

# 鉛直構造に依存した熱帯不安定擾乱の特性の固有値問題による再考

\*林 未知也 (東大院理)・伊藤 久徳 (九大院理)

## 1 研究背景と目的

赤道に捕捉されて伝播する不安定擾乱の特性は、対流域における非断熱加熱の鉛直構造に強く依存する (e.g., Lau and Peng 1987). しかしながら, Madden-Julian 振動 (MJO) に特徴的な遅い東進速度を対流結合した赤道波の観点から説明を試みた先行研究は多くあるが, 説得的な説明はこれまでにない.

林・伊藤 (日本気象学会 2013 年度春季大会, B203) は, 対流域において正味の加熱 (非断熱加熱 - 断熱冷却) が加熱層のほぼ全層で正になる場合に, 赤道に捕捉された不安定に成長する対流域が下層における惑星渦度ストレッチングによって MJO に匹敵する遅い位相速度 (約  $9 \text{ m s}^{-1}$  以下) で東進することを, 数値積分の結果に基づいて示した. 本研究では, 固有値問題として議論することで, その東進する不安定擾乱の存在の本質がストレッチングであることをより明確なものとする.

## 2 固有値問題の結果と考察

ストレッチングの強さは加熱の鉛直構造に依存している. したがって, Boussinesq 流体を仮定した赤道  $\beta$  面線形静力学方程式系から鉛直構造方程式

$$\frac{d^2 W(z)}{dz^2} = -\frac{S}{gh} \{W(z) - \eta(z)W^*\} \quad (1)$$

を導き, 等価深度  $h$  を固有値とした固有値問題を解くことで不安定擾乱の特性を議論する. ここで  $W, W^*$  (実数),  $S$  はそれぞれ鉛直の高さ依存部分とその境界層上端高度  $z^*$  (ここでは  $1 \text{ km}$ ) での値, 基本場の安定度である. ここで重要なのは,  $\text{Re}[h] < 0$  が加熱層全層での正味の加熱と同値であることである (証明略). またそのモードは外部モードであり, 波としては, ほぼ第一傾圧モードである対流と相互作用できない (対流結合波として伝播することはあり得ない). また, 境界層での加熱の鉛直構造を

$$\eta(z) = \begin{cases} \eta_1 \sin\left(\frac{\pi z}{z_q}\right) & \text{for } z \geq z_h \\ 0 & \text{for } z < z_h \end{cases} \quad (2)$$

とし ( $z_q = 15 \text{ km}$ ),  $z_h$  は  $z = 250, 500, 750, 1000 \text{ m}$  をとる ( $\Delta z = 250 \text{ m}$ ).  $z_h = 250 \text{ m}$  は全層加熱,  $z_h = 1000 \text{ m}$  は通常の加熱である. また加熱の強さを表すパラメータとして,  $\eta^* \equiv \eta_1 \sin(\pi z^*/z_q)$  で示す.

固有値問題を解いた結果, 下層ストレッチングが強い場合にのみ現れる不安定モードが確認された. 図 1 は,  $\eta^*$  および  $z_h$  と不安定モードとの関係を,  $\text{Re}(h)$  と成長率の指標である  $\text{Im}(\sqrt{gh})$  で表したものである. コンターで示されたモードは第一傾圧モードであり, 全層で加熱を与えたときに卓越する. これは  $\beta$  効果によって非常に遅く西進する不安定擾乱に相当する (cf. Yoshizaki 1991a). 一方, 陰影で示されたモードは, 境界層での冷却とその上部での正味の加熱のあるときにのみ不安定化するモード (ストレッチングモード) である. 図 1b からわかるように, これは  $z_h = z^*$  では第一傾圧モードよりずっと不安定性が強い.

この種の擾乱の不安定は条件付き不安定層で起こる対流や第 2 種条件付き不安定を含んでおり, いわば大きなスケールでの「対流渦」であると言える. MJO を含む熱帯擾乱とこのモードとの関係についても議論する.

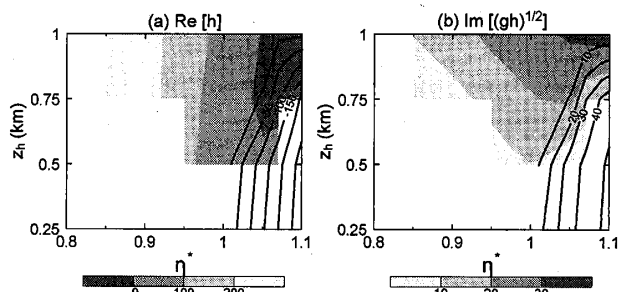


図 1.  $\eta^*$  と  $z_h$  に対する  $\text{Re}[h]$  と  $\text{Im}[\sqrt{gh}]$ . 陰影はストレッチングモード, コンターは第一傾圧モードを表現しており,  $\text{Im}(\sqrt{gh}) > 2 \text{ m s}^{-1}$  の不安定モードのみを描画している. コンター間隔は (a) が  $50 \text{ m}$ , (b) が  $10 \text{ m s}^{-1}$  であるが, (a) の破線は  $-10 \text{ m}$  のコンターである.