

## 平板境界層遷移の水素気泡法による実験的研究

松井辰彌\* 奥出宗重\*\* 石田徳保\*\*

平板境界層の層流から乱流への遷移については、理論的にも実験的にも多数の研究が行われているが、なお完全に解明されたとは言い難い。本研究の目的は、(1) Tollmien-Schlichting wave (2)  $\Lambda$  渦の発達による高剪断層の形成と ejection and sweep (3) 速度変動波形に現われる spike, の3項目について、水素気泡法による流れの可視化と熱線流速計による速度変動波形の測定とを併用して、可視化された流れのパターンと速度変動波形との相互関係を明らかにして遷移過程解明の一助とすることにある。

### 1. Tollmien-Schlichting wave

従来 T-S 波の可視化写真が文献<sup>(1)(2)</sup>に示されているが、それが T-S 波であることの説明は与えられていない。いま、T-S 波の流れ関数を次式

$$\psi(x, y, t) = \phi(y) \exp i(\alpha x - \beta t)$$

$$\phi = \phi_r + i \phi_i, \alpha; \text{実数}, \beta = \beta_r + i \beta_i$$

で表わすとき、 $u'$ ,  $\partial u' / \partial x$  および  $v'$  は次の諸式で表わされる、すなわち、

$$u' = \operatorname{Re}(\partial \psi / \partial y) = e^{\beta_i t} \cos(\alpha x - \beta_r t + r),$$

$$r = \tan^{-1} \left( \frac{\partial \phi_i}{\partial y} / \frac{\partial \phi_r}{\partial y} \right),$$

$$\partial u' / \partial x = -\alpha e^{\beta_i t} \sin(\alpha x - \beta_r t + r),$$

$$v' = \operatorname{Re}(-\partial \psi / \partial x) = e^{\beta_i t} \sin(\alpha x - \beta_r t - \delta),$$

$$\delta = \tan^{-1}(\phi_i / \phi_r)$$

流水中で一樣流に垂直な白金線から水素気泡のタイムラインを発生させるとき、 $\partial u' / \partial x$  が極

小の位置でその間隔は最小、すなわちタイムラインは密になり、 $\partial u' / \partial x$  が極大の位置ではその間隔は大、すなわちタイムラインは疎になること、およびタイムラインが密集する所の近傍で  $v'$  が極大となることが、タイムラインの連続写真と同時に記録された  $v'$  の波形とによって示され、この可視化のパターンが T-S 波を表わすことが明らかにされた。

### 2. $\Lambda$ 渦の発達による高剪断層の形成と ejection and sweep

$\Lambda$  渦の発達過程の毎秒約 4 駒のタイムラインの連続写真とともに、平板表面に垂直方向の変動速度  $v'$  の波形を Fig. 1 に示す。a および b はそれぞれ  $\Lambda$  渦の対称面が熱線プローブを通過する場合および偏って通過する場合である。波形の下の目盛は上の写真撮影の露出時期を示す。写真での流れは右から左へ向う。同図 a では各写真の右端近くに、b では中央部に熱線プローブが見られる。白い直線は 5 cm 毎の柵目を示す。白いタイムラインが上流向きに凸であることはその流速が周囲より小さいことを示す。a の No. 1 および 2 ではこの低速部分が熱線プローブを通過しつつある。このとき  $v'$  の波形では  $v' > 0$  である、すなわち下層の低速流体が上昇していることが分る。No. 4, 5 および 6 では  $v' < 0$  であることから上層の高速流体が下降している。同様のことが No. 13, 14 から 18 の間で繰返されている。b では  $\Lambda$  渦の対称面から偏った  $\Lambda$  渦の脚の部分がプローブを通過する。境界層内の速度分布のため頭部が上方にある  $\Lambda$  渦が引伸ばされ、そのまわりの速度の速度増加が対称面内より脚部附近の方が大となるので、 $v'$  の波形の極大値が a の場合より大となる。 $v'$  が

\* 岐阜大学名誉教授

\*\* 名城大学理工学部

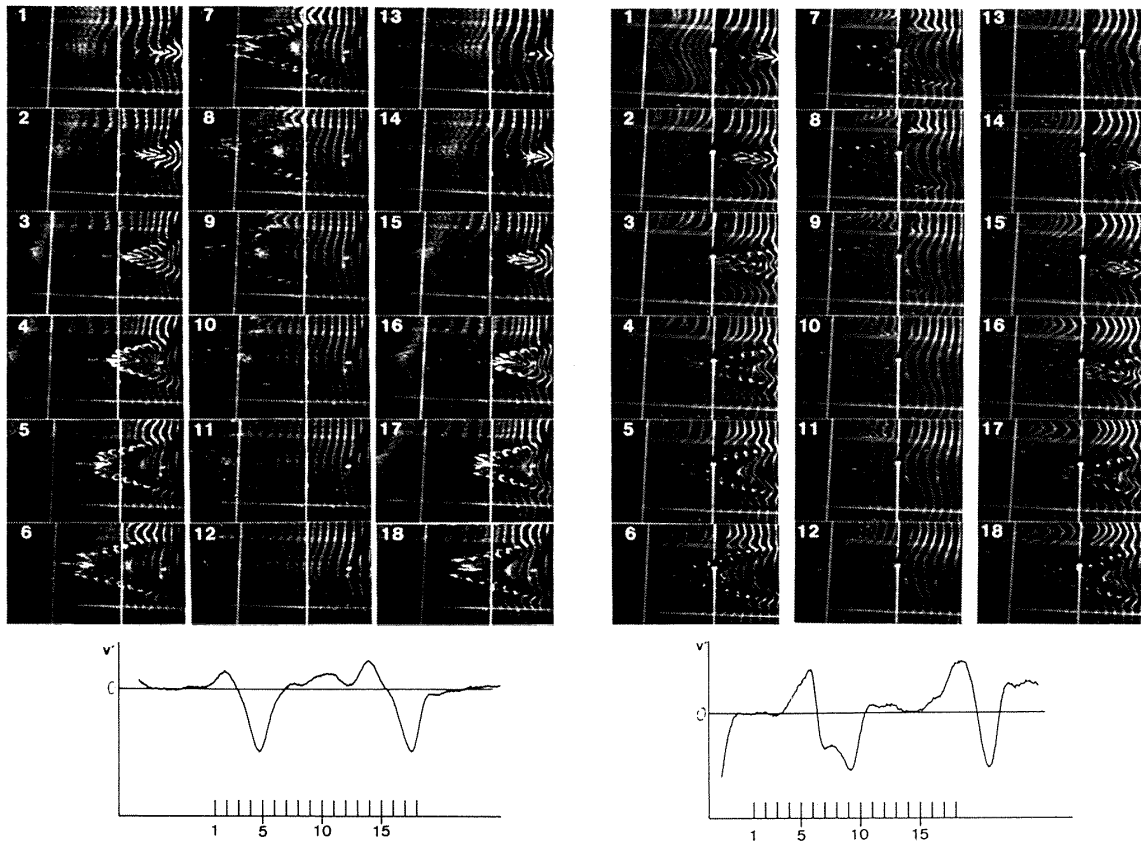


Fig. 1. Ejection and sweep.  $U=11\text{cm/s}$ . Vibrating ribbon :

$x=100\text{cm}$ ,  $y=3\text{mm}$ ,  $f=0.33\text{Hz}$ . Pt-wire :  $x=120\text{cm}$ ,  
 $y=3.2\text{mm}$ . 4 frames/s.

a. In the plane of symmetry. Hot-wire :  $x=122\text{cm}$ ,  $y=2.8\text{mm}$ .

b. Out of the plane of symmetry. Hot-wire :  $x=125\text{cm}$ ,  $y=3.0\text{mm}$ .

増加して、引続き正から負へ減少するこの現象は ejection and sweep を表わすものと考えられる。この結果として  $A$  渦の両脚の間に  $\partial u / \partial y$  の大きい高剪断層が形成されることになるものと思われる。

### 3. 速度変動波形に現われる spike

境界層の遷移過程で  $u'$  の波形に spike (通常瞬間的な低速を示す波形) が現われることは良く知られている。 $A$  渦の形成によって第 1 の spike が現われ、その  $A$  渦の両脚の間に形成される高剪断層が第 2 次高周波不安定によって崩壊し、第 2, 第 3... の spike が現われ、これらの spike に対応して小規模のヘアピン渦が観察されることが示された<sup>(3)</sup>。しかし、spike とヘアピン渦との関係は明らかでない。

平板に垂直な白金線によってヘアピン渦の対称面内の流れを可視化し、同時に熱線をヘアピン渦に相対的に上部および下部に設置した場合の連続写真と  $u'$  の波形とをそれぞれ Fig. 2, a および b に示す。a では通常示されているような低速を示す下向きの spike, b では上向き spike が現われている。これはヘアピン渦の速度場内でのプローブの位置を考えることによって説明される。従って spike とヘアピン渦との相互関係が明らかにされた。

### 参 考 文 献

1. Wortmann, F. X. : Lecture Notes in Physics, 148, Advances in Fluid Mechanics, Proceedings, Aachen 1980, Ed. by E. Krause, Springer-Verlag, 1981, 268-280.

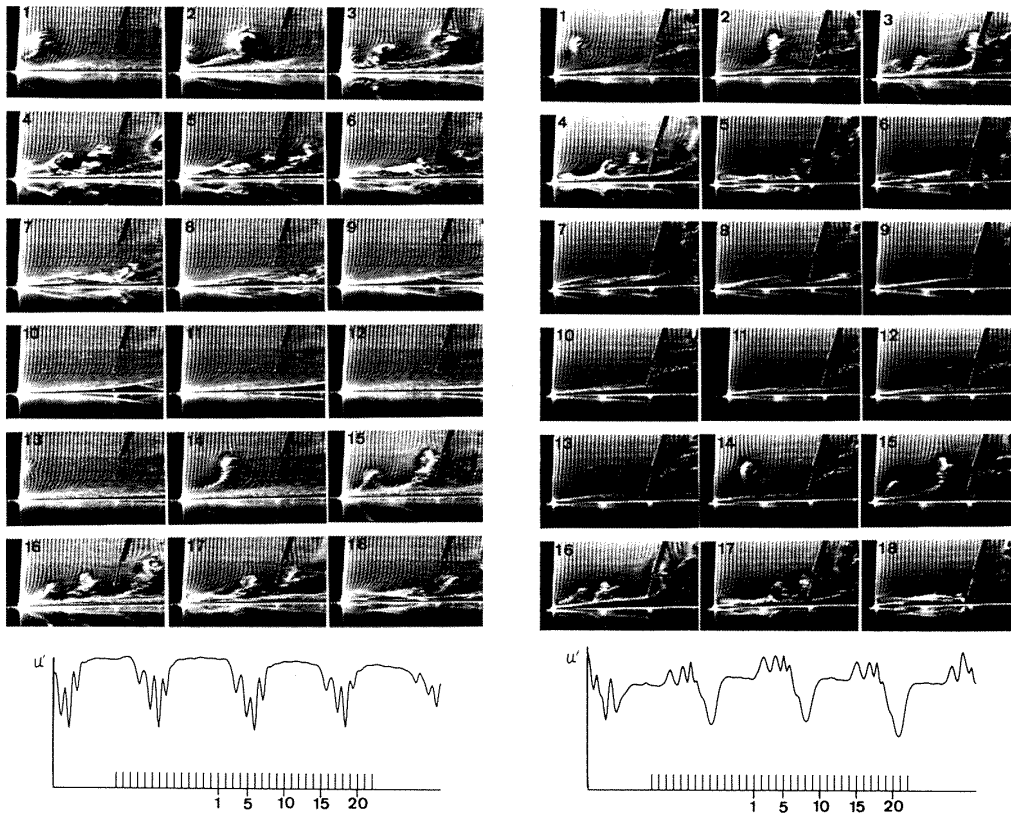


Fig. 2. Downward and upward spikes and flow patterns  
 ( $x=140-148\text{cm}$ )  $U=10\text{cm/s}$ , Vibrating ribbon :  
 $x=110\text{cm}$ ,  $y=3.5\text{mm}$ ,  $f=0.35\text{Hz}$ . Pt-wire :  
 $x=140\text{cm}$ . Hot-wire :  $x=145\text{cm}$ . 4 frames/s.  
 a. Downward spikes. Hot-wire :  $y=10\text{mm}$ .  
 b. Upward spikes. Hot-wire :  $y=5\text{mm}$ .

2. Saric, W.S. : Gallery of fluid motion,  
 Physics of Fluids, vol. 29, 1986, 2770.
3. Matsui, T. and Okude, M. : Laminar -

Turbulent Transition, IUTAM Symposium  
 Novosibirsk 1984, Springer - Verlag, 1985,  
 625 - 633.

