

熱帯で観測された湿潤静的安定度と相対湿度の関係

中村晃三 (海洋研究開発機構、地球環境変動領域)

1. はじめに

通常、大気の成層は、温度の鉛直減率を乾燥断熱減率および湿潤断熱減率と比較することによって絶対不安定、条件付不安定[†]、絶対安定の3つに分けて考えることが多い。これに対して、中村(2009年秋季大会C107)は、未飽和な環境での飽和空気塊の安定性は、飽和気塊が湿潤断熱的に上昇するときの仮温度の減率を周囲の仮温度の減率と比較することによって判定することができることを示し、この基準を使って、静的安定性の分類をすると、熱帯で観測される未飽和な場合の温度減率は飽和気塊に対しても安定な場合が多いとした。

このときの計算には一部不正確なところがあったので、今回、再計算を行った結果と、湿度の変化によって、温度減率の頻度分布にどのような傾向があるかを調べた結果を報告する。

なお、「周囲が未飽和な状態で、飽和している気塊が変位したときの安定性」の議論のための情報(湿潤断熱仮温度減率 Γ_{mv} の表現などは、2009年秋季大会の予稿集C107を参照してください。)

2. 観測された温度減率の頻度分布

全球のゾンデ観測をまとめたNOAA, National Climatic Data CenterのIntegrated Global Radiosonde Archiveのデータを使い、指定気圧面、温度・湿度の特異点のうち、対流圈中層のデータを使い(条件についても前述の予稿を参照してください)、実際の温度減率、仮温度減率を、その高度と1つ上の高度のデータを使って計算し、乾燥断熱減率、湿潤断熱減率を使った以下の式で、無次元安定度(温度減率もしくは仮温度減率)を計算した。

$$\Gamma^* = -\frac{\frac{\partial T}{\partial z} - \Gamma_m}{\Gamma_d - \Gamma_m} \quad (1), \quad \Gamma_v^* = -\frac{\frac{\partial T_v}{\partial z} - \Gamma_{mv}}{\Gamma_{dv} - \Gamma_{mv}} \quad (2)$$

ここで、 Γ_d 、 Γ_m は、それぞれ、乾燥断熱温度減率、湿潤断熱温度減率であり、 Γ_{dv} 、 Γ_{mv} は、それぞれ、乾燥断熱仮温度減率、湿潤断熱仮温度減率である。図1は、相対湿度が95%以下の場合と、100%の場合の熱帯での頻度分布を示す。

通常、大気の成層は条件付不安定なことが多い(図1の白色の棒グラフが負の値で頻度が多いことに相当)といわれ、そのことが、「未飽和気塊にとっては安定だが、飽和気塊に対しては不安定である」ということで、飽和気塊が安定に存在しにくい印象を与える。しかし、無次元仮温度減率(黒棒グラフ)の方でみると、未飽和な場合に、最も頻度が多いのは、ちょうど中立付近であることが分かる(図1(a))。

一方、飽和している場合は、湿潤断熱減率に近い場合に頻度が多くなっている。

図2は相対湿度(2%ごと)によって分類した無次元安定度の頻度分布である。乾燥した場合ほど大きな温度減率になっていること、湿度が100%になると湿潤断熱減率に近くなることなどが示されている。(湿度70%付近の頻度が少ない原因は調査中です)。

対流は、対流以外の過程が成層を不安定化するとき、その不安定を解消し、中立成層を実現すると考えられるが、実際に観測される成層は、対流以外の過程が安定化する場合もあり、また湿潤対流は、成層が不安定であっても発見しない場合もあるので、単純な関係を見つけるのは難しいことがある。

3. まとめ

観測された温度減率は相対湿度と関係があり、湿っているほど湿潤断熱減率に近い場合が観測される割合が大きくなる。

[†]条件付不安定な成層について、latent instabilityの条件を考えることもあるが、ここでは温度減率の条件だけで決まる議論をした。
なお、本議論の全体にわたって、過飽和や湿度100%未満の凝結などは考えていない。

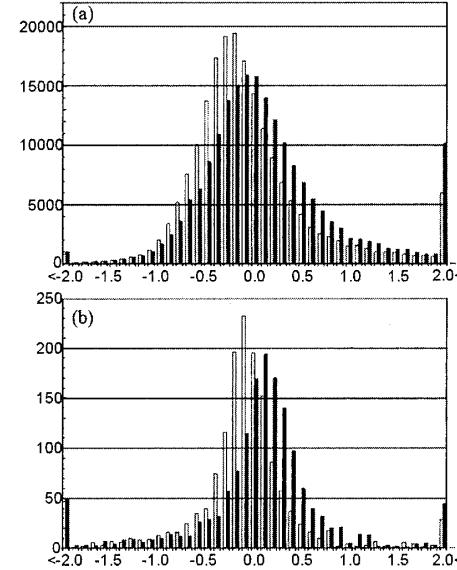


図1 IGRAの観測データ(2009年一年分)による無次元化した安定度の頻度分布。横軸: 0.1ごとに分類した式(1)と(2)で定義された無次元安定度。縦軸: 頻度。白色棒グラフは式(1)、黒色棒グラフは式(2)の結果。-1.0が乾燥断熱(仮)温度減率、0.0が湿潤断熱(仮)温度減率であり、負が飽和気塊の不安定を表し、白色棒グラフでは-1と0の間にいわゆる条件付不安定を表す。上: 相対湿度が95%以下の場合、下: 相対湿度が100%の場合。

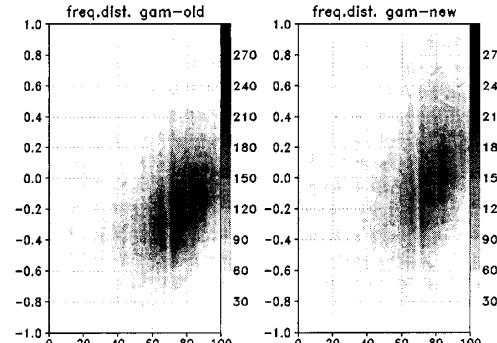


図2 無次元温度減率の頻度分布の相対湿度による変化。左: 湿潤断熱温度減率によって無次元化した値 Γ^* 、右: 湿潤断熱仮温度減率によって無次元化した値 Γ_v^* 、横軸: 相対湿度(%)、縦軸: 無次元温度減率(-1が乾燥断熱減率、0が湿潤断熱減率 Γ_m 、もしくは $\Gamma_{mv}/(1 + \delta q_v)$)、色の濃さが頻度を表す。

しかし、変動の大きさも大きく、対流以外の他の物理過程の影響が大きいと考えられる。なお、ここで考えたのは、無限小振幅での安定性の議論であり、実際の対流の発達にはlatent instabilityなど有限振幅の議論が必要なので、それらも含めて今後、数値実験なども行って、温度減率がどのように決まるかを調べてみたい。

謝辞

観測データは、NOAA, National Climatic Data Center, Integrated Global Radiosonde Archiveのデータを使わせてもらいました。ここに感謝の意を表します。