

クエット系の不安定周期流解析

日本流体力学学会年会 2006

AM06-03-008

Unstable-Periodic-Flow Analysis of Couette System

○ 田谷貴男, 京大, 京都市左京区吉田本町, kida@mech.kyoto-u.ac.jp:

木田重雄, 京大, 京都市左京区吉田本町, kida@mech.kyoto-u.ac.jp:

渡部 威, 京大, 京都市左京区吉田本町, kida@mech.kyoto-u.ac.jp

Takao Taya, Kyoto Univ., Yoshida-Honmachi, Sakyo, Kyoto

Shigeo Kida, Kyoto Univ., Yoshida-Honmachi, Sakyo, Kyoto

Takeshi Watanabe, Kyoto Univ., Yoshida-Honmachi, Sakyo, Kyoto

The dynamical properties of passive vectors advected in an unstable periodic flow, which represents the Couette turbulence, is investigated numerically. It is shown that passive vectors which are initially located at the same position but with different orientations tend to align each other rapidly in time, i.e. in the order of the period of the periodic flow. The orientation of passive vectors therefore is uniquely determined at a given position and time. This enables us to define the passive vector field uniquely.

1. 不安定周期流

距離 $2h$ だけ離れ互いに反対方向に速さ U で運動している平行な平板の間の流れは, レイノルズ数 $Re = Uh/\nu$ (ν は流体の動粘性係数) が約 320 より大きいと乱流状態の維持されることが知られている。このクエット系の流れを数値計算で解く場合, 通常, 平板の運動方向とそれに垂直な方向に周期条件 (周期をそれぞれ L_x, L_z とする) を流れに課す。レイノルズ数が臨界値より大きくても, この周期条件の周期がある値より大きくなければ乱流は維持されない。この最小の周期をもつ流れをミニマル流という。クエット乱流の代表的な組織構造として, 流れ方向渦と低速ストリークが知られている。Hamilton ら⁽¹⁾ は, クエット系のミニマル流の数値シミュレーションにおいて, これら2つの組織構造が互いに影響しあいながら, 生成消滅を繰り返すことを示した。流れはほぼ周期的に変動するが, 厳密に同じ状態に戻ることはない。Kawahara & Kida⁽²⁾ は, Hamilton らの数値シミュレーションと全く同じ条件のもとで, 厳密に周期的に変動する流れを発見し, それが乱流とほぼ同様の時空間変化を示すことを示した。ここでは, レイノルズ数を $Re = 400$, 空間周期をそれぞれ $L_x = 5.5h$ および $L_z = 3.85h$ とし, Kawahara & Kida の周期流に接続する周期流 (周期を T とする) を求め, この新しい周期流に流される短い線 (線素という) のふるまいを解析する。

2. 線素の場合

乱流混合のメカニズムを明らかにすることを目標にして, 受動的に流される線素が, 流れのどのような構造によって, どのように変形され輸送されるかを調べる。

一般に線素は流されながら方向を変える。線素の平均伸張率がゼロである層流中では, 同じ位置から出発しても方向の異なる2つの線素はいつまでも重なることはない。これに対し, 線素の平均伸張率が正である乱流中では, 同じ位置から出発した線素の方向はしばらくするとそろってくる。ここでは, 乱流と同じく, 線素の平均伸張率が正である, 不安定周期流における線素の方向の整列について研究する。

受動的に流される線素の方向がどれくらい速くそろうかを定量的に測るために, 次のような数値シミュレーションを行なう。与えられた基準粒子からある微小長さ d ($d \ll h$) だけ離れ, 方向をランダムに多数のテスト粒子を分布させ, これらの粒子の運動を追跡する。テスト粒子は, 数値積分の各ステップで, 基準粒子からの方向は変えないで, 基準粒子からの距離を基準長に

戻す操作を行なう。各テスト粒子の基準粒子からの, x, y, z 軸への方向余弦の分布の広がりによって線素の方向のちらばりの大きさを見積もる。

流れ場に一樣に分布させた 1400 個の基準粒子のそれぞれについて, そのまわりの 1000 個のテスト粒子への方向余弦を計算する。その標準偏差が 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001 以下である基準粒子の総数の割合の時間変化を Fig.1 にそれぞれ, —, — —, — — —, …… で示す。この図から, 不安定周期流中を受動的に流れる線素の方向は, 周期の数倍程度の時間が経過すれば, 初期条件によらず各時刻各位置で一意に定まる, といえる。周期流の流れ場は周期ごとに全く同じ状態が再現されるが, その中で流される受動線素の方向もまた同時に再現されるのである。

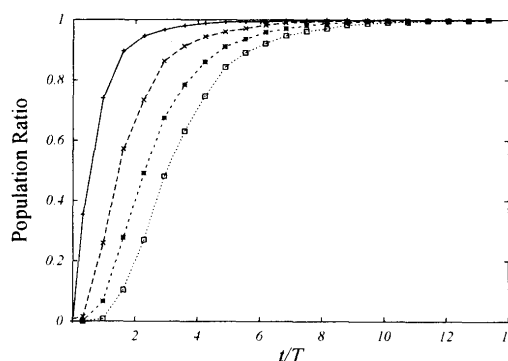


Fig. 1 Alignment of passive vectors.

時空間の各点で線素の方向が一意に定まるので, 線素の方向の場合 $\mathbf{l}(\mathbf{x}, t)$ を数値的に求めることができる。それと変形速度テンソル $\underline{S} (= \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \mathbf{u} \nabla))$ との積をとることにより, 線素の伸張率の場合 $\gamma = \mathbf{l} \cdot \underline{S} \cdot \mathbf{l}$ が得られる。

講演では, 線素の伸張率の場が流れのどのような構造によって作られるかについて議論する。

参考文献

- (1) Hamilton, J. M., Kim, J. & Waleffe, F., "Regeneration mechanisms of near-wall turbulence structures". *J. Fluid Mech.* **287** (1995) 317–348.
- (2) Kawahara, G. and Kida, S., "Periodic motion embedded in plane Couette turbulence: regeneration cycle and burst", *J. Fluid Mech.* **449** (2001) 291–300.