

自由噴流における拡散現象について

—— Batchelor の相似理論の適用と問題点 ——

大阪大学工学部 正員 村岡浩爾

1. 序: 自由噴流や wake の流れは自ら乱流域を形成して行くので self-preserving flow と呼ばれる。このような乱流場での拡散理論は Batchelor の相似理論¹⁾があるのみである。その概要は以下の通りである。 self-preserving flow においては 平均流および乱流の特性は力学的に相似であるから、長さ、速度、時間の尺度とそれぞれ、

$$(長さ) \propto x^p, \quad (速度) \propto x^q, \quad \therefore (時間) \propto x^{p+q} \quad (1)$$

とすれば、この新しい単位でみれば現象はもはや一次的、かつ uniform である。ここに p, q は self-preserving flow の相似特性によって決まる定数である。 $\omega(t)$, $\sigma(t)$ を拡散粒子のもつ速度と時間の平均統計量とすれば、粒子の速度変動成分 $u(t)$ に因して

$$u(t)/\omega(t) = F(\eta), \quad \text{ここに } d\eta \propto dt/\tau(t) \quad (2)$$

で与えられる random 量 $F(\eta)$ は homogeneous である。以下はその理論によって解けばよい。二次元自由噴流においては $p=1, q=1/2$ であるから、求める粒子の変位変動量平均は次式で表わされる。

$$\sqrt{[X(t)-\bar{X}(t)]^2} \propto \bar{X}(t), \quad \text{および } \sqrt{[Y(t)]^2} \propto \bar{X}(t) \quad (3)$$

ここでは $\bar{Y}(t) = 0, \sqrt{u^2} = \sqrt{v^2}$ とみている。

2. 実験装置および実験方法: 図-1 に示すような二次元上向き噴流の自由噴流域で source S_0, S_2, S_{15} から出る tracer の、一定距離での (目盛尺 $M_1, M_2 \dots M_6$ での) 拡散分布を調べる。測定方法の詳細は、

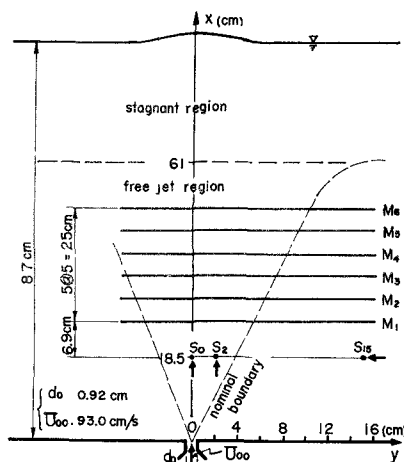
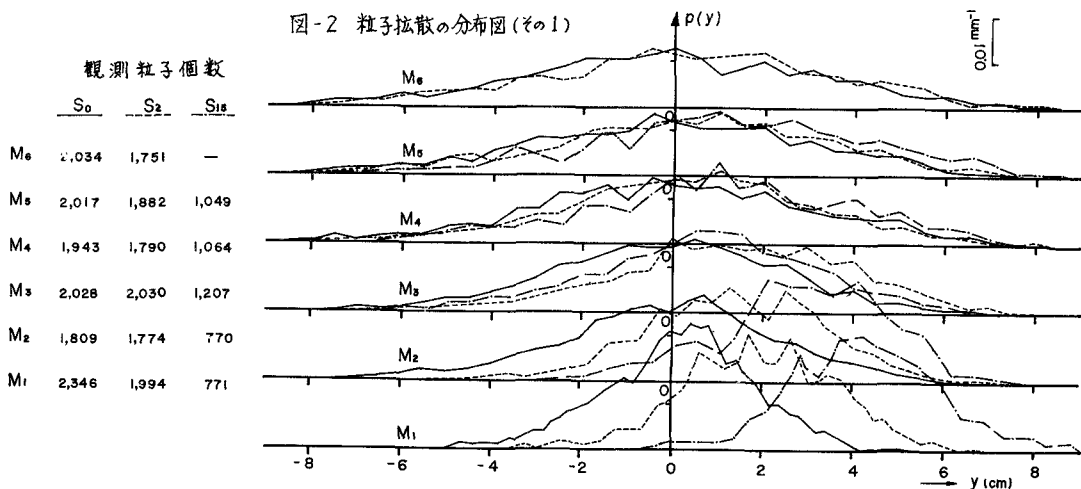


図-1 実験方法の説明図

図-2 粒子拡散の分布図(その1)



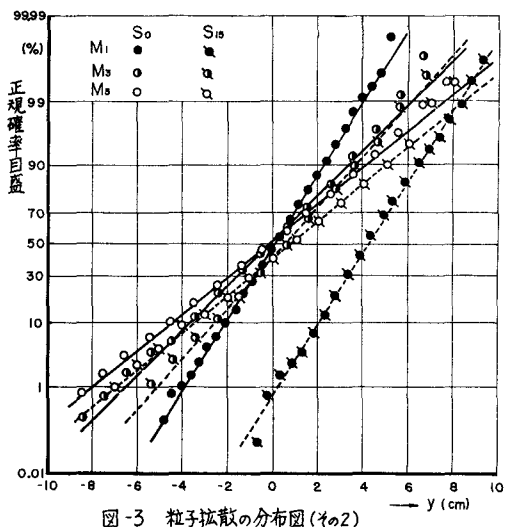


図-3 粒子拡散の分布図(No.2)

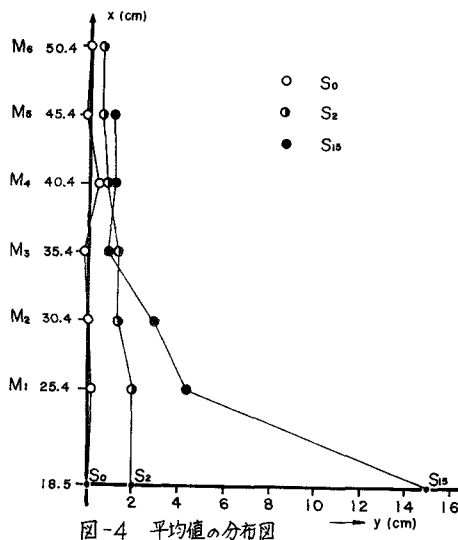


図-4 平均値の分布図

前報告の小編²⁾と同様である。

3. 実験結果と検討:

(結果1) 図-2, 図-3 より source の位置が変わっても分布形は大体、正規分布とみられ、せん断効果は不明である。

(結果2) 図-4 より各目盛尺での分布形の平均値 $\bar{Y}$ は観測領域の範囲で噴流軸の方に寄せられている。従って噴流軸の横断方向平均流による輸送が生じている。

(結果3) 図-5 より分布の標準偏差 $\sqrt{(\bar{Y}-Y)^2}$ は、source の位置に関係せず噴流軸方向の距離 $\bar{X}$ のみに関係する。

(結果4) 図-5 より少くとも S_0 からの拡散に関しては $\sqrt{\bar{X}}$ は(3)式のごとく $\bar{X}$ と直線関係があると云え、 S_2, S_{15} に関しても同様の傾向が見られるようである。

〔検討1〕 source の位置が噴流原点でなく、噴流軸上にあっても Batchelor の理論は同じである。(しかし噴流軸線と離れて source がある場合は Batchelor の理論で拡散を説明することは出来ない。

〔検討2〕 厳密には同一拡散時間に対する変位量 $Y(t)$ と整理の対象としなければならぬ。筆者は実験の困難さから同一距離と流下した粒子の変位量 Y と測定している。この違いは分布形に若干影響を及ぼすはずである。

〔検討3〕 拡散時間の大小を決める基準となる寿命時間はこの場合不明であるが、図-5 より判断すれば、一杯流で考えられる値よりもかなり短かいのではないかと考えられる。

4. 謝辞: この研究に関し室田教授より有益な示唆を受けた。厚く謝意を表する。また実験と整理に関し大学院生、中山茂雄君(現、運輸省技官)、および清水洋君の協力を得た。

参考文献: 1) G.K. Batchelor; Diffusion in free turbulent shear flow, J. Fluid Mech, Part I, vol. 3, 1957.

2) 村岡, 中山, 清水; 鉛直上向き噴流内の水粒子混合について, 関西支部講演集 昭42,

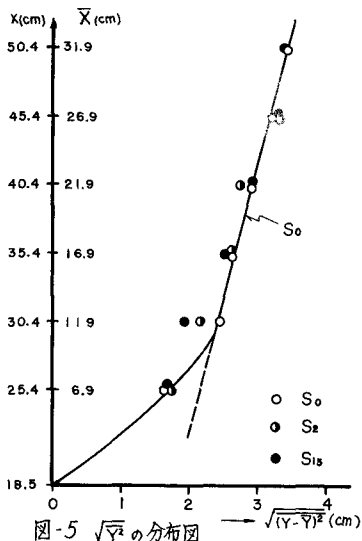


図-5 $\sqrt{(\bar{Y}-Y)^2}$ の分布図