

## II-3. システム機器 (1)受信・ローカル系

尾嶋 武之\* 梅津 純\*\*

### RECEIVER AND LOCAL OSCILLATOR SYSTEM IN THE VLBI EXPERIMENT

By

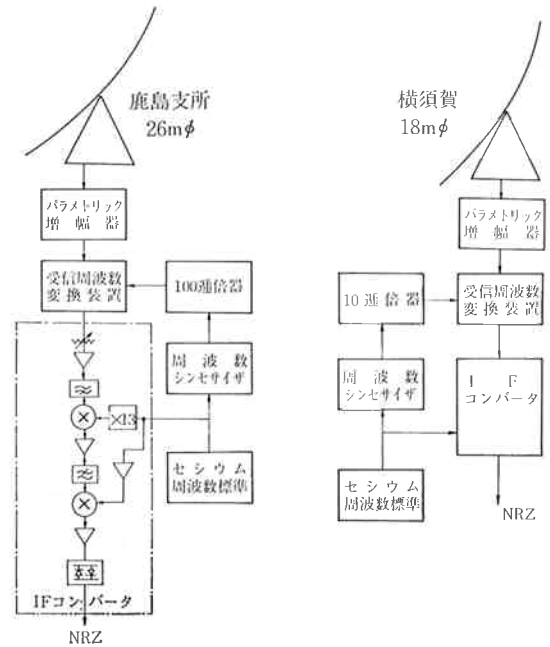
Takeyuki OJIMA\* and Jun UMEZU\*\*

#### 1. はじめに

VLBIにおけるリアルタイム信号処理システムの中で、受信系で用いられる幾つかのローカル信号の周波数安定度が最も重要なものである。その関係は、I-2.で詳しく述べられているので、参照してもらうことにして、ここでは、実際に、実験で使用されたシステムを中心に記すこととする。すなわち、4180 MHz帯の受信波を帯域2 MHzのビデオ帯に変換し、クリッピングした後、NRZ信号に変換するまでのシステムをローカル周波数の位相安定度と、帯域制限された雑音信号のクリッピングレベルを中心に述べる。

#### 2. システムの概要

第1図に、今回用いられた受信系のブロック図を示した。あらかじめ定められた受信周波数に対し、ローカル周波数は4110 MHzと定め、利用できる周波数合成器の関係で、図に示したように鹿島側は100通倍、横須賀側は10通倍の通倍器を用意し、それぞれ周波数変換装置に加えらる。各周波数合成器には、セシウム原子標準発振器からの5 MHz信号が加えられ、IFコンバータのローカル周波数も、すべての5 MHzの信号から作られる。IFコンバータは70~72 MHz帯のIF信号を、イメージ除去された0.2~2 MHz帯に周波数変換し、更に、一定の入力雑音電力に対して、雑音波形が99.0%以上クリップされた±0.3VのNRZ信号にして、送り出す。後続の記録信号発生部でサンプリングされ、あらかじめ定められたデータフォーマットのデジタル信号に変換される。



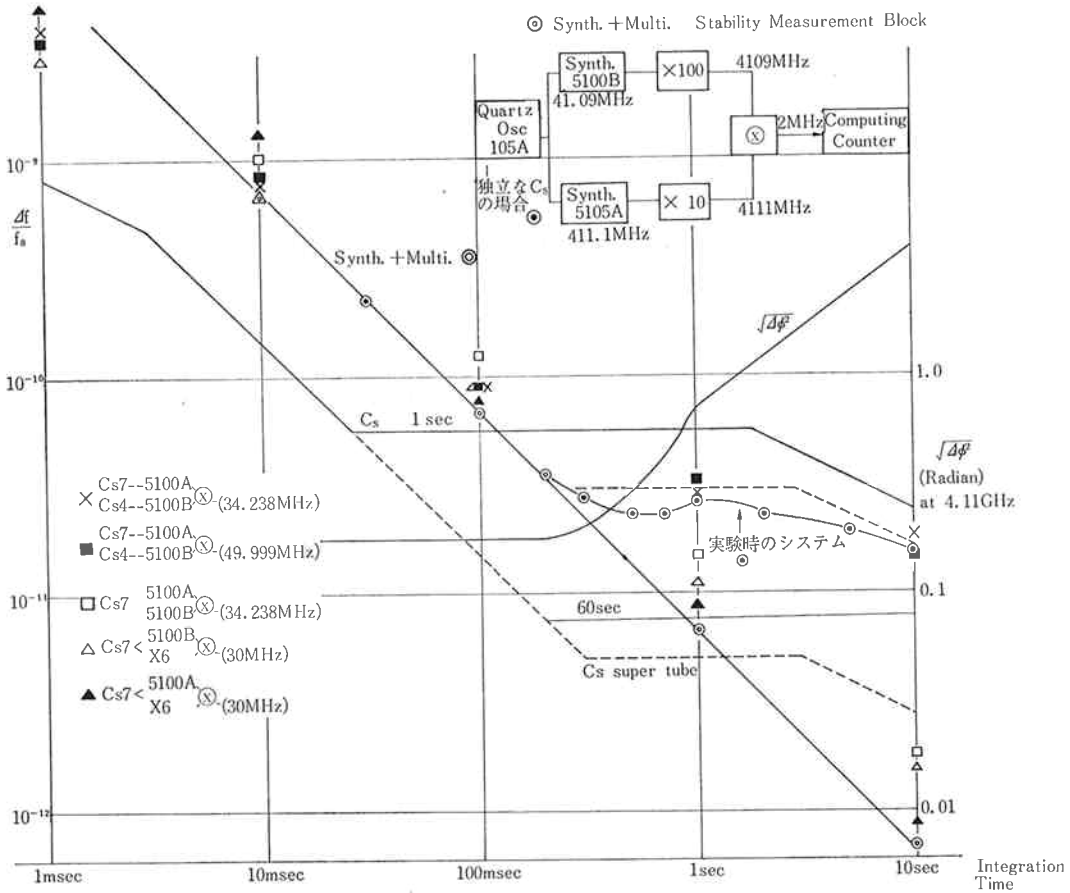
第1図 VLBI受信系ブロック図

#### 3. 周波数安定度について

二つのアンテナに入射する同一波源(衛星や電波星)からの信号を、0.2~2 MHzの帯域で相関させる訳であるから、共通ローカルを用いないVLBIでは、周波数安定度の極めて良い独立ローカルにしなければならない。周波数安定度は、その観測時間又は平均時間によって異なる<sup>(1),(2)</sup>。では、どれ位の平均時間が必要かということ、それは波源の強度と受信システムの雑音の比、すなわち、どの位のS/Nがとれるかで決まる。幸いに、衛星の場合にはフラックス強度が強いので、1ミリ秒位の積分時間で十分なのに対し、電波星の場合には、少なくとも

\* 衛星研究部 電離層衛星研究室

\*\*周波数標準部 周波数標準値研究室



第2図 ローカル周波数安定度と位相ジッタ

も1秒位は必要である。したがって、もっと弱い電波星の場合には、分ないし時間オーダの積分時間が必要で、その間のローカル系の位相のゆらぎを1ラジアン位に抑えようとする、周波数安定度は10<sup>-12</sup>~10<sup>-13</sup>以上が必要とされる。今回の実験では、使用できる原子周波数標準がセシウム発振器だけであるので、主として、これらを用いた場合の通倍器や、周波数シンセサイザあるいはローカル系全体の安定度を調査、測定した。第2図に、それらの結果を示した。この図には、同時に4110MHzにおける位相のゆらぎに換算した値も示してある。別章で述べられるデータの処理から明らかのように、測地的応用である基線長をより正確に出そうとすると、この位相のゆらぎを小さな値に抑える必要がある<sup>(4)</sup>。図に示した今回の場合、位相のゆらぎを1ラジアンを基準とすれば、2秒位は積分時間がとれることになる。また、この図から、平均時間の短い領域で、周波数シンセサイザ及び通倍器による安定度の劣化が表れている。

位相のゆらぎと周波数安定度の関係は、次式で表される<sup>(3)</sup>。

$$(\Delta\phi)^2 = \omega^2 L \delta_g^2 \tau^2 \dots\dots(1)$$

ここで、

- $\omega L$ : ローカル周波数
- $\Delta\phi$ : 位相のゆらぎ r. m. s.
- $\delta_g$ : 周波数安定度 =  $\Delta f_{r.m.s.}/f$
- $\tau$ : 積分(平均)時間。

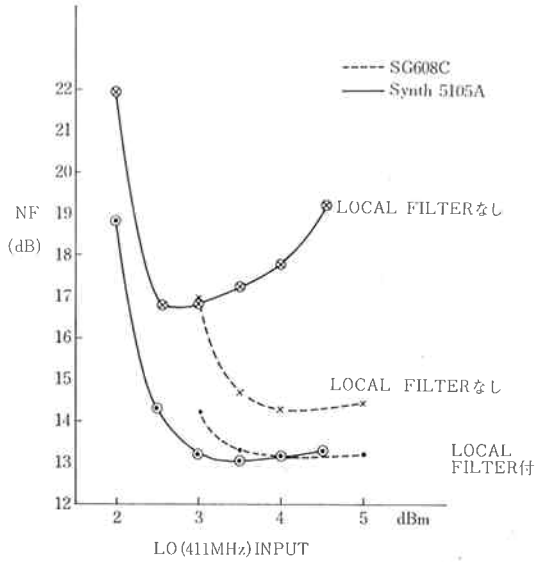
一方、S/Nからくる位相のゆらぎは、ほぼS/Nの平方根に逆比例するから、次式で与えられる<sup>(4)</sup>。

$$(\Delta\phi)^2 \approx \frac{\sqrt{T_{S1} T_{S2}}}{\sqrt{T_{A1} T_{A2}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2B\tau}} \approx \frac{1}{S/N} \dots\dots(2)$$

ここで、

- $T_{A1}, T_{A2}$ : 波源によるアンテナ雑音温度
- $T_{S1}, T_{S2}$ : 受信システム雑音温度
- $B$ : 周波数帯域幅
- $\tau$ : 積分時間。

このS/Nからくる位相のゆらぎは、データ処理と関連するものであるが、受信系としては、システム雑音温度を下げる努力を払わなければならない。その一つとして



第3図 受信周波数変換装置NF特性

ローカル雑音がある。ローカル系は5 MHz からすべて、シンセサイザと通倍器を通して構成されるので、いわゆる通倍器の2乗で発生するといわれる高い周波数成分の雑音による影響は大きく、最終通倍器出力に狭帯域のフィルタの挿入は不可欠であり、フィルタの挿入により、受信機のNFは4 dB 改善できた。第3図はこの様子を示したもので、ローカル周波数源としてSGを用いた場合と比較して、シンセサイザを使用した場合のローカル雑音によるNFの劣化は明らかである。

また、念のためパラメトリック増幅器による短期位相ジッタを測定したところ、5°pp 以下と問題にならないほど小さいことが判明した(第190回研究談話会)。

#### 4. クリップノイズ

1ビットサンプリングする前に、十分クリッピングしておく方が好都合であるので、0.2~2 MHz の帯域の雑音波形が、システム雑音レベルで99%以上クリップされるように、クリッピングアンプの利得等を定めた。

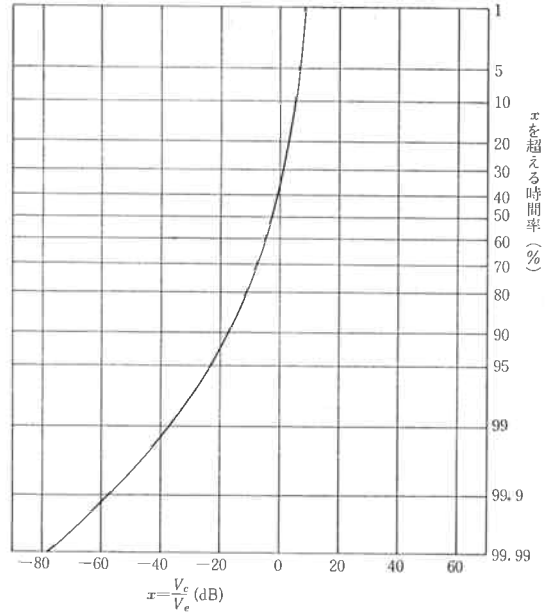
雑音はガウス雑音とすると、ランダム雑音の r. m. s. 電圧を  $V_e$  クリップすべき電圧  $V_c$  とすると、雑音波形が  $V_c$  を超える時間率  $F(x)$  は、次式で与えられる。

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left\{-\frac{x^2}{2}\right\} dx, \quad \dots(3)$$

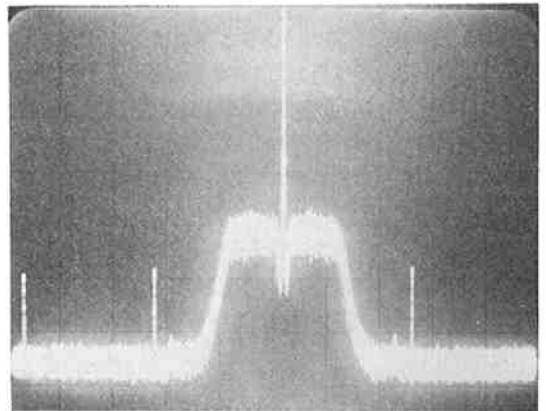
$$\text{ただし, } x = V_c / V_e. \quad \dots(4)$$

第4図に式(3)の計算を示した。この図から、99%以上がクリップされるためには、平均雑音電力から定まる  $V_e$  に対して、その約100分の1の電圧でクリップすればよ

いことになる。また、第5図、第6図に、そこにそれぞれクリップする前のスペクトラムと、クリップした後のスペクトラムを示した。この図から明らかなように、極端にクリップした雑音の波形のスペクトラムは、クリップする前に比べて帯域外近傍に3角形状に広がった成分をもつことがわかる。このことは、量的にも文献(5)に示された計算値とも、ほぼ、合致することがわかる。最後に、第7図に、クリップされたNRZ信号の写真を示す。



第4図 電圧波形が  $x$  を超えている時間率



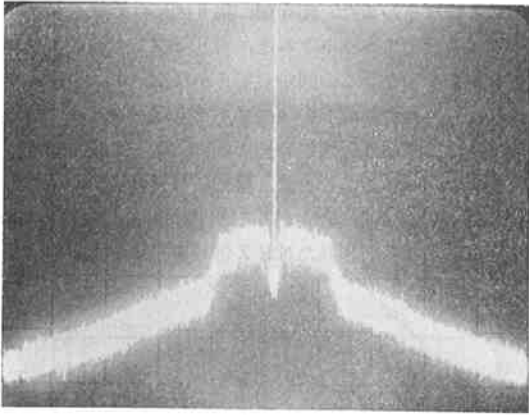
第5図 クリップ前スペクトラム  
(横: 2 MHz/div, 縦: 10 dB/div)

## 謝 辞

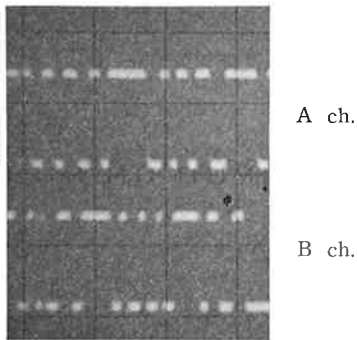
本文の周波数安定度に関する測定及び御指導には、周波数標準部周波数標準値研究室の安田嘉之室長、吉村和幸主任研究官（当時）に負っている。ここで感謝の意を表したい。

## 参 考 文 献

- (1) David W. Allan, "Statistics of Atomic Frequency Standards", Proc. IEEE, **54**, No. 2, Feb., 1966.
- (2) 日本産業技術振興協会, 高周波・マイクロ波・レーザ計測, 第9章周波数と時間の測定.
- (3) W. K. Klemperer, "Long-Baseline Radio Interferometry with Independent Frequency Standards", Proc. IEEE, **60**, No. 5, May 1972.
- (4) J. Ramasastry, et al., "Tracking of the ATS-3 Synchronous satellite by the Very Long Baseline Interferometer (VLBI) Technique", GSFC Report. X-553-72-290, July 1972.
- (5) J. H. Van Vleck and D. Middleton.; "The Spectrum of Clipped Noise", Proc. IEEE, **54**, No. 1, Jan. 1966.



第6図 クリップ後スペクトラム  
(横: 2 MHz/div, 縦: 10 dB/div)



第7図 クリップ後NRZ信号  
(横: 2  $\mu$  sec/div, 縦: 1 V/div)

