

太陽紫外マグネシウム 2 重線分光 [I]*

河野 嗣 男**・矢島 信之**・末元 善三郎†

1. はじめに

太陽彩層の物理的状态をくわしく調べるため、主に紫外光の観測が行なわれる。中紫外域においては、Mg II の 2 重線 (2796 Å, 2803 Å) が最も顕著なスペクトルであり、このスペクトルプロファイルを観測することが要求されている。この波長領域は、大気上層のオゾンの吸収を強く受けるため地上では観測できない。これまでの観測の大部分はロケットを用いて行なわれ、これらの観測機器の主力は回折格子分光写真機であった [1]。

われわれは、気球にファブリ・ペロ干渉分光計を搭載して、上記 Mg II 2 重線の高分解スペクトルプロファイルの観測を旨としている [2]。気球高度における観測は、オゾン層を完全にぬけ出していないため、なお大きな吸収があり、完全な観測は望めないが、観測時間が長く、比較的手軽に観測が行なえる利点があり、回折格子分光写真機により同じ Mg II のプロファイルを数回にわたって気球観測したフランスグループの先例がある [3]。

昭和 46 年 9 月に行った今回の観測は、予備的な観測として、気球高度における 2800 Å 付近のエネルギーレベルの測定。ならびに太陽追尾装置等の機能テストを主目的として行なわれた。

2. 観測装置

使用した分光器は、600 本/mm の平面回折格子、焦点距離 150 mm、リトロー形の超小形モノクロメータで、逆分散は 100 Å/mm なのでスリット幅を 70 μm に選んで分解能を 7 Å とした。2800 Å を中心として ±50 Å の観測波長域を小形モータによって往復走査をする。その際、一往復ごとに長波長側 (2850 Å) において分光器入射スリット側にシャッタを入れて零点レベルの較正を行ない、短波長側 (2750 Å) においては、マイクロスイッチにより光電出力を高低の 2 レベルに利得を切りかえた。1 サイクル (2 往復走査) は約 2 分半である。光電子増倍管は、S 19 光電面をもつ小形の HTV 306 を用いた。

太陽追尾制御は、望遠鏡の主鏡である口径 50 mmφ、焦点距離 572 mm の凹面鏡の 2 軸の反射角を、サーボモータによって制御して行う。凹面鏡で集光された太陽光の可視光による実像を、4 枚の太陽電池を組み合わせた太陽位置検出器上に投影し、その出力信号を増幅しサーボモータを駆動して、太陽像がたえず検出器中央にあるように凹面鏡の反射角を制御する。

検出器の検出範囲は約 ± 2 度であるため、観測開始時には動作範囲を外れている場合が考

* 宇宙研特別事業費による論文

** 機械技術研究所

† 東京大学理学部

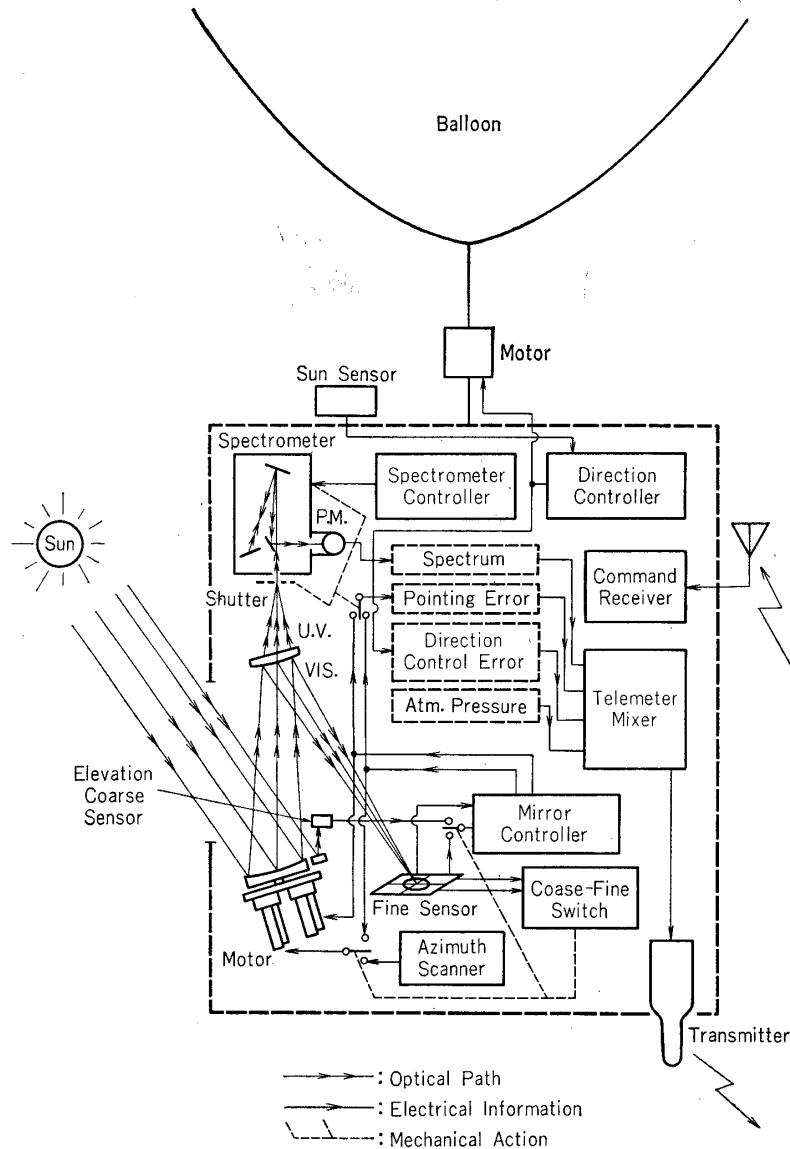


図1 ゴンドラ内装置・信号系統模式図

えられる。そこで、仰角方向に関しては、凹面鏡の近くに、平行光で動作する検出範囲の広い簡単な検出器を取りつけ、方位角に関しては、凹面鏡の動作範囲一杯を往復走査する機能を付加した。追尾の第一段階は、これらの機構で制御を開始し、その結果、太陽像が検出器の中に入って来たならば、制御モードを切り換え、本格的な追尾制御を行う。

後述するように、分光器入射スリット上に投影される太陽紫外像は $2\text{ mm}\phi$ であり、これにたいしスリット幅は $70\ \mu\text{m}$ である。太陽視角が約 $32'$ であるから、入射スリットの視角としては約 $70'$ 秒角である。したがって、追尾制御に要求される精度は、厳密にはスリット視角の $1/10$ 程度が望ましいわけであるが、概略としては $\pm 30'$ 秒程度でもやむをえない。今回の追尾制御は、一応予備実験の段階として、 $\pm 30'$ 秒程度の精度の実現を目標とした。

上記ゴンドラ内のミラー反射角を制御する太陽追尾システムの前段には、東大宇宙研で開発されたよりもどし制御によって、ゴンドラ全体を太陽の方向に向けるシステムが置かれている。

光学系としては、上記太陽追尾用凹面鏡が軸外しの望遠鏡の主鏡となっている。図1にも示したように、分光器と主凹面鏡との間には、特殊な中間レンズが入っている。このレンズによって、精センサ上には約 $10\text{ mm}\phi$ の可視光の太陽像、そしてこれと光学的に等価の分光器入射スリット上には $2\text{ mm}\phi$ の紫外光の太陽像を作る。すなわち、口径 $65\text{ mm}\phi$ の平凸レンズの凸面 ($r=241\text{ mm}$) に多層膜をつけて可視光に対しては凸面鏡として働き、紫外光はこの多層膜を透過して凸レンズとして分光器のFナンバーとマッチングをとるような光学系とした。なお太陽光は可視部が紫外部に比較してきわめて強く、以上の光学系および分光器によっても可視光の迷光を制することができないため、スリット前に 2800 \AA を中心波長とし、半値幅約 100 \AA の干渉フィルタを挿入して観測を行なった。

テレメータは、分光出力、太陽位置偏差信号、よりもどし用太陽センサ出力、および気圧の4チャンネルで、このうち太陽位置偏差信号は、方位角と仰角を時分割により一つのチャンネルで送ることとした。時分割の切換信号は、分光器の波長走査駆動軸につけたコード切換板によって作られる。この切換信号は同時に波長目盛としての役割ももっている。

使用気球は、内容積1万5千立方メートルの B_{15} で、上空における直径 33.4 m 、自重は 66 kg である。ゴンドラ重量は、バラスト 14 kg を含めて 58.2 kg 、気球を含む総重量は 134.7 kg で総浮力は 146.7 kg が選ばれた。

3. 実験経過

9月16日、午前9時11分38秒 (JST)、時々の強風に悩まされながら放球が行なわれ、午前10時57分、三陸山田湾沖約 65 km 、高度 34.4 km でレベルフライトに入った。正11時、よりもどし方向規正、続いて11時8分に観測装置の全電源をコマンドでONにした。11時10分、太陽追尾機構は太陽を捕え、分光曲線が低利得の方から記録されはじめた。観測はすべて順調に行なわれ、太陽高度が下って追尾範囲を外れた15時6分まで頂度4時間、96往

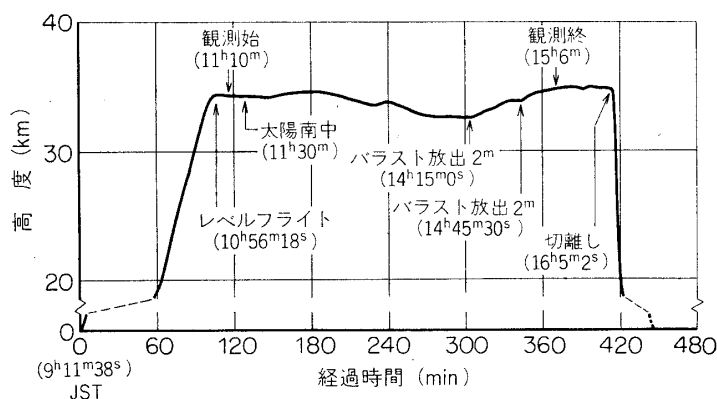


図2 気球飛行高度経過

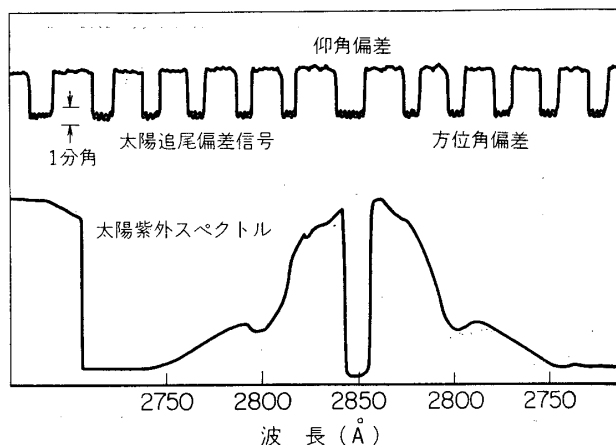


図3 得られたテレメータ記録の一部

復走査の分光波形と太陽追尾の動作状態を示すテレメータ記録が得られた。気球はなおも飛びつづけたが、16時5分にカッタを作動させ、宮古市西方15 km 付近にパラシュート降下させた。ゴンドラは約2ヶ月半後、住民の発見により回収された。図2は高度に関する気球の飛行経過を示す。

4. 観測結果と解析

図3は、得られたテレメータ記録の一部である。上方が太陽追尾偏差信号で、時分割切換により仰角および方位角の偏差が示されている。図で、上方が仰角、下方が方位角に関する偏差信号である。全観測時間にわたって大体1分角以内で追尾が行なわれ、比較的安定な1～2時間をとると、仰角に関して±10秒、方位角に関して±20秒以内でポインティングが行なわれた。なお、方位角偏差には、約2 Hzの周期的変動成分が強く残っている。これは、よりもどし制御の偏差量を追尾しきれずに残った偏差であると考えられる。

図3下方の波形は分光出力波形を示し、中央の凹みはシャッターによる零レベルないしダークカレントレベルを与えている。走査は2850 Åと2750 Åの間を往復走査しており、シャッターを中心として対称になるべきものであるが、図では必ずしも対称とはなっていない。これはシャッター位置が波長目盛に関して対称に入っていないことによる。2800 Å付近にはMg IIの吸収によると思われるへこみが見えるが、分解能が低いため2重線として見分けられるものはほとんどない。

図4は、横軸に観測時間(走査番号)をとり、縦軸に2850, 2800, 2750 Åの3点における分光出力をプロットしてみたものである。ここに(L)は低利得、(H)は高利得の波形から読み取った点であるが、高利得は飽和して読み取れないものが大半である。また、2750 Åに関しては、一般にレベルが低く、可視光の逆光との比から考えて必ずしも有用なデータとは言えず、以下の整理では主として2800 Åと2850 Åについて解析を行なうこととした。

図5に示すように、ゴンドラ上空の大気吸収層を一様であると仮定して、その厚さをLとする。太陽光はこの吸収層をその天頂角Zに応じてL sec Zの長さだけ通過することにな

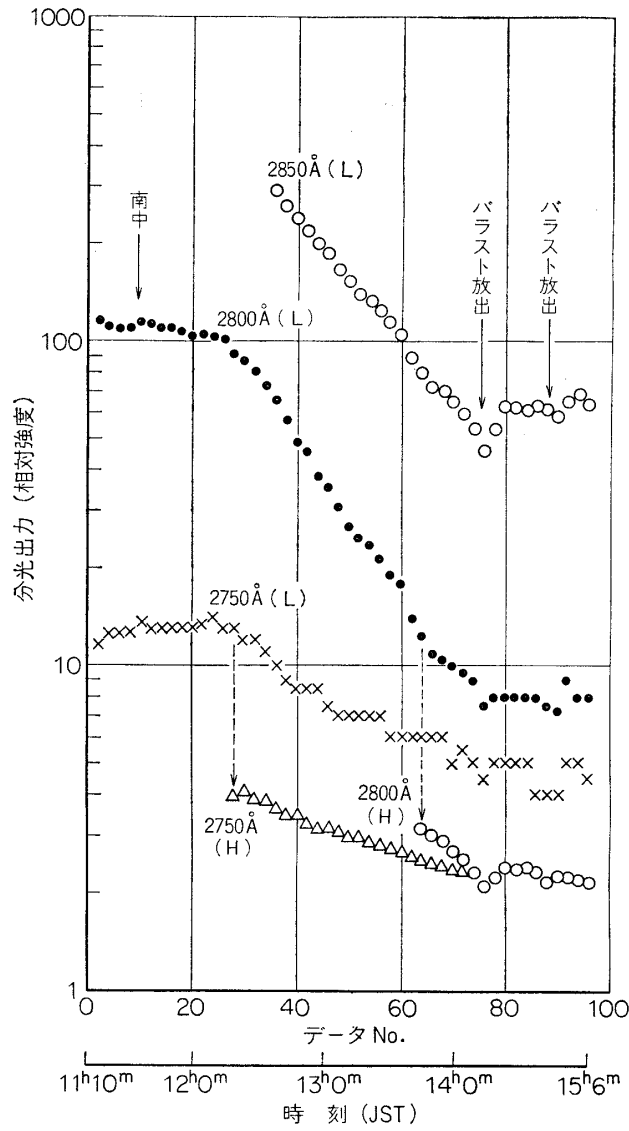


図4 飛行中の分光出力変化

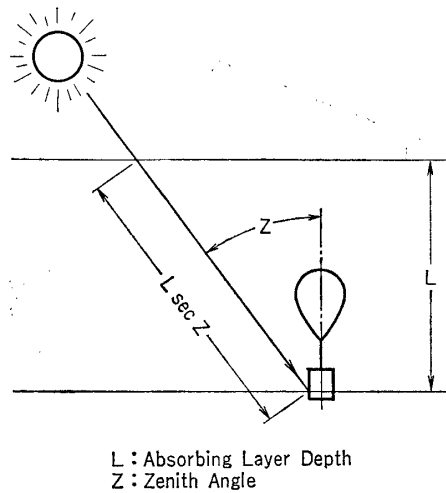


図5 太陽天頂角と大気吸収層の厚さ

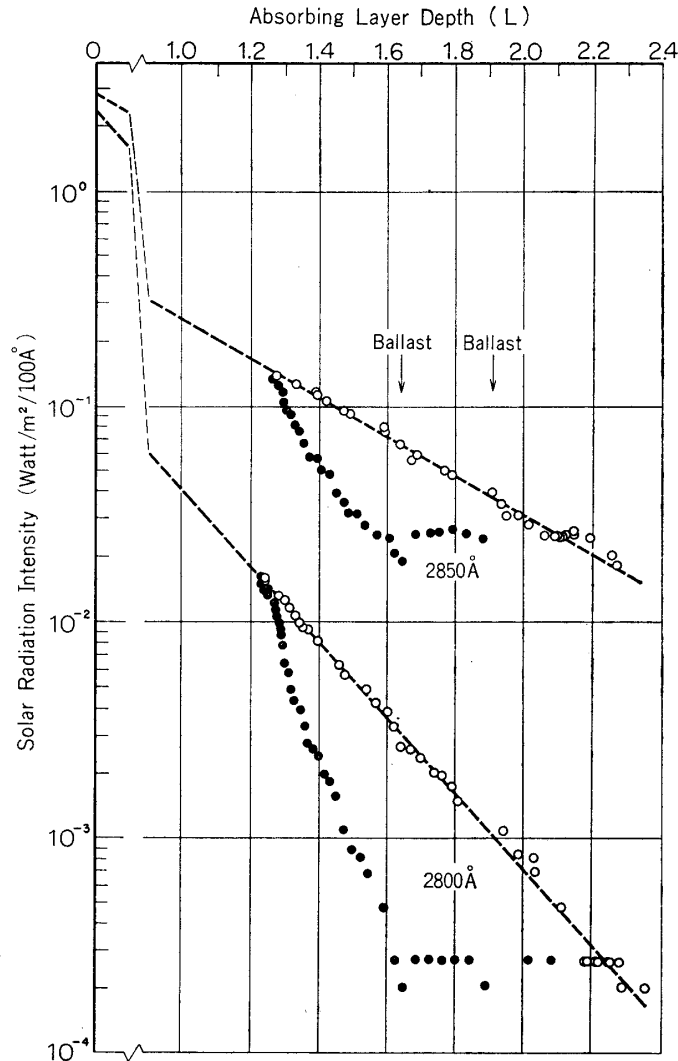


図 6 大気吸収層による太陽紫外光の吸収

る。Zは観測時間の関数であるから、図4の横軸を吸収層の厚さに目盛りなおし、さらに光電出力も干渉フィルタ等による減衰の補正をしてプロットしなおすと図6の実線のようにほとんど直線上に並ぶ。ただし、観測前の測定で、可視光の逆光が0.12V程度混入していることが分っており、これも補正した。直線の傾斜は、吸収層の吸収率を示し、この直線をL=0の点に外挿することによって吸収層のない、いわば太陽光の絶対強度を推測することができる。しかし、測定点は直線からずれて共通のうねりを持っており、第一回のバラスト放出以降は直線からずれて、ほぼ強度が変化しないように見える。これは、飛行中にゴンドラが上下していることに起因したもので、事実図2に示したように、第一回のバラスト放出まで、約2km高度が下り、放出後は急激に2km程上昇している。これを観測高度一定としたものにデータをそろえてやらねばならないが、それには、この高度付近のオゾン濃度の分布状態[4]を知って、吸収層の厚さを補正する方法をとった。このようにして示したのが、

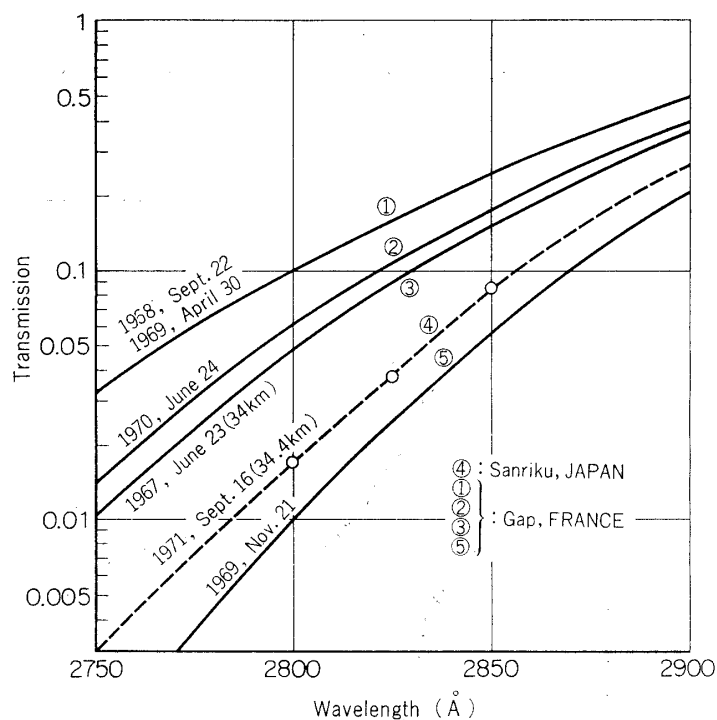


図7 気球高度における大気層の紫外光透過率

表1 '71-9-16 Solar u.v. (2800 Å) Energy Level

Low Gain Signal		2.5 (V)
Load Resistance	1×10^5 (Ω)	2.5×10^{-5} (A)
Rhoto Multiplier	6×10^4 (A/W)	4.2×10^{-10} (W)
Optical Transmitt.	1×10^{-2}	4.2×10^{-8} (W)
Interference Filter	1.6×10^{-1}	2.6×10^{-7} (W)
Spectral Width	$7 \times 10^{-2} 100$ (Å)	3.7×10^{-6} (W/100Å)
Slit Area	4.5×10^{-2}	9.2×10^{-4} (W/100Å)
Mirror Area	2×10^{-3} (m ²)	4.1×10^{-2} (W/m ² /100Å) Balloon Hight Solar Radiation at 2800Å
Atm. Absorption	1.7×10^{-2}	2.4 (W/m ² /100Å) Abs. Solar Radiation at 2800Å

図6の点線で示した直線である。このように一本の直線にほとんど乗ったのは、逆に言えば、バラスト放出前は、太陽高度の低下に加えて、ゴンドラの下降が重なって、より急激な出力の減少となっており、バラスト放出後は、ゴンドラ高度の上昇が、太陽高度の低下による吸収層の増大を頂度打消したようになっていたといえる。

このようにして、34.4 km 上空における上層大気の吸収率が得られ、これを波長に関して図示したのが図7である（図では透過率をとり、フランスでのデータ [3] を比較のため加えてある）。

2800 Å および 2850 Å に関する絶対強度の推測はこの透過率を用いることによって得られ、表1のようになる。一部の補正項目、特に光電子増倍管の感度などは測定があいまいな点もあるが、結果としては、現在までの測定結果の平均的な値 [5] となっている。

5. むすび

太陽紫外 Mg II 2重線分光観測の予備実験として、2800 Å 付近の太陽紫外光のエネルギーレベルの測定と太陽追尾装置の機能テストとを主目的とした観測を行ない、エネルギーは従来の観測値の平均的なレベルが得られた。太陽追尾は、1~2 時間にわたって ±10~±20 秒のポインティングが実現された。

本実験により、気球高度のわずかな変動が、観測値に大きく影響するので、高度をかなり厳密 (100 m 以内) に測定する必要があり、光電出力は高低2段の利得切換としたが、これはやや危険であり、log amp にした方が良いことなどが明らかとなった。

実験に当っては、東大宇宙研関係者をはじめ、東大理田中氏ら多くの方々への援助・協力をいただいた。データの解析においても東京天文台西、東大・理等松両氏に資料をいただき熱心に討論いただいた。ここに深く感謝する。

1974年2月5日

参考文献

- [1] たとえば, Purcell, J. D. et. al.: Space Research 3, 781 (1962), Bates, B. et. al.: Nature 224, Oct. 11, 161 (1969) 等.
- [2] 河野, 矢島, 末元: 昭和 45 年度大気球シンポジウム, 241 (1970).
- [3] Lemaire, P. and Blamont, J. E.: Astrophys. J. 150, L 129 (1967).
Lemaire, P.: 41st IAU simposium, Munich (1970).
- [4] Nagata, T., Tohmatsu, T. and Ogawa, T.: Space Research XI — Akademie-Verlag, Berlin, 849 (1971).
- [5] Nishi, K., Publ. Astro. Soc. Japan 19, 323 (1967).