観測装置

岡山天体物理観測所では共同利用観測に供するため、この40年間に種々の観測装置を開発・製作・運用してきた。特に、開所の頃は世界的に写真が検出器として広く使用され、写真乾板を組み込んだ装置が一般的であった。しかしながら、近年は写真より感度の高い固体撮像素子が検出器として多用されるようになり、今や写真は完全に駆逐された。

岡山天体物理観測所における観測は主に分光観測が行われ、この間分光器がその主流を占めてきた。特に、188cm反射望遠鏡クーデ焦点では、鏡の切り替えにより多くの高分散分光器が稼働するようになっていた。しかしながら、主に188cm反射望遠鏡のニュートン焦点で用いられた直接撮像カメラと、91cm反射望遠鏡では測光器も多用された。また、共同利用装置以外は研究者自らP.I.となって製作し、持ち込んできたものもある。このようにして、光学波長域のほとんどすべての観測的要請に応えてきた。

岡山天体物理観測所の最近の傾向としては、望遠鏡時間の効率化と、世界の第一線の観測にキャッチアップすべき新しい観測装置の開発が盛んに行われている。このような観点で製作されたものは、188cm反射望遠鏡のカセグレン分光器、近赤外分光撮像装置（OASIS）、高分散エシェル分光器（HIDES）、91cm反射望遠鏡の偏光撮像装置（OOPS）である。

以下には、この40年間に稼働した主な観測装置の諸元を記述するが、188cm反射望遠鏡では総数約30に上る。また、この間の変遷を図３－１に示す。

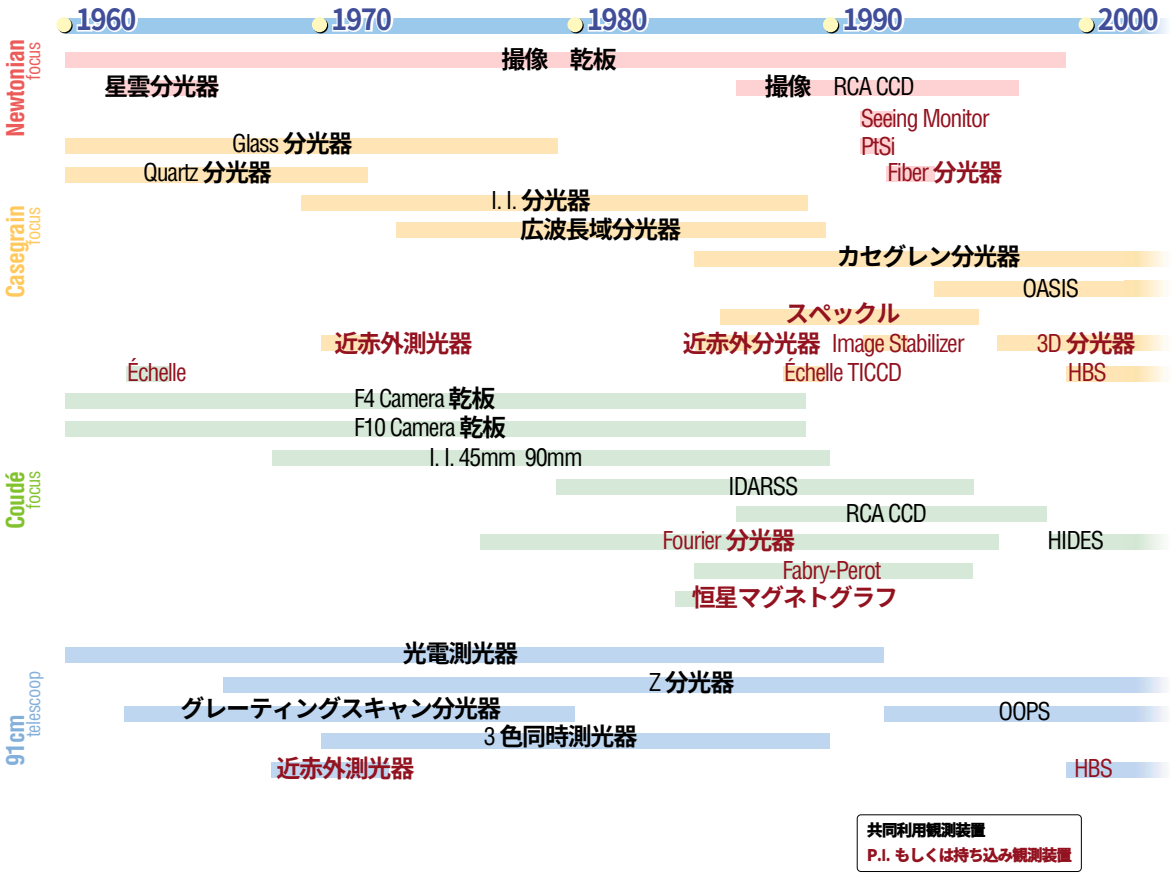


図３－１　観測装置の変遷（名前の略号は本文中を参照されたい）

188cm反射望遠鏡
ニュートン焦点

口径比　F/4.9　焦点面で 22.5 ″/mm

1）撮像カメラ

撮像測光、太陽系内天体位置観測などに多く使用された。

検出器 サイズ	乾　板 160×160mm (1°×1°)
総乾板数	1754
使用期間	1960－1986年
検出器 サイズ	乾　板 82×192mm (31'×45')
総乾板数	3011
使用期間	1960－1986年
検出器 画素数 画素サイズ	RCA社CCD 1024×640 15×15μm
撮像面積	15.4×9.6mm (5'.7×3'.6)
使用期間	1986－1997年

乾板時代のガイドは観測台に乗ってアイピースを覗き、乾板枠を手で動かしていた（図３－２およびP159“銀河の撮像観測”高瀬文志郎氏　参照)。CCDカメラ時代になるとすべて遠隔操作で行えるようになった。

2）星雲分光器

コリメーター 直　径 焦点距離 形　状	 110mm 340mm 放物面鏡
グレーティング	600本/mm
カメラ F　値 直　径 方　式 補正板径	 F/0.65 100mm シュミット 100mm
スリット 長　さ	 20mm(8')
波長分解能	293Å/mm at 5000Å
検出器	8mmフィルム
像　面	４×11mm (横長スペクトル)
総フィルム数	47
使用期間	1962－1965年
開発・製作	岡山天体物理観測所、日本光学

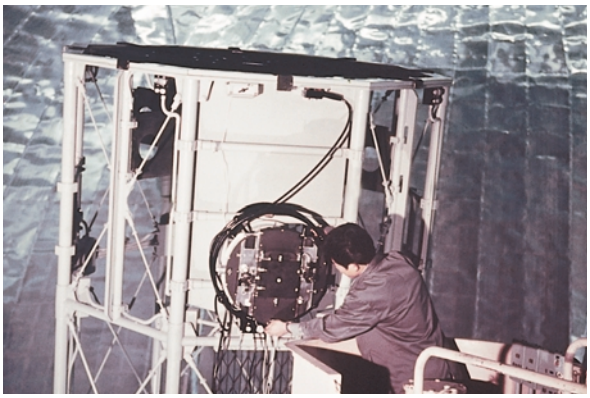


図3－2　撮像カメラ（写真時代）

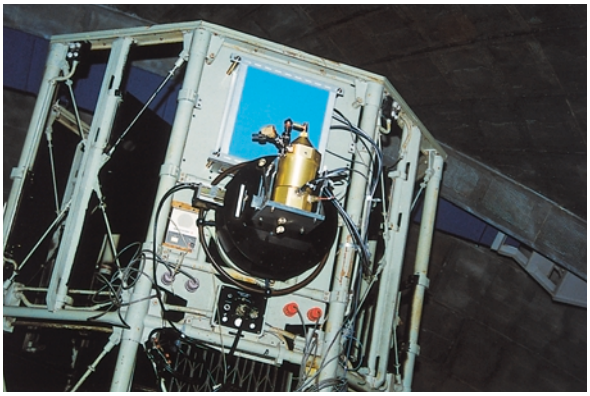


図3－3　撮像カメラ（RCA-CCD）

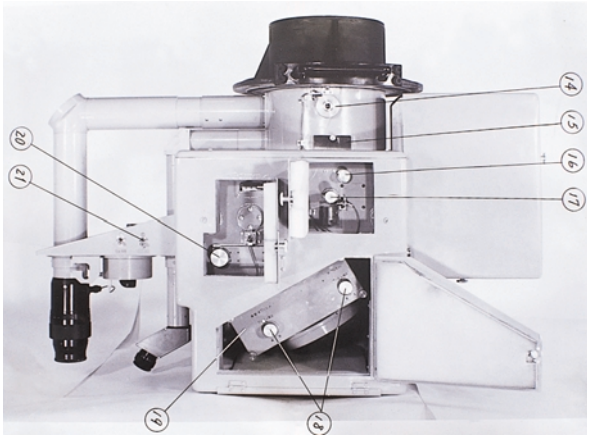


図3－4　星雲分光器

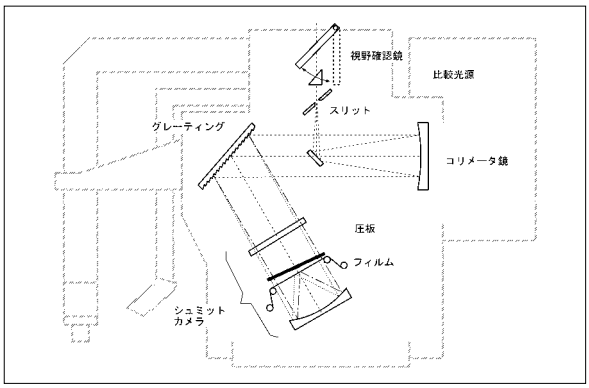


図3－5　星雲分光器光学系

188cm反射望遠鏡カセグレン焦点

口径比 F/18　焦点面で6.09 ″/mm

カセグレンQuartz-Prism分光器

コリメーター	
直　径	70mm
焦点距離	1140mm
構　成	水晶と蛍石を用いた色消しレンズ 水晶コルニュプリズム2個
F/3 カメラ	
波長範囲	2900～5000Å
スペクトル全長	37mm
波長分解能	45Å/mm at 3500Å
検出器	乾　板
検出器サイズ	107×41mm
総乾板枚数	273
F/1.5 カメラ	
波長範囲	2900～5000Å
スペクトル全長	13mm
波長分解能	125Å/mm
検出器	乾　板
検出器サイズ	15×15mm
総乾板枚数	82
使用期間	1960－1972年
開発・製作	ヒルガーワッツ社 (英国)

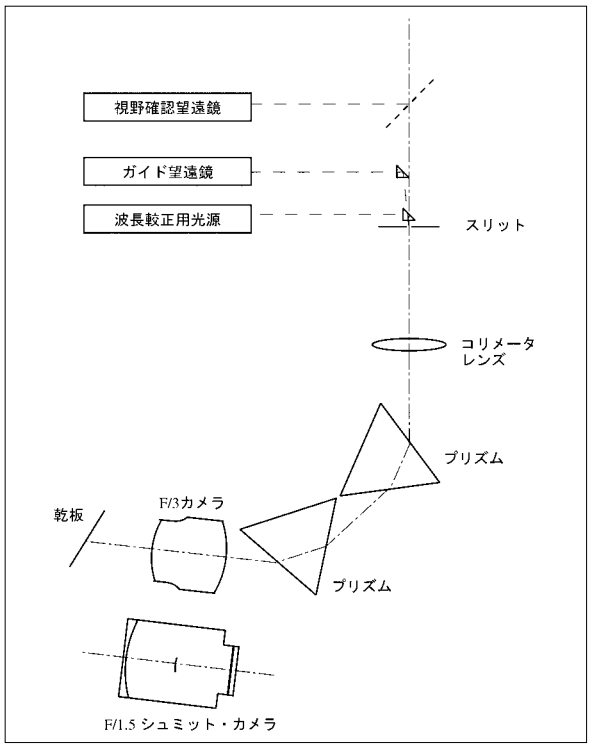


図3－6　Quartz-Prism分光器光学系

カセグレンQuartz-Prism分光器

コリメーター	
直　径	70mm
焦点距離	1140mm
構　成	軽フリント製のプリズム２個
F/3 カメラ	
波長範囲	3650～8000Å
スペクトル全長	35mm
波長分解能	57Å/mm at 4300Å
検出器	乾　板
検出器サイズ	107×41mm
総乾板枚数	948
F/10 カメラ	
波長範囲	3650～8000Å
スペクトル全長	114mm
波長分解能	17Å/mm at 4300Å
検出器	乾　板
検出器サイズ	107×41mm
総乾板枚数	130
使用期間	1960－1979年
開発・製作	ヒルガーワッツ社 (英国)

上記２台の分光器は開所時から恒星分類用標準分光器として活躍してきた。

図3－7　Quartz-Prism分光器

3）Ｉ.Ｉ.（Image Intensifier）分光器

クーデ焦点に於いてＩ.Ｉ.を使用しての観測が成功したのを受けて微光天体のスペクトル観測を目的にＩ.Ｉ.専用の分光器が製作された。40mmＩ.Ｉ.はクーデ焦点と兼用のため、その度に高圧電源、本体、高圧分配器など一式を運んだ。日本での本格的な銀河の分光はこのＩ.Ｉ.分光器で始まった。初期の頃、ガイドはスリット反射像、またはオフセット像を眼視で行い、後にＩ.Ｉ.を眼視、その後 IICCDカメラと変わっていった。スリットの天体に対する角度調整は分光器全体を回転させることで可能である。

（P163、“銀河の分光観測事始め”若松謙一氏参照）

スリット長	15mm (1' 31")
コリメーター	逆カセグレン方式
方　式	850mm(合成)
焦点距離	70mm
主鏡径	22mm
副鏡径	20mm
カセグレン穴径	
カメラ	
方　式	ソリッドシュミット方式
焦点距離	142.2mm
開口比	2.5
画　角	6°
Ｉ.Ｉ.	
イメージチューブ	RCA C33063BP2
カソード	S-20
蛍光面	P-11
印加電圧	29.5 kV
分解能	60 Lp/mm
トランスファーレンズ	F/1.2
検出器	乾　板
検出器サイズ	41×53mm
波長分解能	215Å/mm グレーティング300本/mm、１次光使用時
露出の目安	
等　級	10等
露出時間	約３分
スリット幅	0.15mm グレーティング600本/mm使用時
総乾板数	1772
使用期間	1969－1989年
開発・製作	岡山天体物理観測所、日本光学

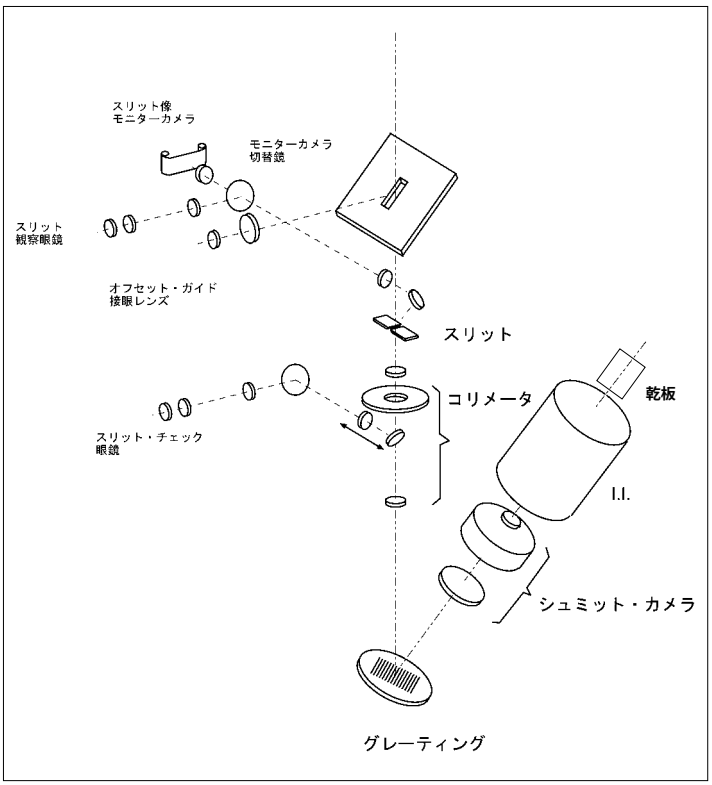


図3－8　Ｉ.Ｉ. 分光器光学系

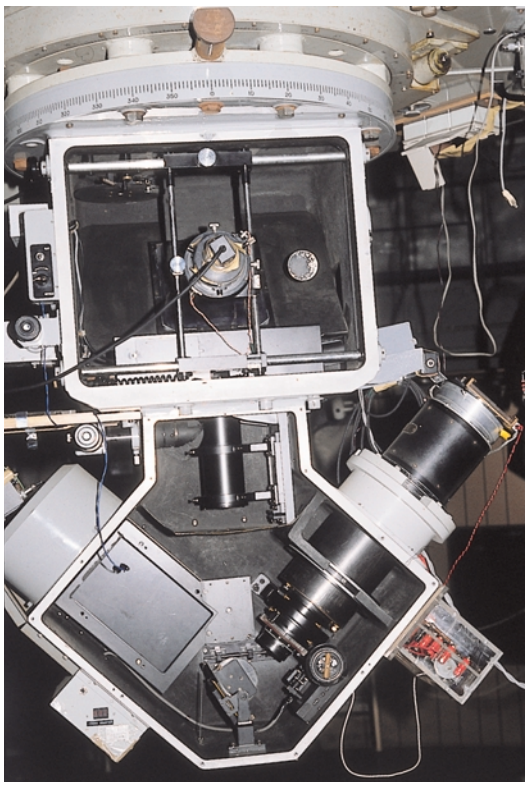


図3－9　Ｉ.Ｉ. 分光器

4）広波長域分光器（Multi-Channel Spectrometer）

分光器、受光部、アナログアンプ系、フォトンカウンター系など岡山観測所の職員の手作り分光器である。OKITAC-4300Cは同分光器のデータ取得のために岡山観測所に最初に導入された計算機である。星間磁場の検出、反射星雲の偏光観測、かにパルサーの光パルス・タイミングなど高時間分解能の観測が多くおこなわれた。（P99、“ 岡山のInstrumentation ” 西村史朗氏　参照）

光学系	テレセントリック・リトロー型
カメラ 焦点距離 形　状 大きさ	 1000mm 球面鏡 100×500mm
ビーム径	56mm
線分散度	８Å/mm グレーティング600本/mm、２次光使用時
スリット幅	最大400Å（２次光使用時） 波長分離板を変えることにより任意の波長が取得できる
検出器 光電子増倍管 チャンネル数 メーカー	 R1437（バイアルカリ） 10 浜松ホトニクス
チョッパー周波数	30Hz 天体と空からの2つのダイアフラムの後にチョッパーを置く
計数分解能	10MHz
偏光解析装置 検光子 偏　角 回転波長板	 ロションプリズム 6° λ/2, λ/4 22.5°毎にステップ回転
使用計算機 　メモリー 　入出力	OKITAC（ミニコン4300C） 4k words（最初） 紙テープから磁気テープに更新 のちにFACOM（スーパーミニコンS-3300）に更新
使用期間	1973-1990年
開発・製作	岡山天体物理観測所

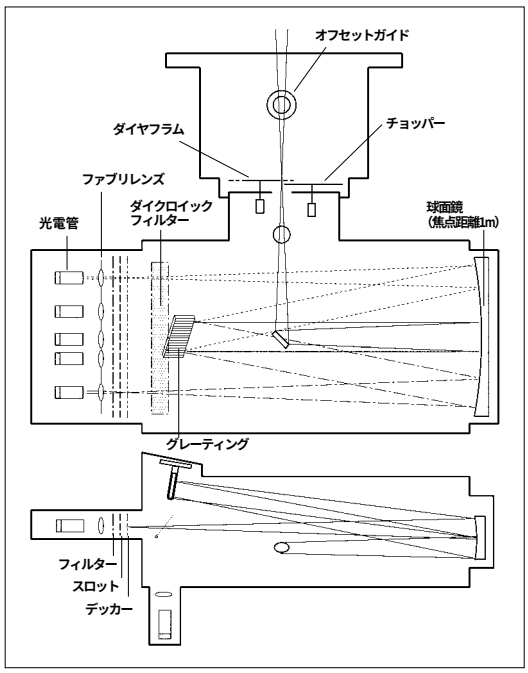


図３－１０　広波長域分光器光学系

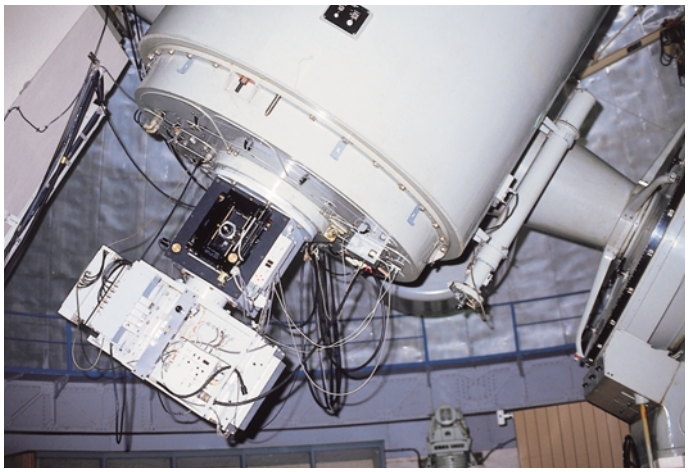


図３－１１　広波長域分光器

5）カセグレン分光器（通称：新カセ分光器）

前述のＩ.Ｉ.を装着した分光器はソリッド・シュミットタイプの光学系のため、UV領域には吸収が大きく、広がった天体の観測は不向きであった。より暗い天体をより高い空間分解能、波長分解能、そしてリモート観測ができることを目標に開発した。

スリット長さ	最大50mm(5')
コリメーター	
方　式	逆ニュートン球面鏡方式
材　質	Zero-dur
焦点距離	1609mm
直　径	150mm
ビーム径	90mm
	カメラの合焦はコリメーターで行う
カメラ	シュミット型 (光路折り曲げ式)
方　式	焦点距離 270mm, 口径 220mm
主　鏡	口径 220mm
平面鏡	材質 UBK7, 口径 160mm, 厚さ 10mm
補正板	材質 UBK7
視野平坦化レンズ	材質 UBK7
画　角	
像面大きさ	
分散方向	40mm
スリット長方向	8.4mm
波長分解能	60Å/mm
	グレーティング600本/mm使用時
検出器	TICCD (1984-1991年)
	PIAS (1985-1988年)
	Photometrics CCD (1991年～)
	画素サイズ　20×20μm
	画素数　516×516
	冷　媒　液体窒素
使用計算機	パソコン　(NEC PC9801)
開発・製作	岡山天体物理観測所、三鷹光器、京都大学

SNG：スペクトロネビュラグラフ

1990年より京都大学のグループと岡山観測所が共同で３次元分光観測（Spectro Nebular Graph: SNG）モードを付け加えた（P107、“SNG物語”大谷浩氏　参照）。広がった天体に対し、スリットを分散方向に走査しながらスペクトルを取得することで、天体の空間情報（２次元）と波長情報（１次元）を取得することができる。この走査は自動天体追尾の機能を利用して行っている。ガイドカメラ画像に含まれる明るい星が、いつも指定した固定位置（ガイド点と呼ぶ）からずれないようにモニターし、望遠鏡にフィードバックをかけることで自動追尾が実現する。このガイド点を露出終了のたびに僅かに移動させることで、天体にあてられるスリット位置も正確に動かすことができる。これらのデータ取得、走査を連続的に実現するのがSNGモードである。なお、取得したデータを整約するための専用解析パッケージ、SNGREDも開発され一般に提供されている。

このSNGモードの開発の主体は京都大学の大学院生と観測所職員である。岡山観測所における共同利用観測装置の製作に大学院生が参加したのは、このSNGモードの開発がはじめてであり、以後の開発においては可視・近赤外を問わず装置開発においては大学院生が主たる戦力となってゆく。
尚、このSNGモードの開発に伴い、CCDカメラがフォトメトリクス社の科学用CCDを利用した製品に交換された。それまでの T.I. CCDや PIAS 等と比較すると、応答の直線性に優れ、安定で、低ノイズであり、今日まで継続して利用されている。

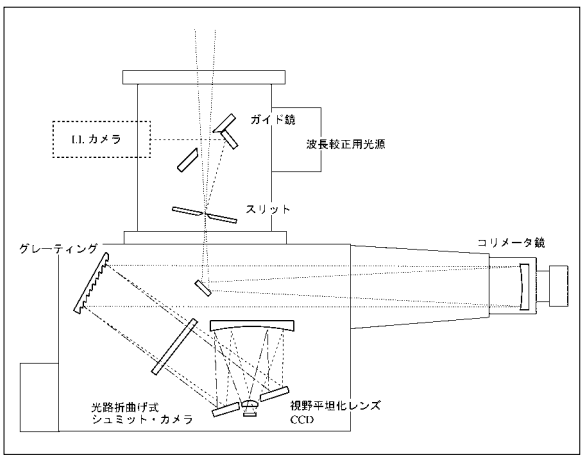


図3－12　カセグレン分光器光学系

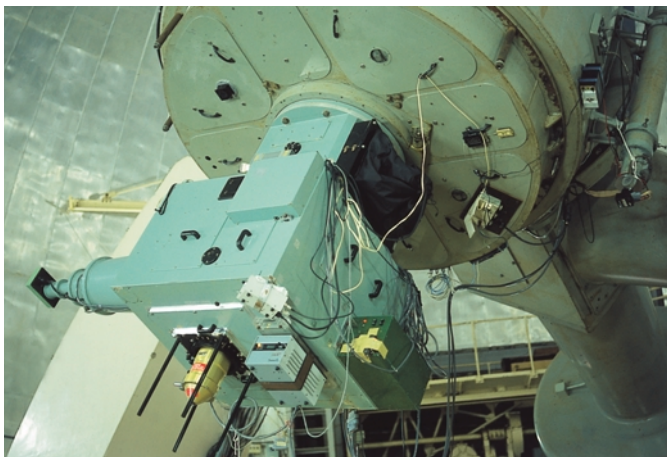


図3－13　カセグレン分光器

6）OASIS（Okayama Astrophysical System for Infrared imaging and Spectroscopy）

観測波長域	1−2.5μm
撮像視野	4'×4'
フィルター	J、H、Kの標準フィルターなど合計20枚を利用できる
分散素子	反射型グレーティング（３種類）
波長分解能	150−1500
分光スリット長	4'
スリット幅	2."4−4."8
検出器 画素サイズ 画素スケール 画素数 検出器駆動温度 冷　却	NICMOS3 (米国Rockwell社) 40×40μm 0."97/ピクセル 256×256 80K ヘリウムガス冷凍機 (GM式)
光学系 光学系材質	球面レンズ系1/4倍縮小光学系 レンズは溶融石英とフッ化カルシウムの２種類
点源検出限界 撮像: 10σ, 120秒積分 分光: 10σ, 600秒積分	 16.5等 (J), 16.0等 (H), 15.1等 (K') 14.1等 (J), 12.5等 (H), 12.1等 (K')
使用期間	1994年〜
開発・製作	国立天文台、東京大学、総合研究大学院大学

国内初の本格的な近赤外分光・撮像装置である。使用している検出器は、HST のNICMOS（Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer） 搭載用に開発された２次元アレイのNICMOS3 （米国Rockwell社） である。当時、最も高感度で画素数の多い（256×256）検出器であった。米国は２次元赤外線アレイに対して強い輸出規制をしていたが、このNICMOS3が商品として販売された頃に規制を緩和したため、我が国でも入手が可能となった。国立天文台は2つのアレイを購入し、そのひとつを岡山天体物理観測所に割り当てたのがOASIS開発の発端である。

OASISの特徴は、１）反射型グレーティングによるロング・スリット分光と、20枚のフィルターによる広、狭帯域撮像とを１台の観測装置で実現しており、２）その観測モードの切り替えが一枚の平面鏡（切り替えミラー）の向きをかえることで容易に実現できる点である（図参照）。さらに、３）前置光学系部のコリメーターレンズのあとに、偏光観測装置やファブリーペロー分光器用のエタロンを装着ができるように拡張機能を持たせた設計となっている。１）の特徴のため、分野を問わず多くのユーザーによって利用されている。また、２）の機能を利用し、天候に応じて撮像と分光を切り替えるなどして、ユーザーは極めて高い観測効率を実現している。

OASISは世間に対して華々しい登場を印象付けた。シューメーカー・レビー彗星の木星への衝突の観測に成功したためである。最近では、オリオン星雲中のIRc2からの反射光スペクトルに発見された吸収線の解析により、質量降着期における原始星の大きさが初めて明らかにされた。これらの研究はマスメディアを通じて報道され大きな話題となった。

OASISは観測所職員と３名の大学院生により製作がなされた（P114、“ OASISの開発 ” 奥村真一郎氏　参照）。

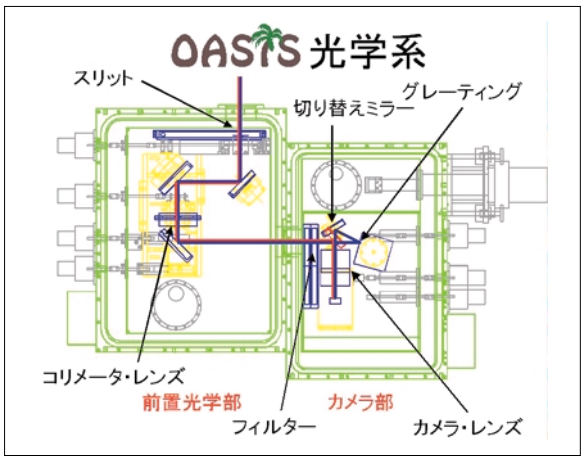


図3−14　OASIS光学系

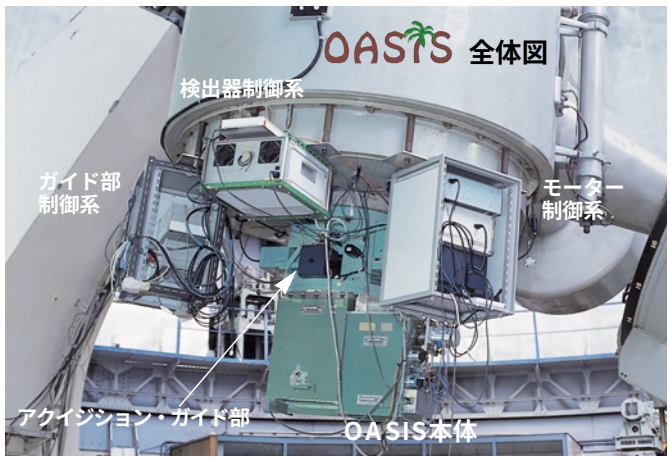


図3−15　OASIS

188cm反射望遠鏡
クーデ焦点

口径比　F/29　3.80 ″/mm

コリメーター（軸外放物面鏡）
焦点距離　2845mm

1）F/4分光器

カメラ	
方　式	軸外シュミット型
焦点距離	401mm
縮小率	0.14
	乾板ホルダーに像平坦化レンズが組み込まれている
波長分解能	10Å/mm
	4500Åにてグレーティング1200本/mm、2次光使用時
検出器	乾　板
サイズ	82×27mm
露出の目安	
	A型6等星
使用乾板	103aO
波　長	4000Å
スリット幅	0.22mm
露出時間	20分
	グレーティング1200本/mm、2次光使用時
総乾板数	7337
使用期間	1960－1989年
開発・製作	ヒルガーワッツ社（英国）

2）エシェル分光器

カメラ	
方　式	軸外シュミット型
焦点距離	784mm
縮小率	0.28
	乾板ホルダーに像平坦化レンズが組み込まれている
波長分解能	1.5Å/mm　4500Åにて
検出器	乾　板
サイズ	107×41mm, 160×41mm
露出の目安	
	A型6等星
露出時間	400分
	1998年製作のHIDESとの効率の差に注目されたい
総乾板数	518
使用期間	1963－1965年
開発・製作	日本光学

3）F/10分光器

カメラ	
方　式	軸外シュミット型
焦点距離	1003mm
縮小率	0.35
波長分解能	4Å/mm
	4500Åにてグレーティング1200本/mm、2次光使用時
検出器	
検出装置は次頁以降を参照のこと	
開発・製作	ヒルガーワッツ社（英国）

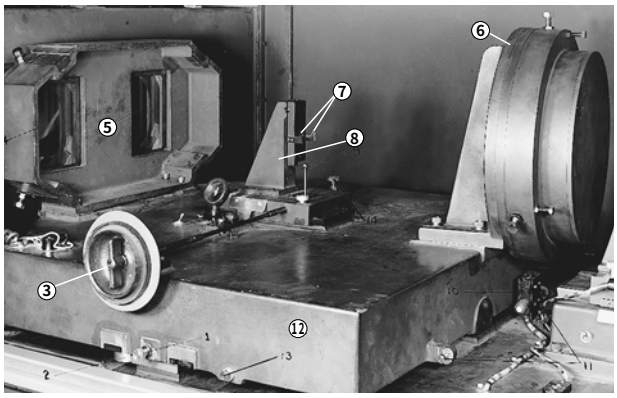


図3－16　F/4カメラ
5：補正板　6：主鏡　7，8：プレートホルダー
3：シャッター
F/4，F/10の切り替えは写真：12のF/4のカメラが載っている台ごと移動する

図3－17
エシェル分光器

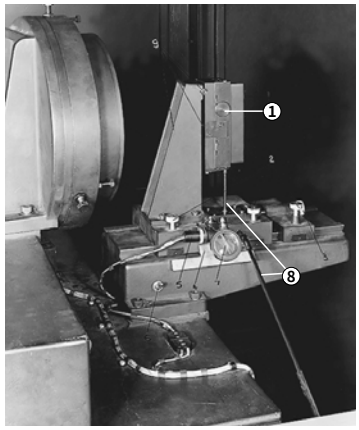


図3－18　F/10焦点部
1：プレートホルダー
（シャッターが開いてる）
8：シャッター開閉用ロッド

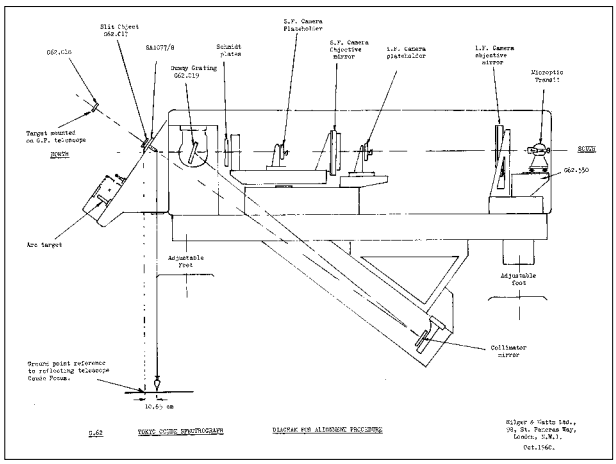


図3－19　F/4、F/10分光器光学系

■ F/10分光器で使用された検出装置

①乾　板

サイズ	41×107mm 乾板ホルダーに像平坦化レンズが組み込まれている
露出の目安 使用乳剤 スリット幅 露出時間	 A型６等星 103aO 0.09mm 約200分 グレーティング1200本/mm、２次光使用時
使用期間	1960－1989年
総乾板数	4298

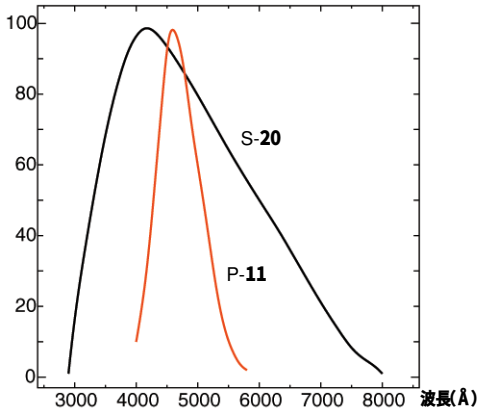


図3－20　40mmⅠ.Ⅰ.のカソード（S-20）と蛍光面（P-11）の波長特性

②Ⅰ.Ⅰ.（Image Intensifier）

40mmⅠ.Ⅰ.（カセグレンⅠ.Ⅰ.と共用）

使用チューブ	RCA製 C33063
印加電圧	29.5kV
カソード	S-20
蛍光面	P-11 ２段増幅
有効径	38mm
分解能	60Lp
検出器	乾　板
乾板サイズ	41×53mm
使用乳剤	103aD
使用期間	1967－1983年 (1973年Ⅰ.Ⅰ.チューブ交換)

1967年カーネギー研究所からカスケード型映像増幅管一式の貸与を受け暗い天体の分光観測が可能になった。初段の蛍光板の後ろにPhotocathode（S-20）を置き光電子に変換し、それを加速して2段めの蛍光板を照射する。蛍光板の像を再びレンズによって乾板上につくる。電子レンズは永久磁石と電場からなり入力側のPhotocathodeと最終段の蛍光板の間には29kVの電圧がかかっている。したがって乾板上にできる像は波長にかかわらず蛍光面（P-11）の波長になる（図３－20参照）。通常使用される乾板は103a-D（103a-Dの波長感度特性は図３－48を参照のこと）である。感度は高感度の乾板に対して青領域で５倍、赤領域で約10倍である。ショットノイズも加速され、乾板上では黒くなってしまう。長時間露出には不向きである。

90mmⅠ.Ⅰ.

使用チューブ	ITT製　F-4092
印加電圧	13kV
カソード	S-20
蛍光面	P-20
出口窓	ファイバー光学系を乾板に直接圧着
分解能	90Lp
検出器	乾　板
乾板サイズ	108×41mm
使用乾板	103aD
使用期間	1983－1989年
総乾板数	1750 (40mm、90mm共通)

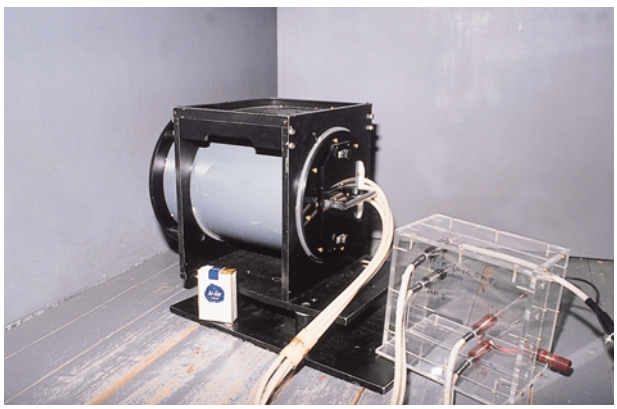


図3－21　90mm Ⅰ.Ⅰ.

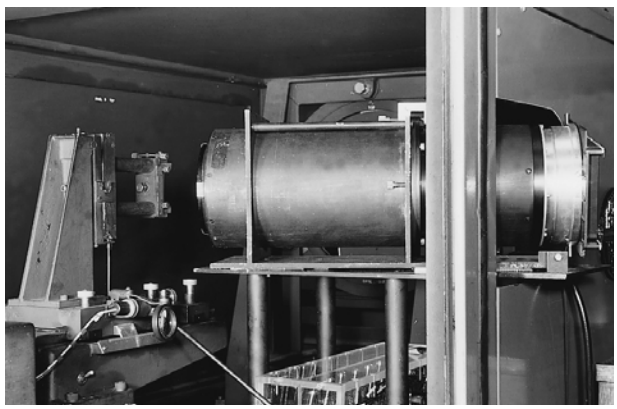


図3－22　40mmⅠ.Ⅰ.

③IDARSS（Intensified Diode Array Rapid Scan Spectrometer）

チャンネルプレートを使用したＩ.Ｉ.の出力蛍光面からファイバーを介してレチコンを密着させる。写真乾板に変わってレチコンを使用したもの。岡山観測所で初めての1次元の本格的なアレーで、暗い天体を高分散、高時間分解能で観測できるシステムである。初代のITT社のＩ.Ｉ.はノイズが小さく長時間露出が可能であったため高いS/Nが得られた。1982年落雷のためにＩ.Ｉ.交換。暗い星の高分散分光、明るい星の時間変化の他にも銀河、星雲の高分散観測もおこなうようになった。銀河の高分散観測としてスターバースト銀河核の輝線輪郭の非対称性など電離ガス領域の多様性が明らかにされた。

素　子 画素サイズ	Ｉ.Ｉ.＋RETICON 25×2.5mm
画素数	1024×1
撮像面積	25.6×2.5mm
同時観測波長域	104Å (グレーティング1200/mm、2次光使用時)
冷　媒	ドライアイス＋エタノール
使用計算機	FACOM S-3300 メモリ　6MB、ディスク　727MB、出力　MT
使用期間	1979－1995年

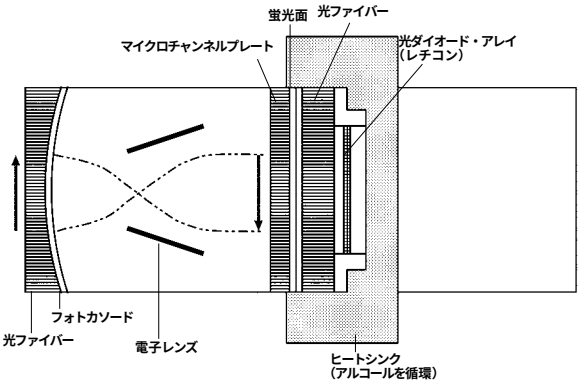


図3－23　IDARSSの構造

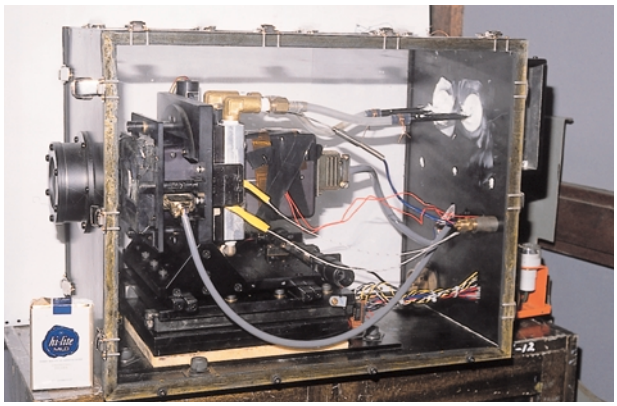


図3－24　IDARSS

④CCD（RCA）

クーデ分光の検出装置として約12年間活躍した。データは当初、IBM-ATからFACOM-S3300に送られていたが1991年から構内LANが引かれ、本館のワークステーションに送られるようになった。デュワーは遠隔操作で5軸動かせる台に載っている（図３－25）。CCD素子がRCA社（米国）製品なので通称RCAと呼ばれた。

画素サイズ 画素数	15×15μm 1024×640
撮像面積	15.4×9.6mm
同時観測波長域	４Å (グレーティング1200本/mm、２次光使用時)
カメラシステム	プリンストン社 (米国)
使用計算機	パソコン (IBM-AT)
冷　媒	液体窒素
使用期間	1986－1998年

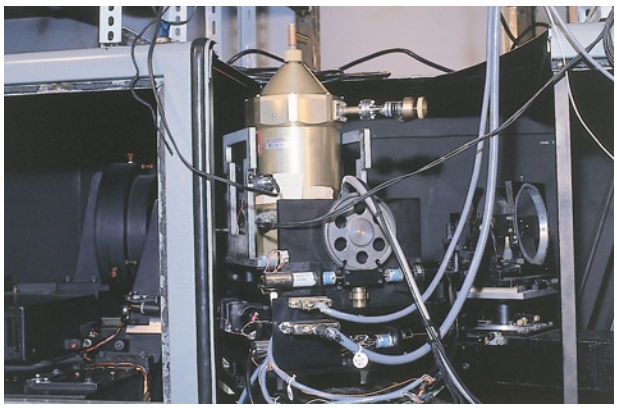


図3－25
5軸ステージの上に設置されたプリンストン社製CCDカメラヘッド

4）HIDES（HIgh Dispersion Echelle Spectrograph）

大型CCD時代にマッチした高分散エシェル分光器。設計・製作・調整を岡山観測所員（＋大学院生）の力でやり遂げた。開所以来使われてきたヒルガーワッツ製分光器（F/10カメラ）にくらべ、最高比波長分解能3倍、同時観測波長域10倍以上。1997年春から製作を開始し、1999年春にファーストライトを迎え、2000年１月から共同利用を開始した。

HIDESの主な構成要素は、スリットと較正光源（従来の分光器と共用）、コリメータ鏡（従来の分光器と共用）、主分散素子のエシェル格子、エシェル格子による回折光の次数の重なりを解くクロスディスパーザー回折格子、結像カメラ光学系、CCDカメラ、そして制御系である。エシェル格子は一定の姿勢に固定。CCDは2K×4K素子のCCDを、最終的には２個モザイクにして利用する（今のところは１個で使用）。クロスディスパーザーは青用（波長4500Å以下）と赤用（波長4500Å以上）の２種類があり、瞬時に交換できる。赤用の場合一度に観測できる波長域はモザイクCCDに対して2000Å強となる。また、結像光学系に口径200mmのレンズ系を採用したことで、光束のケラレを心配することなく大型CCDの導入を図ることができた。

分光器の総合的な性能は比波長分解能100,000が十分達成可能である。実際にスリット幅0."38の時に2K×4K素子のCCD上に記録されたスペクトルのどの部分においても比波長分解能100,000が実現されていることが確かめられた。さらにピクセルサイズの小さいCCDによるテストで、スリット幅を狭めると160,000まで到達できることが明らかになっている。HIDESは188cm反射望遠鏡で比波長分解能100,000を定常的に実現できる初めての分光器である。CCDの読み出し雑音は4.5電子相当が達成されている。望遠鏡を含めたシステムの感度については、比波長分解能65,000の設定で12等級の天体を１時間観測すると、4000－7000Åの波長域においてS/N=10以上が得られる。

波長域	3600－10000Å
比波長分解能	R=65,000 スリット幅　0".76、200μmにたいして
検出器	CCD (13.5μm角ピクセル、2048×4096素子)
方　式	特定の名称なし
コリメーター	軸外し放物面鏡
カメラ	球面レンズ系（５枚玉） 焦点距離　855mm、口径　200mm
エシェルグレーティング	31.6本/mm (ブレーズ角　65°)
クロスディスパーザー	250本/mm と 400本/mm の２つを切り替え可能
効　率	３％ @ 5000Å スリットを広げると大気圏外のフラックスの３％が検出される
感　度	12等 @ Vバンドの点源を分解能65,000で観測したとき、 １時間積分でS/N≦～＞10程度。望遠鏡の鏡面の反射率や シーイングにより、ファクター2で変化する
最高分解能	R＝110,000
同時観測波長域	1150Å (グレーティング250本/mm使用時、1CCDあたり)
開発・製作	岡山天体物理観測所、京都大学

図3－26　HIDES：分散素子とカメラレンズ系

図3－27
2K×4KCCD（Marconi社（旧EEV社））で撮影された3950－4670Åの波長域の月（月面で反射された太陽光線）のスペクトル。比波長分解能（λ／Δλ）100,000。縦がエシェルの分散方向で下が短波長側、横がクロスディスパーザーの分散方向で右が短波長側。青用クロスディスパーザーを使用。スリット長7".9。エシェルの回折次数で144次（短波長側）の途中から121次（長波長側）の一端まで見えている。この波長域のエシェル格子によるフリースペクトラルレンジはCCDの縦の長さの半分以下に収まっているので、同一波長の吸収線が隣合う次数のスペクトルの違う場所に同時に観察される。つまり、左右方向に隣り合っている2つのスペクトルの帯を見比べると、右側の帯の中央より上側に見えている吸収線の並びが、左側の帯の中央より下側に再度現れている。

■ HIDESの要素技術

ヨウ素ガスセル装置

ヨウ素ガスセル装置は、天体の視線速度変化を精密に測定するための装置であり、太陽系外惑星や微少恒星震動の検出など、数m/s以下の精度を必要とする観測に用いられる。ヨウ素ガスは可視域に安定した多数の吸収線を示すが、これを封入したセルを通して天体を分光し、天体のスペクトルにヨウ素の吸収線を重ね合わせ、装置に起因する見かけ上の波長のずれなどを高度に補正することによって、極めて高い視線速度測定精度を実現することができる。HIDESではヨウ素ガスセル装置を2000年7月に導入し、現在試験観測を続けているが、太陽型星では既に5m/s程度の相対速度が達成されている。これは世界のトップレベルに匹適するものである。

図3－28
HIDESのスリット前に装着されたヨウ素ガスセル装置（中央の黒い小さい箱）をクーデ室西側からみたところ
イメージローテーターと同じ架台に載り切り替えられる

図3－29
ヨウ素ガスセルを封入した真空容器。ほのかにヨウ素の色がついている。

イメージローテーター

クーデ焦点では、カセグレン焦点などと異なり、望遠鏡の姿勢で天体像が回転する。つまり、天体の位置および観測時間によって天体像が回転し、さらに同一天体を追尾中でも時間の経過にしたがって像の回転が生じることになる。このことから、分光器を回転させる機構を持たないクーデ焦点では、空間的に広がりを持つ天体に対して任意の方向にスリットをあてて観測することが困難であった。イメージローテーターは、三枚の鏡で構成される反射光学系をスリット前に挿入し、それを回転させることによって、上記の問題点を克服する装置である。2001年に導入された写真の装置は、±2.6分角の精度で角度追尾を実現し、計算機上からの完全なリモートコントロールによって、光路への挿入・離脱等もできるようにされている。

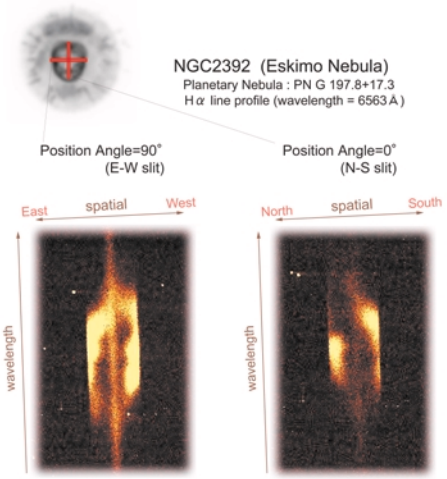


図3－30
惑星状星雲（エスキモー星雲、NGC2392）のHαの輝線スペクトル。イメージローテーターを利用してスリットを位置角0°（右）と90°（左）にあてて観測した。

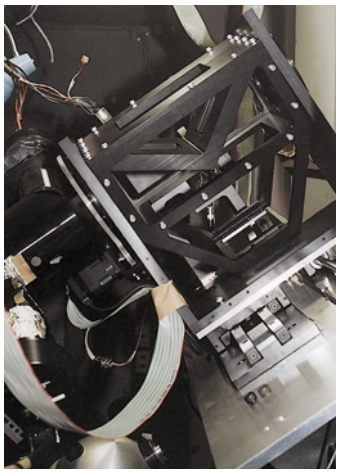


図3－31
スリット前に装着されたイメージローテーター

写真時代のクーデ分光観測

今から20年前までは、天体観測における効率のよい２次元検出器とは写真であった。写真には、現像という化学処理を施すことで、露光量に対応した黒みがあらわれる性質がある。露光量がふえると、対応する黒み（写真濃度）も増える。この性質により、露光量の多少、つまり天体の明るさが判断できる。しかし、写真には面白い性質があって、露光量がある値より少ない場合は黒みが殆ど変化しないし、逆に露光量がある値より多い場合は飽和して黒みが増えない。露光量がある範囲に収められた場合のみ、露光量に応じて黒みが変化する。要するに写真にはダイナミックレンジが存在するのである。

恒星の分光観測の場合、連続光レベルの写真濃度がダイナミックレンジの上端付近になるように露出時間を調整すると高い S/N のデータを取得できる。例えば、A型の６等星をクーデ分光器で観測する場合、適正露出時間は200分である。快晴の場合は200分の露出で望みどおりのデータが得られるが、観測中シーイングが変化したり、天候に変化があると写真乾板上の照度が変化するため、露出時間を調整することになる。一般には露出終了時刻を延長することになるが、この延長時間の判断を誤ると、露出オーバーとなって測定に堪えない乾板となり、3時間を越えるガイドの苦労が水の泡となってしまう。

そこで岡山天体物理観測所では、分光器に導かれた光量を知るための光量モニタを自前で製作し利用した。スリットの直後におかれた平板ガラスで約3%の光をはねて、これを光電管で測定するものである。この光量モニタにより、効率よく安定したスペクトル画像が得られるようになった。

さて、石田語録に「望遠鏡のガイドはいつも“押し麦”のように」とある。上記の例では、観測者はクーデ室の暗闇の中で200分あまりの長時間にわたりファインダーを覗きつづけ、ハンドセットを利用しながらスリットから星を逃がさないように"押し麦"状態を続けたものである。今から20年以上前のクーデ室の観測風景である。

注：“押し麦”とは戦後の食卓にのぼった麦飯の材料で、蒸した大麦を圧搾・乾燥したものである。小判状につぶれた麦の真中を黒条（通称ふんどし）がとおっており、その様子がスリット上の星のように見える。

１９６０年代のクーデ室前光学系
観測者は手前の椅子に座って画面中央のファインダーを覗き暗闇の中で何時間もガイドしていた。右壁面に露出計、レコーダーが見える。

188cm反射望遠鏡P.I. 装置

主な装置とP. I.（敬称略）を示す。
Cassはカセグレン焦点，Cdはクーデ焦点，
Nはニュートン焦点を意味する。

1）Cdフーリエ分光器　1976－1996年　田中　済
　波長最高分解能　0.03cm^{-1}
　観測波長域　2000－7000cm^{-1}
　検 出 器　InSb
　冷　　媒　液体窒素
　使用計算機　パソコンよりFACOM-S3300へグレードアップ

2）Cdファブリ・ペロー分光器　1984－1995年　安藤裕康
　波長分解能　0.05Å（R～10^5）
　観測波長域　4500－5500Å
　フリースペクトル域　2.5A（at5500Å）
　検 出 器　光電子増倍管
　冷　　煤　ドライアイス
　使用計算機　FACOM-S3300

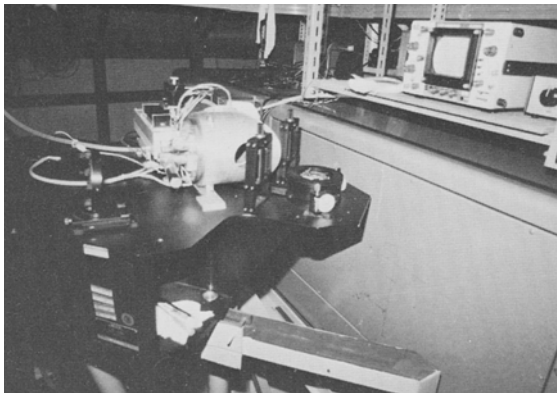


図3－32　Cdフーリエ分光器（1）

3）Cass IR近赤外測光器　1970－1972年　奥田治之
4）Cd恒星マグネトグラフ　1983－1984年　成相恭二
　1988年
5）Cass近赤外測光器　1984年　佐藤修二
6）Cassスペックルカメラ　1985－1995年　馬場直志
7）Cass近赤外測光器　1985年　田中　済
8）Cass近赤外分光器　1985－1987年　野口邦男
9）Cass近赤外分光器　1985－1987年　松本敏雄
10）Cass近赤外分光器　1961－1987年　舞原俊憲
11）Cd Échelle CCD　1988－1990年　川上　肇
12）Nシーイングモニター　1991－1992年　西原英治
13）N Pt Si近赤外カメラ　1991－1992年　上野宗孝
14）Cassイメージスタビライザー　1991－1992年　早野　裕
15）N多天体ファイバー分光器　1992－1999年　能丸淳一
　三戸洋之
16）Cass３次元分光器　1996～　大谷　浩
17）Cass偏光分光測光器（HBS）　1999～　川端弘治

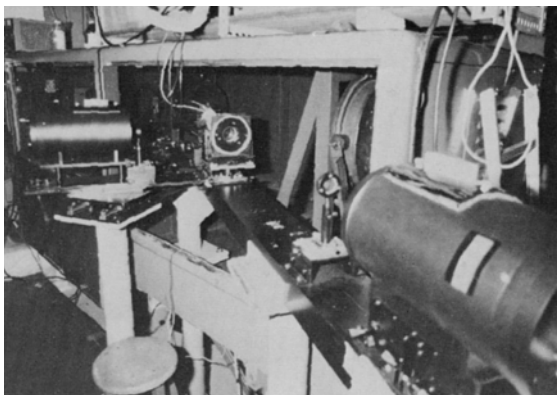


図3－33　Cdファブリー・ペロー分光器（2）

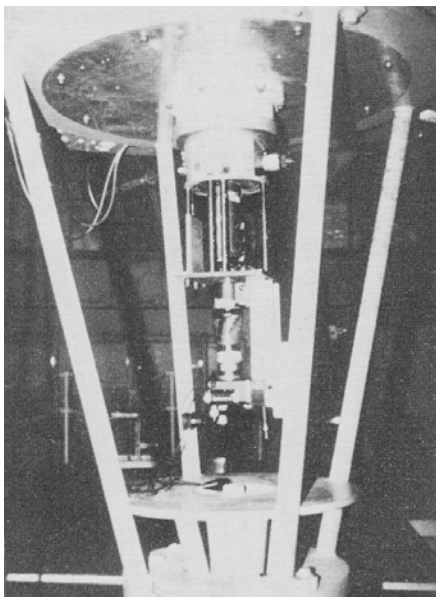


図3－34　Cassスペックルカメラ（6）

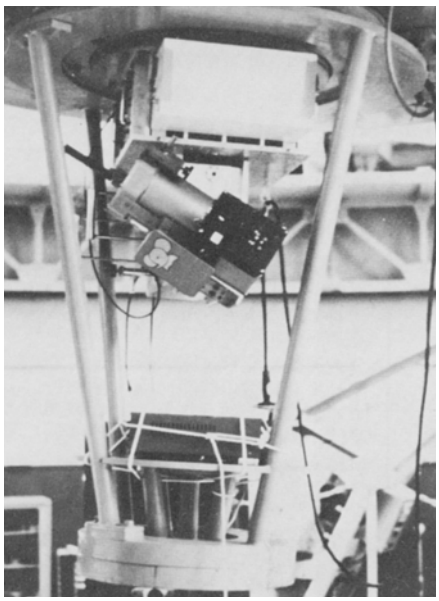


図3－35　Cass近赤外分光器（10）

91cm反射望遠鏡装置

共同利用装置

1）光電測光器（1号）　1961－1966年

受光素子	光電子増倍管 (EMI 6256B)
冷　却	ペルチェ素子冷却 (水冷)
出　力	アナログ記録計
使用期間	1961－1966年
開発・製作	日本光学

2）光電測光器（2号）　1966－1979年

受光素子	光電子増倍管 (EMI 6256B)
冷　却	ドライアイス冷却
出　力	アナログ記録計 1968～ディジタル出力 (紙テープ鑽孔)
使用期間	1966－1979年
開発・製作	岡山天体物理観測所

3）光電測光器（3号）　1979－1992年

受光素子	光電子増倍管 (EMI 6256B、浜松ホトニクス R943-02)
冷　却	ドライアイス冷却
出　力	ディジタル出力 (MT記録)
使用計算機	OKITAC 5010V
限界等級	約16等 (10秒積分、DC出力)
使用フィルター	ジョンソン3色(U、B、V)他7色
使用期間	1979－1992年
開発・製作	岡山天体物理観測所

4）グレーティングスキャン測光器　（1号）　1962－1699年

受光素子	光電子増倍管 (EMI 6256B)
冷　却	ペルチェ素子冷却 (水冷)
出　力	アナログ記録計
使用期間	1962－1966年
開発・製作	岡山天体物理観測所、日本光学

5）グレーティングスキャン測光器　（2号）　1970－1980年

受光素子	光電子増倍管 (EMI 6256B)
冷　却	ドライアイス冷却
出　力	アナログ記録計
使用期間	1970－1980年
開発・製作	岡山天体物理観測所、三鷹光器

6）3色同時測光器　1970－1990年

受光素子	光電子増倍管 (EMI 6256B)
出　力	アナログ記録計
使用フィルター フィルター回転速度	ジョンソン3色(U、B、V) 30Hz
使用期間	1970－1990年
開発・製作	岡山天体物理観測所

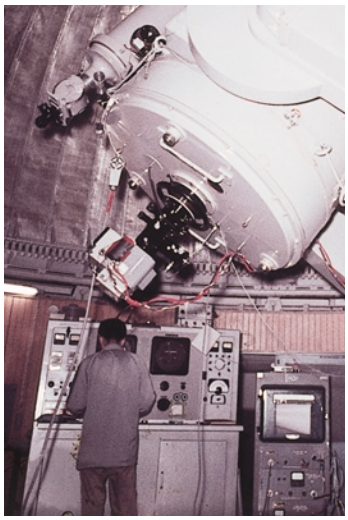


図3－36
1号測光器と旧望遠鏡コントロールデスク。測光器の出力チャートレコーダーが見える（1961年）

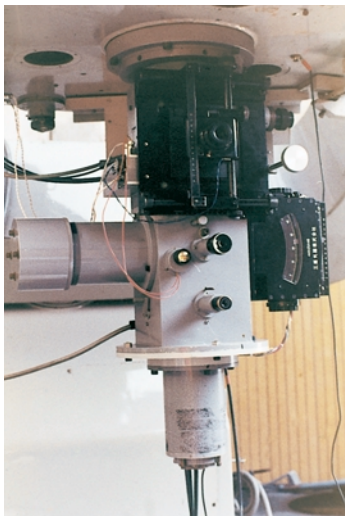


図3－37
グレーティングスキャン測光器（2号機）

図3－38
測光データはディジタルボルトメーターを使用し紙テープに鑽孔された。測光器の制御も遠隔操作になった。（1966年）

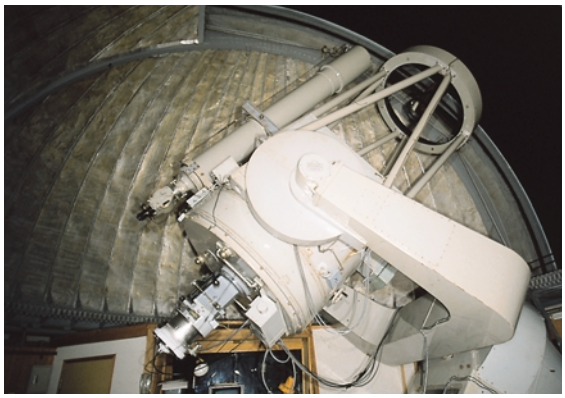


図3－39　3号測光器と望遠鏡新制御系（1979年）

7）プリズム分光器（Z分光器）

分散素子	プリズム
分散素子材質	フリントガラス
分散素子屈折率	1.64 (Hγ)
分散度	73Å/mm (Hγ)
カメラ口径比	4
観測波長範囲	3600－7000Å
典型的なスリット幅	0.06mm
スリット長さ	3.0mm
検出器	乾　板
検出器サイズ	107×41mm
使用期間	1970－1990年
総乾板数	2300
開発・製作	岡山天体物理観測所

1960年代中ごろまで、91cm望遠鏡では主に光電測光が行われていた。光電測光は大気が安定していないと精度の高い結果が得られない。そこで、天候変化の影響を受けにくい分光器の製作が提唱され、Z分光器が誕生した。構成部品のうち、ガイド用ファインダー、スリット部、およびカメラレンズは、三鷹構内にある口径65cm望遠鏡用の分光器（Zeiss社製品）部品を再利用したものである。そこで、Zeiss 社にちなんでZ分光器と名づけられた。

1971年から約５年の歳月を費やして、MK分類の標準星と各種特異星の分光観測を行い、約1000枚のスペクトル乾板を取得した。その中から厳選されたスペクトルが“An Atlas of Representative Stellar Spectra”として出版されている。このアトラスは、我が国から出版された最初の恒星スペクトル・アトラスである。収録されているスペクトルの範囲が広く、美しい仕上がりのため、今日にいたるまで多くの研究者によって研究や教育に利用されている。その他に、Be星の時間変化や、星間吸収線（λ4430Å）のサーベイなどに利用されている。近年ではアトラスで紹介された星のスペクトル写真がカラーフィルムで取得され、CD-ROMを媒体とした天文教材「宇宙スペクトル博物館」に資料として収録された。

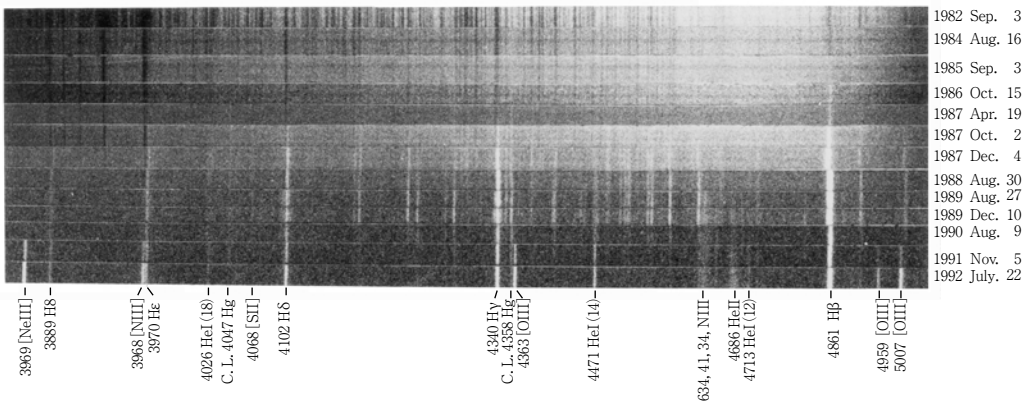


図3－40　Z分光器で撮影したスペクトル（PU Vulの1982年から1992年にかけてのスペクトルの変化）

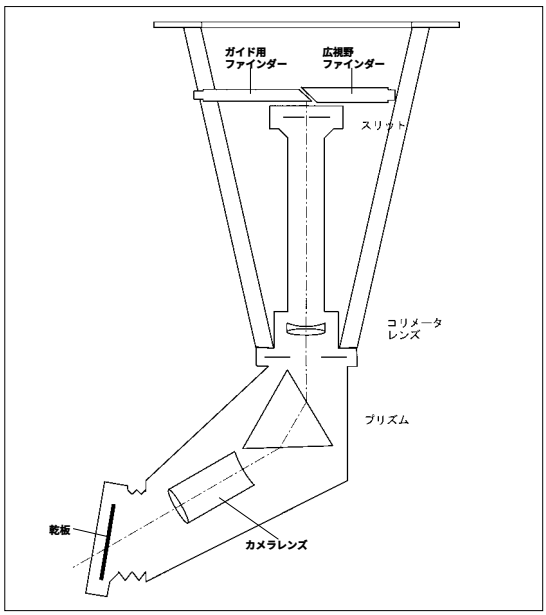
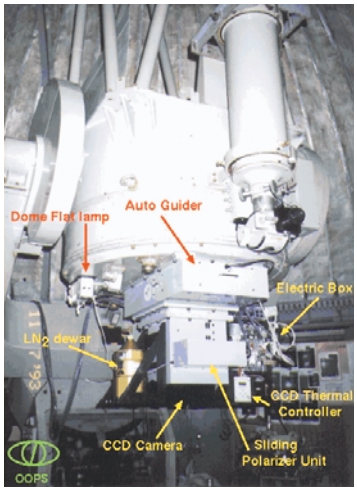


図3－41　Z分光器光学系

図3－42　Z分光器

8）偏光撮像分析装置（OOPS：Okayama Optical Polarimetry and Spectroscopy system at OAO）

検出器	CCD TC-215 (T.I.社製)
画素数	1000×1018
画素サイズ	12×12μm
画素スケール	0.″56/ピクセル
冷　媒	液体窒素
観測波長範囲	4000－8000Å
偏光素子	ロションプリズム(分散角7°)、アクロマティック半波長板
フィルター	U、B、V、R、Iバンド (必要に応じて交換可能)
分散素子	グリズム (材質BK7、400本/mm、ブレーズ波長5500Å)
オートガイダー用カメラ	IICCDカメラ
使用期間	1992－2000年
開発・製作	岡山天体物理観測所



OOPS

オートガイダ用カメラ：IICCD **カメラ**

OOPSは91cm望遠鏡用に製作された偏光撮像分光装置である。光学系はコリメータレンズ（f=135mm）と、カメラレンズ（f=50mm）から構成され、コリメータレンズがつくる平行ビーム中にさまざまな光学部品を挿入することで、偏光撮像観測、グリズムによる低分散分光観測、偏光分光観測、そして直接撮像観測が実現できる。ロション・プリズムと半波長板を組み合わせることで、CCD上には常光像と異常光像が結像する。このような2光路式偏光子を用いた観測では、観測中に天候が変化しても画像間の相対補正が可能であるため、日本のように天候変化のある土地に最適化したつくりとなっている。OOPSを構成する機械要素や光学要素はモジュール化されており、装置の維持が容易になるよう設計されている。

OOPSの制御系は4つの観測モードを短時間に切り替えられ、しかも91cm反射望遠鏡やオートガイダとも連携した半自動化された観測が可能になっている。なお、91cm反射望遠鏡の制御系やオートガイダはOOPS製作グループにより更新された。OOPSはすばる望遠鏡用の観測装置FOCASのプロトタイプとも位置付けられ、分散統合型ソフトウエアの経験を積む上で大いに役立った。

装置の設計・製作には、観測所職員があたった。

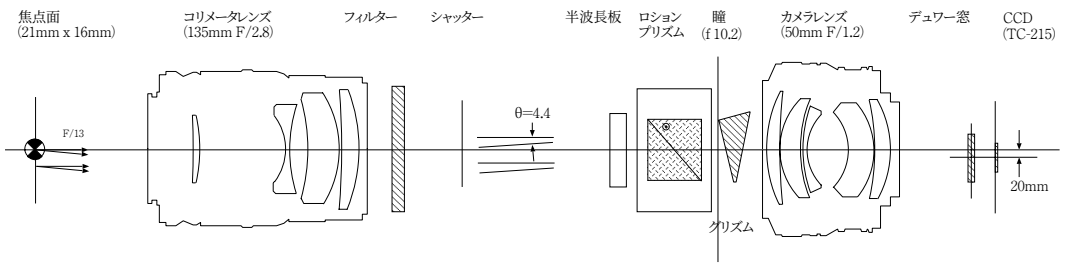


図3－43　OOPS光学系図

9）P.I.装置

近赤外測光器　1968年　長谷川博一、奥田治之
近赤外測光器　1969－1973年　奥田治之
偏光分光測光器（HBS）1999～　川端弘治

偏光分光測光器（HBS）は、可視波長域において、天体の直線偏光および強度の低分散スペクトルを取得する装置である。波長分解能35-150Åで3600-9000Åの波長域を一度にカバーし、広い波長域にわたる連続光の偏光と、強い輝線や吸収線部分の偏光を、同時にかつ分離して捉えることができるのが特徴である。偏光度測定精度は0.1%以下を達成している。主に前主系列星やB型輝線星、新星、共生星、小惑星の偏光、星間偏光の測定に用いられ、これらの偏光の原因となる、ダスト・電子といった光散乱体の特性や分布についての研究が広く行なわれている。1999年度まで堂平観測所で共同利用装置として稼働した後、現在は主に岡山天体物理観測所91cm望遠鏡にて利用されている。また、課題に応じて188cm望遠鏡へ取り付けての観測も実施されている。

図3－44　91cm反射望遠鏡に装着されたHBS

65cmクーデ型太陽望遠鏡観測装置

P119 “ 岡山の太陽観測 ” 牧田貢氏　参照

1）高分散分光器

スリット長	最大50mm
コリメーター 口　径 焦点距離	(カメラ部と共用) 430mm 10m
分散度	0.36Å/mm 4000Åにてグレーティング1200本/mm, 2次光使用時
受光面積	50×200mm
検出器 サイズ	乾板 80×220mm, 20×200mm
フィルム	35mm長尺

図3－45
分光器（右奥にエシェル分光器の主鏡（1m）が見える）

2）エシェル分光器

コリメーター 口　径 焦点距離	 0.15m 5m
カメラ 口　径 焦点距離	 1m 4m
分散系	垂直分散 透過グレーティング83本/mm、エシェルグレーティング(反射)73本/mm
分散度	0.30Å/mm (4000Åにて)
受光面積	240×440mm
検出器	24cm幅のロール航空フィルム

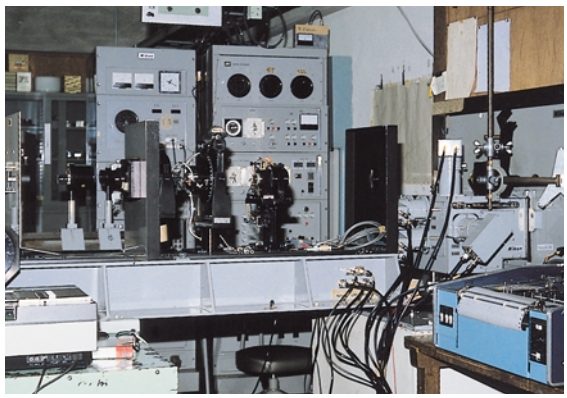


図3－46　マグネトグラフ前光学系

3）マグネトグラフ

観測波長	Fe I λ5250Åほか
1/4波長板	5250Å用、回転速度　40Hz
分光器	高分散分光器を使用
受光部	プリズムスリット幅　150μm、マスクスリット幅　500μm 5250Åの中心より27-80mÅを受光
検出器	光電子増倍管 (EMI 6256B)　6本
使用計算機	MELCOM 70/60 メモリ　3MB、ディスク　64MB、出力　磁気テープ

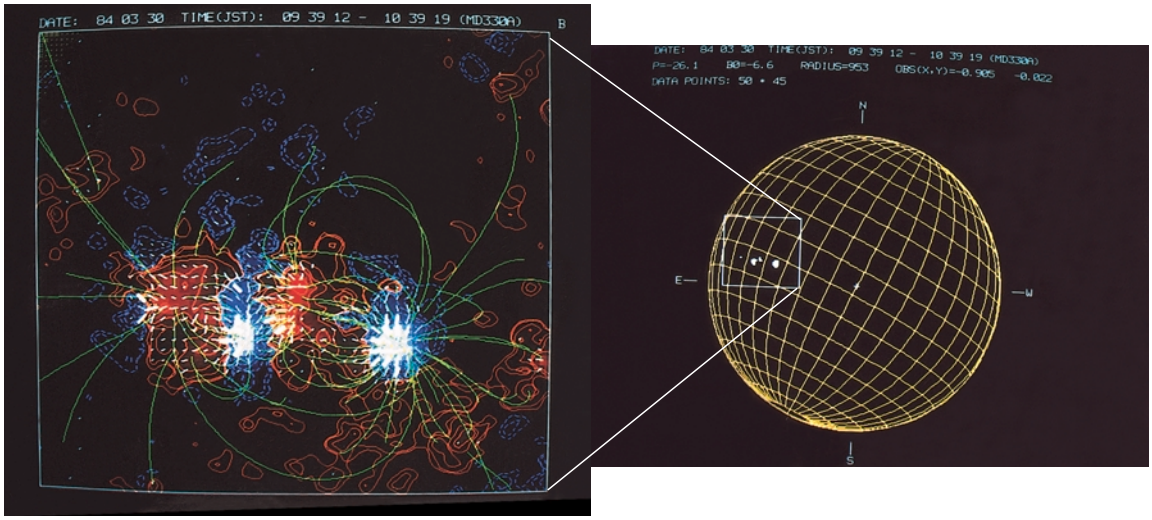


図3－47　黒点周辺の磁力線の様子が描かれている。右の太陽像の四角で囲まれている部分。
赤がN極。青がS極