

J A P O A 1 0 周年記念出版

天体光電観測ガイドブック

初心者のために

1 9 9 2

日本アマチュア光電観測者協会（J A P O A）

序

天文学では、天体の観測が重要なことはいうまでもない。天体の多くは、種々の原因によってその光度を変えるため、その光度変化を精度良く測るために光電観測という方法がとられる。これは望遠鏡に光電子増倍管をつけ、天体からの光を電流に変換し、百万倍程度まで増幅して記録する方法で、エレクトロニクスの進んだ日本では比較的やさしく、広く普及している。プロの国立天文台や大学付属天文台のみならず、中学・高校にある小望遠鏡でもこの装置をつけることにより、天体の微弱な光度変化でも客観的に精度良く測定することができる。

近年、天体や宇宙に関する一般の関心・興味は非常に高く、中学・高校でも小型の望遠鏡を持つところが増加している。これにともない、天体の科学的観測（望遠鏡を通して肉眼でながめる観望だけでなく）を行い、理科教育に役立たせようという、中学・高校の先生方の強い希望がよせられている。

1982年5月、全国の中学校・高校の理科教員・および教育センター等で望遠鏡を用いて天体の光電観測を行っている方々、また光電観測による理科教育に関心のある人々、約30名が集まり、日本アマチュア光電観測者協会（Japan Amateur Photoelectric Observers Association：略称JAPOA）を結成した。

以来、JAPOAは毎年、総会と合宿による討論会の2回を行い、お互いの協力により天体の光電観測を普及させることにより理科教育の一助にすると共に、各観測結果をまとめて国内の理科教育関係の雑誌やプロの国際天文連合（International Astronomical Union：略称IAU）の変光星ビュレティン（Information Bulletin of Variable Stars of IAU）などへ発表してきた。

また、このような天体光電観測による理科教育への貢献に対し、文部省奨励研究費を受けたJAPOAの会員も現在まで延べ8名に達して

いる。さらにJAPOA会員のいくつかはプロの天文学国際会議でも発表されるなど、高い評価を受けるに到っている。

1992年5月23、24日の両日、財団法人・「神奈川県科学技術アカデミー」からの財政援助をいただき、JAPOA創立10周年を記念して、川崎青少年科学館において研究集会を開催することができた。

多くの研究発表がなされたが、この機会に今回の発表と従来の未出版発表をまとめ総合的にアレンジして、

「天体光電観測ガイドブック — 初心者のために — 」

として出版することになった。

これは、天体光電観測に興味を持たれる学校関係者および一般の方々へのガイドブックとして、普及の目的も考慮して、出来るだけ読みやすいようにとの出版委員会の意図に従ったものである。

出版に当たっては、上述の「神奈川県科学技術アカデミー」からの財政援助、日本天文研究会と神奈川県地学会のご後援をいただいた。また、川崎市青少年科学館の芳賀郁夫館長はじめ館員諸氏には、温かいご理解と各種のお世話をいただいた。

さらに原稿編集に当っては、埼玉県立久喜北陽高等学校の坂井睦蔵校長はじめ職員の方々のご理解のもと、同校のコンピュータを広く利用させていただいた。

これら各団体・各個人の方々に対して、ここに衷心より御礼申上げる次第である。

1993年（平成5年）3月15日

監修

北村 正利 （JAPOA顧問：東京大学名誉教授）

J A P O A 創 立 1 0 周 年 記 念 出 版 委 員 会

阿部 正 (新潟市立沼垂高等学校)
荒井 菊一 (埼玉県立久喜北陽高等学校)
伊藤 芳春 (宮城県仙台西高等学校)
大島 修 (岡山県美星天文台)
大森 茂雄 (川崎市青少年科学館)

天体光電観測ガイドブック

— 初心者のために —

目次

序	3
目次	6
第1部 光電観測とJ A P O A	9
第1章 J A P O Aの10年	9
§ 1・1 J A P O A結成のいきさつ	9
§ 1・2 J A P O Aの必要性	11
§ 1・3 J A P O Aの活動	12
§ 1・4 J A P O Aの成果	14
第2章 光電観測とは	15
§ 2・1 測光の変遷	15
§ 2・2 眼視等級と写真等級	19
§ 2・3 色指数	20
§ 2・4 光電子増倍管の特性	21
§ 2・5 光電観測による研究	23
第3章 J A P O A観測所紹介	26
§ 3・1 阿部観測所	26
§ 3・2 学校天文台を利用した光電観測	30
§ 3・3 玉島観測所	33
§ 3・4 藤井美星観測所	34
§ 3・5 岡山理科大学田辺研究室・天体光電測光観測室	36
§ 3・6 船穂観測所	37
§ 3・7 妹尾観測所	38
§ 3・8 入曾天文台	39
§ 3・9 My private observatory	42
§ 3・10 利根川のほとりの観測所	43
第2部 光電観測に必要な装置	48
第4章 光電観測装置の概要	48
§ 4・1 観測システムの概要	48
§ 4・2 光学系	49
§ 4・3 赤道儀	49
§ 4・4 受光部	50
§ 4・5 自作にあたって	51

第5章	電子回路	54
§5・1	光電子増倍管を使用した光電測光器のシステム	54
§5・2	光電子増倍管の選定	54
§5・3	高圧電源とその周辺回路	55
§5・4	直流増幅法	56
§5・5	光子計数法 (Photon Counting Method)	61
§5・6	データ取得の方法	67
§5・7	直流増幅器の較正	72
§5・8	光子計数法の較正	72
	=資料1 = 光電測光装置の素材入手先	77
	=資料2 = 既成品の光電測光器・冷却CCDカメラの問い合わせ先	78
	=資料3 = 各種検出器の特徴	79
	=資料4 = 現在入手しやすい既製品の観測装置	80
第3部	光電観測の実際	81
第6章	光電観測の実際	81
§6・1	観測の準備	81
§6・2	観測の実際	82
§6・3	観測記録の整理	83
§6・4	整約	84
§6・5	実際の観測と整約例	86
第7章	協同光電観測	98
§7・1	協同観測の意義	98
§7・2	協同観測のタイプ	98
§7・3	協同観測の仕方	98
§7・4	協同観測の成果	99
第4部	光電観測対象としての食変光星	107
第8章	球状星モデルの解析	107
§8・1	食変光星の光度曲線から何がわかるか	107
(a)	不完全フーリエ変換法	112
§8・a・1	不完全フーリエ変換法の概略と手順	112
§8・a・2	等級から光量比への変換	113
§8・a・3	光度曲線の規格化 (近接効果の除去)	113
§8・a・4	特性関数の計算	114
§8・a・5	u Her による不完全フーリエ変換法の解析例	117
(b)	コンピューター解析法	122
§8・b・1	はじめに	122
§8・b・2・1	プログラムの考え方	123
§8・b・2・2	プログラムの信頼性	124
§8・b・3	おわりに	125
第9章	光度曲線合成法	127

§ 9・1	光度曲線合成法とは	127
§ 9・2	YAMASAKIコードについて	127
§ 9・3	YAMASAKIコードによる解析の実際	130
§ 9・4	福島大学におけるカシオペア座R Z星の解析	133
第5部	教育系大学等における光電観測	138
第10章	教育系大学における光電観測	138
§ 10・1	和歌山大学における光電観測	138
10・1・1	始めに	138
10・1・2	計画から現在にいたる経過	138
10・1・3	観測の装置と方法	140
10・1・4	整約の手順と結果	141
10・1・5	今後へと当面している課題	141
10・1・6	終りに	142
§ 10・2	福島大学における光電観測	143
10・2・1	45cm鏡、観測装置、観測条件のことなど	143
10・2・2	教育養成系大学・学部における光電観測	145
10・2・3	今後のことなど	146
§ 10・3	光電観測実習の思い出	147
10・3・1	埼玉大学の光電観測	147
10・3・2	光電観測の思い出	149
10・3・3	光電観測との出会いとその思い出	150
10・3・4	福島大学・教育学部の頃	151
	光電測光では星の明るさを測る単位は何でもよい	152
第11章	公共施設における光電観測	153
§ 11・1	神奈川県立教育センターの場合	153
§ 11・2	川崎市青少年科学館の場合	157
第6部	J A P O Aへの内外の期待	160
第12章	国際会議出席	160
	第19回国際天文連合(I A U)総会に参加して	160
	連星研究の最前線に関する環太平洋会議	164
	イギリス・アイルランドの天文施設を巡って	167
付章	J A P O Aへの期待 (a), (b), (c)	171
付録1.	JohnsonのUBV標準星	175
	分点変換プログラム (N88-BASIC)	187
付録2.	J A P O Aの成果リスト(1981年から1993年まで)	189
索引		194

中の回路図等の詳細は、各章の著者に請求すれば
提供を受けることができる。

第1部

光電観測とJAPOA

第1章 JAPOAの10年

阿部 正（新潟市立沼垂高等学校）

§1・1 JAPOA結成のいきさつ

JAPOAが結成されたのは、今からちょうど10年前の1982年2月21日であった。当時、私は新潟市立高校の教員の内地留学生第1号として、1981年9月から6か月間、東京天文台の測光部の指導のもとに堂平観測所、岡山天体物理観測所で光電観測の技術を学んでいた。三鷹の東京天文台にある30cm反射望遠鏡に取りつけた光電測光器を使用して観測した、ケフェウス座VW星の観測も12月に終わり、国際天文連合（IAU）のCommission 27のIBVS（Information Bulletin Variable Stars）に送る観測報告を書き終えて一段落し、残り少ない天文台の生活を楽しみながら、新潟に持ち帰る新しい測光器のアンプの製作に取り掛かっていた時、指導教官であった東京天文台測光部長の北村正利教授から、日本にもアメリカのようなアマチュアの光電観測者の為の研究会を設立してはどうか、という提案があった。

その頃のアマチュア天文家は古典的な観測が主流で、ごく一部の人を除き、電子技術を使った光電観測はまだ馴染みのない新鮮な観測法であった。しかし、パソコンが普及しはじめ測光器の製作に必要なオペアンプや比較的安価な高圧電源などの新しい電子技術が身近になるに伴い、今まで専門家の仕事と思われていた光電観測がアマチュアにも技術的に可能な時代となっていた。それは観測技術の新しい時代の幕開けを予感するものであった。

また当時の天文雑誌には、観賞用写真を撮ることに興味を示していた多くのアマチュア天文家の姿勢の反省を促すとともに、将来の期待をこめて、アマチュア天文家は何をするべきかという記事が度々掲載されていた。まさに、天体物理学に挑む光電観測はこの問いの最適の解答の一つのように思われた。

さらに私をJAPOAの結成に駆り立てた出来事があった。それは新潟で試行錯誤を繰り返しながら、10年近い歳月を掛けて製作した測光器で1年間継続観測した、うしかい座*i*星（*i* Boo）の食変光星のデータ解析をすべく意気揚々と自信をもって内地留学に臨んだのであったが、アンプのわずかな設計ミスにより無残にもその期待は打ち砕かれてしまった。一晩の観測データから光度曲線が描けても、アンプが不安定なために、日によって出力電圧が異なり、数日間のデータがまとまらなかった。その時に初めて測光器は何よりも安定性が大切であり、動いていることと働いていることの大きな意味の違いを知らさ

第1章 J A P O A の 10 年

れ、改めて自作の難しさを実感し、一人で悩んでいた。もし、光電観測のための研究会があったならばこの問題は容易に解決したはずであった。

以上のような理由から、研究会の結成には大いに共感したが、残された時間はわずか2か月間しかなく、しかも周囲には光電観測をしている人もおらず、途方に暮れ、困惑していたとき、同教授から、すでに光電観測に取り組み、立派な成果をあげている神奈川県立教育センターを紹介された。同センターでは1970年より尾形斉が光電観測を始めており、光電観測についての参考書が一冊もなかった当時、大変苦勞しながら白鳥座Y星(Y Cyg)や、こぎつね座Z星(Z Vul)など数多くの食変光星の観測に取り組んでいた。その頃の苦勞した様子が第11章に述べられている。尾形の後任者である大森茂雄と早速、会の設立の必要性と主旨について打ち合わせをし、プロとアマチュアの間半的なセミプロとして、天文学に貢献できるような会で、国内にどどまらず広く世界に認められるような学術性の高いものにする。またオープンな会にし、誰でも何時でも自由に参加が出来るようにし、会則を作らず、会長も置かず、会費も通信費程度の必要最小限にとどめることなどを話し合った。また、高額な光電測光器が数社の望遠鏡メーカーから販売されていたが光電観測の普及のためにアマチュアの人達に、より安価な測光器を開発し提供する必要もあった。さらに自作を望んでいる人のためには、受光部やアンプの構造と理論の解説書の出版が待たれていた。そのような測光に関心を持っているアマチュア天文家のために指導、助言し、普及活動をしていくような会にすることも意見が一致した。測光器を製作するには、光学系の知識はもとより、微弱電気の知識と金物工作等の技術が必要であり、これら全てを一人で製作することはなかなか容易なことではない。また、パソコンを活用した観測と整約のプログラム化も緊急課題であった。これらの幾つかの問題を解決するために、天文家ばかりではなく電気、器械、パソコン等に興味をもっている多種多様な人材を募集し、相互扶助の精神によりマンパワーで解決していく必要があった。

このように問題点を山積にして、1982年2月21日に川崎市青少年科学館に於いて、記念すべき第1回会議「光電測光のための観測者会議」を開催した。この発足会は雨天にもかかわらず、全国から50名以上の参加者があり、光電観測に対する関心の高さを示した。なお、この席で会の正式名称は **J a p a n P h o t o e l e c t r i c O b s e r v e r s A s s o c i a t i o n** (日本アマチュア光電観測者協会)、略称 "J A P O A" に決定し、当時の東京大学東京天文台測光部長、北村正利教授を顧問に迎えて活動を開始した。

ところでJ A P O A の名称であるが、1982年2月10日に私が岡山天体物理観測所の 188 cm 望遠鏡で山崎篤磨、岡崎彰両先生のかに座A C 星(A C Can) の観測を手伝っている時に、ドームに上がってこられた北村正利教授がJ A P O A の名称を提案したと記憶している。海外にも理解されやすい名称にしたいという願いから、フランス語のJapon、英語のJapanと似た名前を考えられたものと推察した。また、会が発足して間もなく、「星の物理」北村正利著の改訂版に世に初めてJ A P O A の紹介文が掲載された。Association が会議、協会、連合、組合などと訳され、雑誌等でまちまちの名称となっており、戸惑うこともあるが、あくまで英語名が正式名称である。ところが近年、フォトダイオードやC C D

1部 光電観測とJ A P O A

など、従来の光電子増倍管と異なった測光が可能となってきたために Photoelectricより Photometricの方が会の名称としてふさわしいのではないかと言う意見も出始めて、今後の課題になってはいる。

さてその後、さらに会の発展と充実を図るために天文情報と会員相互の連絡誌として1986年6月に機関誌「J A P O A 通信」第1号を発行し、現在21号に至っている。また会員相互のサービス機関として星図、星表、天文情報等のデータセンターを設置した。さらに測光器開発のためのプロジェクトチームをつくり、その一員である大島修の開発した測光器が、エイ・イー・エス社から従来品より比較的安価に発売され、光電観測の普及に役立っている。また整約、解析プログラムも完成し、迅速にデータを処理出来るようになった。このように、J A P O Aは発足以来、着実な活動を続けている。

☆☆☆☆☆☆☆☆ おしらせ ☆☆☆☆☆☆☆☆

光電測光のための観測者会議 (仮称)

光電測光器の製作からデータ整約・解析まで、ハードからソフトまでを勉強・研究する会を結成しました。光電測光による変光星、オカルテーション等の協同観測、海外との交流を目的としています。

これから光電測光器の製作を試みられる人、観測に取り組もうとしている人、電気、メカ、マイコンに興味のある人の入会も歓迎します。(阿部 正)

- 時 2月21日(日)午後2時から
- 所 川崎市青少年科学館 室044-922-4731
- 交通 小田急線・向ヶ丘遊園前駅下車(徒歩13分)
南武線・登戸駅下車(徒歩20分)
- 世話人 川崎市青少年科学館 若宮崇令

図1・1 J A P O A 結成の呼びかけ (左)
「天文と気象」 1982年3月号より



図1・2 J A P O A の第1回会議 (右)
「天文と気象」 1982年5月号より

§1・2 J A P O A の必要性

変光星の光電観測は基本的には目的の変光星とその近くにある変光していないことがわかっている比較星を色フィルターを変えながら数秒おきに交互に測定していく、極めて単調なルーチン的な観測である。しかも、数時間や一晩からの観測ではほとんど効果の上がない労の多い仕事でもあるため、一ヵ所の観測所で光度曲線を完成するには想像以上の時間と労力を必要とする。たとえば周期2~3日程度の変光星の光度曲線を完成させるのに、普通2年はかかる。まして周期が数十日ないし数年というような変光星となると一ヵ所の観測所では観測がほとんど無理であり、さらにぎょしゃ座ε星(ϵ Aur)のような周期27.1年という長周期なものになると、一つの天文台どころか国内の協同観測でも、全位相をとらえることは不可能に近くなる。特に地球の自転周期の関係で、変光周期が日の整数倍に近い場合は、一地点の観測では常に同一の位相を観測することになり、世界中の天文台がお互いに協力し合わなければ全位相をとらえることは出来ない。加えて日本国内の天気は変わりやすく、数十日間にわたる継続した観測はほとんど望めない。

このような理由から、一つの観測所だけではカバーしにくい変光星の観測は、国内に広

第1章 J A P O A の10年

く散らばった観測網で天候不順等を補い、協力し合いながら観測する必要がある。特に、一つの観測所だけでは成果の得られないオッカレーションのような短時間に起こる現象の観測では、横の連絡を密にし、臨機応変に対応していくことが望まれ、そのため情報交換の場としてのネットワークが必要となる。また、激変星のような突発的な異状現象は、一つの観測所のデータだけでは、大気の原因か器機による原因か、それとも本当に起った現象なのか常に判断に苦しむ。しかし、この異状現象が二か所以上の観測所で捕らえられていれば、疑いも無く天体そのものに原因を求めることが出来る。

光電観測は精度の高い観測であるために、細心の注意を払わなければならないことはいうまでもない。特に自作した器械で観測を志す者にとって、最大の不安は器械が正常に作動しているかどうかということである。他の観測所とデータを比較検討することによって、フィルター、ファブリーレンズ等の光学系の汚れや光電子増倍管、電気系統の劣化等の器機をチェック出来ることも協同観測の利点の一つと言える。

§ 1・3 J A P O A の活動

現在 J A P O A は45名の会員を擁し、全国に広く分布している。年齢層も学生から中高年層まで幅が広く、必ずしも天文に詳しい人ばかりではない。器械や電気、コンピュータ等に長けている人もいて、それぞれの持ち味を生かして活動している。しかし、残念ながら肝心の光電観測者は、ずっと少ない。その大半が教員で、公共施設を利用して観測したり、口径20cm～30cm級の望遠鏡を有する私設観測所で市販、或いは自作の光電測光器を取りつけて観測を行っている。

会の活動内容は、毎年実施されている5月の定例会と8月の2泊3日の天文台見学を兼ねた夏季合宿を行い、観測データの発表と独自のアイデアを盛り込んだ光電測光器の開発と製作の発表、パソコンを使ったデータの整理と解析など、ハードからソフトにいたるまで測光関係の幅広い勉強、研究を行っている。会員以外にも広く参加を呼びかけ、光電観測に興味を持っている人や、これから実際に観測をはじめようとする人にもわかりやすく懇切丁寧に指導し、普及活動にも力を入れている。また、国際交流として J A P O A の観測者の大半が44か国800名以上の会員を擁する I A P P P (International Amateur-Professional Photoelectric Photometry) に所属し、国際舞台の場でも活躍している。

以下にこれまでに実行した合宿の討議内容について具体的に掲載する。

- 1984年度 於 日本大学五日市観測所（東京都）
 - ・光電測光の整約について
 - ・Astronomical Techniques の Photoelectric Reductions の輪読
- 1985年度 於 平塚市老人憩いの家「七国荘」（神奈川県）
 - ・マイコンを使った光電測光の整約について
- 1986年度 於 ブラザー湯の山山荘（三重県）
 - ・光電観測用マニュアル作成について
 - ・測光器について

1部 光電観測とJ A P O A

- ・「スカイウォッチャー」誌のアマチュアによる光電観測の記事の検討
- 1987年度 於 清見村青少年学習施設（岐阜県）
 - ・乗鞍岳コロナ観測所、飛騨天文台の見学
 - ・光電観測と気象
 - ・光電観測ネットワークについて
 - ・HR 6902 新しく発見された食連星
 - ・3.6mドーム建設報告
 - ・光度曲線の解析
 - ・光電測光受光器について
- 1988年度 於 五藤光学 ハヶ岳観測所（山梨県）
 - ・野辺山宇宙電波観測所、太陽電波観測所の見学
 - ・IAU（国際天文学連合）総会報告
 - ・減光係数kの経年変化と大気汚染との関係
 - ・自作測光器について
 - ・来年度の研修会について
- 1989年度 於 美星町町民会館 老人憩いの家（岡山県）
 - ・講演「CCDによる測光観測」前原英夫先生
 - ・水路部美星観測所、岡山天体物理観測所の見学
 - ・日本における光電観測の今後について
 - ・光電測光装置の協同製作について
 - ・大気減光係数の経年変化
 - ・JURKVI CH法による周期決定
 - ・理想的な公共天文台の条件
 - ・J A P O A協同観測星 1989/1990について
 - ・SSP-3を用いた場合のB. V. R及びIバンドにおける減光係数及び
 - ・変換係数の決定
 - ・HD 16093、HD 26337の観測報告
- 1990年度 於 川越市山の家（埼玉県）
 - ・堂平観測所見学
 - ・協同観測星について（ γ Per等）
 - ・整約ソフトの統合化
- 1991年度 於 国民宿舎ねざめホテル（長野県）
 - ・木曾天文台の見学
 - ・市販の測光器による変光星の観測
 - ・星の色に関する2、3の演示実験

第1章 J A P O Aの10年

§1・4 J A P O Aの成果

わずか10年のJ A P O Aの歴史のなかで、数多くの内地留学者、外部団体からの受賞者を輩出し、また文部省科学研究費を得てきたことは、それだけJ A P O Aや光電観測への期待が高いものと思われる。また、これまでに国内外に枚挙にいとまが無いほど数多くの研究成果を発表してきた。このことにより、近年、国際的にもJ A P O Aの活動が高く評価されていることはアマチュアの会として希有なことで、会員諸氏の努力もさることながら、顧問の北村先生の並々ならぬご尽力の賜である。下記にあげた測光関係の研究成果はほんの一端であるがJ A P O Aの活動とその成果については巻末を参照して頂きたい。

第2章 光電観測とは

阿部 正（新潟市立沼垂高等学校）

§ 2・1 測光の変遷

アマチュア天文家が観測によって得られる天体からの情報は、大別して天体の位置と天体の明るさの二つが基本となっている。前者は主に写真観測により彗星、流星、小惑星といった太陽系天体の天体力学や運動論として、後者は眼視や写真観測により変光星といった天体物理学の研究の手段として利用されてきた。天体物理学は主として天体の光の強さを調べる測光観測と、その性質を吟味する分光観測とに区分されるが、当然の事ながら測光を行う際には感光体の全面に各種のフィルターを置いて、分光学的に観測することが望ましいことはいうまでもない。

測光の歴史は古く、おそらく人類が好奇心をもって星空を眺めた時、肉眼による観測が始まったといっても過言ではない。その後、紀元前2世紀頃、ギリシャのヒッパルコスが肉眼でみえる1,080個の星のうち、最も明るくみえる20個あまりの星を1等星、肉眼で辛うじて見える星を6等星とし、その明るさに応じて6階級に分類した。

望遠鏡の発明以降、肉眼の限界等級より暗い星まで等級を延長する必要が起きてきた。また星の研究が盛んになるにつれて、1等級間隔よりもっと詳細な光度の違いが問題となってきた。1850年にポグソンは1等星は6等星の100倍の明るさになっていることを見出し、1等級の差は100の5乗根、すなわち2.5119を一定の光比として採用した。これが現在用いられている等級 (magnitude) の尺度である。

この事を式で表わすと次のようになる。いま、 m 等級の星の明るさを L とする。 L を X 倍、 X^2 倍、 X^3 倍、 \dots 、 $X^{m-m'}$ 倍というように等比級数的に増加させていくと、等級の方は m から $m-1$ 、 $m-2$ 、 $m-3$ 、 \dots 、 m' というように等差級数的に減っていく。この X が約束によって決められた光比である。この関係を式で表わすと m' 等級の星の明るさ L' は L の $X^{m-m'}$ 倍でなければならない。

したがって

$$L' = L X^{m-m'} \quad (2 \cdot 1)$$

となり、両辺の対数をとると

$$(m - m') \log X = -\log (L / L') \quad (2 \cdot 2)$$

となる。ポグソンの定義によると、 L' が L の100倍になる（つまり $L'/L = 100$ ）と、等級は $m = 6$ から $m = 1$ に明るくなることから(2・2)式は次のようになる。

$$(6 - 1) \log X = -\log (1 / 100)$$

$$\log X = 2 / 5$$

$$\text{すなわち、} \quad X = 10^{2/5} = 2.5119 \quad (2 \cdot 3)$$

第2章 光電観測とは

よって、光比は2.5119となる。したがって等級を表わす式は(2・2)式より、

$$m - m' = - (5/2) \log (L/L') \quad (2 \cdot 4)$$

となる。このように等級が数式的に定義されたため、1等星より明るい星や肉眼では見えないような暗い星、また整数値をとらない等級も自由に決定できるようになった。

眼視観測というのは、肉眼だけか、あるいは双眼鏡または望遠鏡などを使って、いわば目を一つの測光器として眼視で明るさを見積もる方法である。実際の観測では目的星とその近くの等級のわかっている星を見比べて等級を知る。この方法の精度は熟練した観測者でも0.1等級程度が限度である。しかし、その半面、大げさな器機の設備を必要とせず、機動性に優れ、多少の経験を積めば誰でも簡単に出来るという利点があり、いまなおアマチュアでは盛んに実施されている方法である。

1830年頃からツェルナー、ブルクハースト、ミラー、ピッカリング、その他多くの人が実視光度計を考案した。それらは大別して、標準人工光源あるいは標準星の明るさを変えて星の明るさと同じにする比較型と、星像が見えなくなるまで減光する減光型の二種類がある。しかしいずれにしても、最終的には眼視で観測するために主観が入り込み易いことと、星の色による系統的誤差を伴うために精度は0.04等級程度である。この実視光度計は優れた写真器材の発展と光電管を使ったまったく新しい電気技術におされて廃れてしまった。

1835年にダゲールにより写真が実用化され、1843年にレワードフスキーが初めて写真による光度測定を試みた。写真測光法は星野写真のフィルムまたは乾板より星像の直径や黒みを測るなどして光度を決める方法である。写真測光が他の測光法に比較して優れている特性をあげると、次のようになる。

- ① 露光、現像時間、乳剤等を適当に選択することにより測光可能の光度範囲が広がる。
- ② 広範囲の感色能力を持つフィルムにより測光可能の波長範囲が広い。
- ③ 1枚のフィルム上の情報量が多く、星雲・星団のような多数の天体を対象とする場合に観測時間が短縮され、能率がよい。
- ④ 位置測定と測光、あるいは観賞写真と測光というように多目的に使える。
- ⑤ データの長期保存が可能である。

初期の感光剤は感度が悪く、長時間露出しなければならないため、微弱光を対象とする天体用としては期待するほどのものでなかった。その後、改良されて感度が良くなり、粒子も格段に向上した現在でも、アマチュアがおこなう測光用としては整約が面倒なためもあり、最近では昔ほど活用されていない。

光電観測による観測は、1839年ベクレルによる光起電力の発見、1873年スミスによる光電導現象の発見、続いて1887年にヘルツが金属面に光が当たると自由電子が飛び出すという外部光電効果を発見したときに始まる。光電管の原理は極めて単純で、この自由電子に電圧をかけるとある一定の方向に電子が流れ、電流が生じる事を利用したものである。この電流の大きさを何らかの方法で測定すれば、それが光のエネルギー量となる。さらに都合の良いことに、光のエネルギー量と自由電子の数が比例するために写真測光より整約が簡単にすむ。このように光電流を測定して星の光度を求める方法を光電観測といい、受光素子の発明と開発の歴史から大きく三期に分けることができる。

第1期はセレンウム・セルの時代（1900年頃）

セレンウム・セルには光が当たると電圧が発生するタイプと電気伝導率が増加するタイプの二つがある。取り扱いが簡単であるために現在でも写真用の露出計や自動カメラに使用されているが、応答時間が遅いこと、さらに温度、湿度、電圧の影響を受けやすく、露出時間の長さによっても感度に変化するという欠点がある。セレンウム・セルを使って天体測光に積極的に取り組み眼視観測で見つからなかったアルゴルの副極小を発見したステビンスは、観測にあたって次のような注意事項を掲げている。

- ① 温度変化を0.1度、又はそれ以下に一定に保つこと。
- ② 電流は測光前より通して安定にしておくこと。
- ③ 光は10秒以内に露光すること。
- ④ 1回の露出が終わったらセルが元の状態に回復するまでしばらく休むこと。

野外の観測のもとで温度変化を0.1度以内に押さえることはほとんど不可能に近く、加えて感度が悪く、精度を要求する天体測光には不向きであったために普及しなかった。

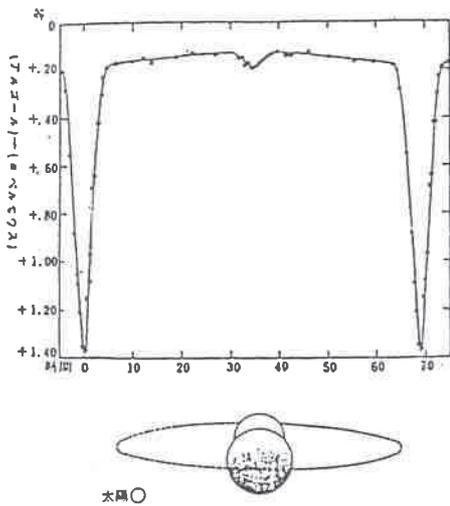


図2・1 アルゴルの光度曲線とモデル

大きく減光しているところは伴星が主星を隠す第1極小（主極小）、中央の小さく減光しているところは主星が伴星を隠す第2極小（副極小）を示す。（ステビンス）

	主星	伴星
スペクトル型	B 8 V	G 8 III
質量	3.7 M _☉	0.8 M _☉
半径	3.6 R _☉	3.8 R _☉
光度	215 L _☉	7.1 L _☉

第2期は光電管の時代（1910年頃）

ステビンスとクルツは熔融水晶のガラス管の中に、陰極にカリウム、ルビジウムなどのアルカリ金属やセシウムのようなアルカリ土類金属を用いた自作の光電管で精力的に測光したが、残念ながら感度はセレンウム・セルよりも劣り、光と電流との直線性（比例性）も余り良くなかった。さらに電位計を望遠鏡から吊るしたり、特殊な真空管や高抵抗を用いた増幅器などの取り扱いが困難で、光電管の時代も長続きしなかった。しかし、このことが次の世代の光電子増倍管への発展の足掛かりとなった。

第3期は光電子増倍管の時代（1940年頃）

光電子増倍管はフォトマルチプライヤー(Photomultiplier Tube)とも呼ばれ、通称フォトマルとかPMTともいわれている。これは二次電子を利用し、光電管の管内に何段もの

第2章 光電観測とは

電流増幅装置を組み込んだもので、良く使われている1P21型光電子増倍管は9段に増幅され、電流増倍率は 3.8×10^6 倍となっている。そのために増幅回路の製作が容易となり、測光に広く使われるようになった。高感度、高速時間応答特性、低ノイズで安定性に優れている光電子増倍管の開発により、従来のタイプの光電管は全く廃れていってしまった。次に光電子増倍管を使った光電観測の利点をいくつか掲げる。

①. 測定精度が最も良い。

実視測光においてはその精度は0.1等程度で、写真測光では最も優秀な濃度計で測定してもたかだか0.02~0.05等位であるが、光電観測では細心の注意を払えば0.001等位まで測定が可能である。しかし大気の透明度、シンチレーション等の外部要因のために、観測の精度は0.01等程度にとどまるのが普通である。この精度は天体の光同士を比較して測る、いわゆる相対測光の場合の話であり、天体の光をエネルギーの単位で測る絶対測光ではもっと精度が悪くなる。

②. 光度と光電流は直線的比例関係にある。

実視測光では星の光度と目の感覚、写真測光では星の光度と黒みは、ともに対数的関係で結ばれているが、光電観測では光度と光電流は比例関係になっている。このことは、バックグラウンドの空の明るさよりほんの少し明るい天体を測光する時に、実視、写真測光ではカブリという現象で測光が出来なくなるが、光電観測ではそのバックグラウンドの光の量を差し引くことによって天体そのものの明るさが測定出来ることを意味する。満月の夜でも、或いは東京の明るい空のもとでも測光が可能となる。

③. 面積照度が測れる。

望遠鏡に入射してくる光束を測定するので、太陽、月、彗星等のような面積を持った天体でも測光ができる点で実視測光よりも優れており、焦点像の鮮明さをあまり苦にする必要のない点で写真測光より優れている。

④. 応答時間が高速である。

種類によって異なるが、1P21型光電子増倍管の応答速度は22nsであり、オッカルテーションのような高速で変化する天体現象を捕らえるには、現在のところ光電子増倍管が一番有力な受光素子といっても過言ではない。

以上、今日までの測光の歴史とその変遷について簡単に述べてきたが、近年、半導体技術の驚異的な進歩に伴い、固体撮像素子(CCD)の新たな時代を迎えようとしている。

いつの時代でも、科学の新しい発見は時として新しい科学技術の進歩を待たなければならない。それは観測の精度を上げ、天体の物理量を正しく判定することによって、今まで不透明であったところが新たに見えてくるからである。先にあげた図2・1で実視測光では、中央のわずかに0.07等に減光している副極小の現象を見つけることが出来ない。写真測光では副極小は得られても、副極小と主極小の間の食外のわずかに傾斜している変化を捕らえることは出来ない。これは、伴星が主星からの強烈な光を照り返しているために起こる現象で、光電観測の精度が高い測光によってはじめてアルゴルが反射効果を示す近接連星であることが解明できたのである。

§ 2・2 眼視等級と写真等級

眼視等級は人間の肉眼で測定した等級で、目は暗闇と明るいところでは多少異なるが、550nmあたりに最大感度を持っている。すなわち実視等級といわれるV等級(Visual)は眼視感度にあわせて有効波長が550nm、半値幅80nmで測定した明るさである。一方、写真等級は写真乾板あるいはフィルムに感光した星像から得られる等級で、初期の写真乳剤は、肉眼の最大感度の波長より短い青や紫色の短波長光だけに感光した。一般にこれらの乾板はレギュラー乾板、無感色性乾板、あるいは青板乾板といい、この乾板で撮影して明るさを測定した等級が写真等級である。すなわち写真等級というのは、490nmより短波長のすべての光で測定した時の明るさである。1950年代になって、ジョンソンが紫外部の水素のバルマー系列付近の吸収の影響で星の温度と光度の関係が複雑になっていることを発見し、400nmより短い波長を切り捨てた方が定義が明確になることを説いた。それ以後、写真等級が400nmから490nmの間の光だけを測光するB等級(Blue)と、320nmから380nmまでを測光するU等級(Ultraviolet)の2つに分割して使われるようになった。BとUの原点をスペクトル型のA0V型(例えばこと座α星など)とし、色指数B-V、U-Bがともに0となるように定めた。一般に広く使われてれている3色測光というのはこのUBVのことで、提案者のジョンソンの名前をとってジョンソン・システムあるいは標準UBVシステムと呼ばれている。

星は短波長から長波長まで色々の波長の光を放射している。したがって、3色だけではなくもっと多くの波長域、極端にいえば無限に近い多色で、帯域幅を限りなく狭くして測光すると分光測光と同じになる。そこで星を多色測光すれば、分光測光のように多くの物理的情報が得られることはいうまでもない。このような考えから、適当な光電子増倍管とフィルターの組み合わせによる6色測光、さらに拡張して10色ないし20色のような多色測光が試みられ、実際にプロの天文台で実用化されている。しかしアマチュアの小口径の望遠鏡では、それにかかわる器機の荷重と操作性、データの処理の問題が難しく、また分光感度の波長域の広い光電子増倍管は大変に高価であるため、3色測光程度が限度となる。

ジョンソンの時代から広く使用されている1P21型光電子増倍管とUBVの3色測光のフィルターの組み合わせは次のようになっている。

表2・1 3色測光とフィルターの組み合わせ

色	波長域	有効波長	半値幅	フィルター
U (紫外)	300~400 nm	350 nm	73 nm	コーニング [®] 9363
B (青)	360~550 nm	440 nm	73 nm	コーニング [®] 5030+ショットGG13(2nm)
V (実視)	480~680 nm	550 nm	84 nm	コーニング [®] 3384

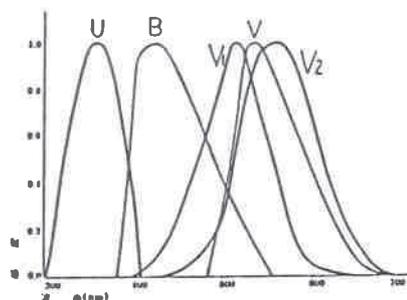


図2・2 UBVの特性曲線
ピークが1になるよう正規化した。通常の場合(V1)と暗闇に順応した場合(V2)の人間の目の感度も比較のために示した。

§2・3 色指数

シリウスは青白く、アンタレスは赤いと言うように、しばしば星の色を単色的な表現で言い表すが、実際はなかなか明確に判別することが出来ない。星を分光器で調べると、赤い色をした星の光でも、紫の短波長の成分を含んでいることがわかる。それぞれの波長におけるエネルギーの分布が異なるために、我々の目に色の違いとなって見えるのである。例えば赤い星は長波長のエネルギーが短波長のそれより大きいため赤く見え、逆に青白い星は短波長の方が大きくなっているために青白く見える。したがって星の色を調べるには、少なくとも2つの異なった波長域で星の明るさを測定する必要がある。

色指数は星の色を量的、客観的に表現する量でUBVの3色測光システムではB-VとU-Bのそれぞれが色指数である。表2・2、図2・3からもわかるように、これらの色指数は星の温度と密接に関係しており、高温の青白い星は負数、低温の赤い星は正数となる。また、U-Bが負ならば紫外線が強いことを意味し、逆に正ならば紫外線が弱い事を意味している。図2・4からわかるように、縦軸にU-B、横軸にB-Vをとり、それぞれの星のスペクトル型をグラフで表すと、きれいな曲線が描ける(図2・3)。この図から、ある星の二つの色指数がわかると、その星のスペクトル型が決定出来る。

表2・2 色指数とスペクトル型、有効温度との関係

スペクトル型 (主系列)	有効温度	色指数	
		B-V	U-B
O5	45000 K	-0.3 等	-1.1 等
B0	29000	-0.3	-1.1
B5	15000	-0.16	-0.56
A0	9600	0.00	0.00
A5	8300	+0.15	+0.11
F0	7200	+0.33	+0.03
F5	6600	+0.45	0.00
G0	6000	+0.60	+0.12
G5	5600	+0.68	+0.23
K0	5300	+0.81	+0.46
K5	4400	+1.15	+1.1
M0	3900	+1.4	+1.2
M5	3300	+1.6	+1.2

理科年表より

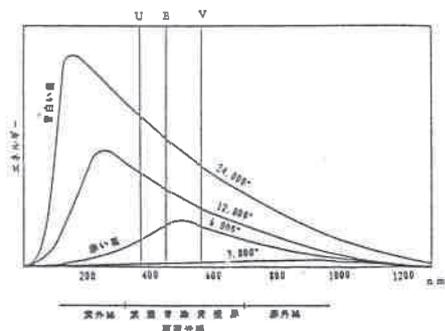


図2・3

それぞれの温度の黒体が放射する各波長でのエネルギー分布

温度によってB-V、U-Bの大きさが異なった値をとることがわかる。エネルギーが大きいほど等級の値は小さくなる事に注意されたい。

(磯部、天文ガイド1987.2月号)

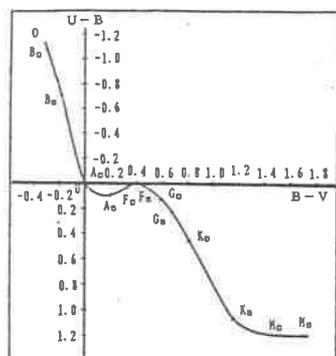


図2・4 2色図

色指数B-V、U-B座標の原点がスペクトル型A0になっている。S字型の曲線グラフであるために、縦軸のU-Bだけからではスペクトル型は決定できない。

§2・4 光電子増倍管の特性

天文測光用で使用される光電子増倍管に要求される特性は、直流増幅法では次の条件が重要である。

- 1). 安定性が高い。
- 2). 直線性が良い。
- 3). 高感度である。
- 4). 暗電流が少ない。
- 5). 分光感度特性が幅広い。
- 6). 電流増倍率が高い。
- 7). 光量に対するダイナミックレンジが大きい。

光子係数法では、量子効率が高く応答速度が速いものを選び、ダークカウントを少なくするために必要以上に長波長側に感度を持つ光電子増倍管の使用は避けた方が良い。

光電子増倍管を使ってどの程度までの明るさを測光出来るかという問題は、光電子増倍管による暗電流ノイズと増幅器のノイズ、さらに大気のゆらぎによるノイズなど、各種のノイズの総和量によって決まる。もし、そのノイズが星の光の信号より大きければ、その信号はノイズの中に埋もれてしまうため、ノイズより弱い光は測光が不可能となる。言い換えれば、光電観測の電気的な面だけからみた限界等級は、ノイズが何等星の星の明るさ

第2章 光電観測とは

に相当するかで決まってくる。したがって測光器の自作にあたっては、いかにこれらのノイズを取り除くかが大切な問題となる。その対策の一例として、光電子増倍管をドライアイス等で冷却して熱によるノイズを少なくする方法がある。また分圧抵抗回路のところに乾燥剤を入れて湿気による表面漏洩を避ける方法、あるいは、光電子増倍管は1 Gauss以下の弱い磁気の影響を受けて感度に変化するため、パーマロイ製の磁気シールドをするなどの工夫が必要となってくる。

口径30 cmの望遠鏡とよく使われている1P21型光電子増倍管を使った場合の星の等級に対する光電流を求めてみる。1P21型光電子増倍管の陽極感度は最大150(A/Lm)であるが、実際は安定性を良くするために感度を落として100(A/Lm)程度で使用する。また天頂での0等級の星の地球大気外での照度は、理科年表によれば 2.4×10^{-6} (Lx) である。この値を使って(2・4)式より各等級の照度を求め、さらに(2・5)、(2・6)式により光電流の値を求めたものが表2・3である。

$$\text{光束(Lm)} = \text{星の照度(Lx)} \times \text{望遠鏡の面積(m}^2\text{)} \quad (2 \cdot 5)$$

$$\text{光電流(A)} = 100(\text{A/Lm}) \times \text{光束(Lm)} \quad (2 \cdot 6)$$

表2・3 口径30 cmの望遠鏡を使用した時の光電流

星の等級	照度 (Lx)	光束 (Lm)	光電流 (A)
0	2.4×10^{-6}	1.7×10^{-7}	1.7×10^{-5}
1	9.6×10^{-7}	6.8×10^{-8}	6.8×10^{-6}
2	3.8×10^{-7}	2.7×10^{-8}	2.7×10^{-6}
3	1.5×10^{-7}	1.1×10^{-8}	1.1×10^{-6}
4	6.0×10^{-8}	4.3×10^{-9}	4.3×10^{-7}
5	2.4×10^{-8}	1.7×10^{-9}	1.7×10^{-7}
6	9.6×10^{-9}	6.8×10^{-10}	6.8×10^{-8}
7	3.8×10^{-9}	2.7×10^{-10}	2.7×10^{-8}
8	1.5×10^{-9}	1.1×10^{-10}	1.1×10^{-8}
9	6.0×10^{-10}	4.3×10^{-11}	4.3×10^{-9}
10	2.4×10^{-10}	1.7×10^{-11}	1.7×10^{-9}
11	9.5×10^{-11}	6.8×10^{-12}	6.8×10^{-10}

1P21の暗電流は 10^{-9} (A)程度であるから表2・3より口径30 cmの限界等級はおよそ11等であることがわかる。実際は地球大気による減光や市街光の明りなどで測光可能な等級はもっと小さくなる。

望遠鏡の口径に対する限界等級は大まかにみて、次の式が成立する。

$$m = 5 \log D + 3.5 \quad (2 \cdot 7)$$

m ; 限界等級

D ; 望遠鏡の直径 (cm)

第1部 光電観測とJ A P O A

(2・7)式から求めた望遠鏡の口径の違いによる限界等級はおよそ次のようになる。

表2・4 口径別の限界等級

口径(cm)	5	8	10	15	20	25	30	40	50
限界等級	7.0	8.0	8.5	9.4	10.0	10.5	10.9	11.5	12.0

約400万倍に増幅した光電流といえども、出力は非常に微弱な電流である。この電流をメータで読み取るか、あるいはペンレコーダで記録するためには、さらに直流増幅器を通して電圧に変換する必要がある。

§ 2. 5 光電観測による研究

天文学が天体から放射される色々な波長の光（電磁波）を観測し、それからその天体に関する情報を読みとることを基本にしている以上、光電観測の観測対象は数限りなく存在する。次にその研究課題の幾つかを紹介する。

(1) 標準星

ジョンソンは1954年に全天に108個の標準U B Vシステムの標準星を発表し、現在でもそれが3色測光を行う際の基準になっている。西部アメリカのように大気安定していて大気減光係数が変わらない地域では絶対測光が行われているが、日本のように大気が不安定な所では、相対測光を行わなければならない。目的星の等級を求める観測では、普通は目的星とその近くの標準星から割り出した等級の分かっている比較星を選んで相対測光を行う。したがって、標準星を全天に隅なく、二次的な標準星の数を増やしていくことは、基本的に重要な価値ある仕事である。

(2) 恒星の色と等級

恒星の進化の研究等に利用されているH R図は通常は縦軸に絶対等級、横軸にスペクトル型ないし表面温度で表す。一つの星団を構成している個々の恒星を測光すれば、それぞれの星はほとんど同じ距離にあると見なせるので、観測で求めた等級をそのまま絶対等級の値に置き換えることができる。横軸は表2・2に示したようにスペクトル型の代わりに色指数B - Vを使うことができる。このように、星団のH R図を数多く作成することによって恒星の進化を考えるうえでの資料とされてきている。

(3) 変光星

8等星より明るい星の中には約1500個ほどの変光星が発見されており、10等星より明るい星の中には1万個もの変光星が知られている。口径30cmの望遠鏡で測光出来る限界は大体10等星であるから、観測対象になる星はおよそ1万個である。望遠鏡の口径が大きくなればなるほど飛躍的に観測対象も増加することはいうまでもない。変光星の種類もさまざま、超新星、新星、閃光星、脈動変光星等のように星自体が変光する物理的変光星と、食変光星のように連星がお互いに食現象を起こすために周期的に変光する幾何学的変光星とがある。前者は例えば星の病理学のようなもので、星の内部の研究になり、後者のその原因は外的要因にあるので、質量、表面輝度などの恒星の物理量を求める研究になる。このような食変光星の観測から得られた物理量は、特殊な場合をのぞいては単独星からは

第2章 光電観測とは

決して求めることが出来ないため、最も基本的な重要な観測と言える。この観測を数多く行うことは恒星の進化などの研究に役立つ。

(4) 掩蔽 (えんぺい: オッカレーション)

光電子増倍管の大きな特徴は、感度が高いことと応答時間が高速であることである。掩蔽観測での光電測光器はこの特徴を生かした最も適した器機の一つである。掩蔽の観測は現象の変化を捕らえる時刻の観測であり、測光の観測と基本的に異なる観測である。そのために、測光器自体も時定数をできるだけ短くして、時刻の測定を重視しなければならない。頻繁に起こる月による恒星の掩蔽から、月の精密な運動や地球自転速度の変化等の研究が可能となる。惑星の掩蔽の場合は、惑星大気のために少しずつ減光していく現象が観測されることがある。この場合には減光時の星の光度変化を詳しく調べることにより、大気の密度の研究となる。また、掩蔽の潜入、出現時刻を観測することによって惑星の精密な視半径が求められる。図2・5は大島修が観測した さそり座57B星(57B Sco)の掩蔽の記録である。二段に減光していることからこの星は二重星の疑いがもたれたが、同時観測した水路部美星観測所の光電観測にはこのような現象は認められなかった。その結果、大気のシンチレーションの影響によるものと判明した。多点同時観測によって誤りを免れた良い例の一つである。

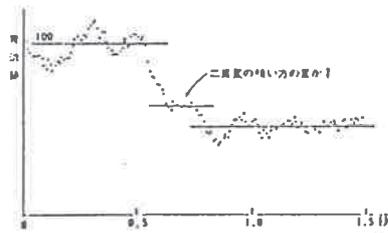


図2・5 さそり座57B星の掩蔽の記録

減光していく途中に段があるのは、連星をつくっている恒星がつぎつぎに隠れた現象と思われたが二点同時観測からシンチレーションの影響とわかった。

(5) 大気の汚染

光電観測による星の観測の応用の一つとして、最近話題になっている大気汚染の研究がある。地上から星を観測した場合、その星の光は地球大気を通過してくるために減光される。その減光量については第3部の第6章に詳しく紹介するが、簡単にいうと星の光の減光量 Δm は

$$\Delta m = k \sec Z \quad (2 \cdot 8)$$

の式で表せる。 k は大気による減光係数、 Z は星の天頂距離である。

等級のわかっている星を観測することによって Δm がわかり、 k を求めることができる。減光係数 k は上層のオゾン層(k_1)、酸素・窒素などのもともとの乾燥大気(k_2)、大気の水蒸気量(k_3)、チリやダストの大気汚染物質(k_4)の4つの要因がもとになって決まる量である。

$k_1 k_2$ は一定の値をとり、 k_1 は0.003等級程度の影響しかなく、事実上無視できる量である。 k_2 は理論的に計算が可能であり、U等級では0.55等、B等級では0.24等、V等級では0.10等の影響を受ける。

k の値から k_1 、 k_2 の値を引くことにより k_3 と k_4 の値を知ることが出来るのであるが、

第1部 光電観測とJ A P O A

残念ながら1晩だけの観測だけからは k_3 と k_4 を分離して求めることは出来ない。

湿度と k_3+k_4 との間に相関関係があることがわかっているから、湿度の異なる幾晩かの観測により湿度と k_3+k_4 の相関関係を求めて、湿度が0の時の値が k_4 の大気汚染物質による値となる。

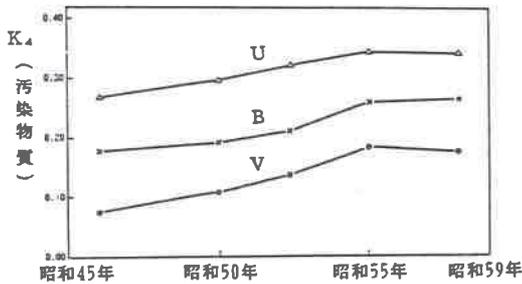


図2・6 大気汚染の変動

(東京天文台堂平観測所)

日本の経済成長とともに大気汚染が進み、昭和54年頃のオイル・ショックでいくらか進行が停滞した特徴がはっきりとわかる。

参考文献

- 齊藤国治 天体測光学に現れる誤差に就て、天文月報、1937年1月号～1937年5月号
 秦 茂 光電測光時代に備えて、天文と気象、1968年10月号～1970年5月号
 田中 済 光電観測ことはじめ、天文と気象、1980年4月号～1981年3月号
 JAPOA編 アマチュアによる光電観測、スカイウォッチャー、1987年1月号～1988年5月号
 Kitamura, M. and Nakamura, T. 1956, Ann. Tokyo Astr. Obs. 2nd ser. Vol.4, 179.
 北村正利 1965、天体測光器(新天文学講座、第11巻天文台と観測器機)、恒星社厚生閣
 大沢清輝 1965、天体光電測光(新天文学講座、第15巻天体の物理観測)、恒星社厚生閣
 大沢清輝 1965、星の色(新天文学講座、第15巻天体の物理観測)、恒星社厚生閣
 古在由秀、寿岳潤、森本雅樹訳 1980、現代天文百科、岩波書店
 大沢清輝 1984、星の色、地人書館

第3章 J A P O A 観測所紹介

§ 3・1 阿部観測所

阿部 正（新潟市立沼垂高等学校）

私が宇宙に関心を持ちはじめたのは何時頃かはっきりとした記憶はないが、6、7才の頃に満天星降る夏祭りの夜に二階の窓から一緒に花火を見ていた兄が、あの星にも我々と同じような生物がいるかもしれない、というような宇宙の話をしてくれたことを今でも鮮明に思い出す。おそらくこの時から宇宙に関心を持ちはじめたのだと思う。

小学5年生の時、友人から譲り受けた口径3cmの単レンズと、家にあった古いカメラのレンズを組み合わせてボール紙で作った幼稚な望遠鏡で、雪積もる軒下で太陽光を反射して真珠色の輝きを放つ月面を見た時、身を刺すような冷風と地球の外の世界に触れたという感激で身震いをしたことを憶えている。

それからは眼視による流星観測、太陽黒点のスケッチ、宇宙塵の採集、四連カメラによる流星観測、軌道計算に取り組んだが、全てが古典的であったために虚しさだけが残り、しだいに天文への興味を失っていった。

そのような折、「常に理想を見つめることである。そして、その目標に向かって努力し、常に適進することである。そこには人生の限りない喜びと、美しさがある。」と書かれている関勉著「未知の星を求めて」を読んだ時、忘れかけていた天文への夢が再び蘇った。今まで、何もしないで過ごしてきたことを後悔しながら、しみじみと人生の寂しさを味わった。さらに彼からの「ただ一つの星をじっと見つめて研究していくような気持ちを、たとえ世界がどんなに変遷していても、いつまでも持ち続けていきたいと思います。」という内容の手紙を受けとった時、そこに遠大な理想を求めて生きる人間の最も美しい姿を見たような気がした。

私にとって信条を貫いて生きることがいかに大切であるか、そして何のものにも拘束を受けずに自分の好きな道を自由に歩き続けることこそ、人生最大の幸福ではないかと考え、翻然と自分の進むべき道を悟った。

この時すでに30才であった。やるからにはライフワークとして、天文学に貢献できる光電観測をやってみたいと思い、意を決して多額の借金と人の好意に支えられて、1000m²の土地と当時のアマチュアとして最大級の西村製作所の30cmニュートン・カセグレン式反射望遠鏡を購入し、自宅から30km離れた光害の少ない巻町に1973年に私設天文台を建てた。当時、光電測光器は数社から市販されていたが高価で、財政の乏しい個人の観測所ではそう簡単に購入するわけにはいかなかった。そこでアマチュアの間でまだ普及していない光電観測の資料は数少なかったが、手探りの状態で自作することにした。とは言って

第1部 光電観測とJAPOA

も旋盤、ボール盤などもなく、あるのはナイフとヤスリとハンドドリル程度で、これだけの道具ではたして製作できるかどうか不安であったが、連日のように電気のパーツ店を巡り、役に立ちそうな部品を買い求めて作り始めた。

受光部のケースは2mm厚のアルミ板をカッターナイフで切り、バリコンはミラーの切り替え軸に、ロータリースイッチはフィルターの回転軸に、ニコンの8cmの望遠鏡のファインダーはダイアフラム確認用接眼鏡に利用した。ダイアフラムの製作は厚さ0.1mmのステンレス板に細いヤスリ棒で直径0.5mm、1mm、1.5mmの3個の穴を開け、さらにカーボランダムを含ませた綿棒で顕微鏡を見ながらバリ取りと真円に仕上げていく作業が何日も続いた。

受光部の完成が間近となり、いよいよアンプ、高圧電源等の電気部分の製作に取りかかろうとしていた矢先に、心電計を製作している医療器メーカーの技術者と偶然知り合った。私の電気の知識の無さに呆れながらも天文に対する熱意に賛同し、全面的に援助してくれるようになった。

それから5年ほどの歳月をかけて電気部分もようやく完成し、いよいよ望遠鏡に取りつけてテストする日が来た。胸を踊らせながら高圧電源のスイッチを入れ、ペンレコーダーの針の動きを見つめた。予想していた通りに針は光に敏感に感応して動いた。思わず二人で歓喜の声を上げたが、喜びはそう長く続かなかった。ドーム内に風が舞い込む度に針が異状な動きをするのである。また望遠鏡の姿勢によっても僅かながら変化することもわかった。

色々の条件のもとでの影響を調べるために冷蔵庫の中に入れて温度変化のテストをしたり、地球磁気の影響を少なくするために光電管にシールドをするなど、試行錯誤を繰り返しながら一つ一つ問題を解決して、正常に観測ができるようになるまでにさらに数年の歳月がかかった。

この測光システムで1982年から始まったぎょしゃ座 ϵ 星(ϵ Aur)の国際共同観測に参加し、良好な結果を得ることができた。

この観測で1982年と86年の2回わたって文部省科学研究費補助金を得られたことは、経済的な面ばかりでなく精神的な面においても心の支えになった。

さらに、1985年にインドで開催された第19回IAU総会にぎょしゃ座 ϵ 星の3年間に渡る観測データを携えて出席し、世界の著名な研究者に出会ったことも大きな励みになった。

また、1986年に中村毅と共に発表した「マイコンによる光度曲線からの食変光星の解析」が第1回スカイウォッチャー賞に入賞したことで、今まで暗中模索しながら歩んできた道が間違いでなかったことを再確認した。

その後、いくつかの共同観測に参加してきたが、裏日本特有の新潟の気象状態に加えて周囲が水田に囲まれているため水蒸気が多く、光電観測日和に恵まれず、全て失敗に終わった。

光電観測に取りかかって20年過ぎ、しだいに年を取るにつれて体力・気力も衰え、職場の仕事も忙しくなるにつれて自宅から電車で通った遠隔地の観測所を閉鎖して、新たに新潟市の郊外に住居を新築して、その屋上に望遠鏡を移した。それを機にパソコンを使った

第3章 J A P O A 観測所紹介

全く新しい光電観測システムを作り替えることにした。

透明度の悪い新潟の空をいかに克服するか、またルーチン観測の多い測光をできるだけ単純操作にして体力の消耗を少なくするかをいろいろ検討した結果、2台の望遠鏡を使い、一方は比較星を、他方は変光星をガイドして同時測光していく方法を考えた(写真3・1・1)。これと類似した方法がすでに1975年ボン天文台の106cmで試みられており、その観測から得られた結果と同様に、空の透明度が50%変化しても1%精度の測光が期待できそうである。また、従来の方法では望遠鏡を振り回して星と空をそれぞれ測光してその差から星だけの明るさを求めていたが、新しく自作した測光器では幾つかの面積がわかっているダイアフラムを回転させながら測光し、その面積の差から空の明るさを求めて自動的に星だけの明るさを求めることができるように設計した(写真3・1・2)。いま、面積 S_1 のダイアフラムを使ったときの星と空の合計の明るさを L_1 、面積 S_2 のダイアフラムを使ったときの星と空の合計の明るさを L_2 とすると星だけの明るさは $(S_1L_2 - S_2L_1) / (S_1 - S_2)$ から求めることができる。

これらの新しいシステムでは一旦、目的の星をそれぞれの望遠鏡のダイアフラムの中央に導入すれば、後はパソコン制御によってダイアフラムの回転、フィルターの交換、データの取り込み等すべて自動的に行う事ができる。まだ一部パソコンのインターフェイスが未完成であるが、完成した暁には一台の望遠鏡を振り回して、寒い冬でも汗をかきながら観測していた頃とくらべ、嘘のように楽になり、居眠りをしながらでも測光が可能となる。

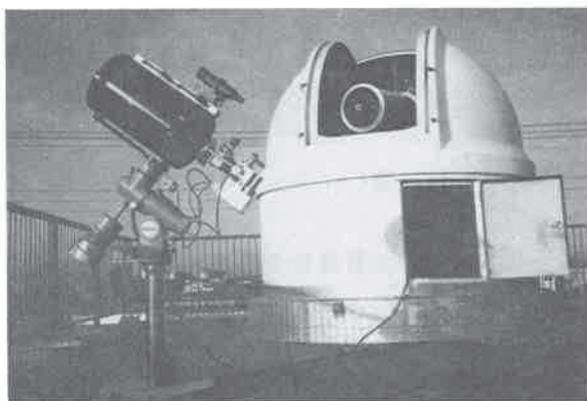


写真 3・1・1 ダブル望遠鏡測光システム

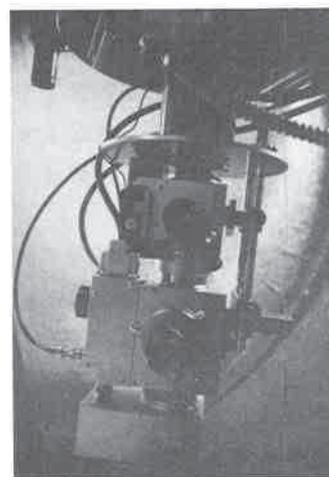
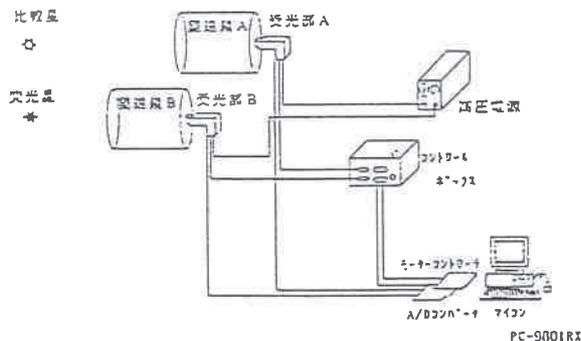


写真 3・1・2 受光部

図 3・1
ダブル望遠鏡測光システム



第1部 光電観測とJ A P O A

望遠鏡 A ; 架台 三鷹光器 GND-26 型
 鏡筒 西村製作所 ニュートン・カセグレン式 口径 30 cm F16
 望遠鏡 B ; 架台 日本光学 10 cm
 鏡筒 セレストロン シュミット・カセグレン式 口径 28 cm F10
 高圧電源 ; IKEGAMI 製 HD1.5K-M 型 出力電圧 250~1500 V
 A/D 変換 ; CONTEC 製 AD12-16L (98) 二重積分型の A/D 変換モジュール
 コントロールボックス ; 自作
 モーターコントローラ ; 自作

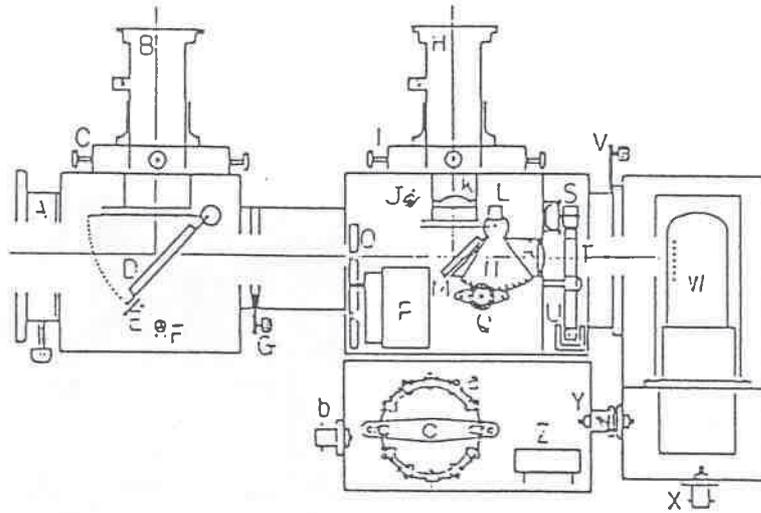


図 3・2 受光部内の構造

- | | |
|--|---|
| <p>A ; 回転装置付きバヨネット
 C ; オフキシアス 可動範囲 X=33mm Y=33mm
 E ; テスト用 LED ランプスイッチ
 G ; ハウジング接続用バヨネット
 暗視野照明付きキシアス 可動範囲 X=10mm Y=10mm
 L のスイッチと連動して消灯する
 K ; コリメートレンズ 顕微鏡用接眼鏡 ×4
 M ; ダイアフラム確認用ミラー
 O ; ダイアフラム 直径 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0mm
 P ; ダイアフラム回転用ステップモーターとキヤット 日本サーボ製 KP4P15G+KP4P18GN (減速比 1/100)
 Q ; ダイアフラム確認用ミラー駆動ステッピングモーター 日本サーボ製 KP2P18
 R ; ファブリレンズ 石英製 f=80mm 直径 20mm
 S ; フィルター回転用ステッピングモーター 日本サーボ製 KP2P18
 T ; フィルターとフィルターケース 歯車 協育製 ジェイコウ 直径 50mm
 フィルター ショット社製 U 域 UG1 (2mm) B 域 BG12 (1mm) + GG385 (2mm)
 V 域 GG495 (2mm)
 U ; フィルター基準点確認用フォトインタラプタ
 W ; 浜松フォトリクス製 1P21 型光電子増倍管
 Y ; 高電流出力端子 BNC Z ; OP アンプ アイコーデンキ製 2F/4539D
 a ; アテネッタ 24 段ローリスイッチ 佐賀電気製 MS51HL4-4-24 帰還抵抗 日本トランス工業 0.5 等ステップ 24 段 (誤差 ±0.5%) 特注
 b ; 光電流出力 BNC</p> | <p>B ; 広視野接眼鏡 Nikon 製 K-25 暗視野照明付き
 D ; 広視野用ミラー
 F ; テスト用 LED ランプ (緑色)
 H ; ダイアフラム監視用接眼鏡 Nikon 製 0-12.5mm
 J ; ダイアフラム照明 LED ランプ (黄色)
 L ; ダイアフラム確認用ミラーの UP、DOWN の信号用フォトインタラプタ
 N ; 歯車 協育製 ジェイコウ 直径 40mm
 V ; ハウジング接続用バヨネット
 X ; 高圧入力用端子 高圧用 BNC</p> |
|--|---|

§ 3・2 学校天文台を利用した光電観測

伊藤 芳春（宮城県仙台西高等学校）

私は学校天文台を利用して光電観測を行っていたのでそれを紹介する。勤務校は宮城県角田市にある県立の高等学校である。宮城県は仙台市天文台の活動に見られるように天文教育が盛んであり県内の高等学校には10数台もの学校天文台が設置されている。

勤務校には昭和40年代半ばに校舎新築と同時に設置された天文台がある。校舎は3階建てであるが4階屋上相当の高さに天体観測準備室、5階相当にドームがある。

角田市は太平洋側の気候で冬季は光電観測に適した天気が続く。春夏は雲が多く、夏は年によってはヤマセの天気

があらわれることもある。秋はすぐ近くを流れる阿武隈川のため、晴れて風の無い日には霧が発生する。やはり冬が測光シーズンである。



写真 3・2・1 角田女子高天文台



写真 3・2・2 測光装置

測光システム

測光システムを図に示す。勤務校には五藤光学製のドームと15cm屈折赤道儀が設置されている。グラスファイバー製のこのドームは現在は市販されていないと思われるが天頂付近が観測できないことと、スリット幅が狭く観測しにくいという難点がある。

望遠鏡は口径15cm、焦点距離225cm、F 15の屈折望遠鏡である。授業等での眼視観測用であるため丈夫であるが、追尾精度は高精度ではない。

測光装置は当時使いやすく安価な装置がなかったので部品を集め自作した。

第1部 光電観測とJ A P O A

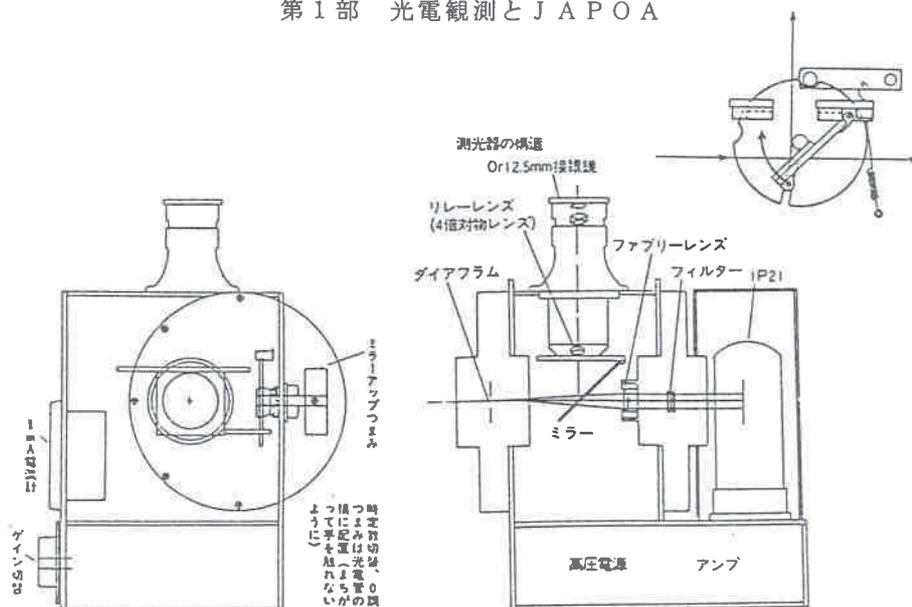


図3・3 測光器の構造

- ・ダイヤフラム 2.0、1.0、0.8、0.6、0.3mm 黄銅板にドリルで穴をあける。
- ・ファブリーレンズ 直径 10 mm 焦点距離 55 mm (材質 BK7)
- ・フィルター 直径10 mm (ショット製)
 - Vフィルター GG495 (厚さ 2 mm)
 - Bフィルター GG385 + BG12 (厚さ 2 mm + 1 mm)
 - Uフィルター UG1 (厚さ 2 mm)
- ・光電子増倍管 1P21 (浜松ホトニクス製)
- ・視野確認鏡
 - 顕微鏡用 4倍対物レンズ + Or 12.5 mm で 6 cm 先のダイヤフラムにピントが合うように製作。
- ・直流アンプ 第5章電子回路を参照

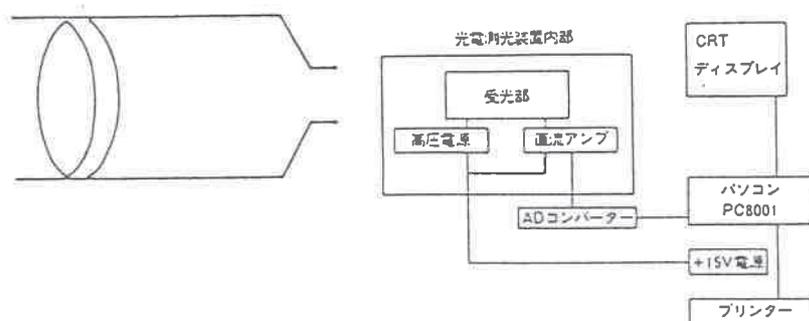


図3・4 測光装置全体のレイアウト

第3章 J A P O A 観測所紹介

観測データの取り込み

測光装置からの出力は電圧である。星の明るさに応じて電圧が変化する。以前は光電観測の記録といえばペンレコーダーであったが個人で購入するには高価すぎ、またデータをコンピューターに手で入力するのも、間違いやすく手間がかかる。

そこで測光装置から出力されたアナログ電圧を0から255までの数値に変換するA/Dコンバーターをパソコンに取り付けた。これで星を導入しフィルターを切り替え、時刻と光電観測の出力の記録をするという一連の作業が楽に一人で行えるようになった。

しかし製作したのは1980年代半ばのことなのでパソコンはPC-8001、A/DコンバーターはローランドのADA200を使い、プログラムの呼び出し及びデータの記録はカセットテープであった。

勤務校に設置されている望遠鏡は、今ではクラシックな部類に属しているが、光電観測装置を取り付けることにより科学的な観測をすることができる。

光電観測装置の光学系は基本的には変わらないが、電子回路は絶えず高性能なものに改良され、パソコンや周辺器機なども以前と同じ価格で遙かに高性能なものが手に入るようになったので、従来よりシンプルで高性能な測光システムが組み立てられるようになっている。学校天文台にはさまざまなメリットがあるので多くの人に光電観測に参加してもらいたい。

(※角田女子高校での光電観測は筆者の転勤により1992年3月で終了した。)

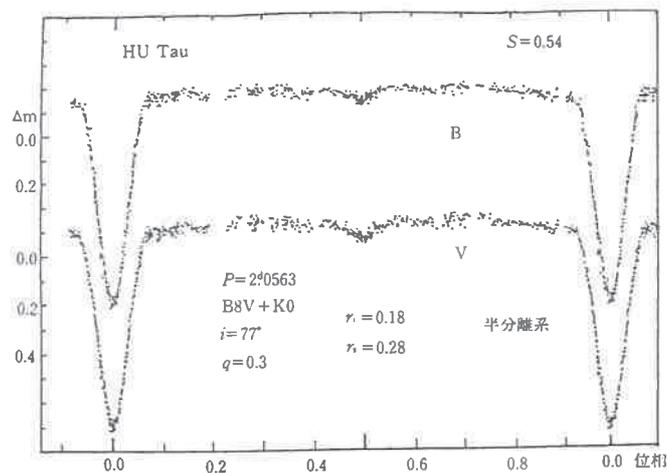


図3・5 学校望遠鏡によって得られたHU Tauの光度曲線

§ 3・3 玉島観測所

大島修（美星天文台）

1. これまでの設備

自作の測光専用20cmカセグレン式望遠鏡（主鏡F3、合成F12、主鏡研磨：杉原恵一氏、副鏡研磨と鏡筒製作：大島）を高橋製9cm赤道儀に同架したものを長年使用してきました。かなりトップヘビーではありましたが、鏡筒・赤道儀共にかなりコンパクトなため、望遠鏡に振り回されることなく快適に使用してきました。特に、エンコーダを取り付けて以来、観測効率は格段に向上しました。

10年前に自作したフォトン・カウンターを取り付け、8ビット・パソコンでデータ取得と測光器制御を行いました。オッカル（掩蔽）観測用はアセンブラで、変光星観測用はBASICでソフトを書きました。

これらの自作の経験は、後に製品としてのフォトン・カウンター（AESから「PCPA」で発売されています）の開発時に全面的に生かすことができました。



写真3・3・1

2. 現在設置中の設備

この観測所の南東数キロには、公害（と光害）で有名な水島工業地帯があります。また、海拔7メートルと低地にあるため、空の透明度が変化しやすく決して光電観測向けの環境とは言い難いわけです。事実、1/100等級精度の観測はなかなか難しいです。そこで空の変動による影響を最小限にするために工夫した設備を現在建設中です。

測光器を2台作り、2本の20cm望遠鏡（上に述べた望遠鏡と単層コーティングのシュミット・カセグレン式）に取り付け、それぞれ目的星と比較星に向けて同時に測光することにより、空の透明度の変化をキャンセルしようという考え方です。2本の望遠鏡は、同一の赤道儀に載せられ、一方は他方に対して±5度程度独立した方向に向けられます。現在は、エンコーダの読み取り値のデジタル表示を見ながら、ハンドセットで天体を導入していますが、将来はパソコンによる制御に変え、いずれは無人観測もできるようにしたいと考えています。問題はソフト開発にかかる時間が見つからなくて困っています。

赤道儀は、これまで国内では見られなかったフリクション・ドライブを利用しています。つまり、ギアなしの赤道儀です。その長所としては、バックラッシュ・周期誤差がない、滑らかな回転が得られる、高価な高精度ギアを必要としない、極軸体の構造が非常に簡単になる、などがあります。実は、美星天文台101cm望遠鏡に同ドライブを採用するにあ

第3章 J A P O A 観測所紹介

たり、本当にこの方式でうまくいくのか、テストを兼ねて製作しました。基本設計は自分で行い、詳細設計は藤井貢氏に、製作は法月技研にお願いしました。個人では結構な製作費になりますので、結果がまずかった場合のことを考え、実行に移す前は少し躊躇しましたが、必ずうまく行くものと信じて製作を決意しました。それでも、実際に星を追尾してみるまでは不安がありましたが、見事に期待通りの性能を発揮してくれました。

藤井氏に「機械を作るのにまったく新しい試みをして、手直しをせずにこんなにうまく実用になるのは初めてだ」と言わしめたほどです。

§ 3・4 藤井美星観測所

— 冷却 CCD カメラ S T - 6 用測光フィルターターレットの製作 —

藤井 貢 (山陽技研)

私は岡山県美星町に 20 c m カセグレン式望遠鏡 (F 15) の入った 2.2 m ドームの観測所を所有している。ここでは、光電観測を中心に取り組んでいる。調整に時間がかかっている光電子増倍管を使った自作測光器を立ち上げるより先に、既製品の冷却 CCD カメラ S T - 6 を購入し測光に使用することになった。この度、S T - 6 に用いるフィルター・ターレットを製作したので簡単に紹介する。

CCD カメラで天体を測光する場合、どうしても標準システムに準拠したフィルターが必要である。今回採用した波長領域の種類は B V R I の 4 種類 (Bessel, 1990) と、おまけに H α 、H β 、O III の合計 7 種類とした。

ノーフィルター部も合せると 8 種類にもなり、さらに使用する望遠鏡の光軸方向の焦点引き出し距離が限られているので、薄い円盤にフィルターをはめ込み、光軸に対して直角方向に回転する方式とした。

回転はポケット・コンピュータ (P C - E 2 0 0) で制御されたステッパモーターとフィルターの位置を検出するセンサー 1 個の組み合わせで行う。非常時の場合も考慮し手動回転部も設けた。

S T - 6 のデータ取り込みは 5 5 n o t e - S V 4 で行うので、フィルターの回転も 5 5 n o t e で行えば装置全体がすっきりするが、S T - 6 専用ソフトがマルチタスク環境の O S 2 等に対応していないので、やむを得ずポケコンを利用した。

以下に各部の説明をする。

① アタッチメント部 (望遠鏡側)

ペンタックス K マウント接写リングを利用。望遠鏡側にペンタックス 67 \rightarrow 35 m m 変換アダプターを流用している。これには回転機構が備っているので、測光器全体の向きを変えるとき便利である。

② 本体部

第1部 光電観測とJ A P O A

軽量化をはかるため円盤およびギアはジュラコン材、ハウジングはアルミとした。センサーは、フィルター位置決め精度の点からは透過式フォトマイクロセンサーの方が適切と思うが、赤～近赤外の光源を使用するのが難点であり、筆者は光を使わない近接センサーを採用した。このセンサーでノーフィルター部を原点として検出し、残りの7点位置決めはオープンループとした。モーターと円盤の回転連動機構は平歯車を使用し、モーターはハウジングの外部へ取り付けた。

③アタッチメント部（ST-6側）

ST-6側からは1.25"のボスが突出しているのみで受光器が抜け落ちないしっかりした連結が必要である。私の場合、すり割構造をボルトで締めあげる方法をとった。

現時点(92年9月上旬)では観測所の移転中であり、実際に望遠鏡に取り付けての観測は行っていない。フィルター部およびST-6の使用感、観測の実際をお伝えできないのは許して戴きたい。

参考文献

- 1) Bessel, M., 1990, "UBVRI Passbands", Publ. ASP 102, 1181,
Boitwood, P., 1992, I, A, P, P, P. Communications No. 46, p48-56に転載
- 2) LUMICON製

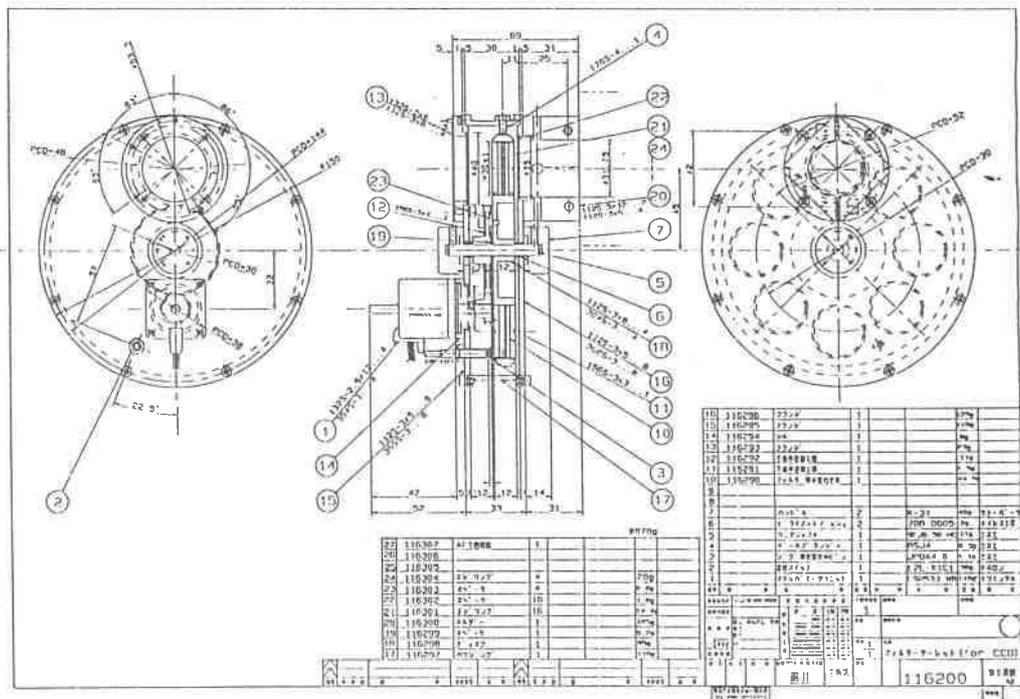


図3・6 フィルター・ターレット

§ 3・5 岡山理科大学田辺研究室・天体光電測光観測室

田辺健茲（岡山理科大学・教養）

1. 歴史

筆者（田辺）は1989年から大島修氏（当時水島工高教諭）と国立天文台岡山天体物理観測所において食連星や激変星の観測を始めたが、この時期と前後して観測装置の購入ならびに観測室の建設計画を始めた。

すでに大島氏は新しいコンセプトに基づいた小望遠鏡用の光電観測システム（フォトンカウンター）を完成していた。研究室ではまず受光器を神和光器で製作（1989）、続いてコントローラー（フォトンカウンター）をAES社で製作、購入した（1990）。

また、これと並行して観測室の建設に着手し、岡山県御津郡御津町（岡山市のすぐ北）の大学が保有している山林に、学生の協力を得て約1年がかりで約10平方メートルのスライディングルーフ型観測室（協栄産業製）を完成させた（1991春）。

更に望遠鏡は市販の光学系としては光電観測に最適のタカハシ製ミュロン μ -250が入り（1992）、またこれに適合するように作られた受光部をAES社から購入した（1993）。

2. 装置の概要

- 望遠鏡 : 口径25cm、F12、カセグレイン（Dall-Kirkham）式
（タカハシ製ミュロン μ -250）
- 架台 : ドイツ式赤道儀（タカハシ製NJP）
- 光電観測装置 : 受光器（ヘッドオン型）、
コントローラー（フォトンカウンター；2チャンネル）
（いずれもAES製）
- パソコン : エプソンPC-286LS（ラップトップ型、40MB
HD内臓）、制御ソフトは大島氏作成のもの。
- その他 : オートガイダーST-4（SBIG製）、ペンレコーダー
（島津製1ペン式）、エンコーダー（パルステック社製）

3. 現状

上の歴史の項で述べたように本観測施設は完成して間がないというか、まだ完成していない部分を残している。ひとつは電源工事であり、もうひとつは、観測室の床である。

しかしながら一応は光電観測ができる体制になっており、実際、学生の卒業研究のためにAlgol(β Per)の極小の測光を行っている。この4月からまた新しいゼミ学生を迎えて現在教育中であるが、近いうちに短周期の食連星（たとえばi Boo）の測光を試みる予定である。

§ 3・6 船穂観測所

赤沢秀彦（岡山県、鴨方町立鴨方小学校）

1. 経過

1990年12月、天文同好会「夜とう虫」のメンバー3人と、AESにより製品化されたフォトン・カウンティングシステムを購入しました。その後約1ヶ月間、開発に携わってきた大島修氏を中心に、光電観測についての学習会をおこないながら、光電観測ソフトのバグ取りやデータ処理プログラムの開発を進め、実際に観測を始めたのは1991年の1月になってからでした。

2. これまでに行った光電観測

- ・1991年1月13日 小惑星ミルラによる恒星食（高速測光）
- ・1991年1～2月 恒星食（高速測光）
- ・1991年1～5月 ガリレオ衛星相互食（高速測光）
- ・1991年3～4月 Nova Her 1991（3色測光）
- ・1992年2月 9 Aur 国際協同観測（3色測光）
- ・1992年2～4月 Nova Cyg 1992（3色測光）
- ・1992年3月21日 小惑星アデリンダによる恒星食（高速測光）
- ・1992年8～9月 VW Cep 国際協同観測（3色測光）
- ・1992年8月30日 小惑星リラエアによる恒星食（高速測光）
- ・1992年11月18日 小惑星ヘーラによる恒星食（高速測光）

3. 使用器材

- ・測光用望遠鏡
セレストロンC-8
($D=20\text{cm}$ 、 $f=2000\text{mm}$)
- ・天体導入、確認用
自作 21cm F7ニュートン
- ・ガイド用 8cm (F8)
- ・ダイアフラム導入用 8cm 正立ファインダー
- ・架台 ミカゲ21B
- ・光電観測制御 NEC PC-9801Vm21
- ・天体導入 エプソン286によりエンコーダと組み合わせた天体導入ソフトを利用



写真3・6・1 船穂観測所

§ 3 ・ 7 妹尾観測所

大倉信雄（岡山市妹尾25）

妹尾観測所は岡山市、倉敷市、そして水島工業地帯等に囲まれた光害地帯にあります。昔は天の川が見えていましたが、ここ数年の間に街灯がずいぶん増えたうえに、最近では回転サーチライトが6基ほど上空を回り始め、屋外でも新聞の活字が読めそうな明るさになってしまいました。今後は、観測対象が限定されることになりそうです。ただ、この地方の晴天率はかなり良いらしく、これによっていくらか救われております。

さて、私が光電観測に関わり始めたのは、今から10年程前の頃で、大島修氏による自作の光電測光装置を使って、1984年1月7日に、ハレー彗星による恒星の掩蔽の観測を、この妹尾観測所で手伝ったのが始まりでした。その年の12月27日再びハレー彗星による恒星食の観測を、兵庫教育大学の50cmを使って観測をするとのことで、手伝いに行きました。また、翌年の1985年8月17日、ガリレオ衛星による相互食の観測を見せていただきました。

それから数年後の1990年12月、A E S（株）から光電測光装置が市販されたので仲間と共に購入しました。そして赤沢秀彦氏と共に、ガリレオ衛星の相互食を観測しつつ、広視野接眼部を自作したり、ソフトの改良を行ってきました。

その後、小惑星による恒星の食、新星、変光星の測光観測などを行いました。その間に小惑星（1546）Srbijaによる恒星食を、幸運にも妹尾観測所だけで光電観測により検出できましたが、他所での観測も欲しいところでした。また、はくちょう座に新星が発見された折には、最大光度になる前の観測をすることができました。それ以外にも、J A P O A などの呼びかけにより、ぎょしゃ座9番星（9 Aur）の観測、ケフェウス座VW星（VW Cep）の国際協同観測に参加しました。

使用機材は、18cmと35cm及び16cmを一つの架台に同架していますが、観測目的に応じて使いわけています。18cmと35cmは光電観測、そして16cm（ライトシュミット）は、写真及びCCD（ST-4）用で位置確認などに使用しております。架台は旭精光の旧タイプなので、赤緯微動は数度しか動きませんが、いくらか自分で改良して、多目的に使うためにコンピューター制御もできるようにしました。又、望遠鏡とアストロスケールを、簡単なインターフェースで接続して使っており、目的星の導入にすばやく対応できます。星の同定作業には、長田健太郎氏作のフリーソフトR I S Aを使用しています。これらのおかげで、苦勞なく視野に入れることができます。

位 置	東経133度52分36秒、北緯34度36分25秒、海拔3m
望遠鏡	18cm反射（光電測光専用）、35cmツミカセ（光電観測ほか） 16cmライトシュミット（写真、CCD）、105EDHF（ファインダー）
赤道儀	旭精光製26cm用
測光器	A E S 製光子計数法式測光器
制 御	エプソンPC286VF

§ 3・8 入曽天文台

— 素人でもできる光電観測装置の自作例 —

片見宗吾（東京都職員）

最近夜空が明るくなり、星の輝きも以前に比べ減ってしまいました。それでも人里離れた森や山の上に暗い星空を求めて行き、望遠鏡にカメラをつけたり双眼鏡で観測をしている人達はたくさんいます。

しかし光電観測となると取り組む人はかなり少ないようです。原因は測光装置の市販価格が高価であることや観測後のデータ処理や整約の煩雑さにあるようにおもわれますが、そのような困難は、観測装置の自作やパソコンを利用することで解決の道があります。ですから望遠鏡を手に入れたら、ぜひ測光器を製作して観測してみようではありませんか。

別稿にあるように、大島修氏はフォトン・カウント法の研究をされておりますので、筆者は氏のご協力を得て受光器の製作に取りかかり、1年半で完成しました。受光部はできるだけ手動操作を前提とし、ステッピングモータ等を使わずなるべく簡素に、材料等も値段的に安く作れるように心掛けました。以下そのあらましを述べます。

1. 準備と設計

筆者の場合、大がかりな工作機械を利用できる環境にはないので小型ボール盤、万力、ノギス、さらに電気系の工作用のハンダ付け一式などを手身近かにある日曜大工店、電気店から入手しました。また、工作途中で道具類の不足に気がついたり、工夫や発案があったりで、そのつど店に行くこともありました。

2. 望遠鏡への接続、ハウジング

筆者の場合、受光器の望遠鏡への取り付けはバヨネットを使用しています。着脱が簡単でさらに強度的にも充分ですが価格面で一般的ではありません。この部分は受光器全体を支えるところなので、十分な強度が得られるように工作する必要がありますので、厚さ2mmのアルミ板を使用しました。設計では受光部全体の重量は1.5kg程度になりますので、重さによる容器の撓みの影響で光軸が狂わない強度も要求されます。

また、広視野鏡から光電子増倍管までをいくつかの部屋に区切ることで外部からの光洩れの影響を軽減させることができました。さらに工作終了後、受光器内部を黒色つや消しスプレーで塗装して完全な遮光を期しました。

3. 光学系

受光部の光学系は筆者所有のカセグレン式反射望遠鏡（F10）を基準にして設計しました。基本的には、受光器はダイアフラム、ファブリーレンズ、フィルターおよび光電子増倍管で構成されています。さらに、星を導入するための広視野鏡、ダイアフラム中心に星

第3章 J A P O A 観測所紹介

が導入されているのを確認するダイヤフラム確認鏡が加わります。

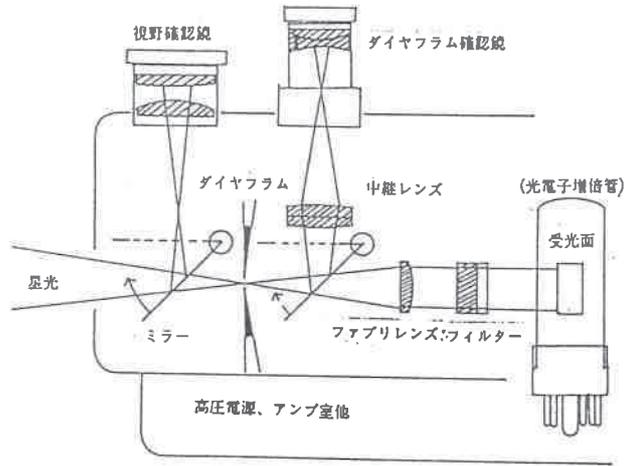


図3.6
受光器の概観

4. フィルター部

フィルター・タレットは、図3.7に示すように、厚さ6mmの扇形のアルミ板にフィルターボックスや位置センサー用の穴を開けたものです。さらに中軸部に歯車を工作して、ゴム棒と接触させ、ダイヤルで回転させました。

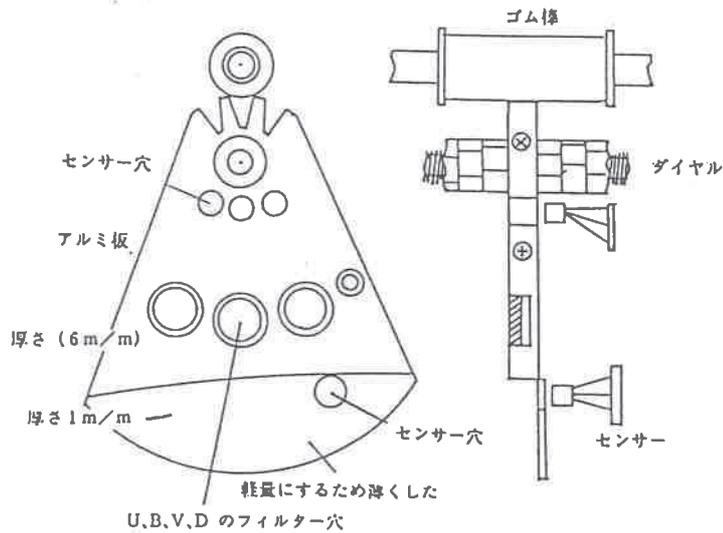


図3.7
フィルター部の構造

フィルター・ボックスは、フィルターの直径の12mm孔を途中まであけ、さらに10mm穴で貫通させました。フィルターを詰め込み、ゴム製のOリングで固定しました。

5. 広視野鏡とダイアフラム確認鏡

広視野鏡で目的の星をダイアフラムに導き、ダイアフラム確認鏡でダイアフラムの中心に入っていることを確認します。ここで使う接眼鏡は高級なものではなく、筆者は古い手持ちのものを利用しました。

測定時には跳ね上げるフリップミラーの平面鏡はニュートン式望遠鏡の斜鏡を利用しました。斜鏡は肉厚で重いのが欠点です。なお平面鏡は表面鏡であることが条件です。

フリップミラーの起倒にはバネの使用が多いようですが、筆者は磁石を利用しました。角砂糖の半分位の大きさで、片面が接着できるようになっていて便利です。

ダイアフラム確認鏡の部分にはリレー・レンズが入ること、接眼鏡に焦点距離の短いものを使用すること、星を確認中にダイアフラムが見えるように発光ダイオードで照明しました。さらに可変抵抗器で発光ダイオードの明るさを調節できるようにしました。リレー・レンズとして顕微鏡の対物レンズを使用しました。

6. システム

筆者のシステムは図3.8のように、コントローラとパソコンを用いています。高圧電源はモジュール型高圧電源 (Hamamatsu C1309-04) を使用しました。最大出力電流 0.5mA (カタログ値) で、120gの重さです。

測光器からフリップミラーのミラー状態確認用1ビット、フィルター位置確認用2ビットの出力がありコントローラに取り込むようになっています。コントローラは、エイ・イー・エス(株)から購入したもので、ディスクミネータ部、カウンター部、パラレル入出力ボード、ノイズ対策部からなっています。また信号用にはBNCコネクタを使用しています。

この測光装置は最近完成したので、これを使って、いよいよ本格的な光電観測へ進もうと張り切っている次第です。

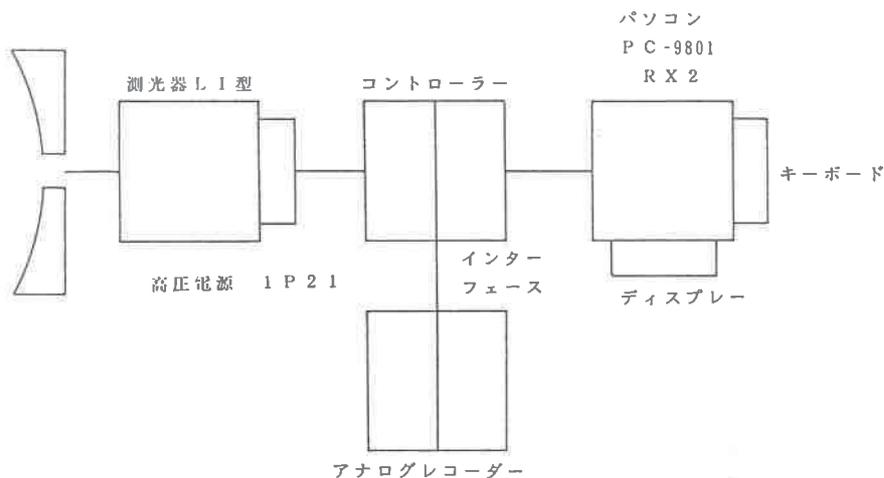


図3.8 測光システムの概略

第3章 J A P O A 観測所紹介



写真3・8・1 入曽観測所

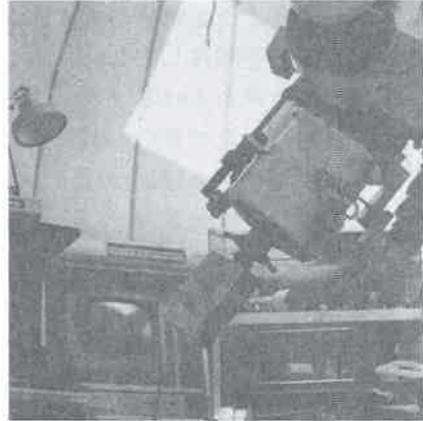


写真3・8・2 受光部

§ 3・9 My private observatory

関谷 育雄（神奈川県平塚市立浜岳中学校）

私の観測小屋は、1987年創設以来もうすぐ6年になろうとしています。当初は、「3年持てば御の字、お金が貯まったらまた作り直そう」などと思っていたのですが、幾多の危機を乗り越えて今だに現役で存在しています。というわけで、まず観測小屋について思いつくまま紹介してみたいと思います。

この観測小屋（写真3・9・1）の特徴は、四隅の柱に電柱を使っていることです。そもそも電柱などというものを使うことになったのは、望遠鏡本体に資金を使いすぎたためというよくあるパターンの苦肉の策なのでした。いろいろと考えあぐねていた所、目に止まったのが無惨に横た



写真 3・9・1

第1部 光電観測とJ A P O A

わっていた昔懐かしい木の電柱で、「お～、これだ！」と思わず心の中で叫んでしまいました。これならば柱の太さは十二分であり、決して腐ったりしません！ さらに、電柱代はほとんどタダというおまけまでついていました。その他の部分については観測所の紹介記事等を参考にして作りました。この観測所は過去一度だけ冷や汗もの事件？がありました。それは、普段スライディングルーフの屋根は四隅をターンバックルで止めてあるのですが、たまたま観測後2ヶ所だけ止め金を止め忘れたとき翌日が台風となり、強風で屋根が飛んでしまい大破してしまっただけです。小屋の隣には車数台が駐車してあったので、一歩誤れば……ゾットしたことがあります。

さて、中に納まっている望遠鏡はアスコ製口径31cm合成焦点距離3700mm(F12)のカセグレン式で、光電観測を目的とした仕様です（大学時代にはニュートン式反射で観測し、その効率の悪さにほとほと参りました）。

鏡筒部分の特徴は、接眼部を回転ヘリコイドとアサヒペンタックスの67判のヘリコイド接写リングを組み合わせていることです。普段の観望時は、焦点調節が楽にできるヘリコイド接写リングを使います。接写リングはバヨネットで連結できるため某メーカーのリング地獄に陥る心配もなく快適です（最近では、望遠鏡販売店からも売り出されています）。そして、比較的重い機器の接続は、接写リングをはずして直接本体の回転ヘリコイドの部分につけるようにしています。

赤道儀については、一クラス下のSX型にしようかと思っていたのですが、奮発してより丈夫なSE型にしました。これは今にして思えば大正解で、電磁クランプと相まって非常に使いやすいものです。今後の付属品の追加についても問題なく対処できます。追尾精度もほぼ満足のいくものです。

しかし、この観測小屋は光電観測を目的に作ったものなのですが、目下測光器を自作中です。早く完成させて、光電観測を開始したいと思ってる次第です。いつの日かデータが発表できる日を夢見て、筆を置きます。

§ 3・10 利根川のほとりの観測所

荒井 菊一（埼玉県立久喜北陽高等学校）

小学校5年生の時、八丈島で起った金環食の部分食を小学校の庭で、三日月のように欠けた木洩れ日と薄暗くなった景色を飽かずに眺めていた自分を昨日のように思い出します。多分、私にとっての最初の大きな天文現象だったと思います。

その後、岩石や鉱物に興味を持ちながら細々と天文雑誌も購読していました。そのような高校生の頃「天文と気象」1965年1月号に掲載された秦茂氏の「光電管と天文学」に目が止まりました。全く新鮮な世界が広がっているように思われました。増幅器の回路図も載

第3章 J A P O A 観測所紹介

っているし、「この程度の回路ならばシャーシを買って組み立てることも困難ではありません云々……」とありました。さっそく秋葉原へ光電子増倍管や真空管を見つけに行きました。今にしてみれば無謀の極みで、どこを探してもありませんでした。諦めながらも、いつかは取り組みたいとの夢は消えませんでした。

1978年夏に現在の所に引っ越したのを良い機会に旭精光製の21cmニュートン式反射赤道儀を購入し、惑星や月面などの写真を人並に撮影しておりました。その頃、1982年の「天文と気象」にJ A P O A 結成の案内が掲載されているのに注目し、2年目から参加しました。初めて参加したときは、内容があまりにも自分の知識と掛け離れているので戸惑いました。が、阿部氏や大森氏をはじめとする先輩諸氏の適切なアドバイスにより、少しずつ理解できるようになり、測光器の自作に踏切ることになりました。しかし、ニュートン式ではF値が小さいので、どうしても鏡筒からの引き出し量が制限され、広視野鏡の挿入が非常に難しく工作に失敗した反省から、28cmシュミットカセグレン式の鏡筒を購入しました。この選択は後日、実際に観測してみても適切な判断であったことがはっきりしました。鏡筒全体が口径の割にコンパクトで、風の影響を受けにくいので余計な神経を使わずに観測に専念できます。



写真3・10・1 観測装置全体

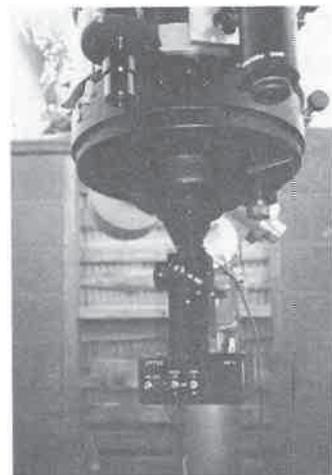


写真3・10・2 SSP-3 測光器

自作に2回失敗し、3回目にチャレンジしている時に、フォトダイオードを使ったアメリカ製の SSP-3 測光器を入手しました。この測光器は、今までに見てきたどの測光器と比べても余りにも簡単な構造であり、本当にまともな観測ができるのだろうかとの危惧を抱きました。価格も12万円程度で、国内のメーカー価格の1割以下で買えるわけで、後日「玩具」と言われました。IBVSにこの測光器による観測結果が発表されているのを散見し、意を決して観測に取り組んでみました。最初は、試験観測ということで、BVフィルターを付けてペルセウス座β星(β Per)に望遠鏡を向けました。デジタル表示器に数字が次々に示され、自作に失敗している者として、これほど簡単に結果が表示されることに喜びと共に複雑な思いを新たにしました。結果はペンレコーダのチャートと

第1部 光電観測とJ A P O A

と違い、直接数字で出てくるので記録を取りながら、徐々に変光していく様子を実感しました。観測終了後、データをパソコンに入力し作図すると、直ちにその晩の変光の様子が示されます。標準偏差も $\pm 0.01 \sim 0.02$ 等級程度に収まり、日によっては更に小さくなり、改めて冬の関東地方、特に筆者の観測所周辺の空の良さに感激しました。

その後、自分のテーマを求めて、北村先生に相談したところ、短周期食変光星のケフェウス座VW星(VW Cep)を観測したらどうか、とのアドバイスを受けました。さっそく望遠鏡を向けたところ、28cmにフォトダイオードの受光器でBV測光は力不足で諦め、改めてRI(赤・赤外)フィルターを購入して良好な光度曲線を得ることができました。この観測結果が私にとっての最初の研究論文となりIBVSに発表しました。これ以降、SSP-3受光器で赤と赤外領域を中心に観測を継続することにしました。

ペルセウス座 γ 星(γ Per)の国際協同観測の呼びかけがケンブリッジ大学のグリフィンから提案されていることが1990年J A P O A夏の合宿で報告され、会として参加することになりました。この情報をもとに日本変光星研究会の所健氏にも観測依頼をしていたところ、所氏より食の開始が検出されたとの報告を受け、筆者と大島氏による確認のうえグリフィンに連絡しました。詳しい経緯はイギリスの天文雑誌アストロノミー・ナウ(1991年3月号)やスカイアンドテレスコープ(1991年6月号)の論文に述べられていますが、このように明るい食変光星の検出は300年ぶりで、アルゴルに次ぐものでしょう。

その後、オリオン座VV星(VV Ori)の赤と赤外領域での観測を2年間行い、その結果を持って1992年8月にアイルランドのダブリンで開催された国際天文学連合の国際会議に出席しました。多くの世界の研究者の雰囲気と直接触れ、また自分の研究成果を見て戴くことができ、今後の研究の大きな励みになりました。

観測装置について

- ・望遠鏡 28cmシュミットカセグレン式(セレストロン製)
焦点距離 = 2,800mm (F=10)
- ・赤道儀 ドイツ式(旭精光製 スカイルック型)
- ・測光器 SSP-3(フォトダイオード受光素子)アメリカOPTEC社製
フィルター BV(SSP-3付属) RI(別途購入)
- ・測光器の積分時間 1秒、10秒
- ・スケール(ゲイン) 1, 10, 100

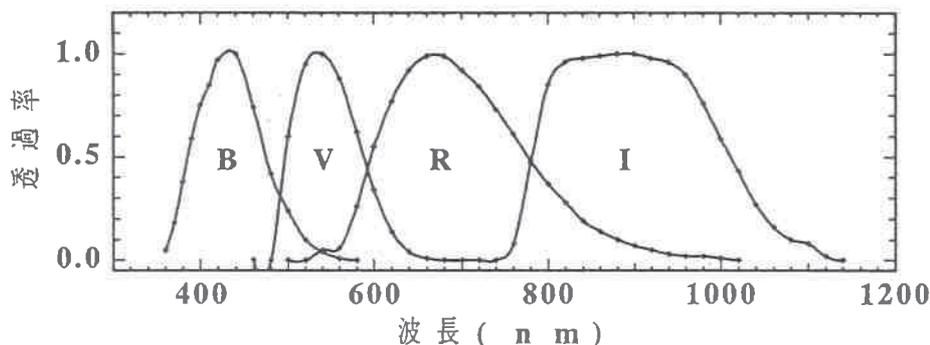


図3.9 SSP-3の分光感度曲線(測光器の説明書データより)

第3章 J A P O A 観測所紹介

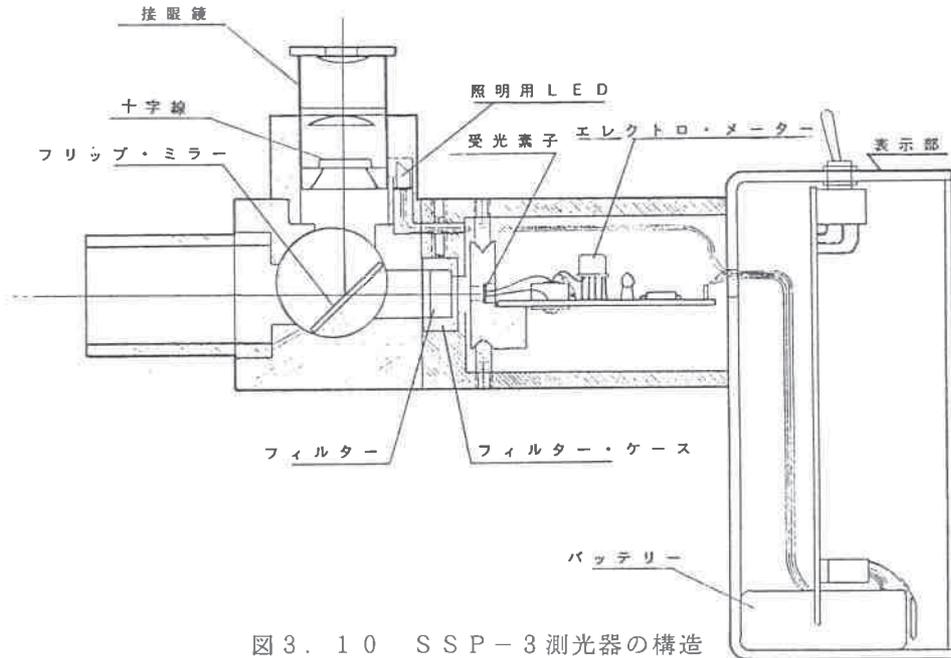


図3. 10 SSP-3 測光器の構造

観測の実際

実際の観測は10秒積分で行う。 γ Perのように明るい場合はゲイン(本器ではスケールという)を1に設定し、積分時間は変えない。ゲイン10の場合、赤と赤外領域で8等級程度まで観測できる。SSP-3の出力は10kHzフルスケールであり、等級差5等程度まではゲインの変更をしなくてすむ。また積分時間を1秒とするとデジタル表示を読み取る場合、シンチレーション等の影響を受けて読み取りにくい。

なおデータの読み取りは、全て測光器の表示器の4桁の数値を記録紙に書き写しているが、プリアンプからの周波数出力端子があるので今後直接コンピュータで読み取れるようにする予定である。

SSP-3を実際に使用してみると2色測光に制限されやすいことや、感度不足であることなどが不便でした。また星を導入するとき、吐く息が受光器の表面で結氷して輝いているのを横目に眺め、隙間のある表示用基板等の部分に不安を感じ、タオルを巻き付けながら観測をしているが、今のところ故障も無く動いている。肝心のダイアフラムからプリアンプ部は気密構造になっているので心配無さそうである。ただ、BVフィルターを夏の間放置しておいたら変質してしまった。観測後、測光器は乾燥を保つべきである。さらにフィルター容器がアルミのスライド式のため、フィルター交換でスライドをする度にアルミの粉が発生し、フィルター表面に付着することがあり、時々ブロワーで吹き飛ばしている。

ほとんど同じ外観でR1414型光電子増倍管を使った測光器SSP-5も発売されており、おおぐま座W星(W UMa)を観測したところ非常に良好であった。価格的にはSSP-3の2倍程度になるが、28cm望遠鏡につけると、標準星観測で12等級程度まで観測

第1部 光電観測とJ A P O A

可能であることが分かった。光電子増倍管の型番を変えれば赤まで観測できるが、赤外領域は困難である。

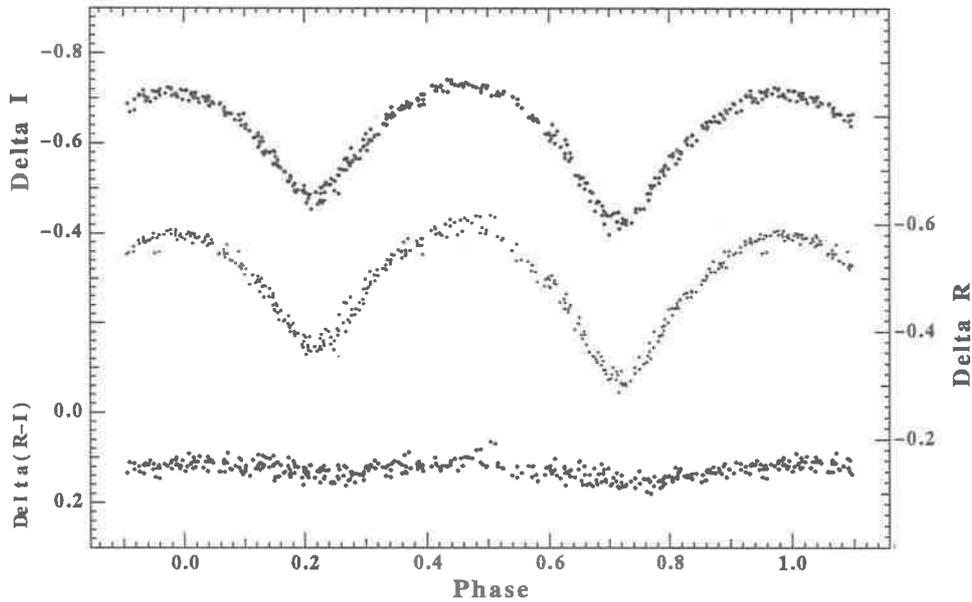


図3・11 VW Cepの光度曲線（赤・赤外）

なお、数年間自作に取り組んだ感想を申し上げます。自作の測光器で観測できれば喜びも光電子増倍管並みの増幅率と思いますが、実際に取り組むにはそれなりの予備知識（機械工作や高インピーダンス電子回路或いは高周波回路など）と時間が無ければ挫折し、天文から遠ざかる憂き目に遭う可能性もあります。

観測をしないでアマチュア天文学は成り立ちませんので、安価な市販品の測光器で光電観測を経験してから、自作に取り組んでも遅くはないと思います。

※ 他に、神奈川県教育センター観測所と、川崎市青少年科学館の観測所については第11章の『公共施設における光電観測』を参照してください。

第2部 光電観測に必要な装置

第4章 光電観測装置の概要

荒井 菊一（埼玉県立久喜北陽高等学校）

§4・1 観測システムの概要

光電観測システムは大きく光学系、電気系および赤道儀（機械系）に分けられる。図4・1は標準的な測光装置（1981:田中）である。現在はペンレコーダがパソコンに替っている場合が多い。この場合、観測データは全てリアルタイムで処理でき、空の変動や星の変光の様子もその場で確認することができる。ただし観測所の環境は気温や湿度など、コンピュータにとって極めて苛酷なことが多いので、観測データの記録方法を2重化（例えばペンレコの併用なども考えられる）するなどの配慮した方がよい。この点については第5章（大島）を熟読してほしい。実際、筆者のスライドーフ式観測所では、冬季の気温は氷点下5度以下まで下がることが屢々あり、望遠鏡や測光器が照明され、凝結した霜でキラキラ輝いていることがしばしばである。コンピュータシステムを採り入れることを考えるならドーム式観測所がベストであろう。光電子増倍管は極めて鋭敏な受光素子であり、受光器の接続部や鏡筒内の僅かな散乱光にも影響を受けることがあるので、観測システムに余計な光が当たらないように配慮したい。街灯などがあるときは遮光したり、受光器を遮光布で覆うなどの工夫すると良い。一般に光電観測システムは他の天体観測に比べてコード類が多い。足に引っ掛けて測光システムを破壊しないように配慮する。

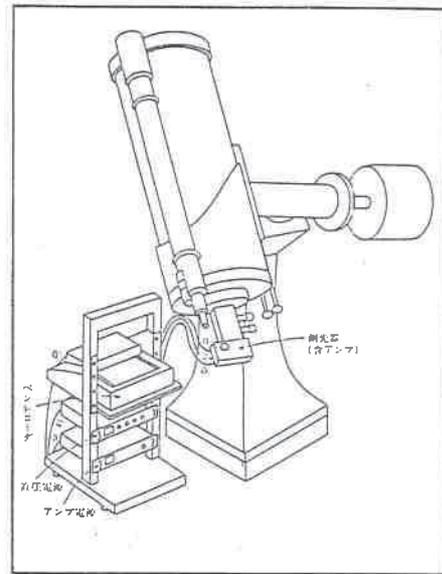


図4・1 観測システム全体
（田中済:光電観測ことはじめ(1981)より）

第2部 光電観測の装置

§4・2 光学系

光電観測に必要な光学系は、天体写真や惑星観測の様な鏡面精度を要求しないが、透過の分光特性には注意を払う必要があるので、屈折系に較べて紫外線の透過率がすぐれ、大口径が安価で実現できるカセグレン式の反射系を推奨する。

口径比（F値）があまり小さいと星の明るさとバックグラウンドの空の明るさの比（信号・雑音比）を十分な大きさにすることが難しくなり、暗い星の観測が困難になったり、比較的明るい星でも、思ったほどの精度が得られない。市販の受光器のF値はおおむね10以上で設計されているものが多い。

屈折系でも観測は出来るが、レンズの紫外線透過率が良くないので、Uの観測は困難である。最近人気のあるシュミット・カセグレン系は価格の割に大口径かつコンパクトであり、適当な口径比を持っているので扱いやすいが、補正板による紫外線吸収が大きくUの観測には不向きである。

測光装置全体に言えることであるが、夜間の結露対策は万全にしておくべきである。レンズ表面や受光器内部での結露は観測そのものを不可能にする場合がある。特に電気系統への影響は極めて大きく、雑音の増加をはじめ、最悪の場合は高圧電流による感電事故に繋がることも予想される。

§4・3 赤道儀

受光器はカメラなどより重いので、光電観測用の赤道儀にはモータドライブと機械的強度が必要である。観測時には直径数mmのダイアフラムの中に数分間星を入れておかなければならないので追尾精度、ギアの遊びが問題になる。

また、ドイツ式はフォーク式にくらべて北の空の観測をしやすいが子午線附近でマウンの東西を切り替えなければならない。その時、光軸のずれや受光器が歪むことにより光電面に照射する光がわずかに変化する場合がある。

正確な目盛環やエンコーダ付きの赤道儀は天体の導入がしやすく、観測能率を著しく高める。

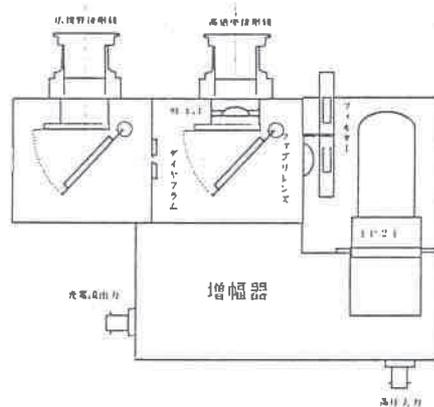


図4・2 受光器内部の例（阿部による）

§4・4 受光部

(1). 広視野鏡とダイアフラム確認鏡

広視野鏡は目的の星をダイアフラムに正しく導くためのものであり、出来るだけ視野の広い方が良い。

ダイアフラム確認鏡はダイアフラムの中心に星が確実に入っている事を確認するためのもので、倍率は高めにする。構造的には低倍率の顕微鏡である。

(2). ダイアフラム

ダイアフラムは、星の周囲の背景光の影響を少なくするための絞りであり、直径はできるだけ小さい方が好都合であるが、空のシンチレーションの大きさと望遠鏡のガイド精度で決まる。理想的には空のシンチレーションは小さいときで1"、通常3"、大きい時で10"以上になる。一般的には15"～20"程度の視野のダイアフラムで観測し、主鏡にガタやセッティングエラーがあるときはもっと大きくする必要がある。

焦点距離1mの望遠鏡で20"は直径0.1mmの大きさになり、製作が難しくなる。即ち、小望遠鏡では1'程度の視野のダイアフラムが使いやすい。数種類、ダイアフラムの大きさを自由に換えられるようにしておいて、空の条件によって変更できれば良いが、固定式でも充分実用的である。

ダイアフラム径dと視野の大きさDの関係は以下の式で与えられる。

$$D(\text{角秒}) = 206265 \times (D/f) \quad (4.1)$$

ただし、D：ダイアフラムの直径(mm)、f：対物鏡の焦点距離(mm)。

(3). ファブリーレンズ

ファブリーレンズは、主鏡の像を光電子増倍管の光電面に結ぶことにより、ダイアフラム内で星が少々動いても、つねに一樣な光を光電面に照射する働きをする。

これがないと、光電面は場所によって感度ムラがあるため、シンチレーション等で星が少しずれても光電面に照射する場所が変化するため安定した観測は望めない。

紫外線の透過率の良い石英レンズの使用を奨めるが、一般には薄い普通の光学ガラス(BK-7)でも可能である。

(4). フィルター

光電子増倍管とともに、観測波長領域を決定する重要な部品である。

実際に観測する波長領域はフィルター、光電子増倍管の分光感度特性、望遠鏡の光学的特性、大気吸収特性などによって決まる。

(5). 光電子増倍管

現在アマチュアが使用している光電素子には光電子増倍管、フォトダイオード及びCCDがある。分光感度、感度、速度などの点で現在のところ、光電子増倍管が使いやすい。光電子増倍管を購入する際には、使用目的が天体観測用であることを伝え、低暗電流、低ノイズのものを選択してもらおうと良い。さらに希望すれば試験成績表を添付してもらえらる。

第2部 光電観測の装置

光電子増倍管は地磁気をはじめ種々の磁気の影響を強く受けるので、パーマロイ磁気シールドを付けるべきである。

光電子増倍管は高圧電源が必要である。電圧を上げれば感度は上昇するが暗電流も急激に増加するので1P21型の場合-900ボルト程度が適当である。1%の測定精度を得るためには、電源電圧の変動を0.1%以下に押さえる必要がある。適当な高圧電源が無い場合は、積層電池を利用するのも良いだろう。しかし、くれぐれも絶縁処理と取り扱いには注意が必要である。

ここで、望遠鏡で集めた光が光電子増倍管の光電面に照射されるまでの光路と対物鏡、ダイアフラム、ファブリーレンズ及び光電面の位置関係を以下に示す。

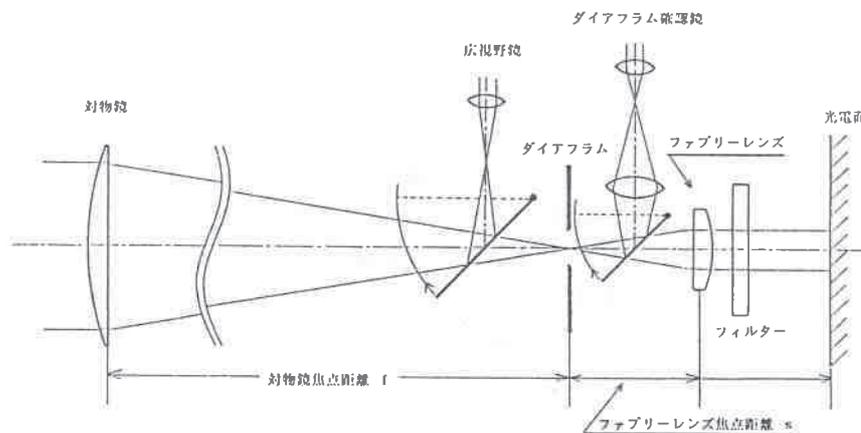


図4・3 測光システムの光学系

§4・5 自作にあたって

以下、1P21型の光電子増倍管を使った、口径30cm (F15)の望遠鏡用の受光器を自作する場合の留意点を示す。

- ・広視野鏡は、目的の星を同定しダイアフラムに導くのに適した倍率が必要である。普通は100倍程度が多く用いられているが、暗い星や背景光の影響を少なくするために、300倍程度まで使用している観測者もいる。
口径30cmの望遠鏡では主鏡の焦点距離が4500mmの場合は、焦点距離15mm~40mmの接眼レンズが観測条件に応じて交換できると便利である。視野には十字線を張り暗視野照明し、中心をダイアフラムに一致させる。
- ・ダイアフラム確認鏡は接眼レンズの前に、ダイアフラムに焦点を合せた凸レンズを置いて平行光線とし、さらに短焦点の凸レンズを置いて結像させる。それを接眼鏡で拡大する。こうすると接眼鏡を自由に交換でき、観測条件に合った倍率が得られる。色消しレンズであれば一番好ましいが、ダイアフラムの中央に星が入っているかどうかを確認するだけの役目なので単レンズでも充分である。
- ・フィルターの大きさは、光束は平行光線で入射するので、ファブリーレンズと同じ直径10mmあれば間に合う。

第4章 光電観測装置の外観

- ・ダイアフラムの大きさは式(4.1)より、視野20秒とした場合、焦点距離が4500mmだから、直径0.5mmとなる。理想的には、0.25mm(10秒)、0.5mm(20秒)、1.0mm(40秒)および2.0mm(80秒)の4種類用意して、シンチレーションの大きさによって使い分けしたほうが良い。
- ・ファブリーレンズの大きさは以下のように求める。

まず、ファブリーレンズの焦点距離 s は光電面に作られる主鏡像の大きさ d との間に、
$$s = F \cdot d \quad (4 \cdot 2)$$

の関係がある。ここで F は主鏡の口径比である。

例えば1P21の有効な光電面の大きさは5mm程度であるから、 $F = 15$ の望遠鏡では、 $s = 5 \times 15 = 75 \text{ mm}$

の焦点距離のファブリーレンズが必要である。

ファブリーレンズの直径は以下のようにより求める。

ダイアフラムとファブリーレンズの距離をファブリーレンズの焦点距離にすると、ファブリーレンズはコリメータレンズを兼ねる。

ここで、“ファブリーレンズの直径 = (ダイアフラムからの距離 / 主鏡の口径比) + (ダイアフラムの直径)” の関係があるので、ダイアフラムからの距離 = ファブリーレンズの焦点距離として求める。したがって、焦点距離75mmのファブリーレンズとダイアフラム直径を最大2mmとすると、ファブリーレンズの直径は、 $75/15 + 2.0 = 7.0 \text{ (mm)}$ となる。ゆとりをみて直径10mm程度になる。

受光器は、アルミニウム板などを利用すれば軽量化が図れ、1.5~2.0mm程度の厚さが工作しやすい。

自作にあたっての全体的な注意点を以下に列挙しよう。

- ・最初に自作するときは、出来るだけ簡素な設計を心掛ける。いろいろなオプションを付けようとするとうまく失敗しやすい。
- ・設計段階で充分検討をしておく。特にフィルターやファブリーレンズなど、入手困難な部品は必要な仕様のもので入手できるか確認をしておく必要がある。(段取り八分！)
- ・光電子増倍管の感度は極めて高いので、光洩れや迷光には充分配慮する。
- ・漏洩電流による雑音防止のため、光電子増倍管やプリアンプ周辺は気密にする。
- ・Uフィルターは経年変化で酸化しやすいので、シリコンコーティング加工したほうが良好である。加工を依頼する際、透過波長域と半値幅を確認しておく。
- ・ダイアフラムの製作にあたっては、バリがあると光が散乱するので好ましくないのでナイフエッジ仕上にする。
- ・ダイアフラム照明が無いと星がダイアフラムの中心に入っているかどうか判断できない。もちろん照明光が光電面に照射しないように、例えば測定中は消灯するなど充分な配慮が必要である。
- ・広視野鏡、ダイアフラム確認鏡はXY方向に可動式にすると光軸合せが容易になる。
- ・望遠鏡との接続部には大きな力がかかるので、歪まないように特に強固に作る。

第2部 光電観測の装置

- ・暗闇で使用するので、ツマミ類は大きめのものにするか、確認が容易に確実にできるように工夫する。発光ダイオードを利用すると便利である。
- ・コード類は受光器に無理な力がかからないように配置する。特に観測中にコード類は足に引っ掛けやすい。
- ・工作技術に自信が無い場合は、思い切って市販品を購入するほうが経済的である。

参考文献

田中 済、「光電観測ことはじめ」、「天文と気象」誌連載、1980年
4月号～1981年3月号

浜松ホトニクス

- ・カタログ「光電子増倍管と関連製品」
- ・カタログ「光電子増倍管用アクセサリー」

Henden, A. and Kaitchuck, R. (1990), *Astronomical Photometry*,
Willmann-Bell, Inc.

Hopkins, J. "Zen and the Photoelectric Photometry", 1990, HPO Desktop Publishing.

ペンレコーダ記録 vs デジタル記録

測光したデータのデジタル値をパソコンで読み取る方法を、ペンレコーダに記録する方法と比較したときに、次のような疑問が出されることがある。すなわち10秒とか20秒間の測光中に薄雲が通過したりしてデータの値がおかしくなることがある。

ペンレコーダならその間の変化が目でわかるので、その場ですぐ測定のやり直しができる。デジタル値だけを扱うときはこのようなことができないのではないかという疑問である。

この問題は、以下のようにしてペンレコーダ法と同様に解決できる。デジタル値に変換する時間を短くし（例えば0.1秒から1秒間毎に変換する）でデータを取るのである。

そして、

- (1). ディスプレー上にグラフィックスで表示する。または、
- (2). 平均値と標準偏差という統計量で表示(等級で表わすことも容易)する。

(1)の方法はペンレコーダによるモニターとまったく同一の効果が得られる。

筆者は(2)の方法を採っているが、慣れればこの方法で十分データの質を評価できる。

さらに、ジュネーブ統計と呼ばれているジュネーブ天文台で開発された統計処理を使えば、その統計量から、データが一方向に増減している、途中でフレアのような増光減光がある、波打っているなどの傾向を表わすことも可能である。

むしろ、観測後にペンレコーダの記録紙にもさしをあてて読み取り、データ処理のためにパソコンにキーボードから入力するのは大変な労力である。今日のように手近にパソコンが利用できる時代には、初めからデータを自動的にパソコンで読み取る方法を探るのが合理的であろう。

なお、予算に余裕があれば、デジタル方式の場合でもペンレコーダを併用し、モニターとして使用するのはいいことである。

(大島 修)

第5章 電子回路

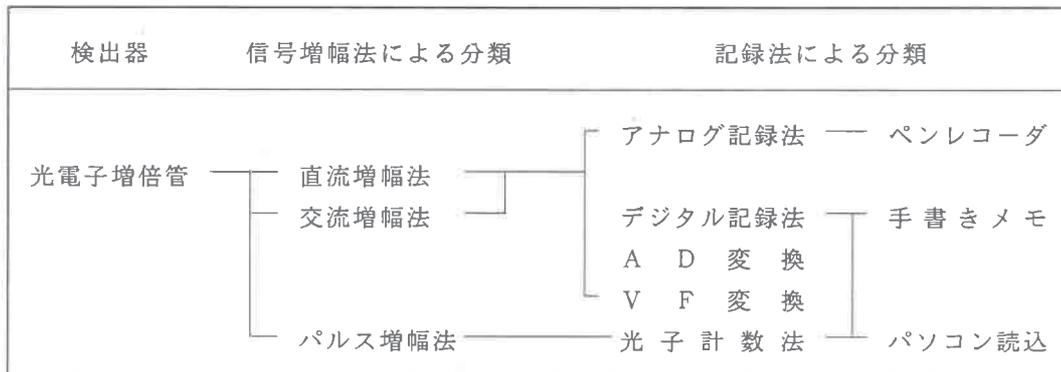
大島 修（美星天文台）

§ 5・1 光電子増倍管を使用した光電測光器のシステム

測光器は、天体の光を検出する検出器の種類によって、その周辺の電子回路は異なる。ここでは1次元検出器である光電子増倍管（略称フォトマルまたはPMT）を中心にした電子回路を取り上げる。

測光器の主なシステムを、表5・1に示す。大きく分けると、光電子増倍管と高圧電源、信号増幅・信号処理部、データ取得部になる。光電測光器の種類は、主に信号増幅・信号処理回路によって分類されていて、大きく直流増幅法と光子計数法に分けられる。それに合わせてデータ取得部や、場合によっては高圧電源の種類も異なってくる。

表5. 1 光電測光器のシステムの分類



§ 5・2 光電子増倍管の選定

ジョンソンとモーガンが開拓した標準UBVシステムは、光電子増倍管にRCA社の1P21を使用していた。これに近い特性と同じピン配列を持ったものが、浜松ホトニクスから同じ1P21という型番で入手できる。ただし、この球は最も初期に開発されたものであるので量子効率（入射光子の何%を電子に変換できるか）が、最高感度波長で14%とやや低い。最近のバイアルカリ光電陰極をもった球は、特に青色域でその約2倍の量子効率を持っている。これを使えば約1.4倍の口径を持った望遠鏡を使用したのと同じ結果が得られるので、簡単に大きな口径の望遠鏡を入手できないアマチュアにとっては好都合である。ここでは光子計数法を前提とし、1P21に近い分光特性をもったバイアルカリタイプである浜松ホトニクスのR647-04を推奨する。

第2部 光電観測の装置

光電子増倍管のメーカーは、国内では、浜松ホトニクスが有名で、世界的にも定評がある。外国製では、EMIとRCAなどがよく使われている。いずれにしても、自作するときは、詳しいカタログと関連する技術資料をメーカーに請求してよく研究することが大切である。個人が1本だけ購入するときでも、臆せず不明なことはメーカーに相談してみるとよい。

§5・3 高圧電源とその周辺回路

a) 高圧電源

光電子増倍管は、10段前後あるダイノードにそれぞれ電圧を供給する必要がある。そのために、約1000V近い直流高圧電源が必要となる。高圧電源の安定度は特に重要である。例えば光電子増倍管の増幅段が10段あるときには、高圧電源変動率の約10倍が光電子増倍管の出力に現われるからである。安定度を表わす量としては、入力変動率、負荷変動率、リップル、温度係数、ドリフトなどがある。測光精度を0.1%に抑えようとするとき、これらの変動率は総合して0.01%以内でなければならない。特に、信号増幅法に直流増幅法を採用するときは、直接測光精度に影響を与える。光子計数法の場合は、直流法ほど高圧電源の変動に敏感ではない。電流容量はあまり必要でなく0.1mAから数mA程度である。

高圧電源の種類は、主に

- (1) バッテリー駆動 積層電池をさらに直列にして使用する方法、
- (2) シリズ電源 商用電源 AC100Vをトランスで昇圧した後整流し定電圧化するタイプ、
- (3) DC-DCコンバータタイプ 10V程度の直流を比較的高い周波数で発振させてこれを小型トランスで昇圧した後に整流・定電圧化するタイプ

の3種類に分けられる。

このうち最も安価で小型軽量なものは、DC-DCコンバータタイプのもので、浜松ホトニクスや松定プレジジョンから購入できる。光電子増倍管の分圧抵抗に流れる電流が0.5mA以下なら十分な安定度が得られる。JAPOAでも筆者や伊藤芳春は、浜松ホトニクスのC1309-04を長年に渡って使用してきた実績がある。

b) 分圧抵抗

高圧電源から、10段前後ある光電子増倍管のダイノードにそれぞれ電圧を供給するために分圧抵抗を使う。各ダイノード間を橋渡しするように抵抗を直列につなぎ、その電圧降下を利用してダイノードに所定の電圧を与える。各ダイノードに与える電圧の比は、個々の光電子増倍管の技術資料に示されている。直流法の場合は、すべて等しい抵抗値でよいことが多い。光子計数法の場合は、特に、初段と第2段目に電圧が高めにかかるようにするとS/N比が良くなる。最終の2段には、抵抗と並列に0.01 μ Fで耐圧250V程度のセラミックコンデンサーをつないでおくと、入射光が強いときにも直線性が悪化せずすむ。

また、直列にした抵抗値が、電源の定格容量以下の電流を与えるように計算する。DC-DCコンバータタイプの高圧電源と分圧抵抗を光子計数法用R647-04光電子増倍管

第5章 電子回路

に使用した例を図5・1に示す。

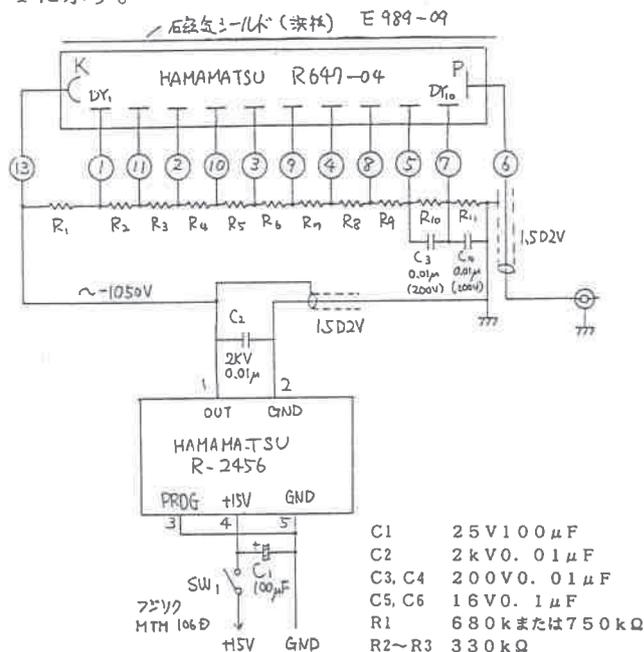


図5・1 高圧電源と分圧抵抗

§5・4 直流増幅法

a) 原理

この方法は、微小電流を直流アンプを使って増幅する。直流増幅法の立場で見ると、一定の光が当たっている光電子増倍管は、定電流源とみなせる。この微小な電流 (1 nA) を電圧に変換し、測定できる電圧にまで増幅する。

回路としては、電流-電圧変換回路であり、原理的には、1個のオペアンプ (演算増幅器) IC と抵抗1本で実現できる。(図5・2)

オペアンプは、2つの入力ピンの電圧が常に等しくなるように (バーチャル・ショート) 出力電圧を変化させる働きをもっている。図のように出力から帰還抵抗を介して反転入力にフィードバックをかけ、正転入力をグラウンドに落とすと、電流入力を電圧出力に変換する回路になる。つまり、常に入力電流を打ち消すために、帰還抵抗から反対の極性を持った電流を流しこむように出力電圧が生じる。

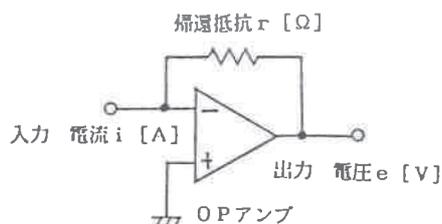


図5・2 直流増幅器
オペアンプを使った
電流電圧変換回路

設計の基本は、帰還抵抗の値を決めることである。それに必要な知識は、オームの法則

第2部 光電観測の装置

だけである。回路に入力される電流を i [A]、使用する抵抗値を r [Ω] とすると、得られる出力電圧 e [V] は、次式のオームの法則であらわされる。

$$e = i \cdot r \quad (5 \cdot 1)$$

実際に星の光を光電子増倍管に当てたときに得られる電流は、典型的な値として $1 \text{ nA} \sim 10 \mu\text{A}$ 程度である。したがって、光電子増倍管のダイナミックレンジは 10^4 = 等級差で10等程度であると言える。この電流を増幅して、測定可能な電圧として 10 mV (ペンレコーダの入力フルスケール) を得たいとすると、必要な抵抗値 r は、 $r = e/i$ より、

$$\begin{aligned} \text{最大} & \quad 10^{-2} \text{ [V]} / 10^{-9} \text{ [A]} = 10^7 \text{ [\Omega]} \\ \text{最小} & \quad 10^{-2} \text{ [V]} / 10^{-5} \text{ [A]} = 10^3 \text{ [\Omega]} \end{aligned}$$

となる。この範囲で抵抗値を可変できれば、ダイナミックレンジの狭いペンレコーダを使っても10等級の範囲を測定することが可能になる。もっとも、後で述べるようなダイナミックレンジの広いVF (電圧-周波数) 変換回路を使えば、抵抗値を1種類とすることも可能である。

なお、回路図には表わし難いが、実装に当たって注意すべきことは次の4点である。

- (1) オペアンプICの+と-の2本の電源ピンのすぐ近くに、発振防止用のバイパスコンデンサー ($0.1 \mu\text{F}$ のセラミックコンデンサー) を入れる。(図5・3 a)
- (2) 微小電流を扱う場合の常識として、入力部はガードリング付きのテフロン端子を使用する。(図5・3 b)
- (3) 直流増幅回路の常識として、1点アースを心がける。
- (4) オフセット調節を可能にする。(図5・3 c)

これらのノウハウについては、岡村迪夫著「定本・OPアンプ回路の設計」(CQ出版社)を熟読されたい。必ずハンダゴテを握り、実際に実験しながら読むことをお勧めする(これは物理の教科書を読む場合、必ず紙と鉛筆で式を解きながら読むのが常識であるのと同じです)。

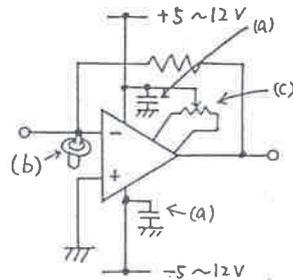


図5・3

微小電流増幅回路実装のノウハウ

- a) バイパスコンデンサー
- b) ガードリング付テフロン端子
- c) オフセット調節トリマー

使用するICは高精度であるが、1個200円以下で入手できるので、1個くらいは実験でつぶすつもりで予備も含めて購入しておくのと良い。また、電子回路工作に一般的な知識

第5章 電子回路

と技術は、白土義男著「IC利用工作のノウハウ」（日本放送出版協会）で得ると良い。地方在住で、電子部品の入手が困難な人は、月刊雑誌「トランジスタ技術」（CQ出版社）を1冊買い、後半の広告を見て通信販売を利用するとよい。

次に、後続の信号処理・データ取得法に対応した実際の回路を3種類述べるが、これから直流増幅法で自作を試みるようという人には、高精度が得られやすくダイナミックレンジが広い、つまりゲイン（利得）切り替えの不要なVF変換方式をお薦めする。

b) ペンレコーダ記録に対応した直流増幅回路

ペンレコーダのダイナミックレンジは非常に狭い。記録用紙の幅を250mmとして、記録された線の位置を仮に0.2mmの精度で読み取り可能としても、ダイナミックレンジは、 $250/0.2=1250=約10^3$ である。

今、明るい星と暗い星の等級差を求める場合、暗い星を記録用紙の上で1%の精度で測定するには少なくとも20mmの振れ幅が必要である。また明るい星としては最大250mmの振れまでしか記録できないので、 $250/20=12.5倍=約2.7等級差$ までの星しか1%の精度では測定できないことがわかる。（実際には、機械的ヒステリシスなどの誤差と空のレベルが嵩上げされることを考えれば、1%精度では1等級程度の比較しかできないことになるであろう）AD変換器を利用する場合は、12ビットのAD変換器の場合、ダイナミックレンジは $2^{12}=約4000$ であるから、同様にして40倍=約4等級の差まで測定できることがわかる。

光電子増倍管自体のダイナミックレンジは、10000倍以上あるので、それを生かすには、ペンレコーダやAD変換器を利用して測定する場合、アンプのゲインを切り替えて対応することになる。特にペンレコーダを利用する場合、ゲインの設定は少なくとも1等級=2.512倍刻みで11段階程度設ける必要がある。

ゲイン切り替えは、11段のロータリースイッチで絶縁物にはステアタイト（セラミック）またはテフロンを使用したものが適当である。このようなものは、秋葉原でもなかなか店先では見つからない。章末に入手先を掲げる。

使用する抵抗は、金属皮膜抵抗（通称、金皮抵抗）が精度・温度特性・雑音の面で、カーボン抵抗よりも優れている。抵抗値は中途半端な数字であるので、特注してもよいが、高価な割に指定値に対する精度は上がらない（もっとも、較正を正確に行えば測定には影響しない）。それよりも、田中済（1980）のやり方を参考にして、表5・2のような組み合わせが最も経済的であろう。これで10等級の範囲にわたって測定が可能になる。

表5・2で、誤差のやや多い第5、第10段目の抵抗は、1%精度の同一抵抗値のものを10本程度購入し、精度の良いデジタルテスターで測定しながら、理論値にできるだけ近い累積値になるようなものを選んで使用すれば、ずっと誤差は少なくなる。なお、抵抗の入手先は、章末に紹介する。このようにしてつくったゲイン切り替えスイッチは、十分信頼が置けるはずである。しかし、最終的には星の光を入れてみて較正する必要がある。

実際の回路図を図5・4に示す。a)は阿部が10年以上使用しており、b)は伊藤（1985）が自作し、それぞれ長年の観測を高精度に行ってきた実績のある回路である。

第2部 光電観測の装置

表5・2 ゲイン設定用抵抗の組み合わせ

段	希望抵抗値 (単位: Ω)	抵抗の組み合わせ (精度0.5%)+(精度1%)	累積	理論値	誤差 (%)
0	0	0	0	0	0
1	1 K	1 K	1 K	1 K	- 0.000
2	1.5119 K	1.5 K + 12	2.512 K	2.5119 K	- 0.004
3	3.7977 K	3.6 K + 200	6.312 K	6.3096 K	+ 0.004
4	9.5396 K	9.1 K + 430	15.842 K	15.849 K	- 0.045
5	23.962 K	24 K(*)	39.842 K	39.811 K	+ 0.076
6	60.189 K	30 K+30K+ 180	100.022 K	100 K	+ 0.022
7	151.19 K	150 K + 1.2 K	251.222 K	251.19 K	+ 0.012
8	379.77 K	360 K + 20 K	631.222 K	630.96 K	+ 0.042
9	953.96 K	910 K + 43 K	1584.222 K	1584.9 K	- 0.043
10	2.3962 M	2.4 M(*)	3984.222 K	3981.1 K	+ 0.078
11	6.0189 M	5.1 M + 910 K	9994.222 K	10000 K	- 0.058

(*)印は1%精度でよい

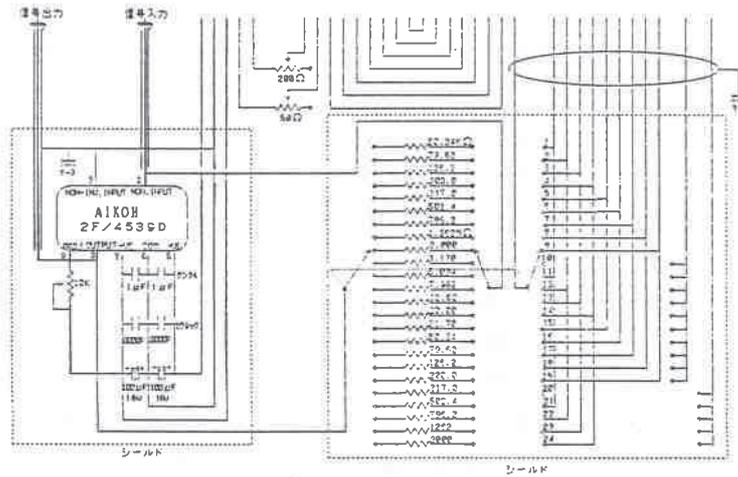


図5.4(a) 直流増幅法の回路例 (阿部正)

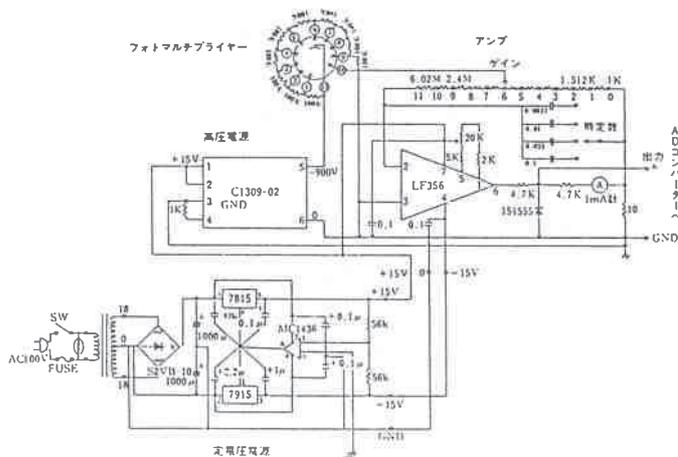


図5.4(b) 直流増幅法の回路例 (伊藤芳春)

第5章 電子回路

c) ADコンバータを利用した直流増幅法

ペンレコーダの代わりにADコンバータを利用してデータを直接パソコンに取り込むのもよい。ペンレコーダは、観測時の天候の変化を把握するモニターとして使用することをお薦めする。しかし、ペンレコーダをデータ収集のために使うことは賛成できない。観測後に、記録紙にもものさしをあてて読み取り、その値を記録し、それをパソコンのファイルに入力するという手間がかかるからである。また、入力ミスも十分考えられる。

そこでペンレコーダと並列に、あるいはその代わりに、ADコンバータを使用してデータ取得をパソコンで行えば、データは自動的にファイルに収まり、後の整約がスムーズに進むことになる。

ADコンバータには様々な種類があるが、光電観測用には変換精度は8ビットのもので十分である。変換方式は積分型のもを使用することが重要で、変換時間も数ミリ秒以上のできるだけゆっくりな物がよい。しかし、この仕様は通常の用途には性能が低すぎて適したものを見つけるのが困難である。東芝TC5090APが、その仕様を満たす数少ない素子であろう。以後、各種のIC類に触れるが、必ずそのメーカーのデータシートを参考にする。簡単には、CQ出版社から各種ICの規格表が出版されているのを利用すればよいが、それだけでは不十分なことも多い。規格表に載っているメーカーの問い合わせ先に、購入したIC型番のデータシートが欲しい旨電話すればコピーを送ってくれることが多い。

AD変換精度が8ビットでよい理由は、以下の通りである。光電子増倍管の出力には各種のノイズが含まれていることが幸いし（ディザを加えることになる）、測定を多数回くり返し平均すればそれに応じて精度が向上するからである。例えば、5ミリ秒の変換時間の8ビットADコンバータを使用し、20秒間（シンチレーションの影響を除くにはどうしてもこの程度の時間が必要である）測定し続ければ、測定回数は $20/0.05=4000$ 回となる。誤差は測定回数の平方根に反比例するから、約 $1/63$ となる。8ビットの精度は $1/256$ であるから結局、 $1/256 \times 1/63 = 1/16190$ という十分な精度が得られることになる。もし、ノイズが含まれなければ、何回測定しても同じ数値しか得られず、従って8ビットの精度のままである。

データ取得用のパソコンプログラムは、変換終了の信号を監視して、5ミリ秒でデータを取り込まなければならないのでCPUは少し忙しいことになる。

以上のように、ADコンバータを使用したデータ収集システムを自作することは、そんなに難しいものではないが、特にゲイン設定用のスイッチのところに随分手間と経費をかけることになる。またこの方法では最適なAD変換用ICの選択や、CPUを高速で使い続けるプログラムを書くことなどを考慮すると、データ収集には、次のVF変換を利用した方法を積極的にお薦めする。もちろん、すでにパソコンのAD変換ボードを持っているという人には、プログラムさえ書けばすぐに使えるのでこの方法は良いやり方の1つであろう。

第2部 光電観測の装置

d) V F 変換による回路

この方法は、直流アンプの後段にV F 変換回路をつけ、入力電圧に比例した数のパルスを発生させ、それをカウンターで一定時間積分するというものである。J A P O A では、阿部正（1988）の製作例があり、永年の間、安定に作動している実績がある。

ここでは、最近の I C 技術の発展を利用して、ゲイン切り替えなしで10等級という広い範囲をカバーするV F 変換回路を紹介しよう。光電子増倍管の出力の10 n A から1 μ A を、100 H z から1 M H z の周波数に変換するように直流アンプとV F 変換回路を設計すれば、光電子増倍管のダイナミックレンジをフルにカバーできるのである。図5・5に実例を示す。

V F 変換後の出力は、カウンターに入力すればよい。このカウンターには、後で述べるように、市販の周波数カウンターやユニバーサルカウンターが利用できる。デジタル表示を読み取りメモしてもよいが、できれば直接パソコンで読み取れば、正確に短時間でファイル化できる点でも有利である。

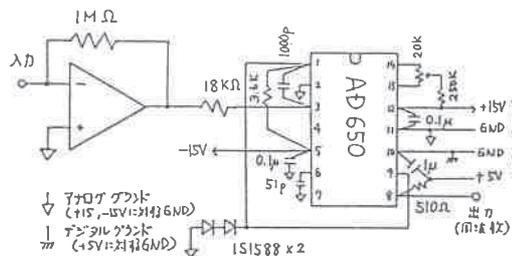


図5・5 ゲイン切り替えなしのV F 変換による直流増幅回路

§5・5 光子計数法 (Photon Counting Method)

光子計数法とは、光電子増倍管の出力を高周波広帯域のパルス増幅器で増幅し、入射した1個1個の光子に対応したパルス信号を取り出し、それをカウントする方法である。そしてカウンターの前段に、ノイズを切り落とすディスクリミネーター回路を入れるため、S/N比が良くなり、直流法よりも特に暗い星で測光精度が向上する。したがって小型望遠鏡で光電観測する際に適している。

反面、弱点の1つは、あまりに接近したパルスどうしは分離してカウントできないことである。これは、光電子増倍管・プリアンプ・カウンターには、1つのパルスを検出したその直後にやってくるパルスに反応できない短い時間（不感時間）があるためである。もし、2つ以上のパルスが、装置の不感時間より短い時間内に到達したら、これらのパルスは1つのパルスとして検出される。明るい光源からの光子は、暗い光源からのものより、平均的に接近した間隔でやってくる。従って、不感時間の長い装置ほど不正確である。

この方式を採用するときには、電子回路全体にわたって、できるだけ高周波広帯域の特性を持たせることが大切である。図5・6に、周波数特性の異なる2つのシステムの明るい方での直線性のずれを実例で示す。改良された回路では、補正を加えれば、口径20cmの望遠鏡で0等星まで測光できるので、十分な性能であることがわかる。

第5章 電子回路

この方式の回路を設計製作するに当たってもっとも重要な要素は、高速性と対ノイズ性である。ナノ秒程度のパルスを増幅する広帯域パルスアンプと、それを弁別する高速コンパレータ回路を実現することであるが、今日では高性能なICが入手できるので、それぞれに適切なICを選べば設計は簡単である。

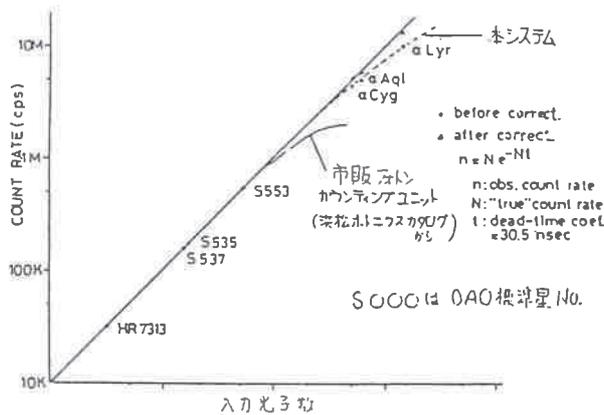


図5・6 光子計数型測光器の
数え落とし特性の2例

a) 光電子増倍管・パルスアンプ部

フォトンカウンターの回路をブロック図で表したのが図5・7である。光電子増倍管の光電面（カソード）に入った光子は、光電効果により一定の確率で電子をたたき出す（この確率を量子効率という）。この電子は、約100V程度の電位差を持った第1電極（ダイノード）に引き寄せられ衝突する。そして2次電子を一定の割合で複数個放出する。それらの電子が、さらに第2ダイノードに衝突し3次電子を放出する。こうして10段前後のダイノードにより、はじめは1個であった電子が最終段ではおよそ100万個ほどの電子の集団に増倍され陽極（アノード）から取りだされる。（図5・8）

この電子の集団は、ナノ秒程度の幅を持ったパルスであるから電流に直すと0.1mA程度である。これを100オームの負荷抵抗に入れてやれば、オームの法則から10mV程度の電圧パルスが得られることがわかる。さらに広帯域パルスアンプで電圧を100倍に増幅すれば1V程度の高さを持ったパルスを得ることができる。このパルスアンプの帯域は150MHz以上のものが欲しいところである。図5・9の例は170MHzの帯域を持つビデオアンプを使用している。これは、衛星放送用に開発された高周波技術を利用したもので、こういった民生用部品は、大量生産のおかげで高性能なものがずいぶん安価に入手できる。

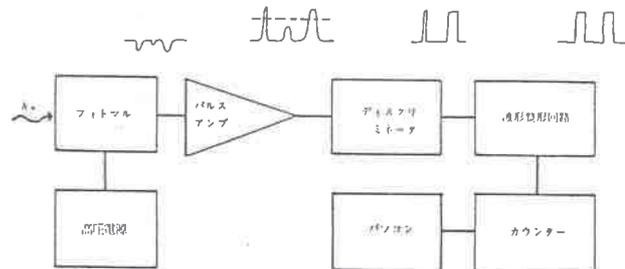


図5・7 光子計数方式のブロック図

第2部 光電観測の装置

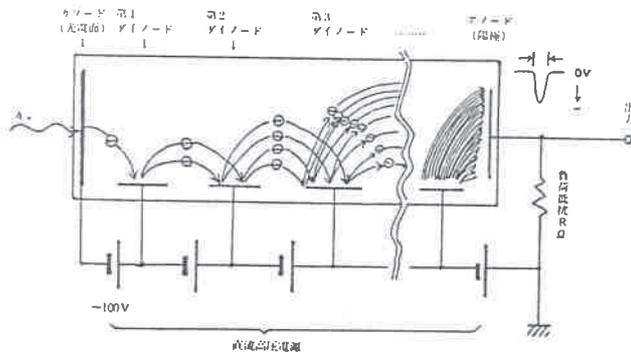


図5・8 光電子増倍管の原理

b) ディスクリミネーター部 (弁別器)

ここで考慮すべきことはノイズである。光子が入らなくても、熱運動により、ある確率で電極（光電面とカソード）から電子が飛び出すという現象がある。いったん飛び出した電子は、同様に増倍されるので、最終的に得られるパルスをもそのままカウントすれば、入射光子の数（に量子効率をかけたもの）と熱運動で飛び出した電子の数の両方をカウントしてしまうことになり、測定は不正確になってしまう。（図5・10 a）

それではまずいので、ノイズのパルスと光子によるパルスを何とか区別する方法をとる。熱電子の発生は、光電面よりも10段ほどもあるダイノードで起こることが多い。つまり、ノイズによるパルスは、増倍される段数が光子のパルスよりも少ないため、出力してくるパルスの高さは光子によるものも低いことになる。そこで、アンプとカウンターの間に、ディスクリミネータ（パルス波高弁別器、回路としてはコンパレータ）を入れ、あるしきい値より高いパルスだけを通すようにすると、熱電子によるパルスを切り落とすことができる。（図5・10 b）この工夫ができるために、光子計数法は、直流法に比べてS/N比を大幅に改善できる。

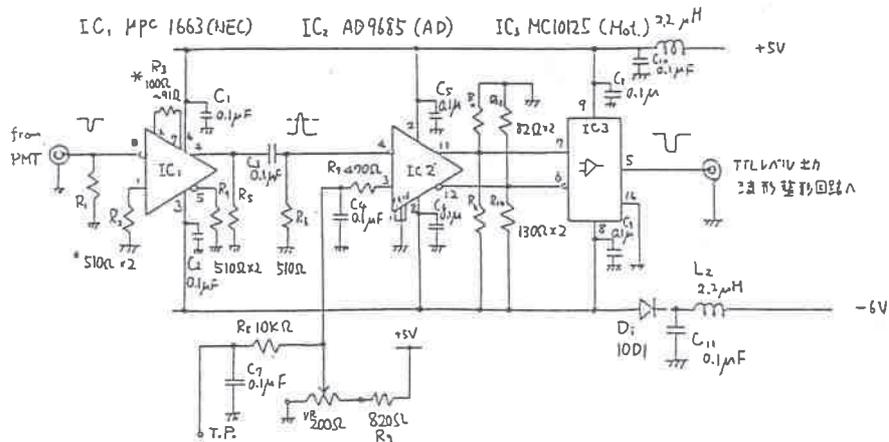


図5・9 パルスアンプ・ディスクリミネーター (大島 1988)

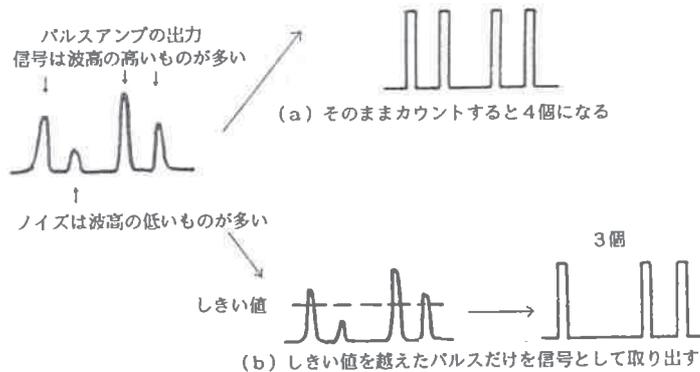


図5・10 ディスクリミネーターの働き (信号とノイズを切り分け、S/N比を改善する。)

ここでも大切なことは、ディスクリミネータとして使用するコンパレータの応答が高速でなければならないことである。ともすれば、パルスアンプの高速性ばかり気になりがちであるが、まったく同じ高速性がディスクリミネータにも要求される(大島・間瀬1987)。ECLという高速タイプのコンパレータを使用すべきである。例えば図5・9に示したAD9685等がよい。

c) 波形整形回路・カウンタ

こうして、ノイズを切り落としたパルスをカウンタに入力する。実際には、そのまま入力したのではパルス毎のパルス幅が一定せず、狭いものではカウンタが応答できずにカウントミスを起こすことがある。そこで、ワンショットマルチバイブレータ回路をカウンタの前段に波形整形回路として入れ、安定してカウントできる一定のパルス幅に直してから使う。図5・11にその実例を示す。

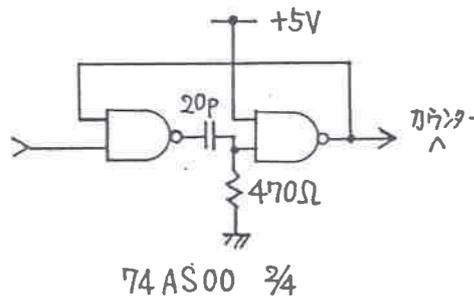


図5・11 波形整形回路
不揃いなパルス幅を約10ナノ秒幅のパルスにそろえる。

次段に使用するカウンタは、100MHz以上の帯域を持った物がよい。例えば、TTLの74F161という4ビットカウンタICを初段に使用する。その後続くカウンタは周波数が低くなるので、たいていのICが使用できる。

第2部 光電観測の装置

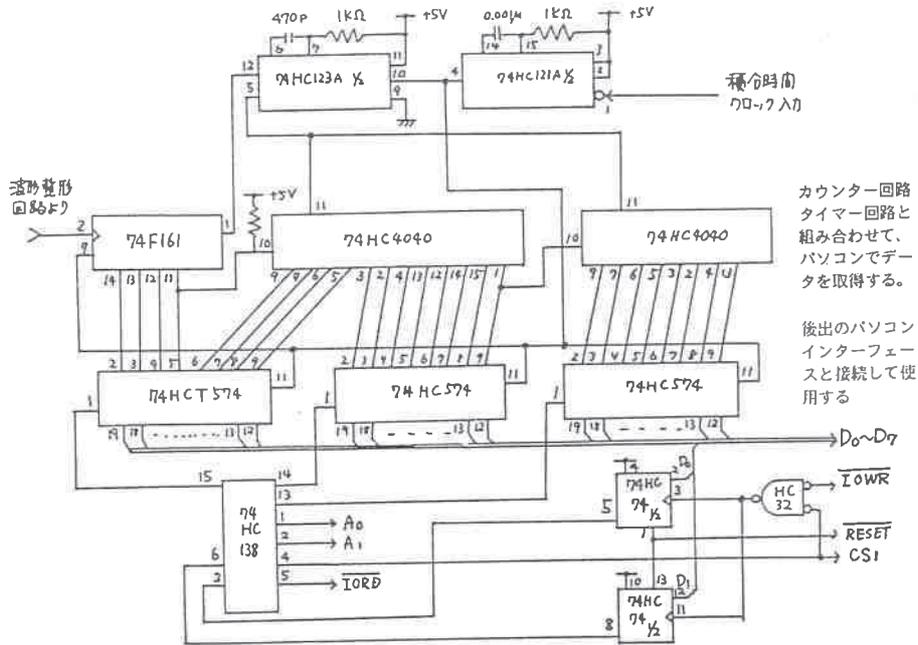


図5・12 カウンター回路

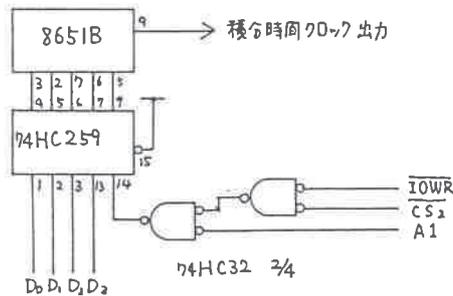


図5・13 タイマー回路
積分時間をコントロールする。
パソコンのバスに接続して使用する。

カウンターは、積分時間の間だけゲートが開かれ、積分終了後はゲートを閉じる。そして、速やかにカウンターはリセットされ、再びカウントを開始する必要がある。図5・12と図5・13は、カウンター及びゲートコントロールタイマー回路の例である。

d) 実際の回路を組むに当たって

回路図は比較的簡単でも、このような高周波回路は、発振し易くノイズを拾いやすいので、実装の面ではアナログ回路の中でも最も難しい部類に入る。実装のポイントとしては、回路を組む基板は両面基板を用い、部品を取り付ける側の面は全面アース面(ground plane)にし、部品の足の回りの銅箔を1ピン毎に最小限に切り取る。配線パターンは、裏面だけで処理する。電源ラインも、発振防止のためにインダクターやフェライトビーズ、場合によっては10オーム程度の低抵抗を直列に入れたりする。ICの電源ピンにはセラミックコンデンサーを最短距離でグランドと結びデカップリングを施す。ノイズに強く発振しない

第5章 電子回路

ように実装された高周波回路は、見た目にもしっかり固定されていて、部品がブラブラしていないという印象を受けるものである。

回路のテストに使用するオシロスコープは、200MHz以上の帯域を持つものが望ましい。筆者の場合は、秋葉原で程度の良い中古品を安く入手し使用した。

e) ディスクリミネーターのレベル調整

ディスクリミネーターのレベル（以下、ディスクリ・レベルと略称する）は、ノイズと信号をうまく切りわけできる電圧にセットされなければならないが、そのレベルは、測光装置によってさまざまであるので、1台1台について調整する必要がある。光電子増倍管の種類で異なるし、同じ型番のものでも、1本1本個性がある。また高圧電源の電圧、パルスアプの増幅率と帯域によっても大きく変わる。

最適なディスクリ・レベルを求めるには、パルスアンプからの出力のパルス波高分布（またはPHD）を調べる必要がある。それには、十分な光量を持った比較的安定な光源が必要である。その光源には、外光の入らない照明された室内の壁がよい。昼間の外光は、日光が雲に遮られたりして変動が激しいため不適当である。光源の安定度は適度でよく、蛍光灯でよい。望遠鏡からはずした測光器を壁に向け、観測時によく使用するダイアフラム選択する。高圧電源を入れ、光を光電子増倍管にあてる。10万カウント/秒程度のカウント数程度が適当である。そのままディスクリ・レベルを変化させ、その時のディスクリ電圧とカウント数の変化の様子を記録する。そして、ノイズと信号の境目が最もはっきりしているところに半固定抵抗をセットするのである。具体的には3つほど方法がある。

(1). 最初の方法は、全手動で、ディスクリ・レベル設定用の半固定抵抗を手でゆっくり変化させながら、その時のディスクリ電圧と出力カウント数をメモしてゆく。

これは根気が要る作業で、できれば以下に紹介する方法を推奨する。どちらも、カウンター出力をDA変換する必要がある。このDA変換は、パソコンから出力できるようにしておく。観測時のモニターとして利用できるもので何かと便利である。

(2). XYレコーダーを借りるなどして、X入力にディスクリ電圧を、Y入力に出力カウントをDA変換した電圧を加える。後は、カウンターの積分時間を0.1秒程度にセットし、ディスクリ調節の半固定抵抗を変化させると、自動的にグラフが得られる。

以上の2つの方法とも、得られるグラフの例を図5・14に示す。最も変化の少ないところが設定すべきディスクリ・レベルである。

(3). 最も推奨できるのが、パソコンによる自動計測である。DA出力をディスクリレベルに接続する。（ディスクリ・レベルは、スイッチかジャンパーピンで、半固定抵抗とDA入力を選択できるようにしておく。）そのDA出力は、適度なフルスケールになるように分圧抵抗など使用してセットしておく。あとは、DA出力を変えながら、カウンターのデータを取得してゆくようにプログラムを組む。それをグラフィックスで描けばよい。さらに、それを微分したグラフにすると、これがPHD特性であり、一目で最適なディスクリレベルがわかる。

XYプロッターによるグラフは、そのディスクリレベル以上のパルスの総数。PH

第2部 光電観測の装置

Dと記した曲線は、差分をとったもの。矢印が設定すべきディスクリミネーターのレベルである。

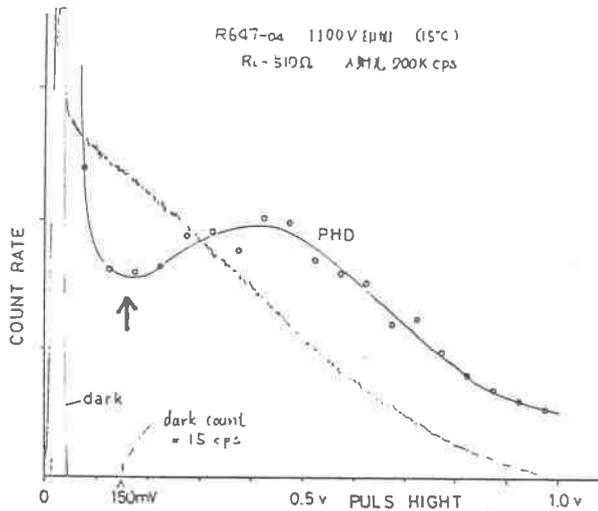


図5・14
光電子増倍管のパルス波高分布
(PHD特性)

§5・6 データ取得の方法

データは、後の膨大な処理を考えると観測時からデジタル量でパソコンのファイルに取り込むのがよい。もちろん、パソコンを一切使用せずに、ペンレコーダーに記録してもよいし、A/D・V/F変換した値や光子計数法で得た値を手で書き写す方法もある。しかし、これらはいずれパソコンで処理せざるを得ないから、始めからパソコンに入力することを考えたほうがよい。単にデータをキーボードから入力することから省力される以上に、人間の手を介さないでデータを扱う最大のメリットは、ミスを侵さないですむことであろう。

パソコンによるデータ取得のハードウェアには、インターフェースの考え方により、次以下のような方法がある。

- a) RS-232CやGP-IBなどの標準インターフェースを利用する
- b) パソコン拡張スロットに挿入するボードを使用する

さらに、両者の中間的方法として、

- c) どのパソコンでも装備されているプリンターポートを利用する方法もある。

a) 標準インターフェースを利用する方法

装置からパソコンに信号を入力する標準インターフェースには、RS-232C、GP-IB、SCSIなどがある。これらは標準化された手法であり、ハード的にはパソコンの機種に依存しないという利点がある。反面、測光装置(測光器のコントローラー)の側を、それらの通信手順に対応できるようにCPUを搭載し、ソフトをROM化しインテリジェント化しなければならないため、自作は難しくなる。また、RS-232Cは、シリアル通信であるため通信速度に限界がある。これまで国内の標準的なパソコンであったNECのPC9801シリーズでは、ボーレートが9600bpsであるために、掩蔽のデータをリアルタイムで1/1000秒毎に得ようとする、8ビットが限界ということになる。しか

第5章 電子回路

し、速度の点を除けば、メーカー製の測光器に、この方法を使用するのはよいことである。そして、制御ソフトのソースと共に、コマンドとパラメーターを公開しておけば、ユーザーが使い勝手の良いソフトへと改良していくことが可能になる。

自作する場合は、測光装置はV F変換か光子計数法にし、そのカウンター部に市販のGB-I Bインターフェース付きの周波数カウンターまたはユニバーサルカウンターを利用するのも1つの考え方である。ケンウッド、アドバンテスト、ソニーテクトロニクス、横河電気などのカタログで適したものを見つけるとよい。

b) パソコンの拡張バスを利用する方法

この方法は測光装置をパソコンのI/Oに直接接続してコントロールとデータ取得を行うのであるから、ハードウェアは非常に高速に動作する。データ取得の速度は主にソフトウェアの速さで制限される。CPUに486を使用しているパソコンは、例えばBASICで組んだソフトでも、1/1000秒毎のデータを取り落としなく取得できるようである。遅いパソコンでは、掩蔽観測専用ソフトにC言語やアセンブラを使用すればよい。筆者の例では、アセンブラを使用すれば4MHzの8ビットという初期のパソコンでも1/1000秒のデータ取り込みにも余裕をもって対応していた。何より、装置側のインターフェースは簡単でよいので、少しマイコンのバスについて勉強すれば自作も容易である。ただし、この方法は、パソコンの機種に依存するので、a)の方法ほどには汎用性がない。

この方法のいくつかの例を次に述べる。

1番目の例は、直流増幅法と市販のAD変換ボードを組み合わせる方法である。この場合の注意点は、AD変換に積分法を使用した変換速度ができるだけ低速のものを求めると精度がよくなる。

2番目の例としては、V F変換法、または光子計数法の波形整形後のカウンターとして適した方法で、市販のパソコン拡張スロット用の周波数カウンターやユニバーサルカウンターを組み合わせる方法である。これらの市販ボードは、いろいろなメーカーから多様な物が出まわっているので、月刊「トランジスター技術」誌の大部の広告の中から選び、カタログを取り寄せ検討するのが良いであろう。

3番目は、使用する測光器や使用目的に最適化された回路を自作することである。手間がかかるが、費用の点で最も安価で自分好みの物が手に入るという利点がある。標準ロジックICに含まれているカウンターICを使用してもよい。例として既出のカウンター回路用のインターフェース回路を図5.15に示す。

また、8253というマイコンのバスに直結できるLSIを使用することもできる。このLSIには3つの16ビットカウンターが含まれているが、その内2個を直列にして(OUT0をCLK1に配線する)32ビットカウンターになる。残り1個はゲート時間のコントロールに利用できる。接続やプログラムの組み方などの詳細は、LSIのデータシートを参考するのがよい。このLSIは、オリジナルはインテルで、セカンドソースはNEC、三菱など豊富にそろっている。

第2部 光電観測の装置

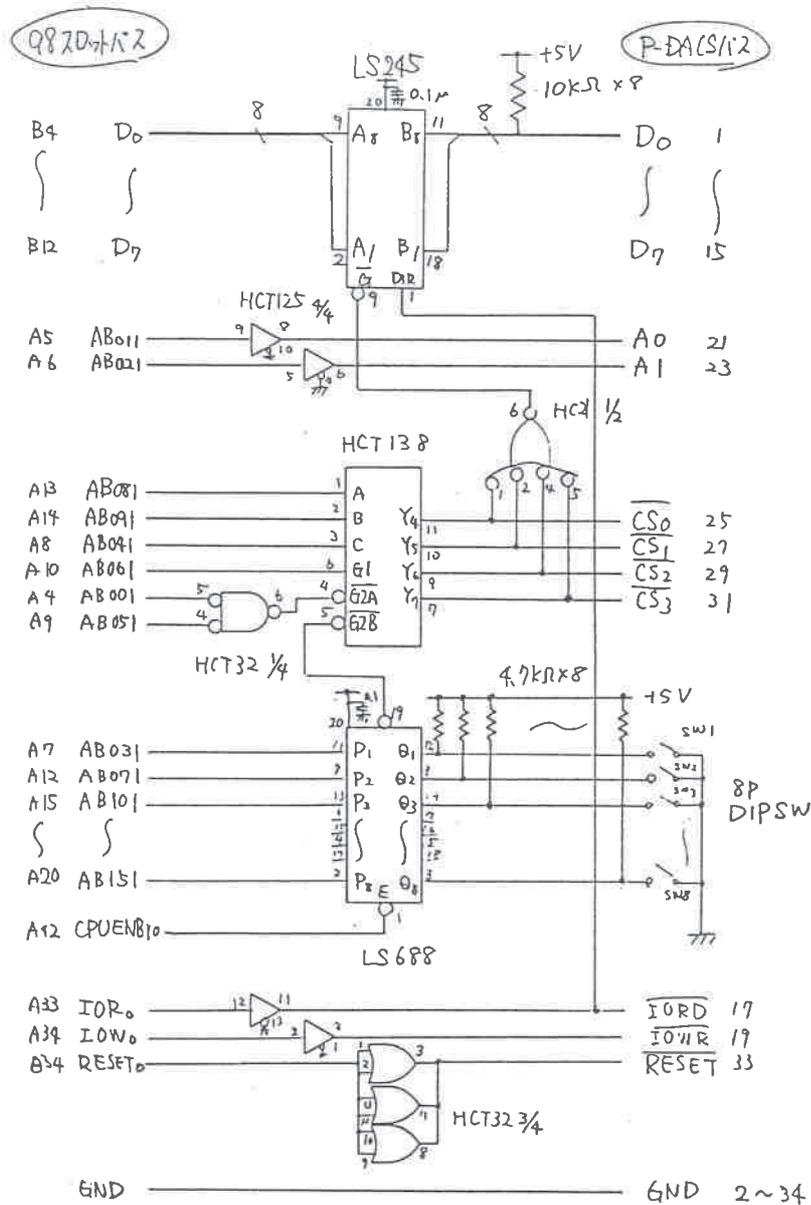
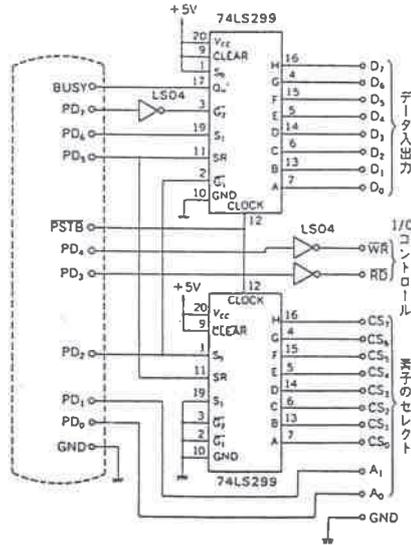


図5・15 パソコン拡張バス用インターフェース

C) プリンター・ポートを利用する方法

この方法は、アクセスにやや時間がかかるという欠点があるが、対象のパソコンの機種を選ばないという大きな利点がある。特に拡張スロットが利用しにくいノートパソコンで機器制御をする場合は最適であろう。通信速度も、速いプログラム言語を使用すれば遮蔽の観測も十分対応できる。以下は、互野恭治（1992）による。

第 5 章 電子回路



5・17 プリンターポートを利用したバス・インターフェース
5・15とまったく同様に使用できる。
パソコンの機種を選ばない。アクセス
速度は、図5・15よりは遅い。

PC9801用のQuick BASICのプロシージャをリストしておく。BASICで用意されているOUTとINP命令とまったく同じ使い方で、POUTとPINPを利用すればよい。

リスト 5・1

```

DECLARE SUB Pcs (CS!)
DECLARE FUNCTION PINP! (ad!)
COMMON SHARED PrntStatusWR AS INTEGER
COMMON SHARED PrntDataRDWR AS INTEGER
COMMON SHARED PrntStatusRD AS INTEGER
'I/O address for PC9801
PrntStausWR = &H46
PrintDataRDWR = &H40
PrintStatusRD = &H42

SUB Pcs (CS)
  OUT PrintDataRDWR, &H4
  FOR i = 7 TO 0 STEP -1
    IF i = CS THEN d = d AND &HDF ELSE d = d OR &H20
    OUT PrintDataRDWR, d
    OUT PrintStatusWR, &HE: OUT PrintStatusWR, &HF
  NEXT i
END SUB
SUB Pini
  OUT PrintStatusWR, &H82
  OUT PrintDataRDWR, 0
  OUT PrintStatusWR, &HF
END SUB

FUNCTION PINP (ad)
  Pcs ad ¥ 4
  d = ad MOD 4: OUT PrintDataRDWR, d
  RdData = 0
  d = d OR &H8: OUT PrintDataRDWR, d
  d = d OR PrintDataRDWR: OUT PrintDataRDWR, d
  OUT PrintStatusWR, &HE
  OUT PrintStatusWR, &HF
  d = d OR &HF7: OUT PrintDataRDWR, d
  d = d OR &HFB: OUT PrintDataRDWR, d
  d = d OR &H3F: OUT PrintDataRDWR, d
  FOR i = 7 TO 0 STEP -1

```

第2部 光電観測の装置

```

        b = (INP(PrintStatusRD) AND &H4) / .4
        IF b = 0 THEN RdData = RdData + 2 ^ -i
        OUT PrintStatusWR, &HE
        OUT PrintStatusWR, &HF
    NEXT i
    PINP = RdData
    Pcs 8
END FUNCTION

SUB POut (ad, WrData)
    Pcs ad / 4
    d = ad MOD 4: OUT PrintDataRDWR, d
    d = ad OR &H10: OUT PrintDataRDWR, d
    FOR i = 7 TO 0 STEP -1
        cmp = 2 ^ i
        bit = WrData AND cmp
        IF bit = 0 THEN d = d AND &HDF ELSE d = d OR &H20
        OUT PrintDataRDWR, d
        OUT PrintStatusWR, &HE: OUT PrintStatusWR, &HF
    NEXT i
    d = d OR &H80: OUT PrintDataRDWR, d
    d = d AND &HEF: OUT PrintDataRDWR, d
    d = d AND &H7F: OUT PrintDataRDWR, d
    Pcs 8
END SUB
```

d) ソフトウェアの考え方

データ取得用のソフトウェアは、観測者の考え方や観測対象によりさまざまなバリエーションがあるので、ここでは詳しく述べられない。以下は、低速測光と高速測光に分けてソフトウェア設計の要点のみを記す。

通常の測光用は低速測光であり、1秒毎にカウントし、20秒間以上カウント値をメモリーにためておく。そのままファイルに1秒毎のデータを記録してもよいし、平均値と標準偏差だけをを残してもよい。後で、観測データに不信な点があるときに検討するには、1秒毎のデータをそのまま残しておいたほうが都合がよいことが多い。

いずれにしても、平均値として1秒当たりのカウント数(カウント・レイト)を用いて整約を行えば、たとえ星+空の測光積分時間と空の積分時間が異なってもそのまま引き算できて便利である。空の積分時間は、空のレベルが星自体よりも暗いときは、星の場合の1/3程度の積分時間にしておいたほうが、時間の経済になり、かつ精度に影響ないので好都合である。

掩蔽観測など短時間の変光現象を扱う高速測光用には、1/1000秒から1秒程度の積分時間をあてる。特に1/100秒以下の短い積分時間の連続したデータは、長時間の記録はあきらめて、パソコンのメインメモリーに循環的に書き込んでおき、観測終了後にファイルに書き込むようにする。

低速・高速を問わず注意すべきことは、観測データの消失を何としてでも防ぐことである。コンピュータによるデータ取得法のもつ危険性は、不注意から貴重な観測・苦勞して得たデータを一瞬にして消失させることがあるということである。ファイルに記録する前に電源が落ちてしまったとか、同一ファイル名で上書きしてしまうとか、簡単な操作ミスで大量のデータが簡単に消失する。

土星の未知の外部の環によると思われる恒星の食現象を観測しておきながら、ソフトウェアが未完成のまま観測にのぞんだために、同一ファイル名で元より長いデータを上書き

第5章 電子回路

してしまい、データを消失してしまったという筆者の苦い経験がある。同一ファイル名では記録できないようにソフトウェアを設計しておくべきである。せめて、光度曲線を描かせてあったモニター画面のハードコピーでも取っていただくと、悔やんでもどうしようもない。こんなつまらない失敗を避けるためには、多重記録を残すべきであろう。ハードディスク・フロッピーディスク・プリンター・ペンレコーダーなど、多様な媒体に記録を残しておくのがよい。

§ 5・7 直流増幅器の較正

a) ゲインの決定と補正

ゲイン切り替えのついた直流増幅回路を使用するときは、必ずゲインの較正をしておかなければならない。使用した帰還抵抗の表示値がどの程度正しいかを実際に調べておくのである。具体的には、ゲインの切り替えによる増幅率の比を求めることである。

光量可変でかつ0.1%以内の安定な光源を実験室内で利用できる場合がベストであるが、利用できない場合は実際の星を使って較正するのが良い。測光的に理想的に良く晴れた夜（透明度がよくて、決して変化しないこと。シーイングはそれほど問題ではない。）に天頂に近い変光星でないことがはっきりしている1つの星（標準星など）をゲインを切り替えながら測光する。ゲインをより大きくする時はより暗い星を選ぶようにして、全部のゲインをカバーする。

例えば、同じ星をゲイン1で測光すると812という値が得られ、ゲイン2で測ると2018が得られたとする。ゲイン1とゲイン2の間には、 $2018/812=2.485$ 倍すなわち等級差に直せば、 $2.5 \cdot \text{Log}(2018/812) = 0.988$ 等の違いがあることがわかる（有効数字は3桁以上）。計算は後で室内で行うとして、このような観測を、すべてのゲインにわたり複数回ずつ繰り返して調べて平均値を求めておき、表にしておく。

抵抗は経年変化するので、ゲインの較正は、数年に1回は行ったほうがよい。観測後に行う具体的なゲイン補正は、§ 8.1 観測の実際の変光星の節で具体的に紹介する。

§ 5・8 光子計数法の較正

光子計数法の較正については、これまで日本語の文献はまったく公表されていないが、非常に大切なことなので、Henden and Kaitchuck(1990)を参考にして、少し詳しく述べる。

a) 不感時間係数の決定の原理

不感時間を補正する式は、形は簡単であるが、解くのは難しい。その式は次のようになる。

$$n = N \exp(-tN) \quad (5 \cdot 2)$$

ここで、 n は1秒あたりのカウント数。 N は数え落しのない「真の」カウント数。 t は不感時間係数であり、測定したカウント数が $1/e$ に落ちるときの値 $t = 1/N$ として定義される。

第2部 光電観測の装置

式(5・2)を変形して、

$$n/N = \exp(-tN) \quad (5 \cdot 3)$$

両辺の自然対数をとると、

$$\ln(n/N) = -tN$$

または、

$$\ln(N/n) = tN \quad (5 \cdot 4)$$

N に対する $\ln(N/n)$ のグラフを書けば、 t はそのベストフィット直線の傾きである。しかし、我々は N を知らないために、 t について解くことはできない。

そこで、低いカウント数の時は不感時間を無視してよいということを利用する。光電子増倍管に達する光を既知の係数(= b とする)だけ減らすアテネッタを用いる。そうすれば、光電子増倍管には $1/b$ の光だけが到達する。このアテネッタを入れて、光源か星を観測すると、カウント数 n_L は小さくなるために真のカウント値 N_L にかなり近くなる。アテネッタをはずせば、真のカウント値 N_H は b 倍だけ増すことになる。すなわち、

$$N_H = bN_L = bn_L \quad (5 \cdot 5)$$

しかし、観測されたカウント数 n_H は、不感時間のロスのためにいくらかは小さい。観測された値の比 bn_L 対 n_H は不感時間に関係する。式(5・4)を次のように書き直す。

$$\ln(bn_L/n_H) = tbn_L \quad (5 \cdot 6)$$

こうして、異なる明るさの光源を、アテネッタを入れた場合と入れない場合について観測し、 bn_L に対する $\ln(bn_L/n_H)$ をプロットすれば、その傾きが求める不感時間係数 t である。

b) NDフィルター法の原理

ここでは、アテネッタとしてNDフィルターを使う方法を紹介する。つまり、光路上にNDフィルターを入れた場合と入れない場合で星を測定する。この方法の問題点は、ほんとうにニュートラルなフィルターはない、ということである。つまり、フィルターを通る光量が、星の色に依存するということである。しかし、一度この色効果を較正すれば、この方法は不感時間係数を求めるのに便利な方法である。

フィルターの色依存性を較正するために、大きく色の異なる星のいくつかを、フィルターを入れた場合と入れない場合で測定する。使用する星は比較的暗いものを使用するならば、不感時間の補正を無視できるので、それぞれの星の等級差($v_1 - v_0$)は次式によって計算できる。

$$v_1 - v_0 = -2.5 \log(n_1/n_0) \quad (5 \cdot 7)$$

ここで n_1 はフィルターを入れた場合、 n_0 は入れない場合のカウント数である。(B-

第5章 電子回路

V) に対する $(v_1 - v_0)$ を、それぞれの星についてプロットする。その結果は、水平に近い線になる。ここでは、最小二乗法での結果が、次のようになったとする。

$$v_1 - v_0 = -0.008 (B - V) + 3.934 \quad (5 \cdot 8)$$

これは、色にほとんど依存していないようである。係数 b はフィルターを通したときと通さないときの強度の比である。つまり、

$$v_1 - v_0 = -2.5 \log (I_1 / I_0) \quad (5 \cdot 9)$$

または、

$$b \equiv I_0 / I_1 = 10^{0.4 (v_1 - v_0)} \quad (5 \cdot 10)$$

こうして、不感時間係数を、明るい星を使った観測によって求めることができる。

c) 不感時間係数の求め方の実例

不感時間係数を決定するためには、補正をしなくても良いほど暗いくつもの星と、大きく補正しなければならない明るいいくつかの星が必要である。この例のシステムでは、毎秒100,000カウントの星と毎秒800,000カウントの星である。用いた8個という星の数は、係数を決めるのに最小限必要な個数である。

それぞれの星はNDフィルターをつけて測光された。このフィルターでは、 $v_1 - v_0$ は式(5・8)の関係がある。

データは表5・2にある。以下のステップで係数を求める。

表5・2 不感時間係数のデータ

星名	B - V	観測データ		$v_1 - v_0$	b	計算結果	
		n_L	n_H			N_H	A
HR8334	0.51	10,670	374,200	3.930	37.32	398,200	0.0622
HR8465	1.55	25,170	824,700	3.922	37.04	932,200	0.1225
HR8469	0.23	5,190	190,100	3.932	37.40	932,200	0.0208
HR8494	0.27	11,720	407,300	3.932	37.39	438,200	0.0731
HR8498	1.46	12,400	427,300	3.922	37.06	459,600	0.0726
HR8585	0.01	17,190	582,700	3.934	37.46	643,900	0.0999
HR8622	-0.20	6,170	224,200	3.936	37.52	231,500	0.0320
HR8694	1.05	21,430	708,100	3.926	37.17	796,600	0.1178

- (1) 表5・2の第2欄に与えられた色指数を使って、式(5・8)からそれぞれの星の $v_1 - v_0$ を計算する。
- (2) 式(5・10)を使って、強度比 $b (= I_0 / I_1)$ を計算する。
- (3) 光路中にフィルターを入れて測ったカウント数 (n_L) とフィルターなしのもの (n_H) を使って、式(5・4)によりフィルターなしの真のカウント数を計算す

第2部 光電観測の装置

る。

すなわち、 $N_H = b n_L$ 。

(4) すべての星について次の量を計算する。ただし、 \ln は自然対数である。

$$A = \ln(N_H/n_H)$$

(5) 式(5・5)により N_H 対 A のプロットを行う。

$$A = t N_H$$

この直線の傾きが、 t すなわち不感時間係数である。グラフを図5・17に示す。この例では、最小二乗法を使って、

$$\text{傾き } t = 1.40 \times 10^{-7} \text{ 秒}$$

となる。

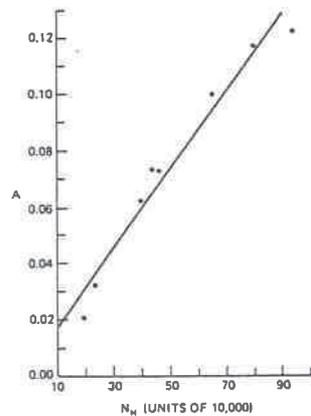


図5・17

不感時間係数の決定 A 対 N_H 、
ただし $A = \ln(N_H/n_H)$

d) 不感時間の補正の実例

上の例題のようにして不感時間係数 t を求めるわけであるが、この値は個々の光電子増倍管や電子回路の特性などによって異なるので、あらかじめテスト観測で求めておかなければならない。いま測光器の不感時間係数 $t = 1.54 \times 10^{-7}$ 秒/カウントがえられたとすると、観測されたカウント数 n は、真のカウント数 N と次の関係がある。

$$n = N \exp(-N t) \quad (5 \cdot 2)$$

この方程式を繰り返し法で解いてみよう。

観測されたカウント数が28925であるとする。最初の推定として、 N は観測されたカウント数と等しいとすると、

$$\begin{aligned} n &= 28925 \exp(-28925 \times 1.54 \times 10^{-7}) \\ &= 28796 \end{aligned}$$

この数は、実際に観測された数より小さいので、次の N の推定値として、両者の差だけを加えてみよう。すなわち、

$$\begin{aligned} N \text{ (2番目の推定値)} &= 28925 + (28925 - 28796) \\ &= 29054 \end{aligned}$$

再び n を計算すると

$$n = 29054 \exp(-29054 \times 1.54 \times 10^{-7})$$

第5章 電子回路

$$= 28924$$

これは、観測された数との差がわずか1である。こうして3番目の推定値として、

$$N(3番目の推定値) = 29054 + 1$$

$$n = 29055 \exp(-29055 \times 1.54 \times 10^{-7})$$

$$= 28925$$

この値は、観測された値と同じであるから、真のカウント数は29055であることになる。

表5・3 不感時間の補正

星名	フィルター	カウント毎秒	不感時間補正後	空を差引く	v	b - v	u - b
A	v	28,925	29,055	29,001	-11.156	-0.829	1.311
	b	61,718	62,313	62,220			
	u	18,575	14,853	14,799			
空	v	54.1					
	b	93.2					
	u	28.6					

参考文献

- 阿部 正・中村 毅 (1988) 「自作光電測光の電気回路」1988年JAPOA総会
 伊藤芳春 (1985) 「光電測光装置の自作」星の手帳、1985年春号、
 P. 100
 大沢清輝 (1984) 「星の色」地人書館
 大島 修・間瀬康文 (1987) 「小望遠鏡用フォトンカウンターの開発」
 天文学に関する技術シンポジウム集録、P. 123
 大島 修 (1988) 「光子計数型測光器用電子回路の改良」、天文月報
 第81巻第6号P. 168
 大島 修 (1988) 「UBV測光におけるシュミットカセグレン望遠鏡の
 問題点」JAPOA総会発表
 岡村 勉夫 「定本 OPアンプ回路の設計」、CQ出版社
 互野恭治 (1992) 月刊「トラ技コンピュータ」1992年12月号、P. 120
 白土義男、「IC利用工作のノウハウ」日本放送出版協会
 田中 済、「光電観測ことはじめ」、「天文と気象」誌連載、1980年
 4月号～1981年3月号
 田中 済、「グレードアップ光電観測」、「天文と気象」誌連載、1981年
 4月号～1982年4月号、
 田中 済、「読者の質問に答える」 「天文と気象」1982年6月号P. 39
 田中 済 (1981) 「星食の高時間分解能測光観測による恒星視直径の測定」
 天文月報1981年12月号P. 346
 浜松ホトニクス
 ・カタログ「光電子増倍管と関連製品」
 ・カタログ「光電子増倍管用アクセサリ」
 ・カタログ「フォトンカウンターと関連製品」
 ・技術資料「フォトンカウンティング」1990年2月
 ・フォトンカウンティング用光電子増倍管・周辺機器セレクション
 ガイド

第2部 光電観測の装置

- Hall, D. S. and Genet, R. N. (1988), Photoelectric Photometry of Variable Stars, Willmann-Bell, Inc.
- Henden, A. and Kaitchuck, R. (1990), Astronomical Photometry, Willmann-Bell, Inc.
- Jhonson, H. L. and Morgan, W. W. (1951) Ap. J. Vol. 114, P. 522
- Jhonson, H. L. and Morgan, W. W. (1953) Ap. J. Vol. 117, P. 313
- Wolpert, R. C. and Genet, R. M. (1983), Advances in Photoelectric Photometry Vol. 1 and Vol. 2, Fairborn Observatory
- Young, A. T. (1974) "Photomultipliers; Their Cause and Cure" in Methods of Experimental Physics Vol. 12A Astrophysics, Academic Press
- 月刊「トランジスタ技術」誌、CQ出版社
光電測光装置自作派は、定期購読をお薦めする。電子技術のいろはから習得できる。大量の広告だけでも1冊購入の価値あり。
- CQ出版社の規格表シリーズ
各種素子の規格が整理されていて、メーカーと取り扱い商社など問い合わせ先も載せられていて有用である。
- 最新光半導体素子規格表、各種光センサー規格
最新74シリーズIC規格表、標準ロジックIC規格
最新モノリシックOPアンプ規格表、オペアンプ規格
最新産業用リニアIC規格表、PART-1・PART-2、
VFコンバータ、ビデオアンプ他規格
最新AD/Dコンバータ規格表 ADコンバータ規格

- =資料1= 光電測光装置の素材入手先
- 浜松ホトニクス 電子管営業部 0539-62-5245
〒438-01 静岡県磐田郡豊岡村下神増314-5
光電子増倍管と高圧電源ほか関連製品
- 松定プレシジョン・デバイスズ 0775-65-2111
〒525 滋賀県草津市青地町745
高精度直流高圧安定化電源
- 東京抵抗社 03-3251-8884
東京都神田区外神田 東京ラジオデパート内
高精度・普通抵抗 通信販売も可能なはずである
- 日本ヒラジン工業(株) 0463-21-6218
神奈川県平塚市東八幡丁目3-7
特注抵抗
- 岩通精密(株) 03-3307-7224
〒157 東京都世田谷区給田5-1-10
ステアタイト製ロータリースイッチ
- 佐賀電気(株) 0429-54-2151
埼玉県狭山市相原字円光寺窪 337-31
テフロン製ロータリースイッチ
- ヒロセ電機(株) 第一営業部 03-3491-9741
〒141 東京都品川区西五反田1-13-11
各種コネクター
- 多治見無線電機(株) 03-3713-7131
〒150 東京都渋谷区恵比須南2-29-1
BNCコネクター
- 摂津金属工業(株) 06-992-2331
〒570 大阪府守口市八雲西4-6
各種シャーシ・ケース
- NTN 冥洋ペアリング(株) 03-443-5001
〒550 大阪市西区京町堀1-3-17
各種ペアリング・ミニチュアペアリング

第5章 電子回路

- (株) ミスミ 自動機市場部 03-3647-7173
 〒135 東京都江東区東陽2-4-43
 メカ標準部品(ブッシュ、カラー、ヒンジ、ベアリング、カム、プーリー、位置
 決めピン、プランジャ、ノブ、ブラケット、アルミ管、樹脂板管) 1品から通販
- 高田精密加工 通信販売部 045-592-7132
 〒223 横浜市港北区高田町280-2
 模型用小型歯車
- 協育歯車工業(株) 048-754-5842
 〒344 埼玉県春日部市南栄町14-9-13
 標準歯車
- ショット日本(株) 03-3239-0851
 東京都千代田区九段南4-8-13 自動車会館ビル
 ショット社製色ガラスフィルター
- シグマ光機(株) 0429-85-2362
 〒350-12 埼玉県入間郡日高町下高萩新田17-2
 各種レンズ、石英レンズ
- 日本メルセグリオ(株) 03-3407-3614
 〒150 東京都渋谷区渋谷3-16-3
 各種レンズ、石英レンズ
- 神和光器 0423-68-3781
 〒183 東京都府中市日新町4-38-24
 測光器設計製作・光学系製作
- 湘南通商 03-253-0478
 東京都千代田区外神田1-8-7
 中古計測器・ジャンク
- ＝資料2＝ 既成品の光電測光器・冷却CCDカメラの問い合わせ先
- (株) 五藤光学研究所 0423-62-5311
 〒183 東京都府中市矢崎町4-16
 光電測光装置 光子計数法
- (株) エイ・イー・エス 0298-55-2001
 〒305 茨城県つくば市春日1-3-1
 光電測光装置 光子計数法(本文で紹介した回路を製品化したもの)
- 三鷹光器(株) 0422-32-1491
 〒181 東京都三鷹市大沢5-1-4
 光電測光装置
- (株) 誠報社 03-3234-1033
 〒101 東京都千代田区三崎町3-6-5
 SSP光電測光装置(米国オプテック社代理店)
- (株) エル・オー・ジー 03-3432-1470
 〒105 東京都港区虎ノ門4-2-5
 冷却CCDカメラ(英国アストロメッド社代理店)

第2部 光電観測の装置

セキテクノトロン株式会社 03-3669-4121
 〒103 東京都中央区日本橋小網町16-16
 冷却CCDカメラ(米国フォトメトリックス社代理店)
 セイコーEG&G株式会社 03-3638-1568
 〒136 東京都江東区亀戸6-31-1
 冷却CCDカメラ(米国EG&G社代理店)
 国際光器 075-321-5348
 〒615 京都市右京区西院三蔵町15 富士ビル5F
 小型冷却CCDカメラ(米国SBIG社代理店)

=資料3= 各種検出器の特徴

検出器	光電子増倍管	フォトダイオード	CCD
利 点	高速応答 ~1ナノ秒 高精度 ~ミリ等級 内部増幅率大 $\sim \times 10^6$	安価 広い分光特性	高感度(高量子効率) 多チャンネル 撮像・多天体同時測光 大量生産により ローコスト化の可能性
問 題 点	高圧電源必要 強い光に弱い 1本で1天体 かさばる・ガラス細工	信号弱い 内部外部増幅必要 帰還抵抗 $\sim 10G\Omega$ フィルターシステムに難	冷却必要 画素毎の感度ムラ データ取得に時間がかかる 大容量メモリ必要 高精度な整約に難 フィルターシステムに難 高精度製品は超高価
特 徴 を 生 か す	高速測光 高精度測光	手軽 → 入門用 かなり実用になる 近赤外まで BVRI 将来現れる銀河系内の 超新星の測光	天候の変動に強い 目的星・比較星・チェック星 暗い天体 一網打尽(星団の測光) 低価格化で大衆的普及 イメージが得られるので 楽しめる。

なお、測光用CCDカメラとして、次のものがある。

SSP/LYNXX CCD PHOTOMETRE US\$2700

Optec, Inc.

199 Smith Street, Lowell, MI 49331

これは、Lynxx CCDの前にSSP-3の導入接眼部とBVフィルタースライドを取り付けたので、CCD測光専用に構成された製品である。CCDカメラ自体の性能は、Lynxxとまったく同じである。

第5章 電子回路

製品名	ST-4	LINXX	ST-6
CCDチップ	TI	TI	不詳
ピクセル数	192×165	192×165	375×242
ピクセルサイズ	13.3×16μ/pxl	13.3×16μ/pxl	23×27μm/pxl
領域サイズ	2.55×2.64mm ²	2.55×2.64mm ²	8.63×6.53mm ²
AD変換	8ビット	12ビット	16ビット
暗電子数	280e-/60sec?	70e-/60sec	70e-/60sec
読み出し雑音		70e-tpycal	40e-rms
容量/pxl	150000e-	150000e-	不明
フィルター	オプション	オプション	オプション
冷却	BVRI	BVRI	BVRI
価格	ペルチエ1段 -30℃	ペルチエ2段? 周囲-50℃	ペルチエ2段 周囲-52℃
付属ソフト	22.5万円 データ取得 暗雑音補正 数値表示可 補正有り	US\$1099 データ取得 暗雑音補正 ? 補正有り	58万円 ST-4に同じ 暗雑音補正 数値表示可 補正なし
フラットフィールドの			
備考	国際光器扱い Tel. 075 (321)5348	SpectraSource Instruments P. O. Box 1045 Agoura Hills CALif. 91376	ST-4と同じ

=資料4 = 現在入手しやすい既製品の観測装置

製品名	スターライト1	PCPA	SSP-5	SSP-3
メーカー	EMI GENCOM	エーイーエス	OPTEC	OPTEC
検出器	フォトマル EMI	フォトマル HAMAMATSU R1414/R647-04	フォトマル HAMAMATSU R1414	フォトダイオード HAMAMATSU
量子効率	14%	14%/25%	14%	30%
信号処理	光子カウント	光子カウント	直流増幅 VF変換	直流増幅 VF変換
表示・取込み	LED6桁 手書きメモ	パソコン ディスク書込み	LED4桁 手書きメモ	LED4桁 手書きメモ
ゲインミックス	0~999999	0~16777216	0~9999	0~9999
積分時間(秒)	1, 10	1/1000~無限	1, 10	1, 10
フィルター	UBV 4種/1ターレット 手動交換	UBV+3種 6種/1ドラム 自動交換	BV 2種/1スライト 手動交換	BV 2種/1スライト 手動交換
標準時計	なし	J J Y同期	なし	なし
較正	数え落し補正	数え落し補正		
価格	50万円	150万円	30万円	20万円
オプション		2チャンネル測光 データ取り込 ソフト付き	コンピュータ化可能 フィルター交換	R I可能

第3部

光電観測の実際

第6章 光電観測の実際

大森茂雄（川崎市青少年科学館）

筆者は神奈川県立教育センターでは口径20センチ屈折望遠鏡、川崎市青少年科学館では、口径40センチの反射望遠鏡に測光器を装着し、高圧電源とペン・レコーダーを使用して観測している。システムとしては旧式だが、観測しながら記録の様子がわかるので、日本のように大気の変動の激しい空では適した方法と言えよう。

§ 6・1 観測の準備

a) 観測条件

観測は快晴の日を選ぶ。雲があるとスカイ・バックグラウンドの変動が大きく、よい結果が得られない。地域によっても異なるが、神奈川県では冬の季節風が強く吹くようになると観測に適した日が多くなる。

b) 観測の準備

① 比較星とチェック星を選ぶ

変光星の光度を直接に求めることはできない。標準星の中から変光星と光度やスペクトル型が近く、離角も小さい恒星を選び出してこれを比較星とし、変光星と比較星との光度差から変光星の光度を求める。また、この比較星が変光していないことを確かめるためのチェック星も選ぶ。

② 懐中電灯などを用意する

測光システムの他に時計、懐中電灯、小型電灯（記録紙の照明）、フェルトペン、変光星と比較星の詳しい星図などを用意する（図6・2）。星図はファインダーの視野を入れておくと便利である。

③ 測光システムを調整する

測光システムを組立てた後、観測の30分ほど前に、光電子増倍管に光が当たらないようにして高圧電源をかける。ペン・レコーダーの紙送りスピードは2cm/分にとる。

またフェルト・ペンのインクを確かめる。

星像は大気の流れによってクラゲの様に広がったり、縮まったりするので大きさが捉えづらいが、ダイヤフラムは星像のすそがケラれないように注意して、できるだけ小さいものを使う。

Vフィルターを入れてシャッターを開き、ペン・レコーダーの振れを見る。振れが小さい場合は、電圧またはアンプのゲインを上げて適当な振れ幅にする。ここでは、ペンの振れ幅は最大でも記録紙の7割程度にとどめる。天体が天頂に近づくとしたがつて振れ

第6章 光電観測の整約

幅が大きくなるので、その余裕をとっておく必要がある。



図6・1 測光システム

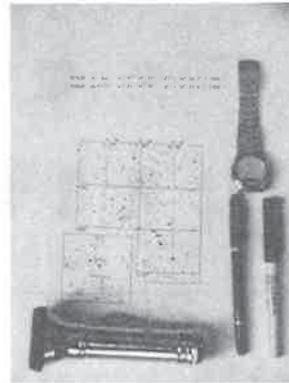


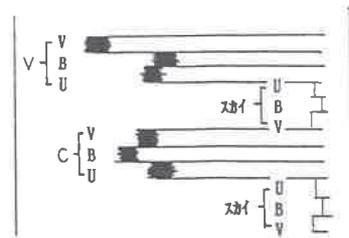
図6・2 準備しておくもの

観測中は電圧を変えない。振れ幅はアンプのゲインで調節する。電圧が決まったら変光星、比較星ともにゲインも調べ、ゼロ・アジャスターのつまみを調整して、暗電流の大きさを記録紙のゼロに持ってくる。記録紙の初めに観測年月日、観測開始時刻、空の様子、変光星、比較星、チェック星、電圧、記録紙の送りスピードなどを記入する。

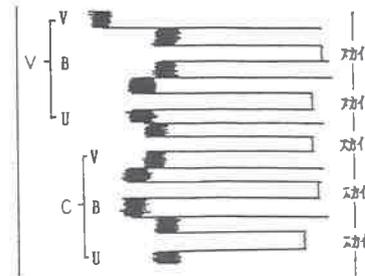
§6・2 観測の実際

観測は比較星と変光星とをフィルターを交換しながら交互に測光するが、どのような手順で観測するかは大気の状態や両星の離角、さらには望遠鏡の操作性などによって変わってくる。いずれにしても大気の影響をできるだけ小さくする工夫を考えなくてはならない。通常は次のような3つのパターンで観測が実施される。

- 1) 大気が非常に安定していて、両星が近い場合(図6・3)。

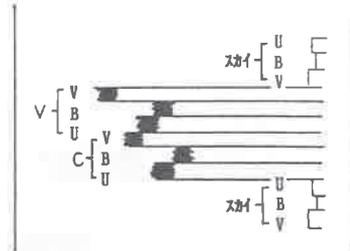


- 2) 大気が安定している場合(図6・4)。
普通はこのパターンで観測する



第3部 光電観測の実際

- 3) 大気が不安定で、両星が離れている場合(図6・5)。



観測の準備がすべて整ったら、比較星近くで局部的に星の無い空に望遠鏡を向け、観測開始時刻まで待つ。観測開始時刻になったら記録紙を走らせ、シャッターを開いて観測を始める。観測は望遠鏡のファインダーまたは測光器の広視野ファインダーで、観測星がダイヤフラム視野の中心にあるか、けられはないか、空の明るさを観測するとき視野内に星が入っていないかなどを確認しながら次のような手順で行われる。

- ①空の明るさをV B Uの順に観測する。
- ②比較星をU B V順に観測する。
- ③スカイをV B Uの順に観測する。
- ④変光星をU B Vの順に観測する。
- ⑤空の明るさをV B Uの順に観測する。
- ⑥ときどきはチェック星も同様に観測する。

それぞれの観測時間は数十秒で充分であるが、大気の乱れや測光器のノイズなどでペンれ幅が一定にならない場合がよくある。このようなときはペンの振れをよく見て、一定になってから次の観測に移る。

記録紙に観測星の名、フィルターの種類、アンプのゲインを記入し、ときどきは観測状態、時刻、空の様子なども書き込む。比較星と変光星はできるだけ同じゲインで観測したほうがよい。

観測星の記入の仕方は変光星は”V” 比較星は”C”、チェック星は”ch”などの記号を用いる(図6・6)。

§ 6・3 観測記録の整理

- 1) 記録紙に1分毎に時刻を記入する。

記録用紙のところどころに記入されている時刻を参考にして、1分毎に時刻を記入する。

- 2) 観測時刻を読み取る。

各フィルターをで観測した時間の中央値を1/10分まで読み取る。

- 3) 観測星の明るさの振れ幅を読み取る。

記録紙上の振れ幅は大気のシンチレーションや測定器のノイズのため、先の部分がギザギザに振動している。この振動は対象的と考え、空の明るさと観測星の両方についてギザギザ中央を通る線を引き、空の明るさを差し引いた観測星の明るさのみによる振れ幅をものさして1/100センチまで読み取る(図6・7)。

第6章 光電観測の整約

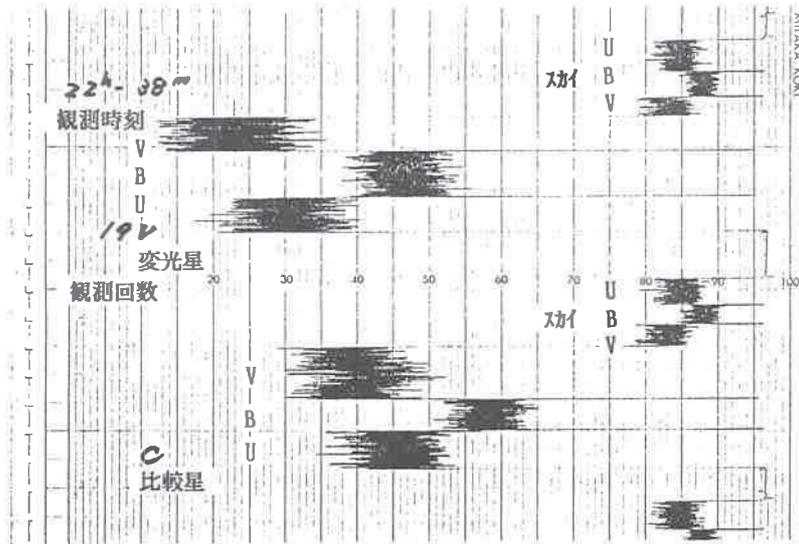


図6・6 記録紙上のメモ

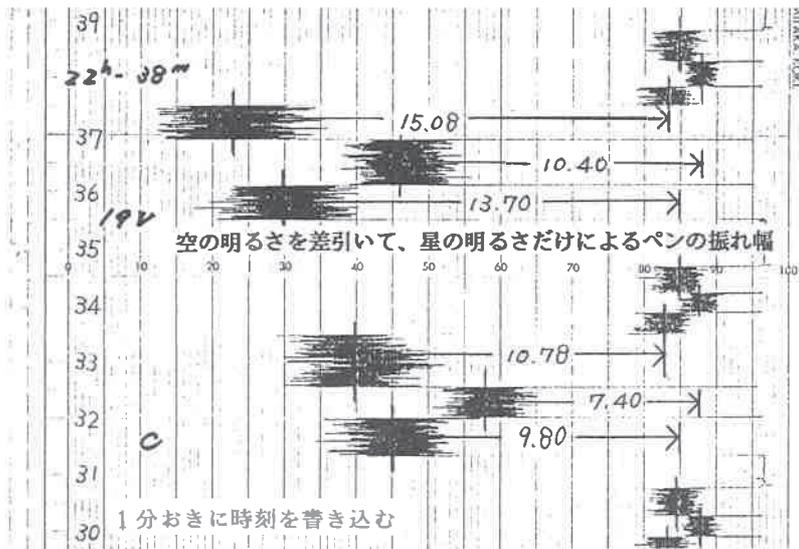


図6・7 記録紙の整理

4) 記録を表にまとめる。

観測記録整理表を作り、記録紙上の記録を記入する。

§6・4 整約

まず、観測星の明るさによる振れ幅とそのときのゲインから測光系固有の等級を計算する。次に同時刻における変光星と比較星との等級差を求めた後、大気の減光補正をして大

第3部 光電観測の実際

気外での等級を求める。ここで得られた等級はナチュラル・システムと言って、それぞれの測光系固有の値である。次に測光系の変換係数の補正をして、ナチュラル・システムから互換性のある標準UBVシステムへと変換する(図6・8)。

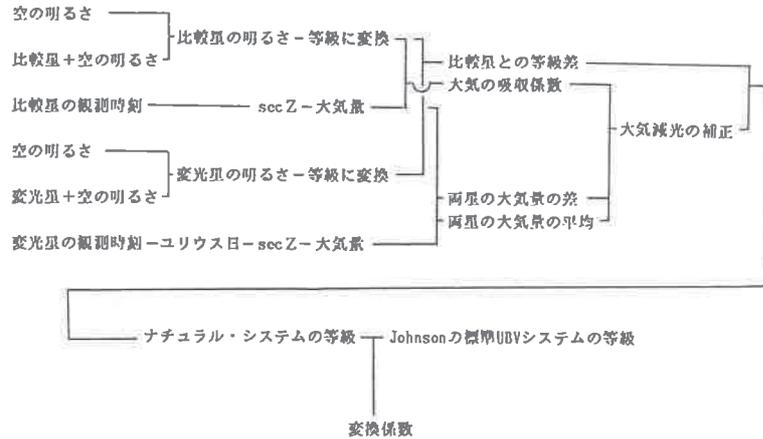


図6・8 整約の手順

1) 大気量に比例した減光係数を求める。

ペンの振れ幅から空の明るさによる振れを差し引いた値(単位はセンチ)を d_u 、 d_b 、 d_v 、観測したときの各ゲインを G_u 、 G_b 、 G_v として測光系固有の等級 u 、 b 、 v と色指数 $(u - b)$ 、 $(b - v)$ を次式で計算する。

$$u = -2.5 \log d_u / G_u \quad (6 \cdot 1)$$

$$b = -2.5 \log d_b / G_b \quad (6 \cdot 2)$$

$$v = -2.5 \log d_v / G_v \quad (6 \cdot 3)$$

$$u - b = -2.5 \log d_u / G_u / d_b / G_b \quad (6 \cdot 4)$$

$$b - v = -2.5 \log d_b / G_v / d_v / G_v \quad (6 \cdot 5)$$

大気量 X に比例した大気の一次減光係数を k' 、二次減光係数を k'' とすると大気外での等級と色指数は次式で表せる。

$$u_0 = u - k'_{u} \cdot X \quad (6 \cdot 6)$$

$$b_0 = b - k'_{b} \cdot X \quad (6 \cdot 7)$$

$$v_0 = v - k'_{v} \cdot X \quad (6 \cdot 8)$$

$$(b - v)_0 = (b - v) J_x - k'_{bv} \cdot X \quad (6 \cdot 9)$$

$$(u - b)_0 = (u - b) G_x - k'_{ub} \cdot X \quad (6 \cdot 10)$$

ここに $J_x = 1 - k''_{bv} \cdot X$ 、 $G_x = 1 - k''_{ub} \cdot X$ である。

上式をJohnsonのUBV系での等級や色指数にするには次式を用いる。

$$\begin{aligned} V &= v_0 + \epsilon (B - V) + \zeta_v \\ &= v - k'_{v} \cdot X + \epsilon (B - V) + \zeta_v \end{aligned} \quad (6 \cdot 11)$$

$$\begin{aligned} (B - V) &= \mu (b - v)_0 + \zeta_{bv} \\ &= \mu \{ (b - v) J_x - k'_{bv} \cdot X \} + \zeta_{bv} \end{aligned} \quad (6 \cdot 12)$$

第6章 光電観測の整約

$$(U - B) = \phi (u - b)_0 + \zeta_{ub}$$

$$= \phi \{ (u - b) G_x - k'_{ub} \cdot X \} + \zeta_{ub} \quad (6 \cdot 13)$$

k'' はなかなか決定しにくいので、筆者の場合は経験的に

$$k''_{bv} = -0.03, \quad k''_{ub} = -0.01$$

を使っている。 k'_{bv} を求めるには、(6・11)式から $\varepsilon = 0$ と考えれば

$$V - v = -k'_{bv} \cdot X + \zeta_v \quad (6 \cdot 11')$$

となるので、 X に対して $(V - v)$ をプロットし、これらの点を通る平均的な直線の傾きが k'_{bv} になる。

また k'_{bv} を求めるには、(6・9)式で $\mu \approx 1$ 、 $k''_{bv} = -0.03$ とすると

$$(B - V) - 1.03 (b - v) = -k'_{bv} \cdot X + \zeta_{bv} \quad (6 \cdot 14)$$

となるので、 X に対して左辺をプロットすれば、平均的な直線の傾きが k'_{bv} である。

§ 6・5 実際の観測と整約例

δ Cap を B V 2 色、I U Aur を U B V 3 色で観測した例を用いて整約の実際を説明する。計算はコンピュータを使用すると思われるが、ここではプログラム作成のもとになる計算の手順を実例で示す。

A) 口径20センチの屈折望遠鏡を使用して、 δ Cap を B V 2 色で観測した例。

神奈川県立教育センターの位置 経度 (λ) = 9時17分55秒

緯度 (ϕ) = 35度21分23秒

A-1) 大気量に比例した減光係数を求める。

星の光は、大気を通して地上に達するに吸収されて減光している。大気の減光係数は、天頂距離が異なる標準星を測光し、それらが減光している傾向から求めることができる。大気の減光係数は毎晩異なるので、観測日ごとに必ず求めなければならない。これは天頂から地平線近くまでいろいろな高度にあるスペクトル型が A 0 に近い標準星の光度を10個ほど観測したり、また比較星を長時間観測することによって求めることができる。

1) 観測した標準星の位置とカタログ値を表にまとめる (図6・9)。

2) 観測星ごとに振幅を測り、観測時刻(JST)、ゲイン、ペンの振幅などを観測整理表に記入する。

star	α	δ	V	B-V
	h m	' "	mag	
15Vul	19 59.5	+27 39	4.65	+0.18
ζ Del	20 33.4	+14 33	4.69	+0.11
σ Peg	22 39.9	+29 06	4.79	-0.01
θ Peg	22 08.1	+ 5 59	3.55	+0.08
ε Aqr	20 45.5	- 9 39	3.77	0.00
σ Aqr	22 28.5	-10 53	4.82	-0.06
ι Cyg	19 28.7	+51 39	3.79	+0.14

図6・9 観測した標準星とカタログ値

star	JST	G_v	d_v	G_b	d_b
	h m	cm		cm	
15Vul	17 45.2	5	12.50	2	8.46
ζ Del	17 49.4	5	12.18	2	8.97
σ Peg	17 56.3	5	11.21	2	8.64
θ Peg	18 04.4	2	14.02	1	12.11
ε Aqr	18 08.5	2	9.92	1	8.88
σ Aqr	18 12.5	5	9.79	2	7.53
ι Cyg	18 24.4	2	9.63	2	16.59

図6・10 観測整理表

第3部 光電観測の実際

3) 観測時刻を観測地の地方恒星時に換算する。

$$\begin{aligned} \text{地方恒星時} &= \text{グリニジ視恒星時} + \text{観測地の経度} \\ &\quad + \{(\text{観測時} - 9 \text{時}) \text{に相当する恒星時}\} \quad (6 \cdot 15) \\ &\quad (\text{グリニジ視恒星時は理科年表から求められる}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{例 地方恒星時} &= 3^{\text{h}} 57.5^{\text{m}} + 9^{\text{h}} 17.9^{\text{m}} \\ &\quad + \{(17^{\text{h}} 45.2^{\text{m}} - 9^{\text{h}}) \times 1.0027379\} \\ &= 13^{\text{h}} 17.4^{\text{m}} + 8^{\text{h}} 46.6^{\text{m}} \\ &= 22^{\text{h}} 04.0^{\text{m}} \end{aligned}$$

4) 天体の時角 HA を計算する。

$$HA = \text{地方恒星時} - \text{天体の赤経} \quad (6 \cdot 16)$$

$$\begin{aligned} \text{例 } HA &= 22^{\text{h}} 04.0^{\text{m}} - 19^{\text{h}} 59.5^{\text{m}} \\ &= 2^{\text{h}} 04.5^{\text{m}} \quad (\text{これを角度で表すと } h = 31^{\circ} 07'.5) \end{aligned}$$

5) 天体の sec Z を計算する。

大気量は天頂距離 Z に対して、sec Z に比例する。

$$\sec Z = (\sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos h)^{-1} \quad (6 \cdot 17)$$

$$\begin{aligned} \text{例 } \sec Z &= (\sin 35^{\circ} 21'.4 \cdot \sin 27^{\circ} 39' \\ &\quad + \cos 35^{\circ} 21'.4 \cdot \cos 27^{\circ} 39' \cdot \cos 31^{\circ} 07'.5)^{-1} \\ &= (0.579 \times 0.464 + 0.816 \times 0.886 \times 0.856)^{-1} \\ &= 1.12673 \quad (\text{このときの } Z \text{ は約 } 27.5^{\circ}) \end{aligned}$$

6) 大気量 X を計算する。

大気量 X は sec Z に比例するが、大気層の曲率を考慮すると sec³ Z 以上の項が現れてくるが、Z ≤ 60° では無視できる。

$$\begin{aligned} \sec Z &= 1.127 \text{として計算すると} \\ X &= \sec Z + 0.0018167(1 - \sec Z) + 0.002875(1 - \sec Z)^2 \\ &\quad + 0.0008083(1 - \sec Z)^3 \quad (6 \cdot 18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{例 } X &= 1.127 + 0.0018167(1 - 1.127) + 0.002875(1 - 1.127)^2 \\ &\quad + 0.0008083(1 - 1.127)^3 \\ &= 1.126814 \end{aligned}$$

以上のように天頂距離が30度付近までは、X と sec Z の値はほとんど変わらない。

図 6・11 大気量 (X) の
計算結果

star	JST	HA	sec Z	X
	h m	h m		
15 Vul	17 45.2	2 04.5	1.127	1.127
ζ Del	17 49.4	1 34.9	1.152	1.152
ο Peg	17 56.3	0 24.5	1.010	1.010
θ Peg	18 04.4	0 15.2	1.150	1.150
ε Aqr	18 08.5	1 41.9	1.590	1.588
σ Aqr	18 12.5	0 02.9	1.446	1.445
ι Cyg	18 24.4	3 14.7	1.269	1.268

第6章 光電観測の整約

7) 大気の減光係数を計算する。

① 測光系固有の等級を計算する。

$$\begin{aligned} \text{例 } v &= -2.5 \log 12.5/5 & b-v &= -2.5 \log 8.46/2/12.5/5 \\ &= -1.00 & &= -0.57 \end{aligned}$$

② $V-v$ を計算する。

$$\begin{aligned} \text{例 } V-v &= 4.65 - (-1.00) & V &\text{は標準星カタログより求める。} \\ &= 5.65 \end{aligned}$$

③ $(B-V) - 1.03(b-v)$ を計算する。

$(B-V)$ は標準星カタログより求め、 X は5)で求めた $X = 1.127$ を用いる。

$$\begin{aligned} \text{例 } (B-V) - 1.03(b-v) &= 0.18 - 1.034 \times (-0.57) \\ &= 0.77 \end{aligned}$$

④ 測光系固有の等級、色指数などをまとめる (図6・12)。

star	G_v	d_v	v	$V-v$	G_b	d_b	$(b-v)J_x$	$(B-V) - (b-v)J_x$
		cm	mag			cm		
15Vul	5	12.50	-1.00	5.65	2	8.46	-0.59	0.77
ζ Del	5	12.18	-0.97	5.66	2	8.97	-0.69	0.80
α Peg	5	11.21	-0.88	5.67	2	8.64	-0.73	0.72
θ Peg	2	14.02	-2.11	5.66	1	12.11	-0.61	0.69
ϵ Aqr	2	9.92	-1.74	5.51	1	8.88	-0.66	0.66
σ Aqr	5	9.79	-0.73	5.55	2	7.53	-0.74	0.68
ι Cyg	2	9.63	-1.71	5.50	2	16.59	-0.61	0.75
θ Cap	5	16.19	-1.28	5.35	2	11.51	-0.66	0.65

図6・12 標準星の測光系固有の等級、色指数の計算結果。

Star	JST	X	G_v	d_v	v	$V-v$	G_b	d_b	$(b-v)J_x$	$(B-V) - (b-v)J_x$
	h m			cm	mag			cm		
15Vul	17 45.2	1.126	5	12.50	-1.00	5.65	2	8.46	-0.59	0.77
ζ Del	17 49.4	1.152	5	12.18	-0.97	5.66	2	8.97	-0.69	0.80
α Peg	17 56.3	1.010	5	11.21	-0.88	5.67	2	8.64	-0.73	0.72
θ Peg	18 04.4	1.150	2	14.02	-2.11	5.66	1	12.11	-0.61	0.69
ϵ Aqr	18 08.5	1.588	2	9.92	-1.74	5.51	1	8.88	-0.66	0.66
σ Aqr	18 12.5	1.445	5	9.79	-0.73	5.55	2	7.53	-0.74	0.68
ι Cyg	18 24.4	1.268	2	9.63	-1.71	5.50	2	16.59	-0.61	0.75
θ Cap	18 30.0	1.902	5	16.19	-1.28	5.35	2	11.51	-0.66	0.65

図6・13 標準星の観測と計算処理のまとめ

第3部 光電観測の実際

⑥ X に対する $V-v$ 、 $(B-V)-1.03(b-v)$ をプロットする。
 これらの点を通る平均的な直線の傾きが大気減光係数である (図6・14)。

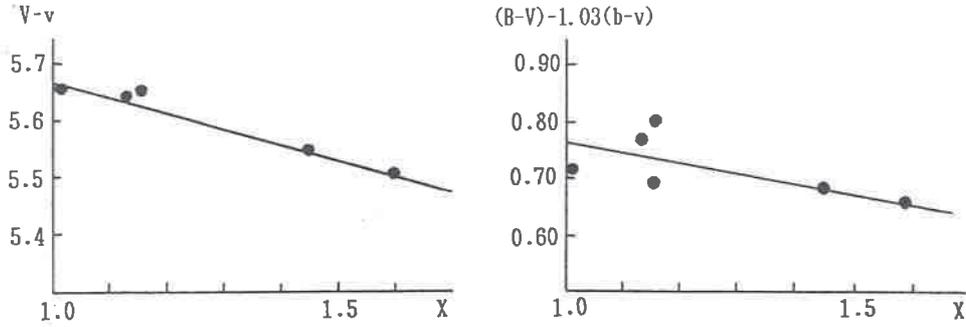


図6・14 X に対する $V-v$ 、 $(B-V)-1.03(b-v)$ から大気減光係数を求める。

厳密には

$$(B-V)-1.03(b-v) = -\mu k'_{bv} \cdot X + \zeta_{bv} \quad (6 \cdot 19)$$

となるので、この傾きは $\mu k'_{bv}$ を与えている。

A-2) 変光星の等級を計算する。

変光星の等級を直接測定することはできない。比較星との等級差に大気減光の補正をして求める。

1) 観測記録整理表に記録する。

観測星ごとに観測時刻 (JST)、フィルター、ゲイン G、ペンの振れ幅 dなどを記録紙から読み取り、観測整理表に記入する (図6・15)。

	star	filt.	JST	HA		X	G _v	d _v	v
				h	m		G _b	d _b	
				h	m			cm	mag
Comp	V	18	34.3	1	15.4	1.749	2	9.54	-1.676
	B	18	35.2	1	16.3	1.752	2	12.96	-2.029
Var 1	V	18	37.5	1	11.7	1.717	1	10.17	-2.518
	B	18	38.7	1	12.9	1.761	1	14.37	-2.894
Comp	V	18	40.1	1	21.2	1.769	2	9.57	-1.700
	B	18	43.0	1	24.1	1.779	2	13.06	-2.037
Var 2	V	18	46.0	1	20.2	1.745	1	10.16	-2.517
	B	18	47.1	1	21.3	1.793	1	13.57	-2.831

図6・15 観測記録整理表

第6章 光電観測の整約

2) 大気量 X を、A-1) の3)、4)、5)、6)と同様にして X を計算する。

3) 測光系固有の等級を、A-1)の7)①と同様にして計算する。

例 Comp.	$v = -2.5 \log 9.54/2$	$b = -2.5 \log 12.96/2$
	$= -1.696$	$= -2.029$
Var.	$v = -2.5 \log 10.17$	$b = -2.5 \log 14.37$
	$= -2.518$	$= -2.894$
Comp.	$v = -2.5 \log 9.57/2$	$b = -2.5 \log 13.06/2$
	$= -1.700$	$= -2.037$

4) 変光星と比較星との大気量の差 ΔX 、両星の平均 \bar{X} は変光星の前後に観測した比較星との平均を計算する。

5) 変光星と比較星について、観測時刻に対する測光系固有の等級をプロットする。

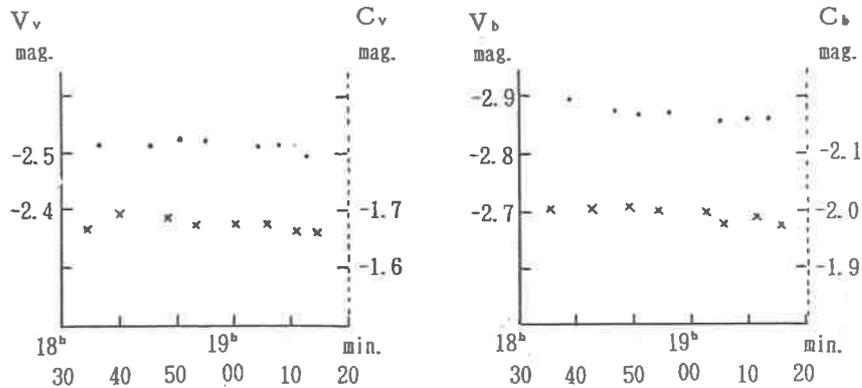


図6・16 変光星と比較星との等級差（測光系の固有値）

「・」は変光星、「×」は比較星の値。変光星を観測した時刻における比較星と変光星との測光系固有の等級差 (Δb 、 Δv) をもとめる。

6) 5)のグラフから、比較星を観測した時刻における比較星と変光星との測光系固有の等級差 Δu 、 Δb 、 Δv を求める。

7) 大気の減光係数、測光系の変換係数などを代入して、標準UBVシステムにおける変光星と比較星との等級差 ΔU 、 ΔB 、 ΔV を計算する。

$$\Delta V = (1 - \epsilon \mu) \Delta v + \epsilon \mu \Delta b - k'_{bv} \Delta X - \epsilon \mu k''_{bv} \bar{X} \Delta(b - v) \quad (6 \cdot 20)$$

$$\Delta B = (\mu + \epsilon \mu) \Delta b + (1 - \mu - \epsilon \mu) \Delta v - (\mu + \epsilon \mu) k''_{bv} \bar{X} \Delta(b - v) - k'_{bv} \Delta X \quad (6 \cdot 21)$$

$$\Delta U = \phi \Delta u + (\mu + \epsilon \mu - \phi) \Delta b + (1 - \mu - \epsilon \mu) \Delta v - (\mu + \epsilon \mu) k''_{bv} \bar{X} \Delta(b - v) - \phi k''_{ub} \bar{X} \Delta(u - b) - k'_{ub} \Delta X \quad (6 \cdot 22)$$

ただし、 $k'_{bv} = k'_{bv} + k'_{bv}$ 、 $k'_{ub} = k'_{ub} + k'_{bv}$

例 測光系の変換係数 $\epsilon = -0.144$ 、 $\mu = 1.94$ 、 $k'_{bv} = 0.300$ 、 $k'_{bv} = 0.430$

第3部 光電観測の実際

$k'_{bv} = -0.03$ としてVar 1の場合、それぞれの値を代入すると。

$$\Delta V = -0.800 \quad \Delta B = -0.823$$

8) 変光星の観測時刻をユリウス日に換算する。

$$\begin{aligned} \text{JD}(0^h\text{UT}) = & \text{INT} [\{-\text{INT}((14-M)/12)+\text{IY}+4800\}1461/4] \\ & + \text{INT} [\{\text{INT}((14-M)/12)12+M-2\}367/12] \\ & - \text{INT} [\text{INT}(\text{INT}(-\text{INT}((14-M)/12)+\text{IY}+4900)/100)3/4] \\ & + D - 32075.5 \end{aligned} \quad (6 \cdot 23)$$

1900年 3月以降なら次のような簡単な式もある。

$$\text{JD}(0^h\text{UT}) = 367Y - \text{INT} [7\{Y+(M+9)/12\}/4] + \text{INT} [275M/9] + D + 1721014 \quad (6 \cdot 24)$$

ここでYは年、Mは月、Dは日である。

この他に、理科年表などを利用して計算する方法もある。

1977, 11, 21

star	α	δ	V	B-V	減光係数				
	h m	' "	mag	mag					
変光星 δ Cap	21 44.8	-16 19			k'_{bv} 0.300				
比較星 γ Cap	21 37.9	-19 31	3.67	0.32	k'_{bv} 0.430				
star filt.	JST	Geo. JD	X	G_v	d_v	v	Δv	\bar{X}	ΔV
		2443468+		G_b	d_b	b	Δb	ΔX	ΔB
	h m		cm	mag	mag	mag			
Comp V	18 34.3		1.749 2	9.54	-1.676				
D	18 35.2		1.752 2	12.96	-2.029				
Var 1 V	18 37.5	.9010	1.717 1	10.17	-2.518	-0.817	1.739	-0.800	
B	18 38.7	.9019	1.761 1	14.37	-2.894	-0.863	-0.044	-0.823	
Comp V	18 40.1		1.769 2	9.57	-1.700				
B	18 43.0		1.779 2	13.06	-2.037				
Var 2 V	18 46.0	.9069	1.745 1	10.16	-2.517	-0.824	1.739	-0.805	
D	18 47.1	.9077	1.793 1	14.22	-2.882	-0.848	-0.043	-0.827	

図6・17 変光星の観測整理表

9) 8)のユリウス日は地心ユリウス日(Geo. JD)なので、これを日心ユリウス日(Hel. JD)に換算する。

地球が公転しているために変光星と地球との間の距離が一年周期で変わり、光到達時間の影響がでる。このような場合は、太陽の中心で観測した(仮定)時刻に直す。右図でSを太陽、Eを地球の位置。 λ 、 β 、 θ を星の黄経、黄緯、地球の日心黄経とすればSBが距離の差になる。

$$\theta = \text{太陽の黄経} \pm 180 (\text{常に正にする})$$

$$\tan \lambda = \sin \varepsilon \cdot \tan \delta / \cos \alpha + \cos \varepsilon \cdot \tan \alpha$$

$$\cos \beta = \cos \delta \cdot \cos \alpha / \cos \lambda$$

$$\triangle S E A \text{ で } A S = R \cdot \cos(\theta - \lambda)$$

$$\triangle S A B \text{ で } S B = A S \cdot \cos \beta$$

第6章 光電観測の整約

$$\therefore SB = R \cdot \cos \beta \cdot \cos(\theta - \lambda)$$

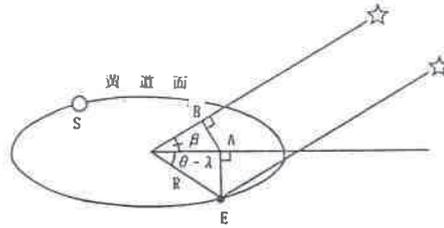


図6・18 日心ユリウス日 (太陽の中心で観測したと仮定した時刻に換算する。)
Rを天文単位で表し、1天文単位の光到達時間が0.00577日であるから

$$\text{Hel. JD} = \text{Geo. JD} + 0.00577 \cdot R \cdot \cos \beta \cdot \cos(\theta - \lambda) \quad (6 \cdot 25)$$

例 δ Capの位置は、 $\alpha = 21\text{h } 44.8\text{m}(326^\circ 12')$, $\delta = -16^\circ 19'$
1977年11月21日の場合、太陽の黄経は $238^\circ 06' 18''$ だから $\theta = 58^\circ 06' 18''$
 $R = 0.9877$ (理科年表から計算で求める)

$$\begin{aligned} \tan \lambda &= \sin 23^\circ 26' \tan(-16^\circ 19') / \cos 326^\circ 12' + \cos 23^\circ 26' \tan 326^\circ 12' \\ &= 0.3977 \times (-0.2927) / 0.830 + 0.9175 \times (-0.6694) \\ &= -0.7545 \quad \therefore \lambda = 322^\circ 58' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \beta &= \cos(-16^\circ 19') \cos 326^\circ 12' / \cos 322^\circ 58' \\ &= 0.9597 \times 0.8310 / 0.7983 \\ &= 0.9990 \quad \therefore \beta = 2^\circ 33' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hel. JD} &= \text{Geo. JD} + 0.00577 \times 0.9877 \times \cos 2^\circ 33' \cos(58^\circ 06' - 326^\circ 12') \\ &= \text{Geo. JD} + (-0.0002) \end{aligned}$$

1 0) 最近の変光周期から、観測時刻の位相(Phase)を計算する。

$$\text{Phase} = (\text{観測時刻のHel. JD} - \text{最も近い元期}) / \text{周期の小数点以下の値} \quad (6 \cdot 26)$$

$$\begin{aligned} \text{例 } \delta \text{ CapのPhase} &= (2443468.9008 - 2435656.911) / 1.022768 \\ &= 7638.086 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{Phase} = 0.086$$

1 1) 整理台帳に結果をまとめる。

star	filt	JST	Hel.JD	ΔV	phase
			2443468+	ΔB	
		h m			
Var 1	V	18 37.5	.9008	-0.800	.0859
	B	18 38.7	.9017	-0.823	.0867
Var 2	V	18 46.0	.9067	-0.805	.0916
	B	18 47.1	.9075	-0.827	.0924
Var 3	V	18 50.4	.9098	-0.809	.0947
	B	18 51.3	.9104	-0.808	.0953
Var 4	V	18 55.4	.9134	-0.807	.0981
	B	18 56.2	.9138	-0.834	.0986

図6. 19 観測整理台帳

第3部 光電観測の実際

12) 光度曲線を作成する。

フィルターごとに位相に対する等級のグラフを作り、データをプロットする。

13) 色指数 $\Delta(U-B)$ 、 $\Delta(B-V)$ の曲線は、 ΔU 、 ΔB 、 ΔV のそれぞれの等級差から、12)と同様にして作成することができる。下図は平均した光度曲線の差から作られたものである。

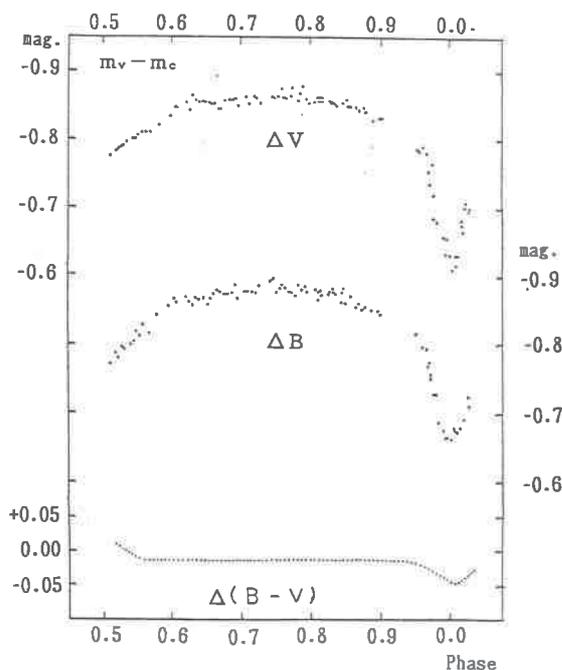


図6・20 δ Cap の光度曲線

B) 口径40センチの反射望遠鏡を使用して、IU AurをUBV3色で観測した例。

日周運動で高度が連続的に変化していく比較星を観測することによって、大気の減光係数を求めることができる。天候が安定していれば、これは非常によい方法である。比較星と変光星とを交互に観測し、その結果から大気の減光係数を求め、2星の光度差を計算する方法を紹介しよう。ここでは、データはコンピュータによって処理されている。

比較星と変光星とを交互に観測した後、§6・3の手順と同様にし計算を進める。

B-1) 減光係数を求める。

1) 比較星、変光星ともにフィルターごとに観測時刻(JST)、ゲインG、ペンの振れ幅d、をコンピュータのデータ文にして観測記録整理表にまとめる。

10000	DATA	315,1990,01,07								
10010	REM	star	hour	min.	G	フレ(U)	G	フレ(B)	G	フレ(V)
10020	DATA	cu,	20,	26.0,	10,	8.60				
10030	DATA	cb,	20,	26.7,			10,	6.82		
10040	DATA	cv,	20,	27.5,					10,	10.20
10050	DATA	vu,	20,	29.8,	10,	9.28				
10060	DATA	vb,	20,	30.0,			10,	7.66		
10070	DATA	vv,	20,	31.2,					10,	11.08
10080	DATA	cu,	20,	33.6,	10,	8.28				
10090	DATA	cb,	20,	34.2,			10,	6.82		
10100	DATA	cv,	20,	34.3,					10,	9.95

図6・21 変光星と比較星のデータ文

第6章 光電観測の整約

- 2) 時角 H A、大気量 X を、A-1) の 2)、3)、4)、5)、6) と同様にして計算する。
 3) 測光系固有の等級 u、b、v を A-1) の 7) ① と同様にして計算する。

例 $u = -2.5 \log 6.18/20$
 $= 1.275$
 $b = -2.5 \log 4.69/20$
 $= 1.575$
 $v = -2.5 \log 6.28/20$
 $= 1.258$

- 4) 大気の減光係数を求める。

計算結果をまとめ、X に対する u、b、v をプロットする。(6・6~8) 式を変形した次式より、これらの点を通る平均的な直線の傾きが大気の減光係数 k' である。

$u = -k'_u X - u_0$ (6・6')

$b = -k'_b X - b_0$ (6・7')

$v = -k'_v X - v_0$ (6・8')

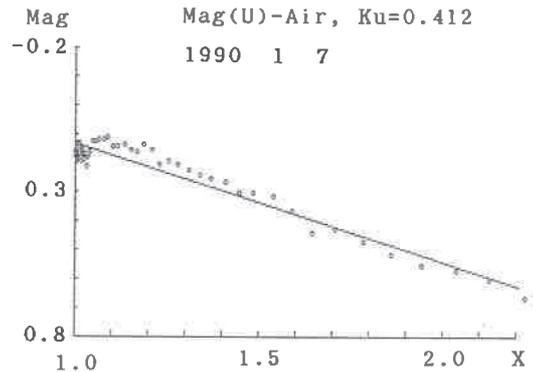


図6・22 大気の減光係数を求めるためのグラフ (Uのみ)

- B-2) 変光星の等級を計算する。

- 1) 時角 H A、大気量 X を A-1) の 2)、3)、4)、5) と同様にして計算する。
 2) 変光星と比較星について測光系固有の等級を計算する。

Mag(UBV)-JST							1990 1 7
Name	Hel. JD	J.S.T.	Air	Mag(U)	Mag(B)	Mag(V)	
cu	2447898.98127	20.4333	1.03616	0.164			
cb	2447898.98176	20.4450	1.03546		0.416		
cv	2447898.98232	20.4583	1.03467			-0.022	
vu	2447898.98391	20.4967	1.03255	0.081			
vb	2447898.98405	20.5000	1.03236		0.289		
vv	2447898.98489	20.5200	1.03124			-0.111	
cu	2447898.98655	20.5600	1.02897	0.205			
cb	2447898.98697	20.5700	1.02844		0.416		

図6・23 測光系固有の等級の計算結果

- 3) 変光星と比較星との大気量の差 ΔX 、両星の平均(X)は変光星の前後に観測した比較星との平均を計算する。
 4) 変光星と比較星について、観測時刻に対する測光系固有の等級をプロットする。

第3部 光電観測の実際

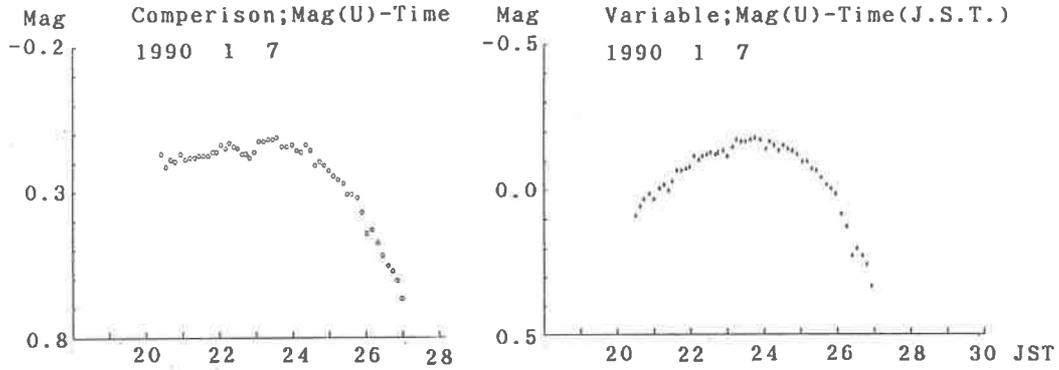


図6・24 変光星と比較星の光度変化 (Uのみ)

光度変化は、天頂距離が連続的に変化していくのに伴って大気の減光が増すため。

- 5) 4)のグラフから、比較星を観測した時刻における比較星と変光星との測光系固有の等級差(Δu 、 Δb 、 Δv)を求める。
- 6) 大気減光の補正をし、標準U B Vシステムの等級(ΔU 、 ΔB 、 ΔV)に変換する。
- 7) 変光星の観測時刻をユリウス日に換算する。
- 8) 位相を計算する。

Ku = 0.4122 Kb = 0.1176 Kv = -.0283 1990 1 7

Hel.JD	dU	dB	dV	U-B	B-V	dF	Ku·dF	Kb·dF	Kv·dF
2447898.98391	-0.103					0.000	0.000		
2447898.98405		-0.126		0.023		0.000		0.000	
2447898.98489			-0.105		-0.022	0.000			-0.000
2447898.98926	-0.142					0.000	0.000		
2447898.98961		-0.154		0.012		0.000		0.000	
2447898.98995			-0.145		-0.009	0.000			-0.000

図6・25 大気減光の補正をして、標準U B Vシステムの等級に変換をする。

- 9) 光度曲線を作成する。
それぞれのフィルターごとに位相に対する等級のグラフを作り、データをプロットする。

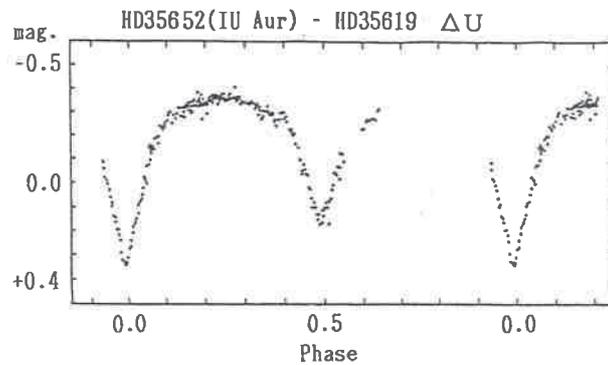


図6・26
IU Aurの光度曲線
(Uのみ)

第6章 光電観測の整約

C) 測光系の変換係数を求める。

以上のようにして得られた値は、ナチュラル・システムでの等級である。望遠鏡によってレンズの透過率や反射率が異なり、また受光器の違いで得られる値に差が生じてくる。これを交換係数で補正して標準UBVシステムの値にする。交換係数を求めるには、天頂付近にあって色が違う標準星を十数個測光し、(6・11～13)を変形した次式から求めることができる。

$$V - v_0 = \epsilon(B - V) + \zeta_v \quad (6 \cdot 27)$$

$$(B - V) - (b - v)_0 = (1 - 1/\mu)(B - V) + \zeta_{bv}/\mu \quad (6 \cdot 28)$$

$$(U - B) - (u - b)_0 = (1 - 1/\phi)(U - B) + \zeta_{ub}/\phi \quad (6 \cdot 29)$$

測光する標準星は、通常次の二つの方法が使われている。

(1) 天頂付近にあって、色が異なる標準星十数個を測光する。この方法は、減光係数を正確に知らなければならない。

(2) プレセペやプレアデスなど、星団内の標準星を十数個測光する。この方法では減光係数を正確に知らなくてもよいが、星が暗いという弱点がある。ほとんどの星団を構成している星は4等以下である。従ってこの方法は、口径15cm以下の望遠鏡には向かない。

1991年1月19日、プレアデス星団内の標準星で求めた結果を例にして示す。観測は大気による影響を小さくするため、快晴で月の無い夜、この星団が天頂付近にある時間に行う。

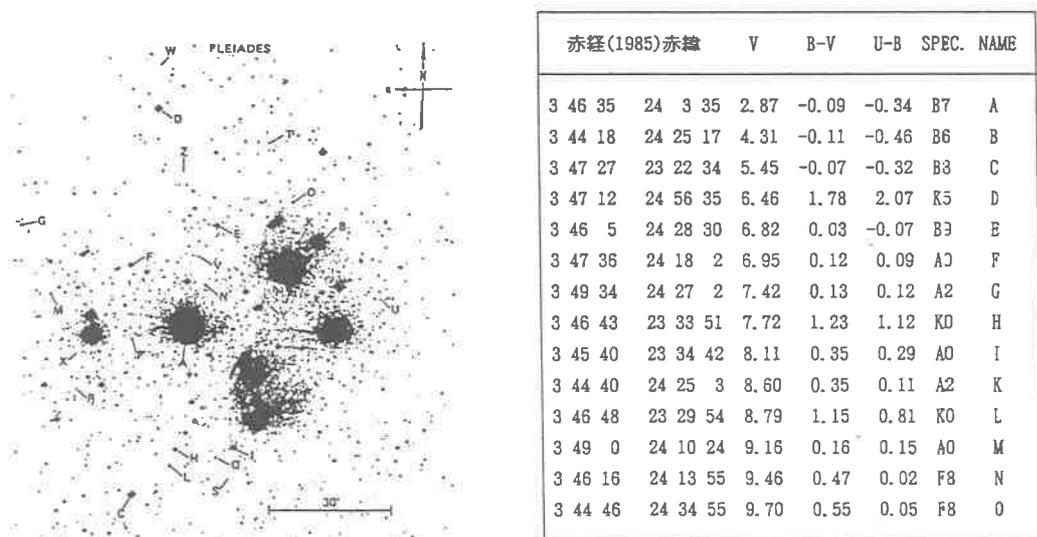


図6・27 プレアデス星団内の標準星とカタログ値

記録紙を整理した後、次の手順で整約を行う。

- 1) 記録紙を読み取り、観測星ごとにフィルター、観測時刻、ゲイン、ペンの振れ幅などを観測記録表に記入する。
- 2) 測光系固有の等級と色指数を計算する。
- 3) 交換係数を求める。

第3部 光電観測の実際

(6・6~10)式から(6・27~29)式の左辺を計算し、値をグラフにプロットしていけば、これらの点をベストフィットする直線の傾きが ϵ 、 μ 、 ϕ 、直線とY軸との交点が ζ_v 、 ζ_{bv} 、 ζ_{ub} になる(表6・1)。

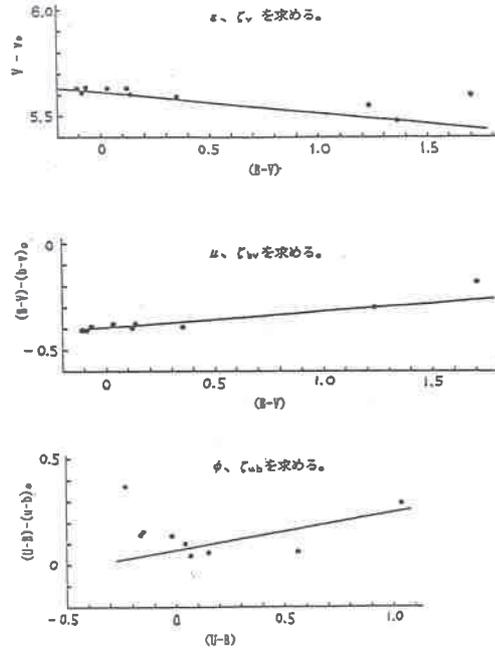


図6・28 直線の傾きと、Y軸との交点から変換係数を求める。
直線の傾きは ϵ μ ϕ 、Y軸との交点がそれぞれの ζ になる。

表6・1 川崎市青少年科学館の測光系の変換係数とその変化。

観測日	ϵ	μ	ϕ	ζ_v	ζ_{bv}	ζ_{ub}
1988. 1. 18	-0.053	1.170	1.200	6.638	0.802	-1.278
1989.12.20	0.044	1.147	1.273	5.315	-0.254	-0.080
再メッキ後						
1991. 1. 9	-0.053	1.081	1.072	5.513	-0.530	0.024

変換係数は時間的にゆっくり変化するので、観測シーズンの始めと終わりにもとめ。その間の平均値を使用すれば充分である。

文献

Douglas S.Hall, Russell M.Genet :Photoelectric Photometry of Variable Stars
Paul C.Schmidtke, Jeffrey L.Hopkins :WORKBOOK for ASTRONOMICAL PHOTOMETRY

第7章 協同光電観測

伊藤芳春（宮城県仙台西高校）

§ 7・1 協同観測の意義

協同観測の意義は連続観測と全波長域での観測の二つがある。連続観測という点では、天文現象は人間の都合とはおかまい無しに繰り返り広げられており、地球上の一観測地点で観測する限り昼夜の繰り返りと天候の変化は避けられず連続観測は難しい。したがって一つの天体を連続して観測するためには国際協同観測が必要になる。日本は太平洋という観測上の大きな空白地帯の後に位置するため国際的に重要視されている。全波長域での観測という点では現在では地上を離れ人工衛星による観測がなされているが、すべての波長をカバーしているわけではなく、地上からの光による同時観測が必要な場合が多い。

協同観測の成果は貴重なデータが得られるということだけでなく、『競争』ではなく文字どおり『協同』で行うことであり、準備、観測、発表という過程を通して光電観測という狭い専門分野であるが『国際理解』、『国際貢献』をすることができる。自由で平和な世界でこそ協同観測ができるのである。

§ 7・2 協同観測のタイプ

協同観測には国際協同観測と国内協同観測の二つのタイプがある。国際協同観測は変光星、太陽系天体を問わず連続観測が必要な場合で、日本・ヨーロッパ・アメリカと明け方になる地域から夜を迎える地域へと観測を引き継いで行われる。この場合最近では地上からの光電観測だけでなく、スペクトル、人工衛星による紫外線や γ 線等による総合的な観測になることが多い。このような協同観測としては超新星、新星、RS CVn型、長周期食変光星、ガリレオ衛星相互現象があげられる。

国内協同観測は食変光星の極小、小惑星による恒星食、掩蔽など日本でのみ観測できる現象や関心を持っている研究者が日本にいて観測を計画する場合である。国内協同観測でも、観測結果は世界中の研究者に利用されている。

§ 7・3 協同観測の仕方

観測の記録データは測光系固有の等級であるため光度変化は分かっても他の観測所のデータと比較することができない。そのため測光装置は光電観測の標準となっているジョンソンシステムに合わせた装置であること、またはその他の標準となっているシステムであること、そして標準星の観測により変換係数を求めておく必要がある。または、協同観測キャンペーンで指定された標準となる星の観測をしておかなければならない。

協同観測の申込みはJ A P O A通信をはじめI A P P P、I B V S、I A Uサーキュラ

第3部 光電観測の実際

一、天文誌（天文ガイド、月刊天文、スカイウォッチャー）等に協同観測の提案が掲載されているので、観測可能な場合それぞれ所定の方法で連絡をとる。観測実績を積むと外国の研究者から直接協同観測の誘いの手紙が送られてくることもある。

J A P O A 通信は J A P O A に入会すれば手に入れることができる。I A P P P も個人で入会することができる。I B V S と I A U サーキュラーはアマチュアは個人では手に入れることは難しいが、I B V S は J A P O A データセンター（荒井菊一氏）に郵送されているのでそれを見ることができる。I A U サーキュラーはパソコン通信の N I F T Y 等に掲載されているのを利用することができる。

観測結果については所定の方法（観測のデータ、または標準システムに等級を変換した最終結果）で協同観測の提唱者へ送ることになる。データが多い場合はフロッピーディスクで送る場合もあるが、筆者はフランスの研究者へ日本の標準的な MS-DOS でフォーマットしデータを送ったところ、I B M で読めるような形で送ってほしいという国際電報を受け取ったことがある。すぐにフォーマットを変え I B M で読めることを確認して送ったが、世界の標準との違いを考えさせられた。

論文発表の形式について最近では貢献度によっては協同観測者全員の連名で発表されることも多くなってきた。

§ 7・4 協同観測の成果

J A P O A としての協同観測の成果と、J A P O A 会員が行った協同観測の成果を次に報告する。ここでは協同観測の組織と結果の得られた光度曲線を報告する。研究内容についてはそれぞれの論文を参照してほしい。関連する論文についても付記したので併せて参照してほしい。

J A P O A 結成以前の協同観測の成果は尾形齊（1992）の論文を見て欲しい。

表 7. 1 これまでの協同観測星

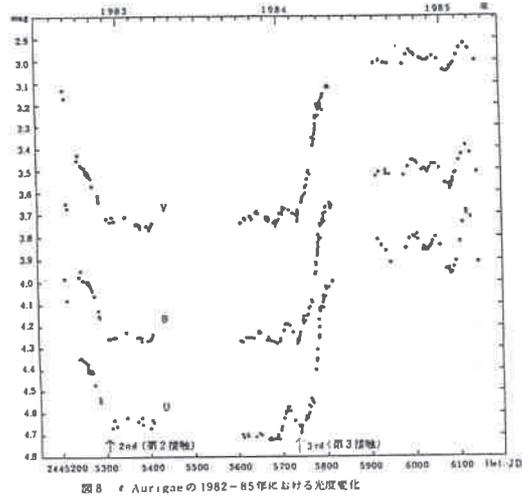
協 同 観 測 星	時 期	提 唱 者
a) ϵ A u r (ζ A u r 型)	1982~1985	I A U 国際協同観測
b) E I E r i (R S C V n 型星)	1987~1988	Strassmeier, 国際協同観測
c) C U E r i 食連星か?	1988~1988	J A P O A 協同観測
d) γ C a s (B e 型星)	1989. 1~2	小暮智一, 国際協同観測
e) τ P e r 分光連星の食	1989. 2	Griffin, 国際協同観測
f) I O C o m 分光連星の食	1989. 3	Griffin, 国際協同観測
g) γ P e r 分光連星の食	1990. 9	Griffin, 国際協同観測
h) γ G e m の小惑星による掩蔽	1991. 1. 13	掩蔽観測グループ

第7章 協同光電観測

a) ギョウシャ座ε星(ζ Aur型) [観測期間1982年~1985年]

ギョウシャ座ε星(ε Aur)は27.1年周期の食変光星である。約3等級と比較的明るい星ながら謎が多く、これまで最も多く論文が書かれた星の一つである。1982年から1984年の食を迎えるにあたり、この謎を解明するためR. Stencel(NASA)やJ. Hopkins (Phenix天文台)の提唱によりIAUの国際協同観測星に取り上げられた。

図7.1
ε Aurの光度変化(1982-85)



結成されたばかりのJAPOAは初めての協同観測星として精力的に観測を行った。長い食が続いていたため国の内外から食の途中であるにもかかわらず多くの観測結果が報告され、それがまた刺激となって盛んに観測された。減光は比較的穏やかに進んだが第3接触(観測当時はわからない)直前の異常な増光、食が終わってからも続いていた変動など長い食ではあったが多くの興奮をもたらした協同観測であった。日本は冬季に晴天率が高いためJAPOAでは数多くの質の高い観測結果を得ることができた。この観測結果を持って1985年11月に第19回IAU総会(ニューデリー)に阿部正、大森茂雄が出席し国際的に高い評価を得た。IAPP.Communication No. 27号ではこの観測において貢献の大きかった世界各地の観測グループのひとつとして福島大グループが写真入りで紹介された。

表7.2 ギョウシャ座ε星 協同観測参加観測所

観測者	観測地	口径	測光器	色
大森茂雄 布施憲太郎	神奈川県立教育センター	20 cm	屈折直流増幅	BV
大森茂雄 関谷育雄 若宮崇令 小林正人 旦民 衛	川崎市青少年科学館	40 cm	反射直流増幅	UBV
大木俊夫 吉成浩子 関谷育雄 平山勝則 坂井美晃	福島大学	20 cm	反射直流増幅	UBV
阿部 正 中村 毅	巻天文台(新潟県)	30 cm	反射直流増幅	UBV
伊藤芳春	角田女子高(宮城県)	15 cm	屈折直流増幅	BV

第3部 光電観測の実際

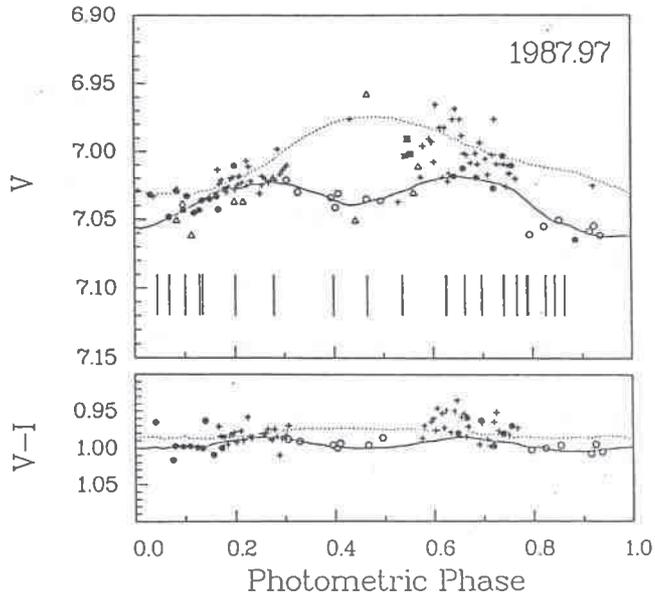
b) E I Eri (RS CVn型星)〔観測期間1987年～1988年〕

1987年から1988年にかけてStrassmeierの提唱によりRS CVn型星であるE I Eri星の国際協同観測が行われた。協同観測に参加したのは14観測所、22名でアメリカ合衆国、イタリア、スイス、チリ、スペインそして日本である。集められた観測の中で最も多かったのは大島 修の500個であり、第2位はAPTの62個であり大島修の精力的な観測の様子が伺える。観測した望遠鏡の中で最小口径は筆者の15cmであった。

表7.3 E I Eri 協同観測参加観測所

観測者	観測地	望遠鏡	測光器	色
大島 修	岡山県倉敷市	20 cmカセグレン	自作測光器	UBV
伊藤芳春	宮城県角田女子高	15 cm屈折	自作測光器	BV

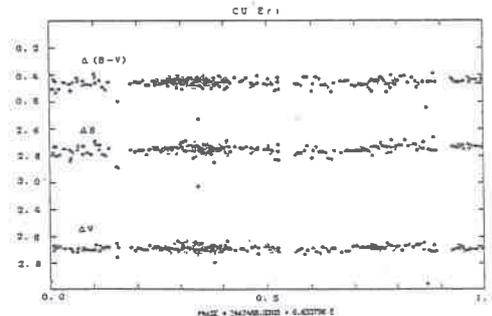
図7.2
E I Eriの光度曲線



c) CU Eri (W UMa型食連星か?)〔観測期間1988年11月～1989年12月〕

変光要素を求めるためJ A P O A協同観測星に指定し、1988年11月から翌年12月まで観測に取り組んだが、結局変光星ではなかった。観測中もCU Eriの文献を探して読んでいた。いよいよ変光星でないことをまとめようとしていたとき既に変光星でないことの記載があったことを知らされた。くれぐれも文献を調査しなければならない。

図7.3
CU Eriの光度変化?
(変光なし)



第7章 協同光電観測

表7.4 CU Eri 協同観測参加観測所

観測者	観測地	望遠鏡	測光器	色
大島 修	岡山県倉敷市	20 cmカセグレン	自作測光器	UBV
伊藤芳春	宮城県角田女子高	15 cm屈折	自作測光器	BV

d) γ Cas (Be型星) [観測期間1989年1月~2月]

1989年1月から2月にかけて京都大学のグループの提唱によりBe型でありX線星であり不規則変光星である γ CasについてのX線、遠紫外線、光学観測が行われた。X線と遠紫外線の観測ではそれぞれX線衛星ぎんがと紫外線衛星IUEが使われ、光学観測のうち分光観測ではHaute Provence天文台、Kitt Peak国立天文台、紫金山天文台、北京天文台、岡山天体物理観測所で行われた。UBV測光観測では北京天文台とJAPOA会員が観測に取り組んだ。

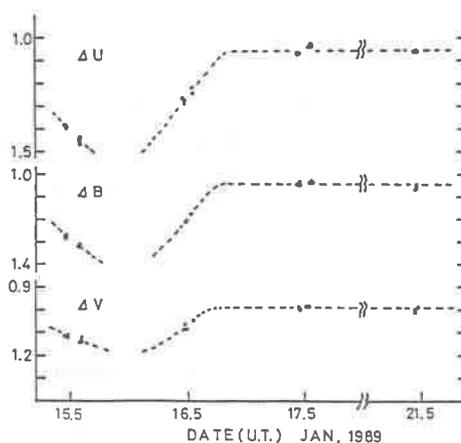
表7.5 γ Cas 協同観測参加観測所

観測者	観測地	望遠鏡	測光器	色
Z. Guo, L. Huang	北京天文台	60 cm反射望遠鏡		UBV
大島 修	岡山県倉敷市	20 cmカセグレン	自作測光器	UBV
伊藤芳春	宮城県角田女子高	15 cm屈折	自作測光器	BV

e) τ Per (分光連星の食) [観測期間1989年1月]

ケンブリッジ大学天文台のGriffinは分光連星の精密な観測から食連星の可能性のある星の食の時刻を予報し、光電測光観測者に協同観測を呼びかけている。

図7.4
 τ Perの食



τ Perは ζ Aur型星で巨星(G8III)と早期主系列星(A3V)とからなる連星である。予想された食の時刻は2月16.3日であった。この τ Perの公転周期は4年あまり(1516

第3部 光電観測の実際

日)であるが食の期間はわずかに2日間というものであった。この協同観測は大島修の貢献が大きかった。先ず地理的に観測者の少ない重要な位置にあり、観測数が多く、しかも食現象の夜に観測がおこなわれ、確実に現象を捕らえていたことである。更にVよりも食が深かったBとUでも観測を行っていた。このため大島修の観測は協同観測提唱者のGriffinから高く評価された。

表7.6 τ Per 協同観測参加観測所

観測者	観測地	望遠鏡	測光器	色
大島 修	岡山県倉敷市	20 cmカセグレン	自作測光器	UBV

外国の観測者

Schroder, Lick observatory, USA	Kriscius, Hilo, Hawaii, USA
Snyder, Crystal Bay, Nevada, USA	Ellis, Bexleyheath, Kent, UK
Frey, W. Bloomfield, Michigan, USA	Mitton, Sornes Bar, California, USA
Williams, Indianapolis, USA	Miles, Manley, Chehire, UK
Houchen, Guissorough, Cleveland, UK	

f) IO Com (HD116093) (分光連星の食) [観測1989年3月19日]

HD116093星は δ Aur型星である。Griffinの予報によると食の可能性が高く、食の中心時刻は1989年3月19日の真夜中におこるというものであった。これは日本でしか観測できない。そこで大島、筆者共に万全の態勢で臨んだが、この星は約9等星と暗く特に筆者の望遠鏡では観測限界ぎりぎりであった。しかも観測を開始したときは月齢12の月がまだ出ておりスカイのレベルが高かった。大島の方は目的星の観測には十分な口径であるが後半わずかに薄雲の影響を受けた。減光らしいものが観測された。一方筆者の方は一晩中天気が良く、減光らしいものが観測されたが暗いため自信が持てなかった。それぞれ食らしき減光が認められたが一観測所では決定的なことは言えなかった。後日、二つの観測を重ね合わせると見事に減光が一致していた。協同観測の重要性を強く感じさせられた観測であった。また、この観測はGriffinも喜びAAVSOの δ Aur型星についての解説を次のような文で結んでいる。『観測を依頼することのリスクは、あまりに大きく、あまりにしばしば起こるが、我々は測光的に興味あるものをもたらすかも知れない数個の付け足される天体を観測するように要請することを期待する。つまり、主系列星のペアからなる潜在的な食連星あるいは恒星黒点を示すようなシステム(BY DraとかRS CVn)のような天体である。励まされたのは、最近のHD116093の“成功”である。その星は、我々がインドの雑誌 J. Astrophys. Astr. (9, 205, 1988)に軌道要素を与えた主系列のペアである。1989年3月19.61日と予報された日は、日本の観測者たちの注意を引き、彼らはまさに予報された時刻の1時間以内で食が起こったことを観測した。』

その後、この星は変光星として正式に登録され IO Comと名付けられた。

第7章 協同光電観測

図7.5
I O Comの食

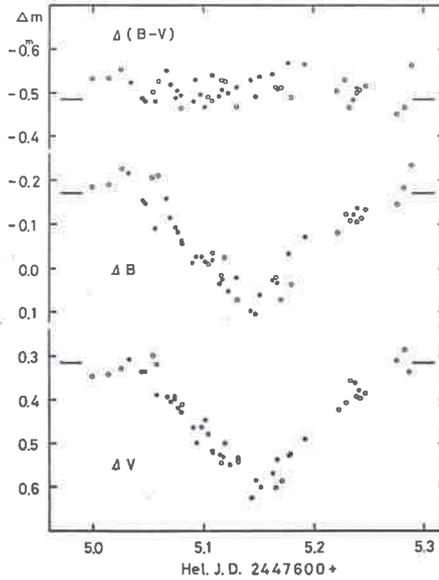


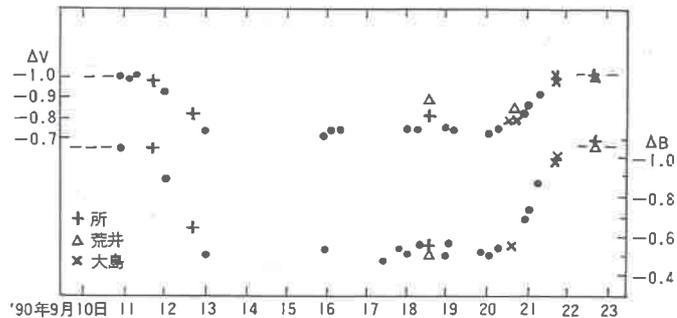
表7.7 I O Com (HD116093) 協同観測参加観測所

観測者	観測地	望遠鏡	測光器	色
大島 修	岡山県倉敷市	20 cmカセグレン	自作測光器	UBV
伊藤芳春	宮城県角田女子高	15 cm屈折	自作測光器	BV

g) γ Per (分光連星の食) [観測期間 1990年9月]

食変光星といえばペルセウス座の β 星すなわちアルゴルが有名であるが、 γ 星も光電観測によって食変光星であることが発見された。1990年7月に Griffinより観測依頼があり、それには9月中旬に食の起こる可能性があること、そのためGriffin自身はカラアルト天文台での観測の後、パロマ山天文台の5メートル望遠鏡でスペクトルの観測をするつもりであることが書いてあった。さらに、食の減光が観測されたら直接パロマ山天文台まで電話で知らせてほしいという内容だった。

図7.6
 γ Perの食



第3部 光電観測の実際

Griffin の意気込みもあり J A P O A を中心に国内各地で観測態勢が敷かれたが、時期は天候の悪い9月中旬であった。悪い天候にもかかわらず、所 建（東久留米市）が最初に食の減光を観測し、その後荒井菊一（埼玉）、大島修（倉敷市）たちも観測に加わり食の光度曲線が得られた。京都大学理学部、阿部正（新潟）は食の間は天気が悪く、結果的に食が終わってからの観測データを得た。この γ Per に関する発見のドラマと意義については Griffin が *スカイノート* テレスコプ に大島修が *スカイウォッチャー* に書いているので詳しくはそちらを読んで欲しい。

表 7. 8 γ Per 協同観測参加観測所

観測者	観測地	望遠鏡	測光器	色
所 建	東京都東久留米市	25 cm シュミットカセグレン	SSP-3	BV
荒井 菊一	埼玉県北川辺町	28 cm シュミットカセグレン	SSP-3	BV
大島 修	岡山県倉敷市	20 cm カセグレン	自作測光器	UBV

h) ふたご座 γ 星の小惑星ミルラによる掩蔽〔観測1991年1月13日〕

小惑星による恒星の掩蔽は高精度の位置予報と天気条件などのため現象を観測するのはたいへん難しい。1958年にこの観測が始められてからの成功例は数十回に過ぎず、日本では今回以前には2回、世界的にみても一年間に数回しか成功していない。しかし、観測に成功すれば形状や位置など高精度な情報が得られる。

今回の掩蔽は隠される星が2等星であったこと、予報位置が九州南部からはずれて東京を通過したこと、現象時間が日曜日の夜9時という観測しやすい時間帯であったため多くの観測データが集まった。掩蔽観測を機材別にみると光電観測者が1名、ビデオ観測者2名、写真観測者9名以上、眼視観測者が数十人になった。

光電観測とビデオの観測は客観性があるためデータの質が高く評価され、特に大矢鴻の光電観測結果は0.02秒の精度で潜入と出現の時刻が求められている。これらのデータから小惑星ミルラとふたご座 γ 星についてのいくつかの新事実がわかった。詳しくは佐藤・相馬・広瀬（1992）による文献をみてほしい。

光電観測はわずかな雲があっても観測できず、天体観測の中で最も観測条件がきびしい。そのため一観測所で得られるデータには限りがあり、その数少ない貴重なデータを活用するためにも是非協同観測に参加して欲しい。今夏（1992年8月）ダブリンで開催された I A U コロキウム 136 Stellar Photometry の第3日目午後のセッションはグローバルネットワークについてであった。各研究者から研究・教育のためコンピューターで結ばれたホームブックテレスコプによる観測の展望が示された。日本の天気でオートマチックな観測は難しいと思われるが、国際的な協同観測の重要性はますます増大する。

第7章 協同光電観測

参考文献

- ・尾形 斉, 1970年代のアマチュア光電測光及び国際協同観測, J A P O A 通信21号, 1992
- ・大島 修, 協同観測星, J A P O A 通信18号, 1991
- ・日本アマチュア光電測光観測者会議(JAPOA) 編集者大森茂雄, ぎょしゃ座 ϵ 星の光電測光による共同観測(1982-1985)、川崎市青少年科学館年報(3):27-34 1985年
- ・JAPOA, PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF ϵ AURIGAE DURING THE INGRESS, I. B. V. S. No. 2371, 1983
- ・OKI, T., SEKIYA, I., HIRAYAMA, K., I. B. V. S. No. 2496, . . , 1984
- ・大木俊夫、ぎょしゃ座 ϵ 星の食、月刊天文 1985.11
- ・T. OKI, Y. SAKAI, IS THE COMPANION DISK OF ϵ AUR BECOMING FLAT?, Sci. Rep. Fac. Educ., Fukushima Univ 1984
- ・阿部 正・中村 毅、食変光星、御者座 ι° 星(ϵ Aur)の光電測光(中間報告) 沼垂高校研究紀要1983
- ・阿部 正、食変光星の光電測光とその解釈
- ・朝日新聞 1984年5月15日 イプシロン星異常あり
- ・北村正利、朝日コスモス1988年版ぎょしゃ座 ϵ の特異性、
- ・Jeffrey L. Hopkins, THE 1982-1984 ECLIPSE CAMPAIGN FOR EPSILON AURIGAE, I. A. P. P. P. COMMUNICATION No. 27, MARCH 1987
- ・Klaus G. Strassmeier James T. Hooten, STATUS REPORT ON THE INTERNATIONAL CAMPAIGN OF SIMULTANEOUS VRI PHOTOMETRY AND SPECTROSCOPY OF EI ERI = HD 26337, I. A. P. P. P., COMMUNICATION No. 34 DECEMBER 1988
- ・K. G. STRASSMEIER(Vanderbilt大)を中心とした共同論文, PHOTOELECTRIC PHOTOMETRY OF THE RS CVn BINARY EI ERIDANI=HD26337, Astrophysics and Space Science. 155:45-51, 1989
- ・OSAMU OHSHIMA and YOSHIHARU ITO, PHOTOMETRIC DETECTION OF ECLIPSE IN THE SPECTROSCOPIC BINARY HD116093, I. B. V. S. No3332
- ・R. F. Griffin, Gamma Persei Eclipsed!, Sky & Telescope, June 1991
- ・大島 修、 β ルセウス座 γ 星はじつは食変光星だった, スカイウォッチャー 1991年8月号
- ・佐藤 勲・相馬 充・広瀬敏夫, 小惑星(381)ミルラによるふたご座 γ 星の掩蔽, 星の手帖 1992年秋号

第4部

光電観測対象としての食変光星

J A P O Aではこれまで光電観測の主なる対象を食変光星におき、観測した光度曲線をパソコンを使って解析し、その要素を発表してきた。従って、第4部ではJ A P O A会員が使用した光度曲線解析法の概略を示す。また、解析に必要なパソコン・プログラムはそれぞれの筆者に依頼すれば提供を受けることができる。

第8章 球状星モデルの解析

§ 8・1 食変光星の光度曲線から何がわかるか

阿部 正（新潟市立沼垂高等学校）

最近の天文学では恒星の約半数が連星系をつくっていると考えられている。その連星の公転軌道が偶然に、我々の視線方向にあるものが、食を起こして食変光星として観測される。したがって食変光星は変光星とはいうものの、星自体の光度が変化するのではなく、ある星がその星のまわりを公転する他の星に隠されて明るさが変化する現象である。

今までのところ、全天で4000個以上の食変光星が見つまっているが、この内、光電観測がされて、その星の性質が詳しくわかっているのはごくわずかしかない。

ラッセルは食変光星を光度曲線の様子から次のように分類した。

(1) 二星間の距離が離れているために、食外の光度曲線が平坦になるもの。

この種類はさらに次の二つに分類される。

(ア) 皆既食のために、極小光度が一定時間継続しU字型を示すもの。

(イ) 部分食のために、極小が長く続かずV字型を示すもの。

(2) 二星が近接しているため潮汐作用が強く働き、星が楕円となるために、光度曲線はW字型の連続的に変化する曲線になるもの。

この種類はまた次の二つにわけられます。

(ア) 周期が0.5日より長く、第一極小の深さと第二極小の深さが異なるもの。

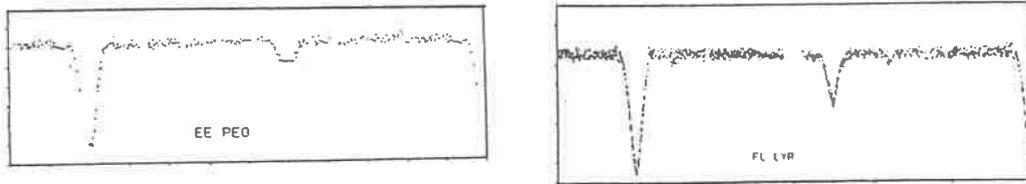
(イ) 周期が0.5日より短く、両極小の深さがほとんど変わらないもの。

現在では(1)の(ア)(イ)をまとめてアルゴル型、(2)の(ア)をこと座β星型、(イ)をおおぐま座W星型とし、三つの型に分ける分類方法が広く使われている。

連星を構成する両星のうち明るい方を主星、暗い方を伴星といい、食変光星の場合には

第8章 球状星モデルの解析

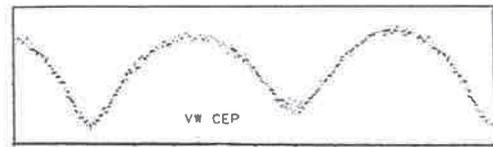
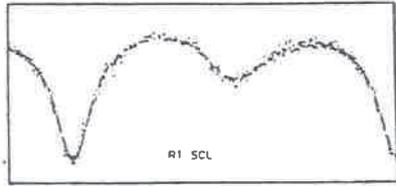
一公転する間に普通二回暗くなる。そのうち伴星が主星を食するときは大きく減光する。このときを第一極小または主極小という。主星が伴星を食するときは第一極小ほど減光しないがやはり暗くなる。このときを第二極小または副極小といい伴星がほとんど光を出していないときは第二極小は見られず第一極小だけの光度曲線になる。



皆既食

部分食

(a) アルゴル型光度曲線

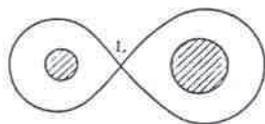


(b) こと座β星型光度曲線

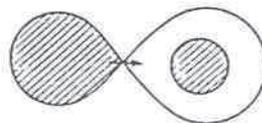
c) おおぐま座W星型光度曲線

(Fracastoro 1972 による)

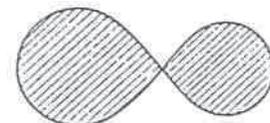
1955年にコパールは、二星間の力学的見地から分離型、半分離型、接触型の三種類にわけけることを提案した。分離型近接連星は両星ともに主系列星で、まだ進化による星の膨張が始まっていない。したがって反射効果、楕円効果などの影響は少なく、食外での光度曲線の歪みも少なく、軌道は大きな離心率をもつことがある。光度曲線はアルゴル型になる。半分離型近接連星の主星は主系列星であるが、伴星は重力圏の範囲(ロッシュ・ローブ)を満たして巨星か準巨星のように密度が薄くなっている。軌道は円軌道で、光度曲線はアルゴル型か、こと座β星型になる。接触型近接連星は両星ともロッシュ・ローブを満たし、共通の大気が両星を取り巻いている。このことから、この二つの星は大きさも光度もスペクトル型も大体同じになる。また、両星が接触しているために楕円効果や反射効果などの影響が強くあらわれ、光度曲線は主におおぐま座W星型を示す。このように食変光星の光度曲線を解析すると、単独星からは決してわからない次のような、さまざまな星の物理量が明らかになってくる。



(a) 分離型



(b) 半分離型

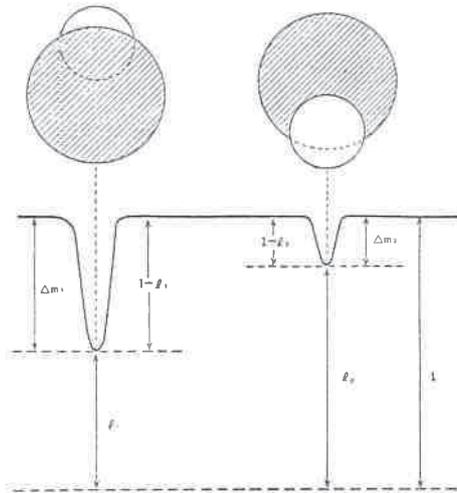


(c) 接触型

第4部 食変光星光度曲線の解析

図中の曲線は主星と伴星の引力、二星の公転による遠心力の合力で、等ポテンシャル面を表わしている。重力0のL点（ラグランジュ点）を通る等ポテンシャル面をロッシュ・ローブという。進化的膨張によりロッシュ・ローブを満たした星はL点から質量が他星に移動する。

(1) 二つの星の半径の比。



D ; 食の継続時間
 d ; 皆既食継続時間
 p ; 公転周期
 r_1 ; 主星の半径
 r_2 ; 伴星の半径

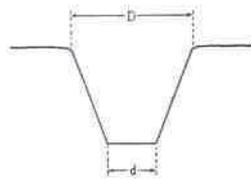
伴星の円軌道半径を1とすると

$$r_1 = (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) / 2$$

$$r_2 = (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) / 2$$

$$\frac{1-l_1}{1-l_2} = \frac{(\text{明るい星の表面輝度}) \times (\text{第一極小で明るい星がかくされる面積})}{(\text{暗い星の表面輝度}) \times (\text{第二極小で暗い星がかくされる面積})} = \frac{(\text{明るい星の表面輝度})}{(\text{暗い星の表面輝度})}$$

(2) 二つの星の表面光度の比。



Δm_1 ; 第一極小時の減光等級

Δm_2 ; 第二極小時の減光等級

$1-L_1$; 第一極小時の減光光度

$1-L_2$; 第二極小時の減光光度

食外の光度を1とすると

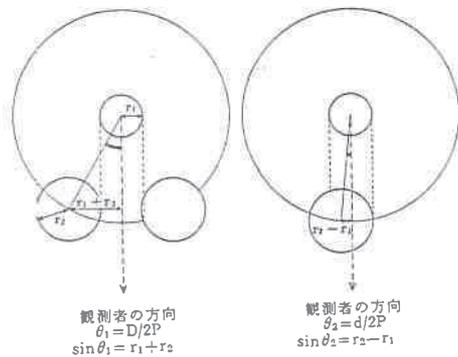
$$\Delta m_1 = 2.5 \times \log (1/(1-L_1))$$

$$\Delta m_2 = 2.5 \times \log (1/(1-L_2))$$

両星の単位面積あたりの光度比

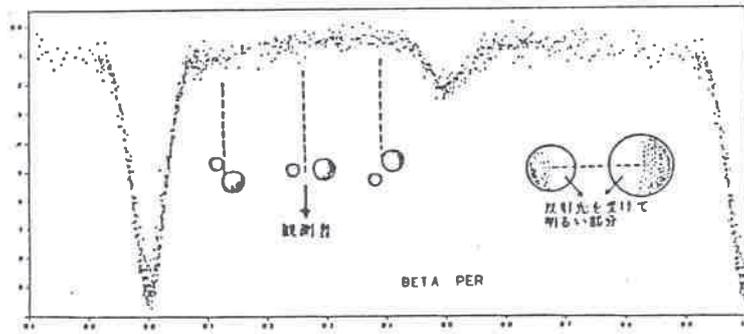
$$= (1-L_1) / (1-L_2)$$

(北村 1965 による)

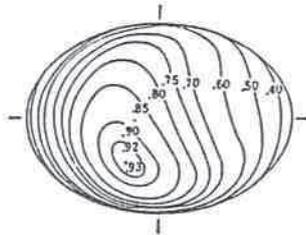


第8章 球状星モデルの解析

- (3) それぞれの星がかくされる面積。
- (4) 二つの星の楕円の度合。(偏平率)
- (5) 二つの星の反射の仕方。(反射効果)



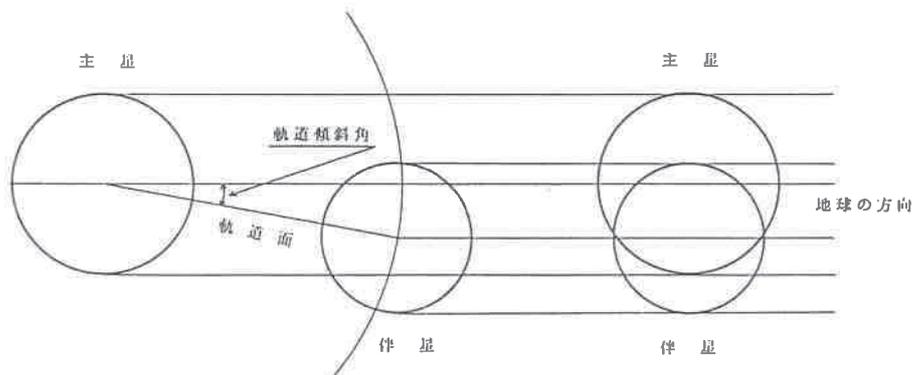
- (6) 星の表面で、光がどんな割合で減光しているか。(周辺減光係数)



周辺減光、反射効果、楕円効果を
考慮した星の表面の輝度分布
($i = 80^\circ$ 、 $\theta = 30^\circ$)

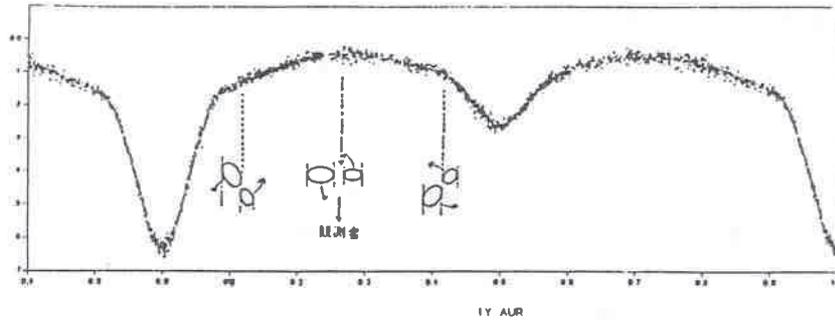
(D. B. Woodによる)

- (7) 二つの星の軌道がどの程度傾いているか。(傾斜角)

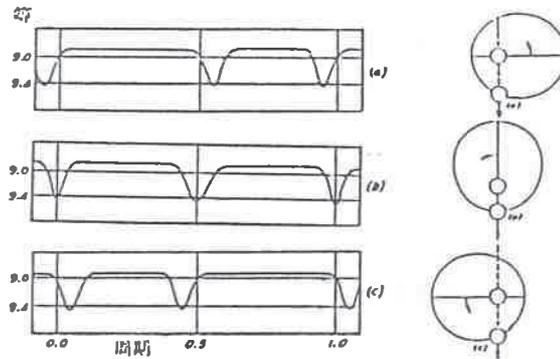


第4部 食変光星光度曲線の解析

(8) 二つの星の引力で、星がどれくらい歪んでいるか。(楕円率効果)



(9) 軌道がどのくらいつぶれた楕円か。(離心率)



(下保 1972 による)

(10) 二星が軌道上を回転するとき、コマの首振りのような運動をするかどうか。

(11) 二つの星の外に別の天体が近くにあるかどうか。

(12) 二つの星の内どれかが脈動などで変光していないか。

これらを全て解析することは難しいが、(1)(2)(3)が光度曲線に最も大きな影響を与え、食変光星解析の基本的な数値となる。この解析方法については次の章で詳しく説明する。(4)(5)(6)の影響は合計して0.25等程度である。(7)(8)(9)(10)の影響は少なく、合計して0.05等位にしかない。

このように光電測光で光度変化を詳しく観測することによって、はじめて食連星のさまざまな物理量がわかるので、細心の注意を払って測光することが大切である。

参考文献

- 北村正利、進士 晃 1965、変光星（新天文学講座、6 恒星の世界）、恒星社厚生閣
- 下保 茂 1972、変光星の探究、恒星社厚生閣
- 北村正利 1982、星の物理、東大出版会
- 北村正利 1992、連星－測光連星論－（宇宙物理学講座 第2巻）、ごとう書房

(a) 不完全フーリエ変換法

中村 毅 (新潟県立小千谷西高等学校)

§ 8・a・1 不完全フーリエ変換法の概略と手順

不完全フーリエ変換法 (北村 正利、1965) とは、観測した食変光星の光度曲線にいくつかの変換を行い、楕円効果、反射効果などの近接効果を取り除いた光度曲線にし、この光度曲線に不完全フーリエ変換を行い光度曲線の特徴を表す特性関数を求め、この特性関数から食変光星の軌道要素を求める方法である。特性関数から食変光星の軌道要素を求めるには、食変光星の軌道要素と特性関数は 1 対 1 に対応しているので、食変光星のいろいろな軌道要素に対する光度曲線の特性関数を計算して、実際に観測して得た光度曲線の特性関数と比較して、一致する軌道要素を選び出せばよい。しかし、食変光星のいろいろな軌道要素に対する特性関数を計算することは、莫大な時間を要するので、すでにいろいろな軌道要素に対する特性関数が計算された値が掲載されている表 (北村 正利、1967) を利用して選び出す。

表に掲載されている特性関数の値は、食変光星を構成している星が球形で円軌道を運動している球状星モデルで計算されている。そのため、表の特性関数の値と観測した光度曲線から求めた特性関数の値を比較するとき、観測した光度曲線から近接効果を取り除いてから特性関数を求める必要がある。

不完全フーリエ変換法による食変光星の光度曲線の解析手順を図 8・a・1 に示す。この図に従って不完全フーリエ変換法の手順の要点だけを簡単に説明する。

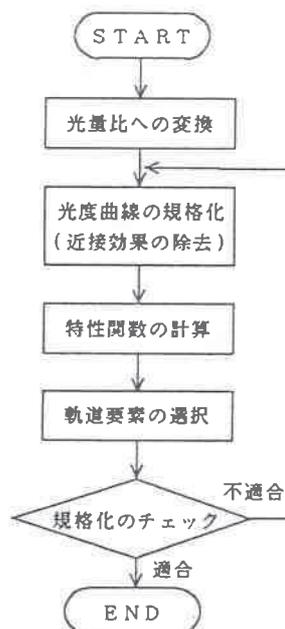


図 8・a・1
不完全フーリエ変換法の手順

- ① 観測によって得られた光度曲線の等級を光量比に変換する。つまり、等級を光のエネルギーの比に変える。
- ② 光量比に変換された食変光星の光度曲線から、楕円効果、反射効果などの近接効果を取り除いて光度曲線の規格化を行う。
- ③ 光度曲線の規格化を行った後、食が起きている部分の光度曲線に不完全フーリエ変換を行い、光度曲線の特性関数を求める。

第4部 食変光星光度曲線の解析

- ④ 食変光星のいろいろな軌道要素に対する光度曲線の特性関数の値が掲載されている表と求めた特性関数の値を比較し、その値と一致する食変光星の軌道要素を選び出す。
- ⑤ 求めた光度曲線の特性関数の値をもとに、光度曲線から近接効果の除去が正しく行われたかをチェックする。近接効果の除去が正しく行われていなかった場合は、②の光度曲線の規格化、③の特性関数の計算に戻り、近接効果の除去が正しく行われるまで、それらを繰り返す。近接効果の除去が正しく行われた場合は、求めた特性関数と一致する軌道要素を表から選び出し、その選び出した軌道要素が観測した食変光星の軌道要素となる。

§ 8・a・2 等級から光量比への変換

等級から光量比への変換にあたっては、観測した食変光星の光度曲線の個々のデータを食外の最も明るい等級の光量を1としたときの光量比に変換していく。選び出した最も明るい等級をMとして、光量比に変換したい等級をmとすれば、2・3式を用いて求めたい光量比 $l_{r.e.}$ は

$$l_{r.e.} = 2.5119^{M-m} \quad (8 \cdot a \cdot 1)$$

となる。この8・a・1式を用いて観測した食変光星の光度曲線の等級を光量比に変換する。

§ 8・a・3 光度曲線の規格化（近接効果の除去）

表に掲載されている特性関数の値は、食変光星を構成している星が球形で円軌道を運動している球状星モデルで計算されている。そのため、観測した光度曲線から求めた特性関数の値と表に掲載されている特性関数の値を比較するには、観測した光度曲線から、楕円効果、反射効果などの近接効果を取り除かなければならない。

近接による星の形状の球からの歪曲が余り著しくない場合は、観測した光度曲線から近接効果を取り除くため、光度曲線 l の食外部分を

$$l = A_0 + \sum_n (A_n \cos \theta + B_n \sin \theta) \quad (8 \cdot a \cdot 2)$$

とフーリエ展開する。ここで、 θ は位相を示す。求めたフーリエ展開係数 A_0 、 A_n 、 B_n を用いて以下の式で光度曲線 l から近接効果を取り除いて規格化する方法として、

$$l_{n.o.r.} = \frac{1 - \sum_n B_n \sin n\theta}{A_0 - \sum_n A_n \cos n\theta} \quad (8 \cdot a \cdot 3)$$

をとる。ここで、 $l_{n.o.r.}$ は近接効果を取り除いて規格化した光度曲線である。一般には、近接効果を取り除くには8・a・2式で $n = 2$ までフーリエ展開すれば十分である。近接効

第 8 章 球状モデルの解析

果の除去が正しく行われていない場合は、展開次数を上げて試してみる。

§ 8・a・4 特性関数の計算

特性関数は、光度曲線の特徴を表すもので、食が起きている部分の光度曲線を不完全フーリエ変換することによって得られる。まず、特性関数について説明するにあたっては、使用される記号を以下のように定義しておく。

i : 軌道面の傾斜角

L_1 : 隠される側の星の明るさ (食外での全体の明るさを 1 とする)

L_2 : 隠す側の星の明るさ (単位は同上)

L_P : 第 1 極小時に隠される側の星の明るさ (単位は同上)

L_S : 第 2 極小時に隠される側の星の明るさ (単位は同上)

r_a : 小さい方の星の半径 (両星の中心間の距離を 1 とする)

r_b : 大きい方の星の半径 (単位は同上)

θ : 位相 (光度曲線の極小時間を基準とする)

θ_0 : 第 1 接触時の位相 (基準は同上)

u : 周辺減光係数

これから議論される連星系は、球形の星が円軌道を運動している球状星モデルで考え、食外での全体の明るさを 1 とし、星の中心から測った両星間の距離を 1 とする。さらに連星系を構成している星は、8・a・4 式に従う周辺減光をもつとする。

$$J(\gamma) = J(0)(1 - u + u \cos \gamma) \quad (8 \cdot a \cdot 4)$$

ここで、 γ は星の中心からの角度、 $J(0)$ は星の中心面における明るさ、 $J(\gamma)$ は星の中心から角度 γ だけ離れた場所の明るさを示す。周辺減光係数 $u = 0$ のとき星は一様な明るさをもつ円盤に見え、 $u = 1$ のとき星は周辺の明るさが 0 の円盤に見える。

食での任意の位相 θ における、この連星系の明るさを $I(\theta)$ とすると

$$I(\theta) = 1 - L_1 f(\theta) \quad (8 \cdot a \cdot 5)$$

と表される。ここで、 $f(\theta)$ は位相 θ における隠される側の星の明るさの隠ぺい率を表す。食外では $f = 0$ 、皆既食では $f = 1$ であることは明かである。部分食では、

$$1 > f(\theta) > 0 \quad (8 \cdot a \cdot 6)$$

であることも理解できる。

光度曲線 $I(\theta)$ の 2 種類の積分変換を考える。

$$S_n = \int_0^\pi I(\theta) \sin n\theta d\theta \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (8 \cdot a \cdot 7)$$

第4部 食変光星光度曲線の解析

$$C_n = \int_0^\phi l(\theta) \cos n\theta d\theta \quad (n=0,1,2, \dots) \quad (8 \cdot a \cdot 8)$$

ここで、 ϕ は食外での任意の位相である。8・a・7式、8・a・8式で定義された S_n 、 C_n は、 ϕ に依存することは明かである。

次に、以下のような関数 s_n 、 c_n を定義する。

$$s_n = \int_0^{\theta_0} l(\theta) \sin n\theta d\theta \quad (n=0,1,2, \dots) \quad (8 \cdot a \cdot 9)$$

$$c_n = \int_0^{\theta_0} l(\theta) \cos n\theta d\theta \quad (n=0,1,2, \dots) \quad (8 \cdot a \cdot 10)$$

ここで、 θ_0 は最初に定義したように第1接触時の位相である。

詳しいことは省略して結果だけを示すと、8・a・7式、8・a・8式で定義された S_n 、 C_n と8・a・9式、8・a・10式で定義された s_n 、 c_n の間には以下のような関係がある。

$$L_1 s_n = \frac{1 - \cos n\phi}{n} - S_n \quad (n=0,1,2, \dots) \quad (8 \cdot a \cdot 11)$$

$$= 0 \quad (n=0) \quad (8 \cdot a \cdot 12)$$

$$L_1 c_n = \frac{1 - \sin n\phi}{n} - C_n \quad (n=0,1,2, \dots) \quad (8 \cdot a \cdot 13)$$

$$= \phi - C_0 \quad (n=0) \quad (8 \cdot a \cdot 14)$$

これらの関係式は、第1接触の位相 θ_0 を考慮することなしに、第1接触の位相 θ_0 の関数である $L_1 s_n$ と $L_1 c_n$ が、食外の任意の位相 ϕ の関数である S_n と C_n によって求めることができるという重要な意味をもっている。

8・a・11～14式から得られた $L_1 s_n$ 、 $L_1 c_n$ を用いて、以下のような関数を定義する。

$$F_n = \frac{L_1 s_n}{L_1 c_n} = \frac{s_n}{c_n} \quad (n=1,2, \dots) \quad (8 \cdot a \cdot 15)$$

8・a・15式で $l(0) = \lambda$ とすると

$$1 - \lambda = L_1 f(0) \quad (8 \cdot a \cdot 16)$$

第8章 球状モデルの解析

となり、これを用いて

$$E_{\text{a}} = \frac{L_1 c_0}{1 - \lambda} = \frac{c_0}{f(0)} \quad (8 \cdot a \cdot 17)$$

も定義する。

8・a・16式で食が掩蔽 (occultation) の場合

$$L_a = \frac{1 - \lambda_a}{f_a} \quad (8 \cdot a \cdot 18)$$

となり、通過 (transit) の場合

$$L_b = \frac{1 - \lambda_b}{f_b} \quad (8 \cdot a \cdot 19)$$

となる。ここで、 $f_a(0) = f_a$ 、 $f_b(0) = f_b$ とおいた。8・a・18式、8・a・19式を連星系の明るさに関する条件式 $L_a + L_b = 1$ に代入すると

$$f_b = 1 - \lambda_b + (1 - \lambda_a) Q \quad (8 \cdot a \cdot 20)$$

となる。ここで

$$Q = \frac{f_b}{f_a} \quad (8 \cdot a \cdot 21)$$

とおいた。

8・a・20式は観測データから λ_a 、 λ_b が正確に決定されるときに有効な関係式となるが、もし食の深さが浅く λ_a 、 λ_b が正確に決定できないときは、以下の関係式が有効である。

$$D_p = (L_1 c_0)_p \quad (8 \cdot a \cdot 22)$$

$$D_s = (L_1 c_0)_s \quad (8 \cdot a \cdot 23)$$

を定義し、これらを用いて

$$L_p = \frac{D_p}{(c_0)_p} \quad (8 \cdot a \cdot 24)$$

$$L_s = \frac{D_s}{(c_0)_s} \quad (8 \cdot a \cdot 25)$$

第4部 食変光星光度曲線の解析

を得る。8・a・24式、8・a・25式を連星系の明るさに関する条件式 $L_p + L_s = 1$ に代入して

$$\frac{D_p}{(c_0)_p} + \frac{D_s}{(c_0)_s} = 1 \quad (8 \cdot a \cdot 26)$$

が得られる。

以上で定義した F_n 、 E 、 c_0 、 f_s と f_b が光度曲線の特徴を表す特性関数である。実際には、8・a・11～14式を用いて第1極小と第2極小の L_{1s_n} 、 L_{1c_n} を計算する。そして、これらの値を用いて第1極小と第2極小の F_1 、 F_2 、 E と D を求める。この F_1 、 F_2 、 E と D を使って連星系の諸要素を決定するわけであるが、その前に F_1 、 F_2 と E の値を用いて第1極小と第2極小のどちらの食が掩蔽で通過であるか判定する必要がある。掩蔽と通過の F_1 、 F_2 と E の値には以下のような関係がある。

$$[F_n]^{tr} \leq [F_n]^{oc} \quad (n=1, 2) \quad (8 \cdot a \cdot 27)$$

$$[E]^{tr} \leq [E]^{oc} \quad (8 \cdot a \cdot 28)$$

これらの関係式を用いて、第1極小と第2極小のどちらの食が掩蔽で通過であるか判定する。判定した E^{oc} 、 F_2^{oc} または E^{tr} 、 F_2^{tr} の値と食変光星のいろいろな軌道要素に対する特性関数が掲載されている表と比較し、一致する軌道要素を選び出す。その選び出した軌道要素の中で F_1/F_2 の値と8・a・26式を満足するものが求めたい軌道要素となる。 F_1/F_2 の値を満足する軌道要素がない場合は、光度曲線からの近接効果の除去が正しく行われていないことを示す。この場合は、 F_1/F_2 が満足されるまで、8・a・2式の展開次数を上げるなどの近接効果の除去を試みる必要がある。ところで、表には周縁減光係数が $u=0$ と $u=1$ の2つ場合の f_s 、 E 、 F_2 、 $Q (= f_b/f_s)$ と F_1/F_2 の値が掲載されている。

§ 8・a・5 u Her による不完全フーリエ変換法の解析例

u Herは赤経 17h 16m、赤緯 $33^\circ .1$ (1960.0)に位置し、極大時4.5等星、極小時5.2等星の食変光星であり、B3とB7のスペクトル型の星で構成されている。位相は、Culderによって Prim. Min = J. D 2427640.654 + 2.051027・E と決定されている。

解析に用いたデータは、John J. Ruiz (1957)によって青フィルタ(有効波長4050Å)で比較星は59 Herを用いて観測された362個の観測データである。ここでは、362個のデータを一定な位相区間ごとに平均したデータを解析に用いた。この位相区間ごとに平均したデータの光度曲線を図8・a・2に示す。さらに、これらのデータを8・a・1式を用いて光量比に変換する。この光量比の光度曲線を図8・a・3に示す。これらの光度曲線を見てわ

第8章 球状モデルの解析

かるように、食外で明るさが一定でないことから、ヘルクレス座u星には近接効果が光度曲線に含まれていることがわかる。そこで、位相が 35° から 145° までの区間と 215° から 325° までの区間のデータを、 $8 \cdot a \cdot 2$ 式を用いて $n = 2$ までフーリエ展開すると

$$l_{rel} = 0.9238 - 0.0240 \cos \theta - 0.0488 \cos 2\theta + 0.0008 \sin \theta + 0.0091 \sin 2\theta \quad (8 \cdot a \cdot 29)$$

となる。近接効果を除去してデータを規格化するために、 $8 \cdot a \cdot 3$ 式を用いると、

$$l_{nor} = \frac{l_{rel} - 0.0008 \sin \theta - 0.0091 \sin 2\theta}{0.9238 - 0.0240 \cos \theta - 0.0488 \cos 2\theta} \quad (8 \cdot a \cdot 30)$$

となる。この $8 \cdot a \cdot 30$ 式を用い、近接効果を取り除いて規格化された光度曲線を図 $8 \cdot a \cdot 4$ に示す。

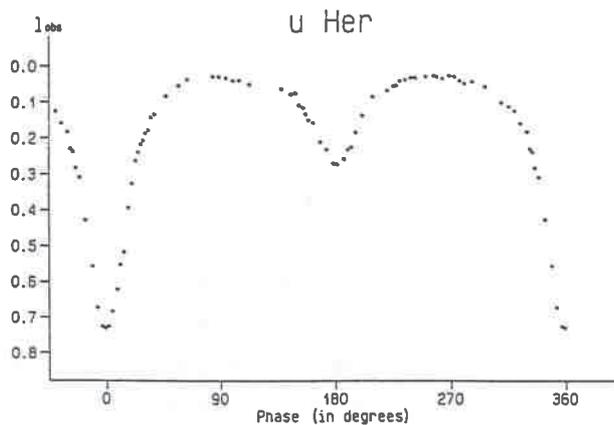


図 $8 \cdot a \cdot 2$ u Her: 観測された光度曲線

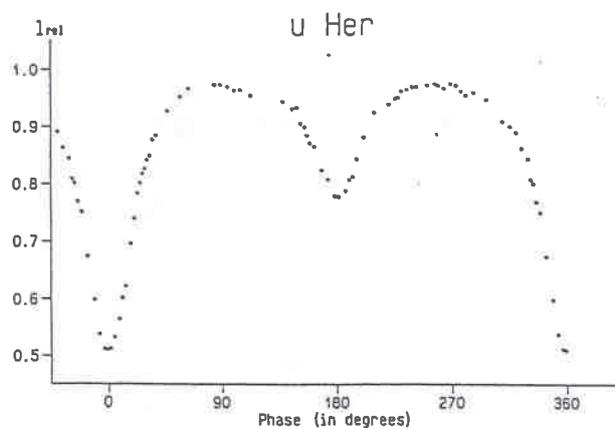


図 $8 \cdot a \cdot 3$ u Her: 光量比に変換された光度曲線

第4部 食変光星光度曲線の解析

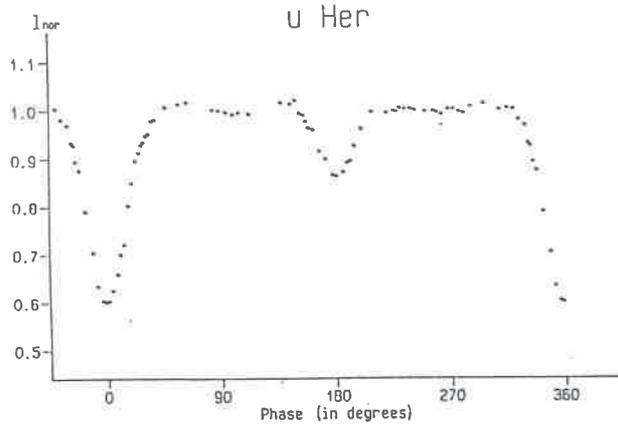


図 8・a・4 u Her: 近接効果を除去して規格化された光度曲線

規格化された光度曲線 I_{nor} の第1極小と第2極小の上昇部と下降部についての C_0 、 C_1 、 C_2 、 S_1 、 S_2 を 8・a・7 式、8・a・8 式を用いて計算する。その結果を表 8・a・1 に示す。規格化された光度曲線から極小時の明るさの深さを求めるにあたって、第1極小は位相が ± 0.087 ラジアン内の17個のデータから、第2極小は位相が ± 0.052 ラジアン内の9個のデータから以下のような値を求めた。

$$1 - \lambda_P = 0.3960 \pm 0.0008 \quad (8 \cdot a \cdot 31)$$

$$1 - \lambda_S = 0.1352 \pm 0.0032 \quad (8 \cdot a \cdot 32)$$

これらの値を 8・a・11 式、8・a・13 式、8・a・14 式に代入して L_{1s_n} 、 L_{1c_n} を求め、8・a・15 式、8・a・17 式、8・a・22 式、8・a・23 式を用いて第1極小と第2極小の F_1 、 F_2 、 F_1/F_2 、 E 、 D の値を計算する。その結果を表 8・a・2 に示す。表 8・a・2 の第1極小と第2極小の F_1 、 F_2 、 E の値を用いて 8・a・27 式、8・a・28 式で掩蔽か通過かの判定すると、第1極小が掩蔽であり、第2極小が通過となる。

誤差の小さい第1極小の $E^{\circ} = 0.315$ 、 $F_2^{\circ} = 0.406$ 、 $[F_1/F_2]^{\circ} = 0.484$ を用いて表から対応する軌道要素を選び出す。それらを表 8・a・3 に示す。この中から最適な軌道要素を選び出すための条件式は、8・a・26 式の左辺を T とおいて、

$$T = \frac{0.1248}{(c_0)^{\circ}} + \frac{0.0408}{(c_0)^{r}} \quad (8 \cdot a \cdot 33)$$

とする。ここで、 $(c_0)^{\circ}$ 、 $(c_0)^{r}$ は

$$(c_0)^{\circ} = E^{\circ} f_a \quad (8 \cdot a \cdot 34)$$

$$(c_0)^{r} = (c_0)^{\circ} Q \quad (8 \cdot a \cdot 35)$$

で求める。理想的には $T = 1$ となるわけであるから、8・a・33 式を用いて表 8・a・3 の

第8章 球状モデルの解析

各軌道要素から $T-1$ の絶対値が最小になるものを最適な軌道要素とすると、

表 8・a・1 計算した C_0 、 C_1 、 C_2 、 S_1 、 S_2 の値

			$\sin \phi$	$\sin 2\phi$	$\cos \phi$	$\cos 2\phi$	C_0	C_1	C_2	S_1	S_2
			$\sin \epsilon$	$\sin 2\epsilon$	$\cos \epsilon$	$\cos 2\epsilon$					
第1極小	上昇部	$\phi = 34.789$	0.5720	0.9384	0.8203	0.3456	0.4831	0.4499	0.3577	0.1551	0.2806
		$\epsilon = 1.13$	0.0197	0.0394	0.9998	0.9992					
	下降部	$\phi = 35.55$	0.5814	0.9461	0.8136	0.3239	0.4967	0.4610	0.3621	0.1634	0.2944
		$\epsilon = 1.13$	0.0197	0.0394	0.9998	0.9992					
第2極小	上昇部	$\phi = 40.91$	0.6549	0.9898	0.7557	0.1423	0.6632	0.6049	0.4474	0.2369	0.4145
		$\epsilon = 1.50$	0.0262	0.0523	0.9997	0.9986					
	下降部	$\phi = 34.39$	0.5648	0.9322	0.8252	0.3620	0.5694	0.5344	0.4368	0.1705	0.3106
		$\epsilon = 1.50$	0.0262	0.0523	0.9997	0.9986					

※ ϵ : 実際に観測した光度曲線を取り扱う場合、都合よく食の中央に観測点が在るとは限らない。そこで食中央に最も近い観測点の位相を ϵ として、補正を計算する場合がある。詳しくは Kitamura(1965)の原論文参照。

表 8・a・2 計算した F_1 、 F_2 、 F_1/F_2 、 E 、 D の値

		D	F_1	F_2	F_1/F_2	E
第1極小	上昇部	0.12584	0.20157	0.41745	0.48286	0.31778
	下降部	0.12378	0.19077	0.39370	0.48456	0.31257
	平均	0.12481	0.19617	0.40558	0.48371	0.31518
	偏差	± 0.00103	± 0.00540	± 0.01188	± 0.00085	± 0.00261
第2極小	上昇部	0.05080	0.14822	0.30223	0.49041	0.37577
	下降部	0.03084	0.13933	0.28640	0.48648	0.22813
	平均	0.04082	0.14378	0.29432	0.48845	0.30195
	偏差	± 0.00998	± 0.00445	± 0.00792	± 0.00197	± 0.07382

表 8・a・3 表から選び出した軌道要素と特性関数

i	r_a	r_b	$f(0)^\circ$	Q	E	F_2	F_1/F_2	$T-1$
76°	0.29	0.32	0.5606	0.8213	0.315	0.398	0.483	-0.013
76°	0.30	0.31	0.5255	0.9365	0.315	0.398	0.483	-0.016
75°	0.31	0.31	0.5161	1.0000	0.321	0.407	0.483	-0.0004 決定
75°	0.29	0.33	0.5503	0.7723	0.321	0.405	0.483	+0.006
75°	0.30	0.32	0.5164	0.8789	0.321	0.405	0.483	+0.034
75°	0.31	0.31	0.4844	1.0000	0.321	0.405	0.483	+0.066

$$i = 76^\circ, r_a = 0.31, r_b = 0.31 \quad (8 \cdot a \cdot 36)$$

が選べる。選出された軌道要素において $T \neq 1$ であるので、この T の値を用いて全体の明るさが 1 になるように各星の明るさ L_P 、 L_S を修正する式は

$$L_P = D_P / (C_0)_P T \quad (8 \cdot a \cdot 37)$$

第4部 食変光星光度曲線の解析

$$L_s = D_s / (c_0)_s T \quad (8 \cdot a \cdot 38)$$

となる。これらの式を用いて L_p 、 L_s を求めると

$$L_p = 0.75$$

$$L_s = 0.25$$

$$(8 \cdot a \cdot 39)$$

となる。

計算した値と理科年表(1976)に掲載されている u Herの軌道要素を表8・a・4に示す。

表9・a・4 u Herの軌道要素

	i	r_a	r_b	L_a	L_b
不完全フーリエ変換法による計算結果	76°	0.31	0.31	0.75	0.25
理科年表(1976)	$76^\circ .2$	0.295	0.322		

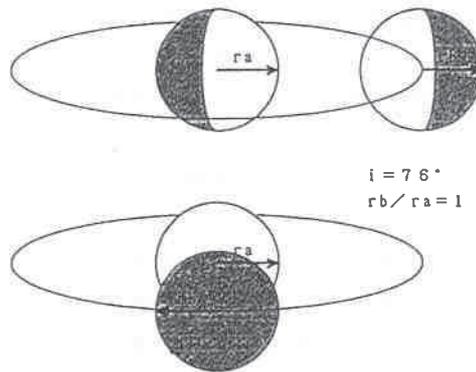


図8・a・5 u Herの軌道モデル

参考文献

- Kitamura, M. 1965, Adv. Astron. Astrophys., Academic Press, Vol. 3, 27.
 Kitamura, M. 1967, Tables of the Characteristic Functions of the Eclipse and the Related Delta-Functions for Solution of Light Curves of Eclipsing Binary Systems, Univ. Tokyo Press.
 John J. Ruiz. 1957, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 69, 261.
 東京天文台1976、理科年表、丸善株式会社

(b) コンピューター解析法

北爪 智啓(群馬大学教育学部)

§ 8・b・1 はじめに

食連星の光度曲線の解析法は、Russell(1912)の考案した方法に始まり、Russell-Merrill (1952)、Kopal (1959)、Kitamura (1965)、Budding (1973)らによっていくつかの解析法が開発されてきた。これらの方法は、基本的に球状星をモデルとし、複雑な関数を用いた解析的手法に基づいている。

最近では、近接効果も直接に取り扱うことができる光度曲線合成法が Wilson-Devinney (1971)、Yamasaki (1981)によって開発されるようになった。これは、お互いの重力によって変形した(ロッシュ・モデルとして表される)成分星の表面を小さく分割して、その各々の微小部分で周辺減光、楕円効果、反射効果などを考え、その部分からの光量を計算しながら積分して、地球に届くすべての光量を求めるものである。これまでの解析的な方法では制約のあった楕円効果、反射効果などが、この合成的な方法ではきちんと取り扱うことができる。

しかし、これらの解析プログラムは、光度曲線解析に関する高度な知識を前提として大型計算機を使用するものであり、なかなか一般的に使用する機会が得られないのが現実である。しかしながら、食連星のなかには近接効果がほとんどないか、あっても僅かしかない星も多く、そのような食連星に対しては依然として球状星モデルが有効である。そこで、このような状況を考慮して、光度曲線解析の複雑な知識を必要とせずパーソナルコンピュータで解析がおこなえるプログラムを作成した。

§ 8・b・2・1 光度曲線解析プログラムの作成

今回作成した解析プログラムでは、成分星を球、連星の軌道を円とし、近接効果は考慮にいれない。したがって、このプログラムで解析する測光要素は、軌道面傾斜角 i 、主星の比半径 r_p 、伴星の比半径 r_s (両星の中心間の距離 a を1とする単位で)、主星の比光度 L_p (伴星の比光度 L_s は、 $L_s = 1 - L_p$ で与えられる)、主星の周辺減光係数 u_p 、伴星の周辺減光係数 u_s の6つである。プログラムの基本的な考え方は、与えられた6つの測光要素を基に、ある位相における地球から見た両成分星の位置関係をシミュレートして、地球に達する光量の計算値 l_c (calculation) を求め、同じ位相における相対光度の観測値 l_o (observation) との差をとる。

この計算を、与えられた全ての位相についておこない、観測値のあるすべての位相での $(l_o - l_c)^2$ の総和の平方根 $O - C = \sqrt{\sum (l_o - l_c)^2}$ の値が最小になる6つの測光要素の組み合わせを求めるというものである。

第4部 食変光星光度曲線の解析

今回作成したプログラムは、C言語で記述しTurbo Cコンパイラを使用した。しかしながら、C言語特有の命令はあまり使用せず標準的な関数を使用しているため、他の言語への移植は比較的簡単である。

また、この解析プログラムでは自動的に最適な測光解を求めることができない。そこで、測光要素を座標軸に取りO-C値を等高線として描くことによって、最適解の決定を視覚的に行うための等高線プログラムもあわせて作成した。

§ 8・b・2・2 プログラムの考え方

星が球状で、軌道が円である場合を考える。光度曲線は前述のように i 、 r_p 、 r_s 、 L_p 、 u_p 、 u_s の6つの測光要素で決定される。また、食連星の公転の位相は、主極小で0とし0~1、または必要に応じて0~ 2π ラジアンで表すことにする。つまり、位相が0.75~0.00~0.25では伴星が手前に、0.25~0.50~0.75では主星が手前に見えることになる。

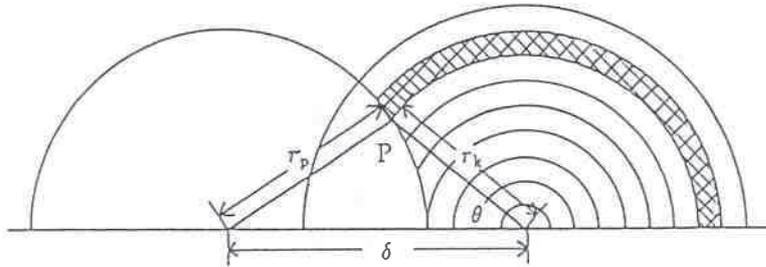


図 8・b・1

食で隠されないリング(相対半径 r_k)の面積と中心角 θ は、 r_p 、 r_k 、 δ (天球上での両星間距離)の各値から余弦定理を使って得られる。

位相が ϕ であるとき、天球面に投影された両星の中心間の距離 δ は、

$$\delta^2 = 1 - \sin^2 i \cos^2 \phi \quad (8 \cdot b \cdot 1)$$

で与えられる ($a = 1$ とする単位で)。

さて、図1のように主星が伴星を隠す場合を考える。伴星の隠される部分の面積を求める場合、両星の中心を結ぶ直線に対して軸対称であることを考慮すれば全体の半分について考えればよい。星は円盤として表されるので同心円状に n 分割する。恒星には、中心から同心円状に輝きが異なるという周辺減光の効果があるため、このように同心円上に分割している。それぞれのリングについて内側から 1, 2, ..., n と番号をつける。

ここで、 k 番目のリングについて考えると、このリングは半径 $r_k = k(r_s/n)$ 、幅は r_s/n で表される。このリングのうち、相手側の星に隠される部分の弧をつくる角度 θ は余弦定理

$$\cos \theta = \frac{\delta^2 + r_k^2 - r_p^2}{2 \delta r_k} \quad (8 \cdot b \cdot 2)$$

第8章 球状星モデルの解析

によって求めることができる。したがって、リングの相手側の星に隠されない部分の弧の長さは $r_k(\pi - \theta)$ となる。そして、このリングの幅に弧の長さを掛け合わせればリングの相手側の星に隠されない部分(図の格子部)の面積 S_k が求められる。

$$S_k = (r_s/n) \times (kr_s/n) (\pi - \theta) \quad (8 \cdot b \cdot 3)$$

次に、周辺減光効果について考える。周辺減光は次に示す式で表されることが知られている。

$$I(\phi) = I(0) (1 - u + u \cos \phi) \quad (8 \cdot b \cdot 4)$$

ϕ は各部分における恒星法線と視線方向とのなす角、 u は周辺減光係数である。この周辺減光の効果をリングの面積に掛けると、そのリングから放出されている光量を求める事ができる。

以上の計算を、 k が1から n になるまで繰り返し、全てを足し合わせることによって、位相 ϕ における食を受けない部分の伴星からの光量を求めることができる。また、相手側の星(この場合は主星)は食にならないので、同様に分割したリングに周辺減光の効果をそのまま掛け合わせればよい。そして、主星と(食を受けない部分の)伴星からの光量を足し合わせると、この位相における連星からの光量を求めることができる。この値をあらかじめ計算しておいた食外時の光量で割ってやれば、その位相における相対光度の計算値 l_c を求めることができる。そして、同じ位相における相対光度の観測値 l_o とから $(l_o - l_c)^2$ を求める。

以上の計算を、観測値のある位相すべてについておこない、その総和の平方根

$$O-C = \sqrt{\sum (l_o - l_c)^2} \quad (8 \cdot b \cdot 5)$$

を求める。

また、分割数 n は大きいほど計算の精度が高くなるが、反面計算に時間がかかる。今回は求めるべき測光要素の必要精度を考慮して20とした。

一方、観測データは外部ファイルで与えられ、それぞれの位相と観測された相対光度 l_o が順に与えられているものとする(付録)。また、観測されたデータ数が多い場合には、解析には normal pointsを使用する。これは、位相全体を数十から数百に分割し、それぞれの位相での平均値をとったものである。

§ 8・b・2. 2 プログラムの信頼性

このプログラムの信頼性の確認ため、Okazaki (1977)がBudding (1973)の方法を使用して求めたXY Cetの光度曲線解析結果と、同じ光度曲線をここで作成したプログラムを使用して求めた結果を比較して表1に示す。両者は実質的に誤差の範囲で等しいことがわかる。

第4部 食変光星光度曲線の解析

よって、今回作成したプログラムは近接効果の小さい星の解析方法としては十分実用になるものと思われる。今回作成した解析プログラムのうち基本的な部分は、前述のように6つの測光要素を与えると地球に届く光量の理論値を計算し、観測値と比較して O-C 値を返すものである。しかし、たびたび測光要素の値の入力を繰り返すのでは面倒であるから、それぞれの測光要素の値を自動的に少しずつ変化させ、繰り返し計算を続けるように作成した。

§ 8・b・3 おわりに

今回作成した解析プログラムを使用することによって、従来、複雑な数学的知識や大型計算機による膨大な仕事を必要とした光度曲線の解析が、近接効果の非常に小さい食連星に対して、パーソナルコンピュータを使用して手軽にできるようになった。自動的に最適解を求めることができないため、等高線プログラムと併用するという多少の不便さはあるものの、大型計算機を使用する機会の得られないアマチュア天文研究者に十分役立つものと思われる。

参考文献

- Budding, E., 1973, *Astrophys. Space Sci.*, 22, 87.
Kitamura, M., 1965, *Adv. Astron. Astrophys.*, 3, 27.
Kitamura, M., 1967, *Tables of the Characteristic Functions of the Eclipse and the Related Delta-Functions for Solution of Light Curves of Eclipsing Binary Systems*, (University of Tokyo Press, Tokyo).
Kopal, Z., 1959, *Close Binary Systems* (New York: John Wiley & Sons).
Okazaki, A., 1978, *Astrophys. Space Sci.*, 56, 293.
Russell, H. N., 1912, *Astrophys. J.*, 35, 315. and 36, 54.
Russell, H. N. and Merrill, J. E., 1952, *Contr. Princeton Univ. Obs.*, No. 26.
Wilson, R. E. and Devinney, E. J., 1971, *Astrophys. J.*, 166, 605.
Yamasaki, A., 1981, *Astrophys. Space Sci.*, 77, 75.

第 8 章 球状星モデルの解析

【付 録】 観測データの例

```

*** Normal points data ESTau ch3 ***
Magu.ave.of outside eclipse
+4.99488
Phase , def.mag , n
0.904745, +5.095600, 1
0.907104, +5.122060, 5
0.917726, +5.106400, 1
0.921370, +5.214000, 2
0.929696, +5.218600, 1
0.933752, +5.301000, 3
0.938534, +5.361800, 2
0.942819, +5.417680, 10
0.946899, +5.472000, 9
0.952986, +5.587344, 16
0.956827, +5.642245, 11
0.962944, +5.744511, 9
0.967362, +5.870786, 22
0.972247, +6.027292, 13
0.979020, +6.338133, 6
0.982130, +6.435438, 13
0.987655, +6.707470, 10
0.992123, +7.077329, 7
0.997435, +7.289345, 11
0.002698, +7.422838, 13
0.007659, +7.136520, 15
0.012459, +6.741140, 10
0.017598, +6.505650, 14
0.022423, +6.248236, 14
0.027688, +6.050075, 4
0.032786, +5.897757, 14
0.037647, +5.794300, 15
0.042421, +5.643133, 12
0.047355, +5.626267, 6
0.052970, +5.465033, 12
0.057134, +5.461642, 12
0.063498, +5.334140, 5
Phase , def.mag , n
0.067052, +5.296900, 7
0.073091, +5.205310, 10
0.077306, +5.194211, 9
0.082694, +5.110780, 15
0.087325, +5.098825, 12
0.090951, +5.067050, 4
0.098104, +5.037550, 10
0.102316, +5.033100, 14
0.106709, +5.014091, 11
0.113419, +4.961350, 2
0.117424, +5.037517, 6
0.404735, +4.997380, 30
0.415831, +5.022354, 26
0.425137, +5.048338, 34
0.434955, +5.035604, 28
0.444537, +5.005492, 12
0.454892, +5.025830, 20
0.464472, +5.058100, 20
0.475598, +5.080150, 22
0.486534, +5.090200, 15
0.493564, +5.071350, 10
0.504591, +5.041080, 15
0.512358, +5.078154, 13
0.522871, +5.131000, 10
0.535108, +5.131403, 30
0.546373, +5.090586, 22
0.555429, +5.074500, 17
0.564627, +5.071990, 10
0.574910, +5.043740, 20
0.583716, +5.046806, 16
0.596139, +5.016887, 16
0.604958, +5.022315, 20
0.615807, +5.005354, 13

```

第9章 光度曲線合成法

鳴沢 真也 (福島大学教育学部)

§9・1 光度曲線合成法とは

光度曲線の解析法のうち、コンピュータ・シミュレーションによって連星系の測光要素を求めるものが光度曲線合成法 (light-curve synthesis method) である。すなわち、連星系の理論的なモデルをコンピュータによって作りだし、これによる理論的な光度曲線 (理論光度曲線: theoretical light curve) を観測による光度曲線と比較して、理論モデルを観測に近づけてゆき、最終的に連星系の測光要素を決めるというものである。

光度曲線合成法では、連星の表面を小さく分割して、その各々の微小部 (パネル) で周辺減光、反射効果、重力減光などをきちんと考え、そこから地球の観測者に届く放射量を計算し、連星系全体についてその計算を繰り返し、総放射量を求める。従来の分析的な方法では何かと制約があった楕円体効果、反射効果、重力減光などが、光度曲線合成法では簡単に、かつきちんと取り扱うことができる。

光度曲線合成法には、いくつかの方法が考案されている。主なものを以下に列挙しておく。

Wood, D. B.	1971	Aston. J., 76, 701.
Hutchings, J. B. & Hill, G.	1973	Astrophys. J., 179, 539.
Wilson, R. E. & Devinney, E. J.	1973	Astrophys. J., 182, 539.
Yamasaki, A.	1981	Astrophys. Space Sci., 77, 75.

これら一つ一つの詳細な説明は省略させていただき、ここでは筆者が実際に光度曲線の解析に用いたYAMASAKIコードについて述べる。

§9・2 YAMASAKIコードについて

YAMASAKIコードは、当時東京大学教養学部におられた山崎篤磨氏 (現在防衛大学校) によって1981年に開発された光度曲線解析法である。計算するモデルの形状はロッシュ・ポテンシャル (Roche potential) を満たしているものである (ロッシュ・モデル: Roche-model)。

いま主星の中心を原点とした (x, y, z) 座標を考える。公転面を x y 平面にとり、原点から伴星の中心に向かう方向に x 軸、主星の極方向に z 軸をとる。

この座標におけるロッシュ・ポテンシャル Φ は、

$$\Phi = 1/d_1 + q(1/d_2 - x) + (1+q)(x^2 + y^2)/2 \quad (9 \cdot 1)$$

第9章 光度曲線合成法

である。ここで、 d_1 、 d_2 はそれぞれ主星、伴星の中心から考えている点 (x 、 y 、 z) までの距離である。ただし (9・1) 式では軌道長半径 (a) を1、公転周期を 2π 、全質量 (M_1+M_2) を1とするそれぞれ長さ、時間、質量の単位としてとっている。

ところで、近接連星系の光度曲線を決めているのは、主として、

両星の質量比 (mass ratio: $q = M_2/M_1$)

主星の半径 (r_1)

伴星の半径 (r_2)

主星と伴星の表面輝度 (surface brightness) の比 (j)

軌道傾斜角 (inclination: i)

の5つである。この5つの要素を決定することが、すなわち光度曲線の解析ということになる。したがってロッシュ・モデルを使って連星系のモデルを探すには、上記の5つのパラメータをいろいろと変えてやらなければならない。

ところが実際の話は、もっと複雑である。光度曲線を定める要素はこれだけではない。先に述べた5つのパラメータほど大きな影響は及ぼさないが、次の6つのパラメータも光度曲線を定めるものである。

主星の周縁減光係数 (u_1)

伴星の周縁減光係数 (u_2)

主星の重力減光指数 (α_1)

伴星の重力減光指数 (α_2)

主星の反射率 (A_1)

伴星の反射率 (A_2)

これら6つの量も解析の際に考慮しなくてはならない。結局YAMASAKIコードで理論光度曲線を書くには、前の5つの主要測光要素にこれら6つの近接効果によるパラメータを加えた合計11個のパラメータを与えなければならない。言い換えると11次元で解を探すということになる。

ここで、簡単に周辺減光、重力減光、反射率について説明する。

星の光球面の見かけの放射強度は、中央より周辺に向かうにしたがって減光する。この現象を周辺減光 (limb-darkening) という。星の光球面の中央では、その層を直角に見るので、奥深い高温の場所まで見通すことができる。しかし周辺では光球面を斜めに見るので、手前にあるガスによって吸収を受けてしまい、その結果表面に近い低温の場所までしか見通すことができなくなる。光球では深い層ほど高温で表面近くほど低温であるため、中央ほど明るく、周辺に向かうとともに暗くなり、周縁減光となる。見通す深さは波長により異なるので、周縁減光のしかたも波長により異なる。観測者の視線ベクトルと各表面での法線ベクトルとのなす角を θ とする。 $\theta = 0^\circ$ すなわち中央部での放射強度を $I(0)$ 、任意の θ での放射強度を $I(\theta)$ とする。 $\cos\theta$ に対する $I(\theta)/I(0)$ の減少を1次直線で近似すると、 $I(\theta)$ は次式で表される。

$$I(\theta) = I(0) (1 - u + u \cos\theta) \quad (9 \cdot 2)$$

第4部 食変光星光度曲線の解析

ここで u を周辺減光係数 (coefficient of limb-darkening) という。式を見てわかるように $u = 0$ とは θ での放射強度が中央部でのそれに等しい場合で、一方 $u = 1$ とは $\theta = 90^\circ$ において光が見えない場合に相当する。周縁減光係数は星の表面大気の様子 (原子の電離状態など) によって決まる。大気の様子は有効温度と表面重力にかかわっているが、これらの関係は公式ではどうも表わすことの出来ない大変複雑なものである。

星の輻射流束は表面重力が大きくなるにつれて増加する。これを重力減光 (gravity-darkening) という (名前と現象は正反対だが)。近接連星系の形状は一般に球対称ではないため、高緯度地域ほど重力の値が大きい。したがって高緯度地域ほど明るく輝くことになる。星の任意の場所での輻射流束と表面重力をそれぞれ H 、 g とし、極での輻射流束と表面重力をそれぞれ H_p 、 g_p とすると次式が成り立つ。

$$H/H_p = (g/g_p)^\alpha \quad (9 \cdot 3)$$

上式の α を、重力減光指数 (exponent of gravity-darkening) という。

両星の向かい合った側が互いに相手の星の放射を受けて、反対側よりも明るくなる。そのため、食外でも光度が一定ではなく、どちらかの側がどれほど地球の観測者に見えるかによってゆるやかに変化する。これを反射効果 (reflection effect) という。より正確には、相手側からの入射光は、一度星の大気に吸収されて星の表面はわずかに熱くなる。

この温度の上昇分だけ放射が増えるのである。星の表面で反射される光の総量と入射光の量の比を反射率 (albedo: A) という。 $A = 1$ の時は全反射、 $A = 0$ の時は全吸収である。

さて、理論モデルを連星系のモデルに近づけるには、観測による光度曲線と理論光度曲線との差 ($O - C$) をできる限り小さくなるようにパラメータを探していく。実際には、($O - C$) は次のように算出する。

理論光度曲線を全公転位相について求め、実際の観測値 (I_{obs}) からその観測点の公転位相に対応する理論光度の値 (I_{th}) を差し引き、その2乗を求める。この計算をすべての観測点に対して行い合計する。即ち、

$$(O - C)^2 = \sum [(I_{obs}) - (I_{th})]^2 \quad (9 \cdot 4)$$

である。

YAMASAKIコードでは、実際に計算するのは公転位相角 0° から 180° までの理論光度である。 130° から 360° までの理論光度は、 180° で軸対称に折り返したものを使う。

従ってYAMASAKIコードで解析のできる連星系は、副極小を中心に軸対称の光度曲線をもつ系に限られる。公転軌道が楕円のものや、黒点や星周物質などの影響で光度曲線が対称でない系の解析には少し手直しが必要となる。また、計算される星の形状は、ロッシュ・ポテンシャルを満たしているものであるから、その形状がロッシュ的でないような系には適用できない。また星の周りに降着円盤やガス流があってもそれらは考慮されない。

第9章 光度曲線合成法

現在YAMASAKIコードが動いている研究機関は、以下の通りである。

秋田大学	早坂匡研究室	日本データゼネラル	MV/20000	92年から
		SUN	ワークステーション	92年から
防衛大学	山崎篤磨研究室	日立HITAC	M-680H	90年から
福島大学	中村泰久研究室	日本データゼネラル	MV/40000	92年から

§9・3 YAMASAKIコードによる解析の実際

YAMASAKIコードは、FORTRANによって書かれているが、大きく2つのプログラムに分かれている。

- 1). 幾何学的に連星形のモデルを作り、それを360°回転させて地球の観測者からの見えかたを計算し、理論光度を算出する。
- 2). このプログラムによって計算されたものに、ある波長での両星の表面輝度の比を与えて、実際に(O-C)を計算する。

我々福島大学の研究室では、前者のコードを「LC SM4」、後者のコードを「A8+星名」と名づけている。

「LC SM4」では、両星の周辺減光係数と表面輝度比の組み合わせにより、いくつかの理論光度を計算し、ファイルに保管する。「A8」では、このファイルを呼び出して、特定の周辺減光係数と表面輝度比に対応する理論光度曲線を計算する。

§9・2において解を決定するには光度曲線に影響を与えている11個のパラメータを探さなければならないことを述べた。しかしこれは、実際にはたいへん困難なことである。そこで実際には、光度曲線への影響の小さな両星の周辺減光係数(u_1, u_2)、重力減光指数(α_1, α_2)、反射率(A_1, A_2)は、それぞれの星のスペクトル型等に対する標準的な値で仮定してしまい、光度曲線に大きく影響を及ぼす両星の質量比(q)、主星の半径(r_1)、伴星の半径(r_2)、軌道傾斜角(i)、両星の表面輝度比(j)の5つのパラメータだけを探ることが多い。

読者の中には、今後YAMASAKIコードを用いて光度曲線の解析をしようと考えている方もおられると思う。そこで以下に、「LC SM4」と「A8」を使って実際にどの様に解析を行うのか、詳細は省略するが以下でマニュアル的に説明する。

まず「LC SM4」を用いた計算では、最初に両星の fill-out ratioを計算する。これは、各星がロッシュ・ローブを占める割合を表す量で、 r_1, r_2 に対応したものである。「LC SM4」に実際に入力するのは、 r_1 と r_2 ではなく、それぞれに対応する fill-out ratioである。fill-out ratio f は次式で表せられる。

$$f = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2)}{1/2 (\Phi + \Phi_1) - \Phi_2} \quad (9 \cdot 5)$$

ここで Φ は星の表面でのロッシュ・ポテンシャル、 Φ_1, Φ_2 はそれぞれ L_1, L_2 点でのロッシュ・ポテンシャルの値である。 $f = 1$ のときは、星が内部ロッシュ・ローブを満た

第4部 食変光星光度曲線の解析

している時であり、 $f = 2$ とは、星が外部ロッシュ・ローブを満たしているときに相当する。ところで Φ_1 、 Φ_2 は q で決まり、 Φ は q と r によって決まるので、まず q を入力し、続いて r_1 と r_2 を入力することにより、主星と伴星のfill-out ratioを計算する。なお、ここで入力する r_1 と r_2 は、§9・2で述べた (x, y, z) 座標の y 軸方向の値(星の横方向の半径)である。

次に各パラメータの入力を行う。入力するパラメータは順に以下の通りである。

- 1). 両星の質量比 (q)
- 2). 両星のfill-out ratio (f_1 、 f_2)
- 3). 赤道面のパネル数

光度曲線合成法では、星の表面をいくつもの小さなパネルに分割して、各パネルから観測者に届く光量を計算する。YAMASAKIコードでは、赤道面の分割数を入力すると、自動的に星の全表面を細分割する。一般には、赤道面の分割数は両星とも40枚前後の値を採用している。これだと、星の全表面のパネル数は、1700から2000枚程度となる。

- 4). 両星の反射率 (A_1 、 A_2)
- 5). 両星の重力減光指数 (α_1 、 α_2)
- 6). 軌道傾斜角 (i)
- 7). PECLという値

これは明らかに食がない公転位相では、食の計算をしないように指示するものである。普通食連星は、公転位相角 69° 以上なら食を起こしていないので、69.0を入力すれば無難である。

- 8). 両星の極における表面輝度比の下限值と上限値。

「LCSM4」では、初めに前もって指定された周辺減光係数と表面輝度比の組み合わせにより、いくつかの理論光度を計算するのだが、この周辺減光係数と表面輝度比のいくつか組み合わせるために、下限値と上限値を入力する。

以上の数値を入力すると、計算が始まる。1つの公転位相の値を計算するのに、例えば福島大学の大型計算機(日本データゼネラル、MV/40000)では、約30秒かかる。 0° から 180° までの19の公転位相を計算するには約10分かかる。計算のどの部分にこんなに時間がかかるのかと言うと、主に反射効果の計算に対してである。主星の1つのパネルに対する照射効果を、伴星側がどう影響を及ぼすのか、伴星の見える全パネルについて計算を繰り返さなければならない。同じことを伴星のパネルに対しても計算するわけだから、1つの星のパネル数が1000枚の場合、大まかに言って結局 1000×1000 通りの計算が必要になるのである(実際には、内挿により概略値を求めるので、全パネルについては計算しない)。またパネルの全面が見えない場合(縁にきた時)や食の時にパネルの一部が隠されている時にはパネルをさらに24分割して計算する。これも計算時間がかかるもう一つの理由である。

計算が終わると計算された理論光度はファイルに書き込まれる。我々はこのファイルに

第9章 光度曲線合成法

「SPNC」というファイルネームを付けている。同時に入力したパラメータの値も別のヘッダーファイルに保存される。こちらのファイルネームは「HDR」である。我々は「HDR」に計算年月日、計算者名、計算機名、メモ書きなども書き込んでいる。「HDR」は、エディターで読み込めるで、後々大変便利である。

次に「A8」を用いた計算に移る。「A8」は、ある指定された波長、周縁減光係数、表面輝度比により、地球で観測される放射量を計算する。先ほど「LC SM 4」は、周辺減光係数と極での表面輝度比の組み合わせにより、いくつかの理論光度曲線を計算すると述べたが、「A8」は、「LC SM 4」で計算したいくつかの理論光度曲線をもとに、特定の周辺減光係数と表面輝度比との値を補間して求め、その特定の周辺減光係数と表面輝度比に対する理論光度曲線を計算する。さらに(9・4)式により(O-C)を計算する。

まず「A8」を走らせると「SPNC」と「HDR」の2つのファイルが読み込まれる。次に観測データが読み込まれる。さらに以下のパラメータの入力を行う。

- 1). 公転位相あるいは公転周期と元期。

公転周期と元期は、光度曲線の公転位相角を求めるためである。

- 2). 公転位相角 90° での対象天体の観測等級。

これは、理論光度を等級に換算するためである。理論光度は、公転位相角 90° での値を1としている。任意の位相での理論光度をI、公転位相角 90° での観測等級をm。とすると、理論等級mは、次式で表せられる。

$$m = -2.5 \log I + m_0. \quad (9 \cdot 6)$$

公転位相角 90° での理論光度と等級値はどんな理論光度曲線でも同じになり、 90° での理論等級値は観測値に等しくなる。

- 3). 波長。

(例えば、3色測光の場合はU、B、V)。

- 4). 両星の周縁減光係数(u_1 、 u_2)。

- 5). 両星の極点における表面輝度比(j)。

「LC SM 4」で入力する表面輝度比の下限値と上限値はこのjを挟んでなければならないので、「LC SM 4」で表面輝度比の下限値と上限値を入力する際には注意を要する。

- 6). 主極小の観測データにどれほどのウエイトをおくか。

「A8」での計算が終わると、ここではじめて(O-C)が表示される。

再び「A8」を走らせると、先ほど計算したモデルにおける両星の理論光度の値と等級が例えば公転位相角 10° おきに表示される。このうち公転位相 90° の時の両星の理論光度が、その波長での明るさ I_1 、 I_2 になる。

以上が1つの理論モデルを求める手順である。福島大学の大型計算機では、「LC SM 4」を走らせてから(O-C)が求まるまでに約20分を要する。

(O-C)の最小値を求めるためには、入力する主要パラメータをいろいろ変えて上記

第4部 食変光星光度曲線の解析

の一連の計算を何十回も繰り返さなければならないが、最小値を探すにはどうしたらよいだろうか。それは、観測による光度曲線上に計算して求めた理論光度曲線を同一スケールで重ね書きしてみることである。そして理論光度曲線を観測値に近づけるには、どのパラメータをどれほど変えたらよいかを物理的に思考してみる。例えば主極小と副極小のどちらとも理論曲線のほうが観測値よりも深ければ、軌道傾斜角をもっと小さくする。この『物理的考察』は大変重要である。やみくもにパラメータを探すと、正しい解を探すまでに、信じられないほどの時間がかかってしまうからだ。

§9・4 福島大学におけるカシオペア座RZ星の解析

1992年3月、山崎氏の協力により福島大学情報処理センターの大型計算機、日本データ・ゼネラルMV/40000にYAMASAKIコードが移植された。これにより我々は、現在までにアルゴル型連星系のRZ Cas、HU Aur、HU Tauの3つ近接連星系についての光度曲線の解析を行った。ここでは、筆者が実際に試みたRZ Casの解析について紹介する。

食連星 RZ Casは、明るく（最大光度=6.18等）、短周期（1.195日）のアルゴル型連星系であり、不規則に公転周期が変化することでも知られており、50年ほど前から特に主極小を中心に光電測光観測が行われてきた。アメリカのChambliss (1976)は、UBVの3色で各々約610個の観測値による光度曲線を得て、Wood法により光度曲線の解析を行った。これによるとRZ Casは伴星がロッシュ・ローブを満たしている半分離型連星であり、主極小は部分掩蔽型となった。ところが、主極小で皆既食を思わせる“平らな底”（flat bottom）が見られるという報告もある（Hegedüs et al. 1989、Arganbright et al. 1988 他）。

筆者達も主極小を中心に福島大学の45cm鏡でRZ CasのUBV3色光電測光を行った。1983年12月から1990年3月までにVで1818点、Bで648点、Uで418点の全位相をカバーする光度曲線を得た。

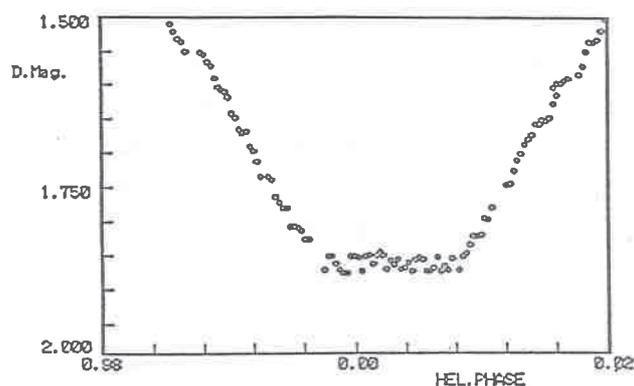


図9・1 RZ Casの主極小での“平らな底”の観測例
福島大学45cm鏡による（1991年11月25日、V等級）

詳細は筆者らの論文（Nakamura et al. 1991）に述べた。この観測期間中、さらにその後のモニター観測により、主極小で皆既食を思わせる明らかな“平らな底”が実際に観測

第9章 光度曲線合成法

された。“平らな底”の継続時間は長いもので約20分である(図9・1)。この“平らな底”の正体は何であろうか。

同じくアルゴル型半分離連星系でケフェウス座U星(U Cep)という食連星がある。この系の主極小は皆既食であるが、主星を取り巻く降着円盤のため、時々皆既食の継続時間が短くなり、見かけ上部分食のようになることが知られている。RZ Casの主極小時の“平らな底”は、U Cepのこの振舞いを思いおこさせる。RZ Casも本当は皆既食が本質で、時々見かけ上、部分食のようになるのではないかとするとChamblissの解析は見直しがせまられる。Chamblissの解ではどうしても皆既食にはならないからである。そこで筆者は、この問題を解決すべく、YAMASAKIコードにより解析を試みた。

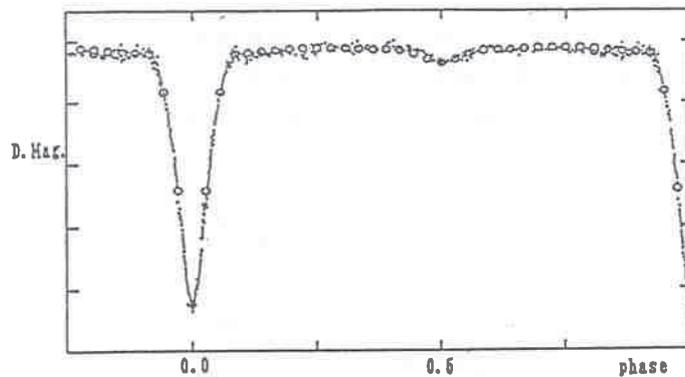


図9・2 YAMASAKIコードによるRZ Casの解析例。

観測による光度曲線に理論光度(白丸)を重ね書きしたもの。

先に述べたように、両星の周縁減光係数(u_1, u_2)、重力減光指数(α_1, α_2)、反射率(A_1, A_2)は、あらかじめ仮定してしまい、実際には、両星の質量比(q)、主星の半径(r_1)、伴星の半径(r_2)、軌道傾斜角(i)、両星の表面輝度比(j)の5つのパラメータだけをさがす。しかし5次元的に解を探すことも、かなり面倒なことである。幸いにしてRZ Casには視線速度曲線を求めた分光観測がある(Duerbeck & Hänel 1979)。主星のスペクトルしか見えない単線の分光連星ではあっても、視線速度曲線を利用すると解析は、ずいぶん楽になる。単線分光連星の場合でも次の量が求められる。

$$f(m) = (M_2 \sin i)^3 / (M_1 + M_2)^2 M_\odot \quad (9 \cdot 7)$$

ここで $f(m)$ は、質量関数(mass function)である。これに $q = M_2 / M_1$ を代入すると、上式は

$$f(m) = M_1 (q \sin i)^3 / (1 + q)^2 M_\odot \quad (9 \cdot 8)$$

第4部 食変光星光度曲線の解析

となる。

Duerbeck & Hänel (1979) の観測では、 $f(m)$ は、 $4.3 \times 10^{-2} M_{\odot}$ である。また、彼らは、主星のスペクトル型はA3Vと報告している。カタログ(Lang 1992)を見ると、A3Vの質量は $2.36 M_{\odot}$ である。これらの値を式(9・8)に代入すると、 q と i が一对一になることがわかる。もしこの連星系を半分型であると仮定すると、ある q を与えてやることにより、結局残りのパラメータは r_1 と j の2つだけになる。つまり3次元的に解を探索することになる。こうなると解析はずいぶん楽になる。O-Cの最小値が決まった後で今度は r_2 を変えて分離型かどうか調べてみればよい。

周辺減光係数、重力減光指数、反射率は、次のようにして決めた。

§9・2で周辺減光係数は波長と有効温度と表面重力にかかっているが、これらの間の関係はたいへん複雑であることを述べた。しかしWade & Rucinski (1985)らがこれら周辺減光係数と波長、有効温度、表面重力の関係を表にまとめているので、この表を使って周辺減光係数を決めることができる。

まず主星の周辺減光係数(u_1)であるが、先ほどのLang (1979)のカタログより、A3Vの有効温度は $8720 K$ 、太陽単位の表面重力の対数 $\log(g/g_{\odot})$ は、 -0.21 である。理科年表より $g_{\odot} = 2.74 \times 10^2 m/s^2$ なので、 $\log g_{\odot} = 4.44$ となり、これよりA3Vの $\log g$ の値は、 4.23 とわかる。Wade & Rucinski (1985)の表をもとにこれらに対応する周辺減光係数を比例配分して求めると、Vの波長域では 0.475 、Bでは 0.554 、Uでは 0.515 になる。これらの値を各波長での u_1 とした。伴星の周辺減光係数(u_2)は伴星を晩期型と仮定してV、B、Uともに晩期型での平均値 0.8 を採用した。

次に重力減光指数を決める。von Zeipel(1916)は輻射平衡(早期型)にある星の大気では、輻射流束は表面重力に正比例するとした。つまり(9・3)式において $\alpha = 1.0$ である。また対流平衡(晩期型)にある星の大気における α の平均値は 0.32 であることが、Lucy(1967)によって指摘されている。そこで、主星の重力減光指数(α_1)は 1.0 、伴星のそれ(α_2)は 0.32 をそれぞれ採用した。

反射率は、Rucinski(1969)が輻射平衡の星では 1.0 、対流平衡の星では 0.5 であるとしている。つまり輻射平衡の星では全反射と思ってよい。また対流平衡の星では入射光のうち約半分は対流によって星内部へと運ばれ、残り半分が反射されると考えられる。

そこで主星の反射率(A_1)は 1.0 、伴星の反射率(A_2)は 0.5 とした。

こうして解析を行い(O-C)²の最小値を探した。数十個のモデルを作って探した結果、次の値が得られた。これは最終の解ではないが、ほぼ解析は終了したので日本天文学会1992年春期年会で報告した。理論光度と観測による光度曲線のフィッティングの様子は(図9・2)である。

$$\begin{aligned} q &= 0.32, & i &= 83.5^{\circ}, & r_1 &= 0.238, & r_2 &= 0.277 \\ j &= 0.08, & l_2/l_1 &= 0.11 (V), & & & & 0.04 (B), & 0.10 (U) \\ (O-C)^2 &= 0.440 (V), & & & & & & 0.341 (B), & 0.434 (U) \end{aligned}$$

軌道長半径(a)、両星の共通重心からの距離(a_1 、 a_2)は、以下のように決定した。Duerbeck & Hänel (1979)の分光観測により、 $a_1 \sin i = 1.15 \times 10^6 km = 1.65 R_{\odot}$ 、

第9章 光度曲線合成法

ここに我々が求めた i を代入すると、

$$a_1 = 1.66 R_\odot, \quad a_1/a_2 = q \text{ だから、} \quad a_2 = 5.19 R_\odot$$

$$a = a_1 + a_2 = 6.86 R_\odot$$

従って、両星の半径と質量の絶対量は、

$$R_1 = a r_1 = 1.63 R_\odot, \quad R_2 = a r_2 = 1.90 R_\odot$$

$$M_1 = 2.36 M_\odot \text{ (仮定)}, \quad M_2 = q M_1 = 0.76 M_\odot$$

となる。

つまり RZ Cas は β Per を約 3 分の 1 ほどコンパクトにした系であり、定性的には Chambliss(1976) の解とほとんど同じになった (図 9・3)。

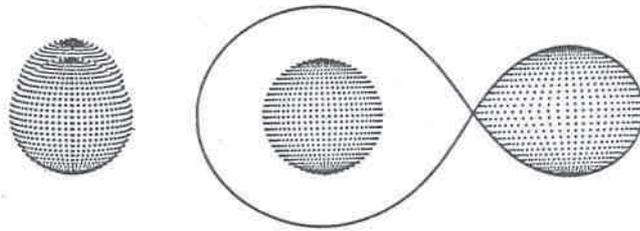


図 9・3 解析により得られた RZ Cas のモデル。左は主極小の時。

しかし、(図 9・2) を見るとやはり主極小は皆既食のように思いたくなる。“平らな底”の継続時間は、長くて約 20 分ほどである。これは、公転位相角にするとわずか 2° である。

YAMASAKI コードは皆既食の継続時間が長い光度曲線の場合なら、それに見合った解を探すが、任意に皆既食になるように制限を付けて解を探すことはできない。そのため、そのまま解いたので、わずかに継続する“平らな底”が、全体的な変光に埋もれてしまった可能性が考えられる。そこで、今度は強制的に皆既食になるように制限を付けて再び解析を行うことになった。幾何学的な理由により、部分食と皆既食の境、つまり、ぎりぎりの皆既食になるように制限をつけると、半分離型の場合 r_2 は q で決まるので、ある q に対して i と r_1 は、一対一の関係になる。このような考察をもとに皆既食になる解を探した。得られた解は以下のとおりである。

$$q = 0.34, \quad i = 83.0^\circ, \quad r_1 = 0.145, \quad r_2 = 0.282$$

$$j = 0.12, \quad l_2/l_1 = 0.45 \text{ (V)}, 0.02 \text{ (B)}, 0.02 \text{ (U)}$$

$$(O-C)^2 = 1.66 \text{ (V)}, 0.85 \text{ (B)}, 1.11 \text{ (U)}$$

同様にして、絶対量を計算すると。

$$a_1 = 1.66 R_\odot, \quad a_2 = 4.88 R_\odot, \quad a = 6.54 R_\odot$$

$$R_1 = 0.95 R_\odot, \quad R_2 = 1.84 R_\odot$$

$$M_1 = 2.36 M_\odot \text{ (仮定)}, \quad M_2 = 0.80 M_\odot$$

第4部 食変光星光度曲線の解析

($O - C$)²の値は、部分食解よりも1桁も大きい。

また皆既食解では理論曲線と観測による光度曲線を重ねて書いても合い方が悪い(図9・4)。さらに R_1 が異常に小さい。標準的なA3Vの半径は $1.98R_{\odot}$ (Lang 1992)であるが、得られた解はそれの約5割も小さいものである。これはではさすがに信じることができない。他のパラメータを変えてもこれ以上よい解は得られないことがわかり、結局主極小は皆既食でない判断した。

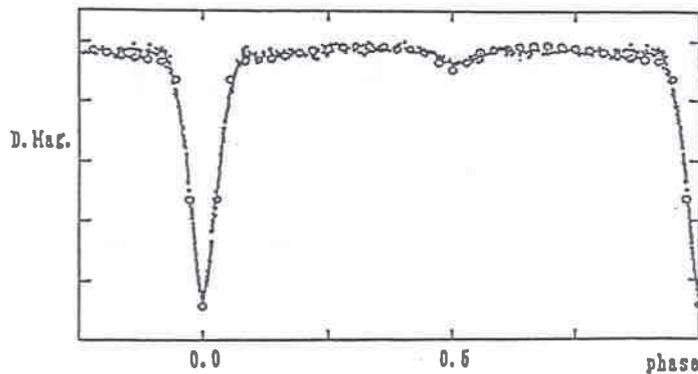


図9・4 R Z Casの皆既食解の一例(白丸が理論光度)

筆者らの解析により食連星R Z Casは、U Cepとは逆センスで部分食であるが、何等かの理由により時折、皆既食的な“平らな底”が見られることがはっきりした。

以上の事を我々は、日本天文学会1992年秋期年会において報告した。“平らな底”になる理由は、今のところ不明だが、筆者らは引続きこの謎の解明に取り組む方針である。

以上述べたように光度曲線合成法を用いた解析には、かなりの計算時間を要するが、近接効果を正確に考慮でき、かつ星の形状もロッシュ・モデルで近似できるので、たいへん有効な手段であると言えよう。今後もYAMASAKコードを含めた光度曲線合成法による光度曲線の解析が数多く行われ、連星系の研究がさらに進むことが望まれる。

参考文献

北村正利、山崎篤磨 1980 恒星の世界 小平桂一編, 恒星社

Malasan, H. L., 山崎篤磨 1992 JAPOA通信 No. 21 (JAPOA10周年記念研究会特集)

Arganbright, D. V., Osborn, W. & Hall, D. S., 1988, Inf. Bull. Variable Stars, No. 3224.

Chambliss, C. R., 1976, Publ. Astron. Soc. Pac., 88, 22.

Duerbeck, H. W. & Hänel, A., 1979, Astron. Astrophys. Suppl., 38, 155.

Hegedüs, T., 1989, Inf. Bull. Variable Stars, No. 3381.

Lang, K. R., 1992, Astrophysical Data-Planets and Stars, Springer-Verlag, New York.

Lucy, L. B., 1967, Z. Astrophys., 65, 89.

Nakamura, Y., Kamada, M., Adachi, N., Narusawa, S.-Y. & Kontoh, N., 1991, Sci. Rep. Fukushima Univ. 48, 25.

Rucinski, S. M., 1969, Acta Astron., 19, 125.

von Zeipel, H. V., 1924, Mon. Not. R. Astron. Soc., 84, 665.

Wade, R. A. & Rucinski, S. M., 1985, Astron. Astrophys. Suppl., 60, 471.

Yamasaki, A., 1981, Astrophys. Space Sci., 77, 75.

第5部

教育系大学等における光電観測

第10章 教育系大学における光電観測

§10・1 和歌山大学における光電観測

高橋 清（和歌山大学教育学部）

10・1・1 始めに

私たちの和歌山大学教育学部の天文学研究室に、変光天体の光電測光を主要用途とする60cm望遠鏡が設置されたのは、1986年度の初めである。以来幾つかの障害があって、ようやく昨1991年度の終りに試験観測が終了し、これから研究観測にかかれる状態になったとあってよい。それでここに、計画から現在にいたる経過、観測の装置と方法、整約の手順と結果、今後へと当面している課題、について概要を報告し、ご批判をいただくとともにご助言をたまわりたいと思う。

なお望遠鏡の設置や観測の計画は、特別に“理科教育”を意識したものではなかったが、結果的には理科教育にとっても大変有効であったと思っている。このことについては後書きのところで付言する。

10・1・2 計画から現在にいたる経過

私たちの和歌山大学は1985年度から1987年度にかけて、和歌山市街の中心部から和泉山脈の南麓部へ移転統合をした。この時機に60cmクラスの望遠鏡を設置したいという願望を抱き、1983年度の教育学部棟の建設開始予定に向けて、1980年度から計画を検討し始めた。当時としては夢のような計画であったが、実現したときも夢のような感覚であった。

実際に観測室が建設されたのは1984年度の終り、望遠鏡が設置されたのは1986年度の初めであるが、それ以前からの計画の進行を、天文学専攻学生の卒業論文の題目の形で表10.1に示す。1980年度には自信のないまま、観測地の市街光や天候などの制約される条件を調査しつつ、適切な観測の計画とそれを実行できる望遠鏡の仕様を検討した。1985年度には予算をいただいたが、この段階ではこのクラスの望遠鏡で研究レベルでできる観測は変光天体の光電観測だけであると確信し、望遠鏡の仕様もその目的に沿うように決定したが、

第5部 光電観測と理科教育

結果的には岡山天体物理観測所の91cm望遠鏡を2/3に相似縮小したものになった。1986年度からは各種の調整や試験であるが、この間にドームの不調とそれの修理作業のときの転落事故もあって、大幅に手間どった。1990年度のWW Aurは、試験観測をKiyokawa and Kitamura (1975)の観測との比較で終らせたいという趣旨からであったが、天候不良で目的を達しなかった。そして1991年度のRZ Casは、各所での観測に刺激されて試験観測も兼ねて試みたものであるが、その状況については後述することとする。

表10・1 光電測光観測に関係する卒業論文の題目

年 度	題 目
1980	地学教室に新設できるとしたらどのような天体望遠鏡が最適か？(久世・豊田)
1985	新天体望遠鏡の設置 その検討経過(山本) その製造状況(寒川) その観測計画(中野)
1986	新天体望遠鏡の設置 その据付調整(上村) その試験観測(楠見) その研究課題(高木)
1987	60cm望遠鏡の機構調整 1. 極軸調整の確定(土岐) 60cm望遠鏡の精度検査 1. 光学検査の進展(永尾) 60cm望遠鏡による光電測光 1. 測光方式の確立(中家)
1988	60cm望遠鏡による光電測光 2. 試験観測の準備(林) 60cm望遠鏡 3. 試験観測の実行(木下)
1989	60cm望遠鏡による光電測光 4. 機器関係の改定(石井) 5. 試験観測の結果(前田)
1990	食変光星WW AurのUBV光電測光による光度変化(藤本) 食連星の光度曲線からの要素決定の定式化(中村)
1991	食変光星RZ Casの光度変化の観測と整約(角倉、岡田、安田、寺尾) 食連星RZ Casの光度曲線の極小状況の検討(角倉) 食連星RZ Casの光度曲線の不完全フーリエ変換法による解析(岡田)

なおこの間、1985年度にはHenden and Kaitchuck (1982)のAstronomical Photometryの学習を、1990年度にはKitamura (1965)のDetermination of the Elements of Eclipsing Variables from Fourier Transforms of Their Light Curvesの学習をした。

10・1・3 観測の装置と方法

私たちの60cm望遠鏡と周辺機器を写真10・1に示す。またその仕様のなかで光電測光

表10・2 観測装置の概要

1. 望遠鏡 (三鷹光器)
形式: 反射赤道儀 (カセグレイン式)
主鏡口径 60cm
合成焦点距離 7800mm (F:13)
2. 光電受光器 (三鷹光器)
方式 直流増幅式
光電子増倍管 浜松フォトクス1P21
フィルター
V: GG495 (2mm)
B: GG385 (2mm)
+BG12 (1.1mm)
U: UG1 (2mm)

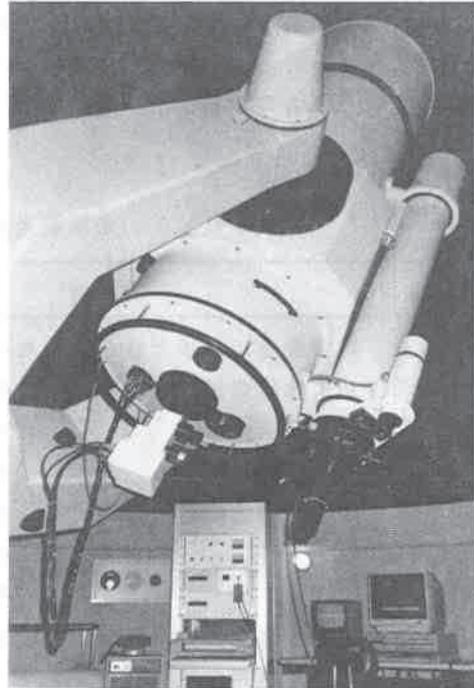


写真10・1 60cm望遠鏡と測光装置

光に関する項目を表10.2に示す。前述もしたが、変光天体の光電測光という目的に最適するように、光路・架台・口径比・等々が考案された。受光器はパルス・カウンティング方式のほうが利点が多いが、当初からは自信がないので経験のある直流方式をとった。またレコーダーもAD変換式の利点も多いが、直観性があり教育的でもあるペン・レコーダーから始めることにした。これら受光器やレコーダーの改良は、望遠鏡のコンピューター制御の推進とともに、力量のある後進に実現してほしいと思っている。なお望遠鏡の追尾は、1mmφのダイアフラムで30分程度は微動修正することなく測光作業のできる精度をもたせてある。私たちの観測は、標準星(+比較星)の観測と、変光星(+比較星)の観測からなっている。標準星の観測は、通常2か月に1夜天況のすぐれたときに30星程度おこない、この期間に適用する変換係定数・2次減光係数を決定するとともに、比較星も同時観測してその等級・色指数も測定しておくためである。標準星には、ジョンソン(Johnson)のUBV標準星のみを使用している。変光星と交互観測する比較星は、その時間帯の1次減光係数の決定のためにも利用する。同定用の星図が必要なときには、ボン(Bonn)星図を使用している。いうまでもなく観測パターンは、目的・難度・天況・高度・変光状況などにより、随時臨機に应变する。

10・1・4 観測の結果

私たちの観測の結果の状況については、1991年11月から1992年2月にかけてのRZ Casの場合を引用しよう。莫大な観測研究歴をもつRZ Casではあるが各所での再観測に刺激されて、私たちも試験観測の締括りとして初めて本格的な観測を試みた。ただし後述する理由によって、ここでは状況の報告としてであって、正式の公表としてではない。

観測はこの期間に、標準星については11月・1月の2夜に各約30星おこない、変光星については全体で12夜に528点のデータをえ5回の主極小をとらえた。比較星にはHR 791を使用し、予報式にはHerczeg and Frieboes-Conde (1974)のものを採用した。私たちの観測装置はVBU3色でスピーディに観測することが可能であるが、今回は主極小の形状の判別のため時間分解を上げるべく、整約にも影響のないUバンドは割愛した。そして図10.1(a)が全データによるV光度曲線で、多少の欠落箇所は残したがほぼ全フェーズをカバーしている。また図10.1(b)が12月7日の主極小部分のV光度曲線で、極小中央を決めるためにフィットさせた曲線も描きこまれている。

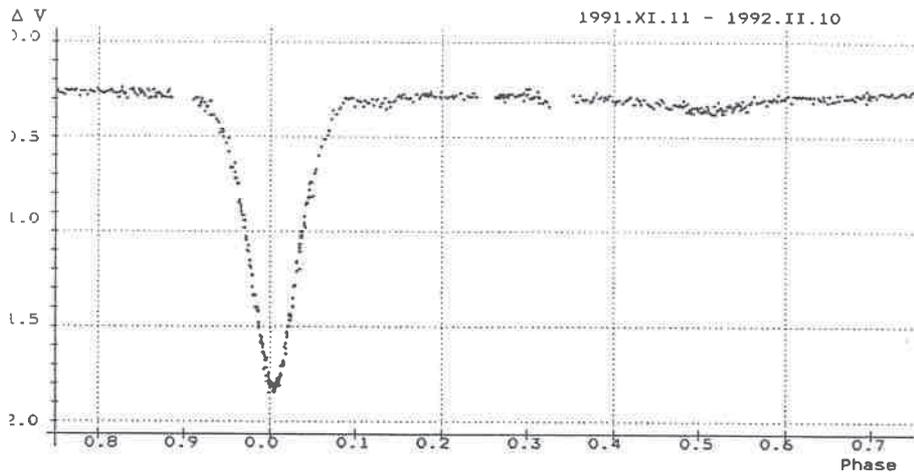


図10.1(a) : 上
RZ Cas光度曲線

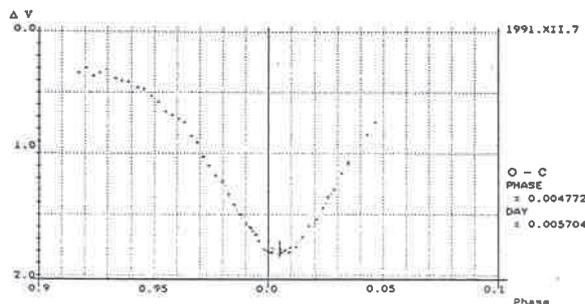


図10.1(b) : 右
RZ Cas極小部分

今期の観測をスタートした当初から、ペン・レコーダーのふれ幅が前期までより大きいことに気がつき、観測の進行につれて漸増していくことが気になったが、期間の途中で対応することが困難であった。期間が終了したあとで検討したところ、光電子増倍管の老化が原因であることが判明した。このことが全フェーズ光度曲線のプロット幅がやや大きい

第10章 教育系大学における光電観測

こと、特に副極小が他の観測にくらべて埋もれていることの原因であろうと思われる。したがって12月7日だけでなく他の主極小でも、皆既食の可能性が示唆される場合があることについても、結論は保留することとした。

10・1・5 今後へと当面している課題

予期したより時間がかかったが上述したように、ようやく本格的な観測ができる段階になった。市街光や天候など良好でない条件もあるが、山奥へいく不便に比べれば制約は乗り越えなければならない。測光方式や記録方法にも改良すべき事項があるが、整備した装置でも相当の結果はえられる。そして光度曲線からの不完全フーリエ変換法による要素決定についても、一通りの予備的な解析のできる準備もした。

現在一番勘案しているのは、対象とする天体の選定である。住友製鉄工場もある暖地臨海地帯からの南西風の影響と、昼間の業務との両立の過重から、観測は夏季は実際上困難である。1992年秋から1993年春にかけては更新した光電子増倍管によって、新味はなくともRZ Casをもう1期繰返すことにしているが、以後の対象天体について示唆や指導をいただければありがたい。

10・1・6 終りに

私たちの60cm望遠鏡を計画し建造したときには、最小クラスでも研究観測のできる望遠鏡をとということが主眼で、“理科教育”へ寄与することへの特別な意識はなかった。しかし結果的にはそれを使用しての食変光星の光電観測は、理科教育にとって非常にといっくらくらい有効であることを感得している。私たちの学部での学生の専攻の決定は、理科系という枠で入学してから1年半後の自由意志によっているが、天文学研究室には最近10年ほど常時平均3名は志望者がきてくれている。観測室や望遠鏡が大きくなるほど危険をとともうので、全コースほとんど私も一員となって仕事をするが、

- 1° 星図の用意から始まって、望遠鏡に天体を入れ、測光の作業を進めていくなかで、天体観測というものの全部ともいえる内容を体得することができ、
- 2° 同期生だけでなく先後輩や先生とも役割をきちんと分担してきびきび行動し、時折は目的天体の観測の前後に希望天体の観望もし、他分野ではえられにくいハードさと楽しさの織混じった時間を経験することができ、
- 3° 極小のディセンディングが始まると、太陽系外では一見何の変動もないようにみえる宇宙の一角で、今現在2つの恒星が公転しあっていることを目前に認識することができ、
- 4° そして予備解析ながら要素決定にまで挑むことができれば、それ以外にはありえないという明瞭な物理的イメージに到達することができる。

この3月に卒業して小学校の先生になった女子学生からの手紙の、「ほかのどのゼミでもえられなかったであろう大学生活の充実感と達成感でいっぱいです。」という一文は、多少の割引をしても理科教育の大事な側面に寄与したということになるのではなかろうか。

短報の末尾を借りてではあるが、望遠鏡の建造の段階から観測の進行の段階まで、多大の助言のみならず貴重な資料もいただいた、国立天文台の北村正利名誉教授に厚くお礼を申しあげる。また図表の整理をしていただいた天文学研究室の寺尾暢介氏にもお礼を申しのべたい。

§ 10・2 福島大学における光電観測

中村 泰久（福島大学教育学部）

10・2・1 45cm鏡、観測装置、観測条件のことなど

福島大学のキャンパスは、市街地がある福島盆地を南に出はずれた、盆地を取り囲む丘陵の地福島市松川町にある。最寄り駅のJR東北本線金谷川駅は福島駅より南へふたつ目約10kmのところであり、ここで下車した学生・教職員は数分間ゆるやかな坂を登って構内に達することになる(構内の三角点の高度は196m)。このキャンパス内の7階建ての建物(教育学部自然棟)の屋上にある直径約5mのドーム(写真10・2・1;手前は学生たちの課外活動用に使われている望遠鏡群)は、ふもとの金谷川駅のホームからもはっきりと見ることができる。



写真10・2・1

このドーム中に三鷹光器製の45cm反射赤道儀が納まっている。この望遠鏡はナスミスとクーデの2つの焦点を持つというユニークな仕様となっている。

ドーム自体は福島大学が市街地からこの金谷川の地に移転して新しい建物ができるときにつくられたが、望遠鏡の方はあとから私の前任者である故大木元教授が特別設備費によってつくられたものである。いろいろ考察されてこの望遠鏡の仕様を決定された大木先生ご自身はそれを本格的に使いだされる前に退官されたので、後任として私が福島大学に赴任してからこの望遠鏡を使っての実際の観測がスタートしたということになる。

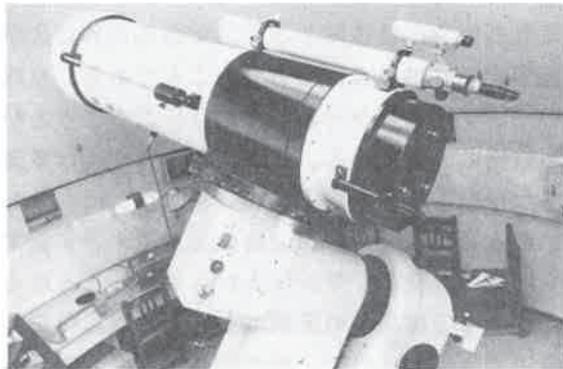


写真10・2・2

当研究室の主たる観測装置は、この望遠鏡のクーデ焦点に通常取り付けられているVB U3色光電測光器(写真102・3)である。この測光器はやはり三鷹光器製のもので、光電管としては浜松ホトニクス製の1P21が使われ、色フィルターにはそれぞれ、コーニング3-70(V)、同5-57+0-51(B)、ショットUG-1(U)が用いられている。ダイアフラム

第10章 教育系大学における光電観測

は 0.25、0.5、1.0、2.0mmの4段階に切り替えられるが、クーデ焦点の像の悪さもあって観測はもっぱら 2mmφで行われている（これは約36"の角直径に対応している）。この測光器から出る信号はアナログ型であるが、これを地元のFECという会社の製作した「光電流測定装置」にかけ、この装置の中でA/D変換と時間積分を実行している。得られたデジタルデータはこの積分装置の中に組み込まれているRAMメモリーに書き込まれており、観測終了後（翌日でもよい）にRS-232C経由でパソコンのメモリーへと転送できるようになっている。これは私が引き継いだときの状況であったが、これは基本的に今も変わっていない。その後、観測中にも観測状況をモニターする方が良いという東京大学名誉教授北村正利先生の示唆もあり、ペンレコータをつけ、観測値を同時にペンレコのふれでモニターできるようにした。上記光電流測定装置の不調の際にはこのペンレコが活躍したので、これはなるほど正解であった。

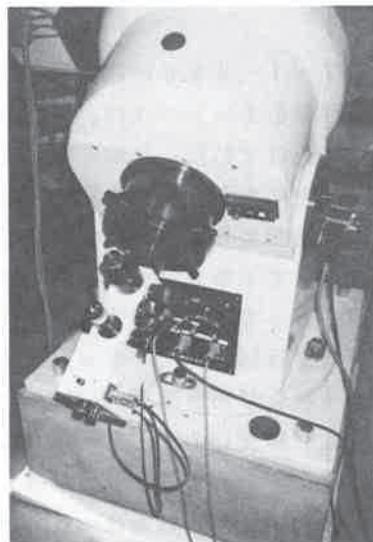


写真10・2・3

先ほども述べたように、このキャンパスは市街地より数kmは離れているので、直接には街のあかりは見なくてすむ。周りには民家なども多くなく、キャンパスのごく周辺は至って灯りが乏しいはずであるが、しかし北方の市街地方向の空はやはり明るく、そしてなによりも大学には夜間のコースがあるために大学内の明りが夜遅くまでついていることが、観測する立場からは悩ましいことである。自然棟のすぐ隣の体育館では夜遅くまで運動部のサークル活動が行われており、こうこうと明りがつけられている。斜め下の生協の照明も観測の天敵である。また、南方遠くには東北自動車道が直接見え、夜にはヘッドライトをつけたトラックなどがひっきりなしに往来しているのを見ることができる。おまけに冬になると、吾妻、安達太良の山々にオープンするスキー場の明りが西南方向の稜線あたりをぼやっと明るく浮かび上がらせることとなる。

ところで福島市の天候であるが、福島県を浜通り、中通り、会津の3地方に分けたうちの中通りにあるので、総合評価は“中”である（浜通りが上、会津が下）。しかし何といっても周りを山々に囲まれた盆地であるので、いとも簡単に雲がやってくる。薄雲もないような本当の測光夜は年に何日あるだろうか（しかもその日に我々が観測できるとは限らない）。冬には雪雲がよく繰り返し訪れることがある。春はよく霞がかかったような夜空をみかける。強いて言えば、梅雨明け直後とか、秋中頃から初冬にかけての時期が相対的に観測の好季であろうか。

以上述べたように、観測条件は恐らく日本の他のかなりの所と同じように決して良好ではない。45cmあれば立派に測光観測ができるはずなので、できるものならばもっと好条

第5部 光電観測と理科教育

件の地に移したいところであるが、しかしこの望遠鏡は研究目的で作られているものでないので、上記のような悪条件を堪え忍びながらこの地で観測を続けることは止むを得ないことと考えている。

10・2・2 教育養成系大学・学部における光電観測

ところで、この章のタイトルにある『教育系大学における光電観測』とは実態的にはどんなものなのだろうか。一般的に言えば、「大学ではあっても学術研究を主目的とはせず、卒業研究のテーマ等として学生が中心となって行っている光電測光観測」あたりを意味するのであろう。このような意味での光電測光が行われている“教育系大学”が全国にいくつあるか筆者は詳しくは知らない。各県に1つはある教員養成系大学・学部（北海道には5つの分校）のうち、天文の教員がいるのはおおよそ4割弱。このうち光電測光観測が行われている（行い得る）のは、和歌山大学、福島大学の他には、秋田大学、東京学芸大学、埼玉大学、福岡教育大学等のみではないだろうか（筆者の知る限りではあるが）。しかしその実態は、大学ごとにかかなりの違いがあるのであろう。

福島大学教育学部では、卒業研究は必修の要卒単位となっており、学生は卒論生として3年次後半より、理科関係では実際には3年次の始めより、それぞれの卒論担当教官について卒業研究ないしはその準備にとりかかることとなっている。卒業研究の実態も研究室ごとにまったく違っているが、一般的に言って、実験関係、観察・観測関係の卒業研究を行う学生たちの方がやや早めに取りかかることになるようである。天文関係を希望する学生がいる場合には、3年次の始めより研究室に出入りし、ゼミ等で先輩とともに関連の勉強を始めることとなる。学生たちが溢れるばかりの各種授業の合間をぬって関連勉強をするのはかなりの努力を要する。とくに主専攻以外に“副免”も取ろうとする者にとってはたいへんのものである。

ところで当研究室に入った学生がすべて観測にタッチして卒業研究をするというわけではない。今までのところそのようにして卒論を書いた、あるいは書くという学生は半分をちょっと上回る程度である（もっとも、もっぱら解析をするという者を含めればほとんどということになるが）。研究室全体のゼミの他に、そのような観測に関わる学生たちとで別のゼミを行い、さらに勉強していくこととなる。その内容は、測光観測自体の勉強、ソフト作成のための言語の勉強、対象天体についての勉強といったところである。

さて、既述のような観測環境・観測設備のもとで我が福島大学チームはささやかな測光観測を行ってきたのであるが、今まで成果としてまとめたのは、短周期のアルゴル型近接連星系カシオペア座RZ星の3色光度曲線のみである。この連星系自体についての説明、観測状況並びに結果等々は前章に記されているのでここでは触れない。この星はその後調べてみると結果的に面白いことがいろいろ出てきて研究も発展しているが、そもそも対象として選んだのは実際のところそう深い理解があっただけではなかった。星間違いの可能性への対処や構内の明るさに対抗するために対象も明るいこと、限られた観測期間、観測時間を考え短周期であって光度変化が速いこと、観測誤差が少々大きくともはっきりとした極小が見られるほど食が深く、しかも位置的にかなり長期間にわたって観測可能であること、

第10章 教育系大学における光電観測

しかも比較検討できる先行研究があることなどで選んだものであった。当時は私も来たばかりで上述のような福島の天候をよく理解しておらず、この程度の周期ならばひと冬で終わるのではと思い、テスト観測的なつもりで始めたものであった。しかしどうしてどうして、天候の予想を越える悪さと機器の細かい不調等で、さほどデータが取得できないうちにそのシーズンが終わってしまったのである。結局、この系の観測のまとめは3シーズン終了後2代目の学生たちによってようやく行われた。この間、望遠鏡の変調とか、ドーム回転ローラの破損、あるいは観測装置の不調等々少なからぬ差し障りがあったが、それら乗り越えての学生たちの自学しつつの観測があった。この学生諸君のがんばりの成果として、カシオペア座RZ星に関する光電観測結果をとにかくもまとめることができたのはたいへん幸いであった（末尾文献）。

『教育系大学における光電観測』としてせっかく行うのならば、観測して観測しっぱなし、あるいは整約してそのままというよりは、その後もどんどん内容の深まるものの方が良いと考える。この点で近接食連星系の測光観測は、光度曲線の解析による系の物理要素の導出、恒星の天体物理学的な議論、さらには恒星進化論等の考察などへもつながっていくので、なかなかふさわしいものと考えている。

10・2・3 今後のことなど

この小文では便宜的に天文学研究室などと称したが、実態はスタッフひとり、学生数人の小人数の集まりにすぎない。当大学では天文学を専門とする者は私一人であり、私自身は理科教育教室に所属している。この後者はつまり、天文ばかりではいけませんよということの意味している。実際担当している天文学関係の講義は、ゼミを別にすれば半期のコマ1つのみである。

私の赴任当時は特別理科課程としては最後の2学年にあたる学生がおり、他に中学校課程理科の学生と小学校課程の自然系理科の学生が研究室に入る対象となっていた。しかし現在では、このうち特理課程が廃止されたため理科の学生は大幅に減っており、しかも高校での理科の設置科目、選択科目が偏在していることの影響もあってであろうか、私のところで卒論を書くという学生は少なくなっている。これからは、あってもせいぜい年1名程度であろうと推測している。

さてこのようなもとでの研究室の今後であるが、学生数が減少していること、さらには学生気質の変化などもあって、夜の観測の継続を大いに難しいものにしていくと考えている。つまり、もう今までのように学生同士が協力して観測するというようなことにはならない（なれない）と考えている。おまけにドームや望遠鏡、観測装置あるいは周辺機器が一定の年月の経過の中で徐々に老朽化してきており、いつも何やらの不調が現れてくるような時期に入ってきた。こういった中で今後研究室をどう運営していくのかは重要な問題である。もうこれ以上観測関係の設備などは要求せず、それなりのワークステーション等を買えばさっさと理論系研究室への転身をはかるのも名案と思える。実際、少ない戦力を集中できるので、成果の出具合いという観点からはこちらの方が良いように思える。一方、まあそうは言っても身近にそれなりの観測設備・観測装置があることは、卒論を書く

第5部 光電観測と理科教育

という学生にとっても、またそれ以外の教員を目指す一般の学生にとっても、何らかの役に立つことがあるだろうと思うこともある。結局今のところは迷いながらも観測装置の高度化を計ることを目指している。具体的には、昨年度CCD観測装置一式を予算要求した。総額でかなりにのぼるので、これが実際に通るまでにはいましばらくの時間がかかることと思われる。それまでは上述のような諸条件のもとでの観測で、いささかでも学問的にも有意義な結果をさらに出すことができればありがたいことと考えている。

〔文献〕

Y. Nakamura, M. Kamada, N. Adachi, S. Narusawa and N. Kontoh
"Three-Colour Photometry of the Eclipsing Binary System RZ Cassiopeiae",
:Sci. Rep. Fukushima Univ., No. 48, 25-37 (1991).

§ 10・3 光電観測実習の思い出

10・3・1 埼玉大学の光電観測

埼玉大・教育学部 平成2年度卒業 石丸 圭一

埼玉大では昭和63年より教育学部の卒業研究として、食連星の光電観測に取り組んでいます。毎年1つの割合で食連星の光度曲線の取得にほぼ成功していますが、現在まで外部に観測データを発表していませんので、その活動を紹介したいと思います。

埼玉大では、三鷹光器製40cm反射望遠鏡に1P21光電子増倍管を用いた測光器を取り付けて光電観測を行っています(写真10・3・1～2)。データはAD変換後、パソコンに取り込んでいます。観測精度は7～8等クラスの星で0.03等程度ですが、浦和市下大久保という首都圏の空の状況としては、私自身満足いくものと思っています。

現在までの観測対象は、食連星のIM Aur、SX Aur、TT Aur、W UMaの4星と、脈動星のDD Lacの計5星。私はTT Aurを観測しましたが、そのときの様子をドキュメント風に紹介しましょう。

10月下旬、観測対象をTT Aurと決定する。周期は1.33日。うまくいけば4夜の観測で全位相のデータが取れるだろう。それまでは、いるか座の星の観測を試みたが、結局データを取ることができなかった。

第10章 教育系大学における光電観測

11月上旬、数回観測を行うが空の状態が悪くデータにならない。

11月12日、はじめて良好なデータを取ることができた。全位相の4分の1ではあるが、うれしくてたまらない。このままいけば、12月中に観測が終了できるだろう。

12月19日、一か月以上たってやっと2回目のデータが取れた。12月中に終わる予定のはずが…。しかし、この日は空がたいへん安定していて、主極小をかなり良い精度でカバーすることができた。

2月5日、3夜目のデータ取得成功。1月中は空が安定せず、データにならない観測ばかりで、同じ研究室の仲間にはつ当たりばかりしていた。

2月19日、観測終了。しかし10日後には最終の発表会が控えている。整約は、レジメは…、わーどうしよう。まわりから心配されたり、あきれられたりましたが、人の温かさを強く感じました。また光電観測の魅力に取り付かれ、これからも続けていきたいと思ったのもこの頃でした。

埼玉大の光電観測は、ようやく思いどおりにデータが取れるようになったというのが現状です。1年間の卒業研究では光度曲線を得るのが精一杯ですが、今後光度曲線の解析、光電観測の学校教育への利用法などたくさんの課題があります。卒業研究生を中心にOBも協力してさらに努力していきたいと思っています。ご支援をいただければ幸いです。

最後になりましたが、埼玉大の光電観測は気象の高橋忠司先生のもとで行われています。また、プロの立場から群馬大の岡崎彰先生に全面的なバックアップをいただいております。お二人には心から感謝しております。

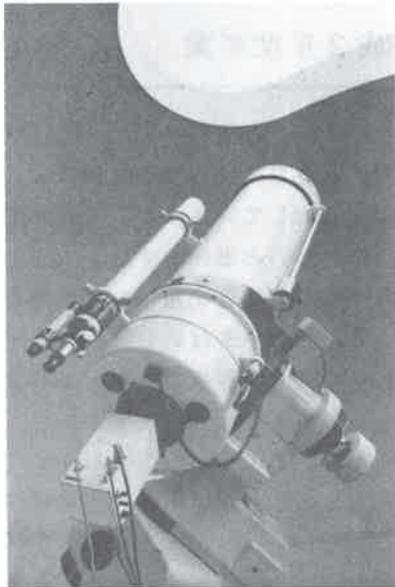


写真10・3・1 40cm望遠鏡

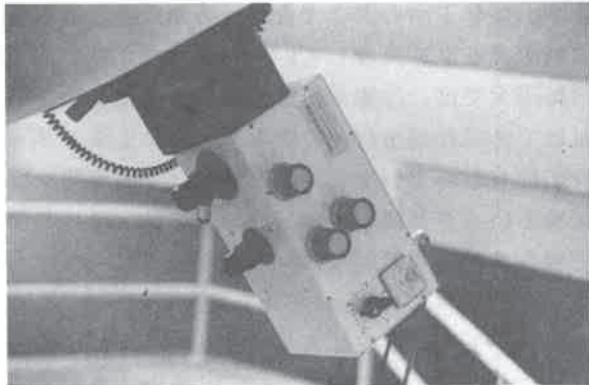


写真10・3・2 測光器

私が光電測光と出会ったのは、和歌山大学に入学し天文学研究室に通うようになってからである。運の良いことに和歌山大学には、私の入学する1年前に60cmの反射望遠鏡と光電測光装置一式が設置されたばかりであり、研究観測に向けての準備が進められていた。このような時期に4年間の学生生活を送ったため、大型望遠鏡の設置から本格的稼働までの間の種々の調整作業、試験観測に加え、主鏡の再鍍金（取り外し、取り付け）まで見る事が出来、滅多にできない貴重な経験をする事が出来たのである。

観測は、決められた手順に従い各自分担して作業をすすめながらも、先生からいろいろ観測にまつわる話を伺ったり、他の学生と話をしたりしながら楽しく行なえた。（時にはフィルターを変えるのを忘れてしまったりしたこともあったが…）そのほか、光電管で計測中に主鏡に頭をぶつけ、ダイアフラムから外してしまい、あわてて入れなおしたこともあった。こうしたアクシデントの中で、最も強烈な体験は、私がペンレコーダーのところで記録をとっていた時のことである、それまで順調に動いていたペンが、突然はげしく動きだし振り切れたりしだした、私は一瞬自分が何か操作ミスをしたのではないかと考えたがどうもそうではないらしい。望遠鏡を操作していた同級生にどうかしたのか聞いてみるが、彼も何もしていないと言う、そこで案内望遠鏡を覗いてみるとそこには移動して行く飛行機の姿があった。ダイアフラムの中を飛行機が横切って行った訳である、ダイアフラムの直径は1.0mm、すなわち26".4であるから、全天に比べればほんの一点といっても良いだろう、この中を偶然飛行機が横切るなんていったいどのぐらいの確率なのだろうか？後輩の話では、案内望遠鏡の中には人工衛星や流星も飛び込んできたことがあるという話であるが、ダイアフラムの中というのは珍しいのではないか。ところでその私の同級生というのが、星をダイアフラムへ導入するのが早く（私がドジなだけかも知れないが）私の導入したときと彼のときでは、ペンレコーダーに記録された間隔が随分違うのを見て、複雑な思いがしたものだ。そんなこんなで観測を続けて行くのであるが、観測は冬の間に終わったため、寒さと天気には泣かされた。和歌山のような暖かいところで寒いとは贅沢な！とお叱りを受けるかも知れないが、1月2月の早朝の寒さは骨身にしみるものであった。それまで4時間近く観測を続けてきて、あと5分で極小だというときに雲がやってきたり、これはだめだと片付けて家に帰ると快晴になっていたりということがあり、くやしき思ったがこれだけはどうにもならない。こんな気まぐれなお天気だが、さすがと言うべきか先生が「今日はだめでしょう」とおっしゃると、必ずと言ってよいほど観測は出来ず、いくら曇っていても「今日は出来そうですよ」とおっしゃると必ず観測できるのだった。後輩が統計をとったところ9割り近く当たったそうで、先生の経験の豊富さに改めて感心したものだ。

この様に観測していた中で、なんととっても感動したのは、やはり極小が近づいて段々

第10章 教育系大学における光電観測

ペンレコーダーの振れが小さくなって行ったときだろう、肉眼で見れば全くなんの変化もない星が、宇宙空間で確かに回転しているのを自分の目で確かめることが出来、その観測結果を用いてその星の軌道要素も解析できる。光電測光の魅力はこのような星々の息使いを肌で感じられるところにあるのではないだろうか。

10・3・3 光電観測との出会いとその思い出

— 福島大学・教育学部での経験 —

関谷 育雄(神奈川県平塚市立浜岳中学校)

私が光電測光という観測法を知ったのは、中学生の頃、下保茂著の「変光星の観測」(恒星社厚生閣)という本からであり、当時は眼視観測が主流の時代で、「比例法」や「光階法」が紹介されていました。ところが、その本のかなりのページを費やして「光電観測」について書かれていたのです。しかし、中学生の私にはただスゴイモノダ!というイメージしか残らず月日が過ぎていったのです(どうみても中学生には無縁ですよ)。

さて、紆余曲折を経て福島大学に入学したのが第2の運命の始まりでありました。大学屋上に設置された5mドームの中に入ると20cmニュートン式反射望遠鏡があり、接眼部にはどこかで見たような装置が…。まさしくそれは光電測光装置ではあーりませんか(もう古い?)。当時の私には20cm反射もあこがれであり、先輩の観測を手伝いながら過去の変光星に対しての興味を増していきました。そして、大学2年の5月? J A P O A が設立された1回目の会合に出席したのです。折しも、ぎょしゃ座ε星の食が始まった頃でしたので、我々の研究室はこの星の観測に取り組みました。

研究室での観測は常時2人以上で行い、ニュートン反射の不便な点をカバーしました(1人で行うとなると、接眼部が高い位置にあるので脚立に乗らないと届かず、また、記録のためにテーブルまでいかなければならないので、まるでドームの中でマラソンをするようになってしまうのです)。また、口径の小ささは観測数でカバーし、晴れた夜には4時間はあたりまえ、6時間以上もぶっつけで観測したこともありました。う〜ん若かった!そして、その結果は大変スムーズな光度曲線を得ることができ、いろいろな場面で高く評価されたということです。メダッ メダッ (ほとんど自画自賛)

この星の食は、足掛け3年に及んだ為、光度曲線を見ただけでいろいろと思い出がよみがえります。いくつかのブランクがあるのですが、あるブランクは年末年始で、教授自ら「この期間はやめない?」といわせてしまったとか、また、あるブランクはスキーにいらしてしまってやらなかったとか、あの月は長雨で…。また、冬のさなか雲間をぬって観

第5部 光電観測と理科教育

測をしていたとき何か白いものが・・・そう、雪が降っていて鏡にうっすら積もっているではありませんか。

よけいな話ですが、その頃、文部省の教育政策（臨調）に反対し教授と共にデモに参加したこともありました。あの臨調が無ければもっと早く現在ドームに設置されている45cmクーデが使用できたのです。あー惜しかった。

まあとにかく、学生の頃の昼も夜もなく活動できたことは今となっては何物にも替え難い貴重な経験でありました。そして、それを見守ってくれた教授や研究室の仲間へ感謝したいと思います。

現在、現在は神奈川の自宅に31cmカセグレンを設置し、いつでも観測に入れる体制にあります（ただし光電測光装置さえ入れれば・・・）。この（ ）の中が問題で資金的な面もさることながら、どうせやるなら・・・という人の常が顔を擡げてきて遅々として進展しないのがたまに傷です。ま、そのうち何とかかなるでしょう。

10.3.4 福島大学・教育学部の頃

高橋幸市（福島県立湖南高等学校）

私と光電観測との出会いは、大学3年生の時、先輩の観測を手伝った時のことです。大学3年の時、天文教室に入ろうと「銀河系に関することをやってみたく天文教室に入りたいのですが。」と天文教室の大木先生に相談をしました。しかし、大木先生は「ここでは銀河系はできないな。」と言われ、その他に興味のある分野という先輩達がドームの中で観測をしている変光星の光電観測があり、「やってみようかな。」と思い始めました。先輩の手伝いをしながら天体写真を撮ったこともない私が望遠鏡の使い方や観測の方法を覚えました。手伝っているうちに、光電観測とは「単純な作業の繰り返しなんだな。」と思いました。曇るときもあり、そのときは先輩達と酒を飲んでいたり、たいへん楽しい思い出となっています。

さて4年生になると一緒に光電観測をする予定の同級生が大学をやめてしまい、大変なことになってきました。私が大学3年生の時、新しい望遠鏡が入り、4年生の今、新しい測光装置が入りました。私の担当はこの新しいシステムに関する研究であったが急きょ、前年からの引継ぎであるアンドロメダAN星の観測を引き受けることになりました。新しい測定装置と望遠鏡の配線や測定装置からパソコンへのデータ取り込みと昨年までのシステムとすっかり変わってしまい、最初は観測どころではありませんでした。実際観測をはじめると孤独の毎日で、後輩に手伝ってもらったり、一人の時は歌を歌い、独り言を言いながら観測をしていました。観測も大事なときに曇られたり、データがうまくパソコ

第10章 教育系大学における光電観測

ンに入らなかったり、またデータ処理のソフトがまちがっていたりと、なかなかうまく作業が進みませんでした。夜は観測、昼はパソコンとのにらめっこが続きました。準備不足のため、うまく作業が進まなかったものの、大木先生のご指導のもと、また先輩達のアドバイスにより、少し光電観測のことがわかってきたように見え、今度観測するときにはシステム周辺に時間をとられることなく、対象物の研究にもっと時間をかけられるようにしたいと思っています。

1月、なんとか卒論を書くことができたもののまだまだ課題が山積みで未解決のまま3月を迎え、卒業してきました。お世話になった大木先生も体の不調で大学をおやめになられ、その後亡くなられてしまいました。大木先生のご退職に伴い天文教室の存在も危うくなったのですが、現在の中村先生がおこしになって、後輩達も食連星の観測を続けられるようになりました。私も大学でのやり残してきたものをいつか完成させたいと思っています。それが、いろいろご指導していただいた大木先生に対しての恩返しになるのではないかと考えています。現在、J A P O Aの会員として光電観測の勉強しています。将来、大学でやり残してきたアンドロメダAN星そして新しい対象物を観測・研究したいと思っています。

光電測光では星の明るさを測る単位は何でもよい

初心者が疑問に思うことの1つは、光電測光の装置で得るデータは、星の明るさ（入射光の強度）をいろんな単位で測っているが、それでよいのか、ということであろう。例えば、ペンレコーダー記録なら、ペンの振れ幅を [mm] であらわしたり、その入力電圧なら [mV] であったり、電流入力なら [μ A] や [nA] であったりする。AD変換する場合やVF変換 (§ 5. 4 の c) 参照) や光子計数法の場合は、[カウント/秒] で表わしたりする。

結論は、入射光の強度 (Intensity) を代りに示すものであれば、一貫して使用すれば 種類は何でもよい、ということである。その理由は、第7章で述べられるように、星の等級は、全天に分布する標準星と呼ばれる星々で定義されているからである。目的の星の等級は、それらの標準星に対する明るさの比で表わすから、どのような単位で測定していても無次元の量になるからである。毎回の観測は、決して照度を表わすルクスという単位やエルグやワットというエネルギーを表わす単位で測光するわけではない。もっとも、星の明るさの絶対値を調べることは絶対較正と呼ばれていて、天体物理学では非常に大切な測定であるが、その測定は非常に困難である。その一端は、大沢 (1984) にかがわれる。

(大島 修)

第11章 公共施設における光電観測

— 神奈川県の場合 —

尾形 斉（藤沢市立秋葉台小学校）

大森茂雄（川崎市青少年科学館）

§ 11・1 神奈川県立教育センターの場合

a) 三色光電測光装置を備えるまで（1965～1969年）

昭和30年代は我が国の経済成長が急速に進展した時期で、科学技術者の養成が求められた時代でもあった。そうした背景を受けて、教育界においては理科教育の振興策がとられ、教員に対して理科の研修を行なうことを目的に、都道府県単位に理科教育センターあるいは教育センターといった名称の公共施設が続々と設置された。

多くのセンターには教員の研修用として口径15～20cmの屈折式天体望遠鏡が備えられたが、望遠鏡以外の備品としては天体写真撮影装置くらいまでで、光電観測装置までを備えるところはほとんどなかった。

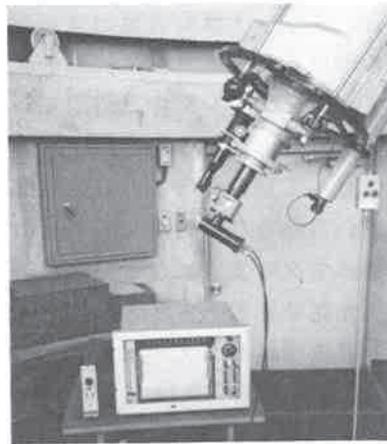


写真11・1・1 光電測光装置

神奈川県立教育センターもそうした施設の一つであって、他のセンターより遅い1964年（昭和39年）11月に開所したが、最初は天体観測室がなかった。

筆者は1965年4月からこのセンターの地学教室に勤務することになり、天文・気象関係の研修に従事していた。3年後の1968年に念願の天体観測室が設置されることになり、望遠鏡や備品の検討をしたが、研修は日中に太陽を観測することが最も多いことや筒長が短くて振り回しやすいこと、担当者もいずれは替わるだろうことを考慮して、望遠鏡は日本光学の20cm屈折（ $F=12$ ）とした。教育センターには一人8日間の短期研修の他に、一年間の長期研修員制度があって、教室ごとに二人の長期研修員を受け入れ、一年の間に所属教室の教科にかかわる何等かの研究レポートを出すことになっていた。そこで、もし地学教室の長期研修員が研究対象として天体を選んだ場合、20cmの望遠鏡で出来る研究のための備品として何を備えたらよいかを考えざるを得なかった。

当時、高校の地学の教員を対象にした天文関係の講座には鈴木敬信先生を講師に招いて講義や演習をしていたが、その中に三色測光の内容があり、1/1000等の精度で測光可能だということから、変光星の研究ができそうなので、写真撮影装置等の他に三色測光装置を

備えることにした。

そのころ、天文台ではすでに三色測光はポピュラーな観測手段になっていたが、アマチュアではだれもやっておらず、当然日本語での参考書もなければ器機の市販もされていなかった。当時の日本光学のパンフレットには「光電測光装置」とは書かれていたが、中身は三色測光用ではなく掩蔽観測用であった。

それで、日本光学の担当技術者と協議し、ショット社の規定のフィルターをつけるなど光電測光装置を改良して、ジョンソン系の三色測光が可能な装置全体が揃ったのは予算の都合もあって1969年のことであった。装置はいろいろなメーカーの製品の寄せ集めで次のようになっていた。

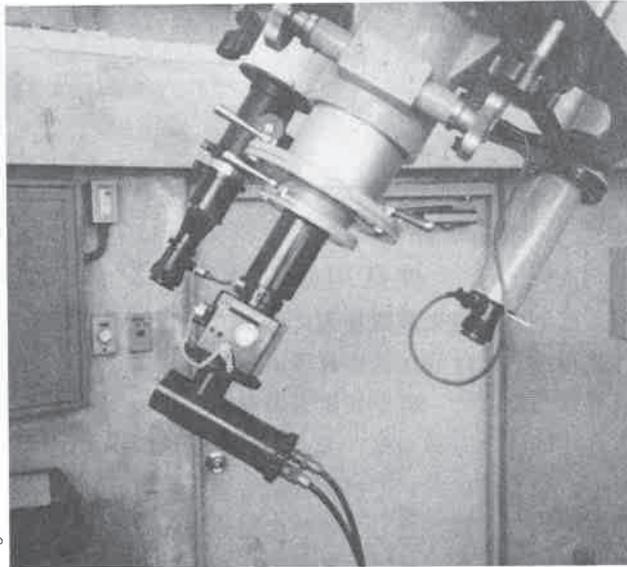


写真11・1・2 光電受光部

- 光電受光器・・・・・・・・・・日本光学製
- 直流増幅器・・・・・・・・・・三栄測器製
- 記録電流計・・・・・・・・・・三栄測器製
- 直流高圧電源装置(乾電池式)・・・三鷹光器製

b) 観測方法や研究対象に模索期(1969~1970年)

装置は揃ったものの、三色測光は具体的にどのようにしてやるものなのかわからなかった。そこで、存じあげていた当時東京天文台の富田弘一郎先生にご相談したところ、堂平でやっているのを一度見るといいでしょうとお話しに甘え、その年の5月に堂平に一晩お邪魔した。ちょうどその晩は小惑星の測光をしているところが見学でき、測光のイメージができた。

1970年になり測光技術は大分なれてきたが研究対象を定めるところまでいかず、ケフェウス座 ν 星(ν Cep)など割合明るい不規則変光星90星以上を手当たり次第に測光した。測光といっても、その時はまだ整約の詳しい知識もなく、THE ARIZONA-TONANTZINTLA CATALOGUEから適当に選んだ比較星と交互に測光しただけであった。

こんなことを約1年間続けてみると、確かにたいした訓練なしに眼視よりはるかに精度よく測光できるけれども、星は季節とともに移り変わるし、光電観測に適する日はあまり多くないために欠測が多くなるので、相手が不規則変光星ではどういう意味があるのだろうかとお観測対象に疑問がわいてきた。そこで、今度は今は亡き下保茂先生にそのことをご相談申し上げたところ、それなら天文台の北村正利先生を紹介してあげようといわれた。

第5部 光電観測と理科教育

本当の意味での光電観測はここから始まったといってもよい。

c) 国際協同観測への参加など(1971~1976)

さっそく、天文台に北村先生をお尋ねしたところ、即座にちょうど国際天文連合せ食変光星の国際協同観測をやることになっているのでぜひ参加したらいいでしょうとお勧めを受けた。最初の対象星は、はくちょう座Y星(Y Cyg)で1971年7月から翌年8月まで観測した。国内におけるこの協同観測には東京天文台(堂平)の他に秋田大学の佐藤直宣氏、佐賀県理科教育センター(現在の佐賀県教育センターの前身)の古賀政美氏、神奈川県立教育センターの尾形が参加し、結果として11の極小の観測に成功した(IBVS, No. 746)。

これとほぼ並行してぎょしゃ座 ζ 星(ζ Aur)も協同観測の対象星となり、1971年1月~1972年1月末の期間観測し、東京天文台の4名と佐藤直宣、尾形の連名でTOKYOU ASTRONOMICAL BULLETIN No. 221に報告された。

このときにもまだ完全な整約が出来なかったが、北村先生からの度重なるご指導や W. A. HILTNER編 ASTRONOMICAL TECHNIQUES等の文献を参考に1972年5月、自分なりにやりやすい整約のマニュアルを作成し、BVの2色ではあるがどうか能率よく整約ができるようになった。しかしながら、まだそのころは現在のようなコンピュータがなかったので、記録紙から測定値を読み取った後の計算すべて表から読み取るなど手計算で行っていた。

1971年はこの他に協同観測ではないが、長期研修員(大内 剛)の研究として食変光星こぎつね座Z星(Z Vul)の全周期に亘る観測を一緒に行い、極小期の改良を行った(IBVS, No. 676)。

1972年には長周期の食変光星はくちょう座31番星(31 Cyg)が国際協同観測の対象星となり、4月~8月に東京天文台の他、当方と秋田大学(佐藤直宣)が参加し、主極小(皆既)をほぼ全域にわたり観測に成功した(IBVS, No. 757)。

1972年11月~73年1月にかけては協同観測ではないが、軌道離心率が大きい分光連星で食が起こるかもしれないといわれていたおひつじ座 β 星(β Ari)を観測、断定はできないが食は起こらなかったらしいという結論を得た(IBVS, No. 784)。

1974年11月~75年1月には国際協同観測として、はくちょう座32番星(32 Cyg)を観測した。山形県教育センターの須貝秀夫も参加し、TOKYO ASTRONOMICAL BULLETIN No. 237に報告した。

国際協同観測で最も力を注いだのは、1973年11月~76年2月まで約3年間かかりほぼ全周期をカバーすることが出来た食変光星おおいぬ座UW星(UW CMa)である。

1974年度の1年間は長期研修員(福迫千秋)の研究テーマも兼ねて一緒に観測した。この星は約5等級で周期が約4.4日の近接食連星であるが、赤緯が -24.5 度のため日本では南中しても30度くらいにしかならず、光電観測ができるぎりぎりという不利な条件にあった。しかし、幸いなことに、太平洋岸の冬季は快晴に恵まれることが多かったのでなんとか成功した。国際協同観測ではあったが、実際にこの星を観測できたところは他になく、結果的に当方のものが最初で唯一のものであった。しかしながら、得られた光度曲線は非常に不規則で発表(IBVS, No. 1235)はしたものの精度に不安が残った。

第 1 1 章 公共施設における光電観測

ところが1977年9月にNASAのJ. EATON 博士から突然、きっと役に立つだろうからと「天文衛星からの紫外線測光・31・おおいぬ座UW系の主星の形状と大気構造」という論文と測光データが送られてきた。測光データには7つの波長のものがあったが、その中の最も波長の長い4250Åは当方のB等級の波長4350Åに近いので、この2つを同じスケールのプロットして比べてみたところほとんど一致した。これで精度上の不安はやっと解消し、観測に自信がついた。

さらに、おおいぬ座UW星の光度曲線については、北村の方法(1965)を用いて強引に解析し、概念的に下図のような連星モデルを得ている(1975. 神奈川県立教育センター長期研修員研究収録10)。

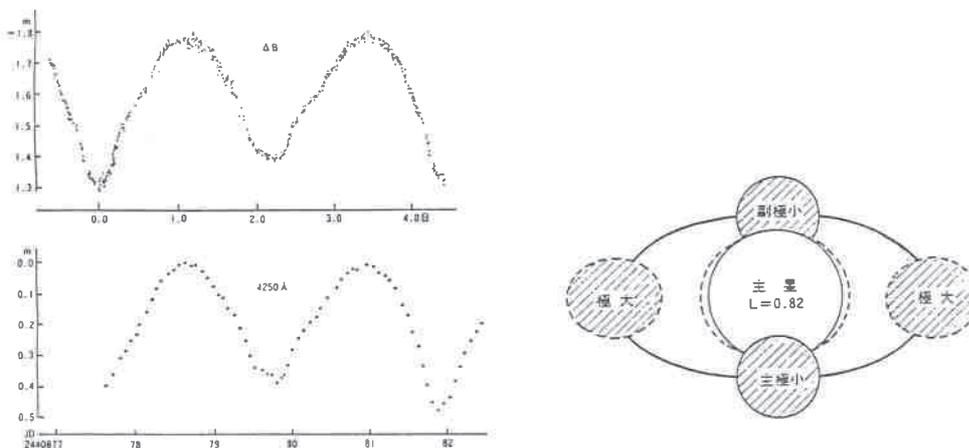


図 1 1 . 1 おおいぬ座UW星の光度曲線とその連星モデル

この頃になって、短いプログラムの組める可搬型の計算機が市販され始めた。当センターの物理教室で購入したソニー製のSOBAX-2700という200ステップのプログラムが組め、名刺大の磁気カードにプログラムを記録できる計算機を使って整約のいくつかの部分において、やや能率よく処理できるようになった。以下に処理の一部のプログラムを示すが、今のとは全く異なっているのがわかる。

表 1 1 . 1 SOBAX-2700によるプログラム例	
[目的]	Sec Z を与えて空気量 F(Z) を求める。
[基本式]	$F(Z) = \sec Z - 0.0018167(\sec Z - 1) - 0.002875(\sec Z - 1)^2 - 0.0008083(\sec Z - 1)^3$
[プログラム]	$M1MM - () 1 () = M2M \times () \cdot 0018167 ()$ $= M3MMM2M \times R \times () \cdot 002875 () = M4MMM2$ $M \times R \times R \times () \cdot 0008083CHG () - M4M - M3M +$ $M1M = E$
[操作]	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小数以下8けた、▼↓ 5/4 ↓ と操作しておく。 ・ secZの数値を入れてSを押すとF(Z)の値が標示される。

その他、協同観測以外のものとして、1973年10月1日20時過ぎに起こった木星の第3衛星の影による第2衛星の食の光電観測(1973. 観測月報 Vol. 10, No. 11)や1975年8月29日に出現した極めて明かるいはくちょう座新星を約1か月間光電観測した(1975. 神奈川県)

第5部 光電観測と理科教育

学、第6巻、第2号)。

1976年1～2月にかけて、やはり長周期(約20年)の食変光星ケフェウス座VV星(V V Cep)の食外の観測を行ったが、4月の職場の異動のために中断した。

d) J A P O Aの結成に向けて(1976～)

1976年4月に尾形斉の後任として着任した大森茂雄は光電観測の技術を引き継ぎ、その後の国際協同観測に参加し、ケフェウス座VV星、やぎ座 δ 星(δ Cap) (IBVS, No. 2011)、ぎょしゃ座 ϵ 星(ϵ Aur) (IBVS, No. 2731)を観測した。

この頃になると、アマチュアの中に光電観測に興味を持ち、なかには測光装置を自作する者も現れてきた。こうした機運の高まりを受けて、北村正利先生の指導のもとに教育センターの大森茂雄は新潟市の阿部正とともにアマチュアによる光電観測者の組織作りに尽力した。

そして、1982年2月13日付けで川名章史(日本大学天文研究会員)により仮称「光電観測のための観測者会議」が召集され、同年2月21日に川崎市青少年科学館で第1回発足会が開催された。その席上で正式に「日本アマチュア光電観測者協会(J A P O A)」が結成された。事務局は大森茂雄の勤務先である神奈川県立教育センター地学教室に置かれた。

1982年4月に大森茂雄は異動し、後任の布施憲太郎に事務局が引き継がれた。さらに1990年4月の布施の異動に伴い、大森の勤務先の川崎市青少年科学館に事務局を移し今日に至っている。

神奈川県立教育センターの光電観測装置は記録計の故障のため観測が中断していたが、1992年現在、現任の鈴木進の努力により観測が再開されようとしている。こうした公共施設による光電観測は、設備の有無もさることながら、一にも二にも光電観測に従事できる人材の有無にかかっているといえよう。

(尾形 斉)

§ 1 1 ・ 2 川崎市青少年科学館の場合

a) さまざまな可能性を備えた公共の天体観測施設

川崎市青少年科学館施設にはプラネタリウム館、自然系の博物館、天体観測室がある。天体観測室は1981年12月15日に開設された。5メートル・ドーム内には口径40センチのカセグレン型反射望遠鏡、15センチ屈折望遠鏡8センチ太陽望遠鏡、また案内望遠鏡として8センチと6センチが設置されている。一つの架台の上にこれだけの望遠鏡が乗っていると少々頭デッカチのように見えるが、これらはさまざまな可能性を備えた望遠鏡である。



写真 1 1 ・ 2 ・ 1 青少年科学館ドーム

第11章 公共施設における光電観測

天体観測所を建設するにあたり担当者であった若宮崇令氏は、多様化してきた市民の要求に応えられるには、公共の天体観測所としてどのようなものを備えたらよいかを各方面に相談に出かけていた。当時筆者が勤務していた神奈川県立教育センターにきたとき、私は光電観測についてある程度の自信がでてきたところなので、光電観測装置を備えることを薦めた。その結果が現在の望遠鏡である（写真11・2・1）。

暗い天体が観望できるように青少年科学館としては大口径の天体観望鏡、天体写真撮影ファンのための写真撮影装置、太陽プロミネンス・アダプター、ビデオ装置、さらには専門的な研究を希望するアマチュア天文家のための光電観測装置などいろいろと備えられている。

b) 首都圏郊外にある観測所の利点

ここは小田急線向ヶ丘遊園駅から徒歩15分、生田緑地公園内にある。都心からあまり離れていないところにありながら、空が比較的暗いのは広い公園内にあるからであろう。駅からは多少離れているが、交通の便利なところにあり、そこそこの暗さの中で本格的な天体観測所があれば人気が高まるのは当然である。

ここでは一般市民を対象とした天体観望会や写真撮影会だけでなく、小学生や中学生のための天文教室、高校生以上が自分の興味に応じて自主的に活動する天文クラブなどがあって、どれも活発に活動している。

空が多少明るくても、交通の便の良さは光電観測にとっても都合がよい。新星が現れたというニュースが入ると、首都圏にある自宅から1時間以内で天体観測所に到着できる。天体観測所はどうしても暗い山の中の設置を考えるが、天文現象に即応するために、40センチ程度の天体望遠鏡を備えた観測所を首都圏郊外に置くことも必要なことだと思う。

c) 測光系は直流・アナログ方式

測光器は光電子増倍管は1P21を使用した直流方式、ペン・レコーダーで記録を取っている。多くの観測所がデジタル化している中でかたくなにアナログを守っているのには、それなりの理由がある。この付近は首都圏に近いことが主な原因であろうか、ペンの変動が大きく、大気の状態がよくないことを示している（図11・2）。結果を即コンピュータへ導入する方法では、測定値のバラツキが大きく、よい結果は得られない。記録を何度でも見返せる記録紙が適していると思われる。

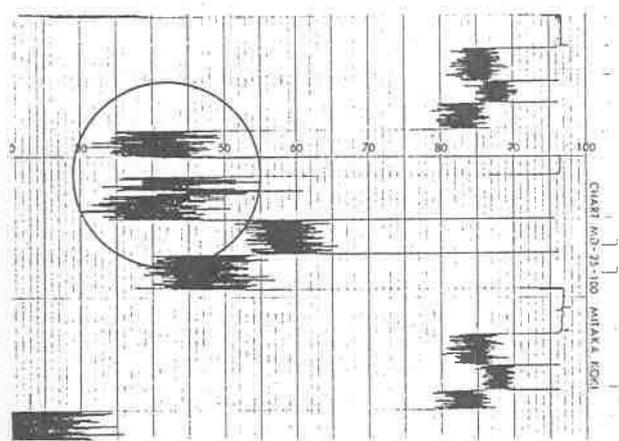


図11・2

d) 川崎市青少年科学館の実績

現在光電観測が行われているところは、国立天文台や一部の大学の天文台、それに数人のアマチュア天文家の個人的な天文台である。プラネタリウム館、科学館、博物館などの公共施設の多くは天体観測室も併設され、口径40センチ程度の反射望遠鏡が珍しくなくなってきた。しかしこれらのほとんどは天体観望や写真撮影までで、変光星の光電観測が行なわれているところは、残念ながら川崎市青少年科学館だけである。

ここでの観測は、筆者が県立教育センターから川崎市に戻ってきた年（1983年）の10月から始められた。

最初の観測星は国際協同観測星にもなっていたぎょしゃ座ε星(ε Aur)である。科学館の職員をはじめ、天文クラブ員、中学校の先生などの協力を得て観測は進められ、観測結果は他の観測所のものといっしょにしてJ A P O Aの観測結果としてI A Uから発表された(IEVS. 2371)。

このころになるとコンピュータはPC-8800にかわり、製約のプログラムは未完成ながら、結果はほとんどコンピュータで処理できるようになった。

次の観測星は、1986年12月にアンドロメダ座に出現した新星である。このとき私はどうしても出席しなければならぬ会合があったので、光電観測についてほとんど未経験の職員にその観測方法を実習させてから会合に出かけた。会合が終わり、青少年科学館に戻ってみると、私が指示した通りに記録されていた。この新星は翌日も観測し、結果はI A Uを通じて発表された(IBVS. 2988)。

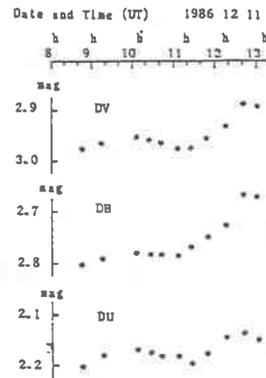


図1.1.3 アンドロメダ座新星1986

1988年からは毎年ぎょしゃ座IU星(IU Aur)を観測している。観測者はほとんど大森一人だが、ときどきは天文クラブで変光星に興味のある会員、中学校の先生などが協力してくれる。この天体は光度曲線が未完成のため、変光の詳しい様子がわからない。また極小の光度が周期的に変化するので、第3天体が考えられている。1年目の観測では、この天体のほぼ完全な光度曲線を作ることができた(IBVS. 3333)。翌年の1989~1990年は極小光度の周期的な変化から、皆既食が予想されていた。このときは食の深さが最大になると考えられるので、これを観測したところ、前年より浅くなっているという結果が出た。そこで、これまでの観測結果から食の深さをグラフしてみたところ、皆既食は1986年にあったように考えられ、これを発表した(IBVS. 3333)。このことを確かなものにするために1991、1992年と続けて観測し、やはり食の深さはさらに浅くなっていることをた。これらの観測結果からぎょしゃ座IU星の皆既食はすでに終わったと思われると結論して、1992年アイルランドの首都ダブリン市で開かれた光電観測の国際会議で発表した。

(大森茂雄)

第6部 J A P O A への内外の期待

第12章 国際会議出席

第19回国際天文連合（IAU）総会に参加して
（1985年11月19日～28日 インド、ニューデリー）

阿部 正（新潟市立沼垂高等学校）

1982年にアメリカのフェニックス天文台のホプキンス台長とNASAのステンセル氏の提案でぎょしゃ座 ϵ 星という特異食連星が国際共同観測星に取り上げられ、プロ、アマを問わず世界中の天文台がいっせいにこの星の連続観測の態勢に入った。日本からも結成間もないJ A P O Aがこれに参加し、日本国内に観測網をつくり3か年間に渡る光電観測を行った。観測が終了した1985年に3年ごとに開催される第19回 I A U の総会が1985年11月19日から28日までインドのニューデリーで開かれた。その会議でぎょしゃ座 ϵ 星を中心テーマにした合同会議Ⅱ「長周期食連星とその関連天体」がもたれた。私と大森茂雄は観測データを携えてRegistered Guestsとして参加した。この総会には約50か国から1600人ほどの出席者があり日本からの参加者は約40人ほどであった。私にとって外国に行くどころか飛行機に乗るのも初めてで全てが物珍しく不安であった。11月17日成田から1時間遅れで飛び立ったタイ航空機TG741便はバンコックを経由して翌日の4時にデリー国際航空に到着した。為替所で延々と待たされ挙げ句の果てに日本で予約しておいたはずのタクシーが見当たらず、やむなくIAUの送迎バスに乗って中級程度のJanpathホテルに着いたのは薄明が始まる5時頃であった。そのバスは塗装がはげ、そこかしこに穴だらけで窓は今にもはずれ落ちそうな恐ろしいほどにポンコツの車であった。少々の仮眠を取り、午後から北村正利先生御夫妻、京都学園大の川畑周作先生と私達でホテルの近くを散策しながらオートリクシャーに乗って隣接の街、オールドデリーに行ったが、そこではスラム街が立ち並び、あふれんばかりの人並みと、鼻を突く香辛料と家畜の糞の臭いで異様な雰囲気ととても悠長に見物する気にはなれずそのまま引き返してしまった。物乞いも多く、観光客を見ると痩せ細った栄養失調の乳飲み子を抱いた母親や5、6才の子供が手を伸ばして金を要求してくる。毅然としてノーと言ってもどこまでも追いかけてくるのにはいささか閉口した。一方イギリス人がつくったニューデリーの街は人影が少なく、緑が多く、広々とした家々の庭には芝生が植えられ、リスが戯れ、木々には小鳥がさえずる自然豊かな環境である。わずか数Kmしか離れていない二つの街は余りにも対照的であった。一日にしてインドの国情と多民族の難しさを知ったような気がした。

第6部 J A P O A への内外の期待

この頃の気候は日本の初夏か秋のような気候で、雨はほとんど降らず爽快な天気が続く。日中の最高気温は30℃以上になるが、朝方は夜間放射で数度程度に冷え込む。したがって外出するときは、半袖のシャツにカーデガン等を持参しなければならなかった。

11月19日にSiri Fort Auditoriumで開会式が開かれ、ラジブ・ガンジー首相も出席され、科学についての考えを含めたインドの現状について話された。この席上、総会を記念して発行されたハレー彗星の記念切手が披露され郵政大臣から首相に手渡された。2日目以降の会議は政府のVigyan Bhavanという立派な会議場で行われ、IAUには40以上の委員会があり、実質8日間の会期中にすべての委員会が293の独自の会議と他の委員会と合同で1日がかりの7つの合同会議がもたれた。会期中の1日のスケジュールは次のようになっており、休憩時間のCoffee、Teaは自由に何杯でもおかわりができた。英語の読解力のない私にとって、疲れきった頭を休めるのに貴重な時間であった。また、この休憩時間に興味ある題目を見つけだしAからLまで割り振られた12会場のどこかに移動しなければならない。

9時00分～10時30分 1回目の会議
10時30分～11時00分 Coffee/Tea break
11時00分～12時30分 2回目の会議
12時30分～14時00分 昼食
14時00分～15時30分 3回目の会議
15時30分～16時30分 Coffee/Tea break
16時00分～17時30分 4回目の会議
7つの合同会議の題目は

- I. Reference Frames.
- II. Long-Period Eclipsing Binary Stars and Related Objects.
- III. Solar and Stellar Non-Radial Oscillations.
- IV. Radio Astronomy and Cosmology.
- V. Stellar Activity : Rotation and Magnetic Fields.
- VI. Evolution in Young Populations in Galaxies.
- VII. Supernovae. であった。

当然のことながら私が一番興味を持って出席したII.長周期食連星とその関連天体の合同会議の内容はぎょしゃ座ε星を中心に会議がすすめられた。その会議の研究発表は次の通りであった。

- Photometric Observations of Epsilon Aurigae. -----R. Stencel
- Spectroscopic Observations of Epsilon Aurigae. -----D. Lambert
- Interpretation of the Data of Epsilon Aurigae. -----S. Kawabata
- Observation of Zeta Aurigae Type Binaries. -----R. Chapman
- Related Binary Systems including Symbiotic Stars. ---J. Sahade
- Theory of Mass Transfer and Evolution. -----R. Webbink
- Theory of Interacting Winds & Accretion. -----S. Kwok
- Summary Review. -----R. Koch

会議は、アメリカに帰化した近藤氏によって進められ、最初の発表者はステンセル氏であったが、急に出席できなくなったためにチャップマン氏が代ってアマチュアの協力を含めた光電観測の結果を報告し、また赤外線観測から、伴星の表面温度が500Kであると発表した。二番目の発表者、テキサス大学のランバート氏はスペクトル観測の結果を報告し、伴星のまわりに円盤が回転していることと、この連星の質量はこれまで考えられてきた値よりずっと小さいと発表した。三番目の発表者、川畑先生は岡山物理観測所、堂平観測所のスペクトル観測から伴星の中心星のまわりにはチリとガスからなる円環が回転している

第12章 国際会議出席

ことをつきとめ、円環の大きさは太陽の1500倍程度で、主星の質量は太陽の2倍前後であり、伴星は6~7程度であることを発表した。従来の説では主星の質量は太陽の35倍、伴星は23倍程度と考えられていたことからすると今までの考えを大幅に改めなければならない新説である。また、発表の中でJAPOAが精力的に光電観測をおこない立派な成果をあげたことを紹介された。私達はJAPOAの観測結果をまとめた印刷物50部を会場の地下に設置してある個人の郵便箱に入れた。この他にもチャップマン、フェルルーガ氏からも新しい観測結果の報告があり、活発な討論がおこなわれた。委員会の会議ではハレー彗星、天文教育の中のプラネタリウムの活用の会議に出席した。ハレー彗星の会議では発見から人工衛星による最新の情報や彗星の構造についてのいくつかの発表があった。プラネタリウムの会議ではインド国内の天文教育施設の紹介、プラネタリウムの歴史と未来等の発表があった。

会期中には平均3~4程度の会議が同時進行している。従って1人ではIAUのごく一部の会議にしか出席することができないため前もってスケジュールをしっかりと組んでおかないと後で後悔することになる。会議の内容について毎日無料の立派な新聞が会場内に発行され、出席できなかった人々に情報を提供してくれた。私達も新聞記者にインタビューを受け写真まで撮ったのであったが残念ながら記事にならなかった。堅苦しいし会議の雰囲気とは別に毎日のように様々な催し物が計画され気分を和ませてくれる。夕方6時半から、

20日 Pulsars-----V. Radhakrishnan

22日 Venus-----R. Z. Sagdeev

25日 Dark Matter in the Universe----V. C. Rubin

による特別講演があった。また、開催国の特別な配慮によりインド芸能の発表会が夜遅くまで開催されインド文化にふれる機会にめぐまれた。

19日 リセプション

21日 インドダンスリサイタル

22日 ジャイプールのバスツアー

24日 アグラのバスツアー

26日 南インドクラシックコンサート

27日 夕食会

私は22日の炎天下、片道220Kmの日帰りのジャイプールのバスツアーで日射病にかかり、おまけに23日の夕刻から下痢に襲われ、2日間ホテルのベットに臥してしまった。生水は危険というのでかなり神経質になっていたが会議の休憩時間に出されたアイスクリームについっかり手を出してしまった。今まで経験したことのない激しい下痢で最悪の時には10分おきにトイレに駆け込まなければならなかった。さらに悪いことには腹痛をとまわなために垂れ流しのような状態であった。お陰で5Kgも減量できた。食欲もなくインドの主食のチャパティーも喉に通らず日本から持って行ったインスタントの味噌汁が何よりも美味しく、辛うじて気力を保つことができた。北村先生からいただいた日射病の薬と正露丸を一瓶開けるほど服薬して、2日後によく下痢もおさまり一人でニューデリーの街をショッピングで楽しむことができたが、楽しみにしていた24日のアグラのバスツアーに参加できず、美しい城、タジマハールを見学することが出来なかったのが何よりも残念であった。後日、IAUの新聞によれば、会期中に会場の医務室には500以上が訪れ、そのなかには入院させられた人もあったというからインドの衛生状態がいかに悪いかが理解でき

第6部 J A P O Aへの内外の期待

よう。

他に同伴の婦人方のために、朝の10時からインド文化の見学の催し物があった。

- 20日 国立博物館の見学
- 21日 工芸品の実演とショッピング
- 22日 現代美術館の見学
- 25日 薬草化粧品の実演
- 26日 インド料理の実演
- 27日 伝統的なヘアスタイルの実演

このように会議における天文学の勉強以上にインドの歴史と文化に触れインドが発展段階にある国情を知った。また私と大森は暇な一日を見つけ、ニューデリーの日本人学校を訪問し、まず最初に先生方から聞いた言葉は現地人の用務員が教務室内で平然と物を盗むので持ち物は肌身離さず見学して下さいという話しを聞いたとき治安の悪さを知った。さらに各日本人家庭には4、5人のメイドを雇っているが食事、洗濯、掃除係とそれぞれ分担が決まっておりそれ以上の仕事はしないという。とにかく働かなくて困ると嘆いていた。また夏には40℃以上になり午後は休校にしてプールにつかっているという。十分でない予算と物不足のインドで理科の実験材料も準備できず現場の先生方の外地であるが故の苦しみや苦勞を知った。また少人数の先生方が協力しあいながら意欲的に取り組んでいる授業を參觀できたことは大変よい勉強になった。今回の体験で何よりも私を感激させたのは、本や論文でしか接することの出来ない多くの外国の天文学者を北村先生から紹介していただいたことである。なかでも食変光星の理論家でコパールの分類として名高いイギリスの Z. Kopal先生（写真12・1）、私が所属している IAPPPの指導的な立場にあり、変光星の観測家でもあるアメリカの F. B. Wood 先生（写真12・2）、「連星」の著者である A. H. Batten先生に直接お会い出来たことは大きな喜びであった。

写真12・1

右から大森、ウッド、阿部



写真12・2

右からジュルクビック、大森、コパール、阿部、小暮



第12章 国際会議出席

参考文献

- 大木俊夫 ギョウシャ座 ϵ 星の食、月刊天文、1985年11月号
川畑周作 ギョウシャ座 ϵ 星の謎、天文ガイド、1986年7月号
大森茂雄 XIX IAU 85 & JAPOA、天文ガイド、1986年5月号
古在由秀 第XIX回IAU総会、天文月報、第79巻 第3号
長谷川一郎 第19回国際天文連合 (IAU) 総会、天界、1986年4月号
北村正利 1987、ギョウシャ座 ϵ の特異性、朝日コスモス' 88、朝日新聞社

連星研究の最前線に関する環太平洋会議 (1991年11月 大韓民国 ソウル・テジョン)

大島 修 (美星天文台)

標記の会議は、韓国科学技術基金と米国科学基金及び韓国教育省がスポンサーになり、ネブラスカ大学、ヨンセイ大学、宇宙科学天文学研究所、韓国宇宙科学協会の組織の元で開かれました。韓国と米国を中心にして、世界各地から171人、うち日本からの参加者（共著発表含めて）は、30人でした。

全日程は、9日間（内2日は見学）でした。筆者は勤務校の文化祭を目前にしていたので、最初の2泊3日しか滞在できませんでした（北村先生の参加と、ちょうど入れ違いになり残念でした）が、以下は、そのわずかな期間に、出会ったり考えたりした見聞記です。

会議

空港まで、天文学専攻の学生達が車で出迎えてくれたので、会場のヨンセイ大学まで簡単に到着できました。初日は、開会式とその後すぐに講演がありました。当たり前なのですが、講演は英語ばかりです。部分的に単語が聞き取れるくらいです。こんなことで大丈夫だろうかと一瞬不安になりました。同じ米国人でも、聞き取りやすい英語をしゃべる人とよくわからない話し方をする人がいることに気がきました。

講演で印象に残っているのは、米国のマクアリストア、日本の磯部秀三、中国人女性研究者各氏のことです。まず、マクアリストアは1時間に渡りスペックル干渉計を使った連星観測と大掛かりな光干渉計の将来計画について、聞き取りやすい英語で話しました。キットピーク4m望遠鏡を使ったスペックル像がシンチレーションで揺れ動く様をビデオプロジェクターで見せてくれたのは、大迫力でした。

そして、いくつかのスペックル干渉計による連星の研究の紹介の中で、 γ Perの軌道

第6部 J A P O Aへの内外の期待

を求め、食が1991年10月に起こる可能性を予言したこと、日本の筆者達がそれを1ヶ月半前に測光観測で検出したことにも触れてくれました。（実は開会式の直後マクアリストーに、英匡グリフィン博士の提唱により日本でその観測を行い食の検出に成功したことを伝え、資料を渡しておいたのです。一読したマクアリストーは、自分の予言が的中したことを喜び、握手を求めてきました。）

その後続く講演は、磯部先生でした。講演に先立ち、演台のさらに前に進み出て、英語圏から来た人達の講演に当たっては、ここには大勢のネイティブ・イングリッシュでない人達が居るので、わかりやすくゆっくりしゃべるようにと、注意を即してから自分の発表に入りました。筆者達にとってありがたい発言で、磯部先生らしさが現われた場面でした。（しかし、その後の英語圏の発表者達のしゃべり方は、あまり変化しなかったようで残念でした）内容は、スペックル干渉計を使用した連星系の観測から、予想以上に3重星などの多重系が多いこと、これは恒星形成論の定説に再検討を迫るのではないかというものでした。

中国の女性研究者達（発表者の中に占める女性の割合が最も高い国でした）の印象は、発表のしかたにあります。しゃべるすべてを英文のOHPシートにしてあり、それを指差しながらしゃべるのです。この方法なら、筆者のように英語に自信がなくても何とか講演できそうだと思います。内容は、連星の光電測光で、光度曲線を得た後、ウィルソン・デビニーによるプログラムを使用して、光度曲線合成法で解析を行ったものが多くありました。それらは、汎用機でもワークステーションでもなく、IBM PC/AT互換機を利用したもので、J A P O Aのメンバーも、これからは同様な研究ができるのではないかと思います。

懇親会

初日の夜は、最初の懇親会です（最終日にもあったようですが、筆者はすでに帰国していました）。田辺先生と一緒に、空港に出迎えてくれた韓国の女性の大学・大学院生達と話しました。このような会議に、筆者のような高校の教師が参加していることを不思議に思うのとは感心するのと混ざった様な顔でした。「高校の先生」と上手に日本語で話せる人もいました。実は日本の北海道に旅行に行ったが、韓国の学生の間では反日感情が強いので友達にも内緒にしているのだとも、日本語で話してくれました。

我ながら度胸があるなと思いつつながら、A p . J . 編集長のアプトさんにも話しかけました。実は、筆者のかつての指導教官がアプトさんの四国見学を案内したり、手紙のやり取りをしていたのを知っていたからです。「彼はどうしている」「退職されたが元気である」といった程度の会話です。

いっぺんに仲良くなったのは、電波天文学を専攻しているという韓国の大学院生でした。日本政府が自衛隊の海外派兵を考えているので、筆者は韓国に来づらかったのだと、中村泰久先生の助けを借りながら、率直な気持ちを話しました。ソウルのホテルでも日本の衛星放送がきれいに写っていることからわかるように、韓国の人達は日本の国内事情をよく知っているようでした。海外派兵に反対している日本人も少なくないことがわかれると、急

第12章 国際会議出席

に親しく話しかけてきます。お互いに英語に苦勞しながらしゃべることで、より親密さが増したようです。

「韓国では、国は経済成長に直接つながることにばかりお金をかけて、文化の発展を重視しない」と嘆くので「日本もそうである。しかし、韓国でもきっと大きな望遠鏡で観測できるようになると思います。今日、キンポ空港からの車中でも、日本と違って、すごい活気のある雰囲気を感じました。」などと、一生懸命英語を考えながら会話しました。

連星研究で有名なウッドさんとも、少し話しをしました。先程の大学院生も一緒です。「いつまで参加できるのだ」と聞かれ、明日までしか参加できないと言うところを、tomorrowとyesterdayを言い間違えてしまいました（と帰国してから気づいた）。ウッドさんは、変に思いもう一度同じ質問をしてくれます。今度は、韓国の大学院生も同じ間違いをして、「彼はキノウまで参加すると言っている」と言います。とうとうウッドさんは、首をかしげて行ってしまいました。なんで変な顔をするのだろうと、2人は顔を見合わせますが自分達の間違いについて気付かないままでした。

2日目

ホテルから歩いて会場のヨンセイ大学に行くと、正門付近では学生がビラを配布していました。皆例外なく、それを受け取り読みながら歩いています。ハンドマイクを持った学生が演説し呼びかけています。それを取り囲む輪が何ヶ所もできています。レジャーランド化したという日本の大学のキャンパスの雰囲気とはまったく異なって、例外なく政治問題を真剣に考えていることがよくわかりました。

会場では、昨日よりずいぶん講演が聞き取りやすくなっているのに気付きました。インドネシアのヒダヤットさんは、元気いっぱいです。老練なウッドさんは、食連星のカタログをカード化したという話しです。これを世界的に利用できるようにして欲しいとの本人の要望に、中堅どころの人達は、今更カードはないでしょうということでしょうか、とまどいながらもいたわるように、それは最後のビジネスセッションで、と答えていました。カナダのグラハム・ヒルや米国のポッパー先生の話しは相互相関法をつかったスペクトルの視線速度決定法についてでした。フランスのカウレイ女史も、元気よくエックス線連星の話しをしました。

途中のティータイムでは、予定の寿命を越えて重要な観測データを出しつつづけているあのIUE衛星の責任者で有名なNASAのヨージ・コンドーさんとお話する機会がありました。生まれは四国丸亀市で、幼いころ金比羅さんに登ったのを覚えていると言います。あなたも一度アメリカにいらっしょいと、気軽に声を掛けてくださりましたが、こちらはとまどうばかりでした。

夕食は、せっかくだから冒険しようと、川畑周作・山崎篤磨・中村泰久・田辺各先生達と一緒に町に出て、うろうろしながら焼肉屋に入りました。店の人達は、日本人の下手な英語を、ただ英語と言うだけで尻込みするところがあります。何とか話が通じ、適当に注文しました。美人の店員がはさみで肉を切りながら世話をしてくれました。なかなかおいしい。お腹いっぱいになり、「ケイサン」と声を掛けます。この言葉は、日本の植民地支

第6部 J A P O A への内外の期待

配時代の遺物であり、そのまま通じます。店を出ると工事で歩道が穴凹だらけでたいへんです。軍関係の建物の前では、手榴弾を腰に装備した武装兵士が警備しています。歩道に並んだ屋台では、おでんのようなものや、いろいろおいしそうなのでいっぱいです。仕事帰りの人達が陽気に大声で話ながら飲んでいます。そんな様子を見ながらホテルに帰りました。部屋から、学校の仕事の事で同僚の家に国際電話しました。ホテルのオペレータに英語で話しかけると、やはりどぎまぎしている様子がわかります。こちらもこんなに英語が下手なのに、と思いますが、こんな光景は日本でもよく見られることだとほほえましく思えてきました。

イギリス・アイルランドの天文施設を巡って

(1992年8月 アイルランド I A Uコロキウム136)

荒井菊一 (埼玉県立久喜北陽高等学校)

天文施設見学

8月4日からダブリンのトリニティカレッジで開催された国際天文学連合のコロキウムに参加するついでに、イギリス、スコットランドおよびアイルランドの天文施設も見学してまいりました。

北村先生、大森、荒井の3人旅ということで、ほとんどレンタカーを利用しました。天文施設は大体町外れにあるのが普通ですから、車は非常に好都合です。

実際にまわったのはグリニッジ天文台、セントアンドリュース大学天文台、エジンバラ天文台、マンチェスター大学天文学教室およびコロキウム主催者側の企画によるアイルランドのダンシンク天文台、さらにボイン渓谷にあるニューグレンジ (古代ケルト民族の墳墓) やソールズベリーのスローンヘンジも天文施設に加えることができます。

ここではおもにエジンバラ天文台見学とダンシンク天文台をご紹介します。

(1) エジンバラ天文台 (スコットランド)

エジンバラ天文台は、町外れの小高い丘の上に焦げ茶色の煉瓦の建物の上にひときわ目立つ、一對の緑青も鮮やかなドームが目印の趣きのある天文台です。ドームと言うと半球形を連想しますが、ここのは円筒形で周囲に花びら様の装飾が施されていて、それが建物の両端の一段と高くなった所に、あたかもイングランドとスコットランドの王冠を象徴するかのごとく据えられています。

現在は天文研究施設と博物館の機能をもっており、昔の観測器具も展示されています。各々のドームに16/24インチのシュミットカメラと36インチ反射望遠鏡が格納されていま

第12章 国際会議出席

す。しかしいずれも展示物として見学者に公開されています。

1894 The new Royal Observatory on Blackford Hill was completed.

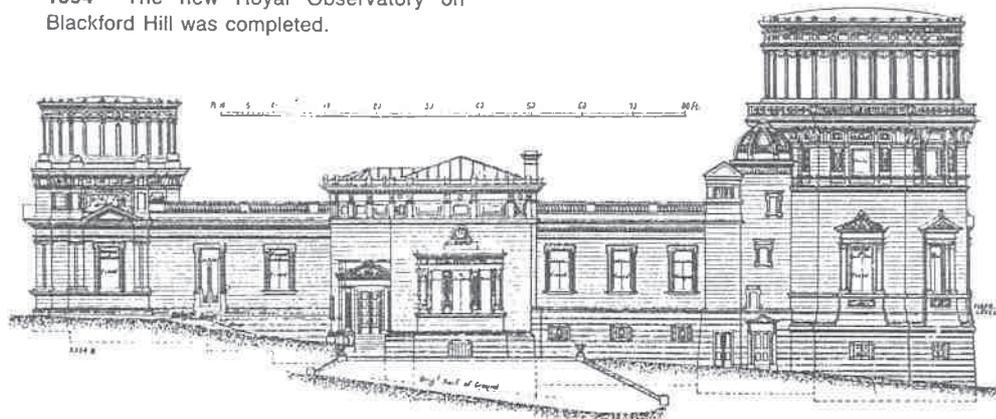


図12・1 エジンバラ天文台

外からは分かりませんが、シュミット・カメラのドーム内部は白熱灯に照らされた天井と赤道儀のオレンジ色が、温かみのある雰囲気醸し出しています。私たちは赤道儀の基礎部分の周囲にある螺旋階段を登りながら、天文台の歴史などをパネルで学ぶことができます。写真12・3はシュミット・カメラのそばに展示されていたものです。このようなパネルからも想像できるように展示物、公開時間を含めて見学者に対するサービス精神が行き届いており、何処かの国の天文施設のような、アマチュアに近寄りやすい雰囲気はここでは微塵も感じさせません。

ドームは建物の屋上で連絡しています。

屋上からはエジンバラ市街を足下に見、遠く北海やスコットランドの丘陵を望むことができます。ここからの眺めはエジンバラ城からのそれと趣が異なり素晴らしい展望台となっていて一見の価値があります。

私たちが行った時は、北海から吹きつける強風に乗った雨雲が時おり俄か雨をもたらし、寒さに震えました。天文台でお会いできた高瀬文志郎先生ご一家の方の説明によれば、このような天気は普通とのことで、一体どの様に天体観測をしていたのか首をかしげたくまりました。現在はオーストラリアで観測を行っています。

なお、天文台への道は少々分かりにくいので、パンフレットにあった地図を転載しておきます。



写真12・3 理論天文学者

第6部 J A P O A への内外の期待

(2) . ダンシンク天文台 (アイルランド)

コロキウム主催の見学会で、ダブリン市郊外のダンシンク天文台を見学しました。市街地を離れると限りなく続く麦畑を横切る自動車道路を1時間あまり行ったところに、さりげない門構えのダンシンク天文台に到着しました。広い芝生の中に、今回のコロキウムのロゴに使われた風景が現れました。

当日は歓迎会も兼ねたパーティーが行われ、会議とは異なった雰囲気の中で、普段は論文などでしか知らない著名な研究者と言葉を交わしたりしました。やぎ座デルタ星の研究をしているカナダの若手研究者から大森氏に、氏の論文を使ったとの挨拶があり握手を求めてきました。こうして自分たちの苦勞が実っていることを実感しました。

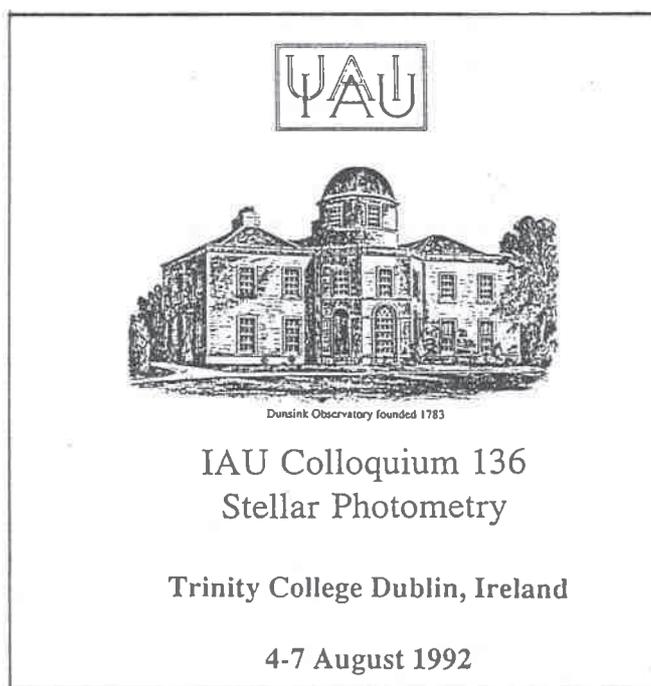


図12・2 コロキウム予稿集の表紙を飾るダンシンク天文台

会議が始ってからずっと行動を共にした韓国のキム氏とパク氏、私が赤外領域の観測を行っていることを知り親しく話かけてきたカザフスタンのクラトフ氏(ソビエトから来たのかと聞いたら、No! Kazakhstan. と訂正された)、会議の前に日本の高等学校の天文台事情について問い合せてきたニュージーランドのバディング氏(これについては伊藤氏が発表した)、アメリカの光電測光グループのリーダーとも云うべきホール氏などと立食パーティの利点を生かし、片言の英語とボディ・ランゲージを駆使して交流を深めることができました。揚げ句の果にはアイルランド民謡でダンスを始めたアメリカのグループに引き込まれたり、アルコールの影響もあって急造のテント内はたいへん賑やかなものとなりました。

この日は、グラブパーソン社製の12インチ屈折で上弦の月を見せて頂きました。今では

第12章 国際会議出席

上野の国立科学博物館あたりでしか見られない、重錘のガバナーの回転が時の流れを実感させてくれます。ようやく日没したが青空の残る午後8時過ぎ、南中直後なのに地平線近くをウロウロしている上弦の月を悪シーイングではありましたが、透明度の良さが手伝って色収差を感じさせないすっきりした像を結んでいました。

今回の旅行中に見学した天文台はいずれも200年以上の長い伝統を持ち、現在も研究センターや天文学博物館として機能しています。もし当地に行かれる機会があるならば、ぜひ時間を割いてでも立ち寄ることをお奨めします。

☆ 公開時間・連絡先など

- エジンバラ天文台 10:00~16:00 (月~金) 4月から9月
 13:00~17:00 (毎日) 10月から3月
 住所 : Royal Observatory Edinburgh, Visitor Centre
 Blackford Hill, Edinburgh EH9 3HJ
 電話 031-668-8405 (ビジターセンター)
- ダンシンク天文台 9月から3月までの第1、第3土曜日午後8時
 (予約が必要 下記に連絡のこと)
 住所 : Dunsink Observatory
 Castleknock, Dublin 15
 電話 387911

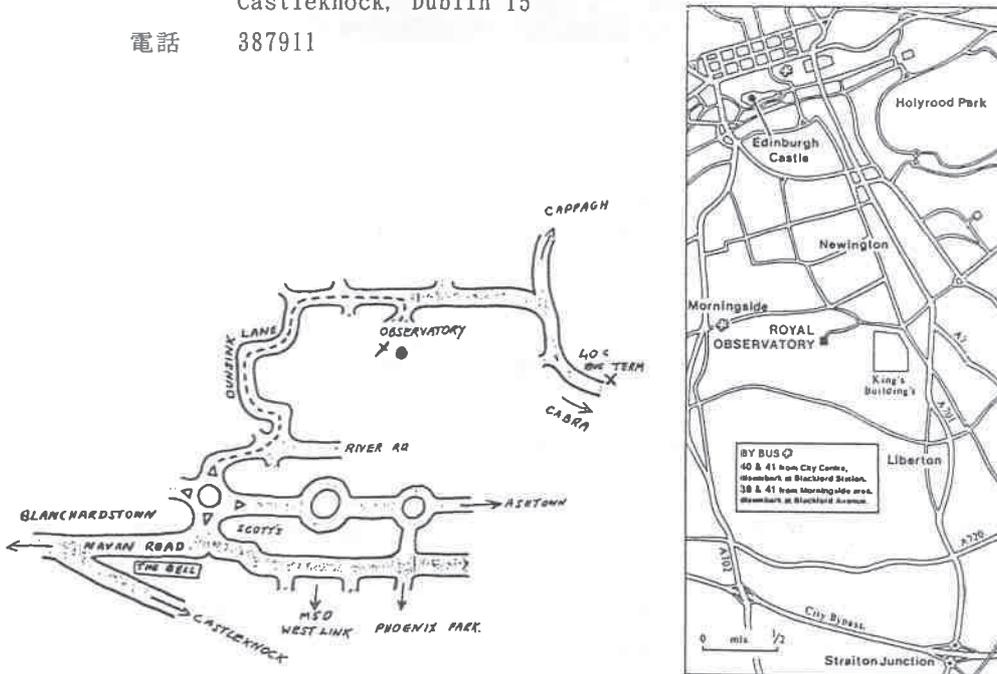


図12・3 天文台への案内図 (左:ダンシンク天文台 右:エジンバラ天文台 天文台パンフレットより)

付章 JAPOAへの期待

JAPOAへの期待(a)

岡崎 彰 (群馬大学教育学部)

観測天文学では、新天体発見などアマチュアの活躍に負うところが少なくありません。変光星の分野についていえば、新星の発見、長周期・半規則脈動星は矮新星のモニター観測などは、アマチュアの独壇場といった観がします。最近では、パーソナルコンピュータをはじめとするエレクトロニクスの進歩と普及を背景に、アマチュア変光星観測者の活動範囲はしだいに広がり、その内容も確実に深まってきているようです。JAPOAの会員たちによる一連の光電測光観測の成果は、その際立った例といえるでしょう。

手元にある資料によれば、国際天文学連合変光星委員会発行の回報IBVSに今までに掲載されたJAPOA会員たちの観測報告は(JAPOA正式発足以前の分も含めて)十数編にも及んでいます。それだけにとどまらず、何人かは国際的な研究会にも出かけて行き、自分たちの観測成果を発表しています。そのほか、国際協同観測にも積極的に参加するなど、JAPOAはすでに国際的な視野をもって活動しているといえるでしょう。一方、国内に目を向けても、いくつかの変光星を選んで国内協同観測を実施したり、アマチュアの間で光電測光が普及するための努力をしたりするなど、着実な活動を続けている様子です。

このようなJAPOAの活動ぶりを眺めていると、少なくとも変光星の測光観測データ取得に限って言えば、“プロ”とアマチュアという区別は(望遠鏡の口径や観測装置などの違いは別として)もはや意味を失ったかに見えます。実際、私もJAPOAの何人かの会員と一緒に観測を行ったことがありますが、観測に対する彼らのセンスと情熱は“プロ”に優るとも劣らないものでした。むしろ望遠鏡や測光器を揃えるのに自腹を切っている分だけ、彼らの意気込みの方が上回っているのかもしれない。いずれにしても、このような会員たちの気迫があってこそ、JAPOAの活動の高いポテンシャルが維持されてきたのでしょう。

JAPOAが観測対象としている変光星は、これまでに光電測光があまり行われていない食変光星か、あるいは光度曲線自体が時間的変化を示している比較的明るい食連星が主なようです。前者については、周期が長いまたは24時間のほぼ整数倍のもの、後者については、何年間にわたる継続観測が必要なもので、いずれも興味深い天体ですが、大型・中型望遠鏡の割当使用時間がわずかしき与えられない“プロ”には“不向きな対象”といえます。逆にいえば、JAPOAの観測にはそれだけ大事な役割があるといえてよいでしょう。

将来的には、JAPOAの活動にはもっと大きな可能性が残されているように思えます。

付章 J A P O A への期待

エレクトロニクスが一層進歩すれば、CCDなどによる二次元測光器がもっと普及して、今よりも高い精度でデータを取得できるようになるでしょう。また、パーソナルコンピュータの性能が格段に向上し、あるいはワークステーションも手ごろな値段になり、得られた光度曲線を自分たちの手で解析できる可能性が開けることでしょう。現在の J A P O A の意気込みからすれば、そのような環境が整ったとき、今よりもさらに“プロ”の領域に踏込んで、一層大きな成果をもたらしてくれるものと期待できます。そのような状況が少しでも早く実現するためにも、J A P O A と“プロ”との交流がもっと深まっていくことが大切だという気がしています。

J A P O A への期待 (b)

佐久間 精一 (V S O L J *1)

I A U の変光星部会の委員長であり、A A V S O *2 のプレジデントでもある Percy トロント大学教授は、2 年前の A A V S O 初のヨーロッパ大会で Closing Remarks を話された。その中で変光星の観測・研究において、プロとアマ、機器を使つての測光と眼視観測との協調（いわば棲みわけ）を力説された。そして縦横の座標軸に変光星の光度と変光範囲とを図示され、プロは一般的に光度も小さく、範囲も狭い、座標の原点に近い星を対象とするようになったが、一方または両方が原点から離れる（光度が大、範囲が大）星にも、まだまだ観測しなければならないものも多く、アマの、しかも眼視観測の好対象であるとされた。

私は、この他に z 軸として変光周期又は観測期間、或いは研究のまとまる期間を示す時間軸を加えたい。プロの対象は、短い期間に論文のまとまるような、 z 軸でも原点に近い星が選ばれるであろう。さらに 4 次元の軸として観測者数を考えても良い。アマの眼視観測は、いわば多数の人海戦術によって誤差をカバーしている。これに反してプロは協同観測であっても少数でやはり原点に近い。

私が J A P O A に望みたいのは、前記の座標軸の原点に近いプロ好みの星以外もぜひ観測していただきたいと云うことである。A A V S O のヨーロッパ大会では、テネシー州立大学の D. S. Hall 氏は、光電測光の基調講演で、光電測光はアマが研究するための最良の手段であると強調している。これはそれなりに結構であろう。反面、近着の A A V S O Journal には Percy 教授が、いるか座 E U 星、こと座 R 星、みずがめ座 χ 星とへび座 I N 星の眼視と光電観測を比較して、季節による（低空の為の）欠測が少ないので、眼視の結果の方が良い場合もあると報告している。

今年は (補注: 1992 年) J A P O A の夏合宿と V S O L J の第 3 回総会が全くかちあつてしま

第5部 光電観測とJ A P O A

った。V S O L J の総会には国内の殆ど全ての（眼視）観測者が集ったが、その中にはSS P-3でオリオン座W星を観測したり、都会地で低空の悪条件下で眼視では困難だったいて座1992新星をC C Dで観測したメンバーも出席していた。このあたりに、眼視観測者と、器材に恵まれたJ A P O Aメンバーとが学問的にも価値あるデータを造り出せる接点があるように思える。

文献

- 1) Percy, Mattei and Sterken Ed. "Variable Star Research : An international perspective." (Cambridge Univ. Press, 1992)
- 2) The Journal of the AAVSO Vol. 20, No. 1 (1991)

*1 V S O L J : Variable Star observers league of Japan

*2 A A V S O : America Amateur Variablestar Observers Association

J A P O A への期待 (c)

坂上務 (九州大学名誉教授)

天体の光電観測は天体の物理的性状の探求に必須です。殊にJ A P O Aは優秀な観測組織であるから、よりよい成果のために必要です。

我々は大気の下に住んでいるので、天文観測は上空の空気の特徴を熟知することでより完璧な観測ができます。これまでは大気の状態は与えられたものとして処理しましたが、これは気象学の立場から天体観測への協力が十分でなかったせいでもあります。

一方、日本各地の光電観測の成果は世界的にも注目される程高度化されているので、更に良く大気状態を究めることが必要でしょう。J A P O Aの成果を気象研究者に提供することでよりよい刺激を与えることにもなります。

さて日本列島の太平洋側の地方は冬は北西の季節風が吹いて心地良い星天が続いて、時には水平線まで天の川が見えますが、星像は落ちついていない。3月頃の春一番の風が吹くと春の到来でどんよりした星天となるが、このときは星像は落ちついている。

星の見え具合をシーイングというが、これは2つの要素があり、星像の落ちつく度合いと、空の透明度です。一般には反比例し両立しません。

冬は落ちつく度合い（動揺度：シンチレーション）が大きい。これは大気中の渦流のため最も顕著に影響するのは上空のジェット気流です。そして曇天の前とか高気圧の後面な

付章 J A P O A への期待

ど天気系の変化によって落ちつくことが多いようです。これに加えて地上近くの熱的不均衡による乱れもありますがこれは地方性が大きいようです。

このようなことを熟知して、よりよい光電観測とその貴重な成果が十分利用されることが望ましいと思います。

尚参考までに日本附近で観測できる日数は半分近くですが、太平洋側と日本海側の気象庁の統計結果を以下で紹介し、今後の J A P O A のご活躍を期待します。

星天日数の月別変化（1966～1990）

地域 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日本海側	5	4	5	5	6	6	7	6	5	6	5	5
太平洋側	8	7	6	5	5	5	5	5	5	7	8	9
平均	7	6	6	5	6	6	6	6	5	7	7	7

日本海側：秋田、新潟、金沢、鳥取、浜田、福岡、酒田

太平洋側：仙台、銚子、東京、浜松、名古屋、高知、宮崎

付 録

付録. 1 J o h n s o n の U B V 標 準 星

本カタログは、国立天文台岡山天体物理観測所で編集・作成・使用されているものである。このカタログを使用して標準UBVシステムへの変換係数を求める整約を行う。すべての赤経と赤緯の座標の分点は1977年である。分点変換用には、末尾に出雲晶子氏によるBASICプログラムを掲載した。

この標準星のデータファイルは、データ入力・1次データチェックを下地安男夫妻が、2次データチェックと一部変更を大島修が行った。

参考文献

- (1) No. 1-83 H. L. JOHNSON, 1963, PHOTOMETRIC SYSTEM, in BASIC ASTRONOMICAL DATA
 (2) No. 84-133 H. L. JOHNSON and W. W. MORGAN, 1953, Ap. J. 117, p. 313
 (3) No. 134-169 D. L. CRAWFORD, J. C. GOLSON and A. U. LANDOLT, 1971, P. A. S. P. 83, p. 652
 (4) No. 170-614 B. IRIARTE, H. L. JOHNSON, R. I. MITCHEL, and W. K. WISNIEWSKI, 1965,
 Sky and Tel. 30, p. 25

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
1	0 15.9	38 34	4.61	0.06	0.04	A2 V	1280	θ And
2	0 48.5	40 57	4.53	-0.15	-0.58	B5 V	4727	ν And
3	1 09.7	55 02	4.33	0.17	0.11	A7 V	6961	θ Cas
4	1 30.2	15 14	3.62	0.97	0.76	G8 III	9270	η Psc
5	1 41.3	20 09	5.23	0.83	0.50	K1 V	10476	107 Psc
6	1 43.0	-16 04	3.50	0.72	0.20	G8 V p	10700	τ Cet
7	2 03.9	-17 44	10.18	1.53	1.16			-18 359
8	2 11.2	03 29	10.03	1.44	1.08			+02 348
9	2 26.9	08 22	4.28	-0.06	-0.13	B9 III	15318	ξ 2 Cet
10	2 34.8	06 47	5.82	0.97	0.79	K3 V	16160	HR 753
11	2 34.8	06 47	11.65	1.61	1.12	d M6		HR 7538
12	3 18.1	03 17	4.82	0.68	0.18	G5 V	20630	κ Cet
13	3 23.5	08 57	3.59	0.89	0.62	G8 III	21120	\omicron Tau
14	3 28.2	55 22	5.08	0.05	0.03	A1 V	21447	HR 1046
15	3 31.8	-09 32	3.73	0.89	0.57	K2 V	22049	ϵ Eri
16	4 27.3	19 08	3.54	1.02	0.88	K0 III	28305	ϵ Tau
17	4 48.6	06 55	3.19	0.45	-0.01	F6 V	30652	π 3 Ori
18	4 50.0	05 34	3.69	-0.17	-0.80	B2 III	30836	π 4 Ori
19	5 04.9	41 12	3.17	-0.18	-0.67	B3 V	32630	η Aur
20	5 22.5	-00 11	5.70	-0.22	-0.87	B2 V	35299	HR 1781
21	5 30.3	-03 41	7.97	1.47	1.21		36395	-031123
22	5 30.8	-07 20	4.63	-0.26	-1.07	B0 V	36512	ν Ori
23	5 31.5	-01 37	5.35	-0.20	-0.94	B1 V	36591	HR 1861
24	5 45.9	-14 50	3.55	0.10	0.06	A3 V	38678	ζ Lep
25	5 48.2	12 38	4.90	-0.07	-0.18	B9 IV	38899	134 Tau
26	6 35.9	17 34	9.63	1.50	1.18			+171320
27	7 26.1	05 17	9.82	1.56	1.12			+051668
28	7 16.8	16 34	3.58	0.11	0.10	A3 V	56537	λ Gem
29	7 27.7	31 50	4.16	0.32	-0.03	F0 V	58946	ρ Gem
30	7 43.1	24 27	3.57	0.93	0.68	G8 III	62345	κ Gem

JOHNSONのUBV標準星

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
31	8 24.6	-03 50	3.90	-0.02	-0.02	A0 V	71155	HR 3314
32	8 57.7	48 80	3.14	0.18	0.07	A7 V	76644	ι UMa
33	9 13.2	02 24	3.88	-0.06	-0.13	B9.5V p	79469	θ Hya
34	9 30.2	-13 23	10.06	1.53	1.15			-122918
35	9 34.3	35 55	5.41	0.77	0.45	G8 IV-V	82885	11 LMi
36	10 06.1	35 21	4.48	0.18	0.08	A7 V	87696	21 LMi
37	10 15.8	43 02	3.45	0.03	0.06	A2 IV	89021	λ UMa
38	10 27.8	00 57	9.63	1.52	1.19			+012447
39	10 31.7	09 25	3.85	-0.14	-0.95	B1 Ib	91316	ρ Leo
40	11 33.5	16 55	5.95	-0.16	-0.64	B3 V	100600	90 Leo
41	11 49.5	01 54	3.61	0.55	0.10	F8 V	102870	β Vir
42	11 51.7	37 53	6.45	0.75	0.17	G8 VI	103095	HR 4550
43	12 14.3	57 09	3.31	0.08	0.07	A3 V	106591	δ UMa
44	12 49.5	-00 39	8.49	1.41	1.26	M0.5V	111631	+002989
45	12 59.7	56 29	4.93	0.36	0.01	F2 V	113139	78 UMa
46	13 10.8	28 00	4.28	0.57	0.07	G0 V	114710	β Com
47	13 17.2	-18 11	4.75	0.71	0.25	G6 V	115617	61 Vir
48	13 24.3	55 70	4.01	0.16	0.08	A5 V	116842	80 UMa
49	13 27.3	13 54	4.98	0.71	0.26	G5 V	117176	70 Vir
50	14 45.1	02 00	3.74	0.00	-0.03	A0 V	130109	109 Vir
51	14 49.5	-15 54	5.16	0.41	-0.04	F5 IV	130819	α 1Lib
52	15 18.2	-07 38	10.56	1.61	1.20			-074003
53	15 45.2	15 30	3.67	0.06	0.07	A2 IV	141003	β Ser
54	15 45.3	07 26	4.43	0.60	0.10	G0 V	141004	λ Ser
55	15 55.4	15 44	3.85	0.48	-0.03	F6 IV-V	142860	γ Ser
56	16 29.0	-12 36	10.13	1.60	1.18			-124523
57	17 03.8	-05 02	7.73	1.16	1.05	K5 V	154363	-044225
58	17 04.0	-05 03	10.07	1.43	1.09	M3.5V		-044226
59	17 24.6	02 09	7.54	1.36	1.26	K7 V	157881	+023312
60	17 46.8	02 43	3.75	0.04	0.04	A0 V	161868	γ Oph
61	17 56.6	04 25	9.54	1.74	1.29	M5 V		+043561
62	18 03.9	-03 02	9.38	1.52	1.21		165222	-034233
63	18 58.1	32 39	3.25	-0.05	-0.09	B9 III	176437	γ Lyr
64	19 15.9	05 10	9.13	1.49	1.16	M3.5V	180617	+044048
65	19 32.4	03 44	6.82	0.02	-0.83		184279	+034065
66	19 35.6	-07 05	4.96	-0.01	-0.87	B0.5III	184915	κ Aql
67	19 54.2	06 21	3.71	0.86	0.48	G8 IV	188512	β Aql
68	20 38.6	15 50	3.77	-0.06	-0.22	B9 V	196867	α Del
69	20 46.5	-09 35	3.77	0.01	0.04	A1 V	198001	ϵ Aqr
70	22 52.1	-14 23	10.17	1.60	1.15			-156290
71	22 52.3	-11 44	5.81	-0.08	-0.32	B9	216494	74 Ar1
72	23 38.8	05 30	4.13	0.51	0.00	F7 V	222368	ι Psc
73	23 48.0	02 16	8.98	1.48	1.09	M2 V		+014774
74	2 05.8	23 21	2.00	1.151	1.12	K2 III	12929	α Ari
75	2 55.5	-03 49	5.17	0.084	0.05	A1 V	18331	HR 875
76	8 15.3	09 16	3.52	1.480	1.78	K4 III	69267	β Cnc
77	8 42.0	03 28	4.30	-0.195	-0.74	B3 V	74280	η Hya
78	15 15.7	-09 18	2.61	-0.108	-0.37	B8 V	135742	β Lib
79	15 43.2	06 30	2.65	1.168	1.24	K2 III	140573	α Ser
80	15 56.7	26 57	4.15	1.230	1.28	K3 III	143107	ϵ CrB

付 録

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
81	16 19.0	46 22	3.89	-0.152	-0.56	B5 IV	147394	τ Her
82	22 38.2	38 56	4.88	-0.203	-1.04	O9 V	214680	10 Lac
83	23 12.2	57 30	5.57	1.010	0.89	K3 V	219134	HR 8832
84	0 13.4	20 05	4.80	1.58	1.92	M2 III	1013	χ Per
85	0 38.2	21 08	5.84	0.86	0.56	K0 V	3651	54 Psc
86	1 06.7	54 49	5.12	0.69	0.09	G5 V p	6582	μ Cas
87	1 18.6	58 06	4.95	0.68	0.44	F0 Ia	7927	ϕ Cas
88	1 35.4	41 17	4.08	0.54	0.06	F8 V	9826	ν And
89	1 36.6	48 30	3.56	1.28	1.46	K3 III	9927	51 And
90	1 40.4	42 30	4.94	0.63	0.12	G2 V	10307	HR 483
91	1 46.0	63 45	5.63	0.81	0.40	K0 V	10780	HR 511
92	2 08.2	34 53	3.00	0.13	0.08	A5 III	13161	β Tri
93	2 15.7	34 07	4.87	0.61	0.02	G0 V	13974	δ Tri
94	2 42.6	49 07	4.12	0.48	-0.01	F7 V	16895	θ Per
95	2 43.7	10 01	4.25	0.31	0.05	F0 IV	17094	μ Cet
96	2 47.7	56 59	6.25	0.89	0.48	A5 Ia	17378	HR 825
97	2 49.1	38 13	4.22	0.34	0.06	F2 III	17584	16 Per
98	3 07.4	49 31	4.04	0.60	0.10	G0 V	19373	ι Per
99	5 17.5	40 05	4.71	0.67	0.10	G0 V	34411	λ Aur
100	5 48.2	12 38	4.91	-0.07	-0.20	B9 IV	38899	134 Tau
101	5 57.6	54 17	3.69	0.99	0.86	K0 III	40035	δ Aur
102	6 15.6	23 44	6.28	0.44	-0.40	B3 Iab	43384	9 Gem
103	6 51.3	33 59	3.59	0.10	0.13	A3 III	50019	θ Gem
104	7 43.1	24 27	3.57	0.93	0.68	G8 III	62345	κ Gem
105	7 52.1	26 49	4.95	0.10	0.08	A3 V	64145	ϕ Gem
106	10 15.8	43 02	3.46	0.01	0.06	A2 IV	89021	λ UMa
107	10 29.2	56 06	4.82	0.51	0.00	F8 V	90839	36 UMa
108	10 52.0	34 20	3.84	1.03	0.91	K0 III-IV	94264	46 LMi
109	11 02.1	36 07	7.47	1.51	1.15	M2 V	95735	L 21185
110	11 08.5	44 37	3.01	1.13	1.10	K1 III	96833	ϕ UMa
111	11 17.3	33 13	3.48	1.38	1.56	K3 III	98262	ν UMa
112	12 32.7	41 29	4.29	0.59	0.05	G0 V	109358	β CVn
113	14 00.5	01 40	4.26	0.10	0.12	A3 III	122408	τ Vir
114	14 30.8	30 29	3.57	1.29	1.44	K3 III	127665	ρ Boo
115	15 23.6	37 28	4.30	0.30	0.08	F0 V	137391	μ Boo
116	15 24.4	59 03	3.26	1.17	1.22	K2 III	137759	ι Dra
117	15 51.9	42 31	4.60	0.56	0.01	F9 V	142373	χ Her
118	16 01.4	58 38	4.01	0.53	0.11	F8 IV-V	144284	θ Dra
119	17 59.3	-03 41	4.62	0.38	0.00	F3 V	164259	ζ Ser
120	18 08.8	38 27	6.40	0.87	0.59	K2 V	166620	HR 6806
121	18 20.1	-02 54	3.26	0.94	0.65	K0 IV	168723	η Ser
122	18 21.5	72 43	3.58	0.50	-0.07	F7 V	170153	χ Dra
123	18 44.7	20 32	4.20	0.46	0.00	F6 V	173667	110 Her
124	20 44.9	61 45	3.43	0.92	0.62	K0 IV	198149	η Cep
125	21 37.3	61 59	4.72	0.30	-0.52	B2 Ib	206165	9 Cep
126	22 06.0	25 14	3.76	0.44	-0.05	F5 V	210027	ι Peg
127	22 10.7	59 18	5.00	0.26	-0.73	O6 e	210839	λ Cep
128	22 45.5	12 04	4.19	0.50	-0.03	F7 V	215648	ξ Peg
129	22 54.1	08 42	4.89	0.01	0.00	A1 V	216735	ρ Peg
130	22 59.1	56 50	4.99	1.29	1.00	G0 Ia	217476	HR 8752

J O H N S O N の U B V 標準星

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
131	23 05.9	09 17	4.50	1.56	1.81	M2 III	218329	55 Peg
132	23 39.3	44 13	4.13	-0.07	-0.27	B8 V	222439	κ And
133	0 01.0	26 57	5.75	0.66	0.04	G3 V	224930	85 Peg
134	2 38.4	01 16	8.192	-0.062	-0.278	B9	16581	+00 442
135	2 38.6	02 02	8.328	1.506	1.788	K5	16608	+01 462
136	4 47.6	03 38	7.326	-0.059	-0.313	B9	30544	+03 679
137	4 47.6	03 34	6.024	1.207	1.154	K0	30545	+03 681
138	6 01.2	01 05	8.561	0.003	-0.044	B9	40983	+011196
139	6 01.5	01 06	8.179	0.975	0.767	K0	41029	+011197
140	6 50.9	01 17	7.861	1.534	1.721	K5	50167	+011561
141	6 51.4	01 07	8.173	-0.057	-0.288	B8	50279	+011567
142	7 47.5	-00 41	8.427	0.944	0.578	K0	63368	-001828
143	7 47.6	-00 12	8.737	0.049	0.055	B8	63390	+002098
144	8 46.4	00 90	7.823	0.087	0.096	B9	75012	+002392
145	8 47.1	00 38	7.247	1.478	1.781	K2	75138	+012173
146	9 47.3	-04 17	8.666	1.150	1.119	K5	84916	-032782
147	9 47.7	-02 35	8.633	-0.158	-0.751	B5	84971	-022986
148	11 15.1	-03 20	7.405	0.225	-0.935	B3	97991	-023312
149	11 15.2	-03 38	8.934	0.718	0.324	K0	98007	-023313
150	12 46.0	06 05	6.346	-0.054	-0.052	B9	111133	+052660
151	12 46.1	07 08	8.456	1.168	1.210	K0	111165	+072575
152	13 33.9	-06 51	8.175	1.065	0.946	K2	118129	-053843
153	13 34.5	-06 03	8.062	-0.158	-0.629	B8	118246	-053730
154	14 44.4	00 49	5.694	-0.021	0.069	B9	129956	+012972
155	14 44.5	00 16	8.363	1.501	1.845	K5	129975	+003234
156	15 44.8	-01 22	8.813	1.660	2.004	K5	140850	-003005
157	15 44.9	-01 44	5.402	-0.030	-0.416	B8	140873	-013092
158	17 43.0	05 15	7.799	1.282	1.089	K2	161242	+053469
159	17 43.1	05 44	8.306	0.047	-0.145	B9	161261	+053471
160	18 35.4	-02 31	9.056	1.128	1.042	K2	171731	-024667
161	18 35.4	-03 07	9.125	0.279	-0.102	B9	171732	-034316
162	19 35.1	-02 51	8.125	0.168	-0.327	B8	184790	-034645
163	19 35.6	-04 20	8.168	1.194	0.935	K5	184914	-044855
164	20 36.0	00 36	8.722	1.653	2.043	K5	196395	-014014
165	20 36.2	00 00	6.226	-0.093	-0.392	B8	196426	-004056
166	21 34.8	05 23	8.318	-0.057	-0.362	B9	205556	+044703
167	21 35.0	06 03	7.708	1.260	1.316	K2	205584	+054824
168	22 04.9	01 16	8.934	1.208	1.161	K2	209796	+004820
169	22 05.6	02 19	6.506	-0.061	-0.228	B9	209905	+014584
170	0 04.2	-05 50	4.61	1.04	0.87	K1 III	28	33 Psc
171	0 09.1	45 57	5.04	0.40	0.26	F2 II	571	22 And
172	0 18.3	-08 57	3.55	1.22	1.17	K2 III	1522	ι Cet
173	0 37.3	29 12	4.39	0.87	0.47	G8 III	3546	ϵ And
174	0 38.1	30 45	3.30	1.30	1.47	K3 III	3627	δ And
175	0 43.4	48 10	4.50	-0.06	-0.53	B2 V	4180	σ Cas
176	0 47.5	07 28	4.44	1.51	1.88	K5 III	4656	δ Psc
177	0 51.7	61 01	4.83	0.53	0.12	F8 V	5015	HR 244
178	0 51.9	-01 15	4.78	1.57	1.92	M0 III	5112	20 Cet
179	0 53.6	58 51	4.84	1.22	1.26	K2 III	5234	ν 1 Cas
180	0 55.3	59 03	4.64	0.96	0.70	G8 III-IV	5395	ν 2 Cas

付 録

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
181	0 55.4	38 23	3.87	0.12	0.15	A5 V	5448	μ And
182	0 56.0	23 17	4.39	0.95	0.69	G8 III-IV	5516	η And
183	1 05.3	86 08	4.27	1.21	1.33	K2 III	5848	HR 28
184	1 01.8	07 45	4.28	0.97	0.70	K0 III	6186	ϵ PsA
185	1 07.5	-10 19	3.43	1.15	1.20	K3 III	6805	η Cet
186	1 10.2	20 54	4.66	1.03	0.81	G8 III	7087	ϕ Psc
187	1 10.4	29 58	4.51	1.10	1.00	K0 III-IV	7106	τ Psc
188	1 18.2	27 08	4.76	0.03	0.10	A2 V	7964	ν Psc
189	1 21.0	45 24	4.90	1.08	0.97	K0 III-IV	8207	ξ And
190	1 26.3	45 17	4.83	0.42	-0.01	F4 IV	8799	ω And
191	1 29.0	06 02	4.83	1.38	1.57	K4 III	9138	μ Psc
192	1 32.4	59 07	4.72	1.00	0.76	G8 III	9408	χ Cas
193	1 44.2	09 02	4.26	0.96	0.68	G8 III	10761	\circ Psc
194	1 48.4	-10 48	4.65	0.33	0.03	F2 IV	11171	χ Set
195	1 51.8	29 28	3.44	0.49	0.08	F6 IV	11443	α Tri
196	2 01.5	72 18	3.98	-0.01	0.03	A1 V	12216	50 Cas
197	1 58.9	-21 12	4.00	1.56	1.89	M1 III	12274	ν Cet
198	2 00.7	54 22	5.04	-0.08	-0.32	B8 V	12303	4 Per
199	2 07.1	58 19	5.71	0.61	0.00	A1 Ia	12953	HR 618
200	2 07.1	37 45	4.83	0.12	0.14	A5 V	13041	58 And
201	2 11.8	08 45	4.37	0.88	0.61	G8 II	13611	ξ 1 Cet
202	2 15.9	33 45	4.01	0.03	0.01	A0 V	14055	γ Tri
203	2 23.6	56 31	6.30	0.28	-0.61	B2 Ia	14818	10 Per
204	2 24.1	50 11	4.70	1.53	1.90	K4 III	14872	65 And
205	2 24.8	-12 23	4.89	-0.02	-0.04	B9 V	15130	ρ Cet
206	2 31.0	-15 21	4.74	0.44	0.00	F5 V	15798	σ Cet
207	2 42.1	27 37	4.67	-0.13	-0.62	B3 V	16908	35 Ari
208	2 43.0	-13 58	4.25	-0.14	-0.45	B7 V	17081	π Cet
209	2 44.0	-18 41	4.46	0.48	0.00	F6 V	17206	τ 1 Eri
210	2 46.5	29 09	4.52	1.11	1.03	K1 III	17361	39 Ari
211	2 49.0	55 48	3.79	1.69	1.90	K3 Ib	17506	η Per
212	2 50.0	-21 06	4.77	0.90	0.61	K0 III	17824	τ 2 Eri
213	2 57.3	39 34	4.70	0.06	0.12	A2 V	18411	π Per
214	2 57.7	35 05	4.94	1.25	1.28	K2 III	18449	24 Per
215	2 58.5	08 49	4.70	-0.12	-0.45	B5 III	18604	λ Cet
216	3 01.3	-23 43	4.07	0.17	0.10	A5 V	18978	τ 3 Eri
217	3 09.5	74 19	4.87	0.03	0.04	A0 V	19275	HR 932
218	3 09.8	39 32	4.64	1.11	1.02	K0 III	19656	ω Per
219	3 13.6	20 57	4.89	-0.02	-0.01	A0 IV-V	20150	ζ Ari
220	3 17.3	34 08	4.82	1.49	1.57	K2 II	20468	HR 991
221	3 18.9	28 58	4.46	1.54	1.79	K4 III	20644	HR 999
222	3 18.5	-21 50	3.70	1.62	1.81	g M3	20720	τ 4 Eri
223	3 26.4	49 00	5.00	-0.13	-0.56	B3 V	21278	HR 1034
224	3 25.9	09 40	3.74	-0.08	-0.34	B8 p	21364	ξ Tau
225	3 28.1	58 48	4.55	0.56	-0.10	A0 Ia	21389	HR 1040
226	3 27.7	49 25	4.68	-0.10	-0.58	B5 V	21428	34 Per
227	3 29.6	12 52	4.09	1.13	1.03	K0 II-II	21754	5 Tau
228	3 29.4	-05 09	4.73	-0.09	-0.27	B8 V	21790	17 Eri
229	3 34.9	48 07	4.28	-0.04	-0.57	B5 e	22192	ϕ Per
230	3 32.8	-21 43	4.28	-0.12	-0.35	B8 V	22203	τ 5 Eri

JOHNSONのUBV標準星

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
231	3 35.7	00 19	4.28	0.57	0.08	F8 V	22484	10 Tau
232	3 42.1	-09 51	3.54	0.92	0.65	K0 IV	23249	δ Eri
233	3 46.9	70 48	5.43	0.09	0.11	A m	23277	HR 1138
234	3 43.5	24 02	3.69	-0.13	-0.39	B6 III	23302	17 Tau
235	3 43.8	24 24	4.29	-0.12	-0.45	B6 V	23338	19 Tau
236	3 47.9	71 15	4.66	0.03	0.05	A3 IV	23401	γ Cam
237	3 44.5	24 29	5.76	-0.04	-0.23	B8 V	23432	21 Tau
238	3 44.9	23 52	4.18	-0.06	-0.41	B6 IV nn	23480	23 Tau
239	3 47.0	23 21	5.45	-0.08	-0.32	B8 V	23753	HR 1172
240	3 45.8	-23 19	4.23	0.42	0.00	F3 V	23754	τ 6 Eri
241	3 47.8	23 59	3.60	-0.09	-0.36	B8 III	23850	27 Tau
242	3 55.4	63 01	5.02	-0.09	-0.17	B9 V	24479	HR 1204
243	3 52.7	-24 40	4.64	-0.13	-0.48	B5 V	24587	τ 3 Eri
244	3 58.9	-24 05	4.66	-0.14	-0.39	A Si	25267	τ 3 Eri
245	4 02.5	59 06	5.07	0.49	0.50	F0 II	25291	HR 1242
246	4 01.9	05 56	3.91	0.03	0.05	A1 V	25490	ν Tau
247	4 03.3	22 02	4.37	1.07	0.95	K0 III	25604	37 Tau
248	4 04.9	50 18	4.29	0.02	-0.04	B9 V	25642	λ Per
249	4 10.7	-06 53	4.05	0.33	0.14	F2 III	26574	σ 1 Eri
250	4 12.3	07 40	5.28	0.36	0.01	F3 V	26690	46 Tau
251	4 14.3	08 51	4.30	-0.05	-0.51	B3 V	26912	μ Tau
252	4 18.5	65 05	5.28	0.81	0.50	G5 III	27022	HR 1327
253	4 15.9	20 31	4.93	0.25	0.09	A m	27045	ω Tau
254	4 22.8	17 23	4.81	0.15	0.12	A7 V	27819	64 Tau
255	4 24.0	22 14	4.23	0.12	0.15	A7 V	27934	κ Tau
256	4 24.9	22 45	4.29	0.25	0.14	F0 III-IV	28024	ν Tau
257	4 25.1	15 33	4.51	0.25	0.16	F0 V	28052	71 Tau
258	4 25.3	14 39	4.70	0.98	0.73	G8 III	28100	π Tau
259	4 27.3	15 54	3.85	0.93	0.70	K0 III	28307	θ 1 Tau
260	4 27.4	15 49	3.41	0.18	0.16	A7 III	28319	θ 2 Tau
261	4 27.6	13 00	5.00	0.22	0.12	A7 V	28355	79 Tau
262	4 29.3	16 09	4.78	0.17	0.15	A7 V	28527	HR 1472
263	4 30.7	-00 06	4.90	1.32	1.44	K3 II-III	28749	45 Eri
264	4 32.6	14 48	4.65	0.25	0.08	F0 V	28910	ρ Tau
265	4 35.1	41 13	4.27	1.22	0.80	K0 + A3	29094	58 Per
266	4 36.9	12 28	4.27	0.13	0.13	A5 V	29388	90 Tau
267	4 40.9	22 55	4.29	-0.14	-0.57	B3 V	29763	τ Tau
268	4 44.4	-03 17	4.02	-0.16	-0.60	B5 IV	30211	μ Eri
269	4 51.8	66 18	4.29	0.03	-0.88	O9.5Ia	30614	α Cam
270	4 49.3	08 52	4.35	0.01	0.03	A0 V	30739	π 2 Ori
271	4 50.0	18 48	5.10	0.22	0.12	d A5	30780	97 Tau
272	4 51.7	-05 29	4.39	0.23	0.17	A9 IV	31109	ω Eri
273	4 53.6	10 08	4.66	0.08	0.08	A0 V	31295	π 1 Ori
274	4 55.1	13 28	4.06	1.15	1.11	K2 III	31421	σ 2 Ori
275	5 00.3	-07 13	4.79	-0.19	-0.75	B2 V	32249	ϕ Eri
276	5 01.7	21 33	4.65	0.16	0.16	A7 V	32301	ι Tau
277	5 00.4	-20 06	4.91	-0.05	-0.15	B9 V	32309	HR 1621
278	5 04.9	51 34	5.00	0.34	-0.01	F0 V	32537	9 Aur
279	5 03.3	15 22	4.68	-0.05	-0.10	A0 Si	32549	11 Ori
280	5 08.4	15 34	4.81	0.32	0.19	F2 IV	33276	15 Ori

付 録

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
281	5 11.9	38 27	4.90	0.19	0.09	A m	33641	μ Aur
282	5 11.9	-16 14	3.29	-0.11	-0.38	A p	33904	μ Lep
283	5 16.5	-06 52	3.59	-0.12	-0.46	B5 III	34503	τ Ori
284	5 18.5	-13 12	4.29	-0.25	-1.01	B0.5IV	34816	λ Lep
285	5 20.6	-00 24	4.72	-0.17	-0.79	B2 IV	35039	22 Ori
286	5 22.6	-00 10	5.68	-0.21	-0.90	B2 V	35299	HR 1781
287	5 22.8	-07 49	4.13	0.96	0.71	G8 III	35369	29 Ori
288	5 26.2	21 55	4.89	-0.14	-0.77	B3 V	35708	114 Tau
289	5 31.2	32 10	4.77	0.35	-0.44	B5 Iab	36371	χ Aur
290	5 33.5	09 28	4.42	-0.15	-0.97	B0 IV	36822	ϕ 1 Ori
291	5 35.6	09 17	4.08	0.95	0.69	G8 III p	37160	ϕ 2 Ori
292	5 35.7	11 01	5.90	1.60	1.93	K5 III	37171	HR 1908
293	5 38.0	04 07	4.59	-0.11	-0.77	B3 III e	37490	ω Ori
294	5 37.8	-07 13	4.81	0.14	0.09	A4 IV	37507	49 Ori
295	5 41.3	01 28	4.89	1.18	1.06	K0 III	37984	51 Ori
296	5 47.6	39 10	4.52	0.94	0.70	G8 III	38656	τ Aur
297	5 52.9	55 42	4.98	0.05	0.12	A2 p	39283	ξ Aur
298	5 51.9	27 36	4.61	-0.02	0.01	A0 III	39357	136 Tau
299	5 50.3	-20 52	3.79	0.98	0.72	G8 III	39364	δ Lep
300	5 53.0	20 16	4.40	0.60	0.09	G0 V	39587	χ 1 Ori
301	5 56.6	25 57	4.83	-0.07	-0.92	B1 Ib	40111	139 Tau
302	5 55.4	-14 10	3.69	0.32	0.02	F0 V	40136	η Lep
303	6 05.2	-14 57	4.67	0.05	0.00	A1 V	41695	θ Lep
304	6 06.3	14 46	4.42	-0.15	-0.67	B3 V	41753	ν Ori
305	6 10.7	16 08	4.92	-0.12	-0.59	B5 V	42545	69 Ori
306	6 10.7	14 13	4.48	-0.17	-0.66	B3 V	42560	ξ Ori
307	6 16.3	69 20	4.79	0.03	-0.01	A0 V	42818	HR 2209
308	6 13.7	-06 16	3.96	1.31	1.43	K3 III	43232	γ Mon
309	6 14.7	-13 42	5.01	-0.09	-0.24	B8 V	43445	HR 2244
310	6 19.5	-30 03	3.02	-0.13	-0.74	B2.5V	44402	ζ CMa
311	6 27.6	20 14	4.14	-0.14	-0.49	B7 IV e	45542	ν Gem
312	6 26.8	-04 45	5.04	-0.18	-0.76	B2 V	45546	10 Mon
313	6 31.6	07 21	4.50	0.00	-0.17	A0 Ib	46300	13 Mon
314	6 31.7	-11 09	6.26	1.11	0.76	K0 p	46407	HR 2392
315	6 34.1	-22 57	4.54	-0.04	-0.02	A0 V	46933	ξ 2 CMa
316	6 37.7	42 31	4.79	1.24	1.32	K3 II-III	47174	ϕ 2 Aur
317	6 36.8	-18 13	4.40	1.16	1.05	K1 II-III	47442	ν 3 CMa
318	6 38.2	-14 07	4.82	1.50	1.68	K3 III	47667	HR 2450
319	6 40.8	06 22	6.37	-0.04	-0.93	O6	48099	HR 2467
320	6 46.7	02 26	4.43	1.11	1.05	K0 III	49293	18 Mon
321	6 56.7	77 00	4.54	1.36	1.68	K4 III	49878	HR 2527
322	6 53.1	-12 01	4.07	1.44	1.68	K4 III	50778	θ CMa
323	6 55.9	45 07	4.90	0.04	0.03	A2 V	50973	16 Lyn
324	7 02.1	-23 48	3.01	-0.11	-0.83	B3 Ia	53138	\circ 2 CMa
325	7 02.7	-15 36	4.11	-0.11	-0.46	B8 II	53244	γ CMa
326	7 09.0	-04 12	4.91	1.03	0.79	K0 III	54810	20 Mon
327	7 10.7	-00 28	4.15	0.00	0.03	A0 IV	55185	δ Mon
328	7 16.8	49 30	5.04	0.08	0.09	A3 III-IV	56169	HR 2751
329	7 15.7	-27 51	4.60	1.60	1.93	g M3	56618	HR 2766
330	7 21.2	-18 59	4.96	-0.06	-0.37	B7	57821	HR 2812

JOHNSONのUBV標準星

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
331	7 25.0	49 16	4.63	-0.02	-0.02	A1 IV	58142	21 Lyn
332	7 24.3	27 51	3.79	1.03	0.86	K0 III	58207	ι Gem
333	7 26.9	08 59	4.29	1.43	1.54	K3 III	58972	γ CMi
334	7 28.5	12 04	4.54	1.29	1.38	K2 III	59294	6 CMi
335	7 28.9	-22 58	4.83	0.25	0.19	A5 Ib	59612	HR 2874
336	7 34.5	26 57	4.06	1.54	1.95	M0 III	60522	ν Gem
337	7 33.0	-22 15	4.46	0.51	0.07	F7 IV	60532	HR 2906
338	7 37.7	34 39	4.92	0.40	0.11	F3 III	61110	ο Gem
339	7 41.0	58 47	4.99	0.08	0.09	A3 III	61497	24 Lyn
340	7 40.1	-09 29	3.92	1.02	0.89	K0 III	61935	α Mon
341	7 44.8	18 33	4.85	1.47	1.77	K5 III	62721	81 Gem
342	7 48.3	-24 49	3.35	1.25	1.16	G3 Ib	63700	ξ Pup
343	7 55.8	-22 50	4.20	0.72	0.44	F8 II	65228	11 Pup
344	7 58.9	-18 20	4.60	0.08	0.07	A3 V	65810	HR 3131
345	8 00.1	-01 20	4.67	1.49	1.78	K4 III	65953	28 Mon
346	8 06.7	51 35	4.84	0.05	0.00	A2 V	67006	27 Lyn
347	8 08.0	-19 11	4.40	-0.15	-0.60	B5 V	67797	16 Pup
348	8 10.2	-12 52	4.72	0.95	0.78	K0 III	68290	19 Pup
349	8 21.3	43 17	4.25	1.55	1.91	K5 III	70272	31 Lyn
350	8 38.2	64 24	4.61	1.17	1.17	K2 III	73108	π 2 UMa
351	8 36.4	05 46	4.17	0.00	0.02	A0 V	73262	δ Hya
352	8 40.7	-15 52	4.87	1.08	0.94	K1 III	74137	9 Hya
353	8 42.0	21 33	4.66	0.02	0.01	A1 V	74198	γ Cnc
354	8 42.5	-07 09	4.60	0.84	0.50	G2 Ib	74395	HR 3459
355	8 43.4	18 14	3.93	1.08	1.00	K0 III	74442	δ Cnc
356	8 45.3	-13 28	4.32	0.90	0.63	G8 III	74918	12 Hya
357	8 47.2	05 55	4.37	-0.05	-0.05	A0 V	75137	ρ Hya
358	8 49.5	-27 37	4.00	1.27	1.38	K4 III	75691	γ Pyx
359	8 54.2	06 02	3.10	1.01	0.80	K0 II-II	76294	ζ Hya
360	8 54.5	-27 36	4.89	0.12	0.15	A3 V	76483	δ Pyx
361	9 00.4	67 43	4.76	1.54	1.88	g M3 III	76827	ρ UMa
362	9 05.1	38 30	4.56	1.04	0.81	G8 Ib-II	77912	HR 3612
363	9 07.2	51 42	4.48	0.27	0.11	A m	78209	15 UMa
364	9 14.5	54 07	4.84	0.17	0.08	A5 V	79439	18 UMa
365	9 18.6	-11 52	4.81	0.93	0.62	G8 III	80499	26 Hya
366	9 19.3	-09 27	4.79	0.94	0.68	G8 III-IV	80586	27 Hya
367	9 20.5	-25 52	4.72	1.64	2.05	M1 III	80874	θ Pyx
368	9 22.2	-28 44	4.68	0.91	0.64	g G7	81169	λ Pyx
369	9 26.3	-22 14	4.68	1.13	1.17	g K3	81799	HR 3749
370	9 33.8	81 25	4.29	1.47	1.73	K3 III	81817	HR 3751
371	9 28.0	-02 40	4.60	0.45	0.01	F6 V	81997	τ 1 Hya
372	9 32.5	69 55	4.56	0.77	0.34	G2 IV	82210	24 UMa
373	9 31.3	51 47	3.20	0.46	0.06	F6 IV	82328	θ UMa
374	9 30.8	-01 06	4.56	0.11	0.09	A3 III	82446	τ 2 Hya
375	9 33.3	52 09	4.50	0.00	0.04	A2 V	82621	26 UMa
376	9 32.8	36 29	4.54	0.92	0.64	G8 III	82635	10 LMi
377	9 33.7	39 43	4.81	0.99	0.77	K0 III	82741	HR 3809
378	9 37.3	04 45	4.68	1.33	1.45	K3 III	83425	HR 3834
379	9 39.2	-14 14	5.05	-0.14	-0.58	B5 V	83754	κ Hya
380	9 47.1	46 07	5.10	0.63	0.07	G1 V	84737	HR 3881

付 録

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
381	9 49.3	59 09	3.82	0.29	0.10	F2 IV	84999	ν UMa
382	9 50.4	-14 45	4.08	0.93	0.63	G8 III	85444	ν 1 Hya
383	9 51.5	26 07	3.90	1.22	1.37	K2 III	85503	μ Leo
384	9 59.0	08 09	4.68	1.61	1.89	M2 III	86663	π Leo
385	10 06.1	16 53	3.53	-0.04	-0.21	A0 Ib	87737	η Leo
386	10 06.7	10 07	4.36	1.45	1.75	K4 III	87837	31 Leo
387	10 06.8	00 15	4.49	-0.04	-0.07	A0 III	87887	α Sex
388	10 09.4	-12 15	3.61	1.00	0.92	K0 III	88284	λ Hya
389	10 15.4	23 32	3.44	0.31	0.20	F0 III	89025	ζ Leo
390	10 24.6	33 54	4.73	0.25	0.17	F0 V	90277	30 LMi
391	10 24.5	-06 56	5.58	1.51	1.89	M0 III	90362	HR 4092
392	10 25.0	-16 44	3.79	1.48	1.81	K4 III	90432	μ Hya
393	10 29.2	-00 31	5.09	-0.13	-0.54	B6 V	90994	β Sex
394	10 37.5	32 06	4.70	0.81	0.56	G2 II	92125	37 LMi
395	10 48.4	-16 04	3.10	1.24	1.27	K3 III	93813	ν Hya
396	10 52.7	43 19	4.71	-0.05	-0.06	A1 V	94334	ω UMa
397	10 58.6	-18 10	4.06	1.09	0.97	K0 III	95272	α Crt
398	11 00.7	-02 21	4.74	1.62	1.92	K5 III	95578	61 Leo
399	11 01.1	20 19	4.41	0.04	0.04	A m	95608	60 Leo
400	11 10.5	-22 43	4.48	0.03	0.07	A2 IV	97277	β Crt
401	11 13.1	15 33	3.34	-0.01	0.06	A2 V	97633	θ Leo
402	11 15.5	-03 32	4.47	0.21	0.15	A7 III-IV	98058	ϕ Leo
403	11 16.1	02 08	5.17	1.51	1.88	M0 III	98118	75 Leo
404	11 17.9	38 18	4.79	0.12	0.03	A2 V	98353	55 UMa
405	11 18.2	-14 39	3.56	1.11	0.99	G8 III-IV	98430	δ Crt
406	11 20.0	06 09	4.06	-0.07	-0.12	B9 V	98664	σ Leo
407	11 21.5	43 36	4.98	0.98	0.82	G8 II	98839	56 UMa
408	11 35.6	-09 41	4.70	-0.08	-0.16	B9 V	100889	θ Crt
409	11 35.8	-00 42	4.30	1.01	0.74	G9 III	100920	ν Leo
410	11 43.6	-18 14	4.70	0.98	0.73	G8 III	102070	ζ Crt
411	11 44.7	06 39	4.05	1.49	1.79	M1 III	102212	ν Vir
412	11 59.7	06 44	4.67	0.13	0.10	A4 V	104321	π Vir
413	12 04.1	08 51	4.11	0.99	0.65	G8 III	104979	\circ Vir
414	12 07.2	-24 36	4.00	0.33	-0.03	F2 V	105452	α Crv
415	12 19.6	17 55	4.74	1.01	0.80	G8 III	107383	11 Com
416	12 22.9	51 41	4.80	0.87	0.63	G7 III	107950	5 Cvn
417	12 30.9	-16 05	4.31	0.37	0.02	F0 IV	109085	η Crv
418	12 33.7	22 45	4.81	0.00	-0.01	A0 IV	109485	23 Com
419	12 38.1	-07 53	4.66	1.23	1.36	K2 III	110014	χ Vir
420	12 40.8	10 21	4.88	0.09	0.03	A0 V	110411	ρ Vir
421	12 50.6	27 39	4.94	0.68	0.23	G0 III	111812	31 Com
422	13 06.1	27 46	4.82	1.45	1.87	K5 III	113996	41 Com
423	13 30.8	-06 08	4.69	1.60	1.96	M2 III	117675	74 Vir
424	13 33.6	-00 29	3.38	0.12	0.08	A3 V n	118098	ξ Vir
425	13 33.8	37 18	5.01	0.39	0.06	F2 IV	118216	HR 5110
426	14 05.1	-26 34	3.28	1.12	1.04	K2 III	123123	π Hya
427	14 09.4	25 12	4.83	0.54	0.07	F8 IV	123999	D Boo
428	14 11.7	-10 11	4.21	1.32	1.47	K3 III	124294	κ Vir
429	14 17.0	35 36	4.81	1.06	0.92	K0 III	125351	HR 5361
430	14 21.8	-27 40	4.75	1.31	1.55	K5 III	125932	51 Hya

JOHNSONのUBV標準星

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
431	14 33.6	29 51	4.49	0.38	-0.08	F2 V	128167	σ Boo
432	14 41.8	-05 33	3.89	0.39	-0.02	F3 IV	129502	μ Vir
433	14 44.2	17 04	4.59	0.98	0.77	K0 III	129972	\circ Boo
434	14 48.9	-27 52	4.41	1.38	1.49	g K4	130694	58 Hya
435	14 56.0	-04 14	4.49	0.33	0.05	F0 IV	132052	16 Lib
436	15 01.1	25 06	4.82	1.50	1.83	K4 III	133124	ω Boo
437	15 01.8	02 11	4.40	1.04	0.88	K0 III	133165	110 Vir
438	15 01.0	40 29	3.50	0.97	0.71	G8 III	133208	β Boo
439	15 03.4	27 02	4.55	1.23	1.34	K2 III	133582	ϕ Boo
440	15 06.2	24 58	4.93	0.43	-0.02	F5 V	134083	45 Boo
441	15 32.9	-09 59	4.60	1.02	0.86	K1 IV	138716	37 Lib
442	15 32.0	31 27	4.13	-0.13	-0.55	B7 nn	138749	θ CrB
443	15 34.3	-14 42	3.91	1.03	0.74	G8 III-IV	138905	γ Lib
444	15 35.6	-28 03	3.56	1.39	1.59	K5 III	139063	ν Lib
445	15 37.2	-29 42	3.65	-0.17	-0.69	B2.5V	139365	τ Lib
446	15 44.2	05 32	5.58	0.04	0.03	A0 V	140775	HR 5859
447	15 47.7	18 13	4.11	1.60	1.95	M1 III	141477	κ Ser
448	15 48.4	-03 21	3.53	-0.03	-0.11	A0 V	141513	μ Ser
449	15 49.6	-25 41	4.69	-0.06	-0.74	B2.5V n	141637	1 Sco
450	15 48.6	26 08	4.62	0.80	0.37	G5 III-IV	141714	δ CrB
451	15 49.6	04 33	3.70	0.16	0.09	A m	141795	ε Ser
452	15 50.2	21 03	4.78	1.52	1.88	K5 III	141992	ρ Ser
453	15 50.3	35 44	4.82	1.00	0.87	K0 III-IV	142091	κ CrB
454	15 52.6	-16 40	4.15	1.01	0.83	K0 III-IV	142198	θ Lib
455	15 55.5	-29 09	3.85	-0.20	-0.82	B2 V	142669	ρ Sco
456	16 01.3	22 52	4.83	0.07	0.05	A3 V	143894	π Ser
457	16 02.1	46 06	4.75	-0.13	-0.31	A p	144206	ν Her
458	16 05.5	-20 37	3.99	-0.04	-0.82	B1 V	144470	ω 1 Sco
459	16 08.0	44 59	4.27	-0.07	-0.28	A p	145389	ϕ Her
460	16 10.9	-27 53	4.58	-0.15	-0.74	B2.5V n	145482	1 ξ Sco
461	16 10.7	-10 01	4.92	0.09	0.10	A2 V	145570	ϕ Sco
462	16 17.1	-04 38	3.23	0.99	0.74	G9 III	146791	ε Oph
463	16 19.2	-24 60	4.57	0.84	0.68	A5 II	147084	\circ Sco
464	16 20.9	01 06	4.82	0.34	0.02	F0 V	147449	σ Ser
465	16 21.2	30 57	4.85	0.97	0.80	K0 III	147677	ξ CrB
466	16 22.8	-19 58	4.50	1.03	0.84	K0 III	147700	ϕ Oph
467	16 28.8	-25 04	4.79	-0.07	-0.79	B2 V	148605	22 Sco
468	16 29.8	-16 34	4.27	0.92	0.71	G8 III	148786	ϕ Oph
469	16 30.8	-21 25	4.45	0.12	0.12	A p	148898	ω Oph
470	16 31.5	11 32	4.85	1.48	1.85	K4 III	149161	29 Her
471	16 28.1	68 49	5.01	-0.06	-0.10	B9 IV	149212	15 Dra
472	16 42.1	38 58	3.50	0.92	0.61	G7 III-IV	150997	η Her
473	16 44.8	56 49	4.84	0.39	-0.06	F2 V	151613	HR 6237
474	16 48.5	-10 45	4.66	0.48	0.06	F5 IV-V	151769	20 Oph
475	17 59.5	30 58	3.92	-0.01	-0.11	A0 V	153808	ε Her
476	17 02.1	14 08	4.98	1.59	1.95	M3 III	154143	HR 6337
477	17 08.7	65 45	3.17	-0.11	-0.43	B6 III	155763	ζ Dra
478	17 25.9	-29 51	4.27	0.41	0.06	F5 IV	157919	45 Oph
479	17 36.3	-15 23	3.52	0.24	0.12	F0 IV	159876	ξ Ser
480	17 36.6	-08 06	4.63	0.12	-0.19	B8 V	159975	μ Oph

付 録

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
481	17 40.2	-12 52	4.24	0.08	0.10	A2 V	160613	ο Ser
482	17 42.0	-21 40	4.86	0.47	-0.03	F5 V	160915	58 Oph
483	17 37.1	68 46	4.80	0.43	-0.01	F5 V	160922	ω Dra
484	17 53.1	56 52	3.75	1.18	1.22	K2 III	163588	ξ Dra
485	17 57.7	-09 47	3.34	0.99	0.88	G9 III	163917	ν Oph
486	17 58.3	-23 49	4.74	-0.04	-0.04	A0 n	163955	4 Sgr
487	17 57.7	30 12	4.41	0.39	0.15	F2 II	164136	ν Her
488	18 06.7	-28 27	4.55	0.96	0.75	G p	165634	HR 6766
489	18 06.2	08 44	4.63	0.97	0.75	G8 III-IV	165760	71 Oph
490	18 06.3	09 34	3.73	0.12	0.09	A4 V	165777	72 Oph
491	18 07.8	20 49	4.35	-0.15	-0.82	B2 V	166182	102 Her
492	17 39.6	86 36	4.35	0.01	0.04	A1 V	166205	δ UMi
493	18 19.3	21 57	4.96	1.59	1.99	M0 III	168720	106 Her
494	18 22.4	-08 56	4.67	0.95	0.74	K0 III	169156	ζ Sct
495	18 27.9	-14 35	4.71	0.07	0.04	A3 V	170296	γ Sct
496	18 25.9	65 33	4.81	1.19	1.13	K2 III	170693	42 Dra
497	18 32.2	57 02	4.80	0.61	0.44	F7 Ib	171635	45 Dra
498	18 44.3	-27 01	3.17	-0.11	-0.33	B8 III	173300	φ Sgr
499	18 45.9	-04 46	4.21	1.09	0.85	G5 II	173764	β Sct
500	18 45.2	26 38	4.84	1.20	1.22	K3 III	173780	HR 7064
501	18 46.1	18 09	4.36	0.13	0.07	A m	173880	ι Her
502	18 52.6	50 40	4.93	0.90	0.58	G8 III	175535	HR 7137
503	18 56.3	-21 08	3.49	1.18	1.15	K1 III	175775	ξ 2 Sgr
504	18 58.6	15 02	4.01	1.07	1.05	K2 III	176411	ε Aql
505	18 54.7	71 16	4.82	1.15	1.10	K0 III	176524	ν Dra
506	19 03.3	-21 46	3.77	1.01	0.86	g G8	177241	ο Sgr
507	19 05.0	-04 55	3.43	-0.11	-0.26	B9 V n	177756	λ Aql
508	19 12.5	67 38	3.07	1.00	0.78	G9 III	180711	δ Dra
509	19 15.6	38 60	4.37	1.25	1.23	K0 II	180809	θ Lyr
510	19 16.6	53 20	3.76	0.97	0.74	K0 III	181276	κ Cyg
511	19 20.3	-17 53	3.93	0.22	0.13	F0 IV	181577	ρ 1 Sgr
512	19 20.6	65 40	4.59	0.02	0.06	A2 IV	182564	π Dra
513	19 23.3	29 35	4.97	-0.09	-0.72	B3 IV	182568	2 Cyg
514	19 25.4	00 17	4.67	0.60	0.51	F2 Ib	182835	ν Aql
515	19 27.8	24 37	4.45	1.50	1.85	M0 III	183439	α Vul
516	19 29.1	51 41	3.79	0.14	0.11	A5 V	184006	ι Cyg
517	19 30.9	34 24	4.74	-0.13	-0.67	B3 IV	184171	8 Cyg
518	19 33.5	19 43	4.99	-0.07	-0.43	B7 V	184606	9 Vul
519	19 38.5	30 05	4.70	0.95	0.79	G8 III-IV	185734	φ Cyg
520	19 39.1	17 57	4.38	0.77	0.43	G0 II	185758	α Sge
521	19 40.0	17 25	4.37	1.05	0.90	G8 II	185958	β Sge
522	19 50.0	22 33	4.96	-0.13	-0.68	B3 V e	187811	12 Vul
523	19 51.3	46 58	5.63	-0.09	-0.98	O9.5 III	188209	HR 7589
524	19 53.1	08 25	4.68	1.05	0.90	K0 III	188310	ξ Aql
525	19 54.4	-26 21	4.70	0.75	0.33	d G5	188376	ω Sgr
526	19 55.5	-27 13	4.50	1.46	1.57	g K3	188603	59 Sgr
527	19 55.0	38 26	4.95	-0.09	-0.52	B6 III	188892	22 Cyg
528	19 57.5	-26 15	4.82	0.89	0.54	g G5	189005	60 Sgr
529	19 57.8	19 26	3.47	1.57	1.94	K5 III	189319	γ Sge
530	20 00.2	27 42	4.65	0.18	0.16	A m	189849	15 Vul

JOHNSONのUBV標準星

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
531	20 02.7	67 48	4.50	1.31	1.50	K3 III	190940	ρ Dra
532	20 08.5	36 47	4.92	-0.12	-0.77	B3 V e	191610	28 Cyg
533	20 10.1	-00 53	3.21	-0.07	-0.12	B9.5 III	191692	θ Aql
534	20 13.2	15 08	4.95	0.09	0.01	A2 V	192425	ρ Aql
535	20 13.6	36 44	4.99	0.12	0.00	A2 p	192640	29 Cyg
536	20 12.9	56 30	4.30	0.11	0.08	A3 IV-V	192696	33 Cyg
537	20 14.5	23 26	5.17	1.04	0.70	G2 Ib	192713	22 Vul
538	20 14.8	27 44	4.52	1.26	1.11	K3 III	192806	23 Vul
539	20 19.3	-12 50	4.76	-0.04	-0.11	B9 V	193432	ν Cap
540	20 19.8	-14 52	3.08	0.79	0.27	F8 V + A0	193495	β Cap
541	20 23.0	32 06	4.45	1.34	1.53	K3 III	194317	39 Cyg
542	20 28.5	30 17	4.02	0.40	0.29	F5 II	195295	41 Cyg
543	20 29.2	62 54	4.21	0.19	0.14	A m	195725	θ Cer
544	20 33.0	35 11	4.63	1.61	0.75	K5 + A3	196093	47 Cyg
545	20 34.2	14 37	4.69	0.11	0.11	A3 V	196180	ζ Del
546	20 37.5	21 08	4.82	-0.02	-0.07	A0 V	196724	29 Vul
547	20 44.7	-25 21	4.13	0.44	0.03	F5 V	197692	ϕ Car
548	20 43.9	25 12	4.90	1.20	1.18	K2 III	197752	30 Vul
549	20 44.8	57 30	4.52	0.54	0.10	F8 V	198084	HR 7955
550	20 50.4	-27 01	4.13	1.62	1.85	K5 III	198542	ω Cap
551	20 51.4	-09 04	4.73	0.32	0.10	A m	198743	ν Aqr
552	20 51.1	27 00	4.61	0.82	0.46	G8 III	198809	31 Vul
553	20 56.3	41 05	3.94	0.02	0.00	A0 V	199629	ν Cyg
554	21 04.7	-17 20	4.07	-0.01	0.01	A0 V	200761	θ Cap
555	21 08.3	-11 29	4.52	0.95	0.66	G8 III	201381	ν Aqr
556	21 11.9	30 08	3.19	1.00	0.76	G8 II	202109	α Cyg
557	21 14.6	05 09	3.90	0.52	0.30	F8 + A3	202447	ξ Equ
558	21 20.9	-16 56	4.27	0.91	0.56	G8 III	203387	ι Cap
559	21 25.4	-22 31	3.74	1.00	0.60	G4 Ib	204075	ζ Cap
560	21 27.4	-21 55	4.51	0.91	0.61	g G5	204381	36 Cap
561	21 28.9	23 32	4.55	1.62	1.93	M1 III	204724	2 Peg
562	21 33.1	45 30	4.02	0.90	0.56	G8 III	205435	ρ Cyg
563	21 33.8	38 26	4.90	1.09	1.01	K1 III	205512	72 Cyg
564	21 36.5	-07 57	4.69	0.19	0.13	A7 V	205767	ξ Aqr
565	21 38.8	-16 46	3.67	0.32	0.21	A m	206088	γ Cap
566	21 41.3	-18 58	4.73	0.88	0.52	G8 III	206453	κ Cap
567	21 41.3	51 05	4.67	-0.12	-0.69	B3 IV	206672	π 1 Cyg
568	21 43.4	17 15	4.31	1.18	0.96	G5 Ib	206859	9 Peg
569	21 41.5	71 13	4.57	1.11	1.08	K0 III	206952	11 Cep
570	21 44.3	62 22	5.92	0.31	-0.64	O9 III	207198	HR 8327
571	21 45.9	49 12	4.24	-0.12	-0.72	B3 III	207330	π 2 Cyg
572	22 04.6	04 56	4.83	1.46	1.79	K4 III	209747	ν Peg
573	22 05.2	-13 59	4.25	-0.07	-0.27	B8 V	209819	ι Aqr
574	22 09.0	33 03	4.27	0.48	0.18	F5 II-III	210459	π Peg
575	22 09.3	72 14	4.79	0.92	0.61	G8 III	210807	24 Cep
576	22 14.9	37 38	4.15	1.46	1.60	K3 II-III	211388	1 Lac
577	22 15.6	-07 54	4.15	0.99	0.81	G8 III-IV	211391	θ Aqr
578	22 20.4	12 05	5.02	-0.15	-0.77	B2 V e	212076	31 Peg
579	22 22.7	52 07	4.44	1.02	0.77	G9 III	212496	β Lac
580	22 26.7	04 36	4.80	1.05	0.88	K0 III-IV	212943	35 Peg

付 録

番号	赤経	赤緯	V等級	B - V	U - B	分光型	HD番号	名前
581	22 29.4	-10 47	4.82	-0.06	-0.12	A0 IV	213320	σ Aqr
582	22 29.5	43 01	4.52	-0.11	-0.74	B2 IV	213420	δ Lac
583	22 30.3	50 10	3.77	0.01	0.00	A2 V	213558	α Lac
584	22 34.2	-00 14	4.00	-0.09	-0.28	B8 V	213998	η Aqr
585	22 36.4	51 26	4.63	0.24	0.11	A7 IV	214454	9 Lac
586	22 39.4	-27 10	4.16	-0.12	-0.32	B8 V e	214748	ϵ PsA
587	22 39.5	44 09	4.46	1.33	1.37	K3 III	214868	11 Lac
588	22 40.3	10 43	3.39	-0.10	-0.25	B8 V	214923	ζ Peg
589	22 40.7	29 11	4.79	-0.01	0.00	A1 V	214994	0 Peg
590	22 45.4	23 26	3.95	1.07	0.89	G8 II-III	215665	λ Peg
591	22 48.9	24 28	3.48	0.94	0.67	G8 III	213161	μ Peg
592	22 48.9	66 04	3.53	1.05	0.91	K1 III	216228	ι Cep
593	22 53.4	-15 57	3.26	0.06	0.07	A3 V	216627	δ Aqr
594	23 02.7	03 42	4.52	-0.12	-0.50	B5 pe	217891	β Psc
595	23 03.2	49 56	4.66	1.07	0.87	K0 III	218031	3 And
596	23 05.4	-23 52	4.48	0.90	0.59	g G9	218240	86 Aqr
597	23 05.6	59 18	4.88	-0.02	-0.87	B0.5IV	218376	1 Cas
598	23 08.2	-21 17	3.64	1.23	1.22	K0 III	218594	88 Aqr
599	23 11.5	49 18	4.53	0.30	0.04	F0 V	219080	7 And
600	23 13.2	-06 10	4.23	1.55	1.90	M2 III	219215	ϕ Aqr
601	23 16.0	03 10	3.69	0.91	0.55	G7 III	219615	γ Psc
602	23 16.7	-09 18	4.40	-0.14	-0.55	B5 V	219688	ϕ 2 Aqr
603	23 19.5	23 38	4.60	0.17	0.13	A5 IV	220061	τ Peg
604	23 21.8	-20 13	3.97	1.10	0.96	K0 III	220321	98 Aqr
605	23 24.2	23 17	4.44	0.61	0.18	F8 IV	220657	ν Peg
606	23 24.9	-20 45	4.38	1.49	1.80	K5 III	220704	99 Aqr
607	23 26.8	06 16	4.30	1.08	1.03	K1 III	220954	θ Psc
608	23 28.0	12 39	4.56	0.94	0.75	G8 III	221115	70 Peg
609	23 32.1	-21 02	4.72	0.04	-0.01	A0 n	221565	101 Aqr
610	23 40.9	01 40	4.49	0.22	0.10	A7 V	222603	λ Psc
611	23 56.6	25 01	4.65	1.60	1.63	M3 III	224427	ϕ Peg
612	23 58.2	06 45	4.01	0.41	0.08	F4 IV	224617	ω Psc
613	00 01.2	-29 51	4.98	-0.15	-0.55	B4 III	224990	ζ Scl
614	00 02.6	-17 28	4.56	-0.04	-0.12	B9 IV	225132	2 Cet

分点変換プログラム (N88-BASIC)

```

10 'BUNTEN HENKAN ( PRECESSION TRANSFORMATION ) (C)A.Izumo 1991
20 OPTION BASE 1
30 CLEAR
40 DEFDBL A-G, O-R, T-Z
50 DIM ALFA#(100), DELTA#(100)
60 WIDTH 80, 25:CLS
80 PRINT " *** BUNTEN HENKAN ( PRECESSION TRANSFORMATION ) ***"
90 PRINT " EPOCH1 -> EPOCH2 : EXIT = 1000"
100 PRINT " "
110 INPUT " EPOCH1 (YYYY.Y) = "; EP1
120 INPUT " EPOCH2 (YYYY.Y) = "; EP2
130 PRINT " "
140 FOR I = 1 TO 100
150 MINUS = 0
160 PRINT " "
170 INPUT " ALPHA (HH.MMSS) = "; AA1
180 IF AA1 = 1000 GOTO 750

```

JOHNSONのUBV標準星

```

190 INPUT " DELTA (DD.MMSS) = "; DD1
200 IF DD1 = 1000 GOTO 750
210 A2 = (AA1 - INT(AA1)) * 100
220 A3 = (A2 - INT(A2)) * 100
230 A2 = INT(A2)
240 A3 = INT(A3)
250 A1 = INT(AA1)
260 ALFA#(I) = CDBL(A1) + CDBL(A2 * 10 / 6 / 100) + CDBL(A3 / 3600): ALFA#(I) = ALFA#(I) * 15!
270 IF DD1 > 0 GOTO 300
280 DD1 = -DD1
290 MINUS = 1
300 D2 = (DD1 - INT(DD1)) * 100
310 D3 = (D2 - INT(D2)) * 100
320 D2 = INT(D2)
330 D3 = INT(D3)
340 D1 = INT(DD1)
350 DELTA#(I) = CDBL(D1) + CDBL(D2 * 10 / 6 / 100) + CDBL(D3 / 3600)
360 IF MINUS = 0 GOTO 380
370 DELTA#(I) = -DELTA#(I)
380 PRINT ALFA#(I), DELTA#(I)
390 AALFA = ALFA#(I): DDELTA = DELTA#(I)
400 T2 = (EP2 - 1900) * 365.2425 # / 36524.2199 #
410 TT1 = T2 - T1
420 GOSUB SAISA:
490 A4 = INT(AA2 / 15)
500 A5 = ((AA2 / 15) - A4) * 100 * .6
510 A6 = (A5 - INT(A5)) * 100 * .6
520 A5 = INT(A5)
530 AA3 = A4 + (A5 / 100) + (A6 / 10000)
540 IF MINUS = 0 GOTO 560
550 DD2 = -DD2
560 D4 = INT(DD2)
570 D5 = (DD2 - D4) * 60
580 D6 = (D5 - INT(D5)) * 60
590 D5 = INT(D5)
600 DD3 = D4 + (D5 / 100) + (D6 / 10000)
610 IF MINUS = 0 GOTO 630
620 DD3 = -DD3
630 PRINT " "
640 PRINT USING " ALPHA = ##.####"; AA3
650 PRINT USING " DELTA = ###.####"; DD3
660 INPUT " PRINTER OUTPUT ? (Y/N) "; PLS
670 IF PLS = "Y" GOTO 690
680 GOTO 740
690 LPRINT " "
700 LPRINT USING " EPOCH ####.# -> ####.#"; EP1; EP2
710 LPRINT USING " ALPHA (HH.MMSS) ##.#### -> ##.#### "; AA1; AA3
720 LPRINT USING " DELTA (D.MMSS) ###.#### -> ###.#### "; DD1; DD3
730 LPRINT " "
740 NEXT I
750 END
760 *SAISA:
770 PI = 3.14159
780 T2 = (EP2 - EP1) / 100: T1 = (EP1 - 1900) / 100
790 ZE = (2304.25 + 1.396 * T1) * T2 + .302 * T2 * T2 + .018 * T2 * T2 * T2
800 ZT = ZE + .791 * T2 * T2
810 TH = (2004.68 - .853 * T1) * T2 - .426 * T2 * T2 - .042 * T2 * T2 * T2
820 ZE = ZE / 3600 * PI / 180: ZT = ZT / 3600 * PI / 180: TH = TH / 3600 * PI / 180
830 XX = COS(ZE) * COS(TH) * COS(ZT) - SIN(ZE) * SIN(ZT)
840 YX = -SIN(ZE) * COS(TH) * COS(ZT) - COS(ZE) * SIN(ZT)
850 ZX = -SIN(TH) * COS(ZT)
860 XY = COS(ZE) * COS(TH) * SIN(ZT) + SIN(ZE) * COS(ZT)
870 YY = -SIN(ZE) * COS(TH) * SIN(ZT) + COS(ZE) * COS(ZT): ZY = -SIN(TH) * SIN(ZT)
880 XZ = COS(ZE) * SIN(TH): YZ = -SIN(ZE) * SIN(TH): ZZ = COS(TH)
890 XO = COS(DELTA#(I) * PI / 180) * COS(ALFA#(I) * PI / 180): YO = COS(DELTA#(I) * PI / 180) * SIN(ALFA
#(I) * PI / 180): ZO = SIN(DELTA#(I) * PI / 180)
900 X = XX * XO + YX * YO + ZX * ZO: Y = XY * XO + YY * YO + ZY * ZO: Z = XZ * XO + YZ * YO + ZZ * ZO
910 DD2 = ATN(Z / SQR(X * X + Y * Y)) * 180 / PI: AA2 = ATN(Y / X) * 180 / PI
920 IF AA2 > 0 GOTO 950
925 IF X < 0 GOTO 940
930 AA2 = AA2 + 360
935 GOTO 990
940 AA2 = AA2 + 180
945 GOTO 990
950 IF X > 0 GOTO 990
955 AA2 = AA2 + 180
960 GOTO 990
990 RETURN

```

付 録

付録. 2 J A P O A の成果リスト (1981年から1993年まで)

(a) 内地留学者

- 1981年・新潟市教育委員会公費による内地留学(東京天文台測光部)
光電測光による変光星の観測と整約について 阿部正
- 1985年・日本天文学会内地留学(東京天文台、福島大学)
おうし座HU星の光電測光観測 伊藤芳春
- ・日本天文学会内地留学(東京天文台)
光子計数型測光器用電子回路の改良 大島修
- 1988年・日本天文学会内地留学(東京天文台)
光電測光用望遠鏡の制御システムについて 間瀬康文
- 1992年・日本天文学会内地留学(群馬大学)
食変光星の赤・赤外領域における測光観測 荒井菊一

(b) 文部省科学研究費補助金(奨励研究(B))を受けた研究

- 1982年・食変光星ぎょしゃ座 ϵ 星の光電測光について 阿部正
- 1985年・ぎょしゃ座 ϵ 星の食外における変光について 大森茂雄
- 1986年・食変光星ぎょしゃ座 ϵ 星の食外光電測光について 阿部正
- ・おうし座HU星の光電測光観測 伊藤芳春
- 1987年・教材用光電測光装置の開発 大島修
- ・IU Aurの光電測光学的研究 大森茂雄
- 1988年・おうし座HU星の光度曲線解析 伊藤芳春
- 1989年・食変光星の観測的研究 大島修
- 1991年・ガリレオ衛星相互食の光電測光観測 伊藤芳春
- ・食変光星の観測的研究 荒井菊一
- 1993年・食変光星の観測的研究 荒井菊一

(c) 外部団体からの受賞者

- 1986年・第一回スカイウォッチャー賞入賞
マイコンによる光度曲線からの食連星の解析 中村毅、阿部正
- ・下保奨励賞
JJY同期信号発生器について 大島修、間瀬康文
- 1987年・下保奨励賞
小惑星の形について 大森茂雄

(d) 国際会議出席者

- 1985年・第19回IAU総会(インド・ニューデリー) 阿部正、大森茂雄
- 1990年・Pacific Rim Colloquium(韓国・ソウル・テジョン) 大島修
- 1992年・IAU Colloquium NO.136(Stellar Photometry-Current
Techniques and Future Developments)(アイルランド・ダブリン)
荒井菊一、伊藤芳春、大森茂雄

(e) 海外に発表した論文

- 1972年 PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF THE ECLIPSING VARIABLE
Z VULPECULAE, Ogata, H., and Outi, t., Inf. Bull. Var. Stars, No. 676

J A P O A の成果リスト

- 1973年 PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF β ARIETIS,
Ogata, H., Inf. Bull. Var. Stars, No. 784
- 1977年 PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF UW UNA,
Ogata, H., and Fukusaku, c., Inf. Bull. Var. Stars, No. 1235
- 1981年 PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF δ CAPRICORNI,
Ohmori, S., Inf. Bull. Var. Stars, No. 2011
- 1982年 PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF VW CEPHEI,
Abe, T., Inf. Bull. Var. Stars, No. 2108
- 1983年 PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF ϵ AURIGAE DURING THE INGRESS,
Ohmori, S., Abe, T., Ohki, T., Yoshinari, H., Inf. Bull. Vr. Stars, No. 2371
- 1987年 UBV OBSERVATIONS OF NOVA ANDROMEDAE 1986,
Ohmori, S., Kaga, T., Inf. Bull. Var. Stars, No. 2988
- 1988年 UBV OBSERVATIONS OF NOVA VULPECULAE 1987,
Ohshima, O., Inf. Bull. Var. Stars, No. 3135
BV OBSERVATIONS OF HU TAURI,
Ito, Y., Inf. Bull. Var. Stars, No. 3212
- 1989年 PHOTOELECTRIC DETECTION OF ECLIPSE IN THE SPECTROSCOPIC BINARY
HD116093
Ohshima, O., and Ito, Y., Inf. Bull. Var. Stars, No. 3332
BV OBSERVATIONS OF IU AURIGA,
Ohmori, S., 1989, Inf. Bull. Var. Stars, No. 3333
PHOTOELECTRIC PHOTOMETRY OF THE RS CVn BINARY EI ERIDANI=ED26337,
Hotten, et al. (including Ohsima, O., and Ito, Y.), Ap. Space Science,
Vol. 155, p. 45
- 1990年 AMATEUR PHOTOMETRISTS IN JAPAN,
Ohsima, O., I. A. P. P. Com, No. 42, p. 75
FLARE ACTIVITY IN AM CANUM VENATICORUM,
Tanabe, O., Ohshima, O., KOSAKA, K., Ap. Space Science Vol. 174, p. 155
- 1991年 PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF VW CEPHEI IN R AND IR
Arai, K., Inf. Bull. Var. Stars, No. 3575
FURTHER UBV OBSERVATION OF IU AURIGAE,
Ohmori, S., 1991, Inf. Bull. Var. Stars, No. 3674
PHOTOELECTRIC PHOTOMETRY OF NOVA Her 1991,
Ohsima, O., 1991, I. A. U Cir, No. 5235
WORLD WIDE PHOTOMETRY OF THE JANUARY 1989 τ PERSEI ECLIPSE,
Hall, D. et al. (including Ohsima, O.), Astron. J., Vol. 101, No. 5, p. 1821
FLARE ACTIVITY IN AM CVn,
Tanabe, K. and Ohsima, O., 1991, Pacific Rim Coll. on New Frontiers
in Binary Star Research, Korea, in press.
- 1992年 PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF VV ORIONIS IN R AND I,
Arai, K., IAU Coll. No. 136(Stellar Photometry-Current Techniques
and Future Developments), Dublin, in press.
PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF IU AURIGAE,
Ohmori, S., IAU Coll. No. 136(Stellar Photometry-Current Techniques

付 録

and Future Developments), Dublin, in press.

(f) 国内に発表した報告

- 1979年 ・ケフェウス座VV星の変光について
神奈川県立教育センター研究紀要1 大森茂雄
- 1980年 ・光電管による天体測光について
新潟市立沼垂高等学校研究紀要 第1号 阿部正
- 1982年 ・マイコンを使った変光星の整約について
-PC8801を使ったVWCep の場合について-
新潟県高等学校教育研究会理科部会理科研究集録 第22号
中村毅・阿部正
- 1983年 ・食変光星、御者座イプシロン星 (ϵ Aur) の光電観測 (中間報告)
新潟市立沼垂高等学校研究紀要 第4号 中村毅・阿部正
・PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF VW CEPHEI
新潟市立沼垂高等学校研究紀要 第4号 阿部正
- 1984年 ・ぎょしゃ座 ϵ 星の1982-84年の食による光電測光
川崎市青少年科学館年報 大森茂雄
- 1985年 ・マイコンによる光度曲線からの食連星の解析
新潟市立沼垂高等学校研究紀要 第6号 中村毅・阿部正
・マイコンによる食連星の解析
新潟県高等学校教育研究会理科部理科研究収録 第24号
中村毅・阿部正
・光電測光装置の製作
星の手帳 春号 伊藤芳春
・ぎょしゃ座イプシロン星の観測
宮城県高等学校理科研究会地学部会誌 第22号 伊藤芳春
・ぎょしゃ座 ϵ 星の光電測光による共同観測 (1982-1985)
川崎市青少年科学館年報 大森茂雄
- 1986年 ・光電測光システムの製作と試験観測
三沢邦彦香川大学教授退官記念集 大島修
・木星のガリレオ衛星相互食の観測
宮城県高等学校理科研究会誌 10号 伊藤芳春
- 1987年 ・JJY同期信号発生器について
天文ガイド 2月号 大島修・間瀬康文
・小型望遠鏡フォトンカウンターの開発
天文学に関する技術シンポジウム 大島修・間瀬康文
・食変光星おうし座HU星の光電観測
天文月報 9月号 伊藤芳春
・小型望遠鏡用光電測光装置の開発
第1回天文教育研究会集録 大島修・間瀬康文
・食変光星、御者座 ϵ 星の光電観測とその解釈
-第19回 IAU (国際天文連合) の総会に参加して-
新潟市立沼垂高等学校研究紀要 第8号 阿部正
・アマチュアによる光電観測①~⑮
スカイウォッチャー 1987年1月号~1988年5月号 J A P O A

J A P O A の成果リスト

- 1988年
- ・測光データから新星の距離を決定する
－こぎつね座新星1987の場合－
第2回天文教育研究会集録 大島修
昭和60年度日本天文学会内地留学奨学金研究報告
 - ・光子係数型測光器用電子回路の改良
天文月報 6月号 大島修
 - ・学校望遠鏡による光電観測
第59回日本理科学協会全国理科教育大会収録 伊藤芳春
 - ・天体の光電観測と綜合理科教育
日本理科教育学会 理科の教育 第10号 伊藤芳春
- 1989年
- ・おうし座H U星の光電測光
天文ガイド 3月号 伊藤芳春
 - ・HD 116093の食の検出
第3回天文教育研究会集録 大島修・伊藤芳春
 - ・理想的公共天文台の条件
第3回天文教育研究会集録 田辺健茲・大島修
- 1990年
- ・Be星 γ Casの共同観測II. 光学・紫外観測
日本天文学会春季年会 小暮智一・大島修・伊藤芳春
 - ・ぎょしゃ座IU星の光電測光
川崎市青少年科学館紀要1号 大森茂雄
 - ・AM CVnのフレア様活動について
日本天文学会春季年会 1990年 田辺健茲・大島修
 - ・光電観測のススメ
天文ガイド 2月号 伊藤芳春
 - ・分光連星 γ Perの食の測光的検出
日本天文学会秋季年会 大島修・所健・荒井菊一
 - ・教員による研究活動について
第4回天文教育研究会集録 大島修
 - ・星の明るさ－電卓を活用する－
第4回天文教育研究会集録 大島修
- 1991年
- ・91センチ光電測光装置システムの改良について
OAOの機器開発と運用計画研究会収録 田辺健茲・大島修
 - ・星の色に関する2、3の演示実験
第5回天文教育研究会集録 大島修
 - ・ペルセウス座ガンマ星はじつは食連星だった
スカイウォッチャー 8月号 大島修
 - ・光電測光の変換係数の年変化と再メッキによる変化について
川崎市青少年科学館紀要2号 大森茂雄
- 1992年
- ・ガリレオ衛星相互現象の観測
宮城県高等学校理科研究会地学部会誌 第29号 伊藤芳春
- (g) 研究発表・講演
- 1980年
- ・ケフェウス座VV星の変光について
第13回日本アマチュア天文研究発表大会 大森茂雄

付 録

- 1983年 ・光電測光について
新潟県高等学校教育研究会理科部会地学研究会 阿部正
- 1984年 ・ハレー彗星におけるBD+10° 1142のオッカレインソンの光電測光観測
第14回彗星会議集録 大島修他
- 1985年 ・食連星の解析について
新潟県高等学校教育研究会理科部会物理研究会 中村毅
・光子係数型光電測光装置の開発
第18回日本アマチュア天文研究発表大会 大島修
- 1986年 ・光電測光で何がわかるか
新潟県高等学校教育研究会理科部会理科 I 教育研究会 阿部正
・J J Y 同期信号発生器
第19回日本アマチュア天文研究発表大会 大島修
- 1987年 ・小惑星の形について（下保奨励賞授賞）
第20回日本アマチュア天文研究発表大会 大森茂雄
- 1989年 ・光電測光と国際共同観測
第22回日本アマチュア天文研究発表大会 大島修
- 1991年 ・フリクシヨンドライブ式赤道儀の製作
第24回日本アマチュア天文研究発表大会 大島修・藤井貢・法月惣次郎
・変光星とその観測について
-光電測光器を用いた変光星の観測について-
上越天文教育研究会 阿部正
・J A P O A の研究活動とIU Aurの光電観測 大森茂雄
恒星・連星研究会

用語索引

【ア】

アルゴル型	107
色指数	19, 23, 96
隠ぺい率	114
エンジンバラ天文台	167
えんぺい (掩蔽: オカル)	24, 116
おおぐま座W星型	107
オームの法則	56
オペアンプ (演算増幅器)	56
A/Dコンバーター	32
IAPPP	12, 98
IBVS	9, 98
NDフィルター法	73
O-C	122, 132
R647-04 (光電子増倍管)	54
SSP-3	44, 79
SSP-5	46, 80
ST-6	34, 80
IP21	18, 51

【カ】

皆既食	107, 114
カウンター	61
拡張バス	68
カセグレン式	49
学校天文台	30
眼視等級	19
観測システム	48
環太平洋会議	164
帰還 (フィードバック) 抵抗	56
軌道傾斜角	110
教員養成系大学	145
協同観測	98
近接効果の除去	113
屈折系	49
ゲイン	58, 61
限界等級	22
減光係数	24, 85
高圧電源	51
光学系	51
光子計数法	61

光子計数法式測光器	38
光子計数法の較正	72
広視野鏡	41, 50
恒星の色	23
光束	22, 51
高速測光	71
光電子増倍管 (フォトルチフライヤー)	17, 21, 54
光電測光装置	48, 153
光電流	18, 22
光度曲線合成法	122, 127
光度曲線の規格化	112
光比	15
光量比	112, 117
国際協同観測	98, 155
こと座β星型	107

【サ】

紫外線透過率	49
磁気シールド	22
視線速度曲線	134
実視光度計	16
質量関数	134
質量比	128
写真測光法	16
写真等級	19
周縁 (周辺) 減光	110
重力減光	129
主極小 (第一極小)	108, 123, 136
受光部	29, 39, 50
主星	107, 135
主星の半径	109
シュミット・カセグレン	33
照度	22
ジョンソン・システム	19
シリアル通信	67
スペクトル型	20
石英レンズ	50
赤道儀	49
接触型	108
セレンウム・セル	17
測光精度	55, 61
CCD	34, 38, 79
GP-IB	67
JAPOA通信	11

索引

【夕】		プリンター・ポート	69
ダイアフラム	50	分圧抵抗	55
ダイアフラム確認鏡	50	分光観測	134
大気の汚染	24	分離型	108
楕円効果	108	偏平率	110
ダブル望遠鏡測光システム	28	ペンレコーダー	67
ダンシンク天文台	168	V F変換	60
直流増幅(器)	31, 56, 72	【マ〜】	
通過	116	文部省科学研究費補助金	189
低速測光	71	有効温度	20
データ取得	54, 58, 67	ラグランジュ点	109
データセンター	12	離心率	111
特性関数	114	量子効率	62
		理論等級	132
【ナ】		連星系の明るさ	114
内地留学	189	ロッシュ・ポテンシャル	127
日本アマチュア光電観測者協会	10, 157	ロッシュ・ローブ	108
		U等級	19
【ノ〜】			
波形整形回路	64		
パネル	127		
半径の比	109		
反射効果	110, 112		
反射率	128		
伴星	107, 122		
伴星の半径	109		
半分離型	108		
標準星	23, 96, 175		
標準UBVシステム	19		
表面輝度	128		
表面光度の比	109		
表面重力	129		
ファブリーレンズ	50		
フィルター	19, 50		
フォトダイオード	44, 79		
フォトン・カウンター	33		
不感時間係数	72		
不完全フーリエ変換法	112		
副極小(第二極小)	107		
物理的変光星	23		
部分掩蔽	133		
部分食	107, 114		
フリクションドライブ	193		

— 星名索引 —

I U Aur	95
ϵ Aur	100, 160
R Z Cas	133
γ Cas	102
δ Cap	93
U Cep	134
VW Cep	47
I O Com	103
UW CMa	156
CU Eri	101
E I Eri	101
u Her	117
γ Per	104
τ Per	102
E S Tau	126
HU Tau	32

J A P O A 1 0 周年記念出版

天体光電観測ガイドブック

【非売品】

1 9 9 3 年 3 月 1 5 日 発行

監 修 北 村 正 利

編 集 J A P O A

創立 1 0 周年記念出版編集委員会

発行者 日本アマチュア光電観測者協会 (J A P O A)

〒 2 1 4 川崎市多摩区柁形 7 - 1 - 2

川崎市青少年科学館 気付 J A P O A 事務局

電話 0 4 4 - 9 2 2 - 4 7 3 1

印刷所 日本プリントセンター

〒 1 1 3 文京区弥生 1 - 1 - 1

東京大学農学部内

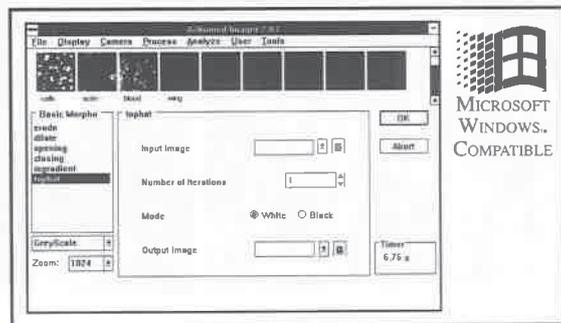
電 話 0 3 - 3 8 1 4 - 9 9 4 7

Astromed 冷却CCDカメラ 4200シリーズ



限界感度 10^{-11} ルクス
ダイナミックレンジ
100,000以上

アストロメッド冷却CCDカメラは、
英国ケンブリッジ大学の天文学者によって
開発された超高感度カメラで、
世界中の天文台に設置されています。



- 読み出しノイズ $4\sim 6^{\circ}$ rms/pixel
- 液体窒素冷却/電子冷却
- 16ビットADC (65,536グレイレベル)
- 最大400万画素 (2,048×2,048)
- MS-WINDOWSソフトウェア IMAGER2
- ゲイン設定、ビギニング設定、サブアレイ設定
- UVコーティング ASTROCHROME90 オプション
- MPP、THINNED CCD オプション

新製品 アストロメッド 4100シリーズ

リアルタイム ←————→ スロースキャン

8MHz · 6MHz · 4MHz · 2MHz · 1MHz · 500KHz

- 500KHz~8MHz マルチピクセルレート
- 最大400万画素 (2,048×2,048)
- 低ノイズ (9° :500KHz)
- 12ビットADC (4,096グレイレベル)

<製造元>
英国アストロメッド社

Astromed

<日本輸入元>
日鉦計測システム株式会社
OPTONICO

<販売代理店>

株式会社
LOG エルオージー

〒105 東京都港区虎ノ門4-2-5
TEL(03)3432-1470 FAX3434-3053

ショールーム

〒108 東京都港区三田1-2-17 MSビル1F
日鉦計測システム内

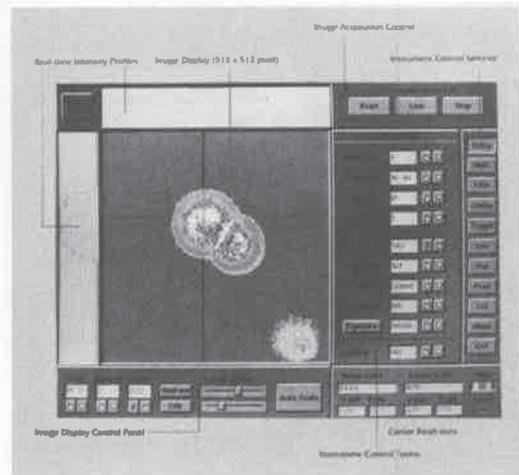
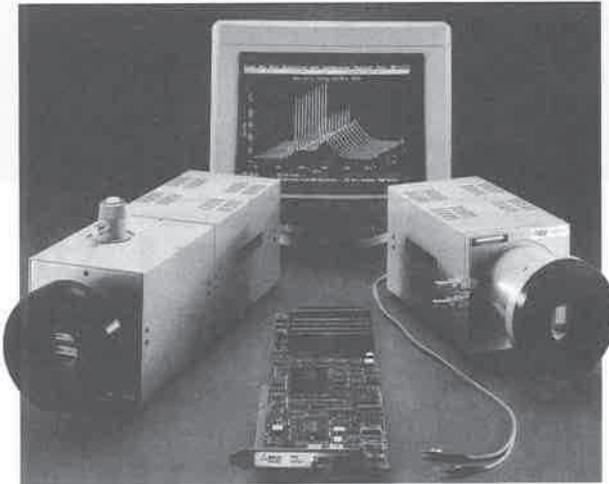
SEIKO EG&G

EG&G PARC

EG&G PARCより次世代CCDを!

HiDRIS™ ハイダイナミックレンジ・イメージングシステム

天体観測に最適

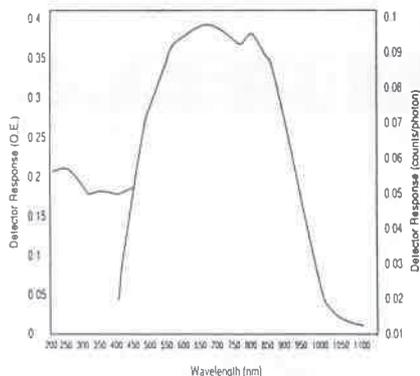


- CCD-1 電子冷却タイプ、400 ~1100nm
- CCD-2 電子冷却タイプ、180 ~1100nm
- CCD-3 LN₂ 冷却タイプ、400 ~1100nm
- CCD-4 LN₂ 冷却タイプ、180 ~1100nm

＜主な特徴＞

- ・超低雑音 (4 エレクトロン)
 - ・超高感度 (4 エレクトロン/カウント)
 - ・高ダイナミックレンジ (17 ビット)
 - ・200 ~1100nmの波長範囲が測定可能
 - ・冷却方式の選択が可能 (電子冷却/液体窒素冷却)
 - ・取付、取外し自在なインテグファイア オプション を用意
 - ・分光測定用ソフトウェア(OMA4000) が使用可能
 - ・コンピュータ 486/50MHZ付属
 - ・SUN コンピュータとの接続可能
 - ・高品質シリコンチップ 使用 (素子欠陥なし)
 - ・ファイルフォーマットの選択が可能
- HiDRIS 32ビット
TCL 8/16ビット
TIFF 8ビット

Quantum Efficiency:



●ご注文、お問い合わせはフリーダイヤルで ☎0120-478004

SII ●

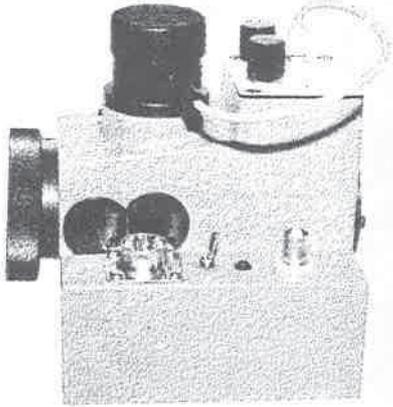
セイコー・イージーアンドジー株式会社

本社 〒136 東京都江東区亀戸6-31-1 ☎(03)3638-1506(代表) FAX(03)3684-2721
営業所 大阪(06)395-7738 名古屋(052)731-2535 水戸(0292)27-4474
筑波(0298)24-2271 札幌(011)232-7791

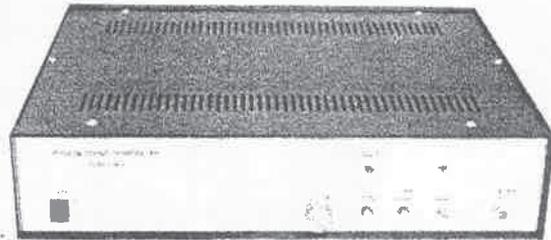
天体用光電測光システム

PCPA

PHOTON COUNTING PHOTOMETER FOR ASTRONOMY



天体用光電測光システム PCPA は、最新のハイテク技術の駆使により完成した、お求めやすい価格の光子計数式光電測光システムです。望遠鏡、パソコンとのシステムアップで、天体の精密測光が、どなたにも簡単に出来るようになりました。



この天体用光電測光システムは、各大学をはじめ、公共研究機関、JAPOA(日本光電観測者協会)のメンバーなどに採用されております。

資料請求：



株式会社 エイ・イー・エス

Advanced Engineering Services Co., Ltd.

筑波事業所 〒305 茨城県つくば市春日1丁目3番1号
電話 0298-55-2001(代) FAX 0298-55-9815

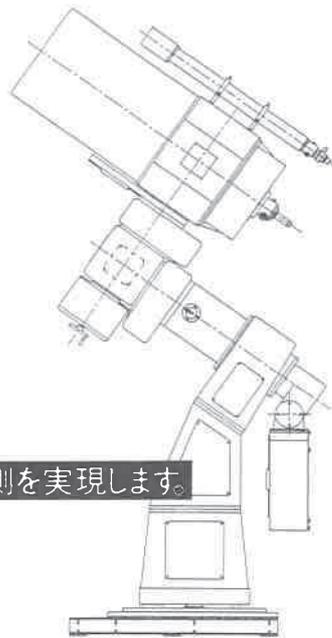
プロを知るGOTOから天文研究ツール、

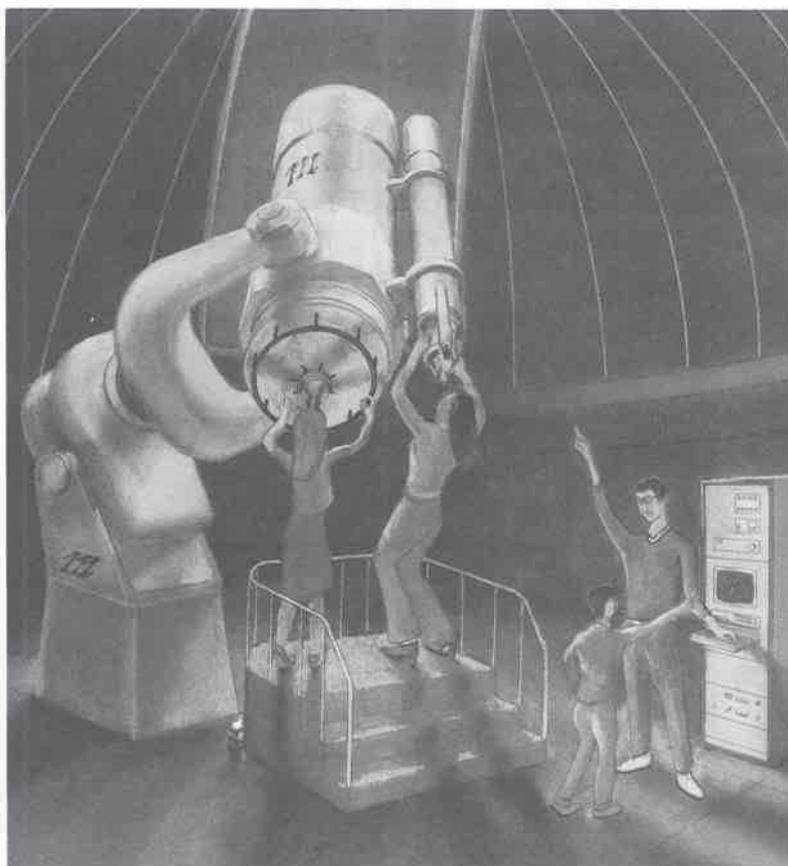
45cmカセグレン赤道儀。

ハイレベルのアクセサリを標準装備し、高度な観測を実現します。



株式会社 五藤光学研究所
〒183 東京都府中市矢野町4-16 ☎0423(62)5311(代)





ミタカの 新大型反射望遠鏡

口径1mクラスまで
製作しています。

光電測光には高精度な
ミタカの赤道儀を!

GN-170型



三鷹光器株式会社
東京都三鷹市大沢5丁目1番4号
電話 0422-32-1491 (代)