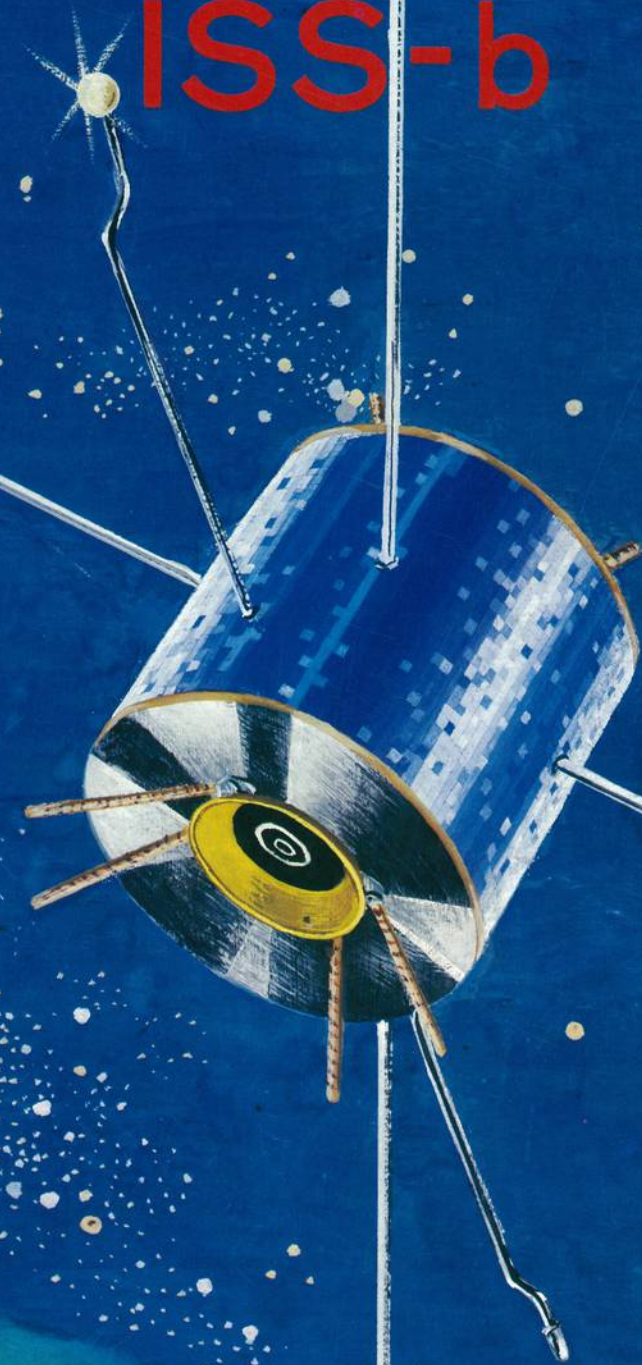


# 電離層觀測衛星

## ISS-b



郵政省電波研究所

〒184 東京都小金井市霞井北町4丁目2-1  
電話 (0423) 21-1211(代)



私達が住んでいる地球周辺の環境を調べるために約20年前に世界の国々が協力して地球・海洋・大気・電離層などの観測を行いました。これが国際地球観測年（1957～1958）ですが、このとき人類最初の人工衛星計画が登場しスプートニク（1957年）やエクスポローラー（1958年）の誕生となりました。

宇宙開発の進歩により宇宙はいろいろの分野で利用されつつあります。人間生活に関係の深い地球環境を人工衛星で調べるのも一つの有効な宇宙利用の方法です。こゝで紹介いたします電離層観測衛星—ISS（Ionosphere Sounding Satellite）はこの分野に属する衛星であり、通信・放送等に利用されている電波の伝わり方に影響を及ぼす電離層の状態や地球周辺を飛び交う電波の状態を地球規模で調べることにより、電波の有効利用に役立たせるのが役目です。

## 目 次

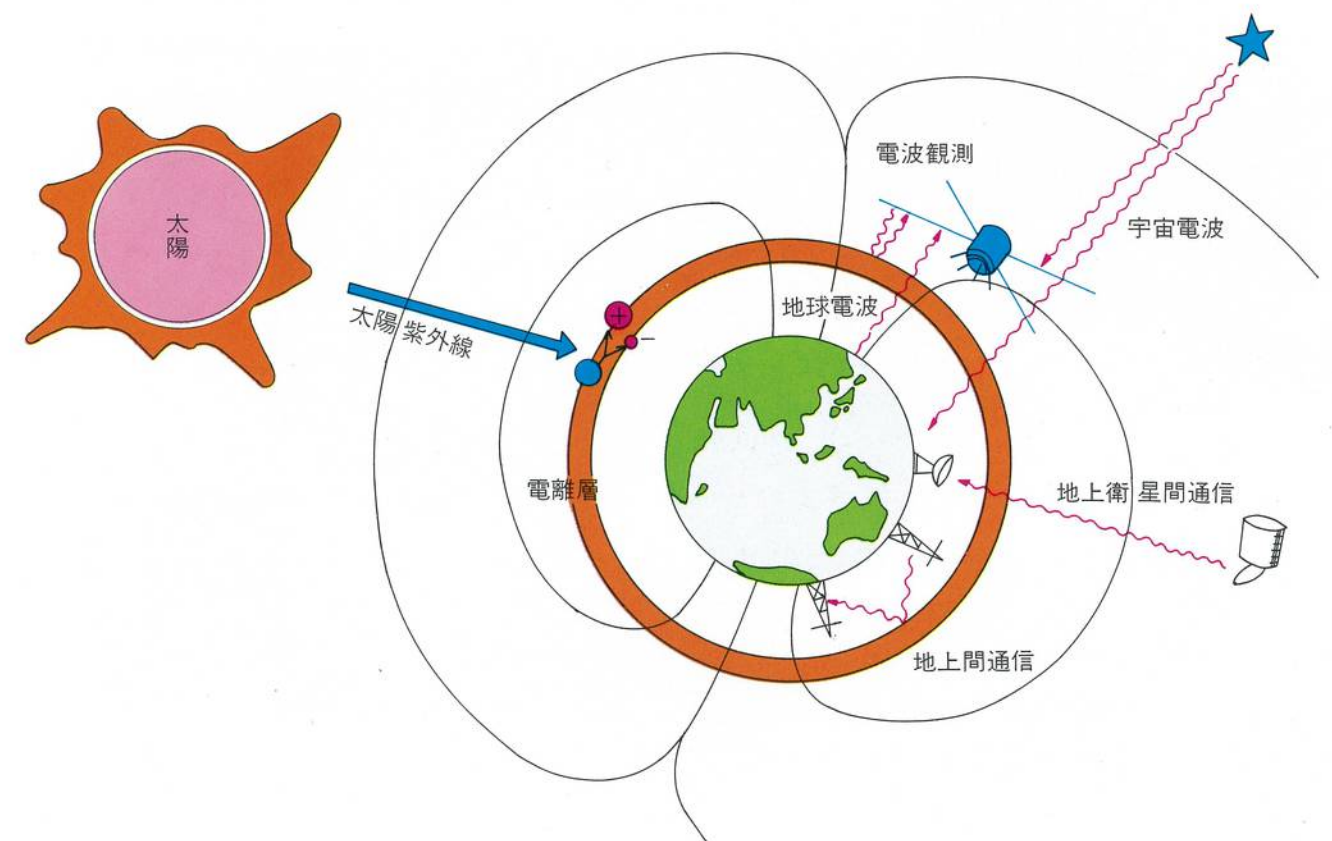
電離層と電波	1
ISS計画	2
ISS-bの概要	3
電離層の電波観測(TOP)	6
電波雑音の観測(RAN)	7
プラズマの観測(RPT)	8
イオン組成の観測(PIC)	9
ISS-bの運用	10
地上施設	12
衛星データの利用	13

# 電離層と電波

## ●電離層

地球の大気を構成している酸素とか窒素の粒子は太陽からの紫外線の照射を受けて電気を帯びた粒子（イオンと電子）に分解します。この現象を電離と呼んでおり、電離を起こすことができる波長の短い太陽紫外線は地上から数十kmの高度まで侵入して

くると地球大気によって吸収されてしまいます。電離によって作り出される電気を帯びた粒子は地上高度数十kmから上の領域に集まって地球を取り巻く電離層を形成します。高度約300kmに最も密度の濃い層が作られます。



## ●電離層と電波

電離層の中を電波が伝わる時に、電気を帯びた粒子特に軽い方の電子が電波と作用し合って電波の伝わり方に影響を与えます。

地上から放射される電波あるいは電離層の外からやってくる電波には、電離層で反射されるものと電離層を突き抜けるものがあります。電離層で反射される電波は地上間通信に利用され、電離層を突き抜ける電波は地上・衛星間通信や宇宙電波の地上観測または地球電波の衛星観測に利用されます。

電波が電離層で反射されるかあるいは電離層を突

き抜けるかは、電波の周波数とそのときの電離層の電子密度の関係で決まります。電離層の電子密度は地球上の場所や昼夜、季節、太陽の活動状態によって複雑に変化しますので、実際に観測をする必要があります。電離層の世界分布を観測するには人工衛星を利用するのが有効です。

ISS-bは、電波の周波数を変化させながら電離層による電波の反射状態を調べる観測や雷放電に伴う空電雑音、宇宙電波雑音の状態を調べる観測及び電離粒子の観測を行います。



# ISS計画

ISS計画は郵政省、科学技術庁及び宇宙開発事業団（NASDA）が協力して推進するプロジェクトです。

衛星の開発は、昭和42年度に郵政省電波研究所において着手され、昭和43年度からプロトタイプの製作が開始されました。昭和44年10月に宇宙開発事業団が発足し、これに伴ってISSプロトタイプの製

作は各種試験設備とともに宇宙開発事業団に継承されました。

昭和43年8月に発足した宇宙開発委員会は、昭和45年度の宇宙開発計画を決定した際にISSを昭和50年度にNロケットにより打ち上げることとしました。電波研究所では昭和44年度からISS利用のための地上施設の整備を開始しました。



ISS「うめ」の打ち上げ。  
昭和51年2月29日、  
日本時間12時30分、  
種子島宇宙センター。

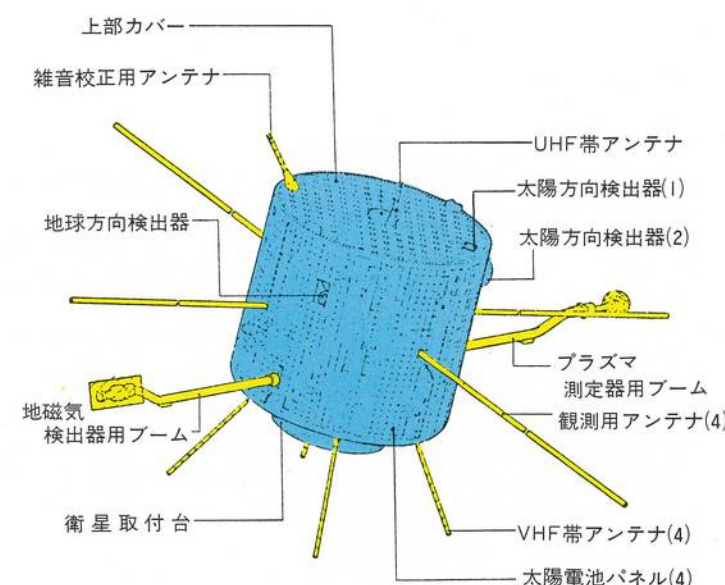
昭和51年2月29日12時30分日本時間にISSは宇宙開発事業団種子島宇宙センター大崎射場からNロケットにより予定どおりの軌道に打ち上げられ、愛称「うめ」と命名されました。打ち上げ後の初期運用は順調に進行しましたが、約1か月後に電源系に不

具合が発生し衛星機能が停止してしまいました。直ちに不具合対策が慎重に検討され、フライトモデル予備機に改良が加えられ「ISS-b」として昭和53年2月16日に宇宙開発事業団種子島宇宙センターからNロケットにより打ち上げられました。

# ISS-bの概要

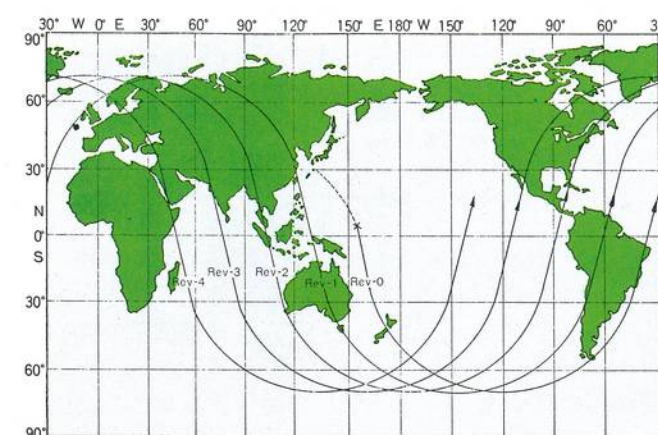
## ● 外観

ISS-bは円筒形の構体を持ち、その側面には約5,000枚の太陽電池素子（2cm×2cm）が取り付けられており、構体には長さ約1mのブームが2本と2組の電波観測用アンテナ（全長36.8m、11.4m）及び上部カバーにUHF帯アンテナ、雑音校正用アンテナ、下部カバーにVHF帯アンテナが取り付けられている。衛星打ち上げ後、ブームの展開及び観測用アンテナの伸展が地上からのコマンドにより行われます。



ISS-bの外観

ISS-bの予定軌道



## ● 軌道

ISS-bの軌道は高度約1,100kmの円軌道で、地球を一周するのに要する時間は約107分です。衛星の軌道面と地球の赤道面との傾斜角は約70°です。つまり衛星は地球の南北緯度70°の間を飛翔します。衛星の軌道面と太陽方向との相対的な位置関係は1日に約3°ずつ軌道面が西方に移動します。

## ● 観測

ISS-bは電離層及び電波雑音の世界分布状態を観測して、電波の有効利用に必要な資料を得ることを目的としており、次の4種類の観測を行います。

1. 電離層の電波観測（TOP：Topside Sounding）
2. 電波雑音の観測（RAN：Radio Noise Measurement）
3. プラズマの観測（RPT：Plasma Measurement by Retarding Potential Trap）
4. イオン組成の観測（PIC：Positive Ion Composition Measurement）

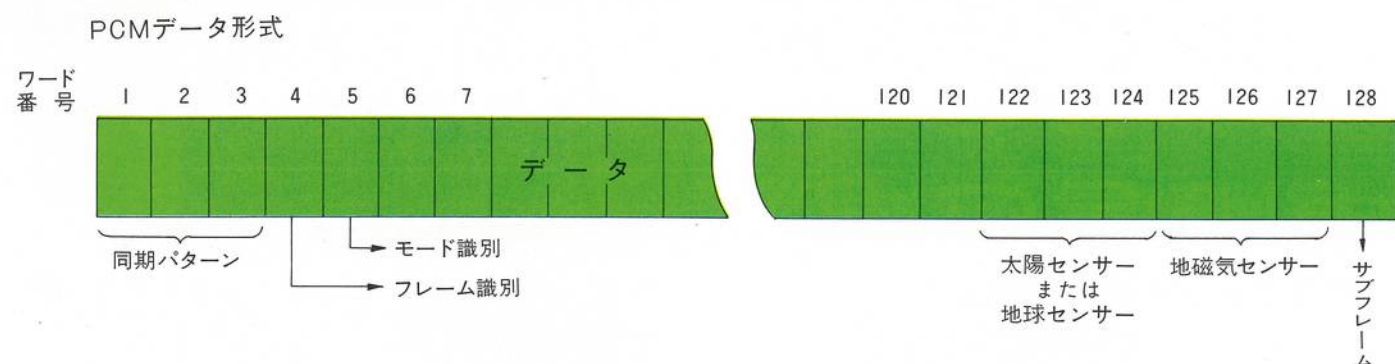


## ●運用モード

ビーコンモード	衛星での観測及びデータ伝送は行われず、無変調のビーコン電波が送信されます。	
観測モード	実時間観測	観測PCMデータを1,024ビット/秒で実時間伝送します。
	正規観測	観測データを最高115分までテープレコーダに記録し、コマンドにより26倍の速さで逆回し再生して26,624ビット/秒でデータ伝送します。
	正規・実時間	観測データをテープレコーダに記録すると同時に実時間伝送します。
チェックモード	チェック実時間	衛星環境測定PCMデータを1,024ビット/秒で実時間伝送します。
	チェック記録	衛星環境測定データを最高115分までテープレコーダに記録し、コマンドにより26倍の速さで逆回し再生して26,624ビット/秒でデータ伝送します。
	チェック記録・実時間	衛星環境測定データをテープレコーダに記録すると同時に実時間伝送します。

観測モードにおいては4種類の観測が右図の観測順序で繰り返し行われます。

正規観測及びチェック記録のときの記録開始は遅延タイマーの働きによって、コマンド指令後0周回(無遅延)、2周回(3時間半)、4周回(7時間)又は6周回(10時間半)のいずれかを選択することができます。



観測モードにおいてはデータ部分に観測データが入力され、サブフレームに衛星環境測定データが入力されます。

チェックモードにおいてはデータ部分に衛星環境測定データが入力され、サブフレームは空白となります。

ワード	8ビット/ワード
フレーム	128ワード/フレーム
サブフレーム	128フレーム

## ●ISS-b主要諸元

- 軌道** 高度: 約1,100km 傾斜角: 約70度  
形: 円 周期: 約107分
- 姿勢安定** 方式: スピン安定方式  
初期スピン率: 95.3rpm  
アンテナ伸展後スピン率: 13.7rpm
- 形状寸法** 形状: 円筒形  
直径: 約94cm  
高さ: 約82cm
- 重量** 約141kg
- 観測系**
  - 電離層観測装置(トップ・サイド・サウンダ)  
観測周波数範囲: 0.5~15MHz(100KHzステップで変化)  
送信出力: 約150W(せん頭値)  
パルス幅: 300μs  
観測対象  
イ. 臨界周波数( $f_c$ )の観測  
ロ.  $d'f$ 特性の観測
  - 電波雑音観測装置  
観測周波数: 2.5MHz 5.0MHz 10MHz 及び25MHz  
の標準電波のガード・バンド  
観測対象  
イ. 電波雑音平均強度  
ロ. 衝撃性電波雑音の発生ひん度
  - プラズマ測定器(センサによる直接測定)  
測定対象  
イ. 電子密度及びイオン密度( $10^8 \sim 10^6 \text{cm}^{-3}$ )  
ロ. 電子温度及びイオン温度(500~5000K)
  - イオン質量測定器(センサによる直接測定)  
測定対象  
イ. 正イオン質量数(1~20)  
ロ. 密度( $10^0 \sim 10^5 \text{cm}^{-3}$ )

### 6. 姿勢系

- 衛星姿勢検出装置
- 地磁気検出器(3軸)
  - 太陽方向検出器
  - 地球方向検出器

### 7. 衛星環境測定系

- 衛星環境測定装置(ハウスキーピング)
- 衛星内部・外部の温度、電源の電圧、電流、各サブシステムの動作状況など139項目

### 8. テレメトリ系

- 送信部  
周波数: 136MHz帯及び400MHz帯  
変調方式: PCM/PM(バイフェーズ・レベル)  
伝送速度: 1,024ビット/秒(実時間観測時及びチェックモード時)  
26,624ビット/秒(再生時)  
送信電力: 再生、実時間観測 1W(136MHz)  
及びチェックモード 0.7W(400MHz)  
ビーコン・モード 0.1W(136MHz)  
0.07W(400MHz)
- テープレコーダ  
入出力チャンネル数: 1チャンネル  
記録時間: 連続115分  
再生時間: 約270秒  
入出力信号形式: バイフェーズ・レベル  
ビットレート: 1,024ビット/秒(記録時)  
26,624ビット/秒(再生時)

### 9. コマンド系

- 受信機部  
周波数: 148MHz帯
- デコーダ部  
符号形式: 6トーン(アドレス2、エクゼキュート4)  
4バースト符号・AM  
指令項目: 64項目+8項目(切換重複使用)

### 10. アンテナ系

- 観測用アンテナ、2組(全長、36.8m、11.4m)
- テレメトリ・コマンド用VHF帯アンテナ1組(ターン・スタイル)
- テレメトリ用UHF帯アンテナ1組
- 雑音校正用アンテナ1組

### 11. 電源系

- 太陽電池、2×2cm 4,940枚, N on P  
出力約60W
- 蓄電池、ニッケル・カドミウム蓄電池容量5AH
- 電力制御器、コンバータ、接合回路など

### 12. 熱制御系

受動形

### 13. 構 体

シェル及びハニカム・サンドイッチ構造

### 14. 設計寿命

打ち上げ1.5年後の残存確率: 70%以上

### 15. 打ち上げ

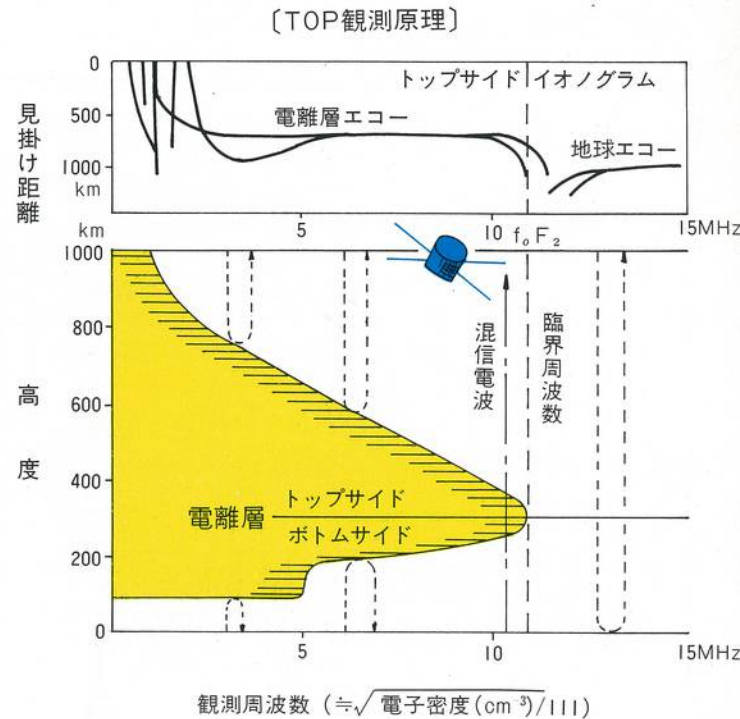
- ロケット: Nロケット(3段式)
- 打ち上げ場所: 種子島宇宙センター



# 電離層の電波観測(TOP)

## ●TOP観測原理

衛星にとう載した電離層観測装置(トッサイド・サウンダー)からパルス状の電波を周波数を変えながら発射し、反射エコー電波を再び衛星で受信します。反射エコーは周波数によって電離層で反射されるものと電離層を突き抜けて地表で反射されるものとがあります。電離層で反射されるもののうちで最も高い周波数を臨界周波数と呼び、これは短波通信の最高使用周波数を知る上で重要なデータであります。衛星でパルス状電波を発射してから、反射エコーを衛星で受信するまでの時間を見掛けの距離で表わし、周波数と見掛けの距離の関係を示すデータをトッサイド・イオノグラムと呼んでいます。



## ●TOP観測項目

TOP観測はTOP-AとTOP-Bの2種類の観測を行います。

TOP-A (世界で初めての観測方式です)

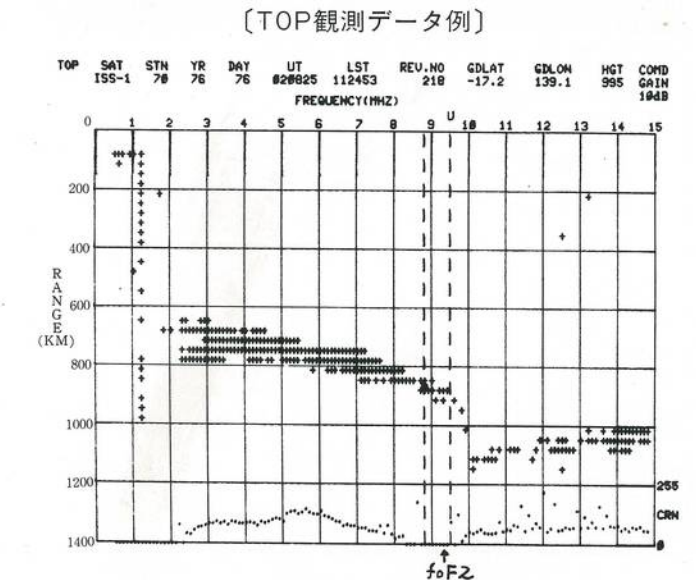
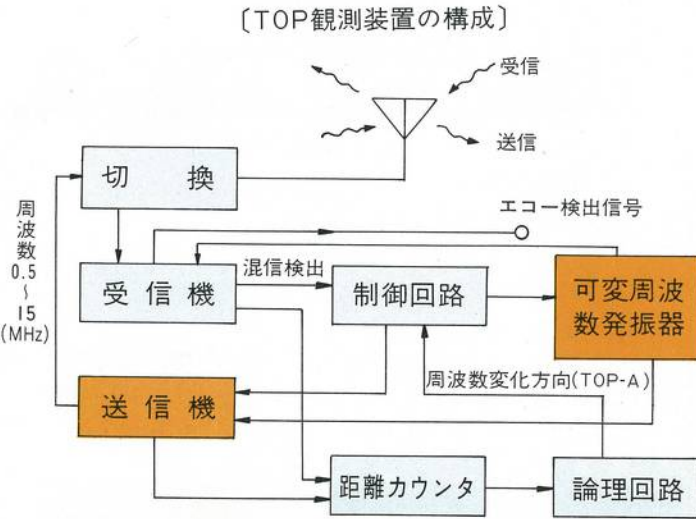
1. 最低混信周波数の検出
2. 臨界周波数の論理判定

TOP-B

1. 周波数対見掛けの距離
2. 宇宙電波雑音及び混信電波のスペクトル

## ●TOP観測装置諸元

周波数範囲	0.5～15MHz
混信検出周波数ステップ	12.5kHz
送信周波数ステップ	100kHz
送信パルス幅	300μsec
パルスせん頭出力	約150W
パルス繰り返し	64Hz(TOP-A)、9Hz(TOP-B)
利得制御(減衰)	0、5、10、15dB
エコー距離分解能	35.0km(TOP-A)、33.3km(TOP-B)



# 電波雑音の観測(RAN)

## ●RAN観測原理

通信における主要な雑音源である雷放電の発生ひん度の世界分布を求め、また電離層でしゃ蔽されて地上では観測することのできない周波数帯の太陽・宇宙電波雑音を観測します。地表からの人工雑音による混信を避けて、雷放電の検出感度を高めるために 短波帯標準電波の保護周波数帯内で標準電波の周波数を避けた受信周波数を設定しています。4種類の周波数チャンネルを用いており、TOP観測からの臨界周波数と比較することにより、電離層の反射、屈折の効果を考えることで、雷放電発生源の位置をある程度の範囲で決めることができます。

## ●RAN観測項目

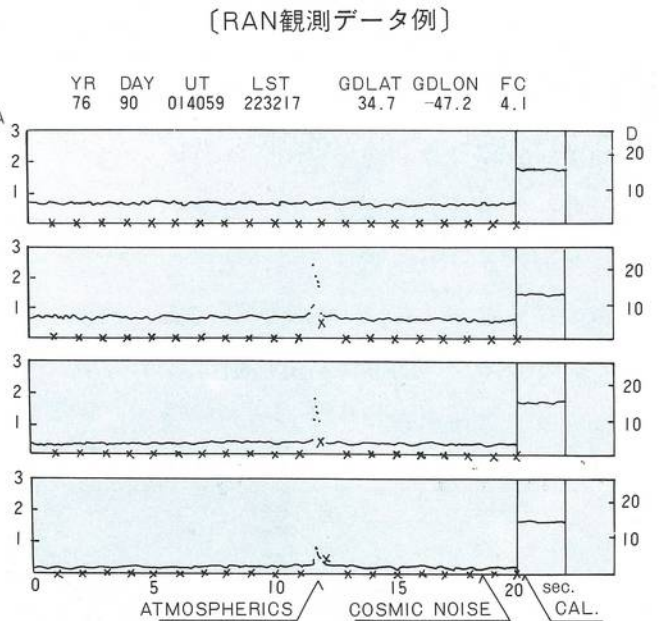
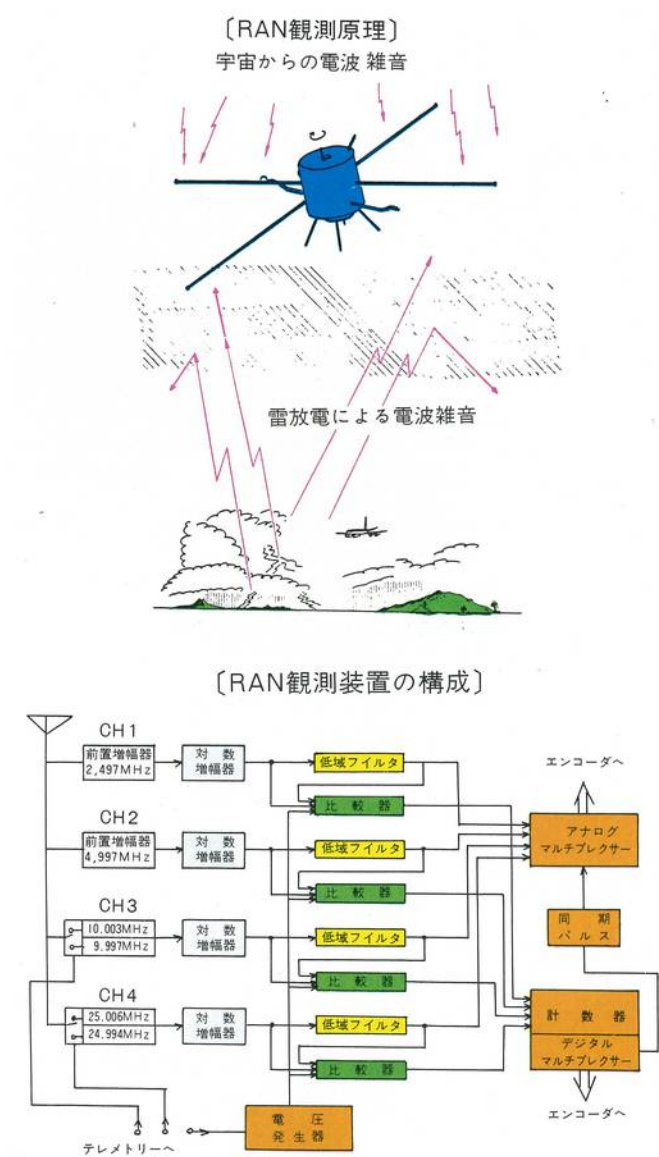
RANの観測項目は各周波数チャンネルについて次の通りです。

1. 電波雑音の平均強度
2. 衝撃性電波雑音の発生ひん度

## ●RAN観測装置諸元

狭帯域受信機動作範囲 -120dBm～-60dBm  
周波数チャンネル特性

	Frequency (MHz)	Band Width (KHz)	Slice Level (dB)
CH. 1	2.497	1.250	15 / 20
CH. 2	4.997	1.380	15 / 20
CH. 3	9.997	1.260	15
CH. 4	24.994	2.000	15





# プラズマの観測(RPT)

## ●RPT観測原理

衛星の構体から突き出ているブームの先端にプラズマ測定用の球形RPTセンサーが取り付けられています。センサーは外側からそれぞれ直径10cmと6cmの2個の球形グリッドG<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>と中心部の直径2cmのコレクターCからできています。コレクターCには-11Vの負の直流電圧を加えておき、グリッドを通過するイオンだけを捕集します。グリッドG<sub>1</sub>には負から正に掃引する鋸歯状波電圧を加え、電子だけを捕集します。G<sub>1</sub>には更に周波数925Hzの正弦波電圧を重ねてイオン交流電流成分を測定します。グリッドG<sub>2</sub>には-38Vの負の直流電圧を加え、コレクターからの光電子、二次電子の放出を防ぎます。電子及びイオンの電流-電圧特性データを地上で解析してプラズマの密度、温度を決定します。

## ●RPT観測項目

電子直流電流、イオン直流電流、イオン交流電流(925Hz)、イオン交流電流(1850Hz)の4種類の観測を2秒間ずつ行い、次のプラズマ諸量を観測します。

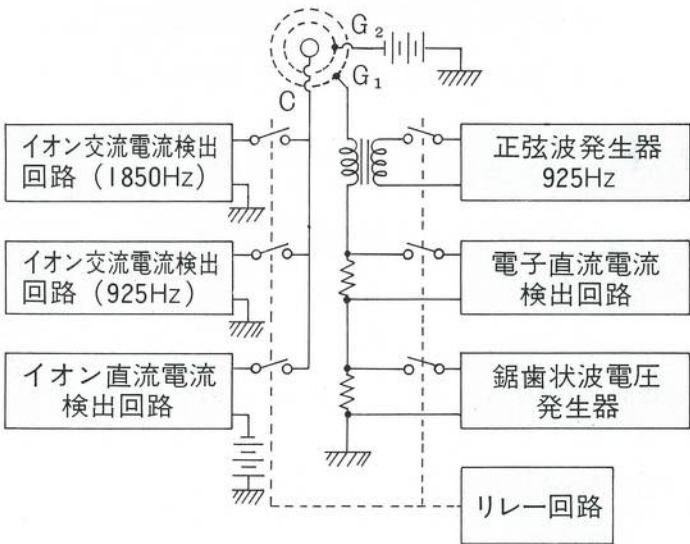
- 1. 電子及びイオンの密度(10<sup>3</sup>~10<sup>6</sup>cm<sup>-3</sup>)
- 2. 電子及びイオンの温度(500~5000K)

## ●RPT観測装置諸元

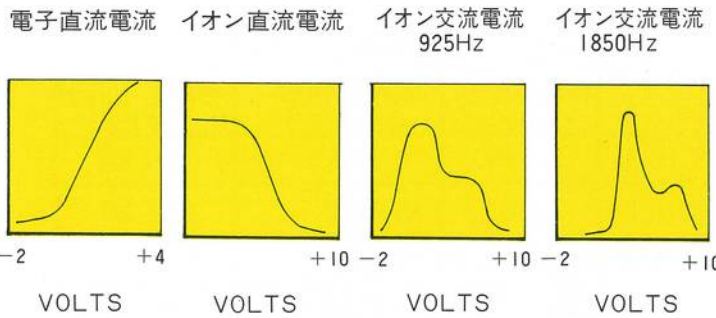
- センサーコレクター電圧 -11V
- センサーグリッドG<sub>2</sub>電圧 -38V
- センサーグリッドG<sub>1</sub>電圧 鋸歯状波電圧 -2V~+4V、-2V~+10V
- 正弦波電圧 200mVp-p(925Hz)
- プローブ電流検出範囲 右表のとおり



RPTセンサー  
〔RPT観測装置の構成〕



〔測定電流波形〕



測定	G <sub>1</sub> 電圧 (ボルト)	プローブ電流検出範囲(アンペア)			
		LI	HI	Lh	Hh
電子 DC	-2~4	5×10 <sup>-8</sup> ~5×10 <sup>-4</sup>	5×10 <sup>-7</sup> ~5×10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-7</sup> ~5×10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-8</sup> ~5×10 <sup>-3</sup>
イオン DC	-2~10	4×10 <sup>-9</sup> ~4×10 <sup>-6</sup>	4×10 <sup>-9</sup> ~4×10 <sup>-7</sup>	4×10 <sup>-9</sup> ~4×10 <sup>-7</sup>	4×10 <sup>-10</sup> ~4×10 <sup>-6</sup>
イオン 1F-AC	-2~10	4×10 <sup>-9</sup> ~4×10 <sup>-7</sup>	4×10 <sup>-10</sup> ~4×10 <sup>-8</sup>	4×10 <sup>-10</sup> ~4×10 <sup>-8</sup>	4×10 <sup>-11</sup> ~4×10 <sup>-8</sup>
イオン 2F-AC	-2~10	4×10 <sup>-10</sup> ~4×10 <sup>-8</sup>		4×10 <sup>-11</sup> ~4×10 <sup>-9</sup>	

H.L 高・低感度(コマンド)、h.l 高・低感度(エンコーダ)

# イオン組成の観測(PIC)

## ●PIC観測原理

衛星の上部カバーおよび下部カバーの中心にイオン取り込み窓がくるように2個のPICセンサーが取り付けられています。PICセンサーはベネット型と呼ばれるイオン質量測定器で、15枚の円形グリッドの電圧を適宜調節して特定の質量をもつイオンだけが選別されてチャンネルトロンでその粒子流量が検出されます。

衛星の周辺にあるイオンは捕捉電圧により取り込まれ、階段波加速電圧でイオンを加速したのち、高周波電圧及び減速電圧が加えられます。階段波加速電圧を掃引することによって選別されるイオンの質量が順次変化してゆきます。高度1,000km附近に存在する主なイオンの種類はH<sup>+</sup>(水素イオン)、He<sup>+</sup>(ヘリウムイオン)、N<sup>+</sup>(窒素イオン)、O<sup>+</sup>(酸素イオン)で、これらのイオン組成が観測されます。

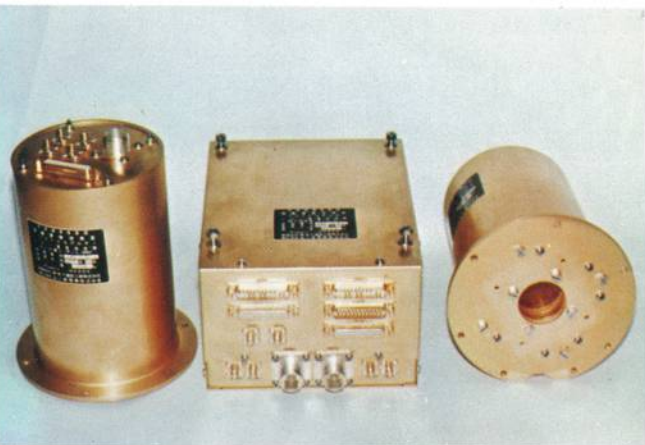
## ●PIC観測項目

印加する高周波電圧の周波数と減速電圧の組合せにより4種類の観測を2秒間ずつ行い、電離層のイオン質量スペクトルを観測します。

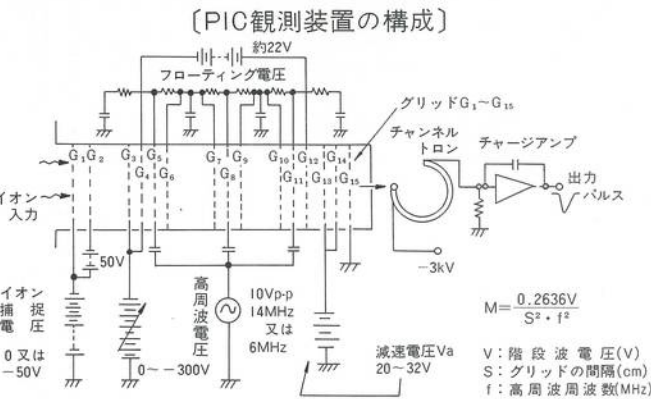
## ●PIC観測装置諸元

PICイオン質量測定器の主要諸元は次表のとおりです。

分析管	3段5-3サイクルベネット管	加速電圧	0~299掃引
質量範囲	1~20AMU	減速電圧	20~32V(コマンド)
グリッド間隔	0.3cm	捕捉電圧	(0,-50V)、(-50,-100V)(コマンド)
RF周波数	14MHz、6MHz	計数率	200Hz~1.3MHz
RF電圧	10Vp-p	消費電力	6W



PICセンサー



	TOP-A	TOP-B	PIC	RAN	RPT
	8秒	16秒	8秒	24秒	8秒
RF周波数	14MHz		6MHz		
減速電圧	Va	Vb	Va	Vb	
2 テレメトリ フレーム					
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	-----	



## ISS-bの運用

### ●初期運用

衛星打ち上げ後衛星機能の動作を確認するために宇宙開発事業団が担当して約60日間の初期運用を実施します。衛星の軌道・姿勢の決定、ブームの展開、観測用アンテナの伸展、及び観測装置の動作試験などを行います。衛星の追跡管制は増田、勝浦及び沖縄の各追跡管制所で、軌道・姿勢データ及び衛星環

環境測定（ハウスキーピング）データの解読による衛星状態の監視は筑波宇宙センター中央追跡管制所でそれぞれ行われます。

電波研究所では初期運用を支援するため鹿島支所でのデータ受信（テレメトリー）及び本所での観測データの評価確認を行います。



### ●定常運用

初期運用完了後、本格的に観測を行なうために電波研究所が担当して定常運用を実施します。衛星へのコマンド送信、衛星データのテレメトリ受信および衛星動作状態監視は鹿島支所管制センターにおいて行われます。衛星運用計画案の作成及び観測データの処理解析は電波研究所本所において行われます。定常運用においては電離層及び電波雑音の世界分布観測を行うために観測データをテープレコーダに記

録する正規観測を主体に運用されます。鹿島支所管制センターでは1日当り衛星4周回分の観測データを受信し、マイクロ回線経由でデータを本所に実時間伝送します。電波研究所各電波観測所では地上からの電離層観測を衛星観測と協力して行います。

宇宙開発事業団では衛星の軌道・姿勢決定及び衛星機能を維持するための管制を行います。

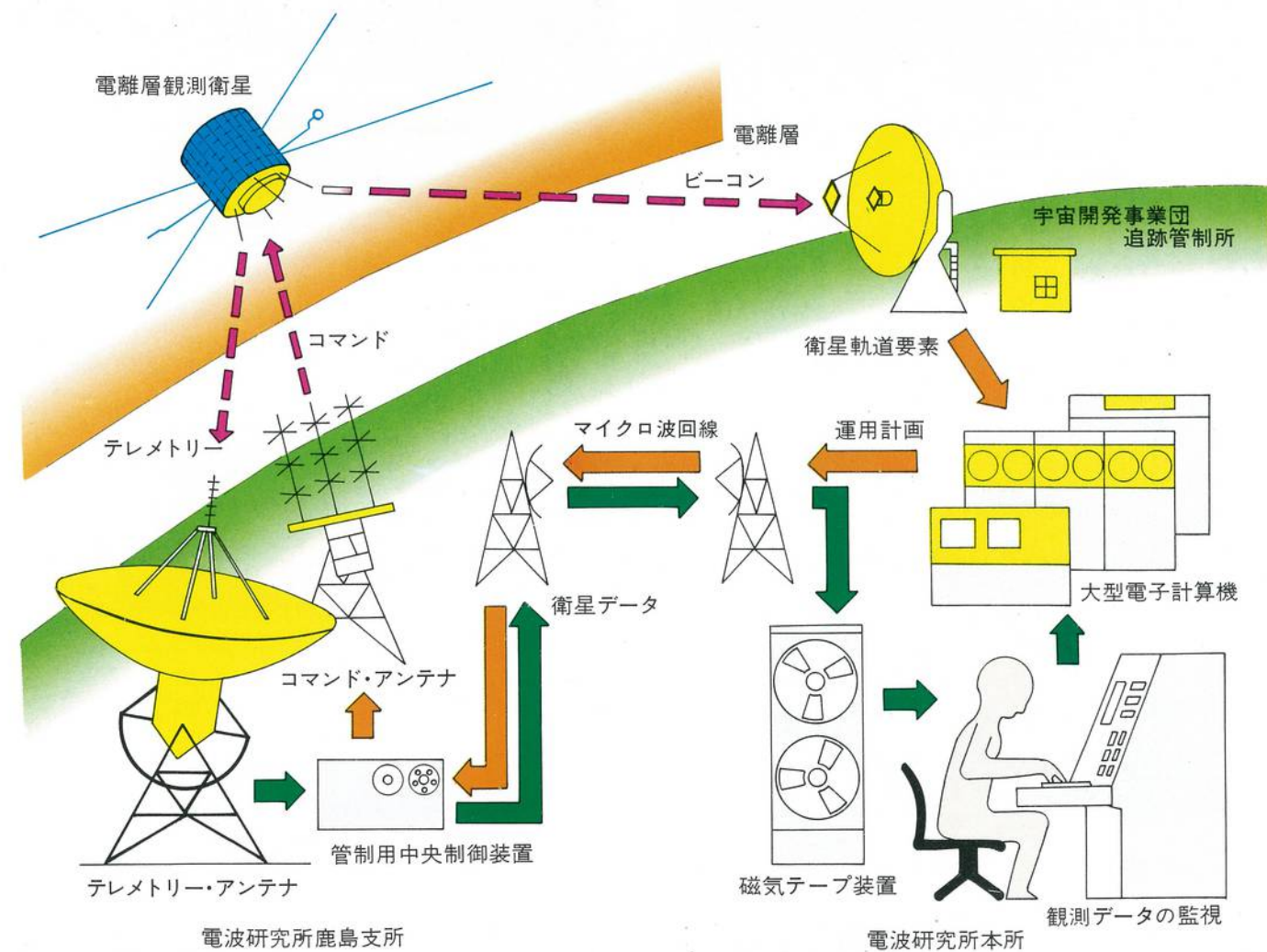
## ●運用システム

電波研究所における ISS-b の運用システムは鹿島支所の ISS 管制システム、本所の ISS 研究運用システム及び通信連絡システムとからなっています。

宇宙開発事業団による衛星追跡管制から得られる

衛星軌道要素を用いて、本所において宇宙開発事業  
団と協議の上 ISS-b の運用計画を作成します。

1週間分のISS-b運用計画は鹿島支所ISS管制システム中央制御装置に記憶され、コマンド・テレメトリーなどの衛星管制が自動的に行われます。



運用システム図

鹿島支所で取得された衛星データはマイクロ波回線  
 経由で本所に実時間伝送され本所側の磁気テープ装  
 置に自動的に記録されます。

本所においては取得データを即刻処理して観測データの監視を行うとともに速報データとして電波警報資料に利用します。

衛星データは段階を経て処理・解析され、電離層および電波雑音の世界分布図となり電波予報資料として利用します。

ISS-bの利用による国際協力計画が進められており、カナダでISS-bのコマンド・テレメトリーを行うことになっています。



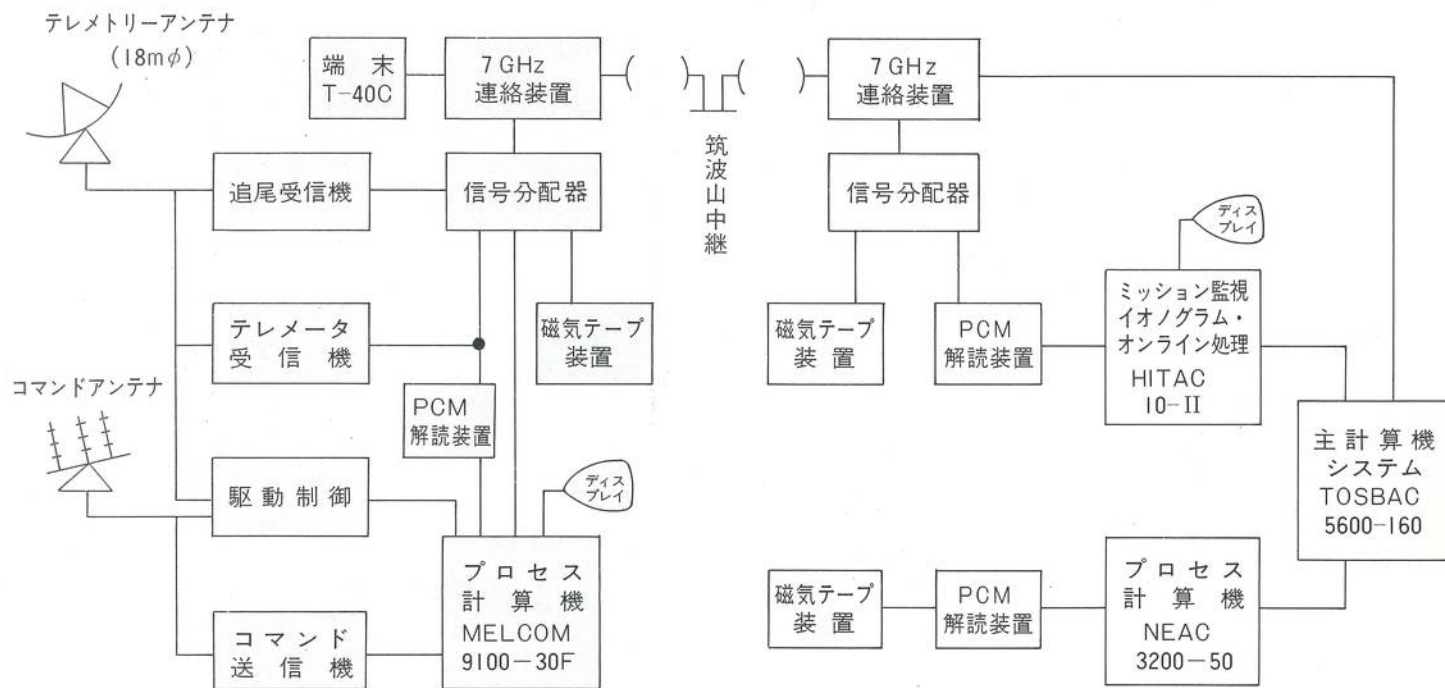
# 地上施設



鹿島支所 管制センターと受信アンテナ



本所 衛星データ処理解析装置



鹿島支所 ISS管制システム

本所 ISS研究運用システム



鹿島支所 管制センター内部



本所 主計算機システム

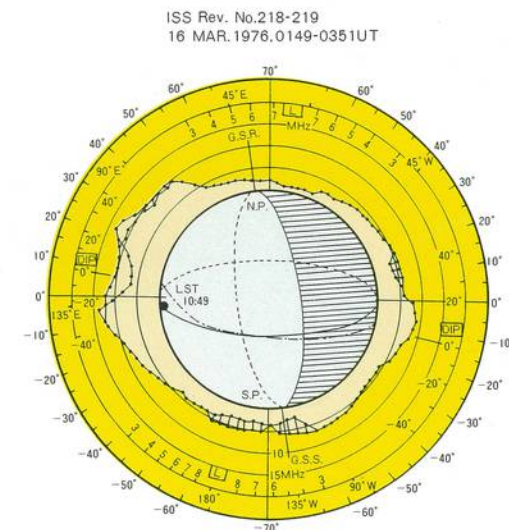
# データの利用

短波帯の電波は電離層と地表の間を何回も反射しながら非常に遠方まで伝わりますから、短波の利用は遠隔地の通信や放送などにとって経済的で簡易な情報伝達手段と言えます。しかし、電波の反射鏡である電離層の状態や通信に妨げとなる電波雑音の状態は世界中の場所によって異なりますし、また、時間的にも複雑な変化をします。これらの状態をできるだけ早く適確には握して通信の利用者に警報を出したり、また、これらの状態を予知して利用者に予報することが必要となります。

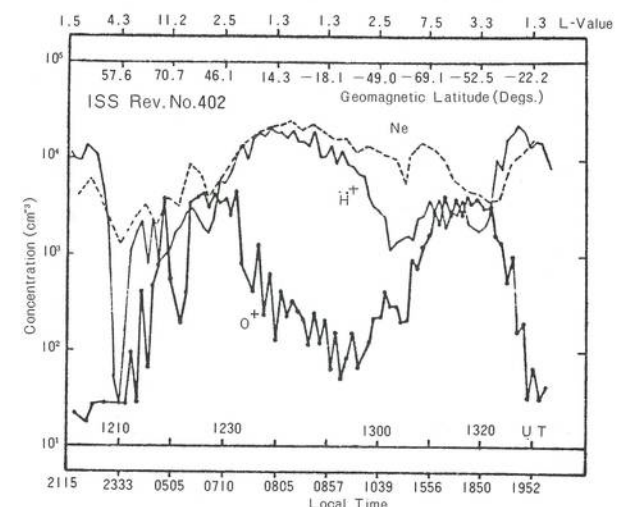
当所の役目の一つとして、このような電波警報や電波予報の仕事があります。これらの仕事の基になる観測データは、従来、地上に限られた場所では得られなかったのですが、ISS-bを利用することによって、地球表面の約2/3を占める海洋や極域、人口稀薄地域など地上からの観測が難しい場所についても観測データを得ることができます。ISS-bは約107分で地球を一周し観測データを私たちに提供してくれますし、また、日本を通る軌道だけでなく、各経度を通る軌道上で観測することができますので、世界中の電離層及び電波雑音についてのデータを集めてくれます。

鹿島支所で受信された衛星データは本所に送られ処理・解析されて、右上図のようなデータが毎日電波警報用データとして平磯支所に伝送されて利用されます。また、これらのデータを集めて一週間ごと

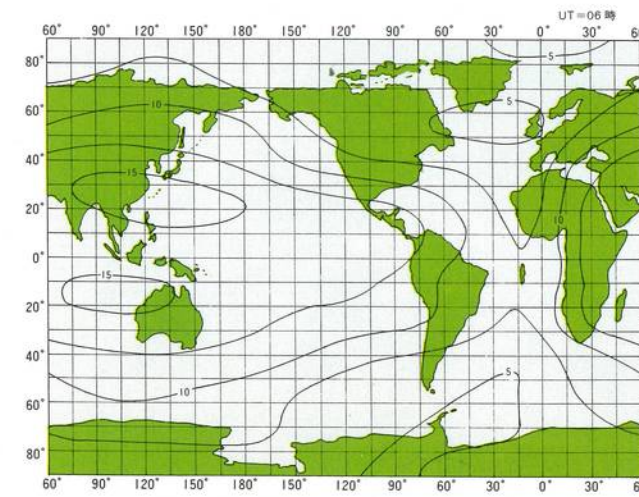
の短期電波予報に利用されるほか、長期間集められたデータから約2ヵ月ごとに電離層及び電波雑音の世界分布図が作成されます。これらの世界分布図は長期電波予報の資料として利用されます。



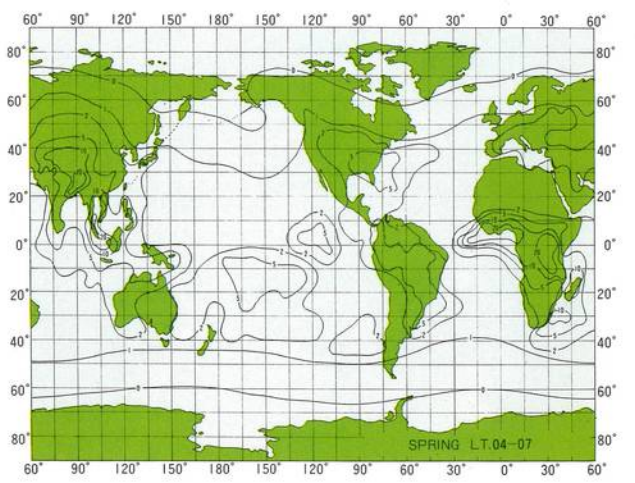
電離層臨界周波数の地球周回分布 (ISS「うめ」)



電子密度、イオン組成分布 (ISS「うめ」)



電離層臨界周波数の世界分布図



雷放電発生ひん度の世界分布図