

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25462919

研究課題名(和文) 歯科用IPを用いた原子力発電所事故による放射性セシウムの検出能

研究課題名(英文) Detectability of the radioactive cesium by Fukushima nuclear power plant accident using intraoral imaging plate

研究代表者

吉田 みどり (YOSHIDA, Midori)

徳島大学・大学院医歯薬学研究部・助教

研究者番号：30243728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：歯科用イメージングプレートを用いて放射性セシウムを検出することは、時間をかけることによって可能であると考えられた。3000Bqで3日程度の時間が必要である。現在の食品の基準の閾値を考慮すると放射能濃度が非常に高い食品を除いては、検出はほとんど不可能であることが判明した。しかし鉛の吸収端やソフトウェアの改善とプレ照射などの技法を駆使することによって、検出能が10倍程度の感度上昇を得られる可能性があることがわかった。今後、これらの技法を用いての検出能の限界を調べることが重要である。

研究成果の概要(英文)：Intraoral digital detector such as imaging plate may make it possible to detect radioactive cesium by taking many times. It took about 3 days to detect radioactivity of 3000 Bq by imaging plate for dentistry. It was shown that it was almost impossible to detect the radioactive cesium of foods without having great radioactivity considering the current standard value of foods. However it was cleared that there was possibility of achieving higher sensitivity more than ten times by usage of k-edge absorption of lead, improving software and pre-exposure techniques. In the future research, it is very important to evaluate the detectability of radioactive cesium by those techniques.

研究分野：歯科放射線学分野

キーワード：放射性セシウム 歯科用イメージングフィルム セシウム137 セシウム134 FCR

1. 研究開始当初の背景

福島第1原子力発電所は平成23年3月11日の東日本大震災の津波が原因で冷却電源がストップし、原子炉が制御不能になり爆発した。その結果、330万ベクレル(東京電力発表値)という非常に多量の放射性物質が環境中(大気、海、河川、土など)に放出された。放射性物質の内訳としては、I-131、Cs-134、Cs-137が大多数を占めていたが、I-131は半減期が約8日間と非常に短かったので、1年ぐらいでは、初期のものはほとんど0となっている。しかし、Cs-134は約2年、Cs-137は約30年の半減期を持っていることから、ほとんどが残存している。これら放射性セシウムは、環境下において土、水、空気などあらゆる場所に存在し、現在でも、発電所を中心として北北西に高濃度の放射性セシウムの沈着が認められ、福島県全県で多く認められている。これら放射性セシウムは、体外および体内被曝の原因となることから、放射線の軽減が国策として図られている。福島県を中心として、年間1mSvの被ばく量を超えないように、一定基準を超える空間線量(0.23 μ Sv/h)となっている地域は国により除染対象地域(除染関係ガイドライン、環境省)とされ、除染工事が各地域で行われている。しかし除染といっても、完全に除去できる方法は確立されていない。ある地域の放射線量が減少するという事は、その量がどこか別の場所に移り、移された場所が増加するという事である。放射線を人為的に分解することはできず、自然崩壊を待つしかないため、半減期が重要な要因となる。現在の除染状況としては、除染によって集められた高濃度の廃棄物などの置き場が決められていないという理由で、除染の進行状態は遅々としている。

現在問題となっていることの主な一つに、食品に含まれた放射性セシウムは、体内に吸収され、(特に筋肉)内部被ばくの原因となることがある。政府は、食品の安全性を考慮して、平成24年4月1日から基準値(食品中の放射性物質の新たな基準、厚生労働省)を設けた。これによると、飲料水では、WHOの基準と同様な10Bq/kg、一般食品では100Bq/kgと定められている。ある食品の放射能に対する安全性に関しては、政府が決めた機関で測定することによって、放射能濃度が基準値以下であることが保障されている。しかしこの検査は、ほとんどがランダムサンプリングによって行われ全数検査は行われていない。事故前には放射線とは無関係であった大多数の国民は、この方法による食品の安全性に疑問をもったり、また安全であると考えても、放射能濃度は0に近いのか、それとも99Bq/kgに近いのかはまったく不明であると危惧していることから、食品会社などは独自に測定す

ることで、さらに安全性を保証して、放射線汚染のない食の品質保証を行っている。

放射性物質の同定には、いくつかの方法が知られている。最も正確に同定できるのは、ゲルマニウム半導体検出機を用いた測定器であり、エネルギー量(eV)と放射能(BqまたはBq/kg)の両方の絶対値を調べることができる。しかしこの機械は非常に高価(1000万円以上)で、測定時間もかかることから、限られた施設でしか利用できない。簡便には、NaIシンチレーション装置やGM管を用いた測定器が一般的に用いられているが、両者を正確に測定することはできない。ただし、ある程度、放射性物質の量を知ることは可能であることから、事故後は市販品が多くみられるようになってきている。

今回の広範囲な放射能汚染を考えると、測定器は、数が多ければ多いほど効率が高まる。そこで、歯科医療で用いられているデジタル系のイメージングプレート(IP)システムは放射性物質検出に利用できると考えられ、歯科放射線が今回の放射能汚染の対策への道の一旦を担えることができる。

2. 研究の目的

歯科用IPシステムを用いて、放射能濃度がどの程度正確に測定できるかを評価し、歯科界として、原子力の事故処理対策に貢献を果たすことを最終目標と考えている。その目標達成のために本実験ではIPの放射能検出能と検出効率を上げる方法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) サンプルの作製

福島県で採取されたある放射能濃度を有する放射性セシウム(セシウム137とセシウム134)を含む土を用いた。2013年9月にゲルマニウム半導体測定器で放射線セシウムとカリウム40の放射能濃度を測定した。この測定値を基準としてその後の実験では、実験日における減衰を計算で求め、その時の放射能濃度とした。セシウム137は半減期30.1年、セシウム134は半減期2.06年として計算した。

放射能濃度測定用の直径5cm×高さ6cmのプラスチック容器に土を入れた。土を5g、10g、20g、50g、100g入れ、5個作製した。同様に比較対象として放射性セシウムにより汚染されていないと考えられる徳島の土を基準として用いた。この土も放射性セシウムとカリウム40の放射能濃度の測定を行った。

(2) 放射能濃度の違いによるIPの検出能

医科用のIP(FCR、富士メディカル)を用いて福島県土をいれた容器(対象容器)5個と徳島県土を入れた容器(基準容器)1個を

同一の IP にのせ、放射能により暴露させた。暴露時間は 45 分、1 時間、2 時間、5 時間、7 時間、16 時間の 6 種類とした。暴露後、IP を読み取り、画像を作成した。読み取り条件は、読み取り感度 (S 値) を最大値とした。基準容器を置いた部位のグレイ値と対象容器を置いた部位のグレイ値を比較して、暴露の有無を視覚により判定した。

(3) 鉛の k-edge による検出能上昇効果

容器に鉛をまいた時とまかない時の比較をした。土を 20g ずつを入れたプラスチック容器 6 個を作製した。そのうちの 3 個に 2mm 厚の鉛をまいた。基準容器 2 個と 6 個の対象容器を IP の上にのせ、鉛の有無によるグレイ値の違いを調べた。暴露時間は 1 時間、2 時間、4 時間、20 時間の 4 種類とした。

(4) IP のプレ照射による検出能

IP を自然放射線により曝露させ、その後対象容器から放射能の検出能を調べた。実験 2) で用いた対象容器を 3 個と基準容器 1 個を IP にのせ、一定時間暴露後、読み取りをした。自然放射線による暴露時間は、なし、1 日、2 日、3 日、4 日、6 日の 6 種類とした。土による暴露時間は 0.5 時間、1 時間、1.5 時間、2 時間、2.5 時間、3 時間、3.5 時間、4 時間、5 時間の 9 種類とした。

(5) 歯科用 IP の検出能

歯科用 IP の放射線の検出限界を測定した。歯科用エックス線発生装置 (60kV) を用いて線量を下げていき、画像が得られなくなる最低線量を半導体検出器により測定した。IP は AEC (自動濃度補正機能) が備わっている機種 (Digora、モリタ) と備わっていない機種 (VistaScan、ヨシダ) とデンタルフィルム (インサイト、コダック) を用いた。

4 . 研究成果

(1) 放射能濃度の違いによる IP の検出能

福島のとりのサンプルは 97.65g を用い、測定時間 30 分で計測した結果、セシウム 134 は 59773 ± 205 Bq/kg、セシウム 137 は 123881 ± 369 Bq/kg、カリウム 40 は 357 ± 104 Bq/kg であった。放射性セシウムとしては 17933Bq 含まれることになる。徳島の土は、108.35g を用いた結果、セシウム 134 は 1 ± 2 Bq/kg、セシウム 137 は 1 ± 2 Bq/kg、カリウム 40 は 623 ± 50 Bq/kg であった。放射性セシウムとしては 0.2Bq 含まれることになる。

放射能 900 Bq は 16 時間の暴露時間によって確認できた。放射能が高くなると、暴露時間が短くて確認できた (表 1)。放射能と曝露時間の関係は、 $y = 18612x^{-1.106}$ ($R^2 = 0.9902$) で表された (図 1)。

表 1 放射能と検出可能な暴露時間との関係

暴露時間	放射能 (Bq)				
	900	1800	3600	9000	18000
45 分	×	×	×	×	×
1 時間	×	×	×	×	
2 時間	×	×	×		
5 時間	×	×			
7 時間	×				
16 時間					

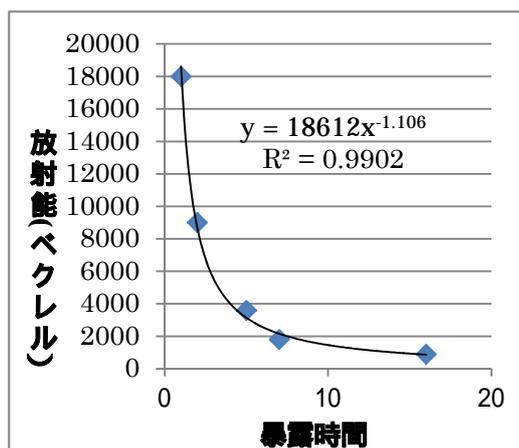


図 1 放射能と検出可能な暴露時間との関係

(2) 鉛の k-edge による検出能

鉛があると、鉛に沿ってよりグレイ値が低下した。鉛の効果は、暴露時間を 1/5 程度に短縮した (表 2)。

表 2 検出可能な暴露時間への鉛の効果

暴露時間	放射能 (3000Bq)	
	鉛あり	鉛なし
1 時間	×	×
2 時間	×	×
4 時間		×
20 時間		

(3) IP のプレ照射による検出能

自然放射線 ($0.03 \mu\text{Sv/h}$) によってプレ照射を行った IP を用いて、放射能 3000Bq の土の検出能を調べた結果、プレ照射が暴露時間の短縮に効果があることがわかった。1 日置くこと、すなわち $0.72 \mu\text{Sv}$ (0.03×24) のプレ照射によって 5 時間の検出時間が 3.5 時間に短縮した。プレ照射の日数は、4 日間までは、効果が認められた。それ以降は変化がないと考えられた (表 3)。プレ照射時間と暴露時間の関係は $y = 0.1607x^2 - 1.6357x + 5.0107$ ($R^2 = 0.9985$) で表された (図 2)。

表3 IP プレ照射日数と検出可能な
暴露時間

時間	IP プレ照射日数					
	0	1	2	3	4	6
0.5	×	×	×	×	×	
1	×	×	×	×		
1.5	×	×	×			
2	×	×				
2.5	×	×				
3	×					
3.5	×					
4						
5						

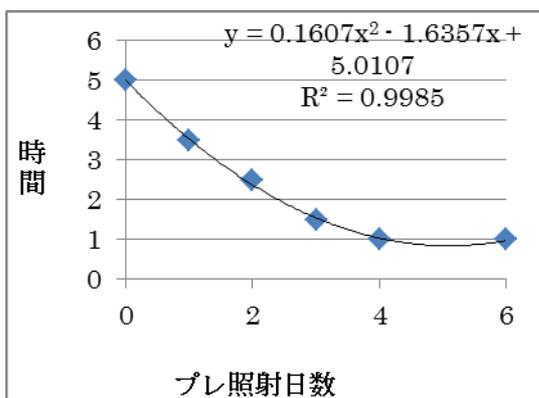


図2 IP プレ照射日数と検出可能な
暴露時間

(4) 歯科用 IP の検出能

エックス線での最小検出能は、検出器によって異なっているが、約 $5 \mu\text{Gy}$ が最低検出能であった。IP 読み取り機は、AEC の有無で検出能が異なり、AEC が備わっている方が、感度が高いと考えられた(表 4)。

IP ではエネルギー依存性があり、放射性セシウムのエネルギー領域 ($600 \sim 1000\text{keV}$) と歯科用 X 線領域 ($20 \sim 50\text{keV}$) の感度比は約 1:10 程度となる。これから、同一線量なら放射性セシウムの暴露時間は 10 倍要することになり、 $50 \mu\text{Gy}$ が最低検出能となる。本実験で用いた土のサンプルは、放射能が高くなると厚さ方向が増えるため完全に比例はしない。放射能 (ベクレル) と線量 (μGy) の関係式は、

$y = 0.3034\ln(x) - 1.8459$ ($R^2 = 0.9835$) で表される(図 3)。これからわかるように 3000 ベクレルのサンプルでは、 $0.6 \mu\text{Sv/h}$ の線量率なので、 $50 \mu\text{Gy}$ になるためには 83 時間になる。すなわち 3000Bq の検出には 3 日以上暴露時間が必要となる。過去の研究では、15000Bq の土で 1 日の暴露時間が最低検出能となった結果とは違いがなかったと考えられる(表 4)。

表4 歯科用 X 線検出器の検出能の比較

線量 (μGy)	Digora	VistaScan	Film
5.4		×	
9.3			
13.2			

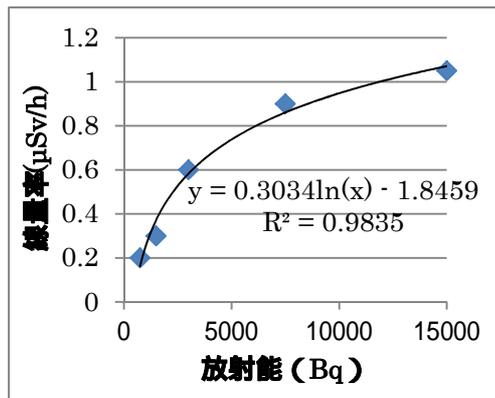


図3 測定用容器内の土の放射能と
空間線量率との関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Yoshida M, Honda E, Dashpuntsag Oyunbat, Maeda N, Hosoki H, Sakama M, Tada T: Availability of Japanese Government's supplemental texts on radiation reflecting the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident for elementary and secondary education from dental student's understanding. J. Environ. Radioact. 査読有, Vol 155-156, pp. 7-14. 2016, DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.01.015

〔学会発表〕(計 2 件)

吉田みどり、Dashupuntsag Oyunbat, 前田直樹、細木秀彦、阪間稔、誉田栄一: 福島原子力発電所事故後の放射線に対する歯科学生の認識度. 四国公衆衛生学会. 2016年2月5日. あわぎんホール(徳島県徳島市)

吉田みどり、Dashupuntsag Oyunbat, 前田直樹、細木秀彦、阪間稔、多田敏子、誉田栄一: 文部科学省が作成した放射線教育のための新しい副読本に対する歯学部学生の理解度. 日本放射線安全管理学会第13回学術大会. 2014年12月3日. 徳島大学 大塚講堂(徳島県徳島市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 みどり (YOSHIDA, Midori)
徳島大学・大学院医歯薬学研究部・助教
研究者番号: 30243728

(2)研究分担者

前田 直樹 (MAEDA, Naoki)

徳島大学・大学院医歯薬学研究部・助教
研究者番号： 10219272

菅田 栄一 (HONDA, Eiichi)

徳島大学・大学院医歯薬学研究部・教授
研究者番号 30192321

細木 秀彦 (HOSOKI, Hidehiko)

徳島大学・病院・講師
研究者番号 60199502