

審査の結果の要旨

氏名 賈 鴻源

本研究は、「Study on Statistical Inference for Unknown Sources of Atmospheric Pollutants in Urban Environment (都市環境における未知空気汚染発生源の確率的推定に関する研究)」と題する。主たる内容は、都市環境における複雑な空気汚染物質の拡散問題への適用を目的として、ベイズ推定に基づいた未知汚染物質発生源の確率的推定手法に関して行った研究である。具体的には、まずスーパーガウス関数を用い、線状の発生源の幾何情報を取り扱えるよう確率的推定手法を拡張した。また、推定精度をより改善するため、非定常な随伴濃度解析手法を発生源同定手法に導入した。さらには、情報エントロピーに基づいたセンサー配置の最適化手法を提案し、同手法によるセンサー配置が推定精度に与える影響を考察した。

本論文は、以下の全7章により構成される。

第1章では、本研究の背景と目的、および本論文の構成を述べている。

第2章では、発生源同定手法に関する既往研究を紹介し、都市環境の特性に対応するために本研究が用いたベイズ推定手法の基本構造を説明している。

第3章では、線状の発生源の幾何情報も取り扱えるよう確率的発生源同定手法を拡張するため、スーパーガウス関数に基づく発生源モデルおよびベイズ推定を組み合わせた手法を提案している。そして、大気境界層を模擬した数値実験および都市街区空間を模擬した風洞実験データにより提案手法の有効性を検証した。また、同手法に基づいて線状の発生源を効率的に計測するためのセンサー配置への要求に関する検討を行った。

第4章と第5章では、都市空気環境における確率的発生源同定手法の推定精度をさらに改善するため、Large-eddy simulation (LES)を用いた非定常な随伴濃度解析手法ならびに同手法で問題となる大規模な流れ場データの圧縮手法の適用を提案している。特に第4章では、ウェーブレット分解に基づいた圧縮手法を用いて立方体で構成された市街地モデルにおける乱流流れ場の圧縮データベースを構築し、同手法の適用性を考察した。約100倍に圧縮した流れ場のデータベースにおいても大きな空間スケールの乱流構造が十分に維持され、汚染物質の拡散も高い精度で再現できることを確認した。また、第5章では、前章で構築した圧縮データベースを用いて随伴濃度方程式のLES解析を実施し、それにより得た随伴濃度が発生源同定精度へ与える影響を分析し

た。その推定結果を従来の定常な随伴濃度解析による結果と比較し、提案した手法の優位性を検証した。

第6章では、確率的発生源同定におけるセンサー配置の最適化のため、随伴濃度のエントロピーに基づいた目的関数と焼きなまし法を組み合わせた手法を提案している。同手法を用いて市街地モデルにおける最適なセンサー配置を求め、その配置を用いることで均等配置やランダム配置に比べてより高い推定が実現できることを明らかにした。

第7章では、本研究で得られた知見をまとめるとともに、今後の課題について示している。

安全かつ健康な都市の空気環境を維持するため、突発的な汚染事故が発生した際などにおいてはその未知の発生源を高速・高精度に推定することが必要である。この課題解決に寄与するため、本論文は複雑な形状をもつ都市領域に適用可能な確率的発生源同定手法およびそれに関わる技術を提案し、その有効性を明らかにした。本研究成果の活用により、都市内乱流場に存在する未知発生源の位置、強度、形状等の情報を高精度に推定することが可能となり、将来起こりうる汚染事故への備えに貢献することが期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。