

第4章 成層圏におけるイオン生成率の測定*

4.1 はじめに

中層大気研究の一環として、粒子線による成層圏イオン生成率の測定が行われた。この研究は、中層大気の物理的性質の一つの側面を明らかにするだけでなく、次のような重要な意味をも持っている。

それは、太陽活動が気候変動に及ぼす影響に関する問題である。太陽活動が気候変動に影響を及ぼす過程として、2つのことが考えられる。即ち、

- ① 太陽活動に支配される粒子線が、中層大気中においてイオン生成と同時にNOを生成し、それがオゾンを破壊する過程
- ② 中層大気中で生成されたイオンが、クラスター・イオンを形成し、それらがエアロゾルに成長する過程

である。これらの議論において重要な意味をもつ基礎的資料の一つが、中層大気におけるイオン生成率である。

このように、中層大気におけるイオン生成率の測定は中層大気物性の研究のみならず、気候変動——特に太陽活動と気候変動との関係——の研究においても重要な問題である。

1984年5月25日、壁厚の異なる3個の電離函を宇宙科学研究所三陸大気球観測所の大気球に搭載して、飛揚観測が行われた。以下、その結果について報告する。

4.2 電離函の諸元と観測方法

観測には壁厚の異なる3箇の電離函が用いられ、同一のゴンドラ内に設置された。その諸元を表4.1に示す。表に示すように、電離函の壁は何れもアルミニウムで、それらの厚さは各々0.4、0.8及び3.0mmとなっている。以後、簡単のために、これらを各々電離函No.1、No.2及びNo.3と呼ぶことにする。

これらの電離函は、飛揚観測前に、何れも γ -線を用いて検定し、電離函内の電離電流が線源からの距離の自乗に反比例することを測定し、電離函は正常に作動することを確認した(北村、森田、1984)。

実際の観測時には、他の測定器と一緒に同じゴンドラ内に設置し、宇宙科学研究所三陸大気球観測所の大気球に搭載し、成層圏飛揚を行って観測した。観測値はテレメーターで送信し、地上で受信したものは、一つは磁気テープに記録して後日電算機処理を行う方式をとり、他の一つは、モニ

* 北村正亟：元高層物理研究部

表 4.1 電 離 函 の 諸 元

No.	1	2	3	備 考
壁 物 質	Al	Al	Al	
壁 厚 d (mm)	0.4	0.8	3.0	
有効壁厚 t (gcm^{-2})	0.13	0.26	0.94	$t = 1.2 \rho d$ ($\rho = 2.6$) ^(#)
封 入 気 体	空 気	空 気	空 気	
封入気圧 P (気圧, 0°C)	0.936	0.935	0.889	
内 径 r_0 (cm)	19.5	19.5	19.5	
内容積 V (cm^3)	31.0×10^3	31.0×10^3	31.0×10^3	針線の体積を補正してある
抵 抗 R (Ω)	0.940×10^{12}	0.962×10^{12}	0.944×10^{12}	
発泡スチロール厚 d' (gcm^{-2})	0.18	0.18	0.18	$5 \text{ cm} \times 2 \text{ 枚}$, ^(*) 密度 $\rho' = 0.018$
t_s (観測中) (gcm^{-2})	0.22	0.22	0.22	$t_s = 1.2 d'$ ^(#)
t_s (校正中) (gcm^{-2})	0.11	0.11	0.11	$5 \text{ cm} \times 1 \text{ 枚}$
総壁厚				
観測中 $t' = t + t_s$ (gcm^{-2})	0.35	0.48	1.16	
校正中 $t'' = t + t_s'$ (gcm^{-2})	0.24	0.37	1.05	

(*) 電離函は発泡スチロールの容器内に収められており、その厚さは 5 cm であるが、観測中は更に同じ発泡スチロールのゴンドラの壁 (5 cm) が加わるので、結局発泡スチロールの厚さ (d) は観測中は 10 cm、校正中は 5 cm となる。その密度 $\rho' = 0.018$ 、有効壁厚は $1.2 d'$ として計算した。

(#) J.A.De Campo et al.(1972) により、垂直壁厚の 1.2 倍をもって有効壁厚とする。

ター用として、ペン・レコーダーによる記録を併行して行った。ここに示すのは電算機処理を施して作製した図である。

観測には二つのチャンネルが与えられたので、電離函 No. 1 と No. 2 は切換え方式で同一のチャンネルを用い、No. 3 は独立で他のチャンネルを用いた、図 4.1 に記録の一例を示す。(a) は電離函 No. 1 及び No. 2 の記録。(b) は No. 3 の記録の例である。図(a)において、1-i、1-0、及び 1-250 はそれぞれ電離函 No. 1 における電離電流による電圧、ゼロ点及び 250 mV に対する値で校正のための値である。No. 2 についても同様である。又図中 T は気温を示す。図(b)における No. 3 の記号も他と同様である。図中 P は気圧を示す。図から分る様に、No. 1 と No. 2 は各々毎分 18 秒間電離電流を記録し、ゼロ点及び 250 mV レベルは 2 分おきに 6 秒間ずつ記録する。これに対して、No. 3 は毎分 48 秒間電離電流を記録する。ゼロ点と 250 mV レベルは他と同様 2 分おきに 6 秒ずつ記録している。

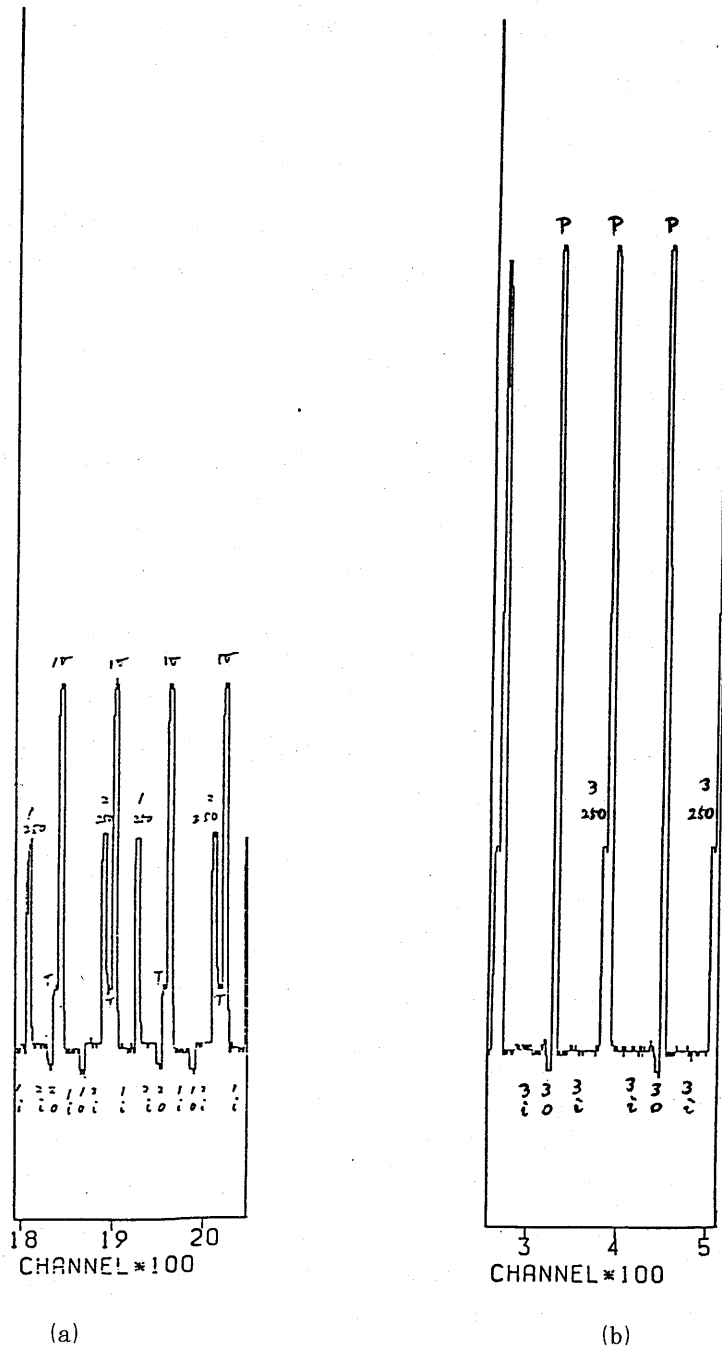


図 4.1 電離層による観測記録の一例
 (a): 電離層No. 1 及びNo. 2 の記録
 (b): 電離層No. 3 の記録

4.3 電離電流の算出

電離函内の電流によって生じる電圧 v_i とゼロ点 v_o 及び校正用既知電圧 v_1 とから、電離函内の電離電流 I_c は次式で与えられる。

$$I_c = (v_1 - v_o) \left(\frac{v_i - v_o}{v_1 - v_o} \right) / R \quad (4.1)$$

ここで R は抵抗で、表 4.1 に与えられる。又ここでは $v_1 = 250 \text{ mV}$ 、 $v_o = 0 \text{ mV}$ である。実際の測定に当っては、電圧 v と電波周波数 f の直線性を利用し、 v_o 、 v_1 及び v_i に対する f_o 、 f_1 及び f_i を測定して I_c を求める。即ち、

$$I_c = (v_1 - v_o) \left(\frac{f_i - f_o}{f_1 - f_o} \right) / R \quad (4.2)$$

ところで、電離函内の電離電流 I_c と自由大気中のイオン対生成率 J_c との関係を

$$J_c = I_c / K_c \quad (4.3)$$

とすると、係数 K_c は次式で与えられる：

$$K_c = (PV)_{STP} \cdot \left(\frac{1.602 \times 10^{-19} \text{ amp}}{\text{ion pair}} \right) = (P_1 V) \left(\frac{273}{273 + T_1} \right) \left(\frac{1.62 \times 10^{-19} \text{ amp}}{\text{ion pair}} \right) \quad (4.4)$$

ここで V は電離函の内容積、 P_1 及び T_1 は電離函に空気を封入した時のその場所の気圧及び気温を表わす。従って (4.3) 式は次の様に表わされる：

$$J_c = (v_1 - v_o) \left(\frac{f_i - f_o}{f_1 - f_o} \right) / \left[R \cdot (P_1 V) \cdot \left(\frac{273}{273 + T_1} \right) \times 1.602 \times 10^{-19} \right] (\text{ion pair}) \quad (4.5)$$

これが一般に用いられる式であり、以下この式によって算出した値について述べることにする。

4.4 飛揚観測結果

1984 年 5 月 25 日、宇宙科学研究所三陸大気球観測所の大気球に、前記 3 個の電離函を他の測定器と一緒に搭載し、同時飛揚観測を行った。図 4.2、4.3 及び 4.4 はそれぞれ電離函 No. 1、No. 2 及び No. 3 によるイオン対生成率の高度変化を示したものである。これらの値をそれぞれ J 1、J 2 及び J 3 とする。これは大気球上昇時の観測結果で、下降時は落下時間が短いため、この種の解析には適していないので、ここでは用いなかった。結果として次のようなことが明らかになった。

① Pfozter Maximum (二次宇宙線の発生のため、100 mb 付近の層で宇宙線強度が最大となる) 付近でノイズが発生し、観測値が得られなかったが、17~18km 付近が最大であることが判る。

図 4.2 ~ 4.4 の比較から、②三者の値の間には大きな差は見られず、特に Pfozter Maximum より上方においては三者は殆ど一致している。③ Pfozter Maximum より下方、特に 4 ~ 15km で電離

函No 2 の値が他に比してやや大きい値を示している。

次に、図 4.5 において、1982 年 9 月 1 日、同地点において電離函No 2 を用いて行った予備観測の結果と 1984 年の J 2 とを比較するこれによると、④ Pfozter Maximum 付近において、1984 年の方が約 1 % 増加していることが分る。これはこの期間における地上の宇宙線中性子強度の変化と大体一致している。

最後に、⑤ Brasseur and Nicolet (1973) によって求められた極地方におけるイオン対生成率高度分布との比較を図 4.6 において示す。図中、3 つの高度分布曲線の中、左が今回の我々の結果、中央と右はそれぞれ極地方の太陽活動極大期及び極小期に対応するものである。

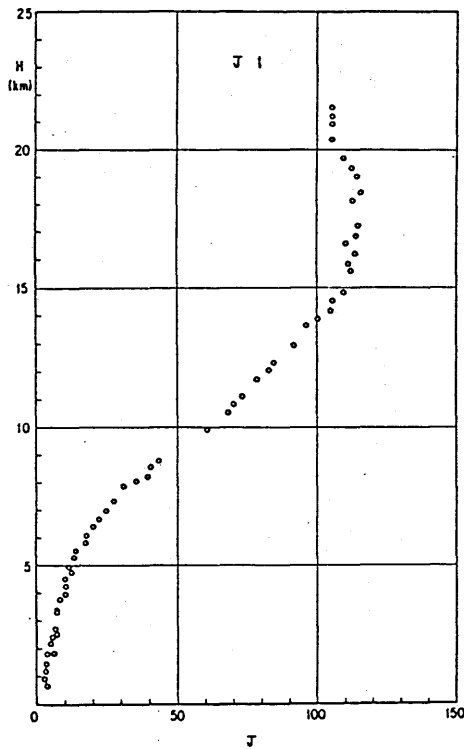


図 4.2 0.4 mm Al (空気) 電離函による観測結果 (1984 年 5 月 25 日)

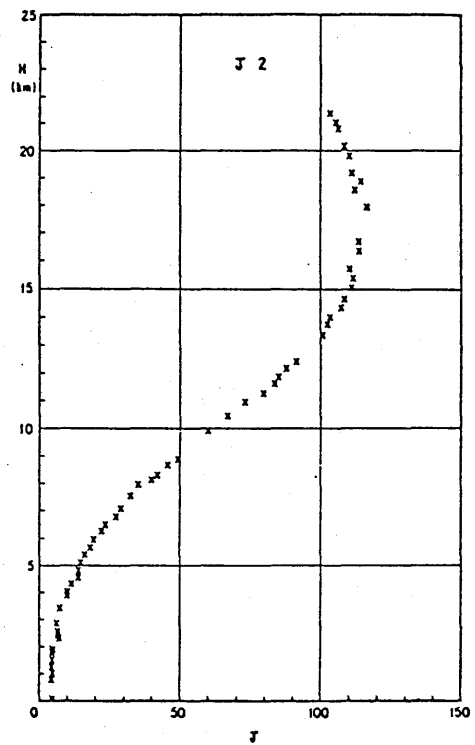


図 4.3 0.8 mm Al (空気) 電離函による観測結果 (1984 年 5 月 25 日)

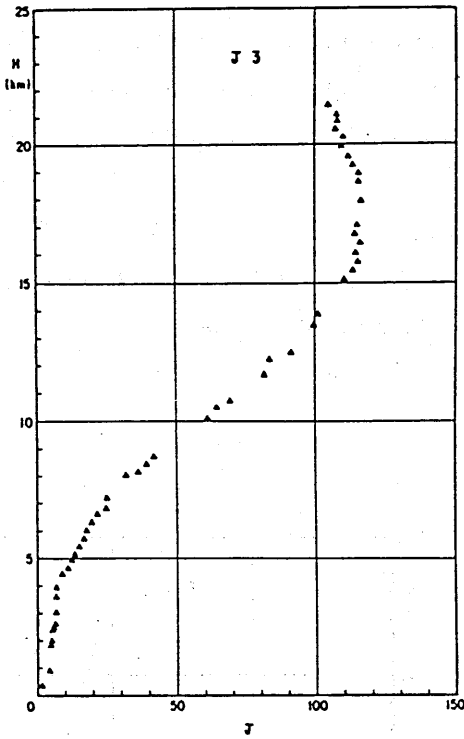


図 4.4 3.0 mm Al (空気) 電離函による観測結果 (1984 年 5 月 25 日)

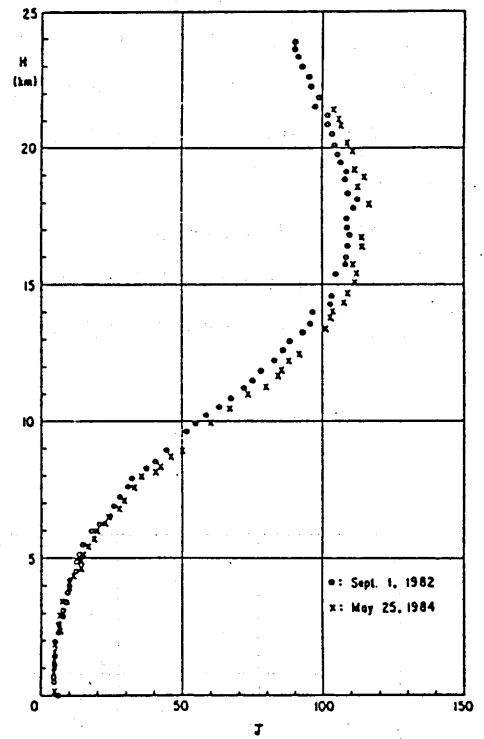


図 4.5 0.8 mm Al (空気) 電離函による 1982 年 9 月 1 日と 1984 年 5 月 25 日の観測結果

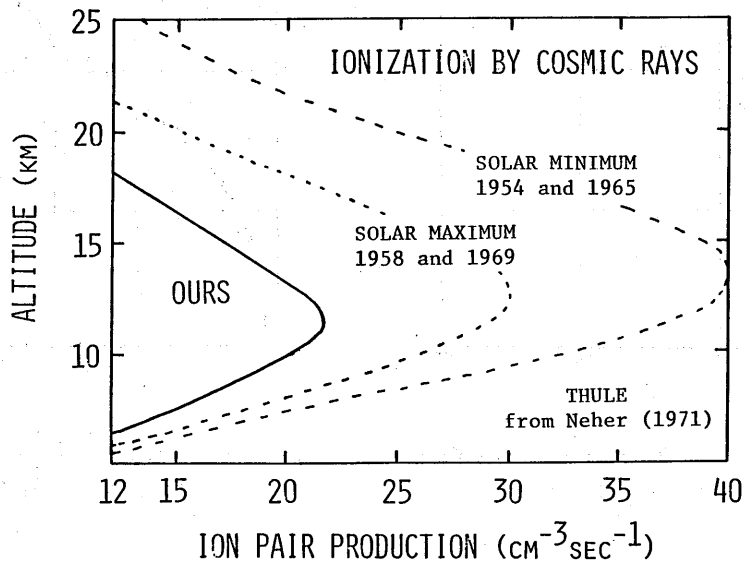


図 4.6 自由大気中の電離生成率

左の線が今回の結果、中と右は極地の例で太陽活動極大と極小期に対応する (Brasseur and Nicolet, 1973).

4.5 検討

本観測で得られた結果の中、前節において指摘した点について検討を行う。

- ① 観測当日、9時 JST の秋田におけるゾンデ観測によれば100 mb及び70 mb高度は、それぞれ16,373 m及び18,594 mであり、Pfortzer Maximumの位置17~18kmと一致する。
- ② Pfortzer Maximum より上方においては、~10 Gev 以上の高エネルギー一次宇宙線（陽子）が殆どであるので、今回用いた電離函の壁厚の差は殆ど無視され、三者の値が一致することが期待される。
- ③ Pfortzer Maximum 以下においては、二次宇宙線の組成とエネルギー分布によって複雑に影響されるので、三者の間の詳細な比較検討が今後必要である。
- ④ 1984 年の Pfortzer Maximum における値が、1982 年の値より約1%増加していることは、この期間の地上の宇宙線変化と大体一致しており、上の変化が太陽活動に支配される宇宙線粒子によるものであることを示している。
- ⑤ 今回の我々の値は、日本付近の緯度における値で、極地方の値の約 $1/1.5$ で宇宙線強度の緯度分布と一致している、日本付近においても太陽活動極大及び極小期にわたる同種の観測が望まれる。

4.6 おわりに

この観測は、特別研究「中層大気の研究」の一環として行われた。然し、この期間中に行われた観測は、予備観測、本観測各1回で、決定的結論を出すには余りに観測回数の少ないことを痛感する。然し、それにも拘らず、本報告中で指摘したいくつかの特徴的な成果が得られた。今後は観測の回数を重ねると共に、観測方法の改良によって今回の成果が更に補強されることを期待する。

特に、(1)太陽活動極大期、極小期を含む長期の観測によって、日本付近におけるイオン生成率分布図の確立、(2)低エネルギー（~1 Mev 以下）の粒子線によるイオン生成率の測定が望まれる（電子では~100 ev 付近で電離効果は最も大きい）。これらは、粒子線によるイオン生成反応を介して太陽活動が気候変動に及ぼす影響の議論において、極めて重要な資料となるであろう。

謝 辞

本研究を行うに当たり、理化学研究所和田雅美主任研究員・岡野真治副主任研究員始め、同所宇宙線研究室及び放射線研究室の各位、並びに山梨医科大学小玉正弘教授には、観測・討論等全般にわたり、貴重な御指導と御援助を頂き、大気球飛揚観測に際しては、宇宙科学研究所西村研究室の各位に一方ならぬお世話を頂いた。又、電離函の製作に当っては、名古屋大学空電研究所森田恭弘助教授に終始多大の御援助と御協力を頂いた。尚、気象研究所高層物理研究部村松部長及び広田道夫主任研究官には予備観測から本観測に至るまで一貫して色々と御援助を賜わった。ここに深甚の謝

意を表するものである。

参 考 文 献

Brasseur, G. and Nicolet, M. (1973), Planet. Space Sci. **21**, 939.

De Campo, J.A., Beck, H.L. and Raft, P.D. (1972): High pressure argon ionization chamber system for the measurement of environmental radiation exposure rates, HASL-260, NY. USA.

北村正亟、森田恭弘 (1984): 空気封入電離函によるイオン対生成率の測定、理研シンポジウム講演集 (第21回、航空機内における放射線測定)、19-26.