

# 電波伝播と電波雑音

前田 憲一・大林 辰蔵・木村 磐根

大家 寛・小川 徹・岩井 章

## 1. はし が き

比較的簡単な無線受信機とアンテナをロケットに搭載することによって、電離層やその上層に関して、次のような各種の測定や観測をしようとするものである。

### (1) 電離層内の電波の減衰

適当な地上局から出る電波を受信して、その電界強度の高さに対する変化を求め、これより電波の減衰を知る。名古屋近郊依佐美局の NDT (17.442 kc/s) 電波を利用する。

### (2) 電離層の電子密度

ロケットの飛しょうによって、受信周波数の Doppler shift が生じるので、これを測定してその周波数の偏移から電子密度を求める。利用する電波としては上記の NDT が適当で各種の利点があるが、その外に NHK の鹿児島第 1 放送 (700kc/s) についても実験した。

### (3) 電波雑音

電離層やその上の磁気圏には (i) 地上空電から浸透する雑音、(ii) 測定場所付近で発生する雑音、(iii) 遠くの上層や地球外から来る雑音などが予想される。周波数、受信雑音波形、時刻、高度などによって上記の 3 種を弁別することも、ある程度可能である。このことは特に

第 1 表 ロケット観測表

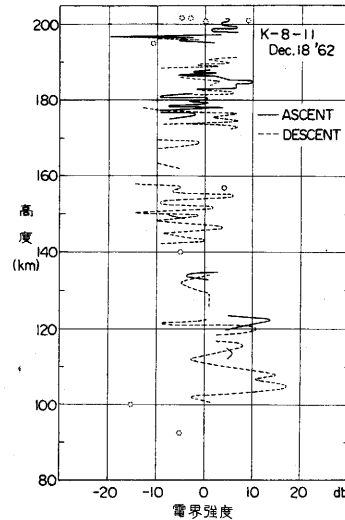
番号	ロケット	発射年月日	時刻 (JST)	観 測 項 目	観測高度範囲 (km)	結果
1	K-8-11	1962. 12. 18	1403	VLF 電界強度 LF 雑音	95~202	良
2	K-9M-2	1963. 5. 20	1109	VLF 電界強度 VLF, LF 雑音 MF ドップラ	72~341	良
3	L-2-2	1963. 12. 11	1400	ELF, VLF 雑音 VLF ドップラ	80~400	良
4	L-3-1 (第 2 段)	1964. 7. 11	1101	ELF, VLF, MF, HF 雑音 MF, HF 電界強度	—	否

磁気圏や電離層の研究上重要である。従来の実験では、ELF, VLF, LF, MF などの周波数が用いられた。

以上の観点から今日までに 4 回 (うち 1 回は失敗) のロケット実験が行なわれた。その要項を表示すると第 1 表、第 2 表となる。

### 2. VLF 電界強度 (電離層内電波の減衰)

第 1 表、第 2 表の番号 1, 2 の実験中、17.44kc/s の電波



第 1 図 K-8-11 号機による 17.44kc/s 電界強度 (1 $\mu$ V/m 規準) の高度分布

を受信して、その電界強度を測定したものである<sup>1,2)</sup>。送信点の依佐美は発射点より東北 700km である。実験 1 号はダブルレット・アンテナを使用し、測定結果は第 1 図に示されている。実験 2 号はループ・アンテナを使用し、結果は第 2 図に示されている。ただし、この場合は磁界強度であらわしてある。

電離層の状態や電子の衝突回数を従来の知識にもとづいて推定し、理論的に電波の減衰と屈折率を算定したのが第 3 図で、これから電界強度の理論値を求めて実験結果と比較したのが第 4 図である。これを見るとかなりの一致が得られていることがわかる。なお実験結果を要約すると次のようになる。

(イ) 受信電波はフェージングを伴い、その深さは大きい。

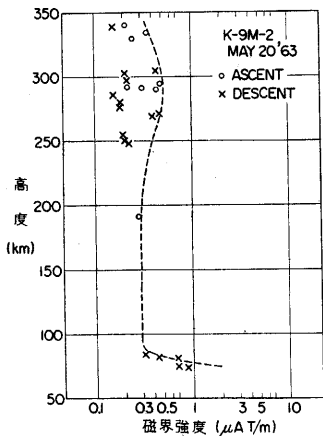
(ロ) 両種アンテナとも相当強く受信されるがスプラディック E 層の遮蔽効果と信ぜられる現象があり、この時には受信感度はなくなる。

(ハ) 電界強度は電子の衝突による減衰のため高さとともに低下し、また屈折率の平方根に反比例して変化する。

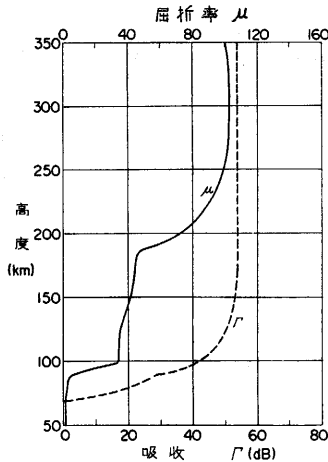
(ニ) 電離層下端の境界面における損失は 10dB 以下である。

(ホ) 以上の結果はアメリカにおけるロケットや人工衛星による実験結果と、だいたい同様である。

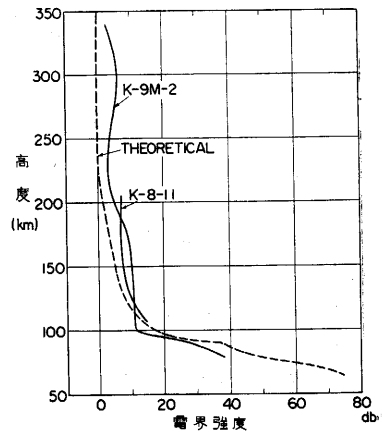
実験 1, 2 号では LF, VLF の雑音測定も試みられたが、2 回とも結果は得られなかった (アンテナの構造上の欠陥や他の機器からの雑音のため)。



第2図 K-9M-2号機による17.44 kc/s磁界強度の高度分布



第3図 吸収および屈折率の高度分布 (18kc/s に対する計算値)



第4図 電界強度 (1μV/m 規準) の高度分布

第2表 周波数およびアンテナ

番号	ロケット	周波数 (kc/s)	アンテナ	項目
1	K-8-11	VLF 17.44 (NDT)	ダブルレット4.6m×2	電界強度 雑音
		LF { 100 100 105	同上共用 ループ 21cmφ 120回 同上共用	
2	K-9M-2	VLF 17.44 (NDT)	ループ約7cmφ 200回	電界強度 雑音 ドップラ
		VLF 7.2	同上	
		LF 100	ループ約7cmφ 150回	
		MF 700(NHK-JOHG)	ループ約7cmφ 20回	
3	L-2-2	ELF 0.3	ホイップ 3m	雑音 ドップラ 雑音
		VLF 3	同上共用	
		VLF 17.44 (NDT)	ホイップ 3m	
		LF 92.5	同上共用	
4	L-3-1 (第2段)	ELF 0.3	ダブルレット 3m×2	雑音 電界強度 および雑音
		VLF 3.5	同上共用	
		ELF 0.3~3 (掃引)	同上共用	
		MF 1,220 (JOHC)	同上共用	
		HF 9,595 (JOZ 3)	ループ、亜楕円 10+11.2cmφ 3回	

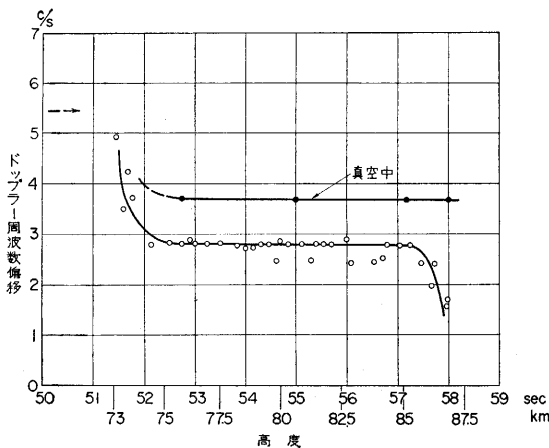
3. MF, VLF ドップラ

(電離層の電子密度)

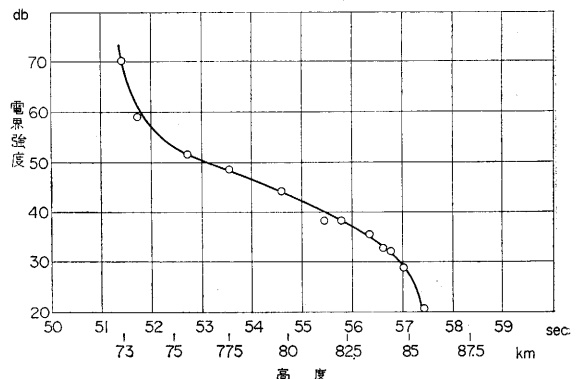
実験2号では NHK 鹿児島第1放送 (J OHQ) の 700kc/s の電波を利用し<sup>3)</sup>, また実験3号では依佐美の 17.44kc/s の電波を利用して<sup>4,5)</sup>, ドップラ効果による受信周波数の偏移を測定した。前者の実験では使用周波数の関係上 E 層の上では電波は到来しないので, 85~86 km までが測定範囲であった。それ以上では雑音が強ければ受かるはずであるが, 外気圏からの電波もこの周波数では到来せず, 結果としては最上昇点 (340km) まで静寂な領域であることが確かめられた。

ドップラ周波数は第5図に示すようになり, 減衰は第6図のように求められた。これらはいずれも上昇時の結果であって, 下降時はロケットの飛しよう方向

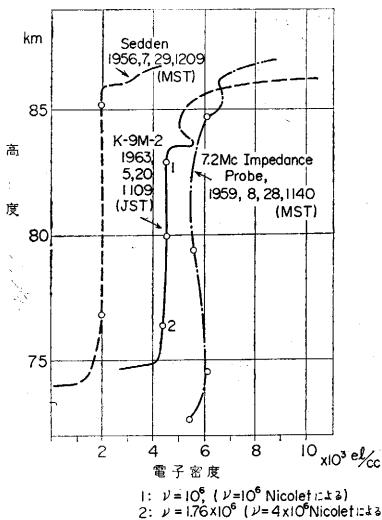
の関係上良好な実験条件とならないので, データとしては使用しなかった。第5図と第6図の結果を用いて,



第5図 ドップラ周波数偏移の高度分布 (K-9M-2号機上昇時)



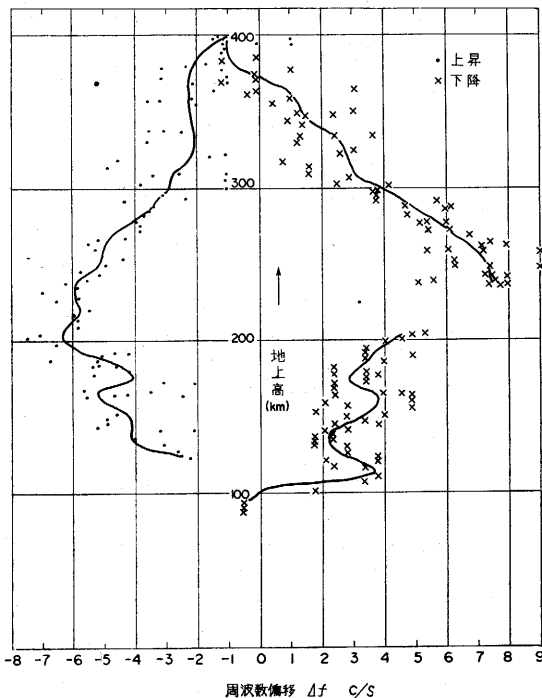
第6図 700kc/s 電界強度 (1μV/m 規準) の高度分布 (K-9M-2号機上昇時)



第 7 図 電子密度の高度分布 (K-9M-2 号機)

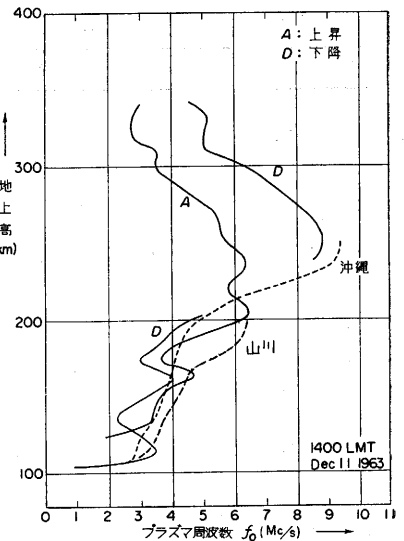
75km から 86 km までの電子密度と衝突回数を連立的に求め、電子密度については第 7 図の実線曲線が得られた。これはいわゆる D 層に該当するもので、参考のためアメリカで求めた 2 種の実験結果を点線で示してある。これに

よるとわれわれの結果はだいたい  $4 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$  となっていて参考データのほぼ中間に来ている。これはどの実験結果が正しいというよりは、D 層の電子密度が変動しやすいことを示していると解釈するのが適当である。図中 1 および 2 の数字を付けたのは、連立計算で求められた衝突回数 ( $\nu$ ) の値である。1 の所は Nicolet の理論値とよくあうが、2 の点では彼の値より低い値が適当であることを示している。しかしこの点については電波の通路をより厳密に定めて詳細な解析をする必要がある。



第 8 図 ドップラ周波数偏移の高度分布 (L-2-2 号機)

実験 3 号では 17.44 kc/s を使用したため、ロケットの全飛しょう径路にわたってデータが得られた。第 8 図は高さに対するドップラ周波数の偏移を示し、上昇時は負値、下降時は正値を取っていることがわかる。この VLF



第 9 図 プラズマ周波数の高度分布 (L-2-2 号機)

使用の場合はドップラ効果は理論上ロケットの垂直速度で定まるはずであるが、飛跡の頂点 (約 400 km) で、なお周波数偏移が負値の方によっているのは、搭載機器に原因があると見られる。第 9 図は結果をプラズマ周波数で示してあるが、これは通常地上から電波で測定する場合の臨界周波数に相当するもので、沖繩と山川 (鹿児島県) における観測結果と比較の便宜上このように表わしたものである。ロケットは内之浦から南東へ飛しょうするので、上昇時は山川観測所 (電波研) の値に近いはずであり、下降時は緯度的に見て沖繩の値に近いはずである。得られた結果は十分満足すべきものであり、特に VLF を使用することは、(i) ドップラ偏移の値が大きく電子密度を測る上に好感度であること、(ii) 電波通路の考慮が単純で電子密度算出が容易かつ正確に行ない得るなどの大きな利点がある。

—以上前田—  
(1964年 8月18日受理)

#### 4. ELF-VLF 帯雑音電波の観測

##### (1) 実験要領

ロケット観測は今回が初めてであるので、比較的強度の強いホイッスラの観測より着手した。ホイッスラはその周波数幅が 10 kc/s 以上あるが、現用テレメータ装置では最大伝送幅が 200 c/s のため、そのまま伝送することができない。このため VLF 帯と ELF 帯にそれぞれ 1 チャネルを選び、そこで 200 c/s の幅で受信し、これを伝送して地上で再びもとの周波数にもどし、地上で同時に観測されるデータと比較することにした。しかし、ロケットの発射がホイッスラ発生極小である昼間と決まり、飛しょう時間も数分であるため、ホイッスラ受信が極めて困難と思われたので、その外にその帯域での雑音電波の平均強度をも測定できるように途中で変更した。選んだ周波数帯幅は 400~600 c/s と 3~3.2 kc/s で

第3表 ロケットと地上のホイッスラ観測

時間	高度 (km)	ロケット	地上
00分48秒	53	×	○
57秒	74	×	○
1分48秒	180	○	○
3分26秒	335	○	○
4分59秒	397	○	○
6分39秒	382	×	○
*7分12秒	361	○	×
* 16秒	358	○	×
* 50秒	326	○	×
8分19秒	290	○	×
* 24秒	285	○	×
42秒	258	○	×
43秒	256	○	×
* 52秒	240	○	×
* 59秒	230	○	×
9分18秒	190	○	○
32秒	160	○	○

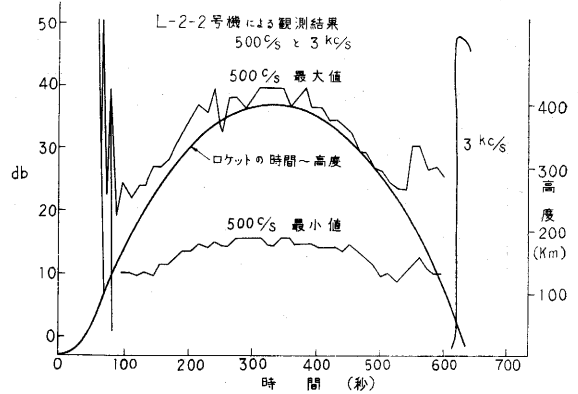
\* はホイッスラであることが不確定であることを示す。  
○は観測されたことを示す。  
×は観測されなかったことを示す。  
高度は海面上の高度を示す。

あり、地上観測は約 17km 北東の東串良で行なわれた。テレメータ信号は地上において再び変調器によって元の周波数帯域にもどして録音し、これをソナグラフにかけてホイッスラを検出した。一方雑音平均レベルはロケット搭載受信機の AVC 電圧を 200 c/s 幅信号に重畳して同一テレメータチャンネルで送り、地上で濾波器により選別してペン書記録とした。このため、テレメータ 2 チャンネルで四つの信号を送ることができた。

## (2) 観測結果

### (i) ホイッスラ観測

12月9日頃より、地上で昼間ホイッスラが観測されはじめ、発射が14時に繰り下げられたため、ホイッスラ観測には条件が良かった。3kc/s 帯には明らかにホイッスラが検出されたが、500c/s 帯は後述のように雑音レベルが異常に高く、ホイッスラを検出することが不能であった。このため、ホイッスラの分散値を測定することができず、地上とロケットとで分散値を比較することが不可能であった。東串良における分散値は、9、10日は25であったが、当日は30であった。ロケットでは地上で観測されたものはすべて観測され、地上で観測不能だったものも観測された。頂点を過ぎる頃よりテレメータに異常が認められ、まぎらわしい妨害が混入しているので若干信頼度は落ちるが、得られた結果は第3表のとおりである。



第10図 雑音平均レベル (L-2-2号機)

### (ii) 雑音平均レベル

3kc/s 帯のレベルは非常に低く、70秒、高度 105 km で 32 dB (0dB=1 $\mu$ V/m, 以下同じ) の強度を記録したが、それ以後ほとんど 0dB を越すレベルの上昇はなく、落下時 610 秒で 48 dB を記録して信号が切れた。500 c/s 帯は 68 秒、高度 100 km で電離層に突入して 70 dB 以上の飽和値を記録し、その後 78 秒、高度 130 km で 39.5 dB の山を示し、約 11.8 秒の周期で極大値と極小値の間を同じ形で反覆している。最大値は高度とともに上昇し、その dB 値と高度とは上昇、下降とも良い一致を示している。これらの結果を第10図に示す。この周期はプリセッションの周期と完全に一致しているが、その波形はかなりの高調波を含んでおり、それが何に原因するか明らかでないが、アンテナの外ロケットポデーもかなりの影響を及ぼしているようである。この結果よりすれば波面のそろったような雑音電波が存在し、高度とともに強くなることが考えられる。そして、外国でも 1kc/s 以下に強い雑音が存在することが指摘されているので、この ELF 帯の異常な強度はそれと同一のものであろうと思われる。これらは今後行なわれるロケット観測により順次明らかになってくるであろう。

—以上岩井—

(1964年8月18日受理)

### 参考文献

- (1) 前田, 木村, 高倉: 電通学会電波伝播研究会資料, 1963年3月20日。
- (2) K. Maeda, I. Kimura and T. Takakura; Rep. Ions. Space Res. Japan, 17, 4, 1963.
- (3) 大林, 大家, 小川: ロケット搭載用超高層観測装置の研究, 第1号, 1964年6月。
- (4) 前田, 大林, 木村: 電通学会電波伝播研究会資料, 1964年3月19日。
- (5) K. Maeda, T. Obayashi and I. Kimura; The Vth International Space Science Symposium (Florence) May, 1964.