

大阪大学大学院 学生員 道興 康治
大阪大学工学部 正 員 室田 明
大阪大学工学部 正 員 平田 健正

1. はじめに；成層密度流において連行機構を解明する際，界面に発生・発達する内部波が重要な鍵となる。本研究では界面近傍を可視化することにより，こういった内部波を従来よりミクロ的にとらえ，内部波が連行機構と如何に結びついているかを主として定性的に考察し，連行機構解明のアプローチとせらることを目的とする。界面可視化の手法として，従来からよく用いられているトレーサ追跡法ではなく，光学的手法であるシュリーレン法を導入し，流れの場を直接観察した。

2. 実験装置と方法；実験に用いた水路は前報¹⁾と同様である。流速分布は水素気泡法により測定した。相対密度差， $\delta (=1.81/32)$ は0.017～0.026の8ケース，内部フルード数は0.41～0.57の範囲で実験を行なった。シュリーレン法とは光の回折現象を利用して密度差を有する流体を可視化する手法である²⁾。すなわち，ある点光源より発せられた光束が密度成層場を通過する際，その密度差により光の位相に微弱なずれが生じる。この光束を凸レンズまたは凹面鏡で集光し，回折像の焦点上におかれたナイフエッジで幾何光学的像を遮断すれば回折像のみが抽出でき，密度差がより強調されて明暗の縞模様となってフィルム面上に記録される。本実験のシュリーレン装置の可視化範囲は直径6cmの円内であり，約4.24/secで35mmフィルム面上に記録した。

3. 内部波特性；内部波には大きく分類して伝播速度の違い波（写真1，2）と遅い波（写真3）の2種類が存在することが観察された。前者を*internal ripple wave*（以下*i.r.波*と略す）と名付ける。*i.r.波*はさらに，*cusping break*を呈しているもの（写真1）と*tail*状に上層へ舞い上がったようなもの（写真2）の2種類からなることが判明した。ともに流速は5～7cm/secである。後者はその波形が以下に詳述するように，流速および波形が表面張力波に類似していることから*internal capillary wave*（以下*i.c.波*と略す）と名付ける。流速は*i.r.波*よりかなり小さく，たかだか3cm/secで波長は2～5cm程度である。

3.1 *internal capillary wave*；この内部波は*crest*において比較的平坦なのに対し*trough*は深く下層側へ侵入しており，一般の重力波とは形を異にしている。また波形勾配が大きく0.2～0.5で前述の*i.r.波*に対して*volume*が大きい。エネルギー含有波にもかかわらず流速が一定せず数秒～10秒程度で発生・発達・減衰を繰り返す寿命の短い波である。また発達するに伴い*trough*が鋭く鋭くなり，さらに進むと*trough*で界面が乱れ上層の淡水が下層の塩水側へ混入し，その淡水塊が上流側へ巻き込まれていくのが観察された。（写真3参照）少なくとも*trough*で破波するまでは全体として流線が連続しており，あくまで波として存在している。特筆すべきことは*i.c.波*自体が直接連行量に関与することはないが，界面下を希釈することにより，間接的に界面連行を促進させる。波形および*trough*での破波等，表面張力波と類似した特性を有しており，筆者らはCrapper³⁾が誘導した表

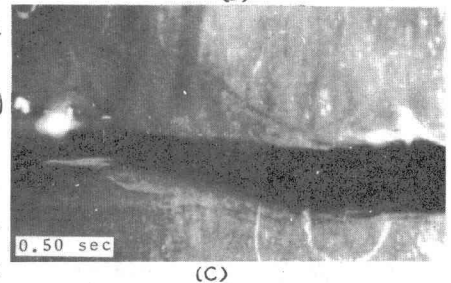
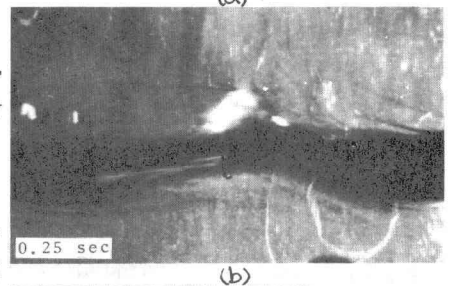
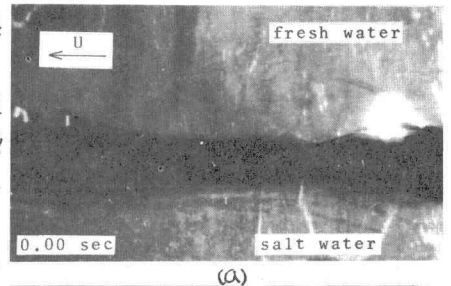


写真1. *internal ripple wave* (*cusping*状)

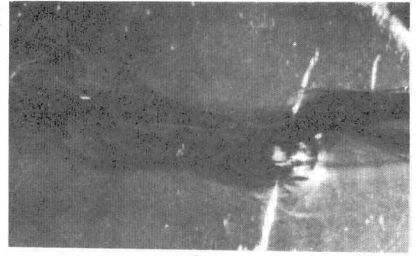
面張カ波はこの波を波速において比較することを試みた。(1)式は (mayer) が重力項を無視して求めた表面張カ波の波速 C_i の厳密解である。

$$C_i = (2\pi\Gamma/\rho\lambda)^{\frac{1}{2}} \cdot (1 + \pi a^2/4\lambda^2)^{-\frac{1}{4}} \quad (1)$$

ここに、 Γ : 界面張力、 ρ : 密度、 a : 波高、 λ : 波長 である。

(1)式における Γ なる界面張力とでも言うべきものをAntonoffの定理より $\Gamma \div 1.5 \text{ dyne}^2$ と求め、実際の $i.c.$ 波の波長・波高を代入して求めた理論波速 C_i と実際の波速 C_0 を比較したものを図-1に示す。この図からわかるように若干のばらつきはあるもののオーダー的に一致しており、さらに波形についても満足すべき一致を得ている。また限界波形勾配は実際に0.2程度であり、Schooley⁴⁾が表面波の実験で得た限界波形勾配0.2~0.4 という値にも近いことから $i.c.$ 波の復元力として界面張力の関与が認められる。

3.2 internal ripple wave ; これは前述のごとく2つのタイプが存在する。cusp状のもの(写真1)はその変形過程において最初の間はcrestにおいて比較的乱れを帯びているが、下流側へ伝播するにつれてしだいに尖ってくる。そしてcrest付近で碎け始め下流側へ巻き込まれていく。その碎ける様子は上層へ波自身が吸い上げられ、波のvolumeが減少していくようである。一方tail状のもの(写真2)は $i.c.$ 波のtroughにおける碎波部分から上方へ飛び出した塩水塊が



(a)

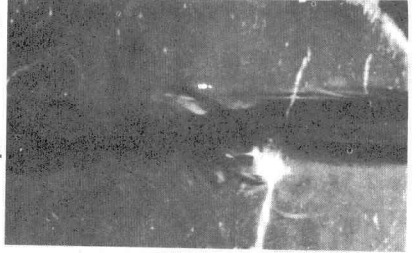


写真2 internal ripple wave (tail状)

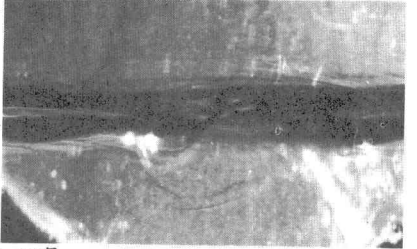


写真3 internal capillary wave.

主流にひきずられるように伝播していくもので、伝播に伴い上方へ混入し、やがて消滅する。ともに上層へ混合していくという過程から察して、これら2つの $i.r.$ 波が成層界面からの連行の本質と考えられる。さらにこの事実から $i.r.$ 波の波速 C_r には主流による移流効果が卓越するものと考えられ、上層の平均流速 U_1 と C_r の関係を図-2に示した。同時に比較のため $i.c.$ 波の波速 C_i も併記した。図からわかるように C_r と U_1 の間には正の相関のあることが認められ $i.r.$ 波は主流に移流された塩水塊とも考えられる。これに反して $i.c.$ 波の波速 C_i は U_1 とは、ほとんど無相関であり、 $i.r.$ 波とは全く性質を異にする内部波であることが再確認された。しかし、 $i.r.$ 波のうちtail状のものが $i.c.$ 波のtroughから発生することやcusp状のものが $i.c.$ 波の変形過程の後の姿であるとも考えられることから $i.c.$ 波と $i.r.$ 波の間の関連性を今後、究明する必要がある。

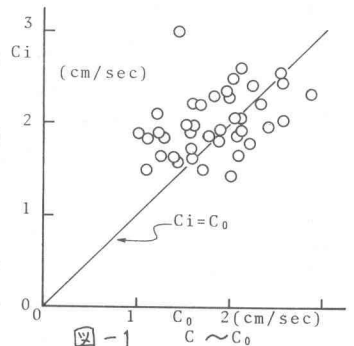


図-1

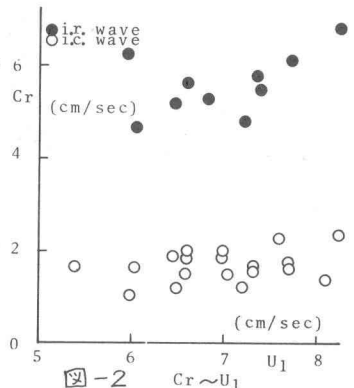


図-2

参考文献

- 1) 室田・平田・沢田 第31回年次学術講演会講演摘要
- 2) 室田・平田・道奥 昭和52年度関西支部年次学術講演会講演摘要
- 3) Crapper G.D. J. of Fluid Mech. vol.2 pp532~540 (1957)
- 4) Schooley A.H. J. of Mar. Res. pp.101 (1958)