

2007-かんむり座 R 星減光期のナトリウム D 線スペクトル

松田健太郎*

2009 年 3 月 31 日

1 序

かんむり座 R 星は、不定期に大幅な減光を示すかんむり座 R 型変光星の典型で、普段は実視等級が 5.9 等程だが、減光時は最大で 15 等前後まで暗くなる。減光の発生に周期性は見付かっておらず、減光の等級も減光が継続する期間も一定ではない奇妙な変光星である。その減光は、星から大量の「すす」が放出され、それが星の光を覆い隠すことで生じているのではないかと考えられる。

減光を引き起こす過程の研究の一環として、減光時に輝線として観測されるスペクトル線の分光が行われている。2007 年 7 月から始まった今期のかんむり座 R 星の減光は、開始から 600 日以上が経過した現在も復帰の兆候が見られない未曾有の長期にわたる減光となっているが、そのスペクトルはどのようになっているのか。

西はりま天文台では、2m なゆた望遠鏡を用いて減光開始直後から数回、過去の減光期に幅広い輝線が観測された成分のうち、ナトリウム D 線の中分散分光観測を行っているので、その結果と過去の観測例との比較について報告する。

2 観測

観測は、西はりま天文台の口径 2m なゆた望遠鏡及びその可視光分光器 MALLS (Medium- And Low-dispersion Long-slit Spectrograph) の中分散モード ($R \sim 10000$) で実施、このモードでの同時取得波長は $\sim 400\text{\AA}$ であるため、目標とするスペクトル線を、過去に減光中に強い輝線が受

表 1: かんむり座 R 星の分光観測記録

| 観測日 | ユリウス日 | 積分時間 (sec.) |
|-----------------|-----------|-------------|
| 2007 年 4 月 19 日 | 2454210.3 | 300 × 5 |
| 2007 年 7 月 18 日 | 2454300.1 | 600 × 2 |
| 2007 年 7 月 28 日 | 2454310.1 | 900 × 3 |
| 2008 年 6 月 12 日 | 2454630.2 | 1800 × 2 |
| 2008 年 10 月 8 日 | 2454747.9 | 1800 × 1 |

*西はりま天文台

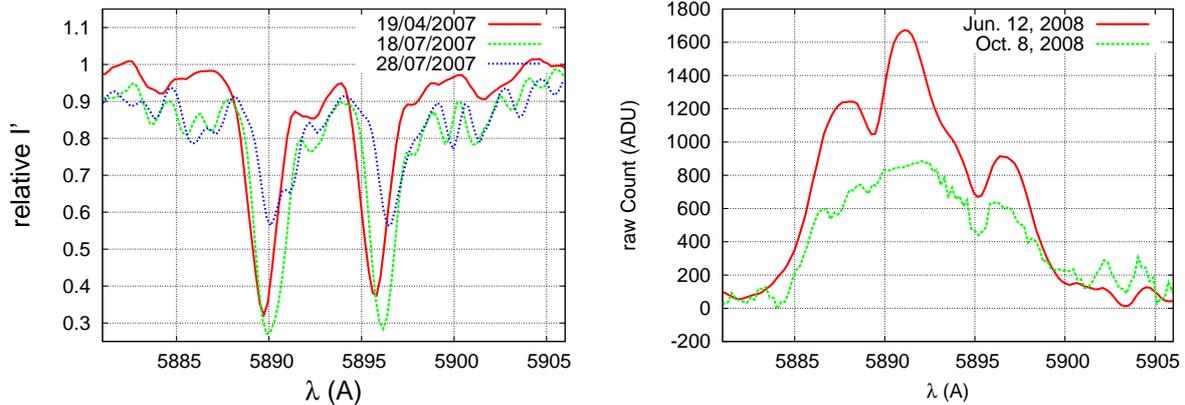


図 1: MALLS で観測した Na I D 線スペクトル。左が 2007 年減光開始前後で、7 月 28 日観測分では吸収線の中にピークが見える。右が減光中のスペクトル、中心波長付近の鋭い輝線成分は見られず、幅広い輝線成分は見えている。

かったことがあり、輝線の強度、装置の効率/分解能から観測に適する Na I D 線とした。観測の実施状況は表 1 の通り。

3 結果

過去 2 年間のかんむり座 R 星の測光観測から得られる光度変化を見ると、減光開始から 2ヶ月弱で $m_V \sim 13$ にまで落ち込み、その後もゆっくりと減光を続け、 m_V は 14 等を割った。2009 年 3 月 1 日現在でも再増光の兆候は見られない。

MALLS による分光観測を行ったのは計 5 夜で、減光が始まる前、減光開始から急激な減光中にかけて、減光がほぼ底に達し継続中、の 3 つの段階についてそれぞれスペクトルを得ることが出来た (図 1)。

減光前、及び減光開始から 10 日程経過した 2007 年 7 月 18 日 ($\Delta m_V \sim 1$) には未だ吸収線しか見えない輪郭を示している。減光と共に若干の赤化が見られるが、これは過去にも減光開始時に見られた特徴である。

更に 10 日後の 2007 年 7 月 28 日 ($\Delta m_V \sim 2$) も D 線全体としては吸収線として見えるが、中心波長付近には弱いピークが見える。これは減光が最大に達した直後に見られた (ex. Rao, et al., 1999) 強く鋭い輝線の兆候ではないかと思われる。減光が未だ進行している途中で、Na I D 線中心の鋭い輝線を発する成分は形成されている。

減光が始まってから 1 年近く、或いはそれ以上が経過した際の Na I D 線スペクトル (図 1 右) は、 $m_V \sim 14$ という暗い状態が続いている為、MALLS では連続光成分は殆ど検出されず、D 線のみが幅広い輝線として見えている。過去の観測に見られた中心波長近くの鋭く強い輝線成分はほぼ見られない。

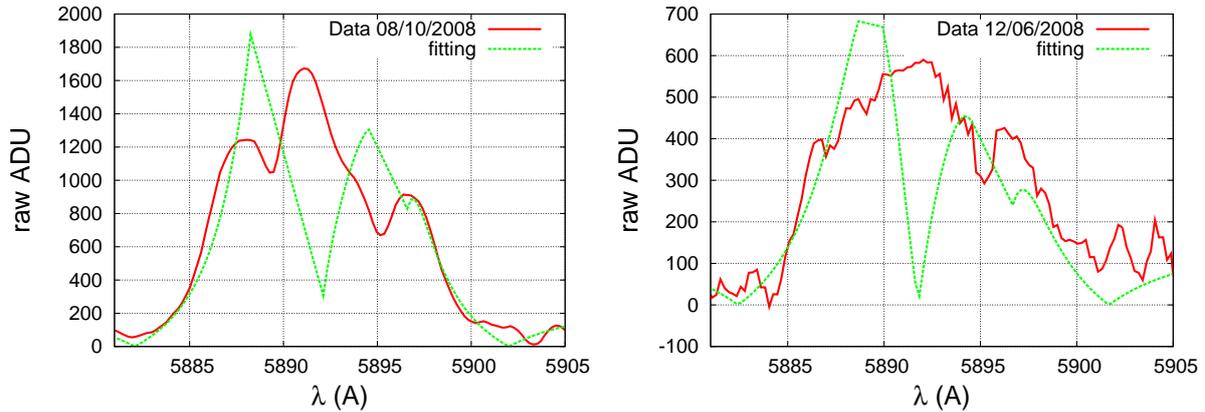


図 2: 共鳴散乱を仮定した幅広い輝線への偏光フラックスフィッティングの結果。左が 2008 年 6 月 12 日、右が 2008 年 10 月 8 日。

4 議論

4.1 鋭い輝線成分

中心波長付近の強く鋭い輝線が見られないということが、MALLS で今回取得したスペクトルの過去の観測例との大きな違いと言える。

減光開始直後の 2007 年 7 月 28 日のスペクトルからは、中心波長付近のピーク、即ち強く鋭い輝線成分と思しき輪郭が見えている。また、今回観測の減光開始からの経過時間は過去の観測例との比較では極大復帰後に相当する長時間の経過後のデータとなる。鋭い輝線成分は以前も減光が開始してその成分が見え始めた後、時間の経過と共に弱化の傾向を示しているが、連続光の増光による相対的な変化との切り分けは上手くいっていなかった。

今回の観測で、この鋭い輝線は減光を生じさせる星周構造、或いは進化が進んだ星に見られる定常的な輝線の星周殻よりも、減光時の物質放出と関連した時間変化を示す成分であり、質量放出に伴って増強されたものであることが示唆されたと考えることが出来る。

4.2 幅広い輝線成分

幅広い成分は速度を直接反映した輪郭とすると相当な運動速度になる。また、Clayton, et al. (1997) は低分散の分光偏光観測から、Na I D 線の偏光に散乱の影響をみた。これらのことから、幅広い輪郭が星周ナトリウムガスの共鳴散乱による量子力学的干渉の結果という可能性を考慮し、Stenflo (1980) から偏光フラックスの式を導入、曲線のフィッティングを行った (図 2)。

この結果をみる限り、この機構では D_1 線と D_2 線の輝線間に大きな谷が出来、観測された連続的な輝線は再現されない。複数の成分を仮定すれば上手く再現される可能性はあるが、その場合も各成分の中心星との視線速度差は大きくなり、いずれにせよ高い速度分散の輪郭は実際の星周活動の反映と考えられる。

Rao, et al. (2006) は Na I D 線の幅広い成分に対し、ガウス曲線によるフィッティングを試みている。1995–1996 年の減光時は D_1 線、 D_2 線にそれぞれ 2 本の曲線、2003 年の減光では各 1 本の曲線で上手く再現出来ると述べている。

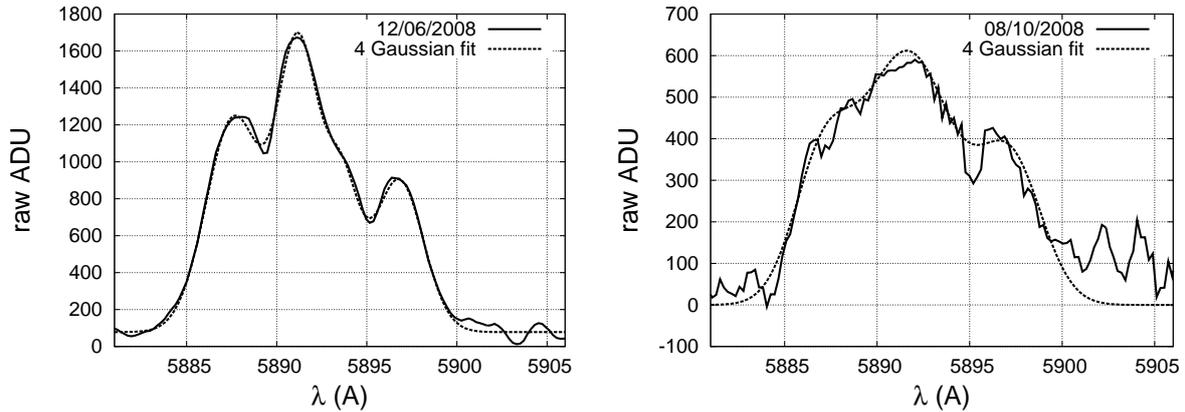


図 3: 観測結果とガウス曲線のフィッティング結果。実線が観測、点線がガウス曲線 4 本による最適解。左は 2008 年 6 月 12 日のデータ、右は 2008 年 10 月 8 日のデータ。

同様に、今回観測された輪郭に対しガウス関数を当て嵌めた結果、 D_1 、 D_2 線それぞれに 2 本の曲線を当ててるのが最適であった (図 3)。この結果は 1995–1996 年の減光時と同様で、2003 年の減光時と異なる。1995 年の減光は長期 (> 400 日) にわたる深い減光であり、減光の長さ/深さと D 線の輪郭に関係がありそうだ。

Clayton, et al. (1997) は偏光方位角の波長依存から円盤やトーラスを伴う双極構造を示唆しており、不規則な質量放出ばかりでなく、ある規則性/対称性を有する星周構造との相互作用が、より深く長期にわたる減光と、高速運動成分の二極化とに寄与している可能性が考えられる。

4.3 青方偏移吸収

2008 年 10 月の結果で、 D_2 線の青側 (5887Å 付近) に吸収線が現れた。過去減光末期に必ず見えた成分で、今回も増光開始の兆候かと思われたが、光度曲線を見ると観測から 4ヶ月が経過した後も未増光であるどころか、更に暗くなっているようだ。出現のタイミングと青方偏移の時間変化からは、「すす」の散逸に伴って見えるようになった星周ナトリウムの成分かと思われたが、別の構造を考慮する必要があるようだ。

参考文献

- [1] Clayton, G.C., Bjorkman, K.S., Nordsieck, K.H., & Zellner, N.E.B. 1997, ApJ, 476, 870
- [2] Rao, N.K., Lambert, L.L., Adams, M.T., Doss, D.R., Gonzalez, G., Hatzes, A.P., James, C.R., Johns-Krull, C.M., Luck, R.E., Pandey, G., Reinsch, K., Tomkin, J., & Woolf, V.M. 1999, MNRAS, 310, 717
- [3] Rao, N.K., Lambert, D.L., & Shetrone, M.D. 2006, MNRAS, 370, 941
- [4] Stenflo, J.O. 1980, A&A, 84, 68