

ソリトンの内部構造の可視化

九州大学・総理工 ○坂井一樹 本地弘之 松永信博 杉原裕司

1. はじめに

海洋中には密度成層の状況が急激に変化する遷移層が普遍的に存在する。このような密度の境界にはソリトンが励起されることがあり、特に内部波ソリトンと呼ばれる。

今回我々は、内部波ソリトン中の速度分布と密度混合の特性を画像解析および導電率計による密度計測によって実験的に調べたので報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験には、長さ4.0m、深さ0.3m、幅0.15mの透明アクリル製水槽を用いた。下層に塩水、上層に真水を用いて二成層流体場を作成した。成層完了後、水槽の一端を仕切り、十分に攪拌する。そして仕切り板を素早く引き抜くと中間密度の流体塊は内部波ソリトンとして密度界面上を伝播する。トレーサとして $300\mu\text{m}\phi$ のポリスチレン・ビーズが使用され、ソリトン通過時における挙動を実験室系に固定されたVTRカメラに収めた。その画像データの解析には4時刻追跡法による画像解析装置（（株）日本カノマックス社製）を用いた。ソリトンとともに移動する座標系における定常速度分布は、実験室系の非定常速度分布のデータからソリトンの伝播速度を差し引くことによって求めた。密度の分布は流体の導電率を測定することによって求めた。鉛直密度分布は次式で近似した。

$$\rho(z) = \bar{\rho} (1 - \omega \tanh \alpha z) \quad (1)$$

ここで、 $\bar{\rho}$ と ω は上層と下層の密度 ρ_1 、 ρ_2 を用いて、 $\bar{\rho} = (\rho_1 + \rho_2)/2$ 、 $\omega = (\rho_2 - \rho_1)/(\rho_1 + \rho_2)$ で定義されている。式中の α は密度界面の厚さの代表長さスケールの逆数である。密度の時系列は鉛直方向に複数個の導電率計を配置することによって得た。この時系列を伝播速度を用いて空間データへ変換して、密度場の

空間分布を求めた。速度と密度の解析対象はソリトンの対称性を考慮して二成層流体場の上層部のみとした。

3. 実験結果および考察

3・1 ソリトン内部の速度分布特性

ソリトンの速度分布を図-1に示す。図-1(a)は比較的振幅の小さなソリトンを実験室系から見たときの非定常速度分布である。ソリトンの最大振幅付近に対応する $z = 4.0\text{cm}$ 近傍に一つの渦が見える。この渦は静止流体中を動く円柱周りの非定常流れと類似したものである。すなわち、眼前を通過するソリトンによって誘起される非定常渦である。界面上を伝播するソリトンに乗って見た定常速度分布が図-1(b)である。定常速度場として見ると(a)の渦は消え、この速度分布から推定される定常流線は開いたパターン(Openタイプ)になる。図-1(c)は比較的振幅の大きなソリトンの非定常速度分布である。この場合もOpenタイプ同様、非定常パターンとしての渦が可視化されている。(c)をソリトン座標系から見ると図-1(d)のような定常速度分布になる。ソリトン内部にはOpenタイプでは観測されなかった循環流が存在している。その循環流の部分を拡大したものが図-1(e)である。この場合、得られる定常流線パターンは閉じたパターンになり、KamachiとHonji¹⁾による $\alpha a \geq 1.3$ で形成されるClosedタイプのソリトンに相当する。このように、ソリトン内部の速度分布が画像解析によって始めて明らかとなった。

3・2 ソリトン内部の密度混合特性

図-2は、ソリトンが存在している場合の密度から式(1)で与えられる基本密度を差し引いた摂動量 ρ' を $\Delta\rho/2$ で無次元化して(αx , αz)平面上で等値線図としてプロットしたも

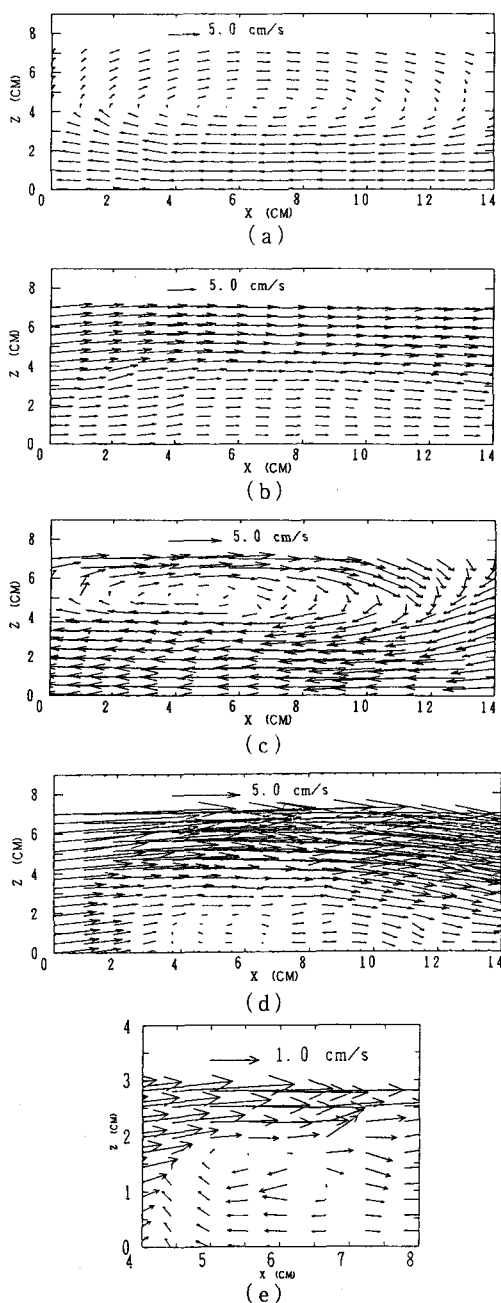


図-1 画像解析装置による速度分布の可視化

- (a) Openタイプ (非定常)
- (b) Openタイプ (定常)
- (c) Closedタイプ (非定常)
- (d) Closedタイプ (定常)
- (e) Closedタイプのソリトン内の速度分布

のである。ソリトン内の密度混合の程度を無次元摂動密度の最大値の50%に相当する0.5の等値線図で囲まれた面積で見てみる。(a)のOpenタイプの場合、0.5の等値線はソリトン中央の狭い領域に限られており、ソリトン内の密度変化が緩やかであることがわかる。一方、(b)のClosedタイプの場合は、0.5の等値線がソリトンの大部分を占めており、ソリトン内で密度がほぼ一様に混合されていることがわかる。以上のことは、蒲地ら²⁾によって議論された成層流体系のPrandtl-Batchelorの定理と矛盾しない。

4. おわりに

画像解析装置を用いてソリトンの速度場を可視化し、密度分布を測定することによってOpenタイプ、Closedタイプという2つのタイプの相違を確認することができた。

参考文献

- 1) Kamachi, H. and Honji, H.: Steady flow patterns of internal solitary bulges in a stratified fluid, Phys. Fluids, 25, pp.1119-1120, 1982.
- 2) 蒲地政文、斎藤隆、本地弘之：成層流体中の内部孤立渦の中の密度と渦度の混合、水理講演会論文集、第30巻、pp.703-708、1986.

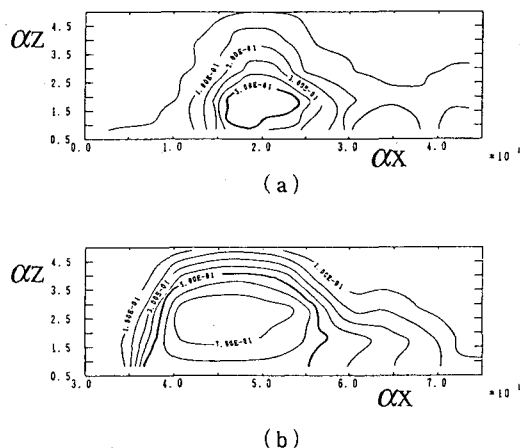


図-2 無次元摂動密度の等値線図

- (a) Openタイプ
- (b) Closedタイプ