

カッパ ロケットの実験に参加して

丸 安 隆 和*

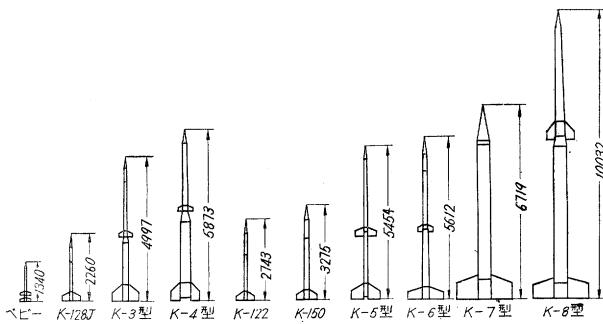
1. まえがき

1957~1958 年に行なわれた国際地球観測年 (IGY) にロケットを飛ばして、高空における地球物理現象——電離層、空気密度、温度、宇宙線、大気光など——を観測しようとする国際的な行事に、米・英・仏・ソの諸国と並んで参加することがきまってから、日本における観測ロケットの研究が始められた。その当時の生産技術研究所長 星合正治氏の言をかりると、“この研究は誠に大仕事であって、また相当冒険な事業である”と思われた。それは外国から技術を導入しようとしても秘密になっていることが多いことや、また一研究所が担当するにはあまりに金と人員がかかり過ぎること、などがその理由であった。

しかし、ペンシル ロケット から出発して、途中いくつかの難関を克服しながら、1961 年 3 月には、カッパ 9 L 型によって、高度 350 km に達するまでに成長した。観測ロケットの仕事は、ただロケットが正常に飛ぶというだけでなく、超高層において、いろいろな物理現象を測定して、これを電波に変え地上に送りどけるという重要な役目があり、しかもこれらの装置は、ロケットというきわめて小さいスペースの中で、非常に大きい加速度に耐えなければならないというようにいくつかのむずかしい条件のもとにおかれるのであって、きわめて多くの専門的な知識の総合が必要であり、これらが有機的に結びついてはじめて成功するという非常に高度で複雑な研究課題なのである。したがって、ロケット実験でとられた研究のシステムは、近代的で大規模な研究のやり方の一つの典型であるといつてよいであろう。

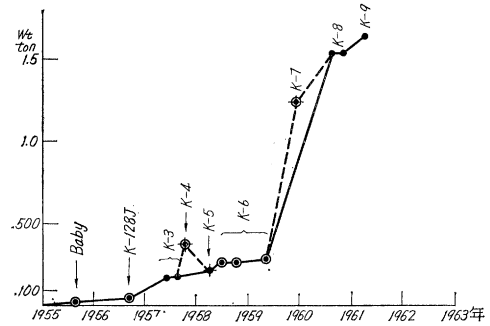
著者は、ペンシル ロケットからずっとロケットの実験

図-1



* 正員 工博 東京大学教授 生産技術研究所

図-2



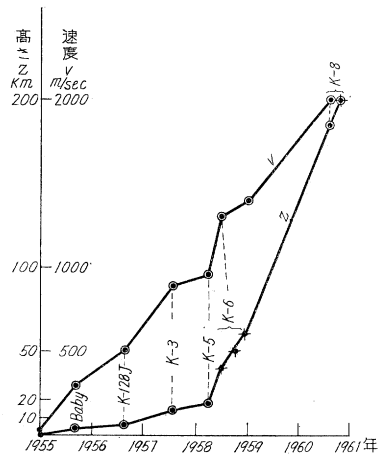
班員として、光学観測その他の分野を担当して参加してきた。研究が始められてから満6年たって、ロケットもカッパ9型にまで成長し、観測データも国際的な評価をうけられるまでに発展した。これを機会に今までの研究のあとをふり返って、土木の技術者のながめたロケットの歩みと、その協力した分野についての報告をしたいと思う。

2. ロケットの歩み

図-2 はベビー ロケット から始まって、カッパ8型まで、どんな時期に、どんなロケットができ、全重量がどう増加してきたかをグラフにしたものである。

図-3 は同じく最高速度と到達した高度をグラフにしてある。これでちょっと面白いのは、ロケットの最高速度が年数とともに、ほとんど直線的に増加していることである。ロケットの技術的なむずかしさは、大略スピー

図-3



下に比例するとも考えられる。たとえば音速をこえるときはいわゆる遷音速領域で、まず安定、振動などの問題が起こり、次に超音速領域に入るに従って、安定、空力加熱などの問題がだんだんむずかしくなってくる。図-3 の速度 V が年数にはほぼ直線的に増加していることは、研究班が大体コンスタントなピッチで研究を続けてきたことを物語っている。

高度は、速度のエネルギーを、ポテンシャルエネルギーにかえたものであるから、当然速度の自乗に比例するはずで図-3 の高度が年とともに放物線状に増大しているのはこのためである。

図-2 の全重量の変化は、結果としては、速度が年にほぼ比例して増して行くように、重量を選んできたときも見られる。ロケットの重量は、ロケット1機の製作費を大体きめるし、また燃料の量は、全重量に比例するので、燃料の性質やロケットの運搬、取扱いをきめる要素でもあるし、計測器の搭載量をきめるので、観測ロケットとしての能力をもきめることになる。

図-2 に示されるように、カッパ3型、5型、6型、8型の全重量増加は、かなり年に対して平滑であるが、4型と7型は破線で示されるように平滑なグラフ曲線からハネ上っている。そして、この4型と7型は、ともに飛しよう試験に失敗しているのである。しかし、この失

写真-2 カッパ3型
(昭和32年4月)

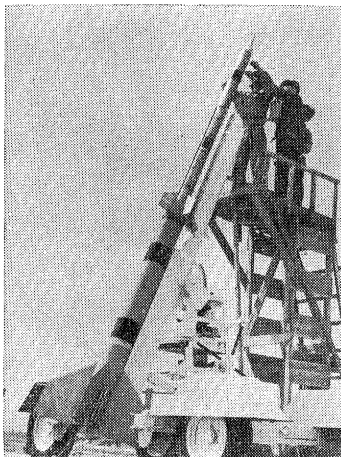
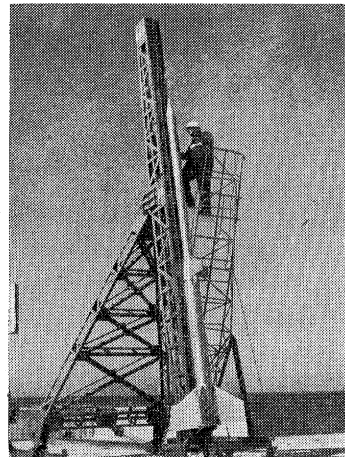


写真-3 カッパ6型
(昭和33年6月)



敗が空力安定、空力加熱、空力振動、機械的振動、剛体安定、燃焼安定などの広汎な調査研究のきっかけとなったのである。

3. どんな燃料が使われているか

ロケットに使われる燃料(特に推進 propellant といっている)には、液体燃料と固体燃料に大別される。生産技術研究所の研究班は、IGY という期限つきの条件や取扱い上の問題などから、固体ロケットで行くことにきめた。実際 IGY および IGY 以後実用された観測ロケットが、フランスのモニカ、イギリスのスカイラーク、米のナイキー、ケージョン、エキゾスなど、すべて固体系になっている。

ロケット用固体推進は、本質的には燃料原子と酸素原子を混合したものであるが、酸素原子が燃料原子と同一分子内に併存しているものと、酸素原子の入っている分子と燃料分子とが、別々に混合されたものとある。前者の同一分子内に燃料原子と酸素原子が、併存するものを homogeneous propellant とも、double-base propellant ともよぶ。double-base というのは、この種の推進の主成分が、ニトログリセリンとニトロセルローズからなっているからである。

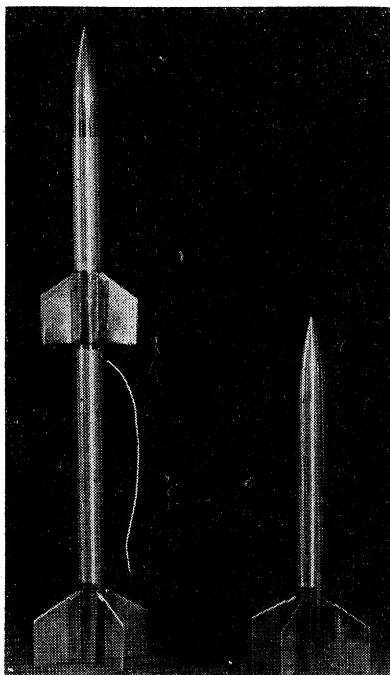
後者の推進は、composite 系とよばれ、酸素は過塩素酸加里、同アンモン、硝酸などにふくまれた形で補給され、これに燃料がバインダーを兼ねて、各種の人工樹脂の形で提供される。

ペンシル、ベビーは double-base 推進が使用され、カッパー6型、8型は composite 系推進が使用されている。

4. ロケットのレーダによる追跡方法

カッパロケットには、すべてレーダトランスポンダ

写真-1 ペンシルロケット二段式と一段式



一が搭載されている。つまりレーダ波を表面から直接反射させないで、トランスポンダで一度うけ、これを強めて送り返すシステムがとられている。このためにロケットの最小寸法は制限をうけるが、レーダ装置が巨大にならないですむ。

ロケットの位置はレーダで方向と直距離を測ってきめる。方向の測定はパラボラ空中線の尖鋭な指向性を利用し、トランスポンダの返信電波の到来方向を測定して行なわれる。パラボラ空中線は自動追尾型となっており、電波の到来方向とパラボラ空中線の軸が一致するようにサーボ機構で駆動される。直距離は、地上送信パルスがトランスポンダから返信されて、再び地上で受信されるまでの時間によって測定される。これで刻々のロケットの位置を求めるのである。もしロケットの搭載品に事故があると、ロケット全体の追跡ができないから、光学観測も同時に行なわれている。

筆者は主として光学観測を担当した。

5. ロケットの光学追跡

ロケットが計算によって求めた予想弾道軌跡よりも、だいぶ違った飛び方をした場合とか、ロケットが事故をおこした場合の状態などは、観測カメラ班の資料が重要な資料を提供する。

また、高速度写真を用いて、ロケットの点火から、ランチャーの離脱時付近における諸現象の解析も行なわれる。

光学的追跡は 図-4 に示すような配置になっている。使用する装置は次のようである。

(1) 15 倍手動追跡装置 (写真-4)

この装置は、15 倍の双眼望遠鏡を用いてロケットを

図-4 観測班配置図

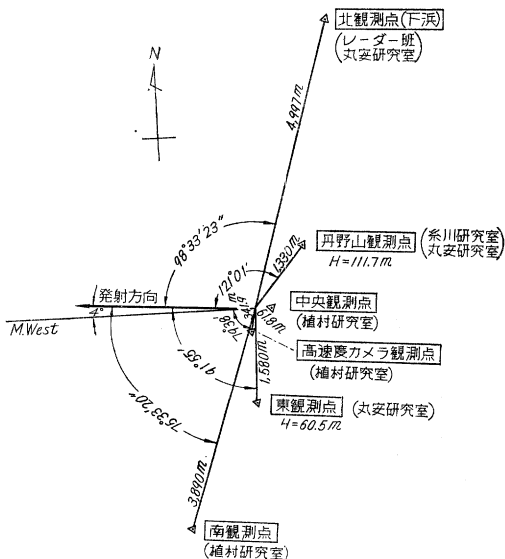
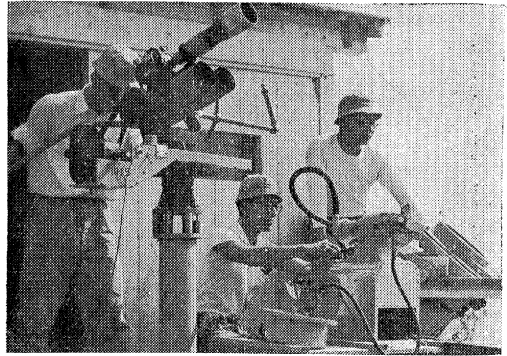


写真-4 ランチャー直後方におかれた望遠追跡カメラ (左) と広角固定カメラ (200 mm レンズ付航空カメラ、夜間実験の際、発光筒をつけたロケットの飛しょう軌跡をとらえた)



追跡するもので、この場合の水平、鉛直方向の角度の変化、および時刻目盛を 1 カ所に集めて、指示するようにし、これを 16 mm のシネカメラで記録する。なおこれに望遠レンズのついた 35 mm のシネカメラで直接ロケットを撮影している。望遠鏡の視野がせまい上に、ロケットが高速度で飛しょうするので、常に望遠鏡の中心にロケットをとらえて行くことは仲々熟練を要する作業である。天気さえよければ、これで 50 km ぐらいは追跡可能である。

写真-5 800 mm 望遠レンズでとらえたメイン ロケット分離の瞬間

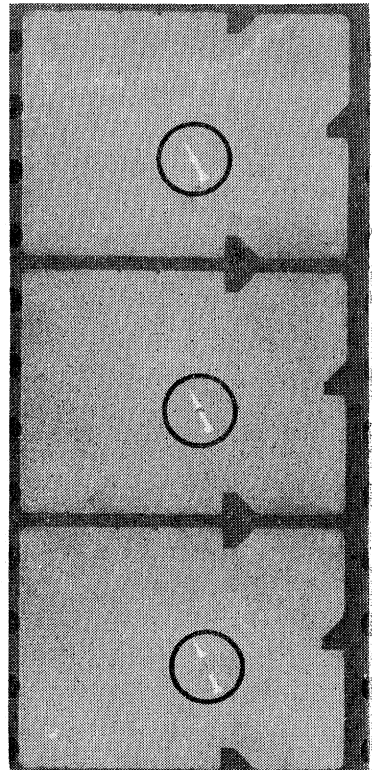
(2) 16 mm Fastax 高速度カメラ (写真-6)

このカメラの最高撮影速度は約 8 000 駒/秒である。

ロケットのランチャー離脱付近の状況を 1 000~2 000 駒/秒で撮影し、そのフィルムを解析して、飛しょう物性を求めるものである。

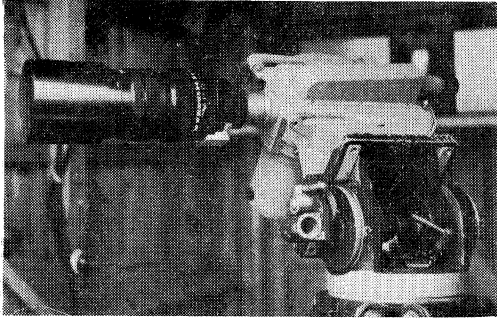
(3) 200 mm および 750 mm の焦点距離をもつ航空写真用カメラ (写真-4)

夜間のロケット飛しょう航跡

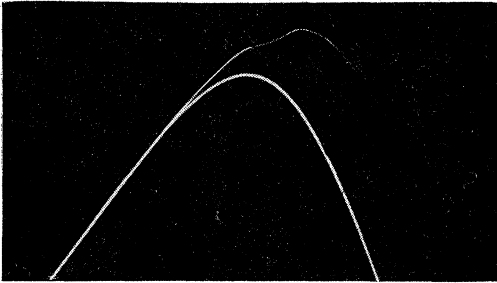


註：ロケットの大きさは実際の 100 倍位に修正してある

写真—6 16 mm 高速度撮影機 Fastax ペンシル以来
ロケット発射時の特性解析に貴重な資料の数
々を提供した



写真—7 固定カメラでとらえたカプパ 3 型 3 号機の
飛しょう軌跡 (夜間)

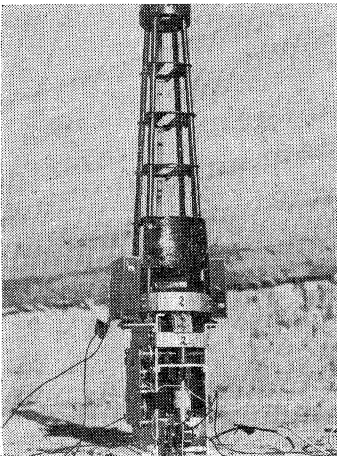


を撮影するために用いられる。写真—7 はカプパ 4 型実
験において、異常燃焼を起こしたときの記録である。

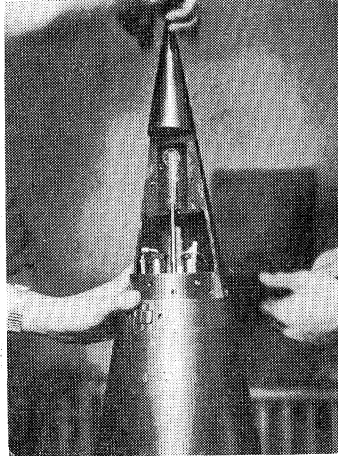
6. ロケットで何が観測されているか (写真—8, 9)

昭和 35 年 7 月, ロケット カプパはついに高度 186
km に達し, 9 月には 200 km の高度に飛んで E 層を抜
き, さらに F 層下部に突入してイオン密度と宇宙線強度
の観測に成功した。もちろん, すべての点で未経験であ
ったから, いきなり新機軸を出すとか, 独創性を発揮す
るということは無理であろうが, わが国の宇宙空間科学

写真—8 太陽分光器



写真—9 正イオンプローブ



技術の研究にたずさわっている人々に, 明かるい将来を
約束するものといえるであろう。

いままで観測に成功した事項は次のようである。

(1) 電離層のイオン密度

電離層のイオン密度は電波の反射にはほとんど寄与し
ないが, 電離層の電気伝導度を支配する重要な要素で,
電離層と地磁気変化とを結びつけるいわゆるダイナモ理
論における中心的重要性を持っているといわれている。

(2) 気温, 風向, 風速, ラジオゾンデによる気温,
風の観測はせいぜい 30 km までの高さであり, それよ
り上では, 風の観測は 100 km 内外の高さにおける電波
的方法によるほかはなかった。

これに対して, ロケットにいくつかの発音弾をつみこ
み, これを適当な高さで一つずつ爆発させて, 気温, 風
を測定することが考えられた。すなわち地上から 80 km
内外までの大気に対して太陽の熱吸収や潮汐現象にもと
づく共鳴振動の理論が前から研究されているが, これに
は気温の垂直分布が重要な因子となる。またこのこと
は, すぐ上方につながる電離層 (E 層) 内の風系にも密
接に関係し, したがって前述のダイナモ理論における動
力源としての風の構造につながる重要な問題である。し
かも, この風系は地球上の地域やその地点の地方時によ
って変化するから, 日本でこの種の観測を行なうことは
大変意義があるのである。

(3) 宇宙線・太陽輻射

この項目はロケットの高度が必ずしも電離層に突入し
なくても観測結果がそれだけ意味があり, また将来の高
級な観測, たとえば特定なエネルギー領域における宇宙
線とか波長の短い太陽輻射のスペクトルの観測などの
予備実験にもなる。

それで, いままでは宇宙線の総エネルギーと, 0.2μ
から 0.29μ までも波長帯をねらった太陽輻射の写真観
測をすることになっている。

(4) 電離層の電子密度

地上からするパルス法でもすべての高
さに対して測れるわけではない。E 層下
部や D 層の部分, E 層と F 層の中間領域,
F 層の上側などは, ロケットによる直接
計測によらねばならない。また夜間の E
層電子密度は従来の電波法では十分明確
に測定できない。これらの問題は電離層
の構造を明らかにする上にも, また電波
伝播上の実問題にも重要である。

(5) 地球磁気

E 層下部からダイナモ説で重要なダイ
ナモ電流が顕著に認められることはわか
っているが, 磁気測定をさらに E 層を抜
ける高さまで, または F 層内まで延ばさ

なければ十分でない。このためプロトン磁力計をロケットに搭載できるように研究中である。

(6) 大気光

地球上層の大気中で O_2 , Na 原子がそれぞれ光を出していることは地上からの観測でわかっている。また赤外線には OH のかなり強い光がでていいる。これらは夜間の分光写真などによってよく調べることができるが、昼間もこれらのあるものは夜間よりはるかに強く輝いていると推定されている。

これらの光の出されているのは、 O_2 原子の出す緑色の輝線が 100 km, Na 原子の出す黄色の輝線は 90 km あたりであることがわかった。

赤外の OH の輝線帯は 70 km ぐらいと推定されるがまだはっきりしない。

アメリカの観測は割合緯度の高いところのものであるから、緯度の低い日本での観測を行なって比較することは大きい意味をもっている。

7. 実験の進め方

いままでに説明したようにロケット実験には非常に多くの分野がふくまれ、これらが互いにうまく有機的な活動で結ばれてはじめて成功するのである。結線が一つ間違っても、またたとえ、それに気がついたとしても、とび出したあとではどうすることもできないのであるから、十分な計画と周到な準備のもとで行なわれなければならない。

このために、発射の前すべての作業についてリファーマルが行なわれる。予定された時刻に、予定された作業が行なわれ、それが一つ一つ確認されながら発射をむかえるのである。

表-1 はカップ 8 型 5 号機の発射実験のタイムスケジュールで、各班がこのスケジュールにのって行動するのである。速くはなれた観測点への通信連絡はすべて無線方式によっていいる。

8. 最後 に

この実験に参加して、大規模な実験のあり方についていろいろ体験することができた。その第一は科学が進歩するにつれて、新しく、かつ大きい仕事をするにはいろいろな分野の人達が、それぞれの専門知識をフルに活用し、相互の連絡を密にとりながら研究を進めることが非常に重要であることを痛感したことである。土木についての実験研究でも、土木技術者だけが考えていたのでは全く考えつかないようなことが、他の専門分野の人達にとっては、それは何でもないきわめて常識的なことに過ぎないということが相当多いのではないだろうか。新し

表-1

SEノート 秋田 No.225
K-8-5 (ID: AGI) タイムスケジュール (決定版) 36.3.27

X-分	本 部	ロケット・ランチャー	テレメータ	レ ー ダ	A	G	I	D	DOVAP	観測カメラ	通 信
195			動作チェック	動作チェック	動作チェック	動作チェック			ドバップ ロケット班へ		
180		ドバップ 組付了	メイン組 立始								
175	ドバップ電話 機切換	発信テスト のため 台車を出す							リード線結線 発振テスト始		
171	ドバップ電話 機元へ	発信テスト ブースタ 組立小屋へ	頭脳部② ロケット班へ	頭脳部① ロケット班へ	頭脳部③ ロケット班へ	頭脳部③ ロケット班へ	頭脳部③ ロケット班へ	発信テスト了			
160	ランチャー用 ジープ手配、 コントローラ 点検	ブースタ 組立了 ブースタ ランチャー のせ始									
29					地上送信始				SW・ON		
28			SW・ON		SW・ON	SW・ON					
27		メインマクラ、 バンドはずし	受信確認 SW・ON (ランチャー点)	SW・OFF (地上も)	SW・OFF	SW・OFF	SW・OFF	SW・OFF (地上も)			
26		角度セット始	SW投入用電 源OFF確認	SW投入用電 源OFF確認	SW投入用電 源OFF確認	SW投入用電 源OFF確認	SW投入用電 源OFF確認	SW投入用電 源OFF確認			
20	コントローラ点検 圧、温度、気 圧、機内音と客備 列車時刻チェック									視 界 チェック	
17		角度セット了、ブース ターバンドはずし始									
15		バンドはずし了、イ グナイト総結線始									
12		イグナイト総結線了 イグ導通抵抗測定始									
10	地上海上チェック ゲイビチェック	イグ導通抵抗測定了							地上送信始		秋田観測 所へ連絡
9		第1中間SW・OFF 確認、イグ結線始									
7		イグ結線了									
6	全相互通信遠慮										全相互通 信遠慮
5		第1中間SW・ON 持ヒ									
4			SW・ON	トラボン SW・ON	SW・ON	SW・ON	SW・ON	トラボン SW・ON			
3	総員待ヒ	待ヒ完了、リード線 持参		地上送信始							
2	待ヒ確認	導通抵抗チェック	受信確認	受信確認	受信確認	受信確認	受信確認	受信確認			
90S	花火上げ										
70S	第2中間SW・OFF 確認										
60S	コントローラスタ ート										
30S	第2中間SW・ON										
X	ロケット 発射										
X+10	B降下げ、コント ローラリセット 風、温度、気圧 ポンプヒータ再調										
X+15	サイレン、花火 2 発終了報告										

い仕事や研究を、世界の科学技術の進歩に伍して進めて行くには、できるだけ衆智を集めることのできる体制のでき上がることがきわめて重要なキーポイントであって、単独の力では進歩の流れについて行くことさえもできないのではないだろうか。この実験には、生産技術研究所の各部の教授、助教授が参加しているほかに、天文台、東大理学部、京大工学部、通研、理研などをはじめ、各種のメーカーが参加し秋田における実験班は60名をこす場合が多い。

その二は新しい技術が開発されていくには、測定技術が、まずこれに先行しなければならぬということである。一体どんなことが起こっているのか、それはどんな原因によるかを解明して行くのは、すべて測定されたデータがもとになる。ロケット実験では機体に生ずるストレスや温度上昇、加速度など、すべてテレメーターによって地上に送りどけられる。もし、機体に故障が生ずれば、その原因を探究するための飛しょう試験が行なわれたが、これには特にその原因と程度を調べるための計器がつまこまれる。遠く離れた大空に起こっているいろいろな現象がすべて新しい測定技術によって、地上で解析できるのである。そしてこれがもとになって改良が行なわれ、着実に大型ロケットへと実験が進んできた。

飛しょう実験が行なわれる前には、何回も地上で燃料

の燃焼試験が行なわれ、機体の強度や安定試験が行なわれ、設計会議を何回かくり返し、これでもう大丈夫というところで飛しょうされる。飛しょう中に間違いが起きると、それこそ思わぬ問題を起すことになるので、十分な準備と検討が必要となるのである。それでも大空のうすい空気の中で、非常に高速度で運動している状態を地上で再現して実験することはできないので、予期しない故障のおこることもあった。土木工事においても十分な予備調査と資料の収集がもっと真剣に考えられてもよいのではないだろうか。

ソ連では人間衛星が飛び、金星ロケットが飛しょう中であるというのにくらべると、カップロケットは誠に貧弱なロケットであるが、経費と研究者の層の厚さなどを考えて見ると、この域まで到達できたということは、相当に高く評価されてよいのではないだろうか。一応の目標である1000kmの上空にまで達するの、きつとそう遠くはないだろうと信ずるのである。

参 考 文 献

生産研究	Vol. 7 No. 8 Aug. 1955	} いずれも ロケット 特集号
東京大学	Vol. 8 No. 6 June. 1956	
生産技術研究所	Vol. 9 No. 11 Nov. 1957	
	Vol. 10 No. 10 Oct. 1959	
	Vol. 12 No. 12 Dec. 1960	

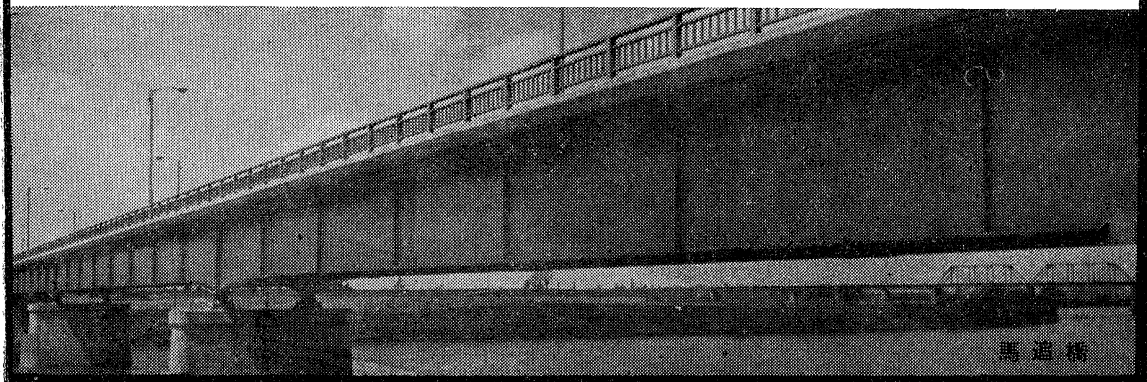
(原稿受付：1961.5.10)



橋 梁、鉄 骨、鉄 塔、鉄 構 物

松尾橋梁株式会社

本 社 大阪市太正区鶴町3丁目110番地 電話泉尾(55)1243~6番
支 店 東京都江東区南砂町4丁目624番地 電話深川(644)4131~8番
出 張 所 札幌市北二条西2丁目仲通り26番地 電話札幌(2)0831番



馬 造 橋