

九州電力KK 正員 神谷 誠一郎
九州大学 " 椿 東一郎
" " 小松 利光

(まえがき)

連続的な密度勾配を有する流れ場においては、乱れは浮力効果の影響を受けるため、より複雑な挙動を示す。今回我々は二次元密度噴流モデルで水平・鉛直流速と塩分濃度の同時測定を行い、乱れスペクトルに関する若干の考察を行った。浮力領域における Bolgiano の $-\frac{1}{5}$ 乗則、また粘性域での -3 乗則、 -5 乗則がみとめられた。

(実験概要とデータの解析)

実験は二次元水路を用い、静止塩水上に淡水を水平噴出させて行った。スリットの厚さは 2 cm 、出口流速 10 cm/s 、密度差は $\Delta\rho = 0.0, 0.0027, 0.0054, 0.0084$ の 4通りである。また定常状態を作る為、後方より塩水を供給している。統計処理に際してはサンプリング間隔 $\Delta t = \frac{1}{100}$ or $\frac{1}{150}\text{ sec}$ とし、データ個数 $N = 4096$ である。なお測定用フィルムの先端は X-Y Plot film と塩分濃度計を中心に間隔 2 mm で固定しており同一点とみなしている。

(実験結果及び考察)

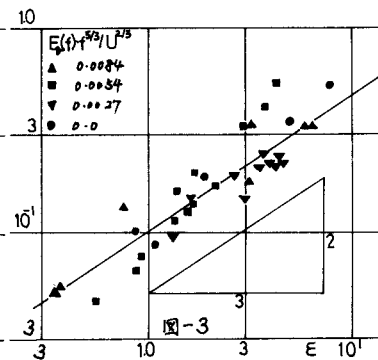
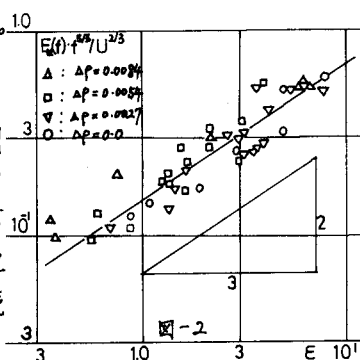
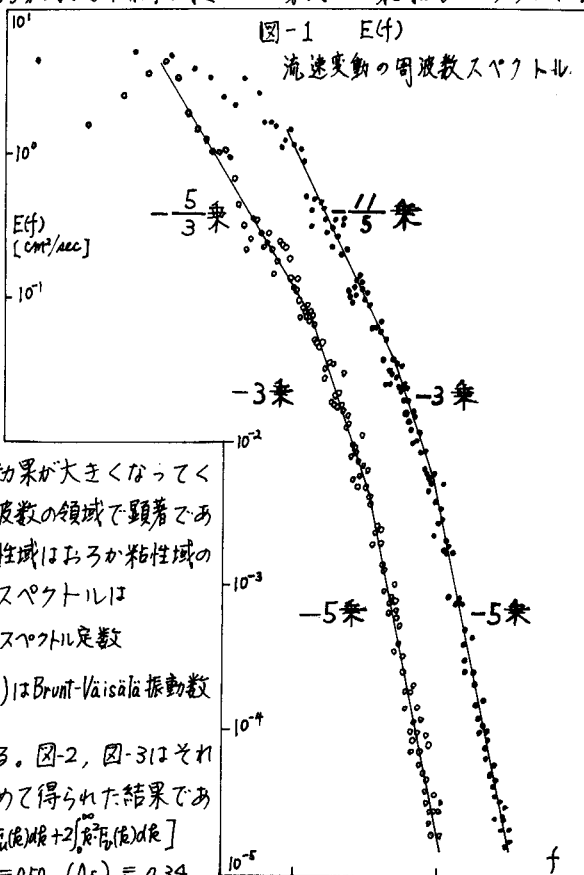
図-1 に得られた流速変動スペクトルの代表的な例を示す。慣性域においては $-\frac{1}{5}$ 乗則がみられるが浮力効果が大きくなってくると $-\frac{1}{3}$ に移行する。従来密度効果は慣性域より低波数の領域で顕著であるといわれているが、今回の実験では浮力効果は慣性域はおろか粘性域の一部まで影響を及ぼしうることが確認された。波数スペクトルは

$$F(k) = A_{\frac{1}{5}} \cdot E^{\frac{2}{5}} \cdot k^{-\frac{1}{5}} \dots (1) \quad A_{\frac{1}{5}}, B_{\frac{1}{5}} \text{ はスペクトル定数}$$

$$F(k) = B_{\frac{1}{5}} \cdot N^{\frac{1}{5}} \cdot \left\{ \frac{g}{\rho_0} \right\}^{\frac{2}{5}} \cdot k^{-\frac{1}{5}} \dots (2) \quad N \left(= \sqrt{\frac{g \Delta \rho}{\rho_0}} \right) \text{ は Brunt-Väisälä 振動数}$$

で表わされる。(2)式は Bolgiano が与えた $-\frac{1}{5}$ 乗則である。図-2、図-3 はそれぞれ $\vec{u}$ 、 $\vec{v}$ の周波数スペクトルに $-\frac{1}{5}$ 乗則をあてはめて得られた結果である。 E はエネルギー-逆散率で $\vec{v} = \vec{w}$ とみなして $E = 5N^2 \left[\int_0^{\infty} k^2 F_u(k) dk + 2 \int_0^{\infty} k^2 F_v(k) dk \right]$ より求めた。各々からスペクトル定数を求めると $(A_{\frac{1}{5}})_u = 0.50$, $(A_{\frac{1}{5}})_v = 0.34$ が得られ、前者は従来の値と一致する。

$\vec{v}$ のスペクトルにおいては $\vec{u}$ に比べ $-\frac{5}{3}$ 乗則の成立する波数領域は狭く、スペクトル定数も小さい。図-4 より $-\frac{11}{5}$ 乗則の成立することがわかる。かなりデータにバラツキがあるが $B_{\frac{1}{5}} = 1.1$ が得られる。粘性域については密度勾配の有無に関係なく -3 乗則とそれに続いて -5 乗則が常に成立する。



Heisenberg の -7 乗則はみられない。波数スペクトルは次元解析より、それぞれ、

$$F(k) = A_3 \cdot \epsilon \cdot \nu^{-1} \cdot k^{-3} \quad \dots (3)$$

$$F(k) = A_5 \cdot \epsilon^{\frac{2}{5}} \cdot \nu^{-\frac{2}{5}} \cdot k^{-5} \quad \dots (4)$$

で与えられる。図-5より、 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ および密度差に関係なく、 -3 乗則が成立することがわかる。また定数も $A_3 = 0.031$ が得られる。同様に粘性域後半に対しては -5 乗則が成立し図-6より $A_5 = 4.92 \times 10^{-3}$ である。密度差のばい均一流体の場合の $-5 \sim -3 \sim -5$ 乗則の形から $-\frac{11}{5} \sim -3 \sim -5$ もしくは $-\frac{11}{5} \sim -\frac{5}{3} \sim -3 \sim -5$ への変化がどういふパラメーターに規定されるのかいまところ明らかではない。Richardson 数や Brunt Väisälä 振動数などでは表わせないようである。次に、慣性領域から粘性領域に移る境界の波数 k_d 、及び -3 乗則から -5 乗則に移る波数 k_N をみしてみる。

(1)式及び(3)式より k_d は、

$$k_d = C_d / \ell_\nu \quad \dots (5) \quad \text{ここで } C_d = \left(\frac{A_3}{A_5} \right)^{\frac{3}{4}}$$

$$\ell_\nu = (\nu^3 / \epsilon)^{\frac{1}{4}} \quad \ell_\nu: \text{Kolmogoroff の局所スケール}$$

従って、 $\bar{u}$ のスペクトルに関しては $C_d = 0.124$ 、 $\bar{v}$ に対しては $C_d = 0.166$ である。また(3)式及び(4)式より、 k_N を求めると

$$k_N = C_N / \ell_N \quad \dots (6) \quad \text{ここで } C_N = \left(\frac{A_5}{A_3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$C_N = 0.40$ である。図-7に実験結果とともに示す。若干のバラツキはあるがかなりのまとまりをみせている。

次に $-\frac{11}{5}$ 乗より -5 乗への境界波数 k_B とすると(1)式及び(2)式より

$$k_B = C_B \cdot \frac{1}{\ell_B} \quad \dots (7) \quad \text{ここで } C_B = \left(\frac{B_5}{A_3} \right)^{\frac{15}{8}}, \quad \ell_B = \left\{ N \left(\frac{\epsilon}{\rho \cdot \bar{v}} \right)^{\frac{1}{3}} \right\}^{\frac{1}{4}}$$

で与えられ定数 C_B は、 $C_B = 4.4$ ($\bar{u}$ に対して)もしくは $C_B = 9.04$ ($\bar{v}$ に対して) となる。また $-\frac{11}{5}$ 乗則を遷散率 ϵ と Brunt Väisälä 数 N で表示すると次元解析より

$$F(k) = A_{\frac{11}{5}} \cdot N^{\frac{4}{5}} \cdot \epsilon^{\frac{2}{5}} \cdot k^{-\frac{11}{5}} \quad \dots (8) \quad A_{\frac{11}{5}} = 1.1$$

で与えられ、 $-\frac{11}{5}$ 乗則との境界波数 $k_B = C_B \cdot \frac{1}{\ell_N} \quad \dots (9)$ となる。 $C_B = \left(\frac{A_{\frac{11}{5}}}{A_3} \right)^{\frac{15}{8}} = 4.4$ ($\bar{u}$ のスペクトルに対して) or 9.04 ($\bar{v}$ に対して) $\ell_N = (\epsilon / N^3)^{\frac{1}{2}}$ で密度場での代表スケール。 $-\frac{11}{5}$ 乗則の有無は、 k_B or k_B' と k_d の

大小関係に依るものと思われる。

実験及び整理に際し、助力願った柴田氏、藤田氏、松尾君に甚大なる謝意を表します。

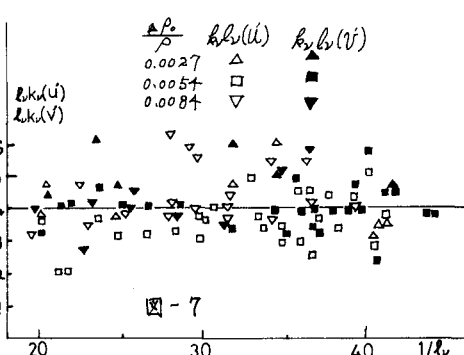


図-7

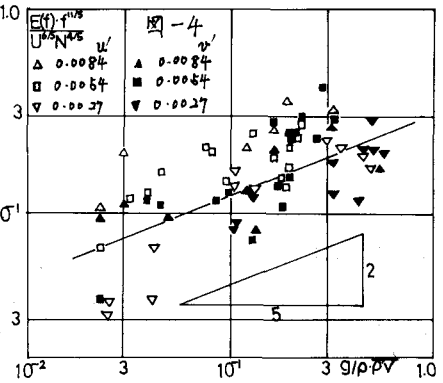


図-4

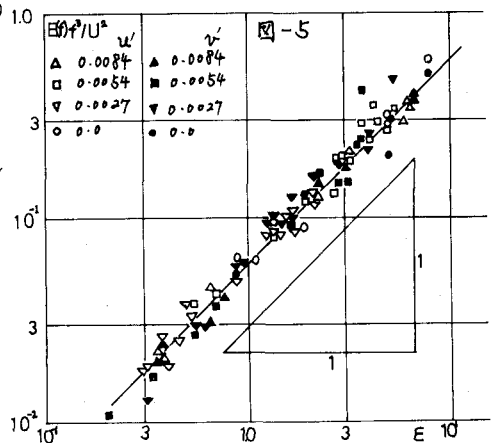


図-5

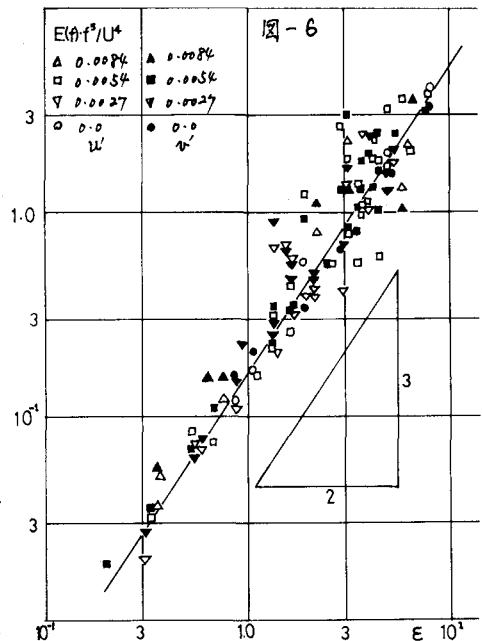


図-6