

福島現地の放射能調査と放射性セシウムの
内部蓄積量の推定

— 2コンパートメント代謝モデルによる食物と尿中のセシウム濃度に基づいて—

唐沢 治

帝京平成大学紀要
第25巻

2014年3月

池袋キャンパス

福島現地の放射能調査と放射性セシウムの内部蓄積量の推定 — 2コンパートメント代謝モデルによる食物と尿中のセシウム濃度に基づいて —

唐沢 治

帝京平成大学 ヒューマンケア学部 鍼灸学科

On the Current Radiation Dose Rate of Tamura-City, Fukushima, and an Estimation of Internal Accumulation of ^{137}Cs from Daily Foods Intake and Density in Urine

KARASAWA Osamu

Department of Acupuncture and Moxibustation, Faculty of Health Care, Teikyo Heisei University

Abstract

We have measured the radiation dose rate of β -ray and γ -ray in Fukushima, especially Tamura City area, and estimated the internal accumulation of ^{137}Cs from its density in daily foods and urine of those who lives in Fukushima and Tokyo area. We used 2-compartments model of the metabolism of ^{137}Cs with the parameters presented by ICRP and IAEA. We have got the following results. 1) The γ -ray level of Tamura City is 1.5 times higher than last year, i.e. averaged around 3.5-5.4 $\mu\text{ Sv/h}$, and β -ray level is 775E-09 Ci/Kg and over and 191par/cm² · min to 270par/cm² · min at a point of Katsurao-mura about 10km far from the Futabamachi. The existence of β -ray suggests that radioactive Strontium and Tritium as well as ^{137}Cs are spread over around the area. 2) According to various investigations on the amount of ^{137}Cs intake through daily food, we have calculated the internal accumulation of it. The amount of ^{137}Cs intake in Fukushima is estimated 10-220Bq/day in 2011, then the internal accumulation is 18.6-408.8Bq/kg and the accumulated effective dose is to be 0.088-1.94mSv in three years. Recently, in Fukushima area ^{137}Cs intake is estimated 4.4Bq/day, then the internal accumulation is to be 8.2Bq/kg and the accumulated dose is 0.039mSv in three years. In Tokyo area the value is supposed to be one eighth of Fukushima's. 3) The daily intake of ^{137}Cs estimated from its density in urine could be 0.2-4.6Bq/day in Fukushima, then its internal equilibrium accumulation is to be 0.68-15.6Bq/kg and the accumulated effective dose is 0.001-0.026mSv in three years. In Tokyo the estimated value is one third lower than in Fukushima. According to a study on Chernobyl by Bandazdevsky, the internal accumulation of 10Bq/kg has damaged the hearts of the victims, especially among children. The equivalent intake of ^{137}Cs through daily food will be 0.5Bq/day in babies under one year, 2-5Bq/day in children under 15 years and 8Bq/day in adults. We should keep watching the radiation contamination of daily food very strictly.

Keywords : Fukushima Nuclear Accident, ^{137}Cs in Food, ^{137}Cs in Urine, Internal Accumulation, Heart Disease, Metabolism Model, ICRP, IAEA.

1. 緒言

福島第一原発の状況は政府の終息宣言にも関わらず、汚染水処理の問題や、海洋への漏れなど、問題が次々に噴出している。現地では作業員が被爆と疲労により、事態に対応する能力を喪失しつつあるとの報道もある。われわれは今年の紀要において、2011年と2012年の福島現地の状況を調査し、放射能による発ガン率の上昇をトンデル・モデルに従って推定した¹⁾。また関東在住者5名の内部被爆程度を評価するために Whole Body Counter (WBC) により、その時点の内部放射性物質質量からの預託実効線量を推定した。預託実効線量とは、その時点における体内放射性物質から受ける今後50年間にわたる被爆線量を意味する。すなわちこれはあるポイントにおける内部蓄積量の影響を見るだけであり、現在の日本のように、今後食物・水・呼吸から放射性物質を継続摂取する状況においては十分なる評価法とは言えない。すなわち具体的に毎日どの程度の放射性物質を何年間摂取し続ければ、どの程度の内部蓄積が行われるか推定し、それに基づく被爆程度を評価する必要がある。

そこで今年の本学ヒューマンケア学部は理学部4年の卒業研究においては、第一に福島現地の空中放射線量率の状況を調査し、第二に食物のCs汚染度の各種調査に基づき、継続的食物摂取による内部被爆の度合いを、放射性セシウムに関して、その代謝モデルを用いて評価した。また現在の尿中Cs量から逆算して食事でのどの程度Csを摂取しているかを推定した。さらにチェルノブイリ原発事故の調査結果から、特に子供の場合、10Bq/Kg程度の蓄積があると心筋に異常をきたすリスクが指摘されているために、その限度内に収まるCsの摂取量を推定した。

2. 方法

2.1. 福島現地調査

8月7-8日に福島現地(主に田村市の国道288号線沿線地域)とそこまでの東北道と常磐道における主要なSAにおいて、ガイガー・カウンターを用い

て、空間線量率(単位は $\mu\text{Sv/h}$)を測定した。測定法は、コンクリート、土、芝生それぞれにおいて、地上0cm、50cm、100cmの各点で測定。福島現地ではこれまで γ 線と β 線を混合で測定していたが、今回はこれらを分離して計測した。使用したガイガーカウンターは次のとおりである。

- SOEKS-01M (ロシア製)
- Prypyat RKS-20.03 (ロシア製)

後者においては β 線の比放射能(単位: Ci/kg)と束密度(単位: $1/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$)を計測可能である。エネルギーのスペクトルを見ることはできないため、正確な同定は不可能ではあるが、これにより拡散している核種を一応推定することができる。

2.2. ^{137}Cs 内部蓄積量推定

昨年度は Whole Body Counter (WBC) により測定時点における体内濃度から預託実効線量を推定した。これはその時点での内部蓄積量から今後50年間にわたり被爆する線量であるが、現在の日本では継続的に摂取が行われるため、内部被爆の評価としては不十分である。そこで今回は特に食物を介した継続的摂取による内部蓄積量を推定した。放射性セシウムの体内動態については International Commission on Radiological Protection (ICRP) が、各臓器などにおける代謝経路や半減期を設定してコンパートメント・代謝モデルを提出している²⁾。通常、 ^{137}Cs の体内動態を代謝回転の速い血漿・細胞外液などに存在する分と、代謝回転の遅い脾臓・腎臓・肝臓・骨格筋組織細胞間などに存在する分に分けて推定する^{注1}。いずれも微分方程式では次のように定義される。

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\gamma x(t) + r$$

ここに r は流入量、 γ は減衰比である。半減期 T は $\gamma = \log 1/2$ で与えられる。この流入量を A (短期クリアランス寄与率)と B (長期クリアランス寄与率)(A

+ B = 1) の比率で配分し、半減期に二つの値 T_A, T_B (単位は day) を設定した二つの解の和として次のように与えられる。

$$x(t) = \frac{mR}{\log 2} \{ At_A(1 - e^{-t/T_A}) + Bt_B(1 - e^{-t/T_B}) \}$$

where $r = mR$

ここで R は食品 1 Kg 当たりの含有量 (Bq/kg)、m は食事の摂取量 (kg) である。さらにこれを体重で割れば 1 kg 当たりの蓄積量となる。実際の計算は Excel において、微分方程式を数値解法することによる^{注2}。オリジナル・シートに修正と改良を加えている。

2.2.1. ICRP モデル

ここで ICRP モデルにおけるパラメーターの値は表 1 のとおりである²⁾。

2.2.2. IAEA モデル

International Atomic Energy Agency (IAEA) のモデルにおけるパラメーターは表 2 のとおりである³⁾。

二つのモデルにおいて年齢ごとの各クリアランス寄与率 A と B、および短期と長期の半減期 T_A, T_B が微妙に異なるが、一般的傾向として IAEA のモデルの方が ICRP のそれよりも厳しい評価を与えるとされている。

よって、本報告においては以下の計算はすべて IAEA モデルによるものとする。

2.3. 食品中 Cs 実測データによる内部蓄積量推定

2011年以降、厚生労働省、農林水産省、各行政団体、大学、新聞社や民間団体などで食品中の放射性物質の調査が行われている⁴⁻⁸⁾。これらの調査結果を見ると、たとえば表 3 の毎日新聞社の調査 (2011年11月)⁵⁾ と朝日新聞・京大の調査 (2011年12月)⁶⁾ では、ほぼ同時期にもかかわらず、後者では値が一桁低い結果が得られている。これは測定精度と調査範囲の相違、さらに測定条件の違いによると思われる。さらに関東と福島では 8 倍程度の差が報告されている⁹⁾。そこでこれからの計算ではこれらの幅の存在を認めつつ、リスク・マージンを考慮して毎日新聞社のデータを参照しつつ¹³⁷Cs 蓄積量を推定したい。

2.4. 仮想データによるシミュレーション

毎日新聞の2011年11月調査によると、福島では当初、最大で220Bq/dayの摂取が見られている。しかしこの量を継続して摂取することは考えられず、現在では新しい規制値の設定や監視により、当初の数分の一の汚染度と見られている。そこで先のモデルへの入力として、正規乱数を時系列的に N (100,25²)、N (50,10²)、N (5,2²) と、半年間、1年間与えた場合の体内蓄積量を推定した。これにより食事に注意する

表 1. ICRP モデルのパラメーター

	3mon	1y	5y	10y	15y	adult
半減期(短期)	1	1	9.1	5.8	2.2	2
半減期(長期)	16	13	30	5.0	93	11.0
短期クリアランスの寄与率	0	0	0.45	0.3	0.13	0.1
長期クリアランスの寄与率	1	1	0.55	0.7	0.87	0.9
尿量	0.14	0.22	0.46	0.84	1.44	1.63
線量係数[μ Sv/Bq・日]	0.00089	0.000623	0.000321	0.000187	0.000111	9.07E-05
一日での摂取量	0	0	0	0	0	0
体重[kg]	6	9	19	35	60	68

表 2. IAEA モデルのパラメーター

	Children					Adults	
	3mon	1y	5y	10y	15-16y	men	women
半減期(短期)	3	3	3	3	3	3	3
半減期(長期)	61	61	61	61	61	90	65
短期クリアランスの寄与率	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.15	0.15
長期クリアランスの寄与率	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.85	0.85
尿量	0.144	0.216	0.456	0.84	1.44	1.632	1.32
線量係数[μ Sv/Bq・日]	0.00089	0.000623	0.000321	0.000187	0.000111	9.07E-05	9.07E-05
一日での摂取量	0	0	0	0	0	0	0
体重[kg]	6	9	19	35	60	68	55

表3. 毎日新聞社2011年11月調査結果

地名	測定した放射性物質	米 (Bq/kg)	水 (Bq/kg)	おかず (Bq/kg)	1人1日当たりの米、水、おかずの合計最大推定摂取量 (Bq)	1人1日当たりのCs全体の推定摂取 (Bq)
宮城県白石市	Cs-134	(6.3)	(6.2)	4.2	14.9	29~33
	Cs-137	(4.3)	(6.1)	10.0	17.9	
福島県伊達市	Cs-134	113.5	(4.8)	54.7	99.3	140~220
	Cs-137	135.7	(5.6)	69.1	121	
群馬県高崎市	Cs-134	(4.5)	(4.4)	12.4	32.4	30~81
	Cs-137	(4.9)	(4.7)	20.3	48.5	
福島市	Cs-134	(3.9)	(7.5)	(5.1)	16.8	34
	Cs-137	(4.3)	(7.3)	(5.2)	16.7	
東京都豊島区	Cs-134	(4.5)	(3.3)	(5.7)	14.7	31
	Cs-137	(4.9)	(3.9)	(5.9)	16.1	
千葉市	Cs-134	(5.6)	(5.4)	(6.8)	15.9	32
	Cs-137	(6.6)	(5.0)	(7.2)	15.9	
福岡市	Cs-134	(5.8)	(5.1)	(4.9)	13.3	27
	Cs-137	(5.4)	(5.1)	(5.5)	13.6	

表4. 東北道と常磐道の各SAにおける空間線量率

東北道測定結果					常磐道測定結果				
		0cm	50cm	1m			0cm	50cm	1m
糠田SA (埼玉)	コンクリート	0.17	0.14	0.12	千代田PA (茨城)	コンクリート	0.22	0.2	0.15
	土	0.21	0.19	0.16		土	0.17	0.18	0.21
	芝	0.15	0.15	0.13		芝	0.15	0.2	0.22
佐野SA (栃木)	コンクリート	0.16	0.17	0.18	中郷PA (茨城)	コンクリート	0.2	0.23	0.2
	土	0.16	0.18	0.17		土	0.26	0.23	0.32
	芝	0.16	0.16	0.16		芝	0.12	0.2	0.16
大谷SA (栃木)	コンクリート	0.12	0.13	0.12	湯ノ岳PA (福島)	コンクリート	0.11	0.12	0.23
	土	0.14	0.14	0.14		土	0.23	0.2	0.18
	芝	0.12	0.14	0.13		芝	0.35	0.25	0.2
矢板北SA (栃木)	コンクリート	0.16	0.13	0.12	四倉PA (福島)	コンクリート	0.13	0.18	0.16
	土	0.14	0.13	0.15		土	0.32	0.22	0.23
	芝	0.16	0.17	0.17		芝	0.22	0.25	0.24
那須高原SA (栃木)	コンクリート	0.18	0.22	0.21	差塩PA (福島)	コンクリート	0.15	0.22	0.24
	土	0.2	0.19	0.21		土	0.28	0.33	0.29
	芝	0.19	0.2	0.21		芝	0.39	0.24	0.2
巖石PA (福島)	コンクリート	0.23	0.25	0.22	阿武隈高原PA (福島)	コンクリート	0.1	0.2	0.18
	土	0.22	0.21	0.19		土	0.27	0.21	0.15
	芝	0.23	0.26	0.28		芝	0.16	0.2	0.21

ことによって、後に述べる危険蓄積量を超えないCs蓄積量のコントロールが可能であることを検証する。さらに現在の食物からの摂取量として妥当性のあるとされている5 Bq/dayを入力して、体内蓄積量の推移を年齢毎、性別毎に調べてみる。これにより、現状のセシウムの蓄積量をそれぞれの属性に従って見ることができる。

2.5. 尿中Cs量による内部蓄積量の推定

大人(15歳以上)と子供(15歳未満)の尿中のCs量の調査もすでに複数なされている^{10, 11)}。本来、尿中放射性Csはゼロであるべきであるが、現在ごく普通

に尿中に観察される状況となっている。これらのデータの現在の尿中Csから、上のモデルによって、食物からのCs摂取量を逆算することが可能である。パラメーターはIAEAのものを使用する。

3. 結果

3.1. 福島現地の放射線量と現地の様子

表4-5に東北道、常磐道、福島現地(主に田村市と近郊)におけるわれわれの空中放射線量率測定結果を示す。

福島市田村市国道288号線沿線では、昨年まで入れ

表5. 福島県田村市国道288号沿線各点の測定値

	測定条件	距離(cm)	測定値($\mu\text{Sv/h}$)
船引三春インター出口	土	0	0.61
岩井沢(R288)	キノコ	0	0.75
	木	0	0.7
	蟬の抜け殻	0	0.7
葛尾村山中	コンクリ	0	
		50	
		100	
	土	0	
		50	
		100	
同 β 線比放射能(E-09Ci/Kg)	土	0	775over
束密度(HR/cm ² ・min)	土	0	1.91
		50	1.05

た地域がほとんど封鎖されており、同国道は袋小路状態となっているため、残念ながらすべての地点においては昨年までの比較ができない。現地では除染作業なども行われており、除染された汚染物が人家や山の中に黒い袋で山積みされている（写真1）。



写真1. 田村市 R288沿線に積み重ねられた汚染物質

人家近くには低線量の汚染物、山の中には高線量のものが置かれているが、双葉町から25キロほどの山林中の筆者の友人の別荘のすぐ脇にあった袋には「4.5 $\mu\text{Sv/h}$ 」と書かれていた。この家の付近では昨年までは空間線量率が0.16 $\mu\text{Sv/h}$ 程度だったが、今年は0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 程度に上昇していた。田村市の国道288号線沿線と、脇にそれた山の中でも、昨年までよりは1.5倍程度に上昇している傾向である。

また今回は β 線を測定したが、葛尾村の山の中では比放射能は測定器のレンジをオーバーフローして測定不可能（range： $1 \times 10E-7 \sim 2 \times 10E-5\text{Ci/kg}$ ）、束密度も最大で270par/cm²・minを示した。 β 線は¹³⁷Csの崩壊によっても放出されるが、ストロンチウムやトリ

チウムからも放出される。識別はエネルギー・スペクトルを見る必要があるために、今回は不可能であるが、汚染水において後者のふたつの放射性物質も観察されていることから考えて、これらの拡散が十分に懸念される。

3.2. 実測データによる体内蓄積量の推定

3.2.1. 毎日の摂取量と年齢・性別による推定蓄積量

まず一度限り100Bqを摂取した場合の蓄積量のグラフは図1（大人）となり、平衡蓄積量は預託実効線量と一致する。これは¹³⁷Csに対する生体の応答関数と言える。

次に日毎の放射性Csの摂取量についての調査は先述したようにいくつか存在する。これらの数値を見ると、当初2011年時点において福島では5-220Bq/kgから一桁小さい数値まで幅が広い。さらに福島と関東では8倍程度の差がある。現在広く言われている摂取量は福島圏で4.5Bq/day程度である。そこで5Bq/day摂取の場合を年齢別性別の内部蓄積量と被曝線量の推移を示すと図2となる。

3.2.2. 実測尿中放射性セシウム量からの推定蓄積量

ボランティアによる調査に基づく尿中量については次の表のとおりである。このデータは無作為抽出によるものではなく、自ら検査を行った者たちの自主的申告によるものである¹⁰⁾。各平均値と標準偏差は表6のとおりである。

傾向として福島地域も東京でも子供の値が高い。これらの濃度に至るための食事からの¹³⁷Cs摂取量を逆算して推定すると表7-8のとおりである。これから見る限りは被ばく線量も平衡蓄積量も、後述する基準か

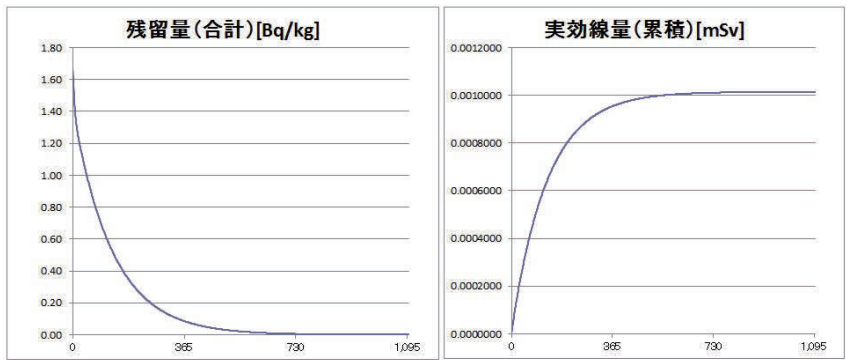


図 1. 単発 100Bq 摂取の残留量と累積実効線量 (横軸は days).

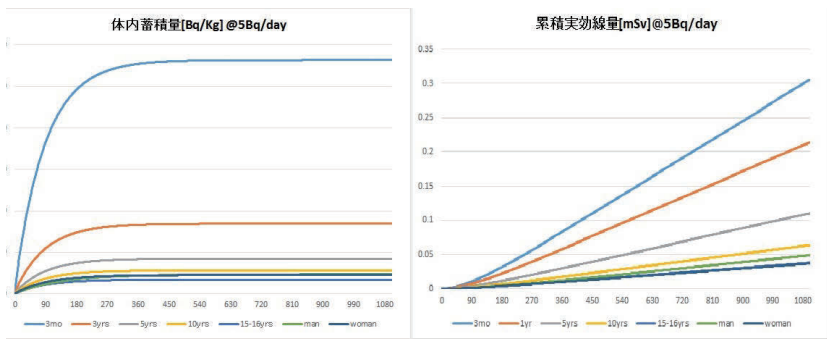


図 2. 5Bq/day 継続摂取の蓄積量と累積実効線量 (横軸は days).

表 6 東北 (福島・宮城・山形) と東京の尿中¹³⁷Cs 量 (Bq/日)

	東北		東京	
	mean±std	例数	mean±std	例数
子供(-15)	0.43±0.54	44	0.11±0.17	157
大人	0.25±0.21	13	0.07±0.16	31

表 7. 大人の尿中 Cs による摂取量の推定値と蓄積量 (左: 東北、右: 東京)

半減期(短期)	3.00	0.793700526	半減期(短期)	3.00	0.793700526
半減期(長期)	90.00	0.992327946	半減期(長期)	90.00	0.992327946
短期クリアランスの寄与率	0.15		短期クリアランスの寄与率	0.15	
長期クリアランスの寄与率	0.85		長期クリアランスの寄与率	0.85	
尿量	1.63 リットル		尿量	1.63 リットル	
線量係数	0.000091 μSv/Bq 日		線量係数	0.000091 μSv/Bq 日	
一日での摂取量	0.50 Bq		一日での摂取量	0.15 Bq	
210日目の残存量[Bq]	0.16		210日目の残存量[Bq]	0.16	
210日目の尿中濃度[Bq/l]	0.20		210日目の尿中濃度[Bq/l]	0.06	
1000日経過時の尿中濃度	0.25 Bq/l		1000日経過時の尿中濃度	0.07 Bq/l	
1000日経過時の実効線量	0.0044273 mSv		1000日経過時の実効線量	0.0013282 mSv	
体重	60.0 Kg		体重	60.0 Kg	
総残留量	55.75 Bq		総残留量	16.72 Bq	
Kg当たり残留量	0.93 Bq/kg		Kg当たり残留量	0.28 Bq/kg	

表8. 子供の尿中Csによる摂取量の推定値と蓄積量（左：東北、右：東京）

半減期(短期)	3.00	0.793700526	半減期(短期)	3.00	0.793700526
半減期(長期)	61.00	0.988701247	半減期(長期)	61.00	0.988701247
短期クリアランスの寄与率	0.25		短期クリアランスの寄与率	0.25	
長期クリアランスの寄与率	0.75		長期クリアランスの寄与率	0.75	
尿量	1.20	リットル	尿量	1.20	リットル
線量係数	0.000321	$\mu\text{Sv/Bq}\cdot\text{日}$	線量係数	0.000321	$\mu\text{Sv/Bq}\cdot\text{日}$
一日での摂取量	0.65	Bq	一日での摂取量	0.18	Bq
210日目の残存量[Bq]	40.01		210日目の残存量[Bq]	11.08	
210日目の尿中濃度[Bq/l]	0.40		210日目の尿中濃度[Bq/l]	0.11	
1000日経過時の尿中濃度	0.43	Bq/l	1000日経過時の尿中濃度	0.12	Bq/l
1000日経過時の実効線量	0.0125040	mSv	1000日経過時の実効線量	0.0035734	mSv
体重	20.0	Kg	体重	20.0	Kg
総残留量	43.93	Bq	総残留量	12.17	Bq
kg当たり残留量	2.20	Bq/kg	kg当たり残留量	0.61	Bq/kg

表9. 尿中4.6Bq/l、6歳少女の ^{137}Cs 摂取量と蓄積量の推定値

半減期(短期)	3.00	0.793700526
半減期(長期)	61.00	0.988701247
短期クリアランスの寄与率	0.25	
長期クリアランスの寄与率	0.75	
尿量	1.20	リットル
線量係数	0.000321	$\mu\text{Sv/Bq}\cdot\text{日}$
一日での摂取量	7.00	Bq
210日目の残存量[Bq]	0.16	
210日目の尿中濃度[Bq/l]	4.34	
1000日経過時の尿中濃度	4.67	Bq/l
1000日経過時の実効線量	0.138664	mSv
体重	20.0	Kg
総残留量	473.13	Bq
kg当たり残留量	23.66	Bq/kg

らすると一応安全圏にあるものと言える。

しかしながら、もっとも最近の常総生活協同組合の調査（2013年9月頃）によると、85名の子供のうち70%近い58名の尿から、1Bq/l以下の放射性セシウムが検出されている¹¹⁾。中でも4.6Bq/lの6歳の少女のケースでは、そのCs摂取量は7.0Bq/day、平衡蓄積量23.7Bq/kgと推定され（表9）、後述するように心筋に対する損傷の危険性が大いに懸念される。この少女は祖母の畑の野菜を無防備に摂取していたようであり、食事に対する意識が低い場合のケースとして紹介しておく。

3.3. 仮想データによる年代毎の推定被曝度

3.3.1. モデル食事量による規制値摂取の場合

現在国によるより新しい規制値が設定されているが、これは最大摂取量の目安と考えられる。そこで摂取カロリー毎の食事摂取パターン¹²⁾でシミュレーション

することにより、体内にCsの最大蓄積量を推定できる。結果は表10と図3に示す。これで分かる通り、規制値限界まで摂取した場合乳児においては平衡蓄積量がきわめて高く、危険であることが分かる。

現実的には厚労省などの調査結果を見ると30万種以上の食品について、規制値を超えるものは1%未満であり、ほとんどのものが25Bq/kgかNDの結果となっている¹³⁾。よって現状での最悪でもこの結果の1/4程度未満と見てよいが、規制値の摂取は危険であることが分かる。

3.3.2. 食事を管理した場合

早野ら¹⁴⁾によると原発事故後7-20か月後にWBC検査を受けた約1万人のほとんどは検出限界（300Bq/全身）以下であったとしているが、まれに100Bq/kgを超える例があることを指摘している。そこで図4はこのような食事摂取パターンを想定したもので、当初

表10. 年齢別食事構成と規制値による摂取 Cs 量 (単位は kg と Bq)

飲食物種類	成人	幼児	乳児	規制値
飲料水	1.65	1	0.71	10
牛乳・乳製品	0.2	0.5	0.6	50
野菜類	0.6	0.25	0.105	100
穀類	0.3	0.11	0.055	100
肉・卵・魚介類・その他	0.5	0.105	0.05	100
セシウム摂取量	166.5	81.5	58.1	

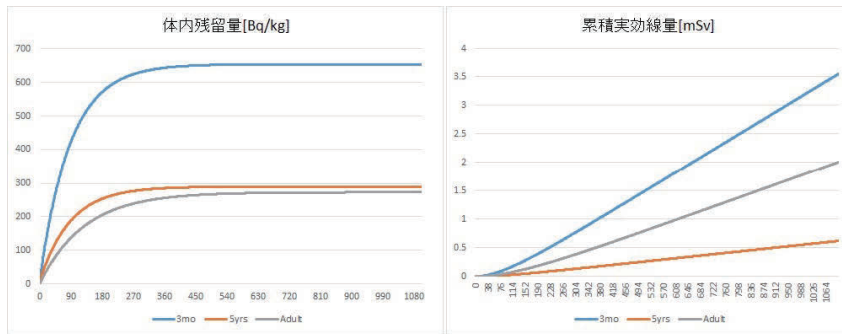


図3. 年齢別規制値食事継続摂取による蓄積量と累積実効線量 (横軸は days).

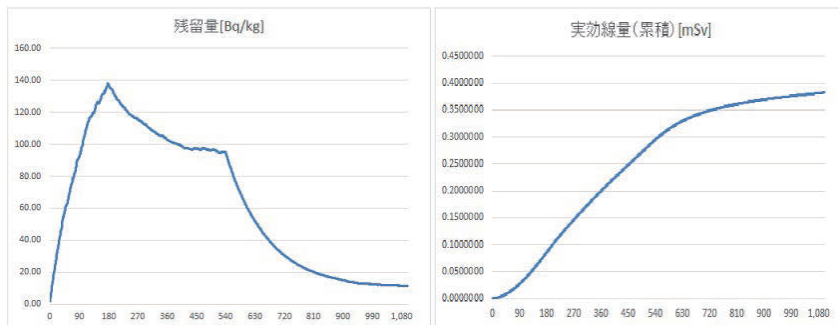


図4. 食事中 Cs 量のコントロールによる蓄積量と累積実効線量 (横軸は days).

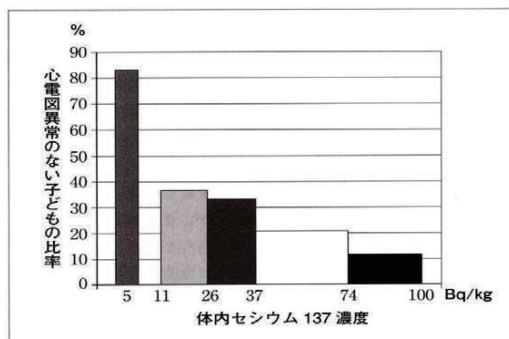


図5. 体内 Cs 濃度と心電図正常児数との相関.

半年間は平均100Bq/Kgを、その後、1年ごとに50、5と減らした場合である。入力数値は正規乱数を用いている。

このグラフから分かるとおり、当初は140Bq/kg程度のかなり高い蓄積量が見られるが、食事を管理することにより、後に述べる危険水準である10Bq/Kg前後に抑えられことがわかる。

4. 考察

4.1. 福島状況

福島では昨年まで入れた地域が封鎖されており、国道288号線は実質袋小路になっていた。よって今年はその地点でのデータを取ることができないため、比較が不可能であるが、少なくとも測定できた地域（双葉町から30-10km圏内）での空間線量率は、昨年までの1.5倍程度に上昇しており、事態は深刻になっていると思われる。β線もかなり高い数値を観察したが、セシウムの他にストロンチウム、トリチウムの拡散が心配される場所である。実際、汚染水処理は手詰まりになりつつあるが、高濃度汚染水の処理が難題となりつつある。β線の透過性はさほど強いものではないが、目や皮膚に直接浴びる場合は危険性が高い。

また除染作業による汚染物の袋が山のように各所に積まれているが、これも実質的には処理不可能である。臨時処理場を建設する予定はあるようだが、地域が受け入れを認めないために、保留状態となっている。京大の原子研の小出助教が指摘するとおり、原発はトイレのないマンションのようなものである、とはまことに至言である²³⁾。

4.2. チェルノブイリの知見からみた問題点

チェルノブイリ原発事故後の調査は各種行われているが、昨年の報告で紹介したトンデル博士の知見による発ガン率の上昇度合いは、ICRPやIAEAなどの評価よりも厳しい予測値を出している^{1, 24)}。また病理医として多数の犠牲者の剖検を行ったバンダジェフスキー博士の報告¹⁵⁾によると、特に子供の場合、体内Cs量が10Bq/kg以上では心臓の伝達系に異常を生じ、心電図の異常所見を見る例が高くなるとされている（図5）。

この意味では、被爆実効線量は規制値内あるいは安全圏にあると見られても、むしろ体重1kg当りの体内蓄積量を目安にして考えるべきであると思われる。これは3.2.1.の年齢別蓄積量からも、3.2.2.の尿中¹³⁷Cs量からの摂取¹³⁷Csと平衡蓄積量の推定結果からも、少量の摂取でも子供たちの方がより深刻であること分かる。チェルノブイリの観察から10Bq/kgが安全の限界と言え、子供の場合摂取量5Bq/dayではすでに危険であることが分かる。特に規制値限界量の摂取は図3にあるとおりに相当に危険と言え。

4.3. 安全性の検討と限界摂取量

100mSv/yr以上の被爆の影響については広島・長崎でのデータがあり、ほぼ線形に危険性が增大することが認められているが¹⁶⁾、低線量被爆の影響についてはいくつかの説があり、見解の一致を見ていない。最近では低線量領域でも線形に危険性が高まることを認める方向であり¹⁷⁾、特に「高線量×短期間」の被爆よりも、「低線量×長期間」の被爆のほうがより危険性が高いとするベトカウ効果説が目目されている^{18, 19)}。この点、本論文での推定結果でも分かるとおり、今後の日本はまさに「低線量×長期間」の被爆を人間の寿命のスケールからするとほぼ永遠に受けることになり、

表11. 体内蓄積量10Bq/kg相当のCs摂取量

	Children					Adults	
	3mon	1y	5y	10y	15-16y	men	women
半減期(短期)	3	3	3	3	3	3	3
半減期(長期)	61	61	61	61	61	90	65
短期クリアランスの寄与率	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.15	0.15
長期クリアランスの寄与率	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.85	0.85
尿量	0.07	0.24	0.48	0.72	1.20	1.56	1.44
線量係数[μSv/Bq・日]	0.000890	0.000623	0.000321	0.000187	0.000111	0.000091	0.000091
一日での摂取量	0.5	2	4	6	8	8	8
体重[kg]	3	10	20	30	50	65	60
蓄積平衡量[Bq]	33	133	267	400	534	888	643
Kg当たり	11	13	13	13	11	14	11

ペトカウ効果によるリスクを十分に考える必要があると思われる。あるいは逆に、まことに皮肉なことではあるが、ペトカウ効果説を実証するエビデンスが福島において与えられることにもなるであろう。

放射性CsはKと同じ体内動態を有するために、筋肉系に蓄積することが指摘されている。特に心筋と膀胱が懸念されるところである²⁰⁾。特に子供の場合、バンドジェフスキー博士によるチェルノブイリの調査所見に基づいて、体内濃度を10Bq/Kg以下に抑える必要があると考えられる¹⁵⁾。そこで年齢毎にこの蓄積量を得る摂取量を逆算すると表11のとおりである。乳児では0.5Bq/day、子供では2-5Bq/day、大人でも8Bq/day程度に抑える必要がある。これが実際の食事においてどの程度のものとなるのか十分検討する必要がある。

5. 結 語

福島の現状は、政府の終息宣言にもかかわらず、決して収束していない。数百トンにのぼる燃料はおそらく格納容器から漏れ出て（メルトスルーからメルトアウト）、地中にまで及んでいると推測されている。このために最近特に地下水汚染が深刻になっていると考えられる。地下水はいずれ海洋に流れ出るか、あるいは地下水脈により日本全体の地下水を汚染する危険性も指摘されている。実際に地下水脈が汚染された場合、農作物や水産物の汚染はおそらく不可避と考えられ、食物の放射能汚染は今後とも継続するリスクが高いとみられる。かくのごとく、今後わが国は放射性物質汚染の事実を避けて通ることはできないのであり、食物管理は長期的に必要となる。消費者も品質評価の大きな基準として、これをとらえる必要がある。特に子供の健康を守ることは最重要課題となる。

また、ICRPで定義された線量換算係数を見る限り放射性物質の体内摂取は経口からの分よりも、呼吸からの分の方が3-10倍程度も危険である²¹⁾。現在諸機関において大気中のCs濃度を観測しているが、呼吸からの摂取と体内蓄積の評価も必要となる。この場合、改めて呼吸を介しての体内Cs代謝モデル、あるいは他の放射性物質代謝モデルの検討が必要となる。今後に残される重要な検討課題である。しかし大気が汚染された場合は呼吸からの摂取を防ぐことはきわめて困難であり、個人で対応し得るものではなく、根本的には原因となる放射性物質の放出と拡散をしないことが最

も重要となる事は明らかである。

最後に、難病情報センターの統計（一部抜粋表12）によると²²⁾、平成23年度には特定疾患医療受給者表交付件数が激増している。これが原発事故と関係があるのかどうかは、もちろん統計的な検定などが必要ではあるが、本件について言えば、統計的手法のようなretrospectiveな方法では対策が間に合わないことを指摘しておきたい。むしろ少しでも懸念があれば「因果関係あり」として、制御工学で言うforward制御的手法を積極的に採用すべきであると考え。「因果関係無し」とする帰無仮説に対して、「有り」と判定して対策を講じる場合の第一種の過誤は許されるが、「無し」と判定する第二種の過誤の場合は現実の問題に対応し得なかったための損害リスクが存在するからである。この意味で研究者・政治・行政・現場などのパラダイムの変更が求められると言える。

注)

注1) 厳密には¹³⁴Csと¹³⁷Csを測定する必要があるが、前者は半減期が2年と短いため、放射性Cs量すべてを後者とみなして計算する。

注2) オリジナルのExcelシートは<http://togetter.com/li/205066>で公開されている。

付 記

本報告は2013年度本学ヒューマンケア学部はり灸学科4年阿利志津花、小川友里恵、佐藤潤一、藤木正太、吉松幹人の諸君による卒業研究に基づく調査と研究結果をまとめたものである。

文 献

- 1) 唐沢治 (2013) : 福島第一原発由来放射線による長期的発ガン率と関東圏における5例の内部被曝預託実効線量の推定、帝京平成大学紀要、第24巻第1号、pp.237-246
- 2) 栗原治 (2011) : 国際放射線防護委員会 (ICRP) の放射性核種の体内摂取に伴う線量評価モデルについて、薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会資料、平成23年5月13日
- 3) IAEA(1998) : IAEA TECDOC1009 Dosimetric and Medical Aspects of the Radiological Accident in Goiania in 1987, IAEA

表12. 特定疾患医療受給者表交付件数

疾患名	平成22年 度増加数	件数	平成23年 度増加数	件数
パーチェット病	-403	17,290	1,161	18,451
多発性硬皮症	265	14,492	1,648	16,140
重症筋無力症	189	17,314	1,695	19,009
全身性エリテマトーデス (SLE)	-999	56,254	3,299	59,553
スモン	-128	1,628	-20	1,608
再生不良性貧血	-62	9,417	731	10,148
サルコイドーシス	118	20,268	1,893	22,161
筋萎縮性側索硬化症 (ALS)	-86	8,406	586	8,992
強皮症、皮膚筋炎及び多発性 筋炎	585	42,233	3,600	45,833
特異性血小板減少性紫斑病	-633	22,220	1,571	23,791
結節性癩癧周囲炎	415	7,600	1,328	8,928
潰瘍性大腸炎	4,549	117,855	15,688	133,543
大腸炎症候群	-134	5,438	391	5,829
ビュルガー病	-444	7,147	135	7,282
天疱瘡	91	4,648	437	5,085
奇麗小脳萎縮症	57	23,290	1,757	25,047
クローン病	761	31,652	3,069	34,721
難治性の肝炎のうち劇症肝炎	-56	210	39	249
毒性閉塞性リウマチ	-158	5,891	411	6,302
パーキンソン病関連疾患	2,237	106,637	9,899	116,536
アミロイドーシス	86	1,505	231	1,736
後縦帯骨化症	356	29,647	2,396	32,043
ハンテントン病	2	798	48	846
モヤモヤ病 (ウイルス動態輪 閉塞症)	107	12,992	1,473	14,465
ウェグナー肉芽腫症	64	1,671	163	1,834
特異性拡張型 (うっ血型) 心 筋症	-11	22,123	2,263	24,386
多系統萎縮症	-23	11,096	701	11,797
表皮水疱症 (接合部型及び掌 跖跗宮型)	-14	315	23	338
癌性乾癬	44	1,679	144	1,823
広範骨柱管狭窄症	232	4,218	523	4,741
原発性胆汁性肝硬変	242	17,298	1,756	19,054
重症急性膵炎	-53	1,132	455	1,587
特異性大脳骨頭壊死症	160	13,476	1,204	14,680
混合性結合組織病	12	9,028	911	9,939
原発性免疫不全症候群	-15	1,147	139	1,286
特異性間質性肺炎	215	5,896	1,169	7,065
網膜色素変性症	-656	25,296	1,638	26,934
プリオン病	68	492	14	506
肺動脈性肺高血圧症	288	1,560	409	1,969
神経線維腫症	122	3,112	302	3,414
亜急性硬皮性全脳炎	-8	87	4	91
バッド・キアリ (Budd- Chiari) 症候群	-16	232	29	261
慢性血栓性肺高血圧症	183	1,288	302	1,590
ライソゾーム病 (ファブリー (Fabry) 病含む)	30	760	108	868

- 4) 災害対策本部原子力班 (2012): 福島県における日常食の放射線モニタリング調査結果の概要について
- 5) 毎日新聞 (2011): 食事丸ごとセシウム測定 - 全国11地点における調査、2011年12月29日号
- 6) 朝日新聞・京都大学環境衛生研究室 (2012): 福島の食事-1日4ベクレル・セシウム摂取量、2012年1月19日号
- 7) 横浜市 (2011): 東京電力福島第一原子力発電所事故に係る食品中放射性物質の検査結果、横浜市特別講演会「知ろう 学ぼう 放射線」資料
- 8) 厚生労働省 (2012): 食品からの放射性物質の摂取量調査結果 (平成24年9~10月調査分)、厚生労働省
- 9) 朝日新聞 (2011): 食事からセシウム、福島は東京の8倍 厚生労働省調査、朝日新聞 DIGITAL、2011年12月22日
- 10) 尿検査から現状の実態 - けいとうさぎ、<http://www.keitousagi.com/> (2013年9月5日)
- 11) 週刊朝日 (2013): セシウム検査で判明した子供の体内被曝の深刻度、週刊朝日2013年10月4日号
- 12) 原子力発電所等周辺防災対策専門部会環境ワーキンググループ (1998): 飲食物摂取制限に関する指標について、原子力安全委員会
- 13) 食品中の放射性物質の検査結果検索テスト PC 版、<http://www.support-nippon.com/yasaikensa/>、(2013.10.20)
- 14) 早野龍五・坪倉正治・宮崎真・佐藤秀夫・佐藤勝美・正木真・佐久間裕 (2013): 福島県内における大規模な内部被曝調査の結果 - 福島第一原発事故7-20カ月後の成人および子供の放射性セシウムの体内量、日本学士院紀要 Proceedings of Japan the Academy Series B89, pp.157-163
- 15) Yu.I.Bandazhevsky(2000): Medical and Biological Effects of Radiocesium Incorporated Into the Human Organism, The Institute of Radiation Safety "BELRAD", Minsk
- 16) 今中哲二 (2012): 『低線量放射線被曝 - チェルノブイリから福島へ』、pp.89-92, 岩波書店
- 17) *ibid*, pp.109-112
- 18) Petkau, A.(1972): Effect of $^{22}\text{Na}^+$ on a Phospholipid Membrane, Health Physics, March, Vol.22, Issue3
- 19) ラルフ・グロイブ、アーネスト・スターングラス (2011): 『人間と環境への低レベル放射能の脅威 - 福島原発放射能汚染を考えるために』、肥田舜太郎・竹野内真理訳、あけび書房
- 20) 児玉龍彦 (2011): 『内部被曝の真実』、幻冬舎新書
- 21) ICRP (1996): 『ICRP Publ.68 作業者による放射性核種の摂取についての線量係数』、ICRP
- 22) 特定疾患医療受給者証交付件数、難病情報センター、<http://www.nanbyou.or.jp/entry/1356> (2013.10.25)
- 23) 小出裕章インタビュー録画 (2011)、"A House Without Toilets" - Mr Hiroaki Koide、2011年11月15日、<http://hiroakikoide.wordpress.com/tag/原発はトイレのないマンション/>
- 24) クリス・バズビー (2012): 『封印された「放射能」の恐怖 フクシマ事故で何人がガンになるのか』、飯塚真紀子訳、講談社