

太陽赤外スペクトルの観測 (III)*

田 中 濟**・末 元 善三郎**

概 要

1972年9月20日、高度27 kmの気球より太陽光球中央部の高分散赤外スペクトルが観測された。波長域は $1.15\ \mu\sim 2.47\ \mu$ 、スペクトルの純度は $1\ \text{\AA}$ である。解析の結果1500本以上の太陽吸収線が検出された。

1. 序

われわれは1968年に波長域 $0.98\ \mu\sim 2.19\ \mu$ の低分散(分解能 $10\ \text{\AA}$)太陽赤外スペクトルの観測に成功[1]、さらに1970年には $0.73\ \mu\sim 1.36\ \mu$ の高分散($0.5\ \text{\AA}$)スペクトルの観測に成功した[2]が、1972年度はこれにつづく長波長域での高分散スペクトル観測を行なった。

2. 観 測 装 置

観測装置は望遠鏡をかねた二軸サン・フォロー、太陽アスペクトメータ、赤外スキャンニング・モノクロメータ、同期増幅器で構成される。このほかテレメータ(4チャンネル)、リモコン、方向規正装置、電源、バラスト等が $65\ \text{cm}\times 65\ \text{cm}\times 70\ \text{cm}$ のゴンドラに収納された。全体は保温のため厚さ $5\sim 10\ \text{cm}$ の発泡プラスチックでおおった。重量は55 kgであった。

(1) 二軸サン・フォロー

前回と同じようにゴンドラ全体を“よりもどし規正”により太陽から $\pm 10^\circ$ 以内に規正し、その上でサン・フォローが $\pm 1'$ までの規正を行なうように設計した。

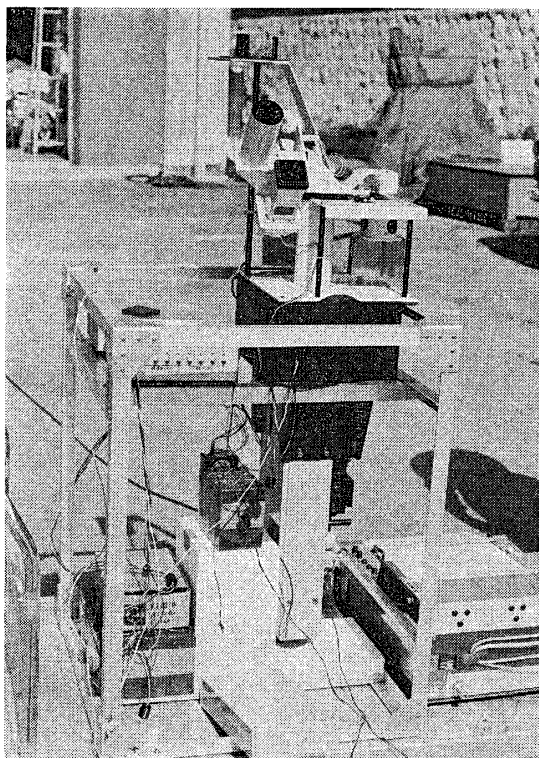
サン・フォローは1970年のものに大幅な改良を加えた。高度・方位共に可動範囲を制限することによってスリップ・リングの使用をやめ、各所のガタを極力なくすことにつとめた。その結果、地上テストでは規正精度数秒という好成績をおさめた。

フォロー頭部には口径50 mm、焦点距離550 mmの石英レンズがあって、モノクロメータの第1スリット上に直径5.1 mmの太陽像を作る。レンズを通った太陽光は2面の 45° 鏡で垂直方向に導かれる。

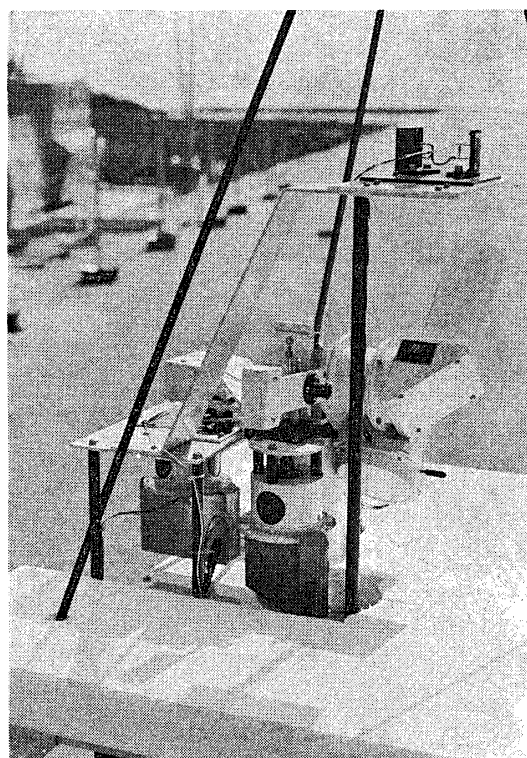
太陽センサは粗センサと精密センサがあって、粗センサはフォローに同架された口径21 mm、焦点距離75 mmのレンズの焦点部に、精密センサは主望遠鏡の焦点部におかれた。いずれもシリコン太陽電池を田型にはりあわせたもので、視野は粗センサが 30° 、精密センサが 2.3° である。精密センサの中央には径2 mmの孔があって、ここからモノクロメータ

* 宇宙研特別事業費による研究論文

** 東京大学理学部



第1図 観測装置



第2図 サン・フォロウ

のスリットに太陽光が入る。

太陽電池は電流制御になるように並列にシャント抵抗をつけ、平衡状態で各 0.05 V の出力が得られるようにした（太陽像が一枚の電池の上に出来た場合は 0.2 V の出力となる）。太陽電池の感度に多少のアンバランスがあるので、実際にはシャント抵抗に $30\ \Omega$ の可変抵抗器を使用しバランスをとった。太陽電池の出力は差動増幅器で和および差を作って高度・方位に分離し、最大変位 $\pm 6\text{ V}$ になるように利得を設定した。

駆動モータは高度・方位各軸に2個ずつのマイクロモータが差動ギヤを介してとりつけられている。平衡状態では各 $\pm 6\text{ V}$ のバイアス電圧で回転しているが、出力軸は回転しない。増幅器の出力が 0 V からずれると、対になったマイクロモータの回転数にその量に応じた差が生じ、平衡状態にもどるようにサーボがかかる。最大のアンバランス状態では一方のモータに 12 V 、他方に 0 V がかかるが、この場合の高度・方位各軸の回転速度は1回転それぞれ12分と3分程度である。

粗センサと精密センサの切り替えは、精密センサの視野に太陽像が入るとシュミット回路の働きによりリレーが作動することによって行なう。

望遠鏡の焦点近傍に高次スペクトルのカットをかねた赤外透過フィルタ（東芝 IR-D1A）を 45° に傾けて入れ、その表面反射を使って太陽アスペクトメータを働らかせた。アスペクトメータについては文献 [2] を参照されたい。

(2) スキャンニング・モノクロメータ

1970年のものを回収し、オーバー・ホールして使用した。

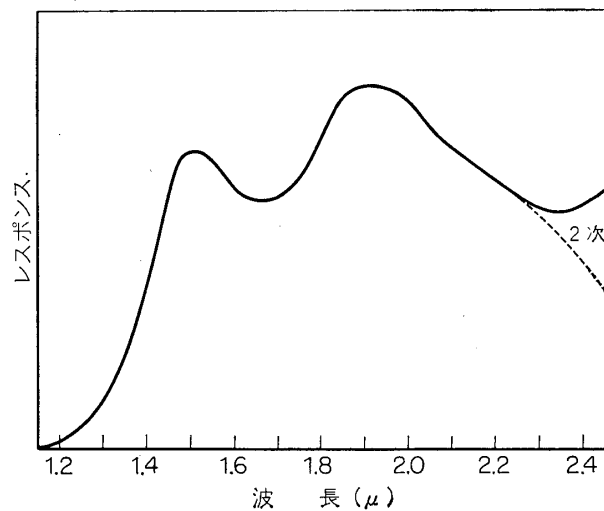
ツェルニー・ターナ型モノクロメータで、球面鏡は口径 50 mm, 焦点距離 554 mm, グレーティングはアメリカ, ボシュ・ロム製で 1.6μ ブレーズ, 600 本/mm, 大きさは 52 mm \times 52 mm, 分解能約 25,000 のものを使用した。スリット幅は 0.5Å のスペクトル純度がえられるように 20μ に設定した。スリットの有効長は 0.5 mm である。これは太陽面上 $0.13'\times 3.1'$ に相当する。

波長送りは長さ 175 mm のサイン・バーによるグレーティングの回転によったが、前回コンタクト部分のガタのため長波長側で波長送りが不安定になったので、サファイアの板をはるなどの改善を行なった。 $1.15\mu\sim 2.47\mu$ のスキャンに要する時間は約 60 分であった。

赤外線検出器はアメリカのインフラレッド・インダストリー社の PbS B3-SA 19 (感光面 $0.38\text{mm}\times 0.63\text{mm}$) に 22.5 V のバイアス電圧をかけて使用した。チョッピングの周波数は 500 Hz (セクタによる) で、PbS の出力 (1.5 mV) は利得約 66 dB の同期増幅器を経てテレメータに送られる。同期増幅器には PbS の温度による感度変化を補償するため、サーミスタによる利得調整回路が組み込まれている。

今回もっとも注意をはらったのはモノクロメータとサン・フォロワの接合である。実はわれわれは今回と同じ観測を 1971 年度にも試みたのであるが、接合部が弱かったために上空での温度上昇によってゆがみ、光軸がずれて観測に失敗した。そこで精密センサをモノクロメータ側につけるなどの改良を行なった。

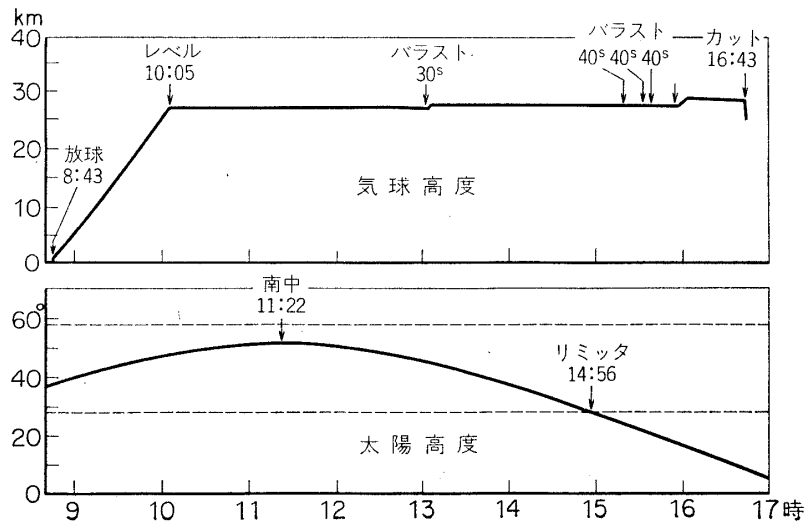
第 3 図は望遠鏡から検出器まですべてを含んだ総合の波長特性を示す。グレーティングの高次スペクトル・カットにはアメリカのオプティカル・コーティング社の干渉フィルタ L-01230-5A を使用したので、短波長域の特性は主としてこれによっている。モノクロメータ内のストレーライトは 0.3% 以下と考えられるが (文献 [2] に記述されているテストを実施), 2.2μ 以上ではフィルタの短波長側のもれがあって二次スペクトルが重なっているものと思われる。その程度は 2.3μ で約 5%, 2.4μ で約 25% である。



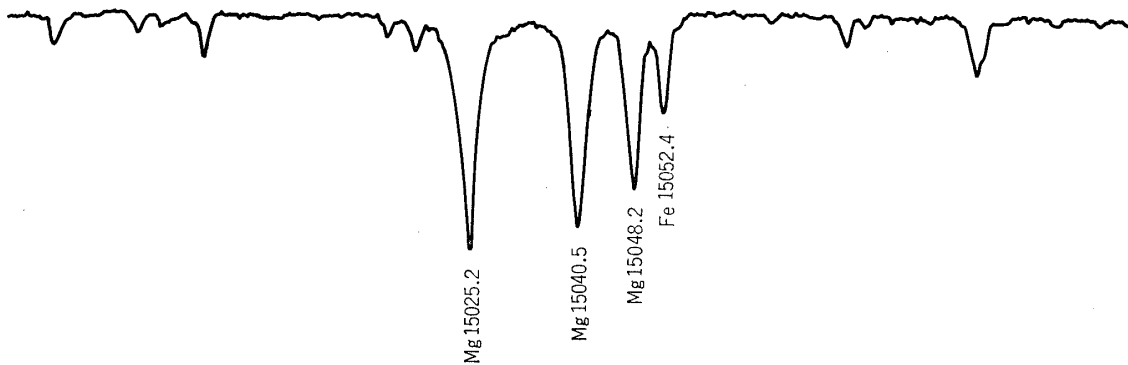
第 3 図 観測装置総合波長特性

3. 観 測

気球は $5,000\text{m}^3$ (B₅-44) を使用した。放球は1972年9月20日8時43分(日本標準時)三陸大気球観測所で行なわれた。10時5分, 気球は三陸町北東約100kmの海上, 高度27kmで水平浮遊に入った。始め電源部に異常が生じ気をもませたが, 水平浮遊に入ると完全に回復, 10時35分から14時56分リミッタが働いてサン・フォロワが作動しなくなるまで完全な観測が行なわれた。ゴンドラは16時42分, 北東200kmの海上に降下させた。平均の観測位置は東経142.9°, 北緯39.9°であった(太陽南中11時22分)。

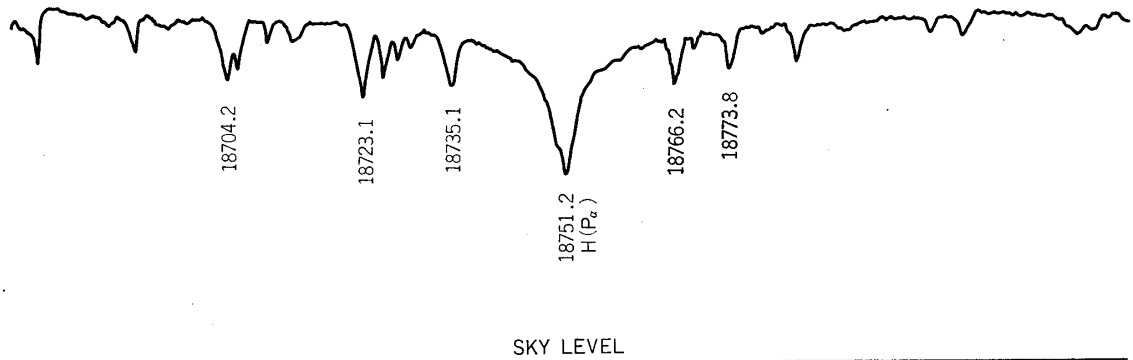


第4図 1972年9月20日 B₁₅-44 飛揚データ曲線

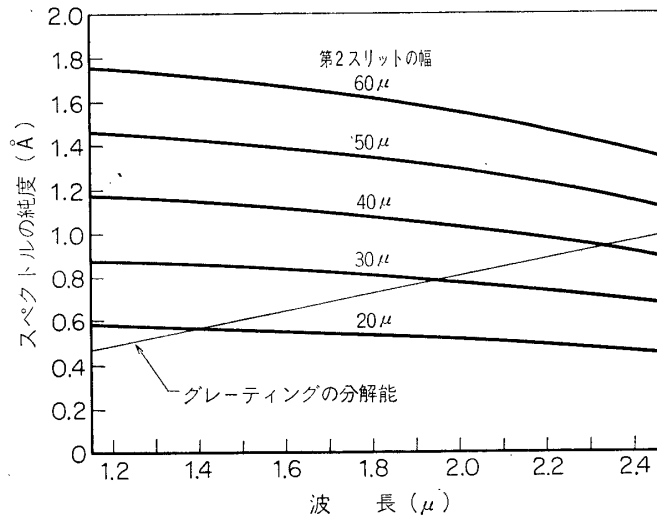


SKY LEVEL

第5図 太陽赤外スペクトルの一部



第6図 太陽赤外スペクトルの一部



第7図 モノクロメータの分解能

モノクロメータの熱膨張はスリット幅が広がったのと同じ効果をもつ

サン・フォロワは地上テストで0.1'の規正精度を得ているが、“よりもどし規正”の調整が十分でなく、ゴンドラが約6秒の周期で±2°ほど揺れ動いたため、1'程度の規正にとどまった。しかし、安定性は良好で、観測中規正が外れるようなことはなかった。

テレメータの出力は理化電機のペン・レコーダ（記録紙幅250mm、ペン・スピードはフル・スケール1/3秒）で記録をとった。紙送りを500mm/minとしたので、スペクトルは0.44Å/mmで記録され、15m巻紙9巻に4.5スキャンのトレースがえられた。

4. 整約と考察

観測中の太陽高度は28°~51°で、天頂距離を z としたとき、 $\sec z = 2.14 \sim 1.28$ となる。気球高度での気圧は19mbであるから、観測器機と太陽間に残存する大気量は190~320 m-atmと算出される。トレース上水蒸気の吸収線はまったく検出されず、1.96μ, 2.01μ,

第1表 太陽赤外スペクトル線

波 長 (Å)	同 定	等 積 幅 (Å)	波 長 (Å)	同 定	等 積 幅 (Å)
12818.2w	H(P_{β})	2.70	15040.5	Mg	0.87
13123.3	Al	0.42	15048.0	Mg	0.58
13151.0	Al	0.32	15051.9	Fe	0.28
13177.1	—	0.29	15095.0	Fe	0.16
13287.7	—	0.25	15159.5	—	0.15
13565.9	—	0.17	15207.8	Fe	0.21
13620.9	—	0.20	15219.9	Fe	0.18
13643.6	—	0.28	15245.2	Fe	0.18
13668.3	—	0.21	15294.8	Fe	0.41
13683.1	—	0.24	15335.5	Fe	0.19
13694.4	—	0.24	15377.0	Fe	0.17
13712.1	—	0.22	15394.8	Fe	0.33
13756.5	—	0.20	15395.6	—	
13824.0	—	0.27	15501.1	Fe	0.15
13897.7	—	0.18	15558.0	Si	0.18
13906.0	—	0.19	15591.6	Si	0.24
13997.5	—	0.19	15604.4	—	0.17
14007.4	—	0.18	15621.7	Fe	0.27
14046.3	—	0.17	15632.1	Fe	0.29
14224.7	—	0.18	15662.1	Fe	0.20
14236.3	—	0.30	15686.6	—	0.21
14285.4	—	0.20	15692.1	—	0.36
14292.5	—	0.20	15693.0	Mg	
14308.7	—	0.17	15723.4	Fe	0.18
14400.6	Fe	0.54	15740.7	Mg	0.57
14420.2	—	0.21	15742.0	Fe	
14442.4	—	0.21	15749.1	Mg	0.66
14512.5	Fe	0.31	15766.0	Mg	0.94
14542.6	C	0.39	15769.5	Fe	0.57
14555.2	C	0.26	15770.8	—	
14566.1	—	0.15	15774.1	—	0.17
14651.1	Fe	0.18	15798.8	Fe	0.19
14653.0	Fe	0.18	15818.5	Fe	0.40
14703.3	—	0.20	15823.1	—	0.21
14719.7	—	0.16	15833.7	—	0.27
14750.0	Fe	0.18	15868.7	Fe, Si	0.20
14826.5	—	0.24	15868.7	Fe	0.19
14878.1	Mg	1.18	15878.5	Fe	0.33
14956.4	Fe	0.18	15879.5	Mg	
15025.2	Mg	1.06	15884.5	Si	0.23

波長につけたwは幅の広い吸収線を示す。

第1表 (つづき)

波 長 (Å)	同 定	等 積 幅 (Å)	波 長 (Å)	同 定	等 積 幅 (Å)
15888.6	Si	0.82	17108.7	Mg	0.94
15892.8	Fe	0.35	17225.9	Si, Fe	0.24
15895.4	—	0.21	17327.5	Fe, S?	0.45
15898.2	Fe	0.21	17338.7	Fe	0.28
15904.6	Fe	0.19	17408.0	—	0.28
15906.3	Fe	0.17	17448.8	C	0.19
15960.2	Si	0.50	17467.4	—	0.27
15967.9	Al	0.16	17505.9	—	0.15
15981.0	Fe	0.26	17580.6	—	0.19
16005.3	—	0.18	17617.2	Si, C	0.24
16007.0	Fe	0.32	17637.5	Fe	0.26
16040.8	Fe	0.21	17721.3	C	0.25
16060.2	Si?	0.24	17769.1	—	0.21
16095.0	Si	0.41	17771.3	Fe	0.21
16102.5	Fe	0.25	17814.1	—	0.19
16126.1	Fe	0.24	17826.6	—	0.25
16164.0	Fe, Si	0.49	17836.5	—	0.24
16165.3	—		17930.2	—	0.16
16197.4	Ca	0.19	17938.1	Fe	0.27
16198.8	—	0.18	17939.0	—	
16208.1	Ca	0.16	18056.0	—	0.18
16214.2	—	0.19	18096.6	—	0.18
16216.0	Si	0.22	18174.0 _w	H(B _ε)	4.03
16242.1	Si	0.18	18258.0	—	0.34
16316.4	Fe	0.27	18259.0	—	
16363.4	Ni	0.19	18284.7	—	0.41
16380.4	—	0.69	18307.8	—	0.24
16381.8	Si		18320.8	—	0.22
16382.4	Si		18322.3	—	0.20
16394.6	—	0.17	18358.4	—	0.19
16398.4	—	0.17	18366.6	—	0.19
16445.1	Fe	0.26	18369.1	—	0.31
16486.9	Fe	0.30	18374.8	—	0.37
16517.4	Fe	0.18	18394.3	—	0.22
16524.7	Fe	0.23	18399.4	—	0.34
16562.0	—	0.21	18414.4	—	0.41
16681.0	Si	0.32	18415.3	—	
16719.1	Al	0.30	18422.2	—	0.28
16750.7	Al	0.44	18448.4	—	0.30
16890.6	—	0.29	18465.5	—	0.87

第1表 (つづき)

波 長 (Å)	同 定	等 価 幅 (Å)	波 長 (Å)	同 定	等 価 幅 (Å)
18474.9	—	0.27	19505.9	Si, Ca	0.48
18495.9	—	0.24	19508.2	—	0.37
18500.3	—	0.29	19722.7	Si, C	0.60
18524.7	—	0.26	19776.9	Ca	0.55
18534.8	—	0.19	19792.1	—	0.21
18553.7	—	0.19	19853.4	Ca	0.28
18561.7	—	0.18	19862.5	Ca	0.32
18592.5	—	0.22	19929.3	Si	0.25
18637.5	—	0.21	19934.0	Ca, Fe	0.24
18673.3	—	0.19	20603.3	Si	0.24
18677.8	—	0.21	20630.1	—	0.23
18704.2	—	0.30	20699.0	Fe	0.30
18705.8	—	0.18	20804.8	—	0.28
18723.1	—	0.32	20917.4	—	0.38
18726.1	—	0.19	21061.0	—	0.60
18735.1	—	0.22	21093.2	Al, Fe	0.26
18751.2w	H(P_{α})	3.32	21163.9	Al	0.26
18766.2	—	0.19	21259.9	—	0.22
18773.8	—	0.18	21354.3	Si	0.40
18836.5	—	0.18	21655.6w	H(B_7)	6.74
18856.8	Fe	0.18	21779.4	—	0.34
18897.5	—	0.17	21819.7	Si	0.26
18914.5	—	0.24	21879.5	—	0.41
18917.1	—	0.17	22056.6	Na	0.42
18955.3	—	0.39	22062.8	Si	0.37
18987.4	—	0.16	22083.9	Na, Si	0.22
18992.3	—	0.20	22381.0	Fe	0.18
19025.1	—	0.18	22473.5	Ti	0.18
19030.8	—	0.20	22537.9	—	0.22
19048.5	—	0.19	22608.0	Ca	0.22
19133.0	—	0.17	22619.9	Fe	0.26
19194.5	—	0.70	22625.1	Ca	0.25
19202.3	—	0.35	22651.5	Ca	0.27
19283.7	—	0.24	22666.0	Si	0.21
19309.7	—	0.31	22808.1	Mg	0.65
19386.1	—	0.29	23348.8	Na	0.22
19433.3	—	0.29	23379.3	Na	} 0.32
19445.3w	H(B_8)	4.86	23379.6	—	
19453.3	—	0.33	23859.5	Mg, Si	0.33
19493.7	—	0.25	24566.4	Mg	0.19

2.06 μ に炭酸ガス CO_2 の吸収帯が弱く検出された。

スペクトルの純度は、グレーティングの分解能から 1.25 μ で、0.5 \AA 、2.5 μ で 1 \AA 程度であり、スリット幅も 0.5 \AA がえられるように設定したが、1970年の場合と同様に分光器の熱膨張のため悪化した。短波長域での分解能は測測開始時には 0.8 \AA 程度あったが、終了の頃は 1.1 \AA 程度にまで落ちた。

スペクトル線の同定は主として Mohler の表 [3] によって行なった。表にないスペクトル線の波長は比例によって算出した。

第1表に等積幅が 0.15 \AA 以上の吸収線 240 本をまとめた。等積幅の測定誤差は 10% 程度と考えられる。

観測したスペクトルは太陽光球中央部のものと考えてよい。スリットの長さの半分が太陽半径の 10% に相当すること、およびサン・フォローの規正精度が太陽半径の 10% に相当することをあわせても、いわゆる $\cos \theta$ の値では 0.98 以上となり、これは光球中央部のスペクトルとみなしてよいことを示している。

稿を終えるにあたり、宇宙航空研究所の西村 純教授をはじめとする大気球実験班の方々に対して衷心より感謝の意を表す。また観測を手伝って下さった東大大学院の高田昌英君と藤本正行君、観測装置の設計製作を担当し観測にも協力された中村勝重さんをはじめとする三鷹光器株式会社の方々にお礼を申しあげる。

1974年1月30日

参 考 文 献

- [1] 田中 済, 末元善三郎: 太陽赤外スペクトルの観測(I); 宇宙研報告, 6, 316, 1970.
- [2] 田中 済, 末元善三郎: 太陽赤外スペクトルの観測(II); 宇宙研報告, 9, 231, 1973.
- [3] Mohler, O.C.: A Table of Solar Spectrum Wave Lengths, 11984 A to 25578 A; The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1955.