

# 低レベル被ばく影響に関する 最近の報告より

今中哲二

第106回原子力安全問題ゼミ  
2009.3.6

# 今日の主役

“ミリシーベルト (mSv)”

- 1シーベルト (Sv)  
=1000ミリシーベルト
- 1マイクロシーベルト ( $\mu$ Sv)  
=1000分の1ミリシーベルト

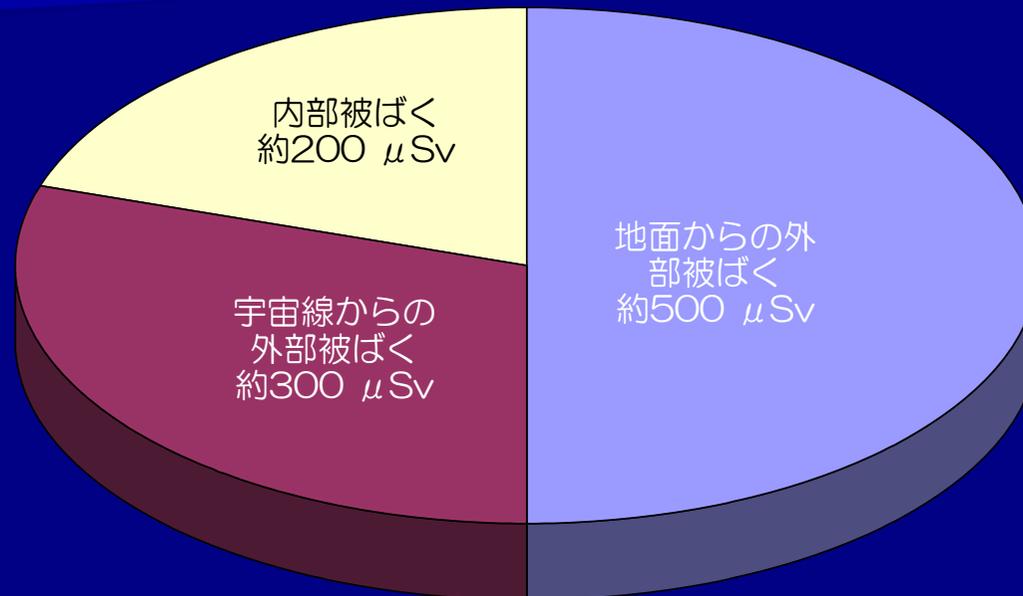
# 放射線作業従事者として ‘被ばく’に対する感覚

- 1  $\mu\text{Sv}$  : 気にしない程度
  - 自然放射線被ばくは1日で約3  $\mu\text{Sv}$
- 10  $\mu\text{Sv}$  : ちょっと浴びたなあ！
  - 胸部X線検査1回で約50  $\mu\text{Sv}$
- 100  $\mu\text{Sv}$  : かなり浴びたなあ！
  - ヨーロッパへの飛行機往復で50~100  $\mu\text{Sv}$
- 1000  $\mu\text{Sv}$  : たいへんだ！始末書だ！

ちなみに、今中がこれまでに一度に浴びた最大は、チェルノブイリ石棺の内部見学のときで「30分で約120  $\mu\text{Sv}$ 」。

# 1 ミリシーベルト(1000マイクロシーベルト)

- 自然放射線による1年間の被ばく量



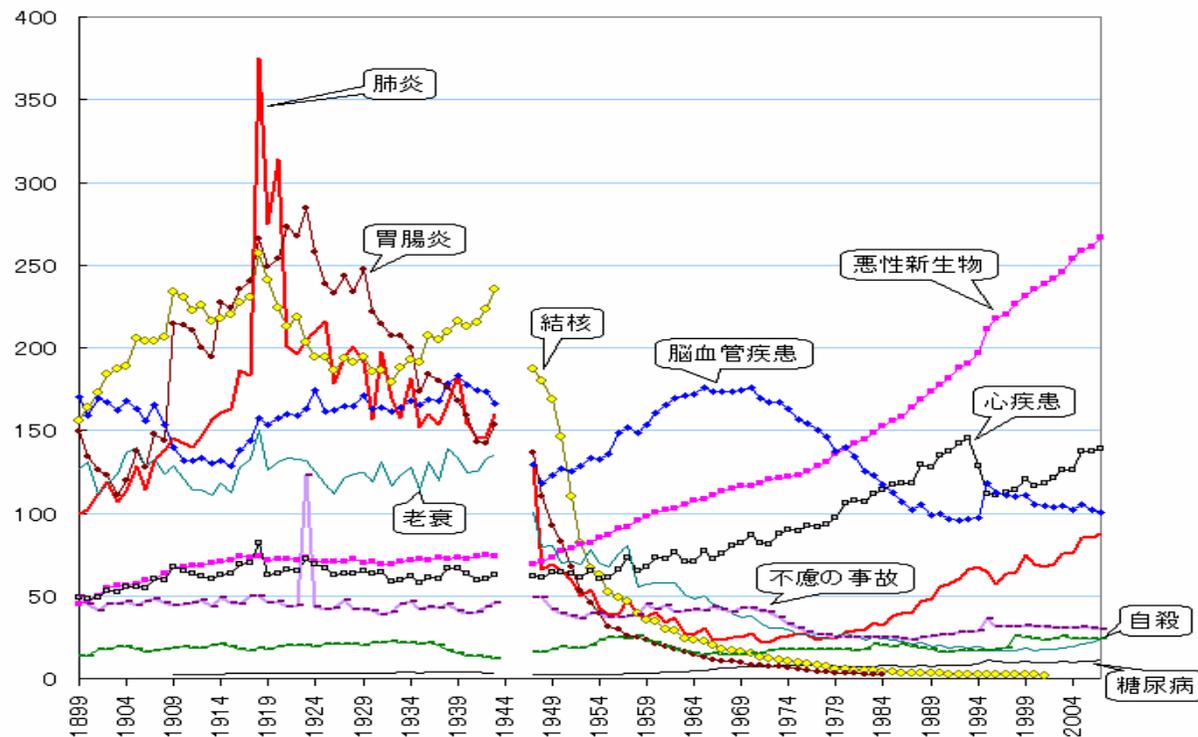
## 自然放射線被ばく (年1000 μSv) の内訳

- 原子炉等規制法に基づく一般公衆の線量限度：年間1 mSv
- 日本人の医療被曝の平均：年間2 mSv

# 今日のもうひとつの主演“がん”

## 日本人の死亡原因の変遷

主要死因別死亡率(人口10万人対)の長期推移

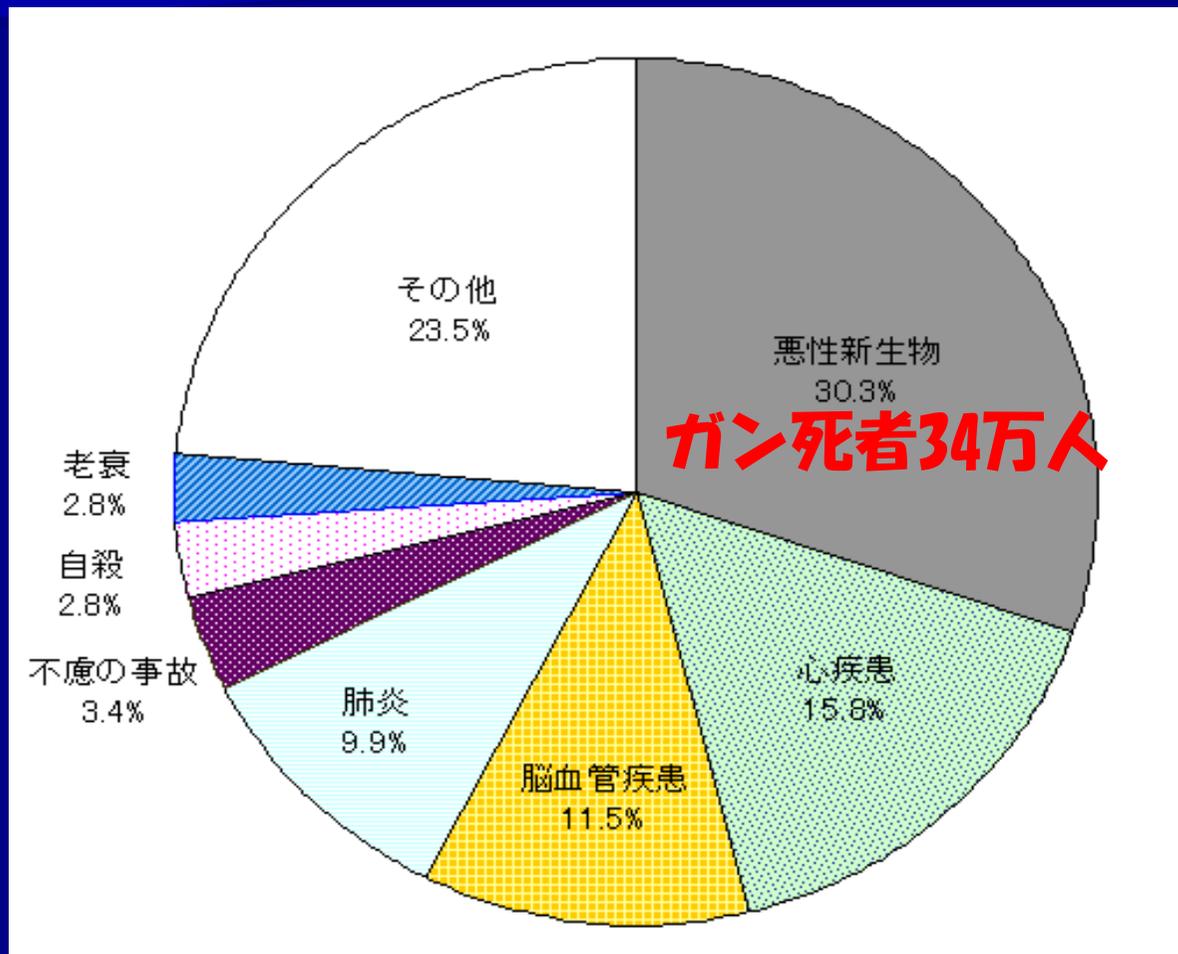


(注)1994年の心疾患の減少は、新しい死亡診断書(死体検案書)(1995年1月1日施行)における「死亡の原因欄には、疾患の終末期の状態としての心不全、呼吸不全等は書かないでください。」という注意書きの事前周知の影響によるものと考えられる。2007年(データ末尾年)は概数。

(資料)厚生労働省「人口動態統計」

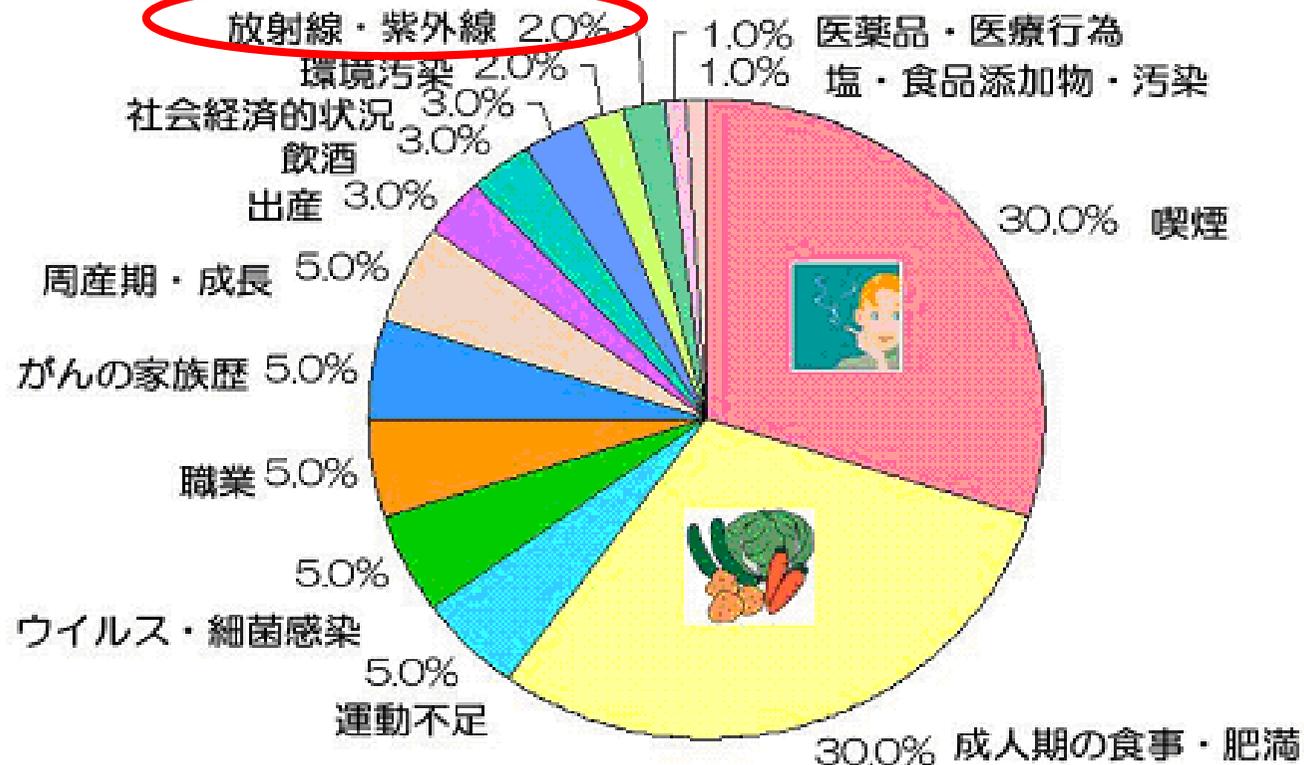
# 今日のもうひとつの主役“がん”

2007年の日本の死者(110万8000人)の死因の内訳



# がんの原因

## アメリカ人についてのがんの原因



Harvard Center for Cancer Prevention: Harvard Report on Cancer Prevention, Volume 1: Causes of Human Cancer, Cancer Causes Control 7:S3-S59, 1996.

放射線影響協会HPより

2007年の日本のガン死34万件のうち、その2%の原因が放射線すると、 $34万 \times 2\% = 6800$ 件となる。

# 放射線によるガン死

- ICRP（国際放射線防護委員会）によると、1 Svの被ばくによりガン死する確率は5%である。
- つまり1 mSvの被ばくでは、0.005%となる。
- 1億3000万人が毎年1 mSvの被ばくを受けると、

$$0.00005 \times 130000000 = 6500 \text{件}$$

のガン死に相当する。

**「ガン原因」についてのハーバード報告と「ICRPの放射線リスク」に基づく見積もりはよく一致している。**

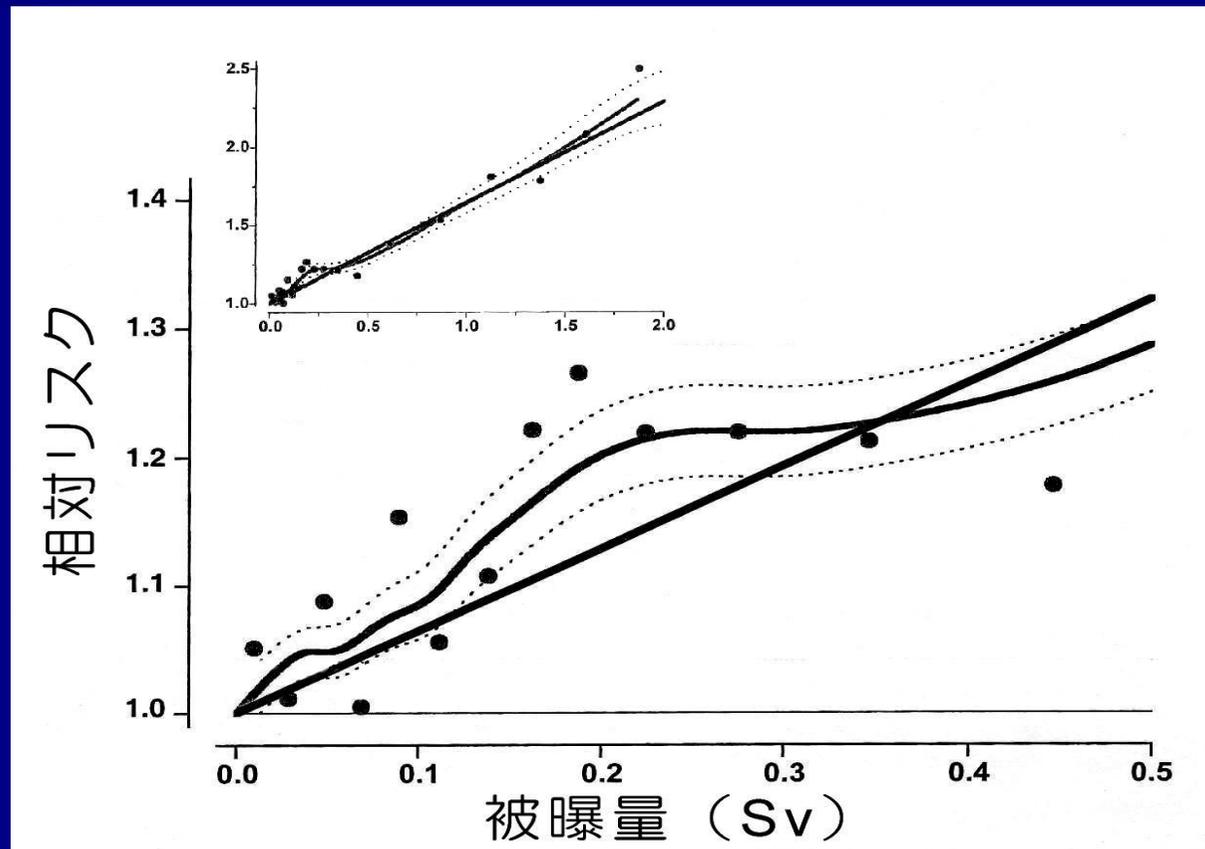
しかし、ICRPは最新の勧告で、

「低レベル被ばくの影響ははっきりせず、こんな計算は人心を惑わすのでしてはいけません」

と述べている

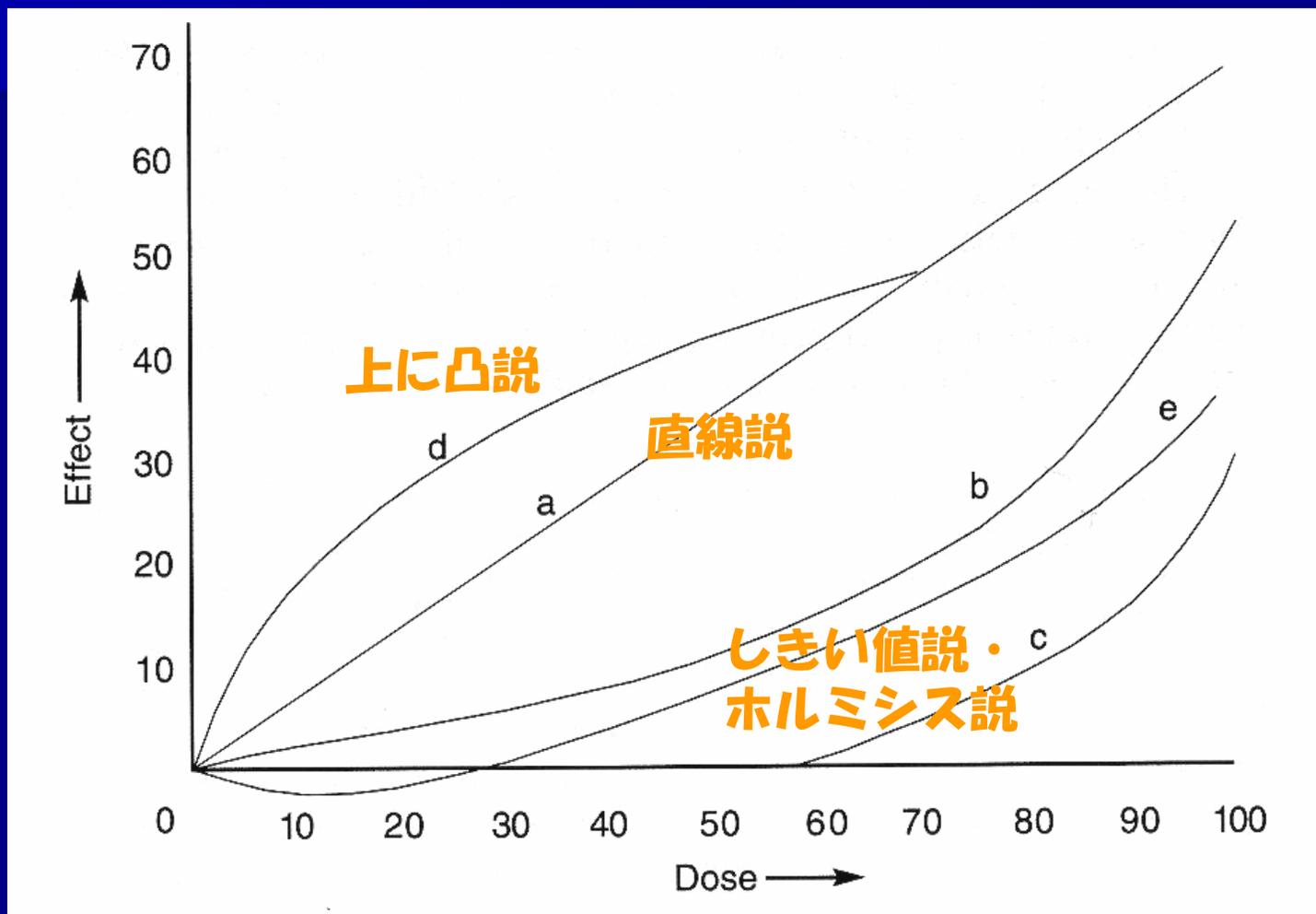
# LNT(直線・閾値なし)モデル論争

広島・長崎の被爆生存者のガン死追跡データ



50ミリシーベルト以下(0.05シーベルト以下)の影響は、直接的には分からない。

# 低線量被ばく影響についてのいろいろな仮説(モデル)



NCRP136 (2001)

# LNTモデルに対する権威どころの見解

- ICRP（国際放射線防護委員会）2007年勧告
  - 他のモデルも否定できないが、LNTモデルが最も確からしい。しかし、集団線量を使ってリスクを計算するのは適切でない。
- BEIR委員会（低レベル放射線影響に関する米国科学アカデミー委員会報告）2005年報告
  - 生物学的・疫学的知見に基づくと、LNTモデルが最も合理的であり、極低レベル被ばくのリスクにも適用できる。
- UNSCEAR（放射線影響国連科学委員会）2000年報告
  - いろいろなデータに照らすと、LNTモデルが最も合理的。
- フランス科学アカデミー 2005年報告
  - 最近のデータに基づくと、低レベル被ばくでの損傷は、DNA修復や細胞除去によって完全になくなる。低レベル被ばくの影響には「閾値」がある。

**しきい値派によると、ICRPやBEIRは、「昔の考え方にとらわれて、最近の知見を無視している」**

# 生物学、放射線生物学の最近の進展

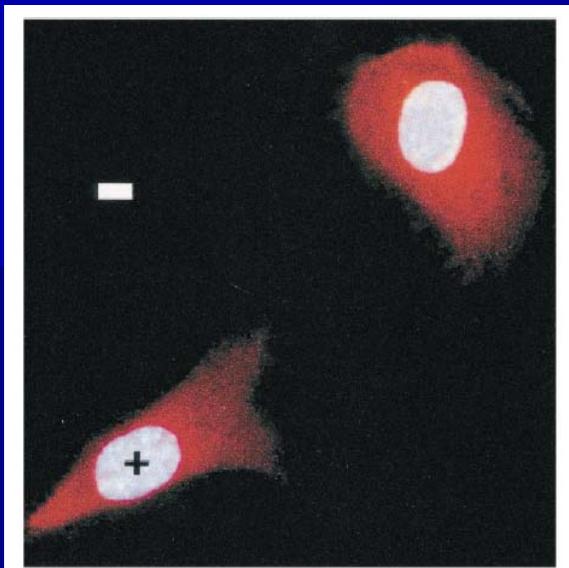
<面白い現象のいろいろ>

- 放射線適応応答
  - バイスタンダー効果
  - 遺伝的不安定性
- などなど

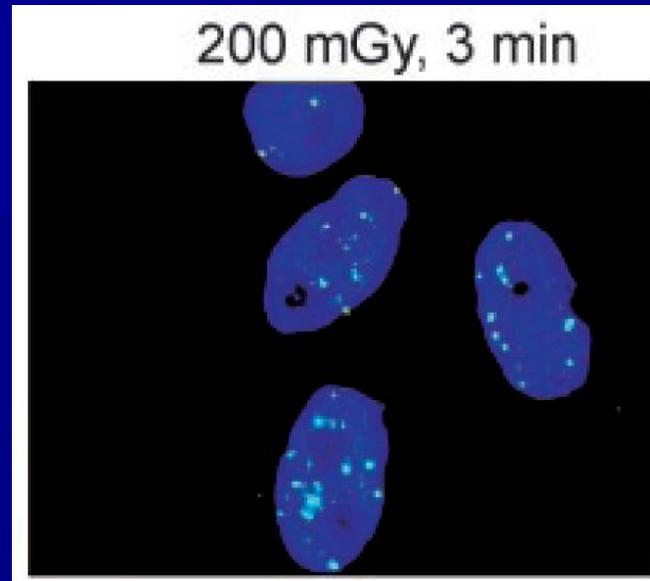
**しきい値派の考え:細胞の傷の大部分は速やかに修復され、修復されなかった傷はアポトーシス(計画的細胞死)によって除かれる. こうした防護機構は低線量ほどうまく働く.**

**いずれにせよ、生物の細胞は、1~10mSvの放射線被ばくがもたらす刺激に対し、生理学的に何かの反応をしているようだ!**

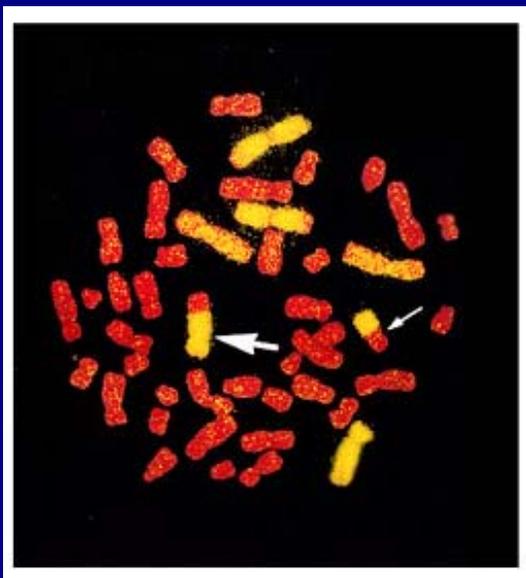
# 最新テクニックのいろいろ



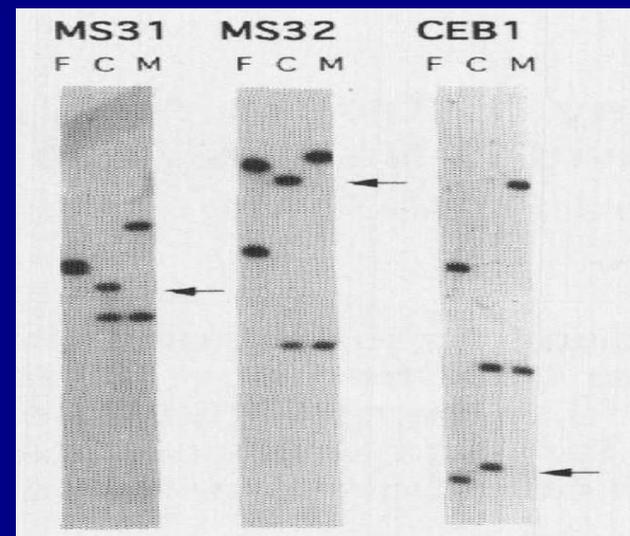
マイクロビーム照射 Sawantら Rad Res(2001)



DNA2重鎖切斷の観察 Rothkammら PNAS(2003)



FISH法による転座の観察. 放影研HPより



ミニサテライトを用いたDNA鑑定 Dubrovaら NATURE(1996)

**生物学・技術の進歩により、放射線が生物にもたらす影響について、いろいろなことが分かってきた。**

**しかし、人に対するリスクの最終判断は、疫学データに頼るしかない！**

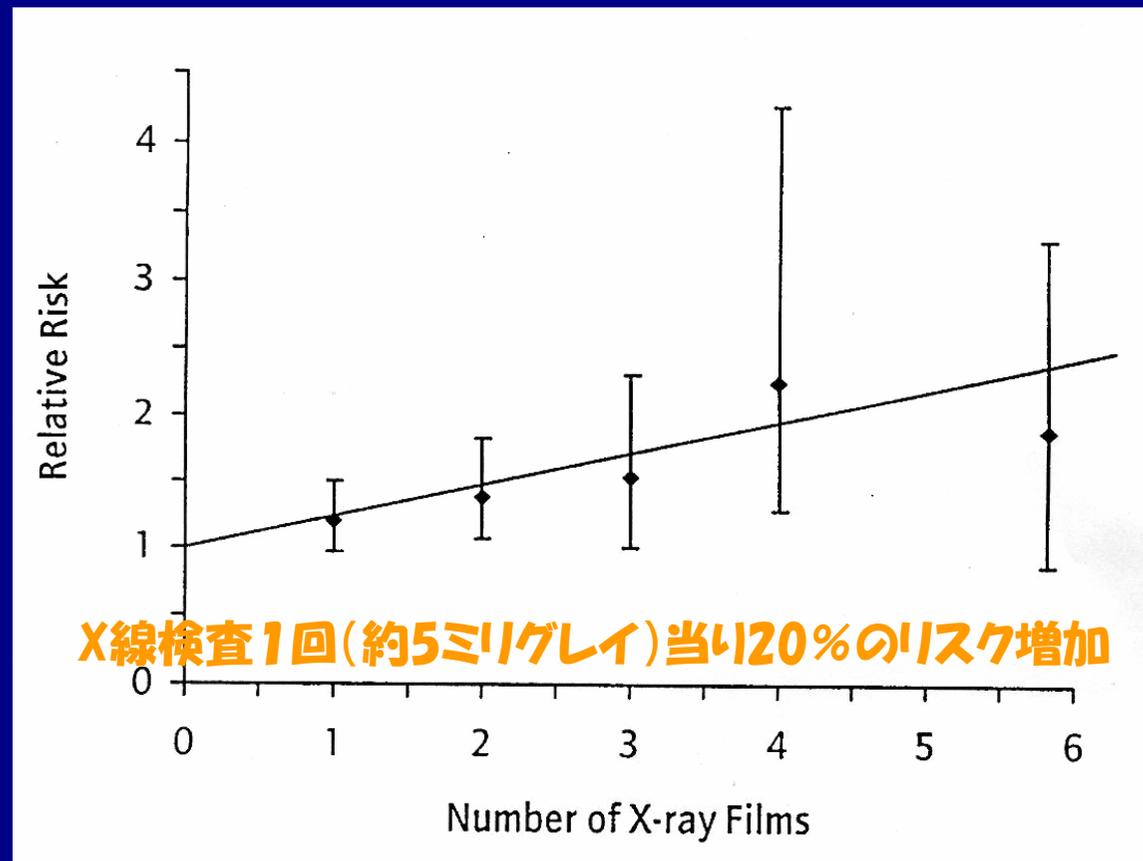
# 被ばくとガン影響に関する疫学データ

- 広島・長崎被爆生存者データ
- 医療被曝データ
  - 妊娠中X線検査、トロトラスト患者、強直性脊椎炎、気胸検査etc
- 放射能汚染、原子炉事故データ
  - チェルノブイリ事故、テチャ川汚染、セラフィールド・ラアーグ周辺、ドイツBWR周辺、セミパラチンスク核実験場、台湾鉄筋汚染アパート住民
- 自然放射線データ
  - 中国高放射線地域、インド・ケララ州、住宅中ラドンデータ、etc
- 原子力産業従事者データ
  - 原子力産業15カ国合同解析、マヤック労働者、日本の疫学調査、ウラン鉱山労働者データ
- その他
  - 航空機乗務員データ、放射線専門医データ、ラジウム時計盤労働者データ

# しきい値説に与しないデータ: その2

## オックスフォード小児ガン研究

1956年、Alice Stewartは、妊娠中にX線診断を受けた母親の子供に小児ガンが多いことを報告した。この結果は後の研究でも確認された。



妊娠中に受けたX線検査の数と危険度の関係: 1953-1972  
R Doll, British J Radiology (1997)

### しきい値説に与しないデータ:その3

# 原子力産業労働者15カ国合同解析

Cardis et.al BMJ 2005

◎対象者：約40万人、平均被ばく量19.4mSv。

◎平均追跡期間：約13年、死者：2万4159人、ガン死者：6519人

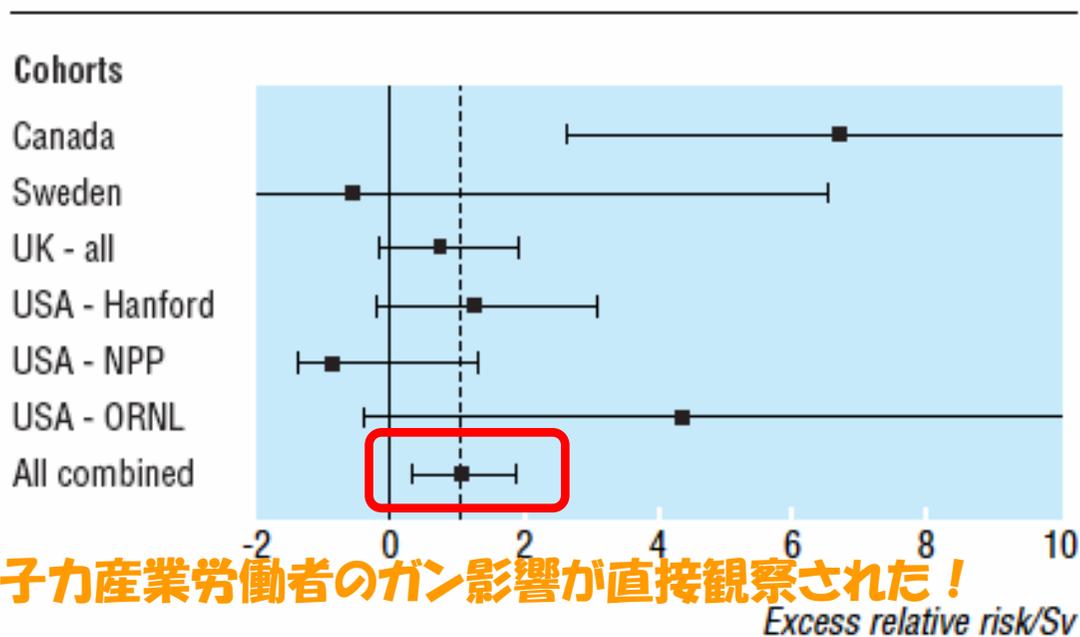


Fig 2 Excess relative risks per Sv for all cancer excluding leukaemia in cohorts with more than 100 deaths (NPP=nuclear power plants, ORNL=Oak Ridge National Laboratory)

# 日本の原子力産業従事者疫学調査

## 第III期調査結果

### 放射線影響協会 文科省委託調査

◎対象者：約20万人、平均被ばく量12.2mSv。

◎平均追跡期間：約6.8年、死者：7670人、ガン死者：3093人

表6.3-1 死因別累積線量群別O/E比及び傾向性の検定結果(3)  
(前向き観察期間、潜伏期：白血病2年 その他の新生物10年、年齢、暦年、地域を調整)

死 因	累積線量群(mSv)					傾向性の 片側検定結果 p値
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察死亡数	観察死亡数	観察死亡数	観察死亡数	観察死亡数	
	期待死亡数	期待死亡数	期待死亡数	期待死亡数	期待死亡数	
	O/E比	O/E比	O/E比	O/E比	O/E比	
	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	

**統計的に有意な増加傾向が認められている！**

全悪性新生物 (白血病を除く)	1923 1977.2 0.97 (0.93 - 1.02)	264 241.9 1.09 (0.96 - 1.23)	269 250.1 1.08 (0.95 - 1.21)	121 112.2 1.08 (0.89 - 1.29)	59 54.6 1.08 (0.82 - 1.39)	<b>0.047</b>
--------------------	---	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	--------------

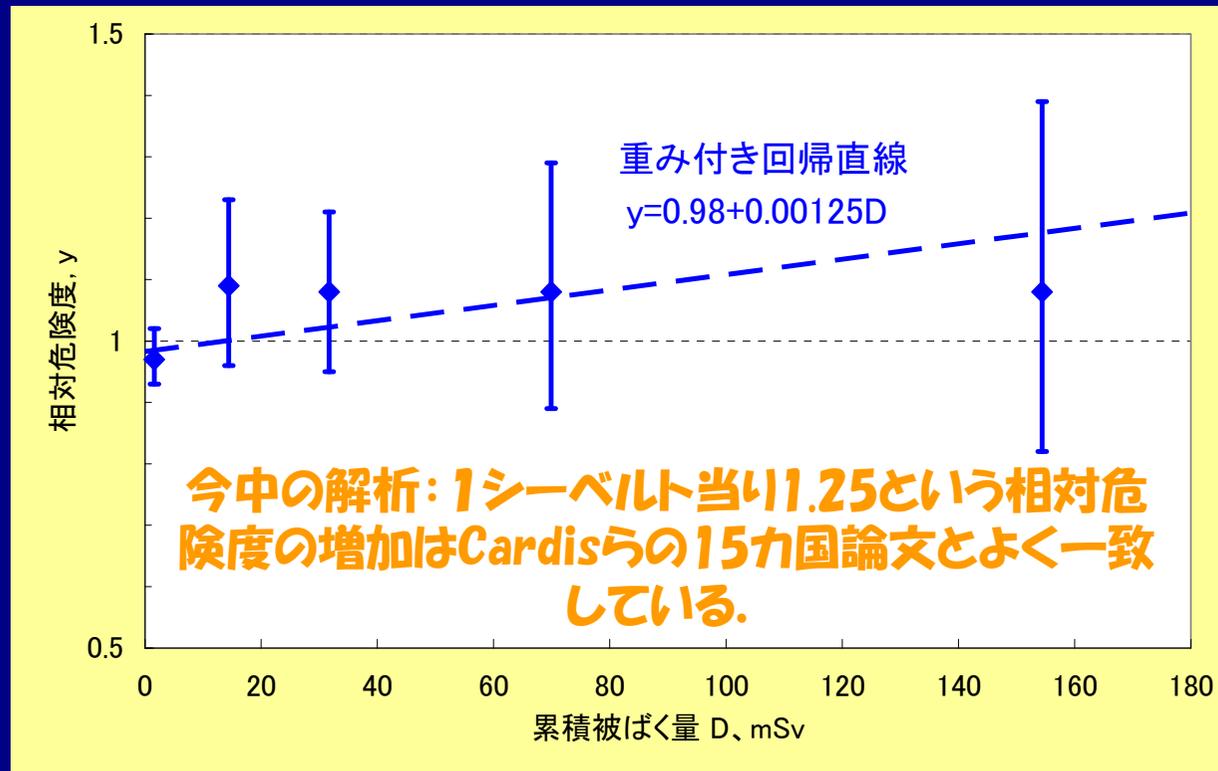
# 日本の原子力産業従事者疫学調査

## 第Ⅲ期調査結果

### 放射線影響協会の結論

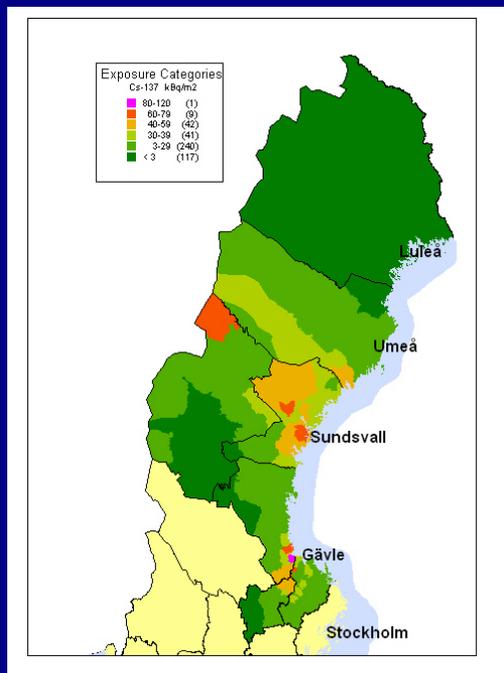
以上のことを総合して評価すると、第Ⅲ期調査までの結果では、低線量域の放射線が悪性新生物の死亡率に影響を及ぼしている明らかな証拠は見られなかったと言える。

一方、



日本の原子力産業従事者データも、被ばくが増えるとガン死も増えることを示唆している！

しきい値派が無視するデータ：  
**スウェーデンのチェルノブイリ汚染地域でのガン増加**  
**1988-1996年 約100万人対象、ガン2万件のデータ**  
**Tondelら、JECH 2004**



スウェーデン中北部の  
セシウム137汚染

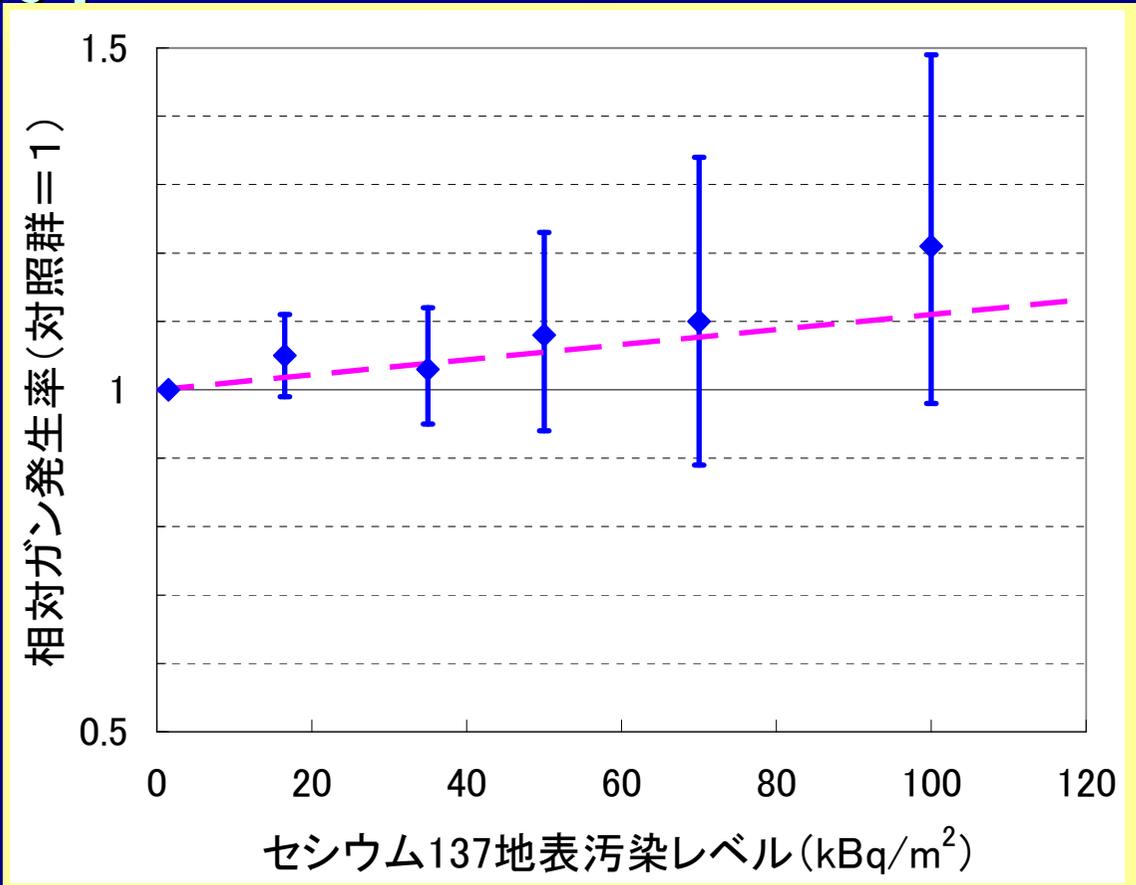


図1. スウェーデン汚染地域でのセシウム 137 地表汚染レベルとガン発生率：1988-1996 年.

最近の面白いデータ:

# 台湾の鉄筋汚染アパート住民疫学データ

Hwangら、Radiation Research 2008

◎対象者：6242人、平均被ばく量：48mSv.

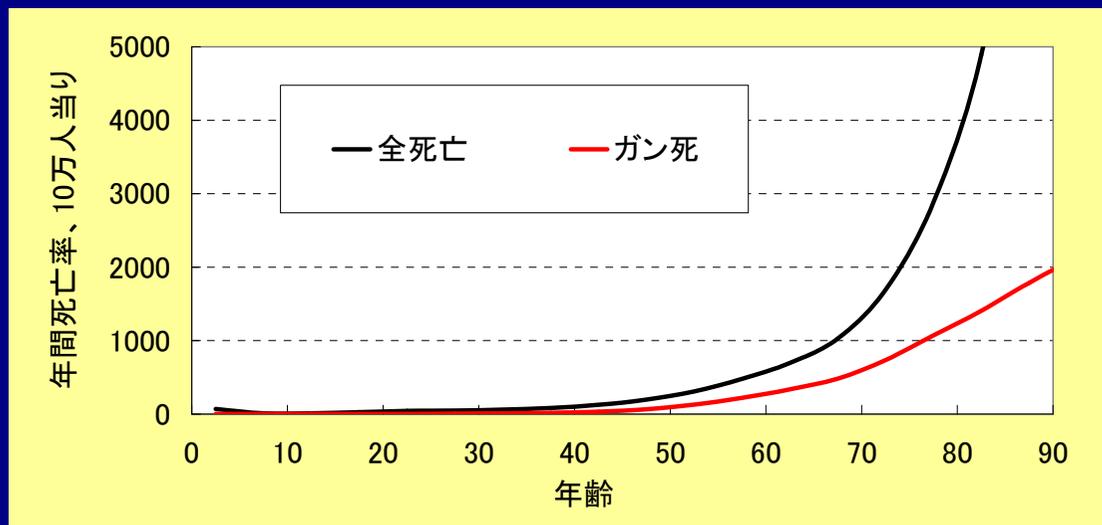
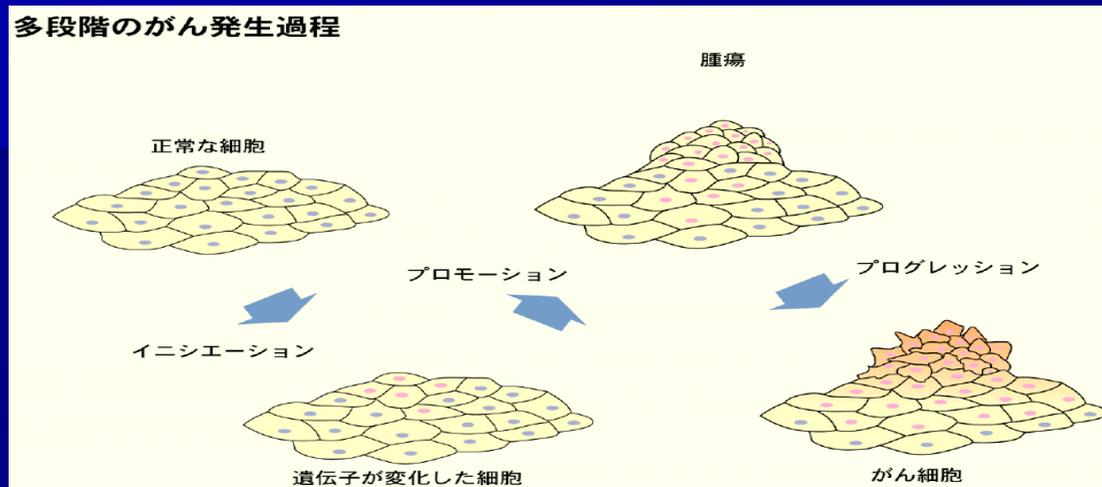
◎追跡期間：1983～2005、ガン発生数：117件

Adjusted Hazard Ratios of Cancers for the Radiation-Contaminated Building Cohort

Cancer site	Number of cancers <sup>a</sup>	HR <sub>100mGy</sub> <sup>b</sup>	90% CI of HR <sup>b</sup>	P value <sup>b</sup>
All cancers	117	1.04	(0.97, 1.08)	0.32
All cancers excluding leukemia	111	1.02	(0.95, 1.08)	0.57
All solid cancers	106	1.03	(0.96, 1.09)	0.50
Selected solid cancers (with case numbers >5)				
Female breast	17	1.12	(0.99, 1.21)	0.13
Cervix uteri	16	0.95	(0.64, 1.13)	0.70
Lung	12	1.09	(0.96, 1.19)	0.21
Thyroid glands	8	0.81	(0.21, 1.15)	0.52
Liver	8	1.03	(0.76, 1.19)	0.81
Stomach	8	1.10	(0.88, 1.25)	0.41
Rectum	6	0.48	(0.02, 1.10)	0.27
Leukemia excluding chronic lymphocytic leukemia	6	1.19	(1.01, 1.31)	0.08

乳がんと白血病で増加の傾向が認められた

いずれにせよ、修復されない傷や機能が、長い間に積み重なってガンになると考えられる。



修復が完全であるなら、ガンにはならないだろう。

## まとめ

- 直線しきい値なしモデルを直接証明することはできないが、それを否定することもできない。
- テータの限りでは「LNT仮説」が、合理的で(さまざまな批判に耐える)最もタフなモデルであろう。

ご清聴ありがとうございます。