

(試算 ver. 2) 南相馬市のホールボディ検査について

2011 10 28 by ni0615

1 朝日新聞のスクープ

Asahi web 2011年10月25日5時33分

<http://www.asahi.com/national/update/1024/TKY201110240656.html>

小中学生の体内から少量のセシウム 福島・南相馬で検出

福島県南相馬市の市立総合病院は、9月下旬から検査した市内の小中学生の半数から少量の放射性セシウム137が検出されたことを明らかにした。事故直後に呼吸で取り込んだものか、事故後に飲食物を通じて取り続けたものか不明のため、病院の責任者は「定期的に調べて健康管理につなげたい」と話している。

小中学生527人を最新の内部被曝（ひばく）測定装置で調べたところ、199人から体重1キロあたり10ベクレル未満、65人から同10～20ベクレル未満、3人から同20～30ベクレル未満、1人から同30～35ベクレル未満のセシウム137を検出した。

セシウム137が半分になるまでは約30年かかるが、体からは便などとともに排出されるため、大人で100日程度、新陳代謝が高い小学校低学年生で30日程度で半分が出ていく。

続きは朝日新聞デジタルでご覧いただけます

この結果を健康影響としてどう評価するかは難しいところです。ただし、専門家でなくても試算ならできます。ちょうど、計算意欲を沸き立てる意見がWEBにでていました。

単純計算ですが、25ベクレル/kgですと体重40kgの場合は1000ベクレルになります。セシウム137で1000ベクレルはおよそ13マイクロシーベルトです

この文章の前段は良いのですが、後段は宜しくありません。BqをmSvに換算する線量係数とは、その定義に基づけば、体内残存量（全身）のBqではなく、合計摂取量（全身）のBqから換算しなくてはなりません。ですから、まず初期摂取量に遡る計算をしなければなりません。

そういう計算を試みたのですが、問題は「いつどれだけ摂取したか」が不明だということです。検査にあたった東大医科研の医師も、事故直後に一遍に吸入摂取したのか、それとも少しずつ食物から経口摂取したのか、それによって影響は違うので今後の継続検査に委ねられる。という主旨の談話を述べています。（朝日記事後半）

2 試算結果の要約

果たして検出されたのは少量なのでしょうか？

ここでは、8歳児の残留量 30Bq (ベクレル) /kg、全身では 810Bq というケースでの、「内部被ばく量が最大になる場合」と、「内部被ばく量が最少になる場合」を試算してみました。

その結果、8歳児の内部被ばく量（預託実効線量）は、半減期 30日と仮定して、最少値は、毎日同量の Cs137 を経口摂取した場合の **0.037mSv** となり、最大値は、事故発生直後に原子雲から一遍に Cs137 を吸引摂取した場合で、**3.84mSv** となりました。どのように摂取したかによって、評価に 2桁もの差が生じたのです。実際の内部被ばく量（預託実効線量）は、この両極端の間のどこかです。

参考までに、もし1歳児から 30ベクレル/kg の体内残留量が検出された場合も試算してみました。

その結果は、

毎日同量の Cs137 を経口摂取した場合は **0.050mSv** で、事故発生直後に原子雲から一遍に Cs137 を吸引摂取した場合は、なんと、**31.500 mSv=31.5Sv** という計算結果がでました。

8歳児にしても、シーベルト値にこんなに大きな幅があったのでは意味がありませんから、もう一回 30日後（半減期1回分）が過ぎた頃、測定する必要があるでしょう。

もしそこで、Cs137 の残留量が半減したとすれば、2つの可能性があります。1つは避難をして一切汚染された食物を食べなくなった最善の場合。もうひとつは、初期に一遍に吸入摂取したという最悪の場合で、被ばく線量は最大値となります。もし残留量が停滞もしくは漸増していれば、内部被ばくは、食物による毎日の摂取が原因ということになります。

いずれにしても、検出量が少ない数値だったのか大きい数値だったのかを判定することは、1回の測定ではまったくできません。

補足：

- Cs134 についても同等かやや少ない内部被ばくがあります。
- ICRP の線量係数で計算しましたが、ECRR の線量係数を用いれば、1～15歳でおおよそ1桁高い値になります。⇒<http://www16.atwiki.jp/pipopipo555jp/pages/3142.html>
- 放射エネルギーベクレルから人体影響量シーベルトに換算する「線量係数」は、残留量に掛けるのではなく摂取量に掛けるという定義になっています。「線量係数」には、年齢ごとの体重差や実効半減期の違いが折込済みです。ですから、さっさと排出するから高いシーベルト値が出ても安心だ、ということとは絶対にありません。また、現在の検出量が少ないから安心だということもありません。

以下が試算です。誤りをご指摘くだされば幸いです。

3 試算の方法

朝日記事には、「小学校低学年生で30日程度で半分が出ていく」とありますから、8歳で実効半減期30日の場合を想定して計算してみました。なお、8歳の児童の平均体重は27kgとしました。

http://www.suku-noppo.jp/data/average_weight.html

すると、

残留量 5 Bq (ベクレル) /kg は、全身では135 Bq

残留量 10 Bq (ベクレル) /kg は、全身では270 Bq

残留量 20 Bq (ベクレル) /kg は、全身では540 Bq

残留量 30 Bq (ベクレル) /kg は、全身では810 Bq

ということになります

3-1 測定日の180日前に、放射能雲から全量吸入摂取したと仮定した場合 (預託線量が最大になる場合)

初期摂取量を X Bq だとすると、

初期体内残留量は aX Bq になります。(a は体内組織定着率)

実効半減期 (物理的半減期と生物学的半減期の相乗効果) で半分に減衰します。

半減期が τ 日で、測定日が吸入摂取の T 日後だとすると、体内残留量 Y は、

$$Y = aX \times 2^{(-T/\tau)}$$

となります。

従って、体内残留量から初期摂取量を求める式は、

$$X = Y / (a \times 2^{(-T/\tau)})$$

となります。下記の数字を導入します。

Y : 全身残留量 810 Bq (残留量 30 ベクレル/kg)

a : 吸収率 90% と仮定 (安齋育郎「食卓の放射能汚染」 p 75)

T : 接種から 180 日後

τ : 実効半減期は子どもで 30 日 (ただし、その 1/2~2 倍までの個人差あり)

すると、

$$X = 810 / (0.9 \times 2^{(-180/30)}) = 57,600 \text{ Bq}$$

となります。

<半減期6回分で、1/64となることから簡単に導かれます>

これに、幼児の預託等実効線量係数をかけてシーベルト値を求めます。

緩慢吸引の線量係数(ICRPによる)は、

5歳で 7.0×10^{-05} mSv/Bq 10歳で 4.8×10^{-05} mSv/Bq

ですから、8歳では 5.7×10^{-05} mSv/Bq ぐらいでしょう。

すると内部被ばく量(預託実効線量)の全体は

$57,600 \text{ Bq} \times 5.7 \times 10^{-05} \text{ mSv/Bq} = 3.28 \text{ mSv}$

ということになります。

Cs137だけで3.28 mSvの被ばくとは決して小さな数字ではありません。

3-2 180日間毎日同じ量、食物から経口摂取したとすれば (預託線量が最低になる場合)

0日目の摂取量 $x \text{ Bq}$

その180日後の残留量 $\dots ax \times 2^{(-180/30)}$

1日目の摂取量 $x \text{ Bq}$

その179日後の残留量 $\dots ax \times 2^{(-179/30)}$

2日目の摂取量 $x \text{ Bq}$

その178日後の残留量 $\dots ax \times 2^{(-178/30)}$

.....

179日目の摂取量 $x \text{ Bq}$

その1日後の残留量 $\dots ax \times 2^{(-1/30)}$

・180日間の摂取量合計 X は、 $180x \text{ Bq}$

・180日目(測定日)の、体内残留量 Y は

$$Y = ax \times 2^{(-1/30)} + (ax \times 2^{(-2/30)}) + \dots + (ax \times 2^{(-180/30)})$$

$$= ax \times \int 2^{(-t/30)} dt \quad \dots \quad t = 180 \rightarrow 0$$

$$\int 2^{(-t/30)} dt = - (30/\ln 2) 2^{(-t/30)} \text{ ですから}$$

$$Y = ax \left\{ \left[- (30/\ln 2) 2^{(-180/30)} \right] - \left[- (30/\ln 2) 2^{(-0/30)} \right] \right\}$$

$$= ax \left\{ \left[(30/\ln 2) 2^{(-0/30)} \right] - \left[(30/\ln 2) 2^{(-180/30)} \right] \right\}$$

$$= 0.9x \times (30/\ln 2) \times \left\{ 2^{(-0/30)} - 2^{(-180/30)} \right\}$$

$$= 0.9x \times 43.28 \times (1 - 0.0156)$$

$$= 0.9x \times 42.60$$

測定結果から、

$$0.9x \times 42.6 = 810 \text{ Bq}$$

なので、

180 日間の摂取量合計は、

$$X = 180x = 180 \times (810 / (0.9 \times 42.6)) = 3,802 \text{ Bq}$$

ということになります。

これに、Bq から mSv に変換する線量係数を掛けます。

経口摂取の線量係数(ICRP による)は、

$$5 \text{ 歳で } 9.6 \times 10^{-6} \text{ mSv/Bq} \quad 10 \text{ 歳で } 1.0 \times 10^{-5} \text{ mSv/Bq}$$

ですから、8 歳では $9.8 \times 10^{-6} \text{ mSv/Bq}$ ぐらいでしょう。

すると内部被曝量(預託実効線量)は、

$$3.8 \times 9.8 \times 10^{-6} = 0.037 \text{ mSv}$$

ということになります。これは、半年間毎日、同量を飲食物から摂取した場合です。

(※註1)

ところで摂取量と残留量の比は、おおよそ、

$$\begin{aligned} (\text{残留量}) / (\text{摂取量}) &= (\text{吸収率}) \times (30/\ln 2) \times (1 - 2^{-180/30}) / 180 \\ &= 810 / 3,802 = 0.213 = 21\% \text{ です。} \end{aligned}$$

(※註2)

$$Y = ax \left\{ (\tau / \ln 2) \times (1 - 2^{-(T/\tau)}) \right\}$$

という式から分かる通り、

定量摂取を続けていると、

体内残留量にはそれ以上増えない極大値があつて、

$$Y = ax \times (\tau / \ln 2) \cdots x \text{ は 1 日の摂取量}$$

であることが分かります。摂取量と排泄量が釣り合うところです。

3-3 現実には最低予想と最大予想の間

以上の結果、8 歳で、残留量 30 ベクレル/kg の場合、

Cs137 の内部被ばく量(預託実効線量)は、

0.037mSv~3.84mSv の間ということになります。

3-4、(参考計算) 実効半減期が9日、1歳児の場合

実際に測定をうけた子ども達は小中学生だったということですが、もし1歳児だったらどうだったかも試算してみました。

平均体重：9kg、残留量 30 ベクレル/kg なら、全身で 270 ベクレルです。

(1) 残留量がすべて初期の吸入によるものだとすると、初期吸入摂取量は、

$$X = Y / (a \times 2^{(-T/\tau)})$$

となります。下記の数字を導入します。

Y : 270Bq

a : 吸収率 90%と仮定 (安齋育郎「食卓の放射能汚染」 p 75)

T : 接種から 180 日後

τ : 実効半減期は乳児で 9 日 (ただし、その 1/2~2 倍までの個人差あり) と仮定すると

$$X = 270 / (0.9 \times 2^{(-180/9)}) = 314,572,800 \text{ Bq}$$

となります。

これに、1歳児の預託等実効線量係数 (緩慢吸入)

$$1.0 \times 10^{-04} \text{ mSv/Bq}$$

をかけると、なんと、内部被ばく量は、致死量をはるかに超え、

$$314,572,800 \times 1.0 \times 10^{-04} = 31,457 \text{ mSv} = 31.5 \text{ Sv}$$

となります。

仮に体重の 1kg あたりの残留量が、1/10 の 3 ベクレル/kg であったとしても、内部被ばく量は 3.15 Sv となり、ICRP が指標としている半致死線量を超えています。

(2) 残留量がすべて毎日同量の飲食物からの摂取によるものだとすると

$$\int 2^{(-t/9)} dt = - (9/\ln 2) 2^{(-t/9)} + C$$

ですから

180 日前摂取から 0 日摂取からまでの積算残留量は、

$$Y = ax \left\{ \left[(9/\ln 2) 2^{(-0/9)} \right] - \left[(9/\ln 2) 2^{(-180/9)} \right] \right\}$$

$$= 0.9x \times (9/\ln 2) (1 - 2^{(-180/9)})$$

Y は 270Bq、すると、180 日間の摂取量は、

$$180x = 180 \times 270 / (0.9 \times (9/\ln 2) (1 - 2^{(-20)})) \\ = 4,159 \text{ Bq}$$

これに、1歳児の預託等実効線量係数（経口摂取）

$1.2 \times 10^{-5} \text{ mSv/Bq}$ を掛けると、

$$4,159 \text{ Bq} \times 1.2 \times 10^{-5} \text{ mSv/Bq} = 0.0499 \text{ mSv/Bq}$$

1歳児のCs137の内部被ばく量（預託実効線量）は、

$0.050 \text{ mSv} \sim 31.500 \text{ mSv} (=31.5 \text{ Sv})$ の間ということになります。

摂取量と残留量の比は、

$$270 / 4,159 = 0.0649 = 6.5\%$$

です
