

### III-1. VLBI データの処理

河野 宣之\* 高橋富士信\*\*

#### REDUCTIONS OF VLBI DATA

By

Nobuyuki KAWANO and Fujinobu TAKAHASHI

#### 1. ま え が き

VLBI のデータ処理は、大きく二つに分けられる。まず初めは、予測値、特に遅延時間のそれを正確に求めることであり、残りは、本特集号、I-2. VLBI の原理で述べた遅延時間、位相差、コヒーレンスの三つの量を、直接得られるデータである相互相関関数  $R_{xy}(\tau)$  から導出することである。前者は、後者を求める際に必ず必要となる。例えば、遅延時間が全く不明であると、今回の実験では鹿島—横須賀間約 121 km であるから、最大  $\pm 404 \mu\text{sec}$  の全遅延時間について、相互相関を求めなければならない。このような処理方法は、いたずらにデータ処理時間を費やすばかりでなく、電波強度の弱い電波源については処理が不可能になる。ここでは、遅延時間及びフリンジレートの予測値を求め、この値を用いて、観測データから上記三つの量を導出することを考える。

#### 2. アンテナの位置

地球上のアンテナの位置は、準楕円体 SAO-C7 に基づいて表すことにする。第 1 図は、準楕円体とアンテナの位置を示している。アンテナの緯度、経度を  $\varphi$ ,  $\lambda$  とすると、

$$\frac{dy}{dx} = -\tan(90^\circ - \varphi),$$

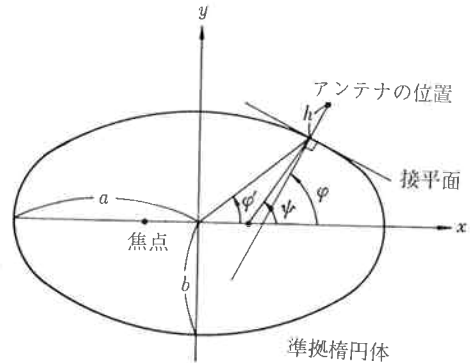
$$\begin{cases} x = a \cos \varphi \\ y = b \sin \varphi \end{cases}$$

なる関係から

$$x = a \cdot \cos \varphi = \rho \cdot \cos \varphi' = N \cdot \cos \varphi,$$

$$y = b \cdot \sin \varphi = \rho \cdot \sin \varphi' = N \cdot P \cdot \sin \varphi.$$

アンテナの準楕円体からの高さを  $h$  とすると、 $h$  の  $x$ ,



第 1 図 準楕円体とアンテナの位置

$y$  成分,  $\Delta x$  及び  $\Delta y$  は、

$$\Delta x = h \cos \varphi,$$

$$\Delta y = h \sin \varphi.$$

したがって、アンテナの  $x, y$  成分は

$$x = (N+h) \cos \varphi,$$

$$y = (N \cdot P + h) \sin \varphi.$$

ただし

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$P = \frac{b^2}{a^2}$$

$$f = 1/298.255$$

$$a = 6,378,142 \text{ m}$$

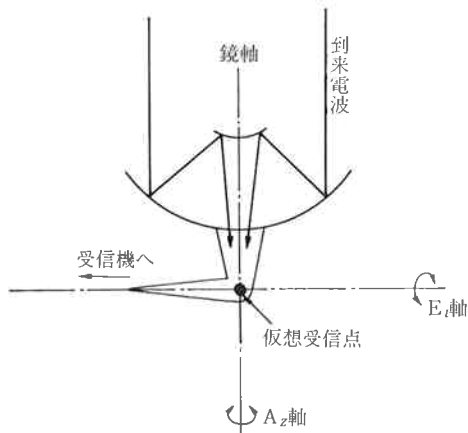
$$b = (1-f) \cdot a$$

$$e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2}.$$

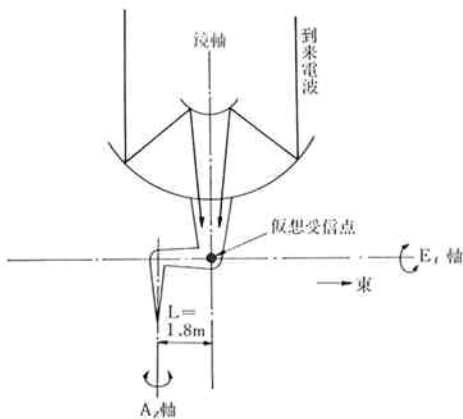
ここで、 $a$  は準楕円体 SAO-C7 の長半径であり、 $1/f$  はその扁率、 $b$  は短半径である。

地球中心を原点とし、原点からグリニッジ子午線と赤道との交点の方向を  $X$  軸、地球の自転軸方向を  $Z$  軸、原点を通り、 $X$  軸と  $Z$  軸を含む平面に垂直な方向を  $Y$  軸とする。 $X Y Z$  軸は右手系をなすとすると、アンテナの位置  $(X, Y, Z)$  は、

\*鹿島支所 第三宇宙通信研究室



第2図 鹿島 26 mφ アンテナの仮想受信点



第3図 横須賀電気通信研究所 12.8 mφ アンテナの仮想受信点

$$\begin{aligned} X &= (N+h) \cos \varphi \cdot \cos \lambda, \\ Y &= (N+h) \cos \varphi \cdot \sin \lambda, \\ Z &= (NP+h) \sin \varphi. \end{aligned} \quad \dots(1)$$

さて、アンテナの位置と上に述べたが、アンテナのどの位置を受信点とするか疑問が生ずる。我々の場合は、Az 軸と E 軸の交点を受信点とした。その理由は、当所鹿島支所 26 mφ アンテナは、その向きに関係なく受信点は X Y Z 座標に固定されるからである。第2図は、その様子を示している。ところがもう一方のアンテナ、横須賀電気通信研究所 12.8 mφ アンテナは、Az 軸と E 軸は交点をもたないため、Az の角度によって (X, Y, Z) が異なる。第3図は、その様子を示しており、これによる (X, Y, Z) の補正量はメートル単位で、

$$\begin{cases} L_x = 1.1665 \cdot \cos Az + 0.791 \sin Az, \\ L_y = 1.32 \cdot \cos Az - 0.672 \sin Az, \\ L_z = 1.471 \sin Az, \end{cases} \quad \dots(2)$$

である。

したがって、基線の (X, Y, Z) を (X<sub>B</sub>, Y<sub>B</sub>, Z<sub>B</sub>) とすると、

$$\begin{cases} X_B = X_{YOK} + L_x - X_{KAS}, \\ Y_B = Y_{YOK} + L_y - Y_{KAS}, \\ Z_B = Z_{YOK} + L_z - Z_{KAS}. \end{cases} \quad \dots(3)$$

となる。添字の YOK, KAS は横須賀 12.8 mφ アンテナ及び鹿島 26 mφ アンテナを示している。基線の赤緯 δ<sub>B</sub> 及び経度 λ<sub>B</sub> は、

$$\begin{cases} \delta_B = \tan^{-1} \left[ \frac{Z_B}{\sqrt{X_B^2 + Y_B^2}} \right] \\ \lambda_B = \tan^{-1} \left[ \frac{Y_B}{X_B} \right] \end{cases} \quad \dots(4)$$

である。

次に、極運動による緯度、経度の変化を考える。X, Y 軸方向の移動をそれぞれ x<sub>p</sub>, y<sub>p</sub> とすると、これらによる緯度変化 Δφ 経度変化 Δλ は<sup>(1)</sup>、

$$\begin{cases} \Delta\varphi = x_p \cos \lambda - y_p \sin \lambda + z_p, \\ \Delta\lambda = -(x_p \sin \lambda + y_p \cos \lambda) \tan \varphi. \end{cases} \quad \dots(5)$$

となる。ここで z<sub>p</sub> は z 項と呼ばれるものである。極運動は大きいときでも 0.6 秒角/年と小さいが、VLBI による角度分解は、千分の 1 秒角にも達するから考慮しなければならない。また、逆にこのことは、VLBI によって極運動を知ることができることを示している。

### 3. 星の位置

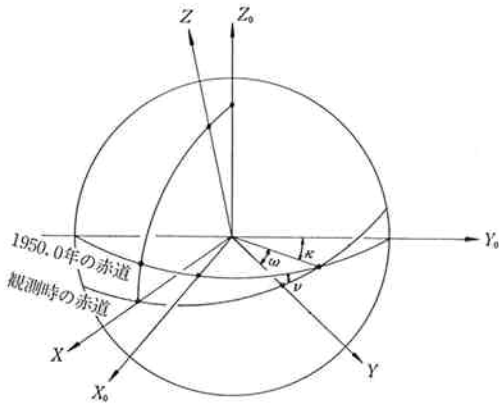
星の位置、一般に 1950 年 1 月 1 日 UT 0 時 (1950.0 年) の平均春分点を基準にした座標で表されているから、観測時刻における瞬時の春分点を基にした座標に直す必要がある。春分点の移動は主に、才差と章動である。

1950.0 年における天体の位置を、座標を用いて表したとき、(X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub>) とし、観測時の天体のそれを (X, Y, Z) とする。才差による座標変換 (才差変換) P は、

$$\begin{aligned} P = & \begin{pmatrix} \cos \omega & -\sin \omega & 0 \\ +\sin \omega & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \nu & 0 & -\sin \nu \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \nu & 0 & \cos \nu \end{pmatrix} \\ & \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ +\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad \dots(6)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad \dots(7)$$

ただし、κ は 1950.0 年における Y 軸 (Y<sub>0</sub>) から、観測時の天の赤道と、1950.0 年の赤道との交点の間の角



第4図 才差変換の概念図

距離であり、 $\omega$  は、上記二つの赤道の交点と、観測時のY軸(Y)の間の角距離、また、 $\nu$  は二つの赤道の交角である。第4図は、才差変換を示している。章動は黄経の章動と、黄道傾角の章動に分けられる。前者を  $\Delta\phi$ 、後者を  $\Delta\varepsilon$  とすると、章動による座標変換(章動変換)  $N$  は、才差変換と同様にして求められ、まとめて書くと、

$$N = \begin{pmatrix} 1 & [-\Delta\phi \cos \varepsilon_0] & [-\Delta\phi \\ \sin \varepsilon_0 \Delta\phi \cos \varepsilon_0] & [1 & -\Delta\varepsilon \\ \Delta\phi \sin \varepsilon_0] & [\Delta\varepsilon & 1 \end{pmatrix} \quad \dots\dots(8)$$

と表される。ここで  $\varepsilon_0$  は平均黄動傾角としている。したがって章動を受けた観測時の座標  $(X', Y', Z')$  は、

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = N \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad \dots\dots(9)$$

である。才差変換及び章動変換に用いた  $\kappa, \omega, \nu$  及び  $\Delta\phi, \Delta\varepsilon$  については他の文献<sup>(2)</sup>に詳しく説明されているので、ここでは省略する。

結局、才差及び章動によって星の位置は、 $(X_0, Y_0, Z_0)$  から  $(X', Y', Z')$  移動し、観測時には、

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = N \cdot P \cdot \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad \dots\dots(10)$$

となる。赤経  $(\alpha'_s)$  及び赤緯  $(\delta'_s)$  で表すと、

$$\alpha'_s = \tan^{-1} \left[ \frac{Y'}{X'} \right] \quad \dots\dots(11)$$

$$\delta'_s = \tan^{-1} \left[ \frac{Z'}{\sqrt{X'^2 + Y'^2}} \right]$$

となる。

次に、地球は公転及び自転運動をしているから、 $(X', Y', Z')$  の星を観測しても、その到来方向は少しずつ異なる。これを光行差といい、公転による赤経、赤緯のずれ(年周光行差)を  $\Delta\alpha, \Delta\delta$  とすると、

$$\begin{cases} \Delta\alpha = -20''.47 \times \sec \delta_s \cdot (\cos \alpha'_s \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos L_0 \\ \quad + \sin \alpha'_s \cdot \sin L_0) \\ \Delta\delta = 20''.47 \times (\sin \varepsilon \cdot \cos \delta'_s \\ \quad - \cos \varepsilon \cdot \sin \alpha'_s \cdot \sin \delta'_s) \cos L_0 \\ \quad - 20''.47 \times \cos \alpha'_s \cdot \sin \delta'_s \cdot \sin L_0 \end{cases} \quad \dots\dots(12)$$

である。一方、自転による赤経、赤緯のずれ(日周光行差)  $\Delta\alpha', \Delta\delta'$  は、

$$\begin{cases} \Delta\alpha' = b_0 \cdot \cos L_s / \cos \delta \\ \Delta\delta' = b_0 \cdot \sin \delta \cdot \sin t \end{cases} \quad \dots\dots(13)$$

ここで  $b_0$  はアンテナの位置における自転速度で、  
 $b_0 = (\text{赤道における自転速度}) \times \cos \varphi$ 。

$L_s$  は星の時角、 $L_0$  は黄経である。したがって、才差、章動、光行差を考慮した観測時の星の位置  $(\alpha_s, \delta_s)$  は(11)、(12)及び(13)式より、

$$\begin{cases} \alpha_s = \alpha'_s + \Delta\alpha + \alpha' \\ \delta_s = \delta'_s + \Delta\delta + \delta' \end{cases} \quad \dots\dots(14)$$

#### 4. 観測時刻

遅延時間の観測精度が 10 ns 以下になると、時刻系を考慮しなければならない。我々が用いている時刻は、協定世界時(UTC)であるが、地球の自転を最も忠実に反映しているのはUT1であるから、観測データの時刻を、UTCからUT1に変換しなければならない。UT1-UTCは実際に天体を観測して得られる。第1表は、アメリカ合衆国 Naval Observatory から出された1977年2月3日から9日までのUT1-UTCの予測値である。

第1表から2月3日のUT1-UTCを、0.566秒とすると、今回実験で3C273を観測したとき、UT1-UTCによる最大遅延時間の誤差は約14 nsである。

第1表 UT1-UTCの予測値

DATE 0000 UT	EXTRAPOLATED UT1-UTC (DUT 1)
1977 FEB. 3	0.566 sec.
4	0.563
5	0.561
6	0.558
7	0.556
8	0.554
9	0.551

(From U.S. Naval Observatory)

5. 大気屈折による遅延時間の補正

地上のアンテナで受信する電波は、電離層及び中性大気中を伝搬してくるので、伝搬媒質の屈折率により伝搬時間が長くなり、このために、測定される遅延時間に誤差が生じる。今回の実験では、受信周波数が4.180 GHzであるから電離層による影響は小さく、中性大気による部分が多い。したがって、ここでは中性大気による遅延時間を、距離に換算した量(excess phase path)<sup>(3)</sup>  $L$  について述べる。 $L$  はよく知られているように、

$$L = \sec z \int_0^\infty [n(h) - 1] dh \quad \dots\dots(15)$$

と表せ、 $n(h) - 1$  は、

$$n(h) - 1 = A \cdot P_D / T + B \cdot P_W / T^2, \quad \dots\dots(16)$$

$A, B$ ; 定数

$P_D$ ; 水蒸気を含まない大気気圧

$P_W$ ; 水蒸気気圧

$T$ ; 絶対温度

$h$ ; 地上高

$z$ ; 天頂角

である。大気が定常状態にあれば、気圧( $P$ )と地上高 $h$ の間には一般的な関係、

$$\frac{dP}{dh} = -Pg = -(\mu g / R) \cdot (P / T) \quad \dots\dots(17)$$

ただし、

$$\mu = (28P_D + 18P_W) / P = \mu_D (1 - 5\alpha / 14), \quad \dots\dots(18)$$

$P$ ; 全気圧

$\rho$ ; 密度

$\mu$ ; 平均分子の重さ

$R$ ; 気体定数

$\alpha$ ;  $P_W / P$

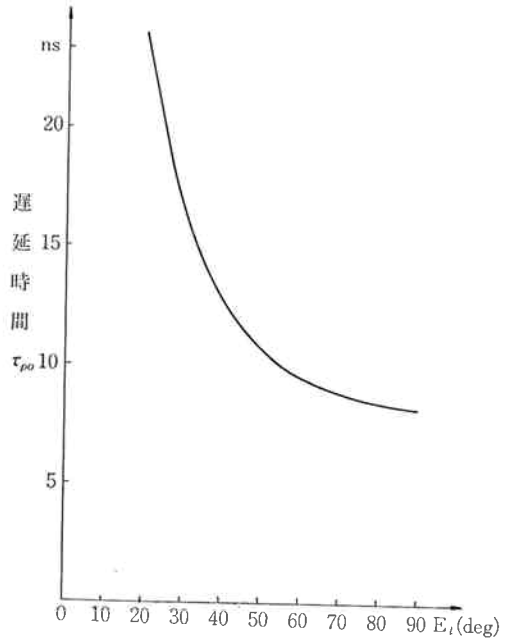
であるから(16), (17), (18)より、(15)式は、

$$L = \sec z \cdot \left\{ \frac{A \cdot R}{\mu_D g} \cdot P_0 + \int_0^\infty \frac{9}{14} \left[ \frac{A \cdot P}{T} + \frac{B \cdot P}{T^2} \right] \frac{P_W}{P} \cdot dh \right\} \quad \dots\dots(19)$$

と書き替えられる。(19)式は、全気圧 $P$ 、水蒸気圧 $P_W$ 及び温度 $T$ の伝搬路の分布が分れば、 $L$ が求められることを示している。今回のデータ処理では、伝搬路上でのこれら値を測定できなかったため、VLBI基線に最も近い館野(茨城県)にある気象庁、高層気象庁台で測定した値を用いて $L$ の計算を行った。Excess phase pathによる遅延時間を $\tau_{p0}$ とすると $\tau_{p0}$ は、次のように表される。

$$\tau_{p0} = L / c, \quad \dots\dots(20)$$

$c$  = 光速。



第5図 中性大気屈折率による遅延時間 ( $\tau_{p0}$ )

第5図は、(20)式  $\tau_{p0}$  の  $E_l$  (仰角) による変化を示している。(19)式から明らかなように、仰角が $90^\circ$ のときは $L$ が約2.5 m、 $\tau_{p0}$ は8 nsであるが、仰角が減少するにつれて急激に増加する。

しかし、ここで注意すべきことは、 $\tau_{p0}$ が直接VLBIで測定される遅延時間に影響するのではなく、二つのアンテナに対する $\tau_{p0}$ の差が、本特集号I-2. VLBIの原理で述べた伝搬媒質による遅延時間 $\tau_p$ (伝搬遅延時間)に相当する。したがって、

$$\tau_p = \tau_{p0y} - \tau_{p0x} \quad \dots\dots(21)$$

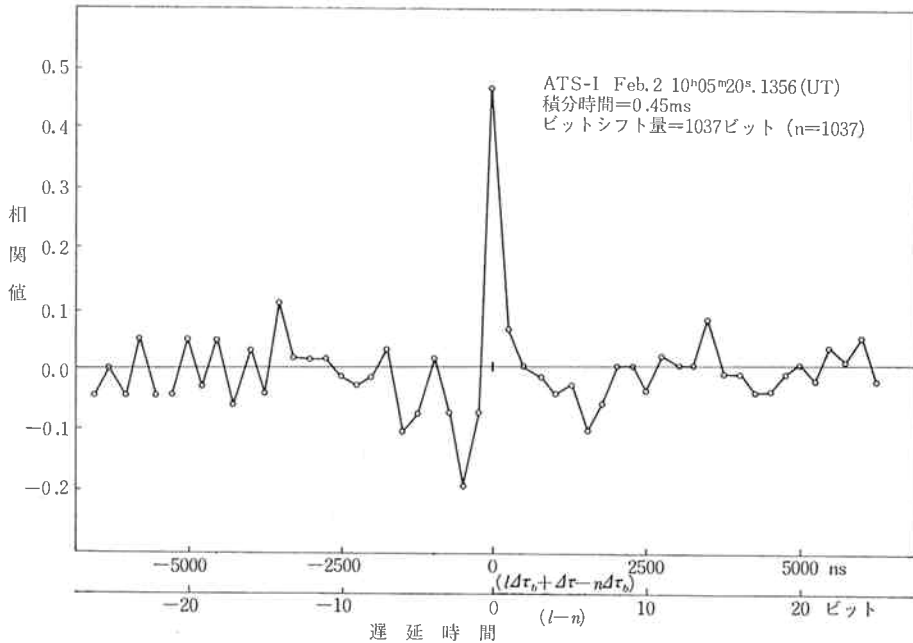
である。ここで、 $\tau_{p0x}$ 、 $\tau_{p0y}$ は、二つのアンテナに対するExcess phase pathによる遅延時間である。

6. 遅延時間、位相差、コヒーレンスの決定

再生相関部の出力から得られる相互相関関数 $r_{xy}(\tau)$ は、2.3で述べたように、1ビットサンプリングをして得られたものであるから、真の相互相関関数とは異なる。真の相互相関関数を $R_{xy}(\tau)$ と $r_{xy}(\tau)$ の関係は、次のように表される<sup>(4)</sup>。

$$r_{xy}(\tau) = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} R_{xy}(\tau). \quad \dots\dots(22)$$

また、再生相関部の出力 $r'_{xy}(\tau)$ は、サンプルする信号が正のとき1、負のとき0として相関をとっている(EX-NORの演算回路の出力である)ので、真の相関関数 $r_{xy}(\tau)$ は、



第6図 相互相関関数  $R_{xy}(\tau - n\Delta\tau_b)$

$$r_{xy}(\tau) = 2[r_{xy}(\tau) - r_0] / N, \quad \dots\dots(23)$$

$$r_0 = N/2$$

$N$  ; 積分個数

である。したがって、1ビットサンプリングの補正をした相互相関関数は(22),(23)式より、

$$R_{xy}(\tau) = \sin\left[\frac{\pi}{N} \{r_{xy}(\tau) - r_0\}\right] \quad \dots\dots(24)$$

となる。 $R_{xy}(\tau)$  を実際に求めるときは、サンプリング間隔 (250 ns) 単位で  $\tau_g$  の予測値に最も近い遅延時間だけ差し引いておく (ビットシフト)、すなわち、

$$R_{xy}(\tau) \rightarrow R_{xy}(l \cdot \Delta\tau_b + \Delta\tau - n \cdot \Delta\tau_b), \quad \dots\dots(25)$$

$l, n$  は整数

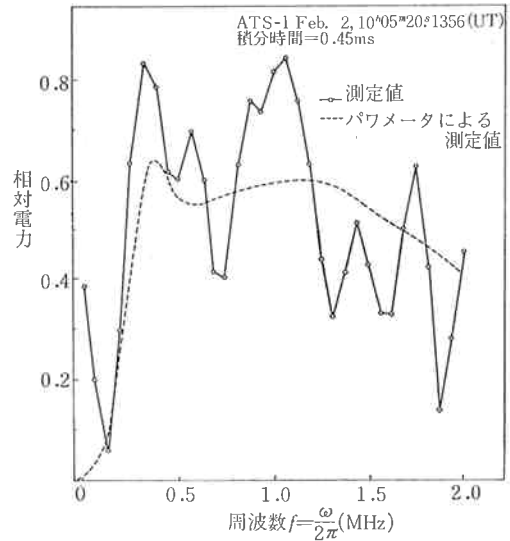
$$\Delta\tau_b = 250 \text{ ns}$$

$$l \cdot \Delta\tau_b + \Delta\tau = \tau$$

を行う。第6図は、静止衛星ATS-1の受信データから、 $R_{xy}(l \cdot \Delta\tau_b + \Delta\tau - n \cdot \Delta\tau_b)$  を求めた例である。第6図から、遅延時間は、ほぼビットシフト量 259250 ns に等しいことが分かる。次に、 $R_{xy}(l \cdot \Delta\tau_b + \Delta\tau - n \cdot \Delta\tau_b)$  を高速フーリエ変換し、相互電力スペクトルと、相互位相スペクトルを求めることにする。相互相関スペクトル  $S_{xy}(\omega)$  は、本特集号、I-2. V L B I の原理で、既に述べられているのでこれを引用する。上記 I-2. の3(8),(9)式より

$$S_{xy}(\omega) = S_{xx}(\omega + \omega_x) G_x(\omega + \omega_x) \cdot G_y(\omega + \omega_y) \cdot e^{i\Phi(\omega)}, \quad \dots\dots(26)$$

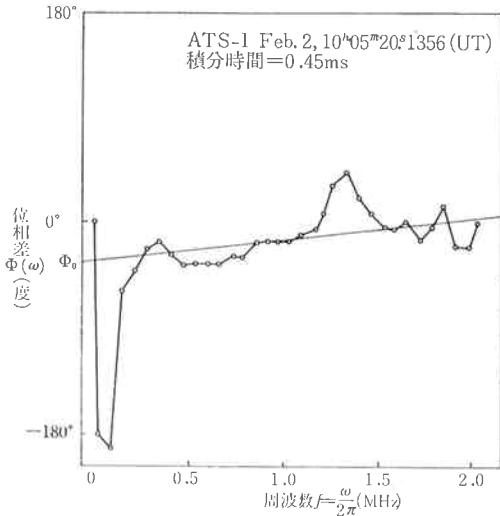
$$\Phi(\omega) = (\omega + \omega^0)(\tau_g + \tau_c + \tau_i + \tau_p - n \cdot \Delta\tau_b)$$



第7図 相互電力スペクトル

$$+(\phi_y - \phi_x) + (\omega_y - \omega_x) t + \Delta\phi_{xy} + \Delta\gamma_{xy}. \quad \dots\dots(27)$$

ここで、 $\omega^0 \sim \omega_x \sim \omega_y$  を仮定している。第7図、第8図は、第6図に示される  $R_{xy}(l \cdot \Delta\tau_b + \Delta\tau - n \cdot \Delta\tau_b)$  を、 $l-n = -32 \sim +31$  (ラグ数32) について高速フーリエ変換を行い、 $S_{xy}(\omega)$  の絶対値の2乗、すなわち相互電力スペクトルと  $\Phi(\omega)$ 、すなわち位相スペクトルを示している。 $R_{xy}(\tau)$  は正規化されているので、相互電力スペクトルを帯域にわたって平均すると、帯域内のコヒーレン



第8図 位相スペクトル

スの平均が得られる。すなわち、コヒーレンス  $C(\omega)$  の平均値  $C_0$  (平均コヒーレンス) は、 $l-n$  を  $-32 \sim +31$  にしたことを考慮すると、

$$C(m) = |S_{xy}(m)|, \quad \dots\dots(28)$$

$$C_0 = \sum_{m=0}^M C(m) / M, \quad \dots\dots(29)$$

$$m=0, 1, 2, \dots, 32$$

$$M=32$$

である。ここで、 $\omega^0 = 2\pi \times 4180$  ラジアン/秒であるから  $m=0$  は 4180 MHz、 $m=32$  は 4182 MHz に相当する。第7図に示した相互電力スペクトルから求められた帯域内のコヒーレンスの平均値  $C_0$  は、約 57% である。この値は、30 MHz の帯域をもつラジオメータで測定した受信電界強度及び受信機系のシステム雑音温度から求めた値、約 60% に、ほぼ等しい。また、第7図点線は、パワーメータで測定した電力スペクトルから、コヒーレンスが 57% であることを用いて求めた相互電力スペクトルである。27式において、 $\omega = 2\pi \times 2 \times 10^6 \times m/32$  とおくと、

$$\frac{32}{2\pi \times 2 \times 10^6} \times \frac{d\Phi(m)}{dm} = \tau_0 + \tau_e + \tau_i + \tau_p - n \cdot \Delta\tau_0 = \Delta\tau \quad \dots\dots(30)$$

であることから、第8図において、 $\Phi(\omega)$  の最適回帰直線を示す実線の傾きは、真の遅延時間からビットシフト量を引いた残りの遅延時間 (residual delay time)  $\Delta\tau$  に等しい。一方、上記直線の周波数零における位相差は、27式から、

$$\Phi_0 = \Phi(\omega=0) = \omega^0 \cdot \Delta\tau + (\phi_y - \phi_x) + (\omega_y - \omega_x)t + \Delta\phi_{xy} + \Delta\tau_{xy} \quad \dots\dots(31)$$

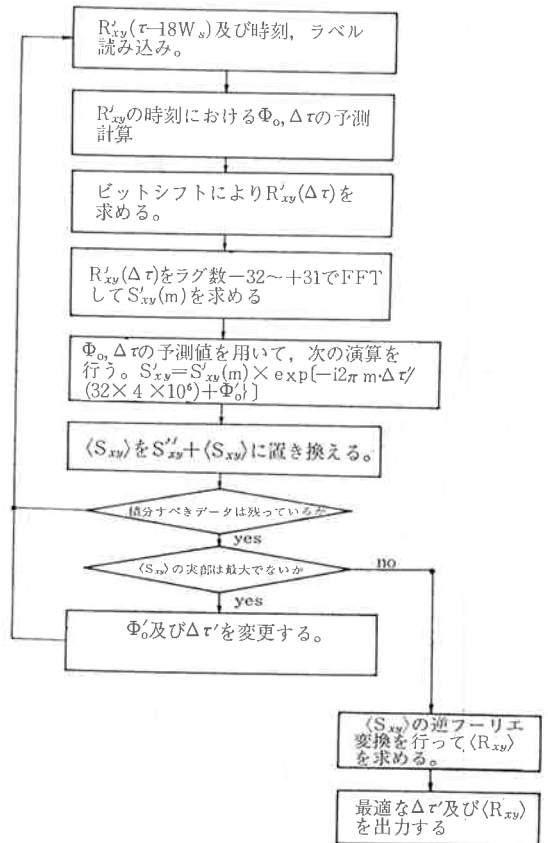
となる。また、 $\omega^0 \cdot \Delta\tau_0$  は、 $2\pi$  の整数倍になるように設

計している ( $\omega^0 = 2\pi \times 4180 \times 10^6$  ラジアン/秒、 $\Delta\tau_0 = \frac{1}{4} \times 10^{-6}$  秒) ので、ビットシフトによって  $\Phi_0$  の値は変わらない。このことは、ビットシフト量が多少誤っていても、 $2\pi$  の整数倍の誤りを除けば、 $\Phi_0$  の正しい値が求められるという点で便利である。

第7図及び第8図の結果から得られる  $\Delta\tau$  及び  $\Phi_0$  の決定精度  $\sigma$  は、 $\pm 12$  ns 及び  $\pm 4$  度である。もちろん、積分時間を長くすれば精度は上り、 $\Delta\phi_{xy}$  の補正を行い、2 ms 積分すると、平均して  $\pm 5$  ns 及び 2 度である。なお、受信機、特に I F コンバータの周波数電力特性及び周波数位相特性の補正については、本特集号、III-4. 折り返し雑音の影響とその補正を参照されたい。

### 7. フリンジストッピング

フリンジストッピングの数式的検討は、I-2. VLB I の原理で既に述べられているので、実際の計算機処理について述べる。第9図は、フリンジストッピングのプログラム“FRGROT”のフローチャートの概略である。



第9図 フリンジストッピングのプログラム“FRGROT”のフローチャート

$R^{j_{xy}}(\tau-18W_s)$  は、1ワード(18ビット)単位で時間シフトした相互相関関数の  $j$  番目を意味し、 $j$  は処理されるデータの数まで続く。 $S^{j_{xy}}$  は  $R^{j_{xy}}(\Delta\tau)$  のフーリエ変換対で、それぞれ(26)式、(25)式の  $S_{xy}(\omega)$ 、 $R_{xy}(\omega)$  に相当する。

$$\langle S_{xy} \rangle = \sum_j S^{j_{xy}}(m) e^{-i[2\pi m \cdot \Delta\tau']} / (32 \times 4 \times 10^6 + \Phi_0') \quad \dots\dots(32)$$

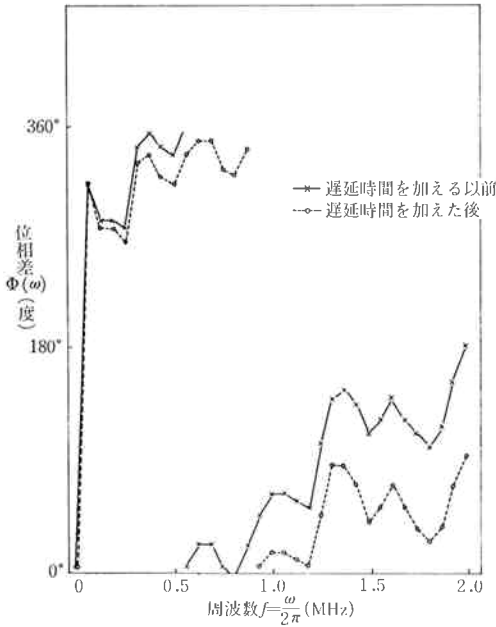
は、I-2. VLBIの原理の4. で述べた(25)式に相当し、遅延時間と位相差の時間変化分を位相回転するフリンジストップングの式である。ここで、 $\Delta\tau'$ 、 $\Phi_0'$  はそれぞれ  $\Delta\tau$ 、 $\Phi_0$  の予測値である。一般に長時間積分すると、 $(\omega_y - \omega_x)t$  すなわち、局部発振器の周波数設定誤差等の影響で、真の  $\Delta\tau$  や  $\Phi_0$  は、予測値  $\Delta\tau'$ 、 $\Phi_0'$  と異なるので、各々につき、少しずつ変更して最適な値を探さなければならない。もちろん、予測値が真の値に最も近付いたときに  $|\langle S_{xy} \rangle|$  が最大になる。第10図は、(32)式のフリンジストップングで、 $\Delta\tau'$  を 12.5 ns にしたときの位相スペクトルと、それ以前の位相スペクトルを比較して示している。第11図は、同様に  $\Phi_0'$  を 1 ラジアンにしたときの例である。これら二つの図から明らかのように、 $\Delta\tau'$  は位相スペクトルの傾きを変え、 $\Phi_0'$  は位相スペクトルを平行移動する。

8. あとがき

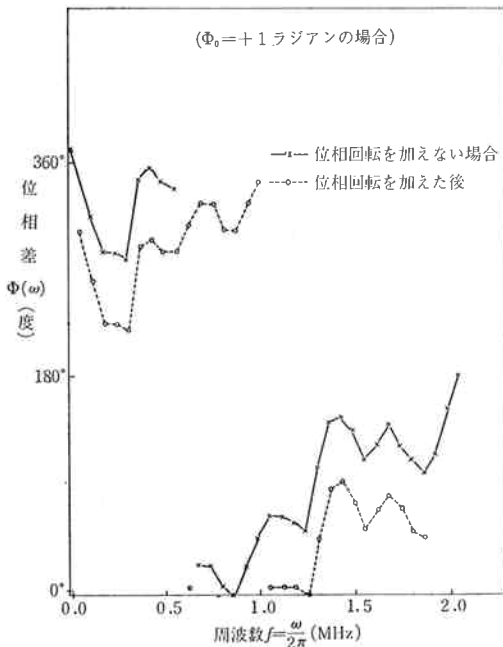
VLBIエータの処理は、非常に大量のデータを取り扱い、しかも正確な予測値計算とフーリエ変換、フリンジストップング、受信機の特性の補正等、複雑な計算を必要とする。しかし、今回のデータ処理に用いられた電子計算機NEAC3100の記憶容量は、わずか19Kワードであったので、最終的に三つの物理量を導出するまでに、六つの独立なプログラムを実行せざるを得なかった。このために、データの入力、外部記憶装置へのデータ格納が非常に複雑になると同時に、多くの時間を費やすことになった。例えば、1組の予測値に対する三つの測定量の計算時間は、約6時間を要し、その中で3分の1は、外部記憶装置(主に、磁気テープ装置)と、CPU間のデータ転送に費やされている。今後、更に大量のデータを処理し、測定量から統計的に種々の物理量を導出しようとする場合には、かなりの記憶容量の計算機と、アクセスタイムの短い外部記憶装置(例えば、磁気ディスク装置)が数台必要と思われる。また、ソフトの改善も、計算時間に大きく影響するので、この面についても検討が必要である。

謝 辞

本データ処理ソフトの作成にあたって、星の位置計算については、国土地理院宮崎大和氏、東京天文台中嶋浩一氏、時刻系については、東京天文台松波直幸助教授、周波数標準部、周波数標準値研究室安田嘉之室長、極運



第10図 -125 ns 遅延時間を加えた時の位相スペクトル ( $\Delta\tau' = +125$  ns)



第11図 -1 ラジアン位相回転したときの位相スペクトル ( $\Phi_0' = +1$  ラジアン)

動については、緯度観測所佐藤弘一氏、アンテナの位置については、横須賀通信研究所嶋田博氏、宇宙開発事業団竹内端夫氏に御指導を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

(1) 荒木俊馬, 現代天文学事典, 第2版, pp. 141, 恒星社厚生閣, 昭和42. 6.

(2) 天体位置表, 第684号, pp. 401, 海上保安庁, 昭和52年.

(3) Basart J. P., Milley G. K. and Clark B. G.; "Phase Measurements with an Interferometer Baseline of 11.3 Km", IEEE, AP-18, No. 3, pp. 375-379, May 1970.

(4) Van Vleck, J. H. and Middleton, D.; "The Spectrum of Clipped Noise", Proc. IEEE, 54, No. 1, pp. 2-19, 1966.

