

## トリチウムの危険性

トリチウムの物性危険性が見えてきます

### (1) **β線 低エネルギー故の危険**

低速で原子を通過⇒相互作用の機会増大  
⇒線エネルギー付与 Cs137の25倍

### (2) **有機トリチウムの危険**

有機化(水素結合)のチャンス⇒1対のDNAに**250億個**  
細胞核で発射1本のβ線で**340個**のDNA損傷  
崩壊そのものではDNA損傷無し  
生物学的半減期増大⇒体内崩壊確立増大

### (3) **通常水素の質量の3倍重いことの危険**

結合相(自由水に対する結合水)に濃縮

## トリチウムの危険

### (1) **大嘘！低エネルギーだから大丈夫**

**トリチウムの線エネルギー付与はCs137の25倍**

⇒電離密度 (LET)が25倍⇒修復確率が激減

→「低エネルギーだから大したことはない」は

全くの虚偽

(LET : linear energy transfer)

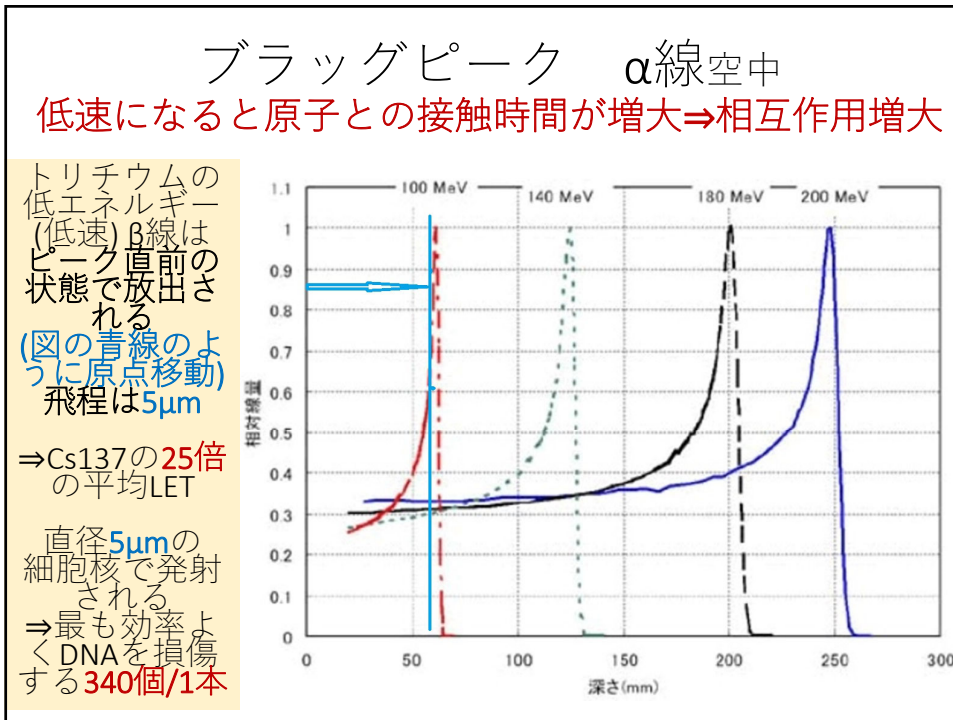
核種	最大エネルギー	飛程	線エネルギー付与
Cs-137	152 keV	2mm	0.25 keV/μm
T-3	18,6 keV	5 μm	5.5 keV/μm

有機化⇒細胞核内からのβ線発射は被害極大  
細胞核直径と同じ飛程⇒最も効率よくDNA破壊

放射線	LET : $L_{\infty}$ (keV/ $\mu$ m)
$^{60}\text{Co}$ $\gamma$ 線	0.3
250 kV <sub>P</sub> X 線	2.5
170~200 kV <sub>P</sub> X 線	3.3~3.8
$^3\text{H}$ $\beta^-$ 線 トリチウム飛程 5 $\mu$ m 水中	5.5
14MeV 中性子 (7MeV 陽子)	12
4 MeV 中性子 (2MeV 陽子)	17
核分裂中性子 (0.95 MeV 陽子)	45
8.3MeV $\alpha$ 線	61
3.4MeV $\alpha$ 線	86
5.2MeV $\alpha$ 線 U238 4.2MeV	140
$^{10}\text{B}$ (n, $\alpha$ ) $\alpha$ 線	200

放射線の線エネルギー付与

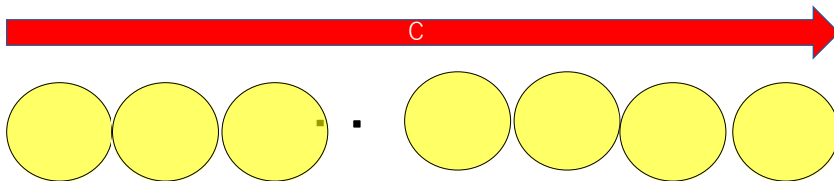
Table 3 「放射線医学大系34 放射線物理学」 中山書店 1984から引用



細胞核当たり340個の電離(平均)  
 5 $\mu$ mの飛跡 $\Leftrightarrow$ 直径5 $\mu$ mの細胞核  
 1 $\mu$ m当たり5.5keV(140個の電離) 計680個の電離



ベータ線 飛程2mm  
 (Cs137 : 0.5MeV 12,500個の電離)

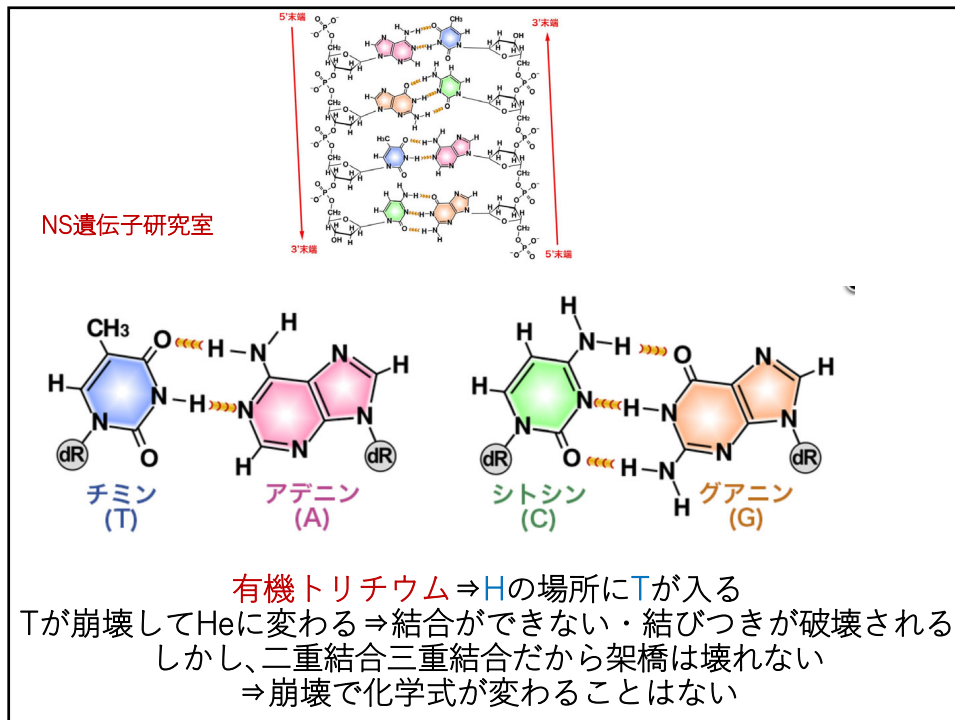


細胞 10 $\mu$ m $\phi$  200個  
 1細胞あたり60個の電離細胞核当たり6個

DNA有機トリチウムT 半減期 12.3年  
 18.6keV 細胞核あたり340個の電離

DNA切断の密度非常に大 $\Rightarrow$ 損傷修復の確率小

2022/10/2



## (2) 有機トリチウム

- ①体内重要組織 (DNA等) に結合  
 有機化⇒体内組織 (DNA)内で+微生物相手に  
 1対のDNAで250億個の水素結合
- ②自由水⇒結合水⇒生物学的半減期が激増
- ③HTO崩壊T⇒He3では直接DNA破損はない  
 (2重結合あるいは3重結合だから)
- ④HTOの分解で活性酸素⇒1個のDNA損傷
- ⑤崩壊は細胞核内で⇒平均250個の損傷
- ⑥動植物の摂取対象⇒食物連鎖で濃縮
- ⑦魚類等内で自由水は外部濃度と同じ  
 結合水は濃縮

## OBT（有機トリチウム）生物学的半減期

*Tritium Hazard Report: Pollution and Radiation Risk from Canadian Nuclear Facilities*  
By Dr. Ian Fairlie June 2007

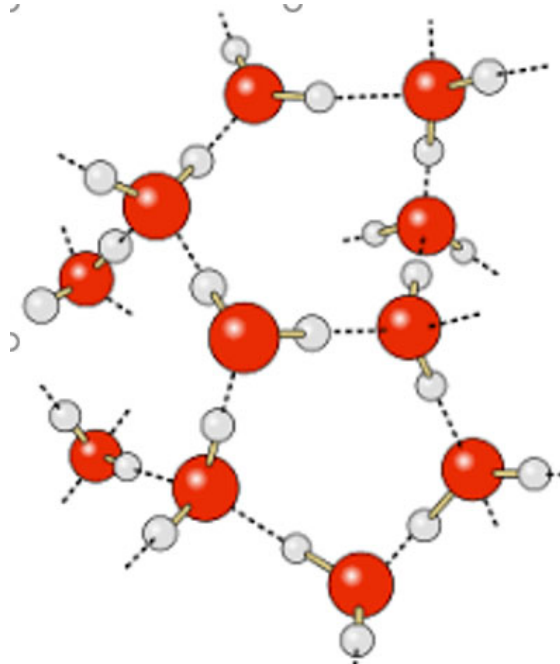
Table 2 Tritium retention half-lives in humans after ingestion of HTO

Reference	No. of cases	Biological half-life (days)		
		HTO	OBT1	OBT2
Pinson and Langham 1957	9	11.3	S,P,Nと	Cとの結合
Butler and Leroy 1965	310	9.5	-	-
Osborne 1966	30	10.5	-	-
Snyders et al 1968	1	8.7	34	-
Sanders and Reinig 1968	1	6.1	23	344
Minder 1969	1	-	1-30	139-230
Lambert et al 1971	1	9.1	36	-
Moghissi et al 1971	-	-	21-26	280-550
Moghissi et al 1972	1	9.0	30	450
Balonov et al 1974	-	12.0	39-76	-
Rudran et al 1988	8	6.0	30	226

有機トリチウム OBT

水素結合

水素同士の角度が  
92度  
↓  
酸素の負電荷が打ち消されず  
に別の水素を呼び寄せる



2022/10/2

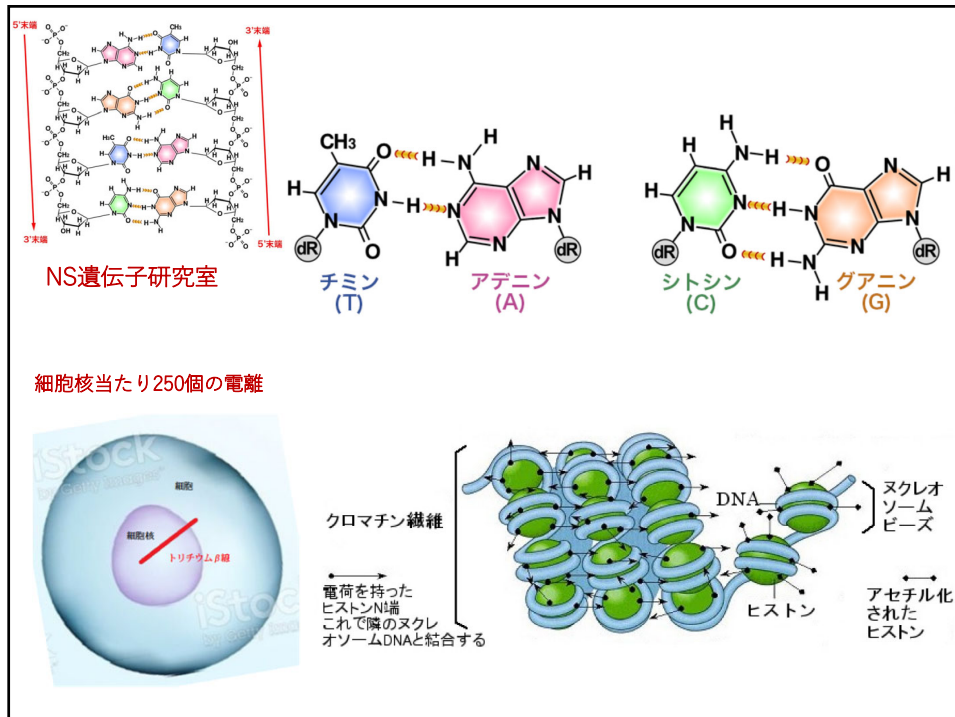
## 有機トリチウムの生成機会

DNAを例に取る

- (1) 一对は 約2m
- (2) 1巻きは 30 Å
- (3) 塩基2対で 5水素結合
- (4) 10対で1巡 (1巻き) 25水素結合
- (5) (1細胞) 1対のDNAに 250億個の 水素結合
- (6) 全身に約60兆個の細胞がある



十分な有機トリチウム生成の機会



トリチウムの危険  
質量が大きい⇒結合相に濃縮

(3) ICRPモデル

自由水だけで論じ、

通常水と同様に100%血液に入る

⇒10日生物学的半減期で体外へ

⇔全く危険ではない

トリチウムの危険  
(3) 通常水素の質量の3倍重い  
結合度の高い相で濃縮

通常水素の質量の3倍重い

⇒結合水への落ち込み確率より

自由水への脱出確率が少 (量子力学不確定性関係)

⇒濃縮が必然的に起こる

①結合水で濃度増加 (Dr. Ian Fairlie June 2007)

②蒸発・凝縮の際液相で増加

③光合成で生成物に濃縮

④生物体で結合水に増加 (自由水は外部濃度と同じ)

⑤あらゆる平衡状態で「結合相」に濃縮

有機Tの濃縮 (Saito & Komatsu 1986年) マウス

肝臓の細胞のDNAに取り込まれたトリチウムからの被曝は、

初期の頃は総トリチウム被曝線量の  
1%から3%程度、

14週間後には10%に上昇、

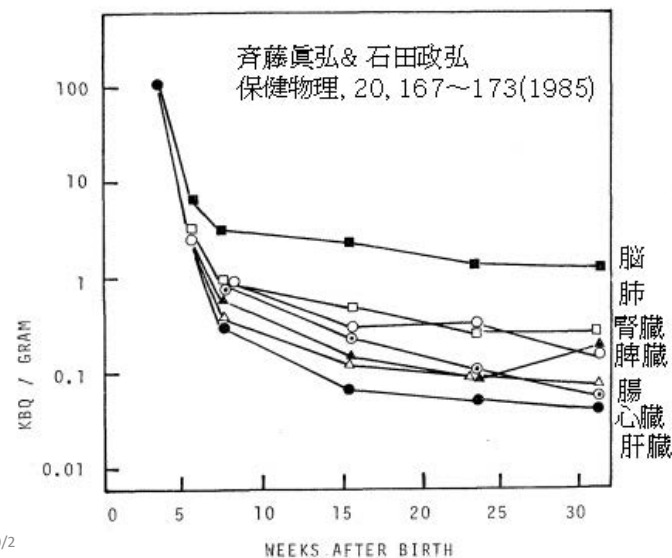
41週間後には52%と劇的に上昇

Saito and Ishida (1986) calculated the percentage contribution of various cell components including DNA to total cell dose, following the chronic ingestion of tritiated milk by suckling mice.

They observed that initially between 1%- 3% of the total dose in liver cells came from DNA incorporated tritium. After 14 weeks' ingestion of tritiated food, this rose to 10%, and after 41 weeks' ingestion to 52% of total tritium dose.

Benedict C. Jaeschkeら (2013) ムール貝給餌回数と捕食者内のOBT濃度が線形関係にあることは、OBTが生物濃縮する可能性を示唆する。 ⇔福島大高田兵衛ら

## トリチウム投与母乳による 生後被曝の蓄積

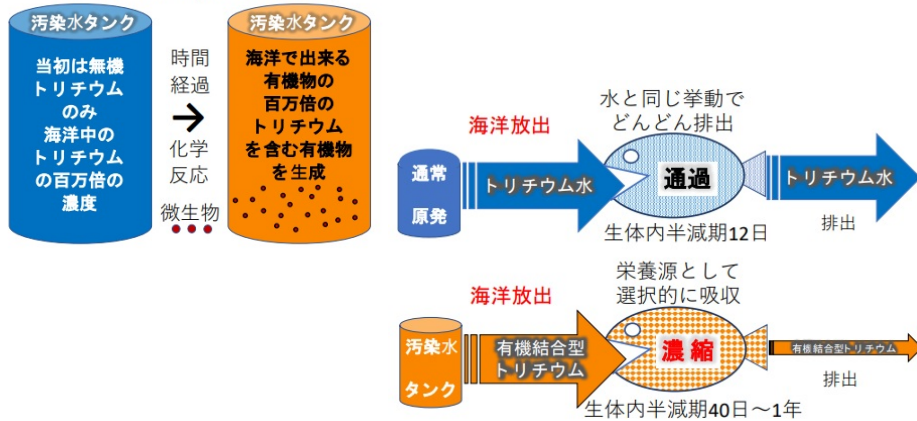




# タンク内の有機トリチウム

## 岩倉政城氏図

東電福島第一原発汚染水タンク内で起きていること(新医協 岩倉 2020/6/14)



2022/10/2

### (ICRP) 線量係数の不当な過小評価

セシウム137と比較 <26倍の過小評価> 実際はもっと

エネルギー  $18.6/512=0.0363$

線量係数  $1.8/1300=0.00138$  不当

表 1. 経口摂取の場合の預託実効線量係数 (mSv/Bq) .

線量係数	トリチウム水	セシウム134	セシウム137	ヨウ素131
3か月児	$6.4 \times 10^{-8}$	$2.6 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-5}$	$4.8 \times 10^{-5}$
1歳児	$4.8 \times 10^{-8}$	$1.6 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5}$
5歳児	$3.1 \times 10^{-8}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$9.6 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-5}$
10歳児	$2.3 \times 10^{-8}$	$1.4 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-5}$	$5.2 \times 10^{-5}$
15歳児	$1.8 \times 10^{-8}$	$1.9 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$3.4 \times 10^{-5}$
成人	$1.8 \times 10^{-8}$	$1.9 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$2.2 \times 10^{-5}$

2022/10/2

## トリチウム 不当な換算係数

ベータ線最大エネルギー

T 18.6keV

Cs 512keV (γ線 661.7keV)

飛程 線エネルギー付与LET(keV/μm)

T 5μm LET 18.6/5=3.7 Cs137の15倍

Cs 2mm 512/2000=0.26

換算係数(Gy/Bq) 有機トリチウムとしてLETを考慮し体内半減期はセシウムと同等と見做す

Cs  $1.3 * 10^{-5}$

T  $1.3 * 10^{-5} * (3.7/0.26) * (18.6/512) = 0.67 * 10^{-5}$

$1.8 * 10^{-8}$  は 不当に過小評価

### 過去最高値の更新続く

①炉心汚染水ダダ漏れ・②食物連鎖は加速する

### 電原発事故後6年以降の海産物の汚染に関する報道

- ①2017年7月13日 クロダイ (Sr: 30Bq/kg) 福島沖：(東電核種分析結果)  
過去最高のストロンチウム90
- ②2019年2月31日 コモンカスベ (161Bq/kg)：(毎日新聞)
- ③ 2019年9月11日 クロソイ：(101.7Bq/kg) (東電核種分析結果)  
(Sr:54 Bq/kg)  
過去最高のストロンチウム90
- ④ 2021年2月22日 クロソイ (500 Bq/kg)：(時事通信)  
過去最高セシウム137
- ⑤2022年1月27日 クロソイ (1400Bq/kg) 相馬市磯部沖 (毎日新聞)  
過去最高セシウム137
- ⑥ 2023年2月7日 スズキ (85.5Bq/kg) いわき市沖合 (福島放送局)
- ⑦2023年4月 アイナメ (1200Bq/kg) 福島第一原発港湾内 (共同通信)
- ⑧2023年6月5日 クロソイ (18000Bq/kg) 福島第一原発港湾内 (東電)  
過去最高セシウム137

## 海の汚染（食物連鎖） 好漁場＝プランクトン豊富

- 2022年1月26日 クロソイ 1400Bq/kg  
(河北新聞 2022年1月26日)



小野寺晶氏

イワシ  
気仙沼漁港  
全て背骨が曲  
がっている

2019年7月31日

## 食物連鎖濃縮

魚類の生物濃縮係数

トリチウムよりも炭素14の方が 最大5万倍高い。

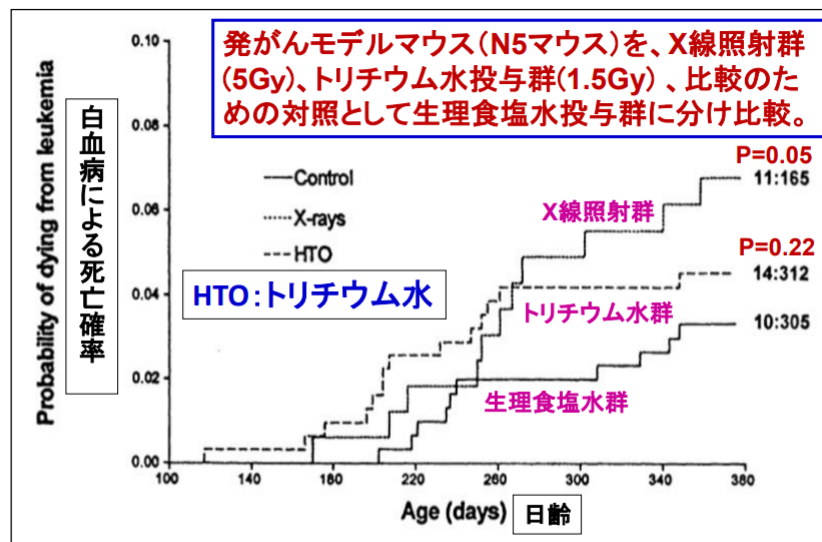
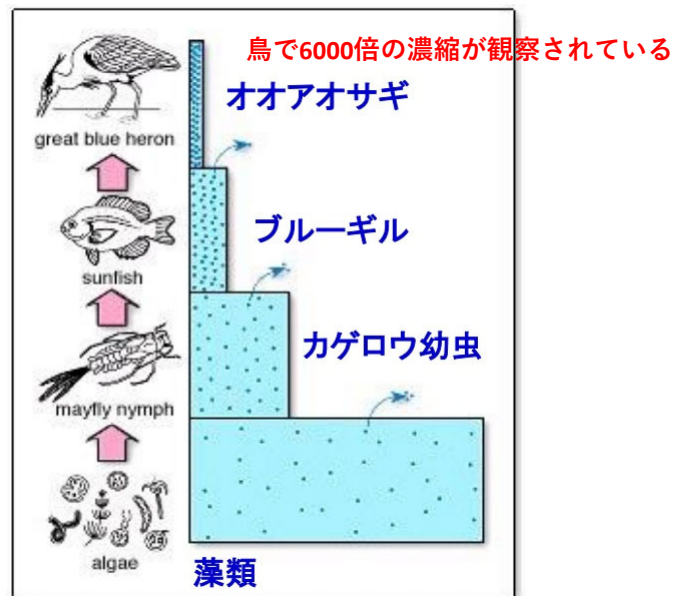
コバルト60海底の堆積物と結合する可能性が最大30万倍

トリチウムの急速な拡散と希釈を伴う海洋中のトリチウムの挙動モデルは、

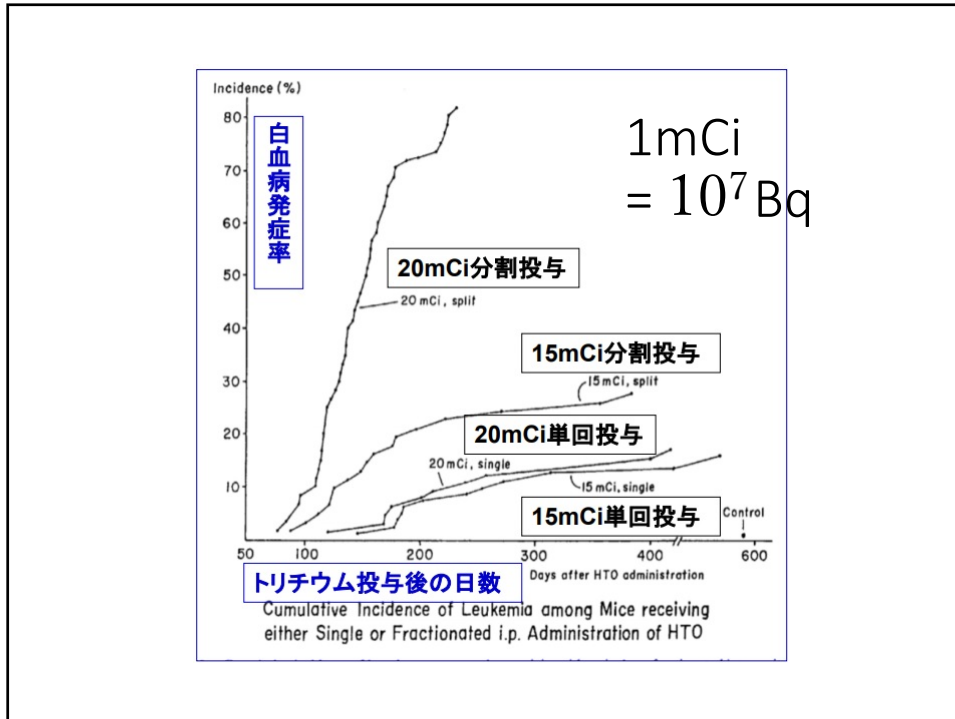
有機トリチウム他の重要な汚染物質の行方と影響を評価するためには使用できない。

2022/10/2

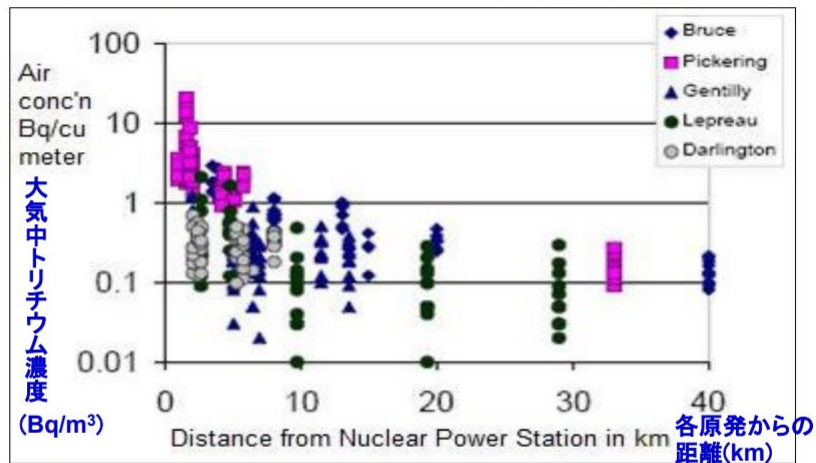
生物的濃縮



出典: Daher A, et al.: Effect of pre-conceptional external or internal irradiation of N5 male mice and the risk of leukemia in their offspring. *Carcinogenesis*. 1998. 19:1553-8.



原発からの距離が近いほど大気中トリチウム濃度も高い



1985～1999年のカナダの5原発からの距離と年平均の大気中トリチウム濃度。(注意・濃度の目盛は対数目盛)

出典: Fairlie I "Childhood cancer near nuclear power stations" *Environ Health*. 2009

### 各国のトリチウム濃度の規制値

	飲料水	排水
EU	100Bq/L	
アメリカ	740Bq/L	37,000Bq/L
WHO	10,000Bq/L	
オーストラリア	76,103Bq/L	
日本	規制値なし	60,000Bq/L
福島第一原発の運用目標 (地下水バイパスなど)		1,500Bq/L

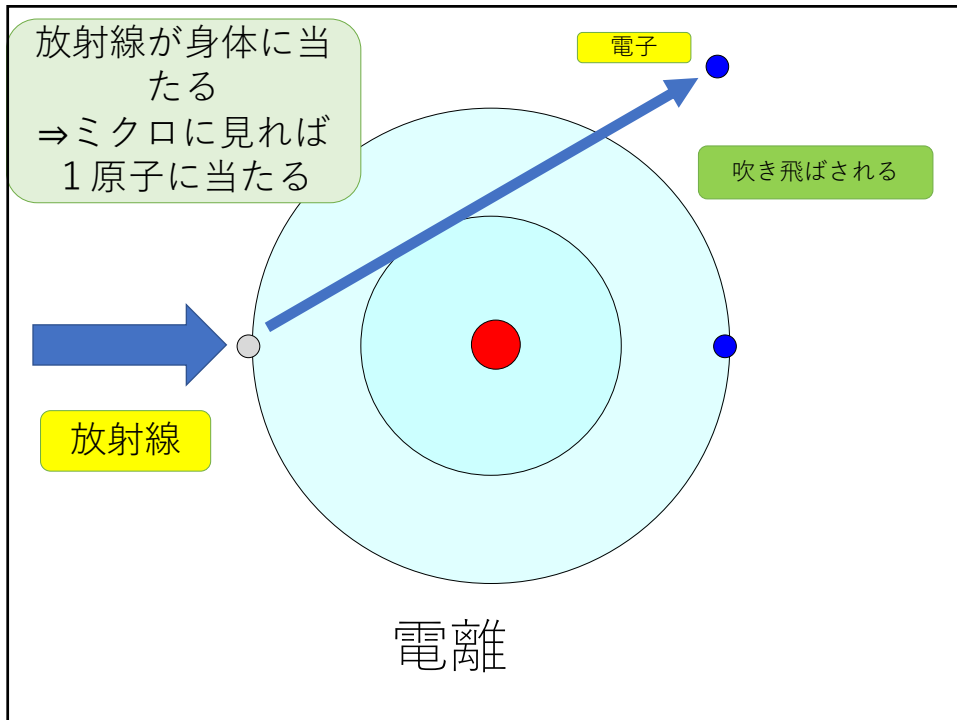
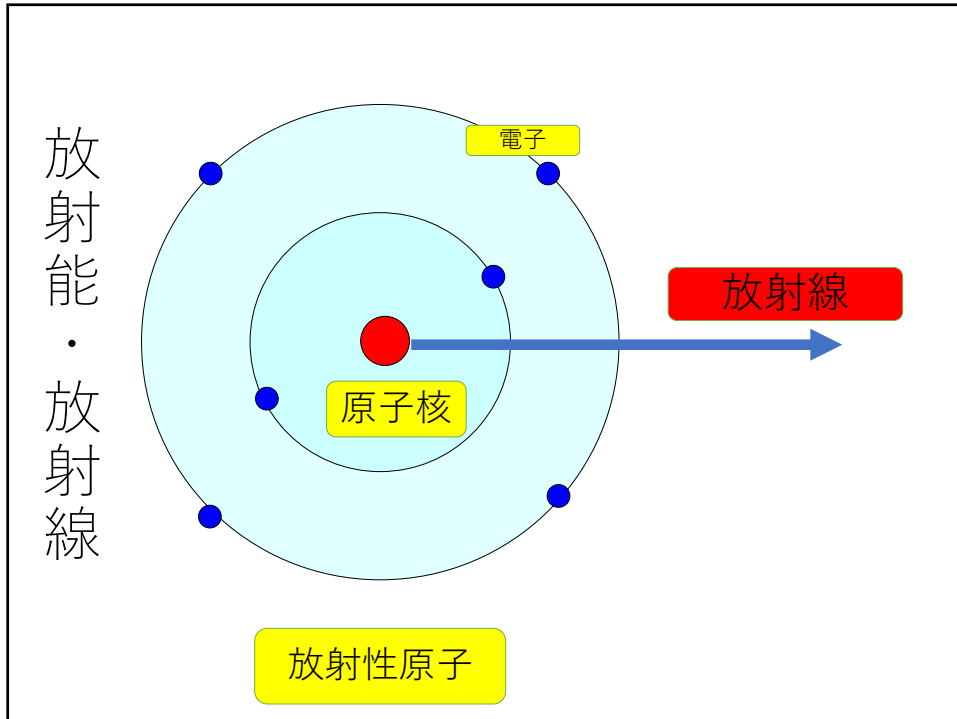
表1 飲料水のトリチウム濃度限度と1年間飲んだ場合の被ばく線量

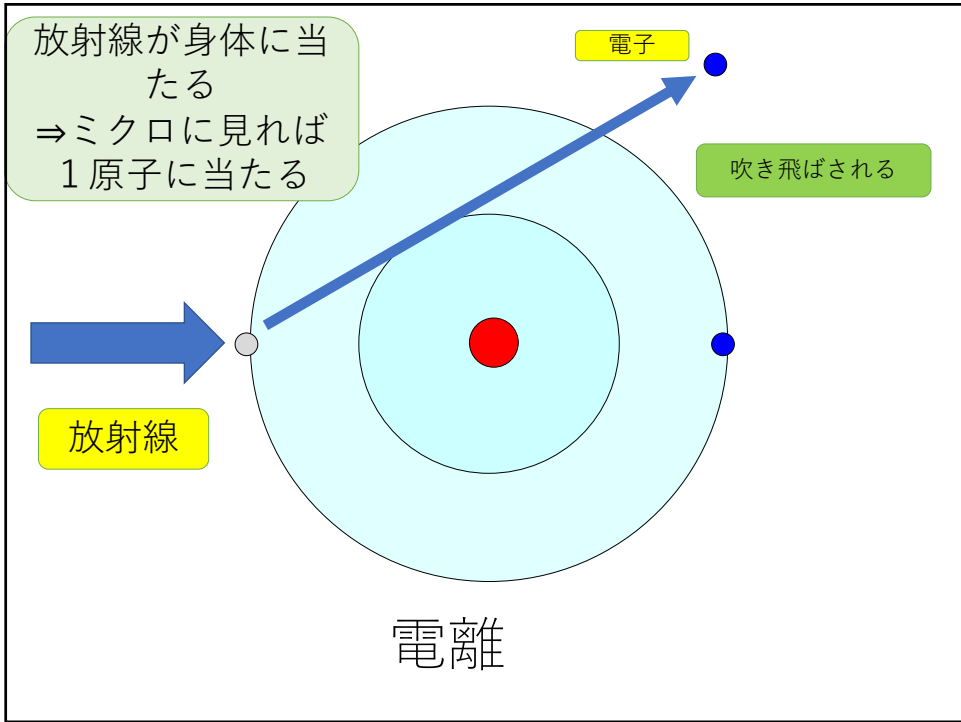
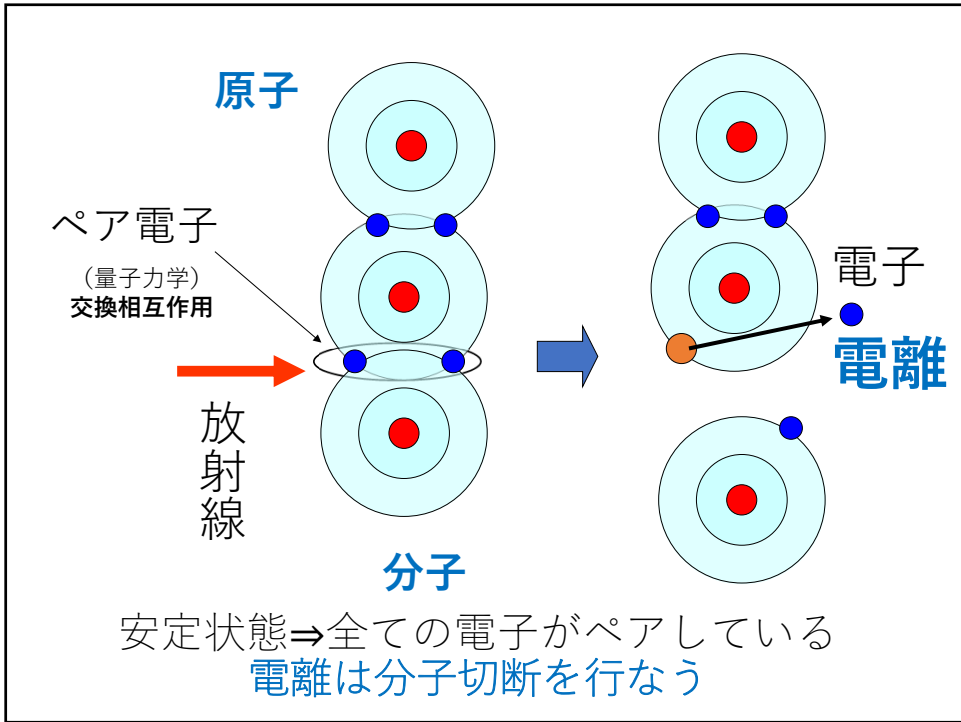
	トリチウム濃度限度(Bq L <sup>-1</sup> )	被ばく線量(mSv 年 <sup>-1</sup> )	
EU	100	0.001	カナダ オンタリオ州の 水質管理達成値 は 20 Bq/L
アメリカ	740	0.01	
カナダ	7,000	0.09	
ロシア	7,700	0.10	
スイス	10,000	0.13	
WHO	10,000	0.13	
フィンランド <small>2022/10/2</small>	30,000	0.4	
オーストラリア	76,103	1.0	

## 放射線リスクを勘定しない ICRP体系

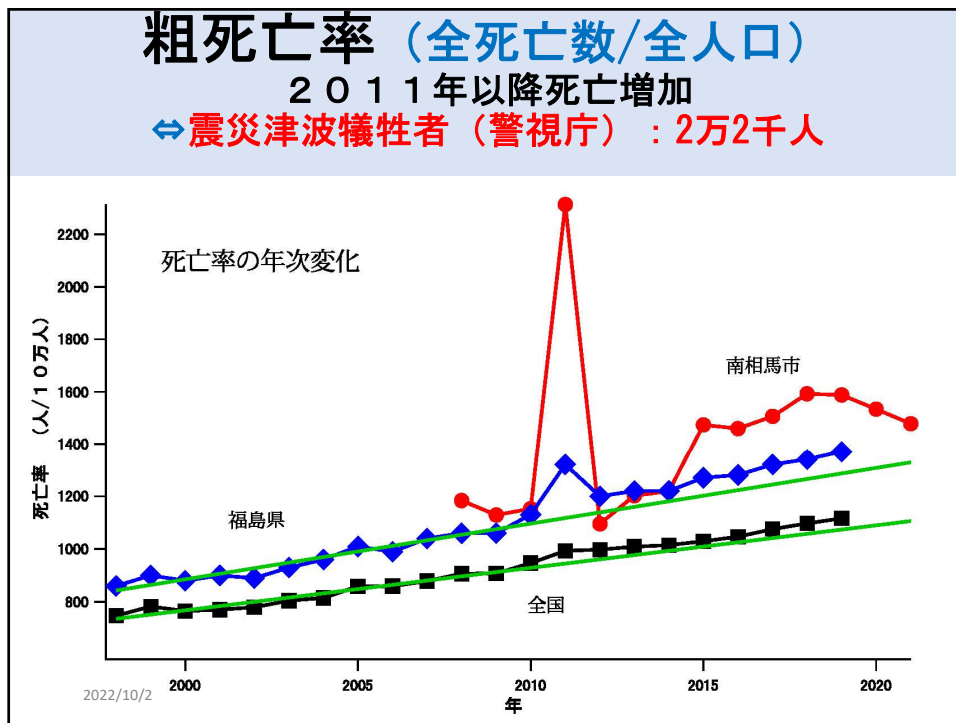
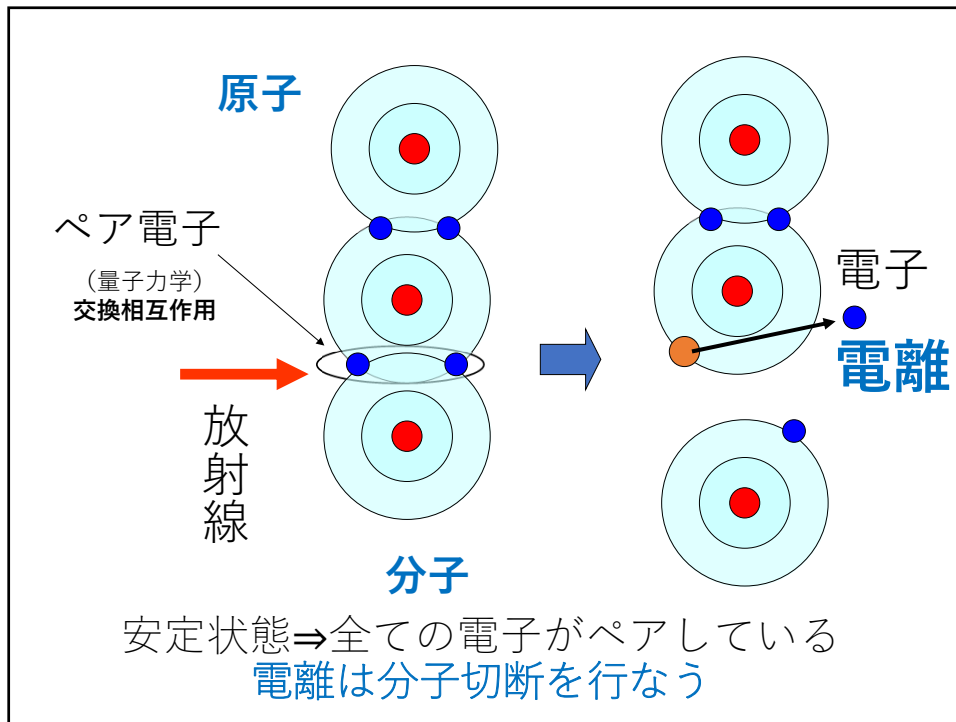
### 2011年以降死亡率・障害の増加が観察される諸項目 (ICRP以外)

ギリギリのバランスで生きている人  
 免疫力が脆い人  
 お年寄り  
 胎児死亡・先天的奇形・乳幼児  
 敏感者／弱者  
 病人／入院患者  
 神経関係／アルツハイマー／脳疾患  
 心疾患  
 放射線倦怠症  
 特別支援児童・不登校・いじめ  
 交通事故等のアクシデント









## 年齡調整死亡率 (1985年基準)

死亡異常增加  
疾病

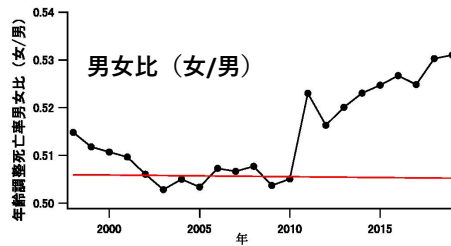
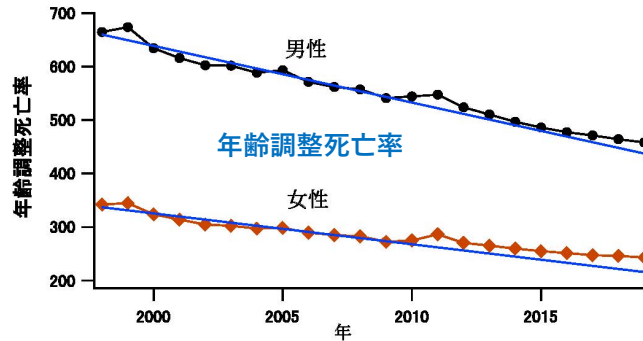
(2011以降)

死亡総数、悪性腫瘍、心疾患除  
高血压、脑血管疾患、老衰、喘息

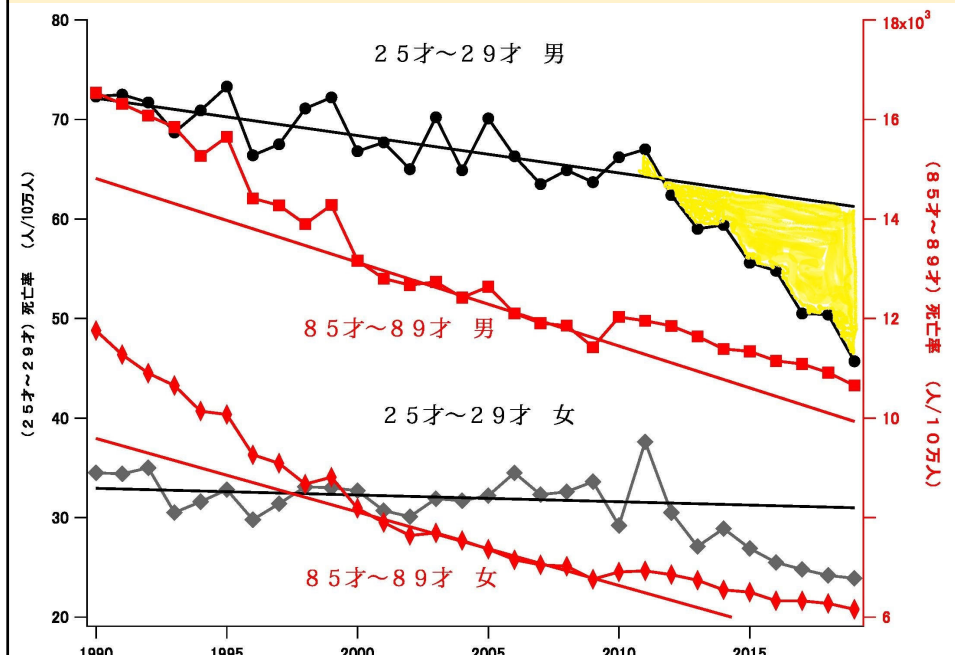
(2014以降)

結核、(交通事故)

(2017年以降) 肝疾患、  
気管支炎肺気腫、高血压



## 厚労省人口動態調査性別年齢別死亡率



## 死亡率異常増大Pと異常減少Nの年齢層

年	2011以降																			2007							
	女/男									男									女								
0~4	P	P	Z	P	Z	P	P	P	P	SP	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	SP	P	P	P	P	P	P	P	P	1.2
5~9	P	Z	N	N	N	N	N	N	N	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Z	N	N	Z	N	N	N	1.2
10~14	P	Z	SN	N	P	N	N	N	N	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	1.2	
15~19	P	N	N	N	N	N	N	N	N	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Z	N	N	N	N	N	Z	2	
20~24	P	N	N	N	N	N	N	N	N	P	P	P	N	N	N	N	N	N	P	N	N	N	N	N	N	2.1	
25~29	P	Z	N	N	N	N	N	N	P	Z	N	N	N	N	N	N	N	N	P	Z	N	N	N	N	N	2	
30~34	P	Z	Z	N	N	N	N	N	N	Z	N	N	N	N	N	N	N	N	P	Z	N	N	N	N	N	1.9	
35~39	P	N	N	P	N	Z	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	N	N	N	N	N	N	1.8	
40~44	P	Z	Z	Z	Z	P	P	Z	Z	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	Z	Z	Z	Z	Z	Z	1.9	
45~49	P	Z	P	P	P	P	P	P	P	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	Z	Z	Z	Z	Z	Z	1.9	

年	2011以降																			2007						
	女/男									男									女							
50~54	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	P	Z	Z	Z	Z	Z	Z	2
55~59	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Z	N	N	N	N	N	N	N	P	Z	Z	Z	Z	Z	Z	2.3
60~64	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	2.5
65~69	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Z	Z	Z	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	2.5
70~74	Z	N	N	N	N	N	N	N	N	Z	Z	Z	Z	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	2.3	
75~79	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	P	P	P	P	P	P	P	2.2
80~84	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Z	N	N	N	N	N	N	N	P	P	P	P	P	P	P	2
85~89	Z	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	1.7
90~94	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	1.5

