

透過率の変動と重力波の役割り*

草野 和夫**

要 旨

千歳の透過率計記録11例をスペクトル解析したところ、大勢としては、低周波域には $-5/3$ 乗則が、高周波域には -7 乗則が成り立ち、等方性乱流理論が適用される。しかし中間周波数帯に顕著な特異点を持つものが多い。

下層大気には、各例とも、逆転層または等温層があり、その層より下にできる内部重力波の鉛直運動が透過率の短周期変動を支配し、Brunt-Väisäläの振動数よりやや小さい周波数帯にパワー・スペクトラムの山ができる。安定層から上にできる外部重力波は上記の内部重力波エネルギーを上空に逸散させて、パワー・スペクトラムに落ち込みを作る。

1. はじめに

先に、羽田の透過率記録のスペクトル解析¹⁾を行ない、いくつかの卓越周期があることを報告した。今回、千歳の資料を入手したので同様な解析を行なったところ、興味ある事実を発見した。

スペクトルの計算方法と手段は前の報告と全く同じである。ただし、千歳には透過率計が一台しか設置されていないので、クロス・スペクトラムの計算はできなかった。

用いた資料は第1表に示す11個である。読取りの間隔は5分であるが、当時、透過率計の打点の乱れが大きいため、数分間の平均値を10分ごとに読取り、中間の値を内挿で求めたものである。

2. スペクトル関数型

パワー・スペクトラムを第1図に示す。横軸は周波数(10^{-3} cycle sec^{-1})、縦軸は基準化スペクトラム密度(無次元)である。実線は減衰の大勢を示し、数字はその減衰係数である。

羽田の場合と比べて著しい特徴は、全般になめらかに減衰していること、周波数 7×10^{-3} sec^{-1} (周期15分)以上の高周波域での減衰が非常に大きいことである。羽田の場合はなまの読取りを2分間隔で行なったのに対し、千歳の場合はかなり平滑化した5分間隔の値であることが、最も大きな理由と考えられる。

減衰係数の周波数による変化をみると、前半(低周波域)で $-5/3$ または -2 であったものが、後半で -3 ないし -9 になるものが大部分である。スペクトル関数の減衰係数の値は乱流理論によると重要な意味を持っている。すなわち、パワー・スペクトラムは $-5/3$ 乗則が成り立つエネルギー伝搬域と、 -7 乗則が成り立つエネルギー逸散域に分けられ、逸散域で -3 乗則が実測に近いという説もある。したがって、透過率のスペクトル関数は乱流理論から説明することができることになる。

3. 特異点と Brunt-Väisälä の振動数

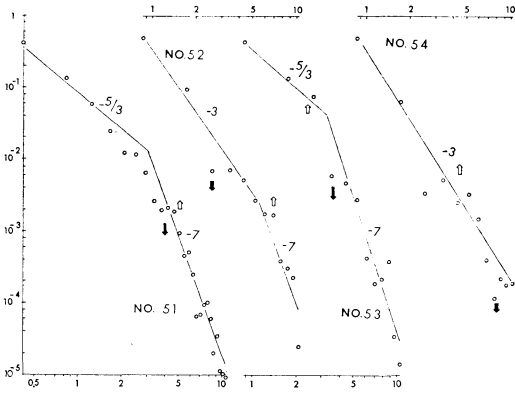
今までは減衰の大勢を記述してきたが、細かく見ると、中間周波数帯に大きな落ち込みや顕著なピークがいくつか見られる。このような特異点は程度の差はある

第1表

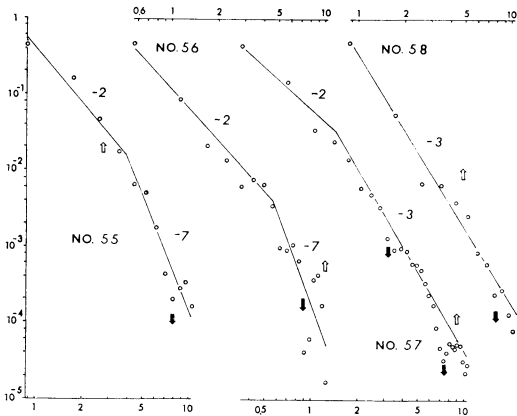
No.	日付	時刻	資料数 N	項数 m
	1968	JST		
51	5. 5	1400-0745	213	25
52	5. 18	2100-0510	98	12
53	5. 20	0000-0740	92	12
54	5. 22	2000-0440	104	12
55	5. 26	0100-0740	80	12
56	6. 2	1800-0540	140	18
57	6. 4	1250-0850	240	30
58	6. 8	2200-0620	100	12
59	6. 22	2000-0315	87	12
60	6. 25	2230-1010	260	30
61	6. 27	1730-0750	172	22

* On the Responsibility of Gravity Waves for the Variations of Transmissivity

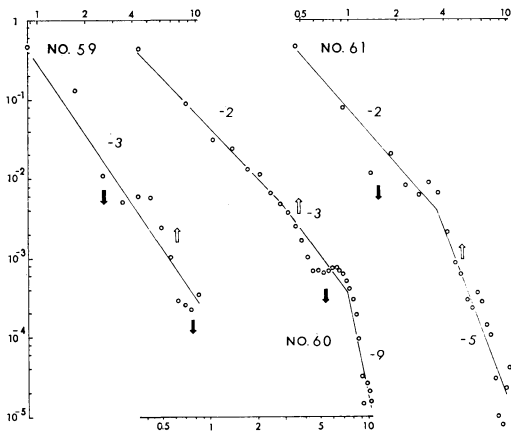
** K. Kusano 福岡航空測候所
—1972年10月30日受理—



第1図 a



第1図 b



第1図c 透過率のパワー・スペクトラム。横軸は周波数 $\times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ 、縦軸は基準化したスペクトラム密度(無次元)、細線は平均的な減衰曲線、数字は減衰係数、資料番号は第1表による。

が、各例とも存在している。パワー・スペクトラムの落ち込みはエネルギーの流出を、ピークは新たなエネルギーのゆり出を意味する。それがどうして起こるかを考える上で、E. E. Gossard²⁾の論文が参考になる。

C. O. Hines は電離層内の不規則性についての実測値の多くは、その高度では低周波数の起潮力以外に波を発生させる明白な機構はないから、対流圏の大きなエネルギー過程に起因した波であることを示唆した。E. E. Gossard はカリフォルニアの Point Loma で観測された、霧の堤の上面が乱れ地表の気圧と風が顕著に振動した例を含めて、いくつかの場合について、対流圏下層から鉛直に流れ出るエネルギー流束を計算している。このような場合、下層1,000~5,000 ft に明りような逆転があり、その上もその下もやや不安定になっている。このとき発生した内部重力波のエネルギーが、逆転層の上にある不安定に近い層の振動を通じて、上空に流出すると彼は述べている。

小倉³⁾によると、上昇する空気塊は浮力と重力の作用を受けて、振動数

$$\nu_b = \sqrt{\frac{g \cdot d \ln \theta}{dz}} \quad (1)$$

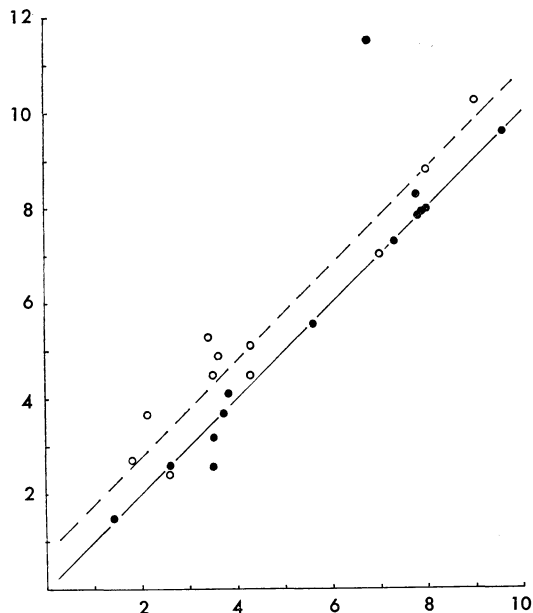
を持つ振動をする。 ν_b を Brunt-Väisälä の振動数といい、安定度だけに関係する。ここで g は重力の加速度、 θ は温位である。空気が飽和しているときは、凝結の潜熱が放出されるのでようすは変わってくるが、凝結が弱いと考えれば、(1)式の θ のかわりに相当温位を用いればよい。

千歳に最も近い高層観測地点札幌の観測から第1表の時間内またはそれに最も近い時刻における安定度をみると、下層100~1000m に逆転層または等温層があり、その上も下も安定度が悪くなっている。それぞれの安定度から Brunt-Väisälä の振動数を求め、地面に近い方から ν_{bI} 、 ν_{bII} 、 ν_{bIII} とする。第1図の各例に ν_{bI} を上向き、 ν_{bIII} を下向き、 ν_{bII} を下向き、 ν_{bIII} を下向き、 ν_{bII} はすべて 10^{-2} sec^{-1} 以上であるため図上に記入されていない。

上向き矢印に着目すると、それよりやや低周波のところにパワー・スペクトラムのピークが対応し、下向き矢印のところには落ち込みが対応している。ピークの周波数(ν_p)と ν_{bI} 、落ち込みの周波数(ν_s)と ν_{bIII} とは第2図に示すようになりに高い相関があり、

$$\nu_p = \nu_{bI} - 0.8 \quad (\times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}) \quad (2)$$

$$\nu_s = \nu_{bIII} \quad (3)$$



第2図 ピークの周波数 ν_p と接地層の Brunt-Väisälä の振動数 ν_{bI} との比較(白丸), および落ち込みの周波数 ν_b と上空の ν_{bIII} との比較(黒丸). 単位はいずれも 10^{-3} sec^{-1}

の実験式が得られる。

小倉²⁾によると、 ν_b より低周波の重力波は低周波内部重力波であり、 ν_b と同じ周波数の重力波は外部重力波に属する。したがって、(3)式は逆転層の上に発生している外部重力波によって、透過率変動のエネルギーが上空に逸散することを物語っている。

低周波内部重力波は安定で、その運動は大気中の小規模対流に似たセル状の循環を示す。循環に伴う上昇流・下降流は積雲対流ほど強くはないが、霧粒の量と大きさを変える程度の強さがあると考えれば、透過率の低下・好転が繰り返されることになる。したがって、(2)式で表わされるような周波数帯で、新たにエネルギーがゆう出し、スペクトラムにピークを作ったが、逸散域にあるためたちまち減衰するのであると説明することができる。

ν_{bI} に対応するピークおよび ν_{bIII} に対応する落ち込みをパワー・スペクトラムに見つけることは容易である。しかしすべてのピークまたは落ち込みに ν_{bI} または ν_{bIII} が対応するわけではないことは第1図からも明らかである。高層観測が千歳から約 40 km 離れた札幌の12時間間隔でしか得られないことから、両者の完全な対応を期待することは無理なことである。

4. まとめ

千歳の透過率計記録11例のスペクトル解析を行ない、次のような結果を得た。

- i) パワー・スペクトラムは低周波域で $-5/3$ または -2 、高周波域は -7 または -3 の減衰係数が適用され、等方性乱流理論による伝搬域および逸散域に相当する。しかし中間周波数帯に顕著なピークや落ち込みを持っている。
- ii) 霧が発生しているとき下層大気に逆転層または等温層が存在し、その上も下も比較的不安定である。安定層から上で発生する外部重力波のため透過率変動のエネルギーは急速に逸散するので、パワー・スペクトラムの落ち込みができる。
- iii) 安定層から地表までの間で発生する内部重力波に伴う上昇流・下降流が透過率変動の新たなエネルギー源となり、パワー・スペクトラムにピークを作る。

このような考え方で、先に行なった羽田の場合を見なおすことは別に報告する。

最後に、データの提供を受けた新東京航空地方気象台準備室綾 主任技術専門官、プログラミングと計算機の使用に御指導と御援助を受けた気象庁電子計算室の方々

文 献

- 1) 草野和夫(1971): 透過率のスペクトル解析, 研究時報, **23**, 391-400.
- 2) Gossard, E. E. (1962): 対流圏に起こった内部重力波エネルギーが電離層下層に流れこむこと(桜庭信一訳), 地球物理学文献抄, **10**, 85-94.
- 3) 小倉義光(1966): 最近の気象物理学, 気象研究ノート, **17**, 1-61.