

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



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。
貴重品などトレイ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





1名が靴
カバー
を外す

2名が体を検査

2名が荷物を検査

1名は
休憩

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

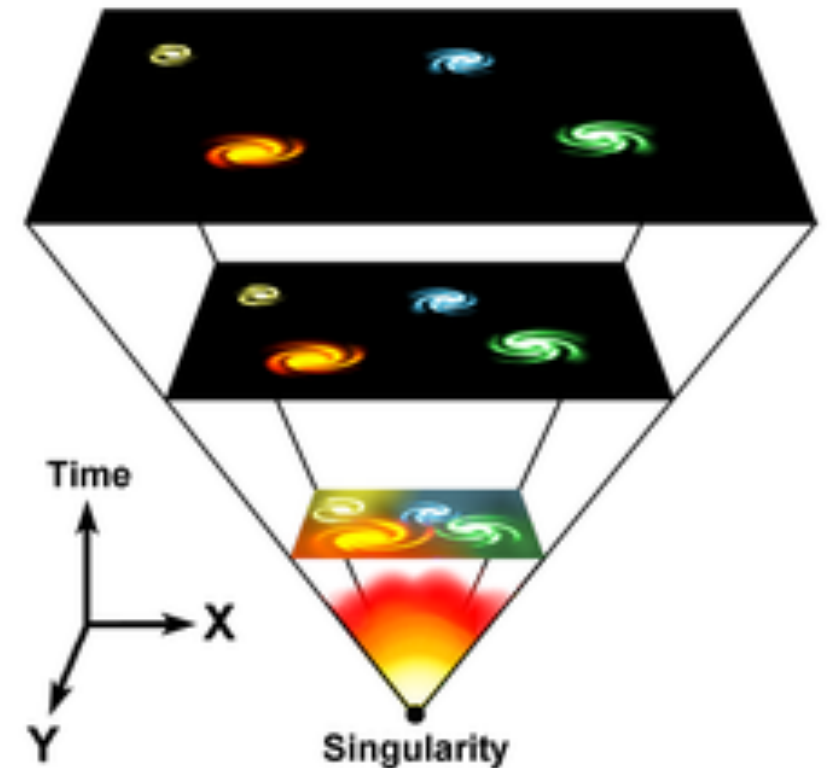
$$E = mc^2$$

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	($T_{\tau} = 7$ 億年)	[天然唯一の核分裂元素]
ウラン-238	($T_{\tau} = 44.6$ 億年)	[ラドンの親]
トリウム-232	($T_{\tau} = 140$ 億年)	[ほとんど分裂ので安全]
カリウム-40	($T_{\tau} = 12.5$ 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	($T_{\tau} = 3.8$ 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	($T_{\tau} = 12.33$ 年)	[我々の体内にある]
炭素-14	($T_{\tau} = 5,730$ 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	($T_{\tau} = 110$ 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

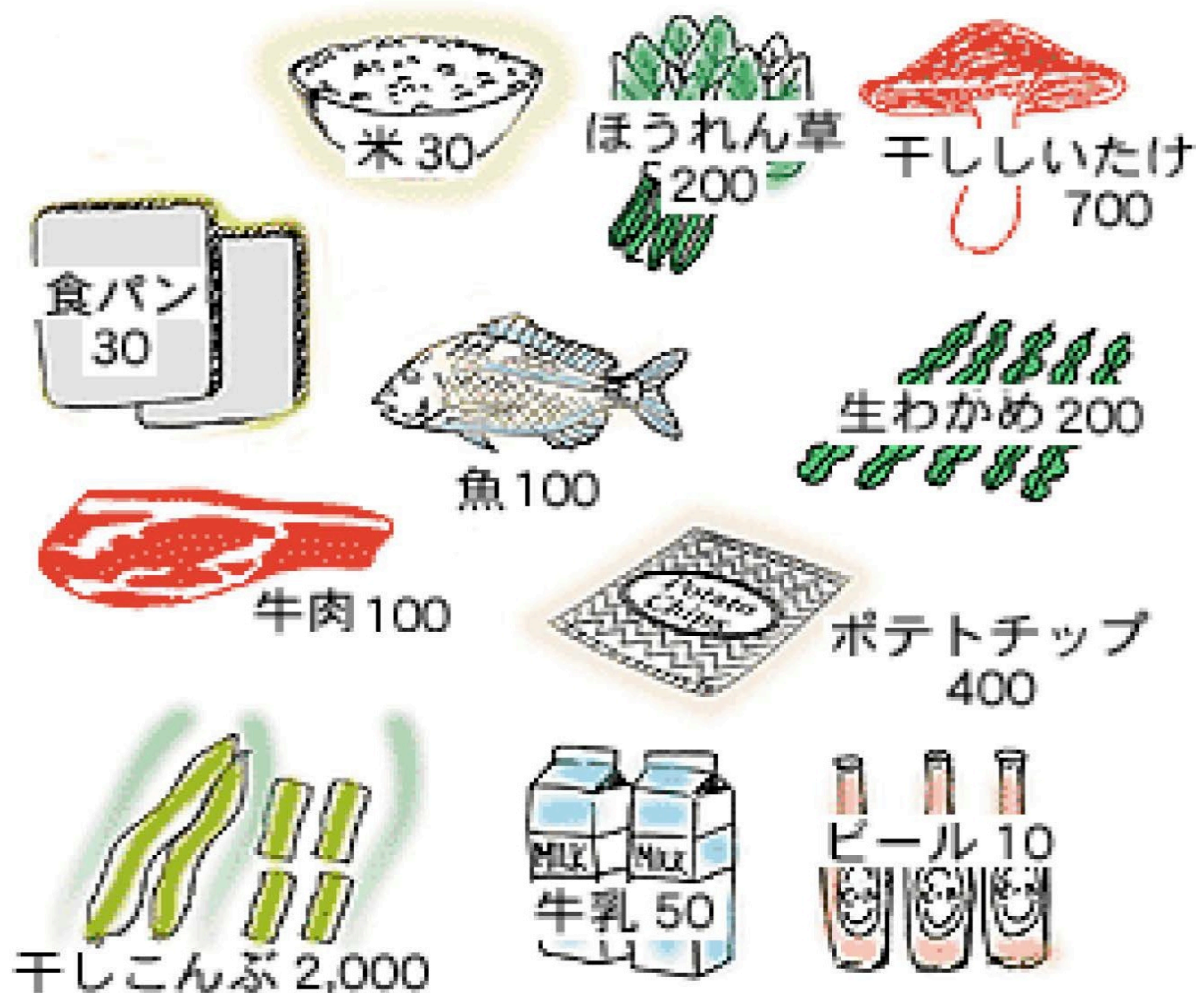
宇宙線から 0.3

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)



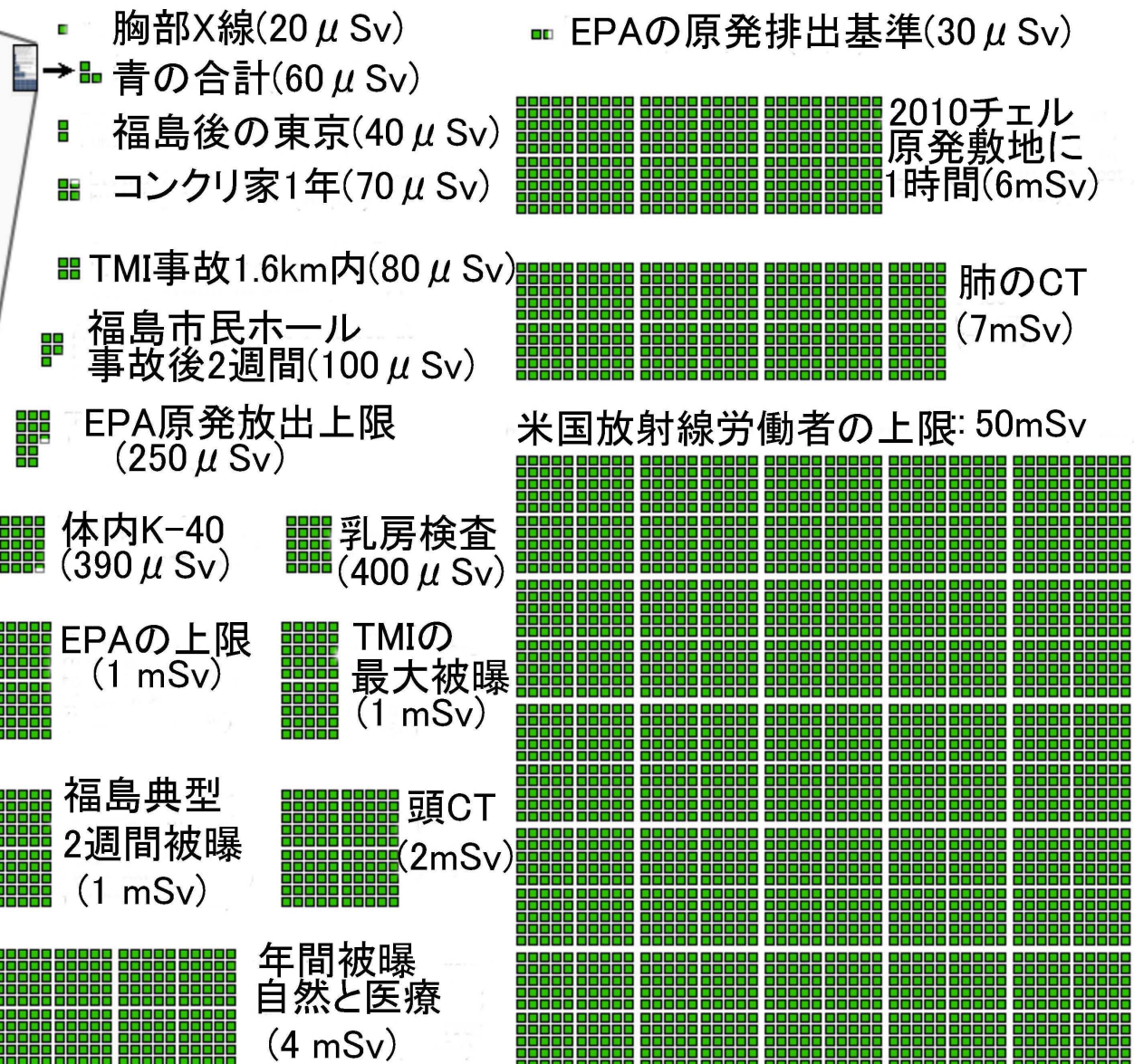
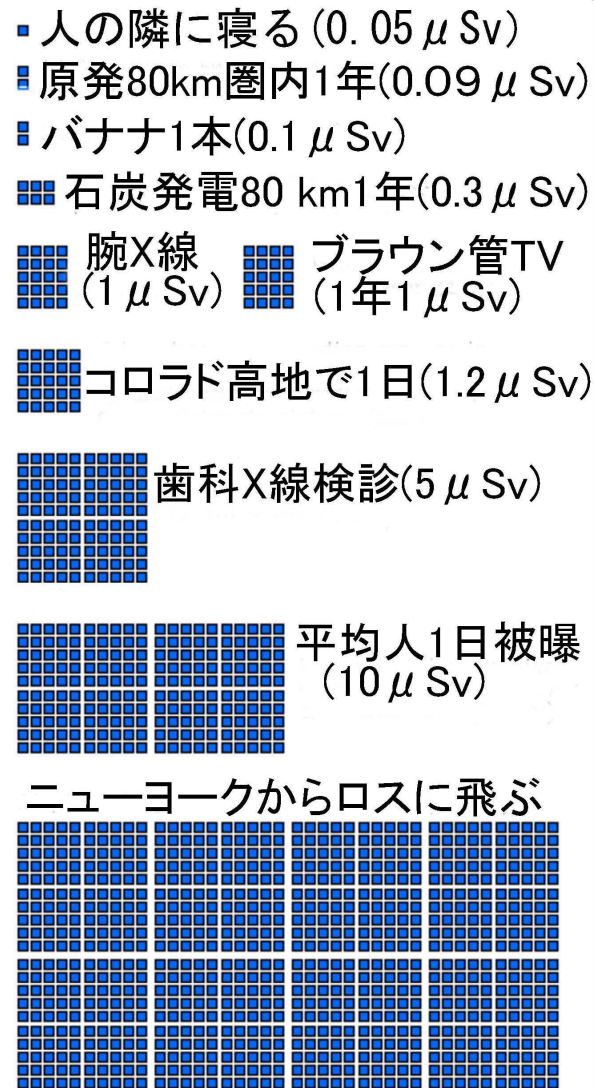
体の内外からの放射線被曝

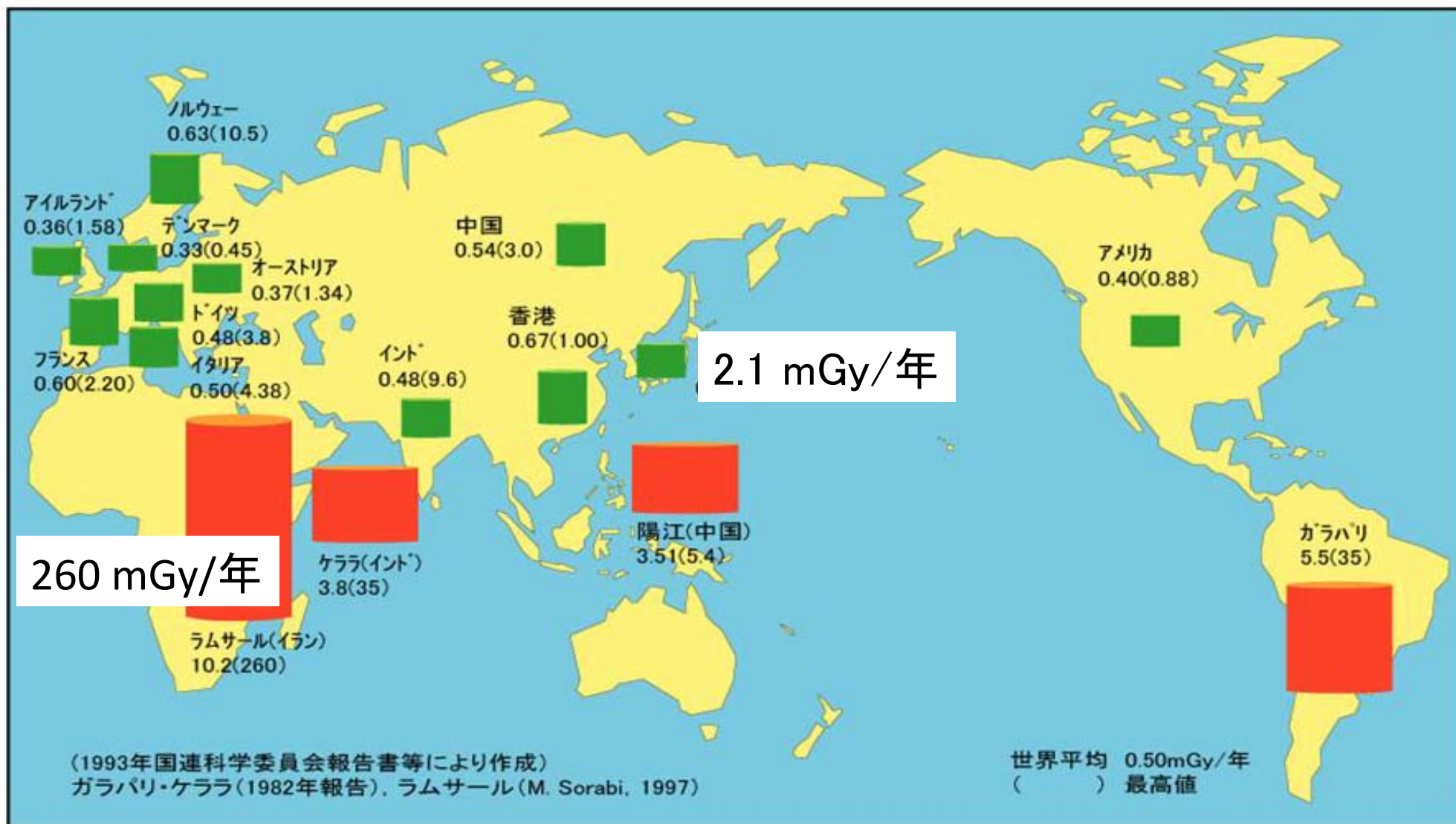
被曝線量	(mSv/年)	核種	崩壊量 [Bq]
食品から	0.99	カリウム-40	4,000
		炭素-14	2,500
		ルビジウム	500
		鉛-210、ポロニウム-210	2,500*
		(食品合計)	9,500
宇宙線から	0.3		
大地から	0.33		
空中ラドン	0.48		
合計	2.1		20,151**

*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>)

研究のいきさつ

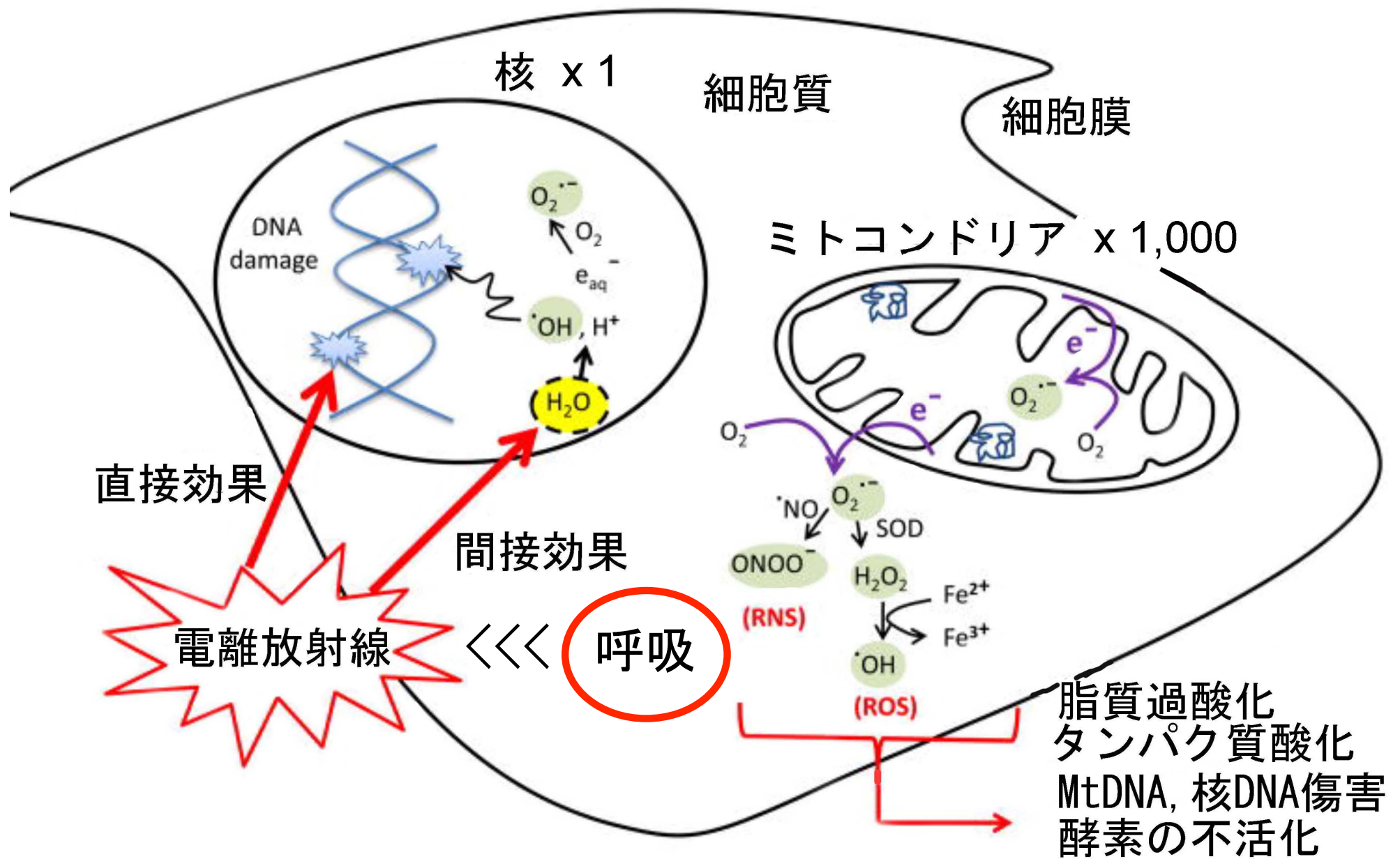
放射線の中で生きている私たち

分子生物学的考察

直線閾値なしモデルを検証する

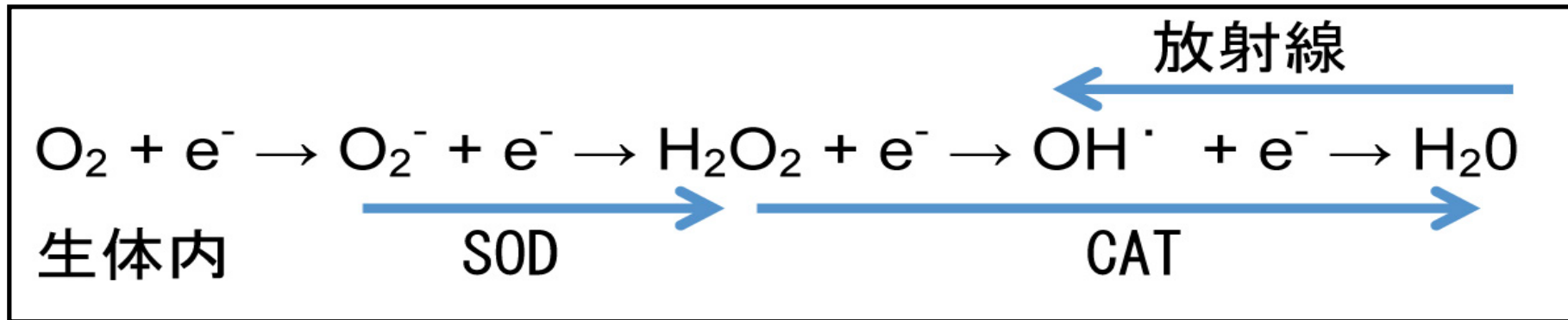
適応応答 (ホルミシス)

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ムターゼ

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

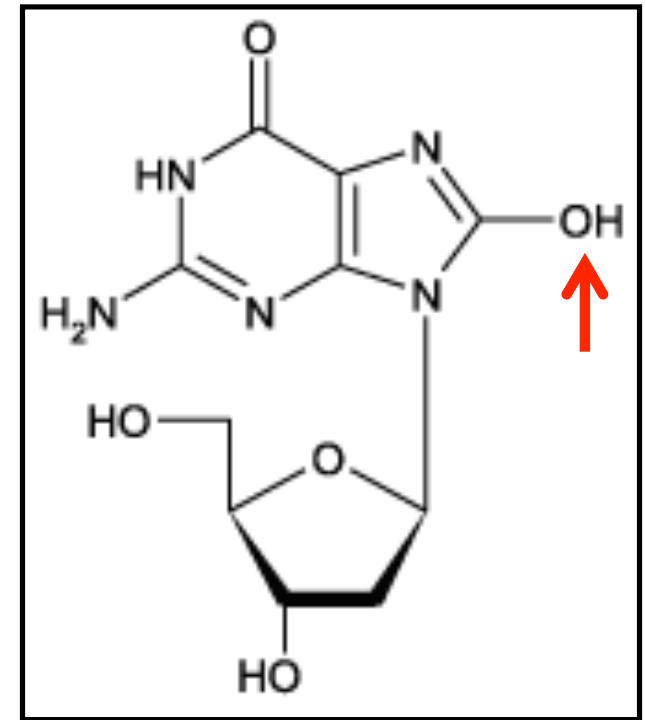
間接・直接作用でDNAに種々の損傷

塩基除去、塩基損傷、塩基修飾

DNA切断（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

G₁-S期チェックポイントで分裂中止 ← DNAに傷
G₂-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
カポシ肉腫	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

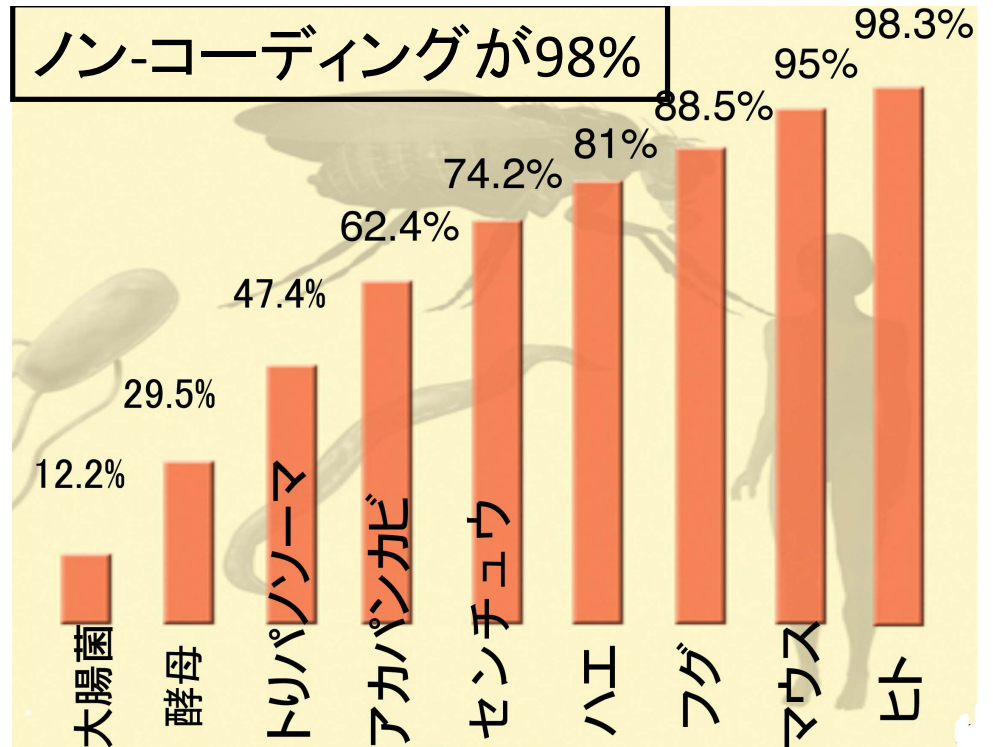
遺伝子数 22,287

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)

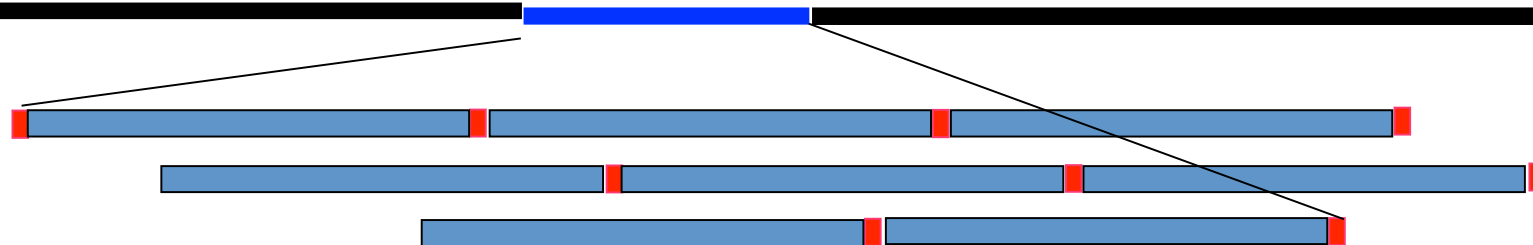
ノンコーディングが98%



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

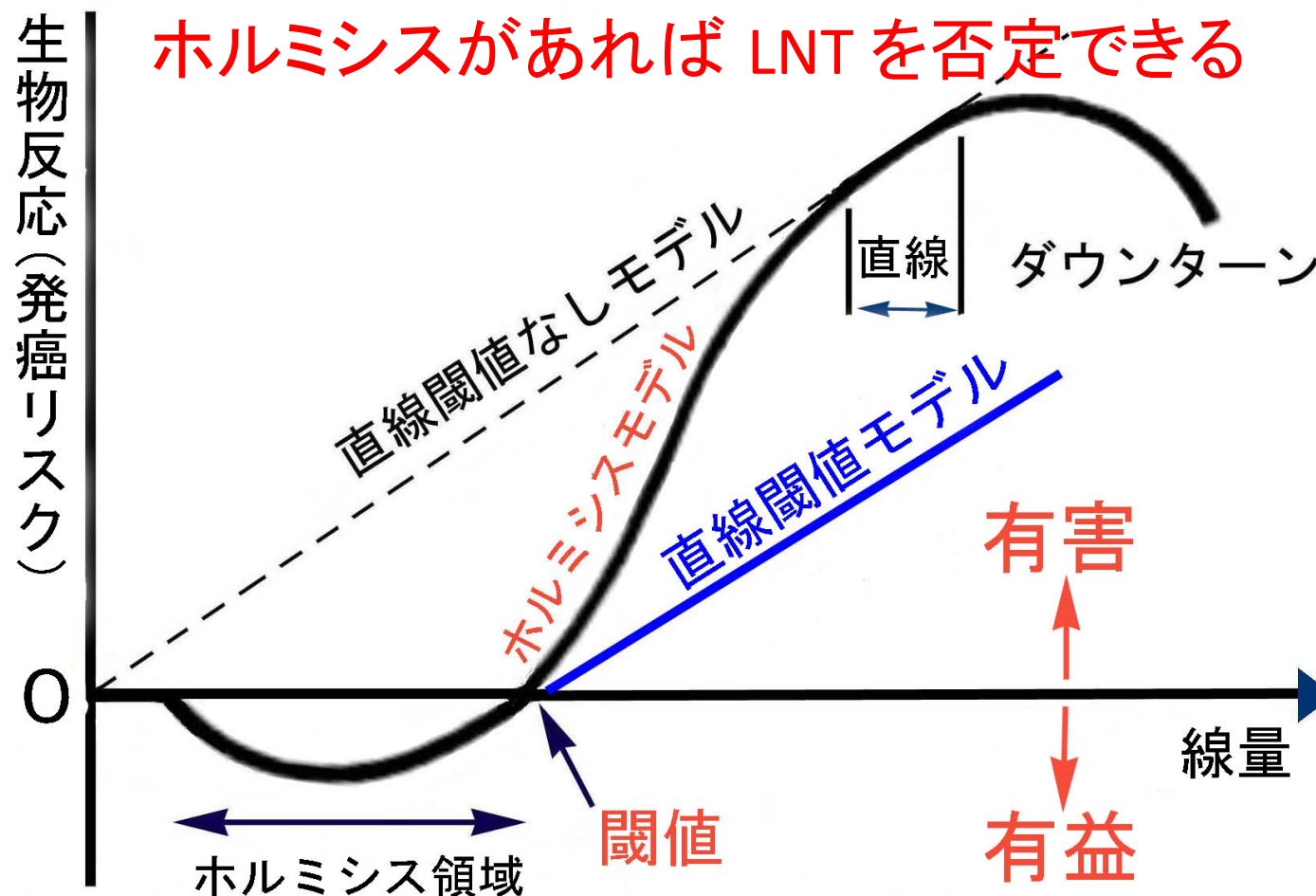
放射線の中で生きている私たち

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響は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%
-----	-----

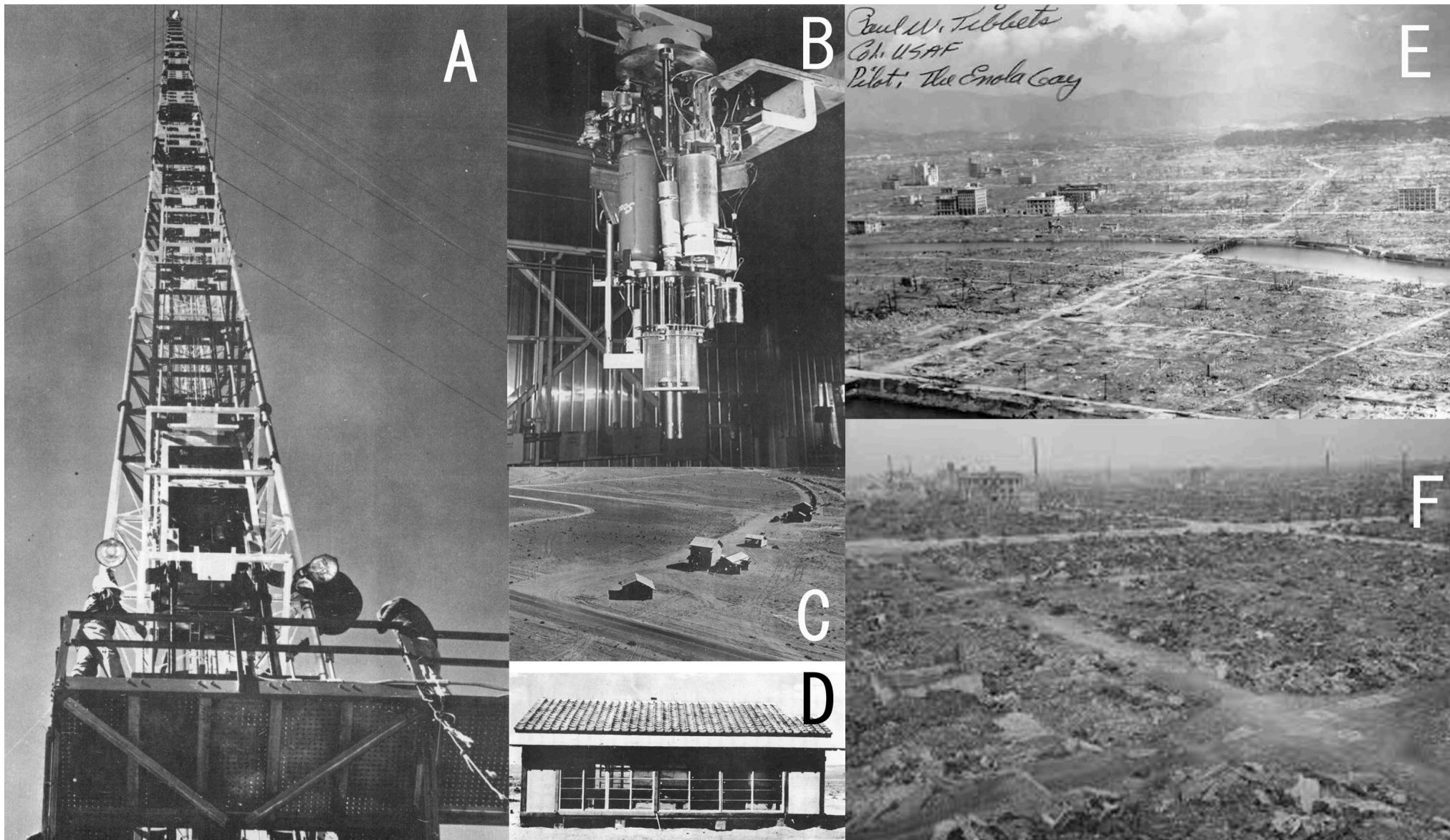
初期放射線 <30秒	5%	線量推定に使用
------------	----	---------

残留放射線	10%	計算外
-------	-----	-----

誘導放射能	少量
-------	----

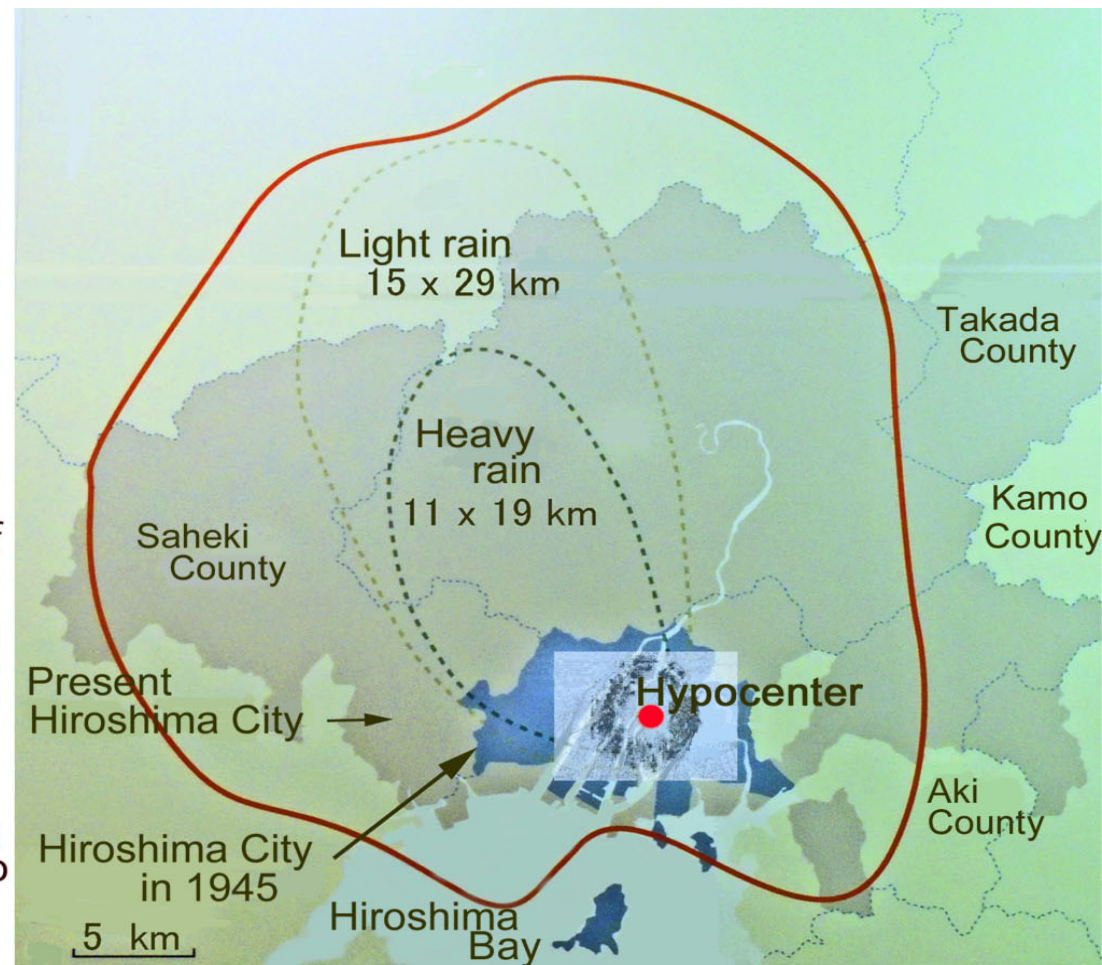
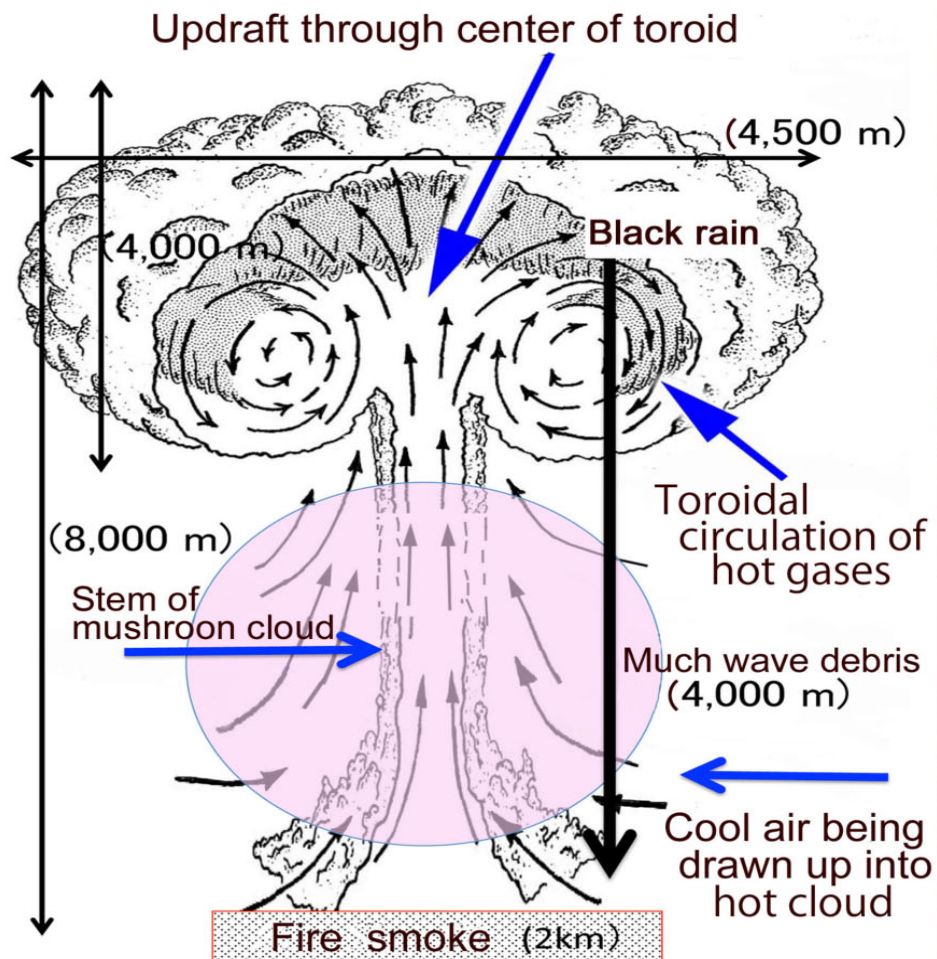
フォールアウト（死の灰*）	大部分
---------------	-----

*多くが黒い雨として降下



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)

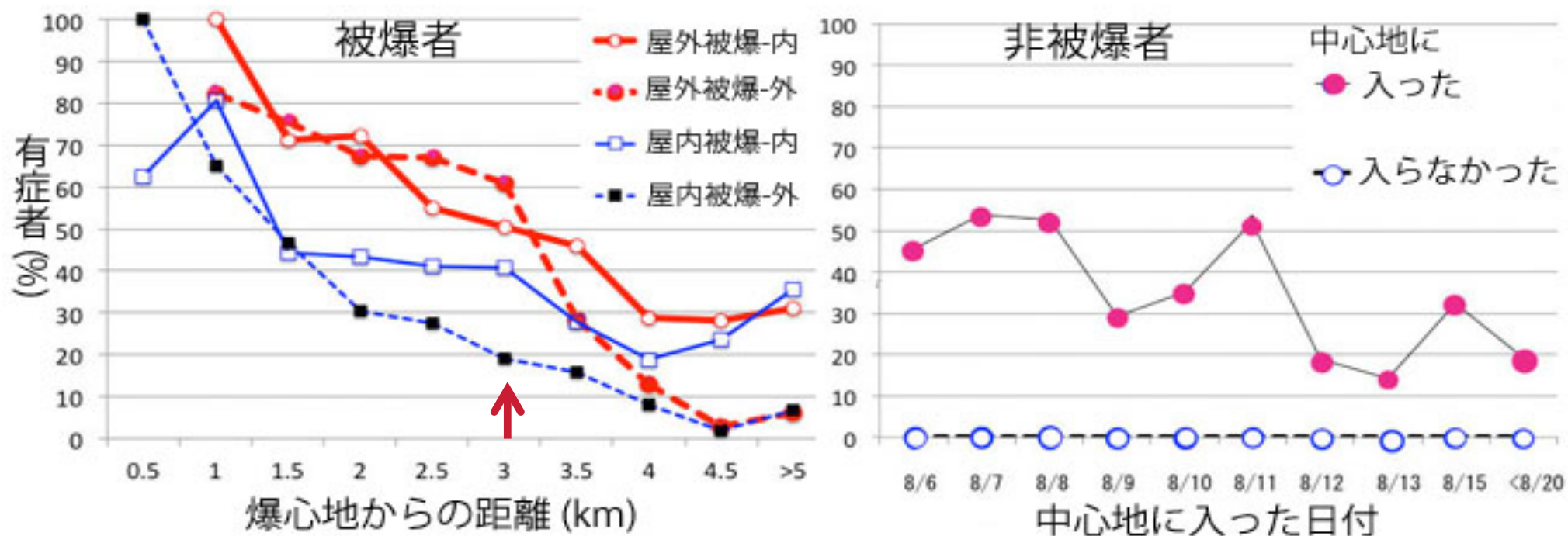
[JA Auxier, 1964]



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

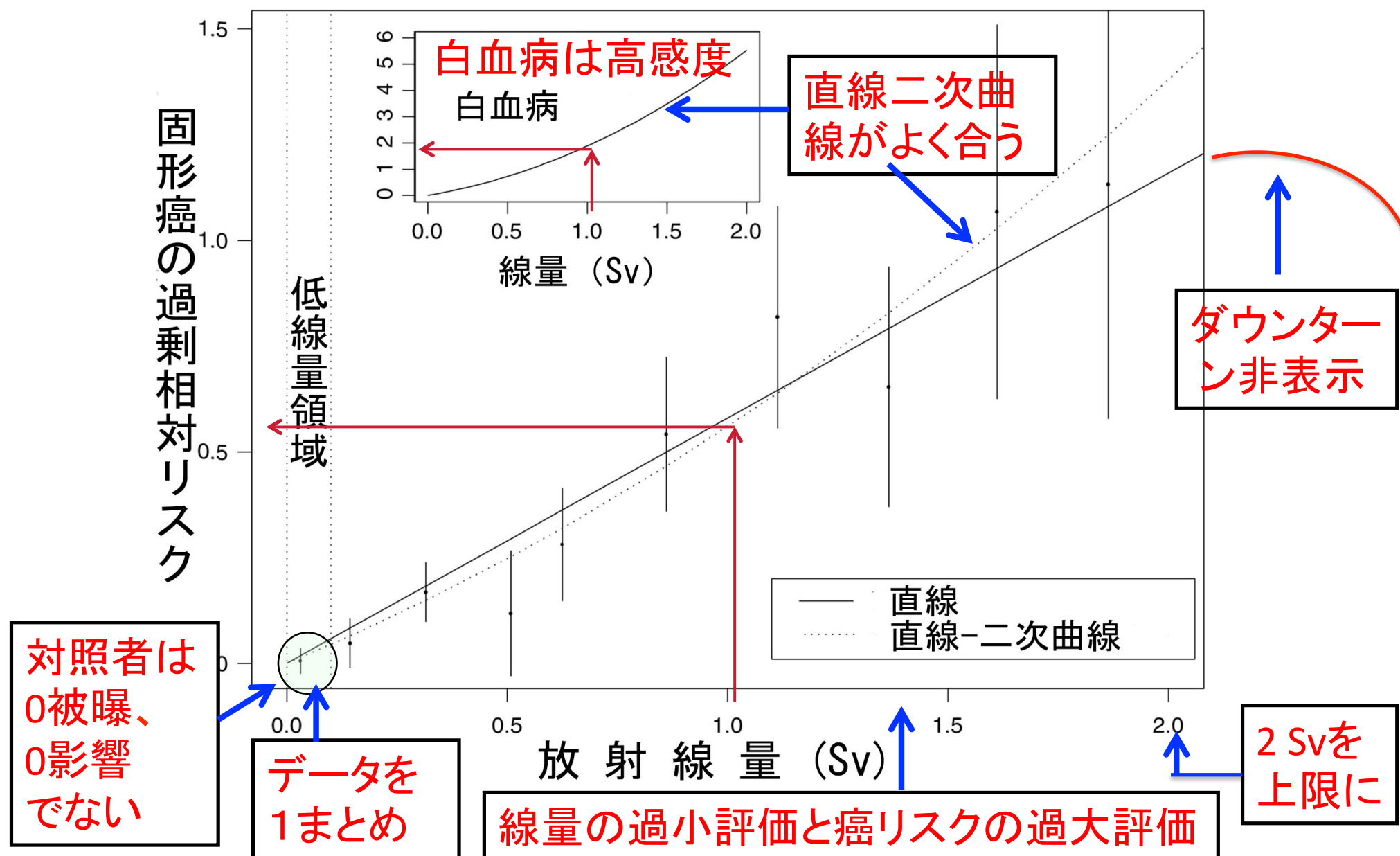
大火災は原爆のエネルギー > 50倍、CO₂とH₂Oを生産

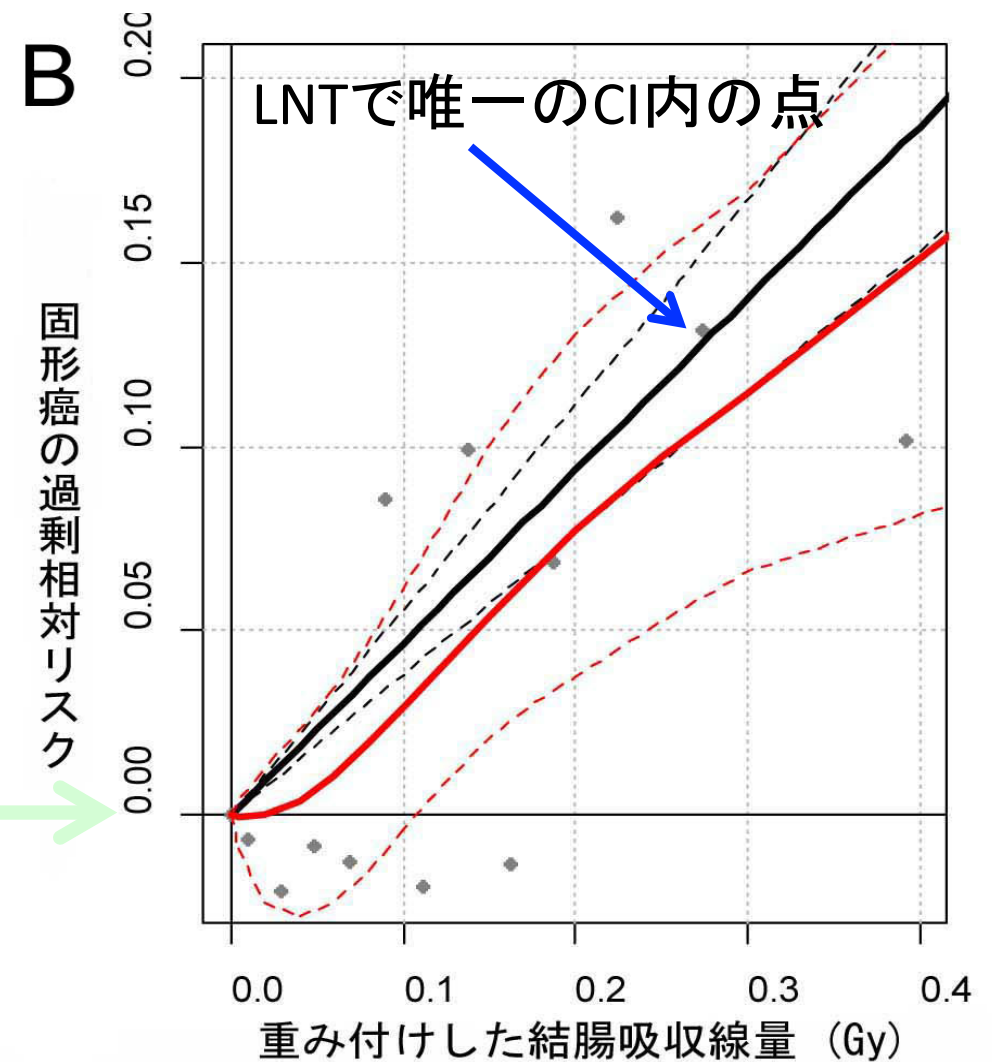
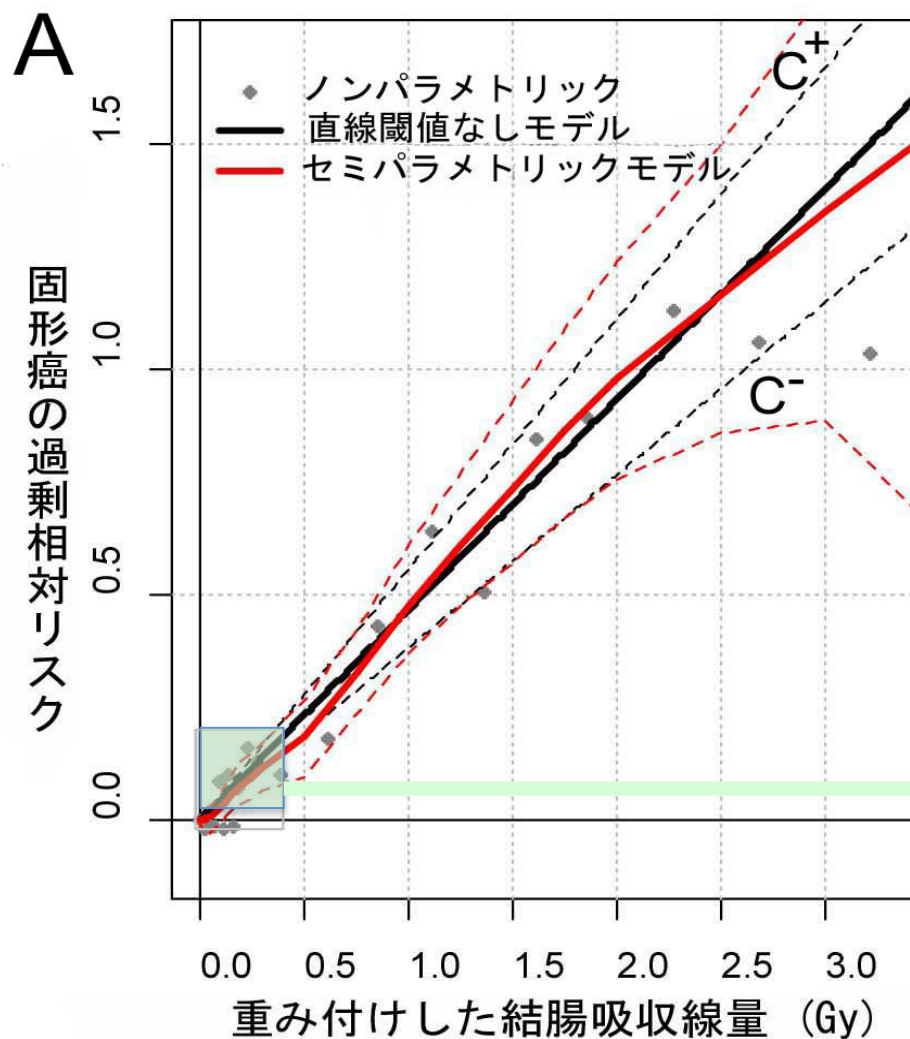


於保報告：1957年、爆心から半径7 kmに住む約4000人に面談
爆心から半径1 kmに入ったか、日付、火傷、発熱、下痢は？

- 左：
- 1) 屋外被爆者は屋内被爆者より有症率が高い
 - 2) ≥ 3 km \uparrow (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

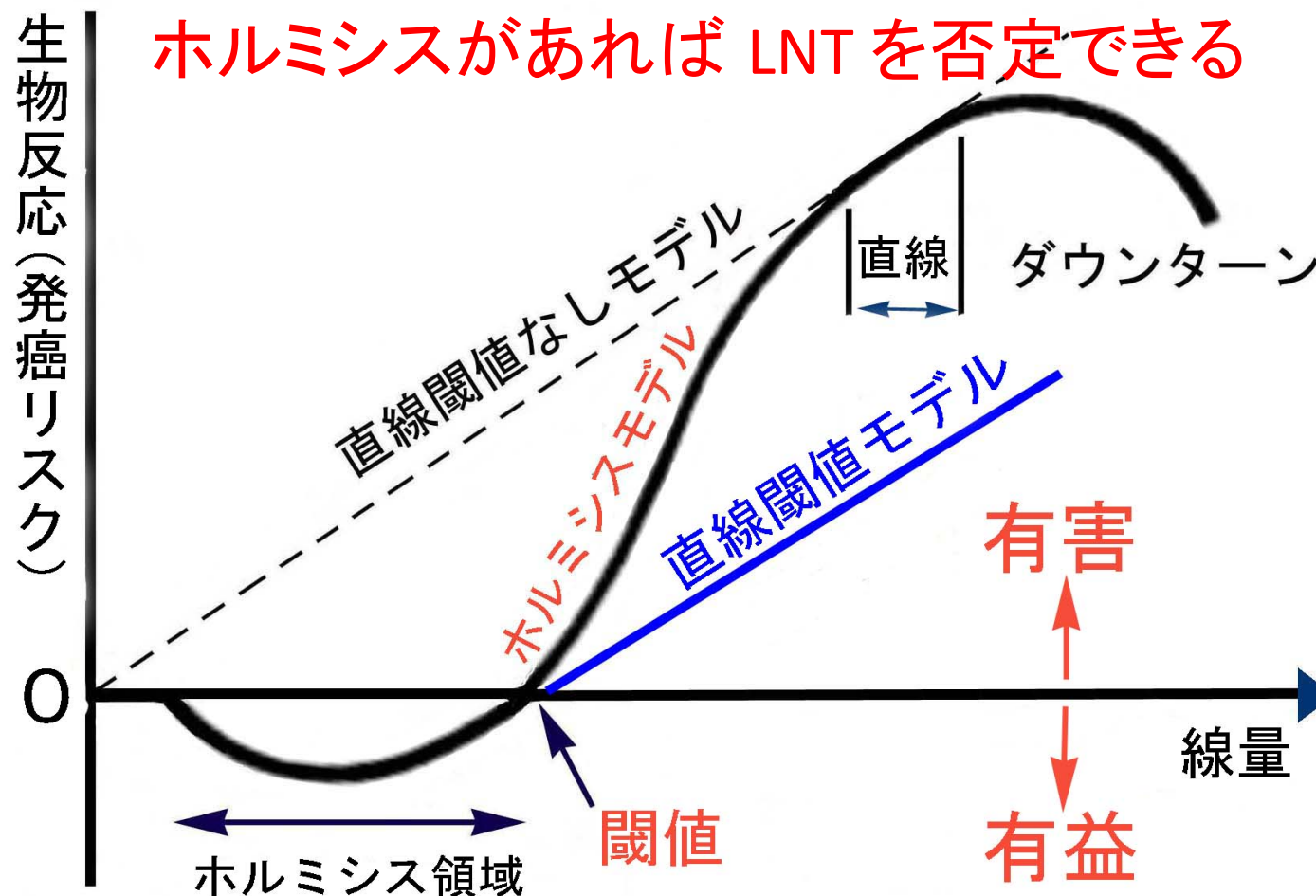
放射線の中で生きている私たち

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



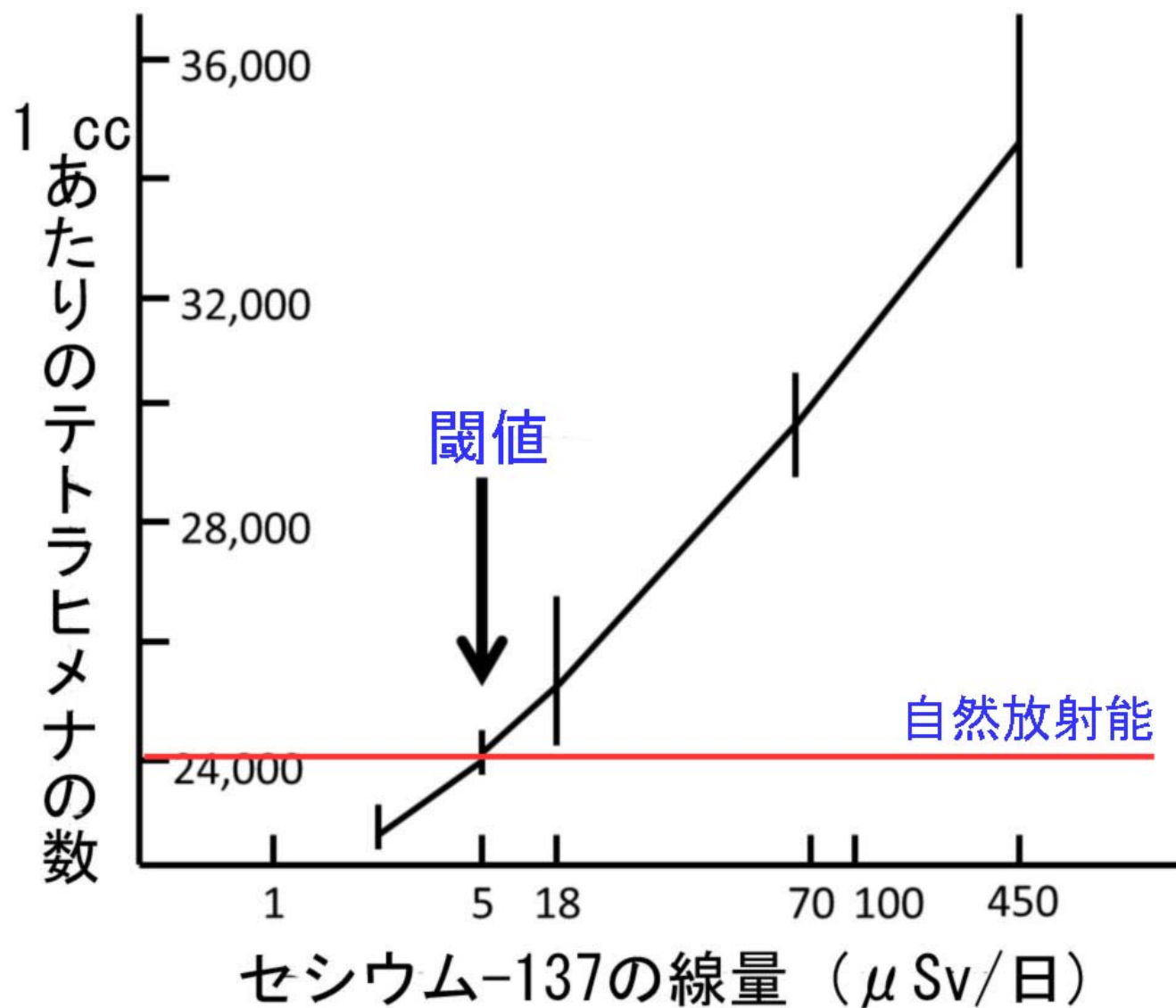
閾値に関する3つのモデル

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)

ショウジョウバエへのX線、 γ 線照射

変異頻度(%)

0.8
0.6
0.4
0.2
0.0

0

10^{-4}

10^{-3}

10^{-2}

10^{-1}

1

10

線量(Gy)

直線閾値なしモデル

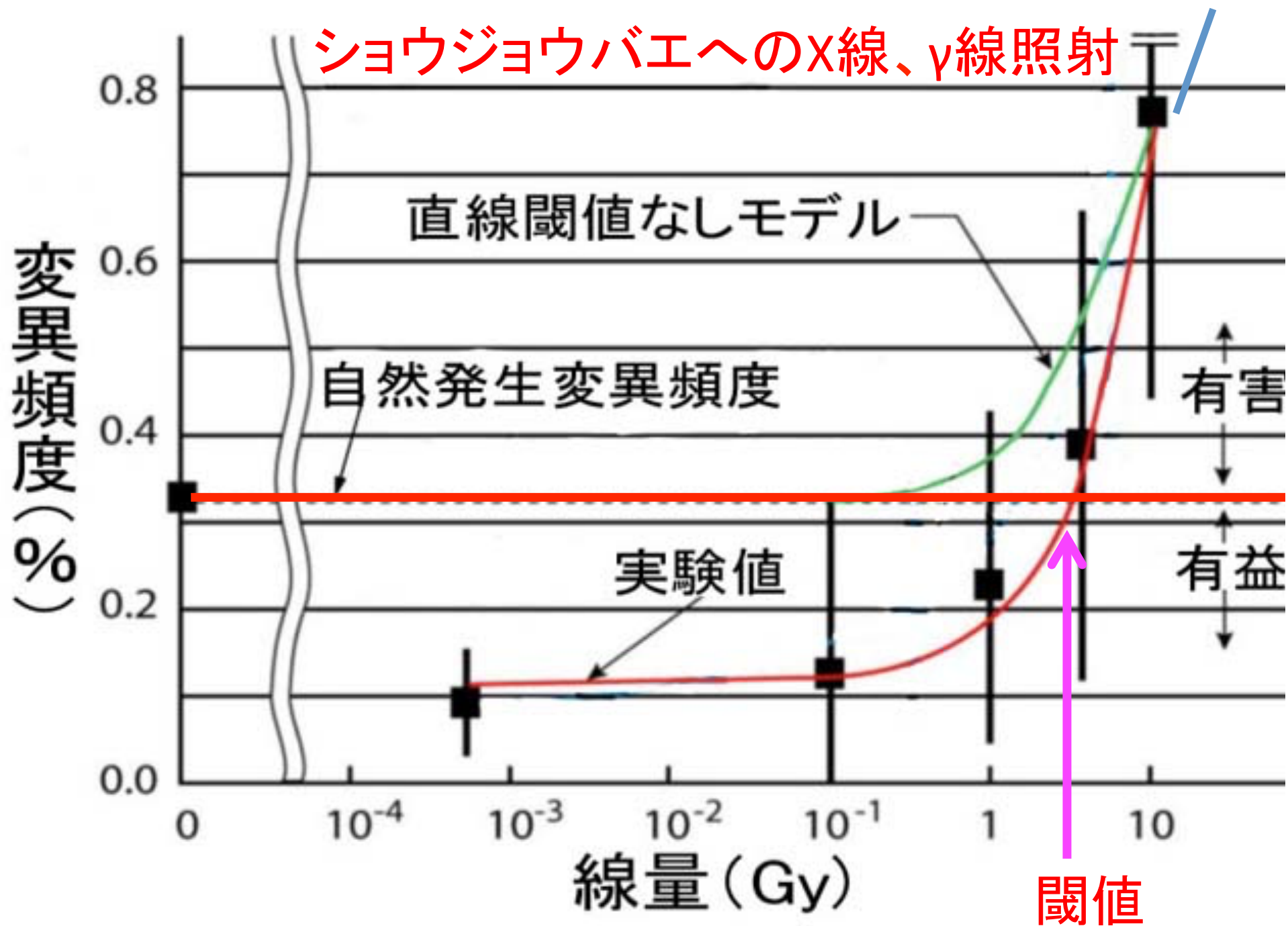
自然発生変異頻度

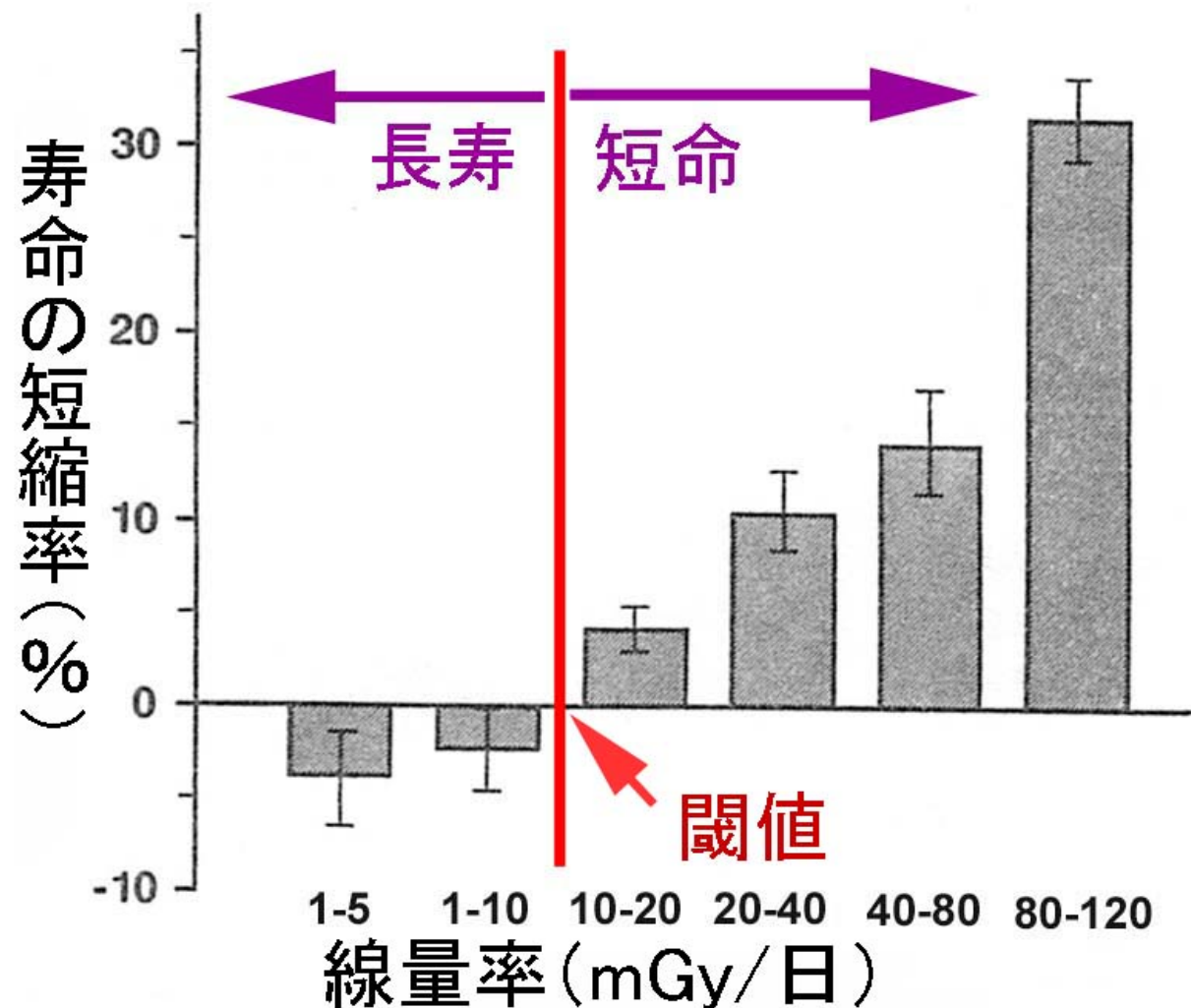
実験値

有害

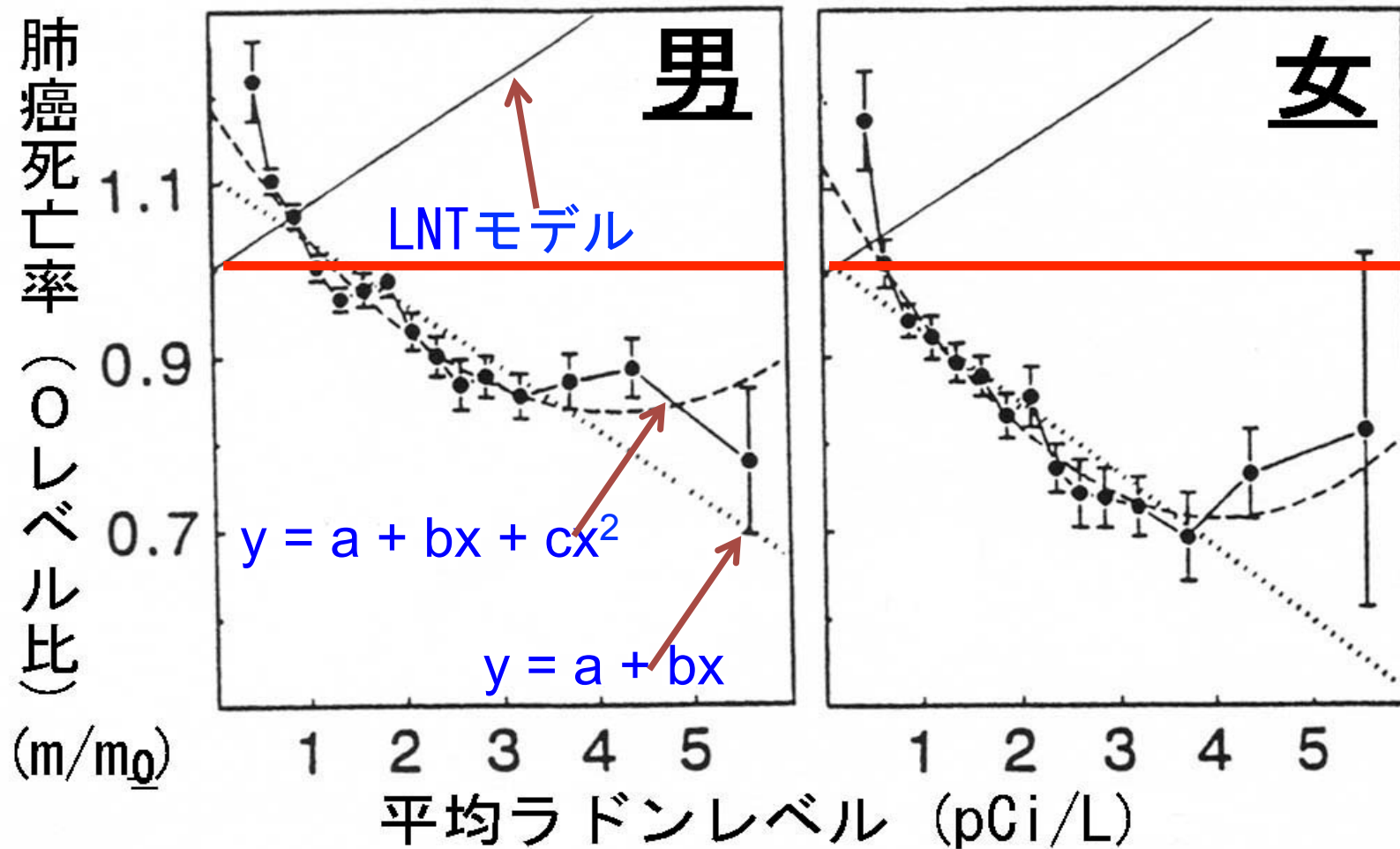
有益

閾値





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, 荻生俊昭. 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、肺癌による死亡者は減る = 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年間における英国放射線医は長生き

	1897-1920年			1921-1997年		
	観測値 (O)	予測値 (E)	O/E比	観測値 (O)	予測値 (E)	O/E比
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、対照は英国、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)

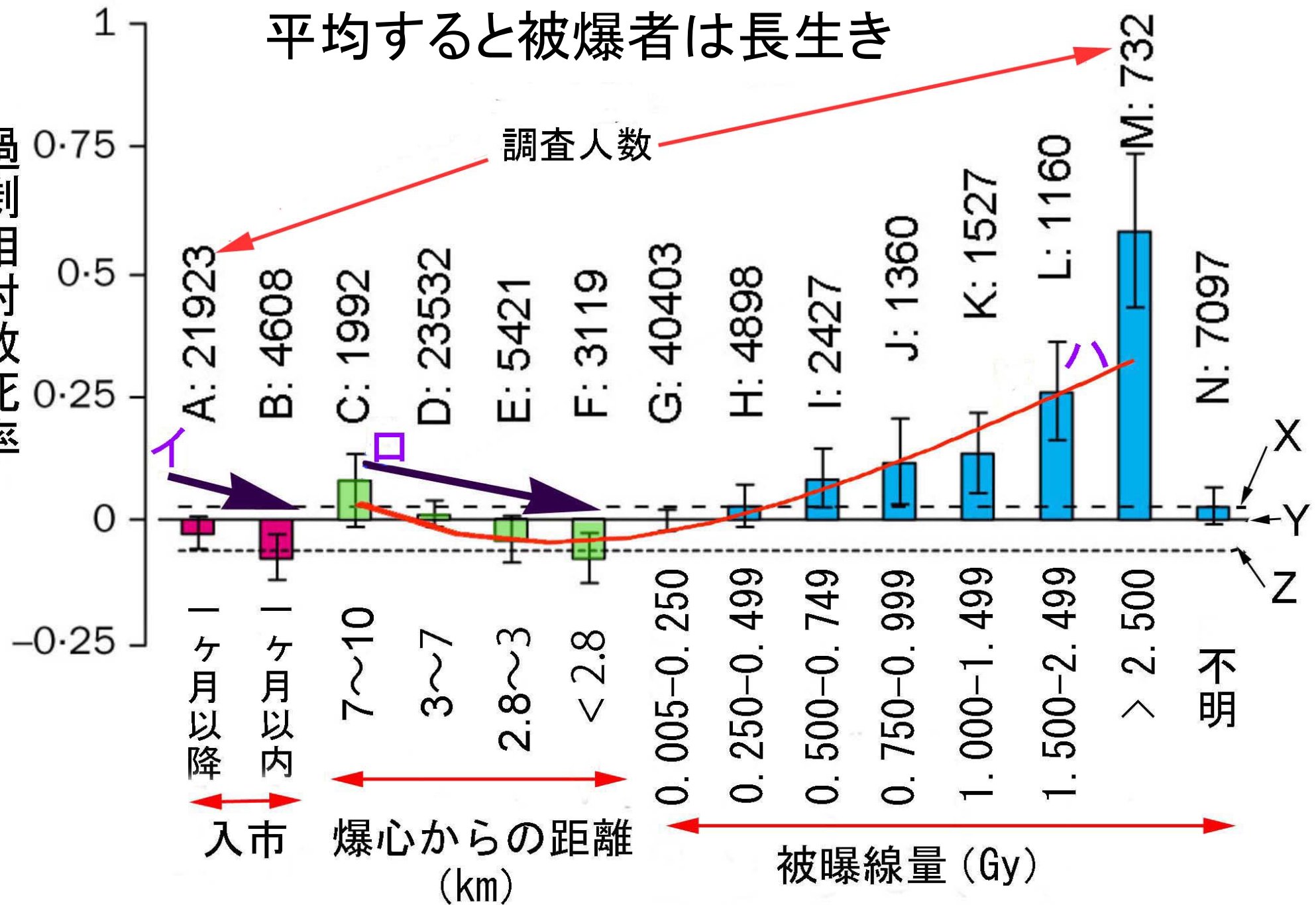
被爆者の癌死率は日本人の平均より低い

(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)

平均すると被爆者は長生き

過剰相対致死率



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：**ご破算で願ひましては**
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

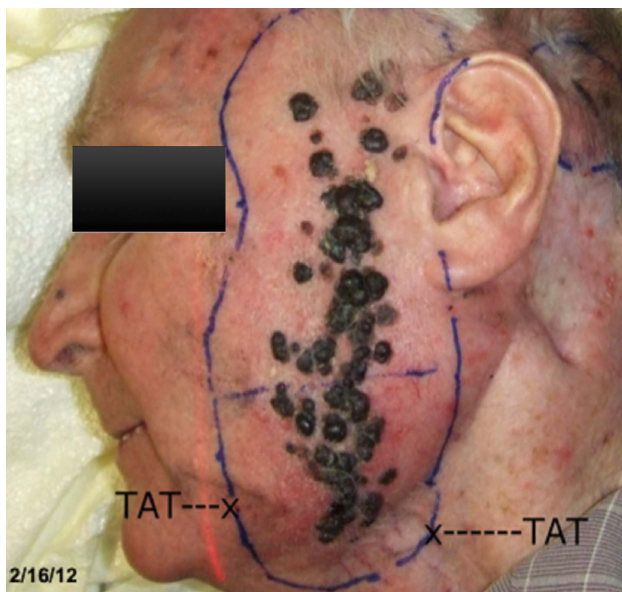
東北大学、坂本澄彦教授ら：X線を全身あるいは半身に
X線を照射すると非ホジキンリンパ腫に有効

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パル効果

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

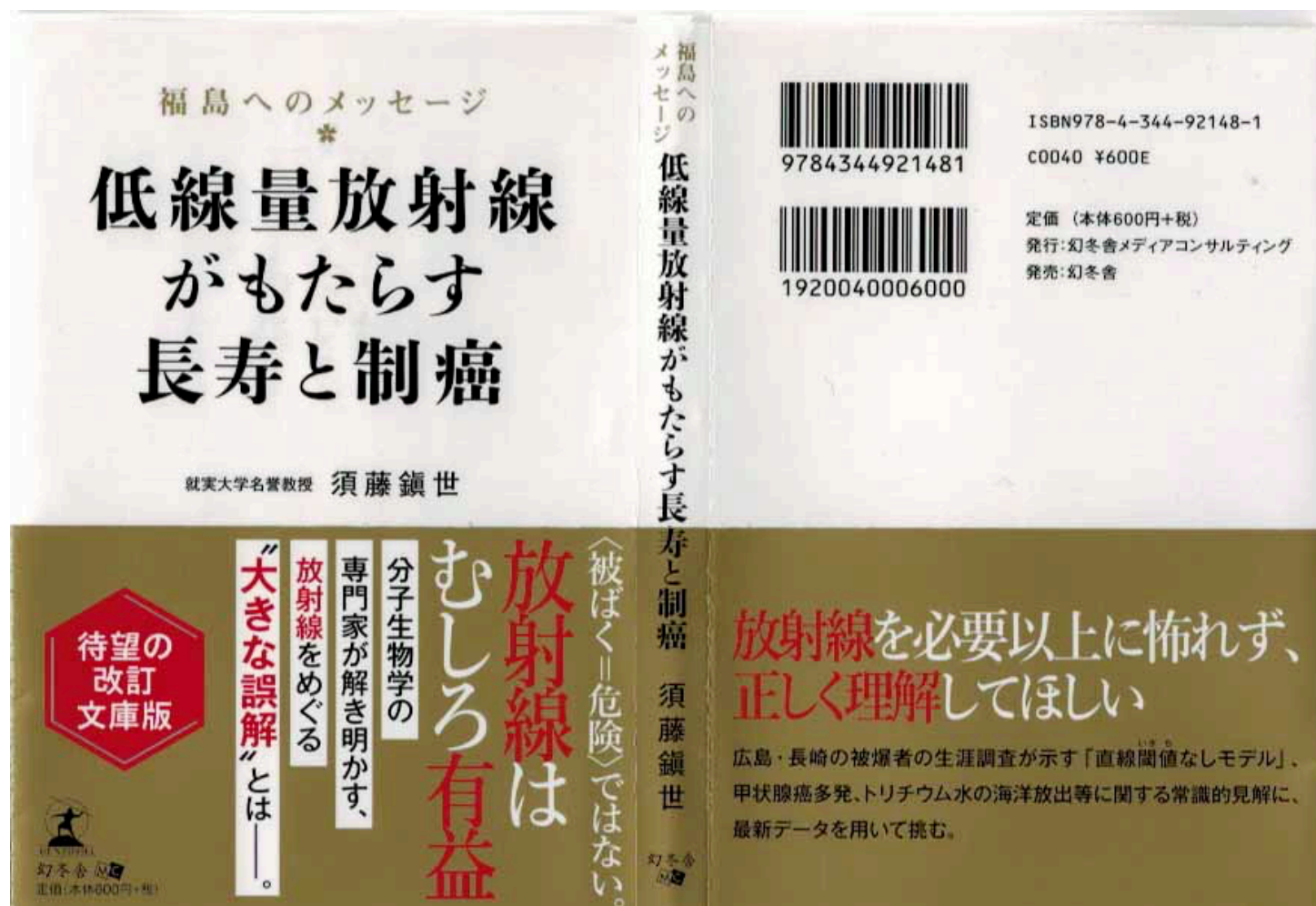
放射線ホルミシスを利用したアルツハイマー病、
痴呆、癌などの治療法開発を妨害している

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」

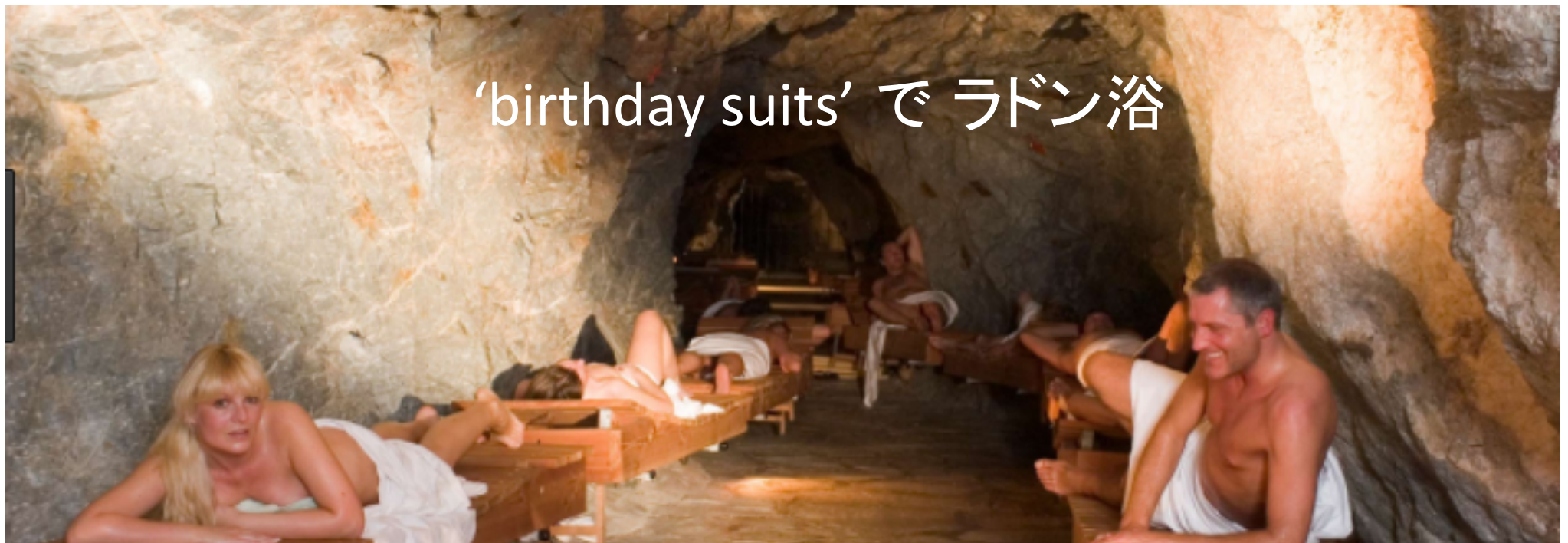
幻冬舎 ￥600 + 税 2019.03.19



「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



オーストリアのバート・ガスタインにある健康センター

GREENPEACE ATTEMPT TO TRIGGER DOSE METER ALARM DURING FUKUSHIMA VISIT:



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