

保健物理・環境科学部会 企画セッション  
「シーベルト」の意味合いとそのとらえ方

# 「実効線量」シーベルトの意味 －放射線被ばくによるリスク－

JANSI

岩井 敏

# 目次

1. 目的
2. 放射線防護のための線量概念の体系
3. 低線量・低線量率被ばくとは
4. リスク表現手段としてのデトリメント
5. 線量率効果の影響
6. 低線量・低線量率における実効線量の意味

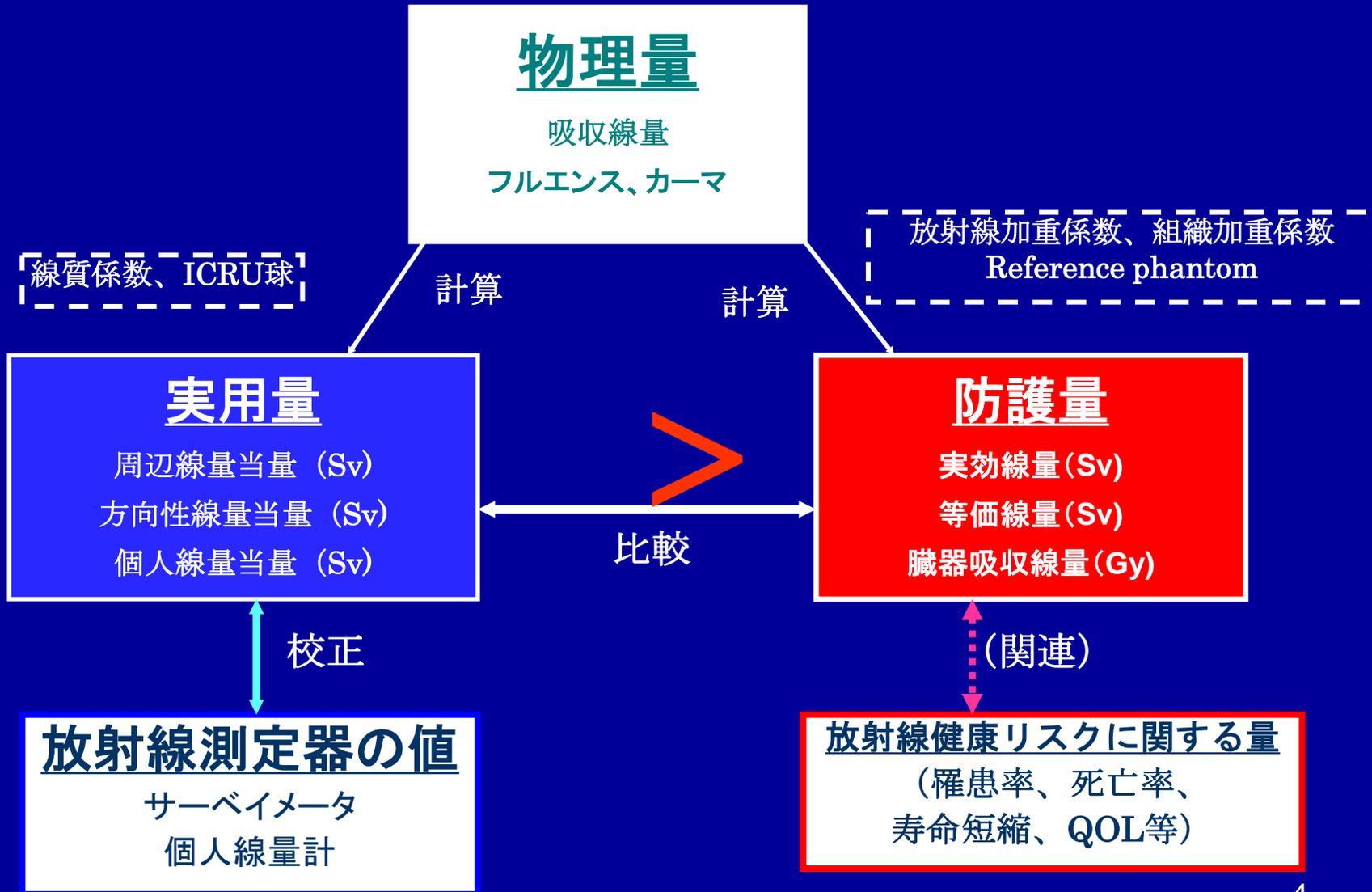
# 1. 本発表の目的

低線量・低線量率の環境下で

「実効線量」とは、何を表す線量概念  
なのか？

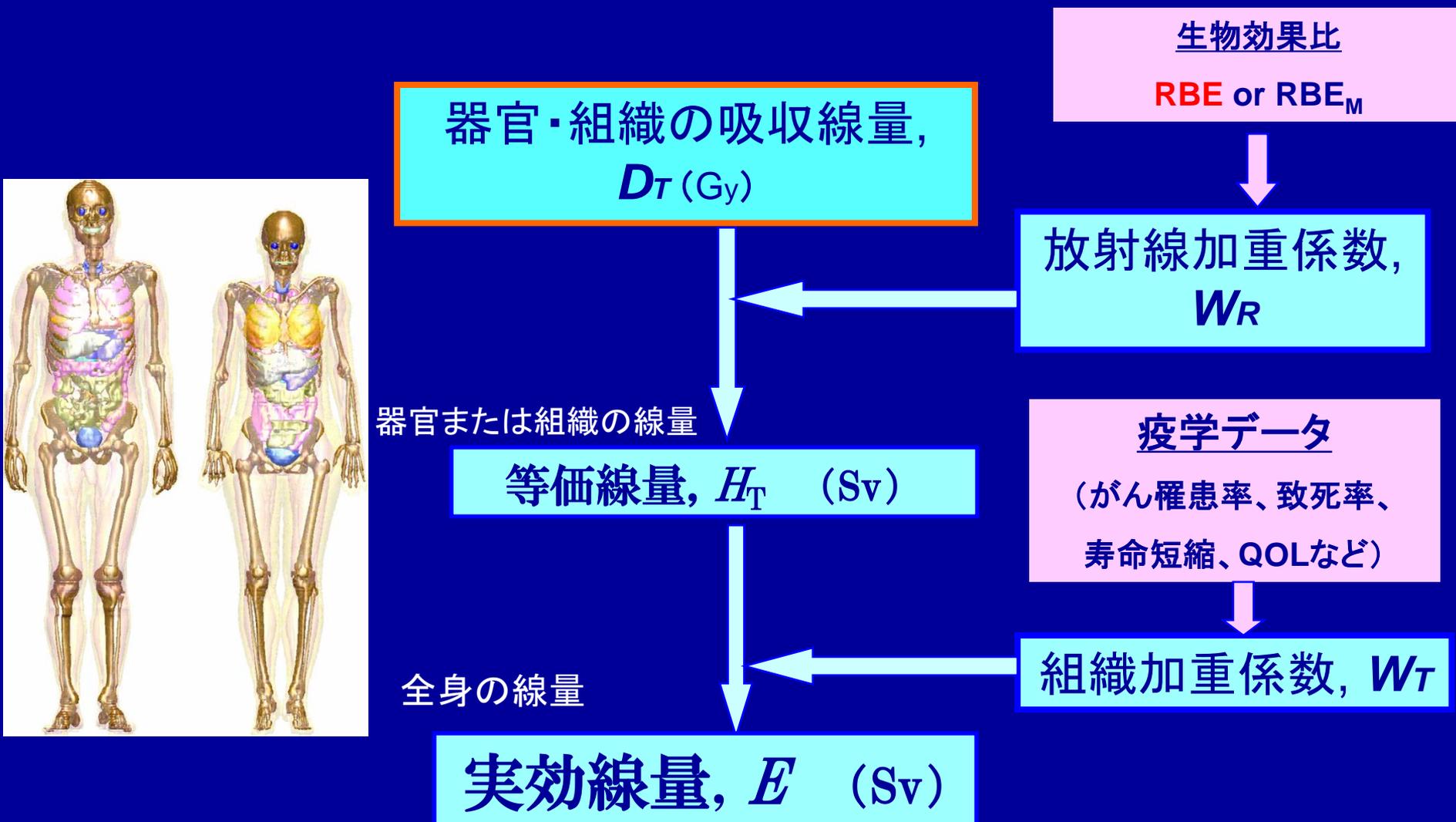
# 2. 放射線防護のための線量概念

## 2.1 放射線防護の諸線量の関係



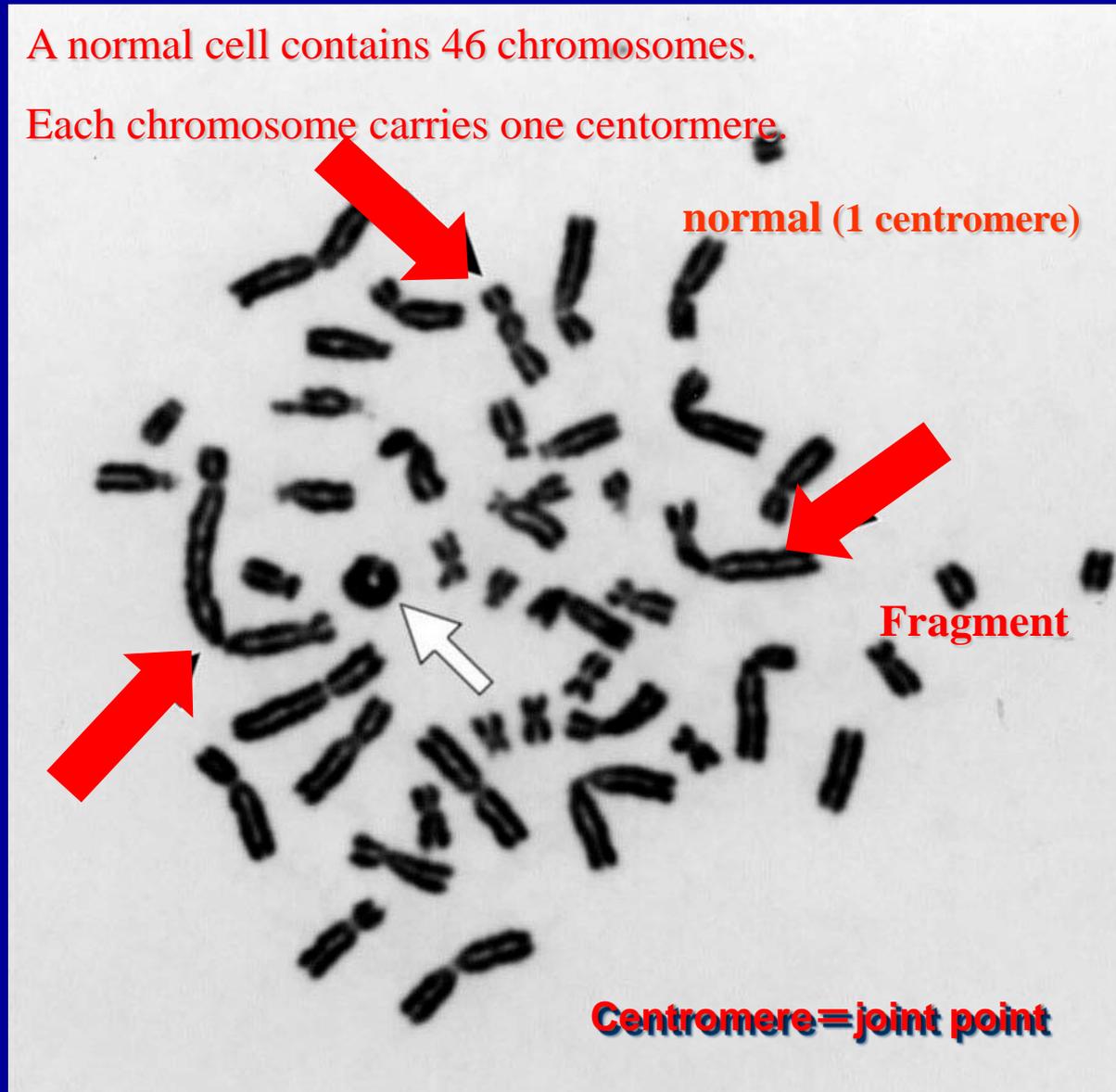
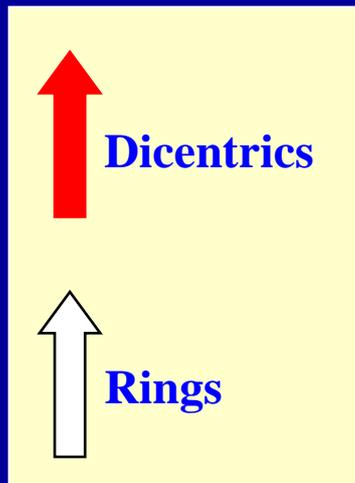
## 2. 放射線防護のための線量概念

### 2.2 実効線量を含む防護量の体系

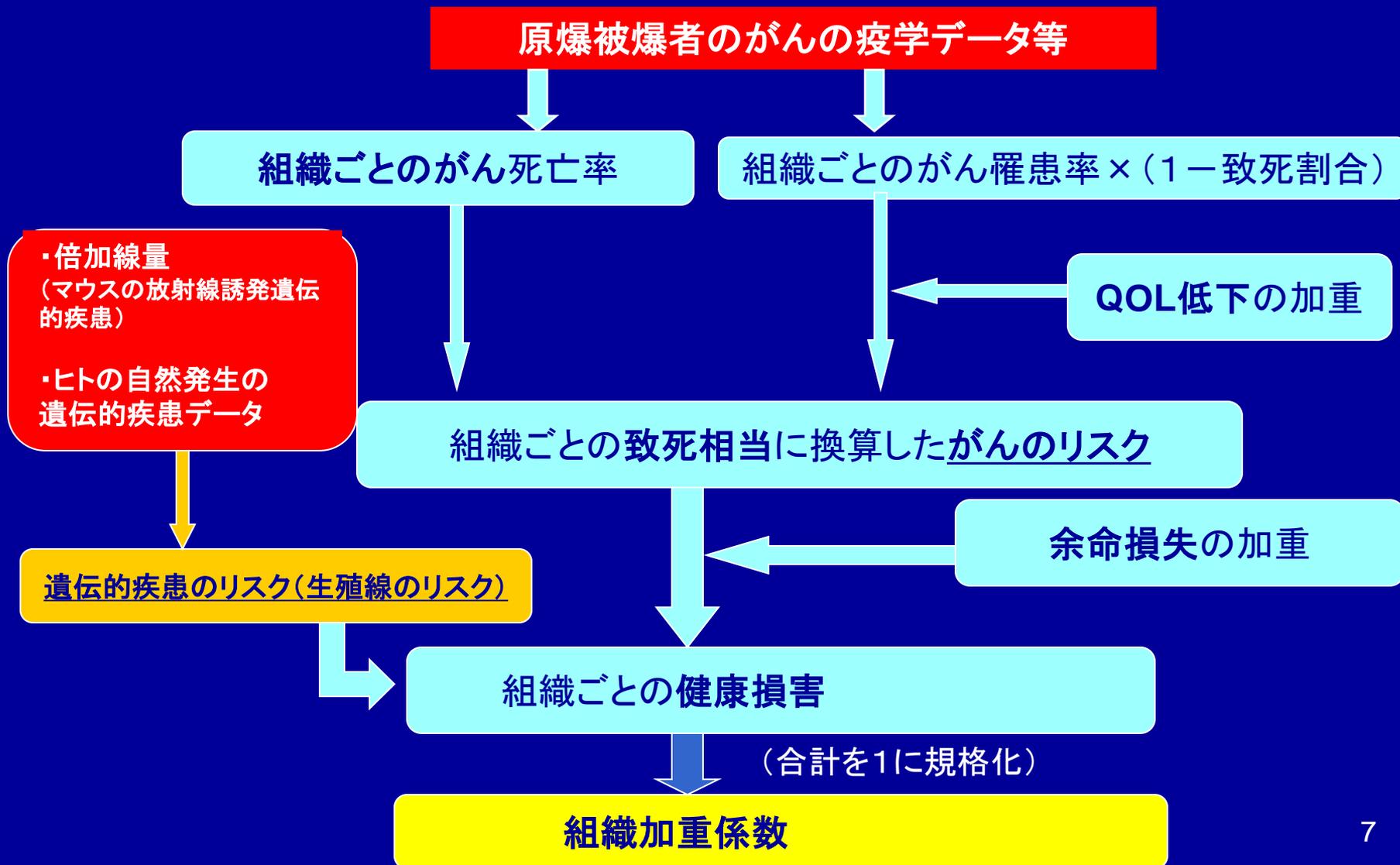


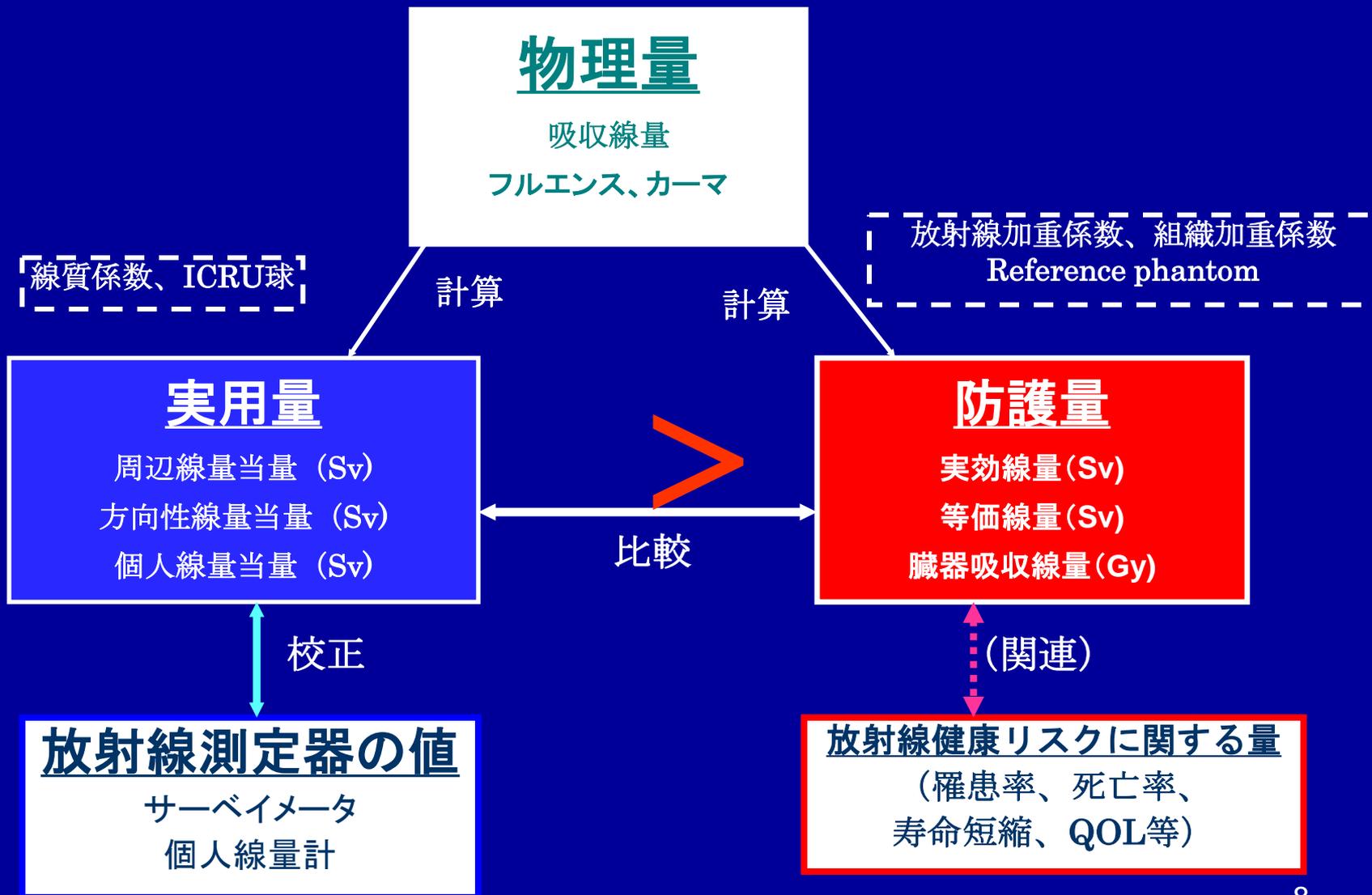
A normal cell contains 46 chromosomes.

Each chromosome carries one centromere.



# 組織加重係数の求め方





# 3. 低線量・低線量率被ばく

## 3.1 低線量、低線量率の定義

### ■ 低線量

- ・ICRP、BEIR委員会：ほぼ100(または200)mGy以下
- ・UNSCEAR：200mGy以下

### ■ 低線量率

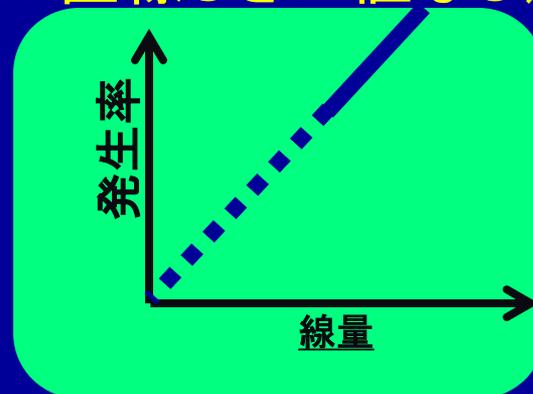
- ・ICRP：1.7mGy/分（100mGy/時）
- ・UNSCEAR：0.1mGy/分（6mGy/時）

【参考：20mSv/年 $\div$ 0.04 $\mu$ Sv/分（2.3 $\mu$ Sv/時）】

# 3. 低線量・低線量率被ばく

## 3.2 100mSv以下の健康リスクの扱い

- 100mSv以下の被ばくでは発がんリスクは自然発生がんのばらつきに隠されてしまい、有意な増加を示す明らかな証拠はない(放射線疫学から)。
- ICRPは放射線防護の立場から、被ばくによる確率的影響(主に”がん”)の発生は100mSv以下では線量率によらず、線量(積算線量)に正比例すると仮定。  
⇒LNT(Linear No-Threshold: 直線しきい値なし)モデル



# 実効線量と放射線健康リスク

- 実効線量100mSv以下では、発がんリスクは、自然発生頻度の変動範囲を超えて観察されていない。
- ICRPは放射線防護の目的のために、放射線に起因するがん、遺伝的影響が線量の増加に比例して発生するという仮説モデル(LNTモデル)を使用する。⇒リスク管理

# 4. デトリメント (detriment: 損害)

## 4.1 デトリメントの定義

- 放射線防護の目的のために低線量・低線量率の被ばく健康リスク指標を定量的に表す概念 (ICRP が提唱)
- 総合的なリスク表現の指標
- デトリメントの主要な4成分
  - ① 致死がんの発生率 (がんによる死亡率)
  - ② 加重\*された非致死がんの発生率
  - ③ 重篤な遺伝的疾患の発生率
  - ④ 余命損失の平均値

( \* 加重係数: 治癒の難しさ、QOL )

# 4. デトリメント

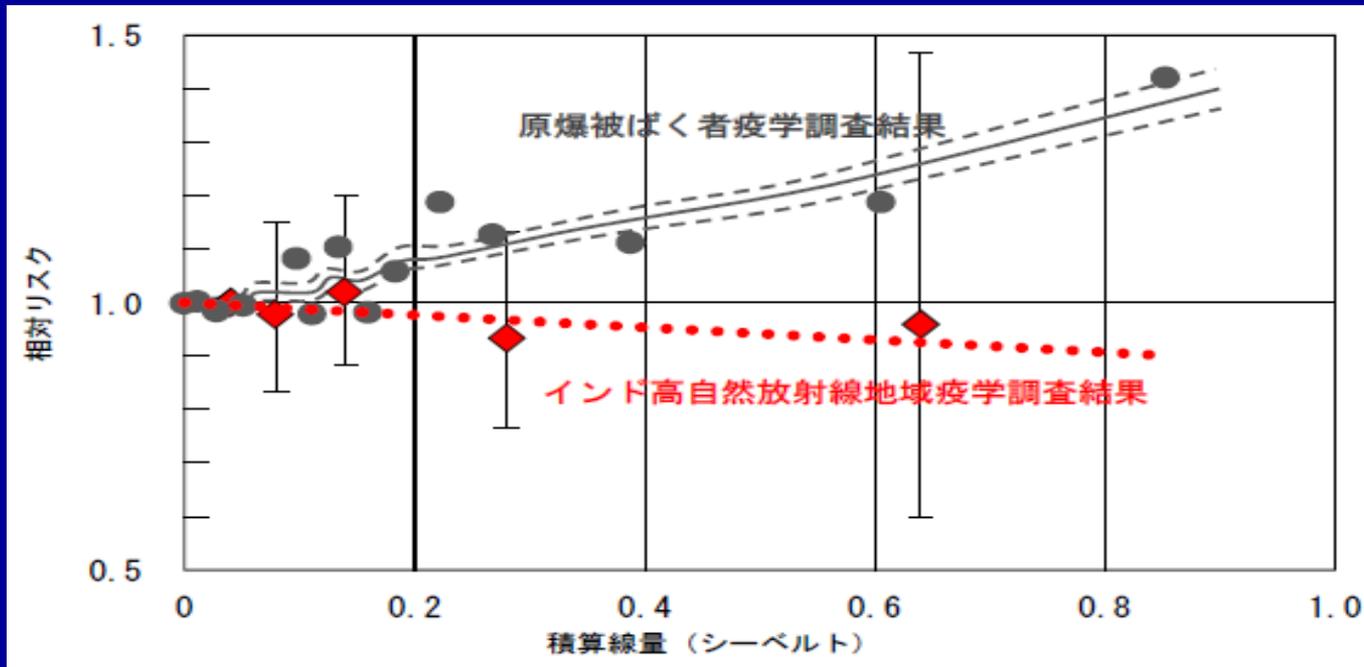
## 4.2 デトリメントの算定方法と使用するデータベース

項目	算定方法・データベース	デトリメント
被ばくに起因する固形がん発生率・死亡率	(原爆被爆者疫学データ) ERR+EARモデル LNTモデル DDREF*	①致死がん発生率
被ばくに起因する白血病の発生率・死亡率	(原爆被爆者疫学データ) EARモデル L-Qモデル	②非致死がん発生率
遺伝的疾患発生率	自然発生遺伝的疾患データ 動物実験からの倍加線量	③遺伝的疾患発生率
日本人自然発生がん罹患率・死亡率	国立がんセンターがん罹患率・死亡率データ	④余命損失平均値
日本人の自然死亡率と平均余命	総務省統計局日本統計年鑑	

\* DDREF(線量・線量率効果係数): 高線量・高線量率で急性被ばくした原爆被爆者データを低い線量・線量率に外挿するとき用いる補正係数  
(ICRPは固形がんには2を使用)

# 5. デトリメントを用いたリスク表現とは何か？

## 5.1 疫学からの知見(1)



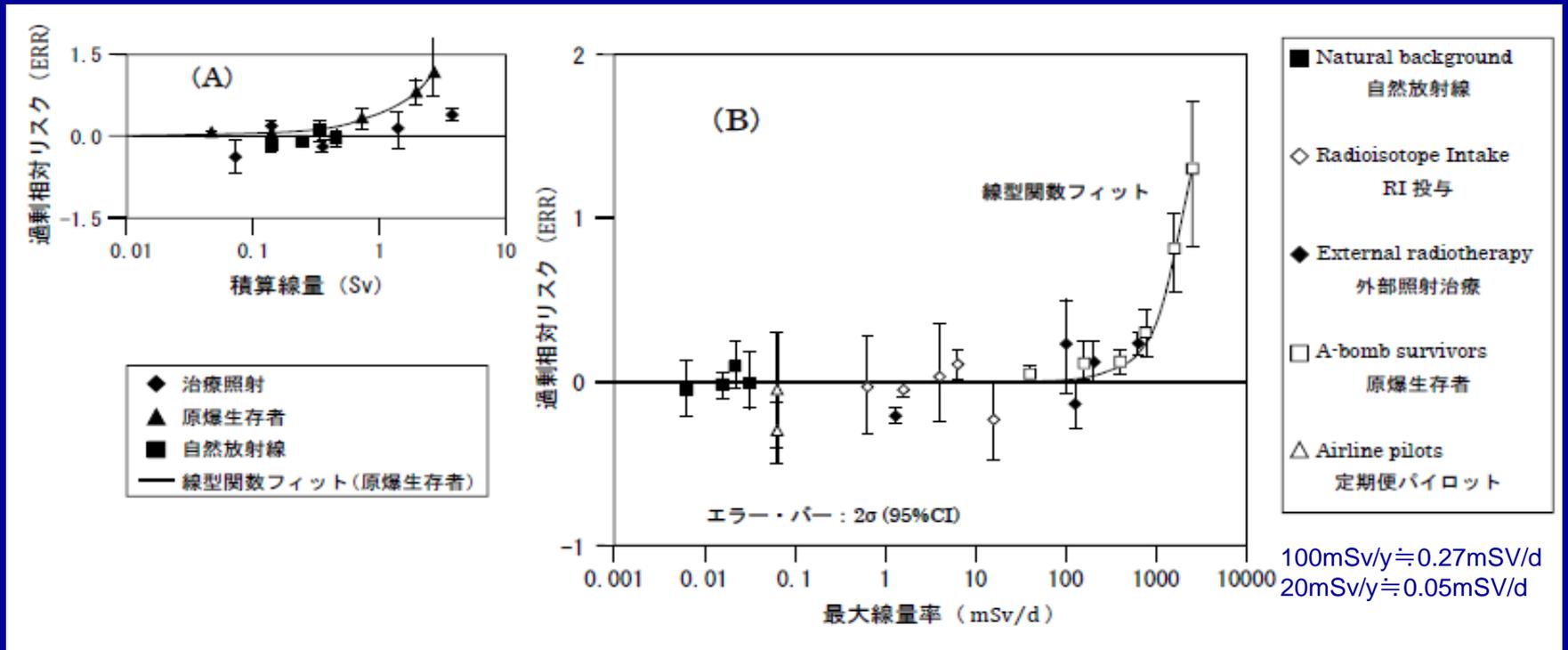
インドの高自然放射線地域住民は、最大600mSvレベルの被ばくでも発がんの相対リスクは有意に増加しない。

出典: R.R.K.Nair, B.Rajian, S.Akiba et al., Background Radiation and cancer Incidence in Kerala, India —Karunagappally cohort Study, Health Phys. 96(1)55-66 (2009)

# 5. デトリメントを用いたリスク表現とは何か？

## 5.2 疫学からの知見(2)

### (1) 疫学研究からの知見(その2)

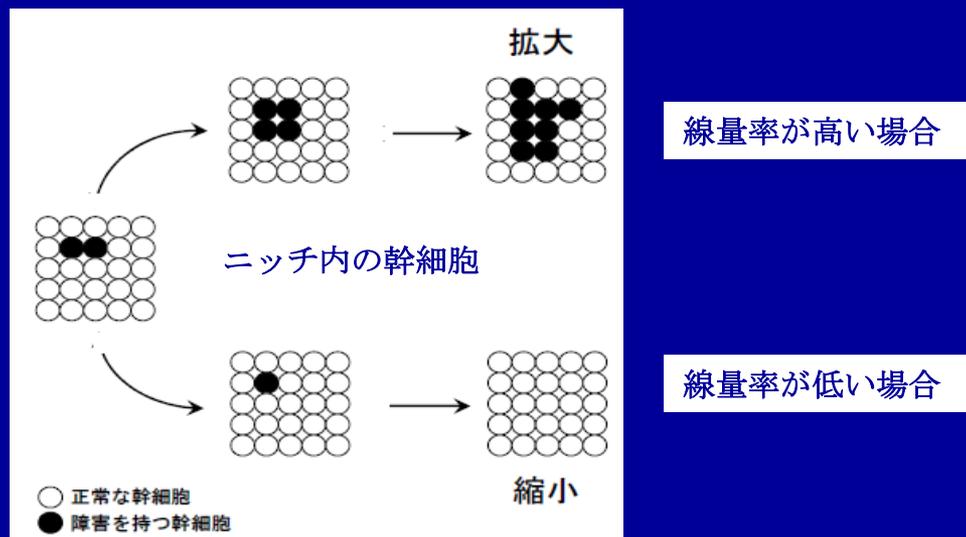


- ・がん死亡率は被ばくの積算線量だけでなく、線量率に強く依存する。
- ・低線量率では、がん死亡率はきわめて小さい。

# 5. デトリメントを用いたリスク表現とは何か？

## 5.3 生物学からの知見（組織レベル）

- 幹細胞：様々な細胞に分化する能力と自己再生能力を持つ細胞。ニッチという幹細胞の“住みか”に存在する。
- 放射線によって傷が付くと「がん幹細胞」となる可能性があるが、線量率が低い場合、周辺の正常幹細胞からの攻撃を受けて、ニッチから排除される。

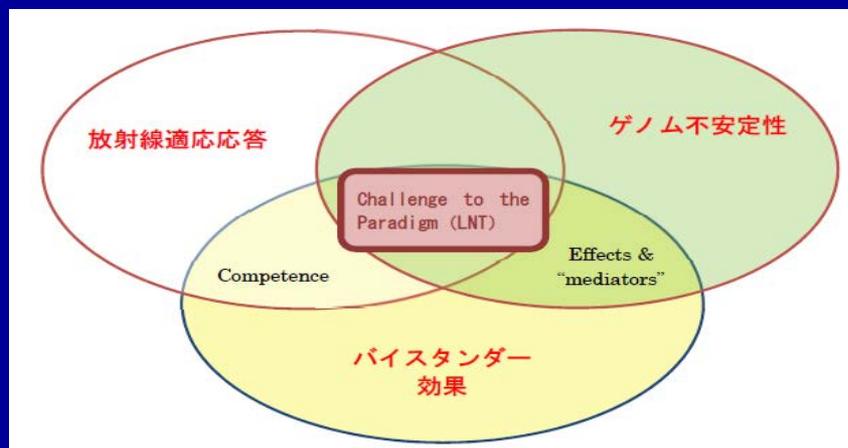


出典：大塚健介他, 放射線リスク評価での集積線量の考え方における組織幹細胞ターンオーバー概念の適用可能性, L10004 (2011)

# 5. デトリメントを用いたリスク表現とは何か？

## 5.4 生物学からの知見(細胞レベル)

- ◆ 従来の理論: 標的理論(放射線を受けた量に比例してDNAが損傷⇒発がん)
- ◆ **新たな理論**: 細胞レベルで生じる3つの生物学的応答の“せめぎ合い”  
(放射線適応応答、バースタンダー効果、ゲノム不安定性 )



放射線適応応答: 防御機能誘発の応答

バースタンダー効果: 隣接または周辺の細胞への有害な影響伝播 (300mSv以上)

ゲノム不安定性: 子孫細胞で発生する遅延性の有害な影響 (500mSv以上)

ゲノム不安定性とバースタンダー効果は、放射線影響をLNTモデルよりも高める可能性はあるが、低線量領域(100mSv以下)では、放射線適応応答の影響が大きく、細胞レベルでの有害な影響の発現が抑えられている。

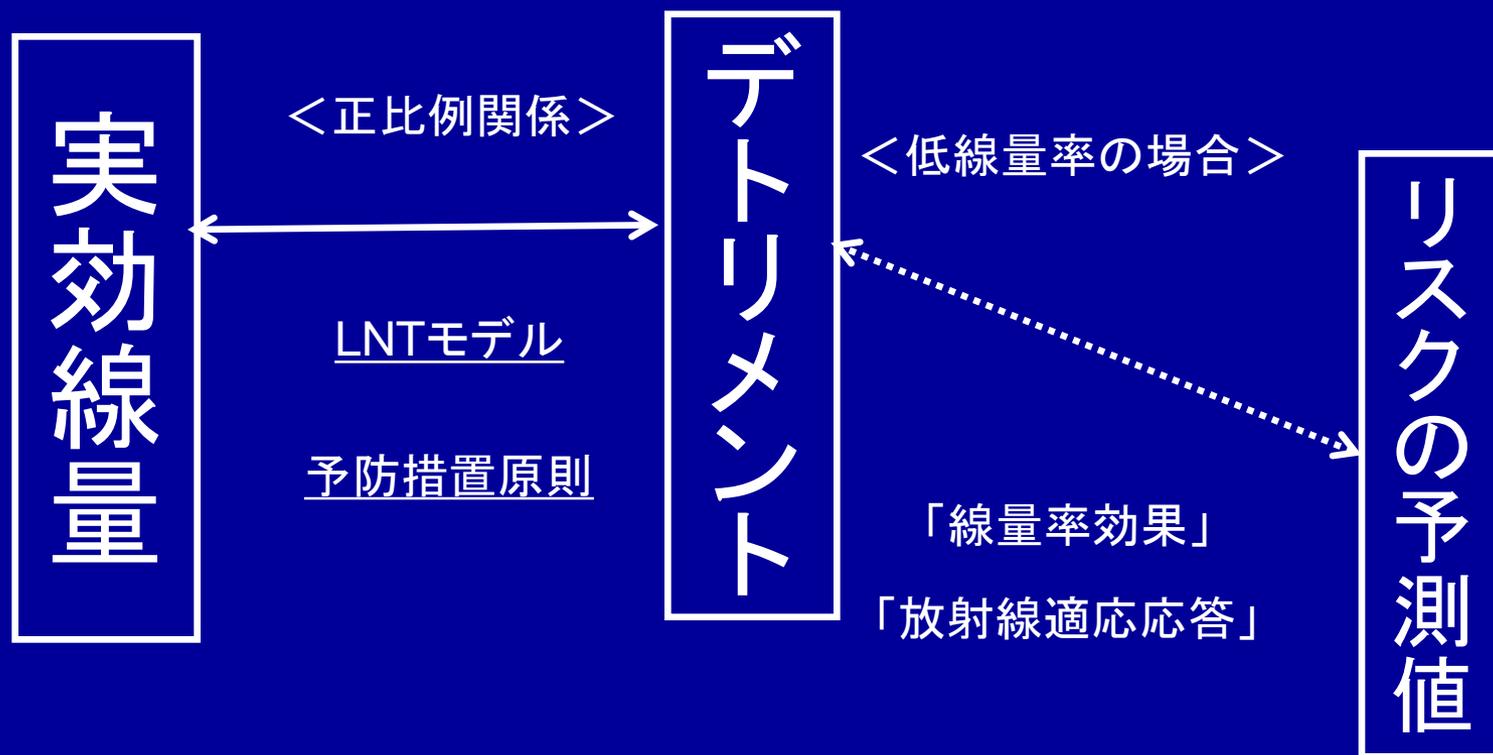
# 5. デトリメントを用いたリスク表現とは何か？

## 5.5 5章のまとめ

- 放射線疫学と生物学研究結果から、がんのリスクには線量だけでなく、線量率依存性が示唆される。
- デトリメントという健康リスク指標は、リスク(がん発生、遺伝的疾患発生、余命短縮)の予測値ではなく、放射線防護対策を検討する上での予防措置原則に基づく指標と見なすべき。

# 5. デトリメントを用いたリスク表現とは何か？

## 5.5 5章のまとめ



- ①致死がんの発生率、
- ②加重された非致死がんの発生率
- ③重篤な遺伝的疾患の発生率
- ④余命短縮の平均値

## 6. まとめ

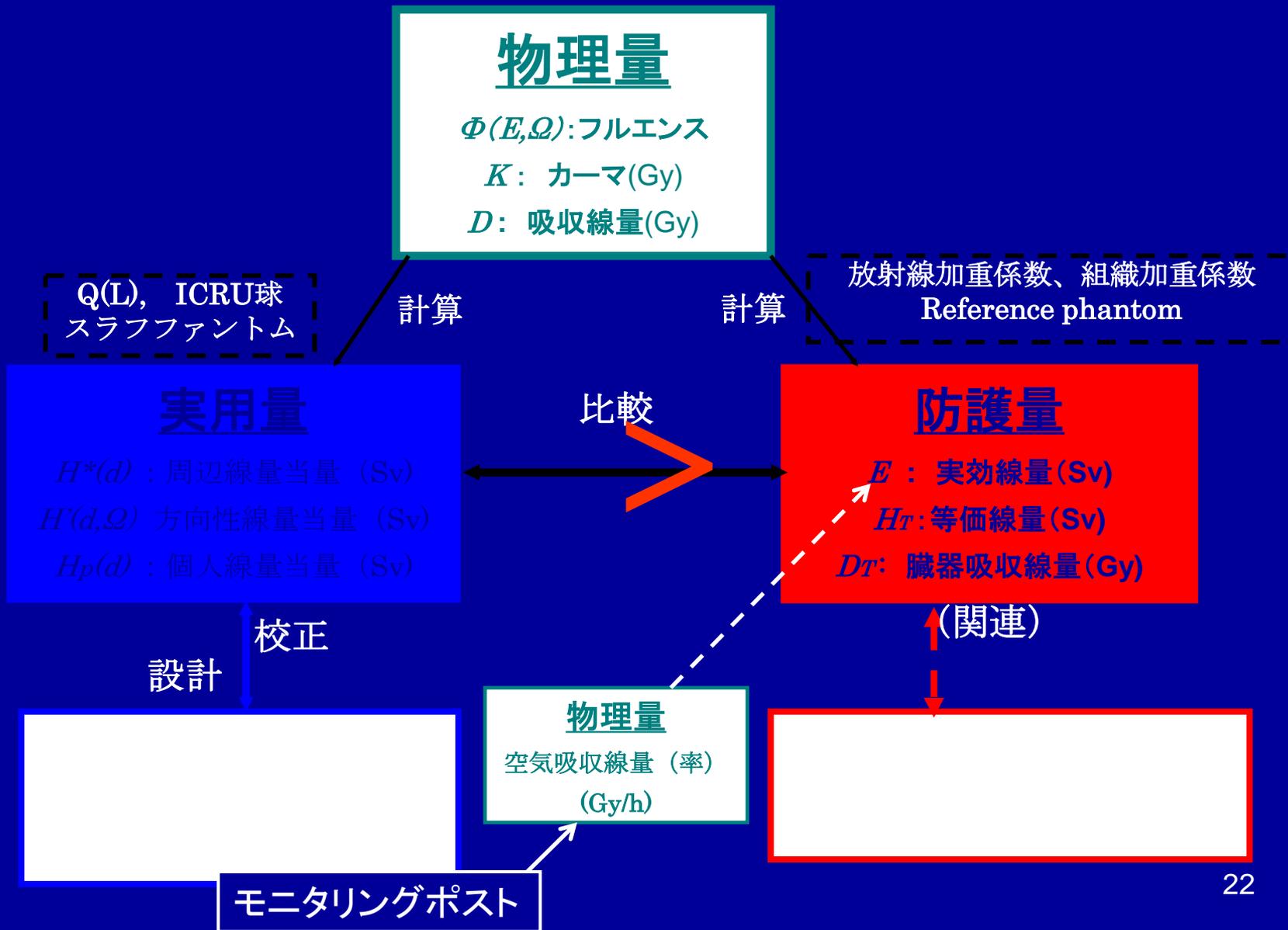
- 100mSv以下の低線量被ばくでは実効線量はデトリメントの主要な4成分\* に比例する量

\* ①致死がん発生率、②加重された非致死がん発生率  
③重篤な遺伝的疾患発生率 ④余命損失平均値

- 低線量・低線量率では「実効線量」もデトリメントと同様にがん発生等のリスクを予測する値と結びつけておらず、予防措置原則に基づくリスク指標と見なすべき。



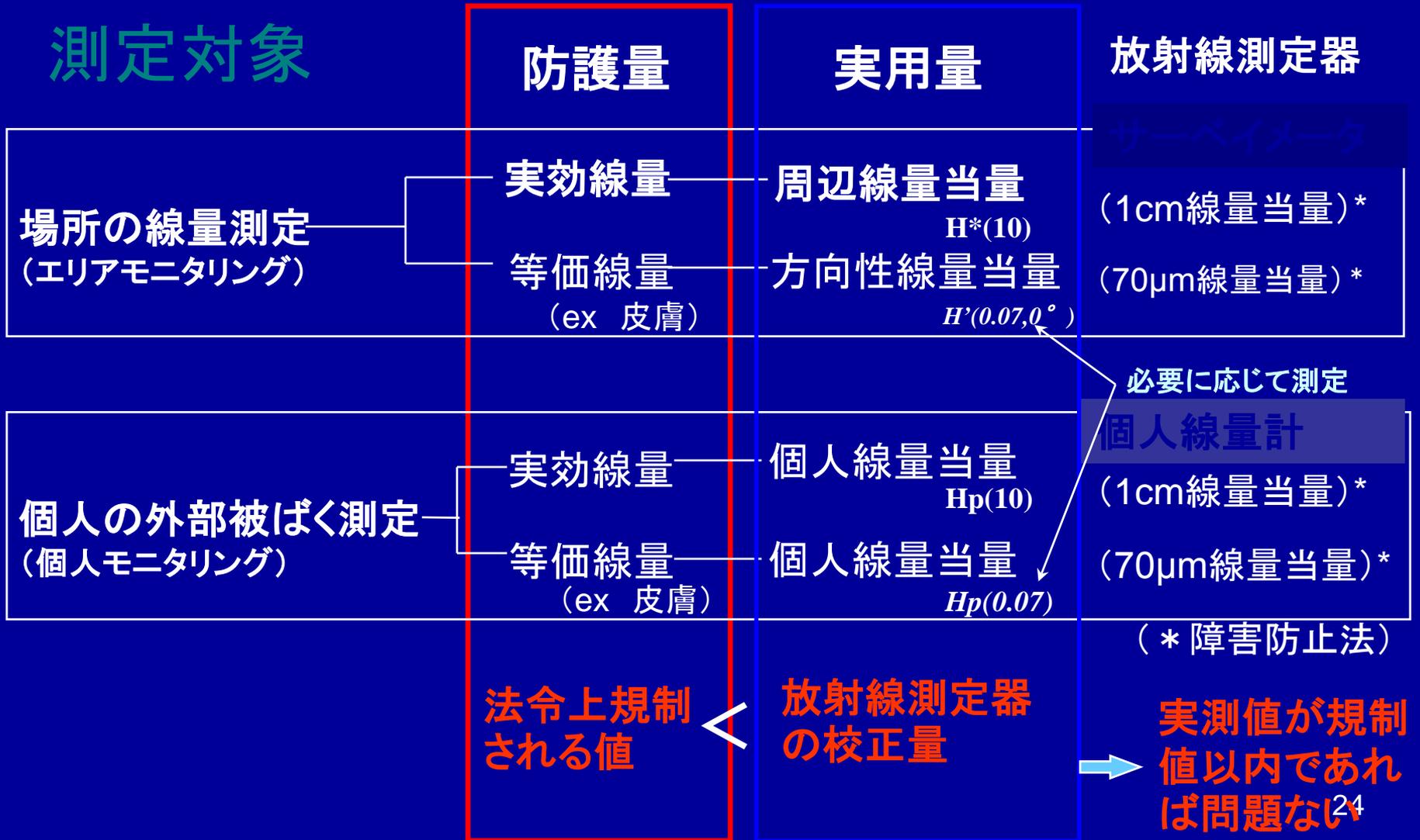
# 放射線防護に用いられる線量



# 実効線量と放射線健康リスク

- 実効線量100mSv以下では、発がんリスクは、自然発生頻度の変動範囲を超えて観察されるものではない。
- ICRPは放射線防護の目的のために、放射線に起因するがん、遺伝的影響が線量の増加に比例して発生するという仮説(LNT仮説)を使用する。⇒**リスク管理**

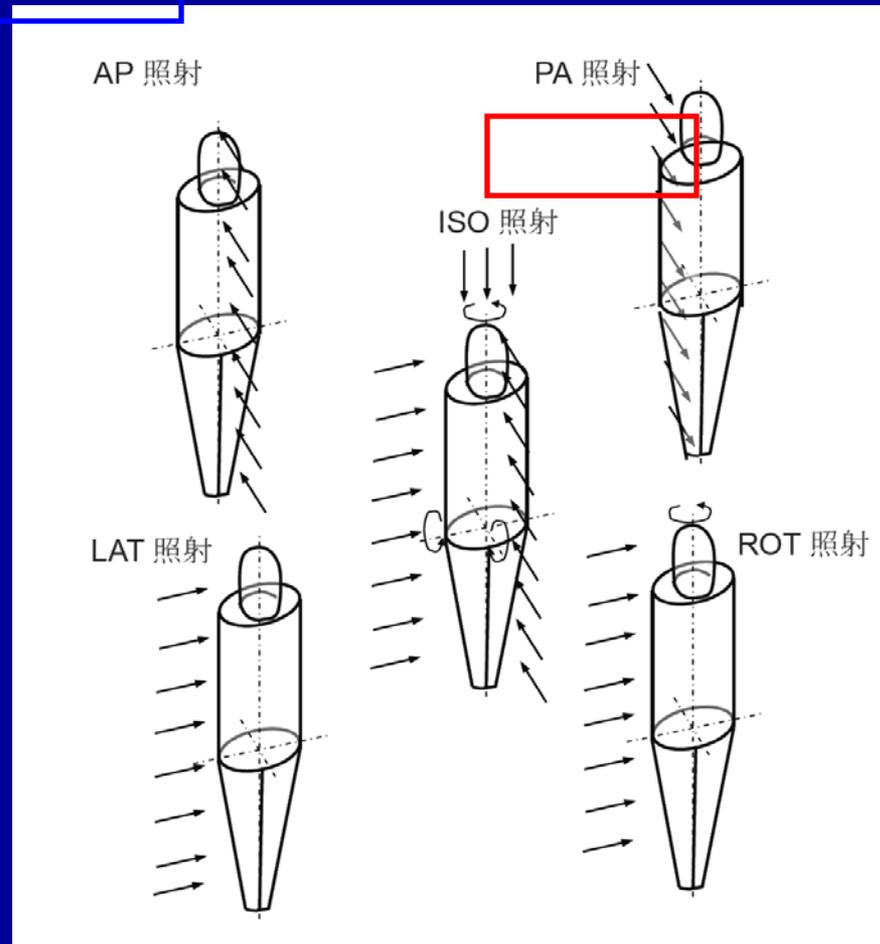
# 防護量と実用量の関係



# 放射線防護に使用される線量の概念

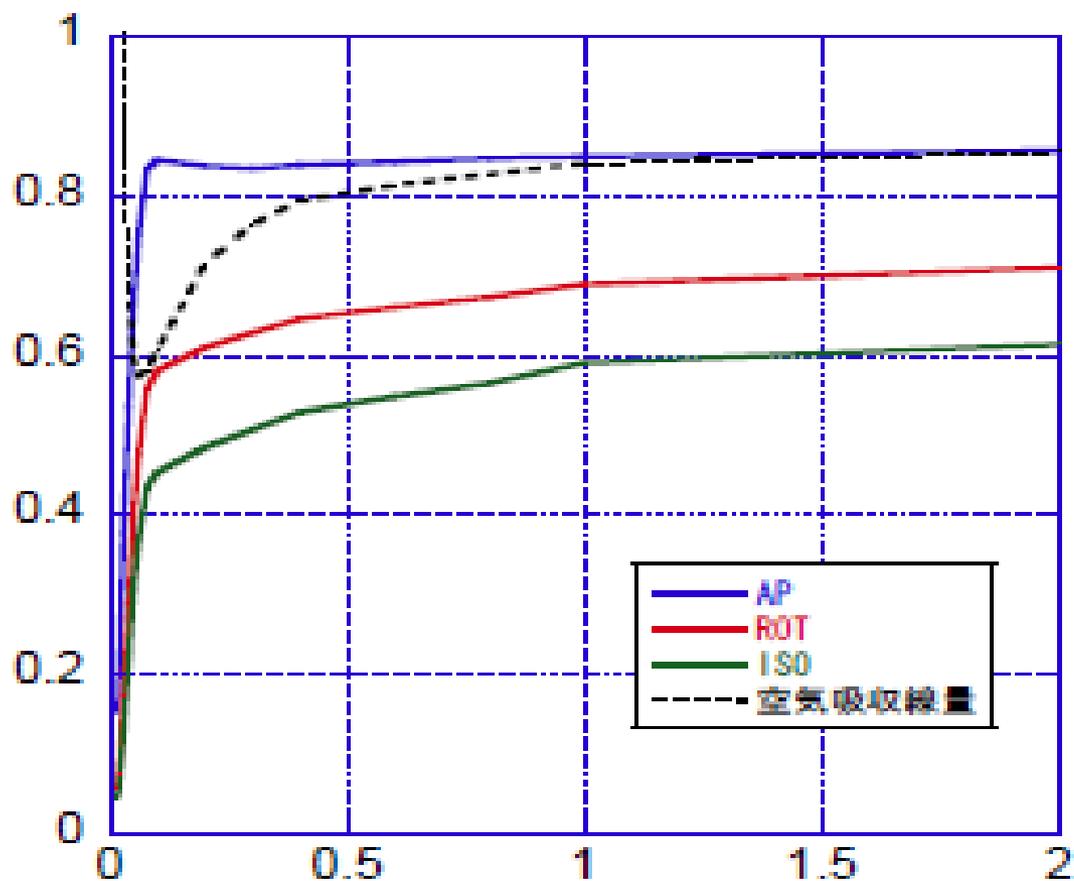
<p><u>防護量</u> (Protection quantity)</p>	<p>国際放射線 防護委員会 (ICRP)</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ <b>実効線量 (Sv)</b></li><li>■ 等価線量 (Sv)</li><li>■ 組織吸収線量 (Gy)</li></ul>
<p>実用量 (Operational quantity)</p>	<p>国際放射線 単位測定委 員会 (ICRU)</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 周辺線量当量 (Sv)</li><li>■ 方向性線量当量 (Sv)</li><li>■ 個人線量当量 (Sv)</li></ul>

# 防護量の方向依存性の問題



# 周辺線量当量に対する実効線量(成人)の比

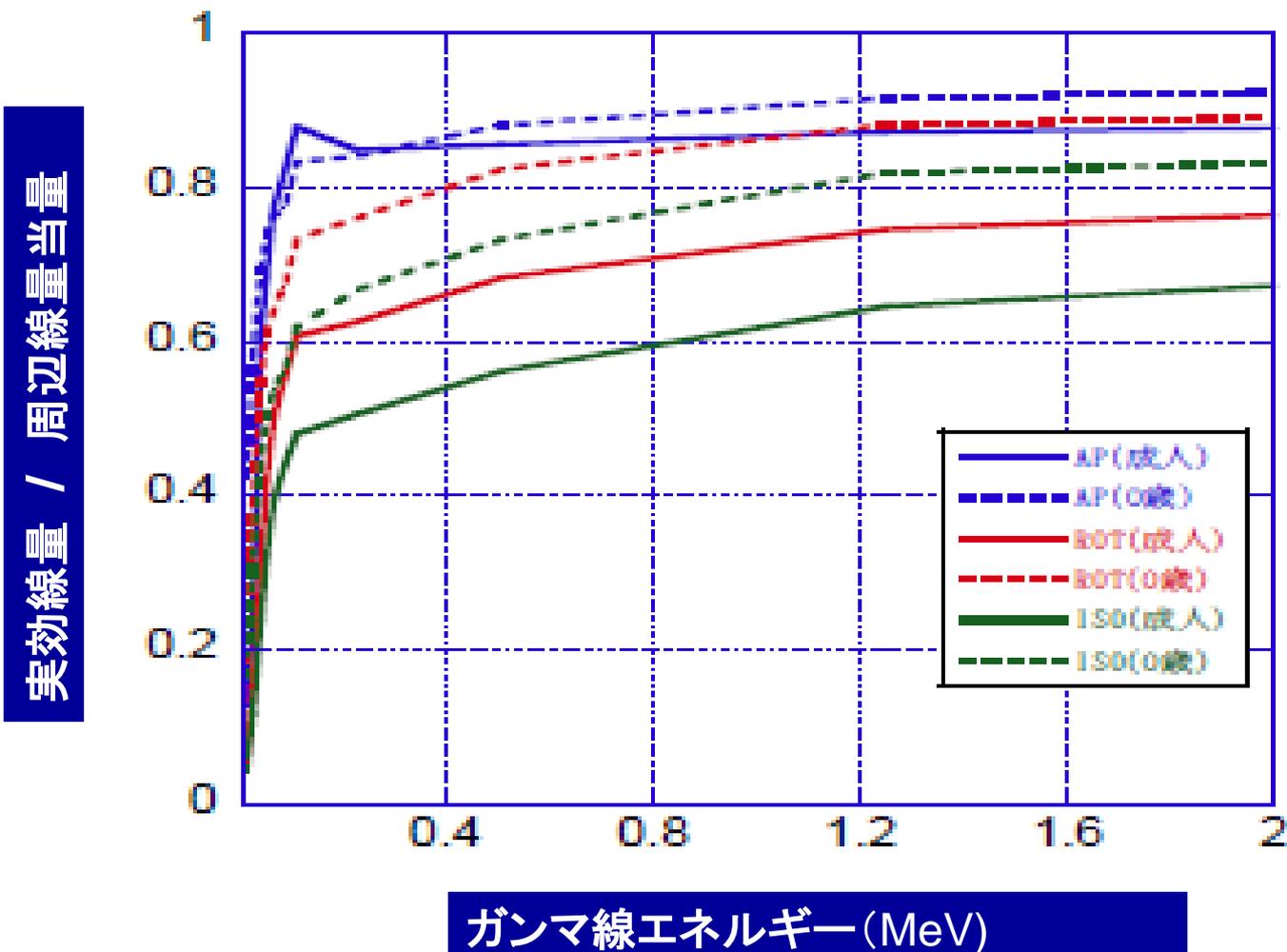
実効線量(又は空気吸収線量) / 周辺線量当量



ガンマ線エネルギー (MeV)

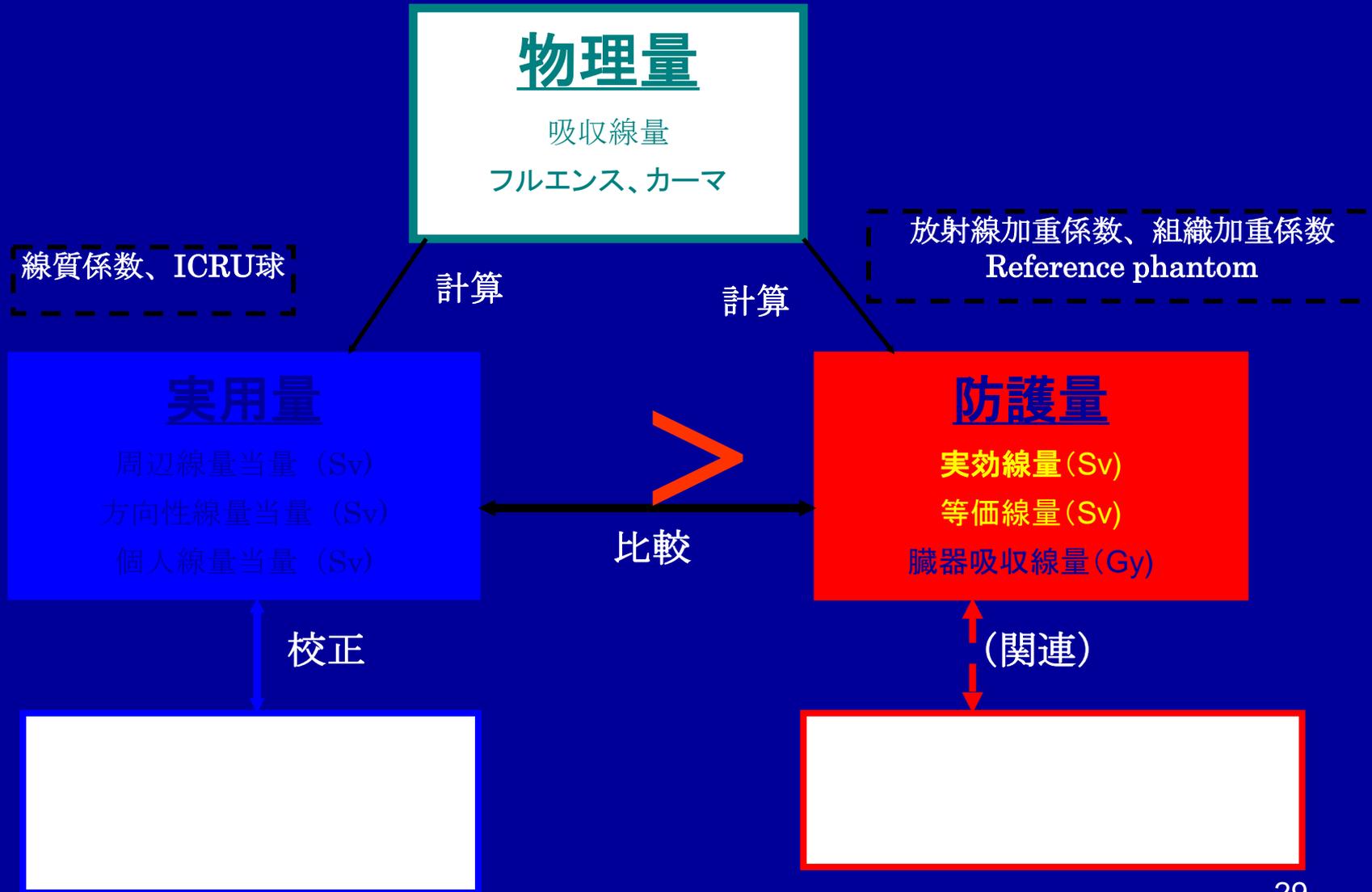
(出典: 平山英夫 私信: 測定値(空气中放射線量)と実効線量 2011.10.23)

# 周辺線量当量に対する実効線量(成人、0歳児)の比



Cs: 605keV  
796keV  
s: 662keV

# 実用量と防護量の関係



# 防護量の体系—実効線量とは？—

