

エネルギーの波動傳播における 大氣構造の役割*

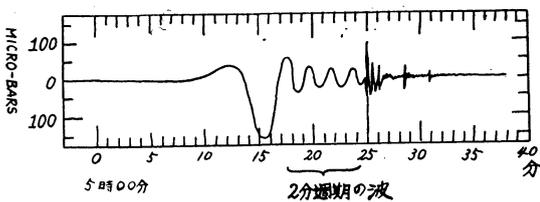
沢田 龍吉

1. はしがき

大氣中には音波や偏西風の波動や、さらに大規模な潮汐振動にいたるまで、種々の波動が生じ傳播する。これらの波動をよくみると、特に永く存続して遠くまで傳播するものとそうでないもの、特に大きく発達するものとすぐ消えてしまうものなどがあって、大氣に適する波と適さない波とがあるかのように見える。これが一体どんな理由によるかは必ずしも簡単に答えられないが、その一因として大氣の構造が決定的な役割を果たすことを、爆発的振動の傳播と、大氣の潮汐を例にとりて説明することにする。これが、太陽現象その他により、大氣中に投入されたエネルギーがどのような大氣現象を起し易いかの問題を解く上に一つの参考となれば幸いである。

2. 爆発的振動の傳播

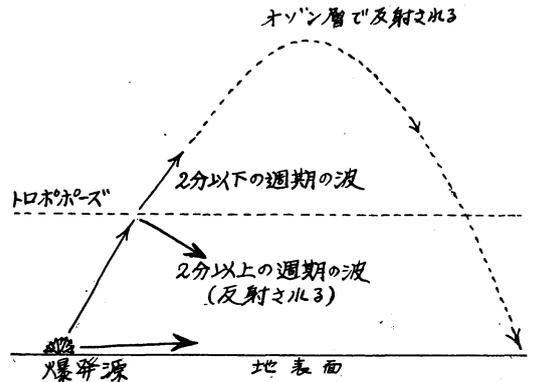
隕石や原子爆発によって生じた振動はかなり遠くまで傳播する。第1図は1908年大シベリヤ隕石落下の際に



第1図 シベリヤ隕石落下にともなう気圧振動模型

英国の各地で記録した気圧振動の模様を総合したものである(Whipple 1930)。これを見ると、最初にやや長い週期の波が一つあって、そのあと2分週期の波が4箇規則正しく到達したことがわかる。5分25秒以後の短週期の衝撃波の存在も極立って目立っている。これは今の所、第2図に示したように、2分以上の週期の波動は隕石の落下地点から直接対流圏内を傳播したものであり、最後の衝撃波の部分は音の異常傳播の場合のようにオゾン層の高温部で反射されて来た種々の波動と考えられている。原子爆発の場合もほぼ同様であると考えられる。隕石の落下や原子の爆発で発生する振動は恐らくあらゆる週期のものから成り立つと考えられるにも拘らず、第1図のように対流圏を傳播して遠方に到達する波動の中に週期2分以下のものが見当たらないのは何故で

あろうか。ペケリス(Pekeris 1948)およびスコアラ(Scorer 1950)の理論的研究によると、振動源から四方八方に傳播する波動のうち、2分以下の週期のものはトロポポーズを自由に通過して成層圏内にも進行する



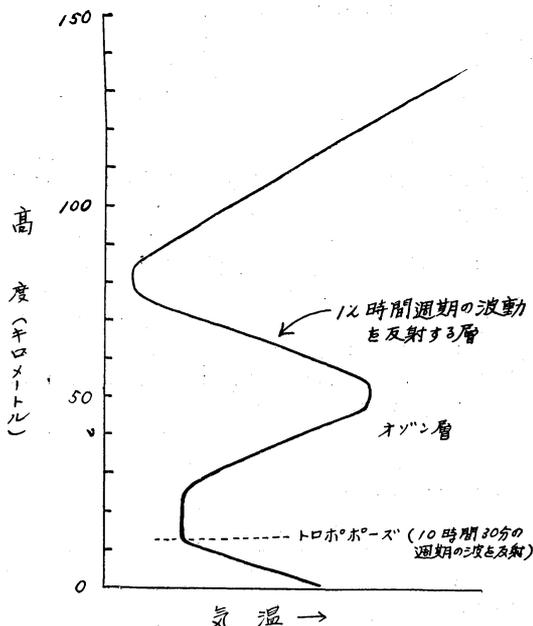
第2図 爆発にともなう振動の傳播

が、2分以上の週期のものはトロポポーズで反射されるために、エネルギーが上方に散逸することなく、対流圏内を遠方にまで最短時間で傳播することが判明した。すなわち、トロポポーズが週期2分を境にして波動を選び分ける役割を演じている。さらに上空にはオゾン層があって、下層から進行して来た短週期の波動を反射する役割を演ずることは前に述べた通りである。原子爆発にともなう振動(山元1954, 中央気象台観測部1954)もほぼ同様であると考えてよい。

3. 大氣の潮汐

特に高緯度の地方をのぞけば、どこでも毎日規則正しく、午前と午後の10時頃に気圧が極大に、4時頃に極小になることが知られている。これはあたかも、海洋が月の引力によって潮汐現象を生ずるのと同様に、大氣が太陽の引力および加熱作用によって、半日週期の一種の潮汐現象を起している結果と考えられる。もし引力だけがこのような潮汐を起す原因だとすれば、月による引力の方が太陽のそれよりも2倍以上も大きいのであるから、大氣の潮汐も海の場合と同様に月の運行に従って生ずるはずである。しかし事実は太陽の運行に従っている。それでは大氣の潮汐は太陽による週期的加熱だけによると考えて良いかという、それでは潮汐はむしろ1日週期のものが大きく現われる必要があるが、事実は半日週

* 昭和30年1月28日 日本気象学会における総合講演の概要



第3図 気温の高度分布と潮汐波の反射層

期のもだけが特に現われている状況である。これは一体どう考えたら良いのであろうか。ケルビン (Kelvin 1882) は、これは大気がほぼ 12 時間の固有週期を持っているために、原因が引力であれ、熱的なものであれ、共鳴を生じて振動が大きくなるのであろうとした。物体の固有振動はその物体の構造に密接に結びつくものであるから、大気の潮汐現象にとって大気の構造が決定的な役割を演ずることになる。第3図はロケット観測による高層の気温分布の大体を表わす。ペケリス (Pekeris 1937) やウィルクス (Wilkes 1949) の理論的研究によると、例えば引力によって生じた大気の波動のうち週期が 12 時間位のものだけがオゾン層のすぐ上の低温層によって反射され、他の週期のもはすべて上空に散逸してしまうという。このため 12 時間に極く近い週期の波動のエネルギーだけが厚さ数 10km の大気中に蓄積されて大きく地上気圧に現われると考えられる。共鳴というのはこの例でもわかるように固有週期と同じ週期の波動エネルギーだけを吸収蓄積していく現象である。

4. 波動伝播の数学的理論と大気構造

大気の運動はすべて、地球の自転を採り入れた流体の運動方程式で表わせるから、波動伝播の理論もこれから出発する。水平方向の直角座標を x, y 軸とし、鉛直上方に向け z 軸を採ることにし、波動が x 方向に、振動数 σ 、波数 k をもって進行している場合を考えよう。このとき風速度 (ベクトル) V は一般に次のような函数に比例する。

$$V \sim e^{i(\sigma t - kx)}$$

i は虚数単位で、 t は時間を表わす。このような表現を運動方程式に代入すると、方程式は y と z だけの式に

なる。これを適当な方法 (変数分離の方法) で二つの式にまとめ上げることが出来る。その一つは y だけを変数とする式で、他は z だけを変数とする式である。前にあげた例では、すべて大気の鉛直構造を問題としたから、ここでは後者の z だけの式を採り上げることにしよう。一般にこの式は

$$\frac{d^2X}{dz^2} + Q^2X = 0$$

の形になる。ここに X は収斂のような量*で、 Q^2 は気温の鉛直分布と波動の週期に関係をもつ z の函数である。この方程式は、 Q^2 が複雑な函数であるから、簡単に解くわけにはいかないが、その解の特性は次のようにいえる。

- (イ) $Q^2 > 0$ の所では X は波動の形を採り、考えている波動が x 方向に傳播するばかりでなく、上下方向 (z) にも傳播する。
- (ロ) $Q^2 < 0$ の所では X は指数函数の形を採り、上下方向の傳播はない。

いま、仮りに下層で $Q^2 > 0$ であり、上空で $Q^2 \leq 0$ の所があるとなれば、波動のエネルギーは水平 (x) 方向に傳播すると同時に上空にも波動的に散逸していく。所が上空で $Q^2 \leq 0$ の領域に達すると、これから先きへは波動傳播は起こらないで、却って全反射を起こして下層の方に逆戻りすると解釈される。その結果、波動のエネルギーは $Q^2 \leq 0$ の高度より下層の大気中に蓄積され、その波動は大きく発達していくことになる。これに反して $Q^2 \leq 0$ の領域が全然なければ、波動のエネルギーは遂次上空に逃れ去って蓄積されるに到らない。 Q^2 は前に述べたように、大気の気温分布のほかには波動の週期によってきまる量であるから、同じ気温分布の場所でも、ある波動は反射するが、他の波動は自由に通過するということが生じる。これらを詳しく調べたのがテーラー (Taylor 1936)、ペケリス (Pekeris 1937)、スコータ (Scorer 1950) の研究で、トロポポーズは 12 時間週期の波動にとっては透明であるが、10 時間 30 分位の週期の波や、爆發にともなう振動のうち 2 分以上の週期の波にとっては不透明で反射鏡の役割を演ずることが明らかになったのである。

5. これからの問題

これまで例をもって説明したのは鉛直構造の役割であったが、水平 (y) 方向のエネルギー傳播における水平方向の大気構造の問題についてはどうであろうか。この場合筆者の見込**では恐らく帯状流の風速分布が決定的な役割を演ずるのではあるまいか。

またオゾン層内の急激な気温上昇が仮りにあったとし

* 多くの場合に X は収斂そのものではなく、 z も鉛直座標とは少し異った量であるが、大体においてこれらを収斂と鉛直座標と考えても大差はない。

** 講演に際して具体的に説明したが、数式の取り扱いが複雑なので、ここでは省く。

た場合、それによるエネルギーの波動傳播がどのようにして地上の気圧変動に影響して来るかも同じ系統の重要な課題である。

次に長期予報法のうち遅期法と呼ぶものについて一言付け加えよう。統計的方法によってすでに相当数の大気の振動遅期が見出されているが、それらが何故卓越しているかの物理的問題となると、不明なものが多い。それらが大気の固有遅期であるというならば、その固有遅期がどのような大気構造に基くものなのであるか。またそれらが単に強制振動であるとするならば、それを起こしている外因が何であるのか。これらの問題が明かにされていくことがこの種の方法の何よりも重要な課題であると考える。(1955年3月9日中央気象台予報課)

引用文献

- Kelvin, Lord, 1882 : On the thermodynamic acceleration of the earth's rotation. Proc. of the Roy. Soc. of Edinb., v, 11, pp. 396~405.
Pekeris, C.L., 1937 : Atmospheric oscillations.

Proc. of the Roy. Soc. of London, Ser. A, v, 158, pp. 650~71.

—, 1948 : The propagation of a pulse in the atmosphere. Part II, Physical Review, v. 73, pp. 145~54.

Scorer, R.S., 1950 : The dispersion of a pressure pulse in the atmosphere. Proc. of the Roy. Soc. of London, Ser. A, v. 201, pp. 137~57.

Taylor, G.I., 1936 : The oscillations of the atmosphere. Proc. of the Roy. Soc. of London, Ser. A, v. 156, pp. 318~326.

Whipple, F. J. W., 1930 : The great Siberian meteor and the waves, seismic and aerial, which it produced. Quart. Journ. of the Roy. Meteor. Soc., v. 56, pp. 287~303.

Wilkes, M. V., 1949 : Oscillations of the earth's atmosphere. Cambridge Monographs of Physics, Cambridge, pp. 1~76.

山元龍三郎, 1954 ; 天文と気象 Vol 20 No 8 pp. 2~5
中央気象台観測部, 1954 : 水爆実験による大気振動調査概報

書 評

オランダ王立気象局発行「長期予報」

オランダの王立気象局から中央気象台の図書課に「長期予報」(Weers Verwachtingen op lange termijn)という本が送られて来た。著者は Dr. Van der Bijl という気象局の職員である。これは気象の啓蒙書の一巻として刊行されたもので128頁の小冊子であるが、通俗書としてはなかなかよくできており、外国で長期予報をどのように見ているかが一応うかがわれる。

まず最初に定義が与えられてあり、一週間以上さきの天気を予報するものを長期予報とし、特に夏または冬の3箇月に対する予報を季節予報と名づけているが、いずれも平均気温や総降水量の予想に限定している。次には長期予報の得失、古代および19世紀までの予想法を述べ、それから20世紀の状態に及んでいる。現代の方法の項では科学的な根拠のない方法について述べた後で各種の科学的方法を簡単に説明している。表題を列挙すると相関法、気圧波、Singularity、気圧のtrend、大気環流の長期変動、高低気圧の進路、類似法、太陽現象、オゾンとなっている。最後に印度、インドネシヤ、ソ連、ドイツ、オランダ、フランス、イギリス、アメリカ、日本の順で各国の長期予報の現状が述べられており、Walker, Braak, Berlageの相関法やSingularity, MultanovskyやPagavaのNatural period、またBaurの汎天候、Namiasの平均上層天気図による方法、高橋氏の遅期法をあげている。本文には理解を助けるための図や表のほかには色刷の挿絵や漫画があり通読したらおもしろいと思われる。読者の中にオランダ語の解る方がおられたら一読の上紹介されるよう御願したい。(須田)

新しい航空気象 橋本梅治、鈴木義男共著

A5—260頁 昭和29年11月刊 450円 気象協会

著者の橋本氏は終戦後の混乱期に羽田航空測候所長として苦心経営にあたらせ、航空事業の再建に尽力された方です。鈴木氏も羽田にあって航空気象の仕事にたづなわっている第一線のエキスパートです。

このような現場の人が自分の毎日の仕事の土台となっている技術をまとめて公表するという事は次の二つの点で大へん有意義なことだと思います。第一に新しい技術の普及ということは技術がさらに発展するために是非必要なことなので、新しくのびるためには広く根をはることが必要なのです。第二に技術の進歩はこのようにちゃんとまとめてみて、どこが不足しているか、どこが完成しているかがはっきりわかり、それをはっきりと見きわめた上で次の新しい発展の段階に入るからなのです。

15章と付録からなり、各章とも航空との関連に特に関心がはらわれているが、第10章以下は特に航空気象プロパーの問題をとりあつかっている。10章以下の項目をあげてみると第10章航空機の着氷、第11章気象と飛行計画、第12章気圧配置飛行、第13章飛行を計画するための天気予報、第14章地上天気図解析、第15章高層天気図解析となっていて、全体の頁数の約半分がこれにあてられている。各章とも末尾に問題集があり、この書物が教科書として使われる場合に大へん便利である。戦後その様相を一変した航空気象を新しく学ばれる人には必読の書物といえよう。誤植や活字の組方の不ぞろいなどがかなり目立つが、改版の時には訂正されたい。このような良書が広く普及するためにも450円という値段は何とかならないものなのだろうか。(根本)