

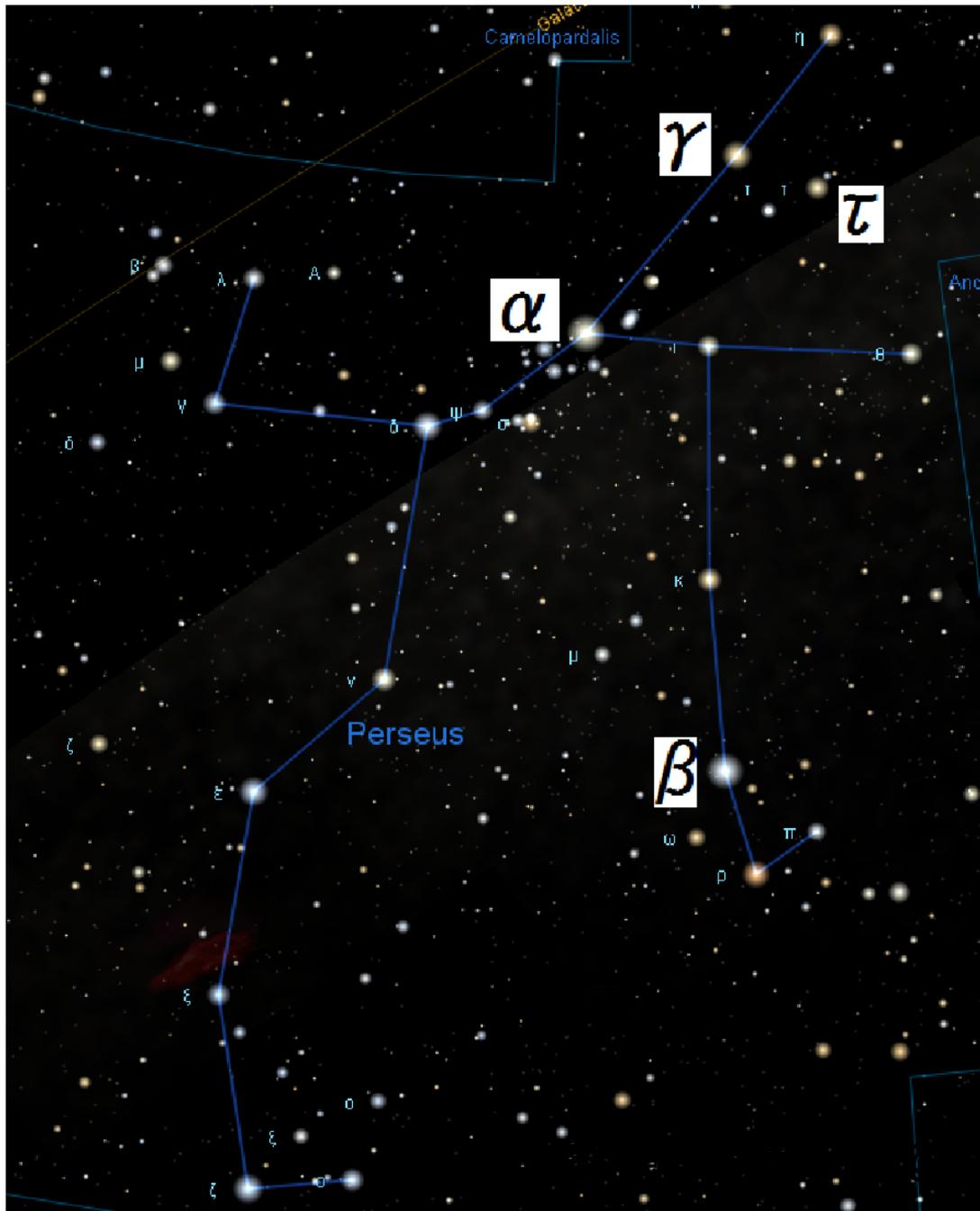
# 長周期食連星 $\gamma$ Perの次回の食 について

大島 修

大島玉島観測所/山陽学園大学

# 発表の概要

- $\gamma$  Perとはどんな星か
- 1990年9月の食の初検出の経緯
  - 長年R.F.Griffinが視線速度を測定していて、食の予報を発表し、国際共同観測を呼びかけた
  - 日本人が大活躍(所、荒井、大島)
    - その節(天文学会発表)は、谷口さんにお世話になりました
  - Sky & Telescope誌(1991年)の記事に
- その後の研究で出てきた恒星進化上の謎
- 次回の食を観測しよう
- 観測上の課題



# γ Perの位置

比較星としてτ Perが使われる

β Perは、最も明るい食連星アルゴル

The SkyXより

# $\gamma$ Per とは

- 1990年に初めて食が観測された周期14.6年の食連星系（副極小は起こらない）
- アルゴルに次いで明るい食連星系（2.9等）
- 分光連星としてよく観測されてきた→ぎよしゃ座 $\zeta$ 型星
- 「実視」連星でもあった（最大離角わずかに0.3秒角！）  
マイケルソン干渉計、スペックル干渉計でよく観測されている
- G0(4.7M<sub>sun</sub>)+A2(2.7M<sub>sun</sub>) (McLaughlin, 1948) "Over massive"
- G8III (3.06) + A3V (2.03) (Popper & McAlister, 1987) "Not overmassive But overluminous"
- G8II-III(3.9M<sub>sun</sub>)+A1IV (2.5) (R.E.Griffin, 2007) "Both overmassive and overluminous"
- 前回2005年の食は、6月に起こったために、測光観測はない。

# McLaughlin(1948)の論文

## McLaughlin, Dean B. The orbit of $\gamma$ Persei.

The spectrum of this star is composite gGo and A2. Only the K line is measurable in the A-type spectrum. Large relative displacements of the two spectra were observed in 1932 and 1947.<sup>1</sup> Velocities of both stars were measured on 34 Michigan plates and were combined with 22 published velocities of the G star in 1897 to 1911 (Lick, Bonn and Columbus plates). Orbital elements are as follows:

Period	5350 days		
$\gamma$	+ 2.5 km/sec		
$K_G$	12.7 km/sec	$K_A$	21.9 km/sec
$e$	0.72		
$\omega_G$	$344^\circ$	$\omega_A$	$164^\circ$
$T$	JD 2432263 = 1947 March 18-19		
$a_G \sin i$	$6.44 \times 10^8$ km	$a_A \sin i$	$11.1 \times 10^8$ km
$m_G \sin^3 i$	$4.72 \odot$	$m_A \sin^3 i$	$2.74 \odot$

The spectrum of the G-type star is that of a normal giant, with no indication of c-character.

The values of  $m \sin^3 i$  suggest that  $i \approx 90^\circ$ . The masses are then very similar to those of Capella A and Sirius A. Assuming luminosities equal to those stars, the combined absolute magnitude is  $M = -0.45$  and the parallax  $0''.020$ . The semi-major axis of the orbit of the G star is  $0''.086$ . An astrometric orbit should therefore be observable in yellow light with negligible interference from the A star. At apastron in 1954 the separation of the two stars should be about  $0''.4$ .

1. *Ap. J.* 88, 358, 1938; *Harv. Announcement Card* No. 795, 1947.

*Observatory, University of Michigan,  
Ann Arbor, Mich.*

AJ(1948), Vol.53, p.200

# ぎよしゃ座ζ型食連星とは

- プロトタイプはぎよしゃ座ζ星
- ハーバード分類(ヘンリードレーパーカタログ)では「複合スペクトル連星」とされている。
- 赤色(超)巨星+高温(主系列)星のスペクトルが重ね合わさっている

# ζ Aur型星のいろいろ

**Table 1.1** Members of the class of ζ Aur Stars

System	Alternative designation	Spectral type	$V$	Orbital period (days)	$e$	Total eclipse (days)	Eclipse depth		
			( $m_V$ ) (mag.)				$\Delta V$ (mag.)	$\Delta B$ (mag.)	$\Delta U$ (mag.)
ζ Aur	HD32068/9	K4 Ib + B5 V	3.8	972	0.38	37	0.15	0.55	1.95
31 Cyg	V695 Cyg	K4 Ib + B3-4	3.8	3784	0.21	61	0.10	0.41	1.48
32 Cyg	V1488 Cyg	K5 Ib + B6 V	4.0	1148	0.30	Grazing	0.05	0.21	1.06
VV Cep	HD 208816	M2 Iab + B0-2	4.9	7430	0.35	233	0.05:	0.40	1.92
22 Vul	QS Vul	G7 Ib-II + B8.5 V	5.2	249	0.0	8	0.05	0.13	0.35
HR 6902	V2291 Oph	G9 Ib + B8.5 IV	5.7	385.0	0.31	3.8	0.19	0.44	1.06
HR 2554	V415 Car	G7 II + A1 V	4.4	195.3	0.0	Partial	0.06	0.08	0.16
τ Per	ADS 2022	G8 III + A4 V	4.0	1516	0.73	Partial	0.16	0.30	0.45
γ Per	ADS 2324	G8 II-III + A1 IV	2.9	5328	0.79	7.3	0.28	0.54	0.88
HD 223971	V413 And	G7 III + F2 IIIIm	6.6	50.1	0.0	<1	0.41	0.64	0.85

Notes: (1) Bennett et al. (1996). (2) Eaton and Bell (1994). (3) Burnashev and Burnasheva (2011). (4) Saitō et al. (1980); photometry affected by intrinsic variability. (5) Griffin et al. (1993). (6) Griffin et al. (1995). (7) Brown et al. (2001). (8) Griffin et al. (1992). (9) Griffin (1991b). (10) Unpublished

R.E.Griffin(2015)より

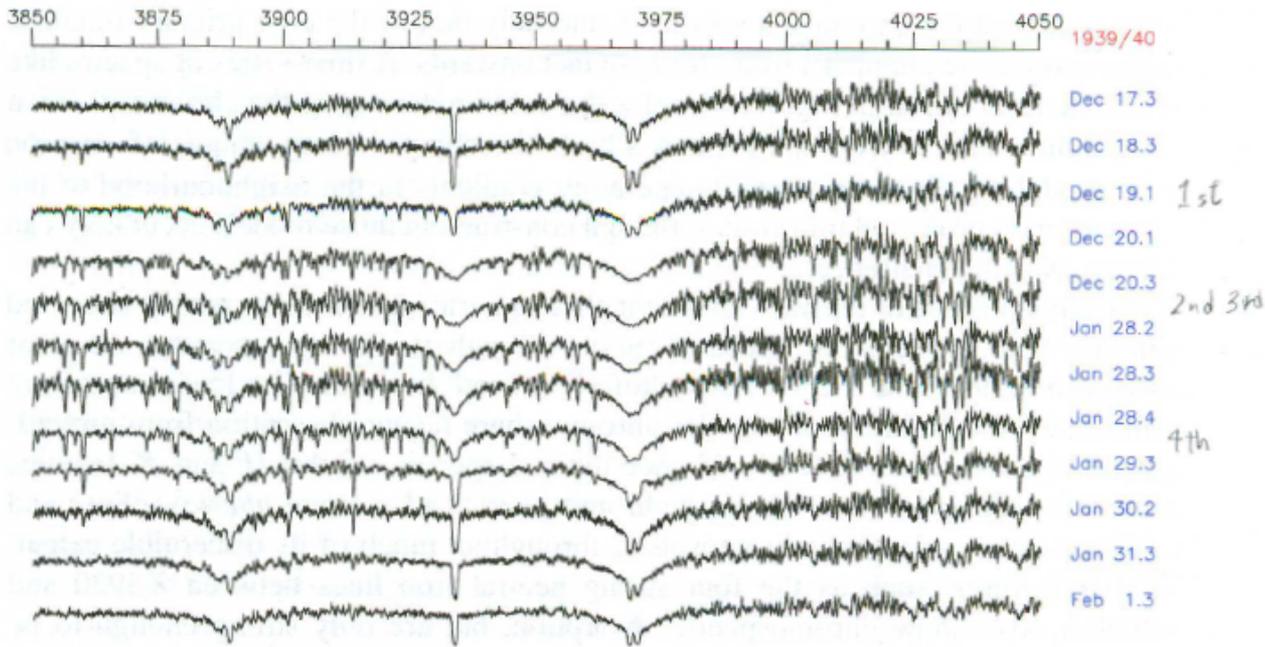
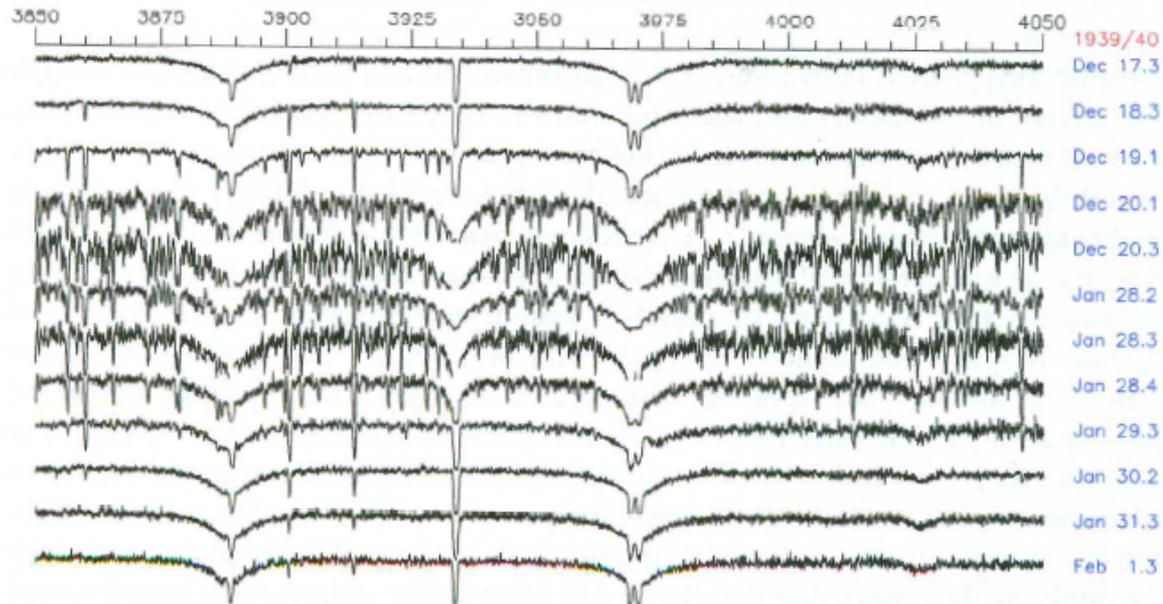


Fig. 1.1 The effects of chromospheric absorption observed during the eclipse of  $\zeta$  Aur in 1939-



## ζ Aurの食のスペクトル

上の図は、食の前後の生スペクトル

下の図は、上の図から、常時見えている低温星のスペクトルを差し引いたもの = 高温星だけのスペクトル変化を示す

# ぎよしゃ座ζ星型連星系の 観測の教科書が今年出版された

amazon.co.jp  
プライム

Amazonポイント: 23

マイストア | ギフト券 | タイムセール | 出品サービス | ヘルプ

カテゴリー  
からさがす

洋書

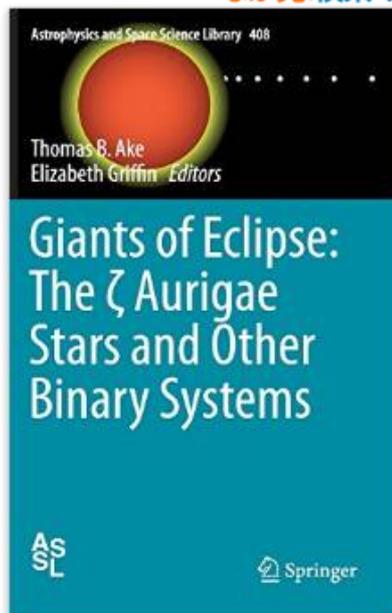
Observing and Analyzing the ζ Aurigae Systems

検索

こんにちは、大島 修さん  
アカウントサービス

洋書 詳細検索 ジャンル一覧 Amazonランキング 初めての洋書 英語学習 ペーパーバック 専門書 バーゲン

なか見!検索



## Giants of Eclipse: The ζ Aurigae Stars and Other Binary Systems (Astrophysics and Space Science Library) (英語) ハードカバー - 2015/1/15

Thomas B. Ake (編集), Elizabeth Griffin (編集)

[カスタマーレビューを書きませんか?](#)

すべてのフォーマットおよびエディションを表示する

ハードカバー

¥ 14,319

¥ 14,061 より 3 新品

住所からお届け予定日を確認  [詳細](#)

5/22 金曜日 にお届けするには、今から**17 時間 49 分**以内に「お急ぎ便」または「当日お急ぎ便」を選択して注文を確定してください（有料オプション。Amazonプライム会員は無料）

# 「実視」連星としての $\gamma$ Per

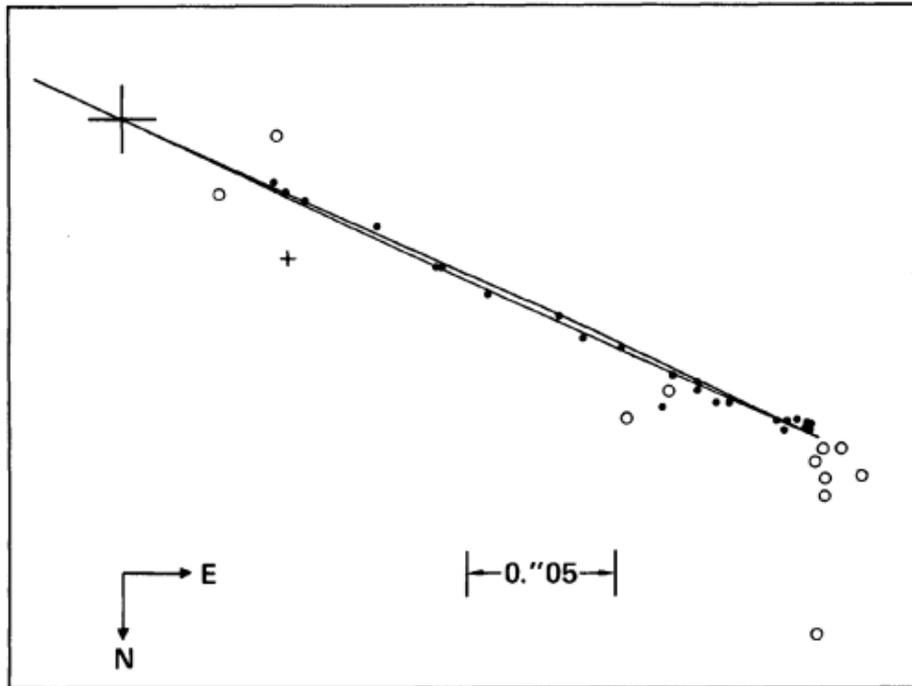


FIG. 4. Astrometric observations of  $\gamma$  Per. Dots: GSU/CHARA observations; light circles: other speckle observations; plus: Wilson's (1941) visual observation. The curve is from solution (1) of Table IV. The upper branch is for the interval preceding apastron passages. The large cross represents the primary (cooler) component.

天球面上の軌道を測定  
できる

黒点 : MacAlister達の  
          スペックル干渉計観測  
白丸 : その他の干渉計観測  
十字 : マイケルソン干渉計の  
          眼視観測Wilson(1941年)

Popper and McAlister(1987)より

# 1990年の食の予報

- Popper and McAlister(1987)  
分光観測とスペックル干渉計の観測から  
1990年10月21日から1991年8月12日の間の  
どこか
- R.F.Griffin(1990)private communication  
Cambridgeの視線速度分光計の大量の観測  
から  
1990年9月ころ

# ケンブリッジのR.F.Griffin

- 「ケンブリッジの大御所」(山崎篤磨さん)

以下は、みな後で知ったこと

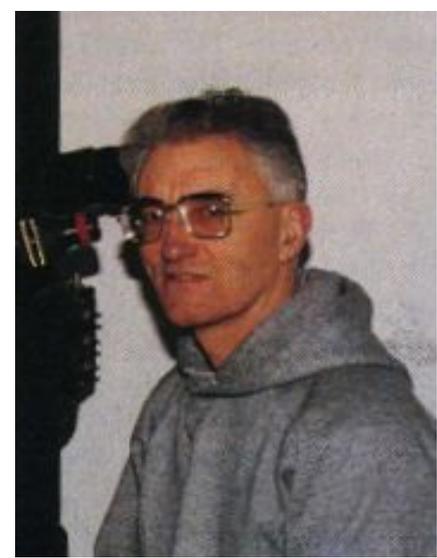
- 恒星スペクトル分野では余りに有名
- ウィルソン山100インチ望遠鏡で撮ったアークトウルスの高分散スペクトルアトラスを出版

"A photometric atlas of the spectrum of

Arcturus,  $\lambda$  3600 - 8825 Å"

- 世界中の分光器のテストでは、アークトウルスを撮り、これと比較することが行われた。→標準スペクトル

**が、当時私は何にも知らずに文通していた。**



# The Observatory の91cm望遠鏡 と視線速度分光計

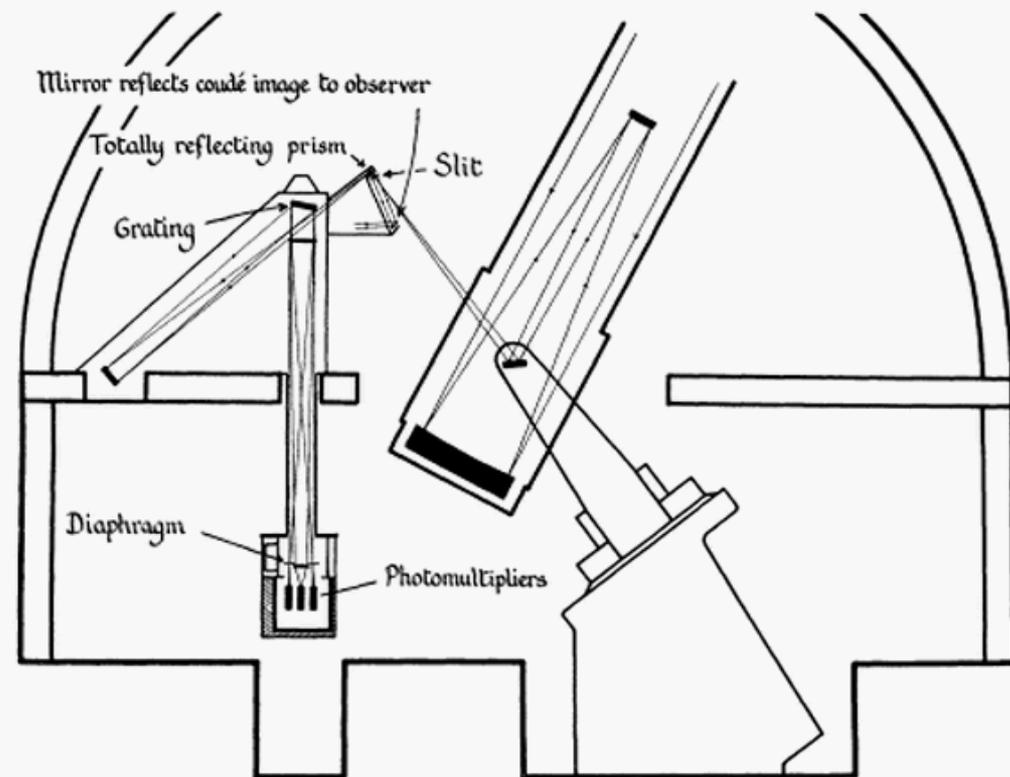
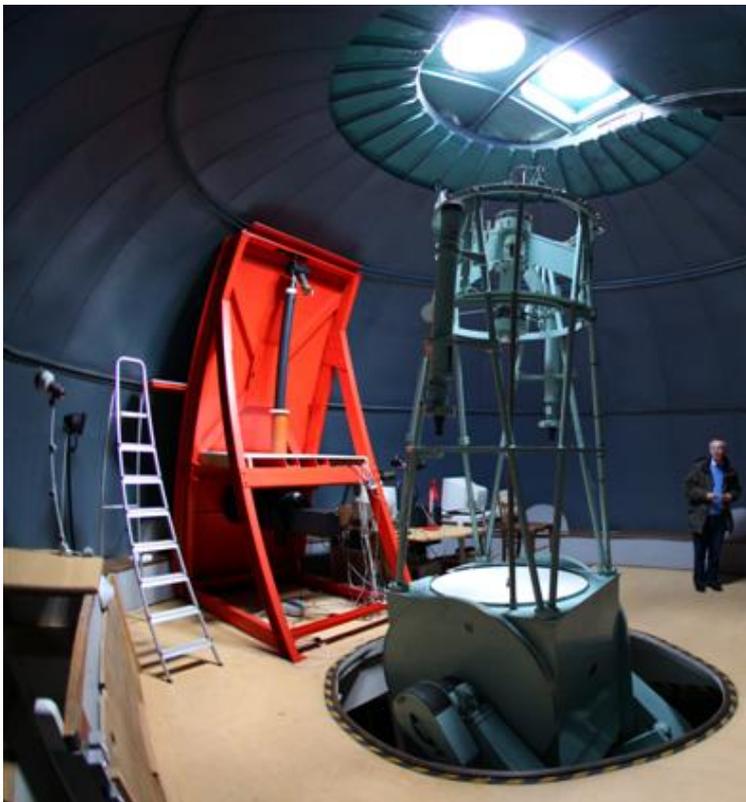
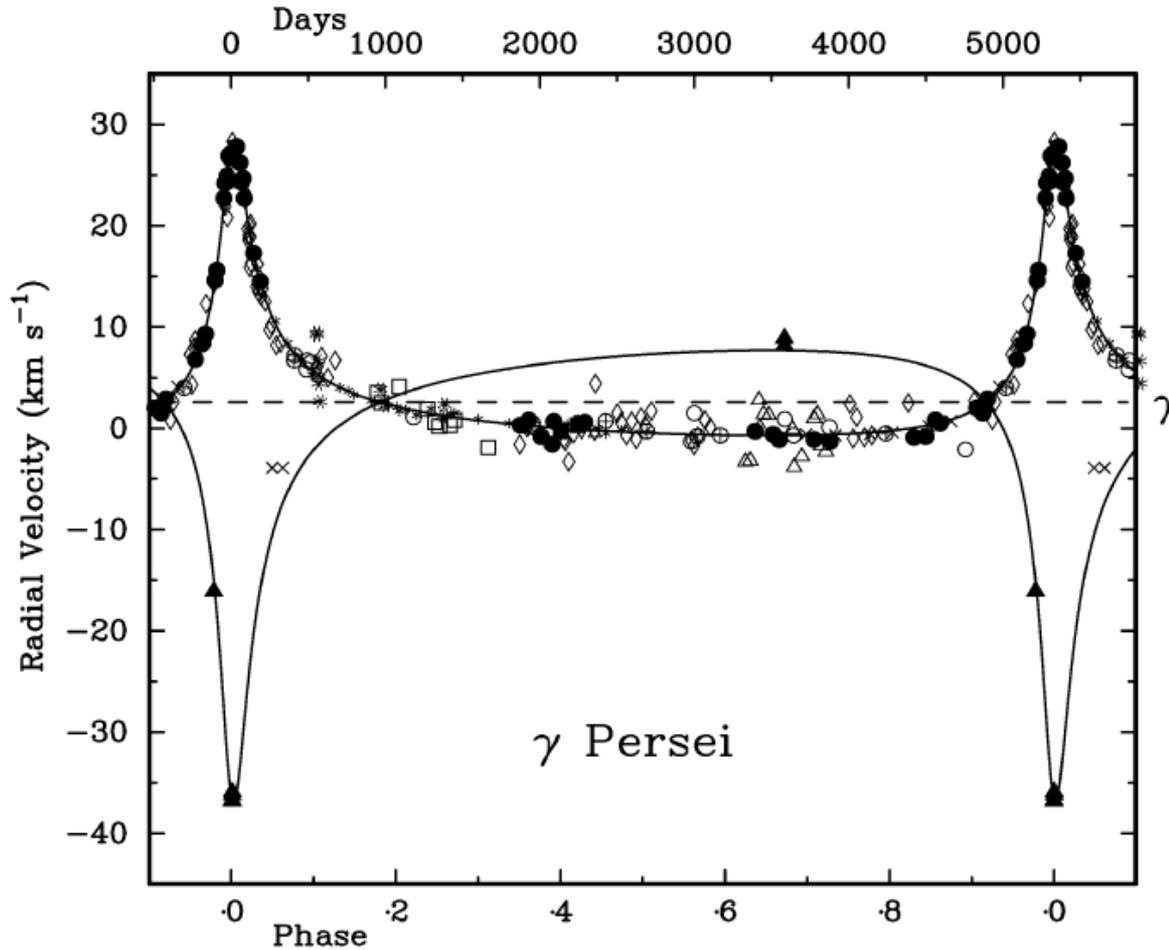


FIG. 1.—Sectional diagram of the Cambridge 36-inch reflector and radial-velocity spectrometer

# 視線速度曲線



**Figure 2.** This orbit solution yields  $q = m_1/m_2 = 1.56$ , with  $m_1 = 3.9 M_\odot$  and  $m_2 = 2.5 M_\odot$ .  
(I am grateful for R.F. Griffin's assistance and advice in running his orbit programme.)

# 1990年の食

- R.F.Griffinの予報と共同観測の呼びかけ
  - アマチュアが光電観測を行える体制があった
    - IAPPPとJAPOAが活動していた
    - 安価な光電測光器の製品化と市販されていた
  - 全経度で観測をカバーすることの重要性
  - 日本の位置との実績 (“Photometric Detection of Eclipse in the Spectroscopic Binary HD 116093” Ohshima&Itoh, 1989)  
→後に IO Com と命名

# R.F.Griffinからの手紙



UNIVERSITY OF CAMBRIDGE /3  
INSTITUTE OF ASTRONOMY

The Observatories, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, England  
Telephone: 0223-337536 Telex: 817297 ASTRON G  
Enquiries: 0223-337548 Telegrams: Observer Cambridge UK.

1989 April 8

Mr. Osamu Oshima  
Tamashima 3-10-15  
Kurashiki, Okayama  
713 Japan

Dear Mr. Oshima,

Thank you very much for your letter of March 24 with its news of the successful detection of the eclipse of HD 116093 by Mr. Ito and yourself.

This is wonderful news! I sincerely congratulate you upon your resourcefulness in alerting other observers in Japan to the possibility

put into the observation on the critical night done very well to the very first opportunity. I am most grateful making these observations.

I quite agree



Mr Osamu Oshima  
Tamashima 3-10-15  
Kurashiki

# γ Per の観測依頼

September. It will be very important to know if the  
パロマー山200インチドームの電話番号を載せて、食  
が始まったら直接電話して欲しいという依頼

ask that, if you see that the star has gone into eclipse,  
you would be kind enough to phone me - I will be pleased  
to reimburse the cost of the call. Up to September 8,  
please leave a message at the 'enquiry' number above  
(international: +44 223 3375... after that, please  
use either that number or the direct line to the Palomar  
200-inch dome: 619 742 1723 (international: +1 619 742 1723)  
Thank you very much for your help.

Yours sincerely,  
Roger Snijman.

# 国内での呼びかけ

もう記憶にないが、おそらく、

- 直前に開かれたJAPOAの1990年夏合宿(どこ？鈴鹿？)でGriffinからの観測依頼を紹介しているはず
- そこに参加した荒井菊一さんから所さんなど他の国内観測者へ伝わったはず
- なぜなら、所さんが $\gamma$  Perを観測したという情報は荒井さんから電話があったから
  
- 以下の情報についてどなたかご存知？
  - 所健さんってどのような方？今どうされている？
  - どんな経緯で光電測光を始めた？
  - 測光機はSSP7?それとも自作？

望遠鏡はミード25cm

# Gamma Persei Eclipsed!

Sky &

# SKY & TELESCOPE

JUNE 1991

\$2.95

*R. F. Griffin, Cambridge Observatories, England*

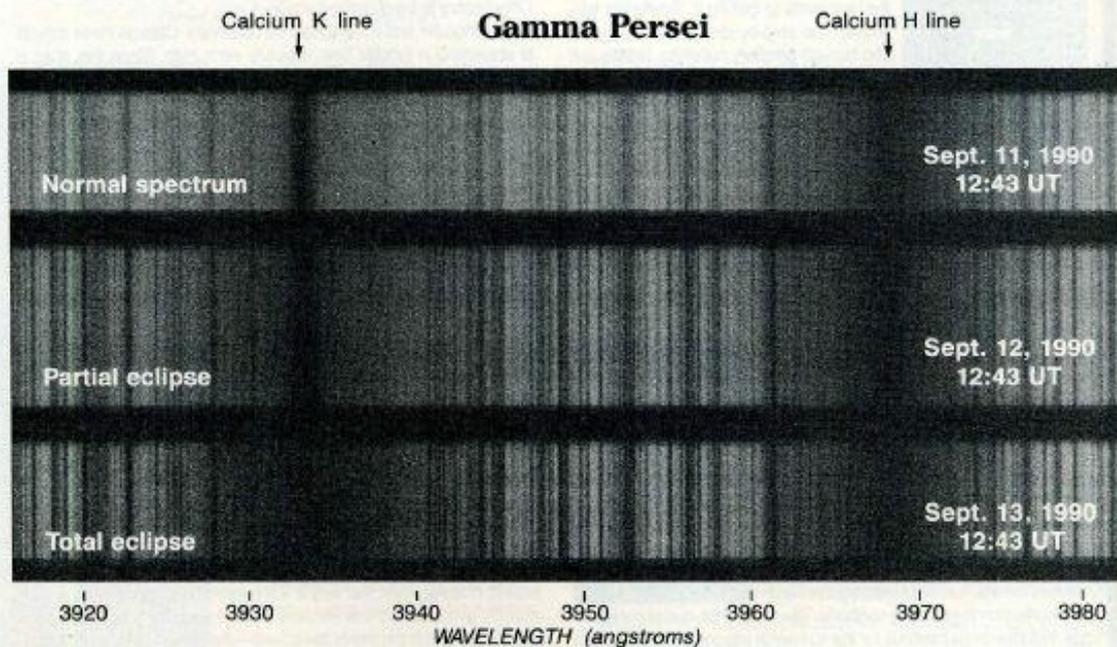
**T**HE FIRST eclipsing binary star ever discovered was 2nd-magnitude Beta Persei, better known as Algol. Three hundred years later it remains the brightest star whose eclipses are detectable with the naked eye. The second-brightest such star has recently been discovered. Its identity? Coincidentally enough, 3rd-magnitude *Gamma Persei*!

It may seem amazing that eclipses in such a bright star should have escaped notice until now. The main reason is that they happen very rarely. Whereas Algol has an eclipse every 2.87 days, the next eclipse of Gamma Persei will occur in April, 2005. But the star will then be in conjunction with the Sun, so the next observable event will not come until November, 2019.

Although the eclipse has only recently been seen, its discovery has been brewing for nearly a century. During that time the contributions of several people have combined to make a typical piece of scientific detective work.

## THE GAMMA PERSEI SYSTEM

Gamma Per is a composite-spectrum binary: a cool, giant primary star in orbit with a hot, main-sequence secondary.



Small portions of three high-resolution spectrograms of the binary star Gamma Persei, made in violet light with the coude spectrograph at the 200-inch reflector on Palomar Mountain. *Top:* The calcium K absorption line has a sharper core than the H line. This core comes from the hotter star. *Middle:* With much of the hot star's light gone, the broad K line of the cool star is more easily seen, though the core due to the hot star is still there. *Bottom:* Now only the cool star is seen, and the K and H lines appear much the same. All the lines in the spectrum exhibit increased apparent contrast thanks to the disappearance of the veiling spectrum of the hot star.

The development of speckle interfer-

ometry by Antoine Labeyrie (S&T, May) fortunately the actual date remained uncertain by several months.

# 日本からの国際電話のことも

city, I put it on the light box to have a look. The spectrum of the hot component was greatly weakened! The eclipse had begun, and indeed the partial phase was well advanced!

I rushed to the data room to spread the news, still hardly believing it myself. While I was there, Osamu Ohshima — one of about 15 amateur photoelectric photometrists whom I had alerted to the likelihood of the event — telephoned from Japan to report that the star was well into eclipse. It was his first international call, and I think he was as excited to make it as I was to receive it! Later the same night my wife telephoned to say that astronomer Klaus-Peter Schröder had called from Puimichel in France to report the start of the eclipse.

The next morning the eclipse was obviously total. The partial phase had been

私はこのニュースを広めるためにデータ室へ押しかけたが、私自身まだほとんど信じ難かった。そこにいる間に、大島修(食が起こると注意を呼びかけた約15人のアマチュアの光電測光観測者のうちの一人)は日本から電話をかけてきて、その星が食にうまく入ったことを報告してきた。それは彼の初めての国際電話であり、私がそれを受けた時と同様に彼も報告することに興奮しているように思えた! その夜の少し後で妻が電話をしてきて、クラウス・シュレッターがフランスのプーミッシェルから食が始まった報告をしてきたと教えてくれた。

## THE ECLIPSE OF GAMMA PERSEI

**R.F. & R.E.M. Griffin**  
The Observatories, Madingley Road  
Cambridge CB3 0HA, ENGLAND  
Internet: PRF1@phx.cam.ac.uk

**Leroy F. Snyder**  
Tahoe Observatory, P.O. Box 3964  
Incline Village, Nevada 89450, USA

**K.-P. Schroder**  
Hamburger Sternwarte, Gojenbergsweg 112  
D-21029 Hamburg, GERMANY

**Don Pray**  
Furnace Hill Observatory, 40 Hillcrest Drive  
Cranston, Rhode Island 02921, USA

**Osamu Ohshima**  
~~Tamashima 3-10-13~~  
Kurashiki, Okayama, 713 JAPAN

**Takeshi Tokoro**  
~~Chuou-chou 6-2-21~~  
Higashikurume, Tokyo, 203 JAPAN

**Wayne E. Clark**  
Old Orchard Observatory, 310 Calvert Avenue  
St. Louis, Missouri 63119, USA

**David B. Williams**  
9270-A Racquetball Way  
Indianapolis, Indiana 46260, USA

**Michael B. Houchen**  
93 Enfield Chase, Guisborough  
Cleveland TS14 7LN, ENGLAND

**Kikulchi Arai**  
~~Iizumi 1555, Kitakawade~~  
Kitasaitama, Saitama, 349-12 JAPAN

**Kevin Krisciunas**  
Joint Astronomy Centre, 660 N. A'ohoku Place  
Hilo, Hawaii 96720, USA

**John Watson**  
Iddons, Henley's Down, Catsfield, Battle  
East Sussex TN33 9BN, ENGLAND

*Received: 19 July 1994*

### I. INTRODUCTION

In September 1990 the binary-star system  $\gamma$  Persei was seen by about a dozen people to go into eclipse when one of its components occulted the other.

# 光電測光の結果

Date (1990)	V	$m(\gamma)_B - m(\tau)_U$	Observer	
Aug 22.439	-1.010		Snyder	
24.402	-1.010		Snyder	
26.31	-1.016	-1.058	Williams	
27.600	-0.993	-1.043	-1.051	Ohshima
30.648	-1.007	-1.077	-1.089	Ohshima
31.150	-0.993		Pray	
Sept 1.106	-1.014		Pray	
2.25	-1.003	-1.053	Williams	
3.649	-1.028	-1.081	Tokoro	
3.88	-1.00		Houchen	
4.083	-1.017		Pray	
5.080	-1.025		Pray	
5.363	-1.013		Snyder	
6.101	-0.988		Pray	
8.396	-1.012		Snyder	
8.694	-0.983	-1.009	Tokoro	
8.93	-0.99		Houchen	
9.091	-1.013		Pray	
9.684	-1.017	-1.079	Tokoro	
10.94	-1.003	-1.047	Schroder	
11.104	-1.001		Pray	
11.280	-1.019		Snyder	
11.706	-0.971	-0.992	Tokoro	
12.01	-0.933	-0.902	Schroder	
12.640	-0.791	-0.613	Tokoro	
12.97	-0.735	-0.506	Schroder	
15.92	-0.71	-0.53	Schroder	
16.057	-0.727		Pray	
16.292	-0.732		Snyder	
17.35	-0.731	-0.514	Williams	
17.38		-0.470	Krisciunas	
17.83	-0.740		Houchen	
18.00	-0.74	-0.51	Schroder	
18.274	-0.738	-0.560	Pray	
18.550	-0.849	-0.548	Arai	
18.600	-0.794	-0.471	Tokoro	
18.98	-0.749	-0.507	-0.178	Schroder
19.066	-0.741	-0.568	Pray	
19.85	-0.717		Houchen	
20.03	-0.730	-0.507	-0.162	Schroder
20.286	-0.744	-0.535	Snyder	
20.589	-0.770	-0.543	-0.294	Ohshima
20.643	-0.779	-0.549	-0.301	Ohshima
20.666	-0.816	-0.560	Arai	
20.930	-0.831	-0.591	Schroder	
21.007	-0.86	-0.734	Schroder	
21.260	-0.920	-0.865	Snyder	
21.586	-0.984	-0.996	-0.996	Ohshima
21.627	-0.974	-0.996	-0.973	Ohshima
21.690	-0.974	-1.001	-0.980	Ohshima
22.29	-1.009	-1.051	Williams	
22.673	-1.011	-1.069	Tokoro	
22.747	-1.000	-1.060	Arai	
24.157	-1.008	-1.045	Pray	
24.93	-1.003	-1.066	Watson	

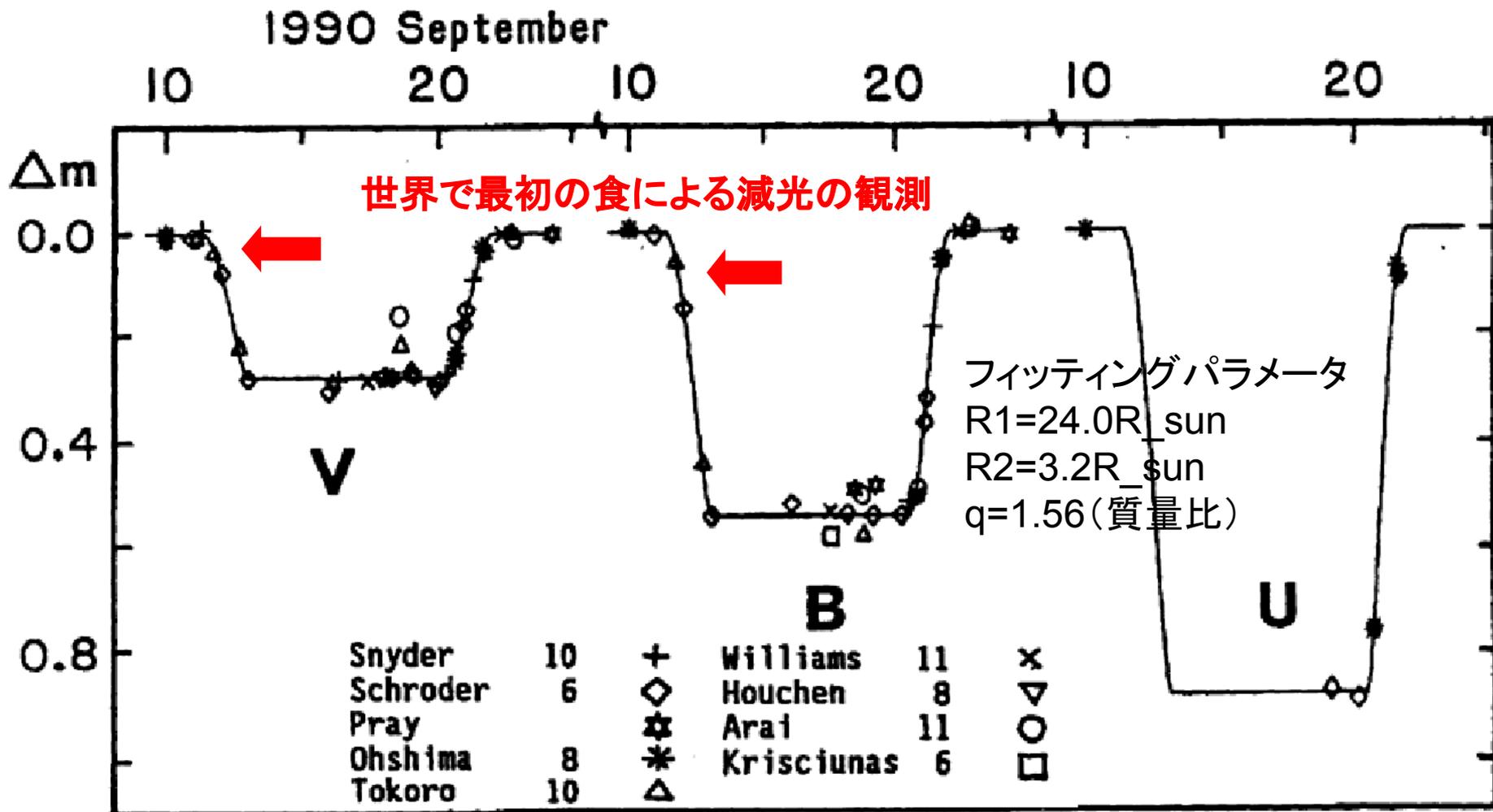
# 集まった測光データ

	Total	in Japan	%
V	55	16	29
B	37	16	43
U	10	7	70
Total	92	39	42.4

# 日本天文学会のPDLに (ポストデッドラインペーパー)

- 1990年秋季年会
  - 10月16日～19日
  - 仙台市民会館
- PDL担当 谷口義明さん(当時:木曾観測所)  
PDLに申し込んだ。あまり発表経験がない上にPDLに  
→採否をドキドキして待った  
結果は、PDL3件のうちの一つに  
採用の連絡「すばらしいですね」  
ポスターは、伊藤芳春さんをお願いして貼ってもらった

# 得られている唯一の $\gamma$ Perの食の光度曲線



# 食の測光から初めてわかったこと

- 皆既食の期間は
  - 低温度主星だけが見えている
  - 減光した分は高温度伴星の光 であるため
- 成分星の光度 (初めて直接測定で分離)

Magnitudes of the  $\gamma$  Per System and of its Component Stars

	V	B	U	(B-V)	(U-B)
Total system (observed, out of eclipse)	2.93	3.63	4.08	0.70	0.45
Adopted difference from $\tau$ Per (comp. star)	1.010	1.052	1.07		
Measured depth of eclipse	0.28	0.54	0.88:		
Primary (observed alone, in total eclipse)	3.21	4.17	4.96:	0.96	0.79:
Secondary (system minus primary)	4.54	4.65	4.72:	0.11	0.07:

→ 成分星の半径 (初めて直接測定で分離)

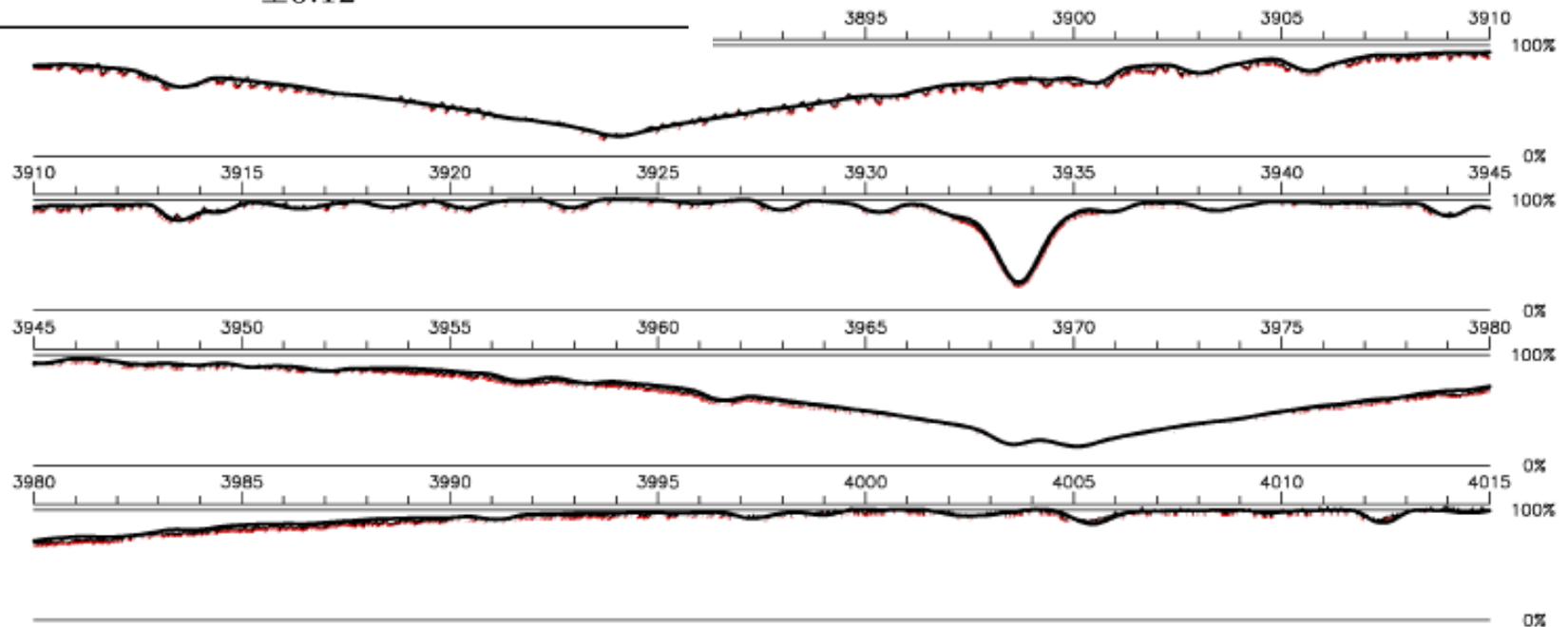
$$R_1 = 24R_{\odot}, R_2 = 3.2R_{\odot}$$

# 測光観測と分光観測から分かること(R.E.Griffin, 2007)

Photometric model for  $\gamma$  Per

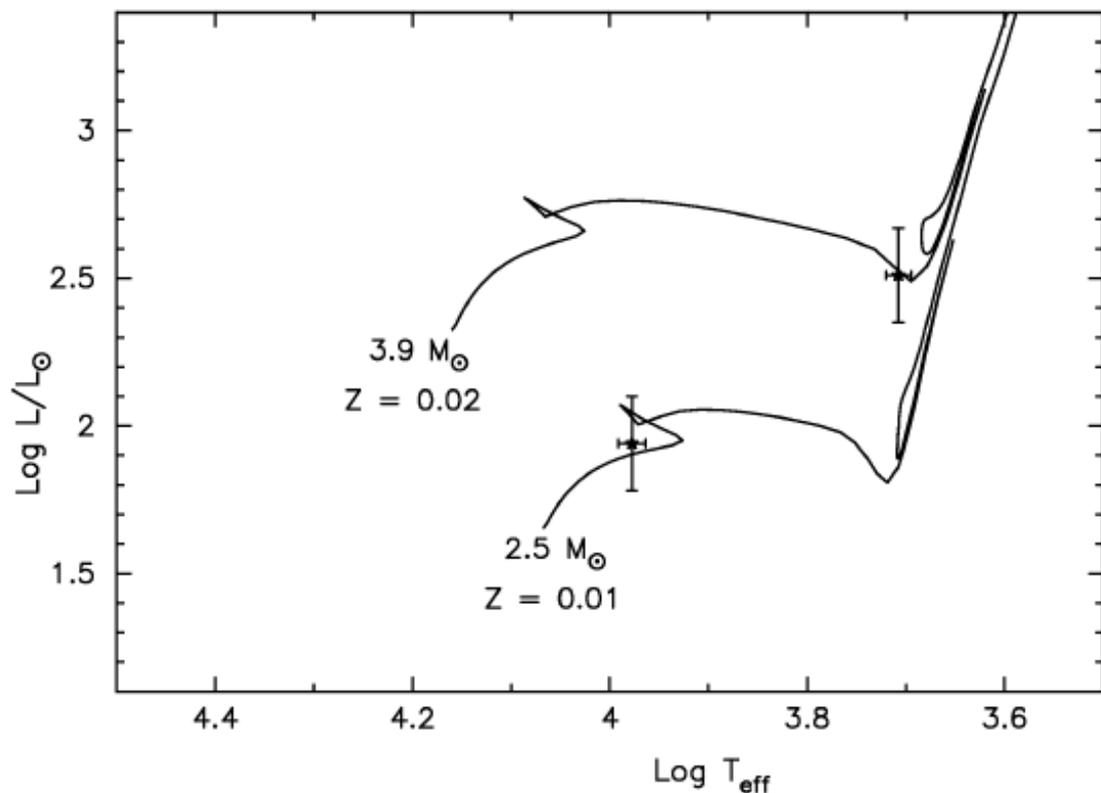
Object	$M_V$ m	$(B - V)$ m	$(U - B)$ m
Primary ( $\sim$ G8 II-III)	-1.27	0.96	0.79
Secondary ( $\sim$ A1 IV)	+0.06	0.11	0.07
Combined	-1.55	0.70	0.45
$\gamma$ Per (observed)	-1.55 $\pm 0.12$	0.70	0.45

Hipparcosによる視差から  
 $78.6 \pm 4.3$ パーセク  
 $\rightarrow$ 絶対等級がわかる



**Figure 4.** Again the spectrum of the early-A star in  $\gamma$  Per is in red; in black is the spectrum of  $\theta$  Leo (A2 IV), which has been blurred by  $40 \text{ km s}^{-1}$  to mimic the line-widths in the  $\gamma$  Per star.

# 恒星進化経路における $\gamma$ Per (R.E.Griffin, 2007)



うまく進化経路上に乗る

しかし、このままでは

- G型星は、この大きな質量ではA型星より2.5倍若くないといけない。  
(一度に誕生したとは考えられなくなる)
- G型星は、重すぎる、明るすぎる
- しかも、重元素組成が2つの星で2倍も異なる

# 解明されるべき謎 (R.E.Griffin, 2007)

- G型星は、重すぎる、明るすぎる
- G型星は、この大きな質量ではA型星より2.5倍若くないといけない。(一度に誕生したとは考えられなくなる)  
しかも、重元素組成が2つの星で2倍も異なる

## 仮説

### 元もとは三重連星系か

G型星の方に第3星が合体して、重く明るくなった？

重元素も光球に混ざった？

→どうやって証明すればよいのか？

# 2019年の食を観測しよう

- $\gamma$  PerはGCVSに未だ載っていない！  
まだ未確定の精度の良い公転周期を決めよう  
↑食の観測が1回きりであるため
- 2019年末か、2020年初めに食が始まる
- 食の継続時間は、9日ほど
- 減光量はVで0.3等、Bで0.5等、Uで0.9等

# 観測上の課題

- 2.9等星は、CCD測光には明るすぎる
  - サチる
  - 望遠鏡+CCDでは同一視野に比較星が無い
    - 比較星には  $\tau$  per(1等級暗いが色は似ている)  
が、2度離れている
- 望遠鏡+CCDでは無理な観測
- CCDに望遠レンズを付けた広視野カメラで
  - ピンボケ測光しかない？
    - 露出はシンチレーションを考えると30秒は欲しい
  - Uをどうするか
    - BVRclcは良いとしても、カメラのレンズではUは無理