

三色像露光法による紫外超過天体の探査

野 口 猛*

1. 三色像露光法とは

三色像露光法などと聞いても大方の読者には耳馴れない言葉であろう。それもその筈、これは筆者らが 1977 年秋に東京天文台木曾観測所の 105 cm シュミット望遠鏡を用いて紫外超過天体（紫外域の輻射が同種のスペクトル型の天体と比較して強いもの）の探査を開始した折に命名した天体写真観測方法（和名で正式な呼び方が他にあるのかは詳しく調べていない）である。命名後暫くして紫外超過天体を実際に検出した時に文献漁りをして、トナンチントラ (Tonanzintla) 天文台のシュミット望遠鏡を用いてハローとルイテンが紫外超過天体の探査を行った論文を知るに及び、その中で “Three-Image” 法なる言葉が使ってあるのを発見した。しかし今もなお、和文で書く時は「三色像露光法」をしている。なお、この手法の開祖は 1955 年に同じくトナンチントラ天文台紫外超過銀河の検出に用いたハローとハービッジである。

それでは三色像露光法とはどんな観測方法であるのかを簡単に紹介しよう。読んで字の如く、1 枚の写真乾板上にフィルターにより色帯の異なる三点の像を望遠鏡などを動かして 20" 程度離して並べて撮る。この方法で撮影した写真を見ると天体の色温度により三色の各像の明るさが異なる。即ち、三色像の強度を視察することにより大まかな色温度分類が可能である。いわば超低分散の対物プリズムで撮影したスペクトル写真に類似している。この観測方法では簡単にフィルター交換ができると観測が難しい。その点木曾のシュミット望遠鏡はその鏡筒内に 3 枚のフィルターが内蔵されていて、ボタン 1 つで自動交換ができるので容易に観測できる。又この観測に用いる乾板の乳剤は被感波長域の長いものが望まし

い。外国などでよく用いられているものはコダック社製の分光用乾板 103a-D (又は IIa-D) で UBV の三色像観測であるが、木曾観測所における探査では 103a-E で UGR 三色像である。UBV と UGR の得失については第 3 節で論じることにする。超低分散の対物プリズムスペクトルと類似していると述べたが、色温度分類をする点が似ているのであって相違点はかなりある。簡単に比較すると、吸収線とか輝線を含めてスペクトルの質が良ければ色温度分類では対物プリズムが優り、限界等級の暗さでは三色像露光法が優っている。その上、三色の露出時間を持つ天体の検出に合わせることによりその特徴を際立せることもできるし、天体の形状（銀河などでは特に形状の情報も必要である）も見分けることができる。しかし、三色を同時に撮影するのでないから短周期に変光している天体についての色情報は保証されない。つまり、大まかな色温度分類を行い、暗い天体まで素早く検出することに向いている観測手段なのである。

2. 色指数の決定と紫外超過天体の検出

木曾の UGR 三色像の露出比は A0 型星を撮影した時に各像直径が同じになるように決めた。従って、スペクトル型が早期のものは U の像が明るく、晚期のものは R の像が明るい。試行錯誤を繰返しながら決めた現在の観測では 103a-E+ (45°C で 17 時間のフォーミングガス前加熱法を施した) 乾板で UGR の各露出は 40, 100, 20 分であり、限界等級は撮影時の天候条件（空の透明度とかシーアイングなど）により異なるが 17.5 から 18.5 等級程度である。

前置きが長くなつたが、「百聞は一見に如かず」の諺に従い三色像写真をご覧に入れよう。図 1 (表紙) は木曾標準天域 A: 0684 (木曾のシュミット望遠鏡で写真

表 1 検出された紫外超過天体の測光データ

KUV No.	V	B-V	U-B	C.I.	ID
04233+1502	14.30*	-0.20*	-0.73*	-2.0	(a)
04239+1406				-1.5	(b)
04211+1614	14.29	-0.02	-0.84	-2.5	(c) VR-7
04258+1652	14.02	-0.09	-0.97	-2.5	(d), VR-16

* 岡山天体物理観測所 91 cm 鏡での光電測光値

* 東京天文台 Takeshi Noguchi: Survey of the UV-Excess Objects with Three-Image Method

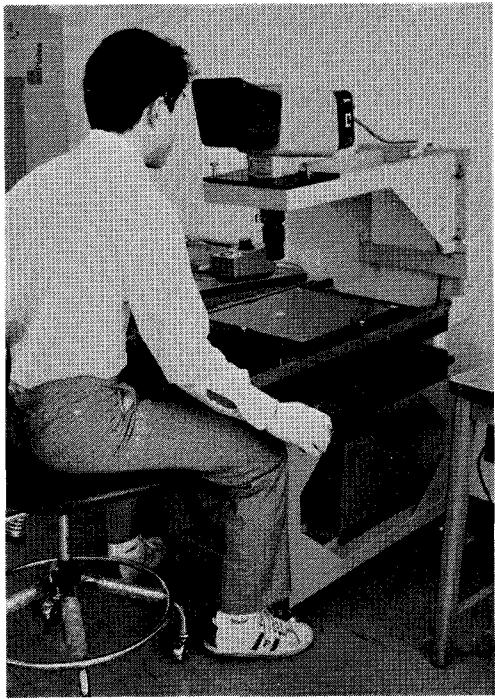


図2 ダイナスコープ式投影機

撮影を行う場合は天球を $5^\circ \times 5^\circ$ の升目に区画して撮影領域中心を決めている。これは他の色で撮影したものや、過去に撮影した乾板との比較を行う際に有効で、乾板の利用価値を高めている。A: 0684は散開星団ヒヤースの中心部を含む天域である)を撮影した乾板 KL-1330 中で検出したもの一部である。左から U, G, R の順に撮影してある。斜線で示した天体がお目当ての紫外超過天体であり、他の天体に比べてU像が非常に強いことが判る。(c) (d) は白色矮星であり VR-7, VR-16 の名前で呼ばれている。(a) (b) が木曾で検出したものであり、どのような天体なのかは未だ調べられていない。参考までに測光データを表1に示しておく。表中の KU V No. は名前の付いてない天体の命名法として考えたもので、前5つの数字は赤経を0.1分まで、符号以後は赤緯を $1'$ まで表現していて、分点は1950.0年である。C.I. はのちほど触れる色指数、つまり紫外超過度を表すものであり、紫外超過の大好きなものほど小さな数となる。

三色の像直径を目分量で測って紫外超過天体を検出するのであるが、探査開始当初における検出はルーペで眺めて多くの天体から選分けるという原始的方法を用いていた、まさに砂浜で宝探しを行う心境であった。今ではダイナスコープ式投影機(科学研究費一般A, 昭和52, 53年度、研究代表者高瀬文志郎、課題番号 242001 の補助を受けて作製された)の出現により著しく検出効率があがっている(図2)。

検出した天体の紫外超過度を視察により色指数として表現することにより、一応の分類を試みておくことはこれら紫外超過天体の物理情報の一助となる意味で必要なことであろう。そこで視察による色指数決定の基準として、 $(U-B) < -1.5$ 程度青いものを C.I. ≈ -3.0 , $(U-B) = 0$ を C.I. ≈ 0 と定義した。視察のみで色指数を決めるのはかなり大胆なやり方であるが他にも例があり、正規の手続で写真測光をすることに比べて労力と時間が格段に少なくてすむ。この場合においても色指数の尺度となるような天体が、撮影された乾板上に幾種類かあればかなりの精度を期待できる。さらに、経験を積めばそれらの基準星がない場合(木曾のシュミット原板は $6^\circ \times 6^\circ$ の広い写野をもつが、度々そのような事態になる)においてもある程度の色指数は決定できる。A: 0345, KL-1445 から検出した紫外超過天体の色指数の決り具合を、アイリスホトメータで三色像を測定することにより客観的な検定を行って図3に2色図の形で示した。縦軸は $(U-G)_{\text{Iris}}$ 、横軸は $(G-R)_{\text{Iris}}$ いずれもアイリス値の差であり等級ではない。写真測光を行う場合は光電測光などで予め精度良く等級が決められている標準星を用いて、アイリス値と等級の特性を求め、その上で目的星のアイリス値から等級を求める手続きを探る。この場合もそのような手順に従って等級に換算して比較したかったのであるが、あいにく測光用標準星がこの天域に少ないので、敢てアイリス値のままで2色図を作った。検出した紫外超

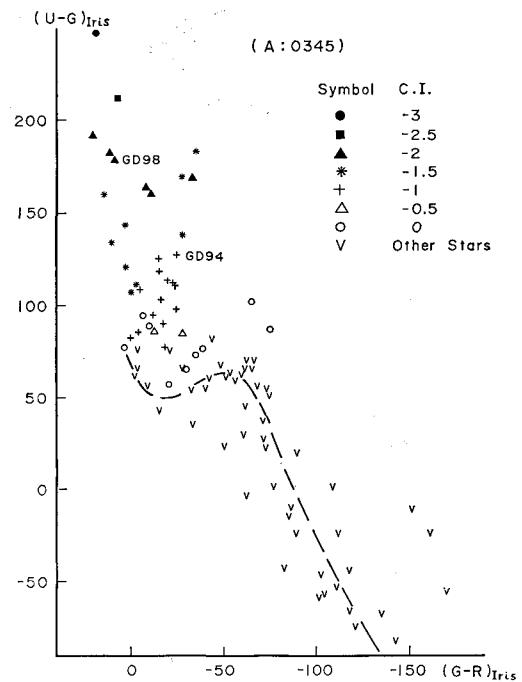


図3 A: 0345, KL-1445 で検出された天体の2色図、GD 98 および GD 94 は白色矮星。

過天体との比較のために乾板上から無差別に抽出した天体も同時に測定した。破線はそれらの平均値を描いたものである。紫外超過天体の色指数は紫外超過の最大のものを C.I.= -3.0 と定義した外は何ら操作を行っていない。視察により決定した色指数と 2 色図上での位置の相関は良い。図中の GD 98 及び GD 94 は白色矮星であり紫外超過も大きい、このことから見ても視察で決めた色指数がかなりの信憑性を持っていることが窺われる。ただし、C.I. ≈ 0 あたりでの判定は分散が大きい。従って、乾板相互間の系統的誤差もかなりあるが、経験を積めば色指数標準星がなくても紫外超過天体の検出にはさしたる影響はない。

3. 木曾 UGR 三色像写真の波長特性

三色像露光法に用いる写真乳剤の種類は被感波長域が長いほど良いと第 1 節で述べたが、その根拠は三色の色帯の基線長を長く探ることにより天体からの輻射の波長分布を敏感に検出できるところにある。コダック社製の乳剤で被感波長域の長いものは、前述の 103a-D と 103a-E 型の外に、103a-F と I-N そして I-Z 型などが考えられる。この中で I-N 及び I-Z は紫外領域のフィルターの波長透過特性にレッドリース現象（一般的な両切フィルターは波長 7000 Å あたりで再び透過光が増える）がある。つまり、U 像に近赤外光が洩れ込むのでこの目的に使うことはできない。103a-E と 103a-F とでは 103a-F がやや長波長域まで感度が伸びているが、全体の感度は 103a-E が優ることが実験で認められた。以上が木曾において 103a-E を使っている積極的理由である。

UGR の各色帶で用いるフィルターは、UG-1 と BPB-

50 そして RG 610 である。G 像のものは富士フィルム社製のフィルムフィルター、U と R 像のものはショット社製の色ガラスフィルターである。これらのフィルターと乾板の組合せにおける波長特性をカタログ値より算出して図 4 に実線で示した。比較のためにジョンソン系（一点破線）とベッカー系（破線）の波長特性も重ねて描いた。U に関してはどの系もほぼ同じであり、 R_{Kiso} と R_{Becker} も同様である。 G_{Kiso} は $B_{Johnson}$ より 650 Å, G_{Becker} より 220 Å 程度波長中心が長波長側に寄っている。写真測光に重点を置くのであればベッカー系の G に似せておくことが、変換式を簡素化できるし誤差も少ないものであるが、元來の目的が紫外超過天体の検出にあることを思えばこのままの系で充分である。図を眺めると木曾の系は UGR が等間隔であり、他の色が洩れ込んでこない特色がある（これがどの程度他の系より優れた効果をもたらしているのかは別として……）。

103a-D 乾板を用いた UBV 三色像観測は外国でも多くの例を見るが、103a-E を用いた UGR 三色像観測は木曾におけるもの以外には見当らない。その主な理由として思い付くのは、UBV 測光系は世界の隅々まで浸透していて、測光のための標準星も数多く利用できるということである（しかし、再三述べてきたことではあるが、暗い標準星は特別な天域以外はあまり期待できない。結局自前の光電測光で標準星系列を作ることになるのだが）。UBV 測光系の特色としては、2 色図を作った時にスペクトル型の A から F 型にかけての水素のバルマー線および金属線の影響が B 等級に反映して、水素欠乏星、金属線星や弱線星などの特異天体の検出に役立つことがある。一方、ベッカー一派が精力的に観測に励んでいる

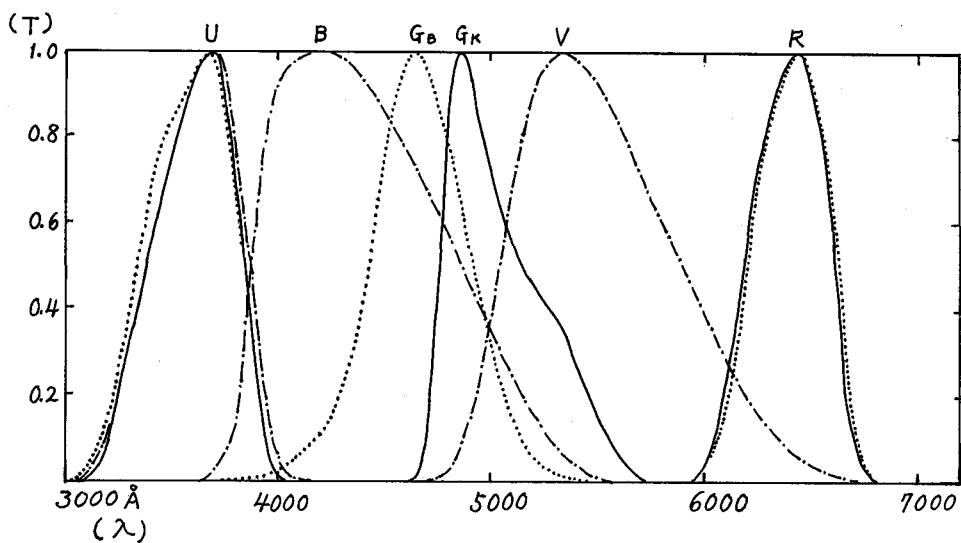


図 4 測光系の波長特性、実線は木曾三色像系の UGR、一点破線はジョンソン系の UBV、破線はベッカー系の RGU。

RGU 測光系（木曾の場合は UGR であるが、ベッカー達は RGU と呼ぶ）は G 等級に対する水素及び金属線の影響が B 等級に比べて少ない。ところが基線長が長い特色があり 2 色図上での光度階級の分離がよく、スペクトル型の G より晚期のものでハロー種族と呼ばれる天体の検出に向いている。さらに、赤化度の補正を行う際の係数が RGU 系ではどのスペクトル型においてもほぼ似ている利点もある。

何はともあれ実際の観測において比較検討する必要がある。そこで 1977 年にベルジェルとフリンガント（以後この観測は B & F と略記する）がパロマ天文台の 48 inch シュミット望遠鏡を用いて行った UBV 三色像観測と木曾の UGR 三色像観測との比較を試みた。この比較に際しては、北銀極を含む天域で精度の高い写真測光を行ったステッペの 1978 年の観測を判定の基準として採用した。B & F は検出した天体に紫外超過の大きいものから I, II, III という色指数を付けて分類している。そこで色指数の決り具合をステッペの観測を仲介に比較したもののが図 5 である。(a) (b) 共に縦軸はステッペの (U-B) であり、横軸はそれぞれの色指数である。図 5 (a) が木曾の UGR 観測であり、(b) の B & F

の UBV 観測に比べ (U-B) との相関が良いことが判る。しかも B & F の検出した天体リスト中にステッペが検出した天体が数多く同定できず、未同定の天体中には $(U-B) \leq -0.5$ と青いものも 18 天体ある。さらに B & F のリスト中には紫外超過が少ないとと思われるものも数多くあり、検出した天体の紫外超過度が的確に表現されていない。この差は単に色指数決定時の測定技量の問題ではなく、UGR と UBV の基線長の長さによる検出精度の差と考えるのが妥当であろう。

4. 検出した紫外超過天体

長々と三色像露光法について述べてきたから、ここで紫外超過天体の探査に話題を移そう。白色矮星や準星とかマルカリアン銀河などの興味深い天体は紫外超過の特色をもつ。それゆえに、古くから多くの人々により紫外超過天体又は青色天体の探査観測が行われて来た。中でも 1947 年に行われたハマソンとツビッキの観測は当時としては斬新なもので、パロマ天文台の 18 inch シュミット望遠鏡を用いて 2 種類の写真フィルム、3 種類のフィルターの組合せによる 4 色写真測光を行って、15 等級より明るくて青い 48 天体を検出している。それらは

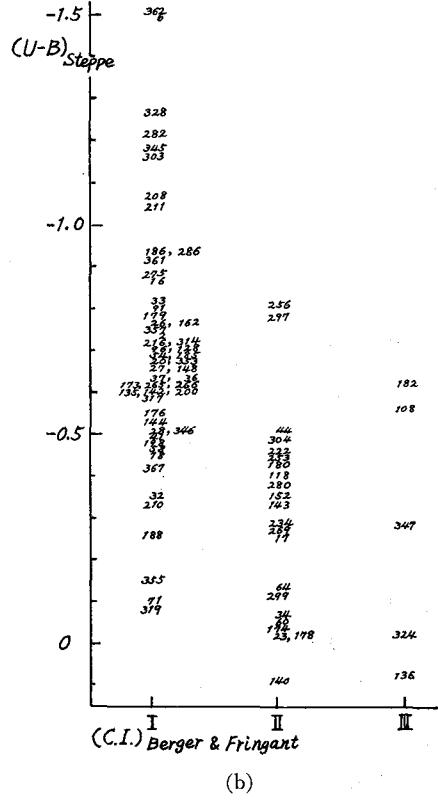
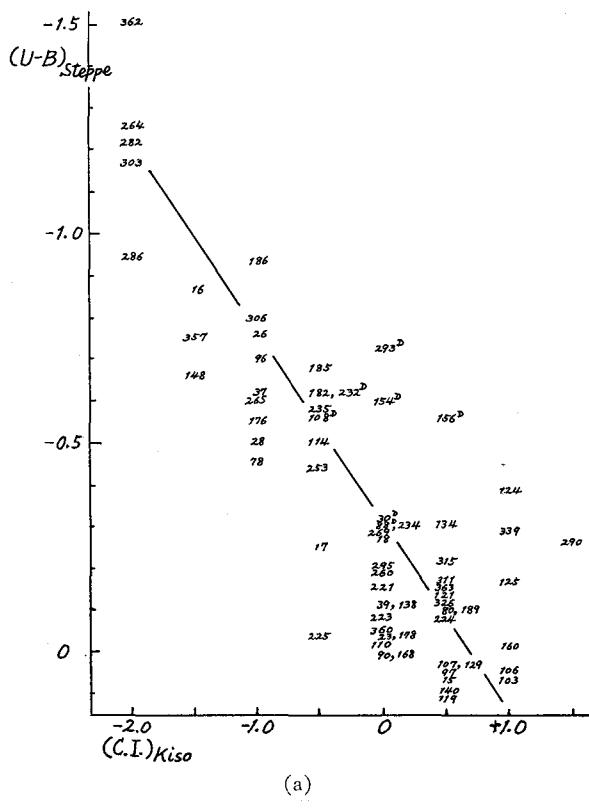


図 5 色指数と (U-B) との相関、(a) は木曾 UGR 三色像、(b) はベルジェルとフリンガントの UBV 三色像観測。

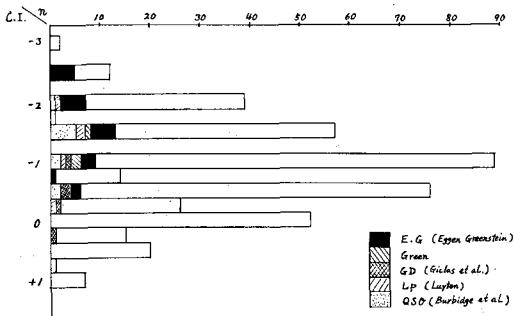


図 6 木曾で検出された紫外超過天体の色指数頻度分布、白色矮星 34 個、準星 11 個以外は木曾で新たに検出された天体。

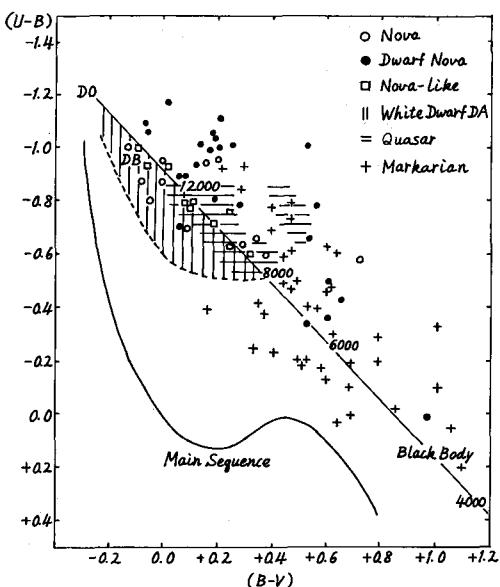


図 7 紫外超過をもつ代表的天体、各種の文献から抜萃した。

HZ 天体と呼ばれて数多くの特異天体を含んでいて、現在もなお各種の観測及び解析が続けられている。彼らの他にも幾多の観測があるがここでは割愛させていただく。

木曾における紫外超過天体の探査はその領域も広がり、検出した天体は順次カタログを作成するよう計画している。その中で銀河状の天体については KUG (木曾紫外超過銀河) カタログとして発表される予定であるが、本稿では触れないで、見かけの形状が恒星状のものにとどめる。このカタログは KUV (木曾紫外超過天体) カタログと称して、検出した天体の等級と色指数の視察値及び角度の 1" 程度の精密位置を測定して発表の準備を進めている。予備的探査を終えた 18 天域で検出した紫外超過天体は 411 個である。その中すでに他のカタログに登録されているものは 45 個ある。検出した紫外

超過天体を木曾の色指数により分類してその頻度分布を図 6 に示す。他のカタログに登録されている 45 個の内訳は白色矮星が 34 個、準星が 11 個である。残りの大多数はこれまで知られていないものと思われ、これらの天体が何であろうかと興味の湧くところである。検出した紫外超過天体の中で大きな変光を示すものも数個発見されていて、その中の 1 個は矮星の爆発現象をとらえたと思われる。図 7 に紫外超過をもつ代表的天体が 2 色図上での位置を占めるかについて、参考までに種々の文献から抜萃したものを重ねて描いてみた。これらの天体のどれに属するのか、または未だ知られてないような特異な天体が含まれているのか興味は尽きない。

紫外超過天体を詳細に調べるために分光や測光の観測を行う必要がある。しかし、検出した紫外超過天体の多くは 17 等とか 18 等級と暗い。日本最大の光学望遠鏡である岡山天体物理観測所の 188 cm 鏡で、16.5 等の天体の低分散スペクトル（辛うじてスペクトル型の 2 次元分類可能な 200 Å/mm 程度）を得るのに、映像増幅管の助けを借りて写しても 3 時間かかる。また、91 cm 鏡での広帯域光電測光の限度も 16 等どまりというのが実情であり、次期大型光学望遠鏡や木曾の測光望遠鏡の出現を見るまでは当分「これらの天体が何であろうか」と思い続けることになるであろう。

お知らせ

山田科学振興財団研究援助候補推薦について

山田科学振興財団より学会あてに、下記内容の 55 年度分研究援助候補の推薦依頼がありましたのでお知らせ致します。

記（推薦要領抜萃）

- 援助の対象：自然科学の基礎的分野における重要なかつ独創的な研究、特に学際的色彩を持つ研究に従事する個人又はグループ。
 - 援助の金額：総額 1 億 2 千万円。1 件につき 1 千万円前後 2 千万円以内の援助 (A) 及び 1 件につき 3 百万円前後、5 百万円以内の援助 (B) を併せて 10 数件。
 - 援助の期間：原則として 1 年。
 - 推薦件数：1 推薦者ごとに (A), (B) おのおの 1 ~ 2 件。
- 申請用紙を御入用な方は、学会庶務理事までお申し出下さい。申請書は、昭和 55 年 10 月 10 日までに学会あて提出して下さい。

訂正

5 月号表紙写真、目次下の表紙写真説明、および 118 ページの写真説明が間違っていたので訂正します。

表紙写真下：45 m 電波望遠鏡主鏡骨組

目次下説明：45 m 電波望遠鏡主鏡骨組、(三菱電機通信機製作所で仮組中) 1980 年 2 月

118 ページ：図 3 ベノト杭工事 (79/7/17)