

日本保健物理学会 国民線量評価委員会の活動

日本保健物理学会

高橋史明(日本原子力研究開発機構)

稲垣昌代(近畿大学)

1

背景 (国際的な取り組み)

公衆が放射線による被ばくを受ける事象が生じた場合、国内外で被ばく線量への懸念や関心は高まった。

代表的な事象

- ・ 戦後の原水爆実験(1950年代を中心に)
- ・ 原子力発電所における事故 チェルノブイリ原発(1986年)、東電福島第一原発(2011年)



「原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)」が、1955年に核実験の環境や人間への影響を調査する目的で設置された。

(チェルノブイリ事故の健康影響は2008年報告書(2010年公表)として、福島第一原発事故に関する放射線被ばくのレベルとその影響に関する報告書は2014年3月に公表された。)

現在、UNSCEARでは自然放射線及び人工放射線を含む放射線の環境や人間への影響に関して、数年間の検討結果を報告書として継続的に公表している。

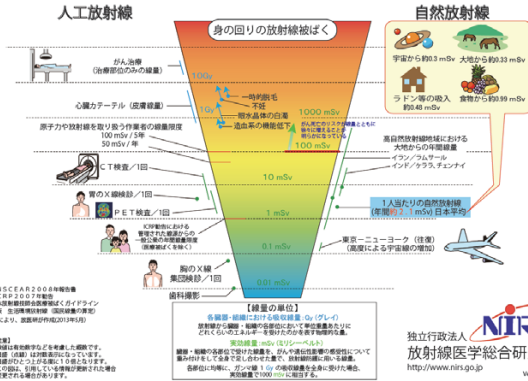
2

背景（日本国内の取組）

原子力安全研究協会による日本国内の国民線量に関する報告書

- ・生活環境放射線(国民線量の算定) 平成4年3月 刊行
- ・新版 生活環境放射線(国民線量の算定) 平成23年12月 刊行

放射線被ばくの見図



「UNSCEAR2008年報告書」、
「新版 生活環境放射線」等を参照

参考: 放射線医学総合研究所作成(平成25年5月)
(<http://www.nirs.go.jp/data/pdf/hayamizu/j/20130502.pdf>)

「新版 生活環境放射線」の序より、
福島第一原子力発電所の放射能影響を考えると、ここにまとめた内容は我々が
受けている放射線のバックグラウンドレベルとして考察の基本となる。

3

日本保健物理学会 国民線量評価委員会

日本保健物理学会に臨時委員会として、国民線量評価委員会を設置

委員(敬称略)

- | | |
|-------|-----------------------|
| 石森 有 | 日本原子力研究開発機構 |
| 稲垣昌代 | 近畿大学 |
| 大森康孝 | 福島県立医科大学 |
| 真田哲也 | 北海道科学大学 |
| 杉野雅人 | 群馬健科大 |
| 高橋史明 | 日本原子力研究開発機構(委員長、担当理事) |
| 古川雅英 | 琉球大学 |
| 細田正洋 | 弘前大学 |
| 真辺健太郎 | 日本原子力研究開発機構 |
| 矢島千秋 | 放射線医学総合研究所 |
| 保田浩志 | 広島大学 |
| 吉田浩子 | 東北大学 |

設置趣旨(HP): 福島第一原発事故以降、国内で被ばく線量への関心は高まっているが、今後の事故の影響の評価等では日常生活等で受ける線量を把握しておくことも重要となる。

4

委員会での検討範囲

検討範囲は、**国民が広く、ほぼ等しく、被ばくを受ける自然放射線等**とする。
(職業被ばくや診断等によりばらつきが大きい医療被ばく等は含めない。)

「新版 生活環境放射線(国民線量の算定)平成23年版」の示す線源

- 1) 自然放射線
- 2) 核実験フォールアウト
- 3) 職業被ばく ⇒ 放射線業務従事者が対象
- 4) 医療被ばく ⇒ 診断や治療の件数により、被ばく線量は大きく変動
- 5) 諸線源による被ばく
- 6) 原子力、RI関連施設からの公衆被ばく ⇒ 評価の対象は施設周囲に限定

5

「新版 生活環境放射線」の評価結果(1)

(1) 自然放射線

線源	主な核種、または放射線種	被ばく形態、 評価結果(mSv/y)*
宇宙放射線	中性子、陽子、 π 粒子、ミュー粒子、電子、光子 (二次宇宙線)、 ^3H 、 ^7Be 、 ^{14}C 、 ^{22}Na 等(生成核種)	外部被ばく、 0.3(mSv/y)
大地放射線	ウラン系列(^{238}U)核種、トリウム系列(^{232}Th)核種、 ^{40}K 等、 γ 線	外部被ばく、 0.33(mSv/y)
空气中ラドン等	^{222}Rn 、 ^{220}Rn 及びこれらの壊変生成核種、 α 線及び β 線	内部被ばく、 0.37(mSv/y) (ラドン) 0.09(mSv/y) (トロン)
喫煙吸入	^{210}Po 及び ^{210}Pb 、 α 線、 β 線、 γ 線	内部被ばく、 0.01(mSv/y)
ラドン、喫煙以外の吸入	U同位体、Th同位体、Ra同位体、 ^{210}Po 、 α 線、 β 線、 γ 線	内部被ばく、 0.006(mSv/y)
飲料水	^3H 、 ^{222}Rn (その壊変生成核種)等、 α 線及び β 線	内部被ばく、 記載なし(mSv/y)
食品	^3H 、 ^{14}C 、 ^{40}K 、U系列(^{210}Po 、 ^{210}Pb 等)、Th系列、 α 線、 β 線、 γ 線	内部被ばく、 0.80(mSv/y) (U系列)
人体中の自然放射性核種	^3H 、 ^{14}C 、 ^{40}K 、 ^{87}Rb 、 β 線、 γ 線	内部被ばく、 0.18(mSv/y) (^{40}K)

* : 年間の平均実効線量

6

「新版 生活環境放射線」の評価結果(2)

(1) 自然放射線のうち特殊な環境、(2)フォールアウト及び(5) 諸線源のうち航空機(乗客)

線源	主な核種、または放射線種	被ばく形態、 評価結果(mSv/y)
温泉	Rn、Ra、 γ 線	外部被ばく、 記載なし(mSv/y)
地下環境	γ 線	外部被ばく、 記載なし(mSv/y)
核実験フォールアウト	^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 γ 線	外部被ばく、 記載なし(mSv/y)
食品中フォールアウト	^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 α 線、 β 線、 γ 線	内部被ばく、 0.0025(mSv/y)
航空機(乗客)*	中性子、陽子、 π 粒子、ミュー粒子、電子、光子 (二次宇宙線)	外部被ばく、 0.04(mSv/y)

* 乗務員は、ここでは、職業被ばくという扱いをして、表に掲載していない。
他に(5)諸線源として、コマーシャルプロダクトがあるが、評価結果は 5×10^{-5} (mSv/y)未満と
顕著に低い。

第1回会合(10/27)で、委員長より、委員会での目標、「新版 生活環境放射線」
のレビュー結果に基づき想定される検討課題が提示され、議論を進めた。

7

宇宙放射線(1)

① 基礎データや知見、線量評価モデルやデータ等

・UNSCEAR2008年報告書のデータ

⇒宇宙線:0.39mSv/y

(電離成分0.28mSv/y、中性子0.1mSv/y)

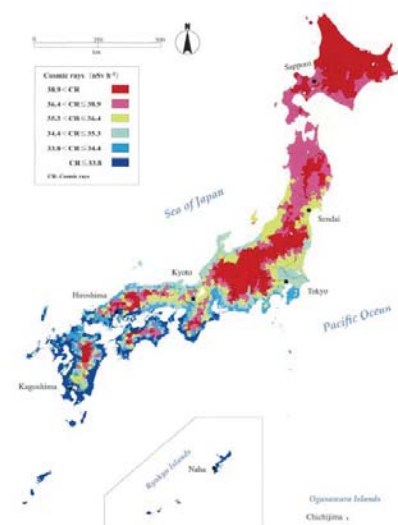
生成核種:0.01mSv/y(多くは ^{14}C)

・日本国内のデータや知見

日本では、地磁気緯度の違いが反映され、欧米に
比べて低いレベルにあると評価

米国CARI-6コードに基づく線量率の全国分布図が提示

⇒右図(緯度、標高による線量率の変化)



藤元,NIRS-M-170,(2004)

8

宇宙放射線(2)

① 基礎データや知見、線量評価モデルやデータ等

- ・日本分析センターによる宇宙線中性子の測定に基づく線量率の全国分布図
⇒実測値(1cm線量当量率)に基づく実効線量率は、
4.8nSv/h(ICRP1990年勧告に基づく換算)、
4.4nSv/h(ICRP2007年勧告に基づく換算)

② 最終結果(総まとめの表での値)

- ・0.3mSv/yと評価されている。
⇒UNSCEARのデータに基づき、国内の状況を加味して評価

9

航空機(乗客)

① 基礎データや知見、線量評価モデル・データ

- JISCARD-EXにより、国外主要都市へ渡航した場合の線量(往復の航路)を計算
1990年勧告ベースで0.06mSv、2007年勧告ベースで0.04mSv
⇒当該ルートでの渡航者数の割合や人口で除して、平均の実効線量を評価
1990年勧告ベースで約0.005mSv、2007年勧告ベースで約0.004mSv

② 最終結果(総まとめの表での値)

- 2007年勧告ベースの0.004mSv/yとされている。

10

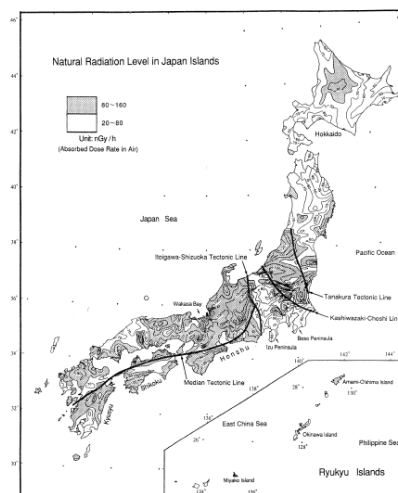
大地放射線(1)

① 基礎データや知見、線量評価モデルやデータ等

- ・放医研の調査(1967年～1977年、～1991年)の実測値に基づき、都道府県別の空気吸収線量率と実効線量率データの表が提示
⇒各都道府県別の**平均値**が示されている。
(二次宇宙線の電離成分を差し引き、ラドン壊変生成核種の寄与は含まれる。)

- ・古川による日本列島の空気吸収線量率の分布図
⇒(右図)二次宇宙線の寄与は、含まれている。
(引用元論文では、地質分布を示した図も)

- ・他の研究機関のデータ
2002年～2005年に23都府県で実施した実測データ等に基づく評価結果として、基盤岩石別の空気吸収線量率



古川、地学雑誌、(1993)

11

大地放射線(2)

① 基礎データや知見、線量評価モデルやデータ等

空気吸収線量から実効線量への換算係数
森内らのデータを参照して0.748(Sv/Gy) (実効線量当量への換算係数)
⇒UNSCEAR2008で採用した値0.7(Sv/Gy)(=500keV γ 線に対応)とは異なる。

② 最終結果(総まとめの表での値)

0.33mSv/yと評価されている。この値は、放医研の測定データに基づく各都道府県データの平均値と一致する。
(人口の重みづけをした場合も、大きな差はない。)

12

空气中ラドン(1)

① 基礎データや知見、線量評価モデルやデータ等

・住居内のラドン濃度

3回の全国調査に基づく評価(1回目:Fujimotoら、2回目:Sanadaら、3回目:Suzukiら)による平均値

1回目:20.8Bq/m³(トロンの影響を含む)

2回目:15.5Bq/m³

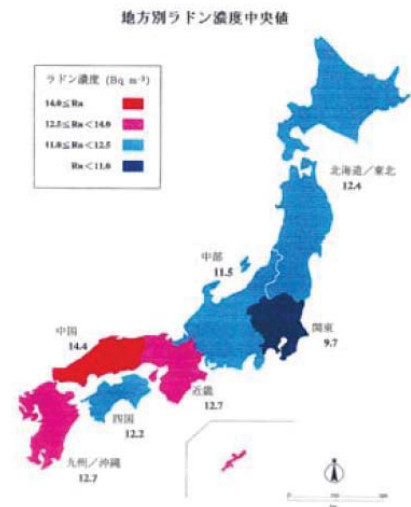
3回目:14.3Bq/m³(人口加重平均は13.7 Bq/m³)

⇒2回目の中央値、3回目の幾何平均値の結果に基づき、11Bq/m³とされた。

・屋外及び職場のラドン濃度

及川らの実測値(屋外、職場ともに約700地点)

⇒中央値として5.5Bq/m³、15.3Bq/m³が提示され、被ばく線量推定に適用



下、真田ら、IsotopeNews、(2013)

13

空气中ラドン(2)

① 基礎データや知見、線量評価モデルやデータ等

・線量換算係数

UNSCEAR2006年報告書やICRPのPubl.65に示されている平衡等価ラドン濃度(EEC)から実効線量への換算係数(単位nSv (Bqhm⁻³)⁻¹を参照している。

UNSCEARの換算係数は9nSv (Bqhm⁻³)⁻¹であり、ICRPでは疫学的アプローチとして6 nSv (Bqhm⁻³)⁻¹を示していた(線量学的アプローチは検討中)。

以上を受けて、暫定的にUNSCEARの9 nSv (Bqhm⁻³)⁻¹を採用した。

・各場所での滞在時間及び平衡ファクタ

総務省統計局「平成18年度社会生活基本調査」に基づき、1日あたり、住居内に16.6h、屋外に2.5h及び職場などに4.9h滞在すると仮定した。

平衡ファクタは、屋内で0.4、屋外で0.6とした。

14

空气中ラドン(3)

① 基礎データや知見、線量評価モデルやデータ等

・トロンの放射能濃度及び被ばく線量値

国内の平均的な家屋のトロン濃度は $1\text{Bq}/\text{m}^3$ よりも十分小さく、世界の測定結果と比べても高くないと推測している。

UNSCEAR2000年報告書の平衡等価トロン濃度の数値として、屋内: $0.3\text{Bq}/\text{m}^3$ 、屋外: $0.1\text{Bq}/\text{m}^3$ が示されている。

換算係数は $40\text{ nSv} (\text{Bqhm}^{-3})^{-1}$ として、屋外で $0.084\text{mSv}/\text{y}$ 、屋外で $0.07\text{mSv}/\text{y}$ という値が示されている

② 最終結果(総まとめの表での値)

・ラドンは $0.37\text{mSv}/\text{y}$

住居: $0.24\text{mSv}=11\text{Bq}/\text{m}^3 \times 9\text{ nSv} (\text{Bqhm}^{-3})^{-1} \times 6059(\text{h}) \times 0.4$

屋外: $0.027\text{mSv}=5.5\text{Bq}/\text{m}^3 \times 9\text{ nSv} (\text{Bqhm}^{-3})^{-1} \times 913(\text{h}) \times 0.6$

職場など: $0.098\text{mSv}=15.3\text{Bq}/\text{m}^3 \times 9\text{ nSv} (\text{Bqhm}^{-3})^{-1} \times 1788(\text{h}) \times 0.4$

・トロンは $0.09\text{mSv}/\text{y}$ (UNSCEAR2000年報告書と同等)

15

食品中の放射性核種(1)

① 基礎データや知見、線量評価モデルやデータ等

・ ^3H 及び ^{14}C

炭素の含有量は、1988年の珊瑚年輪で得られた値 $17\text{dmg}/\text{g}$ 、トリチウムは沿岸海水の $0.8\text{Bq}/\text{L}$ を濃度とした。

・U系列(^{210}Po 、 ^{210}Pb 等)及びTh系列

1989年～2004年に測定された約140食品のU系列、Th系列の放射能濃度の範囲が示されている(日本分析センターによる)。

^{238}U : $\sim 5.2\text{Bq}/\text{kg}$ 、 ^{232}Th : $\sim 0.18\text{Bq}/\text{kg}$ 、 ^{226}Ra : $\sim 3.9\text{Bq}/\text{kg}$ 、

^{210}Pb : $\sim 45\text{Bq}/\text{kg}$ 、 ^{210}Po : $\sim 120\text{Bq}/\text{kg}$

⇒ ^{210}Po は魚介類で高く、日本では摂取量が多いのに加えて、蓄積する内臓も食す習慣がある。

・線量評価に用いた線量係数は、ICRP Publ.72の経口摂取の値と推測

16

食品中の放射性核種(2)

② 最終結果(総まとめの表での値)

全体で0.80mSv/yとしている。

(^{210}Po 及び ^{210}Pb が、0.73mSv/y及び0.058mSv/y)

世界の平均値の0.12mSv/y(UNSCEAR2000)との差異は、魚介類の摂取量(食習慣)の違い。

参考「生活環境放射線(国民線量の算定)平成4年版」
U系列について、 ^{210}Pb の魚介類の含有量(dpm/kg単位)、
当時の日本人の摂取量等が示されている。
ただし、具体的な線量評価の説明はない。

表1 食品群別の年摂取量と預託実効線量(カリウムを除く)

食品群	分類	年摂取量	年間の放射能	預託実効線量
		kg/年	Bq/年	mSv
I	穀類	168	36	0.017
	いも類	22.8	7.9	0.0017
	砂糖・甘味料類	2.63	1.0	0.00069
	豆類	21.5	7.6	0.0016
	種実類	0.843	10	0.00063
II	野菜類	98.5	26	0.0060
	果実類	45.4	4.9	0.0020
III	きのこ類	5.44	7.4	0.0023
	藻類	5.33	42	0.014
	魚介類	32.2	550	0.64
V	肉類	28.2	6.0	0.0029
	卵類	13.3	5.5	0.0030
VI	牛乳・乳製品類	61.5	16	0.0044
	油脂類	0.803	0.17	0.00012
	菓子類	9.67	3.8	0.0014
	嗜好飲料類	60.8	110	0.087
	調味料・香辛料類	31.9	33	0.016
合計		609	870	0.80

下、真田ら、IsotopeNews、(2013)

17

人体中の自然放射性核種(^{40}K)

① 基礎データや知見、線量評価モデルやデータ等

・ ^{40}K の摂取量及び体内での保持

カリウムを1日2287mgを摂取、 ^{40}K の濃度は31.9Bq/K-gとして、平均摂取量を約73.0Bqと算出し、これが人体に一定に保たれていると仮定している。

UNSCEAR2008年の報告書の評価として、成人及び子供の線量が0.165mSv及び0.185mSvと示されている。

日本人の ^{40}K による調査結果として年間実効線量0.18mSvという調査結果
(国立保健医療科学院 杉山による論文)

② 最終結果(総まとめの表での値)

0.18mSv/yと評価されている。

18

核実験フォールアウト

① 基礎データや知見、線量評価モデル・データ

・ ^{90}Sr 及び ^{137}Cs (降下物中、大気浮遊じん中)

日本分析センターが取りまとめた1963年(浮遊じんは1964年)から2009年の47都道府県の分析結果について、経時変化が示されている。チェルノブイリ事故の影響として1986年にピークが確認、1990年以降は以前と同等のレベルになった。

・ ^{90}Sr 及び ^{137}Cs (土壌中)

年1回採取した試料の放射能濃度について、その1963年～2009年の経時変化が示されている。大気圏内核実験やチェルノブイリ事故に対応したピークは確認されていない。2009年の調査についての ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 蓄積量は、表層で $51\text{MBq}/\text{km}^2$ 及び $320\text{MBq}/\text{km}^2$ 、下層で $150\text{MBq}/\text{km}^2$ 及び $570\text{MBq}/\text{km}^2$ と計算された。

・プルトニウム

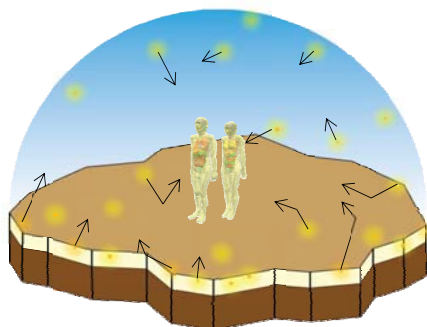
1999年度～2006年度の土壌中 ^{238}Pu 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の濃度の測定結果として、 $^{239+240}\text{Pu}$ の平均値は、表層(～5cm)で $0.50\text{Bq}/\text{kg}$ 乾土、深層(5～20cm)で $0.22\text{Bq}/\text{kg}$ 乾土と評価。

$^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ の比は平均約0.03(UNSCEAR1982年報告書の北半球での値は0.026)

19

検討項目の抽出(1)

(1) 外部被ばく線量評価

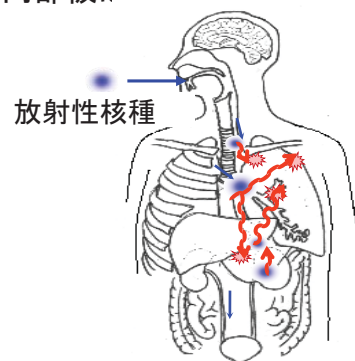


空間線量(空気吸収線量等)率の
モニタリングデータ

線量換算係数の適用(Gy or $\text{Sv} \Rightarrow \text{Sv}$)

被ばく線量(実効線量)を導出

(2) 内部被ばく線量評価



食品、空気中等に含まれる核種の
放射能濃度のモニタリングデータ

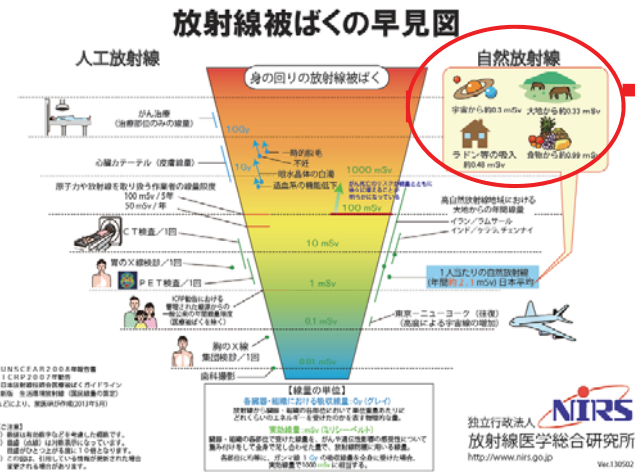
被ばく線量係数の適用($\text{Bq} \Rightarrow \text{Sv}$)
(摂取量、呼吸率、体内動態等を考慮)

被ばく線量(実効線量)を導出

- 1) 基礎となるのは、種々のモニタリング調査等の実測データ
- 2) 換算係数や線量係数は、被ばく線量(実効線量)の大きな決定因子

20

検討項目の抽出(2)



- ・宇宙から 約0.3mSv
 - ・大地から 約0.33mSv
 - ・ラドン等の吸入 約0.48mSv
 - ・食物から 約0.99mSv
- ⇒P.6の値(食物は、人体中の核種も合算、約0.80mSv+約0.18mSv)

変動幅はないのか？

以下のような評価、データがある。

- ・施設周辺のヨウ素による線量評価
⇒日本人の生活様式を考慮
- ・ICRPの内部被ばく線量係数
⇒年齢群ごとに提示

参考:放射線医学総合研究所作成(平成25年5月)
(<http://www.nirs.go.jp/data/pdf/hayamizu/j/20130502.pdf>)

検討が必要と考えられる課題とアウトカム (第1回会合で委員長より提示)

① 放射線データに関して

- ・最新の実測データの調査、既存データへの取り込み。
- ・変動幅の調査、分析

② 線量評価について

- ・実測値から被ばく線量の導出に用いるデータやモデルの調査
⇒大地放射線で“実効線量当量”への換算係数を利用
ラドンの換算係数の検討状況は？
- ・屋内、屋外の滞在時間の影響 (宇宙放射線とラドンで異なる仮定)
- ・年齢による変動
- ・日本国内での変動幅を定量的に評価(数値として与える)か？

また、成果の反映先として、原子力安全協会による生活環境放射線の策定や UNSCEARの取りまとめに対し、基礎データや知見を提示

第1回会合の委員からの意見、コメント(1)

① 全体の目標などについて

- ・ 委員長より提案のあった、他の機関(原安協やUNSCEAR等)への基礎データ、知見を提示するための活動ではモチベーションが上がらない。(アウトカムは、調査や評価等を進めていく中で、考えることができるかもしれない。)
- ・ アウトカムを委員会の仕事で実施するのではモチベーションが上がらないと言うことであれば、インプットの部分を担当委員自身がレビュー論文としてまとめていくような工夫も出来る。
- ・ 委員会は、個々の課題について解決していくのではなく、公表されたデータや成果を収集し、評価するという方法を採用すべき。

23

第1回会合の委員からの意見、コメント(2)

② 検討範囲(対象とする線源)について

- ・ 核実験フォールアウトについては、考慮する必要はないのではないか。
⇒既に、バックグラウンドとして推移していると考えられる。
- ・ むしろ、人工線源としては、福島第一原発事故による影響も含めるべきではないか。この検討がない場合、福島県及びその周辺について、データが空白となることも考えられる。
⇒最近のモニタリングデータは、事故の影響を含んでおり、福島第一原発事故の影響をどのように取り扱うかは大きな課題になる。



現在の状況を鑑みて、検討範囲を定めることが必要

24

第1回会合の委員からの意見、コメント(3)

③ 線量評価について

- 「放射線リスク」は「生涯のリスク」であり、放射線管理で便利だから使用しているが、本来年間被ばく線量については大きな意味が無いはずである。福島第一原発事故後に空間、時間的にスポットな数値が社会問題となったのは、この部分が正しく理解がされていなかったためであると思う。
- 内部被ばくでは、ある臓器に線量が集中するケースが多く、被ばく線量を実効線量で提示することが適切かどうか、検討する必要がある。
- 年間被ばく線量というときに、預託実効線量で説明するのか、単年度の線量として評価するのか、検討が必要となる。
- 線量等の評価結果は「公衆が理解できるような表現にする」ということは重要である。



どのような線量評価をして、結果をどのように発信するかは重要

25

第1回会合の委員からの意見、コメント(4)

④ 「線量の分布」について

- 国民線量の分布として、年齢別の線量評価については、計算過程としては意義があると考えられるが、年間の公衆被ばくの「変動の幅」ととらえるのはおかしい。
- むしろ地域差や生活習慣などを「変動の幅」ととらえるべきである。
⇒生活習慣については、例えば、福島第一原発事故後の線量評価でも、大きな決定因子となった。(屋外での活動時間の違いなど)



そもそも、「線量の分布」というものをどう考えるか？
「線量の分布」の“最適な評価”を考えることが必要

26

国民線量評価委員会の目標

－第1回会合の意見を踏まえて改めて整理－

- ・最新の放射線データ、線量評価に用いるモデルやデータを調査、レビューを進め、保健物理学会としての「生活環境における国民線量評価(仮題)」の報告書(もしくは論文)を公表することを目標とする。

アウトカムについては、活動を進める中で考えていく。

- ・今回の活動を通じて得た経験から、本委員会終了後も保健物理学会として、国民線量評価をどのように進めることが最適かを議論し、その結果を報告する。

27

国民線量評価委員会の主な検討内容

－第1回会合の意見を踏まえて整理－

1) 検討範囲(対象とする線源)

- ・大地放射線 ・宇宙放射線(航空機被ばく含む)
- ・ラドン、トリウム ・食品中の放射能、人体中の放射能
- ・福島第一原発事故により放出された放射性核種
(最近のモニタリングデータには、福島第一原発事故の影響は含まれるので、検討範囲に含める。)

2) 検討内容

① 放射線データ

1)の線源について、公表されている放射線量や放射能の実測データに関する論文や報告を収集して、レビュー、分析し、その結果を取りまとめる。

② 線量評価

- ・①の取りまとめ結果、ICRP等の線量評価モデルやデータ等に基づく線量評価
- ・年齢や生活パターンなどの線量への影響因子の調査
⇒これらの調査結果に基づき、国民線量やその分布を評価

本セミナーでのコメントや意見についても委員会の検討に反映いたします。

28