

講演 II

# 「放射線による健康影響と医学的利用について」

弘前大学被ばく医療総合研究所教授

弘前大学アイソトープ総合実験室長(兼任)

床 次 眞 司



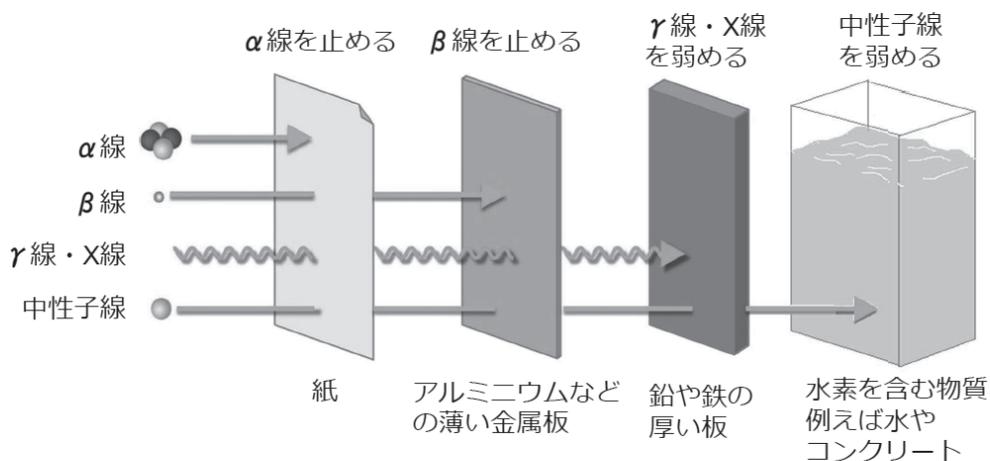
# 放射線による 健康影響と医学利用について



放射線

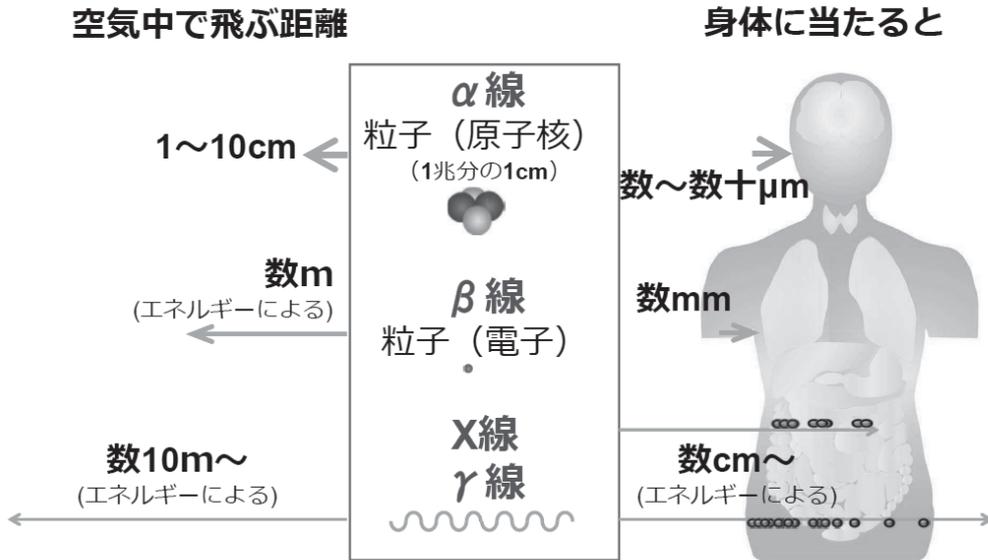
## 放射線の透過力

放射線は、いろいろな物質でさえぎることができる



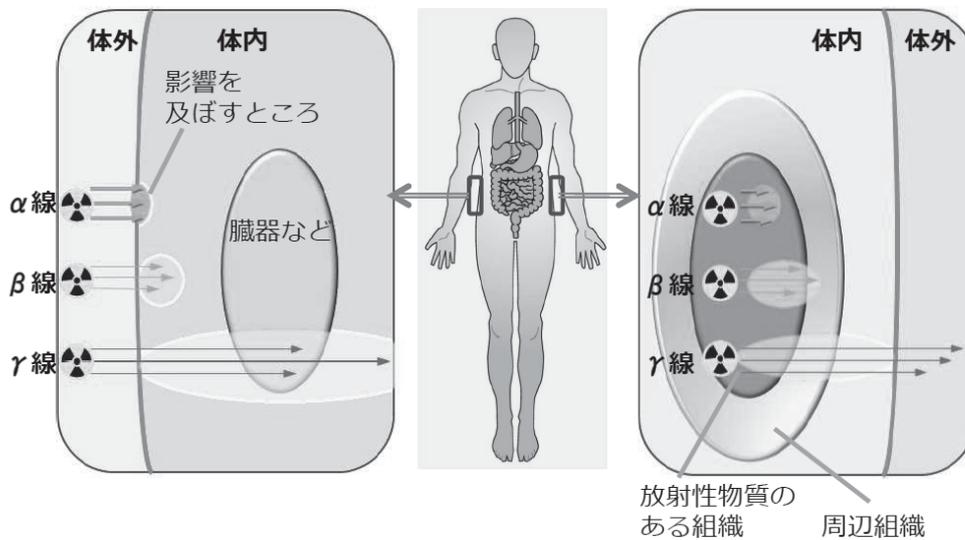
放射線

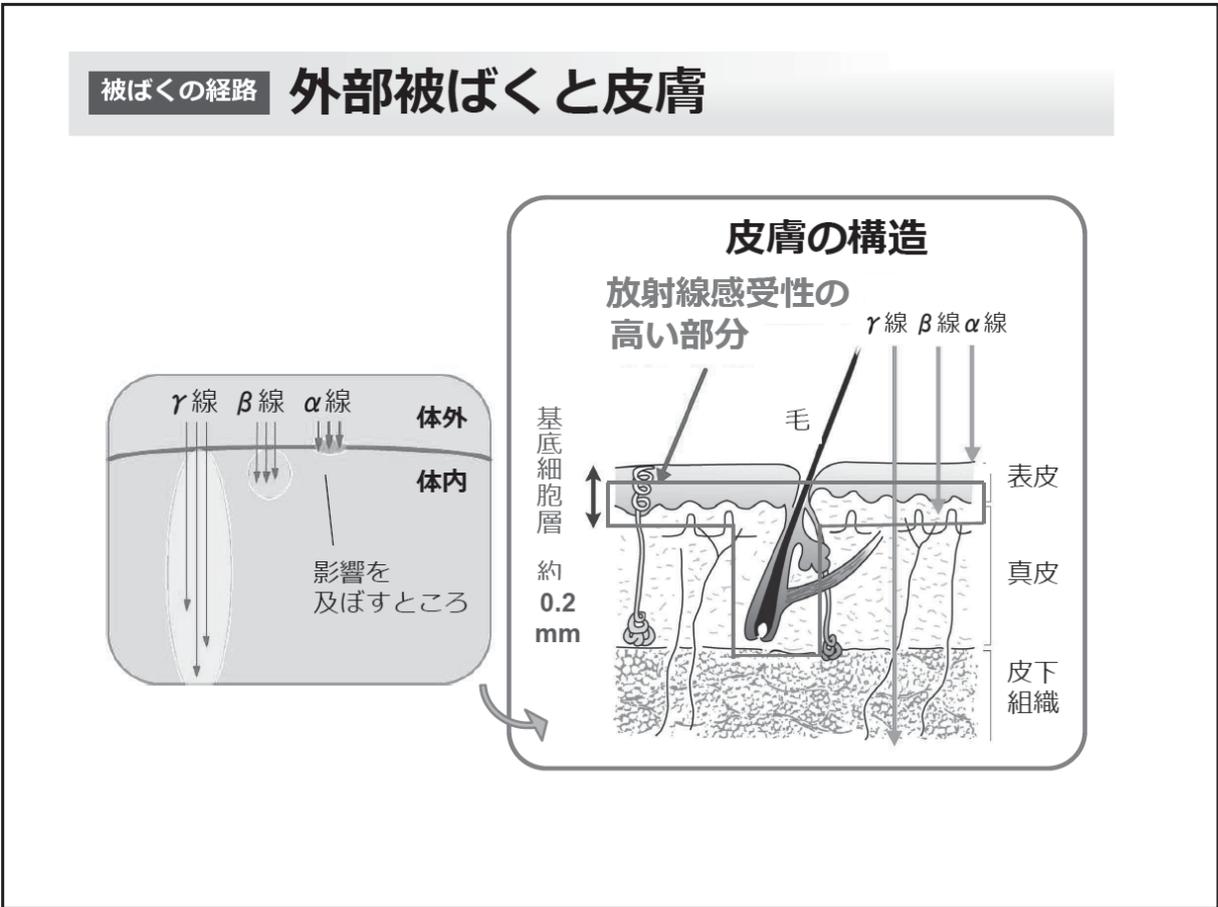
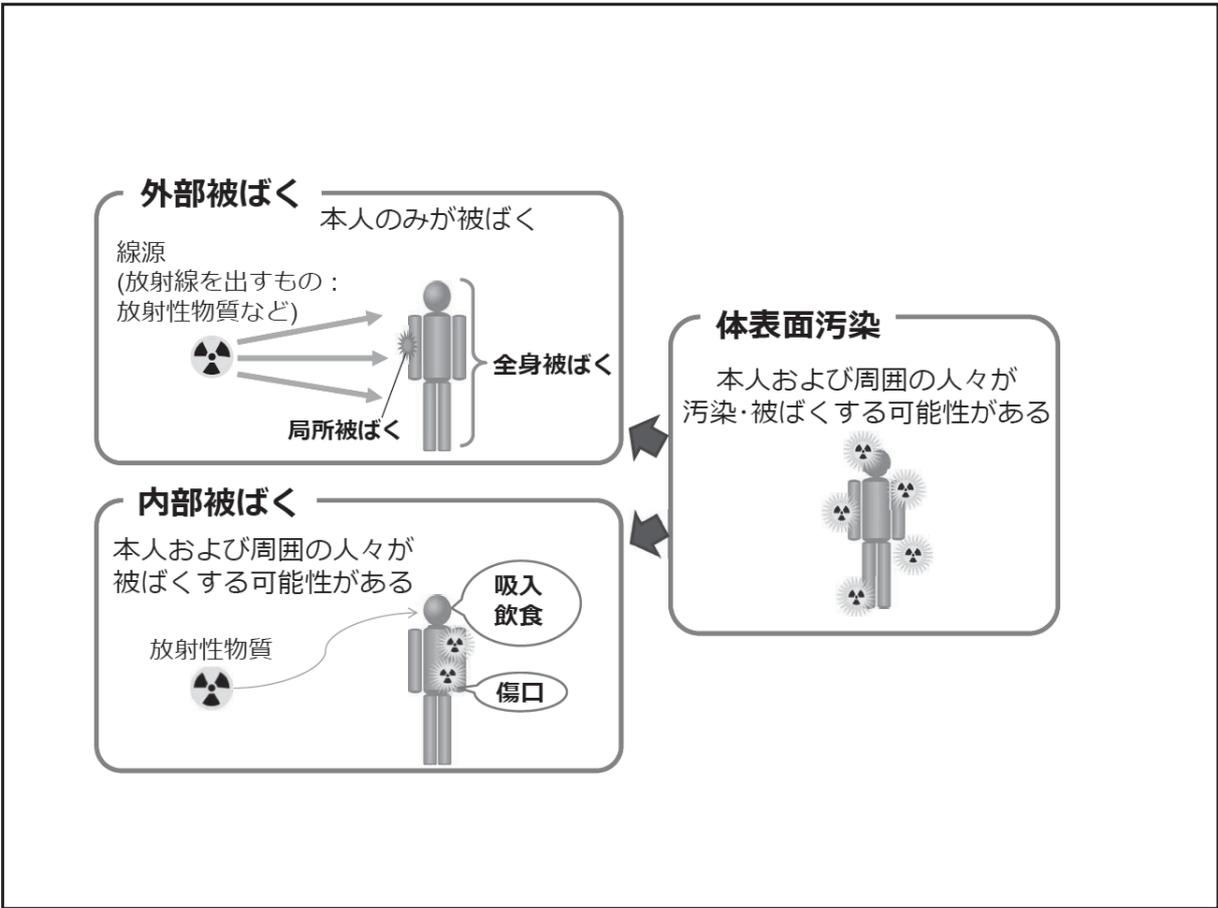
## 放射線の体内での透過力



放射線

## 透過力と人体での影響範囲





### ① 経口摂取

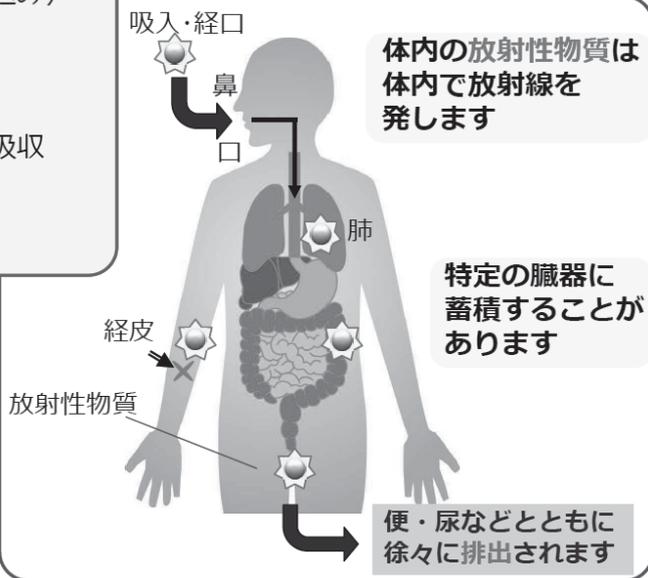
口から入り（飲み込み）  
消化管で吸収

### ② 吸入摂取

呼吸気道から侵入  
肺・気道表面から吸収

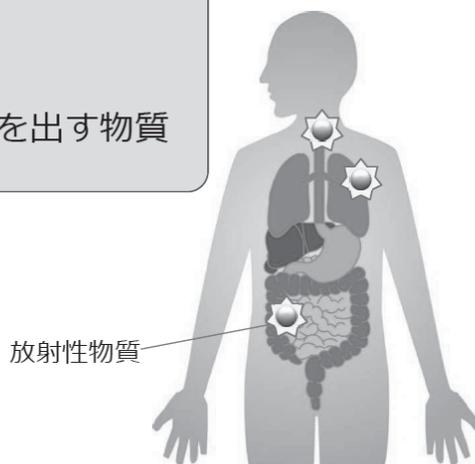
### ③ 経皮侵入

傷口より侵入



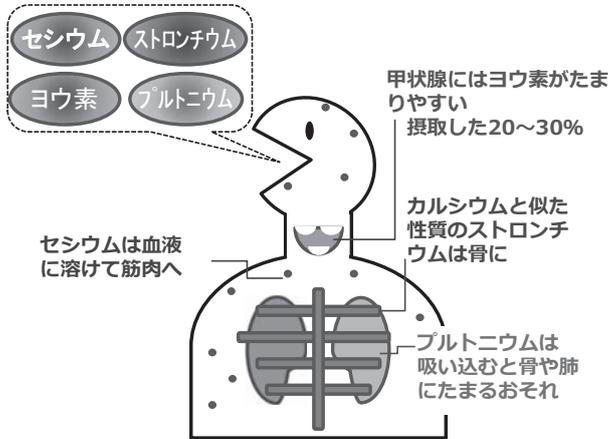
### 内部被ばくで特に問題となる放射性物質

- ① 取り込まれやすく、排泄されにくい
- ② 特定の組織に蓄積しやすい
- ③  $\alpha$ 線を出す物質 >  $\beta$ 線や $\gamma$ 線を出す物質



# 放射性物質の体内の動き

放射線物質を体内に取り込むと…？

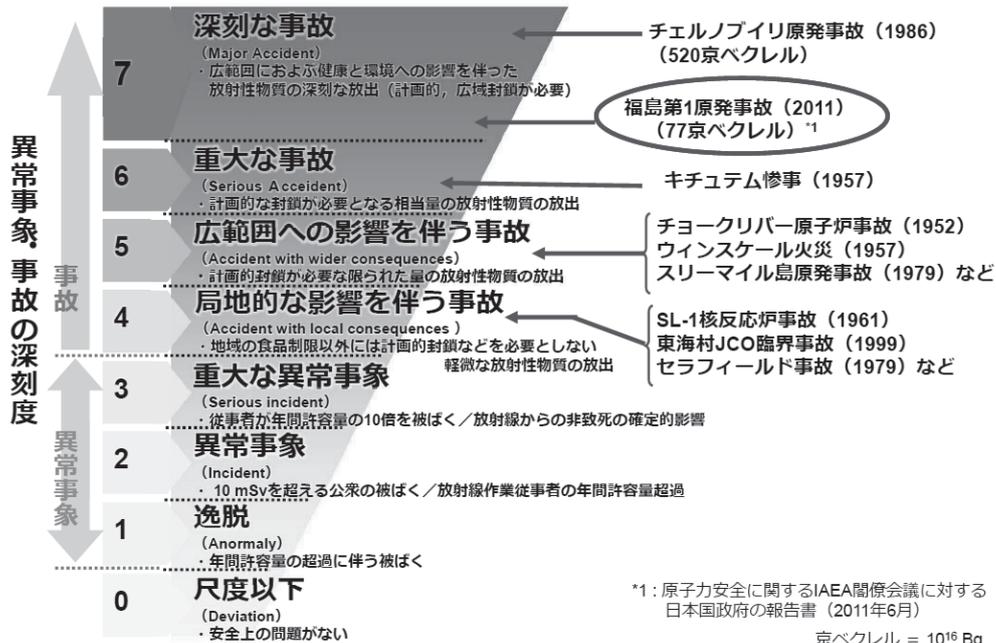


生物学的半減期 ↓ 代謝で排出

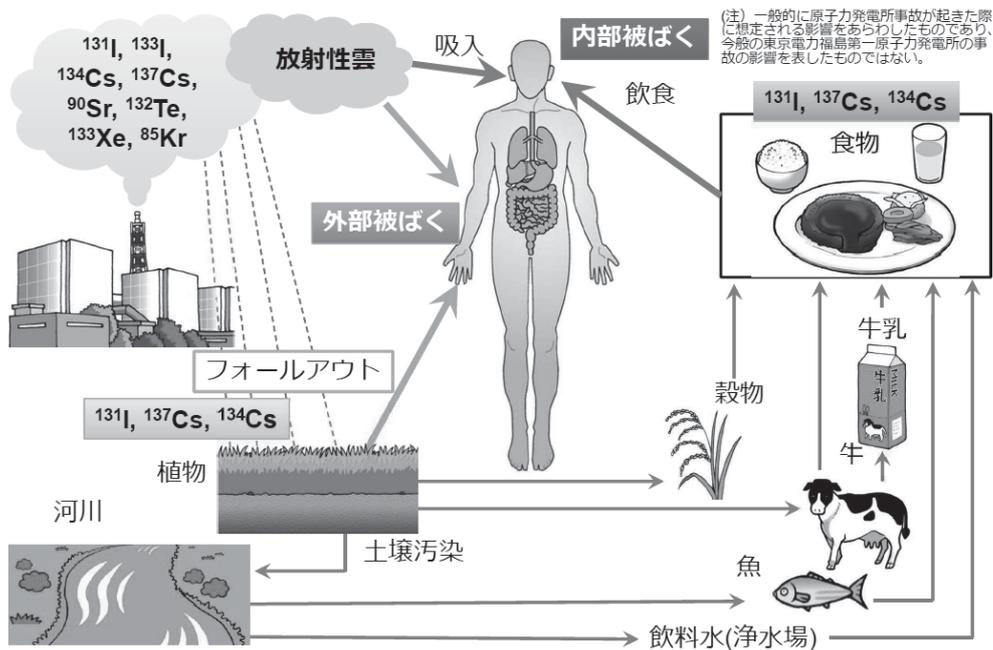
- ヨウ素は80日
- セシウムは70~90日
- ストロンチウムは数年~20年
- プルトニウムは数十年

## 原子力災害の影響

## 国際原子力事象評価



## 放射能汚染の拡散

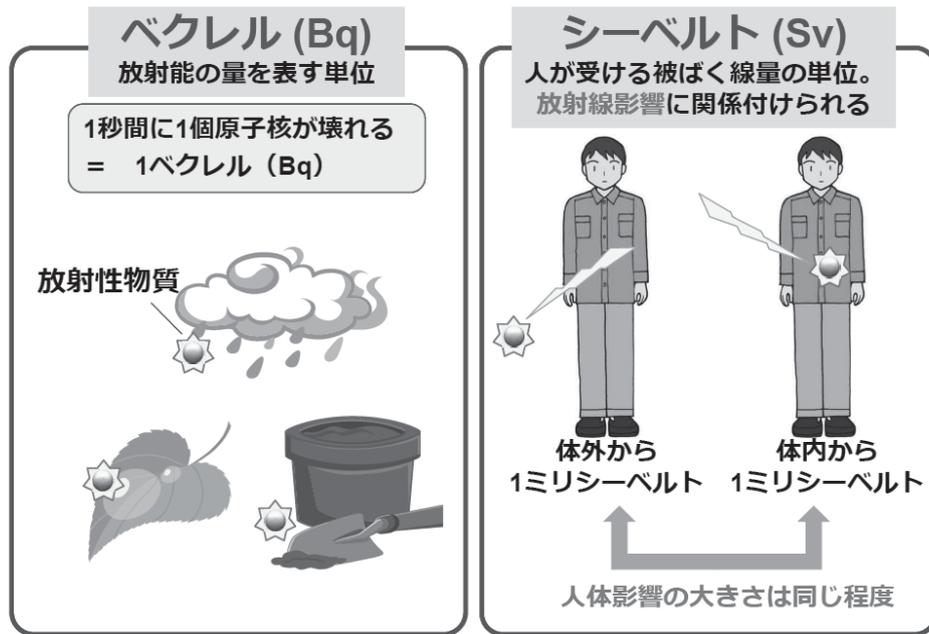


## 原発事故由来の放射性物質

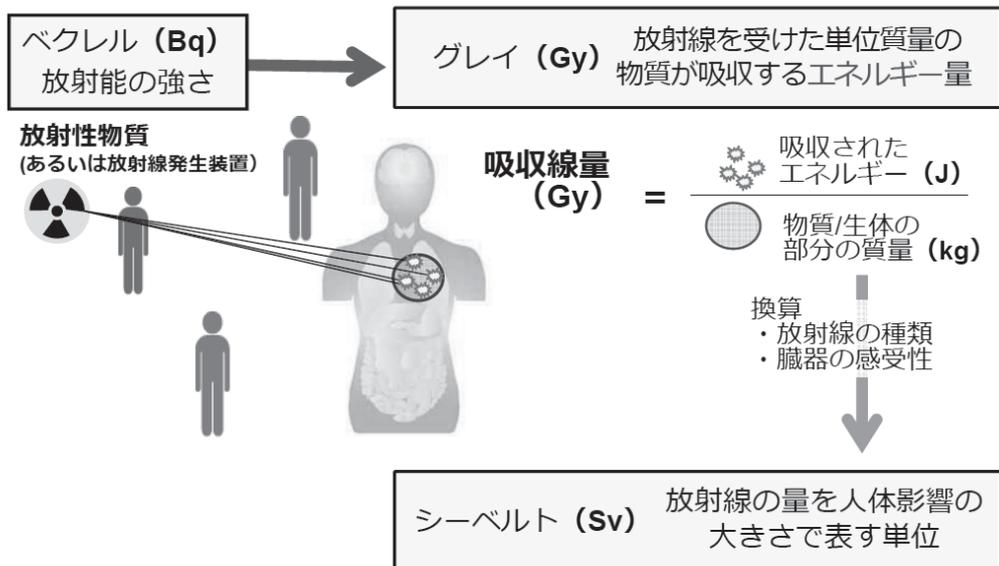
|           | I-131<br>ヨウ素    | Cs-134<br>セシウム  | Cs-137<br>セシウム  | Sr-90<br>ストロンチウム | Pu-239<br>プルトニウム |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| 出す放射線の種類  | $\beta, \gamma$ | $\beta, \gamma$ | $\beta, \gamma$ | $\beta$          | $\alpha, \gamma$ |
| 物理学的半減期   | 8日              | 2.1年            | 30年             | 29年              | 24,000年          |
| 実効半減期     | 8日              | 64日             | 70日             | 15年              | 197年             |
| 蓄積する器官・組織 | 甲状腺             | 全身              | 全身              | 骨                | 骨、肝              |

実効半減期：体内に取り込まれた放射性物質の量が、生物学的排泄作用(生物学的半減期)および放射性物質の物理的壊変(物理学的半減期)の両者によって減少し半分になるまでの時間。緊急被ばく医療テキスト(医療科学社)の値を引用した。

## 放射線の単位 ベクレルとシーベルト

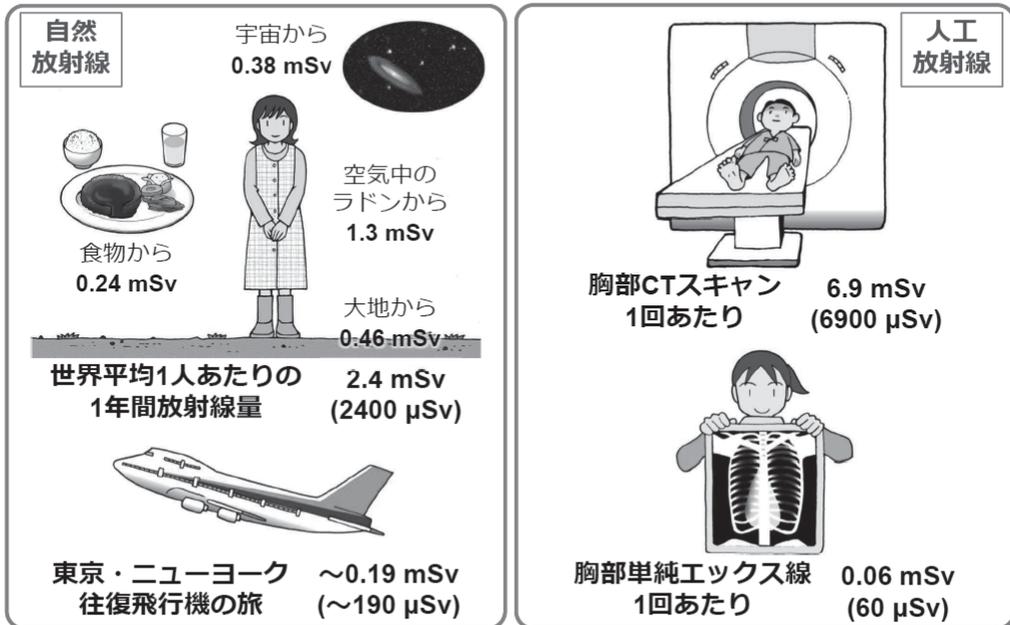


## 放射線の単位 単位間の関係



身の回りの放射線

自然・人工放射線からの被ばく線量



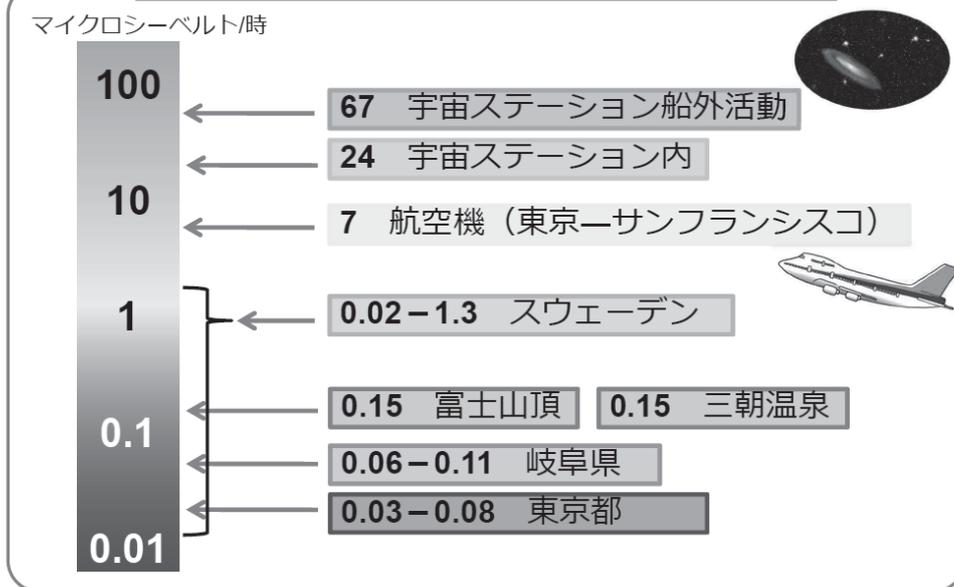
mSv : ミリシーベルト μSv : マイクロシーベルト

放射線医学総合研究所ホームページ (出典 : 資源エネルギー庁2000年) より作成

身の回りの放射線

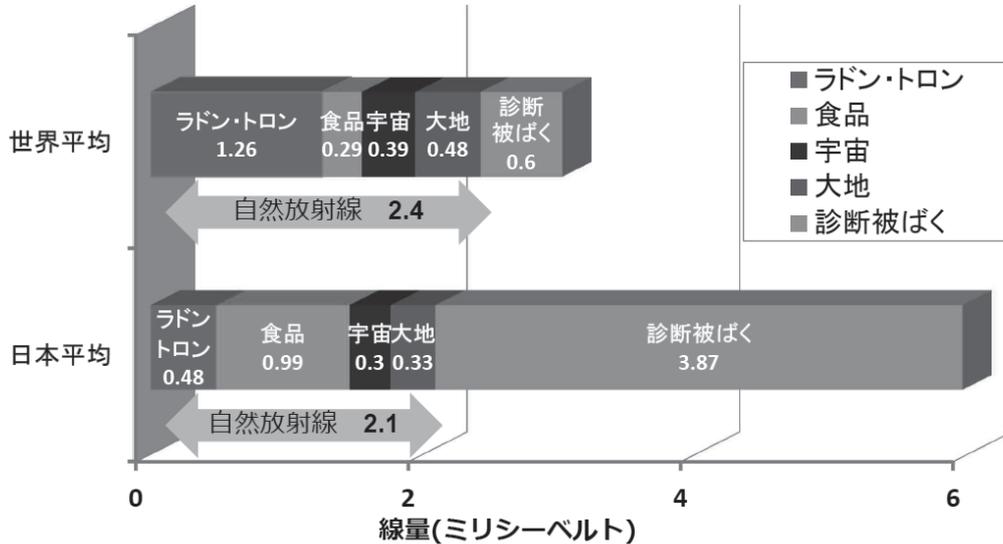
時間当たりの被ばく線量の比較

空間放射線量率の比較 (平常時)



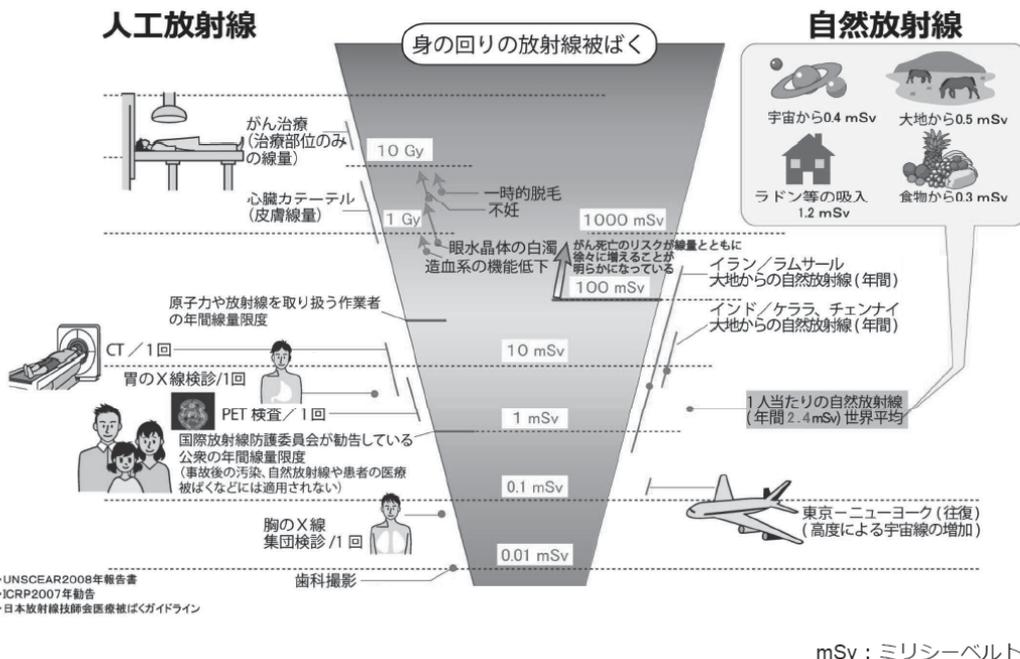
# 年間当たりの被ばく線量の比較

## 日常生活における被ばく（年間）



2008年国連科学委員会報告、原子力安全研究協会「生活環境放射線」(2011年)より作成

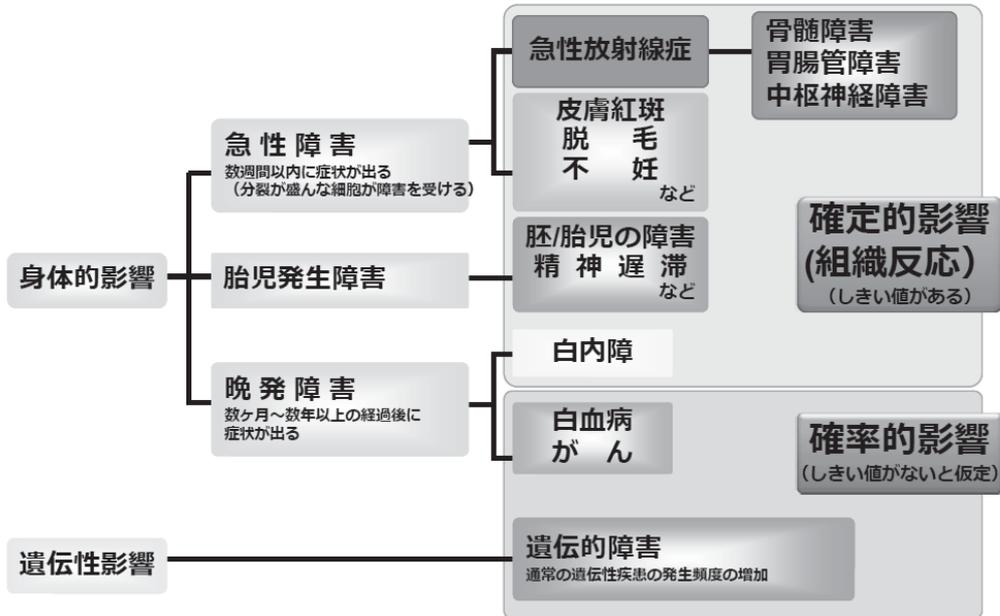
# 被ばく線量の比較（早見図）



mSv : ミリシーベルト

## 影響の種類

▶ 放射線を受けた後にどのような障害が生じるか、生じないか、受けた放射線の量、受けた場所（全身、局所）、時間的経過（被ばくの様式）を考慮する



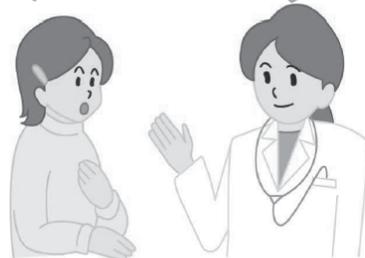
## 被ばくの形態と影響

- ◆ 高線量被ばく  
(大量の放射線を受けた)
- ◆ 低線量被ばく  
(少量の放射線を受けた)

- ◆ 急性被ばく  
(大量の放射線を短時間に受けた)
- ◆ 慢性被ばく  
(少量ずつ長時間受けた)

皮膚障害  
吐き気  
脱毛？

急性障害は  
急性被ばく  
でおこる



## 放射線影響の分類

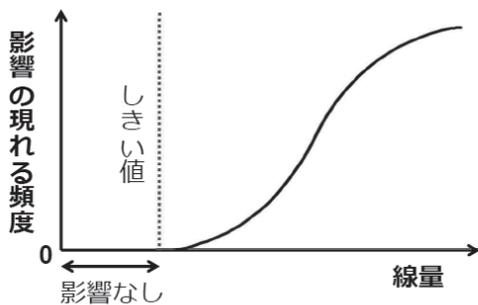
|       |       | 潜伏期間                      | 例                  | 線量反応関係  |
|-------|-------|---------------------------|--------------------|---|
| 影響の出現 | 身体的影響 | 数週間以内<br>= 急性影響<br>(早期影響) | 急性放射線症*<br>急性皮膚障害  | 細胞死/細胞変性<br>で起こる<br>確定的影響   |
|       |       | 数ヶ月以降 =<br>晩発影響           | 胎児の発生・<br>発達異常(奇形) |  |
|       |       |                           | 水晶体の混濁             |   |
|       | 遺伝性影響 |                           | がん・白血病             | 突然変異で起こる<br>確率的影響   |
|       |       |                           | 遺伝性疾患              |  |

\*主な症状としては、被ばく後数時間以内に認められる嘔吐、数日から数週間にかけて生じる下痢、血液細胞数の減少、出血、脱毛、男性の一過性不妊症などである。

## 確率的影響と確定的影響

### 確定的影響

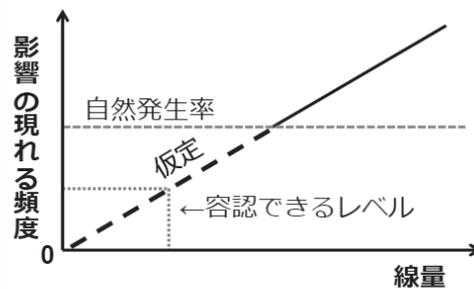
放射線を受けた人のうち最も放射線に対して感受性が高い1%の人が発症する線量を「しきい値」としている。  
(ICRP2007年勧告)



確定的影響 (脱毛・白内障・皮膚障害等)

### 確率的影響

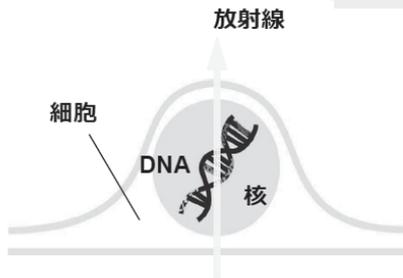
一定の線量以下では、喫煙や飲酒と言った他の発がん影響が大きすぎて見えないが、ICRPなどではそれ以下の線量でも影響はあると仮定して、放射線防護の基準を定めることとしている。



確率的影響 (がん・白血病・遺伝等)

## DNAの損傷と修復

X線 1 ミリグレイ当たりの損傷(1細胞当たり)

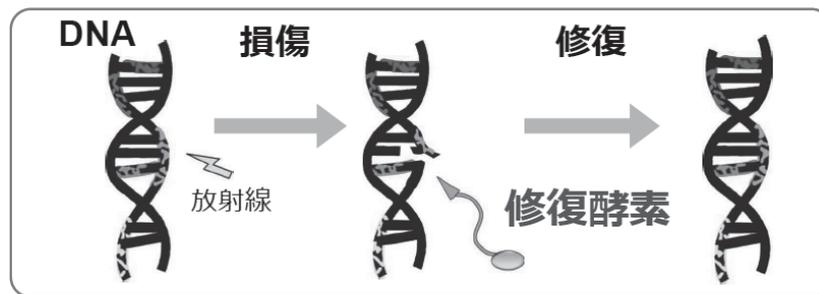


塩基損傷 2.5 箇所

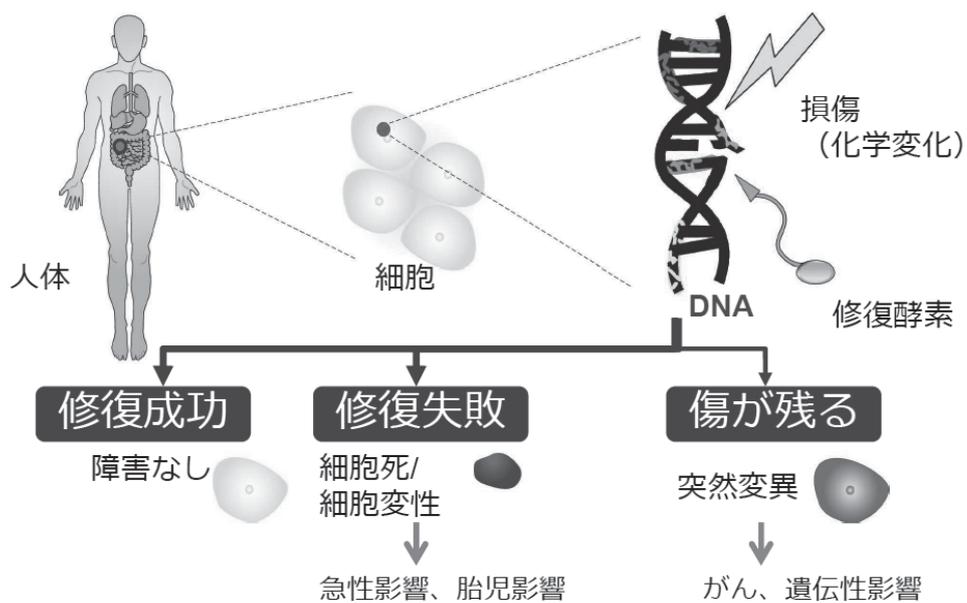
一本鎖切断 1 箇所

二本鎖切断 0.04 箇所

Morgan, 米国放射線防護委員会  
年次総会(第44回、2009)



## DNA→細胞→人体



## 臓器・器官の放射線感受性

分裂が盛ん 感受性が高い

造血系：骨髄、リンパ組織（脾臓、胸腺、リンパ節）

生殖器系：精巣、卵巣

消化器系：粘膜、小腸絨毛

表皮、眼：毛嚢、汗腺、皮膚、水晶体

その他：肺、腎臓、肝臓、甲状腺

支持系：血管、筋肉、骨

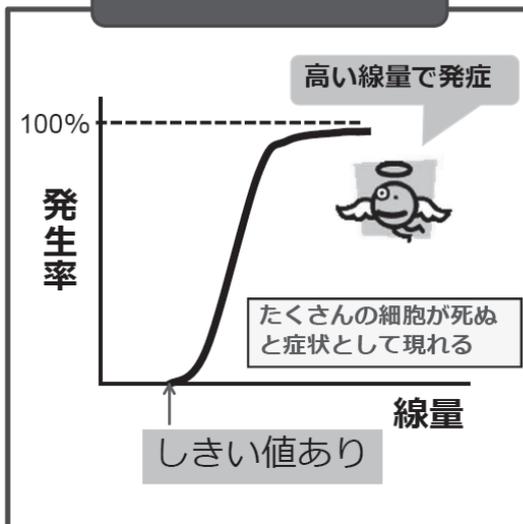
伝達系：神経

分裂しない 感受性が低い

## 線量反応関係

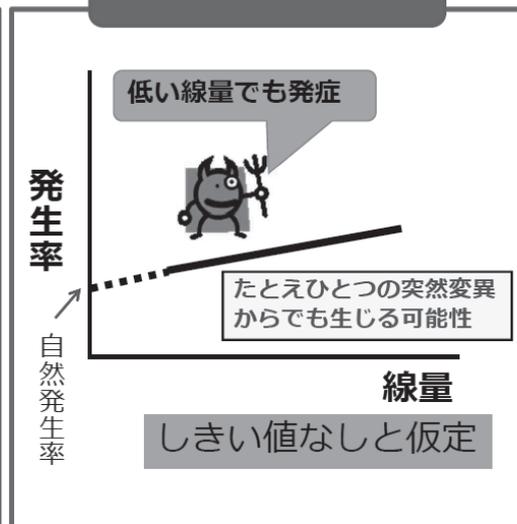
### 確定的影響

（細胞死が引き金）



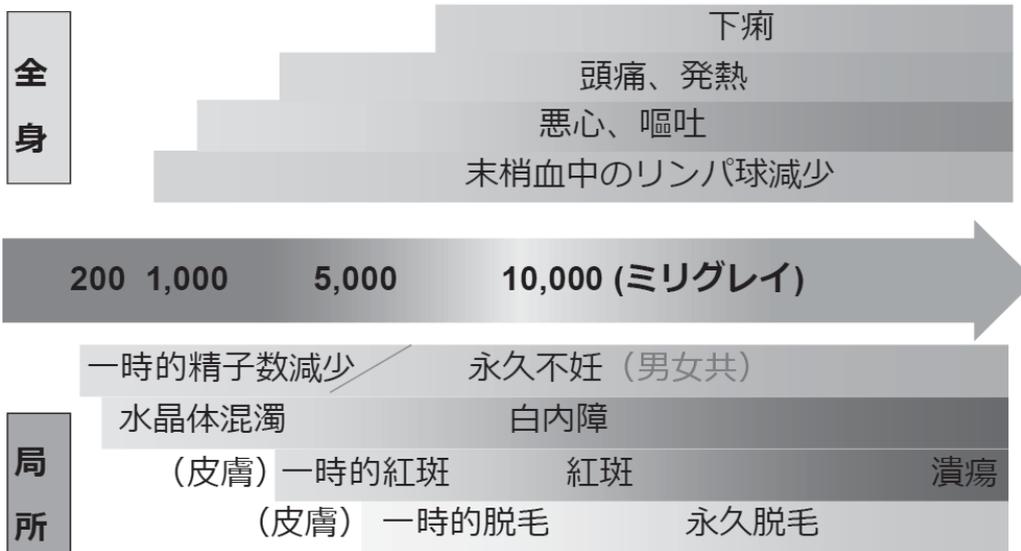
### 確率的影響

（突然変異が引き金）



確定的影響

## 全身被ばくと局所被ばく



原子力安全委員会 健康管理検討委員会報告 平成12年、他より改変

確定的影響

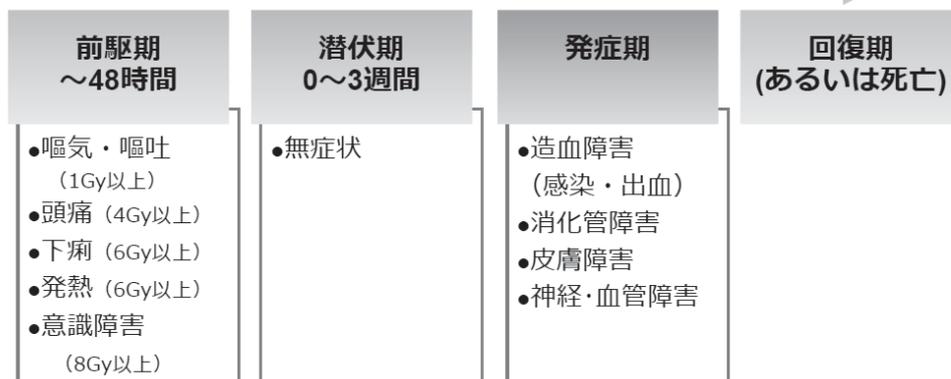
## 急性放射線症

### 急性放射線症の病期

被ばく時

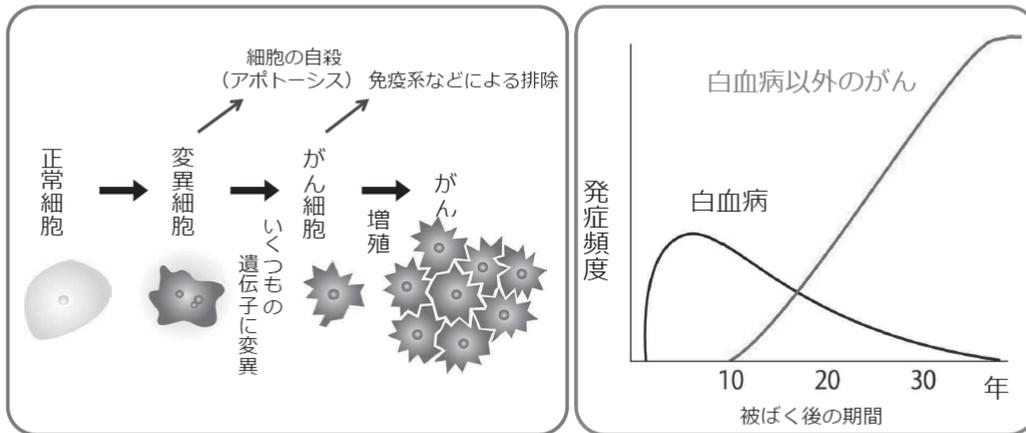


時間経過



※全身に1 グレイ (1000ミリグレイ) 以上の放射線を一度に受けた場合に見られる急性放射線症

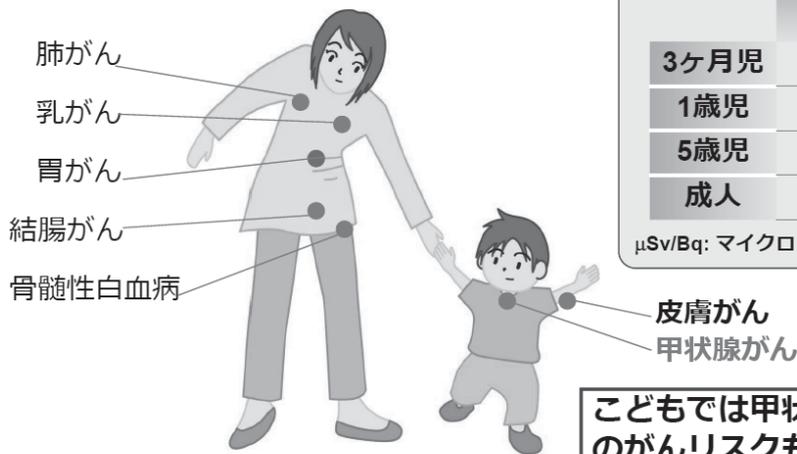
## がん・白血病 発がんのしくみ



- ・放射線はがんを起こすさまざまなきっかけの一つ
- ・変異細胞ががんになるまでには、いろいろなプロセスが必要  
→数年～数十年かかる

## がん・白血病 年齢による感受性の差

こどもは小さなおとなではない



※代謝や体格の違いから、こどもは実効線量係数が高くなっている。

急性外部被ばくの発がん

# 被ばく年齢ごとの生涯リスク



## 広島長崎の原爆生存者の調査結果 100mSvでの急性被ばくによる推定

| 被ばく時年齢 | 性 | 過剰の生涯リスク (%) | 被ばくがない時 (%) |
|--------|---|--------------|-------------|
| 10歳    | 男 | 2.1          | 30          |
|        | 女 | 2.2          | 20          |
| 30歳    | 男 | 0.9          | 25          |
|        | 女 | 1.1          | 19          |
| 50歳    | 男 | 0.3          | 20          |
|        | 女 | 0.4          | 16          |

10歳の男性が、100mSv被ばくすると、被ばくしないときにはその後の生涯で30%の発がんの可能性があるが、被ばくにより2.1%増加し、32.1%になると推定される。

mSv : ミリシーベルト

Preston et al., Radiat Res, 160, 381, 2003

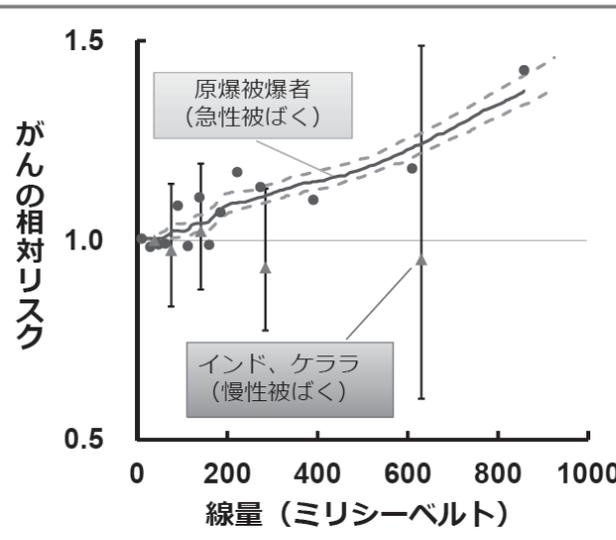
慢性被ばくの発がん

# 低線量率長期被ばくの影響

## インド高自然放射線地域住民の発がん



**ケララ (インド)**  
戸外平均線量4mSv/年以上  
高い地域では~70mSv/年



mSv : ミリシーベルト

Nair et al., Health Phys 96, 55, 2009; Preston et al., Radiat. Res. 168, 1, 2007より作成

原発事故由来の  
内部被ばくによる発がん

## チェルノブイリ事故 避難集団の被ばく

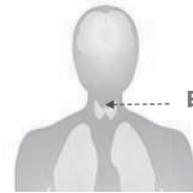
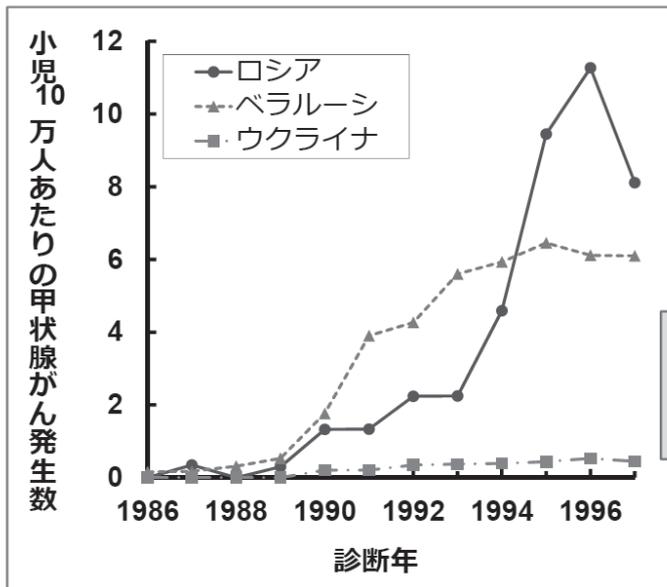
| 国     | 人数<br>(千人) | 平均実効線量(mSv) |               | 平均甲状腺<br>線量(mGy) |
|-------|------------|-------------|---------------|------------------|
|       |            | 外部          | 内部<br>(甲状腺以外) |                  |
| ベラルーシ | 25         | 30          | 6             | 1100             |
| ロシア連邦 | 0.19       | 25          | 10            | 440              |
| ウクライナ | 90         | 20          | 10            | 330              |
| 合計    | 115        | 22          | 9             | 490              |

国連科学委員会2008年報告より

原発事故由来の  
内部被ばくによる発がん

## 小児甲状腺がんの発症時期

### 小児甲状腺がん (チェルノブイリ事故)



甲状腺

ヨウ素は甲状腺ホルモンの材料

事故の4-5年後に  
小児甲状腺がんが発生し始め、  
10年後には10倍以上に増加

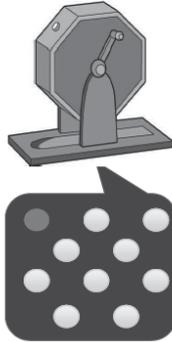
UNSCEAR 2000年報告書より作成

## リスク 確率的影響のリスク

被ばく無し\*



少し被ばく



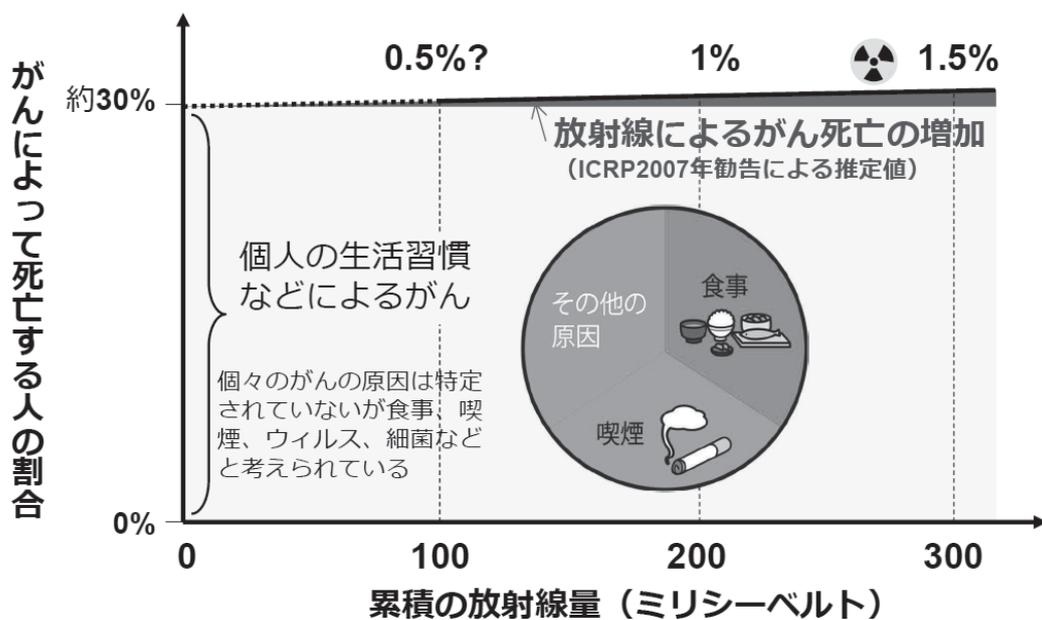
たくさん被ばく



\*実際には、放射線被ばくのない集団でも、がんになる人はゼロではありません。

同じように放射線を浴びても  
がんになる人とならない人がいる

## リスク 低線量率被ばくによるがん死亡リスク



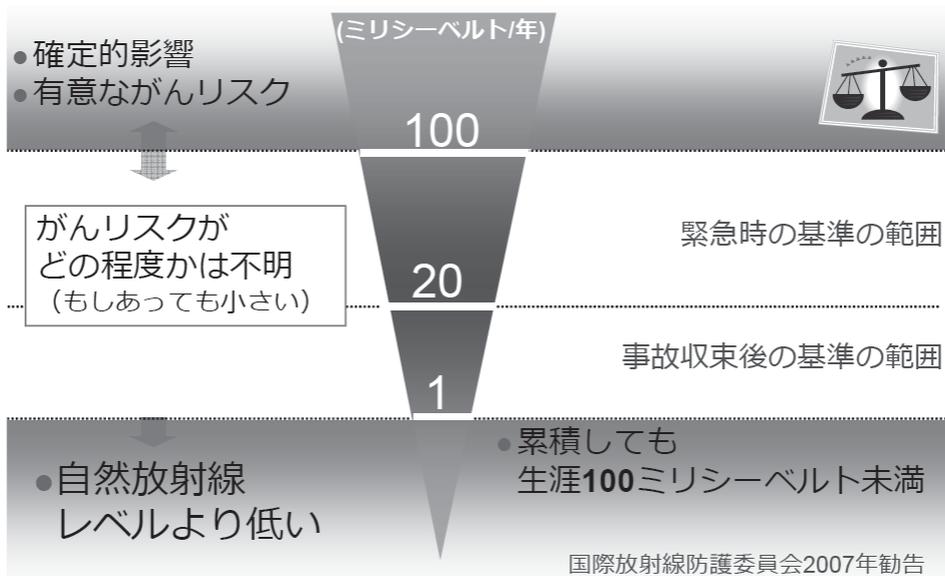
## リスク がんのリスク（放射線と生活習慣）

| 放射線の線量<br>(ミリシーベルト) | 生活習慣因子            | がんの<br>相対リスク* |
|---------------------|-------------------|---------------|
| 1000 - 2000         | 喫煙者               | 1.8           |
|                     | 大量飲酒（毎日3合以上）      | 1.6           |
|                     |                   | 1.6           |
| 500 - 1000          | 大量飲酒（毎日2合以上）      | 1.4           |
|                     |                   | 1.4           |
| 200 - 500           | 肥満（BMI $\geq$ 30） | 1.22          |
|                     | やせ（BMI $<$ 19）    | 1.29          |
|                     | 運動不足              | 1.19          |
|                     | 高塩分食品             | 1.15 - 1.19   |
| 100 - 200           | 野菜不足              | 1.11 - 1.15   |
|                     | 受動喫煙（非喫煙女性）       | 1.08          |
| 100 以下              |                   | 1.06          |
|                     |                   | 1.02 - 1.03   |
|                     |                   | 検出不可能         |

\*放射線の発がんリスクは広島・長崎の原爆による瞬間的な被ばくを分析したデータ(固形がんのみ)であり、長期にわたる被ばくの影響を観察したものではない

国立がん研究センターHP

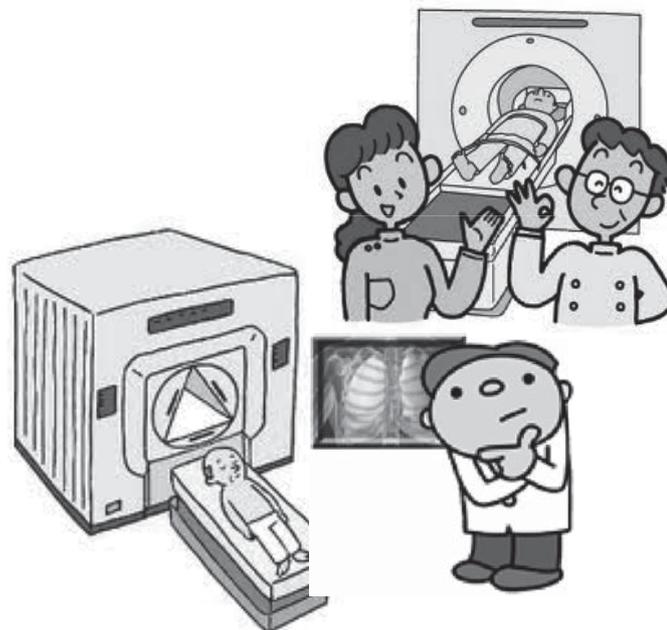
## 制限値 被ばく線量と健康リスクとの関係



# 放射線の医学利用について

➤X線のみならず様々な放射線を利用して診療を行う

- ①診断部門
- ②核医学部門
- ③放射線治療部門



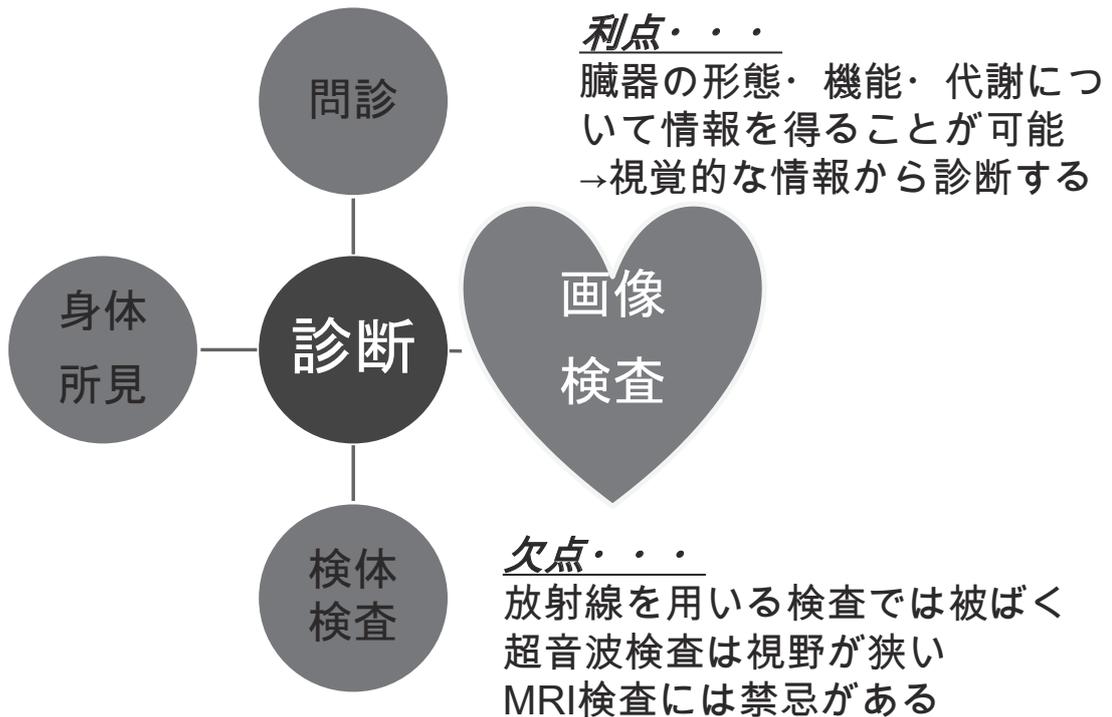
## 検査名

## 特徴

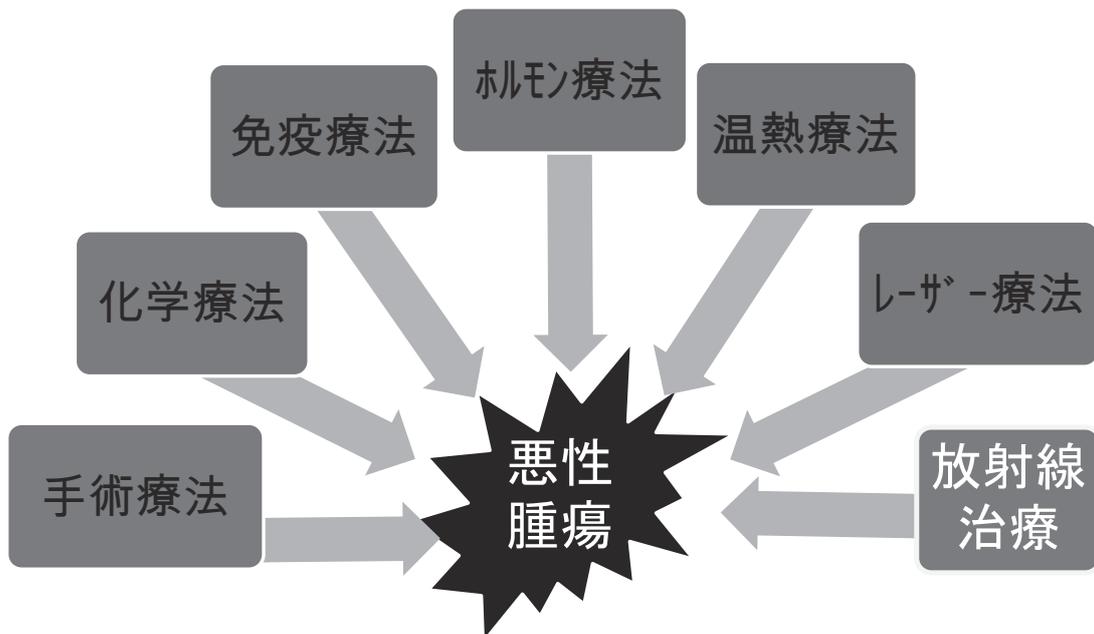
|        |                       |
|--------|-----------------------|
| 単純X線写真 | 胸部・腹部・骨格など全身の撮影       |
| X線CT検査 | コンピュータ演算による断層画像       |
| IVR    | カテーテル操作による病変の治療       |
| 核医学検査  | $\gamma$ 線を利用した生体機能画像 |
| PET検査  | 陽電子を利用した生体機能画像        |
| MRI検査  | 磁場と電磁波を利用した断像画像       |
| 超音波検査  | 超音波を利用した断像画像          |

**放射線診断 → 画像診断**

# 画像診断の役割

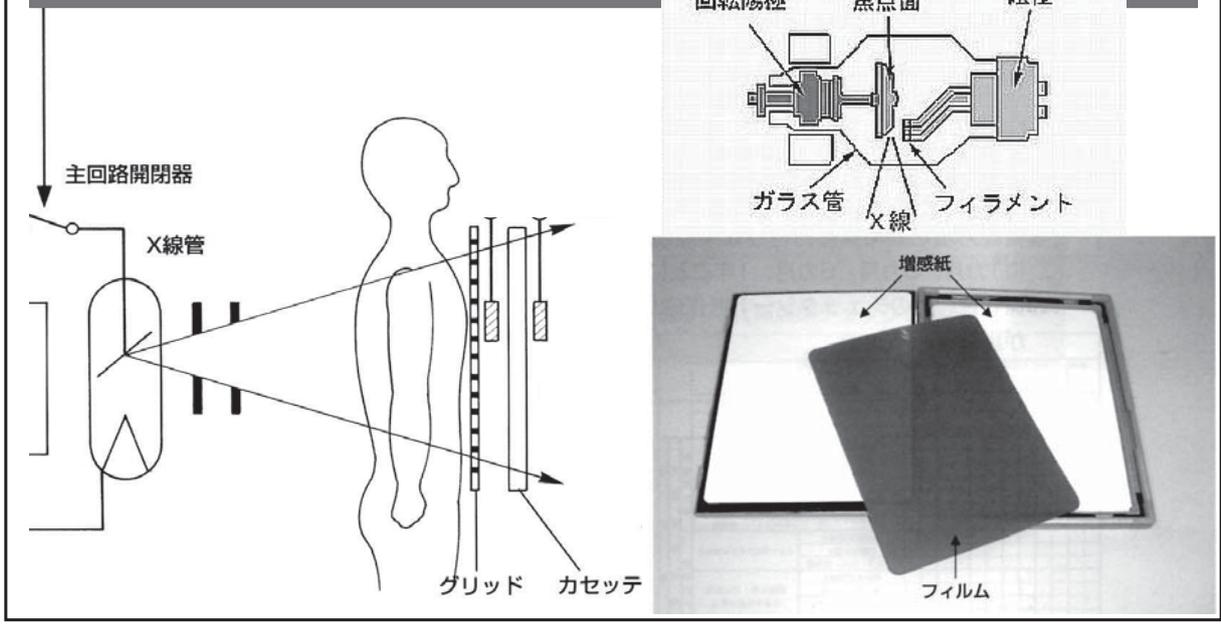


# 放射線治療の役割



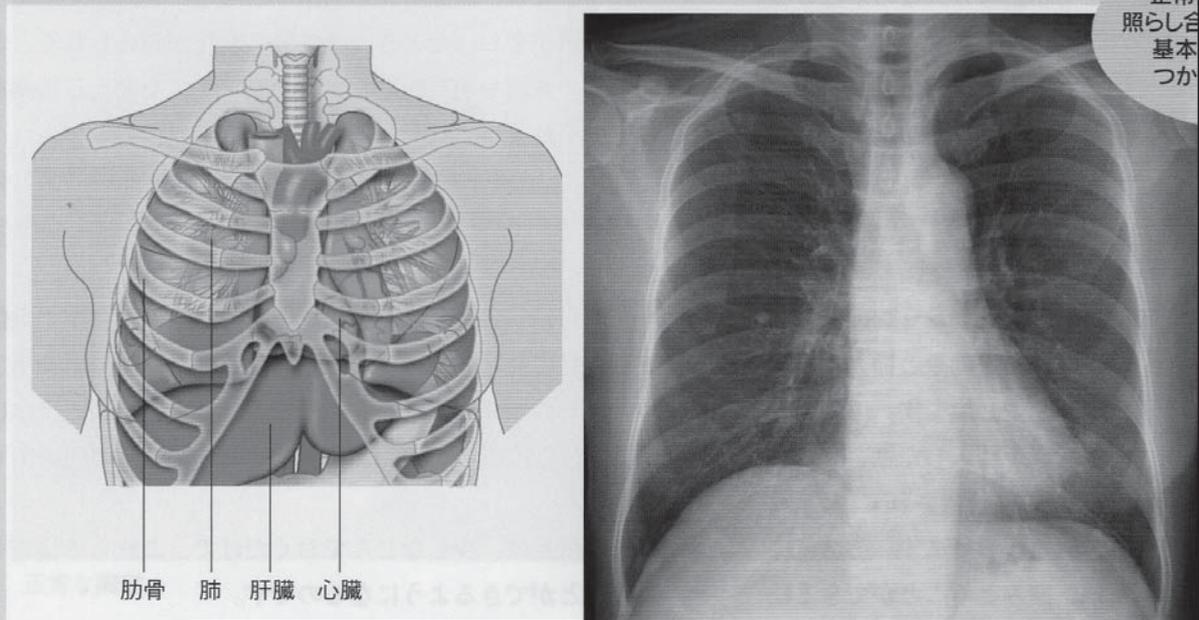
# X線診断とは

- X線を利用した画像を用いた診断で、全身の単純撮影、造影検査、X線CTなどをいう。



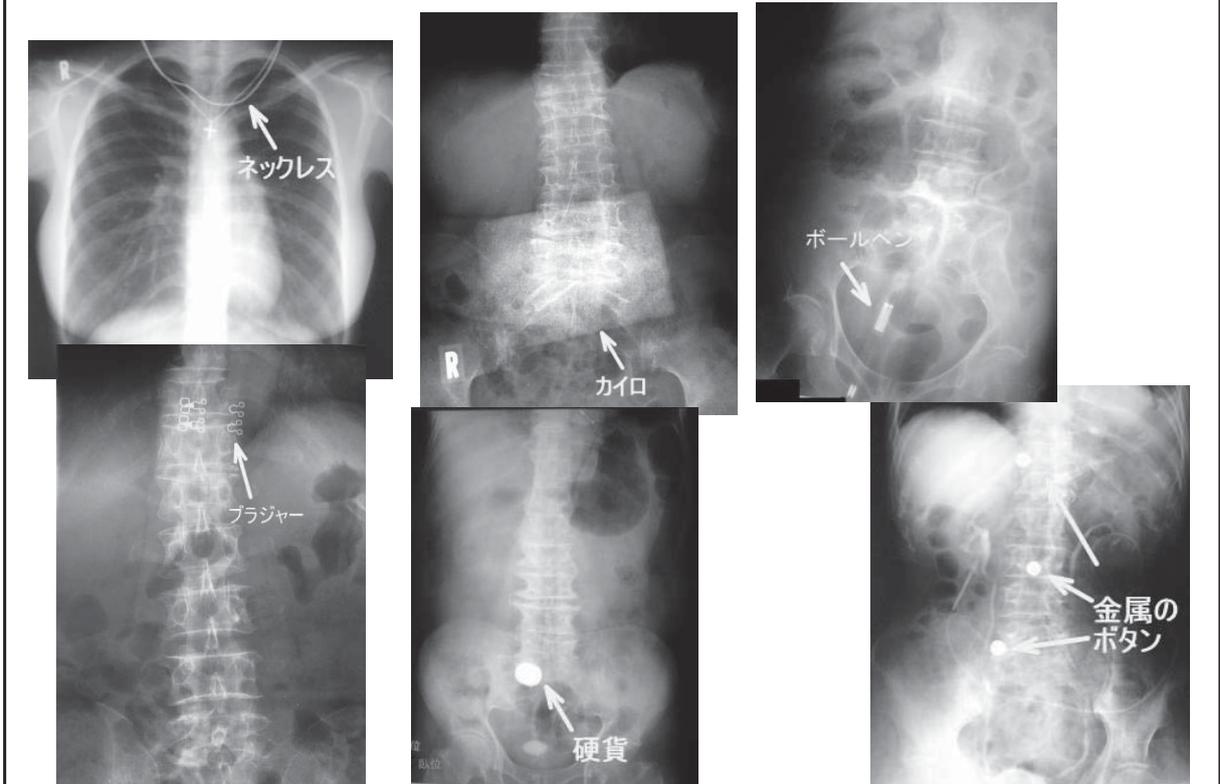
# 正常な胸部X線写真

図1 正常な胸部X線写真とその成り立ち



**心臓を中心に、おおまかには「左右対称」**

## ★ X線写真に写った異物



## 核医学検査の手順



## 1) *in vivo*と*in vitro*

### □ *in vivo*検査

「生体の中で」→患者にRIを投与して撮影

### □ *in vitro*検査

「ガラスの中で」→試料中にRIを投入して微量成分を測定

ラテン語由来の単語はイタリック体(斜字)

## 1) *in vivo*と*in vitro*

### □ *in vivo*検査

「生体の中で」

### □ *in vitro*検査

「ガラスの中で」

**放射線科  
放射線技師**

**検査科  
検査技師**

病院で一般的に云う  
核医学検査  
シンチグラフィ  
scintigraphy

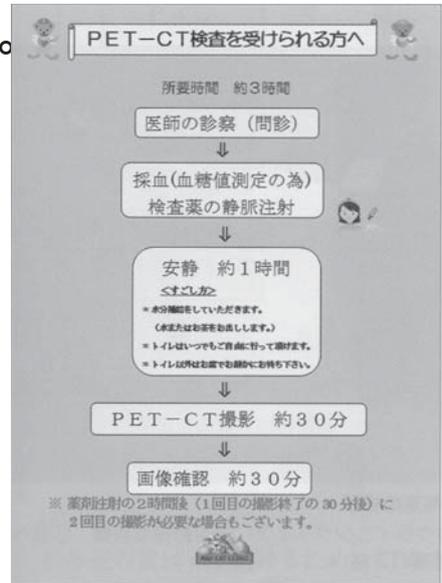
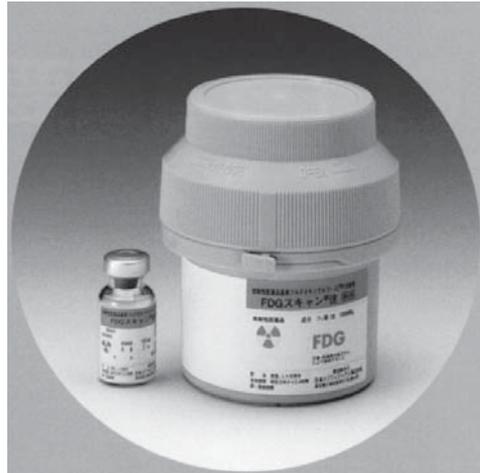
投入して微量成分を測定

ラテン語由来の単語はイタリック体(斜字)

# FDG-PET検査

全身のグルコース代謝を画像化できる。

癌細胞が正常細胞より多くのグルコースを摂取する性質を利用して癌の検出ができる。



# PET検査装置

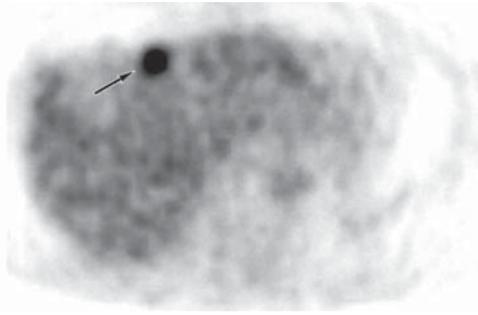


# FDGを用いたPET-CT検査の画像

単純腹部CT



FDGを用いたPET画像



FDGを用いたPET-CT画像



転移性肝癌

## まとめ

- 放射線被ばくによる健康影響
  - 一般に放射線被ばくによる健康への影響は確率的に起こるものであるため、必ず起こる、起こらないと明言できない。
- 放射線の医学利用
  - 被ばくを伴うが利益と損害を天秤にかけると、利益が上回る。
- 皆様へのメッセージ
  - 福島原発事故以降、様々な情報が氾濫して、何が正しく誤りかが分からない状況にある。放射線に対する正しい知識を持ち、正しく判断し行動することが必要である。