

氏名・(本籍)	アンドウ カズコ 安藤 和子 (岡山県)
学位の種類	博士 (学術)
学位記番号	甲第総25号
学位授与の日付	令和4年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第3項該当 (課程博士)
学位論文題目	特異な共生星MWC560の観測 Observations of the peculiar symbiotic star MWC560
論文審査委員	主査 准教授 本田 充彦 副査 教授 亀崎 直樹 教授 大橋 唯太 准教授 渡邊 誠 准教授 野上 大作 (京都大学大学院理学研究科)

論文内容の要旨

申請者 安藤 和子

論文題目

“特異な共生星 MWC 560 の観測”

Observation of the peculiar symbiotic star MWC 560

1. はじめに

共生星は白色矮星（主星）と赤色巨星（伴星）からなる連星系である。2つの天体の相互作用によって明るさを変えることから、変光星に分類される。また共生星は急激に明るさを変える天体もあることから、激変星の仲間とされている。共生星は伴星からの質量移送によって主星の周りに降着円盤を形成している。共生星の増光は共生新星と古典的共生星に分類される (Mikolajewska 2011)。共生新星とは、白色矮星への水素に富んだ降着の結果、白色矮星表面上の熱核暴走反応によって起こる新星のことである。古典的共生星については様々なモデルが提案されており、共生星でみられる爆発的増光（アウトバースト）は、(1) 矮新星でみられる降着円盤の状態変化、(2) 白色矮星表面上でおこる核燃焼、(3) シェルフラッシュに要因を絞ることが可能となってきた。

共生星は Ia 型超新星への進化が予想されている重要な天体である。宇宙の標準光源として科学的に重要である Ia 型超新星は、爆発前の天体（親星）は観測的に同定されていない。2011 年に発見された超新星 PTF11kx は、観測から Ia 型超新星であり、その親星が共生星であった証拠をつかんだことが報告されている (Dilday et al. 2012)。Ia 型超新星になるには、主星の白色矮星の質量が $1.4M_{\odot}$ に近づく必要がある。共生星が Ia 型超新星の親星となるのに十分な質量を蓄積できるのかの決めてとなるのは、(i) 赤色巨星から白色矮星およびその周りの降着円盤への質量輸送、(ii) 降着円盤から白色矮星への質量降着、(iii) 白色矮星によるジェット形成 (Korreck et al. 2006)、(iv) 新星爆発や古典的共生星の増光に伴う質量損失である。しかし、赤色巨星から白色矮星への質量輸送の方法や、その効率、新星爆発とジェットによる白色矮星からの質量損失の量は不明な点が多い。これらを解決し、共生星の白色矮星の Ia 型超新星への成長の可能性を制約するため、観測・シミュレーション・モデルによる多面的な研究が必要である。

本論文の目的は特異な共生星 MWC560 の個別天体研究、また Ia 型超新星となり得る可能性のある共生星(MWC 560)を長期的に観測し、特に 2018 年の予想外のアウトバーストの要因を明らかにすることを目的としている。

2. 共生星 MWC 560

MWC 560 は P. W Merrill が開始したウィルソン山天文台 H α 輝線サーベイ観測で、Merrill & Burwell (1943) によって報告された共生星である。1990 年増光時に高速のアウトフローが観測され、注目された (Tomov 1990)。MWC560 は共生星でジェットとフリッカリングという 2 つの現象を示す稀な天体である。図 1 は Munari et al. (2016) が示した光度曲線である。MWC 560 では短い周期(331 日)と長い周期

(9570 日と 1860 日)について議論されている。これらの周期は光度曲線の変化から求められており、どれが MWC 560 の連星の軌道周期に相当するかは、十分に確立されていない。光度曲線に見られるアウトバーストが 1860 日の周期に関係しているとする、直近のアウトバーストは 2016 年 3 月であるので、次の明るくなるイベントは 2021 年 3 月頃に観測されることが予想されていた。しかし、2018 年 11 月に Goranskij et al. (2018)により予想外の増光が報告された(図 2 の矢印)。2018 年に予想外の増光を起こし、静穏状態に戻らず緩やかに増光傾向にある。

3. 観測

本論文では岡山理科大学天文台と船穂天文台(赤澤秀彦氏による)にて 2016 年 3 月 26 日より低分散分光観測($R \sim 400$)で取得した結果と、岡山県井原市美星天文台にて、2019 年 12 月 27 日と 2020 年 12 月 12 日に 101cm 望遠鏡を用いて取得した結果と、国立天文台すばる観測所岡山分室にて、2018 年 12 月 25 日より 188cm 望遠鏡と分光器 HIDES-F を用いて高分散分光観測($R \sim 65000$)で取得した結果を詳細に報告する。

4. 結果

2016 年増光以降のスペクトルではほとんど変動を見せなかったが、2018 年 4 月に徐々に水素のバルマー線($H\alpha$)のアウトフローの速度は -1000 km/s に鈍化した。そして次の観測シーズンの初めにスペクトルが変化した。シーズン 1 である 2018 年 11 月 14 日以降の低分散分光観測では、水素のバルマー線に吸収線は見えなくなった。輝線の形状が変化していく様子を捉えた。(図 3)。一方、高分散分光観測では水素のバルマー線に吸収線が観測されたが、約 -200 km/s と低分散分光観測で分解するにはアウトフローの速度が遅すぎる結果となっていたことが分かった。このアウトフローの速度は輝線のピークと吸収線のピークの差で求めた。また図 4 (上パネル)で示した通り、 $H\alpha$ 線に、吸収線の他に 2 つの輝線成分(明るい輝線の主成分と幅の広い輝線 wing 成分)を捉えた。

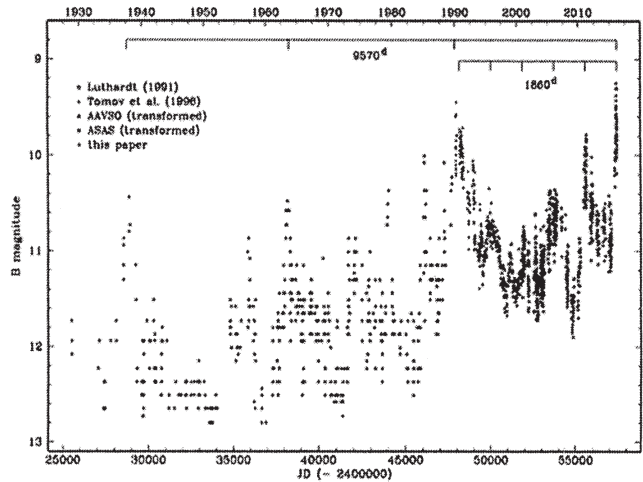


図 1. 1928 年～2016 年の MWC 560 の光度曲線 (Munari et al. (2016))

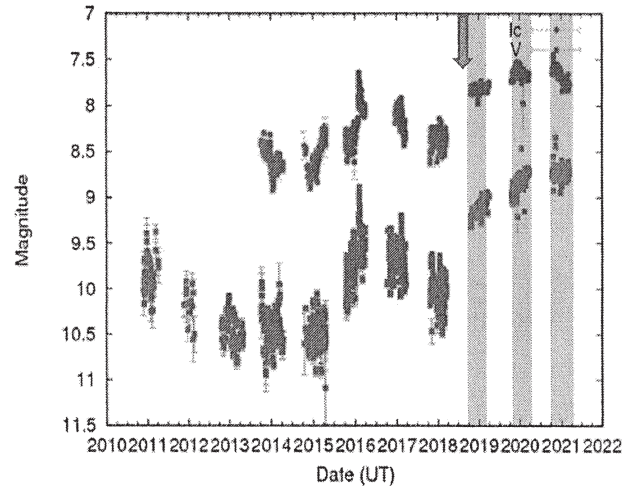


図 2. KWS (Kamogata-Kiso-Kyoto Wide-Field Survey) で得られた MWC 560 の光度曲線

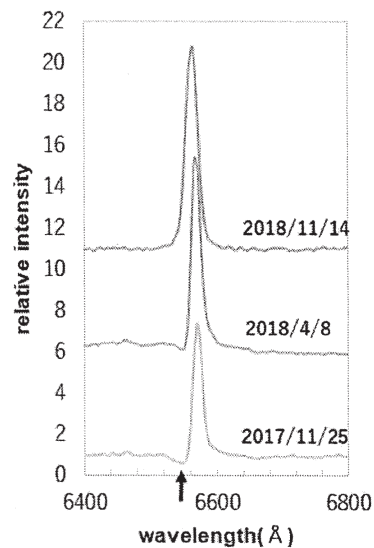


図 3. MWC 560 の $H\alpha$ の拡大図

シーズン1の2018年12月からシーズン2の2019年2月までは幅の広い輝線 wing 成分を観測し、この wing 成分の速度幅は $v_{FWHM} = 700$ km/s であった。この wing 成分は2020年2月5日には消えた。

図5は、2018年12月から2021年5月までのアウトフローの速度を示している。シーズン2では -230 km/s とシーズン1より大きい速度を持つアウトフローが観測された。アウトフローの速度はシーズンごとに連続的に減少している。

またH α 輝線には、2018年12月25日、2019年12月9日、2020年9月14日、2020年12月1日にダブルピークを検出した。

観測結果から2018年のアウトバースト時(シーズン1からシーズン2にかけて)間欠的なアウトフローを観測したことを提案できる。また低速の吸収線の形成場所を推定し、白色矮星の重力によってシェルの膨張が遅くなっている現象を観測している可能性があることがわかった。

5. まとめ

本研究では増光中のスペクトルに吸収線を伴う wing 成分と呼ぶ高速の輝線成分を検出し、時間変動がみられる一過性の現象であることを発見した。またこの天体では初めてメインの強い輝線にダブルピークを報告した。2018年11月の増光時に、高速の吸収成分が消えたが、高分散分光観測をおこなったことで、低速の吸収成分が残っていること、その速度が時間とともに減少することを検出した。このような振る舞いは他の共生星では確認されていない変化であり、長期のモニター観測の重要性を示したとともに今後の共生星の進化の解釈へ貢献できる。

主要参考文献

- Kenyon, S. J. 1986, "The symbiotic stars", Cambridge
 Lucy, A. B. et al. 2020, MNRAS, 492, 3107
 Munari, U. 2019, arXiv, 190901389
 Tomov, T., et al. 1990, Nature, 346, pp.637-638
 Tomov, T., et al. 2010, ARep, 54, pp.628-644

研究業績

1. 発表論文 (査読あり)
- 1.1 筆頭論文 (2 篇)

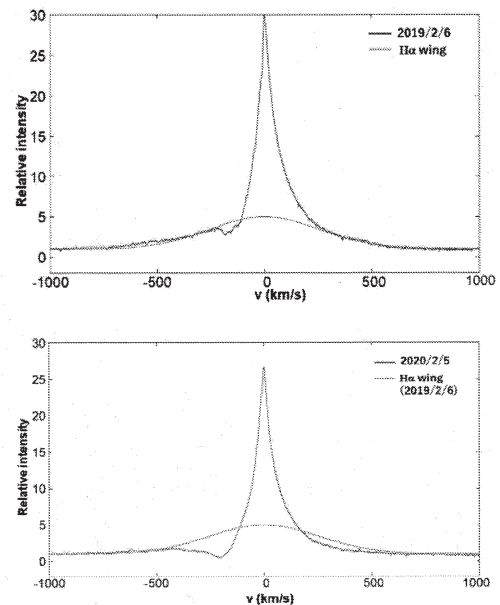


図4. 輝線 wing の出現と消失

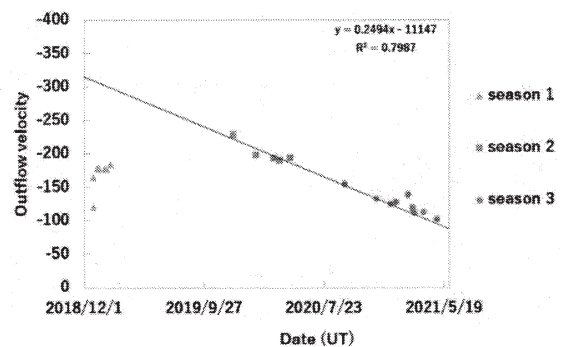


図5. 2018年12月から2021年5月までのアウトフローの速度

1. Kazuko Ando, Naoya Fukuda, Bunei Sato, Hiroyuki Maehara, Hideyuki Izumiura
Optical spectroscopic observation of a symbiotic star MWC 560 in the mass accumulation phase
Publications of the Astronomical Society of Japan, 73, L37 - L41 (2021 Aug. 21)
2. Kazuko Ando, Naoya Fukuda, Hidehiko Akazawa, Bunei Sato, Ryo Hasegawa, Yohei Koizumi, Masashi Omiya, Hiroki Harakawa, Eiji Kambe, Hiroyuki Maehara, Hideyuki Izumiura
Optical spectroscopic monitoring of the symbiotic star MWC 560 before and after 2018 unpredicted brightening
Publications of the Astronomical Society of Japan, 73, L1 - L5 (2021 Mar. 25)

2 国際会議

2.1 共同発表 (2 篇)

1. Kenji Tanabe, Kazuko Ando, Naoya Fukuda
Balmer decrement and outbursts of symbiotic stars (proceeding:)
The Golden age of cataclysmic variables and Related object (in Palermo, ITALY), 2019/9/2 - 09/7
2. Kenji Tanabe, Naoya Fukuda, Kazuko Ando
A Long Orbital Period Dwarf Nova V364 Lib possible black hole binary (proceeding:)
The Golden age of cataclysmic variables and Related object (in Palermo, ITALY), 2019/9/2 - 09/7

3 学会発表

3.1 学会・筆頭発表 (他 3 篇, 他 共同発表 4 篇)

1. 安藤和子、福田尚也 (岡山理科大学)、赤澤秀彦 (船穂天文台)、佐藤文衛、長谷川椋 (東京工業大学)、泉浦秀行 (国立天文台)、HIDES-F 運用グループ
「共生星 V694Mon の可視分光観測」(電子予稿集:p. 132)
日本天文学会 2020 年春季年会 (in 筑波大学), 会期:2020/3/16-2020/3/19
2. 安藤和子、田邊健茲、赤澤秀彦、福田尚也
「共生星のアウトバーストとバルマー逓減率」(予稿集:p. 80)
日本天文学会 2019 年春季年会 (in 法政大学), 会期:2019/3/14-2019/3/17
3. 安藤和子、田邊健茲、赤澤秀彦、福田尚也
「共生星 AG Dra の 2016-2018 アウトバースト期における可視分光観測」(予稿集:p. 88)

4. 研究会・筆頭発表 (他 7 篇, 共同 2 篇)

1. 安藤和子、福田尚也、赤澤秀彦、HIDES-F チーム
「共生星 MWC 560 可視分光観測」(集録:pp)
第 26 回天体スペクトル研究会 (オンライン), 会期:2021/2/27 - 2021/2/28
2. 安藤和子、福田尚也、赤澤秀彦、HIDES-F 運用チーム
「共生星 MWC 560 の低分散・高分散分光観測」(集録:pp21-24)
第 25 回天体スペクトル研究会 (オンライン), 会期:2020/2/29 - 2020/3/1

審査結果の要旨

本論文では、共生星(白色矮星と巨星の二重星系)である MWC560 の可視分光観測をベースに、系の構造や現象の真相を明らかにし、共生星や恒星進化を観測的に検証することを目的としている。共生星はまた、天文学において宇宙の標準光源として用いられている Ia 型超新星の親星の一つとしても興味を持たれており、どのような進化を経て超新星に至るのか、また至らないのかを理解することが、Ia 型超新星の性質を理解するうえでも望まれている。

今回注目した共生星 MWC560 (いっかくじゅう座 V694) は、1990 年に増光し 6000km/s におよぶ高速なアウトフローを示したことで注目された天体である。この天体は 2021 年 3 月に再増光されると予想されていたが、予想と異なりそれよりも早い 2018 年 11 月に増光を開始し、その増光は 2021 年 12 月も続いている。

本論文では、岡山理科大学天文台および浅口市にある国立天文台すばる望遠鏡岡山分室の 188cm 望遠鏡を用いて長期間にわたる可視高分散分光モニタリング観測を実施した。その結果、 $H\alpha$ 輝線プロファイルの時間変化を詳細にとらえることに成功した。特に青方偏移した吸収線成分およびほぼ対称な輝線成分の時間変動の詳細を明らかにした。また、MWC560 の増光時に、 $H\alpha$ 輝線の裾部分に一時的に wing と呼ぶ高速成分が出現していることを発見した。この成分の解釈として、一時的な質量降着率および激しいアウトフロー活動を提唱している。

また、MWC560 の増光原因として、白色矮星表面での核融合説を提示している。その後、予備審査の指摘を受け、これらの解釈は一意的なものではなく、他の解釈が成り立つ可能性も併記されたが、輝線の一時的な高速成分の検出は、MWC560 の白色矮星への質量降着が断続的なものであることを提示しており、学術的な意義は十分にある。

これら一連の研究を行う際に必要とされる高度な専門知識、技術を習得していること、研究遂行の際に生じる様々な問題点を工夫して解決する能力を有していること等、学位授与の基準を満たしていることを確認した。また、本内容は国際的な学術雑誌に 2 編が掲載されており、学会などでも発表されている。

以上より、最終試験に合格と判断し、学位を授与するのにふさわしいと認める。