

β面上の強制2次元乱流における帯状流の東西非対称性のパラメータ依存性

* 村上真也, 岩山隆寛 (神戸大・自然)

1 はじめに

β面上の強制2次元乱流では東向き流れと西向き流れが交互に南北に並ぶ帯状流が卓越することが知られている。その上, βが大きい場合には東向き流れは幅が狭く速く, 西向き流れは幅が広く遅いという東西非対称な流れに発展することが数値実験により示されている (Panetta, 1993; Vallis and Maltrud, 1993; Danilov and Gryanik, 2004). しかし, 東西非対称な流れに発展するメカニズムや, 東西非対称性の定量的なパラメータ依存性は知られていない。

そこで, 帯状流の東西非対称性を帯状平均過度の正の南北勾配の平均値 $\bar{\zeta}_{y+}$ と負の南北勾配の平均値 $\bar{\zeta}_{y-}$ の大きさの比 $r = \bar{\zeta}_{y+}/|\bar{\zeta}_{y-}|$ で定義し, β依存性を調べた。

この過度勾配比 r は, 南北に周期的な過度分布を仮定すれば, ジェット1組あたりの帯状平均過度の正の勾配の幅の平均値 l_+ と負の勾配の幅の平均値 l_- の比と等しい ($r = l_-/l_+$)。

2 基礎方程式と計算方法

水平非発散, 非圧縮性流体のβ面上の順圧過度方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\partial \zeta}{\partial x} \frac{\partial \psi}{\partial y} + \beta \frac{\partial \psi}{\partial x} = D\zeta + F \quad (1)$$

を用いる。ここで, $\zeta = \nabla^2 \psi$ は相対過度, ψ は流れ関数, $D = -\lambda_n(-\nabla^2)^{-n} - \nu_m(-\nabla^2)^m$ は散逸演算子, F は強制である。βはコリオリパラメータの南北勾配である。

$2\pi \times 2\pi$ の領域に二重周期境界条件を課し, 空間はスペクトル法で, 時間は2次の Adams-Bashforth 法で数値計算を行った。初期エネルギーはゼロに設定した。格子点数は 512^2 で切断波数は170である。強制は Danilov and Gryanik(2004) に準じて波数 $98 \leq k_f \leq 102$ で Markov 的に与えた。低波数側に選択的に効く散逸である hypofriction ($n = 2$) を用い, エネルギーとエンストロフィーがほぼ平衡状態になるまで実験を行った。用いたパラメータは $\lambda_2 = 50, 123, 300$ の三通りで, $\beta = 0$ から $\beta = 600$ まで変化させた。 $\bar{\zeta}_{y+}, \bar{\zeta}_{y-}, r, l_+, l_-$ のβ依存性を3つの hypofriction 係数について調べた。 $\bar{\zeta}_{y+}, \bar{\zeta}_{y-}, r$ は数値計算の結果から直接求めた。 l_+, l_- はジェット数 k_j と r から $l_- = 2\pi/(k_j(1+1/r))$, $l_+ = 2\pi/(k_j(1+r))$ として求めた。

3 結果と考察

$0 \leq \beta \leq 30$ では帯状流に東西非対称性はなく ($r = 1$), $40 \leq \beta \leq 200$ では r はβに比例して増加した (図1)。しかし, $\beta \geq 200$ では r はβに比例して緩やかに減少した。 r に最大値があることは l_+ が強制スケール l_f 付近で一定になることに対応する (図2)。βが増えるとジェット数 $k_j \approx \sqrt{\beta/2U_{rms}}$ が増えるため, ジェット一つの幅 $l = l_+ + l_- = 2\pi/k_j$ が減る。ここで U_{rms} は平均二乗速度である。 $\beta \geq 200$ では $l_+ \approx l_f$ となり, l_- のみが減る (図2)。従って, βが大きくなるにつれて r は減少し, 帯状流の非対称性は弱まる。過度勾配比 r の最大値は l_+ の下限 l_f によって決まるため, 強制スケール l_f とジェットのスケール $l = 2\pi/k_j$ が分離されているほど過度勾配比 r は大きな値を取りうる。

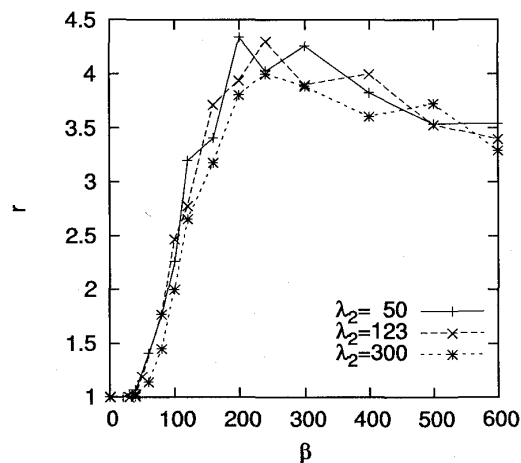


図1: 過度勾配比 r のβ依存性。

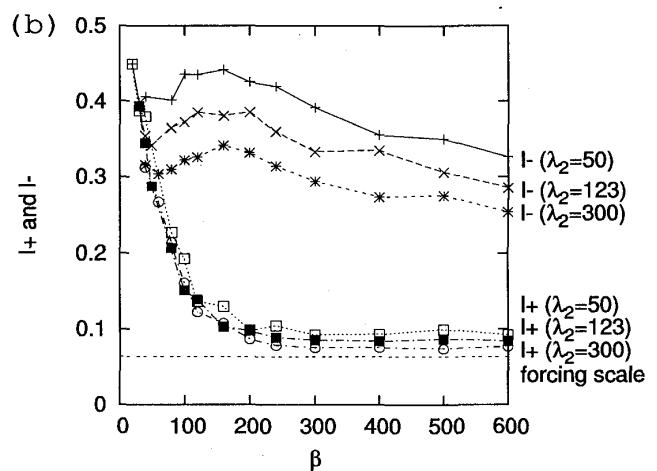


図2: ジェット一組あたりの正の過度勾配の幅 l_+ と負の過度勾配の幅 l_- のβ依存性。