

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870243

研究課題名(和文)放射線源の位置情報を得る事が出来る走行サーベイシステムの開発

研究課題名(英文)Development of a car-borne directional gamma-ray survey system

研究代表者

後藤 淳(Goto, Jun)

新潟大学・研究推進機構・助教

研究者番号：90370395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：福島原発事故被災地における効率的な除染に資する事を目的に、指向性があるガンマ線自動車走行サーベイシステムを開発した。開発したシステムは、異なる6方向(自動車の進行方向の前後左右及び上下)に向けて設置した6台の鉛遮蔽体付検出器で構成され、それぞれの方向から入射する線の計数率を個別に測定できる。被災地での実測結果より、開発したシステムが、指向性があるガンマ線自動車走行サーベイシステムとして機能する事を示した。

研究成果の概要(英文)：A car-borne directional gamma-ray survey system was developed to contribute to effective decontamination of radioactive cesium. The system is composed of six CsI detectors surrounded by lead shields. The detectors are installed in six different directions: forward, backward, left, right, upward and downward. Therefore the system is used to measure gamma-ray incident from each direction. We showed that the developed system works as a car-borne directional survey system from measurement in the disaster zone.

研究分野：放射線計測、放射線シミュレーション

キーワード：福島第一原子力発電所事故 空間線量率

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震による津波の影響で福島第一原子力発電所事故が発生し、環境中に多量の放射性物質が放出され、福島県を中心とした複数の県にまたがる広大な地域に放射能汚染が発生した。代表者は、新潟大学の放射線関連教職員等と被災地を支援するためにチーム毘沙門を結成し、大学が有する放射線・放射能に関する知識・技術・装置を活かした支援を実施してきた。そうした支援活動の一部として、広域の放射線量率分布を効率よく測定するためにGPS連動型放射線測定システムBISHAMONを開発し、2011年8月末から定期的に現地での調査を実施し、自治体ホームページ等にて調査した線量率分布を公表している。

これまでの調査を通じて、単に線量率を測定するのみならず、主要な汚染源の方向が分かるようにガンマ線の入射方向も測定出来れば除染の計画や評価を行う上でとても有用であると考えようになり、本研究助成により指向性がある自動車走行サーベイシステムを開発した。

## 2. 研究の目的

被災地では、放射性セシウム(Cs-134及びCs-137)から放出されるガンマ線によって線量率が上昇しており、線量率を低下させるためには除染等で放射性セシウムを取り除く必要がある。もし、ガンマ線が主にどの方向から入射しているか知る事が出来たならば、その方向を重点的に除染すれば良い事が分かるので、効率的に作業を進める事が出来る。しかし、通常の測定で用いられるNaIシンチレーションサーベイメータでは、ガンマ線が高い透過力を持っているために、どの方向から入射しても検出するので入射方向を知る事は困難である。

放射性セシウムの分布を得る事が出来る方法として、日立や東芝によるガンマカメラやJAXAによる超広域コンプトンカメラなどがある。これらの方法を用いる事で、詳細な放射性セシウムの分布を画像上に分かりやすく表示できるのでとても優れた方法であるが、一方で、装置が高額であり、また測定にも時間がかかるので、今回のように複数の市町村にまたがる広域での調査に用いる事は難しい。

以上の状況を踏まえ、本研究では、さまざまな方向に向けた鉛遮蔽体付検出器で構成される指向性がある自動車走行サーベイシステムの開発を行った(図1)。開発したシステムは、ガンマカメラなどと比較して位置分解能は劣るものの、自動車で行きながら連続的に測定を行う事が出来るので、広域の調査に用いる事が出来るという優位性を持つ。仮に位置分解能が不足するためにガンマ

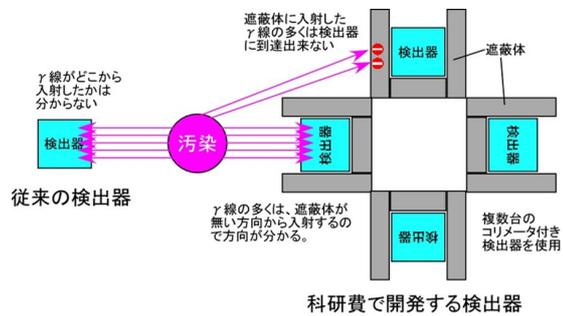


図1. 開発するシステムの概念図

カメラ等での追加調査が必要な場合でも、ガンマカメラを向けるべきである主要な線源がどの方向にあるのかを開発したシステムの結果から知る事が出来るので、ガンマカメラ等での効率的な調査実施に資する事が出来る。

## 3. 研究の方法

(1) 使用する放射線検出器の機種選定を決定し、遮蔽体を設計する。遮蔽体付検出器を1台試作し、標準線源でのテスト測定及び被災地でのテスト測定を実施する。

(2) BISHAMONで開発したソフトウェアを基に、制御及びデータ解析ソフトウェアを開発する。

(3) 検出器及び遮蔽体等から成るハードウェアを完成させ、被災地等でのテスト測定を行う。

(4) 測定値を補正するための補正係数を決定する。

(5) 開発したシステムで現地調査を実施する。得られたデータを分かりやすく表現する方法を開発する。

## 4. 研究成果

(1) システムの設計と試作機での測定  
検出器は、エネルギー弁別により散乱線による寄与を排除するためにスペクトル測定が可能であり、遮蔽体を含むシステム全体の重量を低減させるために出来る限り小型のものが望まれる。この条件に合致する浜松ホトニクス製放射線検出モジュールC12137-01を用いる事にした。同検出器はBISHAMONでも使用した実績を有しているために、BISHAMONで開発した制御プログラムを基に、制御プログラムを開発できるという利点もある。

予算及び検出器配置条件等より、検出器台数は6台とし、自動車の進行方向の前後左右及び上下の6方向に向けて設置する事に決定

した。

同検出器用の鉛遮蔽体としてステンレス製容器の中に鉛合金を鋳込んだものを1個試作した(図2)。鉛合金の厚さは45mmで、662 keVのガンマ線を0.7%しかそのまま通過しない厚さである。試作品を用いて、正面の入射方向以外からのガンマ線の入射が十分に減じられることをCs-137密封小線源での測定で確認した。

試作した遮蔽体付検出器を用いて被災地でのテスト測定を実施した。線量率の変化が大きい地域にて1周約9kmのテストコースを設定し、1台の遮蔽体付検出器を向ける方向を変えて、6周(つまり6方向)の測定を実施した。向けた方向によって計数率変化の仕方が異なっている様子が観測できた。

測定したガンマ線スペクトルより、エネルギー弁別の範囲を550 keV~900 keVに決定した。エネルギー弁別する事で計数率は大幅に低下してしまうが、散乱線の影響を低減さ

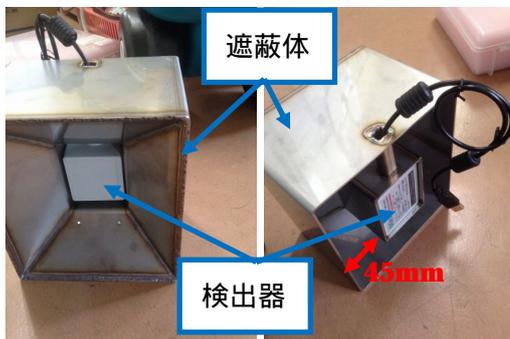


図2. 試作した鉛遮蔽体。左は正面から撮影したもので中央に検出器が取り付けられている。右は裏面の写真で、鉛を鋳込む前なので空洞になっている。

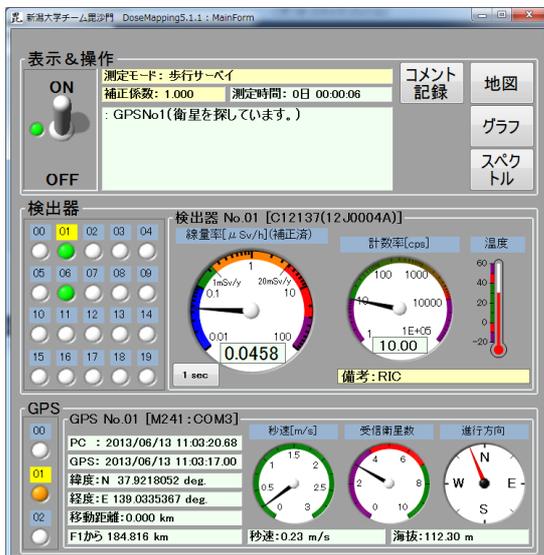


図3. 開発した制御用ソフトウェアのメイン画面

せて、直接線を観測するために必要である。線源から放出された後に直線的に入射する直接線と異なり、散乱線はどこかで散乱してから検出器に入射するので線源の方向を表していないためである。

## (2) 制御及び解析用ソフトウェア開発

過去にBISHAMONで開発したソフトウェアを基盤に、制御できる検出器の台数を増やした制御ソフトを開発した。開発したソフトでは、将来の拡張も視野に入れて、最大で検出器20台とGPS3台を同時に制御する事が可能であり、リアルタイムでの地図上への結果プロット、時間変化のグラフ表示、ガンマ線スペクトル表示などの機能も有している。

解析用ソフトウェアとして、制御用ソフトで記録した測定結果から各地点での各検出器で測定したスペクトルを作成し、エネルギー弁別した計数率を計算し、補正を施した後に、GPSからの位置情報と合わせた結果を出力するソフトを開発した。

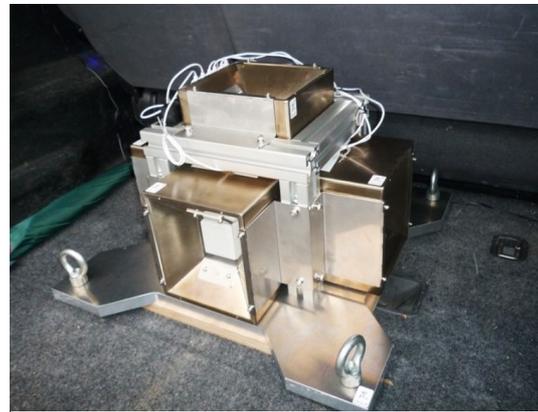


図4. テスト測定時の検出器写真。6台の遮蔽体付検出器がそれぞれ自動車の進行方向の前後左右及び上下に向けて設置されている。

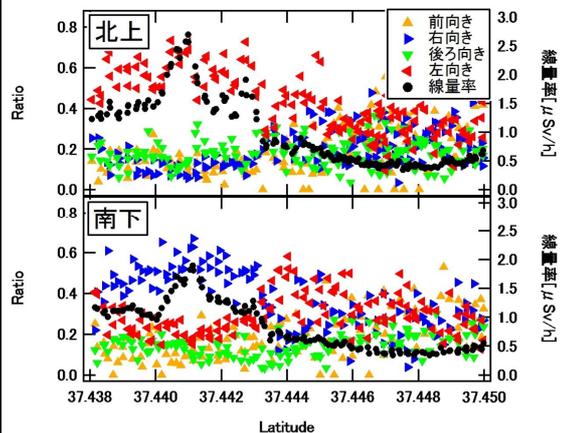


図5. テスト調査の結果。37.441°付近では道路の西側に主要な線源がある事が分かる。

### (3) ハードウェア作製とテスト測定

遮蔽体付検出器を6台すべて作製し、調査用自動車(三菱パジェロ)に搭載し、浪江町等でテスト測定を行った。各方向に向けた検出器に対する車体による遮蔽効果を補正するための係数が未導出であったので、検出器を中心に自動車を90度毎に回転させた状態で測定し、4方向(前後左右)の計数率を補正するための係数を導出して解析を行った。調査結果の例を図5に示す。南北に延びる道路を北上した場合(上グラフ)と南下した場合(下グラフ)時の測定値で、横軸は緯度、縦軸は線量率(右軸)と前後左右方向を向いた検出器の計数率の比(左軸)を表している。線量率が最大になる37.441°付近では、北上した場合は左向き、南下した場合は逆に右向きの検出器がそれぞれ高計数率(4方向合計の70%程度)になっているので、西側に主要な線源がある事がはっきりと読み取れる。グラフ右半分の線量率が比較的低いところ(0.5 $\mu$ Sv/h程度)は、計数が少ないのでばらつきが大きく分かりづらい。この時は50km/h程度で走行し、1点当たり2秒の測定時間でグラフ化したが、ばらつきが大きい時は走行速度を遅くし、1点当たりの測定時間を長くすることが有効である。

### (4) 補正係数の決定

測定値を補正するための補正係数を決定した。まず、検出器毎の検出効率の違いを補正するために、Cs-137標準線源を用いて、校正定数を決定した。次に、自動車の車体による遮蔽を補正し、自動車が無い時の計数に換算するための補正係数を次の手順で決定した。まず、システムを搭載した調査用自動車(日産セレナ)を停車し、10分程度の時間をかけてスペクトルを測定する。この時の検出器の位置を記録し、自動車を離れた位置へ移動させた後、同位置にて自動車が無い状態での測定を実施しスペクトルを得る。両スペクトルの計数率を比較し、補正係数を導出する。自動車が無い状態での測定は、システムが重量物(約200kg)であるため6台同時には行わず、1台の遮蔽体付検出器を専用の架台に取り付けて、1方向ずつ測定を実施した(図6)。この測定を計数率が異なる2ヶ所で行い、別に測定したバックグラウンドを差し引いた結果をプロットしたグラフを図7に示す。各方向の結果を、原点を通る直線でFittingして、補正係数を導出した。

### (5) 現地調査の例と結果表示方法開発

開発したシステムを用いて住民から調査依頼があった地域などで現地調査を実施した。得られたデータを補正し、各方向から入射したガンマ線(直接線)の割合を導出した。得られたデータを解析し、分かりやすく表示出来る形式に変換するソフトを開発した。開発したソフトで解析した結果を図8に示す。測定値を2秒毎にまとめて解析し、線量率に

よって色分けした記号で、地図上に表示した。記号の形状は、入射割合が35%を超える検出器があった地点はその検出器の方向を示す形状で、35%を超える検出器が無かった地点は四角の形状をプロットした。検出器の方向



図6. 補正係数導出のための車外測定の様子。重量物の遮蔽体付検出器1台を専用の架台に取り付けて、1方向ずつ測定を実施した。写真は左方向を測定時のもの。

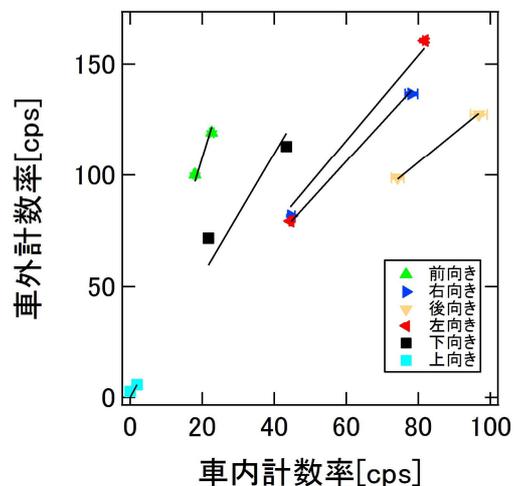


図7. 自動車内外の比較測定結果



図8. 調査結果地図(Google Earthを使用して表示した。)

は、上下は専用の記号で表し、前後左右は検出器が向いていた方向の矢印で示した。

図8より、例えば と記した白線で囲った農道は地面からの寄与が大きく、また の道は道路の右側にある林の方向から入射するガンマ線が多い事等が読み取れる。以上のように、開発したシステムの測定結果より、主要な汚染源がどの方向にあるのかを判別できることが分かった。

#### (6) まとめと今後の展望

6台の鉛遮蔽体付 CsI で構成される指向性がある自動車走行サーベイシステムを開発し、実際に福島原発事故被災地域での調査に用いて、ガンマ線(直接線)の方向別入射割合についての情報が得られることを示した。直接線は線源がある方向から入射するので、入射割合が最も大きい方向に主要な汚染源がある事が分かる。よって、その方向にあるものを重点的に除染する事で効率的に線量率を下げる事が出来るので、効率的な除染の実施に資する事が出来る。

開発したシステムは、研究協力者の内藤眞名誉教授により、検出器台数と同数の6本の腕を持つ阿修羅にちなんで ASURA1号と名付けて貰った。

今後、ASURA1号による測定箇所を増やしてデータを蓄積し、有効活用してもらうためにデータを公開していきたいと考えている。また、6方向の内、下向きの検出器の計数率は地表付近の放射能濃度と関係があるので、土壤中放射能濃度を算出する方法の開発にも取り組む予定である。

#### 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 1件)

葛蒲川由郷、後藤淳、チーム毘沙門の南相馬市支援活動記録、新潟県医師会報、査読無、771、2014年、pp.1-7

〔学会発表〕(計 3件)

後藤淳、天谷吉宏 他、指向性があるガンマ線自動車走行サーベイシステムの開発、日本原子力学会、2015年3月20日~22日、茨城大学日立キャンパス

後藤淳、天谷吉宏 他、GPS連動型放射線測定システム BISHAMON の測定結果と開発状況について、第二回原発事故被災地における放射線量マッピングに関する技術開発・運用とデータ解析に関する研究会、2014年10月15日、京都大学東京オフィス

後藤淳、天谷吉宏 他、GPS連動型放射線測定システム BISHAMON の測定結果と加発状況について、原発事故被災地における放射線量

マッピングに関する技術開発・運用とデータ解析に関する研究会、2014年3月13日-14日、京都大学原子炉実験所

〔その他〕

ホームページ等

ホームページ：Web-map

<http://www.bishamon.org/minamisoma>

ホームページ：南相馬市 HP にて結果公表

<http://www.city.minamisoma.lg.jp/index.cfm/10,1017,59,257,html>

<http://www.city.minamisoma.lg.jp/index.cfm/10,984,59,257,html>

新聞報道：

「新大有志と線量地図作る米大学講師」新潟日報、2014年12月19日

新聞報道：

「福島支援の在り方を考える 新大教員ら活動報告」新潟日報、2014年12月13日

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

後藤 淳 (GOTO, Jun)

新潟大学・研究推進機構・助教

研究者番号：90370395