

ロケットの光学的追跡に関する基礎資料

植村 恒義・中村 日色

§ 1. 緒言

飛翔中のロケットを追跡してその航跡、速度、加速度等の飛翔特性を解析する方法としては種々の方法が用いられているが、大別すれば電氣的追跡方式と、光学的追跡方式の2種に大別できる。前者の電氣的追跡方式には Radar 法、DOVAP 法、Telemeter 法等があり、後者の光学的追跡方式 (Optical tracking System) には Cine-theodolite 法、高速度カメラ法、ロケット・ボーン・カメラ法等がある。電氣的方式と光学的方式はそれぞれ特徴を有するので、目的に応じて二者のいずれかを選び、また場合によっては両者を併用する必要がある。

電氣的方式の長所は数 10km ないし数 100km の遠距離まで確実に追跡が可能であり、曇天や夜間でも使用できることである。光学的追跡方式は望遠鏡系ならびにカメラよりなる光学装置を使用するので気象条件に非常に左右され易いが、光学的装置による追跡可能の範囲においては電氣的方式に比べて一桁よい追跡精度を得ることができる。また飛行中のロケットを刻々映画的に記録し得るので、ロケットの飛行姿勢、エンジンの燃焼状況等電氣的方式では知り得ない諸要素を記録することができる。したがって気象条件が良好ならば 10km ないし 20km までの比較的近距离の範囲の追跡には光学的追跡方式が有利であり、それ以上の遠距離の追跡には電氣的方式が優ってくる。

光学的追跡方式中高速度カメラ法は発射台ならびにその付近におけるロケットの発進状況の解析研究には最も有力な手段として用いられ、またロケット・ボーン・カメラはロケット機体中に装着されて外界の状況を一定時間間隔で記録撮影することにより、刻々のロケットの位置、飛行姿勢、回転状況、航跡等を知ることができる。しかし Cine-theodolite 法が飛翔特性の全貌を知るには最も有効な手段で広く用いられている。

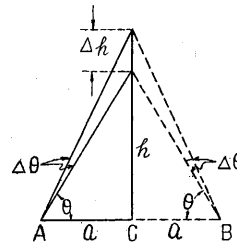
Cine-theodolite 装置の追跡可能の限界はもちろん望遠鏡系の性能、特に口径および倍率によって決定されるものである。ロケットの予想飛翔特性が与えられた場合には追跡観測点間の基線長を適当に選ぶことによって誤差を少なくすることができるはずである。基線長の大小はまた追跡角速度と直接関係がある。飛翔速度の大きい目標に対しては観測点間の同期精度 (時間軸測定精度)

は非常に苛酷な条件となる。これらの基礎的問題について検討すると共に本格的な観測ロケット飛翔実験に備え設計試作した装置および外国における専用機械の数例について簡単に説明しよう。

§ 2 光学的追跡についての基礎的諸条件

2-1 高度、基線長と測定精度

簡単のためロケットは垂直飛翔するものとし発射台の



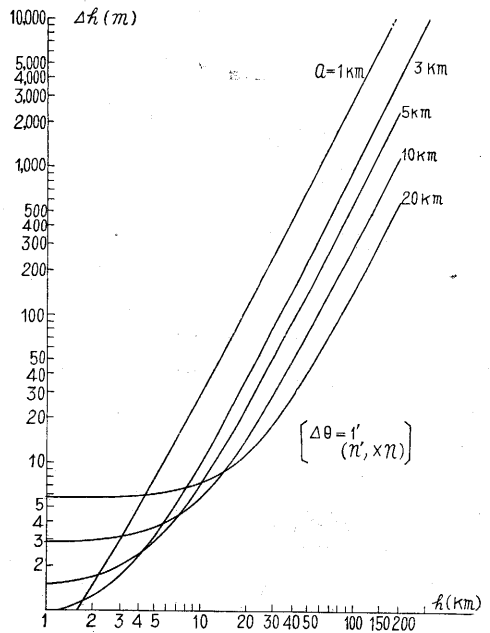
第 1 図

両側 a の距離から 2 点観測した場合について考える。

第 1 図において A, B は観測点、 C を発射点、 h を高度、 θ を仰角とする。両観測点における角度の測定誤差が同方向にそれぞれ $\Delta\theta$ であったとすると高度 h に対する誤差 Δh は次の式で与えられる。

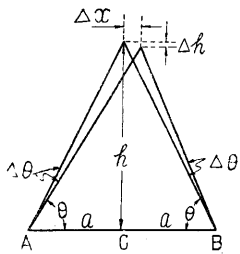
$$\Delta h = (a^2 + h^2) \Delta\theta / a \dots\dots\dots (1)$$

当然のことながら $a=h$ (仰角 45°) の場合に高度誤差は最小となるから、最も精度よく測定したい高度が基線長



第 2 図

の Δ に等しくなるように観測点を選ぶことが望ましいわけである。(1)式を $a=1, 3, 5, 10, 20\text{km}$ に対して $\Delta\theta=1'$ の場合を図示すると等2図の如くなる。図で明らかな如く h が余り大でない場合に a を大にすることはかえって精度の低下をきたす。図は観測点より目標までの距離にかかわらず角度測定誤差 $\Delta\theta$ を一定とした場合の高度の誤差 Δh を示すものであるから、実際には距離が遠くなった時 $\Delta\theta$ は種々の条件で大きくなることを考慮に入れなければならない。 $\Delta\theta=1^\circ$ 程度までは Δh は $\Delta\theta$ に比例すると考えてよい。使用望遠鏡の口径、倍率視野および目標の大きさから追跡し得る最高高度を決定し、その高度に適した基線を選ぶことになる。例えば $h=8\text{km}$ が望遠鏡装置により識別可能であれば $a=5\sim 10\text{km}$ が最適であり $\Delta\theta=1'$ による Δh は 5m 以下に押えることができる。 h に比較して a が小さい場合には Δh は a に逆比例すると考えてよいが基線長を長くすることによって生ずる種々の不利な条件を考慮すると、むしろ望遠鏡系、角度測定装置等の改良により $\Delta\theta$ そのものを小さくする方が実際には有利であろう。第1図の場合 $\Delta\theta$ の大きさ・符号が等しいと考えたため横の誤差は出てこ



第 3 図

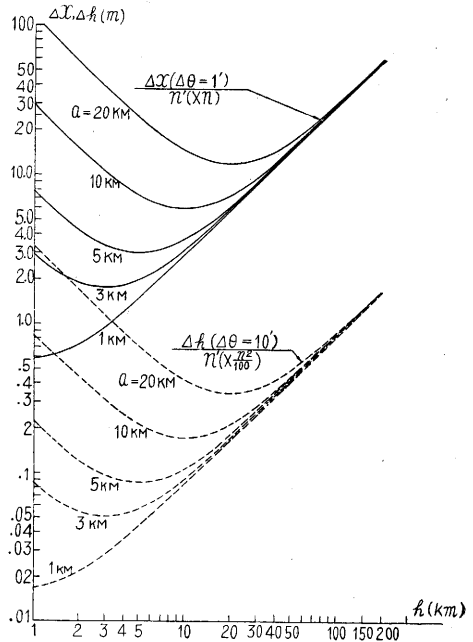
を Δx とすれば

$$\Delta x = \frac{a^2 + h^2}{h} \frac{\sin 2\Delta\theta}{2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta h = \frac{a^2 + h^2}{h} \sin 2\Delta\theta \dots\dots\dots (3)$$

となる。これを図示したのが第4図で Δh は2次の微量となり、実際にはほとんど問題にする必要はない。 Δx の値は h が小なときは a が短い方が小さくが数 10km 以上の場合には a の値によらずほとんど一定と考えてよい。したがってこの場合基線長を無意味に長くすることは無駄で、前述の議論により許される誤差の範囲が決定されたら、その範囲で a はできるだけ短くすることが望ましい。

以上2種の最大誤差を与える場合を総合すれば基線長を伸ばすことが一義的に有利な条件であるとは言えないことが分る。追跡角速度さえ問題がなければ高度 100km 程度までは、 $a=5\text{km}$ 内外に固定し光学的追跡装置に大口径大倍率広視野の眼鏡を使用して遠距離になった場合の角度測定精度を上げることの方が有利である。



第 4 図

2-2 追跡角速度

実際の追跡操作に当って最も問題となるのは追跡角速度である。目標が高速度で飛翔する場合、基線長を余り短くすると角速度が非常に大となるために追跡が不可能となる。同時撮影記録式の追跡装置であれば撮影画面の内に入る程度に追跡し、正確な角度は撮影画面よりの補正が可能であるから目標追跡もその範囲で行えばよいのでかなり有利ではあるが、兩車駆動式の装置の場合函数比を切替える等の配慮が必要となる。さらに高級な装置として予め予期される軌跡、速度等の諸元を装置に与え、動力駆動とし、実際の僅かな偏差だけを人力によって操作補正して追跡するような機構の装置とすればかなり大きな角速度に対しても追跡が可能となる。

実際の角速度がどの程度になるかを調べてみると $h=800\text{m}$ で $v=860\text{m/sec}$ のロケットについて第1表の如くなる。

第 1 表

a	1km	3km	5km	10km
追跡角速度	$29^\circ/\text{sec}$	20°	10°	5°

第1表に示す値は生研カッパー 128 J ロケットの予想データによるものであるが、この程度のロケットでも相当大きな角速度となることに注意すべきである。

追跡用特殊セオドライトとして製品化されている装置で追跡最大角速度は普通 $30^\circ/\text{sec}$ 程度である。したがって基線長は角速度が装置の機構、人員の訓練により可能な最大角速度以下となるように適当に選ぶ必要がある。

2-3 追跡同期 (時刻) 精度

飛翔軌跡を求めるには二ヶ所以上の観測点の同時刻における仰角および旋回角を用い各時刻における x, y, z 座標を決定する。ロケットの速度が大なる場合角度の精度をいかによくしても時刻の測定、あるいは同期が完全でなければ精度のよい測定はできない。2 地点からの仰角および旋回角が分れば時間軸はなくても飛翔軌跡を求めることは不可能ではないが、多大の労力を要するのみならず軌跡に時刻軸を入れることは不可能である。

角度精度 $\Delta\theta$ に比し時刻精度 ΔT の条件は非常に苛酷なものである。例えば前述の 128 J に対して $\Delta\theta$ に対する ΔT を求めると第 2 表の如くなる。

第 2 表

$\Delta\theta \backslash a$	1km	3km	5km	10km
1'	0.00057	0.00083	0.0017	0.0032
3'	0.0017	0.0025	0.0051	0.0064

$h=800m$ に対し角度精度 $\Delta\theta=1'$ は必ずしも困難な精度ではないが時刻測定を 0.00057 sec の精度で同期させることは非常に困難な条件となる。

角度目盛の撮影記録には特に閃光継続時間の短い閃光管を用い、適当な方法でその点滅を同期させ、撮影機の作動もこれに同期させるのが理想的である。したがって 2 観測点間の連絡は有線または無線により必要な時刻指令を与える方法を取らねばならない。

外国の専用機械においても特にこの点は考慮されており、撮影機のシャッターの開いた瞬間を電気的パルスにして指令所に逆送し、時間軸用のテープに記録を残し後で時刻校正を行ったり、基準パルスの発生に水晶発振器を用いる等、かなり大掛りな装置により正確な時刻同期を行うように設計されている。

2-4 望遠鏡の分解能

追跡精度および追跡可能距離は追跡用望遠鏡の性能により左右される。この場合レンズの収差を無視しても理論的に分解し得る最小の角度の存在することはよく知られている。分解し得る角度として考慮すべき要素に 2 種類ある。その一つは倍率分解能とも言うべきもので幾何光学的に考えて倍率を M 、分解し得る最小角を α_M としたとき

$$M \times \alpha_M = 1' \dots \dots \dots (4)$$

なる関係により定まる分解能である。人間の眼が分解し得る最小角は約 $1'$ であることが知られており望遠鏡により視角を M 倍だけ大きくしてもそれが $1'$ 以上でなければ眼の方で分解できないため (4) 式の関係が成立する。

さらに物理光学の立場から光の回折現象より導かれる分解能として

$$\alpha_D = 1.22 \frac{\lambda}{D} \text{ (rad)} \dots \dots \dots (5)$$

α_D は分解能、 λ は光の波長、 D は望遠鏡対物の口径である。 $\lambda=0.55\mu$ として角度を秒、 D を cm で表わすと (5) 式は

$$\alpha_D = 14/D \dots \dots \dots (6)$$

となる。Foucault によれば条件のよい場合は (5) 式で表わされる α_D の 85% まで実際に分解できることが確められており

$$\alpha_D = 12/D \dots \dots \dots (7)$$

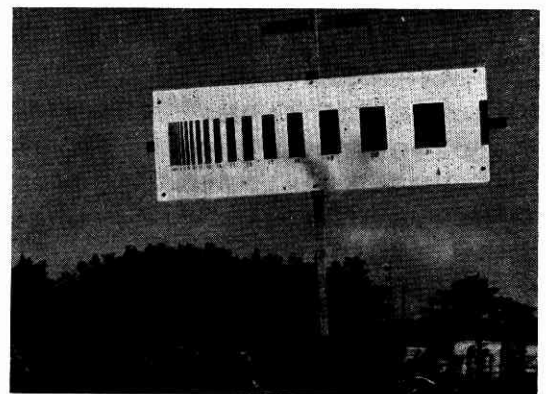
としてよい。

したがって分解能の点のみから考えれば望遠鏡の倍率 M と口径 D の間には互に最も有効な組み合わせが存在するわけであるが、実際には他の条件から必ずしも上の条件を満たす製品のみとは限らない。この場合には α_M, α_D の中の大きな値までしか分解できないわけである。(第 3 表参照)

第 3 表 望遠鏡の分解能

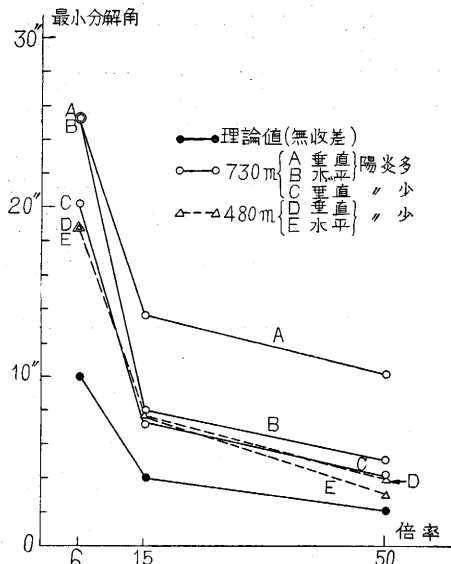
種類	倍率	口径	α_M	α_D	
				Rayleigh	Foucault
双眼	6×	30mm	10"	4.7"	4.0"
双眼	15×	80mm	4"	1.9"	1.5"
天体	50×	56mm	1.2"	2.5"	2.1"

理論的には以上の通りであるが実際に地上で望遠鏡を覗いた場合どの程度の分解が得られるか、理論的には分解能は角度で示されるが空中状況等の影響のため距離による差が現われることもあり得ると思われたので、実際に 3 種の望遠鏡について実験を行った。



第 5 図 分解能テスト用チャート

使用したテストチャートは白黒の格子状で (第 5 図) その巾を公比 1.12 で最少巾 1mm より順次広くしたものである。このチャートを距離 730m、および 480m の 2 地点からそれぞれ縦横の場合を数人に覗かせ白黒を分解し得る限界を求めてみた。



第 6 図 望遠鏡の分解能テスト結果

第 4 表 テストチャートによる望遠鏡の分解能比較 (単位 mm)

距離	480m		730m		
	横	縦	横	縦	縦
6倍	43.8	43.8	89.2	89.2	71.0
15倍	17.8	17.8	28.2	48.0	23.6
50倍	7.0	9.0	17.8	35.6	14.2
備考	午後陽炎少		正午陽炎多		夕刻

実験したすべての条件について個人的な差はせいぜいチャートの一段階に過ぎず、個人誤差は特別な場合以外は考慮する必要のないことが分った。双眼鏡については片眼ずつの場合と両眼の場合の比較も行ったが、このチャートについては双眼にした場合も片眼の場合と全く同じ結果であった。双眼の方が見易く追跡には有利であるが、この式の分解能テストに対しては単眼と双眼の差はない。実験結果を第 4 表および第 6 図に示す。なおここでの最小の分解角は識別できた黒線の 2 倍 (pitch に相当) を取っている。

表および図で明らかかなように地上の陽炎は分解能に著しい影響を与え、チャートの縦位置と横位置による分解能の差が生じ特に倍率の大きい場合、その影響ははなはだしい。距離が遠くなればさらにこの影響は大となるから基線長を無意味に長くすることはこの意味からも危険である。実験は地上 1.5m 程度で行った結果であるので空中の目標に対しては地上の陽炎の影響はより少ないはずであるが、発射台付近を狙う場合には大きな問題である。また空中の目標を識別し得る限界がテストチャート式の方法によって得られた分解能とどの程度異なっていく

るかについては議論の余地があり、追跡可能の限界を上述の分解能のみで論ずることは早計であろう。しかしこの実験結果はさし当ってロケットの塗装については直ちに応用できるものである。

以上基礎的事項について検討したが、動的目標に対しては静的に考えた精度の程度となるのが常識である。さらに実際の追跡操作に当っては目標を視野内に捕捉しつつ追跡を続ける場合のほか、目標をなんらかの理由で視野から逃した場合搜索する必要も生ずる。追跡を助けるための発煙が成功すれば煙の先端を捜すことによってロケットを識別するのに非常に有効であるが、発煙が無い場合には一度目標を見失った後の再捕捉は非常に困難となる。追跡の可否についてはこのような動的諸要因を考慮しなければならないがここでは静的議論に止めておく。

§ 3 観測ロケット用追跡装置

生研 S R 研究班による観測ロケット飛翔基礎実験中、30年度は追跡に関する基礎資料を得る目的で簡単な装置により飛翔軌跡等を求めた。いままでに使用した装置および 31 年度の 128 J ロケット飛翔実験に備えて整備した装置につきその概略を説明しよう。なおランチャーの近傍の特性解析は高速度カメラを用い過去の実験について多くの成果を得てきた。今後の実験においてももちろん高速度撮影による解析は欠くべからざるものであるがここでは省略する。

3-1 ペンシル・ロケットの追跡

1955 年 8 月行われたペンシル 300 ロケットについては追跡撮影の第 1 段階として 16mm Filmo 機撮影 (レンズ $f=25\text{mm } f/1.9$) 64 駒/秒で追跡撮影を行い撮影距離、フィルター等を変えて追跡の能否等を確かめた。(生産研究 8, p. 131, 1956)

3-2 ベビー S の追跡

口径 6cm 倍率 7.5 の対空双眼鏡を用いて追跡し 16mm Filmo 撮影機 (レンズ $f=100\text{mm}$) によって同時撮影を行う簡単な装置を製作、観測点ランチャー間の距離、眼鏡の倍率等につき基礎資料を求めた。なおこの他 35mm Bell & Howell 撮影機 (レンズ 100mm $f/2.7$) による追跡撮影も行い 16mm 版との比較を行った。この実験によりロケットの塗装は白黒が最適であること、望遠鏡の倍率はベビー程度でも 15 倍以上を要すること、追跡撮影には 35mm シネサイズ以上が望ましいこと、撮影レンズは $f=1\text{m}$ 程度を要することが明らかになされた。(生産研究 8, p. 166, 1956)

3-3 ベビー R の追跡

15 倍の双眼鏡を主体とし仰角、旋回角をペン書きで記録する装置を用いて 2 点観測を行い全飛翔軌跡の追跡に成功した。時刻軸は電接時計からのパルス電流により電

磁石を動かしてペンを振らせるよう設計したが完全ではなかった。同時撮影はうち 1 台で行い、キヤノン 800mm レンズを Devry 撮影機に付し 16 駒/sec で追跡撮影を行った。R-3 号機についてはその全航跡の撮影に成功、エンジン部切断の状況、落下傘開傘状況等完全に撮影できた。(生産研究 8, p. 180, 1956)

なおこの実験においては $f=100\text{mm}$ レンズを用いた Bell & Howell 撮影機によるランチャーより数 10m の範囲内の追跡撮影も成功し特性解析に役立った。(生産研究 8, p. 178, 1956)

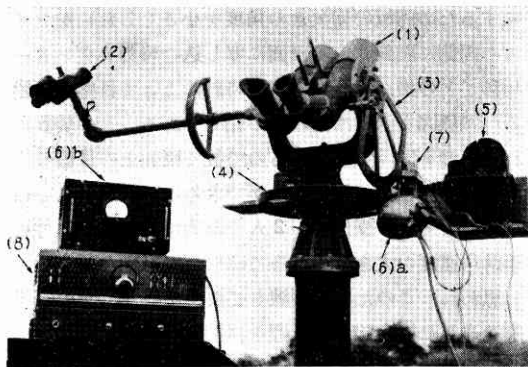
3-4 観測ロケット用追跡装置

§ 2 で述べた諸条件を考慮すると追跡性能、精度の向上を計るためには従来の装置に相当の改良を加える必要がある。本格的な追跡装置としては同時追跡撮影は不可欠であるが、角度目盛等も同時に画面に撮影されるのが理想的である。観測点間の同期も特別の考慮を必要とする。今回これらの点を改良して 2 種の追跡装置を試作したのでこれについて簡単に説明しよう。

3-4-a 15 倍手動追跡装置

15 倍の双眼鏡を主体とした手動の追跡装置でペー R 追跡の経験に基いて設計製作した。

第 7 図は装置の全体を示したもので、各部分について簡単に説明しておく。



第 7 図 15 倍手動追跡装置

(1) 追跡用眼鏡 口径 8cm, 倍率 15 倍, 視野 4° の双眼鏡で本文前節にその性能をテストしたものである。

(2) 追跡用副鏡 口径 3cm, 倍率 6 倍, 視野 $8^\circ 20'$ の双眼鏡で倍双眼鏡では 15 倍率過大視野不足の際に用いる。前者と同様性能テストを行ったものである。

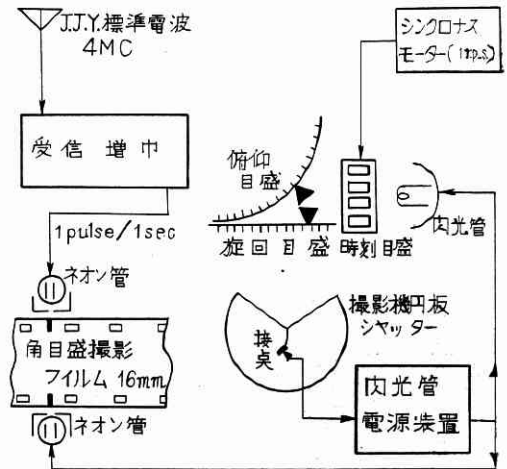
(3)(4) 俯仰旋回角目盛板 俯仰目盛は眼鏡に固定され旋回目盛は半固定で指標が眼鏡と共に回転する。撮影を行うため指標は一ヶ所で同時に二つの角度が読めるように設計してある。俯仰 $-20^\circ \sim 90^\circ$, 旋角は 360° にわたって $\frac{1}{2}^\circ$ ごとの目盛が刻んである。

(5) 目盛撮影機 16mm 撮影機の駆動ゼンマイを除き D.C. 7.5V のマイクロモーターで駆動する。撮影速度は 8 駒/秒である。

(6) 閃光装置 目盛の照明として特に閃光継続時間の短いものを必要とするため閃光管を使用した。(6)a ……閃光管(6)b ……閃光管用電源, 閃光継続時間は $100 \mu \text{sec}$ 程度で目盛は完全に停止して撮影される。

(7) 時刻目盛 Ir. p. s. のシンクロナスモーターと直結されたカウンターで配置の都合上, 目盛は一度鏡で反射されたものが撮影される。

(8) J. J. Y. 受信増巾器 数ヶ所の観測点において撮影されたフィルムの同期を check するため標準電波を受信増巾してネオン管を点滅し, フィルムの端をスリット状に感光させる。秋田実験場で用いるため受信機は高周波 1 段, 中間周波 2 段, 低周波 1 段増巾で, その後 J. J. Y. の秒および分信号のパルスを得るため検波回路を設け電力増巾して数個のネオン管を同時に点滅する。



第 8 図 15 倍手動追跡装置時刻記録図

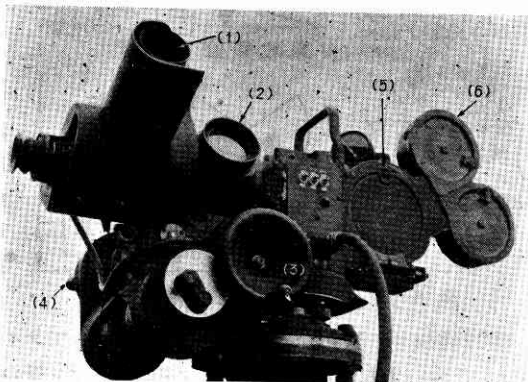
時間軸較正用の装置関係図は第 8 図に示す通りでフィルムの片側に J. J. Y. 標準時刻パルスによるネオン管の点滅, 一方の側に目盛撮影用閃光管と同時に点滅のネオン管の光が記録される。これらのネオン管は撮影機の内部の連続的移動部に装着されている。この二つのスリット状感光部により撮影瞬間の時刻較正が行われる。なお画面にはシンクロナスモーターによる時間数字が撮影されるのでフィルム上の 1 点の同期が知れば大体の時刻は画面上の像から直接知ることができるわけである。この目盛は 1/10 秒まで数字があるからフィルムの解析により推測 1/100 秒まで読むことができよう。

この装置は手動であるため角速度の大きな場合、比較的有利に追跡ができるが、目標の同時撮影を行っていないため正確な追跡結果を求めるには十分とは言えない。目標撮影と目盛撮影を同期させるためにはさらに複雑な光学系ないしは電気系を必要とするが、同期を考慮しない追跡撮影のみならば簡単に行えるので追跡が成功したかどうかを確かめる意味で撮影機を載せることも計画中である。

なお、追跡装置間の時刻同期を理想的に行うには、有線にしり無線にしり非常に莫大な費用を要する。われわれの場合は経費の節約上、天文台の標準時報電波を使用することにしたが、受信が確実に行えれば、同期は理想に近い高精度で行うものとする。空中状態で JJY 電波の受信が不可能の場合は通信班による信号電波を受信すればよいから最悪の場合でも数点の同期は確認できるはずである。

3-4-b ミツチェル改造追跡装置

本格的な追跡装置においては追跡操作を2人で行い、それぞれ俯仰角、旋回角を受持つのが普通である。もちろんギヤー駆動で光学系は目標、角目盛、時刻目盛が一つの画面に写し込まれるように設計されている。今回米国 Mitchell 製セオドライトのセオドライト部のみの中古品を入手したのでロケット追跡に適するよう改装を加えた。Mitchell 本来のものは一人で操作し追跡眼鏡 4cm, 7倍, 撮影レンズの $f=304\text{mm}$ であるが、ロケット追跡にはいずれも倍率不足である。なおタイムマーク用指令部および有線連絡のための装置は入手できなかったのでこの部分についても改装の必要を生じた。

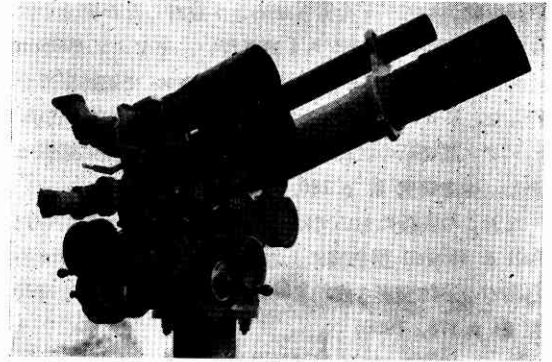


第 9 図 Mitchell 追跡装置

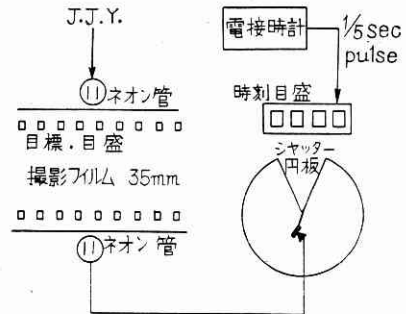
Mitchell の装置の外観は第 9 図に示す通りで (1) が追跡眼鏡、(2) が撮影レンズ、(3) (4) はそれぞれ俯仰旋回用ハンドホイール・(5) は撮影機部分で (6) はフィルムマガジンである。撮影機は D. C 12V により駆動され毎秒 20 駒/秒までの撮影が可能でマガジン容量は 200feet である。画面には Mil 単位の俯仰旋回角および時刻目盛が目標と同時に撮影される。時刻目盛は有線によって連絡された指令所よりのパルス電源によって同期的に駆動されるカウンター方式である。

今回ロケット追跡のために第 10 図に示すように改装したが、その主要点は (1) の追跡眼鏡を 8cm 15 倍双眼鏡とし、二人で操作する方式としたこと、(2) の撮影レンズを $f=800\text{mm}$ (キヤノンレンズ) とし遠距離の追跡を可能とした点である。

時刻軸装置は 3-4-a に述べたのとほとんど同じ方法で撮影機の一部にネオン管 2 個を挿入し J. J. Y. の 1



第 10 図 Mitchell 改造追跡装置



第 11 図 Mitchell 改造装置時刻記録図

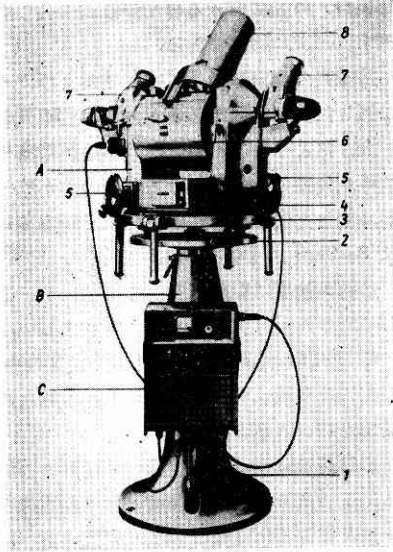
秒ごとのパルスおよびシャッターの開いた時刻(露出を小にするため円板の切欠きの角度を小さくした)をフィルムの両側に記録する。画面に写し込む時刻カウンターは $\frac{1}{5}$ 秒ごとの接点を有する電接時計によって目盛を駆動する。関係図を示せば第 11 図の如くである。この装置によれば目標も同時撮影されるので後で画面上の目標の位置から角度の較正を行うことができるので精度のよい追跡が可能である。操作者が 2 人であるため特に発射付近の追跡角速度の大きなところでは相当の熟練を要するものと思われ、このための訓練も必要であろう。発射直後目標を逃した場合二人で目標を再捕捉することは非常にむずかしいので、ギヤーの切替装置も欲しいところであるが今回は間に合わなかった。発煙が成功し再捕捉できれば頂点付近の角速度小なところではギヤー駆動でもあり、後で精密な較正も可能であるから 15 倍手動式に比べれば一段とよい精度の軌跡が求められるはずである。

§ 4 追跡用特殊セオドライト

以上当研究室において観測ロケット追跡用として試作した装置について述べたが、外国では追跡専用のセオドライトが製作販売されている。上述の Mitchell もその一つであるが参考のため定評ある二、三の装置について簡単に性能を説明しておこう。

4-1 アスカニヤ・シネ・セオドライト

古くから光学器機、特にこの種セオドライトを製作しているアスカニヤの製品である。外観は第 12 図に示すも



第 12 図 アスカニア・シネ・セオドライト

のでAが経緯儀部、Bは支柱部、Cは閃光装置部である。追跡眼鏡(7)は10×、12×、20×の変倍式眼鏡で明るさはそれぞれ36、25、12である。

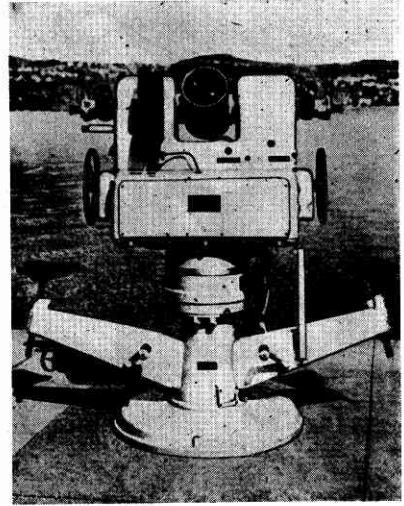
カメラ部(6)により同時追跡撮影を行うがその性能はレンズ $f=30\text{cm}$, $f/4.5$; 60cm , $f/4.5$; 反射型 100cm $f/6.3$ の3段切替、シャッターは $1/200\text{sec}$ すだれ式、角目盛用閃光管の閃光継続時間は $10\mu\text{sec}$ 、駒速度は4駒/秒、1,250駒の連続撮影が可能である。

時間軸較正は指令部で行いその指令によりカメラのシャッター時刻のシンクロを行うと共にパルスを指令部の記録用 strip に記録し後で正確な較正ができるようになっている。手押ボタンによる任意時刻のほか、 $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 5, 10sec の間隔の時計による時刻軸が得られる。

追跡用ハンドホイール(5)も2段切替で $30^\circ/\text{sec}$ まで追跡可能、セオドライトの精度は $12\sim 15''$ 、撮影された画面の角目盛は35倍顕微鏡で $30''$ まで直読でき、約 $6''$ まで推測読み取りが可能である。

4-2 コントラベス・シネセオドライト

スイス製追跡装置で光学系としては追跡眼鏡が口径80mm、12.4倍;口径18mm、2倍の2段切替式である。撮影レンズは $f=150\text{cm}$ 、口径19cm $f/8$ で撮影速度は10,30駒/秒(露出 $1/240$ 秒)および20,40駒/秒(露出 $1/240$ 秒)の2種が製作されている。35mmフィルムに目標および角目盛、時刻軸等が同画面に撮影される。第13図の写真はこの外観を示す。この装置では同期信号として周波数安定のよい水晶発振器を用い時刻測定を精度を特によくするよう工夫されている。発振器は周波数120kc、安定度 5×10^{-6} 、パルス巾 $200\mu\text{sec}$ で、セオドライト間の同期通信連絡は $70\sim 80\text{Mc}$ または $30\sim 42\text{Mc}$ の無線連絡で行うようになっており基線長30kmが可能である。



第 13 図 コントラベス・シネ・セオドライト

精度は角目盛の読みの精度 $7''$ 、静的照準精度 $12''$ 、追跡照準精度 $20''$ で追跡角速度は $0.04^\circ/\text{sec}\sim 30^\circ/\text{sec}$ 、角加速度は $100^\circ/\text{sec}^2$ まで可能である。このほか特殊追跡として次の如き装置を備えてあらゆる追跡が容易に行えるよう設計されている。

(1) 速度加味追跡

モーター駆動による等速追跡のほか、追跡誤差量に比例した速度を加味して追跡を行う。

(2) 予想追跡

目標の予想速度を電圧変化にしてセオドライトに導入、誤差量のみ手動修正することによって、初期速度の大きい目標追跡が容易にできる。

(3) 遠隔およびレーダー追跡

レーダ等の目標捕捉装置によって得た目標位置と、セオドライトの指示する目標位置との偏差により生ずる電圧によってサーボ機構を動作させ、目標を見失った場合速やかに目標を捕捉できるよう工夫されている。

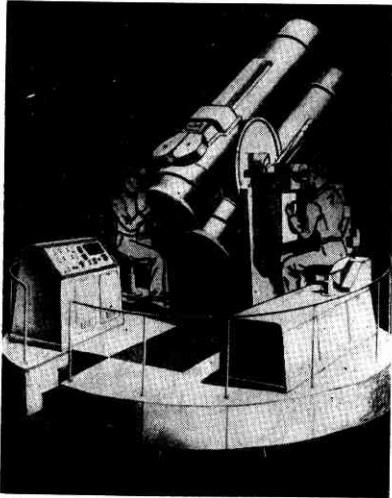
4-3 ROTI 追跡装置

米国製の現在では最も大規模な装置である。誘導弾、ロケットの進歩から要求されたとはいえ、その望遠系は天体望遠鏡級のものである。特徴としては従来のものより精度が一段とよいこと、親子望遠鏡で倍率可変式で万能であるため目標により基線長を一々変化する必要がなく、観測点を固定できる点である。

望遠系としては

焦点距離	口径	f/	変倍段階
50吋~100吋	16吋	3.1 (50吋)	25時毎
100吋~500吋	16吋	6.3 (100吋)	100時毎

の2種を上下に抱かせて目標に応じ自由に焦点距離を選ぶことができる。 $f=500$ 吋を用いれば15kmの距離より約4cmを識別できるとのことである。追跡撮影による角度測定の精度は $30''$ である。普通に用いられている



第 14 図 R. O. T. 光学的追跡装置

50cm~100cm 級の望遠系では効果的な基線長は数 km の程度であるが、この装置は基線長 80km に設置されたこともある。撮影カメラはシンクロタイプの 70mm 版カメラで駒速は 100 駒/秒まで、同期は指令所よりの装置によって行われるようになっていて時間軸のシグナルは磁気テープに記録される。操作者による time lag を消去するため、変位、速度、加速度を用いた自動制御式の追跡を行う装置も備えられており最先端に行く装置と言えよう。追跡角速度は $10^\circ/\text{sec}$ で割合に小さいが望遠鏡の倍率が万能であるため基線長を十分長く取ることができるので実用上この程度で十分なのであろう。

装置は第 14 図に示す如く極めて膨大なものである。

§ 5 む す び

以上ロケット追跡に関する基礎事項、われわれの使用

試作した装置、外国における専用装置について例を示した。要約すれば次の諸点である。

(1) 基線長の選定に当っては眼鏡およびカメラの倍率視野に適した長さを選ぶ必要がある。基線長を長くして精度を上げるよりも遠距離における追跡精度を上げるべく望遠系測角系の性能を上げることの方が第一条件である。角速度さえ問題なければ基線は目標高度 100km 程度までは 3~5km で十分である。

(2) 追跡角速度は駆動ギヤの切替、サーボ追跡を行う等してできるだけ大にすることが望ましい。

(3) 時刻精度は追跡において最も苛酷な条件となる。このために有線にせよ無線にせよ理想的な同期、時刻軸用装置を用いる必要がある。

(4) 追跡最遠距離は望遠鏡系の口径および倍率によりきまる。過大倍率設計の望遠鏡系は余り意味がない。

(5) 追跡の能否は複雑な動的諸要因が多い、目標を捕捉しつつ追跡する場合のほか一度逃がして再捕捉する場合の考慮も必要である。追跡を助ける発煙が良好であれば再捕捉も不可能ではない。

(6) 15倍眼鏡を主体として目盛のみを撮影記録する装置および Mitchell の望遠系を改良した 2 種を試作した。

(7) 時刻同期用として費用節減のため JJY 標準電波を利用しフィルムの両端にシャッター時刻と共にネオン管を点滅させる機構を設計した。

(8) アスカヤ、コントラベス、ROTI のシネセオドライトについて概略を述べたが、ROTI に至っては天文台級の大規模な装置となっている。これ等の装置には人力により偏差のみを修正する自動追跡方式が採用されている。(1956.8.20)

生産技術研究所報告第 6 巻第 3 号予告

富井政英著 「鉄筋コンクリート板のせん断抵抗に関する研究

(Study on Shearing Resistance of Reinforced Concrete Plates)」

耐震壁は構造物に作用する水平力を負担する重要な構造体であって、場合によっては水平力の過半を負担し耐震壁に関する設計の良し悪しが構造物の水平耐力を支配する要因となっている場合も少なくない。耐震壁は従来せん断ひび割れを許さない立場で設計することがたてまえとされ、その研究も弾性範囲を対象としたものが多かった。本論は、建築の構造設計に最近取り入れられつつあるリミットデザインを推進するためにその追及が急がれている耐震壁のひび割れ荷重、ひび割れ発生後の性状の推移、耐力、補強法などを鉄筋コンクリート(モルタルを含む)模型によって実験的に追及し、耐震壁の断面設計法の確立に努めたものである。これらの実験は、耐震壁の主要抵抗要素と考えられるせん断抵抗を中心に研究を進めることにし、特に純粋せん断を加える各種の加力装置を考案してせん断抵抗の解析を容易ならしめていることも特色の一つである。