

令和元年5月30日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06739

研究課題名（和文）近赤外分光マッピング観測で探る超新星爆発によるリンの生成メカニズム

研究課題名（英文）A study of the supernova nucleosynthesis of phosphorus with near-infrared spectral mapping of supernova remnants

研究代表者

國生 拓摩（Kokusho, Takuma）

名古屋大学・理学研究科・助教

研究者番号：60803442

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では超新星残骸の近赤外[P II]輝線マッピング観測を行い、超新星爆発によるリンの生成メカニズムを探る。この観測のため、スリットビューワーによりマッピング能力を高めた近赤外線分光器を新たに開発し、鹿児島大学1m望遠鏡に取り付けて、標準星の分光観測に成功した。これらの観測データを用いて本装置の性能評価を行うとともに、W49Bなどの超新星残骸の分光マッピング観測とデータ解析を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命をつかさどるリンの起源は超新星爆発にまでさかのぼるが、その生成メカニズムはよく理解されていない。本研究では、超新星残骸の近赤外線分光マッピング観測をもとに、その生成メカニズムに迫る。この観測を行うために近赤外線分光器を新たに開発し、鹿児島大学の1m望遠鏡に取り付けて、超新星残骸を含む各種天体の分光観測に成功した。今後、さらに多くの超新星残骸を観測することで、リンの生成メカニズムについて観測的知見が得られると期待される。

研究成果の概要（英文）：In order to understand the nucleosynthesis mechanism of phosphorus by supernova, we developed a near-infrared spectrometer to perform mapping observations of supernova remnants in the [P II] emission. The spectrometer is equipped with a near-infrared slit viewer, which enables us to perform very precise spectral mapping. We attached the spectrometer to the 1-m telescope operated by Kagoshima University and successfully observed near-infrared spectra of the standard stars, from which we have evaluated the optical performance of the spectrometer. We have also carried out spectral mapping observations of some supernova remnants, such as W49B.

研究分野：赤外線天文学

キーワード：近赤外線分光 超新星残骸

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

1. 研究開始当初の背景

重い星は、核融合反応を通じて様々な重元素をつくる。この星は進化の最後に超新星爆発を起こし、それまでに生成した重元素を宇宙空間に放出する。生命をつかさどるリンも、起源は超新星爆発にまでさかのぼるが、その生成メカニズムや生成量は良く理解されていない。近年、超新星残骸 Cas A から非常に強い一階電離リンの近赤外 [PII] 輝線が見つかり、超新星起源のものであると世界で初めて確認された。この結果は、リンの生成につながる核融合反応や爆発時の元素 mixing など、超新星残骸による元素生成メカニズムに重要な観測的示唆を与えた。しかし、超新星残骸が予想外に強い [PII] 輝線を放射しうると分かったのは最近であるため、他の超新星残骸の [PII] 輝線観測はこれまで見過ごされていた。

2. 研究の目的

超新星爆発による元素生成メカニズムを理解するためには、超新星残骸における種々の元素の観測データが不可欠だが、とくにリンに関する情報は乏しい。また、爆発時の元素 mixing や爆発プロセスを探る上で、超新星爆発により放出された元素の空間分布の情報も欠かすことはできない。そこで本研究では、近年 Cas A から見つかった超新星爆発を起源とするリンの近赤外 [PII] 輝線に着目して、様々な超新星残骸の分光マッピング観測を行う。この観測のため、広域マッピングに適した分光器を新しく開発する。この観測により得られる各輝線強度比やガス速度から、超新星爆発が放出したリンの存在量や空間分布を調べる。この結果をもとに超新星爆発によるリンの生成メカニズムを探り、超新星爆発による元素生成に観測的示唆を与えることを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

超新星爆発により放出されたリンを観測するため、名古屋大学が南アフリカ共和国に所有する IRSF1.4m 望遠鏡を本研究では用いる。具体的には、IRSF に搭載する分光器を新しく開発し、様々な超新星残骸の分光マッピング観測を行う。本装置の仕様を表 1 に示す。この装置はリンや鉄の輝線 ([PII] 1.189 μm 、[FeII] 1.257 μm) に感度を持ち、ガスの膨張速度 (≥ 2000 km/s) や [PII]/[FeII] 輝線強度比の観測をもとに、超新星爆発を起源とするリンを同定することができる。また、本装置はロングスリット (視野 3 分角) を採用している。さらに、スリットビューワーによりスリット周辺の星を撮像し、分光観測領域に望遠鏡を素早く向けることが可能で、マッピング能力が高い設計となっている。2017 年 5 月時点で光学系や検出器の組み上げは完了しており (図 1)、光学調整や検出器動作を確認したのち、南アフリカ共和国へ輸送して観測を行う。

検出器	InGaAs (512×640)
観測波長	1.0-1.6 μm
波長分解能($\lambda/\Delta\lambda$)	200@1.2 μm
点源に対する感度 (5分積分, S/N>10)	14.3mag@1.2 μm

表 1. IRSF 分光器の仕様

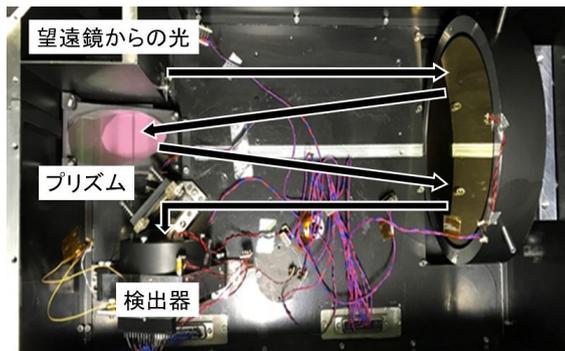


図 1. IRSF 分光器の内観。光路を矢印で示す。望遠鏡からの光はプリズムにより分散する。

4. 研究成果

(1) 近赤外線分光器の開発

本装置は、分光光学系とスリットビューワー光学系の 2 つから成り立つ。2 つの光学系にはそれぞれ InGaAs 検出器が搭載され、赤外線観測のため、これらの装置は機械式冷凍機により温度 100K 以下に冷却される。光学調整を行うにあたり、はじめに検出器の読み出し回路を製作し、2 つの検出器が正常に動作することを確認した。次に装置を冷却して、低温下における光学性能を調べた。光源として、IRSF 望遠鏡からの収束光を模した集光レンズ系を製作し、波長 1.3 μm と 1.5 μm のレーザーダイオードを用いた。様々な結像位置で結像性能や分散特性を調べたところ、スリットビューワー光学系は設計通りの光学性能を満たしていることが分かった。しかし、分光光学系では点像サイズが設計値よりも 3 倍ほど大きく、設計通りの光学性能を満たしていないことが分かった。

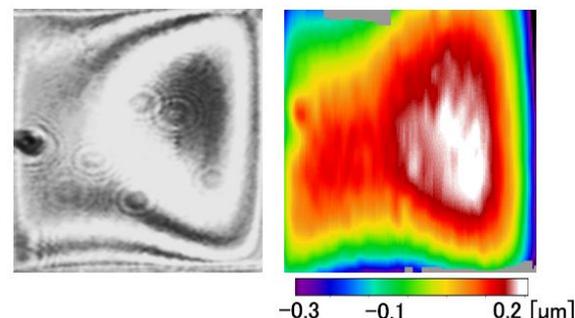


図 2. (左) 干渉計によるプリズム透過波面の測定結果。(右) 左の干渉縞から透過波面誤差を計算した結果。カラーバーの数値は理想波面からの誤差を表す。

分光光学系の性能悪化の原因を明らかにするため、分光光学系で用いた各光学素子の表面形状を干渉計で測定した。その結果、検出器のカメラレンズの表面形状が購入メーカーの仕様値よりも悪く、結像性能を悪化させていることが分かった。プリズムの表面形状も同様に悪く、カメラレンズは交換できたものの、プリズムは代替品が手に入らなかったため、干渉計による表面形状の測定結果(図2)を光学シミュレーションに組み込み、光学性能を改めて評価し直した。その結果、波長分解能など悪化するものの、本研究の[PII]輝線観測を行う上では問題ないことが分かった。

カメラレンズの交換や光学系の再設計ののち、再び 100K 以下まで装置を冷却して光学調整や結像性能の評価を行い、設計通りの光学性能を達成していることを確かめた。この他、望遠鏡と装置のインターフェース部の設計、製作を行い、望遠鏡に取り付けて観測を行う環境を整えた。

(2) 鹿児島大学 1m 望遠鏡での観測

超新星残骸の観測は IRSF 望遠鏡で行う予定であったが、分光光学系の光学性能が悪化していたことの原因究明や、その再設計に時間を要したため、スケジュールを見直し、鹿児島大学の 1m 望遠鏡を用いて観測を行う方針に切り替えた。この計画変更に合わせて、観測する超新星残骸サンプルも、北半球から観測できる天体を選び直した。また、鹿児島大学の望遠鏡は IRSF 望遠鏡と F 値が異なるため、観測視野など、期待される分光器の性能も計算し直した。鹿児島大学の関係者らと議論を重ね、2018 年月中旬に観測を始める計画で輸送などの準備を進めた。しかし、落雷のため観測所の電源系や望遠鏡が故障するというトラブルが起き、その復旧に時間を要したため、観測開始は 2019 年 3 月まで延期することになった。

上記のようにスケジュールの変更が重なったものの、本装置を鹿児島まで輸送して 1m 望遠鏡に取り付け(図3) 各種天体のスペクトル観測に成功した。観測したオリオン星雲のスペクトルを図4に、スリットビューワで観測したスリット周辺の星像の一例を図5に示す。標準星や OH 夜光、輝線光源を用いて、本装置の波長分解能などを評価し、期待通りの性能が達成されていることを確認した。同時に、観測データのシグナル/ノイズ比を高めるために検出器の読み出し方法を工夫し、観測のための検出器駆動ソフトウェアを開発した。また、スリットビューワにより得られた星像の位置をもとに、観測天体をスリットに導入するための観測ソフトウェアも準備し、観測体制を整えた。2019 年 5 月現在、W49B など超新星残骸の分光マッピング観測を行い、[PII]や[FeII]輝線に着目して観測データの解析を進めている。今後、さらに複数の超新星残骸の分光マッピング観測を行う予定である。



図3. 鹿児島大学 1m望遠鏡に分光器を取り付けて観測している様子。

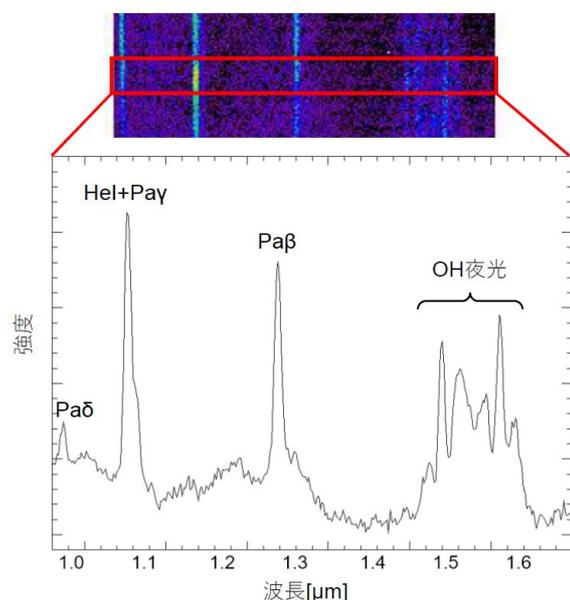


図4. 観測して得られたオリオン星雲のスペクトル。上図は検出器で得られた画像、下図はスペクトルを示す。

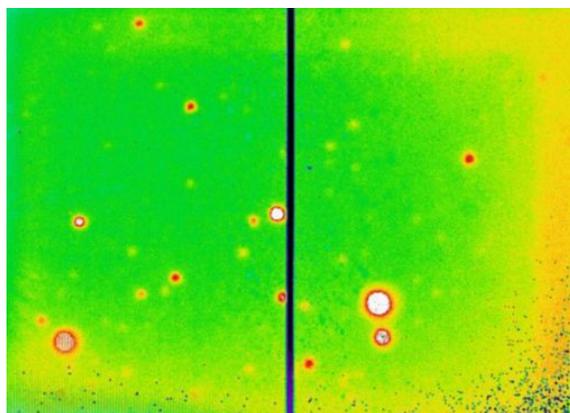


図5. スリットビューワで観測した星像の一例。画像中央の縦線はスリット位置に対応する。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

1. Takuya Furuta, Takahiro Nagayama, Hidehiro Kaneda, Takuma Kokusho, Takuro Tsuchikawa, Misato Fukagawa, Daisuke Ishihara, “Development of the near-infrared spectrometer for the IRSF telescope”, JAXA special Publication, 査読無, JAXA-SP-17-009E, 2018, pp.253-255

〔学会発表〕(計3件)

1. 國生拓摩、古田拓也、石鉢卓也、森鼻久美子、永山貴宏、「IRSF分光器の開発」、IRSF勉強会、2019年3月、名古屋大学

2. 古田拓也、國生拓摩、石鉢卓也、森鼻久美子、永山貴宏、「IRSF分光器の開発」、IRSF勉強会、2018年3月、名古屋大学

3. Furuta, T., Nagayama, T., Kaneda, H., Kokusho, T., Yamaguchi, Y., Tsuchikawa, T., Fukagawa, M., Ishihara, D., “Development of the near-infrared spectrometer for the IRSF telescope”, The Cosmic Wheel and the Legacy of the AKARI archive: from galaxies and stars to planets and life, Tokyo, Japan. October, 2017

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。