

令和元年6月7日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K11508

研究課題名(和文) 歯科用IPによる放射性セシウム等の高エネルギー放射性物質検出感度の向上技術確立

研究課題名(英文) Establishment of technology to improve the detection sensitivity of high energy radioactive substances such as radioactive cesium by dental IP

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(歯学域)・助教

研究者番号：30243728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：多くの歯科診療所に備えられているイメージングプレート方式の歯科用デジタル検出器を用いて、原子力発電所などの事故により放出される放射性セシウムの検出ができることが示された。

検出能は医用コンピュティッド・ラジオグラフィと比較して劣るが、全国いたるところにある歯科診療所で測定できることは、原子力事故の対策の一つとしてとても重要である。

また検出能を向上させる方法として、金属のk吸収端を利用する方法があることも判明した。今後、さらなる研究により、より微細な放射能の検出が歯科診療所で可能になることが期待された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島原子力発電所の事故により、原子力に対する国民の信頼が大きく低下した。その結果、多くの原子力発電所は稼働が停止したままで、新規の原子力発電所設置も非常に困難となってきた。今回の事故で大問題となった一つに、環境中の放射能の有無がわからないことがある。食料、飲料水をはじめとして、自分の居住空間に放射性物質が存在するかは、当局や専門機関の報告を信じるしかなかった。原子力発電での信頼性を失ったなかでは、信頼性がゆらいだ。

このようななかで、今後の放射能汚染時に全国の歯科診療所が対応できれば、それだけで安心感が生まれる可能性がある。本研究結果は、歯科界が日本の未来に貢献できる可能性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：It was shown that it was possible to detect radioactive cesium emitted by a nuclear power plant accident using an imaging plate type for dentistry which was set in many dental clinics.

Detectability of it was inferior to that of computed radiography, but it was very important as one of the measures against nuclear accident because there were many dental clinics all over the country.

It was also found that methods with metal k-edges could improve detectability. Further research was expected to enable finer detection of radioactivity in dental clinics.

研究分野：歯科放射線学

キーワード：イメージングプレート セシウム134 セシウム137

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本では2011年にマグニチュード9.0という最大の地震が東日本に起きた。その結果福島第1原子力発電所は、原子炉が制御不能になり爆発し、日本だけでなく世界中を震撼させた。今までは原子力発電所は事故が起きないという神話があったが、それがくずれ政府は事故を前提に原子力発電所の安全性の見直しを図った。安全性の基準は、非常に高くほとんどの原子力発電所では達することが困難であることから、停止状態が継続している。

原子力発電所事故では、事故当初は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日間と非常に短いので、1年ぐらいでは、初期のものはほとんど0となる。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、しばらくは、ほとんどが残存する。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移動する。

一般の人々にとり放射性セシウムの存在は、五感で感じるできないため常に恐怖状態に居続けることになる。今回の事故においても福島から200km以上離れた東京でも、水道水や食品中の放射性物質の有無に関して、住民がパニックに陥りかけた。土壌に関しても一部の地域で放射性セシウムが検出されたとの報道を受け、住民団体によっては独自に線量計を入手し、放射能測定を行った。

このように事故が起きると、多くの人々が放射能の存在に恐れを抱く。その恐れは自分の目で確認しなければ、なかなか納得できない。個人が放射能を測定することは、非常に難しく専用の測定器を入手する必要がある。これらの測定器は常に在庫があるわけではないので、みんなが必要となすときには不足する。これからの原子力事故のリスクを軽減する1つの方法は、住民が好きなきにいつでも放射能の存在を知ることができることである。

歯科診療所は全国いたる所にある。歯科X線撮影では、従来のアナログX線フィルムからデジタル検出器に移行している。デジタル検出器の普及は、50%を大きく超えている。このデジタル検出器には、イメージングプレートとCCDの2種類の方式があるが、多くの診療所では、イメージングプレートを導入している。実験的に放射能の検出方法の1つには、イメージングプレートを用いる方法が知られている。歯科で用いるイメージングプレートと実験用のイメージングプレートは、全く同一のものであり、読み取り装置が異なるだけである。

歯科のイメージングプレートを放射能の検出に用いることができれば、万一の事故の場合でも日本全国で簡単にだれでも放射能の有無を検出できることになる。

2. 研究の目的

歯科用イメージングプレートシステムを用いて、早期に放射能の有無を検出する方法が確立できることで歯科診療所は、原子力事故対策に貢献を果たすことができると考えている。過去の研究では、医科用のイメージングプレートを用い、検出能向上を試みた。その結果、使用前にプレ照射をすることで濃度自動調節用のソフトウェアの最低検出量を超えさせることで、微少な放射能を測定できることが示された。

本研究では、その方法を歯科用イメージングプレートに適用した場合の検出能向上を評価するとともに、放射性セシウムのエネルギー分布を考慮し、適切な金属フィルターを用いることでその分布を低エネルギーに変え、イメージングプレートでの検出能向上を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) サンプルの作製

福島原子力発電所事故により放射能汚染が見られる土壌を用いた。この土壌には、放射性セシウム(Cs-134、Cs-137)を含む土を用いた。この土壌は前回の研究で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。Cs-137は半減期30.1年、Cs-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(U8)に土を入れた。土を20g、50g、100g入れ、3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。

放射能測定およびスペクトル分布表示にはNaI(Tl)シンチレーション検出器による線スペクトルメータ方式の放射能測定器(GMD 10、日本環境モニタリング)を用いた。

(2) 放射能濃度の違いによるイメージングプレートの検出能

歯科用のイメージングプレート(3×4cm)を用いてサンプル土壌をいれた容器を同一のイメージングプレートにのせ、放射能により暴露させた。暴露時間は1日、2日、4日、7日、10日、14日の6種類とした。暴露後、イメージングプレートを読み取り、画像を作成した。読み取り装置はVistaScanPerio(ヨシダ)を用いた。読み取り条件は、ピクセルサイズを25マイクロ

ンとした。基準容器を置いた部位のグレイ値と周囲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) プレ照射およびポスト照射によるイメージングプレートの検出能

医用イメージングプレートでは、暴露前に一定の均一照射を行うことで放射能検出のしきい値を下げるができるが、プレ照射後の暴露時間が長期間にわたると、フェーディング現象が問題となる可能性があることから、暴露後に一定の均一照射を行う、ポスト照射を考案し、比較検討した。

照射には、歯科用X線発生装置（Alula、朝日レントゲン）を用い、管電圧 60 kV で照射を行った。

(4) 金属のk吸収端による検出能

鉛は約 80keV に k 吸収端が存在するため、そのエネルギーを超える放射線があたると特性 X 線が発生する。特性 X 線のエネルギーの k が約 74keV であり、これはイメージングプレートのエネルギー感度曲線において非常に高い感度に相当する。それを利用することで検出能が高まる可能性がある。これを利用するため、容器に 2mm 厚の鉛をまいて、検出能の向上を評価した。

また金属種によっては、同様に k 特性 X 線が 80keV 付近となるものが、多数存在する。放射性セシウム 137 の放射線のエネルギーと線の減衰を考慮し、錫箔を用いた。錫箔は原子番号が 50 と鉛と比較して低く、極薄金属箔の加工も楽なことから、厚さ 10 ミクロンの錫箔を選択した。また、k は約 24eV とイメージングプレートの高感度域にもはいていた。この錫箔をイメージングプレート上にのせ、さらにその上から土壌サンプルの容器を乗せ、暴露を行った。

これら 2 つの方法の組み合わせにより、検出能の向上を評価した。

4. 研究成果

(1) サンプル土壌の放射能スペクトル

図 1 は放射性セシウムに汚染されていない、徳島の土壌のスペクトルである。カリウム 40 のピークが 1460eV 付近に観察できた（図 1）。

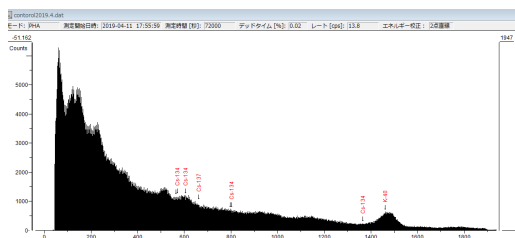


図 1 対照土壌サンプル

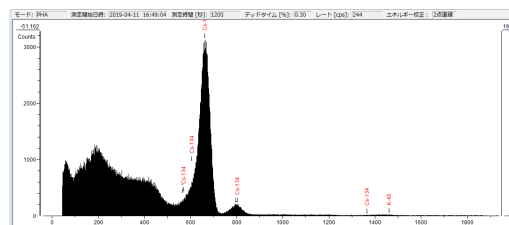


図 2 放射性セシウム土壌サンプル H20

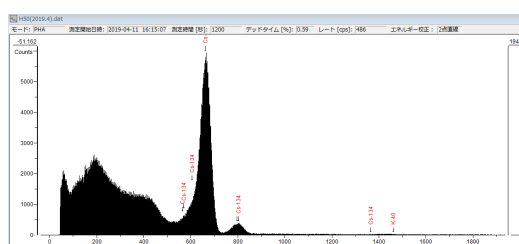


図 3 放射性セシウム土壌サンプル H50

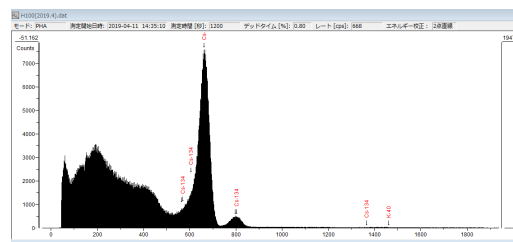


図 4 放射性セシウム土壌サンプル H100

放射性セシウム土壌サンプルに含まれるセシウム 137 とセシウム 134 の放射能は、H20 において 3600Bq と 300Bq、H50 において 7000Bq と 600 Bq、H100 において 9100Bq と 800Bq となった。量的には、5 倍の差があったが、放射能としては、2.5 倍と差が縮まった。エネルギースペクトルには、いずれのサンプルでも明らかな差はみられず、660keV のセシウム 137 のピークと、569keV、605keV、796keV のセシウム 134 のピークが観察できた（図 2 - 4）

(2) 歯科用イメージングプレートの選択

歯科用デジタル検出器としては CCD (C-MOS) 方式とイメージングプレート方式が市販されている。イメージングプレート方式では、読み取り装置で自動濃度調節機能があるものがないものがある。本研究の基礎的な研究で、読み取り方式の違いによる放射線量の最低検出能の評価を行った。その結果、本研究で用いた自動濃度調節機能がない VistaScan がすぐれていたことが

判明し、その結果を基に、その機種で実験を行った（参考文献 ）。

（３）イメージングプレートによる放射能の検出

H20、H50、H100 を用いて、イメージングプレート上のにせ、時間と検出能との関係を調べた結果、いずれのサンプル土壌においても、2週間後では、読み取りができなく、画像作成が不可能であった。すなわち、約 10,000Bq の放射能では、歯科用イメージングプレートを用いた検出は不可能であることが示された。

（４）プレ照射を用いた歯科用イメージングプレートによる検出能

サンプル土壌で暴露する前に、あらかじめ歯科用 X 線発生装置で X 線の最低検出が可能となる線量で曝射後、それぞれ H20、H50、H100 をイメージングプレート上のにせ暴露させた。時間と検出能との関係を調べた結果、プレ照射を行わない実験と同様に、いずれのサンプル土壌においても、2週間後では、読み取りができなく、画像作成ができなかった。プレ照射方式では、フェーディング現象が起きたため、線量の最適化をはかる必要があると考えられた。

（５）ポスト照射を用いた歯科用イメージングプレートによる検出能

ポスト照射のみの画像（対照画像）の作成を行った（図 5）。サンプル土壌により暴露されたイメージングプレートに、対照画像と同線量の照射を行い、暴露範囲と対照画像のグレイ値との差によって、検出可能か否か判定した（図 6）。

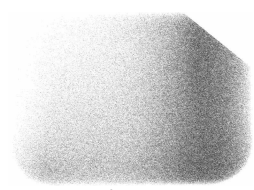


図 5 ポスト照射
(H100、7日後)

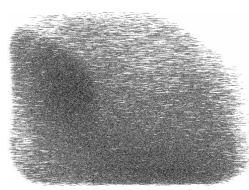


図 6 暴露後ポスト照射

ポスト照射画像（図 5）では、右上に鉛を置いて撮影を行ったので、三角形の白い領域（高グレイ値）が認められた。また右側の黒い帯（低グレイ値）が存在した。暴露後ポスト照射を行った画像では、左半分が右側より低グレイ値になったことから、この領域に放射線があたったことを示している。また円柱プラスチック容器の一部がイメージングプレート上に置かれたので、その円弧が左上に描出された。この 2 つの画像から、放射能の検出が確認できたと判断できた。

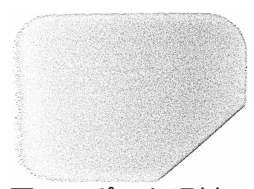


図 7 ポスト照射
(H50、4日後)

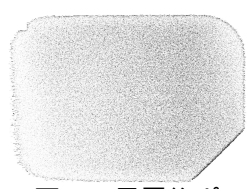


図 8 暴露後ポスト照射

検出能の限界と考えられる画像において、ポスト照射画像（図 7）では、右側が低グレイ値となり、左側が高グレイ値となっている。上下方向では、右側も左側も明らかな差は認められなかった。暴露後ポスト照射画像（図 8）では、ポスト画像とほぼ同様に、右側が低グレイ値で、左側が高グレイ値となったが、詳細な観察では、左側において、上方と下方でグレイ値がわずかに異なり、また上方においても、ポスト照射画像と比較して、わずかに低グレイ値となっていると考えられた。プラスチック容器の配置は、画像上の左側上方にあることから、放射能が検出されたと判断され、この時間と放射能が検出限界のしきい値と考えられた。

（６）錫の k 吸収端を利用した放射能検出

錫箔の階段（10 ミクロンと 20 ミクロン）をイメージングプレート上のにせ、その上からサンプル土壌で暴露を行った。5 日の画像において、左側上方に広がる低グレイ値の領域が確認できた（図 10）。その右側は高グレイ値となり、左側との違いが明らかであった。錫箔は左側に置かれていたことから、錫箔からの k 特性 X 線による増感作用と考えられた。錫箔の階段による境界は確認できなかった。

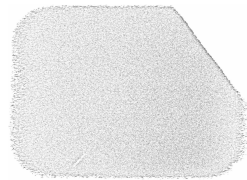


図9 ポスト照射
(H100、5日後)

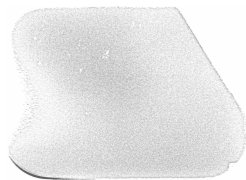


図10 暴露後ポスト照射

表1 各条件下における放射能検出能

暴露日数	ポスト照射				
	なし		あり		
	H50	H20	H50	H100	S _n +H100
4日	—	—	—	—	×
5日	—	—	—	—	—
6日	—	—	—	—	—
7日	—	—	—	—	—
8日	—	—	—	—	—
9日	—	—	—	—	—
11日	—	—	—	—	—
14日	×	—	—	—	—

(検出、 たぶん検出、 × 検出不可、 未実験)

(7) まとめ

歯科用イメージングプレートで、放射性セシウムの検出が可能であることが示され、そのしきい値は、放射能約 7500Bq で 4 日程度の暴露時間であることが推定された。しきい値を下げる方法として、イメージングプレートのエネルギー感度依存にあわせた、放射線のエネルギー分割を行うため、k 吸収端の利用が有効であることが示された。錫箔により検出能の暴露日数が短縮されることが示された。厚さと検出効率、最適な金属種の選択に関しては、今後の研究課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

Yoshida M, Honda E, Ozawa E, Inoue-Arai SM, Ohmori H, Moriyama K, Ono T, Kurabayashi T, Yoshihara H, Nunthayanon Parakonthon K: Principles of the magnetic resonance imaging movie method for articulatory movement. Oral Radiol. 35, 91-100.2019. DOI: 10.1007/s11282-018-0347-7,

吉田みどり、菅田栄一：放射線教育 福島第1原子力発電所事故を踏まえてー。お茶の水医学雑誌。Vol 66, pp227-245. 2018. ochaigaku_66_2_227.pdf

Yoshida M, Yoshihara H, Honda E: History of Digital Detectors in Intraoral Radiography. Dental health: Current research. 査読有, Vol 4, pp1-5. 2018. DOI: 10.4172/2470-0886.1000135

Yoshida M, Honda E: Influence of radiation education on risk perception in Japanese dental students. Dental health: Current research. 査読有, Vol 3, pp1-6. 2017. DOI: 10.4172/2470-0886. 1000e106

Dashpuntsag Oyunbat, Yoshida M, Kasai R, Maeda N, Hosoki H, Honda E: Numerical evaluation of imaging contrast for thicker and thinner objects among current intraoral digital imaging systems. BioMed Research International. 査読有, pp. 1-10. 2017. DOI: 10.1155/2017/5215413

〔学会発表〕(計5件)

吉田みどり、岩本里織、岡久玲子、岸田佐智、阪間稔、菅田栄一：看護学生の放射線に対する理解力とリスク認識。日本放射線安全管理学会第17回学術大会。2018年。名古屋大学(愛知県名古屋市)

吉田みどり、岩本里織、岡久玲子、岸田佐智、阪間稔、菅田栄一：福島原子力発電所事故後の看護学生のための放射線教育のあり方。日本放射線安全管理学会第16回学術大会。2017年。ホトホール大分(大分県大分市)

Dashupuntsag Oyunbat、吉田みどり、前田直樹、細木秀彦、阪間稔、誉田栄一：歯科学生
のリスク認識と放射線教育効果． 日本放射線安全管理学会第 16 回学術大会．2017 年．ホト
ホール大分（大分県大分市）

Dashupuntsag Oyunbat、吉田みどり、笠井亮祐、前田直樹、細木秀彦、誉田栄一：デジタ
ル口内法 X 線撮影における検出器の比較．第 58 回日本放射線学会．2017 年．鹿児島県民ホー
ル（鹿児島県鹿児島市）

吉田みどり、Dashupuntsag Oyunbat、前田直樹、細木秀彦、阪間稔、誉田栄一：歯科学生か
らみた放射線教育とリスク認識． 日本放射線安全管理学会第 15 回学術大会．2016 年．岡山
大学（岡山県岡山市）

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：前田 直樹
ローマ字氏名：(MAEDA, Naoki)
所属研究機関名：徳島大学
部局名：病院
職名：講師
研究者番号：10219272

研究分担者氏名：誉田 栄一
ローマ字氏名：(HONDA, Eiichi)
所属研究機関名：徳島大学
部局名：大学院医歯薬学研究部
職名：教授
研究者番号：30192321

研究分担者氏名：細木 秀彦
ローマ字氏名：(HOSOKI, Hidehiko)
所属研究機関名：徳島大学
部局名：大学院医歯薬学研究部
職名：准教授
研究者番号：60199502

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の
実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関す
る見解や責任は、研究者個人に帰属されます。