

蛇行プルームの断面可視化による拡散物質濃度測定と拡散モデルの構築に関する研究

小杉 淳* 蒔田秀治** 関下信正**

A study on concentration measurement of diffusion matter and construction of diffusion model by visualization of area of a meandering plume.

Atsushi KOSUGI Hideharu MAKITA Nobumasa SEKISHITA

1. はじめに

平成22~24年度の3か年に渡り、科学研究費助成事業基盤研究(C)課題番号22560181を受けた。以下にその概略を報告する。

2. 研究目的

工場などから排出されるばい煙や汚水の拡散現象を正確に理解し有害物質の生活環境に与える影響を調べることは環境評価において極めて重要である(Fig.1)。大気中の渦の作用によっては有害物質が高濃度のまま地表近くまで輸送されることがあり、汚染物質の平均的な広がりだけではなくプルームの大きな蛇行の環境への評価を考慮に入れた拡散予測モデルの構築が急務である。このためにはプルームの瞬間的な挙動(蛇行の大きさや瞬間的な広がり幅)とプルーム内部の濃度特性(平均濃度と変動濃度)の把握が必要となる。特に乱流中の大きな乱れと渦運動に起因するプルームの蛇行を伴う乱流拡散現象の再現は難しく、プルームの蛇行が支配的となる拡散現象の定量的評価から現象の理解やモデル化が望まれている。そこで本研究では可視化実験より得られるプルームの流れ方向断面の画像解析からプルームの瞬間挙動を実験的に明らかにし、拡散現象の解明と拡散モデルの構築を目的とした。

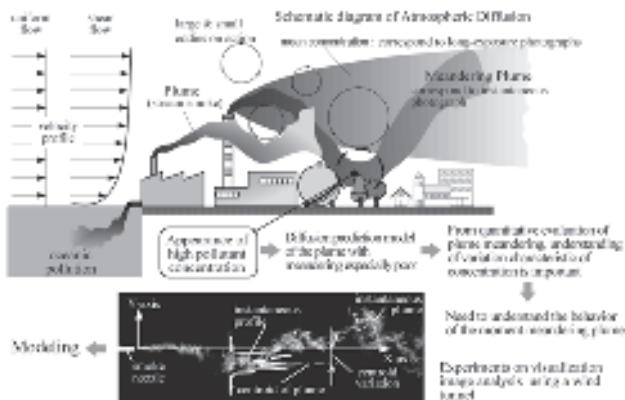


Fig.1 Schematic diagram of atmospheric diffusion.

2. 実験方法

Fig.2 にプルーム断面可視化実験の概略を示す。風洞は風路断面 $0.7 \times 0.7 \text{ m}^2$ 、長さ 5 m の測定胴を有する吹出し型である。乱流発生装置(アクティブグリッド)は多数の攪拌翼を振れ角 $\pm\theta$ (deg) でランダムに回転させることで、乱流場の規模を表す指標である乱流レイノルズ数 (R_t) を変化できる。トレーサ(活性白土、嵩密度=0.6)は粒子分散装置を通し、ノズル(内径 $d=5 \text{ mm}$)から定常的に放出した。ストロボ7基から成る可視化照明は測定胴上部に設置し、幅約 10 mm のスリット光として用いた。プルーム断面の撮影にはデジタルカメラ(Nikon D300)を用い、撮影は実験室を暗室状態にした後、カメラのシャッター開放し、ストロボを発光(約 $1/3200$ 秒)させて行った。なお、撮影はノズル噴出口を原点とし、下流方向に約 $X/d=0 \sim 300$ の範囲でおこなった。実験条件は図3中の表に示すように主流流速 $U=5 \text{ m/s}$ とし、アクティブグリッドを制御することで5種類の異なる R_t を持つ乱流場を成形した。の u'/U , L_{ux} はそれぞれ流れ方向の乱れ強度、渦スケールを示す表中。なお、撮影枚数は R_t の値に応じ $1000 \sim 7000$ 枚程度とした。

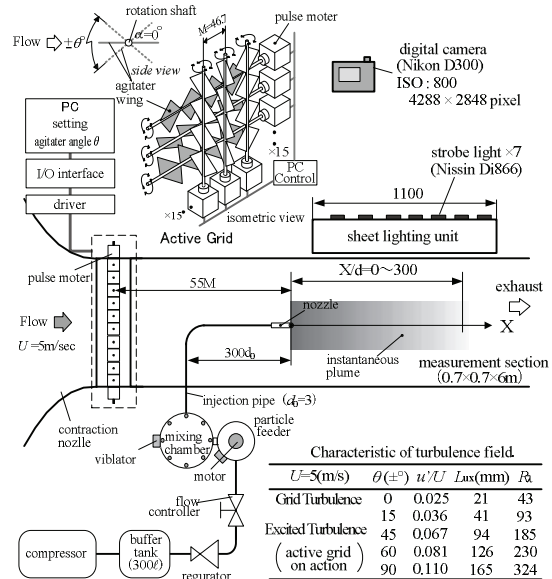


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus.

3. 解析方法

Fig.3 に可視化画像の解析方法を示す。図中(a)に示す

* 釧路高専 機械工学科

** 豊橋技術科学大学 機械工学系

ようなプルームの可視化画像は Raw 現像時にグレースケール化し、 $X/d=10\sim 280$ の範囲において $X/d=10$ おきに Y 方向の瞬間輝度分布を抽出した。合わせて図中(b)のように重心を基準とした座標で平均化したプルームの瞬間幅 σ_r (σ :標準偏差), 絶対座標で平均化した全拡散の拡がり幅 σ_T , 重心位置とノズル中心軸との距離 σ_m を求めた。ただし $Re=324$ の場合, プルームの蛇行が大きく測定筒の壁面に達するため解析範囲を $X/d=10\sim 150$ とした。なお, 解析で得られた輝度値は, 輝度と濃度の関係が比例するようカメラの特性に合わせたリニアリティ補正を行い, 平均濃度分布を可視化照明の光量変化の影響を受けない P.D.D.(確率密度分布)で評価した。また, 画像解像度は $0.4\text{mm}/\text{Pixel}$ である。

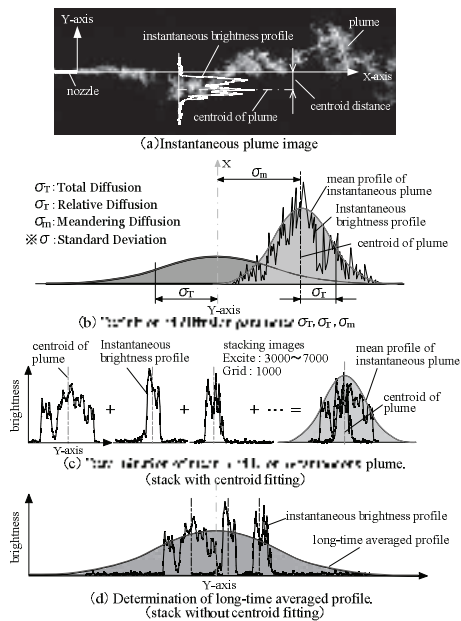


Fig.3 Analysis method of plume image.

5. 実験結果

5-1. Re の違いによる拡散形態の変化 Fig.4 に一様準等方乱流場中における Re を変化させた場合の瞬間プルームの流れ方向断面の可視化画像を示す。 Re が大きなほど蛇行運動が大きく, その形態が明瞭にとらえられている。

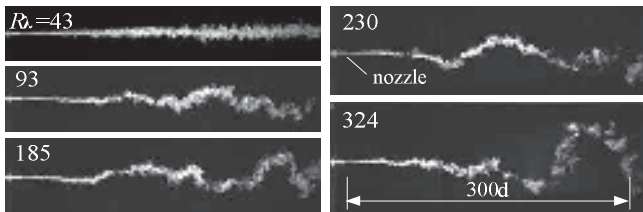


Fig.4 Visualization image of the instantaneous plume at each turbulence field.

5-2. 拡散パラメータの下流方向変化 Fig.5 に拡散パラメータ (σ_r^2 , σ_T^2 , σ_m^2) の下流方向変化(拡散時間変化)を示す。なお, 全拡散の図にある実線は Taylor の拡散理論式中のラグランジアンパラメータ (v_L^2 , T_L^2) を実験で得られた全拡

散の分散値から最小二乗法で求め描いたものである。また, 同図中にはレーザー計測で得られた全拡散の結果を□で合わせて表示している。全拡散の分散値は Re の増加に伴い, 可視化画像でも示したようにプルームの蛇行が大きくなるため急激に増加している。また, 本結果とレーザー計測の結果はほぼ一致しており, このことから本可視化画像計測の正確性が裏付けられる。相対拡散の傾向はほぼ全拡散と同様であり, これは Re の増加によりプルーム内部の相対拡散に寄与する渦スケールも大きくなるためである。蛇行拡散 σ_m^2 は格子乱流場ではほぼ無いが, Re の増加とともに乱流場の渦スケールが大きくなり, プルームを大きく揺さぶるような形で作用するため大きな値を持つ。

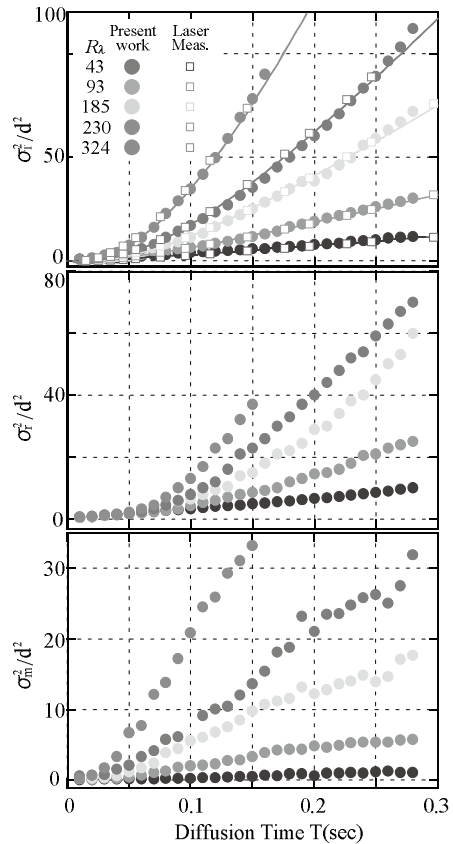


Fig.5 Downstream development of diffusion parameter.

6. まとめ

蛇行プルームの瞬間挙動を可視化画像から取得し, 主にその下流方向変化を拡散モデルや理論と比較した。今後, 今回の研究で得られた実験データからプルーム内部の濃度変動特性などを明らかにしていく。

7. 成果発表

- (1)小杉,他 2 名,機構論 NO.102-2(2010), pp.55-56
- (2)小杉,他 3 名,機構論 NO.112-2(2011),pp.91-92
- (3) Atsushi Kosugi, et al., IWMST 2012, pp.261-265
- (4)小杉,他 2 名,機構論 NO.13-1(2013), CD-ROM , J057026.