

福島原発事故の線量評価について

～UNSCEAR報告書による被ばく推定値の問題点と
低線量被ばくの問題点～

大阪大学大学院医学系研究科
(放射線生物学)

本行忠志

I UNSCEAR2020/2021 報告書の問題点について

1. 甲状腺の係数を1/2にした。
2. 屋内退避効果を1/2にした
3. 経口摂取被ばくを無視した
4. 吸入被ばくには2桁以上の不確実性を伴う
5. たった40通りの避難推計で、平均値のみで評価
6. 不適切な簡易モニタリング

II 低線量被ばくの危険性について

1. LNTモデルを支持する報告例
 - 1-2. 国際原子力作業員研究 (INWORKS)
 - 1-3. 小児甲状腺がんコホート (Lubin)
2. 低線量被ばくでもがんが発生している報告例
 - 2-3. 胎児期X線検査でがんが増加
 - 2-2. 小児期CT検査でがんが増加
 - 2-1. チェルノブイリ原発事故小児甲状腺がん低線量発生例
3. 放射線感受性には個人差がある
 - 3-1. 放射線感受性が高くなる遺伝子がある
 - 3-2. 低線量被ばくによる染色体異常に差がある
4. 内部被ばくは組織均一ではない

III 福島で多発している甲状腺がんについて

1. 甲状腺がん患者数と術後経過
2. 甲状腺結節の経時的変化
3. 甲状腺がんの累積罹患率
4. 甲状腺がんの遺伝子異常について

I UNSCEAR2020/2021 報告書の問題点について

UNSCEAR2020/2021報告書の推定値はなぜ非常に低いか
(UNSCEAR2013報告書に比べても約1/10になっている)

1. 甲状腺の係数を1/2にした。
2. 屋内退避効果を1/2にした
3. 経口摂取被ばくを無視した
4. 吸入被ばくには2桁以上の不確実性を伴う
5. たった40通りの避難推計で、平均値のみで評価
6. 不適切な簡易モニタリング

はじめに

UNSCEAR2020/2021報告書の「福島^①の被ばく量は非常に少なかったと考えられる」を受けて国は、「福島で発生している小児甲状腺がんの原因として被ばくの影響は考えにくい」としている。

ところが、その報告書の中で、避難者の甲状腺被ばくの推定値に関連するものだけでも、100以上の問題個所がみられ、大きく分けると“6項目の過小評価”に集約される。

過小評価

- (1) 吸入および経口被ばくによる甲状腺の係数を日本人はヨウ素摂取が桁違いに多いからと1/2にした。
- (2) 屋内退避効果は、放射性プルームが通過後も閉鎖している場合、数時間から半日で屋内退避効果はなくなるにもかかわらず、その効果を1/2とした。
- (3) 経口摂取被ばくに関して、水道水以外の被ばくは無視できるとした。
- (4) 吸入被ばく推定には、2桁以上の不現実性を伴う。
- (5) たった40通りの避難推計で、しかも、平均値で評価しているが、知りたいのは個人が受けた可能性のある最大値である。
- (6) 原発から30km圏外の非避難者1080名の不適切で不現実性が大きい甲状腺直接計測が、避難者の基準となる被ばく量とされている。

過小評価1

日本人はヨウ素摂取量が多いからと係数を1/2にした

日本の小児のヨウ素摂取量は世界標準範囲

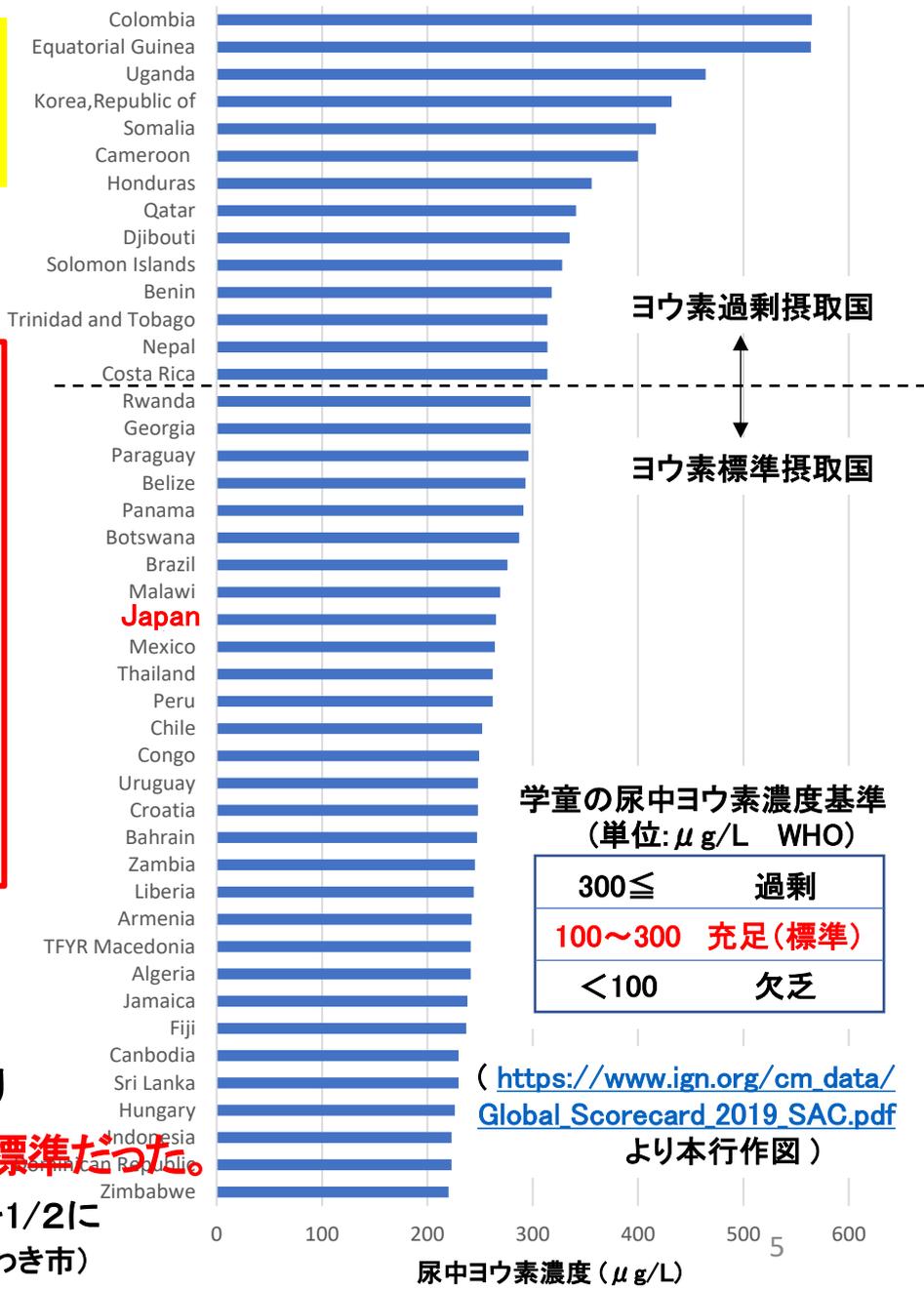
世界の国でのヨウ素栄養状況 (2019年時点)において、日本の小児(学童)のヨウ素摂取量は標準範囲内であり、過剰ではないことが証明された。(右図上位40か国のグラフ 日本は174か国中23番目)

Global scorecard of iodine nutrition in 2019 in the general population based on school-age children (SAC) Iodine global network https://www.ign.org/cm_data/Global_Scorecard_2019_SAC.pdfより

県民健康調査の小児の尿中ヨウ素摂取量も世界標準だった。

UNSCAERパロノフ氏、「日本人の甲状腺への取り込み率を1/2にしたのは鈴木氏の提言による」(パブリック・ミーティング2022.7.21いわき市)

世界の学童のヨウ素栄養状況

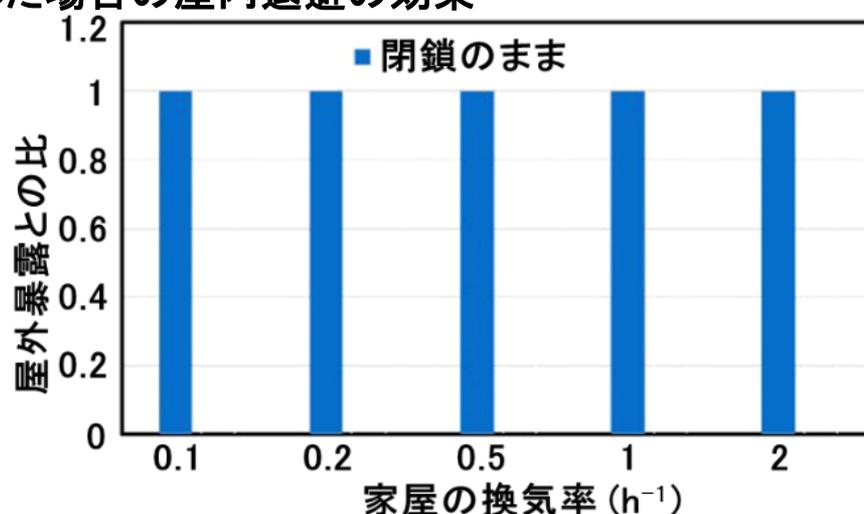
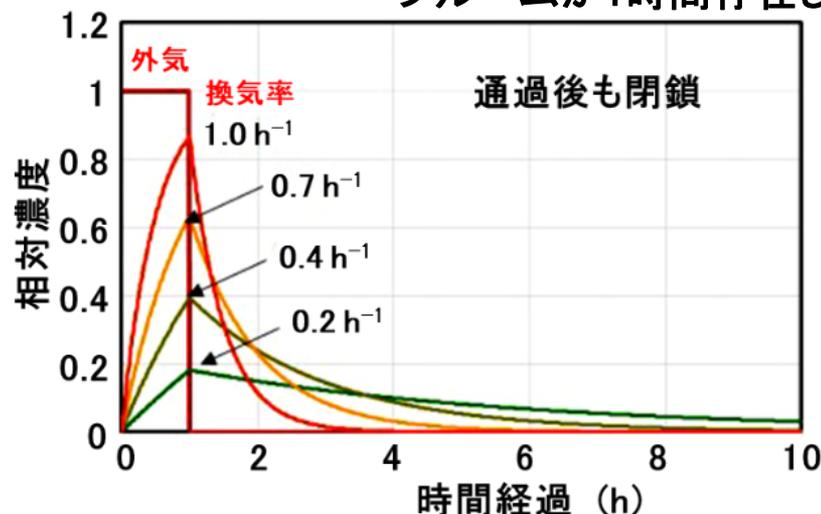


過小評価2 放射性ヨウ素吸入による被ばくの屋内退避効果を0.5にした

パラグラフA68 (パラグラフは節、段落の意味)

物質のプルームの通過中に屋内にいた住民の吸入による線量被ばくの低減(建物によるフィルタリング効果の結果)について、低減係数は、0.1未滿から約1の範囲であった(Hirouchi et al. 2018)。したがって、本委員会は、住民が屋内にいた時の放射性核種の吸入による線量の評価に対して0.5の低減係数を用いた。

プルームが1時間存在した場合の屋内退避の効果



山澤弘実 屋内退避に期待する効果とそのための要件 第6回新潟県原子力災害時の避難方法に関する検証委員会 2019年6月 より

プルームが通過後も閉鎖している場合の屋内の累積濃度(左グラフの積分値に相当)は、換気率にかかわらず、数時間~半日で野外と同じ程度になる (屋内退避効果は1になる)

・JAEA*のN氏の話「H君(JAEA)の実験データに基づき、鈴木元先生がばらつき(0.1から1)の中央値として用いたものを、UNSCEARが採用した」 (*日本原子力研究開発機構)

・UNSCEARも私たちも同じHirouchi 論文をベースに0.5の係数を使っている。(鈴木元 2021年環境省報告書より)

避難前および避難中の食品の経口摂取による被ばく線量は無視できると仮定した

“避難者に関しては、調査結果[H15^注, K10]に基づき、避難前および避難中の食品の経口摂取による被ばく線量は無視できると仮定されている”

“ヨウ素131に汚染された食品や物資は、食品制限令以前から一般に大量に消費されない状況であった”
パラグラフ154、A83

“食品、飲料水、農産物に関連する対策は、概して、適時に効果的に実施され、公衆にも周知された。「暫定規制値」が制定され、食品と飲料水中の放射性核種のレベルが管理され、広範なモニタリングキャンペーンが実施された” APPENDIX B. Table B1

注:[H15] Hirakawaらの論文では、自治体が運営・管理する避難所のみを調査

田口茂氏提供

上記に反する実例

- ・福島県内各地でI-131が10,000Bq/kg以上の野菜が3月22日まで出荷されていた
OurPlanet-TV <https://www.ourplanet-tv.org/44603>
- ・浪江町民が津島に避難した3月12日以降、避難先で路地野菜の炊き出しを食べた
<https://www.asahi.com/articles/DA3S14471890.html>
- ・事故後10日間廃棄処分の牛乳を3世帯で飲んでいた。
<https://together.com/li/677668>
- ・3月16～17日の川俣町の原乳が県内でヨーグルト加工し出荷(注)
<https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000015iif.html> (厚労省HPより)
- ・農産物や牛乳等の出荷制限(3月23日)や摂取制限(3月24日)まで自家栽培や市場で出回った野菜を食べていた

2011年3月に自家栽培の野菜を摂取した住民がいたと言われているが、その割合あるいは摂取量や摂取期間は不明である。(鈴木元 2021年環境省報告書より)

過小評価4 プルーム(放射性雲)による吸入被ばく推定値は何桁も低い

避難者の吸入推定値は、ATDM(大気輸送・拡散・沈着モデル計算)で行われているが、その**不確かさ**についての記載は報告書にしばしばみられる

(A3) “いかなる特定の場所においても、**当該推定値はかなりの不確かさを伴う**”

(A-2-6) “特定の場所と時間におけるその値には**大きな不確かさがあった**”

(A-9-23) “ATDM直接法は、福島県の中央部(中通り)と西部で濃度を**著しく過小評価し、時には何桁も過小評価した**”

なぜか

UNSCEAR2013に採用された**Terada2012論文**のATDMは**Air dose rate**と**MP**使用し3/15-16のプルームをとらえていた。

しかし

環境省の資金援助と委託を受けて実施された

大気拡散シミュレーションによる時間空間放射能データベースを用いた避難行動パターン毎の初期線量評価

環境省 放射線健康管理・**健康不安対策事業**(放射線の健康影響に係わる研究調査事業) 2018年4月 - 2021年3月 **鈴木元, 大葉隆**, 石川徹夫, 長谷川有史, 永井晴康



環境省の資金援助と委託を受けて実施された

Terada 2020のATDMは**SPMのみ**使用し3/15-16のプルームを全くとらえていない



Ohba2020



UNSCEAR2020/2021
報告書



A142 しかしながら、本報告書において異なるソースタームとATDMを用いたこともまた、更にばらつきを引き起こす原因となっている。8

環境省の資金援助と委託を受けて実施されたプロジェクト

環境省 放射線健康管理・健康不安対策事業(放射線の健康影響に係わる研究調査事業) 2018年4月 - 2021年3月

大気拡散シミュレーションによる時間空間放射能データベースを用いた避難行動パターン毎の初期線量評価 鈴木元, 大葉隆, 石川徹夫, 長谷川有史, 永井晴康

2018年報告書 大前提: 推定値を1080名実測値と一致させることが目的

UNSCEAR2013年の報告書は、ATDMに多くの不確実性が有り、その推計値は1080名の小児甲状腺実測値等と比較して過大評価になっていた。私たちは、線量推計の不確実性を減ずるため、包括的な研究を実施した。(本研究成果は、住民の放射線被ばくに対する不安に寄り添い、云われなき差別や風評被害に対処する基礎データとなる。)

Terada 2020のATDMはSPMのみ使用し3/15-16のプルームを全く捉えていない(次々ページ)
(UNSCEAR2013に採用されたTerada 2012のATDMはAir dose rateとMP(Monitoring Post)使用し3/15-16のプルームをとらえていた。) (環境省の資金援助と委託)

Ohba2020論文 (Corresponding Author: Gen Suzuki)

UNSCEAR2020/2021報告書

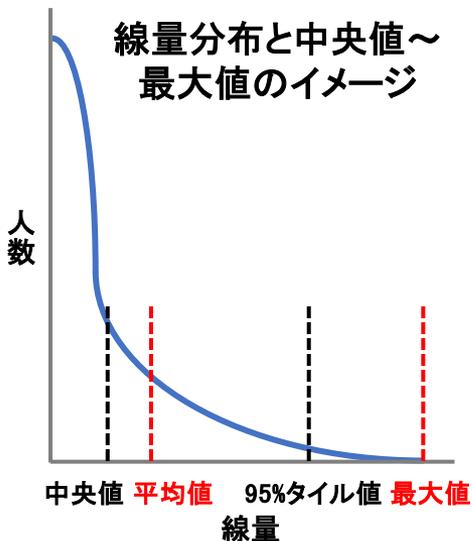
たった40通りの避難推計(40シナリオ)で、しかも、平均値で評価

- ・避難者を大雑把な地域単位に分け(40通りのシナリオ*)、それぞれ**平均値で推計**しているが、集団の中で最大値を推定することが最も重要
- ・個人それぞれの被ばく量は**生活様式**(どこで何をしていたか、何時間いたか、何を食べたか等)で**みな違う**
- ・避難が遅れたり、避難できなかった人は考慮されていない
- ・推定の**平均被ばく量が低いから低線量被ばくだったとは絶対言えない**

(*シナリオは避難経路ごとに人々がどの程度の線量を受けるかを推定すること)

福島県の自治体から避難した幼児の推定甲状腺吸収線量

(Attachment A-18 Tab.A-18.6.より)



(本行 作図)

地域	シナリオ番号	避難先	1歳児の甲状腺吸収線量(mGy)					
			避難中	避難先	事故直後1年間の合計		予測される線量 ^d	回避された量 ^e
					平均	95%タイル		
双葉町	2	茨城県	14	0.68	15	47	490	480
双葉町	4	郡山市	12	3.7	15	43	490	480
浪江町	21	相馬市	12	2	14	45	120	110
浪江町	24	米沢市	12	0.37	13	44	120	110
小高町	29	新宿区	30	0.23	30	102	21	—
小高町	32	新宿区	23	0.23	23	76	21	—
小高町	33	埼玉	14	0.19	15	44	21	6.2

^d もし避難をしていなかったとしたら事故直後1年間に受けていたであろう線量の推定値

^e 人々が避難することにより免れた線量の推定値

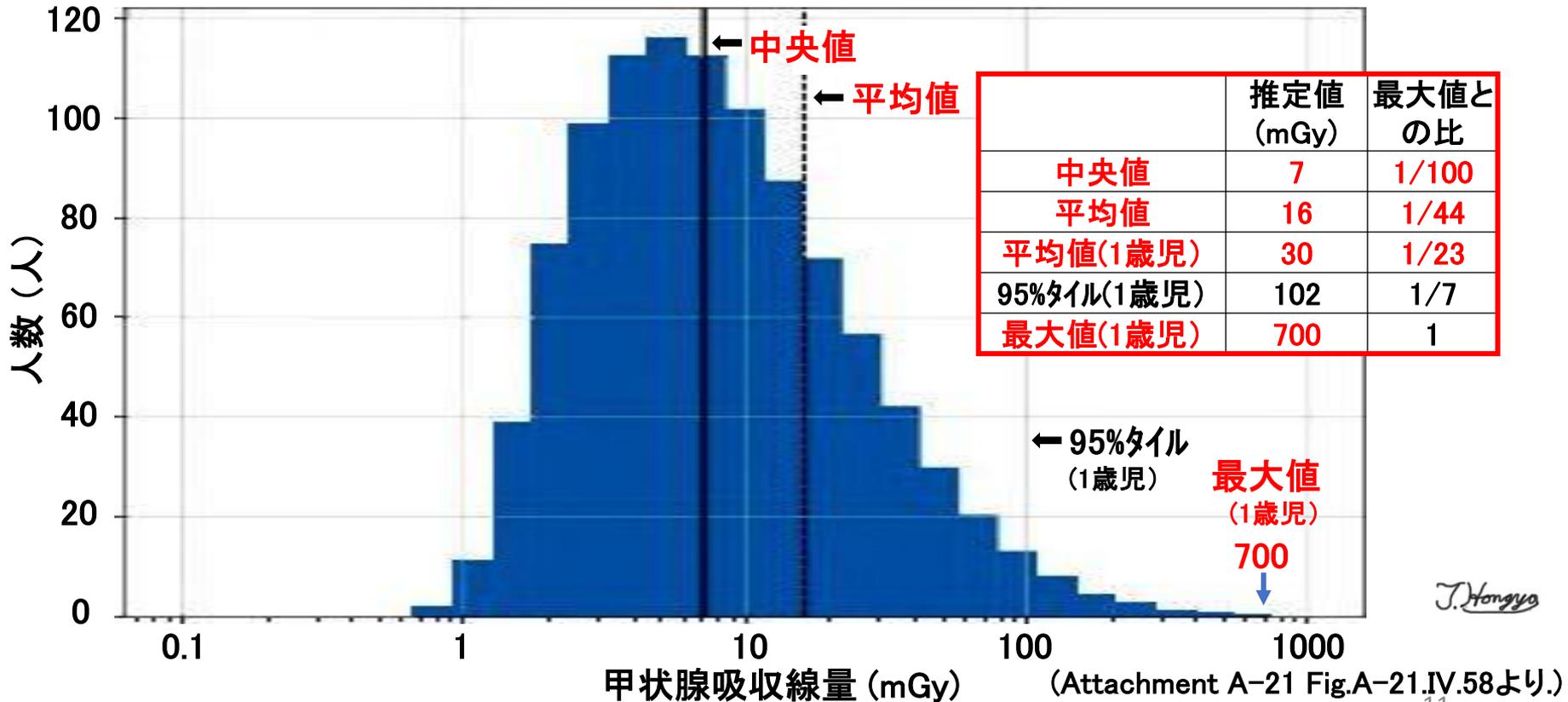
推定の平均値や中央値と最大値には著しい差
平均値とは23倍、中央値とは100倍の差

平均推計では、個人の被ばくは全く考慮されていない。

過小評価の限りを尽くしても700mGyが存在する

避難者甲状腺推定被ばく線量 3つの年齢層(1歳児、10歳児、成人)の推定個人線量(人口比で調整)

シナリオ 29 南相馬市小高区→原町区→いわき市→県外 (1008名)



T. Hongyo

避難者汚染スクリーニングのデータ

約114,000人、多くは20km 圏内、避難先で計測

計測値 (cpm)	1歳児の甲状腺等価線量 (mSv)	記録されている 人数 (未記録 もあり) (人)
13,000-100,000	100-770	901
100,000 <	770 <	102

(study2007「見捨てられた初期被ばく」岩波書店より)

福島原発1号機爆発後避難した人のWBCデータ

測定日2011年3月13日 (γ線核種のみ)

核種	同定 信頼度	放射能 Bq	% 誤差
Zr-89	0.891	6,492	15.5
SB-126	0.495	484,964	29.14
I-130	0.694	38,795	28.05
I-131	0.985	1,684,090	14.89
I-132	0.979	9,593,630	12.75
Te-132	0.999	1,630,990	16.32
I-133	0.984	492,410	12.09
Xe-133	0.868	28,507	21.35
Cs-134	0.873	307,671	22.03
I-135	0.789	243,623	35.5
Xe-135m	0.983	2,898	39.97
Cs-137	0.973	19,393	12.51

甲状腺等価線量

1歳児: 4,920mSv
成人: 545mSv

(無機微粒子0.5、ヨウ素元素0.2、有機状ヨウ素0.3として計算)

「避難住民3人だけが放医研でのWBC検査データを保有しているようです」(作成者: 桑原豊氏)

<https://twitter.com/namiekuwabara/status/1495021411114840064>

福島事故後の母乳測定データの解析 (放医研)

被測定者	授乳婦の 摂取量 (Bq)	乳児甲状腺の等価 線量 (mSv)	被測定者の居住地	原発からの 距離 (km)
A	4.39E+05	524	福島県いわき市	45
B	3.76E+05	449	茨城県常陸大宮市	113
C	1.00E+06	1,199	茨城県水戸市	128
D	2.76E+05	330	茨城県下妻市	170
E	2.89E+05	345	茨城県笠間市	137
F	2.89E+05	345	茨城県笠間市	137
G	2.89E+05	345	千葉県千葉市	217

(N Unno, et al., J. Obstet. Gynaecol. Res., 38: 772-779, 2012より)

福島医大付属すぎのこ園の

3月17日の園児・職員の甲状腺線量測定結果

No	測定対象	測定値 μSv/h
	BG	1.00
1	職員 1	0.75
2	職員 2	1.00
3	職員 3	1.00
4	園児 1	0.95
5	園児 2	1.50
6	園児 3	1.15
7	園児 4	1.10
8	園児 5	1.20
9	園児 6	1.20

 $0.5 \mu\text{Sv/h} \times 15\text{kBq} / \mu\text{Sv/h} = 7.5 \text{kBq}$

甲状腺等価線量

1歳児: 90mSv
5歳児: 46mSv

UNSCEAR推定値

1歳児: 0.6mSv

(岩波書店「科学」2016年3月号pp264-268より)

過小評価6 1080名実測値の問題点

不適切で不確実性が大きい
1080名甲状腺直接計測

測定地点の問題

- すべて30km圏外(ほとんど40km圏)、もっと被ばく量が高い地域が存在する。
(川俣町山木屋地区や飯館村長泥地区の空間線量率の方がそれぞれ1桁以上高かった)
- 3月21日午後になっても47%の子供達はいわき市に留まっていた(鈴木元 2021年環境省報告書より)。

測定方法の問題

- 首の回りを汚染の無い濡れタオルで拭き、除染して計測、肩口の着衣は(除染せず) BGとした
→BGが高く半数以上(約55%)が0やマイナスだった
BG分は内部被ばくしていると考えべき
- 簡易計測のため核種の同定できず
- 測定開始時期が遅すぎる(影響の強い短半減期ヨウ素はほとんど計測されず)
- 計測数が少なすぎる(チェルノブイリは30万人以上)

原子力安全委員会の評価

斑目春樹委員長:「個々の健康リスクは評価できない」、
久住静代委員:「計測値から個別の内部被曝線量を推計し健康リスクを評価するのは乱暴すぎる」(朝日新聞デジタル2011年9月6日<https://www.asahi.com/special/1000/5/TKY201109050407.html>)
2011.9.9日の同委員会:「今回の調査は、スクリーニングレベルを超えるものがあるかどうかを調べるのが目的で実施された簡易モニタリングであり、測定値から健康影響やリスク評価したりすることは適切ではないと考える」

3/12-24日の1歳児甲状腺等価線量SPEEDI試算



● は計測地点	
川俣町中央公民館	647名
飯館村公民館	299名
いわき市保健所	134名

UNSCEARの「推定値は1080名実測値と一致した」 は自ら過小評価を認めていることになる

UNSCEAR2013年の報告書は、ATDMに多くの不確実性が有り、その推計値は1080名の小児甲状腺実測値等と比較して過大評価になっていた。私たちは、線量推計の不確実性を減ずるため、包括的な研究を実施した。
(環境省H30研究報告書(代表 鈴木元))

↓
Terada 2020論文

↓
Ohba2020論文

↓
UNSCEAR2020/2021報告書

A137. Ohba et al.[O5]は、また、著者らのモデル計算による線量と避難していたと考えられる人々の測定値の間にかんがりの一致を認めた。本委員が推定した線量は、補足資料A-22においてOhba et al.による線量と比較されており、それぞれの不確かさの範囲内でほぼ同等である。

モデル計算値と「測定値」の比較 (UNSCEAR推定値と1080名実測値の中央値の比較)

UNSCEAR2020/2021Report Table A20. より

地域	甲状腺吸収線量の中央値(mGy)			
	10歳児		1歳児	
	モデル値	「測定値」	モデル値	「測定値」
いわき市	2.2	1.8 (79)	2.6	4.6 (55)
川俣町	1.8	2.6 (361)	2.1	4.5 (286)
飯館村	2.3	3.6 (220)	2.8	7.1 (79)
浪江町	36		41	
南相馬市	9.9		12	10 (1)
田村市	1.1		1.2	

()は、測定対象者数

1080名直接測定

最大値は中央値の約100倍 (シナリオ29)!

事故直後にいわき市、川俣町、飯館村、南相馬市の1,080人の小児について甲状腺の直接測定が行われましたが、本研究で得られた線量分布は、その直接測定の結果から得られた甲状腺内部被ばく線量の分布とよく似たものでした。

(Suzuki G, et al. J Radiat Res. 2022, 63:796-804.)

不適切な1080名計測はBaseになり得ない

甲状腺等価線量の分布

異なる条件の比較で“被ばく量は何桁も違う”はおかしい

<福島 1080名>

<チェルノブイリ 25,000名>

福島
30km圏外
(避難区域
外)の
非避難者

チェルノブイリ
30km圏内
(立ち入り禁
止区域)の
避難者

甲状腺等価線量(mSv)	福島原発事故飯館村、川俣村、いわき市の15歳以下(1080人)		甲状腺等価線量(mSv)	チェルノブイリ原発事故ベラルーシ、ウクライナ避難者の14歳以下(約2.5万人)
0	55.4%	↑	<50	0.8%
0-10	31.7	99%以上	50-100	6.5
10-20	10.5		100-200	7.7
20-30	1.9	↓	200-500	38.4
30-40	0.3		500-1000	19.6
40-50	0.1		1000-2000	18.7
50-60	0.1		2000-5000	5.6
60-70	0.1		>5000	2.7

1,080人
測定方法が不適切

約25,000人

(H29 学術会議 子どもの放射線被ばくの影響と今後の課題p22)

(UNSCEAR 2008 Vol II Tab B4)

2つの表は条件が全く異なる

この表は、「福島とチェルノブイリの被ばく量は何桁も違う」の決め手として利用されている裁判(311子ども甲状腺がん訴訟等)や過剰診断論の根拠としても利用されている

鈴木元氏と加藤聡子氏の計算 Which is true?

- ・チェルノブイリ原発事故による甲状腺がん発生リスク(ERR/Gy) 、または (EAR/Gy)を「チェルノブイリERR/GyまたはチェルノブイリEAR/Gy)」とする
- ・UNSCEAR報告書による甲状腺被ばく推定値:「UNSCEAR推定値」とする

鈴木元氏:「チェルノブイリERR/Gy」と「UNSCEAR推定値*」から計算すると、福島
島の甲状腺がんの発生は、**事故後10年で0.3~4.9(名)、事故後20年で1.1~
20.7(名)と計算できる**。したがって、2021年6月現在、265名の甲状腺がん(がん
疑い)症例が県民健康調査で発見されているが、被ばく線量のレベルから判断
するとその多くは、**高精度の超音波検診により早期発見された臨床症状を呈す
る前の甲状腺がん、ないし生涯臨床症状を起こさない自然退縮する甲状腺がん
と考えられる**。(鈴木元、2021年環境省放射線の健康影響に係る研究調査事業報告書より)

* 37万人の小児が平均10mSvの甲状腺被ばくがあったとして計算

VS.

加藤聡子氏:「チェルノブイリEAR/Gy」と福島
島の甲状腺がん発生数とUNSCEAR
推定線量値から求めた「EAR/Gy」の比から、**実際の甲状腺線量は「UNSCEAR
推定値」の50~100倍であることが判明した**。

(Kato T, Yamada K, Hongyo T. Cancers (Basel), 2023; 15(18): 4583より)

要するに、

鈴木元氏

「UNSCEAR推定値」から計算すると
甲状腺がんの多発はあり得ない

VS.

加藤聡子氏

甲状腺がんの多発は、「UNSCEAR推定
値」が1/100 ~ 1/50の過小評価のため

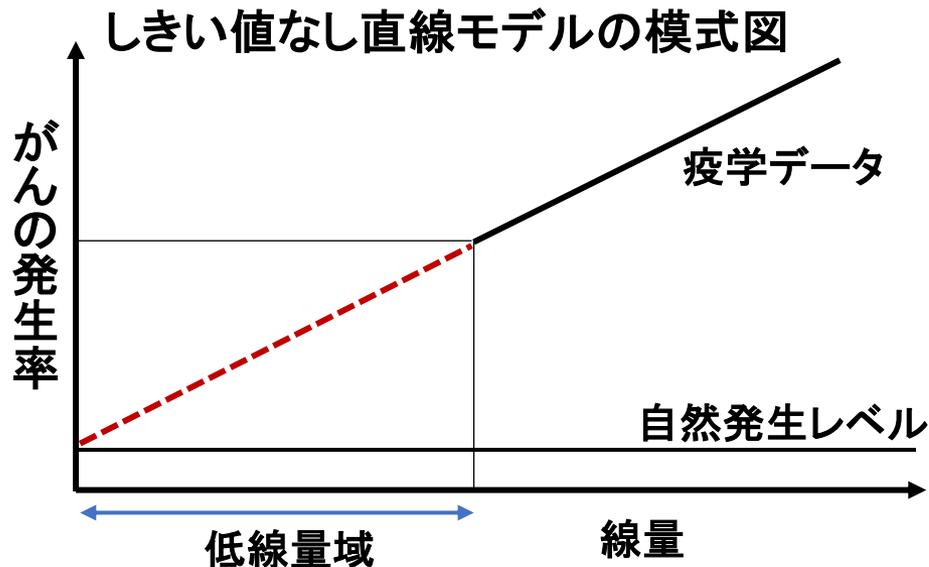
J. Hongyo

II 低線量被ばくの危険性について

1. LNTモデルを支持する報告例
 - 1-1. 国際原子力作業員研究 (INWORKS)
 - 1-2. 小児甲状腺がんコホート (Lubin)
2. 低線量被ばくでもがんが発生している報告例
 - 2-1. 胎児期X線検査でがんが増加
 - 2-2. 小児期CT検査でがんが増加
 - 2-3. チェルノブイリ原発事故小児甲状腺がん低線量発生例
3. 放射線感受性には個人差がある
 - 3-1. 放射線感受性が高くなる遺伝子がある
 - 3-2. 低線量被ばくによる染色体異常に差がある
4. 内部被ばくは組織均一ではない

1.

LNT モデル



LNT (しきい値なし直線)モデル:
約 100 mSv を下回る電離放射線の線量においても、線量の増加に正比例して確率的影響の発生率が増加すると仮定

NCRPは大規模調査でLNTモデルを支持

被ばく後のがんリスクに関する 主要な 29 の研究・集団における 3 つの構成要素(線量計測、疫学、統計)の妥当性を、(弱い)から(強い)まで 5 段階に格付けし、さらに、LNT 支持度を(支持なし)から(強い)まで 4 段階に格付けした。(次ページ表参照)

29 のうち、20 (69%)がLNTモデルを支持

J. Hongyo

レビューしたがん研究の質の評価と(LNT)モデルに対する支持の度合い

NCRP Commentary No.27,2018

case	研究(または研究グループ)、文献番号	線量	疫学	統計	LNT支持度
1	原爆寿命調査(LSS)(10)	強い	強い	強い	強い
2	INWORKS(英国、米国、フランスの複合コホート)(17)	強い	強い	強い	強い
3	結核患者のX線透視(18)	強い	強い	中等度	強い
4	小児期の原爆被曝(19)	強い	強い	強い	強い
5	小児甲状腺がん研究(14)	強い	強い	強い	強い
6	マヤック原発作業員(20)	中等度	中等度	強い	中等度
7	チェルノブイリ放射性降下物、ウクライナおよびベラルーシ甲状腺がん(21、22)	強い	中等度	中等度	中等度
8	小児乳がん研究(23)	中等度	強い	強い	中等度
9	胎内原爆被曝(19)	中等度	強い	強い	中等度
10	テチャ川、周辺住民(24)	中等度	中等度	中等度	中等度
11	胎内被曝、医療(25)	弱い	中等度	中等度	中等度
12	日本の原発作業員(26)	中等度-強い	中等度	強い	弱い-中等度
13	チェルノブイリ事故処理作業員、ロシア(27)	弱い	弱い-中等度	中等度	弱い-中等度
14	米国の放射線技師(28、29)	弱い	中等度	中等度	弱い-中等度
15	マウンド核作業員(30)	中等度	弱い-中等度	弱い-中等度	弱い-中等度
16	ロケットダイン核作業員(31)	中等度	中等度	中等度	弱い-中等度
17	フランスのウラン加工労働者(32)	中等度-強い	強い	弱い-中等度	弱い-中等度
18	医療用X線作業員、中国(33)	弱い-中等度	弱い-中等度	中等度	弱い-中等度
19	台湾 放射線汚染建物、住民(34)	中等度	弱い-中等度	弱い-中等度	弱い-中等度
20	バックグラウンド放射線レベルと小児白血病(35)	弱い-中等度	中等度	中等度	弱い-中等度
21	胎内被曝、マヤックとテチャ(36)	弱い	弱い-中等度	中等度	支持なし
22	ハンフォード131I放射性降下物の研究(37)	中等度	強い	弱い-中等度	支持なし
23	インド、ケララ州、自然背景放射線が高い地域(38)	中等度	中等度	弱い-中等度	支持なし
24	カナダの原発作業員(39)	中等度-強い	強い	強い	支持なし
25	米国の退役軍人(40)	強い	強い	強い	支持なし
26	中国、揚江、高自然放射線地域(41)	弱い-中等度	弱い	弱い	結論不可
27	若年者のコンピュータ断層撮影検査(42)	弱い	弱い-中等度	弱い-中等度	結論不可
28	小児医療用X線と白血病の研究(10以上の研究の総計)(25、43)	弱い	中等度	弱い-中等度	結論不可
29	核兵器実験による放射性降下物の研究(8件の研究の総計)(44)	弱い-中等度	弱い	弱い-中等度	結論不可

LNT支持

J. Hongyo

1-1. case 2

INWORKS (国際原子力作業員研究)2023

低線量被ばくによるのがん死亡率 (Richardson DB et al, BMJ 2023; 382)

この大規模更新版は、世界で最も情報量の多い放射線労働者コホートに基づき、長期にわたる低線量被ばくと固形がん死亡率との関連を直接推定したものである。

INWORKSに組み入れられたコホートの特徴

2023	仏	英	米	INWORKS
追跡期間(年)	1968-2014	1955-2012	1944-2016	1944-2016
労働者数	60,697	147,872	101,363	309,932
延べ人数(百万人年)	2.08	4.67	3.98	10.72
平均累積結腸線量(mGy)	17.8	22.75	20.1	20.9
	死亡数	ERR/Gy	90%CI	
	28,089	0.52	0.27-0.77	

特定のカテゴリーによるERR/Gyの推定値

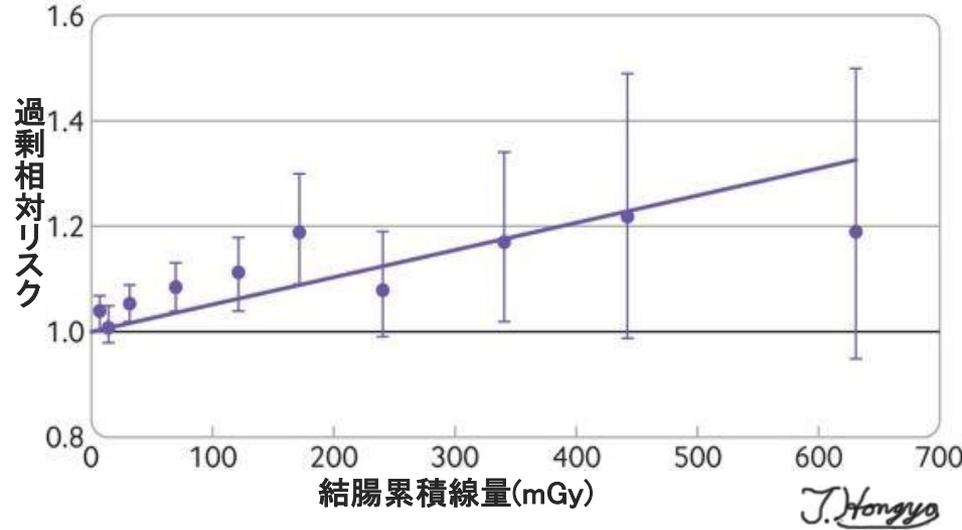
カテゴリー	死亡数	ERR / Gy (90%CI)
全がん	31,009	0.53 (0.30 to 0.77)
固形がん	28,089	0.52 (0.27 to 0.77)
肺がん以外の固形がん	19,823	0.46 (0.18 to 0.76)

固形がんから肺がんを除いても同程度の正の線量反応関係

線量区分制限による解析 (Supplementary table C)

線量区分	死亡数	ERR/Gy	90%CI	p
全体	28,089	0.52	0.27-0.77	<0.001
<400 mGy	27,960	0.63	0.34-0.92	<0.001
<200 mGy	27,429	0.97	0.55-1.39	<0.001
<100 mGy	26,283	1.12	0.45-1.80	0.005
<50 mGy	24,518	1.38	0.20-2.60	0.05
<20 mGy	21,293	1.3	-1.33-4.06	0.42

全固形がん死亡相対リスク

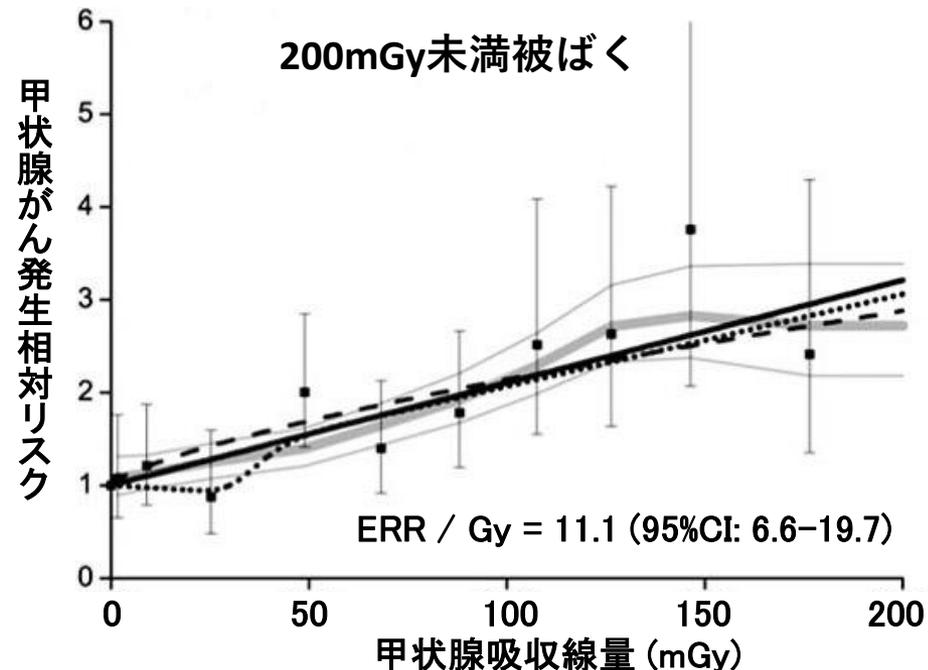
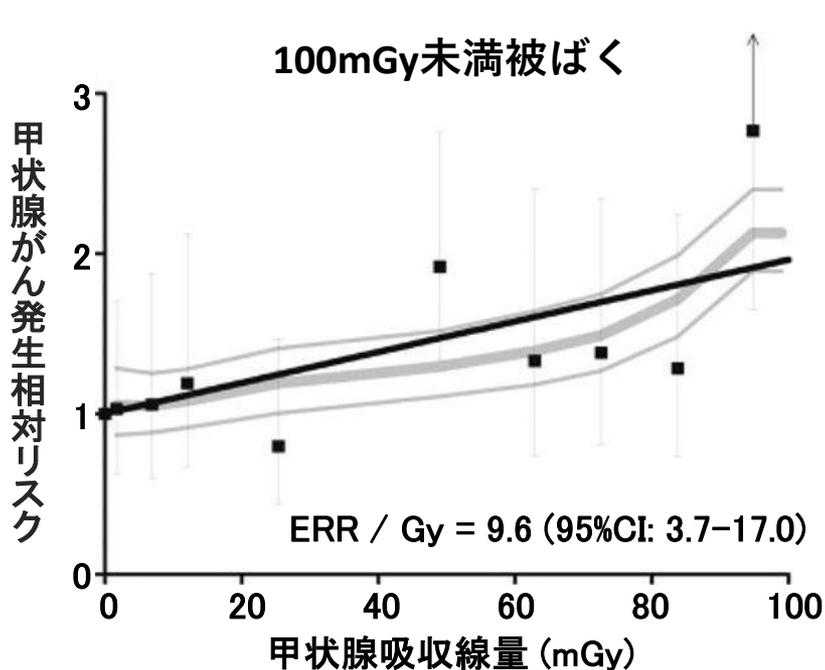


従来、低線量率・低線量での死亡リスクは、中高線量の1/2程度とされてきた

2015 中高線量のリスクと同程度
2023 中高線量のリスクより大きい

100mGy未満でも、さらに50mGy未満の低線量域に限定して解析しても、固形ガン死について、統計的に有意なリスク増加が認められている。

9 件の疫学的コホートのプール解析 200 mGy未満の被ばくに限定(追跡期間 250 万人年以上
(小児がん生存者 2 件、小児期良性疾患X線治療者 6 件、小児期原爆被爆生存者 1 件))



(J H Lubin et al. J Clin Endocrinol Metab. 102:2575-2583, 2017より引用)

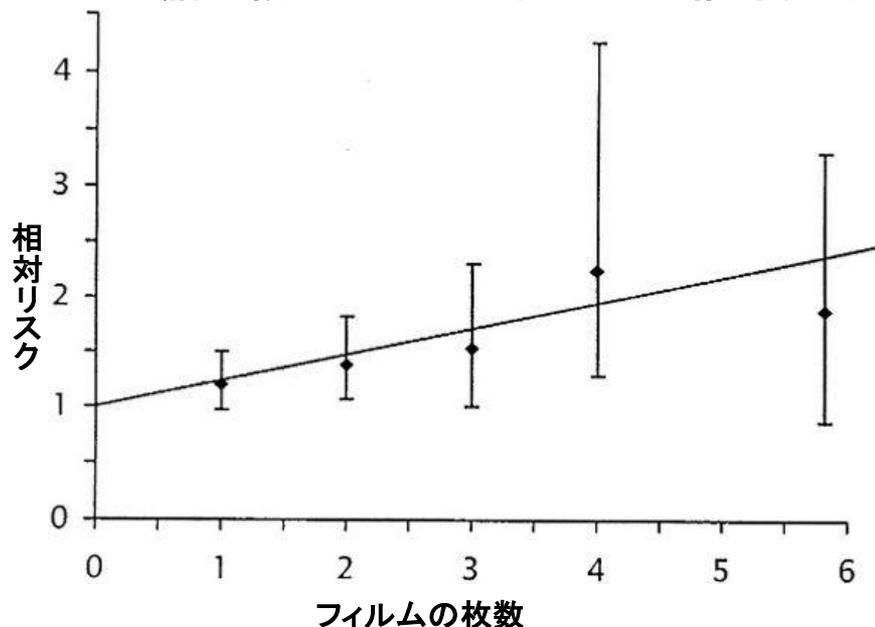
- ・0-200mGyでも0-100mGyでも、相対リスクは甲状腺線量とともに増加したが直線性から有意に外れることはなかった。**しきい値の推定値は、0mGyから30mGyの範囲**であり、95%信頼区間の上限は40mGyであった。
- ・線量反応増加傾向は、被ばく後 45 年間持続し、**被ばく時年齢が若いほど大きかった。**

J. Hongo

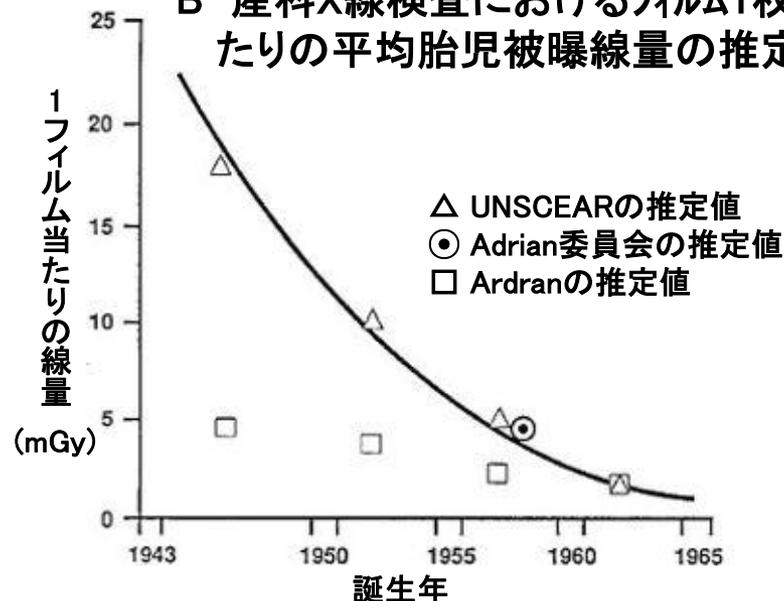
2-1.

胎児期の被ばく(妊娠中のX線による診断)

A 胎内被ばくによる小児がんの相対リスク



B 産科X線検査におけるフィルム1枚当たりの平均胎児被曝線量の推定値



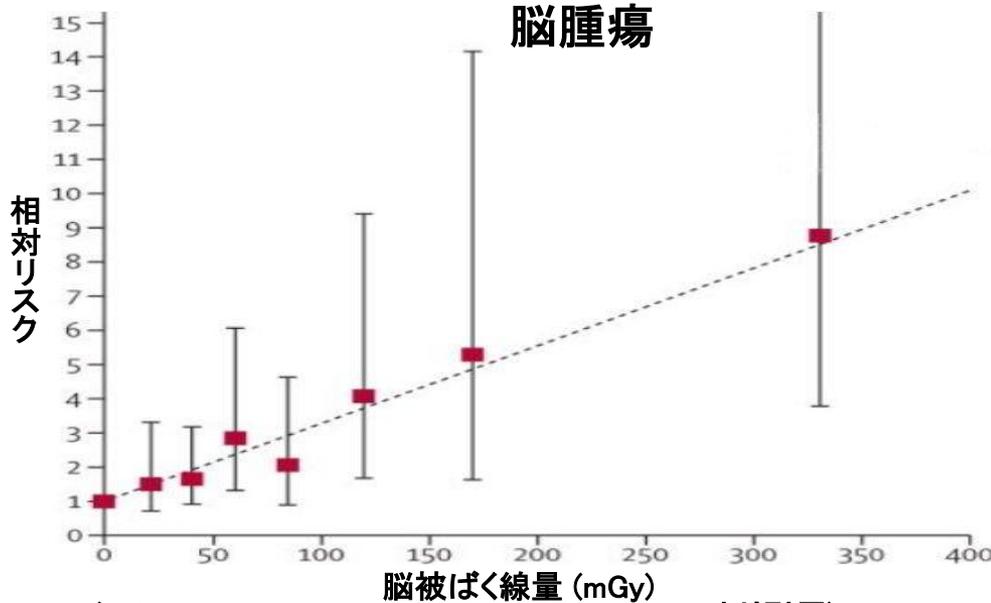
(Doll & Wakeford, Br. J. Radiol, 70, 130, 1997より)

OSCC (Oxford Survey of Childhood Cancers) オックスフォード小児がん調査

報告	平均線量 (mGy)	最大線量 (mGy)	研究内容等	腫瘍の種類	ERR / Gy (95% CI)
(Bithell and Stiller 1988)	NA	30未満	1953-1972年生まれの症例対照ペアを用いて推定した。対象は妊娠中期。	全がん死亡率	20.8 (0.27-61.8)
(Bithell and Stiller 1988)	NA	30未満	1953-1972年生まれの症例対照ペアを用いて推定した。対象は妊娠後期。	全がん死亡率	28.8 (17.1-43.6)
(Bithell 1993)	NA	30未満	1953-1979年生まれの対照ペア	全がん死亡率	51 (28-76)

2-2.

小児期のCT検査による被ばく



(MS Pearce, et al, Lancet online June 7, 2012より引用)

- ・CTの回数に応じて白血病や脳腫瘍が有意に増加している。
- ・日本小児科学会や学術会議は、小児のCT検査を可能な限り避けるように警告している。
- ・例えがんの素因があったとしても、交絡因子として除外するのではなくそれは(放射線に弱い)個人差として扱われるべきである。

発がんリスクの上昇が見られた小児のCT検査報告例

報告	平均線量 (mGy)	最大線量 (mGy)	研究内容等	腫瘍の種類	ERR / Gy (95% CI)
(Pearce et al. 2012)	44.63	330	UK-NCI小児CTコホート、初回CT年齢21歳未満、1985-2008年	脳腫瘍	23 (10-49)
(Mathews et al. 2013)	5.9	NA	オーストラリアCT調査 1985年1月時点で0-19歳の者、またはそれ以降に生まれた者 1985-2007年	白血病+MDS	39 (14-70)
(Mathews et al. 2013)	48	NA	オーストラリアCT調査 1985年1月時点で0-19歳の者、またはそれ以降に生まれた者 1985-2007年	脳腫瘍	21 (14-29)
(Krille et al. 2015)	34.4	NA	ドイツの乳児CT研究、1980-2010年、初回CT時年齢15歳未満	脳腫瘍	8 (4-13)
(Meulepas et al. 2018)	38.5	220	初回CT時の小児(18歳未満)を対象としたオランダのCT研究。初回CT:1979-2012年	脳腫瘍	8.6 (2.0-22.2)

医療診断用低線量被ばくによる小児期および胎内被ばくのリスク

	報告	平均線量 (mGy)	最大線量 (mGy)		備考	腫瘍の種類	ERR / Gy (95% CI)
生後被ばく	(Ronckers et al. 2001)	4	30	オランダで鼻咽頭ラジウム照射を受けた子供たち1945-1981年、追跡期間1982-1997年		リンパ増殖性および造血性悪性腫瘍死亡率	450 (50,1690)
	(Pearce et al. 2012)	44.63	330	UK-NCI小児CTコホート、初回CT年齢21歳未満、1985-2008年		脳腫瘍	23 (10, 49)
	(Mathews et al. 2013)	5.9	NA	オーストラリアCT調査 1985年1月時点で0-19歳の者、またはそれ以降に生まれた者 1985-2007年	1年遅れ、線量率はスキャンごとの平均線量に基づくスキャン	白血病+MDS	39 (14,70)
	(Mathews et al. 2013)	48	NA	オーストラリアCT調査 1985年1月時点で0-19歳の者、またはそれ以降に生まれた者 1985-2007年	5年遅れ、線量率はスキャンごとの平均線量に基づく	脳腫瘍	21 (14,29)
	(Krilie et al. 2015)	34.4	NA	ドイツの乳児CT研究、1980-2010年、初回CT時年齢15歳未満、ラゲ2歳		脳腫瘍	8 (4,13)
	(Lubin et al. 2017)	29.91	200	9つのプール解析	甲状腺吸収線量<200mGy	甲状腺がん	11.1 (6.6,19.7)
	(Lubin et al. 2017)	17.3	100	9つのプール解析	甲状腺吸収線量<100mGy	甲状腺がん	9.6 (3.7,17.0)
	(Little et al. 2018)	19.6	100	100mGy未満の9コホートとLSS解析		AML+MDS	20.9 (4.1,49.2)
	(Nikkila et al. 2018)	6.29	33.2	フィンランドがん登録に基づく症例対照研究 1990-2011年	NCIGTソフトを使用したコントロールの線量の中央値	白血病+MDS	130 (20,260)
	(Meulepas et al. 2018)	38.5	220	初回CT時の小児(18歳未満)を対象としたオランダのCT研究。初回CT:1979-2012年	除外とタイムラグ 5年脳線量	脳腫瘍	8.6 (2.0,22.2)
	(Zidane et al. 2021)	1.98	194.2	フランスCATHY3施設症例対照研究。小児医療に焦点をあてた 2002-2006年	線形-二次-指数関数の線形部分	甲状腺がん	17 (0.6,35)
胎内被ばく	(Bithell and Stiller 1988)	NA	30未満	OSCC症例1953-1972年生まれの症例対照ペアを用いて推定した。対数線形モデルとUNSCEARに基づく線量の対数線形モデル	トリメスター2、(UNSCEAR 1972)による1943-1949年の最大線量率	全がん死亡率	20.8 (0.27,61.8)
	(Bithell and Stiller 1988)	NA	30未満	OSCC症例1953-1972年生まれの症例対照ペアを用いて推定した。対数線形モデルとUNSCEARに基づく線量の対数線形モデル	トリメスター3、(UNSCEAR 1972)による1943-1949年の最大線量率。	全がん死亡率	28.8 (17.1,43.6)
	(Bithell 1993)	NA	30未満	OSCC 1953-1979年生まれの対照ペア	1959年のGilmanらの年別データに対数線形2次モデルを当てはめ、Moleの産科X線写真1枚当たり6.1 mGyを用いて推定した。	全がん死亡率	51(28, 76)

平均 5mGy前後や最大 30mGy以下でもがんが 発生している

???

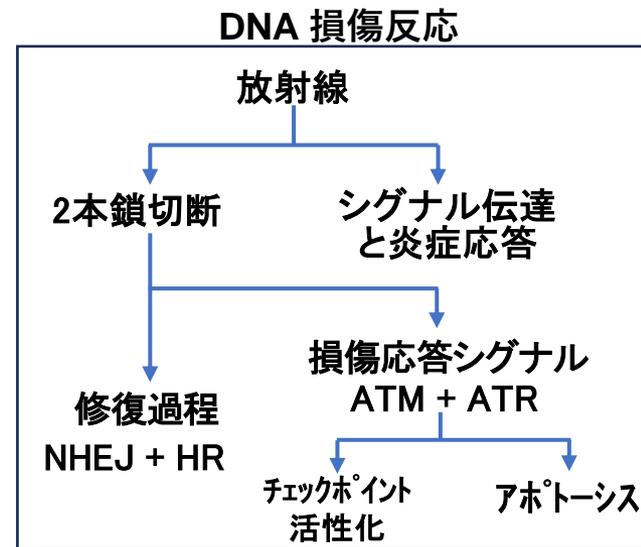
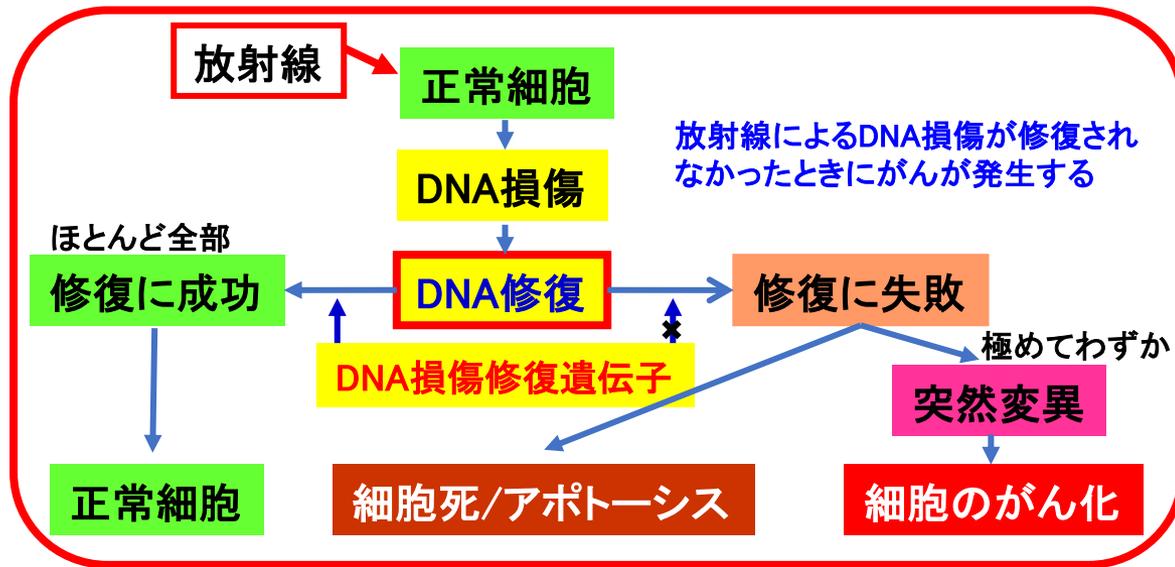
日本:
20mSv/年以上が
「避難すべき基準」
 チェルノブイリ:
 5mSv/年以上は
「義務的移住ゾーン」
 1mSv /年以上は
「移住の権利」

小児科学会や学術会議
 は、小児のCT検査を可
 能な限り避けるように警
 告

M.P. Little et al. Environ
 Internat 159 (2022) 106983
 Table 2より

3-1.

放射線感受性が高くなる遺伝子がある



DNA損傷修復に関与する遺伝子に異常があると放射線感受性が高くなる

下記の遺伝子はいずれもDNA2本鎖切断の修復に関与

ATM

- ・毛細血管拡張性運動失調症の原因遺伝子
- ・白血病、リンパ腫を発生しやすい

NBS1

- ・ナイミーヘン症候群の原因遺伝子
- ・リンパ腫を発生しやすい

生まれつきこれらの遺伝子の異常をヘテロ接合の形で持っている人が世界に1~5%存在

BRCA1/2

遺伝子アレルのヘテロ接合

正常

変異(+)

- ・遺伝子の一方の変異した生殖系列のアレルの保持は、乳癌や卵巣癌、前立腺癌の発症リスクが高い(女優アンジェリーナ・ジョリーは乳癌予防的切除術を受けたことで有名)
- ・全乳癌の5-10%を占める。家族性卵巣がんの70-80%を占める。
- ・BRCA1/2変異を有する女性では30歳前のレントゲン、マンモグラフィーやCTにおいても乳癌リスクが増加 (Pijpe A et al. BMJ 2012; 345: e5660 甲D共325)

放射線感受性が高くなる遺伝子と疾患がある

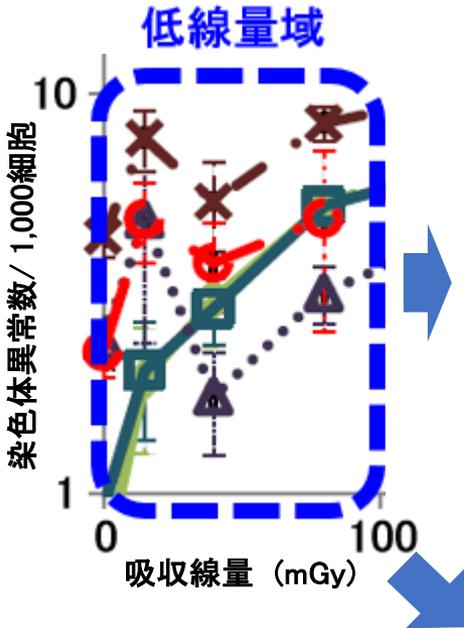
原因	疾患	遺伝子異常	備考
非相同末端接合 (NHEJ) の欠損	重症複合免疫不全症(SCID)- ligase IV	リガーゼIV遺伝子の変異	DSB修復の根本的欠陥
	SCID -Artemis	ARTEMIS遺伝子の変異	
	SCID -DNAPKcs	DNAPKcs遺伝子の変異	
	Cernunnos	Cernunnos遺伝子の変異	
相同組換え修復 (HRR) の障害	ファンコニー貧血(FA)およびFA様疾患	FANCA遺伝子等の変異	放射線抵抗性DNA合成に欠陥
	RAD51類似体疾患	RAD51C遺伝子等の変異	
	ブルーム症候群	BLM遺伝子の変異	G2照射後に感受性が大きく上昇
放射線損傷の認識や伝達に關与する遺伝子の障害	毛細血管拡張性失調症 (AT)	ATM遺伝子の変異	高い放射線感受性
	毛細血管拡張性失調症様障害	RASA1遺伝子の変異	
	ナイミーヘン症候群 (NBS)	NBS1遺伝子の変異	
	NBSlike disorder	RAD50遺伝子の変異	
	RIDDLE症候群	ERCC6L2遺伝子の変異	
染色体の姉妹染色分体結合の障害	コルネリア・デ・ランゲ症候群 (CdLS)	NIPBL変異を有する	相同組換え修復に欠陥
	ロバート症候群	早発性染色分体分離	
	Warsaw breakage syndrome	DDX11遺伝子の変異	
放射線誘発がんの素因保持者	BRCA1/BRCA2遺伝子の保因者	BRCA1/BRCA2の遺伝子変異	乳癌および卵巣癌素因
	ウィルムス腫瘍	WT1 /WT2の遺伝子変異	
放射線誘発がんを発生させる遺伝性疾患	網膜芽細胞腫	RB1 遺伝子の変異	放射線誘発癌リスクの上昇
	LiFraumeni症候群 (LFS)	TP53の生殖細胞系列変異	乳房、脳、副腎、造血組織等の発がん
	基底細胞母斑症候群 (BCNS)	PTC腫瘍抑制遺伝子の変異	
	神経線維腫症1型 (NF1)	NF1遺伝子の変異	放射線誘発癌リスクの上昇
胎児期に獲得された染色体異常	白血病の一部	白血病関連転座	低線量放射線でリスク上昇
動脈硬化患者	動脈硬化性疾患		低線量率被ばくで放射線感受性が増加
自己免疫疾患患者	関節リウマチ、全身性エリテマトーデス (SLE)、多発性筋炎など		放射線感受性が高い

Human Radiosensitivity, Report of the independent Advisory Group on Ionising Radiation, © Health Protection Agency 2013 より 本行作表

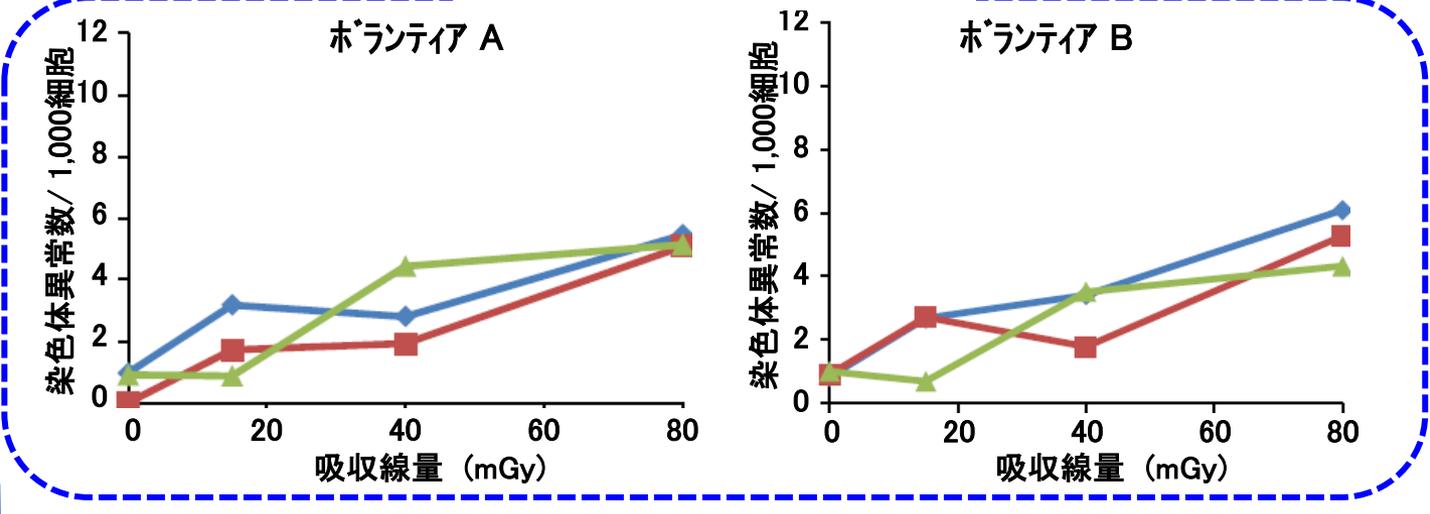
- ・ 10mGy以下の被曝ばく量では、修復されないDSBが長期間持続することが2つの研究で観察されている(Grudzenski et al, 2010; Rothkamm and Lobrich, 2003)

3-2. 低線量被ばくの影響にも個人差があることを示す研究

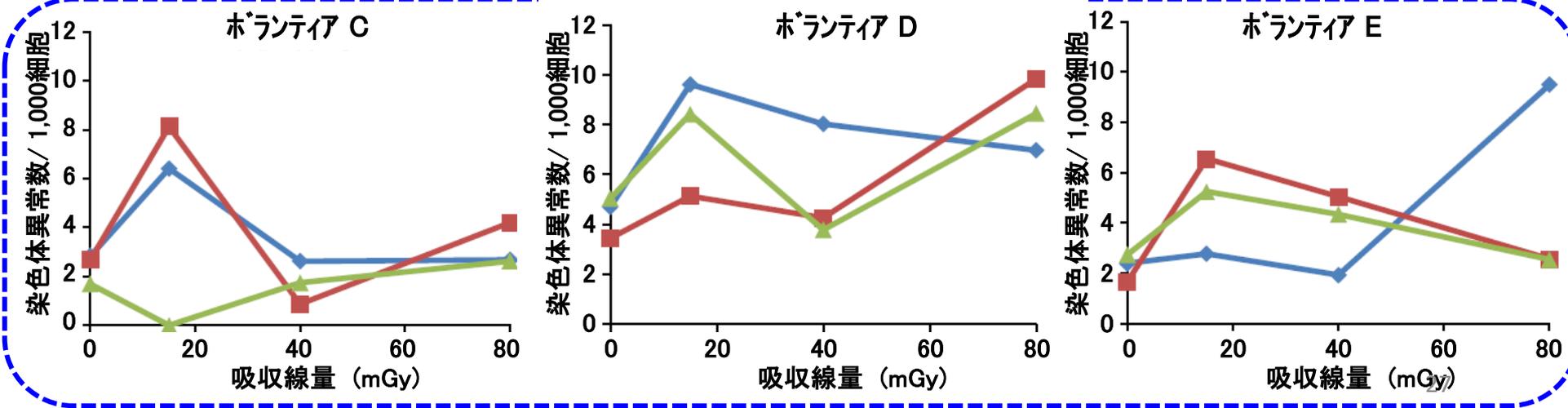
染色体異常の増加が明瞭/不明瞭なグループが存在



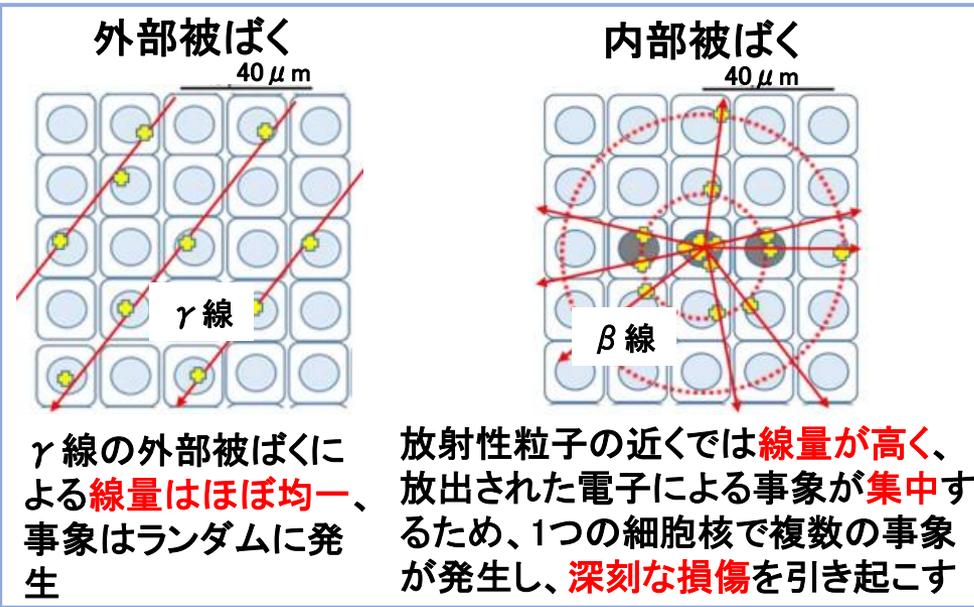
低線量で直線的に増加



低線量で増加がはっきりしない



4. 内部被ばくの場合、平均は低線量でも中心部は高線量で重篤な障害



(K.Shichijo et al. Biomed., 8, 171 (2020))
(甲D共294)

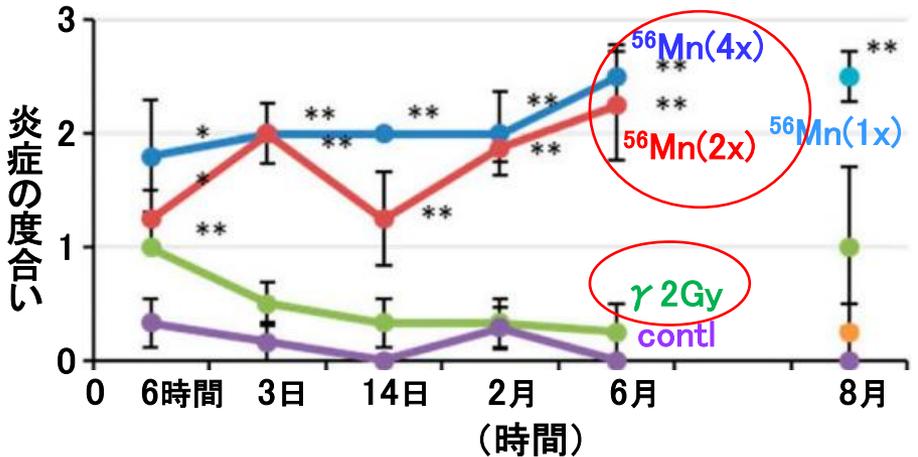


⁵⁶Mnによる肺組織の平均線量は0.1Gyでも中心部は10Gy以上の高線量

実験結果

- ・⁵⁶Mnにより肺に持続的な障害(出血、肺気腫、炎症)
- ・0.1 Gyの内部被ばくによる肺組織の障害は重篤
- ・2 Gyのγ線外部被ばくによる障害はほぼなし
- ・内部被ばく平均線量が0.1 Gyであっても、中心部の線量は10 Gy以上の高線量

短半減期放射性マンガン (⁵⁶Mn半減期: 2.58h) を吸入したラットの肺組織の影響



- ・短半減期放射性核種の内部被ばくは、組織に非常に大きな障害を与え、初期の影響が長期間持続する可能性
- ・短半減期放射性ヨウ素等においても⁵⁶Mnと同様に、高線量・高線量率に作用した甲状腺組織に持続的な炎症や組織破壊が進行する可能性

幼少期の被ばくにより、甲状腺がんのリスクは高い状態で非常に長期間続く

被ばくの影響は13年やそこらで関係ないと言い切れるものではない

未成年時の原爆被爆で60年以上たっても甲状腺がんリスクは高い状態が続く

Furukawa K, et al. (2013). Int J Cancer. 132(5):1222-6, 2013. (放射線影響研究所)

幼少時にいかに低線量であっても、いったん被ばくすると、甲状腺細胞が損傷を受け、長期にわたりその影響が持続する可能性があり、(チェルノブイリ原発事故から20年たった今も)現在20~30歳の人に対しては特別の注意が向けられるべきである。

Shunichi Yamashita, 2006, “Chernobyl Beyond 20 Years and Thyroid Cancer” Hot Thyroidology; no. 2

小児期低線量被ばくによる甲状腺がん線量反応増加傾向は、被ばく後 45 年間持続し、被ばく時年齢が若いほど大きかった。

J H Lubin, et al. J Clin Endocrinol Metab. 102:2575-2583, 2017.

Ⅲ 福島で多発している甲状腺がんについて

1. 甲状腺がん患者数と術後経過
2. 甲状腺結節の経時的変化
3. 甲状腺がんの累積罹患率
4. 甲状腺がんの遺伝子異常について

1.

現在まで明らかになっている甲状腺がん患者数

検査	検査実施年	対象者数	受験者数	細胞診で悪性疑い	悪性疑い/受信者(%)	手術したがん患者確定数	がん患者/受信者(%)
1巡目	2011-13	367,637	300,472	116*	0.039	101	0.034
2巡目	2014-15	381,237	270,552	71	0.026	56	0.021
3巡目	2016-17	336,667	217,992	31	0.014	29	0.013
4巡目	2018-19	294,228	183,410	39	0.021	34	0.019
5巡目	2020-22	252,938	113,959	46	0.04	42	0.037
6巡目	2023-25	211,897	42,416	6	0.014	0	0
25歳節目		149,843	42,416	23	0.054	18	0.042
30歳節目		44,489	2,221	6	0.27	4	0.18
検査で把握された患者数				338		284	
がん登録で把握された患者数				43		43	
				合計 380人		合計 327人	

((第52回「県民健康調査」検討委員会2024.8.2資料、OurPlanet-TV <https://www.ourplanet-tv.org/49381/> より)

甲状腺がんの再発は9.7%

1人は術後に良性

鈴木眞一教授 第66回日本甲状腺がん学会(2023.12.9)

対象：2012年から2021年までに手術した217人の症例

観察期間：1年～9年8ヶ月

再発部位：対側葉の再発が7例、肺転移が4例、外側のリンパ節転移が11例

再発率：全摘患者12.5%、片葉切除患者9.5%、全体では9.7%

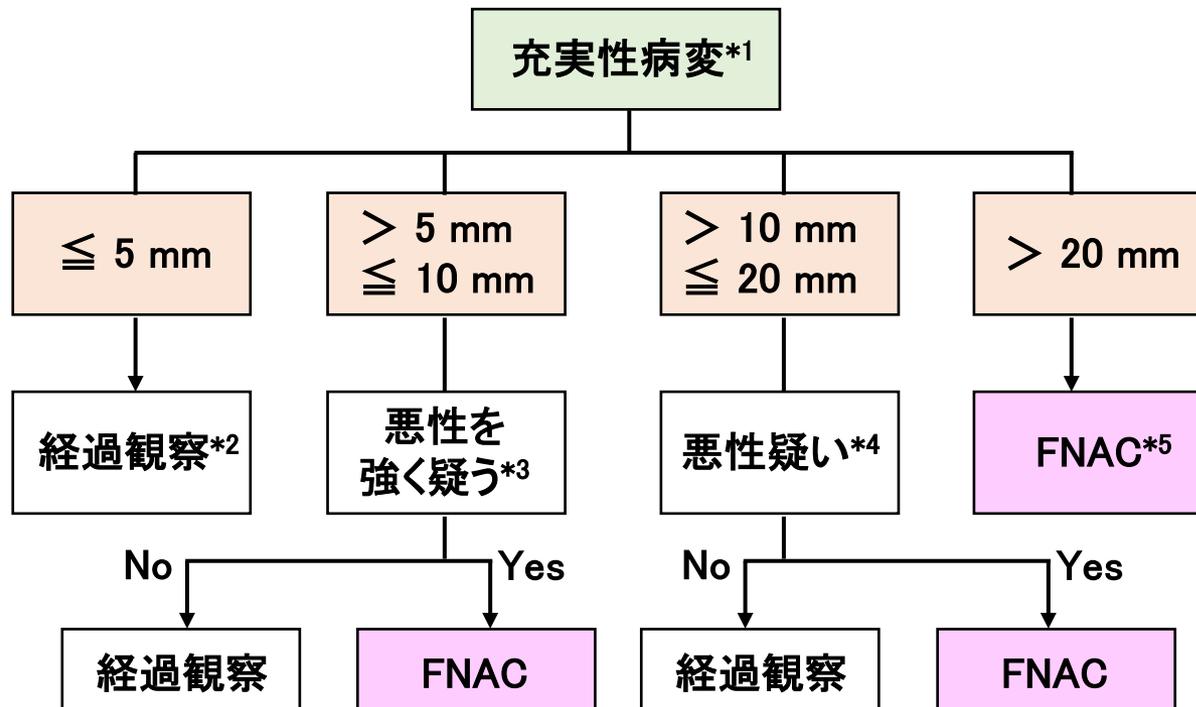
RAI治療(放射性ヨウ素内用療法)：16人のべ19回施行

J. Hongo

(OurPlanet-TV <https://www.ourplanet-tv.org/47990/> より)

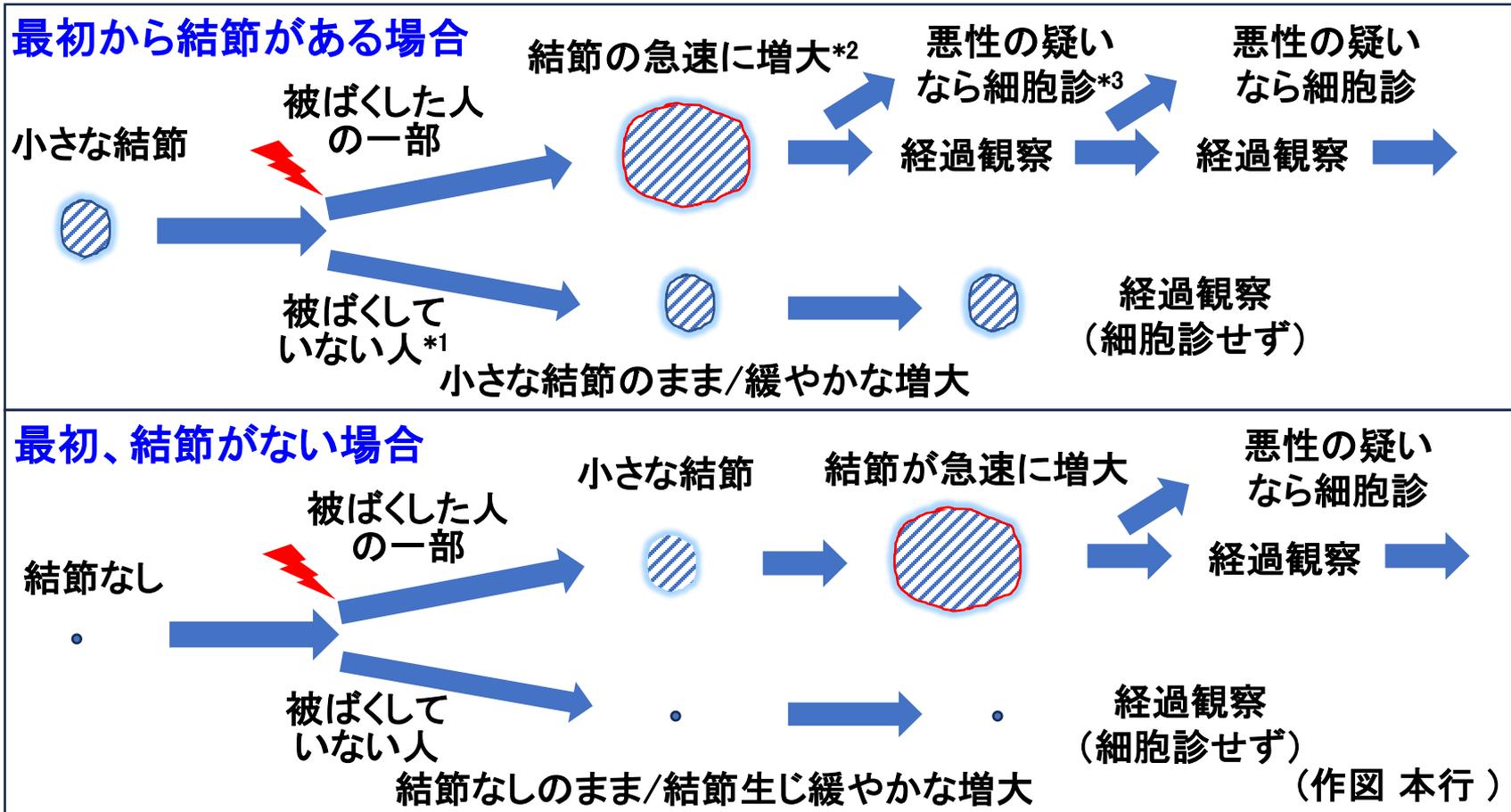
2.

充実性病変の精査の進め方



- *1: 多発性結節については、個々の結節に対して嚢胞性病変か充実性病変の基準に従う。しかし、過形成結節（腺腫用結節、腺腫様甲状腺腫）は超音波検査のみで経過観察する。
- *2: 頸部リンパ節転移や遠隔転移が疑われた場合や、血中CEA、カルシトニンが高値であった場合、甲状腺癌の家族歴がある場合はFNACを施行する。
- *3: 甲状腺結節（腫瘍）超音波診断基準に照らし合わせて、‘悪性を強く疑う場合（ほぼ全項目が悪性に該当する場合）’
- *4: 甲状腺結節（腫瘍）超音波診断基準に照らし合わせて、‘いずれかの所見が1項目でも悪性であった場合や、カラードブラ法で結節内の血流（貫通血管）を認めた場合’
- *5: FNAC = 穿刺吸引細胞診

被ばくの有無から予想される甲状腺結節の経時的変化



*1 ただし、自然発生する甲状腺がん症例を除く。診断時年齢が0～19歳の甲状腺がんの2003～2010年の年間平均罹患率は100万人当たり2.2人(国立がん研究センター統計資料より)。

*2 2年以内に増大するものを「急速」と表現した。その根拠は、「(検査1-3回目結果より)

甲状腺がんが2年の検査間に新たに出現してくる」(志村浩己 2024年日本甲状腺学会)による。

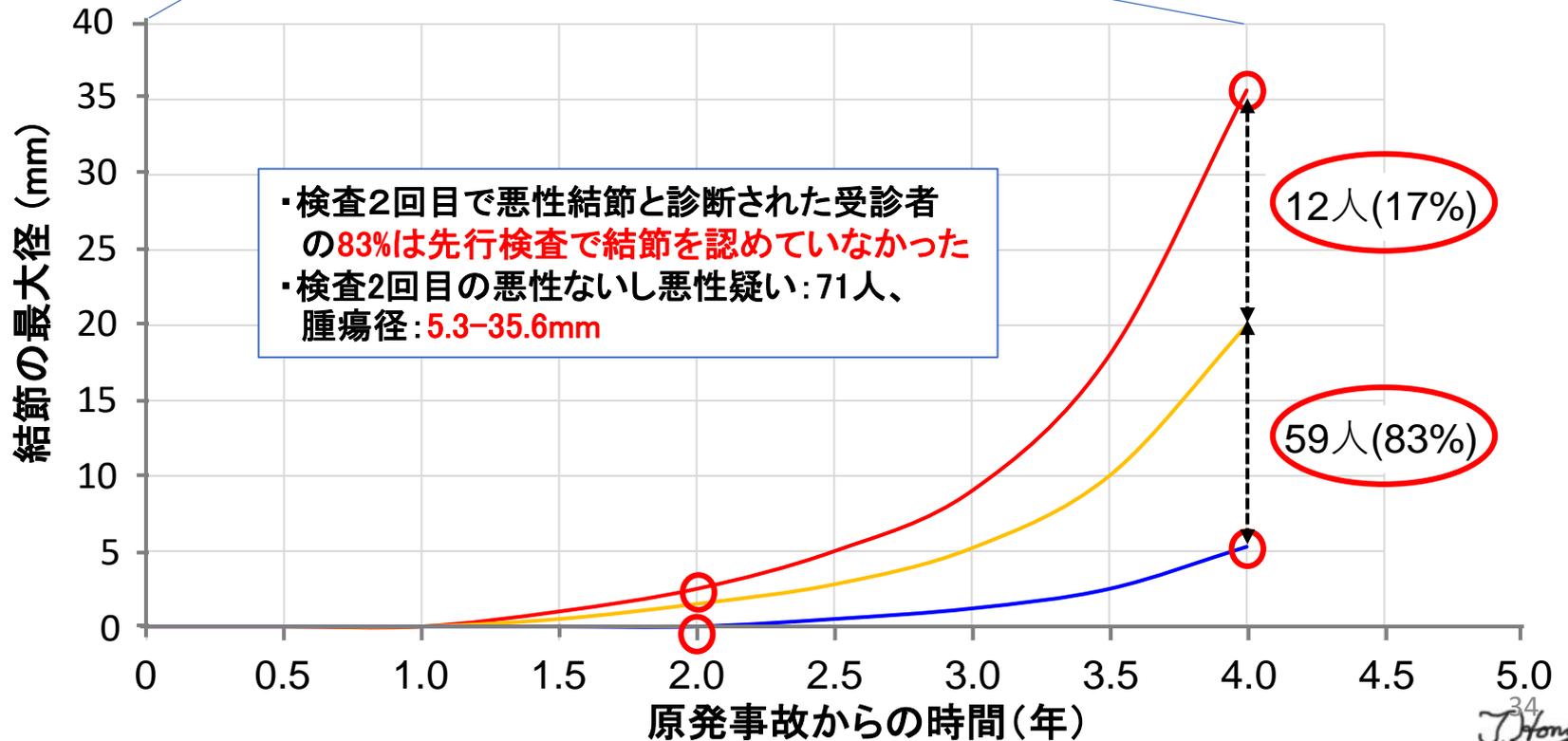
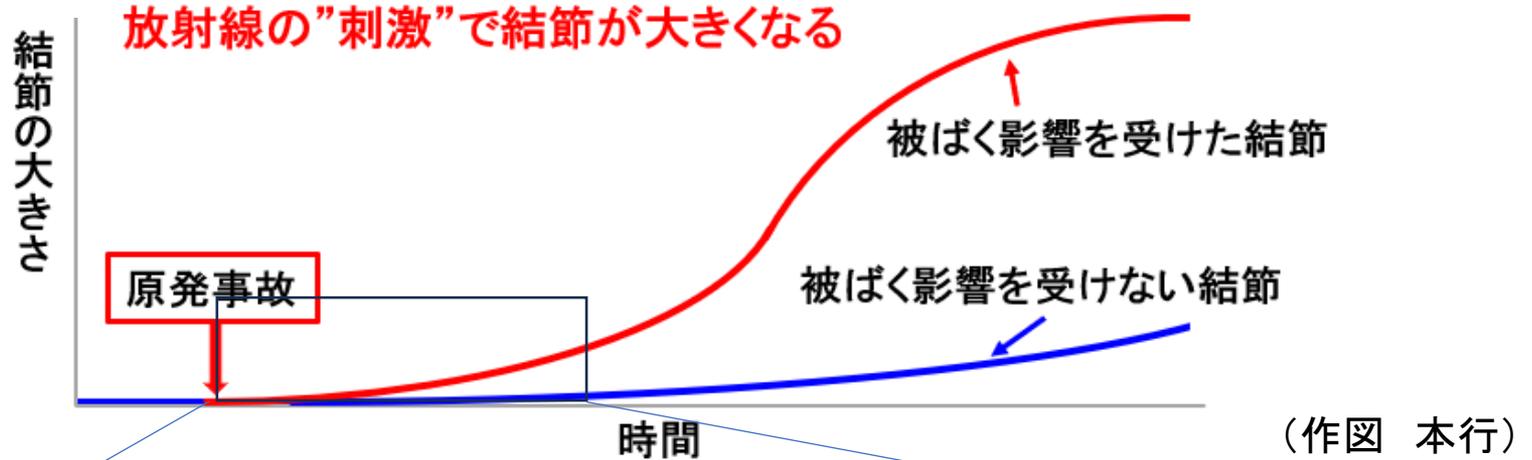
検査2回目で悪性結節と診断された83%は検査1回目で結節が認められていなかった。

検査3回目で悪性結節と診断された64%は検査2回目で結節が認められていなかった。

*3 20mmまでは悪性所見がない場合は細胞診を行わず経過観察が原則(図3参照)。

J. Hongyo

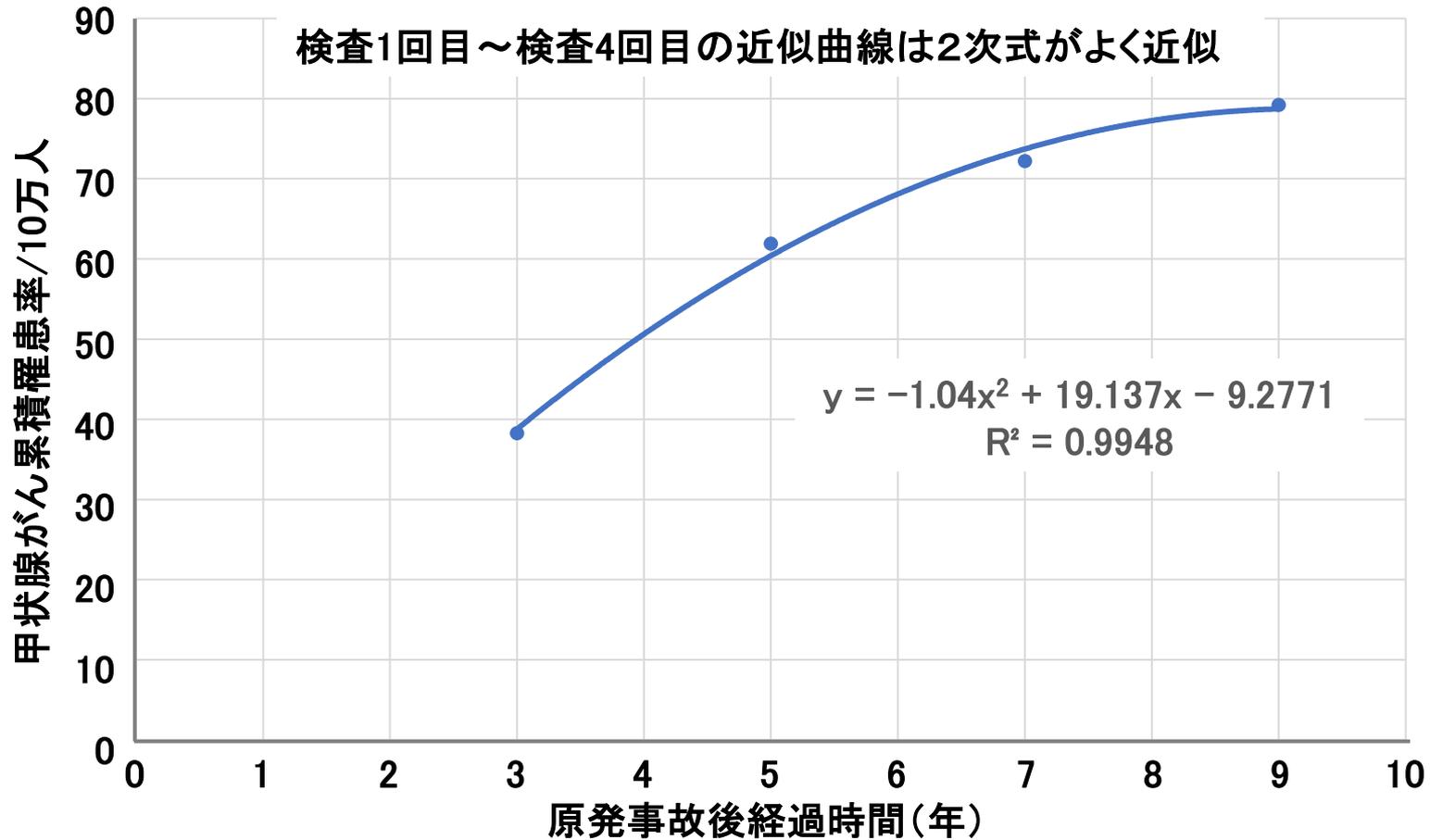
被ばくの有無から予想される甲状腺結節の大きさの経時的変化のグラフ



3.

福島県の小児甲状腺がんの累積罹患率

検査1回目1次検査受診者(300,472人)に対する18歳以下(事故時)小児甲状腺がんの10万人当たりの累積罹患率



(県民健康調査 2020年3月31日現在のデータを基に作成)

(本行 作図)

J. Hongyo

4.

チェルノブイリと福島の甲状腺がんは遺伝子異常タイプが違ふから被ばくの影響は考えにくいと言えるか

Most prevalent genetic alterations described in adult and pediatric

PTC Genetic Alterations	Adult PTC	Pediatric PTC		
		Sporadic	Post-Chernobyl	Post-Fukushima
BRAF ^{V600E}	27-83 %	0-63 %	0-17 %	70%
RET/PTC1-3 fusions	5-70 %	0-37 %	27-77 %	6.50%

(Rangel-Pozzo et al. Cancers, 2020)

チェルノブイリ: RET/PTC fusionが多い
 福島: BRAFの(V600E) point mutationが多い



遺伝子異常のパターンが大きく異なるので、福島で発生している甲状腺がんの被ばくの影響は考えにくい

光武 範吏氏 2021.11.6 第 58 回放射線影響懇話会(web講演)

どちらのタイプもsporadicな甲状腺がんにも見られている(頻度は国によって様々)ことから、被ばくの影響に関しては全く論じることはいできない

「放射線専門の先生: BRAF変異は日本の大人でよくみられるので、小児で見つかったがんはそれを早く見つけただけではないか。」とあたかもスクリーニング効果と言わんばかりの人がいる



実際は、甲状腺が放射線の刺激を受けてBRAF変異を起こし、甲状腺がんが発生、それを早く見つけられたと考えるのが自然

T. Hongyo

まとめ

UNSCEAR報告書の過小評価の原因は甲状腺係数や屋内退避効果を1/2に、不確実性が非常に高い吸入被ばく量を不自然に大幅に下げ、経口摂取の被ばくをほぼ無しとしたことによるところが大きい。

UNSCEAR報告書によると避難した小児の平均推定甲状腺吸収線量は非常に低くなっているが、最も必要とされる最大値が示されていない。

1080名の小児甲状腺直接計測は、計測地点や計測方法に問題が多く、避難者の実際の被ばく量から大きくかけ離れた不適切なものであり、これを基準にしたチェルノブイリとの比較や推定値との比較は成り立たない。

INWORKS2023、Lubinの小児甲状腺がん研究はいずれも低線量被ばくでも、がんのリスクが有意に上昇することを証明しており、LNTモデルを強く支持している。

胎児・小児の医療用被ばくやチェルノブイリでは10mGy以下でもがんの発生が認められており、例え低線量被ばくであっても、放射線感受性に対する個人差や内部被ばくの特性、複合影響等を考慮すると、“安全な被ばく量”は存在しないと考えるべきである。

低線量でも個人差等で発がんのリスクがあることや低線量被ばくだけではなかったことを考慮すると、多発している福島甲状腺がんの原因として、原発事故の影響以外考えられない。

ご清聴ありがとうございました