

京都大学	博士（工学）	氏名	Vo Thi Le Ha
論文題目	Chemical characterization, source identification and health risk assessment of particulate matter pollutants in indoor environment, as a case study of Hanoi, Vietnam（屋内環境における粒子状汚染物質の化学特性、発生源同定、健康リスク評価、ベトナム、ハノイでの事例として）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文はベトナム、ハノイにおける屋内の粒子状汚染物質について、その化学特性、発生源、健康リスクについて検討したものであり、以下の7章から構成される。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の研究目的を示した。本論文は、室内環境における粒子状物質（PM）とその成分に関する体系的な情報を提供するとともに、ベトナムのハノイの事例として、発展途上国における室内汚染の状況を分析したものである。そのため、研究の焦点を次の3つに設定した。1）住宅における粒子状物質の特性として、質量サイズ分布、屋内と屋外のPMの関連性、影響因子など。2）PMの化学組成（PAHs、TEs）。3）PMの粒径分布によるヒト呼吸器系での沈着量分布と健康リスク評価との関係、および吸入曝露による居住者の健康リスク評価の実施。</p> <p>第2章では文献サーベイの結果を示した。室内および屋外環境におけるPMおよび揮発性有機化学物質（VOC）を対象とした65件の研究のうち、19件でベトナムの異なる室内環境におけるPM、VOC、および大気管理体系における現在の状況について報告した。その結果、PM（PM_{2.5}、PM₁₀、PM_{0.1}）およびBTEX（ベンゼン、トルエン、キシレン、エチルベンゼン）が住宅のキッチン、駐車場、オフィスなどの室内環境で高濃度であり、ベトナムの都市部ではPM_{2.5}およびベンゼンのレベルが、場合によりWHOガイドラインを超え、人間の健康に悪影響を与えることが明らかになった。屋内外の汚染物質の制御に焦点を当てた緩和努力が行われているが、技術的な規制、基準、IAQに関する効果的な介入の欠如のために、依然として不十分な状況にあることを述べた。</p> <p>第3章では室内空気汚染の調査結果を示した。ハノイの都市住宅におけるサイズ分画された粒子状物質の質量濃度の季節変化、屋内外のPMの関係、粒径分布、沈着量などについて検討を行った。夏と冬に4軒の住宅でPM_{0.1}、PM_{0.1-0.5}、PM_{0.5-1}、PM_{1-2.5}、PM_{2.5-10}、PM_{>10}を毎日1,200試料ずつナノサンプラー（3182型、Kinomax、流量40 L/min）で屋内と屋外で同時に採取した。4軒の住宅（K1、K2、K3、K4）は、自然換気の住宅を代表しており、K1（都市周辺部2階建て住宅）は、道路や工業地帯に近い場所に位置し、K2、K4（都市型多層住宅）は、人口密集地にあり、K3（道路敷地内多層住宅）は、交通密度の高い道路に隣接していた。測定の結果、屋内のPM_{0.1}、PM_{0.5}、PM₁、PM_{2.5}、PM₁₀の平均濃度は、4軒の住宅でそれぞれ5.3-8.9 μg/m³；10.8-20.1 μg/m³；20.5-47.6 μg/m³；33.7-105.9 μg/m³ および44.7-135 μg/m³の範囲にあることが示された。屋外のPM_{2.5}とPM₁₀の濃度は、屋内のPM_{2.5}とPM₁₀の濃度よりかなり高かったが、PM_{0.1}、PM_{0.5}、PM₁の濃度にはほとんど差がなかった。また、屋内のPM₁、PM_{2.5}、PM₁₀には有意な季節変動が見られたが、PM_{0.1}、PM_{0.5}には見られなかった。屋内粒子の大部分は屋外の発生源に由来すると考えられた。</p> <p>第4章では室内PMの粒径分布、屋内外の関係、沈着曝露量について検討した。室内粒子の粒径分布は一峰性を示し、最も濃度が高いのはミクロンサイズ（1-2.5 μm）であり、PM_{<0.5}とPM_{>10}では濃度が低かった。また、屋内外ともに、PM_{0.5-1}やPM_{1-2.5}などの微細粒子が粗大粒子より優位であり、人体に対する深刻な脅威を示唆している。マルチパス粒子曝露評価モデル（MPDM）を用いて、呼吸器系へのPMの沈着量を予測した。PM₁₀の総沈着量はPM_{2.5}、PM₁、PM_{0.5}、PM_{0.1}の総沈着量より大きかった。しかし、肺葉の総沈着率（DF）</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	Vo Thi Le Ha
------	--------	----	--------------

は、年齢区分により PM0.1 が最も高く、PM2.5, PM10, PM1, PM0.5 と続いた（PM10 については 21 歳のグループを除く）。PM10 は気道頭部に最も多く沈着し、PM0.1 は肺胞に最も多く沈着していた。

第 5 章では PM0.1 および PM2.5 の化学組成、発生源の特定、健康リスク評価について調査した。3 つの住居（K1, K2, K3 はそれぞれ都市周辺部、道路沿い、都市住宅を表す）で、季節ごとに 320 の PM0.1 および PM2.5 のサンプルを毎日収集した。試料は、10 種類の微量元素（TEs : Cr, Mn, Co, Cu, Ni, Zn, As, Cd, Sn, Pb）と 15 種類の PAH（15PAHs : Nap, Acy, Ace, Flu, Phe, Ant, Flt, Pyr, BaA, Chr, BbF, BaP, IcdP, DahA, BghiP）の分析に使用された。屋内と屋外の毎日の PM0.1 のサンプルは、2 つの同一の Nano Sampler II（Model 3182, KINOMAX）によって石英フィルター（直径 55 mm）に集められ、屋内と屋外の毎日の PM2.5 のサンプルも、繊維ホルダー付きの 2 つの同様のサイクロンサンプラー（URG-2000-30EH, University Research Glassware Co., Chapel Hill, NC, USA）によって流速 16.7 L/min で石英フィルター（直径 47 mm）に集められた。濃縮係数、診断比、主成分分析（CPA）を適用して、考えられる曝露源を同定した。国際放射線防護委員会（ICRP）モデルを用いて、吸入曝露による TEs または PAHs のヒト呼吸器官への沈着量分布を計算し、USEPA モデルを非自動車および自動車のリスク評価のために適用した。その結果、室内 PM0.1 と PM2.5 の平均濃度は、それぞれ 7.0-8.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と 43.3-105.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。室内 PM に結合した TEs の平均濃度は、PM0.1 では 66-216 ng/m^3 、PM2.5 では 391-2,356 ng/m^3 と幅があった。15PAHs の平均濃度は、屋内の PM2.5 と PM0.1 でそれぞれ 102.9 ng/m^3 -155.6 ng/m^3 , 25.3-52.9 ng/m^3 であった。PM2.5 と PM0.1 に結合した BaP の平均濃度は、それぞれ $2.6 \pm 0.4 \text{ ng}/\text{m}^3$ と $1.6 \pm 0.2 \text{ ng}/\text{m}^3$ で、欧州ガイドラインの閾値を超え、調査対象の 3 住宅で居住者の健康を損なう可能性を示す結果となった。屋外の発生源として家庭での石炭燃焼、産業廃棄物、交通機関の排ガスが、屋内の発生源として家庭の埃や室内燃焼が確認された。都市周辺部や沿道の家屋では屋外発生源（交通、石炭、バイオマス燃焼）が重要であり、都市部の家屋では屋内発生源（線香、ろうそく、天然ガス、樟脳、建材等からの蒸発や燃焼）が主な発生源となっていた。

第 6 章は屋内外の粒子状 PAH の特性と健康影響について検討した。PM2.5 に結合した TEs または PAHs の大部分は喉頭に沈着し、PM0.1 に結合した PAHs は肺胞領域に圧倒的に多く沈着していた。モンテカルロ・シミュレーションの結果、PM2.5 中の TEs による発がんリスクは、60 歳以上の人を除くすべての年齢層で許容範囲内であることが示された。また、例外として、冬場の道路沿いの家では、すべての年齢層で非発がんリスクが存在していた。一方、都市住宅の居住者が最も高いリスクに曝されており、BaP と DahA の摂取は、3 軒の住宅の居住者全員に対して累積発がんリスクは許容範囲内であるものの、都市住宅の高齢者グループに対して、個別の条件次第では発がんリスクを引き起こす可能性があることが示された。BaP_{eq} 濃度は、感度解析により過剰生涯発がんリスク（ILCR）の分散の約 87% から 98% に寄与していた。マクロ環境としては、WHO 法に基づく ILCR では潜在的な発がんリスクが高く、CalEPA および US EPA 法に基づく ILCR では発がんリスクは許容範囲内であった。

第 7 章は結論であり、研究の総括を行うとともに、今後の課題について言及した。