

# He II (304 Å) グローの観測\*

早川幸男\*\*・村上敏夫\*\*・長瀬文昭\*\*  
田中靖郎\*\*・山下広順\*\*

ポリプロピレン薄膜を窓とする比例計数管を観測ロケット K-9 M-44 に搭載し、薄膜の透過率とクローム鏡面の反射率とで数百 Å 領域の放射線を選択して観測した。測定器のスペクトル感度特性と大気による吸収とから、He II (304 Å) 線を観測したと結論できる。統計的精度は十分ではないが、地球磁気圏の He II による成分と等方的成分とに分離でき、それぞれ約 0.3 R/sr の強度をもつ。

## § 1. ま え が き

太陽彩層から放射される波長 304 Å の He II の線は、地球近傍および惑星間空間の He II によって共鳴的に散乱される。この共鳴線は水素の Ly α (1216 Å), He I (584 Å) と共に、H I, He I, He II の空間分布および速度分布を与え、熱圏の構造、太陽風の伝播、星間物質の惑星間空間への流入等を知る上に重要である。

これらの共鳴線を観測する意義が等松 [1] その他の先覚者によって強調され、これまでに数回の観測が行なわれた。観測方法は多く広帯域フィルターを装着したチャンネルトロンを用いるもので、それぞれの観測は必ずしも矛盾のない結果を与えていない。また一つの観測においても、結果の信頼性を疑わしめるような現象が見られ、信頼性の高い測定方法の開発が望まれている。

He II (304 Å) についていえば、He I (584 Å) と分離されずに測られていることが多く [2], He II (304 Å) だけの観測を報告しているもの [3] の中でも、実験的信頼性に今一步の欠如が感じられる。

そこで吾々は軟 X 線の観測で確立された薄窓比例計数管の技術を基礎にして、He II (304 Å) の観測を試みた。計数管の窓に使うポリプロピレン膜をできるだけ薄くして長波長における透過率を上げると共に、入射線を鏡で反射させて軟 X 線を切断した。さらに Li F のフィルターを用いて Ly α の寄与の有無を調べた。

測定装置は K-9 M-44 に搭載した軟 X 線測定器の間隙を利用した小さなもので、統計的精度は不十分である。本実験は吾々の実験法がこの目的に適するか否かを験するのが主眼で、この意味で本実験は成功であった。さらに He II (304 Å) の強度とその方向分布について定性的な結果を得た。

## § 2. 観 測 装 置

K-9 M-44 に搭載された XUV 測定器は次の諸元をもつ。

---

\* 宇宙研特別事業費による論文  
\*\* 名古屋大学 理学部 物理学教室

コリメーター： $5^\circ \times 11^\circ$  (FWHM), 長い方がロケット軸に平行, 光軸はそれに垂直;

$$\Omega = 1.7 \times 10^{-2} \text{ sr.}$$

反 射 板：平面ガラス板に  $0.1 \mu\text{Cr}$  を蒸着, 面は光軸と  $21^\circ$  の角をなす。

フィルタ：LiF板, 一定時間間隔で視野を覆う。

計 数 管：窓膜は  $0.1 \mu$  炭素を塗った  $0.4 \mu$  ポリプロピレン, 有効面積は  $S = 19.0 \text{ cm}^2$ .  
100cc の容器につめたプロパンを減圧気化して, 計数管内のガス圧を1気圧に保つように, 圧力を測定して制御。

これらの配置を第1図に示す。

窓膜の透過率と鏡の反射率による計数管の効率を波長の関数として第2図に示す。 $304 \text{ \AA}$  における効率は約  $10^{-4}$ ,  $584 \text{ \AA}$  では著しく効率が悪く, 后者の寄与は無視できる。 $100 - 200 \text{ \AA}$  の軟X線の強度が  $10^{-4} \text{ R/sr}$  以上あれば, その寄与が問題になる。観測された軟X線のスペクトルを指数関数法則に従うとして延長した強度は, 上の値よりやや小さい。

窓膜は  $1,000 \text{ \AA}$  以上の EUV 領域で透過性をもつ。この領域における効率は計数管の個性

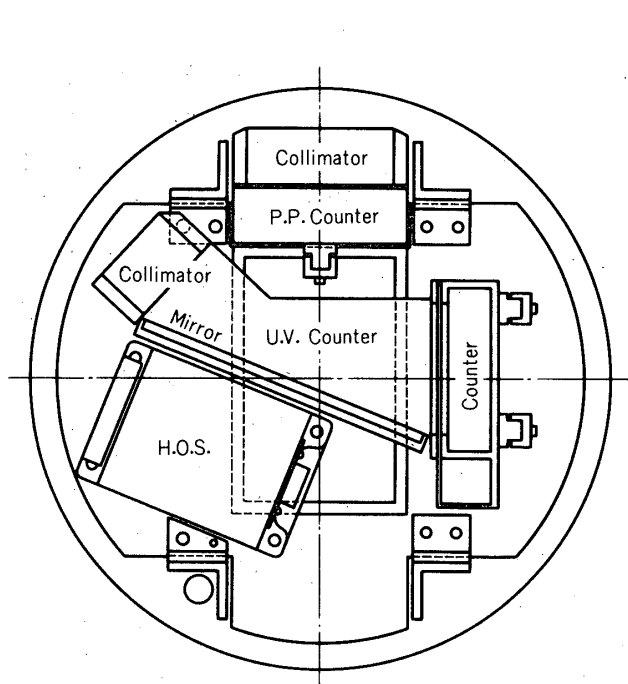


図1. 観測装置

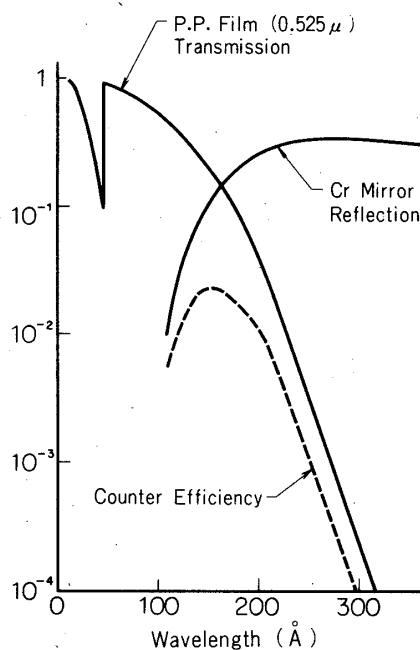


図2. 計数管波長感度, 実線は膜 ( $0.525 \mu . p . p$ ) の透過率と鏡 (Cr 蒸着) の反射率を示す。点線はその合成された感度を示す。

に依存するが,  $\text{Ly}\alpha$  は非常に強いので測定にかゝる心配がある。EUVの寄与を見るためにLiFフィルターで時々視野を覆った。このフィルターは  $1,000 \text{ \AA}$  以下の波長を事実上切断するから, フィルターを入れた際に得られる計数はEUVの寄与と考えられる。もしフィルターの有無で計数率に差がなければEUVの寄与は無視できる。第3図にEUV領域における窓膜とフィルターの透過率を示す。

計数管からのパルスは2種の増巾率の異なる増巾器を通して8チャンネルに波高分析される。各チャンネルの境界に対応する波高をエネルギー単位で表わせば、30, 50, 80, 120, 180, 300, 500, 900eVである。304Å線による波高分布は、第4図に示されるように第3チャンネルまで及ぶ。60%は第1, 2チャンネルに入る。

光子流束を  $I$  R/sr, 304Å に対する計数管効率を  $\epsilon = 0.9 \times 10^{-4}$ , パルスが第1, 2チャンネルに入る確率を  $P = 0.6$ , 計数管の有効面積を  $S = 19 \text{ cm}^2$ , 立体角を  $\Omega = 1.7 \times 10^{-2} \text{ sr}$  とすれば、第1, 2チャンネルで得られる計数率は

$$C.R. = S \Omega P \epsilon I \times 10^6 = 17 I \text{ cps.} \tag{1}$$

これを使って計数率から304Å線の強度を求めた。

### § 3. ロケットの飛翔状況

K-9M-44は1973年8月27日21:00 JSTにKSCから発射された。発射後51秒、高度76kmで開頭し、発射後300秒で最高高度341kmに達し、大気に入射するまで約480秒間観測が行われた。スピン周期は0.422秒、プレセッションの半角は約8°であった。平均のスキャン経路を赤道座標系で第5図に示す。南方では視野の相当部分が地球に覆われた。

スキャン経路は太陽とも太陽系の運動方向とも離れていたため、惑星間空間や星間空間のHe IIの分布を知るには適さなかった。他方、これらの方向分布が小さいと考えられるため、地球コロナのHe IIの効果を知るには比較的適した経路であった。

飛翔中測定器はすべて順調に動作し、統計的精度が貧弱なことを除けば、結果は十分信頼できる。

### § 4. He II (304 Å) の寄与

計数に寄与するものとして、次の5成分が考えられる。かっこ内に寄与する主なチャンネルを示す。

- (a) EUV輻射,  $\lambda \geq 1,000 \text{ Å}$  (No. 1-3),
- (b) He II (304 Å) を含むXUV (No. 1-3),
- (c) 軟X線,  $\lambda \leq 100 \text{ Å}$  (No. 3-8),
- (d) 窓膜を透過する数keVの電子 (No. 7, 8),
- (e) 一般のバックグラウンド (全部)

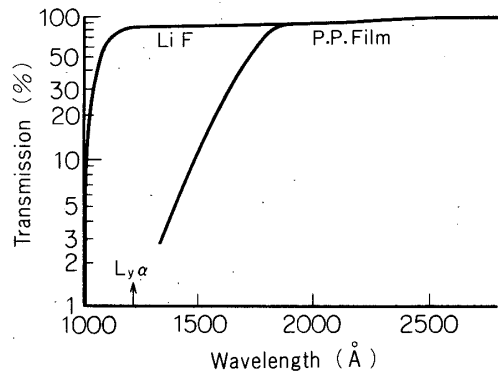


図3. 1,000Å~2,500Å EUV領域における膜とLiF filterの透過率

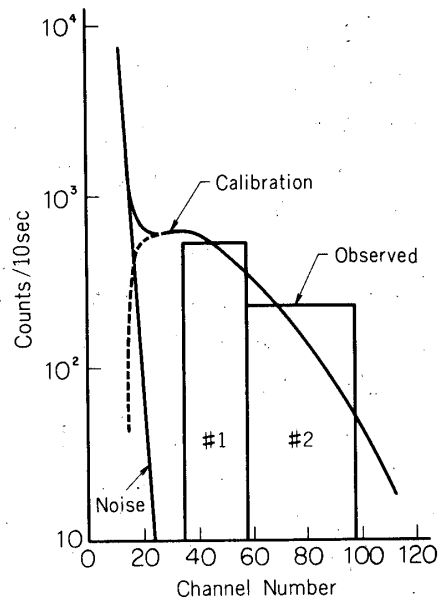


図4. XUVによる波高分布, 曲線は実験室における校正, #1, #2のbinはflight中における観測値

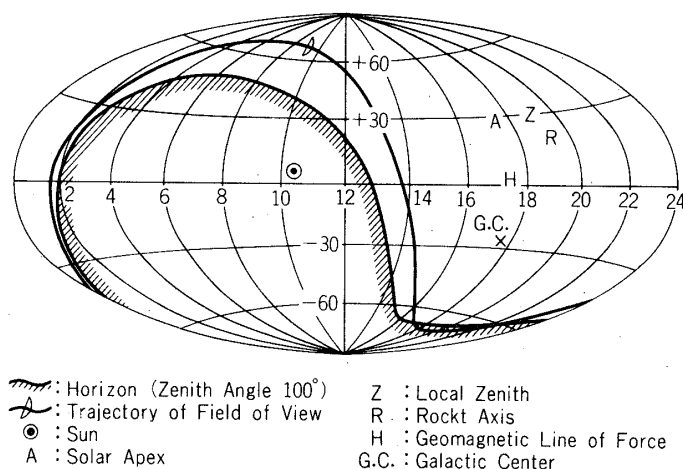


図5. 掃引領域, 赤経, 赤緯座標で表示

第2図の感度曲線から,  $\lambda > 100 \text{ \AA}$  のXUVとEUVだけが効くと考えられるが, 5成分の効き方を観測から導くことができる。

第6図に三つの高度範囲における各チャンネルの計数率をLiFのフィルターの有無について比較した。高度200km以上では, 第1チャンネルの計数率がフィルターのある時に急減しているから, EUVの寄与は小さいと結論される。成分(c), (d)はフィルターによってほとんど切られるはずであるが, 第4-8チャンネルではフィルターの有無による差がなかったから, これらの成分の寄与は無視できる, 高度200km以下では全チャンネルに対してフィルターの有無による差がほとんどないから, フィルターありの計数率は成分(e)を表わすと考えられる。それ故, 設計通り(b)-(e)がXUV成分を表わすと結論される。

XUV放射は連続成分といくつかの線成分を含む。吾々の装置ではこれらを分離することができないが, 大気による吸収から  $304 \text{ \AA}$  に近い長波長が主に効いていることはいえる。第7図に第1, 2チャンネルの計数率の高度変化を示す。フィルターありの場合には高度変化がなく, これをバックグラウンドとして差し引き, 残りを代表的な線の強度の高度変化と比較した。これからも  $\text{H Ly } \alpha$  の寄与は排除される。XUV領域では波長が短くなるほど大気による吸収が弱く, 従って高度変化が急になる。観測結果は  $304 \text{ \AA}$  の吸収曲線によく合い,  $\lambda < 200 \text{ \AA}$  の放射の寄与は重要ではない。  $200 \leq \lambda \leq 300 \text{ \AA}$  では  $\text{He II} (304 \text{ \AA})$  以外に大きな寄与をする成分が知られていないから, 第1, 2チャンネルで観測されたのは主に  $\text{He II} (304 \text{ \AA})$  と考えて大過なからう。なお従来の観測も広帯域フィルターを用いているから, 純粋に実験的にこの線だけを測っていると結論することはむづかしい。本論文でも, 従来の報告と同様, 第1, 2チャンネルでフィルターありの分を差し引いた残りはすべて  $304 \text{ \AA}$  線によると仮定する。

## §5. 方向分布

高度280km以上で得られた方向分布を第8図に示す。各角度範囲における計数は10個前

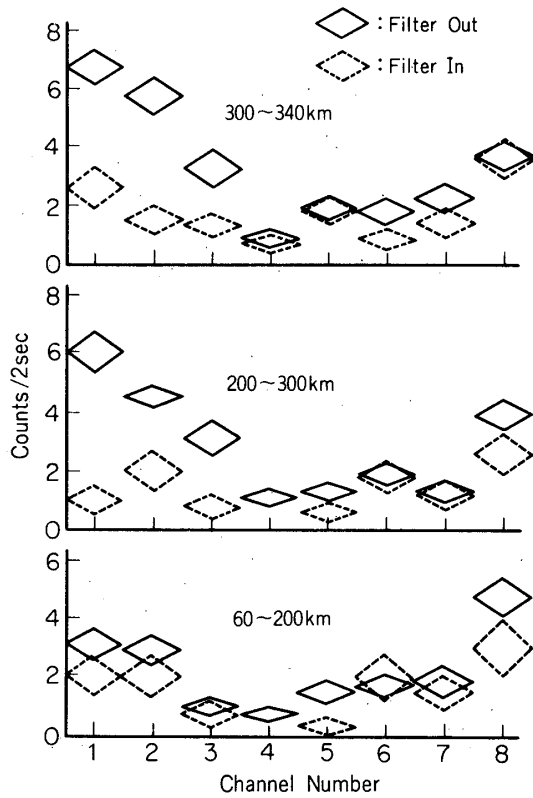


図6. 各チャンネル, 各高度における波高分布, 実線はfilterなし。点線はLiF filterあり。

後しかないので, 方向分布について定量的な結果を導くには統計精度が足りない。それ故以下に述べることは定性的な結果に止る。

LiFフィルターありの場合の平均計数をバックグラウンドとして引き去ると, 北東方向にゼロ強度の領域が現われる。これが地球の影に当る。He II (304Å) が等方的に入射したとすれば, 大気吸収によって曲線で示されたような方向分布が期待される。これは地球の影の効果を再現するが, 観測値にはもっと複雑な構造があるように見える。

そこで, 観測値が地球コロナ成分と等方成分とから成ると考える。前者が  $L=4$  の磁力線で囲まれた領域から発生すると仮定し, その強度がこの領域を過る視線の長さ に比例するとする。こうして観測値を再現するよう

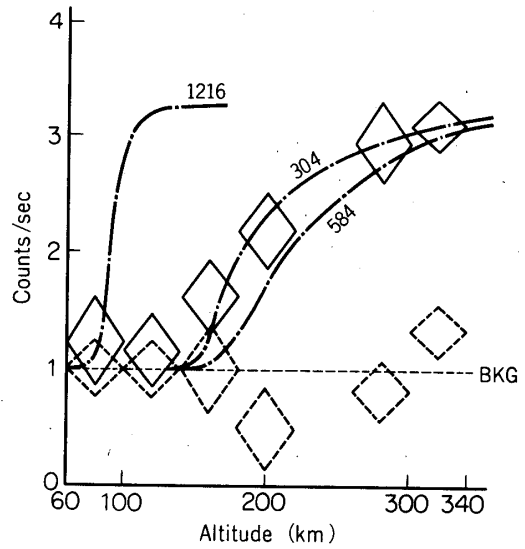


図7. #1, 2の計数率高度変化破線は304Å, 584Å, 1,216Å (H $\alpha$ )等の大気吸収による理論的予想曲線を示す。

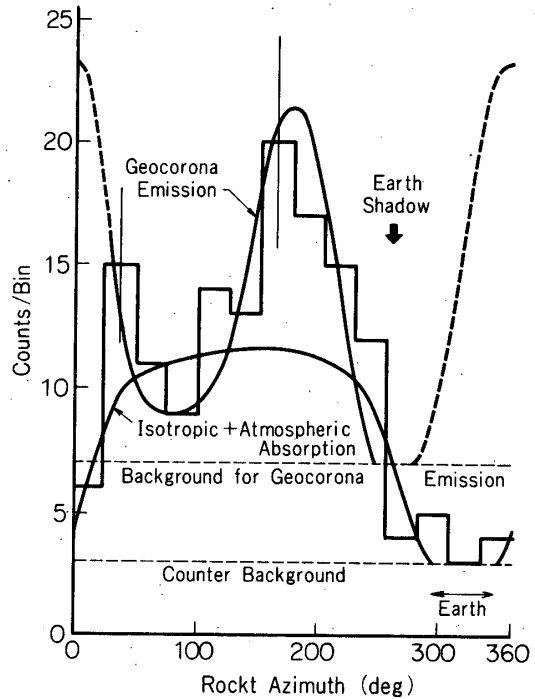


図8. 高度280km以上における#1, #2の方向分布を示す。2曲線は等方一様に304Å He IIがある場合の地球大気による吸収曲線と地球磁気圏 ( $L=4$ )にHe IIが一様に分布していた時の期待される輝度曲線の理論的な値をロケット方位角によって示す。

両成分の強度を重ね合わせた。等方成分の寄与が水平の破線で、地球コロナ成分の寄与が二つの山をもつ曲線で表わされている。後者の曲線で点線の部分は地球大気による吸収を強く受ける。このような重ね合わせによって方向分布の大勢が説明される。

このように2成分に分解すれば、等方成分と地球コロナ成分の山の強度は、それぞれ式(1)を用いて

$$I_{iso} = 0.3 \pm 0.1 R/sr, \quad I_{geo}(\text{peak}) = 0.3 \pm 0.1 R/sr \quad (2)$$

である。

太陽の放射するHe II (304 Å) の地球上における強度を $\Phi$ 、地球コロナ内で底面1 cm<sup>2</sup>の柱内にあるHe II のイオン数を $N$ 、有効散乱断面積を $\sigma$ とすれば、地球コロナ成分の強度は

$$I_{geo} = \frac{1}{4\pi} \Phi \sigma N \simeq 0.3 \left( \frac{\sigma}{10^{-14}} \right) \left( \frac{N}{10^{11}} \right) R/sr. \quad (3)$$

第3辺を導くのに $\Phi = 4 \times 10^9$  photons/cm<sup>2</sup> sを用いた。こゝで断面積 $\sigma$ は太陽のHe II (304 Å)線の巾と地球コロナの温度に依存するが、 $10^{-14}$  cm<sup>2</sup>程度の値である。第8図の山の方向の地球コロナの深さは約 $2 \times 10^9$  cmだから、地球コロナ中のHe II の平均密度は、式(3), (2)より

$$n = 50 (10^{-14}/\sigma) \text{ cm}^{-3} \quad (4)$$

となる。

等方成分は星間He I が惑星間空間に流入して電離されたもの、および太陽風のHe III が電子を捕獲してHe II になったものに原因するであろう。散乱断面積は上述の因子の他にこれらのHe II の速度に強く依存する。もしこの成分について等方的からずれる方向分布が得られれば、星間および惑星間空間におけるHe II の空間および速度分布が求まり、惑星間空間内物質と星間物質との相互作用について興味ある知見が得られるであろうが、本実験の統計精度ではこれらの問題に答えることは行き過ぎであろう。

なお、観測値(2)は今までに報告されているHe II (304 Å)の強度(2, 3)と大体合っている。

## § 6. 将来の展望

薄窓比例計数管によってHe II (304 Å)線の観測ができ、それが地球コロナ成分と星間・惑星間成分とから成ることが確かめられた。しかし計数管の面積が小さくかつ効率が低かったために、定量的結論を導くには到らなかった。

この実験によって、薄窓比例計数管がXUV放射の観測にも使えることがわかった。チャンネルトロンに比べて効率は低い、面積を大きくとれることで相殺される。窓膜を0.4 μにするのは容易で、0.3 μも不可能ではない。膜厚を0.4 μにすれば効率は約5倍になる。

しかし、XUV領域では波長分解能はほとんどないといってよいので、各種のフィルターを用いて適当な波長分解を行うことが必要である。

1974年7月30日

## 参 考 文 献

- [1] Tohmatsu, T., Space Res., **10**, 608, 1970.
- [2] a Brandt, J. C., Ap. J. **134**, 975, 1961.  
b Tohmatsu, T., and C. Fujita, Rep. Ionos. Space Res. Japan, **18**, 410, 1964.  
c Paresce, F., C. S. Bowyer, S. Kumar, M. Lanpton, Eos. Trans. AGU, **51**, 795, 1970.  
d Kumar, S., C. S. Bowyer, M. Lampton, F. Paresce, Eos. Trans. AGU, **51**, 795, 1970.  
e Ogawa, T., and T. Tohomatsu, JGR, **76**, 6136, 1971.  
f Young, J. M., C. S. Weller, G. Y. Johanson, and J. C. Holmes, JGR., **76**, 3710, 1971.
- [3] Paresce, F., C. S. Bowyer, S. Kumar, JGR, **78**, 71, 1973.