Title	多摩川における放射性同位元素の堆積
Sub Title	Radioactive analysis of soil in the Tama river.
Author	島村, 安俊(Shimamura, Yasutoshi)
	母里, 彩子(Mori, Ayako)
	坂井, 慈実(Sakai, Megumi)
	井上, 浩義(Inoue, Hiroyoshi)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2015
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学 (The Hiyoshi review of natural science). No.57 (2015. 3) ,p.1- 9
JaLC DOI	
Abstract	The accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant in March 2011 has resulted in the release of many radioactive isotopes. This has added significantly to the level of radiation in the environment and studies show this to inversely correlate with the distance from the site. The concern over artificial radiation caused by isotopes including Caesium-137 that have a long half-life is heightened by its ability to easily move and spread in nature. This raises the question of to what extent are people living further away from the site at risk to radiation exposure. Therefore to address this we sought to monitor radiation levels in soil samples at sites not in the immediate vicinity of the accident. These include those close to major population areas along the Tama River flowing through Kanagawa prefecture near to the Tokyo Metropolis and into the Tokyo Bay. Here we report our methodology and results thus far obtained.
Notes	原著論文
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20150331- 0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって 保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

Hiyoshi Review of Natural Science Keio University No. 57, 1–9 (2015)

多摩川における放射性同位元素の堆積

島村安俊*1·母里彩子*2·坂井慈実*3·井上浩義*1,#

Radioactive Analysis of soil in the Tama River.

Yasutoshi Shimamura, Ayako Mori, Itsukushimi Sakai and Hiroyoshi Inoue

Summary — The accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant in March 2011 has resulted in the release of many radioactive isotopes. This has added significantly to the level of radiation in the environment and studies show this to inversely correlate with the distance from the site. The concern over artificial radiation caused by isotopes including Caesium–137 that have a long half-life is heightened by its ability to easily move and spread in nature. This raises the question of to what extent are people living further away from the site at risk to radiation exposure. Therefore to address this we sought to moitior radiation levels in soil samples at sites not in the immediate vacinity of the accident. These include those close to major population areas along the Tama River flowing through Kanagawa prefecture near to the Tokyo Metropolis and into the Tokyo Bay. Here we report our methodology and results thus far obtained.

Key Word: natural radiation, Fukushima daiichi nuclear power plant, Tama river, cesium-137

^{*1} 慶應義塾大学医学部化学教室 (〒223-8521 横浜市港北区日吉4-1-1): Department of Chemistry, Keio University School of Medicine, 4-1-1, Hiyoshi, Kohoku, Yokohama 223-8521, Japan. E-mail: hiroin@z5.keio.jp

^{*&}lt;sup>2</sup> 慶應義塾大学医学部薬理学教室(〒160-8582 東京都新宿区信濃町 35 番地): Department of Pharmacology, Keio University School of Medicine, 35, Shinanomachi, Shijuku, Tokyo 160-8582, Japan. E-mail: ayamori@a5.keio.jp

^{*&}lt;sup>3</sup> 久留米大学医学部内科学講座(消化器内科部門)(〒830-0011 福岡県久留米市旭町67 番地): Department of Internal Medicine, Kurume University School of Medicine, 67, Asahi-machi, Kurume 830-0011, Japan. [Received Nov. 7, 2014]

[#] 慶應義塾大学医学部(信濃町キャンパス)放射線取扱主任者

1. 諸言

約46億年前の地球誕生以来,地球にはつねに放射線が飛び交っていた。これは,宇宙線, 土地殻からの放射線,気体状の放射性同位元素からの放射線,いわゆる自然放射線である。一 方で,われわれ人類は,1895年のレントゲン博士による放射線発見まで,身近な放射線を認 識することはなかった。1942年にフェルミ博士によって初めて原子炉がつくられ,その後開 発された数々の核反応によって,現在では新たな放射性同位元素が地球上に存在するようにな った。環境中の放射能を測定することは,地誌学的な意義はもちろん,人類の原子力利用をモ ニタリングする意味でも重要である。本研究では,公益財団法人とうきゅう環境財団の支援を 得て,多摩川およびそれが流れ込む東京湾の河岸,川底,および海底の表面土壌を採取し,環 境放射能測定を行なった。本論文では,まず多摩川下流の1地点の土壌について測定を行なっ たので,測定方法および結果の概要,そしてこの結果に基づく今後の方針に関して記述する。

2. 実験方法

2-1. サンプリング

本報告では、多摩川の6カ所のサンプリング場所(図1)のうち、六郷土手付近の河川敷の サンプリング土壌の測定結果を示す。この多摩川駅付近河川敷では、A~Fの6カ所で土壌 サンプリングを行なった(図2)。サンプル地点の位置情報は、携帯式 GPS 装置 eTrex 20 (Garmin 社)を用いて採取した。

・日時:2013年11月19日

・天候:晴れ

・気温:最高17.4/最低8.2°C

サンプル地点の放射能および空間線量率は,サンプル位置の上1mにおける放射能および 空間線量率を測定した。放射能はGMサーベイメータ(日立アロカ製),また,空間線量率は 空間線量率計(日立アロカ製)を用いた。測定は3回行ない,その測定を平均した値を測定値 とした。

2-2. 土壌乾燥

採取した土壌は,120℃で24時間以上乾燥させ,恒質量となったところで,網目3mmの 篩にかけた。その後,約100g(詳細な質量は別途測定した)をy線測定装置である NaI シン チレーションyカウンター(Ospray,キャンベラ社)の校正に用いたものと同じ容器に入れ, 密閉した。



図 1. 多摩川流域の土壌サンプリング地点 (C Yahoo Japan)



図2. 六郷土手周辺の土壌サンプリング地点(© Yahoo Japan)

科情報と測定条件を入力して下さい		自動測定分析						
「新日大ノト」		測定中						
TRD1-5	測定開始	2014/04/15(火) 1	1:24:38	ライブタイム 9639.5 秒	プリセット LT	25200 1		
産地	現在日時	2014/04/15(火)	4:05:19	リアルタイム 9640.3 秒	デッドタイム	0.3 %		
TRD1 -	除了于想	2014/04/15(火)	8:24:41	(めと4時間19分22秒)	-			
検体番号	自動口グ							
5 -		1 8	1 8	8 11 1	8			
依賴者	a 10 ⁴	1	10		alle a			
TOUKYU	Ê 103	0	0	0 X	148			
測定者		La in F	· ŕ	ā	19 1			
ITO	¥ 10 ²	and a second second	State of the local division of the local div		L.			
1/2/1	1 PE			and the second sec	and the set with			
E *					and adding	State Barrieland		
	0 -0							
定·分析条件	8 100							
定·分析条件 供試量 (放射能源度换算用)	8 10 0	0 100 200	300 4	400 500 600	700 800	900 1000		
10:分析条件 供成量 (放射能源度换算用) 90	8 10 10 10	0 100 200	300 4	400 500 600 Channel	700 800	900 1000		
(注:分析条件 (供 <u>試量</u> (放射能源度供算用) ●の g ▼ 測定該料重量	8 10°	0 100 200	300	400 500 600 Channel	700 800	900 1000		
定:分析条件 (性 <u>試量 (以射能</u> 濃度(含証用) (多の) g * 測定試計 <u>能量</u> (90 g *)	CH:512	0 100 200 CNT:53cnt 日纬:2014	300 4 /04/15 11:24	400 500 600 Channel	700 800 ライブライム:9640.5秒	900 1000 7'71'914:0.3%		
度:分析条件 供 <u>試量</u> (注射能規模換算用) 多0 多0 多0 変更試料タイク	CH:512	0 100 200 SNT:53cnt 日時:2014	300 4 /04/15 11:24	400 500 600 Channel 4:38 リアルシイム:9641.3秒	700 800 テイブライム:9640.5秒	900 1000 77t%(4:0.3%		
度·分析条件 供試量 (这射能港環供算用) 90 g g ▼ 潮定試料重量 90 g g ▼ 激定試料2-1/2 U-8容器(5cm・土壌) ▼	8 10 ⁰ (未分相	0 100 200	300 4 /04/15 11:24	400 500 600 Channel 4:38 リアルオイム:9641.3b	700 800 うイフライム:9640.5秒 単位:-	900 1000 テントライム:0.32		
定・分析条件 (注 <u>(1)</u> (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	8 10 ⁰ CH:512((未分析	0 100 200 CNT:53cnt EI\$;2014	300 4 /04/15 11:24	400 500 600 Channel 4:38 976244:9641.35	700 800 うイフライム:9640.5秒 単位:-	900 1000 テットライム:0.3%		
定・分析条件 供試量 (放射能濃度(注)用) 多0 g ▼ 激定試料注量 多0 g ▼ 激定試料2-f ² (い-8容器(5cm:±塩) パックガラウンドデーク B0120140412171087 参照	8 10 ⁰ CH:512 (未分析 検出	0 100 200 SNT:53ent EH;2014	300 4 /04/15 11:24 Iネルギー 2014 40	400 500 600 Channel 4:38 //74//4:9641.35 放射能	700 800 うイフライム:9640.5秒 単位:- 課薬(3ơ)	900 1000 テットタイム:0.3% - 仮分析 検出限界		
定:分析条件 供試量 (放射能濃度偽証用) 80 8 * 浙定試料並量 80 8 * 浙定試料24型 8 80 8 * 小少万分少ホテータ BO120140412171037 ●報照 ① 放射指約0時間補正を行う	8 10 ⁰ CH:512 (未分析 検出	0 100 200 CNT:53cnt 日時:2014) // 核推名 I-131 0-132	300 4 /04/15 11124 Iネルギー 364.48 cc1 cc	400 500 600 Channel 1:38 976944:9641:39 放射能	700 800 ライフライム:9640.5秒 単位:- 誤変(3σ)	900 1000 テットライム:0.3% 		
ほうがあ件 供試量 (放射能濃度供質用) 90 g ▼ 測定試料量量 90 g ▼ 測定試料かイブ U-9音容鏡(5cm・土壌) ▼ 1/907ラクンドデーク B0120140412171037 参照 ②011/06/13 0000 ▼ 時点の放射能を求める	8 10 ° CH:512 (《 一 《 未分析	0 100 200 CNT:53cnt El:1:2014	300 4 /04/15 11:24 Iネルギー 364.48 661.65 705 95	400 500 600 Channel 1338 97/3/14/9641.38	700 800 テクライム:9640.5秒 単位:- 課意(30) 	900 1000 テットタイム:0.37 使分析 検出際界		
(定:分析条件 (性試量 (以射能濃度体証用) (多0) g ● 潮芝試料生量 (90) g ● 潮芝試料セイク (2017年7月) (2017年7月	8 10 ° (未分析 後出	0 100 200 SNT:S3cnt EI5:2014	300 4 /04/15 11:24 Iネルギー 364.48 661.65 795.85 795.85	400 500 600 Channel 433 976/4:9641.30	700 800 >(73/4:9640.5秒 単位:- 課意(30) 	900 1000 テオタ(ム:0.3% 使出限界 		
ぼい分析条件	8 10 ° CH:512 ° (未分析 後出	0 100 200 0 100 200 0 100 201 0 100 200 0 100 200 0 100 200 0 100 200 0 100 200 0 100 200	300 /04/15111:24 1***- 364.48 861.65 795.85 1460.81	400 500 600 Channel 1535 976/44:9641-36 1535 976/44:9641-36 1535 1535 1535 1535 1535 1535 1535 15	700 800 ティア対ム:9640.5秒 単位:- 課意(30) 	900 1000 テットライム:0.37 検出課界 		
□ 小が長件 (株式量 (放射能濃度)(算用) 90 g ▼ 潮空(試祥生量 90 g ▼ 潮空(試祥生了) (↓●容容観(Som・土壌)) ▼ バックグラウントデータ BO120140412171037 参照 2011/06/13 0000 □▼ 時点の放射能を求める 潮空時間 420 ▼ 分 ▼	8 10 ° CH:512 ((未分析 被出	0 100 200 ENT:53ent EH3:2014 (5) 10 10 10 10 10 10 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2	300 /04/15 11:20 1\$\$ \$64.48 661.65 795.85 1460.81 	400 500 600 Channel 0 500 600 888462	700 800 テ(ア対ム:9640.5秒 単位: 課意(30) 	900 1000 テオタイム:0.39 		
(〒:分析条件 (注 <u>新</u> (放射能濃度)(新用) (多0) g ▼ 第定該料量量 (90) g ▼ 潮定該料分イブ (レ-8等額(5cm・土塩) ▼ (シワガラン・ボテーク BO120140412171037) 季照 ○ 放射能の時間補正を行う 2011/06/13 00.00 ▼ 時点の放射能を求める 満定時間 420 ▼ (分 ▼	8 10 ° CH:512 ((未分析 教出	0 100 200 ENT:53cnt EI4):2014	300 4 13,1,4 864,48 861,65 795,85 1460,81 	400 500 600 Channel 1:38 9773/14:9641.38 1:38 1:38 1:39 1:39 1:39 1:39 1:39 1:39 1:39 1:39	700 800 ライブライム・9640.5秒 単位: 課題(307) 	900 1000 テットタイム:0.39 		

図3. 土壌サンプルの NaI (Tl) シンチレーションカウンタ測定結果(計測中の画面) 画面左側に測定条件を入れる。画面右には測定 y 線のエネルギーごとのカウントがチャートとして記 録される。本解析ソフトでは、このチャートから、目的とする放射性同位元素の放射能を、減衰補正 を行なったうえで数値化できる(右下表)。

2-3. r線測定

上記 Nal シンチレーション y カウンターを用いて,7時間,y線を累積測定し,マルチチャンネルアナライザー (Model 802,キャンベラ社)でチャート化して (図3),その面積で放射能を計数した。

2-4. β線測定

土壌中のβ線放出核種,とくに福島第一原発事故によって放出され,かつ向骨元素であるために体内からの排泄が悪いことから注目されているストロンチウム90 (Sr-90) について,平成15年7月に改訂された文部科学省科学技術・学術政策局・原子力安全課防災環境対策室の「放射性ストロンチウム分析法」に従って行なった。以下に簡単にまとめる。

- (1) 乾燥土壌 100gを蒸発皿に入れ, 500℃で5時間, 加熱した。
- (2) 放冷後、2Lビーカーに移し入れ、ストロンチウム担体溶液(10 mgSr/mL)を正確 に5 mL 加え、よくかき混ぜた。
- (3) 塩酸1Lを少しずつ加え,蓋をしてホットプレート上で,沸騰する直前の状態で3時 間,加熱した。
- (4) ブフナー漏斗と濾紙(No.5 C)の上に、ガラス繊維濾紙(GA 200)を重ねて吸引濾
 4

過し,残留物は温水で洗浄した。濾液と洗液を合わせて,さらに水を加えて液量を 2.5 L とした。

- (5) カルシウム担体溶液(50 mg Ca/mL)を5 mL 加えた。
- (6) かき混ぜながら水酸化ナトリウムを少しずつ加えて、pH10以上とした。
- (7) 炭酸ナトリウム 50gを加え, 撹拌して溶解したのち加熱沸騰させて, 沈殿を熟成した。 放冷後, 沈殿が沈降するまで静置した。
- (8) 上澄み液はデカンテーションで除去し、残りは遠心分離してできるだけ液体を除去した。
- (9) 沈殿を塩酸に溶解し、2Lビーカーに移して水を加えて、約1.5Lとした。沸騰する まで加熱したあとで、シュウ酸50gを加え、アンモニア水でpH4.0~4.2に調整した (ブロモクレゾールグリーン溶液で確認)。
- (10) 再度,加熱して沈殿を熟成した。そして,放冷し,沈殿が沈降するまで静置した。
- (11) デカンテーションで上澄み液をできるだけ3Lビーカーに移した。沈殿は、塩酸を用いて他のビーカーに移した。
- (12) 上澄み液に、カルシウム担体溶液(50 mg Ca/mL)を5 mL 加えた。
- (13) 加熱し、かき混ぜながら塩酸を少しずつ加え、生成したシュウ酸カルシウムの白い沈 殿を一度溶解した。そのまま沸騰するまで加熱したのちにシュウ酸 10gを加え、アン モニア水で pH 4.0 ~ 4.2 に調整した(ブロモクレゾールグリーン溶液で確認)。再度、 加熱して沈殿を熟成した。放冷し、沈殿が沈降するまで静置した。
- (14) デカンテーションで上澄み液をできるだけ捨てて、沈殿を含む残りは、塩酸を用いて、
 上記 11 の他のビーカーに移した。
- (15) 加熱しながら塩酸を少しずつ加え, 沈殿を完全に溶解し, 水を加えて約600 mLとした。
- (16) 沸騰するまで加熱したのち、シュウ酸5gを加え、アンモニア水でpH4.0~4.2に 調整した(ブロモクレゾールグリーン溶液で確認)。再度、加熱して、沈殿を熟成した。 放冷し、沈殿が沈降するまで静置した。
- (17) 上澄み液の大部分をデカンテーションで除き、ブフナー漏斗と濾紙(No.5 C)を用いて沈殿を吸引濾過し、シュウ酸アンモニウム溶液(0.2 重量%)50 mLを3回に分けて洗浄した。濾液ごと沈殿を蒸発皿に移し、乾燥したのち600℃で3時間、加熱した。
- (18) サンプルを塩酸で溶解し、1Lビーカーに移した。ホットプレート上で蒸発乾固したのち、塩酸 200 mL を加えて溶解した。濾紙(No.5 C)を用いて濾過し、塩酸で洗浄した。濾液と洗液を合わせ、さらに塩酸を加えて約 500 mL とした。
- (19) サンプル溶液をイオン交換樹脂カラムに流速 5 mL/分で通し,次に水 30 mL を通した。
- (20) 溶離液 A (15.4 重量% 酢酸アンモニウム溶液:メタノール=1:1) 1100 mL を流速 5 mL/分で通し、流出液は廃棄した。
- (21) 溶離液 B (15.4 重量%酢酸アンモニウム溶液) 600 mL を流速 5 mL/ 分で通し、ストロンチウムを溶出した。

- (22) 溶出液を加熱し,蒸発乾固した。水 10 mL および硝酸 10 mL を加えて乾固物を溶解 したのち,再度,蒸発乾固した。
- (23) 水 20 mL を用いて, 乾固物を溶解して, 100 mL ビーカーに移した。
- (24) 塩化鉄(Ⅲ)溶液(5 mg Fe/mL)1mL,塩化アンモニウム1g,およびフェノール フタレイン溶液0.5 mLを加えてから加熱し、二酸化炭素を追い出した。液が赤色を呈 するまでアンモニア水を少しずつ加え、水酸化鉄(Ⅲ)を沈殿させた。さらにアンモニ ア水1mLを加えて、沈殿を加熱熟成した。
- (25) 濾紙(No.5 A)を用いて速やかに濾過し(この時間をスカベジング日時とした),沈 殿を温めたアンモニア水で洗浄した。濾液と洗液を100 mL ビーカーに入れ,沈殿は廃 棄した。
- (26) 飽和炭酸アンモニウム溶液5mLを加え、ホットプレート上で炭酸塩沈殿を加熱熟成した。
- (27) あらかじめ質量を測ったガラスフィルター(1G4)を用いて沈殿を吸引濾過し、アンモニア水およびエタノールで洗浄した。110℃で1時間乾燥し、デシケーター中で法令したのち、沈殿の質量を測定した。
- (28) 沈殿を2週間以上,放置した。
- (29) 低バックグラウンドの液体シンチレーションカウンタで測定した。

NaI (Tl) シンチレーションカウンタによる測定を2回行ない,その平均を,土壌の単位重量(1g) あたりの放射能で表わした。なお,放射能はすべて平成26年4月1日に測定したように,下記の半減期の式を用いて補正した。

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

ここで, Nは時間 t における原子数, λ は壊変定数である。

結果・考察

それぞれ A ~ F の土壌サンプル採取地点の放射能および空間線量率は,表1 のようになった。 放射能のバックグラウンドは 40 ~ 50 cpm であるため,すべての地点は平均的な値を示した。 一方で,空間線量率は,横浜市,川崎市などで測定されている平常値と同じであった。土壌の 単位重量あたりの y 線放射能を表2 に示す。 β 線については,すべての測定土壌において検出 限界以下であった。なお,全 β 線測定を行なうと,有為な値を得た。y 線放出核種については, 今回の六郷土手周辺の多摩川土壌では,天然放射性核種である K-40 は必然的に見つかったも のの,その他にも,人工放射性核種の Cs-134, Cs-137,そして I-133 が見いだされた。2011 年3月の福島第一原発事故以降,これら人工放射性核種は、ロシア・日本海¹¹,ヨーロッパ全 土²⁾,オーストリア³⁾,ポーランド⁴⁾,そして,当然のことながらわが国の生活圏⁵⁾や環境放射 能の定点観測を長年続けている筑波⁶⁾でも見いだされている。さらには生物への移行も確認さ

6

lub . H	位	置	放射能	空間線量率	
1111月	緯度(北緯)	経度(東経)	(cpm)	$(\mu Sv/h)$	
А	35度32分28.2秒	139度42分62秒	50	0.05	
В	35度32分18秒	139度42分42.8秒	50	0.06	
С	35度32分24.8秒	139度42分52.2秒	60	0.05	
D	35度32分16.2秒	139度42分32.2秒	60	0.06	
Е	35度32分23.2秒	139度42分29.9秒	55	0.06	
F	35度32分23.9秒	139度42分36秒	65	0.07	

表1. 六郷土手周辺サンプリング地点と放射能・空間線量率

A~Fは図2の地図中の点と対応する。

表2. 六郷土手周辺サンプリング地点に存在する放射性核種と放射能

拉话女	y 線エネルギー (keV)	放射能濃度 (Bq/g)					
似俚石		A地点	B 地点	C 地点	D 地点	E 地点	F地点
I-131	364.48	0.016683	0.032967	0.012333	0.01092		0.013304
CS-137	661.65	0.040364	0.077165	0.098961	0.118161	0.092884	0.020173
CS-134	795.85	0.01391	0.026256	0.035895	0.041469	0.029048	0.007658
K-40	1460.81	0.656292	1.022977	1.032569	0.570535	0.827037	0.597362

A~Fは図2の地図中の点と対応する。

れており,植物だけでなく水産物にも蓄積が見られている⁷⁾。

これらの結果から、以下のことが示唆された。

- (1) 自然放射性核種である K-40 の濃度が、サンプリング場所により異なることが明らか となった。これは、カリウム自体の堆積のちがいによることが考えられる。今後、国土 地理院が発行する地質図を参考に、土質(とくにカリウムを多く含む花崗岩)と K-40 濃度との関係を明確にしていきたい。
- (2) 福島第一原発事故により放出された Cs-134 と Cs-137 が、多摩川の土壌から見いだされた。この両者は事故直後には同量が存在していたので、現在のこの数値は Cs-134と Cs-137 の半減期の差によるものだと思われる。今後、定点測定を実施し、物理的半減期による減衰以外の因子がどのように作用するかの検討を行なっていく。
- (3) 福島第一原発事故直後には観測されていた I-131 が,いまだに観測された。半減期が 8日間と非常に短いために、事故後3年半以上経過している現在、新たなベントがない 状態ではこの I-131 が見いだされることはない。これまでにいくつかの湖沼や河川で医 療用 I-131 が見いだされている^{8,9)}。本研究では、われわれの生活圏の外側にある、多

7

摩川最上流の小河内ダムでのサンプリングを行なっている。この測定結果によって,新たな考察が可能となりうる。

4. 今後の展開

今後,すべての土壌サンプルの測定を終え,東京湾の海底土壌の結果とも合わせて考察を行 なっていきたい。

5. 謝辞

本研究の一部は、公益財団法人とうきゅう環境財団の平成 25 および 26 年度研究助成を得て 行なっています。ここに深謝申し上げます。

6. 参考文献

- Neroda AS, Mishukov VF, Goryachev VA, Simonenkov DV, Goncharova AA.: Radioactive isotopes in atmospheric aerosols over Russia and the Sea of Japan following nuclear accident at Fukushima Nr.1 Daiichi Nuclear Power Station in March 2001. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2014 Apr; 21 (8): 5669–77.
- 2) Masson O, Ringer W, Mala H, Rulik P, Dlugosz-Lisiecka M, Eleftheriadis K, Meisenberg O, DeVismes-Ott A, Gensdarmes F: Size distributions of airborne radionuclides from the fukushima nuclear accident at several places in europe. *Environ. Sci. Technol.* 2013 Oct 1; 47 (19): 10995–1003.
- 3) Steinhauser G, Merz S, Hainz D, Sterba JH.: Artificial radioactivity in environmental media (air, rain water, soil, vegetation) in Austria after the Fukushima nuclear accident. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2013 Apr; **20** (4): 2527–34.
- Dlugosz-Lisiecka M, Bem H.: Aerosol residence times and changes in radioiodine–131 I and radiocaesium–137 Cs activity over Central Poland after the Fukushima-Daiichi Nuclear reactor accident. *J. Environ. Monit.* 2012 May; 14 (5): 1483–9.
- Nagataki S, Takamura N, Kamiya K, Akashi M.: Measurements of individual radiation doses in residents living around the Fukushima Nuclear Power Plant. *Radiat. Res.* 2013 Nov; 180 (5): 439–47.
- 6) Doi T, Masumoto K, Toyoda A, Tanaka A, Shibata Y, Hirose K.: Anthropogenic radionuclides in the atmosphere observed at Tsukuba: characteristics of the radionuclides derived from Fukushima. *J. Environ. Radioact.* 2013 Aug; **122** : 55–62.

8

- 7) Wada T, Nemoto Y, Shimamura S, Fujita T, Mizuno T, Sohtome T, Kamiyama K, Morita T, Igarashi S.: Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima. *J. Environ. Radioact.* 2013 Oct; **124** : 246–54.
- Howe JR, Lloyd MK.: Radio-iodine in thyroid glands of swans, farm animals and humans, also in algae and river water from the Thames Valley, *England. Sci. Total Environ.* 1986 Jan; 48 (1–2): 13–31.
- Ravichandran R, Binukumar JP, Sreeram R, Arunkumar LS.: An overview of radioactive waste disposal procedures of a nuclear medicine department. *J. Med. Phys.* 2011 Apr; 36 (2): 95–9.