

大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センター8F 大ホール
(11月29日(金)15時～17時)

保健物理の未来を拓くと技術革新
「保物セミナー2019」

テーマ3 低線量放射線の健康影響

LNTの不確実性：低線量放射線は長寿と制癌に有効

須藤鎮世

(就実大学 名誉教授、放射線取扱主任者)

研究のいきさつ

放射線の中で生きている私たち

分子生物学的考察

直線閾値なしモデルを検証する

適応応答（ホルミシス）

低線量放射線は長寿と制癌に有効

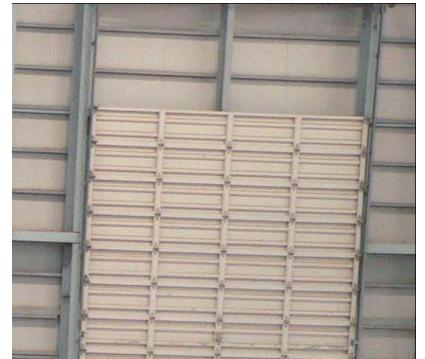
避難者の一時帰宅に伴う汚染モニタリング



4つの中継基地

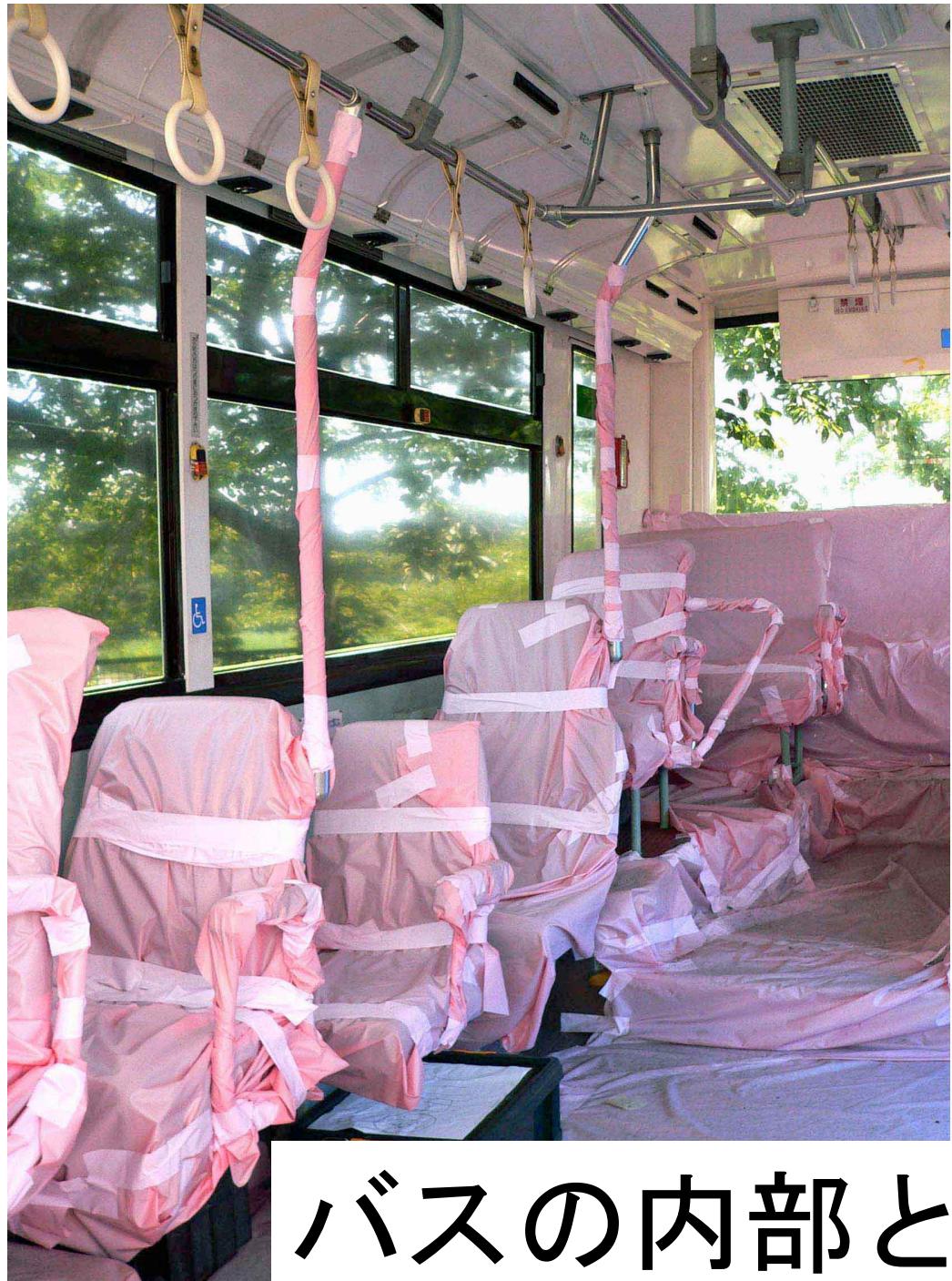
一時帰宅 - 馬事公苑

9時集合、説明、着替え、10時過ぎ
に出発、2時間在宅、13時半頃帰着





平日:16台, 週末:24台



バスの内部と添乗者

帰宅者がバスを降り、入り口から検査室に入る。
貴重品などトレー1杯の持込み品を誘導員が運ぶ





6つの測定ブースの1つに誘導される



先ず、2重、3重の靴カバーを脱がせる



一時帰宅者の汚染調査結果

一時帰宅対象世帯数	27, 843	汚染者数
一時帰宅対象人数	78, 000	
一時帰宅者数	33, 598 (43%)	0

震災関連死者数: 2,272 > 津波・地震の死者: 1,607



諸悪の根源 : 直線閾値 (いきち) なしモデル LNT

研究のいきさつ

放射線の中で生きている私たち

分子生物学的考察

直線閾値なしモデルを検証する

適応応答 (ホルミシス)

低線量放射線は長寿と制癌に有効

ビッグバンによる宇宙創造

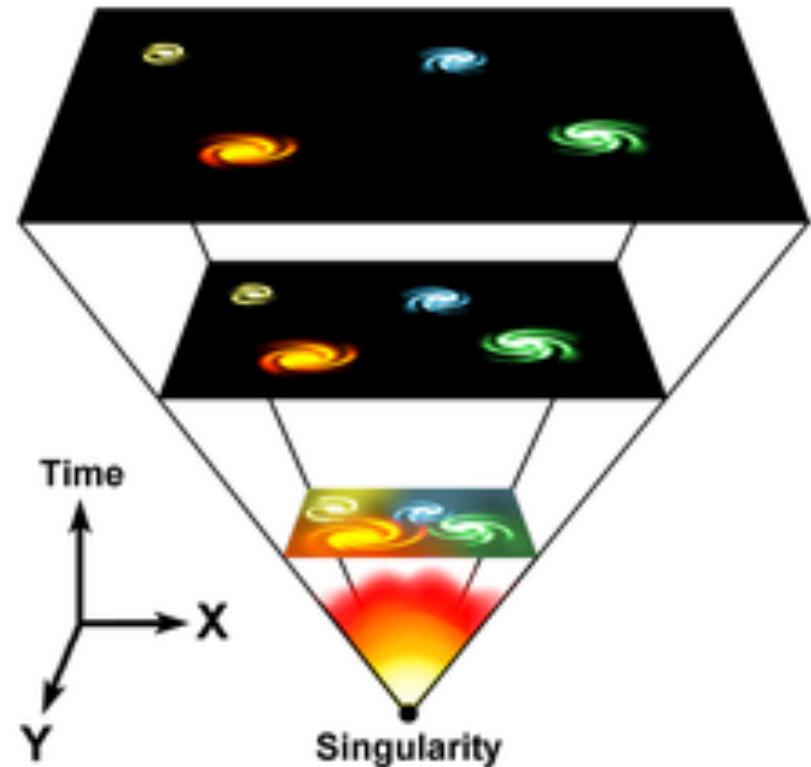
138 億年前、宇宙誕生

$$E = mc^2$$

水素が形成され、重力収縮し、
恒星となり、爆発し、
恒星や惑星を作り
爆発し、・・・

生々流転

わし座「創造の柱」



太陽系/地球の歴史：46億年

分子雲や大爆発の残骸星間物質由来



我々をとりまく放射性物質の例 (T τ は半減期)

一次天然放射性核種：太陽系形成時以来の存在

ウラン-235 (T τ = 7億年) [天然唯一の核分裂元素]

ウラン-238 (T τ = 44.6億年) [ラドンの親]

トリウム-232 (T τ = 140億年) [ほとんど分裂ので安全]

カリウム-40 (T τ = 12.5億年) [生体の重要な構成要素]

二次天然放射性核種：半減期が短くても不滅

ラドン-222 (T τ = 3.8日) [ウラン-238の分解産物]

誘導天然放射性核種：宇宙線との核反応で常時生成

トリチウム-3 (T τ = 12.33年) [我々の体内にある]

炭素-14 (T τ = 5,730年) [我々の体内にある]

人工放射性元素：粒子加速器、原子炉で核種変換

フッ素-18 (T τ = 110分) [癌のPET診断などに利用]

日本人の自然被曝

(mSv/年)

食品

0.99

宇宙線から

0.3

大地から

0.33

空中のラドン

0.48

合計

2.1

食物中のカリウム40の放射能料(日本)

(Bq/kg)



30



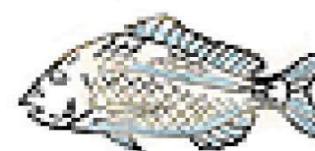
200



700



30



100



200



100



400



2,000



50



10

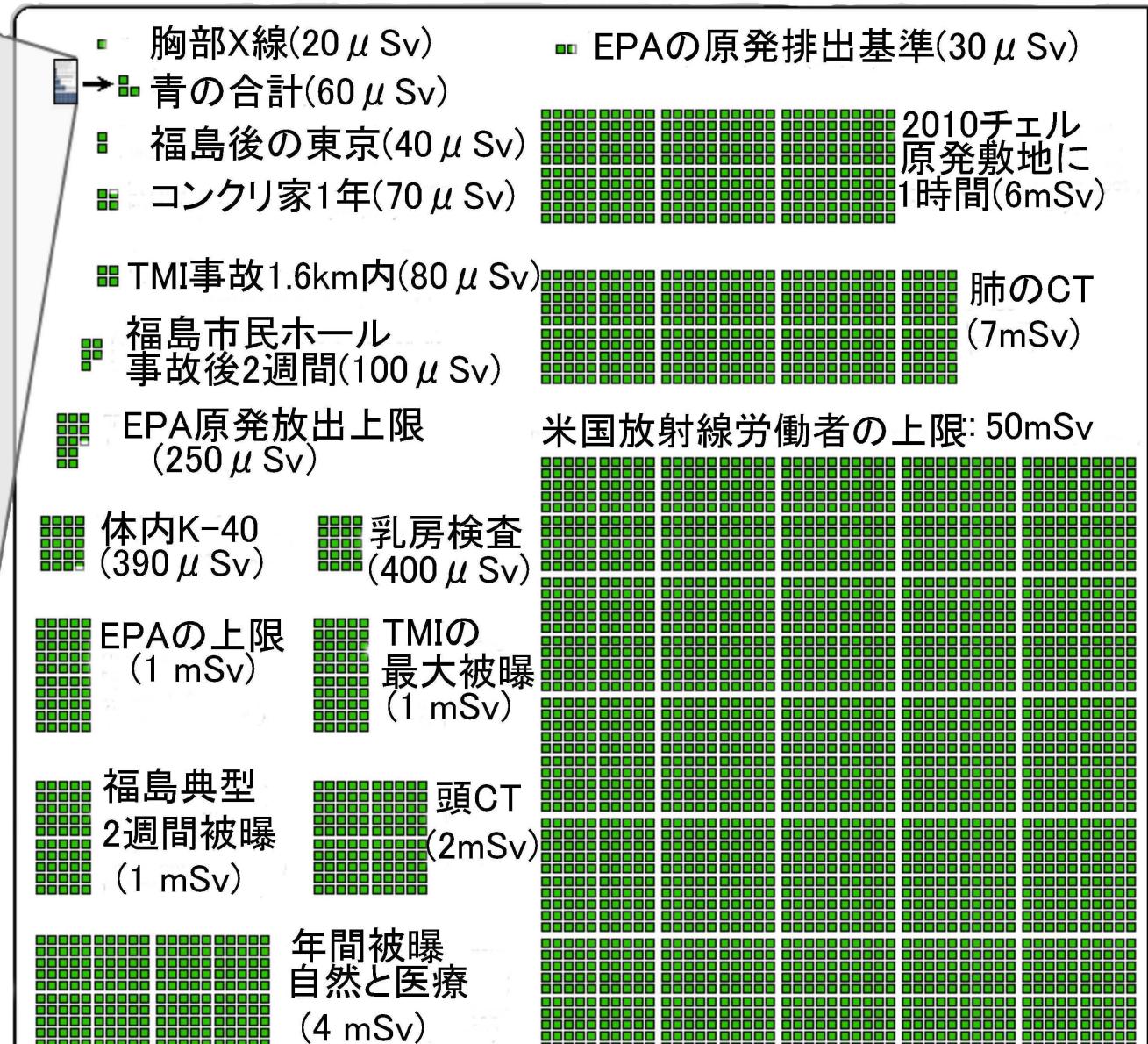
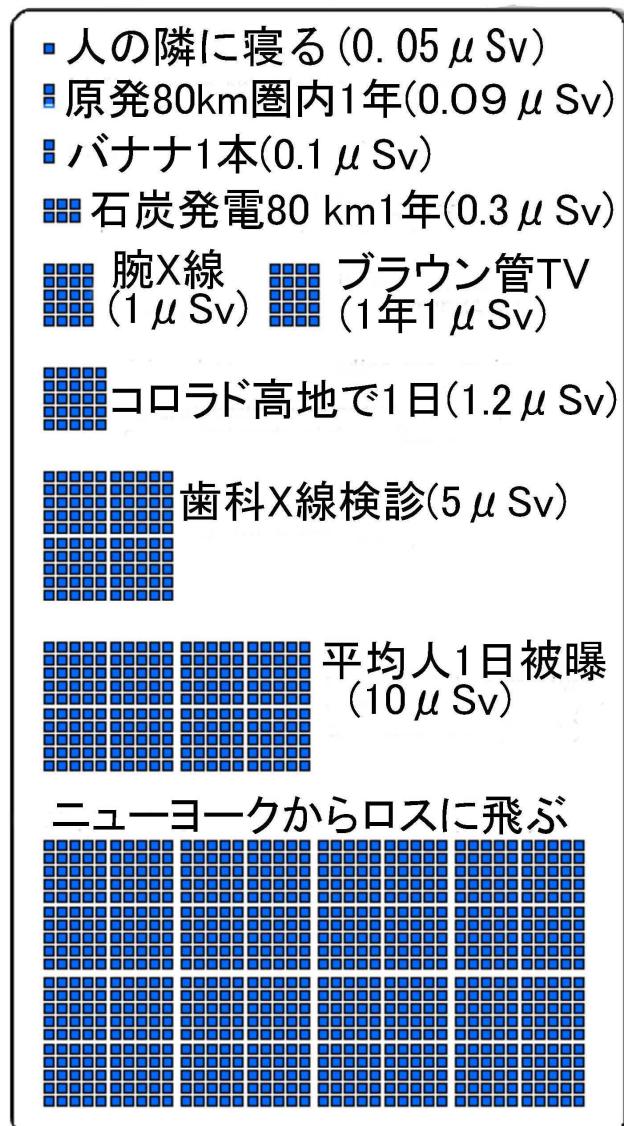
体の内外からの放射線被曝

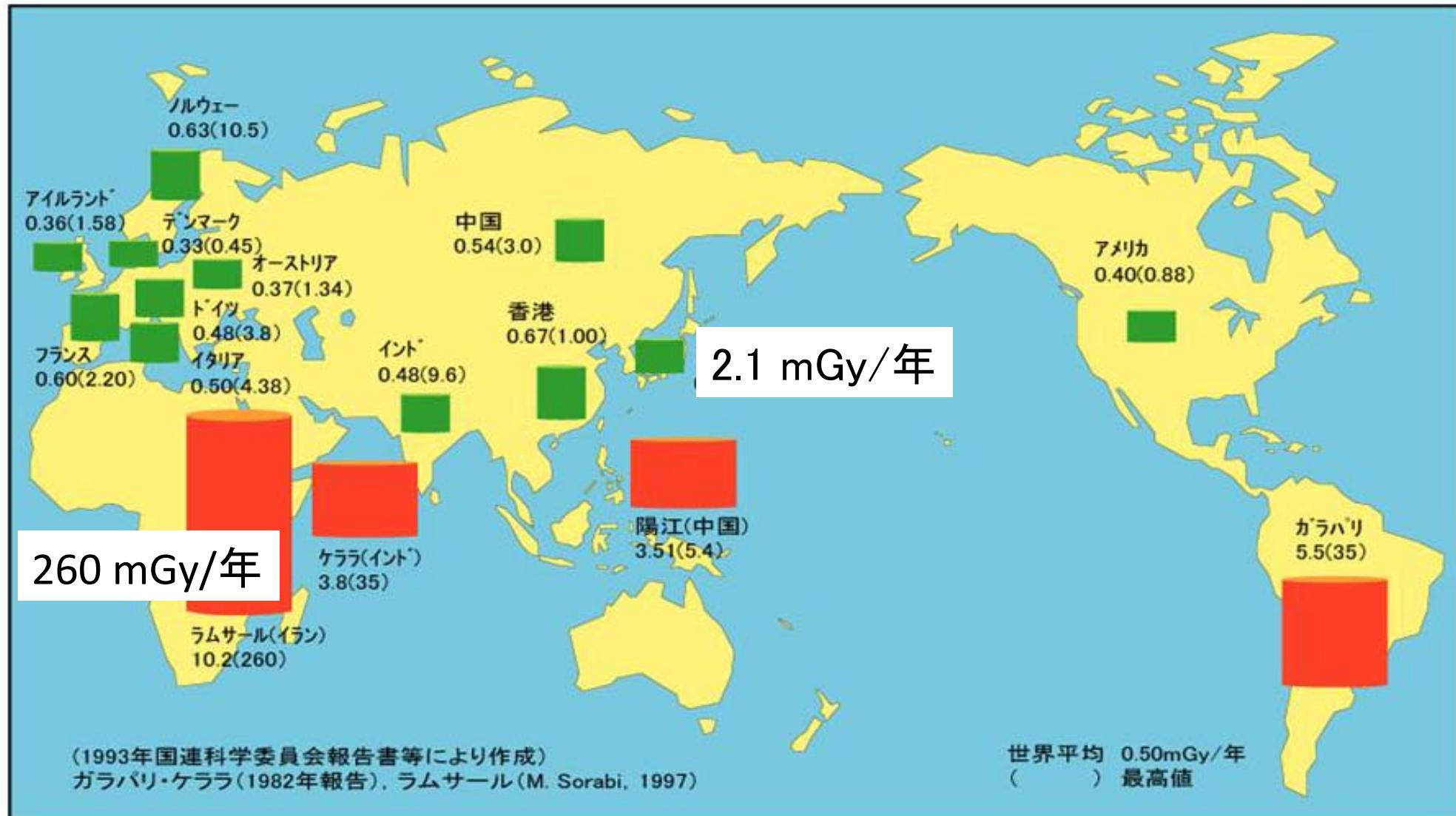
被曝線量 (mSv/年)	核種	崩壊量 [Bq]
食品から	カリウム-40	4,000
	炭素-14	2,500
	ルビジウム	500
	鉛-210、ポロニウム-210	2,500*
	(食品合計	9,500)
宇宙線から	0.3	
大地から	0.33	
空中ラドン	0.48	
合計	2.1	20,151**

*Po-210の1万Bqを経口摂取時の実効線量を2.4 mSvとして計算

**食品の0.99 mSvが9,500 Bqとして、2.1 mSvから比例計算

放射線量図 (<https://xkcd.com/radiation/>)





世界各地の大地から受ける年間自然放射線量

国連科学委員会 [\(http://www.taishitsu.or.jp/genshiryoku/gen-1/1-ko-shizen-2.html\)](http://www.taishitsu.or.jp/genshiryoku/gen-1/1-ko-shizen-2.html)

研究のいきさつ

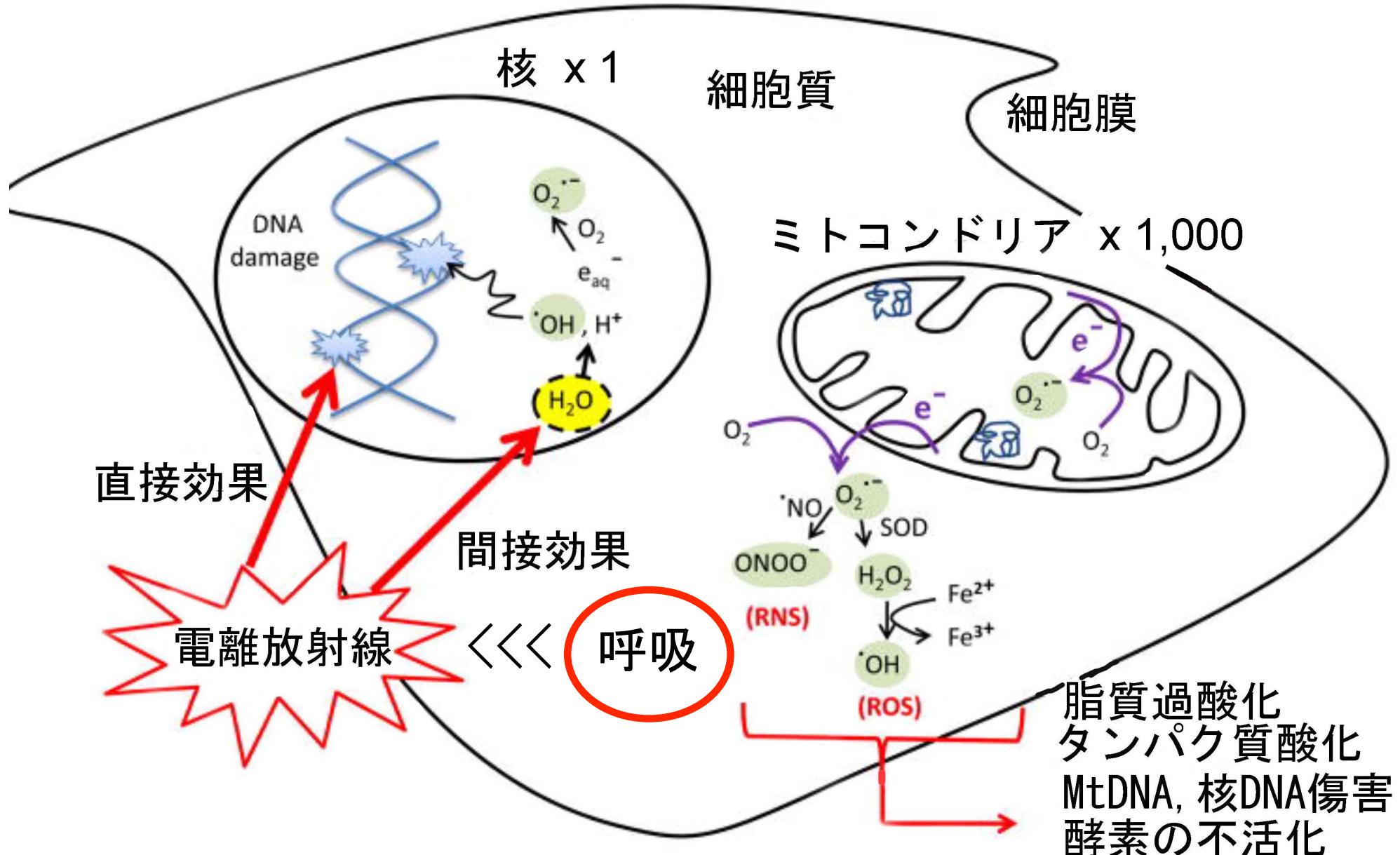
放射線の中で生きている私たち

分子生物学的考察

直線閾値なしモデルを検証する

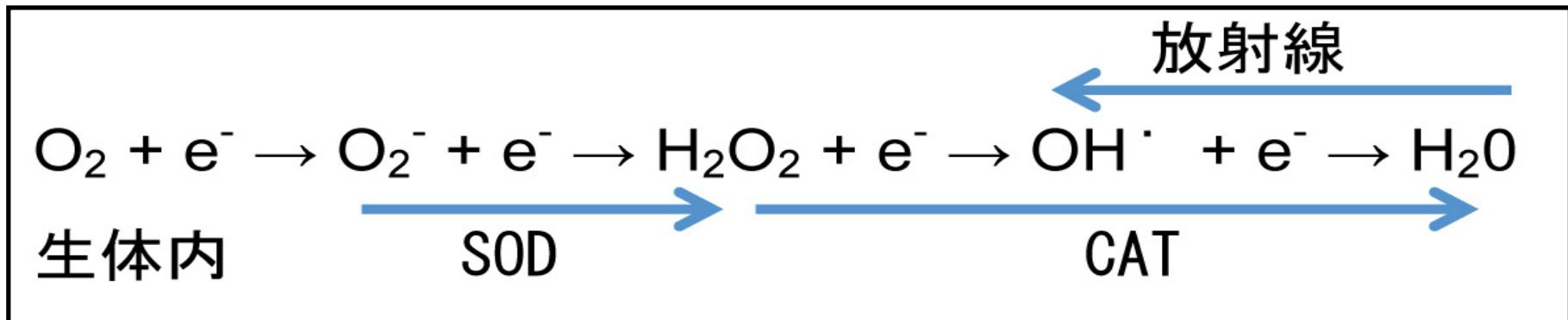
適応応答 (ホルミシス)

低線量放射線は長寿と制癌に有効



電離放射線と呼吸による活性酸素ROSの生産

放射線による活性酸素 ROS の形成



低線量放射線の8割は水を活性化、活性酸素 ROS を作る
 O_2^\cdot と OH^\cdot はラジカル

呼吸によるROS形成は放射線によるものより圧倒的に多い
酸素呼吸で活性酸素は 10^{10} /細胞/日できる

活性酸素 ROS を消去する生体物質の例

低分子化合物

グルタチオン、システイン、尿酸など

食物由来物質

ビタミンC、ビタミンE、 β カロチン、アスタキサンチンなど

タンパク質

トランスフェリン、フェリチン、メタロチオネインなど

抗酸化酵素

スーパーオキシドデスマターーゼ

カタラーゼ

グルタチオンS-トランスフェラーゼ

グルタチオンペルオキシダーゼなど

放射線による損傷と修復

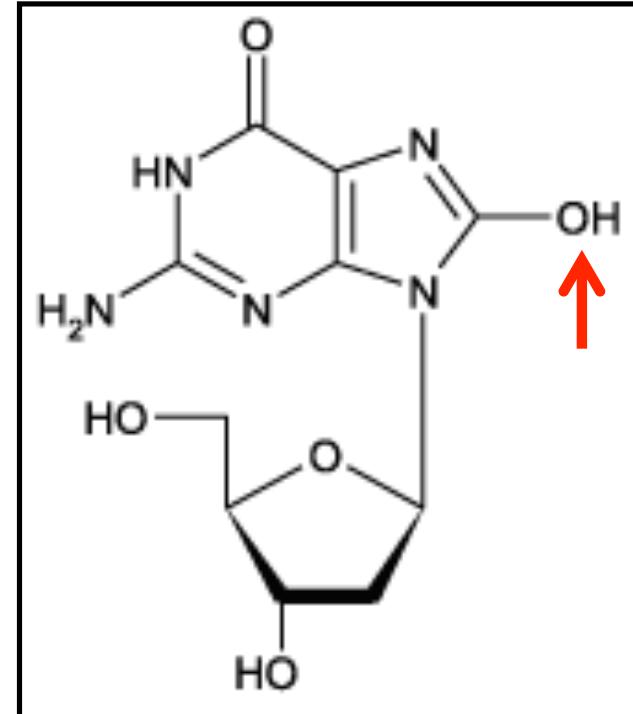
間接・直接作用でDNAに種々の損傷

塩基除去、塩基損傷、塩基修飾

DNA切斷（1本鎖、2本鎖）、架橋など

8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG)

= 酸化ストレスのマーカー



DNA損傷に応じた修復機構

直接修復（チミンダイマー、1本鎖切断、脱アルキル）

塩基除去修復

ヌクレオチド除去修復

ミスマッチ修復

二本鎖切断に対応した組換え修復など

アポトーシス（計画的自死）による損傷細胞の除去

P53（ゲノムの守護神）：細胞増殖抑制因子

G_1 -S期 チェックポイントで分裂中止 ← DNAに傷

G_2 -M期 チェックポイントで分裂中止 ← 染色体に異常



修復を促す

DNA修復



修復不能の時

アポトーシス

細胞を殺し、禍根を残しそうな細胞を殺害、除去

P53は癌抑制遺伝子の1つ

p53は癌の約50%で変異している

免疫系

米国における臓器移植後の癌リスク (Mona & Doshi, 2016)

癌	癌患者/10,000人-年	比率
皮膚	23.7	13.85
カボシ肉腫	15.5	61.46
肺	173.4	1.97
肝	120	11.56
腎	97	4.65

免疫系は発癌を抑制している

10^{10} ROS/細胞/日 10^6 損傷 10^2 未修復 1 変異/細胞/日

自然放射線 = $1/10^7$ = 物の数ではない

放射線の主な作用：活性酸素 ROS の生成 = 呼吸の $1/10^7$

呼吸によるROS の生成： 10^{10} ROS/細胞/日

生体防御機構

活性酸素 ROSを消去

DNA損傷の修復

アポトーシスによる傷害細胞の除去

免疫系による監視

1 変異/細胞/日

問題外

↓
それでも老化すると発癌

↓

老化と癌 免疫能の低下 および 変異の蓄積
細胞の分裂寿命とテロメア危機
幹細胞の細胞分裂に伴う変異が主因（癌は運次第）
遺伝、環境、細胞分裂: 3変異/分裂 (70-80%)

ヒトゲノムと遺伝子

塩基数 28億3000万

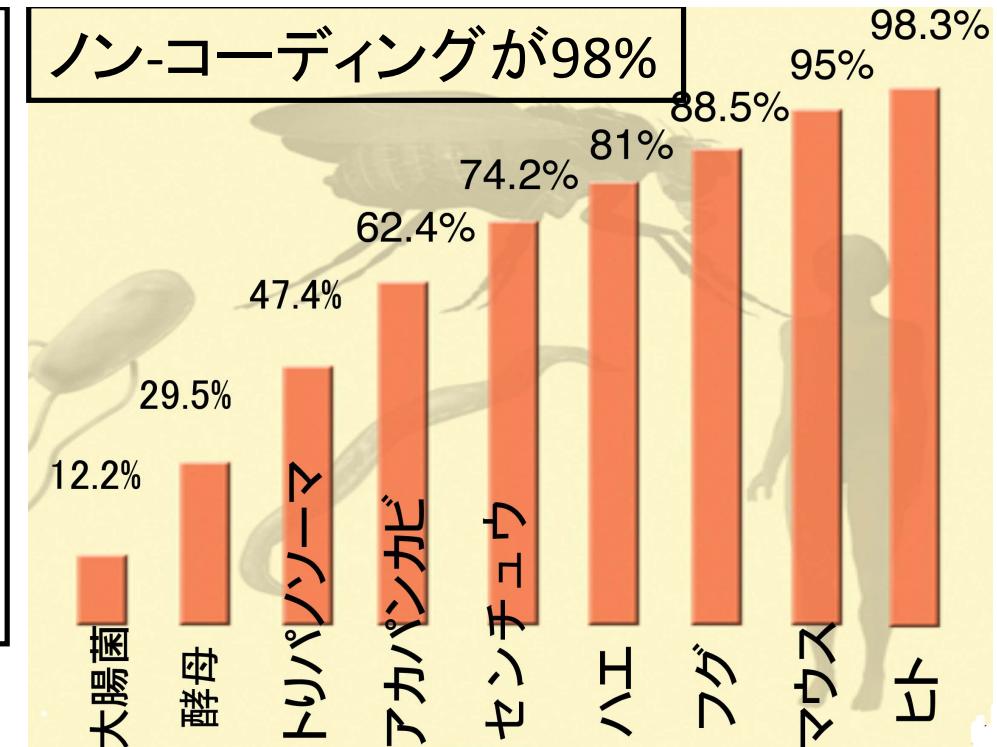
遺伝子数 22,287

エクソン平均長 145 bp

エクソン平均数 8.1 個

イントロン平均長 3365 bp
(エクソンの23倍)

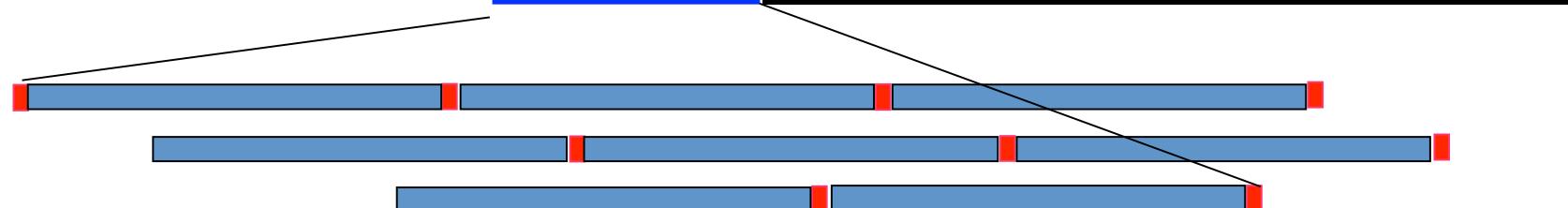
ノン-コーディングが98%



ノン-コーディング

遺伝子

ノン-コーディング



■ エクソン

■ イントロン

研究のいきさつ

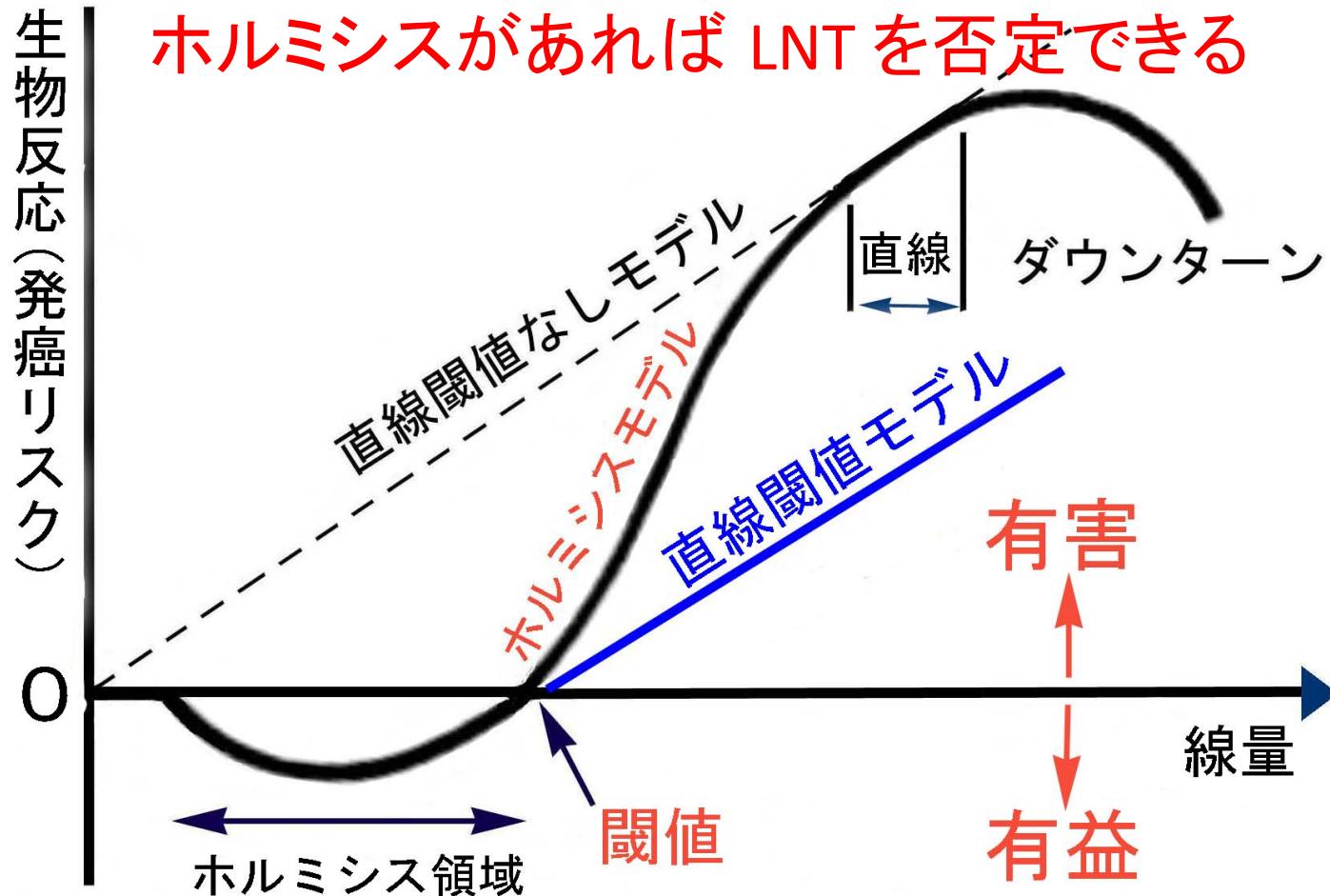
放射線の中で生きている私たち

分子生物学的考察

直線閾値なしモデルを検証する

適応応答 (ホルミシス)

低線量放射線は長寿と制癌に有効



閾値に関する3つのモデル

直線閾値なしモデル (LNT) : 鎖線

直線閾値モデル (LT) : 細線

ホルミシスモデル : 太線 (J字型あるいはシグモイド状)

LNTの導入の歴史：ロックフェラー(RF)財団とマラー

1. 1913年：スタンダード・オイル、RF財団を設立
2. 1927年：マラー、ハエを用いたX線照射実験
3. 1930年：アーサー卿、原子力が石油・石炭に代ると予測
マラー：閾値なしを主張；RF財団、マラーを援助
4. 1943年：マンハッタン計画、原爆製造開始
放射線の生物影響の研究、閾値ありのデータ取得
マラー、難癖をつけデータを切り捨て
5. 1945年：広島・長崎に原爆投下
6. 1946、RF財団、マラーにノーベル賞をと画策
マラー：受賞講演で放射線には閾値なしと断言

LNT 導入の政治的背景

1. 政権交替: RF財団は共和党と深い関係
1953: 34代大統領、共和党ドワイト・アイゼンハワー
ネルソン・ロックフェラー、側近となる
2. 1953: RF財団: LNT 推進の大型プロジェクトを企画
米国科学アカデミー(NAS)の議長Bronkに運営を依頼
Bronk: ロックフェラー大学長、RF財団の理事
3. 1954年: NAS内に遺伝学委員会を設立、中心はマラー
4. 1956. 06. 12: Science誌に放射線の遺伝的影响はLNTと勧告
LNTの証拠提示を拒否 (もともとデータなし)
5. 1956. 06. 13: New York Times 紙
1面トップで放射線により人類の遺伝子が危ないと報道
6. 2006年、NAS被爆者の生涯調査のデータがLNTの証拠提出
BEIR VII報告書 → 本当にLNTを支持するのか

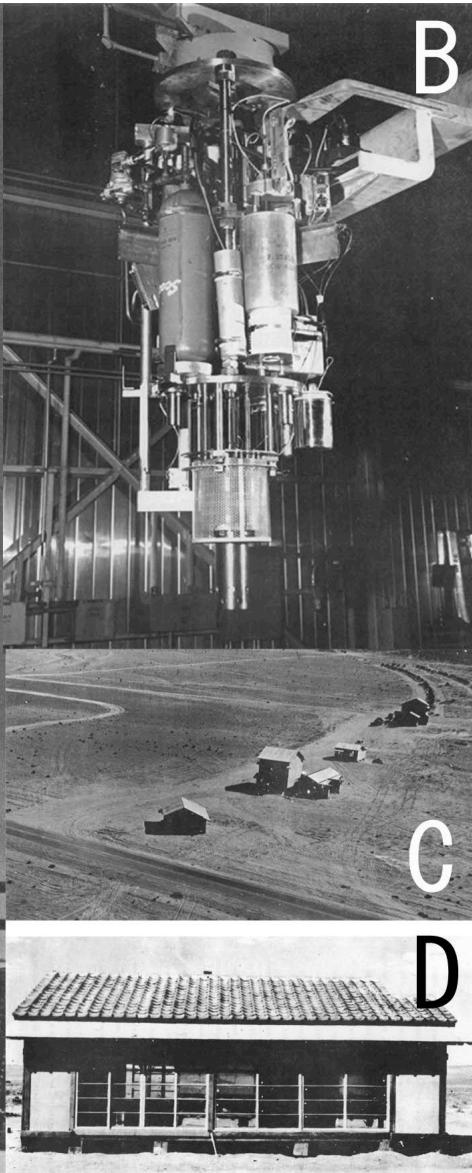
原爆エネルギー

衝撃波 (ドン)	50%
光熱 (ピカ)	35%
放射線	15%
初期放射線 <30秒	5% 線量推定に使用
残留放射線	10% 計算外
誘導放射能	少量
フォールアウト (死の灰*)	大部分

*多くが黒い雨として降下



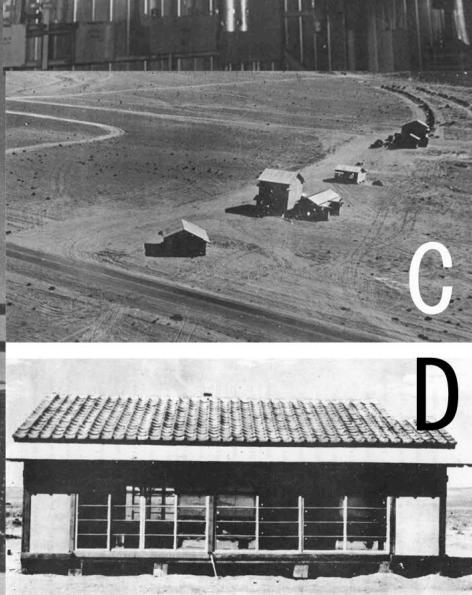
A



B



E



C



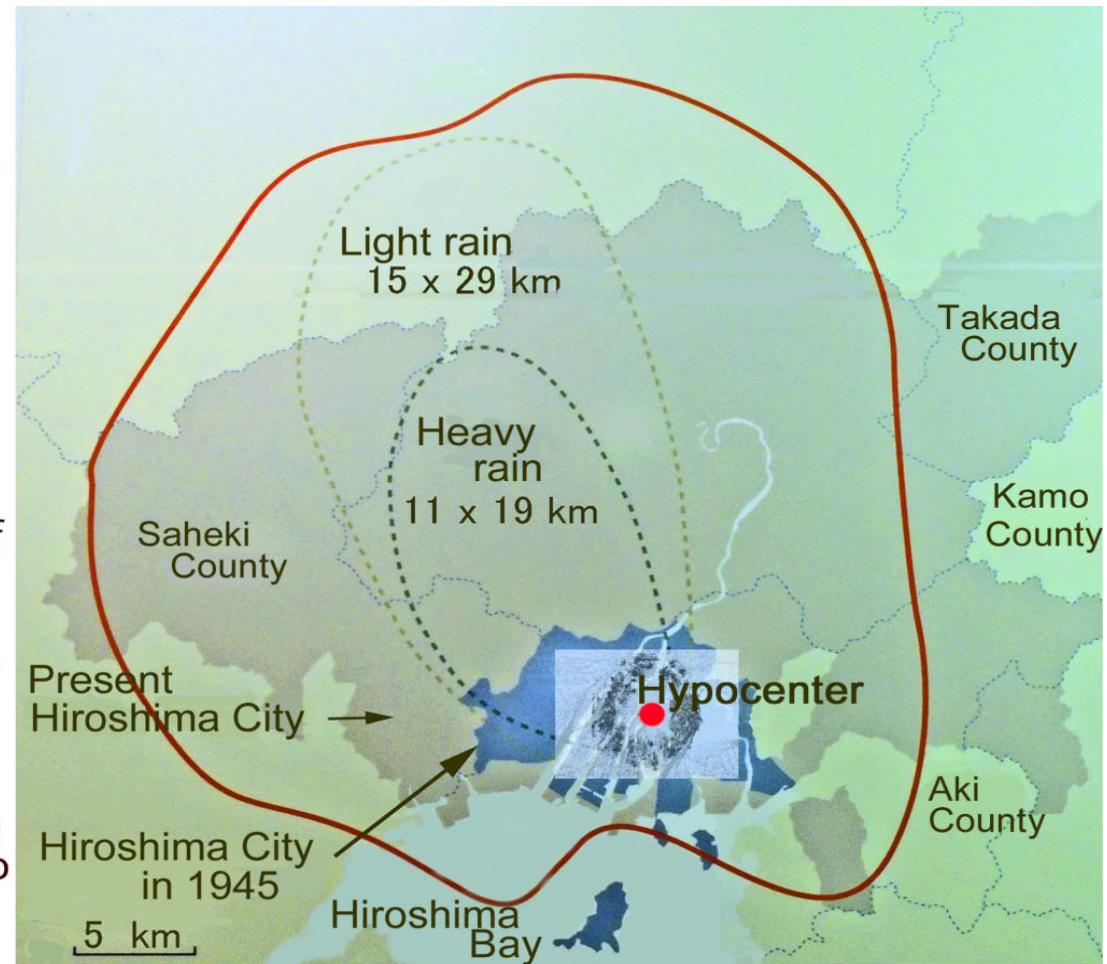
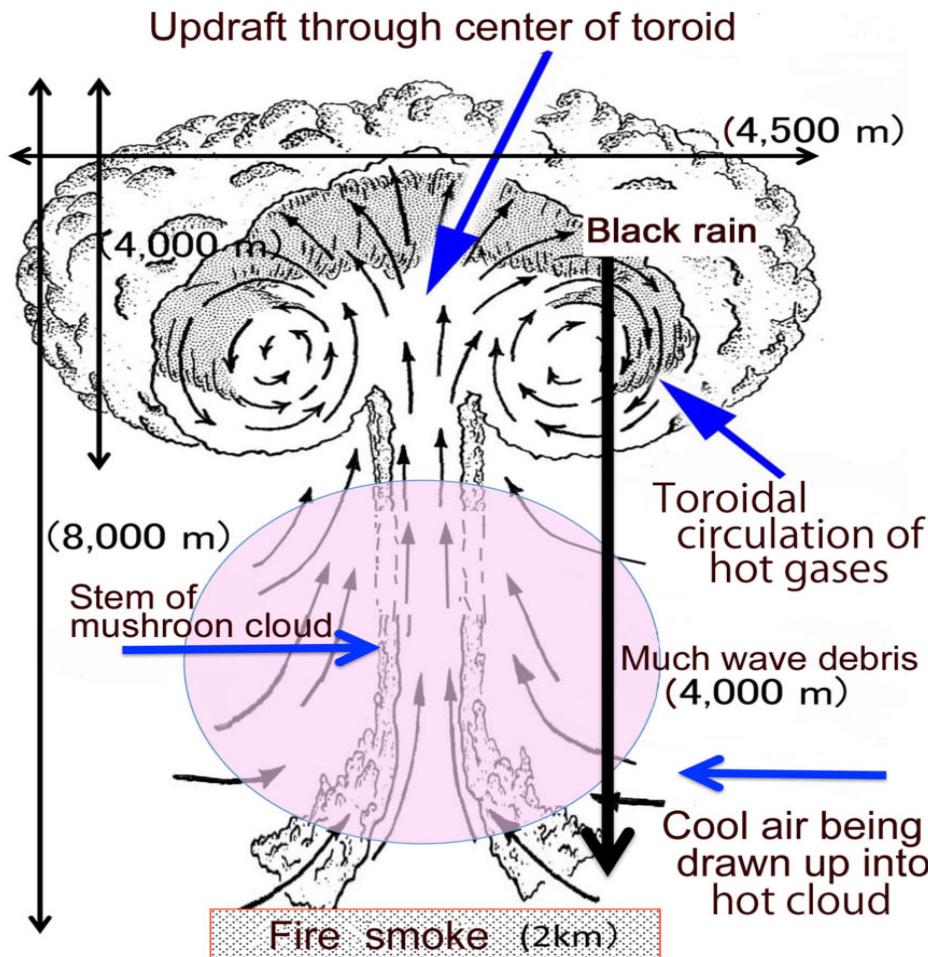
D



F

ICHIBAN プロジェクト: A: 510 m鉄塔、B: 頂点に設置した原子炉、
C: 日本家屋、D: 日本家屋の1例、E: 被爆後の広島市街、
F: 東京大空襲後の東京市街 (32万発の焼夷弾)

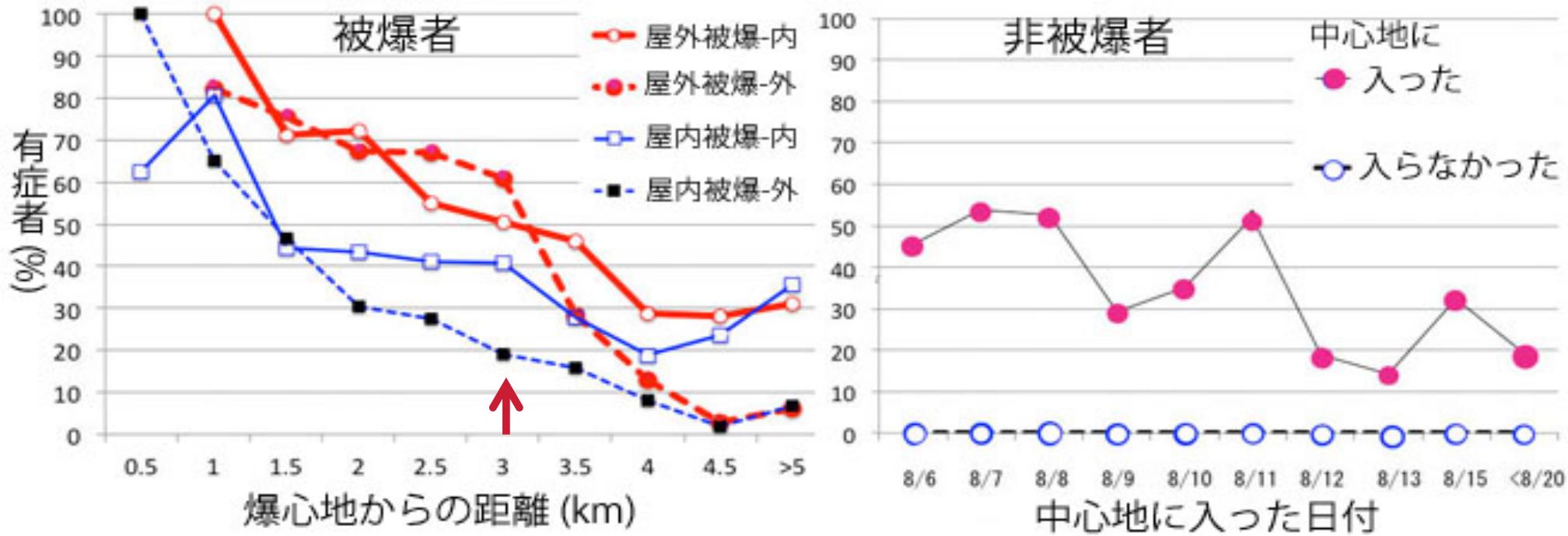
[JA Auxier, 1964]



原爆のエネルギー：熱線=35%、衝撃波=50%、放射線=15%

被曝線量計算：初期放射線（5%）；残留放射線（10%）は無視

大火災は原爆のエネルギー > 50倍、CO₂とH₂Oを生産

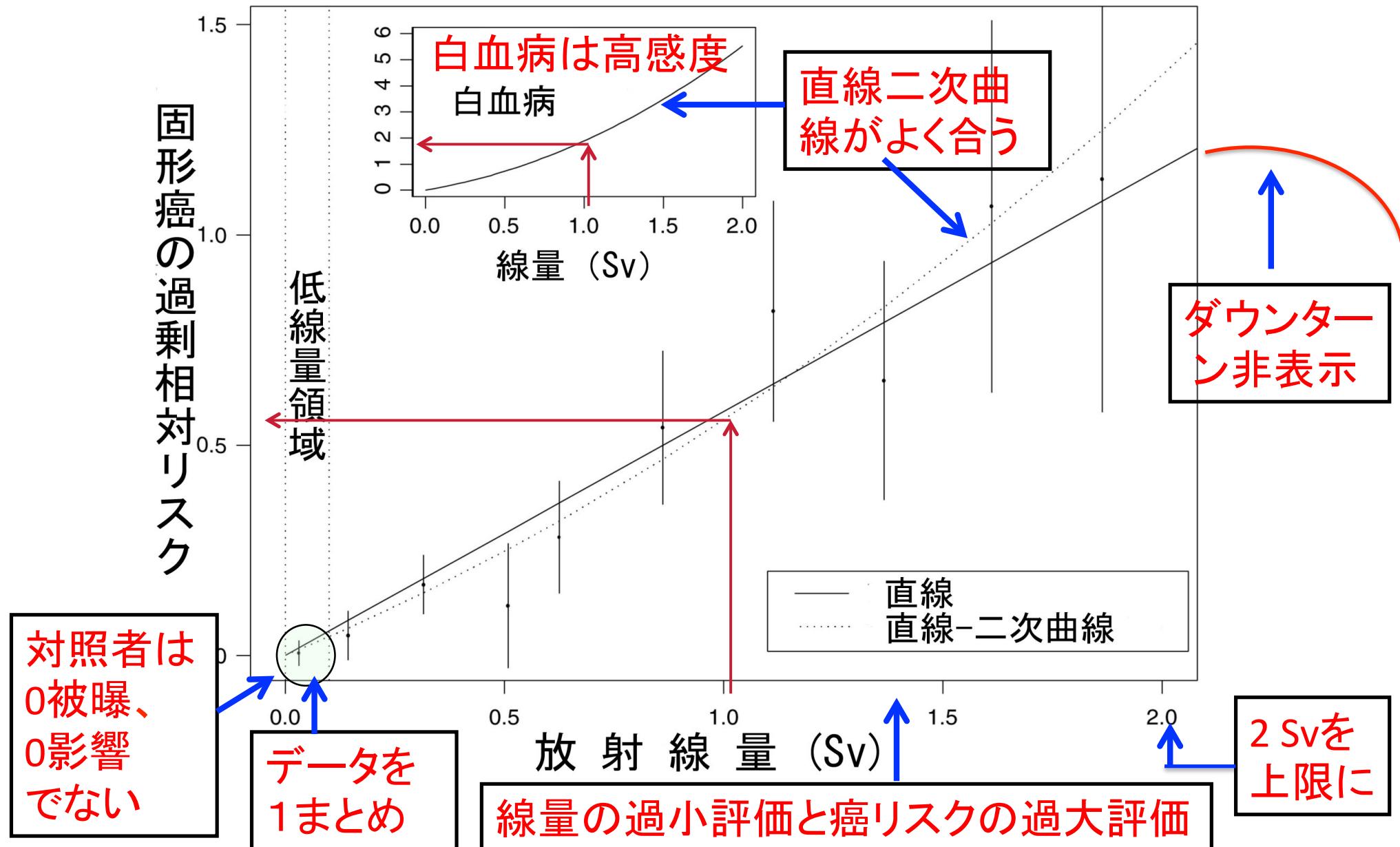


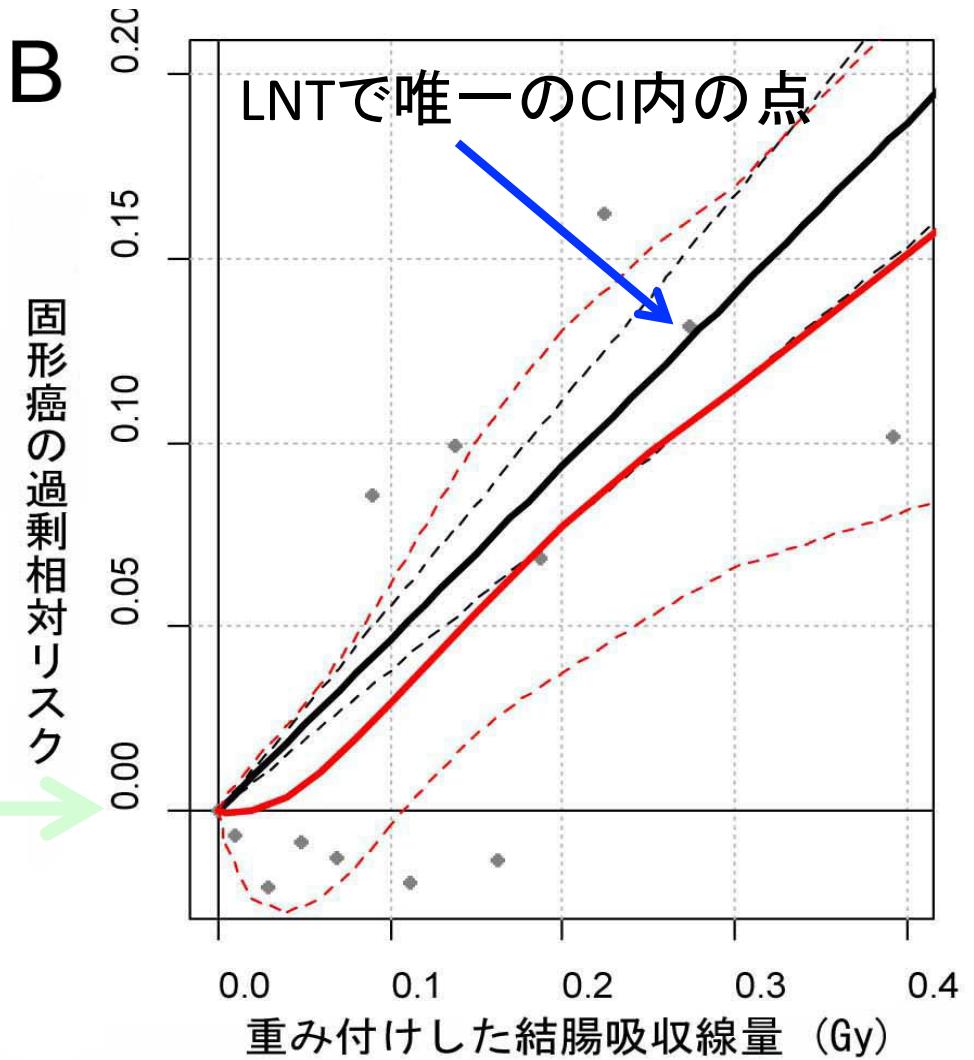
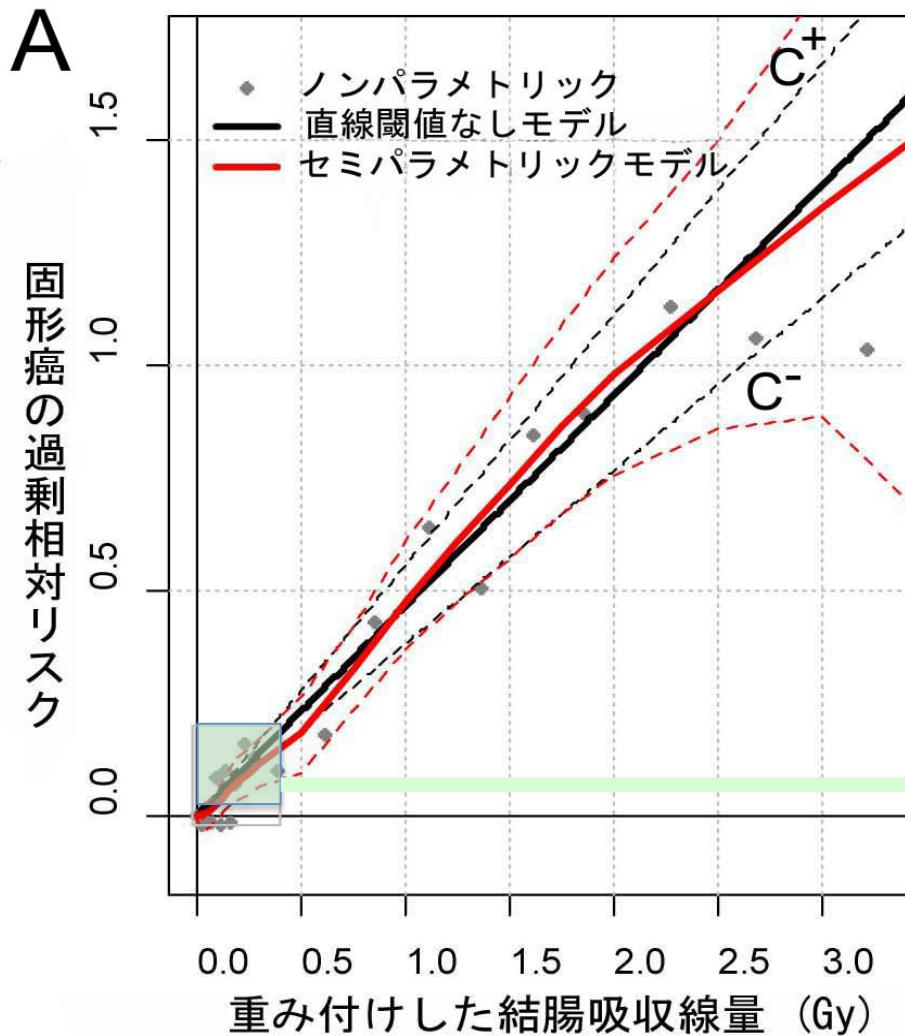
於保報告: 1957年、爆心から半径7 kmに住む約4000人に面談
爆心から半径1kmに入ったか、日付、火傷、発熱、下痢は？

- 左: 1) 屋外被爆者は屋内被爆者より有症率が高い
2) ≥ 3 km ↑ (放射線到達距離)離れても有症者がいる
3) ≥ 4.5 km以上離れても爆心地に入れば有症率が高い

右: 非被爆者も2~3週間に内に中心地に入ると重篤な原爆症

米国科学アカデミーの不実性: BEIR VII には 作為が認められる





放射線影響研究所:生涯調査のベイズ法による新分析

シグモイド曲線、ダウンターンの顕現、閾値、ホルミシス

(Furukawa ET AL., Risk Analysis, 1-13, 2015)

広島・長崎の生涯調査とLNTのまとめ

20万人の犠牲者を伴った世界唯一の貴重なデータ

1934年以来の閾値 500 mGy/yから、1956年：LNTへ大転換

2006年、BEIR VII はLNTを不支持（閾値/ホルミシスあり）

米国アカデミーNASはなぜ不実を働くのか：目的が不純

1956年に勧告したLNTを支持するために、データを曲解

何故、NASは LNT を死守するのか

LNTの誤りを認めると、体制、組織、職場、権威が失墜

何故、LNTを死守できるのか？ NAS = 科学界の最高権威

国際放射線防御委員会ICRPは国連の報告を重視、

国連はNASの見解を重視、役員はNASの傘下

WHO、各国はICRPの規制基準に従う： 1 mSv/年 → 避難

研究のいきさつ

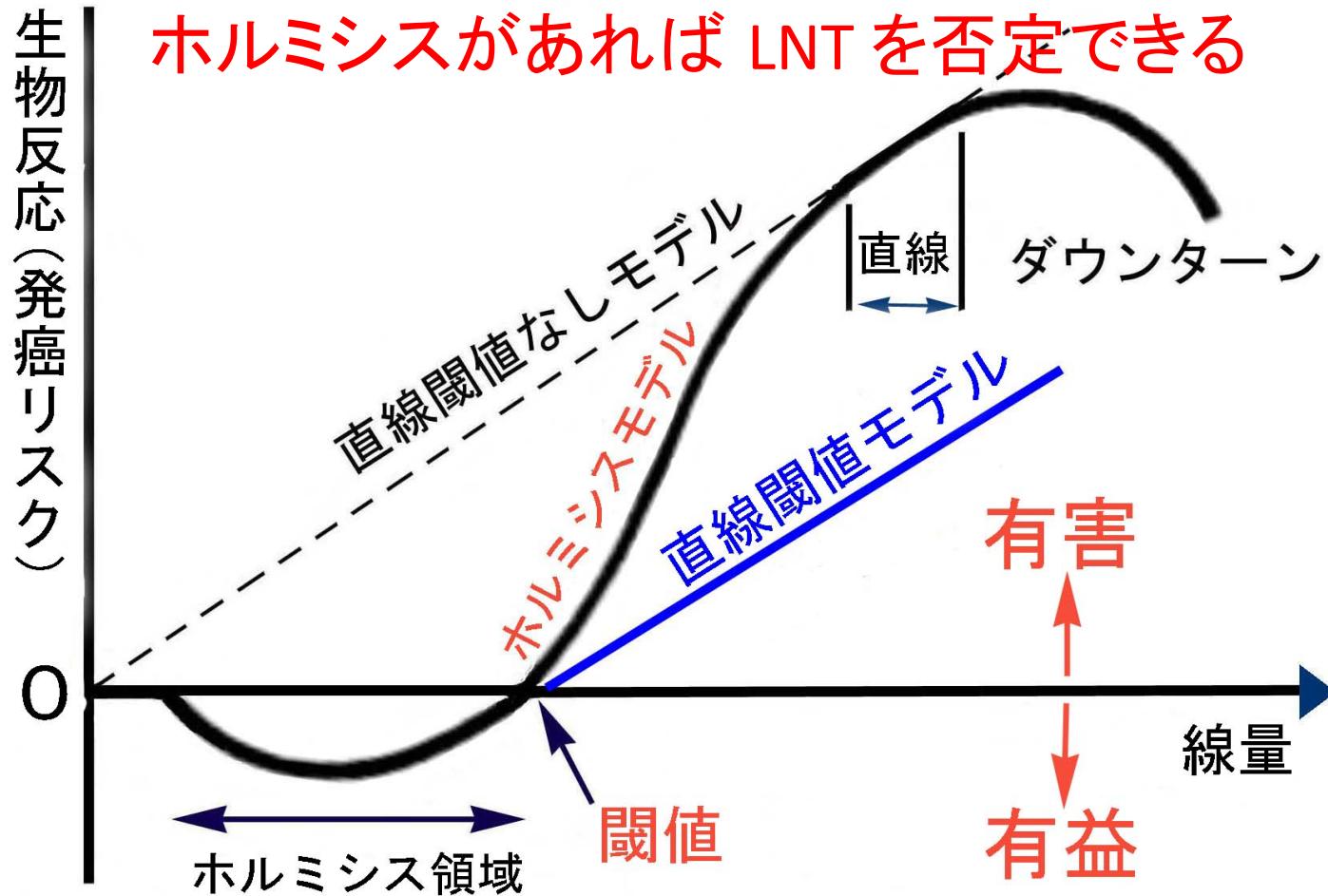
放射線の中で生きている私たち

分子生物学的考察

直線閾値なしモデルを検証する

適応応答（ホルミシス）

低線量放射線は長寿と制癌に有効



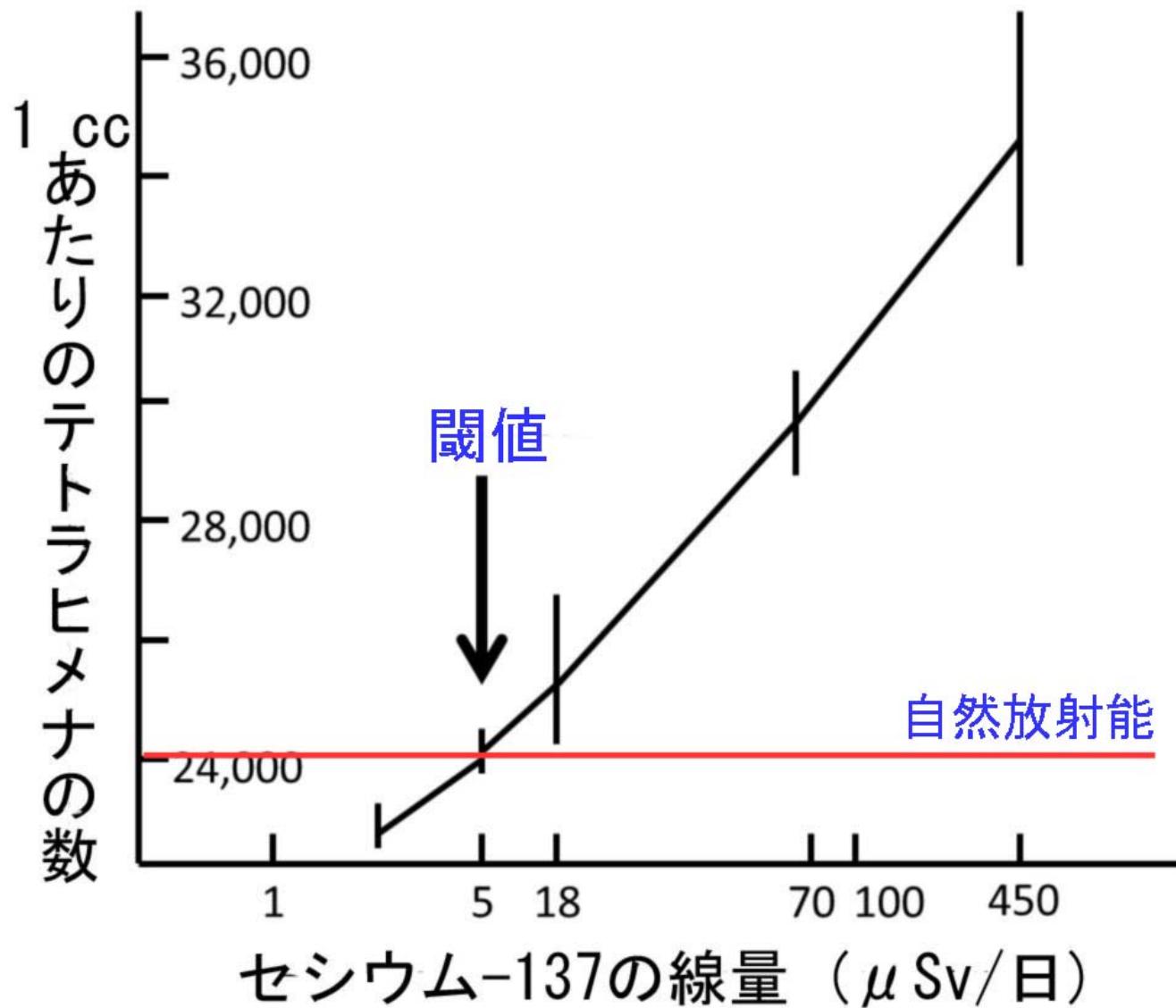
閾値に関する3つのモデル

直線閾値なしモデル (LNT) : 鎖線

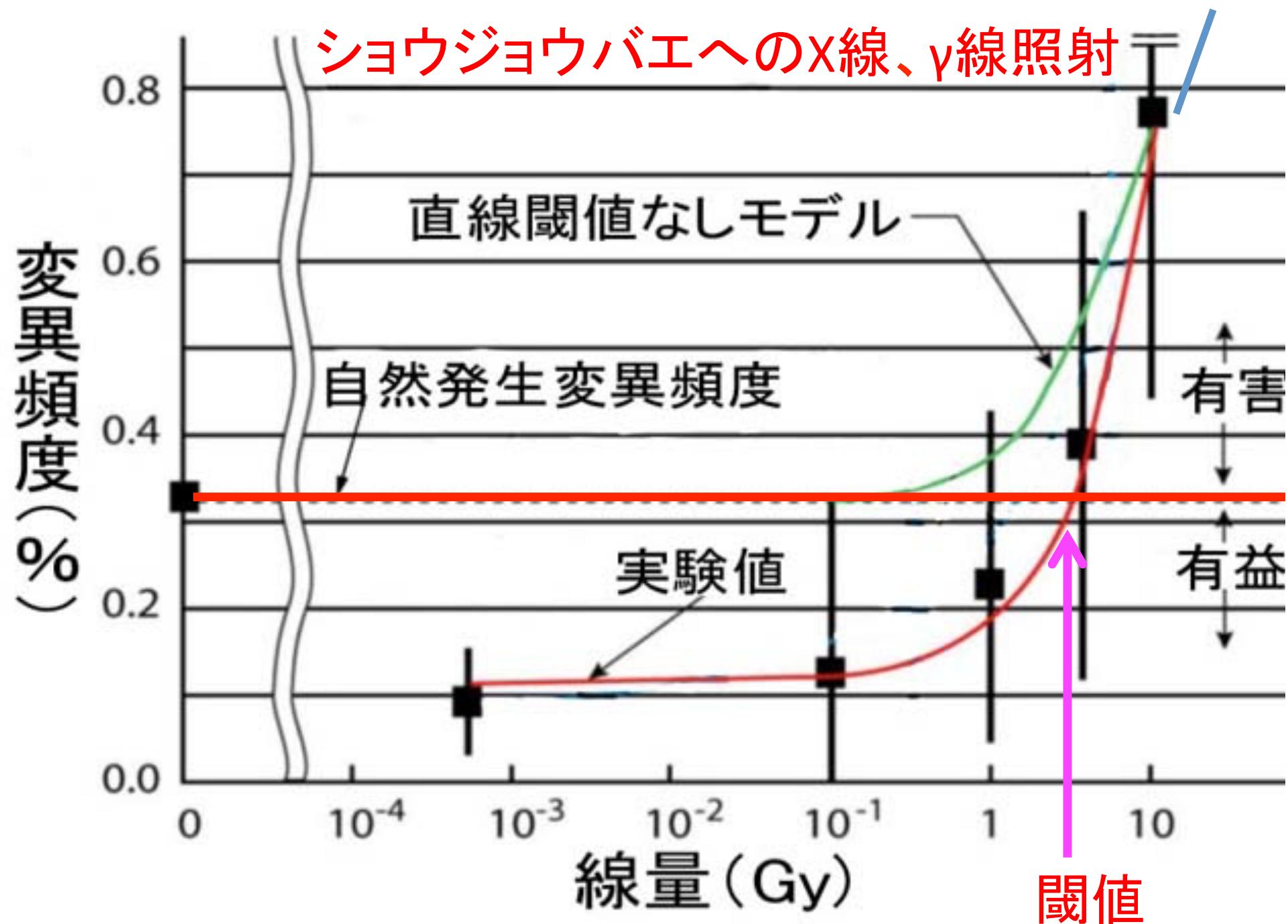
直線閾値モデル (LT) : 細線

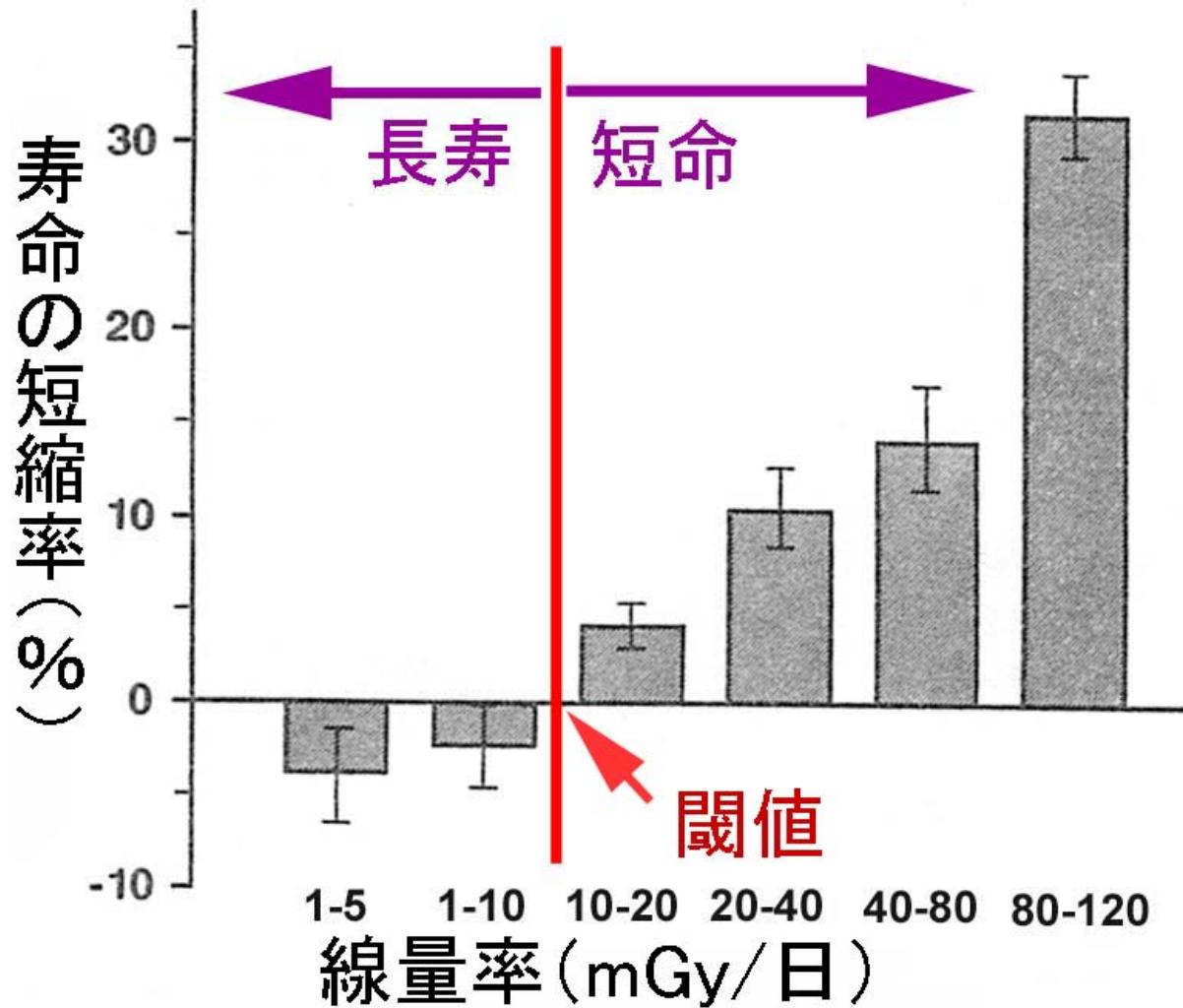
ホルミシスモデル : 太線 (J字型あるいはシグモイド状)

テトラヒメナ (原生動物) のCs-137に対する反応



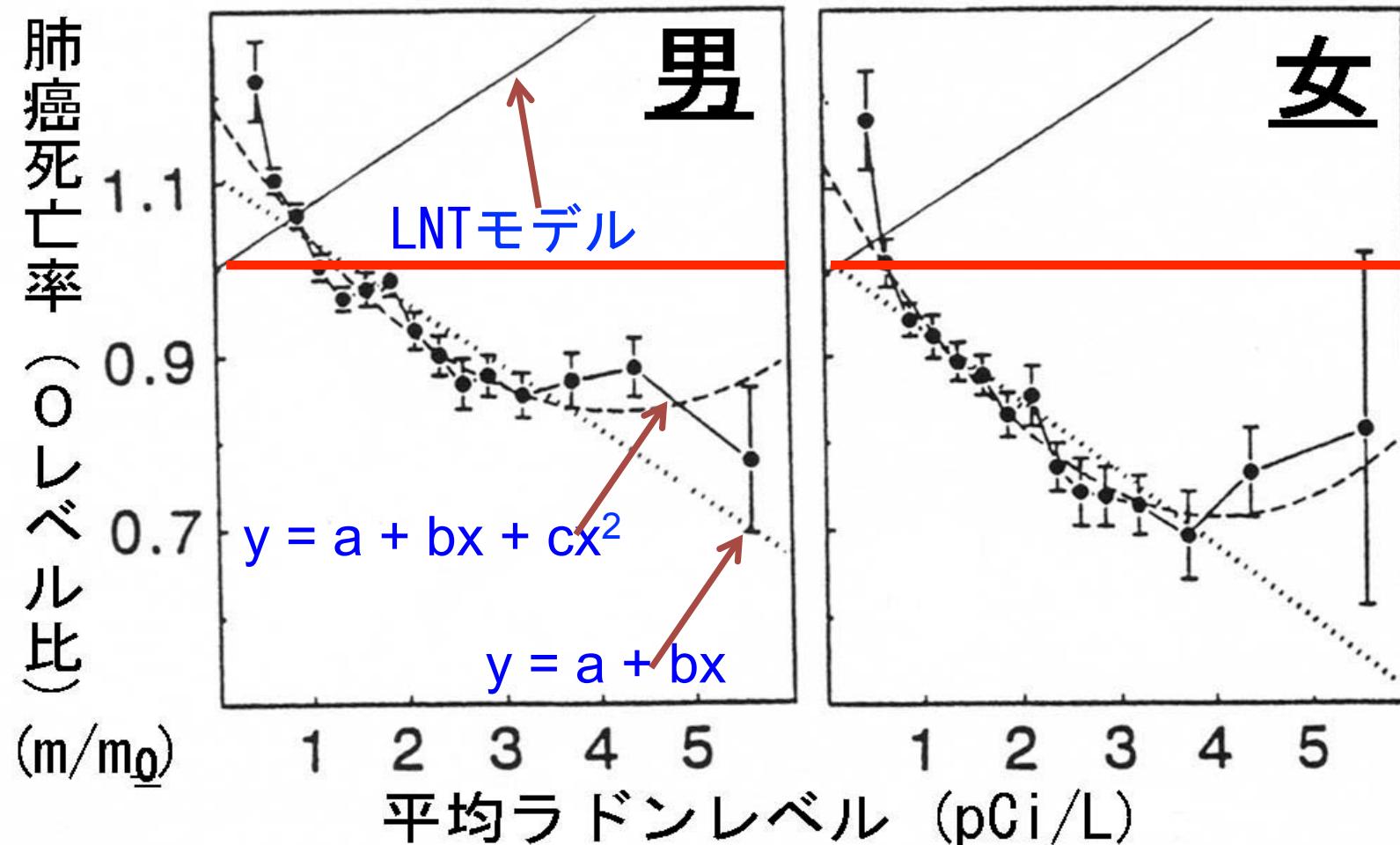
(Luckey TDRadiat. Res., 108, 215-, 1986)





マウスに連日 γ 線を生涯にわたり照射した。1~10 mGy/日以下では長寿。自然放射線量 2.1 mGy/年の約 170~1,700倍

(島田義也, 萩生俊昭. 放射線科学, 35, 378-383, 1992)



米国、1601ヶ所(90%以上カバー)での分析：家の中のラドン濃度が高い程、肺癌による死者は減る = ホルミシス
現実を説明し得ないLNTモデルは誤り

(BL Cohen, Health Physics, 72, 114, 1995)

研究のいきさつ

放射線の中で生きている私たち

分子生物学的考察

直線閾値なしモデルを検証する

適応応答（ホルミシス）

低線量放射線は長寿と制癌に有効

1897-1997の100年間における英國放射線医は長生き

1897-1920年			1921-1997年			
	観測値 (O)	予測値 (E)		観測値 (O)	予測値 (E)	
全癌	60	34.20	1.75***	168	161.89	1.04
癌以外	230	266.30	0.86*	574	666.74	0.86***
合計	290	300.50	0.97	752	828.63	0.91**

*p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001.

(1921: 放射線防御の勧告、対照は英國、ウェールズの医師一般)

(Berrington A et al., Br J Radiol 2001; 74: 507-519)

原子力造船所の労働者の死亡率

	高線量 (5 mG<)	低線量 (5 mG>)	対照
労働者数	27,872	10,348	32,510
死亡数	2,215	973	3,745
死者/1,000人	6.4	7.1	9.0
対照1の時の比	0.76	0.81	1.00

高線量では死亡率が24%減り、2.8年長生き

線量が測定されている

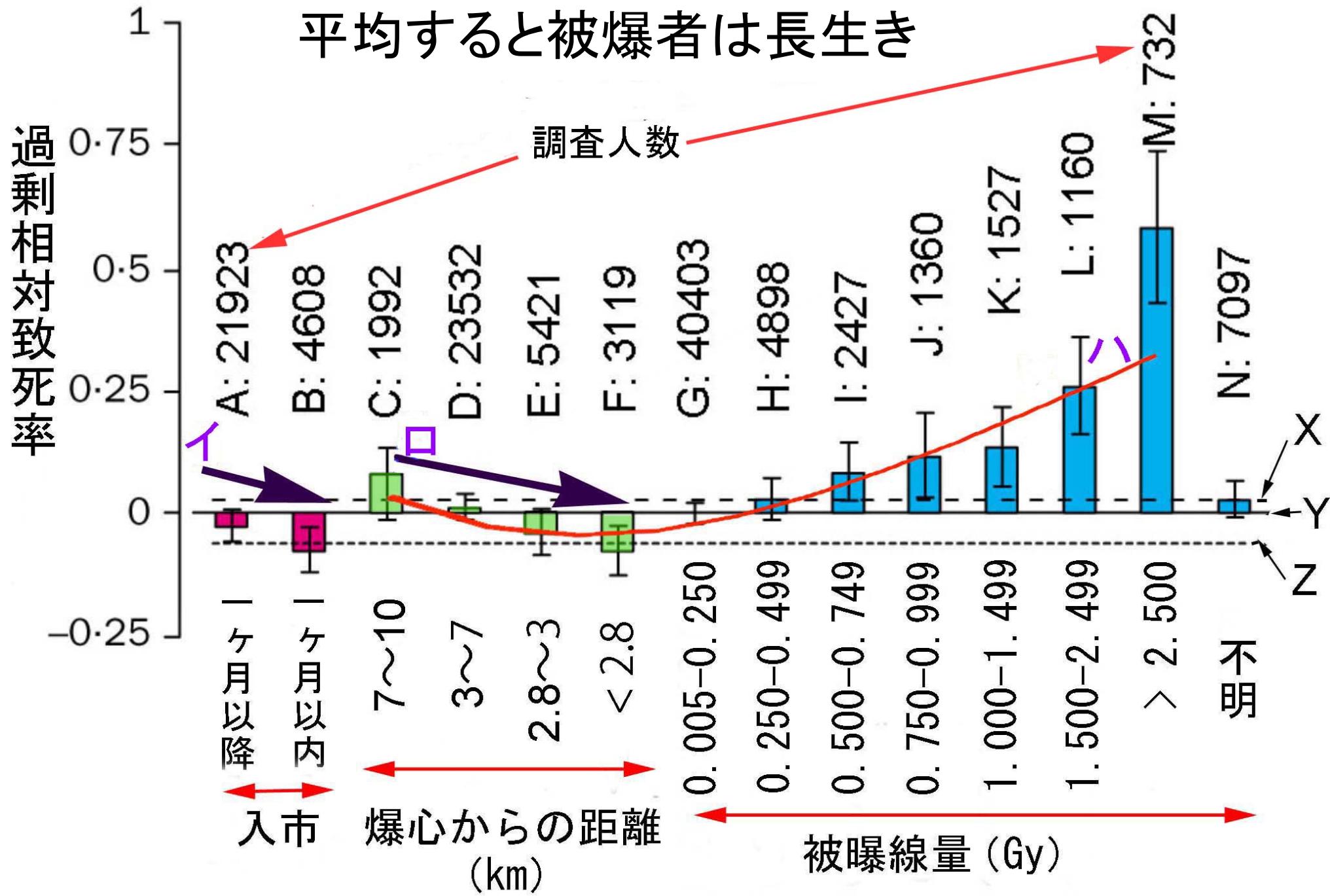
対照は同じ職場の事務系の対応する人達

(Sponsler R & Cameron JR. Int J Low Radiation, 1, 463–478, 2005)

被爆者の癌死率は日本人の平均より低い

(放射線影響研究所の広島・長崎生涯調査データ)

報告者	年	調査期間	被爆者数 [入市者]	癌死 (%)	日本人平均癌死 (%)
プレストン等	2007	1958～1998	105,427 [25,427]	17,448 (16.6) 3,994 (15.7)]	21.4 (1958～1998)
小笹等	2012	1958～2003	86,611 [26,529]	10,929 (12.6) データなし]	22.3 (1958～2003)
グラント等	2017	1958～2009	80,205 [25,239]	17,316 (21.5) 5,222 (20.6)	23.3 (1958～2009)



低線量放射線は長寿と制癌に有効：なぜか

適応応答（ホルミシス）があるから

40億年の進化の歴史をとおして生体防御機構を構築

刺激に応じて
活性増強



活性酸素 ROS を消去
DNA損傷の修復
アポトーシスによる細胞除去
免疫系による癌細胞監視

低線量：有益 —— (閾値) —— 高線量：有害

本質：危険/刺激信号 —————> 将来に備え準備

類似例：ワクチン接種、筋トレ

LNT：「線量に比例して有害で、蓄積性がある」は誤り

低線量放射線の効果は瞬時に消去：ご破算で願いましては

6階から落ちると死ぬ、一歩ずつ階段を降りると？

ホルミシス利用すれば健康増進、難病治療に有効

ホルミシスを利用した有効例

実験動物や培養細胞を用いた実験：多数

臨床例：少数の臨床報告 = LNTが障害

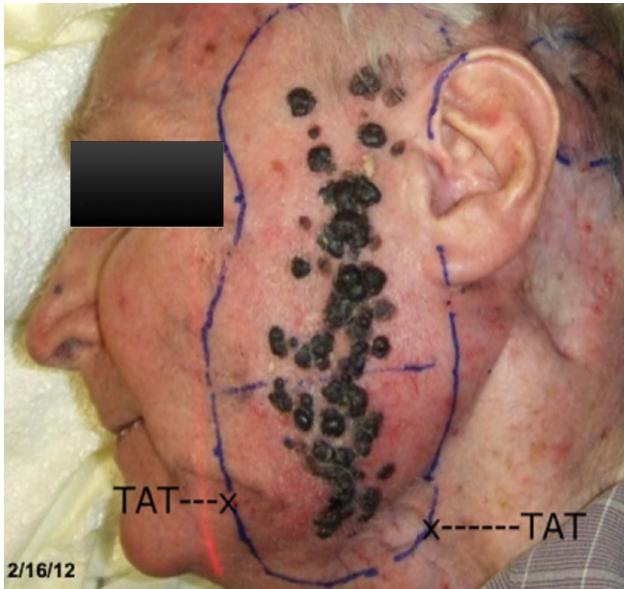
東北大学、坂本澄彦教授ら：X線を全身あるいは半身に
X線を照射すると非ホジキンリンパ腫に有効

カナダのCuttlerら

CTはアルツハイマー病、パーキンソン病に有効

理科大の小島ら

ラドンの吸入療法が結腸癌、子宮癌、癌肺、肝癌に有効



2012. 02. 16

2014. 02. 10

2017. 10. 24

転移、再発の悪性黒色腫の患者への分割照射療法

81歳男、2010年2月、8月手術、2011年再発、手術、
2011年12月治療断念。2012年2月～3月に、1日2回、
1.35 Gy、全量は 59.4 Gy照射（22回）。ほぼ完全回復
免疫能増強を介したアブスコバル効果

Varian linear accelerator使用

(N. H. Anderson & J. B. Arcaro Cureus, DOI: 10.7759/cureus.4161 2019)

罪深き直線閾値なしモデル LNT

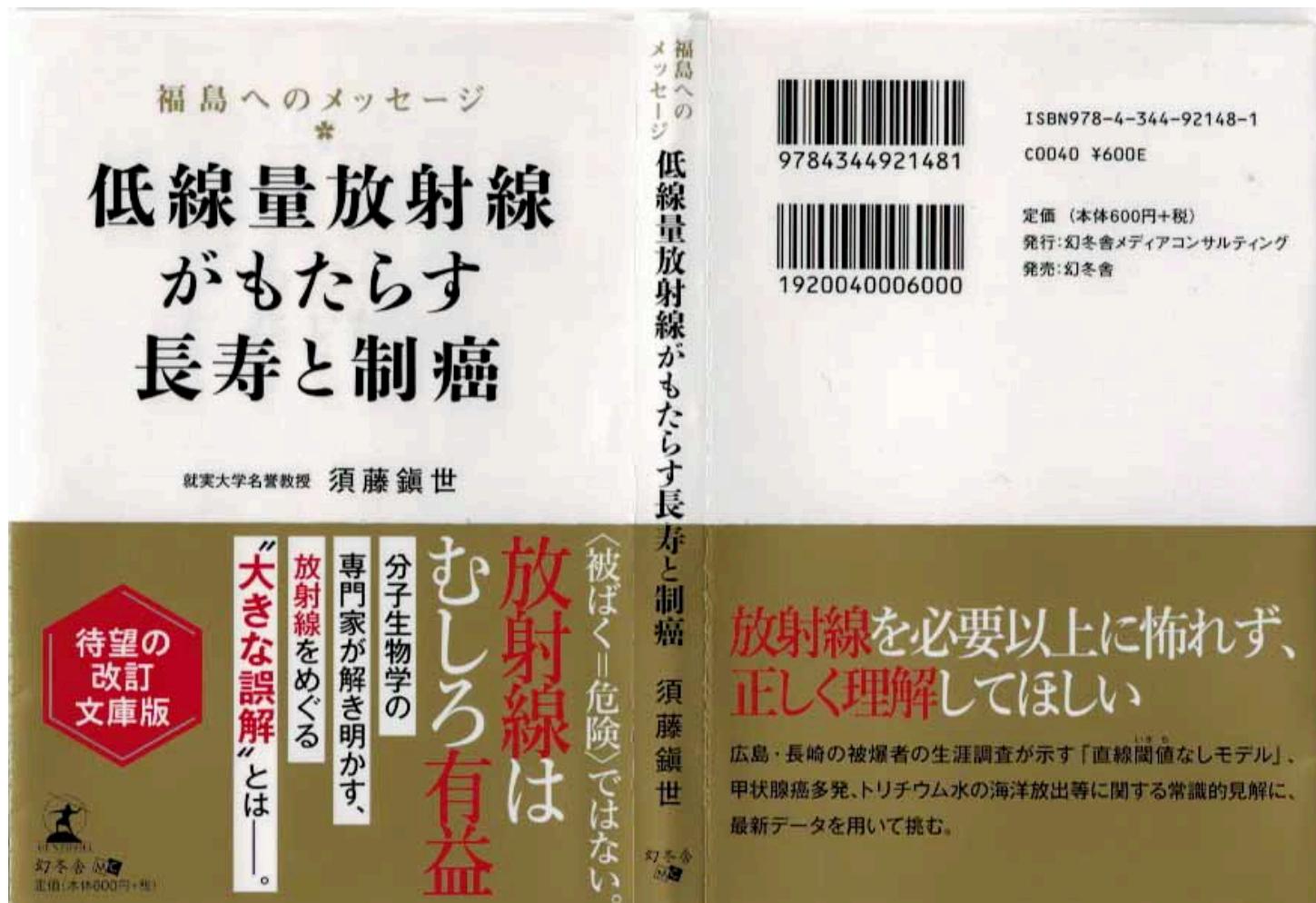
人々の命を守るためにと称し、不要の低線量を規制し
多数の死者をだした

放射線ホルミシスを利用したアルツハイマー病、
痴呆、癌などの治療法開発を妨害している

放射線恐怖症を助長し、風評被害を初め、膨大な
政治的、経済的、社会的な損失を齎している
(トリチウム水の貯蔵、韓国の魚介類輸入禁止等)

幻冬舎文庫「福島へのメッセージ 低線量放射線がもたらす長寿と制癌」

幻冬舎 ¥600 + 税 2019.03.19



「人生で怖れるものなど何もない。ただ理解すれば済むことです。
これ以上怖れなくてすむように、今やより多くを理解するときです」

マリー・キューリー

ご清聴有り難うございました



‘birthday suits’ で ラドン浴

オーストリアのバート・ガスタンにある健康センター

GREENPEACE ATTEMPT TO TRIGGER DOSE METER ALARM DURING FUKUSHIMA VISIT:



GENERATION ATOMIC

適応応答（ホルミシス）：生体の防御機構

低線量では**有益**、高線量では**有害**

本質： 危険/刺激信号 → 将来に備え準備
40億年の進化の歴史 → 防御機構を構築
現に毎秒20,000 Bqの被曝 → 準備完了

耐えうる程度の放射線は生体を強化する

類似例

ワクチン接種
筋トレ