

VOYAGER 海王星最接近電波科学日米共同実験

河島 信樹¹⁾・高野 忠¹⁾・山本 善一¹⁾
水野 英一¹⁾・佐々木 進¹⁾・小山孝一郎¹⁾
広沢 春任¹⁾・西村 敏充¹⁾・橋場 孝²⁾
L. Tyler³⁾・D. Sweetnam⁴⁾

Quick Report of Japan-US Collaboration in Radio Science Experiment at Voyager-Neptune Encounter

By

N. KAWASHIMA¹⁾, T. TAKANO¹⁾, Z. YAMAMOTO¹⁾, H. MIZUNO¹⁾, S. SASAKI¹⁾
K. OYAMA¹⁾, H. HIROSAWA¹⁾, T. NISHIMURA¹⁾, T. HASHIBA²⁾
L. TYLER³⁾ and D. SWEETNAM⁴⁾

Abstract: The US-Japan collaborative radio science experiment at the Voyager-Neptune encounter was successfully carried out on August 25, 1989. The 64-meter tracking antenna at Usuda station, together with the NASA 70 meter antenna at Canberra and the Australian Parkes astronomical observatory, exhibited their full capabilities and the structure of the Neptune atmosphere, its ionosphere, Triton's atmosphere and ionosphere have been revealed for the first time.

概 要

1989年8月25日のVoyager—海王星最接近時に行われた日米共同電波科学実験は、所期の成果をうる事ができた。白田観測所の64mアンテナがその性能をフルに発揮して、米国NASAのキャンベラの70mアンテナ、オーストラリアパークス天文台と共同で海王星の大気の構造、電離層、衛星のトリトンの大気と電離層にはじめてメスをいれた。

¹⁾ 宇宙科学研究所

²⁾ 日本電子開発(株)

³⁾ スタンフォード大学

⁴⁾ NASA JPL

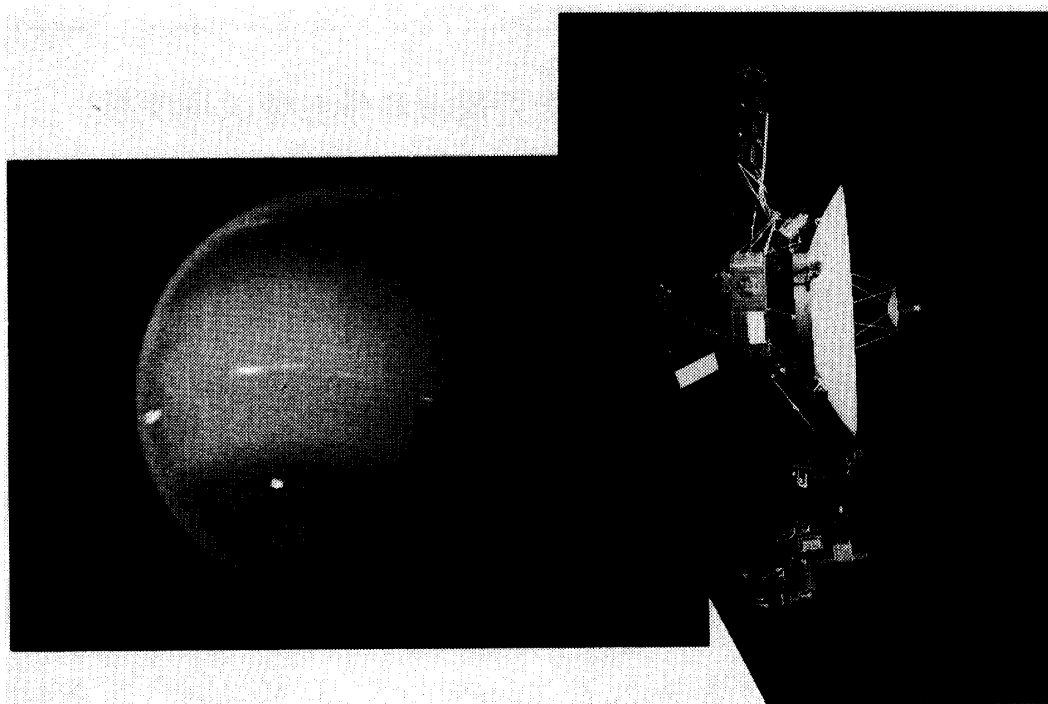


図1 Voyager 海王星探査

VOYAGER 2号は、木星をはじめとする外惑星探査の12年間の驚異的な活動の最後として、今年の8月25日に海王星に最接近して、今までの木星、土星、天王星にもまさるとも劣らない素晴らしい画像データを送ってきた(第1図)。たまたま、最接近時には、地球からは太平洋地域でしか観測できなかつたこともあって、宇宙科学研究所がNASAのジェット推進研究所と共同で電波科学実験を行なった。電波科学実験で得られる科学成果は、

1. Occultation を利用した(第2図)

惑星の大気の構造(温度、密度、組成など)

惑星の電離層の構造

リングの構造、粒子の組成

2. 軌道の精密決定による海王星の重力定数の決定

などが上げられる。

今回の探査の大きな特色として最接近距離が4,800 km と非常に近かつたので(第3図)、海王星の重力場や磁場が非常に精密に計測できることになり、このことはこれからの惑星探査の中心となるべき外惑星の内部構造に、メスを入れることができることである。

宇宙科学研究所の64mのトラッキングアンテナ(第4図)は長野県臼田町にあり、わが国最大のアンテナとしてハレー探査のときに活躍したが、世界的にもその性能はNASAの深宇宙探査ネットワーク8(Goldstone, Canberra, Madrid)キャンベラがもっている70mのアンテナと比肩する性能をもっているものである。

今回臼田で受信したVoyagerの電波は、S-バンドでこれを第5図に示したように400 MHz帯、70 MHz帯、20 MHz帯と順次down convertして周波数を20 kHzを中心とした信

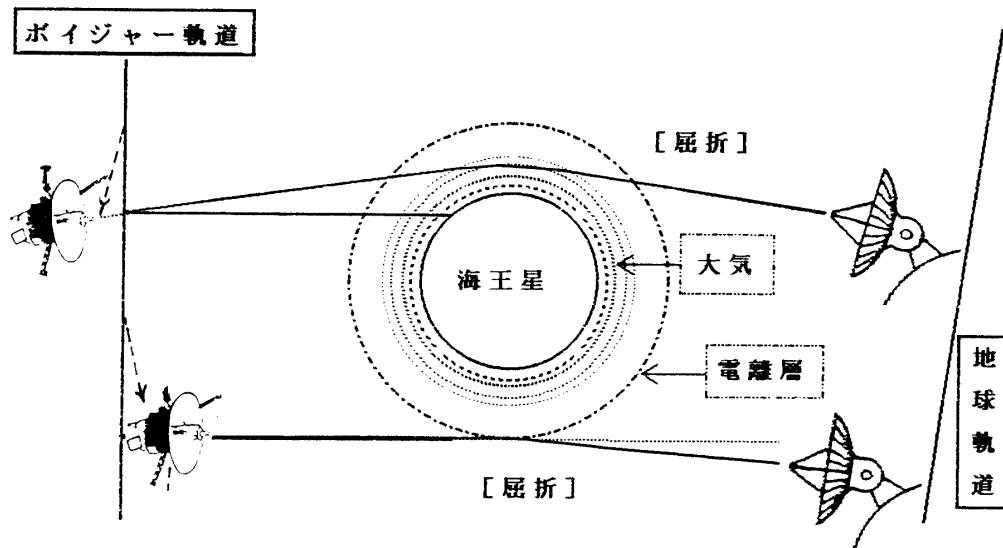


図2 Occultation 概念図

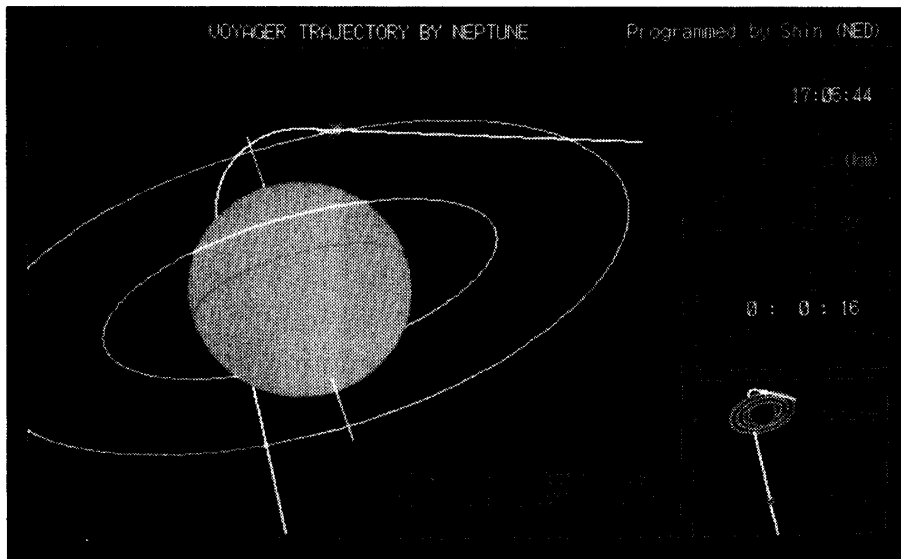


図3 Voyager 海王星オカルテーション

号に直して 80 kHz のサンプリングで A/D して第 6 図に示したデータ取得装置で MT に記録した。データ取得装置はミニコン HP1000 を中核としたもので、Voyager からの信号、時刻およびタイミング信号、予測周波数などが記録された。また、クイックルック装置は、FFT 分析装置で直接解析しこれをマイコンに取り込んで観測した。観測は日本時間 8 月 25 日 16 時 10 分から 26 日 00 時 18 分まで行なわれた。第 7 図に Voyager からの信号の強度の変化を示した。17 時 08 分に海王星の裏側に入ったところで信号はゆっくり落ち込む。信号が再び快復するのは 17 時 57 分以降でこの間約 50 分間、信号レベルはいちじるしく落ち込む。トリトンの裏側に Voyager が入ったのはそれから約 5 時間後の 22 時 45 分 29 分、突然

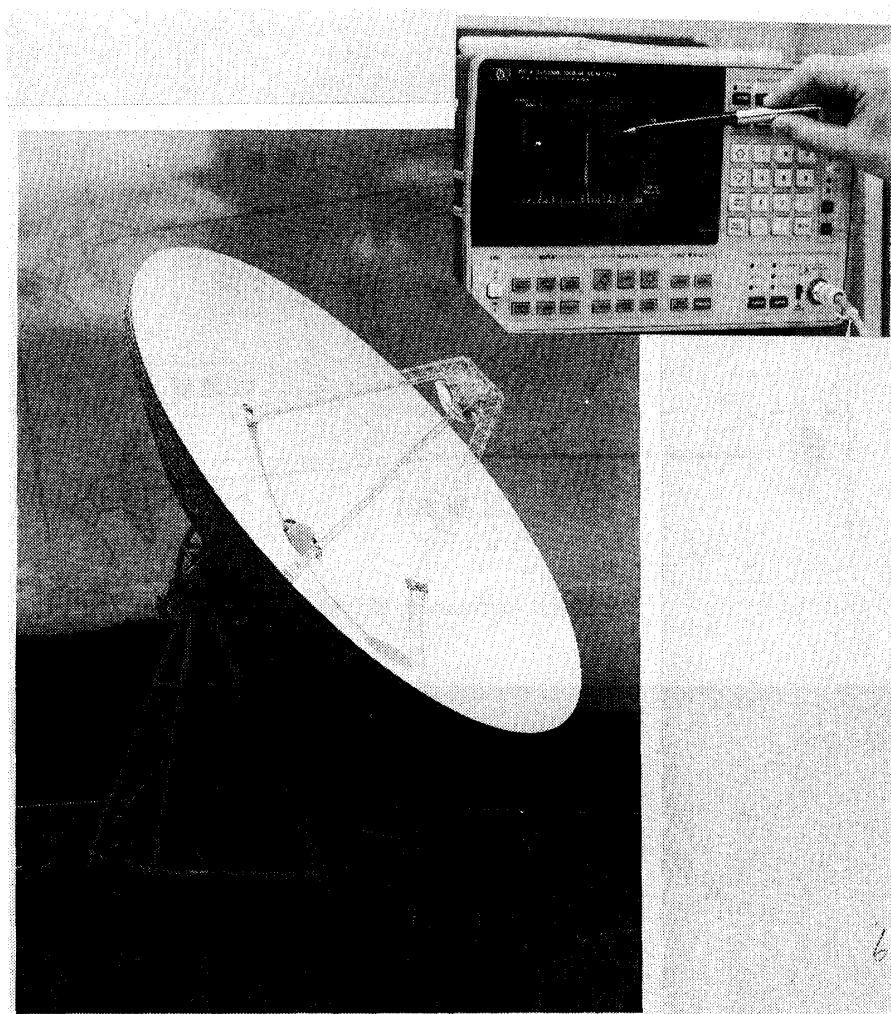


図4 長野県白田町にある文部省宇宙科学研究所の64m アンテナ

に信号は完全に雑音レベルまで落ち込み2分35秒後の22時48分4秒に信号はもとに回復した。これは、トリトンの大気が非常に薄いことを意味している。なお、トリトンのオカルテーションの3時間ほど前に日本上空の電離層による強いじょう乱が観測されている。そして、これが、トリトンのオカルテーション時にもいくらか残っている。

こうして得られたA/D信号をFFTなどで解析して大気や電離層による Doppler 周波数を出せばよいが、

実際には

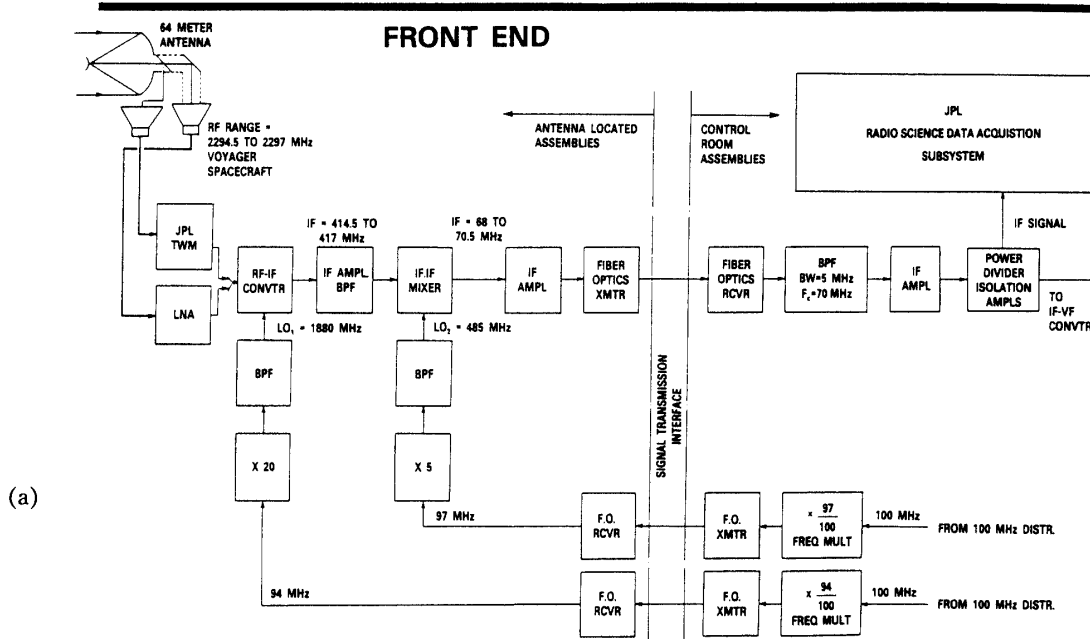
- i) データ量が大量であることと、
- ii) 余裕をみて十分に広くとってある帯域中から信号部分のみを拾い出すためにデータ圧縮と帯域圧縮を行い

さらに信号周波数が時間的に変化してことを考慮して、

- iii) 周波数の変化に追従して積分を行なう Steering の操作を行なう。

一般にデータのサンプリング時間を τ とすると単純には、周波数分解能は $1/\tau$ になる。

BLOCK DIAGRAM (1/2)



BLOCK DIAGRAM (2/2)

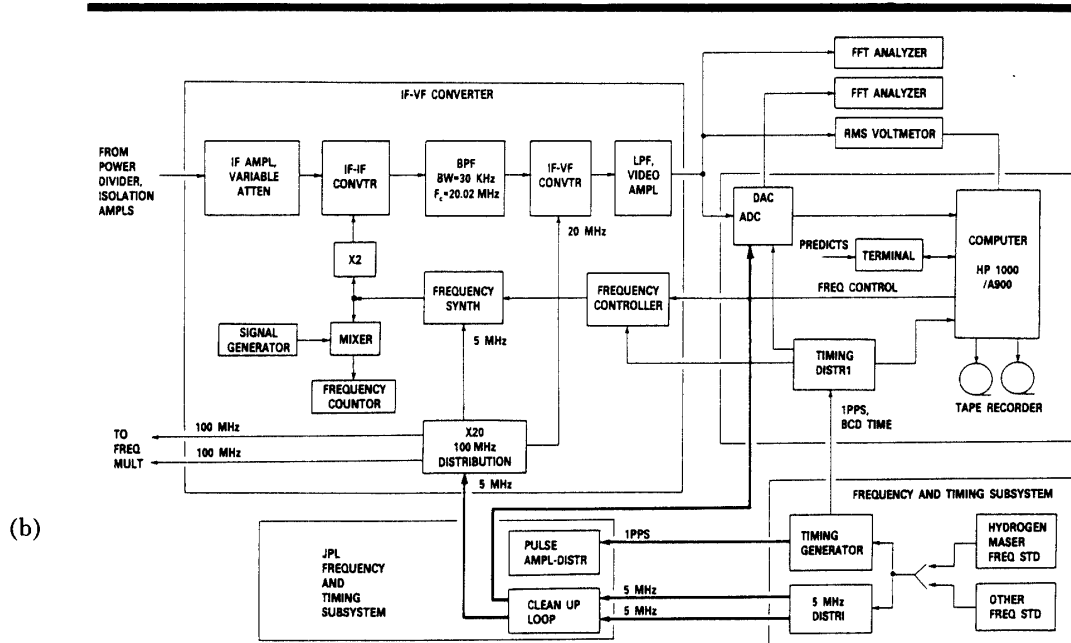
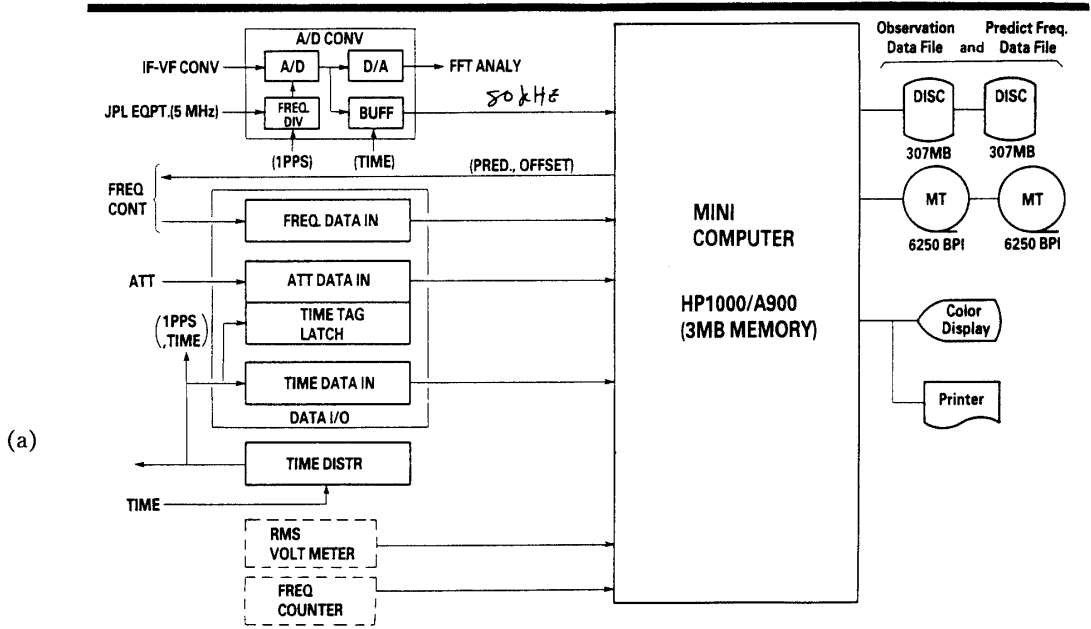


図5 オカルテーション地上計測装置ブロックダイアグラム

DATA RECORDING SUBSYSTEM FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



DATA RECORDING SUBSYSTEM SOFTWARE PROCESS FLOW

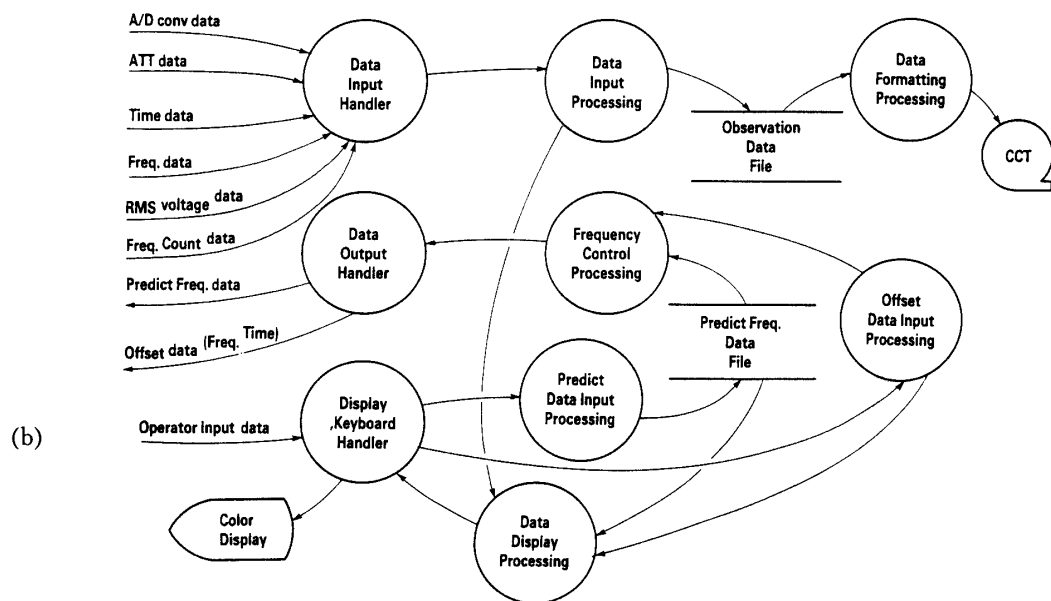


図6 データ取得系ブロックダイアグラム

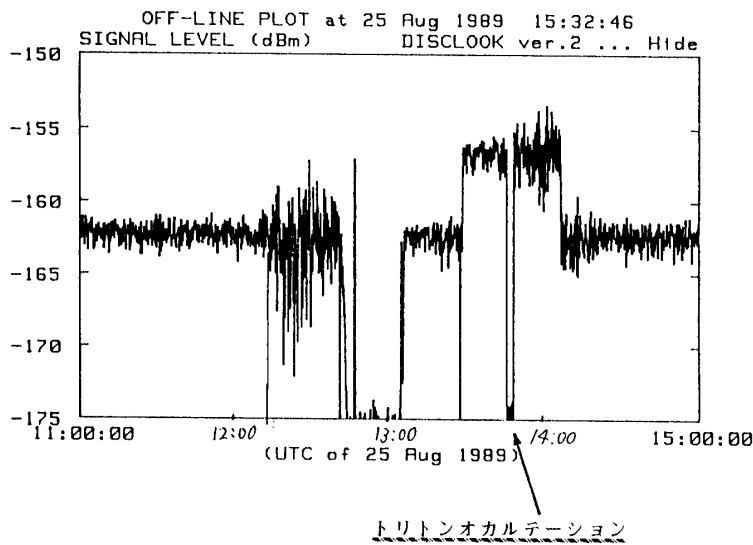
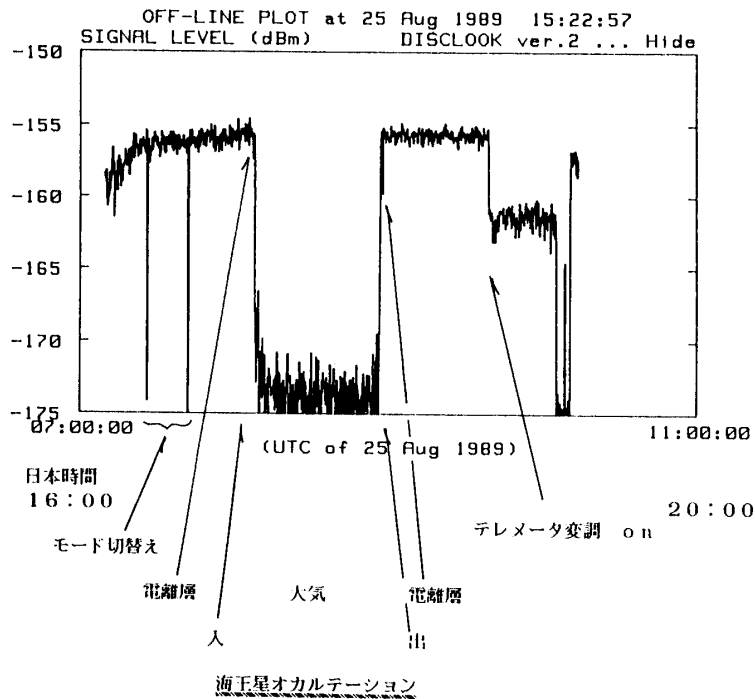


図7 オカルテーション時に取得されたボイジャーからのデータ(電波の強度)

FFTのS/Nと、この分解能を上げるためにはデータのサンプリング時間 τ を大きくしなければならないが、周波数が時間変化しているといくら τ を増やしてもS/Nは上がらない。周波数変化を予測しその変化に沿ってフーリエ変換することによつてS/Nを上げるのである。

第8図には海王星の大気によるDoppler周波数の時間変化を示す。またそれをもとに屈折

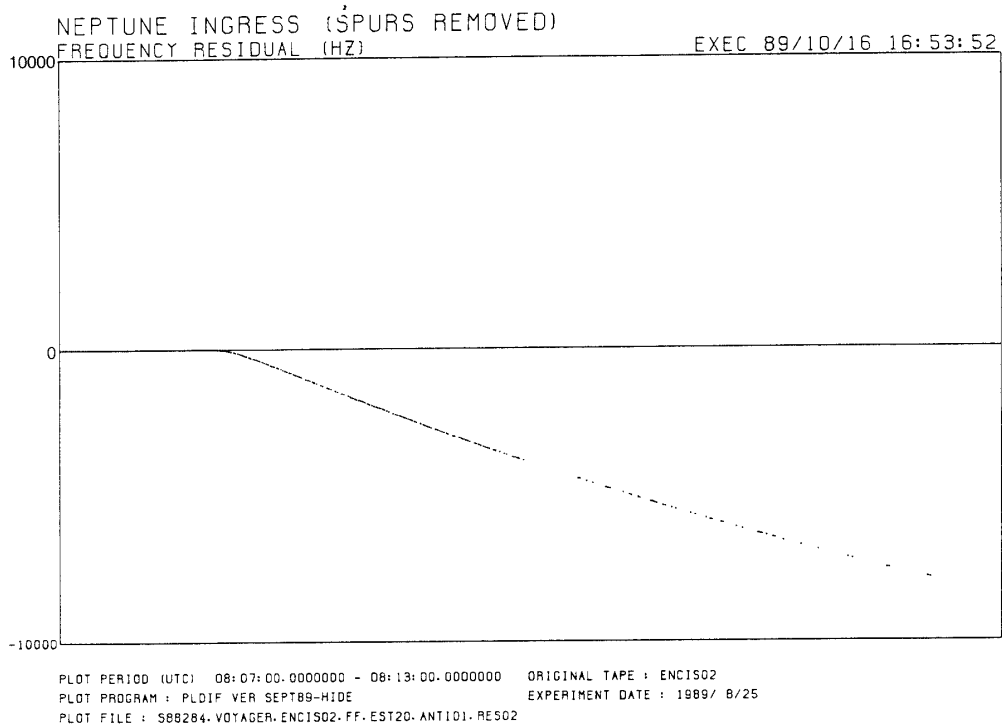


図8 大気によるドップラー周波数のズレ

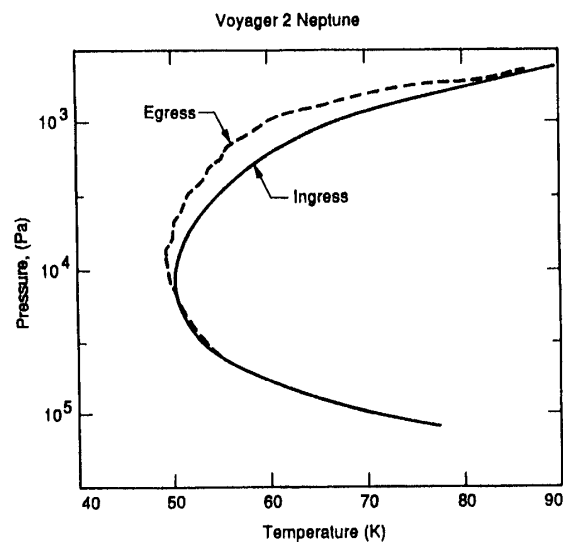


図9 海王星の大気構造

角, 大気の誘電率を求め, 大気組成を水素 85%ヘリウム 15%と仮定して, 大気の温度と圧力の関係を求めたものを第9図に示した。

このほか, 電離層は, SバンドとXバンドの位相差からもとめられた(第10図)。トリトンの大気は非常に薄く, Xバンド電波のごく微小な位相変化から 1/100 mb の order であるこ

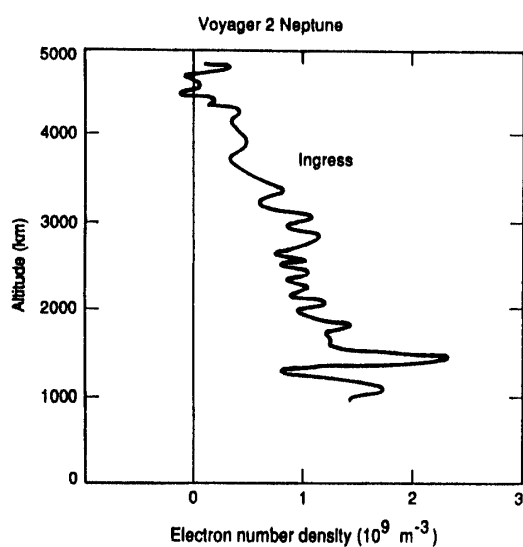


図10 海王星の電離層

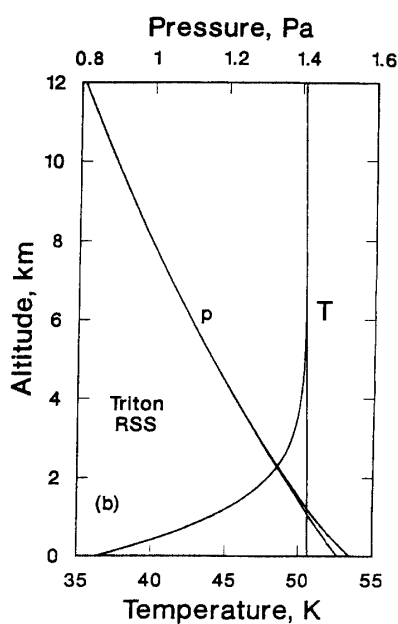


図11 トリトンの大気

とが求められている (第11図)。

今回の Voyager - 海王星では、NASA キャンペラの 70 メータ・アンテナが S と X バンド、臼田が S - バンド、オーストラリアのパークス天文台が X バンドを受信した。Voyager の搭載器の出力は X - バンドが S - バンドに比べて大きい。しかしながら、X - バンドは搭載側のアンテナの指向性がよいので大気や軌道が予想と異なると最適にプログラムされた Voyager の送信アンテナの制御 (Antenna maneuver) が最適でなくなり、その結果最悪の場合には地球をはずすこともありえた。実際には、大気の予想も軌道の予想もほぼ合ってい

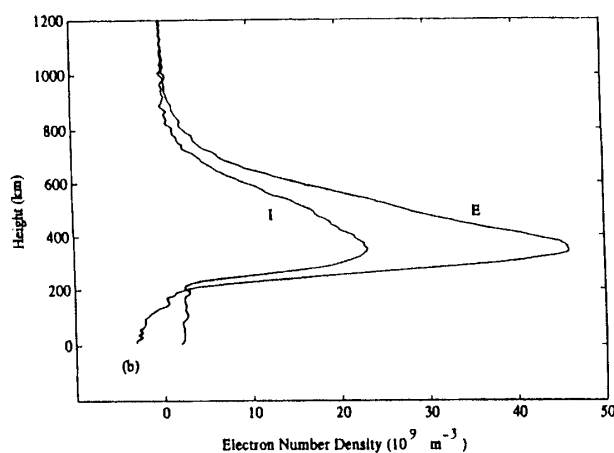


図12 トリトンの電離層

たのでXバンドは、完全な形で受信された。その結果、大気に関しては、Xバンドの方が、はるかにS/N比がよいデータが得られ、Sバンドの影が薄いかと思われた。確かに、外側の大気についてはそうであったが、海王星のメタンの雲の下大気密度の濃いところへいくとXバンドの方は大気（多分NH₃）による吸収が大きく、結局現在大気の奥にもっとも深くメスを入れたのは、Sバンドのデータであり、その意味で宇宙研が臼田で取得したデータが重要性を持つことになった。

今後日米共同実験の主要な研究テーマである臼田の64mアンテナのデータとNASAのキャンベラ70mアンテナのデータを重ねあわせ（Arraying）でS/Nの向上を計り、海王星の奥深くどこまで探査できるかの極限を追求するところが今までのVoyagerの他の惑星の探査にはなかった新しい点である。このなかで、2つの局の信号の間の位相雑音としてもっとも利くのはそれぞれの上空の電離層のじょう乱である。その意味で、日本上空に出た電離層嵐が海王星のオカルテーション時になかったことは幸いであった。

今回の日米共同実験では、Voyagerという素晴らしい探査機の外惑星探査の一角に我が国ではじめて参加できたという科学的な意義のほかに、電波の到達時間が4時間以上という遠方からの電波を受信する超遠距離通信の技術やそのデータ処理の技術が確立したことも大きな意義をもっているといえる。願わくはこれを機会としてわが国の外惑星探査にはずみをつけるものであって欲しい。