

大気拡散風洞を用いた蛇行プルーム内部のライン画像計測による濃度変動特性のモデル化

小杉 淳*

Modeling of concentration fluctuation characteristics for inner meandering plume by line image measurement using atmospheric diffusion wind tunnel.

Atsushi KOSUGI

Abstract – Particle diffusion experiments were conducted in a short-time diffusion field where the meandering diffusion is dominant using a wind tunnel with active grid. Relative diffusion and meandering diffusion were separately measured by visualization line measurement using laser and line scan camera. Each diffusion scales, total diffusion, relative diffusion, and meandering diffusion were obtained, and it was confirmed that they almost agreed with the Gifford's theorem. The intermittency shows a different tendency in the total diffusion and relative diffusion in the downstream direction and the relationship with the meandering ratio which is the scale of the diffusion field was obtained.

Key word : Atmospheric Turbulent Diffusion, Meandering plume, Wind Tunnel Experiment, Line Measurement

1. はじめに

平成 28~30 年度の 3 か年にわたり、科学研究費助成事業基盤研究 (C) 課題番号 16K06097 を受けた。以下にその概略を報告する。

2. 研究目的

大気汚染の予測技術を確立することは環境リスクを評価する上で極めて重要である。このうち煙突など汚染物質放出源の比較的近傍で観察されるプルーム (汚染物質のガス雲) の蛇行を伴う拡散現象のモデル化 (Fig.1) は、生活圏における汚染物質の高濃度輸送などの観点から特に重要性が高い。しかし、蛇行プルームおよびそのプルーム内部の濃度特性は、実験および計測の困難さから定量的実験およびモデル化は十分進んでいない。本研究ではプルームの蛇行拡散現象が再現できる動的な乱流発生装置 (Active Grid) を取り付けた風

洞において、点原からの粒子拡散実験を行う。計測にはレーザー光線とラインスキャンカメラを用い、プルーム断面内の瞬間濃度情報を線状に時系列で取得し、蛇行プルームの濃度変動特性の詳細を捉え、蛇行拡散を正確に評価できる拡散モデル構築を目的とした。

3. 実験装置および実験方法

風洞は測定断面 0.7m 角、長さ 5m の測定部を有し、乱流場の規模を制御する Active Grid は測定部の上流にある。トレーサには活性白土を用い、新たに開発した流動床ユニットにより分散し、ノズル (内径 $d=5\text{mm}$) から放出した。座標系はノズル先端を原点とし、流れ方向 X 、鉛直方向 Y である。プルームの可視化にはレーザーを用い、測定部上方から風路断面中央に垂直に照射し、撮影には Line-Scan カメラを使用した (輝度諧調 8bit, 撮影速度 500fps, 記録時間 300sec)。実験は主流 $U_0=5\text{m/s}$ とし、観測領域が蛇行拡散の支配的な短時間拡散場となる Active Grid の振れ角 $\pm 90^\circ$ 、乱流レイノルズ数 $Re=324$ の場を主として対象とし行った。なお、計測は、 $X/d=20\sim 180$ の範囲を $X/d=10$ おきに、計 17 断面で行った。線状プルームの可視化画像は Fig.3 に示すように $1\times 2048\text{pixel}$ の各プルームを時間軸方向に 300sec 分 (約 15 万枚) 結合したものとなる。プルームごとに瞬間輝度 (濃度) 情報を抽出し、プルーム重心位置の算出は図中 (a) のように行う。なお、各瞬間濃度分布を図中 (b) のように単純に平均化し全拡散に相当する濃度情報を求め、また、各瞬間濃度分布の重心を基準として重ね平均化し図中 (c) の相対拡散に相当する濃度情報を得た。

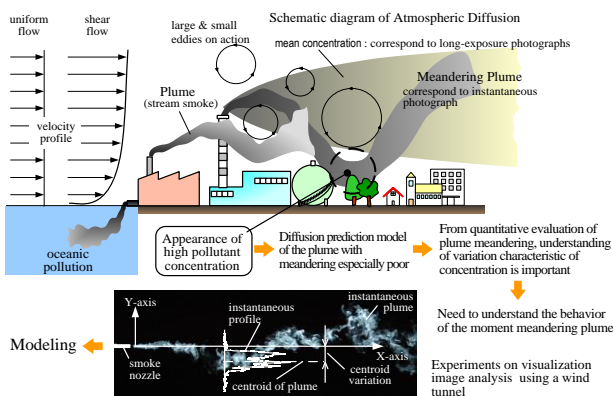


Fig.1 Schematic diagram of atmospheric diffusion.

* 釧路高専機械工学分野

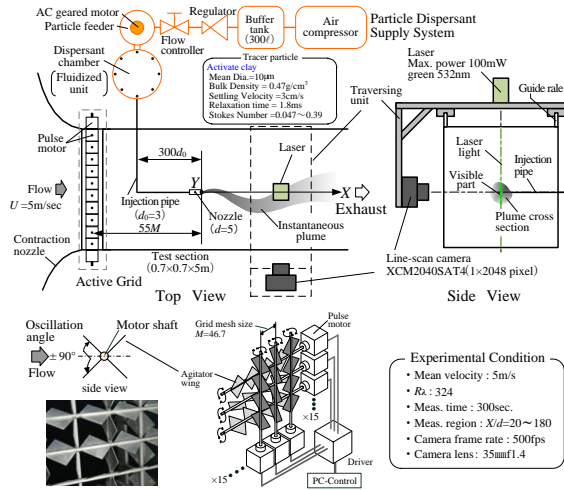


Fig.2 Schematic view of wind tunnel experiment.

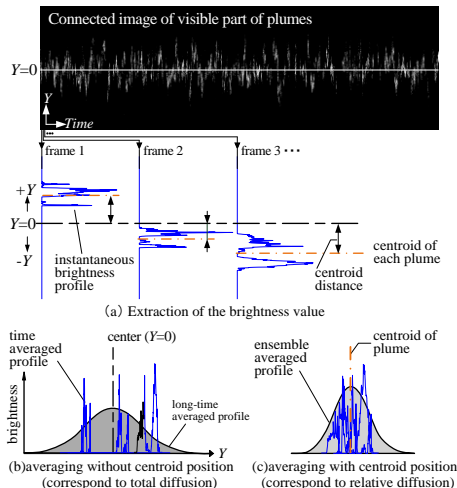


Fig.3 Analysis procedure of image data.

4. 実験結果

4-1. 相対拡散および蛇行拡散の評価: Fig.4 に $X/d=100$ の全拡散と相対拡散の Y 方向平均濃度分布, およびプルームの蛇行に伴う重心位置変化の広がりを表す蛇行拡散の変化を示す。いずれの分布も縦軸は確率密度である。各分布とも正規分布に良く従う。これらの傾向は他の断面においても同様である。下流方向への広がり傾向を明確にするため、各分布の分散(σ^2)の流れ方向変化を Fig.5 に示す。拡散場がプルームの蛇行拡散の支配的な短時間拡散場となるため、全拡散(σ_T^2)に占める蛇行拡散(σ_m^2)の割合が大きく蛇行拡散の性質を明確に捉えられる場であることがわかる。また、Gifford の変動プルームモデルによれば、全拡散は相対拡散と蛇行拡散の重ね合わせとして各分散値の間には、 $\sigma_T^2 = \sigma_r^2 + \sigma_m^2$ の関係が成立す。この関係式を使い、本研究で計測した σ_r^2 (●) と σ_m^2 (●) から求めた全拡散(σ_T^2)は、実測された全拡散(●)とほぼ一致しており、すなわち相対拡散および蛇行拡散が正確に求められている。

4-2 全拡散および相対拡散の間欠率 Fig.5 は、本実験条件において撮影された瞬間プルームの流れ方向断面の可視化画像である。濃度場の間欠性は、プルームの蛇行運動によるものに加え、プルーム内部(相対拡散内)にも存在する間欠性の両者によってもたらされることを示す。

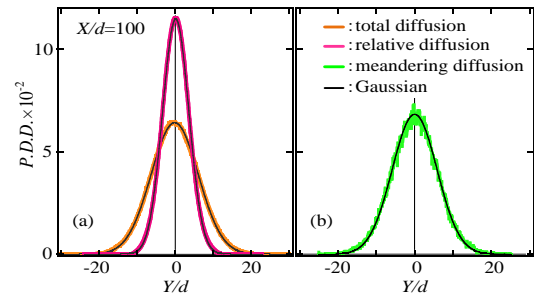


Fig.3 Probability density distribution (a) total and relative diffusion, (b) centroid of instantaneous plume.

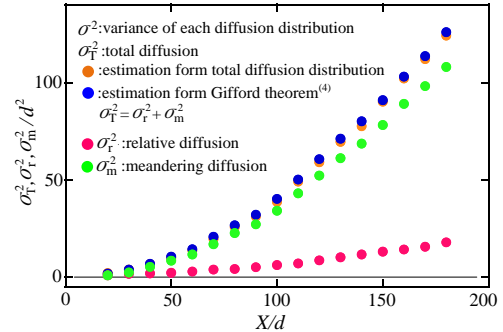


Fig.4 Downstream variation of each diffusion distribution variance and comparison with Gifford's theorem.

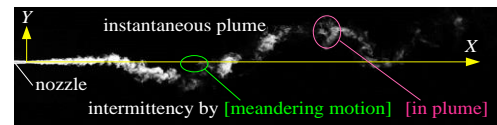


Fig.5 Visualization image of the instantaneous plume

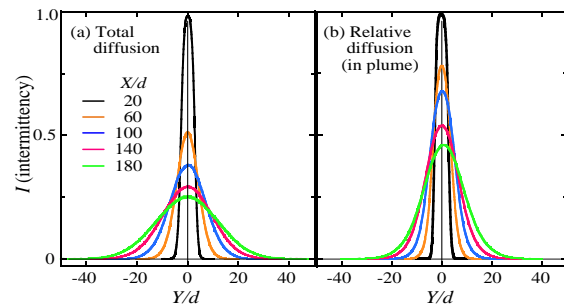


Fig.5 Downstream variation of intermittency profile, (a) total diffusion and (b) relative diffusion.

6. まとめ

蛇行プルームの瞬間挙動をライン計測から取得し、プルーム内部の濃度特性を取得し評価できる手法を確立した。今後、さらに実験と解析を進め蛇行プルームの拡散モデルを構築していく。

7. 成果発表

- (1)小杉,他 2 名, 日本機械学会北海道支部第 54 回講演会 講演論文集(2017),vol54, pp.71-72
- (2)小杉,他 1 名, 日本機械学会北海道支部第 55 回講演会 講演論文集(2017),vol55, pp.43-44
- (3)小杉,他 1 名,日本機械学会流体工学部門講演論文集 GS-36(2018)