

回帰新星 U Sco における可視光光度変化の観測

野田 和宏¹⁾・山内 誠²⁾

Observation of Optical Behavior in Recurrent Nova U Sco

Kazuhiro NODA, Makoto YAMAUCHI

Abstract

U Sco is a recurrent nova. It is predicted that it will erupt around 2009 ± 0.1 . We started its observation from 2009 January 2 to study the optical behavior during its eruption using the 30cm telescope (RIMOTS) at Miyazaki University. The eruption of U Sco was noticed by Harris.B at 11:23:40 UT on 2010 January 29. The brightness at that time was 7.88 ± 0.01 mag. Unfortunately, at the time of eruption we could not observe it due to the weather condition. After that, we obtained the data by RIMOTS at six days. From its peak absolute magnitude, we conclude this eruption is not due to type Ia supernova but due to nova. It is derived comparing the observed optical light curve with the one deduced from optically thick wind theory, that the mass of the white dwarf.

Keywords: U Sco, Recurrent nova, Optical observation, White dwarf

1. 研究背景と目的

晩年の恒星から白色矮星へとガスが流れこむほどの近距離で、2つの星が共通重心を回っているとき、白色矮星へながれこんだ水素ガスがある一定量を越えた時に起こる核融合反応により、白色矮星の光度が急激に明るくなることを新星現象と呼び、新星現象が2回以上観測された天体を回帰新星と呼ぶ。この時、白色矮星表面に降り積もったガスの層は吹き飛ぶが、新星現象を起こした天体は数千年から1万年という長い年月をかけて同じように白色矮星表面に水素ガスを溜めていき、再び新星現象を起こすと考えられている。しかし、回帰新星は10年から80年という短い期間で再増光が観測されている¹⁾。この原因は、白色矮星の質量が大きいために、通常の新星よりも核融合反応を起こすために必要な水素ガスが溜まる時間が短いからだと考えられている。また、回帰新星は白色矮星の質量が増えているものもあるとの研究結果が報告されている¹⁾。そして、白色矮星には上限質量があると考えられており、その上限質量に達した白色矮星は、白色矮星全体が吹き飛ぶIa型超新星爆発と呼ばれる大爆発を起こすと考えられている。U Sco は回帰新星の中でも新星現象の回数が最も多く、約10年周期で増光している¹⁾ことから、白色矮星の質量が増えているであろうと考えられており、いつ、Ia型超新星爆発をしてもおかしくない状況である。また、U Sco は過去の増光の周期から、 2009.03 ± 1.0 年に再増光

するとの予測がたてられていたため²⁾、U Sco の増光の様子を捉え、得られた光度曲線から新星現象なのかIa型超新星爆発なのかを判断し、新星現象であれば白色矮星の質量を見積もることを目的とした。

2. 観測

観測期間は2009年1月2日から2010年5月12日までで、観測日数は合計302日である。観測には宮崎大学工学部A棟屋上に設置されているガンマ線バースト観測専用システムRIMOTS(Riken-Miyazaki Optical Transient Seeker)を用いた。U Sco はいつ増光を開始するかわからないため、増光の様子を捉えるために、連日の観測を行う必要がある。そこで、RIMOTSをガンマ線バーストの即応観測に対応できる状態に保ちつつ、RIMOTSがU Scoの自動観測をするようにシステムを改造し、観測を行った。Linnolt.M氏の観測によると世界時間の2010年1月27日15:03:01にはU Scoは16.5等級よりも暗かったが、Harris.B氏による観測では世界時刻の2010年1月28日11:23:40にはU Scoが 7.88 ± 0.01 等級に増光していることが判明した。この時の宮崎には前日から雨が降っており、RIMOTSでU Scoの増光の様子を捉えることはできなかったが、その後の観測でU ScoがRIMOTSでの観測限界以下に減光するまでに計6日間のデータを得ることができた。

1) 応用物理学専攻大学院生

2) 材料物理工学科准教授

3. 解析

3.1 測光

観測した画像の測光にはアパーチャー測光を採用した。アパーチャー測光とは、測光する目標天体を覆う円で区切った測光領域内のカウント数から、測光領域の外側の領域から見積もったバックグラウンドを差し引くことで、目標天体のみのカウント数を見積もる測光方法である。ここで、カウント数とは明るさに比例する値のことである。アパーチャー測光の概念図を図1に示す。

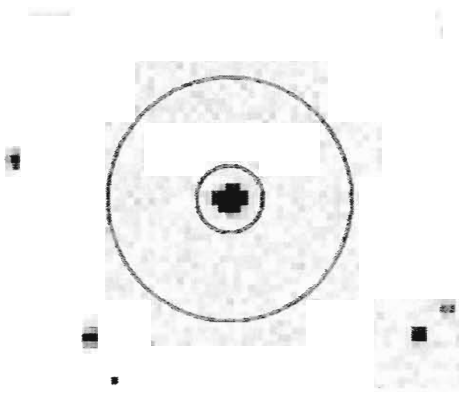


図1. アパーチャー測光の概念図.

図1の中心にある黒い丸が目標天体の星像、目標天体からみて内側の円が測光領域、測光領域の外側の円環の領域がバックグラウンドを見積もる領域である。

3.2 解析結果

アパーチャー測光を用いて解析した結果を U Sco の増光が発見された2010年1月28日前後でまとめたものを図2に示す。

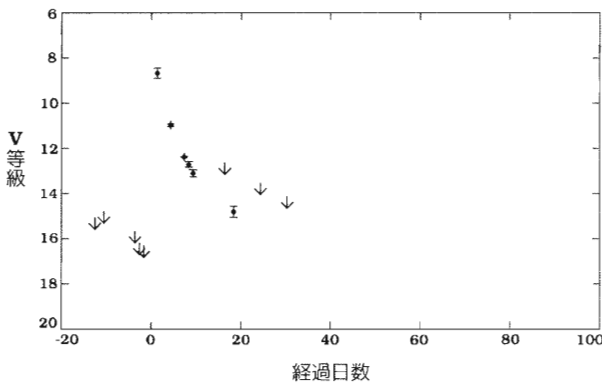


図2. RIMOTS での観測結果.

丸印が U Sco の等級を示しており、矢印が U Sco の明るさの上限値となる等級を示している。

4. 考察

4.1 増光現象の分類

RIMOTS で U Sco の星像が初めて観測できたのは2010年1月29日で、図2から時間の経過とともに減光していることがわかる。しかし、今回の観測では、極大時がいつであったのかはわからない。そこで、極大等級を仮定しなければならない。Harris 氏によって増光が発見された時の明るさを極大等級だと仮定すると、U Sco を 10pc 離れた場所で観測した場合の等級は -7.52 ± 0.16 等級となった。また、増光前の最後の観測直後に極大等級に達したと仮定した場合での 10pc 離れた距離から観測した時の等級は、RIMOTS と AAVSO(American Association of Variable Star Observers)に報告された観測結果に閾値の当てはめを行って見積もった。閾値の当てはめの結果を図3に示す。

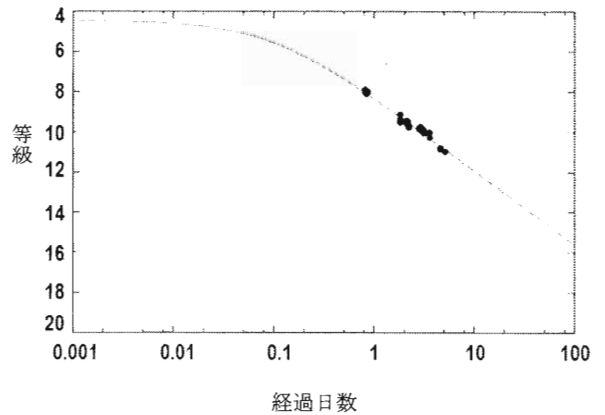


図3. 閾値の当てはめの結果.

図3は世界時間の2010年1月27日15:03:01を0日としている。丸印が U Sco の等級を示しており、破線が閾値を示している。極大時から時間が経過するにつれて、減光のスピードが遅くなっていくので、閾値の当てはめには Harris 氏の観測から3等級暗くなるまでの観測結果を選び、閾値の当てはめを行っている。その結果、増光発見前の最後の観測直後に極大等級に達したと仮定した場合での U Sco から 10pc 離れた場所から観測した場合の等級は、 -4.50 ± 0.12 等級と求められた。これまでに観測された Ia 型超新星爆発では Ia 型超新星爆発を起こした天体から 10pc 離れた場所から観測した場合の等級は-18 等級以上に明るくなっている³⁾ので、2010年度の U Sco の増光は Ia 型超新星爆発ではなく、新星現象であったと考えられる。

4.2 白色矮星の質量

図4は白色矮星の質量の違いによる新星の減光の様子を示した理論光度曲線である⁴⁾。図中に示した質量は白色矮星の質量で、白色矮星の質量が軽ければ軽いほど曲線の

傾きは穏やかであり、白色矮星の質量が重ければ重いほど傾きが急になっているのがわかる。

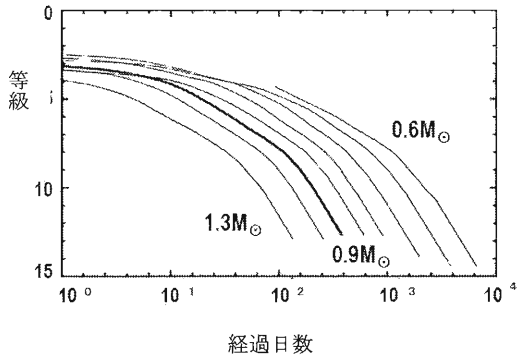


図 4. 理論光度曲線.

U Sco の観測から得られた光度曲線の傾きを理論光度曲線の傾きとくらべることで、白色矮星の質量を見積もった。また、理論光度曲線は白色矮星に流れこむガスの元素組成によって異なるため、複数の元素組成の理論光度曲線の傾きと今回の U Sco の観測から得られた光度曲線の傾きを比較した。図 5 は白色矮星に流れこむガスが太陽組成比だとした場合の理論光度曲線に U Sco の光度曲線を重ねたものである。丸印が U Sco の観測結果を示している。図 6 から図 9 までは流れこんできたガスの元素組成を図中に表記している。

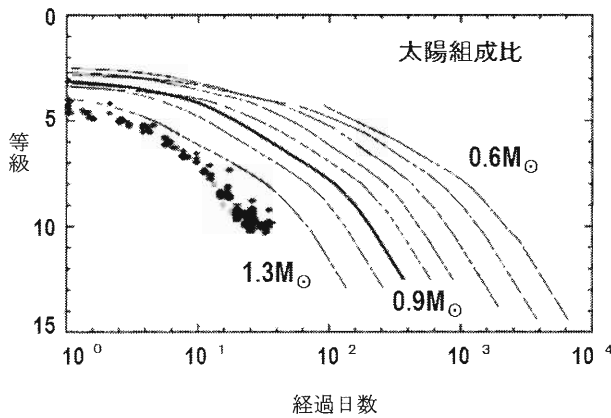


図 5. ガスを太陽組成比とした場合の理論光度曲線.

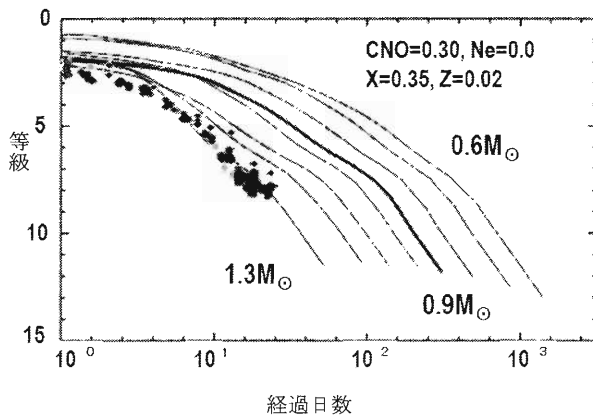


図 6. ガス中の水素を 35%とした場合の理論光度曲線.

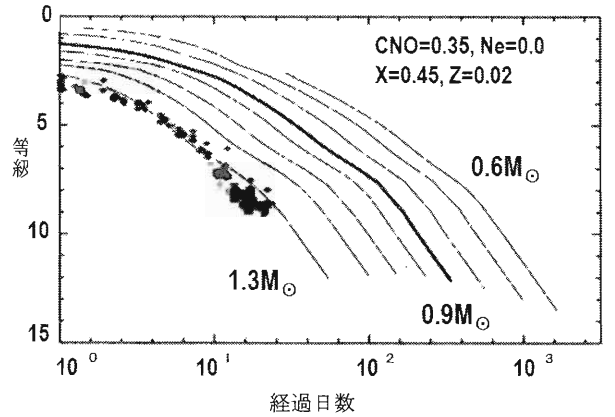


図 7. ガス中の水素を 45%とした場合の理論光度曲線.

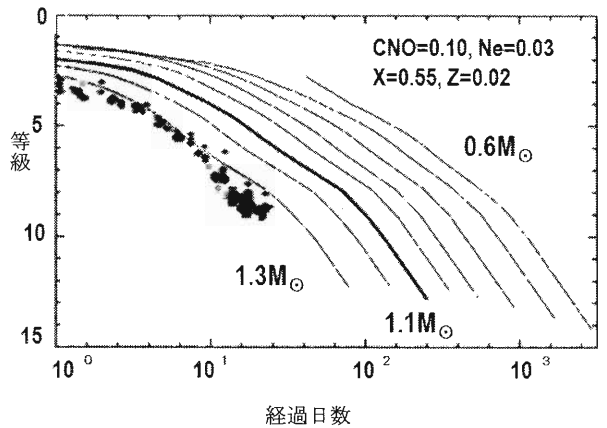


図 8. ガス中の水素を 55%とした場合の理論光度曲線.

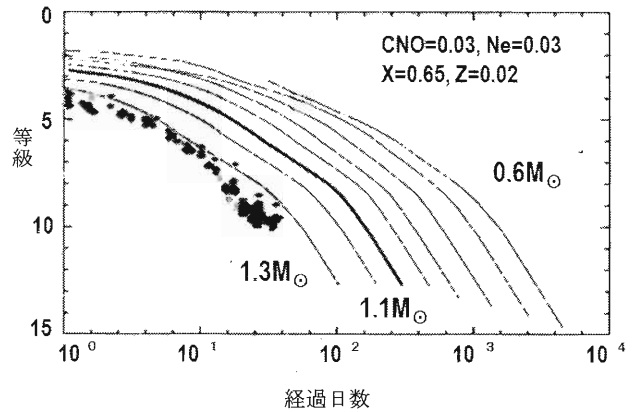


図 9. ガス中の水素を 65%とした場合の理論光度曲線.

ここで、X とは水素のことを表しており、Z とは重元素のことを表している。図 5 より、U Sco の光度曲線の傾きを、どの元素組成の理論光度曲線と比較した場合でも、U Sco の光度曲線は白色矮星の質量が $1.3M_{\odot}$ の場合の理論光度曲線よりも急なので、U Sco の白色矮星の質量は $1.3M_{\odot}$ よりも重いと考えられる。白色矮星の上限質量が $1.378M_{\odot}$ と考えられているため⁵⁾白色矮星の質量が増えていくのであれば、いずれ U Sco は Ia 型超新星爆発を起こすだろうと考えられる。

5. まとめ

宮崎大学に設置されたガンマ線バースト観測専用システム RIMTOS を用いて、回帰新星 U Sco を 2009 年 1 月 2 日から 2010 年 5 月 12 日まで観測した。U Sco の増光の様子を捉えるために、連日の観測を行っていたが、天候不良の影響で U Sco の増光の様子を捉えることはできなかった。

他の研究機関の観測データを用いることで、U Sco の今回の増光が Ia 型超新星爆発ではなく、新星現象であると区別することができた。

理論光度曲線と今回の U Sco の観測から得られた光度曲線を比較することで、白色矮星の質量を $>1.3M_{\odot}$ と見積もることができた。

参考文献

- 1) B. E. Schaefer, ApJS, 187, 275-373, 2010.
- 2) B. E. Schaefer, ApJ, 621, L53-L56, 2005.
- 3) S. Perlmutter et al., American Astronomical Society, 29, 1351-1359, 1997.
- 4) I. Hachisu, M. Kato, ApJS, 167, 59-80, 2006.
- 5) K. Nomoto et al., ApJ, 286, 644-658, 1984.