

種ヶ島日食（1958年）

秦 茂

4年前、1982年の春に宇宙開発事業団の種ヶ島宇宙センターを見学する機会があった。新しく整備されたロケット発射台にも興味があったし、何しろ1958年の種ヶ島日食以来24年振りに観測地、門倉岬に立つことができる。

一行は田中春夫先生（初代・野辺山宇宙電波観測所長）、神沢さん（現・宇宙電波観測所員）と私の3名である。鹿児島港から船で種ヶ島の船つき場“西の表”に着いた時に、ふと24年前に宿泊していた旅館“南荘”を思い出した。当時の宿のおかみさんは、もう居られないとしても、当時の家つき娘だった麗子さんとは若しかしたら連絡がつくかも知れないと思って島の北の端から、南端の南種子町のその旅館に電話をして見た。「24年前の日食のときお世話になった…」

旅館の人達が皆、その24年前の事件をはっきりと覚えていて下さったのに、かえってこちらがびっくりした位であった。

レンタカーで島を縦断して道が良くなったことに驚かされた。24年前東京天文台前の大沢付近は日本一の悪路だといわれたこともあったが、種ヶ島はもっとひどかった。タクシーのドアが道がガタガタのために、歪んでしまって、忽ちドアが閉らなくなってしまう位だった。

南荘に落付くと、昔の宿のおかみさんにそっくりの麗さんが現れた。「お嫁に行ったのではないの……」「私の結婚が決まりそうになると母がきまって泣き出すもので……」つつい結婚せずに一人で南荘の世話をしているとのことであった。

とにかく、門倉岬の観測地に行ってみた。当時人の背丈ほどある雑草を刈取って作った観測小舎の付近には小さな花壇が作られていて季節の花が美しかった。大きな鳥居をくぐると見える鉄砲伝来紀功碑も昔のままだったし、宿の車で案内していただいた浸蝕海岸のながめも、24年前と何一つ変わっていない。

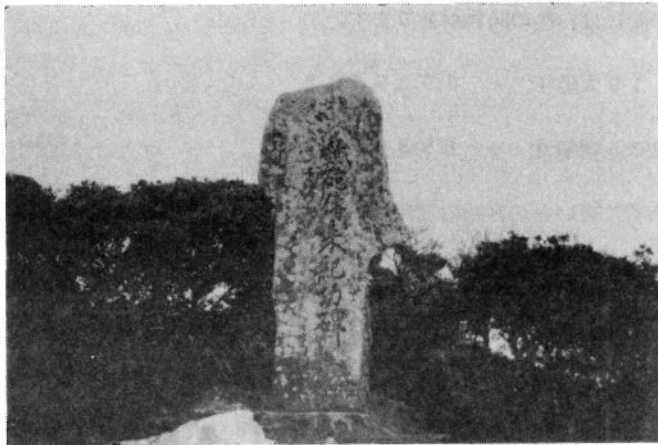


写真1. 鉄砲伝来紀功碑

その日の夕食も、次の夕食も豪華なものだった。全くの御馳走づくめで若い神沢さんは翌日にはダウンしてしまった。ついでに言うておくと種ヶ島の海老は、シドニーのそれよりずっと、おいしい。食事の世話をして下さった麗子さんは途中で、次の間から何冊もアルバムを持って来る。皆様には信じられないことかも知れないが、24年前のアルバムで見る私は本当に痩せていて、こんなにお腹が出て来たなど考えられないと宿の人達に笑われてしまった。

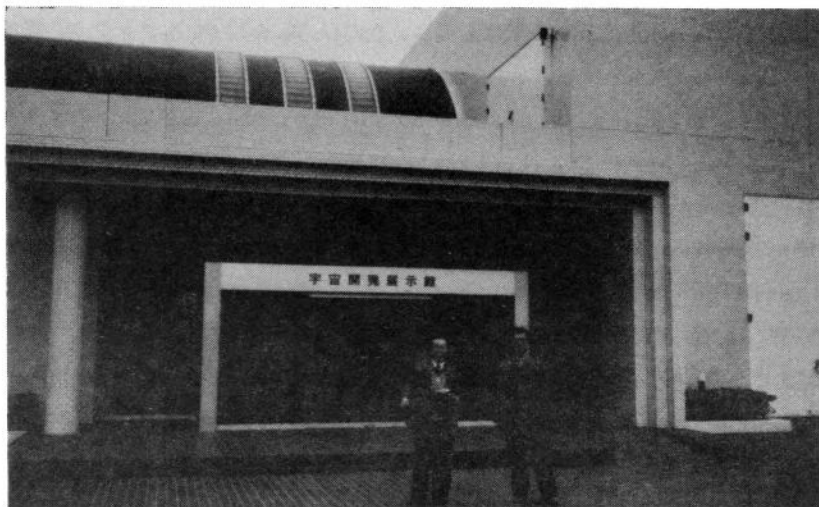


写真2. 宇宙開発展示館

二日後宇宙センターの副所長さんの案内で発射台の最上階まで見せていただいたし、電波や光学によるロケット追跡装置も興味深かった。この宇宙開発展示館もよく整備されていて見ごたえがあった。

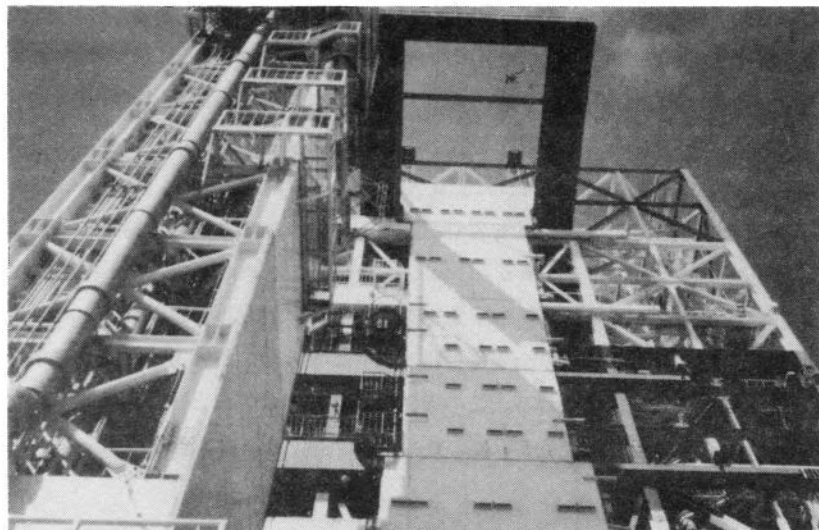


写真3. 種ヶ島宇宙センターのロケット発射台

特にこの付近の海の色の美しさは、一寸内地では考えられない程で、是非一度種ヶ島まで足を伸ばしていたゞきたいと思う。鹿児島空港から昔はアパッチと呼ばれていた小型機で、中種子町まで飛ぶことができる。

金環食による天体物理観測

私にとって三回目の、この日食は金環食であって太陽大気-コロナの観測はできない。それにも拘らずこの観測を齊藤先生と一緒に手掛けたのは、次のC.W.Allen (アレン)の提案によるものなのである。(G.P.Kuiper : "The Sun" より)

Another Procedure that offers some advantages but has not yet been tried is to observe the total radiation from the sun (say photoelectrically) during the annular phase of an annular eclipse. The area of the sun exposed is then precisely constant, and all regular variations could be associated with the limb-darkening.

皆既日食の場合とは違って、今まで金環食は天体物理観測の対象とはなっていなかった。僅かに太陽電波観測で、電波源の検出に使われる以外は、位置天文学の研究対象だった。

所で金環食の全光量の光電測光から得られる物理量は、太陽の周縁減光係数なのであるが、文中で周縁減光について、触れておく。

太陽面を撮影した天体写真を見ていたゞくと良く分るが、適正に露出して撮影された太陽像は太陽中央に比べて、必ず周縁部が暗く見えている。

これが周縁減光(リム・ダークニング)と呼ばれる現象で、太陽面の周縁部では、太陽大気の浅い層を見通していることになる。太陽大気では深い層程、高温なので、極端な周縁部は暗く、要するに低温だということになる。従って周縁減光の観測は、直接太陽大気の温度構造の解明に役立つ。

この効果を測定するためには、光電記録装置を備えた分光器のスリット上で太陽像を移動させる方法が従来試みられて来た。例えば三鷹の東京天文台で、以前使われていた塔望遠鏡(アインシュタイン・タワー)などを使って太陽面を大きく投影して、半径方向に輝度を測定すれば良い。

1920年から1950年位にかけて、C.G.Abbot(アボット)、N.Minnaert(ミンネルト)等による上記の方法による観測が有名であるが、この方法では太陽半径を1.0としてその周縁部0.96以上の測定は太陽のシンチレーションと散乱光のために精密な値が得られなかった。

そのため、皆既日食を使って極周縁部の減光を測定する試みが行われる様になった。皆既食の直前と直後に生じる三ヶ月形の太陽の全光量を時刻と共に測光しておいて、測光量を半径方向に微分すると、周縁減光係数が求められる。この方法はユリウスの方法と呼ばれていて、W.H.Julius(ユリウス)、A.F.Wesselink(ウエッセリンク)、大沢教授によって、試みられている。

日食によらない、前述の塔望遠鏡の方法と比べてみると、皆既日食による方法は、散乱光をさけることが出来る点で優れているが、三ヶ月形に混入する月縁の凹凸と、不規則な太陽面現象の影響を取り切れないことの他に、もう一つ測光技術上の問題点がある。

それは第2、第3接触の直前、直後の光量の変化は極めて急激で、光電測光器のタイム・コンスタントがついて行けなくなる心配があることである。その点、金環食を利用して周縁減光を求める方法では、第2、第3接触の間では、輝いている面の面積は、太陽面の面積と月面の面積との差だから、日食の経過中一定であり、仮に周縁減光という現象がないとすると、光量が一定ということになる。

そして日食曲線上に生じる僅かな変化量は（食甚で最低になる）すべて周縁減光に起因しているし、また太陽面上の不規則現象はこの方法によると平均化されるという利点もある。

〔註〕

整約された第4図の横軸の座標を理解していただくために、多少くどいかもしれないが観測する太陽面上の場所について定義しておく。太陽半径を1.0（単位）とすると、太陽面上の場所は中心からの距離 ρ （0.0 - 1.0）であらわされる。 $\rho = \sin\theta$ が第4図の下欄に、また上欄には、 $\cos\theta = \sqrt{1 - \rho^2}$ が示されている。 ρ と $\cos\theta$ の関係は下に示す通りである。

	太陽の中央部									周縁
$\rho = \sin\theta$	0.0	0.600	0.800	0.866	0.916	0.954	0.980	0.995	1.0	1.0
$\cos\theta$	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0

日食の概況と観測準備

この日食はインド洋上に始まり、東シナ海上で南中、北太平洋上に終る継続時間から言えば最大級の日食であった。その最大継続時間は7分7秒。

日食の影は東シナ海を出て間もなく、トカラ群島、屋久島、種ヶ島を通過して本州の東海上を抜け、八丈島を通る。東京天文台からは今回の日食のために二班が編成され、一班は八丈島に、私達の班は種ヶ島に観測地を決定した。東京天文台としては、二班が同時に曇ってしまう危険をさける意味もあって、八丈島と南西諸島の遠距離に分散させたわけであるが、調査によると過去5年間の種ヶ島の天気状況は極めて悲観的なものであった。

昭和29年	30年	31年	32年
晴よる曇	曇一時雨	曇のち雨	曇俄か雨

また近隣の屋久島は、一年中雨が降りつづくことで有名であって、とても観測地としての価値はない。

この時期、南西諸島一帯はすでに梅雨の前駆期に入っていて、今回の日食前後の天候については誠に幸運という他はない。4月19日の日食当日は、全国的に快晴だったのである。

昭和33年の日食前の天候を観測ノートから書き抜いて見ると次の通りである。

昭和33年	4月16日	晴
	4月17日	快晴
	4月18日	晴一時曇
	4月19日	快晴

以上の通りで、本番前のテストにも事欠かなかった。

私達の班のメンバーは、恒星分光部から、斉藤国治先生、河野 毅、と私、天文時部から小林宏志の4名であって、斉藤が写真分光測光、私が光電測光、小林が接触時刻の観測、河野が直接写真の撮影を担当した。

以上の観測のために用意された資材は、現地では何一つ、調達が不可能という事情もあって、膨大なものとなった。

小林	斉藤	河野	秦
↓	↓	↓	↓

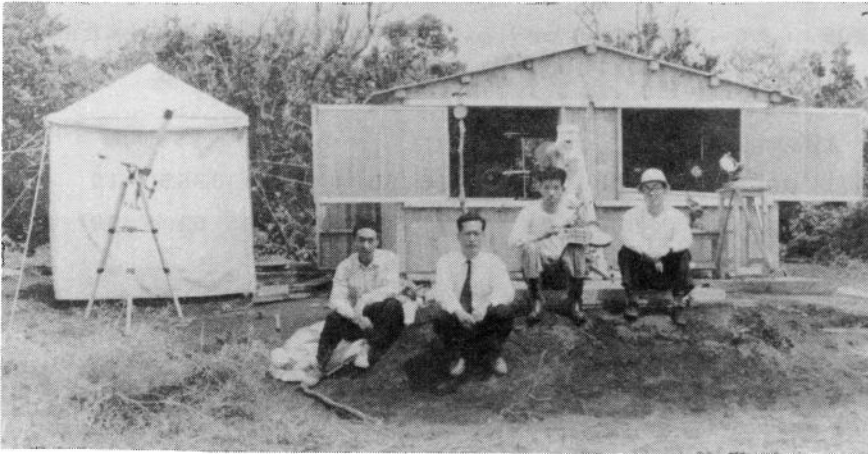


写真4. 観測メンバー、背後は観測小舎

観測のためのすべての梱包数は76、重量は1.8トンにもなる。携行した機械と物品は、東京天文台報第12巻第2冊に全部羅列してあるが、其の後の日食行で、このリストは相当に重要な参考となっていたので、（お読みの方はこの部分は読み捨てていただきたいが）もう一度、同台報から書き抜いておく。

【写真分光関係】

写真分光器、シーロスタットセット、組立暗室、時計装置、マイクロモータ、標準ランプ、ランプハウス、レオスタット、乾電池箱、マガジン5個、コントロールボックス、電圧電流計、スリット箱入り、取枠、巻き取り部分、レンズ台、フィルター一式

【光電測光関係】

ナルミ単色器(ペラン・プロカ型)、光電用光学系、真空管一式、小型シーロスタット、931-A(光電子増倍管)、増巾器、高圧電源箱、Sr-90装置、コンバーター、ER-122(記録計)、スタビライザー、記録用紙、マイクロアンメーター、ダイヤル抵抗、レンズ台、単色器台。

【受信、直接写真関係】

ケンプリッジ・クロノグラフ(マイクロモーター付)、全波受信機、クロノメーター、拡声器、パイプ・インバーター、現字紙、506リレー5個、アストロ望遠鏡、アサヒフレックス望遠鏡、配電盤、ウエスタンリレー、プザー、反射鏡、経緯儀、電鍵2個、記録用インク。

【電気関係】

ガソリンエンジン、同用配電盤、蓄電池8個、ガソリン、硫酸ビン、蒸溜水ビン、乾電池(BM45V、平角3号、単一)、テーブルタップ、マイクロスイッチ、押ボタン、ゴム足、ヒューズ、キャップタイヤコード、テスター、バッテリーテスター、ビニールテープ、6V直流用電気コテ、比重計、ビニールコード。

【写真関係】

ミニコピー、ネオパンSS、SSS、カラーフィルム、フジフィックス、スポンジ、マイクロファイブ、コレクトール、現像タンク、メスシリフダー、試験管、温度計、バット、ビーカー、刷毛、水差し、クリップ、ベルト35mm用、カメラ、同用三脚。

【その他】

自転車、テープコーダー、実験スタンド6台、竹尺(1m、30cm)、曲尺、折尺、ゴムホース、石油バーナー、トーチランプ、シンナー、エナメル、エーテル、アルコール、ベンジン、消火弾、箱万力、ドリル、グラインダー、平万力、トースカン、ドリル刃、ビス、ナット、ピンセット、ドライパー、ボックス・スパー、ヤスリ、シヤコ万力、モンキー、プライヤー、レベル、スパナ、タップダイス、同ハンドル、リーマー、ラジオペンチ、ニッパー、ケガキ針、タガネ、ヤットコ、焼ゴテ、電工ナイフ、金切りバサミ、ポンチ、油差し、ノギス、金刷毛、ゲージ、注射器、プーリー、サングラス、白墨、黒板、セメダイン、軍手、注油ポンプ、貯水カン、ランタン、ポロ布、雑布、カケヤ、パール、西洋釘抜き、巻尺、ハンマー、シート、紙ヤスリ、金床、糊、セロテープ、計算尺、鉛筆、三角定規、マジックインキ、カレンダー、星座早見、封筒、更紙、理科年表、大学ノート、ホチキス、対数表、分度器、方眼紙、計算用紙、便箋、ペン先、インキ、ペン軸、アルミ箔、墨汁、ストップウォッチ、ピーコック厚み計、懐中電灯、ビニールカバー、観測木台6個、折たたみイス、テント、丸イス、脚立、三脚、スコープ、ヤカン、錘、観測小舎(2間四方)、材料一式。

半年以上の準備段階を経て、これらの資材は、3月14日、東京天文台から、運送会社・天竜組の手によって荷出しされ、3月22日には鹿児島港から船積された。

私と天竜組、安土氏とは先発して、鹿児島港の船積みに立合った後、現地入りして種ヶ島南端の門倉岬の、背の丈ほどある雑草を刈り取って、観測小舎の設営に取掛った。

観測小舎は岬の一段小高くなった丘に立てられ、前方に蒼いトカラ海峡を見はるかす絶景の観測地であった。私達の観測地の左手には前述の鉄砲伝来紀功碑がそびえている。

日食4月19日を前にして4月1日には、小林・河野、4月5日には齊藤が各々現地入りして、観測機器の調整を行った。

なお、私達より北の、東種子町の小学校校庭には京都大学からの故藤波重次氏の観測隊が入っていた。京大のメンバーは、藤波・古川・古田らで、焦点距離8 mの水平カメラによる月縁のシルエット撮影を試みている。

東京天文台の八丈島班は放下保 茂氏・内田・真鍋・富田らにより、焦点距離8 mの水平カメラによる、金環食の撮影、接触時の映画撮影が計画された。

観測器械と日食当日の情況

【写真分光器】

分光器の構成は次の通りである。20mmのスリット、焦点距離91cm、口径10cmのコリメーター・レンズ、中央に60°プリズムがあり、プリズムの直後に焦点距離54cm、口径9.5cmのカメラ・レンズが置かれている。

更にスリットの直前には三枚のリレー・コンデンザーを置き、スリット上には、食の進行に関係なく、直径30mmの直径30mmの照度一様な円が結像している。

なおスリット直前には、東京光学製のステップウェッジを密接させ、現像ムラと露出時間の僅かな誤差を後で補正できるようにし、また標準ランプの比較スペクトルを各露出毎に同時にスリットを通して焼き込ませた。

光学系全体としては太陽光をシーロスタットによって、地面に平行にし、集光レンズとリレー・コンデンサー系によって、一様な光束を分光器に導き、太陽スペクトルを作って1駒毎に撮影する。

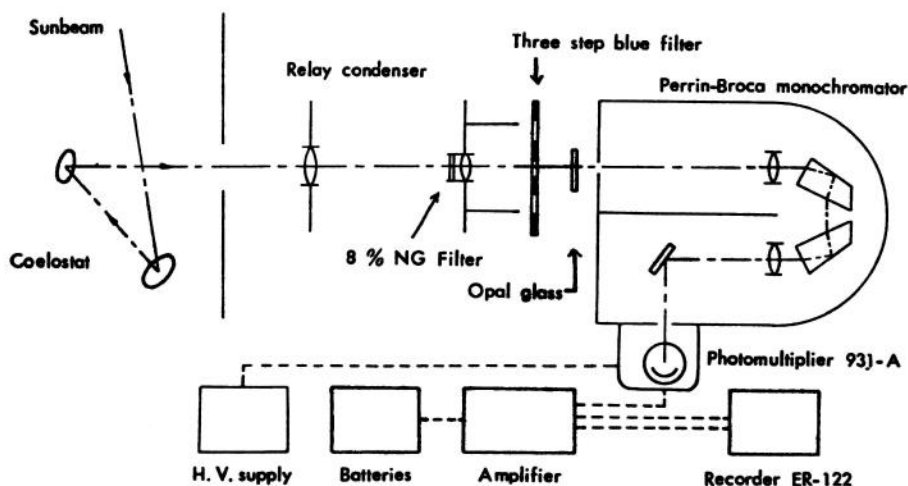
部分食の間は、15分毎に、金環食中は20秒毎に夫々10秒露出のスペクトル写真を撮影した。(波長範囲は3600Åから6600Åまで)。

【光電測光器】

光学系はシーロスタットによって、平行に導びかれた太陽光を集光レンズとリレー・コンデンサーによって、第1スリットに入射させるまでは写真分光と同様である。

其の後にコリメーター・レンズ(焦点距離30cm、口径4cm)、2個のペラン・プロカ型プリズム、カメラレンズと第2スリットによって構成される分光器に光を導き、第2スリット直後に光電子増倍管の931-Aを置いて単色測光を行った。

波長として選択したのは、4700Å±20Åであるが、これは主として931-Aの色感度



第1図 光電測光装置の配置図

が、4000 Åから5000 Åの間に極大を持っていることによる選択である。

測定は、写真測光の場合に合せて、部分食中は15分置きにスイッチを入れて記録をとり、金環食中は第2接触の3分前から第3接触の3分後まで、記録計（YEW製、ER-122）をフルに動かして連続記録を取った。

【接触時刻の観測】

太陽光は、写真分光器の副鏡からの一部を2枚の鏡を使って、セオドライトに導き、タッピング法によって第2、第3接触の時刻決定を行った。JJYの受信には、9球全波受信機（三田無線研究所製、デリカ）を使用した。

接触時刻はこの観測と、直接写真から、

第2接触

O (観測)	C (予報)	O - C
12 h 50 m 00 ^s .49	12 h 49 m 54 ^s .2	+ 6 ^s .29

第3接触

O (観測)	C (予報)	O - C
12 h 55 m 55 ^s	12 h 56 m 03 ^s .6	- 8 ^s .6

と求められている。

【直接写真】

日食曲線から、周縁減光を求める方法では太陽面輝度が、太陽面中心から半径のみの関数として表わされることを前提条件とする。従って太陽面上の、特に周縁部分の黒点、白斑点などの現象は直接にこの方法に対する誤差として入って来ることになる。

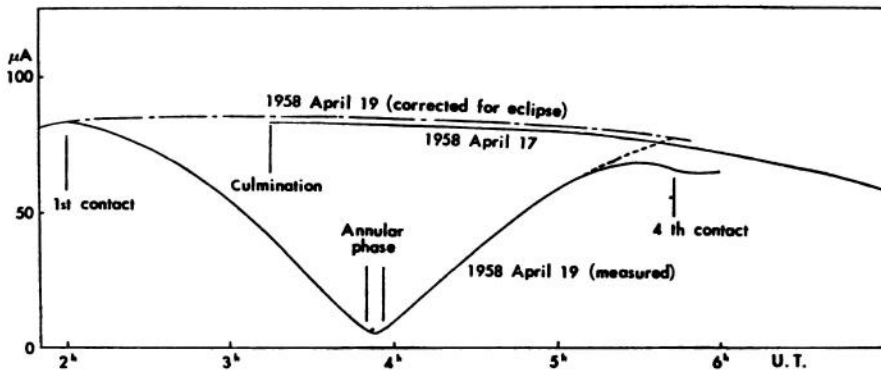
太陽面現象の毎日のデータは三鷹が晴天であれば、東京天文台の太陽物理部の記録に残され

ているから、これを使って日食曲線の補正が出来る。しかし念のため現地でも太陽面の記録写真を撮影した。

望遠カメラとして、アストロ光学製（焦点距離91cm、口径6cm）のS6型赤道儀の接触部にアサヒフレックスII型のボディを取付けて使用した。

対物レンズの直前にNGフィルター（日本光学製、黒み5.2）をつけて、フジ・ミニコピー-35で露出時間は1/50秒である。撮影は部分食中は15分間隔で行い、金環食中は30秒おきに行われた。これらの露出時刻は、前述の接触時刻のタッピングと同じクロノグラフに記録された。

さて、日食の前日は、不連続線通過のため正午前後に天候が悪化し、雨も伴っていたが、午後2時頃には回復して、そのまゝ翌日の日食当日まで、完全な晴天となった。光電測光の記録を見ると、第4接触でやゝデータが乱れているが、後でこの前後に日輪に曇りが、かかっていたと聞かされた。

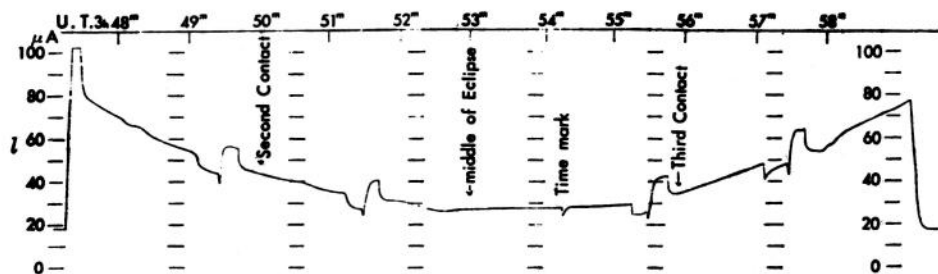


第2図 4月19日の太陽全光量の光電測光の記録
(4月19日の日食外の大気減光曲線も加えられている)

観測小舎は南側の太陽取り入れ口が僅かに開けられているだけの殆ど暗室の状態である。周囲の音は私から全く消えてしまって、南側の小窓から入って来る太陽光の変化と手許の時計だけが、唯一の頼りである。

第2接触3分前に8%の減光フィルターを外し、記録の途中で強度目盛のための青色フィルターの交互挿入と、タッピング（時刻目盛のため）を観測計画に従って機械的に繰返すだけである。無心のまゝの3時間40分が経過して行く。金環食中の日食曲線も、記録計ER-122のペンがスムーズに作動しているのを、横目でチラリとながめるだけである。

なお日食中の外気温は観測小舎の北側につりさげた寒暖計によって記録したが、気温は第1接触の20-30分後から降下を始め、金環食のための気温降下は約5度、気温の最低は食基によ



第3図 第2接触から第3接触の間の日食曲線
(ER-122のペンで書かれたまゝのデータ)

り15分おくれて起っている。

其の夜、奇蹟的な観測成功を南種子町の人達がお祝して下さった。海老其の他の海の幸、イモ焼酎、泡盛、心から皆楽しんで祝って下さった。夜も更けて、宿舎までの道端で、数回酔をさますためにヒックリ返った。

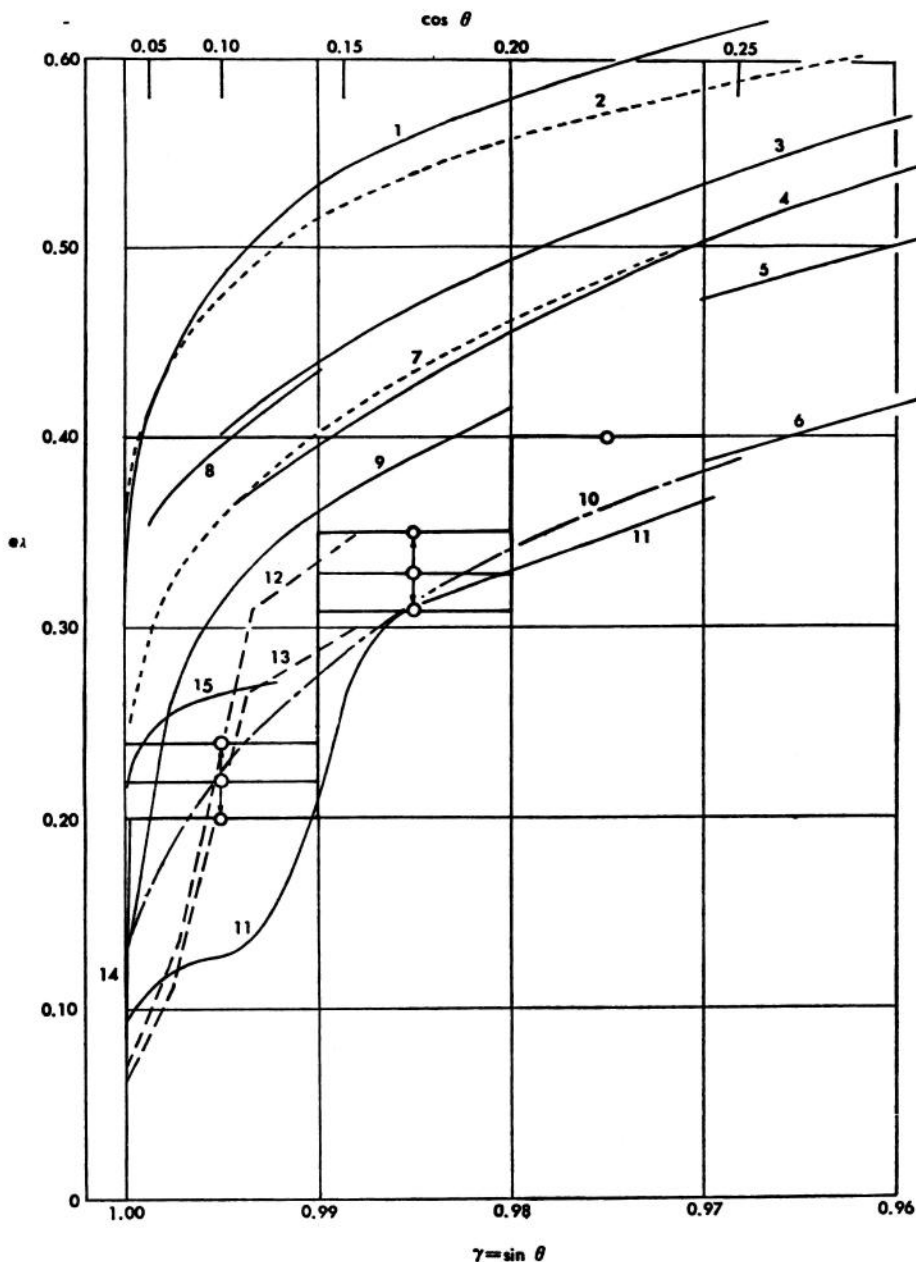
其の後の整約の結果を第4図に示す。図中には、現在までに行われた周縁減光の観測結果がまとめられている。今回の結果は-○-の記号で示す。波長4700Åに対する、これらの係数は、

$$r = 0.995 \quad \text{で} \quad 0.22 \pm 0.02$$

$$r = 0.985 \quad \text{で} \quad 0.33 \pm 0.02$$

$$r = 0.975 \quad \text{で} \quad 0.40$$

である。



第4図 現在までに観測された太陽周縁減光係数、今回の観測は—○—で示す。

1)	Ten Bruggencate et al	(λ 640 $m\mu$)	partial eclipse
2)	Dunn	(λ 656 $m\mu$)	without eclipse (coronagraph)
3)	Minnaert et al	(λ 624.5 $m\mu$)	"
4)	"	(λ 559.3 $m\mu$)	"
5)	Abbot	(λ 506.2 $m\mu$)	"
6)	"	(λ 428.5 $m\mu$)	"
7)	Rogerson	(λ 540 $m\mu$)	" (balloon)
8)	Richardson and Hulburt	(λ 550 $m\mu$)	total eclipse
9)	H. Neckel	(λ 467.4 $m\mu$)	partial eclipse
10)	Lamla	(λ 422.6 $m\mu$)	"
11)	Osawa	(λ 400 $m\mu$)	total eclipse
12)	Heyden et al	(λ 480 $m\mu$)	"
13)	"	(λ 440 $m\mu$)	"
14)	Kristenson	(λ 480 $m\mu$)	"
15)	Kopal	(λ 454 $m\mu$)	"
—○—	Present result	(λ 470 $m\mu$)	annular eclipse

1987年沖縄日食に向けて

来年の秋分の日、9月23日に沖縄本島を全部包み込む形の金環食が起きる。1958年の種ヶ島、八丈島の金環食以来29年振りである。

局地予報や現地の状況については、今後の日食情報に期待していただきたいが、ここでは沖縄日食での周縁減光の光電測光という立場からこの日食を考えてみよう。

第一にこの日食では食甚の時の食分が0.981となっている。種ヶ島の場合は太陽と月の直径比が0.94であったから、太陽半径0.98以上の周辺輝度を測光する上では相当の無理があったというべきで、沖縄本島の中心線付近に観測地を選定することで、極めて精度のよいデータが得られることが期待される。

第二に食甚の時刻が11時30分前後で太陽光度は60度に達しているから大気減光の補正が容易である。この点は種ヶ島日食でも12時50分から56分に金環食が起きているから、殆ど同じ条件である。

第三に太陽黒点の増減は11年周期としてよく知られているが、平均として約4年で極大期に、7年で極小期に移る。1979～1980年が黒点の極大期になっているので、極小期の1987年では太陽の活動が弱まっている。これに伴って太陽面上の不規則変化が少く、日食曲線への誤差の混入が少くなる。

第四に、エレクトロニクス、分光関係のこの30年の発展はすばらしいもので、以前と比べて更に簡単で精度のよい観測(全光量の観測)が可能である。光電子増倍管なども使わないで済むと思われるし、仮に観測地に電源がない場合でも、ホトセンサーからの出力をT.T.L(トランジショントランジションレベル)に変換して、小型のアキュムレーターにでも記憶させて置く、或いは小型のパーソナル・コンピューターに入力して置くなど、いくらでも夢がふくらむのである。