

ロケット用光学的追跡装置の時間的同期について

—高速飛しょう体の光学的追跡に関する研究 第13報—

植村恒義・山谷健三郎

1. 緒言

飛しょう中のロケットを追跡して、その航跡・速度・加速度等の飛しょう特性を解析する方法の一つとして Cine-theodolite がある。この方法は、ロケットの比較的近距离における飛しょう特性を精確に知るには最も有効な手段であり欧米においては広く用いられている(生産研究 VoL. 8 No. 10, p. 365, 1956 参照)。

Cine-theodolite において、ロケットのような高速飛しょう体を二ヶ所以上で観測する場合各観測点間における時刻目盛の同期は最も重要な問題の一つである。

この時刻同期の方法としては、**i)** 各観測点の装置を中央指令所から一括して完全な同期運転をする方法、**ii)** 中央指令所より時刻同期信号のみを各観測点に送り、この信号を刻々の観測結果と一緒に記録する方法、**iii)** 各観測点より観測結果を中央指令所に送り、この観測結果を中央指令所で一括して記録する方法等がある。このうちでも、**i)** の方法は理想的な方法であるが、ロケット観測のように観測点間の距離が数軒から数十軒にもおよび場合は莫大な費用を必要とする。

また **ii)** および **iii)** においても、時刻同期信号および観測記録の伝送方式に、有線および無線の両者が考えられる。

以上の方法のうち、いずれの方法を選択するかは各観測点間の距離による伝送特性および費用等の諸条件によって定まる。

以上いずれの場合にしる理想的な時刻同期を得るには非常に多くの費用を必要とする。今回われわれの行ったロケットの光学的追跡による観測において行った時刻同期の方法は、経費の節約上無線により中央指令所から時刻同期信号のみを各観測点に送り、この信号を刻々の観測結果と一緒に記録する方法を採用した。ただし中央指令所として東京から発射している標準電波(J J Y)を、時刻同期信号および時間目盛とすることにした。

その結果、雑音妨害により時刻同期信号および時間目盛として使用することができなかった。そこで通信班の 1,690 kc, 3W の通信機から時刻同期信号電波を発射し、これを中央指令所の時刻同期信号として使用した。

以上時刻同期の重要性、方法および今回われわれが行った結果について述べる。

2. 時刻同期の誤差と観測角誤差の関係

高速飛しょう体を観測する Cine-theodolite 法においては時刻同期が重要であることは緒言にも述べた。しか

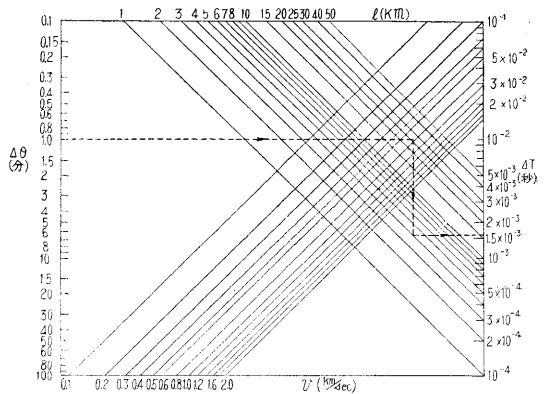
し、観測装置の測角精度により必要な時刻同期の精度が定まる。

今、時刻同期の誤差による観測角に生ずる測角誤差について調べる。この両者の関係は、被観測体の速度、高さ、運動方向および観測点の距離等によって簡単には定まらない。しかし観測角を水平、垂直の各成分にわけて観測する場合は、観測点からの角速度の各成分によって簡単に定められる。

今、被観測体の測角方向の速度成分を v (km/sec)、観測点までの距離を l (km)、時刻同期誤差を Δt (秒)とすると、この場合の測角誤差 $\Delta\theta$ (分)は、 $\Delta\theta$ が小なる時に限り(1)式が成立する。したがって観測装置の測角精度 $\Delta\theta$ が与えられた場合は、逆にこの装置に必要な時

$$\Delta\theta = \frac{10^4}{2.909} \cdot \frac{v \cdot \Delta T}{l} \dots\dots\dots(1)$$

刻同期の精度 ΔT が求められる。この(1)式の関係性を v および l をパラメータとして第1図に示す。この図表は、 l を単位長とした場合、 v をパラメータとして $\Delta\theta$ から ΔT を求め、さらにこの ΔT をパラメータとして



第1図 角度誤差と時刻同期誤差の関係表

実際の ΔT に変換したものである。この図表を用いて、ロケットの発射方向に対して直角の方向に 4(km)離れた地点において、測角精度 1分の観測装置で、生研カップ 128 J ロケットを観測する場合に必要な時刻同期精度を求める。この場合、ロケットの予想データより最高速度は 860 m/sec であるが、測角方向の成分は約 745 (m/sec)である。したがって $\Delta\theta=1$, $v=0.745$, $l=4$, とすると第1図の点線で示すように $\Delta T=1.6 \times 10^{-3}$ となる。したがってこのような観測条件においては約 0.0016 秒の時刻同期精度を必要とするのである。

3. 時刻同期装置

3-1 方 法

今回の生研カッパ 128 J ロケットの実験に際し、われわれは光学的追跡装置によるロケット観測を行った。この際、観測点を、ランチャーより東方約 0.7 km の東観測点、南約 4 km の南観測点、北方約 5 km の北観測点の 3 点においた。この観測点の時刻同期の方法として、1. に述べたように標準電波を各観測点で受信し、この秒および分信号を刻々の観測記録と同時に記録して各観測点間の時刻同期を得ることとした。標準電波はロケットの発射とは無関係に発射されているが、記録装置を 1 分間以上にわたって動作していれば分信号が一つ以上記録されるので各観測点間の時刻同期は容易に得られる。

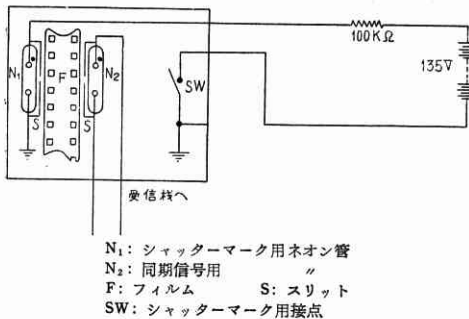
3-2 標準電波 (JJY)

現在日本で発射している標準電波 (JJY) 送信所は東京都北多摩郡小金井町にあり、搬送周波数 4 Mc, 出力 2 kW (常時) がある。この外にも定期的に 2.5 Mc, 5 Mc, 8 Mc, 10 Mc, 15 Mc の標準電波が発射されている。

標準電波は搬送波を 1,000 c/s および秒(分)信号で変調した振幅変調電波である。この電波は、毎時 59 分から 00 分まで音声アナウンスおよび 1,000 c/s の認識符号、00 分から 09 分まで標準 1,000 c/s および秒ならび分信号による変調電波が発射され各々 10 分毎に繰り返される。秒信号は毎秒 0.02 秒、分信号は 0.2 秒間だけ電波を停止しその次の電波発射の始点で正確な秒および分が示される。

3-3 時刻同期信号記録装置

今回のロケット観測用として中古の Mitchell Cine-theodolite を購入しわれわれの実験に適するよう、相当の改造を加えて使用した。この装置は有線により中央指令所から時間信号をパルス電圧で送り、このパルスによって時間目盛のカウンターが断続的に動くようになっている。しかしこのカウンターは毎秒 5 回以上は追従できず、われわれの目的とするロケットの観測には不適當である。そこでこのカウンターを毎秒 1 回転の同期電動機に直結し、連続回転を行わせて補助の時間目盛に使用し



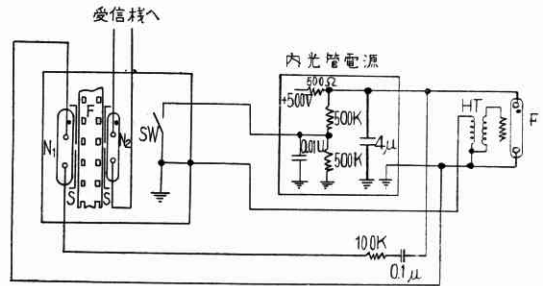
第 2 図 ミッチェル追跡装置のシャッターマーク略図

- N₁: シャッターマーク用ネオン管
- N₂: 同期信号用
- F: フィルム
- S: スリット
- SW: シャッターマーク用接点

た。

本格の高精度の時刻同期は時刻同期信号 (JJY) によってネオン管を発光させスリットを通して、観測データを記録するカメラのフィルムの端に直接記録するようにした。しかしこれだけではカメラの 1 駒の時間に相当する時刻同期誤差は避けがたい。したがって時刻同期の精度を高めるためにはシャッターの露出瞬間と同期信号の関係を示す標識が必要となる。この露出瞬間を示す標識 (シャッターマーク) としてカメラのシャッターに接点を取り付け第 2 図の回路を用いてネオン管を点滅させ、スリットを通して時刻同期信号と同時にフィルムの他の端に記録するようにした。

次にわれわれが試作した 15 倍手動追跡装置では、時刻同期信号は前述の Mitchell Cine-theodolite と同じ方法であるが、目盛撮影に閃光放電管を使用しているため、閃光放電管と同期した標識が必要となる。この場合これがシャッターマークとなるのであるが、これは閃光放電管から直接第 3 図の回路でネオン管を閃光放電管と同期

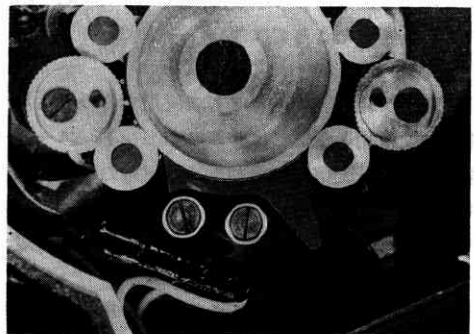


- N₁: シャッターマーク用ネオン管
- N₂: 同期信号用ネオン管
- SW: カメラ接点
- F: 16 mm フィルム
- H.T.: 高圧発生コイル
- S: スリット
- F: 閃光管

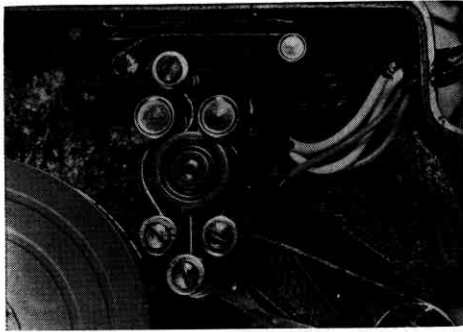
第 3 図 15倍追跡装置のシャッターマークの回路として点滅するようにした。Mitchell Cine-theodolite および 15 倍手動追跡装置のネオン管の取り付けは第 4 図および第 5 図に示す。

3-4 時刻同期信号装置の精度

前述のような記録装置における時刻同期の誤差は、電気的回路特性による誤差と記録された信号を読み取る際



第 4 図 ミッチェル追跡装置のネオン管



第5図 15倍追跡装置のネオン管に生じる誤差に大別できる。

電気的回路特性による誤差は 10^{-4} 秒以下であり、読み取りの際に生ずる誤差と比較すれば無視できる。

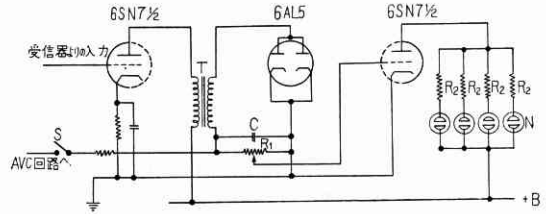
記録された信号を読み取る際に生ずる誤差は、フィルムの1駒において生ずる誤差について考えれば良い。この誤差はネオン管の取り付けの際、時刻同期信号用のネオン管とシャッターマーク用ネオン管のスリットをフィルムの端に取り付ける際に生ずる取付け誤差とフィルム上に結ばれたスリットの像の読み取りの際に生ずる誤差の二つに分けられる。前者は取付けの際十分注意すれば相当精度を高めることができる。また後者は、適当な方法たとえばレンズ系を使用することによって、スリットの像をフィルム上に結ばせて精度を高めることができる。また画面が大きな場合はより良い精度が得られる。われわれの試作した装置はスリットをできるだけフィルム面に近づけて結像させるようにしてある。この場合の読み取り精度は Mitchell Cine-thodolite の場合は1駒のうちの約 $1/100$ および、15倍手動追跡装置では約 $1/40$ の誤差が生ずると考えられる。しかし、時刻同期信号はシャッターマークを介在するので1台の装置としての誤差は2倍となり、それぞれ駒の $1/50$ および $1/20$ の誤差となる。今回は Mitchell Cine-thodolite は撮影速度毎秒20駒、15倍手動追跡装置では毎秒8駒であるので時刻同期の精度はそれぞれ $1/1000$ 秒および $1/160$ 秒となる。ただし、この方法における時刻同期信号の記録装置で、十分注意をすれば1駒のうちの $1/100$ の精度を得ることは不可能ではなく、 $1/2000$ 秒の時刻同期の精度を得ることは困難なことではない。

3-5 受信機

標準電波を時刻同期信号として使用するのだが、標準電波受信用の受信機は普通の2バンド、スーパー方式を採用した。受信機の全利得は受信地の状態、地形等によって一概に求められない。そこで、予備実験として現地で標準電波を受信し、受信機的全利得を決定することにした。

受信機は、時間および経費の節約上、市販の部品を使用することにした。ただし受信の目的は、秒および分信

号で変調した $1,000$ c/s の信号波であるから、必要とする帯域幅は 2 kc あれば十分である。そこで中間周波トランスは市販のうち特に帯域幅の狭いものを使用することにした。また標準電波の秒および分信号によってネオン管を点滅させるには、秒信号によって点灯する場合と消灯させる場合の二通りが考えられるが、われわれの場合は記録装置の都合上、前者の、信号によってネオン管を点灯する第6図の回路を使用した。



N: ネオン管
第6図 ネオン管点滅回路

この回路では低周波の出力として約 1 V を必要とする。また信号によって点滅するネオン管は普通の市販のパイロットネオン管で、入力電圧は約 100 V 必要である。

4. 予備実験

今回のロケット実験に際し標準電波 (JJY) を用いるのであるが、標準電波発射局 (東京) と受信地 (秋田) 間の距離は約 500 km であり、しかも JJY 発射局の出力は 2 kW であるため相当電波は微弱になる。この場合受信地の電界強度は受信地の地形および空中状態等の影響により簡単に算出することはできない。そこで予備実験として、低周波出力段までの利得が約 105 db の高周波1段、中間周波1段、低周波1段、増幅にネオン管点滅回路を付加した受信機を試作して現地で 1956 年 8 月 13 日から 3 日間にわたって、午前 8 時から午後 4 時まで試験的に受信した。その結果 9 時頃から 10 時頃までの約 1 時間を除き受信することができた。しかし空中状態は季節によって変化するので確実なデータとして使用することはできないが、実際に時刻同期信号として標準電波を受信するための受信機を設計するのに参考になった。この結果を用い受信機の低周波出力段までの利得 140 db とすることにした。

5. 時刻同期装置の使用結果

5-1 カップ 128 J-S ロケット実験の際の使用結果

1956 年 9 月に秋田で行ったケロット実験の際には、各観測点で標準電波を受信することはできたが、観測装置を作動すると強烈な雑音が入り標準電波を時刻同期信号として分離することができなかった。

この雑音は直流電動機、閃光放電管、シャッターマーク用回路等から発生していた。ただし強力な電波、たとえば受信地より約 30 km 離れた 1 kW の放送局 JOTR (ラジオ東北) の電波などを受信する際には妨害とはな

