

「じきけん」観測結果—初期観測の速報—

大家 寛*・河島信樹**・大林辰蔵**

Summary of JIKIKEN Observation—Preliminary Report
of the Initial Observation Results—

Hiroshi OYA*, Nobuki KAWASHIMA** and Tatsuzo OBAYASHI**

Abstract: JIKIKEN (EXOS-B) was successfully launched on September 16, 1978 into the orbit with initial apogee of 30056 km and perigee of 227 km, with inclination of -31.1° ; the orbit is suitable for the investigation of the wave-particle interaction process in the plasmasphere and the magnetosphere near the plasma-pause. The analog data transmission system is used and fine structure of the dynamic spectrum in a swept frequency range from 10 kHz to 3 MHz has been obtained and wide band spectra from several 100 Hz to 10 kHz. The important wave phenomena obtained by current observation of JIKIKEN are:

- 1) Auroral (Earth) kilometric radio waves;
- 2) Upper hybrid mode emissions;
- 3) $(n+1/2)f_e$ emission where f_e is the electron gyrofrequency;
- 4) Principal phenomena of VLF frequency range, such as whistler, chorus, and hiss;
- 5) Pure tone emissions (narrow band emission) in VLF range,
- 6) Artificially stimulated plasma waves and observation of plasma parameters;
- 7) Planetary radio waves;
- 8) Solar type III outburst.

As a preliminary approach to verify the wave particle interaction processes, investigations of the energy spectra have also been made for the cases of the UHR mode plasma wave and the pure tone (narrow band) emission in ELF and VLF range. UHR resonance with long duration has been triggered by 500 μ s pulse in the stimulated plasma wave experiment; the resonance persists up to 125 ms, even in VLF range (below 30 kHz); and the electron cyclotron resonances are stimulated at very high harmonics number n , in the maximum case, sometimes $n=20$. The plasmopause electron density distributions are obtained from these resonance frequencies.

The injection of an electron beam from the spacecraft stimulates electrostatic

* 東北大学理学部地球物理学教室. Geophysical Institute, Tohoku University, Aramaki Aoba, Sendai 980.

** 東京大学宇宙航空研究所. Institute of Space and Aeronautical Science, University of Tokyo, 6-1, Komaba 4-chome, Meguro-ku, Tokyo 153.

waves and also causes turbulent heating in the surrounding plasma. Bursts of energetic particles of keV energies are frequently encountered outside the plasma-pause.

Future programs of the EXOS-B experiment include the VLF signal observation transmitted from Siple Station, Antarctica, and coordinated observations with the EXOS-A and other IMS dedicated satellites to reveal the source and physical mechanism of auroral phenomena in the magnetosphere.

要旨: 磁気圏衛星は、1978年9月16日成功裡に遠地点 30056 km, 近地点 227 km, 軌道傾斜角 -31.1° で打ち上げられた。この軌道は、プラズマポーズを横切り、波動粒子相互作用を観測し解明するのに適した軌道である。現在、多くの成果が得られつつある。この衛星は、アナログ系のデータ伝送系をもっていて、10 kHz から 3 MHz に至る広い周波数帯にわたって、450 Hz から 10 kHz の帯域幅で波動現象をとらえることができる。本論文は、この波動現象に関連して、成果の全体を速報的にまとめたものである。

現在、磁気圏衛星で観測されつつある重要な波動現象は、

- 1) オーロラキロメートル波放射
- 2) 高域ハイブリットモード放射
- 3) $(n+1/2)f_c$ 放射, (f_c は電子シャイロ周波数)
- 4) ホイスラ, コーラスおよびヒスといった主要な VLF 現象
- 5) VLF 領域の単純音 (狭帯域) 放射現象
- 6) 人工的に励起されたプラズマ波とその応用によるプラズマパラメーターの計測
- 7) 惑星電波
- 8) タイプ III 太陽電波ハースト

である。

波動粒子相互作用過程を解明する第一段階として、粒子のエネルギー分布も計測された。特に、UHR モードや ELF および VLF 帯放射との対応を求めることができた。また、500 μ s の幅の RF パルスにより、 $n=20$ までに至るサイクロトロン高調波や、125 ms 間も持続する UHR 放射が観測されている。

さらに今後、「じきけん」では、こうした観測を継続していくが、これに加え、南極のサイプルで発射される VLF 電波の受信および、EXOS-A や外国のいわゆる IMS 衛星 (ISEE, GEOS) との共同観測も行い、磁気圏におけるオーロラ現象の原因を解明していく。

1. はじめに

「じきけん」は、1978年9月16日14時、M-3H-3 ロケットにより成功裡に打ち上げられた。投入された初期軌道は、近地点 227 km, 遠地点 30056 km, 軌道傾斜角 -31° であった。

じきけん衛星は、IMS 期間に打ち上げられる、いわゆる IMS 衛星の一環を荷負うもので、磁気圏における波動粒子相互作用プロセスを解明することに、その第一の目標がある。この波動粒子相互作用には、次の諸項目にわたって計画されている。すなわち、

- 1) プラズマ波動励起実験 (SPW: stimulated plasma waves experiment)
- 2) 低および高周波帯自然プラズマ波動 (NPW-A: natural plasma waves-astronomy mode)
- 3) 超低周波帯プラズマ波動 (NPW-V: natural plasma waves-VLF mode)
- 4) 地球磁場および電磁流体波 (MGF: magnetic field measurement)
- 5) 電場およびアンテナインピーダンスによるプラズマ計測 (IEF: impedance and electric field measurement)
- 6) 制御電子ビームによるプラズマ波動励起 (CBE: controlled beam emission experiment)
- 7) エネルギー粒子スペクトル計測 (ESP: energy spectrum of the particles)

である。

じきけん衛星は総重量 90 kg, 総供給電力は最大 28 W 平均 21 W である。したがって、全機器動作は実際的でなく、互いに相互干渉のない間で適宜動作機器を選択動作させていく必要がある。また各機器は、それぞれ多くのパラメーター、たとえば受信機利得、発射電力、発射周波数、印加電圧等を変化させて観測する必要があり、これらの諸動作はすべてデータ処理およびコマンド編成機能をもったデータプロセスユニット (DPU) の作動によって、有機的に総合されつつ制御されている。1979 年 3 月現在の成果は、以下の通りであった。

2. 観 測 成 果

SPW (stimulated plasma waves)

- 1) 全軌道にわたり (したがって、電子サイクロトロン周波数 6 kHz という低い記録もある)、高域ハイブリッド共鳴 f_{UHR} , プラズマ波共鳴 f_p , 電子サイクロトロン共鳴 nf_c が観測される。
- 2) プラズマ波共鳴 f_p は、ただし、プラズマポーズの外側では急激な温度上昇に伴い、プラズマ周波数近傍で波長が延びるため、観測しにくくなっていく。
- 3) 全域にわたり、プラズマ波共鳴は、電離層の場合に比してはるかに長時間 (f_{UHR} 共鳴の場合、発射パルスは 500 μs に対し最大 125 ms に達する) にわたる持続がある。
- 4) 電子サイクロトロン高調波共鳴もその持続時間が長くなるが、特に注目を浴びる点は、その持続時間の高周波次数 n への依存性が明らかに、非マックスウェル型 (ビーム型やアンチロスコーン型) の速度分布に対応した形で表れることが多い。
- 5) 高域ハイブリッド共鳴周波数からは、電子密度が正確に計測される。特にプラズマポ

ースの構造が精密に求められ、地磁気活動度指数 Kp の増大とともに、プラズマポースの位置が縮小してゆく関係が明確に求められる。また、マイクロに見た場合、プラズマポースの電子密度は、時に 70% にも達する大きなゆらぎを観測することができる。

NPW-A (natural plasma waves-astronomy mode)

- 1) オーロラキロメトリック波のスペクトルが詳細に観測される。
- 2) オーロラキロメトリック波のスペクトル変動は、その発生源で電子サイクロトロン周波数から高域ハイブリット周波数にわたるハイブリットモードプラズマ波放射をしているとすると、極域電離層 2500 km–10000 km にわたる領域で発生している。この領域で磁場に平行に働く電場によって加速されるモデルと一致を示す。
- 3) 太陽タイプ III ハーストが 300 kHz にわたる低い周波数にわたるまで観測されるときに、このタイプ III 型は、50 kHz 付近に広がるきわめて低い周波数帯の現象を伴っている。1000 γ –2000 γ 近い磁場の雲を放出していると解釈される。
- 4) 木星ヘクトメートル波は、太陽タイプ III 型電波放射と類似して、時間の経過とともに周波数が下がる形で生ずる。
- 5) プラズマ圏および磁気圏中では、高域ハイブリット (UHR) 放射 (正確にはプラズマ周波数と UHR 周波数にわたる) が頻繁に発生するが、この UHR エミッションは マックスウェル分布からはすれるエネルギー粒子の存在と対応している。

NPW-V (natural plasma waves-VLF mode)

- 1) プラズマ圏内では、ホイストラモード波が様々な様相で観測される。たとえば、タクトが多数同時に発達する時のマルチパスホイストラ、ホイストラ波動が波動粒子相互作用の影響を受けて、新たな電磁波を生むホイストラトリガードエミッション (whistler triggered emission) 等がみられる。
- 2) プラズマ圏内では種々の帯域をもつ VLF, ELF ヒスが観測される。
- 3) プラズマポースを越えると、VLF 帯のエミッションは、狭帯域性 (したがって、純粋な音調つまり pure tone を示すことが多い) を示す。この種のエミッションは、数百～数 keV のエネルギー電子ビームの存在とよい一致を示している。
- 4) UHR エミッションが、VLF 帯 (10 kHz 以下) に入る領域がある。
- 5) $1/2 f_c$ 付近のエミッションが頻繁に観測されるが、それは、しばしば、ミッシングバンド (狭帯域エミッションの中間が吸収されている) をもっている。

なお、この NPW-V 観測では、1979 年 7 月-8 月にかけて、Siple 局より発射される人工 VLF 電波による ASE (artificially stimulated emission) を受け、ASE の発生のメカニズムを定める重要な条件を、世界で初めて把握することに成功している。

IEF (impedance and electric field measurement)

1) インピーダンスプローブは、高域ハイブリッド共鳴 (UHR) よりプラズマ圏の正確な電子密度を出している。特に、105 m アンテナを使用していることにより、限界値 10/cc という記録を作っている。

2) アンテナの非対称が残ったため、電場計測は直接的ではないが、特に、夜間等データ処理により電場が求められることが判明しつつある。

3) 数十 Hz 以下のイオンサイクロトロン高調波が観測されている。

4) 電子ビーム放出により、衛星電位が制御を受ける様相がラングミュア特性より詳細に分析される。

MGF (magnetic field measurement)

MGF プームが、衛星本体より電位的に浮遊しているため、10 月上旬、magnetic field 計測用のプームを突出して以来、エネルギー粒子の流入を受け、特異帯電現象を生ずるようになった。この結果、12 月下旬、ついに、この計測器は動作停止を起こしたが、その間 3 カ月間に、以下の貴重なデータを得ている。すなわち、

- 1) プラズマポーズを越える領域での磁場方向に沿ったシート電流の検出
- 2) Pc 3 型脈動の検出
- 3) 地球磁場の全貌の計測と衛星の姿勢決定

である。

ESP (energy spectrum of particles)

1) UHR エミッションに伴う電子速度分布の計測を行い、非マックスウェル分布成分が、数百 eV から数 keV にわたって増大するときに、エミッションが発生することを確認。

2) 狭帯域 VLF 放射に伴う粒子速度分布を計測し、非マックスウェル分布成分の増大とともに、鋭いピークをもつ狭帯域 emission が成長することが確認されつつある。

3) その他一般に、磁気圏粒子分布の諸性質を明らかにしている。

CBE (controlled beam emission experiment)

5 種に分類される現象が、磁気圏プラズマ中での電子ビーム放射によって明らかにされ

表 1 EXOS-B 観測担当者一覧
 Table 1. Members of EXOS-B Team

| 項 目 | 科学観測担当者 | 所 属 | |
|------------------|--|---|--|
| 総 括 | 大 林 辰 蔵 大 家 寛 大 河 島 信 樹 西 田 篤 弘 | 東京大学宇宙航空研究所 東 北 大 学 理 学 部 東京大学宇宙航空研究所 " | |
| 観 測 機 器 | SPW | 大 家 寛 小 野 高 幸 夫 鎌 田 哲 夫 | 東 北 大 学 理 学 部 " 名 古 屋 大 学 空 電 研 究 所 |
| | NPW | 大 森 岡 寛 昭 宮 岡 宏 夫 宮 武 貞 夫 松 木 紘 助 大 津 仁 助 | 東 北 大 学 理 学 部 " " 電 気 通 信 大 学 京 都 大 学 工 学 部 名 古 屋 大 学 空 電 研 究 所 |
| | DPL | 木 村 磐 根 蔵 橋 木 弘 | 京 都 大 学 工 学 部 " |
| | IEF | 江 尻 全 機 鶴 田 浩 一 郎 波 辺 勇 三 西 田 篤 弘 | 東京大学宇宙航空研究所 " " " |
| | MGF | 青 山 巖 雄 遠 山 文 尚 生 斎 藤 元 清 湯 元 清 文 | 東 海 大 学 工 学 部 " 東 北 大 学 理 学 部 " |
| | ESP | 久 保 治 也 向 月 利 典 河 島 信 樹 蟻 川 達 男 | 東京大学宇宙航空研究所 " " 東 京 農 工 大 学 工 学 部 |
| | CBE | 河 村 信 樹 里 幸 男 | 東京大学宇宙航空研究所 " |
| | SCM | 高 橋 慶 治 河 端 征 彦 富 田 秀 穂 後 川 昭 雄 | 東京大学宇宙航空研究所 " " " |

た. すなわち,

- 1) 高域ハイブリッド (UHR) 放射
- 2) 電子サイクロトロンおよびその高調波における放射
- 3) $(n+1/2)f_c$ あるいは $(n+X)f_c > f > 0$ 型の放射が, そのメカニズムが完全に自然のプラズマと相互作用するものとして明らかにされた. そのほかに,
- 4) 電子ビームの発射機構に使われている 16 kHz の高調波に伴うプラズマ波
- 5) 電子ビーム放射に伴ってアンテナ感度上昇を起こし TKR が強く観測される,

といったことがらが明確となった.

これらの結果の詳細は, 別に記載されている (EXOS-B TEAM, 1979).

3. お わ り に

以上の成果は, 東京大学宇宙航空研究所の EXOS-B プロジェクトに関する多大な努力によって成しとげられたものである. 秋葉鏝二郎実験主任をはじめとする工学グループの諸研究者に深く感謝する. なお本研究を推進した EXOS-B チーム構成を表 1 に示す.

文 献

EXOS-B TEAM (1979). Summary of JIKIKEN observation—Preliminary report for the initial phase of the observations Sol Terr. Environ Res Jpn, 3, 163-188

(1979年7月5日受理, 11月13日改訂稿受理)