

東京大学大学院
東京大学工学部

専任員 浅枝 隆
正員 玉井 信行

＜はじめに＞ 密度成層流中の混合特性は種々の形で研究されているが、顕著な一方向流がない場合には純粋に擾乱による混合だけを取り出すことができる。筆者らは水槽中に粗度のついた底板を振動させることにより擾乱を起し混合させることを試みた。今回はそのうち境界面のスペクトル特性を中心に報告する。

＜実験及び実験方法＞ 実験水槽は前回に報告したものと同一ものを用いた。(Fig-1) 粗度は図のような柱状粗度を用い、振幅は3.8cmとした。周波数は0.5~1.0 Hzとした。流速測定はホットフィルム流速計、濃度測定は4チャンネル導電率計を用いている。データ長は32秒間、データ数は3200個を用いている。

＜混合を惹き起こす渦＞ 界面には Ph-1 に示すような渦が起き、この渦が周囲の水を巻き込んで界面下に没する形で混合が起こっている。この渦層は平均流がないのに、鉛直変動に作用するのが密度差による重力だけとなり、平均流がある場合に比べ鉛直変動が大きくなる。Fig-2 は等密度面の鉛直方向の変動の分布を示したものである。玉井・西村¹⁾、室田・平田²⁾によればセリ断流中の内部液高の分布は Rayleigh 分布もしくはそれよりも液高の小さいものの多い分布になることが知られている。しかし、このように平均流によるセリ断力が働かない場においては、鉛直方向変動の大きなものの割合が増すことがわかる。また、こうした場合には、鉛直方向の変動は密度差による重力の影響に大きく左右されることが予想される。連続成層の場合、非反折、非粘性のもとで線型化することにより、内部変位 η に関して次の関係式が得られる。

$$\partial^2 \eta / \partial t^2 + N^2 \eta = -\rho_0^{-1} \partial p / \partial z, \quad N^2 = g / \rho_0 \cdot \partial \rho / \partial z$$

反カ一定とするとこの解は正弦波となり、平均界面での速度 $w_0 = 1/2 \cdot H \cdot N$ のときに界面変位の最大液高が H になるという関係が導かれる。また不連続成層の場合、エネルギー損失が小さいとすると

$$w_0 / H \approx (\Delta \rho g / \rho_0 H)^{1/2} \approx N$$

なる関係がある。境界層直下の平方平均二乗速度 U と w_0 の間に $U \propto w_0$ がなりたつとして U/N と H.R.M.S. の関係を示したものが Fig-3 である。こうした簡単な見積りによっても渦の鉛直方向の変動に密度差による重力の影響がかなり支配的なことがわかる。

こうした混合を惹き起こす渦の周波数は、入力としての振動底板の周波数、密度境界面のバイサラ振動数と密接に関連している。これを示すために流速変動と密度変動のコヒーレンシーを示したものが Fig-4 である。入力周波数、バイサラ振動数の $1/2\pi$ 倍の周波数およびその整数倍のところに極大が現われている。境界面付近で可視化してみると、大きな渦がいくつかの小さな渦に分化し、その分化した渦が周囲水を巻き込むことにより、混合が促進されている。整数倍周波数での極

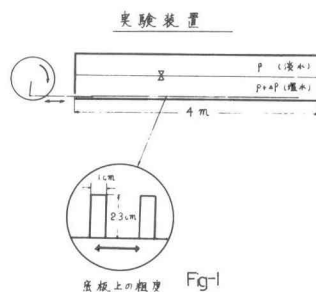
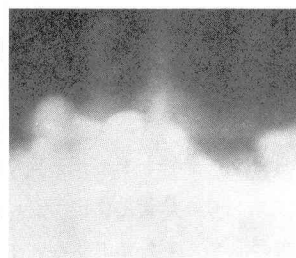
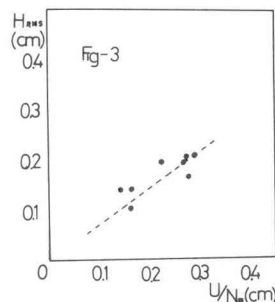
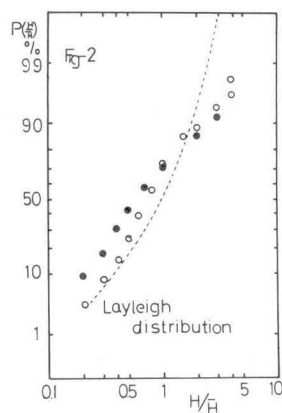


Fig-1



Ph-1



大にこうした分化した渦によるものと思われる。

<スペクトル特性> 境界面での流速変動スペクトルは、Lumley⁴⁾、小松⁵⁾の示すようにセン断流の場合と同様、-3乗則を示す。(Fig-5)とこゝろが混合が激しく、密度勾配のゆるやかな場合には Fig-6 のごとくスペクトルの勾配が急になり、玉井、西村の指摘したように -5乗則に近い様子を呈する。逆に境界面が非常に鮮明で連続な状態に近い場合には、境界層からみ出すような大きなスケールの変動に対応する低周波領域ではスペクトルの勾配がゆるやかになっている。(Fig-7)

境界面の変動のスペクトルを Fig-8 に示す。3.0 Hz 以下の低周波数領域では入力の振動基底の周波数もしくは、バイサラ振動数の $\frac{1}{2}\pi$ 倍の周波数に対応するあたりピークがみられる。しかし、それより高周波の領域になると -5乗則であらわされる領域が出現し、その後 -3乗則に従う領域に移行している。-5乗則については、非混合型の条件のもとに Phillips⁶⁾、日野、谷⁷⁾により導かれている。また -3乗則については Phillips が深海流の条件のもとに密度勾配を含んだ形で求めている。こゝでの界面変動は、主に境界面の擾乱によるもので内部波によるものではないので直接には比較できないが、変動スケールの大きい場合には現象が非混合型に近くなり、変動スケールが小さくなって境界層内での変動になると連続成層型に近くなっていることがわかる。

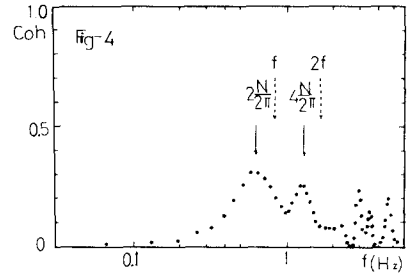
<結論>

- 1) 振動=成層流中では一方向セン断流中のものに比べ界面変動の上下方向のスケールが大きいものの割合が増す。また密度差の影響の割合が大きくなる。
- 2) 流速変動スペクトルは -3乗則に従うが、混合が激しく密度勾配のゆるやかな場合にはスペクトルの勾配が急になり、境界が鮮明で密度勾配が大きい場合には低周波数部でスペクトル勾配がゆるやかになる。
- 3) 混合に寄与する渦の周波数は入力の振動基底周波数、バイサラ振動数の $\frac{1}{2}\pi$ 倍の周波数およびその整数倍である。
- 4) 界面変動のスペクトルは、変動スケールの大きい低周波部では -5乗則、高周波領域では -3乗則に近くなる。

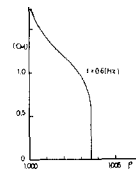
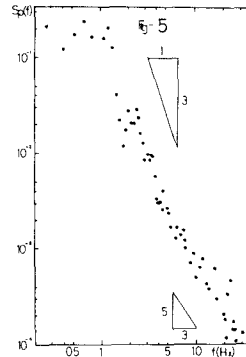
<参考文献> 1) 玉井信行、西村司(1973)第17回水誌 2) 平田健正、室田明(1978)第22回水誌 4) Lumley, J. L. (1964) J. Atmos. Sci. Vol. 21

5) 小松利光 九州大学博士論文 6) Phillips, O. M. (1969) The Dynamics of the Upper Ocean 7) 日野耕雄、谷順一(1969)第24回水誌

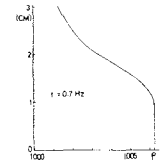
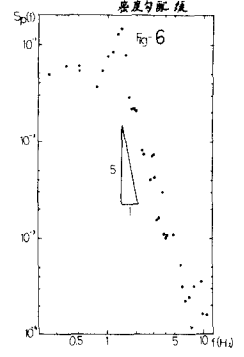
流速変動のグリーンレーン



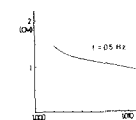
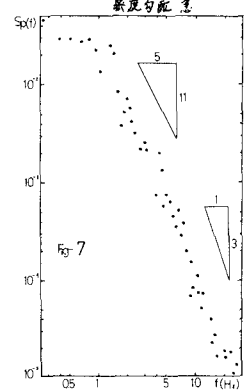
流速変動スペクトル



流速変動スペクトル



流速変動スペクトル



界面変動スペクトル

