

日本学士院紀要 Proceedings of the Japan Academy Series B **89** (2013) 157–163 の抄訳

## Internal radiocesium contamination of adults and children in Fukushima 7 to 20 months after the Fukushima NPP accident as measured by extensive whole-body-counter surveys

福島県内における大規模な内部被ばく調査の結果

— 福島第一原発事故 7–20 ヶ月後の成人および子供の放射性セシウムの体内量 —

早野龍五：東京大学大学院理学系研究科 物理学専攻

坪倉正治：東京大学大学院医学系研究科 生殖・発達・加齢医学専攻

宮崎 真：福島県立医科大学 放射線健康管理学講座

佐藤英夫、佐藤勝美、正木 真、佐久間裕：ひらた中央病院（福島県石川郡平田村）\*

2013 年 4 月 11 日 オンライン掲載†

### 概要

福島第一原発事故は、福島県内の土壌を放射性セシウムで汚染した。チェルノブイリ事故で得られた知見をそのままあてはめると、福島県内の人口密集地で、年に数 mSv を超える内部被ばくが頻出することが懸念された。

しかし、ひらた中央病院で 2011 年 10 月から 2012 年 11 月に行った 32,811 人のホールボディカウンター検査結果は、住民の内部被ばくが、この予想よりも遙かに低いことを明らかにした。特に、2012 年秋に、三春町の小中学校の児童生徒（1383 人：在校生の 95 %）を測定したところ、全員が検出限界未満（ $< 300$  Bq/全身）であった。これは「サンプリングバイアス」が無い測定で、住民の内部被ばくが低いことが示された初の結果である。この結果は、福島県全県を代表するものではないが、福島県や、県内自治体でこれまでに得られた結果等と矛盾しない。

## 1 はじめに

東日本大震災と津波を契機とする福島第一原発の重大事故は、多くの放射性物質を放出し、それらは福島県と周辺地域の地表に降下した。文科省の航空機モニタリングによれば（図 1）、セシウム 137 の地表沈着量は、福島市（人口約 28 万人）や郡山市（同約 33 万人）などの人口密集地帯にお

\* 公益財団法人 震災復興支援放射能対策研究所

† 本論文は、この夏にとりまとめられる UNSCEAR（原子放射線の影響に関する国連科学委員会）レポートで参照されることが決まっています。

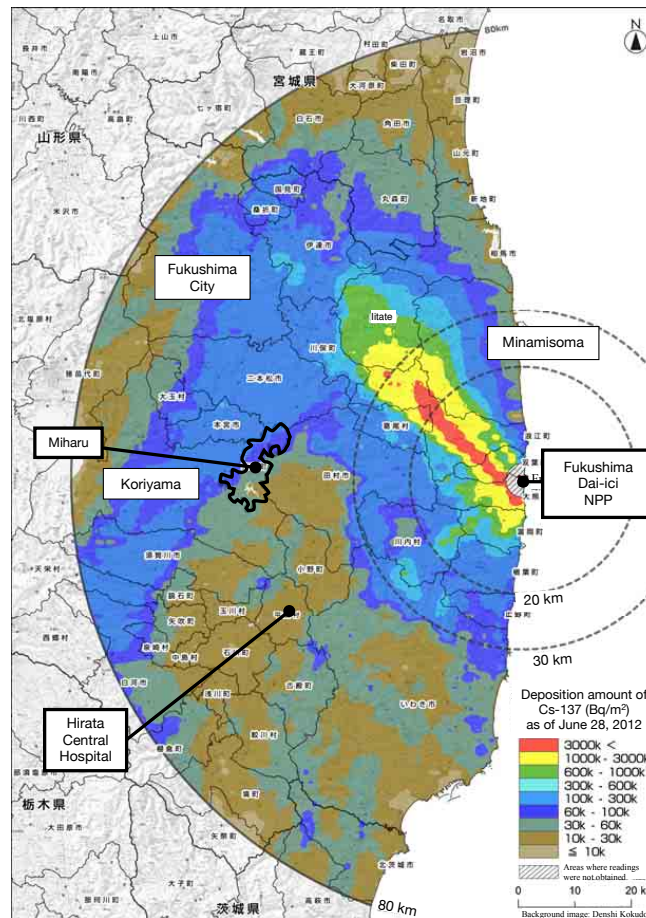


図1 2012年6月28日時点での、福島第一原発80km圏内におけるセシウム137の地表沈着量（文科省の第五次航空機モニタリング結果の図を引用）。図中にひらた中央病院と三春町の場合を示す。

いても、60~300 kBq/m<sup>2</sup> に達する。

チェルノブイリ原発事故後の知見では、汚染食品の摂取による内部被ばくのレベルは、地表の放射性物質沈着量にほぼ比例する。UNSCEAR（原子放射線の影響に関する国連科学委員会）1988報告によれば、土壌汚染（kBq/m<sup>2</sup>）の程度と、事故後最初の1年におけるヨーロッパ成人の平均的な預託実効線量（μSv/年）の係数は20、つまり

$$\text{『土壌汚染 } 1 \text{ kBq/m}^2 \rightarrow \text{内部被ばく } 20 \text{ } \mu\text{Sv/年』}$$

とされた。もしこれが今回の事故でも同様ならば、福島市のような土壌汚染 ~ 100 kBq/m<sup>2</sup> の地域では、事故後最初の一年間の慢性経口摂取被ばく量は平均で 2 mSv/年 と予想される\*1。

すでに、いくつかの測定結果がその予測に反して内部被ばく量が十分に低いことを示唆している

\*1 UNSCEAR の係数はセシウム 137 のみに対するものである。福島原発事故ではセシウム 134 も考慮しなければならないため、予想値はこれの約 2.5 倍、すなわち 5 mSv/年程度となる。

表1 福島県 HP に掲載されたホールボディーカウンター検査結果 (2013 年 1 月 31 日公表)

|           | 全期間 (人数) | 2012 年 1 月 31 日以前<br>(急性吸入摂取を仮定) | 2012 年 2 月 1 日以降<br>(慢性経口摂取を仮定) |
|-----------|----------|----------------------------------|---------------------------------|
| < 1 mSv   | 106,070  | 15,383                           | 90,687                          |
| 1 - 2 mSv | 14       | 13                               | 1                               |
| 2 - 3 mSv | 10       | 10                               | 0                               |
| > 3 mSv   | 2        | 2                                | 0                               |
| 合計        | 106,096  | 15,408                           | 90,688                          |

が、その一つが、福島県が 2011 年 6 月から始めた WBC 測定である。表 1 のように、100,000 人以上の住民を WBC で計測し\*2、受診者の 99.9% がセシウム 134、137 両方の預託実効線量を足しても 1 mSv に届かない。

ただし、福島県の WBC 結果公表には、Bq/kg もしくは Bq/全身 での細かな分布が含まれておらず、測定された住民が、一日平均何 Bq の放射性セシウムを摂取しているのか、そしてそれが地表に降下した放射性物質の濃度と関連するのかを知ることが出来ない。

以下では、福島県内の住民の放射性セシウムの摂取量が、実際にどれだけ低いのかを呈示する。

## 2 方法

- ひらた中央病院における WBC 検査
- FASTSCAN による 2 分間測定
- 検出限界 300 Bq/全身 (セシウム 134、137 ともに)
- 身長 110 cm 以下：20 cm 踏み台を使用  
身長 125 cm 以下：12 cm 踏み台を使用
- 検査前にサーベイメーターによる評価あり
- 2012 年 3 月 1 日より全更衣あり
- 2011 年 10 月 17 日～2012 年 11 月 30 日の期間に総数 32,811 人を検査 (図 2)  
(ちなみに、このデータは、福島県が HP で公表している統計には含まれない)
- 総数中、福島県民が 73 %、茨城県民が 23 %
- 図 3 に福島県民居住地と土壌へのセシウム地表沈着量の関係を示す

\*2 論文投稿時に福島県 HP に掲載されていた資料より。現在は更に人数が増えている。

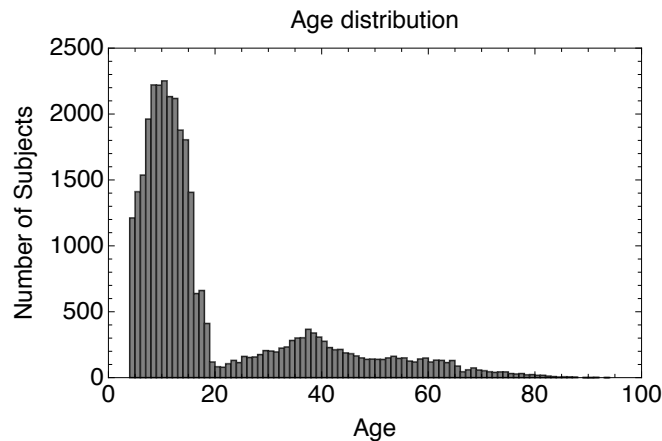


図2 WBC 受診者の年齢分布 (4 歳–93 歳、中央値 12 歳、平均 19 歳)。横軸は年齢、縦軸は人数。

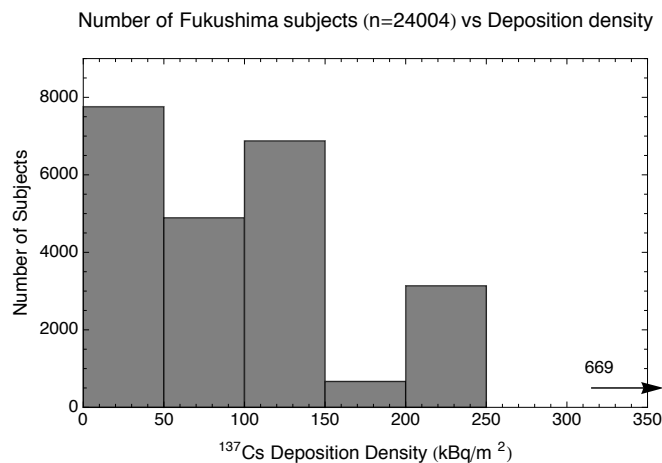


図3 WBC 受診者のうち、福島県内在住者がどの程度の土壌セシウム 137 沈着量のところに居住しておられたかを示す分布。横軸はセシウム 137 の沈着量  $\text{kBq/m}^2$ 、縦軸は人数。

### 3 結果

#### 3.1 全体像

有意検出者のセシウム 134・137 比は放出初期におよそ 1:1 であったが、時間経過に伴いセシウム 134 が減衰する様子が WBC で捉えられている (図 4)。以下、本論文では、セシウム 137 の計測結果のみを示す。

ひらた中央病院のデータでは、2012 年 3 月を境に急激な陽性率低下があるが、3 月 1 日から全員にガウン更衣をした効果と類推される (表 2、図 5、および図 6 を参照)。つまり、2011 年 10 月から 2012 年 2 月までの 5 ヶ月間に検出された 15 % の陽性者の中には、着衣の表面汚染がある割合で含まれていた可能性が高い。しかし、その定量的評価はできない。そのため、2012 年 3 月以

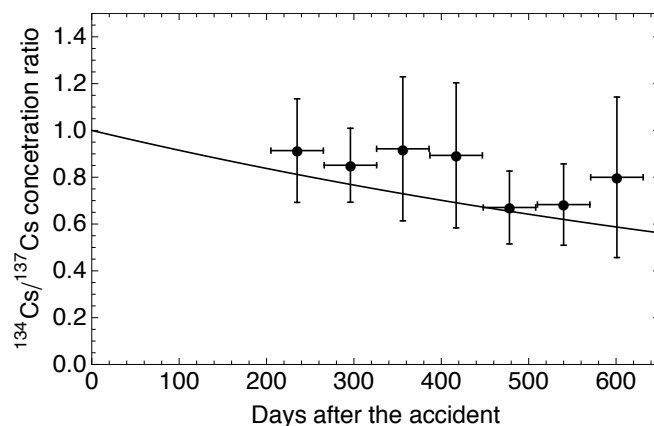


図4 ひらた中央病院のホールボディカウンターで測定されたセシウム134:セシウム137の比率の経時変化。横軸は事故後の日数。実線は事故直後の比率を1:1と仮定し、物理学的半減期で計算した結果。

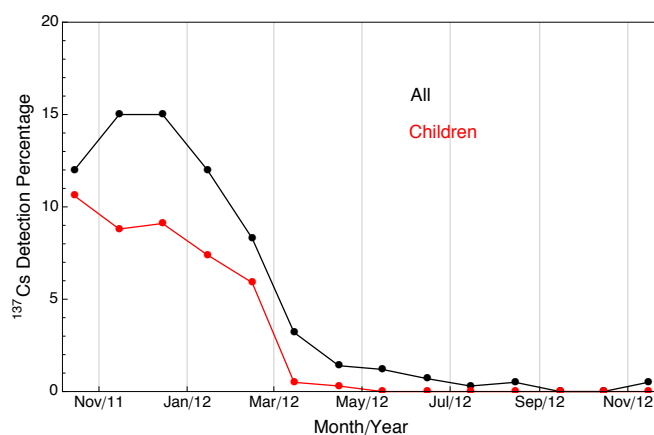


図5 セシウム137の検出率の経時変化。黒は受診者全員、赤は子供。

降のデータの解析を主に行うこととした。

表2、図5、および図6から言えることは

1. 福島県の内部被ばくレベルは土壤汚染のレベルに比して非常に低い。
2. ことに小児においては、2012年5月以降に受診された10,237人で、検出限界（300 Bq/全身）を超えた方がいない。<sup>\*3</sup>
3. ごくわずかに、100Bq/kg（数千 Bq/全身）を超える放射性セシウムを保有する方がおられ

<sup>\*3</sup> なお、検出限界における推定実効線量の最大値は、

～10才：21 μSv/年（5.8 Bq/日）

～15才：13 μSv/年（2.7 Bq/日）

※（）内は一日平均摂取量

である。

表2 ひらた中央病院でのWBC検査結果。 $n$ は受診者数、 $n_{\text{det}}$ はセシウム137検出者数、 $n_{\text{det}}/n$ はセシウム137検出割合。左側に全受診者の結果を、右側に15歳以下の子供の結果を示す。また、表の上半分は、全員更衣前、下半分は全員更衣後の結果である。

| 年月       | 全受診者   |                                           |                           | 子供 (年齢 ≤ 15) |                                           |                           |
|----------|--------|-------------------------------------------|---------------------------|--------------|-------------------------------------------|---------------------------|
|          | n      | $n_{\text{det}}$<br>( $^{137}\text{Cs}$ ) | $n_{\text{det}}/n$<br>(%) | n            | $n_{\text{det}}$<br>( $^{137}\text{Cs}$ ) | $n_{\text{det}}/n$<br>(%) |
| 2011年10月 | 638    | 76                                        | 12.0                      | 312          | 33                                        | 10.6                      |
| 11月      | 2,258  | 327                                       | 15.0                      | 970          | 85                                        | 8.8                       |
| 12月      | 2,338  | 352                                       | 15.0                      | 1,456        | 133                                       | 9.1                       |
| 2012年1月  | 2,843  | 341                                       | 12.0                      | 1,665        | 123                                       | 7.4                       |
| 2月       | 2,949  | 244                                       | 8.3                       | 1,907        | 113                                       | 5.9                       |
| 全員更衣前の小計 | 11,026 | 1,340                                     | 12.1                      | 6,310        | 487                                       | 7.7                       |
| 2012年3月  | 3,572  | 113                                       | 3.2                       | 1,821        | 9                                         | 0.5                       |
| 4月       | 3,043  | 44                                        | 1.4                       | 1,162        | 3                                         | 0.3                       |
| 5月       | 1,056  | 13                                        | 1.2                       | 321          | 0                                         | 0.0                       |
| 6月       | 1,776  | 13                                        | 0.7                       | 1,079        | 0                                         | 0.0                       |
| 7月       | 2,325  | 6                                         | 0.3                       | 1,236        | 0                                         | 0.0                       |
| 8月       | 1,979  | 10                                        | 0.5                       | 1,223        | 0                                         | 0.0                       |
| 9月       | 2,416  | 1                                         | 0.0                       | 1,804        | 0                                         | 0.0                       |
| 10月      | 3,237  | 1                                         | 0.0                       | 2,736        | 0                                         | 0.0                       |
| 11月      | 2,381  | 11                                        | 0.5                       | 1,838        | 0                                         | 0.0                       |
| 全員更衣後の小計 | 21,785 | 212                                       | 1.0                       | 13,220       | 12                                        | 0.09                      |
| 合計       | 32,811 | 1,552                                     | 4.7                       | 19,530       | 499                                       | 2.6                       |

表3 ひらた中央病院でセシウム137の体内量が最も多かった4名の方々のデータ。最初の検査結果(左)と、二回目の検査結果(右)の比較。

| 年齢 | 性別 | 居住地 | 一回目    | $^{137}\text{Cs}$ | $^{137}\text{Cs}$ | 二回目     | $^{137}\text{Cs}$ | $^{137}\text{Cs}$ |
|----|----|-----|--------|-------------------|-------------------|---------|-------------------|-------------------|
|    |    |     | 測定月    | (Bq/全身)           | (Bq/kg)           | 測定月     | (Bq/全身)           | (Bq/kg)           |
| 74 | 男  | 二本松 | 2012.8 | 12,270            | 183.7             | 2012.11 | 6,177             | 91.9              |
| 70 | 男  | 川俣  | 2012.7 | 7,032             | 111.6             | 2012.11 | 2,547             | 40.6              |
| 74 | 女  | 二本松 | 2012.8 | 4,830             | 69.4              | 2012.11 | 2,139             | 30.3              |
| 66 | 女  | 川俣  | 2012.7 | 4,300             | 69.6              | 2012.11 | 1,485             | 23.9              |

たが(表3)\*4、天然のキノコやイノシシ、川魚などの食材を日常的に、未検査で摂取していたことがわかっている。これらの方々は、汚染食材の摂取を控えることで、生物学的半減期に沿った体内放射性セシウム量の減少が確認されている。

\*4 最も高い方であっても、その実効線量は、約1mSv/年程度であり、前述のチェルノブイリ事故後の係数を用いた予測値よりも低い。

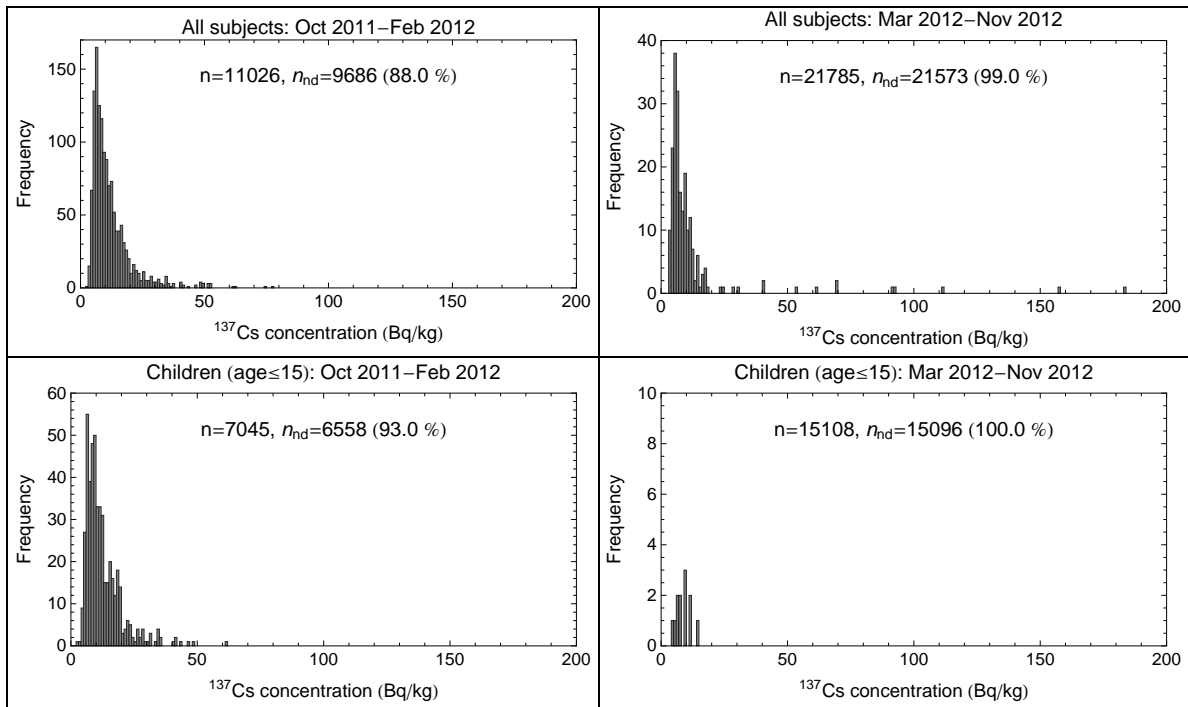


図6 セシウム 137 が検出された方の、体内セシウム 137 濃度 (Bq/kg) の分布。上の二つが全受診者、下の二つが子供。左の二つは全員更衣前の 2012 年 2 月までの結果、右の二つは全員更衣後の 2012 年 3 月以降の結果。セシウム 137 が検出されなかった方は、このグラフに表示していないことに注意。

これらの結果は、実効線量が極めて低いことを示唆しているが、これが「十分に食材に注意を払った住民の、自主的な要望による WBC 検査」という、強いサンプリングバイアスによって得られている可能性は否定できない。

そこで、次のセクションで、サンプリングバイアスのないデータではどうか、ということを示す。

### 3.2 三春町における WBC 検査 –サンプリングバイアスのない検査による結果–

ひらた中央病院では、三春町の小中学生ほぼ全員を対象に、これまで 2 回の WBC 検査を行っている。これは、検査対象に行動や食習慣の偏りのほとんどない、サンプリングバイアスフリーなデータセットといえる。

三春町（人口約 18,000 人）は福島第一原発から約 50km 西方に位置し、農家数が全世帯の約 20 % を占める。セシウム 137 の土壌沈着量は 9~160 kBq/m<sup>2</sup>（平均 80 kBq/m<sup>2</sup>）であった。三春町民の多くが、高い内部被ばくのリスクに直面した、といえる。

第 1 回目の検査は 2011 年 11 月 24 日 ~ 2012 年 2 月 29 日に 1494 人（全体数の 94.3 %）、第 2 回目の検査は 2012 年 9 月 3 日 ~ 11 月 8 日に 1383 人（同 95.0 %）に対し行われた（表 4）。

結果として、第 2 回では検査を受けた全員が検出限界を下回り、検査を受けるべき対象全体の 95 % をカバーするという、サンプリングバイアスがない状況で、内部被ばくが非常に低く抑えら

表4 三春町の小中学生のホールボディカウンター検査結果。左が一回目の検査、右が二回目の検査。

| 2011年8月25日<br>時点での在校生数 | 2011年冬の<br>測定者数 | 測定率   | <sup>137</sup> Cs<br>検出者数 | 2012年4月1日<br>時点での在校生数 | 2012年秋の<br>測定者数 | 測定率   | <sup>137</sup> Cs<br>検出者数 |
|------------------------|-----------------|-------|---------------------------|-----------------------|-----------------|-------|---------------------------|
| 1,585                  | 1,494           | 94.3% | 54                        | 1,456                 | 1,383           | 95.0% | 0                         |

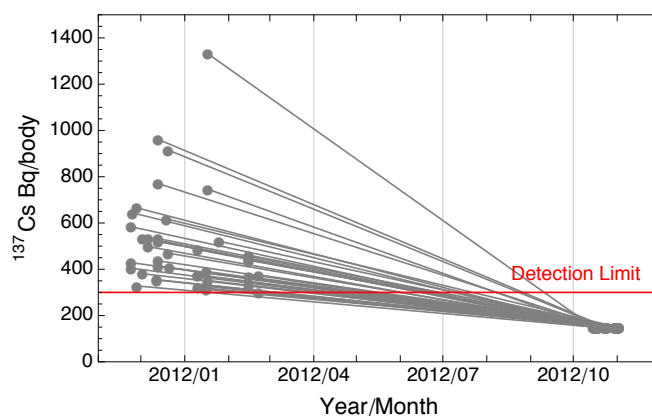


図7 三春町の小中学生のWBC検査で、2011年冬にセシウム137が検出された方のうち、2012年秋の検査も受診した40人の体内セシウム量の推移のグラフ。2回目の検査では全員が検出限界未満となった。直線は、一回目測定結果と二回目測定結果（不検出の場合は一律に150Bq/全身として表示）を結んだもので、理論的な意味は持たない。

れていることが示された。

一方、第1回では、1,494人中54人に有意な放射性セシウムの検出がみられた。うち、卒業してしまっただけを除く40人は、2回目の検査で検出限界を下回った（図7）。これは、第1回の検査後、放射性セシウムをほぼ摂取せず、体外に排泄された結果とも考えられるが、検出の一部は表面汚染を見ていた可能性もある。この要因についてこれ以上深く分析はしない。

## 4 まとめ

福島第一原発事故に伴う、多くの人口が住む土地への放射性セシウムによる土壌汚染は、住民に重大な内部・外部被ばくリスクをもたらす。もしチェルノブイリ事故後と同等の土壌汚染→内部被ばく移行があるとすれば、住民の多くが、数mSv/年の内部被ばくを受けることが予想される。

にも関わらず、ひらた中央病院にて施行されたWBC検査では、住民の内部被ばくレベルが極めて低いことが示された。事故後12~20ヶ月にかけて施行された検査では、放射性セシウムが検出されるのは受検者の1.0%のみ（小児では0.09%）であった。

三春町では、全児童生徒のうち95%のWBC計測を町が主導して行い、2012年秋の検査では、その全員が検出限界以下であることを示した。これは福島県において、初めて対象のほぼ全数を計測した、サンプリングバイアスのない内部被ばく評価である。



これらのデータは、福島県全体の状況を網羅するものではないが、県内の他の自治体や県のデータともおおむね一致する。しかしながら、この結果がすべての福島県民を内部被ばくのリスクから解放したわけではない。計測の行き届いていない年齢の高い住民の中には、ごくわずかではあるが、100 Bq/kgを超える体内セシウムを持つ方が事実おられるのである。

土壌汚染と内部被ばくのレベルに大きな違いが見られる理由を解明することは、本論文の範疇外であるが、今回の結果は、日常食からの放射性セシウム摂取が低い、とする、いくつかの陰膳検査等の結果とも一致する。

いずれにせよ、内部被ばくレベルを低く保つ為に、食品の検査・スクリーニングおよび WBC 検査は、福島県において継続的に施行されていく必要がある。

## 参考文献

抄訳では、参考文献は省略させていただきます。