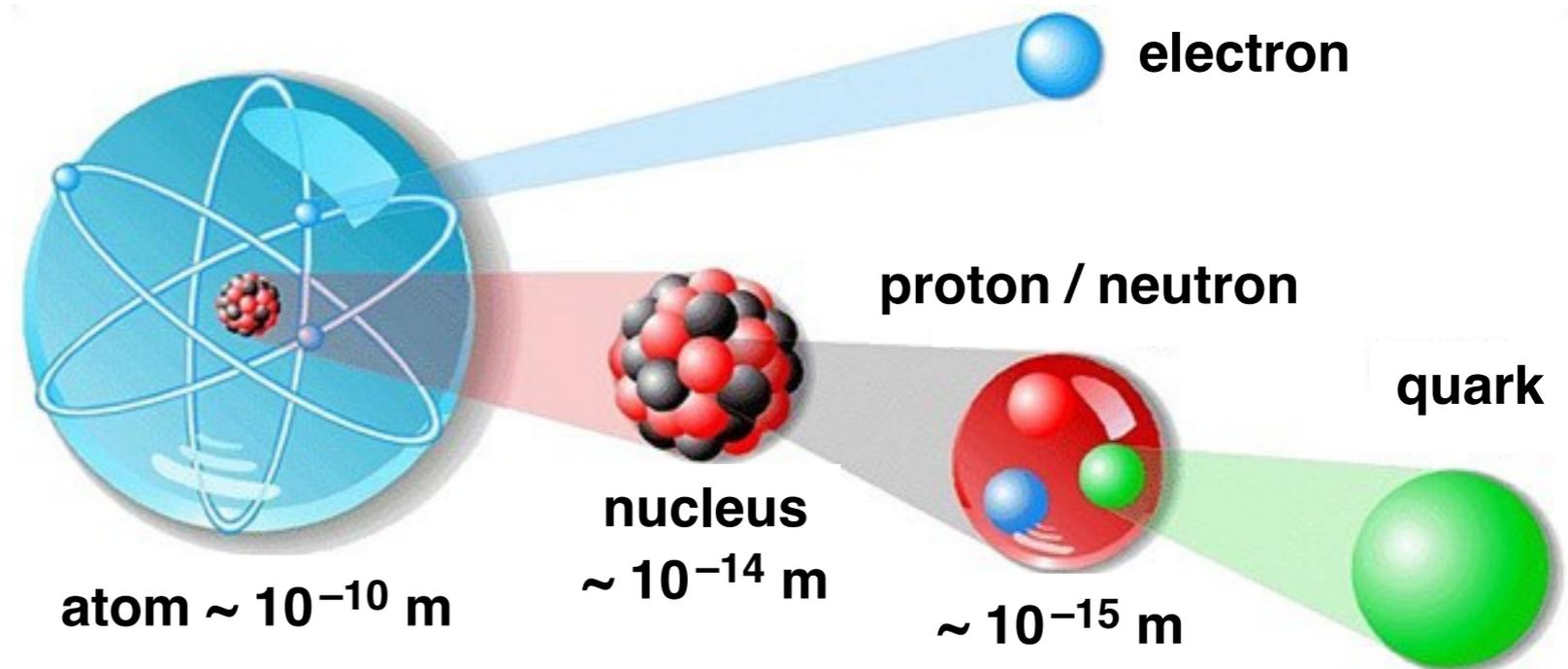


放射線の物理学・放射線の生物学



東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

放射線の物理学

- 放射線とは？ 《放射線物理学》
- 放射性物質とは？ 《原子核物理学》
- 原子力発電のしくみ 《原子力工学》
- 放射線を測る 《放射線計測学》
- 放射線の利用 《放射線医療・高エネルギー物理学》

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

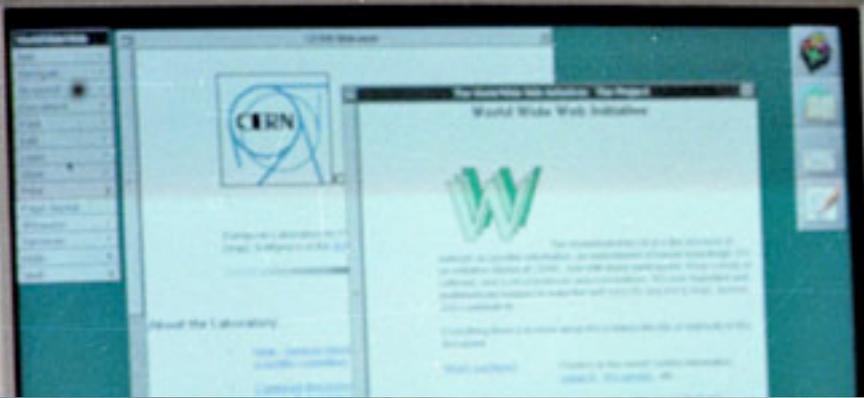
助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

自己紹介

- 出生** : 昭和45年 市立芦屋病院にて
- 幼少期** : 大阪府千里ニュータウン
- 小学校** : 鹿児島 / 大阪 / 東京
- 中高** : 昭和58年 灘中学校入学 (41回生)
- 大学** : 平成元年 東京大学理科1類入学
平成5年 理学部物理学学科卒業
- 大学院** : 平成10年 東京大学大学院理学系研究科 博士(物理学)
- 現在** : 東京大学 教養学部・大学院総合文化研究科 助教
- 研究** : ジュネーヴ郊外の CERN 研究所 (加速器施設) で実験
- 専門** : 粒子線物理学・素粒子原子物理学
- 家庭** : 2児の父 (年長児の息子、1歳半の娘) 東京在住





Tim Berners-Lee

WorldWideWeb

- Info
- Navigate
- Document
- Edit
- Find
- Links
- Style
- Print...
- Page layout...
- Windows
- Services
- Hide
- Quit

Welcome to the Universe of HyperText

Home

Access to this information is provided as part of the WorldWideWeb project. The WWW project does not take responsibility for the accuracy of information provided by others.

How to proceed <http://info.cern.ch/>

References to other information are represented like this. Double-click on it to jump to related information.

General CERN Information sources

Now choose an area in which you would like to start browsing. The system currently has access to three sources of information. With the indexes, you should use the keyword search option if you know

CERN Information A general keyword index to the information available by the WWW project, including CERN's WWW and the "Writeup" and the Computer News (NNTP). (This is the same data on CERN's WWW which is also available on CERNVM with the VM FIND

Telephone Directory A keyword index to the CERN telephone book by location.

Internet News You can access the internet news scheme (See information for new users). News articles are distributed typically CERN-wide or worldwide, and have a finite lifetime.

Other information of general interest at CERN include

WWW

WorldWideWeb Technology Interest Group news.

For more information on this machine, see also the following topics:

WWW

on this WorldWideWeb application

Info

HyperMedia Browser Version 1.0

An exercise in global information availability by Tim Berners-Lee

© 1990,91, CERN. Distribution restricted: ask for terms. BEST VERSION ONLY

Text: Text which is not constrained to be linear.

Media: Information which is not constrained linear... or to be text.

This is the first version of the NextStep WorldWideWeb application with the libWWW library. Bug reports to www-bug@info.cern.ch. Check the list of known bugs in the web too.

This was the original prototype for the World-Wide Web. Many browsers for other platforms now exist. Read the web for details.

You should configure the newsreader code in this application to know where your local news (NNTP) server is. Type in a terminal window

Paris

Divonne

Gex

ALEPH

LEP

SPS

Femey

Vollbire

DELPHI

CERN

Meyrin

Annecy

GENEVA

SWITZERLAND

FRAN

Annemasse

St-Julien

La Plaine

0 5 km

Anney (LAPP)

NextStep icons: Prefs, Mail, Draw, Edit, Find, Help, Recycle



スイス連邦



スイスの言語

フランス

ドイツ
GERMANY

Geographical distribution of the languages of Switzerland (2000)

- German
- French
- Italian
- Romansh
- bilingual areas and cities*

* Areas with changing majorities, traditionally strong minorities of other official languages (over 30%) and officially bilingual communities.

Officially bilingual are the cantons of

- Berne / Bern (German majority)
- Fribourg / Freiburg (French majority)
- Valais / Wallis (French majority)

Officially trilingual is the canton of

- Graubünden / Grigioni / Grischun (German majority)

De facto bilingual are the cantons of

- Jura (French majority)
- Ticino (Italian majority)



Guten Tag !

Grüß Gott !

オーストリア
AUSTRIA

Grüezi !

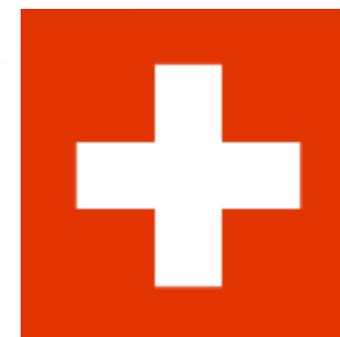
Bonjour !

フランス
FRANCE

Buongiorno.

イタリア
ITALY

Bun di !



『ダヴィンチ・コード』から3年——新たな歴史の謎が暴かれる。

反物質科学

待望の映画化!
『ダヴィンチ・コード』
シリーズ第2弾!

CERN
Antimatter

トム・ハンクス
(ロバート・ラングドン教授)
『ダヴィンチ・コード』監修
天使と悪魔
ANGELS & DEMONS

大ヒット上映中!

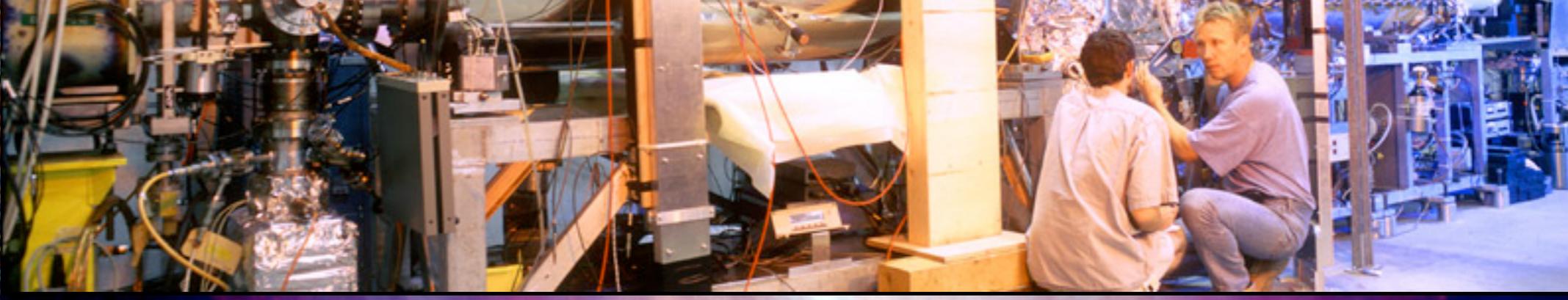
A RON HOWARD FILM
ANGELS & DEMONS
FROM THE AUTHOR OF THE DA VINCI CODE



ヴァチカンを元と闇がほみ込む

『ダヴィンチ・コード』の原作者による
大ベストセラーの完全映画化

2009.5.15(金)
全国公開

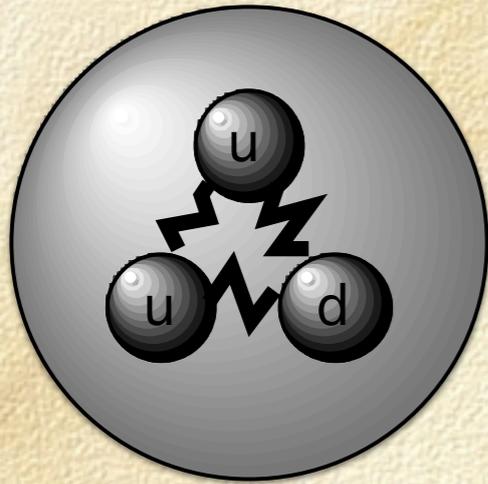


CERN

European Organization for Nuclear Research

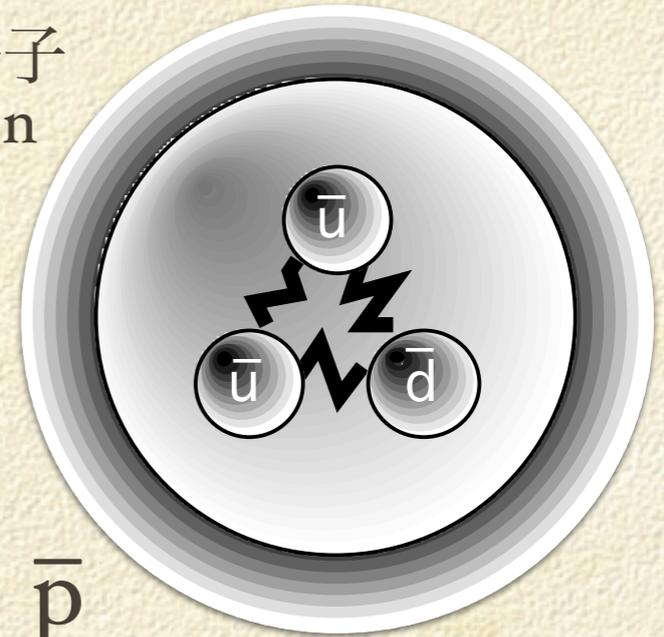
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

陽子
proton



p

反陽子
antiproton



p̄

粒子 / 反粒子

Why No Antimatter?

物質 反物質

Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

e^-



電子 electron

e^+



陽電子 positron

Paul Dirac
(相對論的量子力學)

自己紹介

放射線講義・講座・講演会

2011/春夏：東京大学にて1、2年生向けに自主講義「放射線学」

2011/秋冬：主題科目テーマ講義「放射線を科学的に理解する」

(生命科学、環境放射化学、放射線医学らの専門家とタイアップ)

2011/11：高校生のための特別講座「放射線の科学」福島高校にも配信

2011/11：福島市で講演「放射線と正しく向き合うために」

子どもの親や保育士向け

ほか：東京都三鷹市、立川市で講演

2012/3：東京大学 × 博報堂 × 時事通信社 (特別協力：環境省)

「3.11のガレキを考える」プロジェクト 細野環境大臣に提言

「放射能うつる」といじめ＝福島から避難の小学生に―千葉

2011年4月15日11時6分

福島第1原発事故を受け、福島県から千葉県船橋市に避難した小学生の「**放射線がうつる**」といじめられたという訴えが市教育委員会の調査で明らかになった。市教委は同日までに、避難者の不安な気持ちを踏まえた言動に注意し、思いやりを持って被災者の児童生徒に接するよう指導を求める通達を市立小中学校に出した。

市教委によると、福島県南相馬市から避難した小学生の兄弟が、地元の子どもに「どこかへ逃げる」と話しかけられた。兄弟が「福島」と答えると地元の子どもは「**放射線がうつる**」と言い、数人が一斉に逃げ出したという。

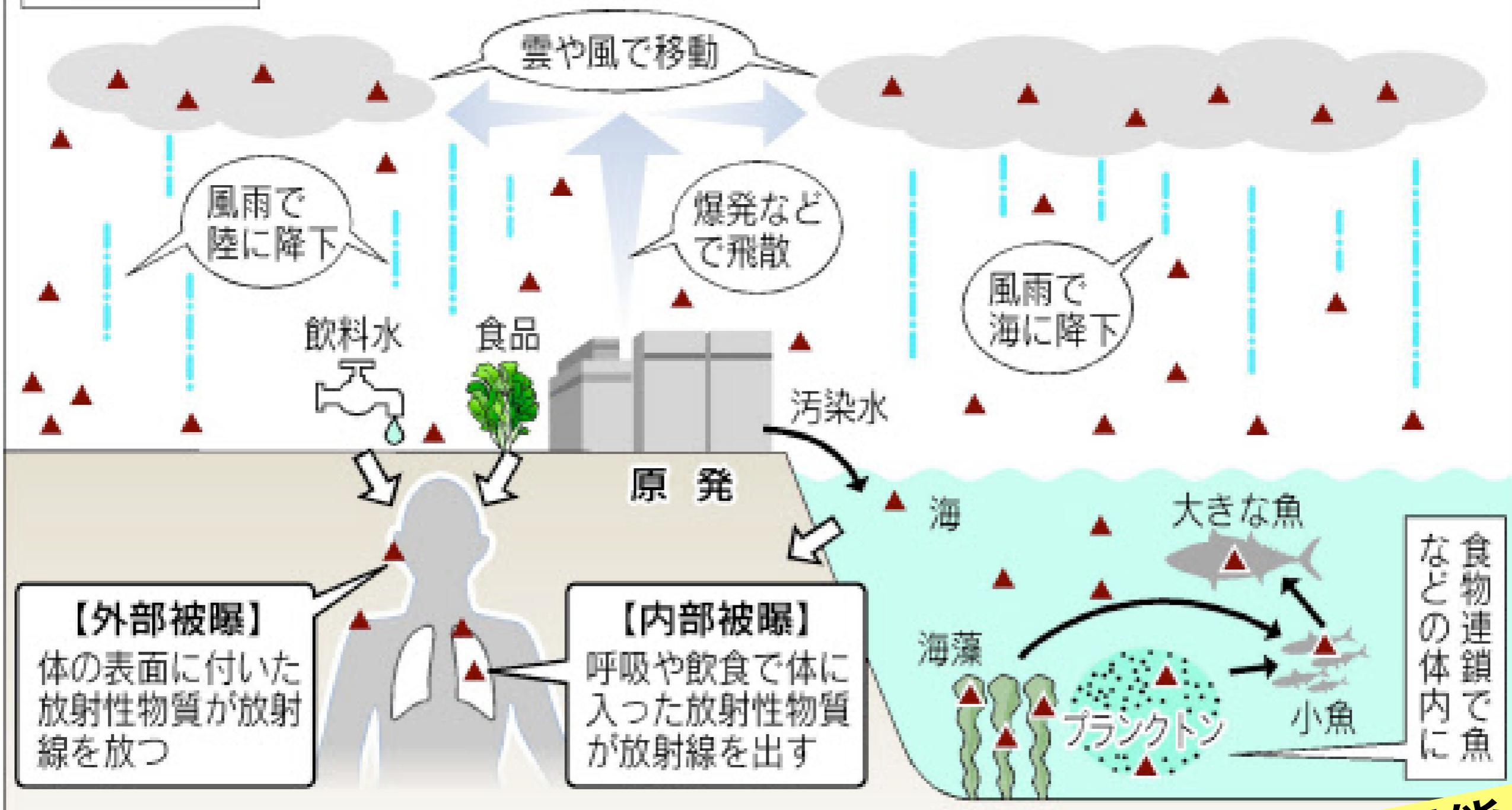
放射線はうつらない

放射能と放射線を混同しない

放射線に対する正しい知識をもって
「正しく怖がる」ことが必要。

▲ 放射性物質

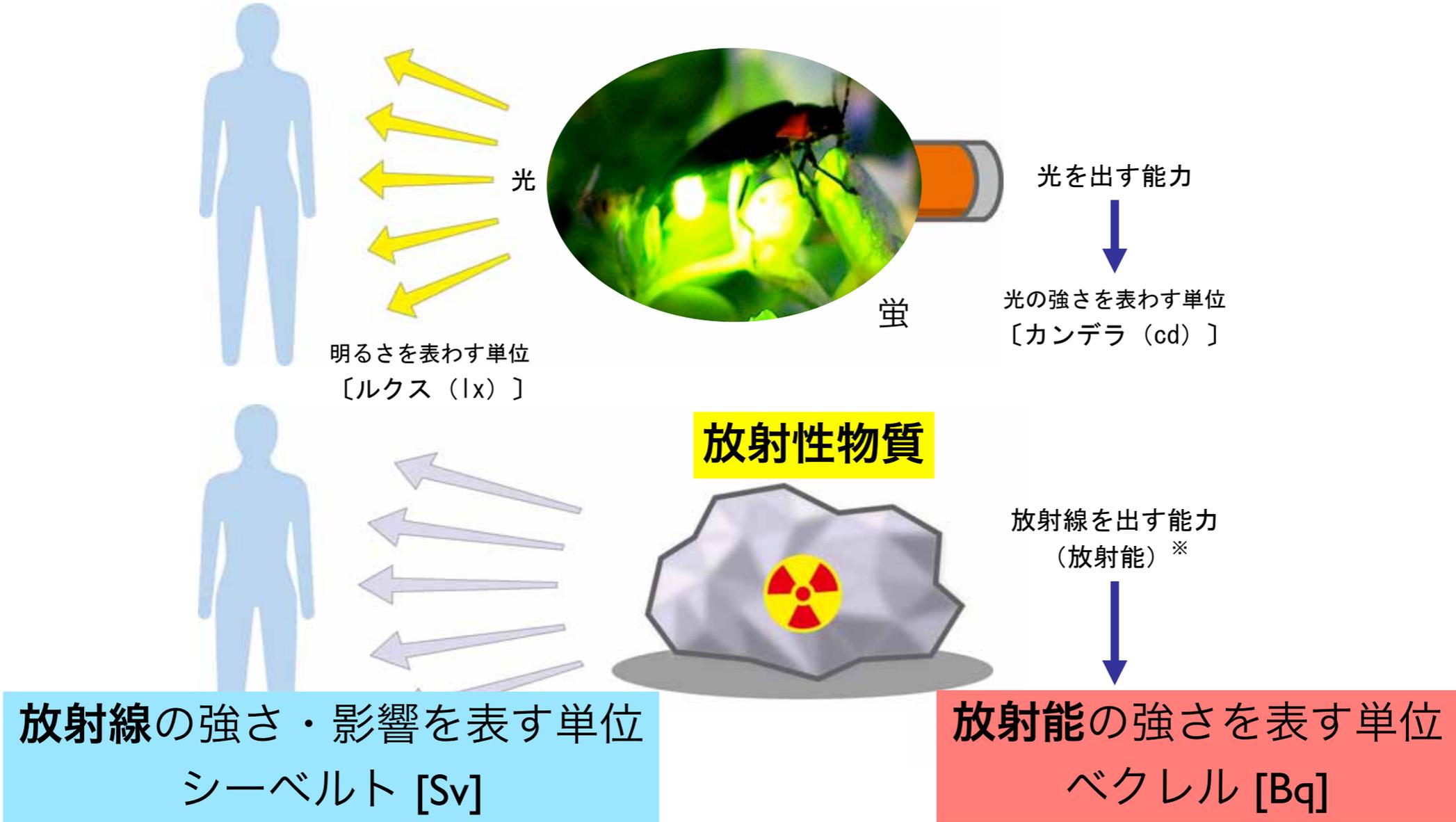
原発の放射性物質が及ぼす影響 (イメージ)



放射性物質が一部東京まで飛来。
放射線が直接東京に届いたのではない

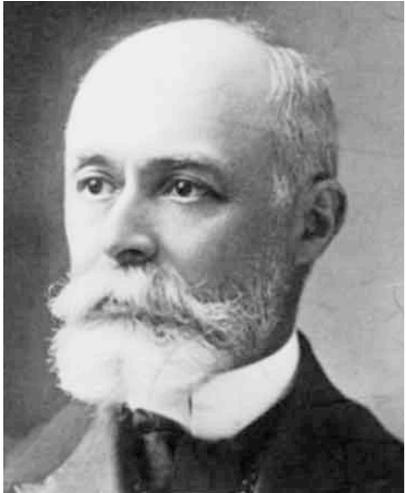
放射性物質、放射能と
放射線を混同しない

放射能と放射線



6-1

出典：資源エネルギー庁「原子力2010」



放射能 (radioactivity) の単位

[Bq] | Bq = 1 dps ベクレル (秒当たり1崩壊)
Becquerel decay/disintegration per second

国際原子力事象評価尺度

7	深刻な事故	チェルノブイリ原発事故
6	大事故	
5	事業所外へリスクを伴う事故	スリーマイル島原発事故
4	事業所外への大きなリスクを伴わない事故	東海村臨界事故
3	重大な異常事象	
2	異常事象	
1	逸脱	

放射性物質の外部放出 (ヨウ素131等価)

- 7 : 数万テラベクレル相当以上
- 6 : 数千～数万テラベクレル相当
- 5 : 数百～数千テラベクレル相当

“テラベクレル”の謎

<http://togetter.com/li/123327>

- ✿ ~**万テラベクレル**とかヨウ素とかマジわからん\(^o^)/文系に逃げたツケがこんなことで来るとは思わなかったわ…
- ✿ NHK「37京ベクレル」で言われても分かりづらいw まだメガとかテラのほうが。つーか単位統一してくれればいいのに
- ✿ 『京』という単位、テレビで見たの初めてかも。テラとか京とか…もはや1ベクレルがなんなのか、全く想像つかない
- ✿ **ミリシーベルト**であんなに騒いでたのに1万テラベクレルってなんや
- ✿ 36万テラベクレルとか63万テラベクレルとか、想像もできない数値になってしまっている原発事故だけど、放射能が人体に影響を及ぼす尺度であるシーベルトに換算するとどれくらいになるのだろうか？

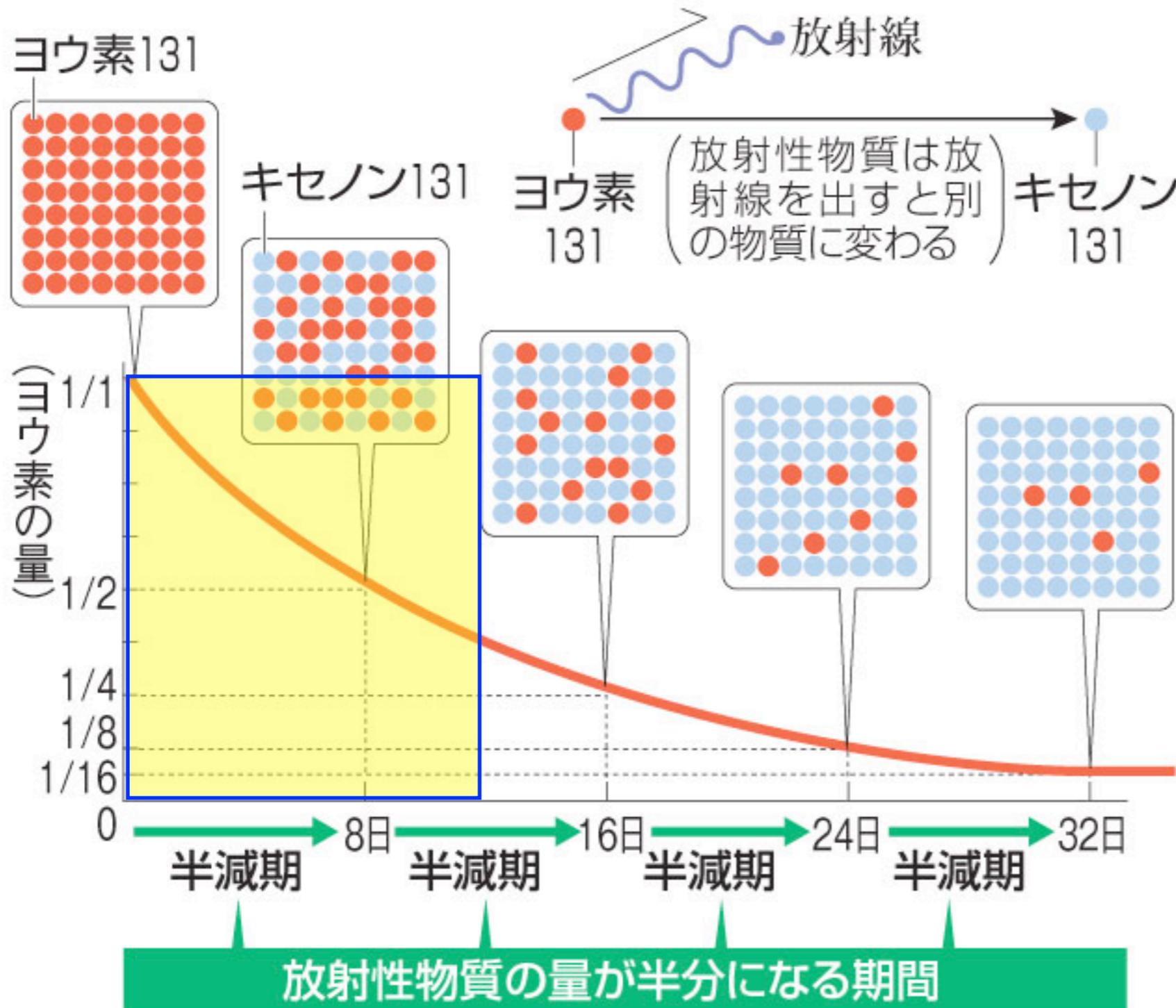
SI (国際単位系)

表2: 単位の倍数

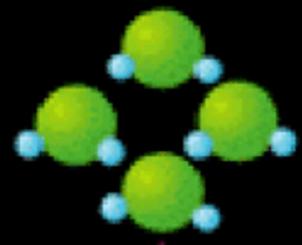
接頭辞	記号	倍数	接頭辞	記号	倍数
デシ (deci)	d	10^{-1}	デカ (deca)	da	10
センチ (centi)	c	10^{-2}	ヘクト (hecto)	h	10^2
ミリ (milli)	m	10^{-3}	キロ (kilo)	k	10^3
マイクロ (micro)	μ	10^{-6}	メガ (mega)	M	10^6
ナノ (nano)	n	10^{-9}	ギガ (giga)	G	10^9
ピコ (pico)	p	10^{-12}	テラ (tera)	T	10^{12}
フェムト (femto)	f	10^{-15}	ペタ (peta)	P	10^{15}
アト (atto)	a	10^{-18}	エクサ (exa)	E	10^{18}
ゼプト (zepto)	z	10^{-21}	ゼタ (zetta)	Z	10^{21}
ヨクト (yocto)	y	10^{-24}	ヨタ (yotta)	Y	10^{24}

(ヨウ素換算63万テラベクレル, <http://bit.ly/fRxmkt> これを放射性ヨウ素131の質量に焼き直すと, およそ1) 100トン 2) 100 キログラム 3) 100 グラム 4) 100ミリグラム, ?)

放射性物質の半減期のしくみ(ヨウ素131の例)



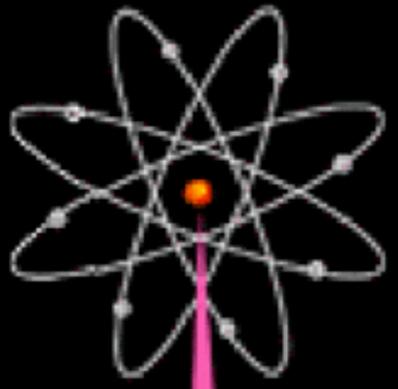
注：ヨウ素等価換算は、環境や人への影響を勘案して係数を決めている。ヨウ素以外の核種の質量を計算するには適していない。ヨウ素131については、15万テラベクレルの放出と言われているので、その質量は上の問いに対する計算値の4分の1となる。また、半減期の長いセシウム137などでは、同じベクレル数でも、モル数も質量もヨウ素に比べてずっと大きくなる。



分子
molecule

nm (10^{-9} m) 化学
ナノメートル

eV Chemistry
電子ボルト

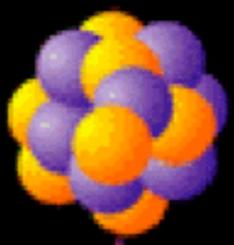


原子
atom

∇ 原子物理学
Å (10^{-10} m)
オングストローム

∧ Atomic Physics
eV – keV
数電子ボルト～
キロ電子ボルト

錬金術はなぜ失敗したか



原子核
nucleus



原子核物理学 Nuclear Physics

fm (10^{-15} m)
フェムトメートル

MeV
メガ電子ボルト



陽子
proton



素粒子物理学 Particle Physics

am (10^{-18} m)
アトメートル

GeV
ギガ電子ボルト



クォーク
quark

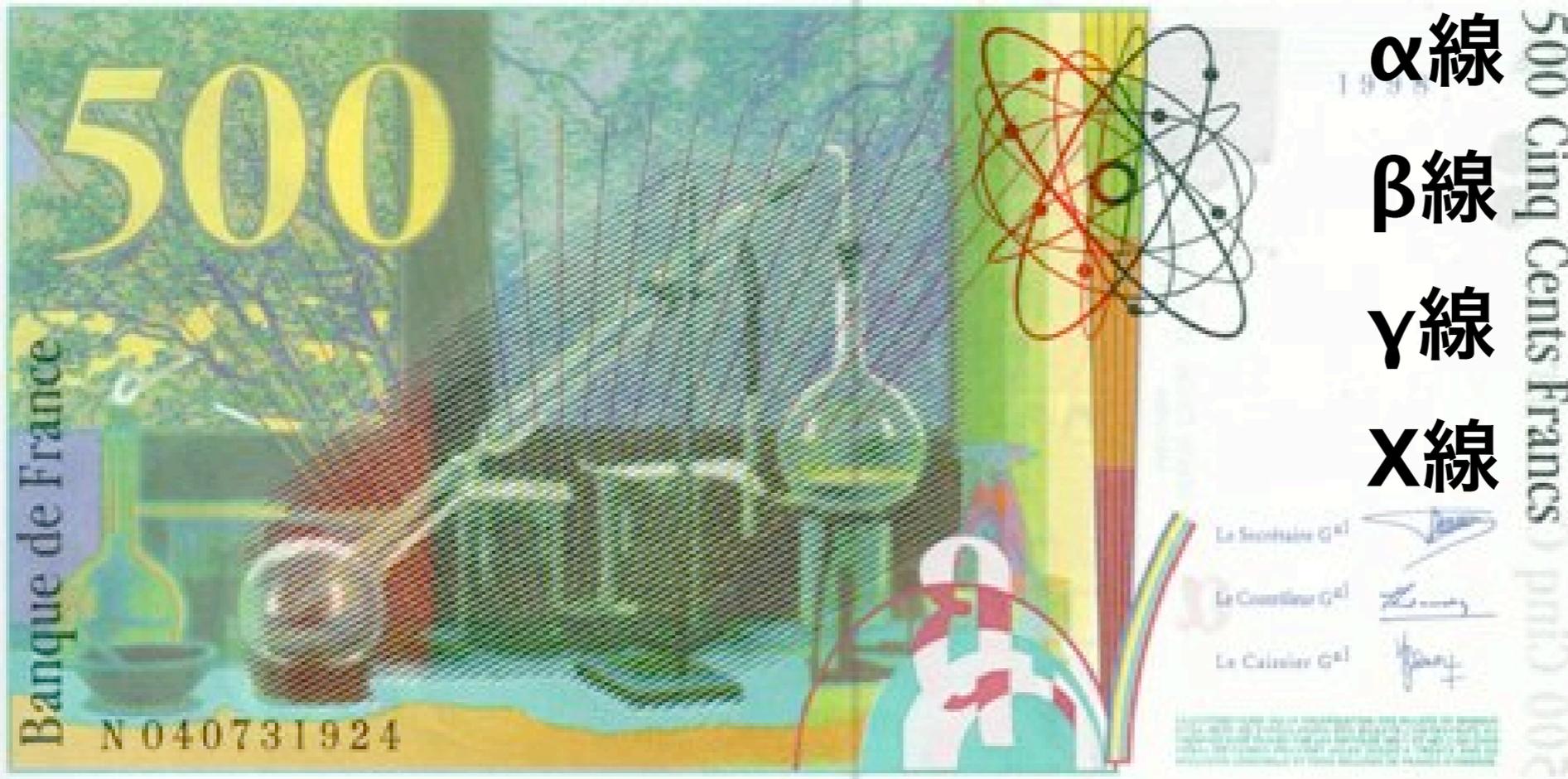


放射線とは？

《放射線物理学》



Billet de 500 Francs Français en circulation: 1993–1999



- α線 ヘリウム原子核
- β線 高速の電子
- γ線 光子（電磁波）
- X線 光子（電磁波）

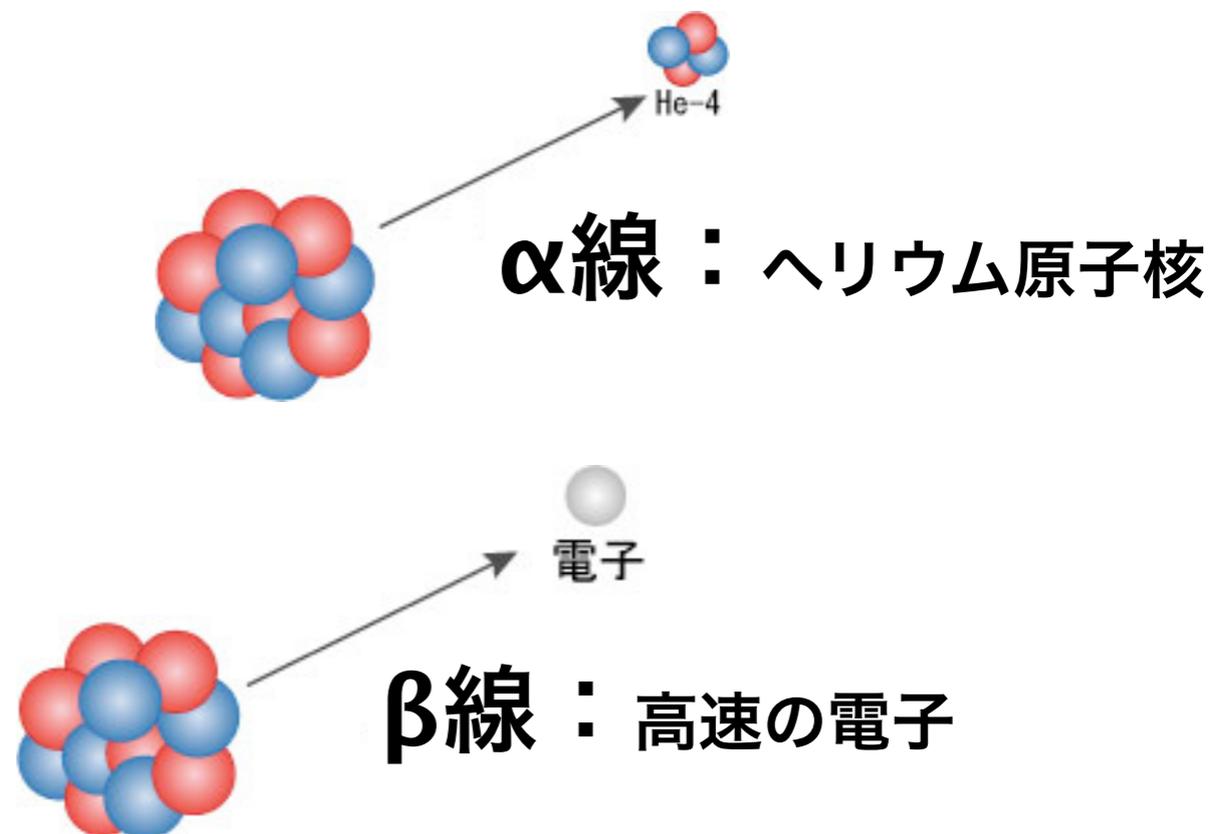
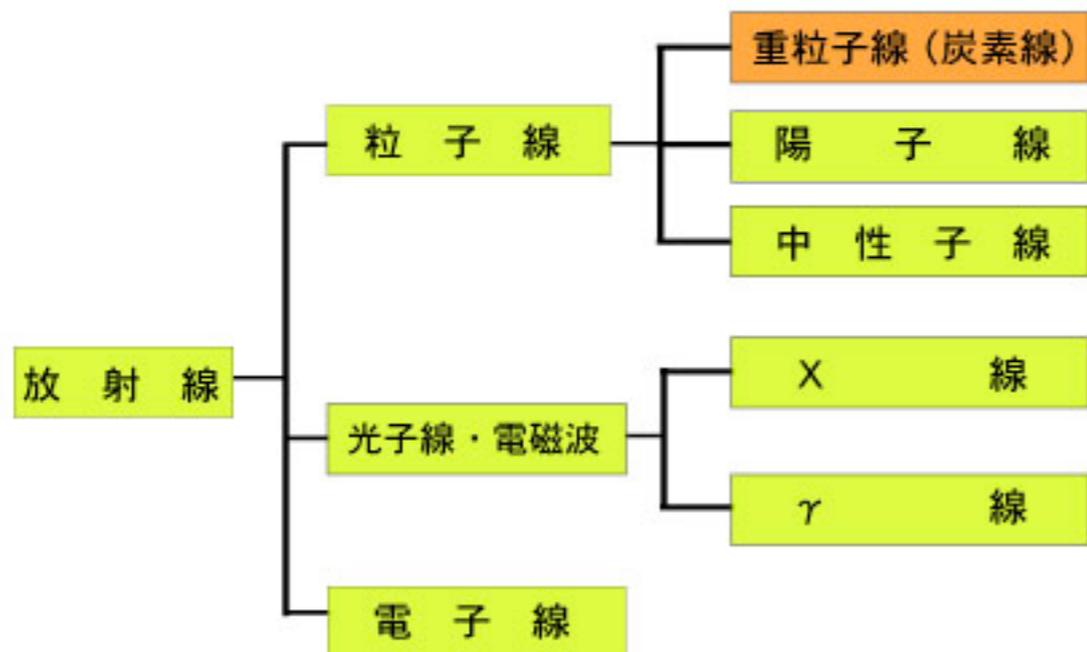
VIDEO

放射線とは

日本原子力文化振興財団：エネコチャンネルのビデオ映像「探検！身近な放射線」より抜粋

<http://eneco.jaero.or.jp/20110322/>

放射線の種類 (放射線治療分野で用いられる分類)

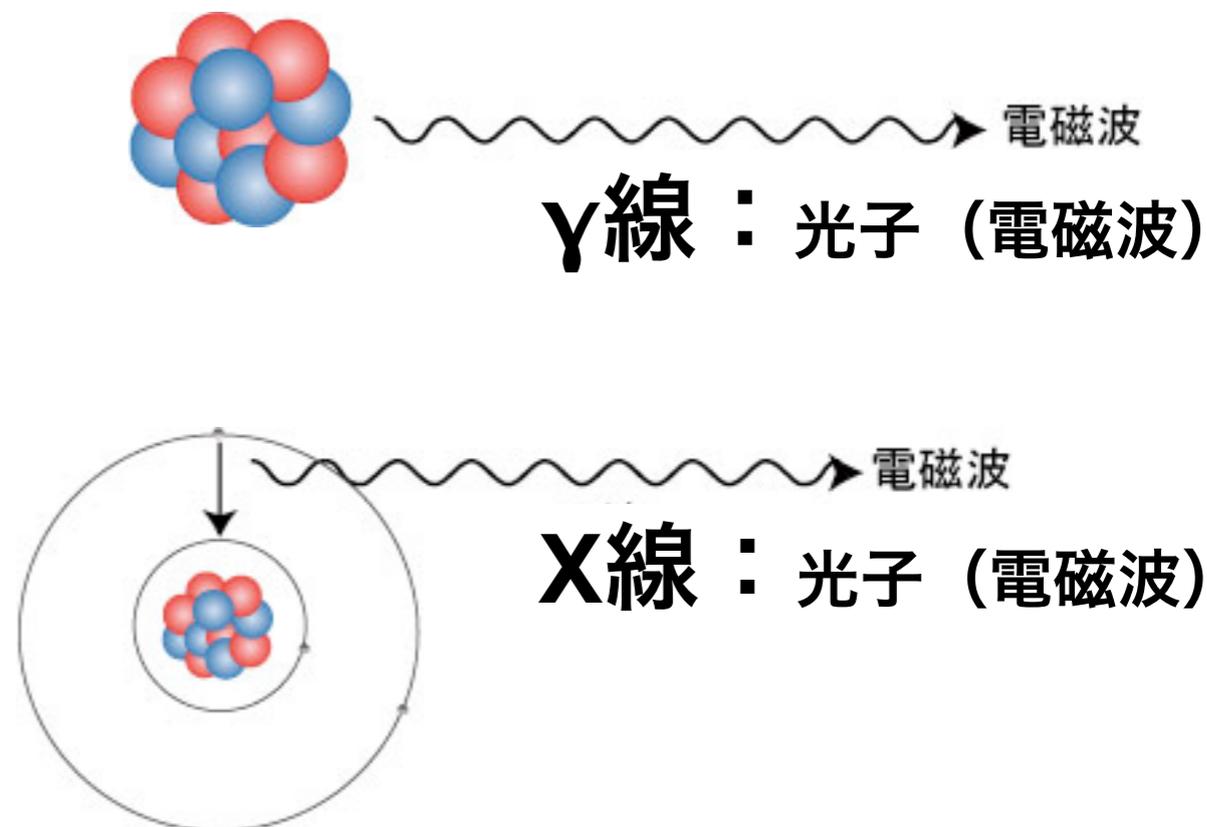


放射線のもつエネルギーは？

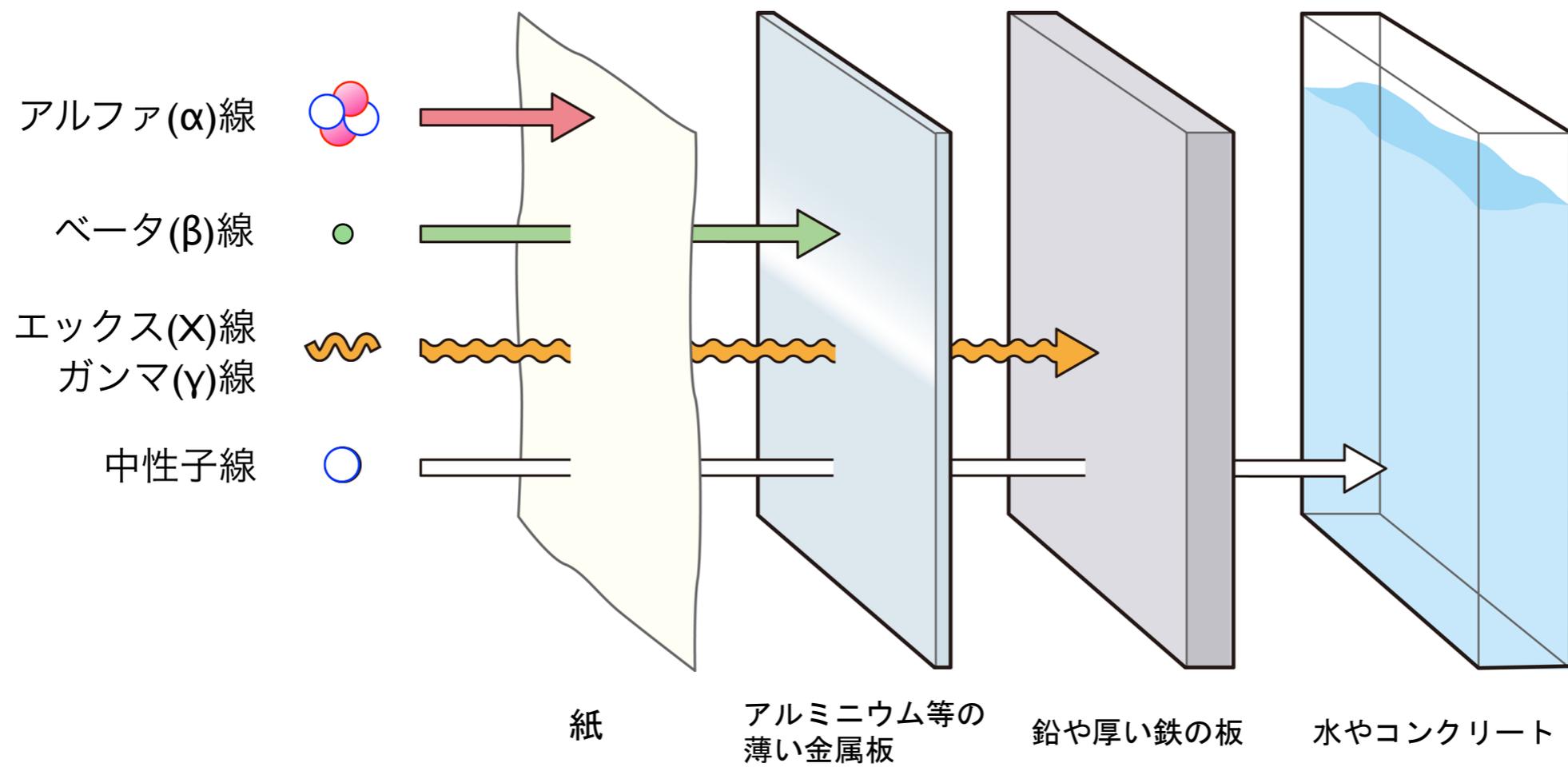
☞ **100 keV ~ MeV** (α, β, γ)

Cf. 原子の束縛エネルギーは？

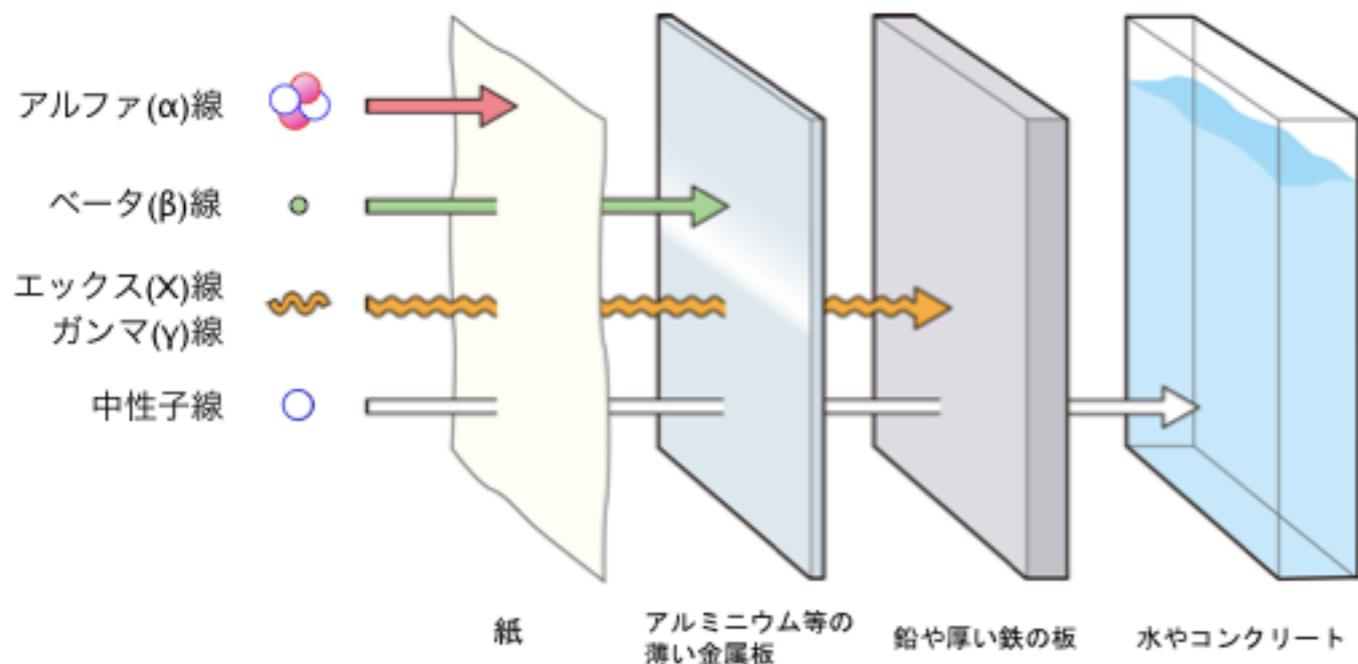
☞ 最外殻電子で **10 eV** 程度
(1 eV = 96 kJ/mol)



放射線の種類と透過力



透過力が強い = なかなか反応しない



透過力が強い = なかなか反応しない

放射線の透過力・線量計算

- α線は表層の細胞 2-3 個で止まる。
- β線も外部被曝では皮膚への影響を考える。
- α線もβ線も内部被曝が問題。全てのエネルギーが短い飛程の間に細胞に与えられる。
- γ線・X線は多くのものは相互作用せず体を素通りし、一部が体内で吸収される。

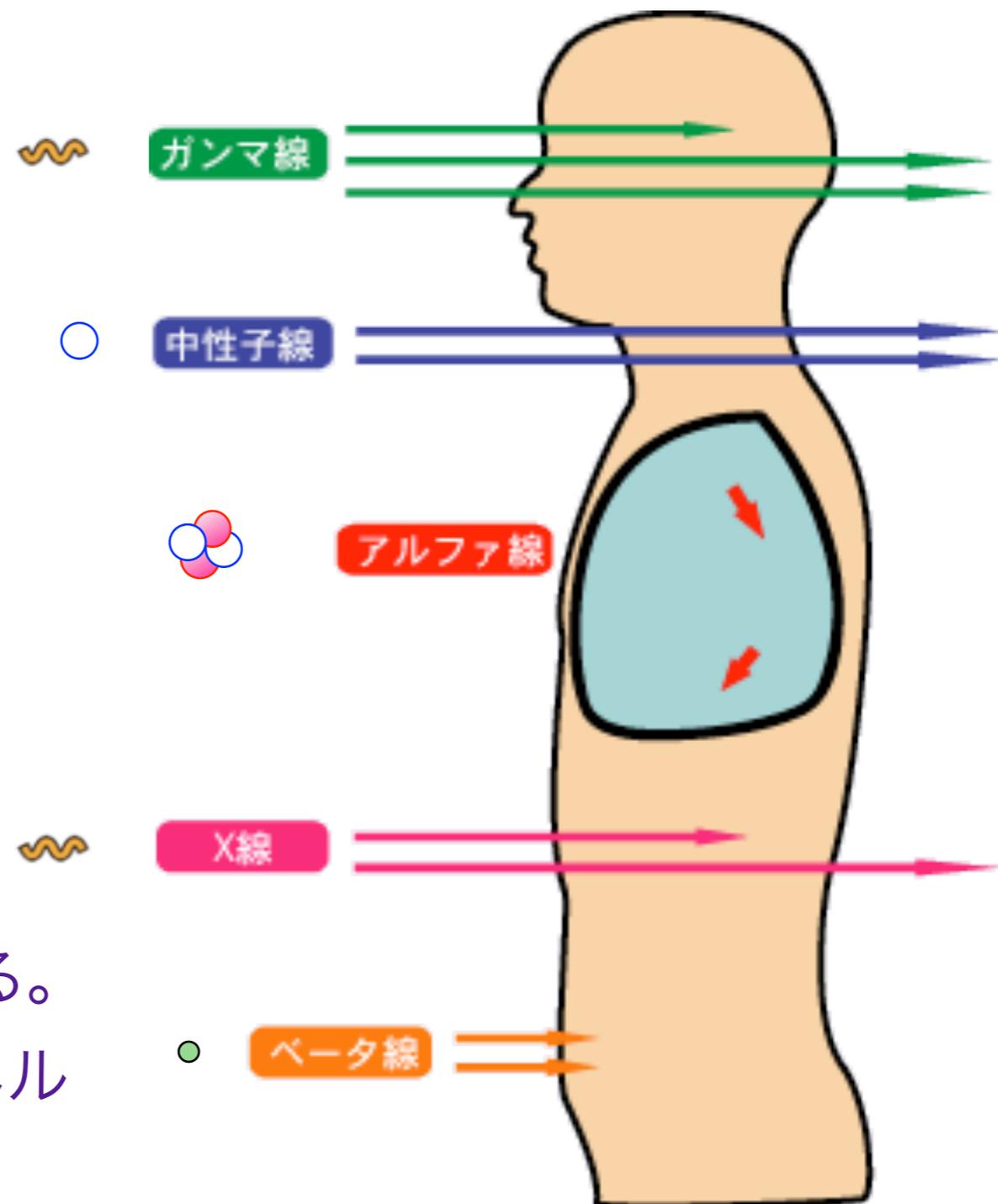


図3 人体を透過する放射線

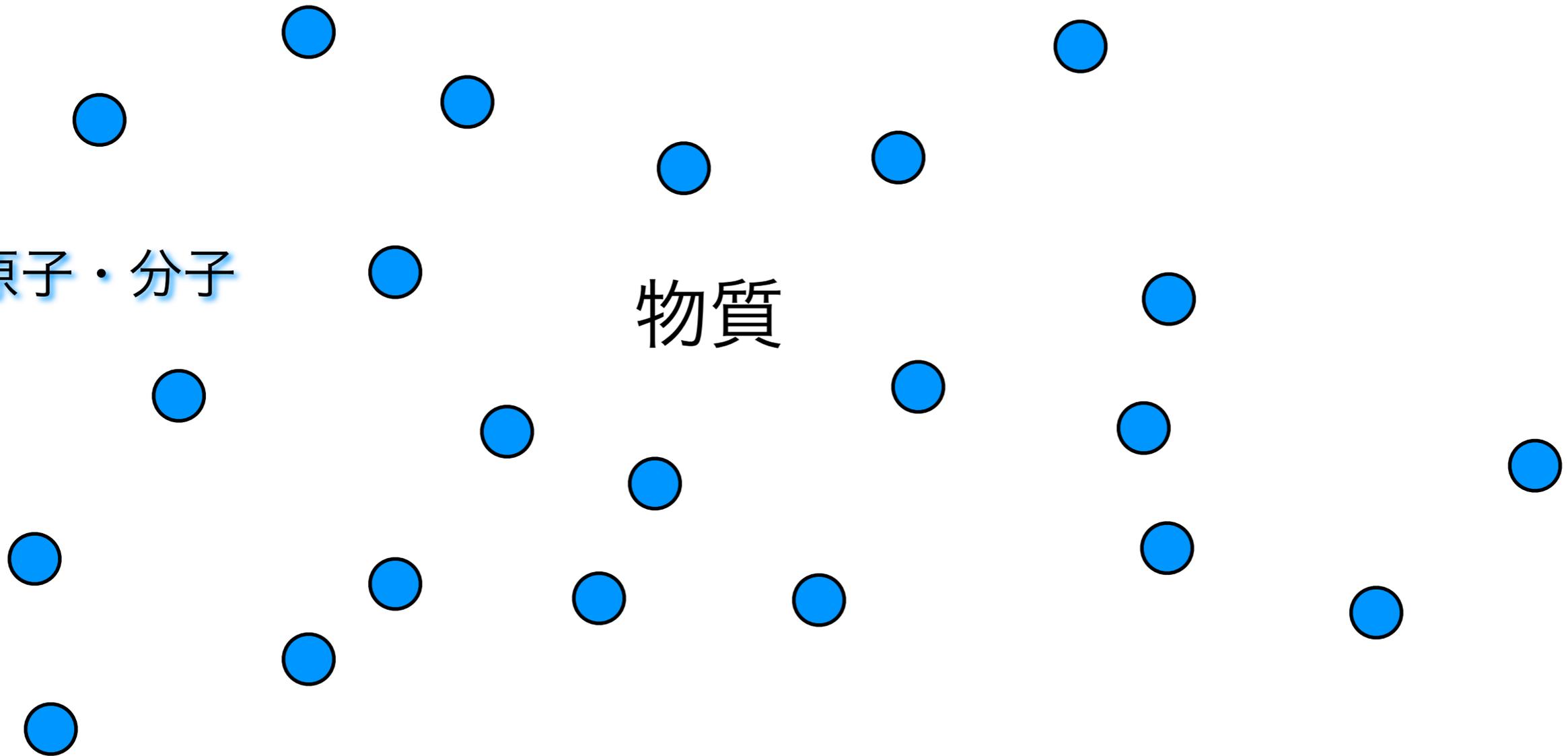
荷電放射線 (α, β) と物質との相互作用

荷電粒子：
クーロン力

物質中の原子を電離・励起して電子に運動エネルギーを受け渡し、その分だけ減速される（電子衝突阻止能）。
原子核は重いので、与える運動エネルギーは小さい。

原子・分子

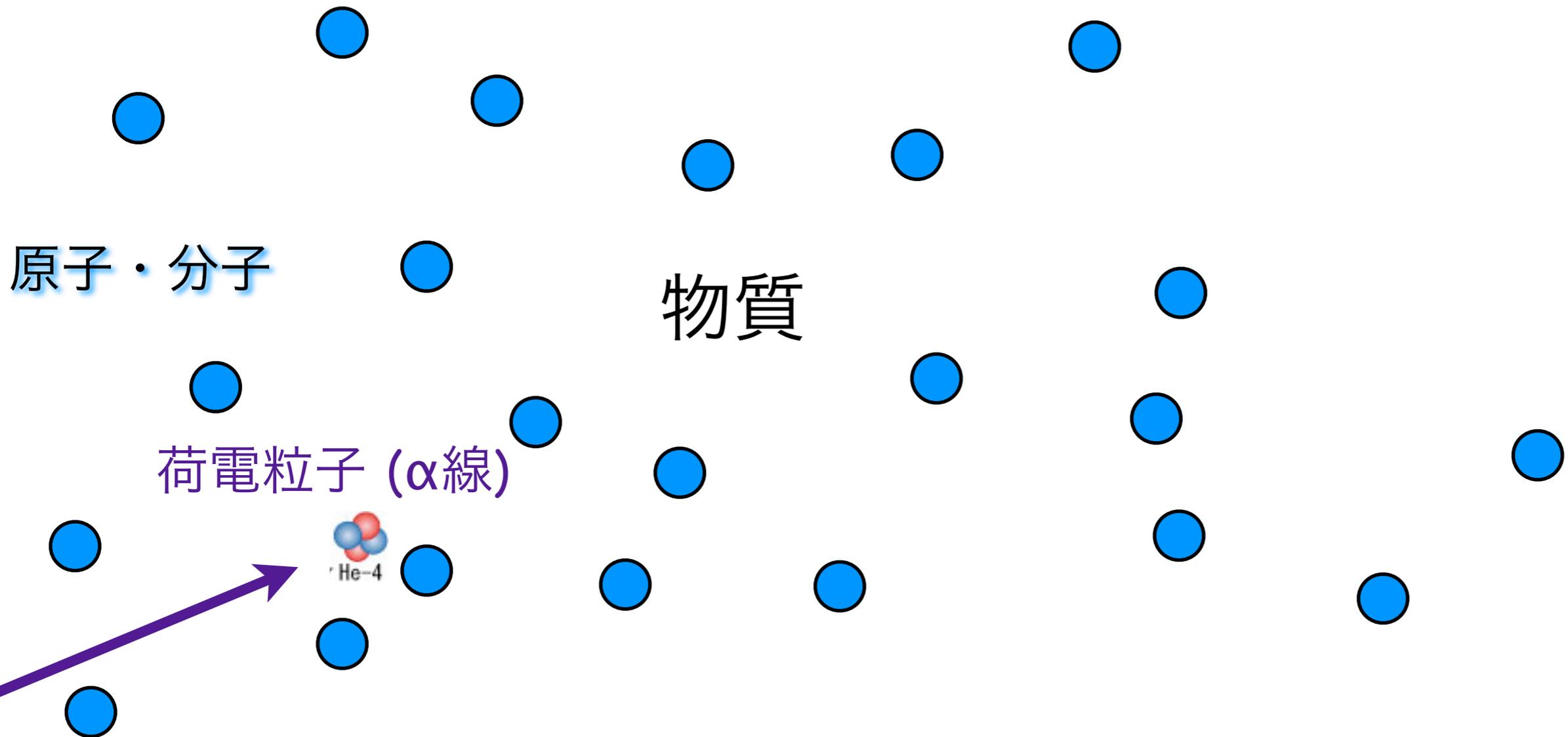
物質



荷電放射線 (α, β) と物質との相互作用

荷電粒子：
クーロン力

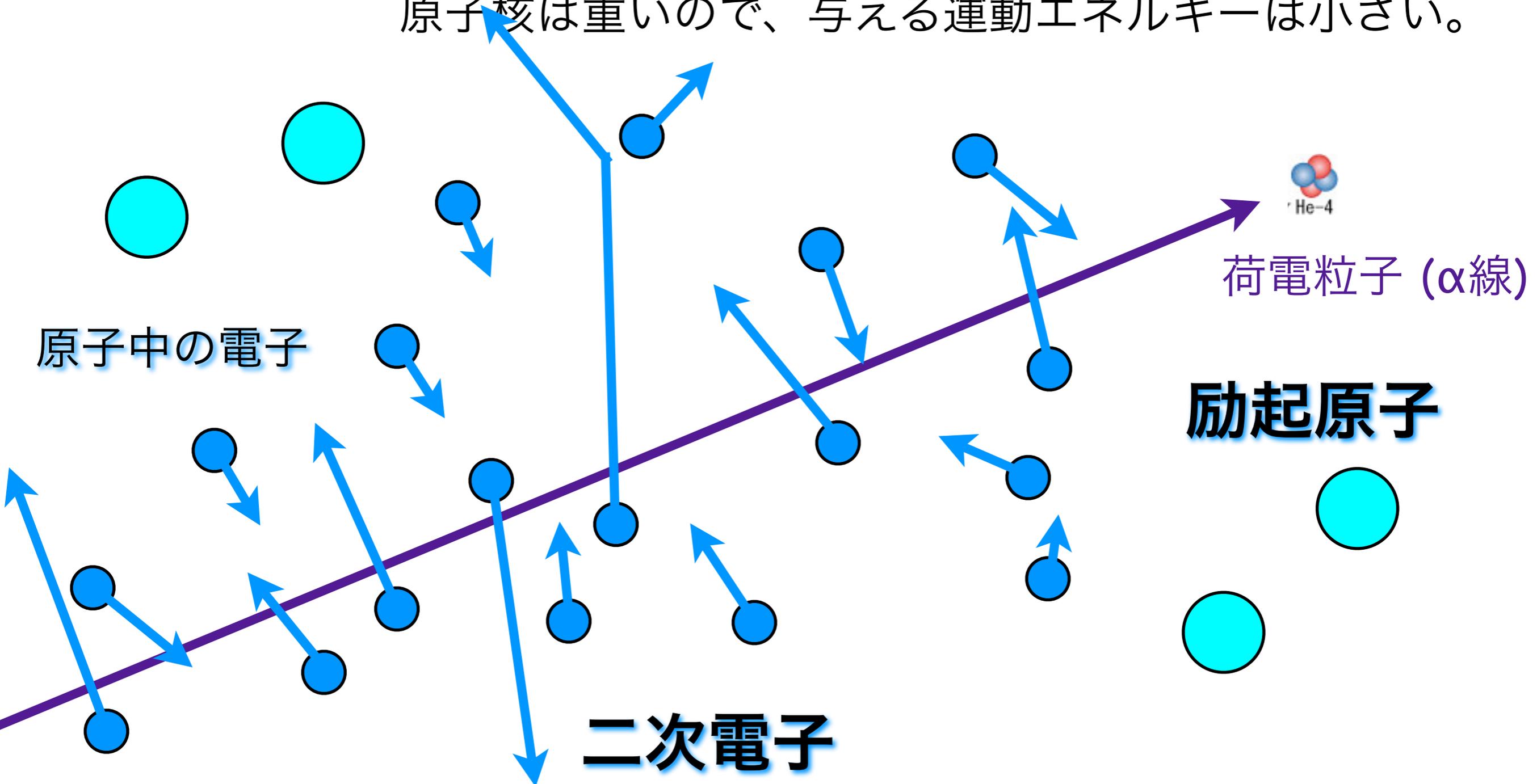
物質中の原子を電離・励起して電子に運動エネルギーを受け渡し、その分だけ減速される（電子衝突阻止能）。
原子核は重いので、与える運動エネルギーは小さい。



荷電放射線 (α, β) と物質との相互作用

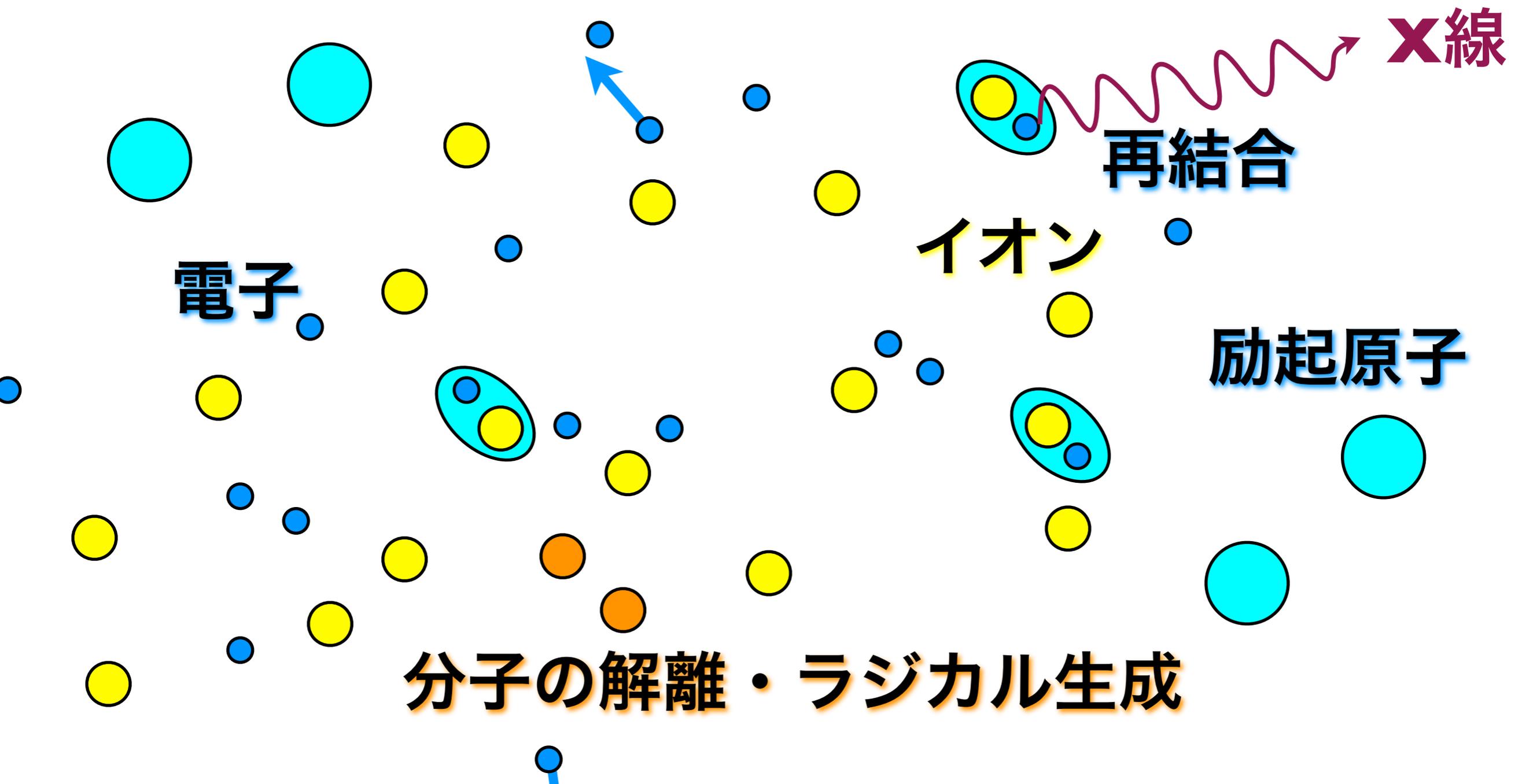
荷電粒子：
クーロン力

物質中の原子を電離・励起して電子に運動エネルギーを受け渡し、その分だけ減速される（電子衝突阻止能）。
原子核は重いので、与える運動エネルギーは小さい。

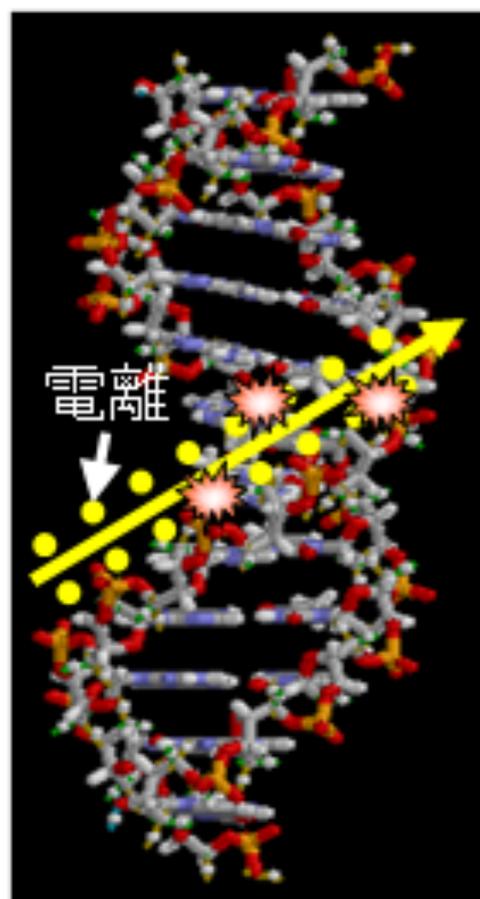


放射線通過後の軌跡近傍の様子

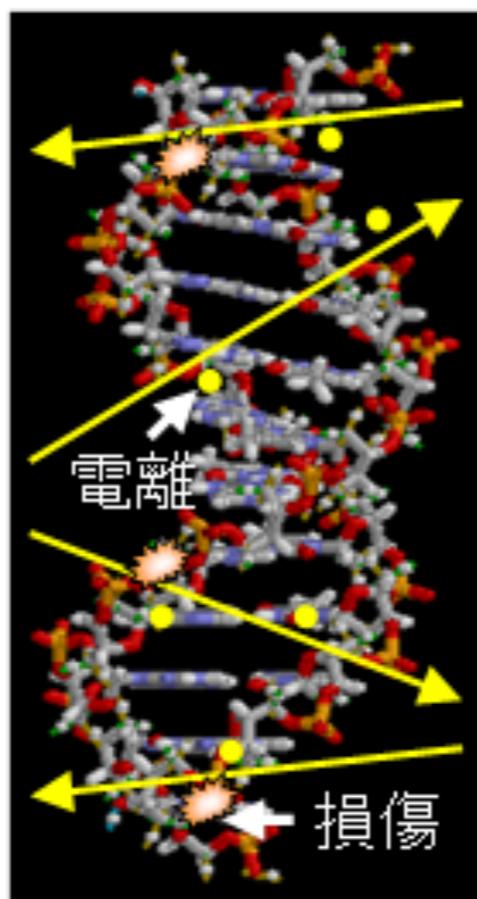
物質中の原子は電離・励起されてイオンや励起原子を生じ、運動エネルギーを受け取った電子は二次電子として更に別の原子を電離。また再結合によりX線が発生。



放射線による DNA 損傷



重イオン



電子

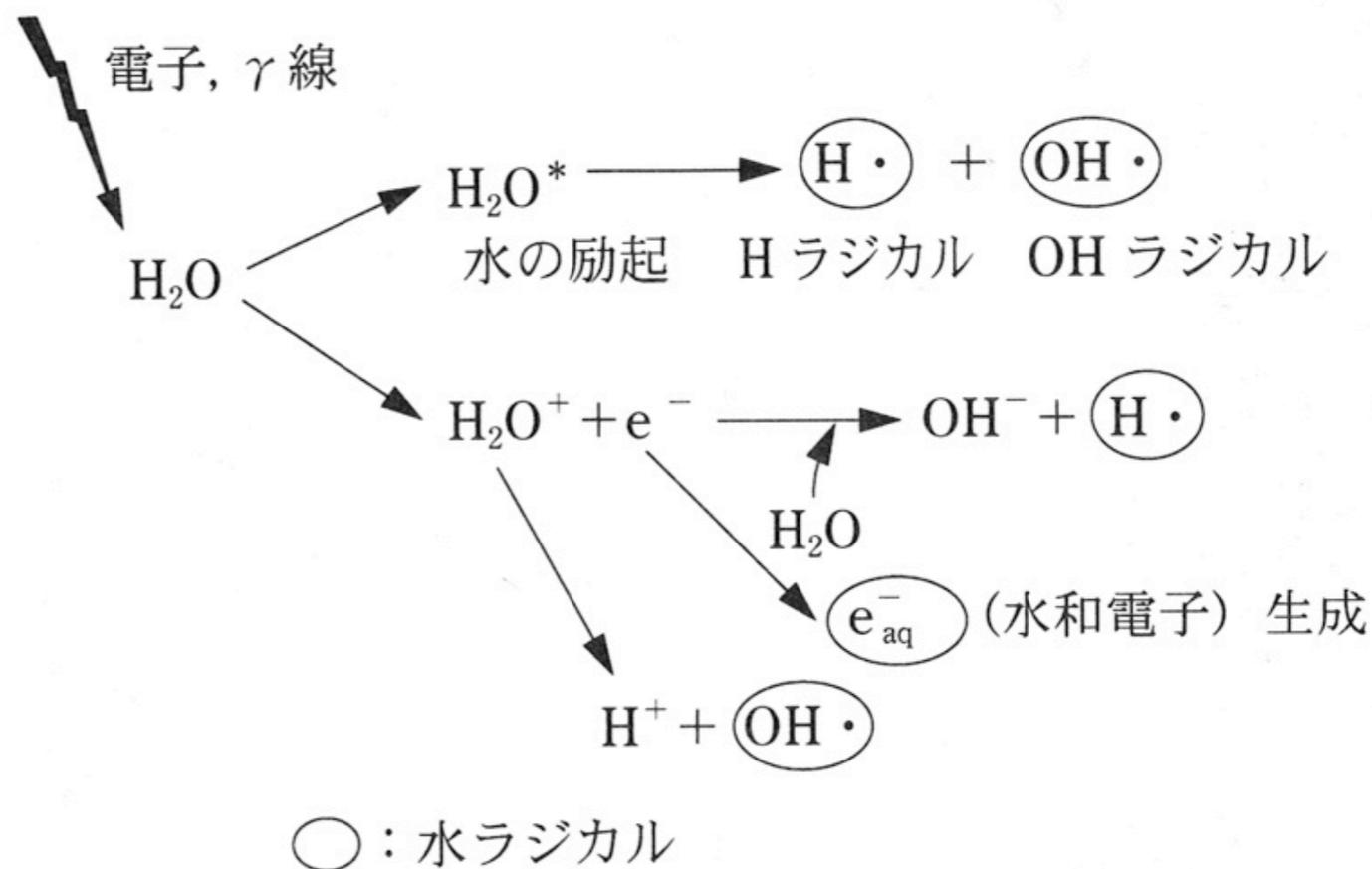


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

LET：線エネルギー付与

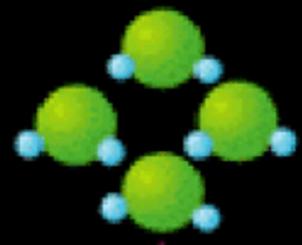
放射線の直接作用：荷電粒子が直接 DNA 分子を叩く **高 LET 放射線**
 α 線

と間接作用：水の電離で生じるラジカルが DNA 分子に作用

低 LET 放射線
 β 線, γ 線

放射性物質とは？

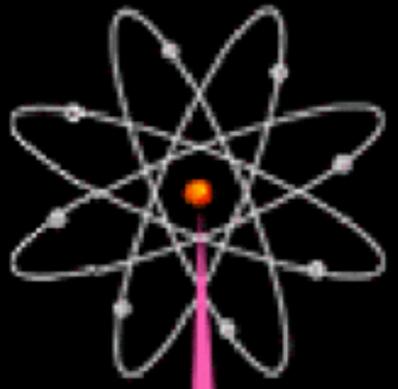
《原子核物理学》



分子
molecule

nm (10^{-9} m) 化学
ナノメートル

eV Chemistry
電子ボルト

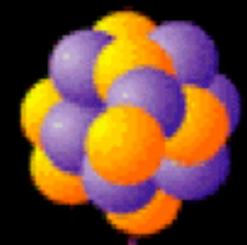


原子
atom

∨
Å (10^{-10} m)
オングストローム

原子物理学 Atomic Physics
eV – keV
数電子ボルト～
キロ電子ボルト

錬金術はなぜ失敗したか



原子核
nucleus

∨
fm (10^{-15} m)
フェムトメートル

原子核物理学 Nuclear Physics

MeV
メガ電子ボルト



陽子
proton

∨
am (10^{-18} m)
アトメートル

素粒子物理学 Particle Physics

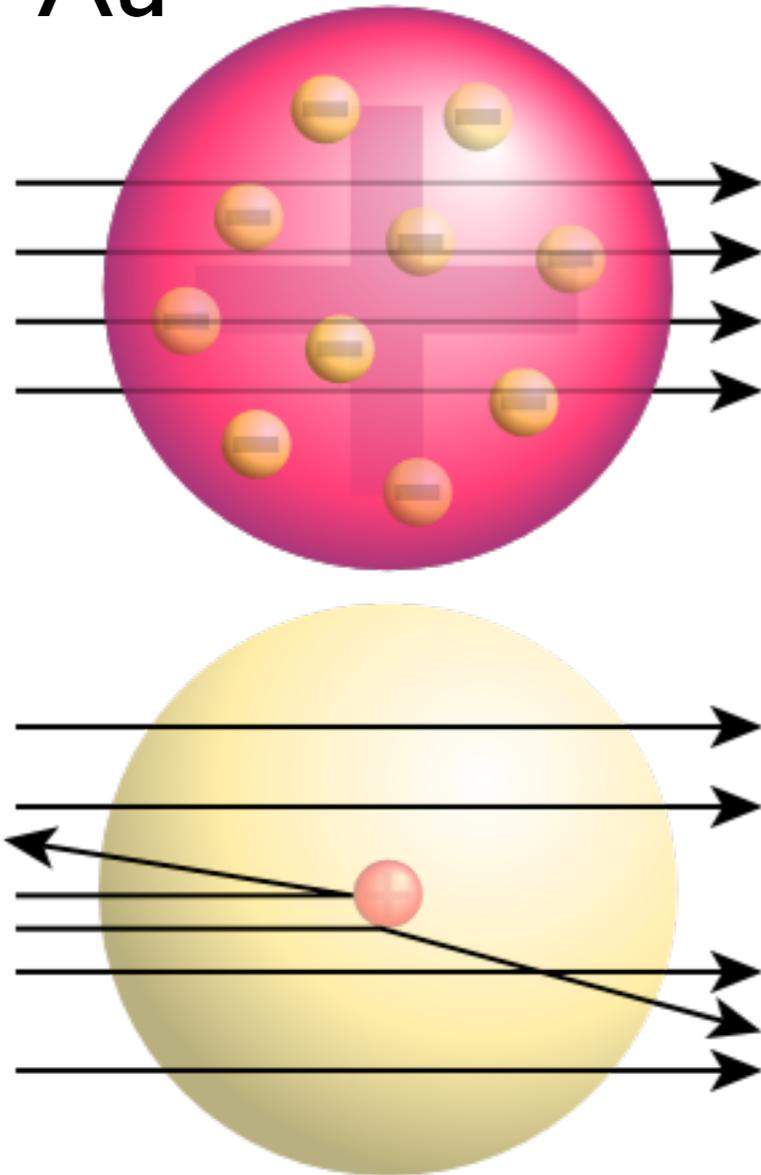
GeV
ギガ電子ボルト



クォーク
quark

ラザフォード散乱

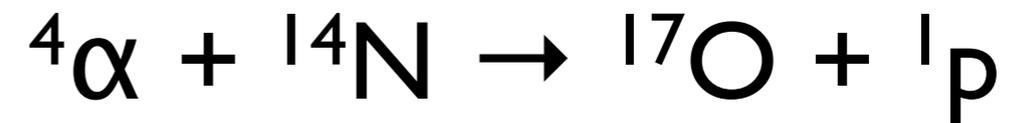
$\alpha + \text{Au}$



ラザフォードの原子模型

初の核変換実験

窒素ガス中において、Po からの α 線の到達距離の実験をしていた。



何らかの粒子が 40 cm 先の蛍光版を光らせた。
(α 線の到達距離は 1 気圧空气中で数 cm 程度)



E. Rutherford

周期表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																																
1	1 H 1.0079	Atomic Sym Mass																2 He 4.0026																																
2	3 Li 6.941	4 Be 9.0121	<table border="1"> <tr> <td>C 固体</td> <td colspan="5">金属</td> <td colspan="2">非金属元素</td> </tr> <tr> <td>Hg 液体</td> <td>アルカリ金属</td> <td>アルカリ土類金属</td> <td>ランタノイド</td> <td>遷移元素</td> <td>卑金属</td> <td>非金属元素</td> <td>希ガス</td> </tr> <tr> <td>H 気体</td> <td></td> <td></td> <td>アクチノイド</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rf Unknown</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										C 固体	金属					非金属元素		Hg 液体	アルカリ金属	アルカリ土類金属	ランタノイド	遷移元素	卑金属	非金属元素	希ガス	H 気体			アクチノイド					Rf Unknown								5 B 10.811	6 C 12.010	7 N 14.006	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.179
C 固体	金属					非金属元素																																												
Hg 液体	アルカリ金属	アルカリ土類金属	ランタノイド	遷移元素	卑金属	非金属元素	希ガス																																											
H 気体			アクチノイド																																															
Rf Unknown																																																		
3	11 Na 22.989	12 Mg 24.305											13 Al 26.981	14 Si 28.085	15 P 30.973	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948																																
4	19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.955	22 Ti 47.867	23 V 50.941	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.921	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798																																
5	37 Rb 85.467	38 Sr 87.62	39 Y 88.905	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.96	43 Tc (97.907)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90	46 Pd 106.42	47 Ag 107.86	48 Cd 112.41	49 In 114.81	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29																																
6	55 Cs 132.90	56 Ba 137.32	57-71	72 Hf 178.49	73 Ta 180.94	74 W 183.84	75 Re 186.20	76 Os 190.23	77 Ir 192.21	78 Pt 195.08	79 Au 196.96	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (208.98)	85 At (209.98)	86 Rn (222.01)																																
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (277)	109 Mt (268)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Cn (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)	117 Uus	118 Uuo (294)																																

For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses.

周期表 Design and Interface Copyright © 1997 Michael Dayah. <http://www.ptable.com/> Last updated: May 30, 2008

57 La 138.90	58 Ce 140.11	59 Pr 140.90	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.25	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.96
89 Ac (227)	90 Th 232.03	91 Pa 231.03	92 U 238.02	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)

元素周期表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 氢	Atomic Sym																	2 氦
2	3 锂	4 铍	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> 1 氢 Hydrogen 1.00794 1s¹ </div> <div> α A衰变 p Proton emission n Neutron emission SF Spontaneous fission </div> <div> β β衰变 β+ Beta+ decay EC Electron capture □ Stable </div> </div>															10 氖	
3	11 钠	12 镁	Selected All															18 氩	
4	19 钾	20 钙	21 钪	22 钛	23 钒	24 铬	25 锰	26 铁	27 钴	28 镍	29 铜	30 锌	31 镓	32 锗	33 砷	34 硒	35 溴	36 氪	
5	37 铷	38 锶	39 钇	40 锆	41 铌	42 钼	43 锝	44 钨	45 铼	46 钨	47 铟	48 锡	49 铊	50 铅	51 铟	52 碲	53 碘	54 氙	
6	55 铯	56 钡	57-71 镧系	72 铪	73 钽	74 钨	75 铼	76 钨	77 铱	78 铂	79 金	80 汞	81 铊	82 铅	83 铋	84 钋	85 砹	86 氡	
7	87 钫	88 镭	89-103 锕系	104 𨭎	105 𨭏	106 𨭐	107 𨭑	108 𨭒	109 𨭓	110 𨭔	111 𨭕	112 𨭖	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo	

铼

镅

这些原理没有一致稳定的同位素,大量的同位素最长的半衰期

元素周期表 设计版权 © 1997 Michael Dayah. <http://www.dayah.com/>
30, 2008

57 镧	58 铈	59 镨	60 钕	61 钐	62 铈	63 镧	64 铈	65 铈	66 铈	67 铈	68 铈	69 铈	70 铈	71 镱
89 锶	90 钪	91 钪	92 钪	93 钪	94 钪	95 钪	96 钪	97 钪	98 钪	99 钪	100 钪	101 钪	102 钪	103 钪

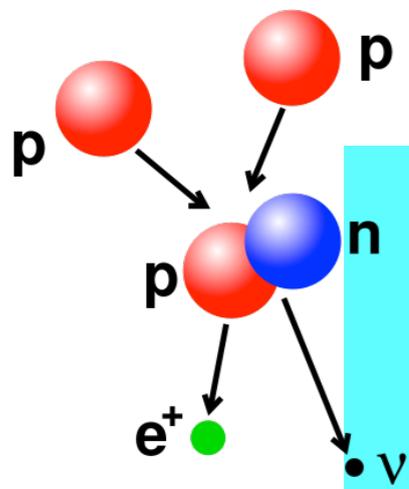
Periodic Table of Elements

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																																					
1	1 H 1 1.00794	<table border="0"> <tr> <td>Atomic Name</td> <td>Hydrogen-3</td> <td>α Alpha decay</td> <td>β Beta decay</td> <td>Selected</td> <td>All</td> </tr> <tr> <td>Mass</td> <td>3.01604927767</td> <td>p Proton emission</td> <td>β+ Beta+ decay</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Binding Energy</td> <td>2.827266</td> <td>n Neutron emission</td> <td>EC Electron capture</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Abundance</td> <td>0%</td> <td>SF Spontaneous fission</td> <td><input type="checkbox"/> Stable</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Half-Life</td> <td>12.32 y</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Decay Width</td> <td>1.174e-30</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>																	Atomic Name	Hydrogen-3	α Alpha decay	β Beta decay	Selected	All	Mass	3.01604927767	p Proton emission	β+ Beta+ decay			Binding Energy	2.827266	n Neutron emission	EC Electron capture			Abundance	0%	SF Spontaneous fission	<input type="checkbox"/> Stable			Half-Life	12.32 y					Decay Width	1.174e-30					2 He 2
Atomic Name	Hydrogen-3	α Alpha decay	β Beta decay	Selected	All																																																		
Mass	3.01604927767	p Proton emission	β+ Beta+ decay																																																				
Binding Energy	2.827266	n Neutron emission	EC Electron capture																																																				
Abundance	0%	SF Spontaneous fission	<input type="checkbox"/> Stable																																																				
Half-Life	12.32 y																																																						
Decay Width	1.174e-30																																																						
2	3 Li 2 6.941	4 Be 2 9.0122	5 B 2 10.811	6 C 3 12.011	7 N 3 14.007	8 O 3 15.999	9 F 2 18.998	10 Ne 3 20.180																																															
3	11 Na 2 22.990	12 Mg 3 24.305											13 Al 2 26.982	14 Si 4 28.086	15 P 3 30.974	16 S 5 32.065	17 Cl 3 35.453	18 Ar 7 39.948																																					
4	19 K 3 39.098	20 Ca 9 40.078	21 Sc 5 (44.956)	22 Ti 6 47.883	23 V 4 50.942	24 Cr 5 51.996	25 Mn 4 54.938	26 Fe 7 55.845	27 Co 5 58.933	28 Ni 8 58.693	29 Cu 2 63.546	30 Zn 7 65.38	31 Ga 2 69.723	32 Ge 7 72.630	33 As 3 74.922	34 Se 9 78.96	35 Br 2 79.904	36 Kr 9 83.80																																					
5	37 Rb 5 85.468	38 Sr 9 87.62	39 Y 5 (88.906)	40 Zr 8 91.224	41 Nb 5 92.906	42 Mo 9 95.94	43 Tc 5 (98.906)	44 Ru 10 101.07	45 Rh 5 101.07	46 Pd 9 106.36	47 Ag 6 107.868	48 Cd 11 112.411	49 In 2 114.818	50 Sn 11 118.710	51 Sb 3 121.757	52 Te 11 127.6	53 I 3 126.905	54 Xe 13 131.29																																					
6	55 Cs 4 132.905	56 Ba 8 137.327	57-71 Lanthanides	72 Hf 8 178.49	73 Ta 7 180.948	74 W 7 183.84	75 Re 2 186.207	76 Os 11 190.23	77 Ir 7 192.222	78 Pt 9 195.084	79 Au 5 196.967	80 Hg 11 200.59	81 Tl 3 204.38	82 Pb 6 207.2	83 Bi 3 208.98	84 Po 3 (209)	85 At 1 (210)	86 Rn 2 (222)																																					
7	87 Fr 3 (223)	88 Ra 4 (226)	89-103 Actinides	104 Rf 1 (261)	105 Db 1 (262)	106 Sg 1 (263)	107 Bh 2 (264)	108 Hs 2 (265)	109 Mt 1 (266)	110 Ds 1 (271)	111 Rg 1 (272)	112 Cn 1 (285)	113 Uut 1 (284)	114 Uuq 1 (289)	115 Uup 1 (288)	116 Uuh 1 (289)	117 Uus 1 (289)	118 Uuo 1 (294)																																					

For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses.

Periodic Table Design and Interface Copyright © 1997 Michael Dayah. <http://www.ptable.com/> Last updated: May 30, 2008

57 La 3	58 Ce 8	59 Pr 3	60 Nd 7	61 Pm 3	62 Sm 8	63 Eu 4	64 Gd 7	65 Tb 3	66 Dy 8	67 Ho 5	68 Er 11	69 Tm 5	70 Yb 11	71 Lu 4
89 Ac 3	90 Th 6	91 Pa 6	92 U 6	93 Np 3	94 Pu 6	95 Am 3	96 Cm 8	97 Bk 5	98 Cf 7	99 Es 4	100 Fm 4	101 Md 3	102 No 3	103 Lr 1



Periodic Table of Elements

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

陽子 p
 重陽子 pn
 三重陽子 pnn
原子核
 アルファ粒子
 $\alpha = ppnn$
 ${}^3\text{He}^{++} = ppn$

H	Hydrogen	水素	氫 qīng
${}^1\text{H}$ (H)	Protium	軽水素	気 piē
${}^2\text{H}$ (D)	Deuterium	重水素	気 dāo
${}^3\text{H}$ (T)	Tritium	三重水素	気 chuān
He	Helium	ヘリウム	氦 hài
${}^4\text{He}$	Helium-4	ヘリウム4	
${}^3\text{He}$	Helium-4	ヘリウム3	原子

放射性物質とは

放射性核種
= 放射性同位体
= 不安定原子核

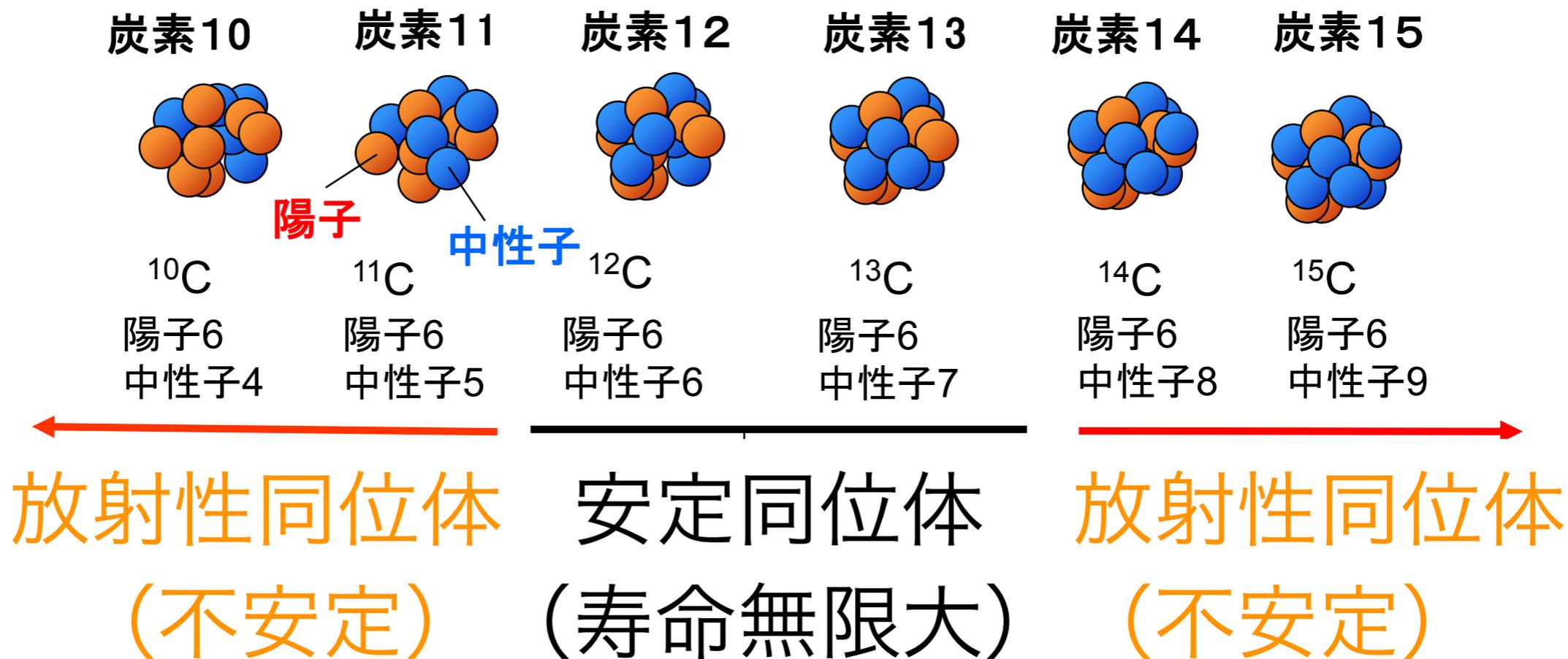
を含む原子からできている物質

$$\text{質量数 } A = Z + N$$

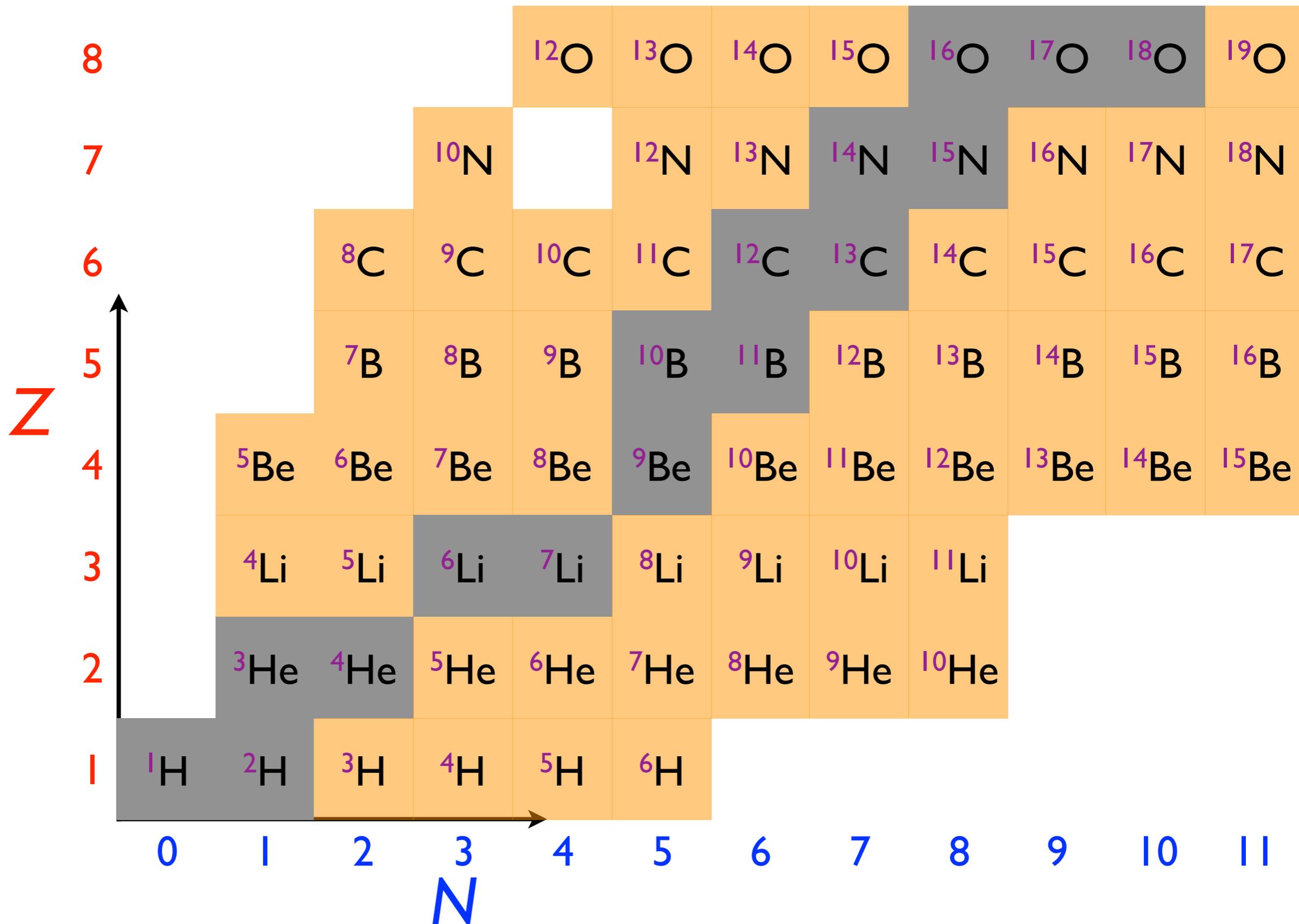


陽子数 Z が同じなら化学的には同じ元素
中性子数 N が違う原子核が多種存在する

炭素原子核の例



核图表



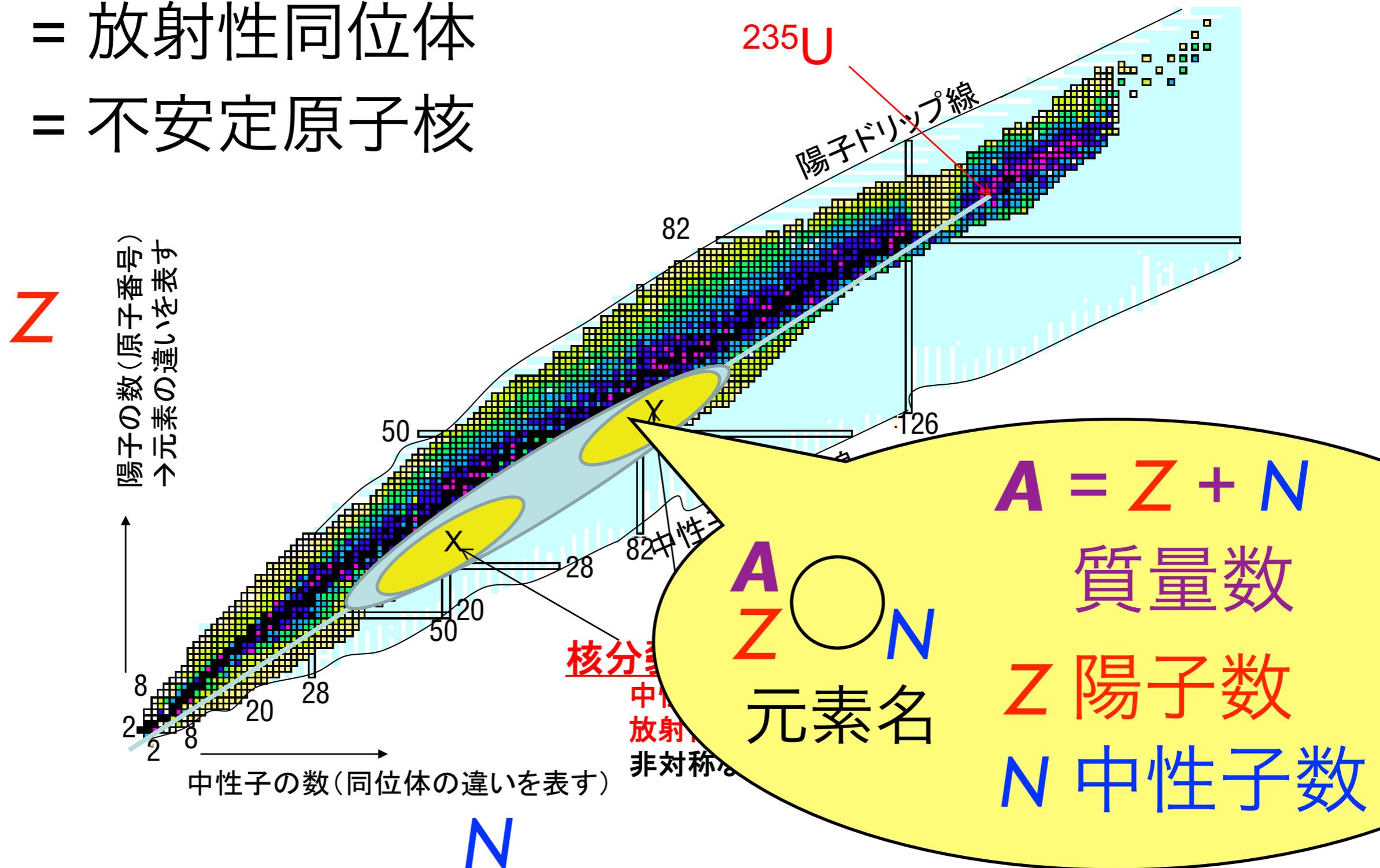
放射性物質とは

放射性核種

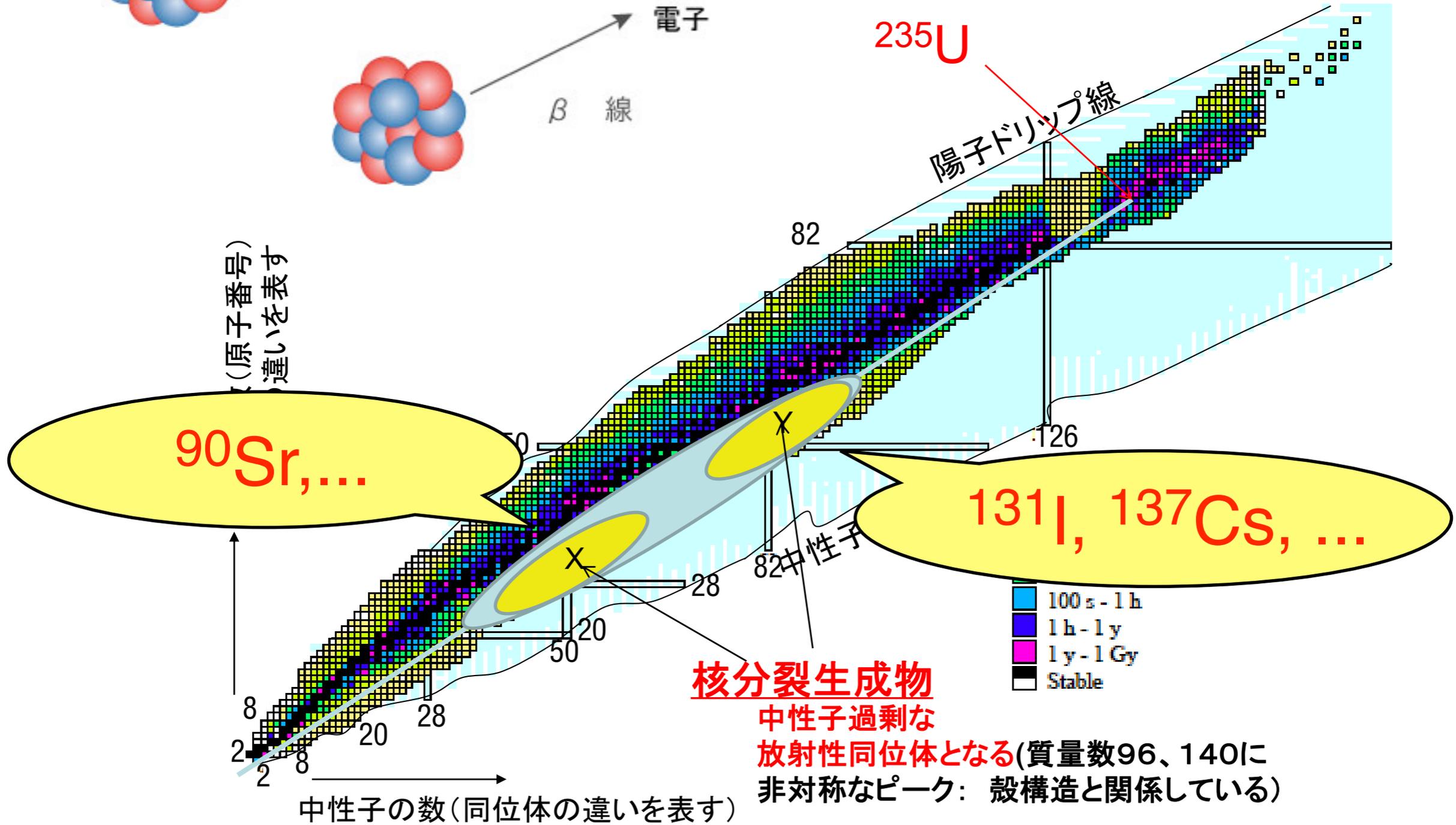
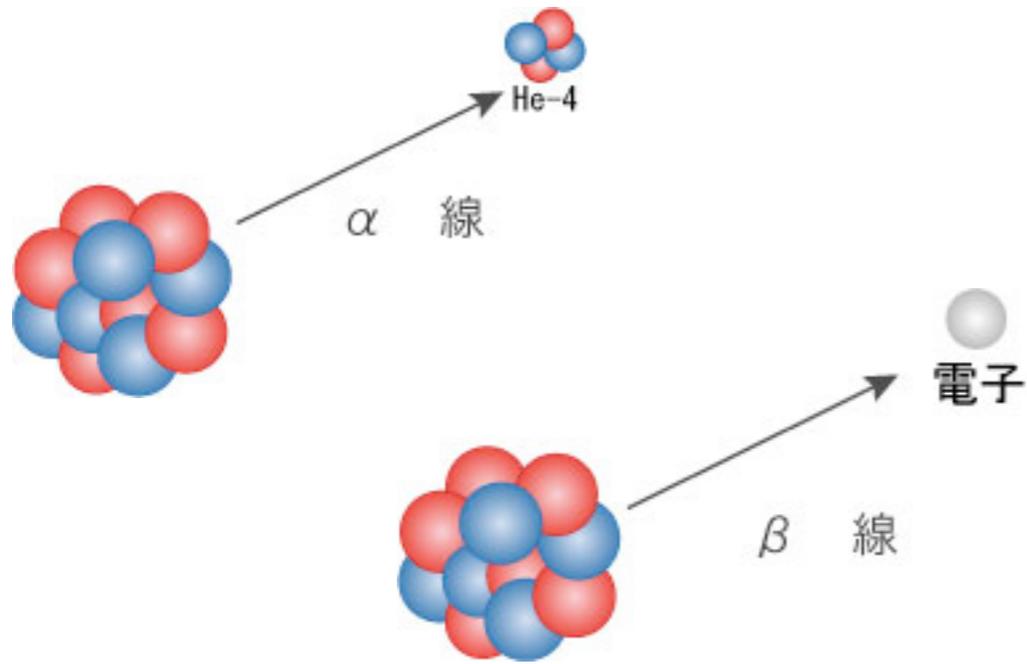
= 放射性同位体

= 不安定原子核

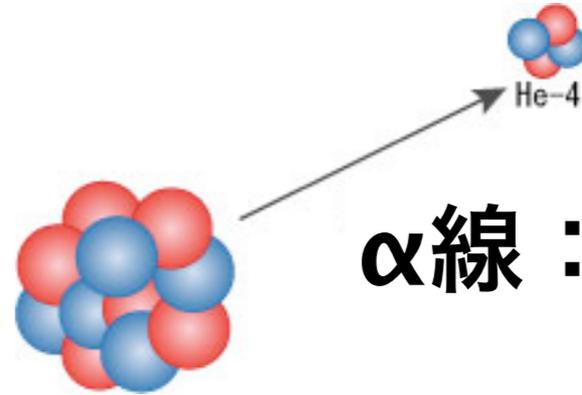
核図表



放射能とは 放射性物質が放射線を出す能力のこと。

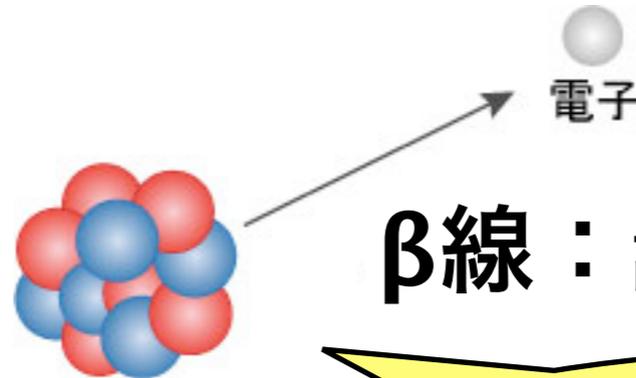


$^{222}\text{Rn}, \dots$



α 線：ヘリウム原子核

$^{90}\text{Sr}, \dots$



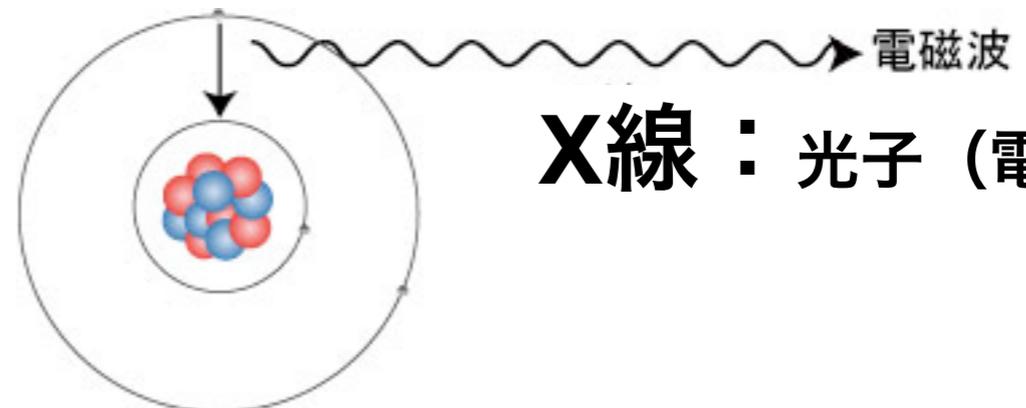
β 線：高速の電子

$^{131}\text{I}, ^{137}\text{Cs}, \dots$



γ 線：光子（電磁波）

放射能とは 放射性物質が放射線を出す能力のこと。



X線：光子（電磁波）

Nuclear Science

Nuclear Science is the study of the structure, properties, and interactions of the atomic nuclei. Nuclear scientists calculate and measure the masses, shapes, sizes, and decays of nuclei at rest and in collisions. They ask questions, such as "Why do nuclei stay in the nucleus?" "What combinations of protons and neutrons are possible?" "What happens when nuclei are compressed or rapidly rotated?" "What is the origin of the nuclei found on Earth?"

Legend

- electron (e^-)
- positron (e^+)
- neutrino (ν)
- antineutrino ($\bar{\nu}$)
- quark
- gluon field
- gluon
- photon (γ)
- Nucleon: $A = Z + N$

Expansion of the Universe

After the Big Bang, the universe expanded and cooled. At about 10^{-35} second, the universe consisted of a soup of quarks, gluons, electrons, and neutrinos. When the temperature of the Universe, T_{univ} , cooled to about 10^{12} K, this soup condensed into protons, neutrons, and electrons. As time progressed, most of the protons and neutrons formed deuterium, helium, and lithium nuclei. Still later, electrons combined with protons and these low-mass nuclei to form neutral atoms. Due to gravity, clouds of atoms condensed into stars, where hydrogen and helium fused into more massive chemical elements. Expanding and impermeable from the most massive elements and dispersed them into space. Our earth was formed from supernova debris.



Phases of Nuclear Matter



Unstable Nuclei

Stable nuclei form a narrow white band on the Chart of the Nuclides. Scientists produce unstable nuclei far from this band and study their decays, thereby learning about the extremes of nuclear conditions. In its present form, this chart contains about 2500 different nuclides. Nuclear theory predicts that there are at least 4000 more to be discovered with $Z \leq 112$.



Radioactivity

Alpha Decay: $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$

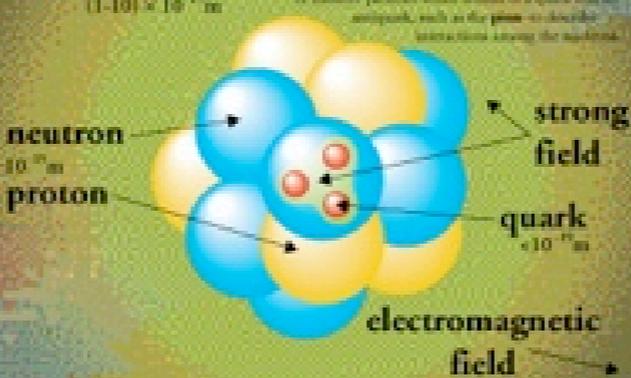
Beta Minus Decay: $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$

Beta Plus Decay: $^{11}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + e^+ + \nu_e$

Gamma Decay: $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{60}_{27}\text{Co} + \gamma$

Radioactive decay transforms a nucleus by emitting different particles. In alpha decay, the nucleus releases a ^4_2He nucleus—an alpha particle. In beta decay, the nucleus either emits an electron and antineutrino for a proton and neutron) or captures an atomic electron and emits a positron and neutrino. A positron is the same for the antiparticle of the electron. Antineutrino is composed of anti-particle. Both alpha and beta decays change the original nucleus into a nucleus of a different chemical element. In gamma decay, the nucleus lowers its internal energy by emitting a photon—a gamma ray. This decay does not modify the chemical properties of the atom.

The Nucleus



Nuclear reactions release energy when the total mass of the products is less than the sum of the masses of the initial nuclei. The "lost mass" appears as kinetic energy of the products ($E = mc^2$). In fission, a massive nucleus splits into two major fragments that usually emit one or more neutrons. In fusion, low mass nuclei combine plus one or more ejected particles—neutrons, protons, photons, or alpha particles.

Nuclear Energy

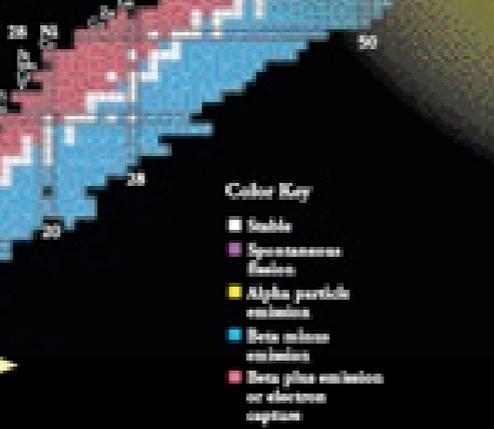
Fission: $^{235}_{92}\text{U} + n \rightarrow ^{141}_{54}\text{Xe} + ^{92}_{38}\text{Sr} + 2n$

Fusion: $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + n$

In the early stages of nuclear reactions of our sun and other stars, hydrogen fuses to form helium, releasing energy in the form of photons (light) and neutrinos. During the later stages of stellar evolution, more massive nuclei up to and beyond uranium are synthesized by fusion. By measuring the number of reactions that come from the Sun, scientists recently have demonstrated that neutrinos must have a mass greater than zero.

Chart of the Nuclides

The Chart of the Nuclides presents in graphic form all known nuclei with atomic number, Z , and neutron number, N . Each nuclide is represented by a box colored according to its predominant decay mode. Magic numbers (2 or $Z = 2, 8, 20, 28, 50, 82$ and 126) are indicated by a rectangle on the chart. They correspond to major closed shells and show regions of greater nuclear binding energy.



Applications

Radioactive Dating: Recently, scientists have used radiocarbon dating with ^{14}C to date objects that were once living, such as wood. For example, from a study of pollen found at the site, scientists determined that Pompeii was built nearly 4,000 years ago.

Smoke Detectors: Many smoke detectors use a small amount of the alpha emitter ^{241}Am to ionize the air. Smoke entering the detector reduces the current and sets off the alarm.

Nuclear Medicine: Radiocarbon isotopes such as ^{14}C , ^{13}C , and ^{15}C are commonly used in the diagnosis and treatment of disease. Technetium isotopes such as ^{99}Tc are used in Technetium Scintigraphy (Tc-99m) to produce images of bone activity.

Space Exploration: Exposure and alpha particles in specially designed detectors placed in Martian soils. The Earth, nuclear reactions are used to study some form of potential contamination or an environment.

Nuclear Reactors: Nuclear power on the basis of ^{235}U or ^{239}Pu nuclei to produce electric power. Reactors will have other nuclear applications generate radioactive waste disposal of the waste is a subject of current research.

Magnetic Resonance Imaging: Magnetic Resonance Imaging (MRI) utilizes one of nuclei reactions involving the magnetic field of a nucleus to study the local chemical environment. The technique accurately maps the density of hydrogen to produce three-dimensional images of the human body.

www.CPEPweb.org



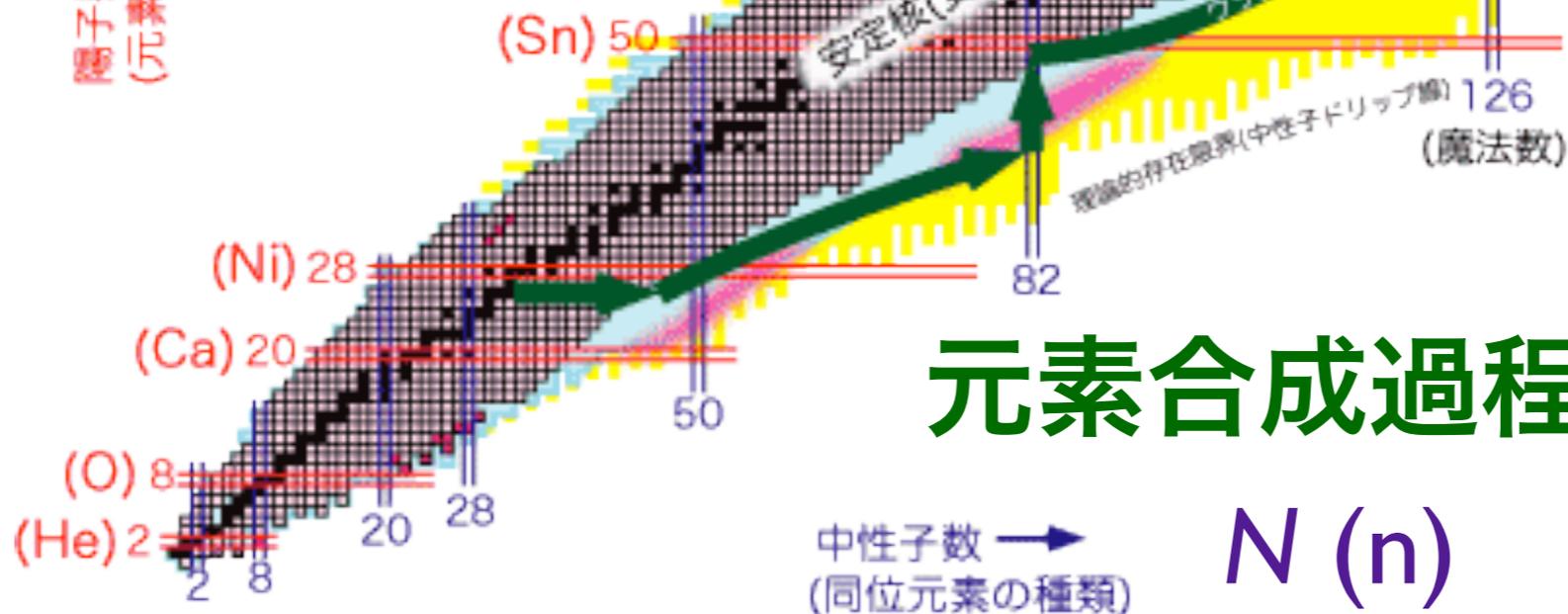
RIKEN

強度 > 1 個/日

- 安定核の破碎
- ウランの核分裂と破碎

Z (p)

↑陽子数
(元素の種類)



中性子過剰核

- RIビームファクトリーで拡大される生成可能なRIの領域
- 天然に存在する原子核
- これまでに発見されたRI
- 理研で新たに発見されたRI
- 原子核の存在限界 (理論的予想)
- 魔法数 (マジックナンバー)
- 超新星爆発で作られた不安定核 (ウランまでの元素が合成)の道筋

Nuclear Chart 核図表

放射性元素の命名 (赤字は加速器・緑字は原子炉・青字は水爆で生成したものの)

性質 : $_{43}\text{Tc}$, $_{85}\text{At}$, $_{88}\text{Ra}$, $_{89}\text{Ac}$, $_{91}\text{Pa}$

神話 : $_{61}\text{Pm}$, $_{90}\text{Th}$, $_{92}\text{U}$, $_{93}\text{Np}$, $_{94}\text{Pu}$

発見地や発見者の国名 :

$_{84}\text{Po}$, $_{87}\text{Fr}$, $_{95}\text{Am}$, $_{97}\text{Bk}$, $_{98}\text{Cf}$, $_{105}\text{Db}$, $_{108}\text{Hs}$, $_{110}\text{Ds}$

偉大な科学者名 (発見者でない) : $_{96}\text{Cm}$, $_{99}\text{Es}$, $_{100}\text{Fm}$, $_{101}\text{Md}$,
 $_{102}\text{No}$, $_{103}\text{Lr}$, $_{104}\text{Rf}$, $_{106}\text{Sg}$, $_{107}\text{Bh}$, $_{109}\text{Mt}$, $_{111}\text{Rg}$, $_{112}\text{Cn}$

発見した加速器施設

米国 California大 Berkeley校ほか、シーボーグら :

$_{93}\text{Np}$, $_{94}\text{Pu}$, $_{95}\text{Am}$, $_{96}\text{Cm}$, $_{97}\text{Bk}$, $_{98}\text{Cf}$, $_{99}\text{Es}$, $_{100}\text{Fm}$, $_{101}\text{Md}$, $_{102}$, $_{103}\text{Lr}$, $_{104}$, $_{105}$, $_{106}$

ロシア合同原子核研究所 (Дубна = Dubna): $_{102}$, $_{104}$, $_{105}\text{Db}$, $_{106}$, $_{107}$, $_{113}$ – $_{118}$

ドイツ重イオン研究所 GSI (Darmstadt) : $_{107}$, $_{108}\text{Hs}$, $_{109}$, $_{110}\text{Ds}$, $_{111}$, $_{112}$

113 Uut (ジャポニウム Jp ??) 生成 2004年 理研 森田浩介氏ら

周期表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1.0079																	2 He 4.0026
3 Li 6.941	4 Be 9.0121											5 B 10.811	6 C 12.010	7 N 14.006	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne
11 Na 22.989	12 Mg 24.305											13 Al 26.981	14 Si 28.085	15 P 30.973	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar
19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.955	22 Ti 47.867	23 V 50.941	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.921	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr
37 Rb 85.467	38 Sr 87.62	39 Y 88.905	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.96	43 Tc 98.906	44 Ru 101.07	45 Rh 102.905	46 Pd 106.42	47 Ag 107.868	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.757	52 Te 127.60	53 I 126.905	54 Xe
55 Cs 132.905	56 Ba 137.327	57-71 Lanthanides	72 Hf 178.49	73 Ta 180.948	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.222	78 Pt 195.084	79 Au 196.967	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 Actinides	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (277)	109 Mt (268)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Cn (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)	117 Uus (294)	118 Uuo

113 Jp ??
Japonium ??

116 Lv ?
Livermorium ?

114 Fl ?
Flerovium ?

2011/12 IUPAC 発表。
意見募集中。

超重元素
For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope is in parentheses.
周期表 Design and Interface Copyright © 1997 Michael Dayah. <http://www.ptable.com>

57 La 138.90	58 Ce 140.11	59 Pr 140.90	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93
89 Ac (227)	90 Th 232.03	91 Pa 231.03	92 U 238.02	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)

米口の共同研究

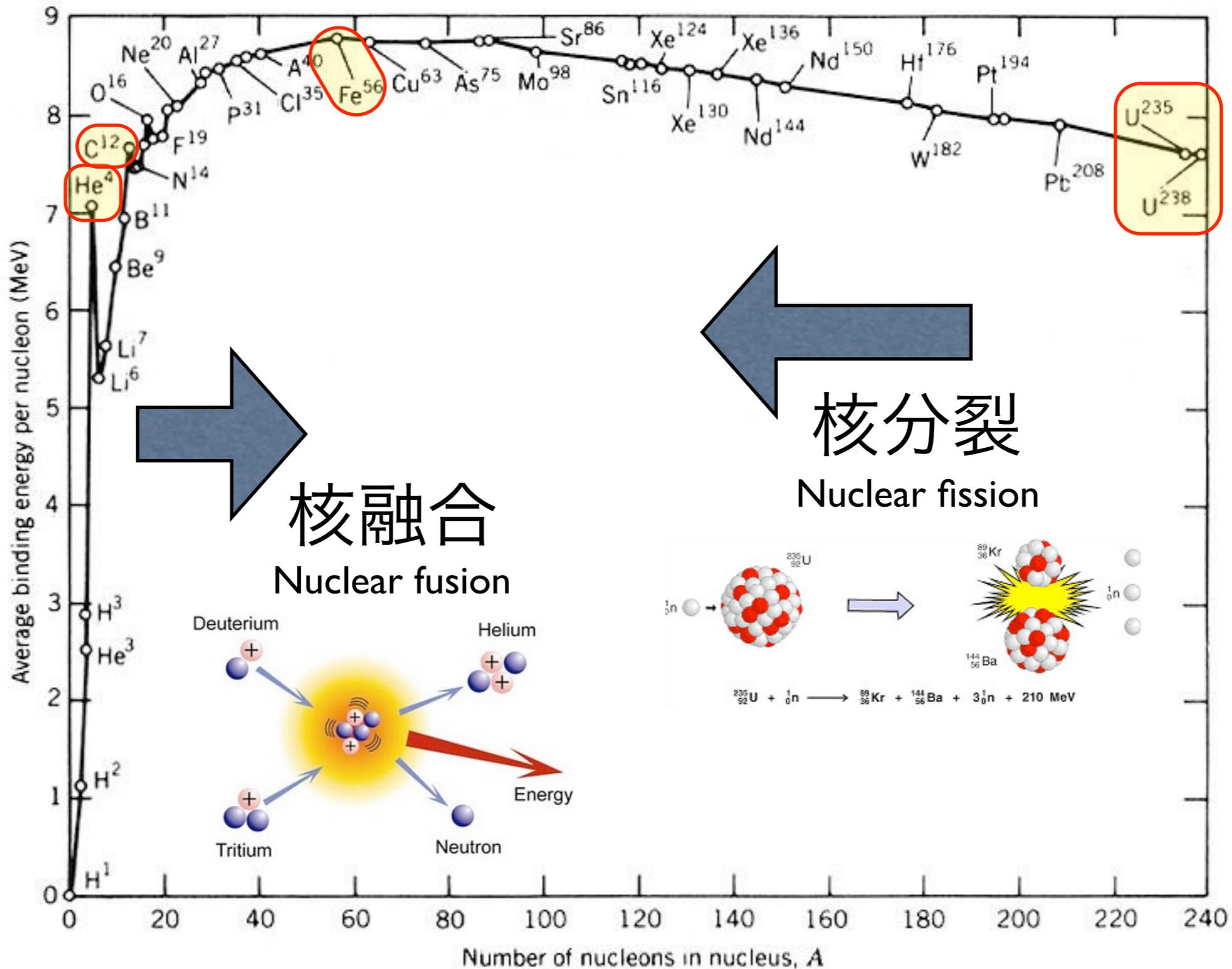
ロシア合同原子核研究所の原子核反応研究室創設者 Georgy Flërov
米国 Lawrence-Livermore 国立研究所

原子力発電のしくみ

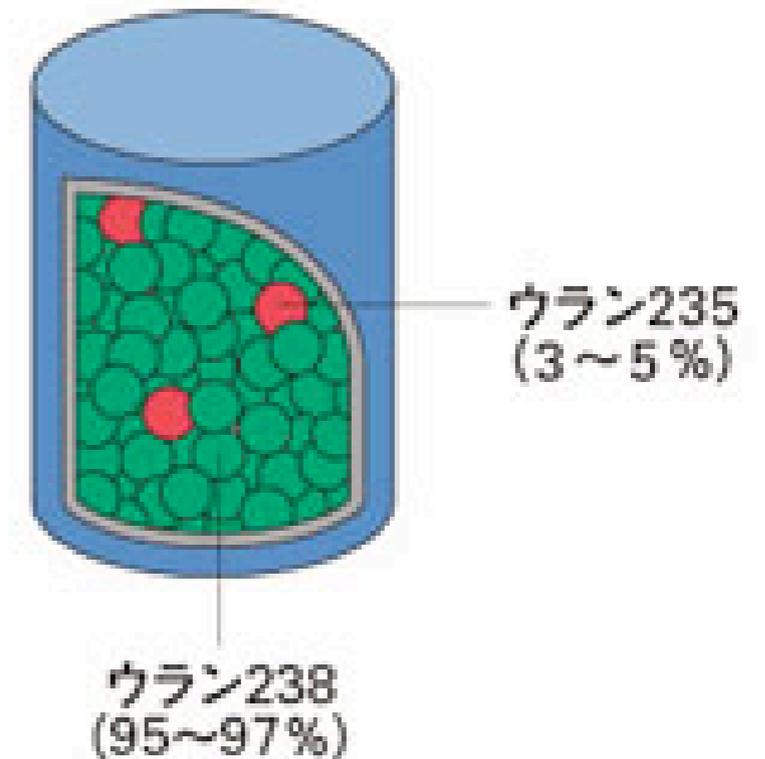
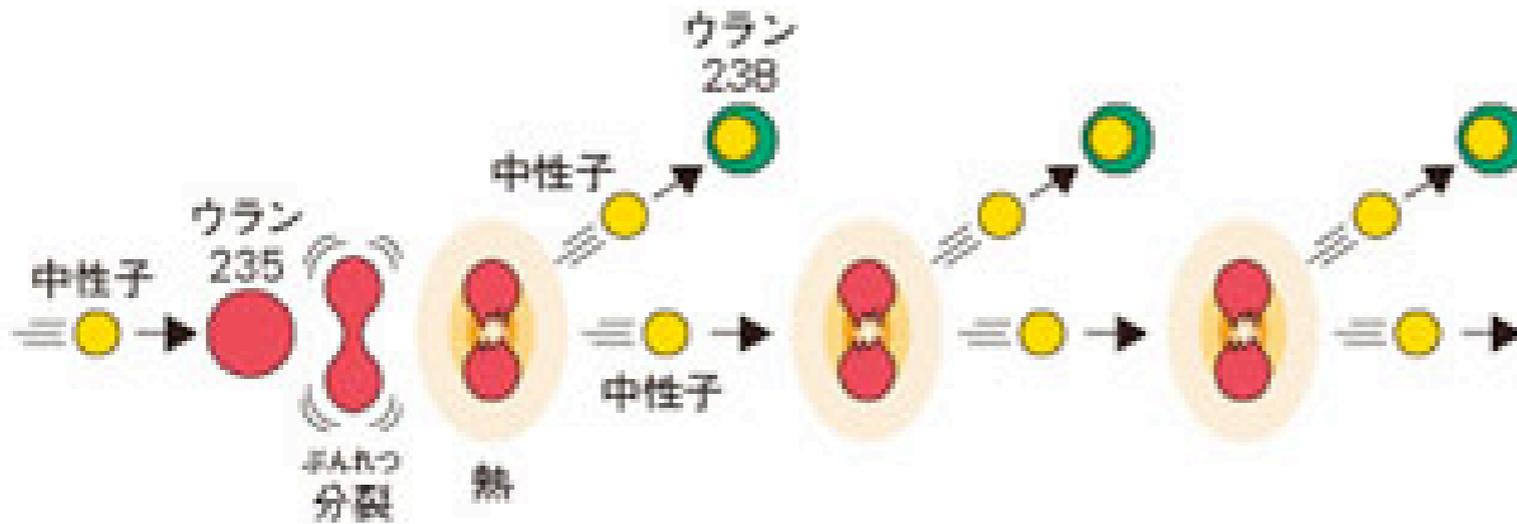
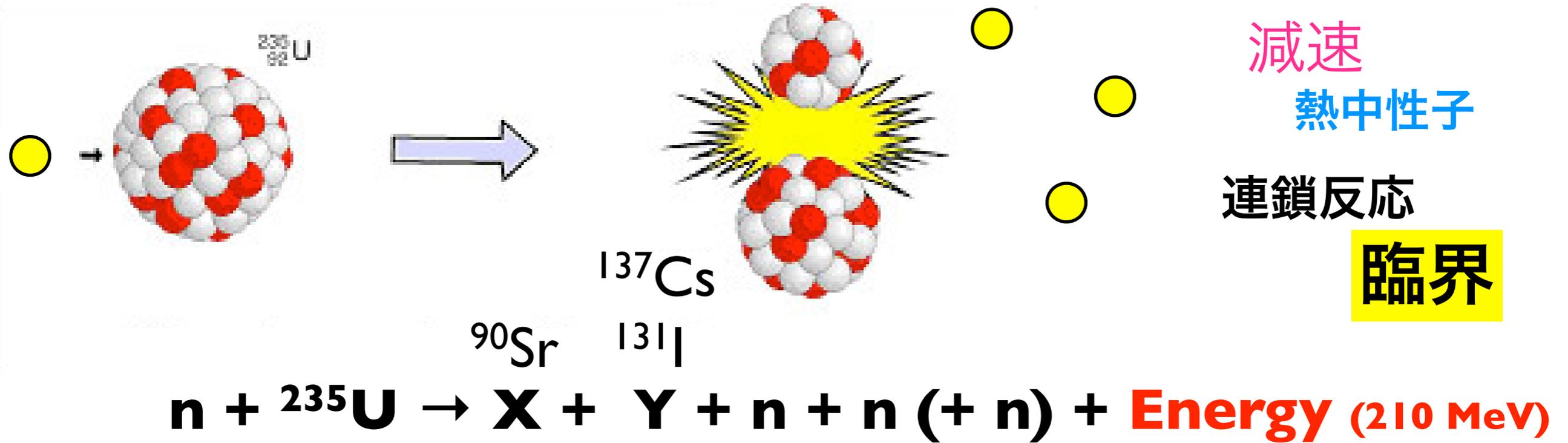
《原子力工学》

最も安定な原子核は？

核子あたりの結合エネルギー (MeV)



原子核分裂反応



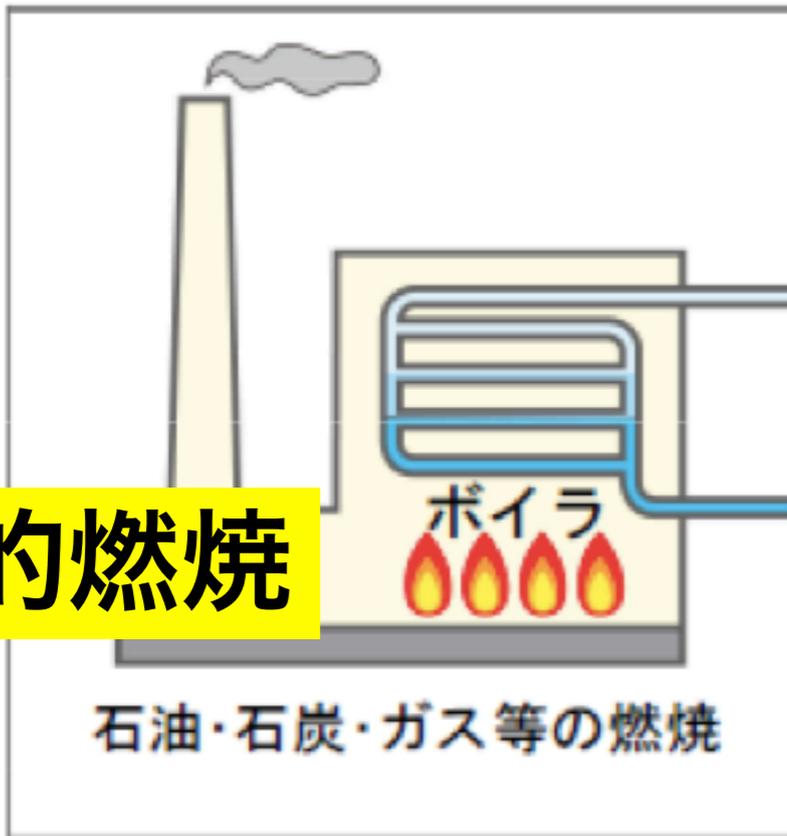
中性子 + ウラン 235 / 238

👉 ${}^{235}\text{U}$ 濃縮燃料を使う

火力発電と原子力発電の違い

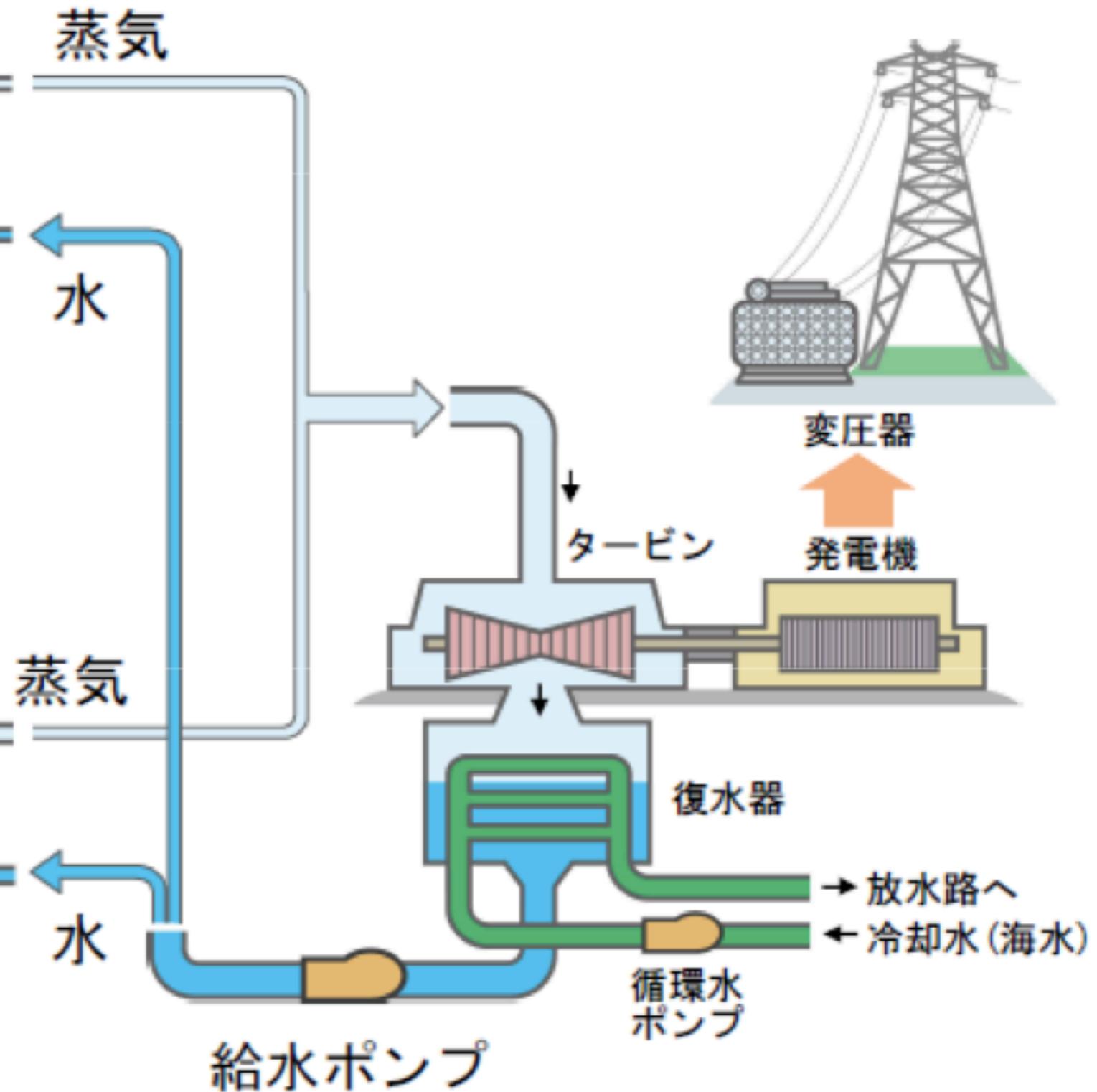
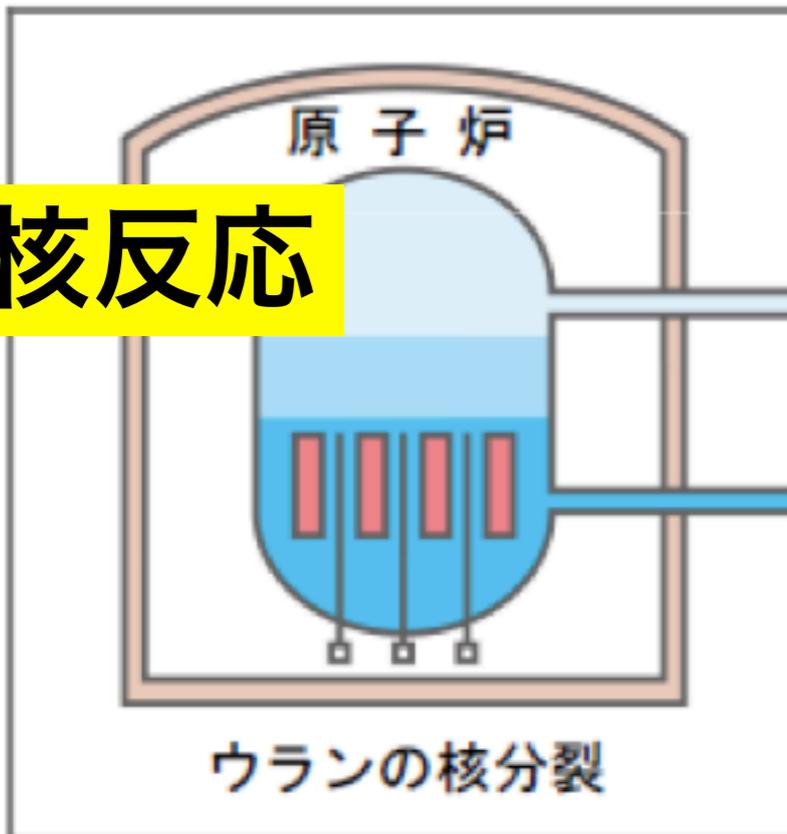
火力

化学的燃焼

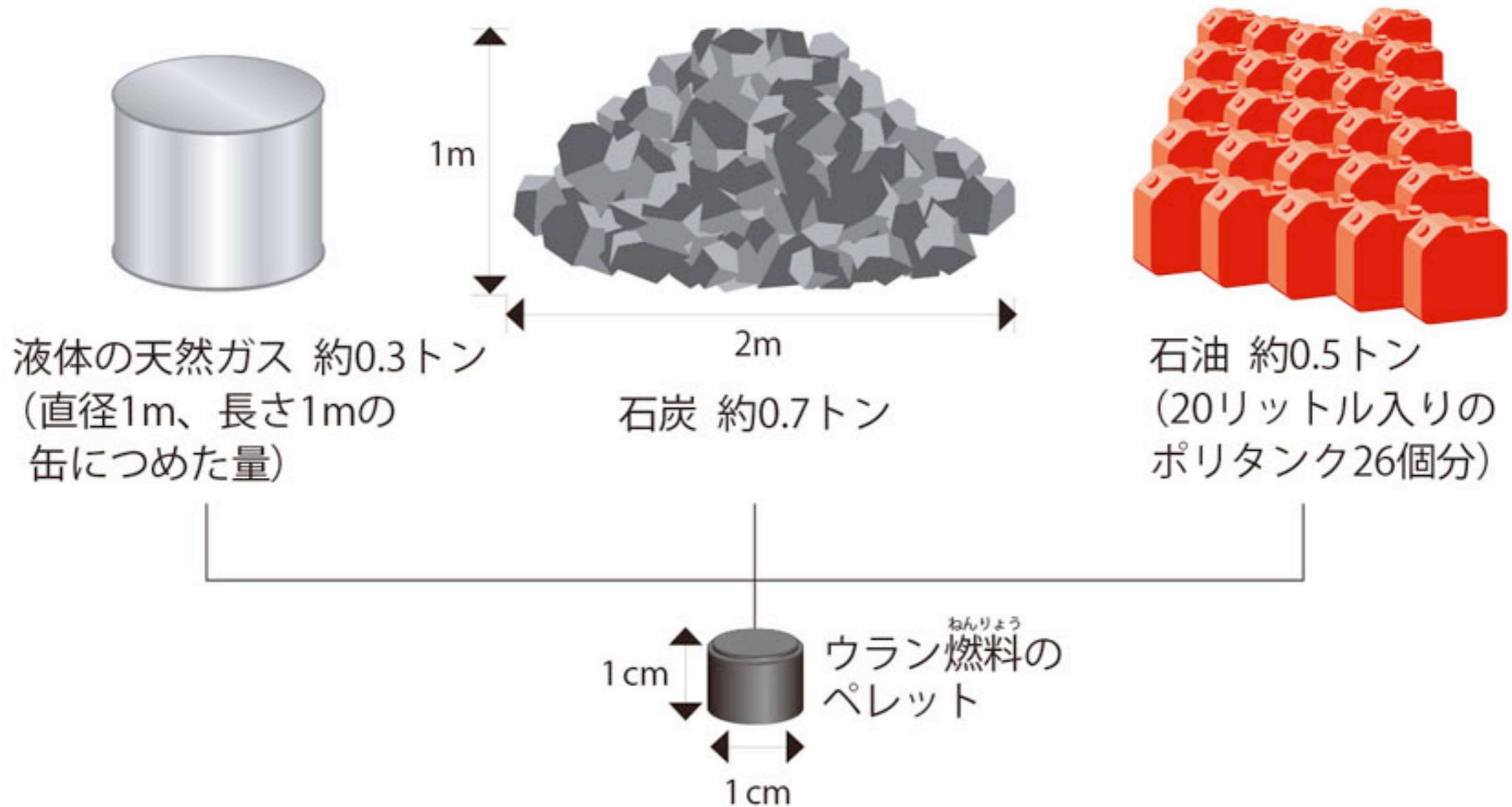


原子核反応

原子力



《 エネルギー源の比較(原子力発電と火力発電) 》

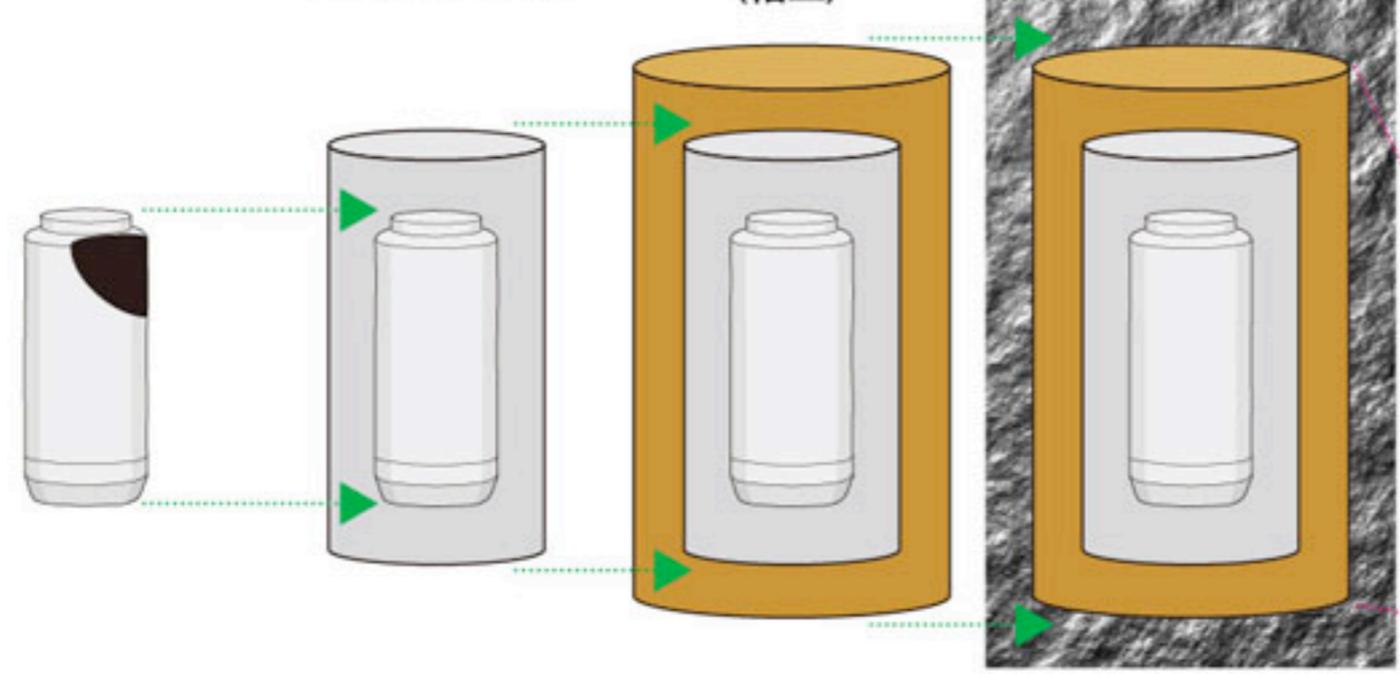


原子力発電のエネルギー源であるウラン燃料は、直径1cm、高さ1cmのペレットに焼き固めて使います。このペレット1個で一般の家庭で使う8~9か月分の電力(2,600kWh)を発電できます。これは天然ガスで約0.3トン、石炭で約0.7トン、石油で約0.5トンを燃やして発電できる電力量に相当します。

《 高レベル放射性廃棄物の処分方法 》

多重バリアシステム

- | 人工バリア | | | 天然バリア |
|--------|---------------------|-------------|-------|
| バリア 1 | バリア 2 | バリア 3 | バリア 4 |
| ガラス固化体 | オーバーパック
(金属製の容器) | 緩衝材
(粘土) | 岩盤 |



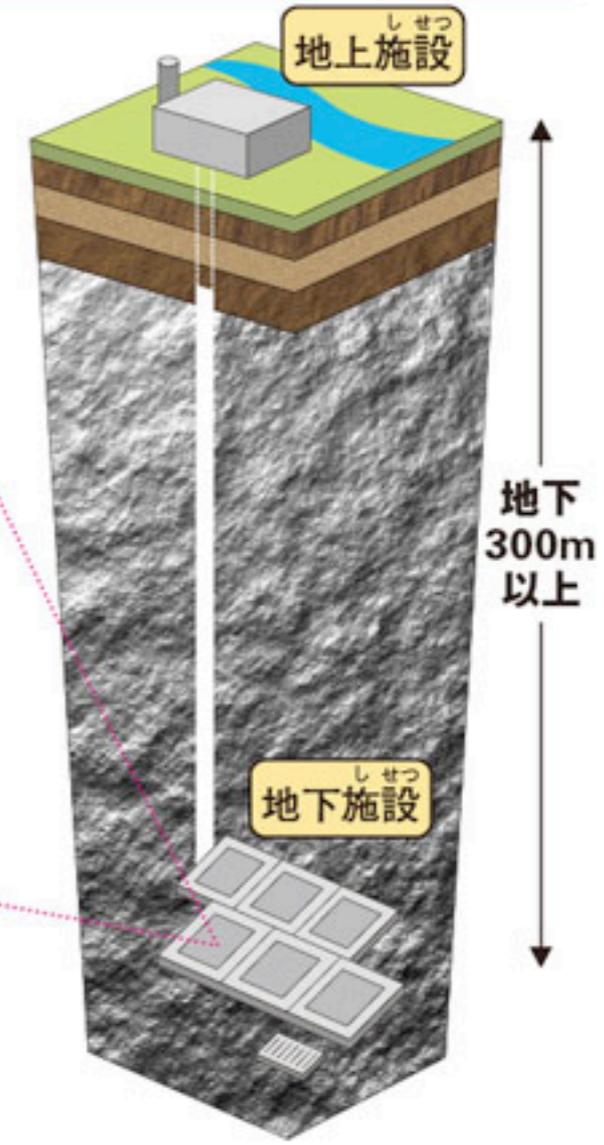
ガラスは放射性物質が地下水に溶け出しにくくします。

厚さ約20cmの金属製の容器。ガラスと地下水が接触するのを防ぎます。

オーバーパックをおお厚さ約70cmの粘土。粘土は水を通しにくく、地下水と放射性物質の移動をおそくします。

地下深くの安定した岩盤は、長期間、放射性物質を閉じ込める力を持っています。また酸素が少なく金属はさびにくくなります。

高レベル放射性廃棄物処分施設



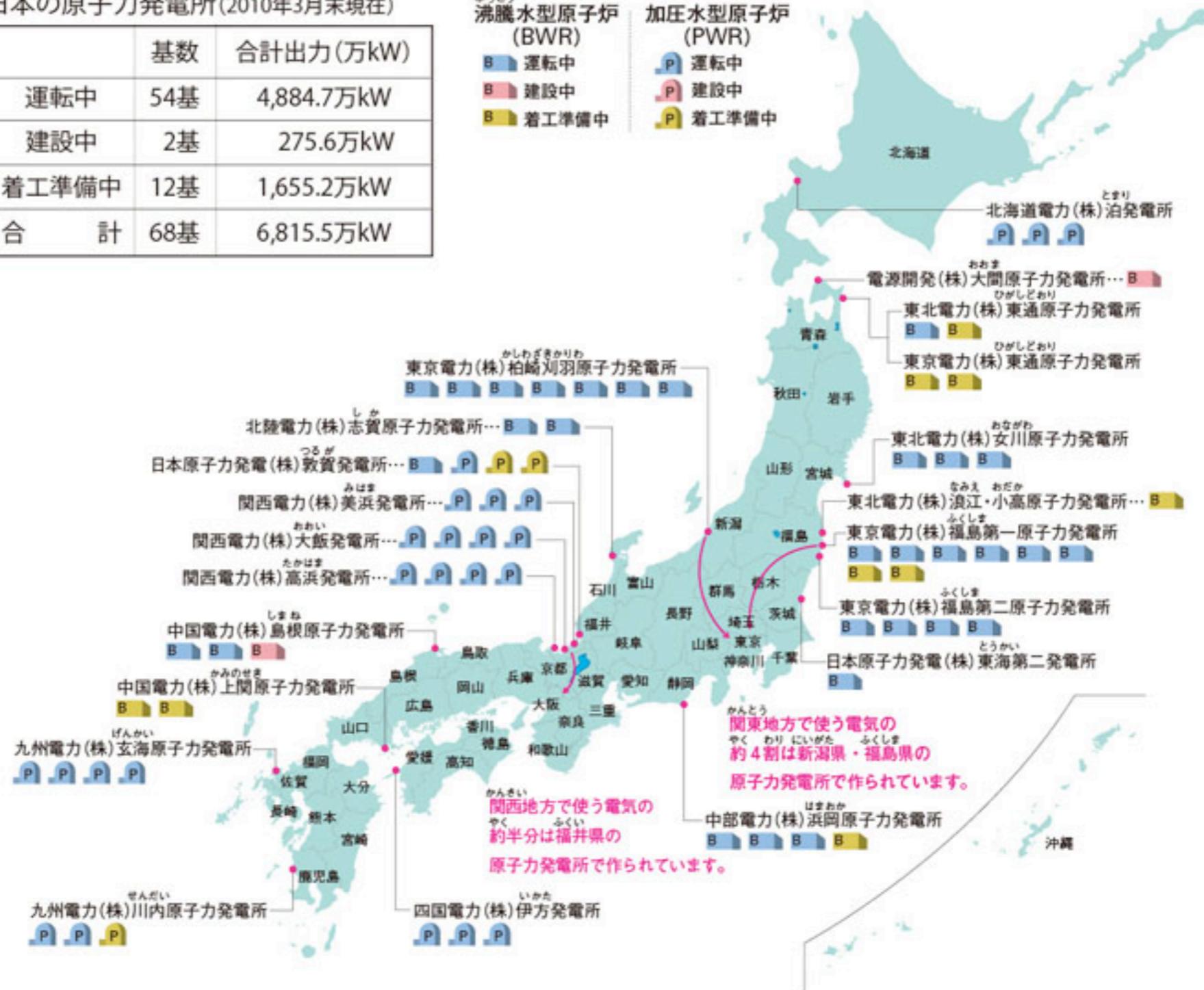
《 日本の原子力発電所 》

日本の原子力発電所(2010年3月末現在)

	基数	合計出力(万kW)
運転中	54基	4,884.7万kW
建設中	2基	275.6万kW
着工準備中	12基	1,655.2万kW
合計	68基	6,815.5万kW

沸騰水型原子炉 (BWR) 加圧水型原子炉 (PWR)

■ 運転中 ■ 運転中
■ 建設中 ■ 建設中
■ 着工準備中 ■ 着工準備中

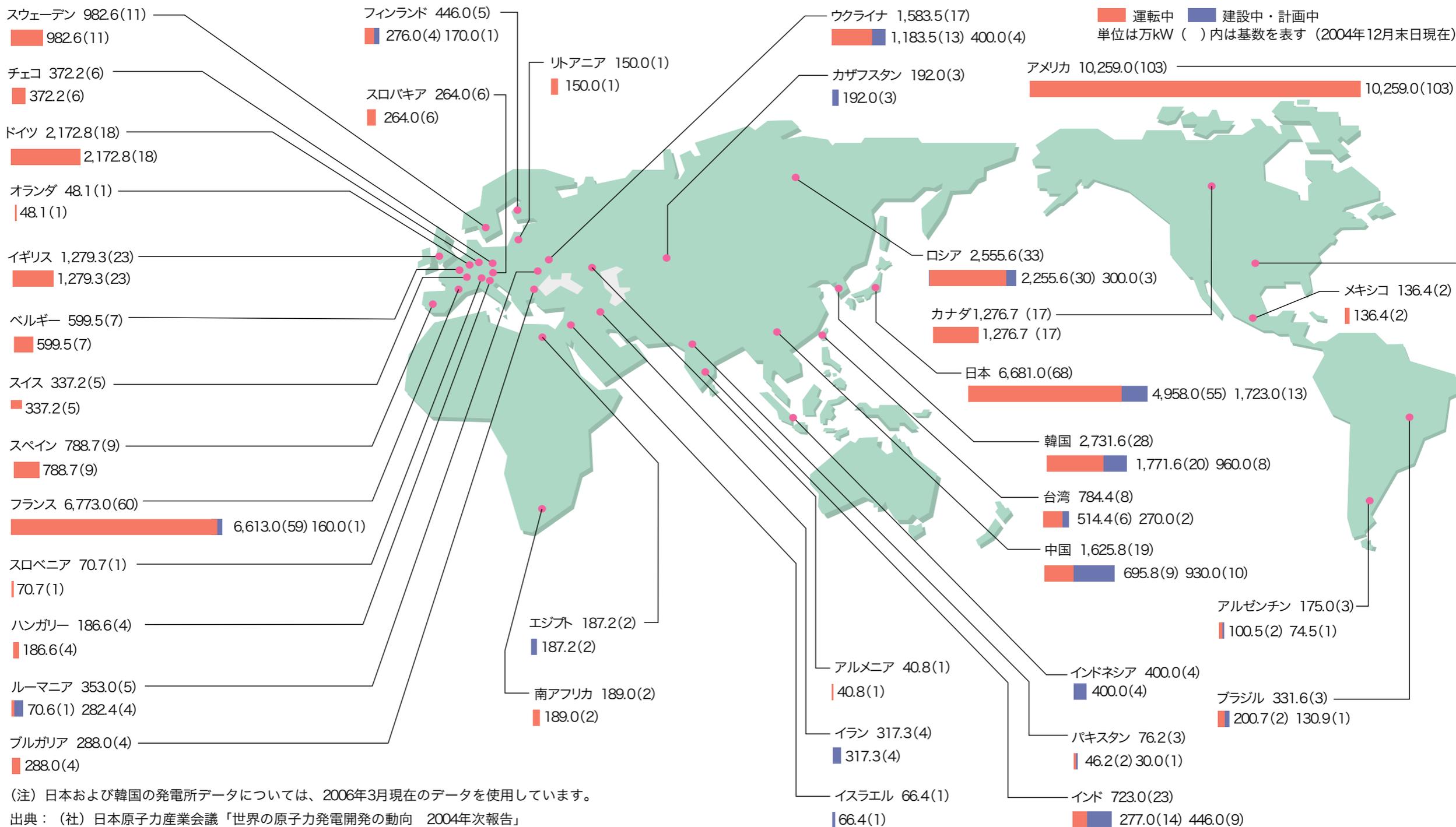




石油に代わるエネルギーとして、世界各国の原子力発電への期待は大きく、世界中で、2004年12月末現在、運転中の原子炉は434基3億7,920万キロワットにおよび、設備容量は、アメリカ、フランス、日本、ロシア、ドイツ、韓国

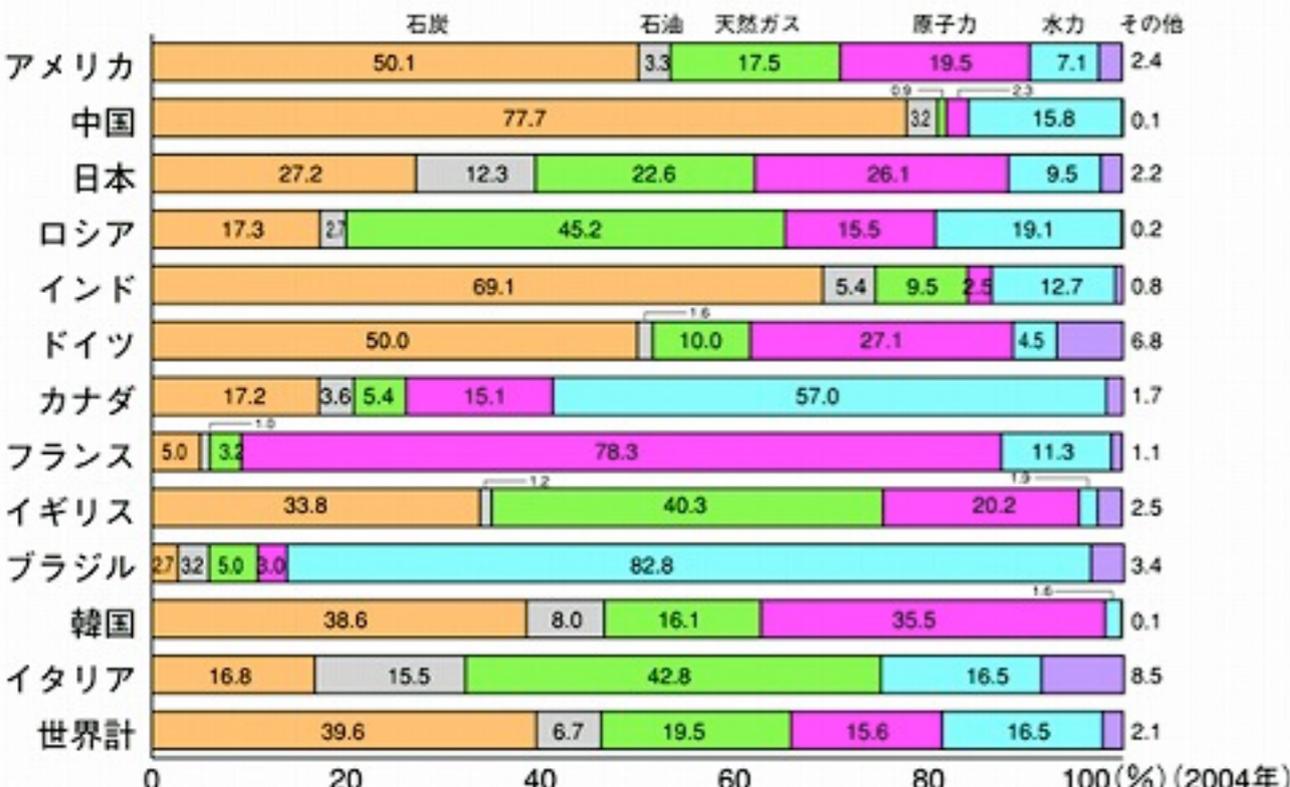
の順となっています。また、建設中・計画中のものは70基で、日本、中国、韓国、インド、ウクライナ、ルーマニア、インドネシア、イランなどとなっています。

●世界の原子力発電の開発状況



(注) 日本および韓国の発電所データについては、2006年3月現在のデータを使用しています。
 出典：(社)日本原子力産業会議「世界の原子力発電開発の動向 2004年次報告」

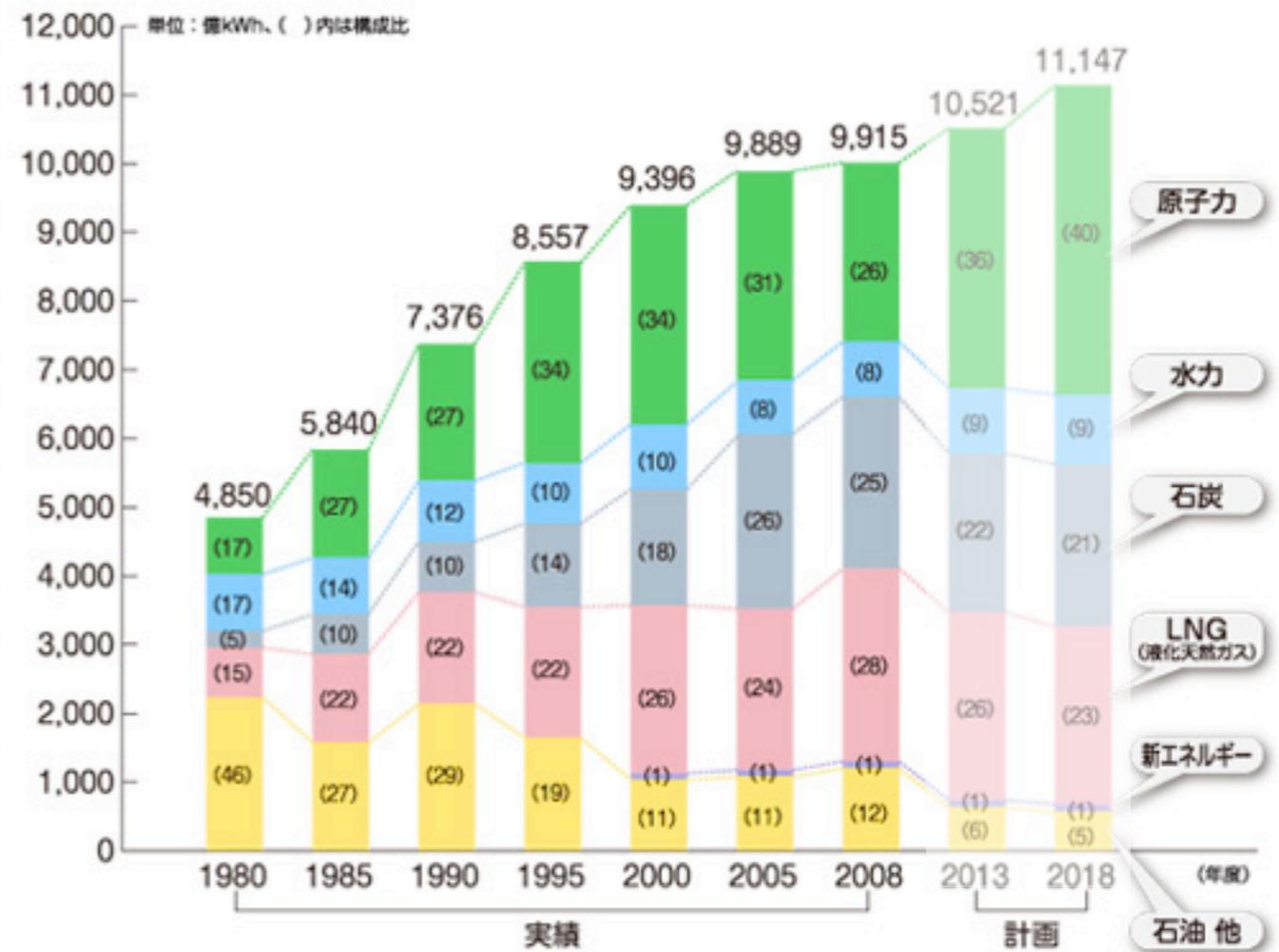
主要国の電源別発電電力量の構成比



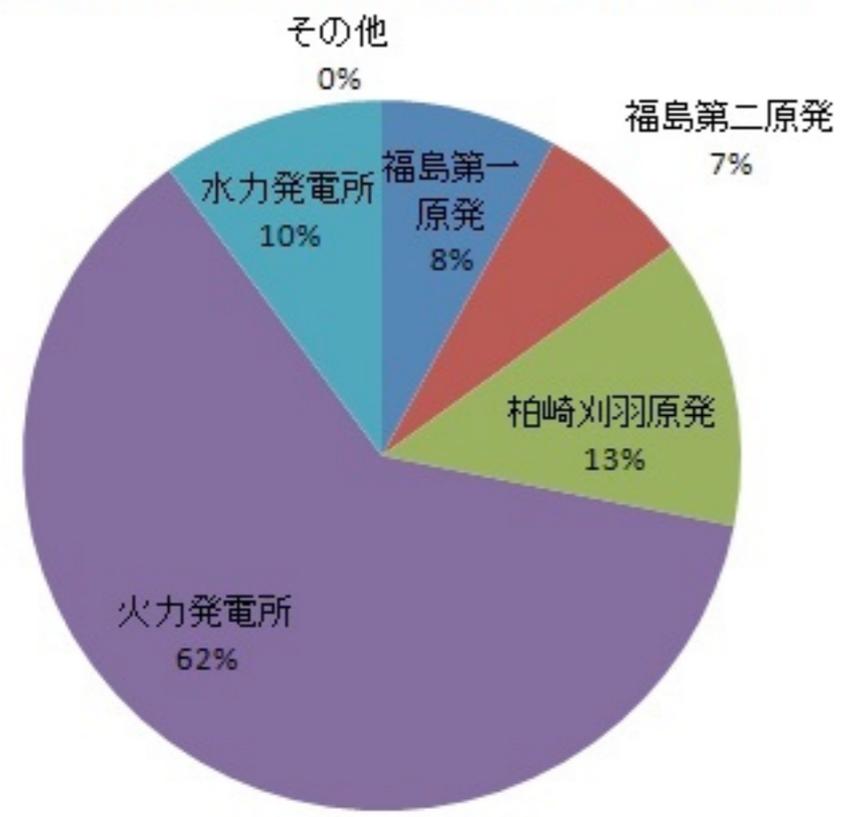
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

出典：IEA Electricity Information 2006 Edition

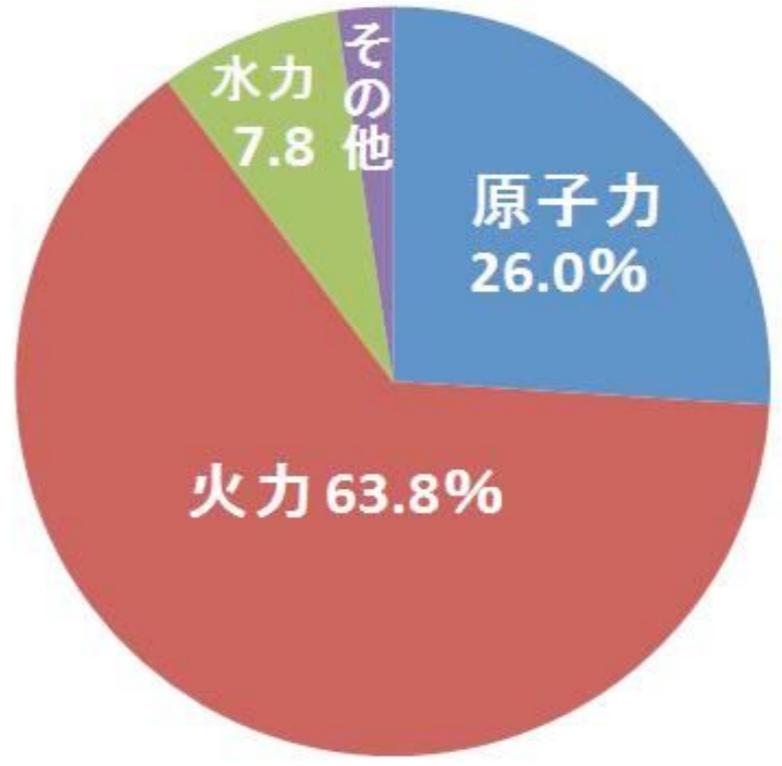
発電電力量構成比の推移 (10電力計、受電を含む)



東京電力の電力総出力の割合



日本の発電量の比率 2008



放射線を測る

《放射線計測学》

空間線量測定

放射線の測定

試料測定

計数 (cps = counts per second)

γ ゲルマニウム検出器 (Ge detector)



β (γ)



γ

表面汚染検査計 (例: GM サーベイメータ) 空間線量計 (例: NaI(Tl) サーベイメータ)



食品検査用ゲルマニウム検出器

GM計数管

NaI (TI)
シンチレータ

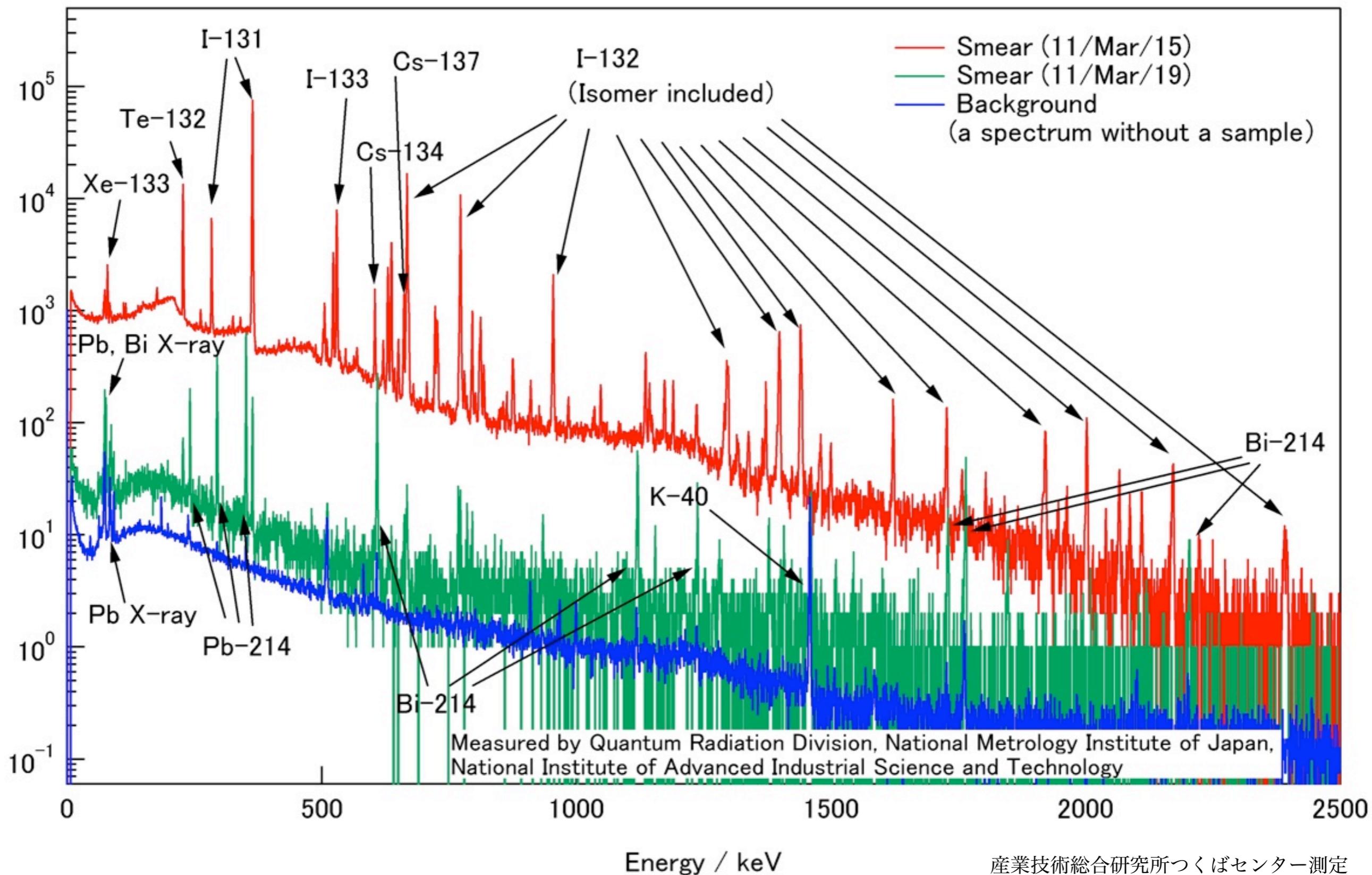
ゲルマニウム半導体検出器

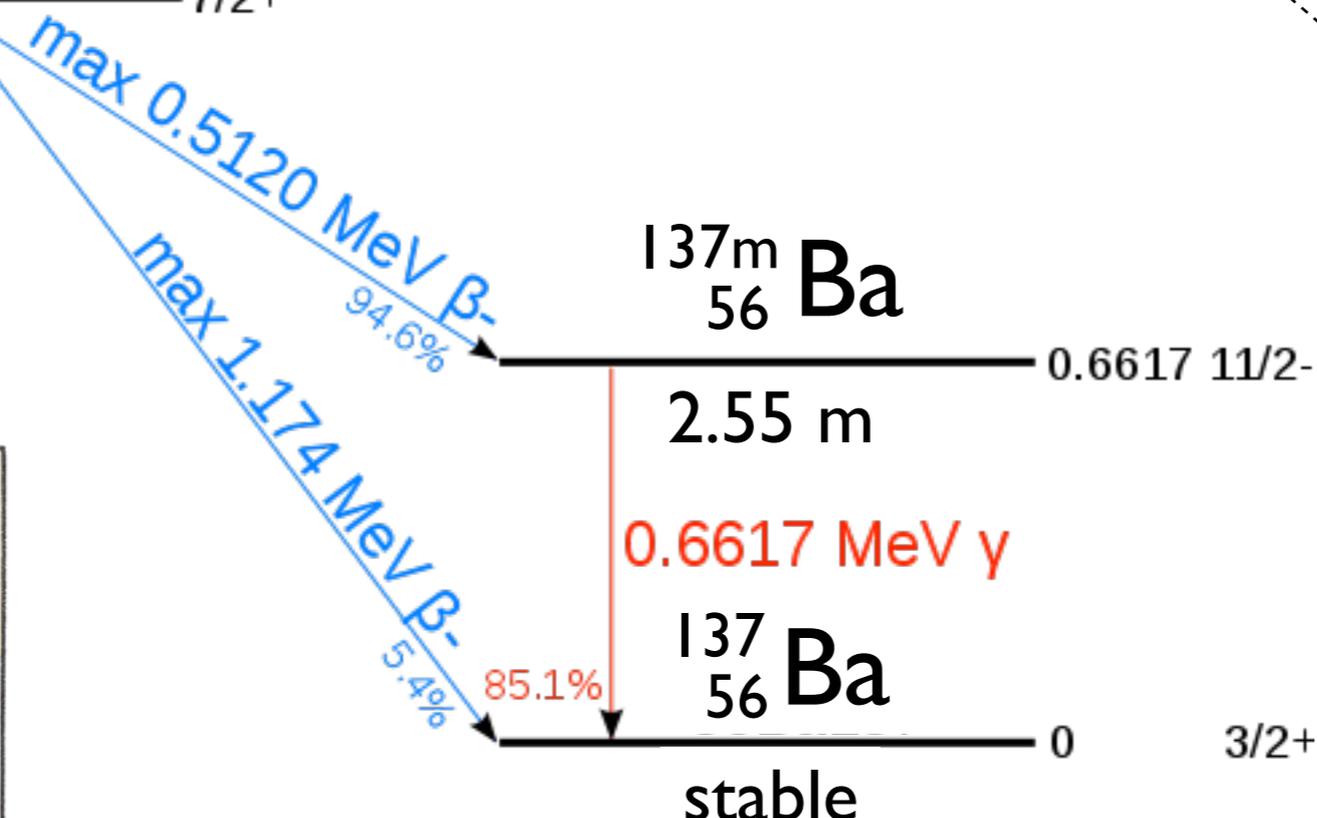
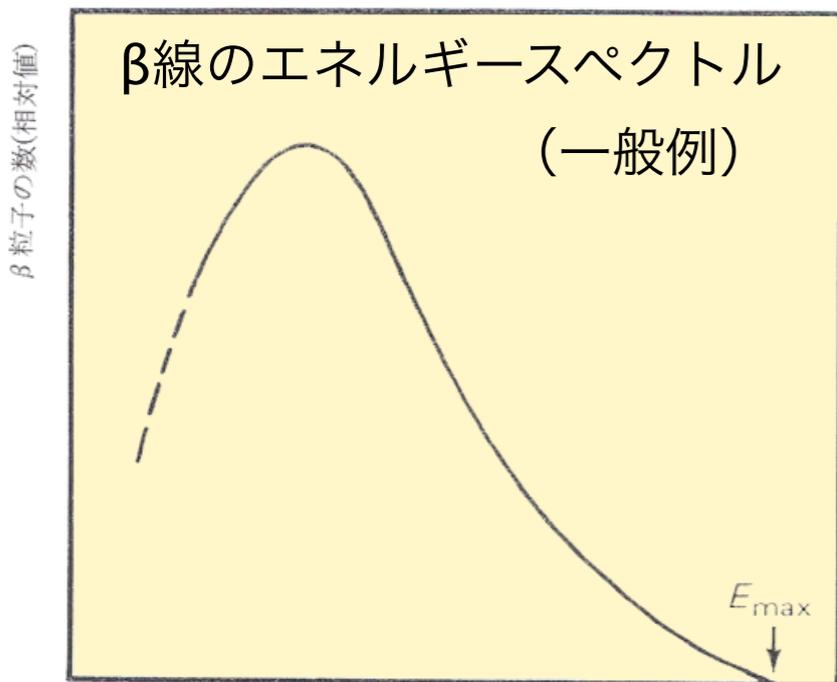
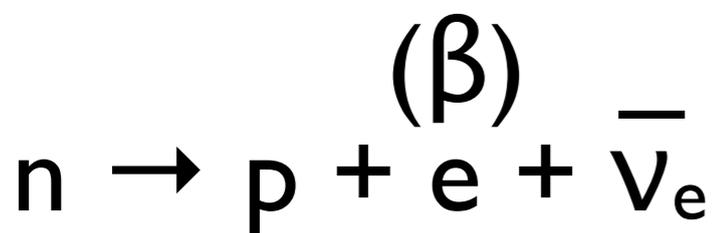
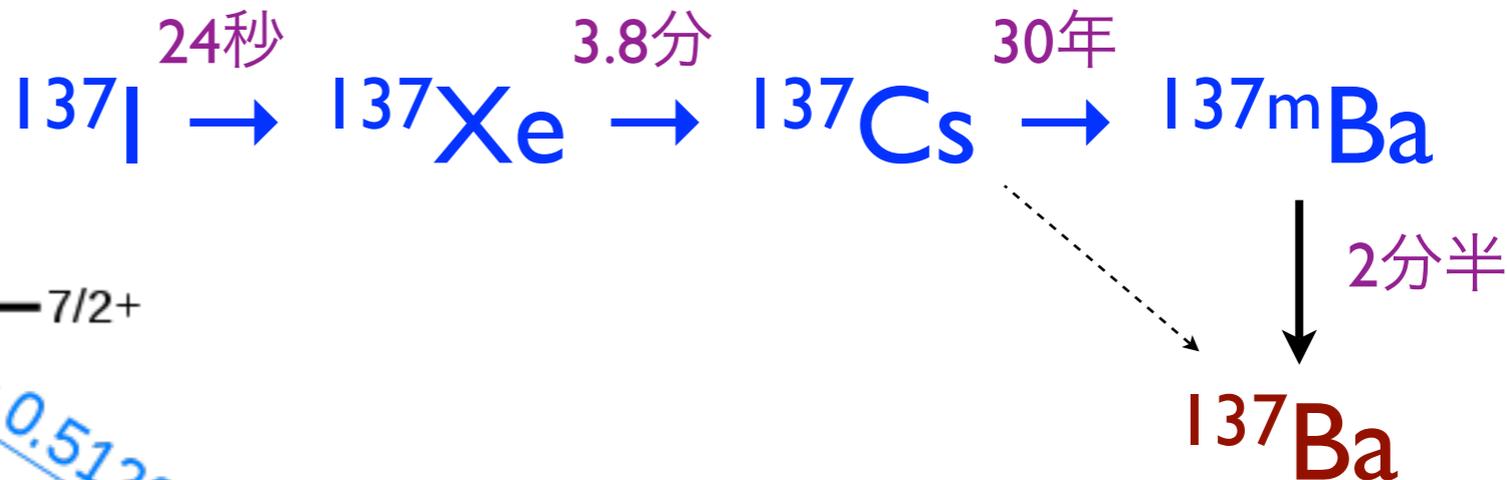
エネルギー分析 (核種同定)



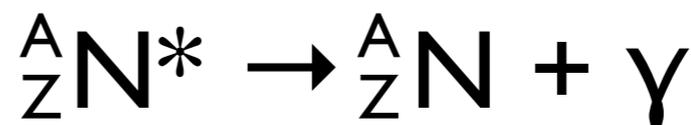
エネルギー分析 (核種同定)

ガンマ線スペクトル (ゲルマニウム検出器)





γ 線：原子核の脱励起



γ 線 (定まったエネルギー)

核種の同定

図2 β粒子のエネルギースペクトル
 [出典]石川友清(編):初級放射線、通商産業研究社、p.37

β線 (連続スペクトル)
 ^{90}Sr の検出が困難

線量計 (個人線量計、環境放射線測定)

フリック線量計

熱ルミネッセンス線量計

ガラス線量計



光刺激ルミネッセンス線量計

蛍光ガラス線量計 $Ag^+ \rightarrow Ag^0, Ag^{++}$

ポケット線量計：電離箱、半導体検出器

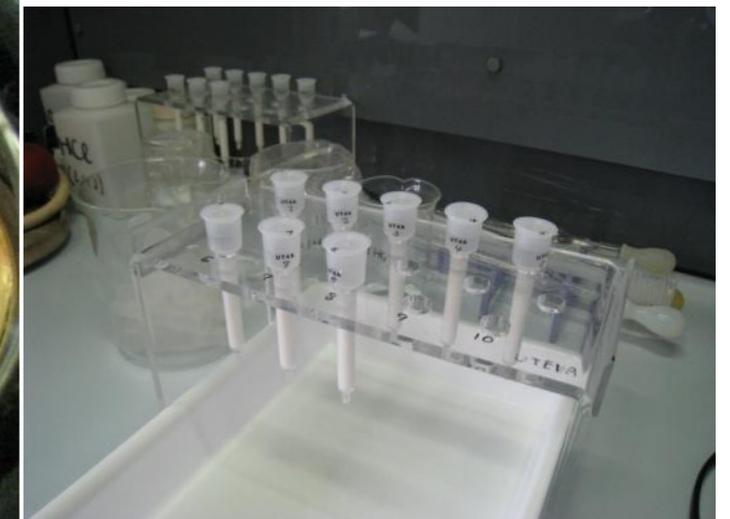
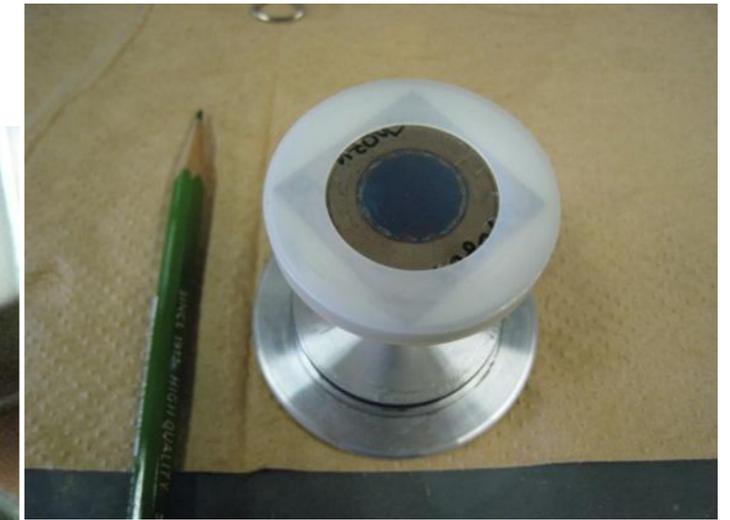
フィルムバッジ：銀塩写真フィルム $AgBr$



アルファ線の測定装置

U, Th, Pu, Am, Cm...はこれ！

▶ アルファスペクトロメトリ



放射能セシウムの基準

2012/1/20 朝日新聞

暫定基準		新基準案	
野菜類	500Bq	一般食品 (野菜類、穀類、 肉・卵・魚・ その他)	100Bq
穀類	500Bq		
肉・卵・魚・その他	500Bq		
飲料水	200Bq	飲料水	10Bq
牛乳・乳製品	200Bq	牛乳	50Bq
		乳児用食品	50Bq

(1kgあたり)

The Asahi Shimbun

一般食品の新基準値の出し方
mSvはミリシーベルト。Bqはベクレル

食品からの被曝線量の限度	飲料水分	一般食品に割り当てる分
1mSv/年	- 0.1mSv/年	= 0.9mSv/年

食品に含まれるセシウムが1kgあたり何Bqまでなら0.9mSvを超えないか?

食べる量、種類などをもとに年代別に計算

年齢区分	性別	限度値 (Bq/kg)
1歳未満	男女平均	460
1~6歳	男	310
	女	320
7~12歳	男	190
	女	210
13~18歳	男	120
	女	150
19歳以上	男	130
	女	160
妊婦		160

さらに切り下げ
最も厳しい → **新基準値 100 Bq/kg**

100 ベクレルの放射性セシウムは何グラムか。

(そもそも、福島第一原発から環境中に放出された放射性物質は全部でどのくらいの量か。)

放射線はどうやって測るのか。検出限界以下 (N.D.) とは？

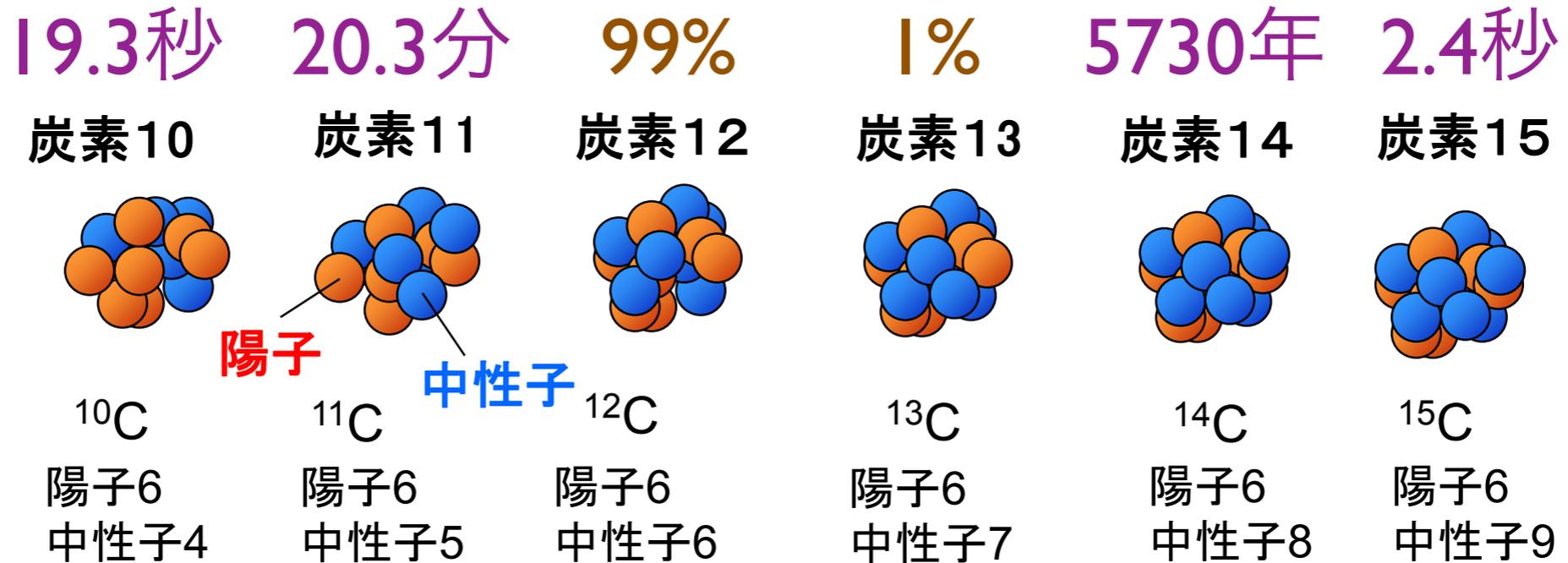
(検出限界値を限りなく下げるより、スクリーニングで多量汚染のものを確実に避けることが重要)

放射線の利用

《放射線医療・高エネルギー物理学》

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**)

同位体間では化学的性質は同じ



陽子過剰になると？

(寿命がある： β^+ 壊変、電子捕獲(EC))

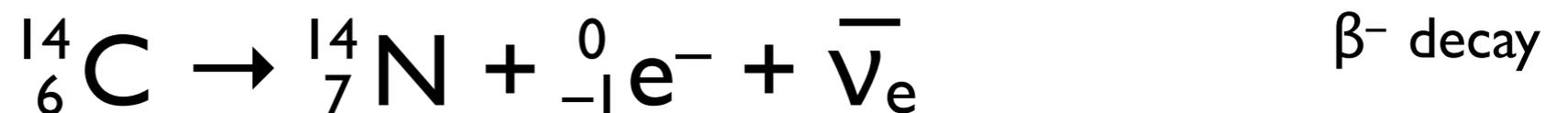
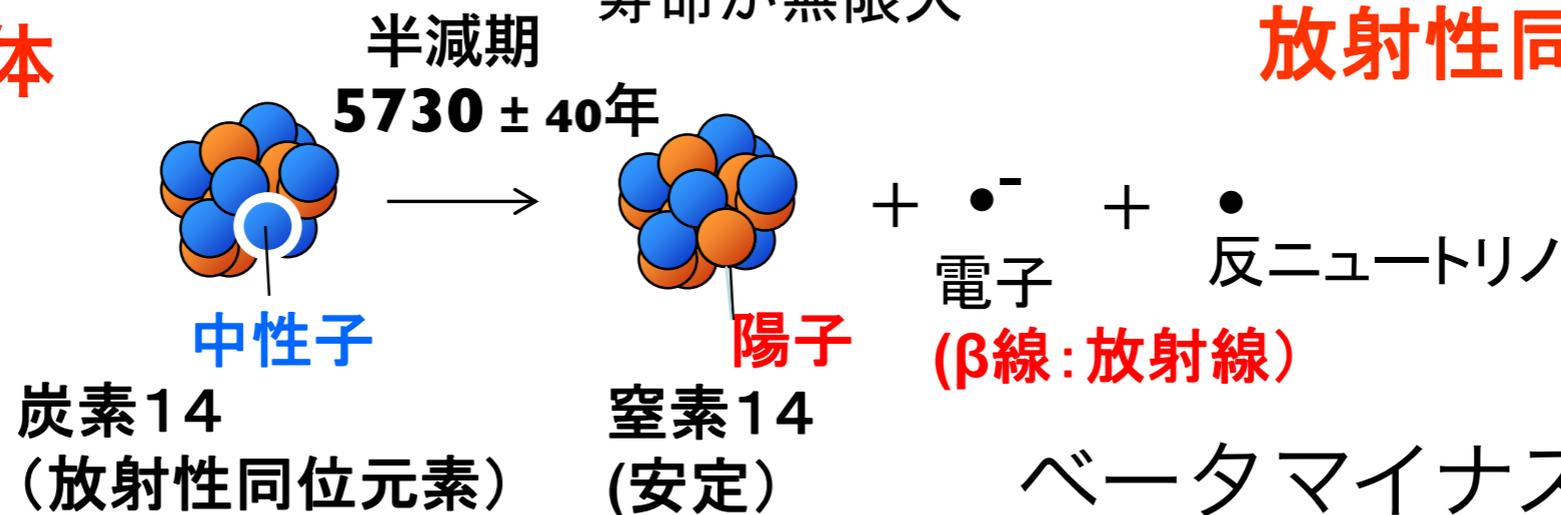
天然に存在=**安定同位体**
寿命が無限大

中性子過剰になると？

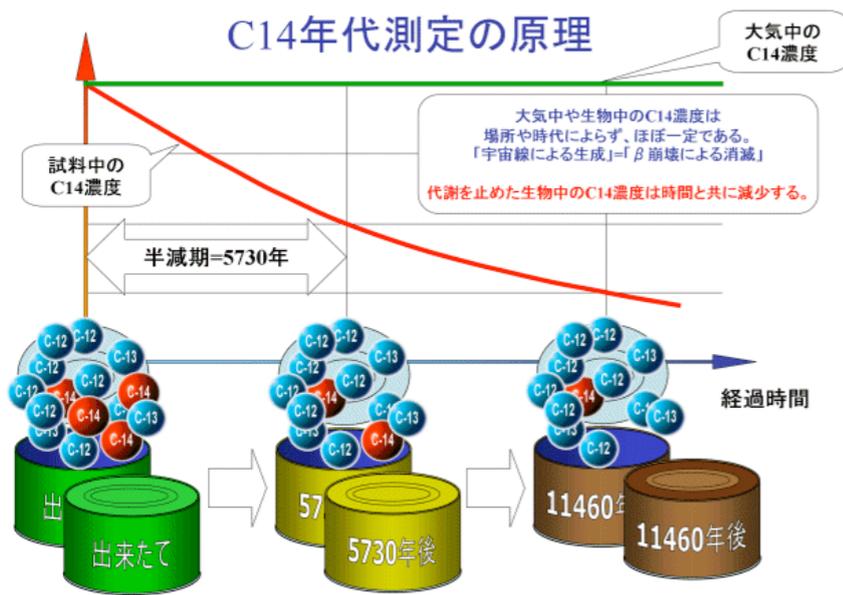
(寿命がある： β^- 壊変)

放射性同位体

放射性同位体



放射線年代測定



C14の濃度を測れば「代謝を止めてからの時間」が判る！

測定方法		100年 1000年 1万年 10万年 100万年 1000万年 1億年 10億年	主要対象
放射性同位元素を使う方法	炭素14年代測定法	0 - 50,000	動植物・貝殻・水など
	カリウム・アルゴン法	10,000 - 100,000	鉱物
	ウラン・鉛法	100,000 - 10,000,000	鉱物
	ルビウム・ストロンチウム法	100,000 - 10,000,000	鉱物
	フィッション・トラック法	100 - 100,000	鉱物・天然ガラス
放射線の照射量を測定する方法	熱ルミネッセンス法	100 - 100,000	鉱物・天然ガラス
	光ルミネッセンス法	100 - 100,000	鉱物
	電子スピン共鳴法	100 - 100,000	鉱物・貝殻・サンゴなど
放射線を使わないその他の方法	ラセミ化法	100 - 100,000	貝殻・甲羅・重炭酸塩
	黒曜石水和層法	100 - 100,000	天然ガラス
	考古(古)地磁気法	100 - 100,000	岩石・磁性鉱物
	火山灰層序法	100 - 100,000	火山灰
	年輪年代法	100 - 100,000	樹木
	氷縞粘土法	100 - 100,000	湖底堆積物(粘土)

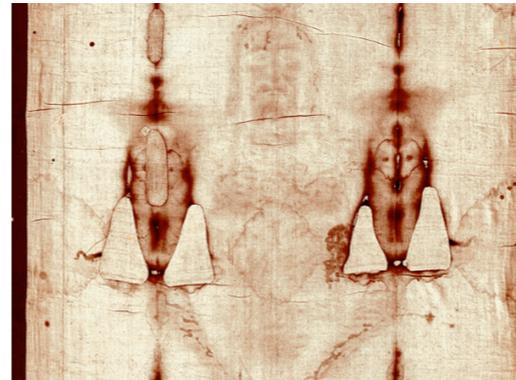
<<図 2-1>> 主な年代測定法による測定可能な年代の範囲

出典:ATOMICA他より作成

- ^{14}C , ^{40}K -Ar, U-Pb, Rb-Sr

- 弥生時代

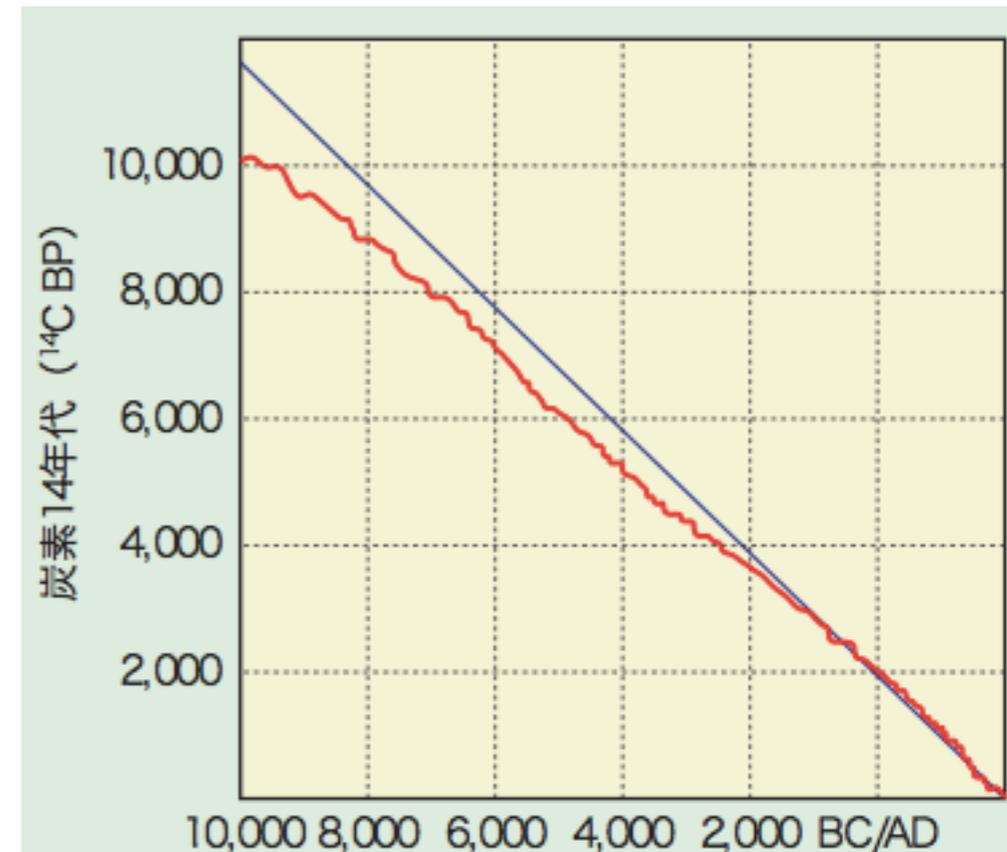
- 聖骸布 (Torino の聖骸布 (1260-1390 A.D., 95% CL))



- 空気中の ^{14}C の比率はほぼ一定

- 微小な変動は年輪中の炭素データで校正

- 地層、火山灰、年輪データと比較

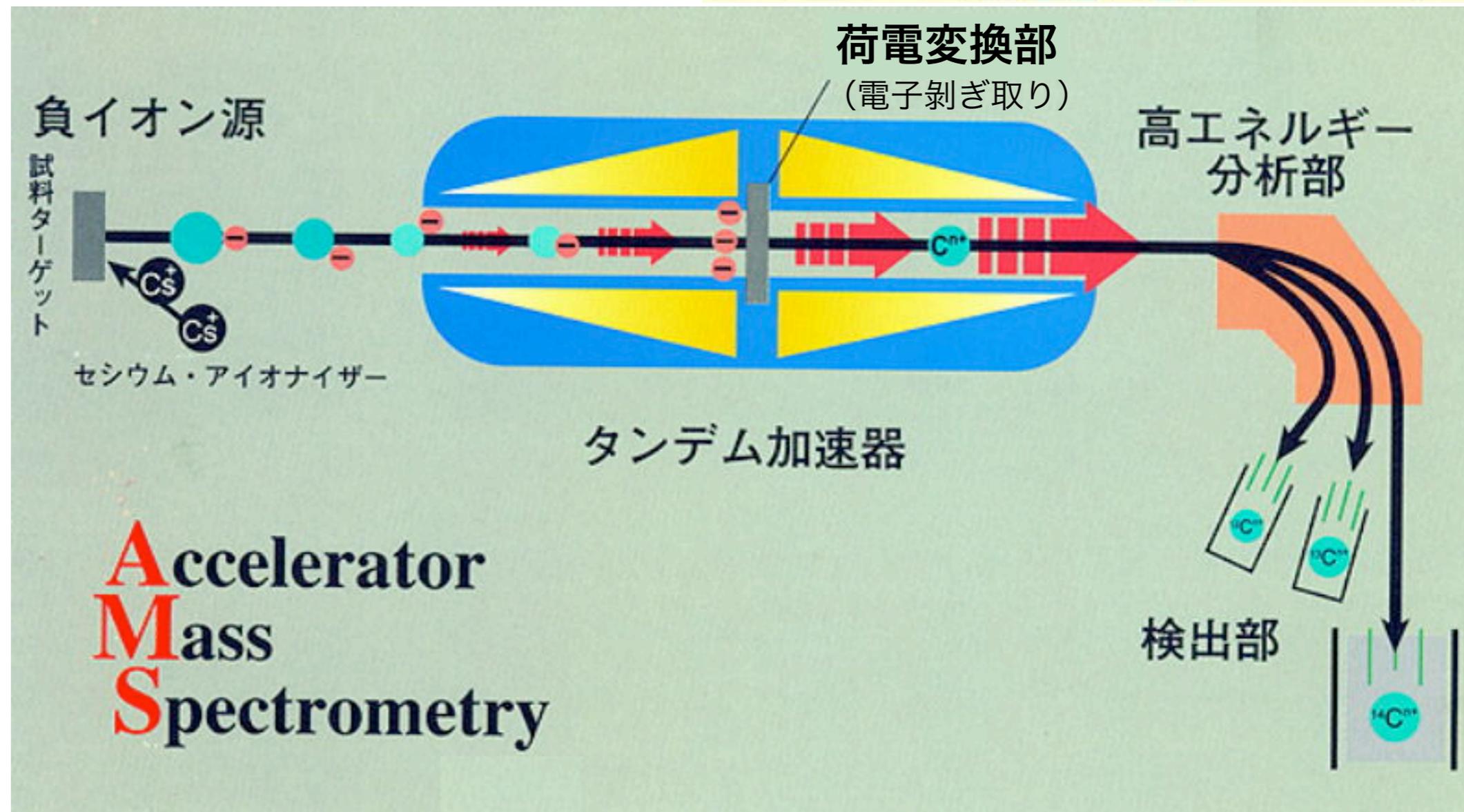


炭素14年代と年輪年代との校正曲線(赤線)(時代が古くなるほど両者がずれることと大気中の炭素14濃度が変動することによる細かな動きが分かる)

出典:国立歴史民俗博物館

加速器質量分析

AMS (Accelerator Mass Spectrometry)



PET (Positron Emission Tomography) 陽電子断層撮影法

組織の”はたらき”を知る

^{18}F -FDG (fluorodeoxy glucose), $^{15}\text{O}_2$, H_2^{15}O



放射線医療：診断

e^+



陽電子 positron

電子 electron



e^-

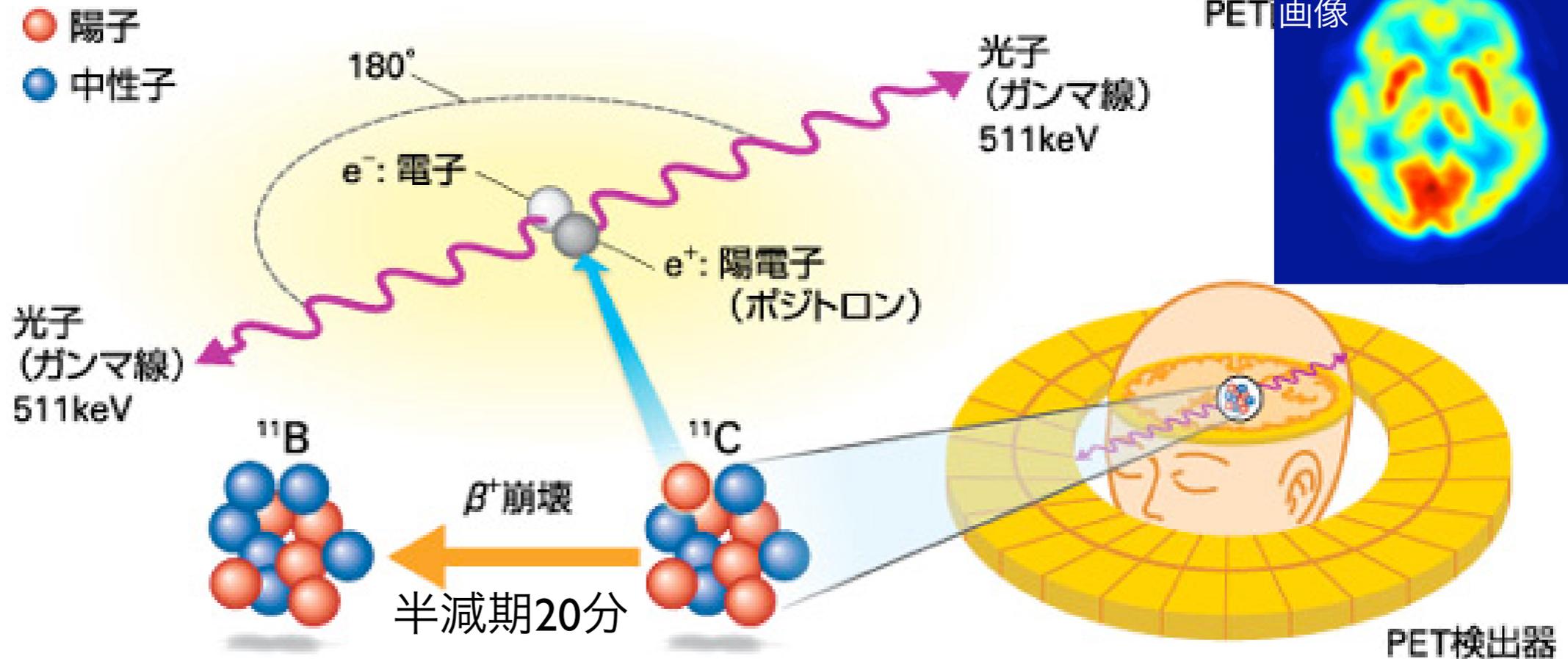


図1 PET (陽電子放射断層画像撮影法) の仕組み

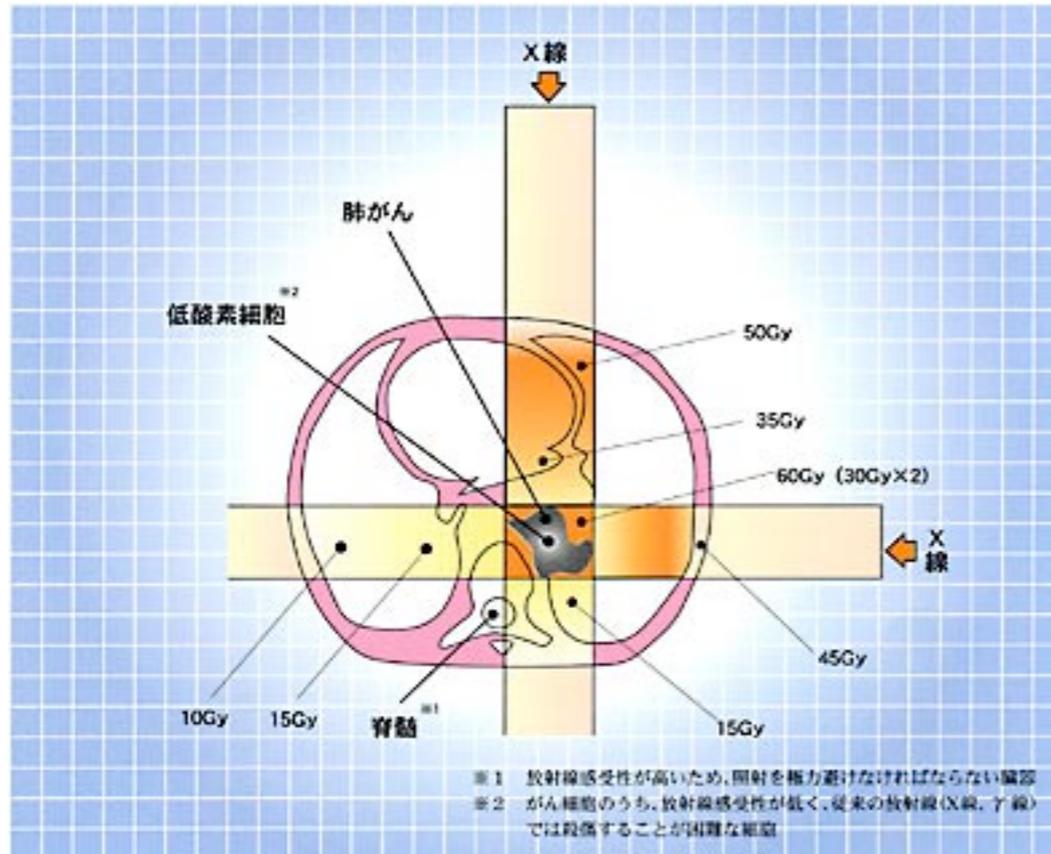
調べたい分子に陽電子を放出する放射性核種を付け、静脈注射によって投与する。例えば、炭素 11 (^{11}C) はホウ素 11 (^{11}B) に崩壊するとき、陽電子を 1 個放出する。その陽電子が近くにある電子と衝突し、両方向にガンマ線が放出される。検出器がガンマ線をとらえることで断層画像が得られ、分子がどこに、どれだけ存在しているのかを知ることができる。

^{11}C , ^{13}N ,
 ^{15}O , ^{18}F

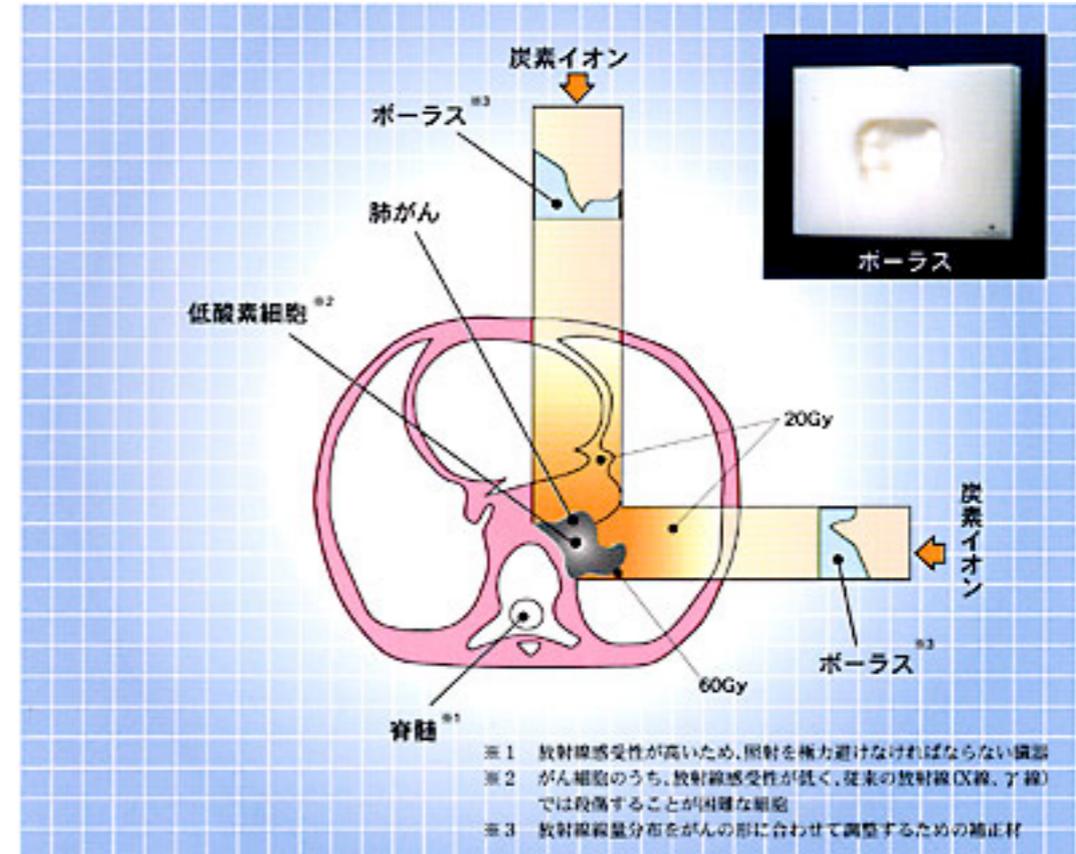
放射線医療：がん治療

数 Gy を複数回

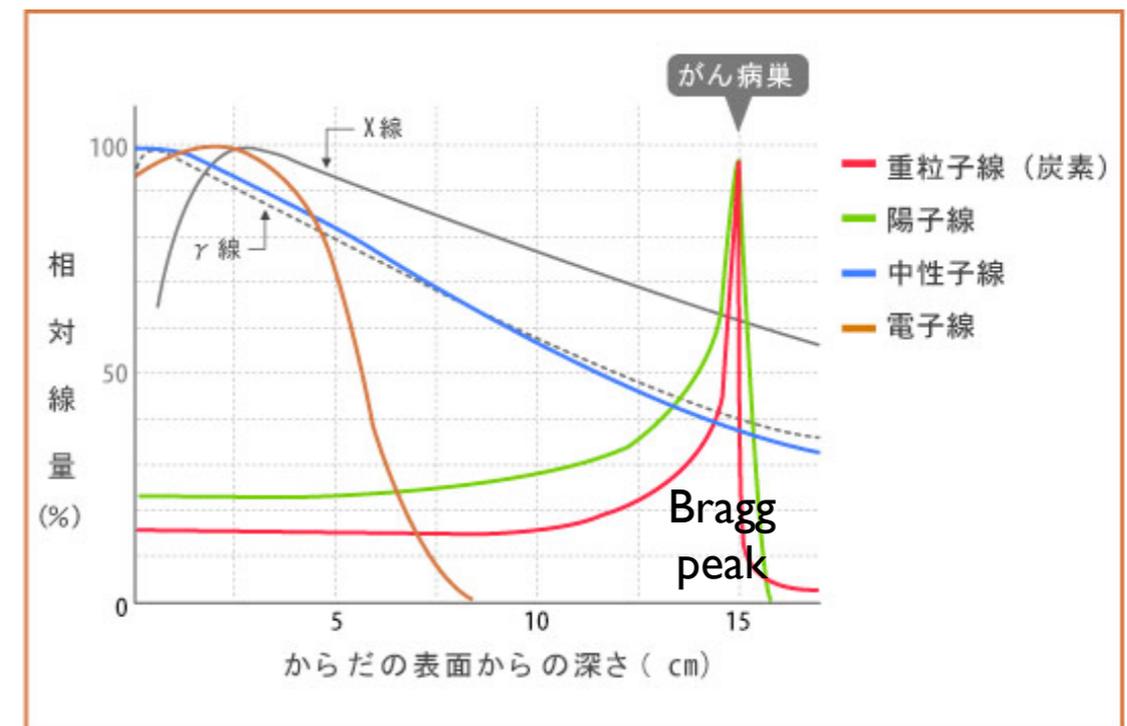
X線



重粒子線 (炭素イオン)



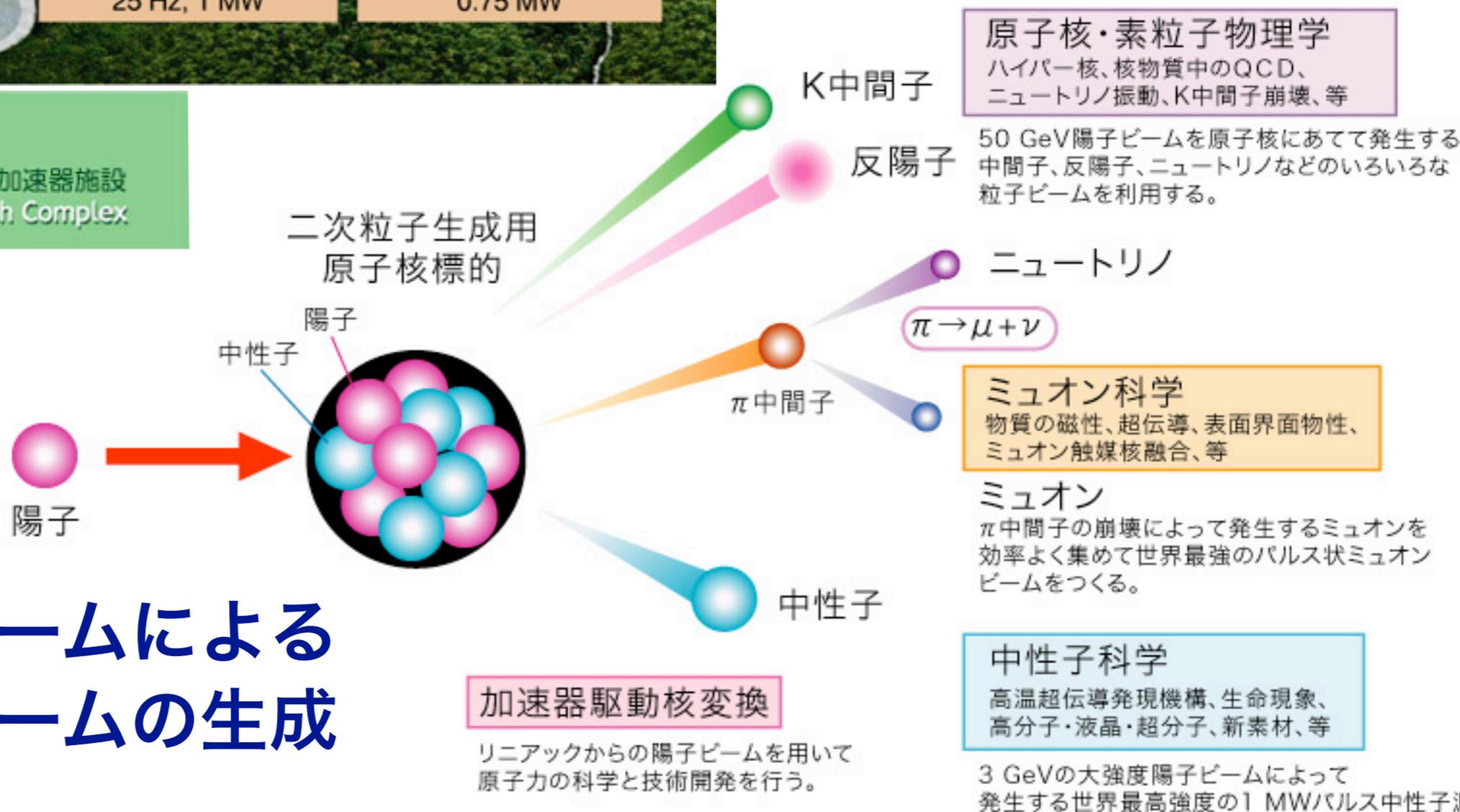
他には：ガンマナイフ、
陽子線、パイ中間子
研究中：反陽子





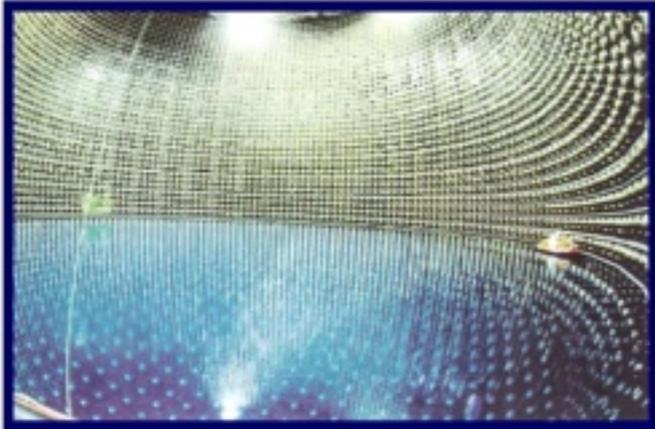
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

J-PARC 大強度陽子加速器施設
Japan Proton Accelerator Research Complex



大強度陽子ビームによる 多様な粒子ビームの生成

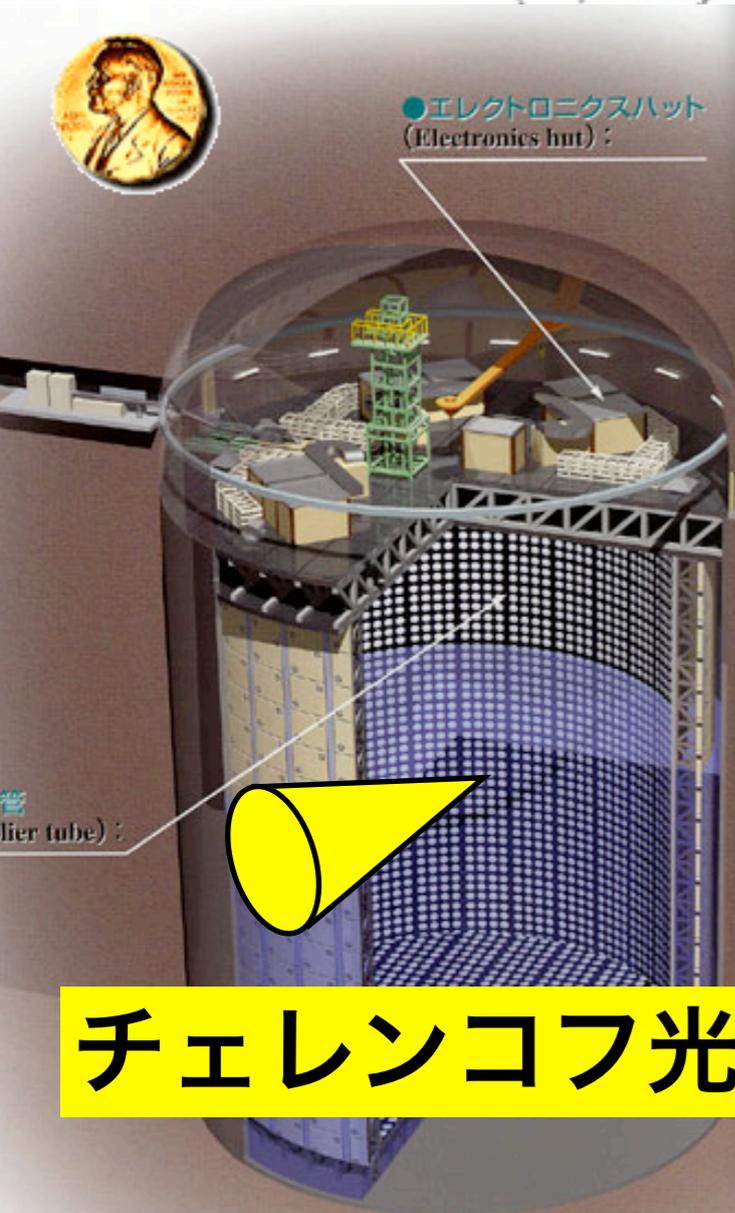
Super-Kamiokande



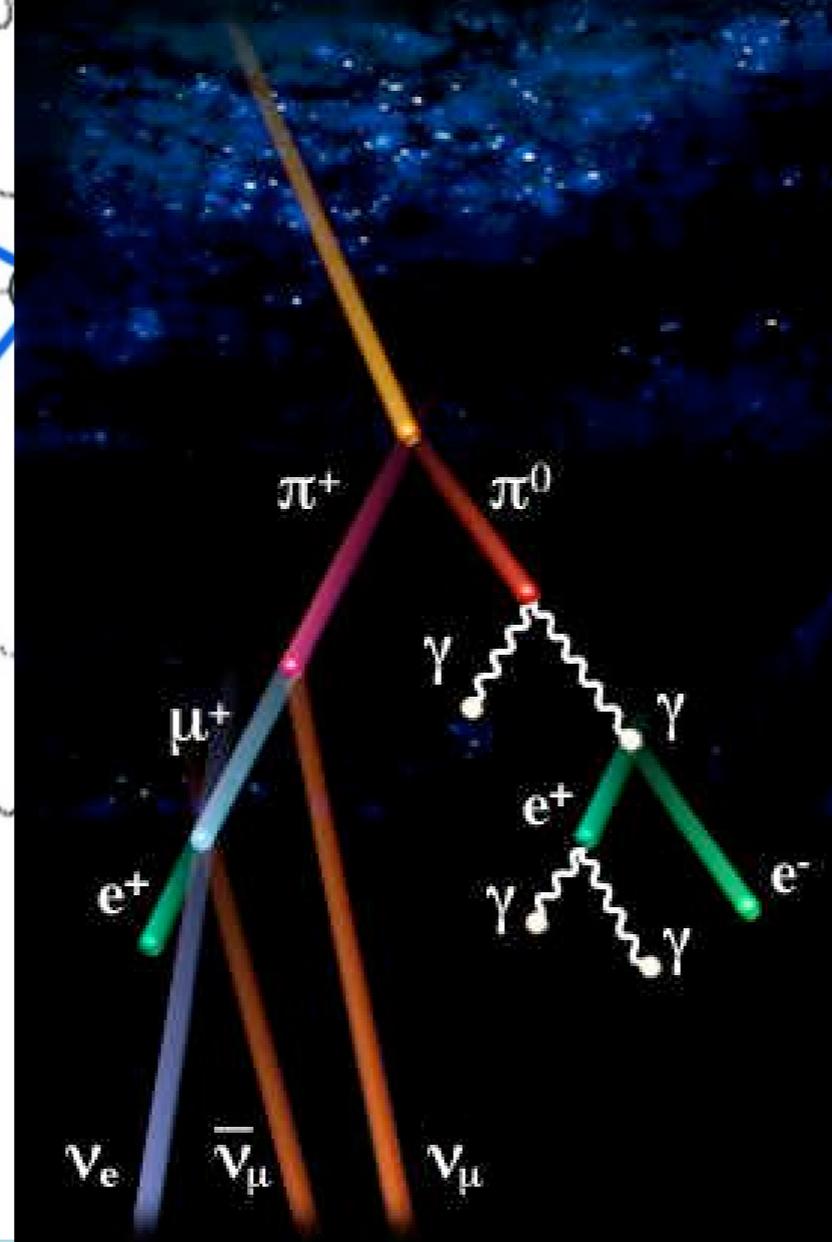
スーパー
カミオカンデ



●エレクトロニクスハット
(Electronics hut):



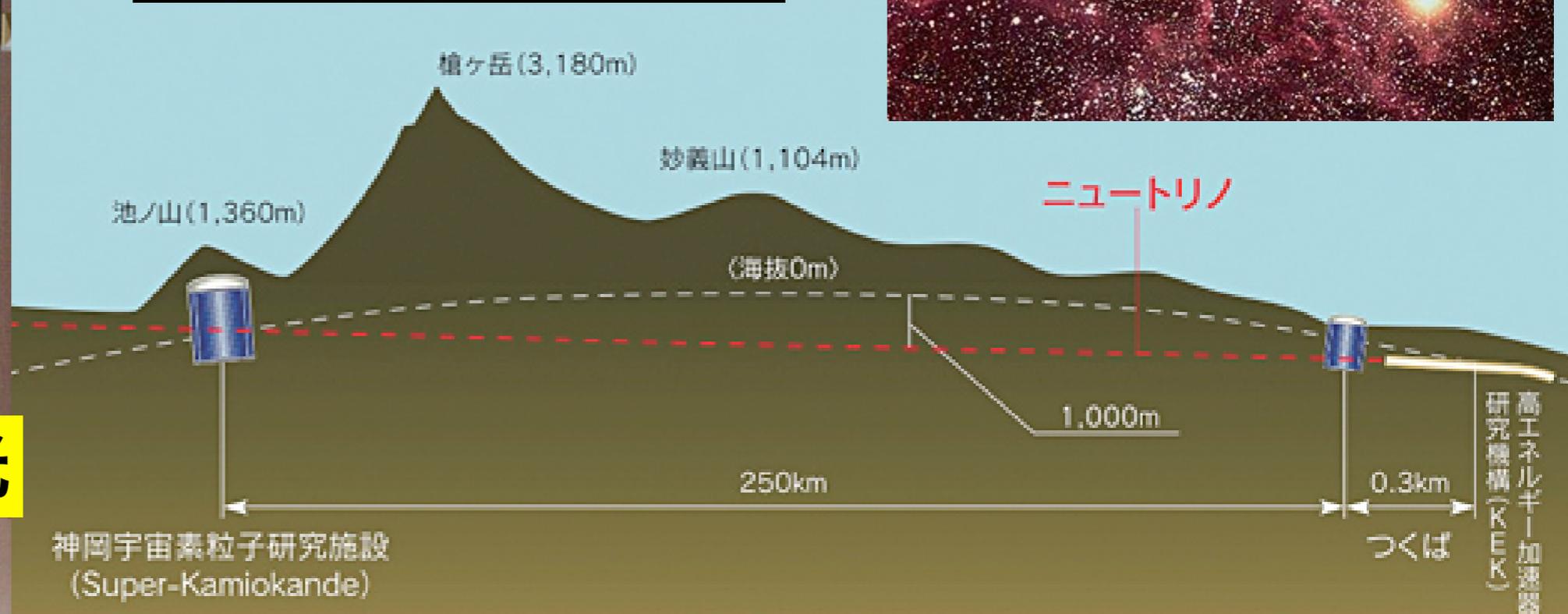
チェレンコフ光



Neutrino beam

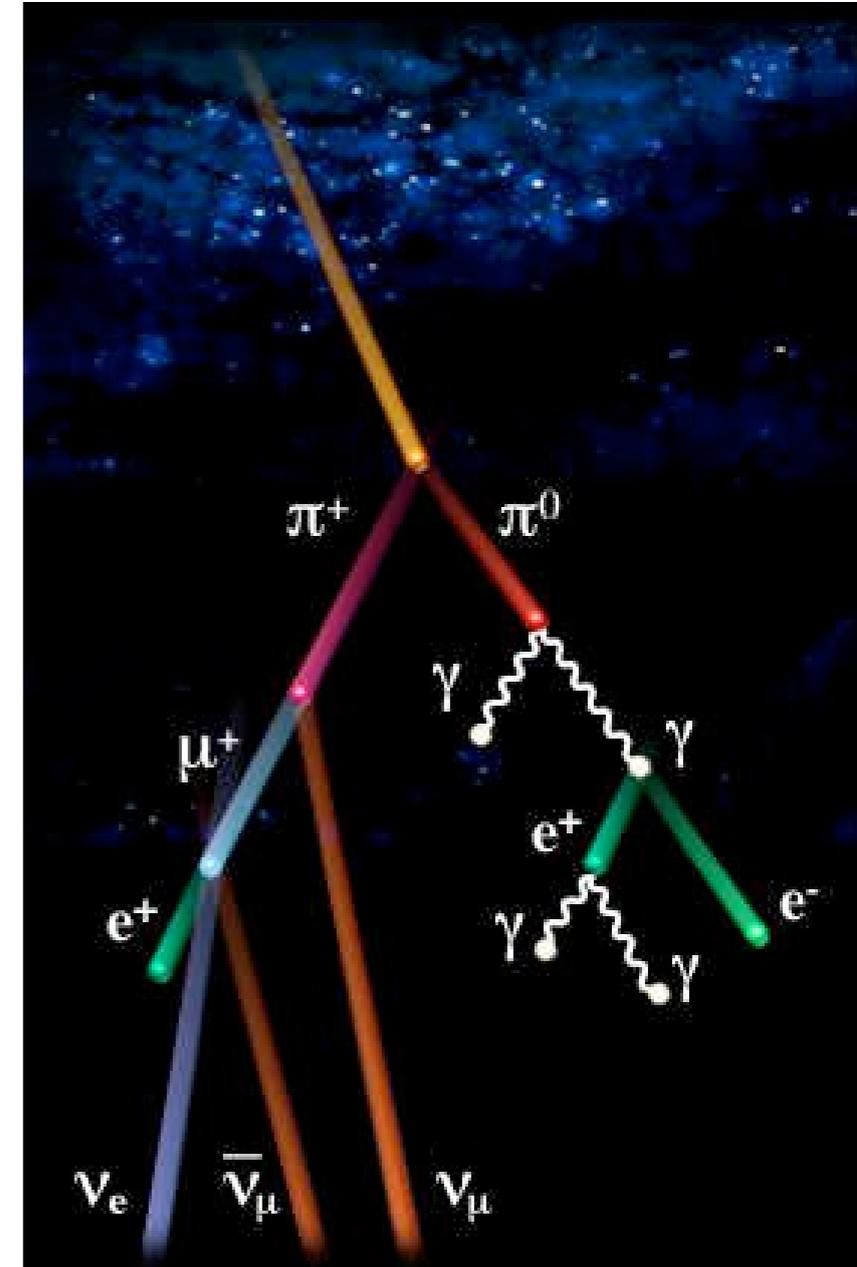
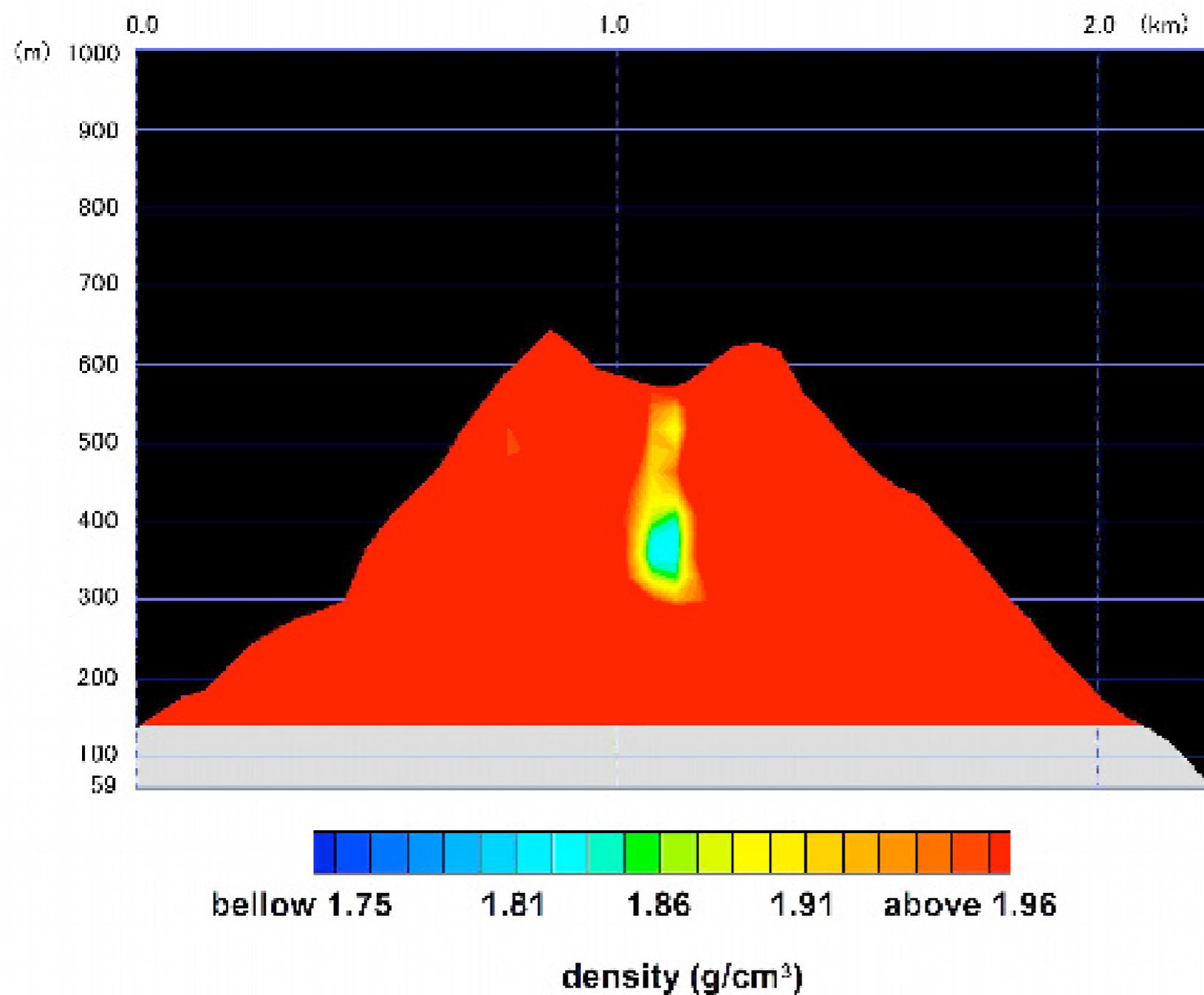


大強度陽子加速器
ニュートリノビーム



神岡宇宙素粒子研究施設
(Super-Kamiokande)

宇宙線（ミュオン）で火山を覗く



講義スライド

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/>

連絡先

torii-radio@radphys4.c.u-tokyo.ac.jp

担当教員：鳥居 寛之

東大教養 鳥居 放射線



検索！

著書の紹介

「放射線を科学的に理解する」

～ 東大教養の理系学生向け講義 ～

(仮題)

鳥居寛之、小豆川勝見、渡邊雄一郎 著、中川恵一 執筆協力

丸善出版

9月発売予定

Fine.

Ci vediamo la prossima volta.

On se voit la prochaine fois.

See you next time.

Увидимся в следующий раз.

또 만납시다.

またお会いしましょう。

鳥居 寛之

Hiroyuki A. TORII

放射線の生物学

- 放射線、放射性物質、放射能
- 放射線の人体への影響 《放射線生物学・放射線医学》
- 身の回りの放射線
- がんの予防と対処 《医学保健学・放射線医療》
- 放射線のリスク評価と防護 《放射線防護学》
- 放射線と社会 《リスクコミュニケーション》

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

放射線の生物学

- 放射線の影響についての様々な意見が乱立している
- 放射線に関する学問は多岐にわたり、一人の専門家でまかないきれない。
 - 原子力工学、原子核物理学
 - 放射線物理学、放射線計測学、放射化学
 - 放射線生物学、放射線医学
 - 環境学、気象学、海洋科学、植物学・土壌学
 - 食品衛生学
 - 放射線防護学（安全管理学）
 - リスク学、リスクコミュニケーション
 - 社会学、法律

科学コミュニケーション
科学リテラシーの重要性

自己紹介

出生 : 昭和45年 市立芦屋病院にて

幼少期 : 大阪府千里ニュータウン

小学校 : 鹿児島 / 大阪 / 東京

中高 : 昭和58年 灘中学校入学 (41回生)

大学 : 平成元年 東京大学理科1類入学

平成5年 理学部物理学科卒業

大学院 : 平成10年 東京大学大学院理学系研究科 博士(物理学)

現在 : 東京大学 教養学部・大学院総合文化研究科 助教

研究 : ジュネーヴ郊外の CERN 研究所 (加速器施設) で実験

専門 : 粒子線物理学・素粒子原子物理学

家庭 : 2児の父 (年長児の息子、1歳半の娘) 東京在住

自己紹介

放射線講義・講座・講演会

2011/春夏：東京大学にて1、2年生向けに自主講義「放射線学」

2011/秋冬：主題科目テーマ講義「放射線を科学的に理解する」

(生命科学、環境放射化学、放射線医学らの専門家とタイアップ)

2011/11：高校生のための特別講座「放射線の科学」福島高校にも配信

2011/11：福島市で講演「放射線と正しく向き合うために」

子どもの親や保育士向け

ほか：東京都三鷹市、立川市で講演

2012/3：東京大学 × 博報堂 × 時事通信社（特別協力：環境省）

「3.11のガレキを考える」プロジェクト 細野環境大臣に提言

「放射能うつる」といじめ＝福島から避難の小学生にー千葉

2011年4月15日11時6分

福島第1原発事故を受け、福島県から千葉県船橋市に避難した小学生の「**放射線がうつる**」といじめられたという訴えが市教育委員会の調査で明らかになった。市教委は同日までに、避難者の不安な気持ちを踏まえて、思いやりを持って被災者の児童生徒に接するよう指導を求める通達を市立小中学校に出した。

市教委によると、福島県南相馬市から避難した小学生の兄弟が、地元の子どもの「どこかへ逃げる」と話しかけられた。兄弟が「福島」と答えると地元の子どもは「**放射線がうつる**」と言い、数人が一斉に逃げ出したという。

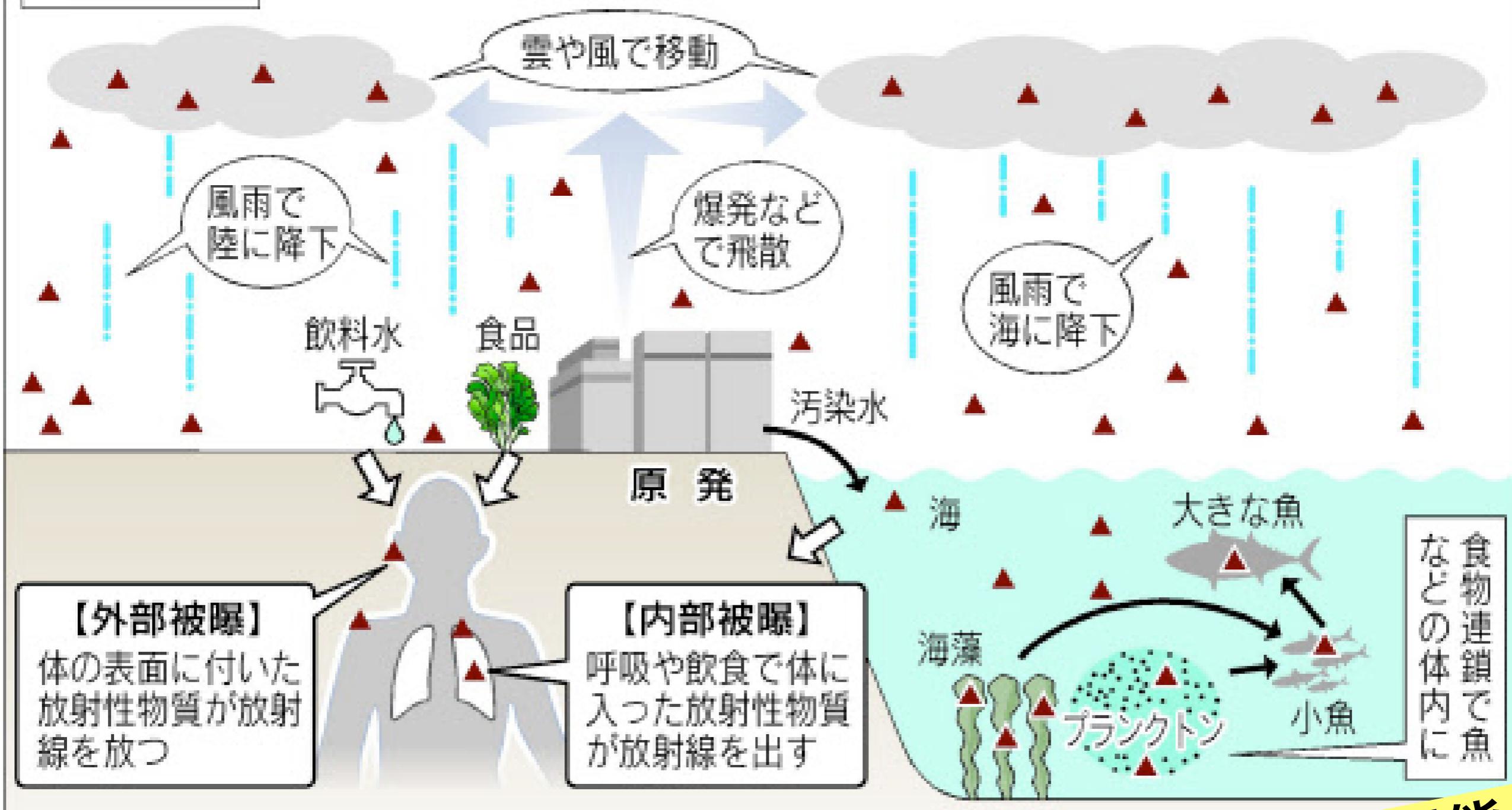
放射線はうつらない

放射能と放射線を混同しない

**放射線に対する正しい知識をもって
「正しく怖がる」ことが必要。**

▲ 放射性物質

原発の放射性物質が及ぼす影響 (イメージ)



放射性物質が一部東京まで飛来。
放射線が直接東京に届いたのではない

放射性物質、放射能と
放射線を混同しない

原発北西方向の汚染と「ホットスポット」

福島第一原発から漏れた放射能の広がり
Radiation contour map
of the Fukushima Daiichi accident

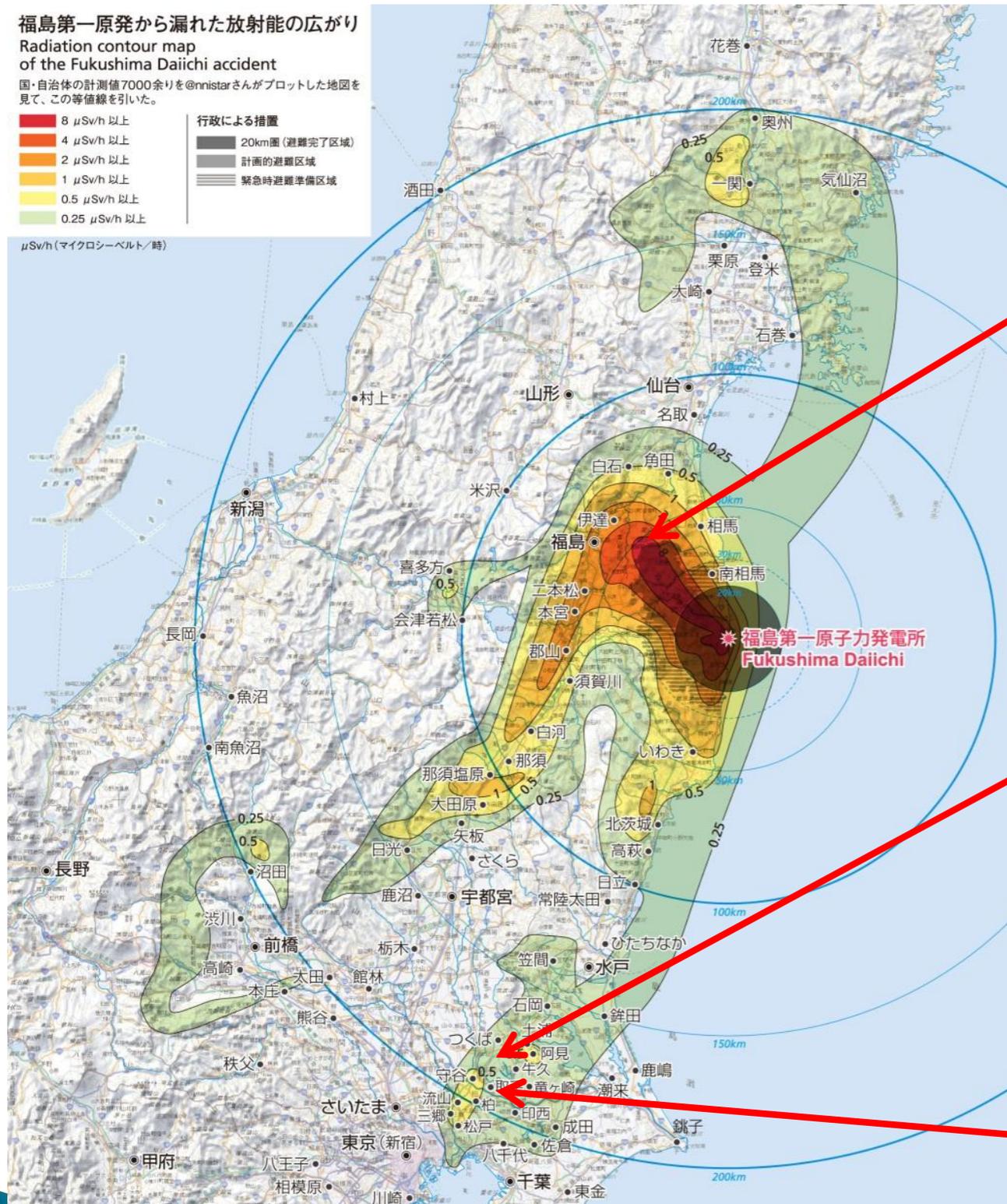
国・自治体の計測値7000余りを@nnistarさんがプロットした地図を見て、この等値線を引いた。

- 8 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 4 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 2 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 1 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 0.25 $\mu\text{Sv/h}$ 以上

行政による措置

- 20km圏 (避難完了区域)
- 計画的避難区域
- 緊急時避難準備区域

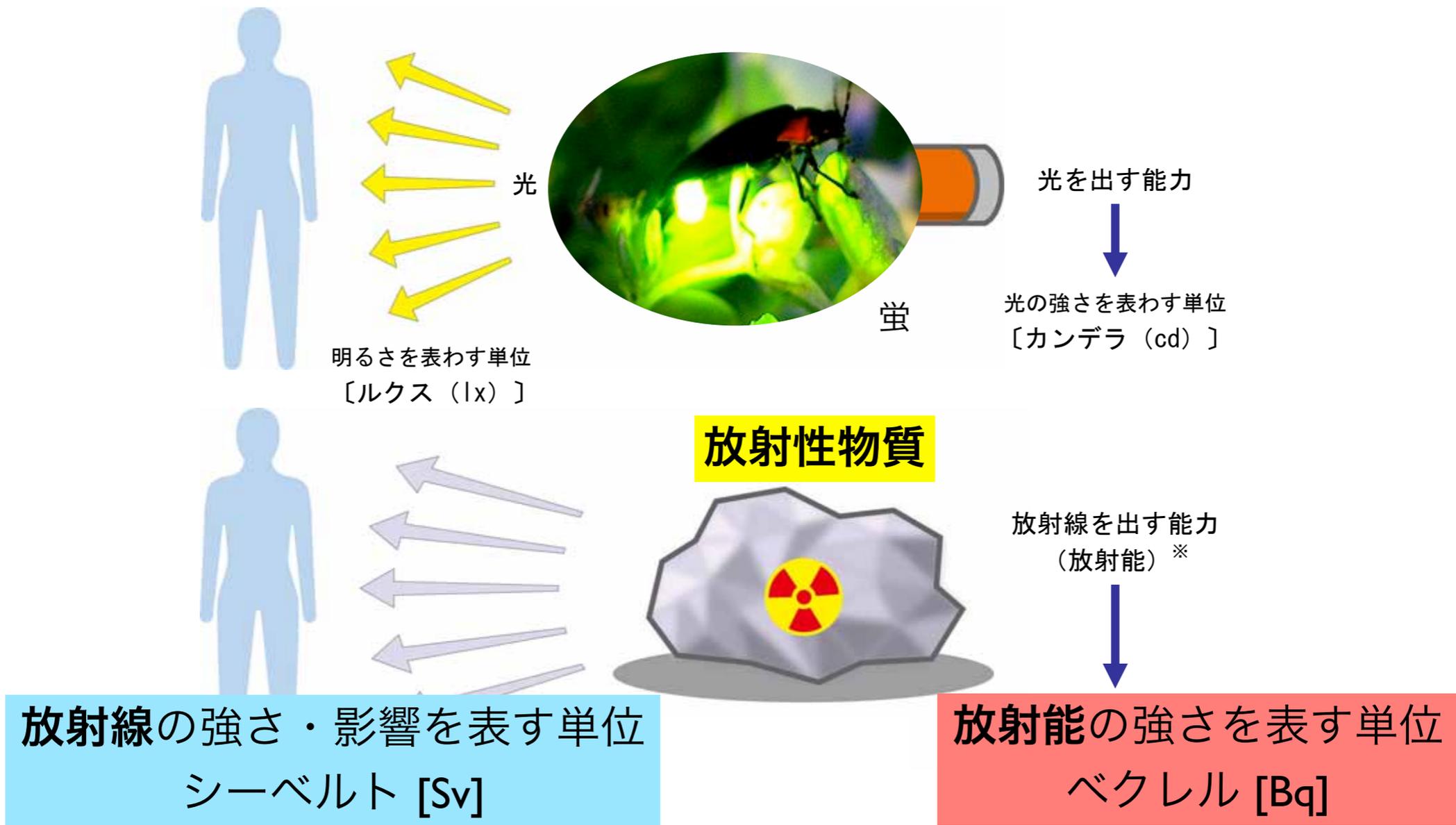
$\mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト/時)



早川由紀夫教授(群馬大学)作成、7月26日版

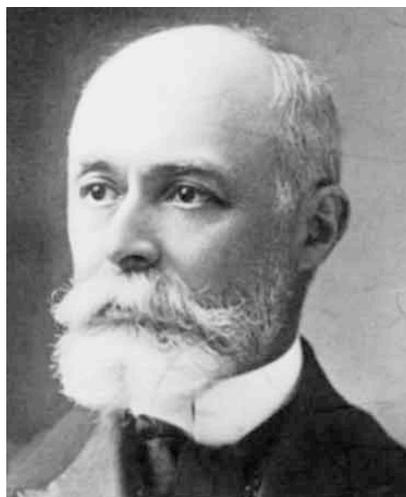
三訂版7月26日(初版4月21日)
等値線作成: 早川由紀夫(群馬大学) (kipuka.blog70.fc2.com/
@nnistarさんの地図 (www.nnistar.com/gmap/fukushima.html)
Contour lines drawn by Yukio Hayakawa (Gunma Univ.),
Source: @nnistar
地図製図: 萩原佐知子
背景地図には電子国土ポータル(portal.cyberjapan.jp)の地図を使用しました。

放射能と放射線



6-1

出典：資源エネルギー庁「原子力2010」



放射能 (radioactivity) の単位

[Bq] | Bq = 1 dps ベクレル (秒当たり1崩壊)

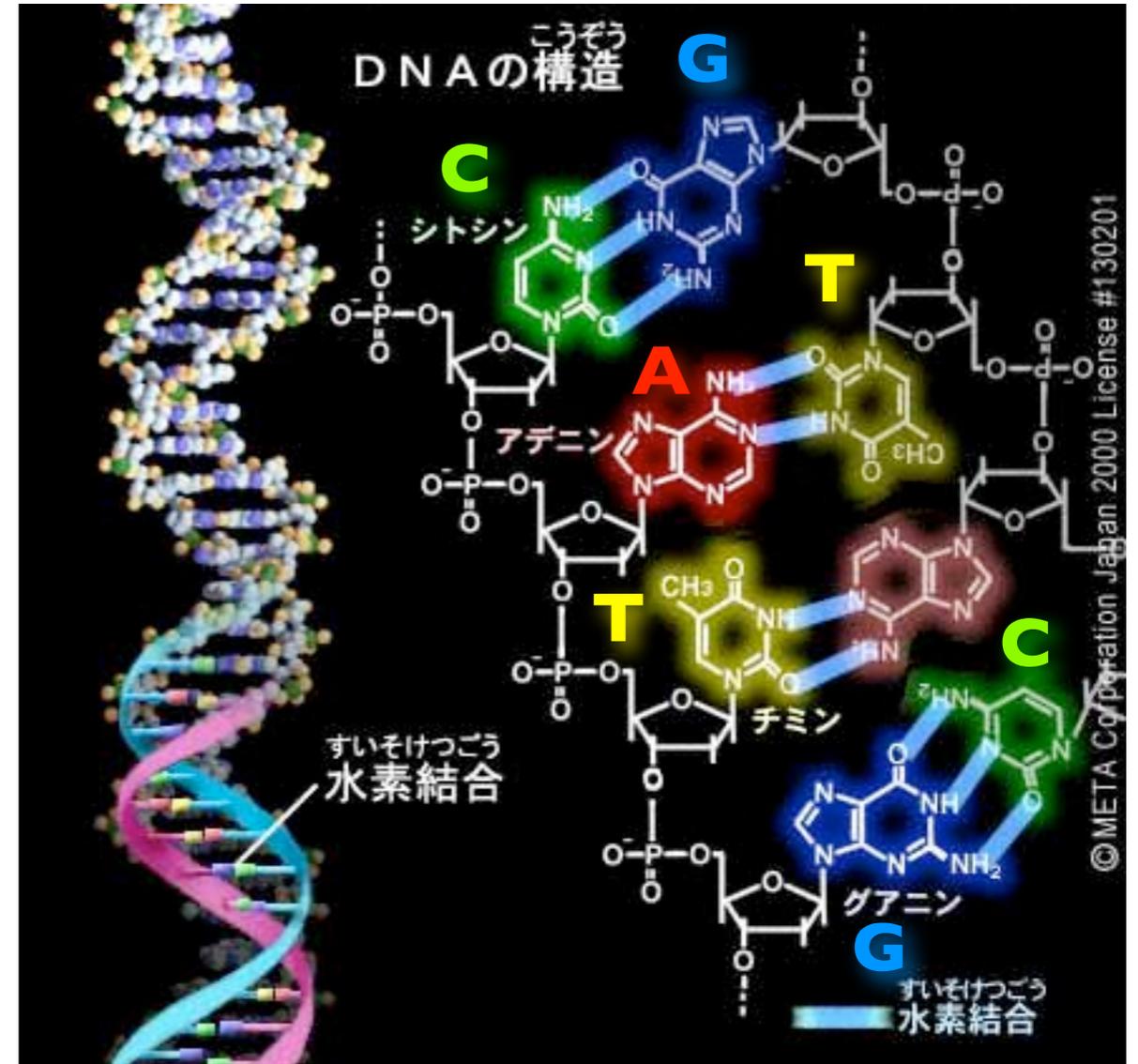
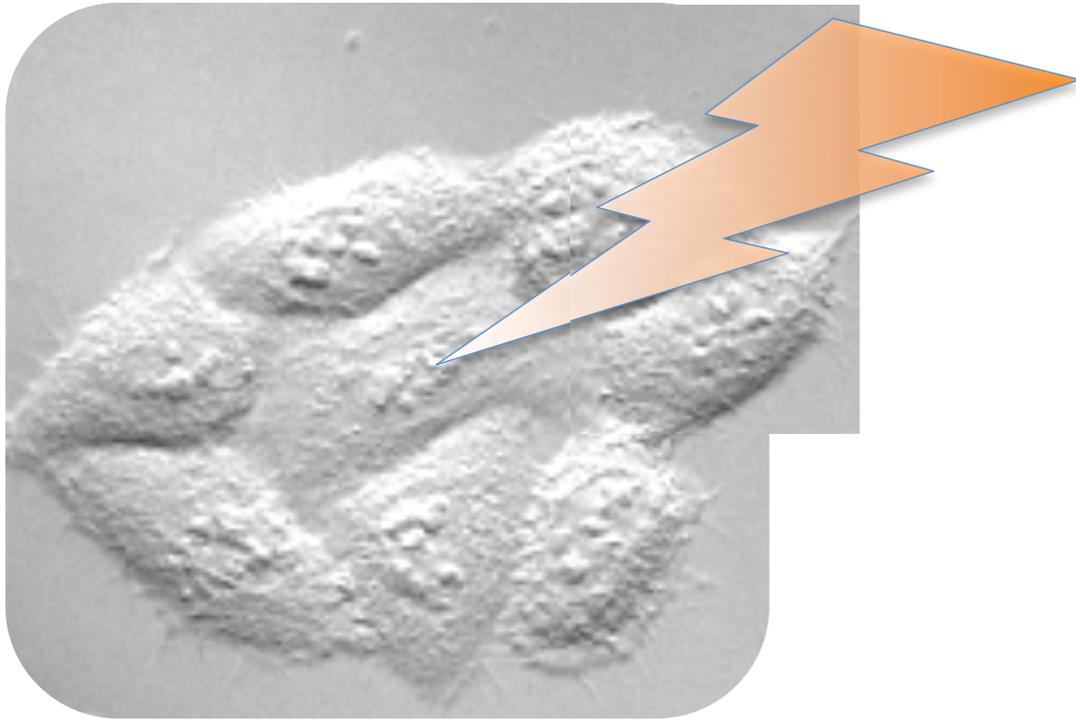
Becquerel decay/disintegration per second

放射線の人体への影響

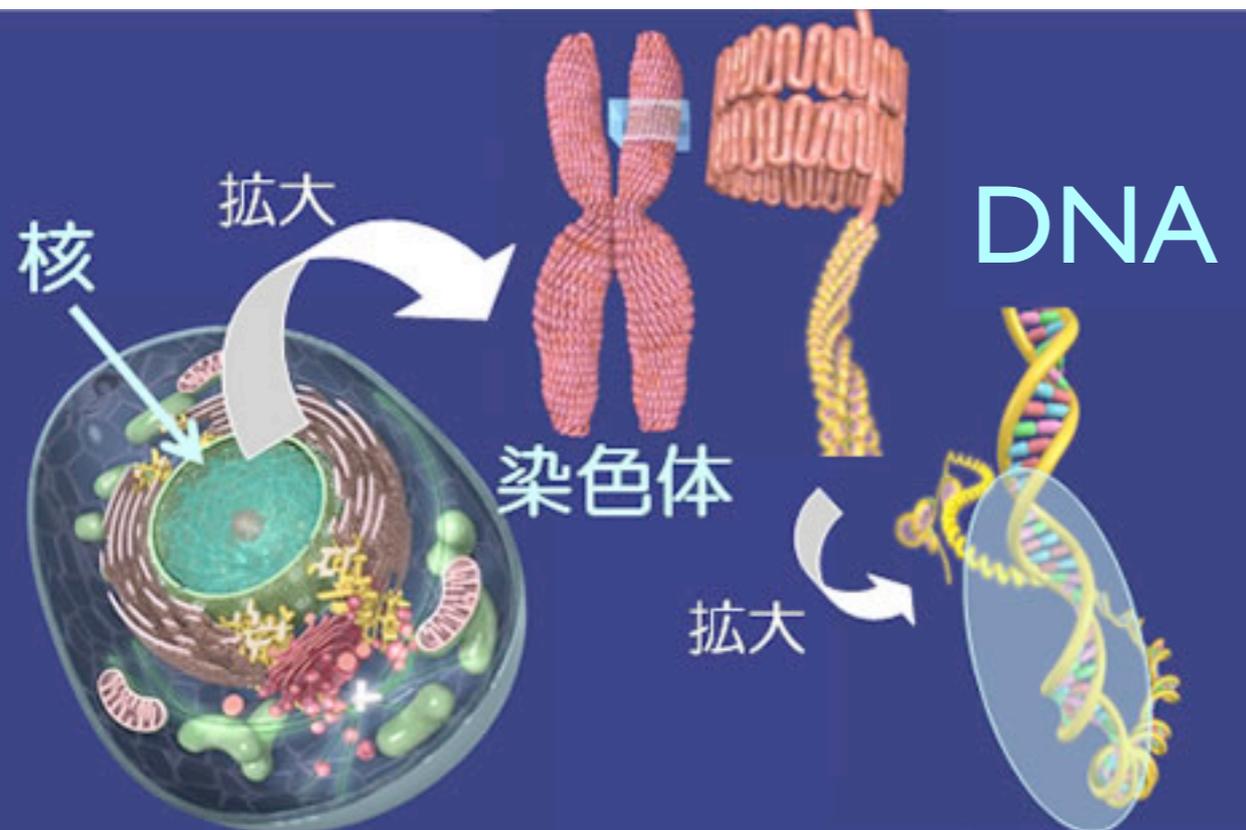
《放射線生物学・放射線医学》

細胞の核に放射線が照射

DNA



出典：IPA「教育用画像素材集サイト」 <http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>



細胞(60兆個) 一部が遺伝子

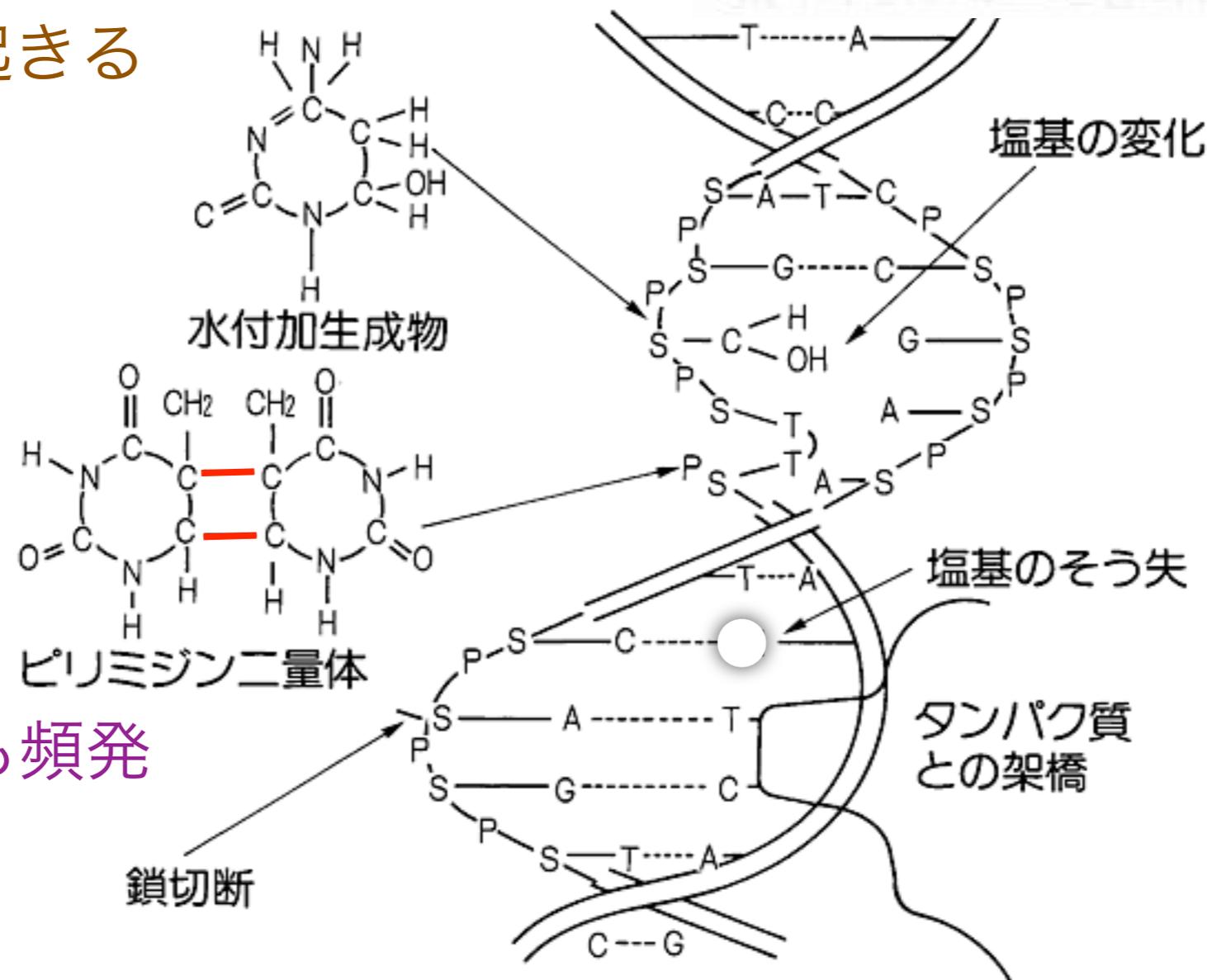
図1 核、染色体、遺伝子

何もなくても DNA 損傷は自然発生している（複製ミスなど）

特定の化学物質によっても DNA 損傷が起きる

表5 増殖期のヒト細胞における DNA 損傷の自然発生率と放射線誘発率の比較⁷⁾

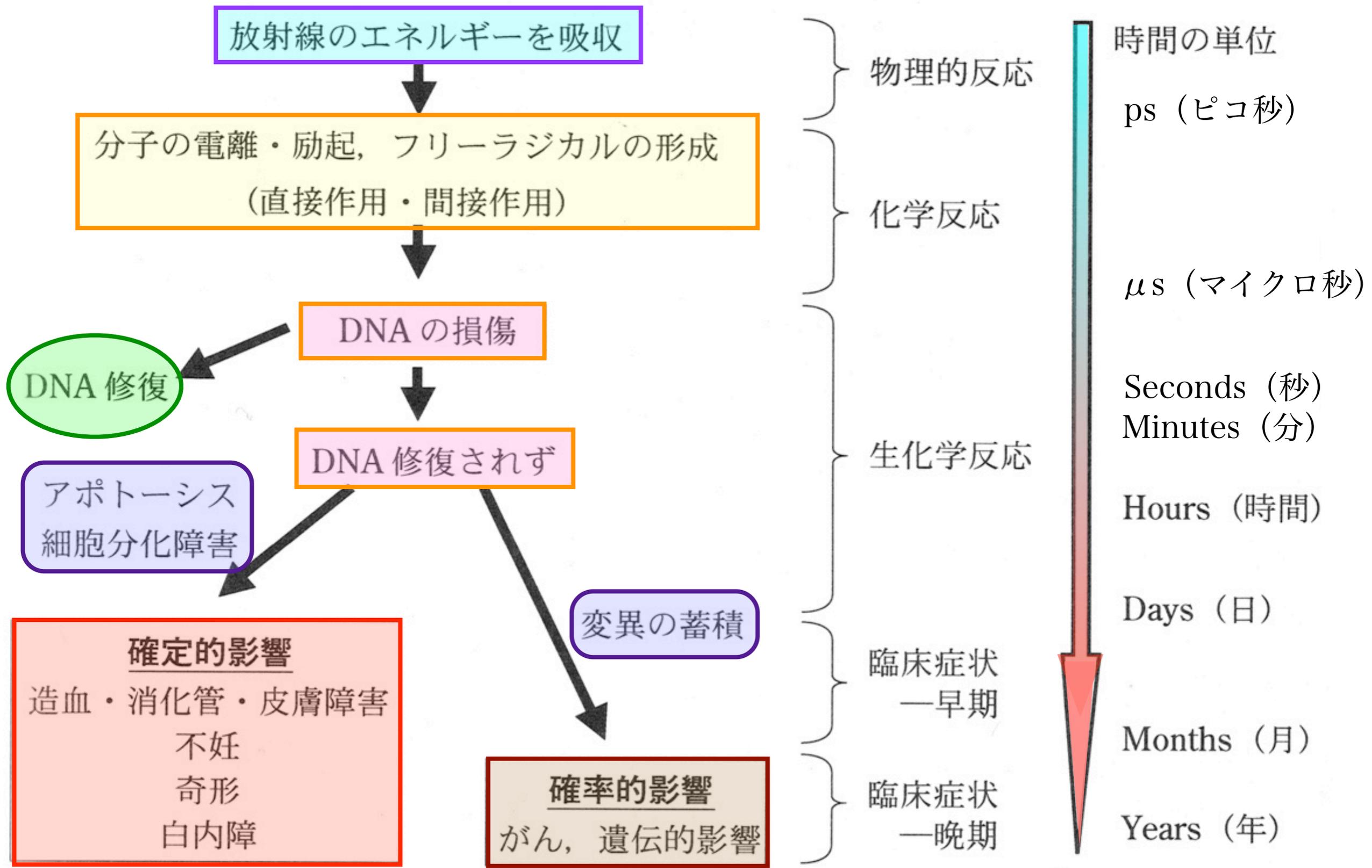
傷の種類	自然の傷(/細胞/日)	X線誘発の傷(/細胞/1 Sv)
塩基損傷	20,000	300
1本鎖切断	50,000	1,000
2本鎖切断	50(推定 ^{2,19)})	40



紫外線照射でも頻発

図2 放射線照射を受けた細胞から抽出された DNA に見られる種々の損傷

[出典] 江上信雄：生き物と放射線、東京大学出版会、1975



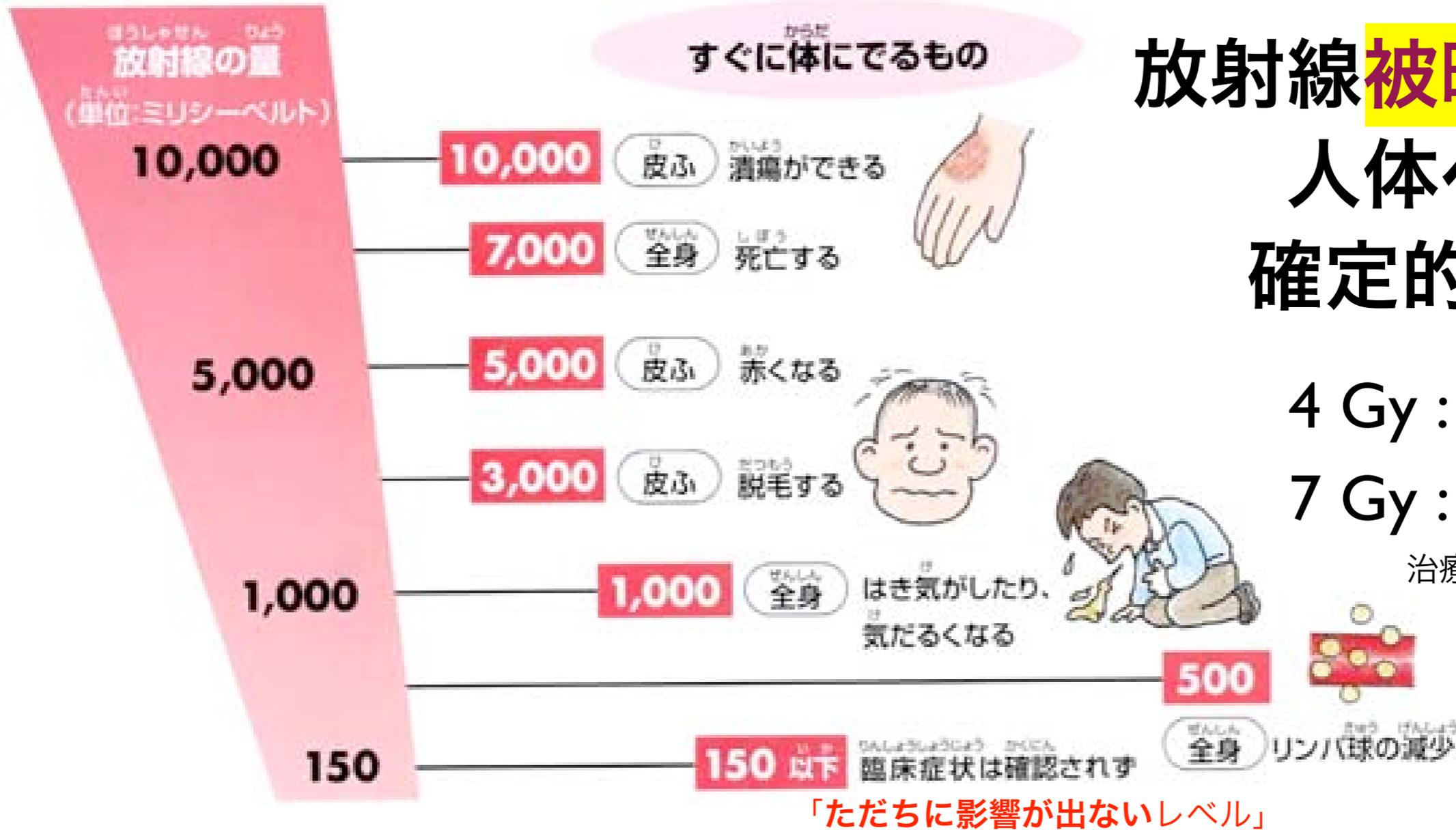
放射線被ばく後に起こる生体反応の経時的変化

放射線被曝による 人体への 確定的影響

4 Gy : 半数死亡
7 Gy : 全員死亡

治療により助かることも。

すぐに体にできるもの

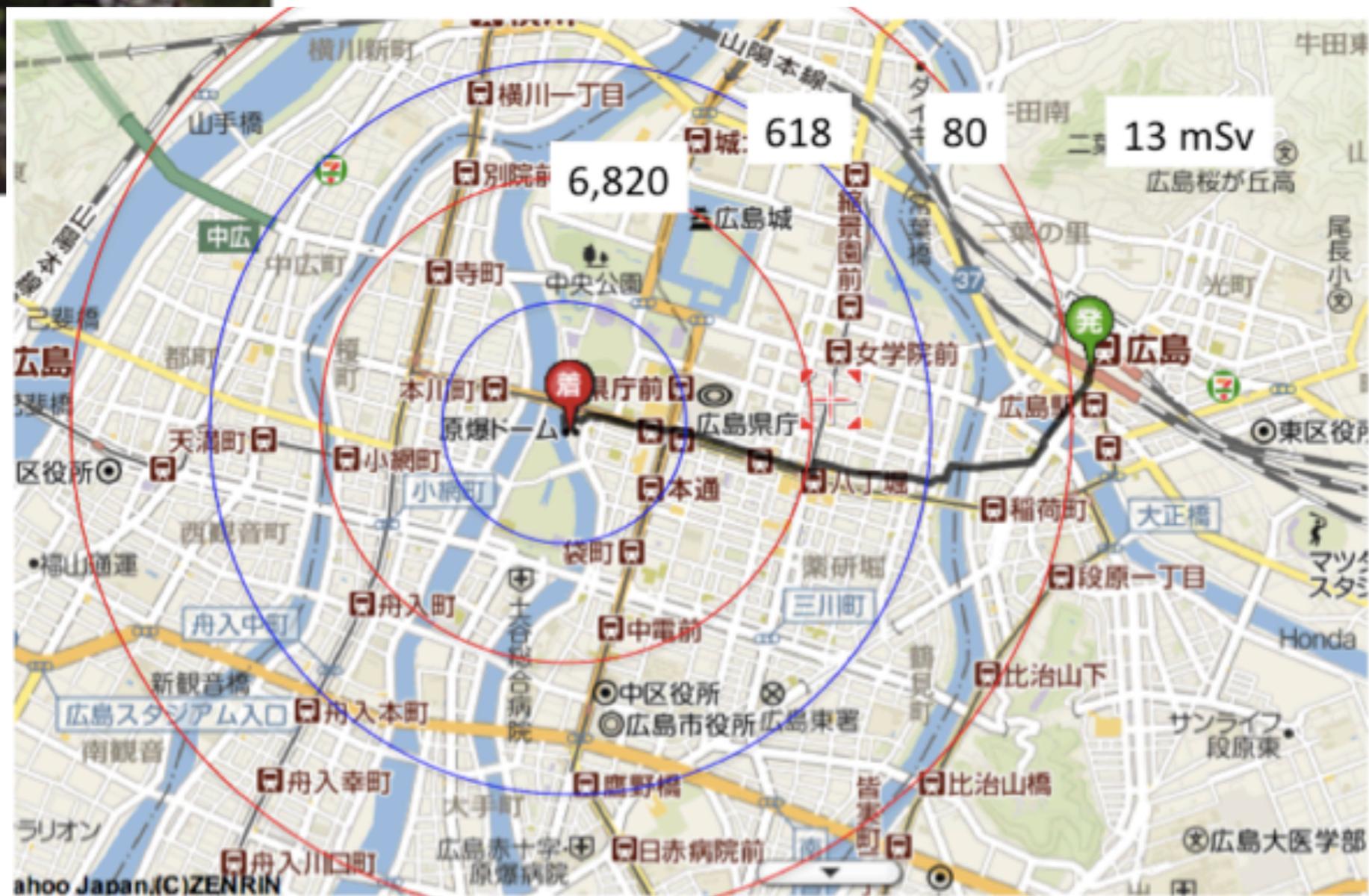


JCO 事故 チェルノブイリの 消防隊員

細胞再生系	造血組織	腸上皮	皮膚	精巣	水晶体			
幹細胞 幹細胞 芽細胞 (分裂) 機能細胞 (老化) 老熟細胞 (死滅)	幹細胞 リンパ球 好中球 赤血球 球(血小板)	腺窩 (幹細胞) 絨毛	基底細胞 (幹細胞) 角質層	幹細胞 精子	上皮 (幹細胞) 水晶体繊維 赤道部			
正常な分化過程	4 4 4 4日	2日	2週間	3-4週間	1/2-3年			
正常な成熟過程	1 7-10 7 100日	2日		7-8週間				
照射による変化	免疫能力低力	血液凝固時間延長	食作用低力	酸素輸送低力	絨毛の短縮と喪失、出血、下痢	紅斑、萎縮、潰瘍	一時的または永久不妊	白内障



広島 原爆ドーム



低線量被曝では**確定的**影響は起きない。

「**ただちに影響が出ないレベル**」

確率的影響(の可能性)が議論の対象となる。

❖ がん

❖ 遺伝的影響の有無

あくまで確率でしか議論できない。

リスクの確率。

しかしそもそも、放射線を浴びなくても確率はゼロではない。

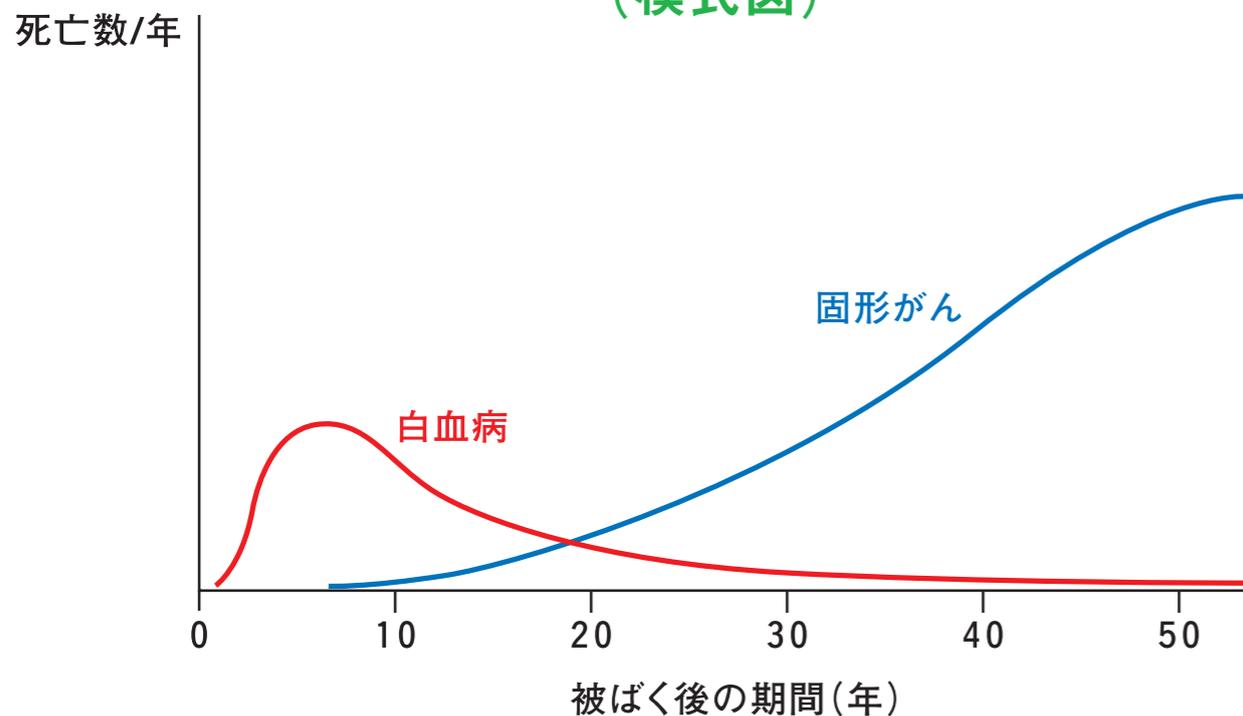
(日本人の3人に1人はがんで死亡する。)

疫学調査の結果から結論を導きだすのは**統計学的**に困難。

広島・長崎の原爆生存者に対する 放射線被曝による影響の疫学調査

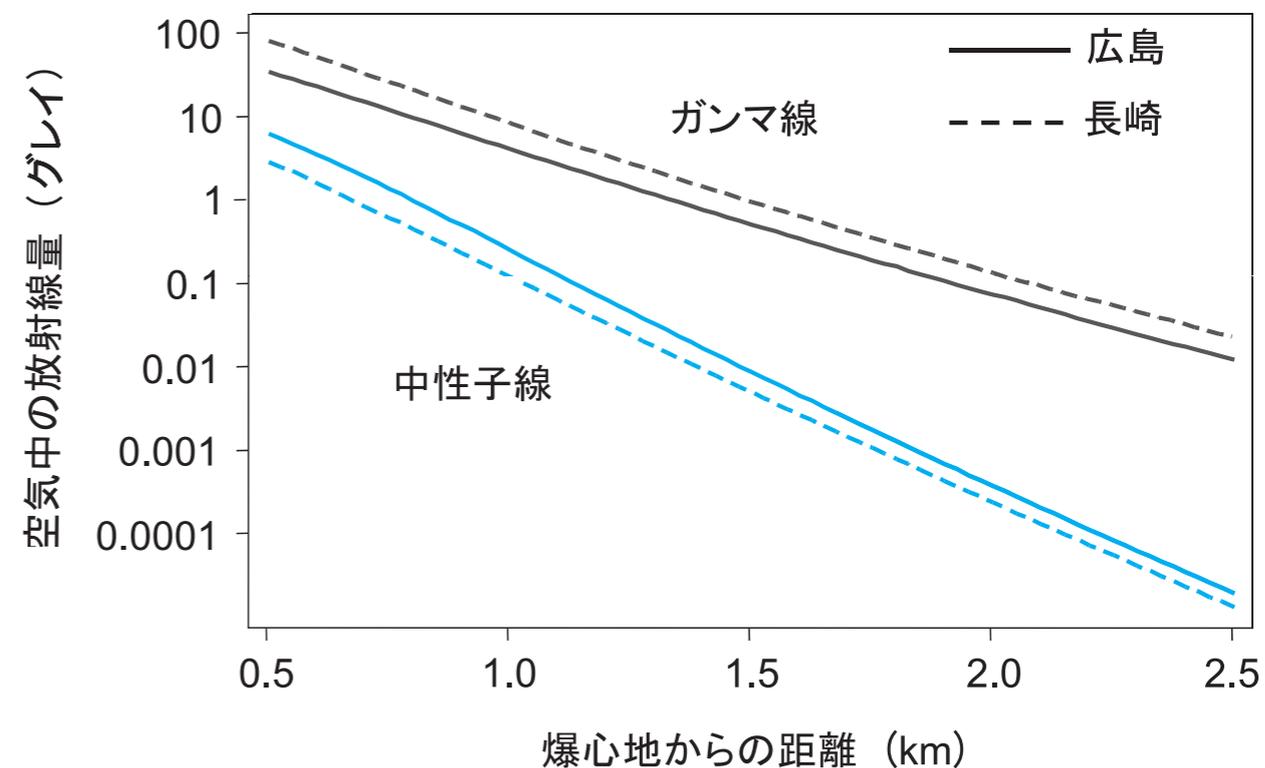
対象 9 万人 + 対照 3 万人

原爆放射線に関連する死亡数の時間的経過
(模式図)



(財) 放射線影響研究所 パンフレット「わかりやすい放射線と健康の科学」

図4. 爆心地からの距離と空中線量 (無遮蔽)
DS02 (2002年線量推定方式)* による



(財) 放射線影響研究所 パンフレット「放射線影響研究所のご案内」

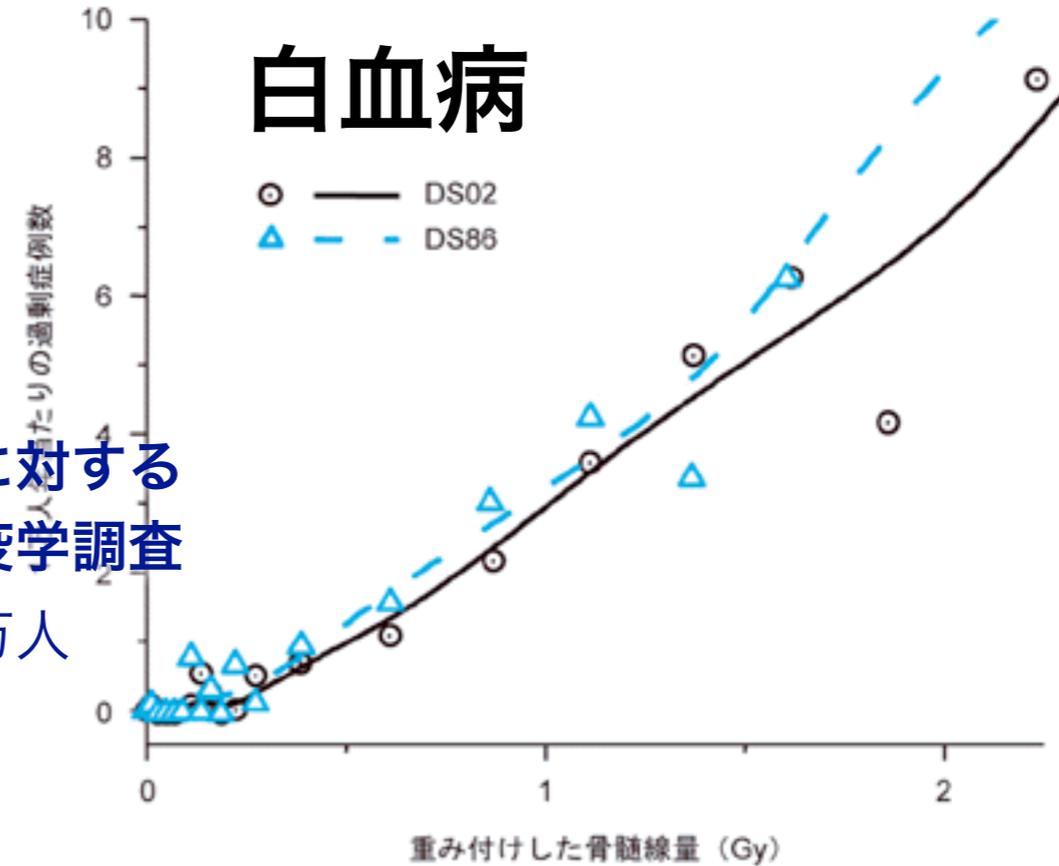
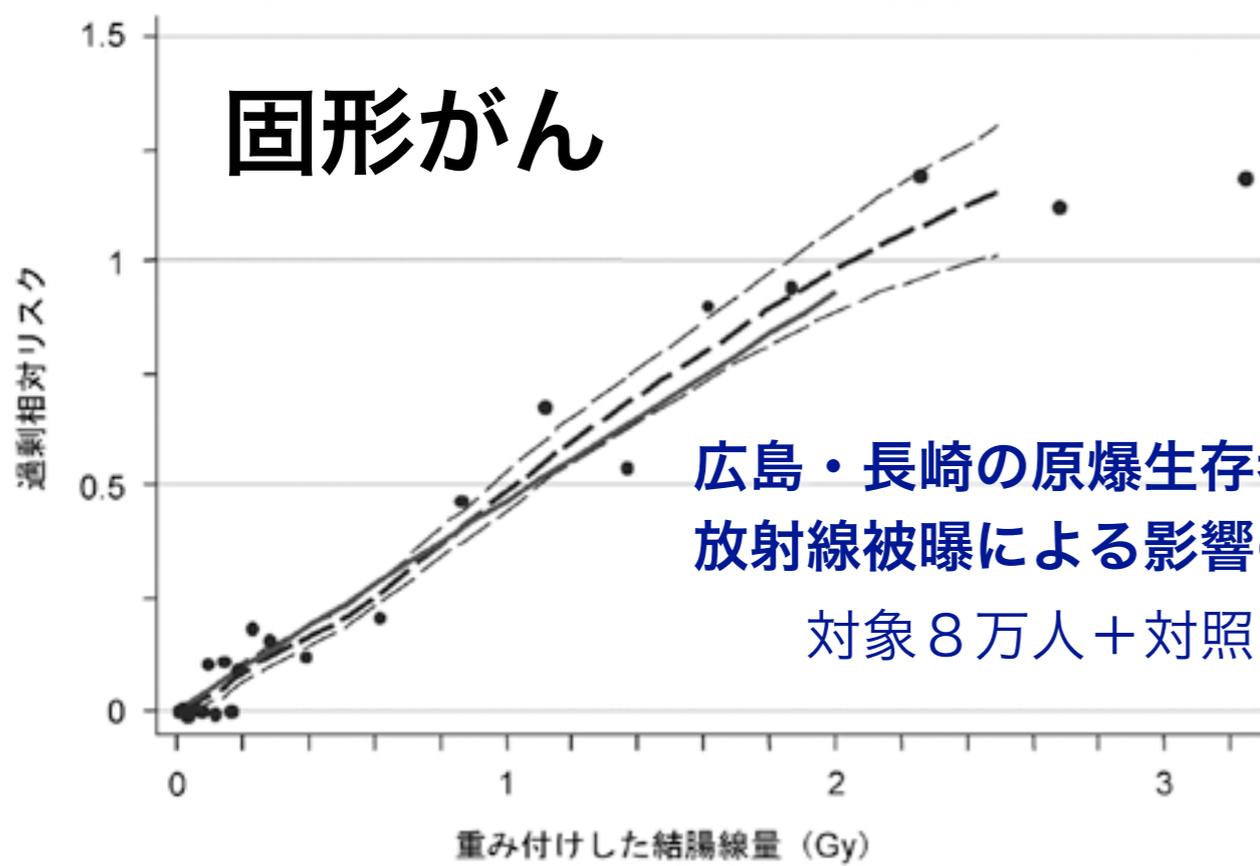


図 LSS (寿命調査) 集団における固形がん発生の過剰相対リスク (線量別) 1958-1998年。太い実線は、被爆時年齢30歳の人が70歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク (ERR) の線形線量反応を示す。太い破線は、線量区分別リスクを平滑化したノンパラメトリックな推定値であり、細い破線はこの平滑化推定値の上下1標準誤差を示す。

図. DS02とDS86による白血病のノンパラメトリックな線量反応、1950-2000年。被爆時年齢20-39歳の人の1970年における男女平均リスク。

表. LSS集団における固形がん発生のリスク (線量別)、1958-1998年

重み付けした結腸線量 (Gy)	対象者数	がん		寄与率
		観察数	推定過剰数	
0.005 - 0.1	27,789	4,406	81	1.8%
0.1 - 0.2	5,527	946	75	7.6%
0.2 - 0.5	5,935	1,144	179	15.7%
0.5 - 1.0	3,173	688	206	29.5%
1.0 - 2.0	1,647	460	196	44.2%
>2.0	564	185	111	61.0%
合計	44,635	7,851	848	10.7%

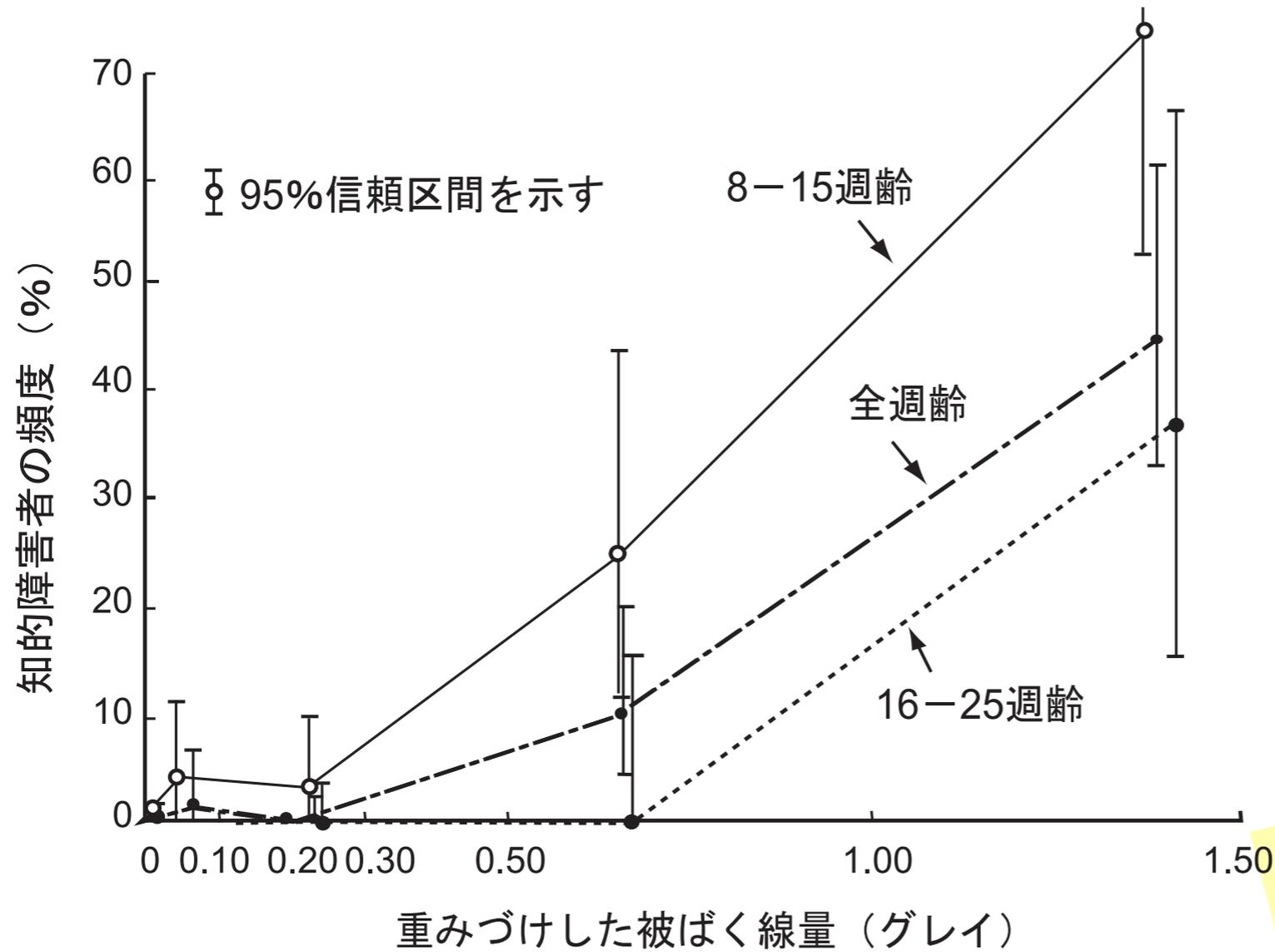
表. LSS集団における白血病による死亡の観察数と推定過剰数、1950-2000年

重み付けした骨髄線量 (Gy)	対象者数	死亡		寄与率
		観察数	推定過剰数	
0.005 - 0.1	30,387	69	4	6%
0.1 - 0.2	5,841	14	5	36%
0.2 - 0.5	6,304	27	10	37%
0.5 - 1.0	3,963	30	19	63%
1.0 - 2.0	1,972	39	28	72%
>2.0	737	25	28	100%
合計	49,204	204	94	46%

(財) 放射線影響研究所 データ

低線量被曝の影響について疫学調査の結果から結論を導きだすのは統計学的に困難。

胎内被爆者における放射線の影響



(財)放射線影響研究所パンフレット「放射線影響研究所のご案内」

チェルノブイリ事故の後、ヨーロッパ全土で不必要な墮胎が数万人以上だったともいわれる。(風評・過度の心配による犠牲)

放射線による遺伝的影響は認められず

これまでのところ原爆被爆者の子供に臨床的または潜在的な影響を生じたという証拠は得られていない。事実これはマウスを用いた実験からの予測と一致しており、遺伝的变化に関する限り、ヒトは放射線に対してマウス以上に高い感受性を示すわけではないことを示唆している。

低線量・低線量率の被曝とガン死亡



チェルノブイリ原発事故

チェルノブイリ原発
黒鉛炉
格納容器なし
1週間燃え続けた

福島第一原発
沸騰水型軽水炉
格納容器あり
水素爆発・汚染水流出

^{131}I (ヨウ素 ^{131}I) **total 200京ベクレル !!**

初期消火に当たった原発作業員・消防隊員が
致死・亜致死量の被曝。28人死亡。

事故処理に当たった軍人ら“リクビダートル”
60万人が数百 mSv 被曝

3 km にあるプリピャチ市民は翌日に強制避難
半径 10 km 圏内の避難が1週間遅れた。

(最大で 750 mSv の被曝)

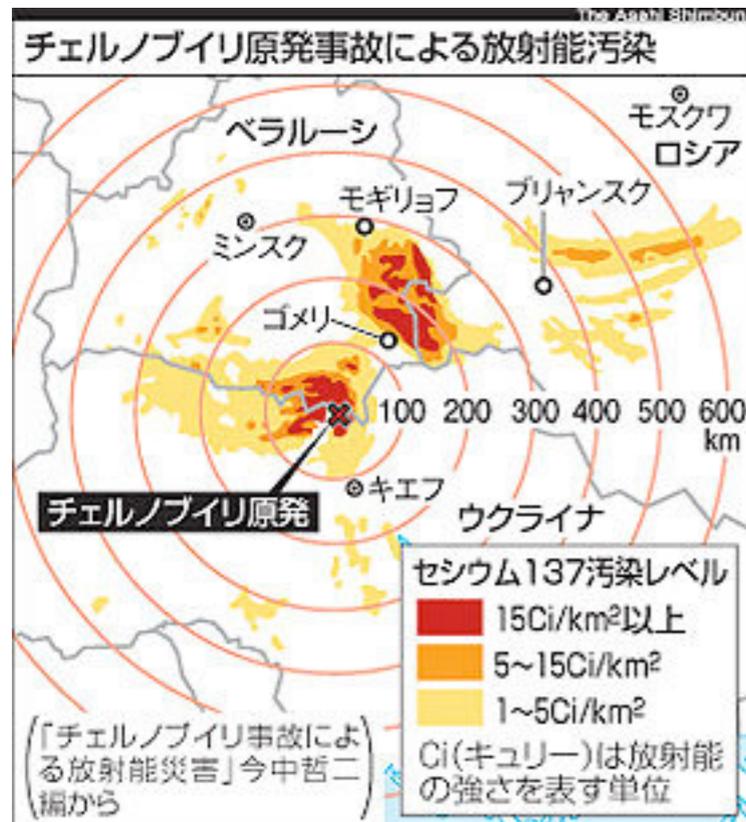
30 km 圏内の牛乳の摂取規制がなされず。

一般住民で確認された健康への影響は
こどもの甲状腺ガンの増加のみ。

毎年 1/300,000人 → 1/10,000人
(患者数 5000人、死亡 15人)

甲状腺平均被曝量 2 Gy !!

と、ずっと大きいストレスによる失調



低線量・低線量率の被曝とガン死亡

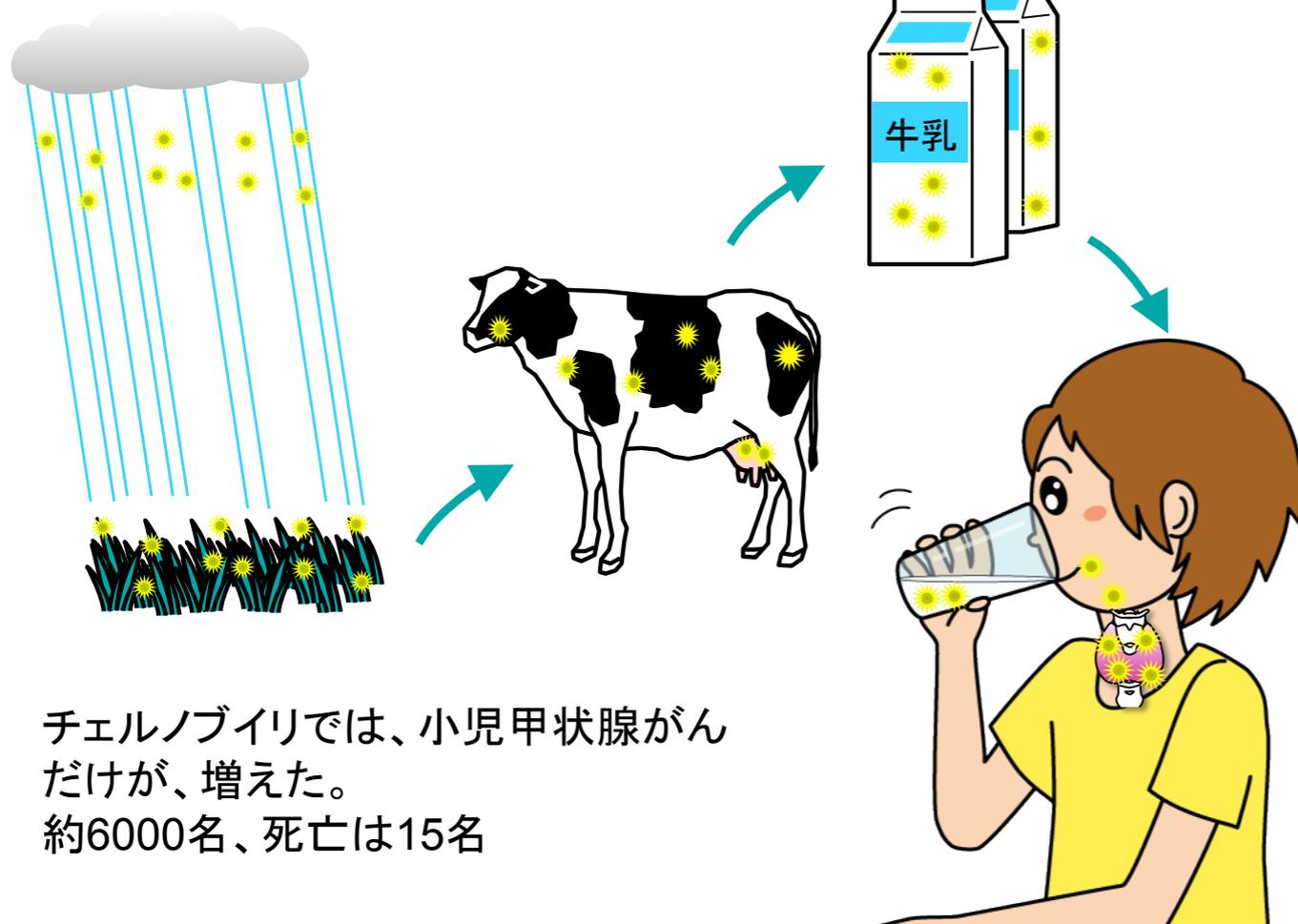


ロシア語
Чернобыль / Чорнобиль



チェルノブイリ原発事故

^{131}I (ヨウ素 ^{131}I) total 200京ベクレル !!



チェルノブイリでは、小児甲状腺がんだけが、増えた。
約6000名、死亡は15名

一般住民で確認された健康への影響は
こどもの甲状腺ガンの増加のみ。
(地産地消の牛乳による摂取が問題)

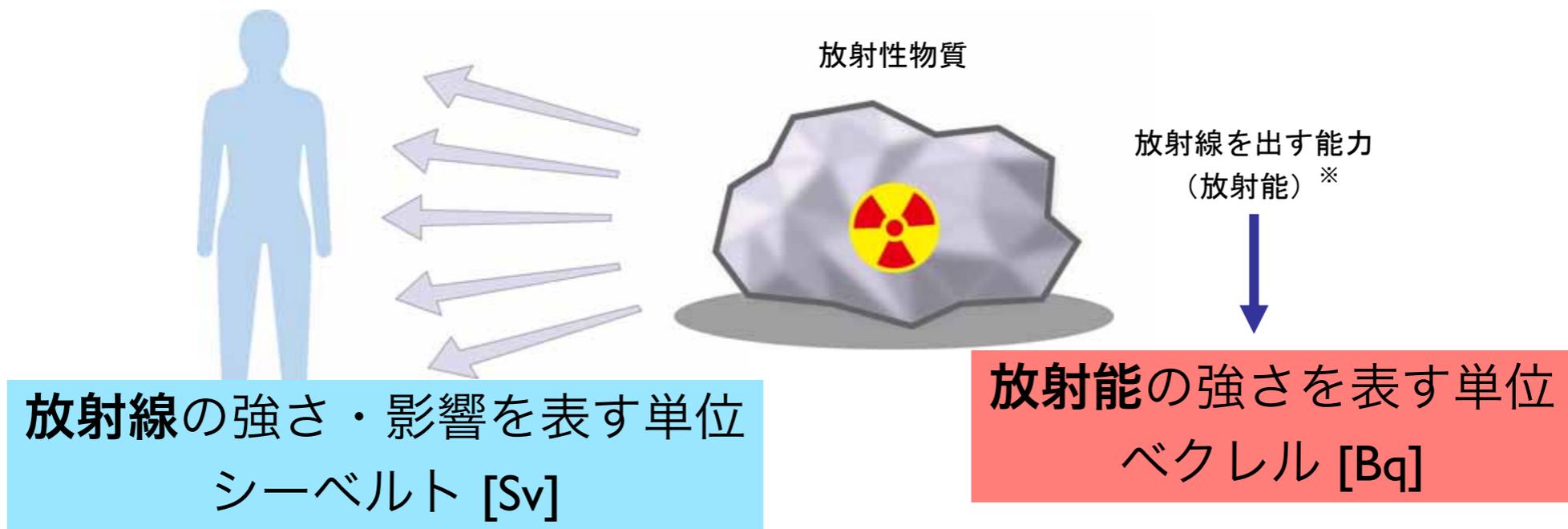
毎年 1/300,000人 → 1/10,000人
(患者数 5000人、死亡 15人)

甲状腺平均被曝量 **2 Gy**

= **2000 mSv !!** (10 Gy 以上の被曝も!)
と、ずっと大きいストレスによる失調

いわき市、飯舘村のこどもの甲状腺被曝調査
最大で **35 mSv** の被曝 (甲状腺等価線量)

震災・事故による喪失感は共通



放射線量の単位

グレイ

吸収線量 $D [J / kg] = [Gy]$

等価線量 $H_T [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

実効線量 $E [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

放射能の単位

放射能の強さ $[Bq]$
ベクレル

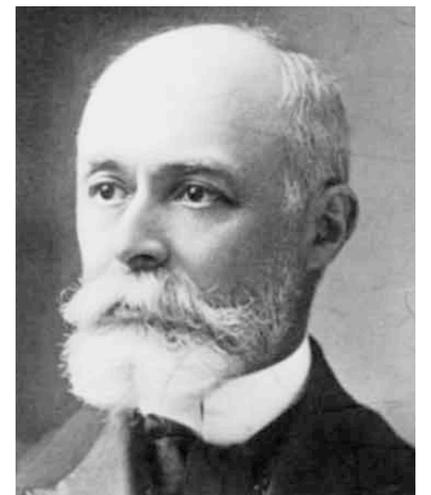
Gray



Sievert



Becquerel



放射線量の単位

- 物質が吸収したエネルギー（単位質量あたり）

吸収線量 $D [J / kg] = [Gy]$ グレイ

Gray

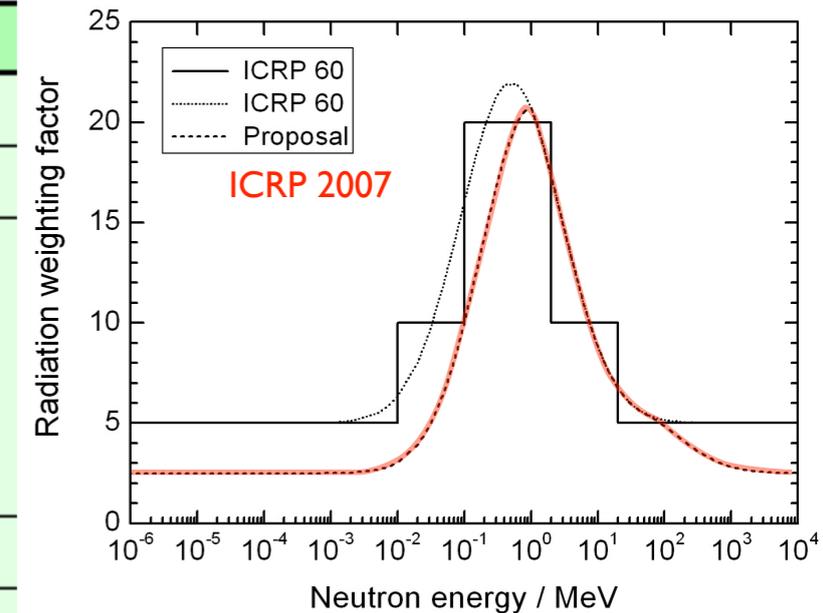


- 放射線の種類による生物学的影響の違いを考慮

等価線量 $H_T [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

表1 放射線荷重係数

放射線の種類・エネルギーの範囲	放射線荷重係数: W_R	
光子(X線・γ線); 全てのエネルギー	1	1
電子(β線)およびミュー粒子; 全てのエネルギー	1	1
中性子; 10keV 以下	5	右図を参照
10keV~100keV	10	
100keV~2MeV	20	
2MeV~20 MeV	10	
20MeV以上	5	
反跳陽子以外の陽子; エネルギー 2MeV 以上	5	2 (正負パイオンも)
アルファ粒子(α線)	20	20
核分裂片	20	20
重原子核	20	20



[出典] 日本アイソトープ協会:ICRP Pub 60、国際放射線防護委員会の1990年勧告、丸善、p7(1991)

赤字 ICRP 2007

- 全身被曝での影響に換算（臓器ごとに荷重係数をかけて合算）

実効線量 $E [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

Sievert



身の回りの放射線

身の周りの放射線

mSv (実効線量)



ブラジル・ガラバリの放射線
(年間、大地等から) 10

放射線の量
(ミリシーベルト)

10

胸部X線コンピュータ断層
撮影検査(CT スキャン)(1回)



6.9



1人あたりの自然放射線(年間)(世界平均) 2.4



1

一般公衆の線量限度(年間)(医療は除く) 1.0



岐阜 ↔ 神奈川



0.4

胃のX線集団検診(1回) 0.6



国内自然放射線の差(年間)(県別平均値の差の最大) 0.4

0.1

東京-ニューヨーク航空機旅行(往復)(高度による宇宙線の増加) 0.2



胸のX線集団検診(1回)



再処理工場からの放射性物質の放出による評価値(年間) 0.022

0.05



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)

クリアランスレベル導出の線量目安値(年間) 0.01

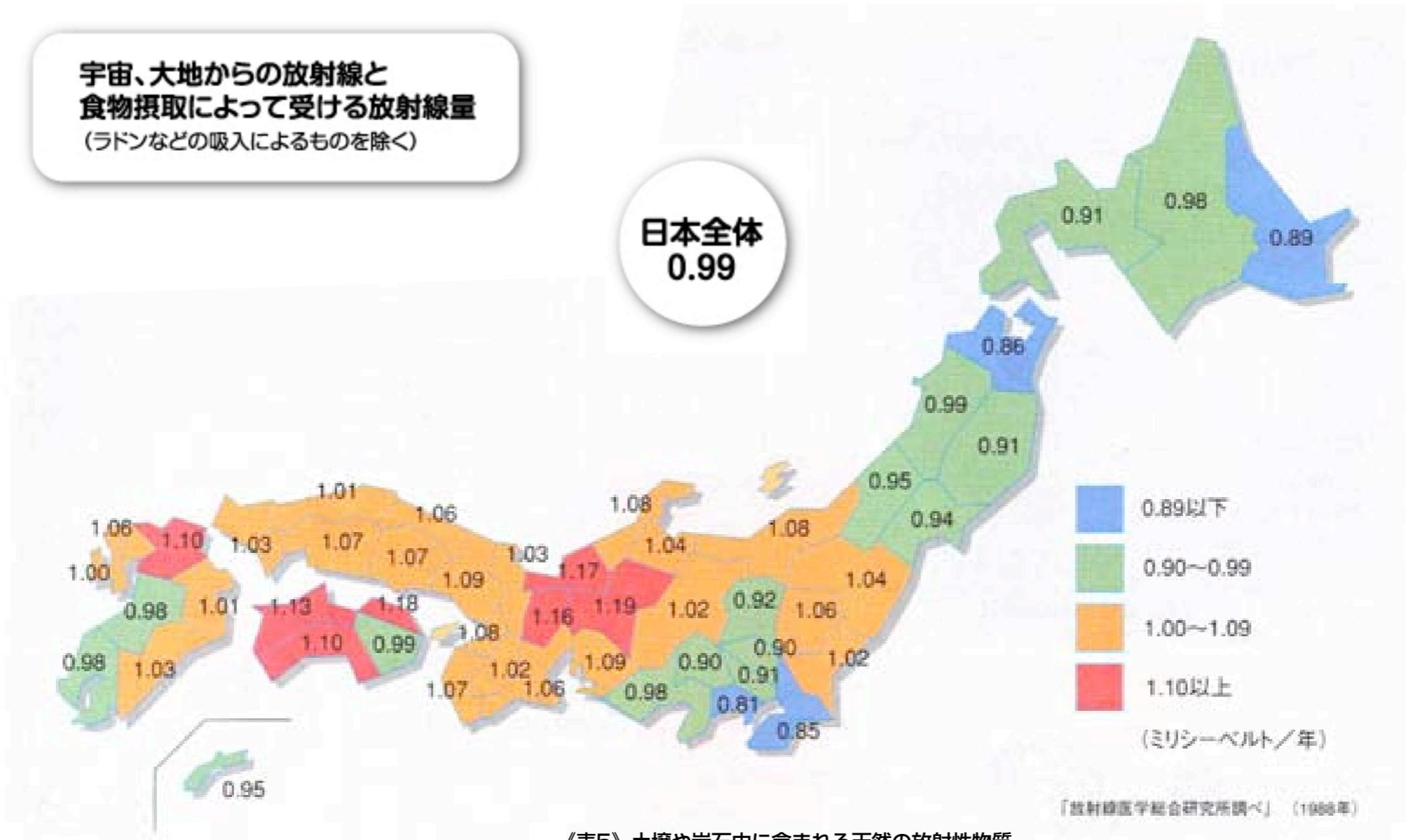
0.01

mSv/年

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量
(ラドンなどの吸入によるものを除く)

日本全体
0.99



《表5》 土壌や岩石中に含まれる天然の放射性物質

放射性物質の種類	放射能濃度 (ベクレル/kg)	
	一般の土壌・岩石	花こう岩
カリウム40	100~700	500~1600
ウラン238 (娘核種を含む)	10~50	20~200
トリウム232	7~50	20~200

出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1982) など

関西は自然放射線量が高い！

mSv/年

全国自然放射線量

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量
(ラドンなどの吸入によるものを除く)

日本全体
0.99

御影石
(花崗岩)

温泉地

関東ローム層

《表5》 土壌や岩石中に含まれる天然の放射性物質

放射性物質の種類	放射能濃度 (ベクレル/kg)	
	一般の土壌・岩石	花こう岩
カリウム40	100~700	500~1600
ウラン238 (娘核種を含む)	10~50	20~200
トリウム232	7~50	20~200

出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1982) など

原子力総合研究所調べ (1988年)

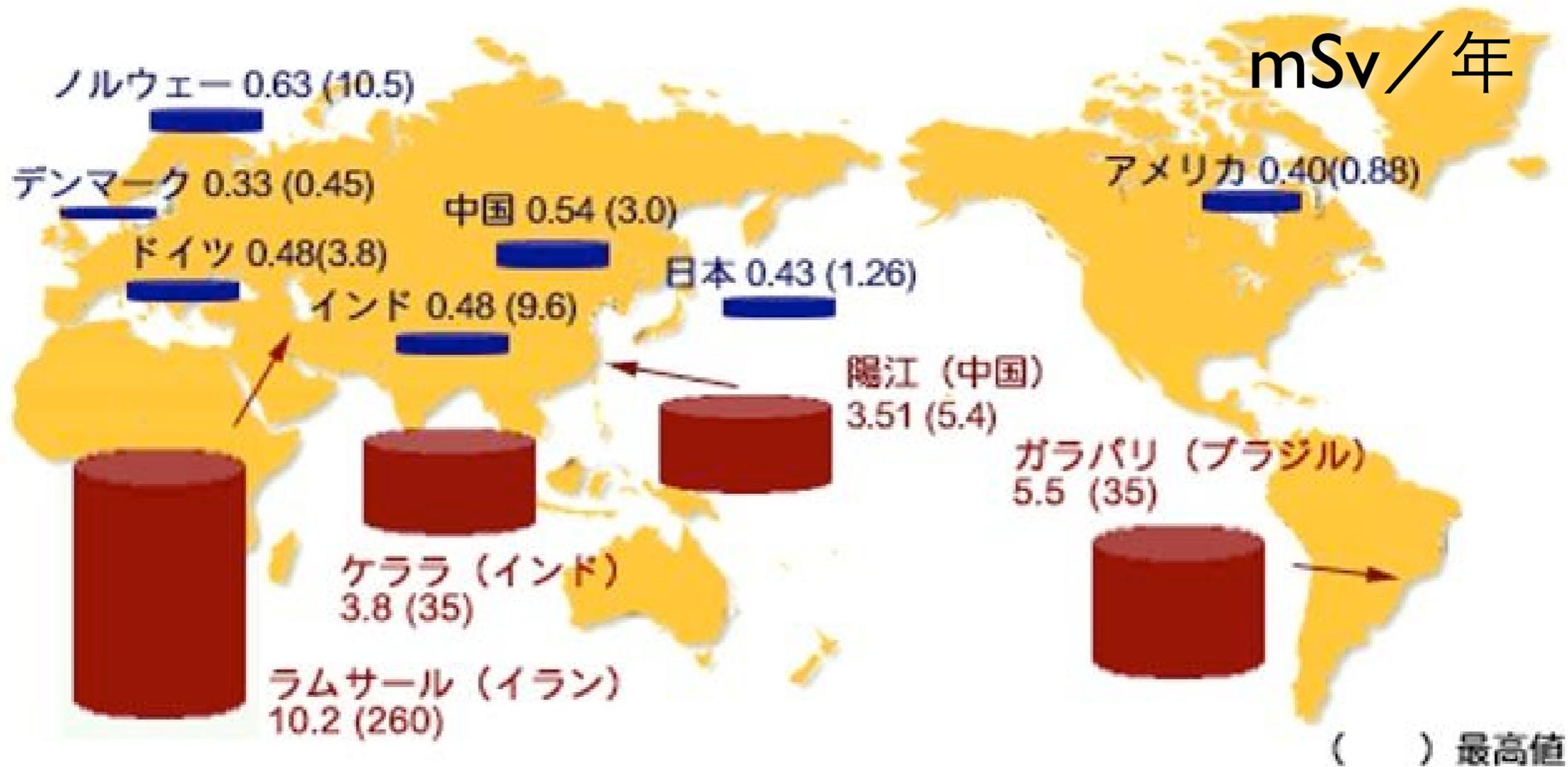


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

表1 高自然放射線地区と対照地区におけるがん死亡率の比較^{7,8)}

	高自然放射線地区	対照地区
自然放射線量率 (mSv/年)	5.5	2.1
がん死亡率 (10万人・年)	48.8	51.1
調査人数・年	1,008,769	995,070

《表6》世界各地における年間積算線量の例 (ラドンを除く)

国名	空間線量のみ (ミリシーベルト/年)	備考
オーストリア	0.47~0.56	
フランス	{ 0.45~0.9 1.8~3.5	石灰岩 花崗岩と頁岩
日本	{ 0.23~0.37 0.79~1.19	関東ローム 花崗岩と地域
スウェーデン	{ 0.7~1.0 0.6~1.2 0.5	ストックホルム街路 火成岩 粘土
イギリス	{ 0.18~0.61 0.77~1.55	堆積岩または粘土 花崗岩地域
アメリカ	0.45~1.3	23州での測定
インド	1.31~28.14	ケララ地方
ブラジル	~12.0	ミナミ地方

出典：主として「放射線化学1971-6月」(放射線医学総合研究所編)

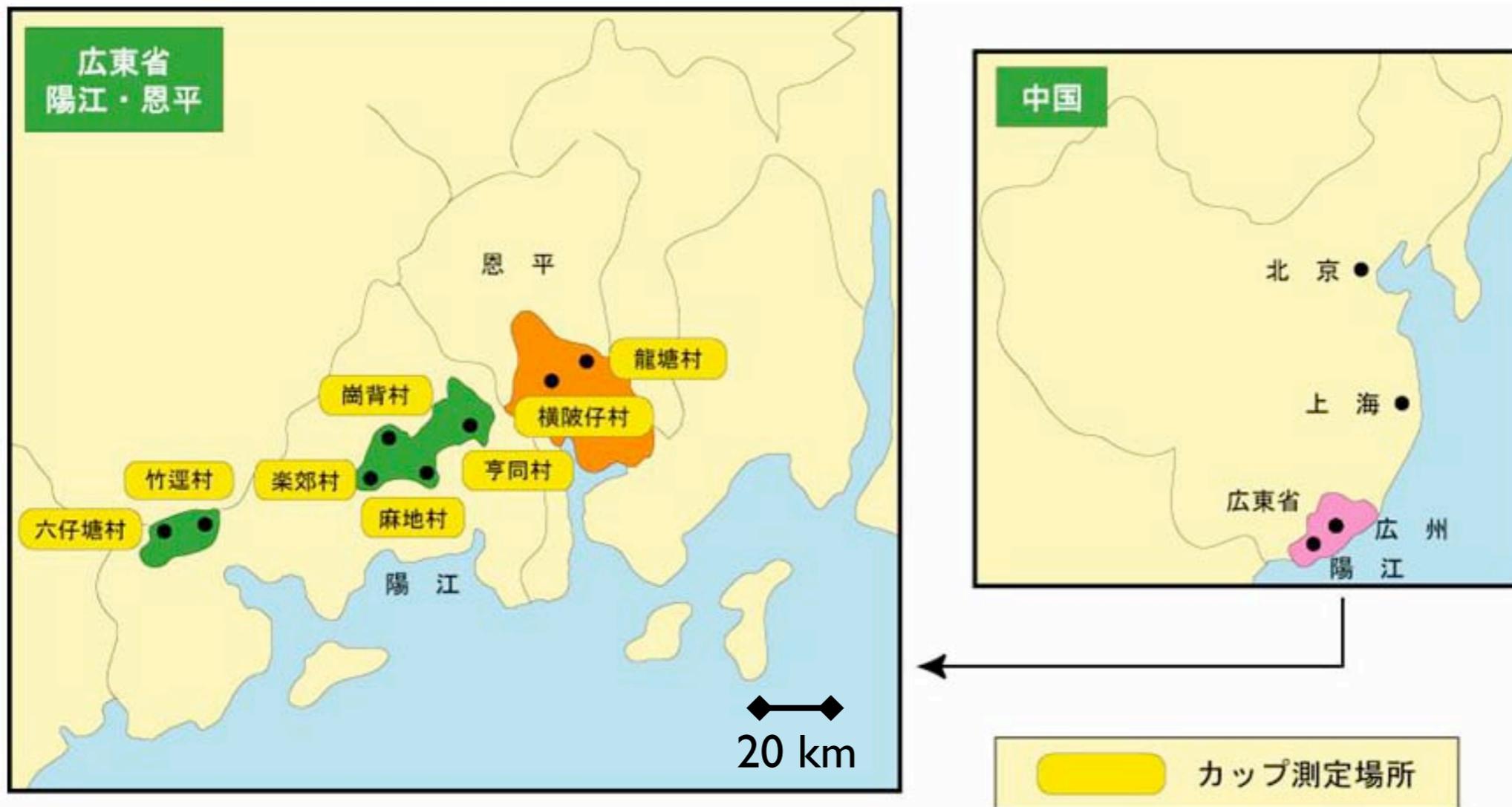
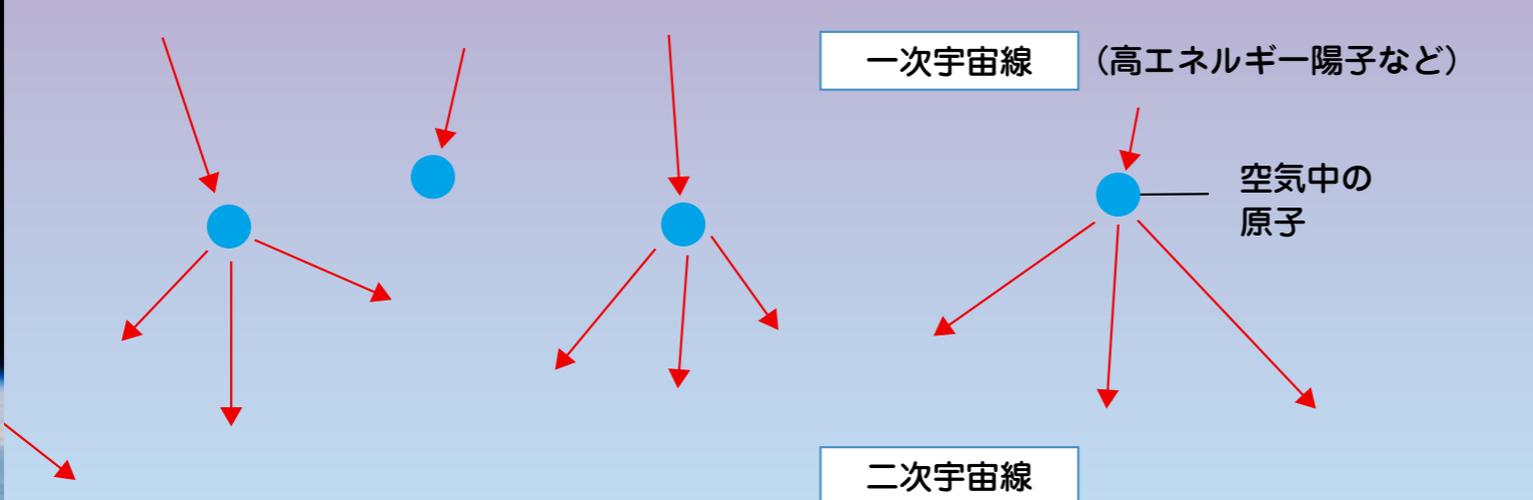


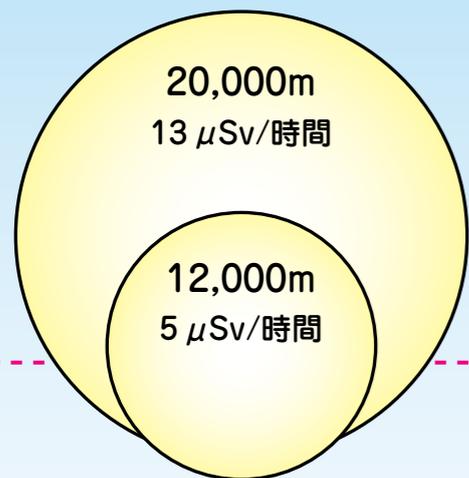
図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

表1 高自然放射線地区と対照地区におけるがん死亡率の比較^{7,8)}

	高自然放射線地区	対照地区
自然放射線量率 (mSv/年)	5.5	2.1
がん死亡率 (10万人・年)	48.8	51.1
調査人数・年	1,008,769	995,070



※○の大きさは、放射線を受ける量をあらわしている。



4,000m ○ 0.2 μ Sv/時間

2,000m ○ 0.1 μ Sv/時間

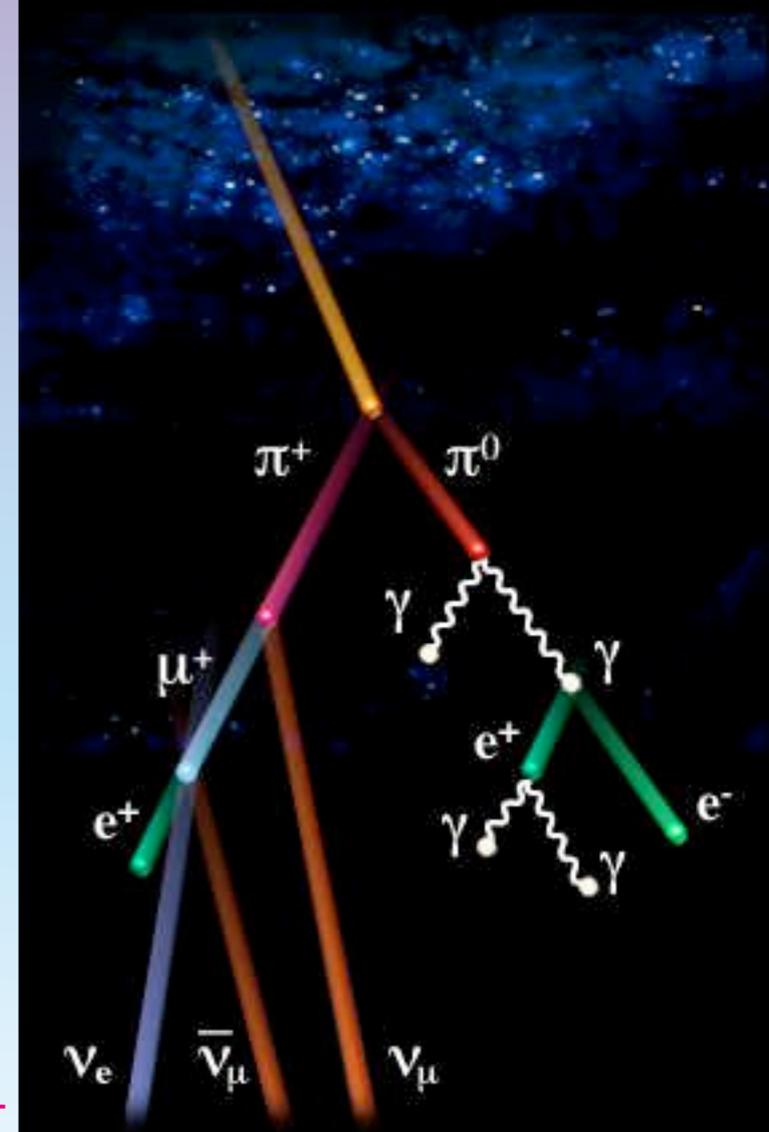
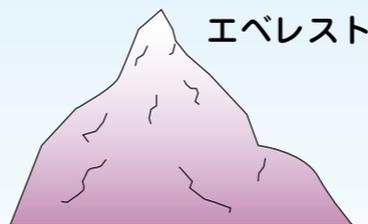
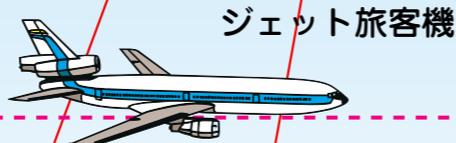
海面 ○ 0.03 μ Sv/時間

μ Sv = マイクロシーベルト

100km

10km

1km



東京~NY 往復
200 μ Sv (max)

《表4》宇宙線による年平均実効線量

地域 (高高度地域)	人口 (百万人)	高度 (m)	年実効線量 (μ Sv)		
			電離成分	中性子	合計
ラパス (ボリビア)	1.0	3900	1120	900	2020
ラサ (中国)	0.3	3600	970	740	1710
キトー (エクアドル)	11.0	2840	690	440	1130
メキシコシティ (メキシコ)	17.3	2240	530	290	820
ナイロビ (ケニア)	1.2	1660	410	170	580
デンバー (米国)	1.6	1610	400	170	570
テヘラン (イラン)	7.5	1180	330	110	440
海面			240	30	270
世界平均			300	80	380

出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1993)

体内、食物中の自然放射性物質

出典：旧科学技術庁パンフレット

Bq / kg

Bq (60 kg)

●体内の放射性物質の量

放射性物質	濃度 (ベクレル/kg)	全身の放射能 (60キログラムの人のベクレル数)
カリウム 40	67	4,100
炭素 14	41	2,600
ルビジウム 87	8.5	520
鉛 210または ポロニウム 210	0.074~1.5	19
ウラン 238	—	1.1

●食物中のカリウム40の放射能量 (日本)

(単位：ベクレル/kg)



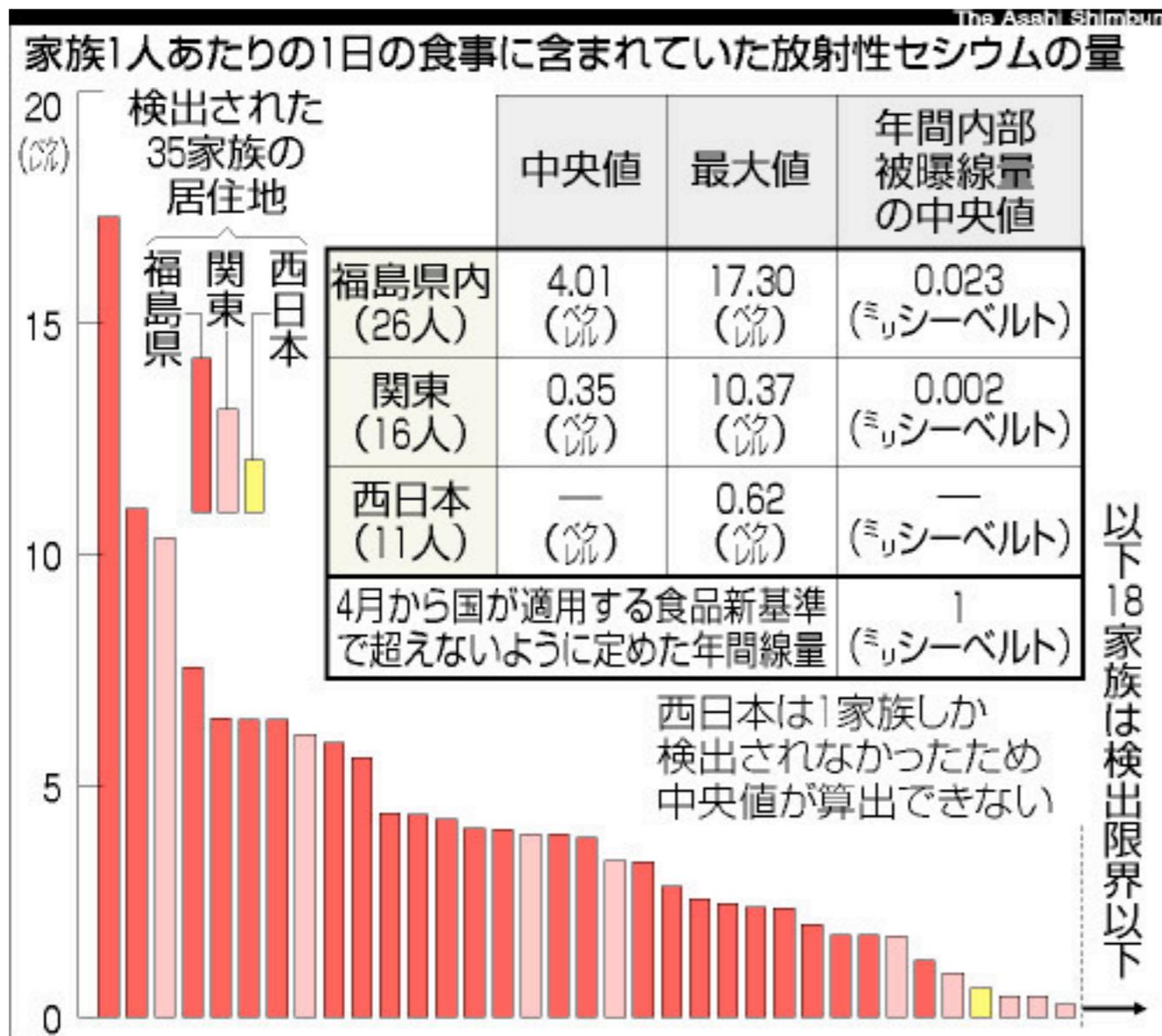
Bq / kg

^{40}K
 同位体比 0.012%
 半減期 13億年

$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar} (\text{EC}\gamma) \quad 11\%$
 $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} (\beta^-) \quad 89\%$

毎日カリウム 3 g = ^{40}K を 80 Bq 摂取。同量を排泄。

セシウムによる内部被曝について



2012/1/18 朝日新聞：京都大医学研究科 小泉昭夫教授らの調査

最近の調査結果をみれば、ひとまず安心。

自然の内部被曝に比べ一割以下
(いろいろ批判されてきたが)
食品規制が奏効しているようだ。

■放射性セシウムの基準

暫定基準		新基準案	
野菜類	500%	一般食品 (野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他)	100%
穀類	500%		
肉・卵・魚・その他	500%		
飲料水	200%	飲料水	10%
牛乳・乳製品	200%	牛乳	50%
		乳児用食品	50%

(1kgあたり)

事故前から体内に存在する放射性物質による自然放射線の内部被曝量 (体重 60 kg の人)

カリウム40、炭素14などあわせて 7200 ベクレル：0.3 ミリシーベルト／年間

うち、カリウム40 が 4100 ベクレル：0.2 ミリシーベルト／年間

がんの予防と対処

《医学保健学・放射線医療》

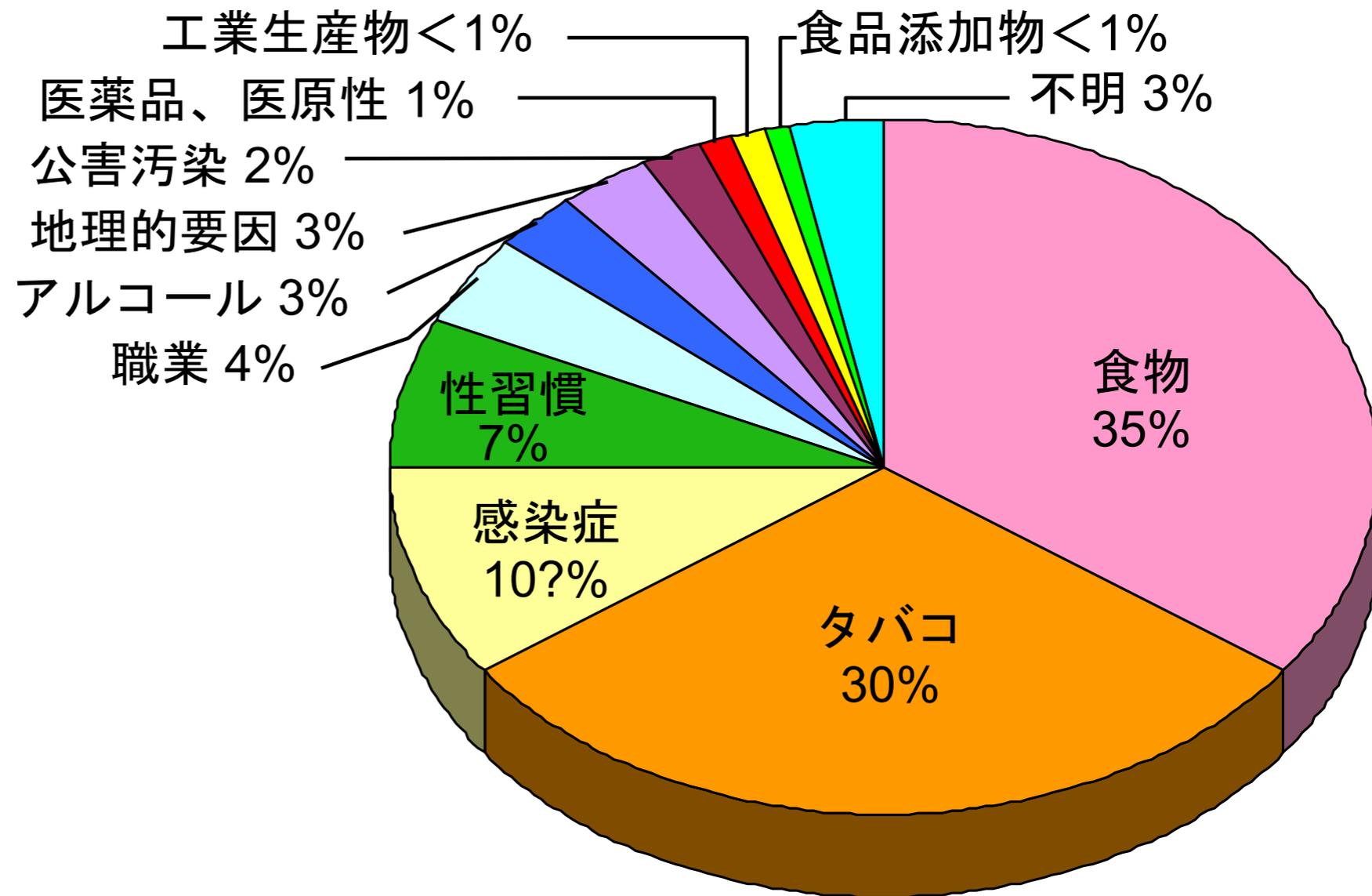
放射線と生活習慣の発がんの相対リスク比較

受動喫煙の女性	1.02～1.03倍
野菜不足	1.06倍
100～200ミリシーベルトを浴びる	1.08倍
塩分の取りすぎ	1.11～1.15倍
運動不足	1.15～1.19倍
200～500ミリシーベルトを浴びる	1.19倍
肥満	1.22倍
500～1000ミリシーベルトを浴びる	1.4倍
毎日2合以上の飲酒	1.6倍
喫煙	
毎日3合以上の飲酒	1.8倍
1000～2000ミリシーベルトを浴びる	

※網かけは放射線

(注)相対リスクは、例えば喫煙者と非喫煙者のがんの頻度を比較した数字

ヒトのがんの原因と関連のある因子



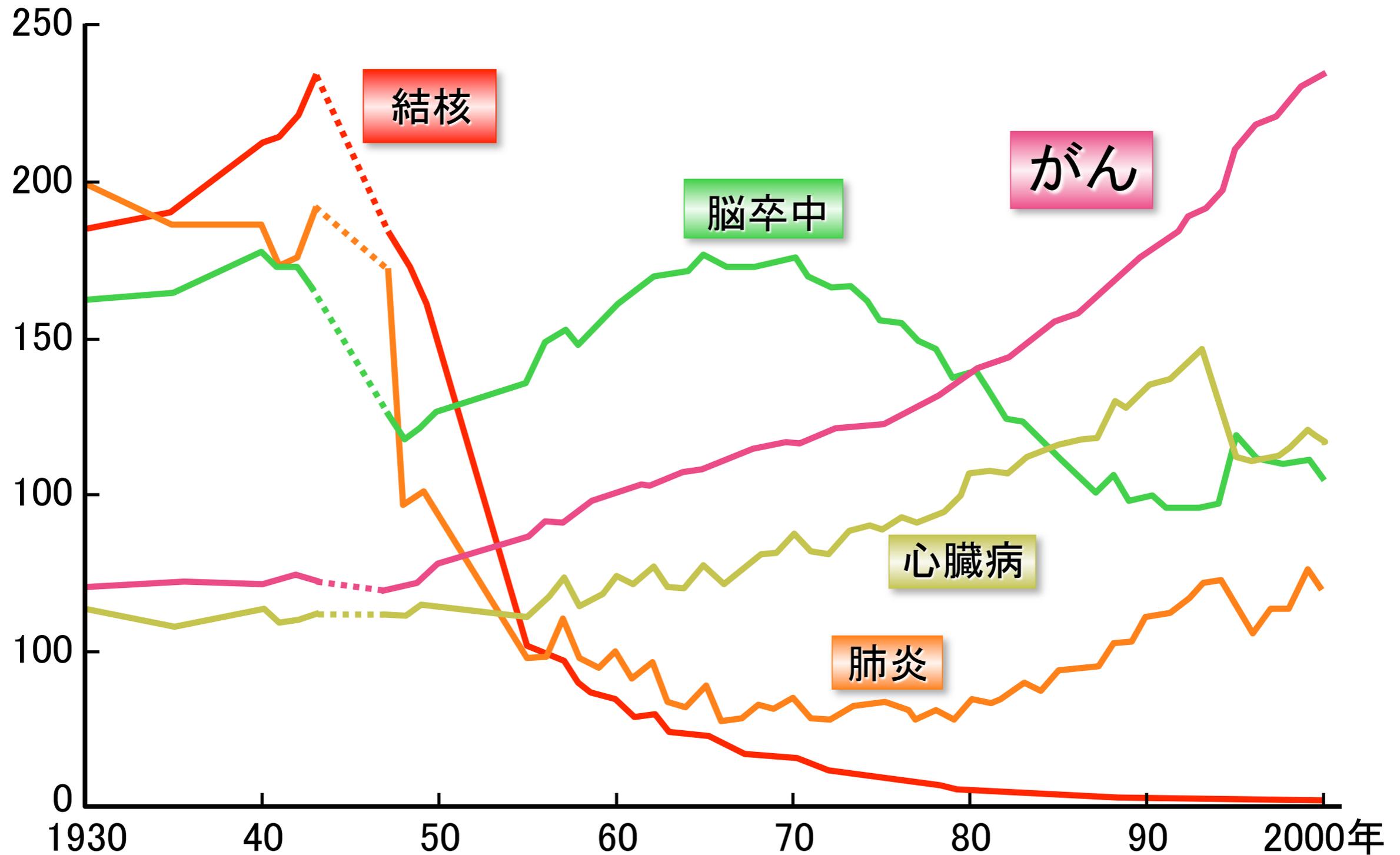
(R.Dool and R.Peto, 1981)

表の値は短時間での被曝の場合。

がん死中にしめる各因子の割合 (%)

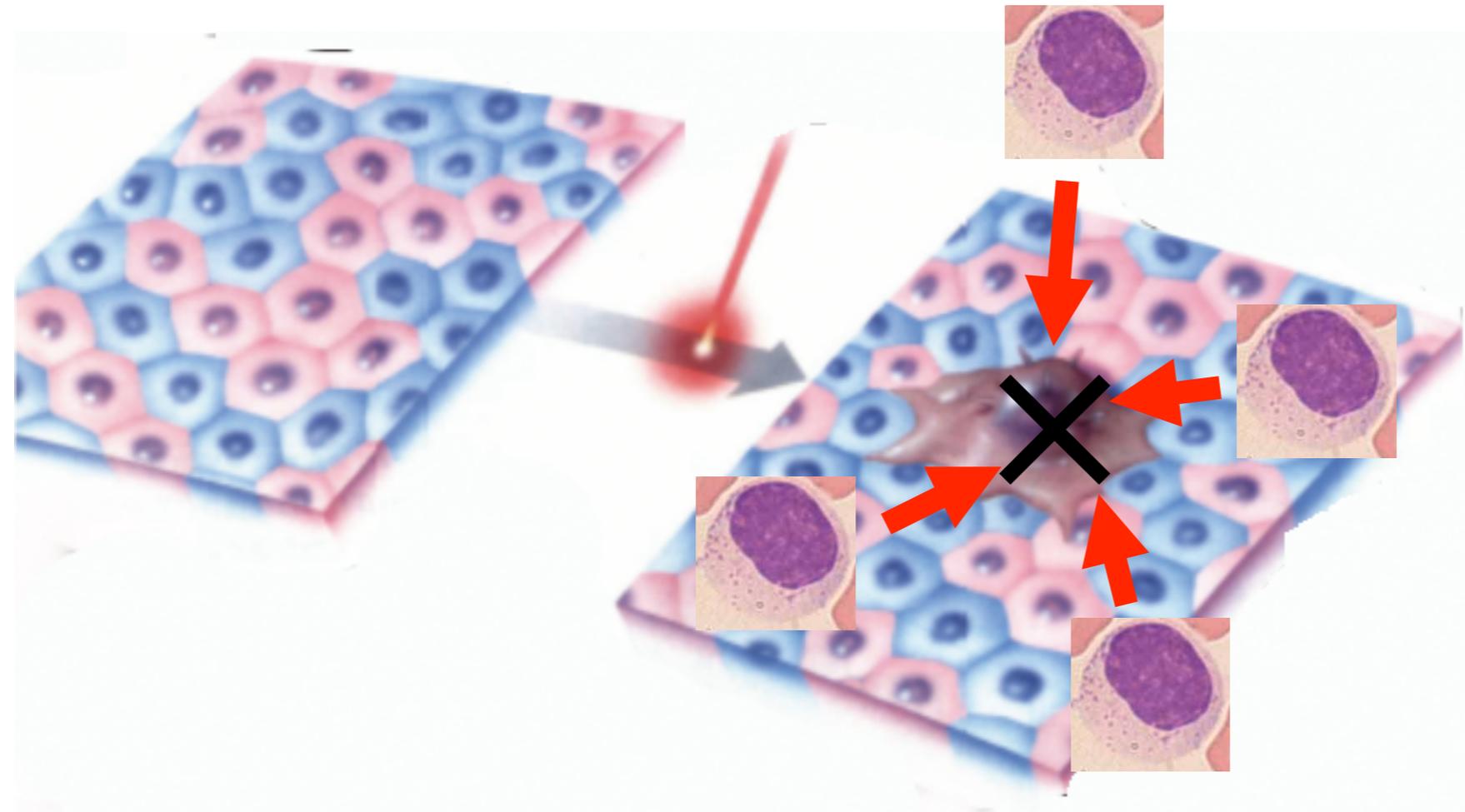
(低線量率では損傷の修復のためリスクはより小さい。どれだけ小さいかは議論のあるところで、結論は出ていない。ICRPは係数1/2を採用。)

日本人の2人に1人が、がんになり、3人に1人が、がんで死んでいる



がん、とは？

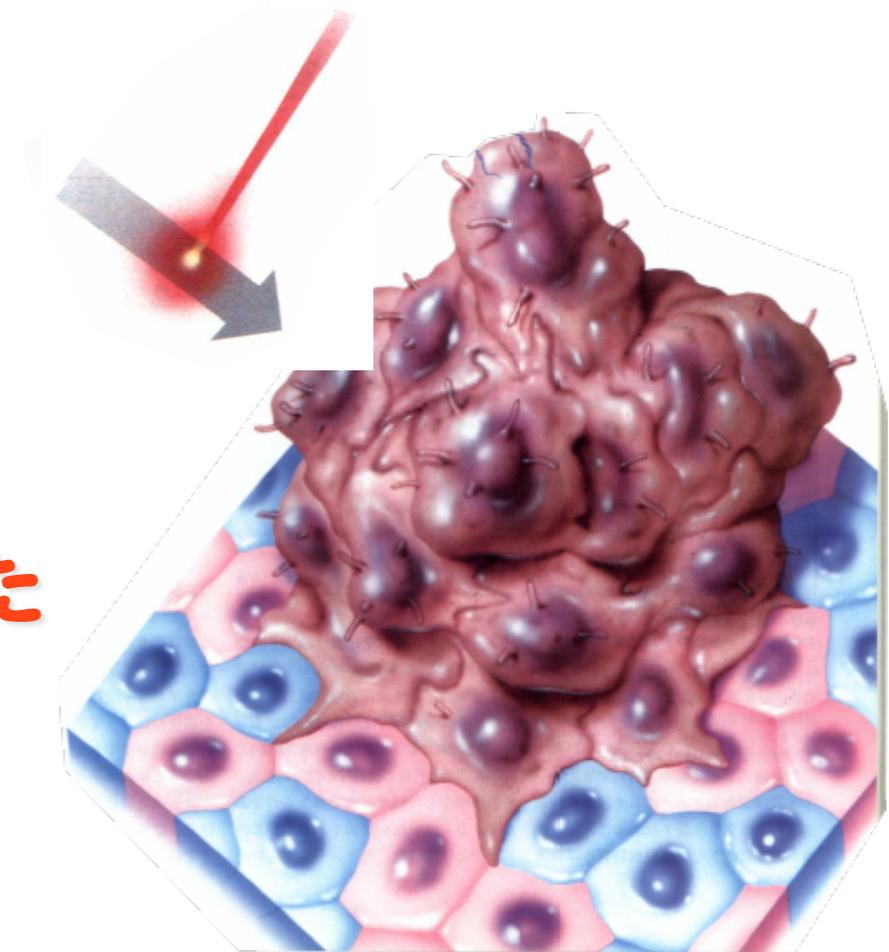
がん細胞は毎日5000個もできている！！



リンパ球が、できたてのがん細胞を殺す

免疫の攻撃をかいくぐった
ものが「がん」

がん、とは一種の「老化」



がんで死なないためには、

👉 がんにならないのが一番

+ なっても、早期発見で完治させる

早期発見 = がん検診

(症状に気づいてからでは遅い)

がんにならない生活習慣

- タバコは吸わない
- 酒はひかえめ (赤くなる人は特に)
- 肉と塩分はひかえめ
- 野菜を十分に
- 運動

東大医学部附属病院

中川 恵一 先生



子どもの被曝

細胞分裂が盛んなため、世代間平均より

2～3倍影響が大きいと言われている。

ただし、がんリスクの増加が現れるとしても、

年を取ってからであって、若い命が直ちに

奪われるわけではない。

(小児甲状腺がん、白血病を除く。 ただし現在の被曝線量では
これらの心配は薄い。)

不用の被曝を避ける努力

定期検診、医療のフリーアクセス

健康増進の意識

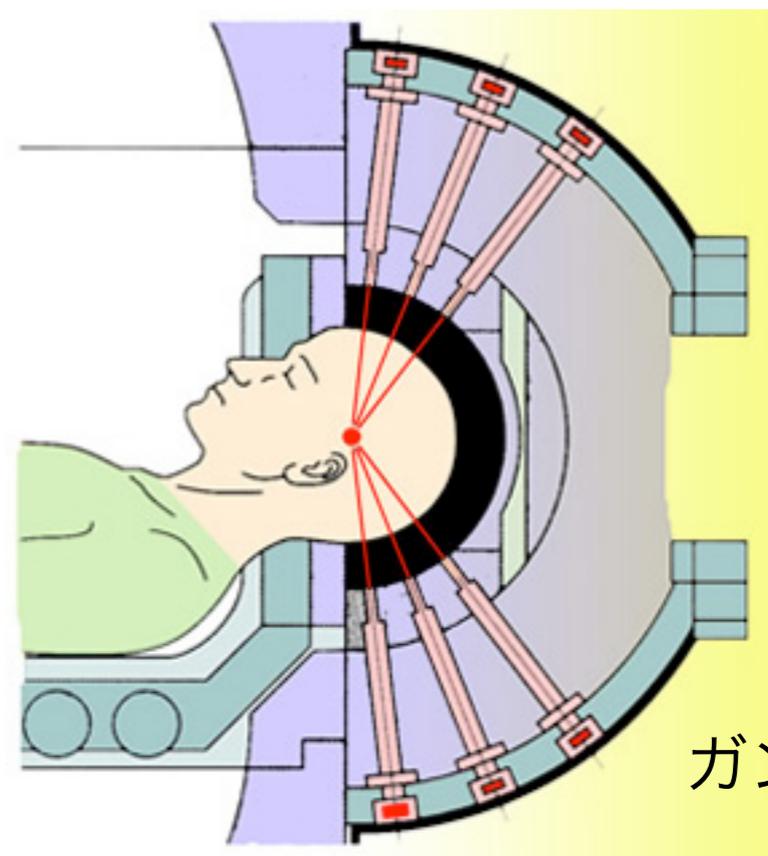
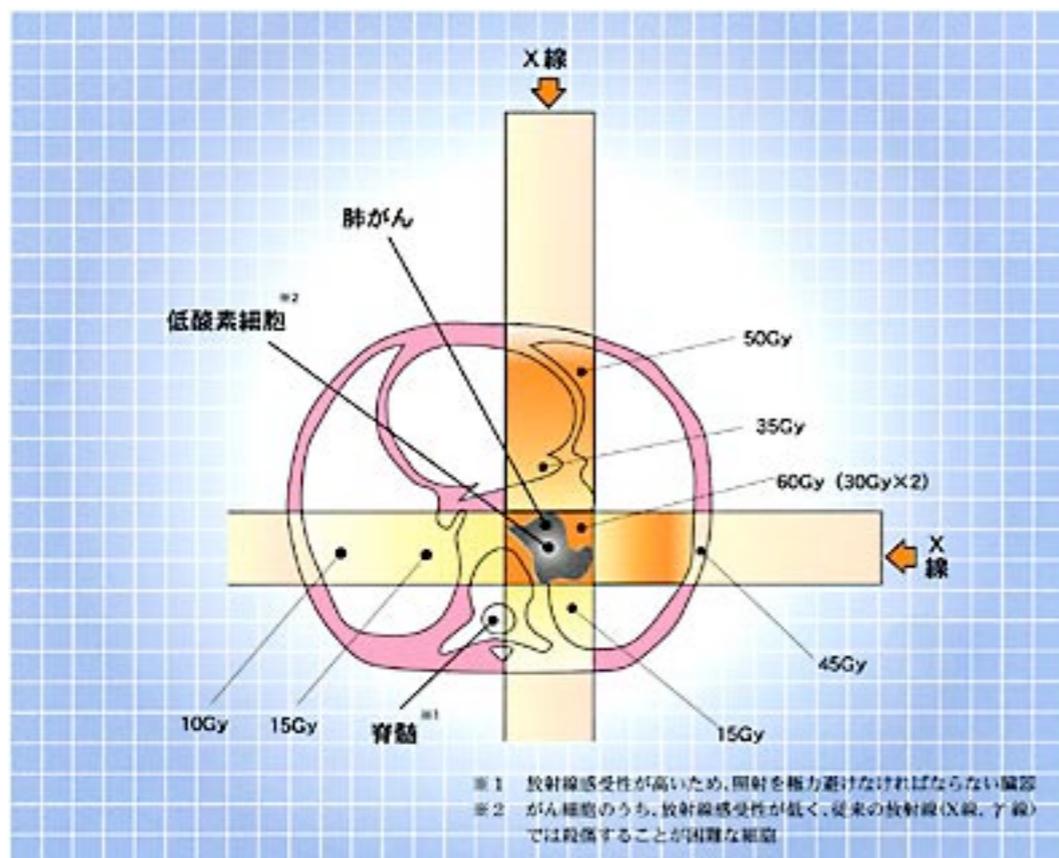
により

がんリスクは減らせる。

放射線 がん治療

数 Gy を数十回

X線 外部照射



医療技術：ガンマナイフ (γ線)
サイバーナイフ (X線)



サイバーナイフ

写真提供：(独)放射線医学総合研究所

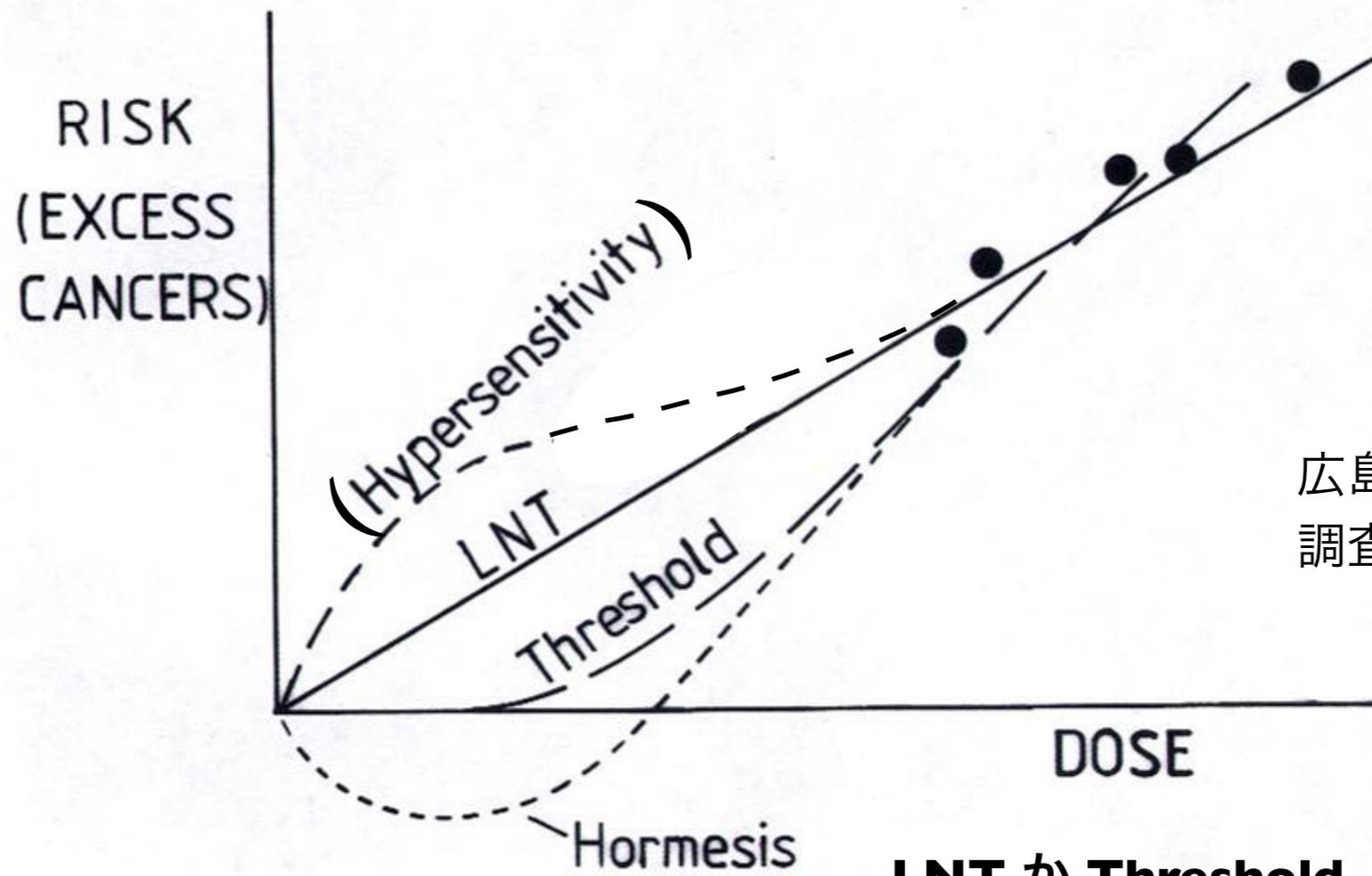
放射線のリスク評価と防護

《放射線防護学》

低線量におけるリスク評価

(0 – 100 mGy)

将来のガンの増加リスク



広島・長崎被爆生存者の放影研調査は重要な疫学データ。

LNT か **Threshold** (閾値あり) かは疫学調査から統計学的に判断がつかず、議論が分かれている。

国際放射線防護委員会 (**ICRP**) は安全サイドに立って **LNT** (Linear Non-Threshold = 線形閾値なし) 仮説を採用。

表2 低線量、低線量率放射線被ばくに伴うがん死亡の生涯リスク(ICRP1990)

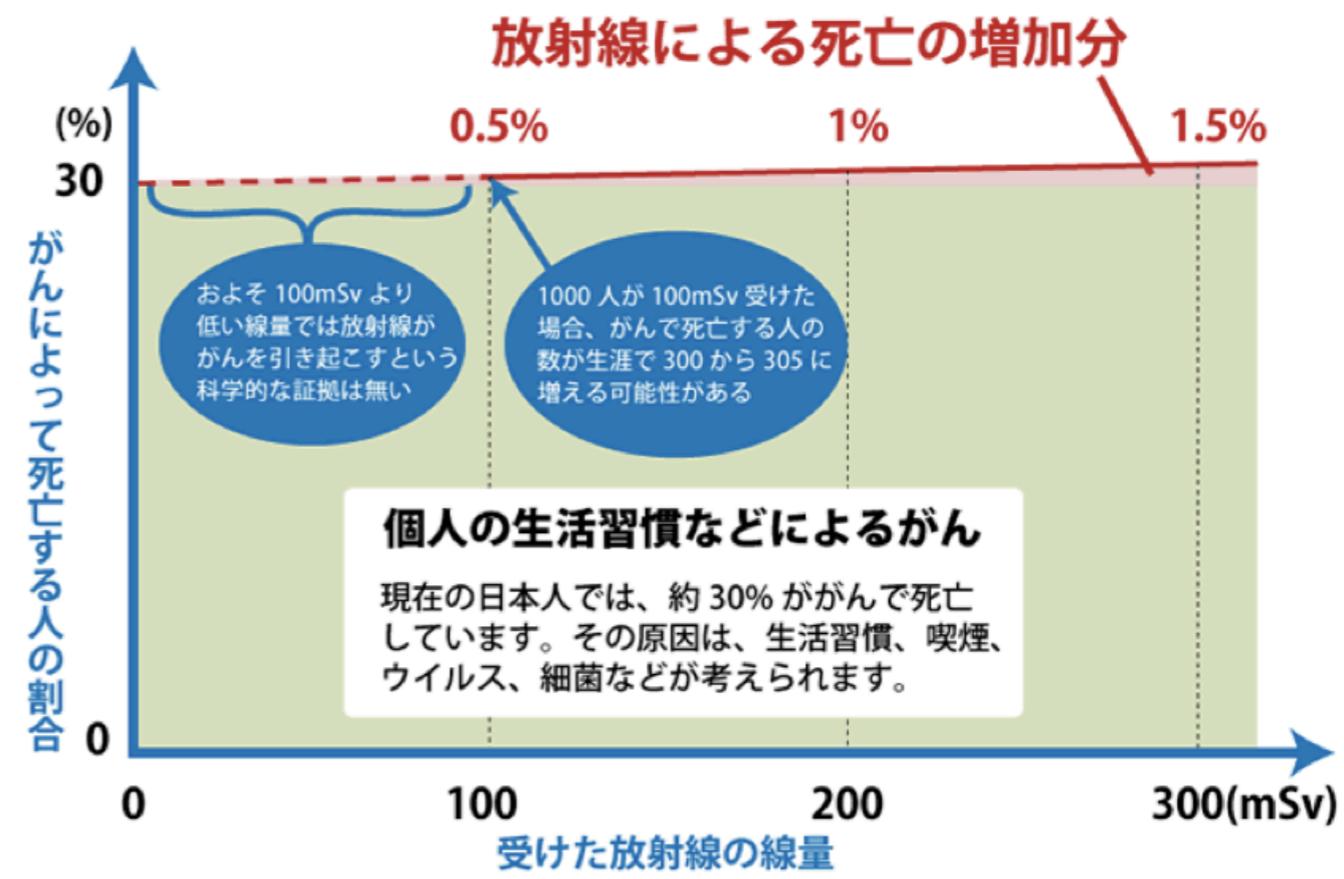
(10,000人当り、全年齢平均、1Sv当り過剰死亡数)

	ICRP 1977年勧告	ICRP 1990年勧告
赤色骨髄	20	50
骨表面	5	5
膀胱		30
乳房	25	20
結腸		85
肝臓		15
肺	20	85
食道		30
卵巣		10
皮膚		2
胃		110
甲状腺	5	8
その他	50	50
合計	125	500

[出典](社)日本アイソトープ協会:国際放射線防護委員会の1990年勧告(1991年11月)、p.157

低線量・低線量率の被曝

放射線によるがん・白血病の増加



国際放射線防護委員会

ICRP 1990 の勧告値

100 mSv の被曝で人口あたり 0.5% の増加 (LNT仮説)

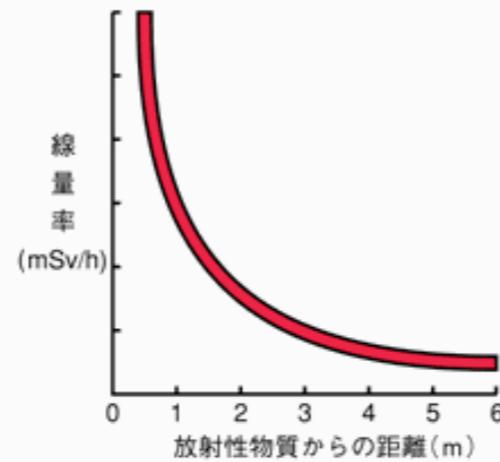
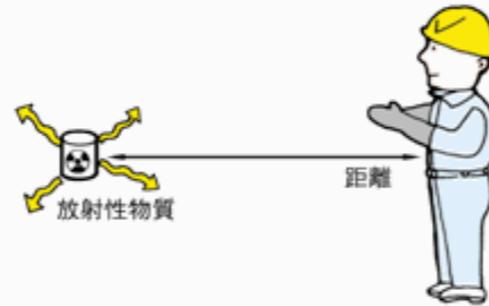
喫煙によるリスクより遥かに小さい。

LNT (線形閾値なし) 仮説はあくまでも放射線あるいは環境化学物質に対する基準の策定に必要な防護の具体的数値を算出するための**仮説**として提出されたもので、メカニズムの面からは必ずしも支持されるわけではない。

放射線防護

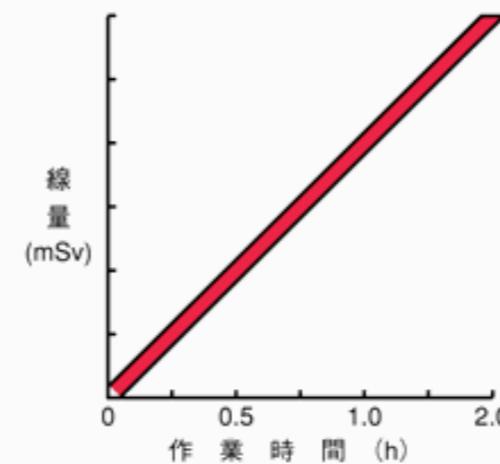
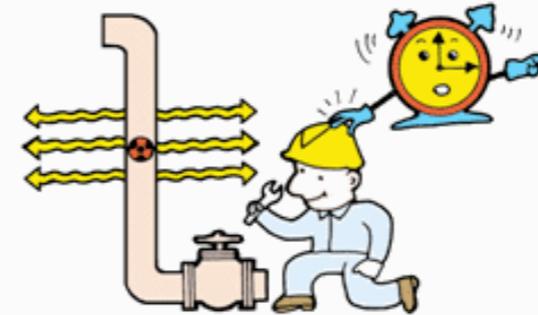
● 距離による防護

$$[\text{線量率}] = [\text{距離}]^2 \text{に反比例}$$



● 時間による防護

$$[\text{線量}] = [\text{作業場所の線量率}] \times [\text{作業時間}]$$



● 遮へいによる防護

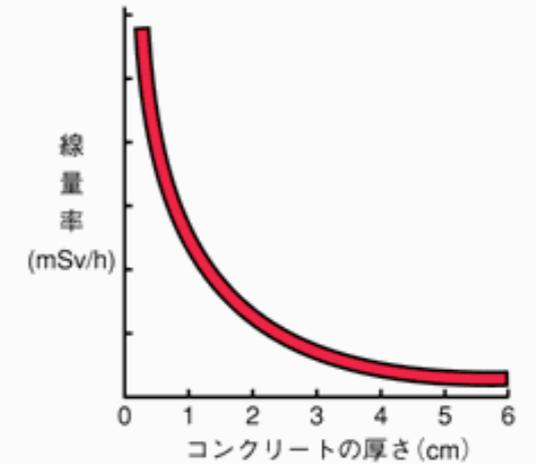
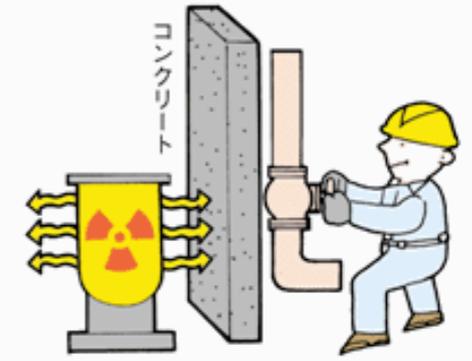


図1 遮へい3原則の図

[出典] 電気事業連合会:「原子力・エネルギー」図面集2003-2004、p.130

防護の最適化：個人線量、被曝人数、潜在的被曝の可能性のすべてを、経済的および社会的要因を考慮に入れたうえで、合理的に達成できる限り低く保つべきである。

(ALARA の原則 = As Low As Reasonably Achievable)

個人被曝の線量限度

線量限度の一覧表（作業者）

職業被曝（作業者 放射線業務従事者）

実効線量	100 mSv / 5年 かつ 50 mSv / 年
女子 妊娠中の女子	5 mSv / 3月 内部被曝について 1 mSv
等価線量	
水晶体	150 mSv / 年
皮膚	500 mSv / 年
妊娠中の女子の 腹部表面	2 mSv / 年

公衆被曝（一般公衆）

実効線量	1 mSv / 年
等価線量	
水晶体	—
皮膚	—

国内法令による防護基準

	1990勧告	1977勧告
実効線量	20mSv/年（5年平均）	50mSv/年
水晶体等価線量	150mSv/年	150mSv/年 ²⁾
皮膚等価線量	500mSv/年 ¹⁾	500mSv/年
手・足の等価線量	500mSv/年	500mSv/年 ³⁾
その他の組織	—	500mSv/年

1) 被ばく部位に関係なく、深さ7 mg/cm²、面積1 cm²の皮膚についての平均線量に適用される。

年リスク千分の1 (18歳から65歳までの就業期間の被曝の場合で、65歳までのリスクの最大値)

線量限度の一覧表（一般公衆）

	1990 勧告	1977 勧告
実効線量	1 mSv/年	5 mSv/年 ¹⁾ , 1 mSv/年（生涯の平均）
水晶体等価線量	15 mSv/年	50 mSv/年
皮膚等価線量	50 mSv/年 ³⁾	50 mSv/年
その他の組織	—	50 mSv/年 ²⁾

1) 1985年のパリ声明で主たる限度を1年につき1 mSvとして、補助的な限度を5 mSv/年とした。

2) 1985年のパリ声明で実効線量当量の制限によって不要になった。

年リスク1万分の1 (毎年被曝の場合、65歳までの最大値) **ICRP 勧告**

〔出典〕（1990年ICRP新勧告と1977年ICRP勧告における線量限度値対照表）

〔「ICRP1990年勧告-その要点と考え方-」、草間朋子編、日刊工業新聞社、50ページ〕

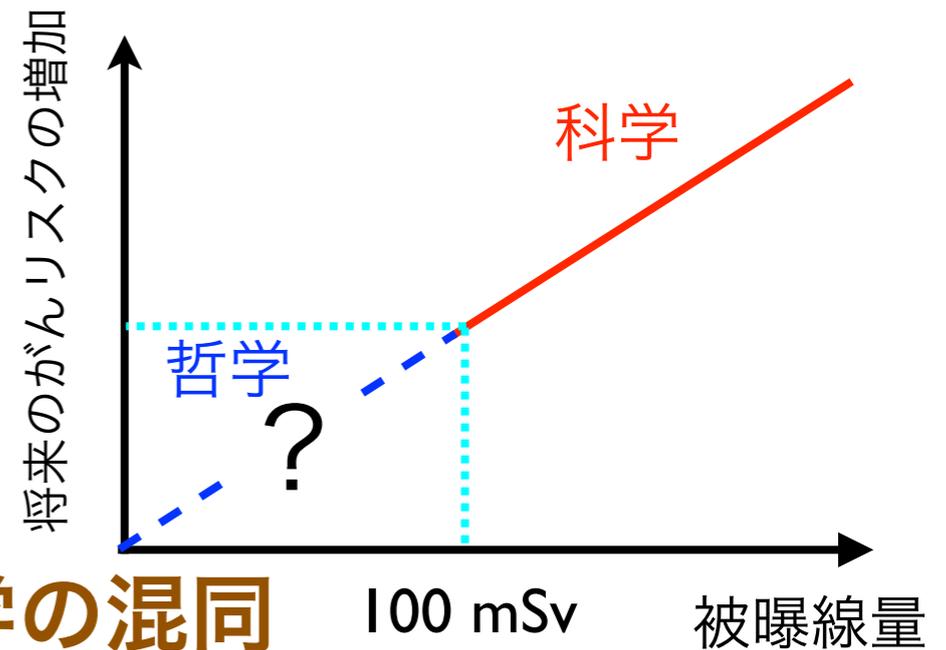
放射線の影響に関して異なった意見があるのはなぜか

がんの原因が医学的に分かっていない

疫学調査の問題点

統計学的有意性

影響の因果関係 スクリーニング効果・別の要因

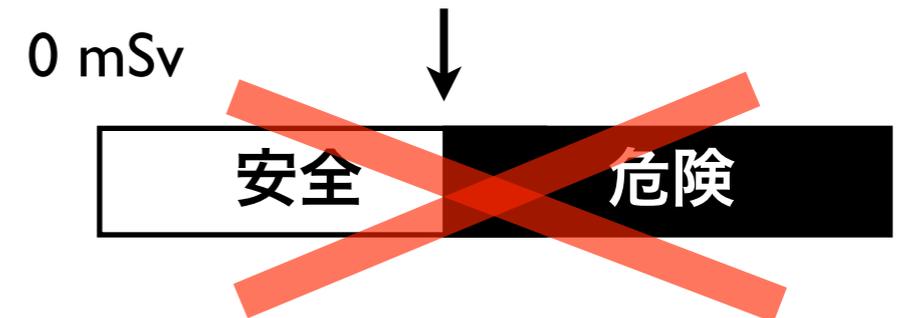


科学的知見と防護学(安全管理学)の哲学の混同

リスクをどこまで許容するか

安全と危険の線引きはできない。

他のリスクとの相対比較



リスクは相対的

基準値

(社会が決める)

放射線のリスク

「絶対安全」は世の中に存在しない。

相対的なリスク評価の目を養うべき。

正しい情報をどうやって判断するか。

根拠のない過信・安心は問題だが、

☞ JCO の事故

根拠のない恐れや不安もまた問題。

☞ パニック、風評、健康被害。

放射線の影響に対して異なった意見があるのはなぜか

福島住民のリスクは？

住み続けるリスク

放射線の影響？

日常サービスの低下／欠如

避難生活でのリスク

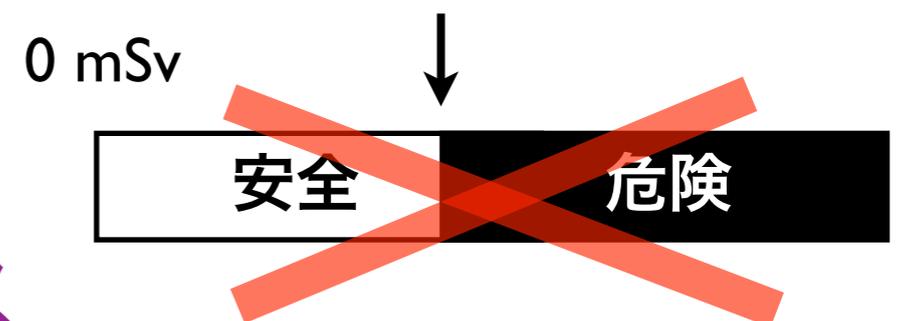
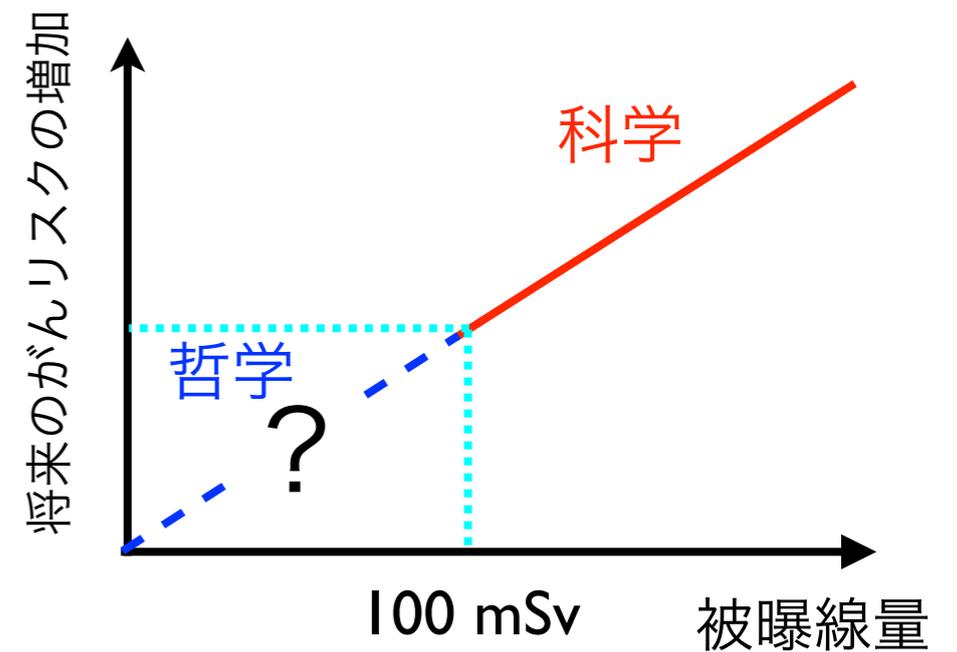
慣れない土地での生活ストレス

生業・収入の損失

年齢、家族構成、職業

リスクのトレードオフは人それぞれに違う。

どう判断すべきか、自分で考えるしかない。



リスクは相対的

基準値
(社会が決める)

放射線のリスク

リスクのトレードオフ、リスクとベネフィット(利益)

- 福島市的人是避難すべきか
- 福島の子どもは外で遊ばない方がいいのか
- 東京の人が西日本に避難するのは合理的か
- 海外に子どもを預けた親もいる

- 東日本の食品は危険か
- 北海道や九州から食材を取り寄せる人がいる
- 食品安全で気をつけるのは放射性物質だけか
- 化学物質：米・ひじき中のヒ素。おこげ。

安全と安心

放射線と社会

《リスクコミュニケーション》

放射線に対する強い恐怖心をもっている人たちがいる

あるウェブページのコメント欄より (2011/11~12)

まったく汚染されていない瓦礫などありません。

「私たちにできることは、被災地の苦しみ、痛み、悲しみを分かち合う、寄り添うことだ」とおっしゃっていますが、瓦礫受け入れによって、その苦しみや痛み、悲しみを市民に与えることになるとは思われないのでしょうか？瓦礫を受け入れたことによってもたらされる影響を熟考され、適切な判断をされるべきです。

大反対です！今回の瓦礫受け入れは、被災地の隣、福島県内の他の自治体にも影響を及ぼす。福島県内の食べ物を高くても、手間をかけてでも、この期に及んで「安全」を、一般国民の何人が心から信じますか？

**放射線に関する科学的知識の欠如、
科学者の社会への情報発信の失敗、
行政に対する不信感、が問題。**

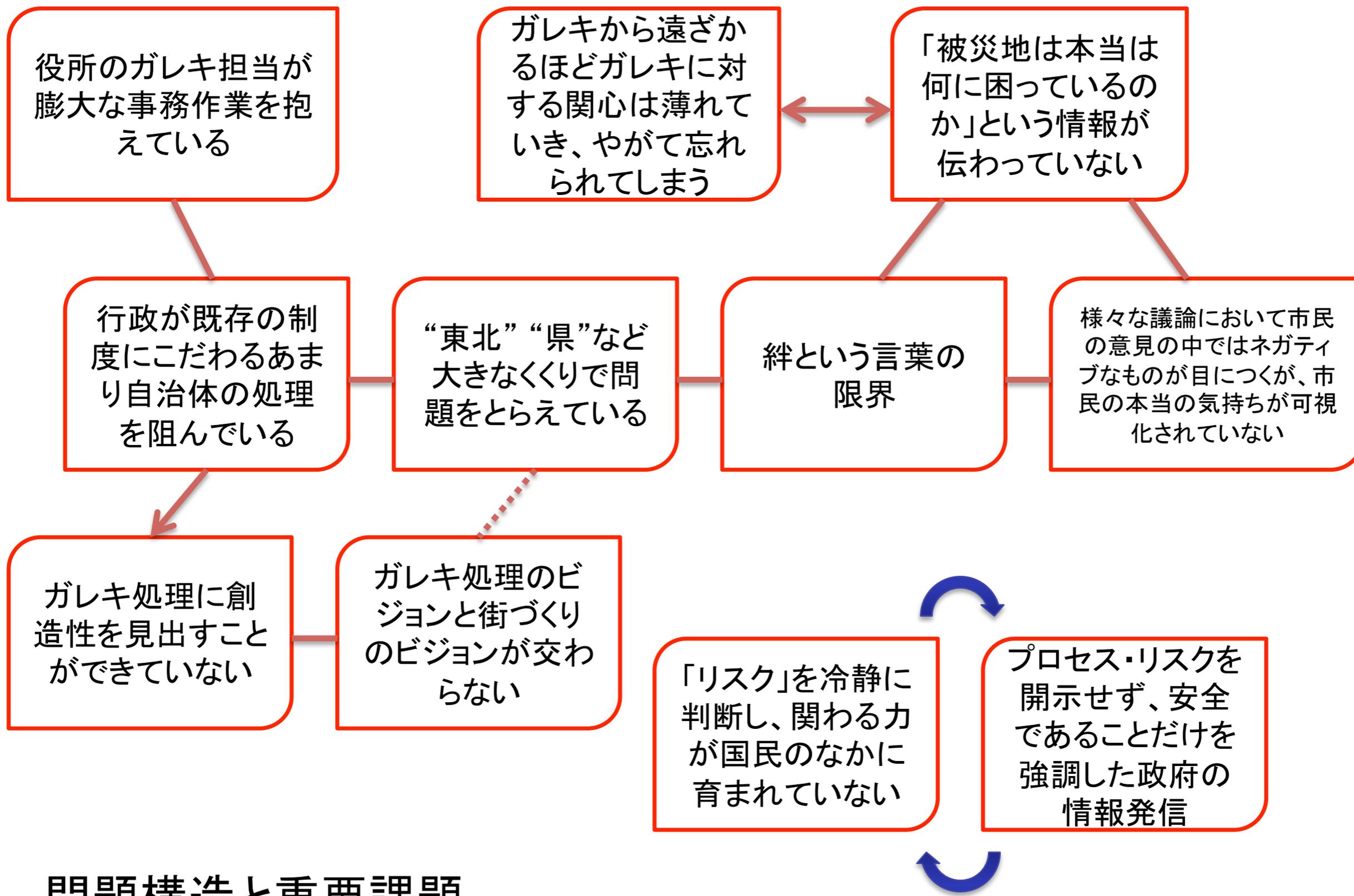
市長さんの今回の決定に不安を感じます。皆さんが仰る通り、正直風評被害が一番怖いのです。私の大事な故郷が悪く言われるのは耐えられません。被災地の方を少しでも助けたいという思いは、私も溢れそうなくらいあります。本当に今回の件を遂行されたいのなら**反対する市民、日本国民をどうか納得させて下さい。**



震災がれき処理問題

東京大学 × 博報堂 × 時事通信社





問題構造と重要課題

「絆」の限界？

● 誤解

- 宮城・岩手のがれきを広域処理要請
- 福島のがれきは対象外
- 地理の知識不足
 - 福島からの距離は、岩手県宮古市は東京より遠い。
- 放射線に関する知識不足・悪いイメージ
- 「絶対反対」の意見の人をどうするか。
- 脅迫、受け入れ地に対する風評被害

京都五山送り火と陸前高田の松

内部被曝は怖い！という主張

チェルノブイリの「悲惨な例」のイメージ

放射線の安全を説く本は売れない。

安全と安心

信頼と納得、不信と不安と不満

ゼロリスク神話の盲点

定量的判断の必要性

「放射能の検査は大前提」 安全の担保としての基準値

科学者の立場・役割

情報開示・「伝える」ことの重要性

「ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたり
するのはやさしいが、**正当にこわがる**ことは
なかなかむづかしい**ことだと思われた。**」

寺田 寅彦 (1935年)

被曝を

怖れすぎても、怖れなさすぎても

健康被害が出る。

(放射線科医)

病は気から = 精神失調、免疫力低下などに注意

講義スライド

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/>

連絡先

torii-radio@radphys4.c.u-tokyo.ac.jp

担当教員：鳥居 寛之

東大教養 鳥居 放射線



検索！

著書の紹介

「放射線を科学的に理解する」

～ 東大教養の理系学生向け講義 ～

(仮題)

鳥居寛之、小豆川勝見、渡邊雄一郎 著、中川恵一 執筆協力

丸善出版

9月発売予定

Fine.

Grazie per vostra attenzione.

Merci de votre attention.

Thank you for your attention.

Спасибо за внимание.

경청해 주셔서 감사합니다.

ご清聴ありがとうございました。

鳥居 寛之

Hiroyuki A.TORII