

超高層気象学中の新たな問題提起*

ケログ博士**

1. はしがき

今晚皆さんにお話しできることは私にとって大変うれしいことであり、また名誉なことでもあります。科学者は他の国の人々と一緒になければ地球のような大きなものを研究できないことを多くの年月の間に知って来ます。気象学者はとくにこのことを痛切に感じていました。というのは大気はもちろん国境などは知りませんし、地球表面を動き回るときどこにおいても共通な大気自身の言葉で語りかけるからです。そのようなわけで私は藤田博士とともに世界中のすべての地域で等しく関心のある問題について皆さんに話しようというわけです。武田さんが通訳する必要のないように私が「風の言葉」で話すことができたならば今日の話の内容にもっとふさわしいと思います。

2. 超高層大気——新しく興味ある研究課題

私の課題は上層大気、とくに通常のゾンデ気球が到達できる高度より高い領域についての話題ではありますが、上部電離圏程は高くない大気圏内に限ることになります。上部電離圏では大気は非常に稀薄で最早気象学者が普通考えている大気のように振舞わない、つまり約150 km 以上では空気は強く電離されていて、気圧力よりも、地球磁場の影響を強く受けて運動します。したがって気象学者はこの層を研究するには通常の方法を使うことはできませんので、物理学者の研究におまかせしようということになるのです。そこで私がお話ししようとしている大気圏は通常気球によるラジオゾンデ観測より上層、すなわち 30km 以上、100 ないし 150km 以下ということになります。皆さんは何故この領域の大気圏に我々が関心をもっているかということを知りたいでしょう。

この大気圏は天気には何等かの影響を及ぼすのだろうか。あるいは学問的に興味がある領域なのだろうか。下層大気と何か異なるのだろうか。これらすべての質問に対

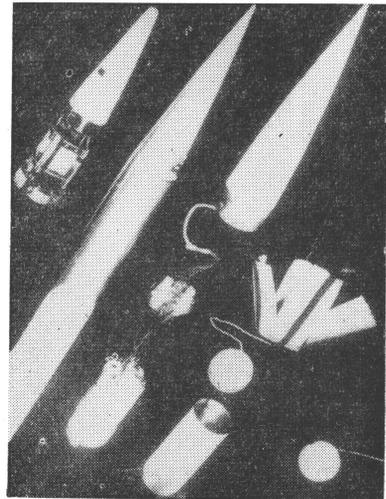
する答は「イエス」ですし、我々の興味が増す一方である主な理由が三つあります。今日の限られた短い時間内ではありますが、この三つの理由を皆さんにお話し、この大気圏がどのような様子であり、そこにどのような運動があるかを簡単に示しましょう。

多分私がお話ししようとすることは皆さんに興味深く、きっとそれについてもっと深く知ろうという探究心を刺激することでしょう。

超高層大気における気象学者の新鮮な仕事ぶりの重要な理由の一つは彼らが小型ロケットでこの大気圏を観測できることです。

これらのロケットはかなり安価になるように小さく簡単になっていますし、70~80 km 位の高度まで正味 2~5 kg の重量を運べます。このうち最も簡単なものはロケットが最高点に達したときにレーダー・チャップと呼ばれるレーダー反射用の金属細片を放出します。そしてチャップのかたまりを地上レーダーで追跡し、その方位と直距離を測定することができます。風に流されながらゆっくり落下するチャップの方位と直距離の変化から上層の風速と風向を知ることができます。

Arcas と呼ばれるやや大きいロケットにはパラシュール



第1図 Arcas ロケットゾンデとその放出機構

* New Challenges in the Meteorology of the Upper Atmosphere.

** by Dr. W.W. Kellogg

1966年8月23日東京大学安田講堂で行われた公開講座の原稿を北岡竜海氏のご好意により本誌がいただき、関口理郎・岡本雅典の両氏が翻訳しとりまとめた。

トとラジオゾンデがはいっていて、これが最高点で放出されると、パラシュートによって比較的ゆっくり落下し、そのときのドリフトから風を求める。ゾンデには気温によってその電気抵抗が変化する小さいビード型サーミスターがついていて、これによって測定された気温が電波によって地上に送られてくる(第1図)。

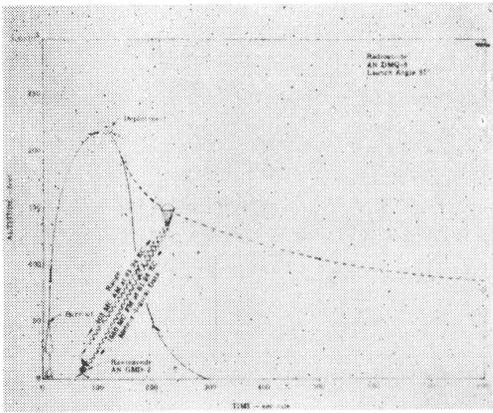
第2図はそれがいかに作動するかを模図式に示したものです。無線送信機をもった落下パラシュートとそれを追跡する地上局が示されています。地上局は気球を追跡するに用いられる標準のものです。日本の気象ロケットも同様な方法を取っています。

合衆国では4年間約千個の気象ロケットを発射し、そ

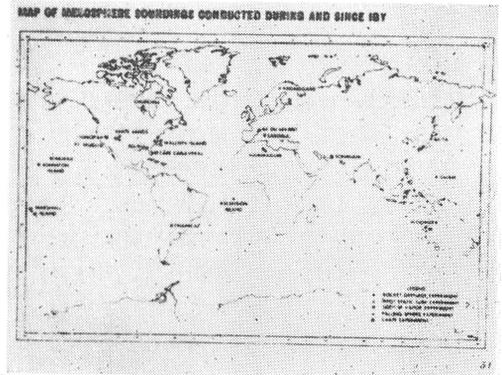
の費用は年間我々が使用している1万個の気球ゾンデと大体同じです(第3図)。これは我々が持ちたいと望んでいる程の多くの数ではありませんが、成層圏にどんな運動があるか、かなりよい概要を与えてくれます。

しかも日本を含む他の国々でも、世界中の観測所からこのような気象ロケットを発射しており、すでに存在するラジオゾンデ観測網と同様な真の観測網の名に値するものを持ち始めている(第4図)。日本では鹿児島が現在の主要発射場ですが、北日本にも他の気象ロケット発射場が設置されることを望みます。

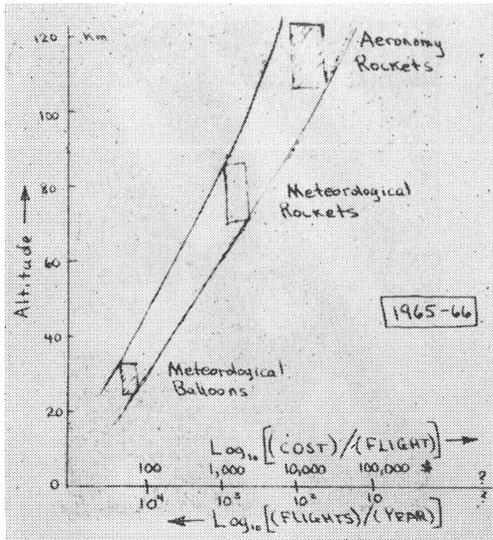
さて、これらすべての観測から学んだものは何なのでしょう。我々が非常に多くのことを知ったのですが、ここではこれらの発見のうち2, 3についてお話しすることにします。所でまず我々が対気圏に与えた名前を思い出しましょう(第5図)。(多かれ少なかれ)同じ言葉を話している我が国でさえ、時々名前に問題があります。成層圏(stratosphere)とは一般的に高さと共に気温が



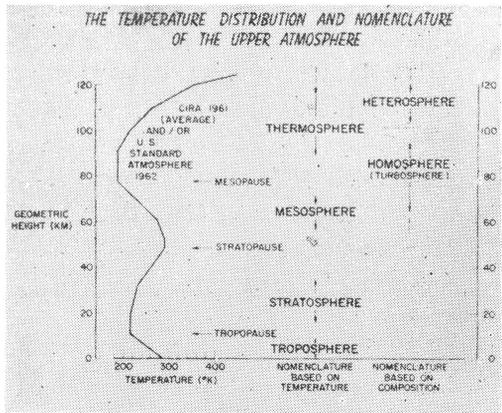
第2図 ロケットゾンデによる高層気象の測定法



第4図 世界の気象ロケット観測網



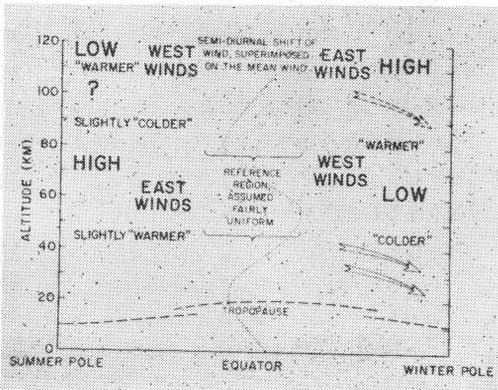
第3図 高層気象観測の費用の比較



第5図 高層大気の種類と気温分布

増加する領域です。これより上の気温が高さと共に減少している層が中間圏 (mesosphere) です。その上には気温が 1000° から 1500° K まで増加する熱圏 (thermosphere) があり、我々が「宇宙」と呼んでいる所に入ります。我々の宇宙飛行士は熱圏を飛行し、彼らが地球を回る 200 km の高さでの大気がどんな状態にあるかにはほとんど気付いていないようです。

第6図は超高層大気がいかに運動するかを示すものです。東風と西風の不思議なパターンをもっているのがおわかりでしょう。この図の左側にある夏半球では成層圏の大部分には東風があります。これは非常に定期的な風で、極地上の空気が日光で暖められるために起ります。



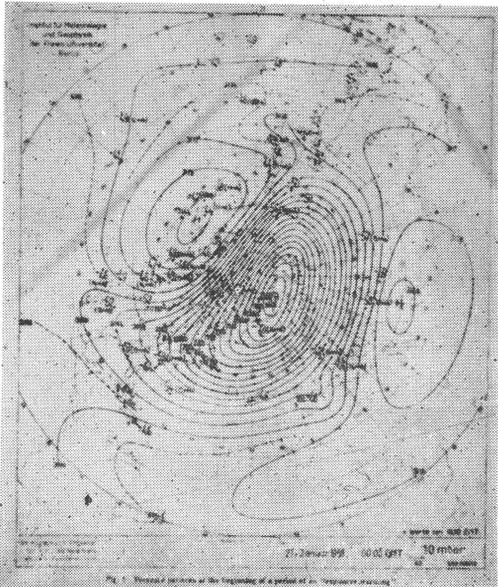
第6図 超高層大気中の気温・気圧・風の分布

すなわち、極地方の上層では高気圧となっています。一方成層圏内の冬の極上の空気は日光があまり到達しないので冷たくなっています。これは冬期に極上に形成される低気圧域の原因となります。西風はこの低気圧域の回りを吹きます。

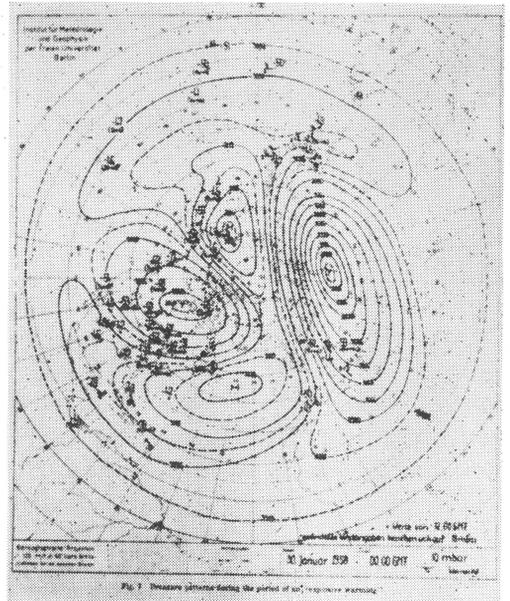
現在気球で到達できる最高の高さである高度 30 km すなわち 10 mb 面の天気図を示しますが (第7図), そこに寒冷な冬の極地上の低気圧域が見えるでしょう。

(これらの天気図はベルリン自由大学の気象学者により描かれたものです。) この天気図に何が書いてあるか細かいことは判読できませんが、10 mb 等圧面上の等圧線、したがってどんな風を吹かすか——極の周りに反時計回り——を見ることができるといえるでしょう。これは1958年のもので冬の循環の典型的な例です。しかしながら毎年何か非常に不思議なことがこの規則的な型に起り、突然に変化します。低気圧が弱まり、二つに分裂します。

第8図は1958年に分裂が起った後に現われた現象を示したものです。私達はこのようなことがほとんど毎年起っているのを見て来ている。低気圧の中心が分裂すると同時にそれぞれの新しい低気圧の中で成層圏大気の非常に急激な昇温が起ります。このためこの現象を「成層圏昇温」と呼びます。かかる急激な変化に対する説明は今なお明らかというには程遠いのです。しかし明らかと思われる二つのことを述べたいと思います。



第7図 突然昇温前の冬の成層圏天気図 (1958年1月)



第8図 突然昇温後の天気図 (1958年1月)

第1には我々の気象ロケット観測によれば、変化はまず非常に高々度約40あるいは50 km以上で起ると思われることです。第2には多くの場合に我々はこれらの成層圏内の劇的な変化を下層大気の状態の大きな変化と関係付けることができたことです。例えば合衆国と欧州上の寒冷極気塊の著しい吹き出しのうちのいくつかはこのような成層圏昇温の1日か2日後に起りました。私達はこの関係にはまだ確信をもてませんが、真冬に最初に起るこのような成層圏昇温を観測するならば、凍りつくような極から南下する寒気の吹き出しを予報できると信じてよい理由があるのです。

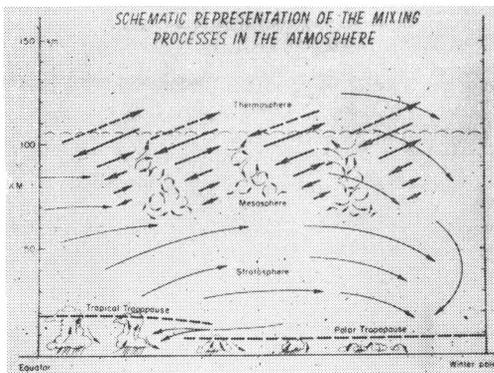
さて、さらに上層の中間圏や下部熱圏で大気がどのように振舞うかを簡単に示しましょう。第9図には大気のこの部分に太い斜めの矢印がありますが、それらは非常にはっきりした重力波の存在を表わしています。これらの重力波はジェリイの入った鉢の底を左右に揺すったときにできる波のようなものです。それらは時には非常に激しくなり、超高層大気を前後に押ししたり引いたりするような半日周期の運動の大気潮となります。これらの風は非常に激しく、下部大気圏で観測されるような風にくらべて、その変化は急激です。

第10図には薄明光中のナトリウム蒸気の1条のすじが写されています。この写真からはこのように急激に変わる風の存在を読みとることができます。これは二重写しになっていて、ロケットが写真の上部に来たときに放出されたナトリウム蒸気が明るい方のすじであり、1分後に風に流されて移動したものが薄い方のすじとして写されています。この最初は直線の煙が風によってどんなに早くかきみだされて乱れたかに注目していただきたい。1杯のパケツの水を十分に長い間かき回していれば熱す

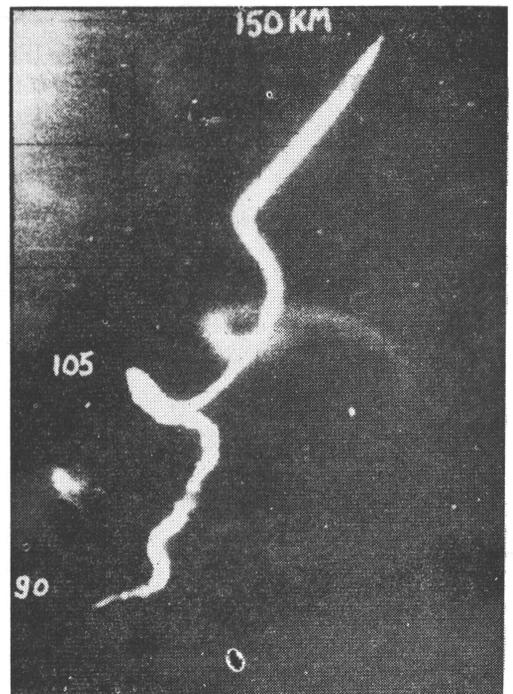
ることができることを思出して下さい。流体の温度は数度上げるのには非常に多くの機械的仕事を必要としますが、これは確かに可能です。私達はこのような蒸気のすじによって超高層の風や、それらによって起される多量の乱れを研究しました。この種の実験は今や世界の各地で行なわれています。何人かの到達した結論は重力波と大気潮によって起された風は実際に冬期の上層大気を熱することができるということです。

何故この熱伝達の方法が重要であるかを第6図をもう一度参照して一般的に示しましょう。冬期成層圏は極地の上で冷たく、そこには成層圏までは西風が吹いていること、しかしずっと高い所、すくなくとも100 km附近では東風が吹いていることも第6図からわかります。このことは冬の中間圏では極地上の空気が赤道上のそれより暖かいことを意味しているに違いありません。極の空気を暖める日光はありませんから、熱源はどこかほかにも求められねばなりません。恐らく機械的運動が熱となる変換でしょうし、そのことが重要であると考えた立派な根拠があるのです。

冬期の超高層における熱源としては上層から下へ沈降するにしたがって起る酸素原子の再結合も考えられま



第9図 中間圏の循環と乱れ



第10図 ナトリウム蒸気による高層風の観測

す。このような現象を熱源と考えることはきわめてあり得ることのようです。他のどの領域でも酸素原子の型で、化学的エネルギーが直接に熱になることはなく、この領域独特なものです。

3. 結 び

これまでのお話は気象学者が見た超高層大気のあらすじでした。現在研究中のもっと他の興味あることとお話すべき時間を持ちたかったのですが、成層圏内の一般的風系とそれらが冬にいか突然に変わるかについてお話しました。エネルギーを下部大気圏からはこぶ熱圏内の

波動運動と冬期の極地上の大気中の不思議な熱源についてお話ししました。

これらは我々が見出したもののわずかな特徴にすぎません。我々の主要な結論はこうです。大気は一つの完全な組織体であり、全体を理解しようと望む前に上部がどのように振舞うかを理解することを学ばねばならないということです。

終りに皆様にお話する機会に恵まれましたことをいかに喜んでおられるかを申し述べ、将来何回となく東京と東京大学を訪れることができることを望みます。

理 事 会 だ よ り

第1回(第14期)全国理事会

日 時: 昭和41年10月1日 19h~20h 30m

場 所: 北大, クラーク会館

出席者: 常任理事, 北岡, 三宅, 神山, 吉野, 須田(滝)

地方理事, 孫野, 山元

監 事, 高橋(順不同)

(他に評議員荒川, 中野各氏出席)

(注, 今回の全国理事会は8月21日に開かれた全国理事会が定数不足であったので, 同じ議題について当時出席しなかった理事の審議を願いかつ前回と併せて, 1回の全国理事会とすることの諒承を得たものである。)

議 決

1. 気象学会の運営方針について

北岡理事長代理より従来の経緯の説明があり, 主要事項について審議した。決定した事項は次のとおり。

(1) 全国理事会の開催

年4回(8月, 3月および春秋の大会前に2回)開くこととし, 運営は重要問題の実質的討議を行うこと。開催の約1ヶ月前に予告すること。当分旅費の支給がなくとも止むを得ないことなどが決った。

(2) 運営に関するシンポジウムの開催

運営問題については, 今後も種々の機会に討議する必要がある。シンポジウムの開催もよいが, 更に経済問題などから検討し, 具体的な資料が整ってから開くことになった。

(3) とりあえず10月2日, 臨時総会終了後に運営問題に関心を持つ会員に集ってもらい, Informal Meeting の形で, 意見交換を行うことになった。

2. GARP 計画の推進について

これが推進方法の1つとして, 臨時総会に提出し, 会員の賛成を得るよう取り運ぶことを了承。

主な討議

運営問題については, 各理事の討議が行われたが, 理

事会としては, この機会に評議員, 監事のご意見も伺って, 今後の改善に資することにした。

参考のために主な討議を掲げる。

(1) 会員の種類と権利について

学会の発展のためには, 全員集誌をとる会員になることが望ましいが, そうならない場合, 権利について多少差別をしてもよいのではないかという意見もあったが, 現状から見ると, 反って学会発展のためにならない。差別している学会もあるが, 日本では差別していない学会が多い。天気だけの会員も気象学や技術の進歩にとって大切である。会員の減少を来し, 経済的基盤を弱めるおそれがある。などの反論があった。

なお「天気」をアメリカ気象学会の Applied Met. のようなものにして集誌をとる会員も天気だけとる会員も同等にすることも検討すべきであるとの意見もあった。学生会員の会費について優遇することは多少問題もあるが, 将来の気象学を背負う者を育成する姿勢としてよいことであろうとの意見が多かった。この場合, 会費は将来値上げするときに, 学生は上げないという方法がよい会費を安くした場合は選挙, 被選挙などの権利の制限は止むを得ないのではないかと, そして学生には, 一般会員が学生会員か好むところを選べるようにすればよい。などの意見が出た。

(2) 選挙方法について

選挙の方法には改善すべき点もあるとの意見が多かった。地方区については, 廃止しないで, 地方理事の定数を増してはどうかの意見もあったが, 廃止すべきであるとの論もあった。いづれにしても事務局の強化が大切だがこれは直に経費の問題にぶつかり, 簡単に行かない事情も説明された。

(3) 会員への周知について

できるだけ多くの機会をとらえ, 会員に実情を伝え, 意見をあつめるよう努力する。

1966年11月