

氏名	小杉 淳		
授与学位	博士(工学)		
学位記番号	博甲第163号		
学位授与年月日	平成29年9月11日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項		
学位論文題目	準一様乱流場中における蛇行プルームの乱流拡散現象の実験的解明		
論文審査委員	主査 教授	羽二生 博之	
	教授	山田 貴延	
	准教授	三戸 陽一	
	教授	南 尚嗣	
	准教授	高井 和紀	
	准教授	林田 和宏	

## 学位論文内容の要旨

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。乱流拡散に関する実験的研究は、格子乱流場や乱流境界層を模擬した流れ場において様々なアプローチが行われている。しかし、単純な一様乱流場であっても、大気乱流場のように速度変動スペクトル中に明確な慣性小領域を持ち、プルームの蛇行拡散を観測される規模の大きな乱流場における拡散現象は、拡散場そのものを形成することが困難であるため十分に解明が進んでいない背景がある。本研究では、小型風洞に取り付けたアクティブ・グリッド(A・G)を用い、同一主流速(5m/s)のもと乱流場の乱流レイノルズ数( $R_\lambda$ )を系統的に変化させることで実験的な評価の難しいプルームの蛇行運動が主体となる短時間拡散場から相対拡散が主体となる長時間拡散場を形成し、連続点源から放出される粒子の乱流拡散現象を調べた。濃度場の計測はレーザーシステムで行い、レーザーの検査体積内を単位時間に通過する粒子個数から濃度場の平均および変動特性を得た。計測は流れ方向に  $X/d=20\sim 300$  ( $d$ : トレーサ放出ノズル内径5mm)の範囲において11~13断面で行ったが、A・Gの振れ角 $\theta$ が $60^\circ$ 以上では蛇行が大きくなりすぎて、下流でプルームが風洞壁に達するため、計測の最下流位置を  $X/d=120\sim 180$  に狭め、それぞれの断面においてY方向に約35点で行った。計測時間は乱流場の規模に応じ60~180secとした。濃度場の評価は主に、濃度場のEulerian計測から算出された平均濃度分布の分散データをTaylorの拡散理論にフィットさせ算出したLagrangian特性量を用いて行った。平均濃度場の主な結果を以下に示す。(1)  $R_\lambda$ の増加に伴い分散が大きくなり、その拡散時間変化はTaylorの拡散理論と一致する。(2)  $R_\lambda$ を制御して乱流渦の寿命時間を変化させ、プルームの蛇行拡散が主体の短時間拡散から相対拡散が主体の長時間拡散まで異なる拡散機構の濃度特性を抽出した。なお、蛇行拡散の性質をとらえるためには、 $R_\lambda$ が約300以上必要である。(3) Lee and StoneのモデルにLagrangian特性量の計測値を適用することで、相対拡散( $\sigma_r^2$ )と蛇行拡散( $\sigma_m^2$ )の拡散時間変化を求め、各拡散過程において全拡散への相対拡散と蛇行拡散の寄与の違いを明らかにできた。また、Giffordの変動プルームモデルを用いて得られる全拡散の分散( $\sigma_T^2=\sigma_r^2+\sigma_m^2$ )は、本実験の全拡散値と良い一致を示した。

## 論文審査結果の要旨

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。乱流拡散に関する実験的研究は、格子乱流場や乱流境界層を模擬した流れ場において様々なアプローチが行われている。しかし、単純な一様乱流場であっても、大気乱流場のように速度変動スペクトル中に明確な慣性小領域を持ち、プルームの蛇行拡散が観測される規模の大きな乱流場における拡散現象は、拡散場そのものを形成することが困難であるため十分に解明が進んでいない背景がある。本研究では、小型風洞に取り付けたアクティブ・グリッド(A・G)を用い、一定な主流速(5m/s)のもとで乱流場の乱流レイノルズ数( $R_\lambda$ )を系統的に変化させることで実験的な評価の難しいプルームの蛇行運動が主体となる短時間拡散場から相対拡散が主体となる長時間拡散場を形成し、連続点源から放出される粒子の乱流拡散現象を調べた。濃度場の計測はレーザシステムで行い、レーザの検査体積内を単位時間に通過する粒子個数から濃度場の平均および変動特性を得た。計測は流れ方向に $X/d=20\sim 300$ ( $d$ :トレーサ放出ノズル内径5mm)の範囲において11~13断面で行ったが、A・Gの振れ角 $\theta$ が $60^\circ$ 以上では蛇行が大きくなりすぎて、下流でプルームが風洞壁に達するため、計測の最下流位置を $X/d=120\sim 180$ に狭め、それぞれの断面において $Y$ 方向に約35点で行った。計測時間は乱流場の規模に応じ $60\sim 180$ secとした。濃度場の評価は主に、濃度場のEulerian計測から算出された平均濃度分布の分散データを、Taylorの拡散理論にフィットさせて算出したLagrangian特性量を用いて行った。平均濃度場の主な結果を以下に示す。(1)  $R_\lambda$ の増加に伴い分散が大きくなり、その拡散時間変化はTaylorの拡散理論と一致する。(2)  $R_\lambda$ を制御して乱流渦の寿命時間を変化させ、プルームの蛇行拡散が主体の短時間拡散から相対拡散が主体の長時間拡散まで異なる拡散機構の濃度特性を抽出した。なお、蛇行拡散の性質をとらえるためには、 $R_\lambda$ が約300以上必要である。(3) Lee and StoneのモデルにLagrangian特性量の計測値を適用することで、相対拡散( $\sigma_r^2$ )と蛇行拡散( $\sigma_m^2$ )の拡散時間変化を求め、各拡散過程において全拡散への相対拡散と蛇行拡散の寄与の違いを明らかにできた。また、Giffordの変動プルームモデルを用いて得られる全拡散の分散( $\sigma_T^2=\sigma_r^2+\sigma_m^2$ )は、本実験の全拡散値と良い一致を示した。

よって、申請者が提出した学位論文は、煙突等から放出される汚染物質の汚染源近くの地上付近にある住居地域等への影響を考慮する上で新規性を有する知見を与えるものであり、その成果は汚染物質を放出する工場や産業社会の主たるエネルギー源である各種発電所の環境アセスメント評価への大きな寄与が認められると判断できる。