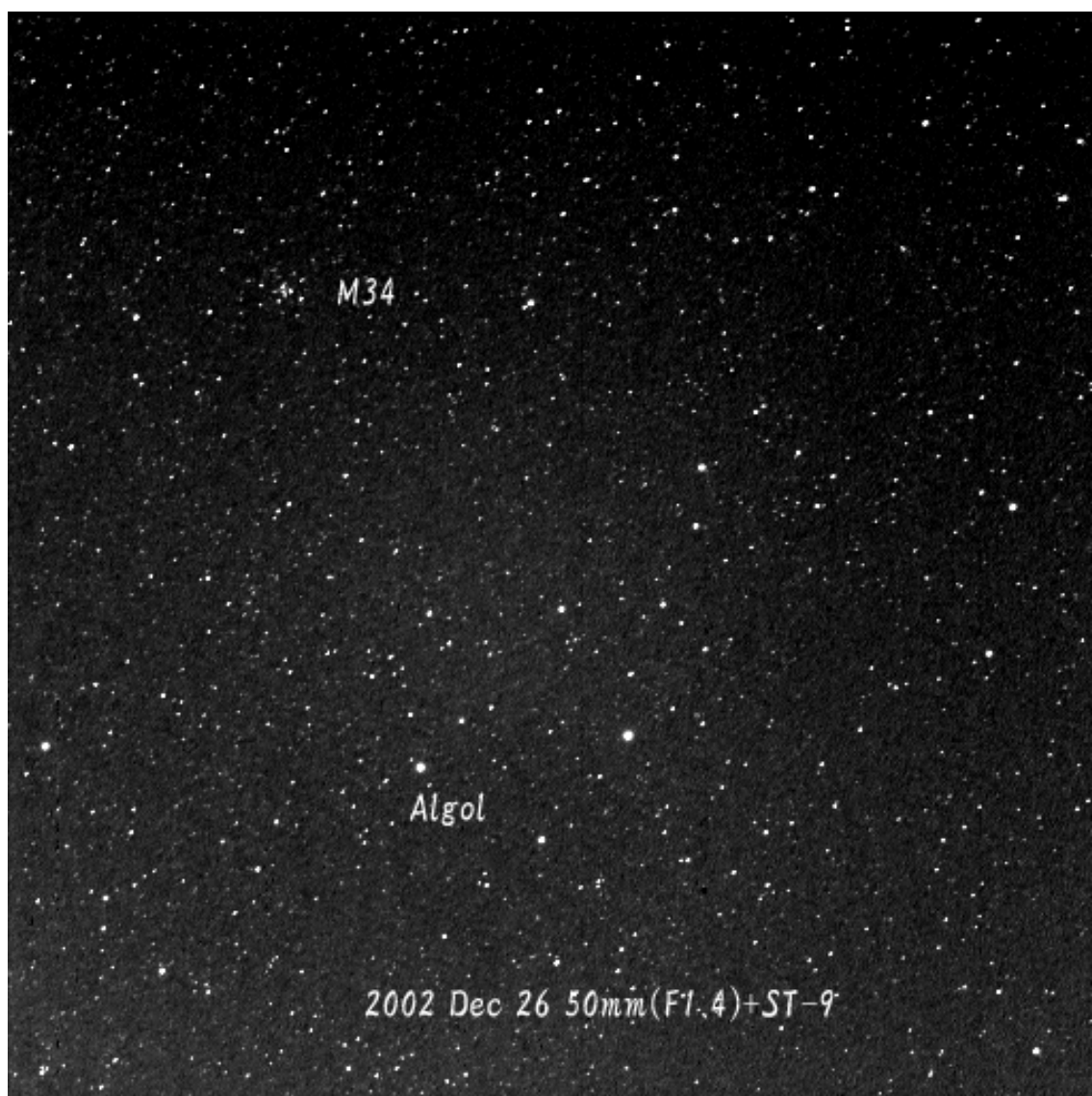


2002 食変光星キャンペーン

ーアルゴルの食をみようー



## 食変光星キャンペーン2002報告

わたしが、変光星観測を始めた中学生の頃、アルゴルを連夜、観測したことがありました。で、「あれ、明るさ変わらないな？」。実は、周期 2.8 日ということは知っていたのですが、極小時刻の時刻前後しか明るさが変わらないのを知らなかったのです。その後も、変光星観測の際に、時々、アルゴルの明るさを気にしているのですが、なかなか、偶然には、極小に当たらない印象でした。プラネタリウムの解説などでも、必ず取り上げられる悪魔の星アルゴルですが、実際にアルゴルの変光をみたことがある方は、少ないのではないのでしょうか。そういうこともあって、このキャンペーンの第 1 の目的は、みなさんにアルゴルをはじめとする食変光星の明るさが変わるのを実感していただくということでした。その意味では、キャンペーンの目的は果たせたのでは無いのでしょうか。この報告書では、もう一步踏み込んで、観測マニュアルで触れられなかった観測整理の方法、みなさんから寄せられた観測からわかることなどをまとめてみたいと思います。

(清田誠一郎)

### 観測対象

対象	変光範囲	周期	変光型
アルゴル ( $\beta$ Per)	2.12-3.39V	2.8673043 日	アルゴル(EA)型
RZ Cas	6.18-7.72V	1.195247 日	アルゴル(EA)型
GR Tau	10.26-10.80V	0.4298525 日	こと座 $\beta$ 星(EB)型

### 期間

2002年11月1日から12月31日

### 参加者名簿 (順不同)

氏名	観測地	機材(B:双眼鏡)
金井清高	群馬	7B
中島和宏	三重	25cmSC(F-5) + Mutoh CV-04 CCD camera f135mm (F2.8) + Mutoh CV-04
岩本光倫	神奈川	70B×10
船生正史	明治大学	70B×10
今村茜	明治大学	80B×11
山口秀康	明治大学	70B×10
亀岡勇佑	明治大学	70B×10
中山美智枝	明治大学	70B×10

熊谷治信	東海大学	70BX10
若出純也	東海大学	70BX10
牛込菜穂子	東海大学	70BX10
谷島昶	東京	
百瀬雅彦	長野	肉眼
花田恵介		
広沢憲治	愛知	肉眼

#### 観測報告に添えられた 1 言感想集

若出純也

(RZ Cas) 初めて変光の過程を見せていただき、その想像を越えた光量の変化ぶりに正直感動と驚きを覚えました。

また、その観測の困難さにも大変驚いた次第でございます。

熊谷治信

(RZ Cas) 久しぶりに晴れてまともに観測ができました。よかった！！

中島和宏

(RZ Cas) LX-200 の主鏡では+60 度以上の高緯度は観測できませんので、135mm のレンズを乗せて撮影しました。

山口秀康

(アルゴル)初めてのアルゴルの極小観測でしたが、天気にも恵まれ、極小をとらえることができました。

(RZ Cas) 久しぶりの RZ-Cas の極小観測でしたが、その面白さを改めて知りました。

また、今年最後の極小観測ということもあり、観測できて良かったです。

谷島昶

(アルゴル)東京から山梨県大泉村への出張観測なので、極小へのタイミングが会わず残念でした。

また是非次の機会を作ってください。

岩本光倫

(RZ Cas) 生田校舎から観測しました。月もなく、降るような星空の下で極小観測ができました。平常光度まで明るくなってきたときには体がすっかり冷え切っていましたが、心は充実感に溢れていました。

(アルゴル)今シーズン初のアルゴルの極小観測に挑戦しました。

一応極小が得られたのでご報告いたします。ぜひもう一度トライしたいです。

## 観測の整理の仕方

観測を終えて、まず、することは、光度曲線を描くことです。光度曲線とは、横軸を時間、縦軸を光度にしたグラフです。以前なら方眼紙を取り出して、適当に目盛りをふってというのが定番でしたが、Excel などのソフトで描いても良いかもしれません。描いてみると、観測がうまくできたかどうか良く分かります。

光度曲線から得られることは、光度変化の様子（光度曲線の形）と極小時刻（食で一番暗くなった時刻）です。光度曲線の形からは、連星の軌道や星の形の情報が得られるのですが、眼視観測からでは精度的に難しいです。ということで、眼視観測では、極小時刻を求めるのが一番の目的となります。

観測から極小時刻を求める方法は、ほかの変光星と変わりません。

中点連結法もよく使われます。まず、光度曲線を描きます。グラフの傾きが  $45^\circ$  になるようなスケールで描くと作業がしやすいです。そして、観測によく合うようになめらかな曲線をひきます。次に、適当な間隔で水平に線をひいて、光度曲線と交わる左右の点の中心の時刻をそれぞれの水平線について求めます。各中点を直線や曲線で結んで、光度曲線と交わる点が極小時刻です。（図）

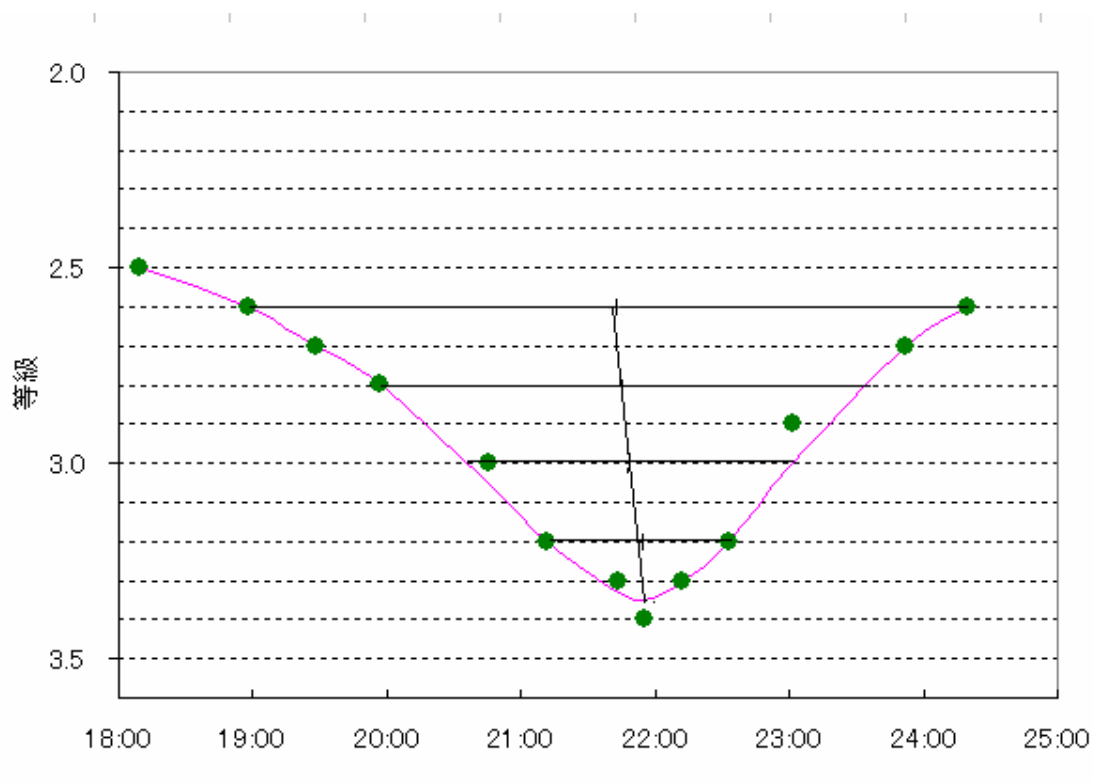


図 1 中点連結法

食変光星の光度曲線が左右対称なのを活かしたトレーシングペーパー法もよく使われています。やはり、まず、観測をグラフにします。極小と思われる時刻に垂直に線を引きます。光度曲線をトレーシングペーパーの様な薄い紙に写し取ります。トレーシングペーパーを裏返して、元の光度曲線と重ねます。この時、両方のグラフの観測値がよく重なるようにします。元のグラフと写し取ったグラフの2つの直線の間が極小時刻です。図3で、白丸はトレーシングペーパーに写して重ねた観測で、左の直線がトレーシングペーパー上の線です。極小時刻は、2つの直線の間の中間の時刻です。

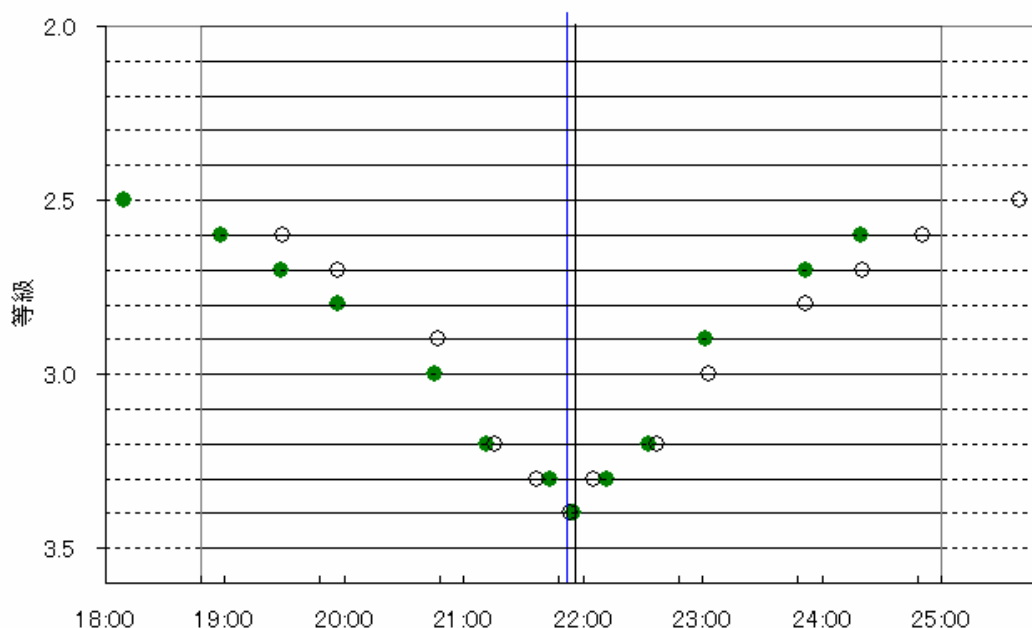


図2 トレーシングペーパー法

CCD観測等で、観測間隔が揃って、減光増光の観測が揃っている場合には、もう少し、解析的な方法も使われます。Kwee and van Woerden(KW)法が最もよく使われています。

KW法の論文については、

<http://binaries.boulder.swri.edu/binaries/papers/kvw.html>

また、KW法を使って極小時刻を求める時に便利なソフトAVEの使い方については、

<http://member.nifty.ne.jp/meineko/min-det.html>

を参考にしてください。

求めた極小時刻は、解析がしやすいように、日心補正をします。これは、地球が太陽の周りを公転するために、星との距離が、1年周期で変化するためです(図3)。光が地球軌道を横切るのに約16分かかりますので、この差は、無視できない値です。図からわかるように補正值は、星と地球の位置関係によってかわります。詳しい計算方法は、ここでは説明

しません。自分で計算してみたい場合は、

<http://member.nifty.ne.jp/meineko/hel-cent.html> を参考にして下さい。(準備中)

パソコンソフトを使った方法は、<http://member.nifty.ne.jp/meineko/min-det.html> で簡単に説明しています。

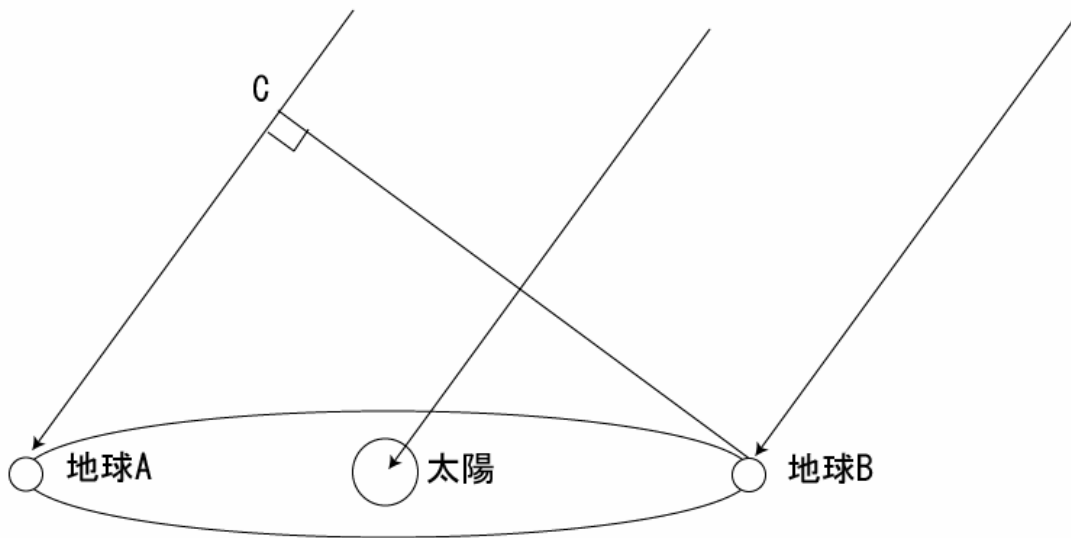


図 3 地球 A と B とでは、A-C の距離分だけ光の届く時間が違う

観測で求めた極小時刻(O:観測=ObservationのO)と要素式(極小時刻=元期+周期×周期回数)で求めた計算値(C:計算=calculationのC)の差をO-Cといいます。

O-Cを解析することによって、まず、発見されて間のない星の場合は、周期の精度を上げることができます。周期変化が無かった場合、予報に用いた要素の周期と実際の周期の誤差が、加算されるので、O-Cのグラフは、直線になります。周期が時間と共に一定に割合で減少または増加する場合は、O-Cの変化は、放物線になります。また、周期が不連続的に変化すると、変化するたびに、O-Cの様子が変わります。O-Cが不連続に変化する星も多いです。一般に、O-Cの傾向が不連続に変化した場合は、連星系に何か起こったことを表しています。

ただし、O-Cの変化は、周期変化だけでなく、近星点移動の様な見かけの変化によっても観察されます。

言葉だけで説明するのは難しいのですが、以下のキャンペーンの観測結果のまとめの中でも具体例が出てくるとと思います。

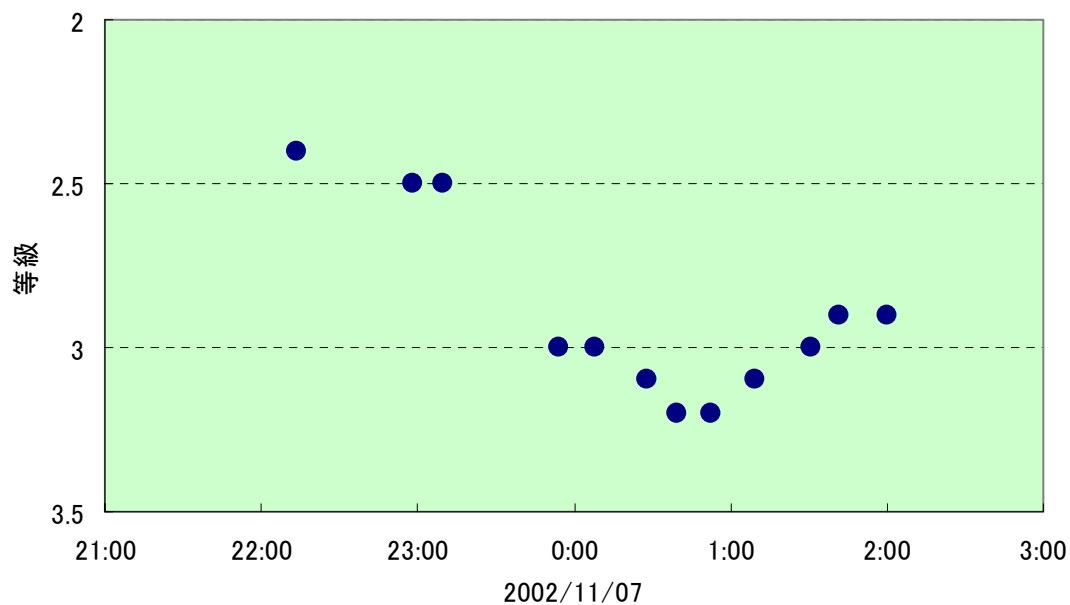
### 寄せられた観測のまとめ

それでは、キャンペーンにみなさんから寄せられた観測を見ていくことにしましょう。

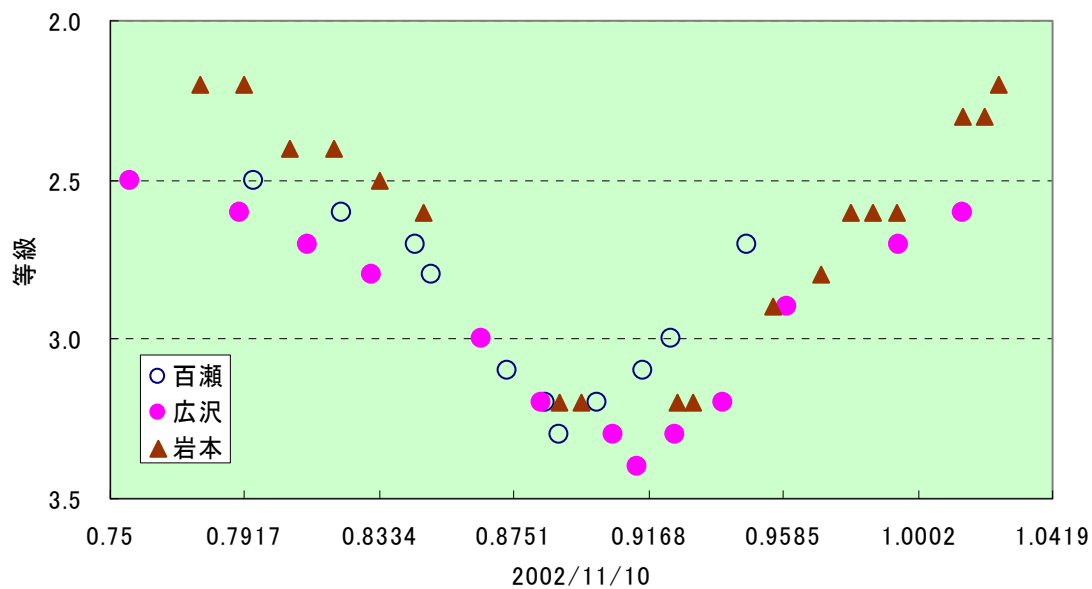
### アルゴル (β Per)

よく知られた星で、よく研究されている星ですが、観測マニュアルで、金井三男さんが書かれていたように、謎も多い星です。変更幅は、1.3等位あるので変光は、初めての観測で

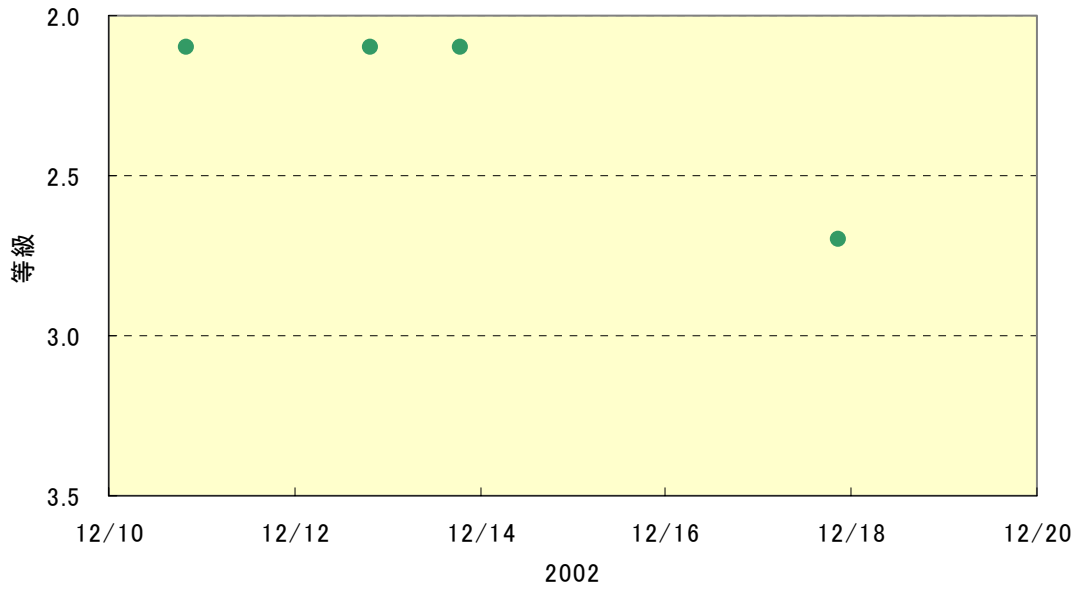
アルゴル(岩本)



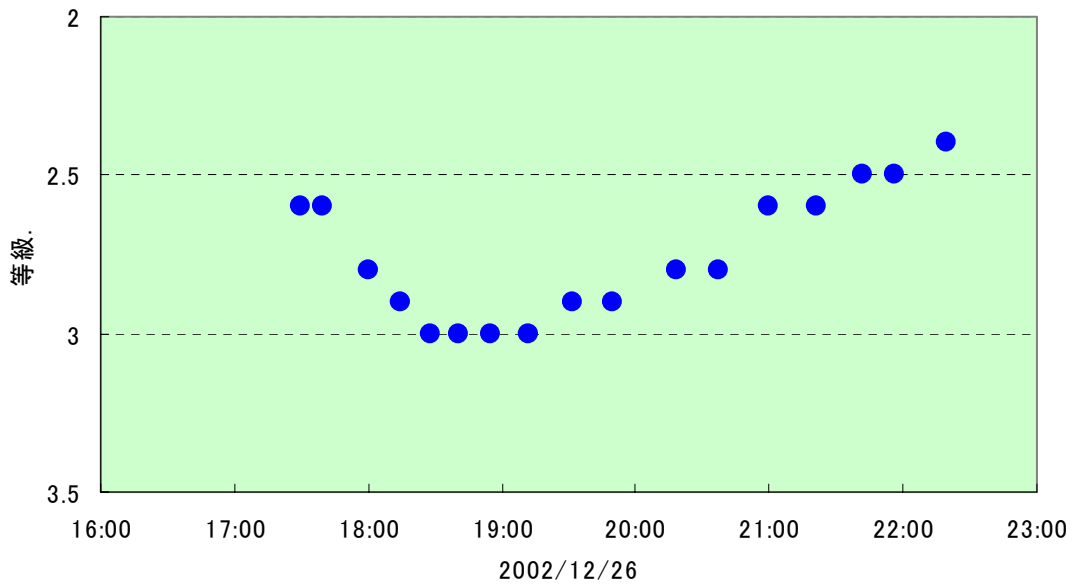
アルゴル



アルゴル(花田)



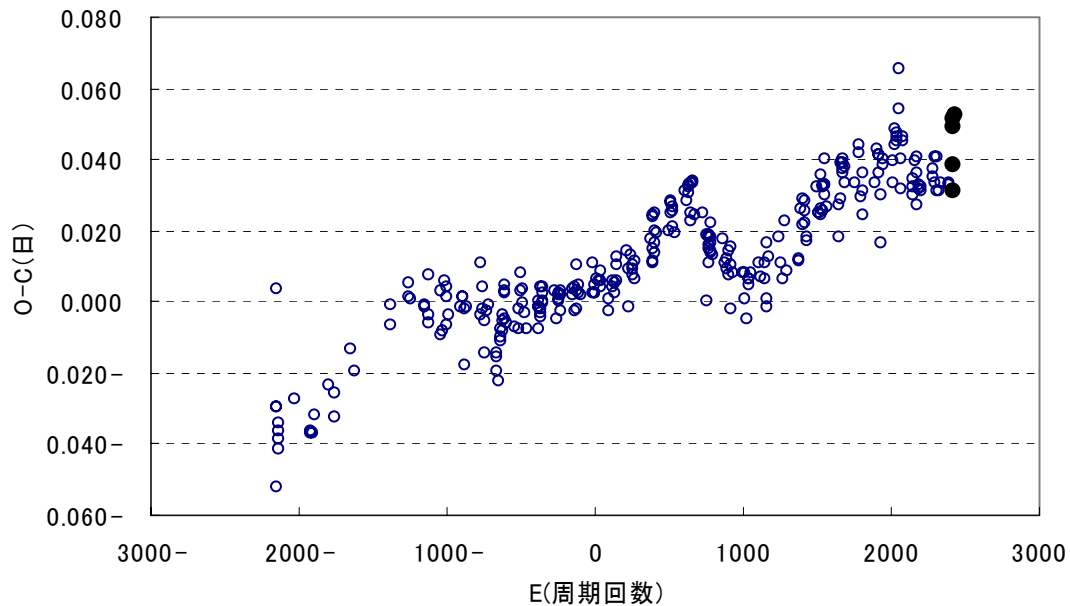
アルゴル(山口)



もよく分かると思うのですが、変光時間が長いので、観測は大変だったかもしれません。キャンペーンの観測から求めたO-Cを、金井さんの観測と合わせて図にしてみました。



## アルゴル O-C



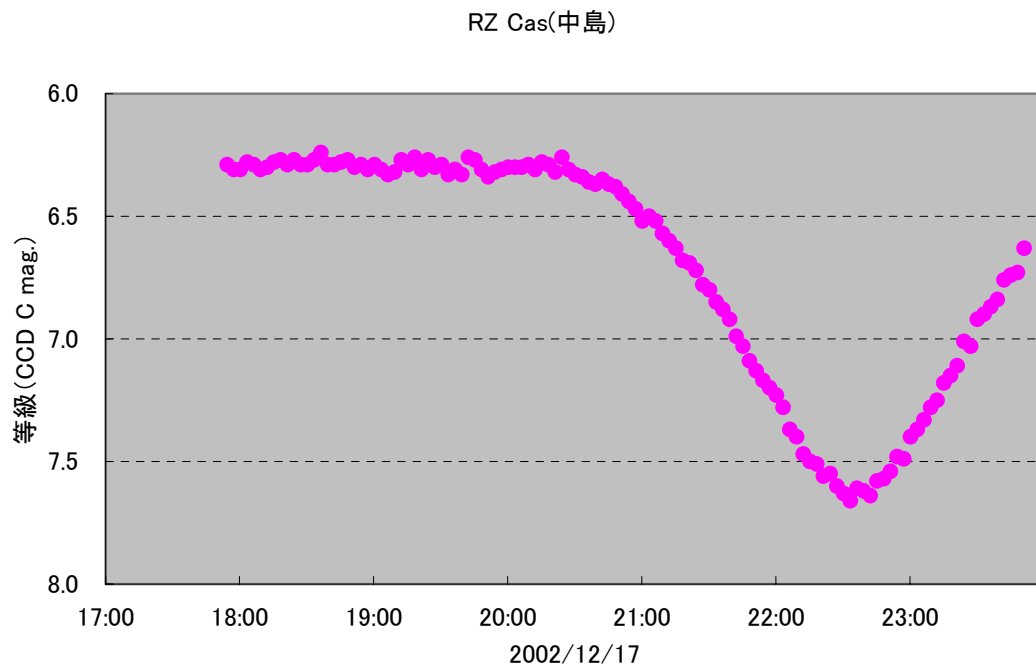
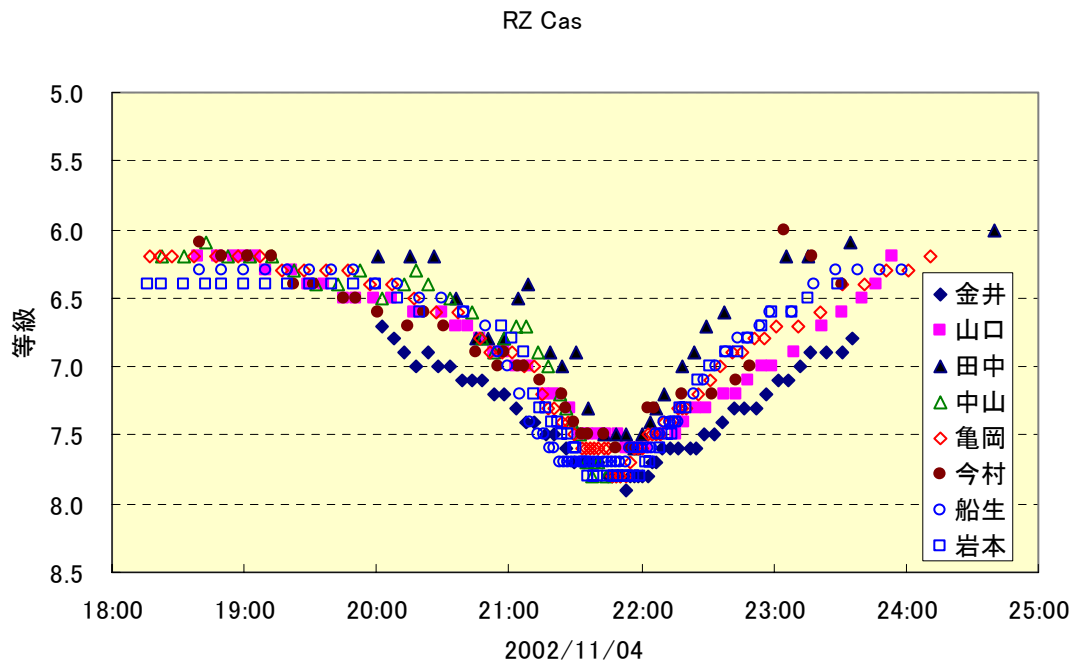
### アルゴルの O-C(黒丸がキャンペーンの観測)

予報極小時刻の計算に用いた要素は、変光星総合カタログ(GCVS)第4版の要素です。当たり前ですが(?)、金井さんの観測と良く一致しています。O-Cをみると、全体に右上がりです。観測マニュアルに載せた金井さんの使われた要素は、この傾向を、考慮して求め直した改良要素です。観測マニュアルのO-Cと今回のO-Cの図を見比べてみてください。キャンペーンでは、伴星が主星を隠す主極小しか観測対象にしませんでした。それは、主星が伴星を隠す副極小は、減光する幅が大変小さく、眼視観測では観測がほぼ無理だからだったのですが、CCD等の機材を使える方は、副極小の観測に挑戦してみるのも良いかも知れません。

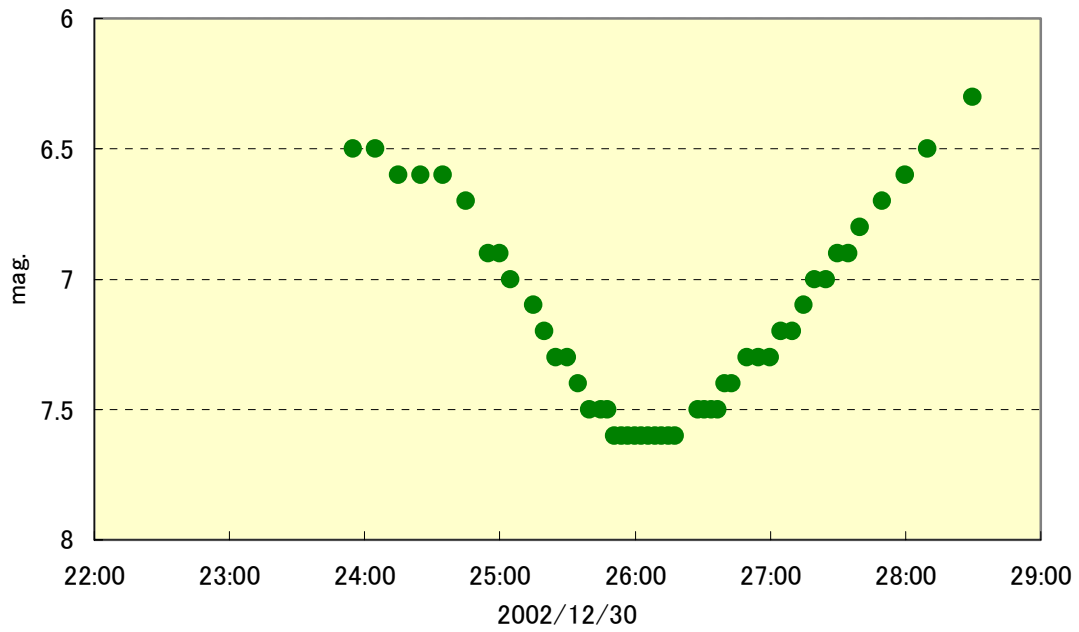
### RZ Cas

もっとも多くの方から観測をいただきました。この星は、双眼鏡で観測できること、変光時間、変光範囲とも眼視でも観測しやすいので、人気のある星です。変光の度に光度曲線の形に微妙な差がでることが謎とされていた星ですが、鳴沢真也さん(西はりま天文台) (<http://www.nhao.go.jp/~narusawa/>) 達によって、この原因は伴星が脈動変光星であるからだとわかってきました。眼視観測では、この微妙な差までは、観測は難しいのですが、この星は、また、周期が頻繁に変化することで有名な星です。こちらは、眼視観測でもフォローが可能です。やはり、成沢さんによれば、ここしばらくは、周期が安定しているそうです。このことは、今回のみなさんの観測から求めたO-Cからもわかります。今後

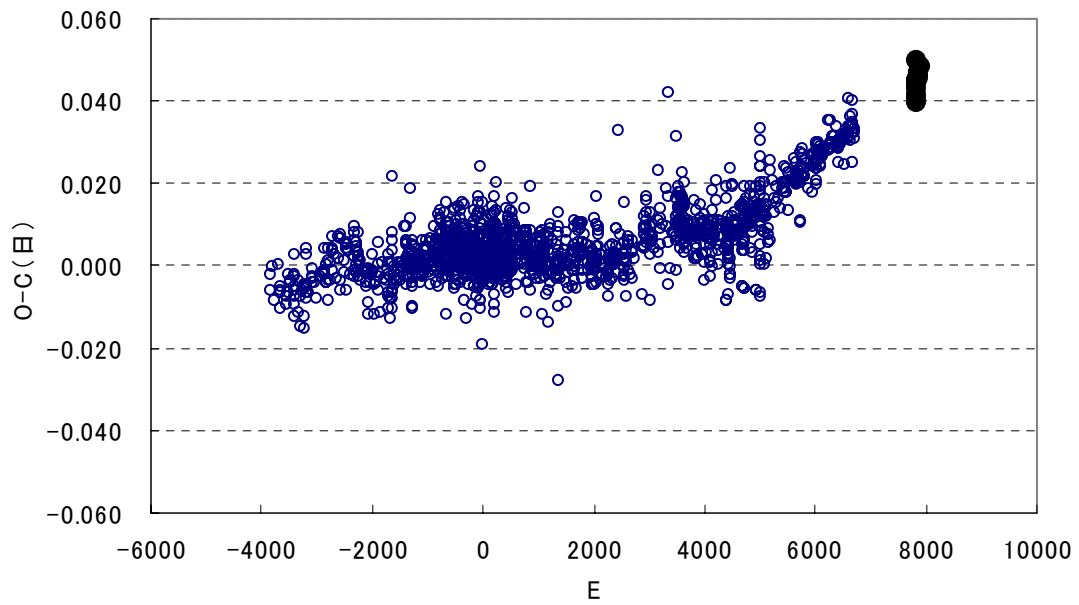
どうなるか目が離せません。



RZ Cas (山口)



RZ Cas



RZ Cas O-C (●がキャンペーンの値)

## GR Tau

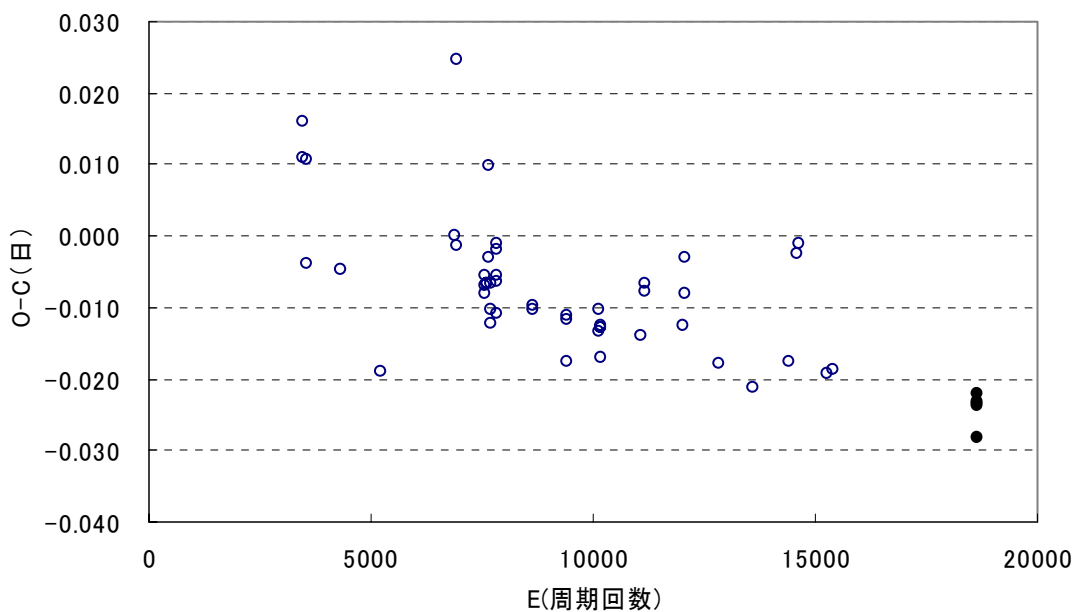
やや光度が暗かったせいか、中島さんの CCD 観測のみになりました。

なお、観測マニュアルで、GR Tau を EW 型としましたが、光度曲線を見てもらうとわかるように EB 型でした。間違いを指摘して頂いた中島さんに感謝します。

中島さんは、ご自身の観測から、極小付近で少しの間ほぼ一定光度であることに気づいて、皆既食の可能性を指摘されていました。見かけ上、金環食や皆既食に見えるだけの場合もありあり、光度曲線の見ただけでは判断が難しいのですが、この星を研究されている防衛大学の山崎篤磨さんらによる光度曲線解析の結果では金環食だと言うことです。光度曲線の形を解析する連星の星の大きさや軌道の様子を知ることが出来ます。光度曲線解析といます。金環食がどういう状態なのかは、金環日食を思いうかべてみてください。

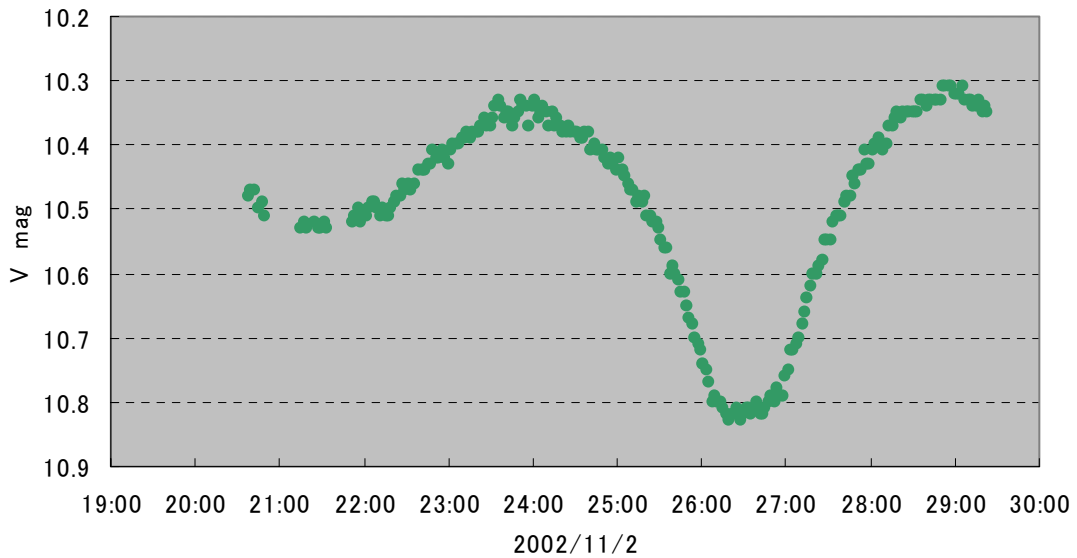
山崎さんらの研究で、この星は、観測する時期によって光度曲線の形が変わることが指摘されています。具体的には、山崎さん(1980年)らや Fang (1993年：北京天文台)さんの観測では、1周期の変光のうち二度ある極大(それぞれ第1極大、第2極大と呼びます)の光度が違うというものでした。山崎らの観測では、第2極大が第1極大に較べてやや暗かったのですが、カナリア諸島天文台 Lázaro さんらの1992年観測では、2つの極大の光度は同じで、光度曲線の形も他の観測と微妙に違うというものでした。また、両者の観測では変光幅も違っていました。今回の中島さんの観測からも、2つの極大の明るさに差があることは確認できます。本当に、時期によって光度曲線の形が変わるのか、それはどういう原因によるのか興味の持たれる星です。

GR Tau

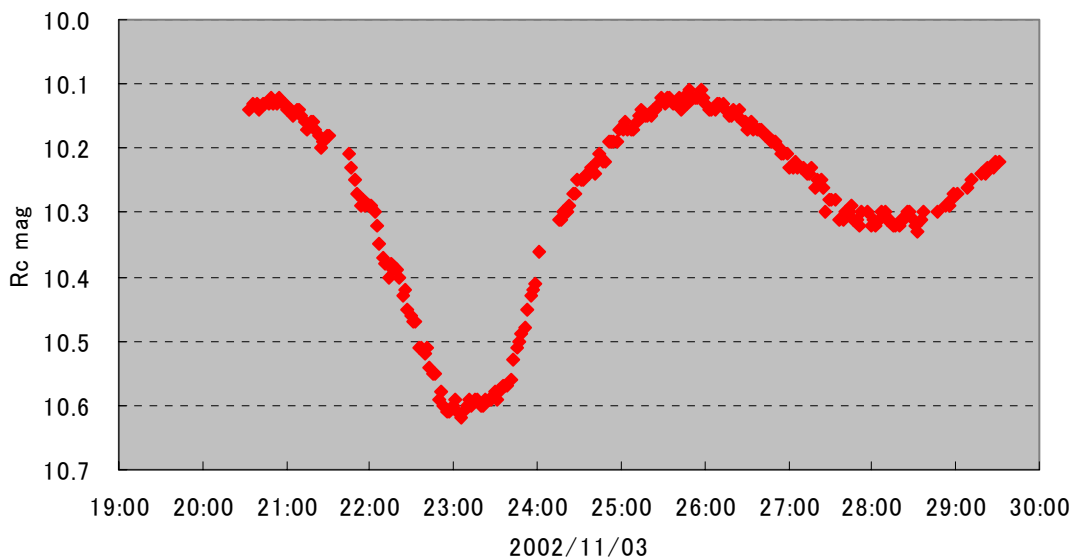


GR Tau の O-C ( がキャンペーンの観測)

GR Tau (中島)



GT Tau (中島)

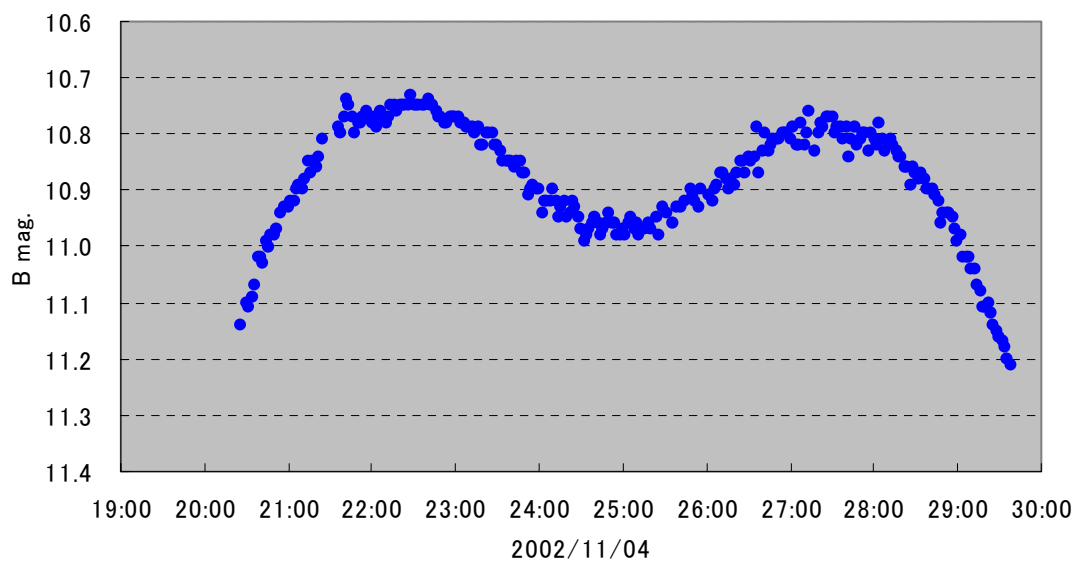


なお、極大光度に差が見られる現象を、この現象の研究者の名前を採って、O'Connell 効果と言います。

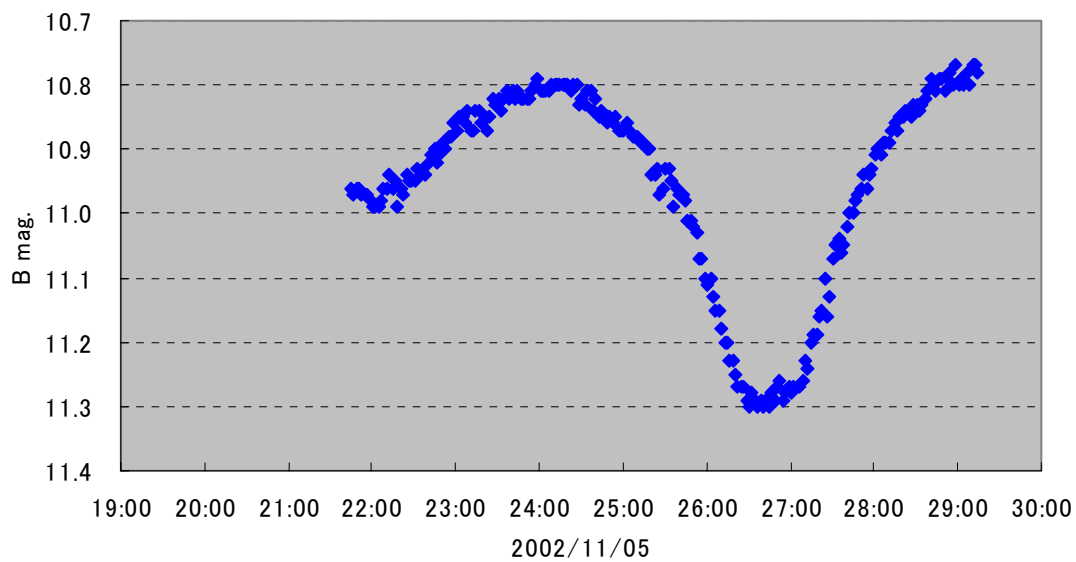
O-C は、右下がりでしょうか。中国の Zhang らは、最近の論文で、1985-2001 年の自分たちの観測から、周期毎に少しずつ周期が減少していると指摘しています。時間につれて一定の割合で周期が減少する場合は、O-C のグラフは放物線になるはずですが、上のグラフでは、ばらつきが大きく、その傾向は読みとれません。一般に、EB 型や EW 型変光星では、

星同士が近いので、様々な相互作用を通して、周期変化が起こり易いようです。

GR Tau (中島)



GR Tau (中島)



キャンペーンに寄せられた観測から求められた極小時刻の GCVS の要素に対する O-C 一覧

星名	極小時刻のユリウス日 (日心時)	O-C	E(周期回数)	光度体系	観測者	
RZ	Cas	2452577.062	+0.043	7845	v	金井
RZ	Cas	2452583.035	+0.040	7850	v	船生
RZ	Cas	2452583.036	+0.041	7850	v	今井
RZ	Cas	2452583.037	+0.042	7850	v	岩本
RZ	Cas	2452583.039	+0.044	7850	v	亀岡
RZ	Cas	2452583.040	+0.045	7850	v	田中
RZ	Cas	2452583.040	+0.045	7850	v	金井
RZ	Cas	2452583.045	+0.050	7850	v	山口
RZ	Cas	2452620.094	+0.046	7881	v	熊谷
RZ	Cas	2452620.094	+0.046	7881	v	牛込
RZ	Cas	2452620.095	+0.047	7881	v	若出
RZ	Cas	2452626.0698	+0.0457	7886	C	中島
RZ	Cas	2452639.220	+0.048	7897	v	山口
GR	Tau	2452581.2355	-0.0237	18630	V	中島
GR	Tau	2452582.0956	-0.0233	18632	Rc	中島
GR	Tau	2452582.3057	-0.0233	18632.5	Rc	中島
GR	Tau	2452583.1714	-0.0221	18634.5	B	中島
GR	Tau	2452584.2448	-0.0233	18637	B	中島
beta	Per	2452586.163	+0.038	2422	v	岩本
beta	Per	2452589.023	+0.031	2423	v	百瀬
beta	Per	2452589.041	+0.049	2423	v	広沢
beta	Per	2452589.043	+0.051	2423	v	岩本
beta	Per	2452634.921	+0.052	2439	v	山口

光度体系 v: 眼視 V: Johnson V Rc: Johnson-Causins R B: Johnson B C: CCD ノーフイルタ

周期回数に、小数点以下に 0.5 の端数があるのは、副極小。

谷島さんの観測は、グラフにせず、寄せられた観測結果をそのまま紹介させていただきます。ご了承ください。

PERbeta 2002120218:30 25 Tzh

PERbeta 2002120223:05 21 Tzh

CASRZ 200212022147 58 Tzh

CASRZ 200212022301 58 Tzh

CASRZ 200212022326 60 Tzh

## まとめ

キャンペーンを終えての第一印象は、みなさん、観測時間も長く、大変よく観測されているということでした。でも、反面、大変だったとの感想も聞きました。極小をはさんで、2-3時間でも良かったのではないかという気もします。長く続けるコツは、もっと、楽に観測することだと思います。

今回、アルゴルの観測が十分できなかった人には、夏になったらまた、ペルセウス座が見やすくなるので、是非再チャレンジして頂けたらと思います。今回より寒くないでしょうし。2003年にも同じようなキャンペーンが開催されたときには、また、ぜひ参加してください。このキャンペーンで初めて食変光星を観測した方には、今後も、食変光星の観測を続けて頂けたらと思います。また、今回参加された変光星の観測のベテランの方にも、ますます、観測して頂けたらと思います。食変光星の観測には、それだけの魅力があると確信しています。観測星のレポーターを増やしたい場合の星図については、相談してください。

キャンペーンのまとめでは、急に内容が難しくなって、戸惑われた方がおられたかもしれませんが、どうしても、近接連星系の物理の話になってくるので仕方が無かった部分もあります。興味を持たれたかたは、ゆっくり、少しずつで良いので、勉強していただけたらと思います。参考書としては、「星の物理」北村正利（東京大学出版会）あたりを、まず、おすすめしておきます。

キャンペーンに併せて解説したHPは、しばらく残しておきます。

<http://www.rose.ne.jp/~meineko/algol.html>

編集 清田誠一郎、百瀬雅彦、永井和男

連絡先：清田誠一郎 [meineko@x.age.ne.jp](mailto:meineko@x.age.ne.jp)