月22日、金沢大学

〔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

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし