

条件付き対称不安定の内在的な不安定化要因

檜尾守昭 (気象大学校)

1. はじめに

湿潤対称不安定 (MSI) の不安定基準は、

$$\mu^2 = f \bar{\rho} \bar{q}_\xi \left(\partial \bar{\xi} / \partial z \right)_y^{-1} < 0 \quad (1)$$

と統一的に表現される。 $q_\xi = \rho^{-1} (f \hat{z} + \zeta_{g\xi}) \cdot \nabla \xi$ は

MSI の種類に応じて選択される熱力学変数 ξ に関する渦位である。(檜尾, 2005: 口頭発表資料)。

Bennetts and Hoskins (1979) は、乾燥対称不安定 (DSI) に関し安定な大気が、MSI については湿度傾度があると湿球温(θ_w)の水平傾度と温位の水平傾度の外積が $dq_{\theta_w}/dt < 0$ に効いて、不安定化される可能性を示唆した。しかし、これは潜在対称不安定 (PSI) に対応しており、PSI の不安定化は現状以降の不確定な要素に依存するため理論的記述が困難と考える。

ところが条件付き対称不安定 (CSI) は現状のみで決まるため、DSI に関し安定な大気がそのまま CSI に関して不安定となる可能性がある。そこで本研究では、大気の熱力学的性質に内在する CSI の不安定化要因を明らかにする。

2. 等 θ 面と等 θ_e^* 面の傾き

環境場は x 方向に一樣な地衡風の釣り合いをしているものとする。

$$\nabla \theta_e^* = \left(\partial \theta_e^* / \partial \theta \right)_p \nabla \theta + \left(\partial \theta_e^* / \partial p \right)_\theta \nabla p \quad (2)$$

$$\therefore \left(\partial z / \partial y \right)_{\theta_e^*} = A \left(\partial z / \partial y \right)_\theta \quad (3)$$

の関係を得る。ここに

$$A = (1 - B)^{-1}, \quad B = \left(\partial \theta / \partial p \right)_{\theta_e^*} \left(\partial \theta / \partial p \right)_y^{-1} \quad (4)$$

で、 A は等 θ_e^* 面の傾きの増幅率、 θ は温位である。

等 p 面の傾きは等 θ 面に比べて小さく無視した。

$\left(\partial \theta / \partial p \right)_{\theta_e^*}$ も $\left(\partial p / \partial \theta \right)_y$ も負だから、 $B > 1$ なら増幅率は負で条件付き静的不安定に対応する。 $B < 1$ なら A は 1 より大きく静的安定場中で等 θ_e^* 面の傾きが等 θ 面より A だけ増幅される。

3. 等 θ_e^* 面の傾きの増幅率の熱力学的概算

潜熱以外への飽和混合比 r_s^* の寄与を無視すると、

$$d \log \theta_e^* = \left[1 + \left(L r_s^* / C_{pd} T \right) \left(\varepsilon L / R_d T \right) \right] d \log \theta + \left(L r_s^* / C_{pd} T \right) \left[\left(\varepsilon L / C_{pd} T \right) - 1 \right] d \log p \quad (5)$$

の関係がある。(5) から $(\partial \theta / \partial p)_{\theta_e^*}$ を求めて(4) に代入する。さらに $T \approx 270\text{K}$ と置く粗い近似の下で

$$A = \left[1 + \frac{4.4 \times 10 r_s^*}{1 + 1.9 \times 10^2 r_s^*} \frac{\theta}{p} \left(\frac{\partial \theta}{\partial p} \right)_y^{-1} \right]^{-1} \quad (6)$$

を得る。 $(\partial \theta / \partial p)_y$ は成層状態に依存するが、大気の標準状態に近い $-5\text{K}/100\text{hPa}$ を代入すると、エマグラムから、表 1 のような結果を得る。

(6) および表 1 の近似は荒いが、等 θ_e^* 面の傾きが r_s^* を主因として等 θ 面より極端に大きくなり得ること、したがって等 M_g 面の傾きが有限な大気は CSI について不安定化し得ることを示している。

表 1 等 θ_e^* 面の等 θ 面に対する傾きの増幅率

p (hPa)	θ (K)	r_s^* (g kg ⁻¹)	A
300	324	0.3	1.4
500	316	2.7	130
700	305	6.4	-9.3
900	294	10	500

4. 結論

DSI について安定な大気が、CSI については不安定となり得ることが示された。飽和混合比が鉛直方向に大きく変化するという大気の熱力学的な内在的性質が不安定化の主因である。

参考文献

- Bennetts, D. A., and B. J. Hoskins, 1979: Conditional symmetric instability – a possible explanation for frontal rainbands. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **105**, 945-962.
- 檜尾守昭, 2005: 湿潤対称不安定の統一的定式化. 2005 年度気象学会秋季大会予稿集, D303.