

垂直温度勾配をもつクエット流中の対流ロール

広島大・理 八幡英雄 (Hideo YAHATA)

2 枚の水平平行平板間に流体をいれ、垂直 z 軸方向に温度勾配 $\Delta T/H$ (ΔT は上底面の温度差、 H は流体層の厚さ) を加えてその大きさを増加していくとそのある値以上で、ベナール対流胞が生じる。さらに上部の平板を水平方向に一定の速さ U で動かすと、流体中には水平方向に一様シア一流がに重ね合わされる。長さを H 、時間を H/U 、温度を ΔT で無次元化すると、運動方程式は u_i ($i = x, y, z$), T, P を速度、温度、圧力として、Boussinesq 近似で

$$\partial_t u_i - \frac{1}{Re} \Delta u_i - \frac{Ra}{\sigma Re^2} T \delta_{i,z} + \partial_i \left(\frac{P}{\rho} \right) = -u_j \partial_j u_i, \quad (i = x, y, z)$$

$$\partial_t T - \frac{1}{\sigma Re} \Delta T = -u_j \partial_j T$$

$$\partial_j u_j = 0$$

となる。但し、 Ra, Re, σ はレイリー数、レイノルズ数、プラントル数を表す。境界条件としては、とくに上面で、 $u_{horizontal} = 1$ を満たす点が、通常の静止した境界をもつ系と異なる。

いま、 U が十分大きな場合は、対流胞のパターンは U に平行な方向に軸をもつロール形 (longitudinal rolls, LR) であることが、観測されている¹⁾。これに対し、 U が十分小さい場合、 U に垂直の方向に軸をもつ対流ロール (transverse rolls, TR) が安定に存続しうるか否かについては、実験的結論はそれ程明確ではない。Chandra の直方体中の空気をを用いた実験では Re が十分小さければ TR が流入部分から全容器中にわたって存続することが、示されている²⁾。一方、Kimura et al. の annular cell 中のシリコン油を用いた実験では、十分小さな Re でも TR はロール軸方向に空間パターンが不安定化して cellular pattern と呼ばれる形をとるようになることが示されている³⁾。線形理論によれば、LR の発生する臨界レイリー数は $U = 0$ の場合と同じであるが、TR の発生する臨界レイリー数は U の増加とともに増大するので、LR の方がより発生しやすいと考えられる。また、TR に対する線形成長率の虚数部分の値は、TR が U の方向に大きさ $U/2$

の速さで、ドリフト運動することを示す^{4),5)}。上面が水平方向に $U/2$ 、底面が $-U/2$ で動く系 (K_0) において TR は実数モード (時間的に定常) として現れることが示されるので、この他の不安定モードが励起されない限り、系 K_0 に対し一様水平速度 $U/2$ で動くもともとの系 K では TR は速さ $U/2$ でロール軸に垂直方向に並進運動する。この速度 $U/2$ の TR の並進運動は基礎方程式より Galerkin 法を用いて TR を表すモード振幅の常微分方程式系を導き、これを数値積分して時間発展を追うことによっても確かめられる。一方、十分小さな有限の U に対して TR が非線形効果を考慮して安定か否かの問題はまだ確定的には答えられていないようである。

この系に対しては、気象学的関心から幾多の理論的研究がなされているが、最近では Ra , Re を十分大きくしたとき流れ方向に一様な LR に高次不安定性が起こることが見出されている^{6)~8)}。

参考文献

- 1) T. Terada, Report Aero. Res. Inst. Tokyo, **3**(1928), 1.
- 2) S. Chandra, Proc. Roy. Soc. **A164**(1938), 231.
- 3) R. Kimura, H. Tsu and A. Yagihashi, J. Meteor. Soc. Japan **49**(1971), 2 49.
- 4) A.P. Gallagher and A. Mercer, Proc. Roy. Soc. **A286**(1965), 117.
- 5) A.P. Ingersoll, Phys. Fluids **9**(1966), 682.
- 6) T. Asai, J. Meteor. Soc. Japan **48**(1970), 18.
- 7) R.M. Clever, F.H. Busse and R.E. Kelly, J. Appl. Math. Phys.(ZAMP) **28**(1977), 771.
- 8) R.M. Clever and F.H. Busse, J. Fluid Mech. **234**(1992), 511.