

自由表面大変形を伴う円筒容器内の回転流れの実験および数理的解析

Experimental and mathematical analysis of rotating flow in a cylinder with large surface deformation

○飯間信, 北大電子研, 〒001-0020 札幌市北区北 20 条西 10 丁目, E-mail: makoto@nsc.es.hokudai.ac.jp

田坂 裕司, Man. U/北大工, Oxford Road, Manchester, M13 9PL, UK, E-mail: tasaka@eng.hokudai.ac.jp

佐藤 譲, 理研/北大理, 埼玉県和光市広沢 2-1, E-mail: yzsato@riken.jp

眞山 博幸, 北大電子研, 〒001-0020 札幌市北区北 20 条西 10 丁目, E-mail: mayama@es.hokudai.ac.jp

Makoto Iima, RIES, Hokkaido University, N20W10 Sapporo, 001-0020, JAPAN

Yuji Tasaka, Univ. Manchester, Oxford Road, Manchester, M13 9PL, UK

Yuzuru Sato, RIKEN, 2-1, Hirosawa, Wako-shi, Saitama prefecture, Japan

Hiroiyuki Mayama, RIES, Hokkaido University, N20W10 Sapporo, 001-0020, JAPAN

We study aperiodic switching phenomenon of the surface shape of rotating flow in an open cylinder driven by constant rotation of the bottom (surface switching). First, the dependency of bottom materials on the critical Reynolds numbers are studied. Second, we succeed in reproducing qualitative switching behavior by a one-dimensional map with noise whose amplitude depends on the surface height.

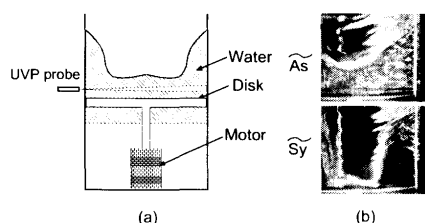


Fig. 1 (a) Experimental setup. Fluid (water) is driven by rotating disk. Radius of the disk is close to the inner radius of the cylinder. (b) Flow visualization during surface switching (770rpm)⁽³⁾.

表面大変形を伴う流れの最も単純な例は、円筒容器内の流体を底面の回転により駆動する系である。レイノルズ数が境界層の層流-乱流遷移領域の場合 ($Re \simeq 1.0 \times 10^5$), 鈴木らが surface switching と呼ばれる現象を報告している^(1,2,3)。これは水面の上下変動が表面変形の回転対称性の変化を伴う現象であり、 $n = 2$ の対称性をもち、水面が底から離れている状態 $\bar{A}_s$ と、軸対称性をもち ($n = 0$), 水面が下がって底に着いている状態 $\bar{S}_y$ の間を非周期的に切り替わる現象である。これまでに、可視化⁽³⁾, およびアクリル床の場合の乱れ強さの遷移が調べられている⁽²⁾。

ここでは2つの問題について報告を行う。まず第一に回転数の変化に伴う状態遷移の詳細、とくに底面材質の差による遷移点のずれである。材質に依存する遷移点のずれはまだ十分に調べられていない。第二にこのような非周期的な運動の数学的モデルを呈示することである。この系においては、状態遷移ダイナミクスは簡単なランダム力学系でかなり良く表現されることをしめす。

図1に実験装置を示す。円筒容器 (内径 $R = 42\text{mm}$; アクリル製) に入れられた作業流体 (水) は、ステッピングモーターを通じた円盤の回転により駆動される。円盤の材質は、1) アクリル、2) ガラス、3) ガラスに二酸化チタンをコーティングしたもの、の3種類を用意した。表面の中央部を底から測った高さ $h(t)$ により特徴付け、動径方向の流速は超音波流速分布計 (UVP) により計測した。乱れ強さの遷移および分岐に関しては紙面の都合で省略するので論文集を参考されたい。

Surface switching における2状態の遷移過程は完全にランダムではなく、ある程度の規則性がある。Fig. 2 左上に $h(t)$ の例を示す。 $h(t)$ の移動平均 (3sec) をかけて遅い時間スケールを取り出し (Fig. 2 左上), 極大値および極小値の時系列 $h_1, h_2, \dots$ から系

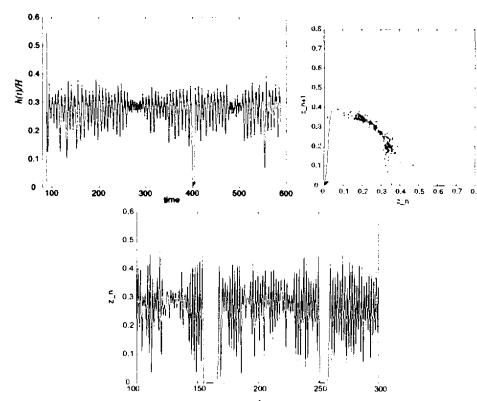


Fig. 2 Upper Left: $h(t)$. Upper Right: Return map of z_n and reconstructed map function. Lower: Sequences of z_n by the random map (1).

列 $z_m = h_m/H$ を作り、 (z_m, z_{m+1}) をプロットすると、写像関係 $z_{m+1} = f(z_m)$ が実験データから得られる (Fig. 2 右上)。この水面形状の早いスケールの揺らぎは乱流からのノイズであると考え、surface switching の時系列は、ランダム力学系

$$z_{m+1} = f(z_m) + \epsilon(z_m)\xi_m \quad (1)$$

により再現できると期待される。ここで ξ_m はガウス分布に従うランダムノイズ、 $\epsilon(z)$ はノイズの振幅を表す。Fig. 2 下に計算結果の一例を示す。このパラメータでは、写像としては単純な周期解のみが実現するが、ノイズが存在することにより surface switching で見られるような状態間遷移が見られる。

参考文献

- (1) T. Suzuki, M. Iima, and Y. Hayase. Surface switching of rotating fluid in a cylinder. *Phys. Fluids*, 18:101701, 2006.
- (2) Y. Tasaka, M. Iima, and K. Ito. Rotating flow transition related to surface switching. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2008. in press.
- (3) Y. Tasaka, K. Ito, and M. Iima. Visualization of a rotating flow under large-deformed free surface using anisotropic flakes. *J. Visualization*, 11:163–172, 2008. in press.