

低線量放射線の身体的影響について

2015. 1. 15 食品中の放射性物質に関するリスクコミュニケーション(宮城県)



海拔5m

福島第1原子力発電所

海拔13.6m

東北大学名誉教授
財団法人杜の都産業保健会理事長
山田章吾

排気塔

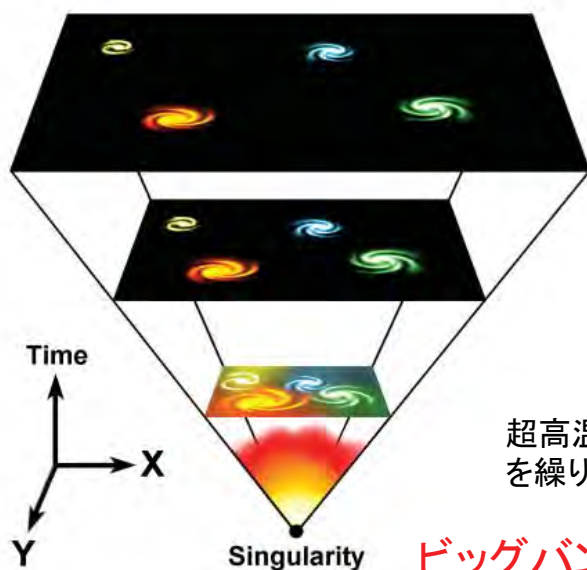
女川原子力発電所



講演内容

1. 放射線って何？
2. 放射線の人体への影響
3. 低線量被ばくの影響
4. 現状

宇宙の誕生



超高温、超高压の中で核分裂と核融合を繰り返して物質ができてきた！

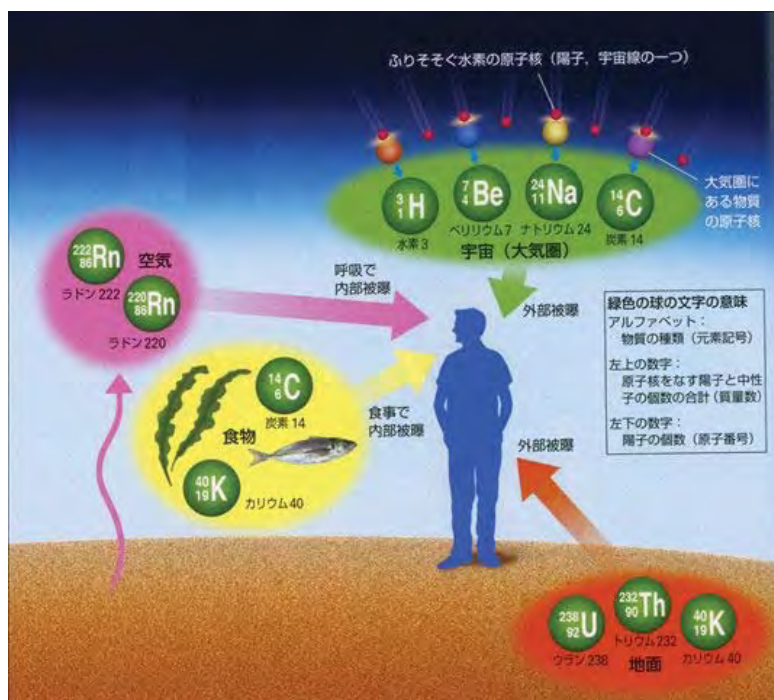
ビッグバン (宇宙誕生137億年前)

Wikimedia Commonsより

3

自然界の放射線

大きな原子炉



Newton 7: 30, 2011より

東京電力より

4

体内の放射線

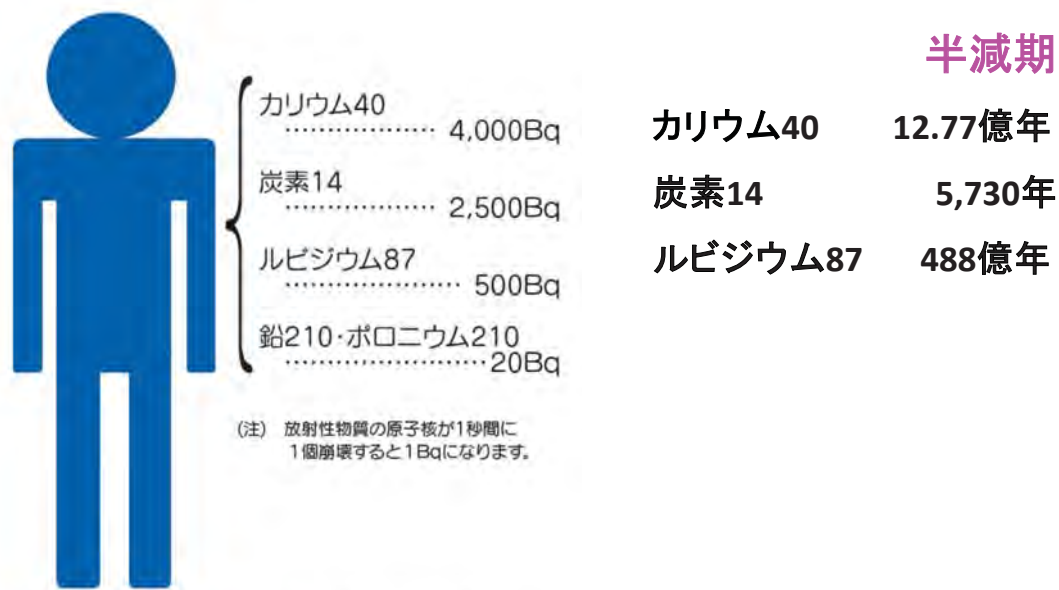


図1 ヒトの体内の主な放射性物質
(体重 60kg の日本人の場合)

環境科学技術研究所(2008)より

5

放射線はひとの 5感
(視覚、聴覚、味覚、嗅覚、触覚)で
感じるできません。

したがって、放射線が発見された
のは近年です。

6



1895年11月8日レントゲンX線発見！

7

レントゲン博士

1895年11月8日 夕刻X線発見！

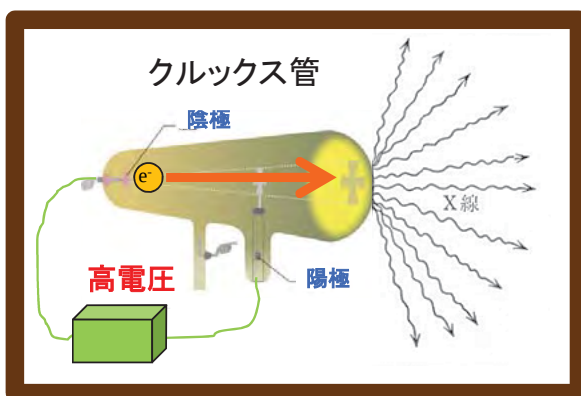
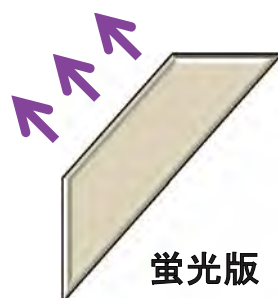


図35：レントゲン自身の手のX線写真
世界で最初の人体のX線写真(ドイツ・レントゲン博物館所蔵)

光が漏れない
段ボール箱

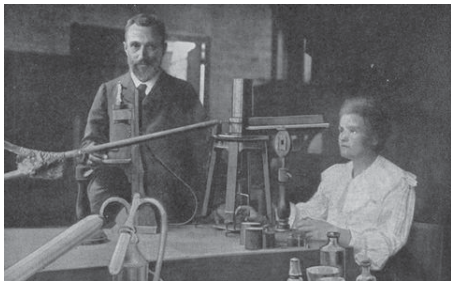


X線の重要な性質

1. 透過性
2. 蛍光作用
3. 電離作用
4. 写真作用
5. 直進性

8

色々な種類の放射線



1898年キュリー夫妻ラジウム発見
自然界にも放射線！

放射線にはX線、 γ 線、 β 線、 α 線など色々な種類があります。
また発生源も異なります。

セシウムだけが悪者？

放射線の種類によって透過性や
人体に対する強さが異なります。



9

放射線は計測できる！



← GM型サーベイメータ



複雑な放射線の単位

X線、γ線、β線、α線など
色々な種類があり、人体
に対する強さが違い、
また発生源も異なります。

吸収線量 : Gy=J/kg (グレイ)

線量当量 : SV (シーベルト)

$SV = Gy \times K$: K=放射線荷重係数

放射能の強さ : Bq (ベクレル)

放射性核種の崩壊数が1秒につき何個であることを表す単位

など

11

シーベルト(Sv)

$Sv = \text{放射線荷重係数} \times Gy$

放射線の種類	荷重(強さ)係数
X線、ガンマ線などの光子	1
ベータ線(電子)、ミューオンなどの軽粒子	1
中性子	5~20
アルファ線、重イオン、核分裂片	20



$1\text{ Sv} = 1,000\text{ mSv}$: $1\text{ mSv} = 1,000\text{ }\mu\text{Sv}$

線量計は $\mu\text{Sv/h}$ のように線量率で表示されます。

年間線量は $=365(\text{日}) \times 24(\text{時間}) = 8760$ 倍する

12

シーベルト(Sv)単位の放射線量が同じであれば、放射線の種類や外部被ばく、内部被ばくといった被ばく状態にかかわらず人体への影響は“同じ”です。

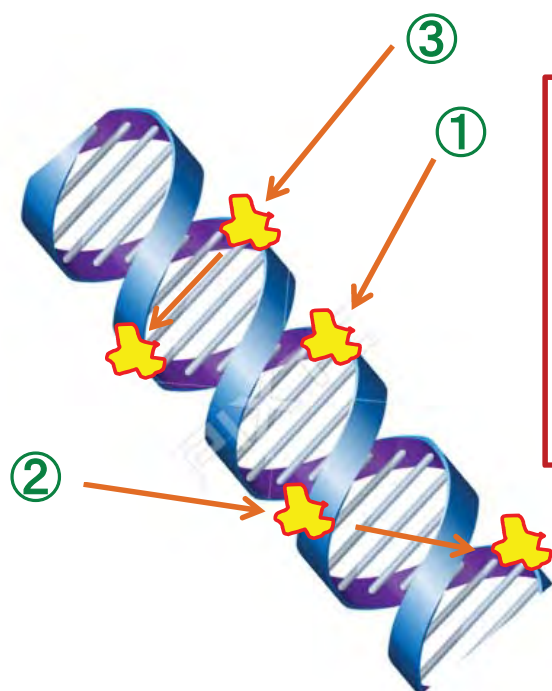
13

講演内容

1. 放射線って何？
2. 放射線の人体への影響
3. 低線量被ばくの影響
4. 現状

14

放射線は主として細胞内のDNAを破壊します！



- ① 一部の傷害→修復されます。
- ② 離れた部位の傷害
→修復されます。
- ③ 二重らせんが切断されるような
傷害→細胞は分裂できません。

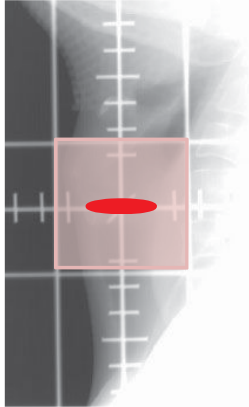
15

放射線の影響

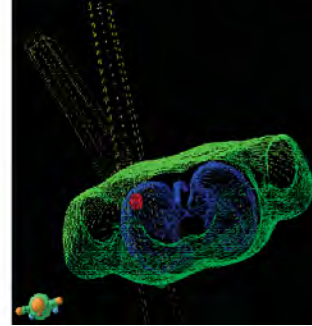
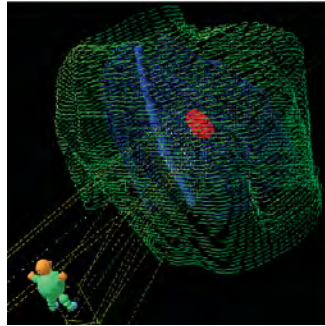
- 死亡する細胞も次の細胞分裂までは生存している。
——→ 放射線の影響は遅れて発現する！
- 線量(ヒット数)増加や分裂が盛んな細胞ほど細胞死は増加する。
——→ 影響は線量に比例！子供の影響は高い！
- DNAが完全に修復することなく、損傷をもったまま細胞分裂を繰り返す場合がある。
——→ 発がん、遺伝的影響

16

局所被ばくと全身被ばく



喉頭癌放射線治療
1回2 Gyで60 Gy治療



肺がんの定位放射線治療
1回12 Gyで 48 Gy治療
I 期の治癒率90 %

しかし、全身に60 Gy被曝すると
全員数時間で死亡！
”全身被ばく“は危険！！

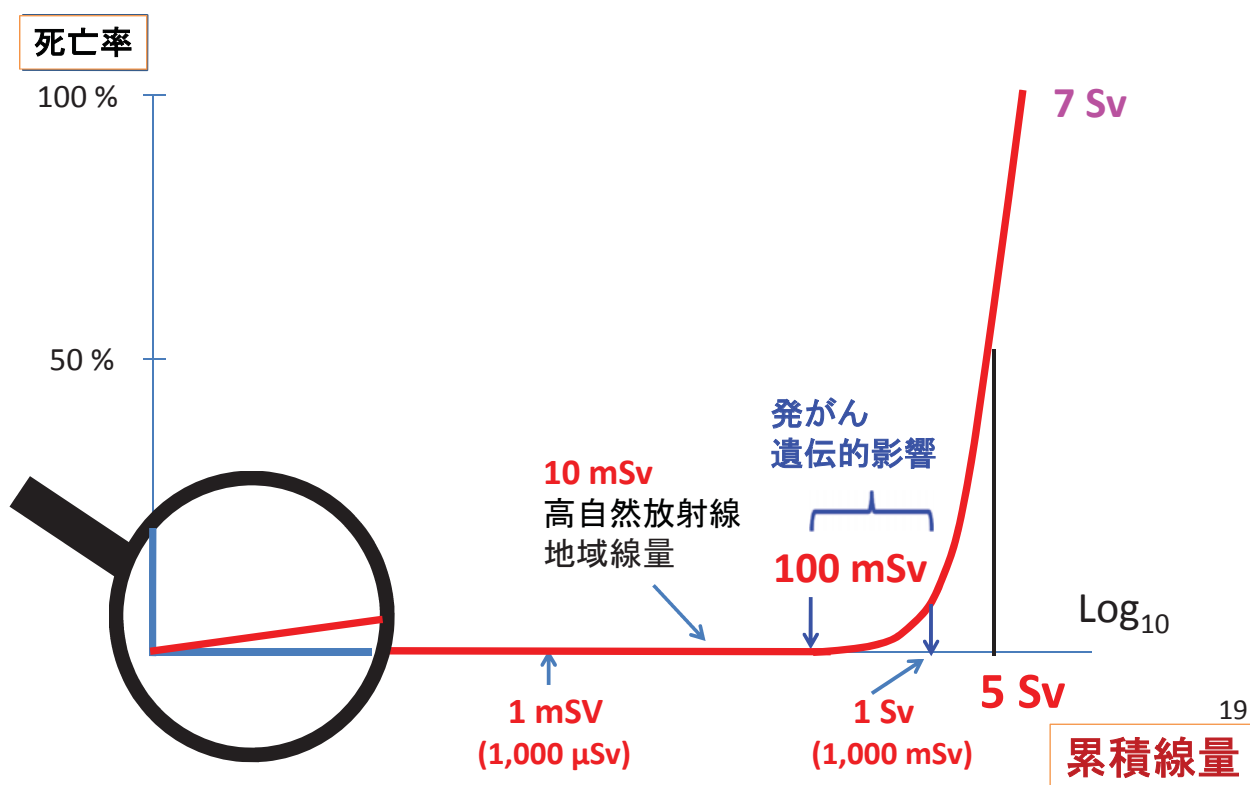
17

全身被ばくした人の50 % が放射線急性障害
で2カ月以内に死亡する線量(LD50/60)

- ・治療がなされなかった場合 **2.7 – 3.1 Gy**
(広島、長崎の被ばく者)
 “Critical dose(致死線量) = 5 Gy”
- ・輸血や抗生物質投与など必要な治療が行
 われた場合 **6 Gy 以上**
(チェルノブイリ事故被ばく者)
- ・現代の医学水準をもってしても、**7-10 Gy**
 以上の全身被ばく患者の治療は困難

18

全身被ばくによる身体影響



放射線の影響

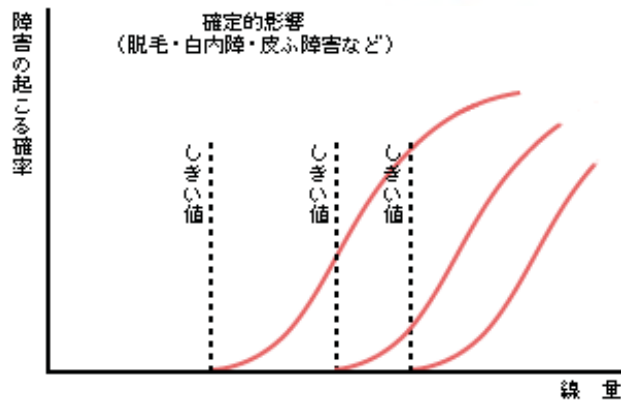
1. 確定的影響

2. 確率的影響

放射線の確定的影響



少ない放射線では
影響が出ない障害！



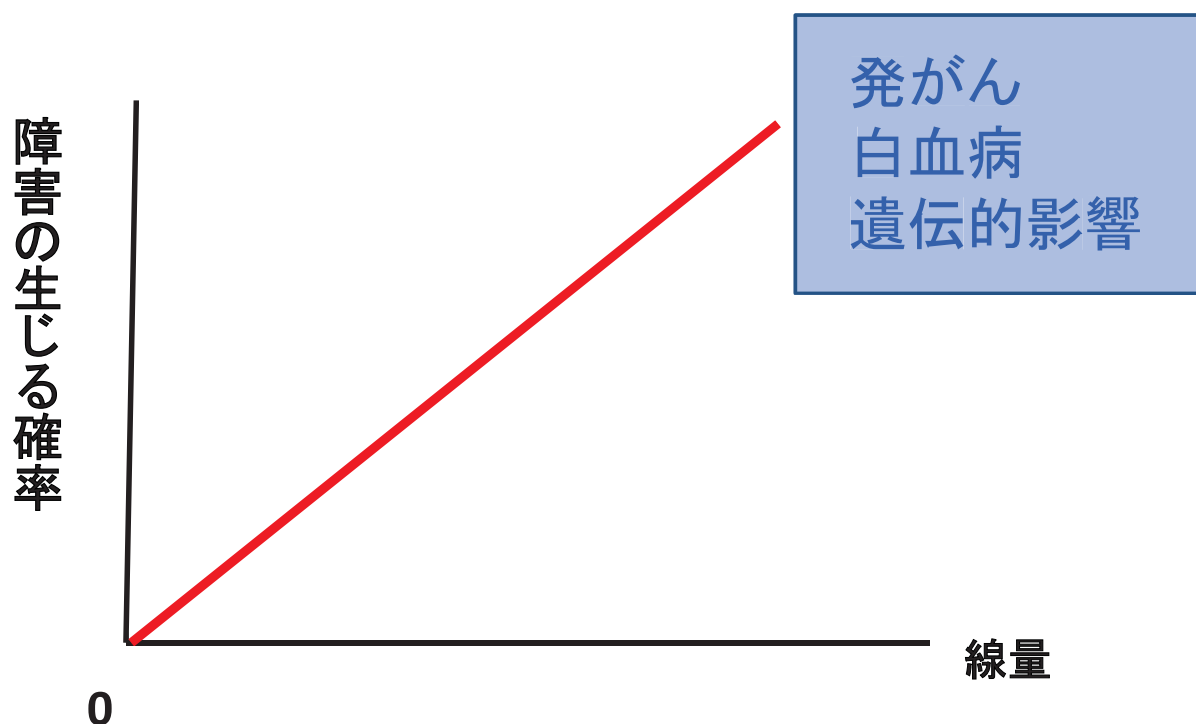
(出所:『ICRP Publication41』ほか)

影響の種類	しきい線量 (グレイ) (短時間1回被ばくの場合)
白血球の一時的減少	0.5
一時的不妊 男性	0.15
〃 女性	0.65～1.5
永久不妊 男性	3.5～6
〃 女性	2.5～6
白内障	5
一時的脱毛	3～5

しきい値以上の線量でなければ障害は発生しません！
放射線治療で問題となる線量です。

21

放射線の確率的影響



22

講演内容

1. 放射線って何？
2. 放射線の人体への影響
3. 低線量被ばくの影響
4. 現状

23

放射線による遺伝的影響

広島・長崎の原爆による遺伝的影響についての40年間にわたる調査では、両親の400～600 mSvの被ばくでは統計的に有意な影響はなかった。

(Kondo S. Nuclear Science & Technology 36 1-9, 1999)

(自然に奇形児が出生する確率は1%、出生後に精神発育遅滞などで明らかになる異常が2～3%、合わせて3～4%程度の自然発生がある、とされている。)

24

放射線による遺伝的影響

遺伝的影響は、人では認められておらず、マウスなどの高線量の実験データのみである。

ICRP2007年勧告では実験データ

などから被ばく者2世代までの遺伝的影響のリスクを評価し、名目リスク係数を全年齢集団に対して0.2%/Sv、成人作業者に対して0.1%/Svとした。

(日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズVol7.2 2010年)

25

年間外部被ばく線量

世界の平均自然被ばく線量 **2.4 mSv**

宇宙線	0.3	mSv / year (0.03μSv / hour)
地殻		0.3
体内被ばく		
⁴⁰ K	0.3	
²²² Rn		0.3

日本国内の平均被ばく線量 **2.1 mSv**

医療被ばく 年間 **1 ～ 2 mSv**



(参考) 東京とニューヨーク1往復で0.2 mSv

26

世界の高自然放射線地域 年間(mSv)

地域	平均値	最高値	原因
ラムサール(イラン)	10.2	260	Ra温泉
ガラパリ(ブラジル)	5.5	35	トリウム砂
ケララ(インド)	3.8	35	トリウム砂
陽江(中国)	3.5	5.4	トリウム砂
香港(中国)	0.67	1	
日本	0.43	1.26	

27

欧州各国の年間自然放射線量

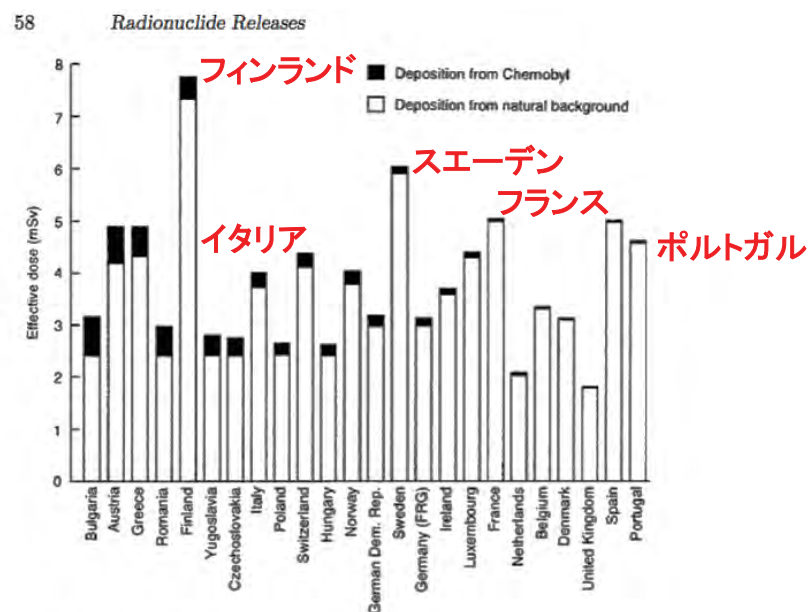
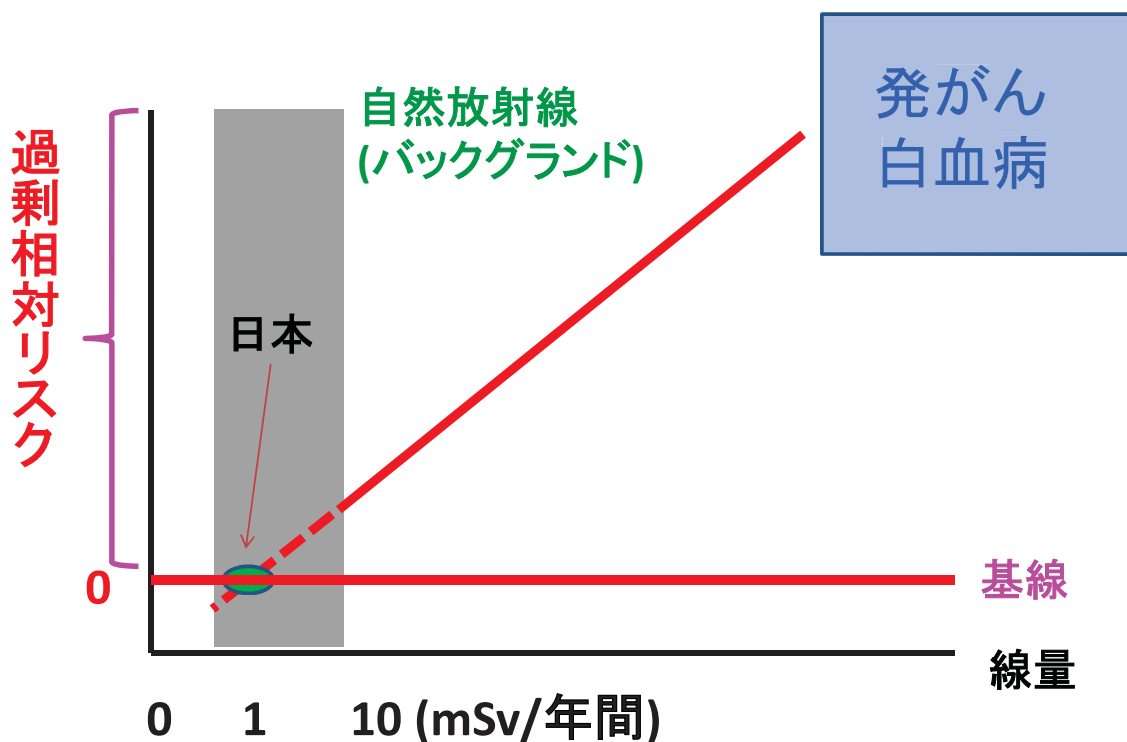


Figure 4.4. First year post-accident effective dose from Chernobyl and from natural background¹¹. (Courtesy: IAEA.)

28

放射線の確率的影響



29

放射線による発がんと白血病

多くのデータが100 mSv～3 Svまでに直線性があることを示している。

(Gilbert ES, Int J Radiat Biol. 85: 467-482, 2009)

がんの名目リスク係数は全集団で5.5%/Sv、成人作業員4.1%/Svとしている。

(ICRP 2007年勧告)

30

低線量放射線による発がんと白血病

- 広島、長崎の原爆生存者のデータ
- 自然放射線の影響
- 職業被ばく
- 胎児被ばく
- 内部被曝

31

広島、長崎の原爆生存者のデータ

広島の被害

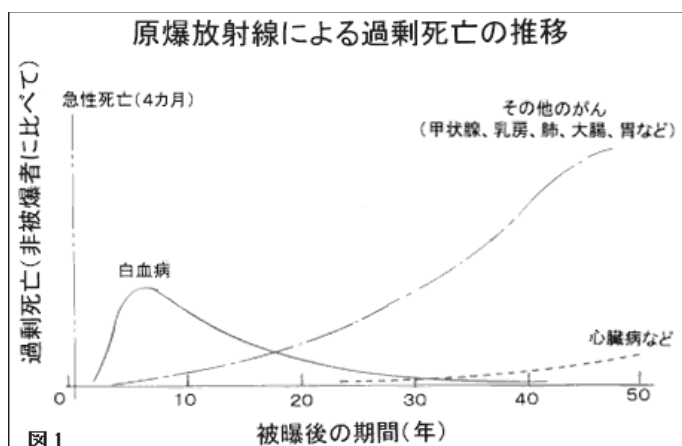
昭和20年(1945年)12月末までに、約14万人が死亡した。

長崎の被害

約7万人が死亡した。

その後も！

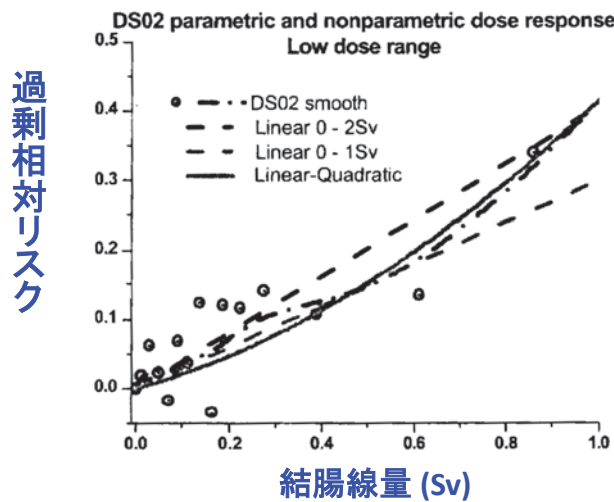
原爆で生じた放射性物質は高熱で気化し、爆風により上空に吹き飛ばされた。従って急性全身被曝が問題！



放射線影響研究所資料

32

固形がんのデータ(広島、長崎)



過剰相対リスク

自然放射線レベルの
がん発生確率と比較
して相対的な危険率を
計算した値

固形がん死亡の線量-応答関数

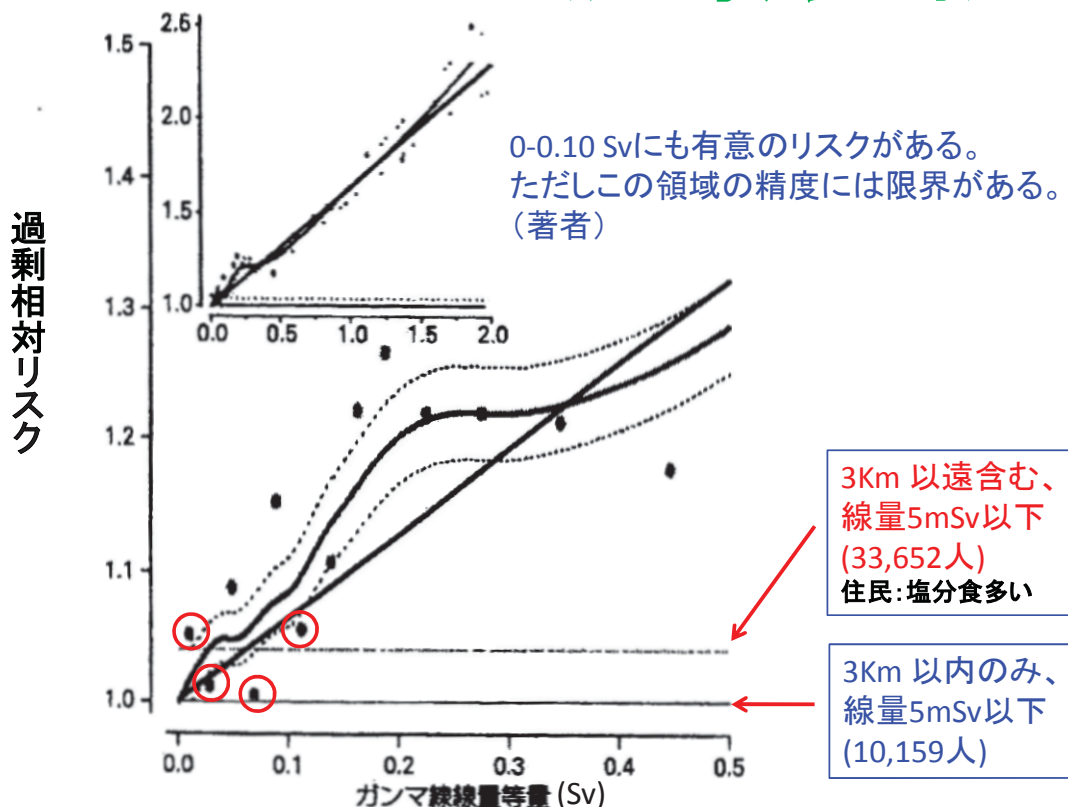
93,620人のデータ

Preston ら. Radiation Res. 162: 377-389 (2004)

0-2 Gyのすみずみまで直線の線量-影響関係がある、としている。

33

固形がんのデータ(広島、長崎)

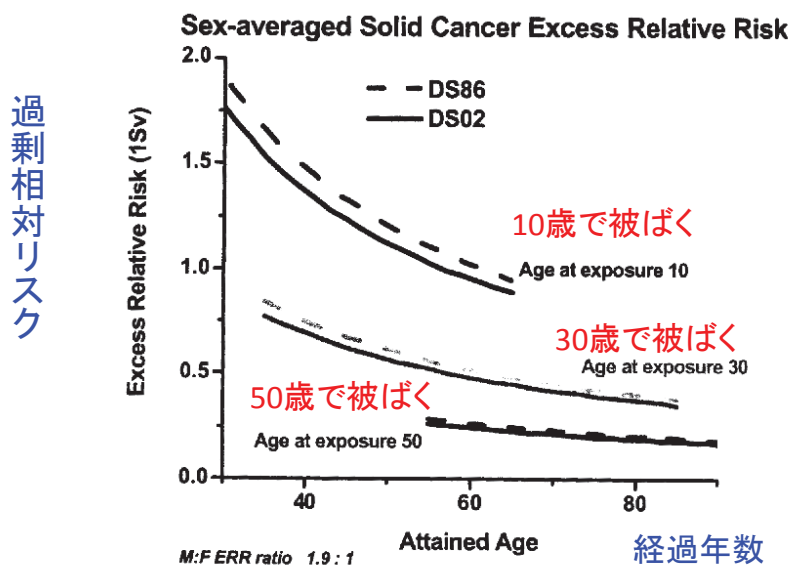


(Pierce DA, Preston DL, 2000, Radiat Res 154: 178-186)

34

固形がんのデータ(広島、長崎)

1Sv被ばく時のリスク

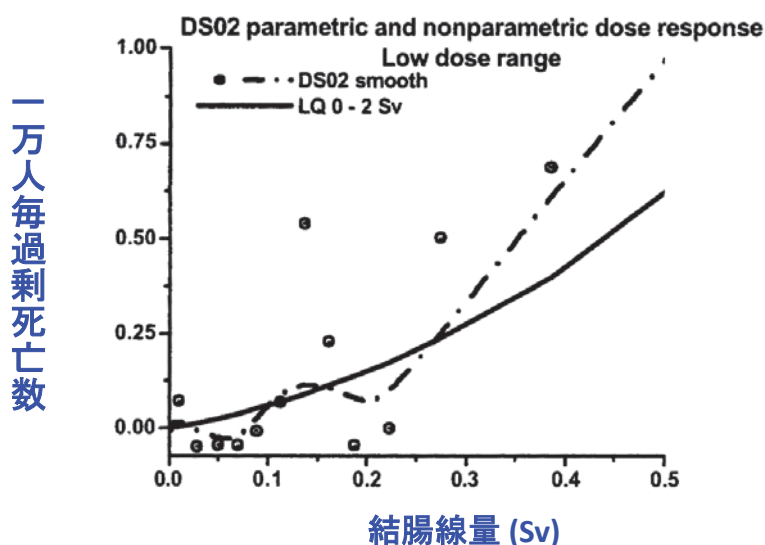


小児のリスクは高い！

Preston ら. Radiation Res. 162: 377-389 (2004)

35

白血病のデータ(広島、長崎)

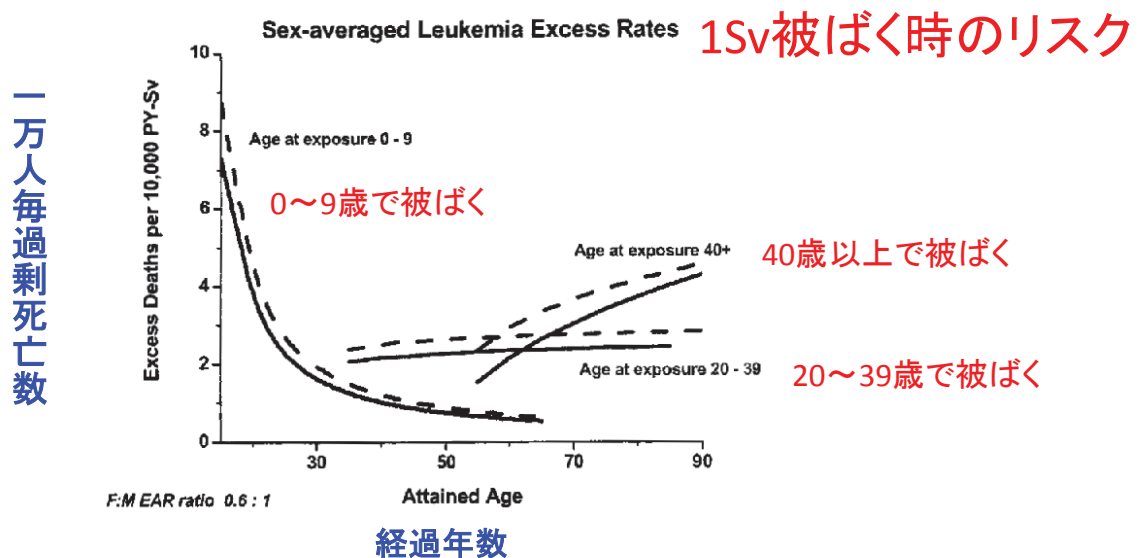


Preston ら. Radiation Res. 162: 377-389 (2004)

低線量でも直線の線量一影響関係がある、としている。

36

白血病のデータ(広島、長崎)



幼児期被ばく者のリスクは高いが、成長につれて低下する！
40歳以上被ばく者のリスクは経過年数でやや増加する。

Preston ら. Radiation Res. 162: 377-389 (2004)

37

低線量長期被ばく 職業被ばくの影響

15カ国407,391人の原子力施設労働者の平均13年間の調査結果。(Cardis E et al. BMJ 9:331, 2005)

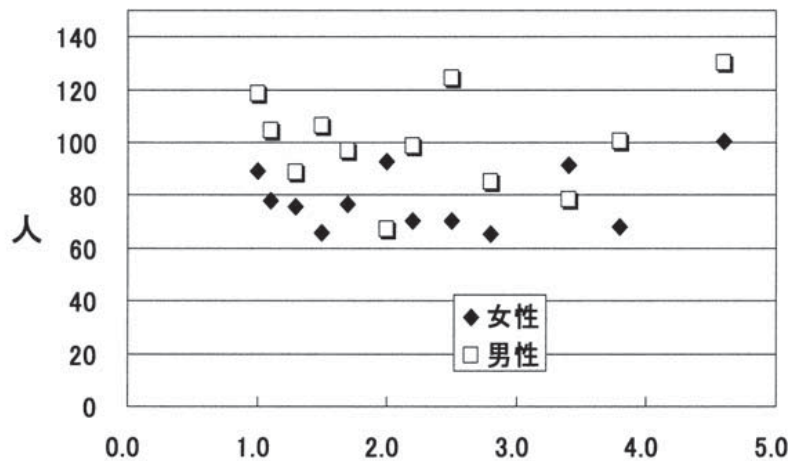
固形癌では100 mSvあたり過剰相対リスクは0.97(0.03-1.88)であり、原爆生存者のデータより高かった。白血病では100 mSvあたり過剰相対リスクは1.19(<0-8.47)であり、原爆生存者のデータと一致していた。

累積線量100 mSvで9.7%の固形がん死、19%の白血病死の増加が考えられるとしている。

長期間にわたる低線量被ばくも危険性がある！

38

低線量長期被ばく 自然放射線の影響



年間5 mGyまでの被ばくでがんの発生に増加はなかった。

屋内外平均年線量の中央値(mGy/年)

インドKerala 州カルナガバリ地区の人口10 万人あたりのがん罹患数
(1990 年～1996 年)

(Krishnan Nair M et al.: Population Study in the High Natural Background Radiation Area in Kerala, India Radiation Research 152 S145-S148, 1999)

39

低線量長期被ばく 自然放射線の影響

発表者	高線量地域	放射性物質	線量	対象	観察期間	がん発生	結果
Nair RKら (2000)	インド、ケラ ラ地区	トリウム含 有鉱砂	年間平均4 mGy、最高 70 mGy/年	385,103 人	平均 10.5 年	69,958人	相対過剰リス クは-0.13/Gy で過剰がん発 生リスクは無 い
Zuoyuan W ら(1990)	中国 2地区 比較		年間 2.9 m Gy(甲状腺 140 mGy)	50-65歳 女性 1,001人		甲状腺結 節 9.5 %	結節に差はな い。染色体異 常は有意に 高い。ネギ類 愛用者に結 節少ない。
			年間 1.0 mGy(甲状腺 50 mGy)	同 1,005人		同 9.3 %	

40

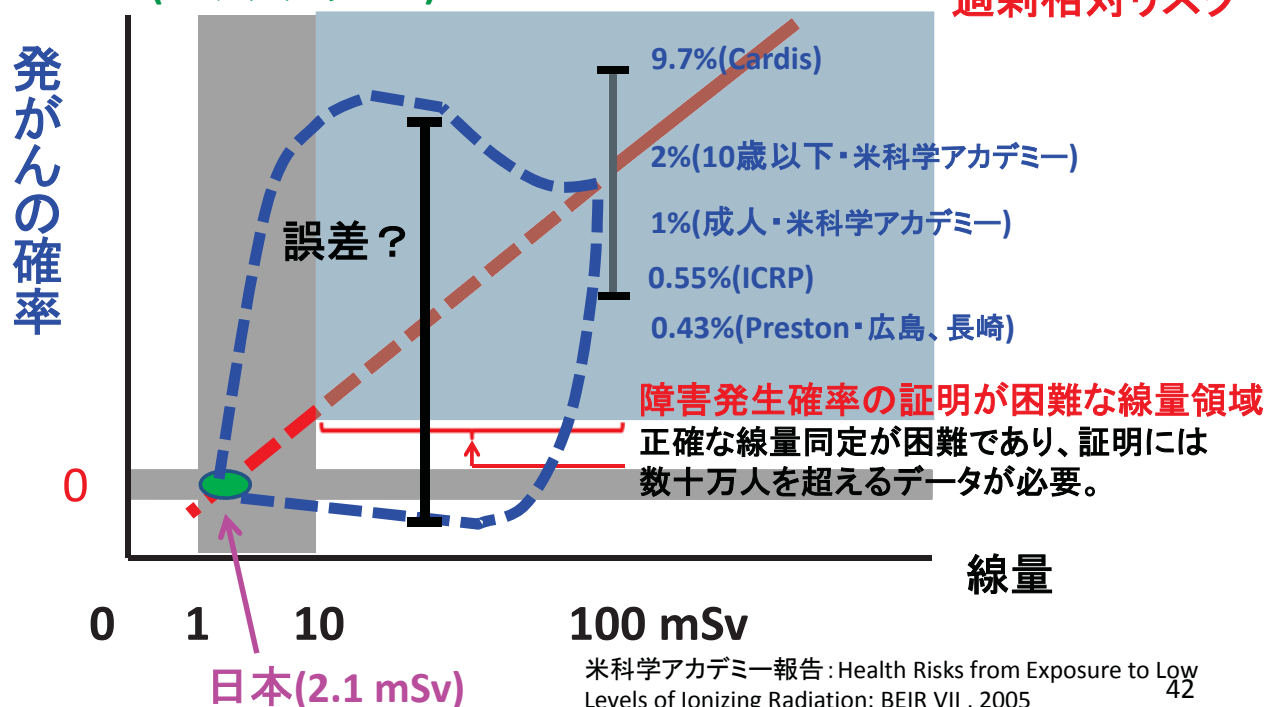
低線量長期被ばく (宇宙放射線の影響)

発表者	疾患	対象	調査方法	結果
Rafnsson Vら(2005)	白内障	パイロット白内障445人	パイロット以外のアイスランド人比較。年齢、喫煙、日光浴習慣で補正	オッズ比 3.02 (1.44-6.35)で宇宙線は原因因子といえる。
Blettner Mら(2003)	がん死	欧州9カ国航空乗務員28,000人(1960-97年)	547,564人x観察年。標準化死亡率(SMR)で比較	がん死2,244人。SMRは 全がん=0.68(0.61-0.67)で減少 。悪性黒色腫は1.78(1.15-2.67)と増加。肺癌0.53(0.44-0.62)と減少。勤務年限と死亡率に相関なし。 心血管病死の増加なし 。
Zeeb Hら(2002)	全死因	ドイツ男性航空乗務員6,061人(1960-97年)。線量最高80.5 mSv	105,037人x観察年。標準化死亡率(SMR)で比較	255人死亡。SNRは0.48(0.42-0.54)。76人がん死でSMRは0.56(0.43-0.74)。 航空乗務員の死亡率およびがん死亡率は低かった 。
Gundestrup Mら(1999)	急性骨髄性白血病(AML)など	デンマークジェット機乗務員3,877人	人口動態と比較	がん発生169人(期待値153.1人)。5,000時間以上飛行でAML、メラノーマ、皮膚がんのリスクが有意に高かった(日光浴習慣に関係あり)。
Pukkala Eら(2003)	がん発生	北欧パイロット10,211人	標準化発生率(SIR)で比較	466人がん発生。 全体として発がんリスクは低い 。皮膚がんのみSIR高い。AMLや脳腫瘍に増加はない。 41

放射線の確率的影響・まとめ

自然放射線
(バックグラウンド)

過剰相対リスク



100mSv以下の放射線による影響の科学的証明は困難である！

根拠

- 線量測定が困難。
- 個々のがん細胞の発生原因が放射線によるかどうかの証明ができない。
- リスクが低いので数十万あるいは数百万人規模の疫学データが必要(例えば、20mSvでは30%と30.1%の差の証明が必要)。
- 禁煙や減塩、野菜中心食などによって変わりうる差である。

逆に、影響がないとの証明もできないので、
避けうる被ばくは避ける！

43

胎児被ばくに関するICRP勧告

(95) 奇形の誘発は100mSv前後にあると判断され、100mSvを十分下回る子宮内被ばくでは、奇形発生リスクは期待されない

(96) 100mSvを下回る子宮内被ばくでは、知能への影響は実質的な意義はない

(ICRP 2007勧告)

ICRP見解

・妊娠前の両親の生殖腺被ばくによるリスク増加の報告はない。

44

内部被ばく



- ・経鼻、経口、傷口などから体内に入った放射性核物質による被ばくを内部被ばくという。
- ・核物質の種類により蓄積する特異臓器があり、**局所被ばく**である。
- ・発がんなどの影響は**線量と相関**。
- ・核物質固有の**物理的半減期**の他に、尿、便、呼気などによる排出による**生物学的半減期**がある。

45

小児甲状腺がんの増加

- ・チェルノブイリ事故後5年以降に、小児甲状腺がんが増加
- ・10-50mSvの甲状腺線量で有意に増加と報告
多くの国でヨウ素剤を服用、その結果

対象年齢	ヨウ素剤
新生児	12.5 mg
1ヶ月～3歳	25 mg
3歳～13歳	38 mg
13歳～40歳	76 mg
40歳以上	不要

46

飲料水や食品による内部被ばく

放射性物質	ヨウ素-131	セシウム-134 137	ストロンチウム-90	プルトニウム-239
放出放射線	ベータ線、 ガンマ線	ガンマ線、 ベータ線	ベータ線	アルファ線
物理的 半減期	8.04日	Cs 134 2年 Cs 137 30年	28.8年	2.4万年
生物学的 半減期	甲状腺128日、 甲状腺以外 12日	Cs 137 約70日	約49.3年	骨50年、 肝臓20年
集積臓器	甲状腺	筋肉	骨	肺→骨、肝臓 ⁴⁷

放射線セシウムの現在の基準値

放射性セシウムの暫定規制値

食品群	暫定規制値 (Bq/kg)
飲料水	200
牛乳・乳製品	
野菜類	500
穀類	
肉・卵・魚 その他	



放射性セシウムの基準値

食品群	基準値 (Bq/kg)
飲料水	10
牛乳	50
一般食品	100
乳児用食品	50

食品中のカリウム40

生わかめ 200	ほうれんそう 200	キャベツ (ベクレル/kg) 70
干しいたけ 700	魚 100	肉 90~100
米 30	食パン 30	ポテトチップス 400
	牛乳 50	ビール 10

消費者庁
食品と放射能Q & A 2013.9より

肥料、飼料の暫定許容値

放射性物質	濃度 (Bq/kg)	
放射性セシウム	肥料・土壌改良資材・培土・家畜用敷料*1	400
(セシウム134、	牛、馬用飼料*2	100
137)	豚用飼料*3	80
	家きん用飼料*3	160
	養殖魚用飼料*4	40
*1 製品重量で 400Bq/kg を超える敷料であっても使用できる場合があります。詳細は 農林水産省ホームページ を確認願います。 *2 粗飼料は水分含有量8割ベース、その他飼料は製品重量 *3 製品重量、ただし粗飼料は水分含有量8割ベース *4 製品重量		

49

講演内容

1. 放射線って何？
2. 放射線の人体への影響
3. 低線量被ばくの影響
4. 現状

50

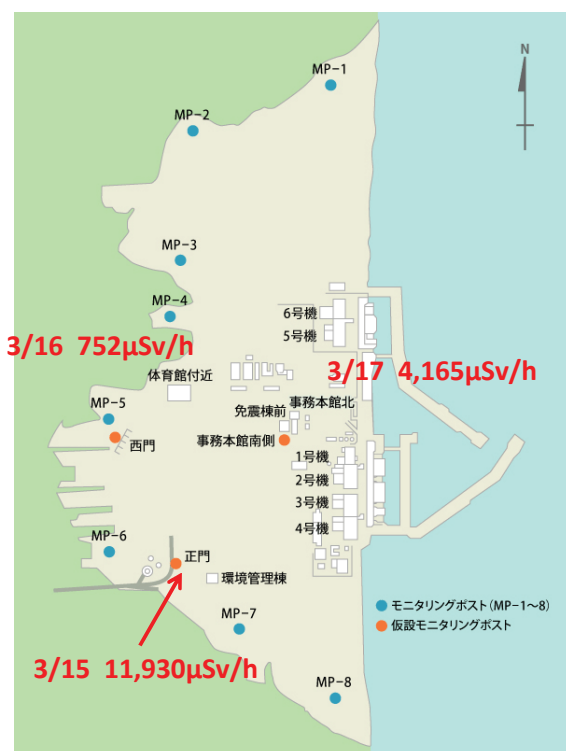
今回の福島原発事故対応

年間許容線量

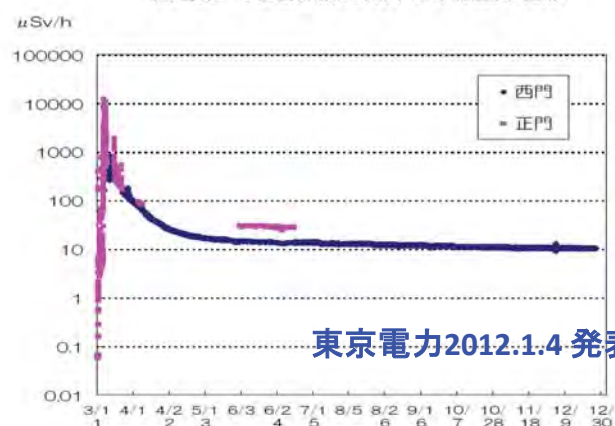
	平時	福島事故時
一般人	1 mSv	→ 20 mSv
放射線作業者	50 mSv	
(ただし5年間で100 mSvを超えない)		
緊急時	100 mSv	→ 250 mSv

51

福島第一原発事故直後の線量と経過



福島第一発電所敷地境界での線量率推移

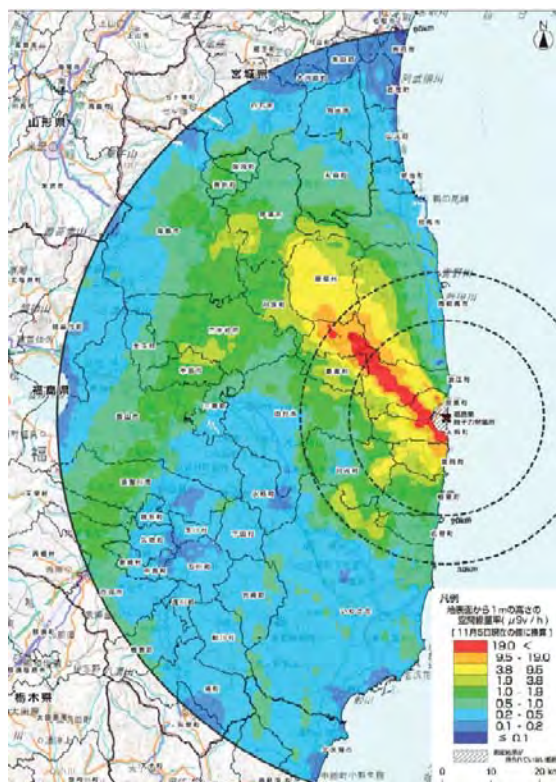


52

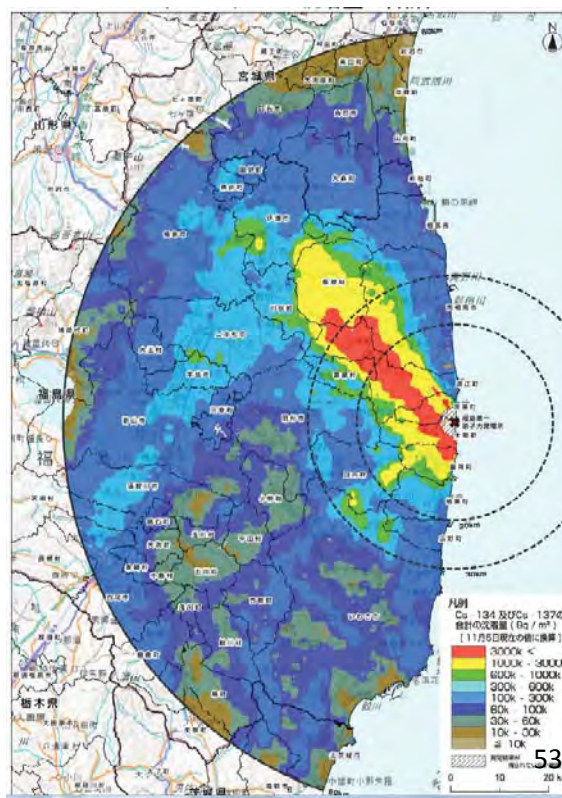
文部科学省による航空機モニタリングの測定結果

2011.12.16

地表面から1m高さの空間線量率



地表面へのセシウム134、137の沈着量の合計



宮城県の空間線量率

2014.12.5データ



	μSv/h	年間(mSv)
仙台市	0.056	0.49
石巻市	0.053	0.46
気仙沼	0.043	0.48
栗原市	0.062	0.54
白石市	0.084	0.74
亘理町	0.066	0.58
岩沼市	0.063	0.55
名取町	0.044	0.39
丸森町	0.119	1.04
角田町	0.075	0.66

東北大学バックグラウンドデータ

0.06~0.07 μSv/h

まとめ(1)

- 放射線は計測ができます。まず計測。計測値から冷静に判断しましょう！
- 同一放射線量(Sv)であればどの放射線も同じ影響を及ぼします。
- 放射線影響には確定的影響と確率的影響があります。
- 低線量の放射線で問題になるのは、確率的影響(発がんと遺伝的影響)です。

55

まとめ(2)

- 100mSv以下の低線量放射線の健康への影響は、統計的に有意差を証明できないくらい小さいと考えられます。しかし、ゼロとも証明できません。
- 避け得る被ばくは避けるべきです。しかし、過剰反応のリスクも考慮すべきです。
- リスクの高い胎児や小児には特別な配慮が必要です。

56

まとめ(3)

- 年間20mSv以下の発がんリスクは禁煙、減塩、野菜中心食、あるいは健診などでカバーできる線量です。
- 科学的に影響を証明できない低線量域での極論はどちらも正しいとは言えません。
- 線量監視や健康チェックは、引き続き行われるべきです。