# 現実的な大気エクマン層におけるストリーク構造の形成メカニズム The Generation Mechanism of the Coherent Structure like streaks in Realistic Atmospheric Ekman Layer

○日比野 研志,京大, 〒611-0011 京都府宇治市五ケ庄, E-mail:hibino@storm.dpri.kyoto-u.ac.jp 石川 裕彦,京大防災研,〒611-0011 京都府宇治市五ケ庄, E-mail:ishikawa@storm.dpri.kyoto-u.ac.jp Kenshi Hibino, Division of Science, Kyoto University, Gokasho, Uji 611-0011 Hirohiko Ishikawa, Disaster Prevention Research Institute,Kyoto University, Gokasho, Uji 611-0011

Generation of coherent structure like streaks in ABL is examined using optimal perturbation approach. The previous results for idealized Ekman layer is extended to the more realistic ABL with variable vertical eddy viscosity. Also, numerical simulation is now carried out by using LES to simulate the development and damping of this perturbation.

### 1. はじめに

大気境界層(地面から高さ約1000m程度までの大気層)は 地面との摩擦により激しく乱れているが、その中にも coherent structure(CS)が普遍的に存在している.

Foster.,1997<sup>(1)</sup>-以下 F97-では理想的なエクマン境界層のもと 最適摂動を計算しそれが中立~安定大気に見られるストリーク 状の CS に相当すると主張した.最適摂動とはモードの形状が変 化することも許した上で最もエネルギー増幅率の大きな摂動の ことである.本研究では同様の手法をより現実的な大気の風速と 渦粘性分布に適用しその性質の変化と F97 の主張の可否を検 討する.また得られた最適摂動と環境場のみを初期条件にして 数値計算を行い最適摂動の発達と減衰過程を調べている.

## 2. 計算手順と結果

#### 2.1. モデル大気場の計算

渦粘性の鉛直変動を許した上でレイノルズ応力に渦粘性モデ ルを適用して定常の風速プロファイルを決定し,渦粘性は逆にシ アーから決めるこれを反復計算して境界層の近似風速と渦粘 性プロファイルを求めた.

# 2.2 ノーマルモードの計算

最適摂動を計算するにはまず系のノーマルモードを計算する. 解くべき無次元化された方程式系は次のようになる. 以下の式で(1)は摂動の主軸方向の流れ,(2)は軸断面の流線 関数の式である.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -i \alpha U \tilde{v} + i \alpha D v \tilde{\phi} + R e^{-1} (D^2 - \alpha^2) \tilde{v} - R o^{-1} D \tilde{\phi}$$
(1)

$$\frac{\partial}{\partial t}D^{2}\tilde{\phi} - \alpha^{2}\frac{\partial}{\partial t}\tilde{\phi} = i\alpha D^{2}U\tilde{\phi}$$
(2)

 $-i\alpha U(D^2-\alpha^2)\tilde{\phi}+Re^{-1}(D^2-\alpha^2)^2\tilde{\phi}+Ro^{-1}D\tilde{v}$ 固有値の計算にはスペクトルガラーキン法を用いた.展開関数 は、解析空間が半無限なので rational チェビシェフ多項式を選 択し境界条件をみたすように線形結合したものを用いた.固有値 分布の離散モードと連続モードの枝分かれの部分を完全に解 像するために4倍精度の固有値計算ライブラリを使用した.

離散モードは F97と同様だが,連続モードは境界層の上方で 卓越するモードなので減衰率は非常に小さくなった.最大発達 率のモードは F97と違い ε~0 度のところになった. 2.3 最適摂動の計算

2.2 で求めたノーマルモードは直交しておらず,任意の摂動の エネルギーノルムを計算するには各モード間の交差項を見積もっ てやらねばならない.

$$\boldsymbol{M}_{mn} = \int_{0}^{\infty} \left| \frac{\partial \hat{\psi}_{m}^{*}}{\partial z} \frac{\partial \hat{\psi}_{n}}{\partial z} + \alpha^{2} \hat{\psi}_{m}^{*} \hat{\psi}_{n} + \hat{v}_{m}^{*} \hat{v}_{n} \right| dz \qquad (3)$$

Mのコレスキー分解Fを用いて以下を計算する.

 $Fe^{\Lambda t}F^{-1} = Fdiag \{e^{\lambda_1 t}, e^{\lambda_2 t}, ..., e^{\lambda_N t}\}F^{-1}$  (4) 最適摂動のエネルギー増幅率は(4)の行列の特異値分解によっ て計算される.また右特異ベクトルの第1列から最適摂動が求ま る.エネルギー増幅率や最適摂動は  $\tau$ の値によって異なってくる が  $\tau$ =15 でのパラメータスイープをした増幅率を Fig. 1 に示す.ま た最適摂動の形状の例をFig.2に示す(α=1.75,ε=20,流線関数 のみ、エネルギー増幅率は2.9).

#### 3 考察

F97 では最大発達率ノーマルモードの軸は地衡風向に対して 左に約17 度傾いている,エクマン螺旋は通常は境界での立ち 上がりが遅く,モードが存在している場所でも平均流が地衡風向 に対し右に曲がっている.それに対し本研究で用いたプロファイ ルでは地面近くでの風速プロファイルの立ち上がりが早くこれが 最大発達率ノーマルモードのパラメータ値の違いを生んでいる と考えられる.

現実大気を模したモデル大気においては最適摂動によるエネ ルギー増幅率は理想的な Ekman の場合と比較してどのパラメー タ領域でも小さくなった.粗度が小さいためシアーの大きな領域 が地面境界近くに制限され,摂動が強いシアーを感じなかった 可能性が考えられる.粗度を大きくして比較してみる必要がある. また連続モードと離散モードの初期の打ち消しあいが存在しな いことがどの程度影響しているかも今後の検討課題である.

本研究は線形理論の範疇であり異スケール間の相互作用を 無視しているので,今回の結果は厳密には成り立たないと考えら れる.今後は,初期にノーマルモードと最適摂動を与えた数値計 算でそれらの間の相互作用の効果や不安定性などを調べる予 定である.



最大等値線が2.9 で0.1 間隔



#### 参考文献

(1) Foster, R.C.: 1997, 'Structure and Energetics of Optimal Ekman Layer Perturbations', J, Fluid Mech. **333**, 97-123

- 286 ---