

激変星のロゼッタストーン? いて座 V 1017 星

関 口 和 寛

<South African Astronomical Observatory P.O.Box 9, Observatory 7935 Cape, R.S.A.>

突然爆発的に輝く星、「激変星」には、新星、回帰新星、矮新星などが含まれる。これらの激変星の構造は? 爆発のメカニズムは? お互いの関係は? 奇妙な爆発を続ける「いて座 V 1017 星」は激変星のロゼッタストーンか? 最新の観測結果に基づいて、爆発する星、激変星について紹介する。

1. はじめに

「いて座 V 1017 星の爆発が始まったようである」1991 年 10 月 2 日の朝、ケープタウンにある南アフリカ天文台のオフィスで、いつものようにコンピューターメールを読んでいると、スミソニアン天文台にある国際天文電報中央局から、アメリカ変光星観測者協会の J. Mattei のレポート¹⁾としてこのニュースが入ってきた。「やった!でもほんとうだろうか?」このいて座 V 1017 星 (V 1017 Sgr) というのは、筆者がついその 2 週間前まで観測をしていた星である。さらに言うとその前、一年ばかりの間、会う人ごとに「V 1017 Sgr は 1991 年中に爆発するにちがいない」と予言してまわり、「おおかみ少年」になっていたのだ。では、この V 1017 Sgr という星は一体何なのか? それがよくわからないのだ。ふだんは約 14 等星ぐらいの星なのだが、すでに今世紀になってから、この爆発をふくめて 4 回の爆発が記録されている。そのために、一般には回帰新星といわれる、たいへんめずらしいタイプの激変星の仲間に入れられている。

2. 激 変 星

変光星の中に、「激変星」と呼ばれる、突然爆発的に明るくなる星々がある。その代表は「新星」であり、もともとは暗い星がほんの数日のうちに 10 等級以上も明るくなり、その後だんだん暗くなって、数十日から数百日ぐらいでもとの明るさに戻ってしまう。この新星のほかに、激変星の仲間としては、その爆発の規模の順に、「回帰新星」や「矮新星」などが含まれる。回帰新星は、8—10 等級の増光がこの百年ばかりの間に 2 回以上記録されている星であり、矮新星は、3—6 等級の増光を数十日から数年の周期で繰り返している。つけ加えて言うが、新星は今のところ一度しか爆発が記録されていない。新星の場合、爆発の際に発生するエネルギーは約 10^{38} ジュールくらいで、爆発に伴って星の表面の物質が、約 10^{26} キログラム (太陽質量の一万分の一から十万分の一) ほど星間空間に吹き飛ばされる。回帰新星は新星より爆発のエネルギーが少なく、また吹き飛ばされる物質の量も新星の百分の一程度である。これらに比べて、矮新星では約 10^{32} ジュール (新星の百万分の一) ほどのエネルギーが爆発により発生するが、星からの物質の放出はみられない。

Kazuhiro Sekiguchi: V 1017 Sgr: Rosetta Stone of Cataclysmic Variable Stars?

3. 激変星の構造と爆発のメカニズム

いったいこれらの激変星の爆発は、何が原因でどのようにしておこるのか？爆発のメカニズムを解明するにあたっては、激変星というシステムの構造が重要な鍵となる。1954年にM. Walkerにより、ヘルクレス座DQ星(1934年に爆発した新星)が、公転周期4時間39分というたいへん短い周期の食連星系であることが初めて明かにされた²⁾。これについて、1960年代にはR. Kraftによる新星と矮新星の系統的な観測により³⁾、これらすべての激変星は、半径の小さい白色矮星(主星)と、太陽とおなじくらいか、それより少し質量、半径ともに小さいぐらいの主系列星(赤色伴星)からなる、公転周期が数時間という近接連星系であることがわかった。これらの近接連星系では、2つの星の距離が非常に接近しているために、赤色伴星の表面が連星系のロッシュの限界に達して主星の重力圏にはみだし、水素を主としたガスが、主星の重力に引かれて渦巻状に回転する円盤「降着円盤」を形成しながら、主星の表面に落ち込んでいく(図1)。

主星の白色矮星は、内部の核燃料を使い尽くした、たいへん密度の高い星であり、内部の電子は縮退状態にある。その表面に赤色伴星から、核燃料となる水素を豊富に含んだガスが降り積もっていく。そして、降り積もった水素の層が十分に厚くなると、圧力により水素の層の底の温度が上昇し、ついには核融合反応を起こす。縮退状態での核融合反応は、一旦始まると加速的に水素の底の層を伝わり、爆発的に燃焼してその上部にあるガスの層を吹き飛ばしてしまう。これが新星爆発であると考えられている。この新星爆発の過程は、同じ連星系で何度もくり返されると考えられている。したがって、新星爆発はくり返し起こるのだ

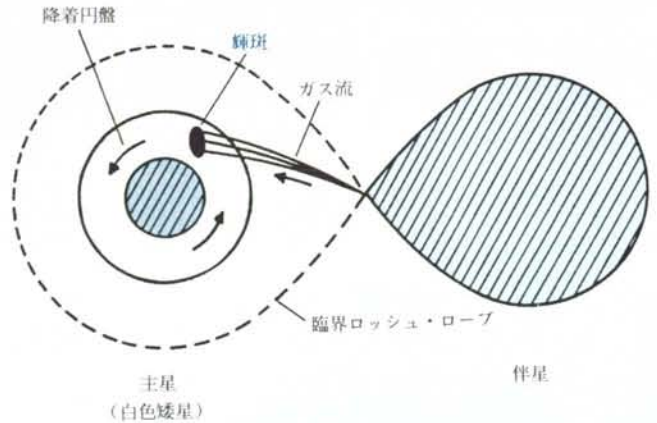


図1 激変星のモデル

が、くりかえしの周期は一万年から十万年くらいと考えられているため、いままでに一度しか爆発の記録がないのだ。

これに対して、矮新星爆発は、図1に示したような降着円盤が爆発的に明るくなる現象と考えられている。くわしく分けると、矮新星爆発には光度曲線の違いにより3つのタイプがあるが、それらは基本的には同じ降着円盤の増光現象のパリエーションと考えられているが、ここではふれない。降着円盤では、赤色伴星からのガスがその角運動量を失い、主星の表面へゆっくり回転しながら落ちてゆき、その過程で落下にともなって開放された重力エネルギーをまずは回転の運動エネルギーに代え、さらにそれを粘性による摩擦で熱エネルギーとして円盤を熱して輝かせている。降着円盤の明るさは、中心にある天体の重力ポテンシャルの深さと伴星からの物質降着量の積に比例している。すなわち、降着量が多ければ多いほど降着円盤は明るくなるわけで、矮新星爆発はガスの降着量が間欠的に突然増大するために起こると考えられる。

この間欠的な降着量増加の原因については、2つの仮説が提案され、ここ20年間ちかく論争が続けられている。第一の仮説は、1973年にG. Bathが提案した「伴星不安定性仮説」⁴⁾で、赤色伴星からのガス供給が不安定かつ間欠的であると考

る。もう一つの仮説は、1974年に尾崎により提案された「円盤不安定性仮説」⁵⁾といい、赤色伴星からのガス供給は一定であるが、降着円盤の物質は連続的に白色矮星表面へ落ち込むわけではなく、いったん降着円盤の外の部分にため込まれ、それが限界に達すると、円盤自体になんらかの不安定性を生じ、いっきに物質を円盤内部に落ち込ませると考える。いまのところ観測などでは後者に利があるが、この論争はまだ決着が着いたわけではない。

4. 回帰新星

「V 1017 Sgr は回帰新星なのだろうか?」と、筆者は疑問をもっていた。回帰新星というのはたいへん珍しい星であり、つい数年前まではこのV 1017 Sgrを含めて、わずかに5つの星が回帰新星として分類されていた⁶⁾。しかし、それはただ2回以上の爆発が観測された記録があるというだけで、それぞれの星は、実にさまざまな観測的性質をしめしており、新星にも矮新星にも分類できない、それらの中間的な性質の天体を回帰新星と分類したという状態であった。筆者は回帰新星に興味をもち、ここ数年の間、研究を続けており、今までに4つの新しい回帰新星を観測により確認し、さらにこれら回帰新星は3つの型に分けられることを示した⁷⁾。第一の型はさそり座U星、みなみのかんむり座V 394星、そして大マゼラン雲の中に1990年に2番目に見つけられた新星からなり、半径が主系列の星より少し大きい星と白色矮星からなる連星系で、公転周期は半日から2日ぐらいである。それに対して第二の型には、へびつかい座RS星、かんむり座T星、さそり座V 745星、いて座V 3890星が含まれ、赤色巨星と半径の小さい青い星の連星系であり、公転周期は数百日と長い。ところが元の5つの星の中に含まれていた、らしんばん座T星(T Pyx)とV 1017 Sgrは上記のどちらの型にも属さないことがわかっており、T Pyxは第三の型の回帰新星のようである。

これらの回帰新星については、その爆発の原因はまだよくわかっておらず、新星と同じように核融合反応によるものとする考えが有力であるが、矮新星に似た降着円盤によるモデルも考えられている。

5. V 1017 Sgr

さてV 1017 Sgrだが、どうもおかしい。以前に観測されている3回の爆発が、どれも同じような爆発というわけではなかったのだ。1901年と1973年の爆発では、100日あまりの日数をかけて10等星くらいまで明るくなり、やはり100日あまりかけてゆっくりともとの明るさにもどっている。それに比べて1919年の爆発のときは、ほんの数日のうちに少なくとも7.2等星よりも明るくなり、もとの明るさにもどるまでに200日以上を要したことが確認されている(図2)。どうやら2種類のちがったタイプの爆発が同じ星で起こっているようなのだ。1919年の爆発は新星爆発であり、他の二回は何かちがう爆発のようである。ところが、すでに述べた三つの型の回帰新星では、毎回ほとんど同じような爆発がくりかえされている。残念なことにV 1017 Sgrについては、このシステムが連星系とすると、スペクトルタイプがG 5型の巨星を含んでいること以外、公転周期も何もわかっていなかった。連星系の公転周期を求めるには、スペクトルを観測して、公転運動の視線方向の速度成分によるドップラー効果のためにスペクトル線の位置が周期的に動くことを求めるのがいちばん確かであるが、巨星を含む連星系の公転周期は何十日と長く、また軌道運動の速度も遅く、観測のためには大口径の望遠鏡を数ヶ月間にわたり使う必要がある。しかも、軌道面の角度によっては観測に掛からないこともありうるので、現実にはたいへん難しく、まだ誰もこころみていなかった。

話は1990年の8月に遡る。南米チリにあるヨーロッパ南天天文台を使って、爆発を終えて静かになった新星を系統的にスペクトル観測しているH. Duerbeckから、筆者のところへ一枚のFAX

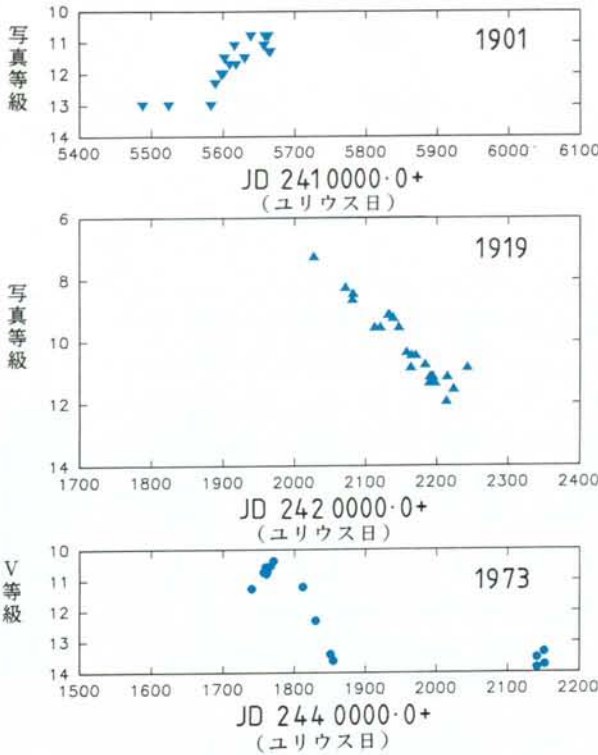


図2 V1017 Sgr の爆発の光度曲線. 1901年と1973年の爆発では、約10等級まで明るくなり、光度曲線は対称的であるが、1919年の爆発では、少なくとも7等級まで増光し、200日以上かかって元の明るさに戻っている。観測点は、(McLaughlin 1946)¹⁰⁾、(Vidal & Rodgers 1974)¹¹⁾、(Landolt 1975)¹²⁾より引用した。

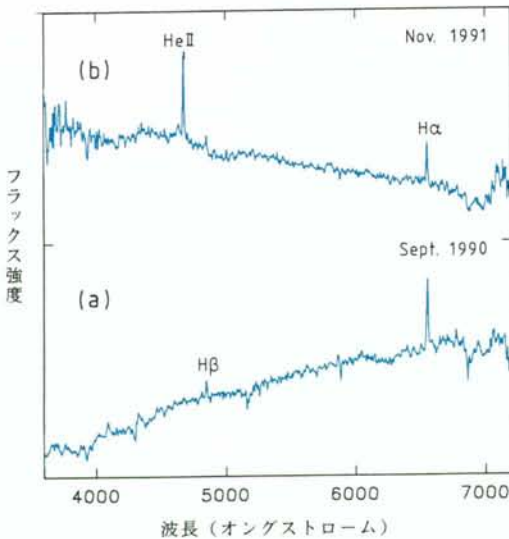


図3 V1017 Sgr のスペクトル。
 (a) 極小時のスペクトル。G5型巨星の吸収線と水素のバルマー線の輝線が見える。
 (b) 1991年の爆発時のスペクトル。全体に青い光が強くなり、He II (4686) の輝線が特に強い。

が送られてきた。彼は、その7月に V 1017 Sgr のスペクトルを観測した。ところが、そのスペクトルには、いつもは見えているはずの水素のバルマー線などの輝線が一つも見えず、G5型巨星の吸収線スペクトルだけが見えるのだ。彼は、筆者に確認のための観測を依頼してきたのだった。観測をしてみると、図3(a)のように強い輝線がG5型巨星の吸収線に重なったスペクトルを得た。これを Duerbeck に伝えると、彼は、「観測する星を間違えたのかな、そんなはずはないのに」と言った。「さてよ、この話はどこかで聞いたことがある」と筆者は思いだした。その昔、Kraft が V 1017 Sgr を観測したとき、やはり吸収線だけのスペクトルを得て、「観測する星を間違えたのではないか？」と言われたという話を聞いたことがあったのだ。同じ星で2回も同じような話があるとは、偶然というものか？ それとも、ひょっとしてこの連星系の回転軸は地球から見て垂直に近く、たまたま輝線の発生源である降着円盤が、伴星の向

こう側に入って見えなくなることがあるのではないか？ もしそうならドップラー効果によるスペクトル線の波長のずれは大きくなり、観測に掛かりやすくなるはずだ。そこで、翌1991年の8月と9月にそれぞれ7夜づつ、南アフリカ・サザerlandにある1.9m望遠鏡で観測することにした。

うまく公転周期が求められるだろうか？ 実は少し心配もあった。先にも述べたように、もしかするとV 1017 Sgrは1991年中にまた爆発するかもしれないと考えていたのだ。これにはあまり確たる根拠はなかった。ただ、1901年の小さな規模の爆発のあと18年間経って1919年に大爆発があった。そして1973年にやはり1901年とほとんど同じ小爆発があり、それに18年を足すと……ウム…これはもう当てずっぽうと言っていい。でも、もし観測までに爆発したら、爆発によって星から放り出された物質によって星の本体は隠されてしまう。幸い、合計9夜にわたり観測ができて、新星としては異常に長い5.7日という公転周期が求められた(図4)⁸⁾。その直後に最初に述べた爆発のニュースが入ってきたのだ。

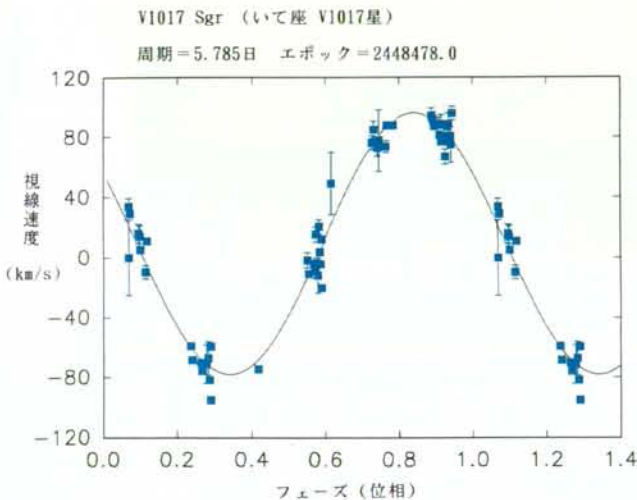


図4 視線速度の観測値を位相に対してプロットしてある。曲線は、周期5.785日の円軌道に対応する。

6. 1991年の爆発

さっそくサザerland天文台の観測スケジュールを調べると、米国スミソニアン天文台のD. Lathamが、1.9m望遠鏡を使ってスペクトル観測をしていた。午後1時ごろ、サザerlandに電話を入れて、朝食のために起きて来たLathamに観測を依頼する。彼は快く引き受けてくれる。あとは晴天を祈るだけだ。翌朝は早くオフィスに出て、まずはコンピューターのスイッチを入れる。サザerlandのLathamからの知らせが入っている。「昨夜は晴天であり、V 1017 Sgrを観測した。そのデータを送る」早々にデータを処理してみると、確かに爆発を始めていた(図. 3b)。「予想が当たった!」「でもおかしいぞ?」小爆発の次は新星のような大爆発を予想したのに、スペクトルを見るかぎり、新星爆発とはまったく違う。どうも矮新星に似た、降着円盤からのスペクトルのようなのだ。星が太陽に近くなり、観測できなくなる11月まで観測をつづけたところ、結局、今回の爆発は1973年の時とほとんど同じ小爆発であることがわかった。筆者の予想はハズレていたのだ。しかし、爆発はしたので、まわりの人たちは「どうだ当たったろ」といっておくことにする……

7. GK Per

新星や矮新星としては異常に長い5.7日の公転周期、3回の小爆発、そして1919年の大爆発。この天体はいったい何だろう？ そんなことを考えながら、1992年の新年はサザerlandで観測をしながら迎えた。激変星研究の大家であるケープタウン大学のB. Warner教授と、観測所ではちょうど一緒だった。曇って観測のできなかったある夜、彼との話のなかでV 1017 Sgrにふれた。彼は「それはおもしろい、まるでペルセウス座

GK 星 (GK Per) みたいだ」と言った。「そうだ GK Per があった！」筆者は飛び上がって図書室へ行き、GK Per についての文献を調べた。この星は 1901 年に爆発した新星であるが、1.996 日という異常に長い公転周期と、X 線源であること、そしてなにより千日ぐらいの周期で矮新星のような爆発を繰り返すことで知られている。ただ、あまりにほかの新星と違うために、なにかこの星だけの特殊な条件があるのだろうと考えられていた。ところが、注意深く調べてみると、GK Per の小爆発は普通の矮新星爆発とは違い、約 25 日間ほどかけてゆっくり明るくなり、やはり 25 日ぐらいかけてもとの明るさに戻っていく。そのうえに、小爆発のスペクトルを調べると、やはり V 1017 Sgr の小爆発にそっくりなのだ。従って、この二つは同じタイプの天体といえるだろう。さらにもう一つ、ケンタウロス座 BV 星 (BV Cen) という、一応は矮新星に分類されてはいるが、公転周期が 0.611 日とその他の矮新星に比べてたいへん長い星がある。この星でも約 15 日ぐらいかけてゆっくりと 3 等級ほど明るくなり、また同じぐらいの時間をかけてもとの明るさに戻るといふ小爆発が、150 日ぐらいの周期で起こっていることがわかった。どうやらこれらの星はいままで知られていなかった激変星のグループを形成しそうだ。

8. 激変星のサイクル進化

新星も矮新星も、ともに同じような近接連星系であることはすでにのべた。では、この 2 つの激変星は、互いにどんな関係にあるのだろうか？ 矮新星は、降着円盤へ間欠的な物質降着により、円盤が突然明るくなる現象である。その降り積もった水素を多く含んだ物質は、いずれは白色矮星表面へ落ち込んで蓄積される。これに核融合の火がつくと、いままでは矮新星だった星が新星爆発を起こしてもよさそうである。そしてまた次の新星爆発までは矮新星爆発を繰り返す。ひとつの激変星が、こうした新星と矮新星のサイクルを繰り返

返して進化していくとは考えられないか？ これが「激変星のサイクル進化モデル」である。ただ困ったことに、一般的には、新星爆発を終えてもとの明るさに戻った星では、伴星からの物質輸送率が高く、降着円盤は熱的に安定で、矮新星爆発を起こさない。

この問題を解決するために、「激変星の冬眠モデル」というのが提案されている。新星爆発のすぐあとには、まだ熱い白色矮星に照らされて伴星が膨れ上がり、たくさんの物質が降着円盤に流れ込む。その後、白色矮星が冷えると、伴星からの物質輸送率が下がり、いわば冬眠状態になる。やがて、連星系の角運動量が失われて 2 つの星の距離が縮まり、伴星からの物質輸送率が増大して、矮新星爆発を起こすようになる。そして、ふたたび白色矮星表面に蓄積された物質で新星爆発が起こるのだ。ところが残念なことに、いまのところ、矮新星として知られている星が新星爆発を起こしたという例はない。もちろん、新星爆発の頻度は一万年から十万年に 1 回だから、今知られている 100 個ばかりの矮新星が新星爆発を起こしたことがなくても無理はないのだが。

9. 激変星のロゼッタストーン？

では、V 1017 Sgr や GK Per はどうだ。これらは、ひとつの激変星が新星爆発と矮新星爆発を起こした例になるのではないかとここで少し問題なのは、これらの星の小爆発は普通の矮新星爆発と違い、ゆっくりとそして対称的な増光と減光をすること、それに、激変星としては公転周期が異常に長いことだ。これでは矮新星との関係が怪しくなる。ところがつごうのいいことに、テキサス大の Kim, Wheeler, そして日本の嶺重による GK Per の小爆発モデルが、1992 年 1 月に発表された⁹⁾。それによると、やはり GK Per の小爆発は、矮新星爆発と同じ降着円盤の増光現象であり、その特殊な光度曲線は公転周期が長いという事実に関係している。公転周期が長いということは、そ

の降着円盤のサイズが大きいということで、その大きな降着円盤の内側から不安定性が外側に伝わる考えると、GK Per の光度曲線は説明できるのだ。やはり、基本的には矮新星爆発と同じ現象だったのだ。つけくわえると、このモデルは、先に述べた円盤不安定性仮説を強力に支持することになる。なぜなら、伴星不安定性仮説では、降着円盤の内側で最初に不安定性を起こすことはできないからだ。

V 1017 Sgr の正体を筆者なりに解釈してみよう。この星は知られている限り、新星爆発を起こす天体としては一番長い公転周期(5.7日)を持っており、GK Per や BV Cen とともに、今まで気づかれていなかった激変星のタイプを構成する。1901年、1973年、そして1991年の小爆発は矮新星の爆発であり、1919年の大爆発は新星爆発である。矮新星の爆発は約18年の周期で起こる。1919年の新星爆発は、おそらく、矮新星の爆発により中心星へいっきに送りこまれた物質のため、白色矮星表面に積もった物質量が臨界点に達して、核融合反応の火がついたのである。新星爆発の後しばらくの間は、熱い白色矮星により、降着円盤が熱せられて安定な状態にあり、矮新星の爆発は起こらない。だから、1937年と1955年には爆発は観測されなかった。その後、白色矮星が冷えると降着円盤も不安定な状態にもどり、1973年には矮新星の爆発を再開した。つまり、この星は激変星のサイクル進化の例を示してくれているのだ。

おそらく V 1017 Sgr たちは他の激変星にくらべて長い公転周期、すなわち、より進化した伴星と大きな降着円盤、を持つために激変星進化のサ

イクルが加速されているのだろう。では、主系列星を伴星にもつ公転周期の短い激変星との関係は？ 他の激変星も、いずれは主系列星が進化して、V 1017 Sgr のようなシステムになるのか？ それとも、V 1017 Sgr たちは、まったく違った進化の段階を経て、よく似たシステムを作り上げたのか？ 回帰新星との関係は？ さそり座U星型の回帰新星は、同じような長い公転周期(0.5—2.0日)をもっているのだから、連星系の構造はよく似ているはずだ。何が原因で違った性質を示すのか？ これらの問に対する答えはこれからの研究による。V 1017 Sgr とその仲間たちの研究は、違ったタイプの激変星相互の関係を明かにする糸口となるだろう。まさに V 1017 Sgr は、激変星のロゼッタストーンなのかもしれない？ 今後の研究の進展、“すばる望遠鏡”の活躍も期待しよう。

参 考 文 献

- 1) Mattei, J. A. 1991, *IAU Circ.* 5354.
- 2) Walker, M. F. 1954, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **66**, 230.
- 3) Kraft, R. P. 1964, *Astrophys. J.*, **139**, 457.
- 4) Bath, G. T. 1973, *Nature Phys. Sci.*, **246**, 84.
- 5) Osaki, Y. 1974, *Publ. Astron. Soc. Japan.*, **26**, 429.
- 6) Webbink, R. F. et al. 1987, *Astrophys. J.*, **314**, 653.
- 7) Sekiguchi, K. 1992, in “Variable Stars and Galaxies”, ASP Conf. Ser., (in Press).
- 8) Sekiguchi, K. 1992, *Nature*, **358**, 563.
- 9) Kim, S. — W. et al. 1992, *Astrophys. J.*, **384**, 269.
- 10) McLaughlin, D. B. 1946, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **58**, 46.
- 11) Vidal, N. V. & Rodgers, A. W. 1974, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **86**, 26.
- 12) Landolt, A. U. 1975, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **87**, 265.