

低線量放射線の影響について

(財)放射線影響協会

金子正人

はじめに

高線量率での被ばく事例

広島・長崎原爆被爆者の疫学データ

低線量率での被ばく事例

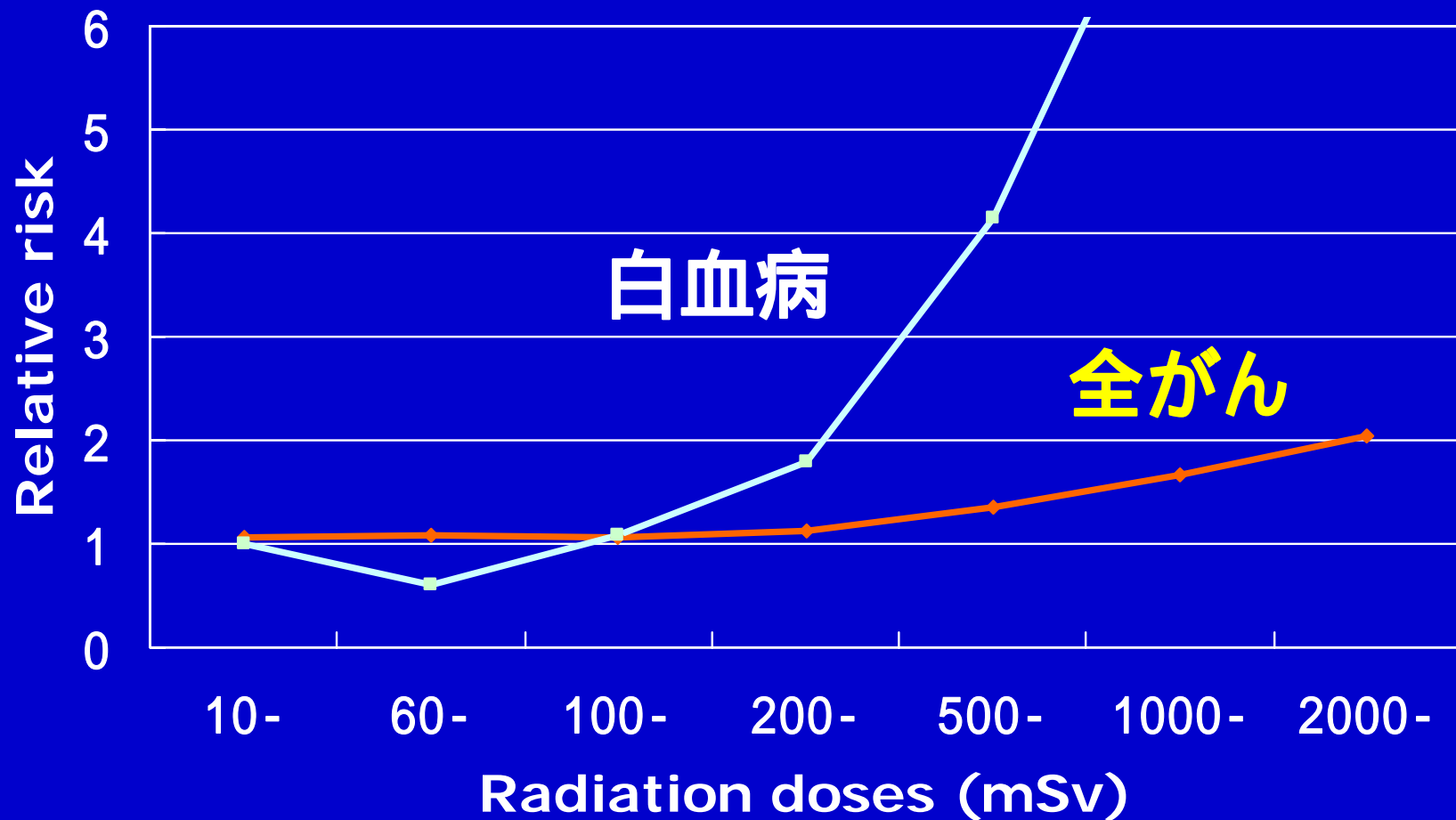
原子力発電施設等従事者の疫学データ

高バックグラウンド地域住民の疫学データ

放射線に対する生体の防護機能

現在の線量限度以下の被ばくによる影響？

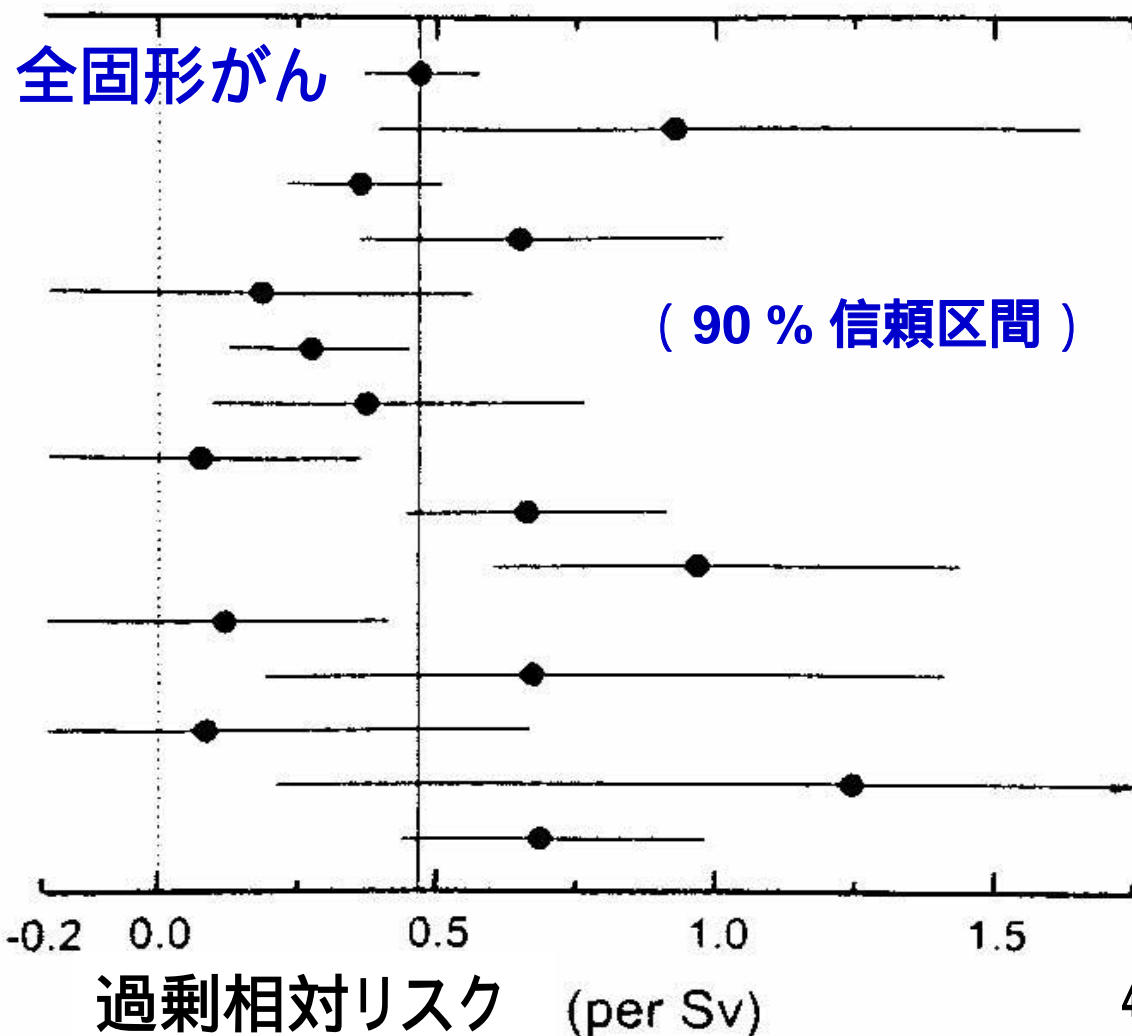
原爆被爆者集団のがん死亡相対リスク (国連科学委員会1994年報告書より)



固形がん死亡の過剰相対リスク

Preston et al. *Radiat Res* 160:381-407, 2003

	Deaths	P value
All solid cancers	9335	P<0.001
Esophagus	291	P<0.001
Stomach	2867	P<0.001
Colon	478	P<0.001
Rectum	370	P=0.14
Liver	1236	P<0.001
Gall bladder	328	P=0.007
Pancreas	407	P=0.29
Lung	1264	P<0.001
Breast	275	P<0.001
Uterus	518	P=0.20
Ovary	136	P=0.004
Prostate	104	P=0.42
Bladder	150	P=0.02
Other solid	911	P<0.001



固形がん死亡の観察数と期待数

(原爆被爆者、1950 - 1997)

線量 Gy	観察 人数	観察 死亡数	期待 死亡数	過剰 死亡数 (フィッ ティングによる)
<0.005	37,458	3,833	3,844	0
0.005-0.1	31,650	3,277	3,221	44
0.1-0.2	5,732	668	622	39
0.2-0.5	6,332	763	678	97
0.5-1	3,299	438	335	109
1-2	1,613	274	157	103
2+	488	82	38	48
合計	86,572	9,335	8,895	440

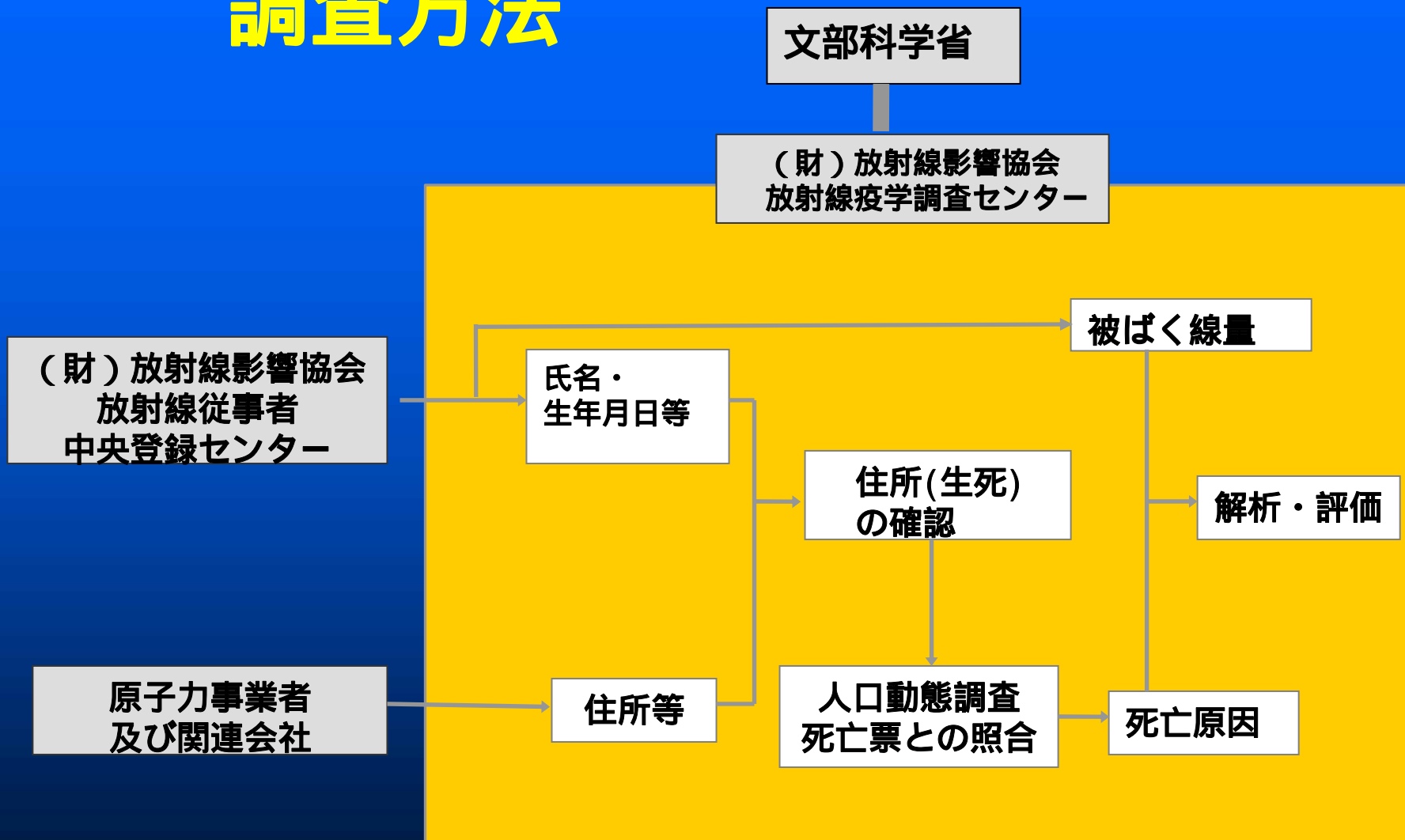
(Preston et al, *Radiat Res* 160:381- 407, 2003)

科学技術庁委託調査

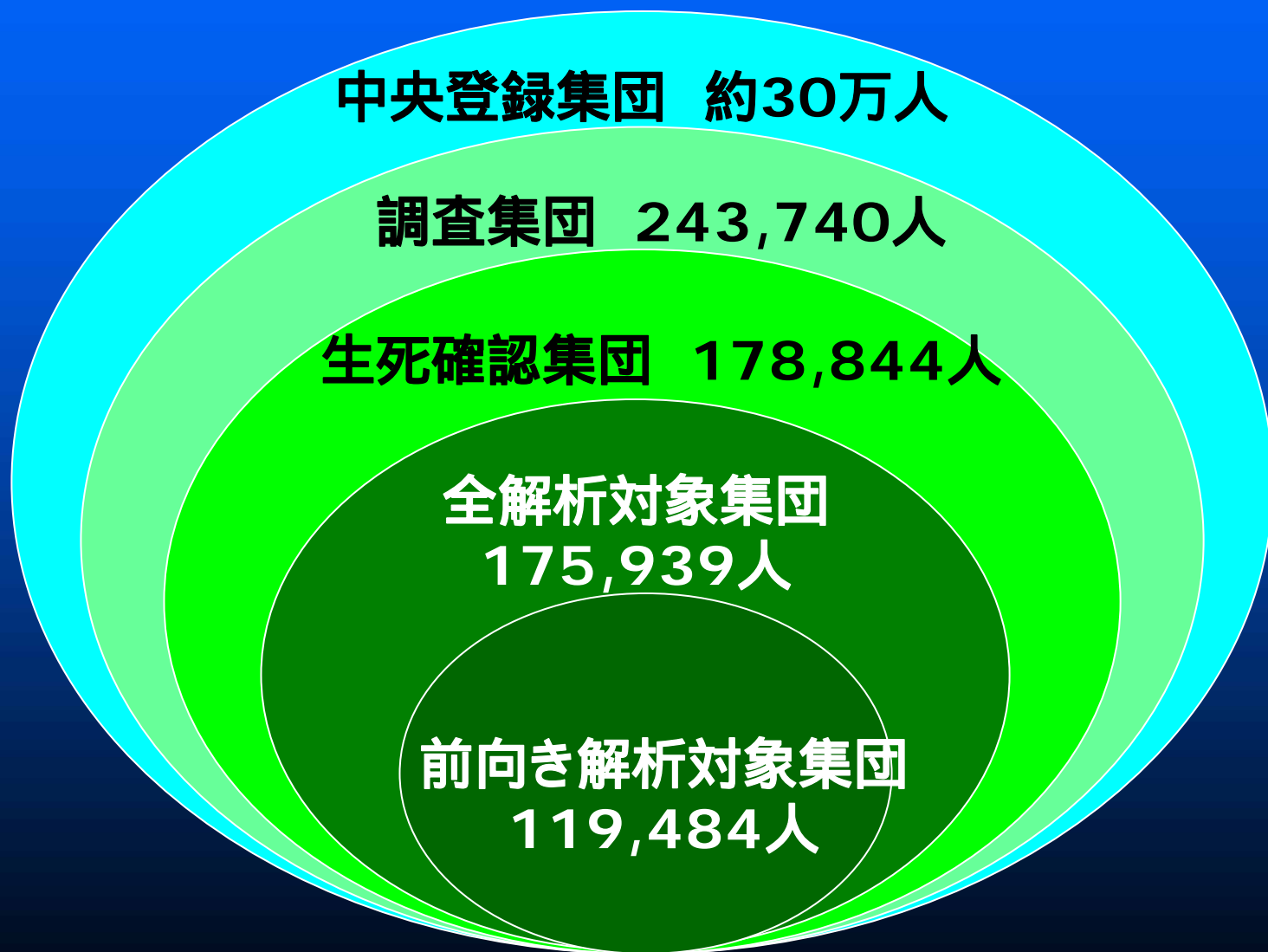
原子力発電施設等
放射線業務従事者に係る疫学的調査
(第II期 平成7年度～平成11年度)

(財)放射線影響協会

調査方法



調査・解析集団

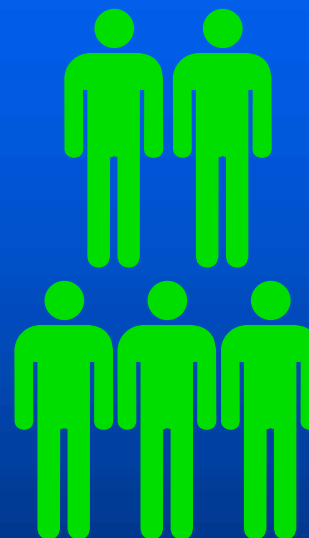


解析手法 - 外部比較 -

放射線業務従事者
(20～84歳)



日本人男性
(20～84歳)



死亡率を比較

$SMR = \text{観察死亡数} / \text{期待死亡数}$

- ・ SMR (標準化死亡比)
- ・ SMRの95%信頼区間
- ・ 両側検定のp値

累積線量分布

線量

(mSv)



第 期調査結果(概要)

外部比較 — 標準化死亡比(SMR) —

死因	死亡数	SMR	死因	死亡数	SMR
全死因	2,934	0.94 *	胆嚢がん	44	1.15
外因死	397	1.04	膵臓がん	60	0.96
非がん疾患	1,305	0.86 *	肺がん	217	1.03
全がん	1,076	0.98	前立腺がん	21	0.97
口腔咽頭がん	22	0.90	膀胱がん	13	1.04
食道がん	50	0.97	腎臓がん	19	0.97
胃がん	208	0.94	脳腫瘍	8	0.68
結腸がん	60	0.81	非ホジキンリンパ腫	18	0.74
直腸がん	45	0.84	多発性骨髄腫	6	0.79
肝臓がん	207	1.13	白血病	28	0.90

白血病 2年、がん10年の潜伏期を設定した。 * 統計学的に有意に1.0より小さい。 11

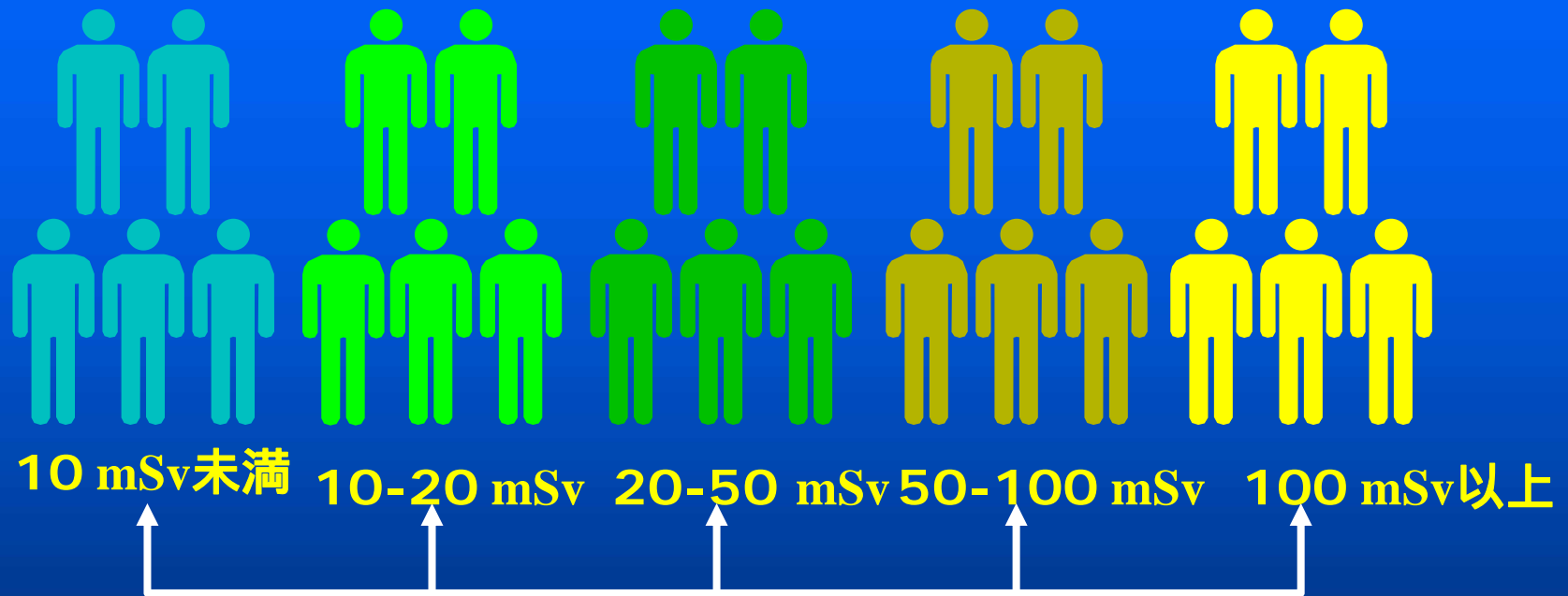
外部比較の結果

全死因および非がん疾患死亡率は有意に低かった（健康労働者効果）

全がん死亡率は有意な増減は見られなかった

白血病を含め、部位別のがん死亡率にも有意な増加は見られなかった

解析手法 - 内部比較 -

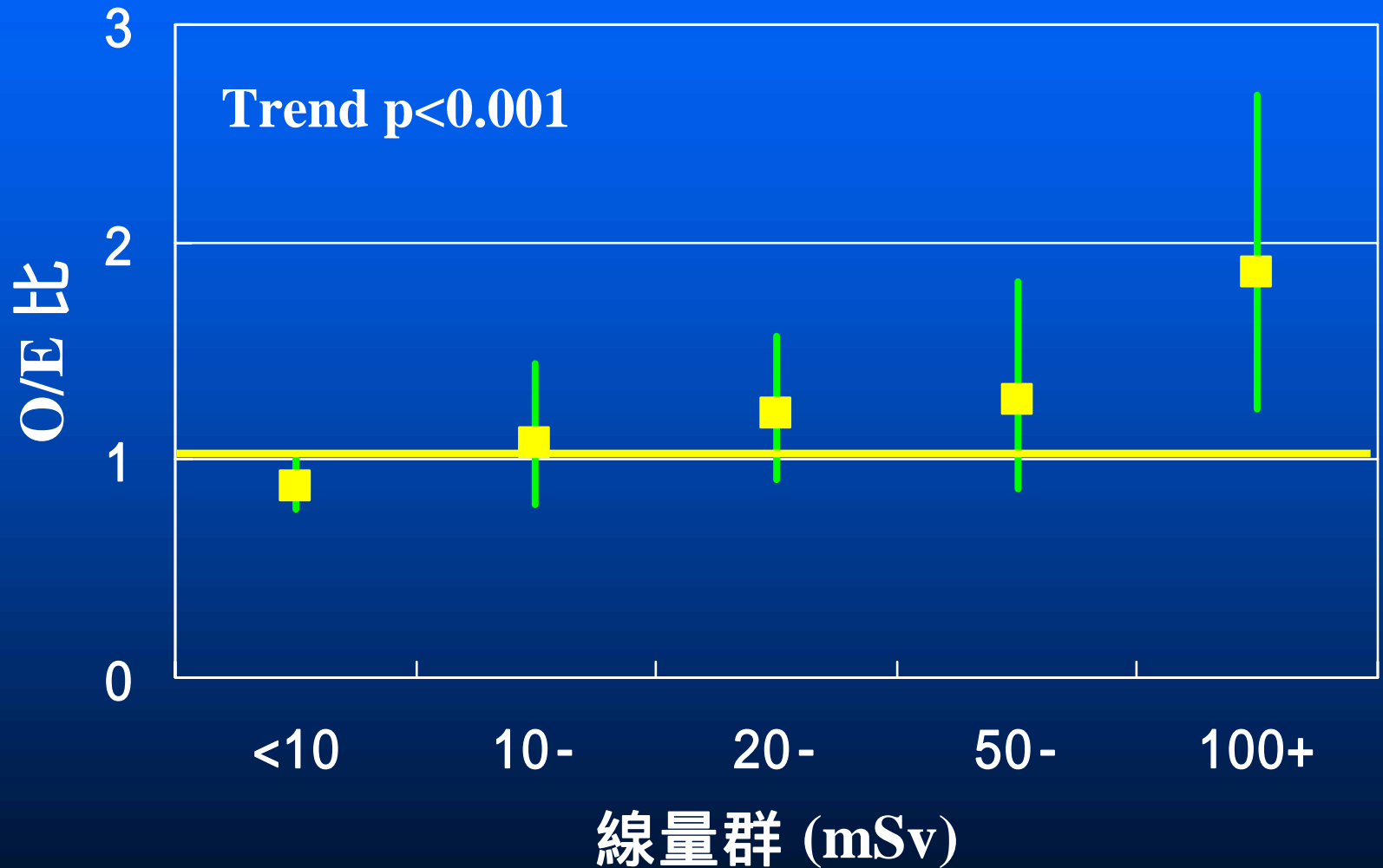


各群の O/E 比 = 観察死亡数 / 期待死亡数 を計算

被ばく線量 少 \longrightarrow 被ばく線量 多

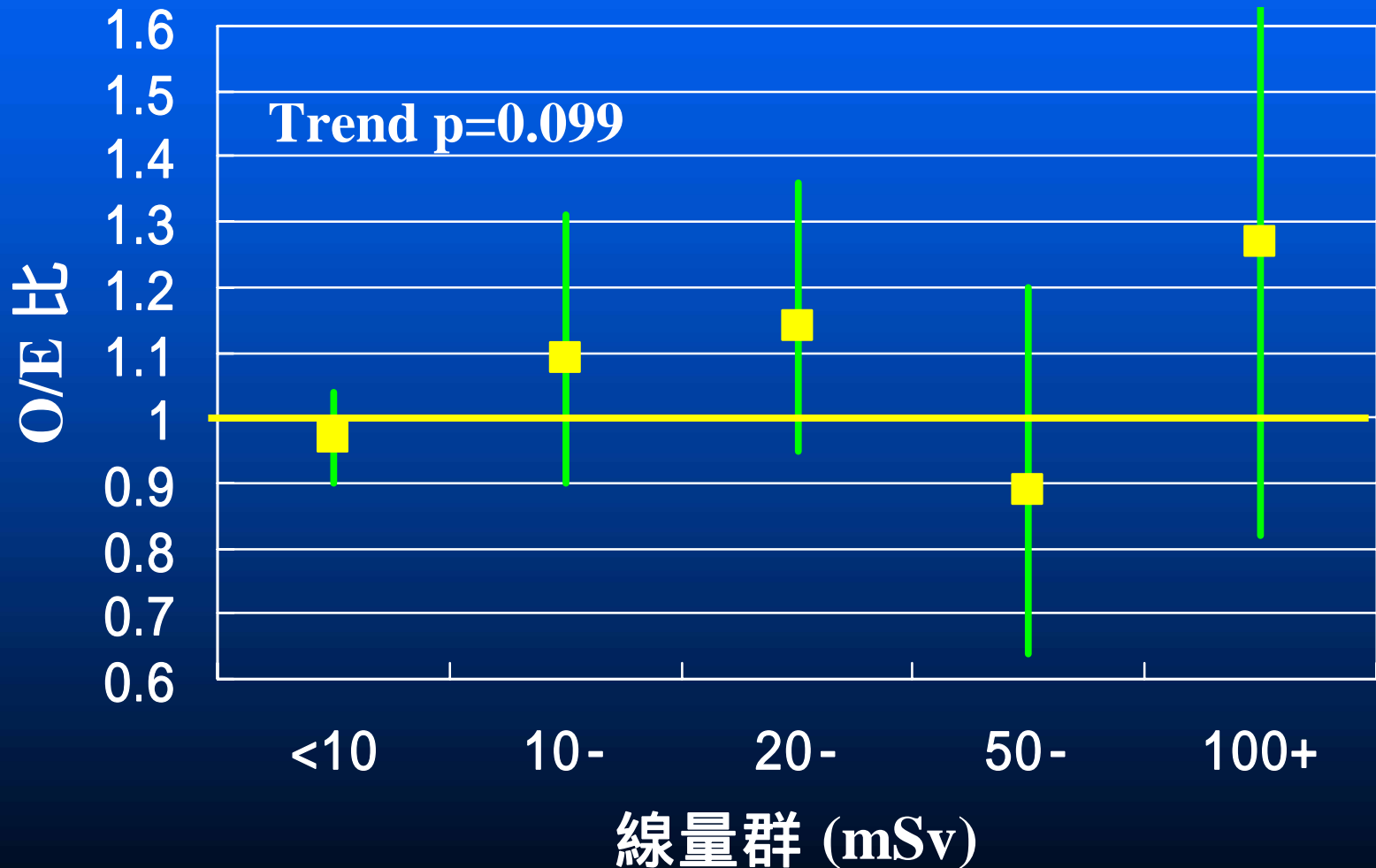
累積線量とともに死亡率が増加するか否か？

トレンド検定 外因死



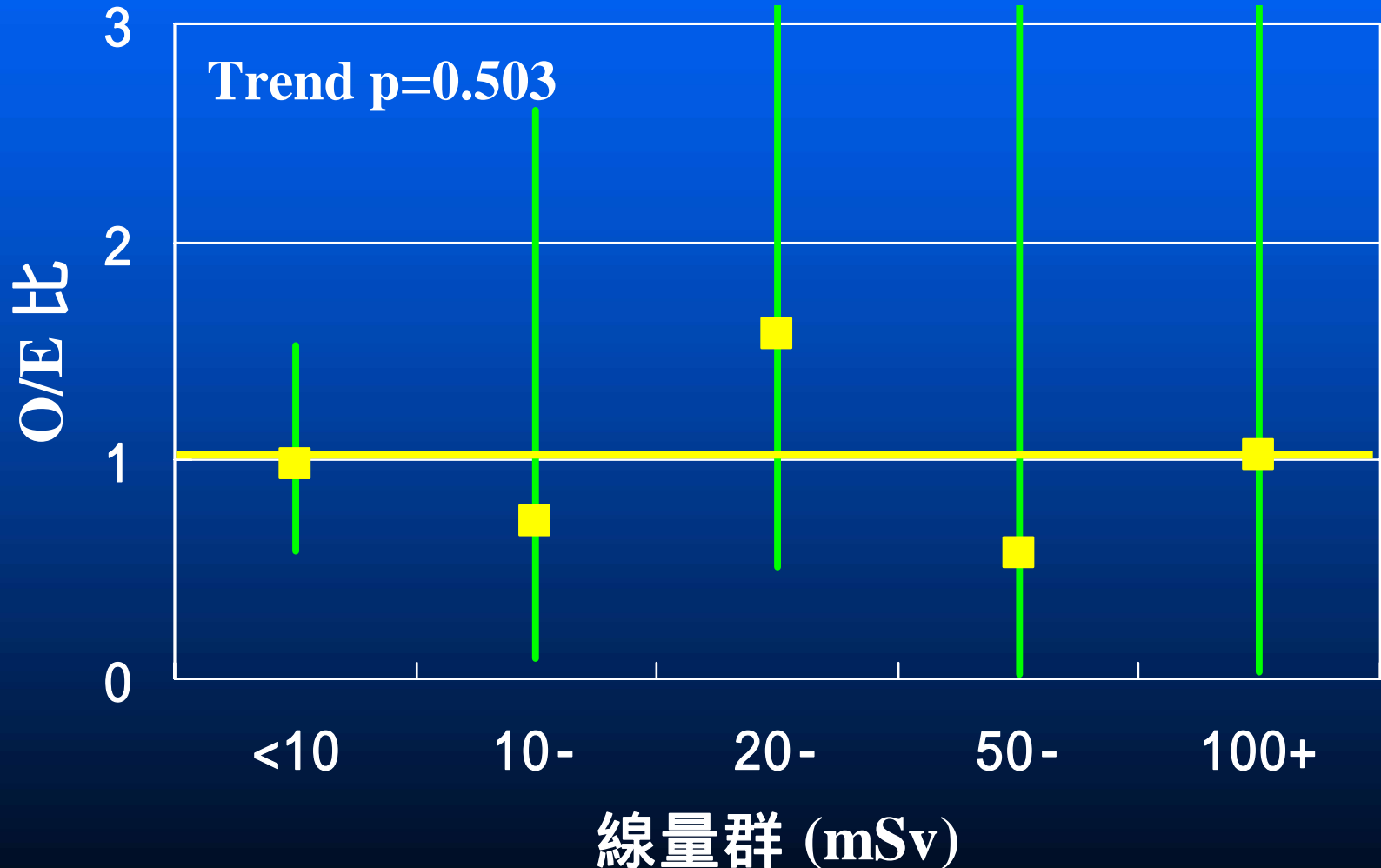
トレンド検定 全がん

(前向き解析対象集団、潜伏期あり、住所地地域調整)



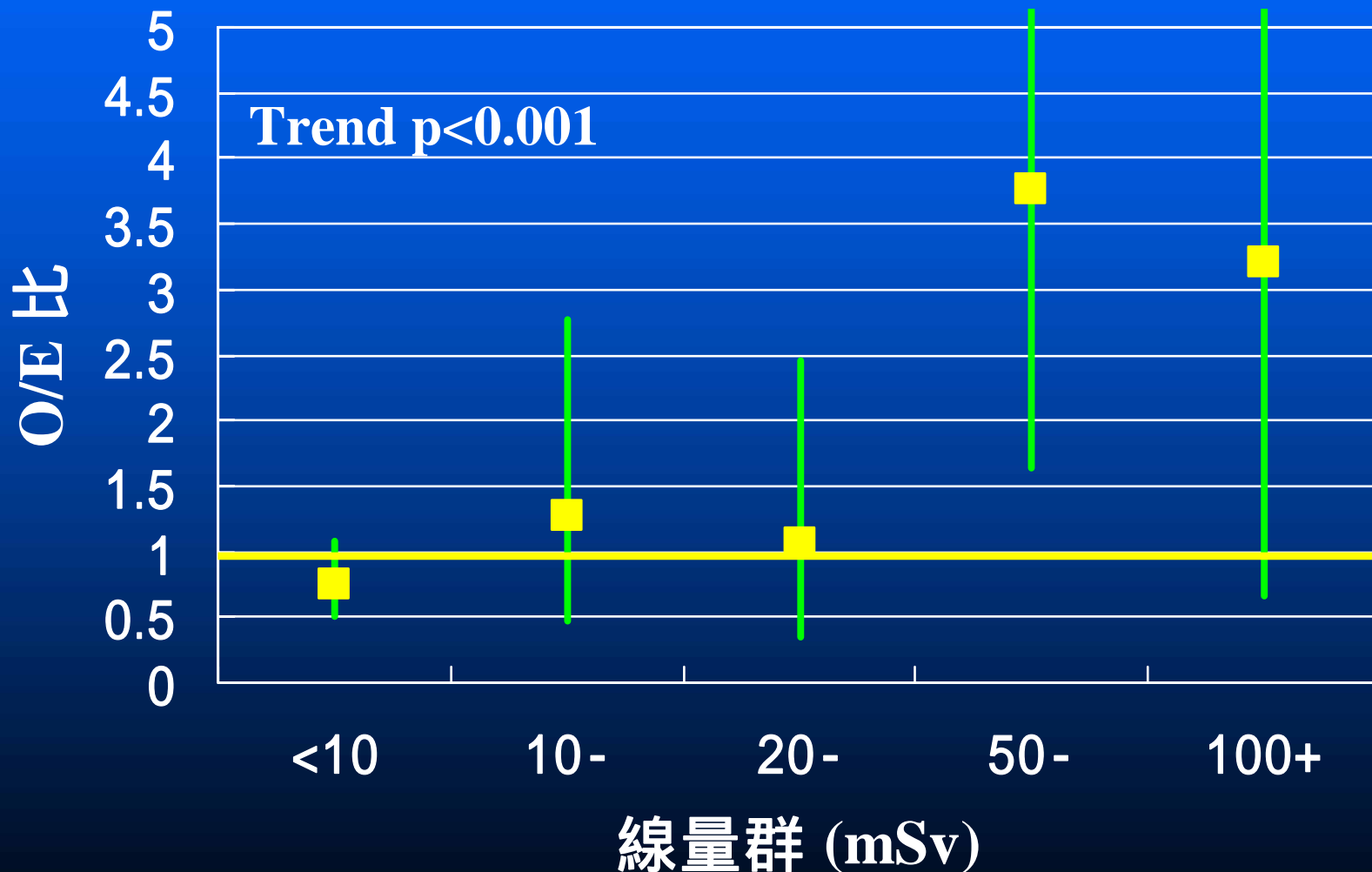
トレンド検定 白血病

(前向き解析対象集団、潜伏期あり、住所地地域調整)



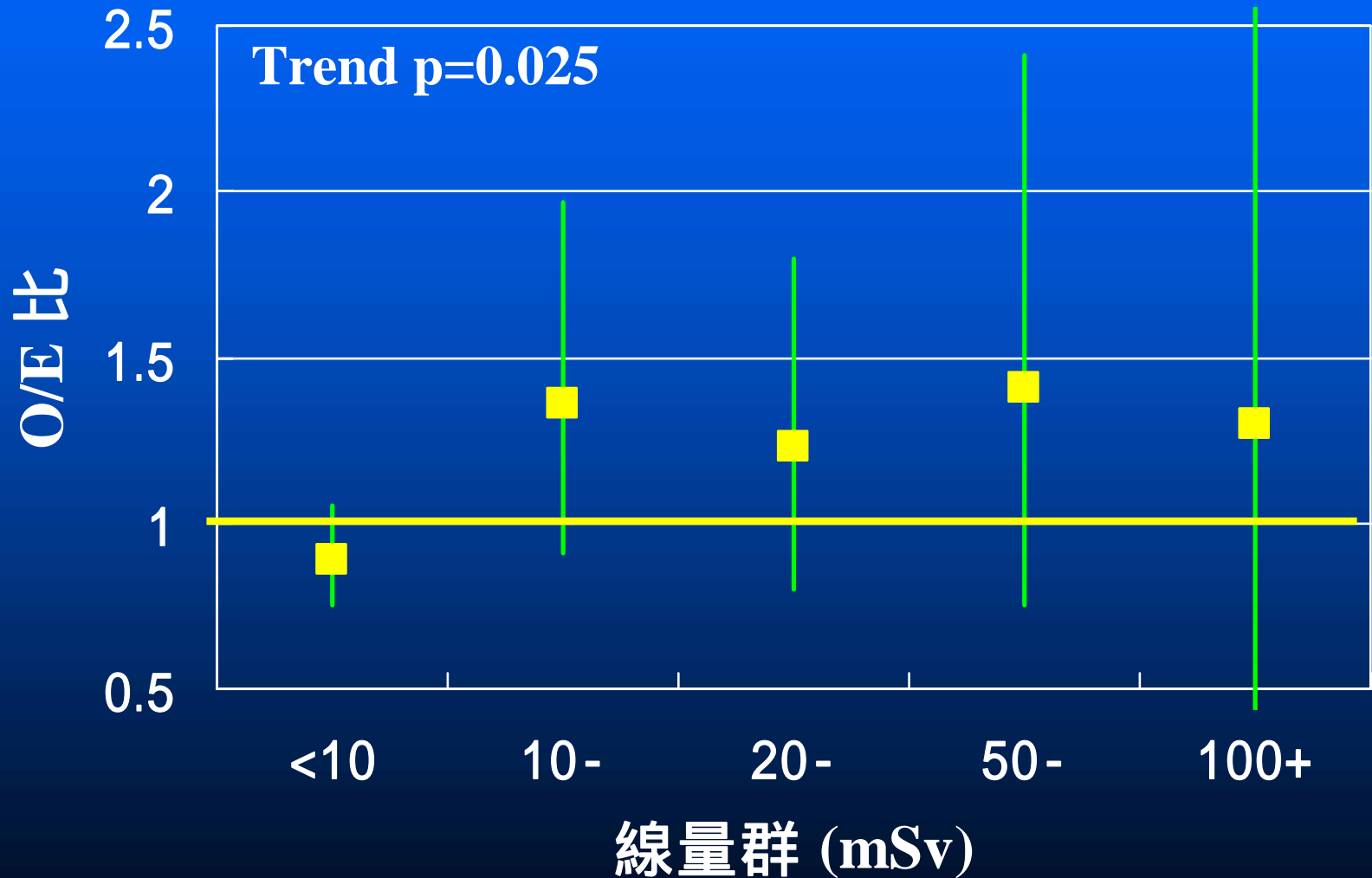
トレンド検定 食道がん

(前向き解析対象集団、潜伏期あり、住所地地域調整)



トレンド検定 胃がん

(前向き解析対象集団、潜伏期あり、住所地地域調整)



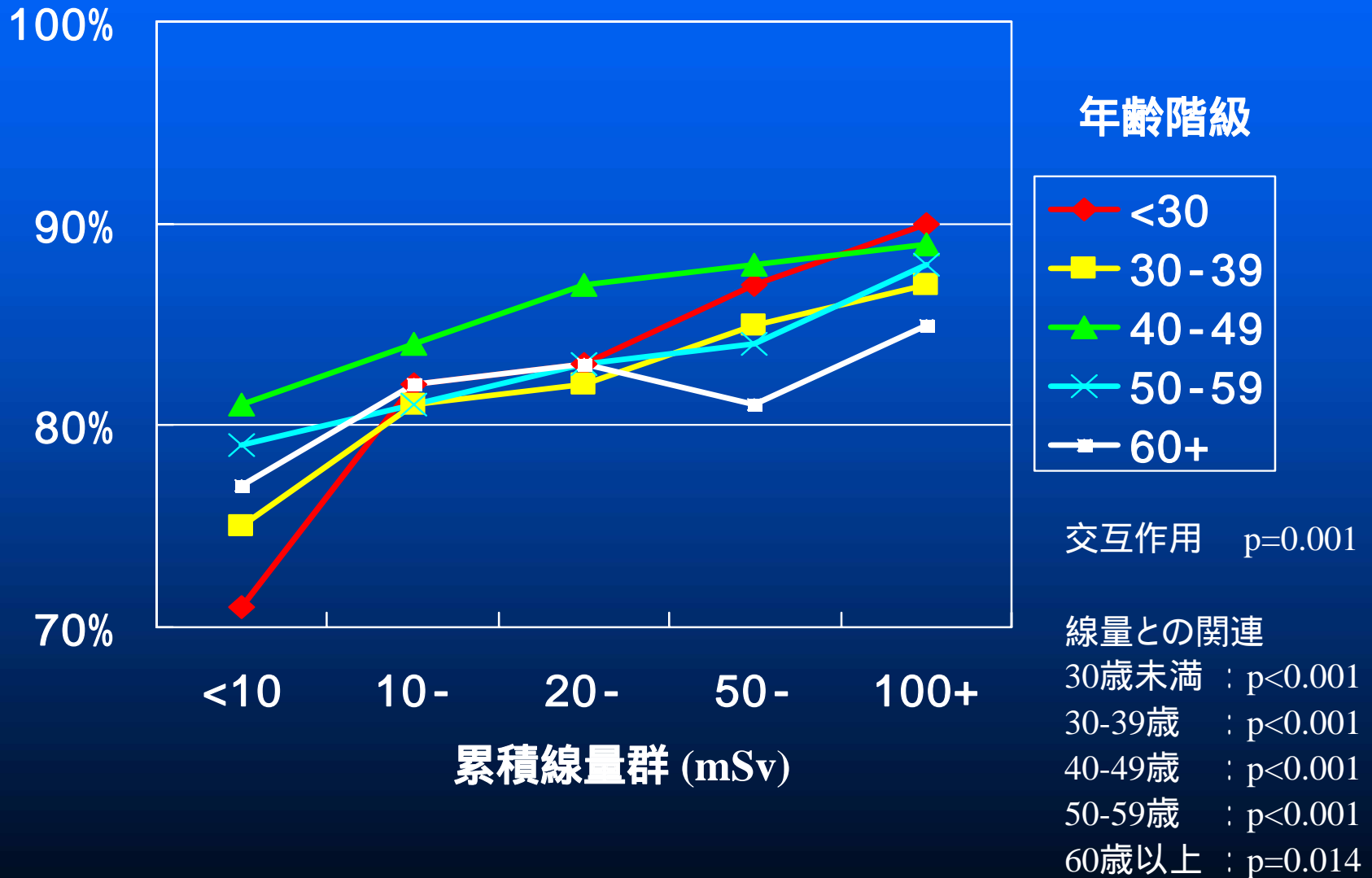
内部比較の結果

白血病については、線量との有意な関連は認められなかった

全がんについても、線量と共に増加する傾向性は 明確ではなかった

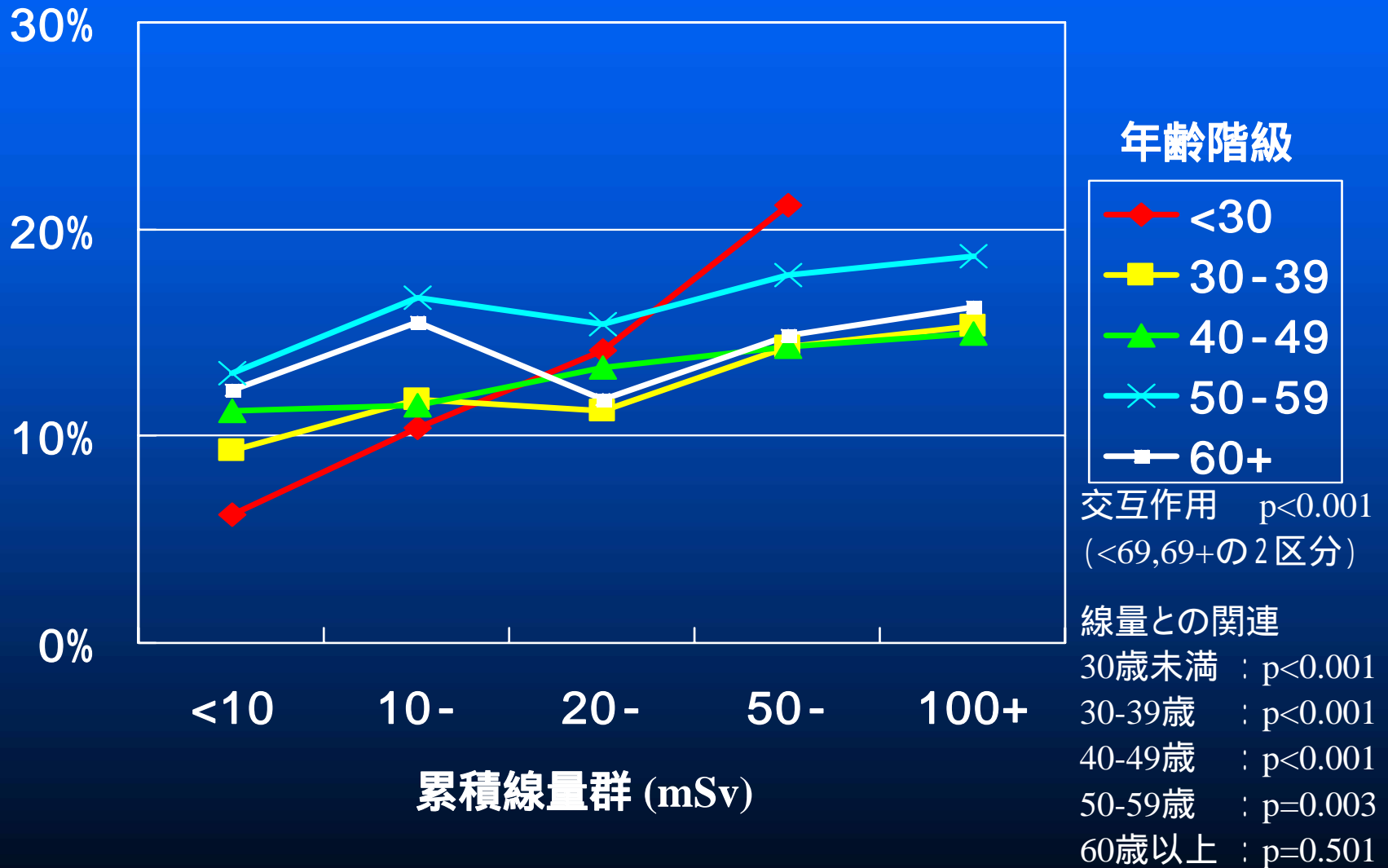
食道、(胃、直腸)がんおよび外因死には、線量に対する有意の増加傾向性が見られた

交絡因子調査結果 - 喫煙率 -



交絡因子調査結果

- 3合 / 日以上の飲酒者の比率 -



飲酒

1.5合
以上

8.5倍

29.9倍

1.5合
未満

4.1

3.9倍

飲まない

1

2.3

吸わない

30パック・年
未満

30パック・年
以上

食道がん

たばこ

NHK総合TV
「ためしてガッテン」

2001.4.12

日本の原子力発電施設等で働く 放射線業務従事者の調査

全悪性新生物の死亡率は、日本人男性一般と比べて増加は認められず、低線量域の放射線が悪性新生物による死亡率に影響を及ぼしている、との明確な証拠は見られない。

なお、食道がんなど一部の消化器系臓器のがんによる死亡率が累積被ばく線量と有意な相関が認められたが、生活習慣などの交絡因子の調査により、喫煙、飲酒などの影響が強く示唆された。

国際がん研究機関(IARC)

世界保健機関(WHO)の付属機関である国際がん研究機関では、1995年に米国、英国、カナダ3カ国の合同解析を行い、その結果を報告しています。さらに信頼性を高めるため、原子力産業従事者の放射線疫学調査を世界的規模で行う国際共同研究計画を17ヶ国の参加を得て進めています。

オーストラリア
ベルギー
カナダ
フィンランド
フランス
ドイツ

ハンガリー
日本
韓国
リトアニア
ロシア
スロバキア

スペイン
スウェーデン
スイス
イギリス
アメリカ

米国、英国、カナダ3か国の原子力 従事者の合同解析 (IARC)

全がん死亡: 過剰リスクなし

ERR = - 0.07/Sv (90%CI: -0.4, 0.3)

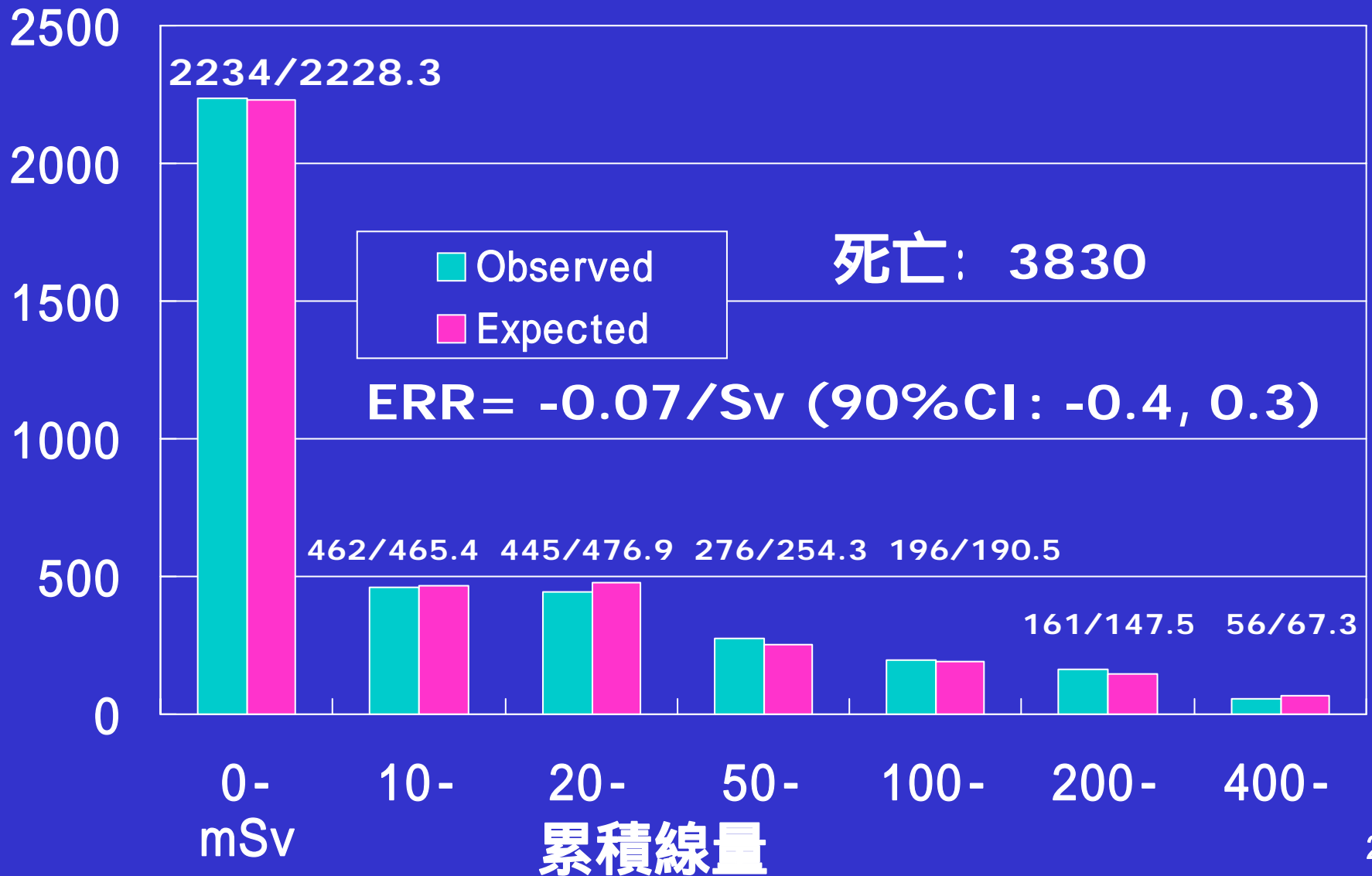
白血病: 線量とともに増加する傾向

ERR = 2.18/Sv (90%CI: 0.1, 5.7)

ただし、400 mSv以上の少数例 (化学物質の影響がありうる再処理プラント)に基づく

Cardis, E., Gilbert, E. S., Carpenter, L., et al.:
Radiat. Res. 142, 117-132 (1995)

白血病を除く全がん死亡(3か国)



慢性リンパ性を除く全白血病(3か国)

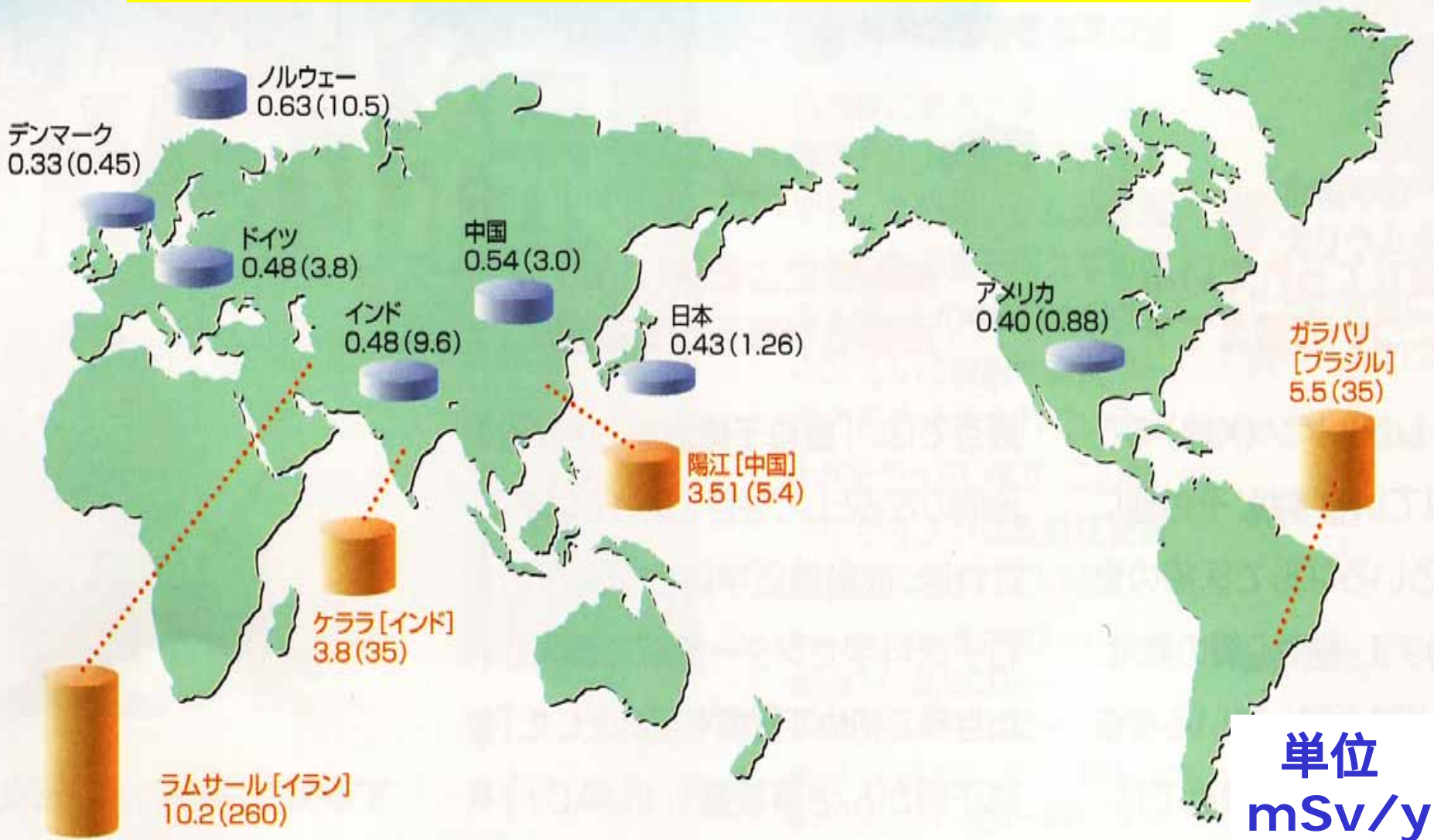


高自然放射線地域住民の疫学的調査

中国、インド、ブラジル、イランなどには、自然バックグラウンド放射線レベルの高い地域があるが、自然放射線が住民に健康上の悪い影響を与えているという証拠はあるだろうか。

大地から受ける年間自然放射線量

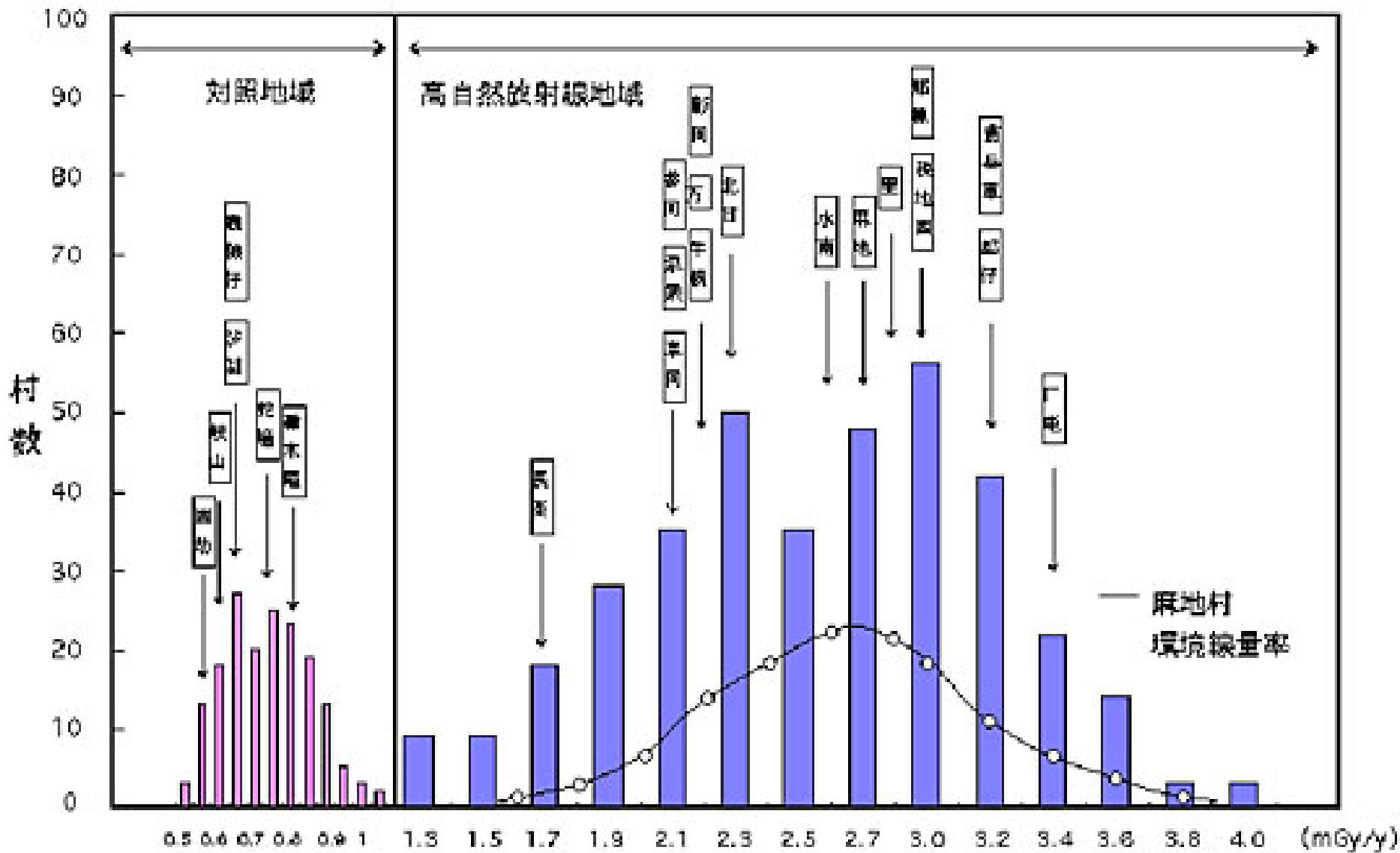
(1993年国連科学委員会報告書等により作成)



() 最大値

単位
mSv/y

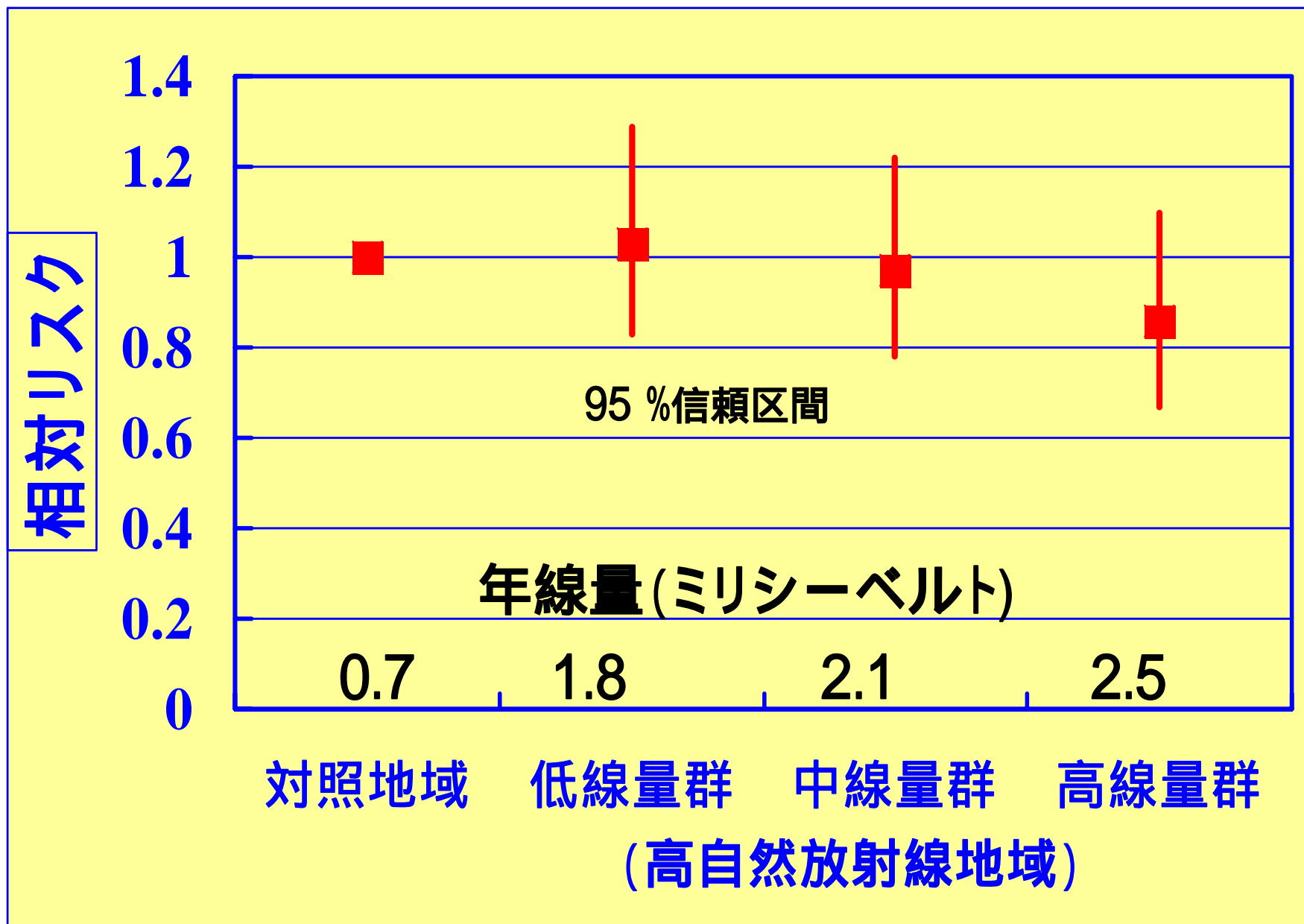




熱蛍光線量計で測定した個人被ばく線量率の度数分布

J. Radiat. Res.,41: Suppl.9-23 (2000)

(mGy/年)

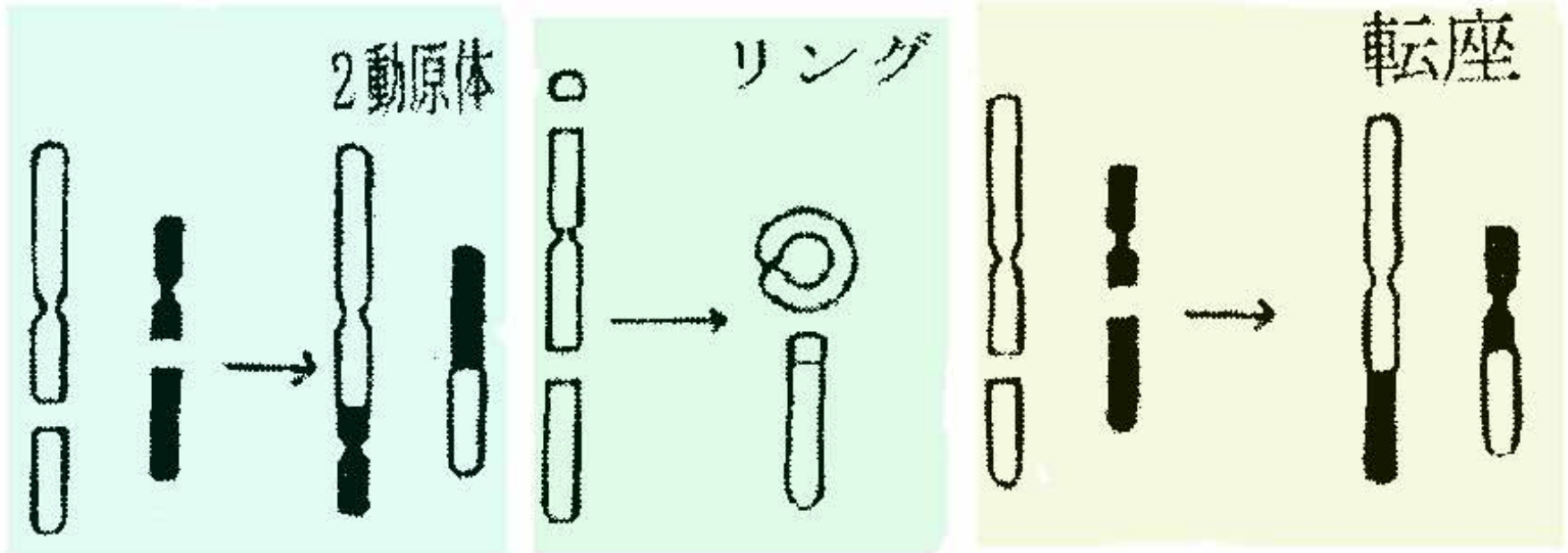


中国広東省高自然放射線地域住民の相対リスク(がん死亡)
(1987-95) 菅原ら J. Radiat. Res.,41: Suppl.31-41(2000)

染色体異常

< 不安定型 >

< 安定型 >



染色体の2箇所にて切断が起きたとき発生する典型的染色体異常の3種類の模型図。

高自然放射線地域(広東省陽江)と対照地域の住民の末梢血リンパ球中の不安定型染色体異常(2動原体と環状)の頻度

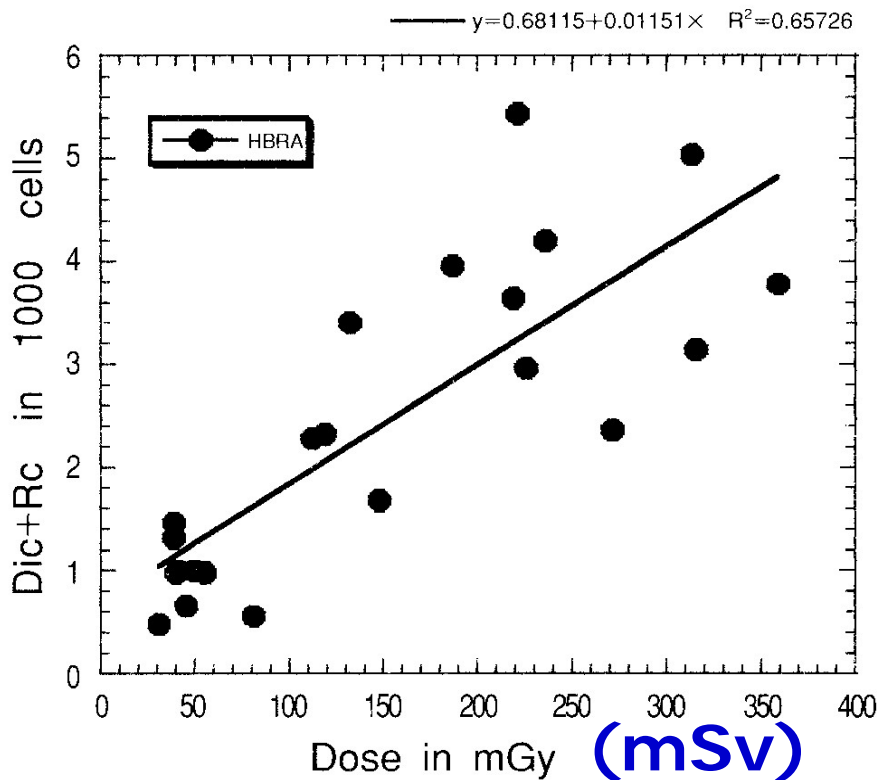


Fig. 2. Dose response in the yield of Dic+Rc in HBRA.

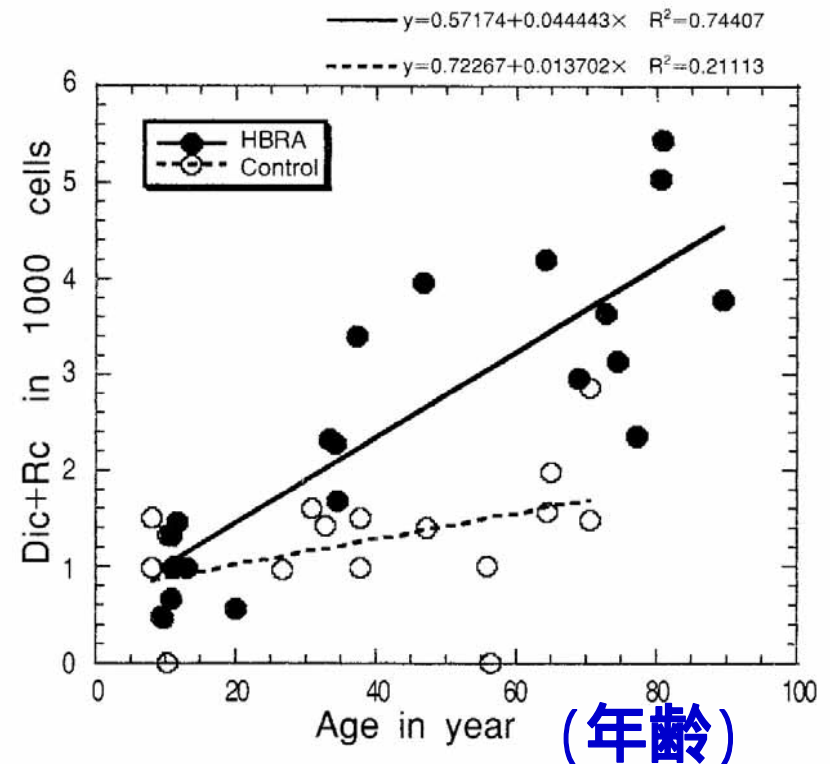


Fig. 1. Age response in the yield of Dic+Rc in HBRA and CA.

高自然放射線地域(広東省陽江)と対照地域 の住民の末梢血リンパ球中の 安定型染色体異常(転座)の頻度

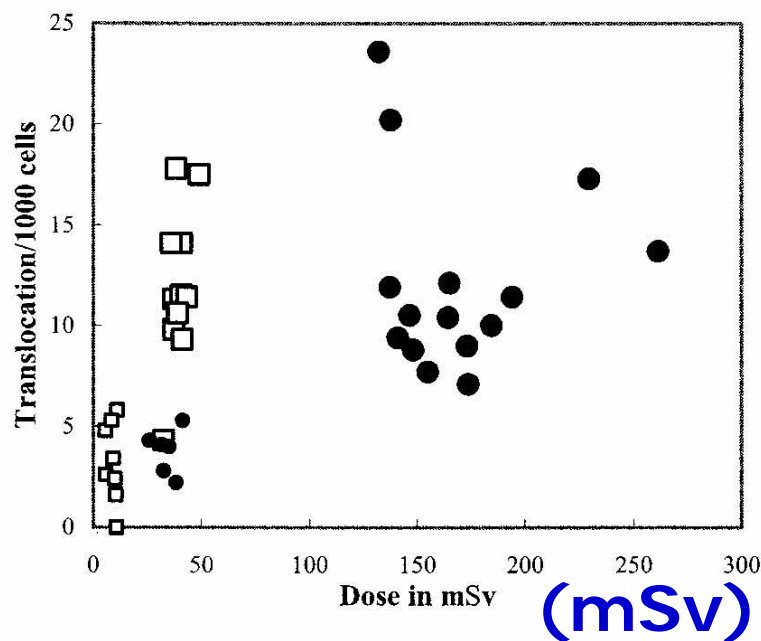


Fig. 2. Frequency of translocations in relation to dose. Smaller circles, HBRA children; larger circles, HBRA elderly persons; smaller squares, control children; larger squares, control elderly persons.

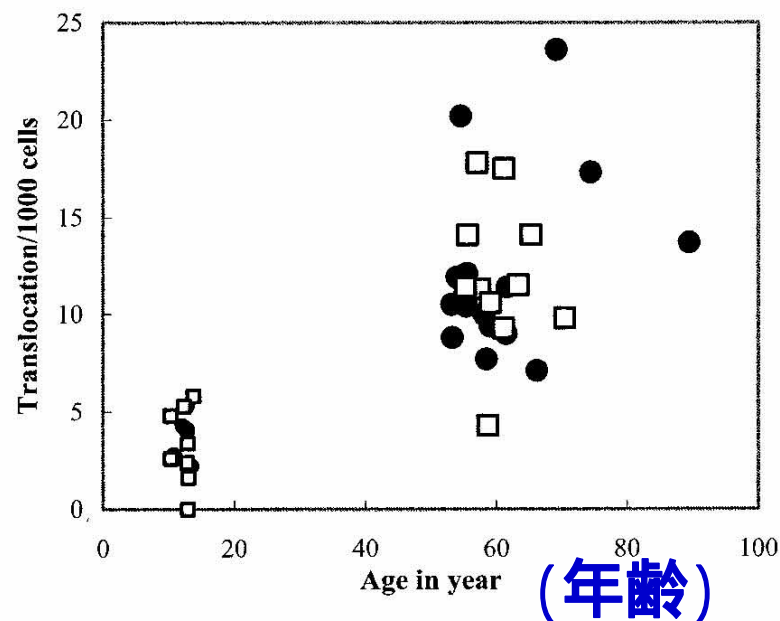


Fig. 3. Frequency of translocations in relation to age. Smaller circles, HBRA children; larger circles, HBRA elderly persons; smaller squares, control children; larger squares, control elderly persons.

インド Kerala州Karunagappally 地区の村毎の人口、屋内外の年線量、がん罹患率、死亡率

STUDY OF HIGH NATURAL RADIATION AREA, KERALA, INDIA

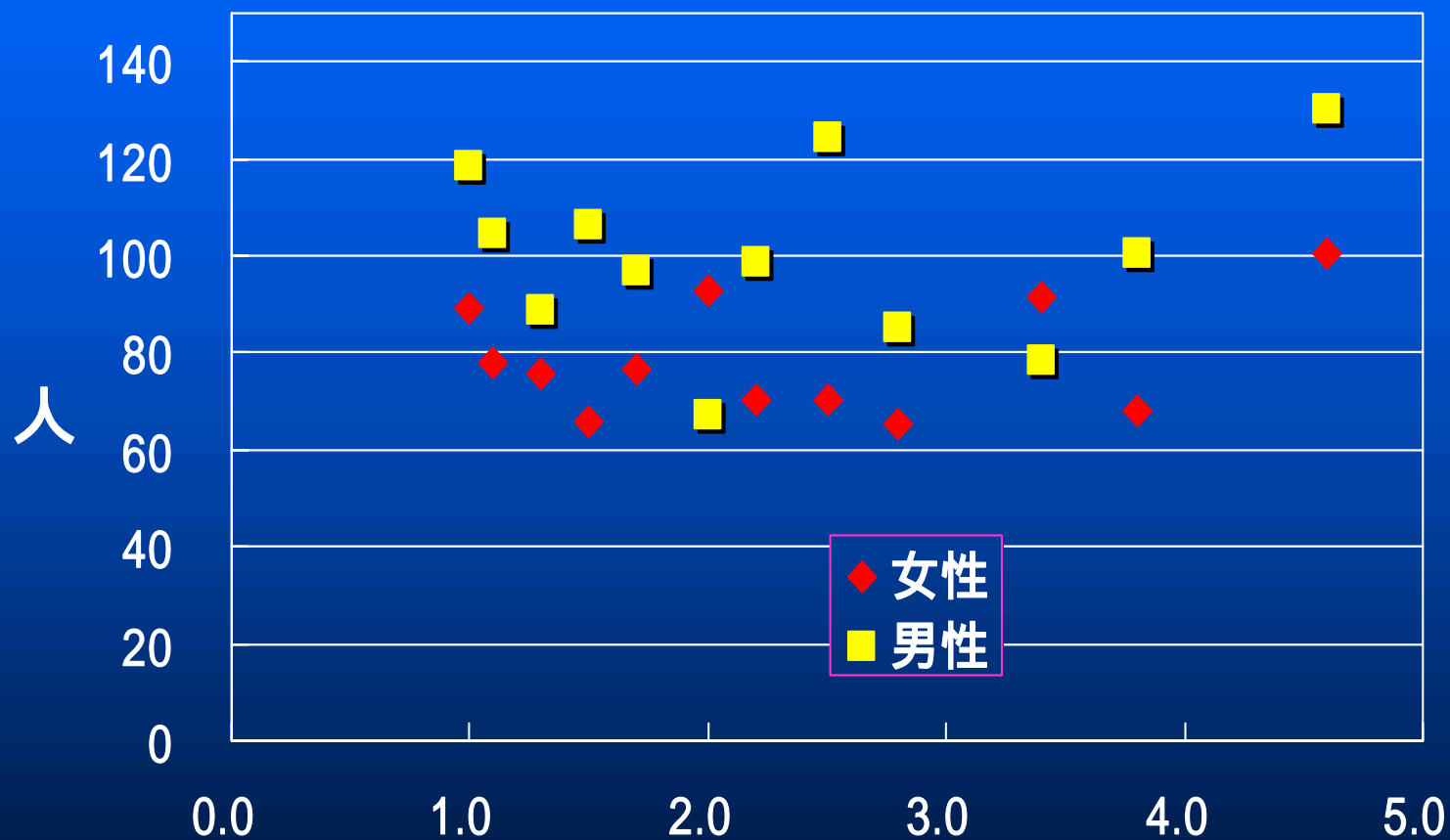
S147

TABLE 2
Estimated Population by Panchayat on July 1, 1993, Median Level of Radiation and Maximum Level Measured, Average Age-Adjusted Annual Cancer Incidence Rate, All-Causes Death Rate/1000, and Cancer Death Rate/100,000 in Karunagappally Taluk, 1990-1996

村 Panchayat	人口 Population		屋内 Inrad (mGy/year)		屋外 Outrad (mGy/year)		がん罹患率 Incidence rate ^a		All-causes death rate per 1000 population		Cancer death rate per 100,000 population	
	Male	Female	Median	Maximum	Median	Maximum	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Chavara	19,566	19,725	3.900	42.902	5.277	63.015	130.1	100.4	4.8	3.2	45.3	31.9
Neendakara	7925	7894	2.524	53.609	4.206	76.475	78.6	91.6	3.8	2.3	23.4	18.1
Panmana	23,505	23,388	2.294	21.413	3.212	30.590	85.3	65.3	5.4	3.5	39.5	26.3
Alappad	12,847	12,359	3.135	25.313	4.512	43.132	100.3	67.8	6.0	3.9	57.8	26.6
Thevalakkara	19,058	19,627	1.224	9.177	1.071	29.825	104.3	78.1	4.8	3.1	41.2	24.0
Thekkumbhagom	7988	8230	1.606	26.766	1.835	37.167	96.7	76.7	5.6	3.9	55.4	34.7
Karunagappally	22,470	22,341	1.912	7.647	2.600	13.765	98.8	70.2	5.3	3.7	37.5	22.4
Thodiyoor	20,861	20,772	1.377	3.977	1.147	5.736	88.9	75.5	4.7	3.1	40.4	23.4
Clappana	10,433	11,222	1.759	5.353	2.141	7.342	67.3	92.7	5.5	4.4	32.9	38.2
Thazhava	18,189	18,935	1.606	10.248	1.377	11.318	106.1	65.9	5.4	3.7	53.4	34.0
K.S. Puram	21,000	21,526	1.988	15.295	3.059	14.530	124.2	70.1	5.6	4.1	52.4	29.9
Oachira	12,119	12,829	1.071	9.559	0.918	12.083	118.6	89.4	6.3	4.1	56.6	30.1
Total taluk	195,962	198,848					102.6	79.8	5.8	3.8	45.5	28.2

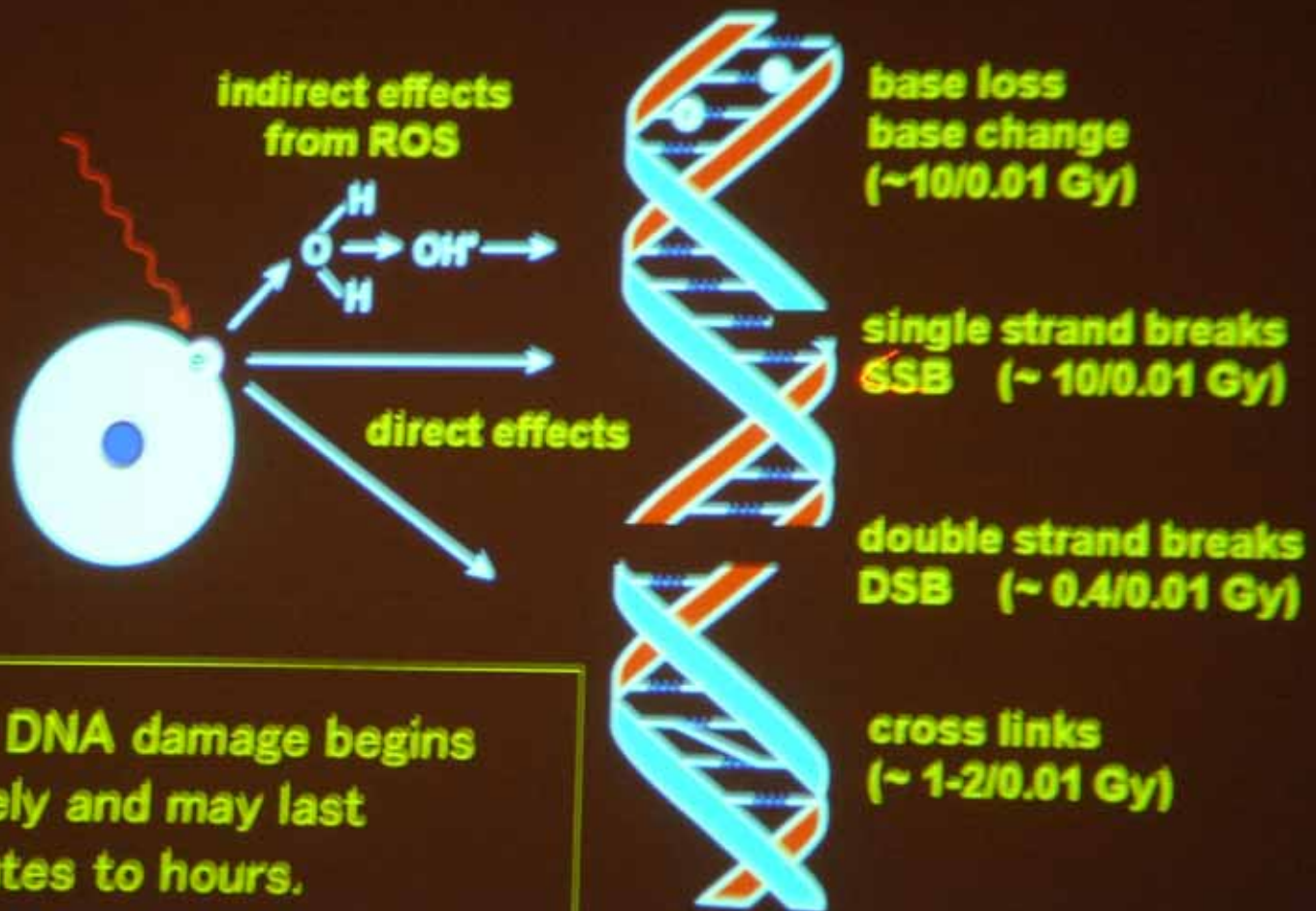
^a Age-adjusted incidence rate per 100,000, adjusted to world population recommended by WHO-IARC.

Kerala州Karunagappally 地区の がん罹患率(人口10万人あたり)1990-1996年



屋内外平均年線量の中央値 (mGy/年)

Radiation Effects on DNA

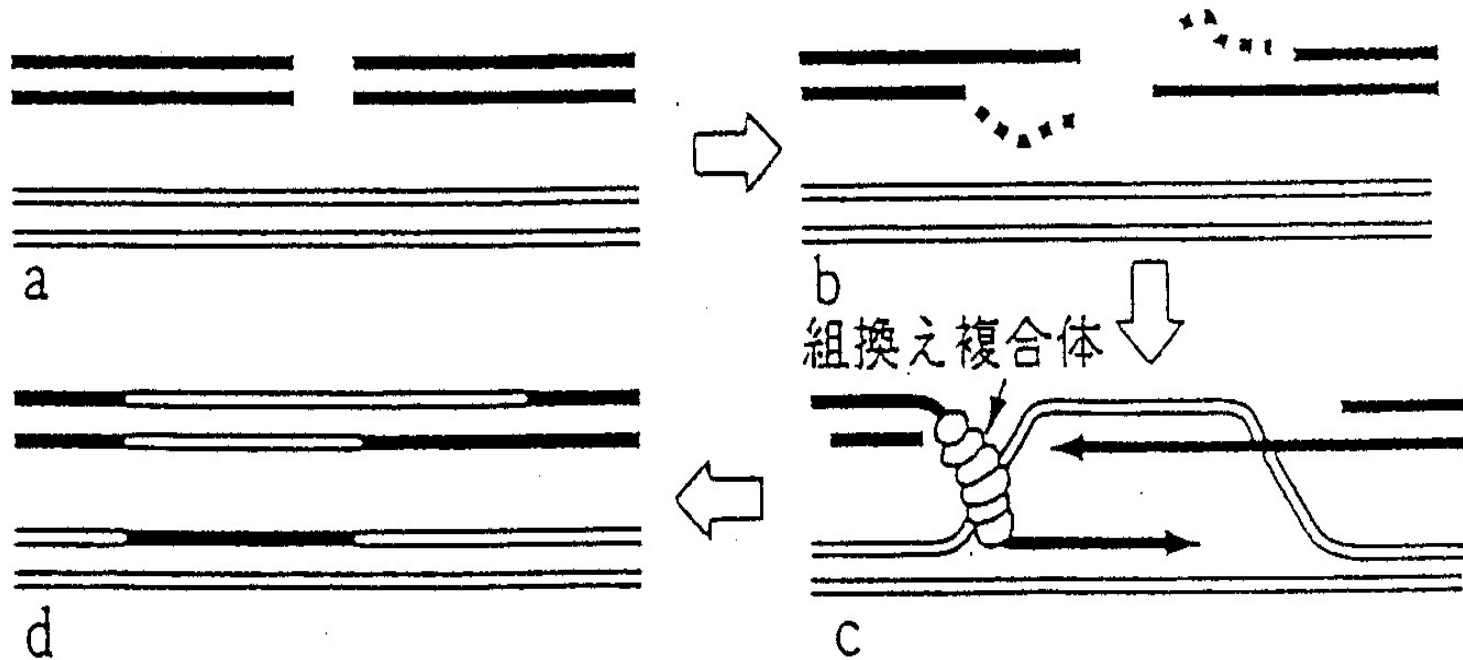


Repair of DNA damage begins immediately and may last from minutes to hours.

DNAの損傷の種類と量

傷の種類	自然の傷 (/ 細胞 / 日)	放射線の傷 (/ 細胞 / Gy)
塩基損傷	20,000	300
1本鎖切断	50,000	1,000
2本鎖切断	10(推定)	30

近藤宗平、日本原子力学会誌、Vol. 40, No.7, 13-19 (1998)



組換え修復の模型

a. DNA の 2 本鎖切断と並列に相同 DNA 鎖が近接。 b. 2 本鎖切断端が部分的に壊れて 1 本鎖が露出。 c. 露出した 1 本鎖が無傷の相同 DNA 鎖の相同部分に侵入して、相同鎖との組換えが起こる。 図示した組換え複合体は数種のタンパク質分子の集まり。 主役は Rad51 遺伝子の生産する Rad51 タンパク質。 d. 組換え修復の完了図： 2 本鎖切断部分（2 本黒バーの欠損部分）に相同 DNA（2 本鎖白バー）から欠損部分と同じ配列の DNA 塩基を含む部分が移植され、移植された部分は再合成で穴埋めが起こる。

細胞レベルの変化

適応応答

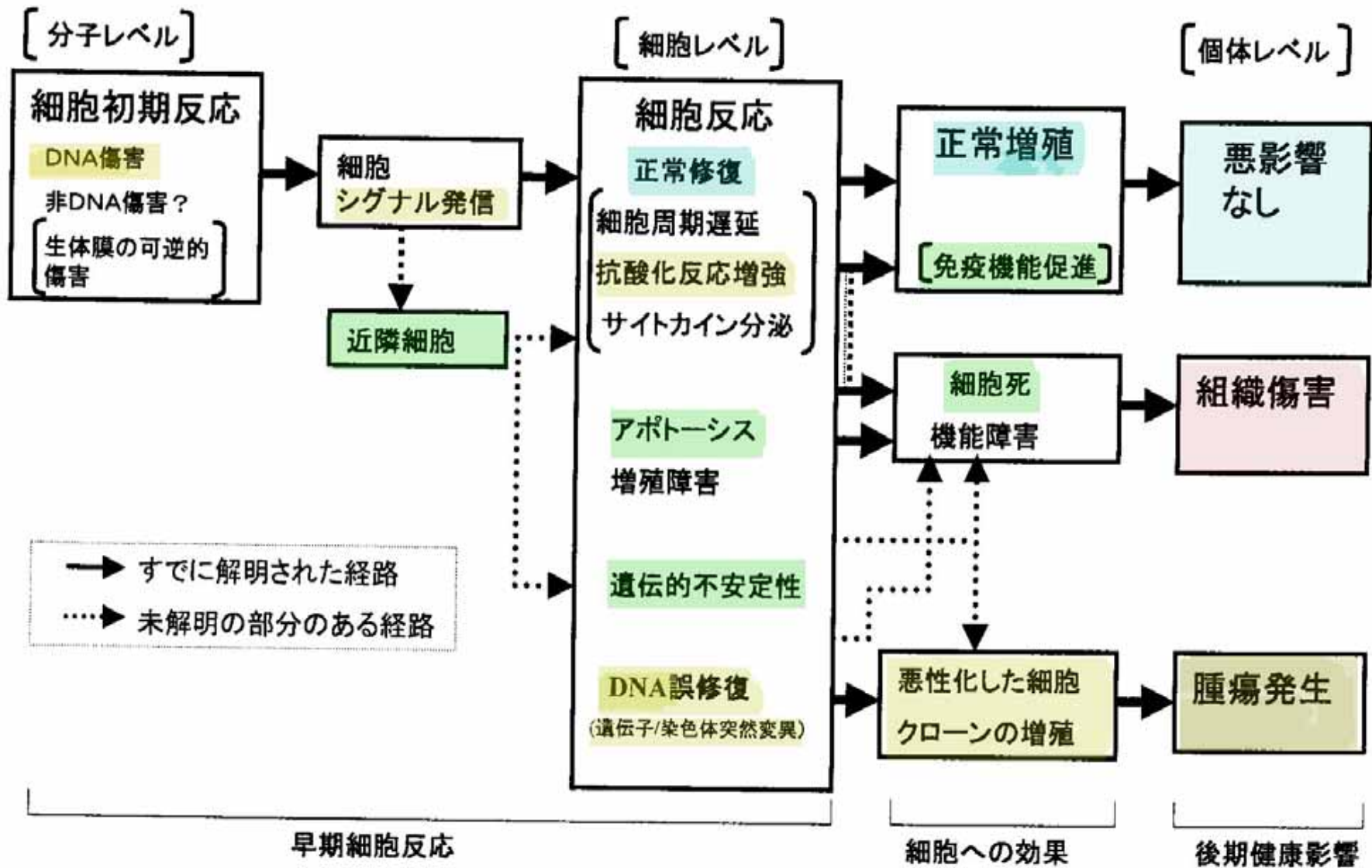
- 小線量が大線量に対する応答を変える
- 小線量は自然発生の障害を減少させる

バイスタンダー効果

- 細胞はエネルギーの沈着なしに応答する
- 細胞間の情報交換
- 物質が媒質に

遺伝的不安定性

- 放射線被ばく後、何世代も経た後に遺伝的な制御を失う



第 7 図 体細胞への初期放射線障害と細胞反応と後期健康影響をつなぐ経路。

(UNSCEAR Outline 2001 文書 Fig.1. に松原加筆：[],部)

マウスでの適応応答実験

事前照射

弱い放射線

0.05 Gy (50 ミリシーベルト)

0.5 Gy (500 ミリシーベルト)



(飼育)

再照射

強い放射線

~ 8 Gy (8,000 ミリシーベルト)



生残率

(生死判定)

Two types of X-ray-induced radioresistance in mice: Presence of 4 dose ranges with distinct biological effects

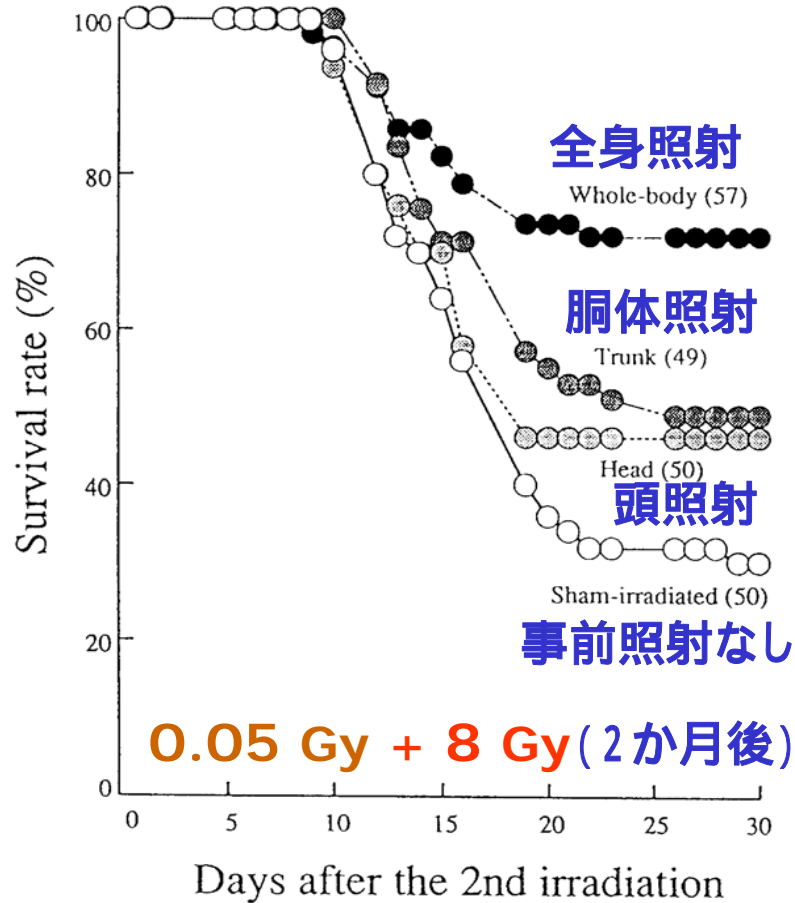


Fig. 2. Survival rates of mice partially irradiated with the priming dose of 0.05 Gy of X rays 2 months prior to the second irradiation with 8.0 Gy. Numbers in parentheses represent the number of mice used.

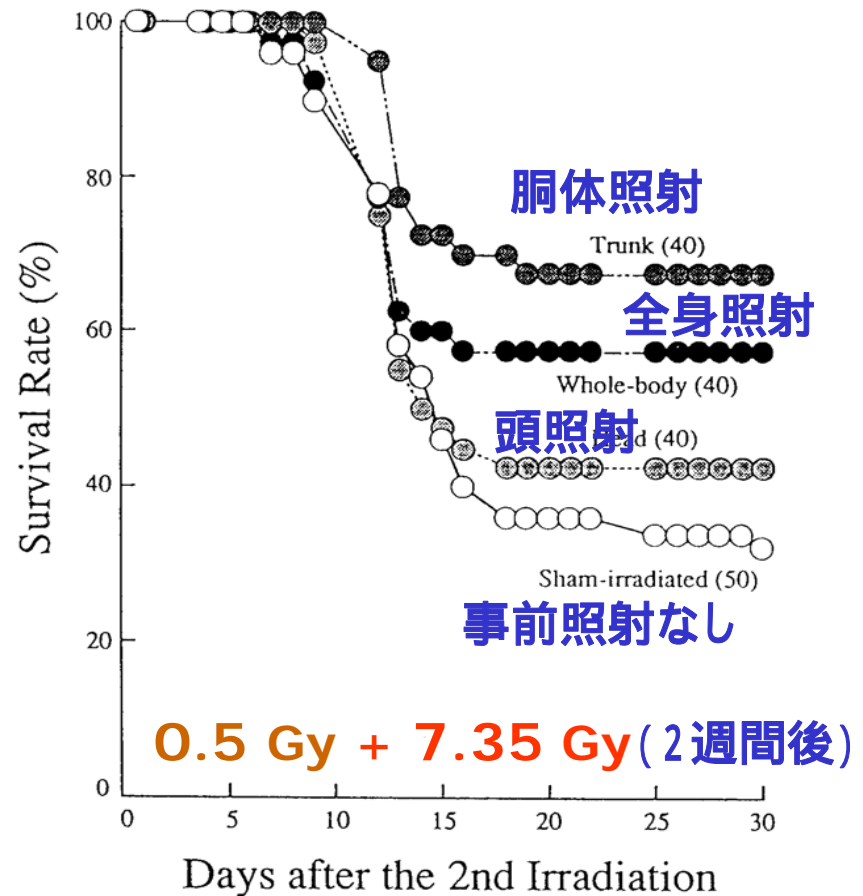
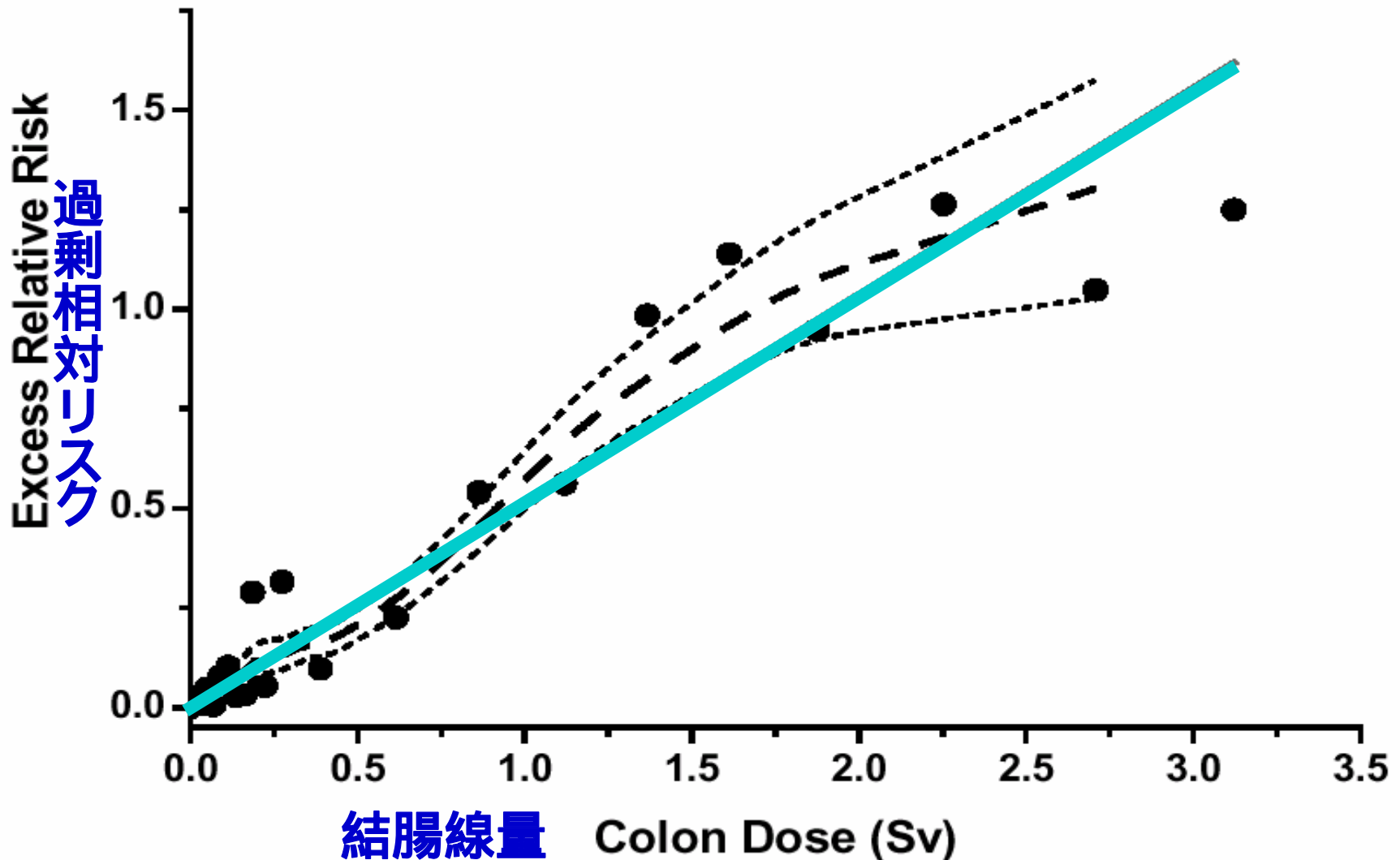


Fig. 3. Survival rates of mice partially irradiated with the priming dose of 0.50 Gy of X rays 2 weeks prior to the second irradiation with 7.35 Gy. Numbers in parentheses represent the number of mice used.

固形がんの線量-応答関数

(両性の平均。30歳で被爆、70歳において)

Preston et al. Radiat Res 160:381-407, 2003



おわりに

交絡因子の影響もあり、大規模な疫学調査によっても作業者に対する線量限度(50 mSv/年)程度以下の電離放射線被ばくでは、有害な健康影響の検出は困難なようである。