



|                         |  |
|-------------------------|--|
| タイトル<br>Title           | 東京電力福島第一原発事故後の延べ1000人の子どもの尿中の放射性セシウム濃度測定結果(Radioactive cesium detected in urine from the total of 100 children after the catastrophic accident of TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant) |
| 著者<br>Author(s)         | 斉藤,さちこ / 山内,知也   |
| 掲載誌・巻号・ページ<br>Citation  | 神戸大学大学院海事科学研究科紀要 = Review of Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University,14:23-30  |
| 刊行日<br>Issue date       | 2017   |
| 資源タイプ<br>Resource Type  | Departmental Bulletin Paper / 紀要論文   |
| 版区分<br>Resource Version | publisher  |
| 権利<br>Rights            |  |
| DOI                     |  |
| JaLDOI                  | 10.24546/81009860  |
| URL                     | <a href="http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/81009860">http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/81009860</a>  |

## 東京電力福島第一原発事故後の延べ100人の子どもの 尿中の放射性セシウム濃度測定結果

### Radioactive cesium detected in urine from the total of 100 children after the catastrophic accident of TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

斉藤さちこ<sup>1</sup>、山内知也<sup>2</sup>  
Sachiko Saitou<sup>1</sup>, Tomoya Yamauchi<sup>2</sup>

(平成29年6月16日)

Amounts of radioactive cesium, Cs-137 and Cs-134, in 24 h urine of 37 children have been determined using an HP-Ge detector, in Fukushima Prefecture between February 2014 and March 2016. As comparisons, those of 25 children have been also measured who live in Western Japan from September 2016 to March 2017, and that of one child in Ibaraki Prefecture from April 2014 to January 2017. We have found the cesium concentrations in the more than 70% of urine samples from Fukushima Prefecture are in the ranges from 0.06 to 0.30 Bq/L. No radioactive cesium is observed in the samples from Western Japan, under the detection limit of 0.1 Bq/L. In the case of Ibaraki, the radioactivity keeps its value around 0.20 Bq/L during the inspection period, indicating the chronic ingestion of the radioactive cesium in his daily life.

(Received 16. January 2017)

#### 1. はじめに

2011年3月11日、マグニチュード9.0の巨大地震が東北地方太平洋沖で発生した。貞観地震(869年)によって発生したと考えられている貞観津波を再現するかのような巨大津波とそれに先行する地震動により東京電力福島第一原発の炉心冷却機能は失われ、燃料棒が溶け出すメルトダウン、原子炉容器の底を破るメルトスルー、さらに水素爆発という歴史的な放射能漏れ事故・カタストロフ(大惨事)となった。Cs-137に着目すると、大気中にエアロゾルとして放出された割合は炉内インベントリの約2.2%(15.3 PBq)であったと推定されている[1]。その80%程度は太平洋上に降下し、日本国内にはおよそ20%が沈着したと評価されている。遠くヨーロッパにもその全域としては0.5%程度が到着した。福島第一原発事故がもたらした汚染の特徴の一つは大量の汚染水とも呼ばれる建屋内の滞留水である。ここには炉内インベントリの20%(141 PBq)が溶け出して

る。直接的な海洋への汚染は約0.5%(3.5 PBq)と見られている。しばしば、福島原発事故による放射能放出量はチェルノブイリ事故の10分の1と言われるが、それは陸地に沈着したCs-137の量を念頭においた発言と思われる。滞留水の汚染を考慮に入れると福島原発のCs-137による汚染はチェルノブイリ原発事故におけるその放出量(Cs-137: 85 PBq)を凌駕している。

放射性ヨウ素と小児甲状腺がんとの関係が調査され議論されるに至っている。それは福島原発事故後行われている唯一の公的な健康調査である、福島県が進める県民健康調査において明らかになってきた結果に基づいている[2-4]。そこでは原発事故当時18歳以下であった県民を主な対象とした超音波画像診断装置を利用した甲状腺検査が行われている。対象者はおよそ37万人であり、約30万人が受診している(受診率約80%)。

「先行検査」と呼ばれる1巡目の検査では116人が「悪性ないし悪性疑い」であった[2]。地域がん登録に記録されている過去の発症率を換算した平時の有病割合との外部比較や地域別の内部比較に基づいて、多発であること、放射線被曝との

<sup>1</sup>南福崎土地株式会社測定室

<sup>2</sup>神戸大学大学院海事科学研究科教授

因果関係が認められるとする疫学研究も公表された[5]。「本格検査」と呼ばれる2巡目や3巡目の検査でも、それぞれ、71人と4人が「悪性ないし悪性疑い」と診断されている[3,4]。手術後に良性と判断された1人を除くと190人に甲状腺がんが認められている。検査後に経過観察となった場合、次の健康検査までに、がんが見つかった症例はここには含まれていない。事故当時4歳だった男児が甲状腺がんの手術を受け、この症例が県民健康調査に反映されていなかったことが契機となって判明した[6]。現在のところ、県民健康調査の統計に反映されていない症例数は明らかになっていない。検査を担当している福島医科大学は、これらの甲状腺がんが放射線の影響であるとは考えにくいとしている[7]。福島第一原発事故で大気中に放出されたI-131は炉内インベントリの2.6% (159 PBq) であり、気体とエアロゾル、有機化合物の混合体であったと考えられている[1]。滞留水中には32% (1940 PBq) が流出したと見られている。Cs-137の半減期が30年をヒトの寿命に匹敵する長さであるのに対してI-131の寿命は8日と短く、もっぱら初期被曝において大きな影響を与えた。なお、東京電力自身は文献[1]に示されている値よりもさらに多い、希ガスに匹敵する量のI-131が放出されたとする報告を公表している (500 pBq) [8]。

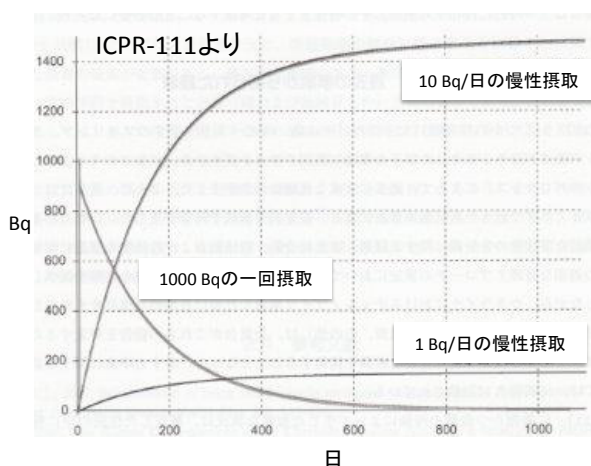


図1. 1000 BqのCs-137を一度に摂取した場合と、毎日1 Bqまたは10 BqのCs-137を摂取した場合の、全身放射能(Bq)の複数年にわたる変化 (国際放射線防護委員会 ICRP Publication-111 からの引用) [9].

事故から数年が経過した時点で、健康影響を新たに与え得る放射性核種としてはCs-137やCs-134の他にSr-90(半減期:28.8 y)が考えられるが、大気中に放出されたものは炉内インベントリの0.03% (0.14 PBq)程度であったとされている[1]。ガンマ線を出さないSr-90と比べるとCs-137やCs-134は特徴的なガンマ線を放出するので事故後の汚染評価に利用される。Cs-137の摂取による体内への蓄積について広く知られているのは図1に示したような挙動であろう。横軸は摂取開始後の経過時間であり縦軸は体内に蓄積されている全放射能である[9]。一度に1000 Bqを急性摂取した場合と1日に1 Bqを1000日慢性摂取した場合とを1000日目と比較すると、慢性摂取した場合の方が放射能は多く蓄積される。また毎日10 Bqの摂取の場合には体内の放射能は毎日1 Bqの摂取の場合よりも10倍程度高くなる。全般的な傾向はこの図によって表現されているが、慢性摂取の際の平衡値の大きさは摂取量だけでなく、摂取した人に固有の生物学的半減期によって変わってくることに注意が必要である。0歳から20歳くらいまでの間では年齢の進行とともに生物学的半減期が長くなる傾向があり(ある一人の個人でも年齢によって変化する)、例えば、30歳の人々の間でも少なくとも25日から145日くらいまでの差異が存在する(個人差がある)[10]。生物学的半減期の個人差は放射性ヨウ素の摂取や吸引による被曝線量評価においても問題となる所であり、チェルノブイリ原発事故後の計測値と計算モデルの値の変動の大きな原因と考えられおり、この場合には甲状腺の質量の個人差も問題となった[11]。内部被曝の評価には国際放射線防護委員会ICRPが提案している線量係数(Sv/Bq)が利用されるが[12]、これは平均的なヒトを想定したものでしかない。この問題についてはカネミ油症の原因物質を発見した長山淳哉による一般にもわかりやすい書籍がある[13]。

我々は福島第一原発事故後の長期的な健康影響の議論のベースとしては、環境中放射線モニタリング値だけでなく、各個人の体内に取り込まれている放射性セシウムの定量分析が不可欠であると考えている。本研究では、福島県内外の子育

て中のお母さん方の協力の下、福島県と茨城県では 38 人、西日本の各府県では 25 人の小児の尿を 2014 年から 2017 年にかけて継続的に測定した。事故直後の住民の調査では、尿から I-131 が検出された人もいたし、Cs-137 の濃度がほぼ 10 Bq/L に達するような人もいた[14]。事故から 3 年を経過した時点で開始した本研究では、I-131 未検出であり、Cs-137 の濃度も低くなっているが、福島県や茨城県からの尿試料では、およそ 7 割からそれが検出された。

## 2. 尿中放射性セシウムの計測

尿中の放射性セシウムの計測には、大阪市内の南福崎土地株式会社内の放射能測定室に設置されている、(株) テクノエーピー社製 TG150B ゲルマニウム半導体検出器を利用した。蓄尿は 2 4 時間尿を基本とし、1 リットルのマリネリ容器に入れて 48 時間計測した。計数値の標準偏差を  $\sigma$  として、 $3\sigma$  をもって検出・未検出の判定基準とした。検出限界はおよそ 0.1 Bq/L であった。この方法ではスペクトル上のピークが見えている場合でも未検出となるが、ピークが見えている場合には ND2 とし、ピークが見えない場合 (ND1) と区別した。図 2. にスペクトルの一例を示す。横軸は入射した光子のエネルギーであり、縦軸はその計数を表す。662 keV 付近のものが Cs-137 に帰属されるピークであり、赤色で示した面積 (計数) からオレンジ色で示した面積 (バックグラウンドの計数) を差し引いた計数から検出器の計数効率や試料内での自己吸収を考慮して放射能を求めた。これらは全て TG150B 付属のソフトで実施した。

福島県内から協力していただいた小児は 37 人であり、参加時の年齢は 3 歳から 16 歳にわたっている。男女比はほぼ同数であった。計測は 2014 年 2 月から 2016 年 3 月にかけて実施した。西日本から協力していただいた小児は 25 名であり、年齢は 2 歳から 17 歳にわたっている。男女比はこちらもほぼ同数である。その結果は全て未検出であった。茨城県の男児は、彼が 15 歳から 17 歳であった、2014 年 2 月から 2017 年 1 月にかけて計測を行った。

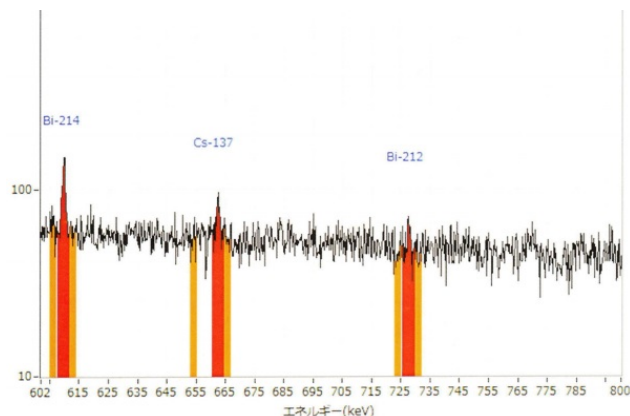


図 2. 福島第一原発から 62km の子ども尿。

表 1. 西日本子ども尿中セシウム測定結果

| NO. | 性別 | 年齢(才) | 住まい | Cs137 (Bq/L) |
|-----|----|-------|-----|--------------|
| 1   | 女  | 2     | 奈良  | ND1          |
| 2   | 男  | 3     | 兵庫  | ND1          |
| 3   | 男  | 3     | 兵庫  | ND1          |
| 4   | 女  | 3     | 大阪  | ND1          |
| 5   | 女  | 4     | 奈良  | ND1          |
| 6   | 男  | 4     | 滋賀  | ND1          |
| 7   | 男  | 5     | 大阪  | ND1          |
| 8   | 男  | 5     | 兵庫  | ND1          |
| 9   | 女  | 6     | 大阪  | ND1          |
| 10  | 女  | 6     | 兵庫  | ND1          |
| 11  | 男  | 6     | 京都  | ND1          |
| 12  | 女  | 7     | 大阪  | ND1          |
| 13  | 男  | 7     | 兵庫  | ND1          |
| 14  | 女  | 7     | 京都  | ND1          |
| 15  | 女  | 8     | 奈良  | ND1          |
| 16  | 男  | 9     | 兵庫  | ND1          |
| 17  | 男  | 9     | 兵庫  | ND1          |
| 18  | 男  | 9     | 兵庫  | ND1          |
| 19  | 男  | 10    | 大分  | ND2          |
| 20  | 女  | 11    | 大阪  | ND1          |
| 21  | 男  | 11    | 京都  | ND1          |
| 22  | 男  | 12    | 兵庫  | ND1          |
| 23  | 女  | 13    | 奈良  | ND1          |
| 24  | 女  | 15    | 兵庫  | ND1          |
| 25  | 女  | 17    | 京都  | ND1          |

表 1. に西日本の子どもの測定結果を一覧として示す。大分県の子どものみスペクトル上で Cs-137 のピークが見られた (ND2)。大阪や兵庫、奈良、京都といった近畿圏の子供らはいずれも未検出 (ND1) であった。この結果は 1960 年代初頭までの大気中核実験の影響は、本研究で利用した測定システムや計測手法では検出不可能であ

ることを示している。福島県から送られてきた尿試料のうちの幾つかを、我々が使用した計測システムよりも、より高い検出能力のあるシステムを有している京都大学原子炉実験所の今中哲二氏にクロスチェックをお願いした。事故直後では Cs-137 と Cs-134 の放射能は同程度であった。Cs-137 の半減期が 30 年であるのに対して Cs-134 のそれは約 2 年と短いため、その比率 (Cs-134/Cs-137) は時間とともに低下する。クロスチェックの結果 7 個の試料のうち 4 個からは 0.03 Bq/L 程度の Cs-134 が検出され、その比率からこれらの放射性セシウムが福島第一原発事故由来であることが確認された[15]。尿試料から Cs-137 が検出された場合、Cs-134 は未検出であっても、それは福島第一原発事故由来と考えてよいだろう。

研究開始から 2 年目以降は (2015 年から)、株式会社アタゴ社製の尿比重屈計 MASTER-URC/Ja を使用して、尿比重補正を行った。セシウムは自然環境中でも濃縮されたり希釈されたりするが、人体から尿として排出されるセシウムも、体内環境により濃縮されたり希釈されたりする (汗を大量にかけば濃縮され、水を沢山飲めば希釈される)。尿の比重を計測し平均補正值を定めて計算をすることにより、セシウムの濃度も補正されることになる。この補正により筋肉中に存在するセシウムと平衡関係にある尿中セシウム濃度が評価できる。補正方法は、次のとおりである。

$$\text{比重補正值} = \text{実測値} \times (\text{尿比重平均値} - 1.000) \div (\text{尿比重} - 1.000)$$

ここに尿比重平均値 (標準値) は 1.024 とした[16]。

### 3. 福島県在住の子どもの尿中セシウム

福島県在住の子ども 37 名を対象にして尿中放射性セシウムを継続的に測定した結果を図 3 に示す。青色のバー Cs-134、赤色のバーは Cs-137 の放射能を示す。尿試料数は 75 体であった。期間は、2014 年 2 月から 2016 年 3 月末までの 2 年間で、対象年齢は、蓄尿できる子どもから 18 才までである。Cs-134 は 2014 年には何人かから検出されたが、

それ以降は未検出が続いた。Cs-137 で見ると最頻値は 0.16 から 0.20 Bq/L であり、最大値は 0.30 Bq/L であった。Cs-137 だけに着目すると、検出されたのは 75 検体中 54 検体で、不検出もしくはスペクトル上で検出が見られたのが 21 検体であった。Cs-137 が検出された割合は 7 割を越えた。表 1 に示した西日本の子どもらの結果と異なっていることが確認できる。ここに示した値は尿比重補正を行っていない。

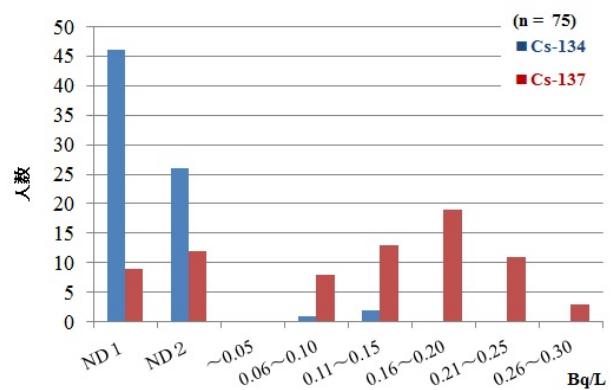


図 3. 子どもの尿中放射性セシウム濃度

2 年目の測定 (2015 から 2016 年) の、のべ検体数は 32 検体で、そのうち 21 検体の尿から Cs-137 が検出された。これらについて尿比重補正の効果を確認するために補正前後の濃度を比較した (図 4 参照)。横軸は子どもの年齢であり、縦軸が Cs-137 の濃度である。比重補正はほとんどの場合において濃度をより高くする方向に作用した。

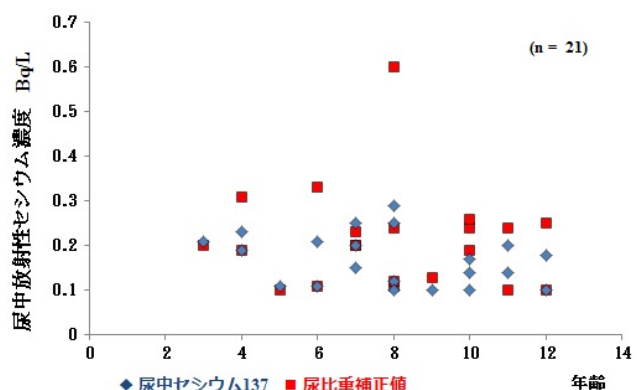


図 4. 尿中 Cs-137 濃度補正の効果

ある 8 歳児について、図 4.中 に飛び値が見られる (0.6Bq/L)。ほとんど全ての尿の比重は 1.010 から 1.030 の間にあったが、このケースでは 1.004



とかなり下回った値であったため、比重補正後のセシウムの値が跳ね上がる結果となった。筋肉中のセシウム濃度を評価する場合には尿比重補正は不可欠であるが、経過を観察するだけであれば補正の有無は結果に対して大きくは影響しないように見える。

#### 4. 継続測定のケース

福島県及び茨城県の子どもの何人かを例にして、尿中放射性セシウム濃度の数年間の変化を見ておきたい。

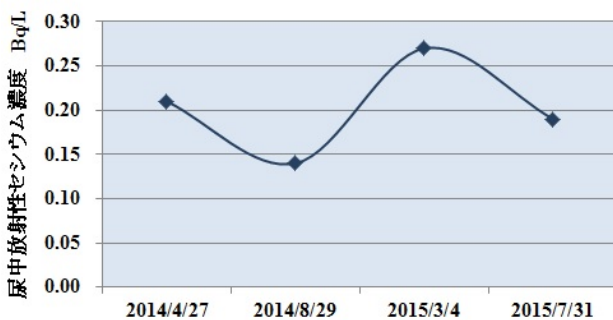


図 5. 10 歳女児の尿中 Cs-137 濃度の推移.

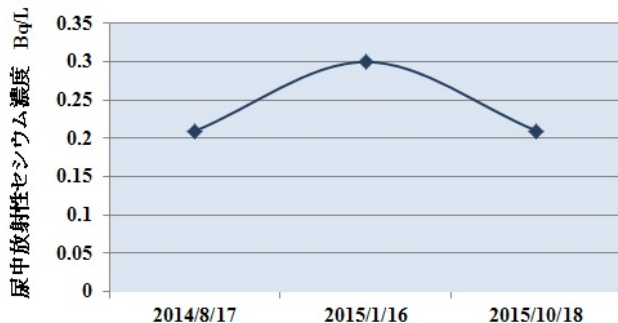


図 6. 5 歳男児の尿中 Cs-137 濃度の推移.

図 5. は福島第一原発から北西におよそ 60 km 離れた福島市内に在住する 10 歳の女児のケースである。2014 年 4 月の最初の測定から 4 ヶ月後には放射能レベルが低下したのであるが、その 6 ヶ月後には増加し、さらに 5 ヶ月後には低下している。ここでは 24 時間尿を対象としており、計測の偏差はこの変動幅よりも格段に小さいので、ここに示されている変動は尿中の Cs-137 濃度の実際的な変動を表している。2 回目の計測の後に一定量の摂取があったと理解するべきである。

図 6. は第一原発から西北西に約 60 km 離れた二本松市に住む測定時 5 歳の小児のケースである。尿中 Cs-137 濃度はこの研究の中では最も高い集団に含まれている。一年と 2 ヶ月にわたる計測であったが、一定量のセシウムを最初の計測の後に摂取したと見られる。

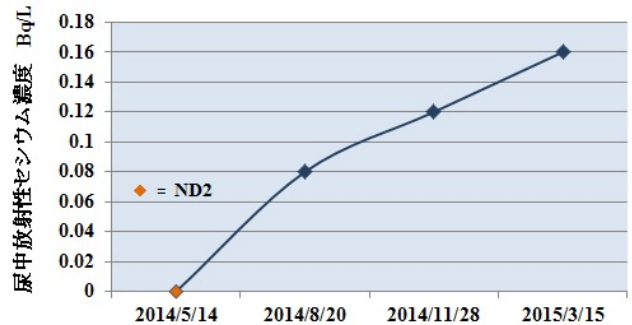


図 7. 6 歳女児の尿中 Cs-137 濃度の推移

図 7. は福島市に住む測定開始時 6 歳の女児のケースである。最初の測定時には Cs-137 はスペクトル上にピークが確認されたものの未検出 (ND2) であったが、2 回目の測定では確認されるようになり、その後の計測でも濃度は徐々に増加した。ここに追跡しているのは 1 年足らずの期間であるが、図 1. の一般的な傾向と比較すると慢性的な摂取がこの期間続いていたと推察される。



図 8. 茨城県男子尿中 Cs-137 濃度の推移.

図 8. は第一原発より南に約 70km 離れた北茨城市に住む男子のケースである。この男子はこの研究では最も長い期間継続的に測定を行ってきた。測定開始当時は 15 歳だったが、現在は 17 歳になっている。最初の 3 回の計測ではセシウム濃度が順次低下していたが 4 回目に増加した。この時期に一定量の摂取があったと考えられる。当然のこ

とであるが、放射性物質の拡散共同は風向きやその強さに依存し、県境には阻まれない。

## 5. 考察

東京電力福島第一原発事故によって放出された放射性セシウムについて、ヒトの筋肉中に蓄積している濃度と尿中との比較を行った研究例を著者らは知らない。ただ食肉牛の出荷問題に関連して牧畜牛についての研究は行われている[17]。これは動物実験の結果でありそのままヒトに適用することはできないものの、後で述べるように福島第一原発事故で放出されたセシウムの化学形は決して自明ではなく、どこまで過去の経験がそこに通用するのかわからないので、おそらく同じ化学形で摂取されたセシウムが牛の場合にどのような挙動になっているかを見ておくことには意味があるだろう。それによると筋肉中のセシウム濃度は比重補正した尿中の約3倍である。ヒトの場合にも同様な関係があると見ることができるとすると、本研究で子どもらの筋肉中のセシウム濃度は最大で1 Bq/kg程度と推定できる。著者らが知る限り、チェルノブイリ原発事故後の調査で、数 Bq/kg の放射性セシウム (Cs-137) によって膀胱がんが発生することが報告されている[18]。ここでの検査対象が小児であることもあり、安心して結果とは言えないと考えている。ここで K-40 について言及しておきた。言うまでもなく人体に最も多く含まれている放射性元素である。K は必須元素であり、細胞内液を見ると Ca や Na よりもその濃度が一桁程度高く維持されている。それは細胞膜にある K ポンプの働きによると理解されている[19]。細胞内に容易に入り込めるのであり、水とともに生体内を最も自由に行き来する物質である。Cs は K と同じアルカリ金属なので体内での動きも似ているという議論も聞くが、同じアルカリ金属である K と Na の細胞内濃度の違いを利用して我々の神経細胞が機能している事実だけを見ても[19]、この手の議論には生化学的な意味はない。実際に膀胱がんに関する報告では体内濃度が 50 Bq/kg の K-40 ではなくて数 Bq/kg の Cs-137 の影響が見られており、こ

の疫学を重視すべきである。メカニズムとしてもイオン半径の異なる Cs-137 はカリウムポンプに引っかかって容易に抜け出せなくなり、壊変の結果生まれる Ba の化学的な作用についての議論もある[20]。アルカリ金属というだけで同一視することはできない。この問題については今後とも詳しい議論が必要になるだろう。

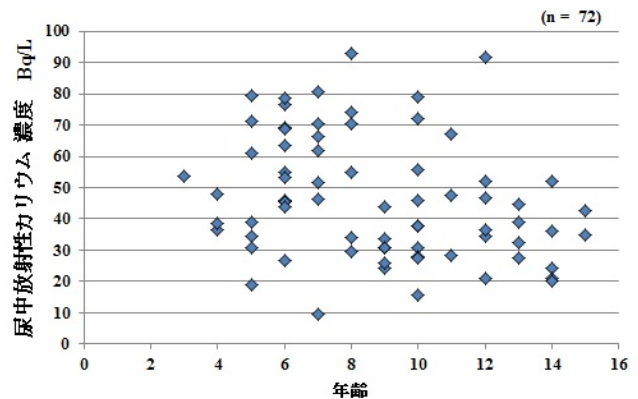


図9. 年齢別、尿中放射性カリウム 40 濃度

図9はこの研究に参加した子どもらの尿中 K-40 濃度を年齢に対してプロットしたものである。75人のうち3名分は計測時のピークシフトが著しくここではそれらの値を除外している。年齢に関係なく 10 から 100 Bq/L 程度の変動が見られるが、一人の個人をとってみても、体重の変化や前日の摂取物による影響が出ている。平均は 50 Bq/L 程度であり、筋肉中の濃度とほぼ一致している。先に見た Cs-137 の濃度より2桁程高い。ICRP が提唱している臓器レベルで平均した吸収線量を基礎におく実効線量をベースに議論をすると、K-40 の影響の下で Cs-137 の影響は見えなくなるはずという結論が導かれる。しかし、繰り返しになるが、現実問題として Cs-137 の影響で膀胱がんが多発するという結果が出ている[18]。人の健康影響を判断するのは線量ではなく疫学である[21]。

最後に事故で放出されたセシウムの化学形について見ておきたい。現在、法的な方法論としても利用されている ICRP の内部被曝評価方法は、摂取あるいは吸引した放射能について、ある種の換算係数を用いて 50 年あるいは 70 年の預託実効線量を求め、それをその年度の被曝線量とする方法である[12]。それによると、例えば、10 歳児が

吸引によって Cs-137 を体内に取り入れた場合には、次のような3つのケースが用意されている。その吸収が早い場合 (F) には  $3.7 \times 10^{-9}$  Sv/Bq、吸収速度が中程度の場合 (M) には  $1.3 \times 10^{-8}$  Sv/Bq、吸収速度が遅い場合 (S) には  $4.8 \times 10^{-8}$  Sv/Bq、という線量係数が用意されている。吸収速度はセシウムの化学形によって変わるが、問題なのは福島第一原発事故で放出された放射性セシウムが、これまで人類が見たことも接したこともなかった「セシウムボール」と呼ばれる形態で飛散したことである。これは放射性セシウムをガラスに閉じ込めた不溶性微粒子である[22]。この形態のセシウムについては人体内の挙動が知られていないので、ICRP の用意している線量係数をそのまま用いることができない。第3節の継続測定のケースにおいては、図1に示したICRPのモデルをベースにして考察を進めた。そこでは吸引よりもむしろ食品を通じた摂取を念頭においているが、肺胞に蓄積した不溶性微粒子からの極めて遅いセシウムの排出過程を見ているとすれば、そこでの考察が見当はずれであったという事態も念頭においておく必要があるだろう。

第一原発から放出され現在も再浮遊が続いている放射性セシウムの環境中や人体の中での挙動に関する我々の知識は、非常に限られていることを認めなければならない。ここに報告したような子どもらの尿中の放射性セシウム濃度計測の記録は、近い将来に放射線リスクを議論する際の不可欠な情報になると考える。同様な取り組みが各地で継続的に実施されることを期待する。

## 6. まとめ

東京電力福島第一原発事故後に、福島県と茨城県を含む全国各地の子どもらの尿中放射性セシウム濃度を計測した。計測には HP-Ge 半導体検出器を利用した。福島県の子どもらの測定は 2014 年から 2016 年にかけて、西日本の子どもらの計測は 2014 年から 2017 年にかけて、茨城県の男子の計測も 2014 年から 2017 年にかけて実施した。

西日本の子どもらの尿からは放射性セシウムは検出されなかった。福島県の子どもらの検体からはその7割から放射性セシウムが検出された。

2014 年には Cs-134 が検出されたケースもあったが、2015 年以降は Cs-137 のみが検出された。最頻値は 0.16 から 0.2 Bq/L であり、最大値は 0.3 Bq/L であった。測定を継続した期間にわたって、Cs-137 濃度が単調には減少していないケースやむしろ増加しているケースもあった。茨城県の男子は最も長い期間測定を継続してきたが、やはり単調な減少挙動を示してはいなかった。これらの結果は、継続的な放射性セシウムの摂取・吸引が続いていることを示している。

尿中セシウム濃度と筋肉中セシウム濃度との関係については、動物実験の結果を利用して、最大値が 1 Bq/kg 程度と推察できることを示した。この値に基づいてチェルノブイリ原発事故後の膀胱がんの発生を報告する研究とそのリスクについて議論した。福島第一原発事故後に人類が初めて接するようになった「セシウムボール」の体内での挙動が不明であること、内部被曝線量を導くための ICRP の線量係数の不備等を指摘し、今の時点では尿中セシウム濃度のしっかりした計測が必要であることを強調した。

最後にこの研究での測定結果に見込まれるバイアスについて言及しておきたい。協力していただいた参加者は、日常的に汚染や食品に気をつけている家庭のお子さんが大半を占めており、平均的な像からは尿中セシウム濃度が低くなっている可能性がある。

## 謝辞

この研究は 2014 年から 2016 年にかけて取り組まれた福島県民を含む市民が主体となった尿中セシウム測定プロジェクト「こどもエイド」の活動によって実現できたものである。ご協力いただいた全ての皆様に深く感謝します。クロスチェックにご協力いただいた京都大学原子炉実験所の今中哲二氏に感謝します。尿の比重補正に関する丁寧なご助言をいただいた「ひらの亀戸ひまわり診療所」の毛利一平医師に感謝します。大量のデータを丹念にチェックしていただいたアイメジャー（株）信州放射能ラボ代表の一ノ瀬修一氏のご協力に感謝します。



## 参考文献

- [1] Pavel P. Povinec, Katsumi Hirose, Michio Aoyama, “Fukushima Accident Radioactivity Impact on the Environment” Elsevier 2013.
- [2] 福島県県民健康調査課『県民健康調査「甲状腺検査（先行検査）」結果概要【平成28年度追補版】』
- [3] 福島県県民健康調査課『県民健康調査「甲状腺検査【本格検査（検査2回目）】」結果概要』
- [4] 福島県県民健康調査課『県民健康調査「甲状腺検査【本格検査（検査3回目）】」結果概要』
- [5] Toshihide Tsuda, Akiko Tokinobu, Eiji Yamamoto, Etsuji Suzuki, “Thyroid Cancer Detection by Ultrasound Among Residents Ages 18 Years and Younger in Fukushima Japan: 2011 to 2014” *Epidemiology* Vol. 37, No. 3 (2016) 316-322.
- [6] ふくしま国際医療科学センター 放射線医学 県民健康管理センターホームページ 甲状腺検査についてのQ&A 「Q 二次検査で経過観察となり保険診療を受けていた方が、経過観察中に甲状腺がんと診断されて手術を受けた場合、さかのぼって県民健康調査の『悪性ないし悪性疑い』の数に反映されたり、手術症例数に加えられたりするのですか。」
- [7] 鈴木眞一「福島原発事故後の福島県小児甲状腺検診と小児甲状腺癌」*週刊医学のあゆみ* Vol. 260, No. 9 (2017) 813-818.
- [8] 東京電力『福島第一原子力発電所における放射性物質の大気中への放出量の推定について（平成24年5月）』
- [9] ICRP Publication 『原子力事故または放射線緊急事態後の長期汚染地域に居住する人々の防護に対する委員会勧告の適用』日本アイソトープ協会 (2012)
- [10] G. Schwartz, D. E. Dunning Jr, “Imprecision in estimates of dose from ingested  $^{137}\text{Cs}$  due to variability in human biological characteristics”, *Health Physics* Vol. 43, No. 5 (1982) 631-645.
- [11] Drozdovitch V, Khrouch V, Maceika E, Zvonova I, Vlasov O, Bratilova A, Gavrillin Y, Goulko G., Hoshi M., Kesminiene A, Shinkarev S, Tenet V, Cardis E, Bouville A, “Reconstruction of radiation doses in a case-control study of thyroid cancer following the Chernobyl accident” *Health Physics* Vol. 99 (2010) 1-16.
- [12] ICRP Publication-119 “Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60” Vol. 41 Suppl. 1 (2012)
- [13] 長山淳哉『胎児と乳児の内部被曝』緑風出版 (2013)
- [14] Nanao Kamada, Osamu Saito, Satoru Enfo, Akirou Kimura, Kiyoshi Shizuma, “Radiation dosed among residents living 37 km northwest of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant” *J. Environmental Radioactivity* 110 (2012) 84-89.
- [15] 私信 今中哲二 (京都大学原子炉実験所)
- [16] 私信 毛利一平 (ひらの亀戸ひまわり診療所)
- [17] 農業・食品産業技術総合研究機構 NARO 『比重で補正した尿と筋肉の放射性セシウム濃度は高い正の相関関係にある』 <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H24/katiku/H24katiku009.html> 2017.6.13. 閲覧
- [18] Alina Romanenko, Anna Kakehashi, Keiichirou Morimura, Hideki Wanibuchi, Min Wei, Alexander Vozianov, Shoji Fukushima, “Urinary bladder carcinogenesis induced by chronic exposure to persistent low-dose ionizing radiation after Chernobyl accident” *Carcinogenesis* Vol. 30, No.11 (2009) 1821-1831.
- [19] 例えば、D. サヴァ他著『大学生物学の教科書 第1巻 細胞生物学』ブルーバックス・講談社 (2010)
- [20] 例えば、大山敏郎ブログ (2012.1.4.) 「放射性セシウムによる内部被曝」 <https://www.slideshare.net/3tarou/201214> 2017.6.14. 閲覧
- [21] 例えば、Kenneth J. Rothman『ロスマンの疫学 科学的思考への誘い 第2版』篠原出版新社 (2013)
- [22] Kouji Adachi, Mizuo Kajino, Yuji Zaizen & Yasuhito Igarashi, “Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident” *Nature, Scientific Report* 3, 2554 (2013) 1-5.