

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H03957

研究課題名(和文) 途上国での室内PM2.5汚染を事例としたIoTヘルスプロモーションの方法論構築

研究課題名(英文) Action Research of IoT Health Promotion on Indoor PM2.5 Contamination in Developing Countries

研究代表者

石垣 陽 (Ishigaki, Yo)

電気通信大学・国際社会実装センター・特任教授

研究者番号：50723350

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：家族を竈の煙から守ることをテーマに、本邦の優れた測定器/IoTなどのデジタル技術と、子供向け教育コンテンツなどのアナログ技術を組み合わせて現地フィールドワークと介入を行うことで、地域看護の観点からPM2.5曝露を低減させるための行動変容の促進を試行した。コロナによる渡航延期もあったが、最終年度は計画通り現地での実証実験(42世帯を対象)を実施でき、その効果を定量的に評価した。最終的には、次の2つの点で学術的な成果を達成することができた：(1)教育を核として、家庭内～地域でのヘルスコミュニケーションを促進、(2)高度なICT技術を活用し、看護×情報工学の学際化を達成。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界では28億人が薪や炭を燃料とする原始的なストーブを使って室内で調理をしており、高濃度のPM2.5曝露により年間400万人が早死する(WHO 2018)。これら死者の5割以上は母子で、呼吸器疾患による5歳以下の子供の死亡原因の半数は室内でのPM2.5曝露に起因すると推定されている。研究代表者らとルワンダ環境省の調査では調理時の室内PM2.5濃度は日平均は150ug/m3程度(米国EPAの指標では「非常に不健康」と推定された。本調査地域の最終学歴は小学校が過半数で識字率も3割程度である。状況改善のためには、世帯住民が健康情報を理解し、自ら意思決定するための能力を得る新しい方策が求められる。

研究成果の概要(英文)：Under the theme of protecting families from smoke generated from open fire stoves, the project attempted to promote behavior change to reduce PM2.5 exposure from the perspective of community nursing by combining excellent Japanese digital technologies such as measuring instruments/IoT and analog technologies such as educational contents for children to conduct local fieldwork and intervention.

Although there were some travel postponements due to the corona, in the final year of the project, we were able to conduct the field demonstration (targeting 42 households) as planned and quantitatively evaluate its effectiveness. In the end, we were able to achieve academic results in the following two respects:

- i. Promoting health communication within the household to the community, with education at the core.
- ii. Achievement of interdisciplinary nursing x information engineering by utilizing advanced ICT technology.

研究分野：リスク情報学

キーワード：グローバルサウス SDGs 大気汚染 室内環境 ジェンダー かまど 行動変容 リスクアウェアネス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界では28億人が薪や炭を燃料とする原始的なストーブを使って室内で調理をしており、高濃度のPM2.5への曝露によって年間400万人が早死する(WHO 2018)。これら死者の5割以上は母子であり、呼吸器疾患による5歳以下の子供の死亡原因の半数は室内でのPM2.5曝露に起因すると推定されている。研究代表者らはルワンダ環境省(REMA)から室内環境の調査要望を受け、独自に開発したスマホ接続型のモバイルPM2.5センサ(以下スマホセンサ)を現地に持ち込み予備調査を行った。その結果、調理時の室内PM2.5濃度は平均1,200ug/m³、日平均は150ug/m³程度と推定された。これは本邦環境基準(日平均35ug/m³)と比較して極めて高い。また米国EPAの指標では日平均150ug/m³以上は「非常に不健康」とされ、長期的な健康被害のみならず、妊婦や子供など高感受性群への急性影響も懸念される。またフィールドワークからは、次の3つの知見が得られた。

- (1) 参加した成人全員がPM2.5を知らず、多数が呼吸器系の不調を覚えるものの煙のリスクを全く認識していなかった。また最終学歴は小学校が過半数で、残り3割は学校へ通ったことがなく、識字率も3割程度であった。ヘルスリテラシーは識字率や情報処理能力に大きく依存する。状況改善のためには、世帯住民が健康情報を入手・理解・評価し、自ら意思決定するための知識・意欲・能力を向上させるための新しい方策が求められる。
- (2) 現地世帯は政府基準で7割がVery poor及びPoorに分類される貧困・低所得層であり、ガス化が一向に進まない。他方、米MITを中心に改良型ストーブ(ICS)と呼ばれる煤煙の少ない燃料とストーブが提唱されている。しかし現地の薪ストーブは「石を3つ並べて雑木をくべる」だけの無料の道具であり、コストのかかるICSへの切り替えは困難を極めている。
- (3) 携帯通信の人口カバー率は9割以上あり、住民はスマホも使いこなす。住民の前で実際にスマホセンサを用いて測定したところ、調理場に入った瞬間にPM2.5測定値が急上昇した。これを見た住民は皆一様に驚き、強いリスク認知・理解に寄与できたといえる。行動変容の動機づけには個人のリスクへの「気づき」が重要だとされ、行動変容のためにはその成果を認識し「自己肯定感」を高めることが重要である。手軽なスマホを用いてリスクに気づき、改善効果を実感できれば、健康行動の変容に寄与できるだろう。

2. 研究の目的

本研究ではルワンダの農村部を実証地域として、(1)リスクアウェアネス(1次予防)、(2)スマホセンサでの可視化による親子のリスク対話(2次予防)、(3)コミュニティ活動としての住環境改修とその成果の共有(介入)、(4)センサによる長期経過観察(3次予防)を行い、新しいヘルスプロモーション手法の有効性を検証することを目的とする。

ルワンダは94年の大虐殺以降、国際支援による経済発展、治安回復、感染症の克服、初等教育の充実、あるいは腐敗撲滅を達成し、「アフリカの奇跡」とも呼ばれる。しかし発展の一方で、農村部の薪ストーブの使用率は依然98.3%であり、早急な解決が求められる。ここで有効なヘルスプロモーション方法論が構築できれば、同様の問題を抱えるアフリカ諸国や東南アジアへも横展開が期待できるだろう

3. 研究の方法

(1) 1次予防として保健教育を行った。授業では「家族を煙から守る」をテーマに、PM2.5について科学実験を交えて教えた。次に(2) 2次予防として、スマホセンサを自宅へ持ち込み、

同意を得て調理時の PM2.5 濃度を可視化した。さらに現地の子供に興味をもってもらえる方法で学習コンテンツを提供し、家族と対話してもらうことで、リスクの定量的な認知と世帯全体としての問題認識への発展を狙った。次に高曝露が懸念される世帯群を測定結果からスクリーニングし、世帯や自治会長等の同意を得た上で住環境を改修するための(3)介入を実施した。介入については、低所得に配慮し、自分たちの力で無料または少額で実施できる方策とした(例：開口を空け自然換気を促す、土竈を制作、マスク装着の奨励、電気代がいらぬ安価なソーラーファンを設置)。最後に(4)3次予防として、介入した世帯で長期測定を行い、効果検証と再発防止に繋げた。フィールドワークの対象地域(農村部)及び協力世帯は、Gasabo District (21世帯)、Muhanga District (11世帯)、Rulindo District (10世帯)である。

4. 研究成果

家族を竈の煙から守ることをテーマに、本邦の優れた測定器/IoT などのデジタル技術と、子供向け教育コンテンツなどのアナログ技術を組み合わせ、現地フィールドワークと介入を行うことで、地域看護の観点から PM2.5 曝露を低減させるための行動変容の促進を試行し、次の3つの点で学術的な成果を達成することができた。



1) 地域全体の PM2.5 のバックグラウンドレベルを GPS を搭載した移動型センサによって可視化した(図1)。

図1 ルワンダの屋外 PM2.5 レベル

次にルワンダの農村部の12世帯においてフィールドワークの拠点を展開し、固定及び可搬型モニタを用いて PM2.5 及び PM10 の世帯での室内濃度と個人曝露量を約1か月にわたり連続測定した。可搬型測定器は実験協力者の首からかけて起床時はずっと身に付けてもらった(図2)。併せて、燃料の種類や世帯の基本的属性も質問紙により調査し、それらの相関を分析した。これにより、ルワンダの農村部において、バックグラウンドよりも高い PM の個人曝露が発生していることが定量化された。また、ガスと比べて薪ストーブを使用した場合、PM2.5 濃度が大きく上昇することもわかった(図3)。



図2 可搬型測定器

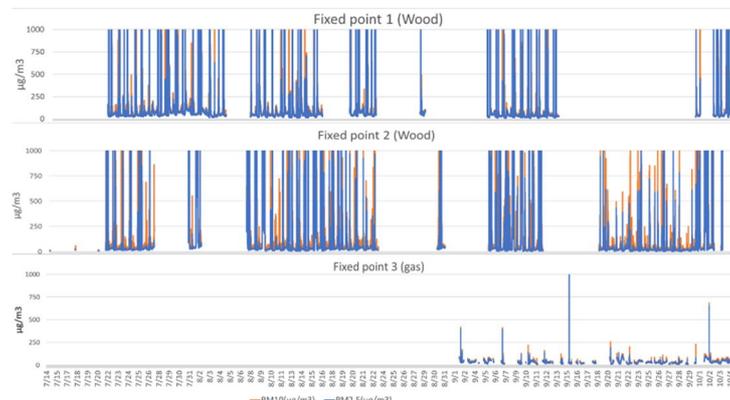


図3 世帯・使用燃料ごとの室内 PM2.5・PM10 濃度の時系列変化

2) マスク装着やソーラー換気扇といった一般的な対策に加えて、現地の所得に配慮して、地域にある材料のみを使った竈の制作を試み、その効果を評価した(図4)。この竈はカマドヨーコとして JICA の Web ページで公開されていたもので、文献等が出版されていなかったことから、考案者に直接連絡をとり、ビデオやマニュアルを入手して制作方法を習得した。

次に Nyamirambo 村の世帯の協力を得て、実際に現地の材料のみで竈を制作した(図4)。当該世帯でこれまで使っていたストーブと、カマドヨーコ方式の竈において、PM2.5 の排出量を比較調査した結果、大幅に PM2.5 の排出量を削減できることがわかった(図5)。



図4 地域の材料のみで竈を制作するコミュニティ活動実践の様子

	ストーブ周辺(薪)			テラス			庭の反対側			室内			ストーブ周辺(炭)		
2021/04/29	A地点			B地点			C地点			D地点			E地点		
測定項目	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値
専用測定器 PM2.5	7.5	32.3	19.9	6.5	55.9	31.2	9.5	30.6	20.1	102.0	48.3	75.2	19.6	15.9	17.8
専用測定器 PM10	10.2	32.9	21.6	7.0	54.0	30.5	10.4	32.0	21.2	114.0	57.2	85.6	22.5	18.6	20.6
たまごっち型 AQI	35.0	190.0	112.5	35.0	352.0	193.5	51.0	160.0	105.5	241.0	85.0	163.0	158.0	113.0	135.5
たまごっち型 PM1.0	34.0	79.0	56.5	9.0	228.0	118.5	13.0	60.0	36.5	136.0	32.0	84.0	68.0	36.0	52.0
たまごっち型 PM2.5	44.0	63.0	53.5	11.0	308.0	159.5	17.0	70.0	43.5	189.0	44.0	116.5	90.0	36.0	63.0
たまごっち型 PM10	44.0	59.0	51.5	13.0	315.0	164.0	21.0	69.0	45.0	207.0	51.0	129.0	93.0	31.0	62.0

	ストーブ周辺(薪)			テラス			庭の反対側			室内			ストーブ周辺(炭)		
2021/02/19	A地点			B地点			C地点			D地点			E地点		
測定項目	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値	1回目	2回目	平均値
専用測定器 PM2.5	39.4	35.4	37.4	36.9	35.0	36.0	37.5	34.0	35.8	36.0	38.6	37.3	37.8	45.8	41.8
専用測定器 PM10	45.4	56.2	50.8	47.9	42.8	45.4	46.0	43.8	44.9	41.8	45.2	43.5	46.7	47.8	47.3
たまごっち型 AQI	165.0	190.0	177.5	157.0	153.0	155.0	158.0	157.0	157.5	164.0	168.0	166.0	162.0	158.0	160.0
たまごっち型 PM1.0	60.0	98.0	79.0	52.0	48.0	50.0	54.0	52.0	53.0	59.0	62.0	60.5	48.0	52.0	50.0
たまごっち型 PM2.5	90.0	131.0	110.5	77.0	90.0	83.5	79.0	76.0	77.5	89.0	97.0	93.0	82.0	77.0	79.5
たまごっち型 PM10	93.0	135.0	114.0	82.0	75.0	78.5	89.0	80.0	84.5	93.0	100.0	96.5	87.0	78.0	82.5

図5 PM2.5 濃度の比較(上:従来のストーブ、下:カマドヨーコ)

併せて目が痛いなどの症状も緩和されることがわかり、地域ではこの竈のうわさがひろがり、周辺住民に作り方を教えるなどの広がりも起きた。実験期間終了後も、カマドヨーコは大切に使われているという報告を受けている。

3) 高度な ICT 技術を活用し、看護×情報工学の学際化を達成した: 農村部でもスマホ普及率が高いことに着目し、独自に開発したスマホセンサによるリスクの定量的な認知支援、IoT による曝露量スクリーニング、さらに長期測定による再発防止までを包含した、看護×情報工学の融合による独自の見守りシステムを実証した。同時に、家屋状況に応じた現実的な解決策を分析・検討した。教育を核として、家庭内~地域でのヘルスコミュニケーションを促進した。PM2.5 の問題を家に持ち帰り親子で話し合うことで、世帯全体の問題認識に発展させた結果、リスクア

ウェアネスが向上することが確かめられた。また、地域活動やソーシャルメディアを利用し、現実とバーチャルコミュニティの両面によるヘルスコミュニケーションを実践した。なお本邦でも近年、保健教育を活用した健康管理指導が重要視されている（日本学術会議:子どもの健康分科会レポート 2010）。ヘルスコミュニケーションにおいては、世帯の子供にも興味をもってもらえるよう、日本式の紙芝居を取り入れた教育コンテンツも実践した（図6）。



図6 PM2.5 曝露低減に向けた健康教育の様子
左：子どもは紙芝居を珍しそうに見入っていた。
右：測定器による PM2.5 濃度の可視化の様子。

これらの紙芝居や PM2.5 測定といった体験型コンテンツを含むインタラクティブな教育の結果、PM2.5 の曝露低減に向けた行動変容が促進され、その効果は2週間後でも維持されることが明らかになった。

以上の通り、地域住民の住む村や町 3 カ所で個人曝露の測定や健康教育などの長期フィールドワークを達成できた。バイオマス燃料の調理用ストーブを使用している家庭は、貧困な家庭が多く、また、大人は煙による呼吸器の症状を多く訴えていることが改めて感じられた。

研究の途中、新型コロナウイルスの影響によりフィールドワークを一時中断することとなったが、リモートワークなどを駆使し、なんとか期間内に目標のデータを収集することができた。最終年度では、これらのデータを精査・分析し学会に投稿発表できた（予定を含む）。改めて、このような研究のチャンスを頂いたことに感謝する。

以上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Win-Yu Aung, Paw-Min-Thein-Oo, Zaw-Lin Thein, Sadao Matsuzawa, Takehiro Suzuki, Yo Ishigaki, Akihiro Fushimi, Ohn Mar, Daisuke Nakajima & Tin-Tin Win-Shwe	4. 巻 18
2. 論文標題 Effect of COVID-19-restrictive measures on ambient particulate matter pollution in Yangon, Myanmar	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Health and Preventive Medicine	6. 最初と最後の頁 0-0
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s12199-021-01014-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Mon E.E., Maw C.C., Suzuki T.(鈴木武博), Ishigaki Y., Nakajima D.(中島大介), Tin-Tin-Win-Shwe(Tin-Tin-Win-Shwe)
2. 発表標題 Determination of Particulate Matters (PM2.5 and PM10) in Three Quarters and Traditional Snack Shops in Meiktila City, Myanmar
3. 学会等名 The 44th Annual Research Meeting of Lashio University (2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tin-Tin-Win-Shwe(Tin-Tin-Win-Shwe), Mar O., Suzuki T.(鈴木武博), Ishigaki Y., Nakajima D.(中島大介)
2. 発表標題 研究発表 PM2.5 and PM10 generated from different cooking stoves in residential buildings
3. 学会等名 2021年室内環境学会学術大会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mon E.E., Maw C.C., Aung T., Yi E.E.P.N., Aung W.Y., Ishigaki Y., Suzuki T.(鈴木武博), Nakajima D.(中島大介), Tin-Tin-Win-Shwe(Tin-Tin-Win-Shwe)
2. 発表標題 PRELIMINARY MONITORING OF CONCENTRATION OF PARTICULATE MATTER (PM2.5/PM10) IN THREE UNIVERSITY CAMPUSES LOCATED IN MEIKTILA CITY
3. 学会等名 Myanmar Academy of Arts and Science (2021), J. Myanmar. Acad. Arts Sci. 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mon E.E., Maw C.C., Suzuki T.(鈴木武博), Ishigaki Y., Nakajima D.(中島大介), Tin-Tin-Win-Shwe(Tin-Tin-Win-Shwe)
2. 発表標題 Pilot study of distribution of particulate matter (PM2.5/ PM10) concentration in four public areas of Meiktila city in Myanmar
3. 学会等名 The 4th International conference on substantial scientific collaboration of ocean and earth science between Myanmar and China (2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yo Ishigaki, Takashi Yoda, Irankund Elisephane, Yoshinori Matsumoto, Kenji Tanaka
2. 発表標題 Monitoring Household Air Pollution Caused by Open Fire Stoves in Rwanda
3. 学会等名 The 16th Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate (Indoor Air 2020) 採択済、新型コロナウイルスの影響により延期中 (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Takashi Yoda, Irankunda Elisephane, Yo Ishigaki, Minjung Kim, Muneo Matsukawa, Yoshinori Matsumoto, Ggombe Munyegera, Koumei Yamaguchi, Hiroaki Kondo
2. 発表標題 Seven Months Observations of Indoor Air Pollution in Kigali Rwanda
3. 学会等名 The 15th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality, 28 to 30 October 2019, Corus Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 依田 隆志、山口 高明、松川 宗夫、松本 佳宣、石垣 陽、江藤 和子、柴田 陽子、Ggombe Kasim Munyeye, Elisephane Irankund
2. 発表標題 アフリカ・ルワンダでの室内大気汚染の実情(The situation of indoor air pollution in Rwanda, Africa)
3. 学会等名 室内環境学会大会 予稿, 2019.12.5-7, 沖縄
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 依田隆志、山口高明、松川宗夫、松本佳宣、石垣陽、江藤和子、柴田陽子、Ggombe Kasim Munyege, Elisephane Irankund
2. 発表標題 アフリカ・ルワンダにおける大気汚染
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会 予稿、2019.9.18-20, 東京農工大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuko Eto, Yo Ishigaki. et al.
2. 発表標題 Evaluation of health education in Rwanda using home-made picture stories
3. 学会等名 26th East Asia Forum of Nursing Scholars (EAFONS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuko Eto, Yo Ishigaki. et al.
2. 発表標題 Perceived symptoms of smoke related to the use of biomass fuel cooking stoves in Rwanda
3. 学会等名 37th Annual Conference of the European Health Psychology Society (EHPS 2023, 4 - 8 Sep 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 健次 (Tanaka Kenji) (60197415)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授 (12612)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	江藤 和子 (Eto Kazuko) (90461847)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・客員研究員 (12612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関