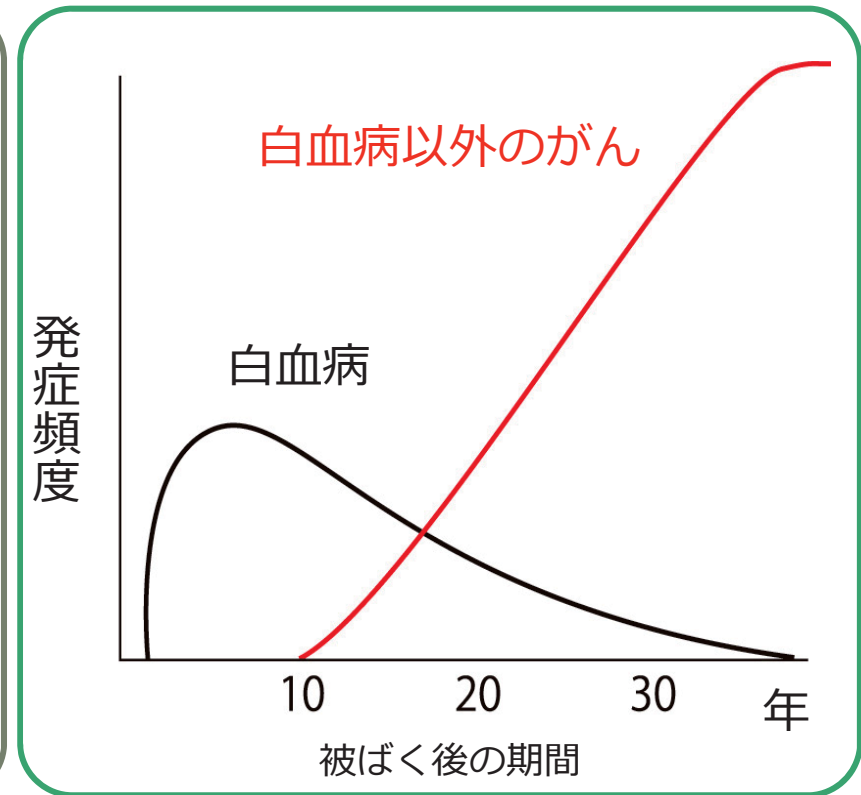
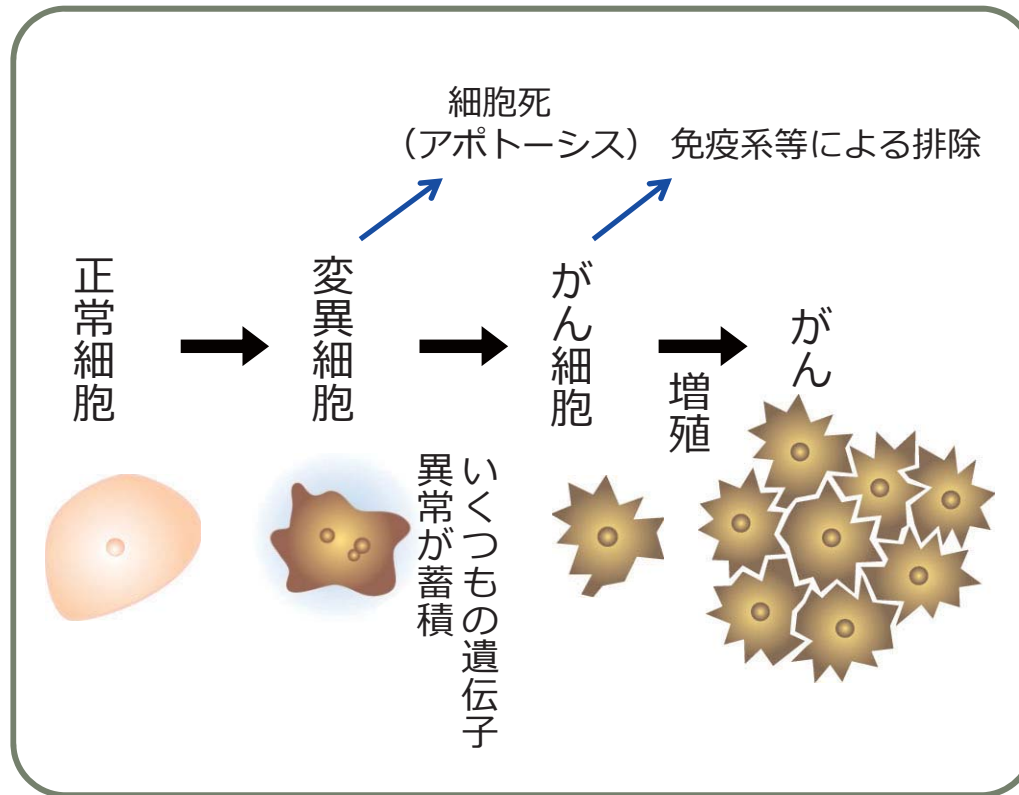
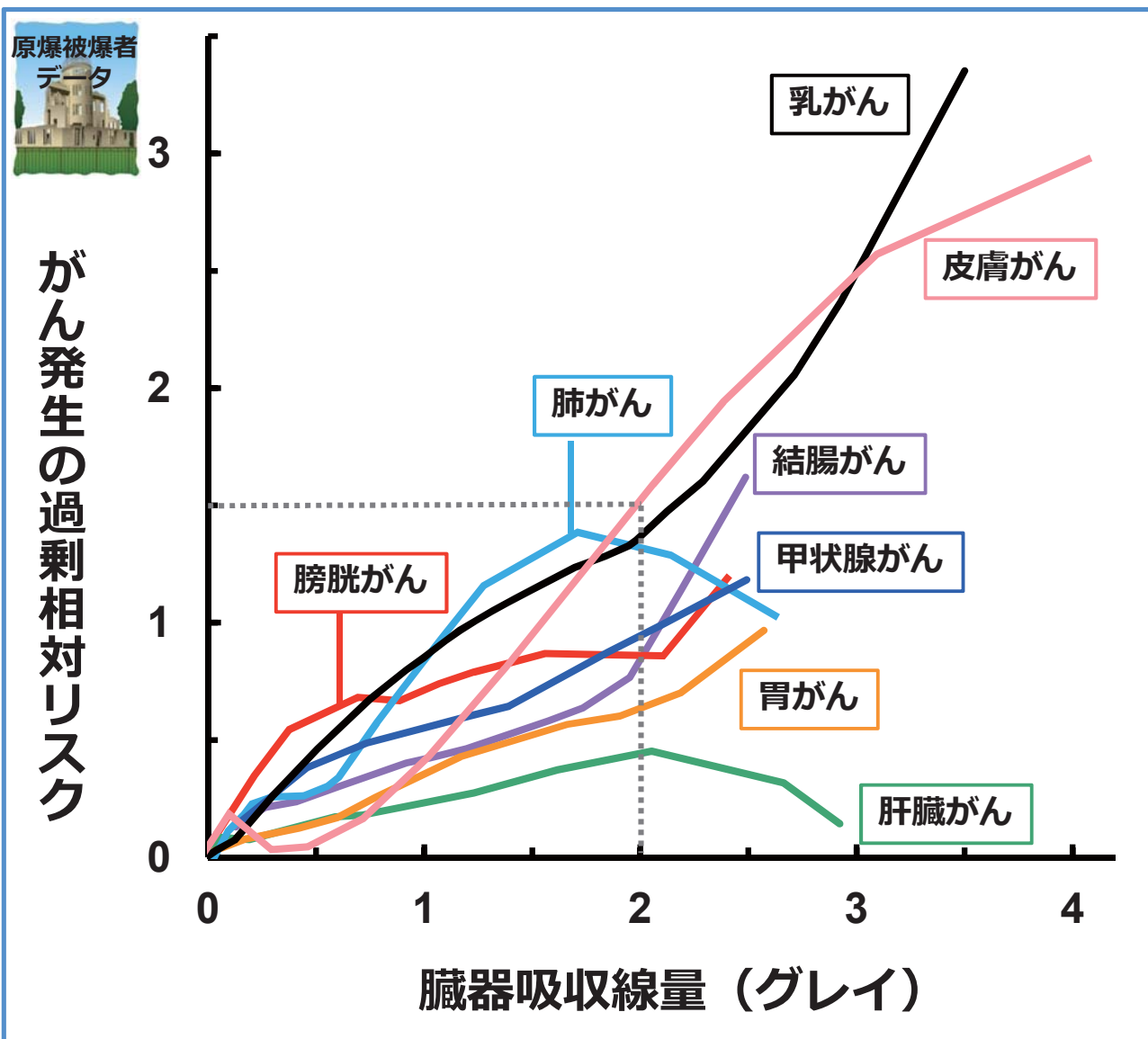


発がんの仕組み



- ・放射線はがんを起こす様々なきっかけの一つ
- ・変異細胞ががんになるまでには、いろいろなプロセスが必要
→数年～数十年掛かる

放射線感受性の高い組織・臓器



組織	組織加重係数 w_T ※
骨髄(赤色)、胃、肺、結腸、乳房	0.12
生殖腺	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01
残りの組織の合計	0.12

出典：国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告

※放射線による影響のリスクが大きい臓器・組織ほど大きい値になる。

出典：Preston et al., Radiat Res, 168, 1, 2007より作成

年齢による感受性の差

子供は小さな大人ではない

	ヨウ素131の 預託実効線量係数※1 ($\mu\text{Sv/Bq}$)	ヨウ131を100Bq 摂取したときの 預託実効線量(μSv)	ヨウ131を100Bq 摂取したときの 甲状腺等価線量※2(μSv)
3か月児	0.18	18	450
1歳児	0.18	18	450
5歳児	0.10	10	250
大人	0.022	2.2	55

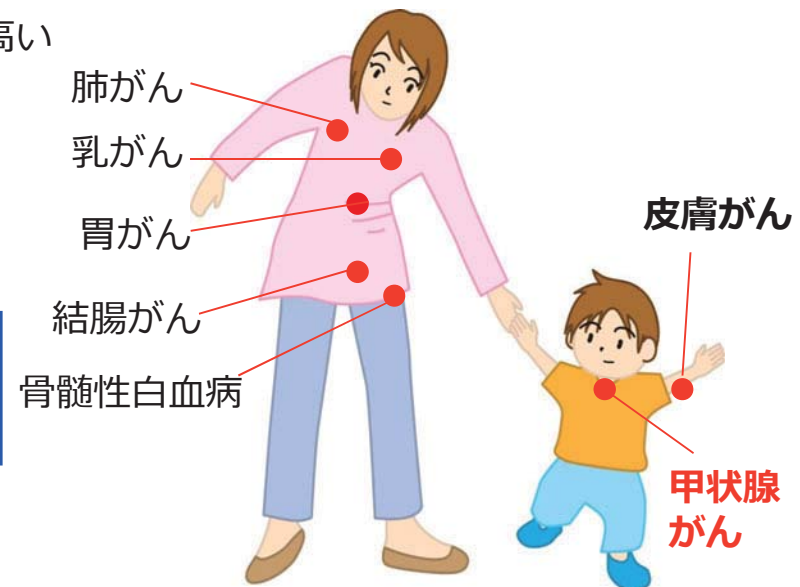
※1：代謝や体格の違いから、子供は預託実効線量係数が高い

※2：甲状腺の組織加重係数は0.04から算出

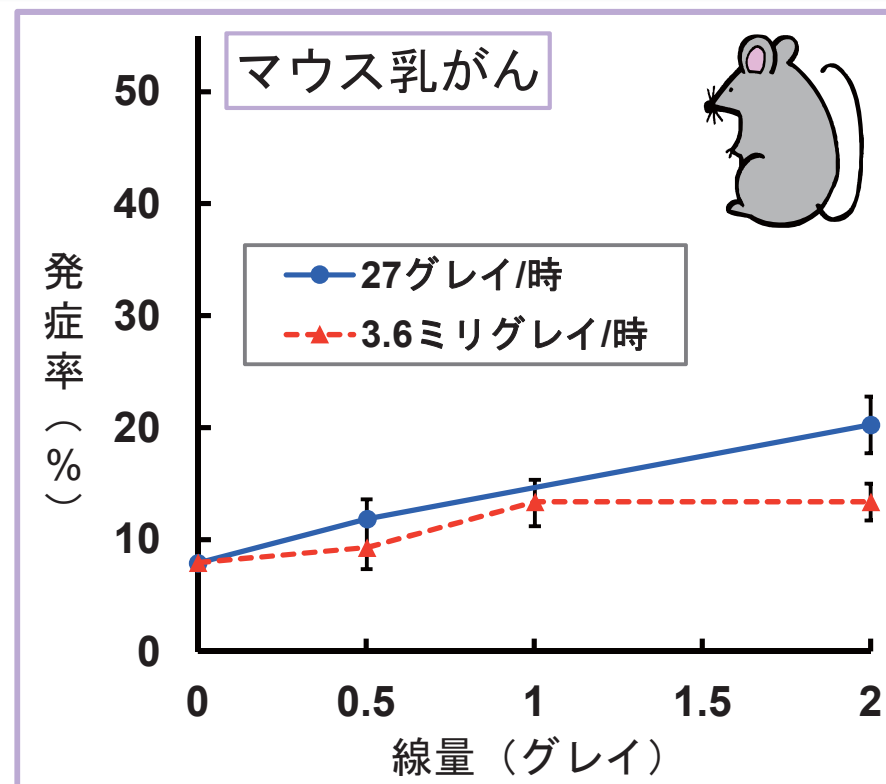
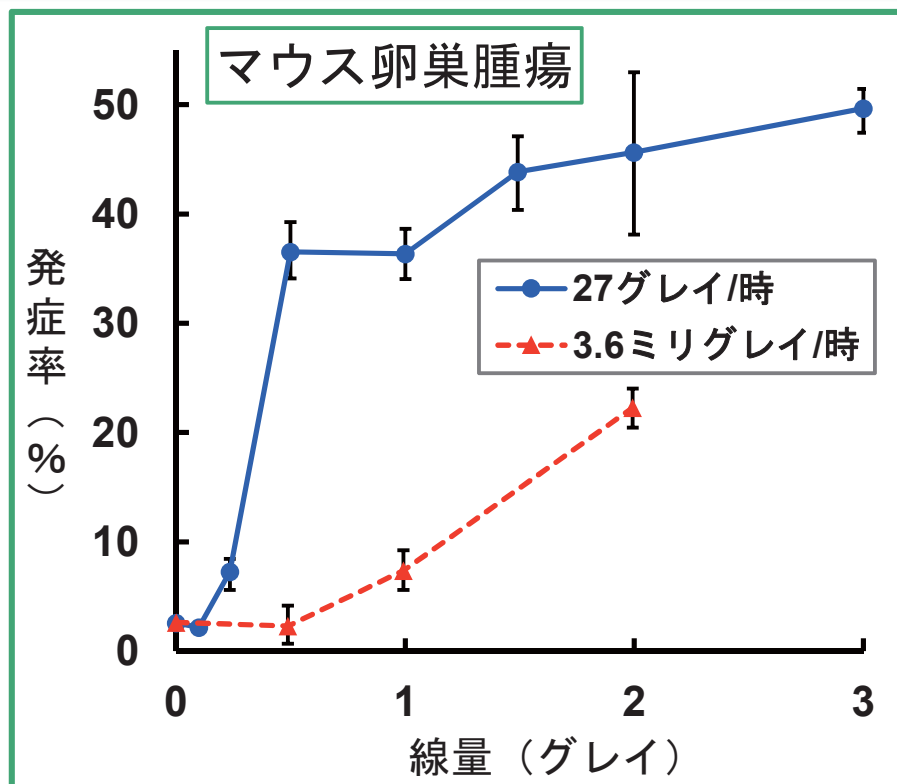
出典：国際放射線防護委員会（ICRP），ICRP Publication 119，
Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60，
2012

子供では大人と比較して、甲状腺
や皮膚のがんリスクが高くなる

$\mu\text{Sv/Bq}$: マイクロシーベルト/ベクレル



低線量率被ばくが発がんへの影響



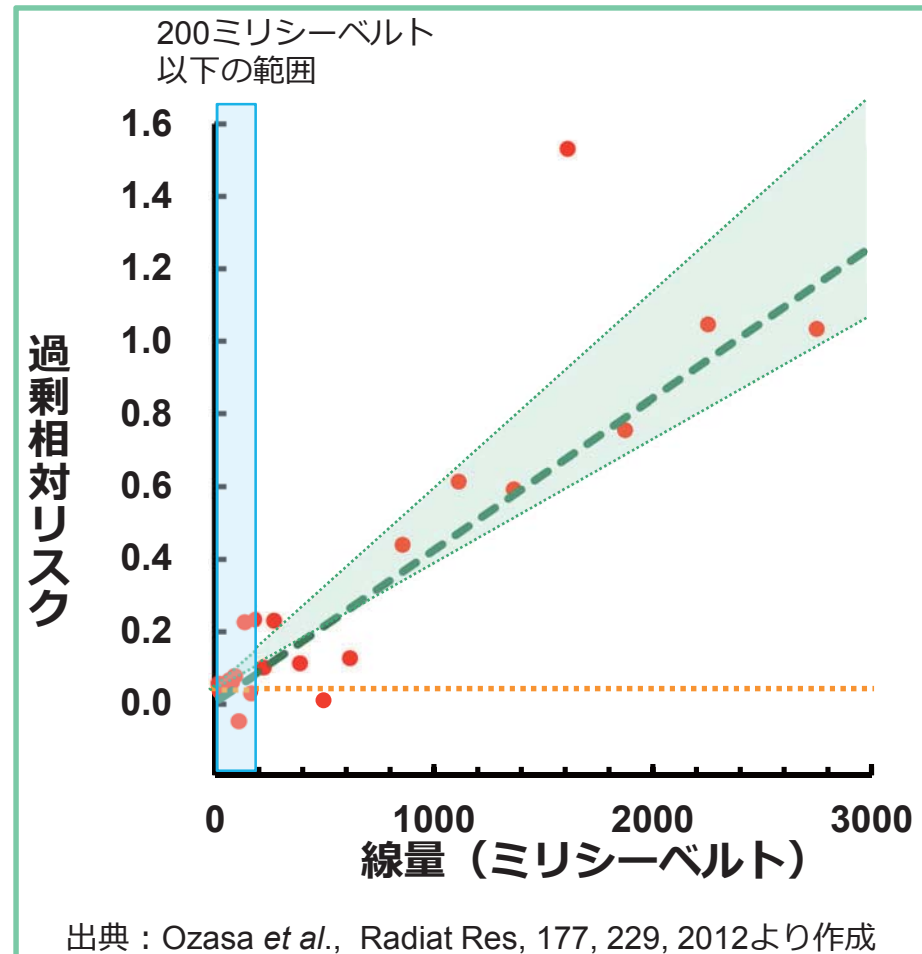
出典：国連科学委員会（UNSCEAR）1993

$$\text{低線量・低線量率のリスク} = \frac{\text{高線量・高線量率のリスク}}{\text{線量・線量率効果係数}}$$

機関	線量・線量率効果係数
国連科学委員会(UNSCEAR)1993	3より小さい（1～10）
全米科学アカデミー(NAS)2005	1.5
国際放射線防護委員会(ICRP)1990,2007	2



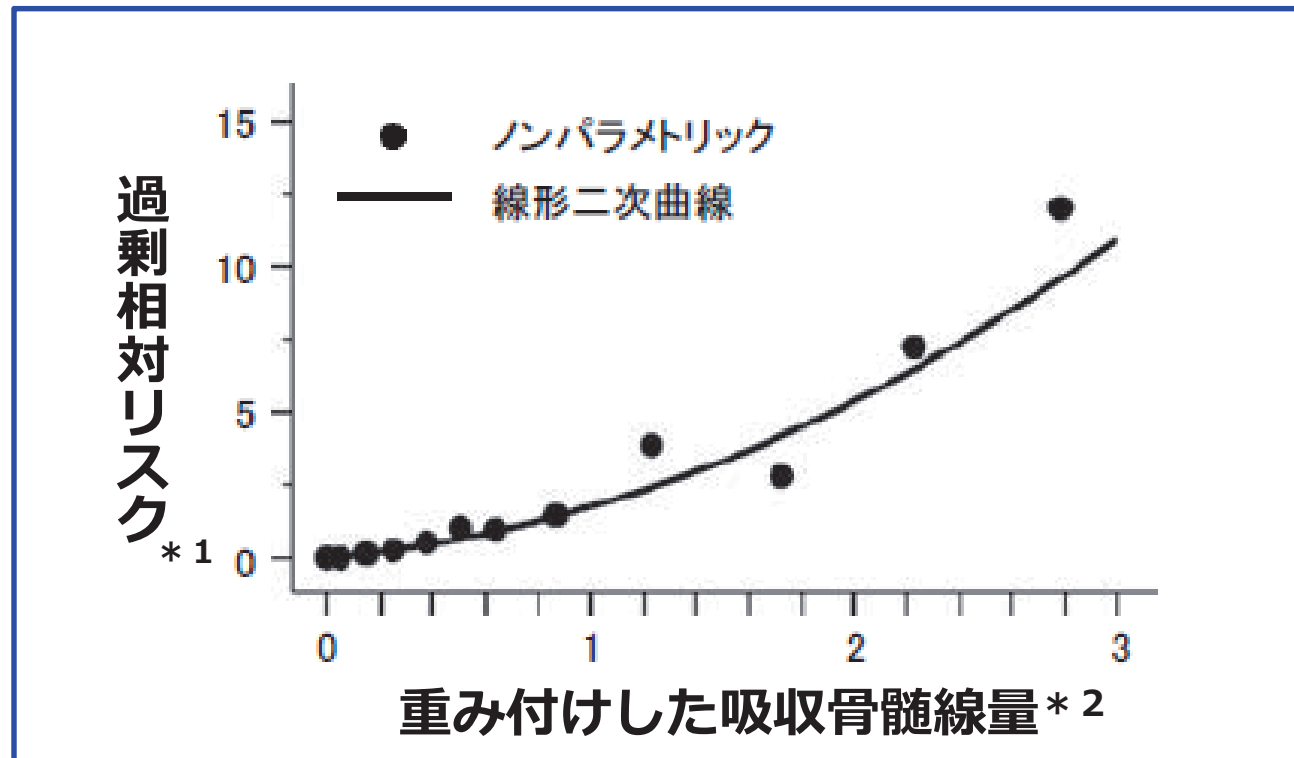
固形がんによる死亡（原爆被爆者での結果）



過剰相対リスク：放射線を受けなかった集団に比べ、放射線を受けた集団ではどのくらいがん発生のリスクが増加したかを調べたもの



広島・長崎原爆被爆者における白血病の線量反応



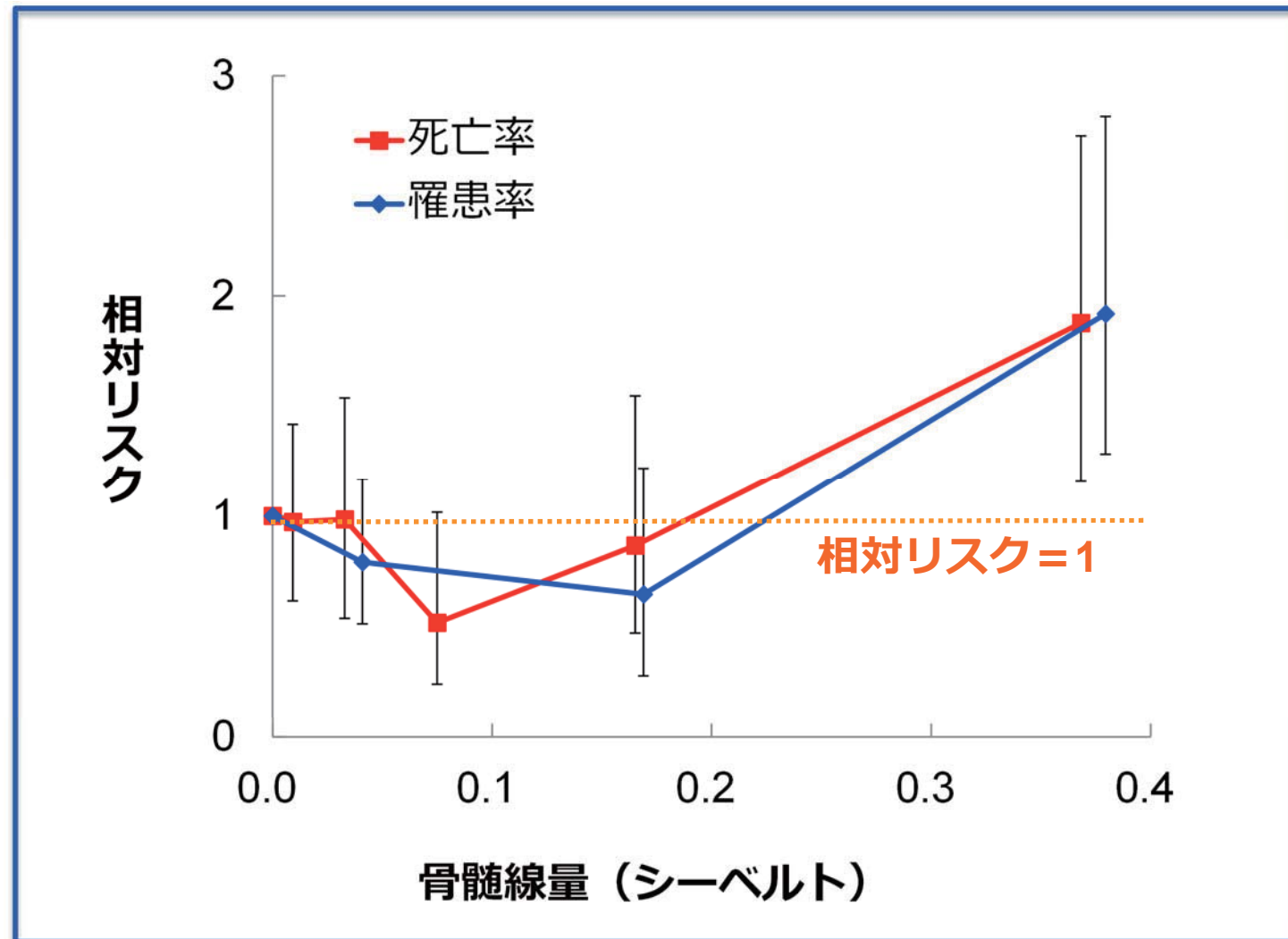
※1 : 放射線被ばくを受けた場合の死亡率（または罹患率）の、被爆を受けなかった場合の死亡率（または罹患率）に対する増加分を示す指標。放射線被爆によって何倍増えたかを示す。

※2 : 白血病の場合、重み付けした骨髓線量（中性子線量を10倍したものとγ（ガンマ）線量の和）を使用

出典 : Wan-Ling Hsu et.al. The Incidence of Leukemia, Lymphoma and Multiple Myeloma among Atomic Bomb Survivors: 1950–2001, RADIATION RESEARCH 179, 361–382 (2013)より作成



原爆被爆者における白血病のリスク



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）2006年報告書より作成



原爆被爆者の被ばく時年齢別の生涯リスク

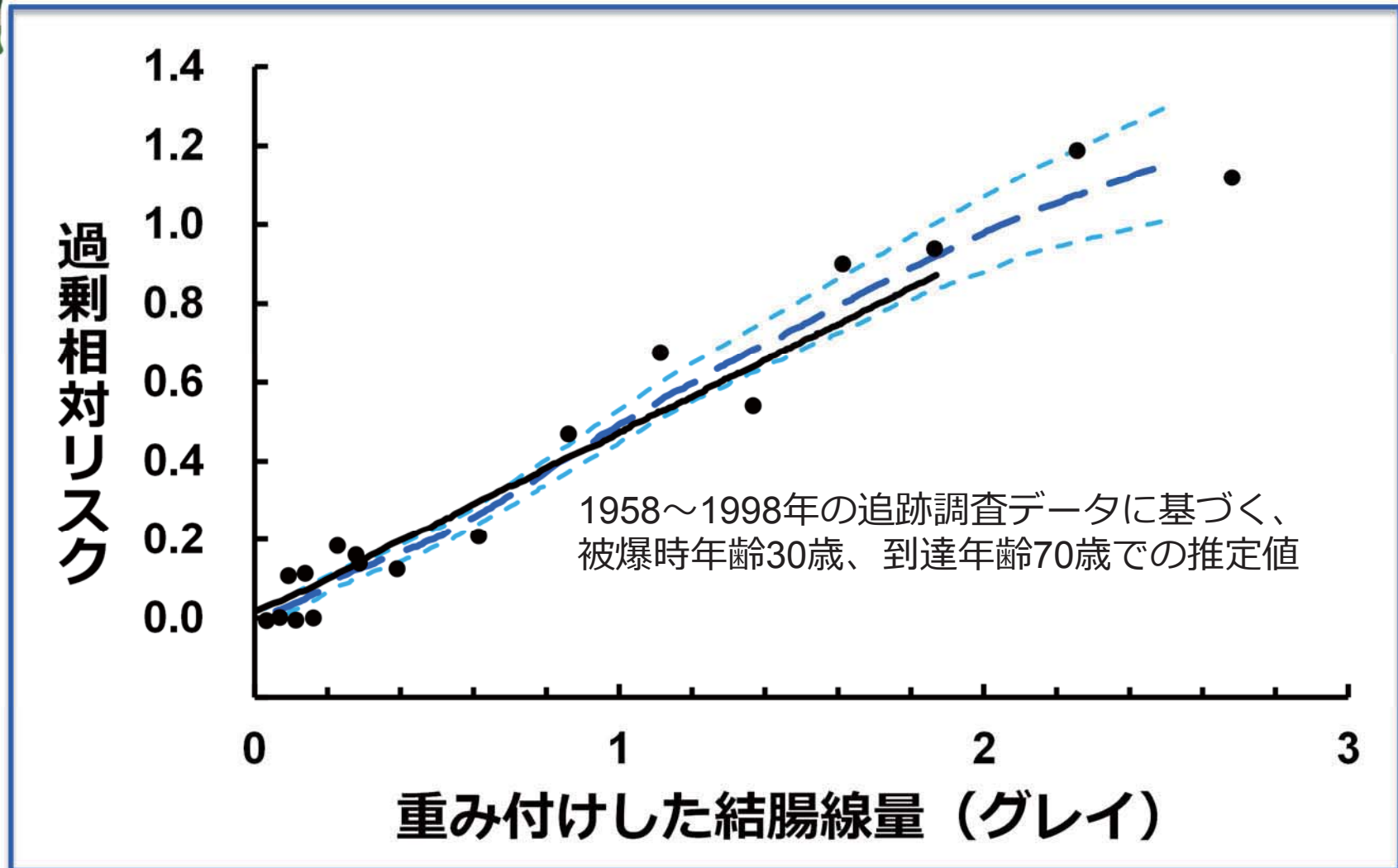
被ばく時 年齢 (歳)	性	100mSv当たりの癌 死亡生涯リスク (%)	バックグラウンド 癌死亡リスク (%)	100mSv当たりの白 血病死亡生涯リスク (%)	バックグラウンド 白血病死亡 生涯リスク (%)
10	男性	2.1	30	0.06	1.0
	女性	2.2	20	0.04	0.3
30	男性	0.9	25	0.07	0.8
	女性	1.1	19	0.04	0.4
50	男性	0.3	20	0.04	0.4
	女性	0.4	16	0.03	0.3

出典：

- Preston DL et.al., Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. Radiat Res., 2003 Oct;160(4):381-407.
- Pierce DA et.al., Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990 Radiat Res., 1996 Jul;146(1):1-27.



広島・長崎原爆被爆者における固形がんの線量反応



出典：Preston *et al.*, Radiat Res, 168,1, 2007より作成

被ばく年齢ごとの生涯リスク



広島・長崎の原爆生存者の調査結果

100ミリシーベルト（mSv）での急性被ばくによる推定

被ばく時 年齢	性	被ばくがない時の 発がんリスク (A) (%)	被ばくによる 過剰な生涯リスク※ (B) (%)	被ばくがある時 の発がんリスク (A+B) (%)
10歳	男	30	2.1	32.1
	女	20	2.2	22.2
30歳	男	25	0.9	25.9
	女	19	1.1	20.1
50歳	男	20	0.3	20.3
	女	16	0.4	16.4

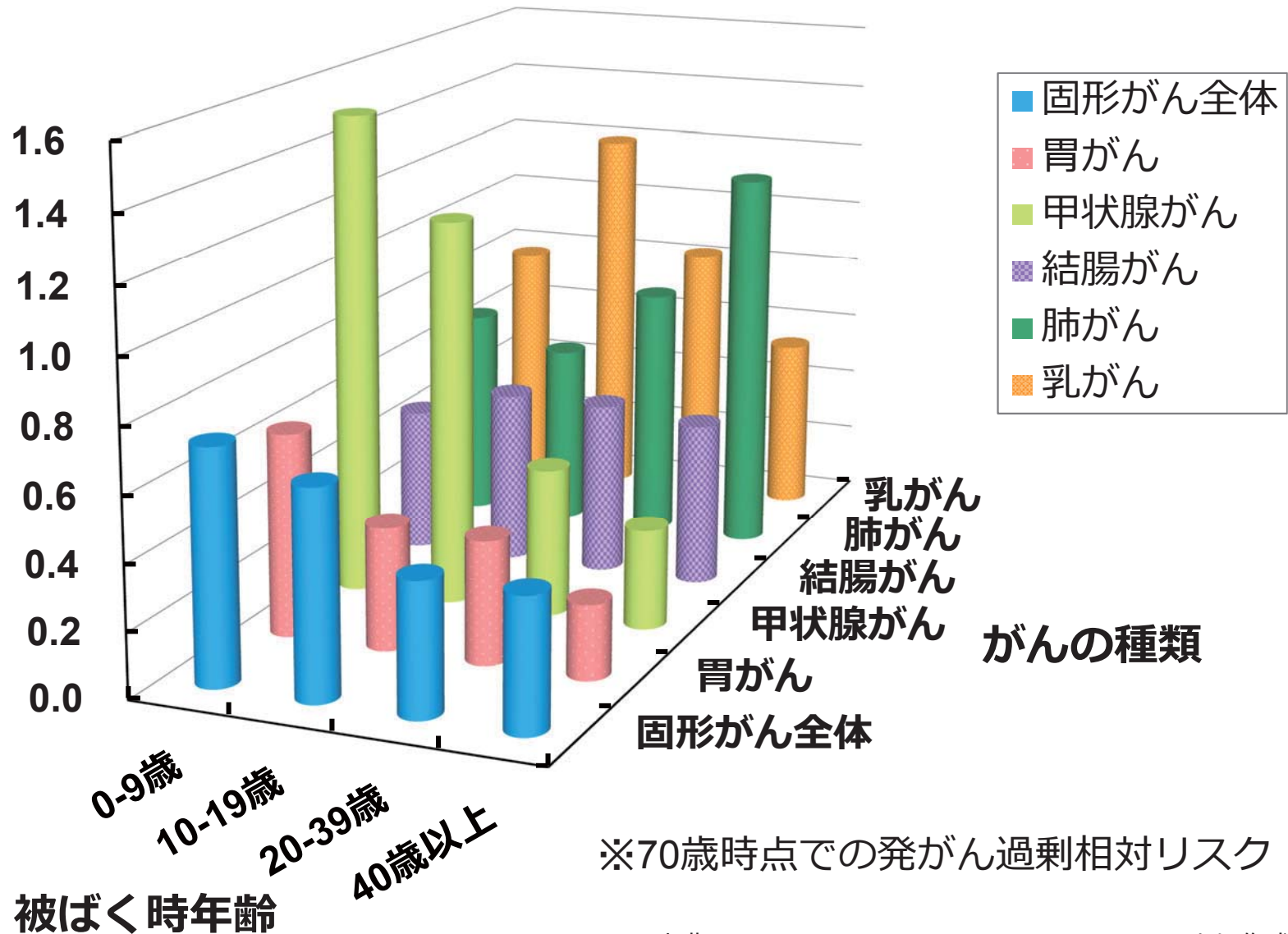
※被ばくした集団と被ばくしていない集団における生涯の間にがんで死亡する確率の差
10歳の男性が、被ばくしないときにはその後の生涯で**30%**の発がんの可能性があるが、
100mSv被ばくすると、被ばくにより**2.1%**増加し、**32.1%**になると推定される。

被ばく時年齢とがんの種類



過剰相対リスク※
(1グレイ当たり)

被ばく時年齢ごとの発がん過剰相対リスク



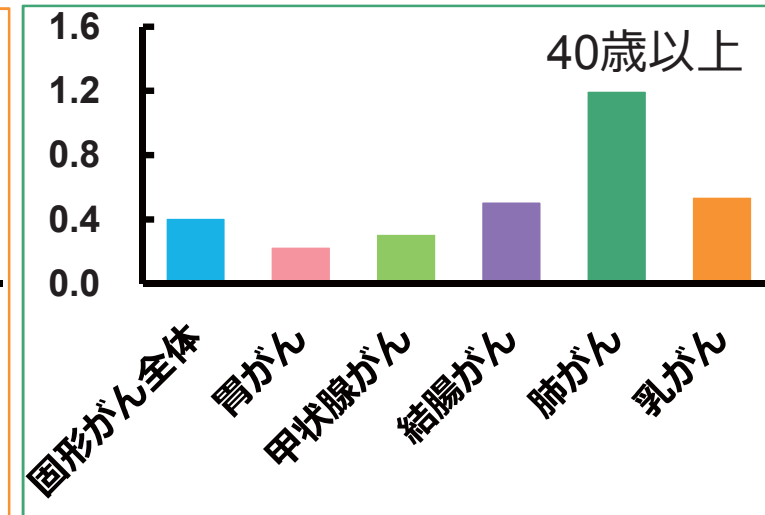
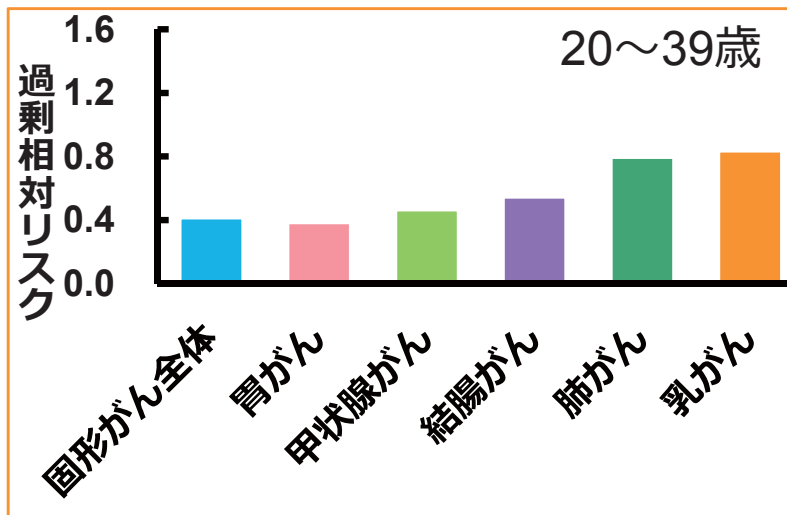
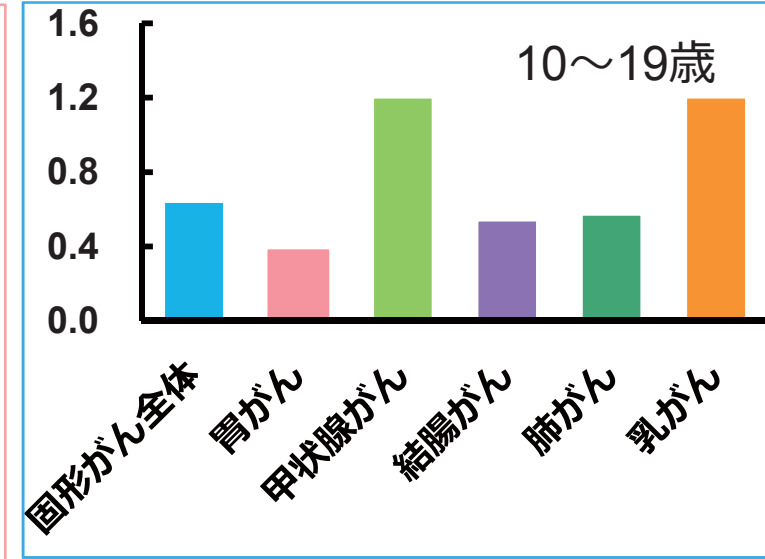
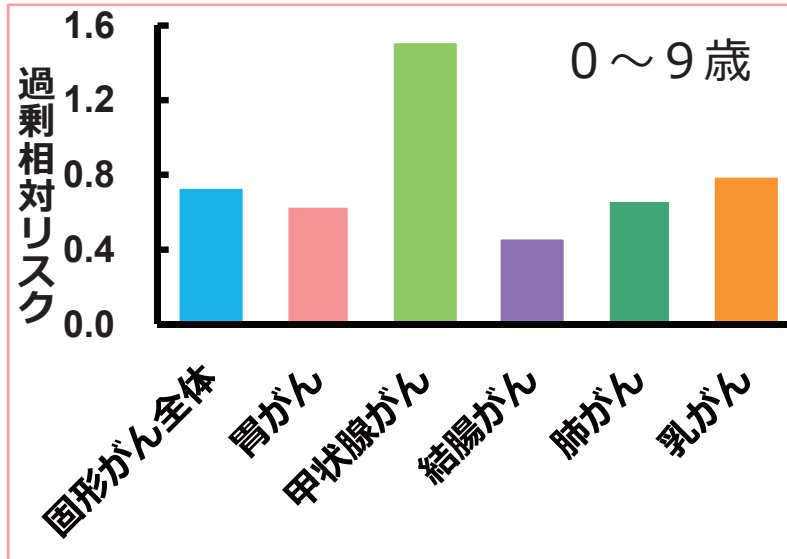
出典：Preston et al., Radiat Res, 168,1, 2007より作成

被ばく時年齢別発がんリスク



被ばく時年齢ごとの発がん過剰相対リスク

※70歳時点での発がん過剰相対リスク（1グレイ当たり）

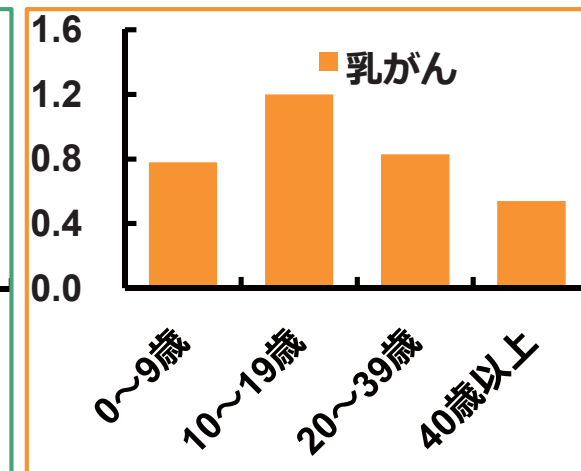
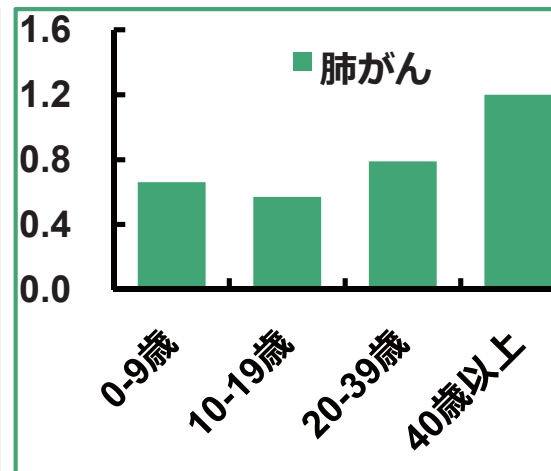
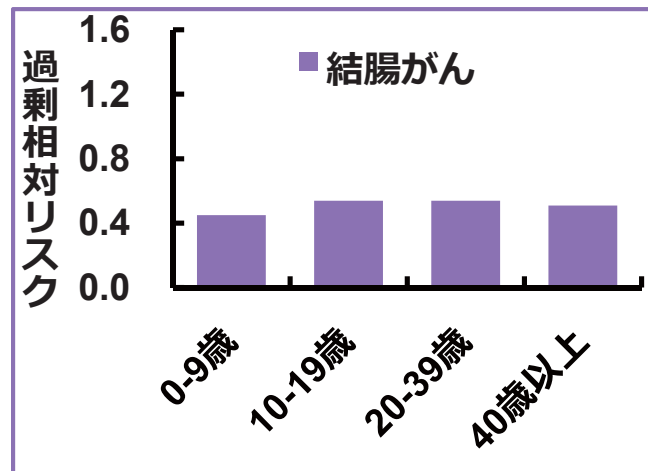
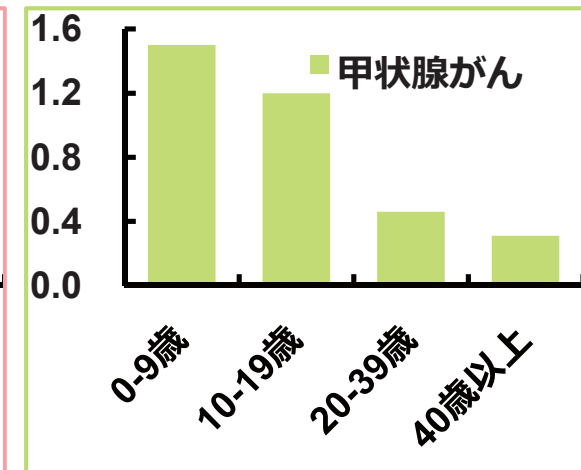
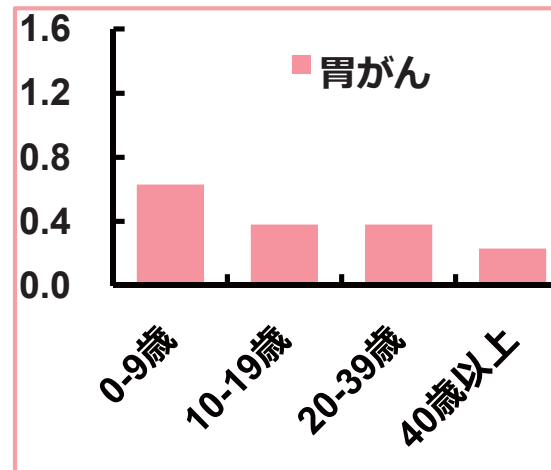
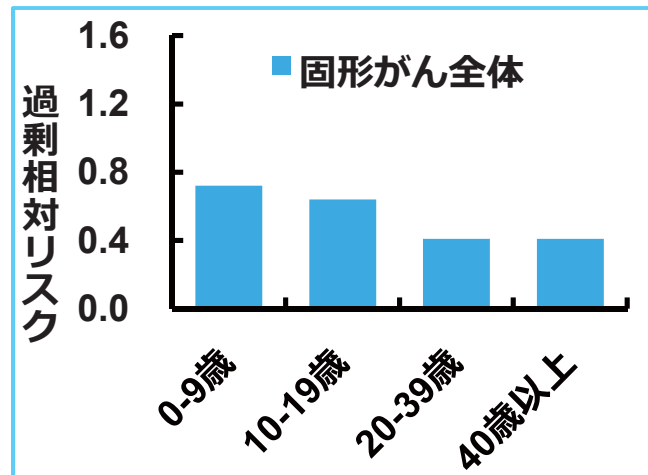


出典：Preston et al., Radiat Res, 168,1, 2007より作成



がんの種類ごとの年齢による発がん過剰相対リスク

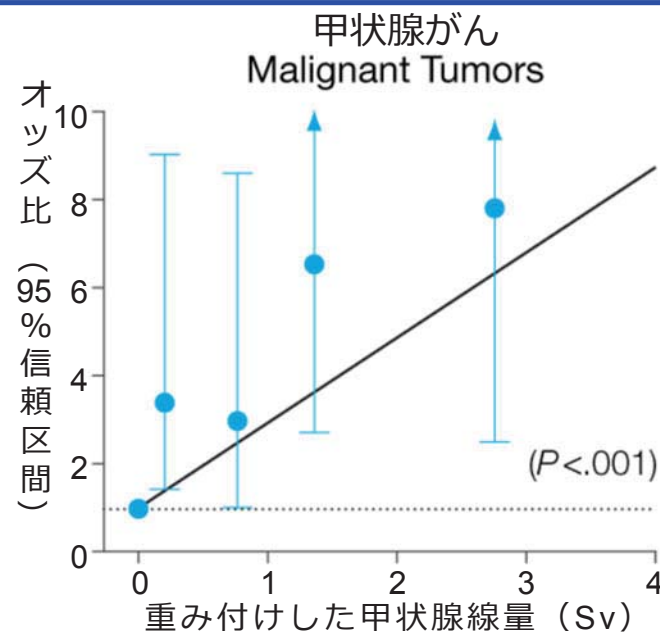
※70歳時点での発がん過剰相対リスク（1グレイ当たり）



出典：Preston et al., Radiat Res, 168,1, 2007より作成

急性外部被ばく の発がん

原爆被爆者における甲状腺がんの発症



出典：(公財)放射線影響研究所,
JAMA 2006;295(9):1011-1022

微小乳頭がんの解析

mGy：ミリグレイ

重み付けした 甲状腺線量	平均 線量 (mGy)	対象 (人)	発見数 (人)	オッズ比※ (95%信頼区間)
<5mGy	—	755	33	1
5～ 100mGy	32	936	36	0.85 (0.52～1.39)
100～ 500mGy	241	445	22	1.12 (0.64～1.95)
500mGy<	1237	236	15	1.44 (0.75～2.67)

出典：Hayashi et al., Cancer, 116, 1646, 2010

※オッズ比：ある事象の起こりやすさを2つの集団で比較したときの、統計学的な尺度。
オッズ比が1より大きいとき、対象とする事象が起こりやすいことを示します。
それぞれの集団である事象が起こる確率をp（第1集団）、q（第2集団）としたとき、
オッズ比は次の式で与えられます。

$$p \text{ のオッズ } \div q \text{ のオッズ } = p / (1 - p) \div q / (1 - q)$$

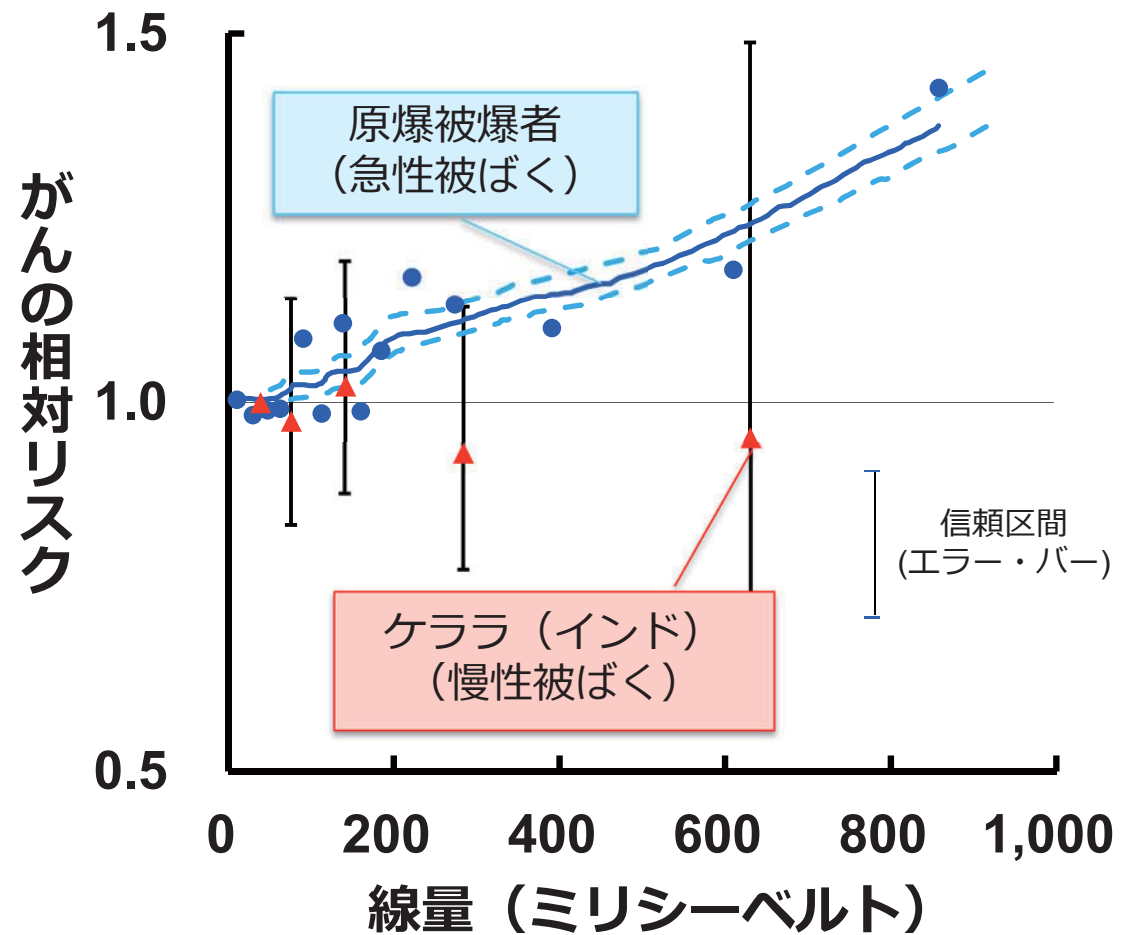
95%信頼区間が1を含んでいなければ、統計学的に有意であるといえます。

インド高自然放射線地域住民の発がん



ケララ（インド）
戸外平均線量 4 mSv/年以上
高い地域では～70mSv/年

mSv：ミリシーベルト



出典：Nair *et al.*, Health Phys 96, 55, 2009;Preston *et al.*, Radiat.Res.168,1, 2007より作成

甲状腺に関する基礎的情報 甲状腺被ばく

チェルノブイリ原発事故による セシウム137の内部被ばく

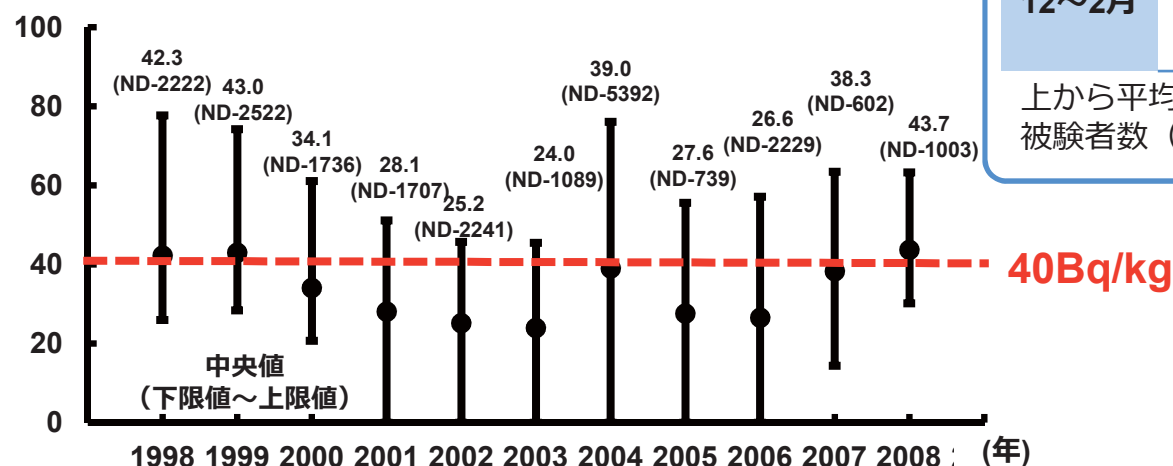


体内のセシウム137濃度の
季節ごとの変化 (Bq/kg) と被験者数

	1998～2001年	2002～2005年	2006～2008年
3～5月	<u>34.6</u> (ND-2154.9) 10,993	<u>27.3</u> (ND-5392.2) 18,722	<u>32.0</u> (ND-1757.1) 9,284
6～8月	<u>71.5</u> (ND-399.0) 265	<u>32.2</u> (ND-393.0) 268	<u>21.2</u> (ND-271.1) 451
9～11月	<u>40.9</u> (ND-2521.7) 9,590	<u>33.5</u> (ND-1089.3) 8,999	<u>44.2</u> (ND-2229.3) 4,080
12～2月	<u>33.5</u> (ND-1735.8) 8,971	<u>20.6</u> (ND-607.0) 6,603	<u>39.8</u> (ND-1454.3) 6,404

上から平均値 (Bq/kg)、(検出下限値～検出上限値)、
被験者数 (人)。NDは検出限界以下。

(Bq/kg) ホールボディ・カウンタで計測された体内セシウム137濃度

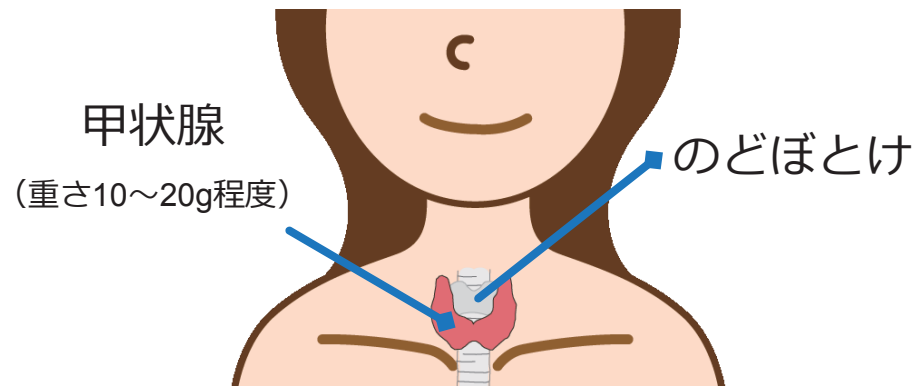


ブリヤンスク州では、
1998～2008年の間、
年間平均40Bq/kgの
内部被ばくを認めた

Bq/kg : ベクレル/キログラム

出典 : Sekitani et al., Radiat Prot Dosimetry, 141, 1, 2010より作成

甲状腺について



- 甲状腺は首の下部中央（のどぼとけの下）にある。
- 食物などに含まれる「ヨウ素」を取り込んで、甲状腺ホルモンを作り、血液の中に分泌。

甲状腺ホルモンの働き

脳神経の作用
を活発にする

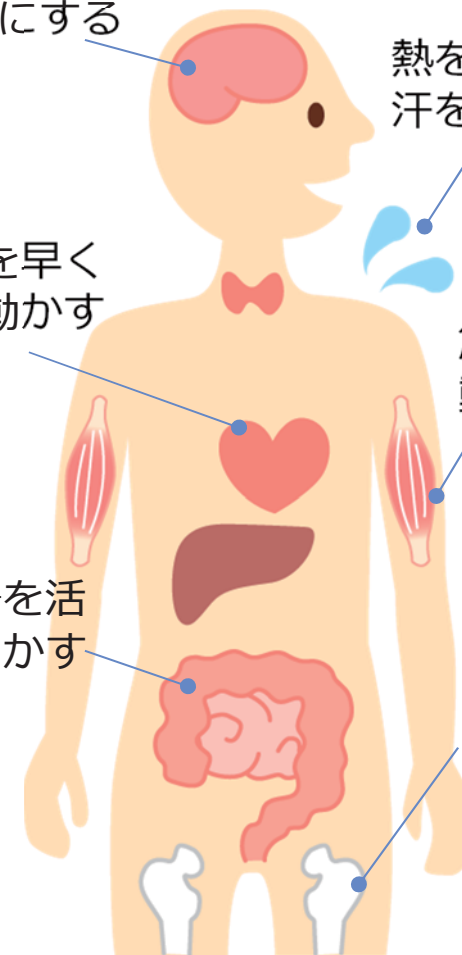
熱を産生したり
汗をかかせる

心臓を早く
強く動かす

筋肉を活発に
動かす

胃や腸を活
発に動かす

骨の成長を
促進する



● ヨウ素 = 甲状腺ホルモンの原料

1食の摂取量	含まれるヨウ素量
昆布の佃煮 (5~10g)	10~20mg
昆布巻き (3~10g)	6~20mg
ひじき (5~7g)	1.5~2mg
わかめの吸い物 (1~2g)	0.08~0.15mg
海苔2分の1枚 (1g)	0.06mg
昆布だし (0.5~1g)	1~3mg
寒天 (1g)	0.18mg

ヨウ素摂取量 食事摂取基準2015年版

推定平均必要量 : 0.095mg
推奨量 : 0.13mg

・ **日本人の摂取量は
推定約1~3mg/日**



出典 : Zava TT, Zava DT, Thyroid Res 2011 ; 4 : 14.、「日本人の食事摂取基準（2015年版）策定検討会」報告書 厚生労働省、スーパー図解 甲状腺の病気. 法研究

甲状腺がんの特徴

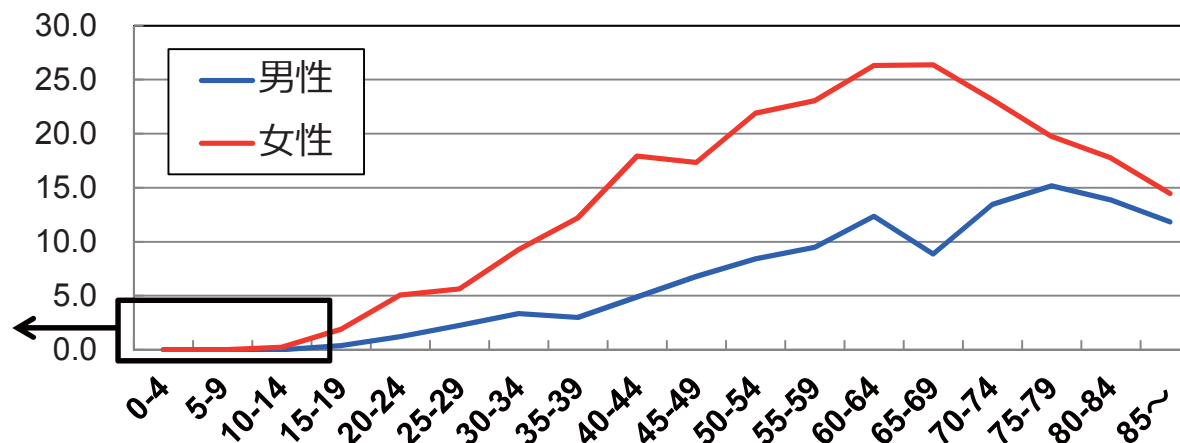
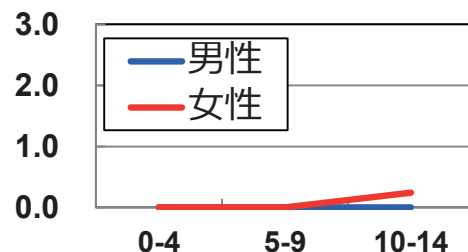
- **女性に多い**（全国推定年齢調整罹患率（対人口10万人）2010）

⇒女性：11.5、男性：4.5（人）

- **若年者から高齢者まで各年齢にみられる**

（全国推定年齢調整罹患率（対人口10万人）2010）

⇒小児（15歳未満）
では男女比はほぼ同じ



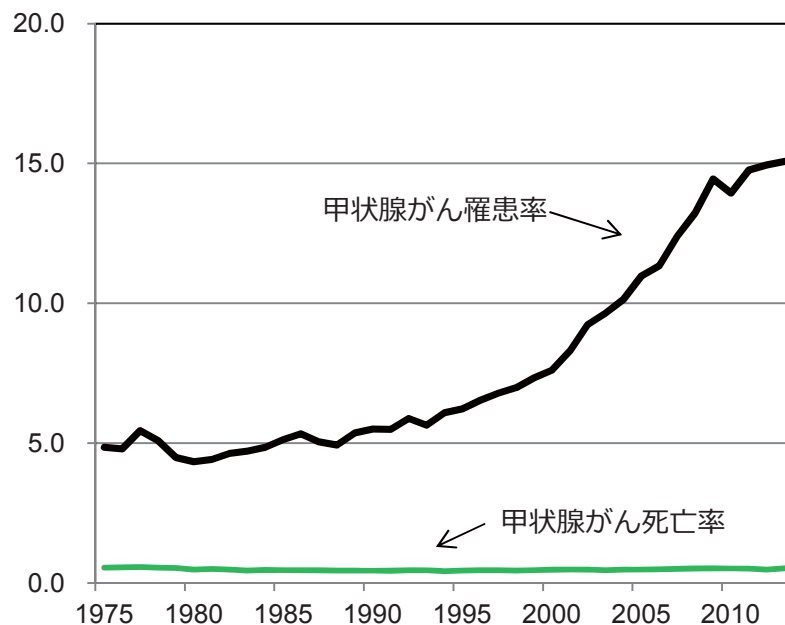
- **生涯にわたり健康に全く影響しない「潜在がん」がある**
- **手術後の予後は多くの症例で良好**（部位別がん粗死亡率（対人口10万人）2010）

	甲状腺	胃	肝臓	肺	白血病
男性	0.9	53.5	34.9	81.8	7.9
女性	1.7	26.5	17.4	30.0	5.0

（出典：国立がん研究センターがん情報サービス「がん登録・統計」）

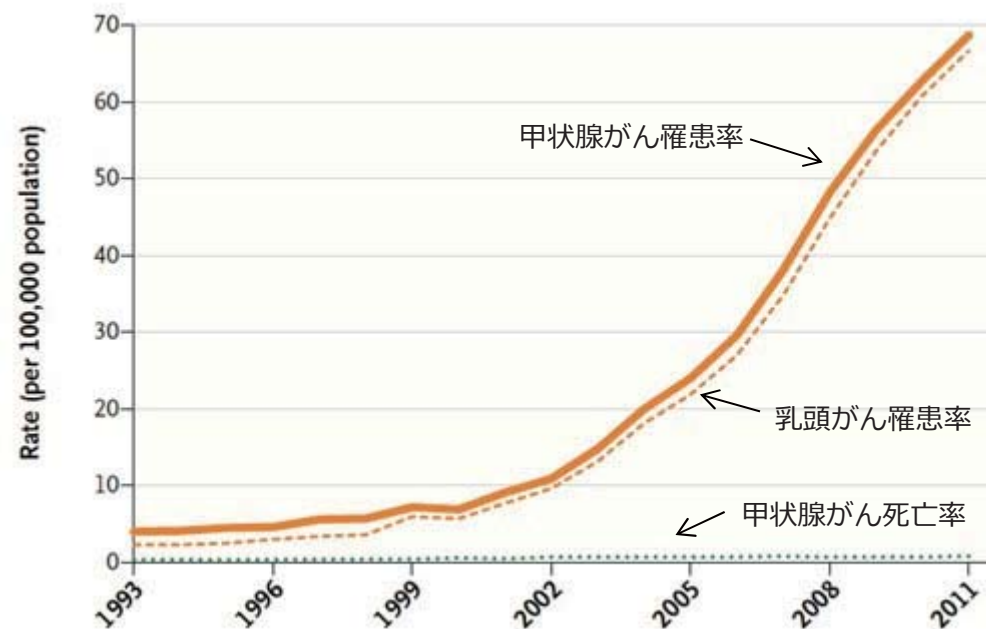
世界各国の罹患率と死亡率 (対人口10万人)

(罹患率・死亡率)
(人口10万人あたり)



アメリカ*1

(罹患率・死亡率)
(人口10万人あたり)



韓国*2

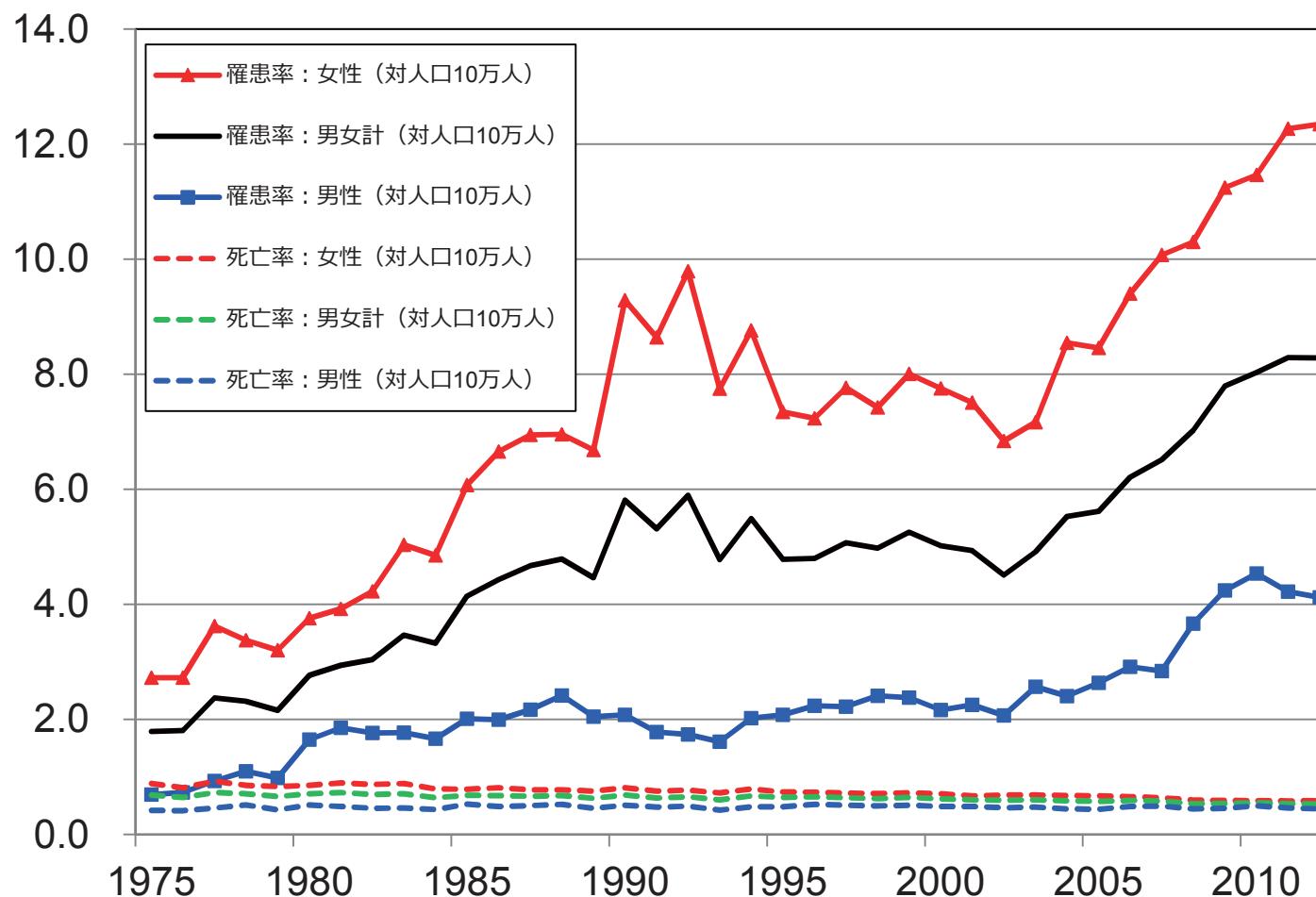
Copyright(c) 2014 Massachusetts Medical Society. All rights reserved.
Translated with permission.

* 1 : NATIONAL CANCER INSTITUTE, Surveillance, Epidemiology, and End Results Program, SEER Cancer Statistics Review 1975-2013に基づき作成

* 2 : Ahn HS, N Engl J Med. 2014に基づき作成

日本の年齢調整罹患率と死亡率（対人口10万人）の年次推移

（罹患率・死亡率）
（人口10万人あたり）



（出典：国立がん研究センターがん情報サービス「がん登録・統計」）

- 放射線被ばくとは関係なく、日本人が一生の間に甲状腺がんになる確率は、*

- 女性で0.78%、男性で0.23%

(Kamo et al., (2008) Jpan.J. Clin Oncol 38(8) 571-576)

* わが国における1975年から1999年のがん罹患患者数のデータに基づいて求めた、一生涯の間に少なくとも1回がん
に罹患する確率。

(加茂他、厚生指標,第52巻6号,2005年6月)

- 甲状腺への線量が1,000ミリシーベルトの場合、甲状腺がんになる確率の増分は、

- 女性で0.58～1.39%、男性で0.18～0.34%

(UNSCEAR2006年報告書附属書A)

- 1,000ミリシーベルトの甲状腺被ばくを受けた日本人が、
一生の間に甲状腺がんになる確率は、（放射線以外の要因による発症の確率を加算）

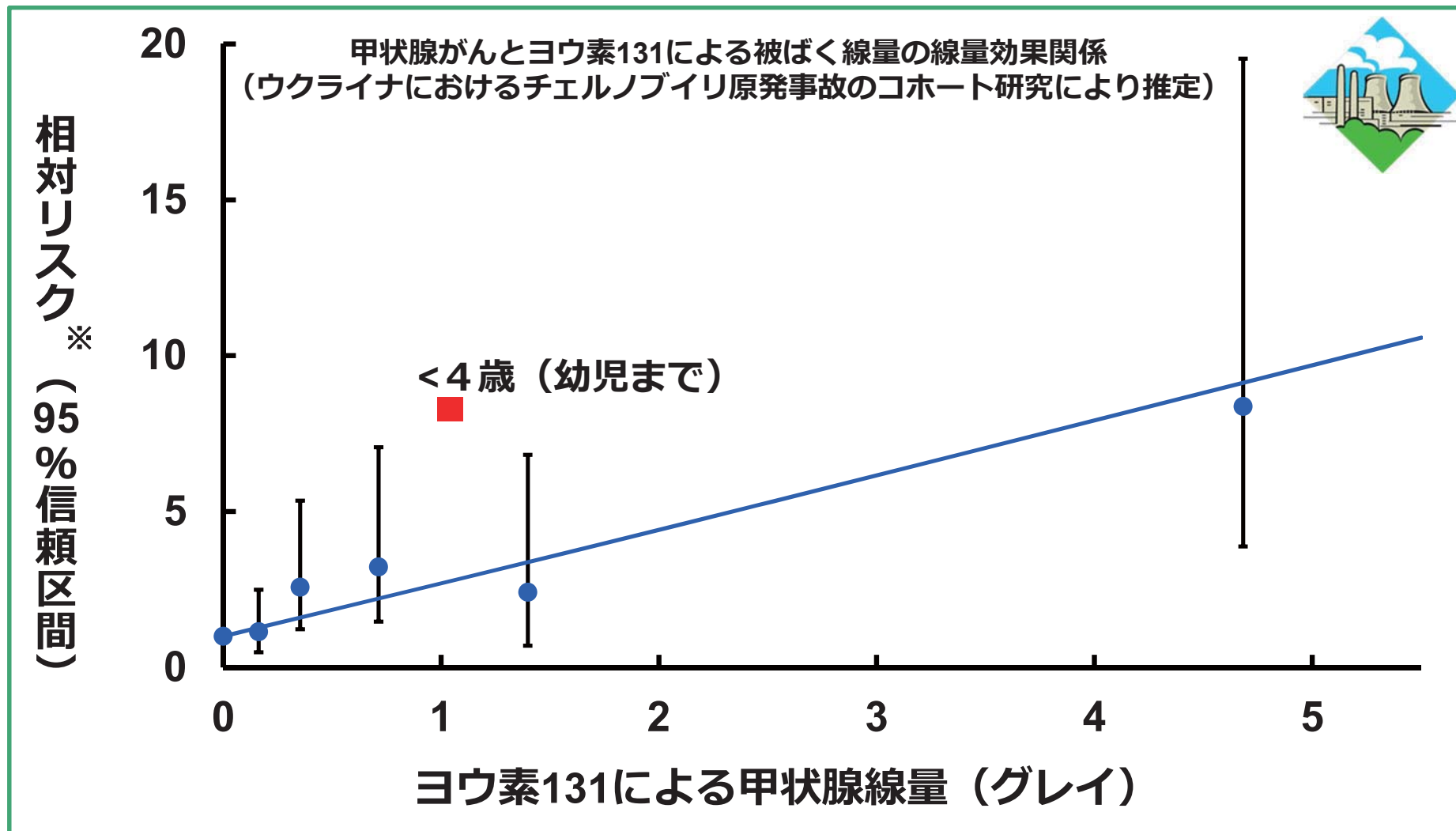
- 女性 $0.78 + (0.58 \sim 1.39) = 1.36 \sim 2.17\%$

- 男性 $0.23 + (0.18 \sim 0.34) = 0.41 \sim 0.57\%$

(Kamo et al., (2008) Jpan.J. Clin Oncol 38(8) + UNSCEAR2006年報告書附属書A)

しかし、低線量の甲状腺被ばくにおいては、他の要因による発がんの影響で隠れてしまうため、リスクの増加を科学的に証明することは難しいとされています。

甲状腺がんと線量との関係



出典 : Brenner *et al.*, Environ Health Perspect 119, 933, 2011より作成

※相対リスクとは、被ばくしていない人を1としたとき、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す値です。

甲状腺がんとヨウ素摂取

安定ヨウ素剤	1 グレイ（Gy）での相対リスク※ （95%信頼区間）	
	土壌中ヨウ素 濃度が高い地域	土壌中ヨウ素 濃度が低い地域
投与なし	3.5 (1.8-7.0)	10.8 (5.6-20.8)
投与あり	1.1 (0.3-3.6)	3.3 (1.0-10.6)

出典：Cardis *et al.*, JNCI, 97, 724, 2005

※相対リスクとは、被ばくしていない人を1としたとき、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す値です。

チェルノブイリ原発事故 避難集団の被ばく

国	人数 (千人)	平均実効線量 (mSv)		平均甲状腺 線量 (mGy)
		外部	内部 (甲状腺以外)	
ベラルーシ	25	30	6	1,100
ロシア	0.19	25	10	440
ウクライナ	90	20	10	330

mSv : ミリシーベルト mGy : ミリグレイ

出典 : 国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告より

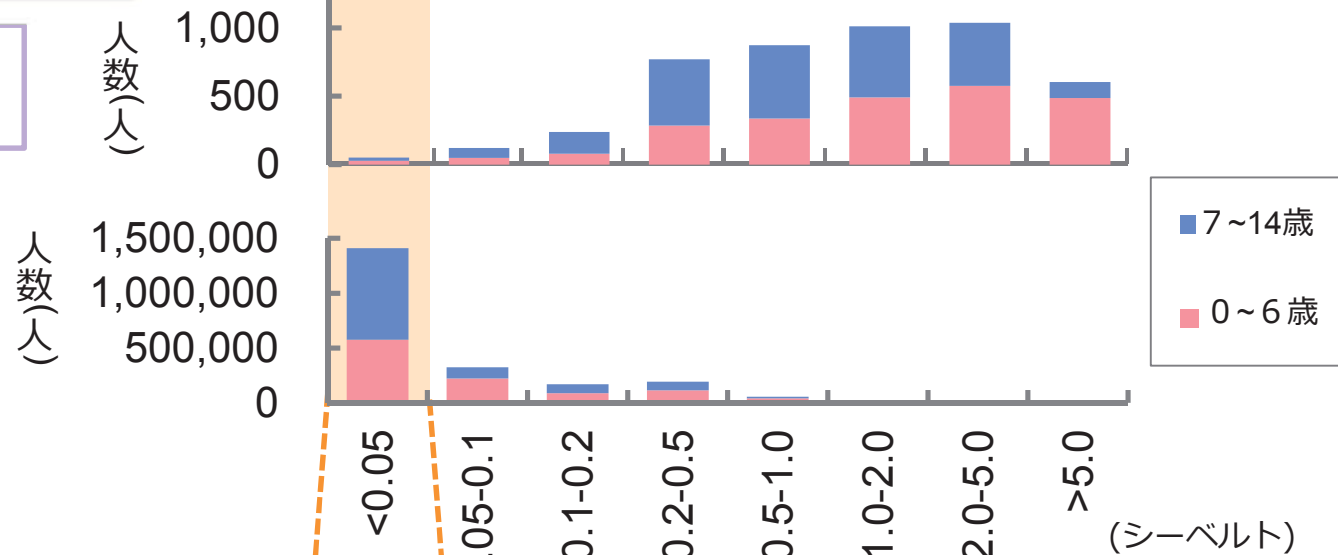
甲状腺線量の比較

小児の甲状腺被ばく線量

チェルノブイリ原発事故

ベラルーシで1986年
に避難した集団

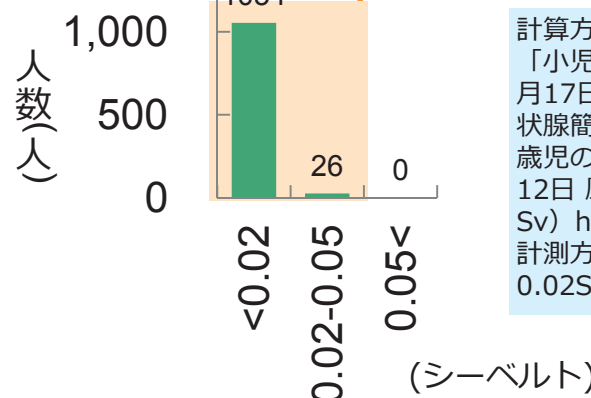
ベラルーシ全体
(避難者を除く)



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）報告書2008年報告

東京電力福島第一 原子力発電所事故

※このデータは、限られた
住民に対して行われた調査
によるものであり、全体を
反映するものではない。



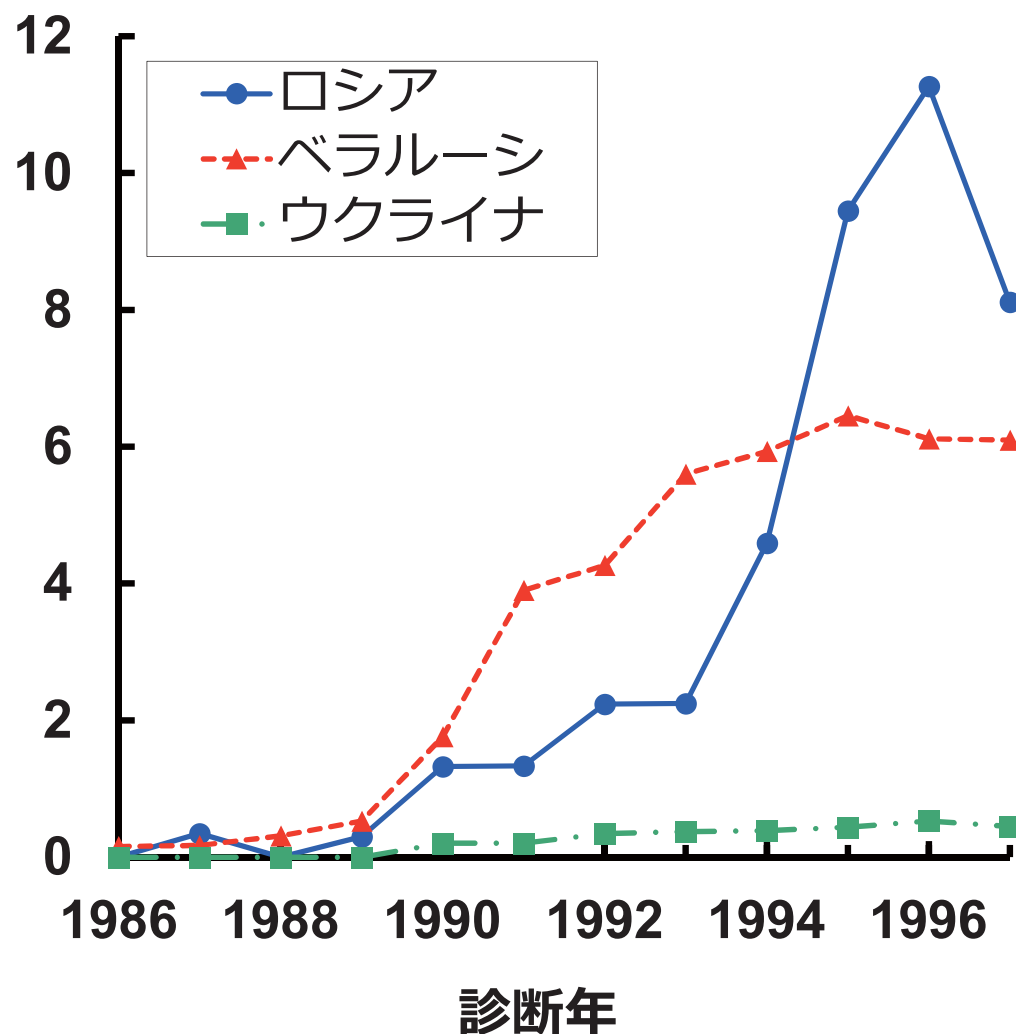
計算方法

「小児甲状腺簡易測定調査結果の概要について」（平成23年8月17日 原子力被災者生活支援チーム医療班）にある「小児甲状腺簡易測定結果」を、「スクリーニングレベル0.2μSv/h（1歳児の甲状腺等価線量として100mSvに相当）」（平成23年5月12日 原子力安全委員会）」を用いて比較のために改編（Gy = Sv）
http://www.kantei.go.jp/saigai/senmonka_g31.html
計測方法や測定地の空間線量率から判断して検出限界は0.02Sv程度

小児甲状腺がんの発症時期

小児甲状腺がん（チェルノブイリ原発事故）

小児10万人当たりの甲状腺がん発生数



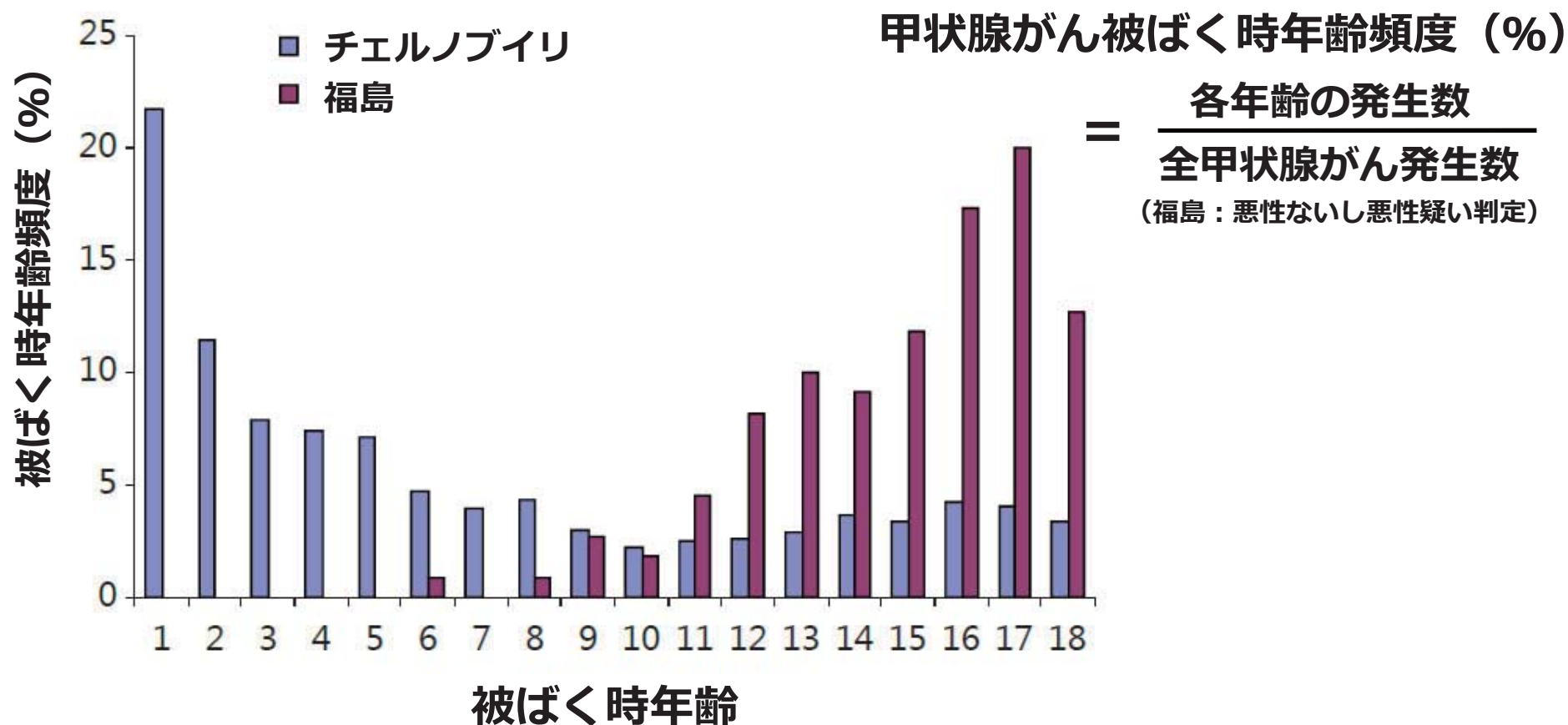
甲状腺

ヨウ素は甲状腺ホルモンの材料

事故の4～5年後に
小児甲状腺がんが発生し始め、
10年後には10倍以上に増加

出典：国連科学委員会（UNSCEAR）
2000年報告書より作成

- チェルノブイリと福島で観察された
小児甲状腺がんの被ばく時年齢頻度分布
(各地域の発生数に占める、被ばく時年齢別の発生割合)



出典：Williams D. Eur Thyroid J 2015;4:164-173