

公衆衛生工学手法による気中分散粒子系汚染物質の 人体曝露経路予測と制御

Prediction and Control of Human Exposure of Indoor
Aerosol Based on Public Health Engineering Approach

伊藤 一秀 (ITO KAZUHIDE)

九州大学・大学院総合理工学研究院・准教授



研究の概要

本研究では室内環境中に存在する気中分散粒子系汚染物質を対象として、建物スケールから人体スケールまでを連続して詳細に解析することで、呼吸に伴う人体曝露濃度を高精度に予測する手法を開発する。加えて、居住者集団の健康リスク評価までを統合して解析する包括的な予測・評価モデルを構築する。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備 5302

キーワード：公衆衛生工学、気中分散粒子、計算流体力学、曝露リスク

1. 研究開始当初の背景

室内空間にて過半の時間を過ごすといわれる現代社会において、建築により形成される室内空間の良否が Quality of Life (QOL) に与える影響は甚大である。重量比に換算した体内摂取物質量は定常的な呼吸による室内空気成分が支配要素となるため、室内空気環境の制御は健康リスクの観点では特に重要な課題である。

室内空気環境に関する問題は、様々な汚染物質が相互に影響し合う複合的な環境問題であるが、近年では気中分散粒子系汚染物質による空気汚染問題が顕在化しており、呼吸器疾患を始めとする各種のアレルギー症状を誘発する要因物質として対策が求められている。室内空気環境の改善のためにはその正確な濃度分布予測と濃度制御に関する対策技術の確立が急務である。

室内空気汚染問題に対して、公衆衛生的アプローチである疫学調査手法は一定量の母集団を確保することでマクロな健康リスク評価を可能とするが、実際の呼吸濃度や曝露濃度の評価といった人体周辺の不均一微気象を含めたミクロな解析を考慮に入れた評価はこれまででは対象外とされることが多かった。短期・長期曝露の両者の健康リスク評価の高精度化のためには、ミクロレベルである呼吸濃度の正確な予測から、マクロレベルである居住者集団の健康リスク評価までを統合して扱うことの出来る予測評価フレームが必要である。

2. 研究の目的

本研究ではこの問題意識のもと、次に示す3つの具体的な目的を設定する。

(1) 室内空気環境の気中分散粒子系汚染物質に着目し、その空気力学的・化学的・微生物学的特性を厳密にモデル化した詳細な数値予測手法を開発する。最終的には放散源を含む非定常不均一濃度分布の予測が可能な統合モデルを構築し、人体曝露経路を解明する。(工学的アプローチ)

(2) 室内空間を対象とした気中分散粒子系汚染物質の実態調査を行い、時間変動・空間分布に関する詳細データの把握を行うと共に、疫学アンケート調査を同時に実施することでリスク評価のための基礎データを蓄積する。最終的に健康リスク評価モデルを提案する。(公衆衛生的アプローチ)

(3) 旧来の公衆衛生学の研究手法に工学的な手法を併用した新たな研究アプローチを用いて、室内環境中の気中分散粒子系汚染物質を対象とした厳密な数値予測に基づく健康リスク評価手法の確立と空気環境制御法の提案を行う。

本研究の推進により新たな研究領域「公衆衛生工学：Public Health Engineering」を開拓・発展させる。

3. 研究の方法

本研究プロジェクトは工学アプローチを担当する研究クラスタ[A]と公衆衛生工学アプローチによる研究クラスタ[B]より構成し、

国内外の研究者と有機的な連携関係を構築しながら研究を推進する。

(1) 研究クラスター [A]

気相化学反応に起因する二次生成エアロゾルと微生物由来のバイオエアロゾルに着目し、人体呼吸器系への沈着作用等を詳細に調査すると共に、基礎実験データを基に粒径別数値モデル(気相化学反応モデル、生成モデル、沈着モデル、帯電凝集モデル、微生物増殖に伴うバイオエアロゾル放散モデル)を開発する。開発した各種数値モデルを計算流体力学(CFD)、数値人体モデル(Virtual Manikin)と連成させることで、非定常・不均一濃度分布の解析に加え、人体曝露経路の解明が可能な予測モデルを構築する。

(2) 研究クラスター [B]

短期滞在型の大規模空間と長期滞在型の住宅を対象として、気中分散粒子系汚染物質の季節変動を含む時間変動や空間分布の実態調査を行い、その情報をデータベース化する。住宅等の長期滞在スペースでは、疫学的統計手法を併用することで気中分散粒子系汚染物質と健康影響の関係を解明する。気中分散粒子系汚染物質の曝露濃度と健康影響に関する数理疫学モデルを作成すると共にモデル定数を同定する。

最終的には、研究クラスター[A]と[B]の成果を統合し、即ち、気中分散粒子系汚染物質による室内空気汚染問題の解明と対策技術確立のため、工学手法と公衆衛生学手法を統合し、空間の不均一濃度分布の詳細予測を基にした高精度の人体吸気濃度予測から個人曝露・集団曝露による健康リスク評価までを統合したフレームで扱う予測・評価手法を確立する。更にインフルエンザウィルス感染対策や生物剤・化学剤によるNBCテロ対策への活用も視野に入れ、高精度で汎用的な人体曝露経路予測手法を開発する。

4. これまでの成果

研究計画に従い、特に次に示す3点で成果を得ている。

(1) 粒子輸送に伴う各種数値モデル開発

沈着相濃度変化を陽に解析する新たな沈着モデルの提案と基礎実験によるモデル定数の同定、オゾン-テルペン類化学物質の気相反応に伴うSOA生成に関する、Bimolecular Reaction Model、Burst Nucleation Model等の提案と基礎実験によるモデル定数の同定、真菌胞子の輸送モデルと壁面沈着後の反応拡散系モデルによる増殖シミュレーションモデルの開発等を実施した。

(2) 高精度人体曝露濃度予測手法の開発

数百メートルスケールの建物空間から人体スケールさらには呼吸域スケールの、解像

度の大きく異なるスケールを統合・連続して解析する多段階ネスティング手法を用いた経気道曝露濃度予測手法を開発した。

(3) 数理疫学モデルとの連成解析手法

SIR型疫学モデルと高精度の人体曝露濃度予測シミュレーションを連成して解析する手法を開発した。

上述の(1)から(3)の成果を一つの汎用解析ソフトとして整理し、大規模大学病院の待合ロビー空間に適用した。特に、室内で放出された空気感染性汚染物質の濃度分布予測、感染伝播予測を行うと共に、多段階ネスティング手法を用いて、人体周辺領域から呼吸域までを統合して解析する経気道曝露濃度シミュレーションを実施した。

5. 今後の計画

気中分散粒子濃度の実態調査を継続すると共に、曝露濃度予測モデルの高精度化を進める。特に、鼻腔・口腔から気管支までを再現した呼吸器系モデルである数値解析用Airway modelを開発し、Virtual Manikinに組み込むことで、建物スケールから人体微気象スケール、更には人体内部の気道内までを一つの数値解析フレームに統合する計画である。また、長期曝露に伴う健康影響予測モデルの精度向上させるため、短い時間スケールの予測を得意とするCFD技術と年スケールの長期予測を可能とする質点系動的シミュレーションを統合した予測精度の高い連成解析モデルの構築を進める計画である。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む) 代表的な発表論文:

[1] Kazuhide Ito, Numerical Prediction Model for Fungal Growth Coupled with Hygrothermal Transfer in Building Materials, *Indoor and Built Environment*, in Press, 2012

[2] 伊藤一秀、他、病院待合スペースを対象とした非定常不均一濃度分布解析と疫学モデルの連成解析による空気感染伝播予測(第1報)、*空気調和・衛生工学会論文集*, No 173, pp19-26, 2011

[3] Kazuhide Ito and Hiroshi Harashima, Coupled CFD Analysis of size distributions on indoor secondary organic aerosol derived from ozone / limonene reactions, *Building and Environment*, 46 (3), pp711-718, 2011

代表的な受賞業績:

[1] The Best Paper Award (AIVC Int. Conf., 2010年)

[2] 空気調和・衛生工学会 論文賞 (2011年)

[3] JAABE Best Paper Award (2011年)

[4] 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞 (2011年)

[5] 日本建築学会賞(論文, 2012年)

ホームページ等 www.phe-kyudai.jp