

ロケットによる超高層探測

川 畑 幸 夫

1 近頃ロケットを使って超高層の探測を行うことが流行しており、米国とフランスはこれまでにかなりたくさんの実験を行っている。ロケットによる探測は地表での観測から推論するという従来の間接的方法に比べて全く直接的であるから測定精度に関する疑義を別にすれば全く望ましい方法である。気球の上昇限度は元来30kmくらいのもので、特別に工夫してもせいぜい40kmくらいがとまりであるが、それに比べるとロケットはうまくゆけば現在でも390kmまでも上昇する。もっとも気球は相当に重いものを浮揚でき、高空に長時間滞留しうるし、上昇速度もゆるくロケットにない利点はもちろんある。理想的には超高層に長時間滞留しうる人工衛星のようなものができることが望ましい。我々も1957年7月よりはじまる地球観測年の期間にロケット観測を実施したい希望はもっていたが、何しろ非常に金のかゝる仕事であるので最初から断念していた。米国とフランスは最初からロケットによる探測を計画していた。ところがその後になって東大の生産技術研究所でロケットの研究はかなり進んでおり、順調に進めば地球観測年にちょうどまにあうことがわかったので学術会議地球観測年特別委員会は協議の上生産技術研究所の研究をバックアップして日本でもロケットによる探測を行うべく研究と準備を推し進めることになった。そこで日本における地球物理学的業務に対し、その調整勧告の責任をもっている測地学審議会に要望を提出したところ、測地学審議会はこれを妥当と認めたので、会長より文部大臣、東大総長、生産技術研究所長へロケット研究の促進方が建議せられたのである。これに伴い、地球観測年特別委員会はロケット関係を第八分科とし、京大教授前田憲一博士をその幹事として指名（再々の上京困難なため東大永田武教授代行）し、青野博士（郵政省電波研究所電離層課長）古畑正秋博士（東京天文台）並びに筆者等は委員に指名されてこれを推進することになった。一方これと並行して別に生産技術研究所長を中心とし生研・東大・京大・海上保安庁・水産庁・航空局・中央気象台の他に各製作会社を含めた観測ロケット研究連絡会が組織せられ、毎月会合し技術的検討を行っている。実際のフィールドテスト

については文部省学術局が中心となり、具体的事項を協議するため各省連絡協議会が設けられている。一方、試験が安全且つ能率的に行われるよう本年6月27日の次官会議は次の申合せを行った。「東京大学生産技術研究所が行う国際地球観測の準備のための観測用ロケットの飛ばし実験に当っては、関係各行政機関は、この飛ばし実験が遂行できるよう、発射地点の選定、危険区域における住民・漁船・船舶・航空機等の安全保障および実験資料の回収等のため必要な措置について協力すること。

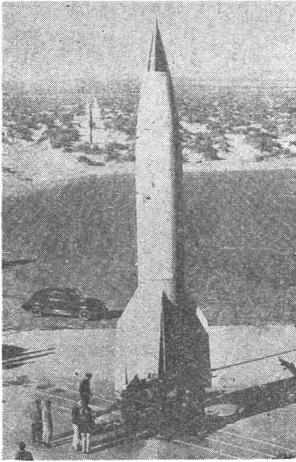
国際地球観測年の観測用ロケットの飛ばしにあっても、前項と同様に協力すること」

2 生産技術のロケット研究の趣旨

生研の研究目標はAVSAの製作にある。AVSAというのは日本から北極上空を通過して欧州まで無着陸で飛ぶロケット旅客機のこと、現在はプロペラ飛行機の全盛時代であるが、それも近來どんどんジェット機に代りつゝある。しかもジェット機の研究は戦後の空白時代が長かったこと、国際的にきつい制限を受けていたため、もはや今から外国のレベルに追いつくことはほとんど不可能である。そこで日本はジェット機の研究を通り越して一足とびにロケット機の研究へ突入し、数年後には外国の最高レベルに到達しようというのである。やがて航空はロケット時代となることはほとんど自明であるからである。

さて、ロケットといえば必ず兵器が連想される。確かに過去においてはそうであったし、現在でも国によってはその方向に進んでいる。しかし生産技術研究所の目的は叙上のごとくであり、また我々が地球観測年にこれを利用する目的は世界人類の明日の幸福のため超高層の地球物理学諸現象の因ってきたる原因を究明しようということにある。

こゝで従来のロケット研究の足跡をさっと懐古してみよう。ロケットの研究を本格的に進めだしたのはドイツが最初である。すなわち第二次世界大戦に先立ちドイツは兵器としてのロケットの研究に本腰を入れはじめた。それは、1930年ころであった。研究計画はきわめて細心



第1図 V-1号

でしかも計画的であり大体2ヶ年ごとに締めくくりをつけながらステップ・バイ・ステップに進められた。最初に完成したのがV-1号である。ついで2年後には有名なV-2号が完成した。V-2号が超高層の地球物理学的研究に利用され、種々の新しいデータを提供し我々の超高層に関する知識を飛躍的に発展せしめたことはあまねく人々にかいしやしたところである。やがて第二次世界大戦がぼつ発しドイツのロケット研究の状況は全然わからなくなってしまった。やがて終戦の日が来た。そして米英軍を主軸とする連合軍がドイツ領へ進駐したとき彼等はアット肝をつぶした。すなわちドイツのロケットは既に完全に無線誘導のできる寸前にあった。もし大戦が何等かの事情でもう少し長びいていたらドイツ軍のロケット弾の猛撃の前に連合軍の運命は恐るべき結果に立ち到ったかも知れないことを見て慄然としたのである。V-2号は次々と改良されて当時は既に遥かに高性能のV-10型が完成していた。それは近時新聞紙上を賑わしている人工衛星の可能な段階にあり、月世界への旅行さえ満更不可能な夢ではないと思われるほど精巧を極めたものであった。またいろいろな用途に考案されたロケットの型は実に134種類にも及んでいたという。

米国では戦争の初めごろはロケットはほとんど問題にされていなかった。しかしそのうち戦況が我が国に不利になるころになると、日本軍の体当り戦術が登場し、人命を消耗品とした猛攻がはじめられた。これは連合軍を異常な恐怖におとし入れたことは事実で、それをどうにかして防ごうということになり、そのためロケットの研究は急速に加速された。そして欧州の戦場で押収したドイツのロケットの残骸を本国へ持ち帰り、それをモデルにして研究に拍車をかけた。同時に終戦と共に西ドイツに残っていたロケット関係の科学者や技術者が120人ばかり米本国へ送られ研究と製作は進められた。

当時までドイツがロケットの研究に注ぎ込んだ費用は当時の金額にしておよそ300億円といわれ、米国は前述のドイツの科学者を本国に連行しただけで、優に200億円以上も得をしたと称せられているが、専門家の推定によると米国の利得は遥かにそれ以上であろうという。

もっともロケット関係のドイツの科学者はほとんど東

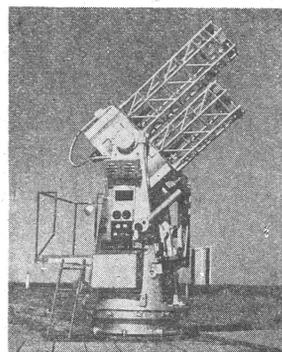
ドイツにあり、主要な工場もほとんどその大半は東ドイツ内において月産能力は月平均約4万発という驚くべきものであったとのことであるが、この地域には終戦と共にソ連軍の進駐接收が行われたので、その後の事情は我々には知る由もないが、もしソ連が引きつづいてロケットの研究を進めていたらそのレベルは恐らく世界一ではないかと想像される。月産能力もおそらく1万個以上ではないかという。ちょうど戦争の途中でドイツから日本にロケットの設計図を買わないかといってきたという話を私は当時将官級の人からきいたことがあるが、何しろ設計図だけの価格が当時の金で数億円という高価なものであったそうで当時の日本の全予算にも匹敵しどうにもならなかったということである。米国は終戦に近づくころには平均して一年につき2,000億円くらいの巨額の研究費を投入して研究を推進したといわれるが、軍の研究は我々には知りたいたとも思わぬし知る必要もないけれども探測用のロケットは終戦後10年を経た今日でもそのレベルは未だドイツのV-2号程度であろうといわれ、現在できている型種数でも55種類にすぎずドイツの終戦時の技術がいかに群を抜いていたか分かる。

ロケットの機構だけでなく、その資料の材料なども当時のドイツほどのものはまだ容易にできないものがたくさんあるそうである。

英国でもロケットの研究はかなり進んでいるようである。工場や試験場は豪州の砂漠の周辺にあり、進歩の程度はわからぬが米国より進歩しているのではないかと考えている人が多いようである。

3 経費

ロケットは大変高価なものである。試に米国のロケットを一例にとってみると大体次の見当である。



第2図 ナイキ

1個の製作費

V-1	500万円
V-2	2000〃
ナイキ	750〃
ガバ	900〃
エーロビー	800〃

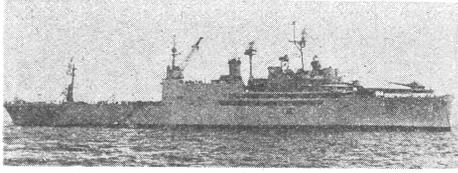
ナイキは米軍のほころ無線誘導弾で、あるいは非常に高性能のものかも知れないが、詳細はわからない。地球物理の観測に最もよく使われている

のはエーロビーである。

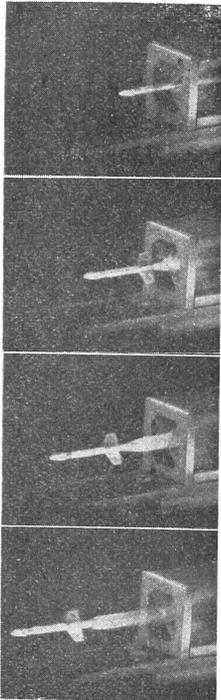
ロケット自体はこれくらいでできるが、発射に際しては種々の地上設備が必要である。大型ロケットになると発射装置に少くも1億円以上、軌道の追跡装置に約1億位は要る。追跡は離れた二個所で同時測定を行い、広義の意味での三角測量を行う。トラッキングカメラがよく

使われるが、ドイツのツァイス製以外のカメラは少くとも現在では使用に耐えないようで、「レンズ日本」などとレンズだけに有頂天になってはられないだろう。トラッキングカメラだけでも5,000万円もする。

ドップラー変位を利用したレーダーもトラッキングに用いられている。



第3図 軍艦からロケットの発射
(米海軍 Northan Sound 号)



第4図 ペンシルロケットの発射(生産研究Vol. 7, No. 8 より)

大型ロケットの発射はほとんど全部地上で行われるが少くも150人以上の作業員を必要とするし、発射準備に1ヶ月以上もかかっている。本を見ると半年位も前から各部の詳細なテストをやっている場合もある。またフランスでは簡易発射方式が専ら研究されており、それが完成すれば問題がよほど楽になるだろう。米国のスタドールというロケットは発射設備まで含めても僅かに6,000万円くらいでできるそうである。

データの整理がまた大変で電子計算機でも無いと普通では難しい。

4 AVSA の計画と地球観測年

日本ではロケットの研究は日

本ではロケットの研究は日

も浅く、現在では外国とはとても比較にならない。経費も極めて少額である。最も活潑なのが東大の生産技術研究所のAVSAの研究班で、文部省の研究費と通産省の研究補助金で細々と行われている段階である。工学的なある面では外国を凌駕している優れた着想もいろいろあるそうであるが、かんじんのエンジンなどは輸入にまたなければならぬ段階にある。

この研究は予定として昭和29年から32年までの継続研究で、終末期に日欧無着陸ロケット旅客機を作ることが目標で、順次小型のものから大型のものへ進めてゆく計画になっている。地球観測年期間に超高層探測にも利用するというこのため研究者としては非常におもしろくない制限をうけ、計画の一部を変更されなければならぬことはお気の毒に耐えない。当初の予定進度は次表の如

へなっている。

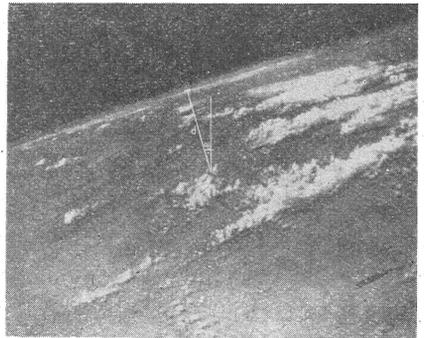
種類	ペンシル	ベビー	アルファ	ベーター	キャプター	オメガ
全長 (cm)	23	92	152	375	400	500
外径 (cm)	1.7	8	12.5	12.5	35	42
重量 (kg)	0.2	5	11	42	250	450
塔載量	50gr	500gr	800gr	800gr	10kg	20kg
速度 (m/s)	170	400	580	825	1000	1380
*高度 (km)	1	6	16	35	55	100
水平距離 (°)	0.6	4	10	20	30	55
飛行時間	30秒	1分	2分	3分	4分	5分
野外実験時期	30VI ~VII	30VII K, 31 VII~VIII	30XII ~I	31IV ~V	31X ~K	32IV ~V

* 高度は発射を高度75°で行うとして計算してある。

5 現在までの米国の実験状況

1946年3月1日から1952年12月15日まで約6年半に米国でロケットで観測した回数はV-2で65回(120~160km), Aerobeeで91回(内59個は80km以上) Vikingで9回(最高219km)合計165回に及んでいる。

1949年2月24日のWACは389kmまでも上った。測定された要素は宇宙線が最も多くて44回、ついで太陽放射の40回、気圧・気温のそれぞれ約30回、電離層26回、



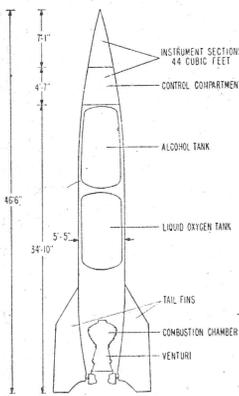
第5図 51kmの高さから撮った写真(米海軍)

高空よりの写真撮影24回、空の明るさと大気の組成それぞれ15回、生物学的研究11回、大気密度、流星、超高層風などは5回程度、夜光、地磁気はそれぞれ2回でほとんど測定されていない。

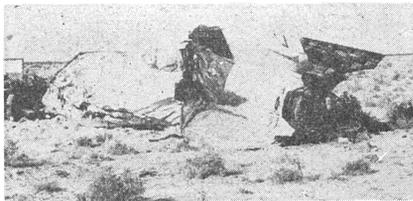
実験を行った機関は Air Research and Development Command (41回), Signal Corps Engineering Laboratory (35回), Applied Physical Laboratory (26回), Naval Research Laboratory (24回), General Electric Company (18回), 等が主なものである。発射は主として New Mexico の White Sands Proving Ground で行われている。

6 探測に使われているロケットの性能

米国自体で最初に設計製作されたのはWAC Corporalで1946年ころ完成をみたが、塔載量が僅か11kg、到達高



第6図 V-2の内部構造スケッチ



第7図 砂浜に落下したV-2号(米海軍)

度も65~70kmくらいのものであった。このためあまり使われていないが、二段ロケットにするか、Vikingと組合せると利用価値が高まる。数段ロケットにして389kmまでも上昇せしめ得たこともあった。

V-2 欧州戦場で捕獲されたV-2はもちろん兵器であったが、その先端部を超高層探測用に取換えたものは可能搭載量1トン、高度160kmで、先端部の長

さは少しく改造すれば1.5トンまで積込むことも可能である。非常に巨大なもので、全長15.3m、直径1.8m強1トンの測器を積んで速度1500m/s、測器収容可能容積1.2m³、到達高度を少しく犠牲に供すれば4m³の大きさのものまで積込める。燃料は液体酸素とアルコール、フィードポンプにはHydrogen peroxide が用いられていた。終戦のとき完全品が多数押収されたが既にほとんど全部使い尽し、現在では主として米国製のVikingとAerobeeが用いられている。

Aerobee 長さはV-2の約半分7m強、67kgくらいの重さの測器を搭載して100~110kmくらいまで上昇し得る。搭載量は110kgでいどまで可能であるが、搭載量が1.3kg増すごとに高度に約1kmくらいずつ損失がある。飛行中には約15gの加速度を逆に受ける。換言すれば重力の15倍位の力の抵抗を受けて飛んでいる。燃料には液体燃料が使用されている。

Viking 大型で大きさはV-2に匹敵するがやや細身である。性能はすぶる良好でViking-7型は180kgを積んで219kmまでも上昇したし、最近の改良型は225kgを積んで240~320kmまでも上昇し得るといふ。設計は少しも変えないで、700kgくらいまで搭載量を増すことも可能であるが、その際には4.5kgにつき1kmくらいの高度低下はやむをえない。測器収容容積はほぼ1m³くらいである。飛行中は7gくらいの抵抗を受ける。

搭載可能量を増すことは非常に望ましいことであるがロケットの形状・構造・到達高度・安定度・測器収容室の容

積等種々の難かしい制限を受け、勝手にはならない。飛ばす時間を長くすることも望ましいけれども、飛ばす時間は大体到達高度の平方根に比例するので一寸でも長く飛ばせようとする恐ろしく高い高度まで上昇せしめなければならない。

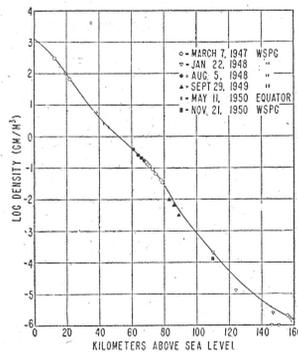
以上で大抵現用のロケットの性能を述べたが、我々は改めてドイツの科学に大いなる畏敬の念を覚える。

これらの他に地上で自在に操縦できると称せられるロケットもあるが、それらはすべて兵器で我々には関係はない。

7 ロケットで測定される諸要素

前節に述べた諸要素の測定法を一々詳細に述べることはできないので、我々に関係の深い二三のものについてだけごく簡単に説明しておこう。

(1) 大気密度



第8図 High Altitude Rocket Research

大気が静的釣合にあるとすれば密度ρは

$$\rho = -\frac{1}{g} \frac{dp}{dh}$$

で与えられる。pは気圧、hは高さである。従ってpとhを測ればρはわかることになるが、この方法をロケットに応用すると大きな誤差を伴うので、普通には超音速で飛しようする弾丸に関するレ

ーレーの公式を用いて測る。すなわち超音速Vkm/sで飛行する弾丸の先端部分における圧力(mmHg)Pと媒質の密度ρ(gr/m³)の間には

$$h < 100\text{km} \text{ ならば } \rho = 0.144 P/v^2$$

$$h < 100\text{km} \text{ " } \rho = 0.182 P/v$$

なる関係があるので、Pとvを測る工夫をするのである

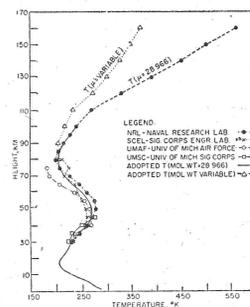
(2) 気温

ガス体中の音波の速度aは一般に

$$a = \sqrt{\gamma RT/M}$$

で与えられる。γはガス体の定圧比熱と定容比熱の比Mは音波が通過した空間の平均の molecular mass Rは瓦斯常数である。

大気の組成は地上80kmくらいまで不変であるとするれば、γ、Mは地表の値をそのまま用いることができ



第9図 High Altitude Rocket Research

るから、上式により h が $30\text{km} < h < 80\text{km}$ の範囲では

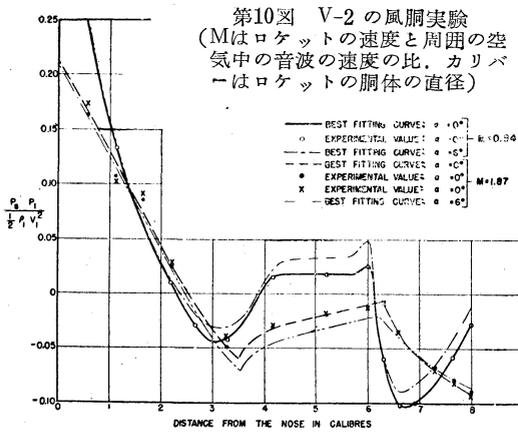
$$T = 2.488 \times 10^{-3} a^2 (k, m, \text{sec}^{-1}).$$

従って音速 a を測れば気温が計算される。

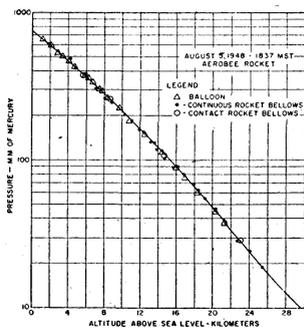
音速を測るにはいろいろな工夫があるが、ロケットが上昇する途中で順次に爆発発光する装置を胴体に添加し発火時と発火位置を地表で精密に測るのである。発火時は経緯儀で写真観測し、時刻を同時に写し込めばよいし発火位置は位置のよく決った二点から正確な三角測量を行えばよい。もっとも風があると音波の経路が違ってくるのでその修正をしなければならない。

別の方法としてロケットの先端からある距離の気圧とロケットの周囲の気圧の比から気温を求める方法もある。

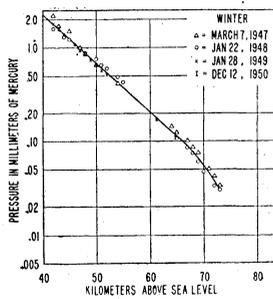
(3) 気圧 気圧はロケットの胴体に小さな孔をあけてピトー管で測ればよい、どの部分に孔をあけるかは風洞実験の結果を用いる。



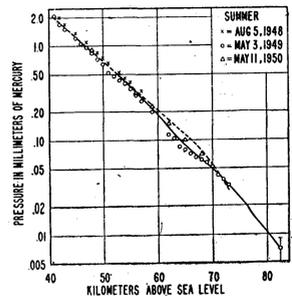
今ロケット表面の実験の圧力を P_2 、ロケットが飛しようしていないときの気圧並に空気密度を P_1, ρ_1 とすれば、例えばV-2について行った風洞実験の結果は上図に示すようになる。 V_1 はもちろんロケットの速度で、横軸のカリバーというのはロケット胴体の直径である。これによってみると P_2 と P_1 がほとんど等しくなる点があり、その点の位置はロケット先端から幾らの距離にあるか判明する。それであるから $P_2 = P_1$ なる位置に孔をあけて測る。これは V-2 についてであるが、他のロケットでも同じような風洞実験を行えばやはり同じ方法が



第11図 (1) 気球による観測との比較



(2) 冬 期



(3) 夏 季

成り立つ。

このようにして測った結果の一例を下図に示す。気球による観測結果とも非常によく一致しているのが見られる。

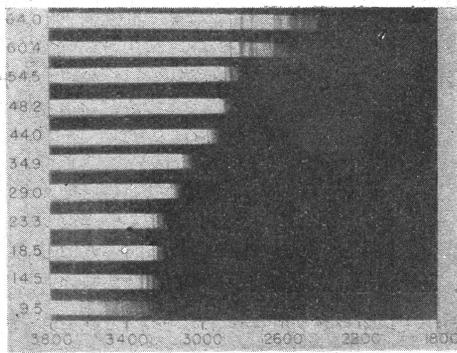
(4) 風

流星の流跡から地上 30~50km の高層には風や擾乱があるらしいといわれていたし、最近では音の異常伝播から地上 50km 附近にかなり強い風があることも推定されていた。F-層でも電離の型が時間と共にみかけ上段々移動してゆく現象があり、これが風によるものではないかと考えられているが、型の移動は必ずしも実際に風によって空気の実質部分が実際に移動するのではなくても電離の状態が変化してゆけば起り得ることであるから電離層の観測では決定的なことはわからない。そこでロケットから発煙してその煙跡の時間的変化を地表で観測しようとした人もあるが、完全には成功しなかった。これに代る方法として、ロケットから次々に音を出させて、その位置を地上で正確に観測し、又一方位置のよく決った地点で音波の到達時刻と入射方向を観測する方法が試みられ、若干のデータがとれた。風があると音の経路が屈曲し、それが地表の観測値に表われてくることを利用したものである。データの処理に際してはいろいろな補正があるので計算は仲々面倒ではある。

(5) 太陽輻射

大気加熱、オゾン層、電離層、極光夜光、その他種々の光化学的反応はすべて太陽よりの電磁石並に粒子輻射が高空で吸収されたのが原因である。しかも大部分は 2900Å 以下の輻射の作用であるが、地表では 2900Å 以下の輻射は容易に観測し難く、従ってその本体は容易にわからない。このため、やむをえず我々は電波又は分光学的方法で得られたデータから推理しているわけであるがロケットで直接測定ができることになれば非常にすばらしいことである。

最初に V-2 でスペクトル撮影に成功したのは Tousey で 1946 年のことであった。大抵はプリズムの代りに格子で分散させるが、胴体の両側に集光装置をつけ二組の分光器を使ったり、光電装置を使って自動的に太陽光



第12図 High Altitude Rocket Research

を導き入れたり、いろいろな工夫が進歩してきた。観測結果の一例を図版に示す。明かに 2900 Å 以下の極紫外線がよく写っており、沢山のブラウンホープア-線が見られ貴重なものといえよう。いろいろ調べた結果、元素やその状態も段々わかりつゝある。

2000 Å 以下になると分光器を用いたのではロケットでも仲々難しくなり、別の工夫が必要となる。T. R. Burnight は1948年にシューマン乾板を用いて特別な工夫で超高層の X-線撮影に成功したが、これに力を得てアルミニウムとベリリウムフィルターを適当に組合せ、また高感度の写真感光剤を用いて X-線近傍の極めて短い波長部分の観測がたびたび行われ、やはり超高層で X-線の存在が確認された。しかし、強さについては問題は全く将来に残されている現状である。

燐は 1400 Å 以下の輻射を当てるとそれを貯蔵し、それを加熱すると可視光として再輻射する性質がある。これを利用した Tousey, 渡辺, Purcell の実験は非常に効果を取めた。すなわち、いろいろなフィルターの適当な組合せで目的の波長域をうまく取出して観測しつつある。もっともこの方法は砂漠に落下したロケットが太陽熱で高温になるための誤差が混入し落下したらすばやく回収しなければならぬことが欠点である。観測回数

まだ少ないので詳しいことは将来の問題であるが 1230~1340 Å の紫外線も少くも 90~125km くらいの高さまで透過してくるらしい。又、82~127km くらいまでは 10~1040 Å もかなり強く観測されており、その強さは太陽の有効温度をずっと高く見積らなければ説明ができないような結果を与えている。

フォトン測定する方法もある。これはガイガー管中に負に荷電せしめた瓦斯体を封入するとカソード壁に顕著な光電作用が起ることを利用するものである。この光電現象を起す輻射の波長の上限は、ハロゲン又は halogenated Hydrocarbon を封じ込んでやれば任意に変えることができるし、下限は入射窓を適当な材料にすれば変えることができる。従って我々は任意の波長域だけを透過せしめて観測することができる。輻射がどちらから来てもよいようにロケットの周囲に沢山の窓をつけて観測が行われている。

今までの測定を取りまとめると下表のようになる。もちろん観測が更に進み、あるいはこれまでに未だ発表されていない成果が刊行されたらもっと詳しいことが分るう。

波長 (Å)	存在を確認しうる高さ (km)	顕著な吸収のはじまる高さ (km)	本観測値より求めた太陽の有効温度と、太陽の有効温度を 6000°k としたときの比
2400	35	60	116
1420~1650	95	155	1120°
1100~1350	70	140	1/100-1
795~1050	90	125	10~100
5~10	87	145	1よりずっと大きい

波長域にもまだ未測定の部分が多いし、季節変化や場所による違いなども研究されるようになるだろう。

以上のほかに大気組成や電離層、宇宙線、窓の明るさその他いろいろなものがあるが、ここでは省略する。

(中央気象台)

書評

楽しい理科教室 (26)

火山とその活動 諏訪 彰著

地球物理学関係の啓蒙書が数多く市販されている。その中には良書もあればつまらないでさばえのものもある。結論から言うと、印刷に欠陥があるが、内容から見て良書として推奨したい本である。欠点から先にあげて行くと、正直に言って、印刷はあまり綺麗でないし、重大な誤植が所々ある。将来早急にその欠陥を直していただきたい。内容が優れたものであるからなおさらである。

優秀な教育映画「浅間山」の監修

者だけあって、著者の論の運び方は堂に入ったものである。火山学界の第一線に活躍している著者が、現地でもとらえた事実から説き起して、火山活動の実体について論を進め、災害の対象としてのみ映じて来た火山というものも、利用方法によっては資源の乏しい火山国日本に有力な資源を提供するものだといっている。

火山活動を説明するにしても、上っただけではなく、深い知識のもとにわかりやすく説いている所には敬服させられた。筆者が最も力を入れている点は、火山のもたらす災害をどうしたら防げるかという問題である。そのために著者は火山災害の実体を明らかにし、災害を防ぐには

火山活動に対する常時絶え間ない観測研究と、注意が必要であり、それは学者達だけの仕事ではなく、火山の近くの人々、否、日本全体の人々がこのことに協力することにより、始めて総合的な対策が樹立できるのだと述べている。事例を豊富に取り入れて、容易に理解されるように防災を説いている。このような優れた啓蒙書が出版されたということは、火山国という環境に生を受けたわれわれにとって喜ぶべきことである。なお、つけたしたが、書中の浅間山噴火の際の光景(第20図)の浮世絵は、映画「浅間山」よりとしているが、浮世絵師の名前をあげておく方が妥当である。(奥田 頼)