

## 特異天体 SS433 の VRI 測光観測

なかしまりか・ありもとじゅんいち・あわのゆみ・いしかわ・かおる・おくがみまさみつ  
中島里香・有本淳一・粟野諭美・石川薫・奥上将光  
さかぐちとしき・たなべかずひと・つだかずみ・ふくえ・じゅん・ほん・ださとし  
阪口敏基・田鍋和仁・津田和美・福江純・本田敏志  
まつもと・かつら・やまだ・やすし・よこ・おたけ・お  
松本桂・山田泰史・横尾武夫

大阪教育大学地学教室天文学研究室

(平成8年4月12日 受付)

大阪教育大学柏原キャンパスに設置された51cm反射望遠鏡(＋冷却CCDカメラ)を用いて、特異天体SS433のVRI測光観測を行った。特異天体SS433は周期13.1日の近接連星系だということがわかっているが、約3公転周期にわたって観測した期間中、2回の主極小が認められた。また3回目の主極小に相当する時期には、突発的なフレアが観測された。観測期間中の平均等級は、 $V \sim 13.9$ ,  $R \sim 11.1$ ,  $I \sim 10.5$ だった。すなわち、 $V-R \sim 2.84$ ,  $V-I \sim 3.42$ であり、従来の観測でも数例報告されているが、通常の日体と比べSS433がかなり“赤い”天体であることが確認された。SS433の推定距離から考えると、きわめて大きな星間赤化を受けていると推測される。

キーワード：SS433, 連星系, 光度曲線, VRI測光観測

### I はじめに

特異天体SS433は、コンパクト星(主星)と通常の恒星(伴星)からなる近接連星系だが、コンパクト星周辺から0.26光速もの速度でプラズマガスの噴流が吹き出ている極めてユニークな天体であり、いわゆる「宇宙ジェット」のプロトタイプとして知られている(たとえば、[1][2])。伴星からコンパクト星に向かって流れ込んだガスは、コンパクト星に対して角運動量を持っているため、コンパクト星の周辺に、回転するガス円盤、いわゆる「降着円盤」を形成している。SS433のジェットは、この降着円盤から、その回転軸に沿って噴出していると信じられているが、SS433における降着円盤の形状や物理的性質がまだ十分解明されていないため、SS433ジェット形成の機構に関してもいまだコンセンサスが得られていない。

この数年来、われわれの研究室では、主として理論的な見地からSS433の光度曲線を解析してきた([3]論文1として引用; [4]論文2として引用; [5]論文3として引用)。すなわち、SS433の主星は(伴星から流れ込んだガスによって)コンパクト星のまわりに形成された「幾何学的に厚いガストーラス」であり、かつ伴星はロッシュローブを満たした通常の恒星であるとし、さらに伴星がガストーラスを隠したときに光度曲線の主極小が生じると考えて、光度曲線をモデル計算した。その結果、以下のことがわかってきた。(1)トーラスのサイズは、中ぐらいか、むしろロッシュローブいっぱいぐらいに広がった方が、食の期間が長くなり観測とよく合う。(2)トーラスの厚みは厚い方が、主極小が十分深くなり観測とよく合う。(3)旧来の質量関数を用いた計算(論文1)ではブラックホー

ルの方がよさそうだったが、新しい質量関数（論文2）では中性子星の方がよさそうである。(4)論文1および2では、伴星の形状はロッシュローブと同じ体積の球で近似したが、論文3では計算方法を全面的に改良し、ロッシュローブいっばいに広がった伴星の形状をきちんと評価した。その結果、主極小の幅をちゃんと再現できるようになった。(5)また論文3では、伴星がトラスを隠す主極小だけでなく、トラスが伴星を隠す副極小も計算し、光度曲線全体にわたって観測と比較できるようにした。その結果、伴星の表面温度は、約17000K程度であることがわかった。

一方、SS433の測光観測に関しては、1979年の発見以来、世界中でいくつかのグループが観測を継続している（[6] [7] [8]）が、数年前までは写真観測が中心で、CCDによる観測例はあまり多くない。また同時に、写真による多色測光ではUBVバンドが中心で（例えば [9]）、VRIバンドの観測例は少ない（調べた限りでは [10] のみ）。そこで本研究においては、CCDによる一様な測光データを蓄積していくため、大阪教育大学柏原キャンパスで1994年3月から稼働し始めた口径51cmの反射望遠鏡＋冷却CCDカメラシステムを用いて、SS433のVRI測光観測を行った。

今期の観測は、1995年の春と秋の2シーズンにわたって行ったが、そのうち特に春の観測セッションは、X線衛星＜ASCA（あすか）＞の呼びかけによる国際共同観測キャンペーンの一環として行われ、本学グループが可視光による測光観測の取りまとめをした。

以下、まずⅡ節で、観測および整約の方法について述べる。さらにⅢ節で、観測の解析と結果をまとめる。最後にⅣ節で簡単な論議を行い、Ⅴ節で結論を述べる。

### Ⅲ 観測および整約

観測は大阪教育大学の51cm反射望遠鏡のカセグレン焦点（ $F/12$ ）に取り付けられた液体窒素冷却CCDカメラを用いて行われた。CCDの画素数は $1152 \times 790$ （ピクセルサイズ＝ $22.5 \mu\text{m}$ ）で、視野は $14.8' \times 10.1'$ である（[11] [12]）。全ての観測にわたって、 $2 \times 2$ のビンニング・モードで撮像を行った。観測の波長帯は、JohnsonのVとKron-CousinsのR、Iの3色であり、それぞれに対応する広帯域干渉フィルターを用いている。継続観測は1995年の4月1日から5月17日までの期間のうちの16夜と、9月17日から10月23日までの期間の29夜の、2セッションにわたって実行された。

1夜の観測で最低5フレームの撮影を行い、測光結果の平均値と標準偏差を求める。各フレームの標準的な露出時間はVバンドで2分、RIバンドで1分である。それぞれの撮像に対応する数枚のバイアスフレームを取得し、さらに観測夜ごとに各波長域のドームフラットの撮像を行った。

秋の観測期間のうち、特に天気の良い9月18日、10月12日、13日に、比較星の絶対測光のための観測をした。大気吸収と色補正の補正に必要な標準星にはLandolt標準星（110 471, 110 353, 110 441, 184 914, 111 717, 188 934）を用いた。

図1にSS433を含む観測領域を示す。

整約と測光は以下の手順で行った。

#### 2.1 一次処理

画像の一次処理として、バイアス補正およびフラット補正を行った。バイアス補正は画像データ出力のゼロ点を補正するもので、生の画像（オブジェクトフレーム）からバイア

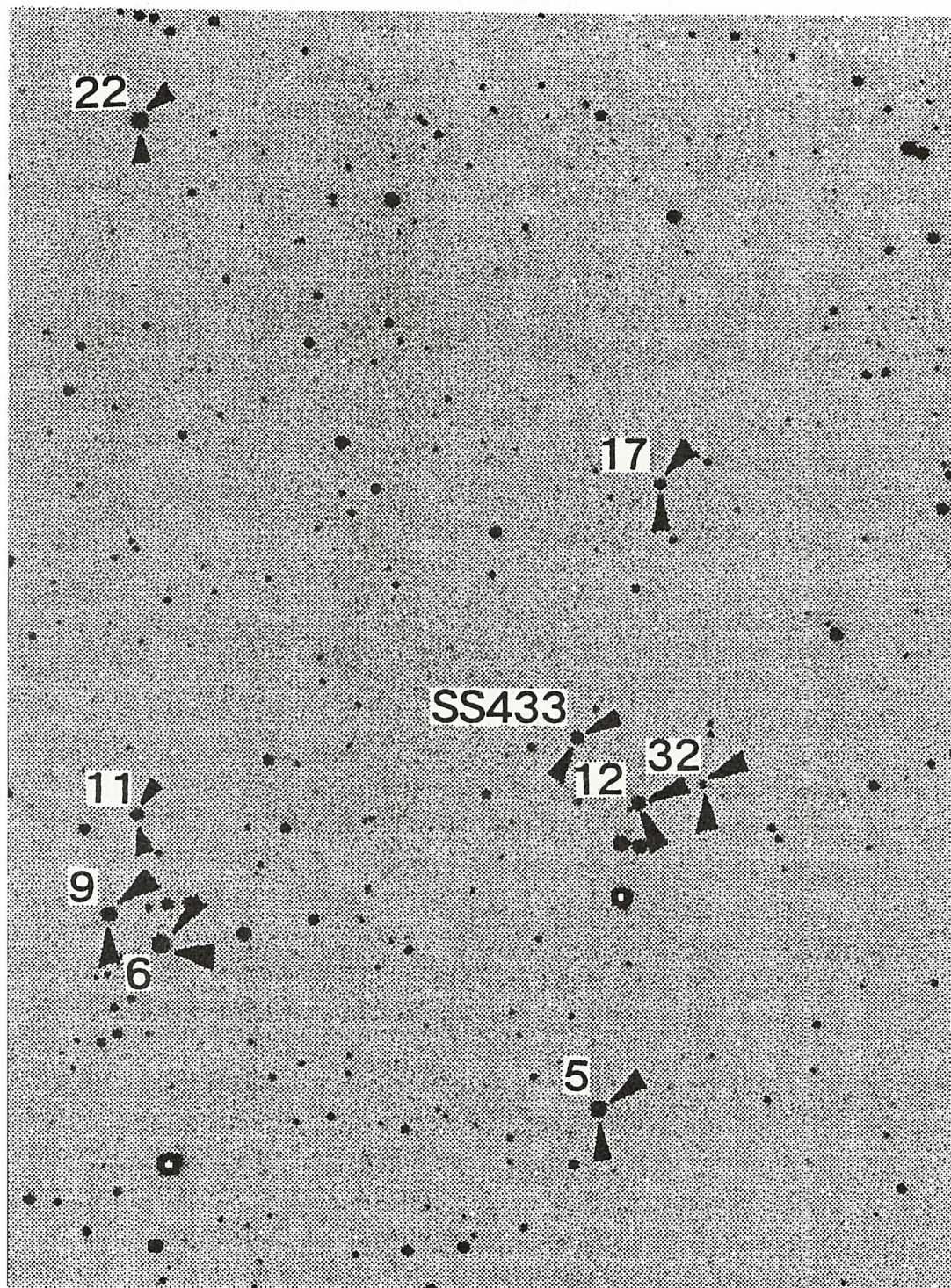


図1 SS433 周辺の星野

スフレームを引き算する作業である。フラット補正は各ピクセルの感度補正であり、バイアス補正済みの画像をフラットフレームで割り算する作業を行う。我々の観測システムにおいては、ダーク補正は必要がないことが分かっている ([12])。

これらの作業は、ワークステーション上の天体画像解析ソフト IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) を用いて行なった。IRAF はアメリカ国立天文台で開発された天文学用の画像解析ソフトで、2次元画像処理を基礎として、数多くのアプリケーションを含んでいる。

観測イメージは CCD 検出器を製作したアストロメッド社のフォーマットで出力される。これを世界共通のフォーマットである FITS (Flexible Image Transport System) フォーマットに変換した後、さらに iraf イメージに変換して一次処理を行う。一次処理されたイメージは、アーカイブ用に、再び FITS ファイルに変換して MO ディスクなどに保存する。

## 2.2 SS433 の相対測光

一次処理されたフレーム上で、SS433 の相対測光を行った。これは、写野の中に比較星を選び、SS433 と比較星のそれぞれの光量を測定して、その比較から相対等級を決定する作業である。この相対測光は、IRAF の noao.digiphot.apphot というパッケージの中の phot というアパーチャー測光 (aperture photometry) 用のタスクで行った。このアパーチャー測光では、星像を中心とする円中に含まれる全ピクセルのカウント値を積算し、また星像の外部の環状領域に含まれる各ピクセルのカウント値から背景光量の平均値を求める。両者の比較から星の正味のカウントを算出して、単位面積の背景光の明るさを基準とする等級に換算した値が出力される。今回の測定では多くの場合、星像領域の半径を 4 ピクセルとし、環状領域の内径を 5、外径を 7 とする値を用いた。SS433 と比較星について、この測定を行い、それらの等級の差をとることによって SS433 の明るさの変化を調べた。

1995 年春の国際共同観測キャンペーンにおける、可視光測光観測の取りまとめは本学チームが担うことになったので、我々が共通の比較星となる星をリストアップし、それらの比較星に OKU ナンバーをつけて世界各地の共同観測者に通知した。相対測光では、どの星を比較星として採用するかが大きな問題である。比較星の条件として、変光していないこと、ごく近くに星がないこと、過去の観測結果が文献にあること、等級や色指数が目的の星に近いこと、といったことを満たしているものが望ましい。まず、SS433 を含む約  $10 \times 15$  分角の視野から、タスク daofind を用いて明るい星をリストアップした。そして近くに星があるものを削除してから、フレームの下側から順 (赤緯が下降する順) に番号をつけ、39 個の星を定めることができた。これらの比較星の一部は図 1 に示されている。

本研究では、SS433 の等級を決定するために 3 つの比較星を用いたのだが、それらを選定する際には、先に述べたような条件を満たしていることを以下のようにして確認した。変光していないことは、20 日間にわたる比較星の間の等級の差を求め、その標準偏差が 0.04 以下であることから確認した。ごく近くに星がないことは、CRT に表示された画像上で 3~4 ピクセル以内に星がないことで確認した。このときバンドによって星の見え方が変わってくるので気をつけた。また、この 3 つ比較星については、先に Leibowitz and Mendelson (1982) [13] が光電測光による V 等級を求めている。

## 2.3 絶対測光

上で述べた SS433 の測光観測に加えて、比較星の VRI 等級を決定する絶対測光も行った。これらの観測は秋の観測セッションに行い、特に天気の良い 9 月 18 日、10 月 12 日、

13 日の観測結果について整約を行った。等級の基準として、Landolt (1983,1992) が赤道帯に設定した標準星群を 10 数個、同時観測した。

地球上に設置された望遠鏡による観測では、地球大気の影響は免れない。大気の透明度は星の高度に依存する。また、観測に用いたフィルターの波長特性が標準システムからずれている場合は、星の色によって測定等級に差異が生じる。したがって星の実視等級とは標準フィルターシステムを使って、大気外で観測したときの等級として定義される。すなわち、相対測光では器械等級を求めたわけだが、その結果から実視等級を求めるにあたっては、これら大気吸収の補正と色指数補正が必要である。

大気吸収補正と色指数補正を考慮した場合の、器械等級  $vri$  と標準等級  $VRI$  の関係を、以下のような観測方程式で表す：

$$\begin{aligned} V &= v + a_1 F(z) + b_1 (V - R) + c_1 \\ R &= r + a_2 F(z) + b_2 (V - R) + c_2 \\ I &= i + a_3 F(z) + b_3 (R - I) + c_3 \end{aligned} \quad (1)$$

ただしここで、 $F(z)$  は空気関数であり、 $a_i$  は大気吸収補正係数、 $b_i$  は色指数補正係数、 $c_i$  は定数項である。

このような補正をするために、あらかじめ大気外での等級が決められている標準星群を用いて、短時間の間に引き続いて、観測高度に違いがあるような標準星を観測した。その場合、色指数の違いのある星を標準星として選んでおく。

観測されたフレームは、一次処理を経た後、各星について `apphot` を用いて測光した。このとき、星像の半径を 5 ピクセルとした。標準星は明るいため広がりが多いので、アパーチャーもやや大きくとったのである。こうして求められた器械等級  $vri$  と標準等級  $VRI$  を用いて、(1) 式に基づき、最小二乗法で観測方程式の係数を求めた。

最終的に、変換式として、

$$\begin{aligned} V &= v - 0.111 F(z) + 0.145 (V - R) + 21.337 \\ R &= r - 0.120 F(z) + 0.000 (V - R) + 21.474 \\ I &= i - 0.057 F(z) + 0.045 (R - I) + 20.465 \end{aligned} \quad (2)$$

が得られた。なお色指数補正係数については、ここでの観測とは別に、有本等 (1996) が同じシステムで散開星団 M67 を測光して決定した値がある。今回求めた係数は、彼らの値と比較して、大きな差異はなかった。

こん変換式を用いて、比較星の実視等級は表 1 のように決定することができた。V 等級については Leibowitz and Mendelson (1982) による値を同時に示した。Leibowitz and Mendelson の文献による値と比較すると  $\pm 0.1$  程度の誤差で定まっていることが分かる。

SS433 の実視等級は、この比較星の実視等級と相対測光で求めた SS433 の相対等級から定まることになる。

表1 比較星の実視等級

OKU No.	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>I</i>	Leibowitz ら による <i>V</i> 等級
6	12.60±0.09	11.35±0.03	11.15±0.09	12.67
9	13.31±0.09	12.00±0.03	11.82±0.09	13.29
11	14.32±0.11	12.38±0.03	12.40±0.08	14.21
12	13.45±0.10	12.00±0.04	11.74±0.09	13.50
17	14.40±0.12	12.35±0.03	12.29±0.08	14.37
22	12.63±0.08	11.72±0.05	10.89±0.12	

### Ⅲ 解析と結果

#### 3.1 光度曲線

横軸に時間を、縦軸に天体の明るさをとったグラフを光度曲線という。食連星の光度曲線をとると、その光度は周期的に変化する。最も暗くなるとき（主極小）は主星が伴星に隠されるとき、もう一つの極小（副極小）は伴星が主星に隠されるときである。

光度曲線からは、極大極小の日時とそのときの等級、変光時間、極小継続時間、第二極小の有無、連星周期などを決めることができる。また、そこから食を起こす2星の大きさ、表面輝度、相互距離などや軌道の要素を、計算によって求めることができる。

2.2節で述べたようにして比較星の条件を確認し、OKU No.17を比較星として用いることにした。比較星の相対等級に、表1にある各バンドでの実視等級の値を足し、SS433の各バンドの等級を求めた。

得られた結果を表2と表3に示す。その際、観測誤差は、比較星の相対等級の標準偏差とした。なお、秋の観測セッションにおける平均の等級は、後で述べるフレアの生じた日を除いて、 $V=13.9$ ,  $R=11.1$   $I=10.5$  だった。

次に、（ユリウス通日-2400000日）を横軸に、SS433の等級を縦軸にとった光度曲線を、図2と図3に示す。エラーバーは観測誤差を示している。

表2 春の観測セッションでのSS433の等級

Date(UT)	JD-2400	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>R</i>	<i>N</i>	<i>I</i>	<i>N</i>
Apr.	01.75	14.12±0.03	5	11.32±0.01	3	10.81±0.01	3
	04.79	14.04±0.07	4	11.31±0.03	5	10.69±0.04	6
	07.77	14.35±0.02	8	11.50±0.01	6	10.94±0.01	6
	12.77	14.01±0.04	8	11.23±0.01	6	10.73±0.01	6
	19.75	14.35±0.04	6	11.42±0.02	6	10.84±0.03	6
	20.80	14.24±0.03	7	11.35±0.01	6	10.79±0.02	6
	26.78	13.97±0.03	11	11.12±0.03	8	10.58±0.02	11
	26.78	13.97±0.03	11	11.12±0.03	8	10.58±0.02	11
May.	02.76	14.45±0.04	7	no data	—	no data	—
	05.73	13.83±0.04	8	11.02±0.03	11	10.43±0.03	7
	06.76	13.78±0.02	8	11.01±0.03	8	10.38±0.03	6
	08.74	13.86±0.03	9	11.01±0.02	8	10.51±0.02	8
	09.75	13.92±0.01	8	11.15±0.03	7	10.64±0.02	7
	10.71	13.85±0.02	7	11.02±0.02	7	10.53±0.02	5
	17.73	13.80±0.06	5	11.09±0.01	5	10.43±0.02	5
	18.72	13.62±0.04	6	10.82±0.03	7	10.25±0.04	8
	19.72	13.67±0.05	7	10.89±0.03	7	10.34±0.04	7
	19.72	13.67±0.05	7	10.89±0.03	7	10.34±0.04	7

注) *N* はフレーム数

表 3 秋の観測セッションでの SS433 の等級

	Date(UT)	JD-2400	$V$	$N$	$R$	$N$	$I$	$N$
Sep.	17.55	49978.06	$14.19 \pm 0.04$	12	$11.33 \pm 0.04$	8	$10.74 \pm 0.03$	6
	18.45	49978.95	$14.18 \pm 0.03$	7	$11.38 \pm 0.02$	6	$10.77 \pm 0.01$	6
	19.47	49979.97	$14.11 \pm 0.05$	8	$11.27 \pm 0.03$	8	$10.68 \pm 0.01$	9
	21.49	49982	$13.98 \pm 0.14$	7	$11.39 \pm 0.12$	6	$10.71 \pm 0.06$	7
	23.57	49984.07	$14.30 \pm 0.06$	5	$11.63 \pm 0.06$	7	no data	—
	24.49	49984.99	$14.29 \pm 0.02$	9	$11.42 \pm 0.06$	4	no data	—
	25.46	49985.96	$14.03 \pm 0.02$	5	$11.14 \pm 0.02$	6	$10.55 \pm 0.03$	7
	26.56	49987.06	$13.79 \pm 0.04$	7	$10.97 \pm 0.03$	6	$10.34 \pm 0.03$	6
	27.55	49988.05	$13.93 \pm 0.03$	8	$11.10 \pm 0.03$	6	$10.53 \pm 0.01$	6
	28.46	49988.96	$13.99 \pm 0.03$	6	$11.11 \pm 0.4$	5	$10.35 \pm 0.04$	5
	29.46	49989.96	$13.83 \pm 0.05$	5	$10.99 \pm 0.04$	7	$10.36 \pm 0.02$	6
	30.48	49990.98	$13.97 \pm 0.12$	3	no data	—	no data	—
Oct.	02.55	49993.05	$13.79 \pm 0.09$	7	$11.19 \pm 0.02$	2	$10.53 \pm 0.05$	4
	03.42	49993.92	$13.95 \pm 0.03$	7	$11.12 \pm 0.02$	7	$10.55 \pm 0.01$	7
	06.46	49996.96	$14.27 \pm 0.03$	7	$11.36 \pm 0.03$	7	$10.73 \pm 0.02$	7
	09.45	49999.95	$13.72 \pm 0.02$	7	$10.88 \pm 0.02$	6	$10.32 \pm 0.02$	6
	10.46	50000.96	$13.78 \pm 0.03$	7	$10.97 \pm 0.06$	6	$10.41 \pm 0.03$	7
	11.48	50001.98	$13.99 \pm 0.10$	4	no data	—	no data	—
	12.46	50002.96	$13.88 \pm 0.04$	6	$11.02 \pm 0.02$	6	$10.48 \pm 0.02$	6
	13.42	50003.92	$14.08 \pm 0.02$	6	$11.14 \pm 0.04$	6	$10.62 \pm 0.01$	6
	14.41	50004.91	$13.74 \pm 0.03$	6	$10.82 \pm 0.02$	6	$10.26 \pm 0.01$	6
	16.43	50006.93	$13.84 \pm 0.01$	5	$10.95 \pm 0.03$	6	no data	—
	17.41	50007.91	$13.31 \pm 0.03$	6	$10.40 \pm 0.02$	6	$9.74 \pm 0.02$	6
	18.41	50008.91	$13.32 \pm 0.04$	6	$10.39 \pm 0.04$	7	$9.75 \pm 0.01$	4
	19.49	50009.99	$13.46 \pm 0.08$	5	no data	—	no data	—
	20.43	50010.93	$14.00 \pm 0.01$	6	$10.98 \pm 0.01$	6	$10.57 \pm 0.01$	6
	21.41	50011.91	$13.97 \pm 0.03$	6	$11.05 \pm 0.02$	6	$10.67 \pm 0.01$	6
	22.41	50012.91	$13.44 \pm 0.16$	6	$10.72 \pm 0.05$	6	$10.17 \pm 0.02$	6
	23.41	50013.91	$13.92 \pm 0.05$	6	$11.03 \pm 0.02$	6	$10.49 \pm 0.01$	6

注)  $N$  はフレーム数

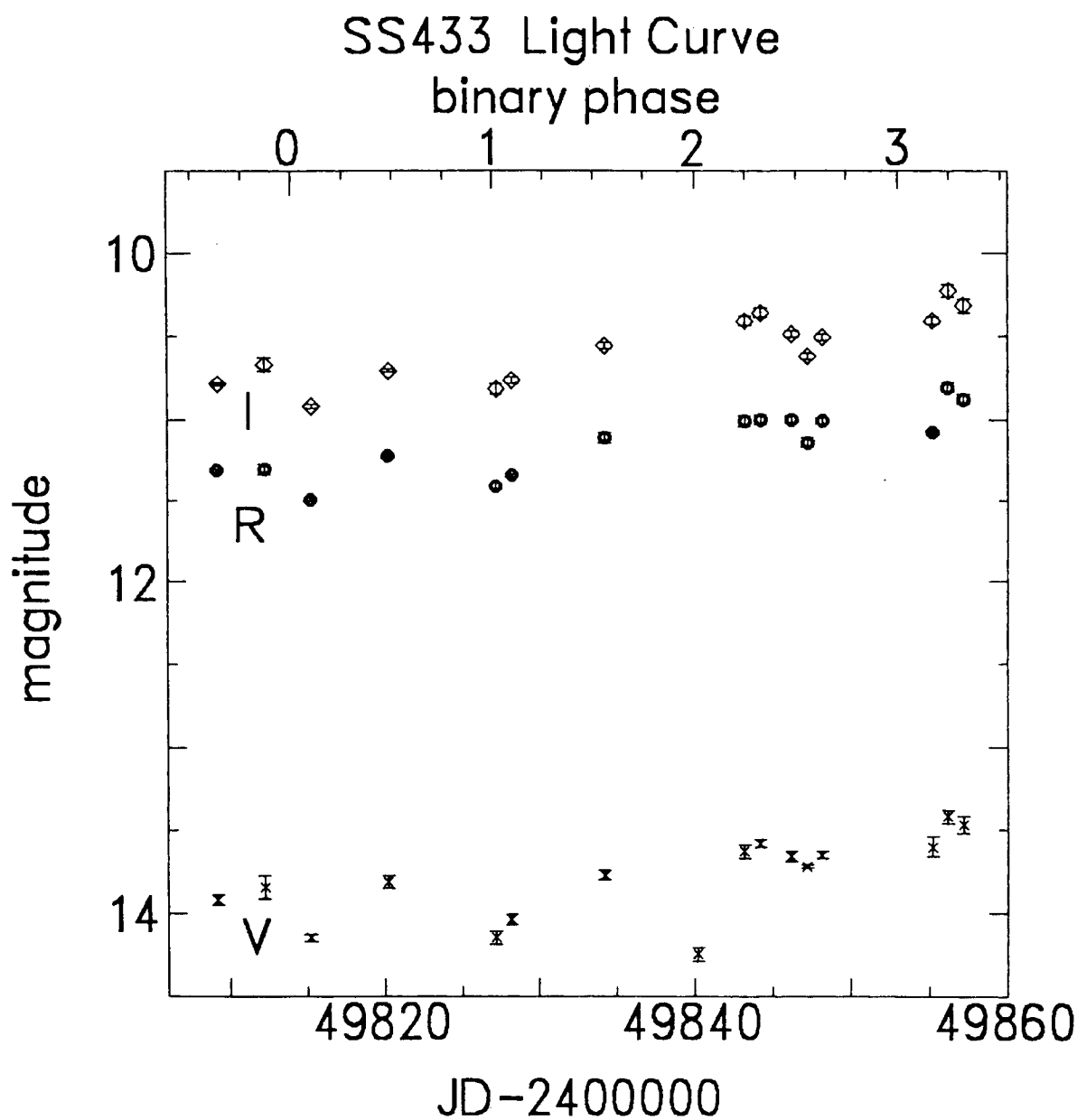


図2 春の観測セッションでの SS433 の光度曲線

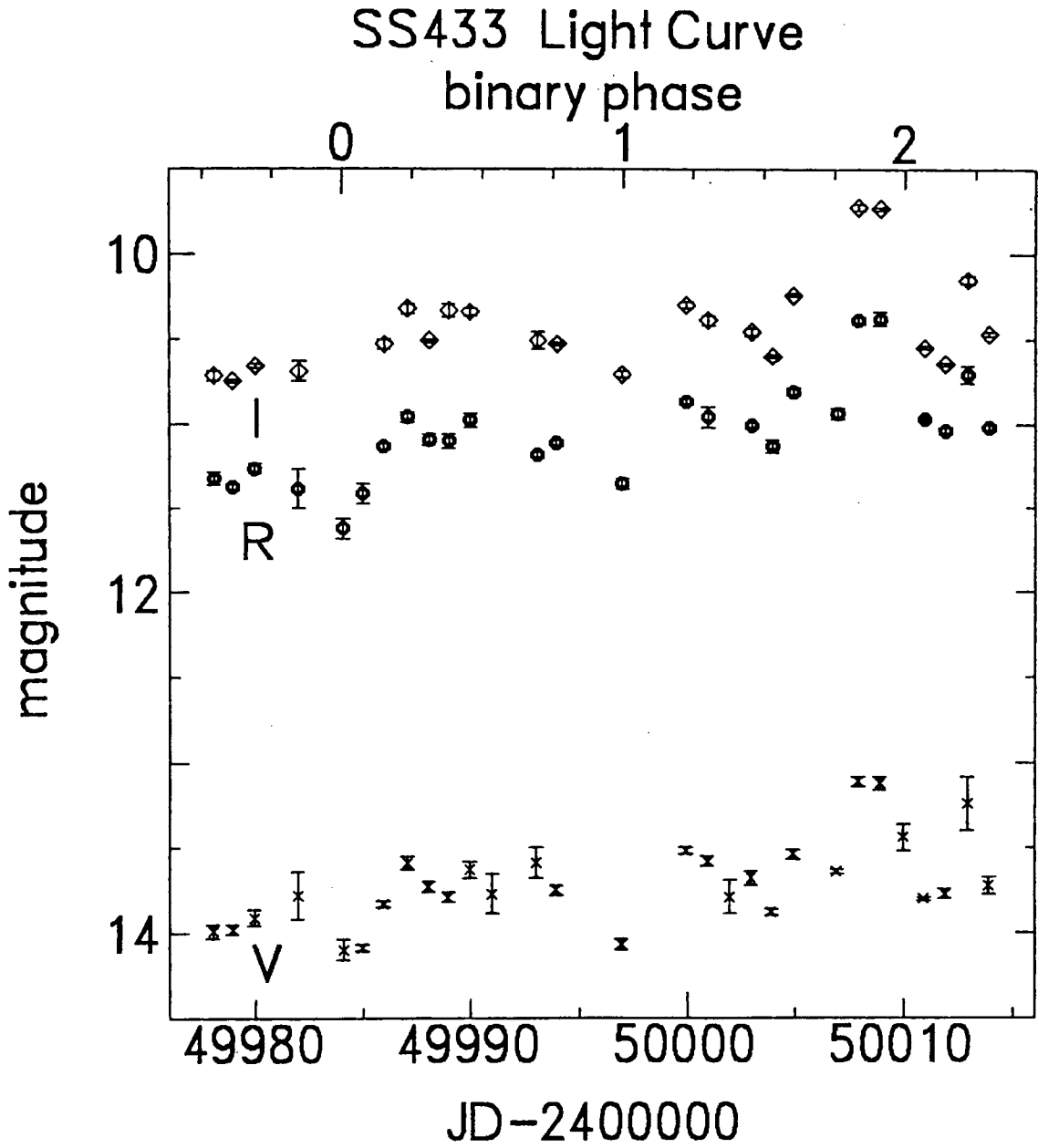


図3 秋の観測セッションでの SS433 の光度曲線

まず光度曲線の特徴について、春の観測セッションに関しては、悪天候の日が多く、あまり観測点が取れなかった、はっきりとした主極小は認めがたい。ただ、 $(JD-2400000) = 49847$  付近に副極小が見られる。

秋の観測セッションに関していえば、 $(JD-2400000) = 49984, 49997$  付近に主極小を認めることができる。また、49989, 50004 付近には副極小も見られる。副極小が、主極小と主極小とのちょうど真ん中から外れるといわれていたが、今回の観測からもそのことが確認できた。また、50007, 50008 付近には、フレアと考えられる増光が見られる。その影響で 50010 付近にあったであろう主極小が見られない。

また光度曲線の色による違いはあまりない（後述）。

連星周期に関しては、PDM (Phase Dispersion Minimization) という考え方をういて連星の周期を求めることを試みたが（このソフトは、IRAF の noao.astutil のパッケージの中にある）、従来通り、ほぼ 13.1 日でよいことが確認された。

さらに、春、秋いずれのセッションともに、光度曲線は右上に系統的に傾斜している。これは、SS433 の明るさの主体である降着円盤の歳差による影響と考えられる。そこで、横軸を連星位相とし、右上への系統的な光度変化を補正して重ね合わせたグラフを図 4 に示す。

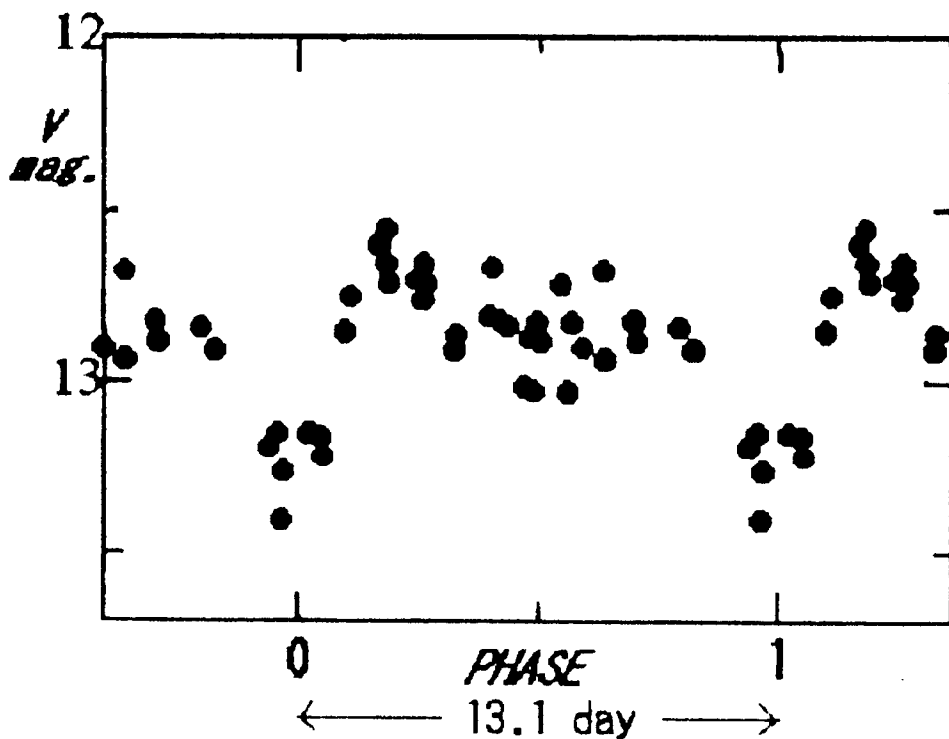


図 4 傾斜を補正し、連星周期で割って重ね合わせた光度曲線（秋のセッション）  
連星位相の 0～1 と 1～2 は同じものである。

### 3.2 色指数

波長の短いほうの等級から、波長の長いほうの等級を引いたものを色指数という（例えば、 $V-R$ ,  $R-I$  など）。色指数は星の色、したがって星の表面温度を表す。一般に、色指数が大きい星ほど低温度星（赤色の星）で、小さいほど高温度星（青白色の星）ということになる。このように、色指数を求めることによってその星の物理状態を知ることができる。一つの天体でも、その物理状態が変化すると、色指数も変化する。

今回のような多色測光の結果をもとに色指数を調べてみれば、その天体の構造を推測することができる。例えば、光度曲線の様子と色指数の変化の関係から、連星の形状を考えることができる。

絶対測光により求めた実視等級から、 $V-R$ ,  $V-I$ ,  $R-I$  を算出した（表 4, 表 5）。その際、例えば、 $V-R$  の誤差は、

$$[(V \text{ 等級の観測誤差})^2 + (R \text{ 等級の観測誤差})^2]^{1/2}$$

とした。他の色指数  $V-I$ ,  $R-I$  の誤差についても同様である。なお、秋の観測セッションにおける色指数の平均は、フレアのあった日を除いて、 $V-R=2.84$ ,  $V-I=3.42$ ,  $R-I=0.58$  だった。これらの色指数を見てみても、SS433 はかなり赤いことがわかる。

次に、(ユリウス通日-2400000 日) を横軸に、色指数を縦軸にとったグラフを、図 5 と図 6 に示す。図 5, 6 の、位相 = 1, 2 のあたりで、やや赤くなっており、副極小のあたりではやや青くなっているようだ。ただ、はっきりいえるほどのデータ数がないので、まだ、断定することはできない。

表 4 春の観測セッションでの SS433 の色指数

Date(UT)	JD-2400	$V-I$	$N-R$	$R-I$	
Apr.	01.75	49909.25	$3.31\pm0.03$	$2.80\pm0.03$	$0.51\pm0.01$
	04.79	49812.29	$3.35\pm0.08$	$2.73\pm0.08$	$0.62\pm0.06$
	07.77	49815.27	$3.41\pm0.02$	$2.85\pm0.02$	$0.56\pm0.01$
	12.77	49820.27	$3.28\pm0.04$	$2.78\pm0.04$	$0.50\pm0.01$
	19.75	49827.25	$3.51\pm0.06$	$2.93\pm0.04$	$0.58\pm0.04$
	20.80	49828.30	$3.45\pm0.04$	$2.89\pm0.03$	$0.56\pm0.02$
	26.78	49834.28	$3.39\pm0.04$	$2.85\pm0.04$	$0.54\pm0.04$
May.	02.76	49840.26	no data	no data	no data
	05.73	49843.23	$3.40\pm0.06$	$2.81\pm0.06$	$0.59\pm0.04$
	06.76	49844.26	$3.40\pm0.04$	$2.77\pm0.04$	$0.63\pm0.04$
	08.74	49846.24	$3.35\pm0.04$	$2.85\pm0.04$	$0.50\pm0.03$
	09.75	49847.26	$3.28\pm0.02$	$2.77\pm0.03$	$0.51\pm0.04$
	10.71	49848.21	$3.32\pm0.03$	$2.83\pm0.03$	$0.66\pm0.02$
	17.73	49855.23	$3.37\pm0.06$	$2.71\pm0.06$	$0.66\pm0.02$
	18.72	49856.22	$3.37\pm0.06$	$2.80\pm0.06$	$0.57\pm0.06$
	19.72	49857.22	$3.33\pm0.06$	$2.78\pm0.06$	$0.55\pm0.06$

表 5 秋の観測セッションでの SS433 の色指数

	Date(UT)	JD-2400	$V-I$	$N-R$	$R-I$
Sep.	17.55	49978.06	$3.45 \pm 0.06$	$2.86 \pm 0.06$	$0.59 \pm 0.06$
	18.45	49978.95	$3.41 \pm 0.03$	$2.80 \pm 0.04$	$0.61 \pm 0.02$
	19.47	49979.97	$3.43 \pm 0.05$	$2.84 \pm 0.06$	$0.59 \pm 0.03$
	21.49	49982.00	$3.27 \pm 0.15$	$2.59 \pm 0.18$	$0.68 \pm 0.13$
	23.57	49984.07	no data	$2.67 \pm 0.08$	no data
	24.49	49984.99	no data	$2.87 \pm 0.06$	no data
	25.46	49985.96	$3.48 \pm 0.04$	$2.89 \pm 0.03$	$0.59 \pm 0.04$
	26.56	49987.06	$3.45 \pm 0.06$	$2.82 \pm 0.06$	$0.63 \pm 0.04$
	27.55	4988.05	$3.40 \pm 0.03$	$2.83 \pm 0.04$	$0.57 \pm 0.03$
	28.46	49988.96	$3.64 \pm 0.06$	$2.88 \pm 0.06$	$0.76 \pm 0.06$
	29.46	49989.96	$3.47 \pm 0.05$	$2.84 \pm 0.06$	$0.63 \pm 0.04$
	30.48	49990.98	no data	no data	no data
Oct.	02.55	49993.05	$3.26 \pm 0.10$	$2.60 \pm 0.09$	$0.66 \pm 0.05$
	03.42	49993.92	$3.40 \pm 0.03$	$2.83 \pm 0.04$	$0.57 \pm 0.02$
	06.46	49996.96	$3.54 \pm 0.04$	$2.91 \pm 0.04$	$0.63 \pm 0.04$
	09.45	49999.95	$3.40 \pm 0.03$	$2.84 \pm 0.03$	$0.56 \pm 0.03$
	10.46	50000.96	$3.37 \pm 0.04$	$2.81 \pm 0.07$	$0.56 \pm 0.07$
	11.48	50001.96	no data	no data	no data
	12.46	50002.96	$3.40 \pm 0.04$	$2.86 \pm 0.04$	$0.54 \pm 0.03$
	13.42	50003.92	$3.46 \pm 0.02$	$2.94 \pm 0.04$	$0.52 \pm 0.04$
	14.41	50004.91	$3.49 \pm 0.03$	$2.92 \pm 0.04$	$0.56 \pm 0.02$
	16.43	50006.93	no data	no data	no data
	17.41	50007.91	$3.57 \pm 0.04$	$2.91 \pm 0.04$	$0.66 \pm 0.03$
	18.41	50008.91	$3.57 \pm 0.04$	$2.93 \pm 0.06$	$0.64 \pm 0.04$
	19.49	50009.99	no data	no data	no data
	20.43	50010.93	$3.43 \pm 0.01$	$3.02 \pm 0.01$	$0.41 \pm 0.01$
	21.41	50011.91	$3.30 \pm 0.03$	$2.92 \pm 0.04$	$0.38 \pm 0.02$
	22.41	50012.91	$3.27 \pm 0.16$	$2.72 \pm 0.18$	$0.55 \pm 0.05$
	23.41	50013.91	$3.43 \pm 0.05$	$2.89 \pm 0.05$	$0.54 \pm 0.02$

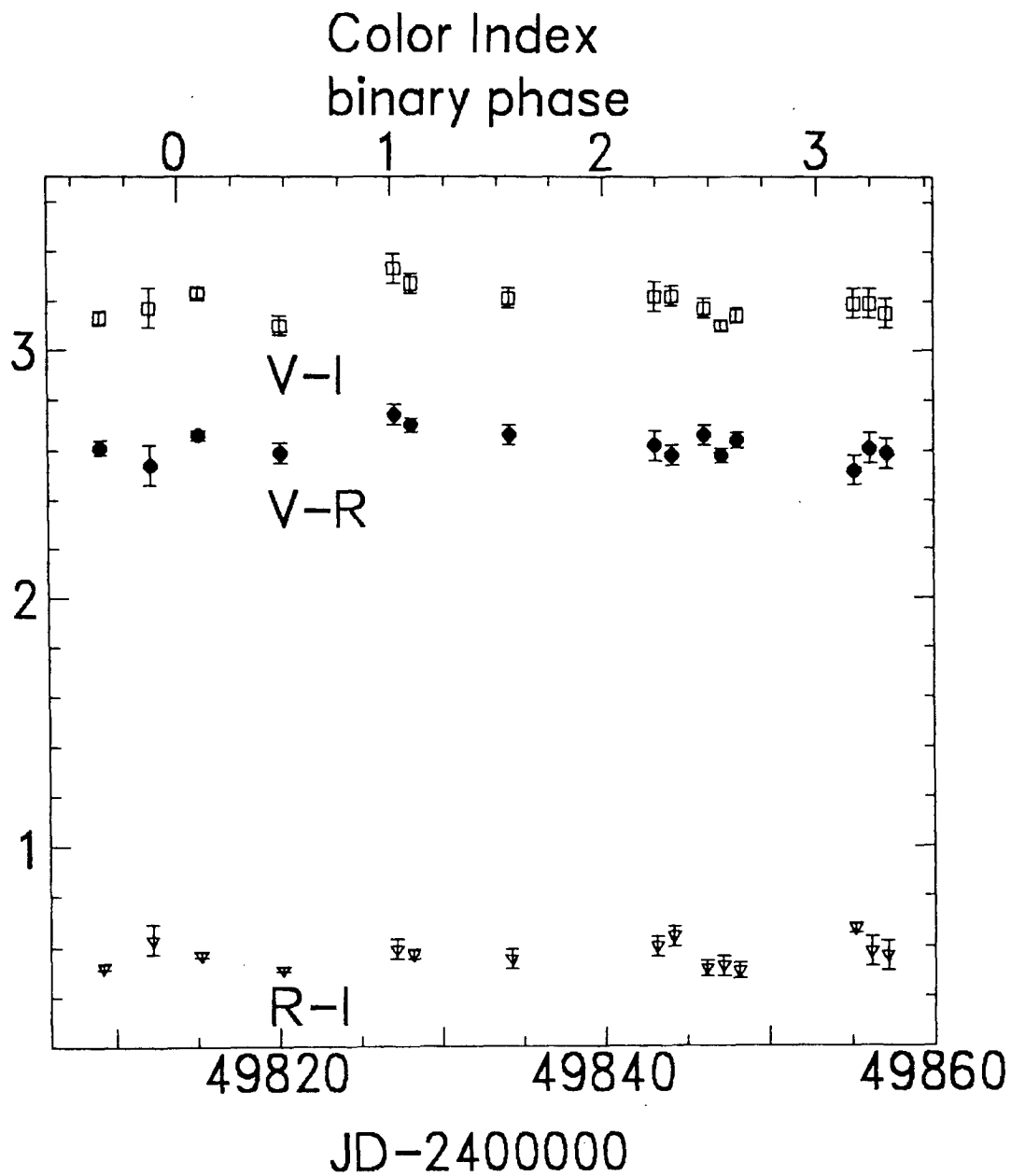


図5 春の観測セッションでの SS433 の色指数変化

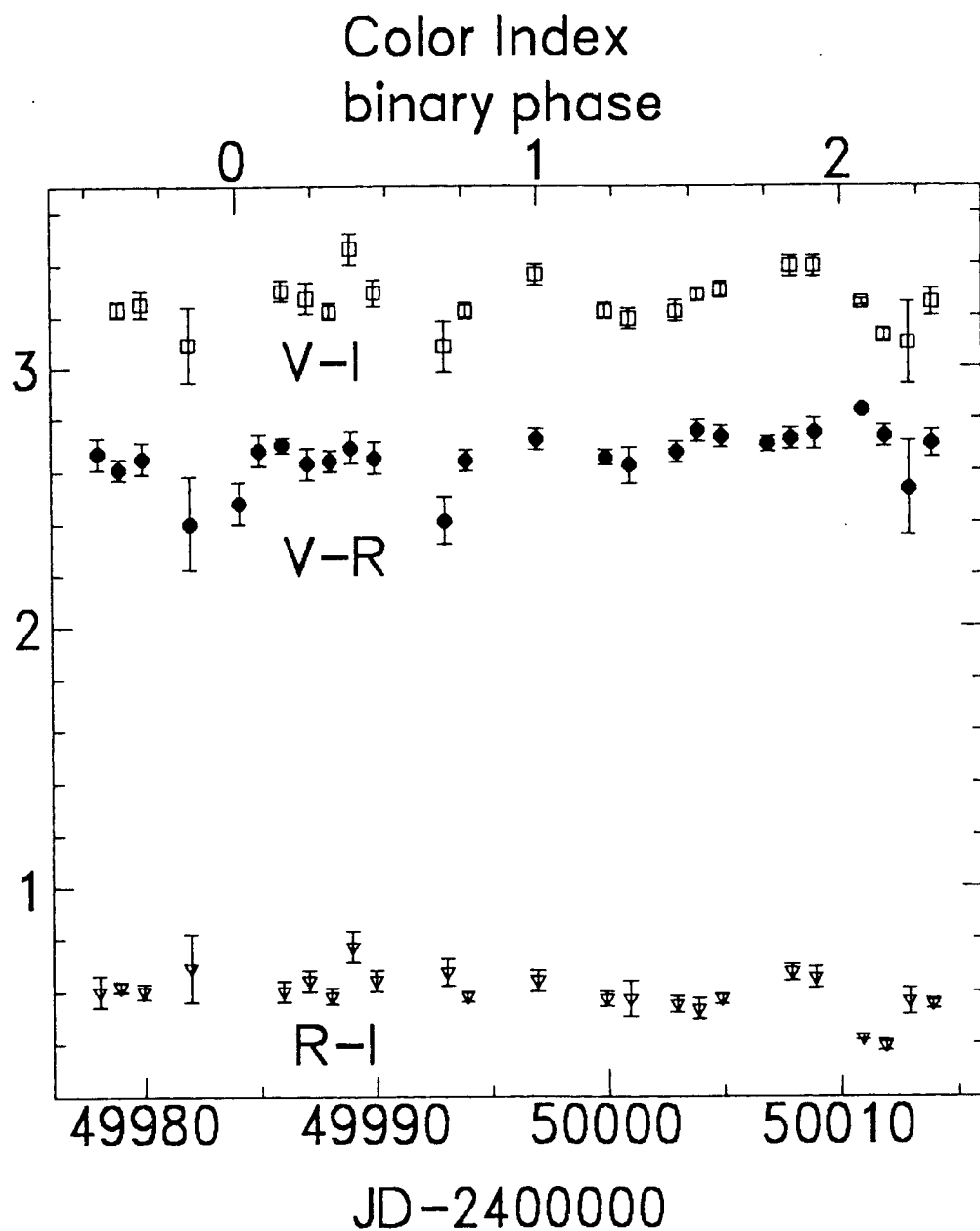


図6 秋の観測セッションでのSS433の色指数変化

#### IV 考 察

まず絶対測光の精度に関しては、Leibowitz and Mendelson (1982) の論文の値と比較すると、 $\pm 0.1$  等級程度の差があったが、当時の光電管による観測の精度は 0.05 以下ということなので、妥当な結果だと思われる。このような差異が生じた理由としては、

- 絶対測光の観測中に大気の状態は一定であるという前提があったが、実は変化していた（日本は大気の状態が変わりやすいため、絶対測光は困難である）。
- 多くのステップを踏むので、その間に人為的ミスが入った。
- 論文自体の観測が古い（論文発表が 1982 年）ので、その間に星が変化した。

などといったさまざまな理由が考えられる。しかしながら、日本のように絶対測光が困難な場所における観測としては、CCD の性能がよいためもあり、評価できる結果が得られたと思われる。

光度曲線に関しては、春の観測セッションは悪天候のため観測点が少なかった上に、主極小の時はことごとく天候が悪かったので、食連星の光度曲線の形は見えにくい。しかし、秋の観測セッションについては、主極小も副極小も共にはっきりわかる。副極小が、主極小と主極小とのちょうど真ん中から外れているのは、降着円盤（降着トーラス）の形状が軸対称形ではない、ホットスポットが存在している、などの理由が推測される。

光度曲線が全体に右上に傾いていたが、これは先にも触れたように、降着円盤の歳差の影響だと考えられる。定量化してみると、30 日で 0.2 等級ほど明るくなっていた。今回の観測でのジェットの位相は、 $\Phi = 0$ . から 0.75 にかけてであり、このときの理論計算では 40.5 日で 0.2 等級明るくなるという結果が出たので、理論での裏づけがされたといえるだろう。

フレアに関してであるが、これは過去の文献からもフレアの記録が一部見られた。しかし、この現象がどのくらいの頻度で起こるか、連星の位相や歳差の位相と関連があるのか、さらにはどういう原因で起こるのか、といったことまで、まだまだ謎に包まれている。

連星周期に関しては、これまでいわれていた通り、13.1 日ということが確認された。しかし、もう少し観測点を絞って、極小の前後を中心とした観測を続けてみれば、もっとはっきりと連星周期を求めることができるとと思われる。

光度曲線と色指数の相関に関しては、主極小のあたりでは、やや赤くなっているような傾向が見られたが、はっきりとは言い切れない。しかし、これを明らかにすることは、SS433 の形状を推測するのに非常に有効であると思われる。

参考までに X 線と可視光の比較をしてみると、X 線のほうには、副極小が見られない。これは、X 線源は主星側にあるため、副極小のときには隠されるということがないからだと考えられている。

#### V 結 論

CCD 検出器を用いて特異天体 SS433 の VRI 測光観測を行った。これまでの観測では、

- CCD による集散的な観測は行われていなかった。
- 1 つのサイトで、連星周期全体にわたるような密なデータは少なかった。
- VRI バンド、特に R バンド、I バンドのデータは少なかった。

というようなものであったので、本研究の観測データはこれからの研究に対して意義ある

ものとなった。

今後の課題としては、

- ・絶対測光の精度を上げる。
- ・食での色指数の変化を定量化できるようなデータを蓄積する。
- ・ジェットの歳差位相との関連性を調べるために、歳差周期全体に及ぶ観測を行う。

といったことが望まれる。

#### 参 考 文 献

- [1] 福江 純, 1993, 『宇宙ジェット』(学習研究社)
- [2] Margon, B. 1984, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **22**, 507.
- [3] Fukue, J., Yamanaka, K., and Furukubo, M. 1992, *PASJ*, **44**, 521. (論文1)
- [4] Sanbuichi, K. and Fukue, J. 1993, *PASJ*, **45**, 727. (論文2)
- [5] 中村真由美・三分一清隆・福江 純, 1995年, 大阪教育大学紀要, 第Ⅲ部門, 第44巻, 第2号, 175頁(論文3)
- [6] Kemp, J.C. et al. 1981, *Vistas in Astronomy*, **25**, 31.
- [7] Kemp, J.C. et al. 1986, *ApJ*, **305**, 805.
- [8] Cherepashchuk, A.M. 1981, *MNRAS*, **194**, 761.
- [9] Zwitter, T. et al. 1991, *A&Ap*, **251**, 92.
- [10] Aslanov, A.A. 1993, *A&Ap*, **270**, 200.
- [11] 横尾武夫, 定金晃三, 福江 純, 高橋 敦, 1995, 大阪教育大学紀要, 第Ⅲ部門, 第44巻, 第1号, 43頁
- [12] 定金晃三, 横尾武夫, 福江 純, 松本 桂, 有本淳一, 小林英之, 本田敏志, 1995年, 大阪教育大学紀要, 第Ⅲ部門, 第44巻, 第1号, 55頁
- [13] Leibowitz, E.M. and Mendelson, H. 1982, *PASP*, **94**, 977.

### VRI Photometry of SS433

Rika NAKASHIMA, Junichi ARIMOTO, Yumi AWANO, Kaoru ISHIKAWA,  
Masamitsu OKUGAMI, Toshiki SAKAGUCHI, Kazuhito TANABE,  
Kazumi TSUDA, Jun FUKUE, Satoshi HONDA, Katsura MATSUMOTO,  
Yasushi YAMADA, and Takeo YOKOO

*Astronomical Institute, Osaka Kyoiku University, Kashiwara, Osaka 582, Japan*

We performed VRI photometric observations of SS433 using a 51-cm reflector with a CCD camera at Osaka Kyoiku University. Three cycles of the binary phase are covered. The mean magnitudes during observational periods are  $V=13.7$ ,  $R=11.1$ ,  $I=10.5$ . On October 17 and 18 a strong flare was observed. It is confirmed that SS433 is rather red.

**Key Words :** SS433, Light curves, Photometry