

2014年7月16日（水）17時～
イイノカンファレンスセンター
第8回東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う
住民の健康管理のあり方に関する専門家会議

低線量被ばくによる健康影響

岡山大学環境生命科学研究所
津田敏秀

100mSv被ばくが閾値？

- 100mSv未満の被ばくでは、放射線によるがんが出ない？
- 100mSv未満の被ばくでは、放射線によるがんがたとえ出ても、分からない？
- しかし、放射線による発がんは閾値がない
 - 1949年にICRPの前身の国際X線ラジウム防護諮問委員会IXRPCで、放射線によるがんの発生には閾値はないと結論
 - その後、変えられてはいない

電気新聞2014年2月20日8面

- 松浦祥次郎氏(日本原子力研究開発機構理事長、原子力安全研究協会評議員会長、原子力安全推進協会代表)旧原研理事長を経て、00年から06年まで原子力安全委員長
 - しかし、今回の事故後の社会的状況は、科学的、且つ、疫学的な「100ミリシーベルト以下の被ばく領域では放射線影響はみられない」という評価と、「被ばくは少ない方が良い」との放射線防護上の立場から100ミリシーベルト以上における線量と影響の直接関係を、それ以下にも延長して安全面に配慮したと一般公衆に説明しても、納得してもらえないことを示している。

電気新聞2014年2月20日8面

- 松浦祥次郎氏旧原研理事長を経て、00年から06年まで原子力安全委員長
 - それならば、疫学的研究とは別の視点から低線量被ばく影響を全身から器官、組織、細胞そして遺伝子レベルに至るまで検証し、より明確な科学的証拠を示すことが要請されていると考えるべきではなかろうか。そのための科学的、技術的手段を入手できる文明的環境に至っていると思われる。

疫学が人における因果関係を明らかにする基礎的科学方法論であり「科学的根拠に基づいた医学EBM」の方法論である。人に関しては他に「より明確な科学的証拠」はない。

ICRP2007勧告の記載

- A.4.1.放射線反応に関する基礎データ
- (A86)...しかしながら、がんリスクの推定に用いる疫学的方法は、およそ100mSvまでの線量範囲でのがんのリスクを直接明らかにする力を持たないという一般的な合意がある。
- ただし、これは・・・
 - 全がんで、主に広島長崎の被ばく者追跡データ（LSSコホート）での話

ICRP2007年勧告A86は、

- 「100mSv以下の被ばくでは、放射線によるがんの発生はない」と言っているわけではなく、
- 「これから福島県において、放射線によるがんが目立ってくるようなことはない」と言っているわけでもない、
- 単に、「LSSコホートでは100mSv以下で統計的有意差がなかった」と言っているだけ・・・である

UNSCEAR 2008

- Paragraph D251
- At today's level of knowledge, there are reliable epidemiological data on risks of cancer morbidity and mortality due to radiation exposure of cohorts of individuals with an acute average dose of the order of 100mSv and above. So far, neither the most informative LSS study nor any other studies have provided conclusive evidence of carcinogenic effects of radiation at smaller [than 100 mSv] doses.

UNSCEAR (2008)にも、似たような記載があるが、やはり統計的有意差がないと言っているだけのものである

有意差が出てくるいくつかの条件

1. 観察数(被ばく者数)が大きくなる
2. 放射線感受性の高い集団に限る
 - 若年者被ばく、胎児被ばくの集団に限る
3. 放射線感受性の高いがんに限る
 - 白血病、脳腫瘍、甲状腺がん、乳がんなど
- 他にも、非被ばく者でほとんど起きないがんに限る、観察時間を長くする、5%有意でなく10%有意をとる、などがあるが...
 - 上記のいずれかを満たせば有意な上昇が示される
 - 「全年齢層・全がんで統計的有意な上昇がなかった」と「あの年齢層に、あのがんが多発」とは違う

WHO (2013)も、甲状腺がん・白血病・乳がん・その他の固形がんの多発が起きると言及(特に若年者に)

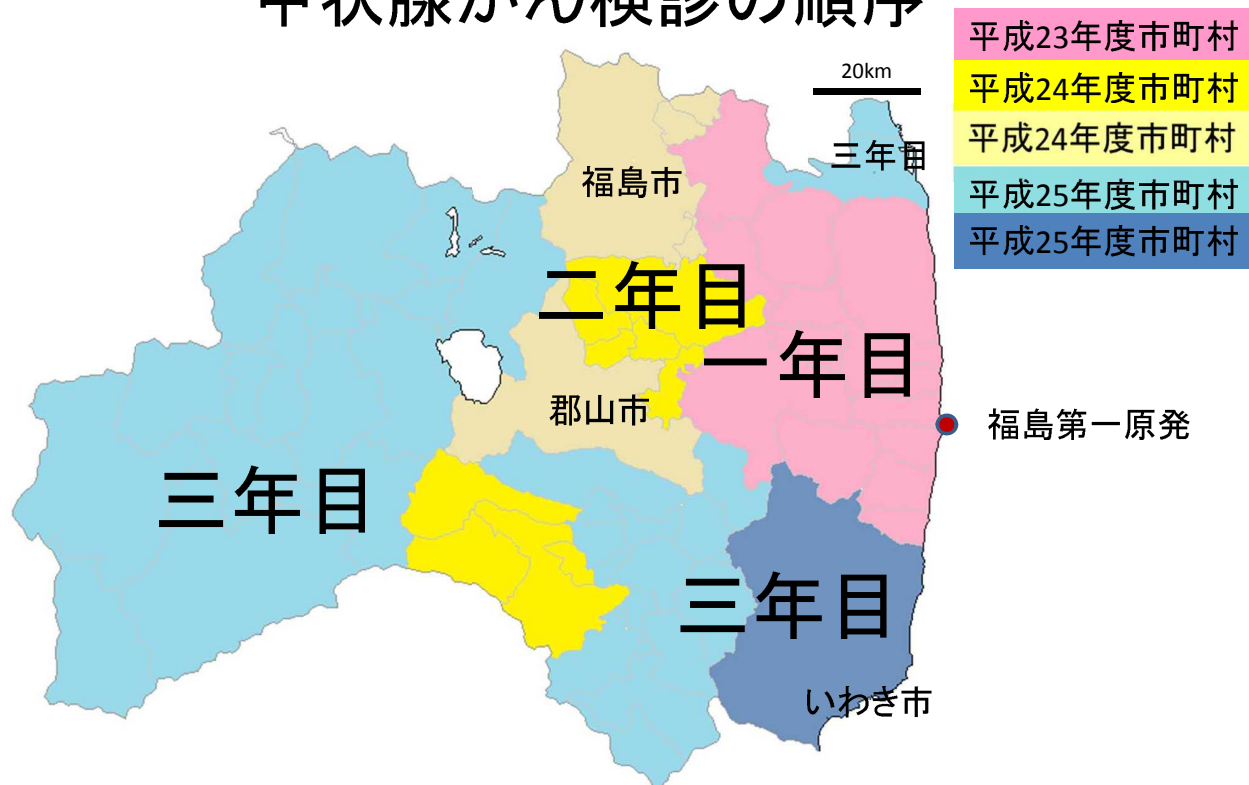
表 1 甲状腺がん検出割合内部比較 (会津・相馬地区を基準にした有病オッズ比)

	がん症 例数	一次検診 受診者数	POR*	(95% C.I.) *	検出割合
H23年度地域	14	41,981	6.11	(1.08-130.53)	1/2,998.6
H24北(福島市ほか)	12	50,773	4.33	(0.75-93.48)	1/4,231.1
H24中(二本松市ほか)	11	17,969	11.22	(1.92-243.83)	1/1,633.5
H24郡山市	23	54,951	7.67	(1.43-179.76)	1/2,389.2
H24南(白河市ほか)	8	16,912	8.67	(1.39-194.01)	1/2,114.0
H25いわき市	14	47,519	5.40	(0.96-115.31)	1/3,394.2
H25いわき市を以外南東地区**	6	25,876	4.25	(0.63-98.45)	1/4,312.7
会津若松市除くH25年残り**	1	18,327	1		1/18,327

* 有病オッズ比(95%信頼区間)

** 二次検査受診割合70%以上の市町村

甲状腺がん検診の順序



福島県の人口密度はベラルーシ共和国ゴメリ州の約三倍

表 2 外部比較(滞在時間3年)

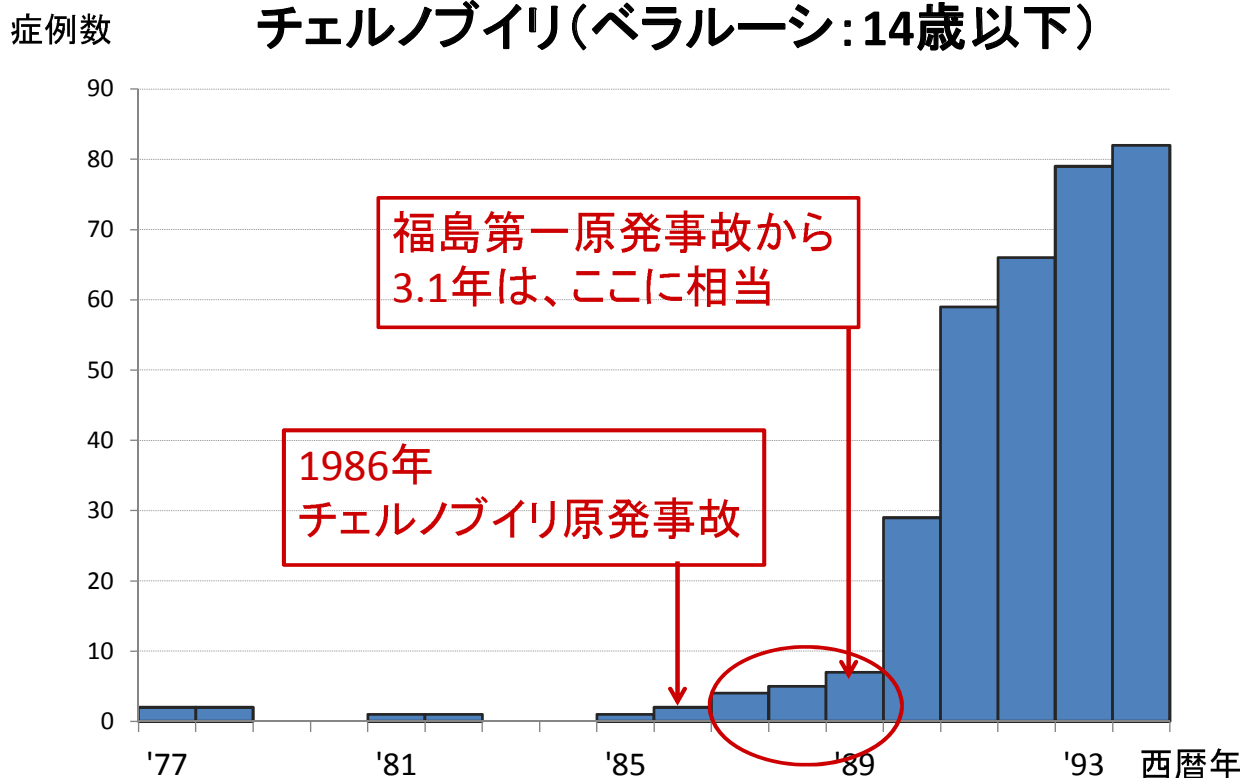
日本全国年間甲状腺がん発生率				
	100万人に5人		100万人に11人	
	IRR*	(95% C.I.) *	IRR*	(95% C.I.) *
H23年度地域(近い地域)	22.23	(12.87-37.08)	10.11	(5.85-16.86)
H24北(福島市ほか)	15.76	(8.78-27.37)	7.16	(3.99-12.44)
H24中(二本松市ほか)	40.81	(21.36-73.51)	18.55	(9.71-33.41)
H24郡山市	27.90	(18.10-41.68)	12.68	(8.23-18.95)
H25南(白河市ほか)	31.54	(14.84-62.36)	14.33	(6.74-28.35)
H25いわき市	19.64	(11.37-32.76)	8.93	(5.17-14.89)
H25いわき市を除く南東地区**	15.46	(6.73-34.23)	7.03	(3.06-15.56)
会津若松市除くH25年度残り**	3.64	(0.19-20.94)	1.65	(0.08-9.52)

* 発生率比(95%信頼区間)

** 二次検査受診割合70%以上の市町村

甲状腺がんの流行曲線

チェルノブイリ(ベラルーシ:14歳以下)



今考えるのは具体的対策

- チェルノブイリでは事故後3年以内に甲状腺がんの多発が観察され、4年後以降は大きな多発が来る
 - ベラルーシ側・ウクライナ側両方で同じような流行曲線が観察され、似た経過が来るだろう
- WHO(2013)で、甲状腺がん、白血病、乳がん、その他が、福島で多発することが予想され明示された
 - 若年者での多発は特に明瞭と思われる
 - UNSCAREも甲状腺がん多発を否定していない
- 事故後3年後の福島でも明瞭な甲状腺がんの多発が観察されている
- さらなる多発に備える対策とその準備が必要

因果関係は直接観察できない

見えないし 聞こえないし 味もしないし
においもしないし 触れることができない

では、「第六感で」というわけにはいかない



しかし因果関係は直接観察できない

観察データに基づいて推論

結果(病気)から 因果関係と原因(曝露)を推論



ところで、原因と結果のデータが完璧なのに超したことはない
しかししばしば欠落し、特に原因(曝露側)のデータが少ないので、
実際の現場では、結果側から因果関係を推論していく

原因(曝露)からの推論に固執すると、対策を遅らせ被害を拡大させる

原因(曝露)から結果(病気)を考えるのは実験室の考え方
実際の現場では結果(病気)から原因(曝露)を考える

疾患の多発が疑われ始めると病気からのアプローチが必要

考慮すべき対策

1. 流行曲線から予想される事故4-5年後の大きな甲状腺がんアウトブレイクに備える
2. 空間線量率による影響が否定できないので、できるだけの放射線防護措置を実行・援助
 - － 妊婦、乳児、幼児、児童、生徒、妊娠可能な女性の順
 - － 甲状腺がん以外への影響への配慮
3. 甲状腺がん症例把握の拡大
 - － 事故当時19歳以上だった対象者と福島県外の住民へ
4. 100mSv論の修正・撤回と重要検討事項
 - － 20mSv以下の地域に検討されている帰還計画は延期
 - － 甲状腺への被ばく負荷はヨウ素131の内部被ばくだけではない(WHO2012)

事態が進行する中での情報開示

- 放射性ヨウ素による内部被ばくだけでなく、外部被ばくの影響が否定できないため、事態は進行中と考えて今後の対応を考えるべき
- できるだけ正確で、定量的な、情報開示
 - データが得られる度に解析をして発表する
 - 現代では天気予報のように発達してきている
- 行政が住民からの信頼を得る
- 住民からの信頼を得る理由は、人的被害を最小にして、経済的損失を最小にするため

WHO(2012)甲状腺被ばく経路を3つに大別

Location	Committed equivalent dose		
	Adult Dose band, key pathways to nearest 10% ^{2,3}		
Fukushima prefecture, more affected locations (examples only, for location of measurements used see Figure 3)			
Futaba county, Namie town (committed dose from the first four months only ¹)	10-100	Inhalation External (groundshine) Ingestion	50% 40% 10%
Soma county, Itate village (committed dose from the first four months only ¹)	10-100	Inhalation External (groundshine) Ingestion	40% 40% 20%
Futaba county, Katsurao village (committed dose from the first four months only ¹),	10-100	Ingestion Inhalation External (groundshine)	40% 40% 30%
Minami Soma city	10-100	External (groundshine) Ingestion Inhalation	40% 40% 20%
Futaba county, Naraha town	10-100	Ingestion External (groundshine) Inhalation	40% 40% 20%
Iwaki city	1-10	Ingestion External (groundshine)	80% 20%
Rest of Fukushima prefecture (less affected)	1-10	Ingestion External (groundshine) Inhalation	80% 10% 10%
Neighbouring Japanese prefectures ⁴	1-10	External (groundshine) Ingestion Inhalation	40% 30% 30%
Rest of Japan ⁵	1-10	Ingestion External (groundshine)	90% 10%
Neighbouring countries ⁶	<0.01	Ingestion External (groundshine)	90% 10%
Rest of the world	<0.01	Ingestion Inhalation External (groundshine)	70% 20% 10%

吸入被ばく
外部被ばく
経口被ばく

2011年における
甲状腺等価線量

大人

WHO(2012)甲状腺被ばく経路を3つに大別

to thyroid in first year following accident, mSv					
Child (10 years)			Infant (1 year)		
Dose band, key pathways to nearest 10% ^{2,3}			Dose band, key pathways to nearest 10% ^{2,3}		
10-100	Inhalation External (groundshine) Ingestion	60% 30% 10%	100-200	Inhalation External (groundshine) Ingestion	50% 30% 20%
10-100	Inhalation External (groundshine) Ingestion	50% 30% 20%	10-100	Inhalation Ingestion External (groundshine)	40% 40% 20%
10-100	Ingestion Inhalation External (groundshine)	50% 30% 20%	10-100	Ingestion Inhalation External (groundshine)	60% 30% 10%
10-100	Ingestion External (groundshine) Inhalation	50% 30% 20%	10-100	Ingestion External (groundshine) Inhalation	60% 20% 20%
10-100	Ingestion External (groundshine) Inhalation	50% 30% 20%	10-100	Ingestion External (groundshine) Inhalation	70% 20% 10%
10-100	Ingestion External (groundshine) Inhalation	80% 10% 10%	10-100	Ingestion External (groundshine)	90% 10%
10-100	Ingestion External (groundshine)	90% 10%	10-100	Ingestion External (groundshine)	90% 10%
1-10	Ingestion External (groundshine) Inhalation	40% 30% 30%	1-10	Ingestion External (groundshine) Inhalation	60% 20% 20%
1-10	Ingestion	100%	1-10	Ingestion	100%
<0.01	Ingestion External (groundshine)	90% 10%	<0.01	Ingestion	100%
<0.01	Ingestion Inhalation External (groundshine)	70% 20% 10%	<0.01	Ingestion Inhalation External (groundshine)	80% 10% 10%

吸入被ばく
外部被ばく
経口被ばく

2011年における
甲状腺等価線量

10歳と1歳

有病割合データもかなりある

有病割合データ

	有病割合(症例数)	2011当時年齢(現在年齢)
最も近隣	0.00033(14) (エコー)	0 (3)-18 (21)
福島市	0.00024(12) (エコー)	0 (3)-18 (21)
郡山市	0.00042(23) (エコー)	0 (3)-18 (21)
中通り中	0.00061(11) (エコー)	0 (2)-18 (21)
中通り南	0.00047(8) (エコー)	0 (2)-18 (21)
いわき市	0.00029(14) (エコー)	0 (2)-18 (21)
岡山大学(2012-2014)	0.00043(3) (触診)	18-21? (対象年齢)
千葉大学(2000)	0.00030(3) (触診)	18-24? (対象年齢)
チェルノブイリ周辺の非 曝露者(1990年代から 2000年代)	0.000014(1) (エコー)	14以下、8-13、7-18 (対象年齢)

* 福島県の最も近隣の市町村の有病割合は、年齢調整をすると、岡山大学の有病割合より高く、中通り中地域(本宮市・二本松市など)はさらに高いことになる

チェルノブイリの非曝露集団等における 集団検診データ

研究名	事故時年齢	調査時期	調査時年齢	調査地域	調査人数	発見数
Belarus Screening Program*1	胎児でもない	2002	14歳以下	Gomel	25,446人 (方法不明)	0人
Shibata *2	胎児でもない	1998-2000	8-13歳	Gomel	9,472人 (超音波)	0人
Ito*3	0-10歳	1993-1994	7-18歳	Mogilev	12,285人 (超音波)	0人
Ito*3	0-10歳	1993-1994	7-18歳	Bryanks	12,147人 (超音波)	0人
Ito*3	0-10歳	1993-1994	7-18歳	Zhitomir	11,095人 (超音波)	1人
合計					70,445人	1人

*1:Demidchik YE: Childhood thyroid cancer in Belarus, Russia and Ukraine after Chernobyl and at present.

Arq Bras Endocrinol Metab 2007; 51: 748-762.

林敬次医師作成、津田改変

*2:Shibata Y et al: 15 years after Chernobyl: new evidence of thyroid cancer. Lancet 2001; 358: 1956-1966.

*3: Ito M et al: Childhood thyroid disease around Chernobyl evaluated by ultrasound examination and fine needle aspiration cytology. Thyroid 1995; 5: 365-368.

年齢は連続している

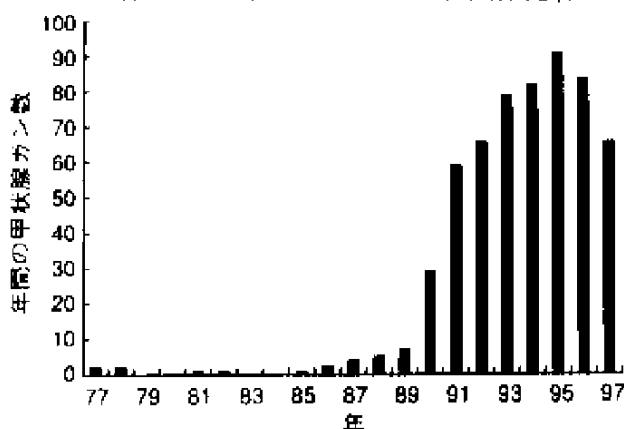


図1 ベラルーシの小児甲状腺ガン数の変化

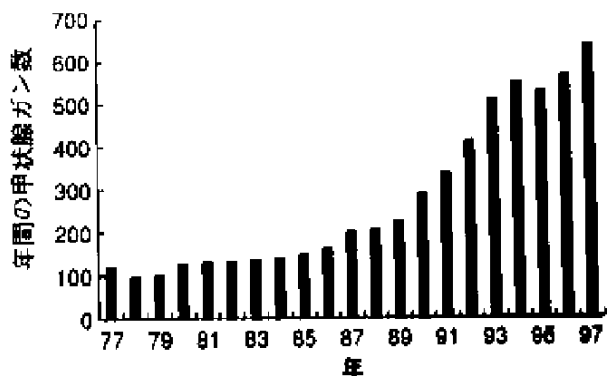


図2 ベラルーシの青年・大人の甲状腺ガン数の変化

219

今中哲二編『チェルノブイリ事故による放射能災害』より

甲状腺がんのアウトブレイクについては、18歳以下より19歳以上をモニタリングすべき。チェルノブイリの経験から多数の症例が予測される。

チェルノブイリでの甲状腺がん (2000山下)

http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/bunka5/siryo5/siryo42.htm

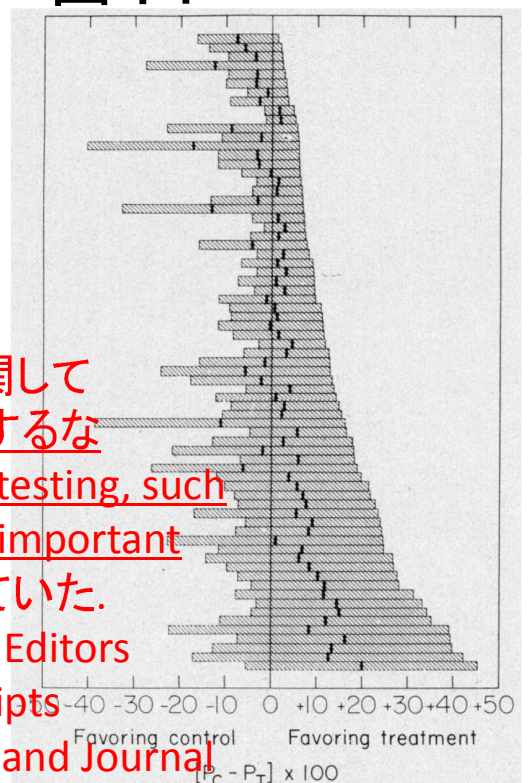
表2 ベラルーシ共和国ゴメリ州における小児甲状腺がん登録(年次別、時故当時年齢別推移) (Bel CMT国家がん登録による)

年	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	年次毎総数
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	1	-	-	4
1988	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3
1989	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	6
1990	2	2	-	1	4	1	2	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	15
1991	2	3	10	6	1	3	3	4	1	3	3	2	-	1	2	3	-	-	47
1992	-	5	3	2	3	4	3	4	4	3	1	-	-	-	-	1	-	2	35
1993	1	4	2	11	3	7	2	2	4	2	3	1	-	1	2	-	-	-	45
1994	2	9	5	1	4	7	9	3	2	5	-	2	-	-	2	2	2	1	56
1995	4	8	10	8	4	6	7	2	3	1	1	-	-	1	-	1	2	3	63
1996	3	6	9	10	9	5	3	1	3	1	-	1	-	1	1	1	2	1	57
1997	1	9	10	13	6	7	3	-	1	3	-	3	-	3	2	-	2	3	66
1998	1	8	6	4	5	3	4	2	2	-	4	2	1	3	1	4	2	-	52
総数	16	55	55	56	39	44	36	19	23	18	12	12	2	12	12	13	13	11	448

1978年にすでに警告

Freiman JA, Chalmers TC, Smith H, and Kuebler RR:
The importance of beta, the type II error and sample size
in the design and interpretation of the randomized
control trial. Survey of 71 "Negative" trials.
N Engl J Med 1978; 299: 690-694.

その後、医学雑誌の投稿規定では、
統計学的有意差の判断指標であるp値に関して
「p値のような検定のみに頼るようなことはするな
Avoid sole reliance on statistical hypothesis testing, such
as the use of P values, which fails to convey important
quantitative information」と警告が書かれていた。
International Committee of Medical Journal Editors
(ICMJE): Uniform requirements for manuscripts
submitted to biomedical journals. New England Journal
of Medicine 1991; 324: 424-428. (2010年4月版も維持)

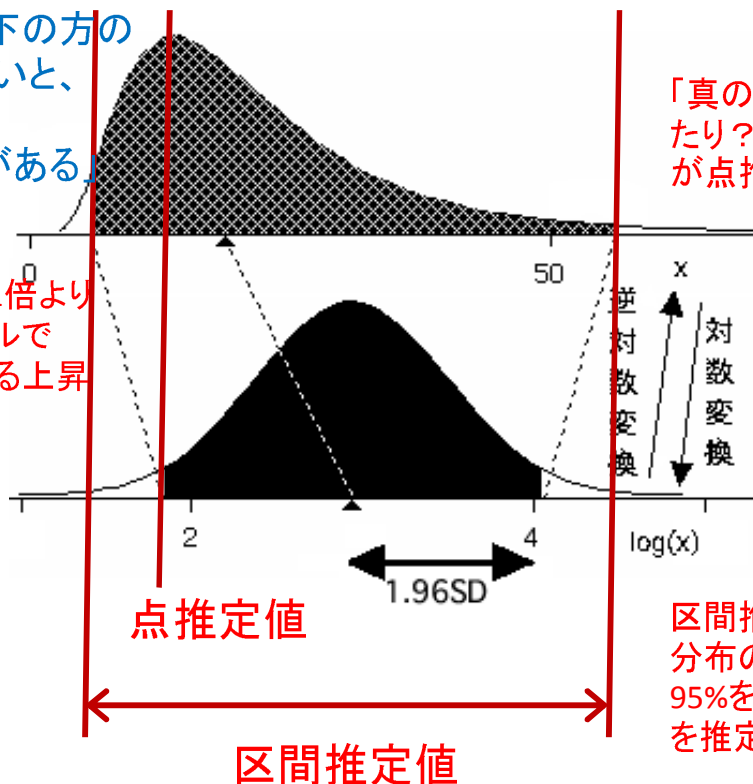


確率分布を想像するための 点推定値と区間推定値

95%信頼区間の下の方の
値が1倍より大きいと、
いわゆる
「統計的有意差がある」
ことに

「真の発生率比は何倍あ
たり？」を推定しているの
が点推定値

この分布の左端が1倍より
大きければ5%レベルで
統計的有意差がある上昇



区間推定値により確率
分布の大部分(例えば
95%をつかむ指標の幅
を推定している

100mSv以下での被ばく発がん論文

- 診断放射線や自然放射線によるがん影響
 - 広島・長崎はもう相対的なスモールデータ
 - CTスキャン(5-50mSv)などによる発がん影響
 - 自然放射線(アルファ線やガンマ線)による発がん影響
 - その他、旅客機クルーの追跡研究など
- 放射線による発がん影響で、有意差が出ている疫学研究は非常に多数存在する

広島長崎と福島の被ばく者数の比較

- Life Span Study (LSS) コホート

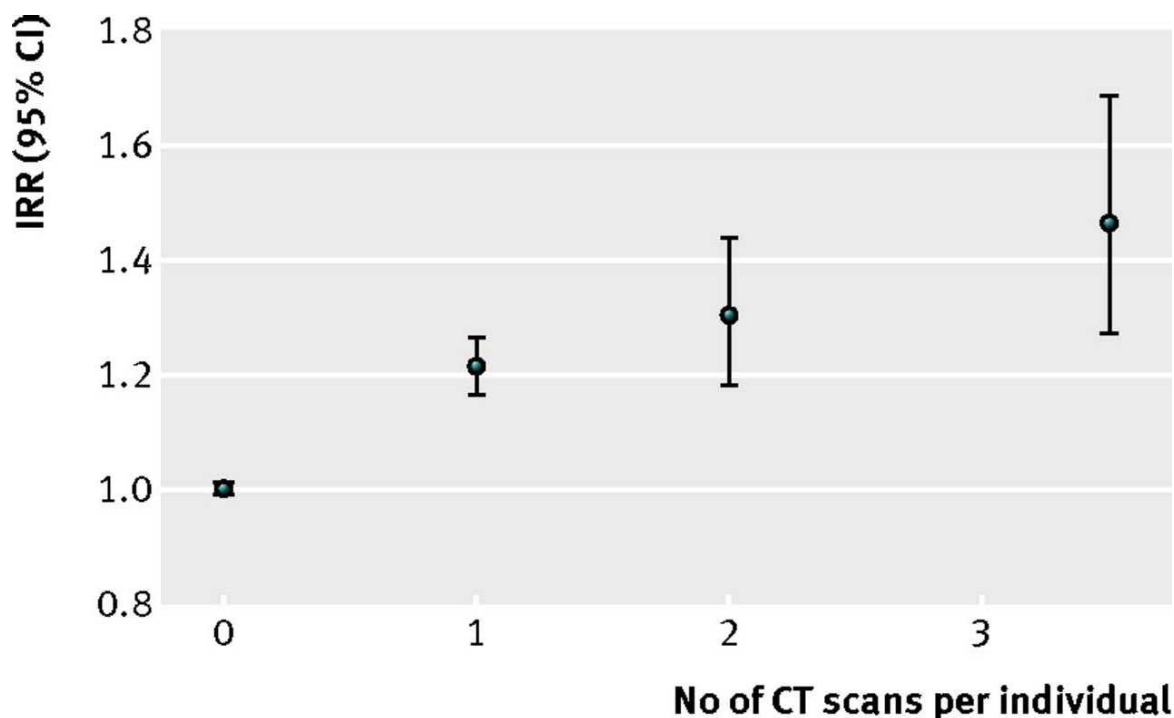
	計	<5mGy	5-100mGy	100-200mGy	200-500mGy	500mGy-1Gy	1-2Gy	2Gy以上
広島・長崎	86,611	<u>38,509</u>	<u>29,961</u>	5,974	6,356	3,424	1,763	624
広島	58,494	21,697	22,733	5,037	5,067	2,373	1,152	435
長崎	28,117	16,812	7,228	937	1,289	1,051	611	189
男性	35,687	15,951	12,342	2,382	2,482	1,414	813	303
女性	50,924	22,558	17,619	3,592	3,592	2,010	950	321

100mSv以下は、広島と長崎を併せて68,470人

福島県発表分でも、1mSv以上の被ばく者の数は148,685人(基本調査2013年8月20日発表)、回収割合二十数%の調査なので補正をすると、広島と長崎合計の10倍近くの被ばく者数

被ばく者の数が多くなれば、それだけで有意差が出ることになる

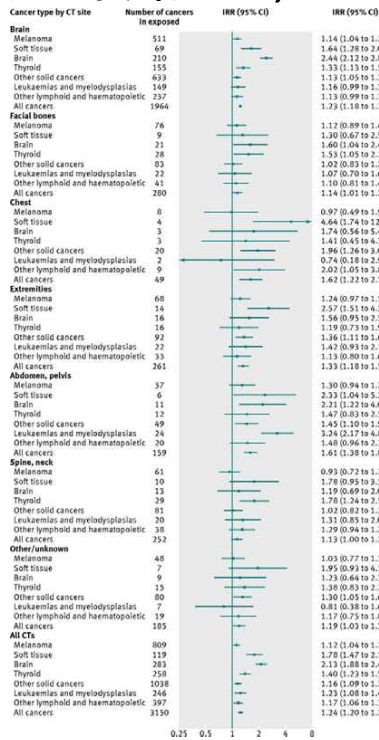
CTスキャン発がん影響(オーストラリア) 被ばく者68万人と非曝露者1,100万人のデータ



Mathews J D et al. BMJ 2013;346:bmj.f2360

Fig 2 Incidence rate ratios (IRR) for all types of cancers in exposed versus unexposed individuals based on a one year lag period, by the number of CT scans.

CTスキャン発がん影響(オーストラリア) 被ばく者68万人と非曝露者1,100万人のデータ



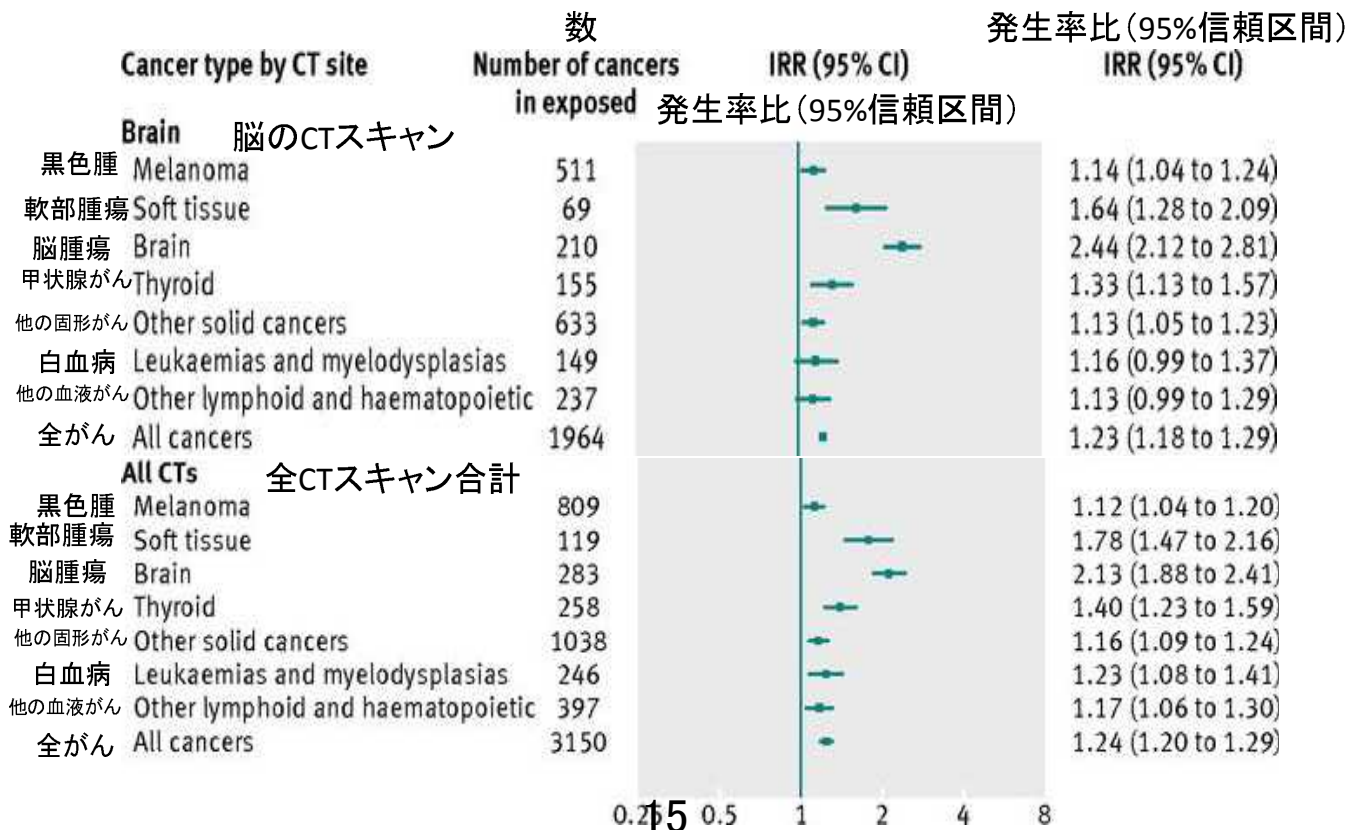
Mathews J D et al. BMJ 2013;346:bmj.f2360

Fig 3 Incidence rate ratios (IRR) for exposed versus unexposed by site of CT scan and type of cancer, based on a one year lag period.

©2013 by British Medical Journal Publishing Group



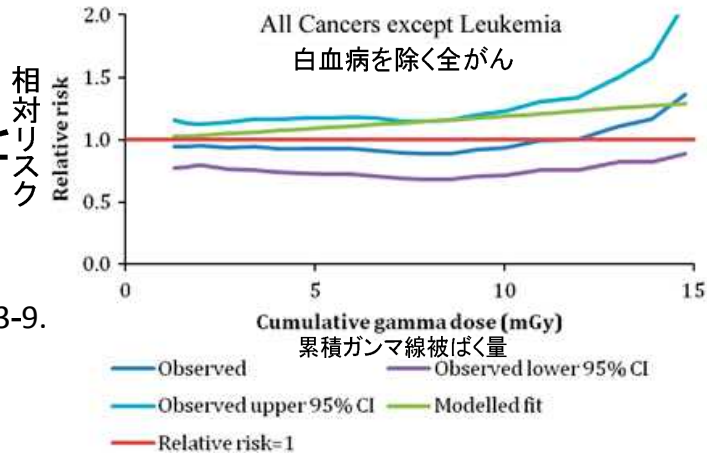
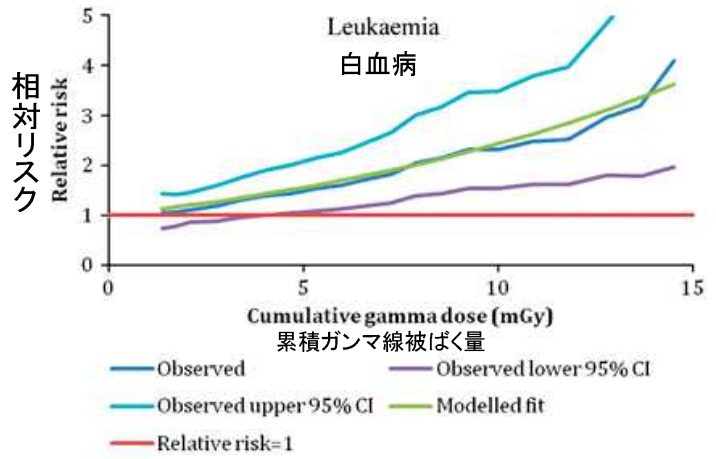
脳のCTスキャン、全体の合計



自然ガンマ線による白血病とがん影響

1980年から2006年の
27,447例の白血病症例と
36,793例の対照の分析
(イギリス)

Kendall GM et al.: Leukemia (2013) 27, 3-9.



妊婦への放射線検査と10才未満でのがんの発症(1956)

妊婦への放射線検査の部位	白血病				その他の悪性疾患			
	子供の数		オッズ比	95%信頼区間	子供の数		オッズ比	95%信頼区間
	症例	対照			症例	対照		
腹部	42人	24人	1.92	1.12-3.28	43人	21人	2.28	1.31-3.97
その他	25人	23人	1.19	0.65-2.16	33人	32人	1.15	0.68-1.94
検査なし	202人	222人	1.00	-	202人	225人	1.00	-

Stewart A, Webb J, Giles D, and Hewitt D: Malignant disease in childhood and diagnosed irradiation in utero. Lancet 1956; 268(6940): 447.

総説として取り上げたDoll R and Wakeford R: Risk of childhood cancer from fetal irradiation. Br J Radiol 1997; 70: 130-139.より転載

妊娠中の放射線と小児癌の相対危険度

(Doll & Wakeford : Br J Radiol 1997; 70: 130-139)

研究(研究期間)	分散の逆数	相対危険 (未調整)	95%信頼区間
Oxford小児癌調査(1953-1981)	852.4	1.39	1.30-1.49
北東部 United States (1947-1967)	114.7	1.47	1.22-1.77
Inter-regional study, UK (1980-1982)	39.0	1.23	0.90-1.68
Los Angeles (1950-1957):白血病のみ	23.9	1.34	0.90-2.00
Louisiana (1951-1955)	18.3	1.70	1.08-2.69
Helsinki (1959-1968)	17.9	1.18	0.74-1.87
California (1955-1956):白血病のみ	17.8	1.68	1.06-2.67
Tri-state (US) (1959-1962):白血病のみ	16.6	1.40	0.87-2.27
Swedish twins (1952-1983)	11.6	1.38	0.78-2.46
Minnesota (1953-1957):白血病のみ	10.2	1.28	0.69-2.37
All other	42.4	1.13	0.84-1.53
All except Oxford 小児癌調査	312.4	1.37	1.22-1.53
All	1164.8	1.38	1.31-1.47

妊娠中の放射線照射と小児癌 オックスフォード小児癌調査(1953-1967)

(Doll & Wakeford : Br J Radiol 1997; 70: 130-139)

がんの種類	死亡数		相対危険 度	95%信頼区間
	全数	子宮内照射関連		
リンパ性白血病	2007	290	1.54	1.34-1.78
骨髄性白血病	866	120	1.47	1.20-1.81
他未定義の白血病	1179	159	1.43	1.19-1.71
リンパ腫	719	92	1.35	1.07-1.69
ウィルムス腫瘍	590	87	1.59	1.25-2.01
中枢神経系	1332	179	1.42	1.20-1.69
神経芽腫	720	99	1.46	1.17-1.83
骨	244	26	1.11	0.74-1.66
他	856	129	1.63	1.33-1.67
全白血病	4052	569	1.49	1.33-1.67
全固形がん	1161	612	1.45	1.30-1.62
全がん	8513	17 1181	1.47	1.34-1.62

Doll & Wakeford (1997)から言えること

- 日本のどこの病院のレントゲン撮影室の入り口にも表示してある「妊娠している可能性がある方は、必ず、申し出てください」という表示は、これらの調査の結果から来ている
 - これを皆さん忘れてしまっている
 - 人のデータと論文に基づいた検討が必要
- 福島県とその周辺では、妊婦を含む全年齢層が被ばくしている