

核医学総論、演習 Nuclear Medicine

金曜 3, 4講目 13:00-15:30 [御質問、御問合せ](#)

30年度 講義予定（今年度は1, 2講目の情報科学演習は実施しません）

演習は、2, 3年で学習した物理系科目全般の 国家試験過去問題の解法を復習する。

4月 6日 休講（保健学科4年 健康診断）

4月 13日 休講（模擬試験）

4月 20日 [講義_0](#) [講義00](#)

4月 27日 [講義_1](#) [講義_2](#)

5月 4日 祭日

5月 11日 核医学試験 [演習_1](#)

5月 18日 [演習_2](#) [演習_3](#)

5月 25日 [演習_4](#) [演習_5](#)

6月 1日 休講（大学祭）

6月 8日 [演習_6](#) [演習_7](#)

6月 15日 休講（出張）

6月 22日 休講（出張）

6月 29日 [演習_8](#) [演習_9](#)

7月 6日 核医学演習試験 解答・成績

原子力発電所事故が 人体に与える影響

北大病院 核医学診療科

北海道庁原子力防災対策部会委員

泊発電所環境保全監視協議会委員

加藤千恵次



福島第一原発
水素爆発後
何が危険なのか

福島原発で問題になっていること

原子炉（沸騰水型原子炉）が破壊し、
放射能を出す物質（ヨード131、セシウム
137、プルトニウム239 等）
が周囲に飛散した。

放射能：放射線を出す能力

放射性物質：放射線を出す物質

放射能は、2種類ある。

1. 電磁波(X線、ガンマ線)
＝ 空間の振動エネルギー
2. 粒子線(電子線、アルファ線 等)
＝ 重さのある粒子が衝突

今回問題になったのはセシウム137
から放出されるベータ線(電子線)

原子炉が破壊されると放出される 放射性同位元素 (RI : Radio - Isotope)

ヨード131 (^{131}I)

ベータ線(電子)とガンマ線を出す。

人体に摂取すると甲状腺に集積する。

8日で放射能は半減する(半減期 8日)

セシウム137 (^{137}Cs)

ベータ線(電子)とガンマ線を出す。

人体に摂取すると全ての細胞内に集積する。

30年で放射能は半減する(半減期 30年)

原子炉が破壊されると放出される
放射性同位元素(RI : Radio - Isotope)

プルトニウム239 (239Pu)

アルファ線(陽子2個＋中性子2個)を出す。
人体に摂取すると肺、骨などに集積し、高率
に肺癌、骨肉腫等の悪性腫瘍を発生させる
(潜伏期間20年)。

2万4千年で放射能は半減する
(半減期 24000年)。

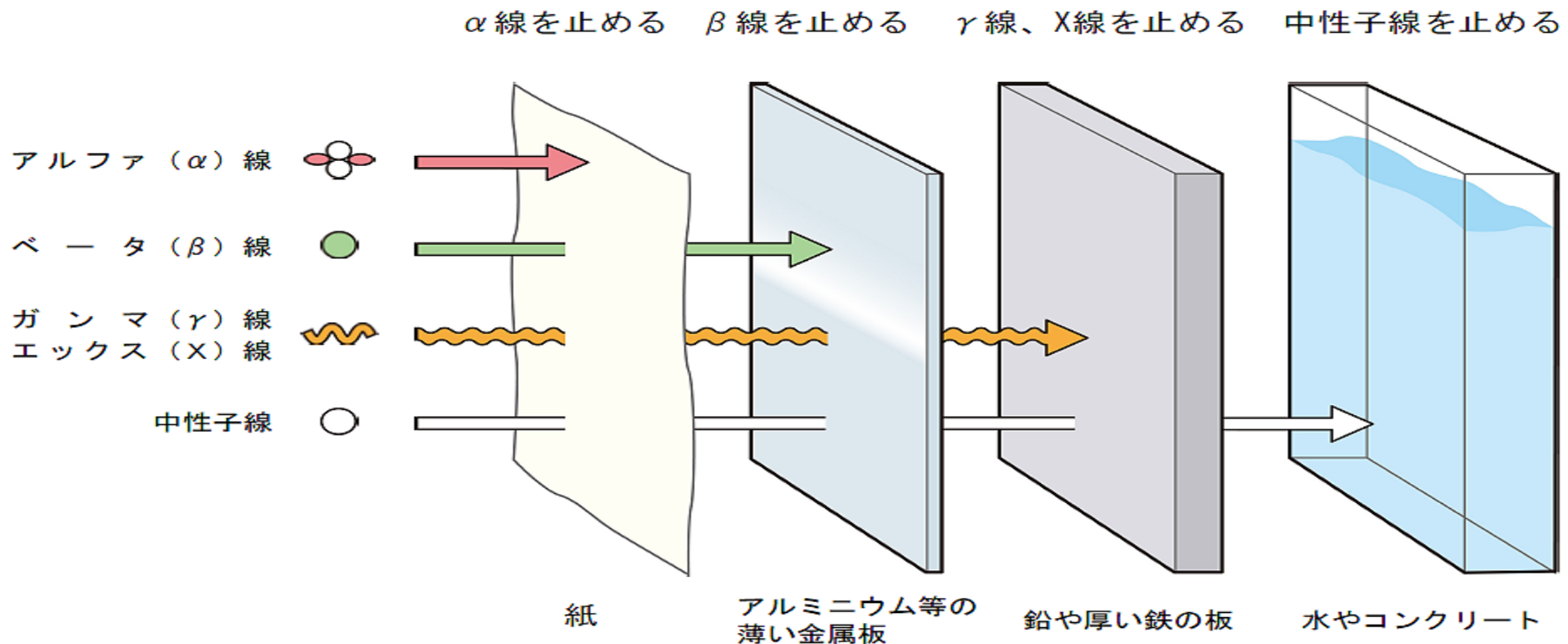
放射性同位元素を吸入しない装備が必要。

布やビニール製の防護服では
ガンマ線の被曝は避けられないが構わない。



ガンマ線、ベータ線は、布製の衣服では防げない。防護服は、鼻、口や皮膚からRIを吸入しないために着用する。

放射線の種類と透過力



スクリーニング

RIを吸入したかどうかを確認する作業。



体表面の汚染などを、GMサーベイメータなどで測定する

Whole Body Counter

(ホールボディ・カウンタ)

体内に取り込まれた放射性物質
を定性・定量分析する機器



スクリーニングで放射能が検出された人は
着衣の交換、シャワー洗浄、うがい、嘔吐
による体表、体内のRI除去作業を行う。
吸収してしまったRIは取り除けない。





GMサーベイメータで計測しても振り切れるため、乾パンの缶のふたを遮へい材にして測定。

後日、ふたの遮へい率を測定し、計測値を推定。



破壊した原子炉近くに入る場合、留意すること

1. 大量の放射性同位元素が存在するのでガンマ線を浴びるが、ガンマ線被曝はあまり危険ではない。
原子炉から遠ざかれば被曝は終了する。
極めて大量の被曝をしなければ問題なし。
(放射線測定器を携行すれば避けられる)
2. 危険なのは、放射性同位元素を吸い込むこと。
体内にプルトニウムやセシウムを吸い込むと、
ほぼ一生被曝が続く。発癌の危険あり。

破壊した原子炉近くや周辺の放射能が高い ということの意味は

1. その場所での被曝自体にはほとんど危険はない。
測定される放射能はガンマ線。

2. 危険なのは、そこに放射性同位元素がある
ということ。

体内にプルトニウムやセシウムを吸い込むと、
ほぼ一生被曝が続く。発癌の危険あり。

特に小児への影響が大きい。

そのため、福島では学校等の土を廃棄して
いる。

ガンマ線は電磁波＝空間の振動エネルギー
かなり大量に被曝しなければ障害はない。

ヨード131、セシウム137、プルトニウム239は、
粒子線（電子線、アルファ線 等）を
出す。重さのある粒子がRIから高速に出る。

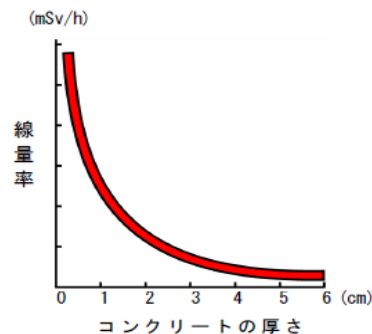
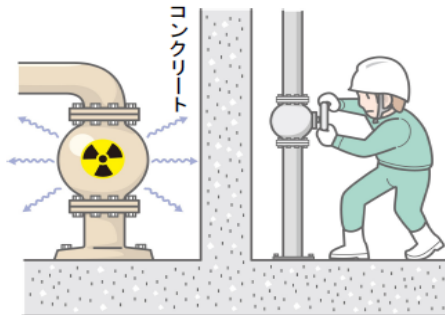
粒子線を出すRIを体内に摂取すると
内臓が生涯、重さのある粒子の攻撃を受け続
ける。

（ヨード131は数週間で被曝がなくなる）

ガンマ線、ベータ線の被曝は、避けられない。
離れる、遮蔽物を置く、速く立ち去る、
の被曝防護3原則に従って被曝量を減らす。

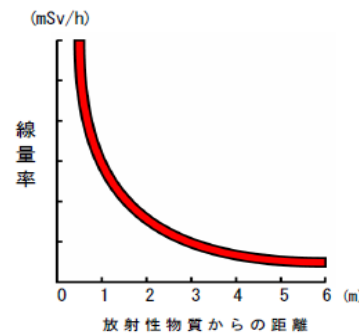
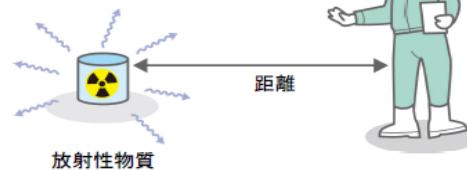
放射線防護の基本

1. 遮へいによる防護



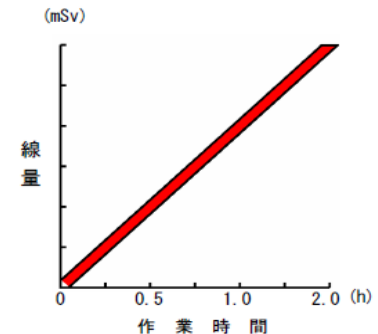
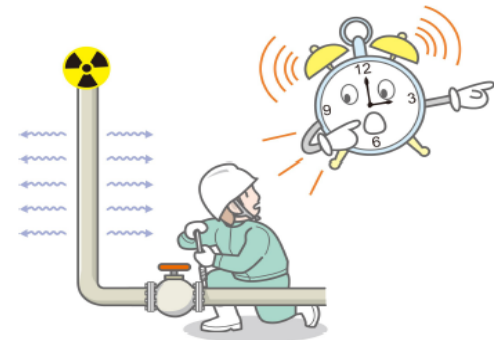
2. 距離による防護

(線量率) = (距離)² に反比例

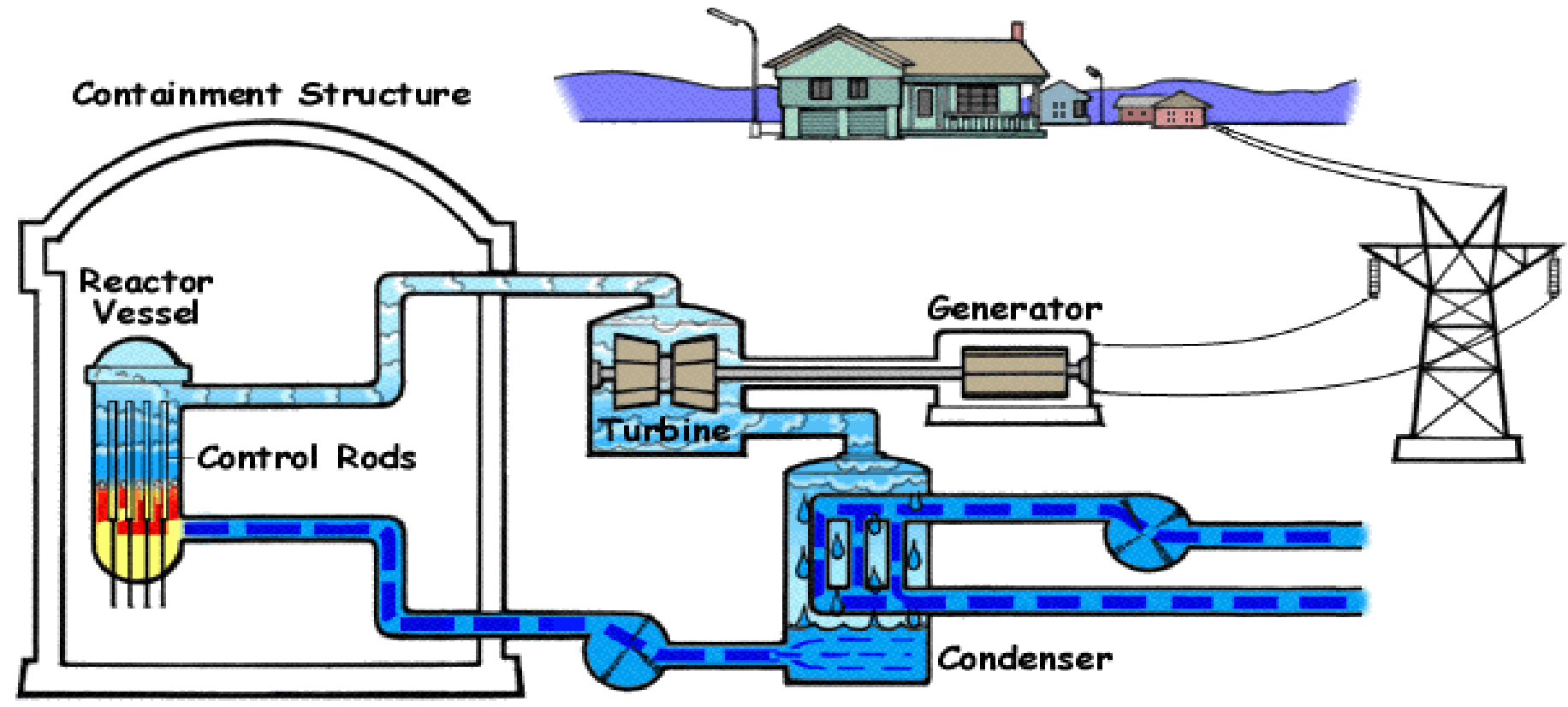


3. 時間による防護

〔線量〕 = 〔作業場所の線量率〕 × 〔作業時間〕

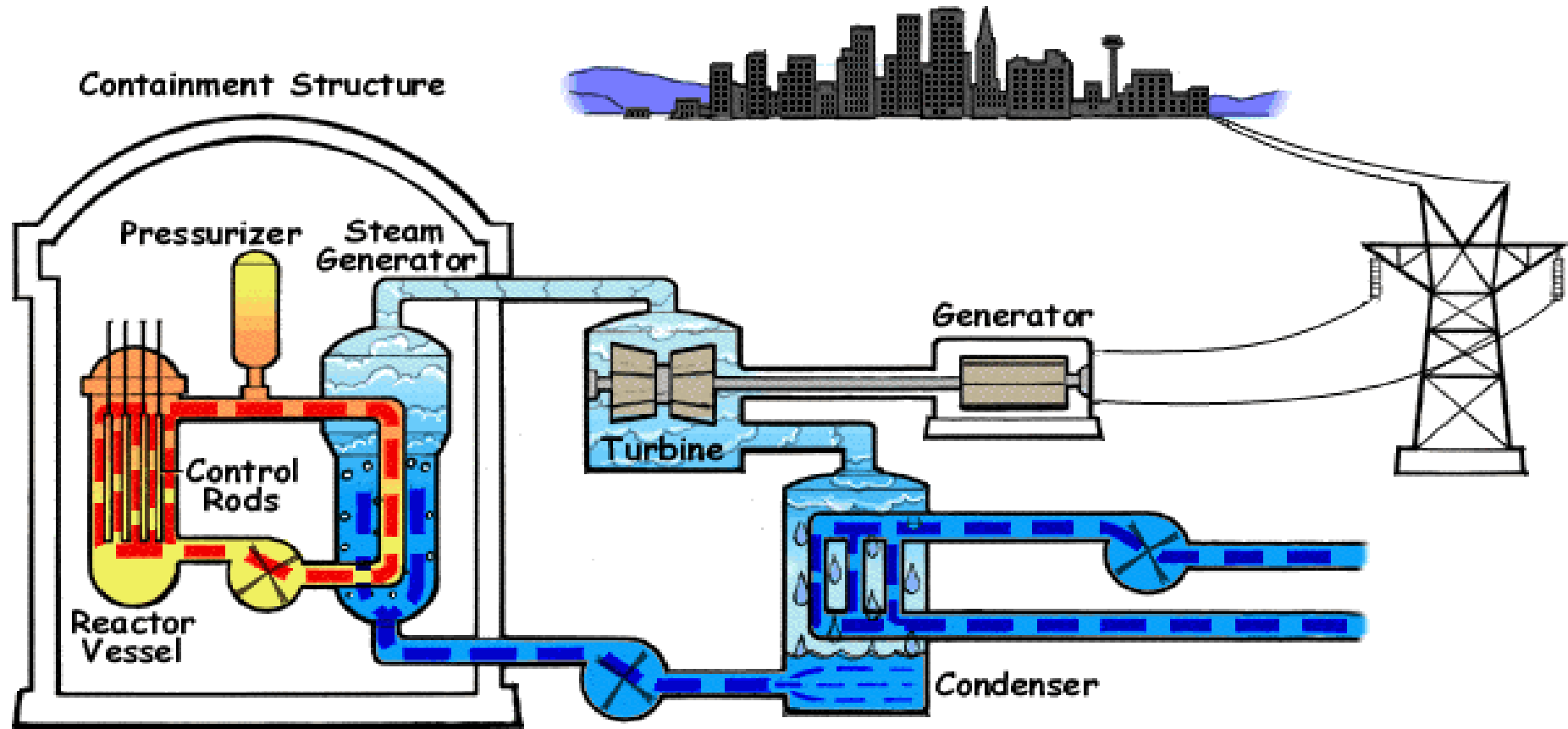


沸騰水型原子炉 Boiling Water Reactor (BWR)



ウラン235の核分裂で生じた熱エネルギーで水を沸騰させ、高温・高圧の蒸気として取り出す原子炉。
単純な構造で、福島第一原発などの古い原発の構造。
炉心に接触した水の蒸気を直接タービンに導くため、
放射性物質に汚染された蒸気が原子炉の外にも循環する。

加圧水型原子炉 Pressurized Water Reactor (PWR)

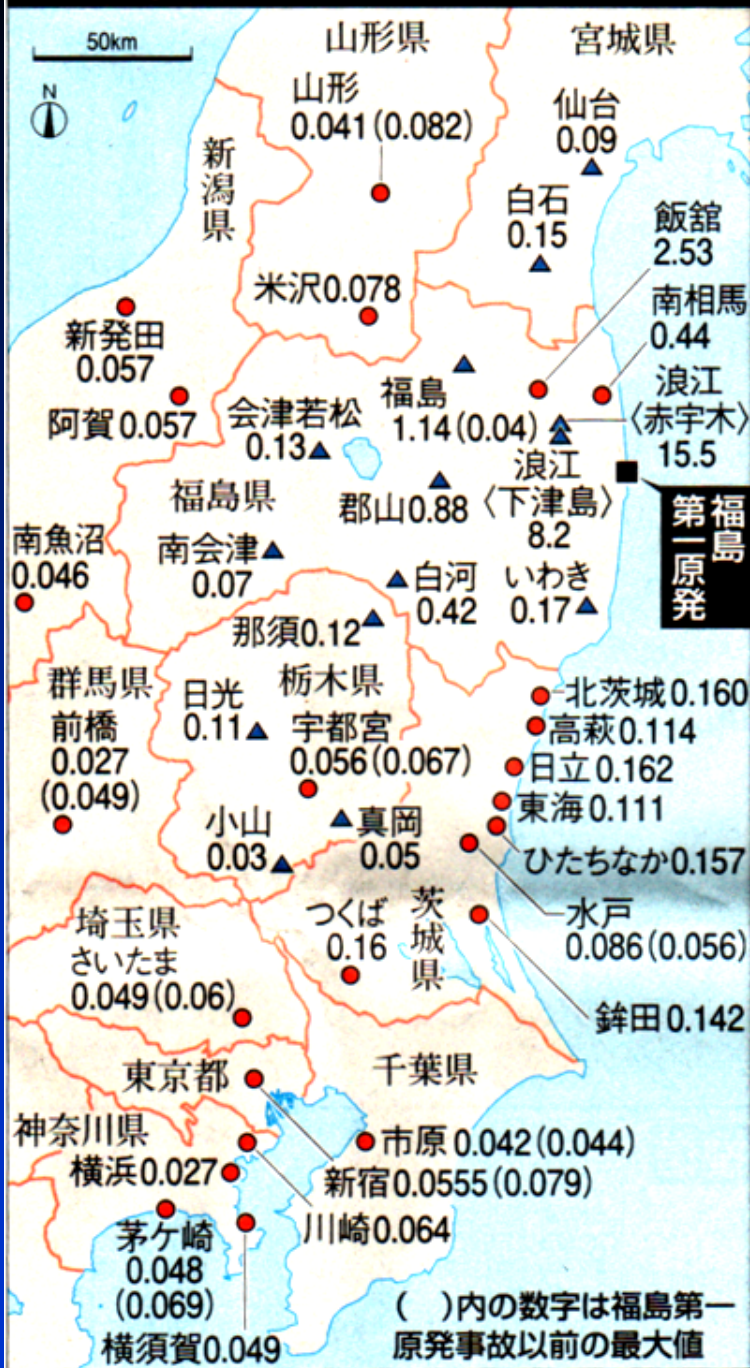


ウラン235の核分裂反応によって生じた熱エネルギーで、加圧水(圧力の高い水)を 300°C 以上に熱し、二次冷却材の水(放射能を含まない)を沸騰させ、高温高圧の蒸気としてタービン発電機を回す。泊原発などの新しい形式の原子炉。

泊原発 加圧水型原子炉 (PWR)

福島第一原発とは異なり、
原子炉外に放射能は出ない構造。





各地で観測された大気中の放射線量

● 固定式の観測装置(可搬型も含む)

▲ 携帯型測定器などで計測。装置の違いなどで数値に差が出る場合がある

福島県内の積算放射線量

浪江町赤字木	(北西31°)	67.04
飯館村長泥	(同33°)	36.00
福島市杉妻町	(同62°)	2.245
いわき市三和町差塩	(南西39°)	0.535
川内村上川内早渡	(西南西22°)	1.277

単位ミシーベルト。カッコ内は福島第一原発からの距離。積算線量計を設置した3月23日(福島市は同24日、いわき市は同25日、川内村は4月2日)から8月30日(飯館村は同28日、いわき市と川内村は同29日)まで。文科省調べ

事故時に雨が降っていた場所に大量のRIが分布。

ヨード、セシウムは水に溶けやすい物質。

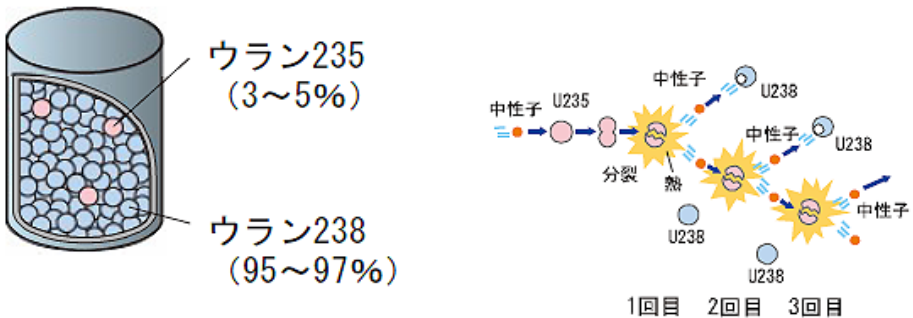
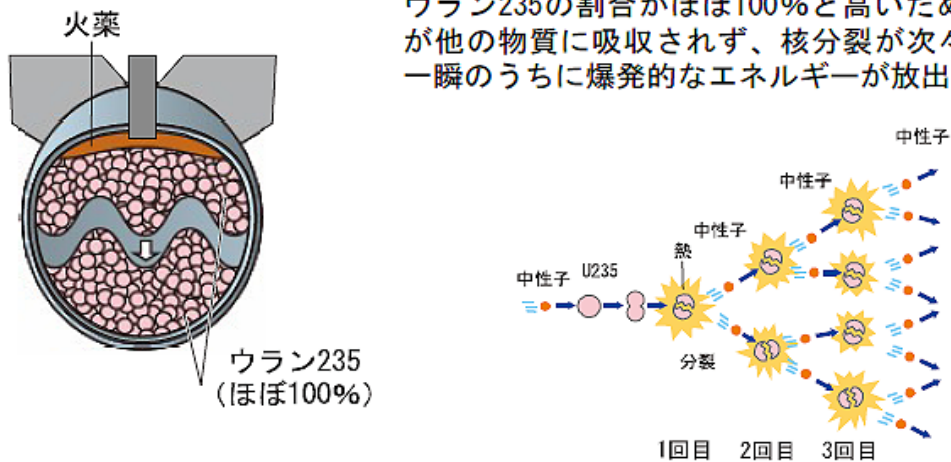
原発事故時から数日間は、水に溶けやすい放射性同位元素(ヨード131、セシウム137)が雲状に大気中に停滞し(プルームという)、雨に混じって地表に落ちる。

原発事故時、原爆被弾から数日間は、
雨にあたってはいけない。
雨が降った地域には行かない。

雨にあたったら、速やかに着衣の廃棄とシャワー、うがいによる体表、口腔内の洗浄を行う。

原子炉は、核爆発しない。ウラン235の含有量が少ない。

原子力発電と原子爆弾の違い

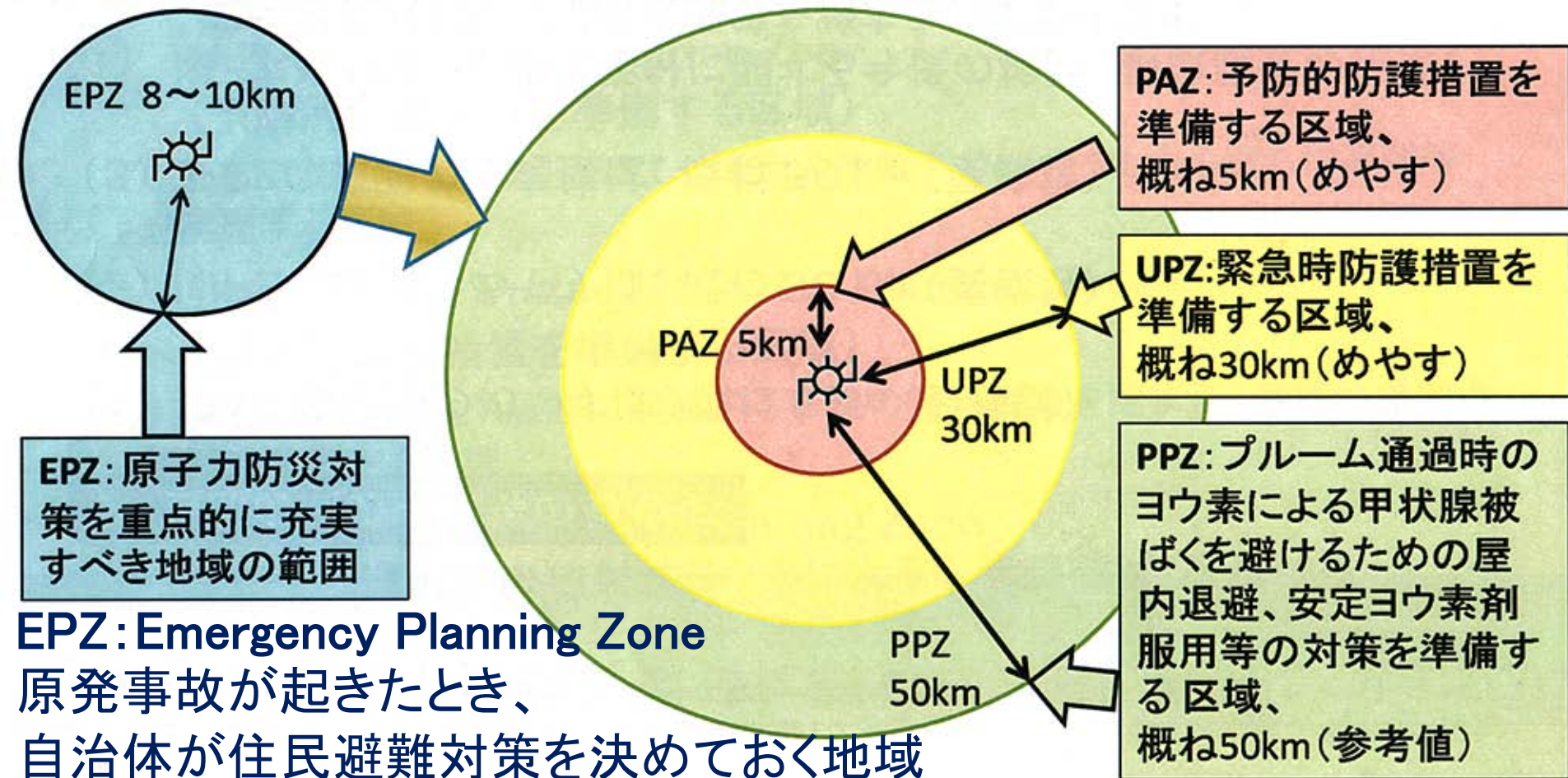
	ウラン235とウラン238の割合と核分裂連鎖反応	核分裂数の制御の方法
原子力発電の場合	ウラン235の割合が低く、中性子がウラン238に吸収される等の理由により核分裂が一定の規模で継続する。  ウラン235 (3~5%) ウラン238 (95~97%) 1回目 2回目 3回目	制御棒が多数設置されており、また自己制御性があるため急激に核分裂数が増加することはない。
原子爆弾の場合	ウラン235の割合がほぼ100%と高いため、中性子が他の物質に吸収されず、核分裂が次々起こり、一瞬のうちに爆発的なエネルギーが放出される。  火薬 ウラン235 (ほぼ100%) 1回目 2回目 3回目	制御棒が設置されておらず、自己制御性がないため、急激に増加する核分裂を止めることはできない。

EPZ : Emergency Planning Zone

原子力発電所に係る防災対策を重点的に充実すべき地域に関する考え方(案)

現行のEPZ(8~10km)

EPZに代えて防災対策を重点的に充実すべき区域



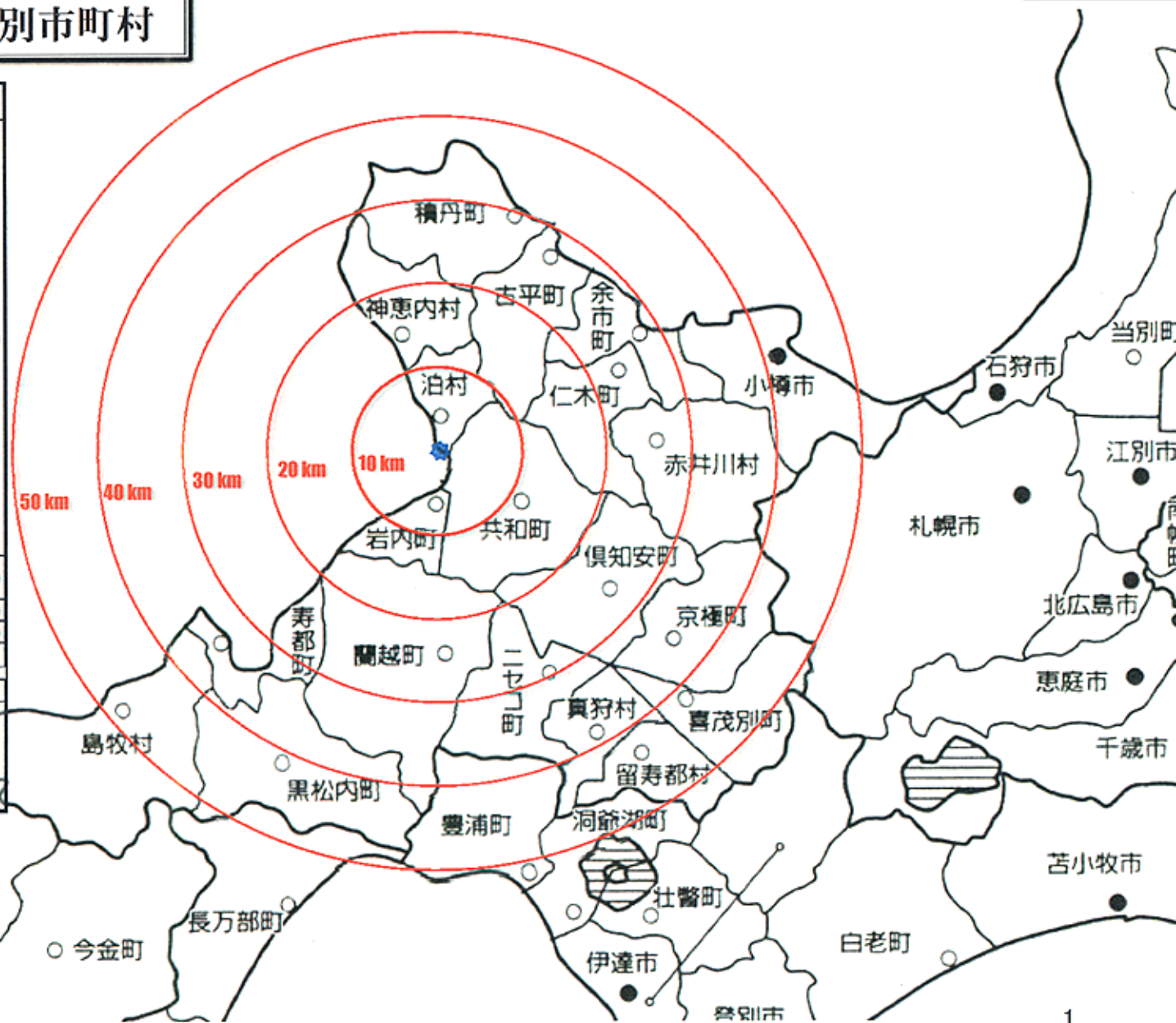
札幌市の一部は避難区域に入る。

泊発電所からの距離別市町村

	泊免電所 ～10km	10km ～20km	20km ～30km	30km ～40km	40km ～50km	備考
1	泊 村					沼志総合振興局
2	井和町		(井和町)			
3	岩内町					
4		神恵内村				
5				小樽市		
6				島牧村		
7			寿都町			
8				高松内町		
9			留根町		(留根町)	
10			ニセコ町		(ニセコ町)	
11				真狩村		
12				留寿都村		
13				喜茂別町		
14				京極町		
15			倶知安町			
16		(積丹町)	積丹町			
17	(古平町)	古平町				
18		仁木町				
19		余市町				
20			赤井川村			
21				豊浦町		
22				羽後湖町	沼志総合振興局	
23				長万部町	渡島総合振興局	
24			札幌市	(札幌市)	石狩振興局	

※ カッコ内は、市町村境界近く、人の居住密度がないと考えられるもの。

～10km	4			
～20km	10			
～30km	13			
～40km	21			
～50km	24			

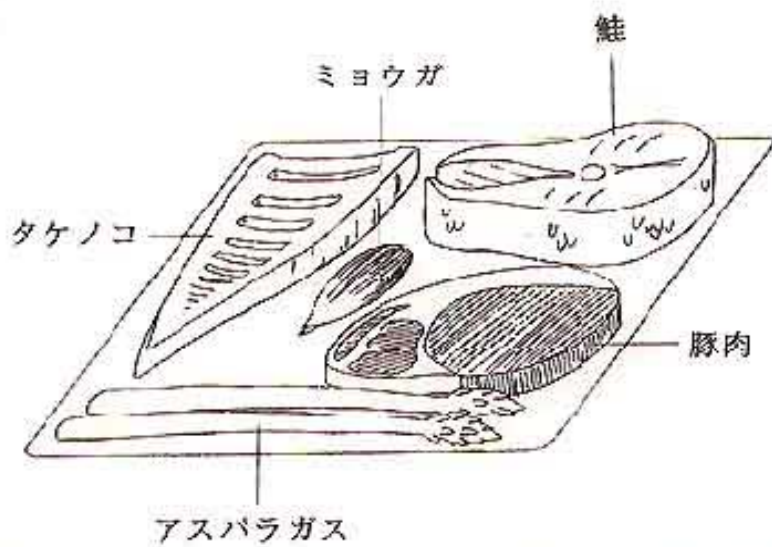


放射線は危険か

かなり大量に被曝しなければ実害はない。

自然被曝、医療被曝は意外と多いが、
危険とは認識されていない。

自然被曝 : 食品、岩石(古い地層)、宇宙
から受ける放射線被曝



食品中の放射能

主に ^{40}K (カリウム) の
ベータ線 (電子) とガンマ線。

^{40}K の存在比は0.012%、
半減期は12億年。

カリウムは、すべての生物
(野菜や肉、魚など) の
細胞内液の主成分であり、
その10000分の1が
放射性カリウムである。

我々は毎日、大量の放射能を食品から摂取している。

体内、食物中の自然放射性物質

●体内の放射性物質の量



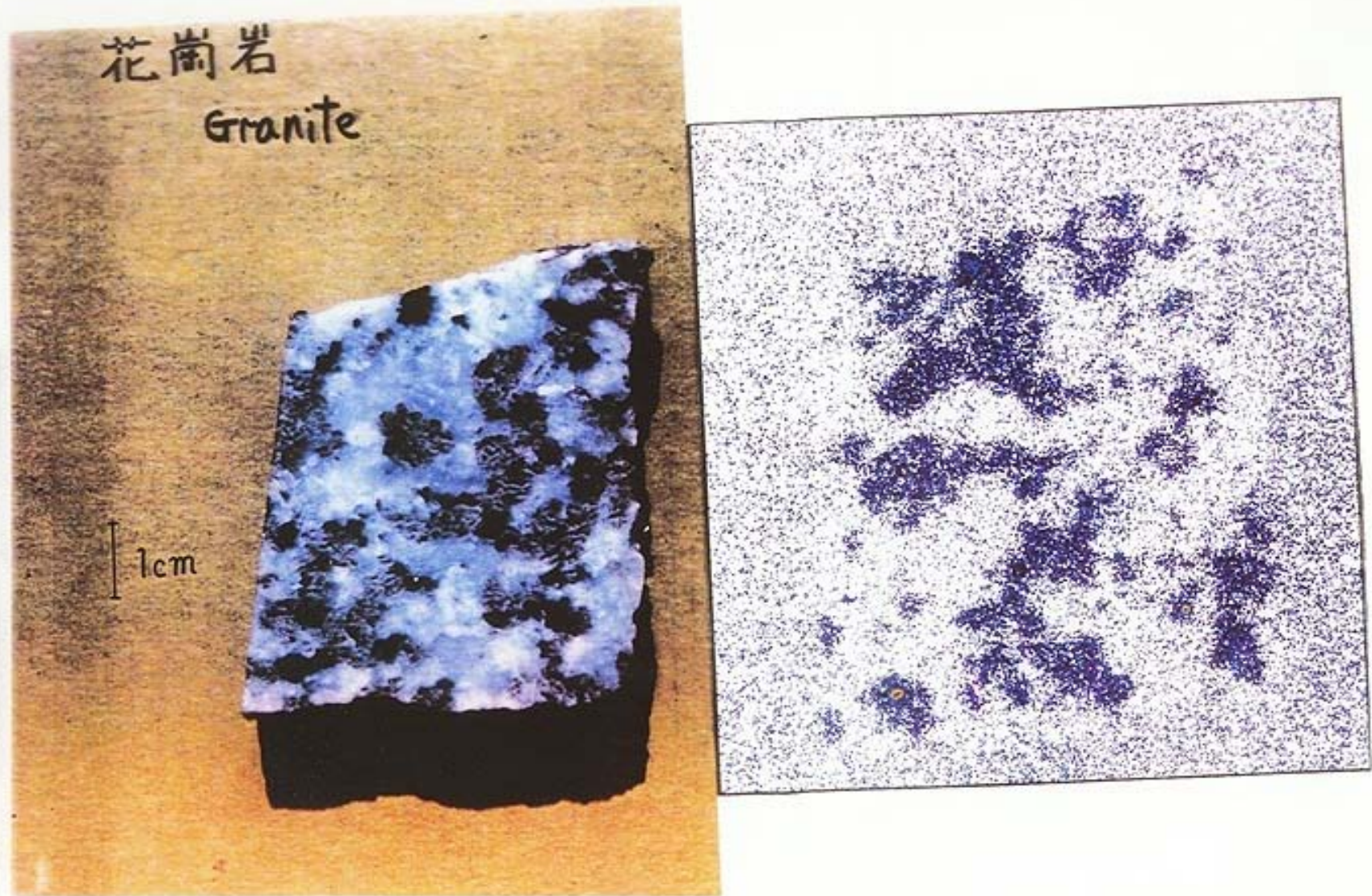
●食物中のカリウム40の放射能量（日本）

(単位：ベクレル/kg)



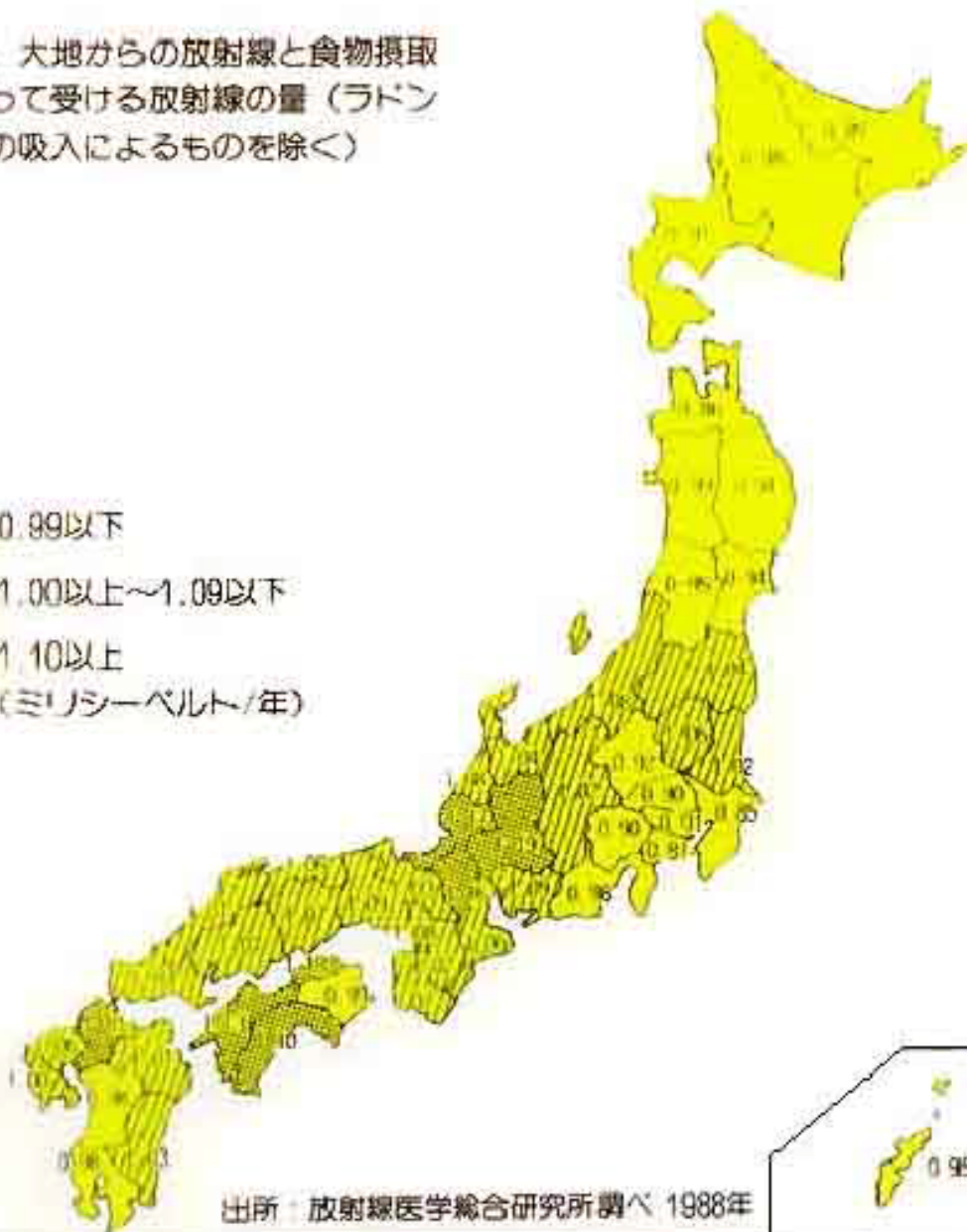
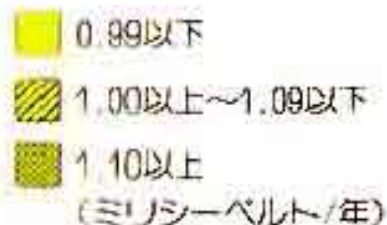
我々は毎日、大量の放射能を岩石から浴びている。

ラジウム、ラドン、カリウムによるアルファ、ベータ線の被曝



全国の自然放射線量

宇宙、大地からの放射線と食物摂取によって受ける放射線の量（ラドンなどの吸入によるものを除く）



出所 放射線医学総合研究所調べ 1988年

岩盤のラジウムから出るラドン(アルファ線を出す)は気体なので、島国の日本では、太平洋上に流れていくので、日本ではラドン被曝は少ない。

大陸の内陸部の国では、非常に地面からの放射能被曝が多いところがあるが、

その地域のがん患者や奇形出産は特に多くはない。

地面表面にあるセシウムを除去する必要があるのか。
吸入したセシウムを体外に出す必要はあるのか。

植物や動物に吸収されたセシウムはカリウムと同じく
細胞内に取り込まれる。

そのため現在、汚染米や汚染牛の問題が生じている。

セシウム137の放射能半減期は30年、
カリウム40の放射能半減期は12億年。

半減期だけ比較するとカリウムのほうが危険な感じがする。
しかし問題は、1秒間に出す放射能(電子線)の数が重要。

放射能半減期が短い放射性物質ほど
1秒間に出す放射線量は多い。

半減期30年のセシウム137のほうが、
半減期12億年のカリウム40よりも
1秒間に出す放射線量は多い。

放射性物質の量には限りがあるので
放射能が速くなくなるもの（半減期が短い物）ほど
1秒間あたりに放射能を出す量は多い。

（いちど放射能を出した放射性元素は、
もう放射能を出さない）

そのため、セシウム137を摂取した場合、
カリウムを多く含む食品を多めに摂取することで
(加熱されていないもの。野菜、果実、果汁など)
(最近バナナが高カリウム食品として注目)
体内のセシウムを追い出すことは合理的な対策。
(カリウムとセシウムは同じ細胞内液に分布する)。
人は12億年も生きない。

30年～60年で放射能を出し切るセシウム137を
カリウムに置き換えることは体内被曝減少に有効。

原発爆発事故直後から数週間は、
ヨード131 が問題になった。

半減期8日のヨード131のほうが、
半減期30年のセシウム137よりも
1秒間に出す放射線量は多い。

ヨード131の放射能は事故後数週間で減衰した。

ヨードは人体に吸収されると甲状腺に集積する。

欧米では原発事故発生直後は、周辺住民に
ヨード剤を配給するシステムをとっている。

今回、厚生労働省も同様の決定を行った。

欧米人は食事にヨード(海産物)をほとんど食べない。

日本人は毎日、海苔や昆布だしの味噌汁、うどん、そば、ラーメンなど、ヨードを大量に摂取している。

日本人の甲状腺には普通のヨードが充満している。

その状況において放射性ヨードを摂取しても甲状腺には放射性ヨードは、ほとんど摂取されず、速やかに尿や汗、便へ排泄され体外へ出る。ほとんど放射性ヨードによる被曝はない。

ただし、日本食が嫌いな小児、乳幼児には要注意。

ヨード剤は苦いので小児、乳幼児は飲まないと思う。

うどんの汁、海苔付きおにぎり等を摂取させればOK。

放射線の量をあらわす指標、単位

放射線が出る側の 放射能の強さの
単位は、

ベクレル(Bq)

1秒間に出るベータ線やガンマ線の数。

例として、セシウムのベクレル数は
半減期が長いカリウムより大きいはず。

被曝の量をあらわす指標、単位

放射線を被曝して、人体に受ける
放射能エネルギーの強さの単位は、
シーベルト(Sv) $Sv = J/kg$

体重1kgあたりに1ジュール(J)の
エネルギーを受ける放射能の強さ。

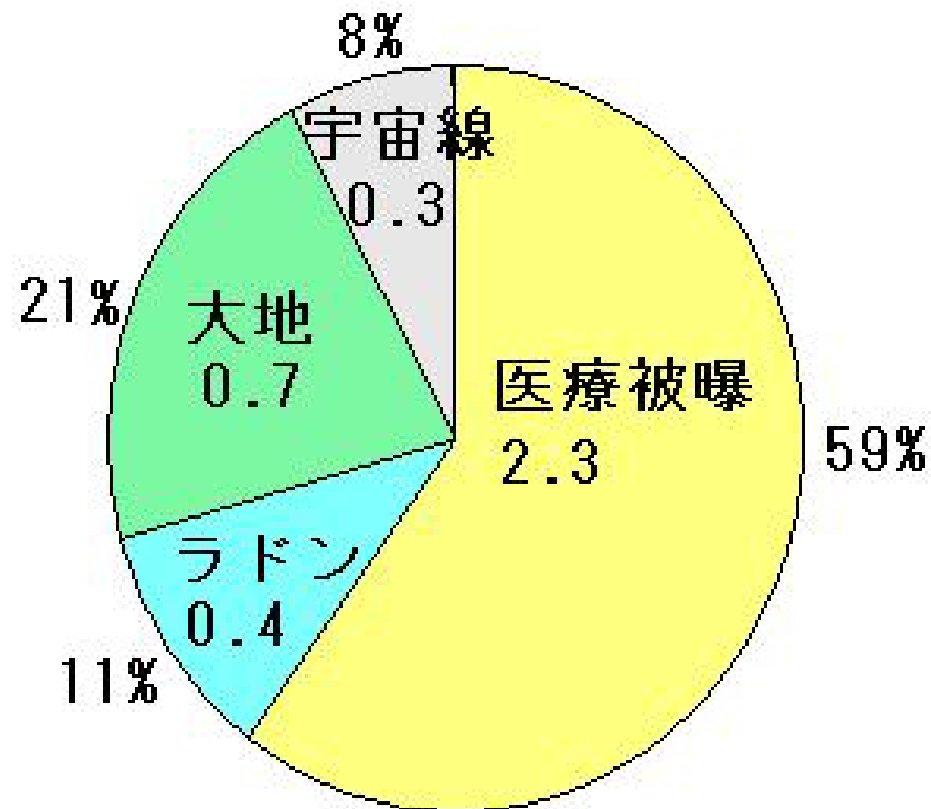
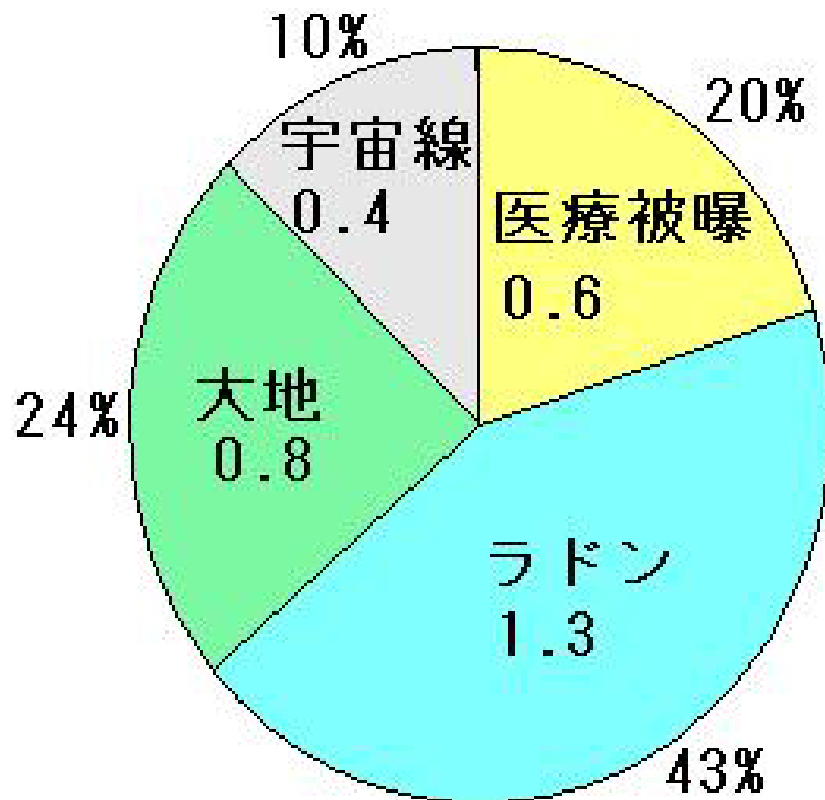
(1gの水の温度を1度上げるエネルギー(1カロリー)は、4.2ジュール。)

我々は常に、毎年3～4mSv (0.003～0.004 Sv)の被曝を受けている

環境放射線

世界平均 3.0mSv

日本 3.8mSv



しかし、極端に大量被曝をすると症状が出る。
(放射能の確定的影響、非確率的影響)

1. 中枢神経死

短時間に 50Sv (50000 mSv) を被曝すると、
脳がむくむ。脳は頭蓋骨で覆われているので
むくんだ脳がつぶれて呼吸や心拍動が止まり、
1~2日で死ぬ。

原子炉炉心内でのウラン235の直接被曝や
原子爆弾の直接被弾

2. 腸死(消化管細胞死)

10～15 Sv (10000～15000 mSv) の被曝で消化管の幹細胞の障害で

1～2週で消化管上皮細胞が減少し、
下痢、下血で死亡する。

3. 骨髓死

3～5 Sv (3000～5000 mSv) の被曝で造血幹細胞、リンパ球の障害で、1～2ヶ月で血球減少症が起こり、感染症や出血で死亡。

5000 mSv 以上の大量被曝は、きわめてまれな状況でなければ生じない。

（破壊原子炉の内部や近傍、原爆など）

その際に生じる非確率的影響（しきい値のある障害）は、細胞死によって生じる。

被曝直後は症状が全くない。細胞死が多量に生じない線量では、生存している細胞が組織や臓器の機能を代償し、症状として現れない。その後に各内臓の機能を担う細胞が減少して数日～数週間かけて少しずつ死んでいく。

- ・各組織の急性障害（0.25～5 Sv 程度の被曝）
250 mSv 以下の被曝では症状は出ない。

白血球減少	250～1000	mSv
（被曝 1～2週で減少。リンパ球は 3ヶ月で回復。）		
脱毛	1000 ～3000	mSv
永久脱毛	3000 ～5000	mSv
皮膚紅斑	3000	mSv
水晶体混濁	2000	mSv
女子一時不妊	650～1500	mSv
男子一時不妊	1500	mSv

少量の被曝による障害

しきい値のない障害(確率的影響):

微量の放射線被曝でも細胞内のDNA破壊の可能性がある。ほとんどのDNAは自動的に修復されるか、その細胞が死滅するが、まれに障害を受けた変形DNAが生き残り、**突然変異細胞**が生じる。

突然変異細胞がたとえ1個でも発生すれば、**10～20年後に発癌や遺伝的影響**の可能性が生じる。

1mSvで、50万人に1人が一生の間に
白血病で死亡する。

被曝後3年で増加、**7年**でピークになる。

その他の癌の潜伏期は**20～30年**。

1mSvで男性は10万人に1人、
女性は1.5人が一生の間に**癌**で死亡する。

**自然被曝の量も考慮すると、どこまでの放射
能除染が安全かは決められない。**

・遺伝的影響

被曝者の**次世代**における性比、発育、発癌頻度、死亡率の異常、奇形、染色体異常。

原爆被曝者の調査では遺伝的影響の有意な増加は確認されていない。

今後20～30年間の福島県民の被曝追跡調査が重要な結果を提供されると思われる。

少量被曝によるダウン症増加が報告されているが、本調査で確認されると思われる。

胎児の障害

受精～9日目 胚の死亡 50 mSv

8週～15週 精神発達遅延 200 mSv

(8週～15週は神経細胞が増加する時期)

数十年前は胎児被曝100mSv以上は奇形発生が問題となり、中絶の適応を検討する必要あり、とされてきたが、

原爆被曝者の調査では胎児被曝による奇形や小児癌の増加は確認されていない。

放射線業務従事者の線量限度

緊急措置 250 mSv

実効線量限度 100mSv／5年
50mSv／年

妊娠中でない女子 5mSv／3月

目(水晶体) 150mSv／年

その他 500mSv／年

妊婦の腹部 2mSv／妊娠中

一般公衆の実効線量限度 1mSv／年

Hormesis（ホルミシス） 少しの被曝は体に良い。

多量では有害なものでも、
少量では有益作用をもたらすこと。

（生き残っているのは都合の悪い
弱い細胞が死滅するため）

ラジウム－ラドン 温泉で一般にも知られた事実。

疫学的調査

原子力施設作業者の癌死亡率は低い。

自然放射能の高い地域住民は癌死亡率が低い。

放射線科医の死亡率は他科の医師より低い。