

### III-2. 時刻同期

佐藤 得男\* 小林 三郎\* 伊藤 猛男\*

#### TIME SYNCHRONIZATION

By

Tokuo SATOH, Saburo KOBAYASHI and Takeo ITOH

#### 1. ま え が き

V L B Iにおいて、基線の両端で使用する時計は、理想的には、そのレート及び時刻が独立に完全同期されていることが望ましい。しかし、長期間にわたりこのような状態を保つことは、原子時計を用いても現実的に不可能である。そこで、遠くはなれた二つの時計の時刻差を精密に測定する方法として、(1)原子時計運搬による方法、(2) LORAN-C 電波を利用する方法、(3)人工衛星を利用する方法等があるが、同一送信アンテナのTV信号が互いに受信できる範囲内であれば、これを利用するのが比較的簡単で、しかも高い比較精度が得られる。今回のV L B I基礎実験でも、実験期間中、鹿島、横須賀両地上局に配置されたセシウム原子時計相互の時刻差を、TV同期パルス仲介法を用いて比較測定した。本報告は、その測定方法と結果について述べたものである。

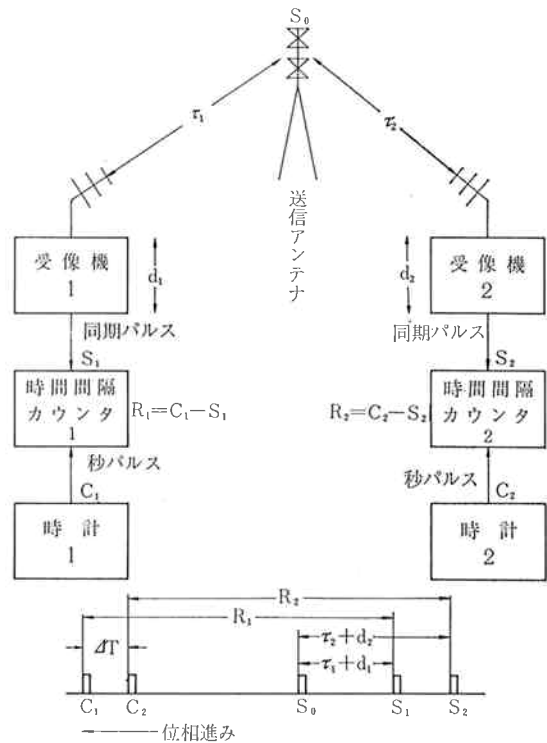
#### 2. 実験用原子時計の運搬及び配置

実験に用いた原子時計は、鹿島、横須賀両地上局とも、HP社5061A型セシウム原子時計1台ずつの最小構成で時刻を維持することにした。このため、2台の時計のレートから、実験の途中で時刻差が零になるように時刻合わせを行い、そのうちの1台を動作状態のまま実験機材と一緒に自動車で運搬し、横須賀地上局に設置した。この運搬には、セシウム原子時計のバッテリーのみではその容量が不足するので、運搬中もAC100Vを供給できる電源車を使用した。また、実験終了後も同様に鹿島に運び、時刻比較及び位相比較を行った。これは、TV仲介時刻比較の場合の遅延時間差をも実測するためである。なお、使用した原子時計は、いずれもNormal Tube内蔵のもので、現在は、更に安定度の優れたHigh

#### 3. 時刻比較方法

Performance Cs Beam Tube を内蔵したのもも実用化されているが、今回の実験には使用できなかった。

TV信号を利用した時刻の精密比較については、文献(1)に詳細に述べられているので、くわしい説明は省略す



C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>: 時計 1, 2の秒信号の位相  
 S<sub>0</sub>: 送信アンテナにおける同期信号の位相  
 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>: 受像機 1, 2における同期信号の位相  
 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>: 受像機内の遅れ時間

第1図 TV信号仲介による時刻比較原理図

\*周波数標準部 標準電波課

るが、第1図に、その原理を示す。同一送信アンテナから放送された、ある特定の同期パルスを両地点で受け、その受信時刻を、それぞれの時計の秒パルスを基準として同時測定をすることにより、時間間の時刻差  $\Delta T$  は、次式によって求められる。

$$\Delta T = C_1 - C_2 = (R_1 - R_2) - (\tau_1 - \tau_2) - (d_1 - d_2).$$

ここで  $C_1, C_2$ : 時計1, 2の秒パルスの位相

$R_1, R_2$ : 秒パルスと受信同期パルスとの時間間隔 (受信時)

$\tau_1, \tau_2$ : 送信アンテナから受信アンテナまでの伝搬時間

$d_1, d_2$ : 受信機内の遅れ時間,

$\tau_1 - \tau_2$  は、送受信2者の地理座標から計算により、また、 $d_1 - d_2$  は実測から求めることができる。しかし、前述のようにセシウム原子時計を運搬して直接比較することができれば、より正確に遅延時間を決定することができる。

### 3.1 測定装置の構成

第2図は、測定装置の構成図で、実験にはこのような装置を2組準備し、鹿島及び横須賀両地上局に配置した。使用したタイム・インターバル・カウンタの分解能はいずれも10 nsである。また、時刻比較の仲介に用いたパルスは、TV垂直帰線期間内 Line 11の前の水平同期パルスを選択抽出して使用した。

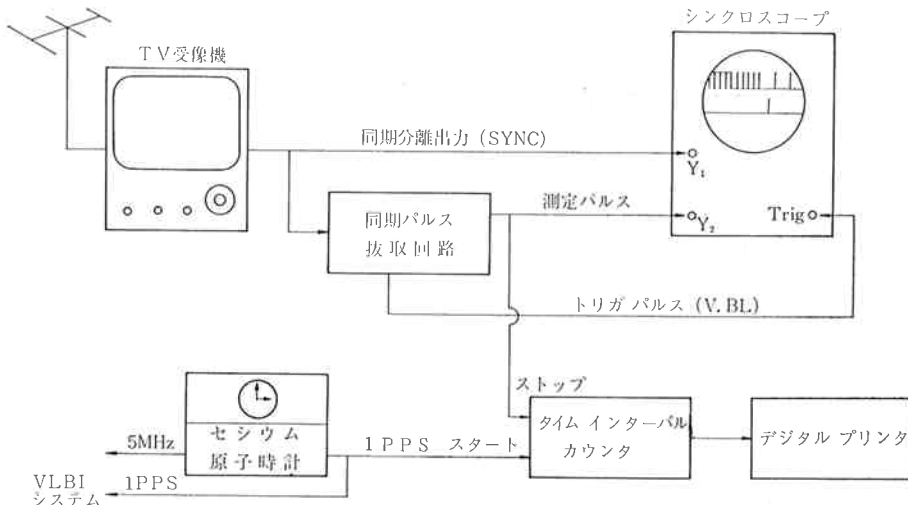
### 3.2 遅延時間差の決定

TV同期パルス仲介法で時刻比較を行う場合、送信アンテナからそれぞれの受信アンテナまでの伝搬遅延時間及び受信測定システムの Delay の差を、正確に知る必

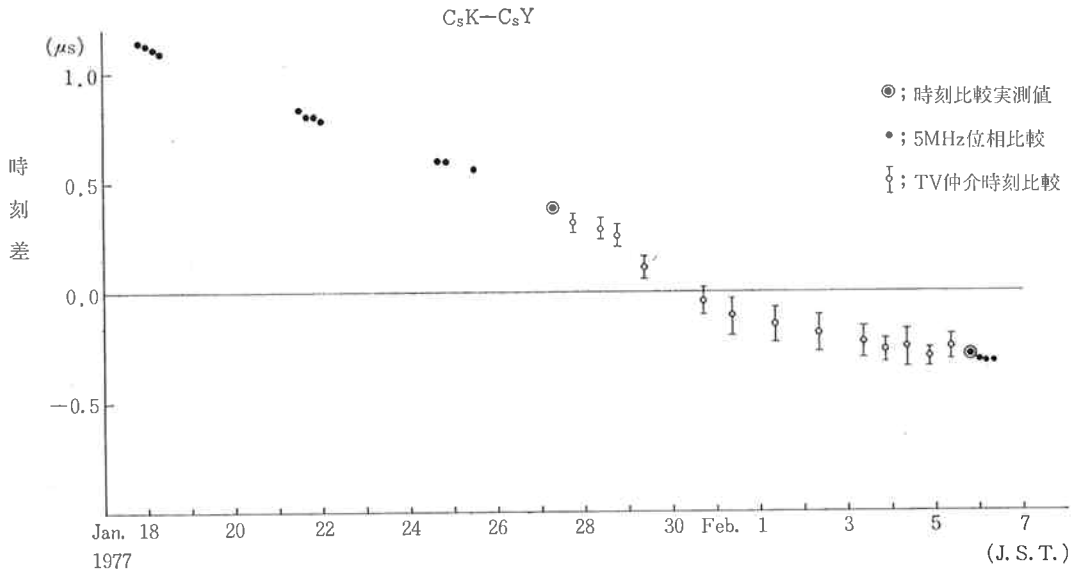
要があることは既に述べた。今回の実験では、前述のように実験の前後にセシウム時計を鹿島に集め、直接比較する方法、いわゆる、ポータブルクロック法で Delay の差を決定した。すなわち、時計移動前の適当な期間、時計相互の動きを、あらかじめ比較測定しておき、出発直前 (あるいは到着直後) の測定値と、それまでの傾向から目的地に到着した時点の時刻差を推定し、その時点のTV仲介法で得られた受信時刻差から、逆に補正すべき値 (Delay の差) を決定するものである。このようにして測定した Delay の差は、実験の前で 136.50  $\mu$ s、後で 136.5  $\mu$ s、補正值としてこれらの平均 136.53  $\mu$ s を用いた。

## 4. 時計比較結果

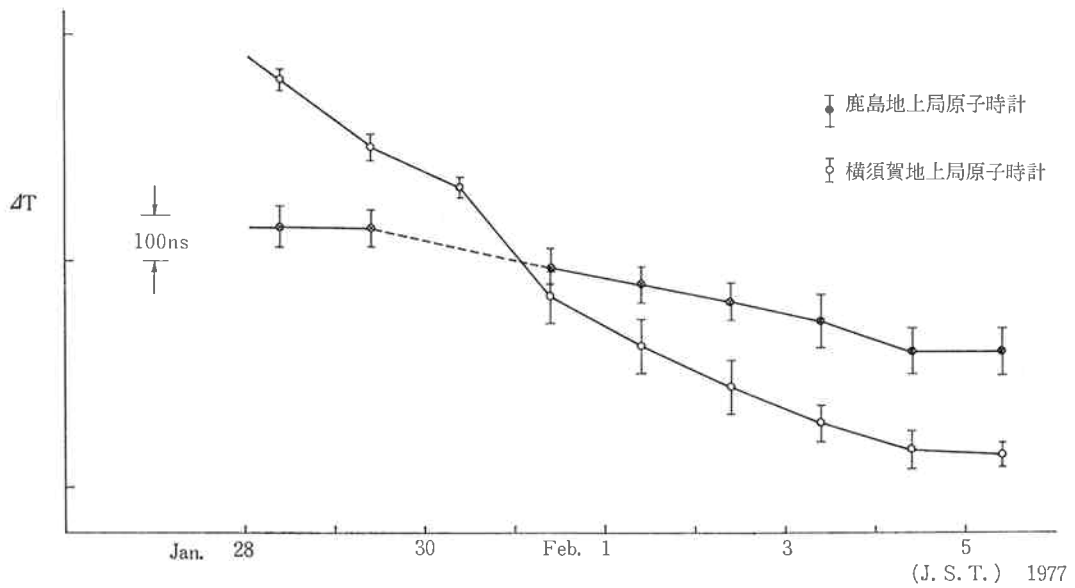
TV同期パルスの受信測定は、鹿島、横須賀両地上局で行うほか、毎日1回は国分寺の周波数標準部でも、同時刻に測定を行い、実用標準主時計 (RRL M.C.) で、両地上局の原子時計の動きを監視した。第3図は、地上原子時計相互の比較結果で、TV仲介の値はいずれも114~120個の平均値である。分散は1 $\sigma$ で40~90 nsであった。実験期間中、双方の時計に、特に大きな異常は認められなかったが、実験の前半に、時刻差にうねりがみられる。これは、第4図の、実用標準主時計に対する両原子時計の動きからみて、明らかに横須賀側の時計に原因するものと言えよう。Normal Tube 内蔵のセシウム原子時計を運搬、移動し、環境が変わった場合、この程度の周波数変化 ( $1 \times 10^{-12}$  程度) は起こり得るものと思われる。第3図の、直接及びTV仲介時刻比較の全データに最小自乗法による1次式を適用し、その直線からの



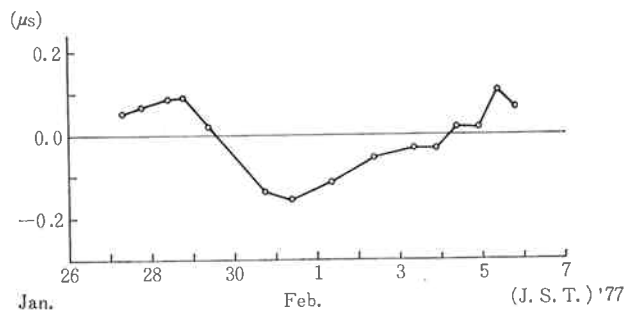
第2図 測定装置構成図



第3図 鹿島 (CsK) 横須賀 (CsY) 両地上局の原子時計相互の時刻差



第4図 实用標準主時計 (国分寺) から見た両原子時計の動き



第5図 最小自乗法による1次式からの残差

残差を求めると、第5図のようになる。したがって、V L B I データ処理の際  $0.15 \mu\text{s}$  程度の誤差が許されるならば、期間中直線と見て差支えない。

ラー・サブキャリアの連続受信位相比較値仲介等の方法を併用することにより、 $10 \text{ ns}$  の精度を得ることは可能であろう。

## 5. む す び

## 参 考 文 献

実験期間中の時刻差は、原子時計運搬及びTV同期信号仲介法の併用で、 $\pm 100 \text{ ns}$  以内で把握することができた。しかし、更に同期精度を必要とするならば、TVカ

- (1) 佐分利義和, 安田嘉之, 小林三郎, 佐藤得男; “TV信号を利用した時刻と周波数の精密比較”, 電波研究所季報 18, No. 99, pp. 433—444, 昭47, 11.

