

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	藤井 佑介
論文題目	マレーシアPM _{2.5} の化学性状特性に対するインドネシア泥炭火災の影響		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、乾期に頻発するインドネシアの泥炭火災による越境ヘイズ (煙霧) 汚染問題に着目し、影響緩和に向けた取組や政策立案に必要な科学的知見として、泥炭火災発生源特有のPM_{2.5} (空気力学径2.5μm以下のPM [粒子状物質]) の化学性状特性を明らかにし、泥炭火災発源地域の風下に位置するマレー半島西岸 (マレーシア) におけるPM_{2.5}への泥炭火災寄与率を世界に先駆けて定量化した結果をまとめたもので、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、インドネシア泥炭火災の発生時期や発生したPM_{2.5}によるマレーシア及びシンガポールなど他国に越境するヘイズの被害、一般的なバイオマス燃焼におけるPM_{2.5}の性状について概観し、越境ヘイズの性状に関する科学的知見だけでなく、泥炭火災発生源におけるPM_{2.5}の化学性状に関する知見でさえ極めて不十分であるという現状について述べている。その上で、インドネシアの泥炭火災による影響緩和に向けた取組や政策立案のために、泥炭火災発生源におけるPM_{2.5}の化学性状特性及びマレーシアのPM_{2.5}濃度に対する泥炭火災寄与率を明らかにする必要・重要性を述べ、本論文の構成を示している。</p> <p>第2章はインドネシアの主要な泥炭火災発源地域であるスマトラ島のリアウ州で、泥炭火災発生源におけるPM_{2.5}捕集・分析 (対象成分: PM_{2.5}質量、有機炭素 (OC)、元素炭素 (EC)、無機イオン、有機化合物) を行い、多種多様な有機・無機成分の定量結果について議論している。泥炭火災発生源におけるPM_{2.5}質量濃度 (7.1 \pm 3.6 mg m⁻³) のうち70 %程度をOC成分が占め、有機物が特に重要な構成要素であることを示した。その上で、泥炭火災発生源のPM_{2.5}試料に対して有機成分分析を行い、PM_{2.5}質量の約14 %を占める有機化合物群を定量した。得られた化学性状データに基づき、インドネシア泥炭火災の発生源指標として、炭素数27~29の<i>n</i>-アルカンがPM_{2.5}質量に占める割合、シリリング酸とバニリン酸の濃度比 (SA/VA比) を提案した。</p> <p>第3章はマレー半島西岸に位置するマレーシアのバンギにおいて、インドネシアの泥炭火災発生源の影響を受けたヘイズ期間にPM試料を集中的に捕集し、化学分析 (対象成分: OC、EC、無機イオン、有機化合物) を通してインドネシアの泥炭火災の有無によるPMの化学性状の違いについて議論している。泥炭火災に起因するヘイズ時においてOCフラクション (OC1~OC4、OP) の一部のOC1とOP成分の著しい濃度上昇が他の化学成分より明らかに認められた。得られた化学性状データに基づき、OP/OC4比は、泥炭火災の影響が軽度でも観測地点において泥炭火災発生源の指標として極めて有効であることを、インドネシア発生源における観測結果等との比較によ</p>			

り発見した（泥炭火災の影響を受ける場合：OP/OC4比 > 4）。

第4章はマレーシアのバンギにおいて南西モンスーン季の中でも泥炭火災の有意な影響が認められない期間にPM_{2.5}試料を集中的に捕集し、重量・化学分析（対象成分：PM_{2.5}質量、OC、EC、無機イオン、金属）を通してPM_{2.5}の主要化学組成について議論している。Chemical Mass Closureモデルより、PM_{2.5}中の有機物濃度が最も高く（22 μg m⁻³）、次いで非海塩由来硫酸イオン（4.8 μg m⁻³）、EC（4.1 μg m⁻³）が高く、本観測地点周辺において含炭素成分がPM_{2.5}の主要構成要素であることを示した。

第5章は北東モンスーン季を含む1年間の長期観測から得られたマレーシアのプタリン・ジャヤ（マレー半島西岸）におけるPM_{2.5}試料を対象に、OC、EC、イオン成分、有機成分分析を行い、これら成分の年間変動を明らかにしている。また、第3章で示したOP/OC4比を用いて、PM_{2.5}試料を泥炭火災の影響を受けた試料とそうでない試料に区別し、それら試料間の化学性状の違いについて解析した結果、定量したPM_{2.5}化学成分のほとんどがインドネシアの泥炭火災による影響を受けたことが明らかになった。あわせて第2章で提案した泥炭火災の発生源指標であるSA/VA比の有効性も認められたが、OP/OC4比の方が泥炭火災による影響の違いを明瞭に識別可能であり、泥炭火災発生源の指標としての有用性はOP/OC4比の方が高いことを示した。

第6章は第5章で得られたPM_{2.5}化学成分濃度データを用い、PM_{2.5}質量濃度に対する泥炭火災発生源の寄与率を、統計モデルのPMF（Positive Matrix Factorization）法及びChemical Mass Closureモデルにより推定した結果をまとめている。南西モンスーン季のPM_{2.5}濃度に対する各発生源寄与濃度は、泥炭火災発生源が最も高い濃度寄与、次いで重油燃焼発生源が高い濃度寄与を示した。一方、北東モンスーン季のPM_{2.5}濃度に対する各発生源の寄与濃度は、土壌+バイオマス燃焼+産業の混合発生源が最も高い濃度寄与、次いで重油燃焼発生源が高い濃度寄与であることを示した。得られた計算結果に基づき、観測期間の1年間におけるプタリン・ジャヤ周辺における30歳以上を対象とした早期死亡率への泥炭火災発生源の影響について健康リスクモデルを用いて評価し、心肺疾患による死亡率が泥炭火災発生源により7.7 %、肺がんによる死亡率が8.1 %増加したと推定された。

第7章は結論であり、結果の要約・総括を行った上で本研究成果の活用及び今後の課題について述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、インドネシアの泥炭火災による越境ヘイズ（煙霧）汚染の影響緩和に向けた取組や政策立案に必須であるが、未だ科学的知見が乏しい泥炭火災発生源特有のPM_{2.5}化学性状特性を明らかにし、泥炭火災発源地域の風下に位置するマレー半島西岸におけるPM_{2.5}への泥炭火災寄与率を世界に先駆けて定量化した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) インドネシア・スマトラ島の泥炭火災発生源のPM_{2.5}集中観測から、その質量濃度の70 %程度を有機炭素 (OC) が占め、*n*-アルカン（特に炭素数27~29）がPM_{2.5}濃度に占める割合及び、シリング酸とバニリン酸の濃度比 (SA/VA) が泥炭火災の発生源指標として有効であることを示した。
- 2) マレーシアにおけるヘイズ時及び通常時の集中観測から、ヘイズ時にOC分画成分 (OC1~4、OP) 中のOC1及びOP成分の著しい濃度上昇が他の化学成分より明確に認められ、泥炭火災の影響が軽度な弱いヘイズ時でもOP/OC4濃度比が発生源の有効な指標となることを見出した。
- 3) マレーシアで1年間に渡って捕集されたPM_{2.5}試料に対する化学成分分析から、バイオマス燃焼由来の有機化合物成分の年間、季節変動を明らかにした。また、発生源指標として提案したSA/VA比の有効性が認められたが、OP/OC4比の方が泥炭火災発生源指標としての識別性に優れることがわかった。
- 4) 3)の化学成分濃度データに統計モデルであるPMF法を適用して発生源を同定し、PM_{2.5}主要成分であるOC濃度に対する泥炭火災の寄与率の年間変動パターンとOP/OC4比の変動がほぼ一致した。さらに、Chemical Mass Closureモデルにより、PM_{2.5}濃度に対する各発生源寄与率を求め、PM_{2.5}年間平均濃度に対して約30 %もの寄与となることが示された。

本論文は、東南アジアで特徴的なバイオマス燃焼、特にインドネシアの泥炭火災に伴うPM_{2.5}の多様な化学性状や影響国での発生源寄与率を明らかにしており、PM_{2.5}健康影響評価やリセプターでの発生源対策・国際協約履行にあたって重要な知見を提供するものである。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年2月22日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：平成 年 月 日以降