

## 초거성을 가지고 있는 초 장주기 식쌍성 31 CYG의 측광적 연구<sup>1,2</sup>

정장해 · 이용삼  
충북대학교 천문우주학과

김호일  
한국표준과학연구원 천문대  
(1991년 11월2일 접수, 1991년 11월30일 수리)

### PHOTOMETRIC STUDY OF EXTREME LONG PERIOD ECLIPSING BINARY 31 CYG

JANG HAE JEONG and YONG-SAM LEE  
Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University  
Cheongju 360-764, Korea

and

HO-IL KIM  
Korea Astronomy Observatory, Korea Research Institute of Standard and Science  
Daejeon 305-348, Korea

(Received November 2, 1991; Accepted November 30, 1991)

### 요 약

초 장주기 식쌍성 31 Cyg의 *UBV* 광도곡선을 연세대학교 천문대 입산관측소에서 관측하여 1988년부터 1991년 까지 3년 동안의 *UBV* 광도곡선과 1년간의 *RI* 광도곡선을 완성하였다. 우리의 관측값과 문헌에서 수집한 관측값을 가지고 31 Cyg의 새로운 *UBV* 광도곡선을 완성하였다. 이 광도곡선으로 부터 Wilson-Devinney 계산법으로 기략적인 측광학적 해를 구하였다

### ABSTRACT

The *UBV* light curves of an extreme long period binary star 31 Cyg are made with the observations obtained at Yonsei University Observatory for three seasons from 1988 to 1991 and the *RI* light curves are also made for one season in 1990-1991. The new combined *UBV* light curves of 31 Cyg are constructed with YOU's and collected data. A preliminary solution of the light curves of 31 Cyg is made using Wilson-Devinney codes

### I. 서 론

초 장주기 식쌍성 31 Cyg (HD192577/8)는 공전주기가 3784일로 만기형 초거성 (K4Ib)과 고온의 주계열성 (B3V)으로 이루어져 있다. 이 별에 대한 연구는 Campbell(1901)이 분광쌍성임

<sup>1</sup>Yonsei University Observatory Contribution No. 105.

<sup>2</sup>이 연구는 교육부의 1990년도 기초과학연구소 학술연구조성비로 수행된 것임

을 발견한 이후 부터 계속되고 있으며 Vinter-Hansen(1944)이 처음 시선속도곡선으로 궤도를 분석하였다. 많은 사람들이 제1식심현상이 예측되는 때를 전후하여 측광관측을 시도하였으나 제1식심 후의 광도곡선은 아직 완성되지 못하였고, 따라서 광도곡선의 분석에 관한 연구 역시 미흡한 상태에 있다.

31 Cyg의 경우 제1식심이 진행되는 기간은 약 67일이나 되지만 전체 주기에 비교해 볼때 극히 일부인 2% 밖에 되지 않는다. 따라서 31 Cyg의 식밖에서의 측광현상은 Hill *et al.* (1980)의 연구 이외에는 거의 찾아 볼 수가 없으며, 식현상이 아닌 다른 원인으로 생긴 변광의 존재 여부도 확실히 밝혀진 바 없다. 31 Cyg는  $\zeta$  Aur형의 식쌍성이다. McLaughlin (1950)은  $\zeta$  Aur와 같은 대기의 효과가 있을 것으로 발표한 바 있다.  $\zeta$  Aur는 거대하게 팽창되어 있는 대기를 지닌 만기형 초거성이 있는 쌍성계로 그 동반성인 조기형 주계열성의 앞쪽을 통과할때 대기에 의한 식이 생기며 조기형 고온의 별에서 나오는 에너지가 만기형 초거성의 대기를 통과하여 우리에게 도달되는데 바로 이때 대기에 의한 감광현상이 나타난다고 알려져 있다.

이와같이 31 Cyg 쌍성계의 만기형 초거성인 주성의 거대한 대기 특성과 활동 등을 파악하기 위해서 연속적인 측광관측 자료들이 필요함에도 아직 완벽한 광도곡선은 얻지 못한 상태이다. 주기가 길기 때문에 광도곡선을 완성하기란 매우 힘든 일이다. 따라서 전 위상을 모두 채운 완전한 광도곡선을 얻기 위하여 우리는 10개년 계획의 일환으로 1988년부터 광전관측을 수행하고 있다. 우리는 이 연구에서 현재까지 우리가 관측하여 얻은 광전관측 자료와 문헌에서 수집한 다른 사람들이 만든 관측자료를 종합하여 광도곡선을 만들어 보고저 한다. 아울러 이 광도곡선을 분석하여 이 쌍성계의 측광학적 해를 계산하고자 한다.

## II. 광전관측과 광도곡선

식쌍성 31 Cyg의 *UBV* 광도곡선을 얻기 위해 광전측광에 사용한 기기들은 연세대학교 천문대 일산관측소의 61-cm Goto 반사망원경( $f/14$ )과 2개의 광전 측광기 이다. 처음 2개년간 사용한 관측기기와 그 관측방법에 대한 설명은 Nha *et al.* (1986)이 기술한 바와 같다. 그리고, 1990년 가을 부터 1991년 봄까지는 RCA C31034A 광전증배관과 *UBVRI* 필터를 사용하도록 설계 제작한 5색 자동 광전측광기를 사용 하였다 (나일성 외 1990). 이 때 사용한 diaphragm 시야각은  $49''$  ( $2\text{ mm}$ )기 때문에 각거리로  $107''$ 에 있는 반성의 빛과 또한 그 주변 하늘의 빛을 차단할 수가 있었다. 31 Cyg의 광전관측에 우리가 사용한 비교성 (comparison star)은 30 Cyg와 26 Cyg이다.

1988년 부터 1991년 까지 총 관측일은 69일밤이고 관측점 수는 총 473개 로서 그 중 *UBV* 관측은 각각 135개 씩이고 *RI*의 관측은 각각 34개 씩이다. 모든 관측점들은 대기흡수를 보정하여 대기권 밖의 기계등급을 구한 것이다. 1990년 봄 까지의 표준화 계수는 분광형이 조기형에서 만기형까지 분포된 8개의 *UBV* 표준성을 관측하여 얻은 기계등급과 Photoelectric Catalogue (Blanco *et al.* 1968)에서 얻은 값을 가지고 기계 등급을 표준등급으로 환산하였다.

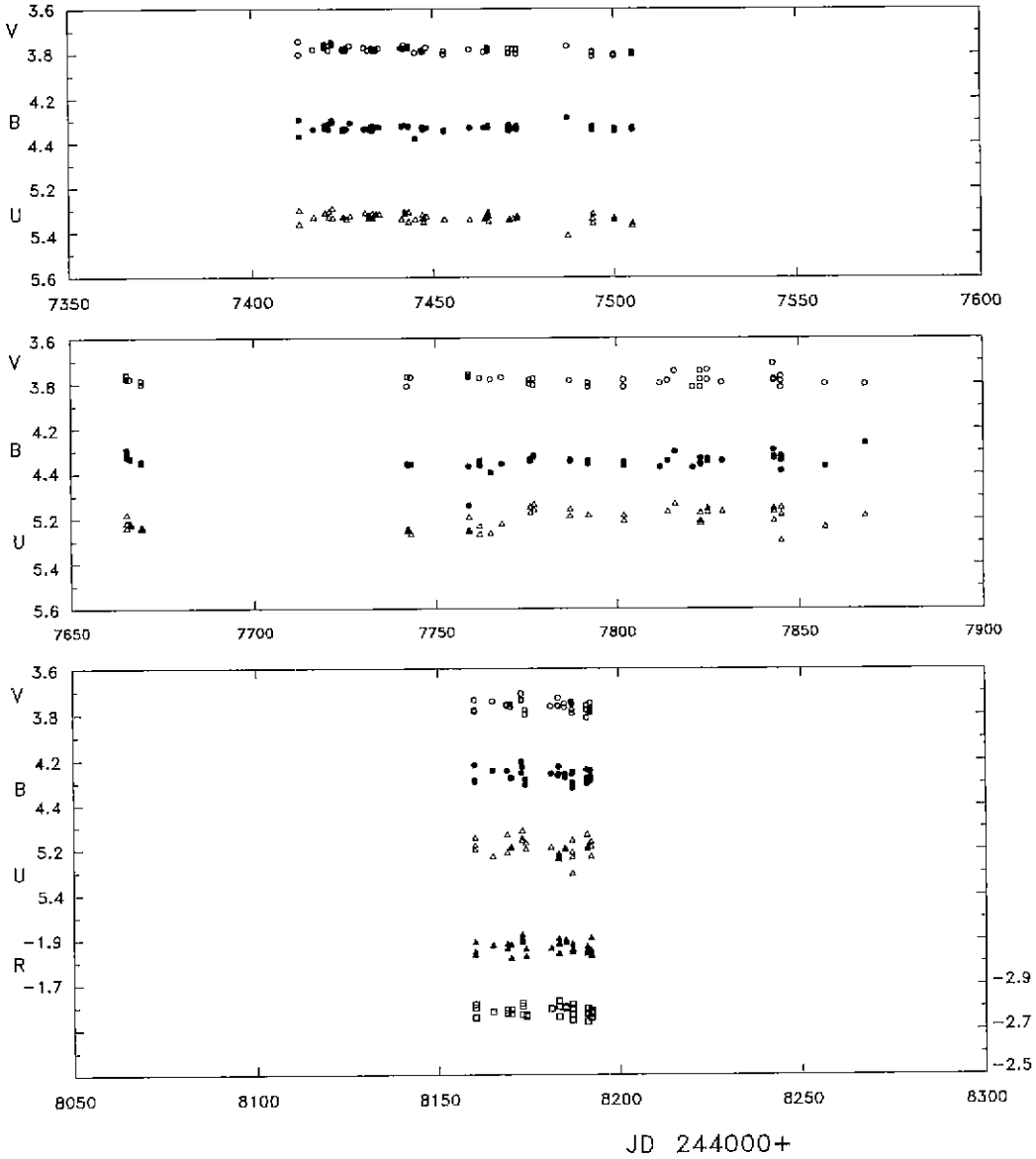


그림 1. 우리가 관측한 31 Cyg의 3개년의 광도곡선. 위에서부터 차례로 1988-1989(*UBV*), 1989-1990(*UBV*), 그리고 1990-1991(*UBVR*)이다.

우리가 관측한 31 Cyg의 *UBV* 값들을 가지고 그린 광도곡선은 그림1과 같다. 이 그림의 광도곡선은 위에서 부터 관측한 년도로 구분하여 각각 1988-1989, 1989-1990, 1990-1991의 3 부분으로 나누어 그린 것이다. 이 광도곡선 중 1989-1990년의 것을 보면 식현상과는 무관한 0.1등급 정도의 불규칙적인 광도 변화가 있음을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 식이 일어나는 동안의 측광 관측에서도 필스와 같은 모양으로 나타나고 있다. 즉 제1식이 일어날 때는 만기형 초거성 만 보이게 되므로 이 별의 대기나 주위의 껍질에서 불규칙적인 변광 현상이 있는 것이다. Saito (1965, 1970, 1973)는  $\zeta$  Aurigae와 31 Cygni에 대하여 분광학적 연구로 부터 추론한 채층의 교란에 대하여 shock-pulse propagation을 채층에 적용하여 설명한 바 있다.

그림 2에 보인 31 Cyg의 *UBV* 광도곡선은 우리가 3년간 관측한 위상 0.55에서 0.8 까지의 자료와 문헌에서 수집한 Lovell and Hall (1973), Gyldenkerne and Johansen (1970), Hayasaka *et al.* (1973), Hill *et al.* (1980)의 측광 자료를 종합하여 그린 것이다. 그림에서 위상이 0.9에서 0.3 까지의 광도곡선은 Hill *et al.* (1980)이 4년 동안 연속하여 관측한 것인데 제1식심 이후에 위상 0.25 까지 밝기가 증가 하였다가 위상 0.3 부터는 밝기가 감소하고 있다. Villanova 천문대 (*Bull. Amer. Ast. Soc.* 7, 215, 1975)의 관측에서도 제1식심이 끝난후 1년 후까지 약 5%의 밝기의 증가가 있었음을 보고한 바 있다. 31 Cyg는 우리의 측광궤도 분석에서 보면 쌍성 상호간의 거리가 반경에 비하여 14배 이상 멀리 떨어져 있기 때문에 쌍성 상호 작용에 의한 타원효과나 반사효과 등의 측광학적 밝기의 변화요인이 극히 적으므로 제1식심 이후에 나타난 광도의 변화는 만기형 초거성 자체의 영녕 변광(long term variation)일 가능성이 크다. 이러한 변광의 형태와 원인을 명확히 알기 위해서는 앞으로도 계속적인 관측이 요구된다.

### III. 측광학적 분석

미분보정법 (Wilson and Devinney 1971)으로 분리형 쌍성계(detached binary system)에 적용하는 mode 2를 사용하여 31 Cyg의 *UBV* 광도곡선을 동시에 분석하여 측광적 해를 구하였다. Wright and Huffman (1967), Che *et al.* (1983), Di Benedetto and Ferluga (1990)값을 DC (differential correction) 프로그램의 초기 입력자료로 사용하였다.

계산에 사용한 인자(parameter)에 첨자로 사용한  $h$ 와  $c$ 는 각각 높은 온도와 낮은 온도의 별을 표시한 것이다. 고정 인자들 중에서 우선 주성과 반성의 질량비  $q(m_c/m_h)$  값은 Wright and Huffman(1967)이 분광 관측하여 얻은 값으로부터 구한 1.50을 사용하였다. 중력감광계수와 복사반사계수는 별의 대기가 총 복사 대기라고 가정하여  $g_h=g_c=1.0$ ,  $A_h=1.0$ ,  $A_c=0.5$ 를 적용하였고, 주변감광계수는 Grygar *et al.* (1972)의 대기모델을 사용하여  $X_h(V) = 0.34$ ,  $X_c(V) = 0.88$ ,  $X_h(B) = 0.42$ ,  $X_c(B) = 1.00$ ,  $X_h(U) = 0.20$ ,  $X_c(U) = 1.00$ 을 택하였다. 그외 가변(adjust)되는 인자들은 궤도 경사각 ( $i$ ), 반성의 온도 ( $T_c$ ), 주성의 밝기  $L(V)$  이다.

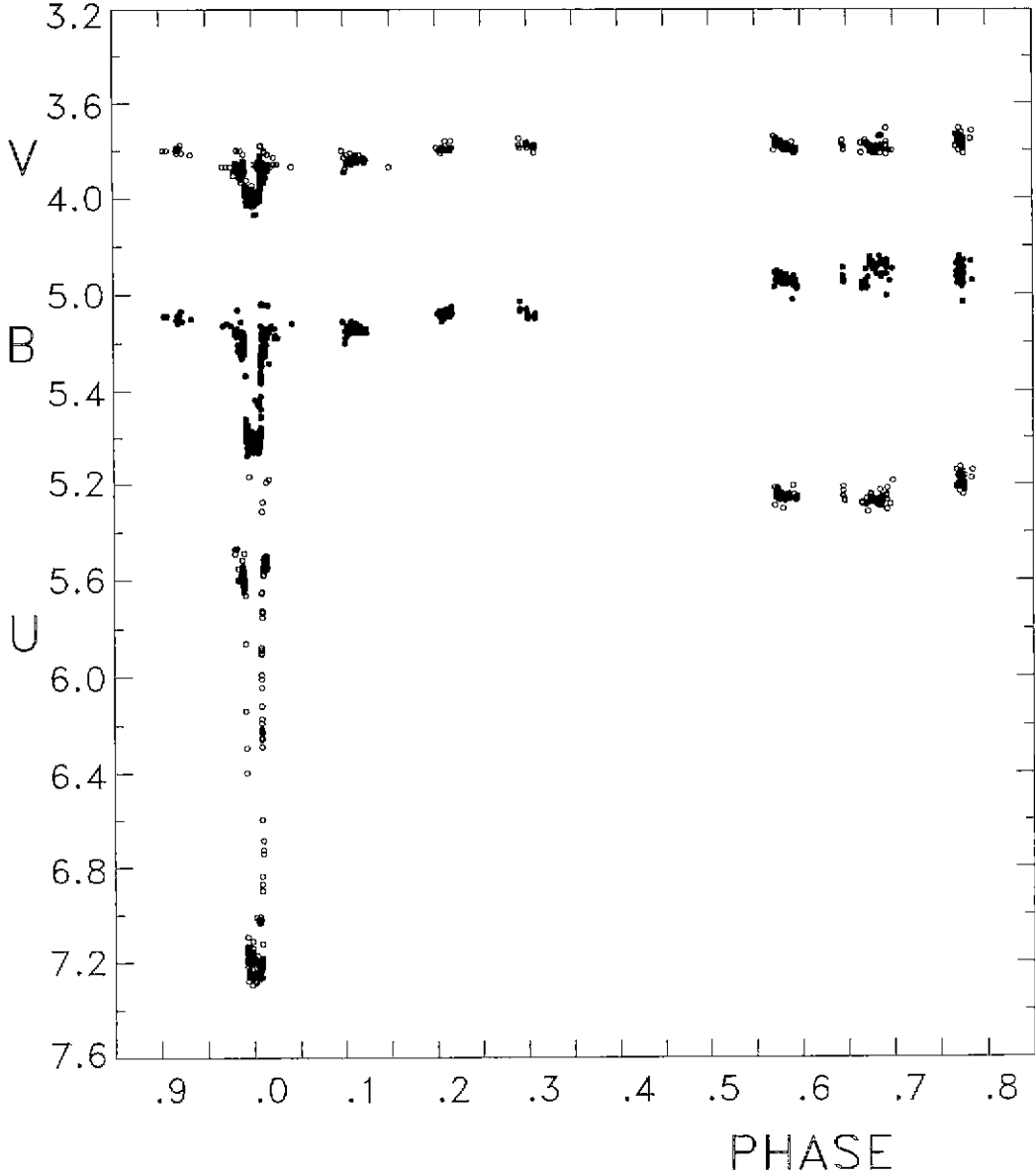


그림 2. 식쌍성 31 Cyg의 *UBV* 광도곡선 위상(phase) 0.55에서 0.8 까지의 관측점은 우리가 3년간 관측한 것이고, 위상 0.3 까지의 Gyldenkerne and Johansen (1970), Hayasaka *et al.* (1973), Lovell and Hall(1973), Hill *et al.* (1980)의 관측자료를 혼합하여 그린 것이다.

우리는 이상과 같은 인자들을 가지고 DC 프로그램을 사용하여  $U, B, V$  광도곡선을 동시에 만족하는 측광적 해를 구하기 위하여 WD 미분보정 방법에 의하여 계산을 시도 하였다. 계산은 모든 수정인자의 범위가 오차범위 (probable error) 보다 적은 값이 되면서 수정인자의 값이 수렴할 때까지 반복하였다. 이상과 같은 방법으로 수렴한 31 Cyg의 측광학적 분석결과를 표I의 해I 칸에 수록하였다.

표I. 31 Cyg의 측광학적 해.

측광학적 인자	해 I (UBV 해)		해 II (BV 해)	
$q = m_c / m_h$	1.50*		1.50*	
$i$ (degrees)	87.40±.06		87.30±.14	
	Hot Component	Cool Component	Hot Component	Cool Component
$g$	1.0*	1.0*		
$A$	1.0*	0.5*	1.0*	0.5*
$\Omega$	470.00*	22.00*	470.00*	22.00*
$T(K)$	16,500*	3,915±.46	16,600±1,400	4,136±.49
$r(pole)$	0.0021±.0001	0.0715±.0034	0.0021±.0001	0.0715±.0034
$r(point)$	0.0021±.0001	0.0716±.0034	0.0021±.0001	0.0716±.0034
$r(side)$	0.0021±.0001	0.0715±.0034	0.0021±.0001	0.0716±.0034
$r(back)$	0.0021±.0001	0.0716±.0034	0.0021±.0001	0.0716±.0034
$L/(L_h + L_c)(V)$	0.153±.013	0.847±.013	0.114±.016	0.887±.016
$L/(L_h + L_c)(B)$	0.408±.032	0.592±.032	0.307±.038	0.693±.038
$L/(L_h + L_c)(U)$	0.700±.039	0.300±.039		
$X(V)$	0.34*	0.88*	0.34*	0.88*
$X(B)$	0.42*	1.00*	0.42*	1.00*
$X(U)$	0.20*	1.00*		

\* Adapted values

해 I이  $UBV$  광도곡선에 모두 만족하는 것인가의 여부를 검증하기 위하여 이 결과들을 가지고 이론적인 광도곡선을 완성하여 관측한  $UBV$  광도곡선과 각각 비교하여 보았더니 모두 일치하지 않고  $U$  광도곡선은 유난히 큰 차이가 있음을 보였으며, 제1극심의 광도곡선 상에서 관측한 광도곡선의 깊이가 이론적인 광도의 깊이보다 더 깊음을 알 수 있다. 이것은 관측자료로부터 얻은 각 파장별 광도곡선은 실제 이 쌍성계에서 방출하는 광도와 차이가 있음을 의미하는 것으로 실제의 방출된 광이 관측되기 까지 많이 손실되었기 때문인 것이다.

특히 31 Cyg는 넓게 확산된 반성의 대기층으로 인하여 주성이 가려지기 시작하지만, 적색 초거성인 반성은  $U$  광량이  $BV$ 에 비하여 소량이며 그 방출되는 광들이 반성의 대기층에서 많이 흡수되기 때문에 일부만 관측되며 온도가 높은 주성이 반성에 완전히 가려지는 개기식인 제1극심이 일어날 때는 그 광도의 깊이가 더 깊게 나타나는 것이다. 따라서 그 흡수효과가 큰  $U$  광도곡선을 제외한  $BV$ 의 광도곡선만을 가지고 앞에서 계산한 방법대로 계산한 새로운 측광학적 해를 구

하였다. 그 결과는 표I의 해II 칸에 정리하였으며, 이 값을 가지고 이론적인 광도곡선을 완성하여 관측한 BV 광도곡선과 비교하였더니 대체로 일치함을 보였다.

#### IV. 검토 및 결론

표I의 2가지 결과를 가지고 계산한 이론적인 광도곡선과 관측하여 얻은 광도곡선을 제1극심 부근에서 비교한 결과 해II의 경우 BV 광도곡선은 대체로 일치하는 반면에 해I의 경우 U광도곡선은 물론 BV 광도곡선에서 다소 상이하게 나타났다. 이것은 만기형 초거성 주위에 넓게 확장된 대기로 인하여 U의 광도가 더 많이 흡수되어 관측값 보다 이론적인 광도가 더 밝게 보인다고한 Kang(1991)의 주장을 뒷받침하는 것이라고 할 수 있다.

이 연구에서 UB<sub>v</sub> 광도곡선을 동시에 사용하여 분석한 31 Cyg의 개략적인 측광적 해는 앞으로 시선속도곡선의 분석 결과를 종합하면 절대량과 정성적인 해석을 더욱 명확하게 할 수 있을 것이다. 또한 우리의 결과는 초거성 주위로 확장되어 있는 주변물질의 형태와 크기를 규명하는데 기본 자료가 될 것이다. 그러나 식을 일으키는 대기의 본성을 해석하고 장주기 변광(long term variation)을 규명하기 위해서는 장기간의 지속적인 관측이 절실히 요구된다.

**감사의 글:** 연세대학교 천문대의 나일성 박사가 이끄는 관측자 여러분과 이 논문의 도표를 작성해준 충북대학교 심재송, 정찬홍 군에게 감사를 포함합니다. 이 논문의 초고를 읽고 여러가지 미숙한 부분을 지적하고 교정해 주신 나일성 박사께 감사 드립니다. 아울러 이 연구는 연세대학교 기초과학 연구소를 통하여 교육부가 지원한 연구비의 도움으로 완성되었음을 밝혀둡니다.

#### 참고 문헌

- 나일성, 천문석, 이시우, 강용희, 정장해, 이용삼, 김철희, 안홍배, 김호일, 손영중, 서영란, 박남규, 천무영, 1990, 소,중,대형 망원경을 위한 광전관측기술 개발 (II), 과학기술처 연구보고서.
- Blanco, V. M., Demers, S., Douglass, G. G. and Fitzgerald, M. P. 1968, Photoelectric Catalog (U. S. Government Printing Office: Washington D. C.).
- Campbell, W. W. 1901, Lick O. B., 1, 22.
- Che, A., Hempe, K. and Reimess, D. 1983, A&Ap, 126, 225.
- Di Benedetto, G. P. and Ferluga, S. 1990, A&Ap, 236, 449.
- Grygar, J., Cooper, I. and Jurkevich, I. 1972, Bull. Astro. Inst. Czech., 23, 147.
- Gyldenkerne, K. and Johansen, K. T. 1970, A&ApS, 1, 129.
- Hayasaka, T., Sato, N., Ogata, H. and Kitamura, M. 1973, IBVS, 757.
- Hill, G., Aikman, G. L. C., Hilditch, R. W., Pfannenschmidt, E. L., and Younger, P. F. 1980, PDAO Victoria, 15(10), 389.
- Kang, Y. W. 1991, JA&SS(Korean), 8(1), 53.
- Lovell, L. P. and Hall, D. S. 1973, PASP, 85, 131.
- McLaughlin, D. B. 1950, PASP, 64, 173.
- Nha, I.-S., Lee, Y.-S., Chun, Y. W., Kim, H. I. and Kim, Y. S. 1986, JA&SS(Korean), 3, 1.

Saito, M. 1965, PASJ, 17, 107.

Saito, M. 1970, PASJ, 22, 455.

Saito, M. 1973, Ap&SS, 22, 133.

Wilson, R. E. and Devinney, E. J. 1971, ApJ, 166, 604.

Wright, K. O. and Huffman, R. E. 1967, AJ, 72, 327.

Vinter-Hansen, J. M. 1944, ApJ, 100, 8.