

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：82505

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16303

研究課題名(和文) 機械学習に基づく放射線計測法に関する研究

研究課題名(英文) Study of radiation measurements based on machine learning

研究代表者

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

研究者番号：90447920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：ダーティーボムやサイレントソースアタックのような放射線テロ対策として、2つの手法を提案する。1つ目は、パブリックスペースにすでに設置されてあるネットワーク型防犯カメラを用いた放射線警報システムである。カメラに入射したエネルギーの高い速中性子がCCDやCMOS等の各画素に恒久的な放射線損傷を生成されることを利用して、放射線検知を行うものである。遮蔽された核物質や臨界を用いた放射線拡散装置の中性子探知に有効である。また、放射線緊急時の初動現場における低エネルギー分解能検出器を用いた測定について、既存のピーク判定に加えて、事前情報やスペクトルの全体形状も考慮した信頼度を表示する核種判定法を検討した。

研究成果の概要(英文)：We propose two methods as means to counter radiological terrorist acts such as dirty-bomb or silent-source attacks. The first proposal concerns a nuclear detection system using the security cameras already installed in public spaces. Our method is based on counting the number of hot pixels, impacts on the device's image sensor (CCD or CMOS) that produced constantly bright pixels. The proposed nuclear detection system using security cameras has been demonstrated to be effective in detecting radiation emanating from devices containing lead-shielded nuclear material and assessing criticality. The second proposal is to study a novel nuclear-identification method using prior probability (information), spectral shape, and peak energy. The method is useful for in-situ measurements using gamma-ray detectors with low-energy resolution.

研究分野：放射線計測

キーワード：放射線計測 核検知 核鑑識 リスク評価 放射線損傷 ガンマ線スペクトロスコピ

### 1. 研究開始当初の背景

近年、核物質の不法移転が発見された対処として、核物質及びその他の放射性物質について物理的・化学的特性、出所、履歴を分析し核物質の出所を割り出す核鑑識 (Nuclear Forensics) 技術が世界中で研究されている。日本では日本原子力研究開発機構等によって主に質量分析を用いた  $\mu\text{g}$  オーダーの核物質分析が整備されており、採取された核物質が日本の原子炉 (原子力関連施設) 起源であるかあるいは海外から持ち込まれたものが核鑑識データベースから照合できるシステムも開発されつつある。一方、核鑑識の初動対応では、放射性物質に汚染された既存の鑑識資料 (指紋、DNA、髪、微物、電子機器等) を採取すること (Sampling) そして現場測定による核物質及びその他の放射性物質の分類 (Categorization) が求められている。核種同定では工業製品 (イリジウム等)、医療製品 (セシウム、コバルト等)、自然起源 (ラジウム、カリウム等、NORM と呼ばれる)、核物質 (ウラン、プルトニウム等) と大きく四つに分類する必要がある。また、核物質についてはウランの濃縮度も出所を探る上で重要な情報となる。このような分類や濃縮度の測定は、ゲルマニウム検出器のようなエネルギー分解能の高い検出器、鉛による低バックグラウンドの測定環境、十分な測定時間が必要となる。しかし、現場での測定、特に屋外での測定ではこれら 3 つの条件がそろうことは少なく、誤った核種が同定されることも多い。そのため、核種の半減期や娘核種の有無、その場で予想される核種を考慮しながら専門家による判断が必要とされており、現場測定の核種誤判定率を下げるための計測手法の高度化が求められている。また、原子力災害や放射性物質 (R 物質) 及び核物質 (N 物質) を用いたテロ等の放射線緊急時において、特に都市部における広範囲の放射線監視システムも今後必要とされる。

### 2. 研究の目的

原子力災害や R 物質及び N 物質を用いたテロ等の放射線緊急時の初動対応で必要とされる放射線計測について機械学習の統計手法を用いた高度化を目的とする。現場でのガンマ線スペクトル測定から核種を同定する精度やウラン濃縮度の推定精度の向上を目指す。また、現場隊員の線量リスク評価について、線量計のデータから現場状況 (想定される核種や中性子スペクトル) に応じた被ばく線量の確率密度関数を推定する方法を開発する。さらに、監視カメラ映像の放射線通過痕跡から撮影現場の線量率を求めることで、放射線検出器を用いない簡易な放射線計測ネットワークのための原理実証を行う。本研究では、放射線緊急時のシナリオと想定される核種 (RN 物質の種類)、検出器の特性などを総合的に判断する手段を提供する。これらの情報を集約することで、エビデンスに基づ

く放射線緊急時の初動活動支援に役立つことが期待される。

### 3. 研究の方法

防犯カメラに使用されている撮像素子 (CCD、CMOS) に放射線が通過すると、RGB (Red、Green、Blue) からなる各ピクセル (画素) において、放射線誘起ノイズによる輝度値の飽和が生じる。これらは、高線量率の放射線場におけるカメラ映像中において画面のちらつきとして確認される。このようなカメラ映像中の放射線誘起ノイズを利用したガンマ線検知に関しては、CellRad Project や GAMMAPIX においてすでに実証されている。しかし、いずれもガンマ線を放出する R 物質の検知を想定しており、放射線テロで使用される可能性のある遮蔽された N 物質まで含めたものではない。そこで、本研究では、日本で想定されるテロ形態を鑑みて、ガンマ線による検知が主となる R 物質だけではなく、中性子を放出する N 物質 (特にプルトニウム) も検知することを目標とし、放射線通過による映像中のノイズ特徴を用いた中性子検出の原理実証を行った。放射線に起因するカメラ映像のノイズ特性を検討するために、以前科学警察研究所と日本原子力研究開発機構が共同で行った線量計の評価実験に使用した CCD カメラ映像を用いた。これは日本原子力研究開発機構の過渡臨界実験装置 TRACY において、複数の線量計 (日立アロカ ADM-353 等) を 25 万画素カラーカメラによって撮影した映像である。カメラと線量計に対して同時に放射線 (主に中性子、ガンマ線は約 1/10 の強度) を照射しているため、放射線量とそれに起因する映像中のノイズの関連性を評価できる。図 1 (左) にカメラで撮影された線量計の画像を示す。まず、パルス状に短時間で 1000mSv 以上を高線量照射したカメラ映像についてノイズの増加を確認した。未照射の状態の画像 (バックグラウンド画像、1000 フレームの平均) を用いて各画素の輝度値の差分をとる。図 2 (右) に 1000mSv 以上を高線量照射したカメラの差分画像を示す。全体的にノイズ成分の増加が認められるが、特に、輝度値の低い領域 (暗領域) においてノイズの増加が顕著である。本手法の線量直線性を評価するために、積算線量で 0.1mSv から 100mSv までの低線量照射の映像について解析した。

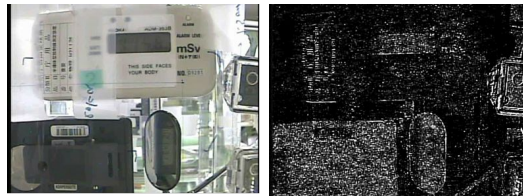


図 1 (左) 中性子ガンマ線混合場における放射線照射時の線量計の画像。(右) 1000mSv 以上照射した画像とバックグラウンド画像の輝度値の差分画像。

#### 4. 研究成果

(1) 放射線通過によるカメラ画像中のノイズ量から放射線量を推定する手法を応用し、ネットワーク型防犯カメラによる放射線警報システムを提案した。本手法は、防犯カメラに入射したエネルギーの高い速中性子が CCD や CMOS 等の各画素に恒久的な放射線損傷を生成されることを利用して、放射線検知を行うものである。放射線起因のホットピクセル(輝度値が恒常的に高い画素)の個数と照射線量(中性子)に線形性について評価したところ、6mSv から少なくとも 100mSv まで放射線量に対するホットピクセル個数の線形性が保たれていた。ホットピクセルが形成される要因を探るため、放射線挙動シミュレーション PHITS ver. 2.86 を用いて放射線照射により CCD や CMOS の画素(シリコン)に付加されるエネルギーを比較した。シミュレーションの結果、N 物質から放出される自発核分裂の速中性子(2MeV ~ 10MeV)は、ガンマ線(1MeV)に比べて平均エネルギー付与が 100 倍大きいことから、恒常的な損傷であるホットピクセルは速中性子に起因するものと考えられる。ガンマ線によって誘起されるノイズは恒常的な損傷には至らず映像中のちらつきとして確認できるため、ノイズ特徴毎に解析手法を変更することで RN 物質の検知が可能となる。本手法は、特に遮蔽された N 物質や臨界を用いた放射線拡散装置の中性子探知に有効である。本成果をまとめた論文は、日本核物質管理学会において優秀論文賞を受賞した。また、European Physical Journal Plus 誌に投稿し受理された。

(2) 原子力災害や放射線取り扱い施設の火災、そして核物質やその他の放射性同位元素を用いたテロ等の放射線緊急時における核種同定の手法について検討した。放射線緊急時の初動現場における低エネルギー分解能検出器を用いた測定について、既存のエネルギーピーク判定のみによる核種同定に、放射線緊急時の事前情報やスペクトルの全体的な形状も考慮した信頼度を表示する核種判定法を検討した。市販されている核種同定可能なガンマ線スペクトロメータ 6 種類を用いて天然ウランや各種 RI で間違いやすい核種とその原因を探った。また、放射線緊急時の事前情報から、想定される核種をあらかじめ確率分布化しておき、光電ピークによる核種判定を受けて、最終的な核種確率分布を導出する。本手法は放射線緊急時のリスク評価に有効な手段と考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

RN テロ初動対応から核鑑識へ  
土屋兼一 CBRNE2 protection magazine, No.8, 14-17, 査読なし, 2016

核物質検知のための防犯カメラを用いた放射線警報システムの提案

土屋兼一、黒沢健至、秋葉教充、角田英俊、井元大輔、平林学人、黒木健郎  
第 37 回核物質管理学会日本支部年次大会論文集、#3729、査読なし、2017

Radiation-Detection Methods To Counter Radiological Threats

Ken'ichi Tsuchiya, Kenji Kurosawa, Norimitsu Akiba, Hidetoshi Kakuda, Daisuke Imoto, Manato Hirabayashi, and Kenro Kuroki European Physical Journal Plus (accepted), 査読有り, 2018

[学会発表](計 3 件)

Development of radiation detection methods against radiological and nuclear threat Ken'ichi Tsuchiya, Kenji Kurosawa, Norimitsu Akiba, Hidetoshi Kakuda, Daisuke Imoto, Manato Hirabayashi, Kenro Kuroki 1st Scientific International Conference on CBRNE, P1-06, May 22-24, Rome, 2017

核物質検知のための防犯カメラを用いた放射線警報システムの提案

土屋兼一、黒沢健至、秋葉教充、角田英俊、井元大輔、平林学人、黒木健郎  
第 37 回核物質管理学会日本支部年次大会 #3729, 2016

防犯カメラ映像のノイズ特徴を用いた放射線検知の検討

土屋兼一、黒沢健至、秋葉教充、角田英俊、井元大輔、平林学人、黒木健郎  
第 22 回日本法科学技術学会学術集会講演要旨集, p.143, 2016

[その他](計 10 件)

招待講演 北陸原子力懇談会「核セキュリティ～緊急時書道対応から核鑑識まで～」  
土屋兼一 企画広報委員会講話(平成 30 年 3 月 6 日)

招待講演 京都大学原子炉実験所「放射線緊急時初動対応における分析技術」土屋兼一 核燃料物質を対象とした非破壊分析技術に関する研究会(平成 30 年 3 月 2 日)

招待講演 総合安全工学研究所「放射線、放射性物質テロ対策」土屋兼一 第 1 回テロ対策シンポジウム(平成 29 年 12 月 18 日)

招待講演 公共ネットワーク機構「放射線、放射性物質テロ対策 放射線の検出、放射性物質の探知などテロの未然防止について」土屋兼一 危機管理セミナー分科会(平成 29 年 9 月 25 日)

招待講演 NBCR 対策推進機構「放射線緊急時初動対応」土屋兼一 第 3 回「放射線テロ・放射線災害対策担当者養成講習会」(平成 29 年 9 月 10 日)

パネル討論 日本原子力研究開発機構「核鑑識技術開発ニーズと今後の展開」土屋兼一 核セキュリティを支える技術開発に係る国際シンポジウム～核鑑識と地域間力～(平成

29年6月5日)

招待講演 中部原子力懇談会「放射線緊急時初動対応 - 現場検知から核鑑識まで -」  
土屋兼一 第52回RI・放射線利用促進セミナー(平成29年2月10日)

招待講演 NBCR 対策推進機構「放射線緊急時初動対応」土屋兼一 第2回「放射線テロ・放射線災害対策担当者養成講習会」(平成28年9月18日)

パネル討論 日本原子力研究開発機構「今後の核セキュリティ技術開発の課題と対応」  
土屋兼一 核不拡散・核セキュリティを支える技術開発に係るシンポジウム(平成28年2月10日)

招待講演 火薬学会「放射性物質テロ」  
土屋兼一 平成27年度法科学とCBRNEテロ対策講演会(平成27年6月26日)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

土屋 兼一 (TSUCHIYA, Ken'ichi)

警察庁科学警察研究所・法科学第二部物理研究室・主任研究官

研究者番号：90447920

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

なし