

京都大学	博士（工学）	氏名	UTTAJUG ATHICHA
論文題目	Health impacts of particulate matter from vegetation fire events and regulatory intervention for smoke haze control in Upper Northern Thailand （タイ北部における野焼き由来の粒子状物質、および煙霧コントロールのための規制介入の健康インパクト）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、東南アジアで広く行われている野焼き由来の大気汚染物質による環境影響の問題について、タイ北部の経時データを用い、粒子状物質濃度と地域住民への健康影響を明らかにするとともに、野焼き由来の煙霧をコントロールのための規制介入による大気質の改善や健康被害の予防効果を定量化し、それらの結果をまとめたものである。以下の6章からなる。</p> <p>第1章は序論であり、東南アジア、特にタイ北部における野焼き由来の大気汚染物質や人の健康に及ぼす影響について、過去の文献情報を用いて概説している。野焼き由来の大気汚染物質と人健康との関連について、呼吸器疾患による入院や救急外来受診が増えるとする疫学知見が多い一方で、循環器疾患への影響については、結果が一致していないことを論じた。文献調査の結果は表 1.1 にまとめられ、第4章の野焼き由来煙霧による外来受診数推定に用いられた。また、野焼き由来の大気汚染物質曝露について、小児が高感受性集団であることを示した。一方、これらの疫学研究で用いられる曝露評価について整理をし、粒子状物質(PM)については、地上観測データが多く用いられてきているものの、野焼きが盛んな地域、特に開発途上国では地上観測が整備されておらず正確な曝露評価が困難であること、近年では衛星データやシミュレーションモデルを用いた火災由来PM濃度推定が行われていることを示した。また、野焼き規制の歴史的な経緯を詳細に説明するとともに、規制や政策の効果を疫学的に明らかにする分割時系列解析 (Interrupted time-series analysis, 以後 ITS) の方法について整理した。近年、ITS を疫学研究に応用する例が増えている。規制や政策が行われてた場合とそれらがなかった場合(counterfactual)の健康事象の発生頻度を比較して、その効果を評価する方法であるが、規制や政策以外の要因の可能性もありうるため、様々な対照との比較が必要となることを論じた。</p> <p>第2章は、2014～2018年のタイ北部8県 (Chiangmai, Chiangrai, Lamphun, Lampang, Mae Hong Son, Nan, Phayao, Phrae) における小児 (15歳以下) の呼吸器疾患による外来受診のデータと、粒子径が 10μ 以下の粒子状物質 (PM₁₀) のデータを用いて、野焼き由来のPMが外来受診に及ぼす影響を解析し、その結果を報告した。PM₁₀ は様々な発生源から排出されるため、本研究では衛星画像から得られたホットスポット情報を用いて野焼き由来のPM₁₀ を定量化した。すなわち、①地域全体のホットスポット数が10 (90パーセントイル) を超え、かつ②PM₁₀ 濃度が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える日を burning day、ホットスポットがみられず、かつPM₁₀ 濃度が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えない日を non-burning day、それ以外の日を mixed day と分類し、それぞれの日について、PM₁₀ が外来受診に及ぼす影響推定値について求めた。5年間の各県における burning day は87 (Nan) ～139 (Mae Hong Son) 日で、burning day の平均PM₁₀ 濃度は $125\sim 160\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。一方、mixed day, non-burning day のPM₁₀ 濃度はそれぞれ、$43\sim 55\mu\text{g}/\text{m}^3$、$18\sim 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。PM₁₀ が $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増えた場合の呼吸器疾患による受診のオッズ比 (地域全体) は、burning day では1.01 (95%信頼区間、以後95%CI:1.00, 1.02) であり有意な上昇が見られたが、non-burning day のオッズ比1.03 (95%CI:1.02, 1.04) より小さかった。mixed day ではオッズ比の有意な上昇は見られなかった。結膜炎や皮膚炎との関連についても検討されたが、burning day におけるPM₁₀ と結膜炎や皮膚炎との関連は見られなかった。年齢による感受性の違いについて、0～4歳および5～14歳について分けた解析を行ったが違いは見られなかった。野焼き由来PMの評価について、上述の2つのクライテリアについて、①ホットスポット数のカットオフを75あるいは99パーセントイルに変更した場合や②PM₁₀ 濃度を $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上とした場合の感度分析も併せて行ったが、結果は変わりなかった。本章の検討により、野焼き由来PM₁₀ が小児の呼吸器疾患による外来受診を増やす可能性が示された。</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	UTTAJUG ATHICHA
<p>第3章では、2016年に強化された野焼き禁止がPM10低下を介して、健康影響を減らしているかどうかを検証するために、第2章と同じくタイ北部8県において呼吸器疾患による外来受診データにITSを適用した解析を行った。第1章で論じられたように、外来受診数に関わる様々な要因として、人口の変化・年齢構成の変化を考慮するため、年齢調整した呼吸器疾患外来受診数(日ごと)を算出し、規制前(2014~2016年)と規制後(2017~2018)とで比較した。また、大気汚染曝露に影響されない胃腸疾患による外来受診数を比較対照とした。県別解析では、規制後のホットスポット数は14.3~81.5%、PM10濃度は5.3~34.3%の減少が見られた。年齢調整した呼吸器疾患外来受診数は5県において6.5~18.8%減少しており、他の県でもわずかに減少した。一方、年齢調整した胃腸疾患外来受診数は5.7~64.6%増加した。季節変動、人口、曜日、病院数、気象条件を考慮した解析では、すべての県の結果を統合したところ呼吸器疾患による外来受診は規制後に8.7%(95%CI: 4.3~12.9%)減少したことが示された。一方、胃腸疾患では規制後に受診数の有意な変化は見られなかった。規制による大気汚染物質濃度の低下を示した報告は多いが、健康影響が減少することを示した報告はほとんどなく、また、他の要因(人口、病院数、他疾患との比較)も考慮しており、健康影響の観点から規制・政策の有効性を示し定量化した点で学術的意義は大きい。</p> <p>第4章では、第2章で得られた影響推定値を用い、同地域における野焼き由来PM10の健康インパクト、すなわち野焼き由来PM10が関係する呼吸器疾患による外来受診数を推定した。本章の推定では、2014~2018年の5年間における野焼き由来PM10関連呼吸器疾患受診数は75380件であり、その寄与割合は通年で0.7%、野焼き期間では11.6%であることを示した。呼吸器疾患は様々な要因により引き起こされる。呼吸器疾患全体における野焼き由来PM10の寄与割合を定量化することは、地域の疾病負荷評価にも関わり政策と深くかかわる。インドネシアでは泥炭地火災由来のPMが寄与する死亡数を推定する報告が複数あるが、タイ北部については、このような疾病負荷研究は報告されていない。また、過去の疫学知見を用いた寄与割合推定を行うとともに、野焼き由来PM10濃度に関わる不確実性についても検討している。</p> <p>第5章は、本論文で得られた成果について要約するとともに、それぞれの結果が意味するところについて説明した。第2章で得られた結果から、野焼き由来PM10と小児の呼吸器疾患との因果関係について示唆するとともに、この定量的な結果を野焼きにより引き起こされる疾病負荷を評価するためのリスク関数に用いることを提案している。第3章で得られた結果は、厳しい野焼き禁止が呼吸器疾患による外来受診を減らしており、他の地域への厳しい規制の効果を支持する科学的知見となる。第4章の結果は、疾病負荷の定量化のころみであり、不確実性についても検討したうえで、同手法を煙霧に対する政策実施のコスト・ベネフィット解析に用いることを提案している。</p> <p>第6章では、5章までの内容を踏まえたうえで、今後の課題と求められる研究について論じている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、野焼き由来 PM 曝露の健康影響について、タイ北部のデータを用い、異なる研究デザインを用いて定量的に評価した。特に、健康影響を明らかにするだけでなく、2016 年からの野焼き禁止がどの程度、健康被害の低減に寄与したか、定量的に評価したことは評価に値する。主な成果は以下のとおりである。

1. 野焼き・森林火災由来の PM の健康影響は、世界的にも関心が高くなっており、アジアにおいてもインドネシア・マレーシアの泥炭地火災は注目を集めており、疫学研究も数多く行われている。一方、タイ北部の野焼き由来の大気汚染に対する注目はそれほど大きくなく、疫学研究はほとんど行われてこなかった。本論文では疫学的アプローチを用いて、高感受性集団である小児の呼吸器疾患による受診数との関連について検討し、その因果関係を示唆してその健康影響を定量的に評価した。また、野焼き由来とそれ以外の発生源からの PM10 による健康影響を間接的に推定・比較することにより、異なる発生源からの PM10 の毒性が異なる可能性を示した。
2. PM は様々な発生源から排出されるため、野焼き由来 PM 濃度の評価は困難である。特に野焼きは地上観測が整備されていない開発途上国で行われることが多い。本論文で用いられた衛星情報（ホットスポット）を用いた野焼き由来 PM10 濃度推定は、間接的ではあるものの、このような地域での野焼き関連の大気汚染物質の曝露評価推定への応用が期待される。
3. 野焼きに対する規制の効果の評価には大気汚染物質濃度の低減で示されることが多い。しかし、大気汚染物質濃度の低下が、地域の公衆衛生を改善しているかどうかまで検討した研究はこれまでない。本論文では初めて野焼き禁止が呼吸器疾患による外来受診数を減少させたことを示した。
4. 呼吸器疾患による受診全体のうち、野焼き由来 PM10 の寄与が示された。推定には不確実性が残るものの、規制・政策による健康影響低減効果の定量化が可能となることを示した。

上記で説明された 3 つの研究から構成される本論文は、野焼き由来大気汚染の健康影響と野焼き禁止の健康に対する効果について、タイ北部の野焼きを例とし、互いにリンクする異なる研究デザインを用いて明らかにした。特に、この研究で得られた疾病負荷の大きさは、野焼き由来の煙霧による呼吸器疾患発生の影響が無視できないこと、野焼き禁止の効果が大きいことが説得力をもって示された。これらの成果は、規制・政策実施の効果を定量的に評価する方法論を提示し、大気環境政策に大きく資するものであって、学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 3 年 8 月 19 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。