



天文学最前線【3】

出来たての星の光の秘密

— 偏光・測光観測からの情報 —

松村雅文（香川大学教育学部）

要約：誕生して間もないと考えられているハービッグ Ae/Be 型星（HAEBE 型星）の偏光・測光観測をもとに、この型の星の星周物質に関して、私のエピソードも含めて紹介いたします。

1. はじめに：はじめのはじめ

夜空に輝く恒星は、どのように生まれてきたのでしょうか？ 教科書には、恒星は星間雲から生まれており、T タウリ型星（おうし座 T 型星）と呼ばれる星々は、太陽程度の比較的質量の小さい星が生まれたばかりの姿であると書かれています。それでは、太陽よりも重い（質量のより大きな）星の場合は、どうでしょうか？

「生まれただてで、より重い恒星」は、ハービッグ Ae/Be 型星と呼ばれ、ハービッグ Herbig (1960) が最初に研究したので、その名前があります（ここでは、多くの論文の習慣に従って、HAEBE と呼ぶことにします）。これらの星々は、質量が太陽の2倍から10倍程度あります。ハービッグは、これらの星を選ぶとき、(1) スペクトル型が A 型または B 型で、輝線を伴っていること、(2) 星間雲が周囲に多くある領域にあること、(3) 星のごく近くにも星雲があって星により照らされていること、という条件を課しました。スペクトル型が A 型か B 型ということは、比較的重い星であることを意味し、その他の条件は、星の周囲にガスや塵が多くあることを意味します。実はこの条件だけでは、必ずしも「生まれたばかりの重い星」だけを選んだことにはならない（他の星も混ざっている）こ

とや、星雲を伴っていなくても HAEBE 星と考えるのがふさわしい星があることなど、後の研究でわかってきたのですが、とにかく、ハービッグの研究が、始まりだったわけです。

HAEBE 星の中には、星の明るさなど、その光の性質が不規則に変わるものがあります。T タウリ型星も変光しますが、多くの場合、その特徴は、HAEBE 星とは違うようです。私は、ここ10年ほど、HAEBE 星の一つに分類されている「いっかくじゅう座 R 星 (R Mon)」という星の偏光・測光観測を行っていますので、ここでは、その話を中心に紹介します。尚、この文章を書くにあたり、Waters & Waelkens (1998) と Herbst et al. (1994) の論文を参考にしました。

2. 偏光とは：「天文教育最前線」？

本論に入る前に、少しだけ「偏光」について紹介しましょう（ただし、ここでは「直線偏光」に限定し、「円偏光」には言及しません）。

通常、天体観測に出てくる手法は、撮像、分光、測光などですが、時折顔を出してきて、重要な役割を演ずることがあるものが「偏光」(polarization) です。偏光は、光（電磁波）が横波であることに起因します。「自然光」と呼ばれる通常の光（例えば、太陽からの直接光）は、観測者から見て光の振動方向がわかるとすると、色々な方向の振動方向が混ざっていて、どの方向の成分も同じ大きさに見えます。ところが、例えば、何かによって反射や散乱した光は、ある決まった方向の光の成分

が、他の方向の成分よりも強くなることがあります。このような光の状態を、「偏光」と呼びます。人間の目で直接的には偏光を見ることが出来ないのですが、あまりなじみがないのですが、パソコンの液晶ディスプレイに応用されていたり、3D映画のメガネに使われていたりします。

さて、偏光の状態を表すのに、位置角と偏光度を用います。通常、最も光が強い方向を、天の北極から東回りに計って「位置角」とします。また、最も光が強い成分を I_{max} に対して直角の方向の成分を I_{min} とすると、「偏光度 p 」は、

$$p = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

で定義されます（パーセントで表されることが多い）。自然光の時は、 $I_{max} = I_{min}$ ですから偏光度は0%になり、最も偏光度が大きいときは、 $I_{min}=0$ ですから、偏光度は100%になります。

いかがでしょうか？ 偏光の概念は、大昔から確立しているもので、ややわかりにくいものの、決して難しいものではありません。厳密には、三角関数や複素数を使えば説明できるのですが、もう少し直感的でわかりやすい説明があっても良さそうな気がします。天

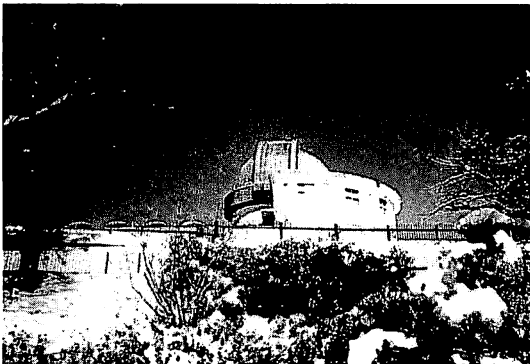


図1. 堂平観測所91cm望遠鏡のドーム。堂平では、一冬に数回程度雪が降って積もりましたが、非常に高い確率（50%以上）で晴れました。

文教育の「最前線」では、こういうことも考えなければいけないのかもしれないね...

偏光の厳密な説明はさておき、この後の話との関連で重要なのは、微粒子で散乱された光には、強い偏光成分が含まれる、ということと、偏光には強弱（偏光度）だけでなく、方向を表わす「位置角」があることです。

3. 堂平観測所での観測：2グループあれば3グループある？

私が R Mon について、堂平観測所（埼玉県）の91cm望遠鏡と多色偏光測光装置（MCP）を用いて観測を始めたのは、1991年からでした（図1、図2を参照）。この天体は、星の周りに彗星状の星雲（NGC2261）が広がっており、比較的明るく（Vバンドで11.8～12.5等程度）かつ大きな直線偏光（9～13%）を示します（図3を参照）。HAEBE星の中には、比較的大きな偏光を示すものがあることが知られていますが、R Monの偏光はその中でもっとも大きいものの一つになっています。このように目立つ特徴を多く備えているため、昔から多くの観測が行われていました。

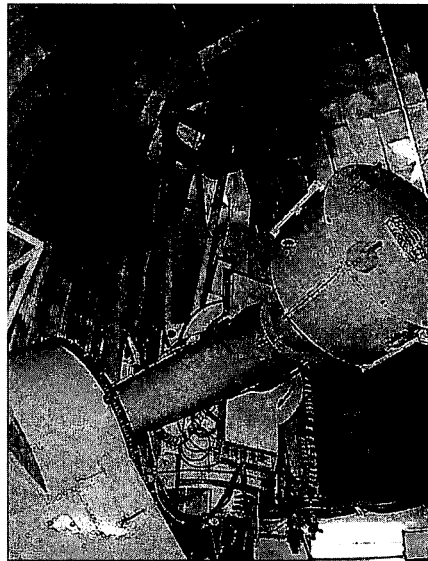


図2. 91cm望遠鏡。偏光分光測光装置（HBS）がついています。

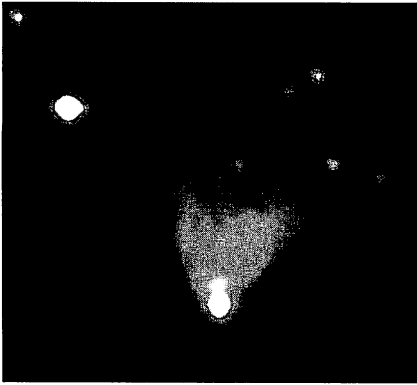


図3. NGC2261 (三角形の星雲) と R Mon (三角形の頂点)。左上の明るい星は、測光をするときの比較星として用いています。1998年1月29日。Vバンド。

既に多くの観測がなされているのに、なぜ R Mon の観測を始めたかかというと、この天体の「大きな偏光」と時間変動性(時間と共に、星の光の性質が変わる)にあります。天体の偏光を作り出す機構は幾つかありますが、特に R Mon については、塵粒子による光の散乱に起因することが、従来の研究から分かっています。つまり、この星の偏光を研究すると、この星の周囲の塵に関する情報が得られるのではないかと考えたのです。この時、気をつけなければいけないのが、時間変動性です。特性が時間と共に変わるので、同時に多くの情報(今の場合は、偏光と測光)を得る必要があります。堂平の多色偏光測光装置は、同時に8つのバンドで偏光や測光のデータが取れるのでこの観測には好都合です。この装置で数年

間、この天体のデータを取れば、この星の周囲の塵についての情報が得られるはずですが。結果的には、この天体の観測は、1997年の初めまで行いました。

この観測で得られた結果の一部として、Vバンドにおける等級と偏光度の関係を図4に示します(Matsumura et al. 1999)。この図は、等級が上がる(つまり明るさが減少する)と偏光度が上がることを明瞭に示しています。

この等級と偏光度の関係は、何を示しているのでしょうか？

HAEBE 星の光の変化についての一つの説では、恒星の表面のクールスポット(太陽の黒点のように比較的溫度が低くて、暗い所。ただし太陽の黒点よりもはるかに巨大なもの)や、逆にホットスポット(温度が高く明り部分)があり、星の自転とともにそれらの見え方が変化するので、明るさが変わ

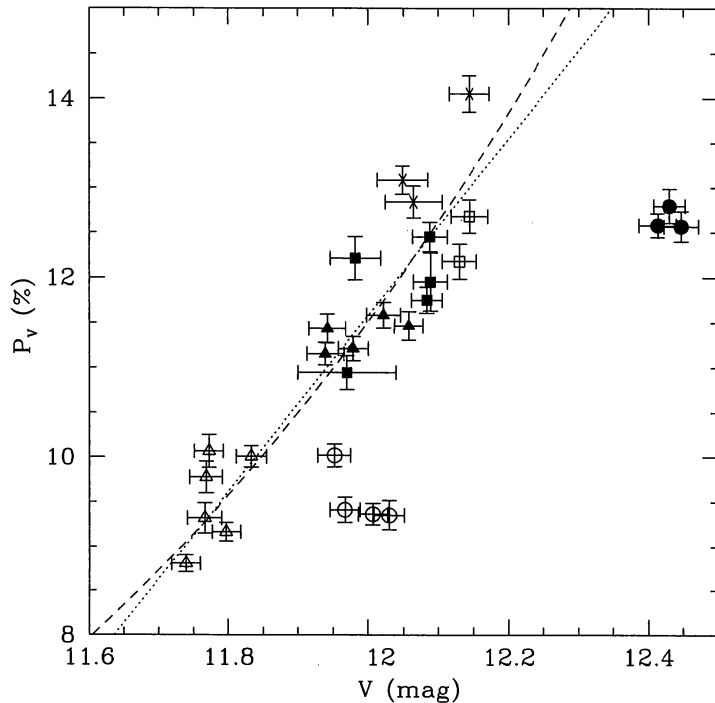


図4. R Mon の等級(横軸)と偏光度(縦軸)(Vバンドにおいて。Matsumura et al. 1999)

るとされています。実際、Tタウリ型星では、こういった考え方で他の観測事実を含めて、うまく説明できています。

別の説 (Grinin et al. 1988) では、星の周りのガスや塵には濃淡があり、雲の塊の部分が星からの光を隠すために、このような星の明るさが変わると考えています。Grinin たちは次のような予測をしました：「もしそうならば、星が暗くなったときは、星からの直接の光だけが弱くなるはずである。一方、星の周りの塵によって散乱される光 (大きな偏光を持つ) は影響を受けない。実際に観測されるのは、両方が混ざった光だから、暗くなったときには、偏光は大きくなるであろう」そして、実際に多くの HAEBE 星で、等級と偏光度に予測されたような関係が有ることを示したのでした。

ここでの研究は、R Mon でも Grinin が予測したような関係があることを示したのでした。そのため「我々の観測は、Grinin のモデルを支持する」という結論の論文を書きました (Matsumura et al. 1999)。

ただ多少不思議だったことは、R Mon のような昔から有名な星を、どうして Grinin たちは観測しなかったのだろうかということでした。彼らのほうが、早くから同じような観測をしていたのです。後日、Grinin から E メールをもらって疑問が解決しました。E メールには、「我々も R Mon には興味を持っていたが、空のバックグラウンドのデータをとる領域が、星雲と重なっていたので、観測しなかった」と書いてありました。観測の時には、星だけを測ったつもりでも、同時に空のバックグラウンドの光も入ります。それで、別にバックグラウンドを測って、後で差し引かなければならないのですが、彼らの装置では、構造上、バックグラウンドを測ろうとすると、星雲の部分に重なってしまっていて、うまくバックグラウンドのデータが取れなかったらしいのです。つまり、Grinin たちはたまたま

観測できなかっただけだったようです。Grinin たちと我々と少なくとも世界で2グループは同じような観測を考えたわけですから、また別のグループが同じ事を考え実行に移していない保証はありません。「早い勝ち」の論文の世界ですから、今から思うとひやひやものだったわけです。

諸般の事情で、堂平観測所は、我々の観測が終了した3年後の2000年3月に、閉所されました。

4. 岡山観測所での観測：星でも眺めるか

さて、堂平の観測とある程度平行して、岡山天体物理観測所の91cm望遠鏡と偏光撮像装置 (OOPS) を用いても、R Mon の観測を行っていました。この装置では、星 (R Mon) のところだけではなく、その周囲の星雲のところについても偏光データを調べ、更に星や塵の情報を得ようとしたわけです。その結果の一部を図5に示します。この図の短い線は、偏光の位置角と偏光度を表わします。線の方向が光の (厳密には電気ベクトルの) 振動方向を表わし、線の長さは偏光度を示します。星雲状の部分は同心円状のパターンが出ているのが認められます。これは、ある1点 (星) から光が出て塵により散乱されている場合に見られるパターンです。星の近くでは、このパターンからずれが見られ、線がある一定の方向に向く傾向があります。この部分のことは、かつて「偏光ディスク」と呼ばれ、なぜこのようなパターンが出来るのか、議論になっていました。岡山での観測は、これについて新たに考察するためにデータを取っていたのでした。

ところが、大変ショッキングな論文が出されました。高い分解能の偏光観測を行うと、「偏光ディスク」のパターンは見られないので、従来の観測で見られた「偏光ディスク」はシーイングや装置の分解能による擬似的なものであって、リアルではない、という内容の

2000/12/22 R Ord.

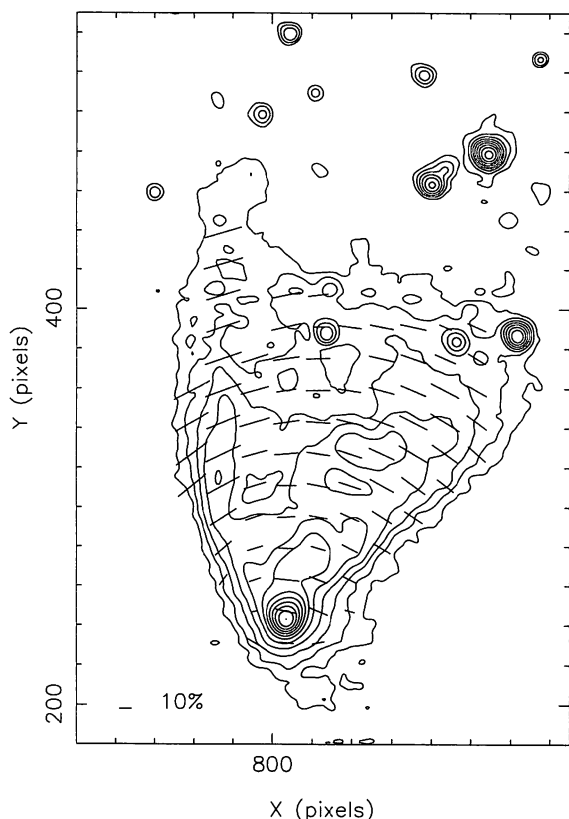


図5. R Monの偏光マッピング(2000年12月22日。Rバンド)

ものです(Close et al. 1997)。もしこれが本当なら、「偏光ディスク」の解明を、と考えていた私の立場はどうなるのでしょうか？ 彼らは3.6m CFH 望遠鏡とアダプティブ・オプティクス技術を使い、0.2秒角の分解能を達成しています。それに対して、岡山の91cm望遠鏡とOOPSでは、2秒角が限度です。まともには、とても太刀打ちできません。

昔、私が何とか定職に就くことが出来たときに伯父が言ってくれた言葉があります。「私は会社の部下が何かで悩んでいるときには、星を眺めてごらん、自分の小ささが判るよ、ということにしているが、君の場合は、最初から星を見ているからこう言ってもしょう

がないね…」実際には、日ごろは机で本や書類を読んだりパソコンに向かったり、という時間の使い方が大部分で、それほど星を見ているわけではありません。Closeの論文が出たときに、本当に星を見れば良かったのかもしれませんが…データには、別の重要な情報が含まれているかもしれません。今は気を取り直してデータ解析を続けています(ご心配なく)。

5. 終わりに：もう少し秘密が？

さて、岡山には、堂平閉所後に、ここで使われていた偏光分光測光装置(HBS)が持ち込まれてきました。HBSを用いても、多少違う観点から、R Monの観測を行いました。こうして書いてみると、つくづく私はラッキーだったと思います。自分で機械を作ったわけでもないのに、ここ10年の間に、MCP、OOPS、HBSと3種類もの偏光観測装置を使えたわけですから。装置を作った人たちにお礼を言わなければいけません。

3種類の装置で得られた約10年間のデータと、文献で得られた過去のデータを一つのグラフにすると、面白いことに気が付きました(図6)。

今から約22年前の1979年あたりに、数年間で位置角が約30度、急に変わっています。それとかなり同じように、1998年ころから現在にかけて、位置角の値が急激に変わっています。22年前と同じような現象が、今また、起こっているのでしょうか？ 1979年頃の現象は、既に知られているものですが、それが何であるのか、今まで、特には説明されていません。22年前の現象、そして現在進行中と思われる現象は、一体何なのでしょう？ この星の光の性質を研究すると、もう少しだけ、この天体の「ひみつ」が判ってきそうです。

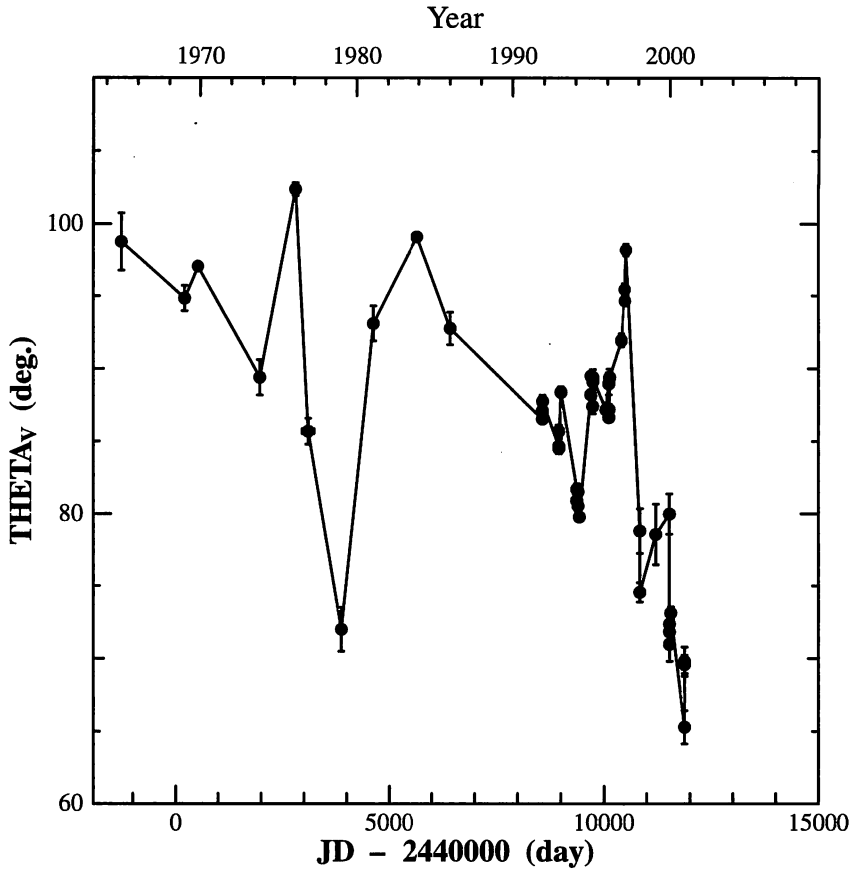


図 6 . 約 35 年間の R Mon の偏光の位置角の変化 (松村他、2001。過去の文献については、Matsumura et al. 1999 に出ています)

謝辞

堂平観測所の望遠鏡とドームの写真 (図 1 と図 2) については、国立天文台の川端弘治さんと東北大学の秋田谷 洋さんにお世話になりました。感謝いたします。

Waters, L.B.F.M., and Waelkens, C. 1998, *Ann.Rev.A.Ap.* 36, 233.

松村雅文他 2001 日本天文学会 春季年会

参考文献

Close, L.M. et al. 1997, *ApJ* 489, 320
 Grinin, V.P. 1988, *AZh Pisma* 14, 65
 Herbig, G.H. 1960, *ApJS* 4, 337.
 Herbst, W. Herbst, D.K., and Grossman E.J. 1994, *AJ* 108, 1906.
 Matsumura, M., Seki, M., and Kawabata, K. 1999, *AJ* 117, 429.