

大阪大学 工学部 正員 橋 東一郎

〃 正員 小松 利光

〃 正員 柴田 敏彦

密度変動・濃度変動・温度変動等のスペクトルは従来、種々の実験で測定されているが、その機構はいまだ明らかにされていない。わずかに和田・片野が慣性小領域において乱れのスベクトルと同一形の温度変動スベクトルを報告、岩崎らも同じ様な結果を得ている。ここでは密度変動スベクトルについて若干の考察を行い二次元密度噴流における実験結果と比較検討した。

密度の変動量 ρ' の輸送方程式を式-1に示す。

$$\frac{D}{Dt} [\overline{\rho'^2}] = -2 \overline{\rho' v \frac{\partial \rho'}{\partial y}} - \frac{\partial}{\partial y} (\overline{v' \rho'^2}) - 2 D \overline{\rho' \nabla^2 \rho'} \quad \text{----- ①}$$

D: 分子拡散係数

右辺第一項は $\overline{\rho'^2}$ の production に相当する。 $\overline{\rho'^2}$ は鉛直方向拡散量 $\overline{\rho' v}$ と密度勾配の積により惹起され、第三項の dissipation の項で、分子拡散係数により逸散していく。なお第二項は乱れによる diffusion を意味している。従って、 $\overline{\rho'^2}$ の生成に関しては流速変動が密接に関係しており特に拡散係数側で顕著といえる。

図-1、のような流速勾配・密度勾配が共に存在するような流れの場を考える。 ρ, v に対してそれぞれある長さのスケール l_ρ, l_v を考えると、

$$\rho' \sim l_\rho \frac{\partial \rho}{\partial y}$$

$$v' \sim u' \quad v' \sim l_v \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$\text{従って} \quad l_v \sim \frac{v'}{\partial u / \partial y}$$

$$l_\rho \sim l_v \text{ 程度} \quad \rho' \sim v' \frac{\partial \rho / \partial y}{\partial u / \partial y}$$

両辺を2乗して時間平均をとると、

$$\overline{\rho'^2} \sim \overline{v'^2} \frac{(\partial \rho / \partial y)^2}{(\partial u / \partial y)^2}$$

従って、 $\overline{\rho'^2}$ の表数スペクトル $F_{\rho\rho}(k)$ は次式で表わされる事が予想される。

$$F_{\rho\rho}(k) = a \cdot F_{vv}(k) \cdot \left(\frac{\partial \rho / \partial y}{\partial u / \partial y} \right)^2 \quad \text{----- ②} \quad a: \text{比例定数}$$

(2) 式は和田らの結果と一致する。また(2)式は密度変化のみに留らず、温度変動や拡散物質の濃度変動等にもそのまま適用出来る。

a) 慣性域

(i) 密度変化に寄与しない物理量の場合

いま考えている物理量が密度変化を起さない拡散物質 C 等の場合は流速変動スベクトルは慣性域において

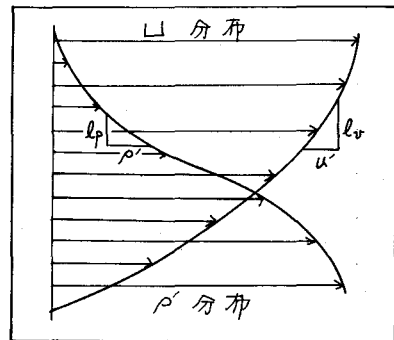


図 - 1

-5/3 乗とヒリ

$$F_{\omega}(k) = A \varepsilon^{\frac{2}{3}} \cdot k^{\frac{5}{3}} \quad \varepsilon: \text{粘性消散率} \\ A: 0.30$$

となる, 従って濃度変動スペクトル $F_{cc}(k)$ は (2) より

$$F_{cc}(k) = A \cdot A_0 \varepsilon^{\frac{2}{3}} \cdot k^{\frac{5}{3}} \left\{ \frac{d\bar{c}/dy}{dU/dy} \right\}^2 \quad \text{----- (3)}$$

となり, 同じく濃度スペクトル $F_{cc}(k)$ も -5/3 乗則となる。

(ii) 密度変化に寄与のある物理量の場合

塩分濃度変動や温度変動, 汚濁物質等の変動の場合は流体に密度勾配が存在する為, 流速変動のスペクトルは慣性域に於ても厳密に -5/3 乗則は成立せず密度勾配の影響を受ける。別報より $F_{\rho\rho}(k)$ は

$$F_{\rho\rho}(k) = A \cdot F_{\omega}(k) \left\{ \frac{d\rho/dy}{dU/dy} \right\}^2 \\ = A \frac{A_0}{\varepsilon} \left\{ \varepsilon^{\frac{1}{2}} + A_0 \sqrt{\frac{\rho \cdot \nu}{U^2}} \left(\frac{d\rho}{dy} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{g}{\rho} k^{-1} \right\} \cdot k^{\frac{5}{3}} \left\{ \frac{d\rho/dy}{dU/dy} \right\}^2 \\ A_0^{\frac{1}{2}} = 0.30 \quad A_0 = 3.2$$

図-2 は我々が二次元密度噴流から得た $F_{\rho\rho}(k)$ の実験結果の一例である。また図-3 は今回得た $F_{\rho\rho}(k)$ の実験結果の慣性域に (3) 式の妥当性を検討し, 定数 A を求める為 近似的に -5/3 乗則を適用して求めたものである。両対数の横軸 ε に対しほぼ 2/3 の勾配の直線状を示しており (3) 式成立性を示している。また定数

$A = 4.0$ である。

(b) 粘性域

粘性域に於ては流速変動スペクトルは密度勾配の有無に影響を受けず -13/3 乗則が成立する。従って, (2) 式により $F_{\rho\rho}(k)$ も -13/3 乗則の次式が成立することと期待される。

$$F_{\rho\rho}(k) = A \cdot A_0 \cdot \nu^2 \varepsilon^{\frac{2}{3}} \cdot k^{-\frac{13}{3}} \left\{ \frac{d\rho/dy}{dU/dy} \right\}^2 \quad A_0 = 0.0074$$

図-4 は我々が得た実験結果の粘性域に -13/3 乗則を適用して求めたものである。勾配の傾向は示しているが, バランギが大きい直線状とはいえない。また図-2 から見ても粘性域のスペクトルの勾配は -13/3 乗よりも, やや緩やかである。この理由として考えられる事は高波数でスケールの小さい粘性域では $\rho \nu \cdot \frac{\partial \rho}{\partial y}$ による ρ の生成はほとんど行なわれておらず, むしろ分子拡散係数による消散機構が支配的で ρ のスペクトルとの間に強い相関が無くなってきている事があげられる。また $\bar{U}$ の場合と同様, 密度変動 ρ も $\partial \rho / \partial y$ が大きい二層流の境界付近の領域では -3 乗則が成立している。

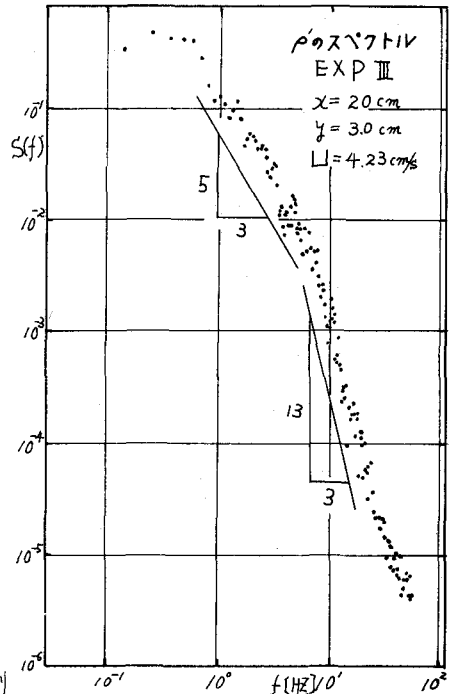


図 - 2

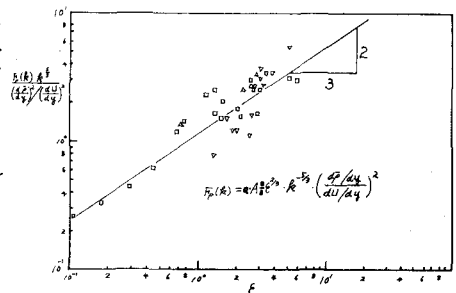


図 - 3

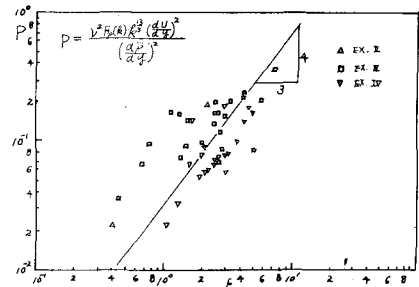


図 - 4