

放射線マッピングシステムの開発と展開

原子炉実験所 技術室

奥村 良

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災とそれに伴う津波により、東京電力福島第一原子力発電所で我が国最大の原子力災害が発生した。福島県を中心を広範囲にわたって放射性物質が拡散し、現在も多く住民の方々が避難生活を余儀なくされている。原子力災害において、迅速かつ精密な空間線量マップを作ることは、住民のみなさんの被曝状況や環境の汚染実態を把握し、被曝低減のための適切な行動計画の作成や環境修復を行うための基礎データとしてきわめて重要である。そこで、我が国の大学として最大の原子炉を保有し、多数の原子力や放射線に関連する分野の専門家を有する研究所である京都大学原子炉実験所では、谷垣実助教が中心となり、福島での原子力災害の被害状況を迅速かつ詳細に把握する事を旨とした KURAMA^[1](Kyoto University RAdiation Mapping system)を開発した。

2. KURAMA

KURAMA のシステム構成を図 1 に示す。自動車に搭載され移動しながら空間線量率を測定する車載機、車載機が測定したデータの保存や可視化のための処理等を行うサーバがあり、これらが携帯回線を通じてネットワークで結ばれている。KURAMA では汎用機器をベースにした γ 線測定システムとしたため、一般の乗用車に容易に積み込めるサイズかつ安価なシステムに仕上がった(図 2)。車載機のサーベイメータで測定された空間線量率は、インターフェースボックスを介して PC へ送り込まれ、一定の周期で GPS の緯度経度、時刻他の情報とともにテキストファイルに記録する。このテキストファイルは 3G 回線を通じて Dropbox により遠隔地のサーバとリアルタイムで共有している。測定周期は任意に設定できるが、通常 3 秒ないし 10 秒間隔で運用される。測定データは PC 上で線量値と測定場所がグラフィックで表示され、測定車内でも自車の測定状況が容易に把握できるようになっている。車載機のソフトはすべて National Instruments 社の LabVIEW で開発されている。車載機が測定したデータの蓄積や処理を行うサーバは Apache、PHP ベースで、クライアントからのリクエストに応じて動的に KML ファイルを生成する機能を有している。サーバに接続してデータを閲覧するため

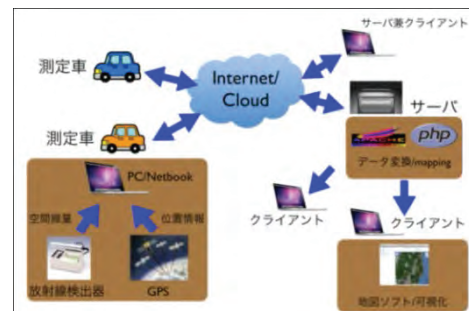


図 1. KURAMA の構成



図 2. KURAMA 車載機



図 3. Google Earth 上での可視化の様子

の PC をクライアントと呼んでいるが、実際は Google Earth がインストールされている普通の PC である。Google Earth 上では放射線量に応じた色の丸として測定位置に表示され、この丸をクリックすると測定データの詳細が判るようになっている(図 3)。

3. KURAMA の運用

KURAMA では車内にサーベイメータを設置するため、車体の遮蔽効果を確認しなければならない。周囲 10 m 程度の範囲に障害物のない、アスファルト等で舗装された平地の中央部を遮蔽効果の校正ポイントとし、校正ポイントの 1 m 高さでの空間線量率の測定を行ったあと、サーベイメータを取り付けた測定車を同一地点に止め、そこでの空間線量率を測って遮蔽効果を求める。遮蔽効果は広い線量率の範囲で一定の比率を適用できることを確認している。一般的な乗用車

の場合、車外の線量率は車内での計測値の 1.3 倍程度となる。

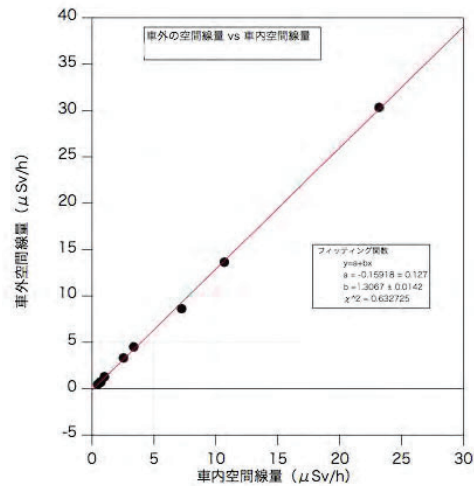


図 4.車体の遮蔽効果

KURAMA が正式に調査に活用されたのは 2011 年 6 月からである。福島県では走行サーベイ班を組織され、各市町村の協力のもと 20 台の車載機を活用して極めて綿密なマップを作成、データを公開されている^[2]。高線量が確認された場合、さらに精密な調査を行い特定避難勧奨地点の指定など必要な措置を行うことになる。KURAMA は文科省 EOC の放射線量等分布マップ作成でも活用いただいている。航空機サーベイでは見えなかった局所的な線量の高低を捉える事に成功している。その結果の概要は航空機サーベイや土壌測定の結果と併せて放射線量等分布マップやデータベースとして公開されている^[3]。また緊急時避難準備区域の解除に向けた詳細調査他にも活用いただいている。これらの測定の際は、我々も現地入りして運用のサポートを行った。

4. KURAMA-II

これまででは事態の把握のための調査が中心であったが、今後は長期にわたる空間線量の推移の継続的な監視体制を構築して行く必要があるが、福島県全域を綿密にカバーするモニタリングポストの数は相当なものとなり、費用や運用の負担が極めて大きくなる。また、調査のための専用の人員を何十年も確保することも困難である。そこで、現行 KURAMA を小型化・ブラックボックス化した KURAMA-II を開発した(図 5)。KURAMA-II は National Instruments 社の組み込み PC である CompactRIOⁱをベースとした自律計測可能なシステムである。CompactRIO は LabVIEW でプログラミングが可能であり、実績のある KURAMA のソフトウェア資産をほぼそのまま流用できたことで効率よく開発をすすめることができた。検出器は浜松ホトニクス社の CsI 検出器 C12137 シリーズを採用した。



図 5.KURAMA-II

C12137 シリーズは USB バスパワーのみで動作する USB 機器で ADC を内蔵しており、測定した γ 線ごとの波高情報が出力される。このため単にサーベイメータの空間線量率を記録していた KURAMA と異なり、KURAMA-II では γ 線のエネルギースペクトルが得られるようになっている。GPS とネットワーク回線は National Instruments 社のサードパーティーであるドイツの SEA 社が販売している CompactRIO 用 GPS-3G モジュールを採用した。KURAMA-II は小型かつ耐環境性の高い自律計測可能なシステムで、データ転送やシステムソフトウェアのアップデートを含め、測定車内での操作は一切不要で電源を入れるだけで測定を開始するので移動車両に搭載する場合はエンジンと連動して自動測定が可能である。

5. KURAMA-II の運用

2011 年 9 月に原理検証機による福島での試験を行った後、福島交通株式会社のご協力により、2011 年 12 月から福島市近郊路線で路線バスによる実証試験を開始し、1 年間の実証試験により、ソフトウェアのバグや実運用環境下でのノイズ対策、熱問題対策などを行った。福島市内での実証試験の結果、KURAMA-II の機材としての安定した運用が可能となったため、2012 年 12 月末以降は実証試験の対象範囲を福島県の主要地域（福島市、郡山市、いわき市、会津若松市の各市とその近郊）に広げ、広域での継続的な監視体制の運用を継続中である。測定は京大原子炉が製作した KURAMA-II 試作機 5 台で行われ、一週間ごとの測定結果を地図上で可視化して公開している^[4]。この路線バスによる監視体制については、京大・福島県・JAEA の三者による共同事業を 2013 年 8 月より開始している。京大の指導のもと福島県により約 50 台規模の路線バス等への KURAMA-II の展開で全県規模に測定範囲を広げ、JAEA が我々と同様にウェブ上で公開しており^[5]、また福島駅前にあるユニックスビル 1F の大型ディスプレイにはリアルタイムで生データを公開している。

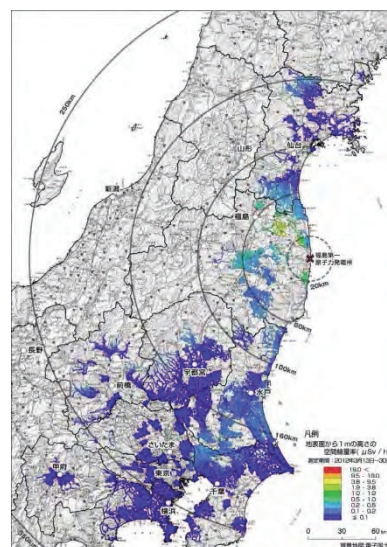
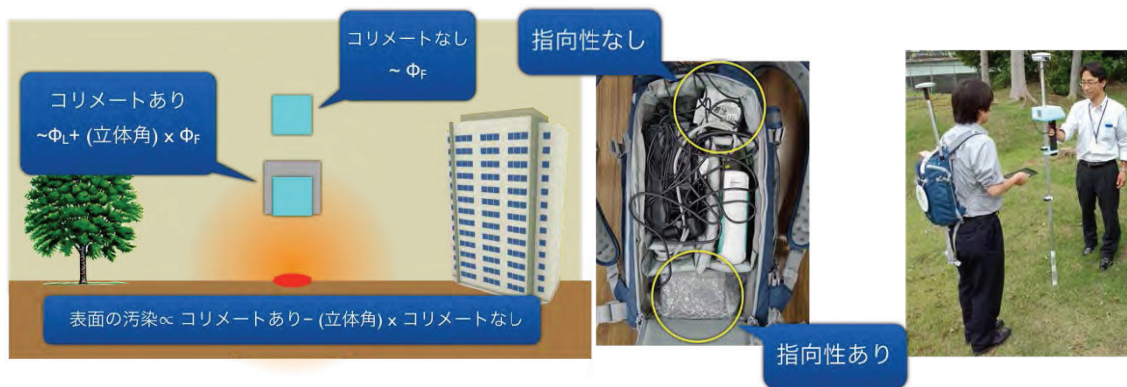


図 6. 東日本全域調査結果

取り扱いの容易になった KURAMA-II は文科省の東日本一帯の走行サーベイ調査でも採用された^[6]。それまでの KURAMA による調査では操作方法を習得した測定者のチームが編成されていたが、現在では KURAMA-II を東日本一帯の自治体に貸し出し、自治体職員に普通乗用車への設置と当該自治体内での測定依頼を行う形となった。測定データはほぼリアルタイムで自治体側に提供され、自治体単位で実情や住民の関心に即した調査を行えるようになった。現在この事業は原子力規制委員会に移管され、年数回の頻度で実施されている(図 6)。

6. 徒歩サーベイ開発

公園や宅地、農地などでは局所的な除染が必要なため、より綿密な測定が必要とされることから徒歩サーベイによる汚染状況の把握が期待されている。従来、地表の汚染を調べるにあたっては、サーベイメータで地表付近と高さ 1 m 付近の線量率をはかり、その差の有無で判断する、あるいは地表付近に鉛で囲いを作り、その中にサーベイメータを入れて測定する手法が一般的で



徒歩型サーベイ(左:図 10.コンセプト、中央:図 11.リュックの中身、右:図 12.測定風景
ある。しかし、作業が煩雑すぎるため、面的に分布した汚染分布を測定には大きな労力が伴っていた。そこで、開発した KURAMA-II をベースに面的な測定を簡便にできる歩行サーベイシステムを開発した。このシステムでは、地表方向からの γ 線を観測するように鉛で囲んで指向性を持たせた検出器 A と鉛で囲わない検出器 B をおおよそ高さ 1 m 程度に設置する。そして、これらの二つの検出器の線量率の違いから地表の汚染の度合いを評価する。これにより、高さの異なる 2 点での測定が不要となるため、測定者はシステムを入れたバッグを背負って歩くだけで地表の汚染の有無の情報が得られることがわかった。

7. まとめ

東日本大震災直後より開発を始めた KURAMA は、開発スピードの速さ、利便性の良さ、シンプルな構成ゆえ量産が可能なことから多くの方に利用され、実際に国や自治体の調査で役立っており一定の成果を上げたと感じている。また、一番の成功の要因は現地に何度も足を運び、県の担当者と一緒に思考錯誤しながら本当に必要なものを開発し、測定したデータの処理方法、公開方法までアフターケアを惜しまなかったことであると思っている。

装置の開発自体は概ね完成しているので今後は更なる展開が期待される。路線バスでの測定は京大、JAEA、福島県の三者での事業が行われており、今後も福島県内全域の長期的な測定を実施することが決まっている。徒歩サーベイやバイクサーベイは現在、福島県各所で特性試験を行っているところである。特に徒歩サーベイについては既に商品化されており、福島県の農業復興に貢献できるように、今後も継続的な支援と開発を続けていこうと思う。

参考文献

- [1] M. Tanigaki, R. Okumura, K. Takamiya, N. Sato, H. Yoshino, H. Yamana Nucl. Instr. Meth. A **726** (2013) 162-168.
- [2] <http://www.pref.fukushima.jp/j/soukoukekka.htm>
- [3] <http://ramap.jaea.go.jp/map/>
- [4] http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/kurama/kouiki/kurama2_test.html
- [5] <http://info-fukushima.jaea.go.jp/joho/>
- [6] <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/338/list-1.html>

『放射線マッピングシステムの開発と展開』：感想（抜粋）

- ・第6専門群の専門研修で原子炉をお尋ねし、本システムについてお話をお伺いしました。今回、後日談というか、その後の発展をお聞きできて嬉しく思います。
このシステムは、一大学の研究にとどまらず、今の日本が抱える大きな問題に対し、学術研究がどのように貢献できるかということに対する、一つの答えであると思います。もちろん色々な場で評価されているとは思いますが、京都大学としても、もっとこの成果を大きく評価し、学術研究が社会に貢献できるというところを世の中に知らせることもあって良いかと思います。そう思わせてくれるくらい、私はこのシステムの開発とその展開に大変感銘を受けております。
- ・福島原子力事故による放射能汚染に断固対処するという意気込みが良く伝わって大変良かったと思います。原子力そのものを利用する職場に勤務されているので、何とかしなければという意識も高かったのだらうとも思います。正しい値を測定・提供する手法を実現するために苦勞を厭わずまい進されたこと、1人ではどうする事も出来ない状況を打破し思いを実現する為には、人と人との繋がりがいかに必要かを説明されたことも大変心にのこりました。
- ・東日本大震災とその後の原子力災害の裏で京都大学原子炉実験所がここまで活躍しているとは全く知らなかった。継続的な支援や開発は大変難しいと思うが、災害までの日々の積み重ねを存分に生かして活躍され、今もなお取り組んでいる職員の方々は本当に素晴らしいと思う。
- ・路線バスに取り付けるというのは素晴らしいアイデアだと感心しました。また、すでに実用化されていて販売までされていることに驚きました。こういった人の役に立つ技術を提供出来るよう、日々の業務に取り組んでいこうと思った。
- ・これまでも何度か研究会などで、発表されているのをお見掛けしてお話を聞いたこともありましたが、やはり凄い一言です。3.11の発生後、迅速に観測装置を試作して、実際に現地で試行錯誤をくり返し、更に小型化を進め、最終的には市内を走るバスに搭載してマッピングを行うところまでできており、現在はリアルタイムで見れるということで、実際に Web で確認してみたが、凄くよくできているなと感じた。また、リュックサックタイプのものや、車の入れない場所に行くためのオフロードバイクタイプまで作られているのは驚いた。これで、バスの入れないような場所についてカバーするというので、この KURAMA という装置が非常に汎用性の高い装置だと感じた。私も、このように社会貢献できる物造りができればと考えている。

・京都大学の技術職員が東日本大震災の原子力災害に遭われた方々に貢献する開発に携わっていたことを今回の講義で初めて知りました。従来からある測定車は原子炉実験所で開発された KURAMA よりも多機能だと思われますが、測定車本体が被ばくしてしまっただけでは意味がありません。小型で普通車に設置できる KURAMA は災害の経験があったからこそ出来たシステムだと思います。研究段階から実際に運用し、量産できるまで多くの苦労があったと思いますが、現在路線バスに設置して毎日測定したり、徒歩でしか行けない場所での測定を可能にしたりと運用の幅が広がっており、これからの開発や支援に期待します。

・機能を限定した小型測定器（KURAMA）を制作して自家用車に積んで測定ができるようにしようとした発想がおもしろかった。しかもそれがバス会社と提携することで毎日の線量をリアルタイムで知る事ができる。これほど地域住民に分かり易い情報のフィードバックはあるだろうか。通信量の抑制や色々ご苦労はあったと思うが、自身の行っている業務が災害支援に役立っていると確実に実感できる素晴らしい業務だと感じた。

・KURAMA システムが開発から 4 年で多岐に利用されていることに、感心しました。放射線量の云々は別として、少なくとも今住んでいる所の放射線レベルが日々どれくらいなのかを容易に住民が知ることができるようになっていくことは重要だと思います。また、将来の低線量レベルに対する放射線影響を調べるのにもきっと役に立つと思います。

・サーベイメーターの測定結果と Google Earth の GPS システムを連動させて、各地点の放射線測定の値を地図上にマッピングする。そのようなシステムが先生を中心として開発されたということで発想が分かりやすいなと思った。もし自分だったら手作業で各地点の放射線濃度を測定してノートに記録していくだけで終わるが、そこから延長して全ての作業を機械化して自動化した所はさすがメカに精通した先生や技術職員の力の賜物だなと思った。その他ではあるが、放射線を線香花火に例えて説明する所が分かりやすくてうまいと思った。年 1 回の RI 再教育訓練では講師として説明する機会が将来あると思うが、そのまま使えそうな例えだなと思った。



奥村係長の講義