

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：82502

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26893330

研究課題名(和文) I-131の摂取による高線量内部被ばく時の個人データに基づく線量評価手法の確立

研究課題名(英文) Establishment of dose assessment methods based on individual data for high internal exposure due to I-131 intake

研究代表者

谷 幸太郎 (Tani, Kotaro)

国立研究開発法人放射線医学総合研究所・緊急被ばく医療研究センター・研究員

研究者番号：40736071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：原子力事故後の緊急作業等によって高線量の放射線被ばくを受けた場合には、個人データに基づく線量評価が必要となる。本研究では、甲状腺へ局所的な内部被ばくをもたらすI-131を対象として、人体を再現したボクセルファントムを使用した数値計算により、甲状腺前面の組織厚を考慮した甲状腺残留量の評価を可能とした。また、安定ヨウ素剤服用時の体内動態解析コードを開発し、個人の摂取シナリオを考慮した甲状腺線量の評価を可能とした。これらの手法について、福島第一原子力発電所事故への適用例を示し、有用性を確認した。本研究の成果は、I-131による高線量内部被ばく時の線量再構築に役立つものと期待される。

研究成果の概要(英文)：Dose assessment based on individual data is required in case of high radiation exposure due to such reasons as emergency response following a nuclear accident. In this study, numerical simulations using an anthropomorphic voxel phantom enabled to evaluate thyroid I-131 content providing local internal dose to thyroid, considering tissue thickness overlaying thyroid. Development of a biokinetic analysis code when administering stable iodine tablets also enabled to evaluate thyroid dose considering an individual intake scenario. Availability of the methods were confirmed by applying to the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant as case examples. The results of this study would be useful for dose reconstruction for high internal exposure to I-131.

研究分野：放射線防護

キーワード：内部被ばく 甲状腺 I-131 安定ヨウ素剤

1. 研究開始当初の背景

放射線被ばくによる線量は、まず標準的な体格及び代謝を有する人(標準人)を仮定した簡便な手法で評価される。この結果、平常時の作業において異常な被ばくを受けていないことを確認できれば、通常の放射線管理を目的とした線量評価としては十分である。しかし、原子力事故後の緊急作業等によって平常時の線量限度を上回る放射線被ばくを受けた場合には、その線量の程度に応じて、より詳細なデータの収集と個人の体格及び行動調査に基づいた線量評価が必要となる。

チェルノブイリや福島で発生した過去の原子力発電所事故では、甲状腺に選択的に取り込まれ、局所的に大きな線量を与える可能性がある I-131 による内部被ばくが大きな問題となった。したがって、I-131 を対象とした個人のデータに基づく甲状腺線量の評価手法を確立することは重要である。

2. 研究の目的

I-131 による甲状腺線量の評価にあたり、甲状腺内に残留する放射能(甲状腺残留量)の計測結果は重要な情報のひとつである。また、甲状腺内に存在する I-131 の放射能の時間変化を明らかとする体内動態解析が必要である。本研究では、甲状腺残留量及び体内動態解析のそれぞれに関して、個人のデータに基づく評価手法を検討する以下の目的を設定した。

(1) 従来、甲状腺残留量は甲状腺及びその周辺組織を模擬した簡易な物理ファントムとの相対測定によって評価されてきた¹⁾。本研究では、人体を再現したボクセルファントムを使用した数値計算²⁾により、新たに甲状腺前面の組織厚の個人差を考慮した甲状腺残留量の評価を可能とする。

(2) 安定ヨウ素剤の服用により、摂取した I-131 の甲状腺への取り込みを抑制できる。本研究では、安定ヨウ素剤服用時の体内動態解析コードを開発し、個人の摂取シナリオと服用のタイミングを考慮した甲状腺線量の評価を可能とする。

3. 研究の方法

(1) 甲状腺残留量の評価

① Ge 半導体検出器(LX-70450/30P、オルテック社)をモデル化し放射線輸送計算コード(MCNPX)³⁾による数値計算によって、標準線源(Ba-133, Cs-137, Am-241)に対する検出器応答を計算した。また、計算と同様の条件で実験を実施し、両者の結果を比較することで、モデルの最適化及び妥当性の検証を実施した⁴⁾。

② 標準的な日本人を再現したボクセルファントムである JM ファントム⁵⁾を使用し、甲状腺に分布した I-131 の光子(80.2, 284, 365,

637keV)に対する検出器の計数効率を計算した(図1)。JM ファントムの甲状腺前面の組織厚を変化させ(図2)、組織厚と計数効率の関係を調べた。

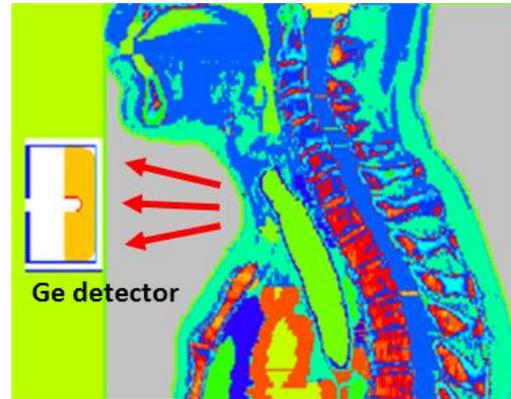


図1 数値計算のジオメトリ

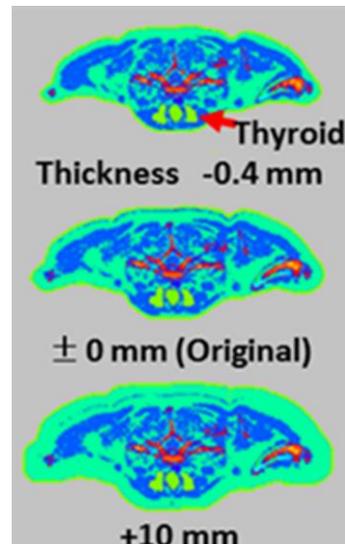


図2 組織厚を変化させたファントム

③ 福島第一原子力発電所事故後の緊急作業者を対象とした甲状腺計測により、2名の作業員から 80.2, 284, 365, 637keV の光子が検出されている(表1)⁶⁾。このデータを利用し、数値計算の結果から各作業員の甲状腺前面の組織厚を推定した。また、推定した組織厚に対応した計数効率を適用して、甲状腺残留量を評価した。

表1 作業員の甲状腺計測の結果

Energy (keV)	Counts	
	Worker 1	Worker 2
80.2	390	310
284	370	340
365	3600	3500
637	160	170

(2) 安定ヨウ素剤服用時の線量評価

① 国際放射線防護委員会 (ICRP) の刊行物に記載されているヨウ素の体内動態モデル⁷⁾において、従来定数として与えられている血液から甲状腺への移行速度を変数として与えた^{8, 9)}。また、過剰のヨウ素摂取によって甲状腺ホルモンの合成が阻害される Wolff-Chaikoff 効果¹⁰⁾に関するデータ¹¹⁾を新たにモデル化し、安定ヨウ素剤服用によるヨウ素の甲状腺への取り込み抑制を再現した。日本人を対象として、I-131 の急性摂取に対する安定ヨウ素剤服用の効果を調べた。

② 福島第一原子力発電所事故後の典型的な摂取シナリオに対する安定ヨウ素剤服用時の甲状腺線量を評価した。摂取シナリオには、2011年3月14日から4月末までの期間に茨城県東海村で測定された I-131 の空気中放射能濃度の変化を使用した (図3)¹²⁾。

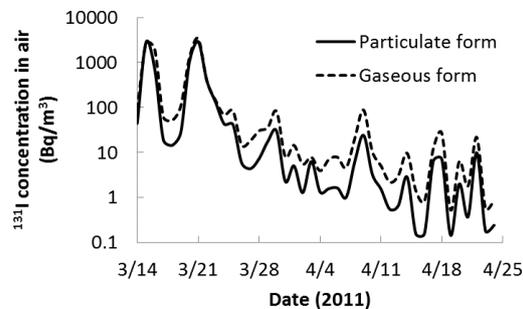


図3 I-131 の空気中放射能濃度の変化

4. 研究成果

(1) 甲状腺残留量の評価

数値計算により、甲状腺前面の組織厚と甲状腺に分布した I-131 から放出される光子の計数効率との関係を明らかにした (図4)。最もエネルギーの低い 80.2keV の光子の係数効率は、組織厚の増加に伴う低下が他のエネルギーより顕著であった。したがって、組織厚が大きくなるにつれて、80.2keV と 365keV の光子の計数比は小さくなる (図5)。

表1に示す2名の作業員の甲状腺計測の結果より、80.2keV と 365keV の光子の計数比は、それぞれ 0.107 (作業員1) 及び 0.0888 (作業員2) である。図5に示す計数比と組織厚の関係より、各作業員の組織厚は元の JM ファントムに対して -0.34cm (作業員1) 及び +2.5cm (作業員2) と推定された。図4に示す組織厚と計数効率の関係より、推定された組織厚に応じた計数効率を適用することが可能であり、甲状腺残留量は 4.3kBq (作業員1) 及び 8.4kBq (作業員2) と評価した。本手法により、甲状腺計測の結果から組織厚を推定し、個人ごとに異なる計数効率を選択する評価が可能となった。

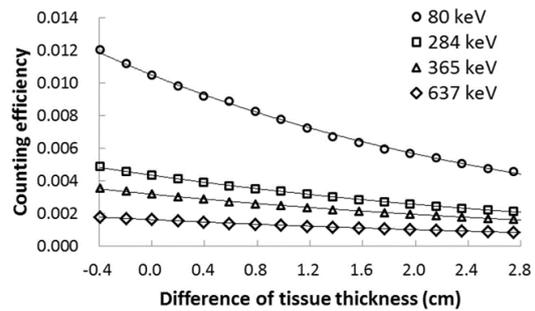


図4 組織厚と計数効率の関係

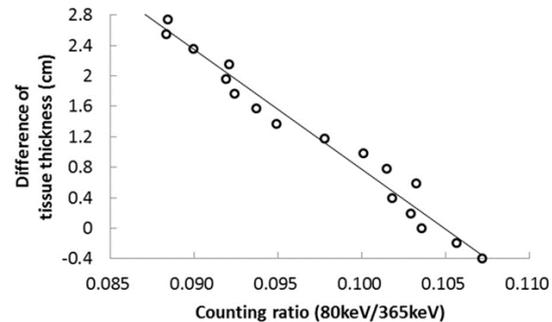


図5 計数比と組織厚の関係

(2) 安定ヨウ素剤服用時の線量評価

I-131 の急性摂取に対する安定ヨウ素剤服用のタイミングとその効果の関係を明らかにした (図6)。I-131 の甲状腺への取り込み抑制効果は、安定ヨウ素剤服用のタイミングによって大きく異なり、2日前の服用で50%以上、1日前から直前の服用で80%以上であった。I-131 を摂取した後に遅れて安定ヨウ素剤を服用した場合の効果は急激に減少し、12時間後の服用で20%、1日後の服用で10%未満であった。

福島第一原子力発電所事故後の典型的な摂取シナリオ (図3) に対して、安定ヨウ素剤を服用しなかった場合及び2011年3月15日に服用した場合の甲状腺残留量の時間変化を解析した (図7)。安定ヨウ素剤を服用しなかった場合には、3月15日及び21日の空気中放射能濃度の上昇に伴って摂取量が増加し、甲状腺残留量の最大値は1200Bqを上回る。一方、3月15日に安定ヨウ素剤を服用した場合には、同日に摂取した I-131 の甲状腺への取り込みが大きく抑制されるため、3月21日以前の甲状腺残留量は200Bq未満である。21日には服用した安定ヨウ素剤の効果はほとんどなく、甲状腺残留量の上昇がみられるが、最大値は約800Bqにとどまる。両者の場合の甲状腺線量は、それぞれ 2.7mSv 及び 1.5mSv であったため、3月15日の安定ヨウ素剤服用による甲状腺線量の低減効果は45%であったといえる。同様に、安定ヨウ素剤の服用日を3月13日から22日まで変化した場合の甲状腺線量及びその低減効果を解析した結果 (表2)、低減効果は服用日に大きく依存する (15-45%) ことが示唆された。本手法により、個人ごとに異なる摂取シナリ

と安定ヨウ素剤服用のタイミングに対する甲状腺線量の評価が可能となった。

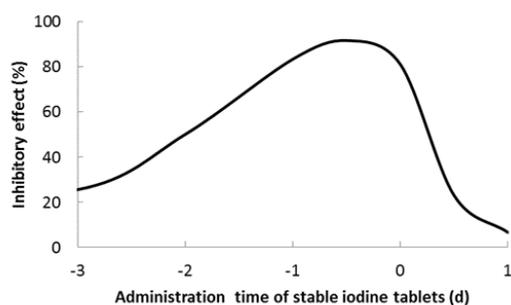


図6 安定ヨウ素剤の服用による効果

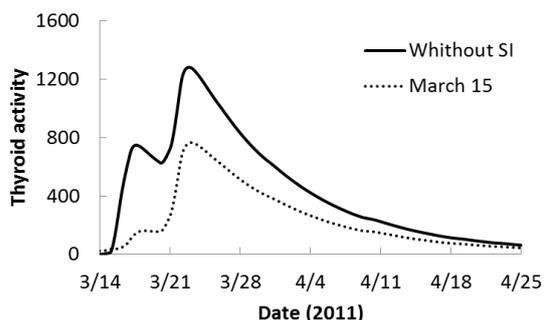


図7 甲状腺線量の時間変化

表2 甲状腺線量の低減効果

Date of administration	Thyroid dose (mSv)	Reduction effect (%)
without administration	2.7	-
March 13, 2011	2.1	23
March 14	1.8	35
March 15	1.5	45
March 16	1.8	35
March 17	2.2	19
March 18	2.3	15
March 19	2.1	22
March 20	1.8	36
March 21	1.7	37
March 22	2.3	15

本研究では、甲状腺線量の評価及び安定ヨウ素剤服用時の線量評価について、個人のデータに基づいた手法を検討した。これらの手法について、福島第一原子力発電所事故への適用例を示し、有用性を確認した。本研究の成果は、I-131による高線量内部被ばく時の線量再構築に役立つものと期待される。

<引用文献>

① E. Kim et al, Proceedings on The 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose, 59-66 (2012).
 ② 徐素熙, 他, 日本保健物理学会第46回研究発表会要旨集, 137 (2013).
 ③ D. B. Pelowitz et al, Los Alamos National Laboratory report, LA-UR-11-02295 (2011).

④ J. Rödenas, Nucl. NIM A 496, 390-399 (2003). 8) K. Nishizawa et al, Health Phys. 58, 165-169 (1990).
 ⑤ K. Sato et al, Radiat. Prot. Dosim. 123(3), 337-344 (2006).
 ⑥ T. Nakano et al, Proceedings on The 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose, 27-34 (2012).
 ⑦ ICRP, Ann. ICRP 20(2) (1990).
 ⑧ D. A. Riggs, Pharmacological Review 4, 284-370 (1952).
 ⑨ D. Ramsden et al, Health Phys. 13, 633-646 (1967).
 ⑩ J. Wolff et al, Endocrinology 43, 174-179 (1948).
 ⑪ S. Nagataki et al, Endocrinology 74, 731-736 (1964).
 ⑫ 古田 定昭, 他, JAEA-Review 2001-035 (2011).

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 1 件)

① K. Tani, O. Kurihara, E. Kim, K. Sakai and M. Akahi, Numerical simulation of direct measurement to determine thyroid ¹³¹I content of two TEPCO workers considering individual tissue thickness, Radiat. Prot. Dosim. 10.1093/rpd/ncw001 (2016) 査読有 in press

[学会発表] (計 4 件)

① K. Tani, O. Kurihara, E. Kim, K. Sakai and M. Akashi, Reproduction of *in vivo* measurements of I-131 in thyroid of emergency workers involved in the Fukushima nuclear accident by numerical simulation, 1st Educational Symposium on Radiation and Health (ESRAH2014), 22 September 2014, Hirosaki, Japan.
 ② K. Tani, O. Kurihara, E. Kim, K. Sakai and M. Akashi, Numerical simulation of direct measurement to estimate the I-131 content in the thyroid for two TEPCO workers considering individual thickness of the overlaying soft tissue, International Conference on Individual Monitoring of Ionising Radiation (im2015), 23 April 2014, Bruges, Belgium.
 ③ 谷 幸太郎, 栗原 治, 金 ウンジュ, 酒井 一夫, 明石 真言, 日本人を対象とした安定ヨウ素剤の効果に関する計算, 日本原子力学会「2015年春の年会」, 2015年3月20日, 茨城大学(茨城県・日立市).
 ④ K. Tani, O. Kurihara, E. Kim, K. Sakai

and M. Akashi, Thyroid dose reduction due to administration of stable iodine as a case example of the Fukushima Nuclear Accident, 15th International Congress of Radiation Research (ICRR2015), 26 May 2015, Kyoto, Japan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷 幸太郎 (TANI, Kotaro)

国立研究開発法人放射線医学総合研究所・緊急被ばく医療研究センター・研究員
研究者番号：40736071

(2) 研究協力者

栗原 治 (KURIHARA, Osamu)

金 ウンジュ (KIM, Eunjoo)

酒井 一夫 (SAKAI, Kazuo)

明石 真言 (AKASHI, Makoto)