

一時帰宅者に対する放射能スクリーニングの ボランティア活動と一部汚染地域の実態調査

Volunteer activities for radio-screening of temporal returnees and practical
measurement of radioactivity in some contaminated areas

須 藤 鎮 世 (薬学部)
江 川 孝 (薬学部)
森 宏 樹 (教育学部)
阿 蘇 寛 明 (薬学部)

I. はじめに

2011年3月11日の地震およびその後に発生した津波による福島第一原子力発電所（原発）の損壊に伴い、広範な放射能汚染がおこった。原子力災害対策特別措置法により、半径20km圏内が警戒区域とされ、住民は避難を余儀なくされた。福島県災害対策本部は避難者の一時帰宅を計画し、国の原子力災害対策本部に支援を要請した。同対策本部は多方面に支援を要請したが、文部科学省も対象の1つであり、同省は国公立大学宛に、一時帰宅者の放射能汚染スクリーニングに関わるボランティアを、1日約30人派遣するよう依頼した。一時帰宅は6月初めから8月中旬までほぼ継続して実施された（一部、9月にも実施）。就実大学では第1班（7月13～18日、須藤、江川）および第2班（7月21～26日、森（宏）、阿蘇）をボランティアとして派遣した。

この間、須藤は4、5、6、および7月にガイガーカウンターを用いて茨城県守谷市における汚染状況を測定し、興味深い知見を得ていた。すなわち、守谷市は相当に汚染されていること（関東のホットスポットの1部）、汚染は土壌やアスファルトのごく表面に固着していること、放射線量は地表から上空にゆくほど減少すること、空中の放射線は地表からの放射線であり、放射性物質が空中を浮遊しているわけではないこと、などである。しかし、守谷市がホットスポットとはいえ、福島は桁違いに汚染されていると想定されること、また、汚染の激しい地域では守谷市とは異なった汚染の様相を呈する可能性があることから、ボランティア活動の合間を見計らって、福島県内で、適宜、放射線量の測定を試みた。この測定は計画的、網羅的なものでなく、ホテルから中継会場までの間の、いわば点と線を結ぶような場所での測定であるが、地下から空中5mの高さにわたり測定し、また一部はβ線とγ線とを分けたり、放射線量（cpm = counts per minute、1分間あたりの放射線数）と実効線量（マイクロシーベルト/時間 = μ Sv/h）とを同時に測定したりしたので、守谷市でのデータと合わせて、有意義なデータが得られたと思われる。ここに、校務出張によるボランティア活動

の一端を紹介するとともに、測定データの一部を提示し、汚染の実態を考えるとともに、対応の一助としたい。

Ⅱ. ボランティア活動

1. 申込み

5月13日に原子力災害対策本部から文科省あての依頼書のコピーで、具体的計画を知った。5月20日に6月のボランティアの募集があったが、時期的に無理があり、次回の計画の案内を乞うと返信した。6月20日に7月に実施される一時帰宅計画書が送付されてきた。そこで、希望者を募ったところ計4名が集まった。各自の都合を調整し、前後2班、各2名ずつの派遣が可能である旨を書式に記入し、6月22日に文科省に伝えた。6月24日に当方の申し出でのおよりの日程でボランティア活動に従事されたい旨の連絡が届いた。

2. 第1班の活動

(7月13~18日、須藤、江川)

7月13日午後に福島駅に到着し、駅前のホテルに投宿した。ホテルも地震の被害にあい、7月初めに再開したばかりといい、外壁等は工事中であった。早速、ホテルの玄関先のアスファルト表面の放射能を測定したところ3300 cpmであった。県庁近くのサイクルパークでは3650 cpmであり、道路沿いの側溝では10500 cpmを数えた。午後7時から福島県庁で実施された説明会に参加した。説明に依ると、馬事公苑、古道体育館、川内体育館、広野中央体育館の4ヶ所のセンターで一時帰宅が実施され、我々は4日間も馬事公苑での任務となった(図1)。

7月14日8時に宿を立ち、馬事公苑には10時頃に到着した。会場は大きな体育館風の建物であるが、室内馬場であり、むろん冷暖房はない。会場に集まった一時帰宅者は様々な説明、注意を受けた後、キャップ、



図1 一時帰宅中継会場地図



図2 一時帰宅の準備

マスク、タイベックスーツ、靴カバー、手袋等を装着し（図2）、バスにのり、10時半頃に自宅に向け出発した。そのあと、ボランティアに対し会場の区画と各員の配置および任務について説明がなされた。13時過ぎに帰宅者が帰ってくるので、この間、地上の放射線量を測定したところ、6140 cpm（薬学棟の前では117 cpm）であった。

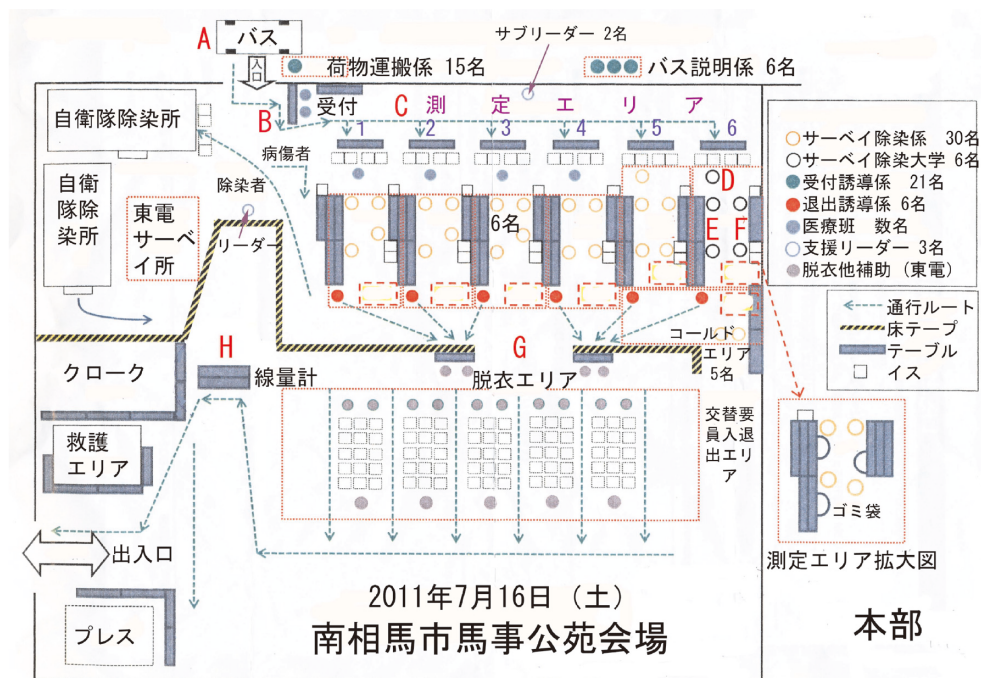


図3 馬事公苑会場見取り図

一時帰宅の流れは以下のものであった。帰宅者をのせたバスが入口近くに横付けされる（図3 A）。係に先導されて帰宅者が入口に入り、荷物運搬人が荷物（自宅からトレイ一杯分の回収物が許可されている）を持ってそれに続く。入口で受付係（図3 B）から出発前に記入した問診票を受け取り、案内人の指図に従い、6ヶ所ある汚染検査区画（図3 C）の何れかに向かう。荷物運搬人がそれに続く。各検査区画には5人の係がおり、帰宅者はまず検査区画の入口の椅子に腰をおろし（図3 D）、1人の係により二重の靴カバーを外してもらう（年配者も多く、自分で外すには時間を要する）。この間に荷物運搬人は荷物を区画の検査台の上に運ぶ。ついで2名が荷物の検査を行い（図3 E）、他の2名が体の検査を行う（図3 F、図4）。これが済むと質問票に異常無しのチェックを入れる。案内係が帰宅者を5ヶ所ある脱衣テーブルの何れかに案内し（図3 G）、係の者が荷物を運んで後に続く。各テーブルには5名の係がおり、キャップ、マスク、タイベックスーツ等を外す。身軽になった帰宅者は記録テーブル（図3 H）にゆき、胸にかけていた個人線量計と個人番号票を係に手渡す。係は紙片に日付、個人番号、線量を記入し、後ろの別の係に紙片、個人番号票、線量計を手



図4 放射線モニタリング

渡す。係は個人番号票から個人の氏名欄に被曝線量を転記する。身軽になった帰宅者はクロークで自分の持ち物を受け取り、自宅から回収した荷物を係に運んでもらい、帰途につく。

我々大学からのボランティアは主に6カ所の検査区画のうちNo.5あるいはNo.6に割り当てられ、靴カバー外し、荷物あるいは帰宅者の汚染を検査する任務にあたった。外気温が36℃という中、帰宅者

同様にフル装備で任務にあたるので、汗が絶えず、黒のTシャツでは、汗が乾くと肩周りを中心に汗の結晶が白く析出した。そのような労働環境を考慮し、各検査区画に割り当てられた6名のうち、1人は10分交替で休むというシステムをとった。帰宅者のガイガーカウンターによる検査では、2人で前と後ろから、靴の底、手のひら、手の甲、腕、頭頂、顔面、後頭部、喉、胸、背、腹、脚、および足を測定した(図4)。手袋が1000 cpm(多くは150~250 cpm程度)を超える者もいたが、除染基準の13000 cpmに達する者はいなかった。須藤は帰宅者の被曝放射線量の記録係も務めたが、大部分が2~4 μSv であり、10 μSv を超えることはなかった。なお、測定に際し、着衣の胸および背に所属、氏名をマジックで記載した。さもないと東電職員と勘違いされ、敵意を向けられることになる。ボランティアとしての任務であることを示すことで、逆に感謝されるのであった。

7月14日はバス16台、帰宅者258人、添乗員(バスあたり指導者1、付添人2、放射線管理者2)80人で、計338人が測定の対象となった。7月15日はバス16台で帰宅者264人と添乗員80名で、計344人、7月16日はバス24台で帰宅者451人と添乗員120名で、計571人、7月17日はバス24台で帰宅者464人と添乗員120名で、計584人であった。合計1837人を36名で検査したことになる。週日は3時半頃、週末は帰宅希望者が多く、前後2回に分けて帰宅を実施したため、5時すぎに検査が終了した。汚染検査係の他、案内係、荷物係、脱衣係、その他多数のボランティアが協同して作業にあたり、バス添乗員、本部の勤務も含め、1日に200名以上が1会場で働いたと思われる。東京電力、大学からの派遣員の他、他の電力会社、エネルギー・動力関係会社や協会、地方自治体、その他様々な人達が含まれる。現場で働く人達は極めて有能であるので、明確な上意下達がなされれば、他の任務についても効率よく業務が遂行されるものと思われた。

測定の途中に帰宅者と会話を交わす機会があった。自宅は如何ですか?「もう草ぼうぼうです。」「蔦の絡まる家になりました。」「地震で壊れてしまい、行ってはみたものの中には入れませんでした。」それは血の痕ですか?「猫が家の中を荒らして、ケチャップがついて(詳細不明)。」どこに避難されていますか?「最初は福島市で、次が飯館村で、私の行くところ

は皆、自宅より汚染がどんどん酷くなるんですよ。今は川崎の娘の所で世話になっています。』

馬事公苑会場の隣に倉庫らしき建物があり、ランドセル、位牌、アルバム、記念写真、その他諸々の津波の遺留品が所狭しと展示されていた。撮影禁止であり写真紹介はできないが、付記しておく。



図5 今も残る津浪の爪痕-1
(福島県南相馬市鹿島烏崎)



図6 今も残る津浪の爪痕-2
(福島県南相馬市鹿島烏崎)

この間、14日に須藤および江川は岡山市に避難してきた川内村の知人の家の庭先の汚染状況を調べた。15日には早朝に、飯館村の小学校や南相馬郡の中学校で汚染状況を調べた他、検査終了後に海岸近くの被災状況を視察した(図5, 6)。16日には福島小学校の汚染状況を調べた。17日にはホテルから馬事公苑にゆく沿線の汚染などを測定した。馬事公苑までは68 km(図1)あるが、沿線の田畑に農夫が見当たらず、稲の代わりに一面の草の原であった(図7)。



図7 放置された田畑(福島県飯館村付近)

3. 第2班の活動(7月21~26日、森、阿蘇)

7月22日に富岡町住民(251世帯411名)、南相馬市住民(179世帯309名)を対象に一時帰宅が実施された。富岡町住民の一時帰宅は、川内村体育センターおよび他2箇所を中継基地として行われた。7月23日も富岡町の住民(241世帯405名)、楡葉町の住民(117世帯203名)、南相馬市住民(158世帯272名)を対象に一時帰宅が実施された。富岡町住民の一時帰宅は、川内村体育センターおよび他1箇所を中継基地として、2グループに分割して行われた。7月24日には大熊町の住民(200世帯323名)、浪江町の住民(258世帯447名)、双葉町住民(113世帯202名)を対象に一時帰宅が実施された。大熊町住民の一時帰宅は、広野町中央体育館および他1箇所を中継基地として、2グループに分割して行われた。我々は、7月22・23日

に川内村体育センター、7月24日に広野町中央体育館で一時帰宅者のスクリーニング作業を担当した。台風6号の影響により7月22・23日ともに川内村の最高気温が約20℃、7月24の広野町の最高気温は26℃にしか達せず、タイベックスーツを着用したままのスクリーニング作業も、第1班に較べ行いやすかった。

一時帰宅に先立ち現地対策本部、文部科学省医療班、警察からの連絡事項の伝達、そして東京電力からの謝罪と一時帰宅に関する詳細な説明があった。東京電力からの謝罪の際には一時帰宅者の周りに立っていた東京電力社員が一斉に頭を下げ、謝罪していた。それに対して一時帰宅者は半ば諦めとも取れるような冷静さで謝罪を聞いていたことが印象に残った。

建物の出入り口の位置の違いにより会場のレイアウトは異なるが、一時帰宅者のスクリーニング作業は、第1班と同様の手順で進められた。スクリーニング作業は、電気事業連合会から派遣された各電力会社の原子力発電所関係者、就実大学・愛媛大学・大分大学・筑波大学から派遣された大学関係者が担当した。大学関係者は5スクリーニングレーンのうち1レーンを担当した。我々が担当した一時帰宅者のスクリーニングでは、汚染の測定結果が300 cpmを超える一時帰宅者の方はいなかった。また、7月22・23日の一時帰宅者の方（富岡町住民）で被曝量10 μ Svを超える方はいなかった。7月24日に一時帰宅者（大熊町住民）の方の被曝量は8～36 μ Svであった。富岡町は福島第1原子力発電所が立地している大熊町の南に位置し、福島第1原子力発電所から放出された放射性物質の拡散量が一時帰宅者の被曝量に比例してことが推察される。胸部X線写真撮影時の1回の被曝量は400 μ Svであり、一時帰宅者の被曝量はそれに較べても小さく、健康に大きな影響を与える値ではなかった。

Ⅲ. 汚染地域の実態調査

1. 測定機器

1) ガイガーミュラーカウンター（GM管）

日立アロカメディカル株式会社のGM管（TGS-146 B）を使用した。原子核の崩壊により α 線（ヘリウム原子核）、 β 線（電子線）、 γ 線（電磁波）が放出されるが、核種により出てくる線種は異なる。 α 線は破壊力は強いが飛距離が短く、GM管では測れない。 β 線のうちエネルギーの弱い、例えばトリチウム由来のものはGM管で測定できないが、原発汚染で問題となるヨード-131（I-131）やセシウム-137（Cs-137）の β 線はよく測ることができる。 γ 線の計数は可能であるが、効率は β 線に比べ若干劣る。GM管では放射線は通常、cpm（1分あたりの放射線の数）で表示される。検出管の中を β 線や γ 線を検出すると1カウントとなる。これを1分間の集計値として表示される。学校では主に表面汚染の検出に使用している。検出器の先端を β 線遮断材で覆えば γ 線のみを検出することができる。遮断材には市販のアルミニウム箔（住軽アルミ箔株式会社）を160枚重ねたもの、0.5 mmのアルミニウム板を1～10枚を重ねたもの、およびシンチレーションカウンターに付属の β 線遮断キャップを用いた。高所の放射線量を測定するときは、ハシゴの上で測定するか、検出器と

本体を同軸ケーブル製の延長コードでつなぎ、使用した。

2) シンチレーションカウンター

日立アロカメディカル株式会社の電離箱式サーベイメータ (ICS-321) を使用した。これは γ 線および β 線が測定でき、放射線の実効線量が $\mu\text{Sv/h}$ で表示される。実効線量は放射線が人体に外部、内部から照射された時に、実際の影響の大きさを表す量で、吸収線量に核種により異なる荷重係数と、臓器により異なる組織荷重係数をかけたものである。 β 線、 γ 線は放射線荷重係数が1なので、組織荷重係数が問題となる。皮膚、脳、骨表面を1とすると、膀胱、食道、肝臓、甲状腺は4、生殖腺は8、骨髄、肺、胃、乳房、結腸は12となり、感受性が増す。単純には手足より内蔵は10倍程影響を受け易いと考えればよい。

2. 単位

「放射能」は、「単位時間あたりに壊変する原子の数」と定義される。1s (秒) 間に1つの原子核が崩壊して放射線を放つ放射能の量がベクレル (Bq) という単位で、次元は $[\text{s}^{-1}]$ である。500 Bq/kgのお茶の葉というのは1kgあたり毎秒500個の原子核が崩壊して放射線を発していることになる。これをGM管で100%検出可能とすると、60秒では30,000 cpmとなる。しかし、四方八方に放射線を放つ1kgの茶に対して口径5cmの計数管を向けたところで、検出できるのは1割にも満たないだろう。GM管は汚染源が平面の点状の領域であれば、50%近い計数効率が期待できる。また、地面のように平板状に一樣に汚染されている場合、平均的な値として測定される。

ベクレル (Bq) から実効線量 (Sv) を算出する式があり、セシウム137 (Cs-137) では $1.3 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$ となる (経口)。Sv-Bq換算と、実際の人体影響に関しては図8に示した。1000 Bq/kgのホウレンソウを毎日200gずつ1年間食べると、年間1mSv程度の内部被曝をうけ、これは日本人が1年間に受ける自然放射能より少ない (図8)。自然放射能が日本の10倍も高い地方があるが、そこでの癌の発生率が高いという報告はない。日本では汚染食品の出荷規制があるから、飲食物からの健康影響は考え難い。ついでに、体重60kgの人は140gのカリウムを有し、そのうち0.01%が放射性で、毎秒4000個の放射線を放出している。他に炭素から2500 Bqの β 線がでている。また、1950年代の前後には列強が核実験を繰り返し、世界は1000~10000倍汚染されたので、中年以上の人達は相当の放射線を耐えぬいてきたことになる。1954年3月1日のビキニ環礁での水爆実験では、マグロ漁船の第五福竜丸が死の灰を浴び、久保山愛吉さんが世界初の水爆犠牲者となった。当時の雨に濡れるなという警告を思い出す。現在では減衰したとはいえ、完全にもとのレベルに戻ったわけではない。

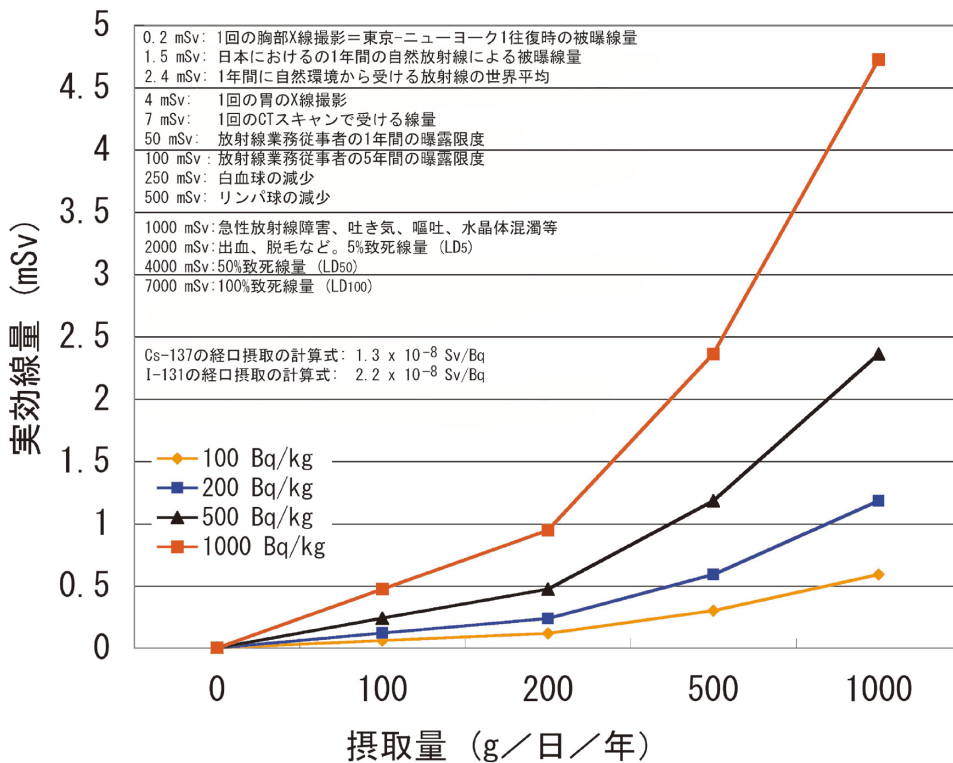


図8 Cs-137汚染物を毎日1年間摂取したときの実効線量

3. 測定場所

ボランティア活動の合間をみでの測定であるため、特定の場所を計画的に選ぶことはしなかった。ただし、駐車スペースのある路肩や、遮蔽物のない校庭が優先された。土の汚染は一定幅の表土を掻きとるか、10 cm四方程度の表土を鎌で一定の厚さに採取し、ポリエチレンの袋に入れ、汚染が少ない場所で、1 cm程度の厚さに延ばして測定した。

IV. 結果

1. 自然放射線

我々は体内からの放射の他、宇宙や地表、建物等から絶えず放射線をあびている。薬学部の実験室や居室では約75 cpm (計測器の安定を待ち測定するが、1～2割程度はぶれるので、60～90 cpm程度と考える。以下、適宜cpmを略す)であった。4月1日に岡山駅の新幹線プラットフォームで66、新幹線車内(岡山)で50、神戸駅を過ぎたトンネル内で30、新幹線車内(大阪)で35、新幹線車内(横浜)で42、東京駅の新幹線プラットフォームで60、秋葉原の路上で80、つくばエクスプレスの秋葉原改札口(地下20 m)で40、同地下プラットフォーム(地下40 m)で23、同車内で23、同浅草駅車内(地下)で32、同北千住車内(地上)で60、同守谷駅構内では60で、これがほぼ自然放射線の量である。4月1日の汚染された守谷駅広場

では（地上1 m）290であった。5月2日に守谷駅の広場の表面は1770 cpmであった。

2. 放射線量（cpm）と実効線量（ $\mu\text{Sv/h}$ ）の関係

8カ所の地点でGM管（915～6800 cpm）とサーベイメータ（1.9～10 $\mu\text{Sv/h}$ ）とを用いて同時に測定した値を比較したところ、 $\mu\text{Sv/h}$ あたり平均 \pm 標準偏差=504.6 \pm 102.1となった。よって、本測定条件下、ほぼ500 cpmが1 $\mu\text{Sv/h}$ にあたる。1年間は8760時間であるから、500 cpmの場所では年間に8.76 mSvを浴びることになる。これはほぼ1回のCT検査を受けた線量となる（図8）。就実大学では75 cpm前後なので、これは年間1.3 mSvという計算になる。核種や線種により異なるが、日本における自然放射線による被曝は年間1.5 mSvとされるので、この相関値500 cpm \approx 1 $\mu\text{Sv/h}$ は当たらずとも遠からずの値といえる。

3. 原発による汚染核種

原子爆弾では90%以上の濃縮ウラン235を用い連鎖反応を起こさせるが、原子力発電（原発）では数%のウラン235が利用されるため、原発が原子爆弾のように瞬時に爆発することは決して無い。福島原発での爆発は水素爆発といい、原子炉の冷却に失敗した結果、加熱した燃料棒と水が反応して生じた水素による自然爆発（化学反応）である。原発ではウラン235は分裂して中性子を放出しながら、主に質量数140と90前後の核種を生じる。このうち、ヨード131（I-131、半減期8日）、セシウム134（Cs-134、同2年）、Cs-137（同30年）、ストロンチウム90（Sr-90、同28年）のような半減期の核種による汚染が、人間の寿命との関係で当面の問題となる。半減期が何万年もある核種はゆっくりと分裂するので、当面の問題にはなり難い。

ストロンチウムは骨の中のカルシウムと置き換わって体内に蓄積し長期間にわたって放射線を出し続けるので大変危険であるが、揮発性化合物を作りにくく、通常運転中の原子炉からの排気中には含まれないとされている。原発事故で放出される量はCs-137と比較すると少ない。

I-131とCs-137は β 線と γ 線を放出する。I-131の β 線の約90%は空中で170 cm、水中では2 mmの飛程で、残りは空中で1 m以下しか飛ばない。半減期が8日なので、直ぐに消失する。Cs-137の β 線の95%は空中で135 cm、水中では1.6 mmの飛程であるが、残りの5%はエネルギーが強く、空中で418 cm、水中では5 mmの飛程である。 γ 線は透過力が強い分、少し悪さ（主に水を電離してラジカルを生じ、2次的に各種の反応を惹起する）をして生体を通過することが多い。 β 線の水中での飛距離が2 mm程度であるから、生体内でも同様の飛距離とみなせる。従って、通常の β 線の外部被曝は皮膚でとまり、体内深くは侵入しない。食物とともに摂取すると腸管内で飛距離は限定される。小腸の直径は2.5 cm程度で、表面に長さ1 mm程の絨毛があり、その上皮細胞は絶えず剥がれ落ちては新生されるので、細胞の新陳代謝は放射線予防に有効だろう（ただし、原爆等で外部から腸管上皮が死ぬ程の大量の

γ 線や中性子を浴びると、食べても栄養吸収が不能となり、腸死といって、1週間～10日程度で機能的餓死に陥る)。Cs-137の一部は吸収され、筋肉によく集まるようであるが、体内での半減期は100日程度とされ、物理学的半減期の30年に比較し、はるかに短い。

4. β 線の遮蔽

β 線はアルミニウム数mmで遮蔽できるので、 β 線と γ 線とを分けて測定することができる。福島市内の3300 cpmの場所で160枚のアルミホイルで遮蔽すると400 cpm、サーベイメータ付属の遮蔽板で遮蔽すると390 cpm、0.5 mmのアルミ板1、2、3、4枚ではそれぞれ480、420、410、390 cpmとなった。5枚以上10枚では400 cpm前後であり、測定値のぶれを考慮すると、アルミ板1～1.5 mmでベータ線が遮できることがわかった。初期の測定ではアルミホイルで遮蔽し、後期ではサーベイメータ付属の遮蔽板を主に利用した。

5. 延長コードによる計測効率の低下

Cs-137の β 線は空中で418 cmまで届くので、地上5 mまで測定できるように、延長コードをつけて測定した。飯館村のある小学校で延長コードの有無に依る差を調べたところ、計数効率が若干下がり、平均±標準偏差=91.1±5.2% (n=8)であった。9割以上の効率で測定しているので、5 m上空の値に補正をかけなくとも、線量の概略を知ることができる。

6. 典型的な汚染のパターン

茨城県守谷市松ヶ丘における汚染のパターンを図9に示す。この時に限り検出器を横向きに設置したため、 β 線が十分測定されなかったのか、地表近くの値は公園で測定より低かった。大部分の β 線が届かなくなる1.5 m以上では両者ともほぼ同等の値となった。このパターンは汚染の激しい福島県下でも同様で、 β 線が届かなくなる1.5 m以上では β 線フィルターの有無に関係なく、測定値はほぼ一定となった(図10)。このパターンは風向き、降雨に関係ないので、汚染が地表に固着しており、上空に向けて放射線を照射していることが分る。大切なことは室内など雨・雪に曝されない所は汚染されていないことである。

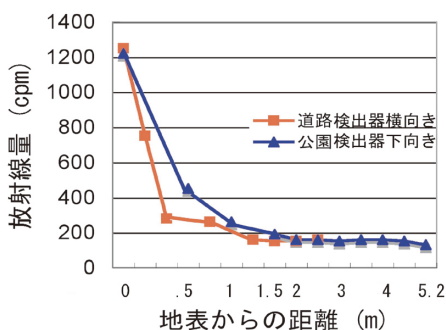


図9 茨城県守谷市における汚染図のパターン

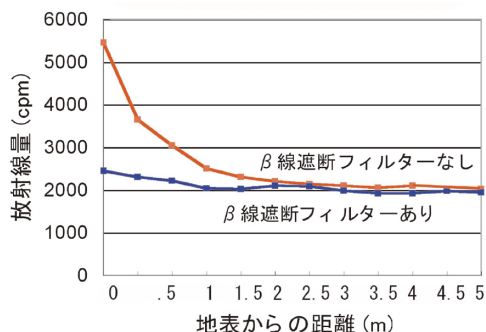


図10 福島県飯館町における汚染のパターン

7. 上部ほど激しい電柱の汚染

須藤の自宅には東京電力の電柱が2本設置されている。上空ほど汚染が少なくなることを確かめようと、6月18日に電柱にハシゴをかけ、検出器を下に向けながら測定していったところ、3mを越えるところで、値が上昇し始めた(図11)。繰り返しても結果は同じで、上空ほど放射線が低下するという考えが崩れかけた。上空には軽い気体状の汚染物質が漂っているのだろうか。ふと検出器を電柱に直角に向けたところ、値が急上昇した。上空で高い値を示したのは電柱の汚染を拾っているためであった。上部ほど激しい電柱の汚染は、雨が天から降ってくるので上部ほど汚染が進むこと、汚染はほぼ瞬時に固定されると考えれば説明がつく。

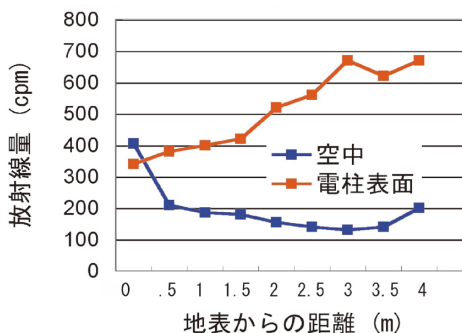


図11 電柱の上部からの汚染

8. 表層のみの土壤汚染

校庭や公園の土を削り取り、測定してみると、汚染は表面の1-2cmに限られることが分った(図12)。電柱の上部汚染同様、汚染が地表に到達するや、ほぼ瞬時に固定されると考えると辻褃があう。図10に示した校庭では3月16日に約10cmの降雪をみたという。Cs-137が霧、雨、雪の形成で捕捉され、霧との接触、降雨、降雪に伴い、汚染が固着したと考えられる。山林

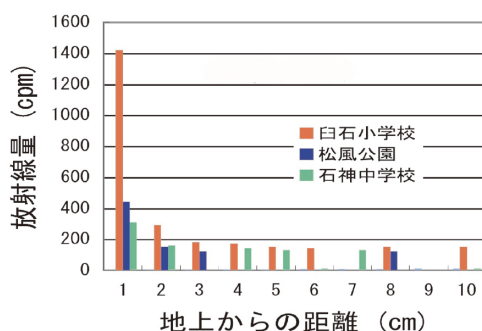


図12 土壌の表面汚染

の汚染では、杉は上部の葉ほど汚染が激しいという^[1]。これも上方から汚染が進むことを示している。屋根の下に保存された飼料を与えれば牛肉は汚染されないが、屋外で風雨にさらされた飼料では牛肉が汚染される。セシウムはアルカリ金属中最も反応性に富み、全金属中、最も電氣的に陽性で、かつ反応性が大きいとされる。土中深く染み込む前に表面に固着され、一度固定されると雨や風で溶出されたり飛ばされたりすることはまずないようだ。水道水、1規定の水酸化ナトリウム、および1規定の塩酸で汚染土壌を抽出してみたが、特に変化はなかった。道路の側溝で汚染が激しいのは、土砂等の細粒子にCs-137が固着し、その粒子が雨水で流され、側溝に溜まった結果である。

9. 小学校庭での除染

土壤汚染が表層に限られるところから、表土を削り取り、防水性の膜に包み、地下1.5m

(私有の及ぶ範囲)に埋め、その上を掘り起こした土で覆えば、放射線は表面に到達できず、除染されたと同等となる(図13)^[2]。一方、数10 m離れたアスファルト駐車場は表面汚染が激しく、そこから空中に放射線が照射されている。図13で大切なことは、上空の放射能は浮遊している汚染物質によるものでないことである。マスクの着用や洗濯物を外に干すことにはほとんど意味がない。原発から180 km離れながら福島市と同等に汚染された守谷市では、11の小学校等の校庭を汚染のない土で覆い、放射線の大幅な軽減をみている^[3]。

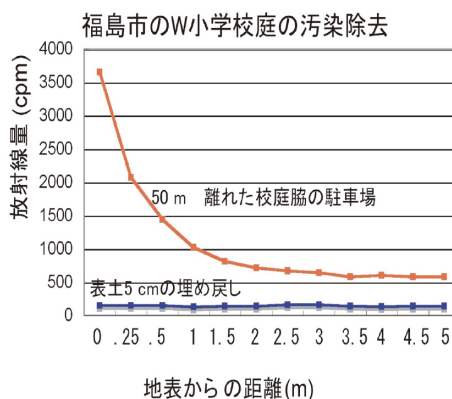


図13 表土の埋め戻しによる除染

10. 一様でない汚染

図14に示すように、福島県といっても汚染の程度はまちまちである。20 kmの警戒区域内でも、所により守谷市のようなホットスポットより低いところもある。30 km、40 km離れても飯館村や川俣町のように汚染の激しいところもある。汚染は水素爆発の後の数日間のうちのその一時の風向き、降雨・降雪の有無と多少、高度などの要因で決まり、あとは固定された。汚染状況を場所毎にきめ細かに測定し、個々に対応する必要がある。

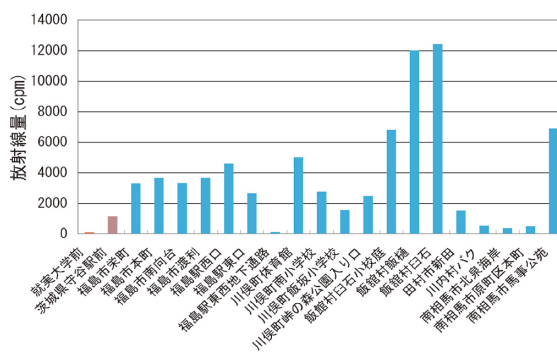


図14 福島県における不連続的汚染

11. ゆっくりとした減衰

図15に茨城県の守谷駅周辺、須藤の自宅周辺の汚染の経時変化を示した。屋根で覆われた駅改札口や食堂内は汚染がほとんどみられない。守谷駅の空中の汚染は地表の汚染物からの放射による。屋根で覆われた玄関直下のタイルは汚染が少なく、それから約1 m外側の玄関入り口のタイル上はやや汚染されており、さらに

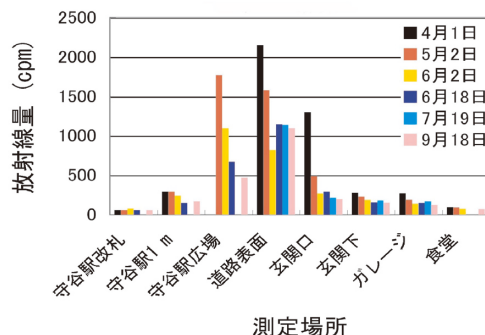


図15 守谷市における放射線量の緩和な減衰

約2m外側のアスファルト道路上は、守谷駅広場同様、汚染が激しい。屋根のあるガレージのコンクリート上は汚染が少ない。最初の1～2ヶ月の減衰はI-131を中心とする半減期の短い核種によると思われる。その後、緩慢な減衰がみられる。道路では車のタイヤとの摩擦により表面の汚染が機械的に削り取られる可能性がある。アスファルト、コンクリート、タイル、土壌などの素材により、Cs-137との結合様式に差があるのかもしれない。

図16は新聞紙上の「各地の放射線量」のうち福島市の値プロットしたものである。「各地」の放射線量は3月24日から掲載され始めたが、福島市のデータは4月7日から掲載され始めた。「モニタリングポスト」の値は「文部科学省の資料をもとに作成。モニタリングポストの高さは地上2.5

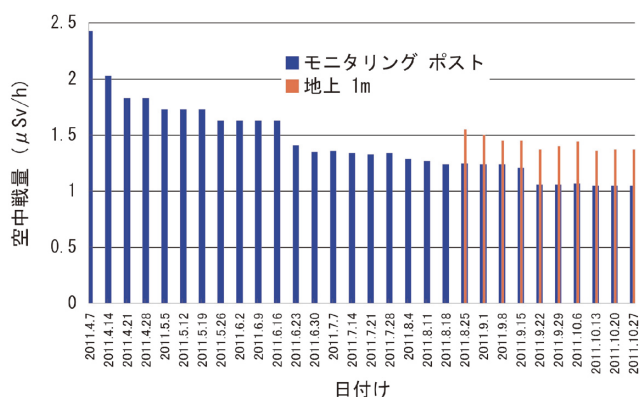


図16 福島市における空中線量の緩和な減衰

～80.3m」とあり、詳細は不明である。「地上1m」の値は「各地」の放射線量は3月24日から掲載され始めたが、福島市のデータは遅く、8月23日から掲載され始めた。全体として緩和な減衰傾向がみられる。梅雨あるいは、9月21～22日の台風15号の影響が出ているのか、段差のある減衰も多少みられる。固着しているはずの放射線が、離れては着きつつ僅かずつ下方に沁みて行くのか、雨水によりごく微量ずつ洗い流されてゆくのか、固着状態は不変のまま担体が微細化されて流動するのか、あるいは半減期2年のCs-134の減衰に起因するのか等々、微弱な減衰の機構が注目される。

V. 考察

3月11日から14日まで風は東に吹きは、水素爆発で上空に舞った大部分の放射性物質は大部分が太平洋方面に流れた^[6]。15日に風は西に吹き戻し、19日までの間にたまたま雨や雪に見舞われた所では汚染物が地上に降り注ぎ、ほぼ瞬時的に地表に固着し、汚染区域が定まった。これはアメリカエネルギー省による空からの汚染測定が行われ、19日以降さらなる汚染の蓄積がみられないこと、3月22日の汚染地域のパターンは4月29日のそれ^[7]と同じであることから分る。原発から福島市へ向けて、山あり谷ありの地形は複雑で、風向きも降雨・降雪も一様ではなかったろう。それに依じて汚染の濃淡が決まった(図14)。飯館村に関していえば、3月16日の10cmの雪の結晶はCs-137等を捕捉した水滴で形成され、やや高台にある小学校では平地より気温も低く、雪も積もり易く、汚染が加速されたであろう。20kmの警戒区域に限らず、詳細な汚染地図を作成し、見直す必要がある。現在の汚染測定はま

かすぎ、詳細汚染地図作成は遅々としている。

焦眉の急は農地の汚染除去である。これができなければ汚染地域は廃墟と化す。校庭や公園のような平坦場所では汚染が表土の1～2cmに限定されるので、表面を削り取り、埋め戻すことで、汚染除去と同等の効果が得られる。ある程度、家庭の庭などにも適用できる。環境省は年内に除染場所、方法を具体的に決定するという^[4]。農水省の試算では、イネの作付け制限の5000 Bq/kgの農地8300ヘクタールから表面5cm程を削り取ると、400万トンの土壌がでる^[4]。削り取った土壌を埋め戻すのであれば、費用は比較的少ないだろう。Cs-137が土壌に強固に固着していれば、地下水の汚染も避けられる。ビニルシート等に包み埋め戻せば更によい。化学的除染剤を使うことも可能かもしれないが、汚染は広範囲であり、費用が高むだろう。

Cs-137はどのように固着しているのだろうか。強塩基と強酸から作られた塩は水中で解離し易く、弱塩基と強酸化あるいは強塩基と弱酸の塩の解離度は低いという。とすると、アスファルトや土壌に含まれるフェノール性のOHが芳香環との共鳴効果によって作る共役塩基のフェノキシドイオン（フェノラートイオン）は弱酸であり、セシウムイオンと解離し難いセシウムフェノキシドをつくるのであろうか。フミン質を含む土壌や、芳香環の多い物質を含むアスファルト等は、セシウムフェノキシドを作り易いのかもしれない。茶はカテキン類などOHをつけた芳香環化合物に富む。汚染物におけるCs-137の存在・結合様式、その離脱法等に関し、化学者の貢献が望まれる。

伸び放題の草を刈り取り、汚染を土壌と比較することで、除染に適切な植物が同定できるかもしれない。沿道の何か所かでヒマワリの栽培をみたが、農林水産省によってほとんど効果がないとの実験結果が発表された^[4]。最も効果のあった除染は、表土の入れ替えであったことから、土壌表層に根をはる植物を栽培し、表土を剥がしとるのも有効かも知れない。Cs-137は固着しているはずの汚染飼料から牛肉に移る。ウシの胃で反芻消化されるうち、共生微生物の作用でCs-137が遊離してくるのであろうか。汚染土壌からのCs-137回収につき、土壌細菌の働きにも着目したい。特定の金属を濃縮する細菌も知られている。

9月14日の学内の健康診断で、バリウムを飲み、胃の検診が行われた。X線はγ線と同じく電磁波であるが、γ線より波長が長くエネルギーが弱い。それでも大部分は体を透過し、透過しないバリウムとの対比で造影ができる。これによる実効線量は4mSv程度で、自然放射能の2～3倍の照射を受ける[図8]。胃の検診用X線が善玉というわけではなく、運のよい一部の人で胃がんが発見され、運の悪い人では逆に胃がんの原因となる可能性がある。100mSvでがんが0.5%増えるとされているので、直線的に比例すると仮定すると4mSvでは0.02%増えることになり、これは1万人に2人の増加を意味する。日本人の半分ががんに罹患し、1/3ががんで死ぬので、0.02%を検出、同定するのは容易でない。全福島県民に対する大規模な健康調査を実施する予定というので、結果が期待される。

一方で、低線量では閾値^{いきち}があり、影響がでないという考えもある。放射線が直接的に

DNAを切断する頻度は低く、水中でラジカル形成を通してその一部が二次的にDNA障害を惹起すること、生体内にラジカルを消去する物質があること、そして種々のDNA修復機構があることを考えると、低用量の化学物質では悪影響がみられない閾値があるように、低線量では閾値があり、悪影響が出ない可能性もある。それどころか、放射線ホルミシス効果といい、弱い線量であればかえって健康によいという研究もある。ある種の薬物を摂取すると薬物代謝酵素が誘導され、解毒能力が増すことが想起される。

紫外線はX線よりさらに波長が長くエネルギーの弱い電磁波で、DNAに傷をつける。生体はメラニン色素を合成して紫外線を吸収しようとし（日焼け）、傷ができれば修復する。しかし傷が多すぎると最早これまでと、細胞は自死し、表皮がはがれてくる。紫外線は体に深く浸透しないので、皮が剥けるくらいですむ。しかし、白人などでは皮膚がんを生じる可能性が高くなる。それで、紫外線を直射させるオゾンホール形成に寄与するフロンガスなどは製造が禁止されて久しい。修復不能の遺伝病では紫外線でがんが発生する。紫外線は有害である一方で、ビタミンD合成には貢献する。

電磁波であるγ線はX線より波長が短く、透過力が強い。体を通り抜けながら、体の主成分である水を電離し、ヒドロキシラジカル（ $\cdot\text{OH}$ ）のような悪玉の活性酸素種を作る。電離の程度はα線が強力で、β線は中程度、γ線は弱い。活性酸素種は生体物質と反応し、DNAにも傷をつける。DNAの傷は修復されるが、1部が誤って修復され、変異をもたらす。そのまた1部ががんを起す可能性がある。NHKの番組によると^[5]、チェルノブイリの事故（福島の汚染規模は約1/10とされる）では避難区域の動物は一旦死に絶えたが、現在は外部から侵入し、以前に増して動物数が増えているという。このうちネズミは元気に地表を這い回り、多量の放射線を浴びているはずだが、DNAの変異は見られない。修復機構が活性化されているわけではない。理由はラジカルスカベンジャー（物は不明）の増加にあったという。アフリカから渡ってきたツバメはラジカルスカベンジャーを使い果たしており、放射線の影響を強く受けて死んだ。カリウムは太陽系の誕生以来放射線を出し続け、生命は36億年の歴史を通して、絶えず放射線を浴びてきた。DNAの傷を修復する機構も発達させてきた。しかし、傷ができる前にラジカルを消去してしまう方が賢明で、チェルノブイリのネズミは賢い。福島滞在中にはチェルノブイリのネズミに教わり、ラジカルスカベンジャー（βカロチン、ビタミンC、Eなど）を多く含むジュースを選んで買い、夜は大量に流した汗の補充のためにはビールを、ラジカル対策のためにはポリフェノールを含む赤ワインを、やや多めに摂取した。

絶えず天空から放射線が降り注ぎ、地表や建物から照射され、飛行機に乗ればより強い放射線をあび、体内にカリウムその他の放射性物質を蓄積しており、検診に唯々諾々と放射線を浴びている人達が、放射能と聞いたとたん微量であっても極端な拒否反応を示すのは理に合わない。大げさに騒ぎ立てる方が注目をあびるので、マスコミも危険性を煽ることが多い。風評被害に自ら加担すること無く、理性的に対応することが、大きくは日本の復興、小

さく被災地や自分やその家族、周囲の幸福に繋がる。あるイギリスの専門家は個人的見解として、チェルノブイリに比べ福島は遥かに低く、放射線による健康被害はないであろうが、それよりは心理的な安寧さ（Psychological well-being）に影響が出るだろうと懸念している^[8]。この傍目の意見が恐らくは正解に近いと思われる。

どんな産業分野でも十分な経験を積むには200年かかるという^[9]。1750年のボイラー、1804年の蒸気機関車、1885年ベンツの3輪自動車、1905年の飛行機、原発はまだ60年の歴史である。改良の余地は大いにある。一国の繁栄はその国の優れた生産力にかかっているというが、科学技術創造立国でしか生きられない日本は、今回の大きな犠牲を払った事故から何を学び、何を次の世代につなげてゆこうとするのか。この事故でエネルギーの値段が上がり、円高パンチにみまわれた日本の製造業が海外に出てしまう空洞化が進むと、学生の就職先の先細りが懸念される。現時点の被害にのみ眼を奪われるのではなく、グローバルな視点にたつて、将来を見据えた冷静な対策が望まれる。

いうまでもなく強い放射線は危険であり、確定的影響として因果関係が明確にされている（図8）。1999年の東海村JCO臨界事故では、核燃料の加工中にウラン溶液が臨界状態に達し、核分裂の連鎖反応がおき、16～20と6.0～10Svを被曝した作業員2名が死亡した。ずさんな手抜き処理が原因であった。彼らの細胞の核はずたずたに破壊され、細胞とは名ばかりの形骸と化した。放射線は目に見えないとはいえ、離れば危害はなく、測定方法があり、遮蔽法もあり、積算線量もでるので、対処が可能なが多く、線量に応じて相応に怖がる必要がある。よく引用される寺田寅彦の言葉がある。「ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたりするのはやさしいが、正当にこわがることはなかなかむつかしいことだと思われた」^[10]。

V. 謝辞

校務出張としてボランティア活動に従事することを許可された就実大学の関連各位に感謝します。活動の一部はホームページに掲載してある。

VI. 文献

- [1] 日経新聞、9月14日、p.38、2011。
- [2] 福島市教育委員会、学校等の校庭等の表土改善事業の実施について。
- [3] NHK、クローズアップ現代、「放射能から子どもを守りたい～母親たちのネットワーク」（2011.09.26放送、オンデマンドで視聴可）。
- [4] 日経新聞、9月15日、p.38、2011。
- [5] NHK、シリーズチェルノブイリ事故25年、「被曝^{ひばく}の森はいま」（2011.07.5日放送）。
- [6] Brumfiel, G. Fallout forensics hike radiation toll, Nature, 478, 435-436, 2011.
- [7] URL参照：<http://energy.gov/situation-japan-updated-102111>

- [8] Fukushima impact is still hazy. Nature, 477, 139-140, 2011.
- [9] 畑村洋太郎、未曾有と想定外、東日本大震災に学ぶ、講談社、2011。
- [10] 寺田寅彦、天災と国防、「小爆発2件」、講談社、2011