

論文の内容の要旨

論文題目 対流圏の鉛直微細構造に関する研究

氏名 中田 隆

雲は大気の状態によってさまざまな高度に現われる。ときには同じような高度に何層にも重なった雲が見られることもある。このような多層構造の雲層が現れるためには、大気中に相対的に湿った層と乾いた層が折り重なっていることが必要と思われる。

大気が物理量の層構造をもつという観測結果はごく最近になっていくつか報告され始めている。Iseline and Gutowski(1997) は、レーウィンゾンデの冬期のデータを用いて頻繁に見られる対流圏中層の湿潤層について調べた。その湿潤層は一つの鉛直プロファイルに一層程度しか現われないもので、平均高度は600-500hPa、平均的な層厚は約1.5kmであった。Dalaudier *et al.*(1994) は、地表面から成層圏中層まで鉛直方向に20cmの解像度で気温を測定し、気温の鉛直勾配が正で、層厚が3~20mの多くの薄い層を発見した。また、Newell *et al.*(1996) は、航空機観測により水蒸気やオゾン等の鉛直プロファイルを求め、平均的な層厚が数百mの変動量について調べた。

これらの研究は大気に微細な鉛直構造が存在することを示している。しかしながら、微細構造の中における温度と水蒸気との関係についてはこれまでほとんど調べられていない。微細構造の成因を考える上でも構造内での水蒸気と温度の関係は重要な手がかりを与えることが期待できる。そこで、本研究では対流圏の鉛直微細構造における気温と水蒸気の関係に注目して詳細な解析を行なった。

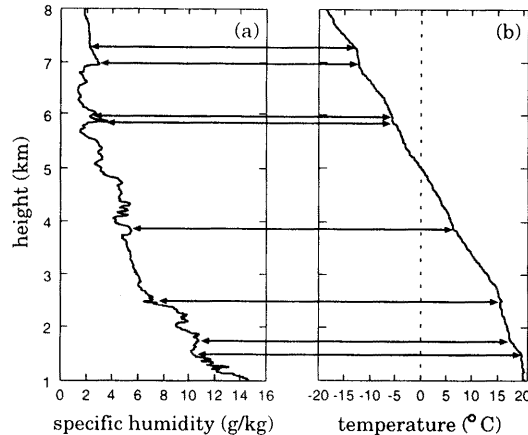


図 1: 1996 年 6 月 27 日 9:00JST の硫黄島における (a) 比湿と (b) 気温の鉛直分布.

- 解析には以下の 4 つのラジオゾンデによる高層観測のデータセットを用いた。
- (1) TREX(Torrential Rainfall EXperiment) データセット：梅雨末期の降水系の解明を目的として 1996 年 6～7 月に、各大学、研究所の共同研究として行なわれた観測のデータセット。
 - (2) TAPS(Tsukuba Area Precipitation Studies) データセット：関東平野のメソスケール現象を研究することを目的として行なわれている観測のデータセット。
 - (3) 気象庁による高層観測データセット
 - (4) 観測研究船淡青丸(東京大学海洋研究所)で得られたデータセット

図 1 は九州の南に位置する硫黄島で TREX 期間中の 1996 年 6 月 27 日 00UTC に我々東京大学海洋研究所のグループが行なった高層ゾンデ観測から得られた比湿と温度の鉛直プロファイルを示している。解析の対象は高度 1～8km とした。高度 1km 以下では大気境界層であるため、その運動を支配している力学が自由大気中と異なると考え解析領域から除いた。また、高度 8km 以上では気温偏差については議論できるが、比湿に関しては絶対量が小さくなり比湿の偏差を有意に取り扱うことが難しいので除外した。比湿の鉛直プロファイルには数百 m スケールの変動が見られる(図 1(a))。この変動と温度プロファイルで見られる変動とを比較すると、比湿が極大となる高度では温度の極小、比湿が極小となる高度では温度の極大が見られる(図 1 中の矢印)。また、これらの鉛直プロファイルに対して行なったスペクトル解析から比湿、気温の両者ともに鉛直波長にして 500 m 付近にピークがあることがわかる(図 2)。この例に限らず、TREX 期間の 167 個のサウンディングのほとんどに、鉛直スケール 200～800m の範囲に 1 つあるいは 2 つの局所的なピークが見られた。

このような数百メートルの鉛直スケールをもつ微細構造を取り出すためにデータ処理を行なった。最初に、鉛直方向に 10m 間隔の気温のデータ $T(z_n)$ に対して、700m の移動平均 $\bar{T}(z_n) = (1/71) \sum_{j=n-35}^{j=n+35} T(z_j)$ を計算することによっ

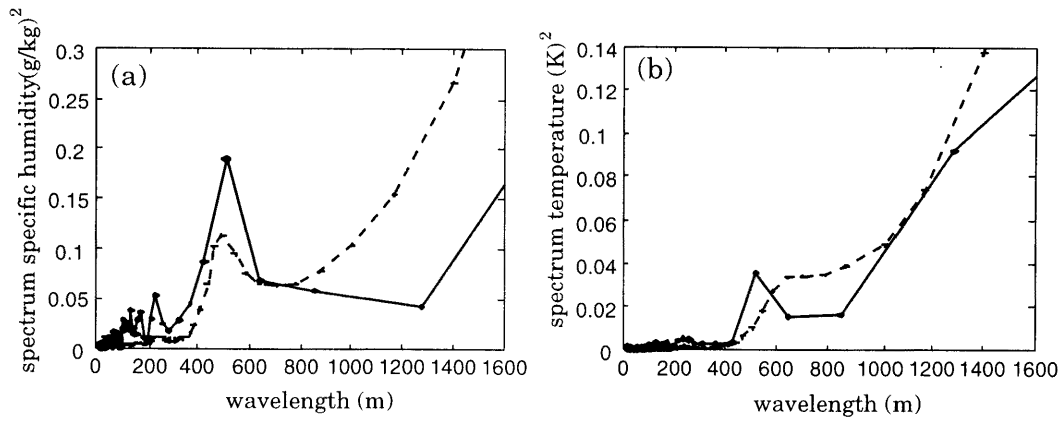


図 2: 1996 年 6 月 27 日 9:00JST の硫黄島における (a) 比湿と (b) 気温のスペクトル. 実線は FFT, 破線は MEM による計算.

て、トレンド $\bar{T}(z_n)$ を求め、観測データ $T(z_n)$ とトレンド $\bar{T}(z_n)$ との差 $T'(z_n) = T(z_n) - \bar{T}(z_n)$ を求めることにより、偏差 $T'(z_n)$ を得る。次に、観測精度上、微小スケール (200m 以下) について議論することは困難なため偏差 $T'(z_n)$ に 200m の移動平均 $T''(z_n) = (1/21) \sum_{j=n-10}^{j=n+10} T'(z_j)$ を行なって微小スケールの偏差を除去する。比湿に対しても同様の方法で偏差を取り出す。

図 3 はこのようにして得られた気温の偏差 (実線) と比湿の偏差 (破線) の鉛直プロファイルである。データは 1996 年 6 月 27 日 9:00JST に鹿児島県硫黄島で我々が観測したものである。気温偏差、比湿偏差が取る値の範囲はそれぞれ、 $-0.4 \sim 0.4\text{K}$ 、 $-0.6 \sim 0.6\text{g/kg}$ であり、その層厚は両者ともに約 300m であった。また、図 3 からこの二つの物理量の間には負の相関があることがわかる。このときの相関係数は -0.55 であった。TREX 期間の他の鉛直プロファイルも同様の特徴を示した。さらに、図 4 から TREX 期間に観測された微細構造のほとんどは昼夜を問わず気温偏差と比湿偏差との間に負の相関を持つことがわかった。

この結果の一般性を調べるために、地域と季節の異なる二つのデータセットについても同様の解析を行なったところ、同じように負の相関が卓越した。特に、対流性大気擾乱が減衰した後に負の相関が卓越した。また、微細構造の成因は内部重力波等の鉛直変位だけでは説明できないこともわかった。

データ解析から、微細構造の成因が何らかの形で対流活動と結びついていることが示唆されたので、数値実験により、果たして対流活動により微細構造が形成されるかどうか調べた。数値実験にはオクラホマ大学のストーム解析センターが開発したメソスケール数値モデルである ARPS(Ver.4.4.0) を用いた。一定の浮力振動数 ($N^2 = 1.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-2}$) と適当な相対湿度の分布をもつ初期場に温度擾乱を与えて対流雲を発達させ、16 時間の長時間積分を行なって、モデル大気の変化的構造を計算した。

その結果、対流雲によって正の相関をもつ微細構造が形成され、対流雲の外側に移流されるうちに負の相関をもつ微細構造に変化することがわかった。そのような微細構造の形成には、雲頂付近で大きな鉛直方向の温位偏差、Total water の偏差が作られることと、雲粒の蒸発による冷却が起きることが重要であるこ

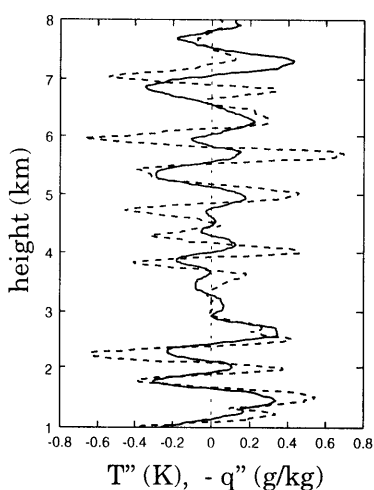


図 3: 気温偏差 (実線) と比湿偏差 (破線). 比湿の符合を逆にしてある.

とがわかった。

以上のように、本研究では大量の高層観測データを用いた解析と数値実験により、従来、あまり注目されていなかった対流圏自由大気鉛直微細構造について調べた。その結果、これまで報告されていない鉛直スケール数百メートルの鉛直微細構造を発見した。そのスケールでは、気温偏差と湿度偏差との間に負の相関が卓越した。その成因について調べたところ、冬期の微細構造は、気塊の鉛直変位によって生じている可能性も否定できない。しかしながら、夏期の微細構造については、単純な鉛直変位では説明できないことがわかった。このような夏期の微細構造を形成する1つのメカニズムとして、観測から対流雲の作用が示唆された。この示唆にもとづいて対流雲が減衰した後に生ずる大気構造を調べる数値実験を行なったところ、観測結果と整合的な鉛直スケールや気温偏差と比湿偏差が負の相関を持つ鉛直微細構造が得られた。

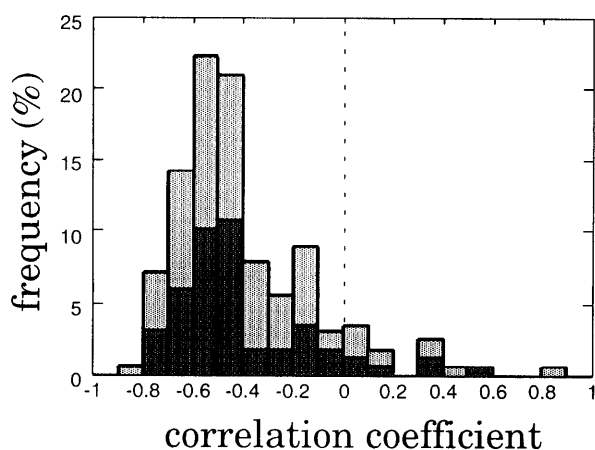


図 4: TREC 期間の相関係数の頻度分布 (薄い色は昼間, 濃い色は夜間)