

III-3. 局内遅延時間測定

吉野 泰造* 尾嶋 武之**

TOTAL INSTRUMENTAL DELAY MEASUREMENT

By

Taizoh YOSHINO and Takeyuki OJIMA

1. ま え が き

本特集号の随所に見られるように、VLBI実験は多くの優れた応用面を持つ。しかし、これらの測定において根本的には、到来電波の2局での相対的な遅延時間(τ_g)が、多くの情報を含んでおり、極めて重要な量である。VLBIは非常に高精度な実験であるので、 τ_g を決定する際に、各アンテナの基準点を正確に決めておく必要がある。この点の位置は、アンテナ駆動によっても地球に対して不動であり、かつ、自由空間伝搬とほぼ同じ条件であることが望ましい。この意味から一般には、アンテナのアジマス軸(方位角軸)とエレベーション軸(仰角軸)の交点(Az-EI直交点)を基準点として採用するのが便利である。

しかし、実際に観測にかかる τ_g の量は、カセグレン・アンテナのため生ずる主副反射鏡間の往復の時間、及び受信系における遅延時間などを含んでいる。このため、これら測定系の遅延時間をあらかじめ知っておく必要がある。前者は自由空間における伝搬であるから、この値は容易に計算で求まるが、後者は測定を必要とする。これらの量を、ここでは局内遅延時間(Total Instrumental Delay⁽¹⁾)と呼ぶ。VLBIではその実験の性格から、2局の局内遅延時間の差を求めれば十分であり、今回、この値を10 ns前後の精度で測定することが目標となった。

2. 各部の遅延時間

一挙に、2局の局内遅延時間の差を求めることは困難と考え、原則として、次の三つの部分に分けて考えた。

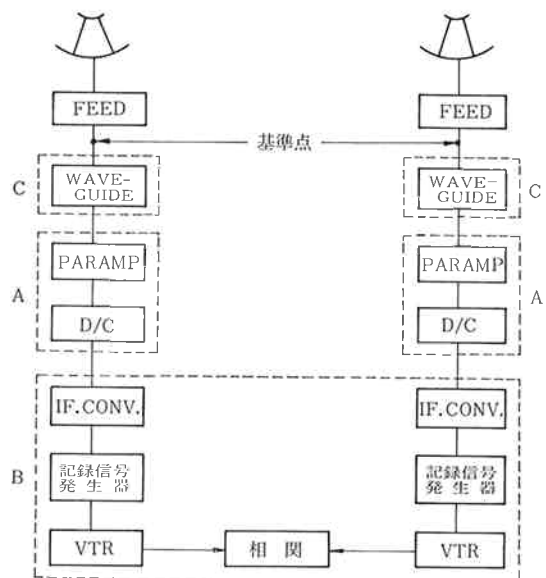
A 移動不可能な装置(例、パラメトリックアンプ)

*鹿島支所 第三宇宙通信研究室 **衛星研究部 通信衛星研究室

B 移動可能な装置(例、IFコンバータ)

C 測定困難な装置(給電部)

これらの理解のため、第1図に、局内遅延時間測定の見地から、VLBIシステムのブロック図を示した。図中、点線で囲んだ範囲は、先に述べたA、B、この分類に従ったもので、各々の範囲における群遅延時間を以下の方法で求めた。

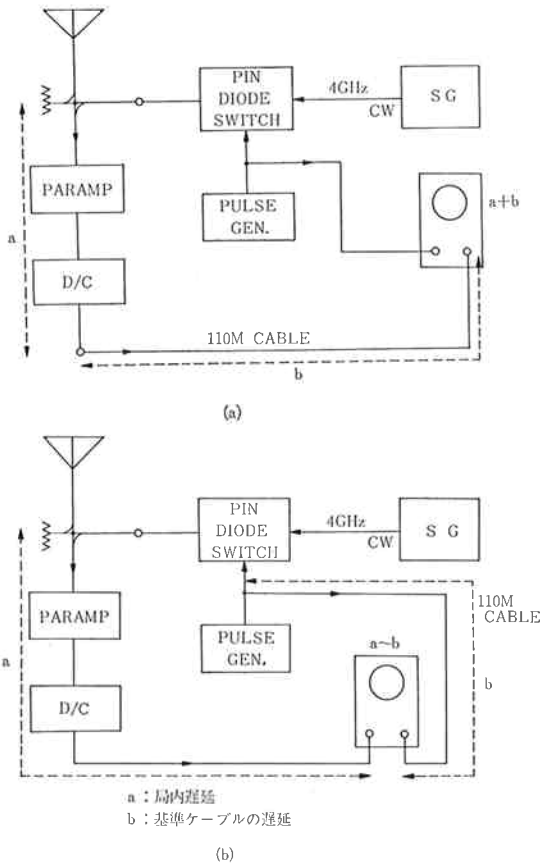


第1図 簡略化したVLBIのブロック図

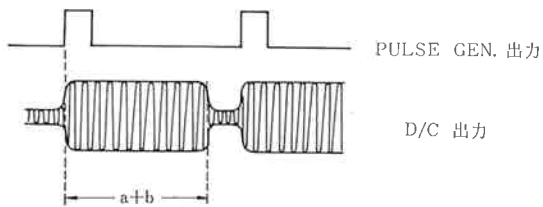
2.1 遅延時間の単独測定

これは、分類Aの部分の測定法である。この部分は一 Generally、アンテナ装置に直接組み込まれ一体となっているため、遅延時間を単独に測定する必要がある。

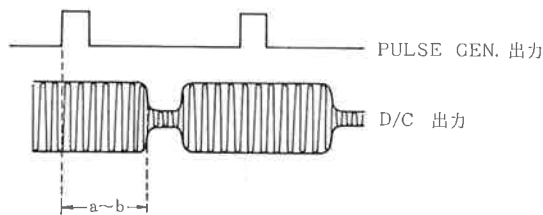
測定ブロック図を、第2図に示した。(a)図では、信号発生器で発振した4180 MHz (VLBIの受信周波数は4180~4182 MHz)を、10 nsの高速スイッチングが可能なPINダイオードでパルス状の変調をかけ、これをパラ



第2図 局内遅延時間の単独測定ブロック図



(a) a+bの表示



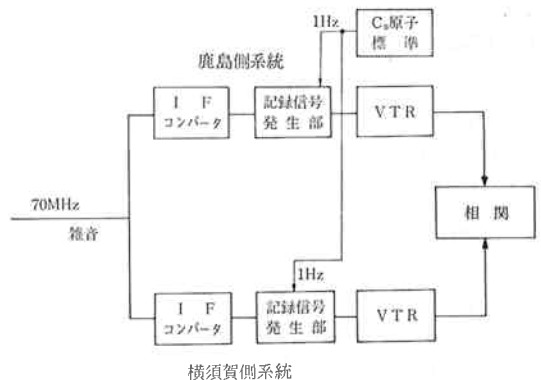
(b) a-bの表示

第3図 第2図の測定におけるシンクロスコープ表示

メトリックアンプに入力し、ダウンコンバータ出力の70 MHz帯信号を、ケーブル(110 m)を通して送り返し、この信号とPINダイオードをドライブするパルス発生器の出力を、シンクロスコープ管面上で映し出し、その差を読みとる。この場合、求めようとする遅延時間量 a と110 mのケーブルでの遅延量 b の和が表示される(第3図)。また、第2図(b)では、同様にして $a-b$ が表示される。したがって、この二つの測定によって、 a なる遅延量が決定される。この測定において、タイム・インターバル・カウンタを用いた場合、スタートとストップの一定の閾値電圧を検出して、その間の時間を計る方式のため、この検出レベルで微妙に時間表示が異なり、実測で30 ns以上のデータの分散を起こすと判明したため、時間間隔測定は、シンクロスコープを用いて、目視で行った。シンクロスコープ管面上の時間軸誤差は3%程度と言われるが、測定に使用したレンジで、原子標準を用いて、そのゼロクロスポイントの偏差から、この誤差を観察したところ、約10 nsの誤差を見込めばよいことがわかった。

2.2 遅延時間の相対測定

これは分類Bの部分の測定法である。この段階では周波数が70 MHz帯から、周波数通降され200 kHz~2 MHzという低い周波数帯になる。このため、2.1と同様の方法をとった場合、帯域幅に逆比例して波形の立ち上がり時間が大きくなり、スタート及びストップの点の判別が困難になる。また、局内遅延時間はデータに時刻符号が付されるまでであるから、記録信号発生器内部のあるポイントを抽出する必要が起り、実際的でない。そこで、第4図のように、V L B Iの精密時刻差測定の利用して、相対的な遅延時間差を求めた、この測定において、第4図の1 Hz信号はサンプリングタイミングを決定するため、原振の C_s 時計から記録信号発生器までのケーブル長は、実験時の状態と同じである必要がある。

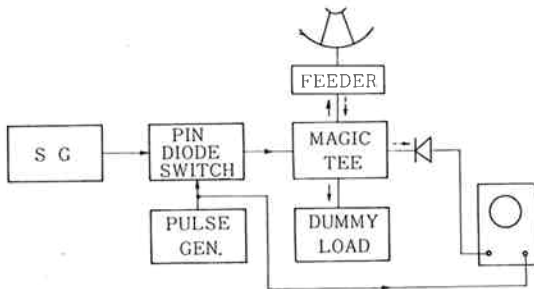


第4図 局内遅延時間の相対測定

このため、あらかじめ実験に使用すると定められたケーブルを用いた。70 MHz 帯に周波数変換した天空雑音は、両系統に分配され VTR で記録した後、相関をとった。この相関値をフーリエ変換して、その位相スペクトルから最適の傾斜、すなわち、遅延時間を決定した。なお、この手法の詳細は、本号の III-1. VLBI データの処理に述べられている。また、この手法は、現在のシステムでは 10 ns 以下の精度を持つことがわかっている。

2.3 実測困難な部分の理論計算

ここでは、分類 C の部分及び、主副反射鏡間の電波の往復分の遅延を問題とする。この区間における遅延時間は実測も試みたが（第 5 図）、様々な反射波が観測され、事実上、実測は困難であった。しかし、給電系における群遅延時間は完全に理論化されているため、そのサイズを知って理論値計算を行うことができる。



第 5 図 給電部の遅延時間実測の試み

その方法は、よく知られているように矩形、円形ともに導波管中の電波の群速度 v_g は⁽²⁾、

$$v_g = c \sqrt{1 - (f_c/f)^2} \quad \dots\dots(1)$$

で定まる。ここに、

c : 光速

f_c : カットオフ周波数

f : 伝搬電波の周波数

である。 f_c は、導波管の形状、サイズ、伝搬モードから決定される定数であり、矩形導波管の場合 TE_{mn} モード、 TE_{mn} モードとも、

$$f_c = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 a, b は導波管の縦と横の長さである。

また、円形導波管の場合、

$$TM_{mn} \text{ モードに対し } f_c = \frac{c}{2\pi r} y_{mn},$$

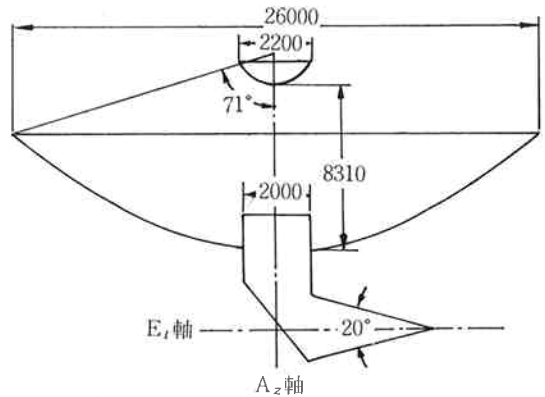
$$TE_{mn} \text{ モードに対し } f_c = \frac{c}{2\pi r} y'_{mn}.$$

ここに、 r は導波管の半径、

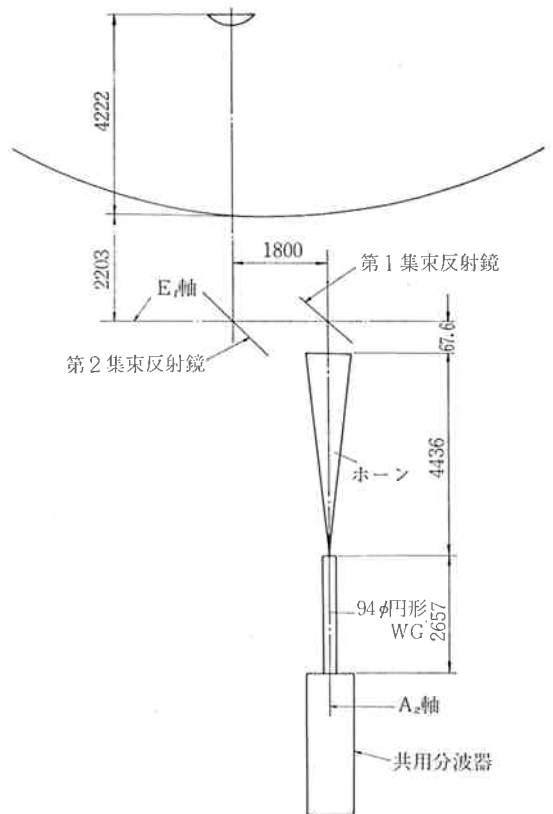
y_{mn} は $J_m(x) = 0$ の n 番目の根、

y'_{mn} は $J'_m(x) = 0$ の n 番目の根である。

先に、一般には $Az - El$ 直交点を基準点に定めると述べたが、横須賀局の場合、第 6 図に示すように、 Az 回転軸中心と主副反射鏡部の機械中心軸の間に 1.8m の



(a) 鹿島26m φアンテナ



(b) 横須賀通研12.8m φアンテナ

第 6 図 両局のアンテナ構造

間隔がある。この場合には、 $Az-EI$ 直交点より、 EI 軸と主副反射鏡部機械中心軸交点を基準にとった方が、局内遅延時間が一定となり考えやすい。ただし、 Az 回転に対し、この点は地球に対する不動点とはならない。このようにして、両局の基準点以降の導波管の形状、サイズから遅延時間を決定し、また、カセグレンアンテナのために生ずる主副反射鏡間の往復の遅延時間を、自由空間における伝搬と考えて算出した。

3. 結 果

各部の測定結果を、第1表に掲げた。A部では、第3図のように受信信号を周波数通降したパルス変調波形の遅い立ち上りを観測するために、誤差がB、C部に比べ大きく、シンクロスコープの管面誤差も含めると、その誤差は ± 15 nsと考えられる。また、B部は、測定法そのものがVLBIの手法によっているため ± 5 ns、C部では理論値計算のため誤差は、はっきりしないが、導波管の長さ測定で10%の誤差を見込んで、やはり ± 5 ns程度であるから、A部の誤差が最も支配的である。しかし、第2図の測定から、そこに用いた110 mのケーブル

第1表 各部の測定結果

		鹿 島 局	横 須 賀 局
A. PARAMP ~ IF コンバータ入力		690 ns	320 ns
B. IF コンバータ以降 (相 対 差)		139 ns	
C. 給電部	基準点 ~ PARAMP 入力	39 ns	50 ns
	主 副 反 射 鏡 間 往 復	56 ns	28 ns

について、遅延時間を求めた結果、鹿島における実験で550 ns、横須賀において560 nsを得た。これらは、いずれもケーブルの波長短縮率 $66 \pm 2\%$ から計算される値に一致し、測定値の確度を裏付けている。

4. む す び

局内遅延時間を、三つのブロックに分けて、約 ± 15 nsの精度で測定した。海外におけるVLBIの文献では、局内遅延時間の測定法について、あまり触れられていないため、以上の方法は、我々が独自に選択した測定方法である。しかし、まだ測定値の確度が10 nsを切っていないため、本特集号、V-5. に述べるような、高精度VLBI用の精密局内遅延時間補正の手段を検討している。また、今回の実験で得られた値を裏付ける他方面からのデータが、まだ十分に出ていないため、これらの測定値について、良否の判断がしにくい段階である。

最後に、日ごろ御指導頂く、生島鹿島支所長、川尻第三宇宙通信研究室長並びに本実験に御協力頂いた横須賀通研、複合伝送研究部衛星通信方式研究室の更田室長、嶋田調査員に深謝するとともに、御討論、御協力下さった鹿島支所第三宇宙通信研究室の皆様へ感謝致します。

参 考 文 献

- (1) J. B. Thomas; "An Analysis of Long Baseline Radio Interferometry, Part III", JPL Technical Report 32-1526 XVI pp. 47-64, Aug. 1973.
- (2) 電子通信学会ハンドブック委員会, 電子通信ハンドブック (増補改訂版), pp. 712-714, 電子通信学会, May 1973.

