

4年生 特別講義 2008年6月13日

放射線の人体への影響と防護

核医学 玉木長良

全身被曝に伴う放射線障害と被曝線量

線量	1-2 Sv	2-6 Sv	6-10Sv	10-15Sv	15Sv以上
治療方法	観察	要治療	治療の可能性		対症療法
障害までの期間	--	4-6W	5日-2W 数日以内		
治療法	心理療法	輸血,対策	輸血,感染対策 骨髄移植	全身管理	対症療法
予後	非常に良い	要注意	かなり悪い	悪い	絶望的
死期		2ヶ月	2-3ヶ月	2週間	数日
死因		感染、出血		消化管障害	脳浮腫

医師がよく受ける質問

1. 胸部X線写真やCTを毎年繰り返し検査受けてますが、がんになりませんか？
2. 友人が下腹部痛があり、CTの検査を受けた後、妊娠していることがわかったのですが、胎児は大丈夫でしょうか？ 中絶した方がよいともいわれたのですが、

講義のアウトライン

1. 放射線の強さ、被曝の単位
2. 放射線の身体的影響
3. 放射線の防護
4. 放射線業務従事者の線量限度
5. 医療被ばく

放射線の単位



空 気
照射線量… γ (X) 線が空気
(C/kg) をどれだけ電離で
きるか

物 質
吸収線量……放射線のエネル
(Gy) ギーがどれだけ
物質に吸収され
たか

人 体
線量当量……人体への影響はどの
(Sv) くらいか

放射線の種類

電磁波

エックス線

ガンマ線

粒子線

電子線、ベータ線

中性子線

アルファ線、陽子線、など

1. 放射能の強さの単位

Bq (ベクレル) = dps (decay per second)

放射性物質の放射能の強さを示す単位

1 Bq = 1 秒間に 1 個の原子核が壊変する

(1 秒間に 1 本の放射線を出す)

1 Ci (キュリー) = 3.7×10^{10} Bq

(ラジウム 1 g の放射能)

Gy (グレイ) と Sv (シーベルト)

- Gyは吸収線量の単位 (J/kg)

1kgの物体に1Jのエネルギーを吸収させる放射線の線量。

- Svは、線量当量の単位。

(人体に対する放射線防護の観点からの単位)

放射線の線質の違いを考慮した線量

$$1\text{Sv} = 1\text{Gy} \times Q(\text{線質係数})$$

Q=1 X線、 γ 線、電子線、 β 線

Q=10 中性子線、陽子線

Q=20 α 線、重荷電粒子

放射線に関する単位

放射線源 照射線量 (C)

一定の場所における空気を電離する能力の量

↓
物体

吸収線量 (D)

放射線を照射された物質に吸収されたエネルギー量

$$1\text{Gy(グレイ)} = 1\text{ J kg}^{-1}$$

↓
人(全身)

実効線量 (H)

$$H = D \times WR \text{ (放射線荷重係数)}$$

↓
人(局所)

等価線量 (E)

$$E = H \times WT \text{ (組織荷重係数)}$$

等価線量

被曝を受けた臓器によって
障害の程度が異なる。

各組織の障害の感受性(荷重係数)を
考慮して加算した線量を実効線量という。

組織荷重係数

各臓器の確率的影響の
リスクを考慮して決め
られた値

組織荷重係数

生殖腺	0.20
骨髄	0.12
結腸	0.12
肺	0.12
胃	0.12
膀胱	0.05
乳腺	0.05
肝臓	0.05
食道	0.05
甲状腺	0.05
皮膚	0.01
骨	0.01
その他	0.05

線量－効果関係

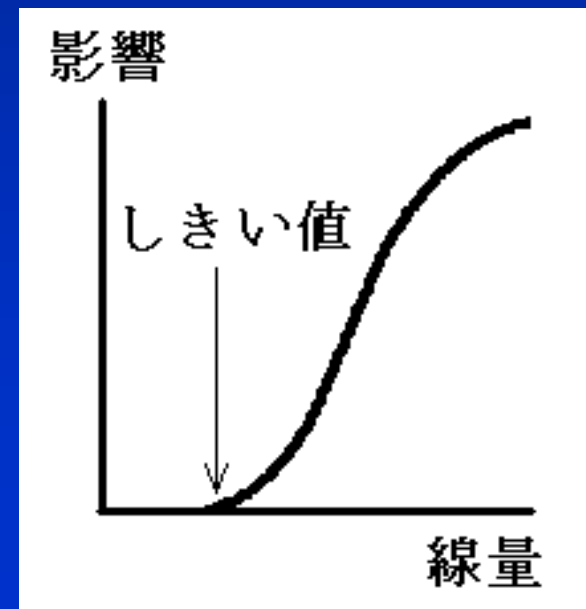
1) しきい値のある障害（非確率的影響）：

非確率的影響は、**細胞死**によって生じる。細胞死が多量に生じない線量では、生存している細胞が組織や臓器の機能を代償し、症状として現れない。

非確率的影響は、しきい値以下の被曝線量であれば障害（症状）は発生しない。

例：

白内障（水晶体上皮細胞の損傷、繊維化）、
皮膚、生殖細胞、骨髄細胞の損傷など



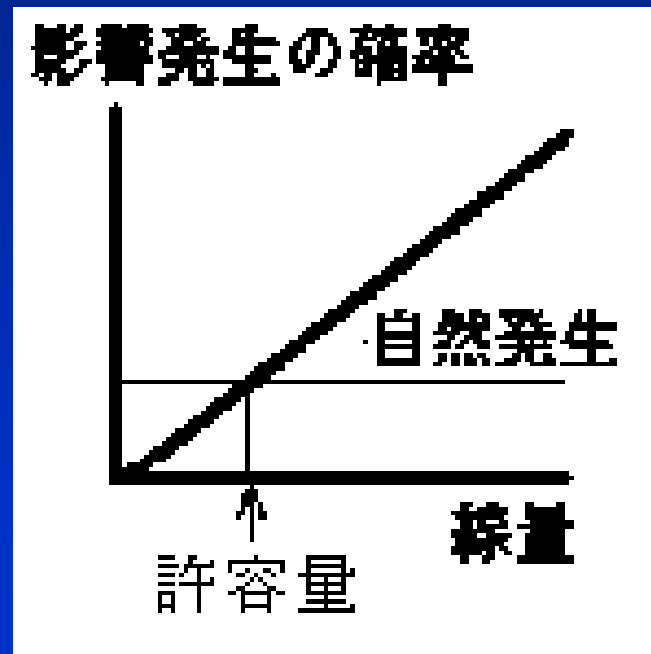
2) しきい値のない障害（確率的影響）：
確率的影響は、突然変異細胞によって
生じる。

突然変異細胞がたとえ1個でも発生すれば、
発癌や遺伝的影響の可能性が生じる。

被曝線量が増えると影響発現の確率は
増加する。

確率的影響は、低線量被曝に対しても
安全を保障できないことを意味する。

例：発がん、遺伝的影響



2. 放射線の身体的影響

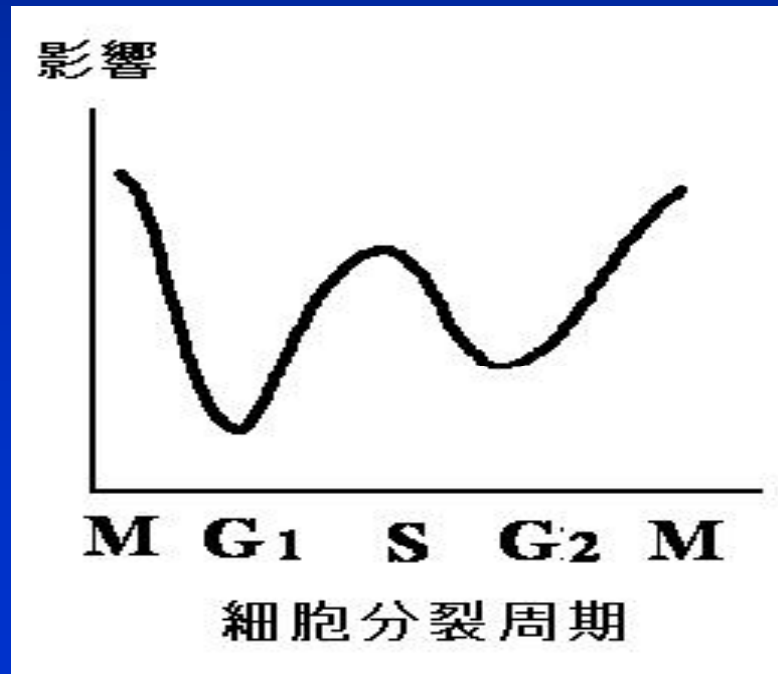
1) 細胞周期と放射線感受性

ベルゴニー・トリボンダーの法則

放射線に対する細胞の感受性は
増殖の活動力の程度に比例し、
分化の程度に逆比例する。

• 分裂周期：

M	：高感受性	分裂期
G ₁	：低感受性	DNA合成前期
S	：高感受性	DNA合成期
G ₂	：低感受性	DNA合成後休止期



組織の放射線感受性

細胞分裂頻度の高い組織ほど感受性が高い。
リンパ球は細胞分裂しないが、
アポトーシスしやすいので感受性が高い。

最高

リンパ球、骨髄、腸、精巣、卵巣

高

水晶体、皮膚、口腔、食道、胃、尿管

中

成長期の骨および軟骨、結合組織

低

骨、肺、腎、肝、脾、甲状腺、副腎

最低

神経、筋肉

2) 急性障害

しきい値のある障害（非確率的影響）

短期間に大量の被曝を身体に受けたときに起きる障害。

- ・ 全身被曝

- (1). 骨髄死

- (2). 腸死（消化管細胞死）

- (3). 中枢神経死

(1). 骨髄死

造血幹細胞、リンパ球の障害で
1～2ヶ月で血球減少症が起こり、
感染症や出血で死亡する。

骨髄死の LD_{50} （半数が死亡する lethal dose）は、 $3000\sim 5000\text{ mSv}$ 。

(2). 腸死 (消化管細胞死)

消化管の幹細胞の障害で

1～2週で消化管上皮細胞が減少し、
下痢、下血で死亡する。

腸死のLD₅₀ は、10000～15000 mSv。

(3). 中枢神経死

中枢神経細胞が直接障害を受けて、
1～2日で脳浮腫で死亡する。

中枢神経死のLD₅₀ は、50000 mSv。

- 各組織の急性障害

白血球減少 250～1000 m S v

(被曝後 1～2週で減少。

顆粒球は 1ヶ月、リンパ球は 3ヶ月で回復。)

脱毛 1000 ～3000 m S v

永久脱毛 3000 ～5000 m S v

皮膚紅斑 3000 m S v

水晶体混濁 2000 m S v

女子一時不妊	650～1500	m S v
女子永久不妊(20～30才)	7000～8000	m S v
女子永久不妊(40才)	3000	m S v
男子一時不妊	1500	m S v
男子永久不妊	3000～5000	m S v

3) 晩発障害

しきい値のない障害（確率的影響）

晩発障害は急性障害に耐えたもの、あるいは比較的**低線量**の1回または分割照射を受けた後、**数年～数十年の潜伏期**を経て現れる。

1. 放射線発癌
2. 遺伝的影響

リスク係数：

被曝群と対照群の癌死亡率の差、比率。

1 mSv の被曝で発癌する確率

胃	0.00001	(10万人に1人)
肺	0.00001	
骨髄	0.000005	
乳腺	0.000002	
甲状腺	0.0000008	
骨	0.0000005	

1 m S v で、50万人に 1人が一生の間に
白血病で死亡する。

被曝後 2～3年で増加、6～7年でピーク
になる。

1 m S v で男性は10万人に 1人、
女性は1.5人が一生の間に癌で死亡する。

潜伏期は20～30年。

- ・ 遺伝的影響

被曝者の次世代における性比、発育、発癌頻度、死亡率の異常、奇形、染色体異常。

動物実験では放射線被曝が遺伝的影響を起こすことが確認されている。

1 mS v で、25万人に 1人が
遺伝的影響を残すとされていたが、

原爆被曝者の調査では遺伝的影響の
有意な増加は確認されていない。

遺伝子レベルの調査が現在進行中である。

内閣府原子力安全会

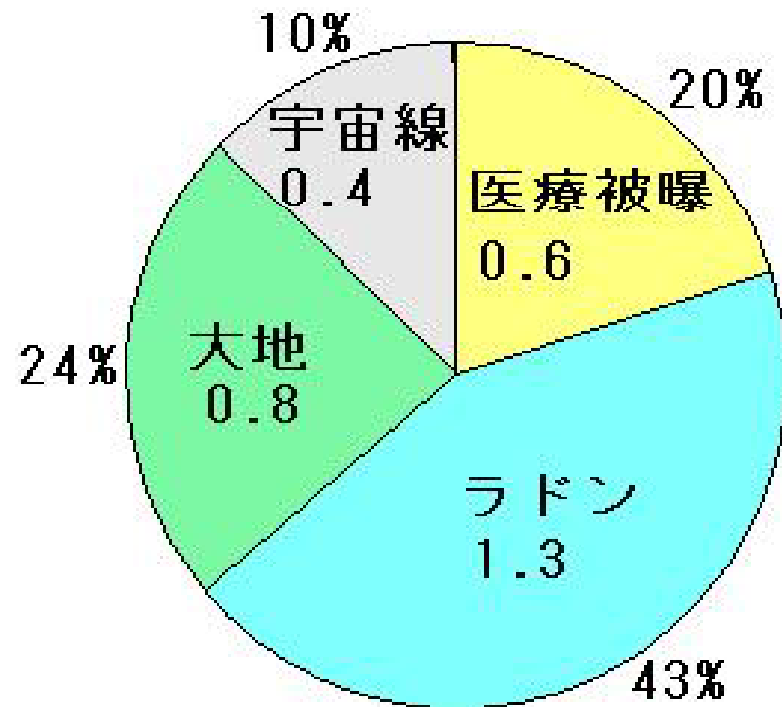
低線量放射線影響分科会2004年

100mSv程度の線量域までは、線量とがん発生の関係は直線的であることが確かめられている。しかしそれ以下の線量域については、直線関係を示す確かなデータは得られていない。

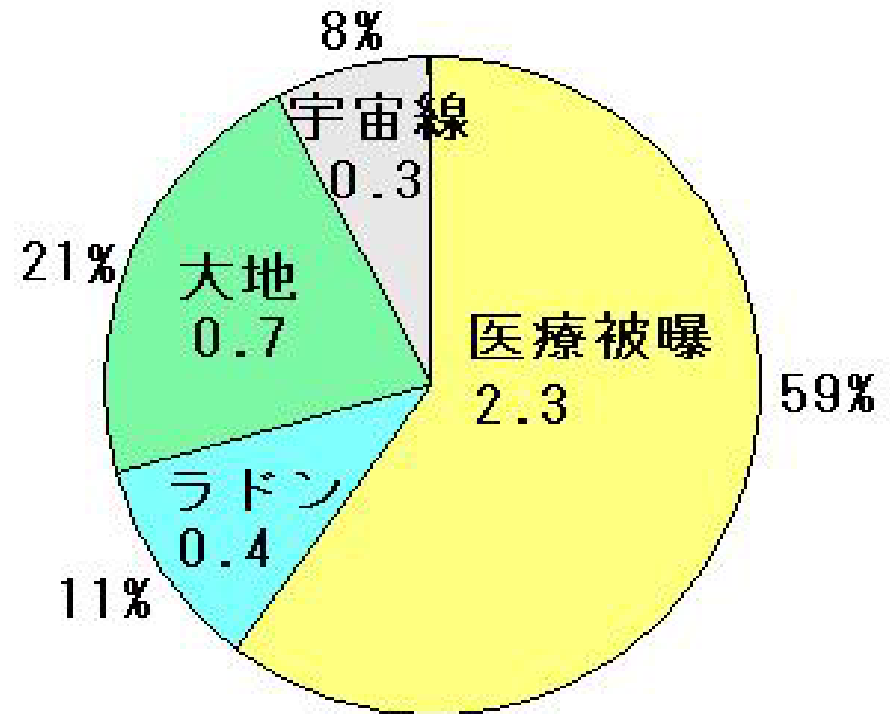
環境放射線

環境放射線

世界平均 3.0mSv



日本 3.8mSv



自然被曝 1年で全身 約 1 ~ 2 m S v

	肺	生殖腺	骨髄	
宇宙線	0.3	0.3	0.3	(mSv/year)
地殻	0.3	0.3	0.3	
体内被曝				
^{40}K	0.2	0.2	0.3	(食品中に存在)
^{222}Rn	0.3	0.02	0.03	(大気中に存在)

3. 放射線防護

目的

- ・ 利益をもたらすことが明らかかな行為が放射線被ばくを伴う場合には、その行為を不当に制限摺ることなく人の安全を確保する。
- ・ 個人の確率的影響の発生を防止する。
- ・ 確率的影響の発生を制限するためにあらゆる合理的な手段をとる。

放射線防護体系の3原則

・ 行為の正当化

医療行為による患者の利益が被ばくによる不利益を上回る場合に限り、医療被ばくは正当化される。

・ 放射線防護の最適化

正当化された必要量以上の被ばく線量が患者にもたらされないように、治療行為、施設整備等の品質保証・品質管理を徹底しなければならない。

・ 個人の線量限度

関連する医療行為すべての複合的な結果生じる個人の被ばくは、線量限度に従うべきである。

ALALA (アララ)

As Low As Reasonably Achievable

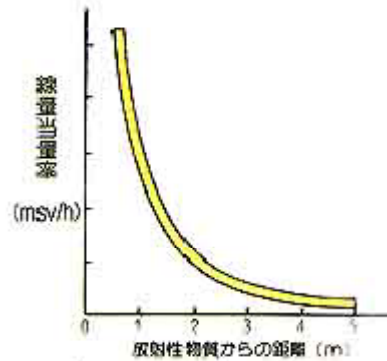
国際防護委員会が1977年勧告で示した放射線防護の基本的考え方を示した概念：

「すべての被ばくは、社会的、経済的要因を考慮に入れながら、合理的に達成可能な限り低く抑えるべきである」という基本的精神に従い、被ばく線量を制限することを意味している。

放射線防護の基本

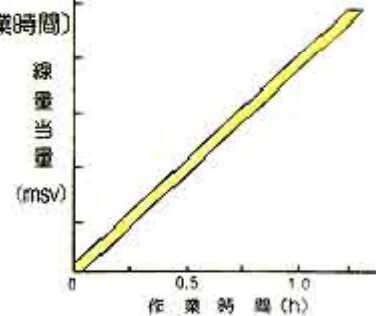
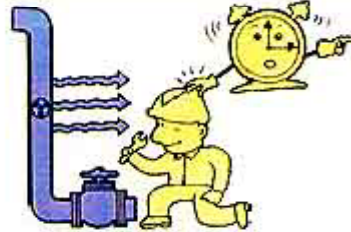
● 距離による防護

(線量当量率) $\propto 1/(\text{距離})^2$

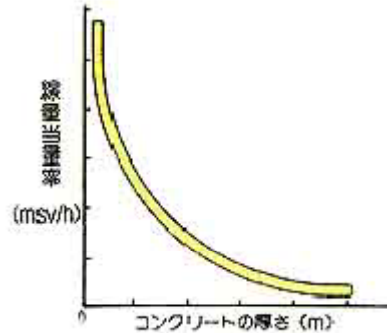
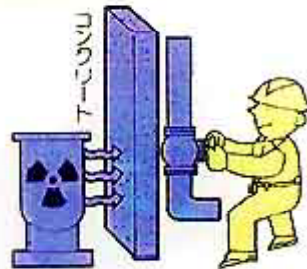


● 時間による防護

(線量当量) = (作業場所の線量当量率) × (作業時間)



● 遮蔽による防護



3. 放射線防護

放射線被曝を減らすための3原則

距離:

放射線源に近づかない

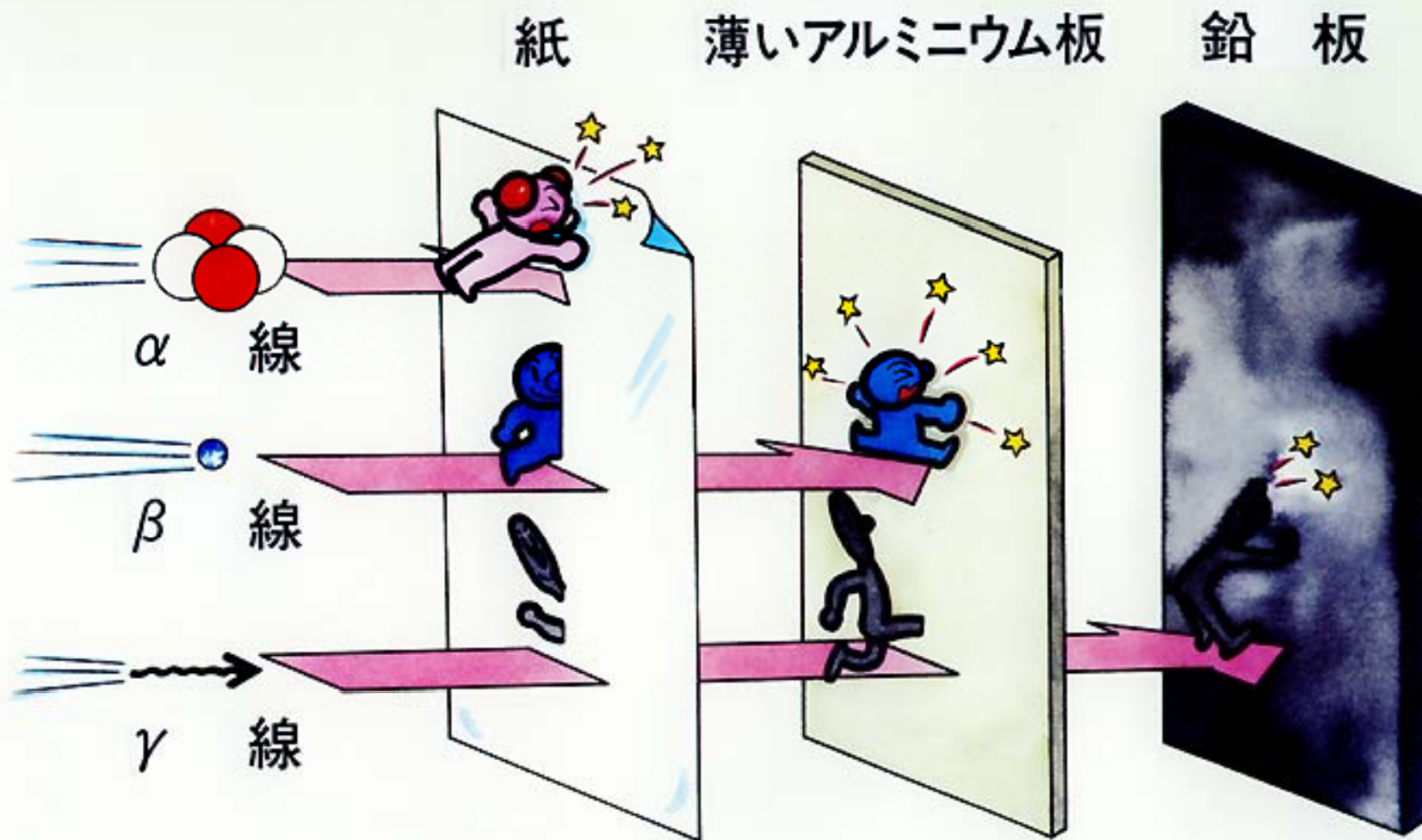
時間:

放射線源に近づく時間を減らす

遮蔽:

放射線源との間に遮蔽物を置く

放射線の透過作用



4. 線量限度

被ばくする人の区分

- ・ 職業被ばく

診療業務の過程で医療従事者（医師、薬剤師、放射線技師、看護師等）が放射線を受けること。

- ・ 医療被ばく

患者、患者の介助に伴う家族（放射線診療従事者を除く）の放射線被ばく。

- ・ 公衆被ばく

職業被ばく、患者被ばく以外の全ての被ばく。

個人の線量限度

- ・ 職業者

20mSv/5年平均（最大50mSv）

- ・ 一般公衆

1mSv/年

- ・ 患者（医療被ばく）

線量限度は適用されない

放射線業務従事者の線量限度

実効線量限度 $100 \text{ mSv} / 5 \text{ 年}$

$50 \text{ mSv} / \text{年}$

妊娠中でない女子 $5 \text{ mSv} / 3 \text{ 月}$

一般公衆の実効線量限度 $1 \text{ mSv} / \text{年}$

等価線量限度

目（水晶体）

1 5 0 m S v / 年

その他

5 0 0 m S v / 年

妊婦の腹部

2 m S v / 妊娠中

5. 医療被曝

- ・ 次の検査・処置で患者への放射線被ばくを伴うものはどれか？
 - 胸部レントゲン写真
 - 超音波検査
 - X線CT
 - 核医学検査
 - 胃十二指腸透視
 - 胃カメラ
 - MRI
 - MRアンギオグラフィ
 - 冠動脈造影
 - 血管形成術(Intervention)
 - 腎透析

(2) 医療被曝

年間 2.3 mSv

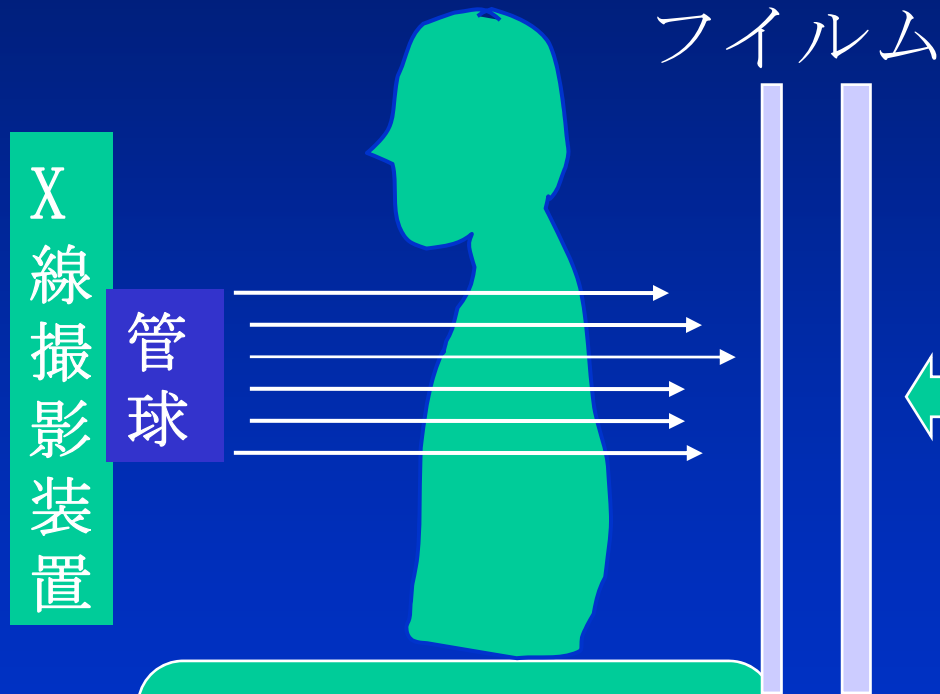
- ・ X線検査による被曝 (mSv)
- ・ CT 10 ~ 50
- ・ 血管造影 6.8 ~ 9.7 (1分で皮膚0.5)
- ・ 胃、消化管造影 2.7 ~ 3.0 (1分で皮膚0.5)
- ・ 胆道造影 0.55
- ・ 胸部X線 0.06 (胎児 0.003)
- ・ (胸部間接 0.3)
- ・ 腹部X線 0.3 (胎児 0.60)
- ・ 骨盤X線 0.25 (胎児 1.10)

CT検査の放射線量

検査部位	実効線量 (mSv)
頭部	2.8
胸部	6.2
腹部・骨盤部	14.4
骨盤部	7.2

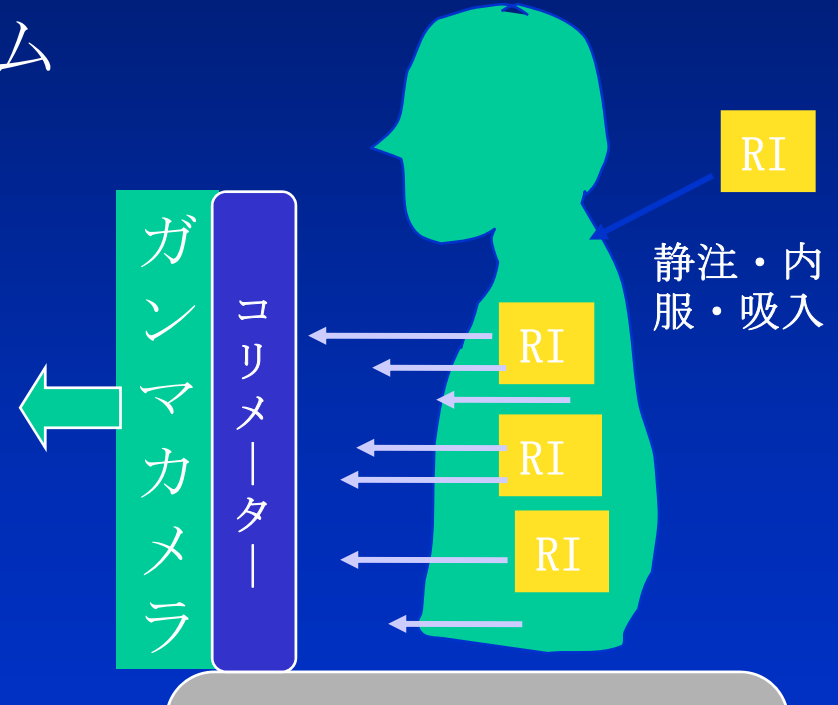
X線検査と核医学検査の相違

X線写真 (radiogram)



体内を透過するX線の強さを画像化
(解剖学的情報)

核医学画像 (scintigram)



体内のアイソトープの分布を画像化
(機能・代謝情報)

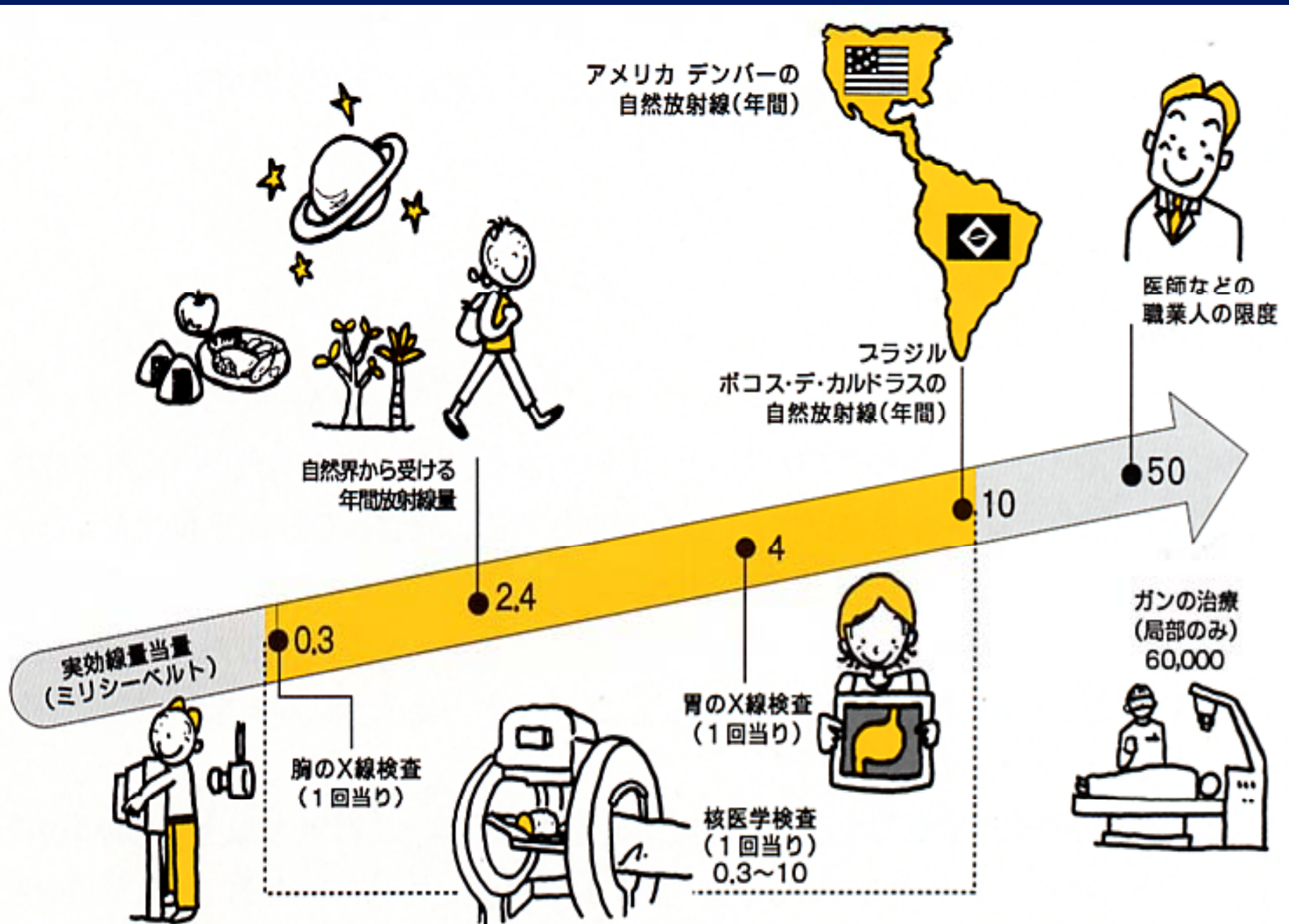
核医学検査の放射線量

検査薬品	投与量 MBq	全身 mSv	目的臓器 mSv	吸収線量 の高い臓器 mSv
^{123}I -IMP	111	1.1	脳2.5	肝5.3
^{201}Tl	74	4.2	心筋10	腎8.0
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP	740	2.0	骨9.5	腎5.0
^{18}F -FDG	115	2.2	腫瘍	膀胱18.4

- 放射線治療

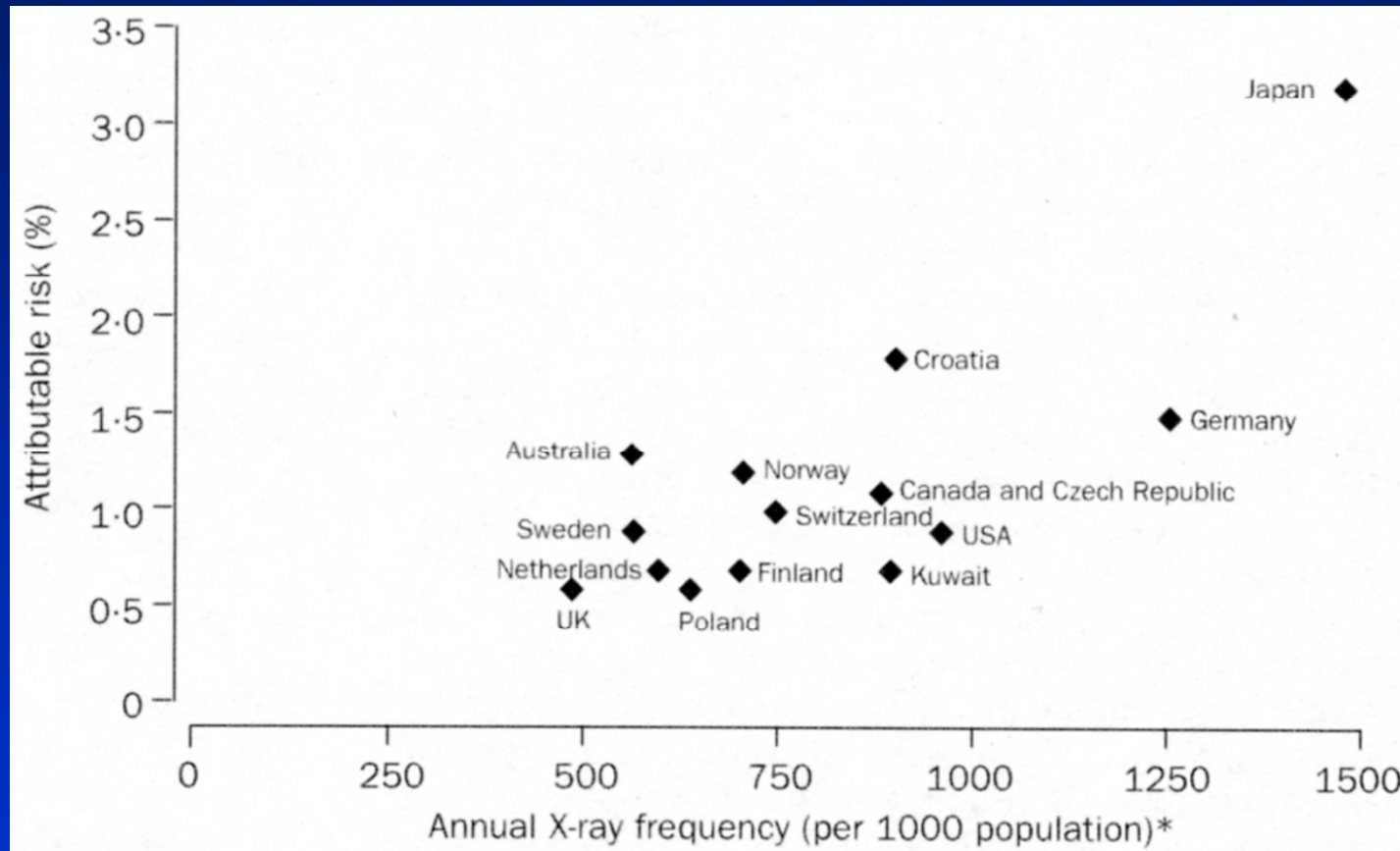
病変部位に 1回 2000～3000 mSv を
20～25回、計 40000～75000 mSv を
照射し、作為的に非確率的影響を起こす。

種々の放射線の線量当量 (mSv)



各国の放射線検査頻度と癌の発生率

Lancet 363: 345, 2004



日本医学放射線学会等のコメント:原子爆弾による被爆のデータに基づいた放射線被ばく量とがんの発生との関係を医療被ばくに適用するのは無理である。

妊娠可能年齢の患者に対する考慮

- ・ ルーチンに「10日ルール」を適用する必要はない。
- ・ 子宮に高線量を含む計画があれば「10日ルール又は妊娠テスト」を実施。
- ・ 妊娠がわかっていても100mSv以下であれば、直ぐに墮胎しない。100mSv以上であっても全てに墮胎を忠告するものではない。
- ・ 妊娠を気がつかずに放射線検査を実施しても胎児に1mSvを超えることはないが、やはり不必要な被ばくはさけるべきである。

妊娠と医療放射線

- 日常の放射線検査では、胎児被ばくを含めて放射線の影響が問題となる被ばくはない。
- 遺伝的影響については人間では確認されていない。

小児患者に対する考慮

- ・ X線検査による遺伝的影響、白血病、その他の影響はないが、放射線感受性は大人より高いため、照射野を絞る、プロテクターを使用する等の配慮は必要である。
- ・ (例)川崎病の冠動脈病変を毎年X線CTで経過観察する→△
→超音波検査やMRI検査等に切り替える

患者さん,被ばくされた方への説明に向けて

- 不安の原因を知る
- 説明に当たって
 - 担当した医師による説明
 - 相手の話をじっくり聴く
 - わからないことをあいまいに返答しない
 - 専門家の助言を求める
 - 不安の原因を除く