

令和元年6月13日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H01788

研究課題名(和文) 市民・行政・専門家の連携による環境監視・減災支援基盤の構築と社会実装

研究課題名(英文) Infrastructure Construction and Social Implementation for Support of Environmental Monitoring and Disaster Reduction by Cooperation of Citizens, Administration and Experts

研究代表者

田中 健次(TANAKA, Kenji)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：60197415

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,500,000円

研究成果の概要(和文)：放射線、PM2.5、CBRNEテロ(ダーティーボム)、ゲリラ豪雨による土砂災害等の環境リスクを対象に、市民が多地点の環境を自発的に「測定」できる廉価な装置を開発、測定値とGPSとの連携による位置情報の可視化により市民と行政組織(自治体・警察・消防・病院等)とで測定情報を「共有」できる仕組みを実現、さらに専門家とのオンラインでの「議論」も可能となった。さらにそれらの仕組み構築のために開発した訓練用シミュレータUSOTOPEの効果は極めて大きいことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生活環境を脅かす環境リスクに対し、行政任せではなく、個々の市民が自主的に現状を把握し問題を早期に発見、行政や専門家との情報共有により、解決への行動を可能にする仕組みは、現代社会での実現が望まれる仕組みと言える。そのための廉価な環境測定装置の開発、SNSやGPS、クラウドサーバー等最新の情報技術を活用した情報共有のツールの提供は、仕組み実現に向け大きな一歩となる。さらにそれらを利活用する行政や専門家側の訓練ツールとなるシミュレータUSOTOPEは極めて価値の高い成果物と言える。

研究成果の概要(英文)：For environmental risks such as radiation, PM2.5, CBRNE terrorism (dirty bomb), and landslides caused by heavy rain, we have developed an inexpensive device that allows citizens to voluntarily measure the environment at multiple points. In addition, by visualizing measured values and location information from linking GPS, we realized a mechanism that can share measured information between citizens and administrative organizations (local governments, police, fire departments, hospitals etc.). Moreover, online discussion with experts has become possible. The effect of the training simulator USOTOPE developed to build those mechanisms is extremely large.

研究分野：システム安全学、危機管理、環境科学

キーワード：減災 環境監視 放射線計測 放射線テロ 避難誘導 危機管理 訓練 河川情報

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

放射線、PM2.5、CBRNE テロ（ダーティーボム）、ゲリラ豪雨による土砂災害など新しいタイプの環境リスクが顕在化している近年、共通課題として、①リスクを知るための測定に特別な装置が必要、②数mオーダーの場所に依り危険度が大きく異なる、③避難の必要性などリスク判定に高度な専門知識が必要、の3点が挙げられるが、対応策は行政任せが現状である。

放射線やPM2.5については、それぞれ SPEEDI や SPRINTARS 等のシミュレータが研究開発されてきたが、これらは一定高度の風向を元にした計算値のみで、実際の生活圏（地表、階数、屋内外の別等）での汚染度を知ることはできない。また SAFecast (MIT、慶應大学他) や EpiCollect (英 ICL) など、放射線や環境測定情報を共有するためのプラットフォームが開発・運用されているが、いずれも測定者の位置情報が公開される等セキュリティ上の配慮がなされておらず、行政・自治体の情報共有基盤としては使えない。また災害時に SNS を活用する事例も現れてはいるが、組織だったものではない。

上記の問題に対し、①廉価に多地点の環境を「測定」できる装置の開発と市民への普及、②測定値を可視化し市民・行政で「共有」する仕組み、③専門家とのオンラインでの「議論」の実現が、それぞれ求められる。

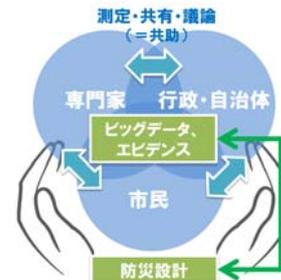


図1 参加型の防災体制

2. 研究の目的

本研究では、環境リスクに対する参加型モニタリングの仕組みを提案し、市民が測定の主体となることで多数の環境モニタリング情報を収集・可視化し、行政や専門家との共有・議論を通して地域の環境監視と自主的な意思決定を可能とすることを目指す。これらビッグデータに基づく防災計画、災害の予兆検知、自主行動を促進する新しい社会の枠組みを、半導体センサやスマートフォン等といった廉価な汎用技術基盤を基に構築する。さらに災害緊急対応時には、新しい情報共有の枠組みを活用し、各行政組織（自治体・警察・消防・病院等）と多数の専門家を集結させた新しい対応体制を実現させる（図1）ための課題を解決すべく、アクションリサーチや実証実験を通して得られる知見を生かして、プラットフォーム技術のオープンソース化と国際標準化を目指し、研究成果の早期社会実装を図るものである。

3. 研究の方法

本プロジェクトは全国で活躍する7名の研究分担者と1名の研究協力者が3つのG (Group) を構成し、G間での連携を深めながら活動を進めた。

監視G1（田中、松野、石垣）は、環境監視に対する市民・行政の日常ニーズ（測定対象、求める情報、精度、時間間隔、共有のモチベーション等）を調査、**実装G3**と連携し技術シーズとマッチングした上で、情報の信頼性や安心感（トラスト）が得られ必要行動の決定が可能となる情報の共有化のあり方、プライバシー保護手法も含めたユーザインタフェース設計を検討、情報共有システム全体のモデルを策定する。人間中心設計の観点からユーザビリティ評価を行い、ハード・ソフト・SNS設計へフィードバックする。

減災G2（盛武、土屋、千田、長谷川）は、組織を超えた情報連携を実現すべく、各部署・専門家グループにヒアリングしながら、可視化手法、アクセス制御、セキュリティポリシー、関連ガイドライン等に対する現場ニーズと問題点を明らかにする。環境影響、医学・救急医療、テロ対策に関する専門的観点から、原子力災害、PM2.5、CBRNE テロのシナリオをそれぞれ策定、ハザードを早期検出・情報共有するための利害関係者間の情報共有モデルを検討し、実装実施に繋げる。

実装G3（松本、植原）は、災害時の通信手段として注目されるスマートフォンを活用し、市民が携帯可能なモバイル環境測定器のハード&ソフトを開発、**監視G1**、**減災G2**と連携し、ハード（半導体センサ～アプリ～無線ネットワーク）、データフォーマット、セキュリティ・信頼性設計の要件を策定、スマートフォン接続型の放射線、PM2.5、地象センサネットを実装し、性能や信頼性を評価する。

4. 研究成果

最初の2年間は、互いに協調しながらも3グループで独自の活動を進め、その成果を統合して環境測定を実施、測定結果の可視化も含め、その有用性と可能性についての検討を進めた。

監視 G1 では、環境監視に関する欧米のプロジェクトの状況を知ると共に関係者との情報交換を進め、情報共有のあり方、問題点などを検討し、行政へのヒアリングのための検討要件を整理した。減災 G2 では、環境ハザードのケーススタディとして、まずは原子力災害に着目、環境影響の評価やハザードの早期検出・情報共有のための初期検討を行い、関連する文献調査等で情報収集しシナリオ策定に取り組んだ。また、放射性・核物質を用いたテロ時のシナリオを策定し、テロ対策における放射線センサの使用例を基にセンサ感度や堅牢性の仕様などを検討した。さらに PM2.5 センサについても検討した後、PM2.5 と放射線のハイブリッド計測の実データを得るために、高濃度粉塵かつ低放射線場として北九州の木材取扱い企業の製造現場で環境測定を実施、モバイル測定により従来気付かなかった高濃度粉塵発生場所を特定するなど、作業環境測定への新たな有用性を確認した。

実験に先立ち実装 G3 は、市民や企業管理者等が道路や工場内外で局所的に粒子密度の高い場所での容易な計測を可能にするため、携帯性に優れたスマートフォン型のモバイル環境測定器（放射線、PM2.5、気象センサ）を試作、センサをマイコンに接続することで PM2.5 濃度出力の読み取りを可能にした。さらに位置情報の同時計測のためのセンサモジュールと Android タブレット用のソフトウェアを開発、GPS データに紐付いた PM2.5 の測定値をインターネット経由で取得することで、地図上での PM2.5 データの可視化による情報共有を実現した(図 2)。



図 2 大気計測結果の可視化

減災 G2 では併行して医療被曝に着目、災害医療トリアージに資する X 線撮影装置を開発し、医療情報システムによる被曝線量管理や医療従事者の水晶体被曝評価に関する成果を英科学誌等に発表した。また、CBRNE 災害医療対応セミナー等において、早期検出・情報共有のための放射線センサの有効利用法を検討、実災害時と共に災害教育分野におけるセンサ活用の可能性も明らかにした。さらに仮想放射線測定シミュレータ“USOTOPE”を開発、学生実習で活用し、放射線計測器の取扱い仕様を洗練させると共に、警察、消防、海上保安庁の現場隊員の意見に基づき、テロを含む災害訓練用デバイスとしての利便性向上のための改良を重ねた。

一方監視 G1 では、市民・行政・専門家の連携が必要な水害情報にも対象を拡大、河川の水位計専門家と共に、河川水流の可視化による一般市民への防災情報提供のあり方に取り組んだ。

後半の 2 年では、放射線災害、環境汚染に対する市民と行政の連携に焦点を絞り、3 グループ合同で小型放射線測定システムを活用し実証実験・訓練を実施した。

(1) 放射線災害

放射線災害に関しては、①テロ対策訓練、②放射線教育訓練、を実施した。

① 警察/消防/海上保安庁のテロ対策訓練

土屋・盛武・石垣・松本・植原を中心に、改良を重ねた USOTOPE を用いて、初動対応部隊のテロ対策訓練を実施した。訓練は、放射線災害・テロリズムを想定し、警察・消防・救急・高速鉄道株式会社等の協力を得てモノレールの駅にて実施、警察・市民・専門家の観点から課題設定と分析を行った。

放射線災害の訓練の特徴は、放射線量が場所により異なり、その値により取るべき行動が変わる点である。従来の訓練では、予め定められたシナリオに従って実行を進めることしかできなかったが、本訓練では、プロジェクトが開発した USOTOPE によるリアルな放射線計測模擬値を基に、警察関係の隊員が自分の位置する場での計測値や、被災者各々の汚染度に基づき、ローカルに適切な行動を選択・実行するという新タイプの訓練を実施できた。放射線の量や拡散方向などを自由に管理・設定できるため、テロ行動に対するリアリティある多様な行動訓練を実施することができる。一方、全体を指揮する部門は、局所情報を基にグローバルな視点からの的確な行動を指示することが可能となり、現状の行動ルールの有効性の確認と共に、新ルール導出の機会となるなど多くのメリットが確認できた。

訓練後の現場（消防・救急・警察）へのヒアリングでも、USOTOPE のリアリティは非常に高く、現実のテロ・災害事案に則した実践的な訓練が行えたことが評価された。さらに現場へのアクションリサーチから、システム面や訓練内容に関して今後の課題も抽出した。

実災害時には USOTOPE を簡易計測機に置き換え、真の値を計測しながら現場と指揮組織が連携することが想定される。そこでは、各隊員が計測機器を身に付ける必要から、安価な機器、低消費電力での測定や計測結果の可視化も求められる。放射線に関する機器開発では、身体への影響に関する専門的知識が必須であり、千田、長谷川らの協力の下、実装 G3（松本、植原）は、それらの開発に取り組みデータ活用に様々なアイデアを投入した(図3)。



図3 USOTOPE を用いた計測の訓練

②学生/市民レベルの放射線教育訓練

盛武・石垣等は、放射線テロ対応訓練だけでなく、簡易測定器や USOTOPE の教育での利用についても注目した。学生教育として、放射性物質の探索訓練をシナリオ立案から実施させ、20～30m 程度のビル内での宝探しなど、USOTOPE の適用範囲も確認した。臨床放射性技士や放射線専門医らの教育では、医療機器（透視装置等）周辺の放射線量を模擬的に計測させるなど、単なる教科書的な文字教育ではなく実際の放射線被曝のイメージ獲得への利用も可能となった。医療現場での被ばくとその防護法に関する知見を深め、放射線測定の臨床領域への成果応用も模索、X 線透視装置向け測定器の開発や、医療従事者への生体影響も調査した。

(2) 環境汚染

放射線災害で着目した新しい視点は、環境汚染や水害災害への対応での新しい方法をも生み出した。環境汚染問題への取り組みでは、アフリカの中央に位置するルワンダ国を石垣、松本らが訪問し、薪コンロ使用時の台所室内の空気汚染、PM に対する対策を試みた。簡易測定が可能になれば、各家庭にて薪コンロからの PM 排出量をモニターすることで、住民の体内への影響を抑えるための排気設備の必要性把握、排気口設置などへの関心を生み出すことが可能となる。

これに先立ち、実装 G3 では太陽電池駆動定点環境測定器（傾斜、気象センサ）などを試作、環境情報をセンサ・IoT 技術により測定・収集してクラウドサーバー上で可視化するシステムについて、ハード・ソフトの両面から研究開発を進めた。センサは温湿度、PM_{2.5}、CO₂などを対象とし、無線方式は Wi-Fi 式の他に 3G 方式の無線モジュールでデータの間欠的アップロードが安定に行える事などを確認した。

そして開発した測定機器の導入に加え、太陽光発電を利用したシステム試験導入など PM 監視モニター実現に向けた実験を、ルワンダの村長、行政機関や環境省・国連関係機関の協力の下、一般家庭で実施した。今後、多くの家庭でのモニタリング実施が広まり、それらの観測結果を行政が収集、状況を把握できれば、健康対策への行政対応に繋がる事が期待される。

PM_{2.5} 等の環境問題に関しては、国内でも行政の協力を得て測定実験を行い、精度検証や分析結果を学会発表、市民向け説明会も行った。仙台港周辺の石炭火力発電所の影響を小型計測機器で測定し個人曝露量を評価、得られた結果を共有・議論するための市民ワークショップも行った。この様子は現地ローカルニュースでも放映され、地域で高い関心があることが確かめられた。CO₂ 測定は民間事業者と実証実験を行い、成果を労働衛生関係の学会で発表した。

(3) 水害災害

水害情報分野に関しては、松野らが河川水流の可視化による一般市民への防災情報提供を試み、防災シミュレーションツールを開発した。

本研究では、放射線災害・テロや環境問題を念頭に、ローカルな状況での簡易測定器による計測と長期利用のための低消費電力、データ活用のための可視化技術を開発した。測定結果を用いたローカル対応と、それらを集積したグローバルな情報に基づく行政による対応、専門家の介入が可能となり、市民・行政・専門家の間での関係を明らかにする新しい枠組みを構築できた。国際標準化には達していないが、その基本構想は得られた。

プロジェクト開始当初は、市民・行政・専門家の中の各二者間での関係に注目し、結果として三者が結ばれるものと想定していたが、二者間での関係の背景には常に第三者が存在し、むしろその第三者の存在を如何に考慮するかが重要なポイントであることが明らかとなった。

実際、市民と行政との間では、行政側の各個人の生活環境に存在する問題点の早期把握と対応が重要となるが、放射線や環境汚染問題では専門家の支援が不可欠であり、必要に応じて支援を依頼するのではなく問題発見のプロセスから専門家が関与する仕組みが望まれる。また、その行政と専門家の間でのやり取りの中では、常に市民の生活上での問題点の把握が必須となり、簡易計測による市民レベルでの情報提供が前提となる。市民の不安に対して専門家が直接対応することは、現段階では実施されていないが、SNS の利用など最新のネットワーク技術を活用することで可能となる。それらを信頼あるやり取りにするためには、背後での行政による監視やファシリテートによる逸脱回避等の仕組みが必要である。

最終報告会では、フランス・ブルゴーニュ大学の **Federico Tajariol** 准教授を招き、研究成果を全員で共有、災害発生時の SNS を利用した情報共有に関しては情報の信頼性など今後の課題も指摘された。引き続きモデルの精緻化と共に社会への実装普及を目指し、国際標準化を実現したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 11 件)

- (1) Fujibuchi T., Inoue A., Ishigaki Y., Matsumoto Y. : "Development of a wireless multisensor active personal dosimeter-tablet system", *Progress in Nuclear Science and Technology*, Vol.6, pp.73-76, 2019. DOI: 10.15669/pnst.6.73. 査読有
- (2) Yi E.E.P.N., Nway N.C., Aung W.Y., Thant Z., Wai T.H., Hlaing K.K., Maung C., Yagishita M., Ishigaki Y., Win-Shwe T. T. : "Preliminary monitoring of concentration of particulate matter (PM2.5) in seven townships of Yangon City, Myanmar", *Environ. Health Prev. Med.*, 2018; 23: 53. DOI: 10.1186/s12199-018-0741-0. 査読有
- (3) Morishima Y, Chida K., Meguro T. : "Effectiveness of additional lead shielding to protect staff from scattering radiation during endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures," *Journal of Radiation Research*, Vol.59, No.2, pp.225-232, 2018, DOI: 10.1093/jrr/rxx039. 査読有
- (4) Segault A., Federico T., Ishigaki Y., Roxin I. : "Sharing Radiation Measurements Through Social Media: A Methodological User-Oriented Proposal Set of Guidelines," *International J. of Information Systems for Crisis Response and Management* Vol.8, Issue 2, pp.17-30, April-June 2016. 査読有

〔学会発表〕 (計 50 件)

- (1) Fukanuma F, Tsuruoka S, Matsuno Y.: "Development of Flood Disaster Prevention Simulation Smart-phone Application Using Gamification," *The 5th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management(ICT-DM)*, Dec. 2018.
- (2) Tsuchiya K., Moritake T., Ishigaki Y., Kosukegawa N.: "Development of a Radiation- Detection Simulator with Smartphones and Beacons for First Responders Against Radiological Threat", *Proc. of 4th International CBRNe Workshop*, Nov 2018, Rome. 【Best Poster Award 受賞】
- (3) 丸尾容子, 石垣 陽, 松本 佳宣: 「PM2.5 センサと NO2 及び O3 パッシブサンブラを用いた仙台港周辺の大気環境測定(II)」, 大気環境学会北海道東北支部総会, 2018.10.
- (4) Tsuchiya K., Moritake T., Ishigaki Y., Kosukegawa N., Uehara K., Matsumoto Y., hoka 他8名: "Development of Effective Training Methods for First Responders Against Radiological Threat", *EAFS 2018-8th European Academy of Forensic Science*, 27-31 August 2018 in Lyon, France..
- (5) 【招待講演】 石垣 陽, 田中健次: 「市民・行政・専門家の連携による環境監視・減災支援基盤の構築と社会実装」, IEICE, SSS 研究会, 信学技法, Vol.118, No.13, pp.1-4, 2018.4.
- (6) Kawauchi S., Chida K., Moritake T., et. al. : "Estimation of Patient Lens Dose Associated with C-arm Cone-Beam Computed Tomography Usage during Interventional Neuroradiology", *Radiation Protection Dosimetry*, pp. 1-10, 2018. DOI:10.1093/rpd/ncy188.
- (7) Ishigaki Y., Tanaka K., Matsumoto Y., Pradana H. A., Maruo Y. Y. : "Citizen Sensing for Environmental Risk Communication Action Research on PM2.5 Air Quality Monitoring in East Asia," *The 2nd International Conference on Cyber-Technologies and Cyber-Systems (CYBER2017)*, 2017.11, Barcelona, Spain.

- (8) Ishigaki Y., Moritake T., Matsumoto Y., Tanaka K. : “Development of CO2 Monitor and Alarm for Professional Drivers,” *Asia Pacific Symposium on Safety 2017*, 2017.11, 北九州.
- (9) Sato F., Chida K., Haga Y., Ishii H., Satsurai K., Kaga Y., Honda T., Abe M., Meguro T. : “Evaluation of Eye Radiation Exposure of Medical Workers: What is the Most Desirable Method?” *Radiological Society of North America 2017*, 2017.11, Chicago 【Exhibit Award, “Certificate of MERIT” 受賞】
- (10) Matsumoto Y., Ishigaki Y., Tanaka K. : “Models of Consensus Building among Citizens and Professionals in SNS,” *14th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2017)*, 2017.5, Albi, France.
- (11) Ishigaki Y., Tanaka K. : “Pollution Mapping by Smartphone Becoming Real Possibility,” *2017 Bali International Conference on Civil Disaster Management and Environmental Sciences (CDMES-17)*, Indonesia, 2017.2.
- (12) 石垣 陽, 田中健次 : 「市民・行政・専門家の連携による参加型環境モニタリングの実現」, *SICE システム・情報部門学術講演会 2016*, 2016.12, 滋賀.
- (13) 石垣 陽, 盛武 敬, 松本佳宣, 田中健次 : 「IoT 型 CO2 センサの試作とフィールド調査」, 平成 28 年度第 56 回日本労働衛生工学会抄録集, pp.132-133, 2016.12, 下関.
- (14) Matsumoto Y., Ishigaki Y., Tanaka K. : “Wi-Fi connected environmental measurement system by small-scale solar cell”, *Proceedings of the 9th Inter. Conference on Sensing Technology*, pp. 836-839, 2015.12, Auckland, New Zealand.

[その他]

- (1) 研究成果報告集 : 「最終報告」 pp.1~173
 (2) Web : <http://www.tanaka.is.uec.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

松野 裕 (MATSUNO, Yutaka)

日本大学 : 理工学部 : 准教授 : 70534220

盛武 敬 (MORITAKE, Takashi)

産業医科大学 : 産業生態科学研究所 : 准教授 : 50450432

千田 浩一 (CHIDA, Koichi)

東北大学 : 災害科学国際研究所 : 教授 : 20323123

長谷川 有史 (HASGAWA, Arifumi)

福島県立医科大学 : 医学部 : 教授 : 70404879

土屋 兼一 (TSUCHIYA, Ken'ichi)

科学警察研究所 : 法科学第二部 : 主任研究官 : 90447920

松本 佳宣 (MATSUMOTO, Yoshinori)

慶應義塾大学 : 理工学部(矢上) : 教授 : 60252318

植原 啓介 (UEHARA, Keisuke)

慶應義塾大学 : 環境情報学部(藤沢) : 准教授 : 30286629

(2) 研究協力者

石垣 陽 (ISHIGAKI, Yang)

電気通信大学 : 特任助教

※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、研究者個人に帰属されます。