

海外特別研究員最終報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

採用年度 2019

受付番号 201960104

氏名 長尾 謙史 (氏名は必ず自署すること)

海外特別研究員としての派遣期間を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。
なお、下記及び別紙記載の内容については相違ありません。

記

1. 用務地 (派遣先国名) 用務地: Turku (国名: Finland)
2. 研究課題名 (和文) ※研究課題名は申請時のものと変わらないように記載すること。
星周環境から迫るIa型超新星の多様性
3. 派遣期間: 平成 31 年 4 月 1 日 ~ 令和 3 年 3 月 30 日
4. 受入機関名及び部局名
受入機関名: Univeristy of Turku
部局名: Department of Physics and Astronomy
5. 所期の目的の遂行状況及び成果... 書式任意 **書式任意 (A4判相当3ページ以上、英語で記入も可)**

(研究・調査実施状況及びその成果の発表・関係学会への参加状況等)

(注) 「6. 研究発表」以降については様式10-別紙1~4に記入の上、併せて提出すること。

近年知られるようになってきたIa型超新星の多様性の起源を明らかにすることが本研究の目的であった。

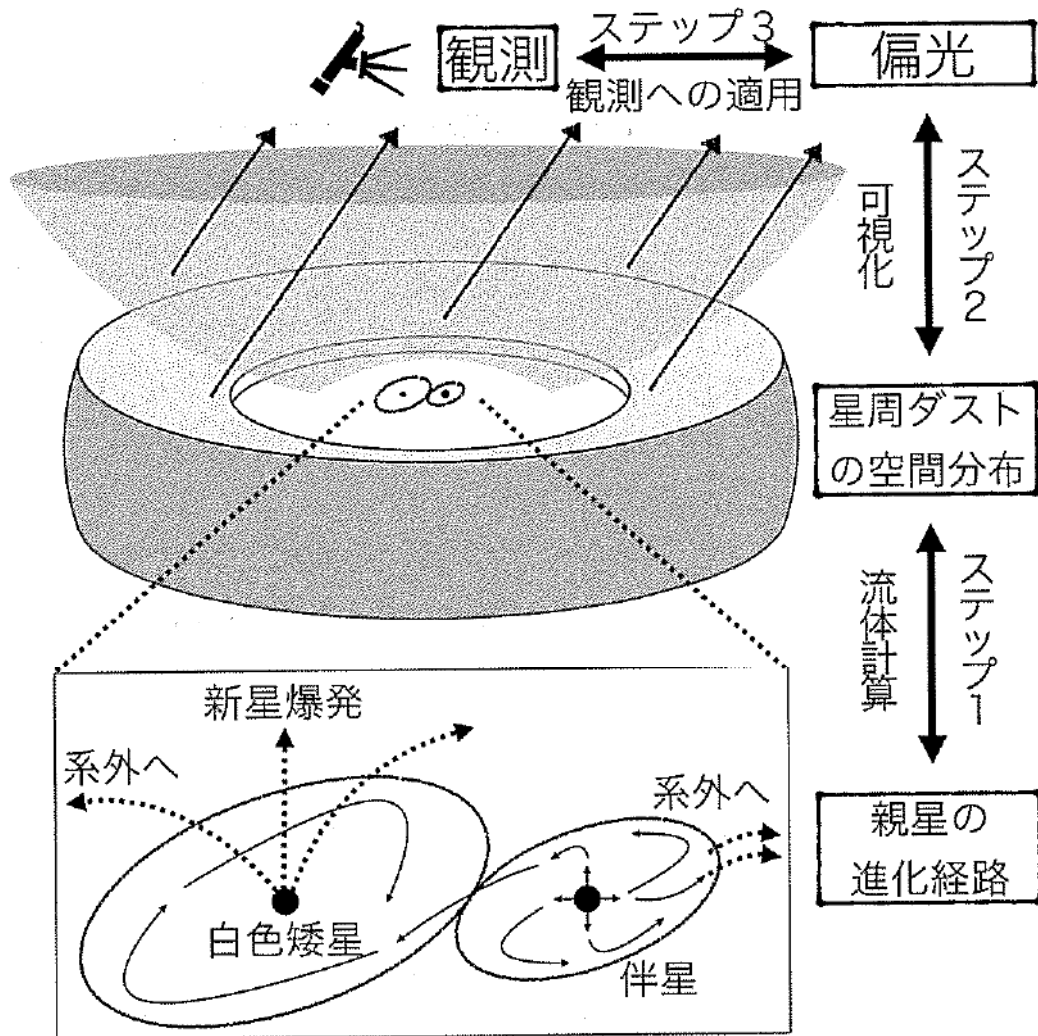
Ia型超新星は宇宙において重要な役割を果たす鉄の主な供給源である。そのため、Ia型超新星を理解することが宇宙の歴史を紐解く鍵になる。鉄は大きなオパシティを持って、星の中心部での核反応や星からの質量放出を支配することで星の人生を決めている。

特に、近年、比較的似た性質を示すと思われて来たIa型超新星の明るさやスペクトルなどの観測的性質に多様性があることが明らかになってきており、その理解が大切である。比較的均質な性質を持つクラシカルなIa型超新星に加え、発生頻度が低い鉄を多く作るスーパーチャンドラセカールIa型超新星や発生頻度が高い鉄をあまり作らないIax型超新星などといったサブクラスが見つかっている。

詳細に宇宙の進化におけるIa型超新星の役割を議論するには、親星だけでなく、どういった連星の進化を経るとそのサブクラスになるのかということを理解する必要がある。

手法としては、偏光観測から詳細に星周ダストの空間分布を明らかにすることで、そ

それぞれのIa型超新星サブクラスの爆発に至る進化経路を調査することを想定していた。というのも爆発前の質量放出で作られた星周ダストの空間構造には、親星の進化の歴史が刻まれているからである。星周ダストの空間分布は、白色矮星表面での新星爆発に伴う球対称的な質量放出と質量輸送に伴う円盤状の質量放出の寄与の兼ね合いによって決まっている。



具体的には、以下の3ステップに基づいてこの問題に取り組むことを想定していた。

(ステップ 1): どういった進化経路を経るとどういった空間構造の星周ダストを持つのかを調べる。具体的には、色々な連星のパラメータを持つ親星に対して、その親星が辿る進化過程で作られる星周ダストの空間分布を計算する。その際、超新星の分野で広く活用されている流体計算コードの一つであるGADGET-2コードを用いる。連星のパラメータとしては伴星質量・伴星からの質量放出率・連星間距離の3つのパラメータを用いる。

(ステップ 2): (ステップ 1) で予想される空間構造の星周ダストが偏光でどう見えるかを計算する。(ステップ1)で得られた色々な量と空間分布の星周ダストに対して、偏光の輻射輸送計算を実行する。この際、自身のこれまでの研究で開発した3次元モンテ

カルロ輻射輸送計算コードを用いる。

(ステップ3):実際の観測と比較することで、各サブタイプの爆発に至る進化経路を調べる。(ステップ2)で得られた理論的予測を用いて、実際の偏光観測から様々なクラスのIa型超新星の親星の進化経路を明らかにする。

これら上記の事柄が、申請書で想定していた研究計画である。この2年間における実際の研究状況を以下で述べる。

(ステップ3)において、偏光観測を行うにあたり必要となる偏光観測の基礎を、受入研究者であるヨーロッパ南天天文台のFerdinando Patat氏から直接指導を受けた。偏光観測の基礎を学ぶにあたり、Ferdinando Patat氏のグループでVLT望遠鏡を用いて取得されたIIP型超新星、SN2017gmrのスペクトル偏光データを解析することから始めることにした。IRAF/Pyrafという天文データ解析ソフトを用いてデータを解析するだけでなく、今後の解析の自動化の為に、天文分野で一般的に使用されているプログラミング言語であるPythonを用いて、偏光観測のデータを処理するプログラミングコードの構築も行った。観測データから偏光の情報を引き出すだけでなく、それらの情報がどの程度の精度を持っているかということの評価するためにエラーの大きさなどデータの統計的な取り扱いの理解も深めた。この過程において、Ferdinando Patat氏、Aleksandar Cikota氏、Stefan Taubenberger氏などの指導を受けた。

この過程で得られた超新星SN2017gmrの偏光情報を、自身のこれまでの偏光の輻射輸送計算結果と比較することで、この超新星がこれまで報告されてきたIIP型超新星に比べて最も大きくゆがんだ爆発形状をしていることを発見した。この発見は、IIP型超新星の中に大きく歪んだ爆発形状のものがあることだけでなく、超新星爆発の形状に大きな多様性があることを明らかにした。これらの成果は自身が筆頭著者の論文として国際査読誌に掲載された(Nagao et al. 2019, MNRAS, 489, L69)。さらに、国際会議“The extragalactic explosive Universe: the new era of transient surveys and data-driven discovery”においてもこの成果を発表し、参加者から様々な有意義なコメントをもらった。

次に、習得したスキルを用いて、IIL型超新星であるSN2017ahnの偏光データを解析した。その結果、この超新星は、IIP型超新星と異なり、極めて球対称的な爆発をしていることを世界で初めて発見した。この結果は、IIP型超新星とIIL型超新星の爆発形状が違っていることを示しており、これらの親星が異なることを示唆している。これは、これまで長年の謎であった、IIP型超新星とIIL型超新星の違いの起源に大きな示唆を与える成果である。この成果は、国際研究会“NUT2 meeting”と“Supernova workshop 2020”で発表した。さらに、自身が筆頭著者の論文として国際査読誌に投稿中である。

実際のIa型超新星の偏光観測データの取得に向けて所属機関がもつ使用を想定していたVLT望遠鏡にプロポーザルを提出していたが、昨年来の世界的な新型コロナウイルスパンデミックの影響で、予定が大きく変更された。昨年の3月以降、1年近く、観測

所が閉鎖され、全くの観測が停止された。今年に入り、徐々に観測が再開され始めたが、パンデミック以降新規の観測提案は停止されており、新たなデータの取得が困難となった。そこで、性能は劣るが稼働している他の望遠鏡でのデータの取得を試みた。その結果、ハワイのハレアカラ天文台のT60望遠鏡を用いて、サブクラスのIa型超新星の偏光観測に成功した。また、自身がPIの北欧光学望遠鏡（NOT望遠鏡）での観測提案が採択されており、現在、サンプルを増やすための観測を実施中である。さらに過去のアーカイブデータも集めている。

（ステップ1）に関しては、用いることを想定していた流体計算コードであるGADGET-2コードの習得を目指した様々な計算を行った。まず、コードの中身の理解に多くの時間がかかった。本研究を行うには、様々な調整が必要であり、コードの中身を正しく理解し、的確に修正できる必要がある。コードの動作の確認として、すでに解析的な解がある単純な流体の系で計算を行い、その解析解と比較するというを行った。その後、このコードを用いて、様々な連星のパラメータを持つ親星に対して、その親星がたどる進化過程で作られる星周ダストの空間構造を計算した。連星のパラメータとしては伴星の質量、伴星からの質量放出率、連星間の距離の3つのパラメータを用いた。

（ステップ2）に関しては、これまでの研究で自身で開発した3次元モンテカルロ輻射輸送計算コードを用いることを想定していた。今回想定している系に適応できるように、プログラミングコードを修正した。現在、（ステップ1）の結果を用いて、予想される偏光を計算している。

様々な不確定要素によって、想定していた予定よりも少し遅れているが、今後、観測データが集まり次第、（ステップ1）、（ステップ2）で計算した結果と比較し、親星の進化経路を明らかにすることを想定している。今後半年程度で研究を完成させ、論文として発表することを想定している。