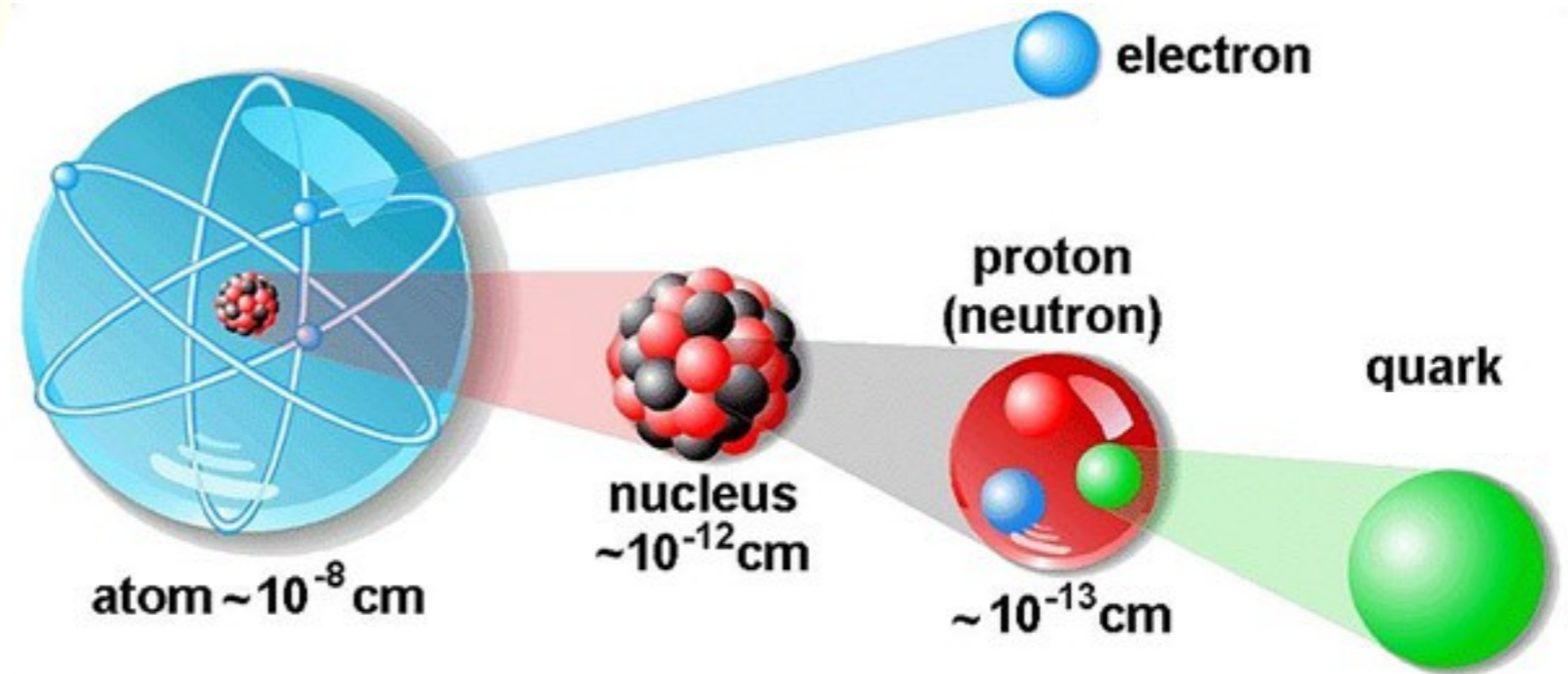


放射線に関する講演・討論会



物理部会／広域・相関 助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

東京大学 教養学部／大学院総合文化研究科



放射線に関する講演・討論会

- 放射線の種類と性質
- 放射線と物質との相互作用
- 放射線の生体への作用・影響
- 放射線防護の考え方
- 放射線医療

物理部会／広域・相関 助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

東京大学 教養学部／大学院総合文化研究科



分子
molecule



原子
atom



原子核
nucleus



陽子
proton



クォーク
quark

nm (10^{-9} m)

ナノメートル

eV

電子ボルト

Chemistry

Atomic Physics

Å (10^{-10} m)

オングストローム

eV – keV

数電子ボルト～

キロ電子ボルト

Nuclear Physics

fm (10^{-15} m)

フェムトメートル

MeV

メガ電子ボルト

Particle Physics

am (10^{-18} m)

アトメートル

GeV

ギガ電子ボルト

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 nucleons 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 10^9 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: ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$

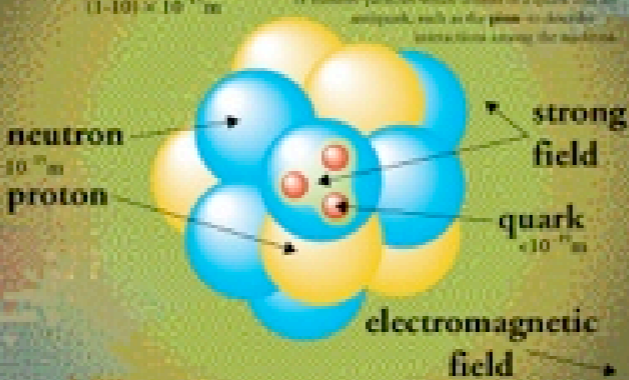
Beta Minus Decay: ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$

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 ${}^4_2\text{He}$ 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



In an alpha emission, energy is released from the nucleus at different energies, up to 10 MeV, from the nucleus decaying. If the electron cloud were absent, it is like the atom would have a small hole.

Nuclear Energy

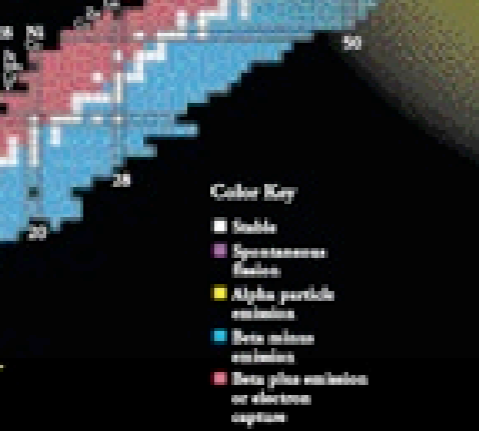
Fission: ${}^{235}_{92}\text{U} + n \rightarrow {}^{141}_{54}\text{Xe} + {}^{90}_{38}\text{Sr} + 2n$

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 iron 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 to determine the age of ancient artifacts. For example, a study of a wooden beam at the site, scientists determined that the beam was built nearly 4,000 years ago.

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

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

Space Exploration: Exposure of alpha particles to specially designed detectors placed in Martian soil. The dark, nuclear reactions are used to study areas from potential contamination to an environment.

Nuclear Reactors: Nuclear reactors are the basis of ${}^{235}\text{U}$ or ${}^{239}\text{Pu}$ nuclei to produce atomic 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 an array 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

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 in rest and in collisions. They ask questions, such as "Why do nucleons 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
- photon
- photon (γ)
- Nucleon: $A - Z$

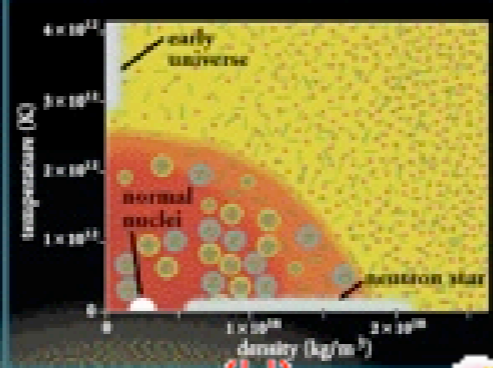
Expansion of the Universe

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 star temperatures from the most massive elements and disperse them into space. Our earth was formed from supernova debris.



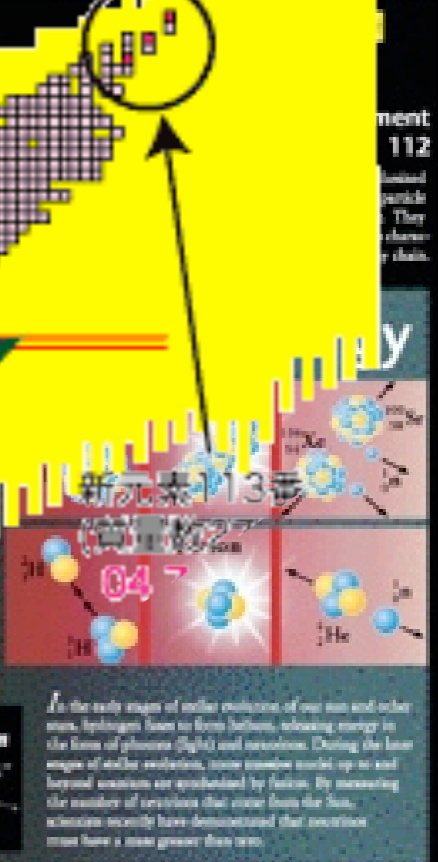
Phases of Nuclear Matter

Nuclei matter can exist in several phases. When collisions excite nuclei, individual protons and neutrons may evaporate from the nuclear field. At sufficiently high temperature or density a gas of nucleons (and background μ ons) is formed. At even more extreme conditions, individual nucleons may cease to have identifiable identities, merging into a new phase (quark-gluon plasma). At even higher temperatures, protons and neutrons may melt into a new phase (neutron star).

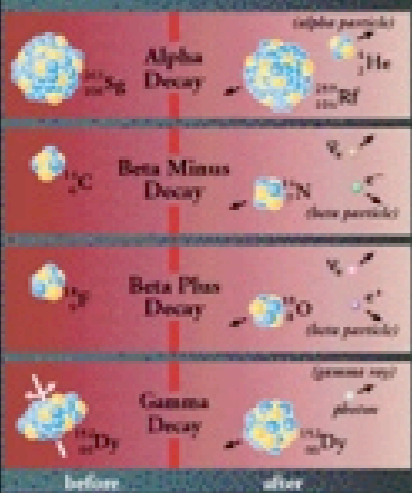


Unstable Nuclei

Stable nuclei form a narrow white band on the Chart of the Nucleides. 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 nuclei. Nuclear theory predicts that there are about 112 more.



Radioactivity



Radioactive decay transforms a nucleus by emitting different particles. In alpha decay, the nucleus releases a ${}^4\text{He}$ nucleus, an alpha particle. In beta decay, the nucleus either emits an electron and antineutrino for a positron and neutrino or captures an orbital electron and emits a neutrino. A positron is the same as the antiparticle of the electron. Antineutrino is composed of anti-particles. Both alpha and beta decays change the original nucleus into a nucleus of a different chemical element. In gamma decay, the nucleus liberates internal energy by emitting a photon—a gamma ray. This decay does not modify the chemical properties of the atom.

The Nucleus

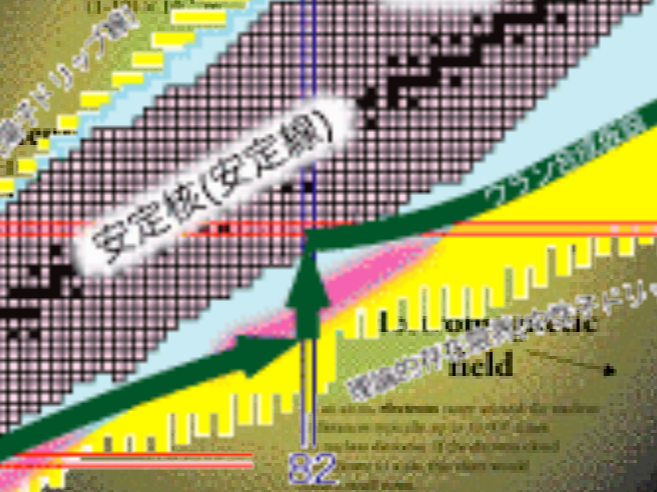
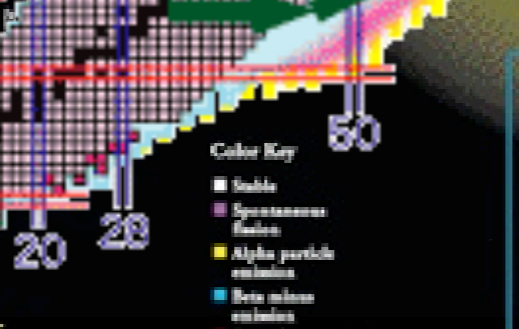


Chart of the Nucleides

The Chart of the Nucleides presents in graphic form all known nuclei with atomic number, Z, and neutron number, N. Each nucleus is represented by a square according to its predominant mode of decay. 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.



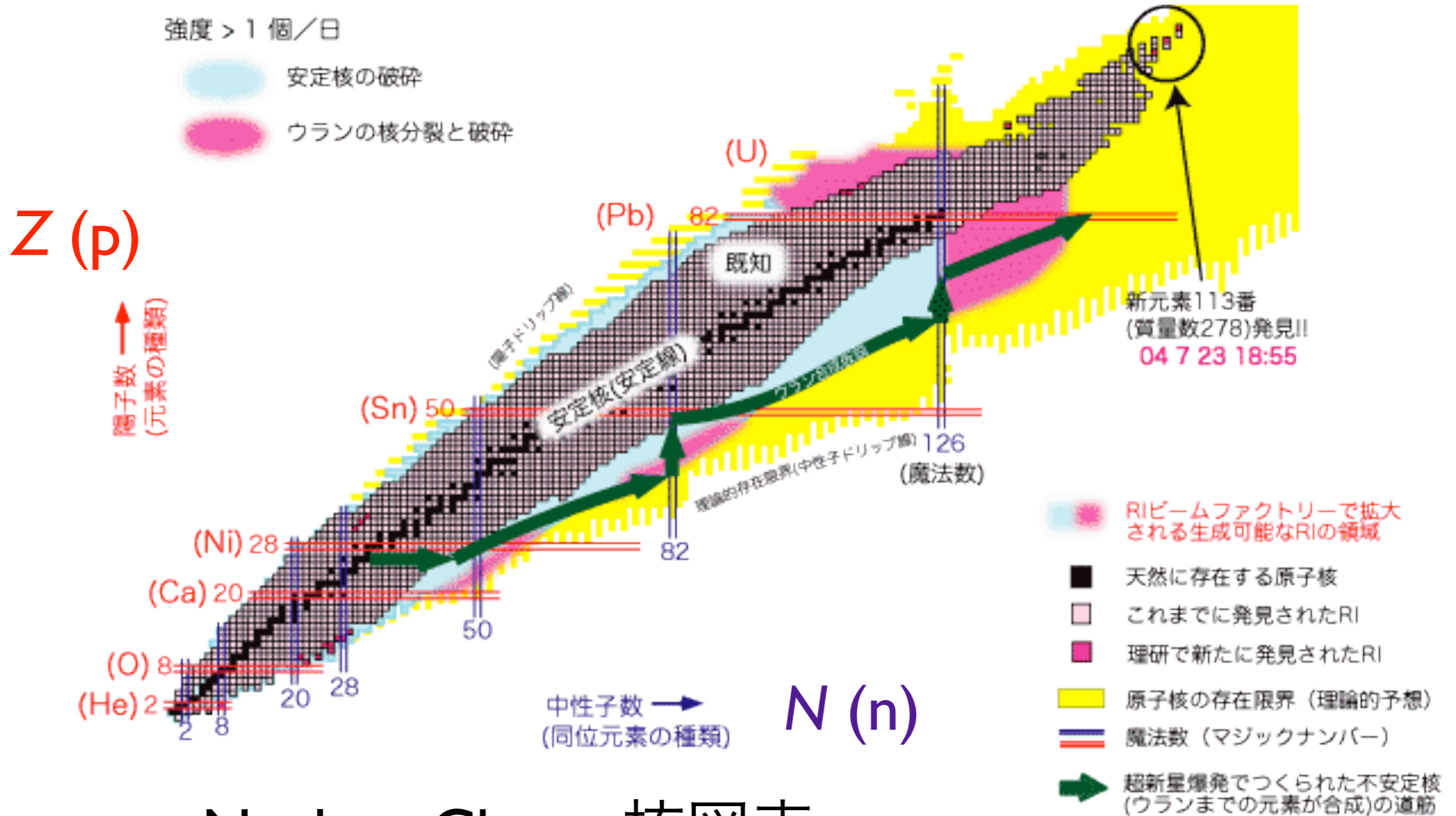
Applications

- Radioactive Dating:** Recently discovered radioactive isotopes such as ${}^{14}\text{C}$ are used to date objects that were once living, such as wood. The example here is a study of pollen found at the site, indicating that the tombing was built nearly 4,000 years ago.
- Smoke Detectors:** Many smoke detectors use a small amount of the alpha emitter ${}^{241}\text{Am}$ to ionize the air. Smoke entering the detector reduces the current and sets off the alarm.
- Nuclear Medicine:** Radioactive isotopes such as ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$, ${}^{131}\text{I}$, and ${}^{18}\text{F}$ are commonly used in the diagnosis and treatment of disease. Positron emission tomography (PET) is a form of nuclear medicine that uses ${}^{18}\text{F}$ and is a technique for producing images of brain activity.
- Space Exploration:** Excess heat and alpha particles in naturally occurring radioactive isotopes are used in radioisotope thermoelectric generators (RTGs) to power spacecraft and other instruments in an environment.
- Nuclear Reactors:** Nuclear reactions on the fission of ${}^{235}\text{U}$ or ${}^{239}\text{Pu}$ nuclei to produce electric power. Reactors will have other nuclear applications generate radioactive waste, depend of the way to a subject of current research.
- Magnetic Resonance Imaging:** Magnetic Resonance Imaging (MRI) utilizes an external magnetic field to excite protons in the body. The protons then relax and emit radio waves that are detected by the scanner. This technique accurately maps the density of hydrogen in tissues to produce three-dimensional images of the human body.

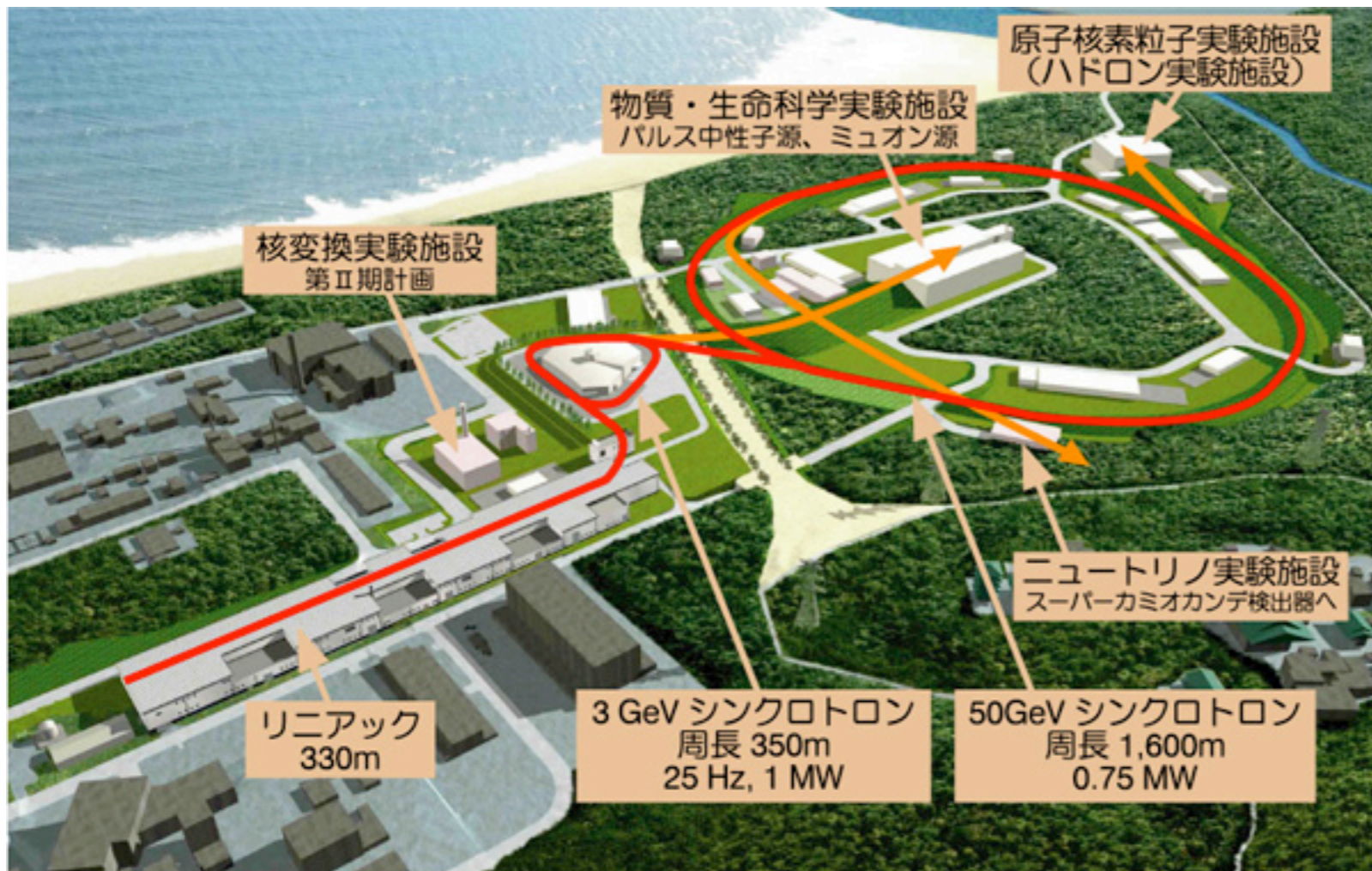
www.CPEPweb.org



RIKEN

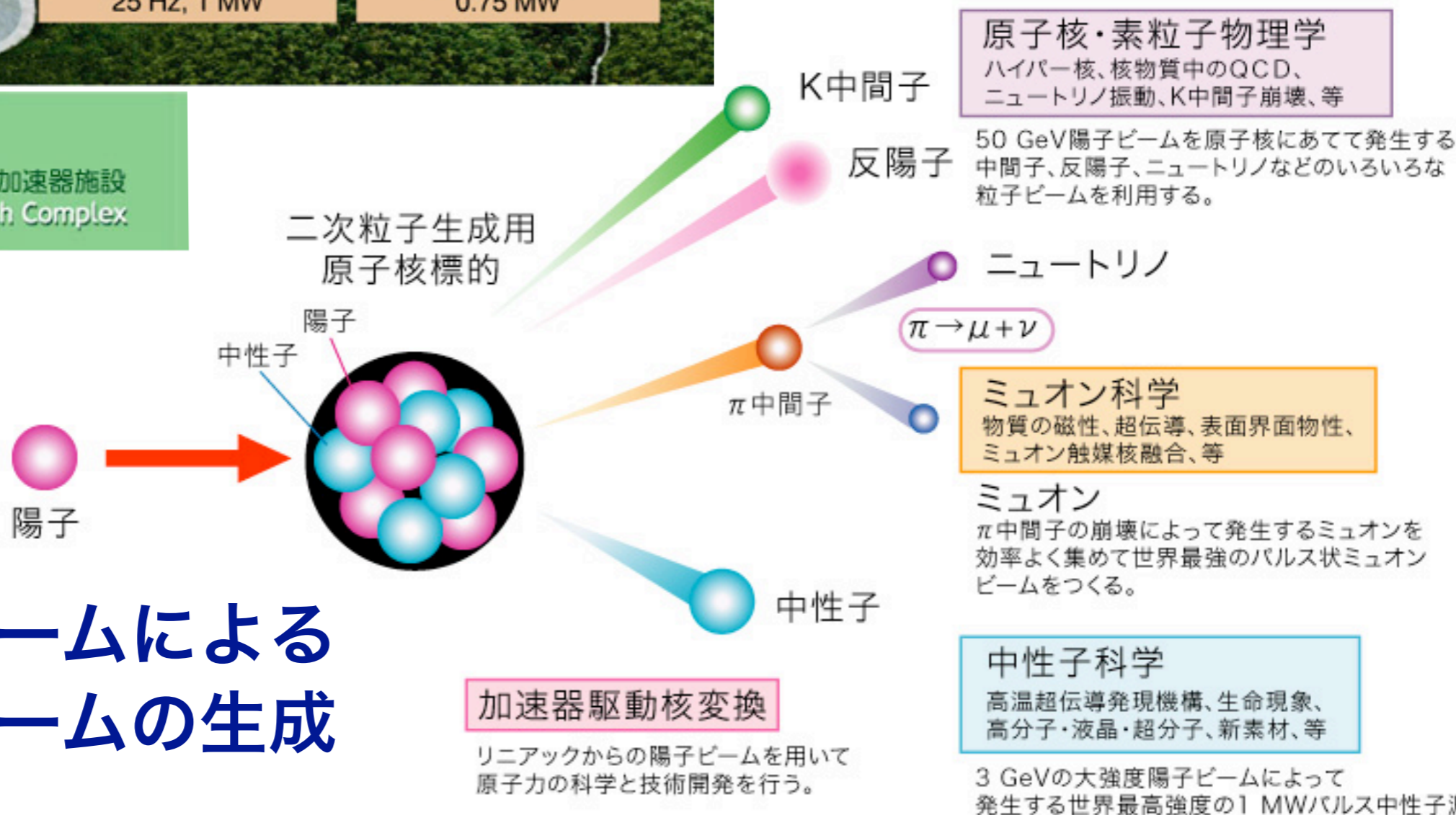


Nuclear Chart 核図表



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



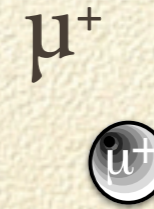
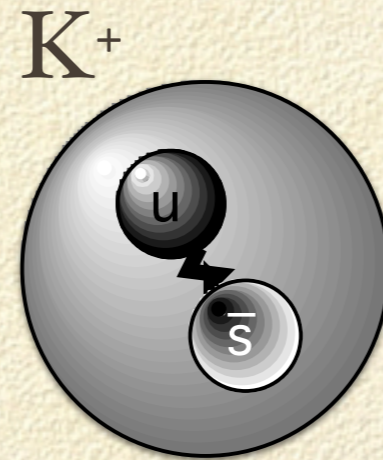
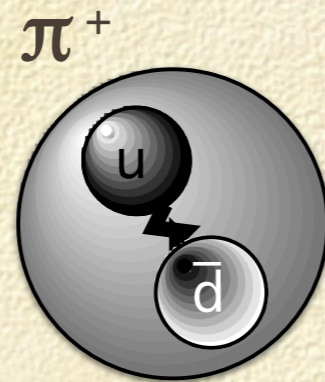
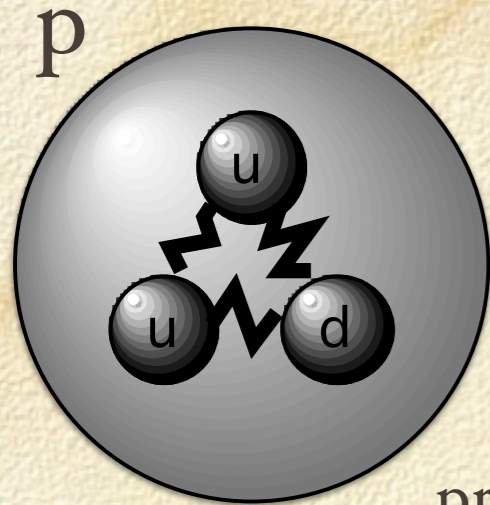
大強度陽子ビームによる 多様な粒子ビームの生成

Hadron

Lepton

Baryon

Meson



反陽子
antiproton

π^-

反陽子
antiproton

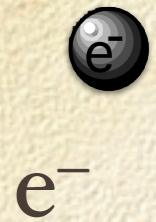
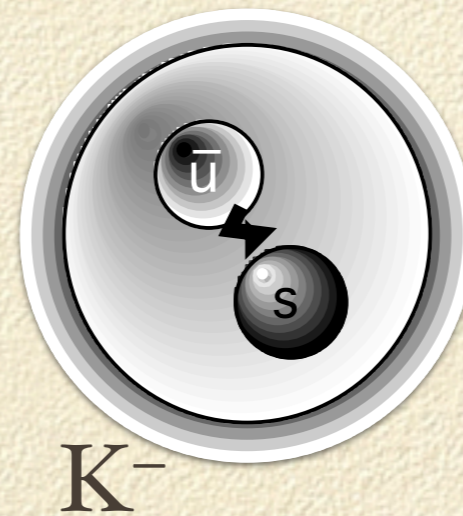
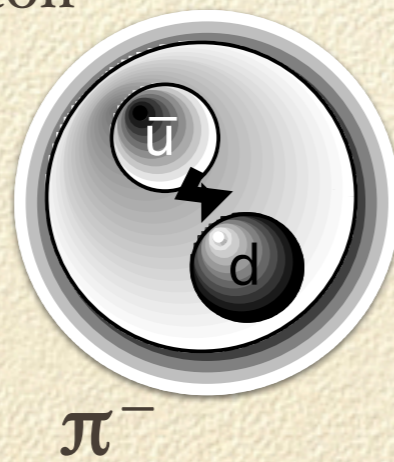
K^-

電子 electron

μ^-

電子 electron

電子 electron



938 MeV / c²

$\tau = \infty$

140 MeV / c²

$\tau = 26$ ns

494 MeV / c²

$\tau = 12$ ns

106 MeV / c²

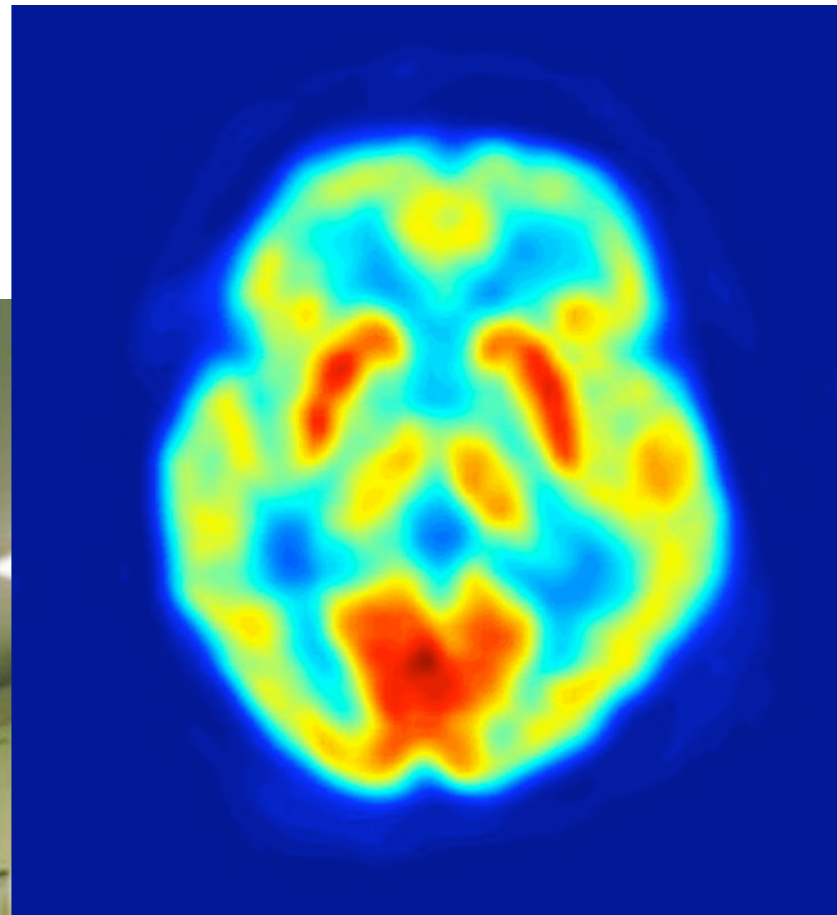
$\tau = 2.2$ μ s

511 keV / c²

$\tau = \infty$

PET (Positron Emission Tomography)

陽電子断層撮影法



e^+



陽電子 positron

電子 electron



e^-

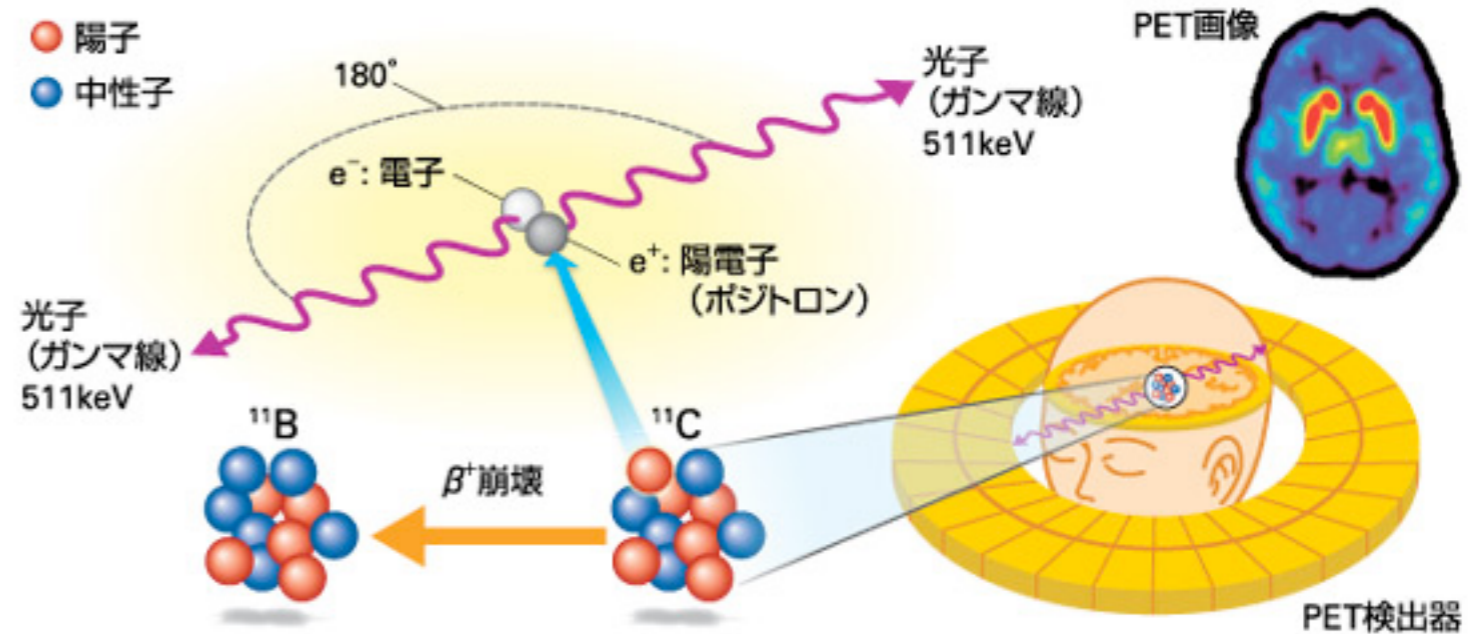
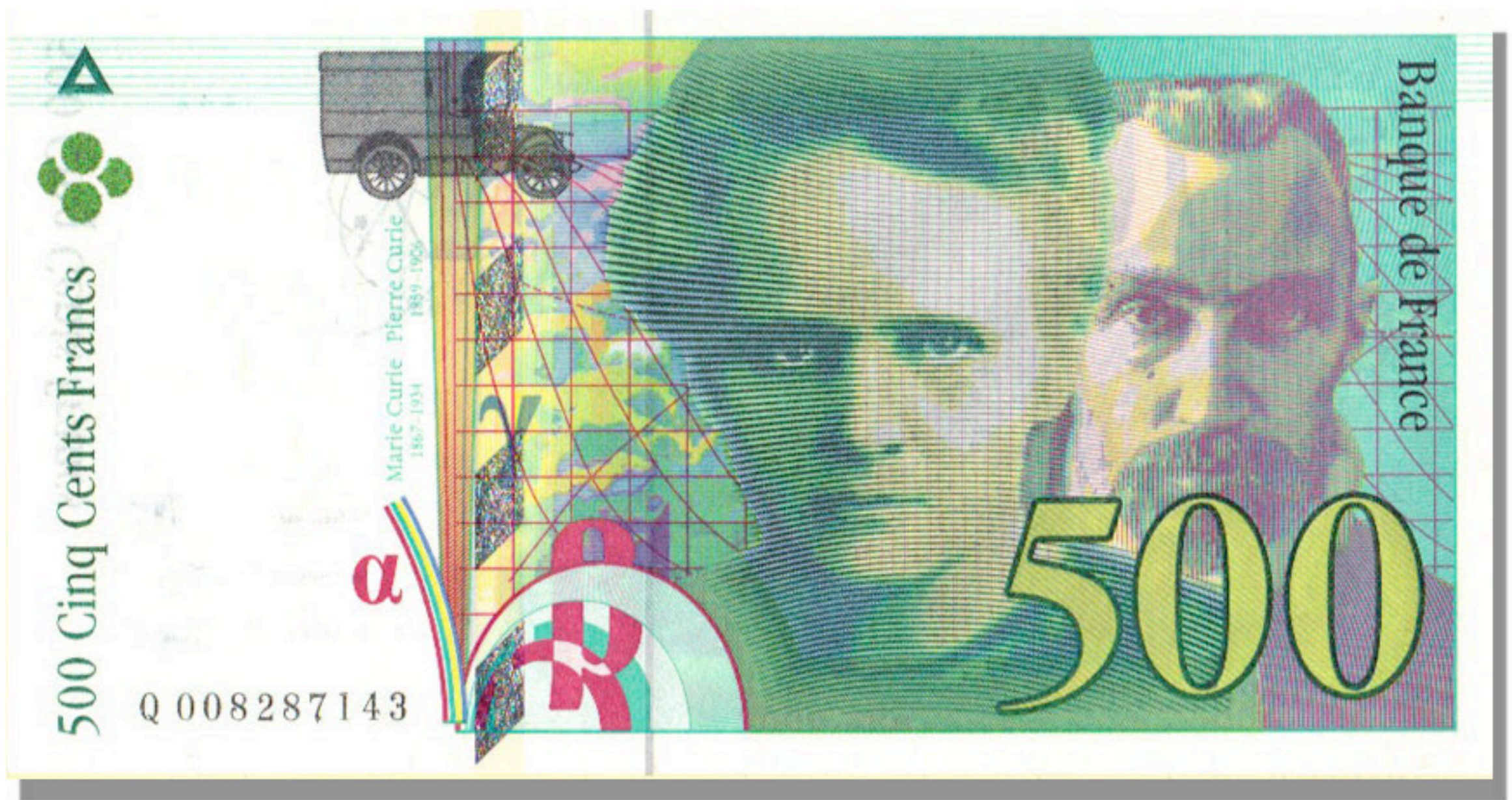


図1 PET (陽電子放射断層画像撮影法) の仕組み

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。

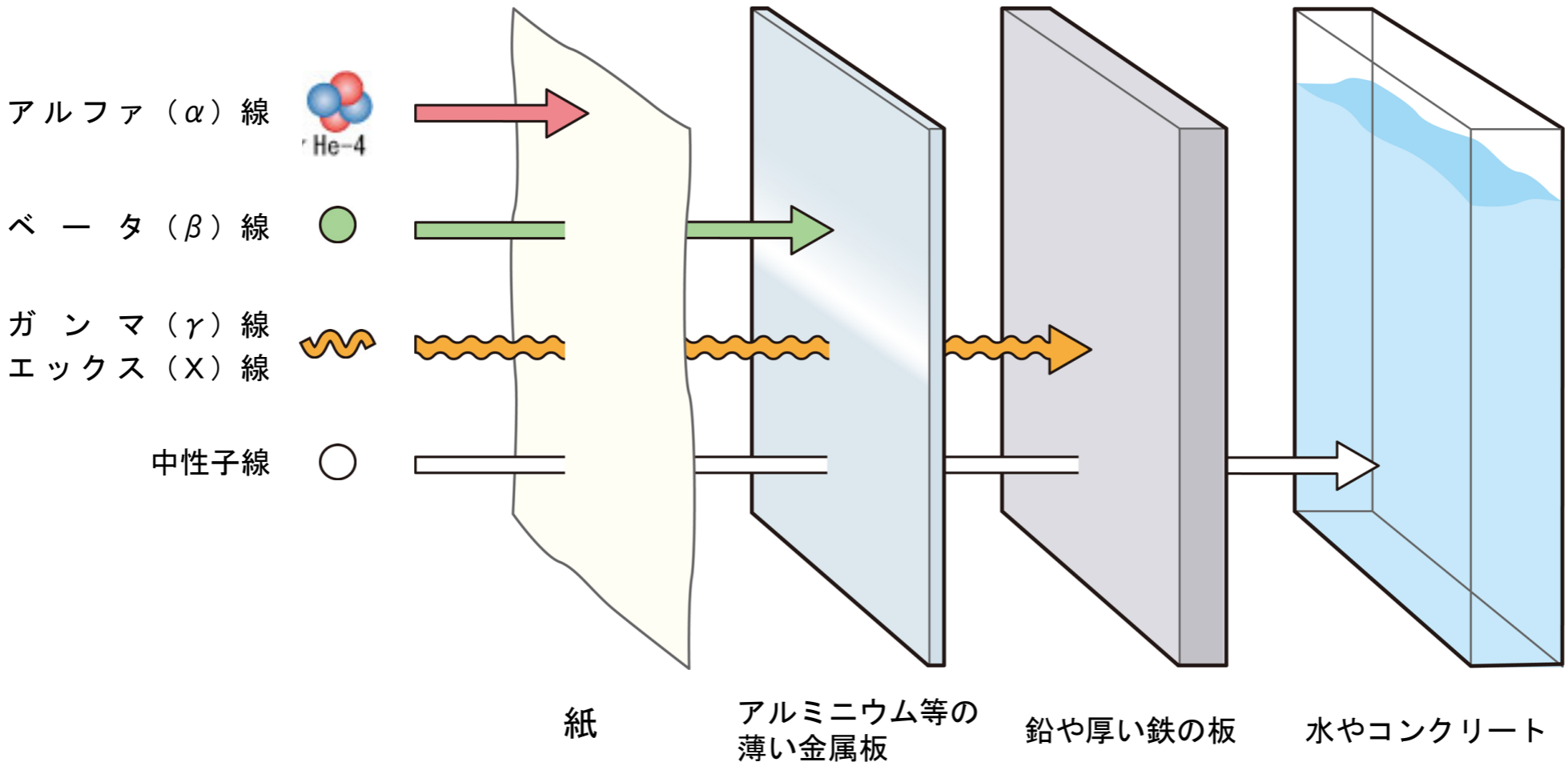


Billet de 500 Francs Français
en circulation: 1993–1999

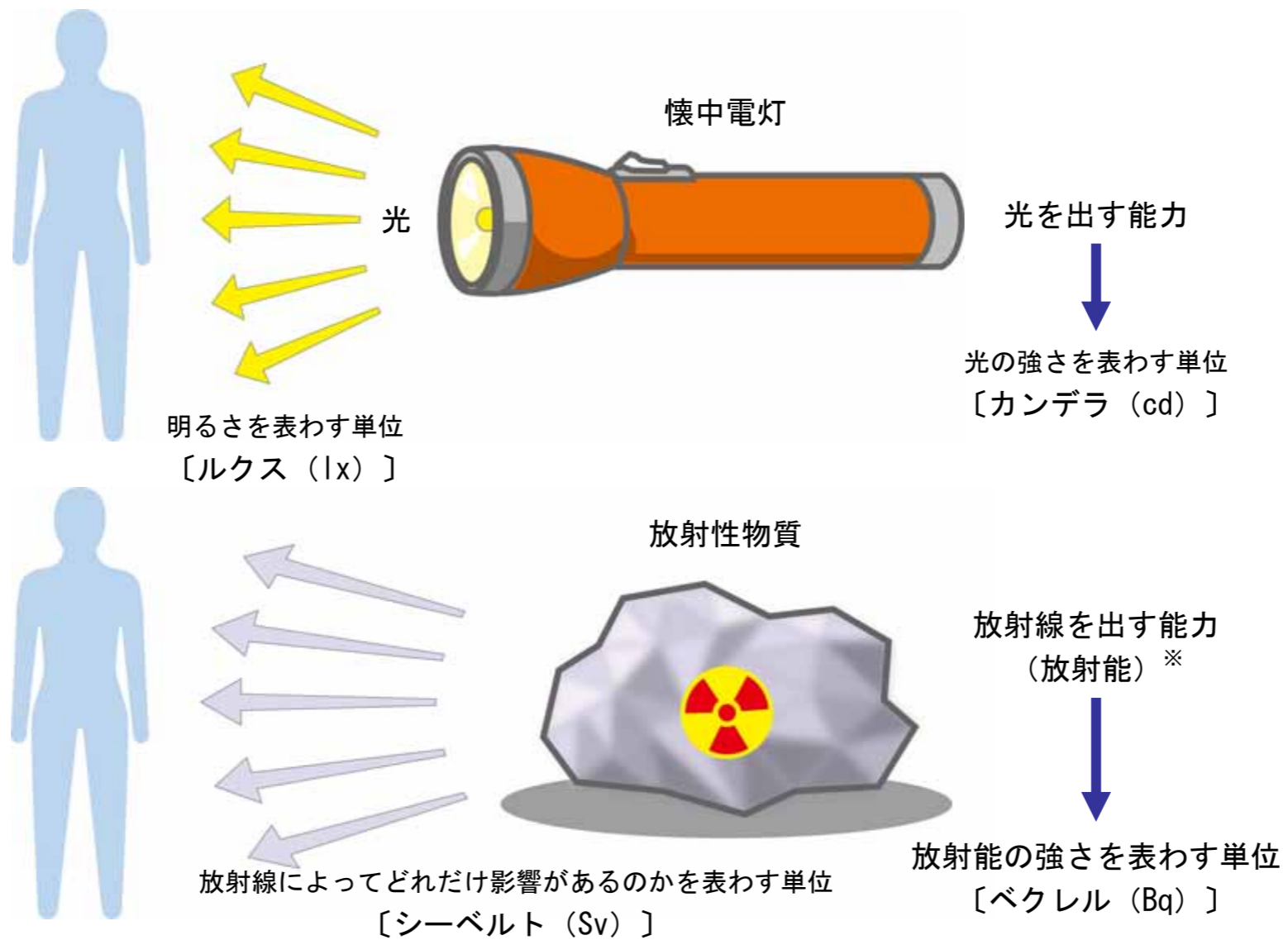


放射線の種類と透過力

α 線を止める β 線を止める γ 線、X線を止める 中性子線を止める



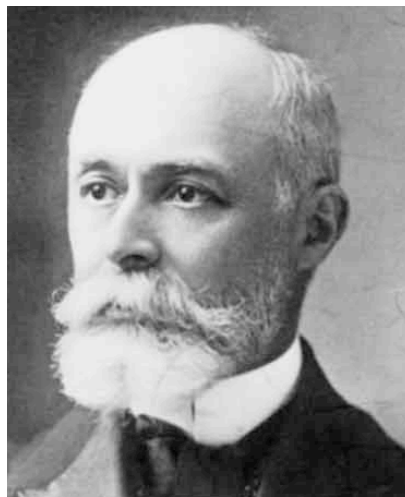
放射能と放射線



※放射能を持つ物質（放射性物質）のことを指して用いられる場合もあります

6-1

出典：資源エネルギー庁「原子力2010」



放射能 (radioactivity) の単位

$$[\text{Bq}] \mid \text{Bq} = 1 \text{ dps}, [\text{Ci}] \mid \text{Ci} = 37 \text{ GBq}$$

Becquerel

decay/disintegration
per second

Curie



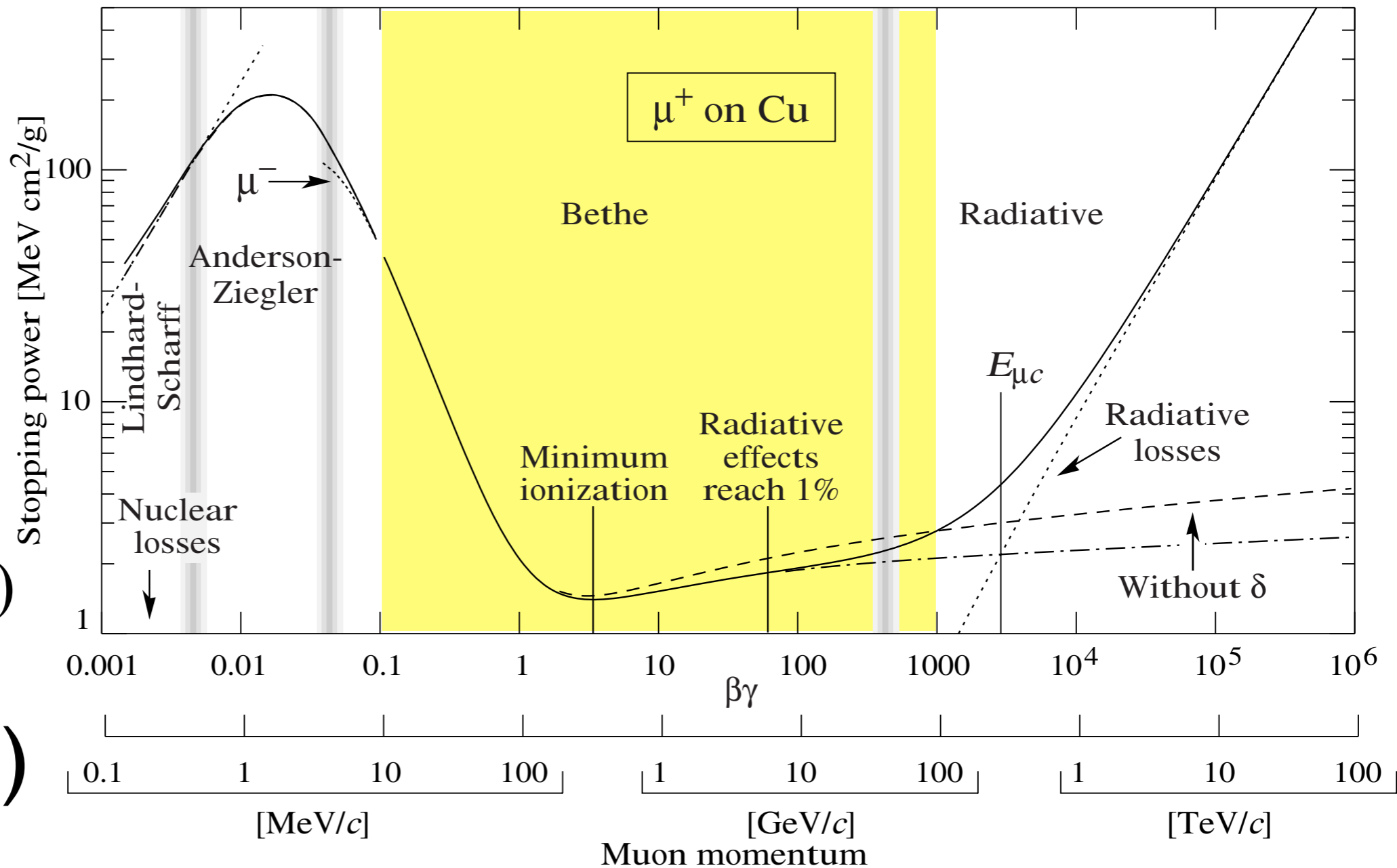
$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle$
荷電粒子

阻止能

(エネルギー損失)

MeV / (g / cm²)

(線エネルギー付与)
keV / μm



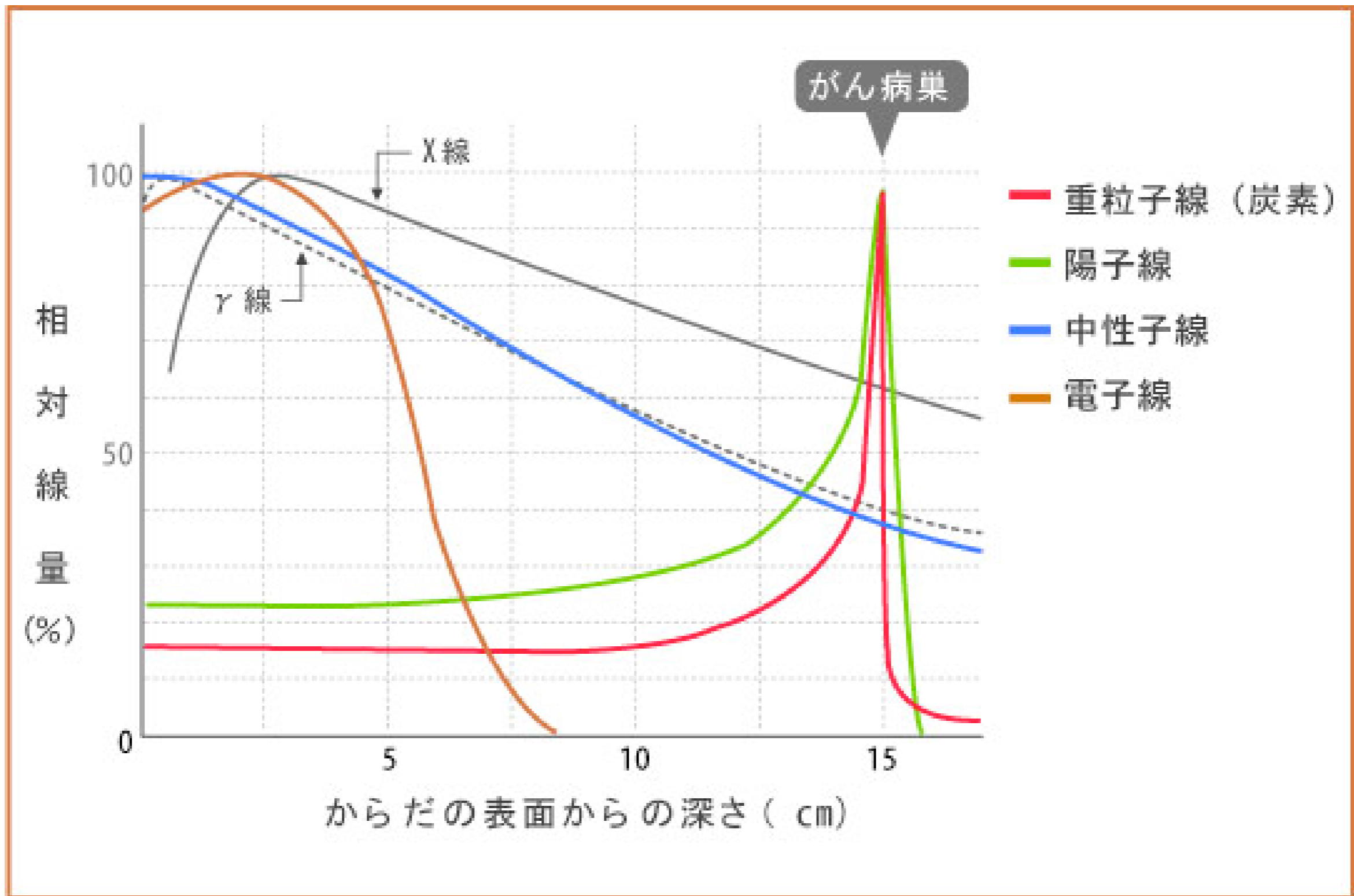
27.2.2. Stopping power at intermediate energies :

The mean rate of energy loss by moderately relativistic charged heavy particles, $M_1/\delta x$, is well-described by the “Bethe” equation,

$$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]. \quad (27.3)$$

It describes the mean rate of energy loss in the region $0.1 \lesssim \beta\gamma \lesssim 1000$ for intermediate- Z materials with an accuracy of a few %. At the lower limit the projectile velocity becomes comparable to atomic electron “velocities” (Sec. 27.2.3), and at the upper limit radiative effects begin to be important (Sec. 27.6). Both

Bragg peak



光子

紫外線

X

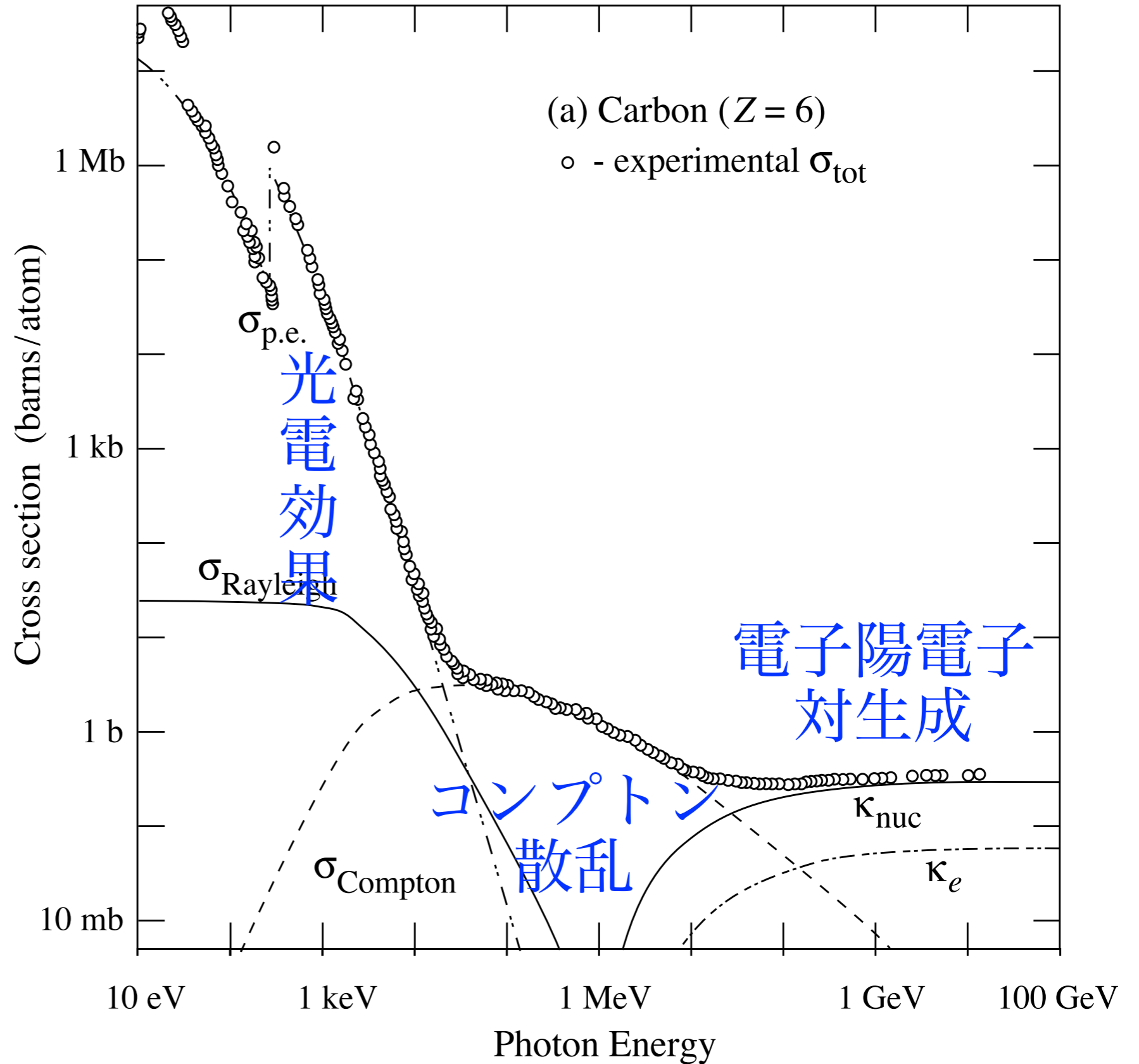
線

γ

線

反応断面積

1 barn
= 10^{-28} m^2
= 100 fm^2



放射線量の単位

放射場には

多様なエネルギーの

多種放射線（光子、粒子線）が

様々な方向を向いて飛び交い、

それぞれの強度で存在している。

これをひとつの物理量で表すのは

一筋縄ではいかない。

様々な放射線量の単位が存在する。

放射線量の単位



Röntgen



Gray

放射計測量 radiometric quantity

粒子フルエンス fluence Φ [cm^{-2}]

エネルギーフルエンス energy fluence Ψ [MeV cm^{-2}]

線量計測量 dosimetric quantity : エネルギー変換

カーマ kerma (Kinetic Energy Released in MAterial / MAtter) 非荷電粒子線 K [J / kg] = [Gy]

シーマ cema (Charged particle Energy imparted to MAtter) 荷電粒子線 C [J / kg] = [Gy]

照射線量 光子 (x線・γ線) X [C/kg], [R] | $\text{R} \approx 2.58 \times 10^{-4} \text{ C}/\text{kg}$

線量計測量 dosimetric quantity : エネルギー付与

吸収線量 D [J / kg] = [Gy], [erg / g] = [ram] | $\text{Gy} = 100 \text{ ram}$

放射線量の単位

線量計測量 **dosimetric quantity** : エネルギー付与

吸収線量 absorbed dose $D [J / kg] = [Gy]$ Gray
[erg / g] = [ram] | Gy = 100 ram

放射線防護のための線量 **protection quantity**

等価線量 equivalent dose $H_T [J / kg] = [Sv]$ Sievert

実効線量 effective dose $E [J / kg] = [Sv]$

[erg / g] = [rem] | Sv = 100 rem

係数

生物学的効果比 RBE (Relative Biological Effectiveness) 放射線生物学の観測量

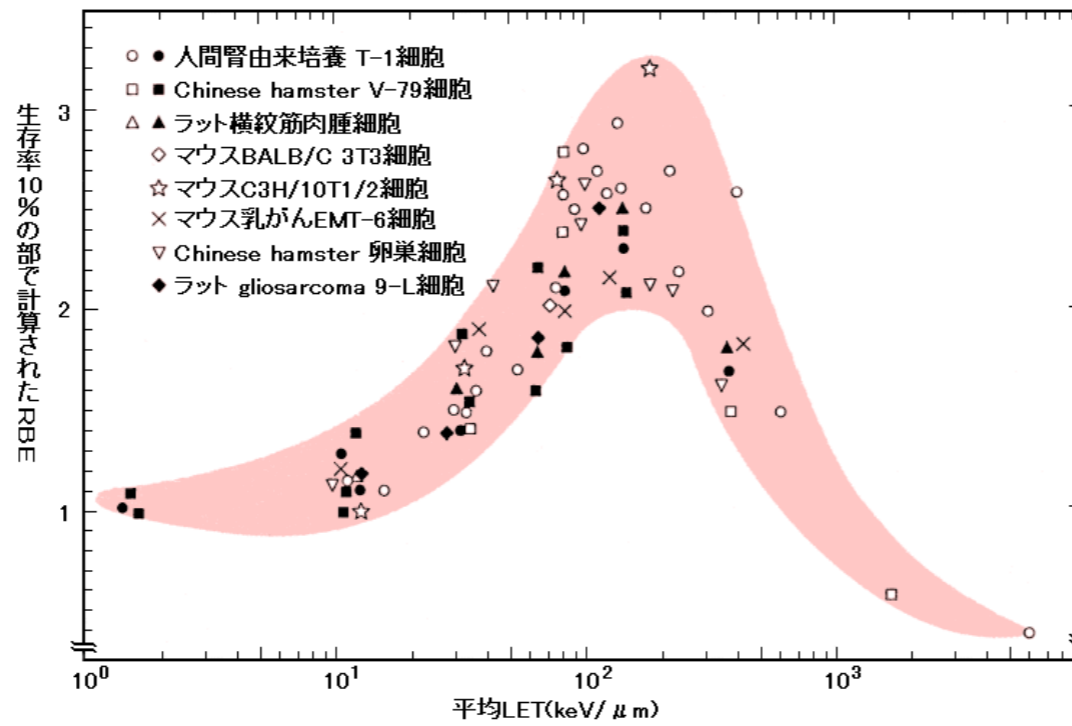
線質係数 Q 放射線防護のための取り決め

放射線荷重係数 W_R 放射線防護のための取り決め

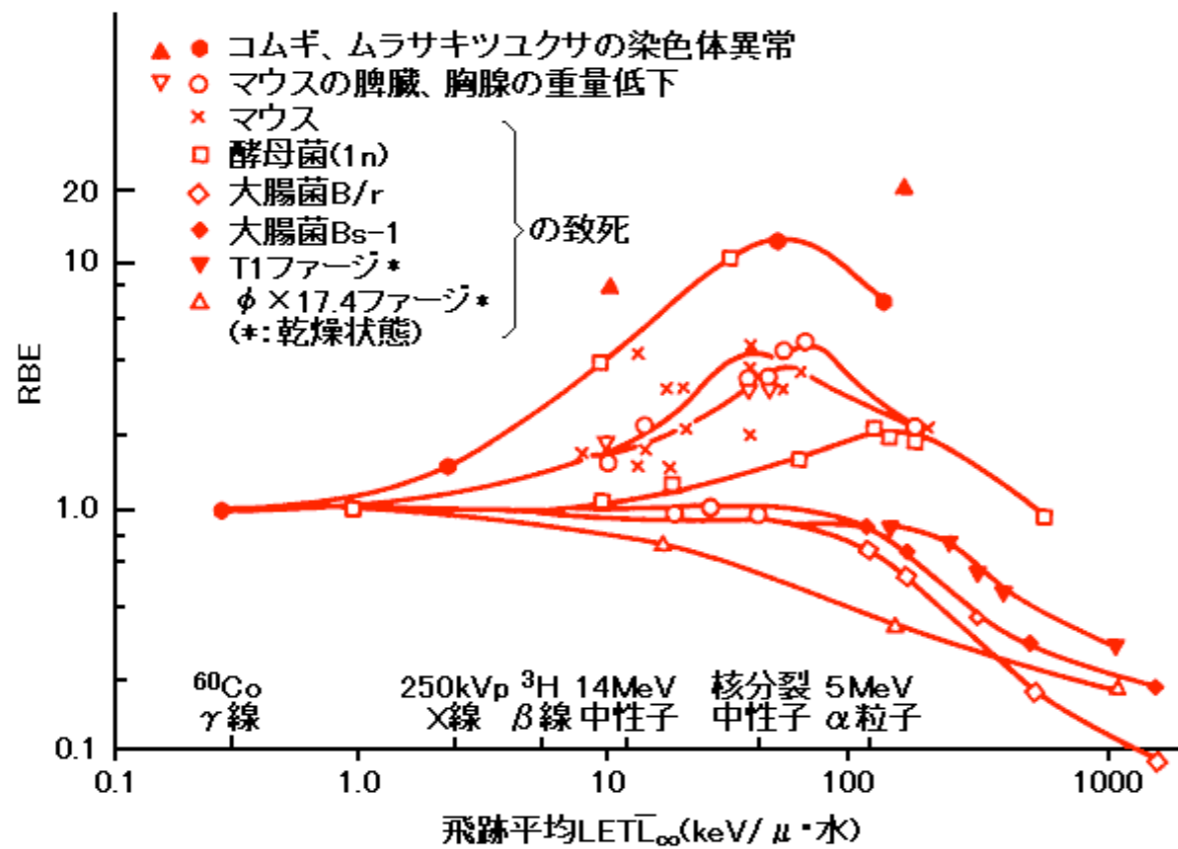


生物学的効果比 RBE

(Relative Biological Effectiveness)



黒印はピーク幅を広げたときのピークとプラトー部のRBE、白印はピーク幅を広げず、本来ビームが持つdepth-dose curveのピークとプラトー部のRBEである。

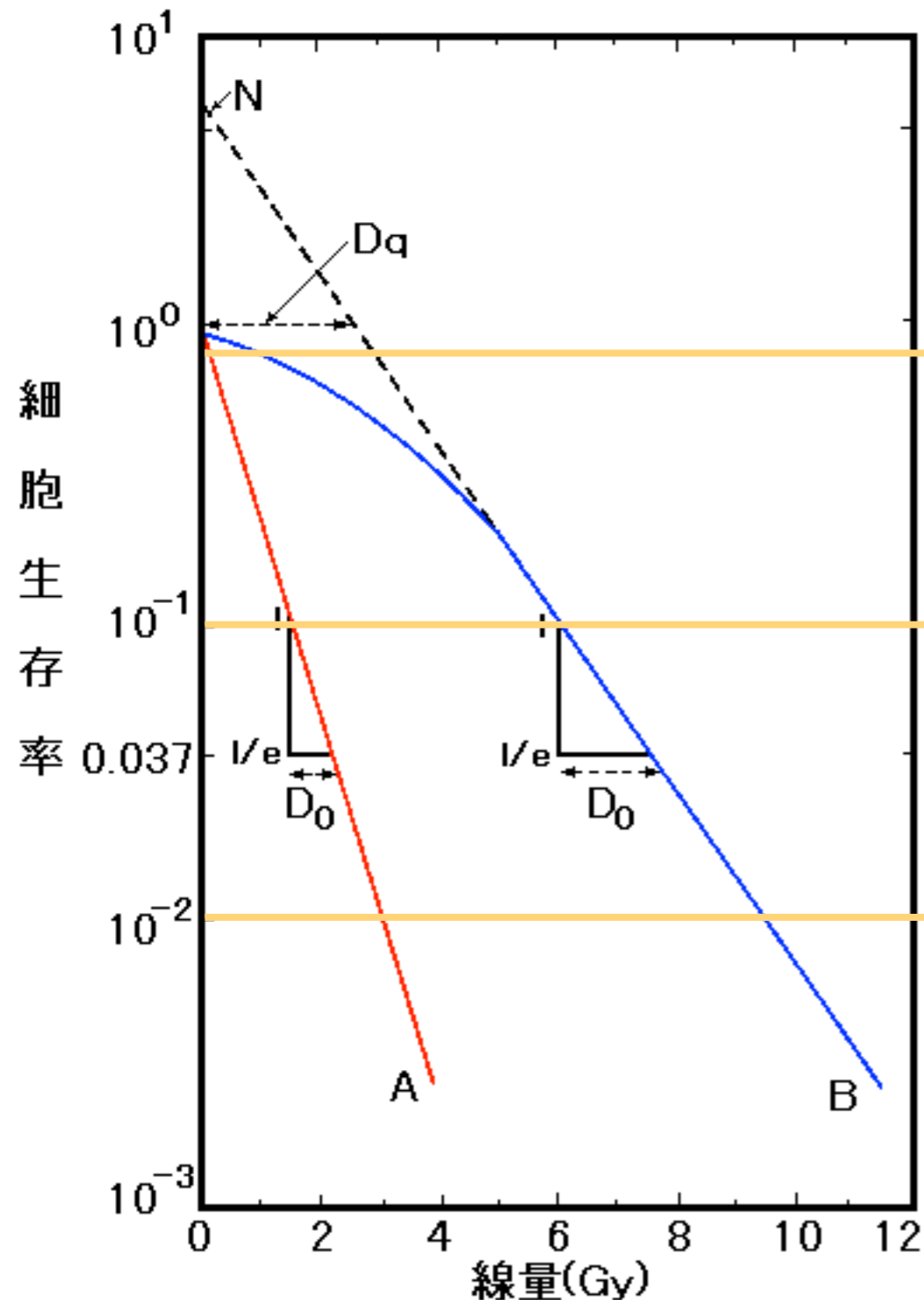


様々な生物反応(マウスの臓器の重量低下や致死、高等植物の染色体異常等)において、いずれも約80keV/μm付近のLET値をもつ放射線が最大のRBE値を示す。

図2 体細胞的効果に対する各種放射線のRBEとLETの関係

細胞死（増殖死）の標的理論

※ 増殖死とは、本来は増殖能を持つ細胞がその分裂能を失うことを意味する。



低線量での α 線の RBE $\gg 4$

細胞生存率 10% での α 線の RBE = 4

細胞生存率 1% での α 線の RBE = 3

A: 高 LET 放射線照射 (α 線など)

B: 低 LET 放射線照射 (X線など)

nは標的数
 D_0 は標的の大きさの逆数
 Dq は傷害からの回復の程度

図1 線量—生存率曲線

[出典]田坂皓ほか(編):放射線医学大系、第35巻
 放射線生物学病理学、中山書店(1984)

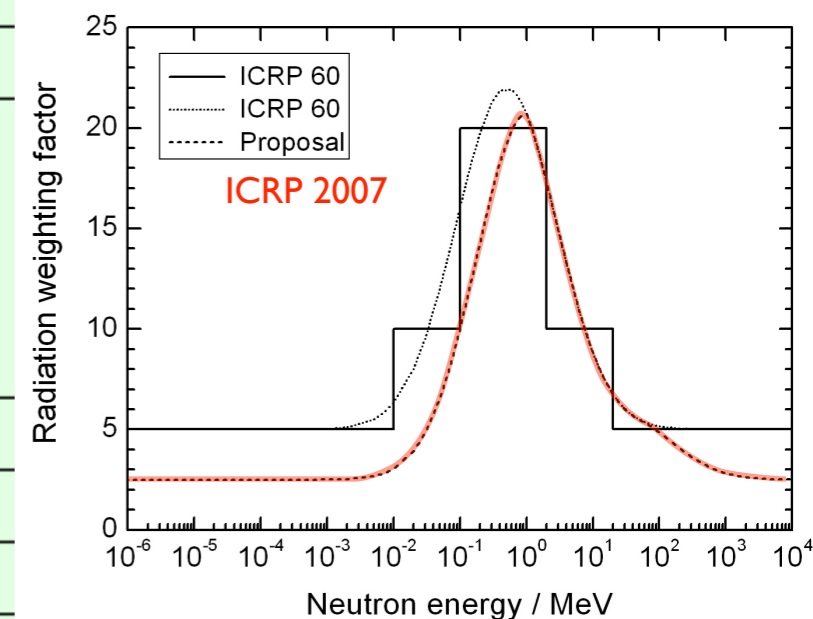
等価線量 equivalent dose H_T [J / kg] = [Sv]

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

等価線量 [Sv] R 放射線荷重係数 平均吸収線量 [Gy]

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	see graph
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

実効線量 effective dose $E [J / kg] = [Sv]$

$$E = \sum_T w_T \times H_T = \sum_T w_T \times \left(\sum_R w_R \times D_{T,R} \right)$$

組織 T の組織荷重係数

組織 T における
等価線量 [Sv]

組織 T における
平均吸収線量 [Gy]

器官・組織	組織荷重係数: w_T	
生殖腺	0.20	0.08
骨髄(赤色)	0.12	0.12
結腸	0.12	0.12
肺	0.12	0.12
胃	0.12	0.12
膀胱	0.05	0.04
乳房	0.05	0.12
肝臓	0.05	0.04
食道	0.05	0.04
甲状腺	0.05	0.04
皮膚	0.01	0.01
骨表面	0.01	0.01
脳		0.01
唾液腺		0.01
残りの器官・組織 ^{※2}	0.05	0.12
合計(全身)	1.00	1.00

黒字 ICRP 1990

赤字 ICRP 2007

コメント

放射線荷重係数は、**低線量で低線量率**の放射線被曝がもたらす健康影響に関する RBE（生物学的効果比）であるから、これを放射線治療の投与線量を表すために用いることはもちろん、大きな線量を高い線量率で曝露したときに起きる急性障害のリスクを記述するために用いるのも不適切である。👉 **Gy-Eq** を用いる

等価線量や**実効線量**などの放射線防護のための線量は、1 Sv 程度よりも小さな放射線曝露の範囲に限って意味をもつ。

放射線管理上の測定線量 **operational quantity**

線量当量 dose equivalent $H^*(d), H'(d, \Omega), H_p(d)$ [Sv]

線量が放射線防護の分野で使用する基本的尺度として採用されたのは、論理的に放射線障害量と直接比例関係にある物理量を基本としようとしたことによる。しかしながら、放射線と生物との相互作用には多くの因子を導入して組み立てたため、仮想的には線量の測定はできても、実際の被曝線量を評価することは困難である。放射線防護の分野で放射線管理に必要な線量値が得られ難いとすれば、それに代わる物理量で基準を作らなければならない。このため、国際放射線単位測定委員会 (ICRU) は実効線量に代わる放射線管理上の測定量として、周辺線量、方向性線量および個人線量についての線量当量 (dose equivalent) を定義した。我が国では、放射線防護上使用される計測量は、一般に、空間線量も、人の被ばく線量も、1cm線量当量 (実効線量 (effective dose) に対応) および70 μ m線量当量 (等価線量 (equivalent dose) に対応) と呼ばれ、それぞれ適切な測定器、あるいは測定方法により直接測定される。

http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=09-04-02-06

放射線量率 (dose rate) の単位

単位時間あたりの放射線量

[Gy/h], [Sv/h], etc....

放射線量率の時間積分が (積算) 放射線量になる。

放射線防護のための線量 protection quantity

預託線量 committed dose (内部被曝) [Sv]

預託等価線量

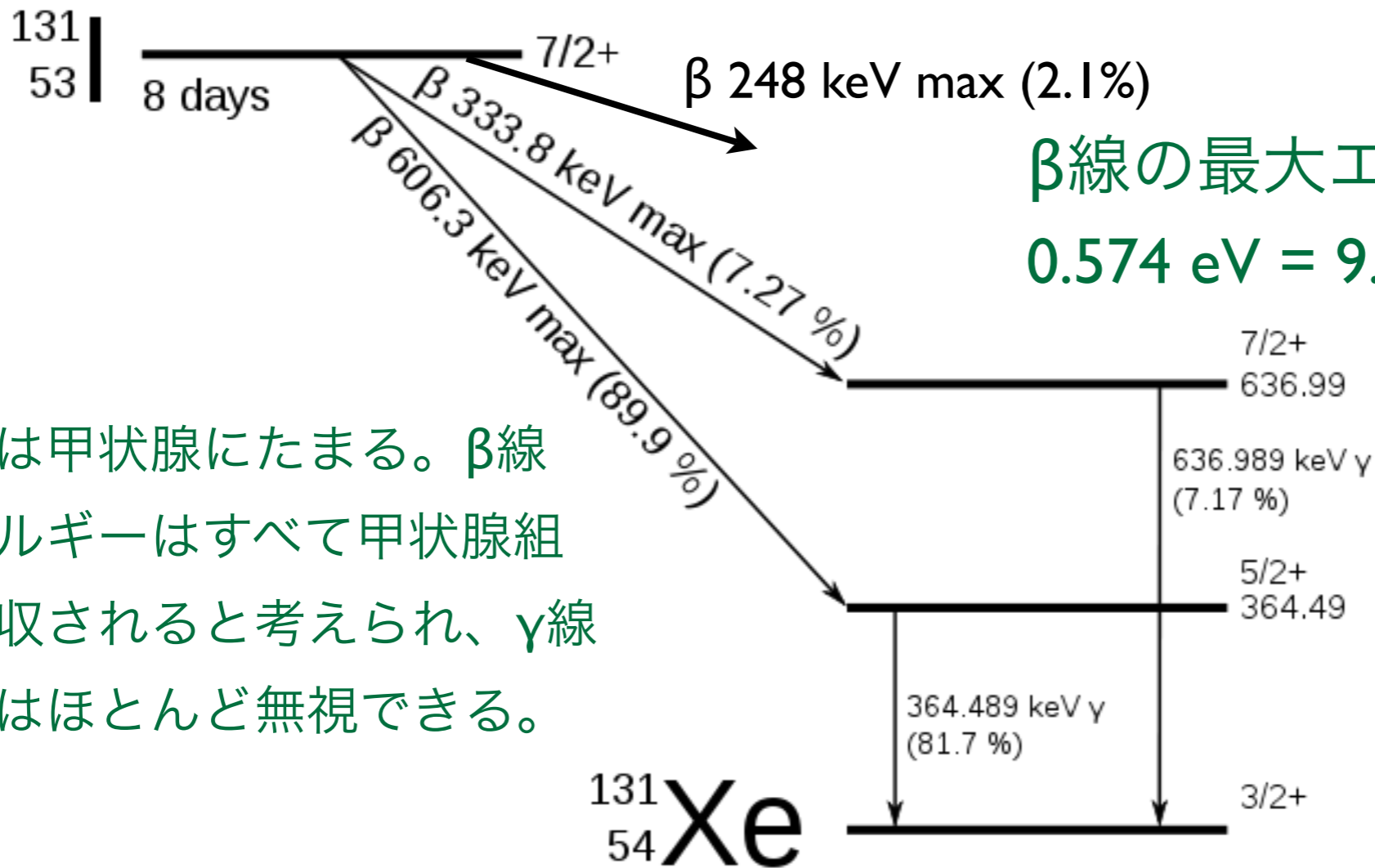
預託実効線量

体内摂取した放射性物質から出るすべての放射線を、摂取した時点で被曝したと見なして計算をする。Bq から Sv への換算には、物理学的半減期のみならず排泄機能による生物学的半減期も考慮のうえ、50年間分の積分をする。

実効線量係数 (成人)

核種	半減期	経口摂取 (Sv/Bq)	吸入摂取 (Sv/Bq)
C-14	5730年	5.8×10^{-10}	5.8×10^{-9}
P-32	14.3日	2.4×10^{-9}	3.4×10^{-9}
K-40	12.8億年	6.2×10^{-9}	2.1×10^{-9}
I-131	8.04日	2.2×10^{-8}	7.4×10^{-9}
Sr-90	29.1年	2.8×10^{-8}	1.6×10^{-7}
Cs-137	30.0年	1.3×10^{-8}	3.9×10^{-8}

経口摂取	乳児 (3ヶ月)	幼児 (1歳)	子供 (2-7歳)	成人
I-131	1.8×10^{-7}	1.8×10^{-7}	1.0×10^{-7}	2.2×10^{-8}



β線の最大エネルギーの平均値
 $0.574 \text{ eV} = 9.2 \times 10^{-14} \text{ J}$

β線のエネルギー
 スペクトルの平均値
 $\sim 5 \times 10^{-14} \text{ J}$

ヨウ素は甲状腺にたまる。β線のエネルギーはすべて甲状腺組織に吸収されると考えられ、γ線の効果はほとんど無視できる。

1 Bq あたり $8.04 \text{ d} \times 86400 \text{ s/d} = 1,000,000 \text{ decays}$

$5 \times 10^{-14} \text{ J} \times 1,000,000 / \text{Bq} = 5 \times 10^{-8} \text{ J/Bq}$

成人の場合

成人の場合

これのうち 20% が甲状腺に取り込まれる（残りは排泄）と見積もると、20 g の甲状腺の

吸収線量 = 等価線量は $5 \times 10^{-8} \text{ J/Bq} \times 0.2 / 0.02 \text{ kg} = 0.5 \mu\text{Sv/Bq}$

甲状腺は組織荷重係数が 0.05 なので、全身被曝量としての実効線量は

$0.5 \times 0.05 = 0.025 \mu\text{Sv/Bq}$ 。表の値 $2.2 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ とほぼ一致。

身の周りの放射線



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)

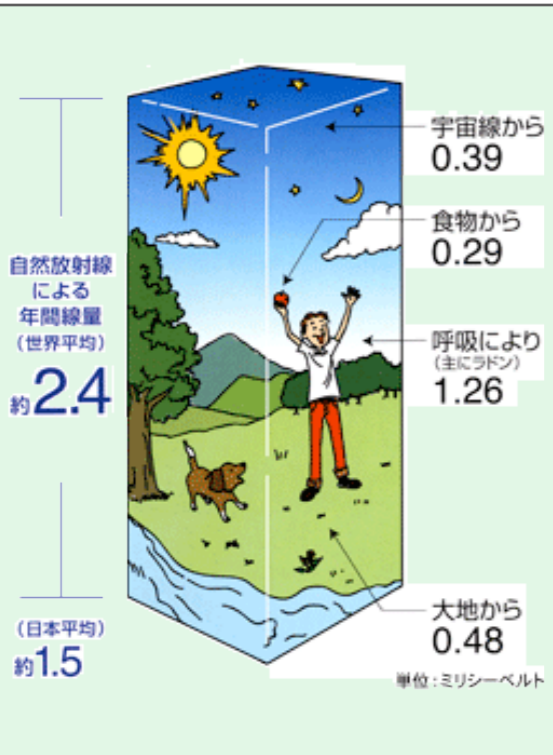
10

Sv (E)

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)

0.1



胸のX線集団検診(1回) ★

Sv (E)

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



0.2

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)

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

クリアランスレベル導出の線量目安値(年間) 0.01

0.01

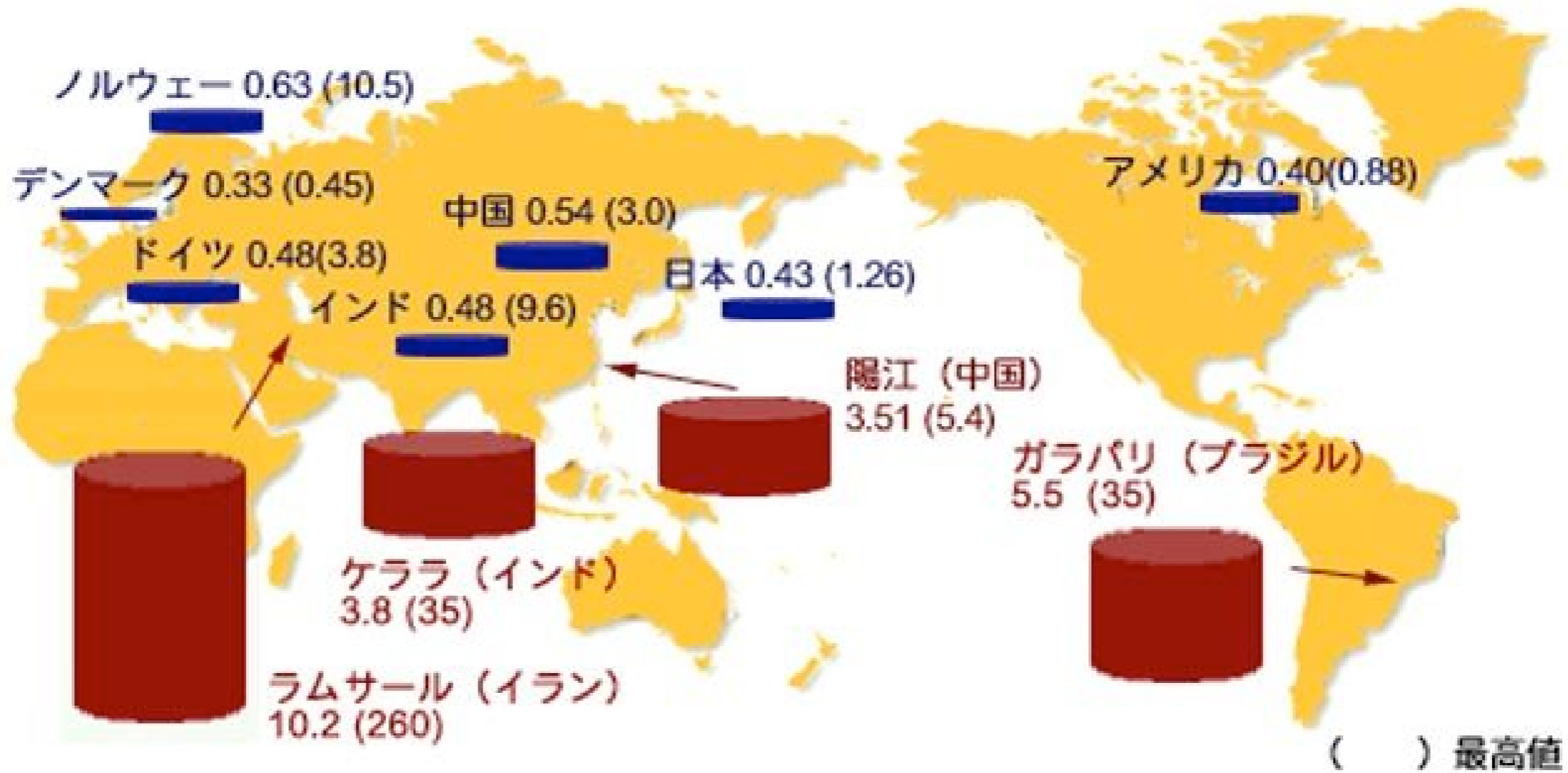


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

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)

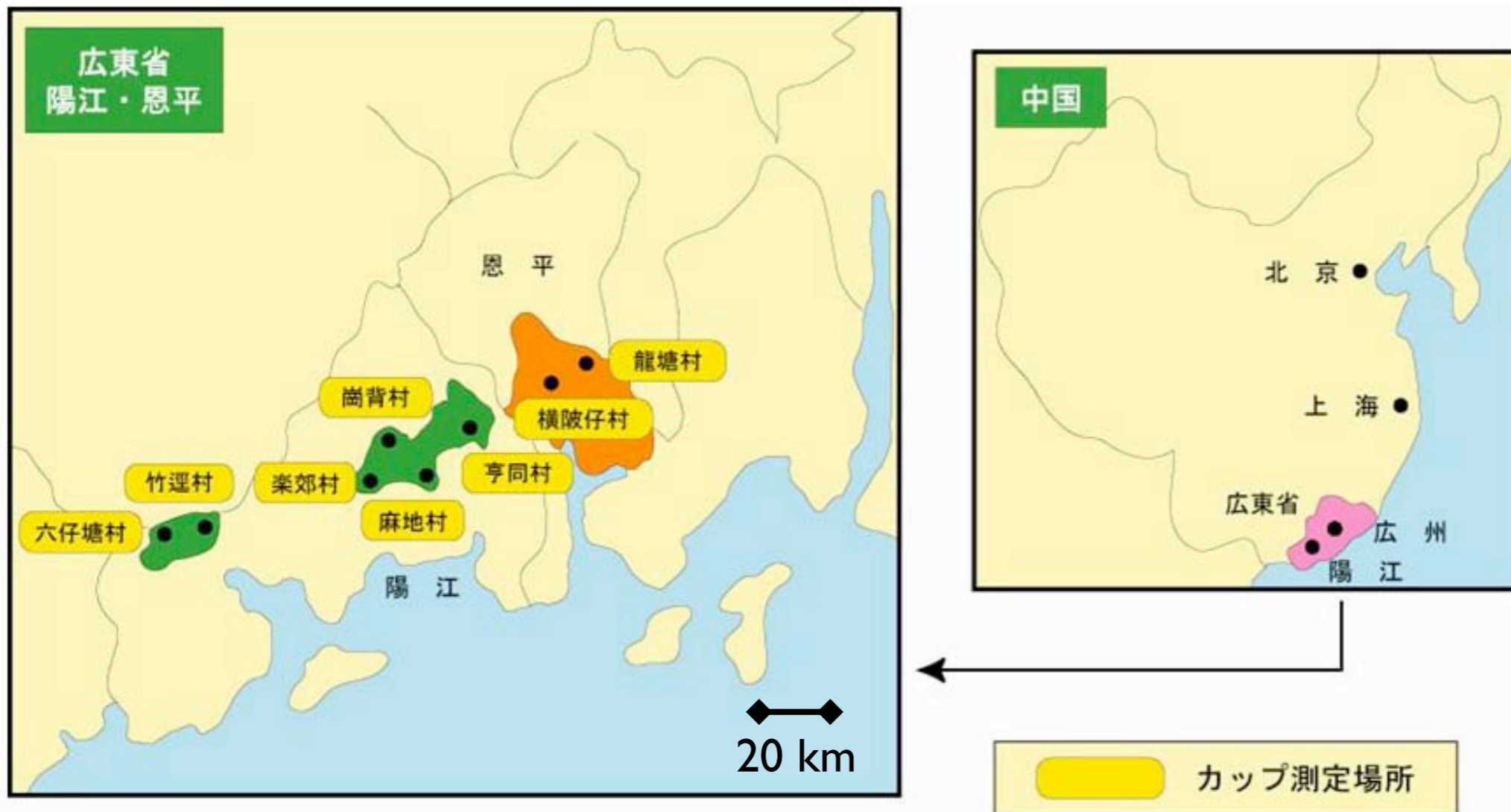


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

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

一次宇宙線 (高エネルギー陽子など)

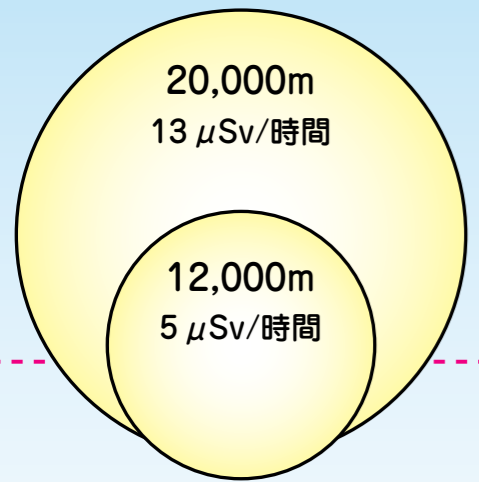
空気中の原子

二次宇宙線

三重水素、ベリリウム7、ベリリウム10、ナトリウム22、ナトリウム24などの宇宙線生成核種が生じる
(一次宇宙線のエネルギーが比較的低い場合)

中性子、陽子、 π 中間子、K中間子などの放射性物質が生じる
(一次宇宙線のエネルギーが高い場合)

※○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 μSv/時間

2,000m ○ 0.1 μSv/時間

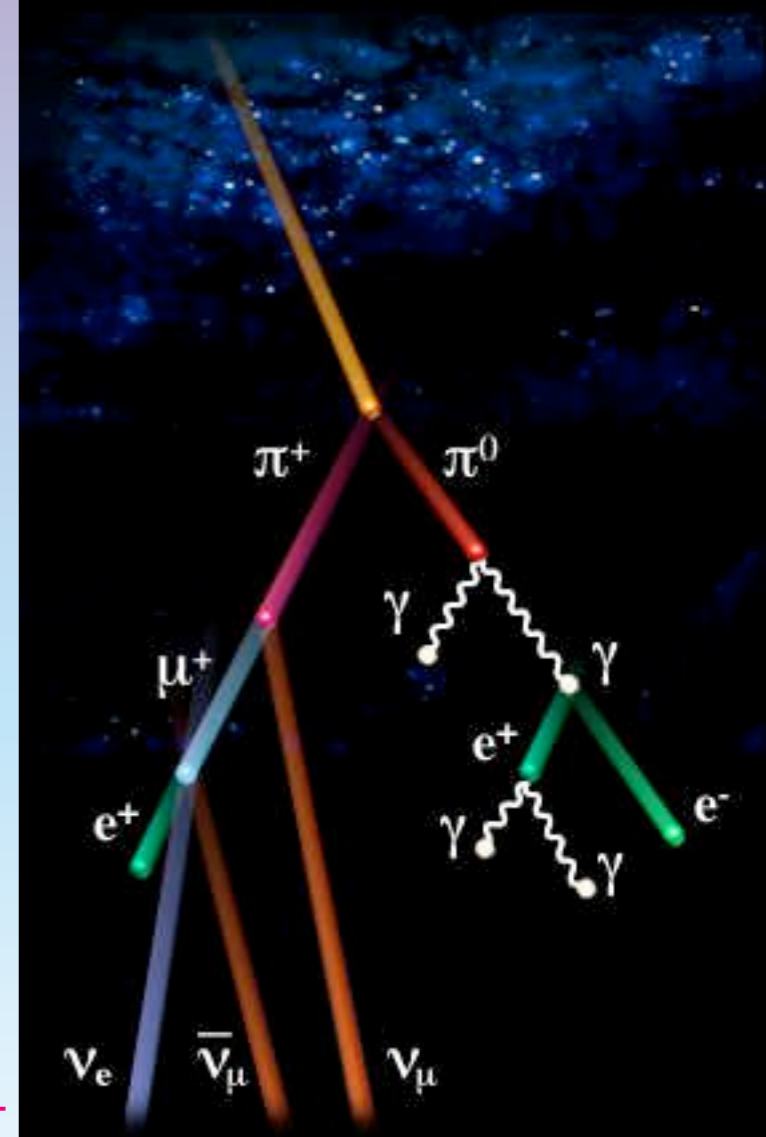
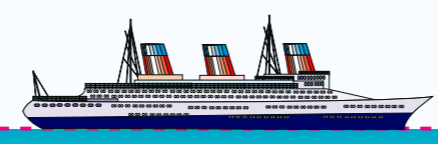
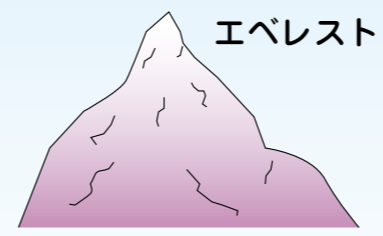
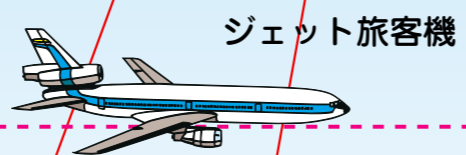
海面 ○ 0.03 μSv/時間

μSv = マイクロシーベルト

100km

10km

1km



東京～NY 往復
200 μSv (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 (μSv)		
			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

●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)



^{40}K
 同位体比 0.012%
 寿命 13億年

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

低線量・低線量率の被曝とガン死亡

表3 航空パイロットと一般人のがん死亡率の比較^{2,16)}

累積線量 (mSv)	0~4.9	5.0~14.9	15.0~24.9	25.0+
全がん死観察数 (O)	116	79	98	72
全がん死期待数 (E)	128	117	138	120
全がん死のSMR (O/E)	0.91	0.67	0.71	0.6
(95% 信頼限界)	(0.72~1.1)	(0.53~0.87)	(0.58~0.91)	(0.45~0.77)

表1 飛行機乗客の線量と一般人の線量の比較

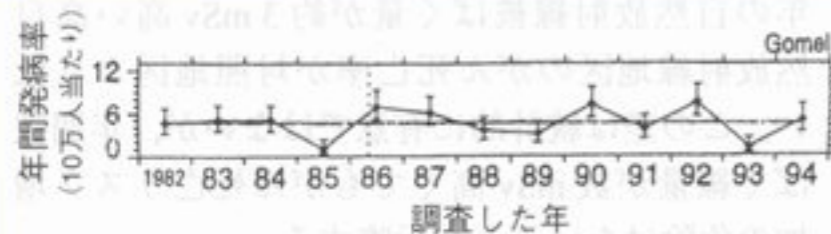


図2 ゴメリの小児白血病の年間発病率(●)の年次変化男子の場合。チェルノブイリ事故は1986年に発生。(E. P. Ivanov, et al.: *Radiat. Environ. Biophys.*, 35: 75-80 (1996) より)

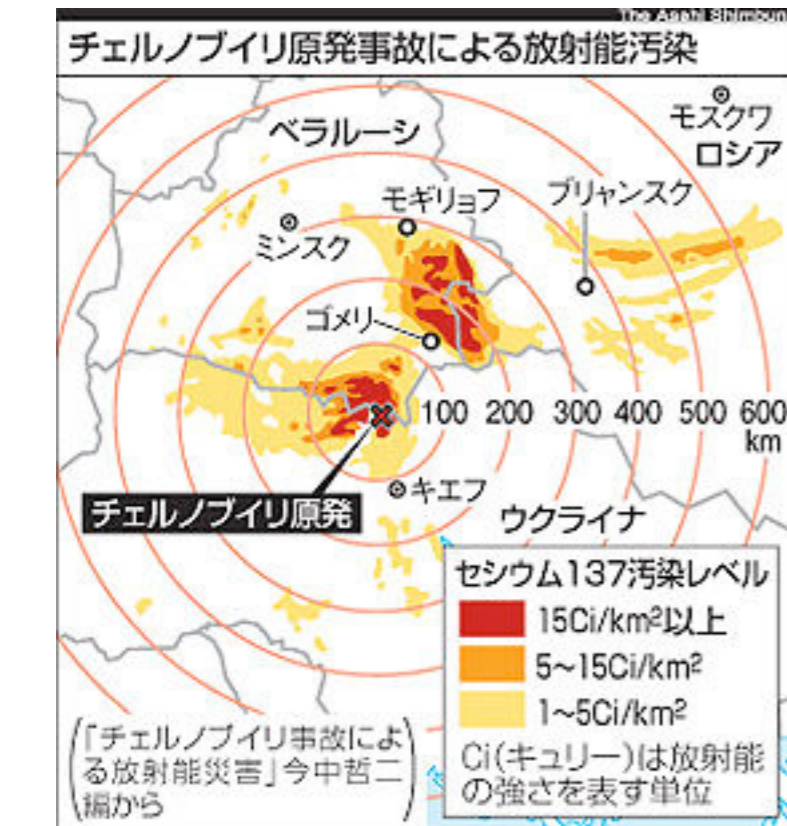


表5 増殖期のヒト細胞におけるDNA損傷の自然発生率と放射線誘発率の比較⁷⁾

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

表6 がん死の相対比と放射線の少線量被ばく量やDNA修復不全との関連*

少線量被ばくなどの調査集団	がん死の相対比	被ばく量(被ばく期間) ; 遺伝的不全
1) ベラルーシ国ゴメリの子供	1.00	150 mSv(5年間)
2) 中国の高自然放射線地区住民	0.95	330 mSv(60年間)
3) 米国の原子力船修理造船工	0.85	35 mSv(10数年間)
4) 英国の放射線科医	0.71	100 mSv(20年間)
5) 欧州の航空機パイロット	0.68	20 mSv(約10年)
6) 原爆放射線被ばく者	1.08	200 mSv(~数マイクロ秒)
7) ナイミーヘン切断症候群患者	600	DNA修復不全

*1) は図2より; 2) は表1より; 3) は表4より; 4) は表2より; 5) は表3より; 6) は式(1)より; 7) は「ナイミーヘン切断症候群」のセクションより。

原爆では放射線の全線量が瞬時に照射されたから、200 mSvの被ばくでも放射線の危険性がつきまとった。他方、放射線の少しずつの慢性被ばくでは、DNA損傷が少しずつ時間をおいてできるので、放射線による傷はDNA修復で完全治癒される時間的余裕がある。DNA 2本鎖切断の修復不全症であるナイミーヘン切断症候群患者のがん死の相対比は600と異常に大きい。

人体の細胞では核内のDNAが最も重要な分子である。DNAには毎日たくさんの傷が自然に発生している(表5)が、正常人の細胞はこれらのDNAの傷を修復する防御機能を持っている。正常な人の身体は、少しずつ浴びる放射線にはびくともしない。これは、正常人の場合、放射線によるDNA損傷を、自然のDNA損傷と同様に、DNA修復が見事に治癒してくれるからである。

近藤宗平「放射線の功罪 -放射線の危険性に対する防御-」Isotope News 2007/4
「人は放射線になぜ弱いのか(第3版)」講談社、ブルーバックス B-1238 (1998)

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

total 2 EBq !!

初期消火に当たった消防隊員らが致死・亜致死量の被曝。28人死亡。

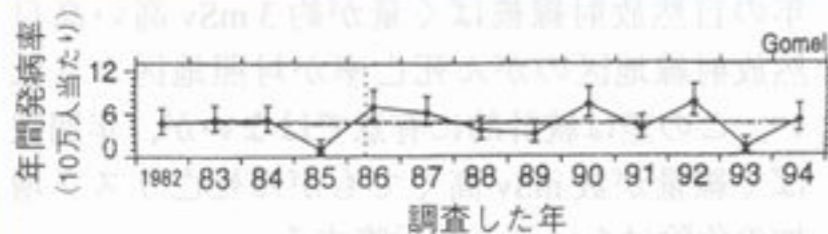


図2 ゴメリの小児白血病の年間発病率(●)の年次変化男子の場合。チェルノブイリ事故は1986年に発生。(E. P. Ivanov, et al.: *Radiat. Environ. Biophys.*, 35: 75-80 (1996) より)

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)

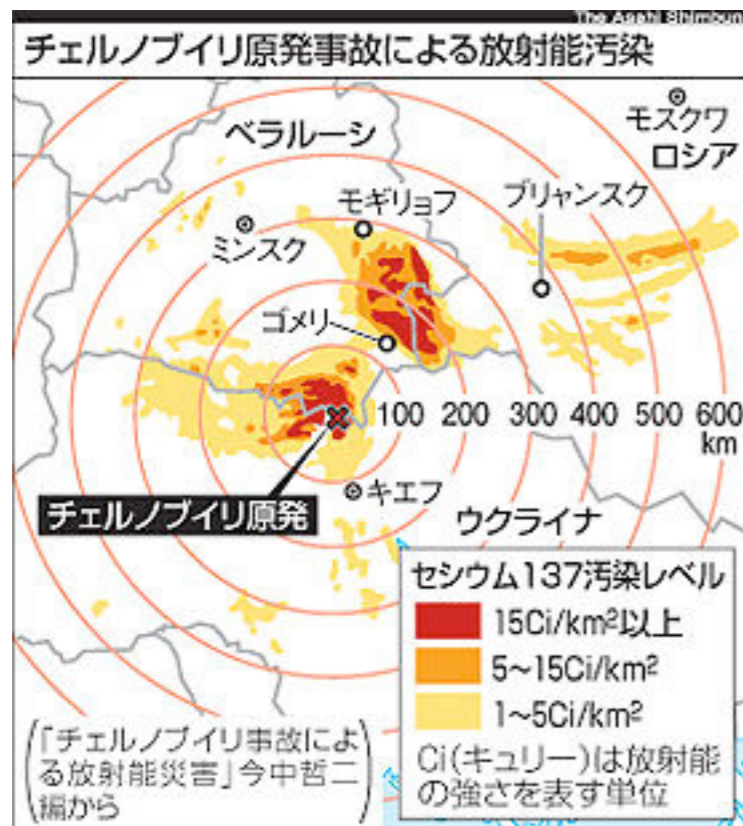
30 km 圏内の牛乳の摂取規制がなされず。

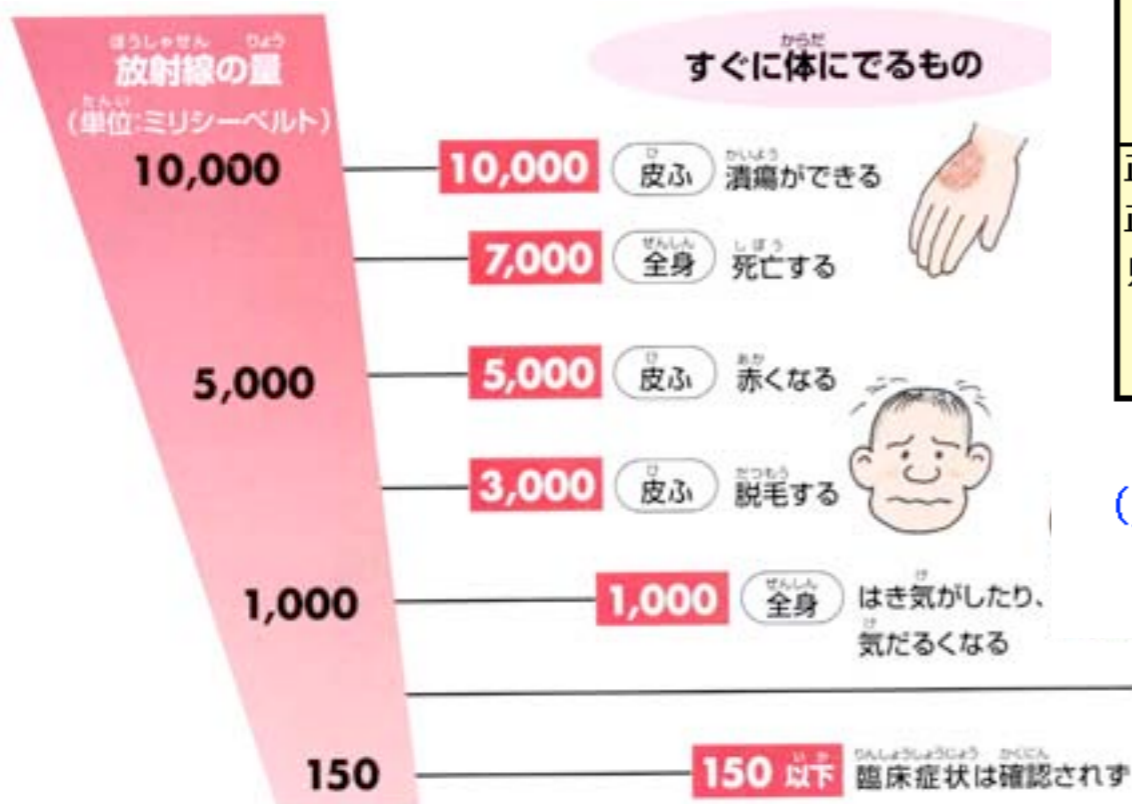
一般住民で確認された健康への影響はこどもの甲状腺ガンの増加のみ。

毎年 1/300,000人 → 1/10,000人

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





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

図1 細胞再生系
(造血組織、腸上皮、皮膚、精巣、水晶体の分化、成熟過程による変化)

[出典]吉井義一:放射線生物学概論[第2版](1922)

表1 確定的影響(放射線症と半致死線量LD_{50/60})

放射線障害	被ばくと障害	線量 (Gy)	被ばく後の障害発症時間	出典
造血器症候群	急性被ばく			
造血能低下	発症閾値	0.5	1週間以内	(1)、(2)
白血球減少	50%発症	1-2	約48時間	(2)
造血器障害(医療なし/不十分)	50%死亡	約2.5	60日	(2)
同上(十分な医療)	同上	約5	同上	(2)
同上(骨髄移植成功の場合)	同上	~9	同上	(2)
消化管症候群	急性被ばく			
嘔吐	50%発症	約2	約3時間	(2)
消化管障害	死亡	約5-15	10-20日	(1)
神経症候群	急性被ばく			
神経障害	死亡	>15	1-5日	(1)
その他				
精巣(一時的不妊)	急性被ばく	0.15	-	(1)
同上	慢性被ばく	0.4 Gy/年	-	(1)
卵巣(不妊)	急性被ばく	2.5-6 Gy/年	-	(1)
同上	慢性被ばく	>0.2 Gy/年	-	(1)

注: (1) ...ICRP 1990年勧告 (2) ...UNSCEAR 1988年報告書

下記の出典をもとに作成した。

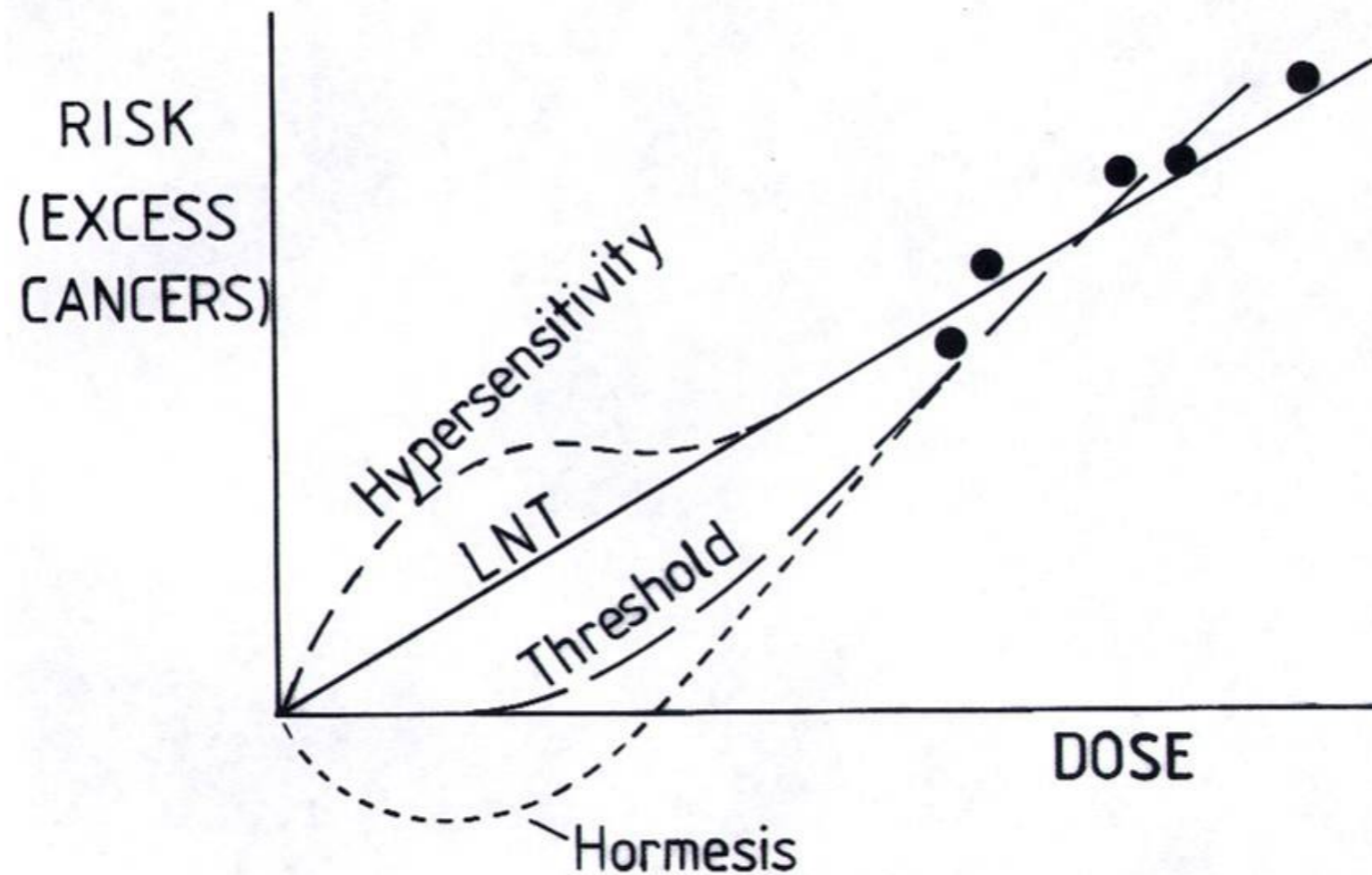
[出典](1)(社)日本アイソトープ協会:国際放射線防護委員会の1990年勧告(1991年11月)、p.122、p.124

(2)放射線医学総合研究所(監訳):放射線の線源・影響およびリスク、(株)実業広報社(1990年4月)、p.653、p.655

放射線被曝による 確定的影響

低線量におけるリスク評価

(0 – 100 mGy)

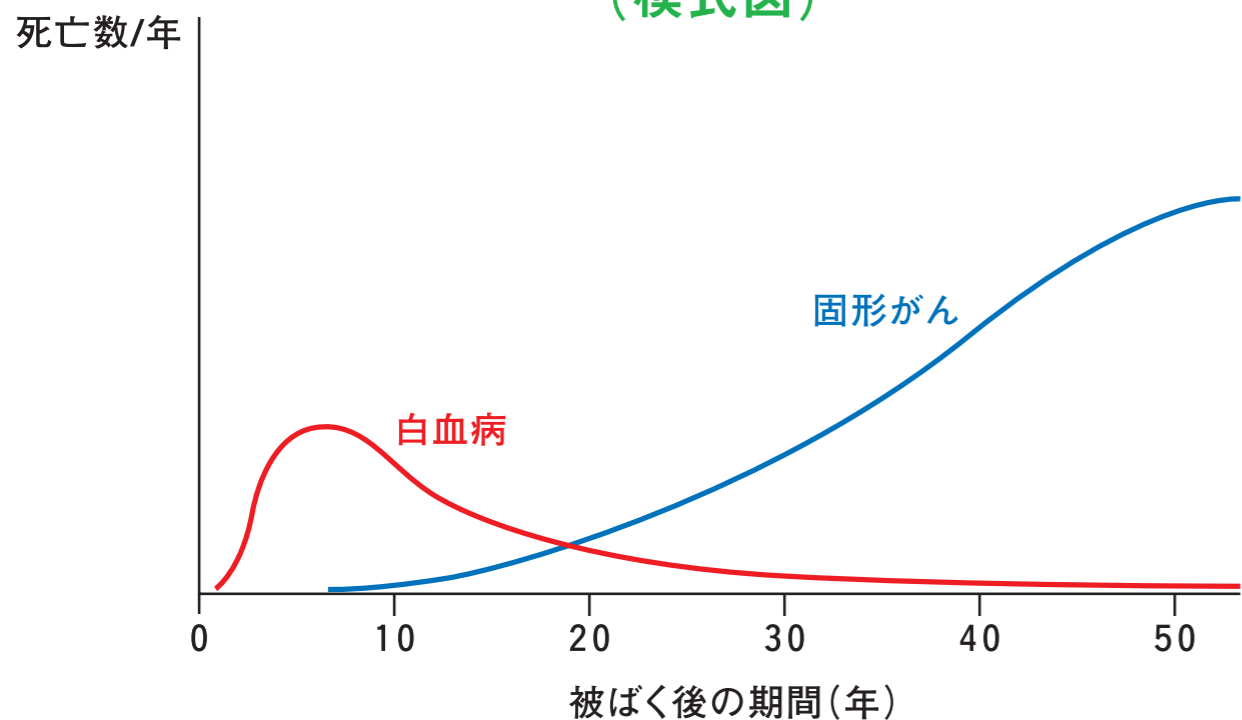


国際放射線防護委員会 (**ICRP**) は **LNT**
(Linear Non-Threshold = 線形閾値なし) 仮説を採用。

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

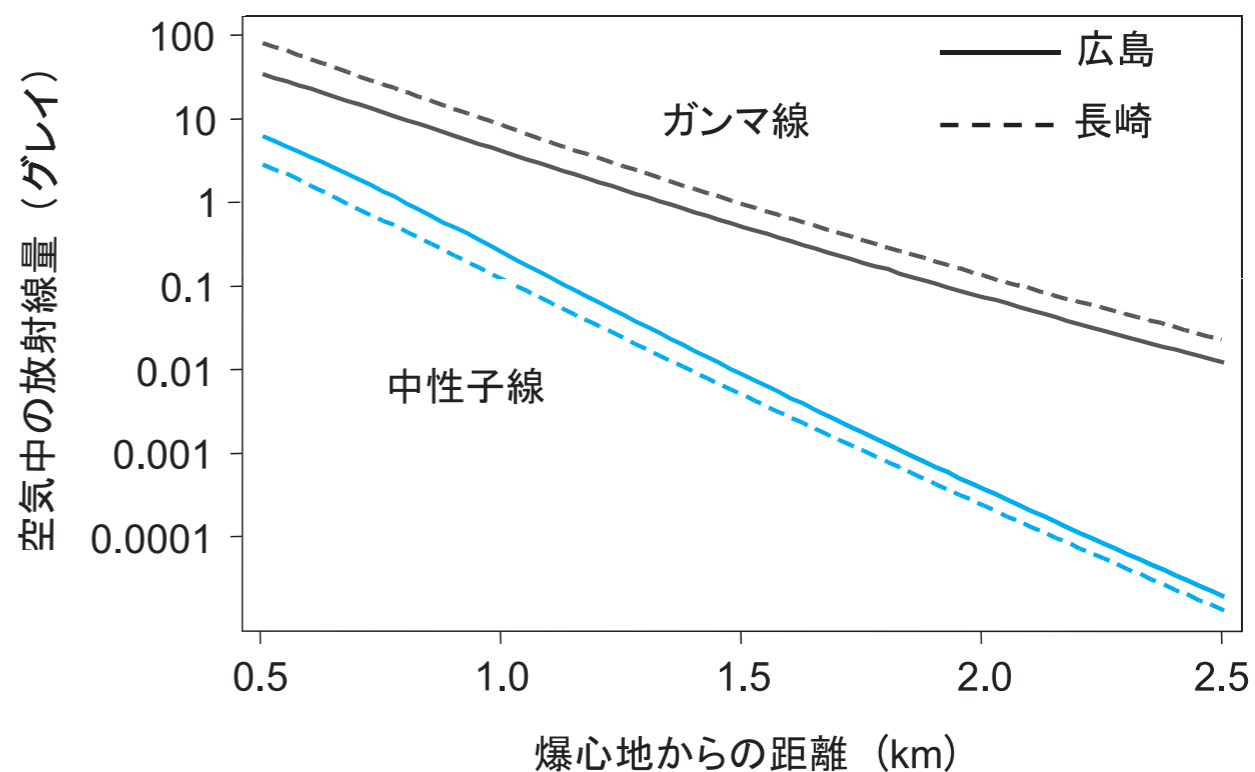
対象 8 万人 + 対照 4 万人

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」

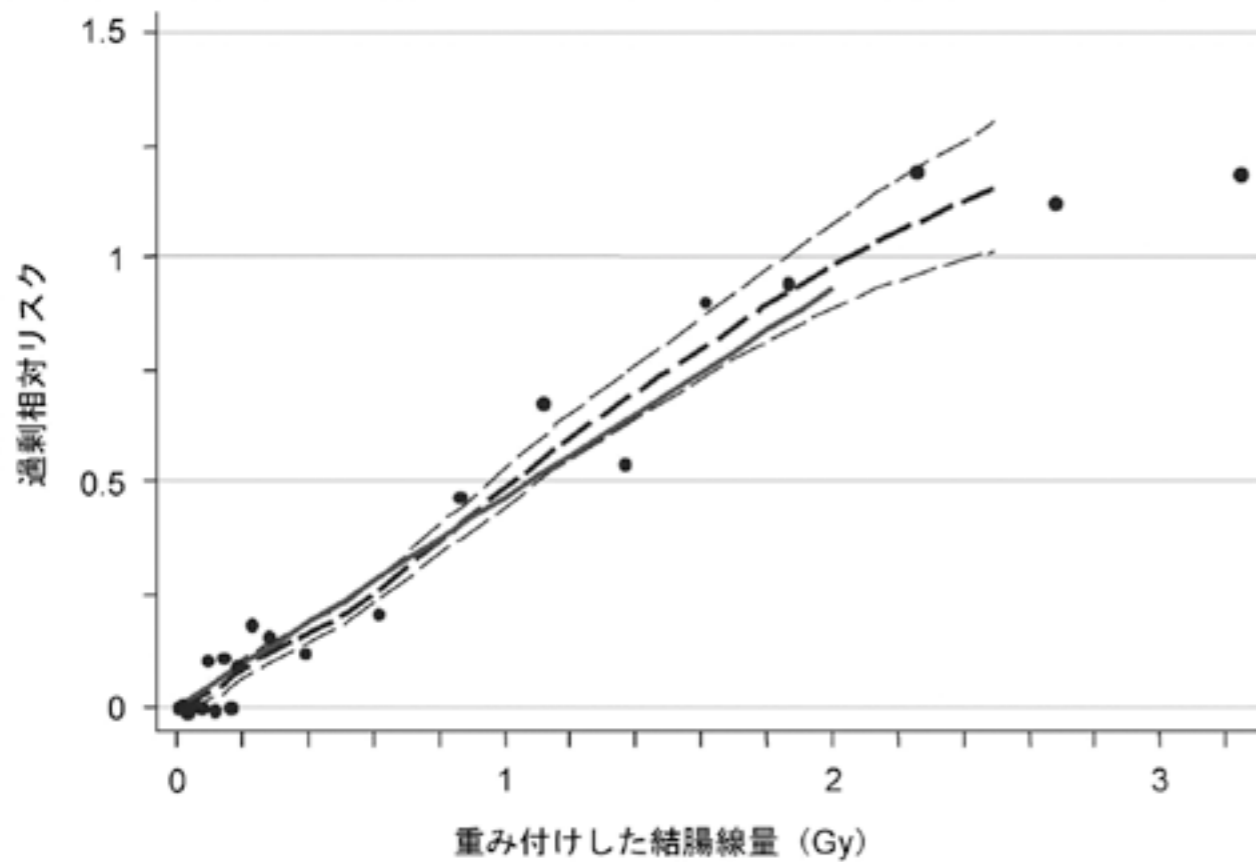


図 LSS集団における固形がん発生の過剰相対リスク（線量別）、1958－1998年。
太い実線は、被爆時年齢30歳の人70歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク（ERR）の線形線量反応を示す。太い破線は、線量区別リスクを平滑化したノンパラメトリックな推定値であり、細い破線はこの平滑化推定値の上下1標準誤差を示す。

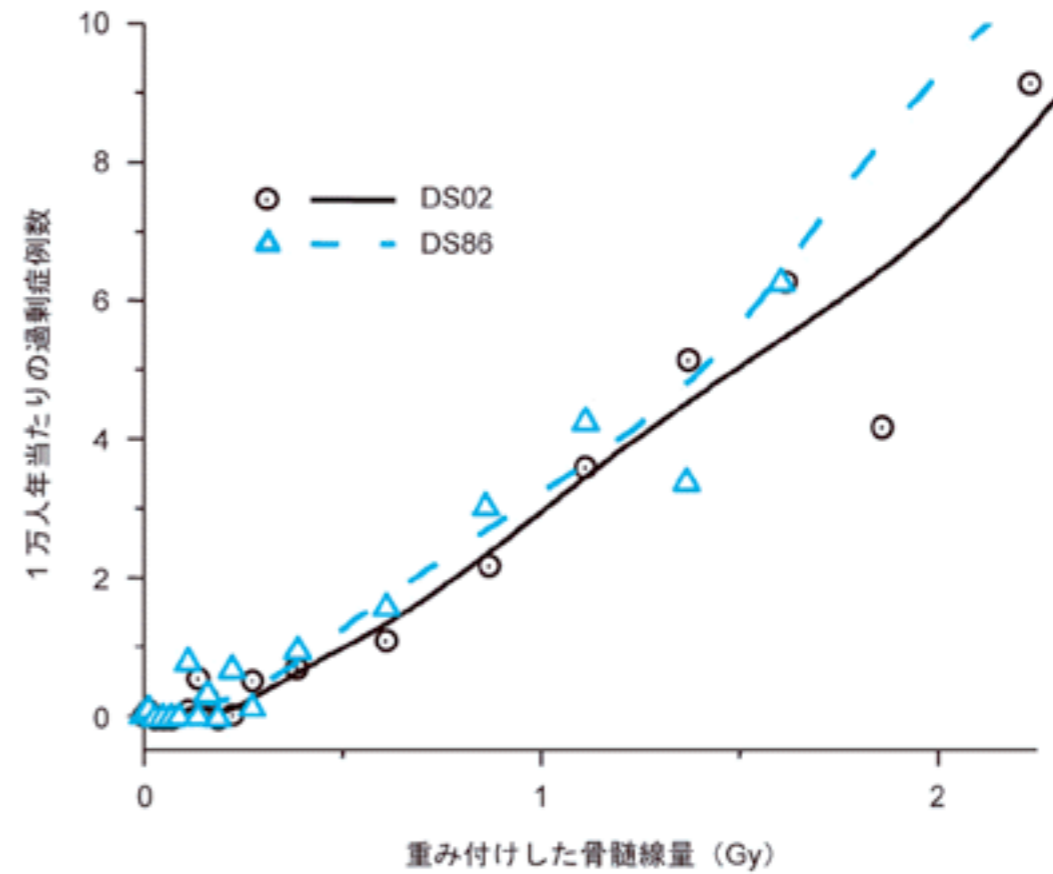


図. DS02とDS86による白血病のノンパラメトリックな線量反応、1950－2000年。
被爆時年齢20－39歳の人70歳に達した場合の1970年における男女平均リスク。

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%

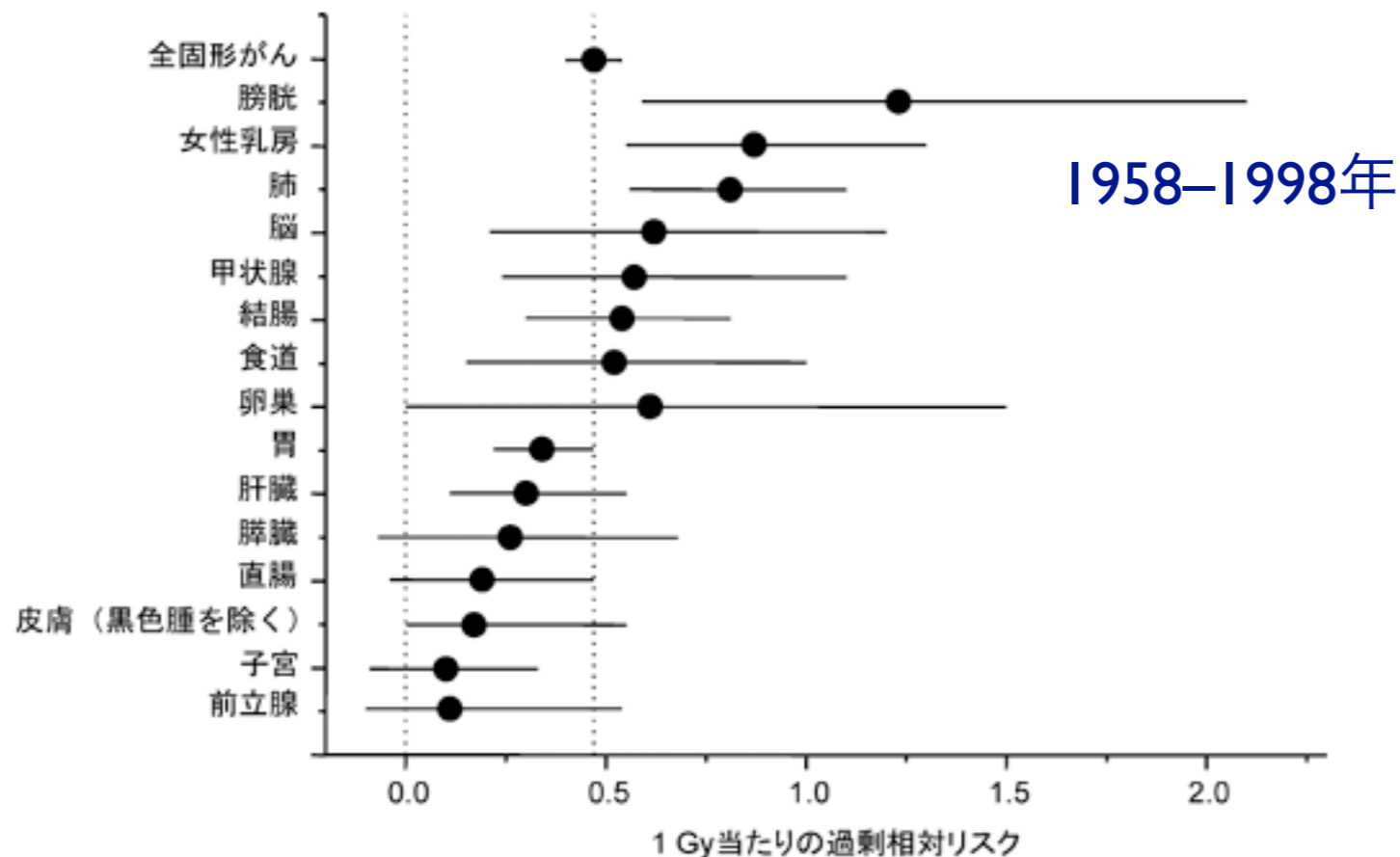


図1. LSS集団における被爆時年齢30歳（男女平均）の人が、70歳に達した時の1 Gy 当たりの部位別がん発生率の過剰相対リスク。横線は90%信頼区間を示す。

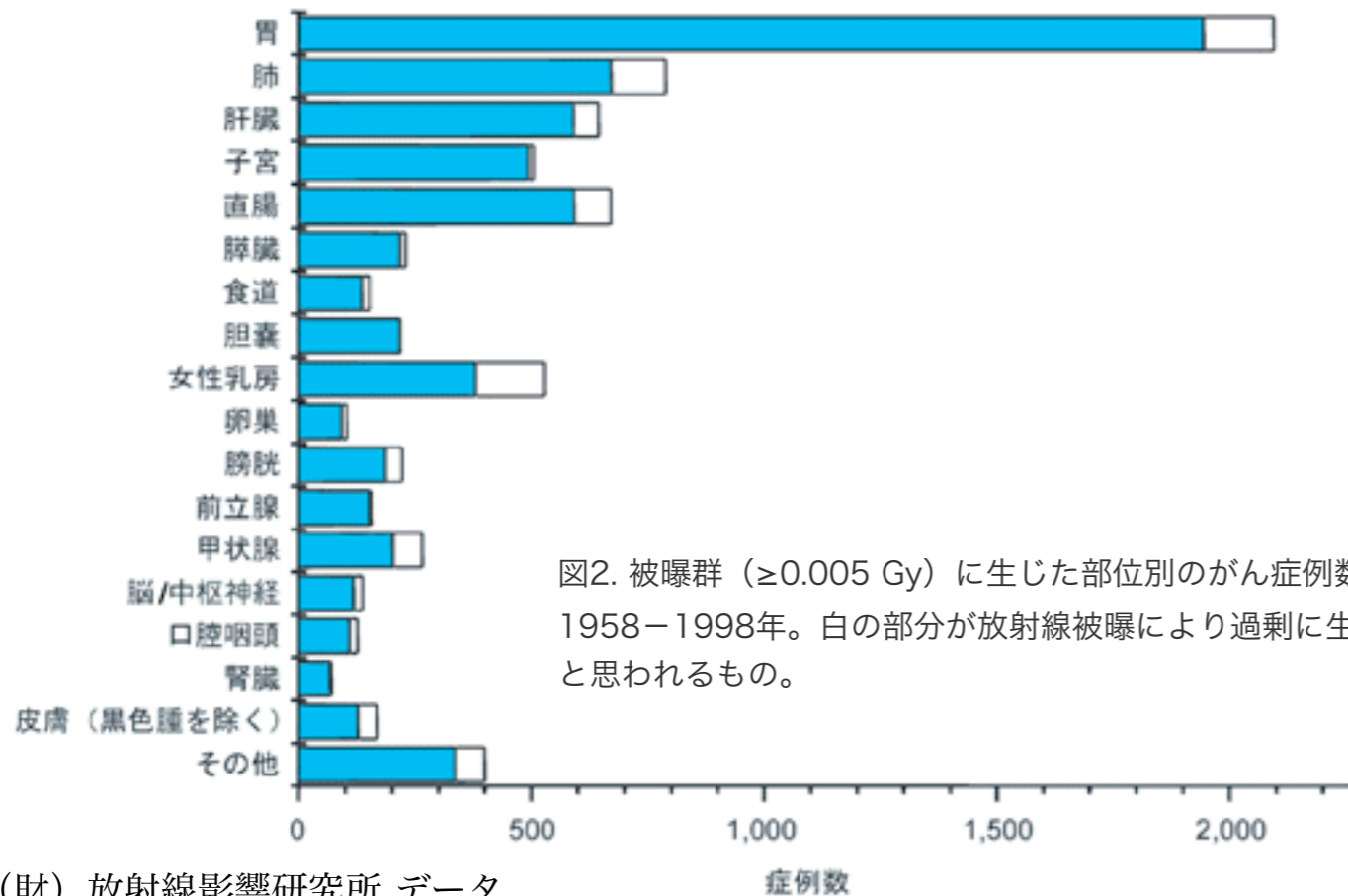
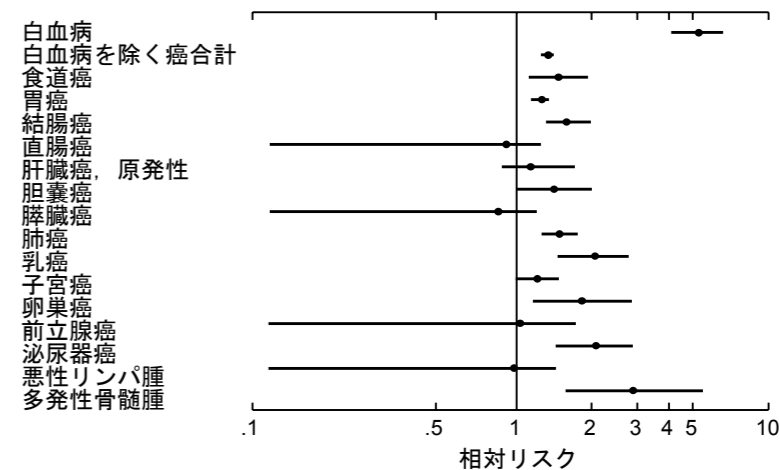


図2. 被曝群（ ≥ 0.005 Gy）に生じた部位別のがん症例数、1958-1998年。白の部分が放射線被曝により過剰に生じたと思われるもの。

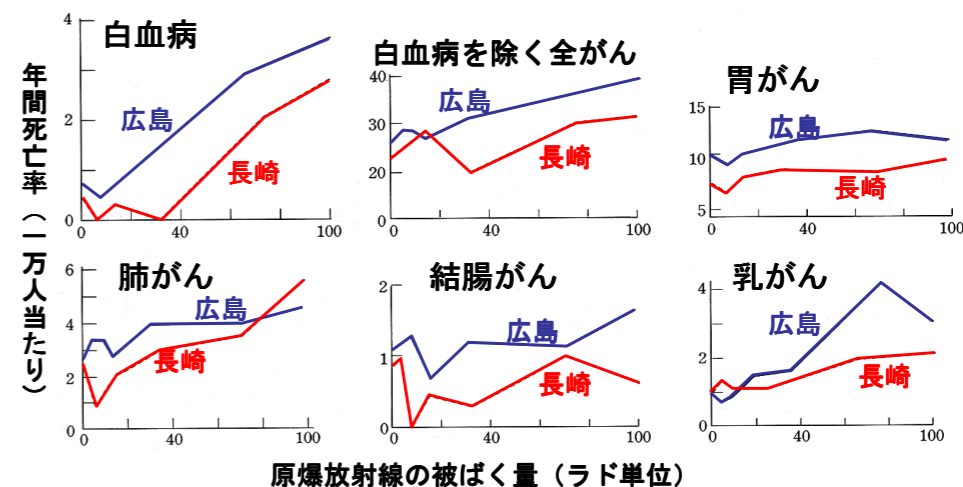
(財)放射線影響研究所 データ

部位別癌死亡の1Gy（遮蔽カーマ線量）における相対リスクおよび90%信頼区間, 1950-1985年



加藤寛夫、清水由紀子 他：原爆放射線の人体影響1992、文光

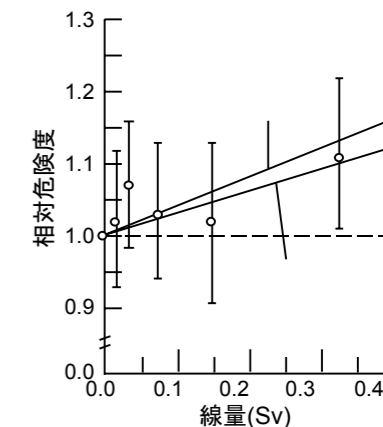
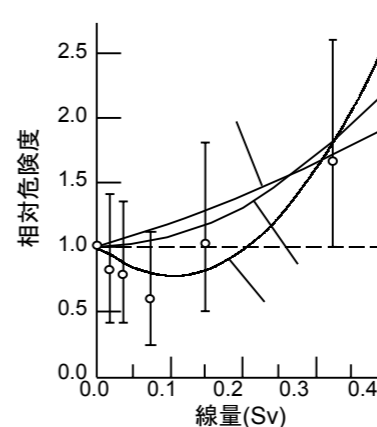
5種類のがん死亡率（1950-1986間の平均値）と低レベル原爆放射線被ばく量の関係



清水由紀子ほか（1987）

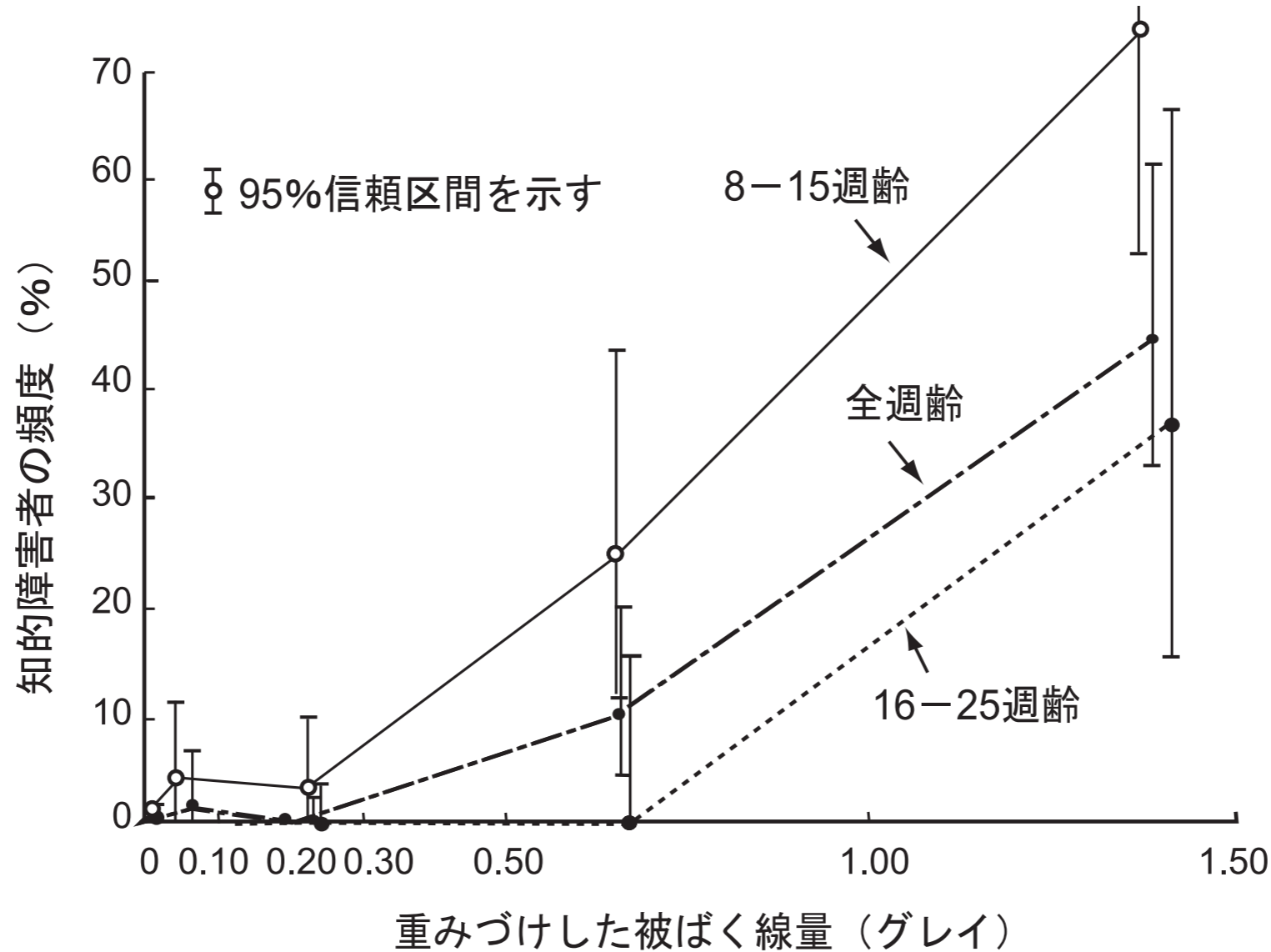
白血病

白血病以外の全がん



Shimizu, Y., et al.: RERF Update RERF News 1992.

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」

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。

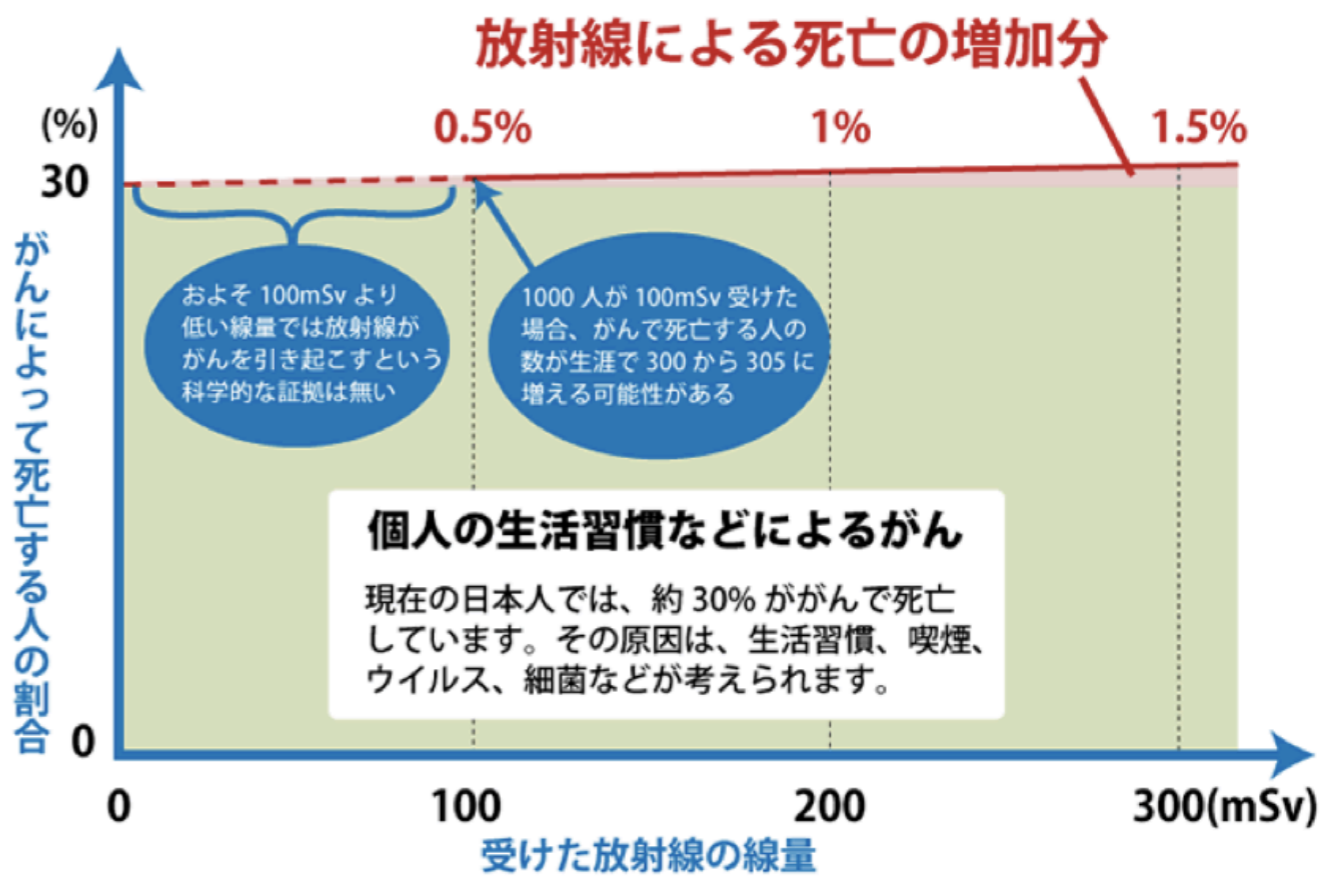
表2 低線量、低線量率放射線被ばくに伴う
がん死亡の生涯リスク(ICRP1990)

(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

放射線によるがん・白血病の増加



ICRP 1990 の勧告値

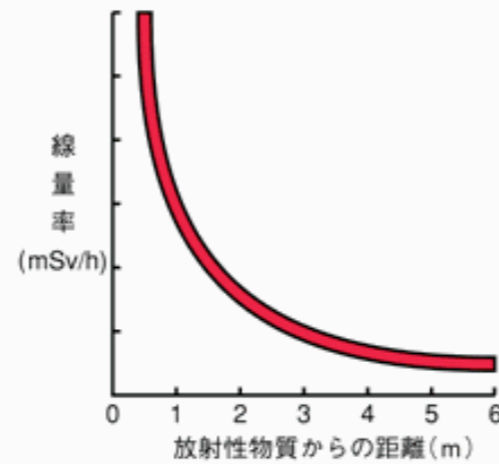
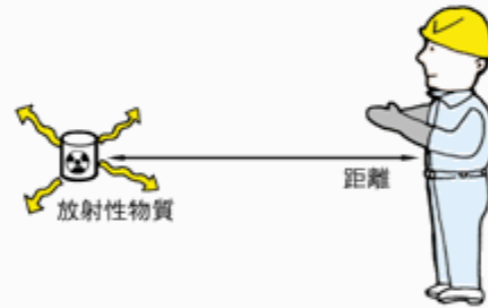
100 mSv の被曝で人口あたり 0.5% の増加 (LNT仮説)

喫煙によるリスクより遥かに小さい。

放射線防護

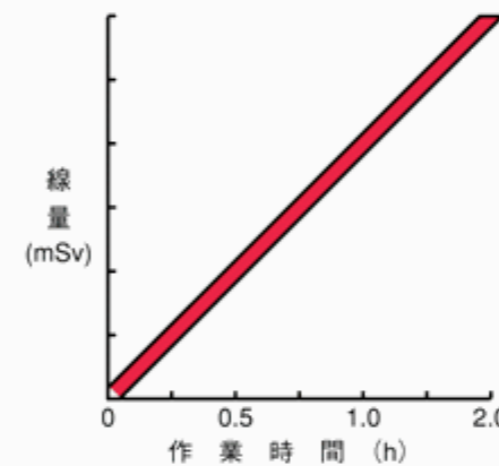
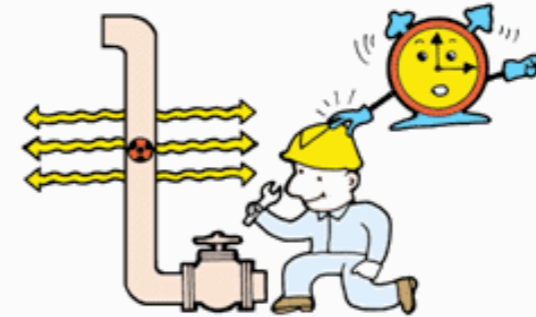
● 距離による防護

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



● 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

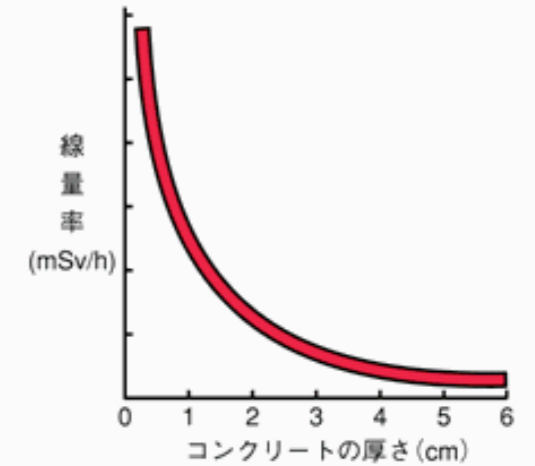
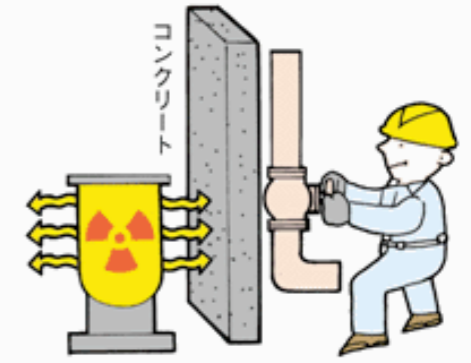


図1 遮へい3原則の図

[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	5 mSv / 3月
妊娠中の女子	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

	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。
- 2) 1980年のブライトン声明で300mSv/年から150mSv/年に下げた。
- 3) 1978年のストックホルム声明で追加された。

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5mSv/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。
- 3) 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。

ICRP 勧告

公衆被曝（一般公衆）

実効線量	1 mSv / 年
等価線量	
水晶体	—
皮膚	—

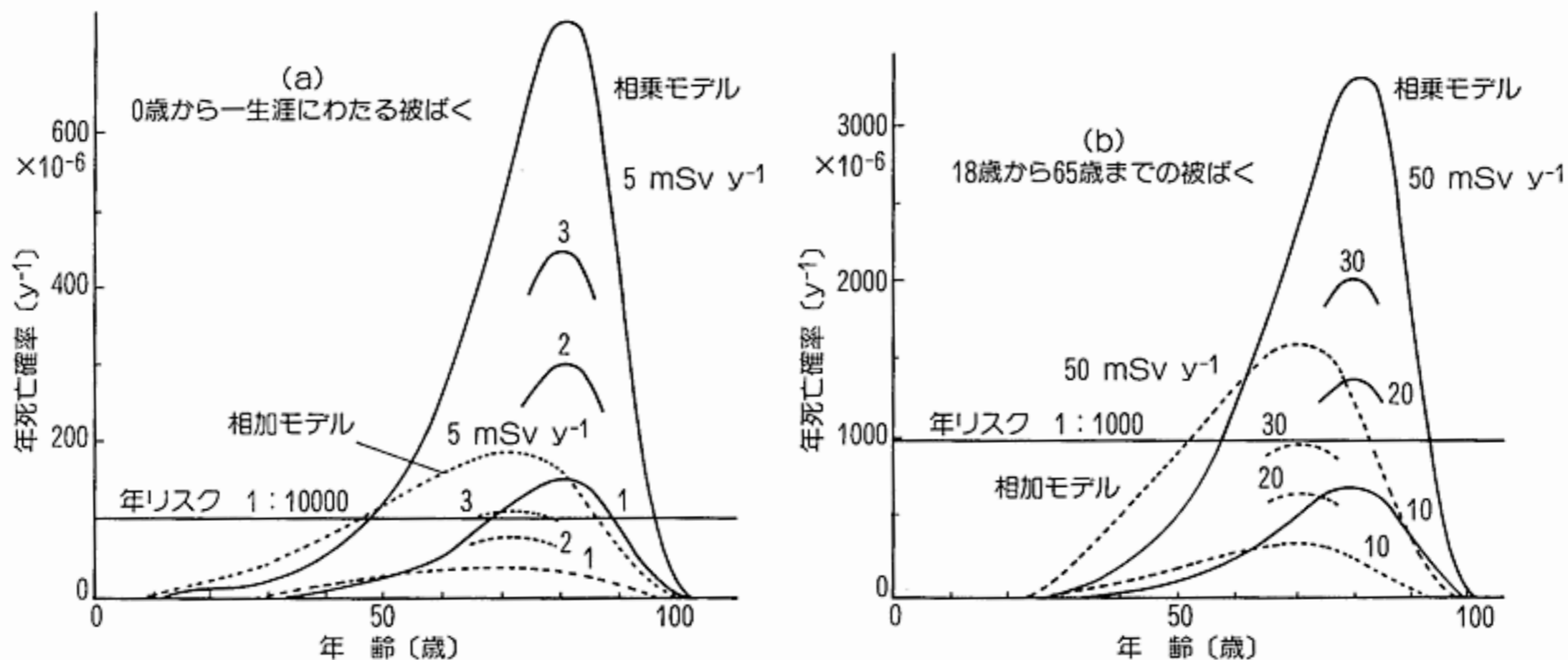
〔出典〕（1990年ICRP新勧告と1977年ICRP勧告における線量限度値対照表）

〔「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〕

国内法令による防護基準

公衆被曝（一般公衆）

職業被曝（作業者）



a)誕生から一生涯にわたる被曝 及び b)18歳から65歳までの被曝
それぞれ女性について計算したもの。線量及び線量率効果係数(DDREF)は2と仮定。

図2 生涯死亡率（無条件年死亡率）

〔出典〕 ICRP Publication 60 "Recommendation of International Commission on Radiological Protection", (邦訳:日本アイソトープ協会)、附属書C(図C-9)から引用

コメント

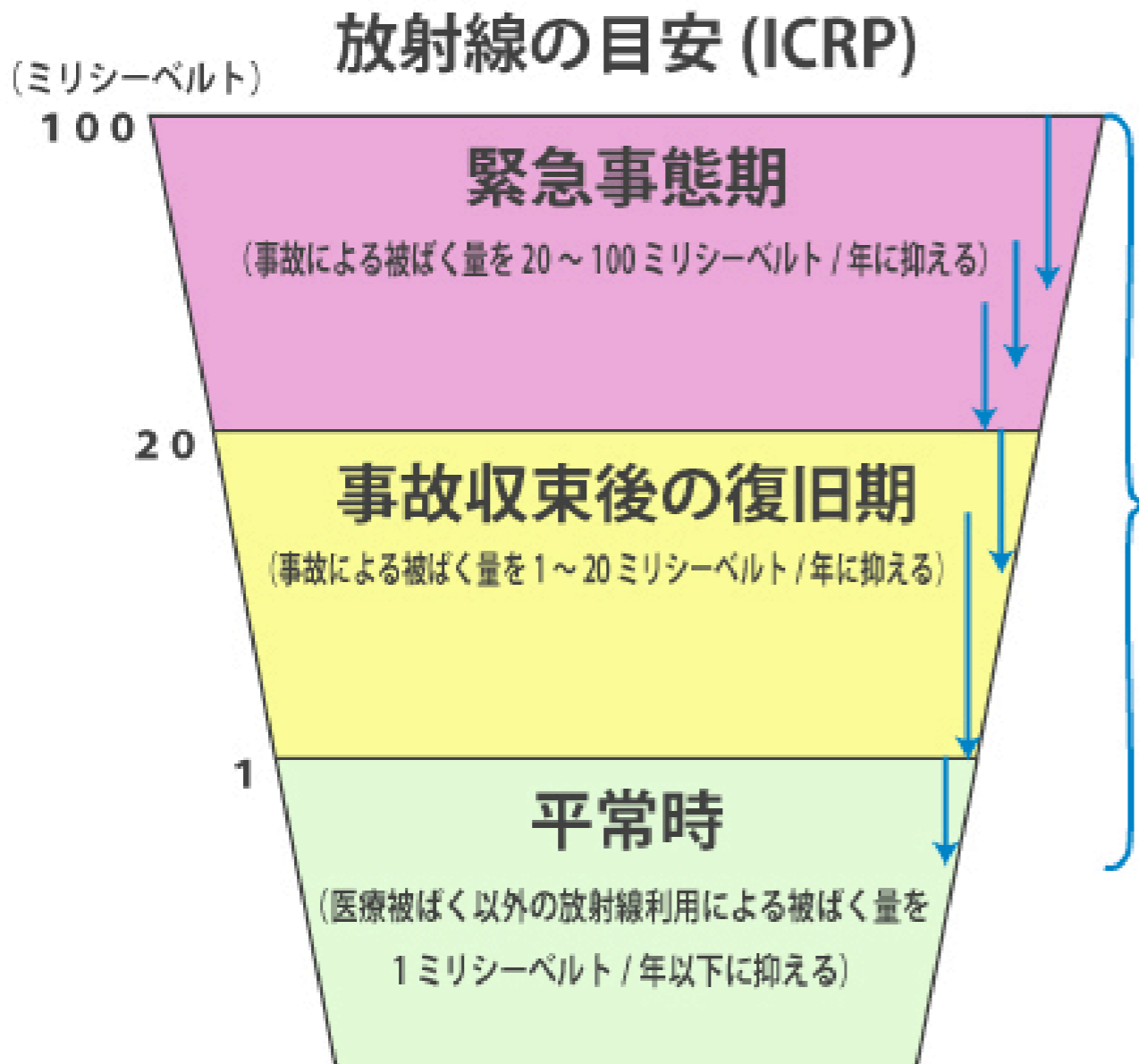
LNT（線形閾値なし）仮説はあくまでも放射線あるいは環境化学物質に対する基準の策定に必要な防護の具体的数値を算出するための仮説として提出されたもので、メカニズムの面からは必ずしも支持されるわけではない。

佐渡敏彦ほか「放射線および環境化学物質による発がん：本当に微量でも危険なのか？」（医療科学社）

等価線量も実行線量も、放射線防護の目的にのみ使用できる量である。つまり、放射線を利用する計画に伴う将来のリスクを予測評価するための目安であって、すでに受けてしまった放射線曝露から個人が受けるリスク（たとえば、将来がんを誘発する可能性）を評価するために用いるべきではない。

Q. 政府が計画的避難地域を指定しましたが、基準になっている20ミリシーベルトの意味について教えてください。

A. 国際放射線防護委員会(ICRP)は専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う国際学術組織ですが、今回の基準は、このICRPの勧告を基に原子力安全委員会の助言を得て定められたと報道されています。

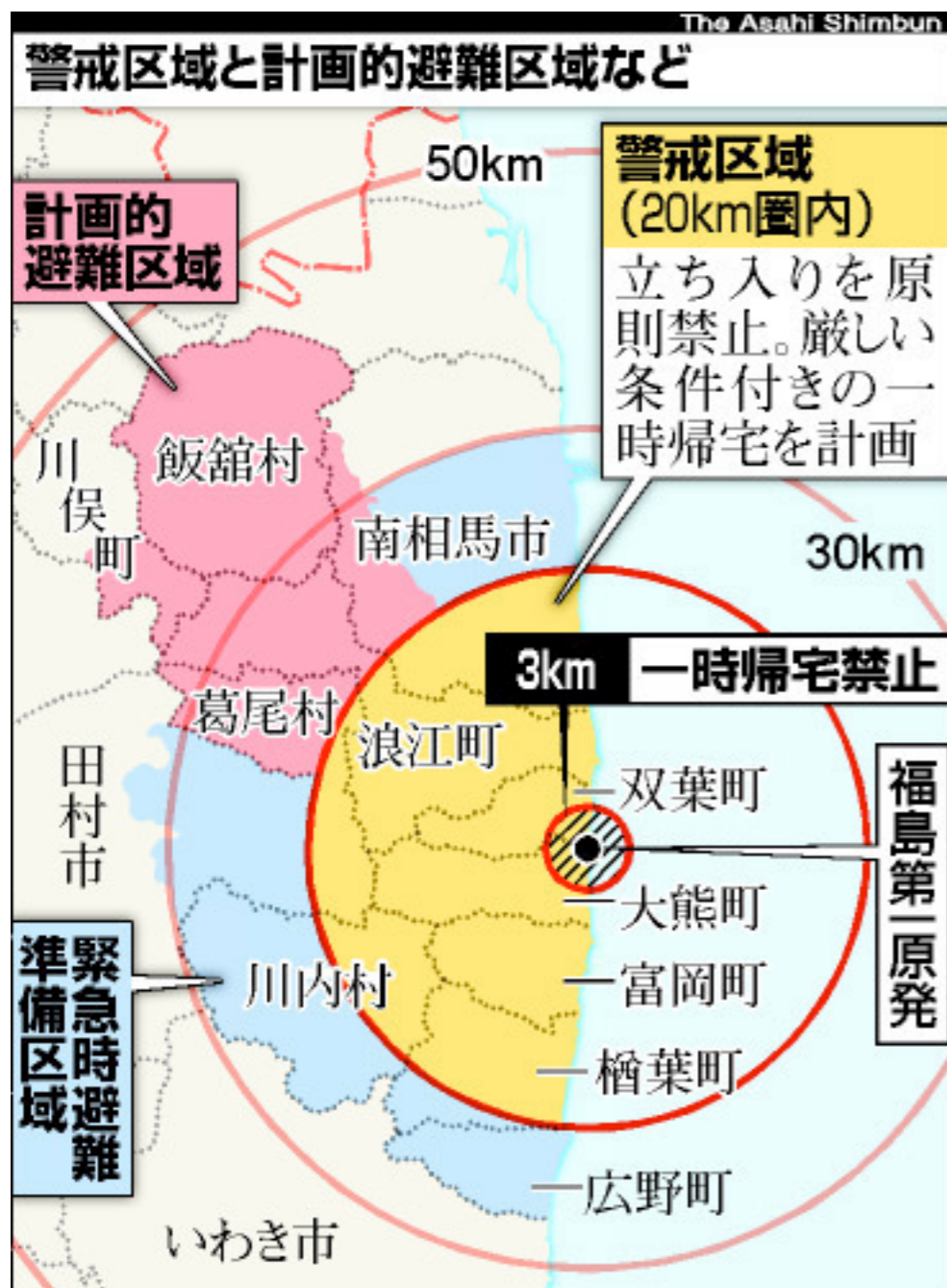


ICRPの2007年勧告では、非常時の放射線の管理基準は、平常時とは異なる基準を用いることとしています。

また非常時も、緊急事態期と事故収束後の復旧期を分けて、以下のような目安で防護対策をとっています。現在の福島第一原子力発電所の状況は、緊急事態期に当たります。

- * 平常時：年間1ミリシーベルト以下に抑える
- * 緊急事態期：事故による被ばく量が20～100ミリシーベルトを超えないようにする
- * 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ようにする

今回の国の方針は、緊急事態期の被ばくとして定められている20～100ミリシーベルトの下限値にあたるもので、福島原発周辺の方々の被ばくが、事故による被ばくの総量が100ミリシーベルトを超えることがないような対応をしつつ、将来的には年間1ミリシーベルト以下まで戻すための防護策を講ずることを意味していると思われます



飯舘村の住民のリスクは？

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

非日常の集団生活ストレス

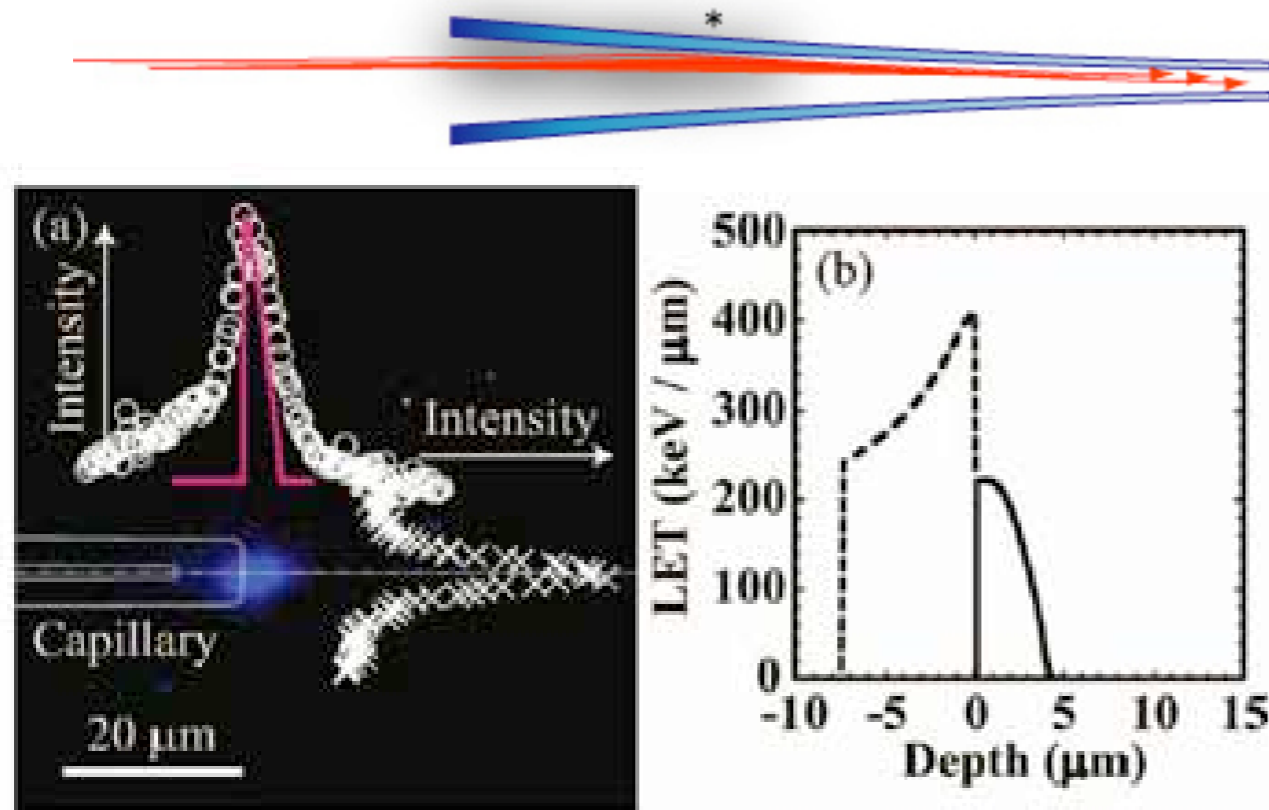
生業・収入の損失

年齢、家族構成、職業

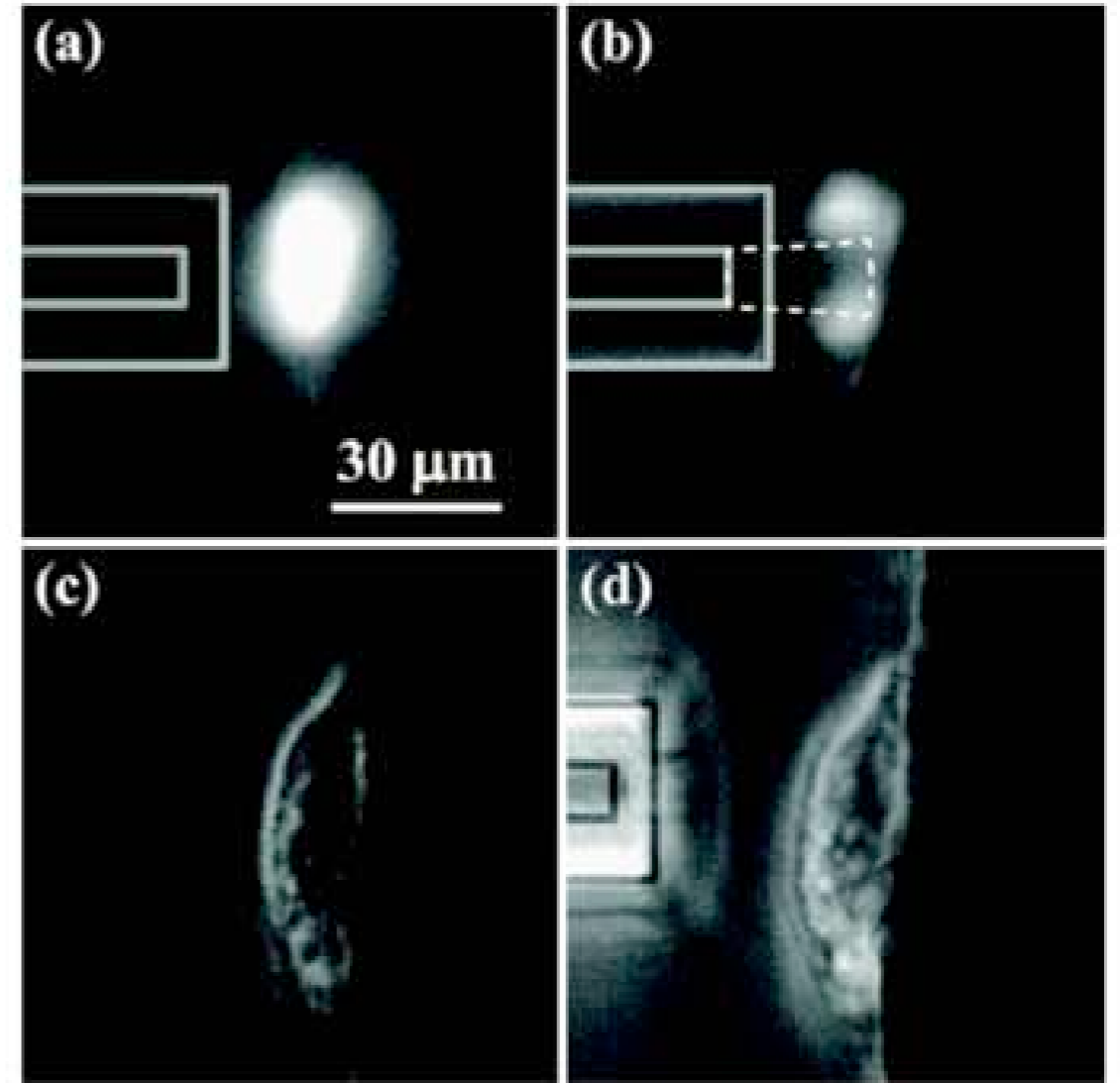
放射線生物学

イオンマイクロビームの 細胞照射

理研 山崎原子物理研
高知工科大



Y.Iwai *et al.* APL 92, 023509 (2008).



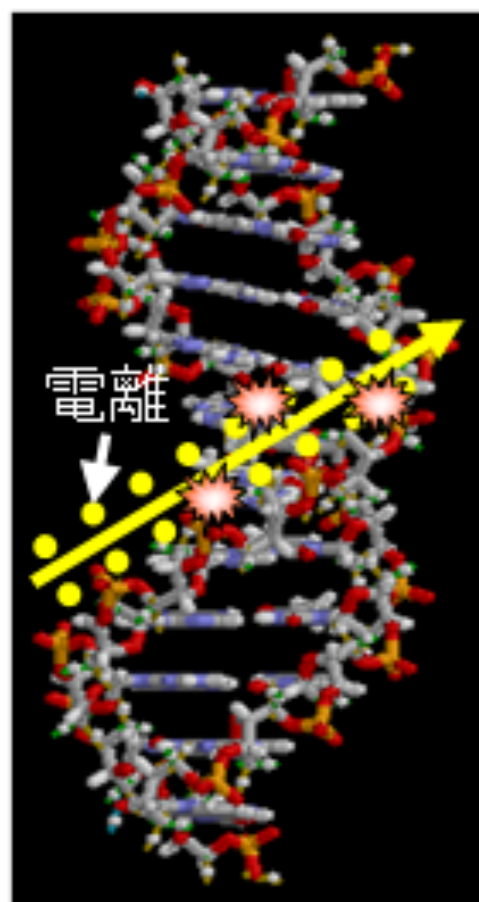
Y.Iwai *et al.* APL 92, 023509 (2008).

実際の細胞内の標的に照射した実験を紹介する。
標的はHeLa細胞の核で、核内にあるヒストン
(H2B) と、蛍光タンパク質 (green
fluorescent protein : GFP) との融合タンパク質
で核がラベルされ、楕円形に光っている：図(a)。

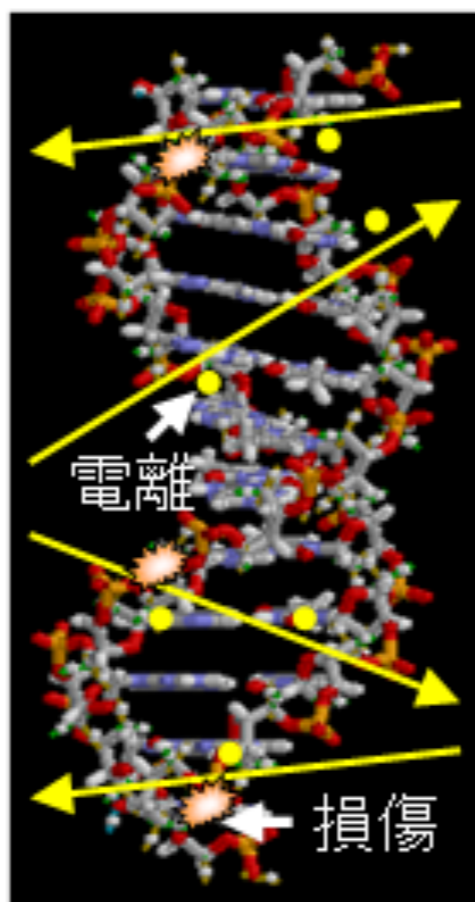
図：ヒストンとGFPの融合タンパク質でラベルされた核をもつHeLa細胞への
照射前と後の写真：蛍光イメージによる照射前 (a) と 4 MeV He 2+ イオンマ
イクロビーム照射後 (b) 、および位相差顕微鏡でのイメージによる照射前 (c) と
照射後 (d) : (d) では、照射が終了してガラスキャピラリー先端を細胞から離
したところ。また、(b) の点線領域はSRIM-2006によるシミュレーションで予
測した被照射領域。

図(b) は照射を始めてから約7秒後の蛍光イメージ。光っていた領域の内部に暗い領域が現われたが、これは
GFP分子内の蛍光を担っている部分がダメージを受けて被照射領域のみが退色したものと考えられ、核内の選
択的照射が行われたことを示している。

放射線による DNA 損傷



重イオン



電子

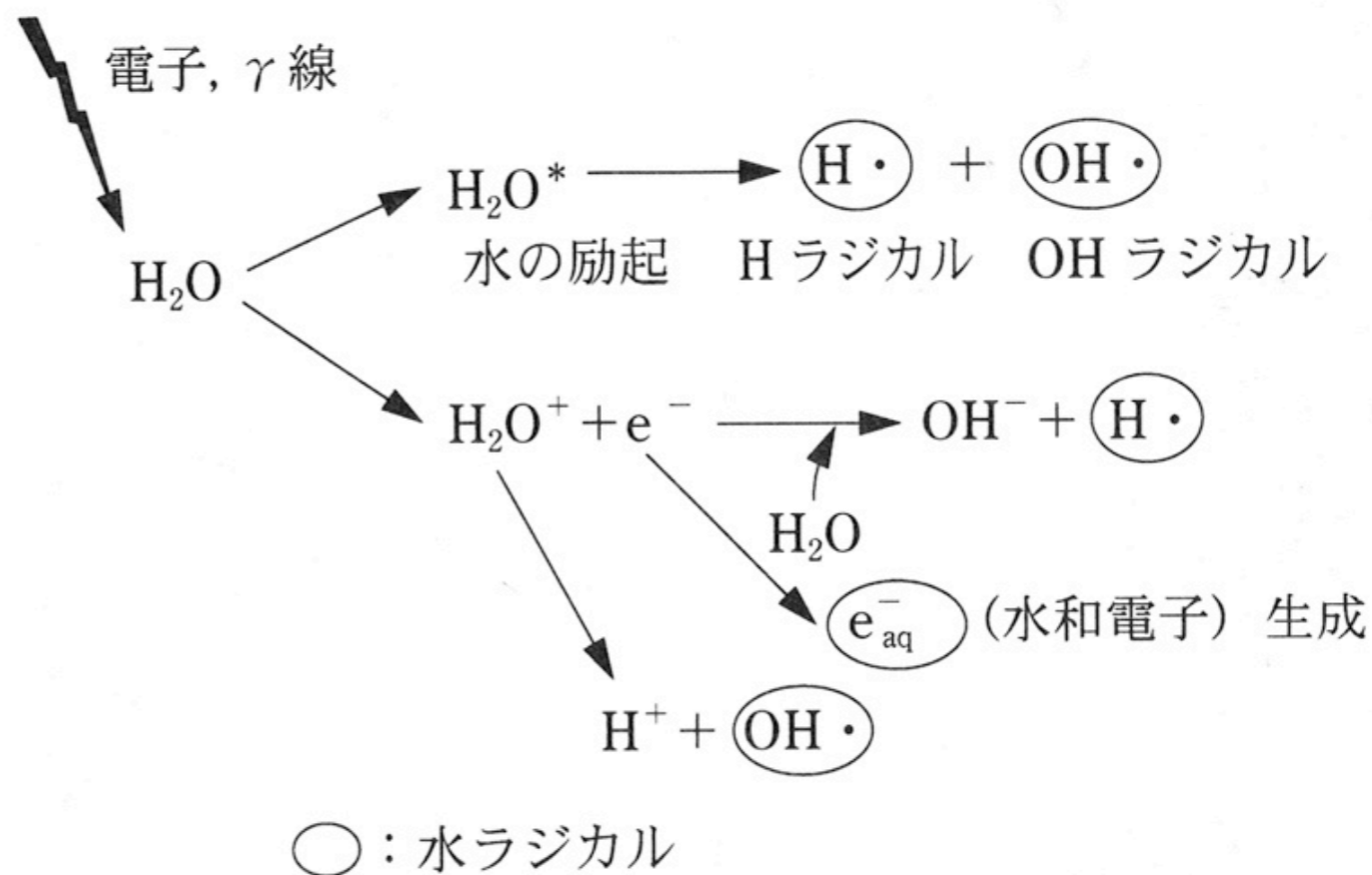
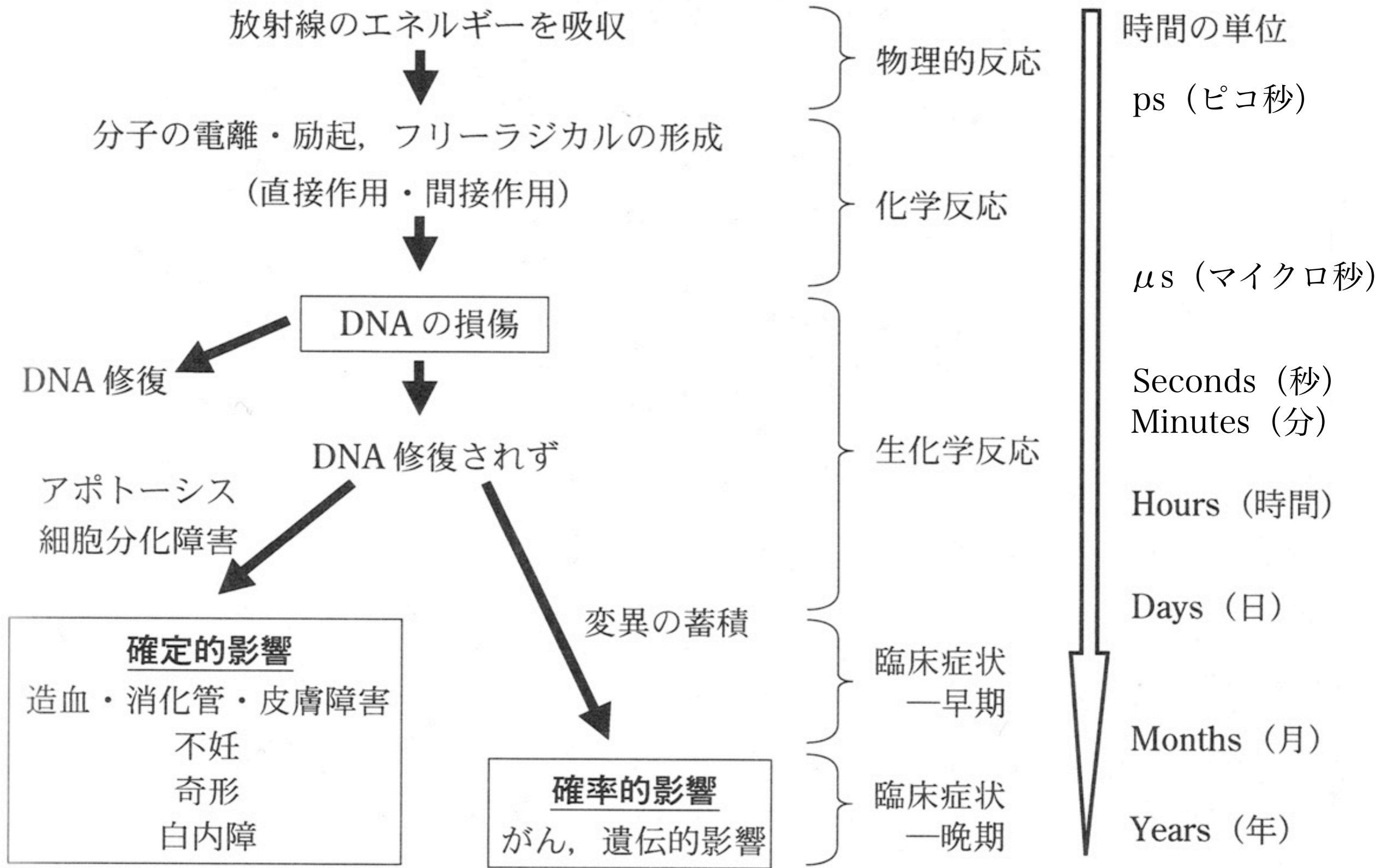


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

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

と間接作用 : 水の電離で生じるラジカルが DNA 分子に作用

高 LET 放射線



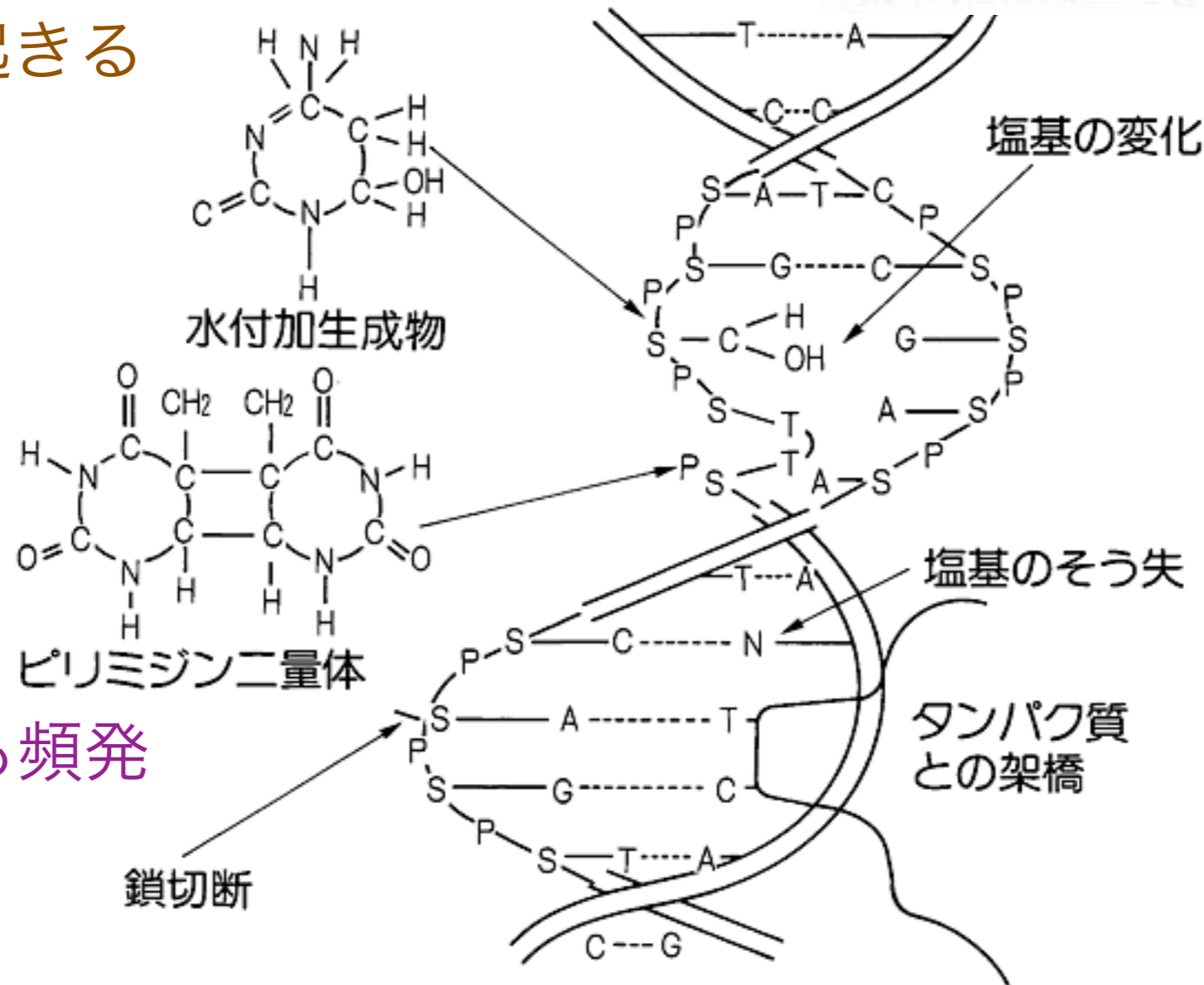
放射線被ばく後に起こる生体反応の経時的変化

何もなくても DNA 損傷は自然発生している (複製ミスなど)

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²⁾

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

特定の化学物質によっても DNA 損傷が起きる



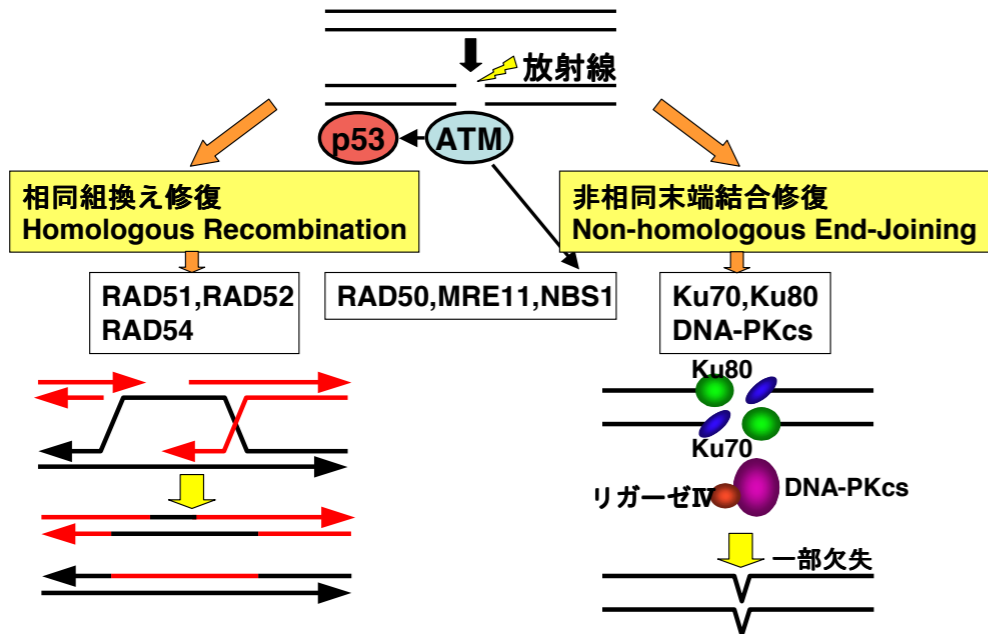
紫外線照射でも頻発

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

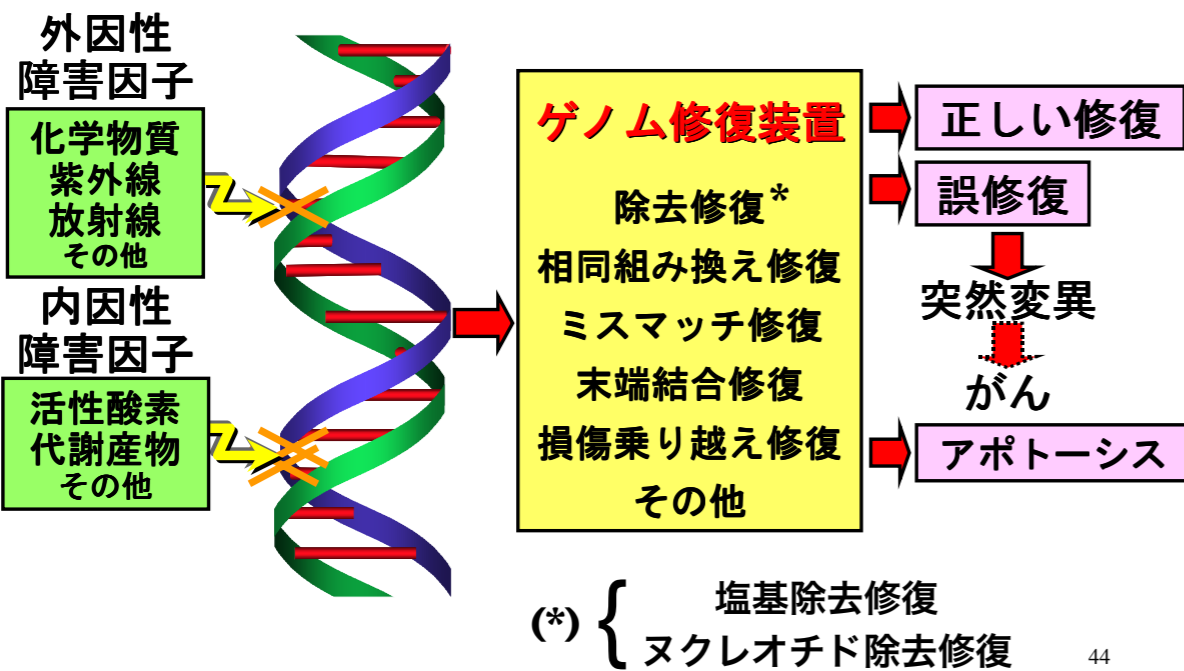
DNA 修復

DNA二本鎖切断の修復経路



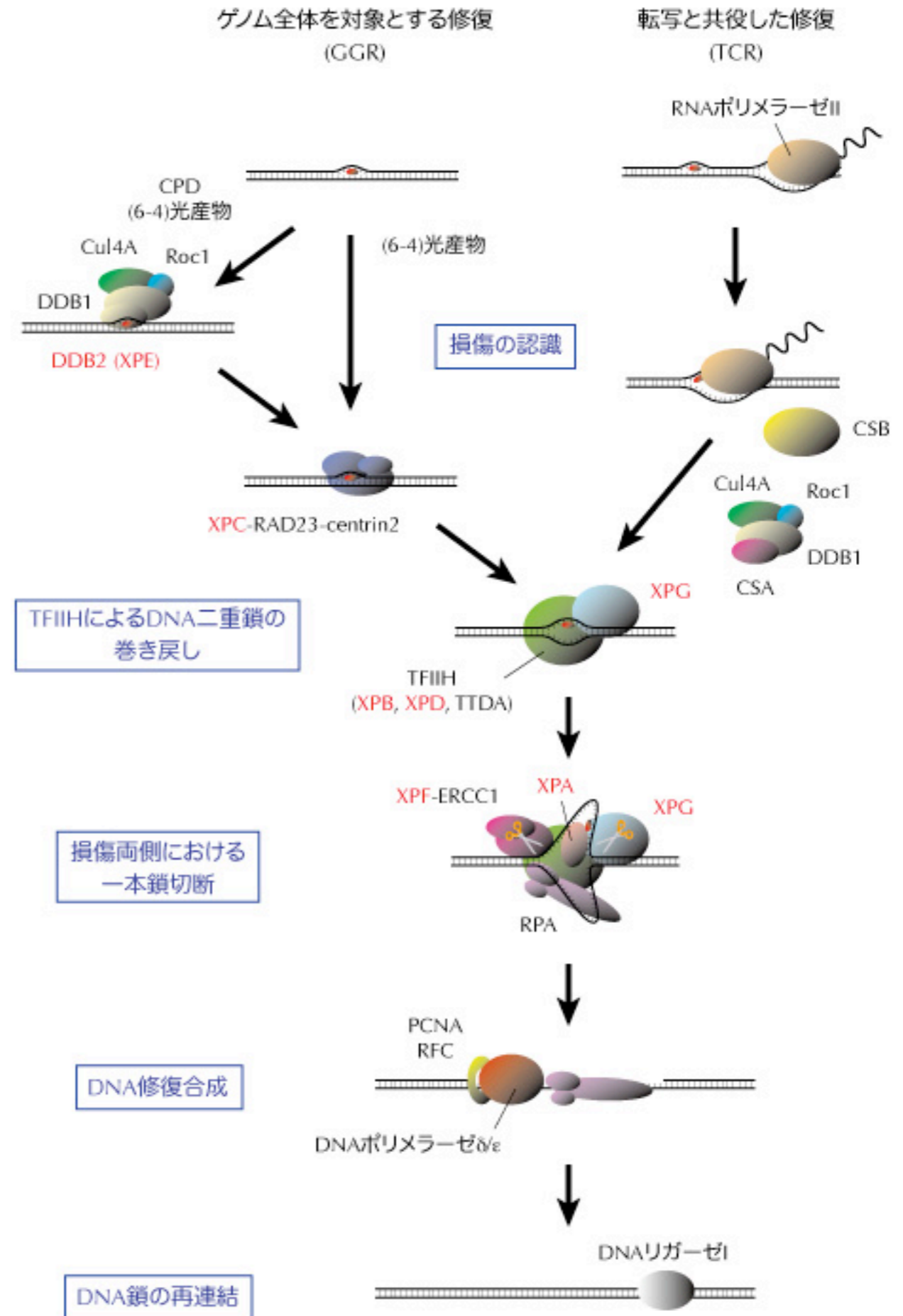
35

ゲノムのキズを修復するシステム



44

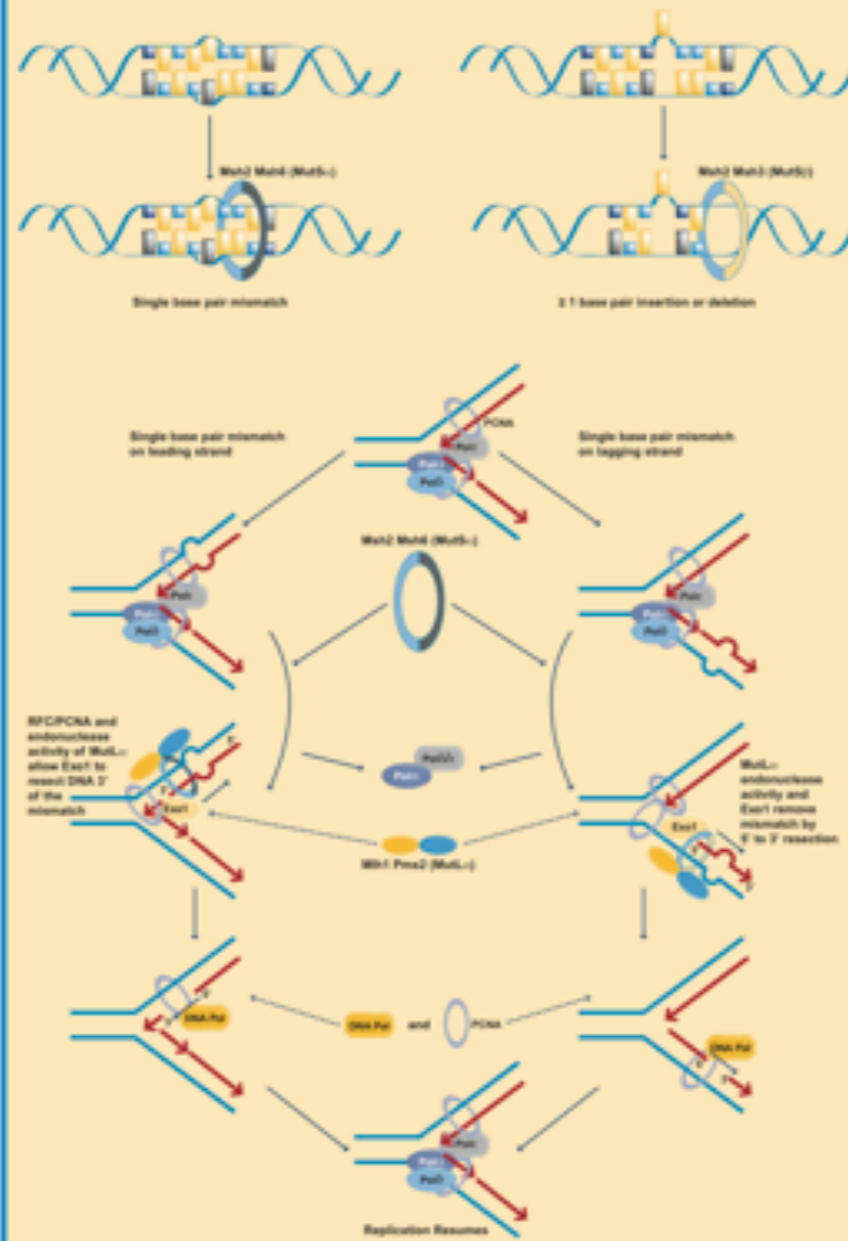
ヌクレオチド除去修復



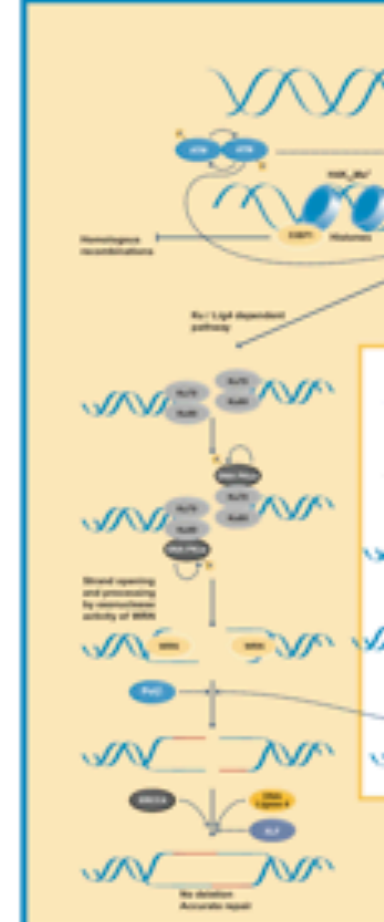
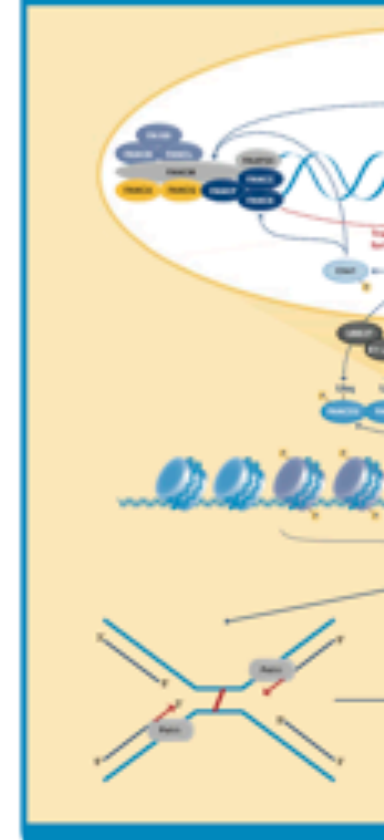
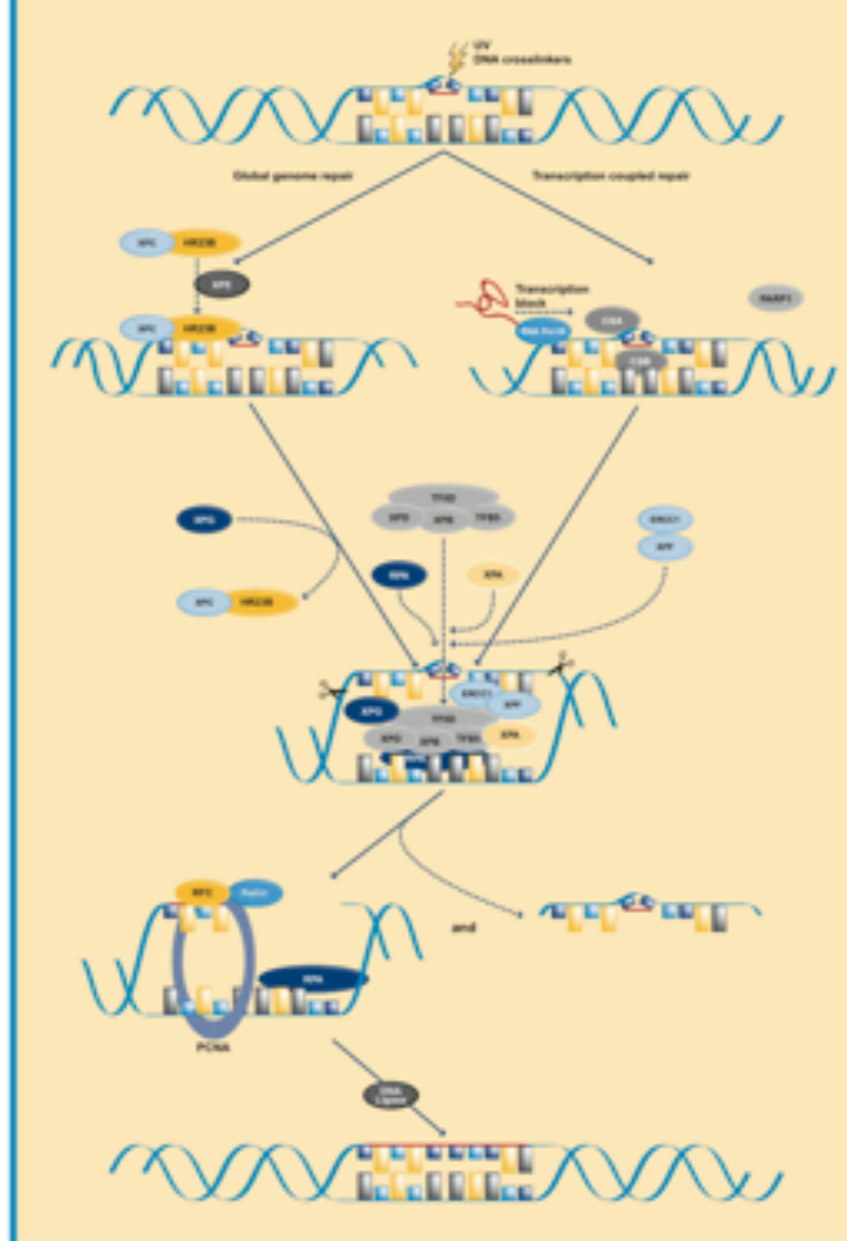


DNA Repair Pathways

Mismatch Repair



Nucleotide Excision Repair



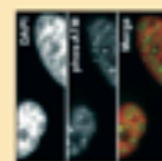
Featured DNA Repair antibodies



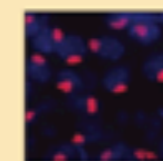
ab29 PCNA antibody
Formaldehyde fixed mouse tissue sections stained with ab29 at 1/6000 dilution.



ab32138 PARP antibody
Paraffin-embedded sections of human brain stained with ab32138 at 1/25 dilution.



ab2888 ATM antibody
HeLa cells stained with ab2888 at 1/200 dilution.



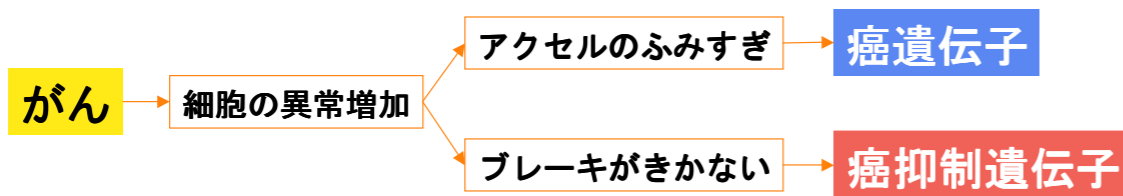
ab2893 gamma H2A.X (phospho 5139) antibody
Pachytene spermatocytes stained with ab2893 at 1/200.

「がん」とは

がんは遺伝子の病気である

がんは細胞が異常に増加することによって起きる病気である

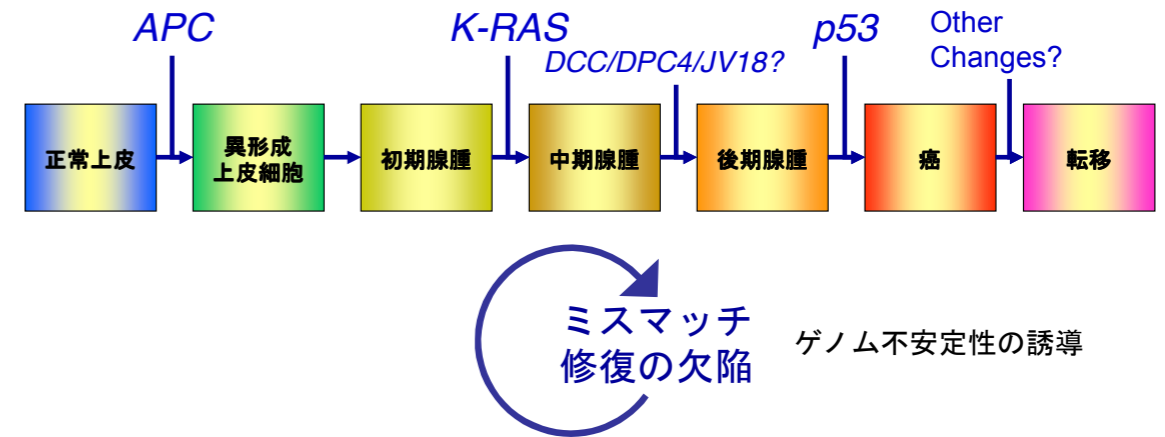
自動車の速度がアクセルとブレーキによって制御されている様に、細胞の増加速度も増殖のアクセルとブレーキによって制御されている



15

大腸癌の発症過程に対応した遺伝子変異

(多段階発がん仮説)



[Kinzler et al, Cell: 87, 159-170, 1996]

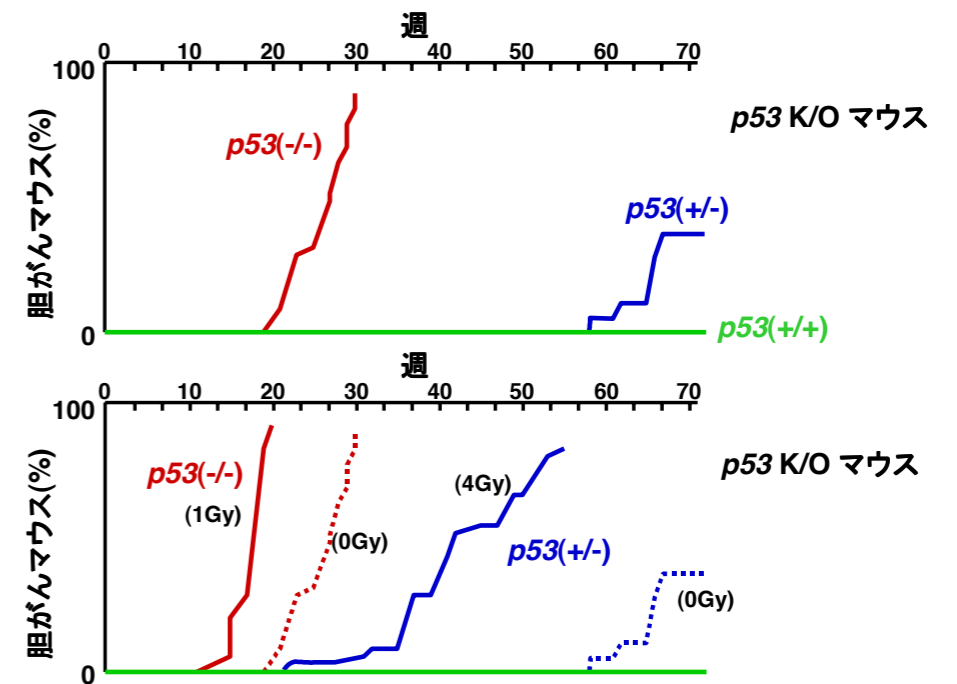
18

ヒト腫瘍での主な遺伝子の異常

腫瘍	がん遺伝子	がん抑制遺伝子
乳がん	erbB-2 myc	RB p53 BRCA-1,-2
大腸がん	K-ras	APC p53 DCC SMAD2
肺がん	myc L-myc N-myc	p53 RB 3p21
胃がん	erbB-2 K-sam K-ras met	1q 12q p53

16

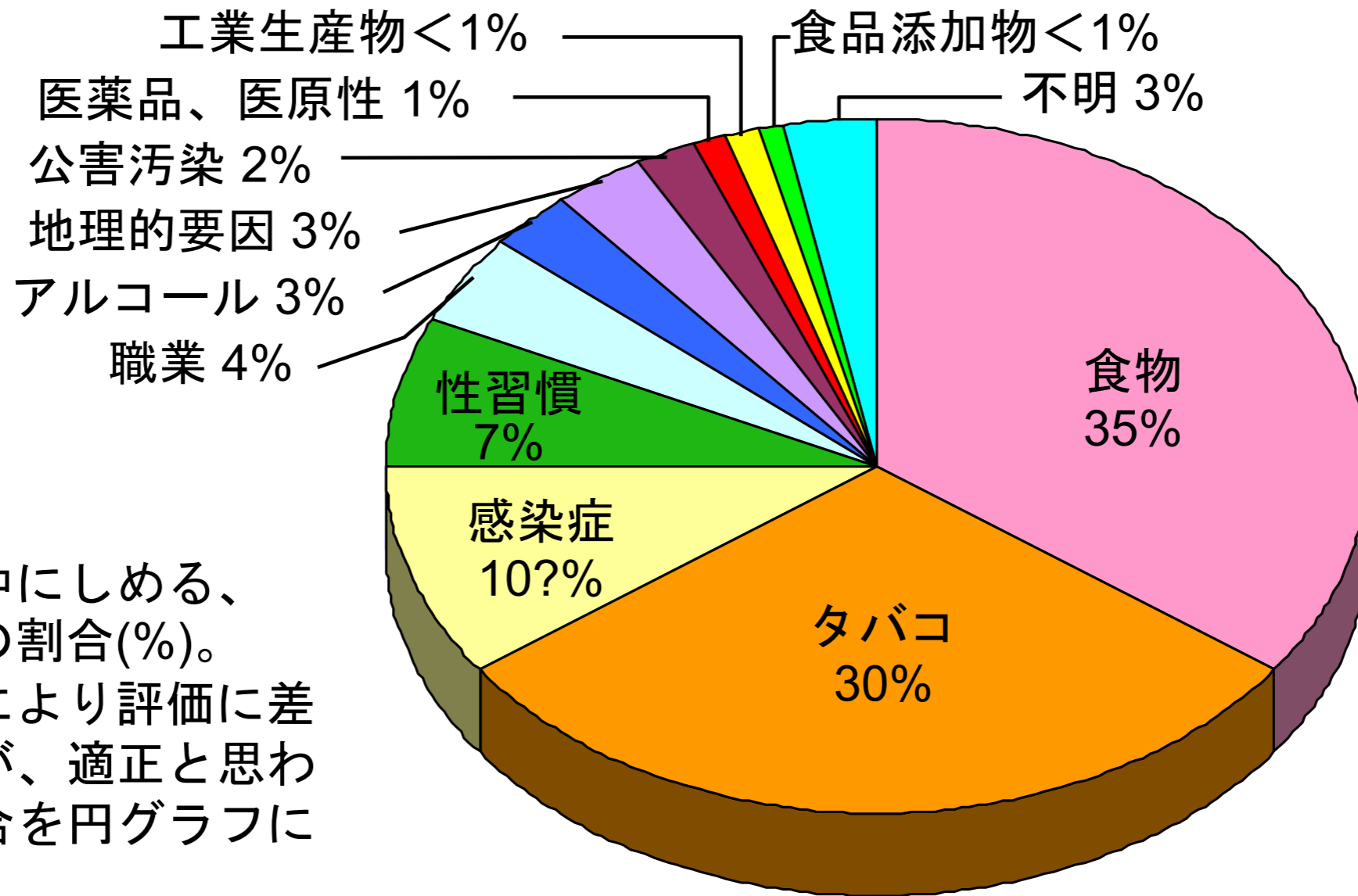
放射線発がんに対する遺伝的感受性



[Kemp et al, Nature Genet., 8, 66-69, 1994]

43

ヒトのがんの原因と関連のある因子



がん死中にしめる、
各因子の割合(%)。
研究者により評価に差
があるが、適正と思わ
れる割合を円グラフに
示した。

(R.Dool and R.Peto, 1981)

放射線医療

CT scan !!

CTDI

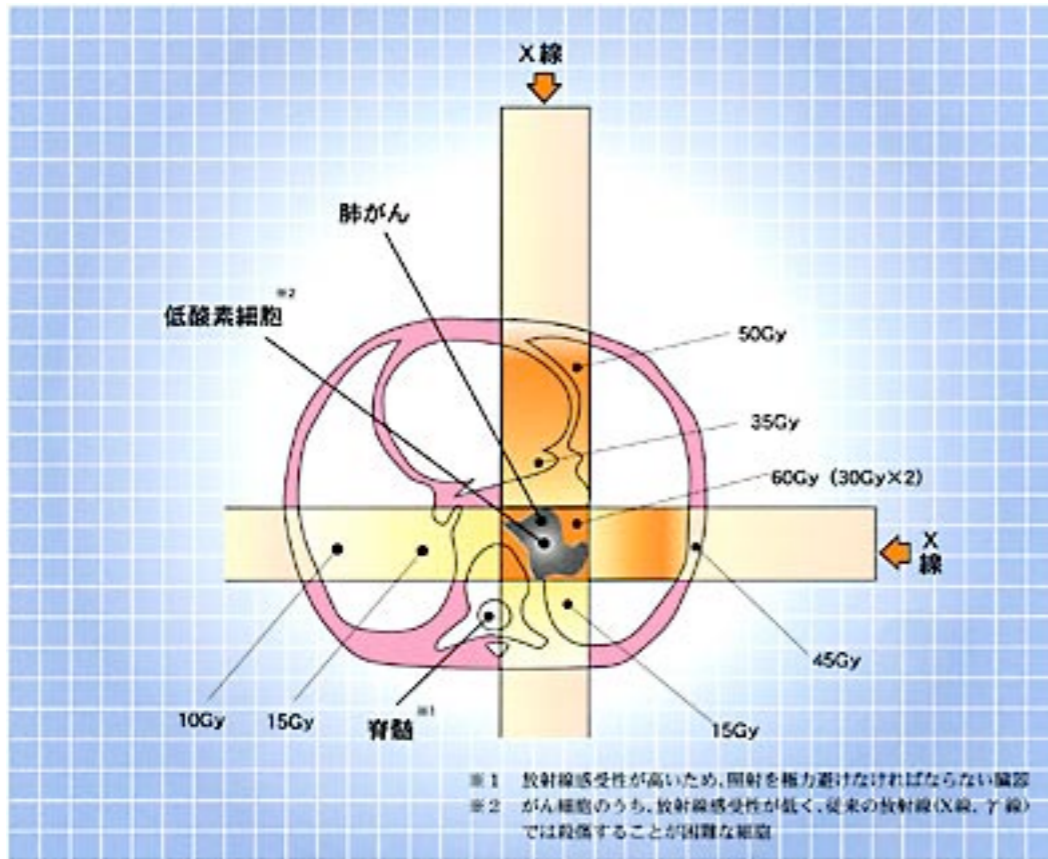
DLP

H_T / E

医療（診断・治療）には線量限度がない！

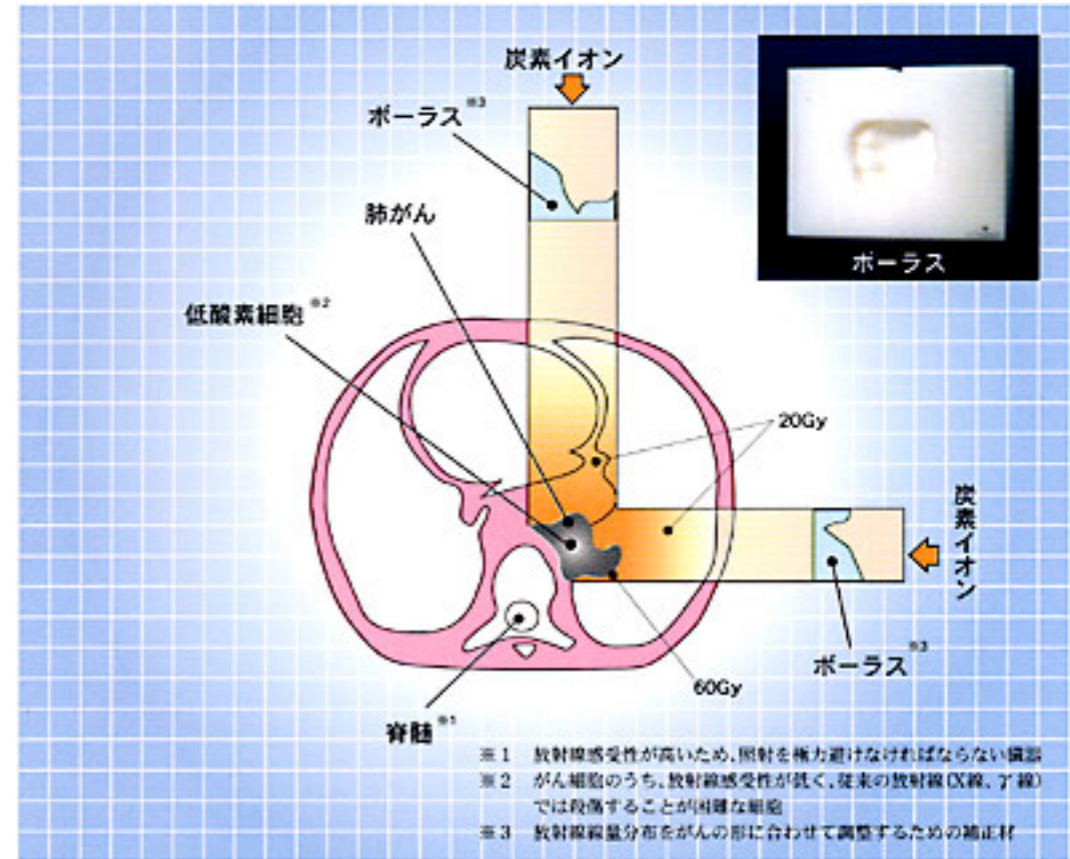
放射線 がん治療

X線

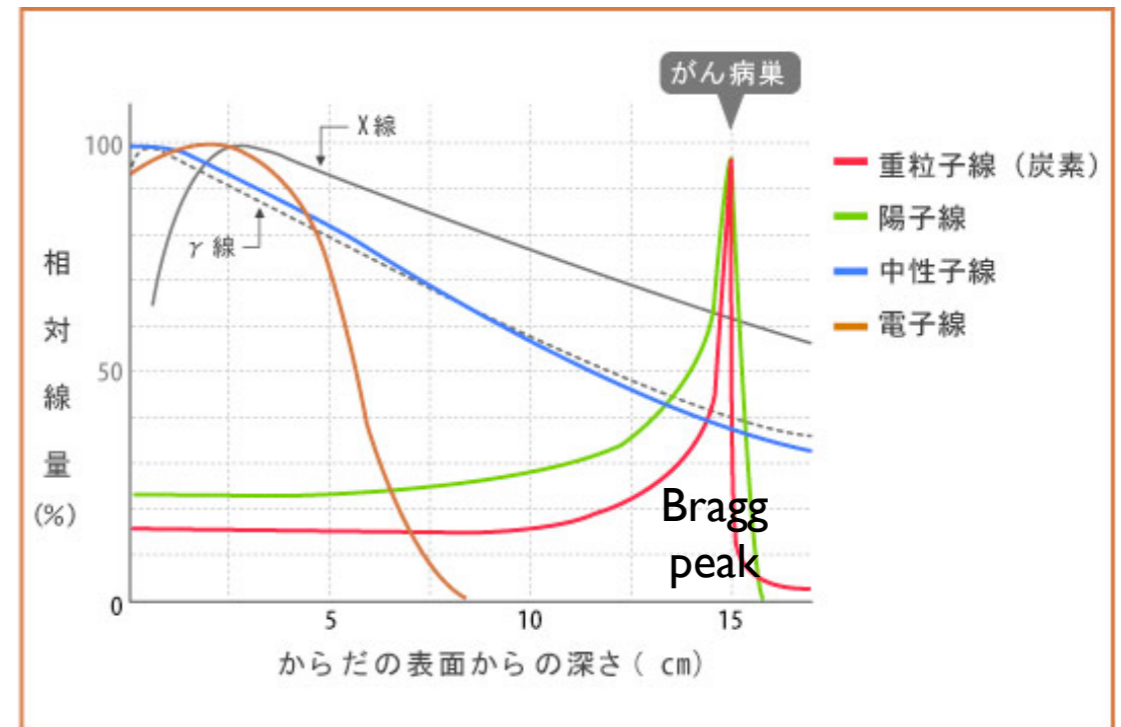


数 Gy を複数回

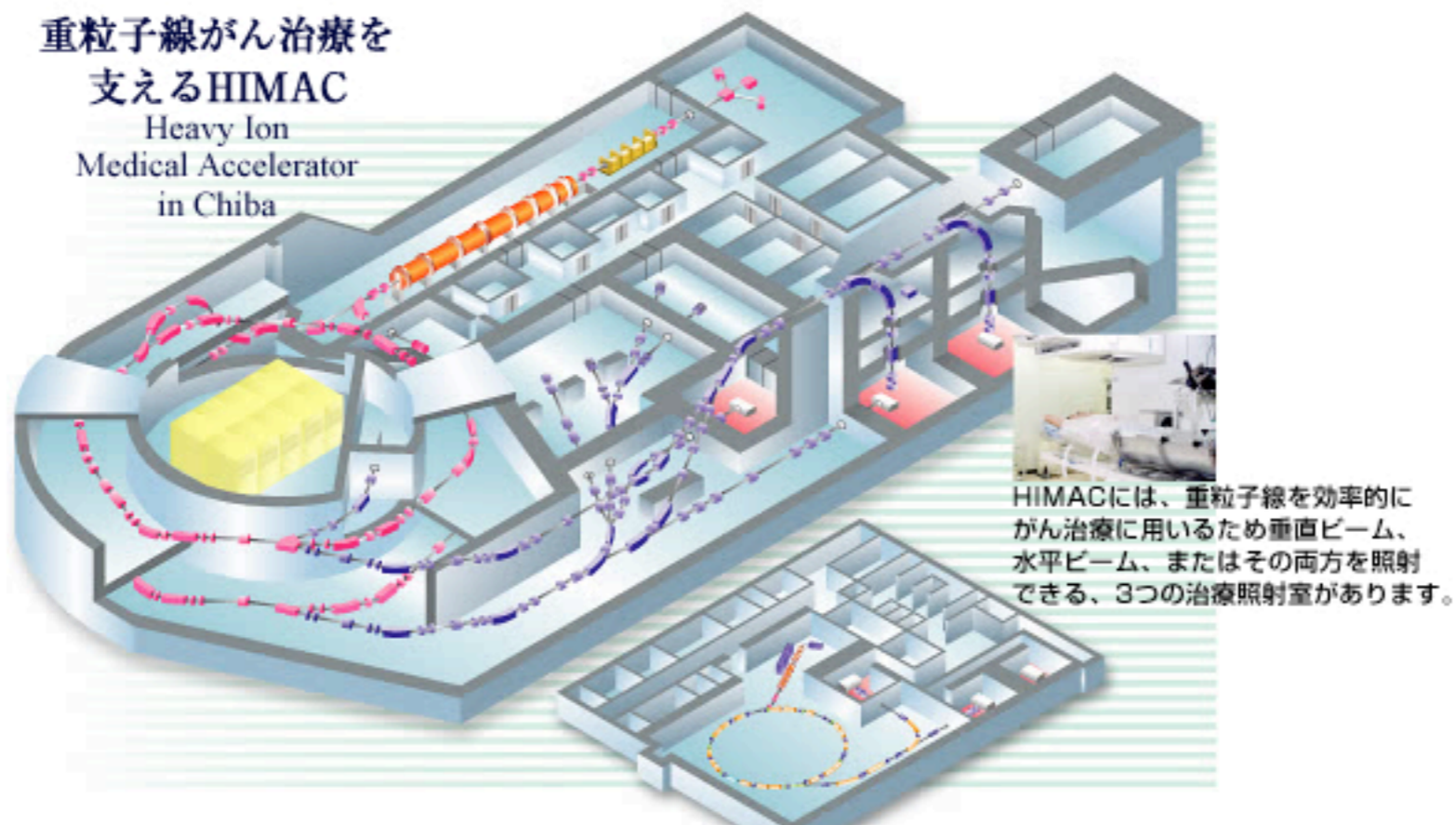
重粒子線 (炭素イオン)



他には：ガンマナイフ、
陽子線、パイ中間子
研究中：反陽子



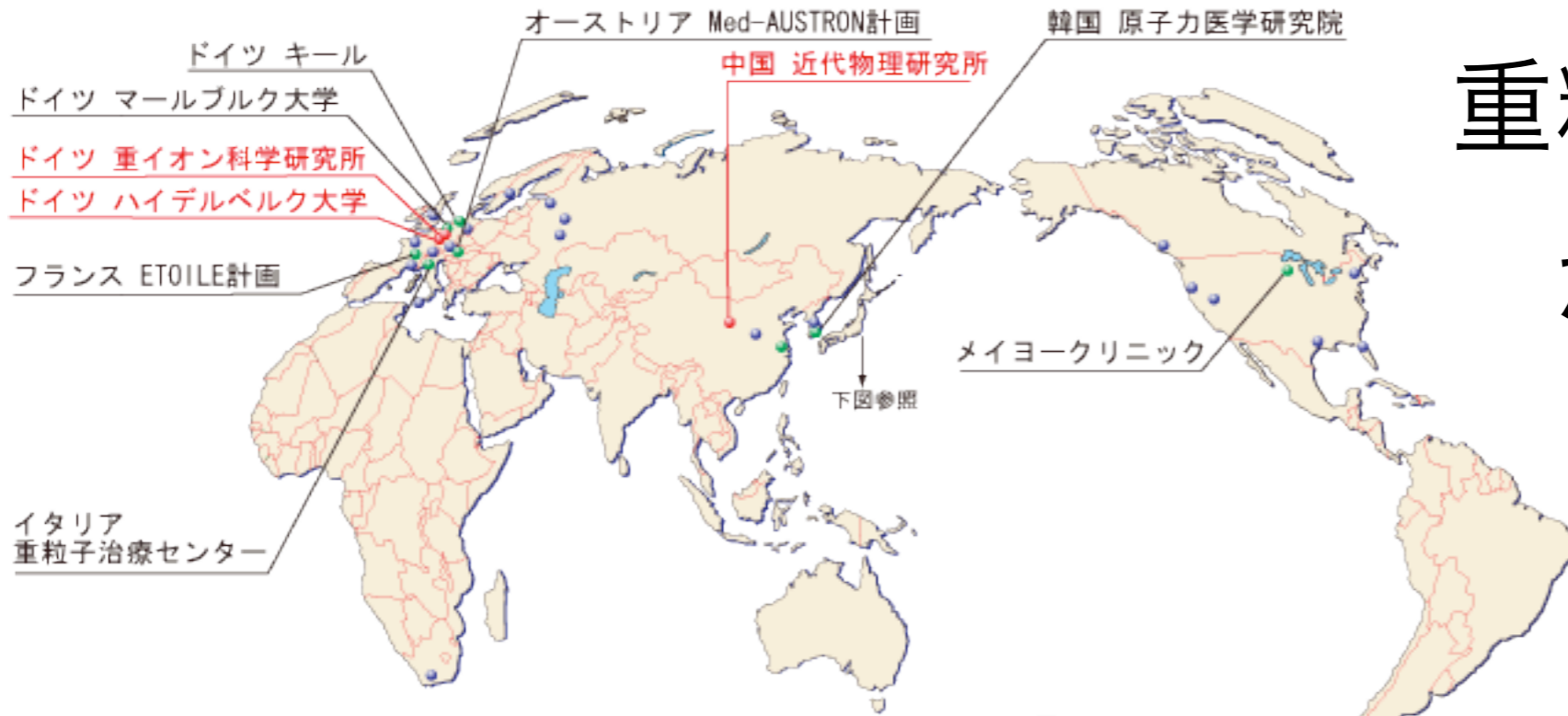
放射線医学総合研究所（千葉）



■小型重粒子線がん治療装置

放医研における装置小型化開発研究の成果は、2006(平成18)年度から建設が開始される群馬大学の重粒子線がん治療装置に採用されています。放医研は群馬大学に装置を建設するための技術的な支援を行っています。

重粒子線・陽子線 がん治療施設



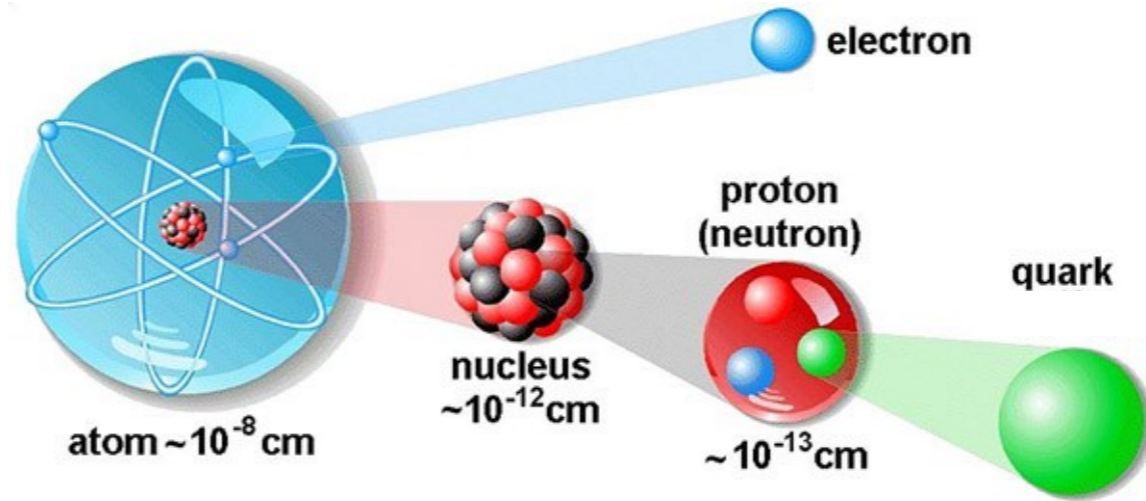
- 重粒子線施設
- 重粒子線施設(建設・計画中)
- 陽子線施設



- 重粒子線施設
- 重粒子線施設(建設・計画中)
- 陽子線施設
- 陽子線施設(建設中)

fine

自主講義 放射線学



放射線を学ぶ

原子力発電所の事故が連日トップニュースで報じられ、世界中が放射能汚染に対しヒステリックなまでに反応している現在、我々には放射線に対する正しい科学的リテラシーが求められています。

一方で、放射線に関する学問は多分野にわたり、大学などで系統立って教えられる機会は非常に限られています。放射線に対する知識不足が、必要以上の不安と混乱を引き起こしている現状があります。

そこで今回、教養学部物理部会に所属して粒子線物理学を専門とする鳥居助教が講師となって、自主講義を企画することにしました。急遽の講義開催決定により正規の授業として組み込むことができなかったため、受講しても単位は出ませんが、意欲ある皆さんの参加を期待します。

講義内容

放射線とは？

放射線と放射能の単位(シーベルト、ベクレルなど)

放射線と物質との相互作用《放射線物理学》

放射線の測定《放射線計測学》

放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》

原子核の壊変《原子核物理学》と核分裂反応《原子力工学》

放射線の利用(放射線診断・治療、分析、年代測定)

高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》

講師 鳥居 寛之 教養学部物理部会 助教

講義日程

第1回 5/10(火)

第2回 5/17(火)

第3回 5/24(火)

第4回 5/31(火)

第5回 6/7(火)

第6回 6/14(火)

5/10
火曜5限
開講

場所・時間

11号館1101教室

火曜5限16:20~17:50

対象

主に1, 2年の理系が対象ですが、意欲のある文科生や3年生以降も歓迎します。