

京都大学防災研究所 正員 大久保 賢治
 “ 村本 嘉雄

1.はじめに 前報¹⁾では、琵琶湖南湖程度の規模の水域を想定し、そこで起こる熱循環過程のコリオリ効果が調べられた。鉛直エクマン数 $Ev = \nu / fH^2$ を 0.01 に保ち、浮力ロスビー数 $Ro = A^{1/3} f^{-1} b^{4/3}$ を 0.02 ~ 0.2 の範囲で変化させて行った数値実験結果から、循環面の大きな偏向角が Ro と逆比例的に出現し、現地では、これによって顕著な流量減少が生じることがわかった。ここに A ; 水域に流入する全浮力束, b ; 水域幅, f ; コリオリパラメータ, ν ; (渦)動粘性係数, H ; 水深である。一方 Whitehead²⁾ は、幅が数 km ~ 100 km, 深さが 100 m 程度の海峡を対象とした非粘性の扱いの中で、非回転系と同様の最大流量定理を導入して回転水理学(Rotating hydraulics)を確立した。この場合 Ev の効果は重要でなく ($Ev < 0(10^{-3})$), 現象は海峡上流部での界面位 hu にもとづく等価

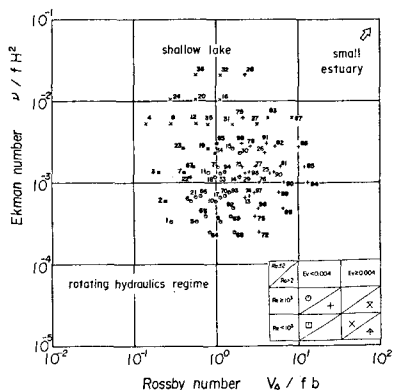


図-1 実験範囲

な $Ro = \sqrt{g'hu} / f b$ のみによって規定される。流れの横方向成分は無視するので、偏向の概念はない。このことが琵琶湖の例と異なる点である。本研究では、幅の点で回転が十分効く範囲にありながら、深さの点では回転水理学で扱われる水域より 1~2 オーダー小さい、広い浅水域の問題を考える。図-1は、2.で述べる水理実験の Ro と Ev の設定である ($V_0 = \sqrt{g'H}$)。各実験点はいくつかの河口、浅水湖から海峡部にわたる広範な領域に存在している。

2.回転系の交換密度流実験³⁾ 海峡のような縮小断面の導入は地形効果をも含むので、一様水路でも限界流の現れる交換密度流(lock exchange flow)で基礎実験を行った。これによって回転水理学および数多くの非回転実験の成果と比較が可能となる。前報で述べた加熱・冷却実験と比べ、密度差の設定が容易であり広いパラメータ範囲を得た。用いた実験水槽はアクリル製で幅 10 cm, 長さ 100 cm, 深さは最大 15 cm である。レイノルズ数 $Re = V_0 H / \nu$ の範囲は 140 ~ 14000 であった。隔壁除去に続いて、伸びていく下層流フロントの進行や形状に着目した。これ以外に次のような方法で、いくつかの流量実験を行い、実質上非回転と見なせる限界 Ro を調べた。すなわち下層流フロントが所定の位置 L に到達したとき、再び隔壁を閉じ、片側の水槽での初期・最終密度の差から開放時間 T 内の平均流量が求まる。結果を図-2 に示す。 Re が同じ非回転実験と比べると $Ro \approx 1$ で流量 Q は約 30% 減少するが、 $Ro \approx 4$ では、この差はわずか数%である。図-2 回転による流量減少

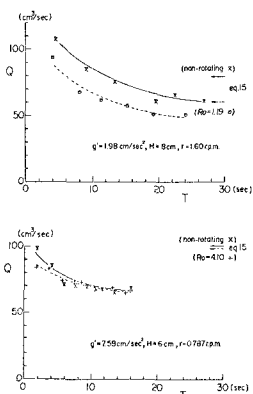


図-2 回転による流量減少

なお図の右側の矢印は WLK の流量予測式の値である。 Re の効果と思われるが、実験値の絶対値はやや小さいが、 Ro についての Q の減少率はよく対応している。図-3で、フロントの進行速度を Barr⁴⁾ による非回転実験結果と比較する。乱流域では、 Ro の減少にともない、調べた L/H の範囲内で 10 ~ 20% の速度増がある。 Re の大きいとき $Ev = (b/H)(Ro/Re)$ は小さいので、この効果は純粋に Ro の効果である。原因として下層流右岸側ほど界面高さが増大すること、フロントの初速を決定する初期の激しい混合作用⁵⁾ が回転により緩和されることなどが考えられるが、

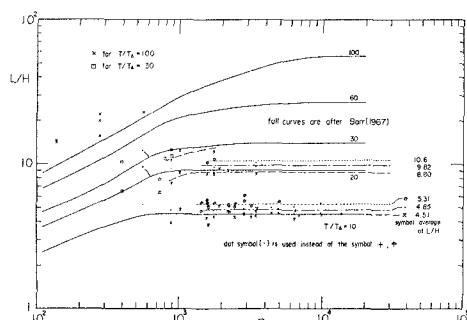


図-3 フロントの進行

さらに今後検討したい。一方層流域での進行特性には、非回転実験の場合と同じく、かなりのばらつきが生じる。この図だけから回転効果を分離することは難しく、發差のはいりにくい長さ相互のプロットを行った。

3. フロント形状による領域区分

図-4は、フロント横偏差の流程変化とその模式図である。この領域区分は3つの時間スケール $1/f$, b/V_0 , H^2/ν の比較で大きくばに理解できる。非回転に近い状況($f \rightarrow 0$)では、後2者の比較となるが、図-4で見る限り、これらは領域IVにまとめられ、幅以上の偏差をとることはないようである。一方、特徴

的な回転系の場合については、本実験で言えば $Ev < Ro < 1$ であり、これから $1/f < b/V_0 < H^2/\nu$ となる。ところが b の代わりに L をとり、実際流速が V_0 から減じることも考えれば、後2者の逆転が起こり得て、領域I, II, IIIの区分ができる。x印のrunで代表される領域IIIのフロントは d/b がいったんピークをとってから減少・平衡するようである。ピークに至るまでの過程では、領域I, IIと同じく Ro の効果が卓越しているであろう。これに対して平衡状態になると、 Ev の効果が支配的となるようで、実際 Ev の大きな(0.02) run 28, 32, 36 では、 Ro とは無関係な平衡が達成されている。ピーク時間は $1/f$ と H^2/ν の2つの時間の中間にあるSpin-up時間 $T_s = f^{-1} Ev^{-1/2}$ すなわちエフマン境界層の形成時間に依存していると考えられる。この付近の時間では Ro , Ev の両者の効果が存在し d/b を規定している³⁾。さて、図-5は、図-1の上に、図-4で示した d/b の等値線と示したものである。もっと正確に言えば $(d/b)/(L/H)$ の勾配の大小を示す参照線と示したものである。 $Ro \approx 1$ 付近は、 d/b が、 Ro , Ev のそれぞれに支配される各領域の境界になっているのがわかる。これは流れの偏向角(下層流軸から右向きにはかるとする)についてもある程度あてはまることである。というのは d/b が、両方向の界面勾配の比を表すような量であり、 Ev が極度に大きくない場合に存在する内部領域は、この比に等しい方向角をもって地衡流平衡するからである。この場合 $\tan \theta \approx (d/b)^{-1}$ である。たとえば、図-5で○印で示される回転水理学の条件に近いrunでは d/b が大きいので偏向角は小さい。一方 Ev が大きくなってくると、偏向角というものも Ev に支配されるようになる。そしてついには非回転系へと遷移する。この間の最も急激な遷移は $10^2 < Ro < 1$, $10^3 < Ev < 10^2$ で生じるように思われる。図-1でわかるように広い浅水域の問題はこうした領域を含んでおり、現象は極めて複雑である。今後は、現地の問題と照らしながら定量化を進めていくつもりである。

4. まとめ 本研究の主要な結果をごく簡単にまとめると次のようになる。

- 1) 実質的な非回転近似の限界は $Ro \approx 4$ である。
- 2) $Ro < 1$ の現象は粘性の効果により3つの領域に区分できる。
- 3) 回転系において非粘性近似の限界は $Ev < 0$ (10^{-3}) である。

<参考文献> 1) 大久保・大西・村本; 第35回年講, 1980. 2) Whitehead・Leetmaa・Knox; G. F. D., 1974. 3) 大西・大保原島・村本; 京大工学研年報24号, 1981. 4) Barr; Houille Blanche, 1967. 5) 村本・大保・比村; 関西支部, 1981.

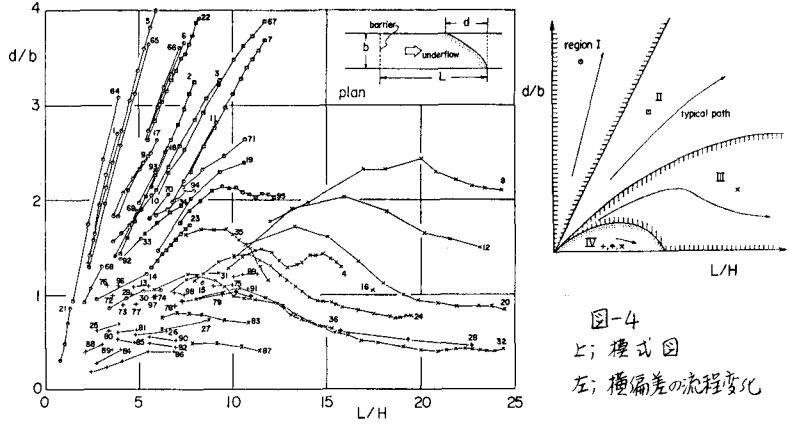


図-4
上; 模式図
左; 横偏差の流程変化

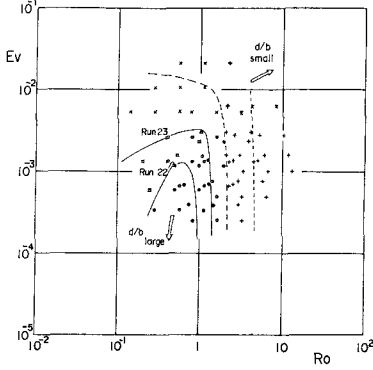


図-5 横偏差に基づく領域区分