

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	Haryono Setiyo Huboyo
論文題目	Exposure Reduction to Indoor Air Pollution within Indonesian Rural Communities Using Wood Fuel (木質燃料を利用するインドネシア農村地域における室内空気汚染曝露の低減)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、インドネシア農村部の家庭において、調理時の木質燃料燃焼により発生する室内空気汚染物質への曝露を低減するため、環境の異なる沿岸と山岳地域の農村を対象に、各家庭における室内空気汚染の実測と詳細なアンケート調査を行い、CO及びPM<sub>2.5</sub> (粒径2.5<math>\mu</math>m以下の粒子状物質) による室内空気汚染の実態と関連要因の関係を総合的な視点から明らかにした上で、低減策を論じた結果をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、発展途上国の家庭におけるバイオマス燃料の利用状況と調理に伴って排出される室内空気汚染物質による健康被害について概観している。その上で、インドネシアでは特に農村部で調理時の木質燃料利用が室内空気汚染を引き起こしているが、地域環境、家屋の構造等の特性及び居住者の行動と室内空気汚染物質濃度との関係に係わるデータが乏しく、曝露被害低減策の策定に向けて、木質燃料利用による室内空気汚染と種々の影響要因との関係を明らかにする意義を述べ、本論文の構成を示している。</p> <p>第2章ではインドネシアの島別木質燃料使用量を推定し、粒子状物質による室内空気汚染実態の予備的検討を行っている。まず、インドネシア政府の統計データ、文献値とジャワ島山岳及び沿岸地域の農村における実測調査に基づいて、インドネシアの各島における都市及び農村別の木質燃料の年間消費量を初めて推計した。その結果、農村部は都市部の50倍の量を消費し、両者ともジャワ島が最大であることを明らかにしている。また、木質燃料と伝統的コンロを用いた調理時に発生する粒径別PM質量濃度を予備的に測定し、PM<sub>2.5</sub>がPM<sub>10</sub>濃度の約90%を占めることよりPM<sub>2.5</sub>による評価が重要であること、さらに、山岳農村部のPM<sub>10</sub>曝露量は沿岸部の約2倍であると述べている。</p> <p>第3章では、インドネシアジャワ島の山岳及び沿岸地域の各農村から無作為抽出した世帯に対して燃料の使用状況を調査している。その上で、木質燃料を使用すると回答した世帯について再度無作為抽出を行い、家屋及び世帯特性、居住者行動、室内空気汚染の認識度等のアンケート調査を実施し、台所のPM<sub>2.5</sub>濃度も計測して室内空気汚染に影響を与える要因について解析を行っている。調査の結果、両地域ともLPGと木質燃料の利用世帯が山岳部では約6割、沿岸部では約3割、LPGのみ利用世帯は山岳部で4割、沿岸部では約7割で、経済性、入手性、受容性の理由から木質燃料を利用している世帯が両地域とも依然多く、調理に木質燃料を用いたコンロ使用時間の方がLPGコンロより長いことが分かった。さらに、両地域における家屋の建材、居間や台所の室容積、調理時のドアや窓の開放度、換気面積の差異を示し、山岳地域の方が部屋、換気面積とも小さく、暖房の必要性が生じることなどから室内空気汚染のリスクが高いと述べている。すなわち、調理時の台所における世帯平均PM<sub>2.5</sub>濃度は山岳部の世帯が沿岸部の濃度の1.6倍にも達し、部屋の容積や調理時間の違いによることが示唆された。また、住民が認識している室内空気汚染の原因</p>			

や対策順位について両地域で大きく異なること、調理時の煙以外にタバコや蚊取線香の煙も汚染源として重要であることを明らかにしている。

第4章では、都市ガスコンロを用いた調理から発生するPM<sub>2.5</sub>やCOへの食材と調理方法の影響を評価するために、京都においてインドネシアに類似した環境条件で、自然換気状態の台所で都市ガスコンロを用いて、食材（豆腐とチキン）と調理法（ゆでる、揚げる）による台所と隣接部屋のCO濃度、PM<sub>2.5</sub>質量濃度、粒径別個数濃度分布、PM<sub>2.5</sub>中のEC(元素状炭素)・OC(有機炭素)濃度への影響について考察を加えている。

一方、固液燃料を用いるコンロについて、Water boiling testにより、自然換気状態で伝統的木質燃料コンロ、従来の木質燃料の代替となりうる*Jatropha curcas*（ナンヨウアブラギリ）の種子（JCS）を用いたコンロなど5種類のコンロの熱効率を評価し、試験用模擬台所で伝統的な木質燃料コンロとJCSコンロから発生するCO、PM<sub>2.5</sub>濃度や成分の計測から比較を行っている。その結果、JCSコンロは火力調整や長時間の使用は困難であるが、その熱効率は伝統的な木質燃料コンロの約2倍、調理する人のPM<sub>2.5</sub>曝露量は1/10以下となることから、その有用性を示している。また、コンロや換気状態によらずPM<sub>2.5</sub>の質量粒径分布は0.25μm以下が60%以上と支配的で、含有するEC及びイオン成分濃度の割合は、JCSコンロの方が高く、燃焼条件や燃料種の成分の違いによると述べている。

第5章では、前述のインドネシアの山岳及び沿岸地域の農村で、LPGと木質燃料を両方使用し調理の主燃料が木質燃料である世帯を対象に、台所と隣接部屋のCOおよびPM<sub>2.5</sub>質量濃度の日変化、PM<sub>2.5</sub>中のEC・OC・イオン成分濃度を計測し、両地域の生活様式等の社会経済要因、燃料種、その他、前章までの検討結果を踏まえて、両地域で大きく異なる室内空気汚染物質濃度との関係を総合的に考察している。また、調理する人のPM<sub>2.5</sub>日曝露量を推定し循環器疾患による相対リスクを明らかにしている。さらに、コンロや台所の特性パラメータを用いて室内PM<sub>2.5</sub>濃度を推定するボックスモデルを提案し、濃度が1mg/m<sup>3</sup>程度までであれば、実測値との適合性がよいと述べている。

第6章は結論であり、結果を要約するとともに総括を行い、インドネシア農村部における木質燃料使用に伴う室内空気汚染低減に向けて必要な短期、中期、長期プログラムについて言及している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、環境条件の異なるインドネシア沿岸と山岳地域の農村において、各家庭で調理時の木質燃料燃焼に伴う室内空気汚染の実測と詳細なアンケート調査を行い、CO及びPM<sub>2.5</sub>による室内空気汚染と関連要因の関係を総合的な視点から研究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) インドネシアの統計データ、文献値とジャワ島での実測調査に基づいて、各島における都市及び農村別の木質燃料の年間消費量を初めて推計し、農村部は都市部の50倍の量を消費し、両者ともジャワ島が最大であることを明らかにした。

2) ジャワ島の山岳及び沿岸地域の農村において、世帯主の職業・教育、住居の構造・建材、部屋の容積・換気状態、調理時間、使用燃料種、室内空気汚染の認識度について、従前皆無であった詳細なアンケート調査を行い、両地域で状況が大きく異なること、また、木質燃料のみの使用世帯は5%以下で、LPGと木質燃料の両者を使用する家庭が山岳地域で約60%、沿岸地域では30%に及ぶが、何れの地域でも調理用木質燃料を用いたコンロ使用時間の方がLPGコンロより長いこと、木質燃料の使用に関わる社会経済的要因を示した。

3) 自然換気状態でWater boiling testにより5種類の固液燃料を用いるコンロの熱効率を評価し、試験用模擬台所で伝統的な木質燃料コンロと*Jatropha curcas* (ナンヨウアブラギリ) の種子 (JCS) を用いたコンロから発生するCO、PM<sub>2.5</sub>濃度や含有成分の計測を行った結果、JCSコンロの熱効率は伝統的な木質燃料コンロの約2倍、調理する人のPM<sub>2.5</sub>曝露量は1/10以下となることを明らかにした。また、PM<sub>2.5</sub>中の元素状炭素及びイオン成分濃度の割合は、JCSコンロの方が高く、燃焼条件や燃料種の成分の違いによることが示唆された。

4) ジャワ島の山岳及び沿岸地域の農村において、木質燃料を調理の主燃料とする家庭を対象に行った室内空気汚染の24時間連続測定から、コンロ近傍では両地域のPM<sub>2.5</sub>濃度に有意差はないが、台所中央の濃度は建物の特性を反映して山岳部は沿岸部の2倍となり、有機炭素プロファイルとイオン成分のPM<sub>2.5</sub>比率から両地域の燃焼状態が異なることが明らかとなった。また、調理する人のPM<sub>2.5</sub>日曝露量を推定して循環器疾患による相対リスクを示した。さらに、CO濃度変化より求めた部屋の空気交換速度、台所やコンロの特性パラメータを用いて室内PM<sub>2.5</sub>濃度を推定するボックスモデルを提案し、濃度が1mg/m<sup>3</sup>程度までは実測値との適合性がよいことを示した。

本研究では、調理時の木質燃料燃焼による室内空気汚染物質と影響要因との関係について社会経済的要因も含めて総合的な分析を行い、新規かつ重要な知見を得ている。さらに、これらの結果に基づいて、短期から長期にわたるCOやPM<sub>2.5</sub>の室内空気汚染低減策を提案しており、インドネシア政府等の政策決定に寄与するところも大きい。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25年3月21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： 年 月 日以降