

これだけは知っておきたい 原子力発電と放射能のかんどころ



経営支援NPOクラブ

森本 五百樹

Morimoto Ioki

12. May 2011

被曝に関して「絶対」はあり得ない 正しい知識をもち、状況をしっかり把握し 、そして最終的には、自分で判断する

- ○○町の放射線量が、屋内退避基準値を超えたので、避難勧告がなされた、
- ○○産の野菜で、600ベクレルを超えるヨウ素131が、検出され出荷停止になった
- 原子力管理区域で作業する人の管理基準が、年50ミリシーベルトから、年250ミリシーベルトに緩和された

などなど、いきなり初めて聞く単位や、元素が出てきて、よくわからない、不安だ、判断がつかない、という方もいらっしゃると思います。

すでにわかりやすい資料が出てきていますが、ここでもう一度基本をおさらいしてみます。

というのは、放射線の人体への影響度については、絶対とこうだ、と言いきれない分野の一つなのです。

この値を越すと(絶対)危険か、この数値は絶対安全か、と尋ねても、「基準値は超えているが、直ちに危険とは言えない」などと、さらに不安を増す答えが出てきてしまいます。これを乗り越えるためには、

放射能とはどういうものか、その基本を知ることが大切です。そして最終的には、個人の判断が求められることもあることを理解する必要があります。

放射能の危険度は、交差点と同じ？

あなたは今、町中の交差点にいて、青信号なので横断しようとしています。さて、この場合、あなたは絶対安全でしょうか、危険でしょうか？

なかなか、答えにくい質問ですね。

- あなたが、若々しい青年か、よちよち歩きの幼児なのか、
- 交通量が多いか、少ないか、
- 走っている車のスピードが速いか、遅いか、
- 走っている車は、ダンプカーか、自転車か

こういう条件次第で、判断が変わってくるでしょう。

いくら青信号でも、絶対安全とは言えません。まして信号がない交差点ではなおさらです。

放射線の危険度も似たようなところがあります。

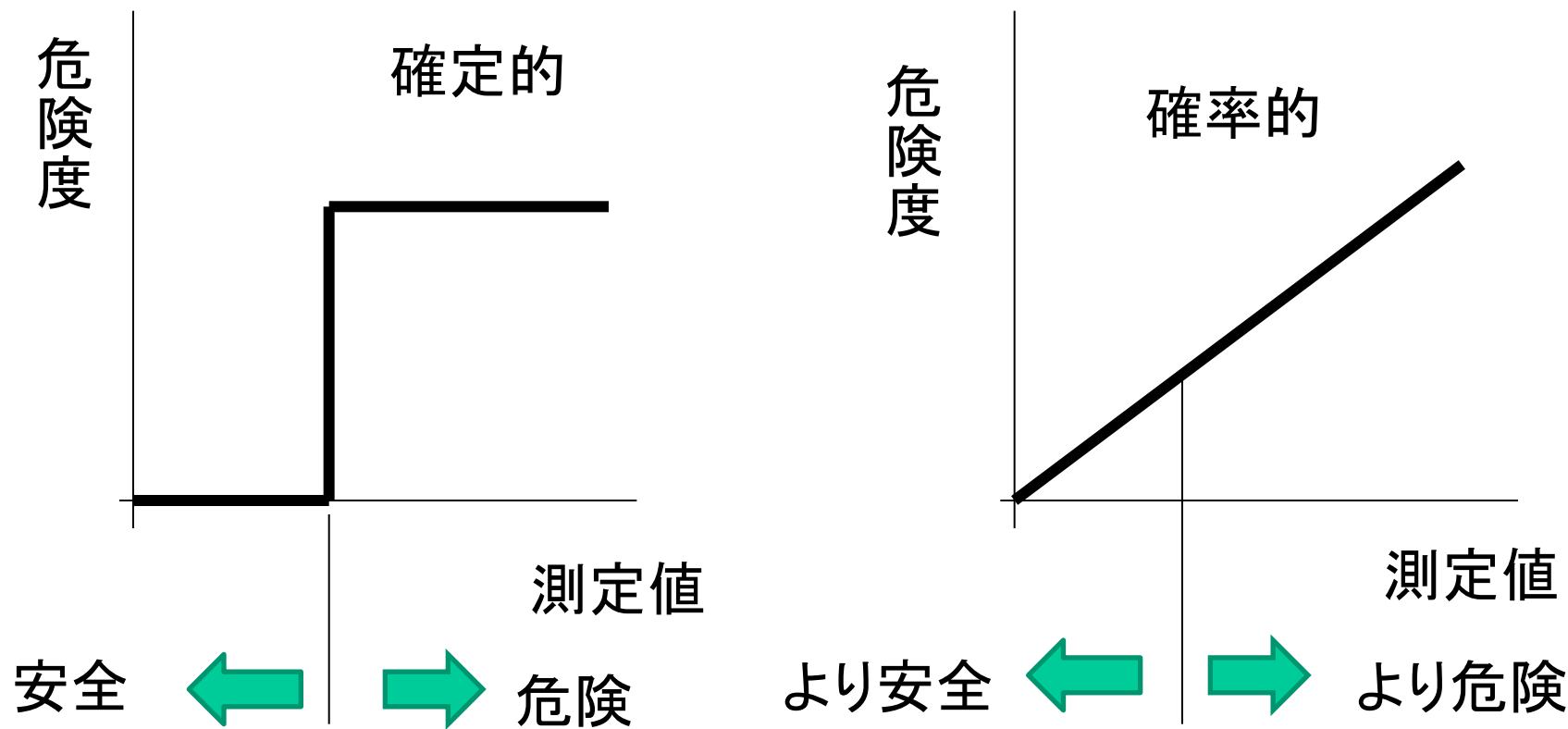
この量は、絶対安全か、といわれても、

確率として0とは言えない、絶対とは言えない、となります。

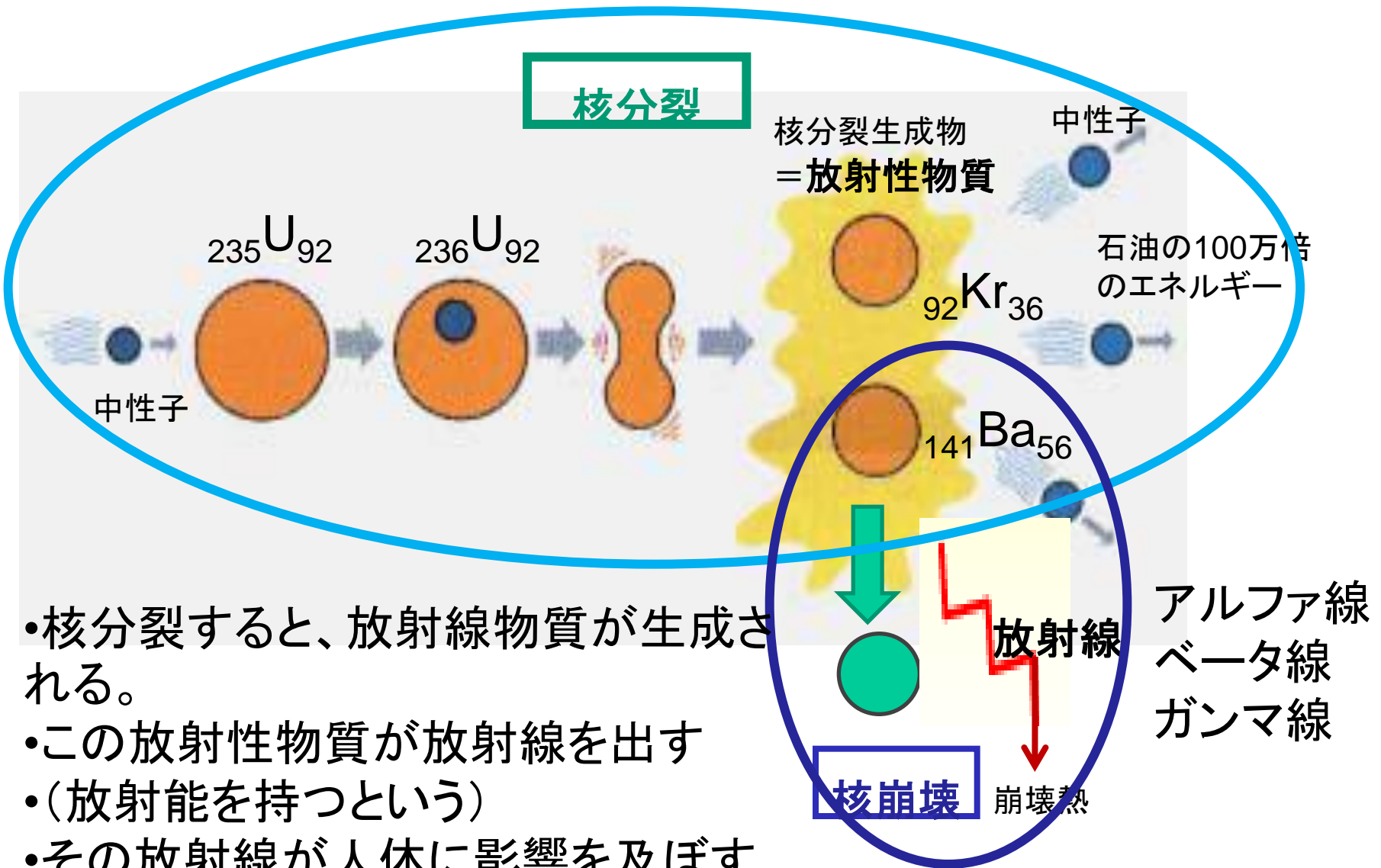
なぜそうなのか、これから考えてみることにしましょう。



その危険さは確定的に言えるのか それとも確率的にしか言えないのか



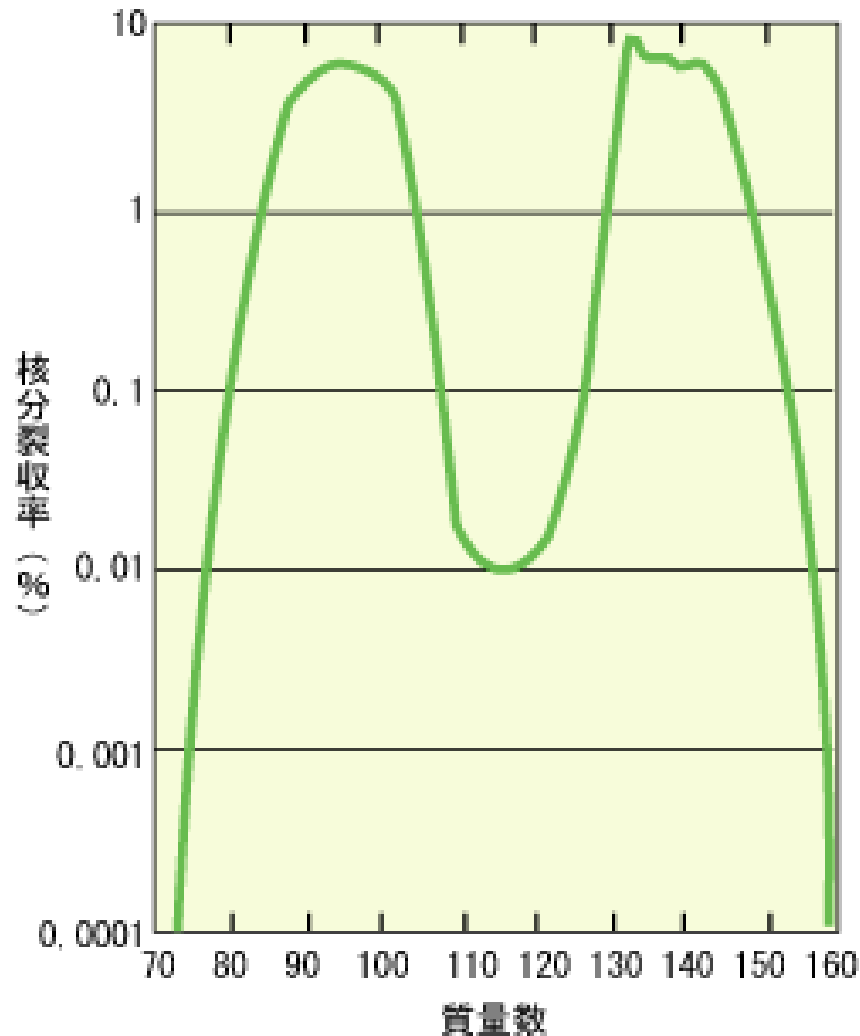
放射線がでる...「核分裂」と「核崩壊」



核分裂でどんな放射性物質が出てくるか

生成物	影響度
セシウム137 収率 6.09 半減期 30.17y	セシウムは、カリウムと似た性格を持つ。体内に入ると体全体に分布する。10%はすぐ排泄されるが残りは、約100日程度留まる。 外部被爆の γ 線、経口内部被曝による β 線の影響が大きい。沸点が高いのですぐ固体になり、飛散しにくい。 137のほか、133Cs, 134Csがある。
ヨウ素131 収率 2.83 半減期 8.02d	甲状腺に集積する性質を持ち、内部被曝による β 崩壊の影響が大きい。1万ベクレル(Bq)を経口摂取した時の実効線量は0.22ミリシーベルト(mSv)になる。ガンマ線による被曝は甲状腺以外におよぶが、その線量は小さい。1mの距離に100万Bqの小さな線源があると、ガンマ線によって1日に0.0014mSvの被曝を受ける。 ほかにヨウ素129、ヨウ素135がある。後者は半減期が6.57hと短い。
ストロンチウム90 収率 5.75 半減期 28.9y	カルシウムに似た性質を持つ。体内摂取されると、一部はすみやかに排泄されるが、かなりの部分は骨の無機質部分に取り込まれ長く残留する。セシウムなどに比べると原子炉から出る量は少ない。
そのほか、クリプトン等も出るが軽いのですぐ拡散され、また、希ガスなので体内に留まりにくい。	

放射性物質の出てくる分布



ウラン235が核分裂した場合、いろいろな放射性物質が出てくるが、質量数で90前後と130－140近辺の生成物が多い。

ヨウ素131、セシウム137
ストロンチウム90
等が6%の確率

核分裂生成物の分布
(ウラン-235が熱中性子で分裂する場合)

放射線の種類

α 線 = Heの原子核

皮膚に α 線を受けても体内に入ること
はない。しかし、口などから α 線を出す
放射性物質が体内に入ると、周囲の
細胞は重大な損傷を受ける

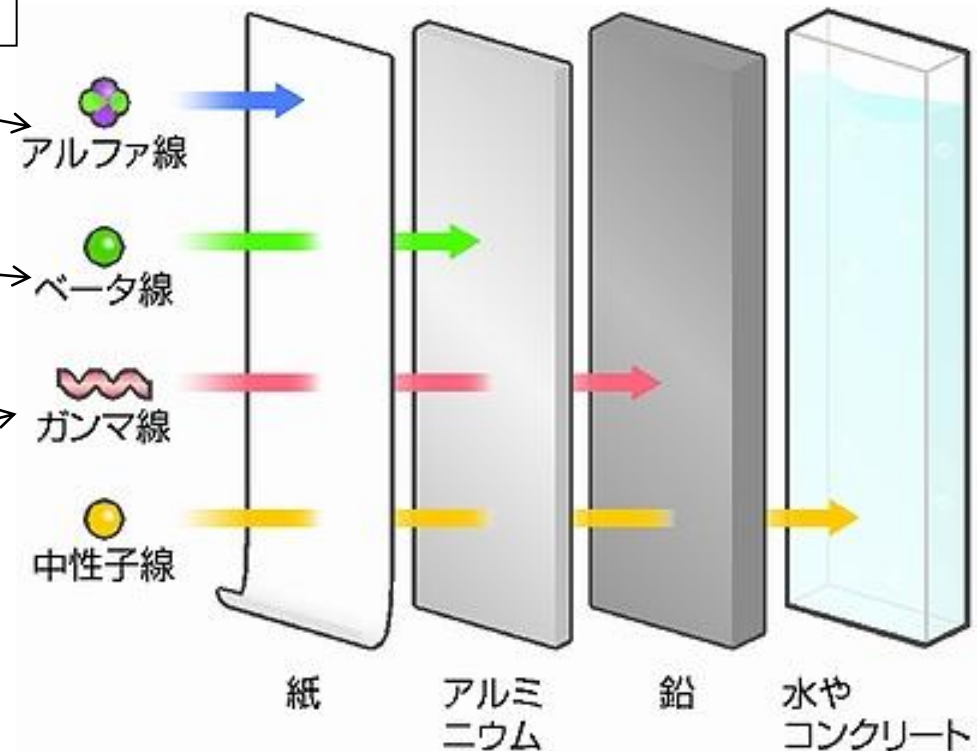
β 線 = 電子の流れ

γ 線 = 電磁波

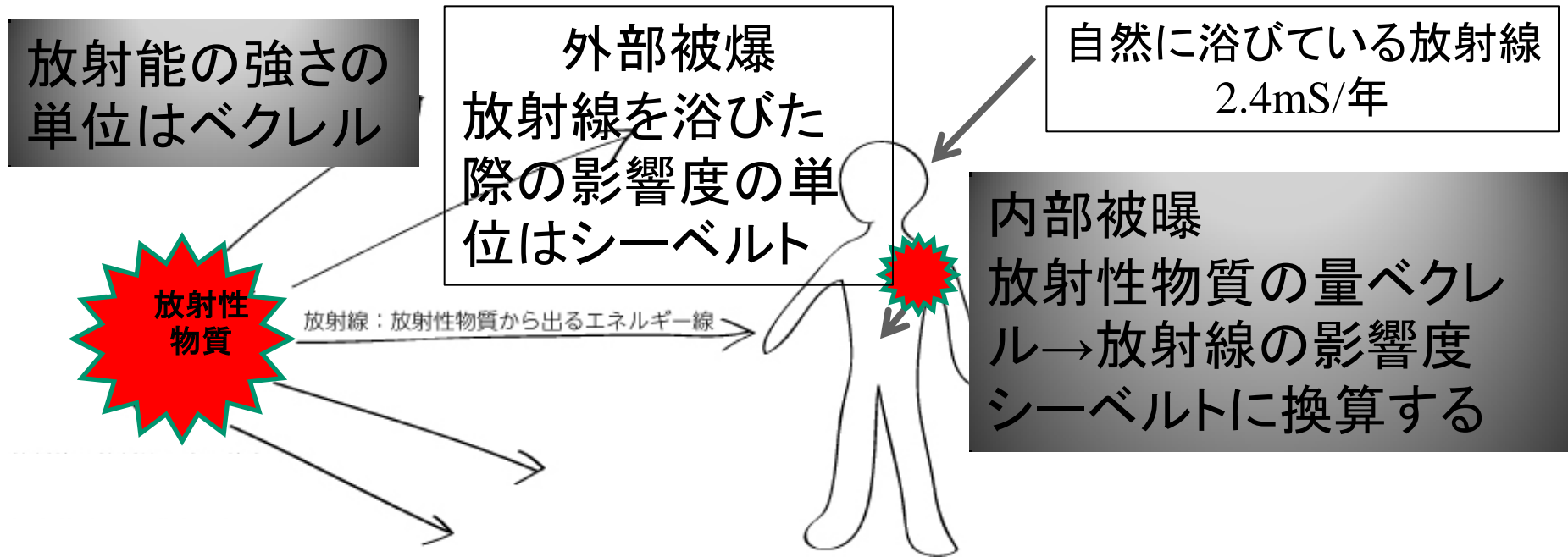
光や電波のような電磁波の一つ
で、透過力が強く、遮るには厚い
鉛、コンクリートが必要

エックス線

どの放射線が危険なのか



人体はどのように放射線の影響を受けるか

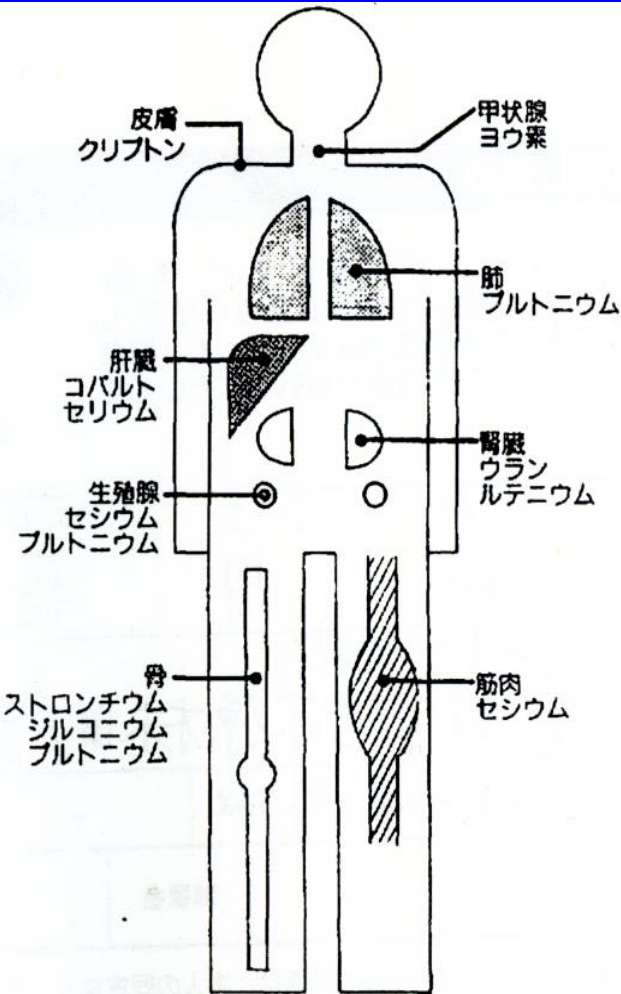


1. 全身被曝か、局部被曝か
2. 外部被曝か、内部被曝か（呼吸して、飲食で）
3. 一時的な被曝か、継続的な被曝か
4. 放射性物質は何か

どんな放射性物質が人体にとって危険か

1. 半減期の短いもの.....放射線が強い
2. 半減期の長いもの.....放射線は弱いが、続く
3. 人体が吸収しやすいもの.....
4. 人体に蓄積しやすいもの.....骨(^{90}Sr 、 ^{48}Ca)、筋肉(^{137}Sc)、甲状腺(^{131}I).....
5. ガンマー線を出すもの.....透過しやすい
6. アルファ線を出すもの.....内部に入ると、破壊力が強い
7. ベータ線も怖い

体に蓄積する放射能



放射性ヨウ素と放射性セシウムの測定結果が中心的に公表されている。

放射性ヨウ素は生成量が多い、揮発性で環境に出やすい、人体では甲状腺に集中的に取り込まれる性質があることから注意する必要がある放射性物質。

放射性セシウムも生成量が多く、人体に入ると筋肉組織に取り込まれる、半減期が長く飲食物汚染が問題になる

これらのことから放射性ヨウ素と放射性セシウムに重点を置いたモニタリングが実施されている

放射線を浴びる(3つの線量を理解する)

放射線を吸収する
(吸収線量)

グレイ
(Gy)

単位 $\text{J/kg} = \text{Gy}$ $1\text{J}=0.24\text{cal}$
放射線の種類によって吸収量が変わる

放射線の種類によって
ダメージの度合いが異なる
(等価線量)

シーベルト(Sv)

同じエネルギーでも、 α 線は
20倍のダメージを与える
放射線荷重係数を乗ずる

等価線量 = 吸収線量 \times 放射線荷重係数

吸収しても、体の組織、
器官によって受けるダメージが異なる
(実効線量)

シーベルト(Sv)

肺、乳房は皮膚の12倍、肝臓、
甲状腺は皮膚の4倍、影響を受けやすい

実効線量 = 等価線量 \times 実効線量係数

実効線量係数

体内に摂取された放射性物質から、組織や臓器の受ける放射線量を算出することは容易ではない。なぜなら体内の組織や臓器に沈着している放射性物質の量を測定する必要があり、しかも、その量の時間的変化を追跡しなければならないからだ。

そこで、摂取した放射性物質の量と組織や臓器が受ける線量の大きさとの関係をあらかじめ求めておくことにより、放射性物質の量に対応した被ばく線量を計算することができる。このときの摂取した放射性物質の量と被ばく線量の関係を表す係数を実効線量係数といいます。

放射性核種の摂取量から内部被ばく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		
^3H	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}	

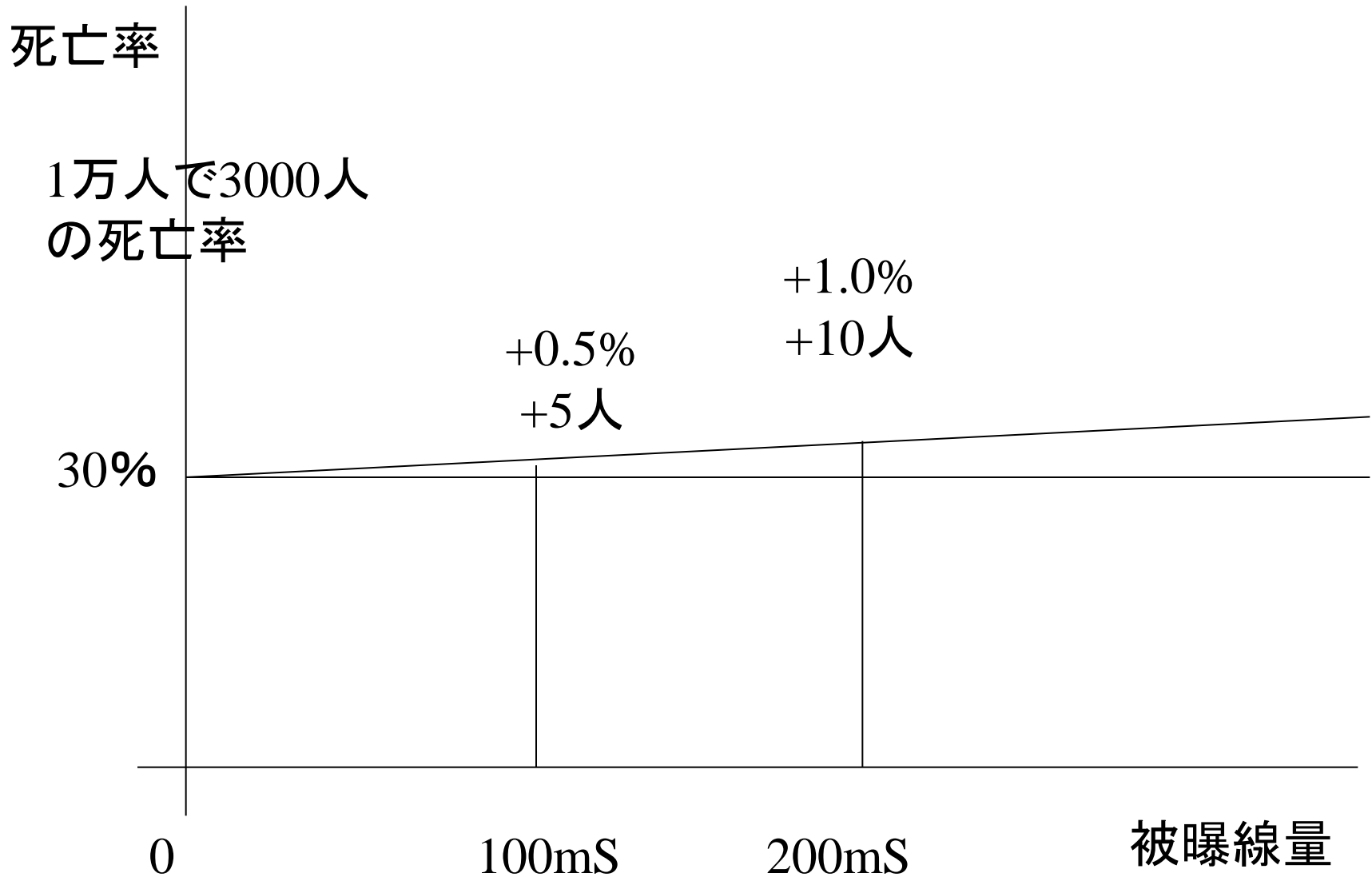
放射線レベルと危険度

急性(1回)	mSv	慢性(年間)	ICRP ガイダンス
	× 10,000	マウス実験 胸腺リンパ腫瘍20%発生	7~10 Sv 死亡
JOC事故S氏死亡			
福島第1足に被曝退院			
JOC事故Y氏退院	1,000		3~5 Sv 50% 死亡
遺伝的影響なし500		マウス実験 β線による ガンの危険性なし300	
妊娠15週、精神発達遅延 障害なし 200	100		重大事故の救助 活動 500m S
胎児被曝リスクなし 100			
		原子力従事者の制限 値 50	緊急事態期 20~100m S
医療検査CT 1.0	10	ブラジル、ガラバリの自 然放射線 10	回復期1~20 mS
胃X線検査 0.6			
	1	日本の自然被曝 2.4	一時避難 50mS/週
		一般人への規制値 1	
	0		屋内退避 10mS/2日

放射線レベルとがん罹患率

レベル	線量	健康影響度	がん罹患率
極低線量	10mS以下	影響なし	ガン罹患率の増加は認められない
低線量	100mS以下	急性影響なし	10万人以上になればガン罹患率の増加がみられる可能性がある
中線量	1000mS以下	吐き気、嘔吐の可能性、軽度の骨髄機能低下、	その後10%のガンリスクの増加
高線量	1000mS以上	嘔吐 4000を越すと治療が必要	がん罹患率の増加が認められる

日本人のがんと放射線の影響度



放射線を浴びる

ゆっくり浴びる 人間の持つ自然治癒能力でカバーしている
1 μ S/hの線量率では、ほとんどのDNAは、回復する。
全身一時被曝のほうが危ない

内部被曝に注意 α 線の影響をもろに受ける

我々は自然界から放射線を年2.4mSほど浴びている。
体内の天然カリウム40から~ 0.2ミリシーベルト/年
空気中の天然ラドン222から~ 1ミリシーベルト/年
コロラド州デンバーに引越すと→+1ミリシーベルト
航空機の客室乗務員なら、さらに+数ミリシーベルト/年

カリウム・・・人体に約200gある。そのうち、0.012%が放射性K
= 360×10^{18} 個 → 6000個/sec が崩壊 → 6000Bq に相当する。
180Bq/kg (4/13の福島市) の水を毎日2l飲むとすると、甲状腺に取り込まれる率
を20%、半減期を8日と仮定して、720Bqになる。上記6000Bqの1/10程度。

放射線量の管理基準

国際放射線防護委員会(ICRP) の2007年勧告

非常時の放射線の管理基準

平常時: 年間1ミリシーベルト以下に抑える

重大事故対策: 100～500ミリシーベルト

緊急事態期: 20～100ミリシーベルトを超えないようにする

事故の復旧期: 1～20ミリシーベルトを超えないようにする

放射線量 (mSv)

100
(0.1 Sv)

50

6.9

1

0.05

事故対応作業者年間250mS

原子力産業作業者年間50mS

避難基準年間20mS

管理区域年間5.2mS

3.8 μ S/h

放射能の強さを表すベクレル

放射能の強さは、1秒間に崩壊する原子核の数 = ベクレル

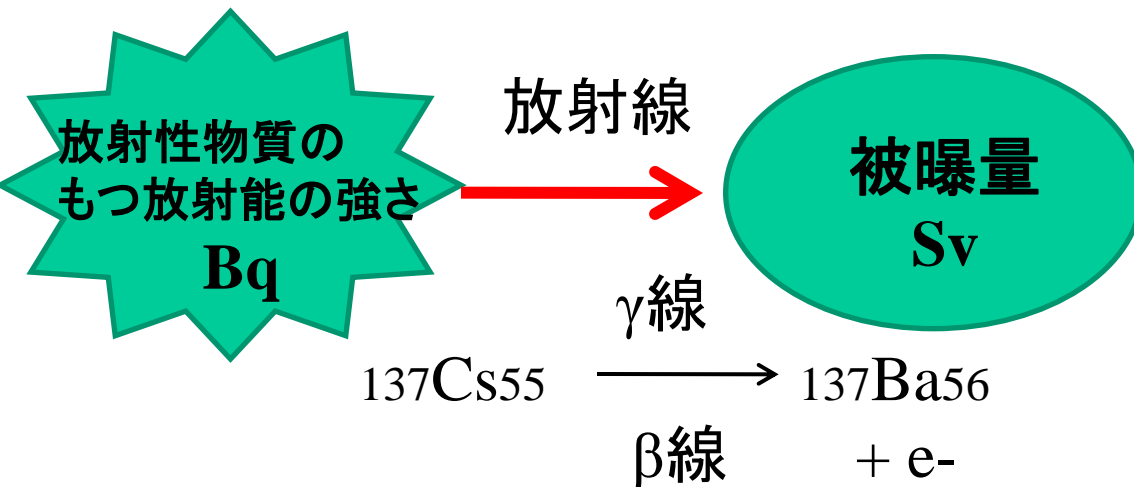
低濃度の汚染海水
高濃度の汚染海水

放射性物質がどのくらいあるかを知る目安にはなるが、放射線がどの程度かを表すものではない。したがって、影響度を調べるためには、放射線量に換算しなければならない

こうなごから暫定規制値
(500Bq/kg)をこえるセシウム137(600Bq/kg)が検出された

この小女子を50g食べるとどのくらいの被曝量になるのか

ベクレル → シーベルトの換算



$Sv = Bq \times \text{変換係数}$

- 摂取の方法 (吸引か経口か)
- 放射線物質の種類
- 年齢 (大人か、子供か)

核種	半減期	経口摂取 (Sv/Bq)	吸入摂取 (Sv/Bq)
I-129	1570万年	1.1×10^{-7}	3.6×10^{-8}
I-131	8.04日	2.2×10^{-8}	7.4×10^{-9}
I-133	20.8時間	4.3×10^{-9}	1.5×10^{-9}
Cs-134	2.06年	1.9×10^{-8}	2.0×10^{-8}
Cs-136	13.1日	3.0×10^{-9}	2.8×10^{-9}
Cs-137	30.0年	1.3×10^{-8}	3.9×10^{-8}
Pu-238	87.7年	2.3×10^{-7}	1.1×10^{-4}
Sr-90	29.1年	2.8×10^{-8}	1.6×10^{-7}

飲食物についての暫定規制値

	(飲料水/牛乳)	野菜	肉・卵・魚・その他
放射性ヨウ素	300Bq/kg	2,000Bq/kg	
放射性セシウム	200Bq/kg (乳幼児の場合は、100Bq/kg)	500Bq/kg	500 Bq/kg

(例1) 200Bq の放射性セシウム 137 が検出された飲み水を 1kg 飲んだ場合の人体への影響は、どのくらいか。

$$200\text{Bq} \times 0.000013(\text{※}) = 0.0026\text{mSv}$$

(例2) 300Bq の放射性ヨウ素 131 が検出されたホウレンソウを 100g 食べた場合の被曝量は、どのくらいか。

$$300\text{Bq} \times 0.1 \times 0.000022(\text{※}) = 0.66\mu\text{Sv}$$

基準値を超えているものの、直ちに人体に影響を与えるものではない、とは？

ヨウ素131は半減期8日なので、身体に取り込んでも被曝が長く続くことはない。

セシウム137は半減期30年だが、身体の新陳代謝により3ヶ月毎に半分になって行く(生物学的半減期という)。そもそも半減期が長いという事は稀にしか放射線を出さないという事ですので、3ヶ月で半減するならば大量に取り込まない限り大して影響は無いということになる。これらの事も加味されて実効線量係数が決まっている。

われわれの身体の中には常にカリウム40という放射性元素が存在し、年間の被曝量は約0.2mSvだそうです。先ほどの例では、300Bqのヨウ素131を含んだ水を30L飲むのと同じぐらい。

基準値を超えている食物を、毎日、続けて摂取すれば、問題になるかもしれないが、数回摂取したところで、問題になる数字にはならない → 直ちに人体に影響を与えるものではない

ときどき勘違いすること

1)シーベルトは、放射線の強さなのか、量なのか?????

報道に見受けられる間違い！！

「レントゲン1枚の被曝量は、約 $500\mu\text{Sv}$ である。したがって、〇〇市で観測された $10\mu\text{Sv/h}$ という値は、レントゲンの1/50である」。

この間違いは？

2)内部被曝と外部被曝

(1)一様に広がった放射線による外部被曝

線量率 100mSv/h の放射線を1時間浴びたとすると、 1kg あたり 100mSv の放射線を全身が浴びたことになります。この値を実効線量と言います。重量当たりなので大人でも子供でも同じ値の 100mSv になります。全身に浴びた場合、放射線の致死量は $7,000\text{mSv}$ とされています。 100mSv 以下では、健康への影響は殆ど無いと考えられています。

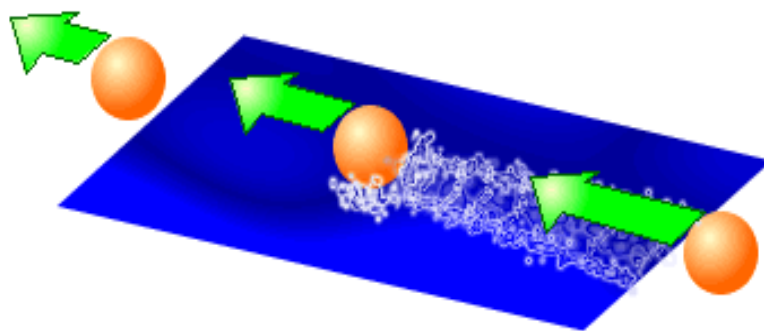
(2)内部被曝の場合

同じ 300Bq の放射性物質を身体に取り込んだ場合、体重 60kg の大人と 30kg の子供では重量当たりの放射性物質の濃度が異なることになります。そのため同じ量の放射性物質でも、影響度が異なります(被曝線量の値が異なる)。放射線核種によって取り込まれやすい場所が違うため、大人と子供での違いによって被曝線量が違って来ます。(ヨウ素の場合は甲状腺に取り込まれやすいので甲状腺等価線量という値が用いられます)。

吸収線量

放射線が物質を通過するとき、常に放射線の持つエネルギーのすべてが物質に与えられるわけではなく、エネルギーの一部が物質に吸収される。

エネルギーの与え方は、放射線の種類により異なる。吸収線量とは、単位質量(kg)の物質に吸収された放射線のエネルギー(J)を表す量で、単位はJ/kg。単位としてグレイ(Gy)が用いられ、1Gyは1J/kgとなります。



浅い水面をボールが移動する様子にと考えると、水面入り口の速度と出口の速度の差分のエネルギーが水面に与えられたことになります。
放射線の場合も、物質を通過した時にエネルギーの一部が物質に吸収されます。

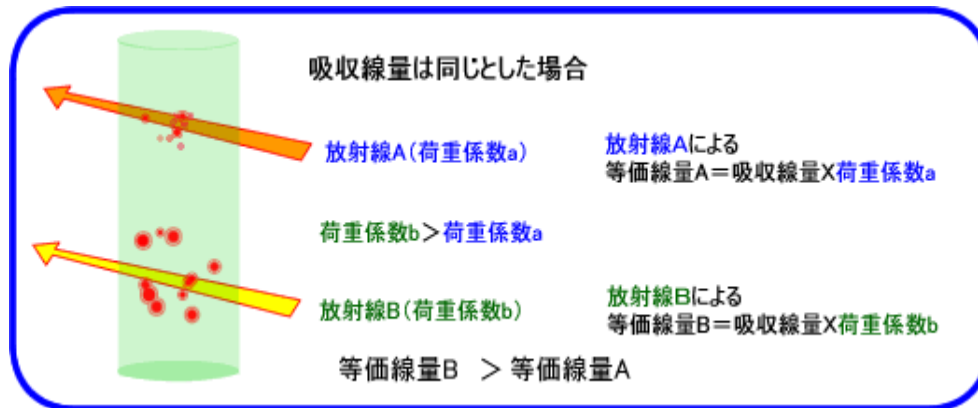
等価線量

放射線が人体を通過するときの人体へ及ぼす影響は、放射線の種類によって異なります。

人体への影響の度合いは、吸収線量に、放射線の種類にもとづく違いを考慮した係数(放射線荷重係数)をかけると求めることができます。

等価線量＝吸収線量×放射線荷重係数

種々の放射線に対する放射線荷重係数

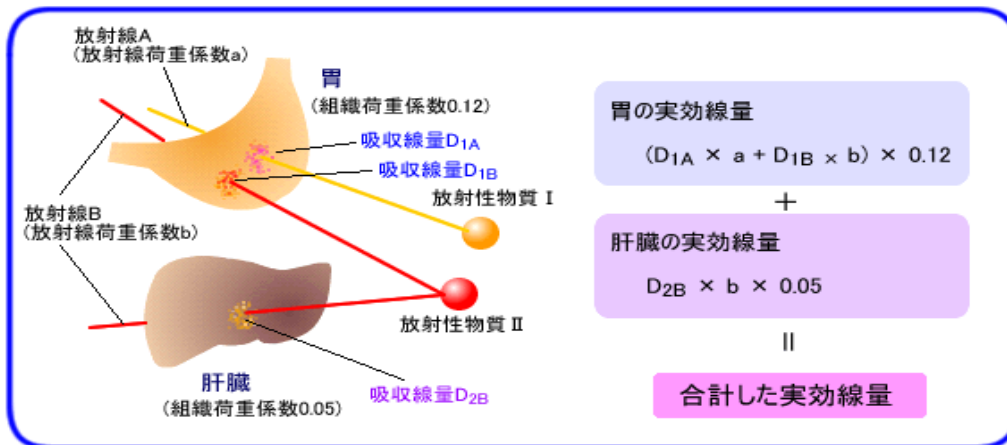


放射線の種類	エネルギー範囲	放射線荷重係数
光子	全エネルギー	1
電子、 μ 中間子	全エネルギー	1
中性子	< 10 keV	5
	10 keV ~ 100 keV	10
	100 keV ~ 2 MeV	20
	2 MeV ~ 20 MeV	5
	20 MeV <	5
陽子	2 MeV <	5
α 粒子、核分裂片、 重原子核		20

実効線量

放射線の種類と性質、人体の組織や臓器の種類によって、人体が放射線を受けたときの影響は異なります。これらを考慮して算出する放射線量を実効線量といいます。実効線量は、放射線の被ばく管理に用いられます。

つまり、組織や臓器ごとに、(吸収線量 × 放射線荷重係数 × 組織荷重係数)を計算し、全身について合計した線量が実効線量となります。

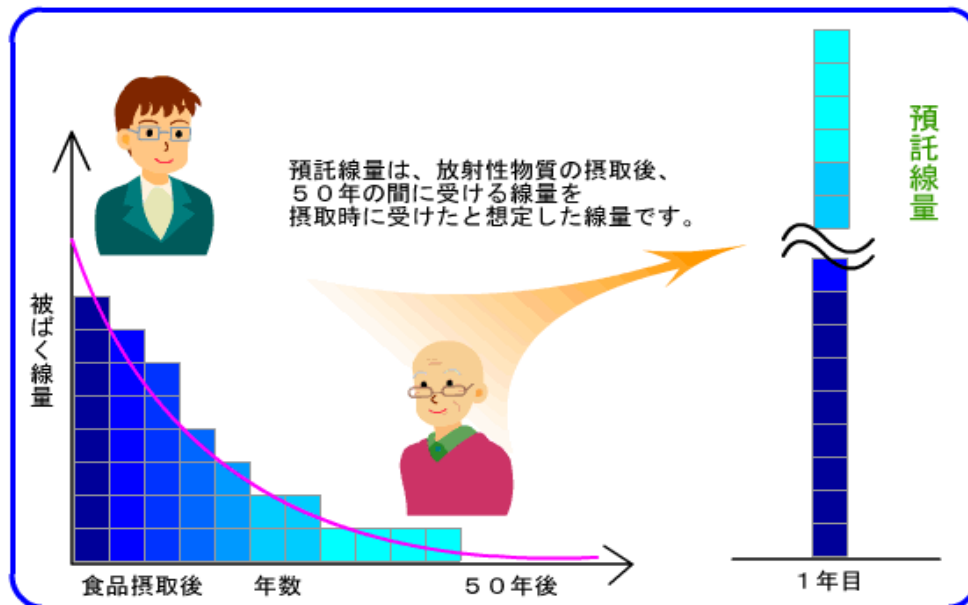


組織・臓器	組織荷重係数
生殖腺	0.20
赤色骨髄、結腸、肺、胃	0.12
乳房、肝臓、食道、甲状腺、膀胱	0.05
皮膚、骨表面	0.01
残りの組織	0.05

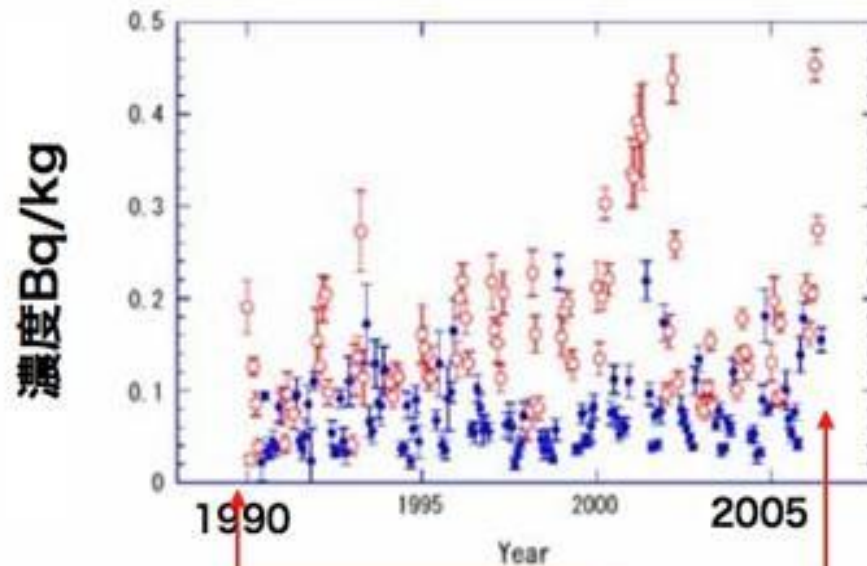
預託線量

体内に摂取された放射性物質は、その半減期に従い放射能が減衰するとともに、代謝機能により体内から徐々に排泄されます。この間に放出される放射線により組織や臓器が被ばくします。

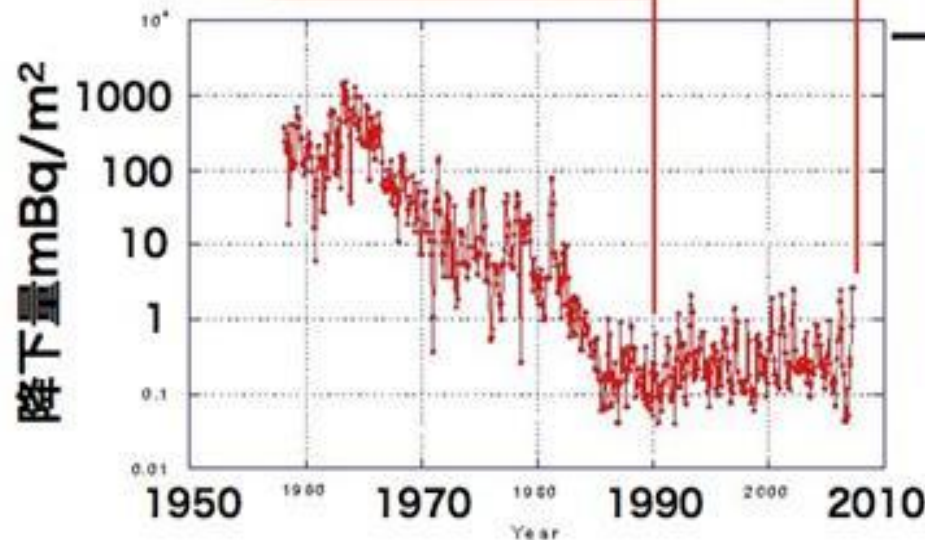
預託線量とは、一般成人に対して摂取後の50年間(子供や乳幼児に対しては摂取時から70歳まで)に受ける量を摂取時に受けたと想定した放射線量のことをいいます。



昔のほうがひどかった？



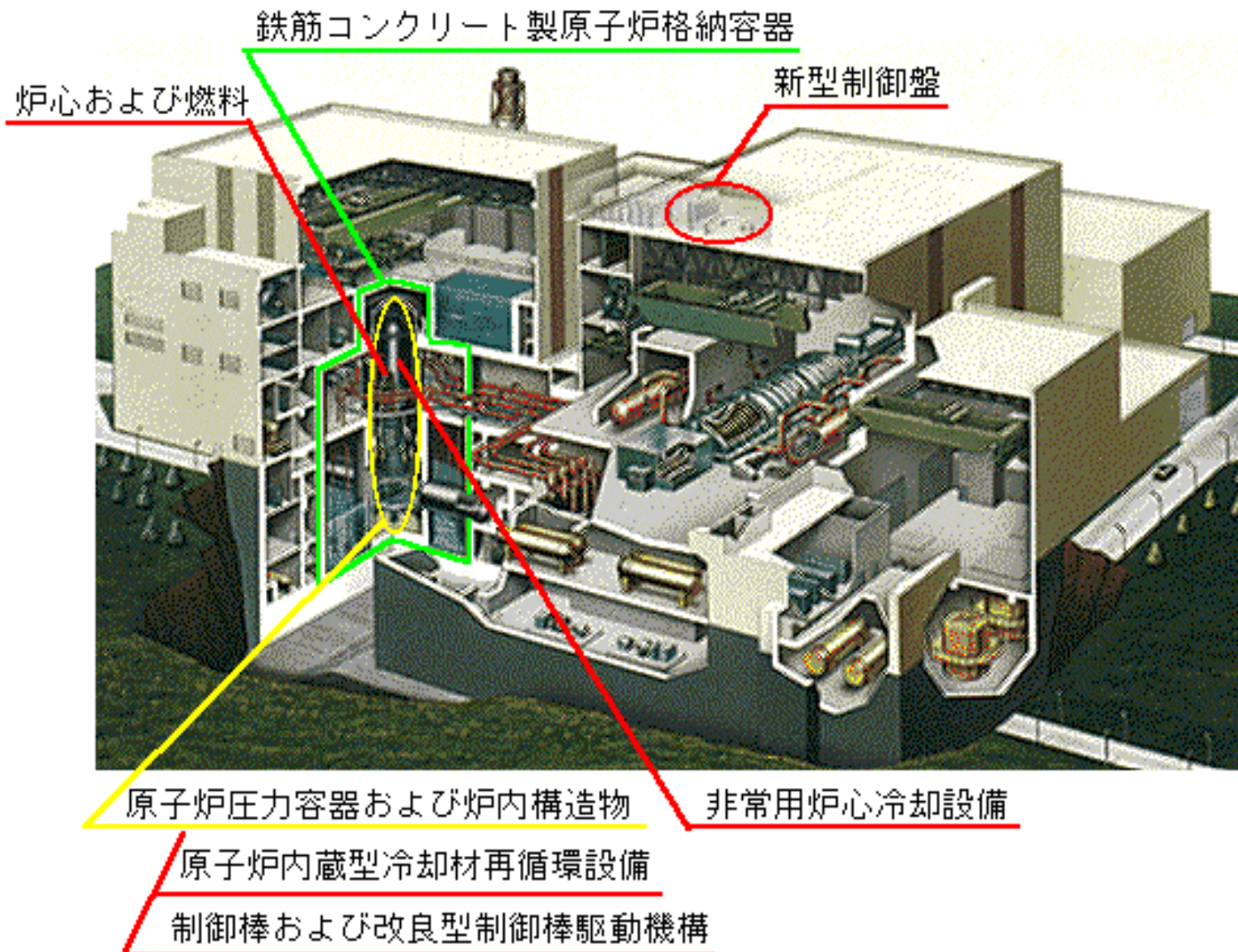
つくばの表層土壌中の
 $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度は
0.02-0.4 Bq/kg
(1990-2007)



一月あたりの $^{239,240}\text{Pu}$ 降下量

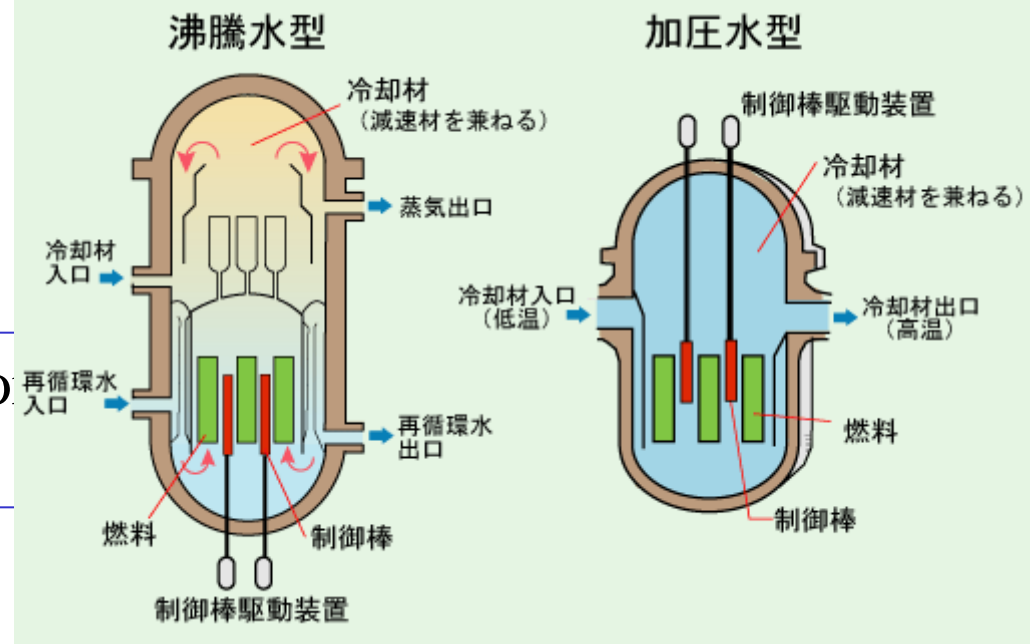
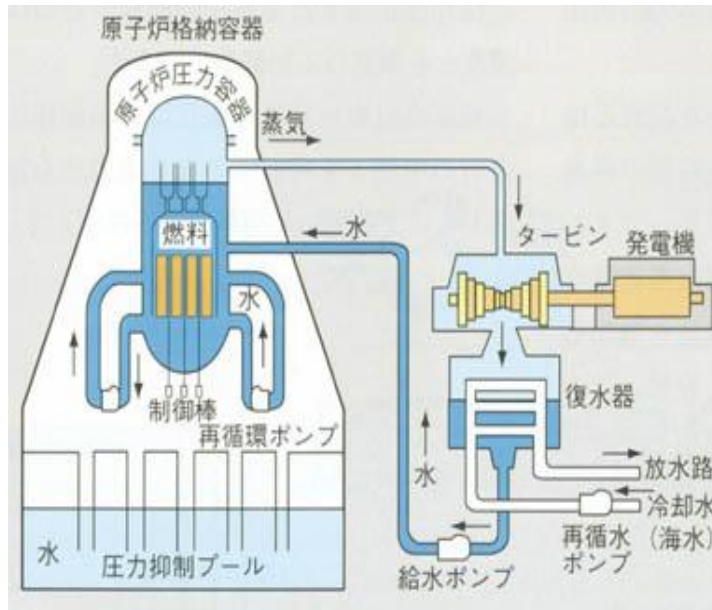
1990年以来、土壌中濃度も降下量もほぼ横ばい。しかし、過去には現在の1000倍の降下量だった年もある。

原子力発電所の構成

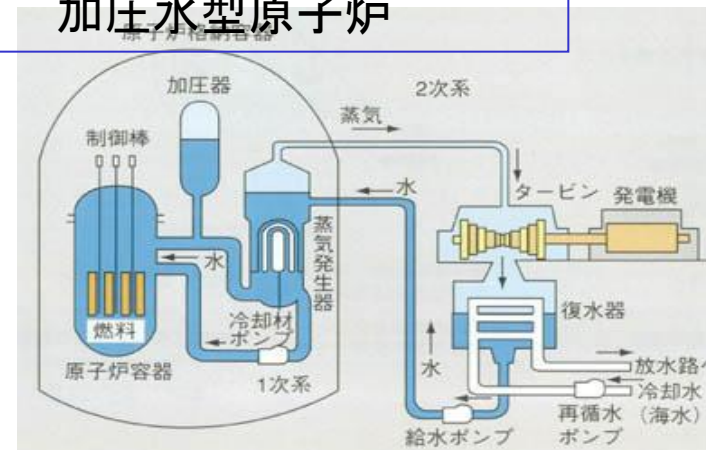


原子力発電所の仕組み

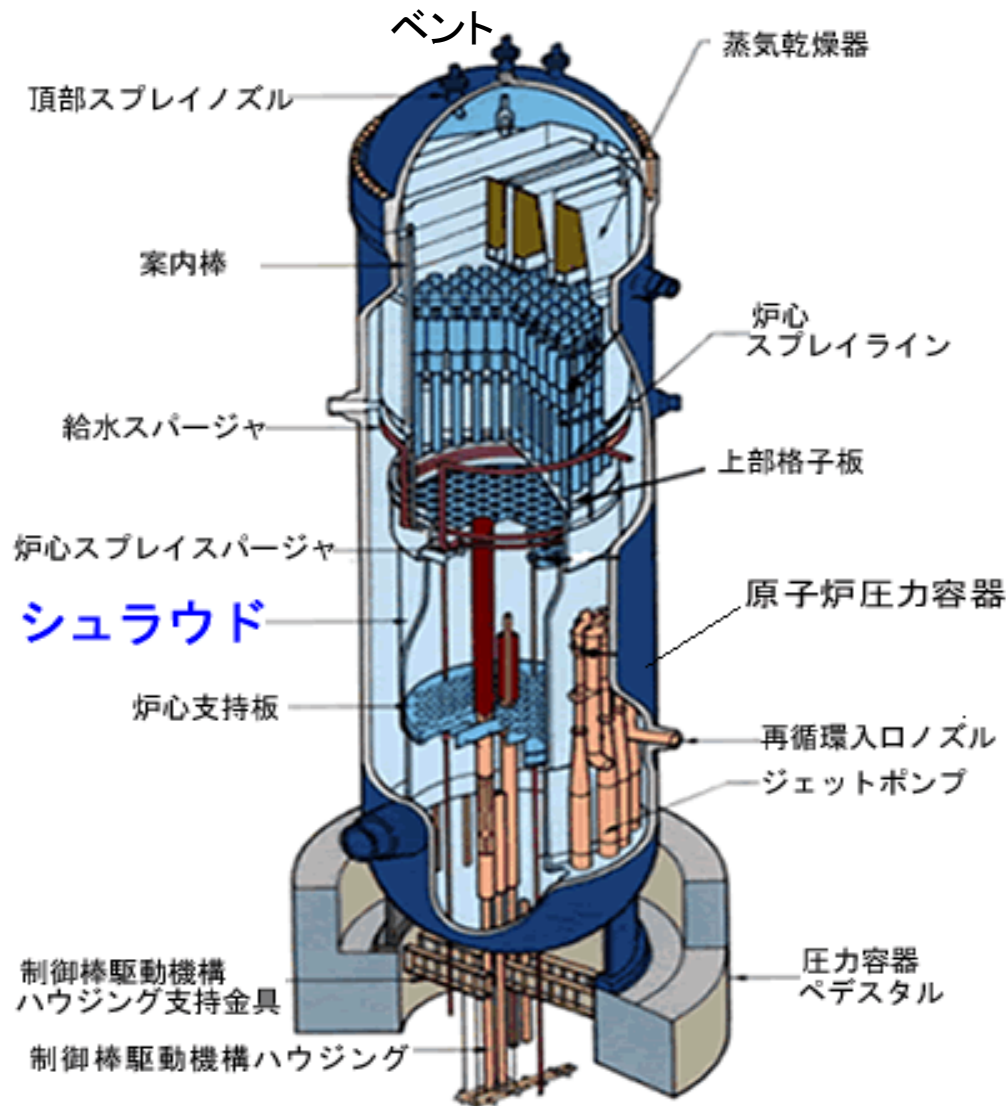
BWR(Boiling Water Reactor)
沸騰水型原子炉



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



原子炉圧力容器の構造



BWRの主要系統

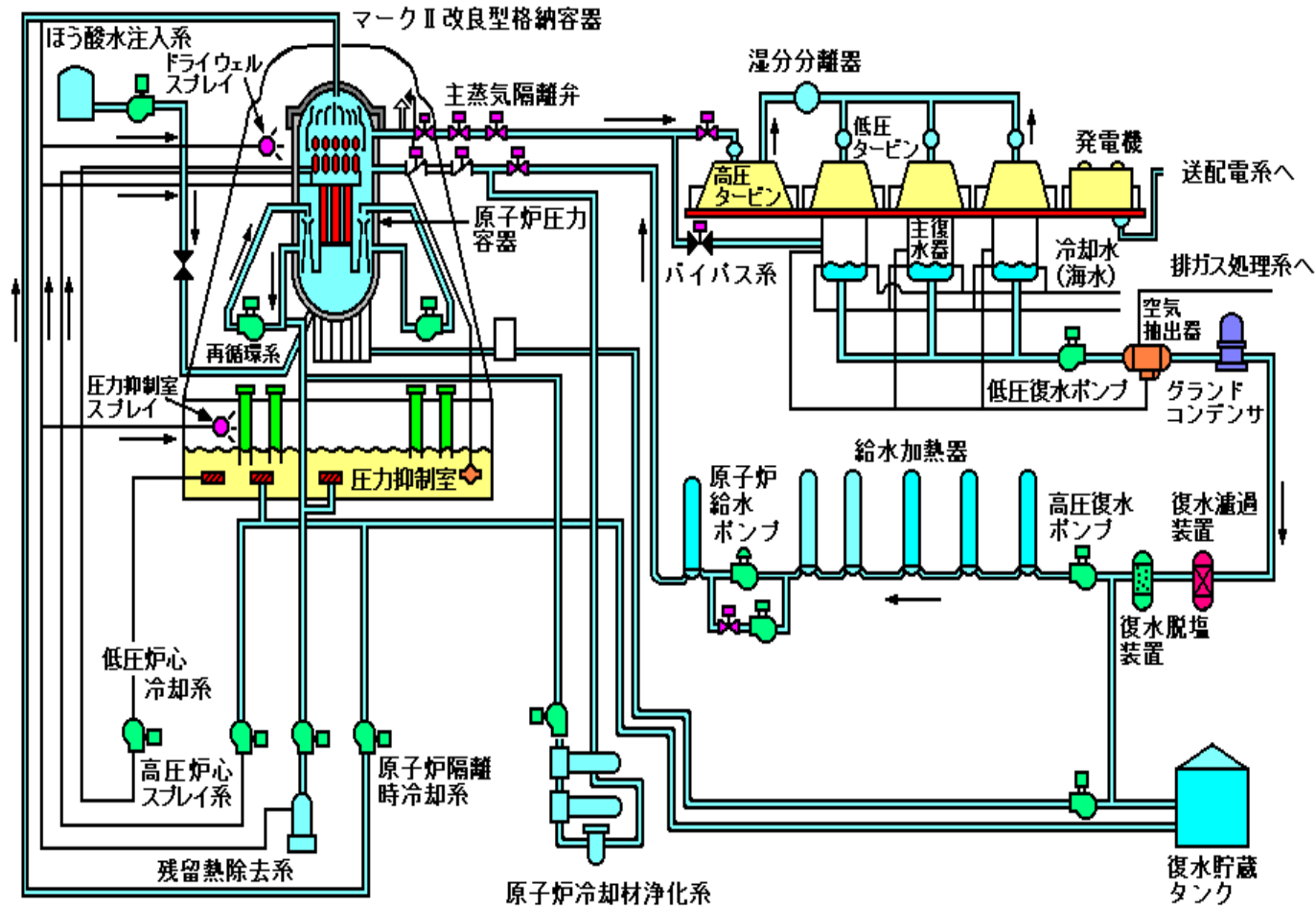
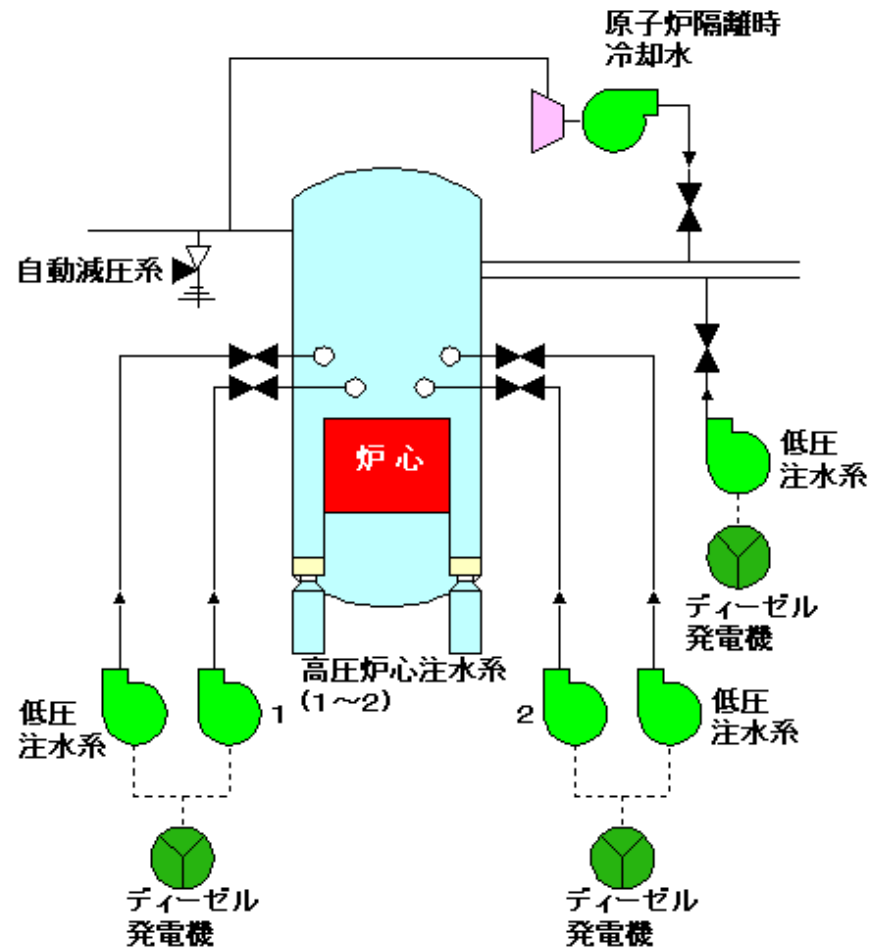


図2 沸騰水型炉(BWR)原子力発電所主要系統概要

[出典]資源エネルギー庁原子力発電課(編):原子力発電便覧1997年版、電力新報社(1997年)、p.299

BWRの非常用冷却システム



C-ABWR型プラント(柏崎刈羽-6号)の例

図5-2 BWRのECCS概略(2/2)

[出典]資源エネルギー庁公益事業部原子力発電課(編):
原子力発電便覧1999年版、電力新報社(1999年10月)、p.84

福島原発は何が起きたか 炉心溶融

1. 3月11日pm2:46に地震が発生
2. 地震センサーが働き、制御棒が一斉に炉心に挿入され、原子炉停止
3. 緊急炉心冷却システムが作動して、崩壊熱を出している炉心を冷却(今回の地震では外部送電が停止したため、緊急用ディーゼル発電機を駆動)
4. 1時間後に、大津波が襲来。ポンプ、燃料タンクなどが被害を受ける
5. 原子炉隔離系冷却システムも稼働せず(ポンプの破壊?)
6. 最後の頼みの綱のバッテリーも次々ときれ、
7. 冷却水が完全に喪失した
8. 燃料棒が露出
9. ジルカロイ製の被覆管が酸化、水素を発生させる
10. さらに温度上昇し、燃料の溶融が始まったと推測される(公表はなかった)
11. 1号機が、12日に水素爆発を起こし、建屋が破壊される
12. さらに、2号機、3号機で水素爆発。運転停止中であった4号機でも使用済み燃料プールの冷却ができなかったため、水素が大量に発生し、爆発を起こす。

チェルノブイリでは何が起こったのか

発生 1986/4/26 pm1:23

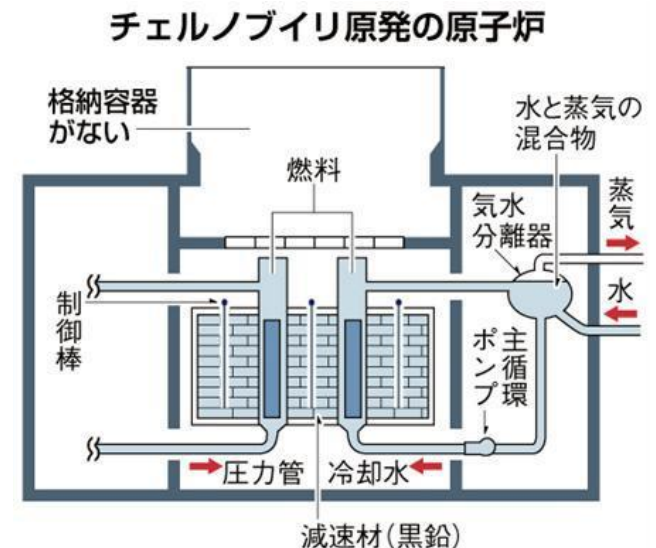
概要 原子炉が止まった場合を想定した実験を行っていた4号機が、実験中に制御不能に陥り、炉心が融解、爆発した。

当初、事故を隠し、また付近の住民の避難措置などをとらなかったため、被害者が増える結果となった。

事故による高濃度の放射性物質で汚染されたチェルノブイリ周辺は、居住が不可能になり、約16万人が移住を余儀なくされた。

ソ連政府の発表による死者数は、運転員・消防士合わせて33名だが、事故の処理にあたった軍人や労働者に多数の死者が確認されている。

事故後、小児甲状腺癌などの放射線由来と考えられる病気が急増しているという調査結果もある。1986年8月のウィーンでの国際原子力機関(IAEA)非公開会議で4,000人と公式発表された。



チェルノブイリと福島原発は何が違うか

チェルノブイリ(100万kW)

原子炉が暴走し、爆発
(エンジンが爆発した)

黒鉛炉のため、放射線物質
を埃とともに一気にまき散ら
した

大量の放射線物質が広範
囲に降り注ぎ、長期間にわ
たって土地を汚染した

福島第一発電所(#1~#6)

原子炉は停止した、冷却に失
敗、水素爆発した
(エンジンルームが爆発)

軽水炉であり、ベント(蒸気放
出)によって、放射性物質が、
外部に漏れ出た

1基だけでなく4基(274万kW)
から、放射能漏れを長期間引
き起こしている