

# 放射能汚染の土壌調査への参加と 移動型放射線計測装置の研究

高嶋 隆一

Participation to Soil Investigation of Radiation Contamination and  
Study of Mobile Radiation Measurement System

Ryuichi TAKASHIMA

*Accepted December 16, 2011*

**抄録：**東京電力の福島第一原子力発電所の事故により大きな環境汚染が引き起こされた。この事故の対策を立てるための文部科学省の土壌調査に参加することで環境放射能計測の経験を積むことができた。また移動型放射線計測装置を作ることを通じて GPS 装置や USB ガイガーカウンターのデータロギングの仕組みの理解を深めた。NaI シンチレーションカウンターを使い、車載の装置を構成して放射能の核種の同定を行うことができたことを確認した。

**索引語：**移動型, 放射線, 計測

**Abstract :** Large-scale environmental pollution was caused by the accident at the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi nuclear power plant. Through participation in soil investigation for countermeasures of accident initiated by Japanese Ministry of Science and Education, many environmental radioactivity measurement experiences have been accumulated. Through use of the mobile radiation measurement system, understanding of mechanisms of data-logging from GPS devices and USB geiger counters was increased. Mounting an NaI scintillation counter on an ordinary car, identification of the radioactive activity nuclide was possible.

**Key Words :** mobile, radiation, measurement

## 1. はじめに

2011 年（平成 23 年）は特別な年になった。東日本大震災に続いて東京電力福島第一発電所において放射能を放出する事故が起きたからである。

著者は 3 月 13 日に帰国予定で、シリコントラッカーの実験シフトをとるために欧州原子核研究機関に出張中であつたが、11 日の朝のシリコントラッカーの関係での日本とのテレビ会議中に地震のあったことを知った。帰国後、3 月 14 日から東京に出張したが、福島第一原子力発電所の事故が拡大するなかで出張を切り上げて京都に帰ってきた。5 月に入って何気なく研究者のメーリングリスト

を見ると文部科学省が土壌調査を行うので、ボランティアを募集しているとの記事があった。5月13日に正式な募集のメールが土壌調査のメーリングリストに載り、基礎物理学研究室の取り組みとして応募した。

土壌調査とは別に、学生科研費プロジェクトで福島県の放射能を計測するというのとはどうかと、著者が物理学実験の受講者に聞いたところ応募してみたいということになった。研究の目標は自動車などの移動体を使って放射能汚染の状況を計測するシステムを作り、放射能計測についての知識を深めることにあった。ここではとくに、7月23日と24日に行った自動車を使った放射線計測について報告する。

基礎物理学研究室では素粒子物理学の半導体検出器の研究の経験はあるものの、環境中の放射線計測については全く経験がない中で取り組みを続けてきた。活動の中で環境を汚染した放射能の計測についての経験を積むことができ、放射線計測の技術を高めることができた。

## 2. 土壌調査への参加

6月3日から6月14日に渡って、文部科学省の土壌調査が行われた<sup>1)</sup>。基礎物理学研究室の学生の参加希望もあり、6月3日から6日までと6月10日から13日の2度にわたり教員と学生1名ずつが参加した。さらに、周辺地域の調査の参加募集があり6月26日から6月29日にわたって、4回生が2名参加した。調査の内容は、3km四方の内部に調査地点を設定し、3m四方の領域から約100mlの容積のプラスチックU8容器に土壌を5サンプル採取するものである。特別の資格を必要としないように、原発から20km以上離れた地域で活動することになっていた。

参加者が比較的研究者中心であることから、放射能に対する知識の強化の一環としてベータ崩壊の寿命に関係する勉強会を行った。ベータ崩壊の一般論としては基本パラメータがフェルミ結合定数と軸性ベクトルのベクトルに対する結合比  $C_A/C_V$  である<sup>2)</sup>。最大運動エネルギーに対しフェルミ関数が与えられており、通常の許容遷移は1分程度の半減期となることを学んだ<sup>3)</sup>。今回の汚染の主な核種は $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ であるが、半減期が2年と30年と長いわけは、それぞれが禁止遷移となっているためである<sup>4)</sup>。また、原子炉の運転原理についても学習した<sup>5)</sup>。

6月3日に採取のデモンストレーションがあったが、到着が遅れたために参加できなかった。しかし4日は採取方法の実地テストのために10人程度がタクシー3台に分乗して図1のように採取活動を行ったため、採取方法に習熟する機会を得ることが出来た。宿泊場所は汚染が少なく調査地域の中心にある岳温泉であった。

5日は本宮市で調査を行った。採取6地点の空間線量率が地上1mで1.4~2.1  $\mu\text{Sv/h}$ であった。全体で30の班が組まれていた。積算線量計で被ばく線量を計測することが義務付けられていたのでUSBガイガー測定器(Strawberry-Linux社)を連続して計数し、毎分のカウント数(cpm)の $\mu\text{Sv/h}$ への換算計数を110としていたので6600で割るというやり方で線量を評価した。個人の線量は7  $\mu\text{Sv}$ と評価された。

6月6日も本宮市の調査であったが、タクシーの運転手の方から知り合いの家の空間線量率をはかってほしいと頼まれた。線量計は日立アロカのNaIシンチレータと光電子増倍管を使った、較正済みの高価な携帯用のものである。特に家の中と外で違いがあり、家の中は外の1/3程度になっていた。ま



図1 採取作業の実地演習を3グループ合同で行っている様子

た市内の小学校のグラウンドで調査したときには、空間線量率は  $0.5 \mu\text{Sv/h}$  になっていたが、表土を削る除染が行われていたとのことだった。本来は何も手が加わっていないところが望ましかったのであるが、市役所の指定地点であったのでそこで採取した。他の4地点は  $0.9\sim 2.2 \mu\text{Sv/h}$  であった。指定地点がコンクリートと水没地であったため、近くの個人宅にお邪魔し、干し柿をごちそうになったりした。

報告作業を終え、京都への帰りの電車でノートPCでUSBガイガー測定器の記録を取ろうとしたところ、電池切れを起こしてしまった。計測中であったのでデータがなくなったと思い、郡山の駅でノートPCを動かしたところ、USBが使用不能になっていた。やはりガイガーカウンターの動作中に停電が起きたせいで、突入電流が流れたものと推定された。カウンターの動作のためにトランスにより数百ボルトに昇圧された電圧がかかっている部分がある。この回路が瞬間的に停電すると不具合が起こる可能性がある。

6月11日の採取地点は計画的避難地域の飯館村と指示された。採取地点は福島大学の難波教授の先導でタクシー2台でそれぞれ6か所回った。通行止めのところが多いからとのことであった。実際に道路が陥没しているところがあった。難波教授の話で $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の比率が同じであり、空間線量の減衰が期待できるという話が印象的だった。採取地点の空間線量率は地上1mで $1.6\sim 5.23 \mu\text{Sv/h}$ と高いところと低いところの差が大きかった。同行した方が日立アロカ製の線量計を携行しておられたので今回はかなり正確で、一日の積算線量当量は $15 \mu\text{Sv}$ であった。計画的避難地域では5月末に避難の期限があったらしいがこの時点では役場やスーパーが機能し、採取地点での挨拶のときに牛をせりに出したりして忙しいという話を聞くこともできた。

6月12日は日曜なのでタクシー1台の行動となり、南部の長泥という高い空間線量の場所を含む6地点を回った。6地点の空間線量率が地上1mで $4.5\sim 9.6 \mu\text{Sv/h}$ であり、一日の積算線量当量は $26 \mu\text{Sv}$ であった。図2のように長泥の近くは峠になっていて、南ははるかに原生林が望めた。峠のところで昼食をとったが、通りがかった浪江町でペットの救護活動をしているボランティアの方に警戒区域の様子を聞くこともできた。

6月13日も飯館村を回ったが、次の日の授業に備えて早めに帰ったので、記録シートは作成したが手元に残らなかった。研究室としては6月26日から6月29日の周辺地域の調査にも学生を派遣し

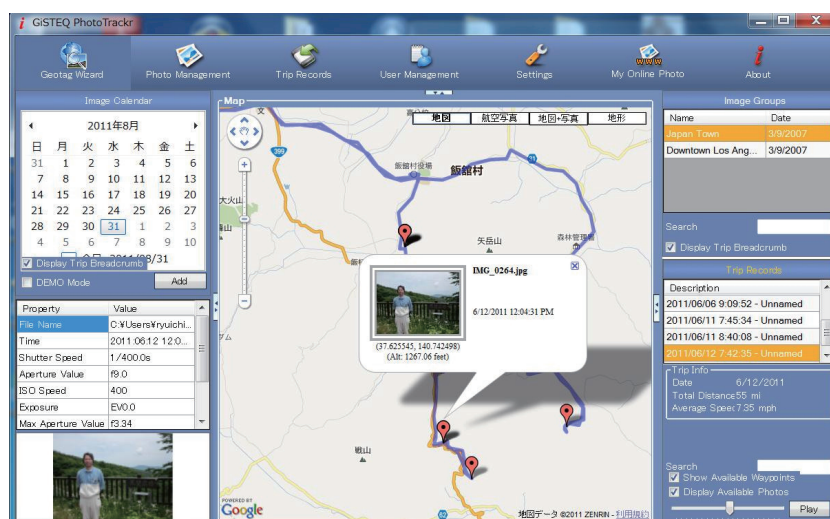


図2 GPS装置附属のソフトウェアで採取地点付近の写真を表示した様子

た。宮城県の丸森町で同じようにサンプル採取を行った。サンプルはゲルマニウム検出器のある研究機関に送られて解析された。U8 容器のほかに、一日に一度 30cm の金属筒を打ち込んで、深さ分布を計測するためのサンプルも採取された。この土壌調査では携帯型の GPS 装置で経度と緯度を記録している。

### 3. 走行空間線量計測システム

京都教育大学の学生の自主的活動である学生科研費プロジェクトで、走行空間線量計測システムを作ってみようということになった。この活動の指導を行うことになった。また、文部科学省では土壌調査に関連して大規模な走行計測を行っていたようである<sup>1)</sup>。土壌調査で経路記録ができる手持ちの GPS 装置（秋月電子、GT730-FL）の使用を試していたので、車に線量計を積んで GPS のデータと共に記録し表示するシステムを開発してはどうかと考えた。GT730-FL の付属のソフトウェアは Windows 用の GiSTEQ PhotoTracker というものである。Mac でも GPSBabel で GPS データは読み込めるが、このソフトウェアがないと記録時間間隔の設定ができない。通常は 30 秒ごとに記録し、Google マップと連動させて、一日の行動記録マップに写真を添付するようになっている。

計算機にデータを読み込めるデータロガーがついた線量計があれば、車に積んで走行計測が可能となる。DoseRAE2 が CsI シンチレーターを半導体の光検出器で信号の読み出しをしているということで信頼性と耐久性があるのではないかと考えた。購入してテストを開始したがひとつ問題があった。液晶モニターに表示されている積算線量当量は  $\mu\text{Sv}$  で小数点以下 2 桁あるが、記録されるのは小数点以下 1 桁となる。これでは同じ場所の空間線量率を測るには 1 時間近くその場所にいることが前提になってしまう。結局 USB ガイガー測定器を長い USB ケーブルで車内に引き込んで計算機で記録することにした。予備として DoseRAE2 も利用する。USB ガイガー測定器の取扱説明書には Count Per Minutes (cpm) を  $\mu\text{Sv/h}$  に換算するには 108 で割るように示されている。土壌調査で我々が使っていた 110 とかなり近い数字でもあった。それらの数字と Radi の数値は比較的に一致がよかった。



図3 USB ガイガー測定器と DoseRAE2 を車に搭載した様子

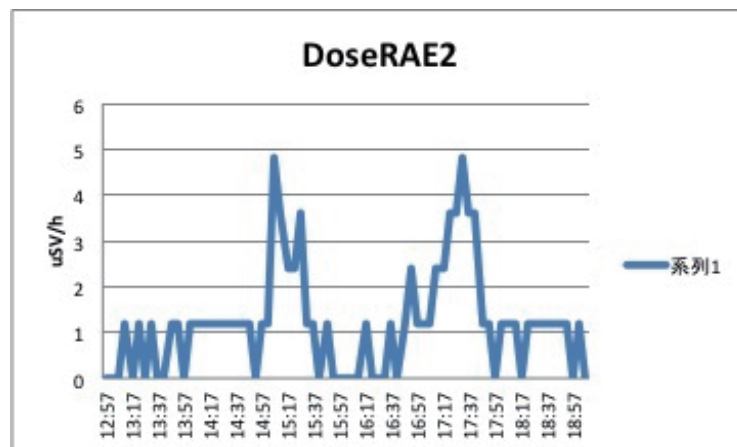


図4 DoseRAE2 による那須インターから南相馬市原町火力発電所，郡山市に戻るまで走行中の毎時の線量当量

前期の授業が終わる直前の7月22日の夕方に京都を出発して7月23日に走行試験をする計画を立てた。24日は京都に帰る旅行日とした。4時限めの授業が終わってから出発の準備を行い，車で京都を出発して東京で一泊した。23日は那須サービスエリアで，図3のようにマグネットスキーキャリアにプラスチック棒を固定した。USB ガイガー測定器と DoseRAE2 をプラスチックの袋に入れた後，ガムテープでプラスチック棒に縛り付けた。DoseRAE2 は出発時に測定を開始し，郡山の宿舎に到着したときに測定を停止した。天候は次第に悪化して飯館村を通過するころは激しい雨となったが水でぬれたことによる故障は起きなかった。

DoseRAE2 は出発時に測定を開始し，郡山の宿舎に到着したときに測定を停止した。有効な桁数が少ないので5分毎に記録し図4では毎時に換算してある。二つのピークが観測されるのは内陸部から飯館村を通過して南相馬市の原町までの往復の行程を記録しているからである。復路で線量当量の積分量が大きく見えるのは，車載の放射線計測装置をテストしようとして停車したが，高圧電源，波高分析器，パソコンの3つのソケットがないことに気がついて断念したために，時間を取ってしまったことによる。

USB ガイガー測定器の場合は記録は1秒ごとに毎分のカウント数が記録される。独立の測定は60秒ごとなのでデータを間引いて毎時の線量当量としてプロットしたものが以下の図5である。USB ガイガー測定器は高速道路上の途中で計測を開始して、飯舘村を過ぎ、南相馬市原町の火力発電所の近くの公園で車を止めたときに計測を停止した。所々計測装置の転送エラーで0カウントのところがある。



図5 USB ガイガー測定器による東北自動車道の二本松インター手前から南相馬市原町火力発電所まで走行中の毎時の線量当量

USB ガイガー測定器と GPS のデータを組み合わせて走行計測としてプロットしたものが以下の図6になる。左下が高速道路上で計測を開始した地点で二本松インターで高速を降りて一般道を走行した。飯舘村をへて右上の地点が南相馬市原町の火力発電所である。縦軸は北緯 37 度の分の数値で、横軸は東経 140 度の分の数値である。パソコンにデータを記録中はバッテリーソケットから DC12V-AC100V インバーター (CellStar HG-350/12V) を通じて給電を行い電源切れによる USB のトラブルを

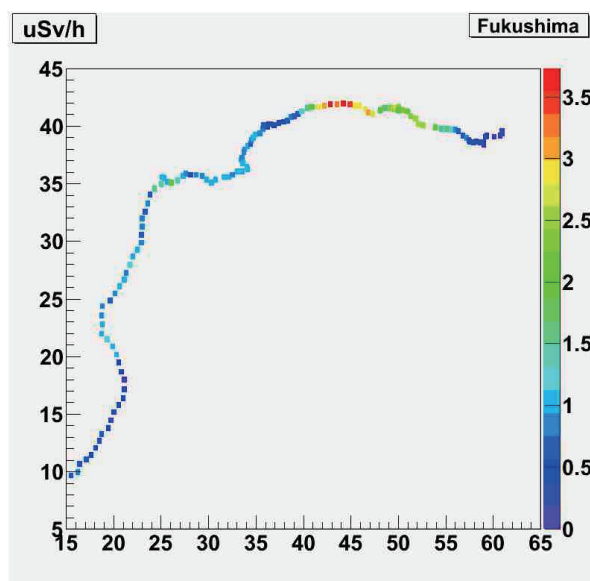


図6 USB ガイガー測定器の走行計測と GPS 装置のデータを組み合わせて表示したもの。y 軸は北緯 37 度の分の数値、x 軸は東経 140 度の分の数値、z 軸は毎時の線量当量

避けるようにした。この走行計測データ解析は Linux の計算機で、GPS や USB ガイガー測定器のテキストデータを Perl を使って処理し統合した。統合したテキストファイルは素粒子実験で使われる root と呼ばれるヒストグラムを作成するツールでグラフ化した。さらに地図データとの重ね合わせが必要である。この画像データをレイヤーごとに処理する画像処理ソフトを使うと重ね合わせが可能と考えられる。

#### 4. 車載放射線計測システム

NaI（ヨウ化ナトリウム）シンチレーションカウンターやゲルマニウム検出器、波高分析器は核種ごとの放射線（ガンマ線）の強度を分析するために必要なものである。今回の事故で検出しやすいのはガンマ線を放出するものであり、その放射能の主な核種は  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  である。放射能の強度の単位は毎秒の崩壊個数（ベクレル）で表される。NaI シンチレーションカウンターは検出効率が高く、ゲルマニウム検出器は分解能が高いという特徴がある。放射能の強度の測定はあらかじめ強度のわかっている標準線源を用意し波高分析器を使ってこの計数を行う。試料に対して同じ計数をおこない比をとって放射能の強度を算出することになる。

物理学実験では NaI シンチレーションカウンターの光電子増倍管に電圧を供給するデバイダーの改造をするという課題を設定してある。元からあったデバイダーは抵抗が  $400\text{k}\Omega$  しかなく、金属皮膜抵抗のため安定性に疑問があった。これをソリッド抵抗を購入し  $2.6\text{M}\Omega$  になるように改造したデバイダーを作成し試験した。今回のテストでは作成したデバイダーを実際に車載放射線計測システムに組み込んで利用している。車載放射線計測システムの電源供給はインバーターを用いて 12V のバッテリーの電源を 100V の交流に変換することによっている。これはスイッチングによる切り替えにより矩形波を発生させ、トランスで昇圧していると考えられる。矩形波の交流であっても通常の電子機器は普通の交流と同じように動作する。

今回の計測方法は地面の近くで放射線をカウントし放射線の核種の強度の比を求めようとするもので、基準となる試料の重さは計測できていない。従ってその地点の放射能強度をベクレル/kg やベクレル/m<sup>2</sup> で表すことはできない。それらの数値を得るためには土壌のサンプルを取得して低バックグラウンドの条件で計数実験をする必要がある。また重さによる規格化の場合は採取条件を併記すればよいが、面積あたりの規格化をしようとする垂直分布の測定が必要になる。

今回は走行計測の後、郡山市で宿泊し、翌朝、車載放射線計測システムの試験をするために適切な土壌の露出している場所を探した。幸い付近の郡山高校を訪れ、放射線の計測実験を行いたい旨を伝え、ところよく了解していただいた。日曜日であることも幸いした。グラウンドは除染の作業中で重機が入っており表土を削った所がグラウンドの半分を占めていた。高圧電源（松定プレジジョン、HJPM-2N3）を使うので図7のようにシャーシ等をグラウンドに落として予期せぬ漏電を防いだ。今回の計測で使用した波高分析器（豊伸電子、HE1442）はノート PC に接続して使用できるもので、計測ソフトウェアは VisualBasic で書かれておりカスタマイズできる。グラウンドに入ったすぐの所は除染されている所で、502.0 秒のあいだ地面から約 5cm に NaI シンチレーションカウンターを設置してデータを取得した。アンプのゲインや高電圧が適切かを調べるためにおよそ 200k ベクレルの  $^{137}\text{Cs}$  の標準線源を地面と測定器の間に置いて 96.9 秒のあいだ計測した。波高分布を重ねて見ると、次の図 8



図7 車載放射線計測システムを使った測定の様子

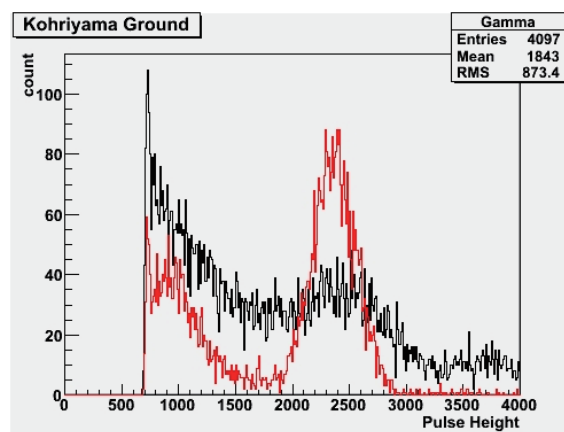


図8 ガンマ線の波高分布。実線は除染した所を，赤線は標準線源を地面と測定器の間に置いて計測

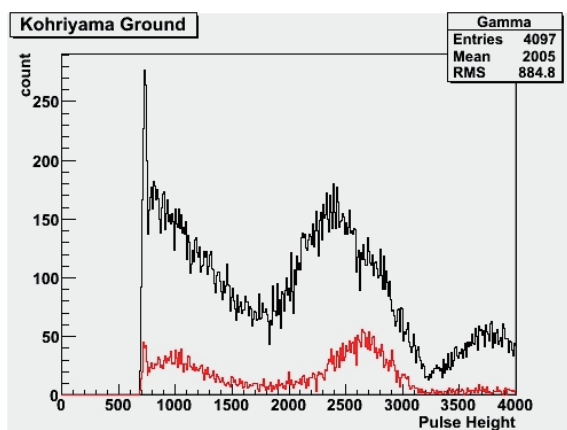


図9 ガンマ線の波高分布。実線は除染されていない所を計測。赤線は標準線源を地面と測定器の間に置いて計測

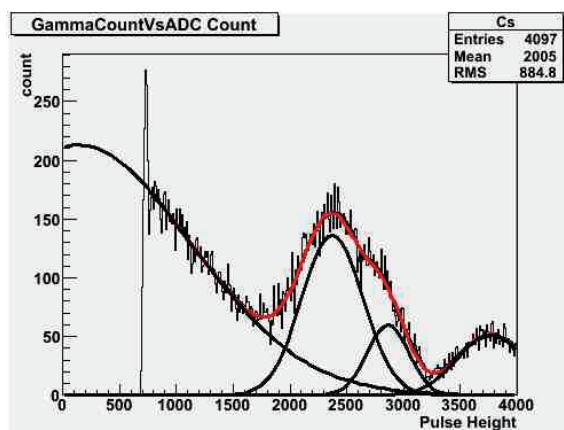


図10 左の図をガウス関数でフィッティング

のようになった。赤線は標準線源を挿入したときのパルス波高の分布である。検出器のパルスの大きさはガンマ線のエネルギーに比例する。光電効果とコンプトン散乱がシンチレータの中でおきるので光電ピークより低い領域にコンプトン散乱の連続領域が発生する。このことが、 $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の放射能強度の比を求めることの障害となる。半減期が2年の  $^{134}\text{Cs}$  は同じ放射能強度なら  $^{137}\text{Cs}$  の線量当量が2.7倍ある。そのせいで、この比率が1でも10年たつと線量当量が4分の1以下になることがわかる。<sup>6)</sup>

堀場製作所の Radi で周辺の毎時の線量当量を計測すると、グラウンドの奥の方の値が大きいことがわかった。その領域は除染が行われていない領域と判断して、車を移動して計測した。除染された所と同様に503.9秒のあいだ計測して、さらに  $^{137}\text{Cs}$  の標準線源を置いて87.3秒のあいだ計測したデータを重ね合わせたものが次の図9である。波高分布の3700カウント付近にある山は795.3keVの  $^{134}\text{Cs}$  からのガンマ線によるものである。2800カウント付近の山は、661.1keVの  $^{137}\text{Cs}$  からのガンマ線、2500付近の山は604.2keVの  $^{134}\text{Cs}$  からのガンマ線にそれぞれ対応する。

ガンマ線の重なりから、元の放射能強度を推定するときは、一般的には複数のガウス関数やバックグラウンドの関数を使って図 10 のようにフィッティングを行う。一番左の山はコンプトン散乱の結果出来るものと考えられる。実際に 4 つのガウス関数でフィッティングを行って、右の二つの山の高さを比べてみるとほぼ同じ値になった。ゲルマニウム検出器が  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  についてほぼ同じような放射能強度を与えることを考えると、この方法でも  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  が混合した試料の放射能強度を NaI シンチレーター検出器を使って求めることができると考えられる。

これまでの計測は環境放射能を測定したもので、土壌の実際のサンプルを自分たちで測定したものではない。検出効率の高い NaI シンチレーションカウンターであっても、検出効率はカリウム 40 で試験した所、大型 NaI シンチレータを使っても 1 万分の 1.7 しかなかった。実際の土壌を入手して初めてこのことを確認できるが、サンプルの入手はまだできていない。もし入手できても高濃度に汚染した土壌サンプルでも数万ベクレル/kg 程度であることから、100g の試料では一秒間の計数は一個未満となってしまふ。さらに作物が吸収する放射能の強度は非常に低くなる。環境放射能は周りの大量の物質からくる放射能をはかるので比較的容易であるが、わずかな量の試料の計測はずっと難しいといえる。今後はこの難しい課題に取り組むとするとバックグラウンドを減らすために鉛の遮蔽装置なども必要となる。また放射能強度を計数しやすいのはコンプトン散乱の影響を受けない 795.3keV の光電ピークが使える  $^{134}\text{Cs}$  だが、値を得るためには標準線源を購入する必要がある。 $^{134}\text{Cs}$  が確定すれば、引き算によって  $^{137}\text{Cs}$  の放射能強度を NaI シンチレーションカウンターであっても得ることができる。

## 5. まとめ

今回の事故は汚染の規模がきわめて大きく、社会的に大きな反響があった。また健康被害への対応のため避難を余儀なくされた方が多く出るという重大な事態となった。このような事態にたいして個人ができることは限られてしまうが、放射線計測の経験を生かして、研究室や学生実験の参加者とともに文部科学省の土壌調査に参加できたことにより、今まであいまいであった放射能に関する知識をより完全なものにすることにつながった。

ガイガーカウンターや GPS などのデータロガーの計算機へのインターフェースは USB を使っているが、これが昔から通信によく使われていた規格である RS232C の発展したものであることがわかった。また、実験室でしか使えないと思われた放射線計測の機器も電池からインバーターを利用して交流を得ることで移動式の計測実験装置として利用できることがわかった。

さらに比較的入手が容易で、機器の改造も容易な NaI シンチレーションカウンターを利用して放射能強度を  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  が混合した試料からも計測できることがわかった。NaI シンチレーションカウンターは計数効率が高いので多くの試料を計測するのに適していると考えられる。これらの測定器システムは比較的安価であるにもかかわらず、高い感度を有しているので、数十ベクレルと言った微弱的な線量も測定が可能なのが、経年により微弱化した標準線源の計測によりわかった。これらの成果はこの問題にいち早く対応する体制を研究室や学部学生を巻き込んでとることができたことによっている。今後は作物の汚染に関心が移るので試料の微弱的放射能を実験室で計数するための定量的な方法を研究する必要がある。

## 謝辞

文部科学省の土壌調査に参加してくれた基礎物理学研究室の辻本遼二郎，津留昌彦，西村龍太郎，盛武翔の各君に感謝します。また学生科研費プロジェクトの参加者の越智祐太，近藤健，松尾勇馬，山本賢の各君にも感謝します。

## 参考文献

- 1) 文部科学省，放射線モニタリング情報，[http://radioactivity.mext.go.jp/ja/distribution\\_map\\_around\\_FukushimaNPP/index.html](http://radioactivity.mext.go.jp/ja/distribution_map_around_FukushimaNPP/index.html)
- 2) エンリコ・フェルミ，小林稔他訳，原子核物理学，吉岡書店
- 3) 真木晶弘，高エネルギー物理学実験，丸善
- 4) 山田勝美，森田正人，ベータ崩壊と弱い相互作用，培風館
- 5) 石川迪夫，原子炉の暴走，日刊工業新聞
- 6) 田崎 晴 明，セシウム 137 とセシウム 134，<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/details/Cs137vs134.html>