

国立天文台集会、2011年4月20日

放射線を知ろう

放射能から身を守り,風評被害を受けず,加担しないために

参考資料

田中俊一 「福島原発の状況について」 学術会議講演録

田中俊一 「福島原発事故で起ったこと、そして今後の課題」 日本ジャーナリスト会議講演録

三明康郎 「放射線の基礎と応用」 筑波大講義録

中村隆司 「放射線を理解するために」 東工大講演録

理論研究部 梶野敏貴

kajino@nao.ac.jp, <http://www.cfca.nao.ac.jp/~kajino/>

泉さん(理論部秘書)からのリクエスト

「福島原子力発電所の事故は大変なことです。でも、希望を与えるようなお話をなさってくださいね。昼食の時間ですし・・・」



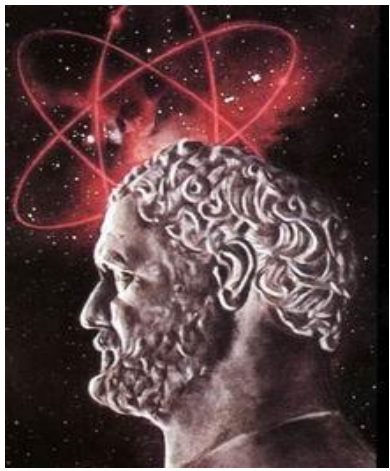
「はやぶさ」の帰還

2003年 5月	打ち上げ
2005年11月	小惑星イトカワに着地
その後	燃料漏れトラブル、音信不通
この間	研究者・技術者による不屈の努力
2010年10月	奇跡的な生還

はやぶさの生還まで7年間、
研究者と技術者はあらゆる努力を重ねて辛抱強く待ちました。

技術者・研究者の力を信じて、待ちましょう！

東北・東関東の皆さんの辛苦を少しでも軽減し、福島原発近郊の住民の皆さんと原発技術者のdesperateな努力に報いるには、放射線を正しく知り、放射能から身を守り、風評被害を受けず、加担せず、冷静に行動して日本が立ち直るために尽くすことが求められています。



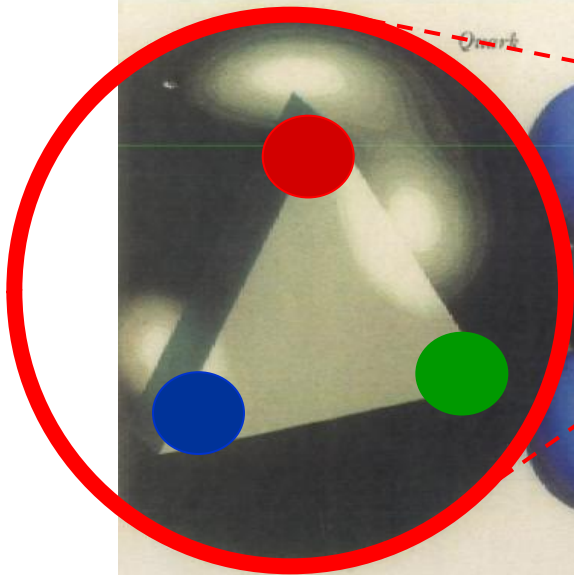
古代ギリシャ (デモクリトス)
目に見えないがそれ以上分割できない世界要素=原子(ATOM)

20世紀

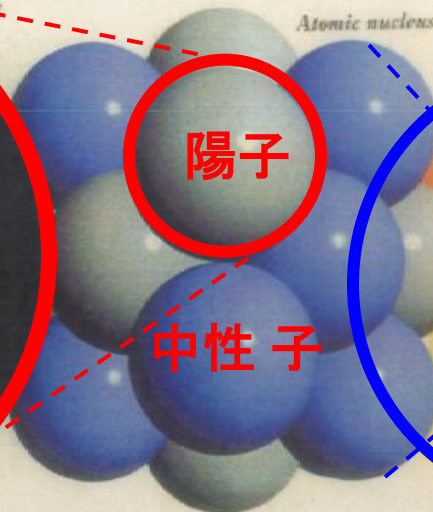
原子は、原子核(陽子+中性子)
と電子からなり、分割できる。

20-21世紀

陽子と中性子はそれ以上分割できない素粒子クォークでできている。



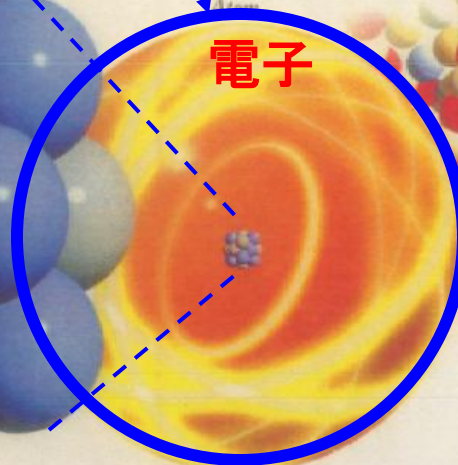
究極の素粒子？



陽子

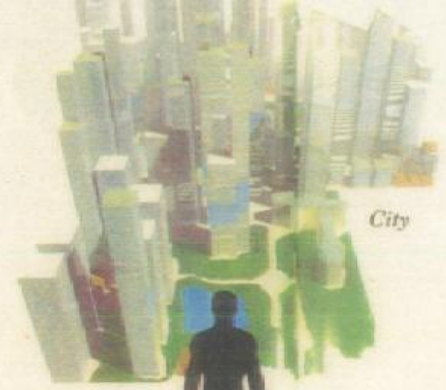
中性子

原子核



電子

原子



人間



つま



細胞



DNA

ピエール キュリー

マリー キュリー



19世紀末～20世紀
現代科学の夜明け

放射能の発見

ベクレル (1896)

放射性元素(ラジウム)の
単体分離に成功

マリーキュリー(1902)

人間・物質を形作る究極の
粒子発見のステップ。

α線 (He核、1911年
ラザフォード)

β線 (電子、1897年、
トムソン)

γ線 (電磁波、X線、
1895年)


URANIUM - A USELESS METAL?

Uranium, the element that revealed radioactivity, was discovered in 1789 and named after the planet Uranus, discovered eight years earlier. Apart from its high density, almost twice that of lead, there seemed to be nothing special about uranium. For a long time it was an oddity at the end of the periodic table with the highest known atomic weight of all the naturally occurring elements; it was known as "the useless metal" as it

seemed to have no practical value. Mainly composed of the variety (isotope) uranium-238, natural uranium contains about 0.7 per cent uranium-235, a raw material for atom bombs and nuclear reactors. The pitchblende (right) from which it is produced (right) contains uranium, contains uranite and traces of radium and polonium.

ラジウム、ウラニウム、トリウム





私たちは星の子である。
元素は星の中で作られた。

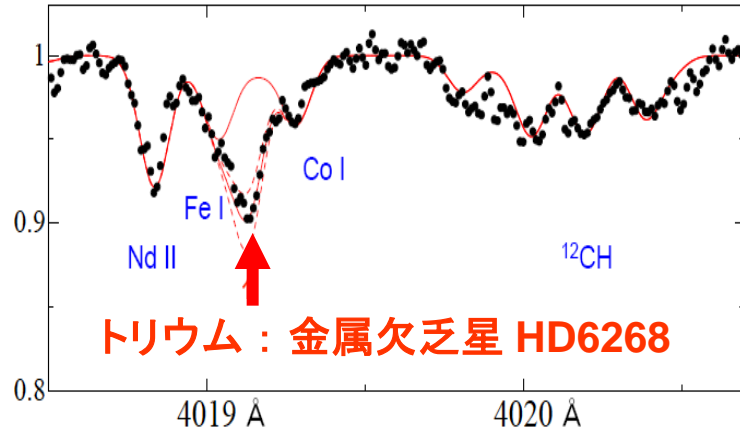
超新星1987A

ウランは大質量(太陽の約10倍以上)の星が
進化の最期に迎える大爆発(超新星)で作られた!

トリウム(ウラニウム, ラジウムの仲間)を発見： すばる望遠鏡HDS

本田、青木ら(すばる望遠鏡HDSチーム)
Astrophys. J. 607 (2004), 474-498

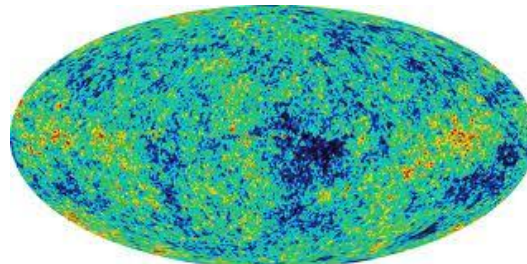
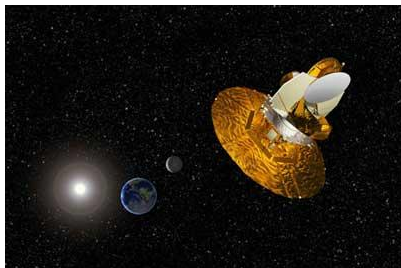
すばる望遠鏡



放射性元素の半減期を利用し、初期世代の金属欠乏星の年齢から宇宙年齢を推定

トリウム232 (半減期 141億年) **→** 宇宙年齢 > 130億年
ウラニウム235 (7億年)、238 (45億年)

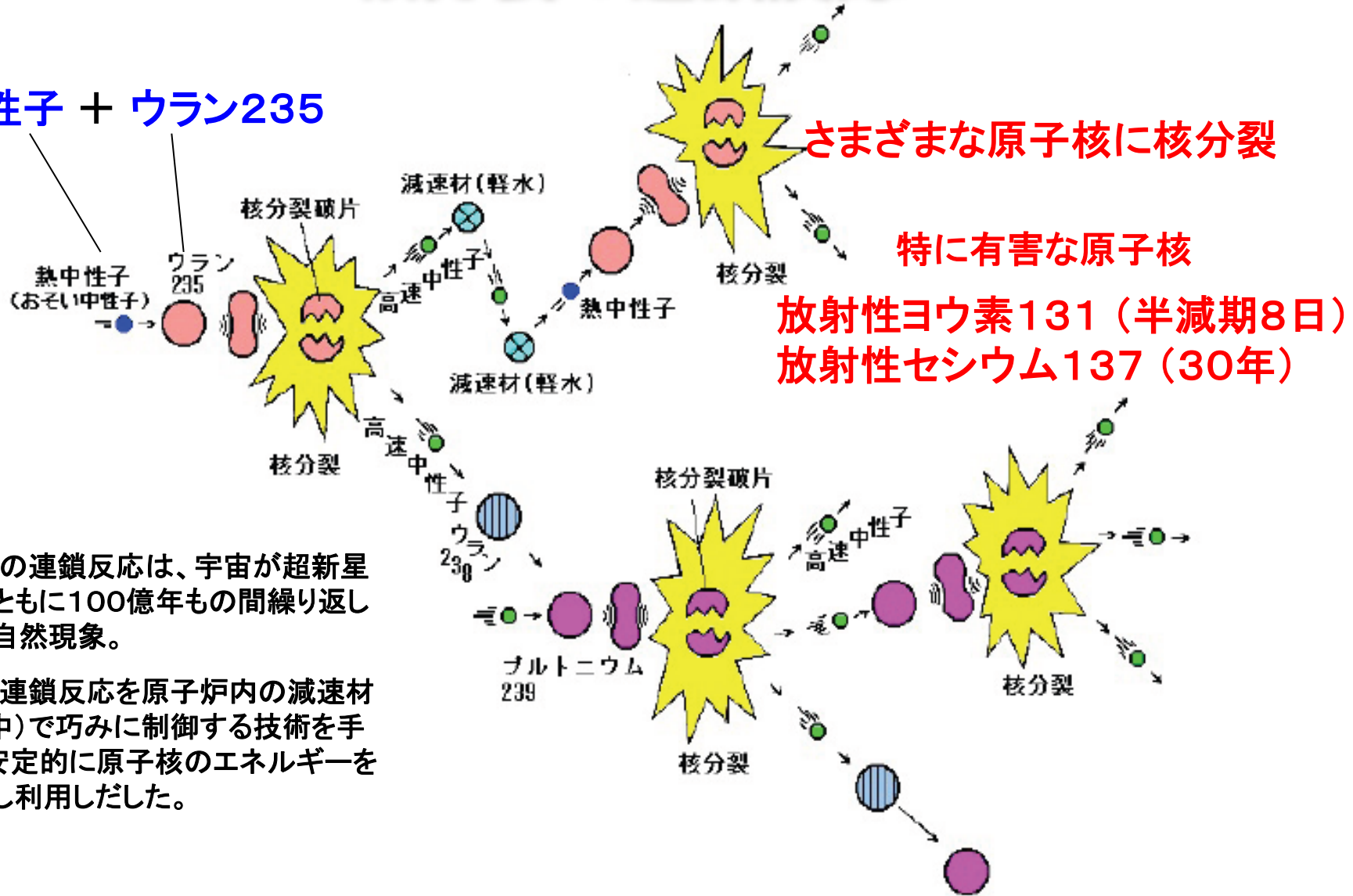
WMAP衛星 宇宙背景放射ゆらぎの観測 **→** 宇宙年齢 = 137.2億年



宇宙論モデルに依存
(8個のパラメータから計算)

核分裂の連鎖反応

中性子 + ウラン235



核分裂の連鎖反応は、宇宙が超新星爆発とともに100億年もの間繰り返してきた自然現象。

人類は連鎖反応を原子炉内の減速材(水の中)で巧みに制御する技術を手にし、安定的に原子核のエネルギーを取り出し利用しだした。

図1 ウランの核分裂とプルトニウムの生成・核分裂

[出典] 電気事業連合会：原子力図面集-1998年版-、1998年10月、p155

元素周期表

Periodic Table of the Elements

自然も暮らしもすべてで元素記号で書かれている



1869年、ロシアの化学者メンデレーフが、元素の性質の周期性に基づいて、元素を並べた。これが元素周期表の始まりである。その後、元素の発見が続くにつれて、この表は不断完善されてきた。現在、元素周期表は、元素の性質を予測するための重要なツールとなっている。

元素の分類 (分類)



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	No	Lr	

鉄・コバルト・ニッケル

ヨウ素

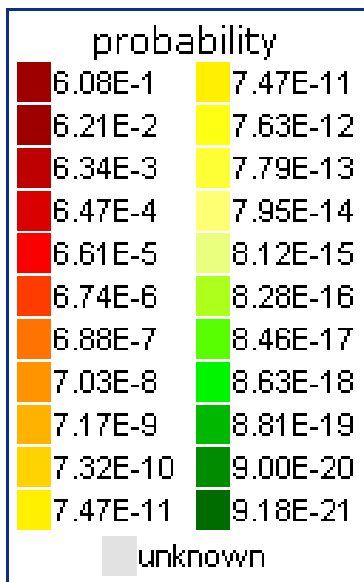
セシウム

トリウム ウラン プルトニウム

一家に1枚周期表

Copyright © 2018 by the IUPAC Commission on Nomenclature of Inorganic Chemistry. All rights reserved. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. For more information, see the IUPAC website: www.iupac-nomenclature.com

陽子数(原子番号)



ウラン235
(²³⁵U)

Z=82

N=126

Z=50

N=82

セシウム137 (¹³⁷Cs)
半減期=約30年

Z=28

N=50

ヨウ素131 (¹³¹I)
半減期=約8日

Z=20

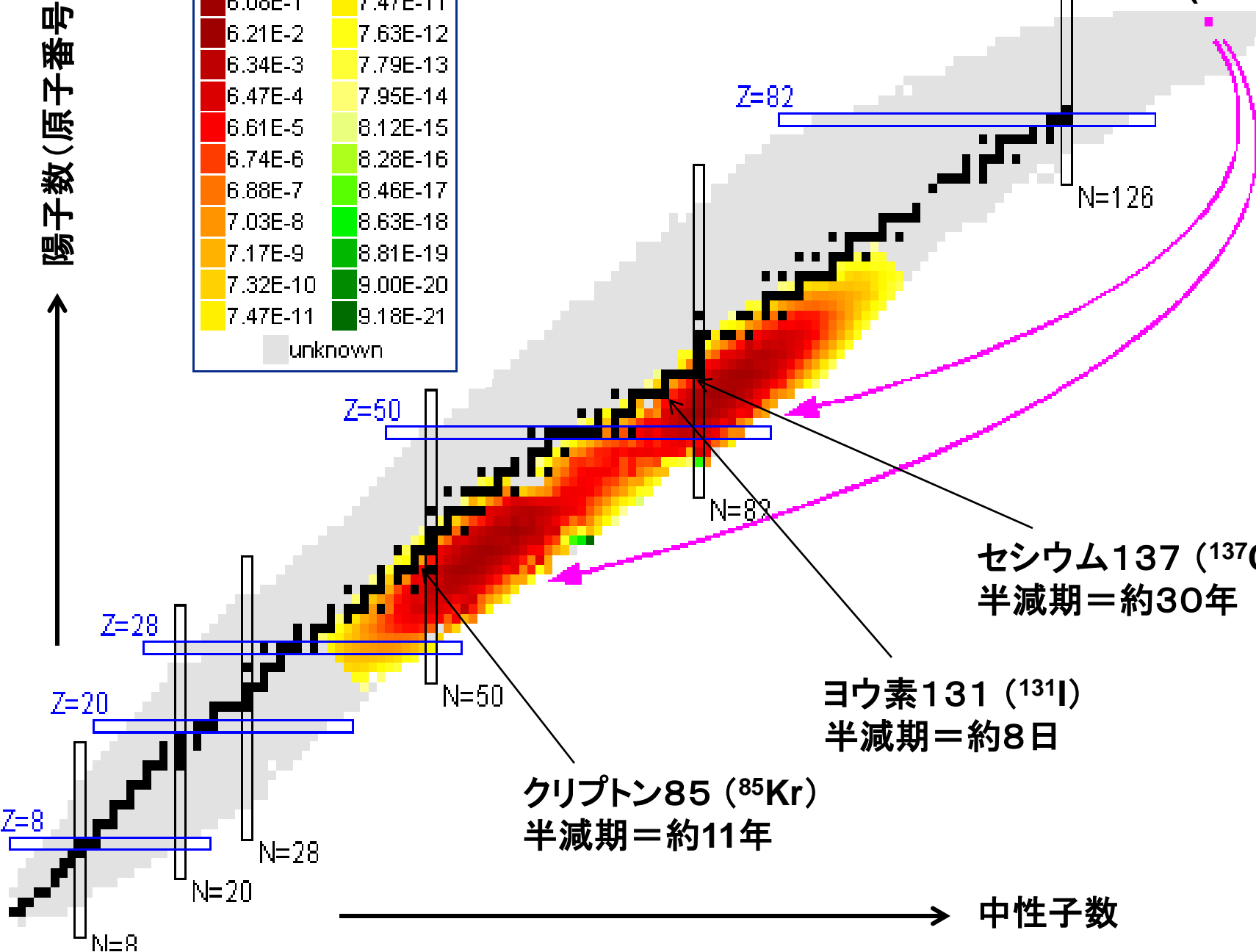
クリプトン85 (⁸⁵Kr)
半減期=約11年

N=28

中性子数

Z=8

N=8

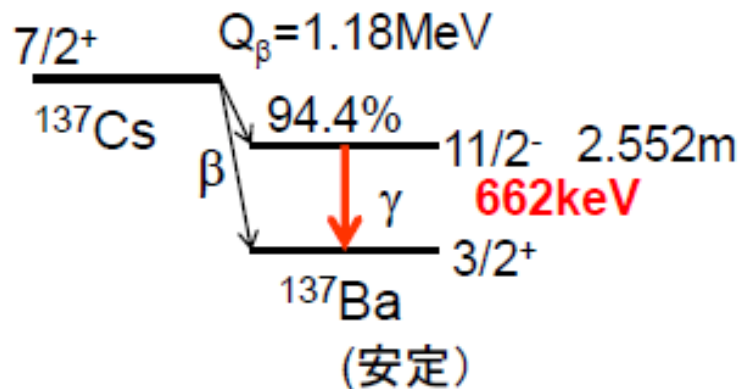


主な放射性同位元素(核分裂生成物:福島原発から来る可能性有)

^{137}Cs (セシウム137: $Z=55, A/Z=2.49$)

半減期30.17年

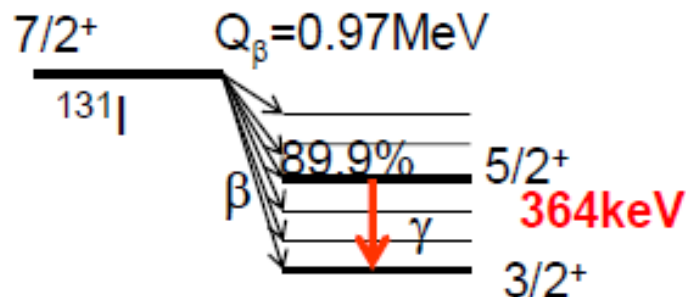
リチウム、ナトリウム、カリウム等と同じアルカリ金属。水に溶けやすい。



^{131}I (ヨウ素131: $Z=53, A/Z=2.47$)

半減期8.02日 (揮発性)

体内で甲状腺ホルモンの生成に必要不可欠。



その他

^{90}Sr (ストロンチウム90)半減期28.8年 β 線0.54MeV, 2.28MeV

^{133}Xe (キセノン133, $Z=54$, 5.24d, 80.997 keV 希ガス)

^{85}Kr (クリプトン85)半減期10.7年 (希ガス)

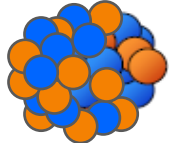
^{89}Sr ($Z=38$; 50.5d), ^{140}Ba ($Z=56$; 12.8d), ^{106}Ru (44; 367d), ^{95}Zr ($Z=40$; 64d)

同位体

原子番号(陽子数)は同じで中性子数が異なる原子核。化学的性質は同じ。

ヨウ素の同位体

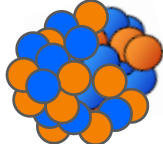
ヨウ素127



127I

陽子数53
中性子数74
安定同位体

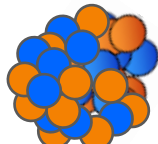
ヨウ素131



131I

陽子数53
中性子数78
放射性同位体

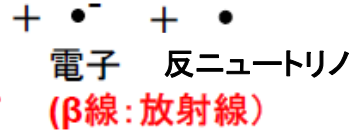
キセノン131



131Xe

陽子数54
中性子数77
安定

半減期
8.02日



炭素の同位体

炭素10



10C

陽子6
中性子4

炭素11



11C

陽子6
中性子5

炭素12



12C

陽子6
中性子6

炭素13



13C

陽子6
中性子7

炭素14



14C

陽子6
中性子8

炭素15



15C

陽子6
中性子9

放射性同位元素

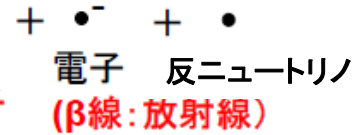
陽子過剰になると?
(寿命がある:β崩壊、
電子捕獲)

天然に存在= 安定同位体
寿命が無量大

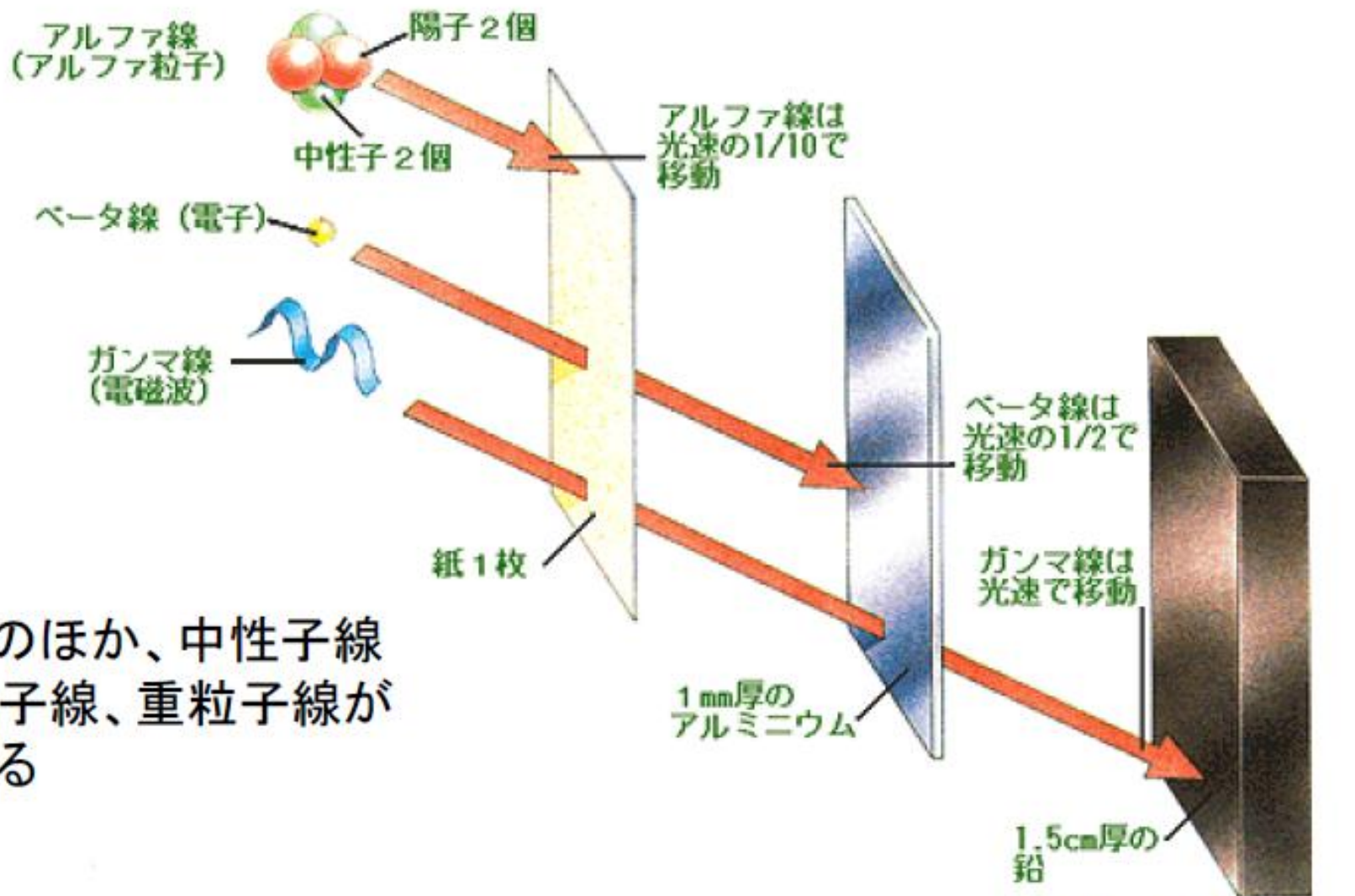
放射性同位元素

中性子過剰になると、
(寿命がある:β崩壊)

半減期
5740年



放射線のまとめ: **放射性同位元素 (RI)** から放出される 高エネルギーの荷電粒子、電磁波 (主として α 線、 β 線、 γ 線)



放射線を用いた医療（診断と治療）



ウィキメディアコモンズ



レントゲン夫人の手のX線写真

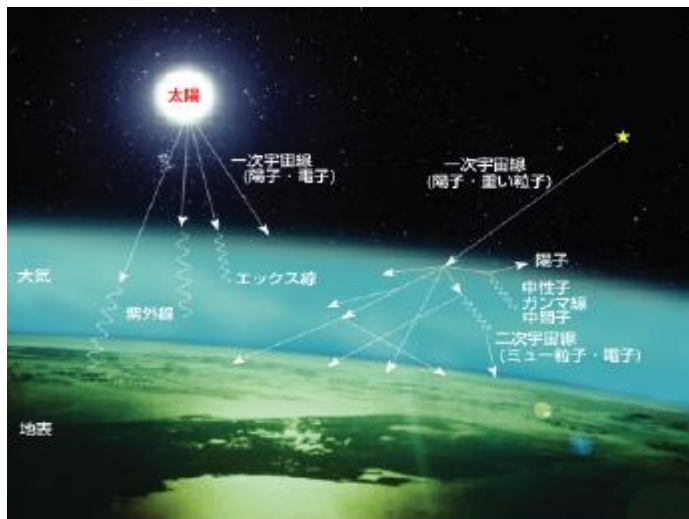
http://www.pi.hitachi.co.jp/Div/power/atom_report/2009463_17320.html



筑波大学陽子線医学利用研究センター

- 診断；透過写真、断層写真
- 治療； γ 線照射、陽子線照射、重イオン線照射

自然の放射線



宇宙線

世界平均
2.4 ミリシーベルト/年

日本平均
1.5 ミリシーベルト/年



ラドンガス

ウランの崩壊
で出来る。



食物

肥料の3大要素
=窒素, リン酸, カリ

放射線カリウム40
(半減期13億年)
=0.17mSv/年

内訳

- ・ 宇宙線： 0.38 mSv/年
- ・ ラドンガス： 1.3 mSv/年
- ・ 食物, 大地： 0.7 mSv/年

- ・ 生命発生以来一定
- ・ 東京NY往復；0.2 mSv
- ・ ブラジル；10 mSvの地域もある

放射線・放射能の単位

放射能；

✓ 1ベックレル；1秒間に1回崩壊を起こす能力(Bq)。

✓ 1キュリー；ラジウム1gが持つ放射能(Ci)。

→ ラジウムは1秒間に 3.7×10^{10} 崩壊 (3.7×10^{10} Bq)

吸収線量；

✓ 1グレイ；照射された物質1kgあたり1ジュールのエネルギー吸収(Gy)。

実効線量；

✓ 生体の放射線被ばくの影響を示すと考えられる量。

✓ 1シーベルト；(Sv)；吸収線量Gy × 線質係数 × 補正係数

数量で使われる補助単位

テラ	T	10^{12}	=	1,000,000,000,000	=	1兆
ギガ	G	10^9	=	1,000,000,000	=	10億
メガ	M	10^6	=	1,000,000	=	100万
キロ	k	10^3	=	1,000	=	千

ミリ	m	10^{-3}	=	0.001	=	千分の1
マイクロ	μ	10^{-6}	=	0.000001	=	100万分の1
ナノ	n	10^{-9}	=	0.000000001	=	10億分の1

欧米では1000毎に言葉を変える

東アジアでは10000毎に言葉を変える

放射線被ばく防護基準

国際放射線防護委員会 (ICRP)
国際原子力機関 (IAEA)

<http://www.mext.go.jp>

文部科学省HP, 健康相談ホットライン、日常生活と放射線

200 ミリシーベルト/年より高い被ばく線量での臨床状態の確認に基づいた基準

自然放射線

人工放射線

甲状腺等価線量: 100 ミリシーベルト/年

職業人: 10~50 ミリシーベルト/年

自然放射能被ばく線量:
2.4 ミリシーベルト/年(世界平均)
1.5 ミリシーベルト/年(日本平均)

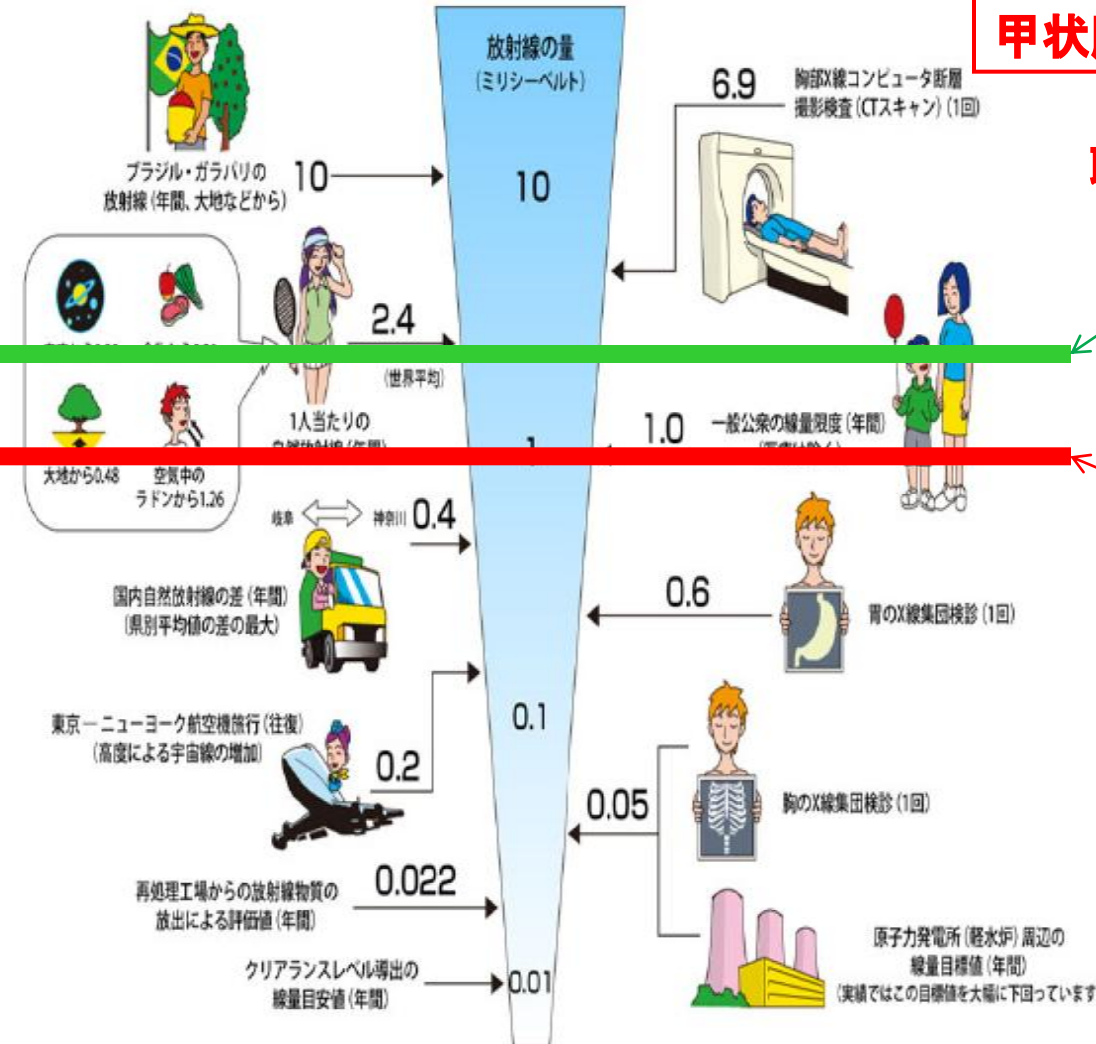
一般人: 1 ミリシーベルト/年

DNAの自己修復作用!

胸部X線1回 = 0.05mSv

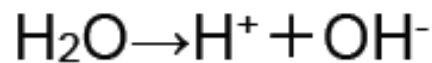
胃X線1回 = 0.6mSv

胸部CT1回 = 6.9mSv



原子力発電所 (軽水炉) 周辺の線量目標値 (年間)
(実績ではこの目標値を大幅に下回っています)

放射線の生態への影響とDNA自己修復作用



放射線の**電離作用**が悪影響を及ぼす

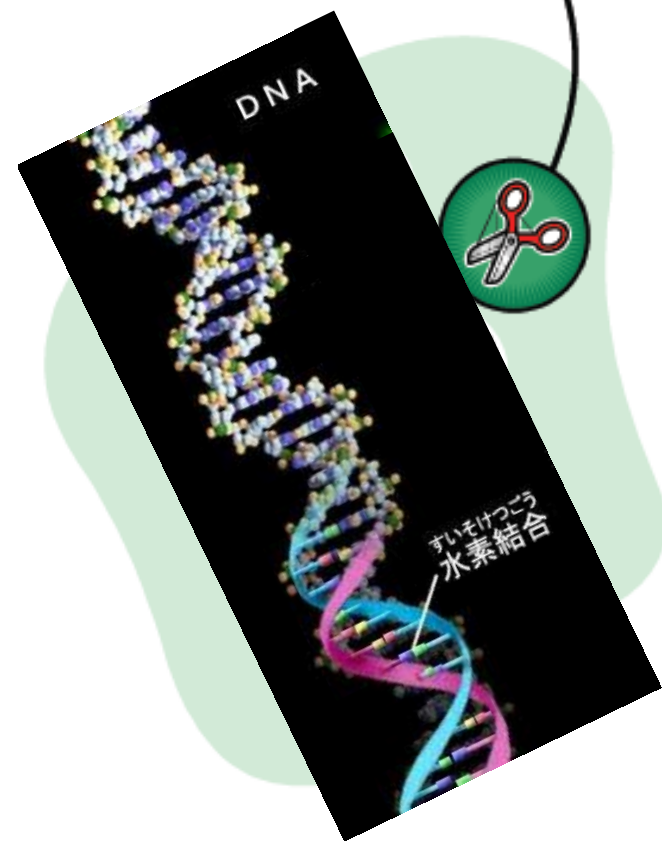
- ★ DNAの破損が**急激**に起こることによって**細胞分裂が阻害**される。

細胞分裂の活発な臓器への影響

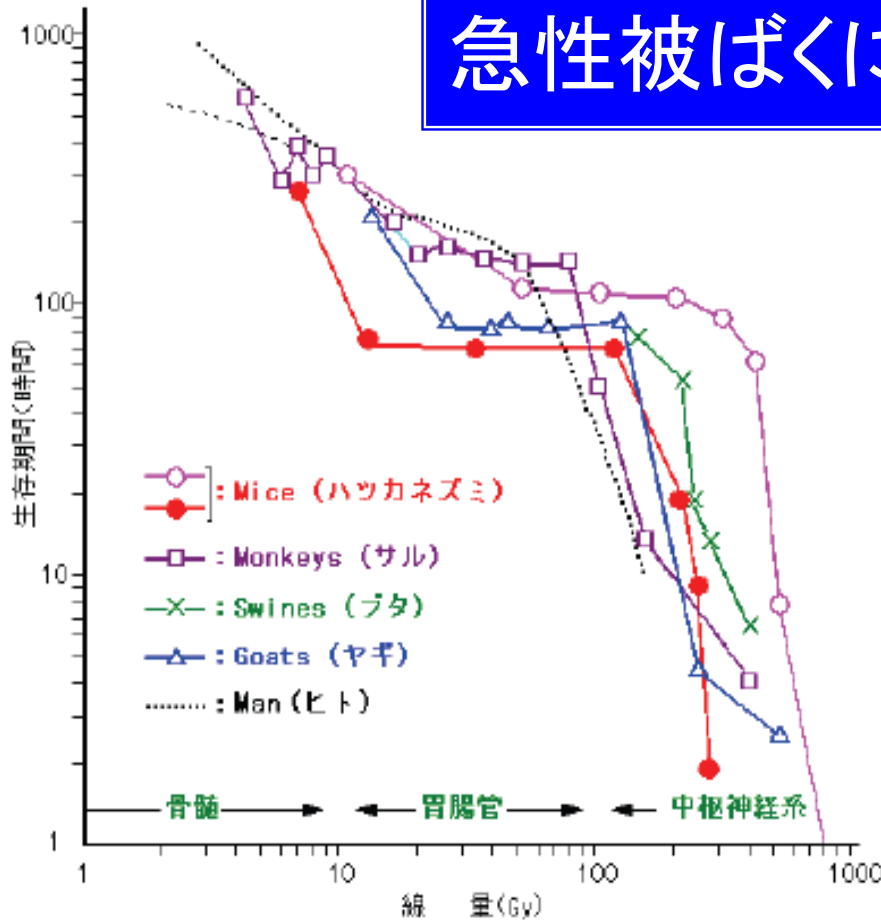
→ 骨髄（造血）、腸壁など

- ★ DNAの破損が**長期間**に及ぶと、**自己修復作用が間に合わず**

早期に現れる影響だけでなく、ガンや白血病など確率的に影響が現れる。



急性被ばくによる急性障害



Mice: 180-200 kVp X線照射(●) (H.L.Andrews,1958)
2.5-30 MV X線照射(○) (H.Quaeter,1945)
Monkeys: ⁶⁰Co γ線照射 (R.G.Allen et al.,1960)
Swines: 3MV X線照射 (J.N.Shiely et al.,1959)
Goats: γ線および中性子線混合照射 (E.Rudder et al.,1963)
Man: 推定値(点線) (S.J.Baum et al.,1984)

図1 ほ乳動物の全身照射後の生存期間

【出典】 米国原子力規制委員会:「放射線健康影響改良モデル」報告書
NRC, 1985, NUREG/CR-4214
または、外川維彦ほか: JAERI-M 81-005(1981年2月)、p.22

数10シーベルト(～グレイ)以上

神経中枢が破壊されて死亡

5～15シーベルト(～グレイ)

腸管出血で約1週間後に死亡

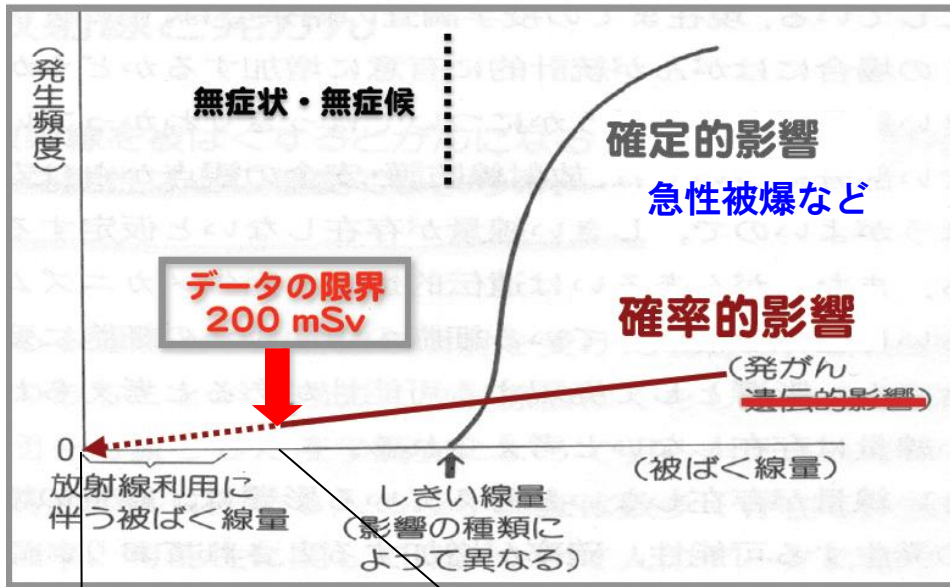
1～10シーベルト(～グレイ)

骨髄造血機能低下で約1ヶ月後死亡

JCO臨界事故の実例

A氏: 20シーベルト 死亡
B氏: 10シーベルト 死亡
C氏: 4.5シーベルト 生存

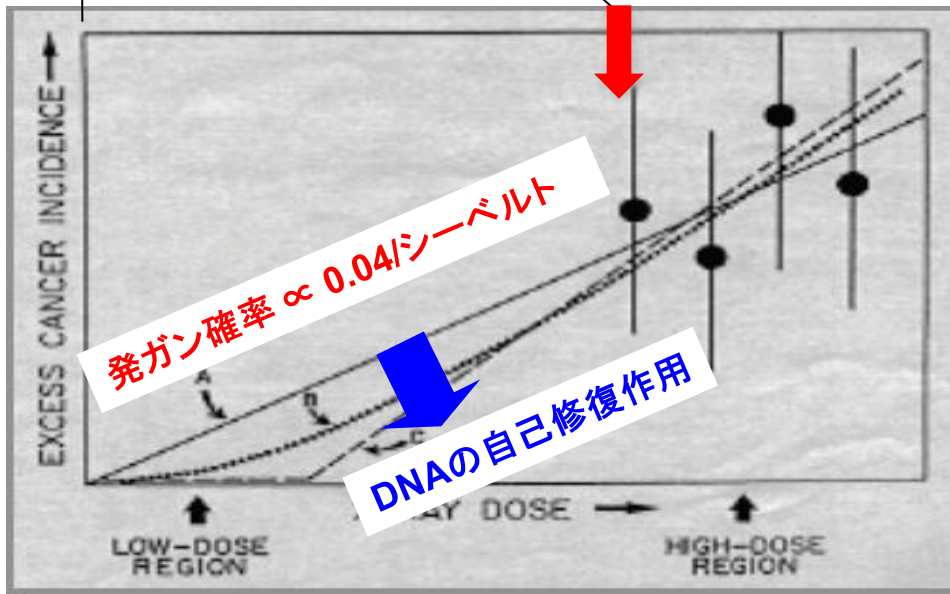
被爆による人体への影響



200ミリシーベルト以下は臨床データが無い
ため、確定的影響を除去して残る**確率的影響**には不定性も多い。

200ミリシーベルト以上の被爆での臨床状態の確認から

**発ガン確率の増加
= 0.04 / シーベルト**



発ガン率の増加

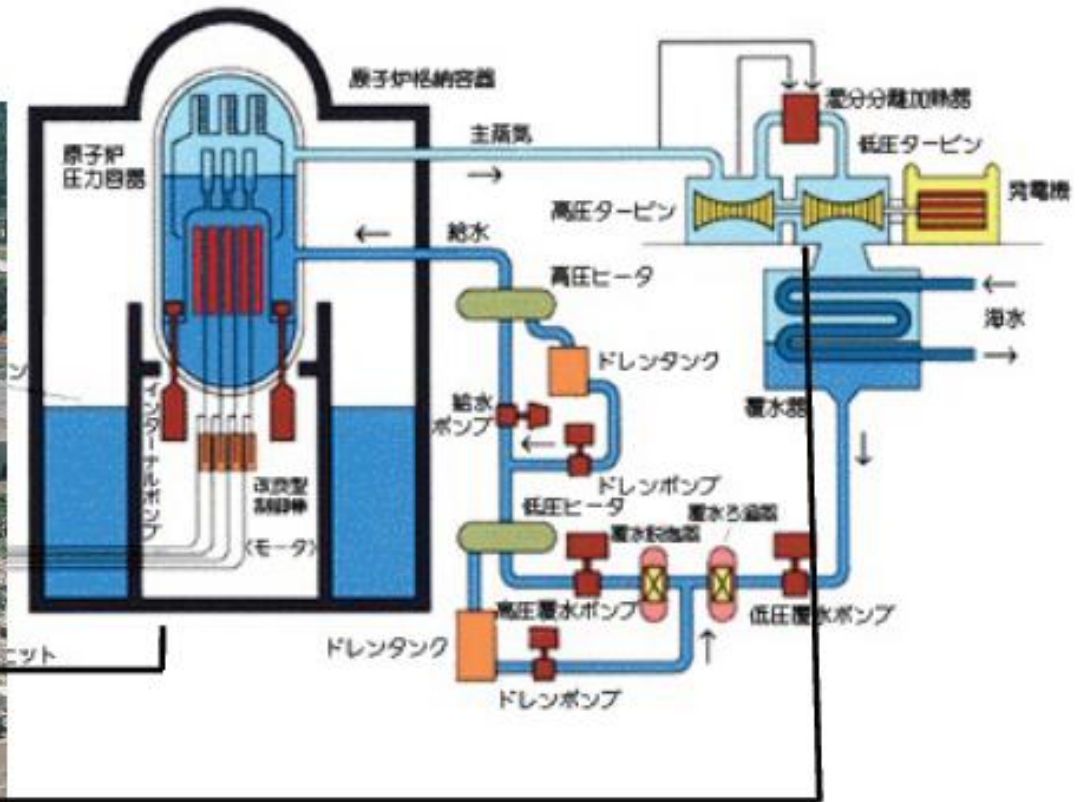
100ミリシーベルト	0.4%
1ミリシーベルト	0.004%

胸部X線撮影

0.05ミリシーベルト 百万分の2

DNAの自己修復作用

原子力発電所 (BWR)

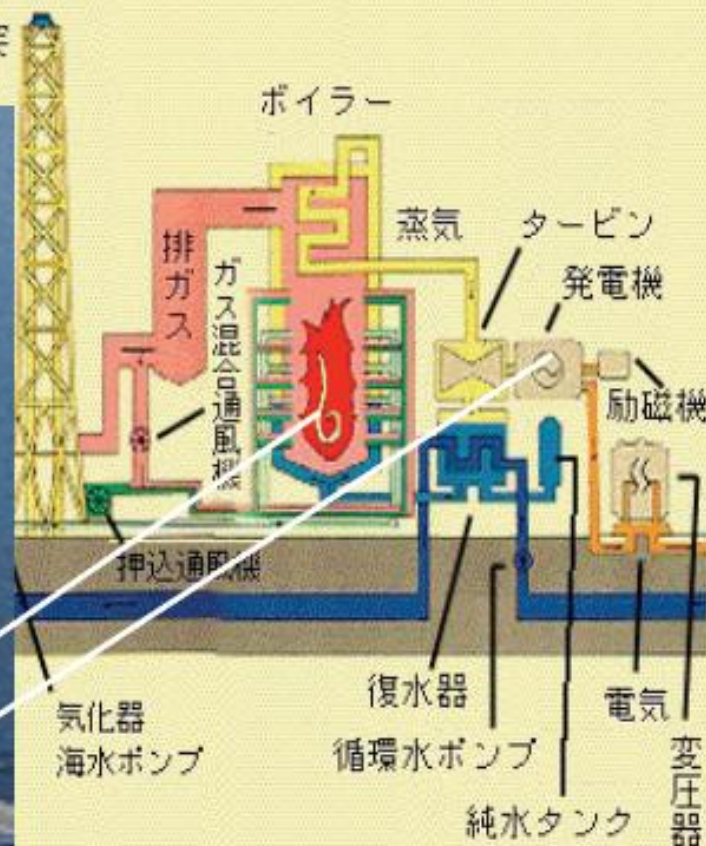


火力発電所

■一般的な火力発電のしくみ(LNG火力)

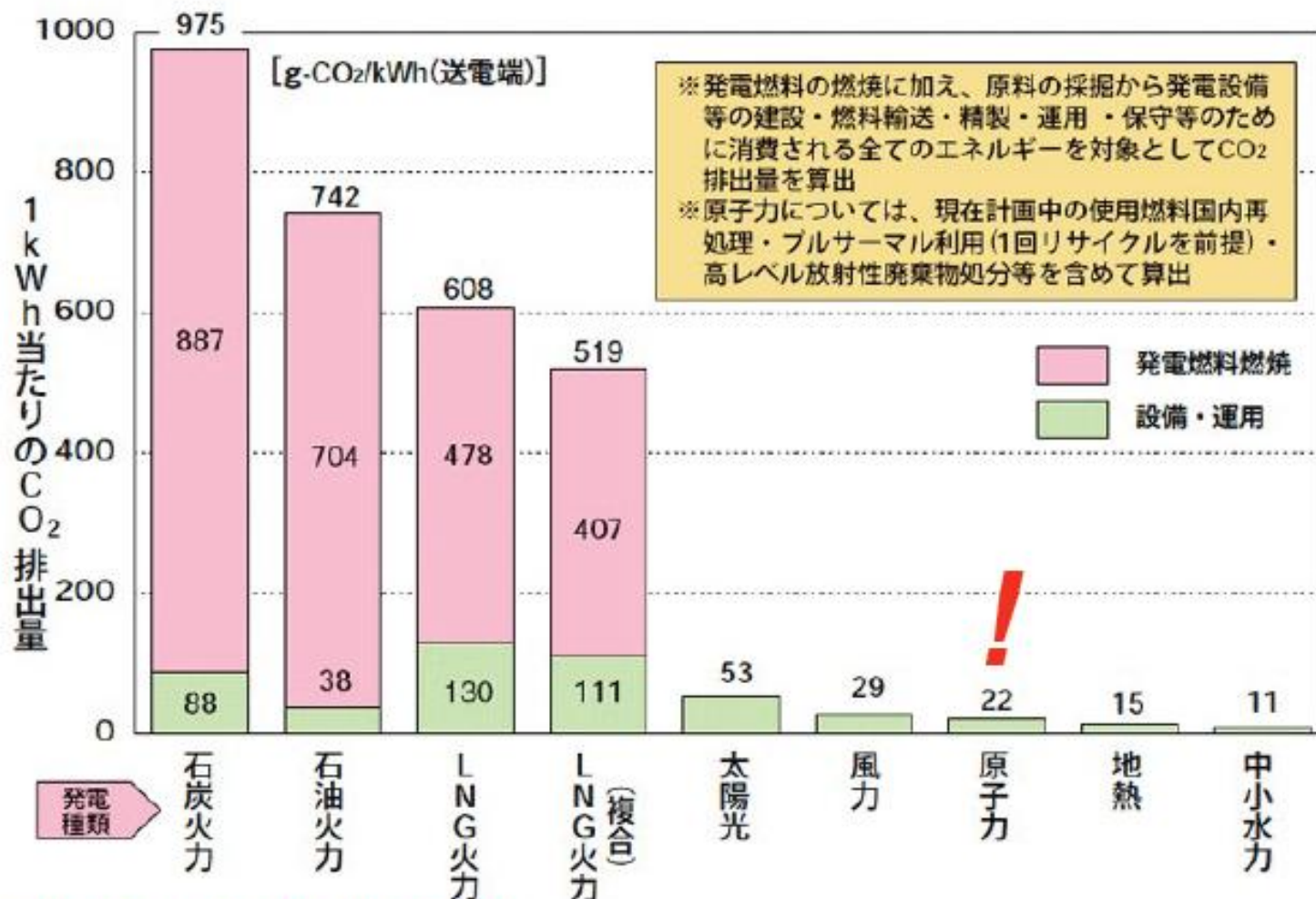


集合煙突



煙突！！

CO₂排出量



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

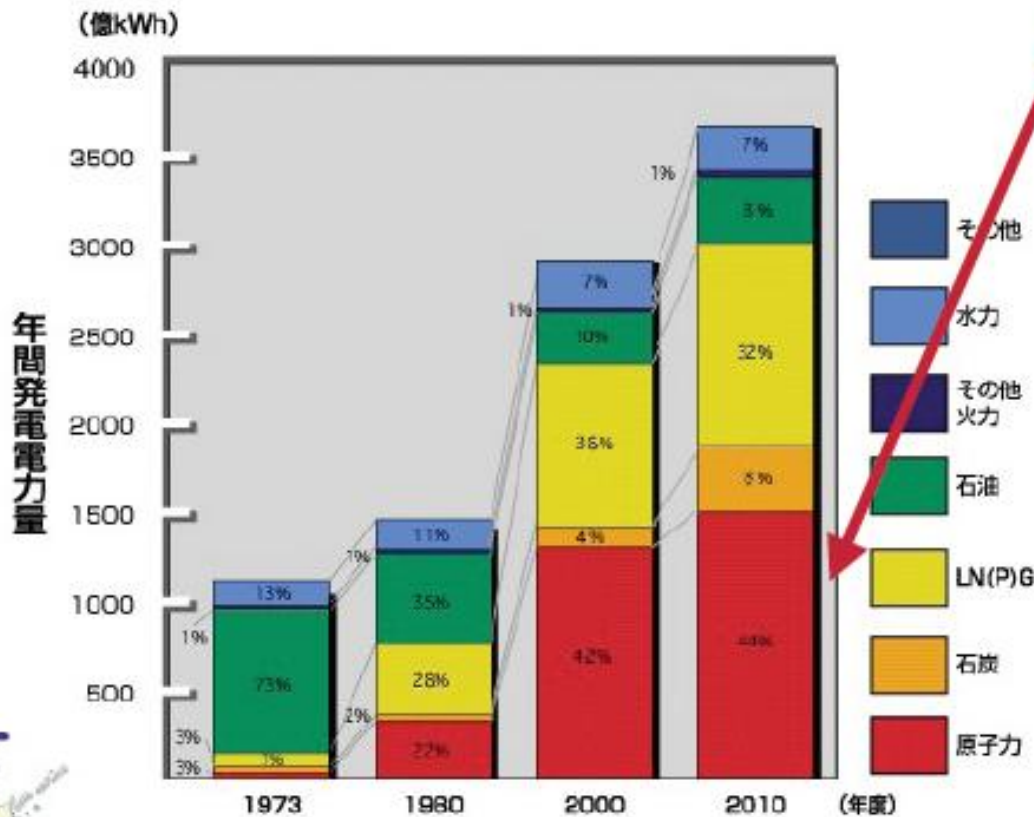
図1 各種電源別CO₂排出量

[出所]電気事業連合会:原子力・エネルギー図面集 2004-2005 第2章「地球規模の環境問題」

<http://www.fepc-atomic.jp/library/zumen/pdf-data/all02.pdf>, 9/19

使っている電力の約40%が**原子力**！

東京電力



原子力って大丈夫？

- ✓ JCO事件
- ✓ 福島第一事故

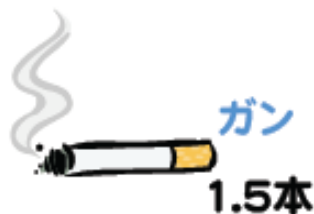
- 天然素材の石炭や石油の方がいいんじゃないの？
- 放射線って怖い!?

放射能を科学的によく知って
リスクを直視する！ 正しく怖がる！



様々なリスク (確率的)

百万分の一 (10^{-6}) の危険度 = 百万人に一人が持つリスク



胸部X線撮影

0.05ミリシーベルト 百万分の2のリスク

- ☆ 生きている限り、何をやってもやらなくてもリスクがある！
- ☆ リスクを「比較」し、「選択」し、「判断」する！
- ☆ Quality of Life も重要な判断要素！


リスクを管理する考え方

メリット

- ✓ エネルギーの安定供給
- ✓ CO₂発生量を減らす
 - 現代文明の発展に欠かせない
 - 現代生活の維持に欠かせない

デメリット

- ✓ 放射性廃棄物の処理
- ✓ 万が一の事故



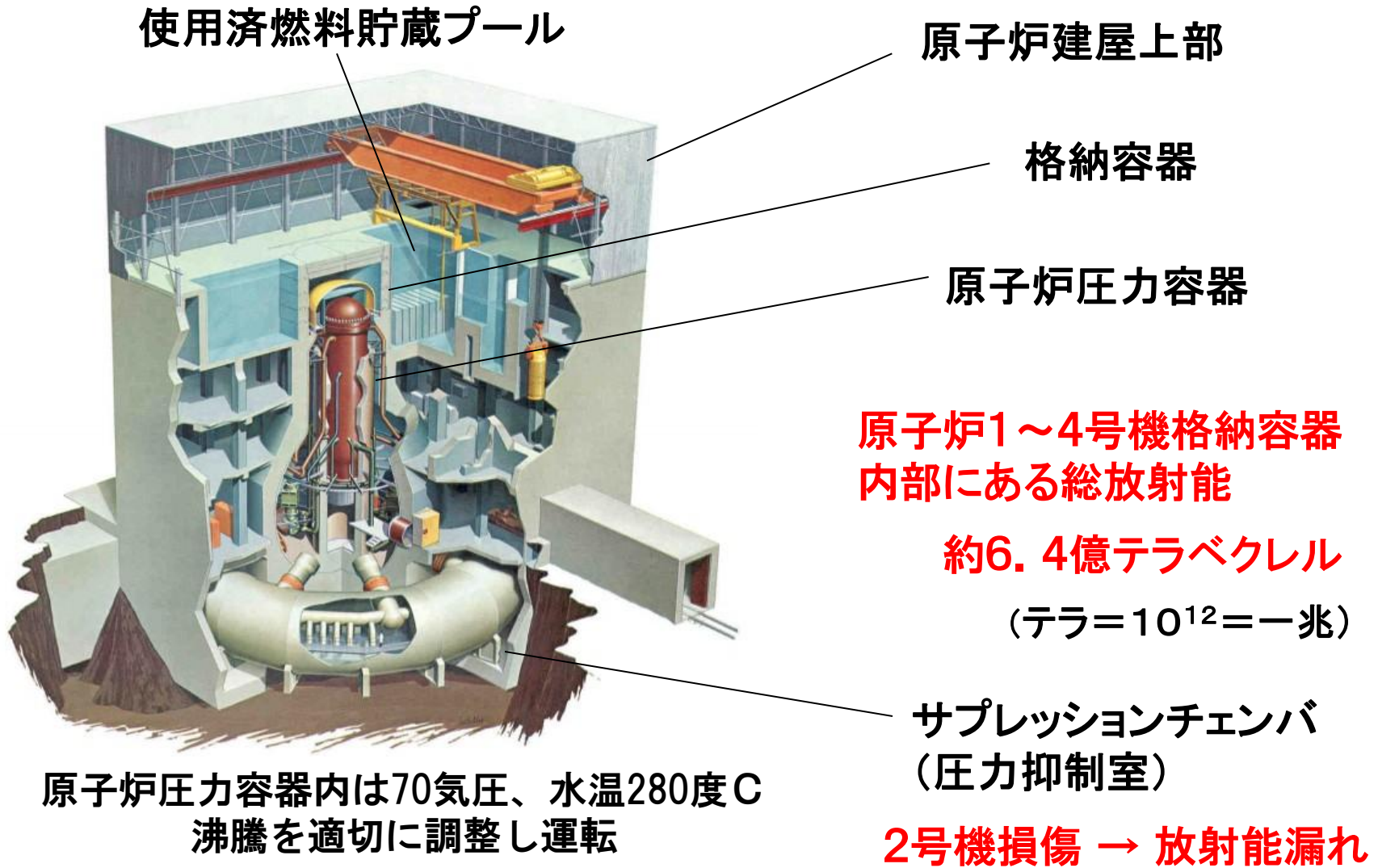
リスクを比較し、管理するとい
う考え方が必要

福島第一原子力発電所の事故

東北関東大地震 → 原子炉停止 →
モンスター津波 → 電源喪失のため冷却不能 → **放射能漏れ**
冷温停止まで冷却し続ける必要がある。



沸騰水型原子炉(BWR)の構造



使用済燃料貯蔵プール

原子炉建屋上部

格納容器

原子炉压力容器

原子炉1~4号機格納容器
内部にある総放射能

約6.4億テラベクレル

(テラ=10¹²=一兆)

サプレッションチェンバ
(圧力抑制室)

2号機損傷 → 放射能漏れ

原子炉压力容器内は70気圧、水温280度C
沸騰を適切に調整し運転

冷温停止 (大気圧、100度C以下で蒸発しない状態)
まで冷却し続ける必要がある。

原子力事故のレベル

テラ = 10^{12} = 一兆

チェルノブイリ原発事故: 格納容器の爆発 ヨウ素131等価
ウラン+プルトニウム 約520万テラベクレルの放出 \Rightarrow 3000万テラベクレル？

福島第1原発事故: 原子炉2号機サプレッションチェンバーの一部損傷
放射性ヨウ素131+セシウム137 約63万テラベクレル漏洩 \Rightarrow **ほとんど太平洋に降下**

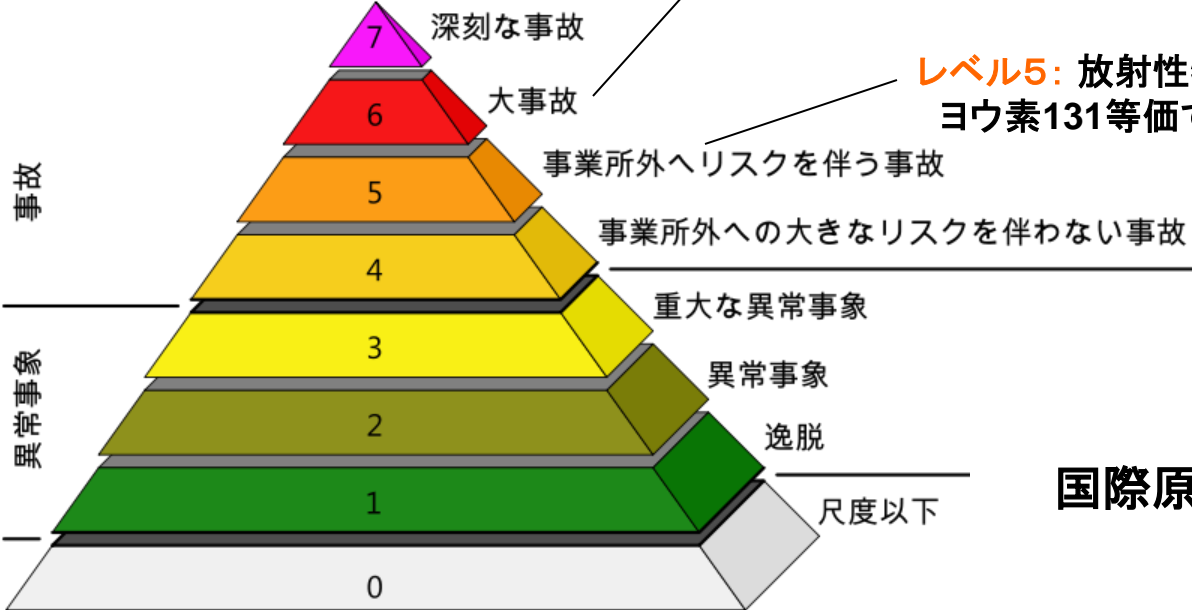
福島はチェルノブイリの
1/50 程度 < 1/8

レベル7

レベル7: 放射性物質の重大な外部放出
ヨウ素131等価で数万テラベクレル以上

レベル6: 放射性物質のかなりの外部放出
ヨウ素131等価で数千から数万テラベクレル相当

レベル5: 放射性物質の限定的な外部放出
ヨウ素131等価で数百から数千テラベクレル相当



国際原子力事象評価尺度 (INES)

from: 原子力事故 – Wikipedia

SPEEDIによる甲状腺被ばく評価

大気中に放出された放射能 ^{131}I : $3 \sim 5 \times 10^{16}$ Bq

国際放射線防護委員会 ICRP 勧告(2011年3月21日付、ref: ICRP4847-5603-4313)

<http://www.nirs.go.jp/information/info.php?i3>

放射線医学総合研究所

<http://www.nirs.go.jp/information/info.php?i14>

伊達市

福島市

郡山市



平常時:

年間1ミリシーベルト以下に抑える

緊急事態期:

事故による被爆量が20～100ミリシーベルトを超えない

事故収束後の復旧期:

年間1～20ミリシーベルトを超えない

文部科学省 (2011年4月20日)

伊達市、福島市、郡山市などの30 km以遠の13施設(幼稚園・保育園児・小中高学校)で、 $3.8 \mu\text{Sv}/\text{時}$ を超える空間線量を測定。

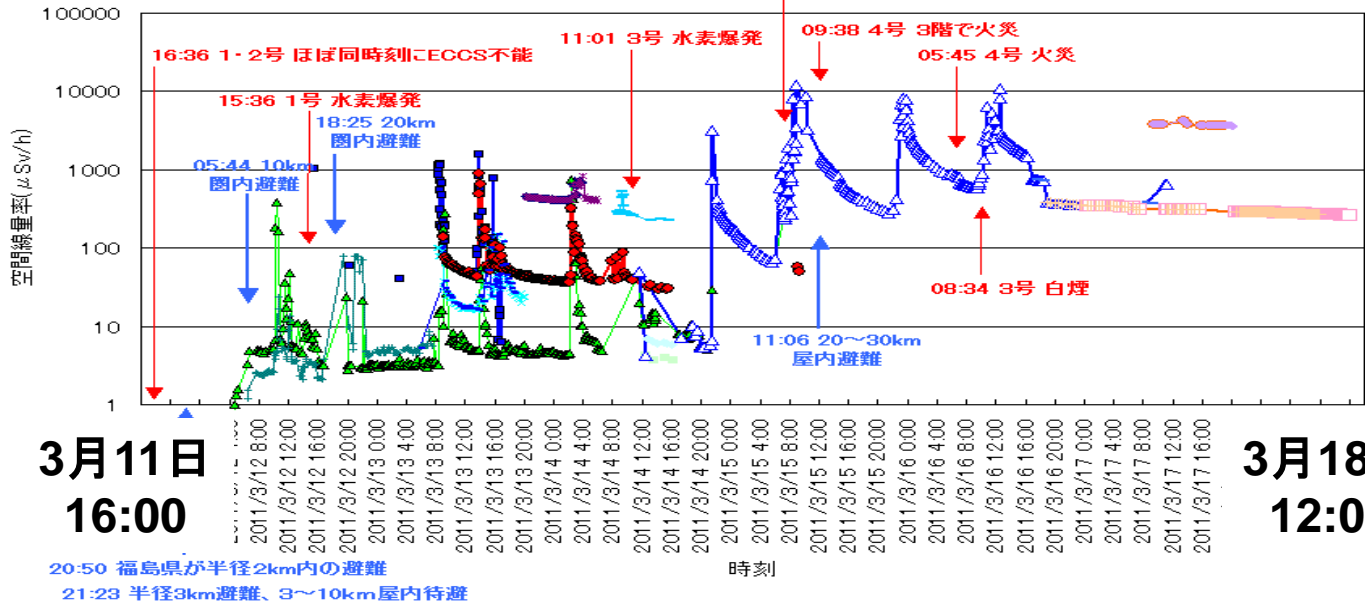
乳幼児、園児、児童生、小中高生生の屋外活動を、1日当たり1時間程度に留め、帰宅時に手洗いがい、靴の土をおとす、などを勧める。

$$3.8 \times 10^{-3} \text{ ミリシーベルト/時} \times 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} = 20 \text{ mSv}$$

空間線量率の変化(サイト)

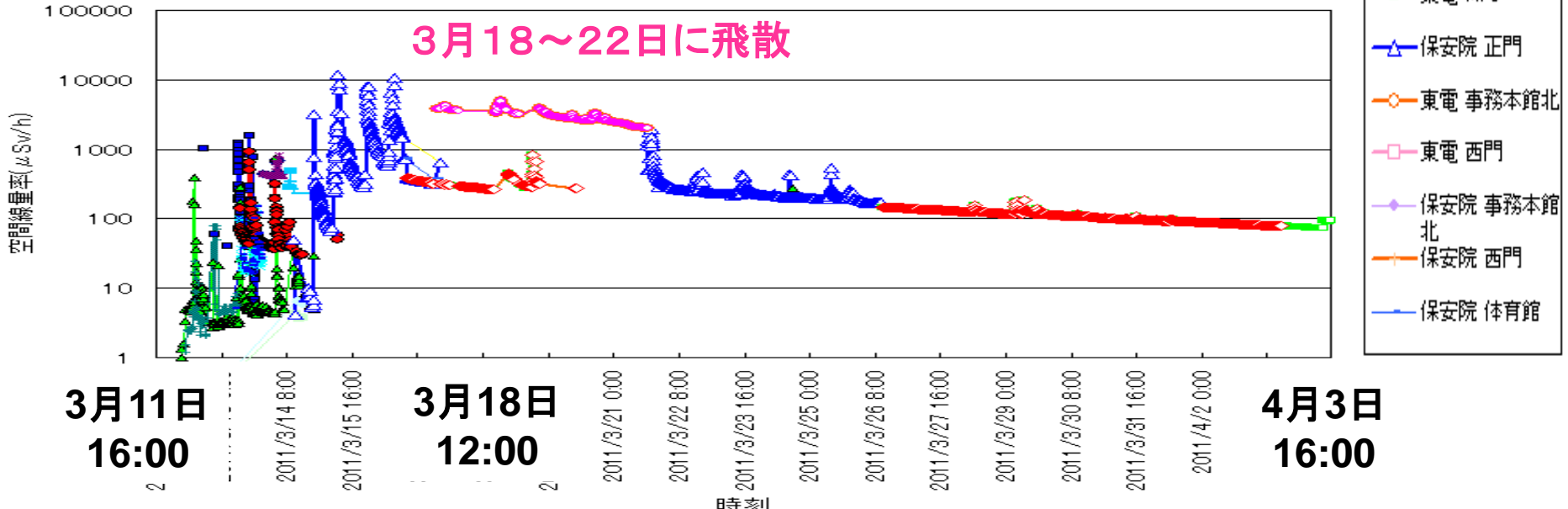
田中俊一先生講演資料より
(美浜の会資料)

福島第一周辺の空間線量率(保安院・東電公表値)



- ◆ 保安院 MP2
- 保安院 MP4
- ▲ 東電 正門
- ✧ 東電 MP1
- ✧ 東電 MP2
- 東電 MP4
- ✧ 東電 MP8
- 保安院 MP1北側
- 東電 MP3
- ✧ 東電 MP5
- 東電 MP6
- ▲ 保安院 正門
- 東電 事務本館北
- 東電 西門
- ◆ 保安院 事務本館北
- ✧ 保安院 西門
- 保安院 体育館

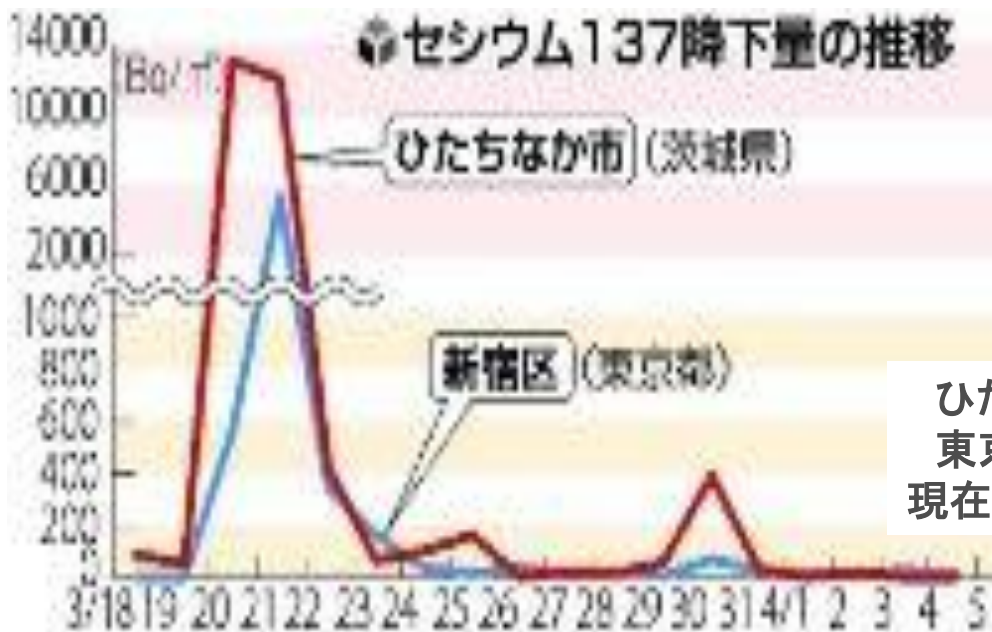
福島第一周辺の空間線量率(保安院・東電公表値)



福島原発の事故で降下した放射性セシウム137

文科省による測定 読売新聞(4月6日)

<http://www.yomidr.yomiuri.co.jp/page.jsp?id=39148>



自然放射能(実効線量)

2.4 ミリシーベルト/年

ひたちなか市: 15ベクレル/m²/日 以下
東京(新宿区): 18ベクレル/m²/日 以下

現在

3月20~22日の丸二日間屋外にいたとすると
私たちが浴びた筈の放射線被爆量は、

- ・ ひたちなか市: 約 0.4 ミリシーベルト
- ・ 東京(新宿区): 約 0.1 ミリシーベルト

これ以上の放射能
漏れと飛散を食い
止めねばならない!

1950～70年代、世界中で原水爆実験が繰り返された。

日本での大気中の**放射性セシウム137**の月間降下量

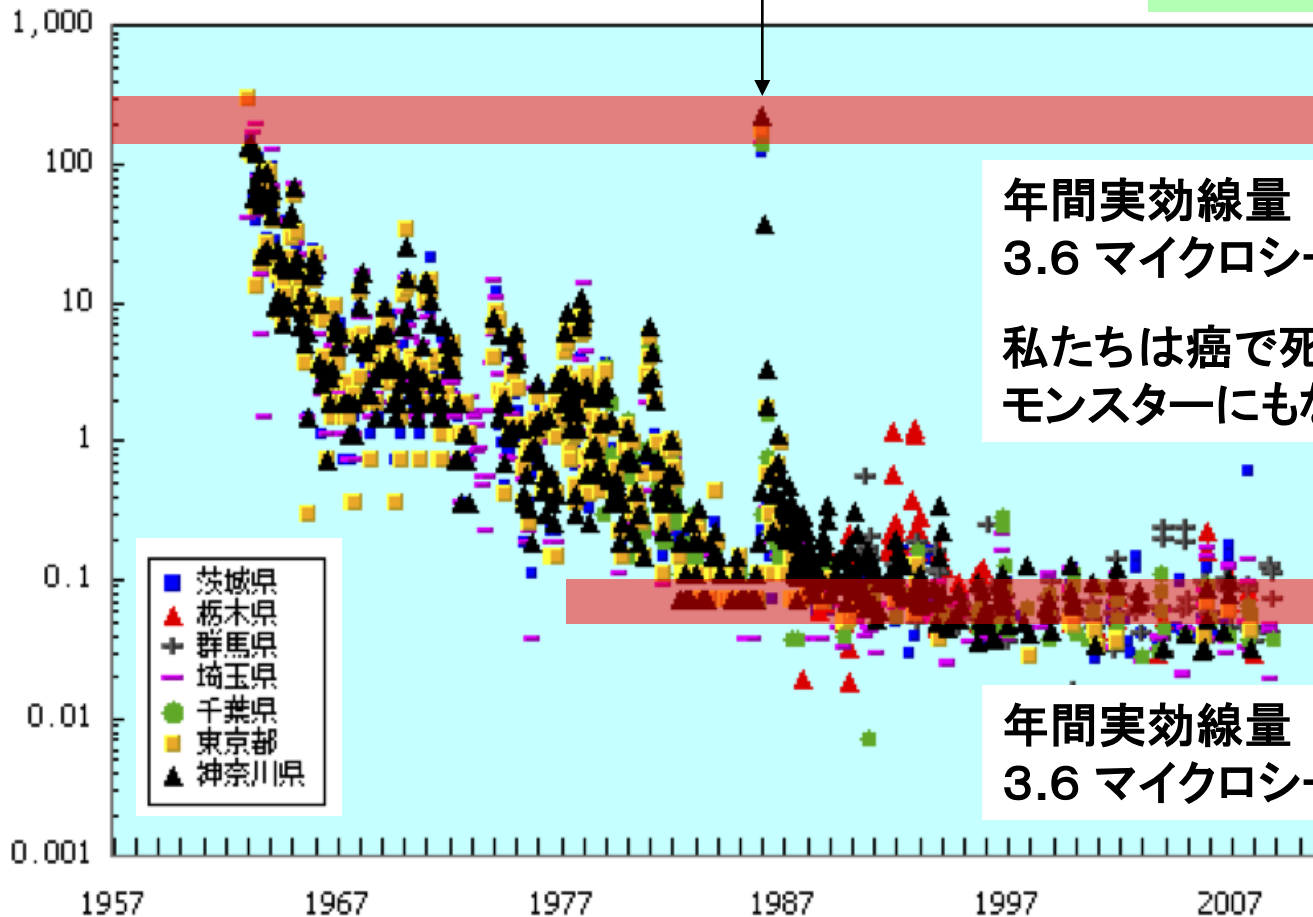
国立保健医療科学院：<http://trustrad.sixcore.jp/2011/03>

自然放射能(実効線量)

2.4 ミリシーベルト/年

2400 マイクロシーベルト/年

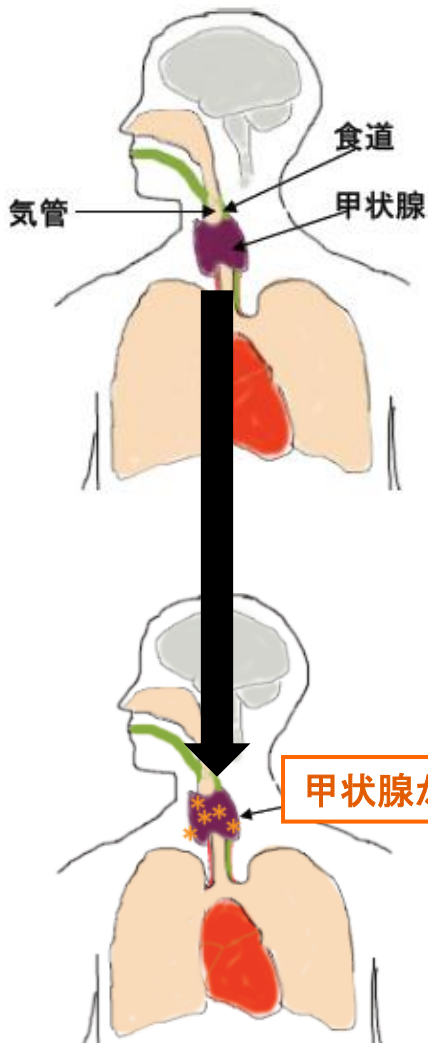
チェルノブイリ原発事故(1986)



人体におけるヨウ素の働き：放射性ヨウ素131

70-80%は甲状腺に存在

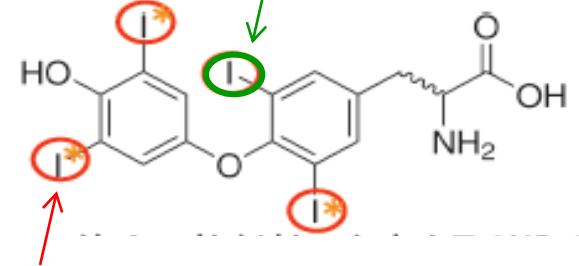
甲状腺の働き → 甲状腺ホルモンをつくる



甲状腺ホルモンの働き

- 1) 細胞の代謝を盛んにする
→ 代謝とは、脂肪や糖分を燃やしてエネルギーをつくり出し、生体の熱産生を高めることです。
- 2) 交感神経を刺激する → 交感神経が刺激されると、脈が速くなったり、手が震えたりします。
- 3) 成長や発達を促進する → 甲状腺ホルモンは、小児が正常に成長するために不可欠なホルモンです。

ヨウ素127(善玉)



放射性ヨウ素131(悪玉)

放射性ヨウ素131の働き

体内で放射性ヨウ素を取り込んだ甲状腺ホルモンができる！

内部被爆状態

甲状腺の細胞が障害をうける！

甲状腺がん、機能低下

3月23日:「江戸川水系・金町浄水場で放射性ヨウ素131 210 ベクレル/キログラムを検出」(半減期8日)

1年間に摂取する放射線量W

キロベクレル/キログラム 一年の日数

$$W = 210/1000 \times 1 \times 365 \times 2.2/100 = 1.7 \text{ ミリシーベルト/年}$$

毎日1リットルの水摂取

換算係数

自然放射能(実効線量)

2.4 ミリシーベルト/年

毎日100gのホウレン草摂取
0.17 ミリシーベルト/年

||

自然の放射性カリウム40

放射性核種	換算係数[mSv/kBq]
ヨウ素131(I-131)	2.2E-02
セシウム137(Cs-137)	1.3E-02
ウラン235(U-235)	4.6E-02
ウラン238(U-238)	4.4E-02
プルトニウム239(Pu-239)	2.5E-01

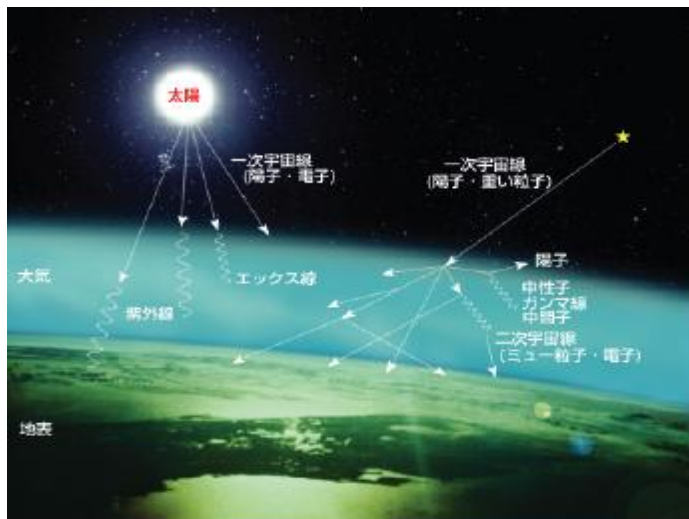
梶野研究室ホームページ:

<http://www.cfca.nao.ac.jp/~kajino/>

ニュース(News)トップ記事:

NPO法人 知的人材ネットワークHP

自然の放射線



宇宙線

世界平均
2.4 ミリシーベルト/年

日本平均
1.5 ミリシーベルト/年



内訳

- ・ 宇宙線 : 0.38 mSv/年
- ・ ラドンガス : 1.3 mSv/年
- ・ 食物, 大地 : 0.7 mSv/年

- ・ 生命発生以来一定
- ・ 東京NY往復 ; 0.2 mSv
- ・ ブラジル ; 10 mSvの地域もある

食生活で心がけること

NPO法人 知的人材ネットワークあいんしゅたいん(<http://jein.jp/>) 宇野賀津子



放射性物質がついたことが心配な野菜は？

1. 表面についた放射性物質は洗えばとれます。
2. 皮を剥けるものはむいて調理しましょう。
3. 放射線を浴びた食品は、問題ありません。(発芽防止の為に、放射線照射されたジャガイモが流通しています)

まとめ

☆ 現段階で懸念されるのは、癌リスクの上昇であるが、癌リスクは今後の生き方で大きく変わりうる。悲観的になったり破滅的になることのほうが、結果的により大きな癌リスクや健康被害に繋がる。



☆ 放射線に敏感に反応し過剰に心配するのではなく、危険と安全の基準を正しく理解し、冷静に行動して前向きに希望を持って生きることが、リスクの軽減に繋がる。



☆ 何が危険か？恐怖か？ —— 放射能、放射線被ばく

☆ 何が不安を作る？ —— 危険を科学的に検証しないまま無為に発信される公的機関・マスコミのメッセージ
何もしない国家や大学・研究所の組織



寺田寅彦

ものを怖がらな過ぎたり、怖がり過ぎたりするのはやさしいが、正当に怖がることはなかなかむづかしい。

講演資料は梶野研究室ホームページで見ることができます。ご活用ください。
<http://www.cfca.nao.ac.jp/~kajino/>