

(第6号様式)

学位論文審査の結果の要旨

氏名	Le Huu Tuyen
審査委員	主査 田辺 信介
	副査 岩田 久人
	副査 国末 達也
	副査 高橋 真

論文名

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Related Compounds in Urban and E-waste Recycling Sites of Vietnam and India: Occurrence, Distribution and Toxic Evaluation

(ベトナム・インドの都市および E-waste リサイクル地域における多環芳香族化合物とその関連物質：汚染の実態、分布および毒性評価に関する研究)

審査結果の要旨

経済成長の著しいアジア途上国では、都市域や工業地域における大気汚染が深刻化している。とくに交通量の多い幹線道路の周辺では、環境基準値を大幅に上回る粒子状物質 (PM) や Benzo[a]pyrene など多環芳香族化合物 (PAHs) が検出され、それら大気汚染物質によるヒトへの健康影響が懸念されている。また最近、アジア途上国の都市周辺には、パソコンやテレビなど電機・電子機器廃棄物 (E-waste) を解体・再生処理する中小工場の集落、すなわち‘リサイクル村’が存在している。リサイクル村では、しばしば E-waste の野焼きなど不適切な処理が行われており、ダイオキシン類や PAHs 等による環境汚染の顕在化が指摘されている。よって、アジア途上国の都市域や E-waste リサイクル地域における PAHs および関連物質による汚染実態の解明は、住民の健康リスク評価に不可欠であるとともに、今後の健全な都市開発、資源循環システム構築のためにも喫緊の課題である。

以上のような背景を踏まえ、本学位論文はベトナム・インドの都市および E-waste リサイクル地域を中心に、路上ダストや PM、土壌・堆積物試料を採取し、PAHs とその関連物質 MePAHs (メチル化 PAHs) による汚染の実態解明、分布・発生源の解析、ヒトの曝露リスク評価を試みた。また、*in vitro* バイオアッセイを用いて、路上ダストと PM 中のダイオキシン様/PAH 様活性やエストロゲン様活性を測定し、化学分析の結果と統合して各 PAH 関連物質の毒性寄与を解析した。得られた成果の概要は次のようにまとめられる。

- 1) ベトナムの都市域 (Hanoi) や郊外対照地域 (Duong Quang) およびインドの都市域 (New Delhi および Bangalore) で採取した路上ダストや PM について、PAHs と MePAHs の濃度を測定し、都市域の深刻な汚染実態を明らかにした。とくに Hanoi の汚染レベルは高く、既報の調査結果よりも PAHs が高値で検出されたことから、本都市域における大気汚染が急速に進行していることを指摘した。
- 2) ベトナムの都市域 (Hanoi) で採取した路上ダストや PM について、粒径別に試料を分画し、PAHs および MePAHs の濃度を測定した。その結果、粒径が小さい画分

- ほど両物質の濃度が高くなることを認め、とくに粒径 2.5 $\mu\text{m}$  以下の粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) で高濃度となることを明らかにした。
- 3) ベトナムの E-waste リサイクル地域 (Bui Dau) では、工場内外や野焼きが行われている周辺の土壌および堆積物から高濃度の PAHs や MePAHs を検出した。すなわち、E-waste の不適正処理により PAHs 関連物質が周辺環境へ放出されていることを示唆した。
  - 4) 都市域の路上ダストと PM について、MePAHs と構造が類似した PAHs との濃度相関を解析したところ、両者の間に有意な正の相関が認められ、それらの発生源は概ね共通していることを示した。さらに、PAHs や MePAHs の組成と濃度比に注目して発生源の解析を試み、PAHs に関しては自動車排ガスが主要発生源であること、MePAHs は一部の試料について燃焼起源以外に石油 (燃料) 起源の寄与があることを推察した。
  - 5) *in vitro* バイオアッセイにより、都市域の路上ダストや PM から高いダイオキシン様/PAH 様活性およびエストロゲン様活性を検出した。また、化学分析と *in vitro* バイオアッセイの結果を統合・解析したところ、ダイオキシン様/PAH 様活性に対しては Benzo[b,k]fluoranthene や Methylbenzo[a]anthracene が、エストロゲン様活性に対しては Chrysene が、高い寄与率を示すことを明らかにした。加えて、都市域の路上ダストや PM には、ダイオキシン様活性やエストロゲン様活性を示す未知の活性寄与物質が相当量存在することを指摘した。
  - 6) 本研究で得た結果に基づき、米国 EPA 等のリスク評価モデルを適用して都市域や E-waste リサイクル地域の住民に対する発ガンリスクを評価したところ、許容レベルを大きく超えるリスクが示されたことから、環境改善の必要性を提言した。

以上、本学位論文は、これまで不明であったベトナム・インドの都市および E-waste リサイクル地域の PAHs 関連物質による汚染に着目し、その汚染実態と発生源、リスクを初めて解明・解析した点が評価される。とくに MePAHs についてはアジア途上国における情報が極めて少なく、本研究は世界で初めてその分布や起源、ダイオキシン様活性に対する寄与を解明・解析した例であり、その学術的・社会的な意義はきわめて大きい。また、バイオアッセイと化学分析を統合した新たな手法の適用により、既知の PAHs 関連物質だけでなく、未知の活性寄与物質の存在を示唆するなど新規性の高い結果を得ている点も特筆すべき成果といえる。本研究で得られた成果は、途上国における都市活動、リサイクル処理活動に伴う PAHs 関連物質の発生と汚染に関して、貴重な基礎情報を提供しており、今後の都市環境の監視・改善や環境保全に配慮した資源循環システムの構築など、行政的・社会的な波及効果も期待できる。

本論文の公聴会は、平成 26 年 8 月 8 日に愛媛大学総合研究棟 I, 3 階共通ゼミ室において開催され、論文発表と質疑応答が行われた。引き続き学位論文審査委員会を開き、本論文の内容を審議した結果、委員全員一致して博士 (理学) の学位を授与するに値するものと判定した。