

フィラメントが2次元楕円渦の軸対称化に果たす役割

* 村上真也 (神戸大院・自然), 岩山隆寛 (神戸大院・理)

1 はじめに

2次元非圧縮流体中の非一様な渦度分布を持つ楕円渦は、その軸対称化過程においてフィラメントを放出することが知られている。Melander, *et al.*(1987)は注目する等渦度線と、その等渦度線付近の流れ関数の等値線の長軸の傾きの差 ϕ_d の符号が等渦度線を軸対称化するかどうかに対応することを指摘し、コアとフィラメントがそれぞれどの程度軸対称化に寄与するか、定性的に議論した。しかしながら、 ϕ_d と等渦度線上に誘導される速度の定量的関係、およびそれぞれの領域が定量的にどの程度軸対称化に寄与するかはこれまで調べられてこなかった。

そこで、本研究ではコアを含む elliptic 領域とフィラメントを含む hyperbolic 領域を定義し、楕円形をした等渦度線に対するそれぞれの渦度場の軸対称化への寄与を数値的に調べた。

2 基礎方程式と計算方法

水平非発散、非圧縮性流体の順圧渦度方程式

$$\frac{\partial \nabla^2 \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \nabla^2 \psi}{\partial y} - \frac{\partial \nabla^2 \psi}{\partial x} \frac{\partial \psi}{\partial y} = \nu \nabla^4 \psi$$

を用いる。ここで、 ψ は流れ関数、 ν は粘性係数である。Kimura and Herring(2001)の初期渦度分布がコンパクトサポートで、初期マイクロスケールレイノルズ数が1199の場合とほぼ同じという計算設定で、 $t = 15$ まで数値計算を行った。

ここでは、 $\omega = 8$ の等渦度線の時間発展に注目したときの結果を述べる。この等渦度線を Fitzgibbon, *et al.*(1999)の方法を用いて楕円へ当てはめ、楕円の曲率最大の点および最小の点における動径方向の速度を調べた。また、渦のコアに対応する elliptic 領域とコア以外に対応する hyperbolic 領域を定義し、それぞれの領域の渦度場が等渦度線の曲率最大点および最小点に誘導する動径速度を u_e, u_h とする。これらの軸対称化への正味の寄与

$$A_e(t) = \int_0^t u_e(t') dt', \quad A_h(t) = \int_0^t u_h(t') dt'$$

を調べた。

elliptic 領域は流体粒子の運動が楕円的な領域かつ、そのような領域ごとの自乗平均渦度が最大の領域と定義した。これは渦のコアに対応する。hyperbolic 領域は、elliptic 領域以外で渦度が非ゼロの領域と定義

した。これはフィラメントと渦コアのすぐ外側に存在する弱い渦度領域に対応する。流体粒子の運動の性質は、Hua and Klein(1998)の方法を用いて調べた。

3 結果

Melander, *et al.*(1987)が指摘したように、確かに ϕ_d とアスペクト比の時間微分 dr/dt の符号は対応している(図1)。しかし、 $t = 0.5$ 付近で dr/dt が大きく減少しているのに対し、 ϕ_d は他の時刻に比べて特に大きいわけではなく、 ϕ_d を見るだけではどの程度軸対称化しているか分からないのは明らかである。

等渦度線の曲率最大点における A_h と A_e の時系列を図2に示す。 A_h は $0 < t < 1.5$ および $7 < t < 8$ に大きく減少している。これらはフィラメントが形成されるタイミングに一致している。対して、elliptic 領域の渦度による正味の寄与 A_e は常に正であり、非軸対称化に寄与している。曲率最小点においても、hyperbolic 領域の渦度場による寄与 A_h はフィラメントが形成されるタイミングで大きく増加していた。従って、フィラメントが形成されるとき hyperbolic 領域の渦度場は elliptic 領域内の等渦度線を大きく軸対称化させる。

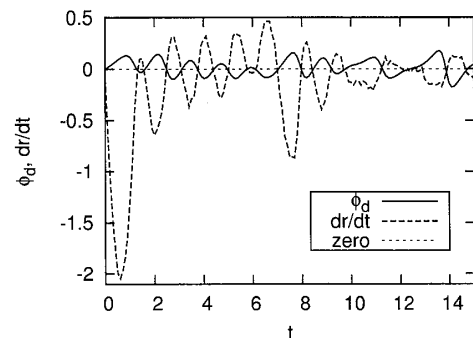


図1: ϕ_d とアスペクト比の時間微分 dr/dt の時系列。

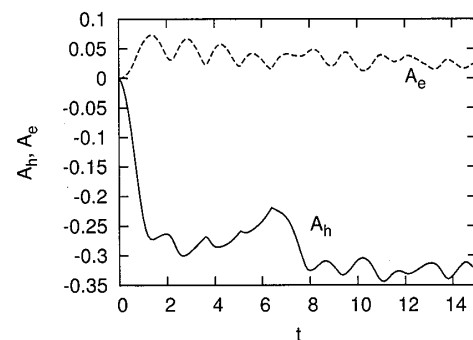


図2: 曲率最大点における $A_h(t), A_e(t)$ の時系列。