

審査の結果の要旨

氏名 菊本 英紀

本研究は、化学反応性を示す大気汚染物質の数値流体解析に基づいた拡散シミュレーションモデルの開発に関して論じたものである。主に、都市街区内の乱流拡散場において、二分子化学反応が汚染物質の輸送過程に与える影響の解明、同反応の速度評価モデルの提案と検証、モデル評価用データの拡散実験による取得などを行っている。

本論文は大きく分けて序論、研究対象と研究手法の説明、本論、結論の4つの部分で構成される。章立てでは、全10章である。本論では、具体的に本研究で行った検討を報告しているが、これも大きく分けて、LES (Large-eddy simulation)による拡散解析とその高精度化(第4, 7, 8章)、拡散実験による予測モデル評価データの収集(第5, 6章)、およびRANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations)型モデルの開発(第9章)に関する研究課題によって構成される。

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、研究対象とする大気汚染に関してその概要や関連する既往研究を紹介している。

第3章では、研究対象とする乱流拡散場を数値的に解くための理論的背景や解析手法、また実験による検討手法に関してまとめている。

第4章では、Large-eddy simulation (LES)に簡易な二分子化学反応速度モデルを導入し、異なる建物高さをもつ都市キャニオンを対象とした解析を実施した。街区底部から発生する一酸化窒素と上空風に含まれるオゾンの輸送および反応過程を再現し、汚染物質の反応性と都市の換気性能の差が、複雑に街区内の濃度分布形成に寄与することを明らかにしている。

第5章では、都市キャニオン内乱流場での不活性物質の拡散実験を実施している。エチレンガスをトレーサーとして平均濃度や濃度変動強度などを計測し、その分布を示している。

第6章では、オゾンと窒素酸化物をトレーサーとして、都市キャニオン内乱流場での反応性物質の拡散実験を実施している。反応性物質の平均濃度分布を計測し、Reynolds数や第一Damköhler数、汚染物質発生量が与える影響を検討している。

第7章では、LESにおける二分子化学反応速度評価の高精度化を目指し、解析格子より小さいスケール(Subgrid-scale, SGS)での濃度分散の評価モデルの導入とその精度検証を行っている。SGSでの乱流エネルギーと濃度分散の輸送方程式を他の基礎方程式と解く手法

を採用し、第5章で行った不活性物質の拡散実験を解析対象とした。実験値との比較から、発生源近傍でまだ過小評価となる傾向があるものの、全体的には導入したSGS濃度分散モデルが妥当な結果を示したことを報告している。

第8章では、LESを用いた都市キャニオン内での汚染物質拡散の拡散予測に、SGS濃度分散が与える影響を明らかにするため、不活性および反応性物質の都市キャニオン内の拡散解析を実施している。前章と同じく、LESにSGSでの濃度分散の輸送方程式を連成した。まず、不活性な物質の都市キャニオン内での拡散解析を異なる格子解像度において実施し、解析モデルがSGSでの濃度分散を適切に予測できるものであることを確認した。その後、反応性物質の拡散解析に同モデルを適用し、SGS濃度分散の有無による平均濃度の差は極めて小さいものであったことを報告している。

第9章では、Reynolds平均型の乱流モデルを用いた解析においても、乱流場での濃度変動を考慮した二分子化学反応速度の評価を実現するため、反応物質濃度の相互相関のモデルの提案と数値実験による検証を行った。まず、乱流平行平板間流れにおける拡散と化学反応を対象としたLESによってモデルの妥当性を検証した。その後、同流れ場・拡散場を対象としたRANS解析に提案モデルを適用し、まだ過小評価の傾向はあるものの、同モデルが定性的には適切に濃度変動相関を評価し、反応速度の予測精度向上に貢献していることを確認している。

第10章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の検討課題を示している。

本論文は、大気中での化学的な変質過程を考慮した大気汚染物質の拡散予測モデルの開発に向けて新たな可能性に挑み、その発展に大きく貢献している。本研究で得られた知見は、乱流場での拡散が律速する反応速度を適切に評価することを可能とし、都市空間内での汚染物質の濃度分布予測を高精度に実現する基礎技術として、工学的、社会的な有用性は極めて高い。

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。