
移動型放射線自動記録装置の開発

第1章 プロジェクトの概要

1. はじめに

2011年3月11日、宮城県三陸沖を震源とする日本の観測史上最大の地震が発生した。この地震によって、宮城県をはじめとする東北地方沿岸部を大津波が襲い壊滅的な被害を受けた。この一連の災害は、東日本大震災と呼ばれる。福島県双葉郡大熊町にある東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発）も大津波に襲われた。津波に襲われた福島第一原発は冷却機能が停止し、震災後約15時間でメルtdownしたと見られている。その後1号機、3号機で立て続けに水素爆発が発生した。冷却機能が停止し、高温になった原子炉を冷却することが優先され、冷却水漏れや高濃度汚染水の流出が余儀なくされた。

以上の出来事により放射性物質が周辺に飛散され、原子力安全保安院による暫定評価はレベル7とされた。これは、1986年4月に旧ソビエト連邦で起きたチェルノブイリ原子力発電所事故に匹敵するレベルである。チェルノブイリ原子力発電所周辺は事故から四半世紀経った現在でも生活することが困難な状態である。放射能汚染の問題は、その半減期から長いスパンで取り組んでいかなければならない。そのため、継続性の観点から観ても地方自治体レベルでも放射線量を測定できる必要があると考えた。また、地域に密着した地方自治体が放射線測定を行うことで、被災者にとってその情報は信頼できるものとなり、放射線に対する不安を少しでも和らげることができると考えた。

そこで我々は、京都教育大学の e-Project というプログラムを利用して、移動型放射線自動測定器の開発を行った。そして、開発した移動型放射線自動測定器の性能を確かめるため、2011年7月22日から24日にかけて実際に福島県に赴き、放射線量を調査した。また、原発事故から半年が過ぎた2011年11月20日にもう一度福島県へ赴き、農作物の購入、土壌試料の採取を行った。それらの試料について、NaI シンチレーション検出器を用いて放射能汚染による影響を調査した。今回は特に、メディアでも話題になっている ^{137}Cs と ^{134}Cs に注目して調査を行った。

2. 代表者および構成員

・代表者

山本 賢 理科領域専攻 3 回生

・構成員

越智 祐太 理科領域専攻 3 回生

近藤 健 理科領域専攻 3 回生

松尾 勇馬 理科領域専攻 3 回生

3. 助言教員

高嶋 隆一先生（理学科）

第2章 プロジェクトの実施内容

1. 移動型放射線自動測定器の開発

(1) 概要

車にガイガーカウンターと DoseRAE2 を取り付け、福島県内を走行してデータを収集した。この実験では、誰でも簡単に放射線量を測定できる方法を研究した。走行経路は図1に示す。



図1：福島県内走行経路

(2) 方法

ガイガーカウンターと DoseRAE2 を袋に入れ、ガムテープで木の棒に巻きつける。それを車に装着したマグネットスノーラックにセットする。ガイガーカウンターに USB ケーブルをセットし、車内のパソコンに接続する。そして、福島県内を走行しながら放射線量の測定を行う。この時使用するパソコンのソフトは、Strawberry Linux の HP よりインストールすることができる。

また、測定経路のデータをとるために GPS を車内に設置する。GPS データは、ROOT という解析ソフトを用いて USB ガイガーカウンターのデータとリンクさせる。USB ガイガーカウンターは 1 秒間のカウント数を足したり引いたりして 1 分 (60 秒) 間のカウントを測定している。また、RAE2 は積算量を計測する。これら両者のデータを比較することによって、機器は正しく動作しているのか確かめる。



図 2 : USB ガイガーカウンターと DoseRAD2 を取り付けた様子

2. NaI シンチレーション検出器での調査

(1) 概要

今回使用した NaI シンチレーション検出器は、平成 23 年度前期物理学実験で、近藤・西村チームが作成したものをを用いた。

2 泊 3 日の 3 日目に、福島県立郡山高校のグラウンドで測定を行った。福島県立郡山高校のグラウンドは、放射性物質の影響を緩和するために表面土壌を削る作業をしていた。そこで我々は、表面土壌を削った場所と削っていない場所で測定を行った。

(2) 方法

NaI シンチレーション検出器、パソコン、豊伸電子 MULTI-CHANNEL ANALYZER、高圧電源、インバーターをコードで接続する。この時、高圧電源を用いるのでアースさせる。豊伸電子 MULTI-CHANNEL ANALYZER の電源を入れてからパソコンを起動させる。パソコンの中の kyokyoMCA を起動させる。高圧電源を 1.3kV にセットし、スタートボタンを押す。すると、測定が開始される。

また、この時の測定対象は、郡山高校のグラウンドの土 (削る前、削った後)、 ^{137}Cs 線源 (標準線源) である。この測定データを ROOT を用いて分析を行った。なお、NaI シンチレーション検出器は γ 線を検出する。



図 3 : NaI シンチレーション検出器の接続の様子

3. 福島県の農作物と土壌

(1) 概要

福島第一原発事故から半年以上が過ぎたが、土壌の除染や剥ぎ取り作業が追いつかない状況がメディアでは報道されている。また、福島第一原発事故による放射性物質は現在も大気中に飛散している。そのため私たちは、除染や剥ぎ取り後の土壌も再び放射性物質による汚染の危険性もあるのではないかと考えた。

そこで、原発事故から半年以上過ぎた段階での除染の効果や農作物への影響について調査することにした。はじめ、新浜公園と信夫ヶ丘緑地公園を土壌試料採取地点として予定していたが、信夫ヶ丘緑地公園が立ち入り禁止であったため、現地で Radi が示す値から新

浜公園と信夫山公園で土壌を採取した。



図4：新浜公園の様子（左）
信夫山公園の様子（右）

(2) 方法

福島県で農作物の試料として、土壌からの放射性物質に汚染が想定される根菜類等の野菜と米を購入する。新浜公園と信夫山公園では、それぞれ4つの試料を採取する。方法は、次の通りである。

まず、ショベルを用いてU-8 容器の直径と同程度の円を描きながら、容器と同じ高さまで掘る。次に、掘った土をポリ袋に詰め、十分攪拌した後、U-8 容器に戻し、ふたをする。そして、U-8 容器の周辺に付着した土壌をウェスでよく拭き取り、容器ごとポリ袋に入れる。それらを京都教育大学で分析を行う。分析の手順については2. (2)に同じである。

第3章 分析・考察

1. 移動型放射線自動測定器の開発

図5のグラフで、13:22 のところが東北自動車道那須SAで、15:45 のところが原町火力発電所である。y軸はcpm(count per minute)である。これを $\mu\text{Sv/h}$ に換算するには、主な計算式などは存在しないので、Converting From CPM to mR/hr のHPにある記述を参考にする。今回測定したものは主に ^{137}Cs であると考えられるので、1/120倍すればよい。そして、図5の測定結果を $\mu\text{Sv/h}$ に換算して緯度経度情報にリンクさせたのが次の図7である。図5を見ると、約14:52 から約15:30の間で最高で約 $3.5\mu\text{Sv/h}$ まで放射線量が上がっていることが分かる。図7から分かるとおり、

ここはちょうど飯館村の辺りであった。また、約15:00付近で値が下がっているのは、トンネル内を走行していた影響である。図6のRAE2で測定したグラフを見ると、約14:50から約15:55の間で急激に線量の値が上がっていることが分かる。これら二つのデータを比べると、それぞれ同じような解析結果が得られたので、USB ガイガーカウンターもRAE2も正常に動作していたことが分かる。

放射線量の値は、京都教育大学A棟前では $0.078\mu\text{Sv/h}$ であることを参考にいただきたい。福島県の放射線量は少ないところでも約 $0.2\mu\text{Sv/h}$ であり、京教大のおよそ倍以上の放射線量である。

USB ガイガーカウンターは2万円前後で購入可能で、この時に使うソフトもフリーで入手できるので、誰でも簡単に放射線量を測定することができる。これは、広い範囲を測定する際に利用できる方法である。



図5：ガイガーカウンターによる測定結果

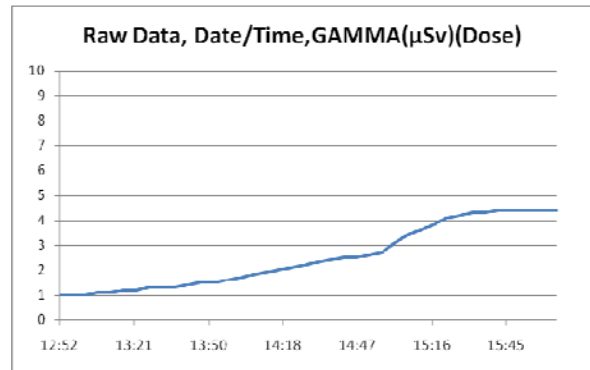


図6：DoseRAE2による測定結果

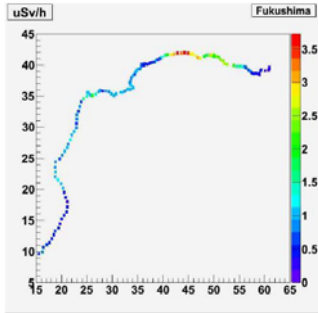


図7：USB ガイガーカウンターでの測定値と緯度経度情報をリンクさせた

2. NaI シンチレーション検出器での調査

図8、図9の横軸目盛約1800以下の山は、宇宙線や、自然界に存在する⁴⁰Kや今回問題になっているCsなどの放射性同位体によるコンプトンエッジからの影響であるので、ここでは言及しない。郡山高校での測定結果のスペクトルは図8、図9のようになった。しかし、これらのスペクトルは、測定の際に画面にピークが表示されるようにチャンネルを調整したので、横軸の数値は本来のエネルギー値に一致しない。そこで、まず横軸の数値からエネルギー値を出す式を示す。通常、横軸の数値とエネルギー値を対応させる場合、異なる2種類の線源を用いて求める。しかし、今回は線源が1つしかないため、図8の横軸目盛3700の辺りで計測された山を、現在注目されている¹³⁴Csによるものと仮定して考察を進める。

図10を見ると、¹³⁷Csはその93.5%がβ崩壊した後にγ崩壊している事が分かる。NaIシンチレーション検出器は、γ線を検出するので、スペクトルの横軸の数値にこのエネルギー値を対応させる。¹³⁷Csが崩壊する際に出すγ線のエネルギー値は、図10より0.6616MeVである。そして、図8より¹³⁷Cs線源を測定した赤線のグラフは、横軸約2700の辺りにピークができています。図10より、¹³⁴Csが原子核崩壊するとき発するγ線のエネルギー値は0.7958MeVと0.6046MeVの周辺に多く存在する。図横軸目盛3700の辺りで

計測された山は0.6616MeVよりも高いエネルギーを持っているので、0.7958MeVとおける。以上より、原点のずれを x_0 とすると、横軸の数値 x_u とエネルギー値 E_u の関係は式(1)のようになる。

$$2700 - x_0 : 0.6616 = x_u - x_0 : E_u$$

$$E_u = 0.6616 \frac{x_u - x_0}{2700 - x_0} \quad (1)$$

式(1)より x_0 を求めると、 $x_0 = -2229.9553$ となる。図8の黒線は、3つの山からできていることが読み取れる。山の重ね合わせも考慮すると、3つの山のうち、最もエネルギーの低い山は横軸目盛2200の辺りにあると考えられる。この横軸目盛2200の辺りにある山のエネルギー値を(1)式より求めると、 $E_u = 0.5945 \text{ MeV}$ となる。これは、¹³⁴Csが原子核崩壊するとき発するγ線の低い方のエネルギー値0.6046MeVに近いので、仮定の通り¹³⁴Csによる汚染の可能性が高い。

以上より、郡山高校の土壌を分析した結果、土壌は主に¹³⁷Csと¹³⁴Csによって汚染されている可能性が高いことが分かった。

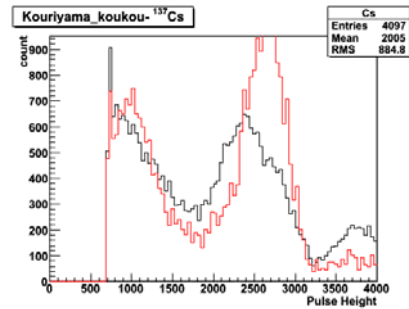


図8：郡山高校 剥ぎ取り前 (黒) と¹³⁷Cs線源 (赤) の比較

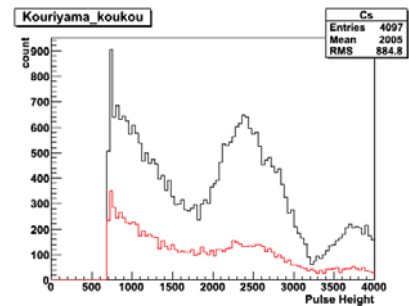


図9：郡山高校剥ぎ取り前 (黒) と後 (赤) の直接比較

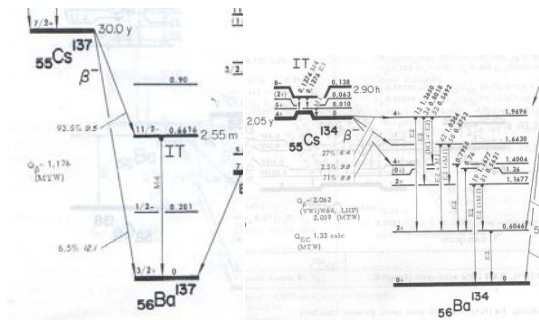


図 1 0 : ^{137}Cs (左) と ^{134}Cs (右) の崩壊エネルギー図

3. 福島県の農作物と土壌

今回は試料として、ジャガイモ(福島県産), ニンジン(二本松市産), サトイモ(伊達市霊山町産), 米(福島県産, 精米日: 2011年11月16日)を購入した. 今回, 比較に使用したバックグラウンド(赤線の部分)は, 京都教育大学で測定したものである. 米を分析した図 1 2では, ごく僅かではあるが, 横軸 1800~2000 の辺りに小さい山が計測された. これは, ある放射性物質によるコンプトンエッジの一部であると考えられる. そのため, この米は放射性物質に汚染されている可能性があると考えられる. 他の農作物は, バックグラウンドとの比較から, 目立った汚染は確認されていない.

したがって, 今回福島県で購入した農作物は, 放射性物質に汚染されている可能性は低いと考えられる. しかしながら, 米のように放射性物質による汚染が考えられる農作物も存在しているので, 継続的に調査することが必要である.

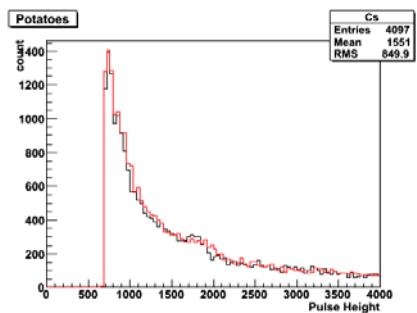


図 1 1 : ジャガイモと BG との比較

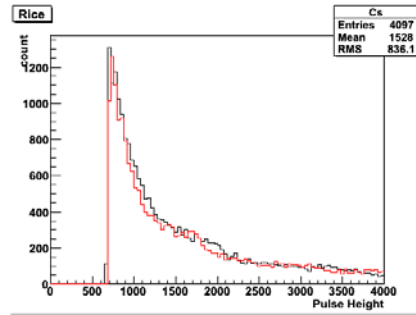


図 1 2 : 米と BG との比較

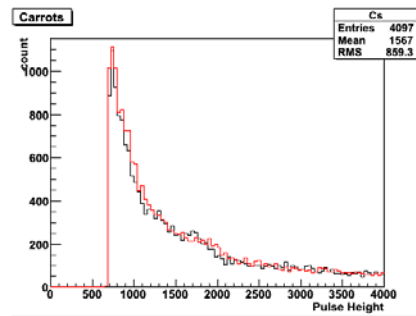


図 1 3 : ニンジンと BG との比較

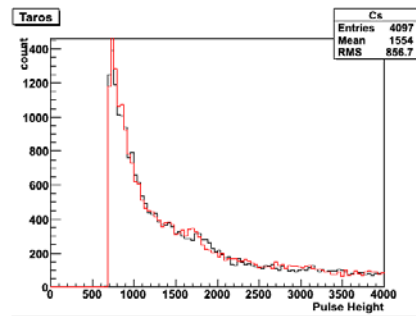


図 1 4 : サトイモと BG との比較

次に, 土壌試料の分析を行った. 信夫山公園と新浜公園の土壌試料を分析した結果は, 図 1 5 と図 1 6 である. 信夫山公園は, 除染作業が行われておらず, 新浜公園は, 剥ぎ取りによる除染作業が終了していた. 同じバックグラウンドを使用しているので, 図 1 5 と図 1 6 を比較すると, 剥ぎ取りによる除染効果が非常に高いことが分かる. したがって, 早急に剥ぎ取り作業を進めていく必要があると考えられる. 今回の調査及びデータ解析によって, 放射線検出や分析の技術を高めることができた.

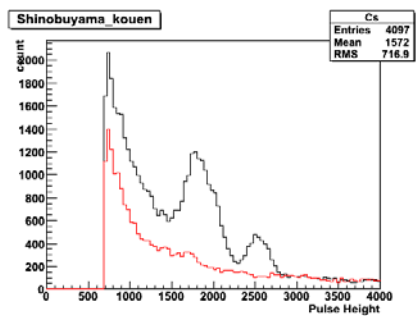


図 1 5 : 信夫山公園の土壌

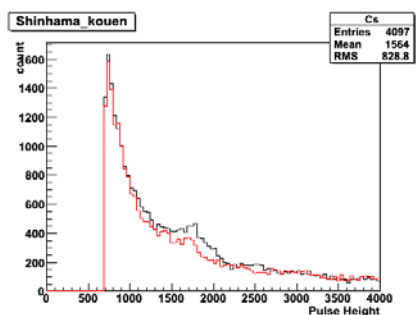


図 1 6 : 新浜公園の土壌

第 4 章 まとめ

移動型放射線自動測定器の開発では、プログラムとノウハウと安価な機器さえあれば、移動型放射線自動測定器は地方公共団体や市民でも容易に作ることができ、測定も行えることが示された。また、NaI シンチレーション検出器の測定実験では、 γ 線のエネルギーを分析することによって主な汚染物資が ^{137}Cs と ^{134}Cs である可能性が高いことが示された。また、剥ぎ取り前後の土壌を比較することによって、除染効果の有効性が示された。そして、福島県産の農作物を分析した結果では、米に少し放射性物質混入の疑いがあるものの、ニンジンやジャガイモなどの農作物に関しては、その安全性が示された。農作物は継続的に調査を行う必要がある。

第 5 章 今後の展望

現在問題になっている福島第一原発事故による放射能汚染は、放射性物資の半減期の関係から長いスパンでかかわっていかなければならない。そのためには、コスト面や操作の

面で、地方公共団体レベルで行える事が条件でなければならない。今回の e-Project では、その方法として、一台 2 万円前後で購入可能なガイガーカウンターを使った移動型自動放射線測定器を開発することによってできることを示した。この方法は、WEB 上に載せるなどして提供する。この方法を使って、福島県の放射能汚染に関する安全性の確認が今後行われていくことや被災された方々が少しでも安心されることを期待したい。

また、今回の測定を通して、放射線学には様々な単位が使われており、それぞれに意味があることを知った。それらの関係の中で cpm から $\mu\text{Sv/h}$ への換算などは厳密には決められていないことや測定機器による精度の違い、検出する放射線 (β 線や γ 線)の違い、測定機器についての知識など、様々な課題がある。人々が本当に安心して信頼できる測定結果が出せるように、今後もさらなる測定機器や放射能に関する知識の向上などに努めていく。さらに、教育現場での利用も検討していきたい。

<参考・引用文献>

- [1] 山口聡・近藤かおり・小寺正一, 福島第一原発事故とその影響, 国立国会図書館 調査と情報-ISSUE BRIEF- NUMBER 718, 2011
- [2] C.M.Lederer, Table of Isotopes Sixth Edition, JOHN WILEY & SONS, 1967
- [3] Black Cat Systems, Converting From CPM to mR/hr <http://www.blackcatsystems.com/GM/converting_CPM_mRhr.html> (2012/1/12 アクセス)