

規模や種類において不十分であるから、この方面の研究も助長しなければならないと思う。

最後に観測用ロケットの開発について希望を述べたい。

(a) 現在 K-8L, K-8, K-9M, L-3 という機種が標準として使用されているが、その信頼度と成功率を一段と高いものにすることが望ましい。なおテレメータの channel 数を大型ロケットに対して現在より増すことが望まれる。

(b) 将来南極でロケットを打上げることが学界の念願であるので、これに対する対策をロケット、発射技術、観測計器、テレメータ、追跡などの点から講じておくことが必要である。

(c) 英国の報告によると、main rocket の姿勢制御が行なわれ、stabilized head と称してこれに天空の一点を見る計器を搭載している。このようなものはわれわれとしても是非ほしいものである。

(d) 地球物理学的見地からすると、観測を地球上の限られた点で行なうだけでは十分な成果があげられないことが多い。そこで問題になるのは、海上からロケットを発射したいということである。いわゆる mobile platform の開発が要求されるゆえんである。米国海軍の研究では海中から発射することが行なわれている。いずれが適当であるかは専門家の判断にゆだねるが、このような目的に使用できるロケット技術の開発を希望したい。

## 大気構造に関する研究

竹屋 芳夫\*・中村 純二\*\*

### 1. ま え が き

ロケットによる大気構造の観測および研究としては主として次の二つに大別される。すなわち、オゾン、水蒸気をはじめとする各種の分子および原子の濃度を対象とする大気組成に関する研究と、風および気温、気圧、密度の諸変化を対象とする大気状態に関するものである。

ロケットによる観測という制約上、現在までには主として後者すなわち風系に対する観測の研究がなされてきた。1958年6月以来発音弾法による中間層の気温と風の観測は11機におよび、またナトリウム蒸気による電離層中の風の観測もその方法の確立と共にその観測回数は増大しつつある。

第1班には大別して三つのグループがある。すなわち気象研究所、東京大学東京天文台および教養学部、大阪市立大学工学部である。また、その観測方法の開発は次節で述べるように8項目にわたっている。

以下、観測各項にわたってその方法、結果などについて簡単に述べる。

---

\* 大阪市立大学工学部

\*\* 東京大学教養学部

## 2. 観測対象および手段

大気構造に関して現在までに実施され、あるいは開発研究が行なわれてきた項目を第1表に示す。

(I) 風の観測 第1表(I)に示した六つの方法はいずれもロケットにターゲットを搭載し、それを上層に放出し地上ないしは機上から観測する方法をとっている。風はこれらターゲットの移動から算出するがその観測方法は、反射光(第1表1. および3.), 発光(2), 反射電波(4, 5), 音波(6)等多岐にわたり、それぞれの特徴を有している。特にTW法(6)は音波を使用するから同時に温度をも得られる点、中間層の風、気温が同時に観測

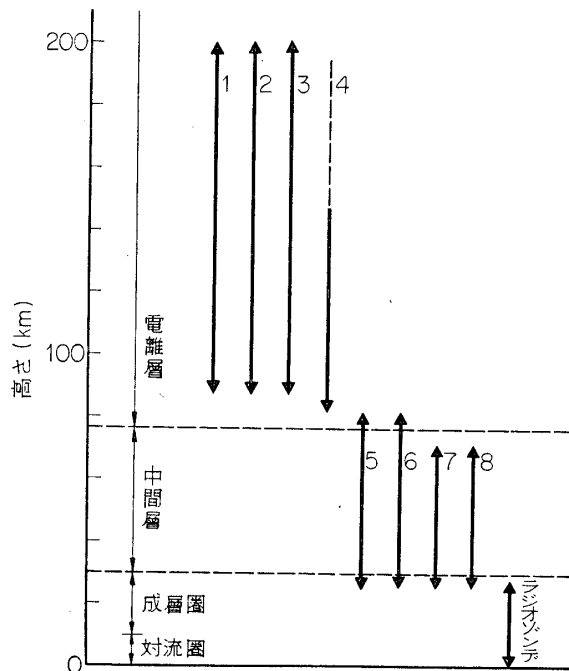
第1表 大気構造に関する観測項目および手段

| 観測対象          | 観測法      | 担当グループ        | 観測方法                   | 観測条件       | 備考      |
|---------------|----------|---------------|------------------------|------------|---------|
| (I) 風         | 1. Na法   | 東京大学東京天文台教養学部 | 人工Na蒸気雲のD線の観測          | 晴天薄明時      | 4回観測実施  |
|               | 2. TMA法  | 東京大学東京天文台教養学部 | トリメチルアルミニウムの人工発光雲の観測   | 晴天, 暗夜     | 基礎研究終了  |
|               | 3. WV法   | 大阪市立大学工学部     | 人工微粒子雲をロケット搭載ビデオンによる観測 | 晴雨日照時      | 開発中     |
|               | 4. EC法   | 大阪市立大学工学部     | Csによる人工電子雲の散乱電波の観測     | 晴雨日照時      | 開発中     |
|               | 5. チャップ法 | 大阪市立大学工学部     | 半波長ダイポール雲のレーダによる観測     | 晴雨昼夜       | 基礎研究終了  |
|               | 風 気温     | 6. TW法        | 大阪市立大学工学部              | 発音弾による音波伝播 | 晴雨昼夜静寂時 |
| (II) 大気密度, 温度 | 7. 落下球法  | 気象庁気象研究所東大・理  | 落下球の加速度                |            | 開発中     |
| (III) オゾン濃度   | 8. 光電管法  | 気象庁気象研究所東大・理  | 光電管によるオゾンの太陽光吸収度の計測    |            | 開発中     |

できる唯一の有力な方法である。しかし、これは高さについての平均値が得られるのみであるからさらに微細な風の変動についてはチャップ法(5)によらねばならない。この点光、音による観測と異なって電波による方法(4を含めて)は天候、時間によらないという利点がある、TW法は約90Kmがその上限となるためそれ以上は2~300Kmまでは、昼間はWV法(3)、薄明時はNa法(1)、夜間TMA法(2)によって観測できる。前者は晴雨に影響されないが、後2者は晴天でなければならない。E層付近ではEC法(4)が有力であろうと思われる。

(II) 気温、密度 TW法では上述のように音波を使用するために温度も得られるが落下球法(7)では落下球の加速度から密度が計算で導出できると同時に温度も得ることができる。

各観測手段により観測できる高度を図示すると第1図のようになる。各高度において各々



第 1 図 大気構造に関する観測項目および観測高度

の観測手段が互いに欠点を相補っていることがわかる。

(Ⅲ) オゾン濃度 光電管によるオゾン濃度の測定 (8) はオゾンが太陽光を選択吸収する性質を利用する。現在開発中の計測器はオゾンの吸収帯である  $3000 \text{ \AA}$  帯と非吸収帯の  $2500 \text{ \AA}$ ,  $3500 \text{ \AA}$  帯域の太陽光強度を光電管で計測して両帯域の吸収度の違いからオゾン量を求めようとするものである。

### 3. 観測結果

ロケットを使った観測結果の概要は第 2-1 表, 第 2-2 表に示す通りである。これらの観測はいずれも世界的共同観測の一部として行なわれたものであって, いずれ世界的規模で検討が加えられるはずである。

(Ⅰ) 発音弾法による風, 気温の観測 前報告について過去 5 年間に実施された実験は K-8-7 号機 (TW-10), K-8L-6 号機 (TW-11) の 2 回であり, 本実験としては計 11 回を数えることになった。第 2 表に示すように, K-8-7 号機 (TW-10) では, 過去 9 回までの実験で欠けていた夏のデータが加わって道川における春夏秋冬のデータが一応得られたことになる。さらにこの実験においては, これまで 6 個だった発音弾数が 8 個に増加することに成功し, K-6H-1 号機 (TW-9) に引続いて 70 Km までの観測値を得られた。過去 10 回のデータを検討してみると, 夏型と冬型は比較的分離しやすいが, 秋 K-6-18 号機 (TW-8) のデータは 45 Km 前後までが夏型, それより上空は冬型を示し, 春 K-6-16 号機 (TW-6), K-6-17 号機 (TW-7) のデータも下層が夏型, 上層が冬型を示している。K-8L-6 号機 (TW-11) は従来道川 ( $39^{\circ}34'K$ ,  $140^{\circ}03'E$ ) で行なっていた実験を内之浦 ( $131^{\circ}04'N$ ,  $30^{\circ}15'E$ ) で始めて行なったもので, それらの経度, 緯度の違いによる結果に興味もたれたが, 十分な

第2-1表 発光雲による風の観測 (WI)

|           | K-8L-2                          | K-8L-5                          | K-8L-7                                          | K-8-12                          |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|
| 発射月日      | 12 Dec '63                      | 26 Jul '64                      | 2 Nov '64                                       | 16 Jul '65                      |
| 発射時刻(JST) | 17 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> | 19 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup> | 18 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup> | 19 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> |
| 発射角       | 78°                             | 79°                             | 78°                                             | 79°                             |
| 発射方位      | N 128° E                        | N 145° E                        | N 145° E                                        | N 145° E                        |
| 全長(m)     | 7.41                            | 7.37                            | 7.38                                            | 10.78                           |
| 重量(kg)    | 348                             | 358                             | 359                                             | 1504                            |
| 共載計器      | RT                              | RT                              | なし                                              | ID,IP,GAS,TM,RT                 |
| Na弾数      | 4                               | 2                               | 4                                               | 1                               |
| 到達高度(km)  | 102                             | 119                             | 150                                             | 160                             |
| 発光雲下限(km) | 88                              | 99                              | 100                                             | 90                              |
| 発光雲上限(km) | 102                             | 140                             | 150                                             | 140                             |
| 結果        | 航跡のみ                            | 良好                              | 良好                                              | 良好                              |
| 観測点       | 都井, 船間                          | 都井, 種子島, 山川                     | 都井, 種子島, 山川                                     | 南郷, 種子島, 山川, 内之浦                |
| 天気        | 快晴                              | 快晴                              | 晴                                               | 晴                               |
| 風向風速      | NW 4.0 m/s                      | なし                              | NE 3 m/s                                        | SW 2 m/s                        |
| 気温        | 9°C                             | 27°C                            | 17°C                                            | 31.5°C                          |

第2-2表 気温風観測表

|                        | K-8-7                                             | K-8L-6                    |
|------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 年月日時                   | 1961年<br>7月21日<br>11時42分                          | 1964年<br>11月12日<br>12時05分 |
| 全長(m)                  | 11.010                                            | 7.377                     |
| 重量(Kg)                 | 1530                                              | 359                       |
| 発射角(度)                 | 80                                                | 79                        |
| 高度(Km)                 | 157                                               | 152.5                     |
| 追尾                     | レーダ, 発光検出機<br>赤外線                                 | レーダ<br>気圧計                |
| 概況<br>天候, 風速, 風向<br>気温 | 晴<br>南々東の風 2 m<br>32.5°C                          | 晴<br>北の風 3 m              |
| 発音弾数                   | 8                                                 | 6                         |
| 発音高度                   | 31.2, 37.7, 44.1, 50.8,<br>56.2, 62.6, 68.9, 75.2 |                           |
| マイクロフォン数               | 5                                                 | 10                        |
| ゾンデ                    | 24km                                              | 19 km                     |
| 結果                     | 良好                                                | 不正確                       |

結果が得られていない。発音時刻の検出方法は K-8-7 号機 (TW-10) の実験では発光検出器を、K-8L-6 号機 (TW-11) の実験では気圧計をロケットに搭載して行なったが、発光検出器は成功したが気圧計の方は失敗であった。つぎに TW 観測用としてテープ式磁気記録装置とアナログ電子計算機を試作した。磁気記録装置は音波の到来時間の読みとり精度を従来使われてきたペン書きレコーダより一けたあげようとするもので 1 本のテープに 12 チャンネルを F.M 多重記録する装置である。また野外実験用として全トランジスタ化を行ない、電池駆動、かつ可搬式にするため小型化に努力した。K-8L-6 号機 (TW-11) において始めてペン書き記録装置と併用された。アナログ計算機は計算が煩雑な音速 (C) および x 方向, y 方向の風の分力 ( $W_x$ ,  $W_y$ ), 温度 ( $\theta$ ) の概数値を求める目的を持つのであ

第 3 表 試作アナログ計算機構成要素

| 機 器 名   |                                 | 数             |
|---------|---------------------------------|---------------|
| 線型演算要素  | 加 算 器                           | 6             |
|         | 積 分 器                           | 4             |
|         | 係 数 器                           | 5             |
|         | ポテンシオ・メータ                       | 11            |
| 非線型演算要素 | 乗 算 器                           | 2             |
|         | 自 乗 器                           | 1             |
|         | 平 方 根 器                         | 1             |
|         | 逆 数 発 生 器                       | 1             |
| 解指示装置   | ブ ラ ウ ン 管<br>オシロスコープ            | 3             |
| 制御器     | 制御信号および<br>単位関数状電圧<br>発生器       | 1 組<br>(6 素子) |
| 電 源     | 電 源 装 置<br>(交流, 直流定電圧<br>装置を含む) | 1 式           |

第 4 表 アナログ計算機による計算例  
括弧内は数値計算値  
(TW-6 実験より)

|               | $G_4$       | $G_6$       |
|---------------|-------------|-------------|
| $W_x$ (m/s)   | -51 (-49.5) | -22 (22.9)  |
| $W_y$ (m/s)   | +75 (+72.5) | -73 (-72.6) |
| C (m/s)       | 318 (321)   | 327 (328)   |
| $\theta$ (°k) | 248 (256)   | 265 (269)   |

て、第 3 表に示す素子よりなるが、特に割算回路については独自の開発を行なった。各素子の精度は線型素子では 1%, 非線型素子では最大約 4~5% である。演算増幅器は 12AX7

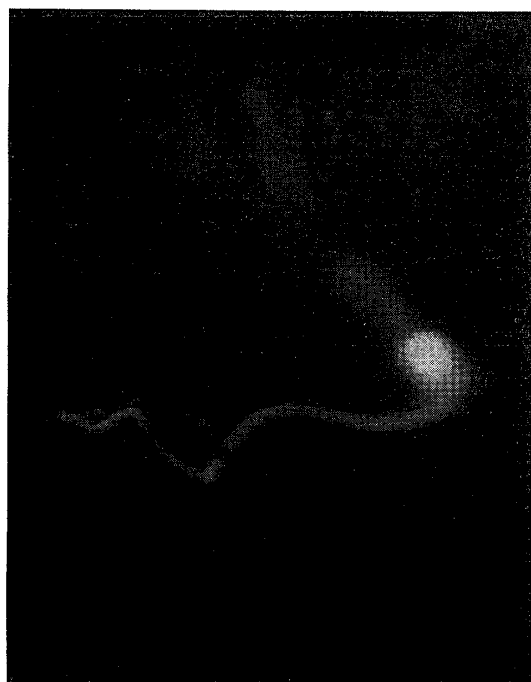
第5表 Na弾諸元

| ロケット   | 弾型式            | 重量<br>(kg) | 全長<br>(mm) | 直径<br>(mm) | Na<br>(g) | Li<br>(g) | 光薬<br>(g) | テルミ<br>ット<br>(g) | 作動方式   | 発射後<br>動作秒<br>(s) |
|--------|----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------------|--------|-------------------|
| K-8L-2 | K <sub>1</sub> | 1.2        | 270        | 59         | 120       |           | 450       |                  | 前方射出   | 69                |
|        | T <sub>1</sub> | 1.2        | 270        | 59         | 40        | 10        |           | 160              | 前方射出   | 85                |
|        | K <sub>1</sub> | 1.2        | 270        | 59         | 120       |           | 450       |                  | 前方射出   | 95                |
|        | T <sub>2</sub> | 7.2        | 288        | 149        | 250       | 80        |           | 1000             | 機体内燃焼  | 110               |
| K-8L-5 | T <sub>2</sub> | 6.0        | 234        | 151        | 220       | 80        |           | 1700             | 機体内燃焼  | 75                |
|        | K <sub>2</sub> | 5.3        | 250        | 151        | 650       |           | 2400      |                  | 機体内爆発  | 105               |
| K-8L-7 | T <sub>1</sub> | 1.2        | 258        | 59         | 70        |           |           | 220              | 前方射出   | 75                |
|        | K <sub>1</sub> | 1.1        | 258        | 59         | 120       |           | 450       |                  | 前方射出   | 85                |
|        | T <sub>2</sub> | 5.8        | 234        | 151        | 440       |           |           | 2400             | 機体より噴出 | 90                |
|        | K <sub>1</sub> | 1.1        | 258        | 59         | 120       |           | 450       |                  | 前方射出   | 115               |
| K-8-12 | T <sub>2</sub> | 10.7       | 234        | 240        | 700       |           |           | 2800             | 機体より噴出 | 85                |

2本を使用した非常に簡単なものであるが、その計算結果の精度は1例を第4表に示すが、かなり良いものである。

(II) 発光弾による風の観測 この観測はNa蒸散装置の開発から行なわれた。Na蒸散装置は1955年頃アメリカその他で開発されていたが、これらは真空中でテルミットに着火し、燃焼を続けさせることがむずかしく、またNa発光雲の各点を離別して追跡することが困難であるという欠点があった。これらの欠点を除くため、Na-テルミット混合物の性質の究明から手がけてテルミット燃焼装置、光薬(Na, K, Baなどの硝酸塩、過塩素酸カリなどとAlとの混合物)、弾薬(テトリル, T.N.Tなど)を用いた点状Na雲を作る研究を消防研究所、昭和化成工業株式会社の協力を得て行なった結果、最終的にテルミット弾および光薬弾についてそれぞれロケット機内燃焼型と射出型の2種、すなわち4種類の弾を開発した。これら4種類の弾K<sub>1</sub>, T<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>の諸元は第5表に示す通りである。雲の撮影は地上の2点以上から同時撮影するのであるが、内之浦からの無線指令によって各観測点に設置されたカメラを操作した。カメラははじめ手で操作したが漸次改良して一部自動化した。撮影写真の1例を第2図に示した雲の動きは、同時撮影のフィルムから、まず背景に写っている恒星を基準として求める。これはかなり面倒な解析を必要とするため、投影装置を作って雲の状態を小スケールで再現して位置を求める方法を開発した。

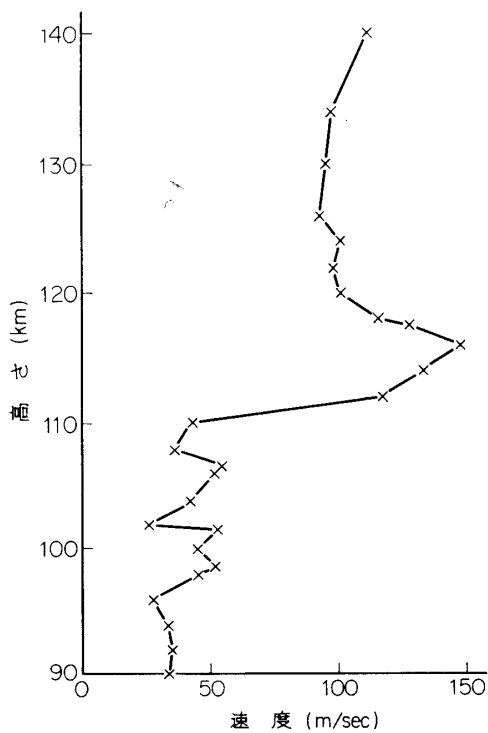
観測の概要は第2表に示すように、第1回の実験ではロケットの航跡が観測されただけで風の資料は得られなかったが、第2回以後はすべて成功している。くわしい結果は近く公表される予定であるが、第3図、第4図に一部を示す。第3図は風速を示し、第4図は風向、風速を示す、矢印は風の方向と大きさを表わし、矢の先の数字は地上よりの高さ(単位km)である。この結果はアメリカなどで得られた結果と大差ないものとなっている。



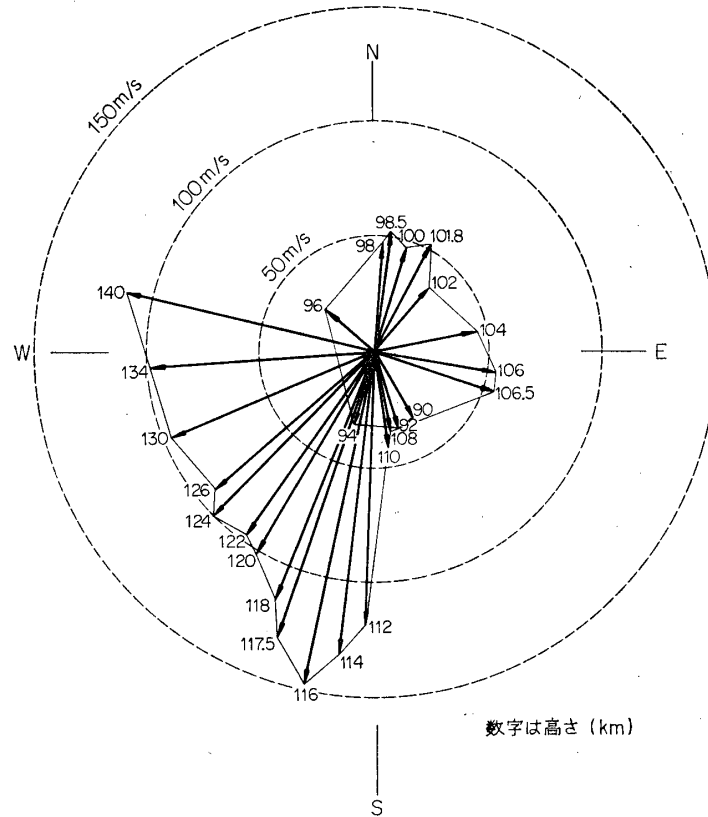
第 2 図(a) K-8L-5 号機による発光雲 (発射後 3 分) 1964 VII 26 山川電波観測所にて撮影 Nikkor F 200mm f 1/3.5 Y2 フィルター 5 秒露出 フィルム Fuji SSS 6"×4.5" 現像 Pandol 20°C 20分水平縦状は T<sub>2</sub> 拡散部分, 左方よじれているのは T<sub>2</sub> 乱流部分, 右の光点が K<sub>2</sub>.



第 2 図(b) K-8L-7 号機による発光雲 (発射後 3 分) 1964 XI 2 山川電波観測所にて撮影, 条件は同左, T<sub>1</sub>, K<sub>1</sub> は左方にあつて既に薄れている. 中央らせん状の太い線状が T<sub>2</sub> の拡散部分, 線内部の右寄りの光点が K<sub>1</sub>.



第 3 図 Na 法による風速の観測結果



第4図 Na法による風向、風速の観測結果

#### 4. あとがき

大気組成の観測、研究についてはまだその緒についたところで現在進行中の大気密度、オゾン濃度の計測法を確立すると共に、さらに酸素、炭酸ガス、水蒸気あるいはその他の各種原子、分子濃度の計測が大気構造を究明するうえで必要であろうと思われる。

風の観測法の研究は比較的進んでいて、今や昼夜の別なくいかなる天候下でも観測が可能になりつつある。またロケットの上昇高度が高くなるにしたがって、200 Km以上の風の観測が可能になった。したがって昼夜の変化、季節による変化などの観測が可能になり、さらに各地の観測結果を用いれば緯度による変化も研究しうるわけで、大気構造を研究する上で重要な位置をしめるものと思われる。しかしながら温度の測定に関しては、現在のところ発音弾に限られていてこの点早急に何らかの方法が開発されねばならない。さらにいえば大気構造の観測は電離層まで延びている現在、これら電離層内の荷電粒子の風、あるいは電離層の他の諸性質とも関連して、研究および観測方法の開発が行なわれるべきである。

#### 参考文献

- [1] ロケット搭載用超高層観測装置総合研究班：ロケット搭載用超高層観測装置の研究 第1号、第2号。



- [2] Yoshio Takeya, Takaaki Okumoto and Wataru Tatebe: "Chaff Method for Upper Atmospheric Wind Measurement", Memoirs of the Faculty of Engineering, Osaka City University, Dec., 1963.
- [3] 前田憲一, 竹屋芳夫, 松本治弥, 奥本隆昭, 大家寛, 建部涉: 上層における気温・風の観測結果 (第2報) 生産研究, 15, No. 7, 132—133.
- [4] Yoshio Takeya, Takaaki Okumoto and Wataru Tatebe. "An Analog Computer for Temperature and Wind Calculation in Rocket-Grenade Method" Memoirs of the Faculty of Engineering, Osaka City University, 5, Dec., 1963.
- [6] 中村純二・秋田一雄・斎藤馨児: "発光弾による風の観測" 生産研究 16 No. 11, 398—401(1964).
- [5] M. Huruwata, J. Nakamura, K. Akita & K. Saito: "Wind Measurement by the Sodium Cloud Method" Proc. 6th Intern. Symp. on Space Tech. & Sci. Tokyo. (1965).

## 電離層直接観測による研究

平尾邦雄・宮崎 茂\*

### 1. 緒 言

1960年9月の道川実験場における8型3号機および4号機による電離層観測の成功は、わが国の宇宙科学研究への本格的な道を開いたものといえる。爾来5年ロケットはK-8型よりK-9L, K-8L, K-9M, L-2, L-3と進み今やわれわれの手には最高1100kmまでの領域のいかなる現象でも測定することのできる手段が与えられている。電離層観測グループはK-8型ロケットの開発によって観測を開始し、1962年5月までは道川実験場でその後は鹿児島宇宙空間観測所で実験を続けこんにちに至っている(第1表)。すなわち過去5年の歩みは電離層観測にとっては初めての5年の歴史であるといえることができる。当初はK-8型の性能上約200kmのいわゆる下部電離層だけの観測であったが、現在は電離層上部を越えて主として低エネルギープラズマの種々の量の観測を行なっている。今やロケットの発達はいよいよスピードを増し、1967年か1968年までには科学衛星をあげるための努力を続けている。この時にあたり第一期の本格的宇宙研究の時期ともいえる過ぎし5か年をふりかえって見ることは真に有意義なことであろう。

### 2. 道川実験場時代

道川実験場時代の電離層観測は、K-8型-2号機からK-8型-10号機とK-9L-2号機の10機で行なわれた。観測項目はイオン密度電子密度および電子温度である。K-8-2よりK-4まではイオン密度で昼間の観測には太陽光による光電子放射の影響をできるだけ小さくするためにいわゆる網型の球状プローブを用いた。これは電離層観測グループ中の電気通信研究所の人々によって基礎研究が進められたものであつて、その後も正イオン密度を測定する標準的プローブとして用いられるようになった。このプローブによって得られた正イオン密度分布の資料は、当時公表されたイオン密度分布の中では最も信頼のおけるものであった。昼間の電離層がE層からF層へほとんど連続的につながること、夜間においてはE層とF層

\* 電波研究所