

第 6 号 科学 衛 星 「じ き け ん」

大林 辰藏・林 友直・後川 昭雄・河島 信樹
井上 浩三郎・河端 征彦・大家 寛*

序

第 6 号科学衛星「じきけん」(図 1.) は, 昭和 53 年 9 月 16 日に打上げられて以来, 昭和 54 年 6 月 30 日現在すでに第 819 周を数え, 現在も貴重な科学観測データを送りつづけている。

本報告は飛しょうデータを含め, 今までなされているいくつかの報告 [1], [2], [3], [4] をもまとめたものである。

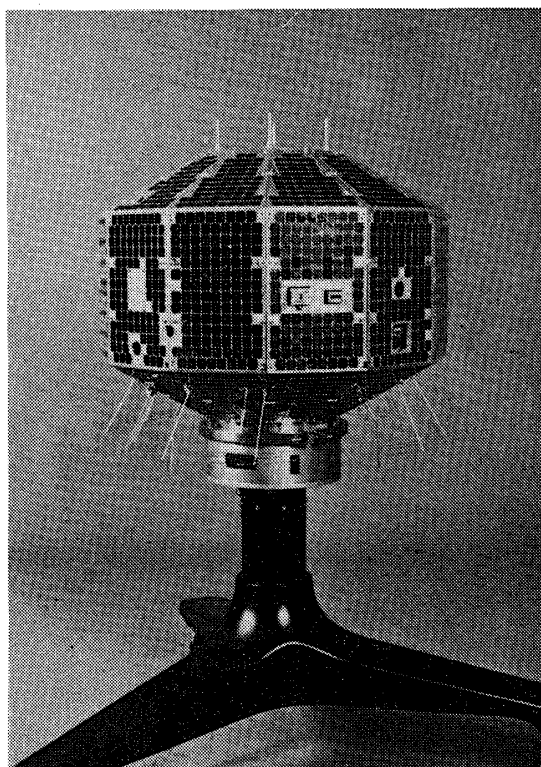


図 1. 第 6 号科学衛星「じきけん」

* 東北大学理学部

1. ま え が き

科学衛星“じきけん”は、国際磁気圏観測計画(I MS 1976~79年)に参加する国際共同観測用の衛星群のなかで“きょっこう”とならんで、東京大学宇宙航空研究所が開発、打上げを行った科学衛星である。

ミッション計画は、1971年にEXOS-AおよびEXOS-B計画として提案され、このうちEXOS-A“きょっこう”は1978年2月に準極軌道に打上げられ、極域電離層やオーロラ現象を中心とした観測が行われている。これに対し、EXOS-Bは遠地点約30,000 kmの楕円軌道をもち、プラズマ圏を越えて磁気圏深部のプラズマ粒子や波動などの現象を観測することを目的としている。

EXOS-B衛星は1974年~75年にプロトタイプモデルを試作、1976~77年にフライトモデルの製作が行われた。各種飛しょう前試験を経て、1978年9月16日14時00分(日本標準時)東京大学鹿児島宇宙空間観測所よりM-3H-3号機によって予定の軌道に打上げられ、“じきけん”と命名、国際標識1978-87Aが与えられた。

達成された衛星軌道は、遠地点30,055 km、近地点227 km、軌道傾射角31度、周期524分である。その後、60 mアンテナおよび磁場観測用センサブームの伸展、高圧電源の投入が行われ、同年10月以降から本格的な観測態勢に入った。

2. 科学衛星 EXOS-B の概要

衛星本体は直径75 cmの38面体で、外部は2651枚のConductive Coating Cover Glass付太陽電池で覆われている。

UHFのテレメータアンテナは衛星上部と下部、VHFアンテナはコマンドアンテナと共用で、衛星下部にそれぞれ取付けられている。科学観測用アンテナおよびセンサーとしては60 mアンテナが側面に90度間隔で4本、また、ループアンテナおよび磁場観測用センサが衛星下部より1.5 mのブーム機構に取付けられている。図2に衛星本体の外観を示す。総重量は92 kgである。

2.1 構造

M-3H-3号機では衛星の下部にキックモータが配置されることから、衛星の利用できる空間はノーズフェアリング内上部の空間に限られるため、従来にない高密度実装(比重0.43)となっている。また、ノーズフェアリング内空間を有効に利用でき、かつ、できるだけ太陽電池出力に関して全方向特性を得るように38面体の形状を採用してある。

図3にEXOS-Bの主要構造を示し、図4に機器配置を示した。大部分の機器が取り付けられているベースプレートはアルミニウムハネカムサンドイッチ板で、支持殻と補強部材を介して下端のキックモータ結合部で支えられている。図5に実装状態を示す。このベースプレートの中央部に搭載される蓄電池とデータ管制装置は、また衛星上部支柱構造の役割りを兼ねており、上端リングを支えている。周囲と上下は太陽電池素子を貼り付けたアルミニウムハネカム板で覆われている。

2.2 搭載系

EXOS-Bには各種の工学系機器や科学観測機器が搭載されている。表1-1、1-2に

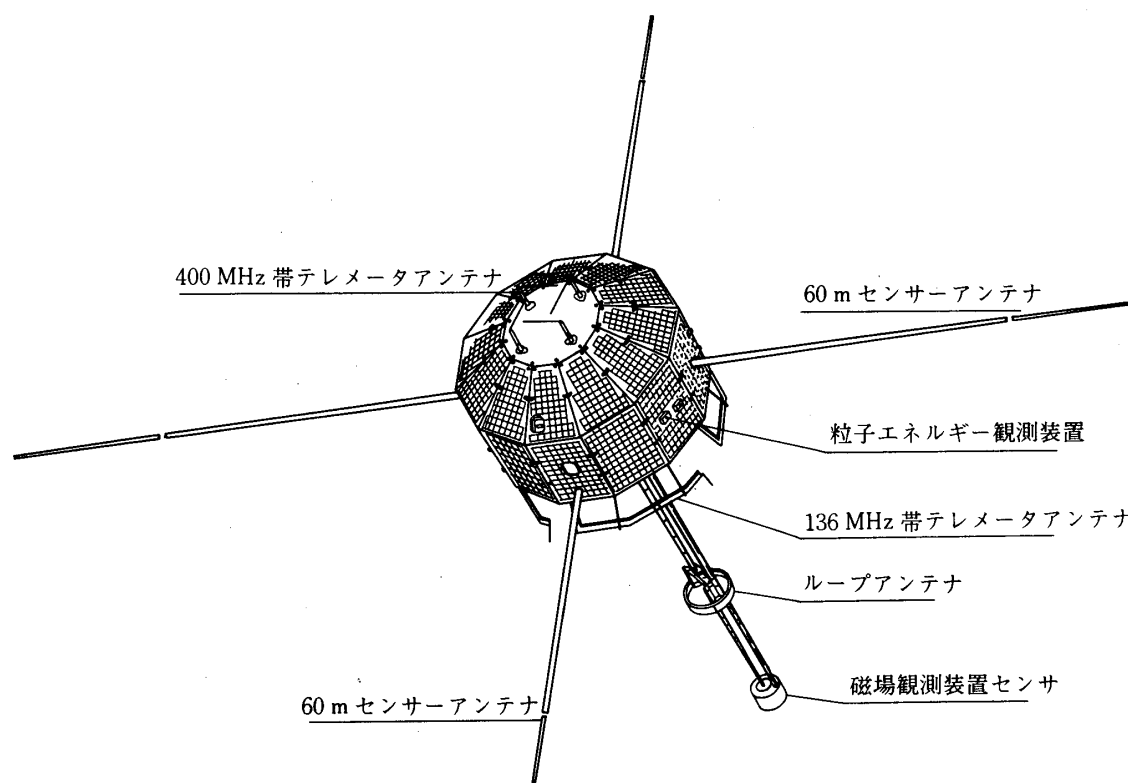


図2. EXOS-B衛星の外観図

工学系機器の、表2に科学系機器の略称と概要を示す。また、これら機器の電気系統図を図6に示した。

2.2.1 工学系機器の特徴

EXOS-B衛星は、遠地点が約30,000 km、近地点が約250 kmという長楕円軌道をとることと、科学観測用60 m アンテナを4本伸長することから

- (1)直距離として約35,000 kmの通信回線の確保
- (2)日陰時間が最大2時間となることによる搭載機器の最適熱設計
- (3)ホットプラズマ中を飛しょうすることによる衛星の帯電現象
- (4)観測用アンテナの通信用アンテナパターンへの影響
- (5)アンテナの影による太陽電池出力への影響

等、いままでの衛星と異なる点が多い。このため、設計において種々の開発・工夫が施され、次に示すような特徴を持つに至った。

- (1)衛星の下部にキックモータが取付けられる関係から、衛星がノーズフェアリング上部に入るよう制約を受けたため、いままでの衛星になかった高密度実装になっている。
- (2)60 mアンテナ4本とMGFセンサブームを伸展することにより通信用アンテナパターンへの切れ込みが極めて大きくなることと、約35,000 kmの通信回線を既存の地上系で

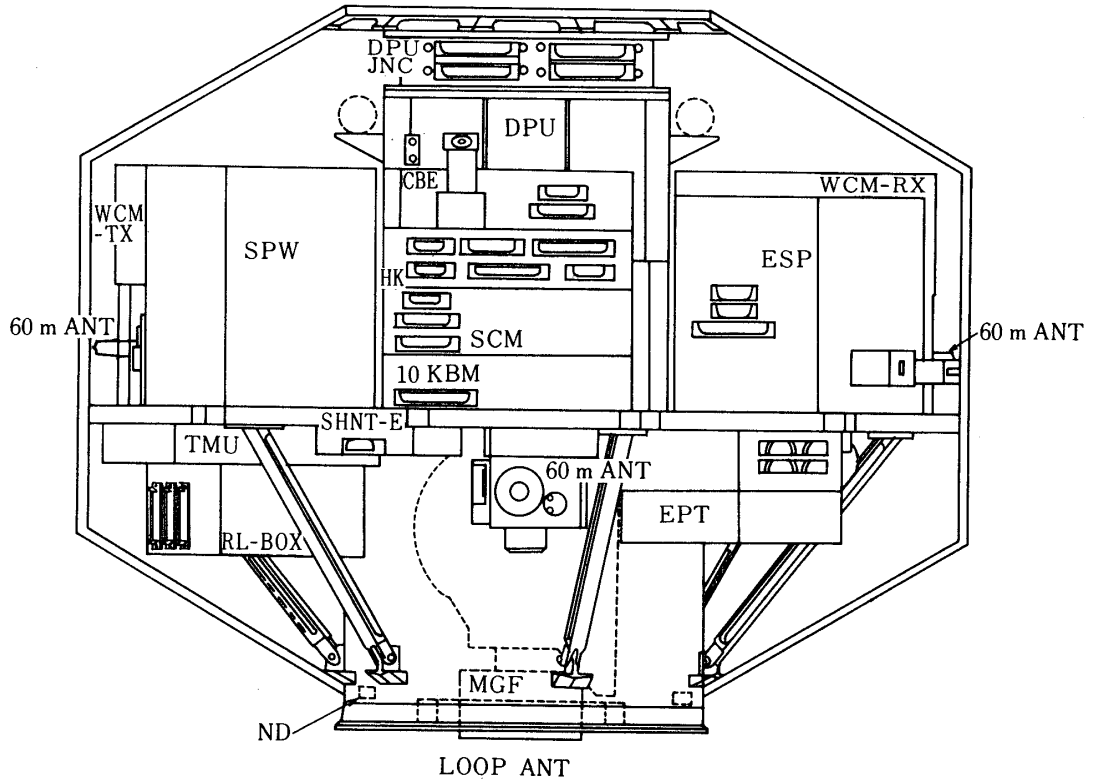


図3. 衛星構造図

- 確保するため、新たにANT-V（ハイプロフィールリングアンテナ）の開発、さらにANT-Uを衛星の上、下部2系統としコマンドによる切換えを可能とした。
- (3)角形ニッケルカドミウム蓄電池の採用と、日陰時間が長くなることによる蓄電池の低温化を防ぐため蓄電池にヒータを取付けた。
- (4)蓄電池の過放電を防止するためにUVC（Under Voltage Control）を開発、搭載した[5]。UVCは、BUS電圧が規定値を下まわると動作してDPUに信号を送り、DPUで各サブシステムをOFFにする。
- (5)DPUの開発、搭載[6]。
- DPUの機能、特徴は数多くあげられるが、最大の特徴はOrganizedコマンドと呼ばれる複合コマンドで、任意のシーケンスに配列したコントロールコマンドをもって衛星の自動管制を行うことである。
- (6)ホットプラズマによる衛星の帯電を防止するために、Conductive Coating Cover Glass付太陽電池システムの採用[7]。

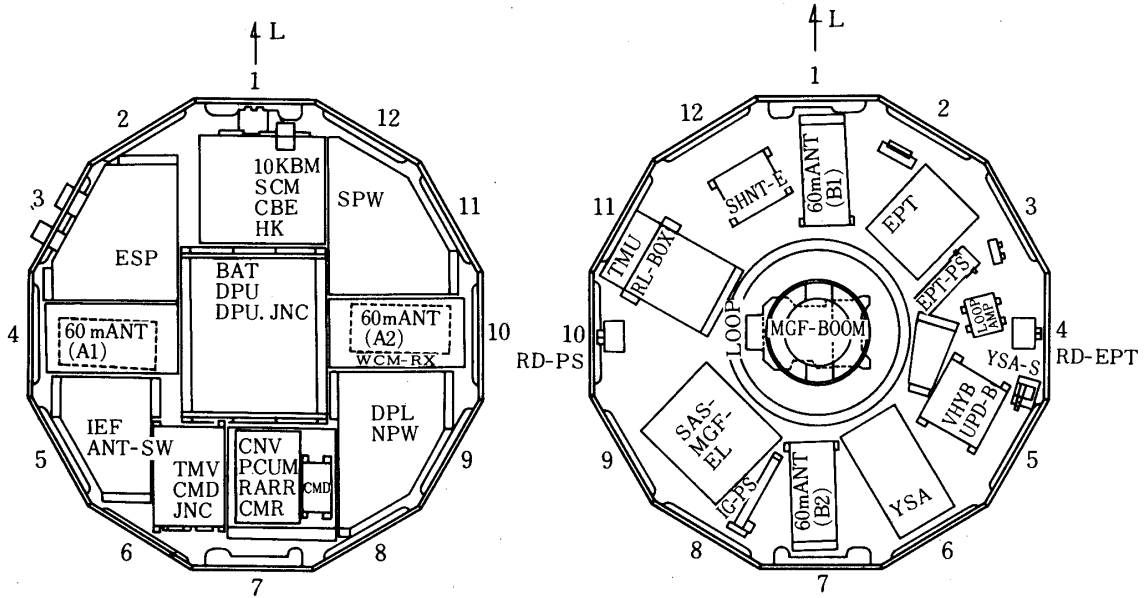


図4. 機器配置図

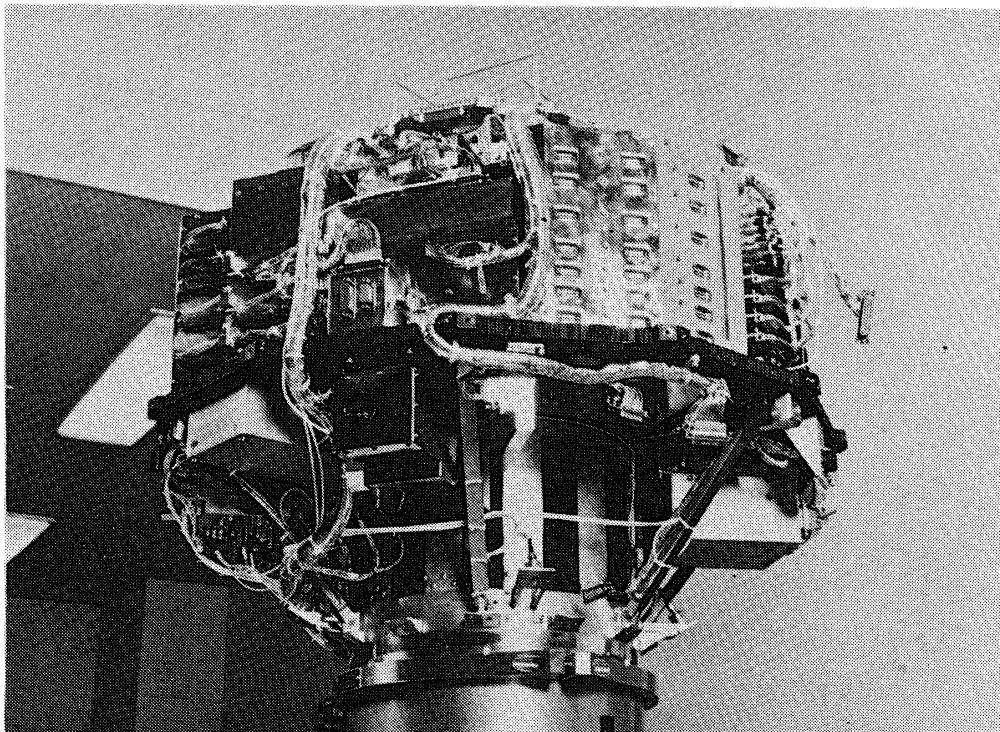


図5. 搭載機器の実装状態

表1-1 工学系搭載機器

項目	機器名	略称	機器概要
伝送・測距系	136 MHz帯テレメータ送信機	T M-V	第7図に通信系システム系統図を示したが、136 MHz帯送信機および400 MHz帯送信機はそれぞれコマンドまたはD P Uにより指定された変調信号を送信するもので、原発振の出力を増巾したのち、テレメータ信号またはレンジ信号(400 MHzのみ)で位相変調し、その出力を逡倍、増巾して高周波電力をアンテナに供給する。 表3にテレメータデータフォーマットを、表4に136 MHz、表5に400 MHzの通信回線の計算結果を示す。
	400 MHz帯テレメータ送信機	T M-U	
	コマンド受信機	C M R	周波数は148 MHzで、A M変調されたコマンド信号を検波し、コマンドデコーダと測距制御系に送る。
	コマンドデコーダ	C M D	700HzのP S K波として検波された信号をP N符号に復調した後デコードする。デコードされた信号はD P Uで処理され必要な制御信号が出力される。
	測距装置	R & R R	148 MHz電波をアップリンク、400 MHz電波をダウンリンクとして構成したレンジ測定装置で、レンジング信号としては、2,500 bit/sec、長さ15ビットのP N符号を最大4個組合せて用いている。測距信号の副搬送波としては10 KHzの正弦波を用いている。
データ処理系	データ管制装置	D P U	D P Uは、衛星の位置、軌道、観測目的等に応じ、自動的にデータ伝送のパラメータを最適状態に制御するとともに、観測者が地上からの指令により、D P U内にメモリした任意のプログラムに従って、各観測機器のパラメータ設定を制御しデータの集積、蓄積、編集を行う。
	10 K BITメモリ	10 K B M	R A Mを使用したPCM用のデータメモリで容量は10,240ビットである。
アンテナ系	136 MHz/148 MHz帯アンテナ	A N T-V	4本の科学観測用60mアンテナが衛星側面パネルから、また1.5mのセンサブームが衛星下部から伸展されるための影響から、カップリングを少なくするためアンテナの構造をループ状に配列した。素子としては3線式の折り返しアンテナを開発し、136 MHzと148 MHzの各々の周波数で整合をとり、下面にリング状に配列しおおよそ無指向性のパターンを実現した。
	400 MHz帯アンテナ	A N T-U	衛星上面と下面に2組のアンテナ系を搭載し、コマンドにより切り換えることができる。上面には素子に逆L型アンテナを用い井桁状に配列し、下面にはホイップ型アンテナを用いてスパイラル状に配列し、ブームの影響を軽減して無指向性パターンを実現した。
計測系	内部環境計測器	H K	衛星の動作状態を把握する目的で、各部の温度と電源の電圧、電流の計測および作動シーケンスのモニタを行う装置である。測定項目は第6表に示したが、校正電圧を含めて69項目で内6項目は打上げ時のみ計測され、後で他の項目に切替えられる。
	横加速度計	Y S A	軌道投入時のロケットの動特性を調べる目的で、衛星のプリセッションによる横加速度を計測する。

表1-2 工学系搭載機器

項目	機器名	略称	機器概要
姿勢検出系	太陽センサ	SAS	衛星のスピンの軸と太陽方向とのなす角を測定する。検出器としては2個のスピンスリット型センサを用い、スピンの軸方向に180度以上の視野角を得られるように配置されている。 太陽角に対応するスリット光はシリコン光電素子に入射しグレーコード化された電気信号として出力する。
姿勢安定系	ニュートンダンパ	ND	矩形断面をもつナイロン製の直径約27cmの環状チューブ内に水銀を封入したもので、水銀の運動に伴う粘性流体損失によってスピンの軸の首振りのエネルギーを吸収することにより、これを減衰させる。
電源系	太陽電池パネル	SCP	シリコン太陽電池素子np型、2cm×2cm、0.3mm厚コンダクティブコーティングカバガラス付2,651枚が衛星上、下面、側面のアルミニウムハネカム板に実装されている。48列のアレイで構成されており約24Wの出力を得る。
	蓄電池	BAT	6AHのNi-Cd電池を15個直列に接続し、角形容器に納めてある。BATは太陽電池出力電流によって充電されるが、充電モード（急速充電とトリクル充電）はPCUによって制御される。
	電力制御器	PCU	BATの充電完了電圧、充電要求電圧、一次電源電圧の上限および二次電池温度を設定し、二次電池の充放電を適正な状態に保つように制御を行う。
	コンバータ	CNV	BATの出力電圧を5種類の安定化電圧（±12V、±5V、+15V）に変換する装置で、パルス幅変調方式の安定化回路とマルチタップ方式のDC-DCコンバータを組み合わせたものである。
	電源接続回路	JNC	コンバータ出力に接続する電力分配器で各サブシステムへの電力の供給のほか、電源系の内部・外部切換えなどの機能をもつ。
	点火電源	IG-PS	第3段モータの点火と切離し、キックモータの点火と切離し、NDの起動等を実行するためのスクイブ作動用電源回路である。
	タイマ用補助電源	EST-PS	小容量のNi-Cd電池よりなりEPT-SAに対する集中電源のバックアップとして用いられる。
タイマ系	電子シーケンスタイマ	EST-SA	第2段計器部搭載のメカニカルタイマによって起動され、衛星の最終軌道への投入動作に関連するシーケンスを制御する。項目として、第3段モータ(M3A)の点火と分離、キックモータの点火と分離、NDの起動などである。

表2. 科学観測系機器

機 器 名	略 称	機 器 概 要
波動励起実験装置	S P W	プラズマ中に30~300ワットの振動電界パルス(10~30,000 KHz)をダイポールアンテナに印加して、これによって発生するプラズマ波動の伝導特性、粒子加熱など波動・粒子の相互作用を能動実験として捉える装置である。
自然プラズマ波観測装置	N P W	自然プラズマ波動はホイスラー、V L F エミッションのほか、放射線帯からのサイクロトロン波、惑星(木星、土星)および太陽電波放射がある。これらの波動をダイポールアンテナ(70 m, 102 m)およびループアンテナを用いて、広帯域(0.75~10 KHz), L 掃引範囲(10~90 KHz, 90~200 KHz), H 掃引範囲(180~1,400 KHz, 1,400~3,000 KHz)において受信する。
V L F ドップラー観測装置	D P L	地上の標準 V L F 局からの電波(NWC: 22.3 KHz)を受信し、この電波のドップラー・シフトを狭帯域で位相計測を行う方法により、磁気圏に存在するプラズマ・ダクトの検出、電子温度、電子密度分布などを観測する。
インピーダンスおよび電場計測装置	I E F	アンテナ・インピーダンス測定は、プラズマ波動の電界強度を求めるためには基本的な測定量であり、掃引型ジャイロプラズマ・プローブが用いられる。また検出されるUHR周波数の値から、電子密度を求めることができる。静電場は4本の長いアンテナの先端部を電極とした円筒型プローブで測定する。これは磁気圏内の静電場分布、イオンサイクロトロン波動などのほか、S P W や C B E によって励起された衛星電位の変化も検出することができる。
磁場計測装置	M G F	フラックスゲート磁力計を1.5 mのブーム先端にとりつけ、地球磁場分布および磁気脈動の観測を行うほか、衛星姿勢の検出も行う。測定範囲は±51,200, ±8,000, ±1,048, ±256 ガンマで、分解能は±2 ガンマ(最大感度)をもち、磁界X, Y, Z成分を測定する。
粒子エネルギー計測装置	E S P	半球型静電エネルギー分析器により、5 eV~10 KeVの電子のエネルギー分布、円筒型分析器により20 eV~30 KeVの範囲のイオンのエネルギー分布を測定する。これらの装置により、磁気圏内の粒子フラックスの空間分布および時間変動を観測するほか、S P W, C B E によって励起された粒子分布の変化を測定する。
電子ビーム放射実験装置	C B E	衛星から0~200 eVの電子ビーム(0~1 mA)を放射し、衛星の周囲のプラズマに対する電位制御を行うことにより、粒子計測や電場計測の精度をあげる。また、電子ビームによって励起されるプラズマ波動をN P W により観測することを目的としている。
太陽電池特性計測装置	S C M	宇宙環境における太陽照射時の太陽電池素子出力を正確に測定すること、放射線による太陽電池素子の時間的劣化をモニタすることを目的としている。被計測用太陽電池素子は1 cm×1 cmのnp型素子6枚で放射線劣化防止用カバガラスの厚さは各素子で異なっている。これらの素子のI-V(電流-電圧)特性を計測して特性劣化の比較検討を行う。

表4. 136 MHz帯テレメータ通信回線計算

項 目		136 MHz帯テレメータチャンネル			備 考	
1	周 波 数	MHz	136.695 MHz			
2	送 信 電 力	dBm	+ 27		0.5 W	
3	ケ ー ブ ル 損 失	dB	~		衛星アンテナ利得に含む	
4	偏 波 損 失	dB	~		〃	
5	電力分配比+雑音損失+リミタ抑圧効果	dB	~		〃	
6	S A アンテナ利得	dB	- 10			
7	伝 搬 損 失	dB	- 166.5		R = 35,000 Km	
8	地上局アンテナ利得	dB	20.3			
9	ケ ー ブ ル 損 失	dB	- 0.84			
10	電信信号電力(C)	dBm	- 130.04			
11	雑 音 温 度	dB °K	+ 28.0		Ta = 500 °K NF = 3.5 dB	
12	ボルツマン定数	dBm/°KHz	- 198.6			
15	帯 域 幅	dBHz	PCM ビットレート 2 Kbps	Tracking	(注1) ビット誤り率 10×10 ⁻⁴ 以下 (PCM-PM)	
13	受信雑音電力密度(N ₀)	dBm/Hz	- 170.6	~		
14	C/N ₀	dB	40.64	~		
16	変 調 度	(PM) RAD	1.2	1.2		
17	変 調 損 失	dB	J _{on} ²	- 3.5	- 3.5	(注2) 図5-1に伝送速度と 伝送可能距離の関係を 示すグラフを示す。
			2J ₁ ²	- 3.0	~	
			2J ₁ ² × 1/2 J _{on} ²	~	~	
18	S/N or (Eb/N ₀)	dB	4.64	キャリヤレベル - 133.54dBm		
19	所 要 S/N or (Eb/N ₀)	dB	(注1) 9.0	スレシヨールド - 140 dBm		
20	マ ー ジ ン	dB	-4.36	+ 6.46		

表5. 400 MHz帯テレメータ通信回線計算

項 目		400 MHz帯テレメータチャンネル			備 考	
1	周 波 数	MHz	400.5 MHz			
2	送 信 電 力	dBm	+ 33			
3	ケ ー ブ ル 損 失	dB	~			
4	偏 波 損 失	dB	~			
5	電力分配比÷雑音損失+リミタ抑圧効果	dB	~			
6	S A アンテナ利得	dB	- 10			
7	伝 搬 損 失	dB	- 176			
8	地上局アンテナ利得	dB	32.5			
9	ケ ー ブ ル 損 失	dB	- 1.5			
10	受信信号電力(C)	dBm	- 122			
11	雑 音 温 度	dB °K	25.5			
12	ボルツマン定数	dBm/°KHz	- 198.6			
15	帯 域 幅	dBHz	PCM ビットレート 2 K bps	Analog (注2) 50/37	Tracking	
13	受信雑音電力密度(N_0)	dBm/Hz	- 173.1	- 173.1		
14	C/N_0	dB	+ 51.1	($C/N=1.9$) +51.1 dB		
16	変 調 度	(P M) R A D	1.2	1.2/ $m_f=5$	1.2	
17	変 調 損 失	dB	J_{on}^2	- 3.5	- 3.5	- 3.5
			$2J_1^2$	- 3.0	- 3.0	~
			F M W B G A I N	~	+ 18.8	~
18	S/N or (E_b/N_0)	dB	+ 15.1	+ 34.4	キャリアレベル -125.5dBm	
19	所 要 S/N or (E_b/N_0)	dB	dB	(注1) 9 dB	スレシヨールド - 140 dBm	
20	マ ー ジ ン	dB	+ 6.1	+ 16.4	+ 14.5	

(注1)

ビット誤り率:
 10×10^{-4} 以下
(PCM-PM)

(注2)

IRIG Prop.
Sub, Band 15 の使用
を前提とする。
($f_0 = 30$ KHz,
 $f_a = \pm 2.25$ KHz)
又ベースバンド周波数
を 450 Hz で試算

表6. HK項目表

F No	項目	測定範囲	備考	F No	項目	測定範囲	備考
0	ES-12P	0~+15V	センサ抵抗	32	TH-16	±150°C	SAS-Sens(1)
1	ES-5P	0~+7.5V	10KΩ	33	17	↓	(2)
2	EP-P	0~+30V	↓	34	TL-2	-50~+70°C	ベースプレート(2)
3	ES-12N	0~-15V	↓	35	3	↓	(3)
4	BAT-V	0~+30V	↓	36	4	↓	(4)
5	Ic-P	0~+2V	↓	37	5	↓	スラストチューブ(1)
6	Id-P	0~+2V	↓	38	TL-6/YSA	↓	(2) YSA Mode MON1
7	TH-3	±150°C	SPC(2) 上	39	TL-7	↓	ESP ケース
8	↓ 4	↓	(3) 中	40	8	↓	MGF-S 伸展部
9	↓ 5	↓	(4) 下	41	9	↓	TMU X-tel
10	↓ 6	↓	頭部パネル(1)	42	11	↓	CMRケース/KM-SEP
11	↓ 8	↓	カップラ(1)	43	12	↓	RARR ケース
12	TL-1	-50~+70°C	ベースプレート(1)	44	13	↓	PCU ケース
13	↓ 10	↓	TMV X-Tal	45	15	↓	BAT ケース(2)
14	↓ 14	↓	BAT ケース(1)	46	17	↓	BAT セル(2)
15	↓ 16	↓	BAT モル(1)	47	18	↓	CNV ケース
16	CAL-A	↓	↓	48	TL-19	-50~+70°C	DPU ケース(1)
17	↓ B	↓	↓	49	TL-20/SQ-0	↓	(2) ETP SQ 0
18	ES-15P	0~+18V	センサ抵抗	50	TL-21	↓	HK ケース
19	ES-5N	0~7.5V	10KΩ	51	TL-22/SQ-1	↓	ND ケース/ EPT SQ 1
20	HV-E	0~+5V	↓	52	TL-23/SQ-2	↓	SAS/MGF ケース/ EPT SQ 2
21	HV-I	0~+5V	47.0Ω	53	TL-24/SQ-3	↓	WCM RX ケース/ EPT SQ 3
22	TH-1	±150°C	SCM-SC	54	TL-25	↓	WCM TX
23	↓ 2	↓	SCP-(1)	55	26	↓	SPW
24	↓ 7	↓	頭部パネル(2)	56	27	↓	NPW/DPL
25	↓ 9	↓	カップラ(2)	57	28	↓	IEF/ANT
26	↓ 10	↓	SuNT-R/3A-SEP	58	29	↓	ANT-1
27	↓ 11	↓	MAG-Sens	59	30	↓	NPL+DPL Pre AMP
28	↓ 12	↓	SPWPower AMP	60	31	↓	IEF-I Pre AMP
29	↓ 13	↓	CBE E-Gun	61	32	↓	LOOP-A Pre AMP
30	↓ 14	↓	ESP E-Sens	62	33	↓	ANT-3
31	↓ 15	↓	ESP I-Sens	63	34	↓	WCM-TX(OSC)

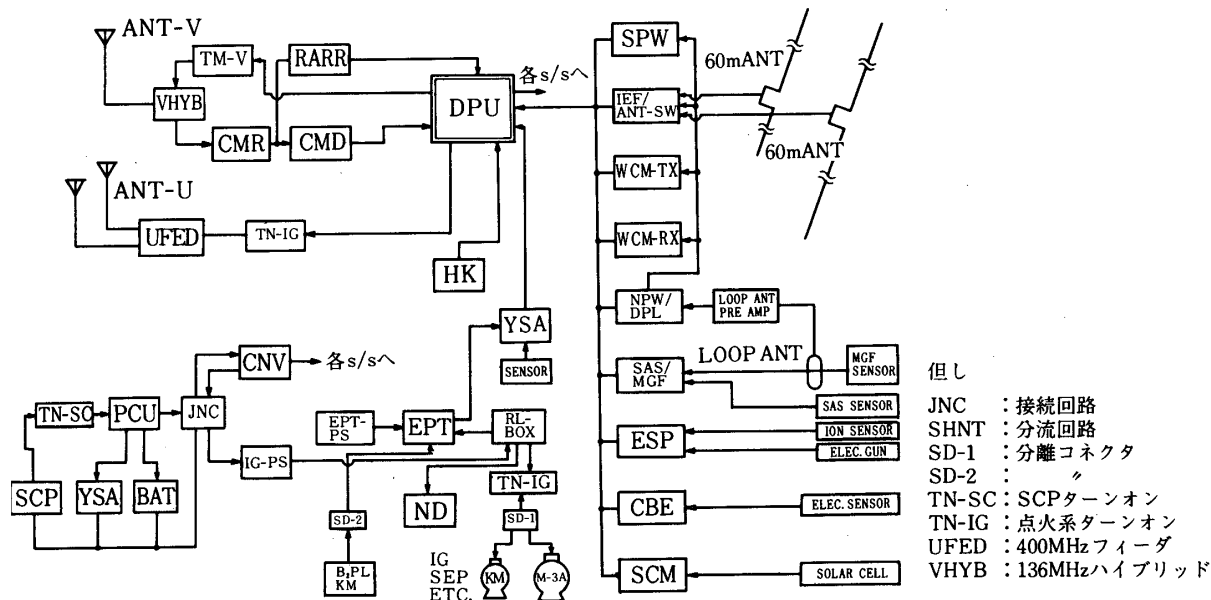


図6. 電気系統図

2.2.2 科学観測系機器の特徴

科学観測機器は磁気圏内の諸現象を探查する目的をもち、観測機器はその手法により次の二群に大別される。

- (1)受動的観測；自然現象として存在する高エネルギー粒子群，プラズマ，電磁場およびその波動を直接測定する。
- (2)能動的実験；磁気圏内で衛星から電波や電子ビームを放射し，それによって発生する現象を捉える。

受動的観測は従来から行われてきた手法であるが，能動的実験は磁気圏を巨大な科学実験室とみなし，そこでさまざまなプラズマ現象を人工的につくりだし，各種の波動・粒子相互作用を制御された状態で診断しようとするものである。

3. 飛行結果

3.1 打上げおよび観測オペレーション

昭和53年9月16日14時00分（JST）にEXOS-Bを搭載したM-3H-3号機はランチャ設定上下角70度，方位角97度で発射された。各段ロケットの燃焼ならびに飛しょうは正常で，第2段の飛行制御ならびに衛星打ち出し方向制御も順調に行われ，これにより第3段キックモータならびに衛星に2.05 rpsのスピンの与えられた。

その後，第3段モータ，キックモータの点火も正常に行われ，EXOS-Bを軌道に投入す

ることに成功した。

KSC (Kagoshima Space Center) では23時14分24秒 (JST) にEXOS-Bからの電波を受信し、所期の軌道に投入されたことが確認された。

衛星は「じきけん」(磁気圏)と名付けられ、国際標識1978-08Aが与えられた。衛星は、

遠地点	30,055 km
近地点	227 km
周期	523.6 分
軌道傾斜角	31.1 度

の長楕円軌道を初期軌道として地球を周回することになった。

衛星に搭載した各観測機器の動作は正常で、9月23日から9月25日の間に2対のアンテナをそれぞれ先端間約102mと70mに伸展し、さらに10月9日から10月10日の期間で高電圧を必要とする機器への電源投入と磁気センサの伸展を行って、全搭載機器は完全に観測可能な状態になった。科学衛星「じきけん」の観測は次のような手順をふまえ、長期定常観測態勢に入った。

- 1) 打上げモード：衛星共通機器によるモニタ (1978年9月16日～22日)
- 2) 観測設定モード：アンテナの伸展およびセンサ展開、高圧電源投入、能動機器作動確認 (1978年9月23日～10月10日)
- 3) 第1期観測：全機器試験運用 (1978年10月～12月)
- 4) 第2期観測：OG観測試験 (1979年1月～3月)
- 5) 第3期観測：長期定常観測 (1979年4月～)

3.2 飛翔結果

3.2.1 通信系

「じきけん」のテレメータ、コマンド、測距などの通信系は、従来の衛星と同一で136MHz帯と400MHz帯のテレメータと148MHz帯のコマンド回線をそなえ、かつ148MHz帯をアップ・リンク、400MHz帯をダウン・リンクとした測距系で構成されている。

通信回線では、衛星の遠地点高度30,000kmで直距離にして従来より約10倍の長楕円軌道のため、当初より回線余裕がほとんどなく、かなりの困難が予想されていた。

打上げ後の受信状況は、従来の衛星では経験したことのない通信障害があることが判明した。すなわち、ファラデーローテーションによるとみられる周期のはっきりしたフェージングと、電離層擾乱によるマルチパス干渉とみられるフェージングがあり、特に可視8時間の軌道の前半において周期が短くランダム(1秒～10秒オーダー)なフェージングが発生し、測距系がかろうじて計測可能であったり、148MHzのコマンドも、例えば20回の指令でようやく動作するという状況も生じた。しかしながら、なかには可視Elevationが低いにもかかわらず回線が安定するという興味ある現象も見られた。テレメータ回線については、地上がダイバシティ受信をおこなっているため136MHz系はその効果により回線の悪い時でもPCM復調は良好であった。

打上げから1週間後の第21周から60mアンテナの伸展が実施された。ここでも予想されない障害が生じた。すなわち、アンテナ伸展用のモータ駆動により発生した雑音によって

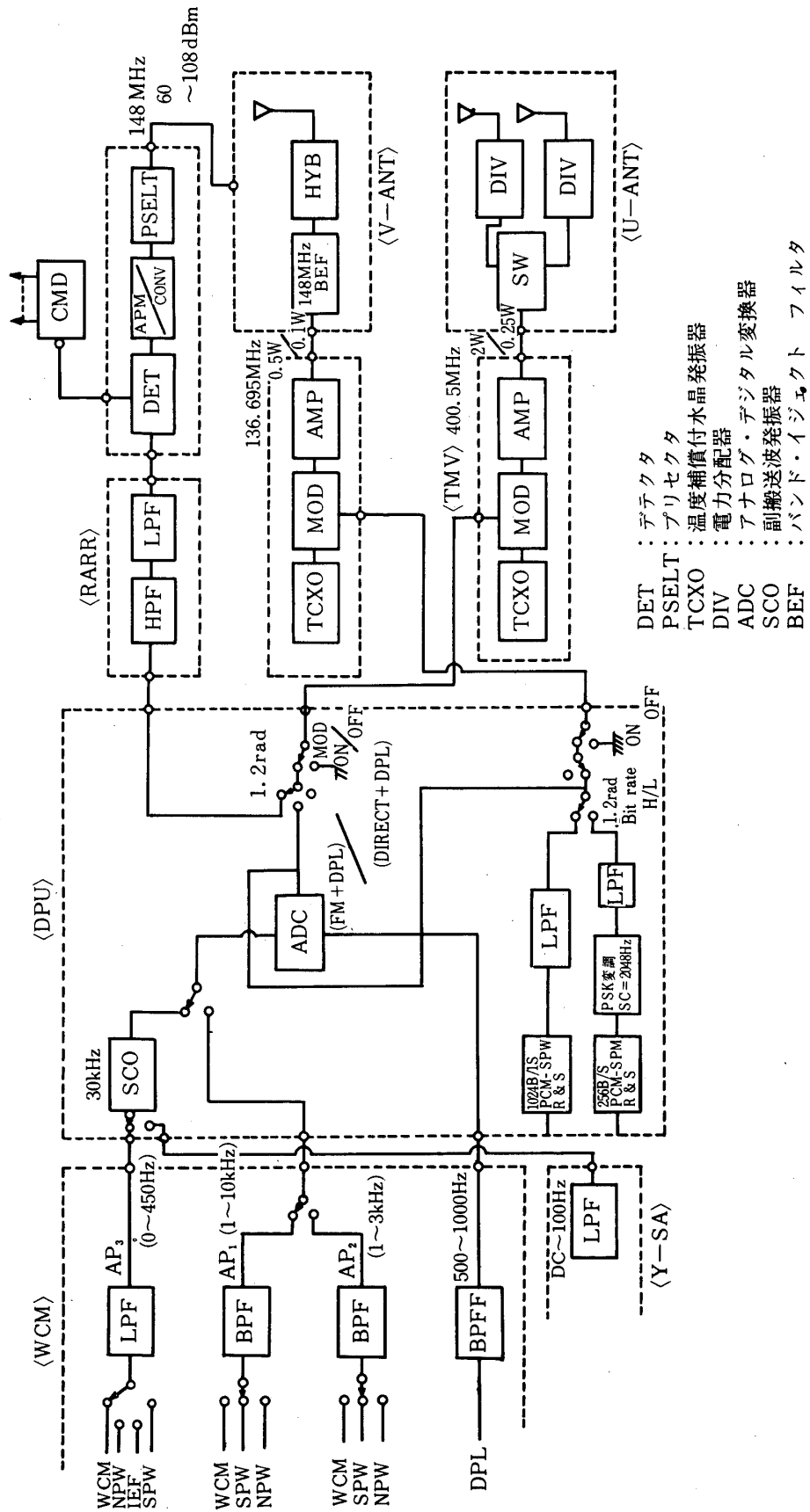


図 7. 通信システムシステム図

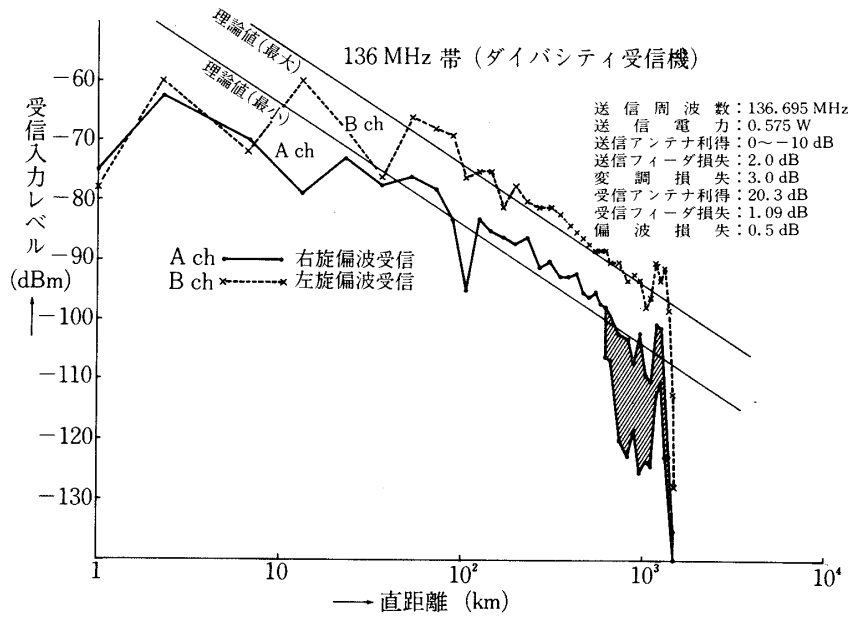


図8. “じきけん” (EXOS-B) 打上げ時 受信入力レベル/直距離

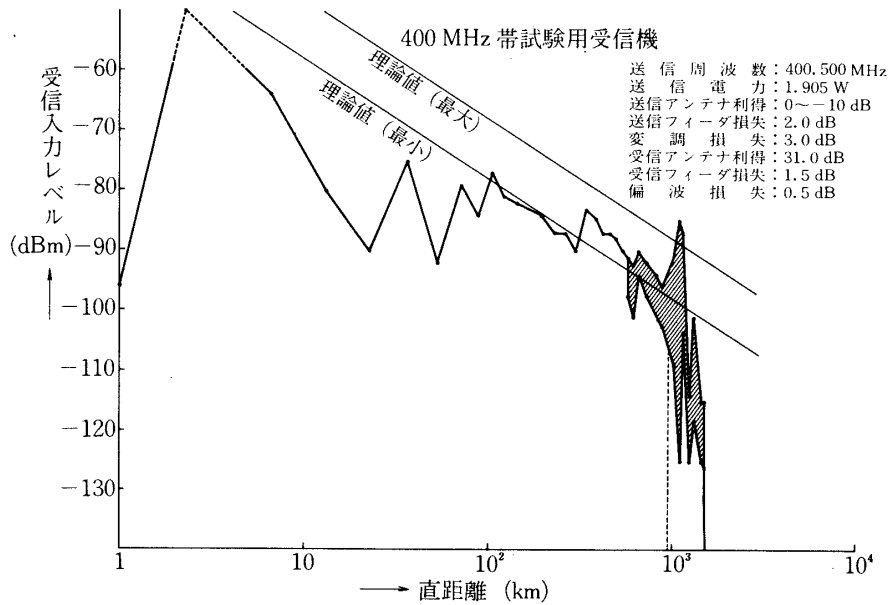


図9. “じきけん” (EXOS-B) 打上げ時 受信入力レベル/直距離

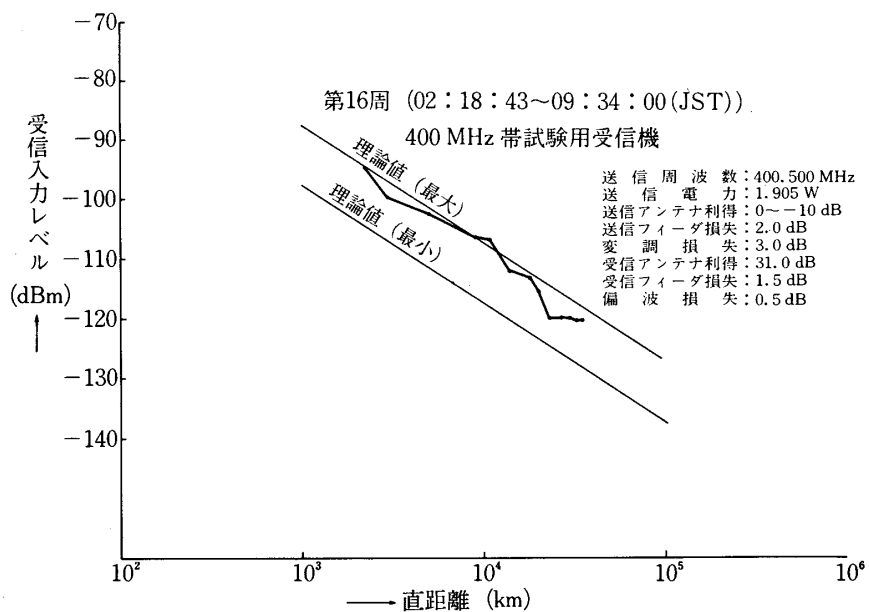


図 10. “じきけん” 受信入力レベル/直距離

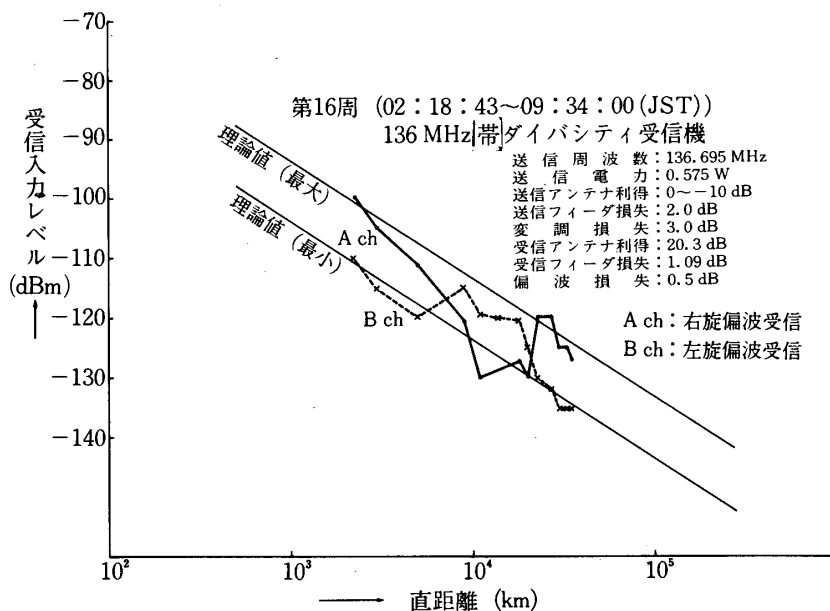


図 11. “じきけん” 受信入力レベル/直距離

148 MHz コマンド受信機が干渉をうけ、その結果コマンドデコーダの電源が OFF になりコマンド回線が一時不通になったことである。

しかし、その後の運用では、回線余裕のない遠地点付近と、電離層擾乱による障害の場合にテレメータデータの一部に時々質の低下を生じてはいるものの、その他は問題なく、また、テレメータ送信機、コマンド受信機等の通信機器も正常に動作しており、磁気圏の貴重なデータを取得中である。

(1) テレメータ系

打上げ時のテレメータ電波の受信レベルは、衛星からの電波の放射がロケットに結合された状態で行われるためかなり変動する。図8、図9に打上げ時の136 MHzと400 MHzのテレメータ受信入力レベルを距離に対してプロットしたものである。レベル変化が特に大きいのはモーター点火、切断時、姿勢制御中やノーズフェアリング切離しの時などである。さらにスピンモーター点火以降のレベル変動はアンテナパターンによる周期的な切込みで、これまでの衛星打上げ時と同じ様子を示しており、平均的には時間、距離に従って計算された理論値レベルに近いレベルで下降している。この結果から、送信機やアンテナ等は正常に動作しているといえる。

図10、図11には第16周目のテレメータ受信入力レベルと理論値との比較を示したが、ほぼ理論値に一致している。また、第1周目から第19周目にわたって実測レベルとの比較を図12に示した。全体的には、フェージングによるレベル変動を考えなければ、ほぼ理論値の範囲内である。

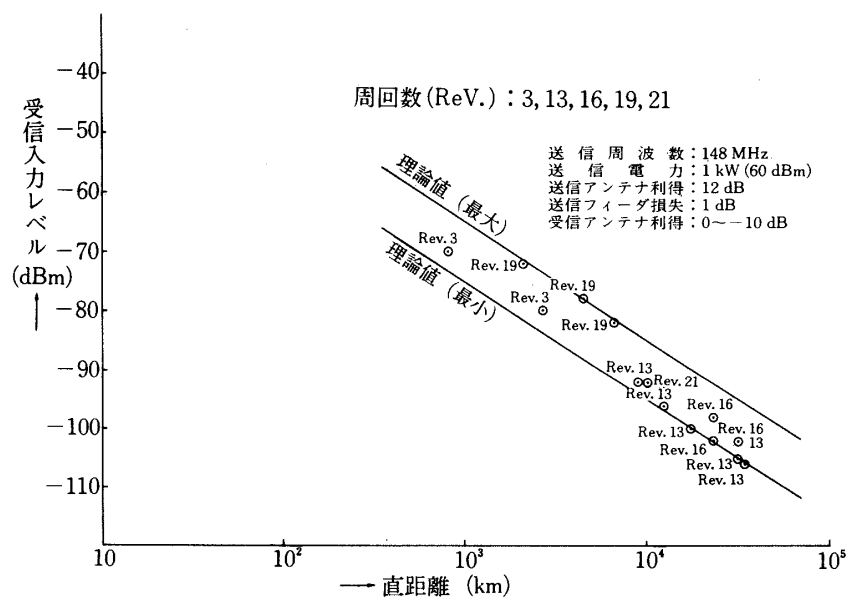


図12. 136 MHz系 “じきけん” 受信入力レベル/直距離

(2)コマンド系

コマンド回線については、33,000 kmにおける受信レベルの理論計算値は $-96\text{ dBm} \sim -106\text{ dBm}$ （衛星アンテナ利得 $0 \sim -10\text{ dB}$ ）の範囲内にあるはずで、実測の受信レベルは $-100\text{ dBm} \sim -110\text{ dBm}$ であったので大体計算と一致している。図13に代表的な周回における受信レベルを理論値と比較して示した。また、コマンドAGC出力は外来電波によるレベルも観測されているが、これまでのところこれによる誤動作は起っていない。

次に60 mアンテナ伸長によるコマンド受信機への干渉であるが、アンテナ伸展を実行する過程で、伸展に伴うモータ雑音、スリップ雑音によるものであることが同一システムのシミュレーションの実験結果から判明した。

(3)測距系（RARR）

“じきけん”の軌道は長楕円であり遠地点付近でのドップラー偏移が小さいため、ドップラー計測だけによる軌道決定は精度が悪い。アップリンクに148 MHz帯、ダウンリンクに400 MHz帯を用いたレンジアンドレンジレート測定が軌道決定の主役を務めた。

第1周、第3周、第5周における各測定データを予報値と比較してそれぞれ図14、図15、図16に示した。図14からわかるように測定値は予報値に比べ時間が早まり、距離が近くなっている。これは、予報値に対して遠地点高度が落ちていることを推定させるものである。第3周目の予報値は第1周目の測距データが、第5周目の予報値は、第1周目と第3周目の測距データが使われ次第に予報とデータが一致するようになった。

第1周目は電離層擾乱による回線状況が非常に悪いにもかかわらず、有効なデータを得ることができ、軌道決定を早めるのに寄与したと思われる。

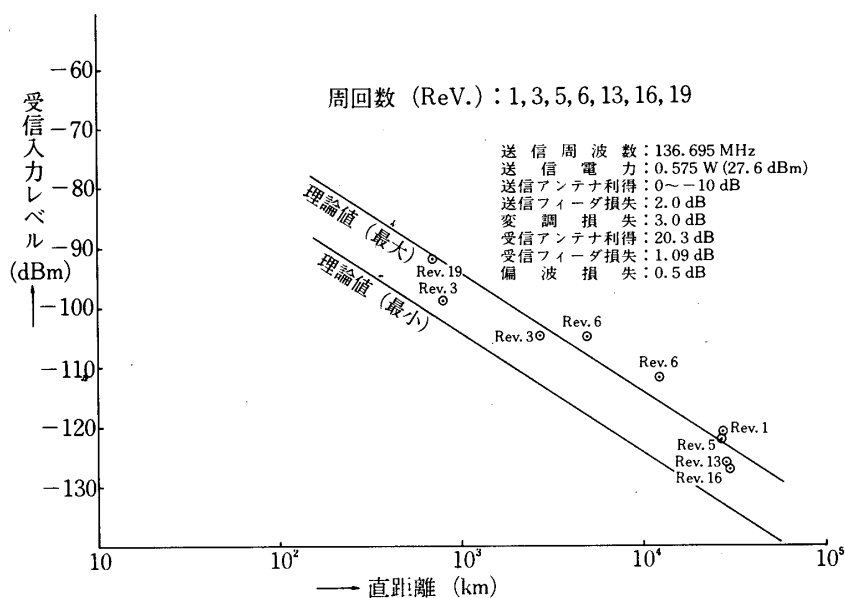


図13. “じきけん” 148 MHz系コマンド受信入力レベル/直距離

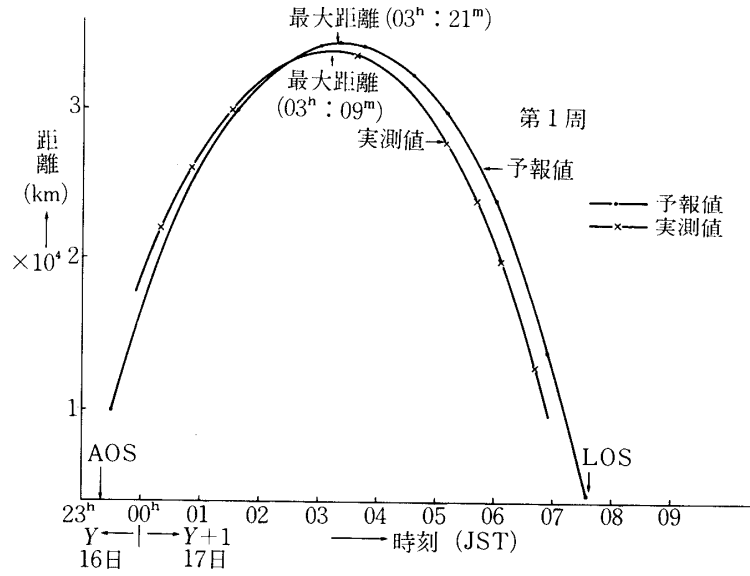


図14. “じきけん” 測距値と予報値

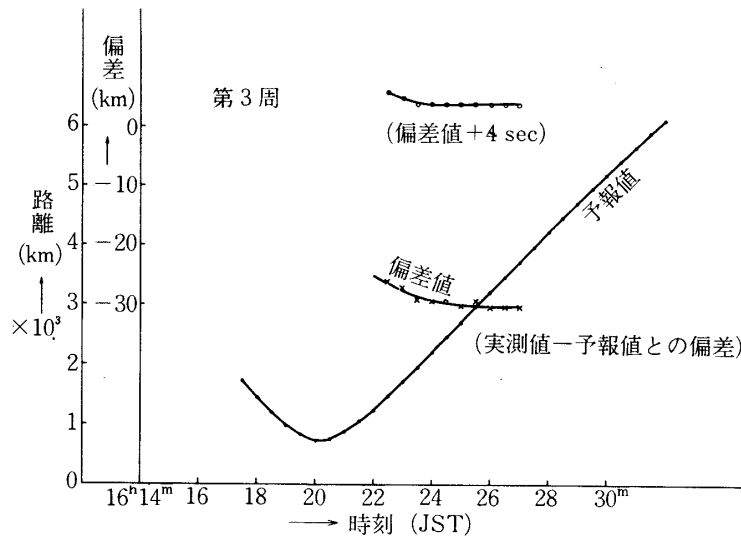


図15. “じきけん” 測距

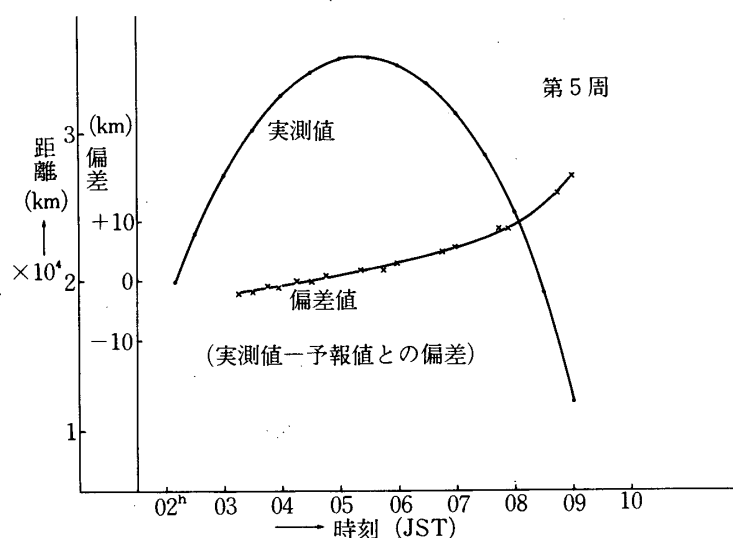


図 16. “じきけん” 測距

3.2.2 温度および電源系

(1) 温度

図 17 に、打上げより第 660 周まで約 8 ヶ月間の各部温度データを示した。

内部機器温度は当初 30°C 位であったが、徐々に下がり打上げ 1 ヶ月後の第 80 周位より 15°C 前後に落ちついている。その後、日陰が現われる第 240 周目位よりまた徐々に下り始め、第 400 周には電池等は 0°C 近く、またベースプレート温度は -10°C 近くまで低下した。しかし、太陽角の影響で再び 20°C 前後まで回復し、以後しばらくはこのサイクルが続くものと思われる。

太陽電池パネル温度は、太陽角 (θ_s) に大きく依存しており、 $\theta_s > 90$ 度では下面パネル温度が、 $\theta_s < 90$ 度では上面パネル温度が当然高くなる。これまでに得られた最高および最低温度は第 400 周において見られ、それぞれ +60°C と -40°C となっている。

一周中の温度変化は代表的に第 71 周について図 18 に示したが、まだ全日照中でもありその変化は少い。

(2) 電源系

電源系機器は太陽電池パネル、電力制御器 (PCU)、蓄電池、コンバータ、電源接続回路共全て正常に動作している。図 19 に、第 660 周までに得られた電源の状態を示した。太陽電池電流は打上げ初期には 1.2 ~ 1.4 A であったが、60 m アンテナ伸展後は予想されたことではあるが、その影の影響を受け 1.0 ~ 1.2 A に減少している。

BAT 電圧は、放電最低電圧が 19V 前後と、その管理も良好に行われていることがわかる。

PCU では、打上げ前にはレベル A という BAT 電圧の高い充電検出レベルに設定しておいたが、打上げ直後は日照 100% で BAT への充電電流が 0.2 A 前後であったため、この条件では PCU の動作に対する補正が不十分であり、充電完了を示してもいいところで充電完了にならなかった。このため、第 1 周では BAT セル温度がケース温度に比べ 10°C 程上昇

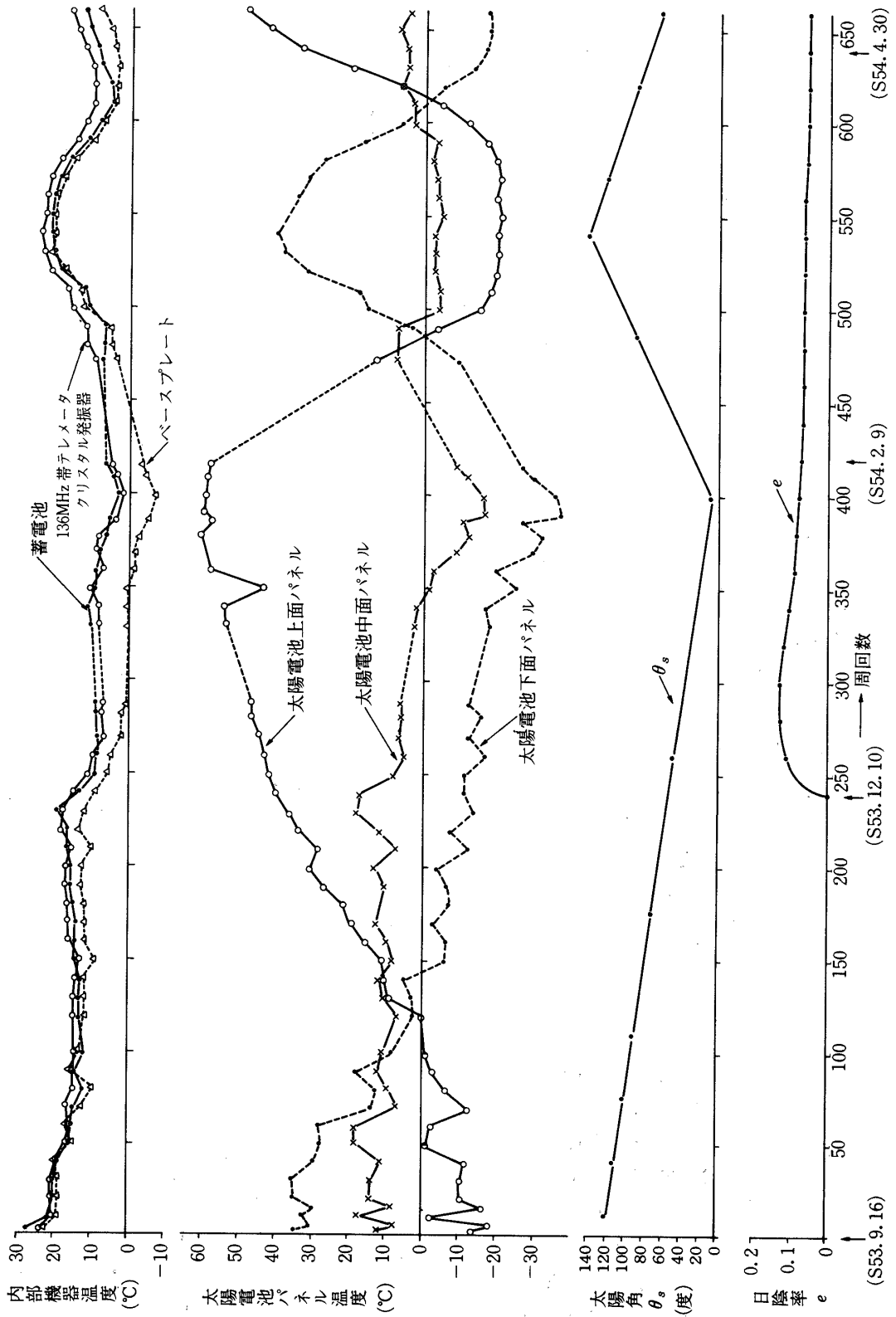


図17. “じきけん” 温度データ

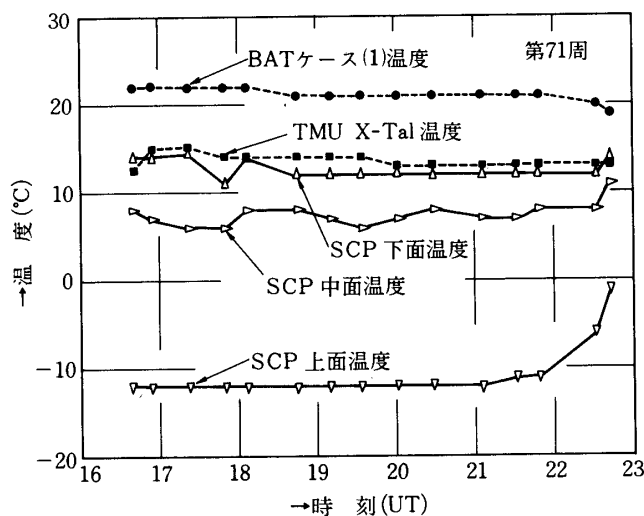


図 18. 第 71 週の衛星温度

した。そこで、コマンドにより強制的にレベルBの充電検出モードにした。その後は順調に充電制御が行われている。

(3)姿勢系

図 20 に、打上げ初期の太陽角 (θ_s) とスピンレートの測定データを示す。

打上げ後 θ_s は 123 度から 1 日約 1 度の割合で減少する方向 (衛星の頭部方向へ向う) へ変化しており、第 21 周でアンテナ伸展を行うまで一定の傾向を示した。その後アンテナ伸展によりコーニングが生じ、 θ_s も ± 10 度位の幅を持つようになった。

一方、スピンレートはアンテナ伸展まで約 2.3 Hz であったが、アンテナ伸展により大幅に減少し 0.72 rpm になっている。

(4)データ処理系 (DPU)

DPU は “じきけん” の観測運用を行っていく上で文字通りその中枢的な働きをなすものであるが、打上げ後順調に作動して衛星動作のすべてを制御している。しかし、磁気圏の奥深くに侵入し、特に磁気圏サブストーム等に遭遇するとき、5 Volts 系のフリップフロップに “circuit upset” という現象を発生している。

これは、10月10日のMGFセンサブームの伸展後に見られるようになったもので、頻繁に発生している。MGFセンサ・ブームの一部に衛星とは等電位にならない部分があり、エネルギー粒子侵入を受けた時帯電現象を起し、これが瞬時に放電して衛星内でも数 Volts に達するパルス状リップルを生ずることが確認されている。この帯電は、明らかに自然現象であり、しかも衛星のロジック系にのみ影響を及ぼすものであるが、地上コマンドで復帰させつつ運用を行っている。

こうした circuit upset は、すでに米国でもすべての衛星が経験しているが、Hardware を破壊する性格のものではなく、本質的には全く問題はなく “じきけん” の運用は順調に行われている。

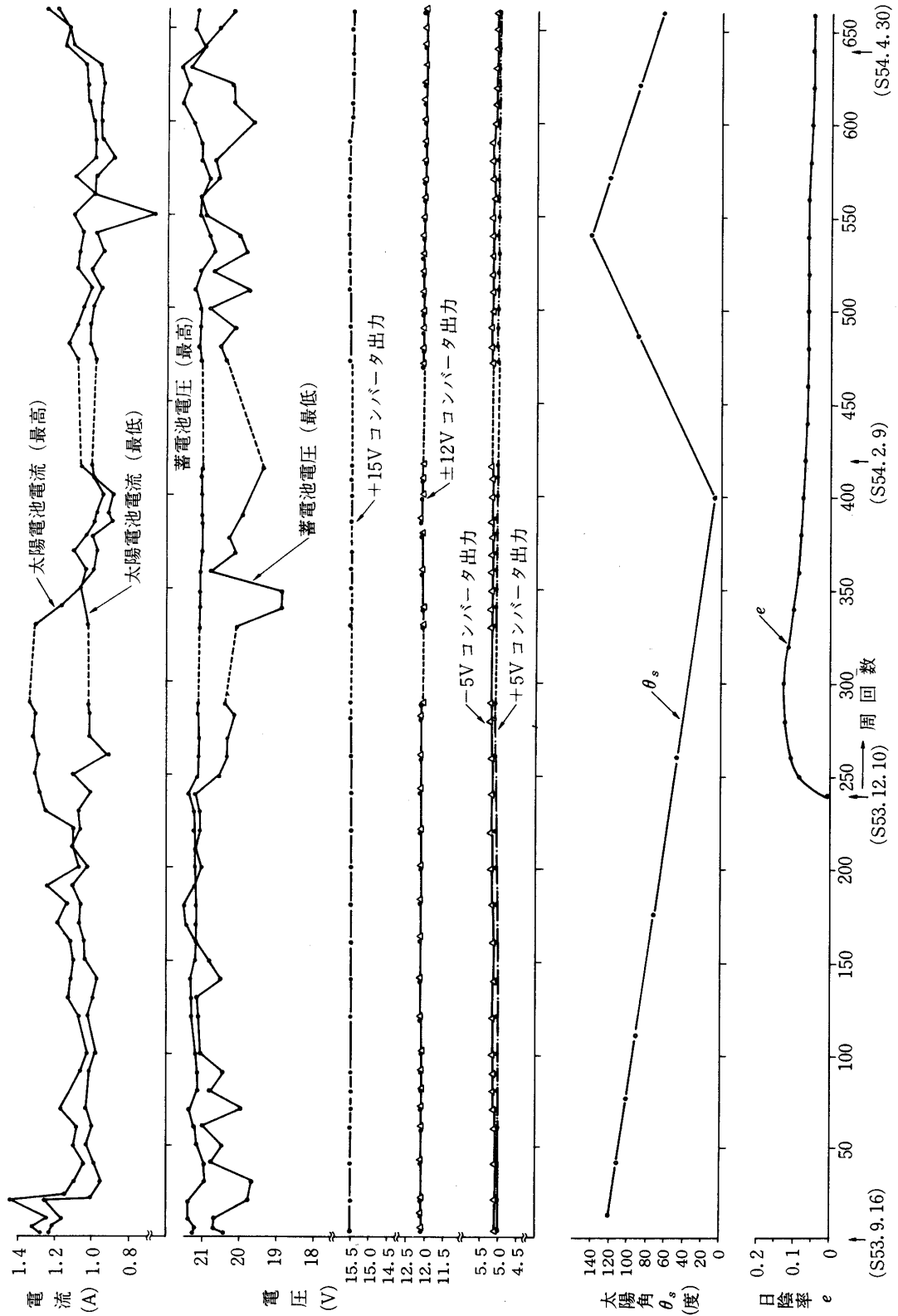


図 19. “じきけん” 電源系データ

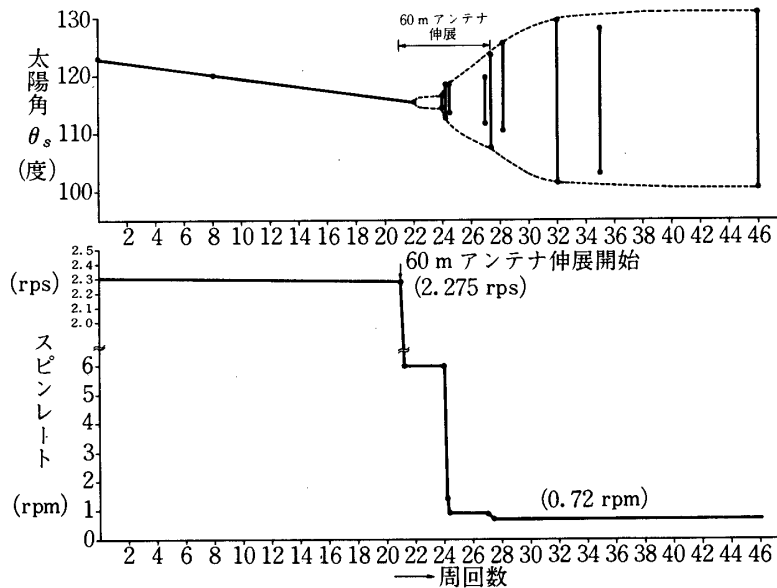


図 20. 打上げ初期の太陽角とスピンの変化

4. 科学観測成果

4.1 プラズマ波励起実験

磁気圏内のプラズマに高周波振動電界を印加してプラズマ波動を励起する実験は、すでに Alouette 衛星、ISI S 衛星などで行われている。しかし、磁気圏全域にわたるこのような試みは“じきけん”が最初であり、新しい波動現象の実験が可能となった。

図 21、図 22 は SPW 実験の代表例で周波数 0～3 MHz 掃引による発射パルスを受信電界強度とパルスエコーの走時パターン（強度を輝度変調で示す）である。エコー受信時間は 0～390 KHz 帯で 125 ms、390～3,000 KHz 帯で 31.25 ms である。

・電子サイクロトロン放射

10～300 KHz 帯にわたってサイクロトロン周波数の高調波パルスが 10～20 ms の持続時間をもって受信されている。これは電子サイクロトロン周波数 f_H に対して整数倍の高調波 ($nf_H : 3 < n < 15$) になっており、遠地点では $f_H \simeq 10$ KHz 程度に低下して、 $n = 10 \sim 15$ まで受信されている。

・磁気圏電子密度分布

図 19 のパターンに見られるように振動電界パルスの印加によって、ハイブリッド共鳴周波数 f_{UHR} のところで Ringing 現象が顕著に起こっている ($\tau > 125$ ms)。これから、磁気圏内の比較的低い電子密度値の測定が可能である。

$$f_{UHR}^2 = \sqrt{f_H^2 + f_P^2}$$

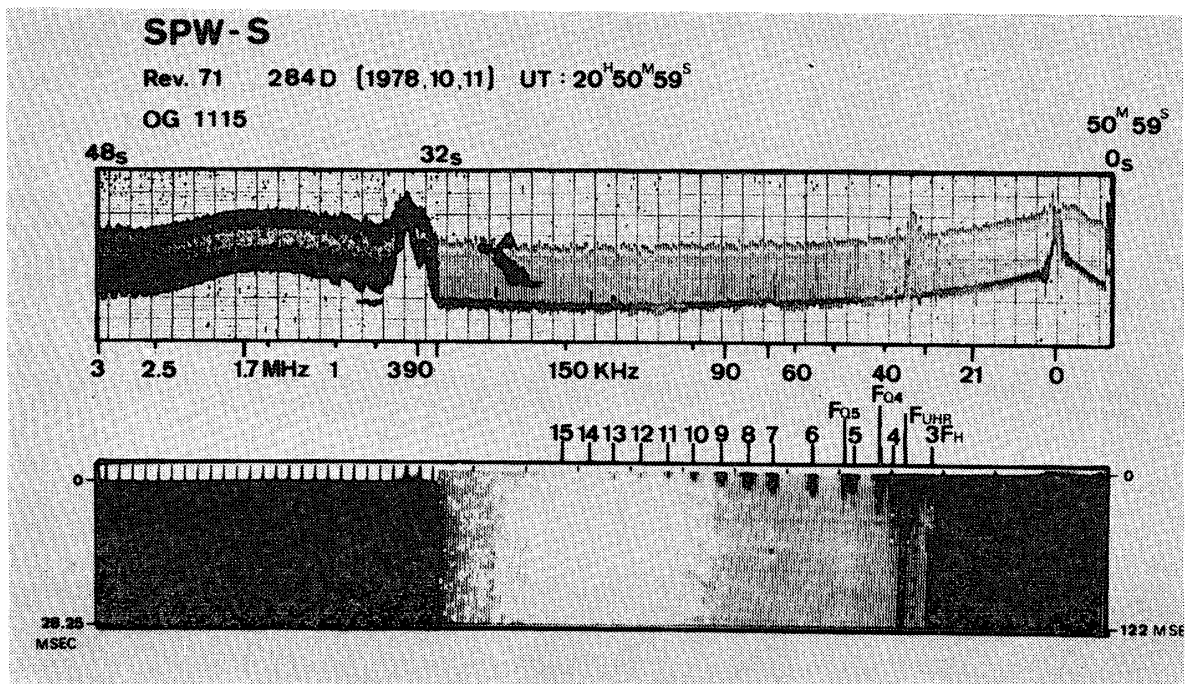


図21. SPWスペクトログラム

上) 受信強度スペクトル 下) プラズマグラム

上式の関係から地球磁場モデルを仮定することにより、プラズマ周波数 f_p が求められる。図23は L 値 = 2~6 の範囲での電子密度分布を示しているが、これからプラズマ圏境界域（プラズマポーズ）の位置を推定することが可能であり、今後、多くの観測を重ねてプラズマ境界域の空間分布およびその時間変動を明らかにすることを試みる。

4.2 磁気圏プラズマ波観測

自然界における電磁波、プラズマ波はさまざまのものが受信されている。その主なものは、地球長波放射（Terrestrial Kilometric Radiation : TKR）、惑星電波放射、VLF電磁放射などである。

・TKR放射

地球磁気圏内に存在する長波帯電波のなかで特異なものとしてTKR放射がある。図24はその一例であるが、00h 12m~00h 15m ($L=6.8$) に300 KHzで強い放射が始っている。電波放射は02h 11m~02h 24m ($L=10.2$) には200~500 KHzの間で複雑な構造を示し、03h 19m~03h 22m ($L=9.8$) に放射は最大強度に達して、06h 10m~06h 23m ($L=4.0$) では次第に減少している。これらTKR放射は極光帯でのオーロラ粒子群と密接な関連をもっていると考えられている

・ $(n + \frac{1}{2})f_H$ 放射

図25に示された10~3,000 KHz電波スペクトルには19h33m~19h 47mの間でスパイク状のパルスが顕著に現われている。これは、図26に示すようにサイクロトロン静電波；

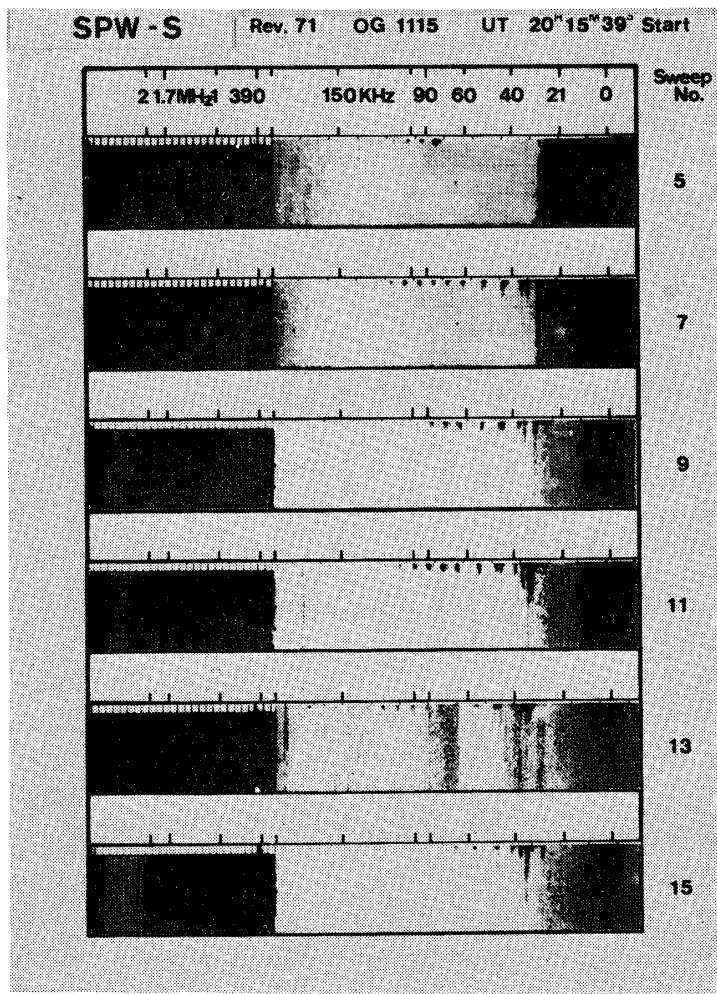


図 22. S P W プラズマグラム ; 1978 年 10 月 11 日,
Rev. 71, L ≈ 6

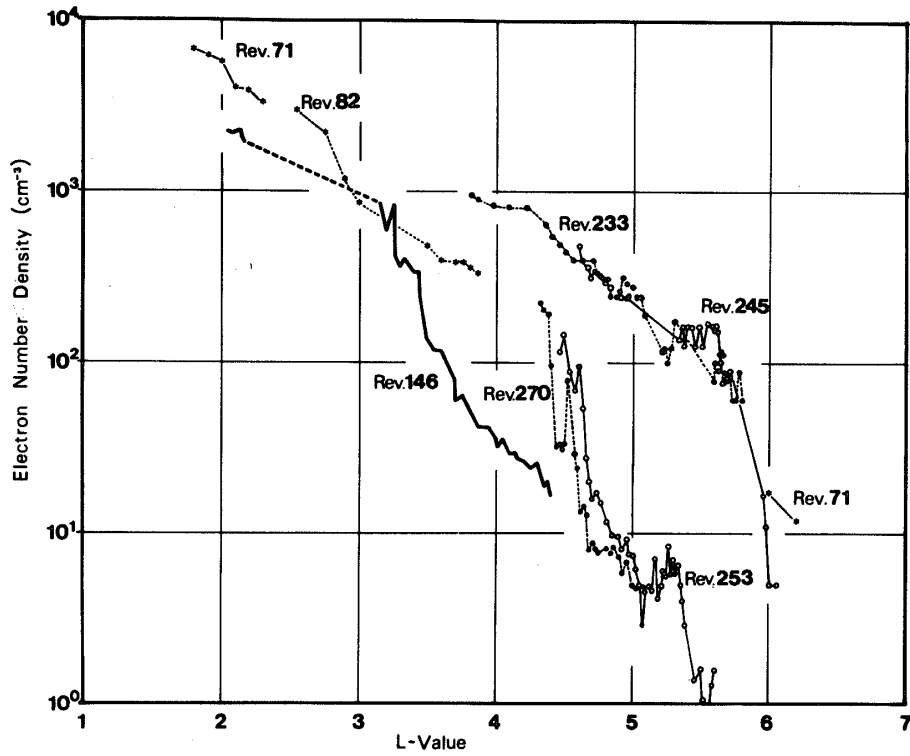


図 23. S P W UHR 共鳴から求めた磁気圏電子密度分布

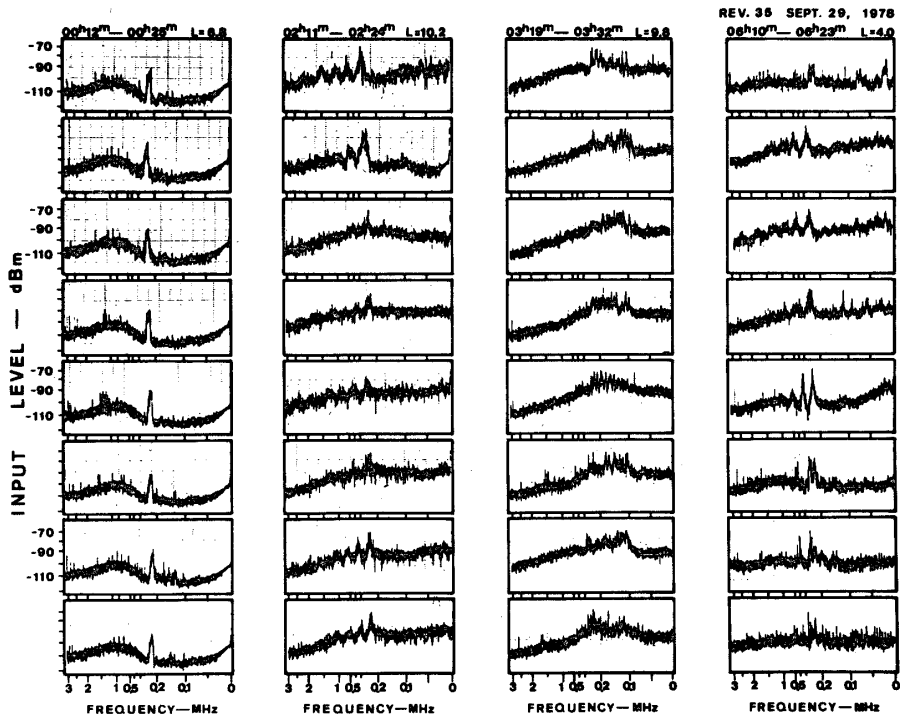


図 24. NPW-A で観測されたTKR エミッションの周波数スペクトル
1978年9月29日, Rev. 35, L=4~10

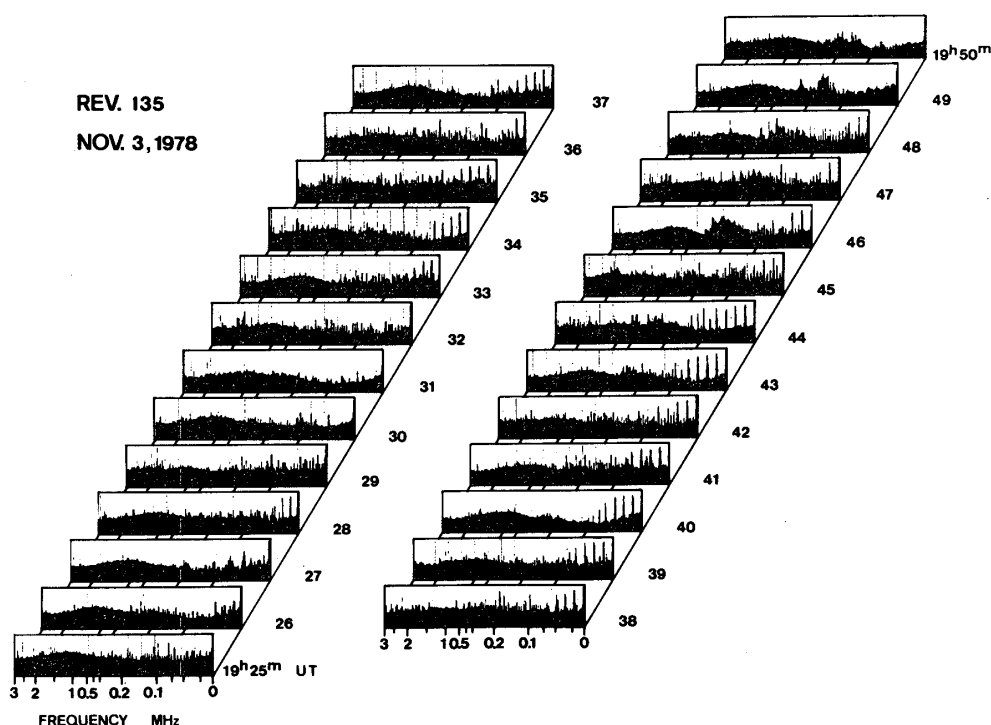


図 25. NPW-A で観測された $(n + \frac{1}{2}) f_H$ エミッション
1978年11月3日, ReV. 135, L 76

$(n + \frac{1}{2}) f_H$ の周波数に一致しており、プラズマ圏境界域で発生しているものである。

・太陽電波放射

太陽からの電波放射が10月4～5日にかけて0.5～2 MHz 帯で受信されている(図27)。中心周波数は1 MHz 付近にあり、衛星スピンによる強度変化からアンテナ指向性を考慮して電波の到来方向を決定することができる。その結果によると、電波放射は太陽に起因していることが明らかになった。

・V L F 電波放射

V L F 電波は広帯域電送方式(0～10 KHz)で電界、磁界の観測が行われている。これによっていくつかの興味ある放射スペクトルが得られている。図28はL = 3.4 のところで受信されたホイスラーエコートレインで磁力線共役点での反射による数回以上のエコーが観測された。

この他、Band-Limited Hiss と Chorus や、Whistler Triggered Emission なども多く記録されている。これらのV L F 放射は磁気圏内に発生している波動・粒子相互作用によってつくられたもので、マクロな現象を解明する素過程に関する手がかりを与えてくれる。

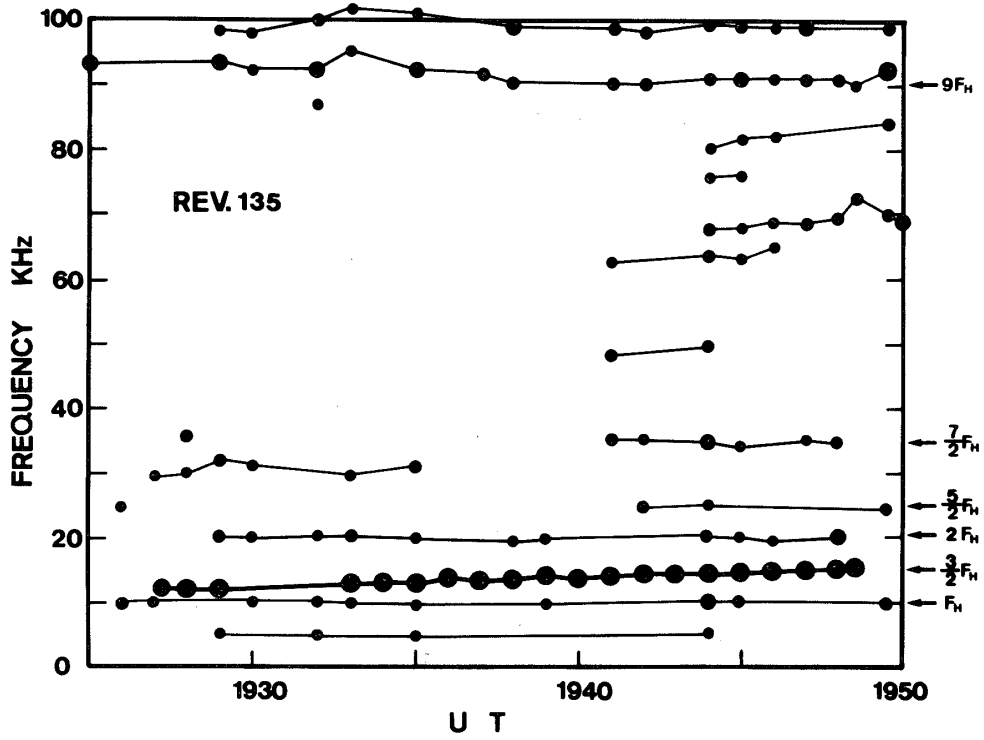


図 26. $(n + \frac{1}{2}) f_H$ エミッション周波数の時間変化
1978年11月3日, Rev. 135, L 76

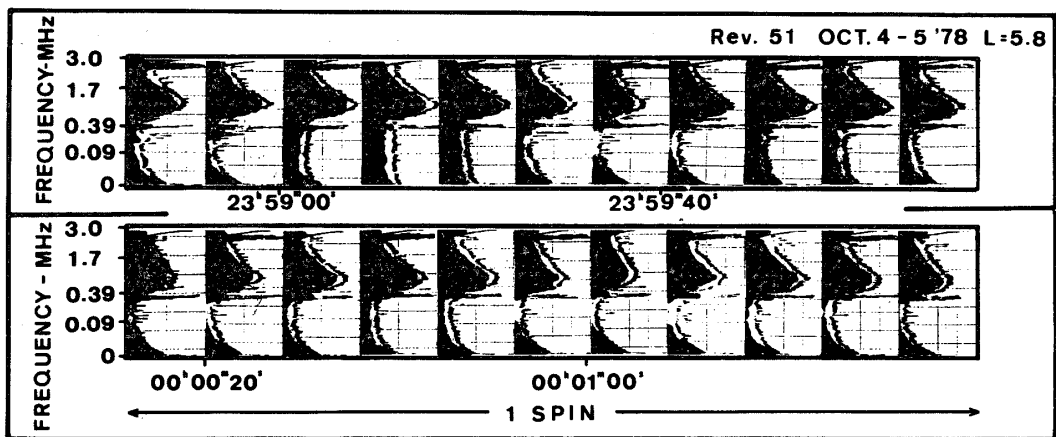


図 27. 1 MHz 付近にブロードなピークをもつ太陽電波スペクトル
1978年10月4~5日, Rev. 51, L=5.8

4.3 VLF ドップラー観測

地上VLF送信局NWC 22.3 KHzの電波を受信し、そのドップラー効果から、ホイスターモード波の伝搬状態を知ることができる。受信状態は衛星位置でのジャイロ周波数 f_H が22.3 KHzよりもかなり高い必要があり、これには比較的地球に近づいた点での観測によるのみ可能となる。ドップラーシフトとしては ± 2 Hz以下のものが受信されているが、これがダクト伝搬によるものかどうかは今後の解明を待たねばならない。

4.4 電場およびインピーダンス計測

長いダイポールアンテナのインピーダンス測定からUHR共鳴やModified Plasma共鳴を検出し、これからプラズマ圏内の電子密度分布を測定することができる。図29はジャイロプラズマプローブの記録側で各種のプラズマ共鳴(UHR, MPR, SHR)などが明瞭に現われている。

電場計測はアンテナ長が完全に対称でないこと、コーニング運動による効果が重なっているため電場強度の絶対値を検定するに至っていないが、衛星がプラズマ圏境界域を横切るところで振動電界(20~70 Hz)のパターンが急変していることが明瞭に捉えられており(図30)長期にわたる観測から境界域位置の変動などを明らかにすることができる。また、電子ビームの放射によって衛星本体の電位が大きく変動することを確認した。すなわち、電子ビームの放出によって周辺の電子密度や温度が増加し、その結果から生じる帰還電流によって電位が変動するものと考えられる。

4.5 磁場計測

磁場計測は衛星姿勢の測定に用いられるほか、磁気圏内の磁気脈動を検出することに成功している。図31は磁場変動のダイナミックスペクトルを示したものであるが、衛星のスピンおよびニュートレーションに対応する周期成分(86, 57, 25 sec)などのほかに間歇的に15~30 secの脈動PC-3がプラズマ圏境界域で出現している。

4.6 高エネルギー粒子フラックス観測

電子およびイオン粒子フラックスのエネルギー分布を図32に示してある。エネルギースペクトルは衛星位置や磁気擾乱の程度によって大幅に異なるが、Rev. 90は磁気嵐期間であり、Rev. 82は比較的静穏時に対応している。KeVレンジのイオン分布はプロトンベルトが磁気嵐中に $L=3\sim 3$ に移動した効果を示している。

電子エネルギースペクトルでは電離層近傍では10eV以下のところにピークがあるが、プラズマ境界域の外側では数百eV以上の電子群がしばしば出現する。これは地方時にも依存し、朝側が夕側よりエネルギーが高く、オーロラ粒子の発生と関連がある(図33)。

4.7 電子ビーム放射

200eV程度の電子ビームを衛星から放出することにより、周辺空間のプラズマが擾乱をうける。その代表的効果は、

- 1) VLFおよびHF帯でプラズマ波、サイクロトロン高調波などの励起が行われる。
- 2) 衛星電位が変化する。
- 3) 電子エネルギー分布に放出ビームの成分および衛星電位変化に伴う帰還電子成分の影響が明瞭に現われている。

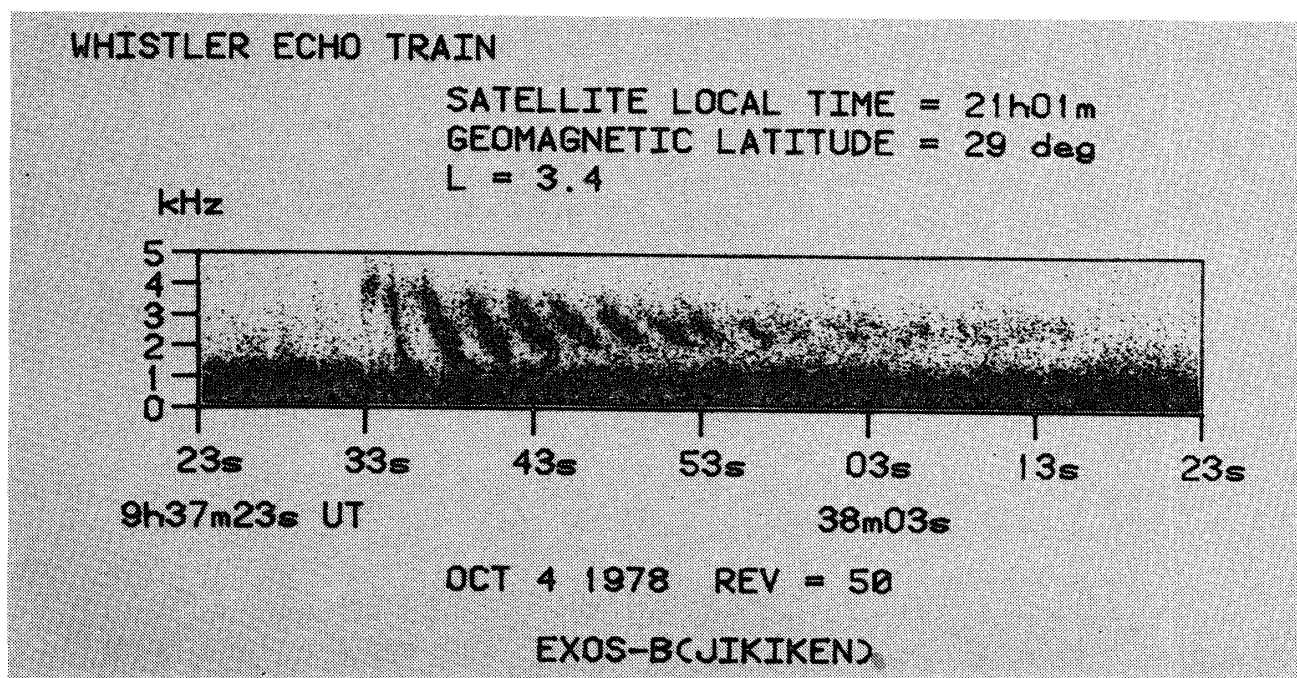


図28. ホイスターエコートレイン (ソナグラム) 1978年10月4日, Rev. 50, L=3.4

1978. 10. 4 REV. 50 L ≈ 1.9

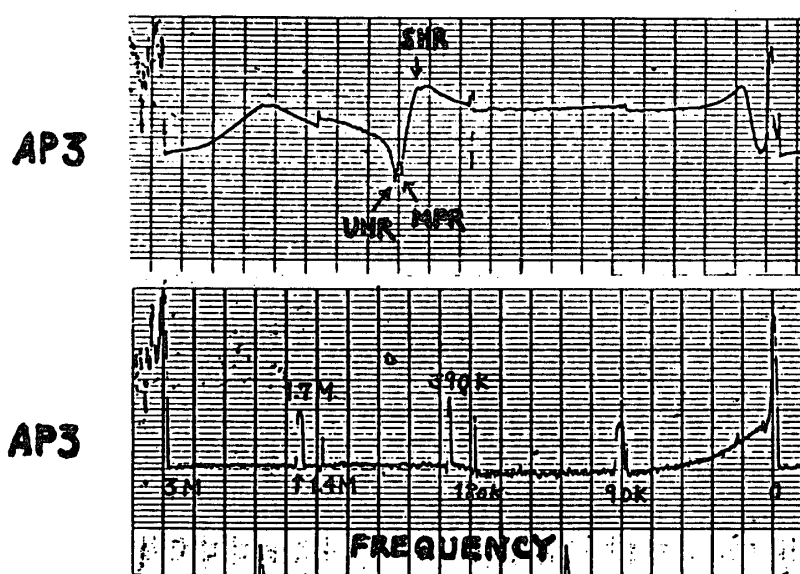


図29. IEFインピーダンス・スペクトログラム (0~3,000 KHz)
 1978年10月4日, Rev. 50, L ≈ 1.9

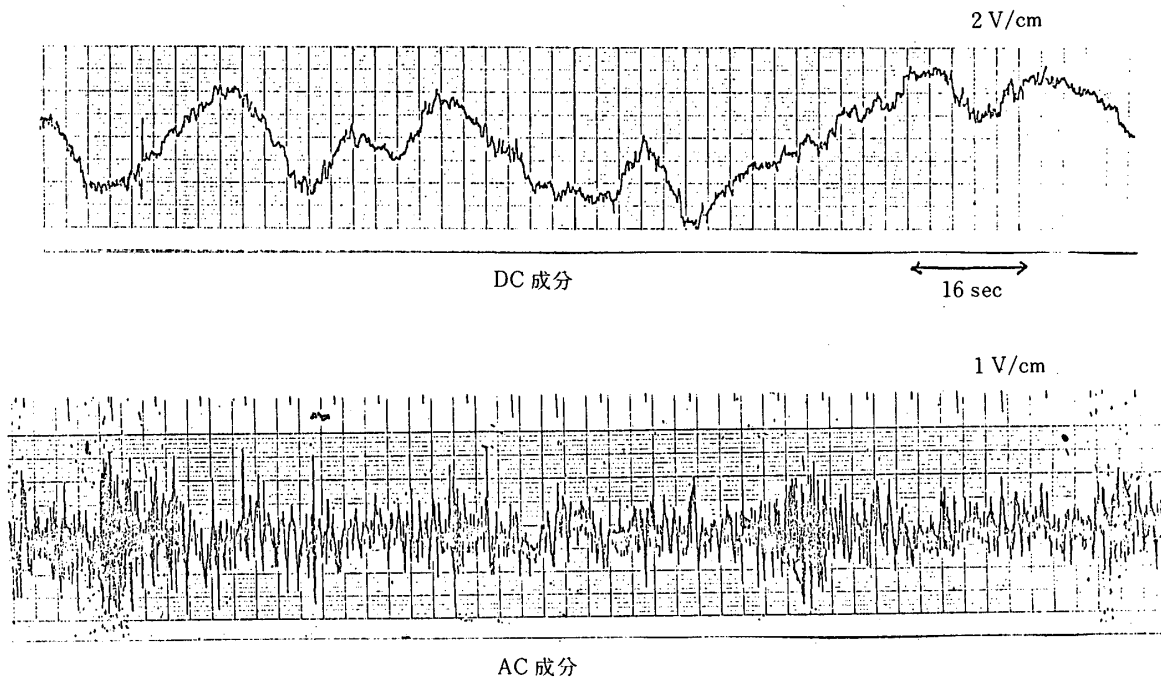


図30. IEF 電場強度のDCおよびAC (20 ~ 70 Hz) 成分
1978年9月28日, Rev. 32, L = 9.3

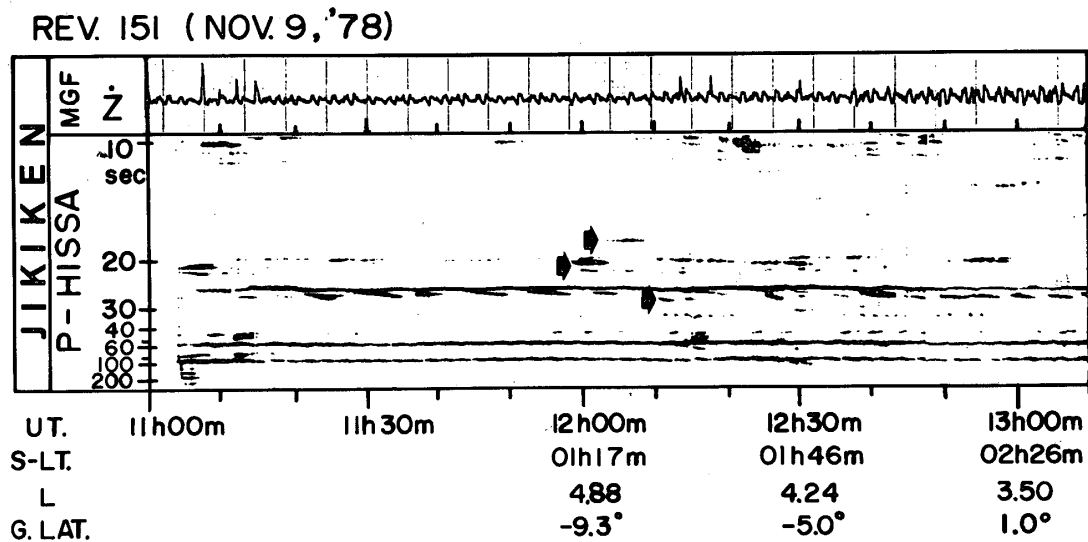


図31. MGFによって観測された磁場Z成分のダイナミックスペクトル
矢印; PC-3脈動; 1978年11月9日, Rev. 151, L = 3~5

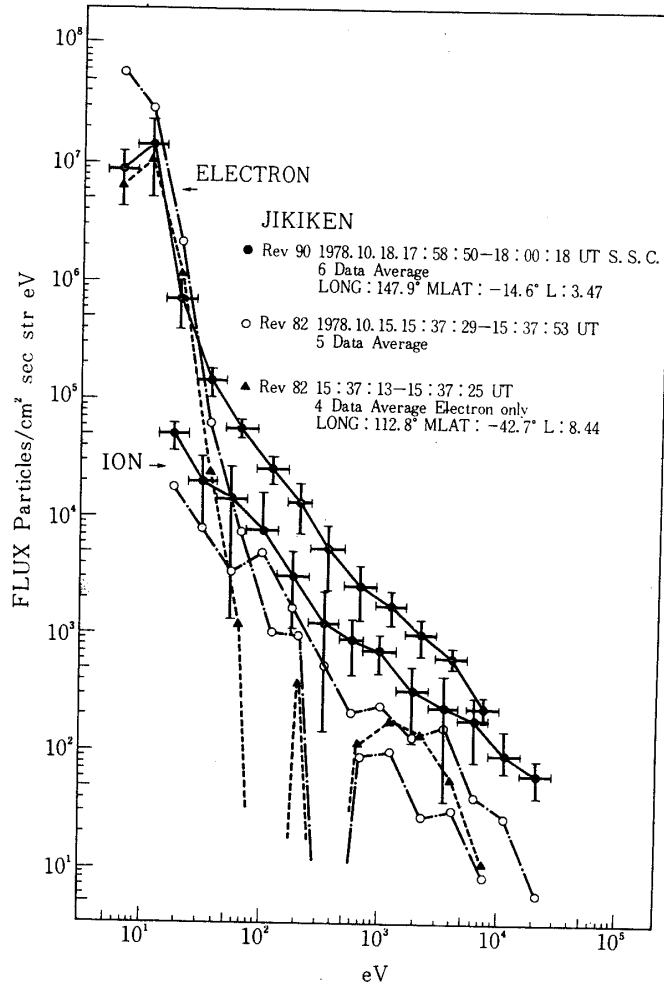


図32. ESP 粒子フラックス (電子およびイオン) のエネルギースペクトル
 1978年10月15日, Rev. 82, L=8
 10月18日, Rev. 90, L=3.5

4.8 太陽電池特性測定

“じきけん”には、主として地球磁気圏のバンアレン帯における太陽電池出力劣化モニタのため、太陽電池特性計測装置が搭載された。観測の結果では放射線による素子の劣化が顕著に現われているが、詳細は本稿「“じきけん”搭載の太陽電池特性計測装置 (SCM)」を参照願いたい。

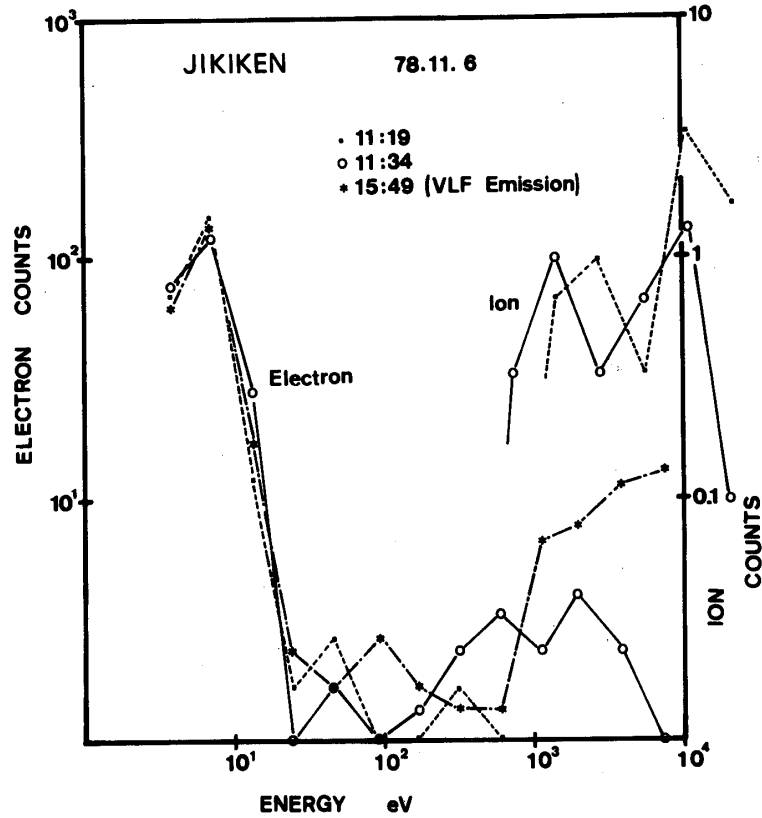


図33. ESP粒子フラックス(電子およびイオン)のエネルギースペクトル
1978年11月6日, Rev. 143, L = 5~8

5. おわりに

“じきけん”は昭和55年1月現在で1年以上経過していますが、一部観測機器に不具合を生じたものの、その他は順調で貴重なデータを送りつづけている。

“じきけん”はいままで衛星と同じように多くの方々の協力の上に成り立っている事は言うまでもありません。

この紙面をお借りして、関係各位に深く感射いたします。

1979年12月25日

参 考 文 献

- [1] SESノート No.79, M-3H-3号機実験報告書, 昭和53年11月.
- [2] M-3H-3号機実験計画書, 東大宇宙航空研究所SESデータセンター, 昭和53年9月.
- [3] M-3H-3/EXOS-B号機実験報告書, 東大宇宙航空研究所SESデータセンター, 昭和53年9月.
- [4] 第6号科学衛星「じきけん」による観測報告, 東大宇宙航空研究所, 1979年3月.
- [5] 科学衛星用電源システムのUVC機能, 科学衛星シンポジウム 昭和51年度.
- [6] 第6号科学衛星用データプロセッシングユニット, 電子通信学会総合全国大会 昭和51年度.
- [7] EXOS-B用太陽電池のConductive Coating, 科学衛星シンポジウム 昭和52年度.