

# 放射線モニタリングと健康影響

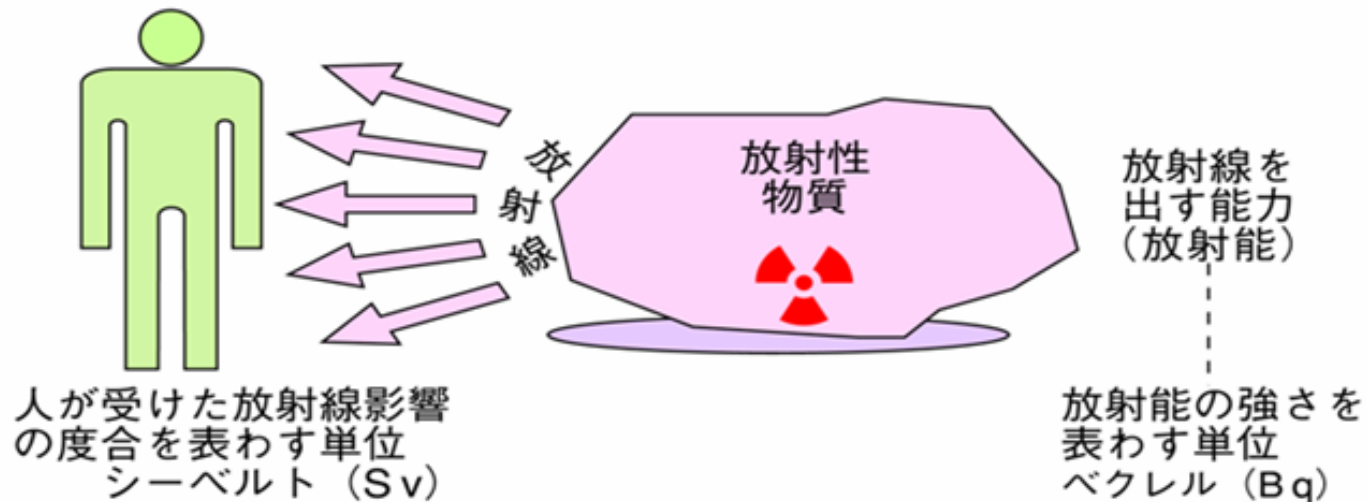
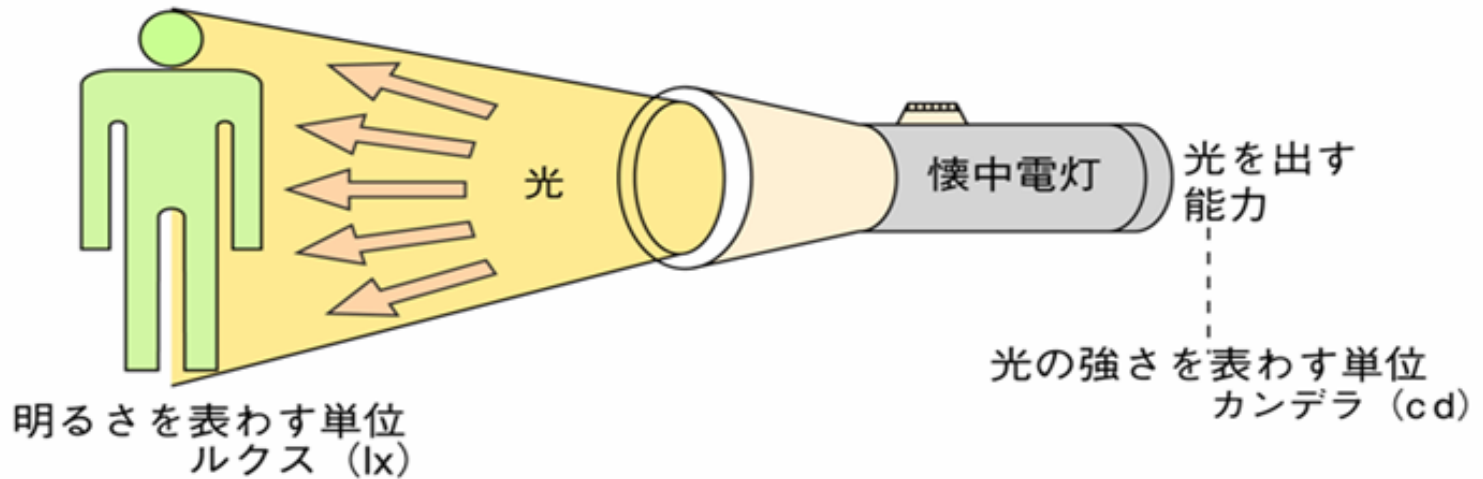
平成23年11月27日

日本原子力学会  
放射線影響分科会



**AESJ** 日本原子力学会  
Atomic Energy Society of Japan

# 放射線と放射能・放射性物質



# 量を知るには、単位が重要

## ■ 放射能の単位

ベクレル  
Bq

放射線を出す能力を表す単位  
(1 Bqは1秒間に1回原子核が壊変し、放射線を放出すること)

## ■ 放射線の量の単位 (吸収線量)

グレイ  
Gy

放射線のエネルギーが物質にどれだけ吸収されたかを表す単位  
(1 Gyは物体1 kgあたり1ジュールのエネルギー吸収があるときの線量)

## ■ 放射線の影響の程度の単位 (実効線量、等価線量)

シーベルト  
Sv

人が放射線を受けたときの影響の程度を表す単位  
(SvはGyに放射線の種類や人体の性質による係数をかけたもの)

ミリシーベルト  
マイクロシーベルト

1 Sv = 1,000 mSv (ミリシーベルト)  
= 1,000,000  $\mu$ Sv (マイクロシーベルト) の関係です。

マイクロシーベルト毎時  
 $\mu$ Sv/h

1時間あたりの被ばく線量を表します。

# ベクレル(Bq)とシーベルト(Sv)

## ■ 体内に取り込んだ場合

- 体内に取り込んでしまった放射性物質からの被ばく量の推定式  
 $[mSv] = \text{実効線量係数} \times \text{体内に摂取した量 [Bq]}$

## ■ 地表面が汚染された場合

- 地表面に沈着した放射性物質からの被ばく量の推定式  
 $[\mu Sv/h] = \text{換算係数} \times \text{地表面に沈着した量 [kBq/m}^2]$



アンリ・ベクレル  
1852-1908、フランス

×

物質名	実効線量係数 mSv/Bq	
	乳児	成人
I-131 (ヨウ素)	0.00014	0.000016
Cs-137 (セシウム)	0.000021	0.000013
Pu-239 (プルトニウム)	0.0042	0.00025

出典:「緊急時における食品放射能測定マニュアル」より

物質名	換算係数 $(\mu Gy/h) / (kBq/m^2)$
I-131 (ヨウ素)	0.00174
Cs-137 (セシウム)	0.00268

出典:「ゲルマニウム半導体検出器を用いたin-situ 測定法」より

=



ロルフ・シーベルト  
1896-1966、スウェーデン

# 様々な放射線測定器

「はかるくん」DX-200 「はかるくん」DX-300 「はかるくん」CP-100



シンチレーション式  
サーベイメータ



「はかるくん」メモリー 「はかるくん」II



GM式サーベイメータ

# 高精度な放射線測定器の一例

## ■ NaIシンチレーション式サーベイメータ（ $\gamma$ 線用）

NaIシンチレーション検出器

モニタ音スイッチ

電源スイッチ

時定数スイッチ  
(3秒、10秒、30秒)

測定レンジ切替  
スイッチ

# 除染前後の測定 of 注意事項

## ■ 測定器を静止させ、除染前後で同じ場所で測定

- 測定器を静止させ、時定数(通常10秒)の3倍(通常30秒)経過後に指示値を読む

## ■ 測定高さ

- 通常、地上から高さ1 mが基本
- 土壌の除染効果を調べる場合は、土壌表面での測定も有効



## ■ 年間 1mSv と指示値の関係

- 事故によって年間 1mSv を追加的に受ける線量率は  $0.19 \mu\text{Sv/h}$
- 測定器は、大地からの自然放射線分 ( $0.04 \mu\text{Sv/h}$ ) を含めて測定するため、年間 1mSv に相当する測定結果は、 $0.23 \mu\text{Sv/h}$  (5mSv では  $0.99 \mu\text{Sv/h}$ )  
(平成23年10月10日 災害廃棄物安全評価検討会・環境回復検討会 第一回合同検討会の参考資料2の別添2) より

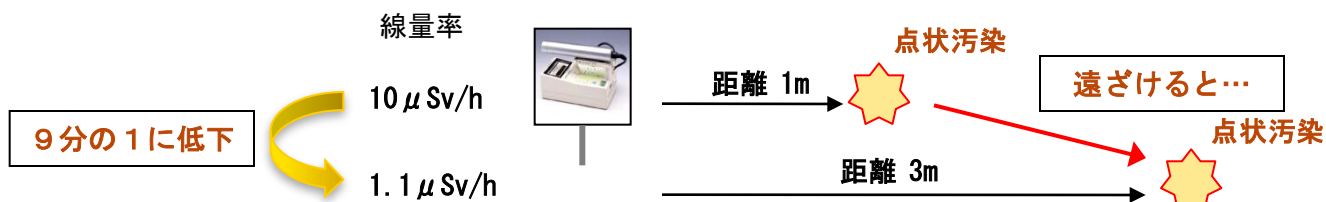
## ■ 自然放射線の気象条件による変動

- 降雨により、大気中に存在する自然放射性物質が地表面に落下し、自然放射線分が、 $0.1 \mu\text{Sv/h}$  程度まで増加する可能性

# 除染と線量率の関係

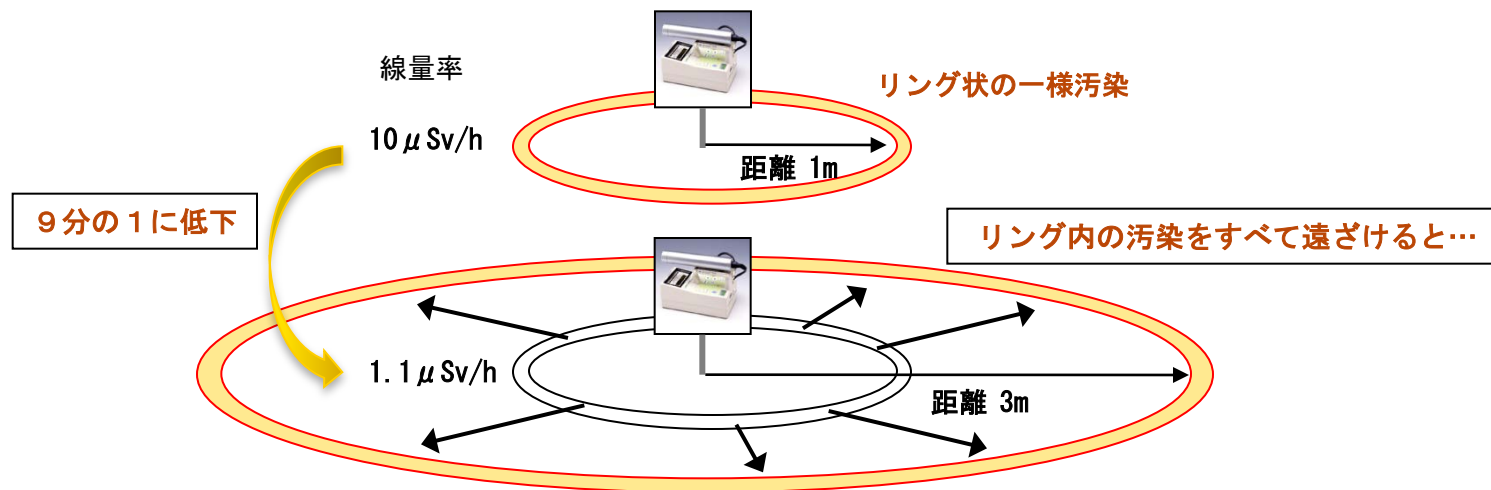
## ■ 点状の汚染の場合

線量率 = 距離の2乗に反比例



## ■ リング状の一樣汚染の場合

線量率 = 距離の2乗に反比例

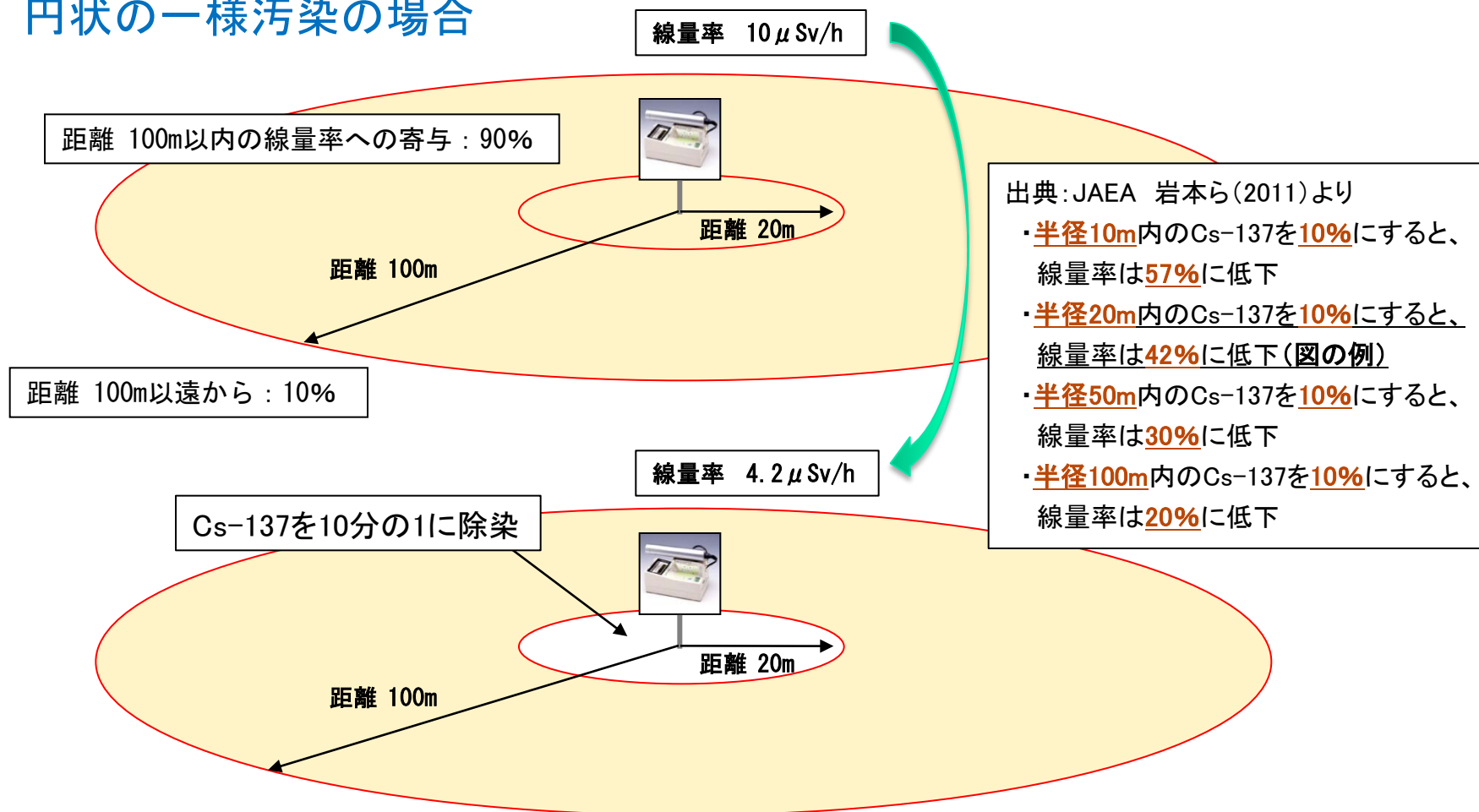


■ 広い範囲で除染し、居住地域から汚染を遠ざければ線量は下がる



# 除染と線量率の関係

## ■ 円状の一様汚染の場合

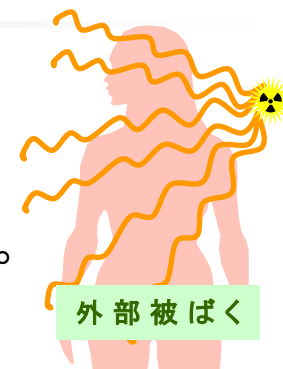


■ 広い範囲で除染し、居住地域から汚染を遠ざければ線量は下がる

# 外部被ばくと内部被ばく

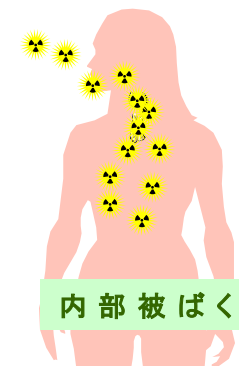
## ■ 外部被ばく：放射線源が身体の外側にある場合

- 透過力の強いX線、 $\gamma$ 線（電磁波）の影響が問題になります。



## ■ 内部被ばく：放射線源を体内に取り込んでしまった場合

- X線、 $\gamma$ 線に加えて、 $\alpha$ 線（荷電粒子）、 $\beta$ 線（電子）の影響が問題になります。
- 内部被ばく線量の評価にあたっては、  
放射線の種類、エネルギー  
体内での挙動（集まりやすい組織・器官、滞留時間）  
が考慮されます。

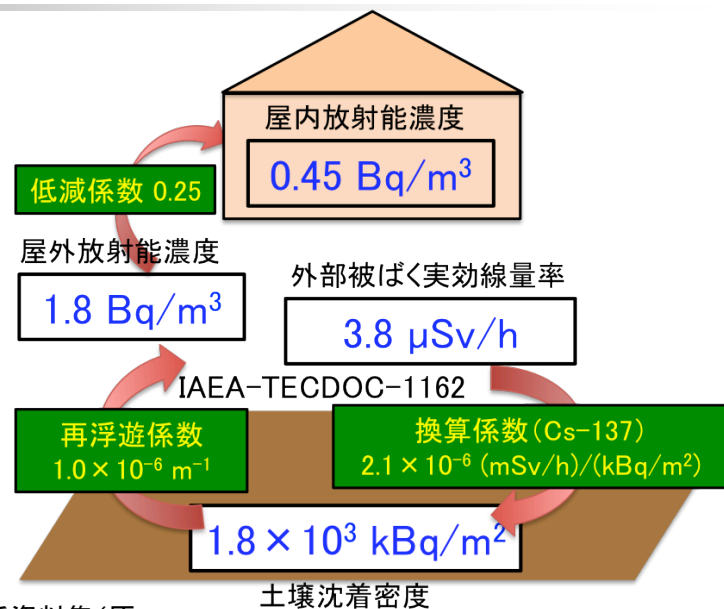


- Svで表した被ばく線量（実効線量）が同じであれば、外部被ばくであっても内部被ばくであっても影響は同じであると考えられます。

# 再浮遊土壌の吸入による内部被ばく

- 評価対象者: 乳幼児(1歳～2歳)
- 滞在時間(1日あたり):  
日本モデル: 屋外に8時間、屋内に16時間  
ICRPモデル: 屋外に1時間、屋内に23時間
- 低減係数<sup>注1</sup>: 0.25  
機密性の高い建物: 1/20～1/70  
通常の換気率の建物: 1/4～1/10
- 呼吸率(m<sup>3</sup>/h): ICRP Pub. 71に基づいて計算
- 微粒子への放射性物質の濃縮係数: 4  
(IAEA Safety Report Series No. 44)
- 線量換算係数: ICRP Pub. 72、1歳(吸収タイプS)

(注1)低減係数は、文科省原子力防災Q&A  
(<http://www.bousai.ne.jp/vis/box/qa/10.html>)や原子力防災関係資料集(原子力安全技術センター)で共通して示された中から安全側の数値を採用



## 試算結果

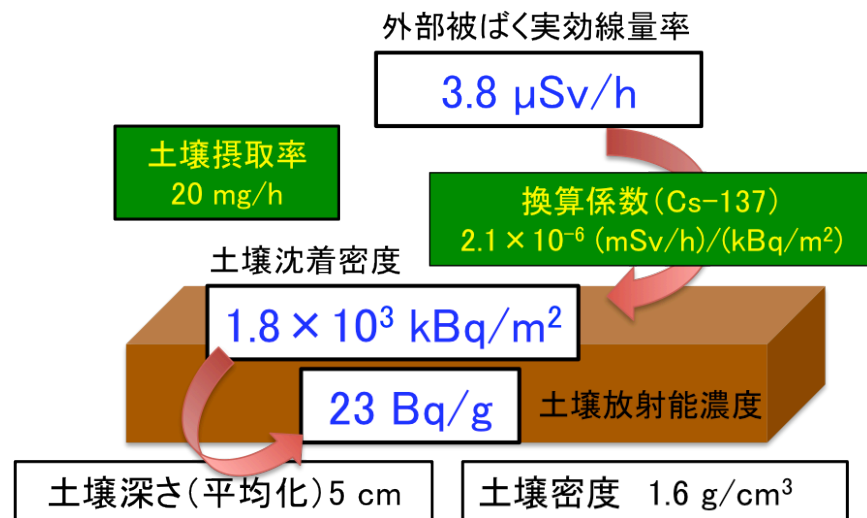
年間線量	屋外	屋内	屋外+屋内
(参考)外部被ばく	11 mSv	8.9 mSv	20 mSv
内部被ばく(日本モデル)	0.64 mSv	0.18 mSv	0.82 mSv
内部被ばく(ICRPモデル)	0.080 mSv	0.32 mSv	0.40 mSv

外部被ばくの  
2～4%

日本原子力学会主催 福島第一原子力発電所事故に関する緊急シンポジウム(5/21) 発表資料より

# 土壌の経口摂取による内部被ばく

- 評価対象者: 幼児(1歳~2歳)
- 経口摂取率: 20 mg/h、NCRPLレポートNo.129
- 滞在時間(1日あたり):  
日本モデル: 屋外に8時間、屋内に16時間  
ICRPモデル: 屋外に1時間、屋内に23時間
- 微粒子への放射性物質の濃縮係数: 2  
(IAEA Safety Report Series No. 44)
- 線量換算係数: ICRP Pub. 72、1歳



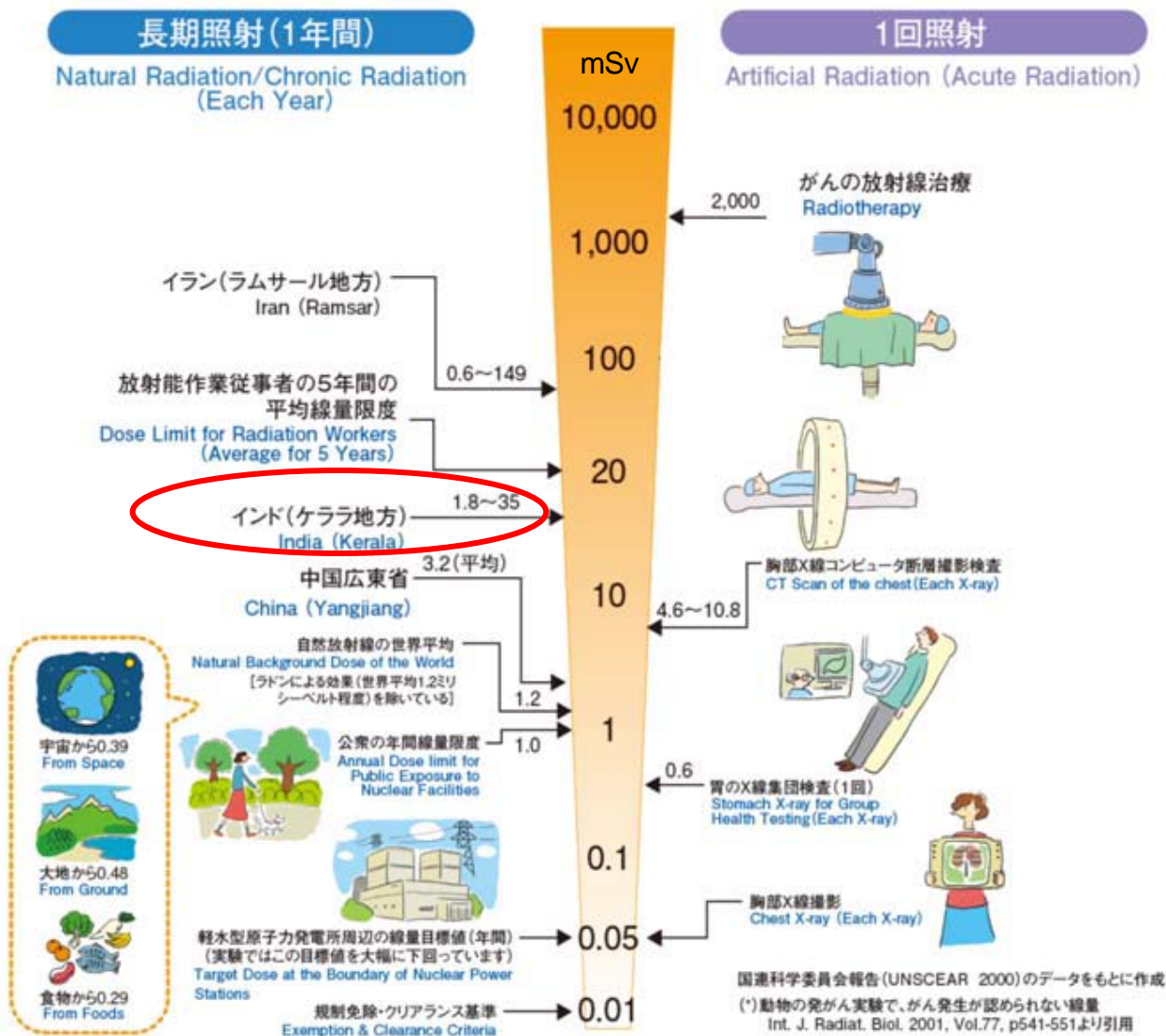
## 試算結果

年間線量	屋外	屋内
(参考)外部被ばく	11 mSv	
内部被ばく(日本モデル)	0.031 mSv	
内部被ばく(ICRPモデル)	0.0039 mSv	

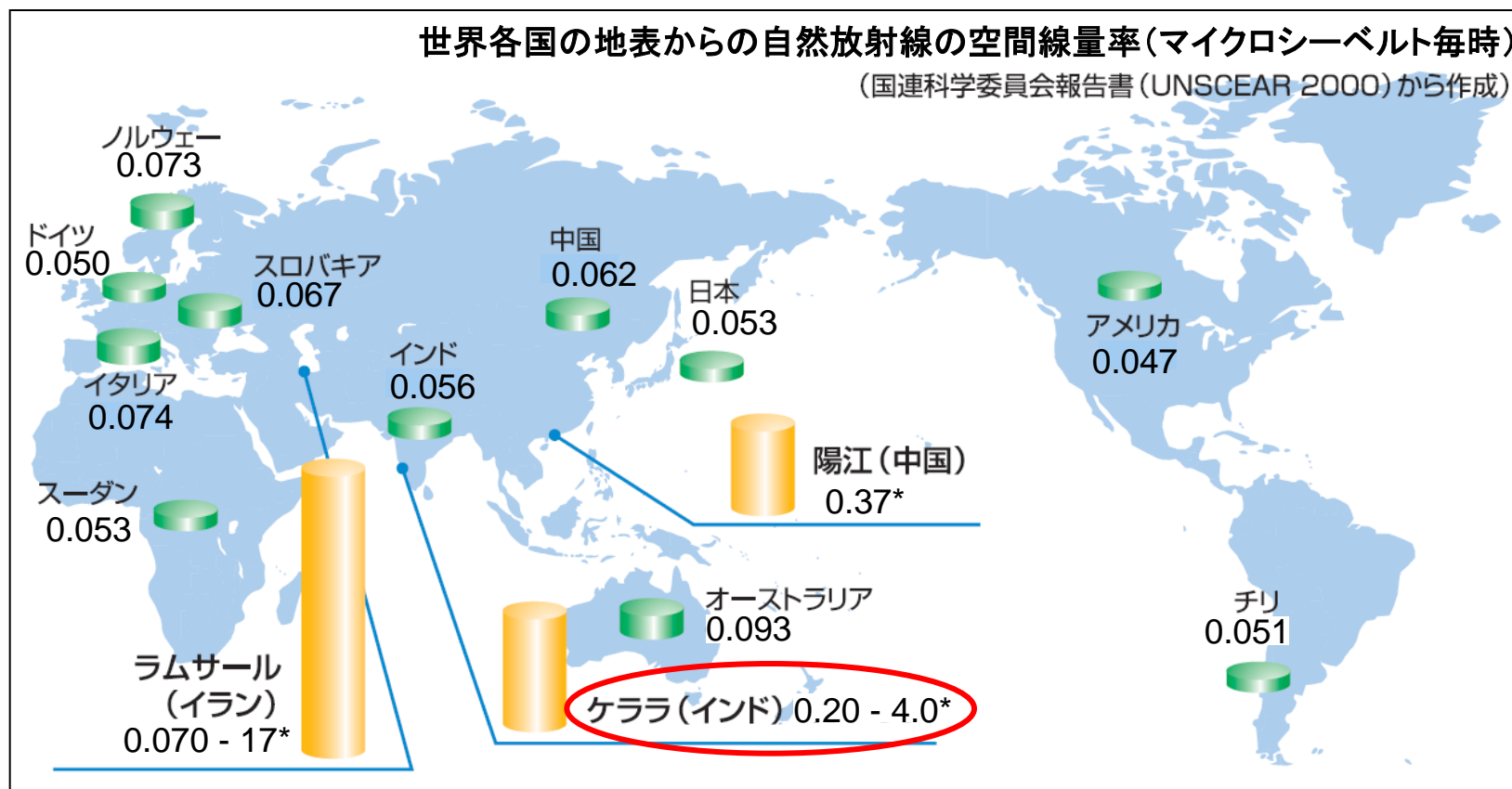
外部被ばくの  
0.04~0.3%

直接経口摂取は、屋外滞在中にのみ起こりうることから、屋内では試算対象外とした

# 長期被ばくと短期被ばく

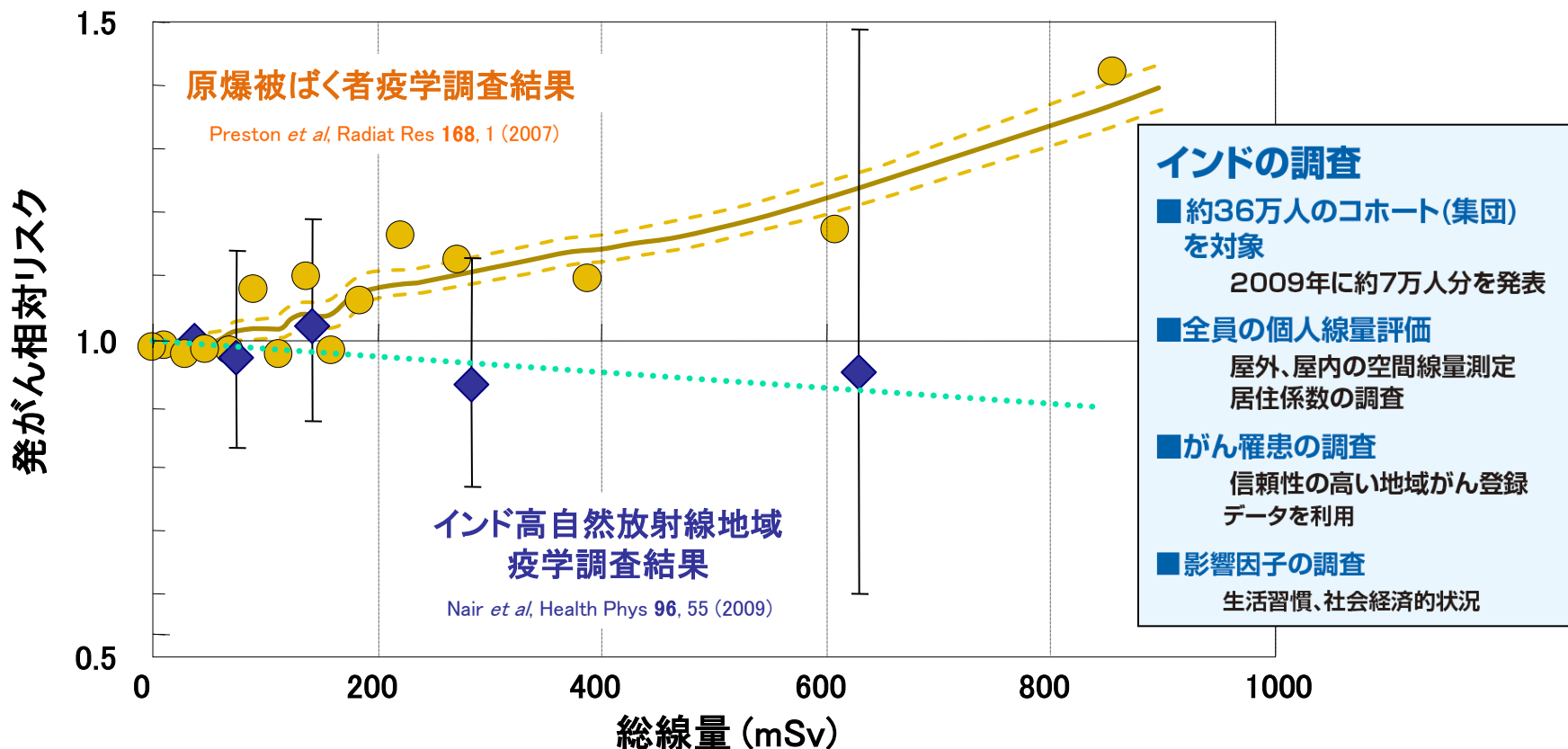


# 世界の長期被ばく(地表からのみ)



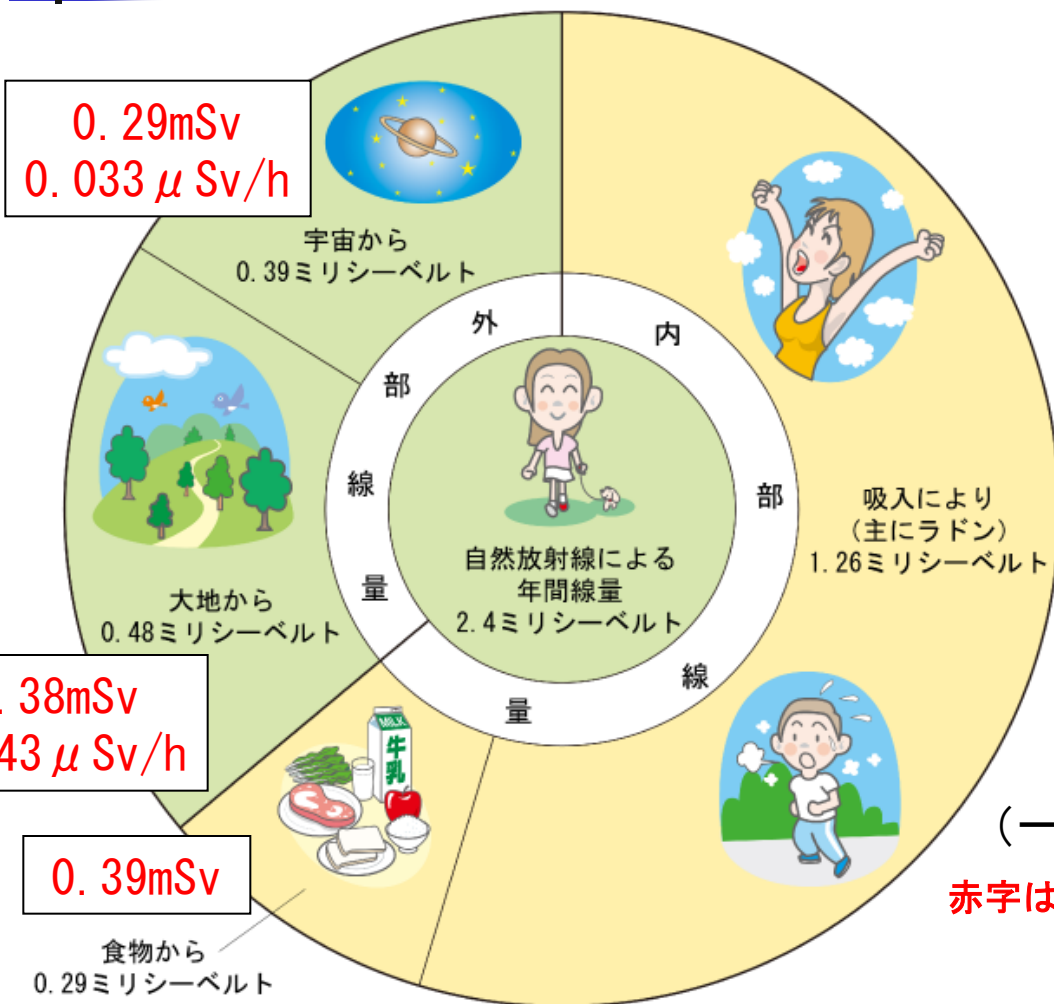
\* 宇宙線 (世界平均0.03マイクロシーベルト毎時)を含む

# 長期被ばく～インドの健康調査



一度に被ばくした原爆被ばく者に比べて、ゆっくり低線量率で被ばくした高自然放射線地域では、総線量が 600 mSv にも達するにもかかわらず、有意ながん死亡リスクは認められていません。

# 長期被ばく ～ 自然放射線 (平均)



■ 私たちは  
宇宙からも  
大地からも  
食べ物からも  
大気からも  
放射線を被ばくしています

自然放射線から受ける線量  
(一人当たりの年間線量の世界平均)

赤字は日本の平均値で、モニタリングとの比較のため  
1時間あたりに換算した値も示した

出典：「原子力・エネルギー」図面集2010, 6-7

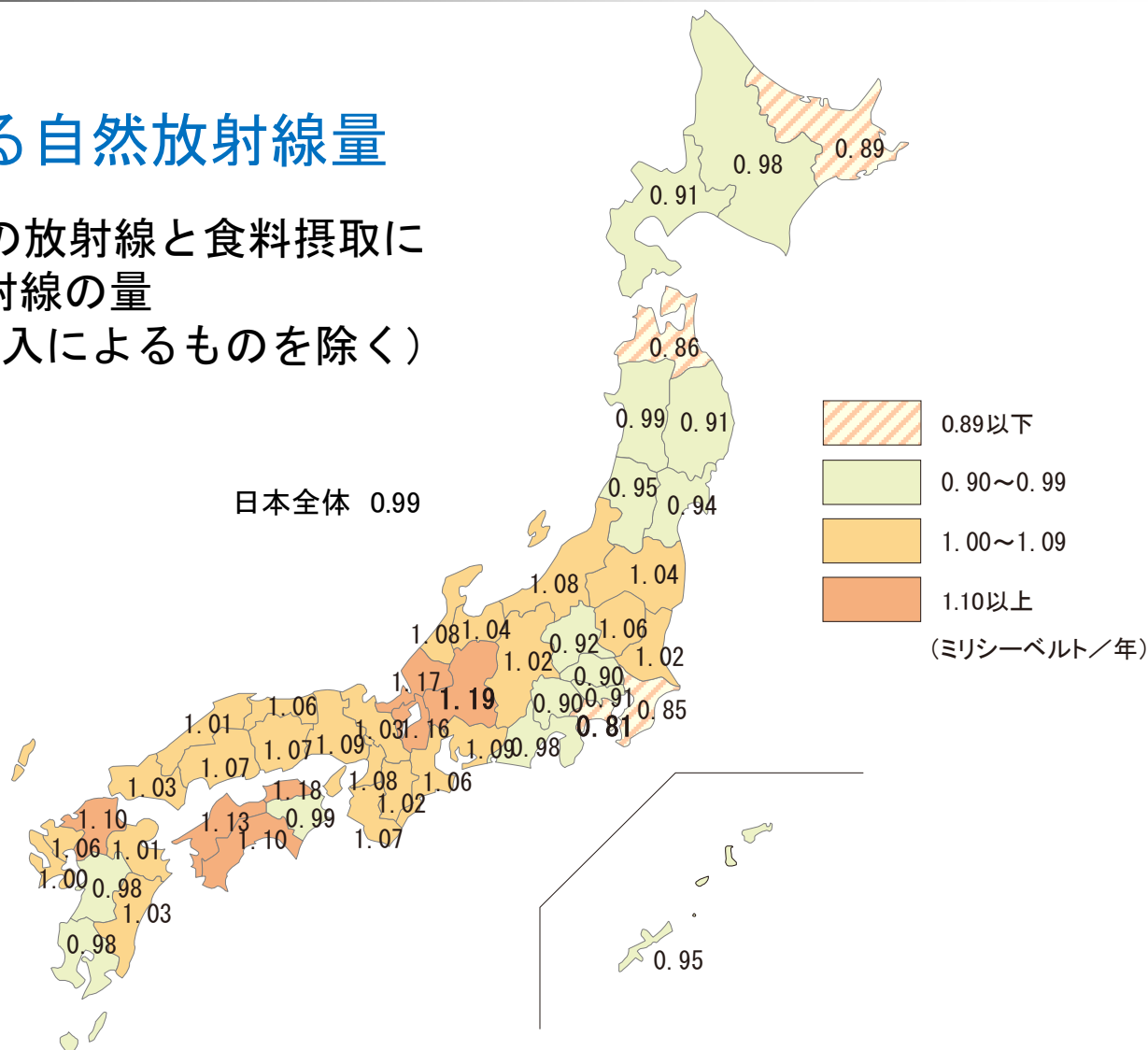
(財) 原子力安全研究協会「生活環境放射線」(1992) 16



# 長期被ばく～日本の中での違い

## ■ 我が国における自然放射線量

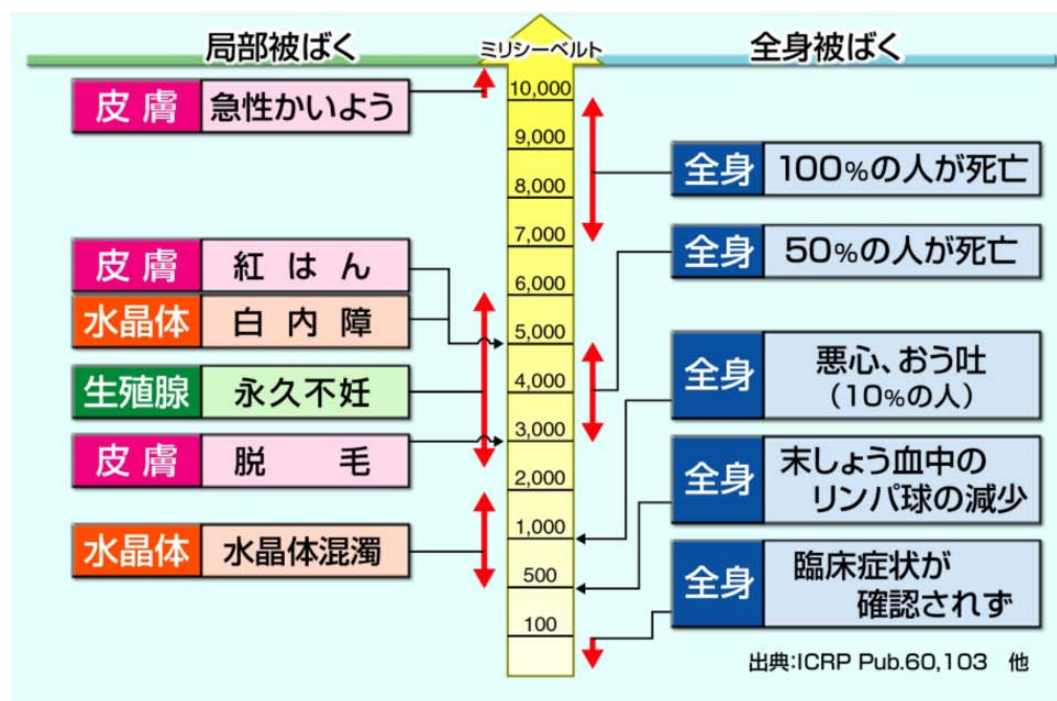
- 宇宙・大地からの放射線と食料摂取によって受ける放射線の量  
(ラドンなどの吸入によるものを除く)



# 短期被ばく ~ 自然の1,000倍以上

## ■ 急性障害

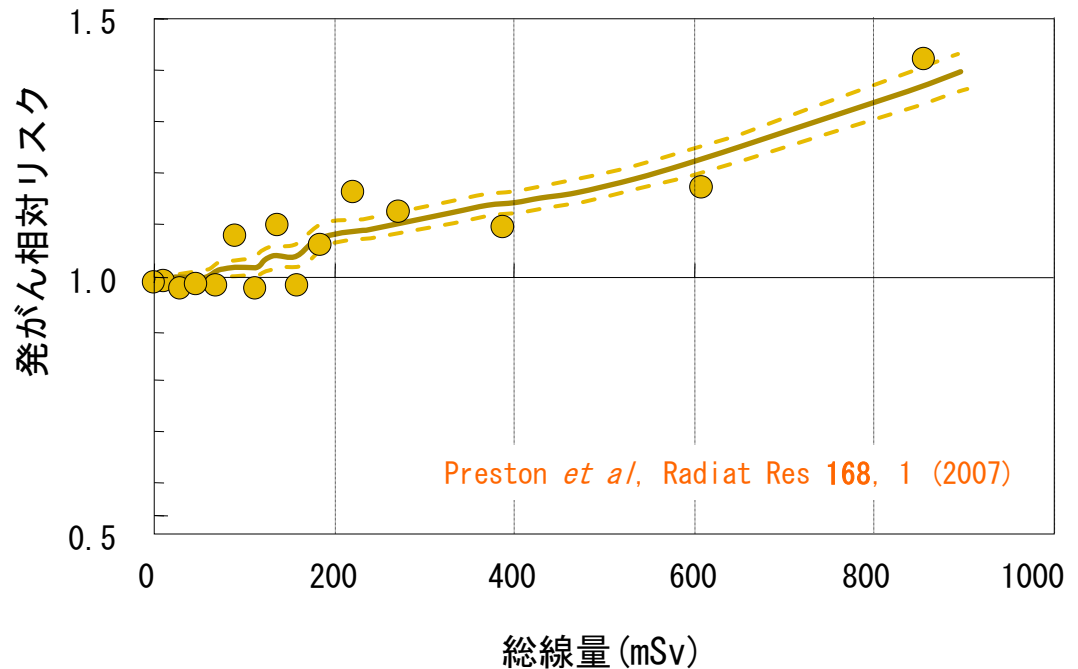
- 放射線により細胞が殺傷され、組織に障害を引き起こします。
- 症状が現れるまでには一定数の細胞死が必要となるため、しきい値があります。
- しきい値を超えると、線量の増加とともに障害の重篤度が増します。



# 短期被ばく ～ 自然の100倍程度

## ■ 晩発障害（確率的影響）

- 放射線により傷ついた細胞がもとになって、がんを引き起こすことが知られています。
- 原爆被ばく者の疫学調査では、**約100mSvを超えるとリスクの上昇**が見られます。
- 線量が低くても細胞を傷つける可能性があること、線量の増加で影響の重篤度は変わらず、発生確率だけが増加することから、確率的影響とも呼ばれます。



原爆被ばく者の疫学調査による発がんリスク

# 100mSv以下の放射線リスク

## ■ “あるかないかわかっていない” リスク

- インドの高自然放射線地域の疫学調査（長期被ばくの例）では、生涯に600mSv以下の線量域では、がんリスクの有意な増加は認められていません。最大の放射線疫学調査である広島・長崎の原爆被ばく者の調査（短期被ばくの例）でも、100mSv以下の線量域では、がんリスクの有意な増加は認められていません。

## ■ “あったとしても小さい” リスク

- これは、インドの高放射線地域の調査規模（約7万人）や原爆被ばく者の調査規模（約12万人）をもってしても、リスクは検出できないほど小さいことを示しています。

## ■ リスクを定量的に推定することの難しさ

- ICRPは、放射線関連がんリスクの低線量への外挿に関する報告書（Publication 99）の中で、放射線以外の要因で発生した発がん率の変動により、低線量放射線のリスクを定量的に推定することは非常に困難であると述べています。

# 防護のための想定リスク

## ■放射線防護のための想定リスク ～ LNTモデル

- 放射線から人間を防護する目的で、どんなに線量が低くてもリスクがあるものと考えて高線量域のデータをもとに低線量域のリスクを想定して、線量限度などの放射線防護基準が決められています。
- 国際放射線防護委員会（ICRP）は、2007年の勧告において、原爆被ばく者の疫学データ等を基に、100 mSvの被ばく当りのがんリスクの増加は、男女差や年齢差によらず0.5%程度であると評価しています。

## ■防護のための目安

- この値は、放射線利用に伴う社会全体の損失を抑制するための目安として使われるものであり、ICRPは、同じ2007年勧告で、低線量被ばくをした集団の将来を予測するためにこの値を使うことは不適切であるとしています。
- これは、低線量被ばくのリスクが小さすぎて、まだ明らかになっていないためです。低線量・低線量率放射線の影響は、生体の防御機能が働くため高線量・高線量率の場合と比較して小さくなるというデータも多く示されており、LNTモデルの妥当性については議論が繰り返されています。

# がん死亡率のばらつき

## ■ がんリスク 0.5%/100mSv

■ ICRPは、被ばくによる生涯がんリスクの上昇を、

100mSv : 0.5%

10mSv : 0.05%

1mSv : 0.005% と仮定しています。

■ 2009年の日本人の生涯がん死亡率注)は20% (男女の平均値: がんの統計2010より)。したがって、被ばくによる生涯がん死亡率の上昇の意味は、

100mSv : 20% → 20.5%

10mSv : 20% → 20.05%

1mSv : 20% → 20.005% となります。

■ 一方、年間のがん死亡率には、都道府県によって、15%程度の違いがあり、生涯がん死亡率でも同程度のばらつきがあるとすると、3% (20%×0.15) 程度の違いに相当し、20%の生涯がん死亡率の値には、

17%~20% (平均) ~23% 程度

のばらつきがあることとなります。

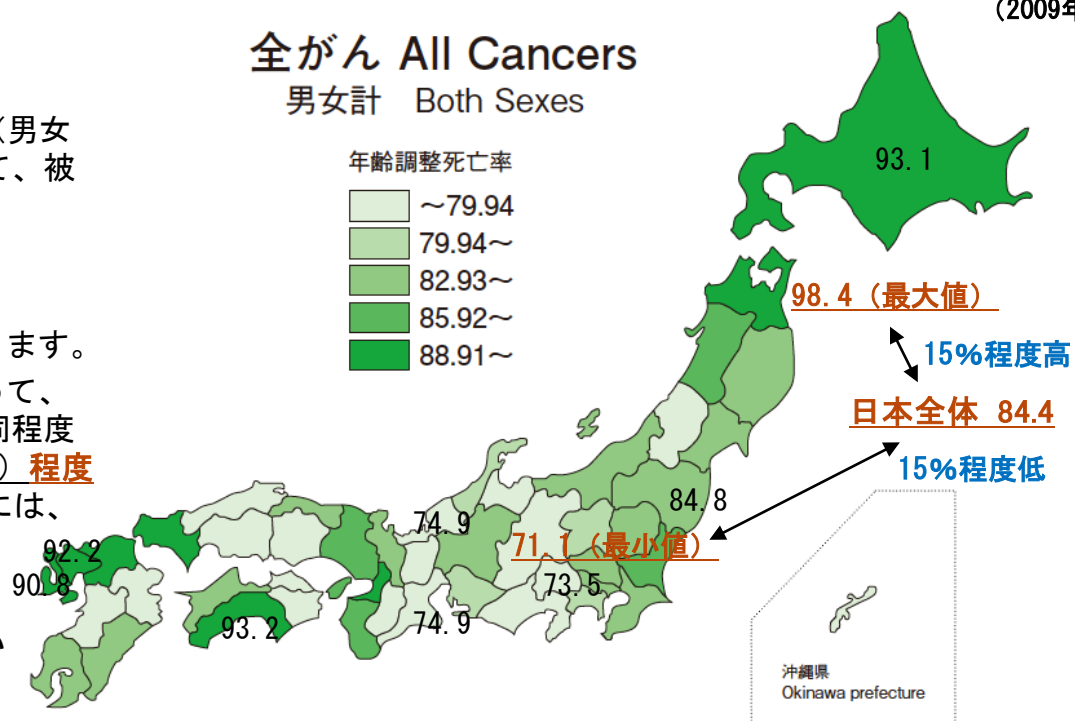
■ この主な原因は、食生活などの生活習慣の違いにあると考えられています。

注) ICRPのがんリスクは、がんで死亡するリスク以外に、寿命の損失やがん発生による生活の質の低下を考慮にいらしていますので、生涯がん死亡率を、生涯がんリスクに換算すると、やや高くなります。

出典: 国立がん研究センター「がんの統計2010」

75歳未満年齢調整死亡率 (人口10万対)  
Age-adjusted mortality rate under age 75 (per 100,000)  
(2009年)

## 全がん All Cancers 男女計 Both Sexes



年齢調整死亡率で整理されていますので、例えば、高年齢者が多い地域と若年層が多い地域など、年齢分布の違いによって、がん死亡率がばらついてしまう影響は含まれていません。

# まとめ

- 放射線量を正確に把握するには、測定方法や気象条件に注意が必要です。
- 放射線による健康影響は、被ばくした線量の大きさや線量率によって大きく異なります。
- 情報を冷静に分析し、判断する目が大切です。

