

質疑応答

質問は、東京都千代田区大手町 1-3-4, 気象庁内
日本気象学会天気編集委員会宛、にどうぞ

問：波数 1.5 とか 2.3 とかいう波はどうして考えないのですか？

(東京T生)

答：似たような質問を時々受けますので、少しわかり易く考えてみましょう。おそらく質問の意味は、波動の空間スケールの表現方法として“波長”を用いるときは連続量として考えるのに対し、“波数”を用いるときは整数のみ、つまり飛び飛びの不連続量と考えることへの疑問と思われまふ。確かにおっしゃる通り、テキストを開いてみますと例えば傾圧不安定ダイアグラムなどの横軸は波長 L を用いて連続的に描いてあり、一方観測値のフーリエ解析の結果などは波数別に棒グラフで表わされていることが多いようです。ところが一方、ふつうは波数 $k=2\pi/L$ とだけ書いてあるものですから混乱するのも無理はありません。そこで次のように考えてみたら如何でしょう。

まず、波長 L の次元は長さですからその単位を km とすれば $k=2\pi/L$ で表わされる波数 k の単位は $(\text{km})^{-1}$ となります。これは単なる整数ではありません。従ってこの k を、ふつう波数 2 とか 5 とか言うその整数（無次元数）と結びつけるためには、もうひとつ長さの単位量を持ってこなければなりません。つまり、“波数が 2” という表現は“ある長さの範囲内に波が 2 個ある”との意味です。その長さとは、例えば楽器の弦の長さだとか、水槽実験の容器の幅だとか、時には対流圏の深さ（厚さ）だとか、要するに今考える波の存在する領域を規定する長さであれば何でも良いわけです。気象学で最もなじみ深いものとして、地球上の緯度に沿った円周を考えてみましょう。話を簡単にするために赤道を例にとり波長は東西方向に測ります。 a を地球の半径とすれば $2\pi a$ が赤道の長さ (40,000 km) ですから、 $n=2\pi a/L$ という量がすなわち“波の個数”に他なりません。（これを $n=ka$ とかいて“無次元化した”といいます。）単に波数というとき、このように k と n のふた通りの使い方があることにまず注意して下さい。

しかしこれだけではまだ波数 n が整数である理由にはなっていません。その説明のためには、もう一度、そもそも波長とは何か、ということを考えてみる必要があります。ふつう行なわれるように、有限な長さの範囲でフーリエ展開し、その各成分をそれぞれ波と定義する限りにおいては、実は波長も飛びとびの値を取らざるを

得ません。つまり波の数 $n=1, 2, 3, \dots$ が基本になり波長のほうがそれに従って $L=2\pi a/n$ で決まることとなります。赤道上に $L=30,000$ km とか 25,000 km とかいう波はあり得ないわけです。

それでは最初に述べた“波長を連続的に考える”ことは全く誤りか、ということ必ずしもそうではありません。例えばいわゆる線型理論などで良く波動が東西方向に無限に続くと仮定します。この仮定を置けば、波長は連続的に如何なる値でも取り得ます。これは上の赤道の例でいえば地球の半径 a が無限大だと仮定することに相当します。現実には a は有限ですから、この仮定の意味は、実は L が $2\pi a$ に比して充分小さいということですから。従って $n \gg 1$ ということになります。つまり領域の大きさに比して、いま考えている波の波長が充分小さいときには、波長を連続的なものとして取扱っても良いわけです。更に注意すべきは、このような波長の短い現象は地球上のある緯度圏に沿って一様に存在している必然性がないこと、現実大気中にはむしろある特定地域（または海域）にのみ卓越する波動現象のほうが多いことです。そのような現象を波数で表現する意味は薄れてきます。一方乱流論などでエネルギースペクトル分布その他波数による表現（しかも連続量として）が多いのは空間分布の一様性という仮定が常にあるからです。

結局、地球大気波動に関する限り、例えば緯度を指定（円周の長さを固定）すれば、超長波は $n=1, 2, 3$ の如く波数で表現し、中間規模擾乱とか熱帯偏東風波動などの類は波長を用いて連続的に示したほうが良いこととなります。いわゆる長波（中緯度高低気圧波）はこの両者の間にありますから $L=4,000 \sim 6,000$ km と書いたり $n=5 \sim 7$ と言ったりするわけです。最後に宿題をひとつ。この問題と同様な事情が 1 年周期とか 10 日周期とか言う周期の場合にもあることを考えてみて下さい。

(気象研究所 廣田 勇)

問：人工降雨のたねまきをしたときに降った雨が、人工降雨のせい以降ったのか、自然の雨で降ったのかを、どうやって判定するのですか。

(航空気象台勤務の一会員)

答：たねまき法にはダイナミック・シーディングとスタティック・シーディングの 2 通りの方法があります。ダイナミック・シーディングは、雲の中に空気 1 l あたり約 10^4 個の水晶体をつくり、雲の構造を力学的に変えるこ

とを主目的にしています。効果の判定は次のようにします。

飛行機からドロップゾンデを投下して、ある地点の大気の温度と水蒸気量の高度分布を測定します。同時にその近傍にある大きさの似た2つの積雲をえらび、積雲A、積雲Bと名付け、AとBのそれぞれ雲底、雲頂高度、水平の直径を飛行機で正確に測定します。飛行機に搭載してあるコンピューターに、それらのデータを入れ、AとBが時間がたつにつれて、雲頂高度をどのように変えるだろうかを、計算します。この計算には簡単な積雲モデルを使い、10秒ほどで終わらせます。さらに、もし雲の中に氷晶が急に多数発生したら雲頂高度がどう変わるかを計算します。著しく雲頂高度が増加するはずであることが計算されたときは、積雲Aに対し、空気1lに約10⁴個の氷晶が発生するように多量のたねまきをします。

そのあと、A、Bの周囲を飛行しながら両者の雲頂高度の変化を観測します。また飛行機レーダーで雲底下に落ちる降水強度を観測します。このように、AとBの幾組にも同じ操作をおこなったのち、Aの雲頂高度がBのそれよりも高いことが統計的に有意に認められ、降水強度にも差が認められ、しかもその程度が計算でえられた程度に近いときには、積雲Aにはダイナミック・シーディングの効果があったと判定します。

スタティック・シーディングは、雲の中に空気1lあたり約1個ないし10個の氷晶をつくり、過冷却した雲粒を昇華によって固形降水に転化し、雲の外へ逃げる水分を減らして地上に増雨をもたらすことを目的にしています。

判定法は少しこみ入っていますが、大略次の通りです。まず目標とする地域の、目標とする季節に、氷晶核の個数が空気1lにつき氷晶1個を発生させることに充分であるか不足しているかを調査します。不足していることがわかったらば、目標地域の風上の数地点にたねまき用の地上発煙炉を配置します。

飛行機に氷晶核計数装置を搭載し、地上から発煙したたね（たとえばヨウ化銀の煙）が、 -15°C の高度で空気1lにつき1個以上の氷晶をつくるに充分な個数を保って上空に昇っているかどうかを確認します。煙がじゅうぶんに昇らない場合には、発煙地点を変更したり、発煙炉の台数を増して、煙の濃度が -15°C の高度でじゅうぶんの値を保つように工夫します。

これだけ準備ができれば、カレンダーの日程を4日間

ないし5日間を単位として区切り、乱数表をもちいて発煙可能期ONと発煙不可能期OFFとにわけます。たとえば、ONの4日間をAと書き、OFFの4日間をBと書いたとき、A, B, B, A, B, A, A, B, ……というようにしておきます。

目標地域に低気圧が近づき、レーダーエコーの雨域が接近した場合に、その日がONの期間にあたっている場合には発煙炉をはたらかせてたねまきをします。OFFの期間にあたっている場合には発煙しません。また、ONの日でも、大雨注意報や警報が発令されているときには発煙しません。発煙指令所には、気象情報を受けるために、テレタイプやファックスの受信装置をおき、気象機関が流している字や絵はすべて受けておきます。目標地域内にはロボット気象計をおき、雨量、風向、風速、気温、川の水位など受信しておきます。

目標地域内の代表的な数地点で雨水を採水し、光を防ぐ茶色のびんにつめて、雨ごとに雨水分析係りに送ります。雨水分析係りは、雨水が人工的にまいたたねのせいで凍結しやすくなっているかどうか調べます。雨水に含まれるヨウ化銀の量は微量に過ぎて化学分析にはかからないので、凍結のしやすさで調べるのです。

雨水を 0°C 以下の温度に冷却した空気の中に噴霧して、ONの日の雨水と、OFFの日の雨水のどちらが多く氷晶となるかをくらべます。雨水の中には中国大陸から飛んで来た黄土の鉱物のように、凍結作用のすぐれた物質が含まれていることがありますので、噴霧した雨水が凍結しやすい場合に、ヨウ化銀のせいで凍結しやすいのか、自然氷晶核のせいで凍結しやすいのかを判別する必要があります。そのため、化学薬品を少しずつ雨水に加えては噴霧をくり返して、添加された薬品の影響で凍結しやすさがどう変化するかを見て、ヨウ化銀であるかどうかを定めます。

さて目標とする季節が終わったら、目標地域内外の降水量について、地点ごとにON期の総計とOFF期の総計をつくり、両者の比を地図の上にプロットします。等値線をえがいて極大がどの地点を中心にして現れたかを調べます。そのあたりでは、ON期の降水量が、OFF期の降水量にくらべて、相対的に最も大きいわけです。次に雨水分析の結果を見て、その地点の近傍の雨水がヨウ化銀のせいで凍結しやすいと出ていれば、スタティック・シーディングの効果で人工的な増雨があったと判定します。
(気象大学校：駒林 誠)