

HBS をもちいた変光星の偏光分光観測と

モンテカルロ法による星周散乱場の解析

池田優二

1. 序

偏光観測は、空間分解が不可能な遠方天体を構成する散乱体の空間分布構造を知る上で非常に有益な手段である。これまでに、多くの天体について偏光観測が実施され、天体もしくはそれらを取り囲む星周エンベロープの非球体称について情報をもたらしてきた。しかしながら、星周天文学の分野においての興味は、大抵の場合直線偏光の有無と偏光方位角のみ対してであり、「(どの方向に)非対称を持つ?それとも持たない?」といった二元的な議論にしか応用されないことが多かった。例えば、「偏光度」そのものの議論はなおざりにされてきたのである。それが散乱体やその密度分布に関しての多くの情報を含んでいるにも関わらずである。偏光度を議論するには、散乱場の理論的背景がより明確でなければならないが、散乱場の場合予想される偏光度は散乱体の密度分布や構造に強く依存するため、一般に観測結果に応用できる解を得にくい。その困難を避けるアプローチとしてモンテカルロ法と用いた数値実験は、あらゆるジオメトリや密度分布にも対応でき、なにより理論的取り扱いが困難な「散乱回数の少ない(5~10回)多重散乱場」についても解くことが可能なので非常に有用である。

ここでは、我々がこれまでに低分散偏光分光装置(HBS; Kawabata et al. 1999)を用いて観測した多くの変光星の偏光分光観測結果とモンテカルロ法による数値実験を組み合わせた2例の研究についてごく簡単に報告する。

2. R CrB 星の偏光分光観測--- Random-puff model の実証

R CrB 星は、その奇妙な光度曲線で知られる F-G 型超巨星である。光度曲線の振る舞いを説明する説として、中心星からランダム方向に向けて噴出されたガスが凝縮し、形成された炭素ダストが中心星を隠蔽するという「random-puff model」が提唱されている。しかしながら、「本当にランダム方向にガスが放出されているのか」についての直接的な証拠は見つかっておらず、いまだ仮説の域を出ていない。我々は、R CrB 星の HBS によるモニター観測によって、初めて光度極大期(Light maximum phase)における偏光の変動を捉えた(図1)。これは、視線方向以外の中心星からのガスの放出を捉えたものと考えられ、「Random-puff model」の有力な証拠であると考えられる。また、観測された偏光度と他の観測事実を説明するためには、天体中心から $2R_*$ 程度という非常に中心星に近傍な領域でダスト形成が生じる必要があることがモンテカルロシミュレーションによるモデル計算と比較することにより明らかになった(図2)。

3. Nova の偏光分光観測---爆発初期に現れた非対称性

最近の高空間分解能撮像観測によって、多くの post-nova のシェルが非球対称系を成していることが明らかになってきた。現在、その非対称性の起源について大きな関心が集まっている。起源を特定する第一段階として、「非対称性がアウトバーストのどの時期に現れたのか」を知ることは非常に有益である。我々は、幾つかの Nova についての偏光分光観測を実施し、「多くの Nova が爆発初期に既に偏光を示しており、爆発の初期段階で既に非対称性が発生している可能性が高いこと」を見出した(図3)。また一方で、「爆発初期の偏光は、方位角の回転を伴う大きな変動を示

すことがある」という奇妙な現象も発見した。この現象は、Novaの膨張に伴う光球内の密度進化とその内部での多重散乱の効果を考慮することによって説明可能であることが、モンテカルロ法によるシミュレーションによって確かめられた(図4)。

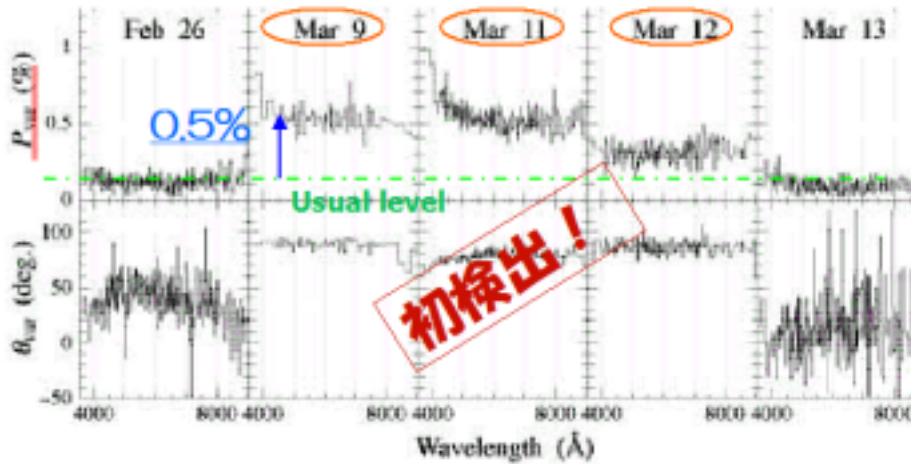
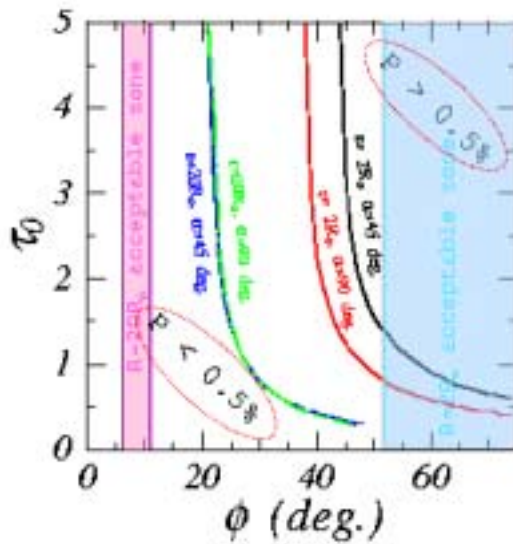


図1: R CrB のモニタ観測の結果。Light-maximum phaseにおいて、優位な偏光変動を初めて捉えた。少なくとも3日間に渡って偏光度が0.5%程度上昇していた。この現象は、視線方向から逸れたダスト雲によってもたらされたものであると考えることができる。つまり、“random-puff model”の直接証拠である可能性がある。

図2: モンテカルロ法におけるモデル計算の結果。横軸は、ダスト雲の中心星から見た開き角(ϕ)、縦軸はダスト雲のラディアル方向に沿った光学的厚さ(τ_0)。観測された0.5%の偏光度を達成すると ϕ の組み合わせを曲線として描いてある。曲線の違いはダストモデルの違いで、赤/黒曲線はダスト雲が天体近傍($\sim 2R_*$)に形成される場合、青/緑曲線はダスト雲が遠方($\sim 20R_*$)に形成されるを示している。どちらのケースも観測された0.5%以上の偏光度を現実的な τ_0 にて達成できている。しかしながら、deep decline phaseでの光度曲線の解析から予想された ϕ の範囲(矩形ゾーン; acceptable zone)を考慮すると、 $20R_*$ において $P > 0.5\%$ を実現する領域との重なりがないことが分かる。これは、天体遠方でダストが形成されるという従来からあるモデルを否定し、近傍で形成されるとするモデルを支持する結果である。



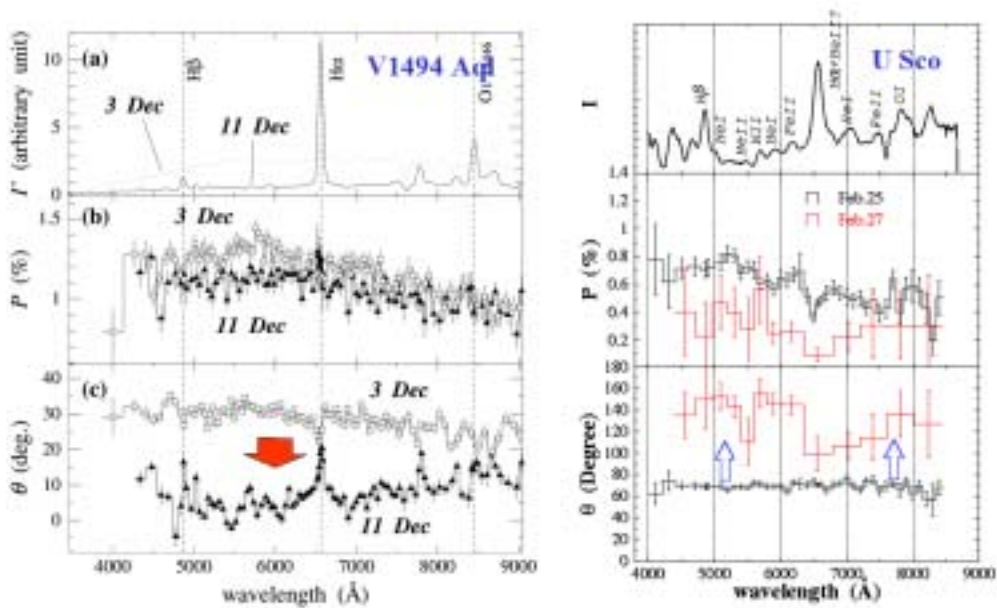


図3: HBS による nova の偏光分光観測の結果。左が V1494 Aql の極大時期($t=0$ day)と 8 日後($t=8$ day)、右が再帰新星 U Sco の極大時($t=0$ day)と 2.5 日後($t=2.5$ day)の偏光スペクトル。いずれの場合も、爆発初期段階で、既に内因偏光が存在していることが分かる。これは、爆発初期段階で既に非対称性が生じていることを示唆するものである。また、わずかな期間で偏光方位角が大きくジャンプする奇妙な現象も捉えられた。(左は、Kawabata et al. 2001 より、右は Ikeda et al. 2000 より抜粋)

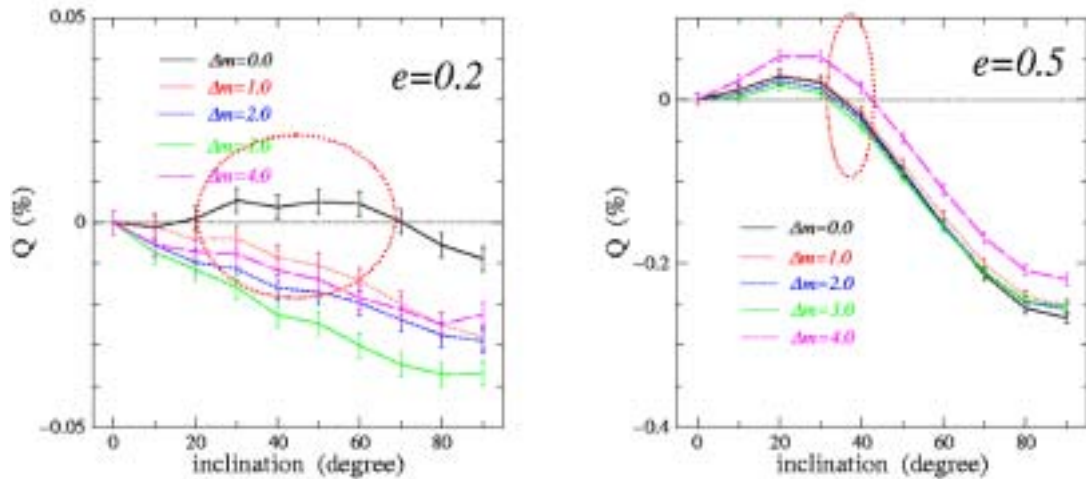


図4: prorated 光球から生じる偏光度の時間進化。光球の形状が離心率($e=0.2, 0.5$)の prorated とした場合の偏光。横軸は、光球の視線に対する傾斜角であり、縦軸はストークス Q パラメータである。図内各線は、極大から m 等だけ暗くなったときの状態を表し、極大時からの時間の経過に対応する。中傾斜角 (赤破線で囲まれた領域) では、時間の経過につれて Q の符号が入れ替わっている。光球内の多重電子散乱のみを考慮した場合であるが、ある時間を境にして偏光方位角が 90 度反転する (ジャンプする) ことを示している。つまり、特別なメカニズムを考慮しなくとも、光球の膨張に伴う光球内密度変化と多重散乱を考慮するのみで、観測された偏光方位角がジャンプする現象を説明することができる。

参考文献：

- 1 Ikeda, Y., Kawabata, S. K., & Akitaya, H. 2000, A&A 355, 256
- 2 Kawabata, S. K., Okazaki, A., Akitaya, H., Hirakata, N., Hirata, R., Ikeda, Y. Kondoh, M., Masuda, S., & Seki, M. 1999, PASP 111, 898
- 3 Kawabata, S. K., et al. 2001, ApJ 552, 782