

放射線被ばく 人体への影響および注意点

首都大学東京 健康福祉学部
放射線学科
福士政広

「全てのものは毒である。毒でない物は存在しない。毒になるか薬になるかは正しい量であるかどうかで分かれる」

（16世紀 パラケルスス）

放射線

- ◆放射線は目に見えず、耳に聞こえず、味も臭いも感触もなく、五感に感じない。

放射線の種類

- ◆ X線
- ◆ α 線
- ◆ β^- 線
- ◆ β^+ 線
- ◆ γ 線
- ◆ 中性子線
- ◆ 電子線
- ◆ 陽子線
- ◆ 宇宙線

放射線

電磁放射線

X線(制動X線、特性X線など、原子核外の現象に伴って出る)

γ 線(原子核のエネルギー状態の変化に伴って出る)

電荷を持った粒子線

β^- 線(原子核から放出される電子)

β^+ 線(原子核から放出される陽電子)
電子線(加速器でつくられる)

α 線(原子核から放出されるヘリウム原子核)

陽子線(加速器でつくられる)

重陽子線(加速器でつくられる)

種々の重イオンや中間子線(加速器でつくられる)

電荷を持たない粒子線

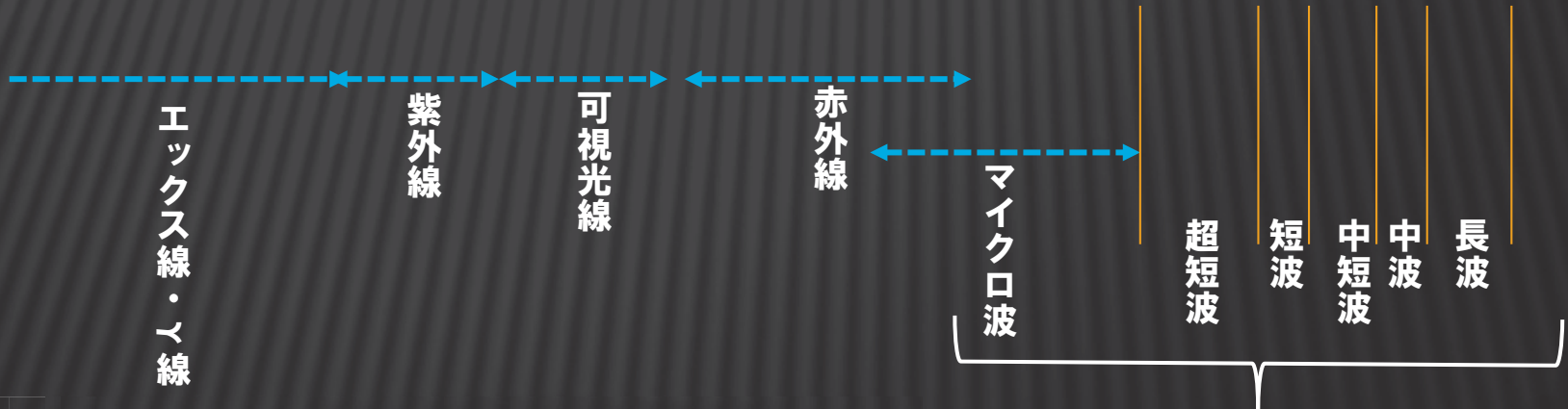
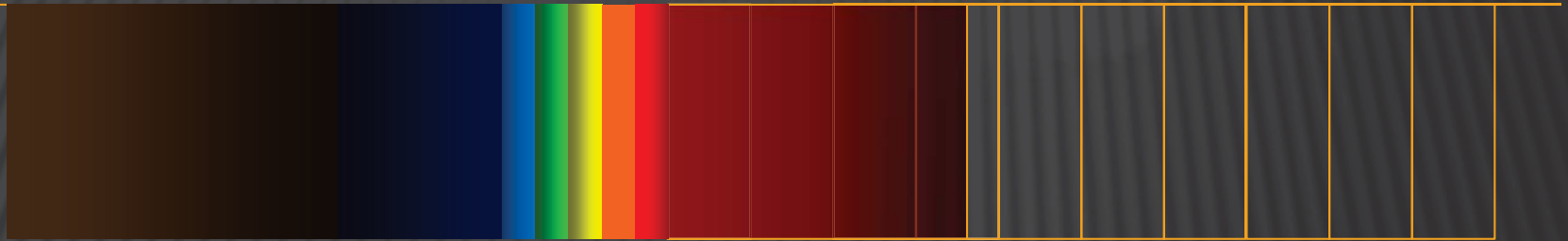
中性子線(原子炉、加速器、RIなど)

宇宙線は地球外から飛来する一次宇宙線と大気で生成される二次宇宙線がある。一次宇宙線の成分は大部分が高速の陽子である。二次宇宙線は、一次宇宙線が大気中の窒素、酸素などの原子核と衝突してできた高エネルギーの原子核、中性子、中間子、電子、 γ 線などからなる。

電磁波

波長

10^{-12} 10^{-11} 10^{-10} 10^{-9} 10^{-8} 10^{-7} 4×10^{-7} 8×10^{-7} 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 1 10 10^2 10^3 10^4 [m]



X線、γ線は電波、赤外線、可視光線、紫外線と同様に電磁波であるが、波長がきわめて短い。電磁波を粒子の流れと見たとき、それを**光子**とよぶ。電磁波の**波長が短い**ほど光子の**エネルギーは大きく**、**粒子**としての性質が強く現れる。

目安となる線量

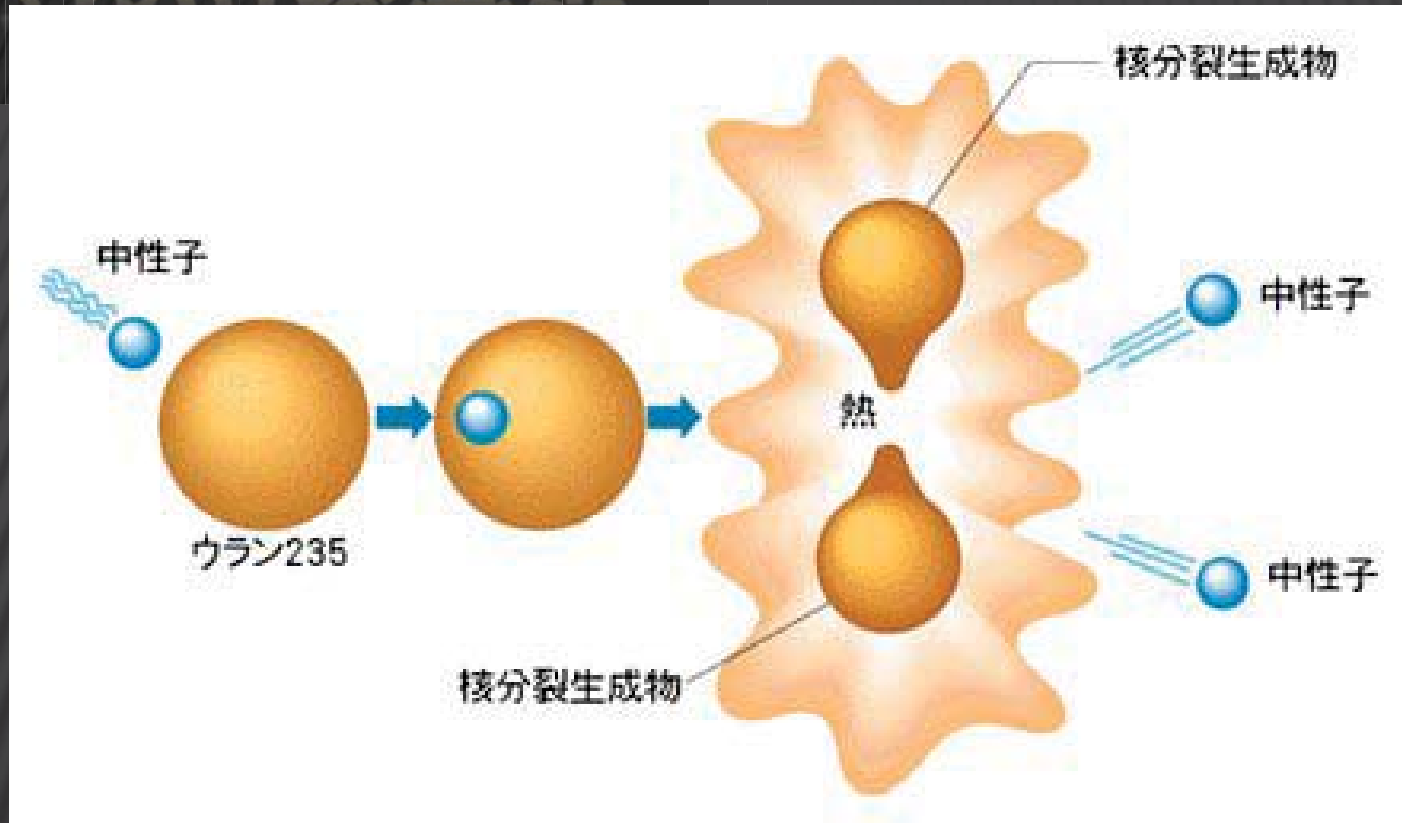
線量 (mSv)	概要
250	一度に全身に被曝した場合にリンパ球の減少が始まる線量
100	緊急時の被曝線量 職業人の5年間の線量限度線量
50	職業人の1年間の線量限度
20	職業人の5年間の線量限度線量の年平均線量 ICRPが提唱する事故収束後復旧期の上限值
5	ICRP1970年勧告の公衆に対する実効線量限度 職業人の1年間の線量限度の1/10の値
2.4	自然放射線源による被曝の全世界平均値
2	職業人の5年間の線量限度線量の年平均線量の1/10の値 職業人の妊娠期間中の腹部表面線量
1	ICRP 1990年勧告以降の公衆の実効線量

自然放射線源による被曝の全世界平均

UNSCEAR
2008年ほう
こくによる

線源	年実効線量 (mSv) 平均値	
宇宙線	電離性成分	0.28
	中性子成分	0.1
	宇宙線生成放射性核種	0.01
	小 計	0.39
外部大地放射線	屋外	0.07
	屋内	0.41
	小 計	0.48
内部被曝 (吸入摂取)	^{238}U と ^{232}Th の系列	0.006
	Radon(^{222}Rn)	1.15
	Thoron(^{220}Rn)	0.1
	小 計	1.26
内部被曝 (経口摂取)	^{40}K	0.17
	^{238}U と ^{232}Th の系列	0.12
	小 計	0.29
合 計		2.4

U-235の核分裂



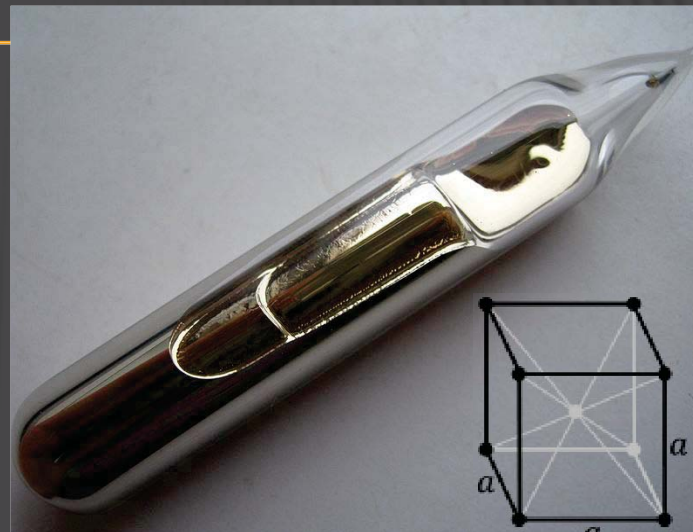
- ◆ 天然のウランの存在比
- ◆ ウラン-234 (^{234}U) (0.005%) $T_{1/2}$ 約25万年
- ◆ ウラン-235 (^{235}U) (0.7200%) $T_{1/2}$ 約7億年
- ◆ ウラン-238 (^{238}U) (99.2745%) $T_{1/2}$ 約45億年

U-235の主な核分裂生成物

生成物	収率 (%)	半減期	沸点	
Cs-133	6.79	安定	703.3	一部は中性子捕獲により半減期約2年のCs-134になる
I-135	6.33	6.57h	184.3 昇華性有	崩壊で生成するXe-135は原子炉でもっとも主要な毒物で10-50%が中性子捕獲によりXe-136になり、残りは半減期9.14hでCs-135になる。
Zr-93	6.30	1.53My	3578	
Cs-137	6.09	30.17y	703.3	
Tc-99	6.05	211ky	4265	
Sr-90	5.75	28.9y	1383	
I-131	2.83	8.02d	184.3 昇華性有	
Pm-147	2.27	2.62y	2460	
Sm-149	1.09	安定	1800	主要な毒物のひとつ
I-129	0.66	15.7My	184.3 昇華性有	

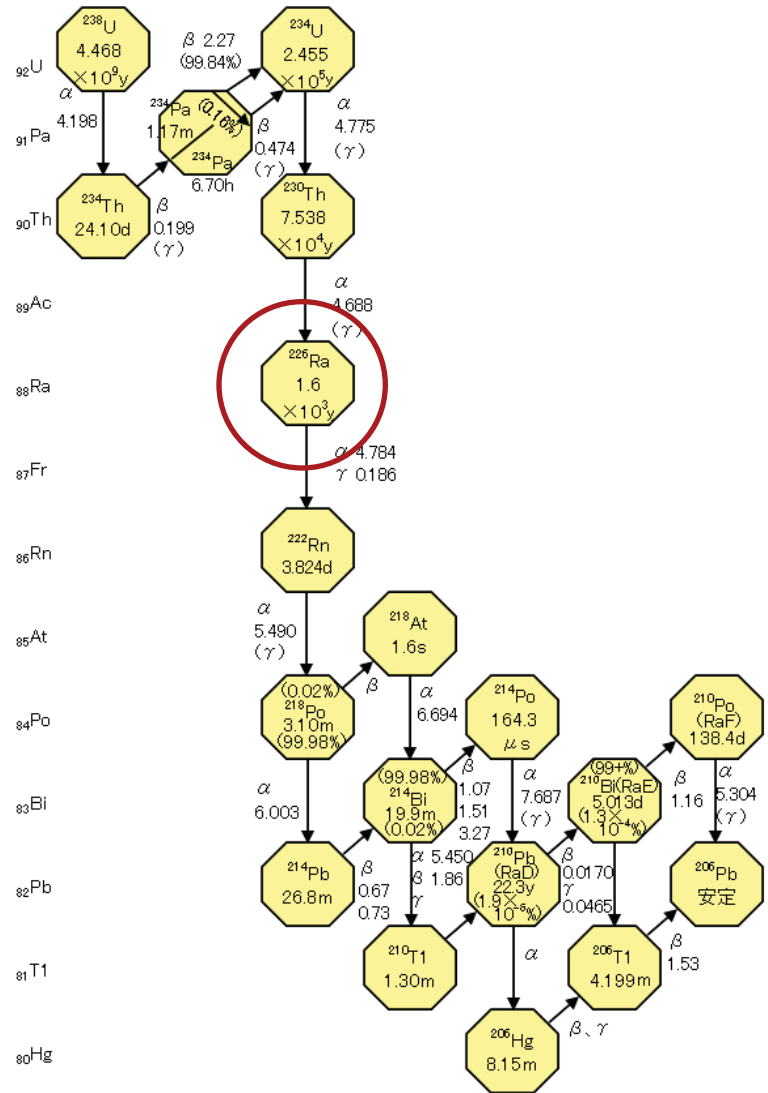
セシウム とは

- ◆ 原子番号 55
- ◆ 元素記号 Cs
- ◆ 族 第1族
- ◆ 周期 第6周期
- ◆ アルカリ金属元素 (Li, Na, K, Rb, Cs, Frなど)
- ◆ 分子量 132.9054
- ◆ 融点 28.4°
- ◆ 沸点 703°
- ◆ 同位体と天然存在比 ^{133}Cs (100%)



ウラン系列

- 放射性同位元素の崩壊系列としては、天然にはU-238、Th-232、及びU-235をそれぞれ出発点とする三つの系列が存在する。
- このうち、U-238から始まるものをウラン系列と呼ぶ。8回のα崩壊と、6回のβ崩壊を経て、安定同位元素のPb-206で終わる。
- 途中に自然放射性核種として重要なRa-226（岩石中に存在し、半減期1602年）及びRn-222（大気中に存在し、半減期3.82日）がある。

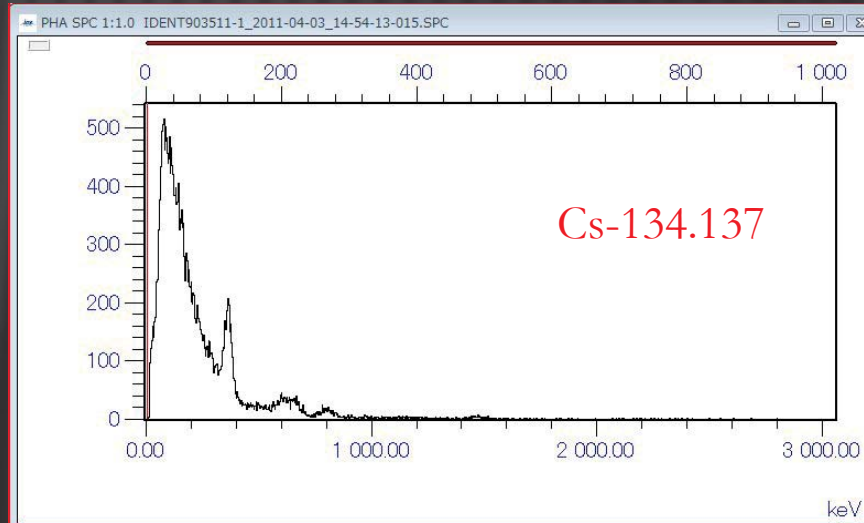
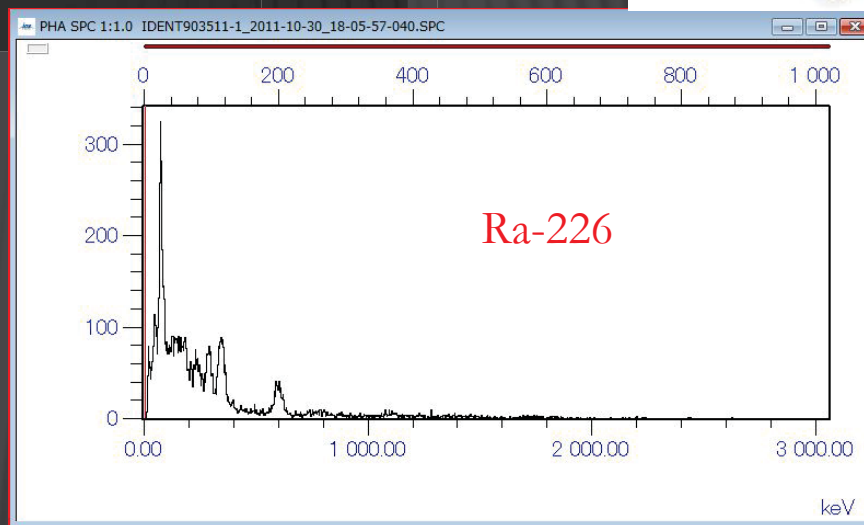


半減期と放射線のエネルギー(MeV)は
Evaluated Nuclear Structure Data File(1995年2月)

図2 ウラン(U-238)崩壊系列

[出典]日本アイントープ協会(編):アイントープ手帳、丸善(2002年7月).p13

世田谷区ラジウム事件



人工ラドン温泉源の外観



セラミック鉱石



二股温泉



人工機能温浴器



玉川温泉



ラドンの卵

ラジウムと北投石

「玉川温泉の北投石」は、大正11年（**1922年**）に**天然記念物**に指定され、昭和27年（**1952年**）には**特別天然記念物**に指定されている。現在は採取が禁止されているが、「健康によい」さらには「**末期癌**をも治す効果がある」などしばしばマスメディア等で取り上げられることから盗掘は後を絶たず、**2004年**には摘発された事例もある。

<http://ja.wikipedia.org/>

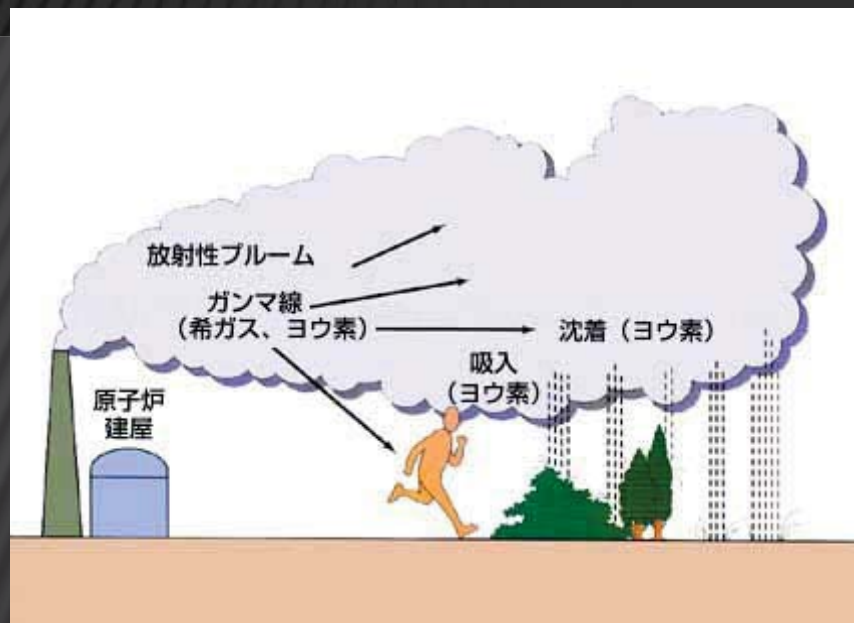


【測定値】 11.10 μ Sv/hr

【重量】 101 g

【価格】 ¥795,375

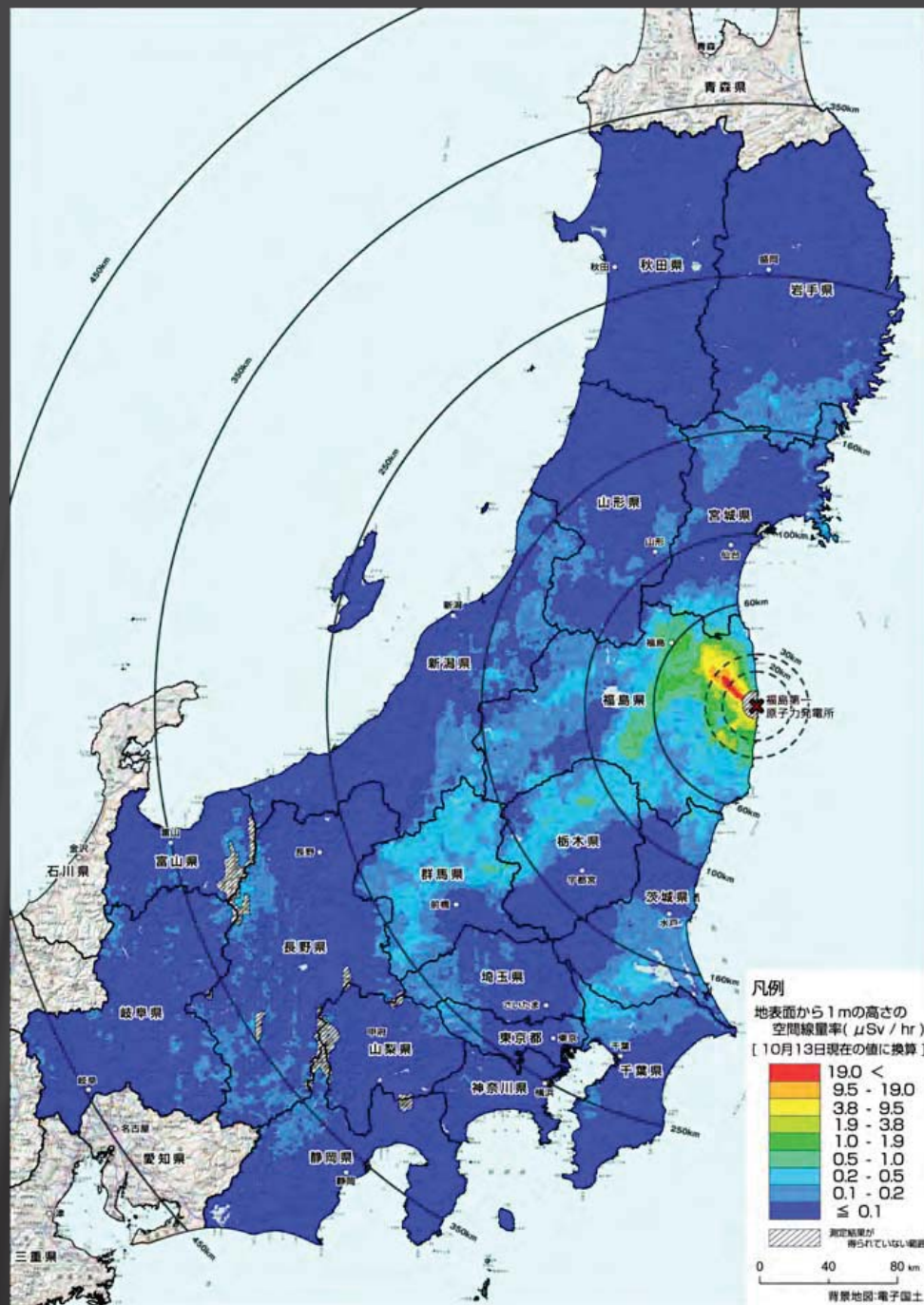
放射性雲（放射性プルーム）



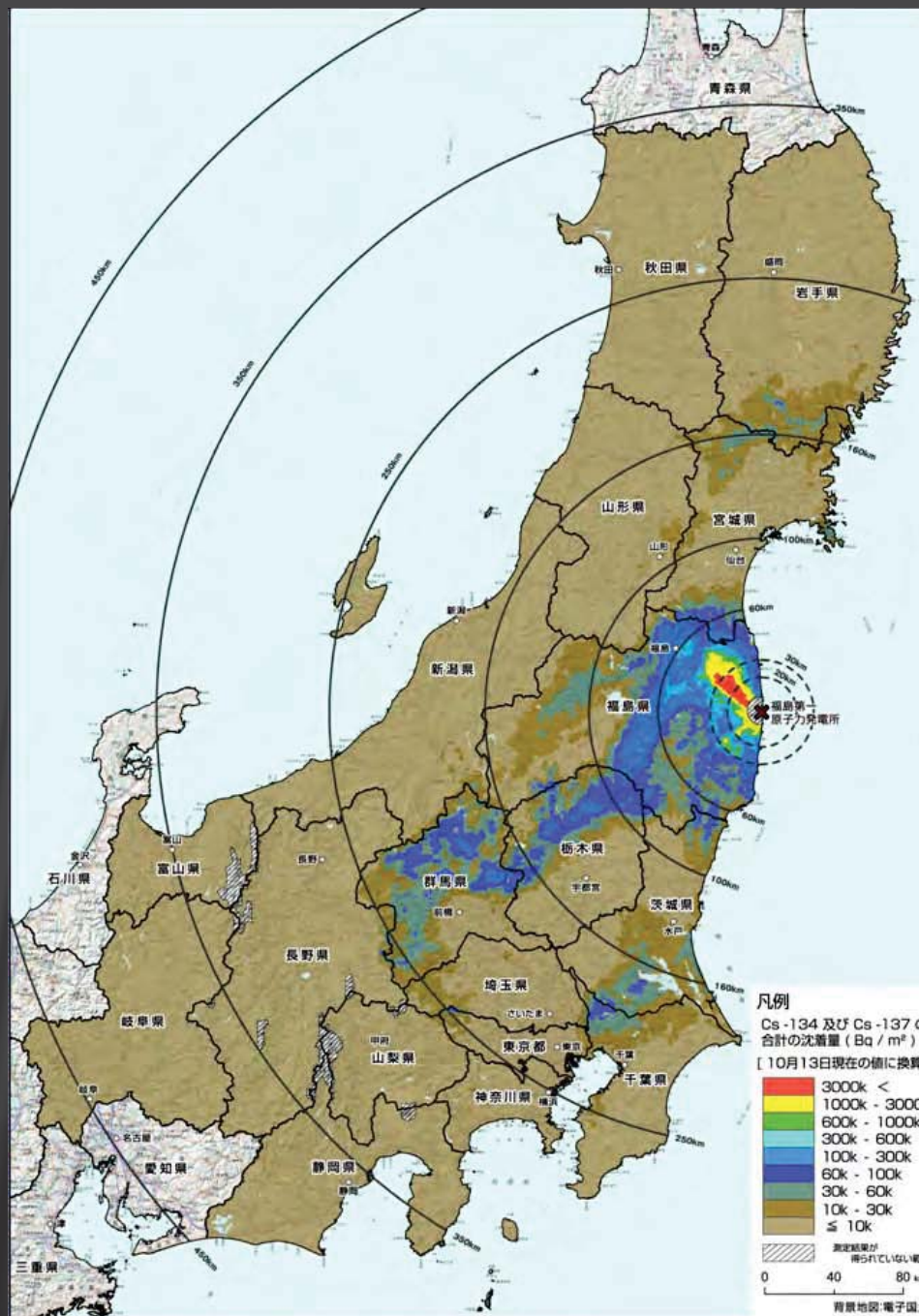
放医研

- ◆ 気体状の放射性物質が大気とともに雲のように流れる状態を放射性プルーム（放射性雲）と呼ぶ。放射性プルームには放射性希ガスと放射性ヨウ素が含まれ、外部被ばく、内部被ばくの原因となる。

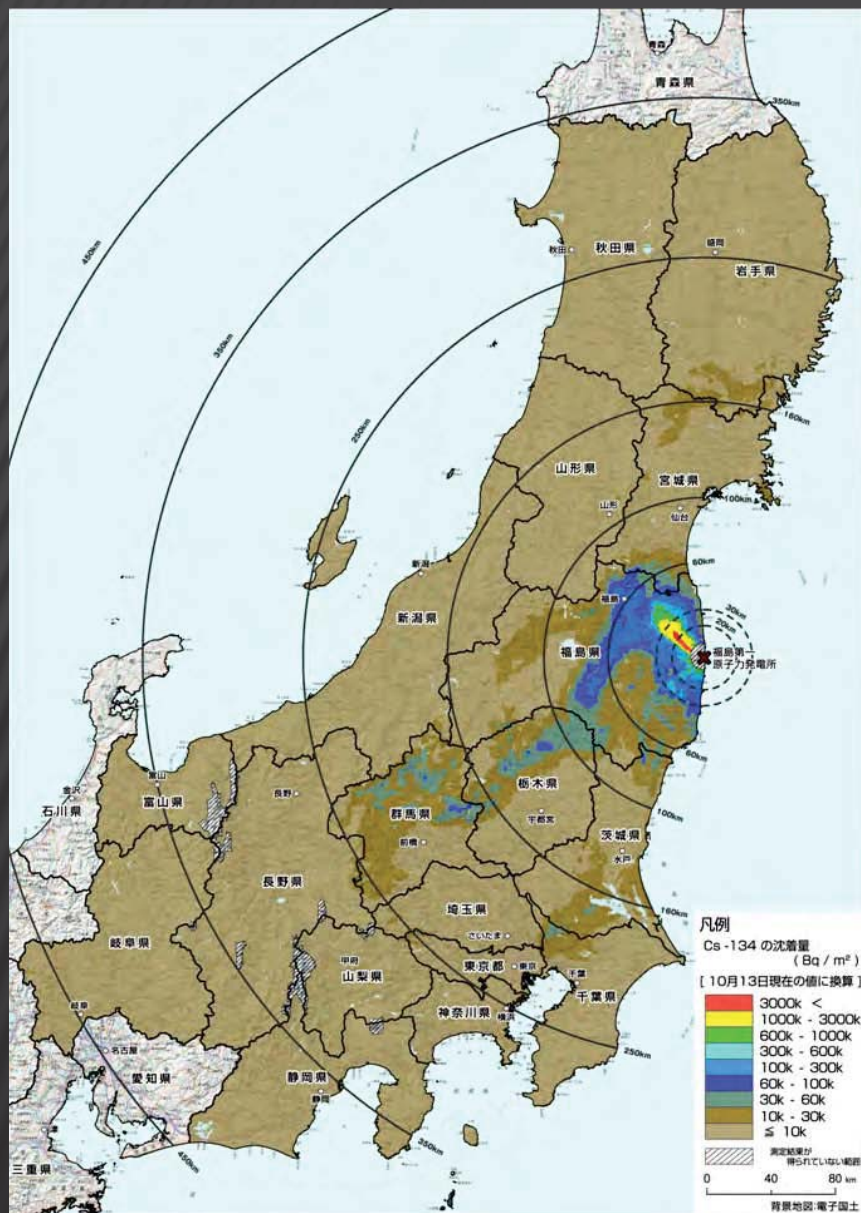
2011. 11. 11 文部科学省 航空機モニタ リングによる 地表1m高さ の空間線量率



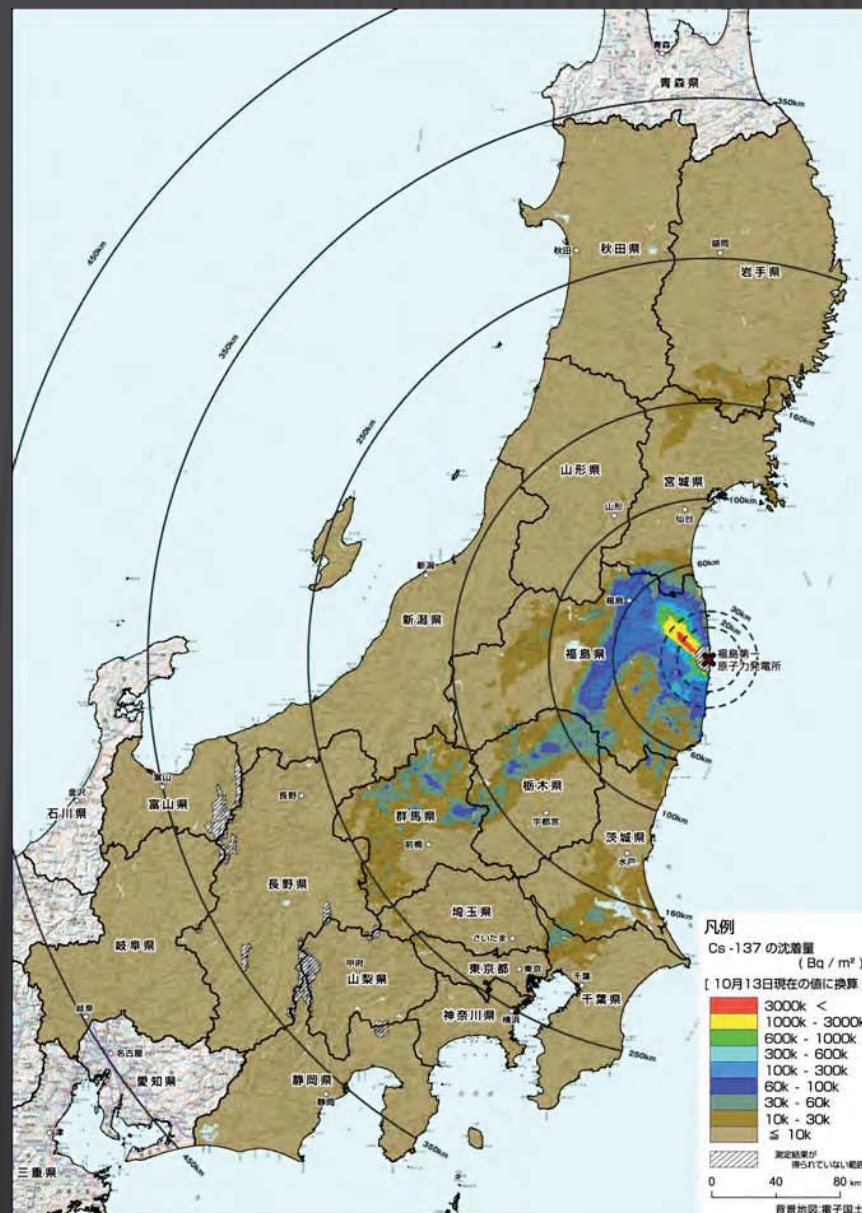
2011. 11. 11
文部科学省
航空機モニタリ
ングによる地表
面への
セシウム134,
137の沈着量
の合計



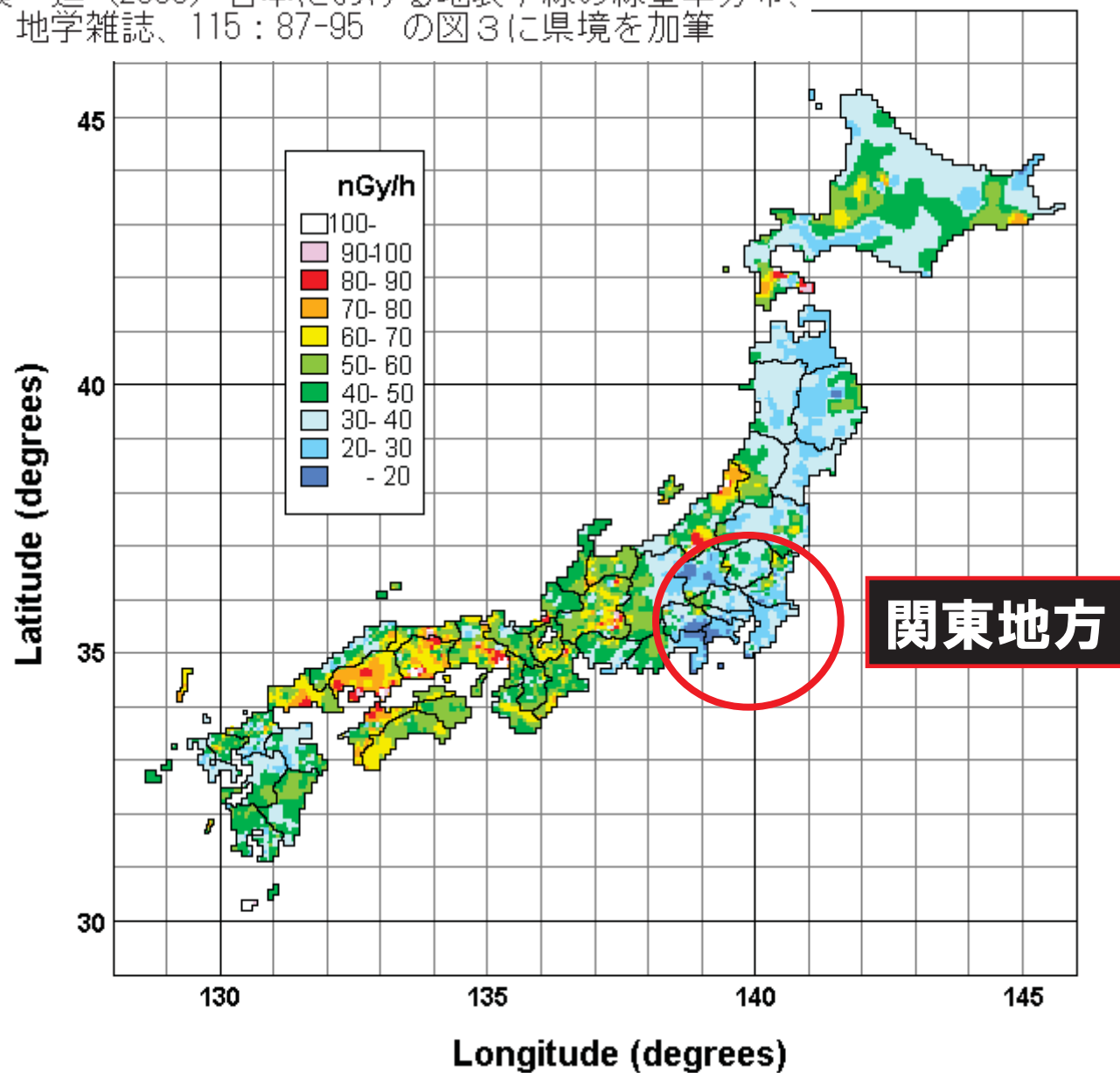
セシウム134沈着量



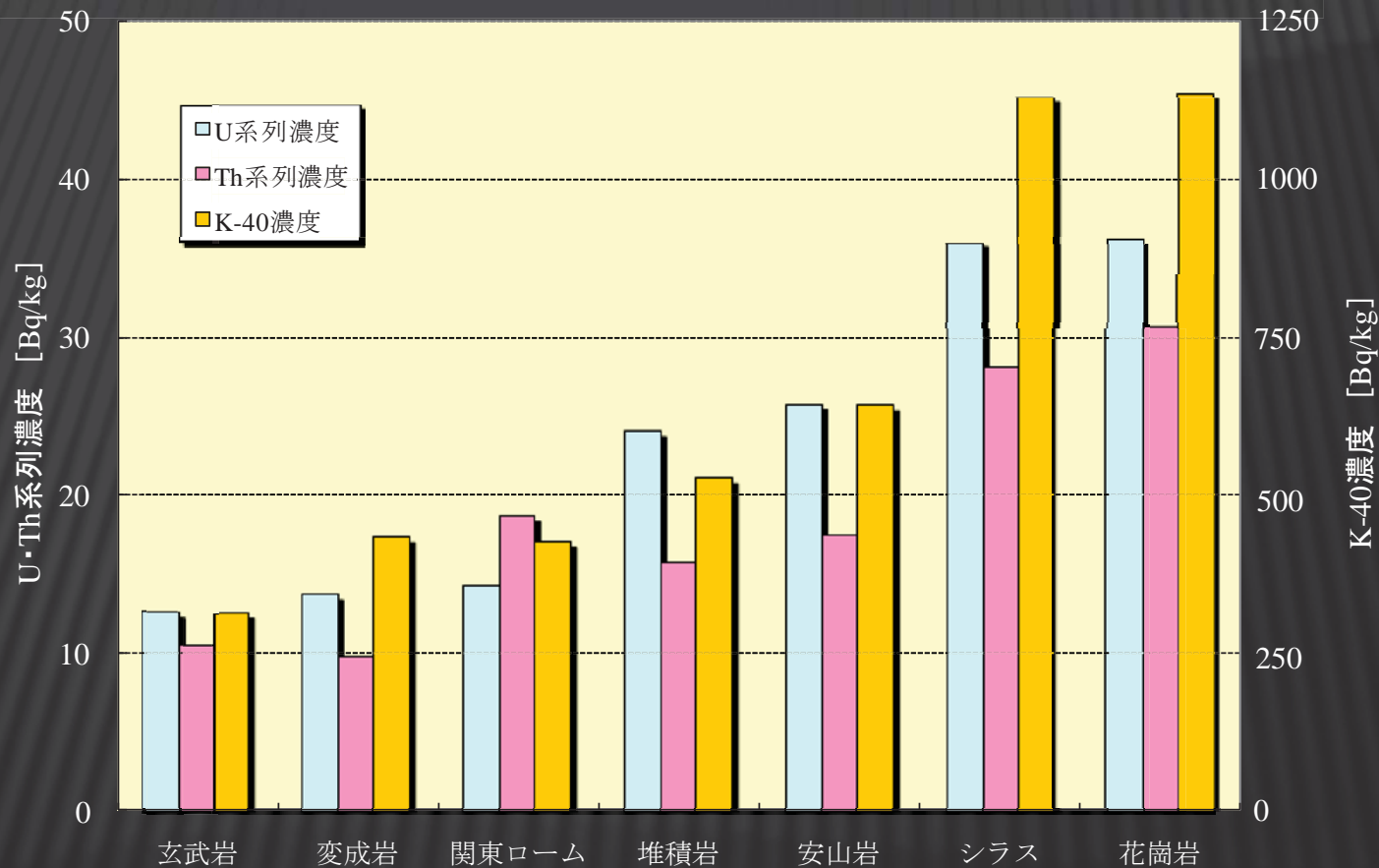
セシウム137沈着量



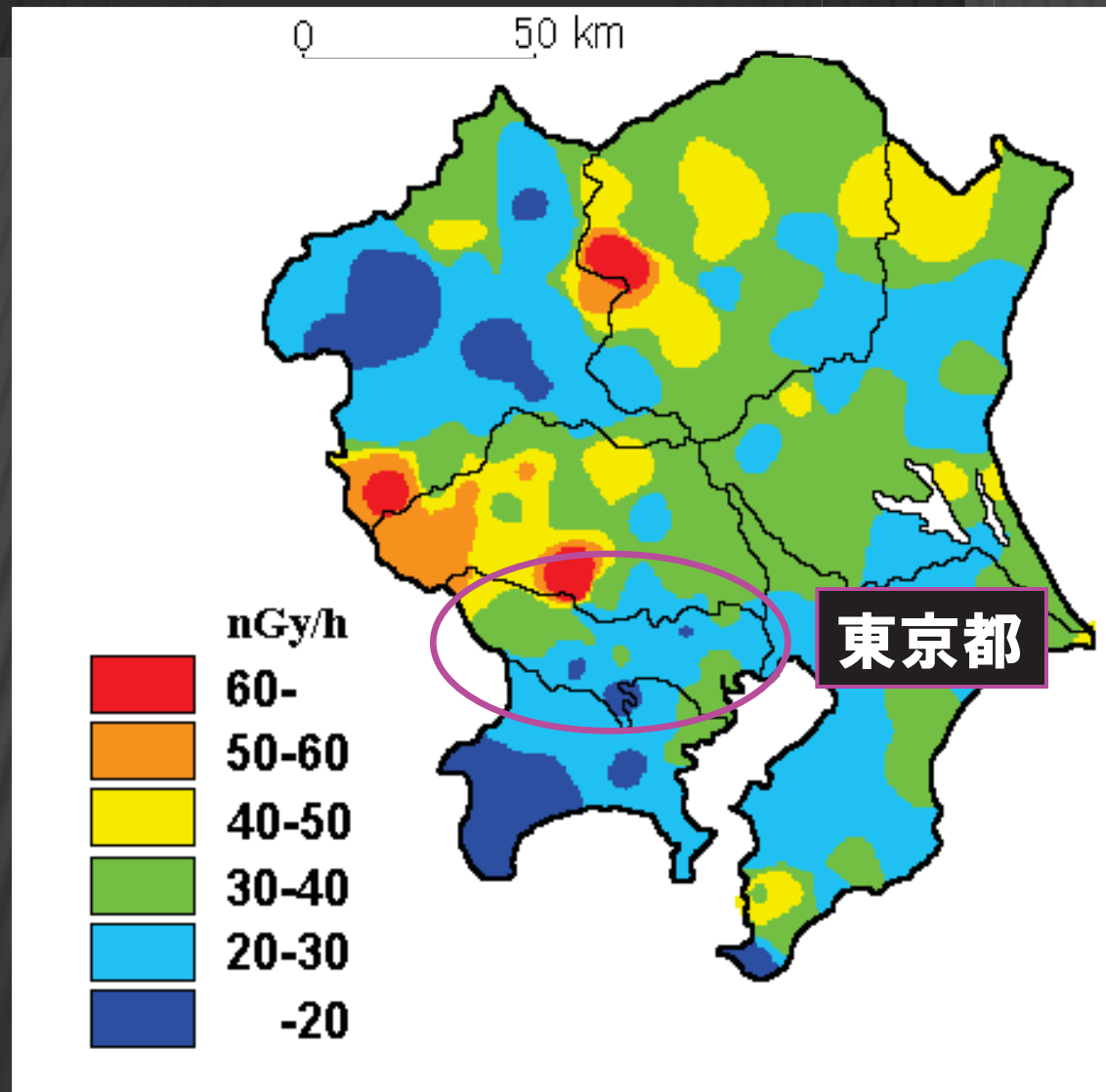
湊 進 (2006) 日本における地表 γ 線の線量率分布、
地学雑誌、115 : 87-95 の図3に県境を加筆



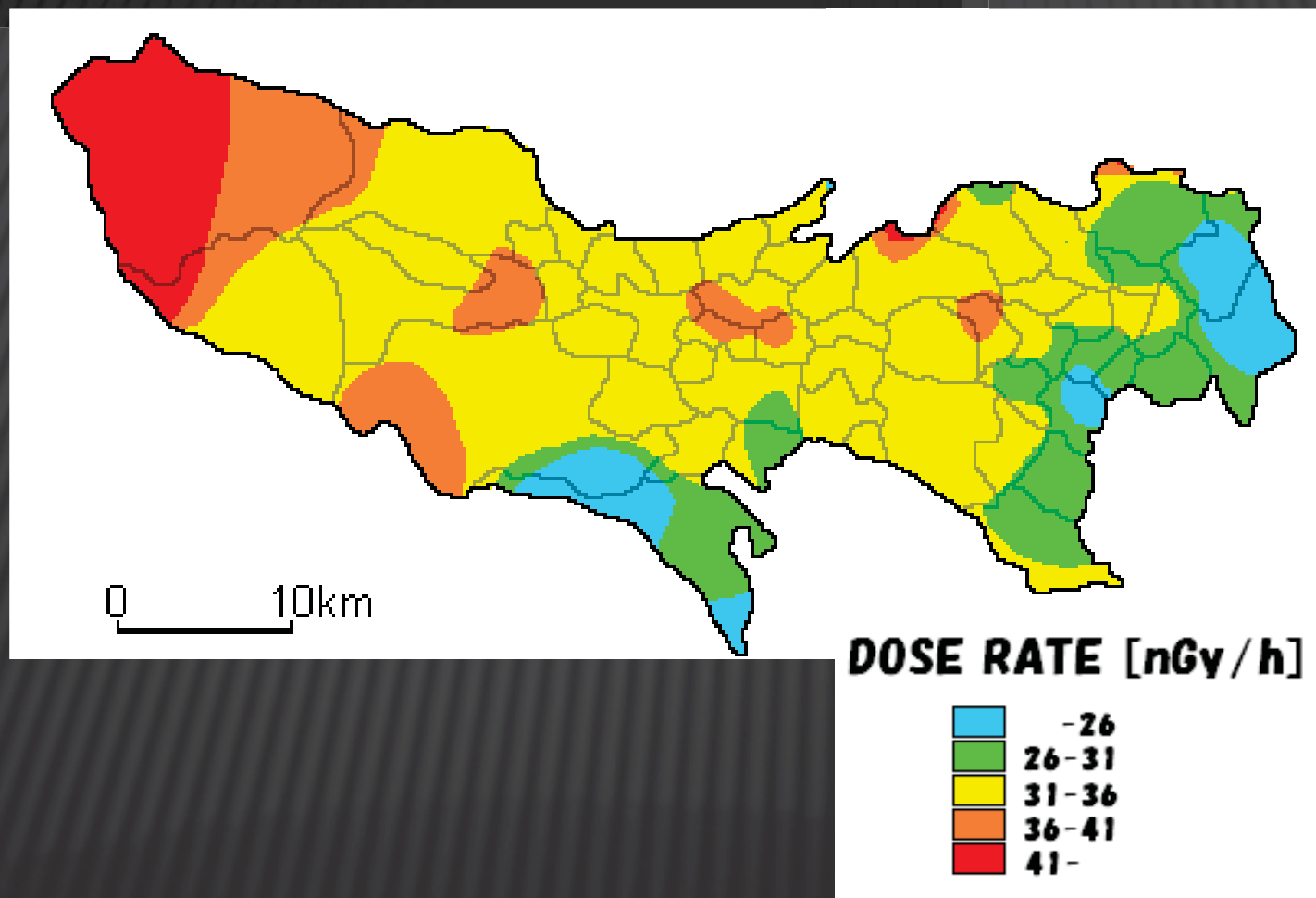
岩石の種類と放射能濃度



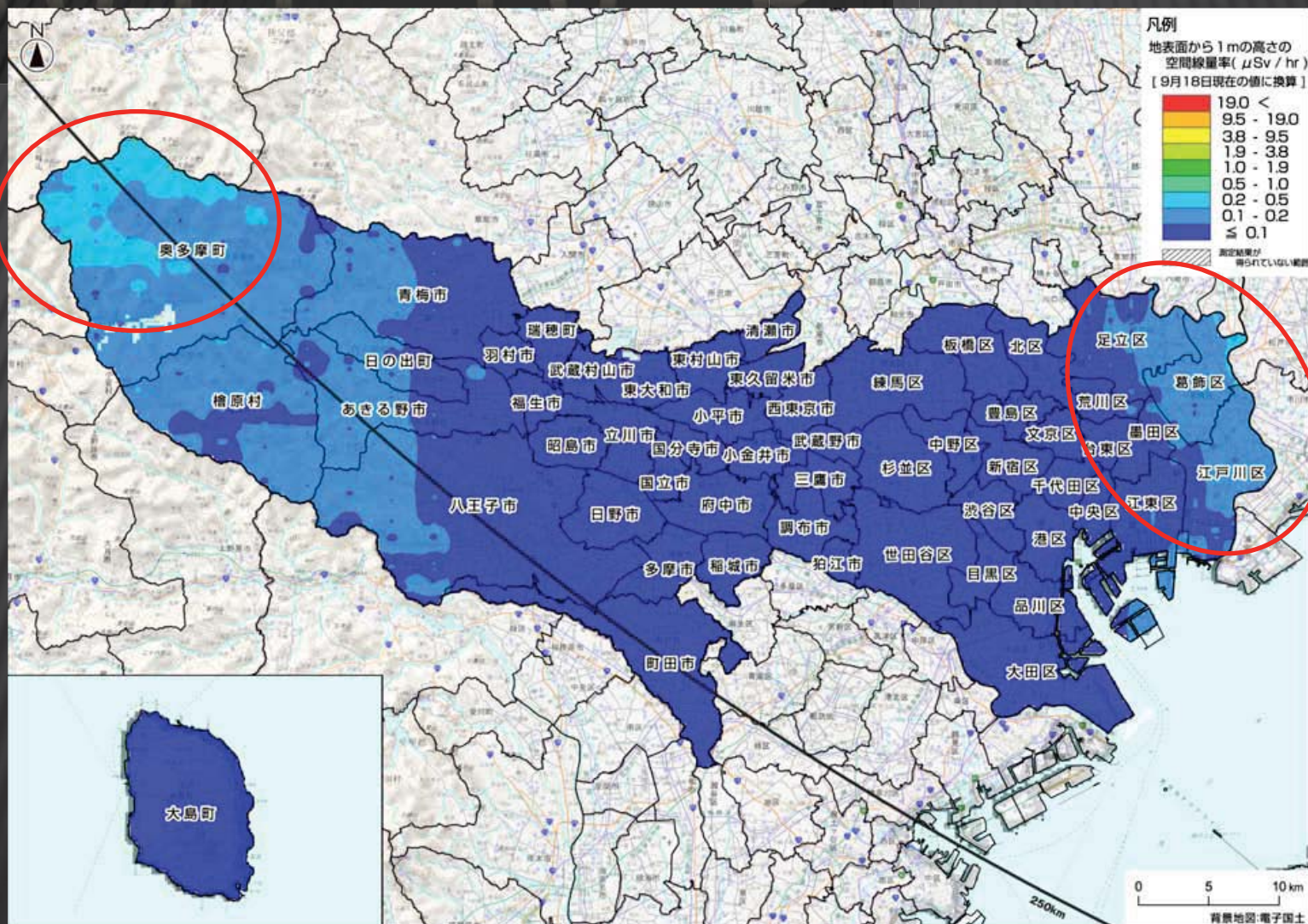
関東地方の放射能分布



東京都の放射能分布



2011.10.6

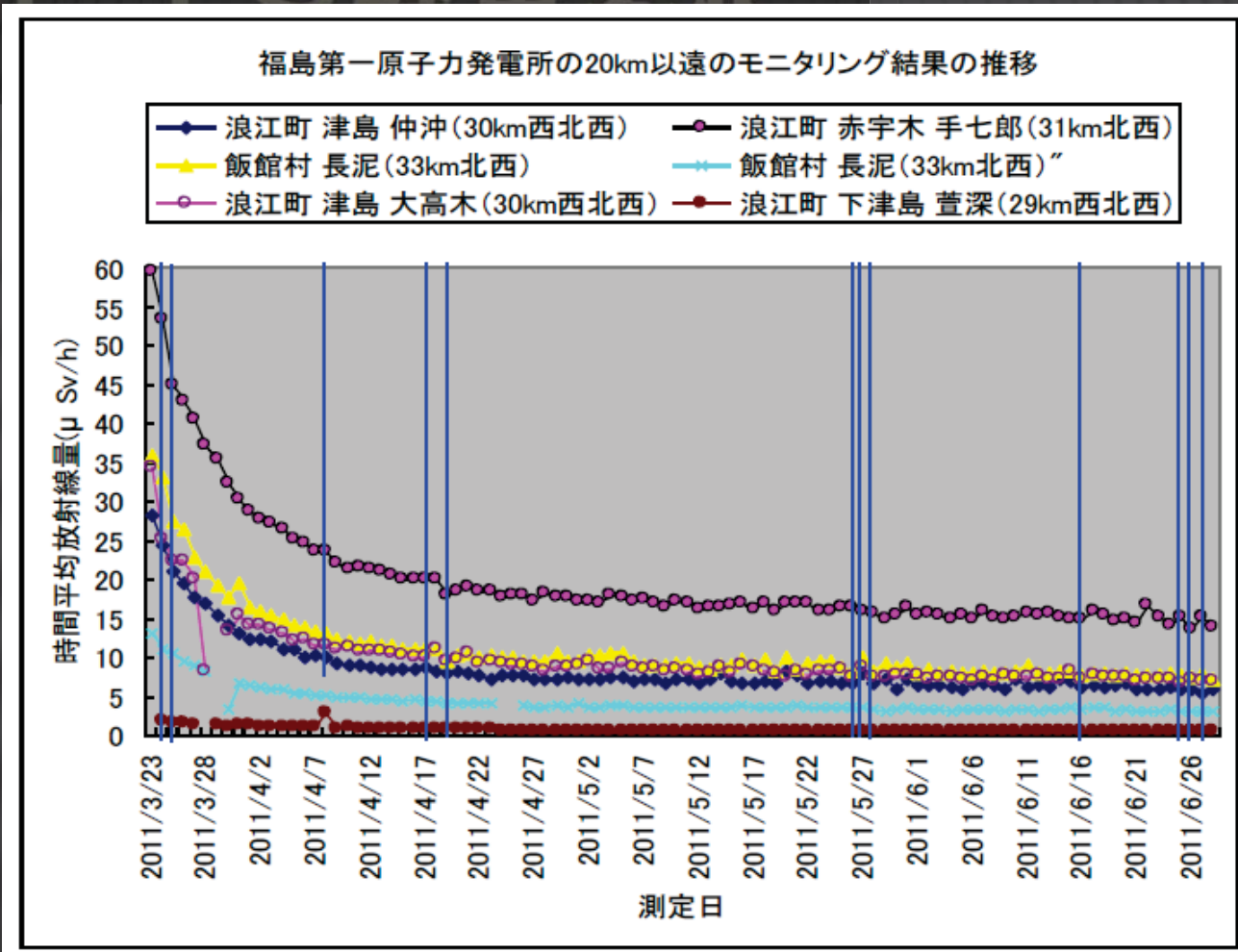


2003年調査時から増加率

区	2003.8	2011.9	増加割合	5割以上増加した区
	A nGy/h	B nGy/h	B/A	
千代田区	56	80	1.4	
中央区	56	87	1.6	○
港区	55	62	1.1	
新宿区	61	70	1.1	
文京区	64	80	1.3	
台東区	65	123	1.9	○
墨田区	61	105	1.7	○
江東区	57	73	1.3	
品川区	58	62	1.1	
目黒区	63	90	1.4	
大田区	59	100	1.7	○
世田谷区	63	61	1.0	
渋谷区	60	47	0.8	
中野区	67	50	0.7	
杉並区	64	50	0.8	
豊島区	64	70	1.1	
北区	61	95	1.6	○
荒川区	58	128	2.2	○
板橋区	61	120	2.0	○
練馬区	62	100	1.6	○
足立区	60	160	2.7	○
葛飾区	55	190	3.5	○
江戸川区	55	145	2.6	○
平均±SD	60.2±3.5	93.4±37.1	1.6±0.7	

奥多摩町 34.2 → 80.0 2.34倍

降雨による線量変化



首都大 吉田より

雨による大きな変化は見られない ➡ 放射性物質は雨では流れない？

線量の高い所

首都大 吉田より



雨どいの出口

10~15倍



畝
土を寄せた場所

1.5~2倍



ブロック塀の上面
ザラザラした面

1.5~2倍



コンクリートと土の境
コンクリートの割れ

1.5~2倍

環境の違いによる空間線量の変化

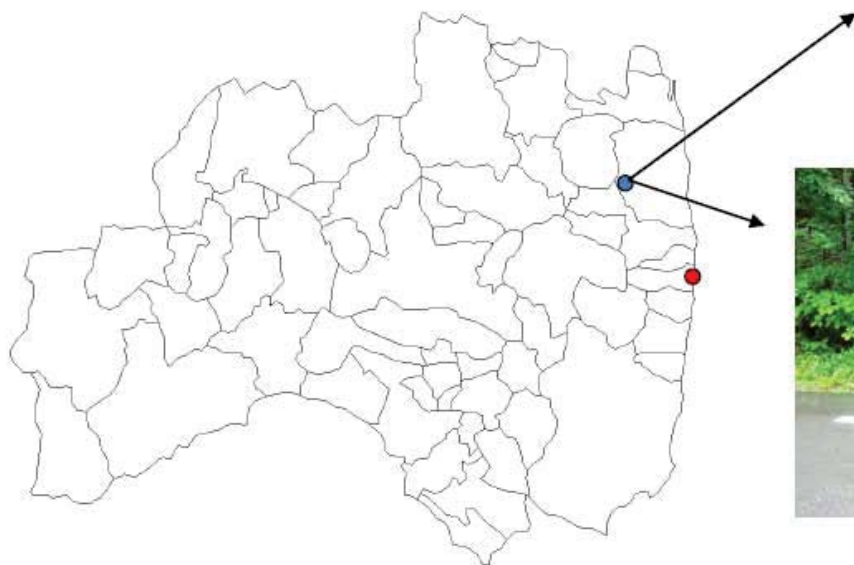
首都大 吉田より

大きな樹木
林、森
常緑広葉樹



野手上山 山道脇: 40 μ Sv/h

N 37° 34' 47" 69 E 140° 45' 29" 68



浪江 下島津

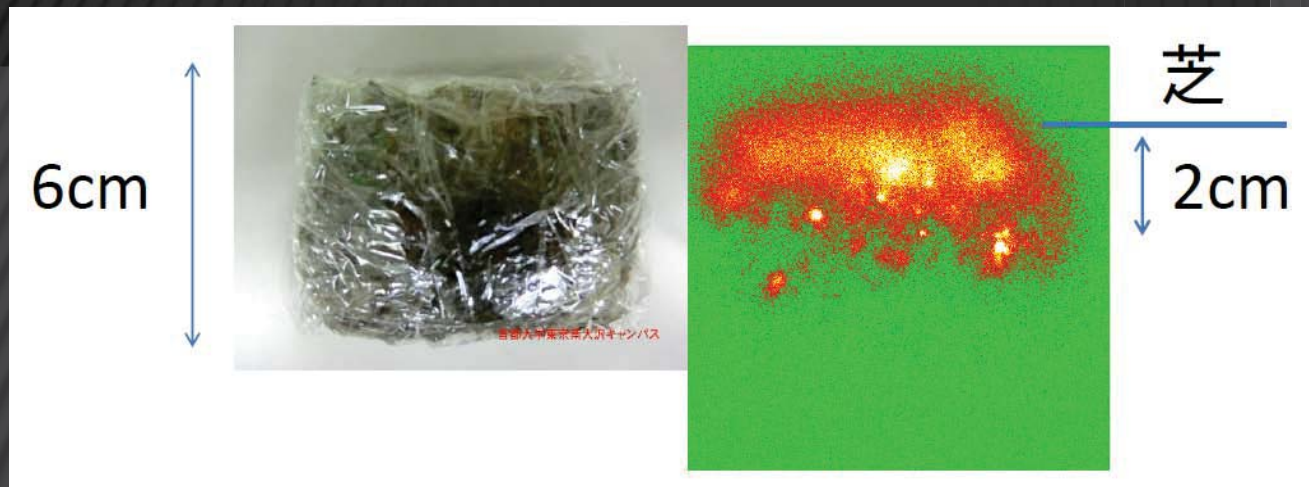


野手上山 山道脇: 80 μ Sv/h

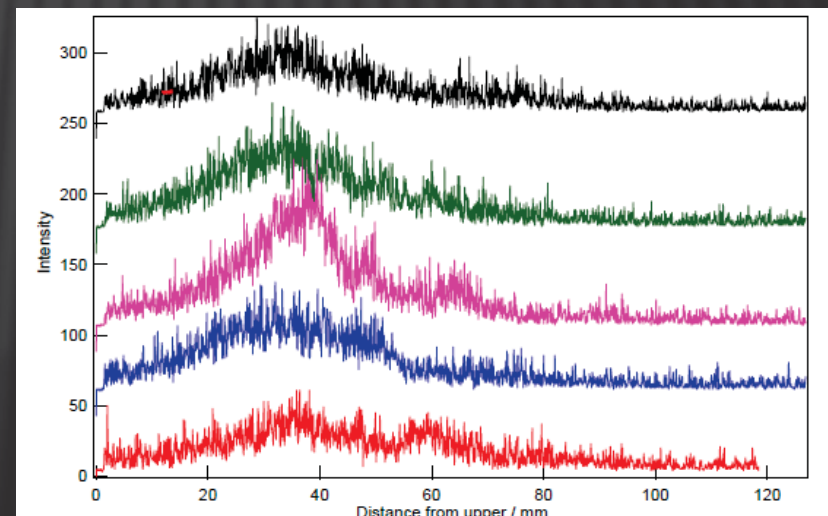
N 37° 35' 08" 58 E 140° 45' 19" 53

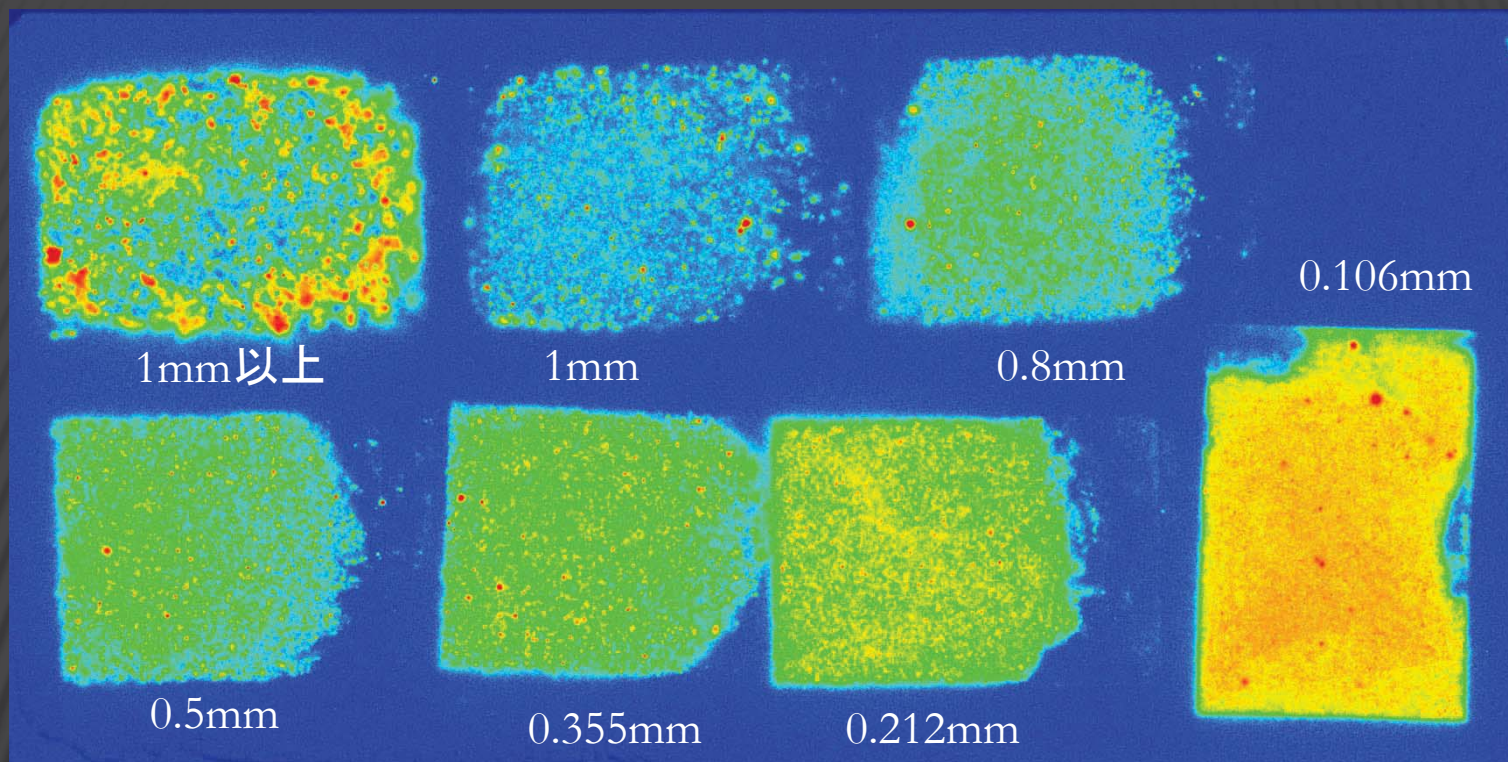
土壤汚染（深さ方向）

首都大 吉田より

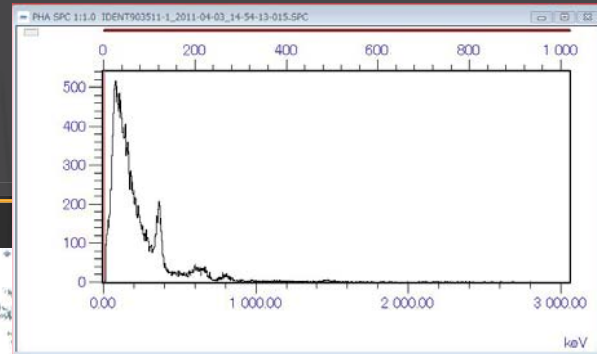


深さ方向の放射線の
強度分布





柏市 ホットスポット



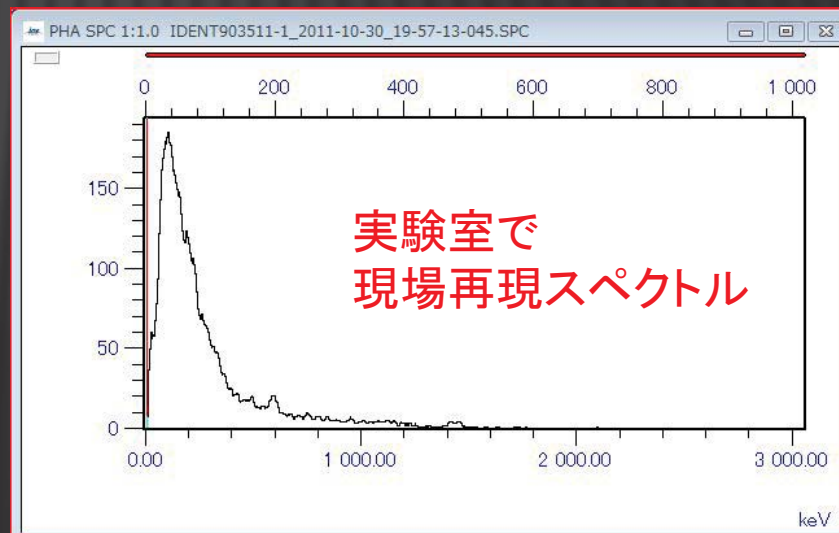
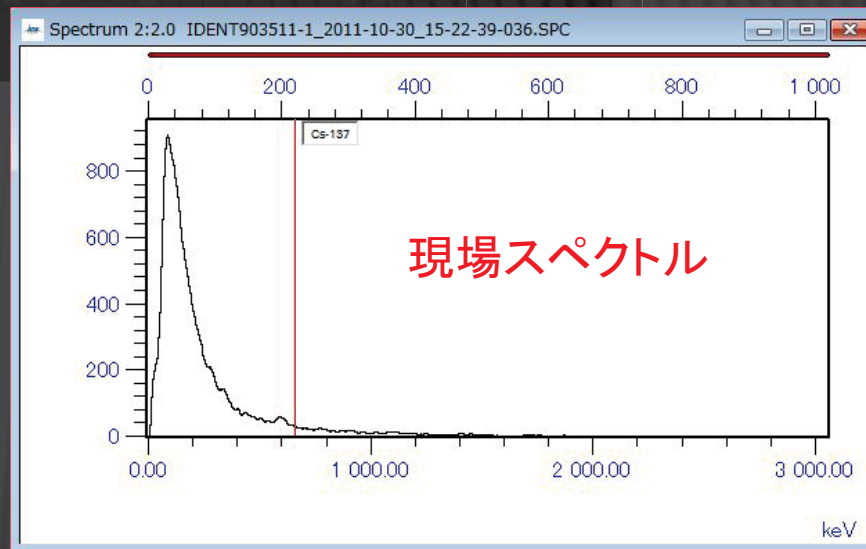
土壤と枯葉採取



土壤 Cs-134 2017 ± 43.6 Bq/kg Cs-137 2422 ± 49.6 Bq/kg
枯葉 Cs-134 2245 ± 94.0 Bq/kg Cs-137 2759 ± 96.2 Bq/kg

※郡山市 土壤 Cs-134 2901 ± 31.1 Bq/kg Cs-137 3383 ± 35.2 Bq/kg

世田谷区 八幡山スーパー



家庭で出来る除染対策

- ◆ 土壌：表面から5 cmの土を50 cm以上の深さの穴に埋める。芝生などのグラウンドカバーなる植物を飛散防止として植える。
- ◆ 樹木・植物：枯らしてから穴に埋める。これは、土に吸着して移動しないため。
- ◆ 乾燥時期の土埃の飛散を防止する。

東京都の取り組み



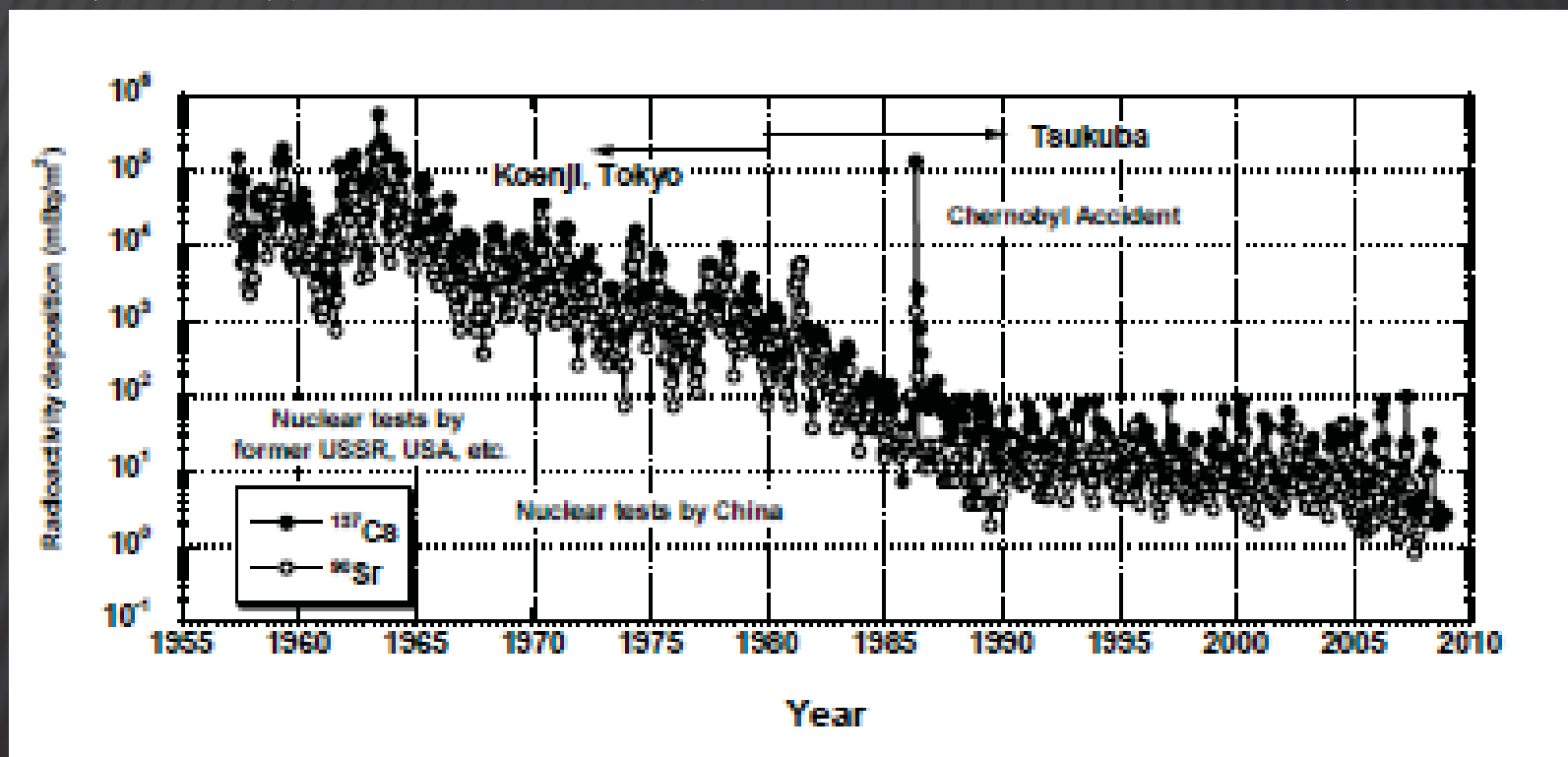
- 下水汚泥、上水汚泥、焼却灰
は最終処分場で管理
- ・受け入れ時の線量測定
 - ・5mの放射線遮蔽層
 - ・線量の変化を測定



ゼオライト フレコンバック 防水シート 土壌 ブルーシート

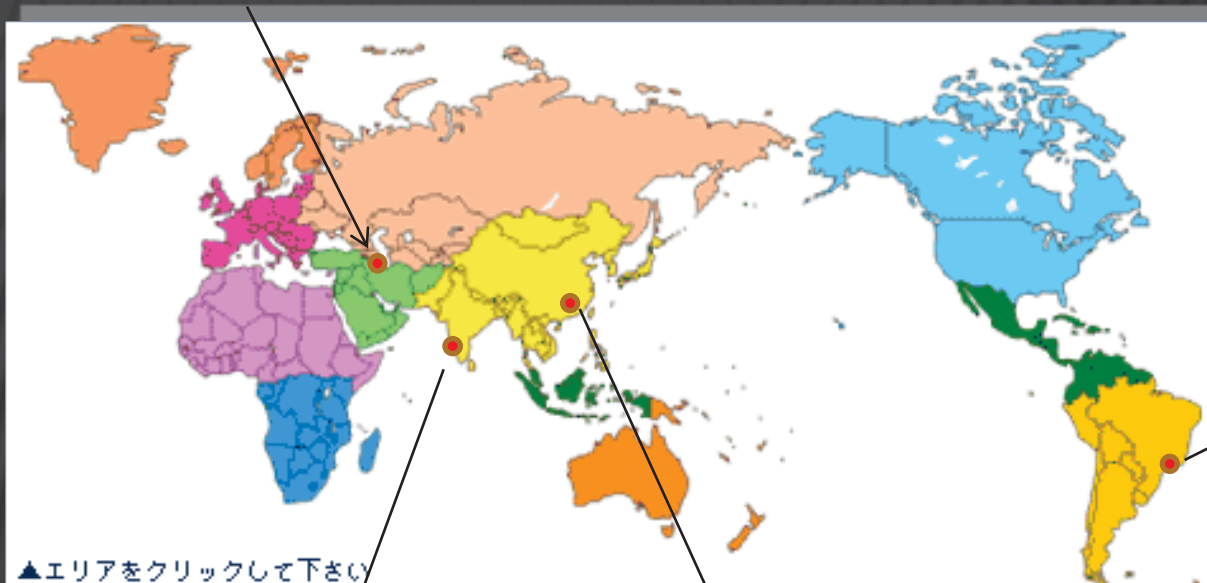
放射性降下物（FALL OUT）

気象研における人工放射性物質の月間降下量
（世界で最も長期間継続している観測結果）



世界の高自然放射線地域

ラムサール（イラン）



ガリバリ
（ブラジル）

ケララ（インド）

陽江（中国）

自然放射線の高い地域での調査

- ◆ 中国広東省の陽江地域住民（3.3mSv/年）と隣接対照群（1.04mSv/年）の癌死亡率を比較した。
- ◆ 高 background 群で上咽頭・胃・子宮頸癌、白血病が高い。
- ◆ 対照群で肝・食道・肺・腸・乳癌が高い。
- ◆ いずれも有意差はなかった。

日本のラドン温泉

- ◆ 玉川温泉（秋田）：0.7～2.3 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
- ◆ 二股ラジウム温泉（北海道）
- ◆ 村杉温泉（新潟）
- ◆ 馬場温泉（福島）
- ◆ 増富温泉（山梨）
- ◆ ローソク温泉（岐阜）
- ◆ 有馬温泉（兵庫）
- ◆ 三朝温泉（鳥取）
- ◆ 池田ラジウム温泉（島根）

米国人の確立したがん因子のがん死亡への寄与率

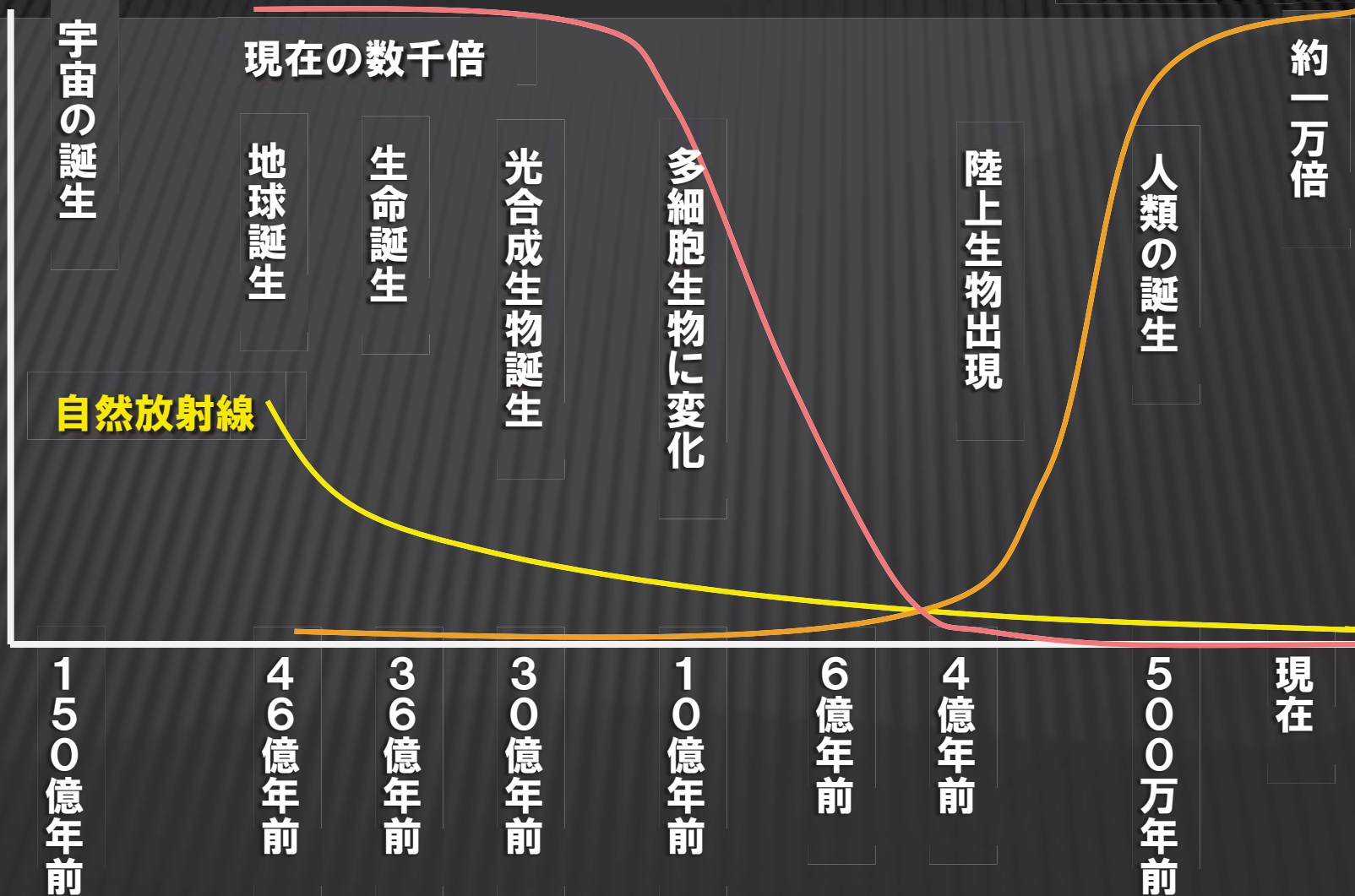
要 因	寄与割合 (%)
喫煙 (Tobacco)	30
成人期の食事・肥満 (Adult diet/obesity)	30
座業の生活様式 (Sedentary lifestyle)	5
職業要因 (Occupational factors)	5
がんの家族歴 (Family history of cancer)	5
ウイルス・他の生物因子 (Viruses/other biologic agents)	5
周産期要因・成長 (Perinatal factors/growth)	5
生殖要因 (Reproductive factors)	3
飲酒 (Alcohol)	3
社会経済的状況 (Socioeconomic status)	3
環境汚染 (Environmental pollution)	2
電離放射線・紫外線 (Ionizing/ultraviolet radiation)	2
医薬品・医療行為 (Prescription drug/medical procedures)	1
塩蔵品・他の食品添加物・汚染物 (Salt/other food additives/contaminants)	1

Harvard Center for Cancer Prevention: Harvard Report on Cancer Prevention, Volume 1: Causes of Human Cancer, Cancer Causes Control 1996 ;7:S3-S59

生命の2大毒素：紫外線と酸素

太陽からの紫外線

酸素濃度



放射線に対する人体の防護機構

◆ DNAの傷の修復

傷の種類	自然の傷 (／細胞／日)	放射線の傷 (／細胞／1mSv)
塩基損傷	20,000	0.3
1本鎖切断	50,000	1
2本鎖切断	10	0.03

低レベルの放射線量では有意ながんの増加は見られない

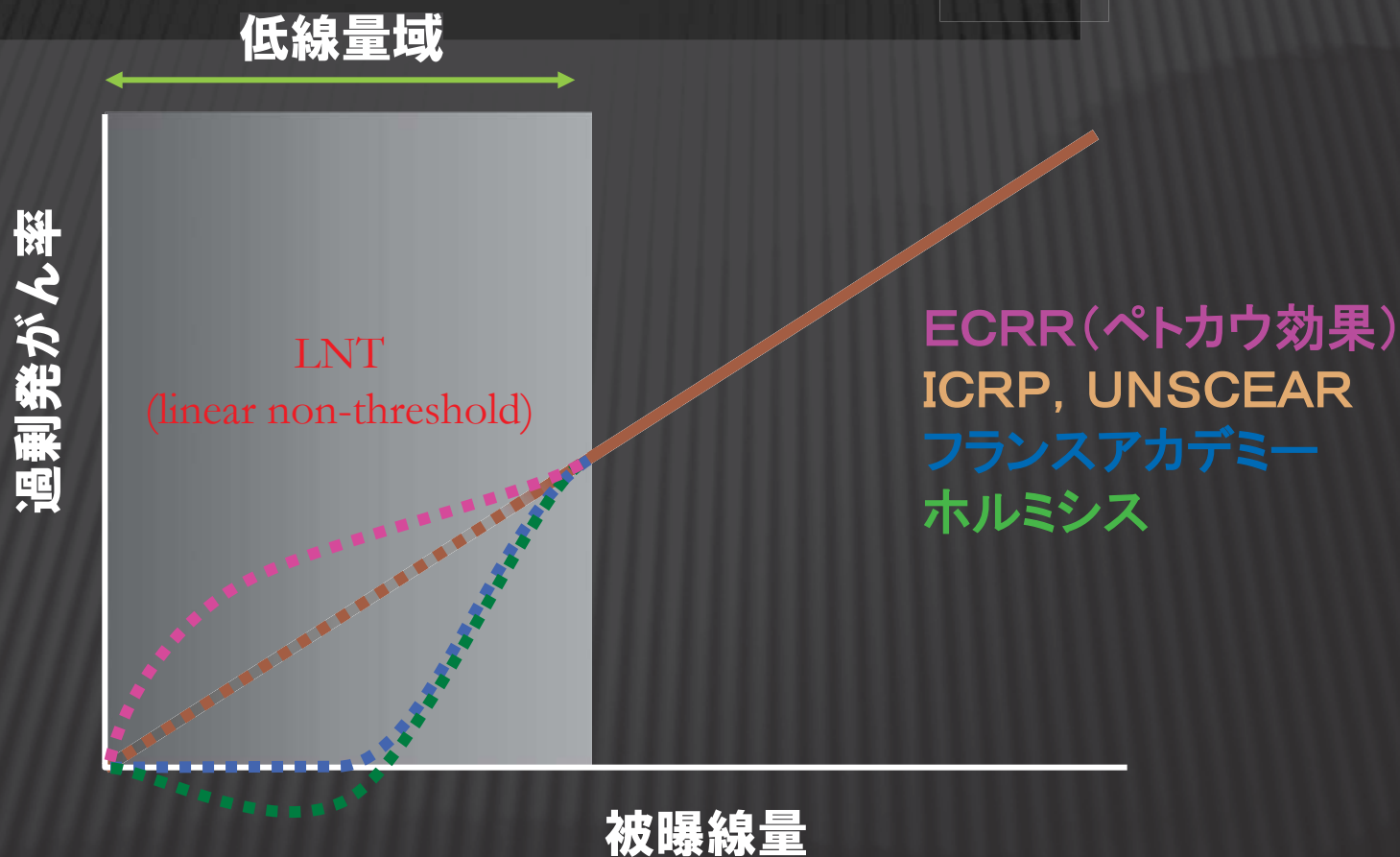
- ◆ 100mSv以下の線量では、放射線によると思われるような有意ながんの上昇は見られない。

遺伝病の増加はヒトでは確認されていない

両親の原爆被曝量は平均500mSv

遺伝病の種類	対照二世	被曝二世
死産・奇形・出生直後死亡	4.99%	5.00%
17歳以下の死亡	7.35%	7.08%
安定型染色体異常	0.31%	0.22%
染色体異数	0.30%	0.23%
血液タンパク質関連遺伝子の突然変異	6.4×10^{-6}	4.5×10^{-6}
白血病	0.05%	0.05%

低線量域の線量反応関係



たばこの確率的影響 (LNT仮説)

- たばこ33万本 (0.33T) で10%の発癌率であるので、0本の人の2%に比べ8%のリスク増となる。
- 発癌率は0.33Tで8%増加する (放射線1 Sv で5%)
- $5\%/1\text{Sv} = 8\%/1.6\text{ Sv} = 8\% / 0.33\text{ T}$ となる。
- $1.6\text{ Sv} = 0.33\text{ T}$ なので、 $1\text{ Sv} = 0.2\text{T}$ となる。
- **たばこ1本は5 μSv に相当する。**

T=たばこ

食品中の放射能

体内、食物中の自然放射性物質

- 体内の放射性物質の量
(体重60kgの日本人の場合)

カリウム40 4,000ベクレル
炭素14 2,500ベクレル
ルビジウム87 500ベクレル
鉛210・ポロニウム210 20ベクレル

- 食物中のカリウム40の放射能量(日本)
(ベクレル/kg)



出典：旧科学技術庁パンフレット

◆ ^{14}C , ^3H , ^{40}K , U, Th, Ra, ^{210}Po , ^{210}Pb ・・・などさまざままである。**約7020ベクレル**

◆ ^{40}K が主であり、どんな食品にも含まれている。

◆ ^{40}K （カリウム-40）の特徴
 ^{40}K が存在すれば、0.0117%の割合で ^{40}K が存在する。食品の種類によって ^{40}K の放射能は異なる。人間の体はKを一定量に保つ機構がある。

食品の摂取制限濃度

	日本	Bq/kg	EU	Bq/kg	米国
放射性ヨウ素 代表核種： ¹³¹ I)	飲料水 牛乳・乳製品 注)	300	乳児食品	150	170
			乳製品、液体状食品	500	
	野菜類（根菜、芋類を除く）、魚介類	2,000	その他食品	2,000	
放射性セシウム ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs	飲料水 牛乳、乳製品	200	乳児食品	400	1,200
			乳製品、液体状食品	1,000	
	野菜類、穀類、肉、卵、魚、その他	500	その他食品	1,250	

注) 100Bq/kgを超えるものは、乳児用調製粉液及び直接飲用に供する乳に使用しないよう指導する。

米国の緊急時の基準との比較

- ◆ 介入線量レベルは同じ

- 実効線量：5mSv/y、甲状腺等価線量：50mSv/y

- ◆ 放射性ヨウ素汚染食品の年間摂取日数

- 12日間（物理的半減に従う）

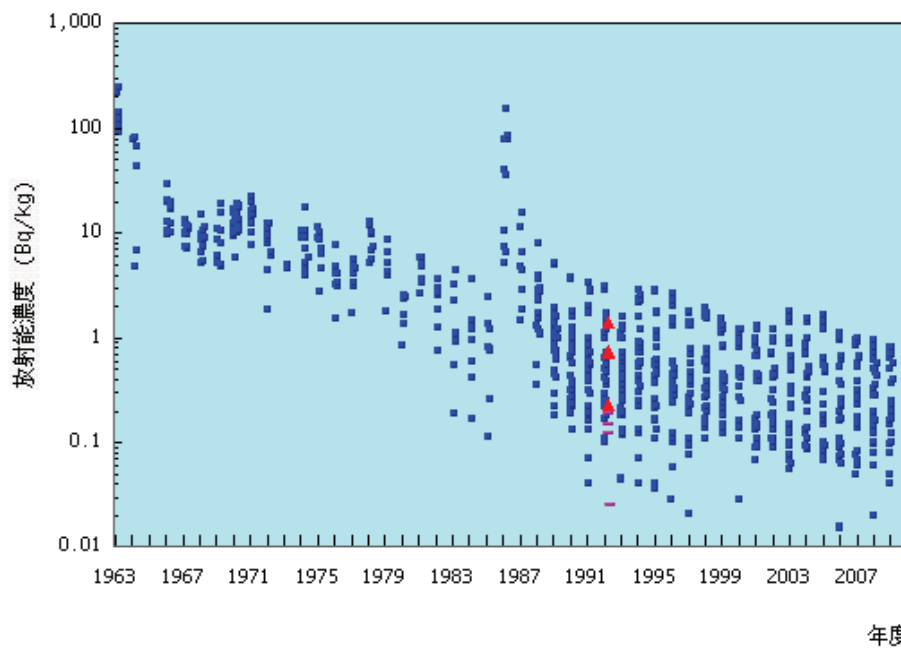
- 米国は60日間

- ◆ 汚染食品割合

- 放射性ヨウ素：100% 放射性セシウム：50%

- 米国は10%

事故以前の飲料の放射性セシウム の量



全ての地域における各試料中のCs-137の経年変化

放射性セシウムが元から多く含まれた食品

品名	Bq/kg
椎茸	9.200
粉乳	8.500
脱脂乳	7.000
茶	4.500
キクラゲ	1.000
紅茶	0.780
キャベツ	0.540
ハクサイ	0.530
真昆布	0.530
マグロ	0.510
生乳	0.500
ナメコ	0.400
カツオ	0.360
ホウレンソウ	0.350
落花生	0.340
ヒツジ	0.330
スズキ	0.300
アラメ	0.260
ヒジキ	0.240
アオサ	0.210
枝豆	0.200
シメジ	0.200
アジ	0.200

食品等から受ける線量 (預託実効線量)

- ◆ 人体に取り込まれた放射性物質は、その半減期や代謝による体外排出により、時間とともに減少する。放射性物質摂取後、長期間にわたって人体が受ける**内部被曝**の影響を評価する基準として、**摂取後50年間(子供70年間)に受ける線量を最初の1年間で受けた(預託)**として計算する「**預託実効線量**」が用いられる。

預託実効線量（ミリシーベルト）

$$\text{預託実効線量 (mSv)} = \text{実効線量係数 (mSv/Bq)} \times \text{年間の核種摂取量 (Bq)} \times \text{市場希釈係数} \times \text{調理等による減少補正}$$

※市場希釈係数と調理等による減少補正は必要があれば行う。

RI摂取量から内部被曝線量に換算する実効線量係数の例

第1欄		第2欄	第3欄
放射性物質の種類		吸入摂取した場合の実効線量係数 (mSv/Bq)	経口摂取した場合の実効線量係数 (mSv/Bq)
核種	化学形等		
² H	水	1.8×10^{-8}	1.8×10^{-8}
⁶⁰ Co	酸化物、水酸化物及び無機化合物以外の化合物[経口摂取]		3.4×10^{-6}
⁶⁰ Co	酸化物、水酸化物及び無機化合物[経口摂取]		2.5×10^{-6}
⁶⁰ Co	酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩以外の化合物	7.1×10^{-6}	
⁶⁰ Co	酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	1.7×10^{-5}	
⁹⁰ Sr	チタン酸ストロンチウム以外の化合物	3.0×10^{-5}	2.8×10^{-5}
⁹⁰ Sr	チタン酸ストロンチウム	7.7×10^{-5}	2.7×10^{-6}
¹³¹ I	蒸気	2.0×10^{-5}	
¹³¹ I	ヨウ化メチル	1.5×10^{-5}	
¹³¹ I	ヨウ化メチル以外の化合物	1.1×10^{-5}	2.2×10^{-5}
¹³⁷ Cs	すべての化合物	6.7×10^{-6}	1.3×10^{-5}
²³⁹ Pu	硝酸塩及び不溶性の酸化物以外の化合物[経口摂取]		2.5×10^{-4}
²³⁹ Pu	硝酸塩[経口摂取]		5.3×10^{-5}
²³⁹ Pu	不溶性の酸化物[経口摂取]		9.0×10^{-6}
²³⁹ Pu	不溶性の酸化物以外の化合物	3.2×10^{-2}	
²³⁹ Pu	不溶性の酸化物	8.3×10^{-3}	

預託実効線量は、摂取した年の1年間に受けたものと見なして、その年の外部被曝の実効線量と合計し、その合計値が線量限度を超えないように核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等において、個人の被ばくを管理することになっている。

預託実効線量の計算例

魚のあじを例に預託実効線量を計算

1. あじ中の放射性核種Cs-137の濃度は0.20Bq/kgとする（「食品と放射能」ページの検索結果から）。
2. あじの摂取量は1人1日当たり12.5gです（厚生労働省「平成17年国民健康・栄養調査報告」の食品群別栄養素等摂取量の一覧表から）。これを365倍して1年間の摂取量を計算します。
3. Cs-137の実効線量係数は 1.3×10^{-5} です（ICRP Publ.72から）。
4. 市場希釈係数と調理等による減衰補正の値はともに1とします（市場希釈と調理等による減衰補正を無視するいちばん厳しい値として）。

これらの値を、預託実効線量の計算式にあてはめる。

$$\begin{aligned} \text{預託実効線量 } H &= 0.001 \times m \times d \times p \times a \times f_1 \times f_2 \\ &= 0.001 \times 12.5 \times 365 \times 1.3 \times 10^{-5} \times 0.20 \times 1 \times 1 \end{aligned}$$

gからkg
への換算

1日当
りの摂取
量 (g)

実効線量
係数 (m
Sv/Bq)

放射性核種Cs-
137の濃度
(Bq/kg)

$$\begin{aligned} &= 1.2 \times 10^{-5} \\ &= 0.000012 \text{ mSv} \end{aligned}$$

この結果、あじを1年間摂取した場合のCs-137の預託実効線量は、0.000012mSvとなります。
もし、同一の食品についてデータの得られている放射性核種が他にもあればそれについても同様に計算し、各々合計します。

日常食から受ける放射線量

日常食から受ける預託実効線量（平成元年～平成17年度）

核種	実効線量係数 (mSv/Bq)	平均放射能濃度 (Bq/人・日)	検出数	試料数	預託実効線量 (mSv)
Sr-90	0.000028	0.056	2619	2834	0.00057
Cs-137	0.000013	0.048	4236	5551	0.00023
Th-232	0.00023	0.00079	69	70	0.000066
U-238	0.000045	0.012	70	70	0.00020

各都道府県毎5世帯で、1日に飲食するものを、1人分余分にとって貰い、分析試料としている。

預託実効線量 = 実効線量係数 × 平均放射能濃度 × 365

茶葉の放射性セシウム汚染

新芽

633Bq/kg

根

40Bq/kg

古い葉

1180Bq/kg

土壌

0-2.5cm 44Bq/kg

2.5-5cm 18Bq/kg

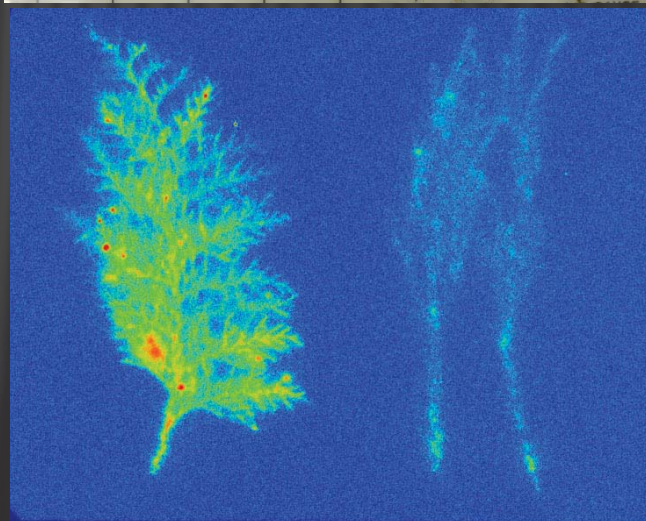
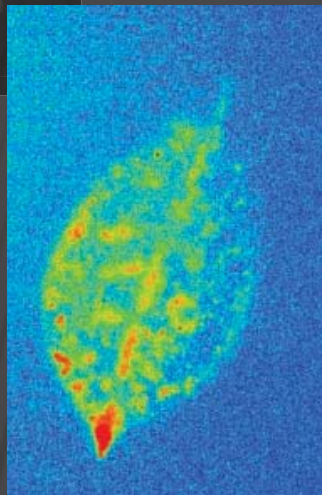
5-10cm 17Bq/kg

10-20cm 8Bq/kg

20-30cm <7Bq/kg



葉の汚染



樅の古い葉

檜の葉
と杉の葉

杉花粉の放射性セシウム



種目	放射能量 (Bq/kg)
尾花（花粉）	93.9±20.0
新芽の葉	161.4±29.5
枝付き古葉	936.9±48.4
杉葉の落葉	2902.3±99.8
杉林表土	1381.0±47.4

「全てのものは毒である。毒でない物は存在しない。毒になるか薬になるかは正しい量であるかどうかで分かれる」

（16世紀 パラケルスス）

ご静聴ありがとうございました。