

S-310JA-1, 2 号機実験 — 概観およびまとめ —

木 村 磐 根*

S-310JA-1 and 2 Rocket Experiments — General Introduction and Summary —

Iwane KIMURA*

Abstract: The first part of this report summarizes the results of observations of waves and particles by means of the S-310JA-1 and 2 rockets which were launched both in February at one year's interval. Geophysical data simultaneously observed on the ground are also introduced. In the second part of this report, the correlation of the data, especially those of waves and particles, obtained by various kinds of instruments on board the rockets is described.

要旨: 波動-粒子観測ロケットとして、1年あいて共に2月に打ち上げられた S-310JA-1, 2 号機による観測結果と地上同時観測の結果を概観し、また、まとめでは特に各機器の観測結果の関連性を検討し、また、ロケット観測上期待される波動-粒子の観測データの関連性について述べる。

1. 概 括

S-310 型ロケットは、高度 200 km 以上にも達する単段ロケットで搭載計器の容積、重量もほぼ K-9M 型と同様で、南極観測では、特に電離層中の波動観測グループからも永く実現が望まれていたものである。さいわい IMS 第 1 年目として第 17 次南極地域観測から S-310 型が使用できることになり、第 17 次 1 機、第 18 次に 2 機が実験に用いられた。

本イベントセッションは、ちょうど 1 年違いでどちらも 2 月に打ち上げられた波動-粒子総合観測ロケット S-310JA-1, および 2 号について各観測機器のデータ解析結果を報告し、異なる物理量の間の関連について詳細に検討することを目的としている。

まず表 1 には、この 2 機のロケットの打ち上げ日時、観測項目と結果の要約、およびロケット打ち上げ時の地上の環境条件についてリストアップしてある。2 つのロケットは、共に

* 京都大学工学部電気工学第二教室. Department of Electrical Engineering II, Faculty of Engineering, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606.

表 1 S-310JA-1 および 2 号機の打ち上げ日時と観測項目

Table 1. Summary of observations by S-310JA-1 and 2.

Date/time	Rocket observations		Ground observations
February 13, 1976 12 : 45 LT (09 : 45 UT)	S-310JA-1 (215 km)	NEL: Almost constant electron density profile TEL: T_e increasing with altitude ESL ESM: Started observation near apex. keV electron flux peaked at around 150 km PWL: Chorus or ELF hiss (0.2~1 kHz) and static noise, spin modulated PWH: Several characteristic peaks in spectra	Aurora: No observation CNA: $-0.8 \sim -1$ dB Magnetic activity: Quiet, Pc 3 VLF: Active chorus or ELF hiss
February 10, 1977 03 : 22 LT (00 : 22 UT)	S-310JA-2 (212 km)	NEI: No observation TEL: Peaked (1400 K) at 90 km. 500 \rightarrow 2500 K. ESL: Ascent $>$ Descent ESH: Ascent \gg Descent PWL: LHR hiss, Ascent $<$ Descent PWH: UHR emission 6~7 MHz HF signals?	Aurora: No observation CNA: $-2.5 \sim -1.5$ dB Magnetic activity: -680γ substorm, Pi 1 active VLF: Atmospherics

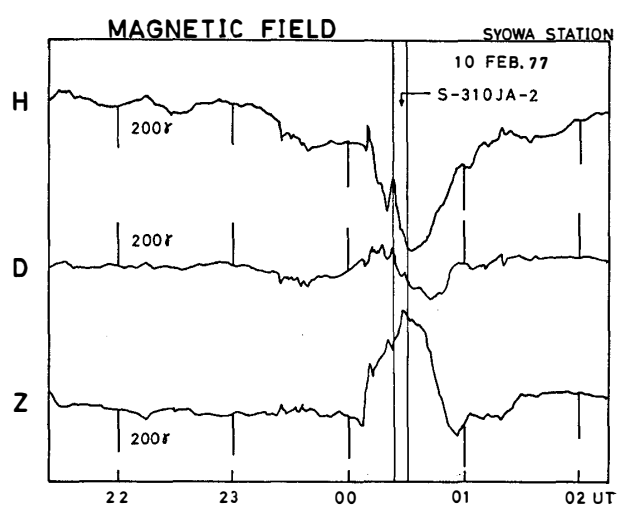


図 1 S-310JA-2 号機打ち上げ時の地磁気変動

Fig. 1. Geomagnetic variations at the time of S-310JA-2 rocket launching.

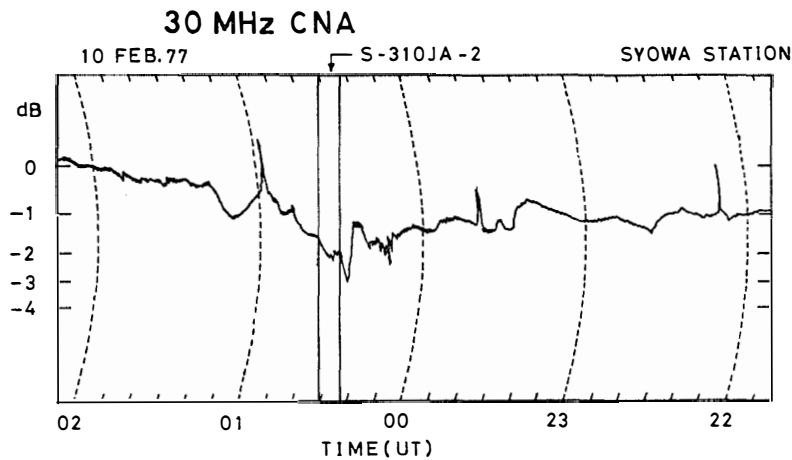


図 2 S-310JA-2 号機打ち上げ時の CNA の記録

Fig. 2. Variation of CNA at the time of S-310JA-2 rocket launching.

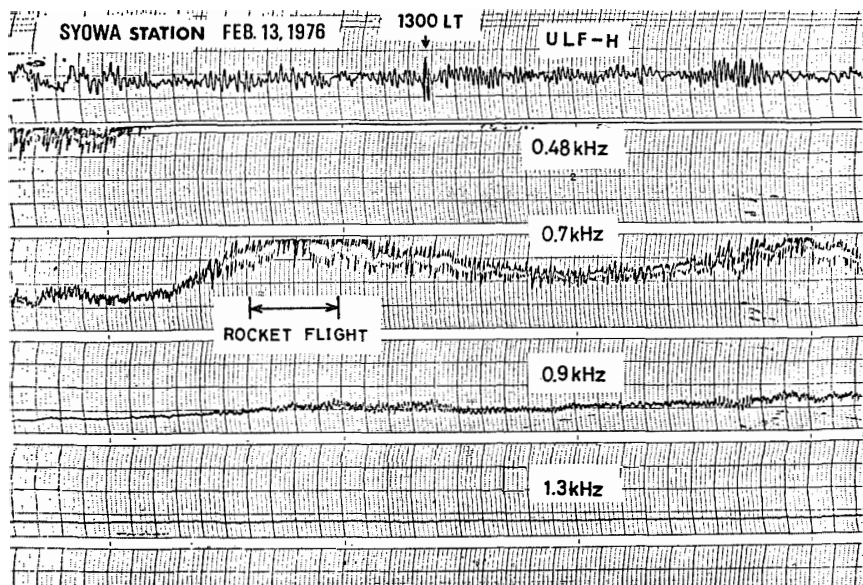


図 3 S-310JA-1 号機発射時前後の地上 VLF 強度

Fig. 3. VLF noise intensity on the ground at the time of S-310JA-1 rocket launching.

昭和基地から磁力線に沿った方向に打ち上げられ、ほぼ同じ高度に達したが、1号は、12:45 LT、2号は03:22 LTと真昼と夜半過ぎの違いがある。また、前者が比較的磁氣的に静穏な時期の打ち上げに対して後者は -680γ のサブストーム中に打ち上げられた。図1には、2号機打ち上げ時の地磁気変動と打ち上げ時刻の関係を示している。夏の期間のためオーロラのデータは得られない。図2には2号機打ち上げ時のCNAの記録を示す。また、地上の

VLF データとして図 3 は、1 号機の発射時を含む固定多周波数チャンネルの放射強度の変化を示し、0.9 kHz 以下のコーラスのチャンネルがロケット打ち上げ時刻にはピークに達している。2 号機の発射時には、地上の VLF 観測では明瞭な VLF 放射現象がみられず、いわゆる空電がほとんどであった。

ロケット観測の機器としては、PWL は 10 kHz までの VLF 広帯域プラズマ波動観測器を、PWH は 0.2–10 MHz の MF–HF 帯の波動の掃引形受信を行い、 f/f_H が 2–3, 3–4 の範囲の波の検出、および UHR エミッションの検出に成功している。粒子計測としては 1 号機では ESL, ESM があり、10 keV 以下のエネルギー領域を測定した。高圧印加時の機器の放電防止のため、前者は機器を真空中で封じる方式を、後者は機器を金網で囲み、開頭後の排気を急速に行う方式を用いた。後者は高圧印加を遅くしたことで、前者は高圧印加後若干の放電現象があったため、両者ともほぼアベックスから下降時にかけての後半に観測データが得られている。

一方、2 号機では ESL は 1 号機と同じ方式で 10 keV 以下の測定を行い、ESH は 40 keV 以上のエネルギーの電子のフラックスおよびピッチ角分布を測定した。

電子密度は、1 号機ではラングミュアの固定バイアスプローブ (NEL) により測定され、2 号機ではインピーダンスプローブ (NEI) が搭載されたが、残念ながら機器は動作しなかった。電子温度センサー (TEL) としては 1 号機はラングミュアプローブにより、また 2 号機では小形の電子温度プローブが搭載され、いずれも観測に成功した。

2. ま と め

S-310 型ロケットを用いたこの 2 つの実験は、ともに夏期のためオーロラとの関連は目的とすることができなかったが、VLF 波動では、電磁波モードのほかに静電的現象も観測され極域のロケット実験で得られる平均的な波動のスペクトルパターンが概略つかめたように思われる。HF 帯では低高度では地上の通信の電波が受信されるが、高度が上昇すると共に静電的な電子サイクロトロン高調波などに対応すると思われるスペクトルなどもみられ、これらは極域に降りそそぐ荷電粒子の効果で励起されているとも考えられる。

波動–粒子を対象としたこの 2 機の S-310 型ロケットはいずれも波動も粒子も良いデータが得られたが、以下にいくつかの問題点をまとめる。

2.1. S-310JA-1 号機粒子観測

本ロケットでは、10 keV 以下の電子のフラックスを観測する装置として、高圧放電防止

の方法の異なる 2 つの装置 ESL, ESM が搭載されたが、前者はエネルギー分解能が高いが、時間（高さ）分解能が低いのに対し、後者はエネルギー分解能が悪いが時間分解能が良いという特長をもっている。両装置ともアペックス直前から下降時をフルに観測しており、下降時高度 150 km 付近にピークをもつことは定性的によく似ているが、絶対値で 1 桁ほど前者の方が高いという問題がある。

2.2. S-310JA-2 号機粒子観測

このロケットでは、10 keV 以下の ESL と 40 keV 以上の ESH の 2 つの粒子観測器が搭載され、それぞれ観測に成功している。ESL による低エネルギー電子のエネルギースペクトルの傾斜と、ESH で観測された電子の低エネルギー側のフラックスとがうまくつながるかどうかが 1 つのチェックになるが、おおよそ両者の傾斜はつながりそうである。

2.3. 波動粒子相互作用

波動とくに VLF では、静電的な成分と思われるものが意外に強く、またモードも色々あるようで、その一部は理論的にもある程度の考察はできたが、まだ不明な部分も多い。電磁波的な VLF 放射を含めて、これらと荷電粒子との相関は興味ある問題であるが、木村他 (1980) の報告にもあるように、その関連はあまり明確でない。

もっとも、S-310JA-1 号機のコーラスあるいは ELF ヒスの現象については、発生領域が十分遠方にあると考えられるので相関が少ないのは当然と考えられる。また S-310JA-2 号機の LHR ヒスについては、その相関はあってもよいと思われるがそれほど明確ではない。

HF 帯の静電的な電子サイクロトロン高調波モードは、発生するとすれば電子ビームなどの存在が必要であり、また、これらのモードの伝搬には減衰を伴うから、粒子と波動の相関はかなり強くなければならないと考えられる。実際の観測では、たとえば S-310JA-2 号機で観測された UHR エミッションでは定性的に関連があるように見える。

以上のように波動と粒子の関連については種々の異なるモードについては異なった関連の仕方が考えられ、これらをまとめると表 2 のようになる。表中 EM は電磁波、ES は静電的波動で、direct or indirect は波動 - 粒子の関連が原因により直接的か間接的かを示し、direct または no relation は、たとえば LHR ヒスの場合のように、原因がビームとの相互作用 (interaction between wave and beam) による場合には直接であり、発生領域から長く伝搬して受信されるとすれば、粒子との関連はないということを示している。またイオン音波や静電的イオンサイクロトロン波では、原因が自然の field-aligned current の場合には粒子との

表 2 波動 - 粒子相互作用

Table 2. Wave-particle interaction (WPI).

		Phenomena	Relation between wave and particle as observed by rockets	Location of sources	Possible mechanisms
V	E	Chorus or ELF hiss	Indirect	Magnetosphere	Cyclotron instability
	M	Hiss	Indirect (?)	Magnetosphere	Cerenkov or cyclotron instability
			Direct (?)	Ionosphere	Cerenkov instability
L	E S	LHR hiss	(Direct (?) No relation	Local Local	Interaction between wave and beam
F		Ion acoustic waves	(Direct (?) No relation	Local Local	Propagation effect
		Ion cyclotron waves	(Direct (?) No relation	Local Local	Current driven instability by natural or artificial
					//
H F	E M	Common EMW above f_H	Indirect	Magnetosphere Ionosphere	Cerenkov emission Cyclotron emission
	E	Langmuir wave	Direct	Ionosphere or local	Interaction between wave and beam natural or artificial
	S	Electron cyclotron harmonic (ECH) and UHR emissions	Direct (?)	//	//

?: Detected by the Antarctic rockets

相関は直接的であり、一方ロケットがとり込む電流による場合には自然の粒子との関連はないということを意味している。

表 2 中、(?) の項は今回の S-310JA-1, 2 号機と S-210JA-20, 21 号機を含めて関連のあると思われるものであり、バラエティに富んでいてそれぞれに対する信頼度はこれだけではあまり高く評価できないが、今後のロケット実験である程度同じような事例をつみ重ねることにより、明らかにされるであろう。

謝 辞

終わりに、S-310JA-1, 2 号機の実験を担当された第17次および第18次南極地域観測隊の方々に感謝の意を表する。

文 献

- KIMURA, I., YAMAGISHI, H., MATSUO, T. and KAMADA, T. (1978): S-310JA-1 rocket observation of VLF emission spectra at Syowa Station in Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **9**, 51-68.
- 木村磐根・松尾敏郎・山岸久雄・鎌田哲夫・鶴田浩一郎 (1980): S-310JA-1, 2 号機による VLF 自然電磁波プラズマ波の測定. 南極資料, **69**, 63-70.
- 久保治也・村田節夫・伊藤富造・国分 征 (1979): S-310JA-2 号機による降下電子の観測. 南極資料, **63**, 17-28.
- MATSUMOTO, H. and KAYA, N. (1978): Rocket observation of keV electron fluxes at Syowa Station. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **9**, 34-42.
- 松尾敏郎・木村磐根・鎌田哲夫 (1979): S-310JA-2 で観測された VLF ヒスの特性. 南極資料, **64**, 50-56.
- 大家 寛・宮岡 宏・宮武貞夫 (1979): 南極ロケット S-310JA-1, 2 号機による高周波帯電波放射の観測—PWH の観測結果. 南極資料, **64**, 30-41.
- 奥谷晶子・和田雅美・竹内 一・小玉正弘・今井 喬 (1979): 南極ロケットによるオーロラ帯降下電子の観測. 南極資料, **63**, 29-41.