

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540280

研究課題名(和文)長周期連星系を用いた大質量星の進化の研究

研究課題名(英文)Long period binary on behalf of evolution of massive stars

## 研究代表者

前田 良知 (Maeda, Yoshitomo)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：80342624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：近年になって、見つかった一年程度かそれ以上の長い周期の大質量連星のX線分光観測を行った。CNOなどの元素の輝線・吸収線に高い感度が必要なので、元素組成比の導出には過去最高のエネルギー分解能を誇る「XMM-Newton」衛星の回折格子を用いた。質量放出率を求めるために必要な吸収量などの導出には広いエネルギーバンドに渡って感度の高い「すざく」衛星等を用いた。我々の観測によって、標準的な大質量連星の星風衝突モデルでは、観測結果が説明できない例がたくさんあることが明らかになった。その中でも吸収量を使った質量放出率の見積もりは不定性が少ないことを突きとめ、星風のパラメータを定量的に見積もった。

研究成果の概要(英文)：We have been observing massive-star binaries with a long orbital period of about 1 year or longer. Because high sensitivity is necessary for elemental line and absorption such as CNO, we used the grating spectrometer of the "XMM-Newton" satellite. We used the Suzaku satellites to get a broad band spectrum to find a mass-loss rate of the stellar winds. We found that observation results could not explain in the simple model of standard colliding winds. The estimate of the mass-releasing rate using the absorption columns are useful.

研究分野：X線天文学

科研費の分科・細目：X線天文学

キーワード：大質量星

### 1. 研究開始当初の背景

可視、赤外域の観測体制が世界的に強化され、近年になって、一年程度かそれ以上の長い周期の大質量連星が急激に発見されてきている。このような天体をメインターゲットとしたX線分光観測はまだまだ数が少ないものの、我々はとても面白い結果が出し始めている。

また現在はすざく、XMM-Newton 衛星などの分光に過去最高の分光性能を持つX線観測天文台が稼働中である。数年後にはさらに性能を上げたAstro-H 衛星を打ち上げる。

### 2. 研究の目的

我々生命を構成する最も重要な元素である炭素、窒素、酸素は、主に質量が大きい星(大質量星)のコアで合成され、ウォルフ・ライエ(WR) 星という進化段階で放出される。強い星風によって大量に銀河に供給されるため、銀河のエネルギー進化、重元素汚染を支配する要因の一つである。また、大質量星は宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バーストの前駆星最有力候補である。星風が作る周辺環境はバーストの理解にも不可欠である。そこで、本研究ではいままで測定が難しかった大質量星の「元素組成比・質量放出率」を、進化段階ごとに明らかにすることを目的としている。

### 3. 研究の方法

一年程度かそれ以上の長い周期の大質量連星のX線分光観測を軌道位相毎に行う。C N Oなどの元素の輝線・吸収線に高い感度が必要なので、元素組成比の導出には過去最高のエネルギー分解能を誇る「XMM-Newton」衛星の回折格子を用いる。

質量放出率を求めるために必要な吸収量などの導出には広いエネルギーバンドに渡って感度の高い「すざく」衛星等を用いる。X線・可視・理論を結びつけ、星風のパラメーターを定量的に明らかにする。今後打ち上げるASTRO-H 衛星にはいままでにない精度で元素分析を行う事ができる精密分光装置が搭載

される。この装置を使った観測を実現するために、その観測機器の開発及び性能評価を行う。観測提案の検討も行う。

### 4. 研究成果

軌道要素等が精密に求められている大質量星連星系の論文製作を進めた。まずは国際的なキャンペーン観測を行ったHD193793 システムについての結果をまとめている。精密な軌道パラメーターと組み合わせ、我々の新しい手法を用いれば、X線の吸収量を用いた不定性の少ない質量放出率を導出することができる。星風の加速パラメーター、密度およびそのムラ、重元素率などにほとんど依存しない。唯一のおおきな不定要素であった軌道要素が多波長のモニタリング観測により解決されたため、今回精度高い放出率を求めることができたのである。Secondary のWC7 型星の質量放出率は $1.2 \times 10^{-5}$  Mo/yr と導かれ、過去の観測よりfactor で小さな値になっている。WR星の質量放出率は、大質量星の進化そのものにおおきな影響を与えるパラメーターであり、かつ、その後の爆発(超新星)にも影響を与える根本的なパラメーターである。現在論文査読中である。

これらの質量放出率は、大質量星の進化を司る重要なパラメーターである。大質量星はいずれ超新星爆発を起こし、そのコアに中性子星やブラックホールを残す。その大質量星の進化の状態は爆発時の元素の電離状態にも影響を与えるであろう。(文献参照)

また、観測を進めて行く上で、現在までの理論計算では全く説明できない現象が明らかになってきている。例えば、WR21a (WN5-6+O3) は、可視高分散分光観測によって、周期31.673 日、離心率 $e = 0.64$  (Niemela et al. 2008) が精密に求められている数が少ない大質量連星系であり、X線モニタリングを用いることで、星風衝突研究の良い実験場となることが期待される。

我々は、1978年から2008年にかけて Einstein、ROSAT、ASCA、RXTE、Chandra 衛星によって実施された、計11観測のデータを解析し、遠星点付近で予想の10倍近い増光を報告した(2012年天文学会春季年会)。X線光度は、連星間距離に反比例して変動する予想(例えばUsov 1992)と異なり、近星点付近で減光した。これは、星風加速不足による衝突領域の減少および、近星点通過後、WR星が手前に在る合といった、新しい概念を導入しないと解釈できない。

当研究により、我々のもくろみ通り、吸収量を使った星風の放出率の導出を行う事はでき始めている。ただし、X線の光度の軌道位相依存性など、いままで考えられてきた単純な理論計算では到底説明できないことがわかった。当研究機関の最終月(2014.3)に数値計算の専門家を招き、観測から期待される数値計算についての意見交換を行っている。

また、次の10年の主要な観測装置となる ASTRO-Hの精密分光装置SXSについては、その望遠鏡部の製作を終えている。性能評価も大雑把なものを終了し、想定していた能力で観測ができることを実証している(文献参照)。この装置を使った大質量星の星風のパラメータの導出計画等は我々によって、ASTRO-Hの白書の中にまとめられる(原稿はすでに完成している)予定である。今後はこの計画を元に、観測提案を行い、その実現をめざしていくことになる。

当研究は中央大学の菅原泰晴氏との共同研究です。研究計画の遂行にあたって、多大な協力を頂いています。また、当観測計画はX線衛星なしには実現できません。「すざく」「XMM-Newton」といった衛星の観測データ取得を支える運用関係者に感謝いたします。また、提案書や報告書の細部までご確認頂いている学術支援系の皆様に献身的な支えがあって、当研究が実現できております。

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3件)

- [1] Yamaguchi, Hiroya, et al.: Discriminating the Progenitor Type of Supernova Remnants with Iron K-shell Emission, *The Astrophysical Journal Letters*, 査読有, 785:4(2014), L27-L31
- [2] Maeda, Yoshitomo; Mori, Hideyuki; Dotani, Tadayasu: "A new eclipsing low-mass X-ray binary with a giant companion", *Advances in Space Research*, 査読有, 51:1(2012), 1278-1281
- [3] Mori, Hideyuki; Maeda, Yoshitomo; Ueda, Yoshihiro; Dotani, Tadayasu; : "Suzaku Observations of Unidentified X-Ray Sources toward the Galactic Bulge", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 査読有, 64:1(2012), 112-1-11

[学会発表](計9件)

- [1] Maeda, Y., et al., 「X-ray line analysis of the Fe groups of Cassiopeia A with Suzaku」, Suzaku-MAXI 2014 "Expanding the Frontiers of the X-ray Universe", 2014年02月19日~2014年02月22日, Ehime, Japan
- [2] Sugawara, Y., Maeda, Y., et al., 「The X-ray in formation on the progenitors of core-collapse supernovae」, Multi-messengers from Core-collapse Supernovae, 2013年12月02日~2013年12月06日, Fukuoka, Japan
- [3] 佐藤寿紀、市原昂、富川和紀、石田學、前田良知、林多佳由:他、「宇宙科学研究所 新X線ビームラインの構築」,日本天文学会2013年春季年会, 2013年03月20日~2013年03月23日, 埼玉大学
- [4] 林多佳由, 市原昂, 富川和紀, 佐藤寿紀, 佐藤拓郎, 前田良知, 石田學「宇宙科学研究所 新ビームラインの優位性の検証」, 日本天文学会2013年春季年会, 2013年03月20日~2013年03月23日, 埼玉大学

[5] 前田良知:他、「ASTRO-H」, 第13 回高宇  
連研究会「高エネルギー宇宙物理学の最新成  
果と将来への展望」, 2013年03月04日 ~ 2013  
年03月06 日, 石川県文教会館(金沢市尾山町  
10-5)

[6] 前田良知、佐藤寿紀、富川和紀、市原昂、  
佐藤拓郎、林多佳由、石田学「JAXA 宇宙科  
学研究所30m X 線ビームライン改造計画」,  
日本天文学会2012年秋季年会, 2012年09月19  
日 ~ 2012年09月21日, 大分大学

[7] 菅原泰晴、坪井陽子、前田良知「系内  
Wolf-Rayet 星の X 線帯域における統計的調査  
II」, 日本天文学会2012 年秋季年会, 2012年09  
月19日 ~ 2012年09月21日, 大分大学

[8] Maeda, Y. 「An X-ray study of mass-loss rate  
and wind acceleration of massive stars」, IAU 279,  
2012 年3月12 日, 栃木県日光市

[9] Maeda, Y. 「大質量星の質量放出率と星風  
加速の研究」, ガンマ線バーストで読み解く  
太古の宇宙, 2012年2月6日, 東京工業大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

〔その他〕  
ホームページ等

6 . 研究組織  
(1)研究代表者

前田良知 ( MAEDA, YOSHITOMO )  
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科  
学研究所・助教  
研究者番号 : 30342624

(2)研究分担者  
( )

研究者番号 :

(3)連携研究者  
( )

研究者番号 :