

原発事故にともなう内部被曝の現状把握のためのいわき市を中心とする農産物等の放射性セシウム測定

今中哲二¹、福谷哲¹、木村亜衣²、水藤周三²、田中典子²、折原遥²

¹ 京都大学複合原子力科学研究所、² いわき放射能市民測定室たらちね

1. はじめに

「いわき放射能市民測定室たらちね」は、福島第1原発事故にともなう放射能汚染を心配する母親達が中心になり、自分たちの手で放射能を測定する市民グループとして2011年11月に設立され、NaI測定器を用いた食品の汚染測定などを開始した[1]。今中らは、たらちね設立直後から放射能測定の相談などでたらちねの活動に協力してきた。農水産物の放射能モニタリングは、福島県等の自治体によっても実施されているが、行政によるモニタリングの主な目的は流通基準以下であることを確認するスクリーニングであるため、最近ではほとんどの検査結果がND(検出限界以下)となっており、汚染レベルの現状把握には役立たない。たらちねのNaI検出器でセシウム汚染を検出しにくくなった2019年頃より、たらちねスタッフがサンプリング・前処理した農産物等の試料を、京大複合研の環境用Ge検出器を用いて放射性セシウムの測定している。本発表では、この4年間に実施してきた、市販品を中心とする農産物等の測定、2019年に実施したエアサンプラーによる大気中エアロゾル測定、技術開発を兼ねて現在行っているイオン交換樹脂を用いた水道水の測定について報告する[2-4]。そして、それらの測定結果に基づいて、原発事故にともなう内部被曝の現状について簡単な見積もりを行い、福島県周辺で流通している農産物等の現在の汚染レベルは、通常の食生活であれば神経質になるようなものではないことを示しておく。

2. 農水産物の汚染測定

◇サンプル：福島県内外の道の駅やスーパーで購入した食材(一部はたらちね会員の持ち込み)を、たらちねのラボにて乾燥・粉碎処理しU8容器に封入した後、月に1回宅配便にて京大複合研へ送付している(玄米、白米については、前処理なしでマリネリ容器にて測定)。2019年1月から2022年12月までに受けとったサンプルは735個(2019;167、2020;186、2021;192、2022;191)。そのうち農水産物等の食品サンプルは697個だった。Table 1に食品サンプルの内訳を示す。

◇測定：京大複合研・放射性廃棄物管理分野の2台の鉛遮蔽付き環境サンプル用Ge測定器(CANBERRA製GX3018とORTEC製GMX25-70、どちらも相対効率率30%余り)を用いて放射性セシウムの測定を行っ

Table 1. Number of food samples measured in 2019 – 2022.

Food type	Number	Production place			Remarks
		Fukushima pref.	(Iwaki city)	Outside Fukushima pref.	
White rice	62	44	(7)	18	Brown rice 6, Mochi rice 1, Barley 1
Vegetable	247	207	(47)	40	
Fruit	100	80	(20)	20	
Wild vegetable	89	55	(17)	34	
Mushroom	81	57	(16)	23	1
Seafood	30	15	(4)	14	1
Tea	8	4	(1)	4	
Meat/Dairy	21	6	(2)	10	5
Processed	59	22	(5)	28	9
Total	697	490	(119)	191	16

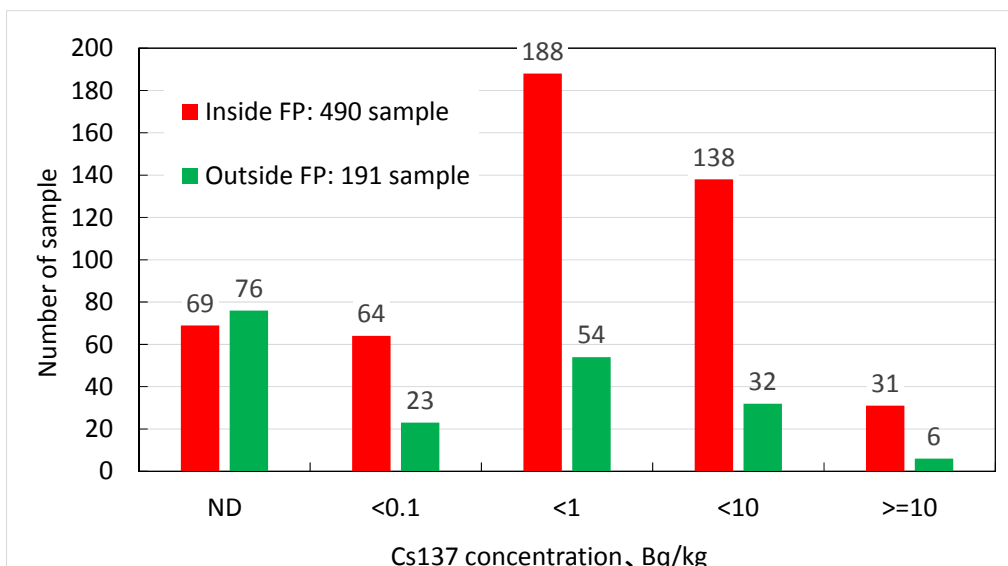


Fig. 1. Cs137 concentration histogram of food samples measured in 2019 - 2022.

FP : Fukushima prefecture.

ている。測定時間については、最低ひと晩で、セシウム 137 ピークに着目し、ピークがありそうな場合には「定量可能となるまで」、または「ピークは出そうにないと言えるまで」を基本として測定した（最長で約 1 週間）。Fig. 1 に、福島県内 490 サンプルと福島県外 191 サンプルの測定結果について、セシウム 137 の濃度区分別の頻度分布を示す（セシウム 134 は、セシウム 137 に比べると被曝を無視できるレベルに減ったので省略）。サンプル重量は、U8 容器封入前、つまり乾燥・粉碎処理する前の重量である。流通規制値 100 Bq/kg を越えるものはなかった。興味深いことに、最大値は 2020 年熊本産乾燥シイタケの 80 Bq/kg だった。セシウム 134 も検出されており、福島原発事故由来のセシウム 137 であることは確かで、東北地方で生産されたホダ木が栽培に使われたのではないかと推測している。福島県産農産物の 94%、県外産の 97% が 10 Bq/kg 未満であった。Fig. 2 は、福島県農産物の種類別のセシウム 137 濃度区分割合である。白米、野菜、果物・果実のメディアンは 0.2~0.4 Bq/kg で、10 Bq/kg を越えるものはほとんどなかった。山菜とキノコ類では、メディアンは 2~3 Bq/kg で、10 Bq/kg を越えるものが 2~3 割程度認められる。キノコ類の生育方法については、菌床栽培、原木栽培、野生、不明といった分類は行わず一括で表示してあるが、菌床栽培が多かった。

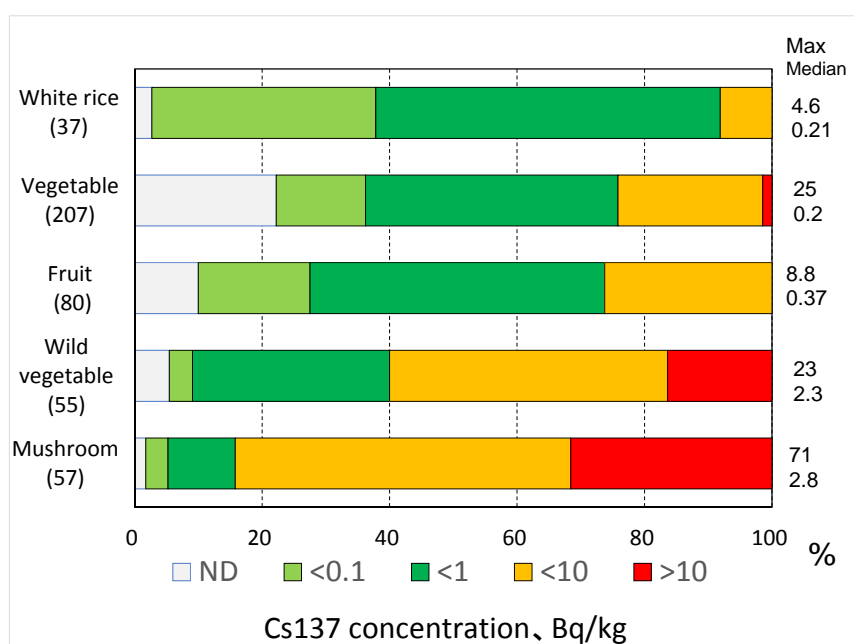


Fig. 2. Breakdown of Cs137 concentration by food type from Fukushima prefecture in 2019 - 2022. (n) indicates number of samples. Maximum and median values are shown in the right side.

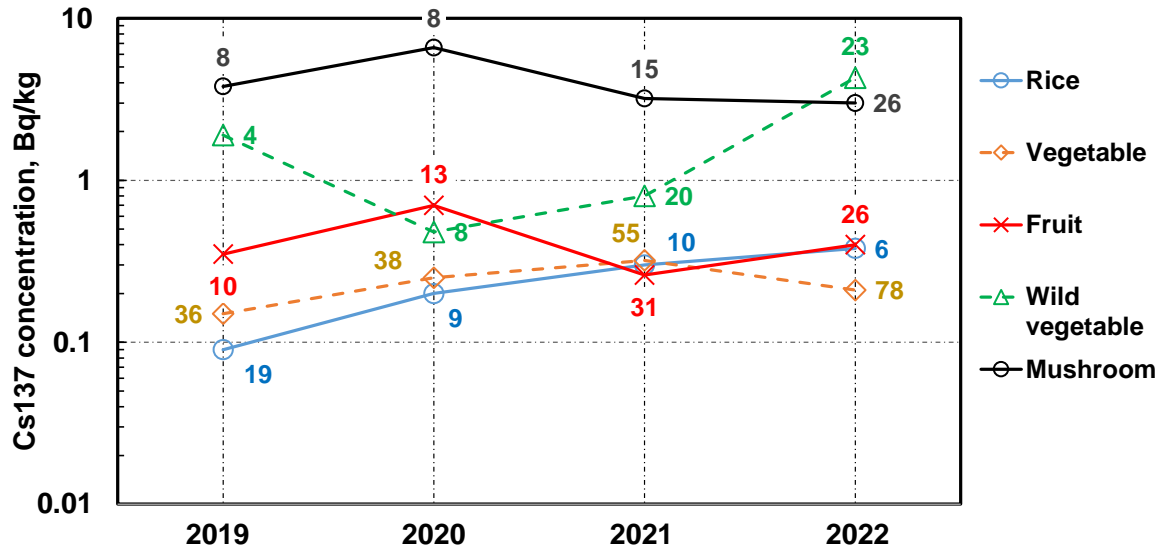


Fig. 3. Temporal change of median Cs137 concentration by food type from Fukushima prefecture. () indicates number of samples measured in the corresponding year.

Fig. 3 は、この4年間のメディアン値の推移を食品種類別にプロットしたものである。数字はその年に測定したサンプル数である。測定サンプルの選び方は系統的なものではなく、さまざまなバラツキ要因があるためか、Fig. 3 からは経年的に減少するような傾向は認められない。

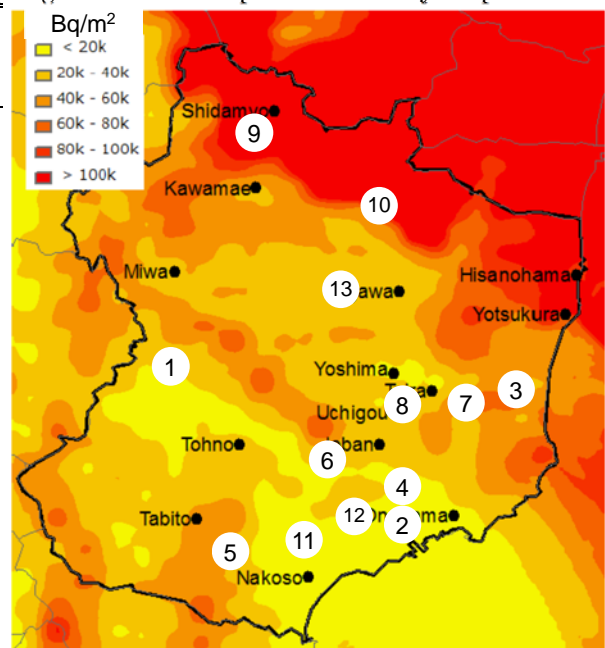
3. 大気中エアロゾル測定

内部被曝の現状把握のためには、吸入経路からの放射性セシウムの取り込み量の見積もりが必要となる。たらちねと今中らが共同作業を始めた2019年に、たらちね関係者に依頼して、自宅の庭や軒先でStaplex社製ハイボリュームエアサンプラーを使った空気サンプリングを実施してもらった。吸入流量約0.5m³/minで2~3日間のサンプリング実施後のフィルターを京大複合研に送ってもらい、Ge測定器によるガンマ線分析を行い、大気中放射性セシウム137濃度を求めた。Table 2に、いわき市内13カ所での結果をまとめた。

Table 2. Results of air sampling at various locations in Iwaki city in 2019.

Right panel indicates location No of air sampling with Cs137 deposition density map.

No	Location	Sampling start	Air volume m ³	Cs137 Concentration μBq/m ³
1	Tohno	Feb 25	1642	6
2	Onahama-1	Feb 25	1423	10
3	Taira-1	Mar 13	1728	10
4	Onahama-2	Mar 10	1848	7
5	Tomitsu	Apr 5	1526	12
6	Joban	Apr 23	1584	14
7	Taira-2	May 18	1728	17
8	Uchigo	May 22	1642	18
9	Kawamae	May 27	1575	50
10	Ogawa-1	May 29	1958	30
11	Ueda	Jun 7	1270	ND
12	Izumi	Sep 7	1901	4
13	Ogawa-2	Aug 30	2767	6



右の地図は、文科省第3次航空機サーベイデータ（基準日2011年7月2日）を基にArcGISを用いて作成したいわき市のセシウム137沈着量マップで、空気サンプリングのlocation Noを示してある。セシウム137沈着量の大きい、No.9（川前）やNo.10（小川-1）で大気中Cs137濃度が、それぞれ50 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ と30 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ と他に比べて大きいことから、大気中セシウム137の由来は地表沈着からの再浮遊であると考えてよいであろう。

4. 水道水中の放射性セシウム簡易捕集法の開発と応用

福島原発事故以降、水道水の放射能モニタリングは各地の水道局で実施されているが、検出下限値が1 Bq/kg程度と現状の汚染レベルに比べて大きいため、福島県のHPを見てもNDばかりが並んでいて、飲料水摂取にとまなう内部被曝の状況把握には役立たない。水サンプルの検出限界値を下げるための前処理は、主として蒸発濃縮法とAMP（リンモリブデン酸アンモニウム）共沈法の2つであるが、どちらの方法も、たとえば100リットルの水の処理は化学実験室において少なくとも数日間の手間を要する作業となる。そこで、私たちは簡便な前処理法として、水道蛇口に陽イオン交換樹脂カラムを直結し、水道圧を利用して通水しながら放射性セシウムを捕集する前処理法を開発しながら応用している[4]。通常的环境中水サンプルの測定では、放射性セシウムを懸濁態成分と溶存態成分に分けて評価する必要があるが、水道水の場合は浄水場において凝集沈殿やろ過処理によって懸濁態は除去されている。

●カリウム40を模擬核種とする予備実験：大阪府熊取町の京都大学複合研において、水道水（大阪府広域水道）に含まれる自然放射性核種であるカリウム40をセシウム137の模擬核種に見たてて、イオン交換樹脂カラムの捕集特性を調べる予備実験を行った。陽イオン交換樹脂への親和性は、カリウムイオンよりセシウムイオンの方が大きいので、カリウム40を捕集できれば、セシウム137もうまく捕集できると判断できる。内径約5cm長さ約20cmの円筒カラム中に市販のNa型陽イオン交換樹脂（サンエイ化学C100MB）400mLを詰め、縦置きして水道圧を利用して水道水を上から流し、流量はフロート式流量計、通水量は水道メータにて測定した。捕集後のカラムは、イオン交換樹脂を上側から4分画に分けて掻き出しU8容器（容量100mL）に封入して、各分画のカリウム40をGe測定器により測定した。Fig. 4は、通水量200Lの場合について、流量率を2L/分から5L/分に変えたときの各分画に捕集されたカリウム40の割合で、ほぼ全量のカリウム40を捕集できたと判断される。予備実験からは、流量率5L/分で総通水量500Lまでほぼ全量のカリウム40を捕集できると確認された。

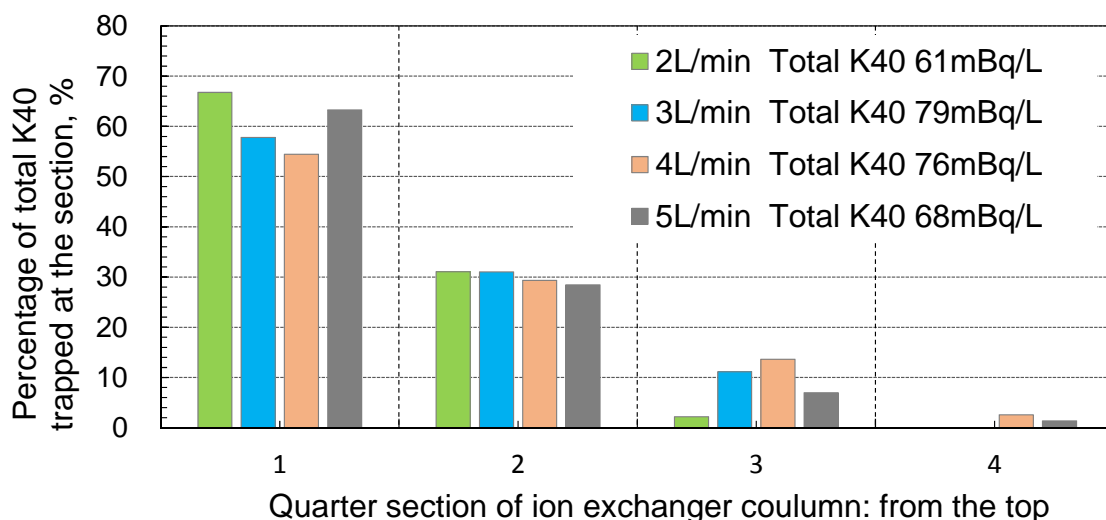


Fig. 4. Results of preliminary experiment at Kumatori-cho, Osaka to confirm the characteristics of the ion exchange column to collect Cs137 in tap water, using K40 as a surrogate of Cs137. Total flow was 200L, while flow rates were changed 2L/min to 5L/min.

●水道水のセシウム 137 捕集：熊取町水道水のカリウム 40 に着目した模擬実験で、セシウム 137 を捕集できる目途がついたので、いわき市のたらちねラボをかわきりに、福島県の浜通りと中通りなどでこれまでに 11 地点 13 回の水道水サンプリングを実施した。Fig. 5 は、2022 年 6 月に東京都江東区のワンルームマンションで実施したときの現場写真である。装置を流しにセットし、サンプリング時間は 5L/min の流量で 80 分、セットアップと片付けにそれぞれ 30 分で、全所要時間 2 時間半程度で 400L のサンプリングを終了した。本セシウム捕集法の簡便さを了解頂けるであろう。



Fig. 5. Sampling at Koto-ku, Tokyo.

Table 3 にこれまでの結果を示す。No1～No3 はたらちねラボの水道水である。最大値は飯舘村飯樋地区の 18mBq/L で、小さな河川の表層水を水源としている。東京都江東区では江戸川を水源とする水道から 2.2mBq/L というセシウム 137 が検出された。河川水、ダム水、湖水、地下水（浅層か深層）といった水源によって、セシウム 137 レベルは微妙に違っているようで、今後データを積み重ねて行きたい。

Table 3. Cesium-137 concentration in tap water.

No	Sampling date	Location	Sampling volume, L	Concentration, mBq/L		Water source
				Cs137	K40	
1	2020/10/1	Iwaki, Onahama	100	0.3 ± 0.1	36 ± 7	Same river
2	2021/10/14	Iwaki, Onahama	200	0.17 ± 0.07	43 ± 5	Same river
3	2022/4/19	Iwaki, Onahama	300	0.19 ± 0.06	51 ± 2	Same river
4	2021/10/12	Iwaki, Taira	200	0.39 ± 0.11	41 ± 5	Yoshima river
5	2021/10/14	Iwaki, Tohno	200	0.08 ± 0.06	44 ± 4	Iritohno river
6	2022/4/18	Minamisoma, Takakura	250	2.4 ± 0.2	26 ± 3	Ground water: shallow
7	2022/6/26	Tokyo, Koto	400	2.2 ± 0.2	68 ± 3	Edo river
8	2022/7/4	Hitachiota, Mayumi	500	ND(<0.05)	35 ± 1.4	Ground water: deep
9	2022/7/5	Minamisoma, Odaka	400	ND(<0.06)	93 ± 2	Ground water: deep
10	2022/8/29	Fukushima, Iizaka	400	0.44 ± 0.1	11 ± 1.4	Suriage dam
11	2022/10/25	Iitate, Itoi	400	18 ± 0.3	9 ± 0.2	Small river
12	2022/10/26	Nihonmatsu, Wakamiya	400	ND(<0.1)	36 ± 2	Ground water
13	2022/10/27	Koriyama, Sakita	400	3.1 ± 0.2	46 ± 2.5	Inawashiro lake

5. 内部被曝の現状

農産物等食品、大気、水道水について、セシウム 137 汚染レベルに関するデータが得られたので、大ざっぱながら、大人と子供（10 歳）を対象に年間のセシウム 137 取り込み量を見積もって、いわき市周辺住民の内部被曝の現状を考えてみる。

- 吸入経路：大気中セシウム 137 濃度を Table 2 より 20 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ とする。呼吸率は、大人 22.2 $\text{m}^3/\text{日}$ 、子供 15.3 $\text{m}^3/\text{日}$ とすると、年間吸入量は；
 - 大人： $0.02 [\text{mBq}/\text{m}^3] \times 22.2 [\text{m}^3/\text{日}] \times 365 [\text{日}/\text{年}] = 160 \text{ mBq}/\text{年} \approx 0.2 \text{ Bq}/\text{年}$
 - 子ども： $0.02 [\text{mBq}/\text{m}^3] \times 15.3 [\text{m}^3/\text{日}] \times 365 [\text{日}/\text{年}] = 110 \text{ mBq}/\text{年} \approx 0.1 \text{ Bq}/\text{年}$
- 水道水経路：水道水中セシウム 137 濃度を Table 3 より 1 mBq/L とする。摂取量は、大人 2 $\text{L}/\text{日}$ 、子供 1 $\text{L}/\text{日}$ とすると、年間摂取量は；
 - 大人： $1 [\text{mBq}/\text{L}] \times 2 [\text{L}/\text{日}] \times 365 [\text{日}/\text{年}] = 730 \text{ mBq}/\text{年} \approx 0.7 \text{ Bq}/\text{年}$
 - 子ども： $1 [\text{mBq}/\text{L}] \times 1 [\text{L}/\text{日}] \times 365 [\text{日}/\text{年}] = 365 \text{ mBq}/\text{年} \approx 0.4 \text{ Bq}/\text{年}$

- 食品経路：Table 4に食品経路からの年間セシウム 137 摂取量を示す。セシウム 137 濃度は、Fig. 2 のメディアン値を眺めながら、海産物や肉/乳製品についてはたらちねの測定データ[1]などを参考にした（たらちねラボも 2019 年 9 月に Ge 測定器を導入している）。摂取量は、キノコ・山菜以外は以前の報告と同じである。キノコについては資料[5]を参考にし、山菜分を若干上乘せした。

Table 4. Annual Cs137 intake from food path.

Food type	Cs137 concentration, Bq/kg	Daily food intake, g/day		Annual Cs137 intake, Bq/yr	
		Adult	Child	Adult	Child
Rice, grain	0.2	500	400	37	29
Vegetable	0.2	300	240	22	18
Fruit	0.4	200	150	29	22
Seafood	0.6	100	80	22	18
Meat/dairy	0.5	170	340	31	62
Others	0.3	500	300	55	33
Mushroom/w. vegetable	3	30	20	33	22
Total :				229	204

大人、子ども共に約 200Bq のセシウム 137 年間摂取量となった。吸入経路や水道水経路での摂取は、食品経路に比べると無視できるであろう。経口摂取にともなう内部被曝換算係数（大人：0.013 μ Sv/Bq、子ども：0.010 μ Sv/Bq）を用いて年間内部被曝を見積もると、大人で約 3 μ Sv、子どもで約 2 μ Sv となる。

まとめ

いわき市をはじめ福島県周辺で流通している農水産物のセシウム 137 汚染レベルは、概して 0.1~10Bq/kg の範囲にあり、野生のキノコ・山菜（加えて野生の鳥獣）を自分で採取するといった食生活を避けていれば、問題となるほどの内部被曝はないと思われる。それでも、気になる方は、年に一度ホールボディー検査か尿測定検査を受けて体内蓄積量のチェックをすることが望ましい。

文献・資料

- [1] いわき放射能市民測定室たらちねホームページ. <https://tarachineiwaki.org/>
- [2] 福谷哲、今中哲二「福島第 1 原発事故にともなういわき市の農水産物放射能汚染の現状調査と内部被曝量評価に関する研究」2021 年 2 月 https://tarachineiwaki.org/wpcms/wp-content/uploads/shiryou_202002_1.pdf
- [3] 福谷哲、今中哲二「福島第 1 原発事故にともなういわき市の放射能汚染の現状解明と低線量被曝に対するリスクコミュニケーションに関する研究」2023 年 2 月 https://tarachineiwaki.org/wpcms/wp-content/uploads/shiryou_20230200_1.pdf
- [4] 福谷哲、今中哲二「イオン交換樹脂を用いた水道水放射能モニタリング前処理法の開発と応用に関する研究」2022 年 2 月 https://tarachineiwaki.org/wpcms/wp-content/uploads/shiryou_20220200_1.pdf
- [5] 国立健康・栄養研究所 HP https://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/eiyouchousa/keinen_henka_syokuhin.html

Radioactive Cesium Monitoring of Food Samples etc around Iwaki City for Grasping Current Situation of Internal Radiation Dose due to the Fukushima NPP Accident

T. Imanaka¹, S. Fukutani¹, A. Kimura², S. Suito², N. Tanaka², H. Orihara²

¹ Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University,

² NPO Mothers' Radiation Lab – TARACHINE

Internal dose to the people living around Iwaki city was estimated based on our measurements of Cs137 contamination in food products, aerosol and tap water. Annual intake of Cs137 was roughly evaluated about 200 Bq both for adults and 10-yr children, which causes annual internal dose of about 3 and 2 μ Sv to adults and 10-yr children, respectively. The current level of Cs137 contamination is not worrisome if people do not eat wild mushroom/vegetables taken directly from contaminated forest.