

## LPL に於ける赤外線観測装置

山下 泰正\*

筆者は 1966 年 1 月に 3 週間程 LPL に滞在して、H. L. ジョンソンからその赤外線観測装置について学ぶ機会を得た。LPL は月惑星研究所 (Lunar and Planetary Laboratory) の略でアリゾナ大学に属している。ジョンソンさんの創意工夫した観測装置を中心として赤外線観測技術の紹介をするのが本稿の目的であるが、専門家でない悲しさの外れの感を免れないのはお許し願いたい。赤外線天文学についてはすでに本誌に松本、奥田、杉本の諸氏 (59 巻 4 号)、辻氏 (59 巻 9, 10 号)、赤外線デテクターについては大沢さん (58 巻 5 号) の立派な解説があるので是非参照されたい。

次の第 1 表は LPL で現在使用されている広帯域測光装置一覧表である。従来からの光電子増倍管による U, B, V の 3 色測光系は本稿の範囲外だが、ただ赤外線デテクターとの比較に於いて次のことを強調しておきたい。可視域では外部光電効果を起こすような陰極材料が古くから知られていた。従ってそれらの光電子を真空管のなかで増巾して高感度の光電子増倍管を作ることができた。現在実用化されている最高感度の光電子増倍管は約 25% の効率をもつ。即ち入射した 4 個の光子のうち 1 個は光電効果を起こす。赤外域でこのような陰極材料を開発することは非常な困難をともなったが、RCA

で開発した S1 カソードを用いた増倍管に 7102 というのがある。この管の感度は上記のもの比べて 1/10 以下と低く、その波長域も 1.2 ミクロン ( $\mu$ ) 以下に限られている。しかし S1 カソードは現在得られる殆んど唯一の陰極であり、赤外乾板の不満足な現状では、 $1\mu$  附近のスペクトル観測等にも S1 カソードの光電子増倍管をもっと活用してよいのではないかと思う。 $1.2\mu$  より長波長域では有効に外部光電効果を起こすような材料は未だ見つかっていない。従って現状では内部光電効果を利用した quantum detector, 或いは thermal detector, にたよらざるを得ない。この種のデテクターの雑音は光電子増倍管のそれと比べて桁外れに大きい。例えば LPL で使われているデテクターは  $1 \times 10^{-14}$  ワットの NEP をもっている。これは光子の数でいうと  $3 \times 10^5$  個/秒に相当する。より高感度のデテクターの開発が望まれる由縁でありそれなしには赤外線天文学の真の発展はないと思える。

I から L までは Infrared Industries 社製で NEP =  $1 \times 10^{-14}$  ワット、受光面積  $0.25 \text{ mm}^2$  という PbS が用いられている。これは現在入手できる PbS のうちでは最高感度のもので値段も 1 個 5000 ドルはするという話である。フィルターは Optical Coating Laboratory 社

第 1 表 LPL に於ける広帯域測光装置

バンド	有効波長	デテクター	フィルター	窓 及 ファブリ・レンズ	冷却剤	増巾器
U	0.36 ( $\mu$ )	RCA 1 P 21	色 ガ ラ ス	熔融水晶	ドライアイス	D.C.
B	0.45					
V	0.555					
R	0.67	RCA 7102	干 渉	?	ドライアイス	D.C.
I	0.87					
J	1.20	PbS NEP= $1 \times 10^{-14}$ W	干 渉	サファイア $\phi$ 2 mm f 3 mm	ドライアイス	A.C. 90 cps 同期整流
H	1.65					
K	2.20			LiF		
L	3.50			LiF		
M	5.0	Ga doped Ge ポロメーター NEP= $(3 \sim 0.9) \times$ $10^{-14}$ W	?	?	液体ヘリウム ヘリウム蒸気圧 5 mmHg 2°K	A.C. 10 cps 同期整流
N	9.0					
Q	25			?		
	300		?	?		
	1 mm		吸収フィルタ ー及び導波管	Teflon		

製の干渉フィルターで、台材には短波長域では熔融水晶が長波長域では Ge 等の半導体が使われている。受光器

\* 東大理

の窓はファブリ・レンズと兼用になっている。ここで注意すべきことは赤外デテクターでは受光面積が非常に小さいことである。これは受光面が小さい程雑音の下がり感度が上がるためである。そのため、LPLでは口径2mm 焦点距離3mmのレンズを望遠鏡の焦点、即ちダイアフラムのところに置いている。このようなF比の小さいレンズはなかなか曲者で、例えば普通の光学材料を用いるとレンズの曲率は球よりもっと凸にしなければならなくなる。この困難を避けるには屈折率の高い材料を使えばよろしい。というわけでサファイアのレンズが採用された。屈折率が高いとレンズ表面での反射も増すが反射防止のコーティングをすることは困難なくやれる。むしろ低屈折率の場合にコーティング用の適当な材料がなく反射防止不能になることが多いようである。

Mではデテクターとして Texas Instruments 社製の径2mmの受光面をもつ InSb 光電導セルが用いられていたことがある。しかしこのセルは後述の Ge ボロメーターと比べて感度が1/100も悪いので今は全く見捨てられてしまった。

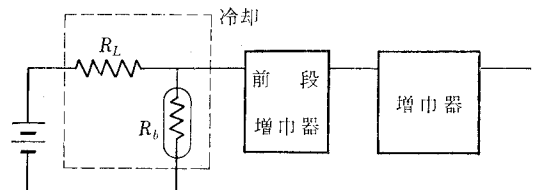
現在のところMより長波長域では Texas Instruments 社製の Ga で dope した Ge のボロメーターが用いられている。そのレスポンスは約  $5 \times 10^6$  ボルト/ワット、NEP は  $3 \sim 0.9 \times 10^{-14}$  ワットとのことである。ボロメーターは材料の温度が変わるとその抵抗値が大きく変わることを利用したもので thermal detector に属する。星の光がボロメーター表面にあたると熱として吸収されてボロメーターの温度を上げる。一方ボロメーターには抵抗測定用に電線が二本出ている。その電線が同時に熱のリークになっている。従ってボロメーターの体積が小さい程また電線が細い程感度がよいということになる。LPL で使っている Ge の結晶は受光面  $0.5 \times 0.5$  mm 厚さ 0.3 mm で常温では約 10 オームの抵抗をもつが  $2^\circ\text{K}$  では  $2 \text{ M}\Omega$  の抵抗値を示す。  $2^\circ\text{K}$  という低温は液体ヘリウムの蒸気圧を水銀柱 5 mm まで抜くことによって実現される。  $2^\circ\text{K}$  の恒温槽とボロメーターとは電線で結ばれている。線は細い程ボロメーター感度はよい筈だが、同時に光をチョップする周期も長くしてやらねばならない。従って半導体特有の  $1/f$  雑音がありますという事情がある。そのかねあいから 10 サイクルで光をチョップし、電線には径 0.125 mm 長さ 1 mm の真鍮線を用いている。真鍮線と Ge 結晶を付けるのには In ハンダを用いるそうだ。ハンダ付けの作業はステレオ顕微鏡の下でやるそうだが線の細いこと結晶の小さいことから推して相当の技術を要するものと思われる。

ボロメーターは第1図のような回路に組んで用いられる。ここで大事なことはボロメーターだけでなく負荷抵抗も  $2^\circ\text{K}$  まで冷やされていることである。LPL では

前段増巾器に Texas Instruments 社製の RA-3 型低周波パラメトリック・アンプを使っている。その性能はゲイン 2000~3000、周波数 0.01~500 サイクル、雑音 0.05 マイクロボルト (0.8~10 サイクル)、入力インピーダンス  $15 \text{ M}\Omega$  以上 (15 サイクル以下)で、現在入手できる最も低雑音の増巾器とのことである。なお PbS 回路図もパラメトリック・アンプの代わりに真空管式のものを使っている以外原理的には第1図と同じである。

ボロメーターの直流特性は第2図のOAのように表わされる。Eb はボロメーターにかけた電圧で Ib はそこを流れる電流である。ボロメーターの温度が  $T_0$  から  $T_0 + \Delta T$  に変わると特性は OB に移る。従ってボロメーターの動作特性は CD のように表わせる。ここで大事なことはボロメーターの動作特性を決めているのはボロメーターの温度  $T_0$  だが、温度測定はもはやボロメーターの直流特性を測定する以外に方法がないということである。従って観測中絶えずその直流特性を測り、ヘリウム蒸気圧つまり真空ポンプの弁を調節して温度調節をしなければならない。余談だが1リットルの液体ヘリウムがあれば真空中に抜きながらでも24時間はもつそうである。PbS のレスポンスも温度によって変わるが、こちらはドライアイス或いは液体窒素の恒温槽に導線で結んでおけば問題ないとのことである。

地上から星の赤外観測をするには地球大気による吸収のない窓をねらって行わねばならない。第1表の J, H, K, ... 1mm は何れも空気の窓に対応している。しかし窓にも良い窓と悪い窓があって次のように教えられた。J, H, K 及び N は良い窓で多分海拔 0 m でも観測可能であろう。L はかなり良いという程度、M は良くない窓、この二つは高山で観測する必要がある。更に問題なのは  $3 \mu$  より長波長域では空即ち水蒸気が光ることである。空のみでなくフィルターもダイアフラムも望遠鏡の鏡以外はすべて  $300^\circ\text{K}$  に相当する熱輻射を出す空以外の影響を消すのは比較的易しい。即ちフィルター、ダイアフラム、受光器の壁等は PbS やボロメーターと一緒に液体窒素なり液体ヘリウムの温度まで冷やせばよい。またファブリ・レンズをうまく作って望遠鏡の主鏡の像が受光面を丁度満すようにして、鏡俵等  $300^\circ\text{K}$  で輝いている部分を受光面から追出してやればよい。この領域では大事なことは空気の透明度ではなくて、空気が

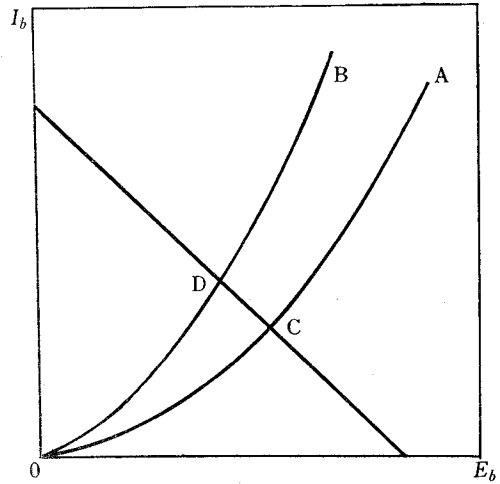


第1図 ボロメーター回路説明図  
Rb: ボロメーター,  $R_L$ : 負荷抵抗

光ることである。透明度の変化はわずか数 % でも空の明るさは数倍も変わる。従って sky cancellation が非常に重要になる。LPL では鏡をバタバタ動かして空+星と空の間でチョップして、その交流信号を取り出している。即ち空の明るさは自動的に差し引かれている。それでも 1/90 秒異なった時刻に於ける角度で数秒はなれた場所の空を引いているから、若し水蒸気の分布が空間的に一様でなく、また時間的に早く変動していると出力信号はガタガタになってしまう。快晴なのにこういうことが起こり出すと決まったように数時間後に雲が出るそうである。

LPL では大気吸収に対する補正として空気函数の一次だけを考慮している。大気吸収は線吸収だから成長曲線効果を考慮すべきだという議論もある。しかしジョンソンさんは観測量は (1-線吸収) であるし、標準星との相互比較をしている限り、sec  $\tau$  による補正でよいと考える。しかし flux の絶対測定をする場合、或いは星のスペクトル自体に H<sub>2</sub>O 等の吸収線がある場合にはその限りではない。

LPL のあるツーサンは海拔 700 m、砂漠のまんなか突然出来たような町で空気は恐ろしく乾いている。観測所は町のすぐ北にそびえる海拔約 2600 m のサンタ・カタリナという山にある。ここはまさに赤外線観測には絶好の土地である。この赤外偏光観測、観測データ記録及び解析の自動化等についても学んだがここでは省略する。



第2図 ボロメーター特性説明図、OA( $T=T_0$  の場合)、OB( $T=T_0+\Delta T$  の場合) は直流特性。従って CD が動作特性になる。

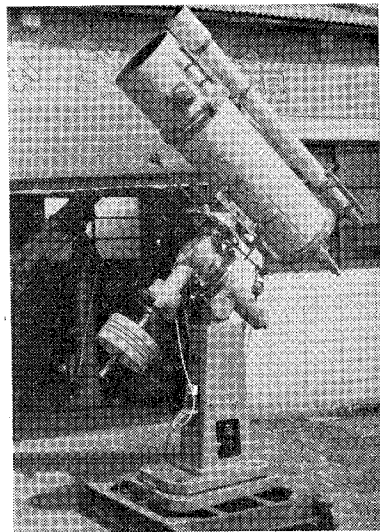
まとめると、赤外線観測の障壁となっているのは大気吸収と現在の赤外検出器感度が意外に低いということである。吸収の主成分は水蒸気によるものであるから数十 km の高さまで昇れば吸収の影響は殆んどなくなる。大型観測気球の開発が望まれる由縁である。しかし地上観測と気球観測とは互の欠点を相補う性質のものであるから地上観測を軽視してはならない。検出器感度の問題は材料工学にも関連していて将来の見通しに

## 西村製の

# 30 cm 反射望遠鏡

下記へ納入して好評を博しております

- 米 ゴッダード・スペース・フライト・センター  
ハインド J R 短期大学  
ムレ大学
- 英 オックスフォード大学
- スイス バーゼル大学



30 cm 反射望遠鏡

ニュートン・カセグレン兼用

株式会社 西村製作所

京都市左京区吉田二本松町 27

電話 (77) 1570, (69) 9589

ついでには筆者には見当もつかない。しかし、1A（ドブプラ市）程度の分解能で星のスペクトル観測ができるようにならないと、観測データの解釈にかなりのあいまいさが常につきまとうのではないかと思う。可視域では光

電子増倍管の開発とフォトン・カウンターの技術をそれに活用することによって極限等級を従来よりずっと暗い方まで延すことができた。こういう新しい技術が赤外線にも現われることを切望する。

## 新刊紹介

月にいどむ実験室 木村繁，新書判，246頁，朝日新聞社，定価 300円。

著者は朝日新聞科学部記者として、1965年11月より約1箇年間、アメリカ各地に散在する宇宙基地を歴訪して、近く実施されようとしている人間の月世界旅行が、いかに準備されているかをつぶさに見てまわった。本書はその見聞をまとめたもので、宇宙記者アメリカ探訪というサブタイトルがついている。内容は前半の“地上の宇宙”と、後半の“月をめざして”の2部にわかれている。前半の部分は宇宙生理学の話題ともいうべきであろうか。人間が今まで住みなれた地球上の環境とは、全くかけはなれた大気圏外の空間の中で、安全に、しかもある程度の作業能力を発揮するための条件、また能力を増すための訓練法や器具などについての話題が中心になっ

ている。吾々の複雑な生命現象や機能等は、すべて地球の物理条件の中ではたらくようにできているので、無重、無圧、無酸素等の大気圏外、あるいは何十Gという加速度での条件がどんなものであるか、吾々は感覚的にピンとこないものである。たとえば長距離の汽車旅行で、2、3時間座っているだけで、おしりが痛くなるが、狭い衛星船の中で何日間もじっとしていても、体重がかからないので、何ともないなど、簡単なことながら、いわれて見ればなるほどと思うことがいくらかもある。

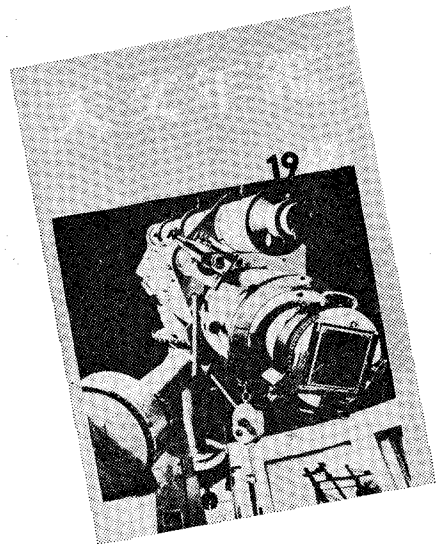
月世界旅行ではそのようないくつもの条件が、綿密に調べられ、一つ残らずある限界内で満されなければ大変なことになる。著者は無重量状態の体験をし、宇宙服を着て見たり、地上の模擬月面を歩いたり、又自分の尿を飲料水にもどして飲んで見たり、これらの体験が、軽妙な筆で書かれていて、単なる通り一ぺんの見聞記に終わっていない。

後半は月世界をめざすアポロ宇宙船が、いかに作られているか、各地の実験工場、組立工場を訪れたりポート

## 天体観測のバイブル 「天文年鑑」1967年版が 大好評 発売中です

お近くの書店へどうぞ——

■1967年の毎日の天文現象の予報、惑星や月・太陽の出没時刻、日・月食や星食、小惑星・彗星・流星・変光星の予報、水・金・火・木・土・天・海・冥王星などの1年間の動き、太陽の月面余経度・月面緯度の毎日の値、さらに新しく主な星雲・星団の表や恒星表、隕石・ユリウス日・JJY報時の項目をふやしたもので、初心者から高度のアマチュアまで、天体観測者になくなくてはならない、便利な定評のある年鑑です



B 6判 124ページ（増ページ）

定価 250円