

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26550031

研究課題名(和文) 福島第一原発事故に伴う 線被曝線量の推定

研究課題名(英文) Estimation of beta-ray dose due to Fukushima Daiichi Nuclear power plant accident

研究代表者

遠藤 暁 (Endo, Satoru)

広島大学・工学研究院・教授

研究者番号：90243609

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：2011年3月に発生した福島原発事故により放出された放射性物質からの線による被曝線量を推定することを目的とした。モンテカルロ計算を行い空気中線量および皮膚線量を推定を実施した。その結果、Cs-137が1000kBq/m<sup>2</sup>の沈着時の土壌表面の線量率と表層土壌中の線量率の時間変化を推定した。更に、MEXTの2kmメッシュ調査の汚染量を組み合わせることで線積算線量マップの作成を行った。これらの研究結果は、Journal of Radiation Research誌に論文2編として発表した。また、付随した研究発表として8篇を発表している。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is a beta-ray dose estimation due to radioactivities from Fukushima accident. Beta dose in air and skin dose were estimated using Monte Carlo calculation. The results were published as 2 papers in Journal of Radiation Research (1. beta dose rate in air near ground surface at the condition of 1000 kBq/m<sup>2</sup> deposition and 2. cumulative dose map combined with 2km mesh investigation by MEXT). And then, related 8 publications are made.

研究分野：環境学

キーワード：Fukushima accident beta ray beta-ray dose skin dose dose estimation

1. 研究開始当初の背景

2011年3月に発生した福島原発事故により放出された放射性物質により、広範囲が汚染された。土壌汚染を引き起こした放射性物質の主要成分は、I-132、I-131、Te-132、Te-129、Te-129m、Cs-134、Cs-136、Cs-137であることが報告されている。この放射能による線による外部被曝については、多くの機関・研究者による線量推定が行われているのに対し、線は、数mmのAlや生体表面で遮蔽され全身被曝に寄与しないため、線被曝線量推定は扱われてこなかった。

一方、福島原発事故に起因するとしてヤマトシジミの突然変異が報告されているが、突然変異の誘発を線被曝だけで説明できないほど線量が低い。土壌表面で生活する幼虫の線被曝が深刻であることから、線被曝線量を詳細に評価する必要がある。また、土壌中の線線量は、子供たちが土遊びを行ったとき皮膚の被曝がどの程度となるかに寄与するため、被曝線量の範囲を理解するためにも重要な課題である。

2. 研究の目的

福島原発事故由来の線放出核種である<sup>132</sup>I、<sup>131</sup>I、<sup>132</sup>Te、<sup>129</sup>Te、<sup>129m</sup>Te、<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Csは線のみでなく、線も放出する放射性核種である。線による空間線量率は、全身被曝には寄与しないが、皮膚線量(70μm線量当量)に寄与する。したがって、線由来の空間線量や皮膚線量の評価は、初期の皮膚の被曝や体の小さい昆虫などの被曝を評価する際に必要である。本研究では、沈着放射能からの線をモンテカルロ計算を行い皮膚線量を評価するための70μm線量当量の評価を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

計算手法

福島原発線量評価を継続してきており、近年、土壌中放射化物による空間線量率推定や原爆に伴う核分裂降下物による線線量の推定などを行っている[Tanaka et al 2008, Endo et al 2012]。基本的な方法は、これまで培ってきたこの手法を、拡張して用いる。MCNP計算コードを用いて、土壌中、5mm-10mmに配置した放射性核種：<sup>132</sup>I、<sup>131</sup>I、<sup>132</sup>Te、<sup>129</sup>Te、<sup>129m</sup>Te、<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Csから、Fig.1に示した線

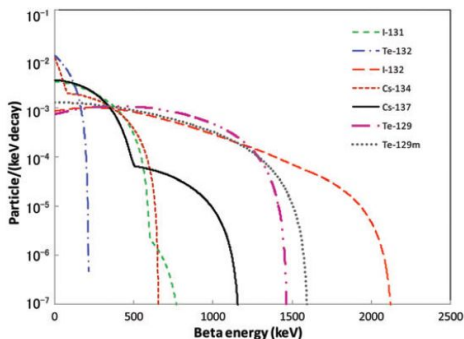


Fig.1 入力線スペクトル

をFig.2に示す計算体系の土壌表面から発生させて電子線輸送計算を行う。空間をセルに分け、各セルに付与されたエネルギーとセルに含まれる空気質量より空間線量を決定する。各物理半減期を考慮し線空間線量率の時間変化を推定する。

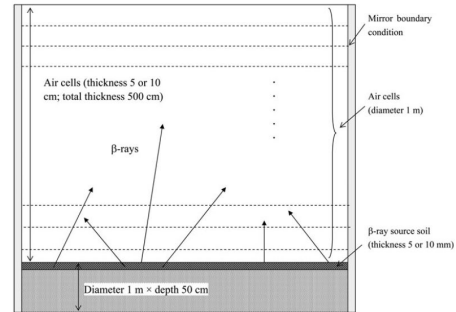


Fig.2 計算体系

更に、各放射性物質の沈着量は、沈着比 $f_i$ ：<sup>129m</sup>Te/<sup>137</sup>Cs、<sup>129</sup>Te/<sup>137</sup>Cs、<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs、<sup>132</sup>Te/<sup>137</sup>Cs、<sup>132</sup>I/<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Csとして考慮する。しかしながら、これらの比は地域ごとに異なるため、2kmメッシュ調査で同定されている核種<sup>129m</sup>Te及び<sup>131</sup>Iの<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs= $r_I$ 及び<sup>129m</sup>I/<sup>137</sup>Cs= $r_T$ を用いて福島全域を取り扱うこととした。<sup>129</sup>Te/<sup>137</sup>Cs、<sup>132</sup>Te/<sup>137</sup>Cs=<sup>132</sup>I/<sup>137</sup>Csは、飯館村において、それぞれ<sup>129m</sup>Te/<sup>137</sup>Cs比の0.7倍及び8.3倍であった。<sup>129m</sup>Teと<sup>132</sup>Teの比は保存すると仮定して、<sup>129</sup>Te/<sup>137</sup>Cs = 0.7 × <sup>129m</sup>Te/<sup>137</sup>Cs及び<sup>132</sup>I/<sup>137</sup>Cs = 8.3 × <sup>129m</sup>Te/<sup>137</sup>Csとした。したがって、沈着放射能比 $f_i$ は $r_I$ :(0.7・ $r_T$ ): $r_I$ :(8.3・ $r_T$ ):(8.3・ $r_T$ ):1:1で与えられる。 $r_I$ と $r_T$ の比を持つ地点の線量率 $\dot{D}(r_I, r_T, t)$ (単位<sup>137</sup>Cs沈着量(kBq/m<sup>2</sup>)当たり)は、沈着直後の土壌表面における線量率( $\dot{D}_i^0$ )を用いて式(1)で与えられる。また、式(2)に示すように、 $\dot{D}(r_I, r_T, t)$ を1年間で積分することで、積算線量を求める。

$$\dot{D}(r_I, r_T, t) = \sum_i f_i \cdot \dot{D}_i^0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T_i}} \quad (1)$$

$$D(r_I, r_T) = \int_0^{1 \text{ year}} \dot{D}(r_I, r_T, t) dt \quad (2)$$

ここで、 $T_i$ は核種 $i$ の半減期、 $r_I$ と $r_T$ は、それぞれ<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs及び<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs比を示している。式(2)の値に、<sup>137</sup>Csの沈着量： $A_{137\text{Cs}}$ を乗じることで沈着後1年間の線積算線量： $D_A$ を求めた。

$$D_A = D(r_I, r_T) \cdot A_{137\text{Cs}} \quad (3)$$

この計算では、線量の単位はGyで得られるが、GyからSvへの変換係数を1とし便宜的にSvで示している。

<sup>129m</sup>Te/<sup>137</sup>Cs比の内挿

文部科学省の2kmメッシュデータ2181地点中、797地点に対して<sup>129m</sup>Te/<sup>137</sup>Csが得られている。しかしながら、<sup>131</sup>Iが同定されてい

る 415 地点中には、175 地点のみで  $^{129m}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$  が得られている。 $^{131}\text{I}$  が同定された 415 地点全てを利用するために、 $^{129m}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$  比がない地点での値を内挿して取り込んだ。内挿には、geographic information system (GIS)ソフトウェア：SAGA-GIS のマルチレベル B スプライン内挿を用いた[9]。内挿を行った  $^{129m}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$  比のマップを Fig.3 に示す。

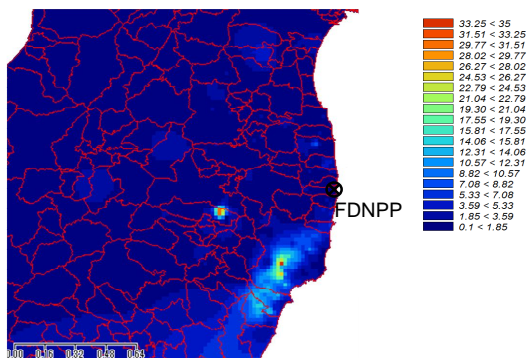


Fig.3 文科省 2km メッシュ調査の  $^{129m}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$  比[6]を SAGA-GIS [9]を用いて内挿した地図

#### 結果

文部科学省 2km データ中の 415 地点について、式(1)-(3)を用いて線積算線量を計算した。特徴的な 72 地点についての線積算線量の値は、参考文献[8]を参照してほしい。最も高い線積算線量を示した地点は浪江町赤宇木地域であった。また、双葉町から富岡町北部にかけても高い線量を示した。線積算線量の値は、浪江町赤宇木手七郎で 710 mSv、同地区梶平で 477 mSv、双葉町石熊で 246 mSv 及び富岡町大菅で 620 mSv であった。飯館村南部では 100 - 150mSv が得られた。福島市内では、東部では 20-60 mSv であったのに対し、西部では 4 - 10 mSv と地域により大きく異なっていた。一方  $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  比( $69 \pm 39$  (maximum:285))が高かったいわき市では、 $^{137}\text{Cs}$  の沈着量が比較的低い値 (20-50 (kBq/m<sup>2</sup>))であったため、1 - 24 mSv と福島市内西部と同程度であった。これらの 415 地点の線積算線量を用いてマップを作成した。事故後 1 年間の線積算線量マップを Fig. 4 に示す。マップの作成には、SAGA-GIS [9]のマルチレベル B スプライン

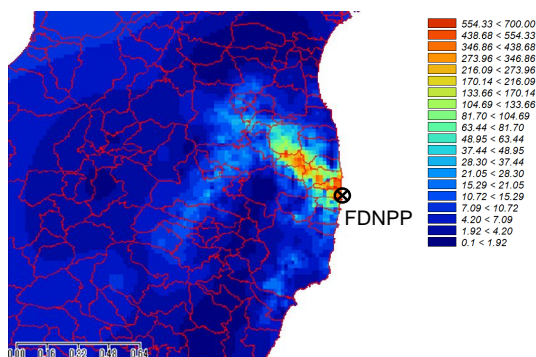


Fig. 4 事故後 1 年かの積算β線量地図

内挿を利用している。作成したマップから、浪江町赤宇木地域、双葉町および富岡町北部では高い積算線量を示した。

#### 4. 研究成果

モンテカルロ計算を行い空気中線量および皮膚線量の推定を実施した。その結果は、Journal of Radiation Research 誌に 2 編 (1.Cs-137 が 1000kBq/m<sup>2</sup> の沈着時の土壌表面の線量率の時間変化および 2. MEXT の 2 kmメッシュ調査の汚染量を組み合わせた線積算線量マップの作成)を公表した。これにより、原発事故由来の汚染によって、最初の 1 年間に於いて、最大 600mSv 以上の積算空気線量となることを示唆した。また、付随した研究発表として 8 篇を発表した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 10 件)

1. T. Kajimoto, S. Endo, K. Tanaka, Y. Okashiro, H. Kai, S. Fujii, A. Mishima, T. Matsubara, S. Yoshida, Apparatus development for measurement of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radioactivity of soil contaminated by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Appl. Radiat. Isot. 115, 4-7, 2016. (査読有)
2. Y. Urushihara, K. Kawasumi, S. Endo, K. Tanaka, Y. Hirakawa, G. Hayashi, T. Sekine, Y. Kino, Y. Kuwahara, M. Suzuki, M. Fukumoto, H. Yamashiro, Y. Abe, M. Fukumoto, Analysis of Plasma Protein Concentrations and Enzyme Activities in Cattle within the Ex-Evacuation Zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Plant Accident, Plos One, DOI:10.1371/journal.pone.0155069, 2016. (査読有)
3. 今中哲二, 遠藤暁, 菅井益郎, 林剛平, 市川克樹, 小澤祥司, この 4 年間の飯館村放射能汚染調査の報告, 岩波書店『科学』85, (6), 068-0612, 2015. (査読無)
4. G. Hayashi, C. F Moro, J. S. Rohila, J. Shibato, A. Kubo, T. Imanaka, S. Kimura, S. Ozawa, S. Fukutani, S. Endo, K. Ichikawa, G. Agrawal, S. Shioda, M. Hori, M. Fukumoto, R. Rakwal, 2D-DIGE-based proteome expression changes in leaves of rice seedlings exposed to low-level gamma radiation at litate village, Fukushima. Plant Signaling & Behavior 10:12, e1103406, 2015. (査読有)
5. T. Imanaka, G. Hayashi, S. Endo, Comparison of the accident process,

- radioactivity release and ground contamination between Chernobyl and Fukushima-1, J. Radiat. Res. 56, i56-i61, 2015. (査読有)
6. S. Endo, T. Kajimoto, K. Tanaka, N. T. Thanh, G. Hayashi, T. Imanaka, Mapping of cumulative  $\gamma$ -ray dose on ground surface around Fukushima area, J. Radiat. Res. 56, i48-i55, 2015. (査読有)
  7. T. Kajimoto, S. Endo, N. T. Thanh, K. Shizuma, Calculation of coincidence summing in gamma-ray spectrometry with the EGS5 code, Appl. Radiat. Isot. 95, 53-58, 2015. (査読有)
  8. 遠藤 暁, 今中哲二, 林 剛平, 菅井益郎, 小澤祥司, 梶本 剛, 福島原発事故に伴う飯館村の放射能汚染調査, 放射化学 第 29 号, pp. 15-25, 2014. (査読無)
  9. G. Hayashi, J. Shibato, T. Imanaka, K. Cho, A. Kubo, S. Kikuchi, K. Satoh, S. Kimura, S. Ozawa, S. Fukutani, S. Endo, K. Ichikawa, G. K. Agrawal, S. Shioda, M. Fukumoto, R. Rakwal, Unraveling Low-Level Gamma Radiation-Responsive Changes in Expression of Early and Late Genes in Leaves of Rice Seedlings at Iitate Village, Fukushima. The Journal of heredity, 105(5):723-38, 2014. (査読有)
  10. S. Endo, K. Tanaka, T. Kajimoto, N. T. Thanh, J. M. Otaki, T. Imanaka, Estimation of  $\gamma$ -ray dose in air and soil from Fukushima Daiichi Power Plant accident, J. Radiat. Res., 55, 476-483, 2014. (査読有)

〔学会発表〕(計 9 件)

1. 遠藤 暁, 福島第一原発に由来した土壌中放射性 Cs ホットパーティクルの測定、Workshop Mn-56 experiments and the results -Possibility of the small particle effects-, 2017 年 2 月 8 日、広島市南区文化センター
2. Thanh Tat Nguyen, Tsuyoshi Kajimoto, Kenichi Tanaka and Satoru Endo, Method for determining the depth profile of radioactive cesium in 30 cm soil core by IP-Based unfolding method, Phoenix leader education program (Hiroshima initiative) renaissance from radiation disaster the 6th international symposium, 2017 年 2 月 11-12 日、広島大学広仁会館
3. グエンタットタン, 梶本 剛, 田中憲一、遠藤暁, イメージングプレートを用いた土壌中放射性 Cs の深度分布の推定、第 10 回日本原子力学会中国四国支部研究発表会、2016 年 9 月 26 日、香川県高松市

4. 藤井敬介, 梶本 剛, 田中憲一、遠藤 暁, レンガを用いた 線被曝線量推定、第 10 回日本原子力学会中国四国支部研究発表会、2016 年 9 月 26 日、香川県高松市
  5. 中村駿介, 遠藤 暁, 梶本 剛, 田中憲一、福島第一原発事故に由来する放射性微粒子の線量測定、第 10 回日本原子力学会中国四国支部研究発表会、2016 年 9 月 26 日、香川県高松市
  6. 遠藤 暁, 梶本 剛, 田中憲一、グエンタットタン、林 剛平、今中哲二、福島第一原発周辺汚染地域での地表ベータ線のマッピング、福島原発事故による周辺生物への影響に関する専門研究会、2015 年 8 月 10-11 日、京都大学原子炉実験所、大阪府熊取町
  7. 林 剛平、遠藤 暁, 沢野伸浩、高橋伸太郎、木野康志、今中哲二、福本 学、旧警戒区域内で 2011 年に採材された被災動物の初期外部被ばく量推定、保健物理学会第 47 回研究発表会、2014 年 6 月 19-21 日、岡山県鏡野町
  8. 遠藤 暁, 田中憲一、梶本 剛, グエンタットタン、大瀧丈二、今中哲二、福島第一原発事故により沈着した放射性物質による 線空間線量率と皮膚線量率の推定、福島原発事故による生物影響に関する勉強会、2014 年 8 月 10 日、京都大学原子炉実験所、大阪府熊取町
  9. 遠藤 暁, 田中憲一、梶本 剛, グエンタットタン、大瀧丈二、今中哲二、福島第一原発事故に伴う 線空間線量率の推定、保健物理学会第 47 回研究発表会、2014 年 6 月 19-21 日、岡山県鏡野町
- 〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 暁 (SATORU ENDO)

広島大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号：90243609

(2) 研究分担者

梶本 剛 (TSUYOSHI KAJIMOTO)

広島大学・大学院工学研究院・助教  
研究者番号：70633759