

新刊書籍 発売！ 2012年10月10日 刊行

「放射線を科学的に理解する
— 基礎からわかる東大教養の講義」

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著
中川恵一 執筆協力

丸善出版 本体 2500円＋税

- 1章 放射線とは？《放射線入門》
- 2章 放射線の性質《放射線物理学 I》
- 3章 原子力発電で生み出される放射性物質《原子核物理学・原子力工学》
- 4章 放射線量の評価《放射線物理学 II》
- 5章 放射線の測り方《放射線計測学》
- 6章 環境中での放射性物質《環境放射化学》
- 7章 放射線の細胞への影響《放射線生物学》
- 8章 放射線の人体への影響《放射線医学》
- 9章 放射性物質と農業《植物栄養学・土壤肥料学》
- 10章 放射線の防護と安全《放射線防護学》
- 11章 役に立つ放射線《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など、多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会は非常に少ないのが実情です。

本書は、東京大学教養学部で行われた講義をもとにし、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので、高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと願っています。

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



放射線を科学的に理解する

鳥居 寛之
小豆川勝見
渡辺雄一郎 著
中川 恵一
執筆協力

科学的に
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

東京大学教養学部 放射線講義 スライドのご案内

ごらんのファイル以外にも、別学期の講義シリーズのファイルがあります。

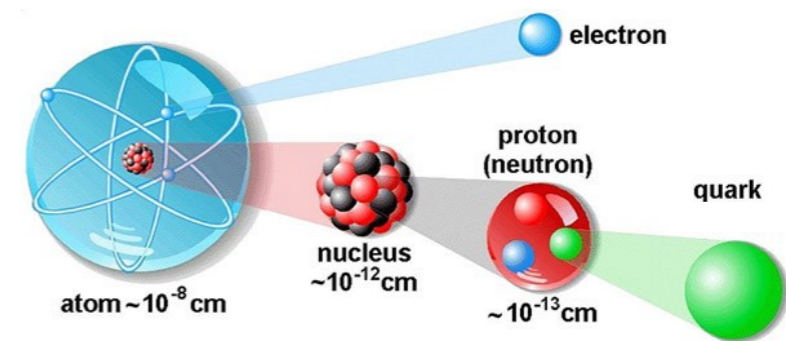
書籍「放射線を科学的に理解する — 基礎からわかる東大教養の講義 —」

とあわせて、どうぞご利用下さい。

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

2011年度夏学期
自主講義

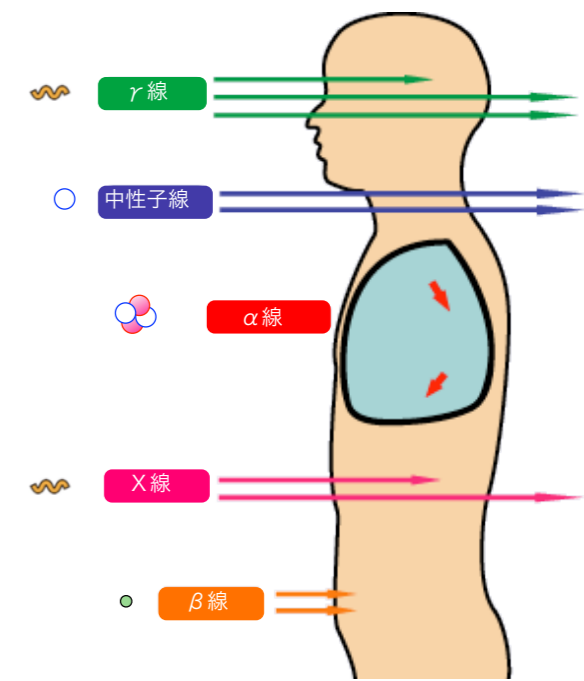
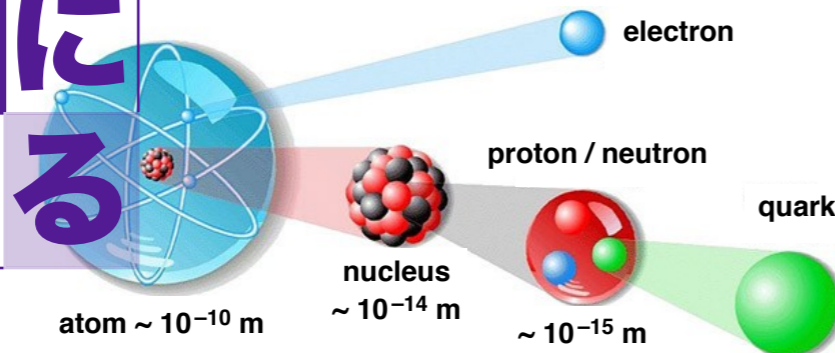
自主講義
放射線学



2011年度冬学期
主題科目テーマ講義

2012年度冬学期
主題科目テーマ講義

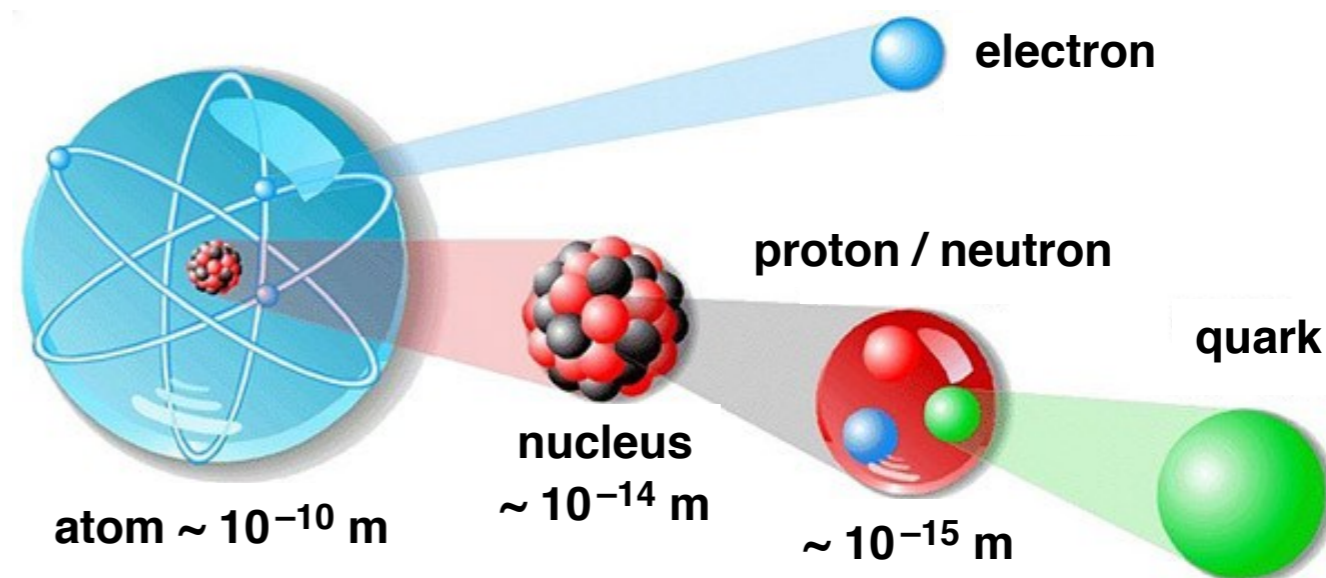
放射線を
科学的に
理解する



2011年度冬学期 主題科目テーマ講義

第13回：2012 / 1 / 27 (金)

放射線を
科学的に
理解する



金曜5限 @ 11号館 1101教室

加速器科学・まとめ

鳥居 寛之

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

放射線を科学的に理解する

- 10/ 7 放射線入門【鳥居】
- 10/14 放射線物理学【鳥居】
- 10/21 放射線計測学【小豆川】
- 10/28 環境放射化学【小豆川】
- 11/ 4 放射線生物学【渡邊】
- 11/11 放射線医学【中川】
- 11/18 原子核物理学【鳥居】
- 12/ 2 原子力工学【石渡】
- 12/ 9 放射線物理学【鳥居】
- 12/16 環境放射化学【小豆川】
- 1/10 植物栄養・土壌肥料学【藤原】
- 1/20 放射線の利用【渡邊】
- 1/27 加速器科学・まとめ【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

中川 恵一 《医学部附属病院放射線科》

石渡 祐樹 《工学系原子力国際専攻》

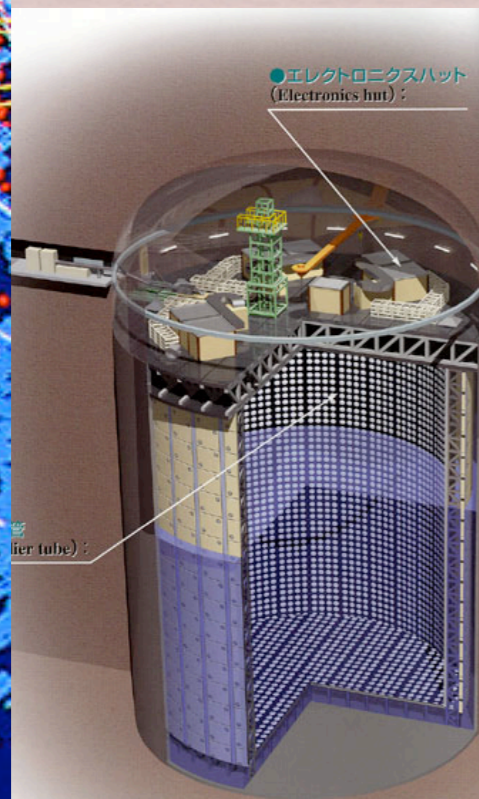
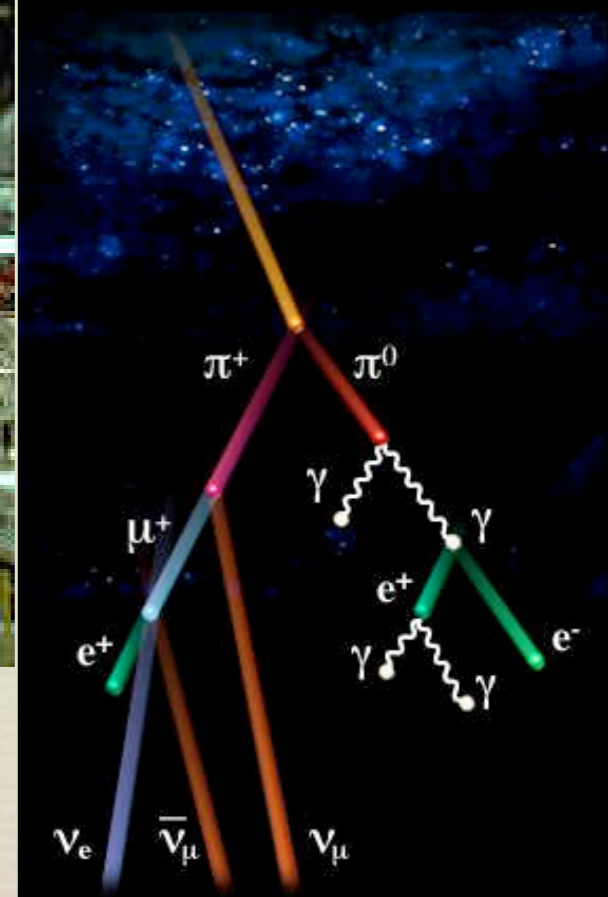
藤原 徹 《農学部応用生命科学》

ゲスト講師

第13回 (1/27)

- 高エネルギー物理学
- 加速器科学
- 素粒子物理学
- 放射線計測学

- これまでの講義のまとめ



高エネルギー物理学

～ 原子核物理学から素粒子物理学へ ～

■エックス線を発見



1895年、ドイツの物理学者レントゲンは、真空放電の実験中に黒いボール紙で覆われた放電管の電極からボール紙を通り抜け、目に見えないが写真乾板を感光させ、蛍光物質を光らせる性質を持った線を発見しました。この正体の分からないものを「ナゾの」という意味でx(エックス)線と名づけました。



ヴィルヘルム・レントゲン
(1845-1923)

■エックス線を発見

1896年、フランスの物理学者ベクレルは、写真乾板の上に薄い銅の十字架を置き、その上にウラン化合物の結晶を乗せて机の引き出しにしまってしまいました。後で乾板を現像すると、十字架の形がはっきりと写っていました。ウラン原子そのものに光を出す性質があると気づいた彼は、この線をベクレル線(後にアルファ(α)線とベータ(β)線であることが判明)と名づけ、発表しました。



アンリ・ベクレル
(1852-1908)

■放射性元素を発見

ベクレルの研究に刺激を受けたキュリー夫人は、夫のピエールとともにウランの性質を調べました。1898年にはウラン化合物の400倍もの感光作用を持つ新元素・ポロニウムを発見。この名前は、夫人の祖国であるポーランドにちなんでつけられた。彼女は、「放射線」「放射能」の名づけ親でもあります。



マリー・キュリー
(1867-1934)

■放射性元素を発見

イギリスの物理学者ラザフォードは、1903年に放射性物質のラジウムを使った実験で、原子の種類が変わるときに3種類の放射線が出ることを知り、それぞれにアルファ(α)線、ベータ(β)線、ガンマ(γ)線と名づけました。原子は変わらないと信じられていた当時、この発見は大きな波紋を投げかけました。



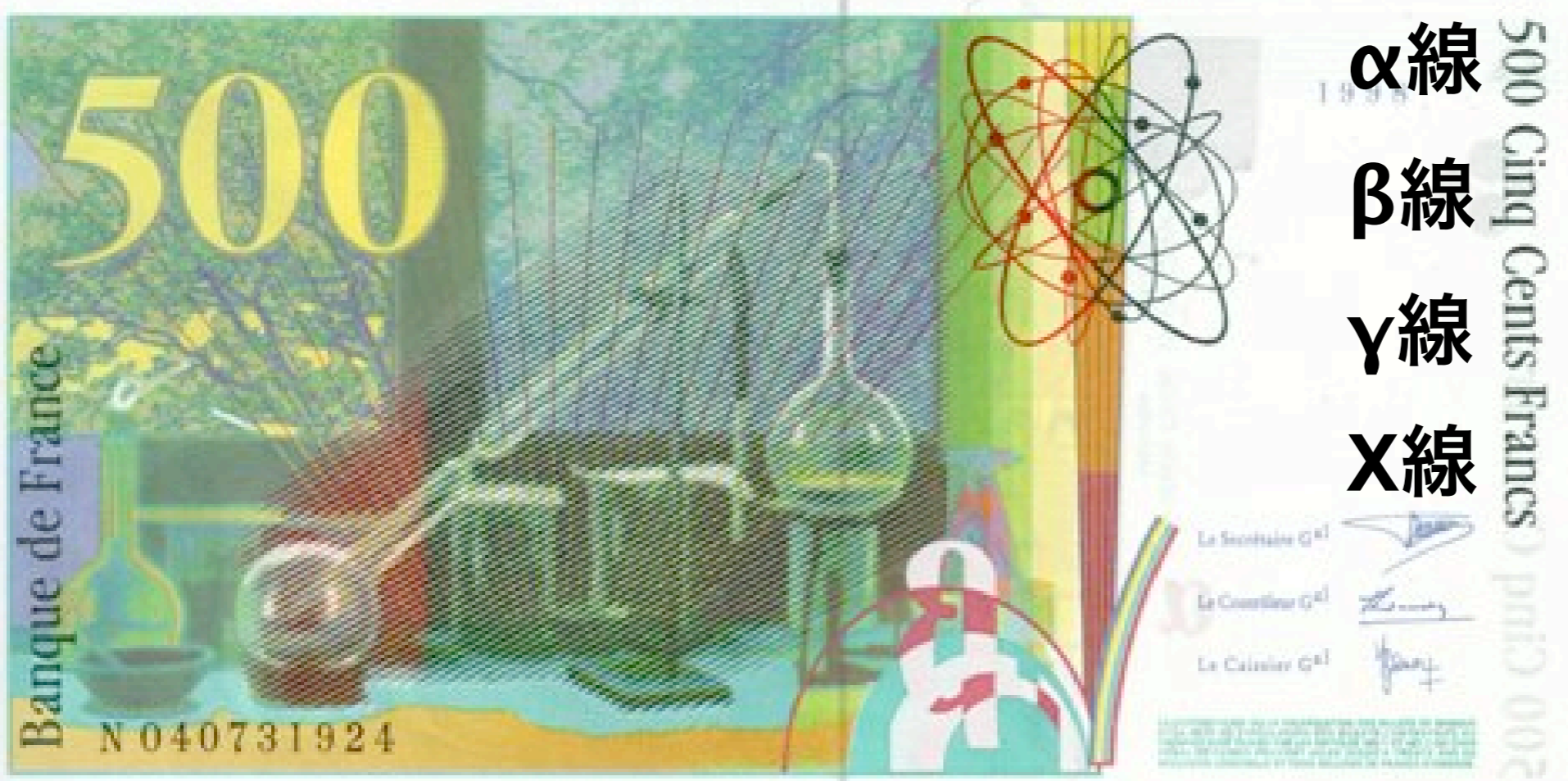
アーネスト・ラザフォード
(1871-1937)



M. Curie & P. Curie



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)



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

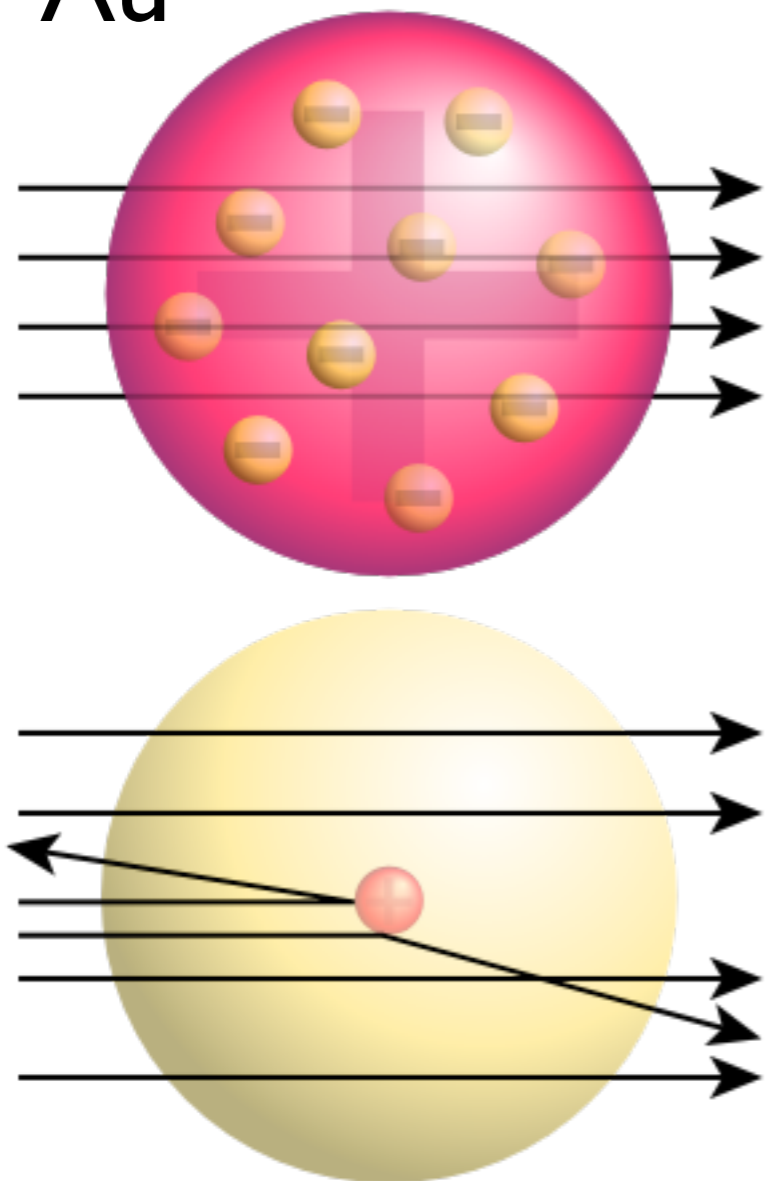
GeV
ギガ電子ボルト



クォーク
quark

ラザフォード散乱

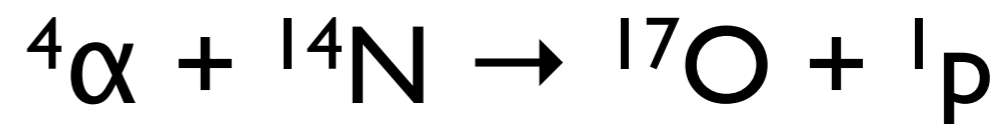
$\alpha + \text{Au}$



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

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^{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: ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$ (alpha particle)

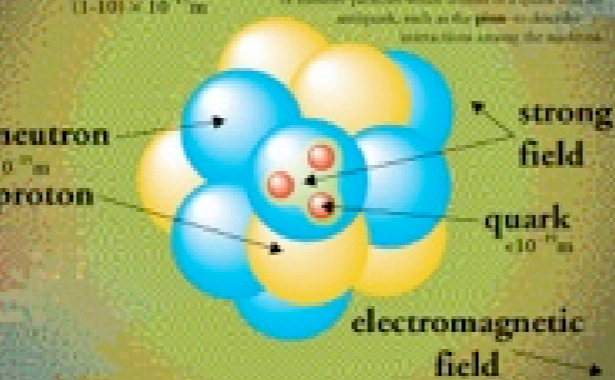
Beta Minus Decay: ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}$ (beta particle)

Beta Plus Decay: ${}^{11}_6\text{C} \rightarrow {}^{11}_5\text{B} + e^+ + \nu$ (beta particle)

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

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



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

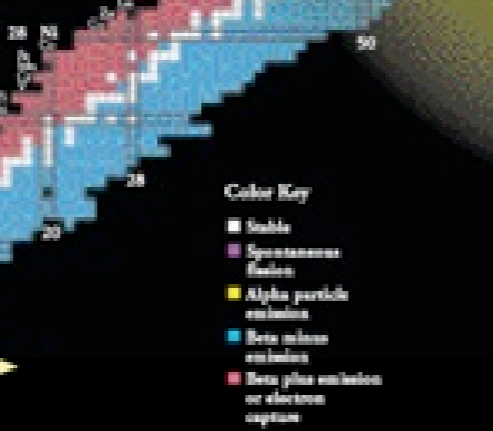
Fission: ${}^{235}_{92}\text{U} + n \rightarrow {}^{141}_{54}\text{Xe} + {}^{92}_{38}\text{Sr} + 2n + \text{energy}$

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

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 reactions must have a rate 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 occurring radioactive isotopes such as ${}^{14}\text{C}$ are used 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 ${}^{241}\text{Am}$ to ionize the air. Smoke entering the detector reduces the current and sets off the alarm.

Nuclear Medicine: Radioactive isotopes such as ${}^{99m}\text{Tc}$, ${}^{131}\text{I}$, and ${}^{18}\text{F}$ are commonly used in the diagnosis and treatment of illness. Nuclear medicine such as ${}^{18}\text{F}$ is used in Positron Emission Tomography (PET) to produce images of brain activity.

Space Exploration: Exposure and alpha particles in specially designed detectors placed in Martian rovers. The built, nuclear reactions are used to supply some form of electrical power for an exploration.

Nuclear Reactors: Nuclear reactors are the basis of ${}^{235}\text{U}$ or ${}^{239}\text{Pu}$ 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 several 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 shapes 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
- photon
- photon (γ)
- Nucleon: $A = Z + N$
- Atomic Number: Z
- Mass Number: A
- Charge: Q

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.

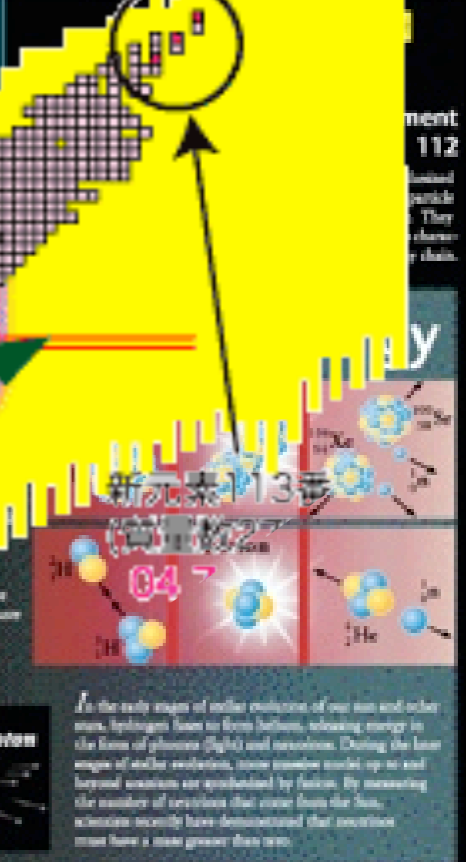


Phases of Nuclear Matter



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_2He nucleus, an alpha particle. In beta decay, the nucleus either emits an electron and antineutrino for a β^- decay, or a positron and neutrino for a β^+ decay. Gamma decay is the emission of a high-energy photon. In gamma decay, the nucleus loses its internal energy by emitting a photon—a gamma ray. This decay does not modify the chemical properties of the atom.

Decay Type	Particle Emitted	Example
Alpha Decay	alpha particle (^4_2He)	$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$
Beta Minus Decay	electron and antineutrino	$^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$
Beta Plus Decay	positron and neutrino	$^{11}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + e^+ + \nu_e$
Gamma Decay	photon	$^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{60}_{27}\text{Co} + \gamma$

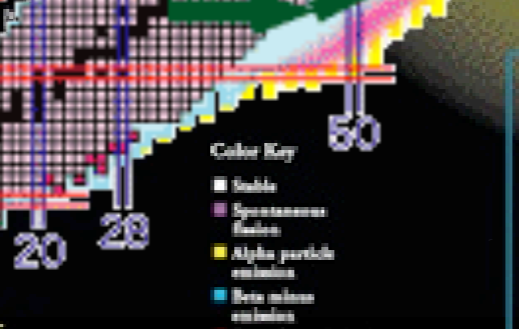
Radioactive decay transforms a nucleus by emitting different particles. In alpha decay, the nucleus releases a ^4_2He nucleus, an alpha particle. In beta decay, the nucleus either emits an electron and antineutrino for a β^- decay, or a positron and neutrino for a β^+ decay. Gamma decay is the emission of a high-energy photon. In gamma decay, the nucleus loses its internal energy by emitting a photon—a gamma ray. This decay does not modify the chemical properties of the atom.

The Nucleus

The nucleus is the central part of an atom, containing protons and neutrons. It is held together by the strong nuclear force. The nucleus is composed of nucleons, which are protons and neutrons. The mass of a nucleus is approximately equal to the sum of the masses of its constituent nucleons. The nucleus is surrounded by a cloud of electrons, which form the atom's electron shell.

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 symbol 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 shell gaps and show regions of greater nuclear binding energy.



Applications

<p>Radioactive Dating Naturally occurring radioactive isotopes such as ^{14}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.</p>	<p>Space Exploration Cesium-137 and alpha particles in specially designed devices power the Mars rovers. On Earth, nuclear reactors are used to supply heat from geothermal companies or as an alternative.</p>	<p>Nuclear Reactors Nuclear reactors on the fission of ^{235}U or ^{239}Pu nuclei to produce electric power. Reactors will power other nuclear applications, generate radioactive waste, depend of the way to a subject of current research.</p>
<p>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.</p>	<p>Nuclear Medicine Radioactive isotopes such as $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I, and ^{18}F are commonly used in the diagnosis and treatment of disease. Nuclear medicine uses a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ as used in Technetium-99m. PET is gamma image of beta emitting.</p>	<p>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, which are detected and processed to form a cross-sectional image of the body.</p>

www.CPEPweb.org

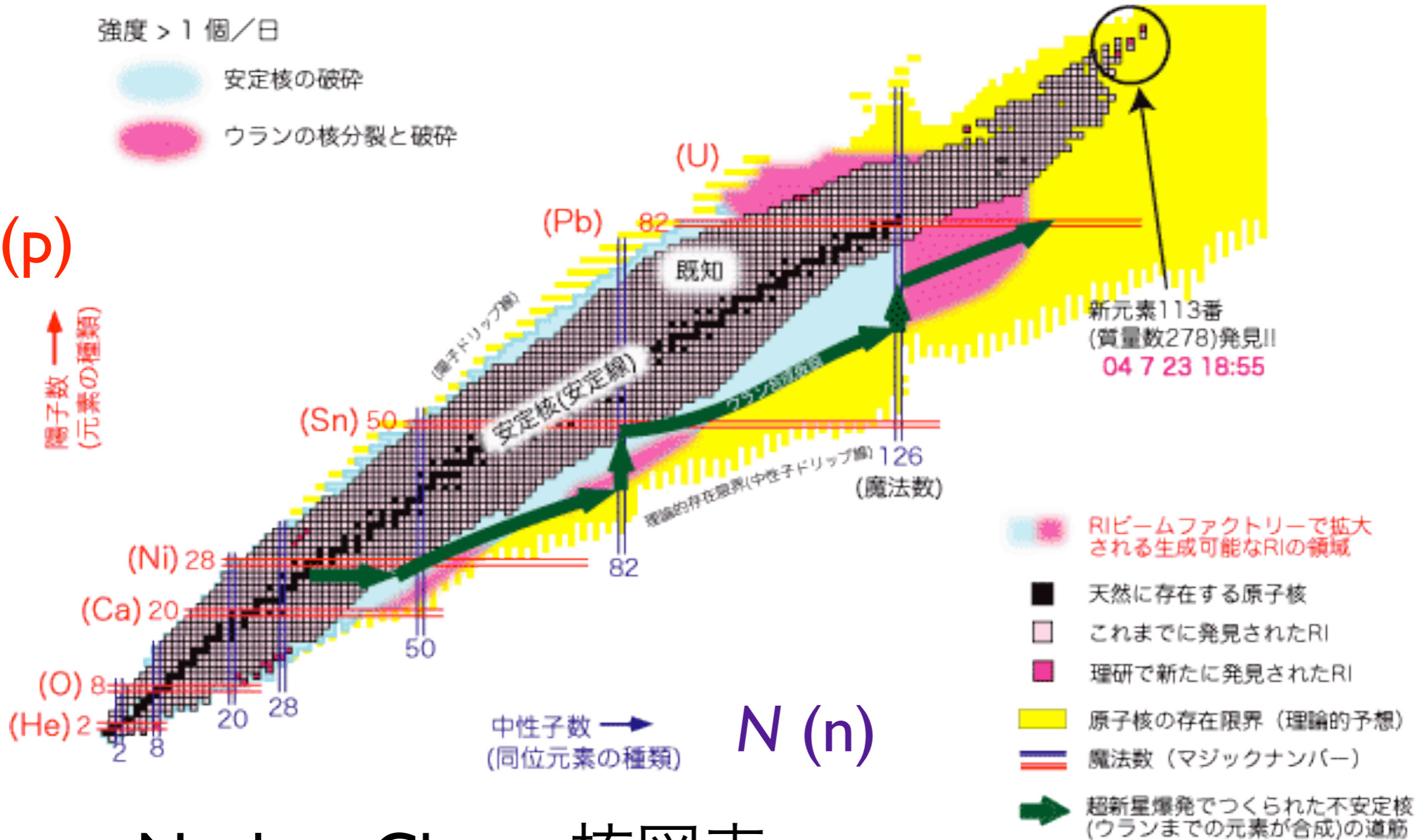


RIKEN

強度 > 1 個/日

- 安定核の破碎
- ウランの核分裂と破碎

Z (p)



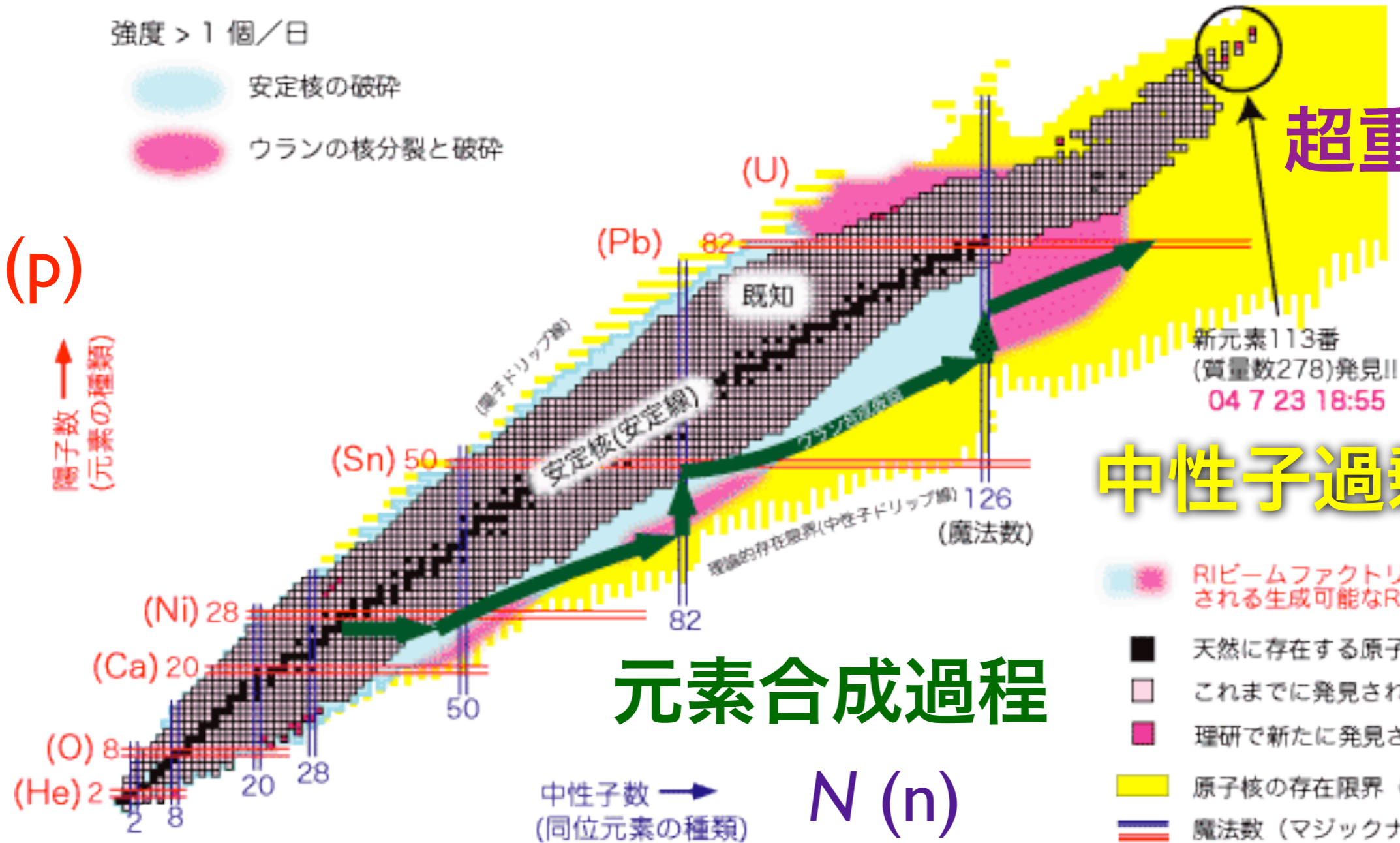
Nuclear Chart 核図表



RIKEN

強度 > 1 個/日
 安定核の破碎
 ウランの核分裂と破碎

Z (p)



超重元素

中性子過剰核

元素合成過程

N (n)

- 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)
- 超新星爆発でつくられた不安定核 (ウランまでの元素が合成)の道筋

Nuclear Chart 核図表

超重元素 $_{113}\text{Uut}$ (ジャポニウム Jp ?) 生成

2004年、理研 森田浩介氏ら

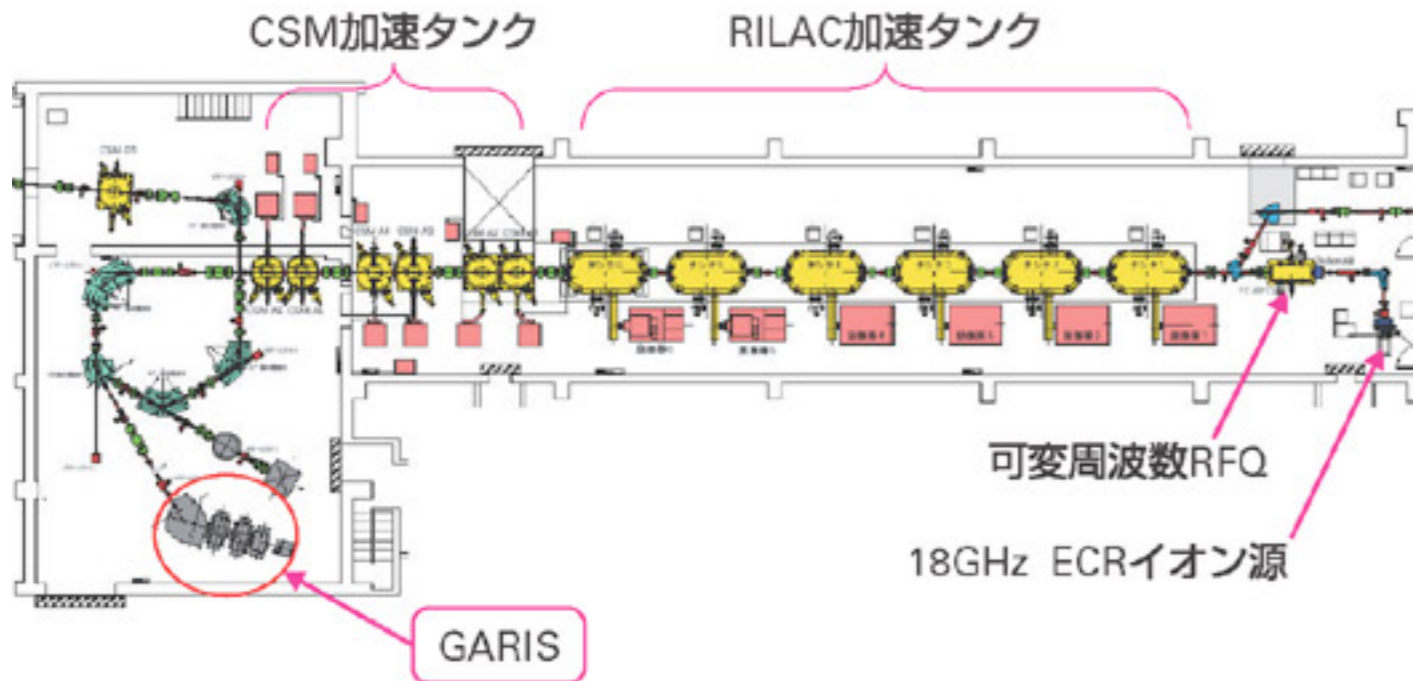


図2 線形加速器 RILAC と気体充填型反跳核分離装置 GARIS

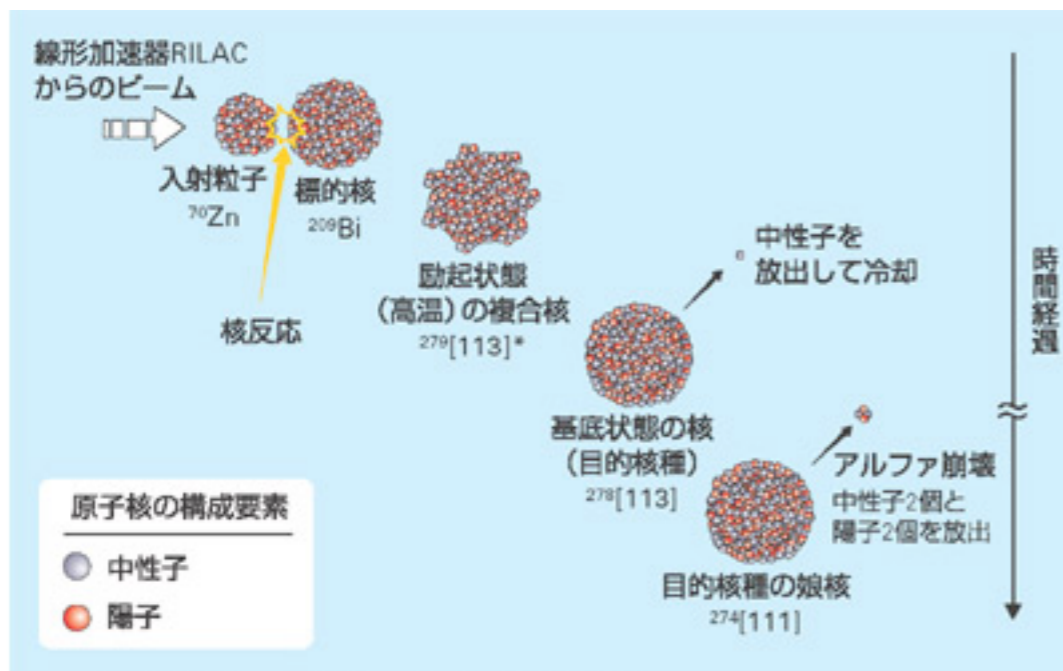
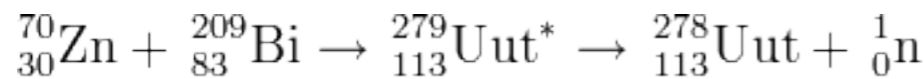


図1 原子番号 113 元素の合成と崩壊連鎖

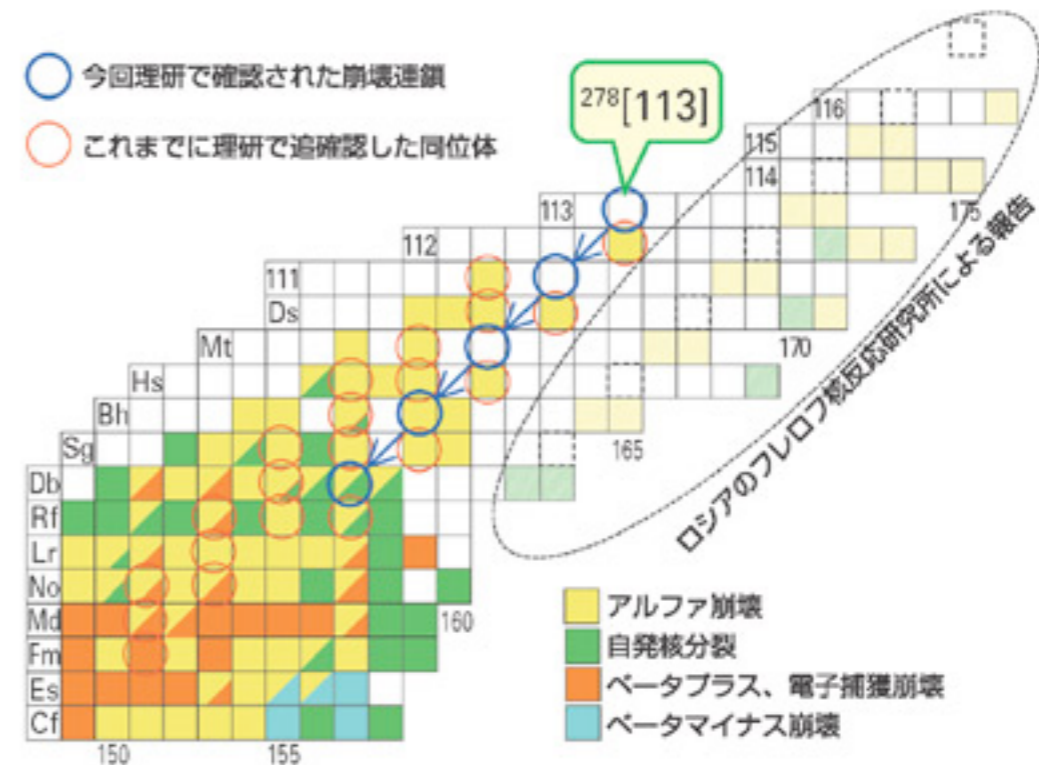
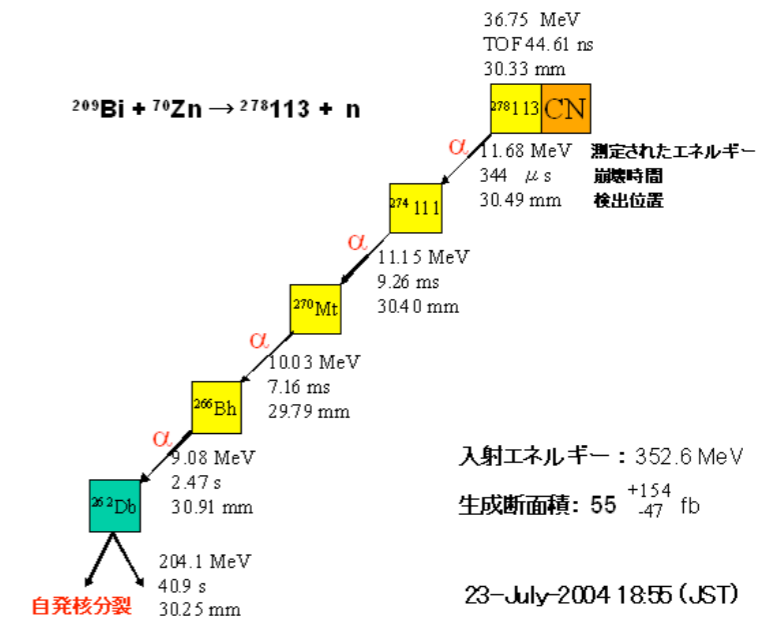


図3 核図表の終端部分
核図表とは、原子核の陽子数（原子番号）を縦軸とし、中性子数を横軸にして表示したもの。

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																	2 He 4.0026
2	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 20.180
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 83.80
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 126.905	54 Xe 131.29
6	55 Cs 132.90	56 Ba 137.32	57-71 Lanthanides	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 (209)	85 At (209)	86 Rn (222)
7	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 (294)

116 Lv ?
Livermorium ?

2011/12 IUPAC 発表。
意見募集中。

114 Fl ?
Flerovium ?

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

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)

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 :

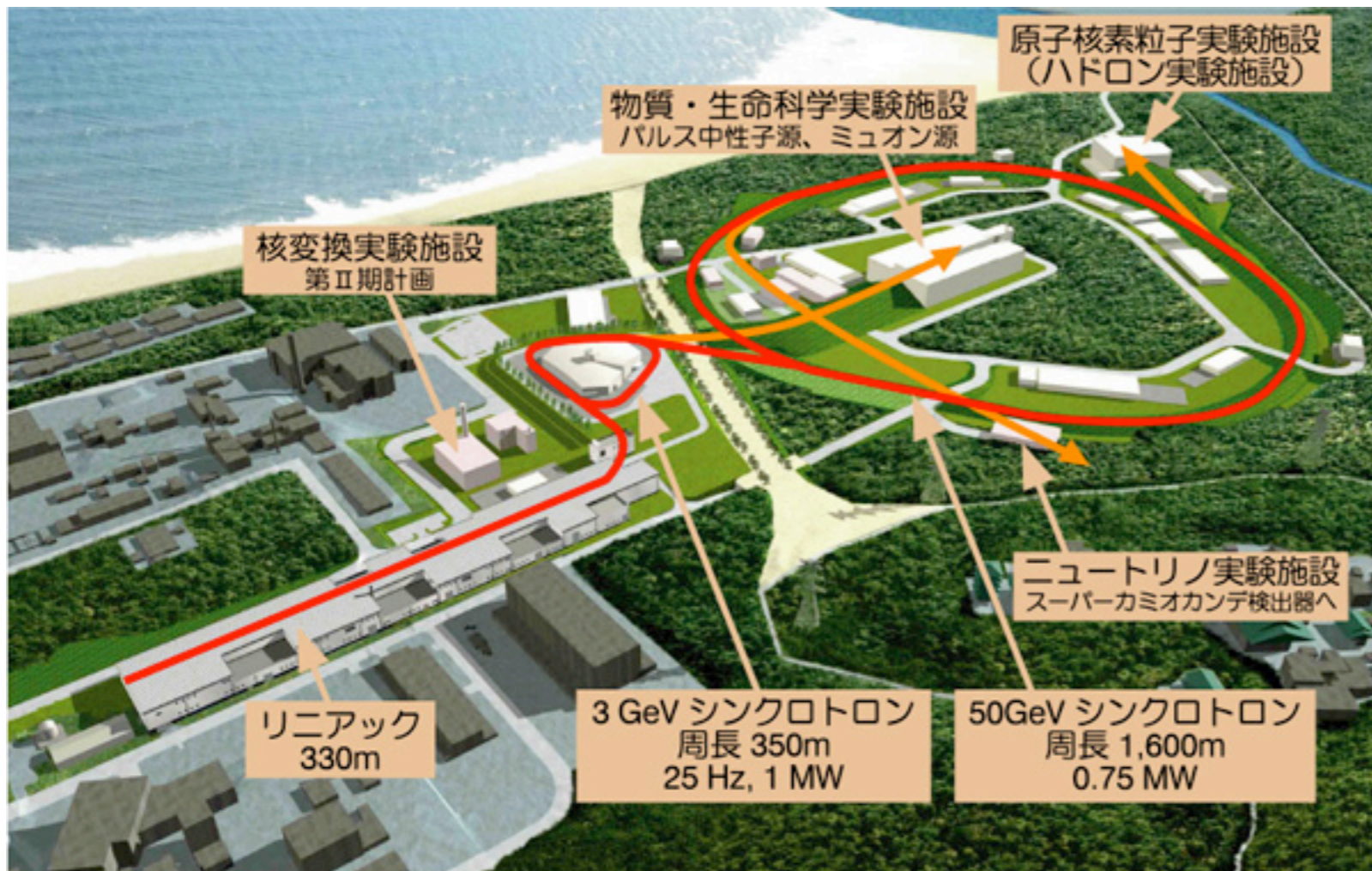
$_{93}\text{Np}$, $_{94}\text{Pu}$, $_{95}\text{Am}$, $_{96}\text{Cm}$, $_{97}\text{Bk}$, $_{98}\text{Cf}$, $_{99}\text{Es}$, $_{100}\text{Fm}$, $_{101}\text{Md}$, $_{102}$, $_{103}\text{Lr}$, $_{104}$, $_{105}$, $_{106}$

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) : $_{107}$, $_{108}\text{Hs}$, $_{109}$, $_{110}\text{Ds}$, $_{111}$, $_{112}$

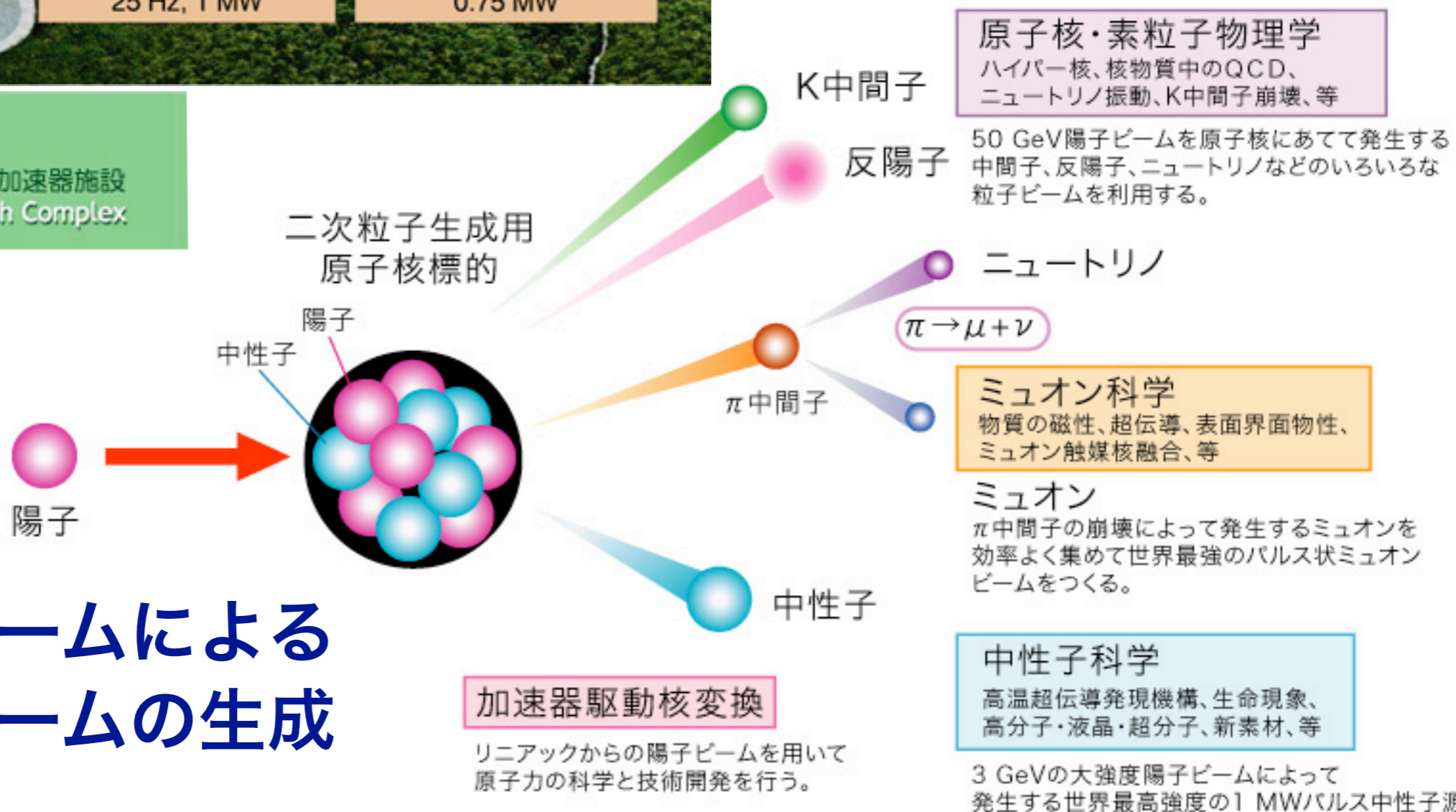
核変換処理は可能か

- **放射性物質の除染**とは、放射性物質を洗い流して移動させること。
- 放射性物質（核種）を減らすことは化学反応ではできないので、**物理学的半減期**を待たなくてはならない。
- **放射性核種を核変換**して非放射性核種に変えることは可能か。
 - 👉 多種多様な核種に対し、うまく非放射性核種に変えるように選択的に反応を起こさせるのは困難。
- 核燃料については、放射性核種を**群分離**し、**原子炉**や**加速器**で**中性子**や**陽子**などを照射して**核分裂**や**核破砕反応**を起こし、安定核種や短寿命核種に変えることを研究中（**分離変換技術**）。
- 環境中の放射性物質を原子炉や加速器施設に運んで**原子核反応**を起こさせるのはまず不可能。（原理的にもコスト的にも）
 - しかも、圧倒的多数の非放射性核種を**放射化**させてしまう。



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



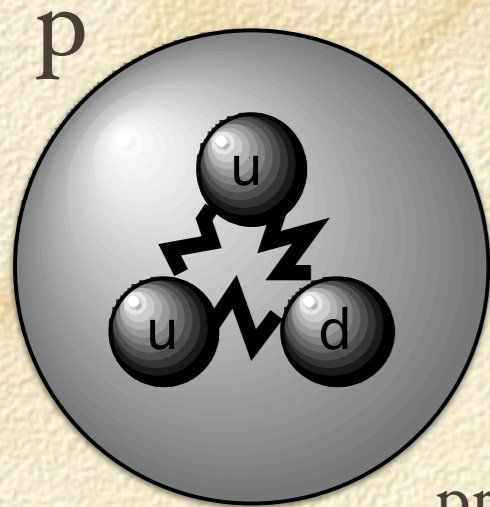
大強度陽子ビームによる 多様な粒子ビームの生成

Hadron

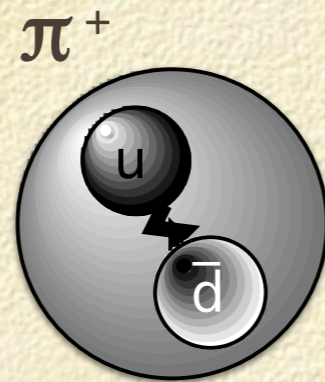
Lepton

Baryon

Meson

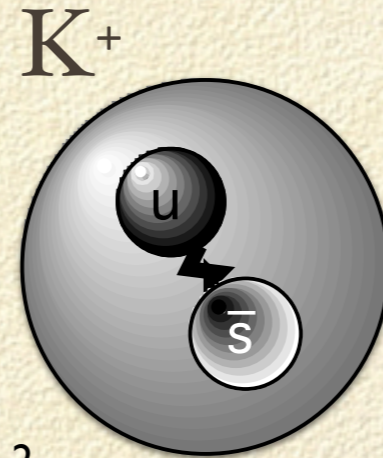
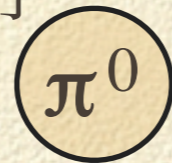


陽子
proton



135
MeV/c²

パイ中間子
pion



K 中間子
kaon



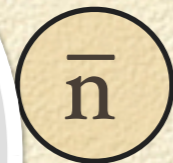
498
MeV/c²



ミュー粒子
muon

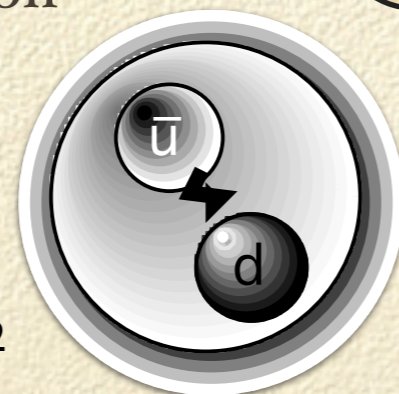


陽電子 positron



反陽子
antiproton

940
MeV/c²



π⁻

140 MeV/c²

τ = 26 ns



K⁻

494 MeV/c²

τ = 12 ns



μ⁻

106 MeV/c²

τ = 2.2 μs

電子 electron



e⁻

511 keV/c²

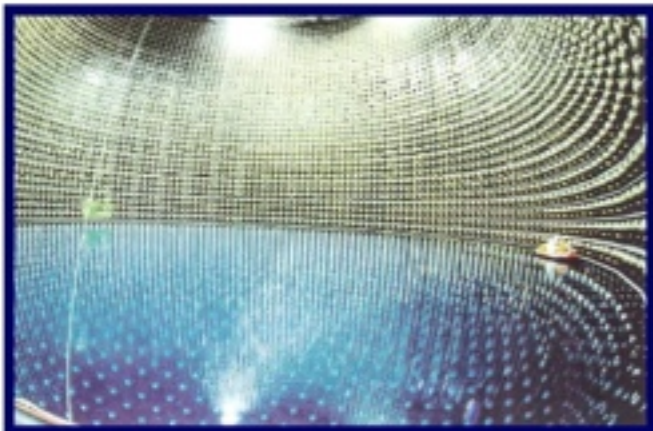
τ = ∞

p⁻

938 MeV/c²

τ = ∞

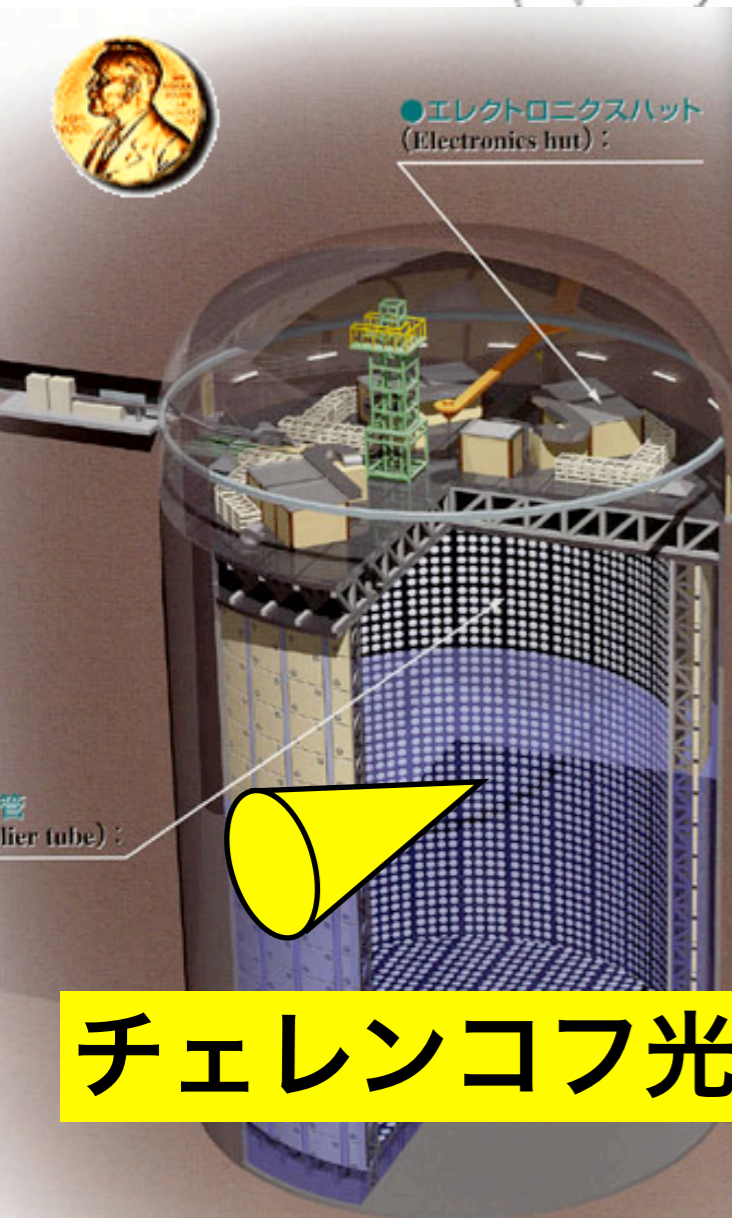
Super-Kamiokande



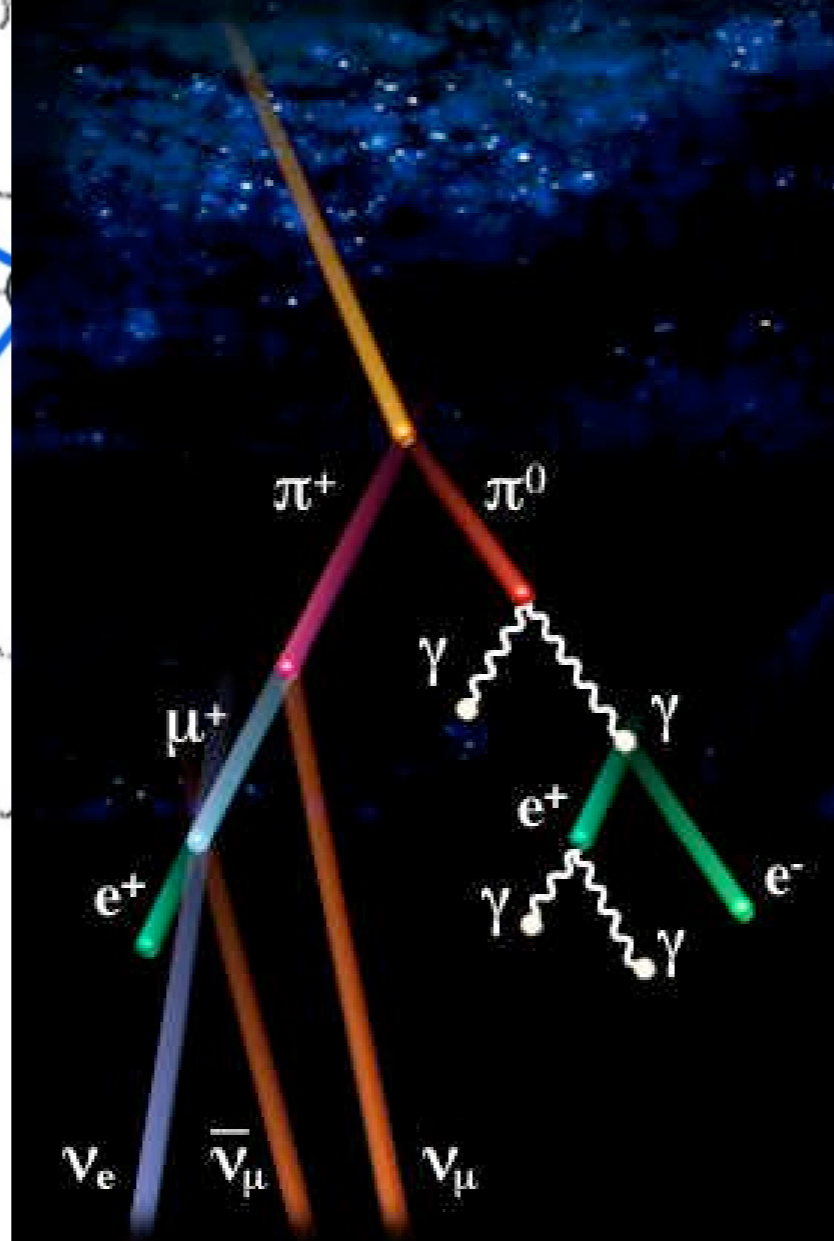
スーパー
カミオカンデ



●エレクトロニクスハット
(Electronics hut):



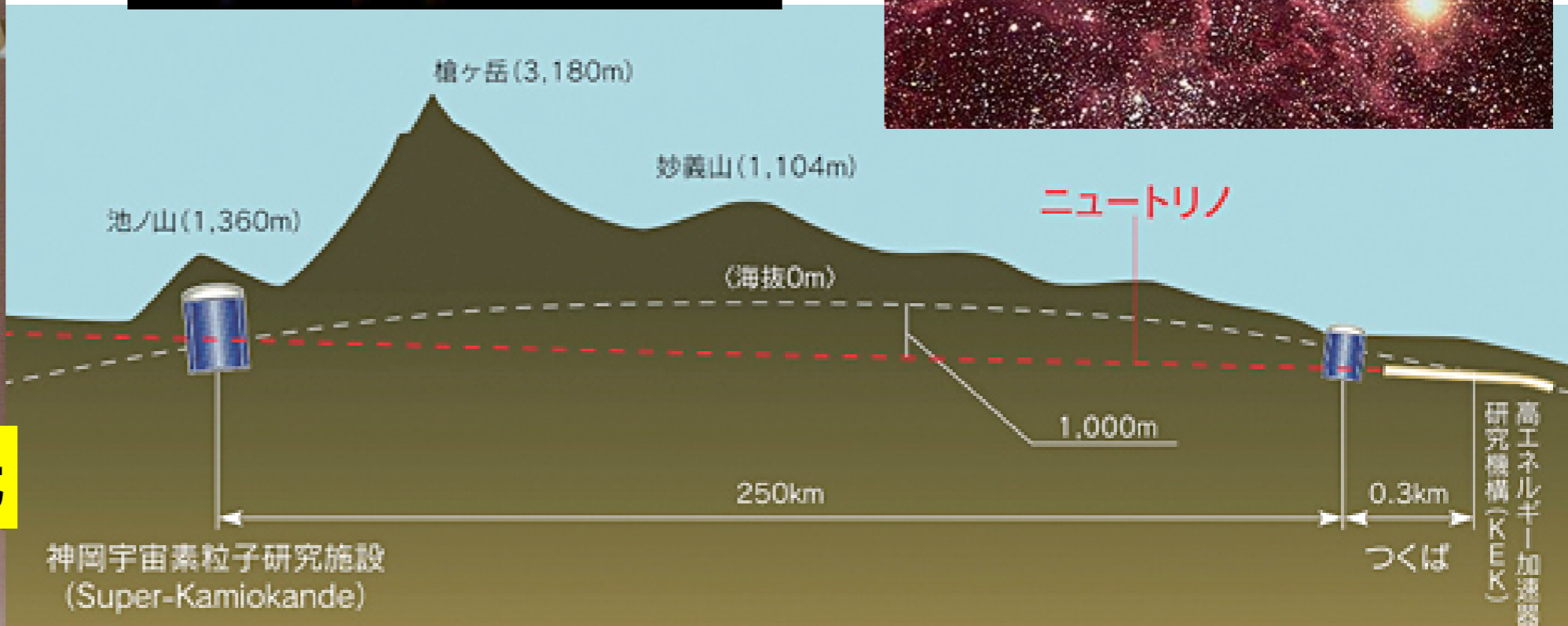
チェレンコフ光



Neutrino beam



大強度陽子加速器
ニュートリノビーム

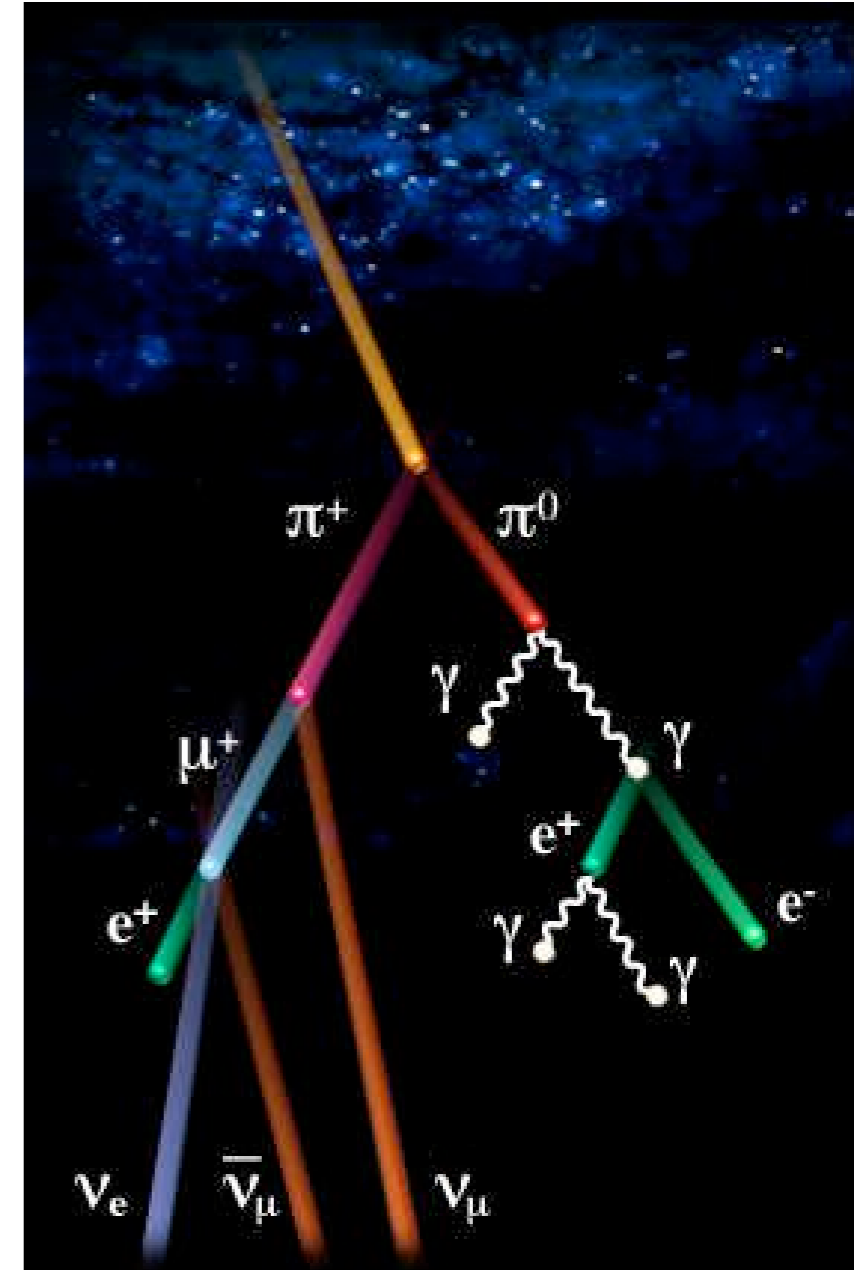
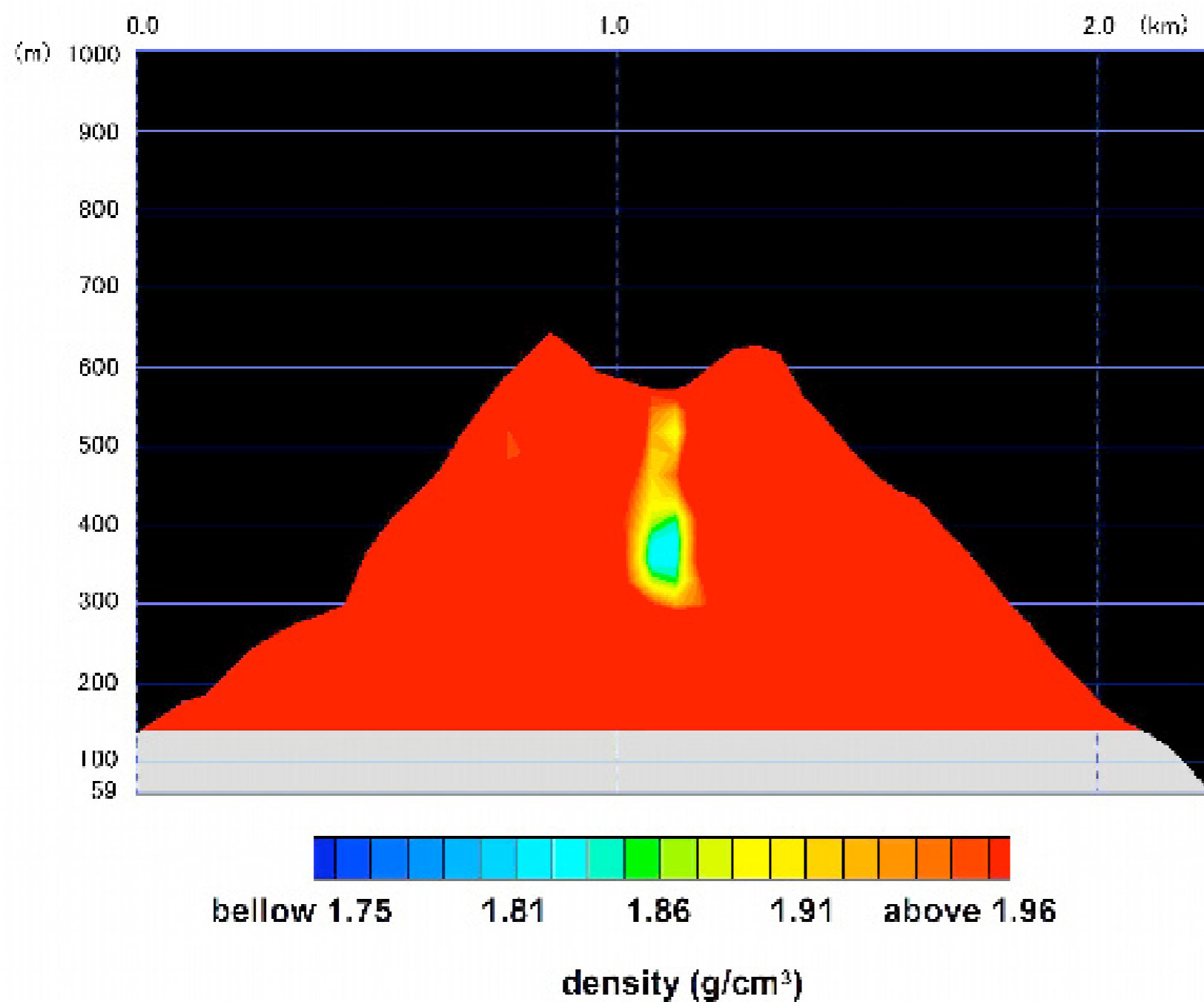


神岡宇宙素粒子研究施設
(Super-Kamiokande)

高エネルギー加速器
研究機構 (KEK)

つくば

宇宙線（ミュオン）で火山を覗く

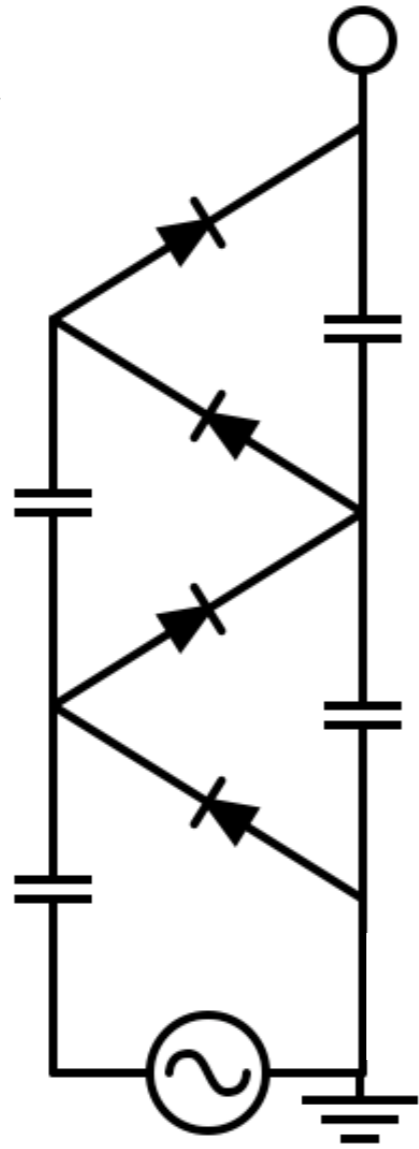


加速器科学

高電圧発生装置

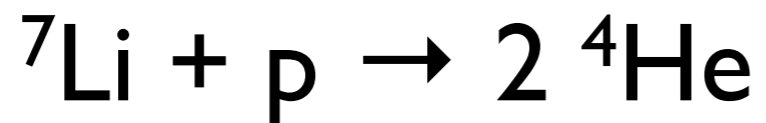
コッククロフト・ワルトン型
Cockcroft-Walton

upto 4 MV



静電加速器

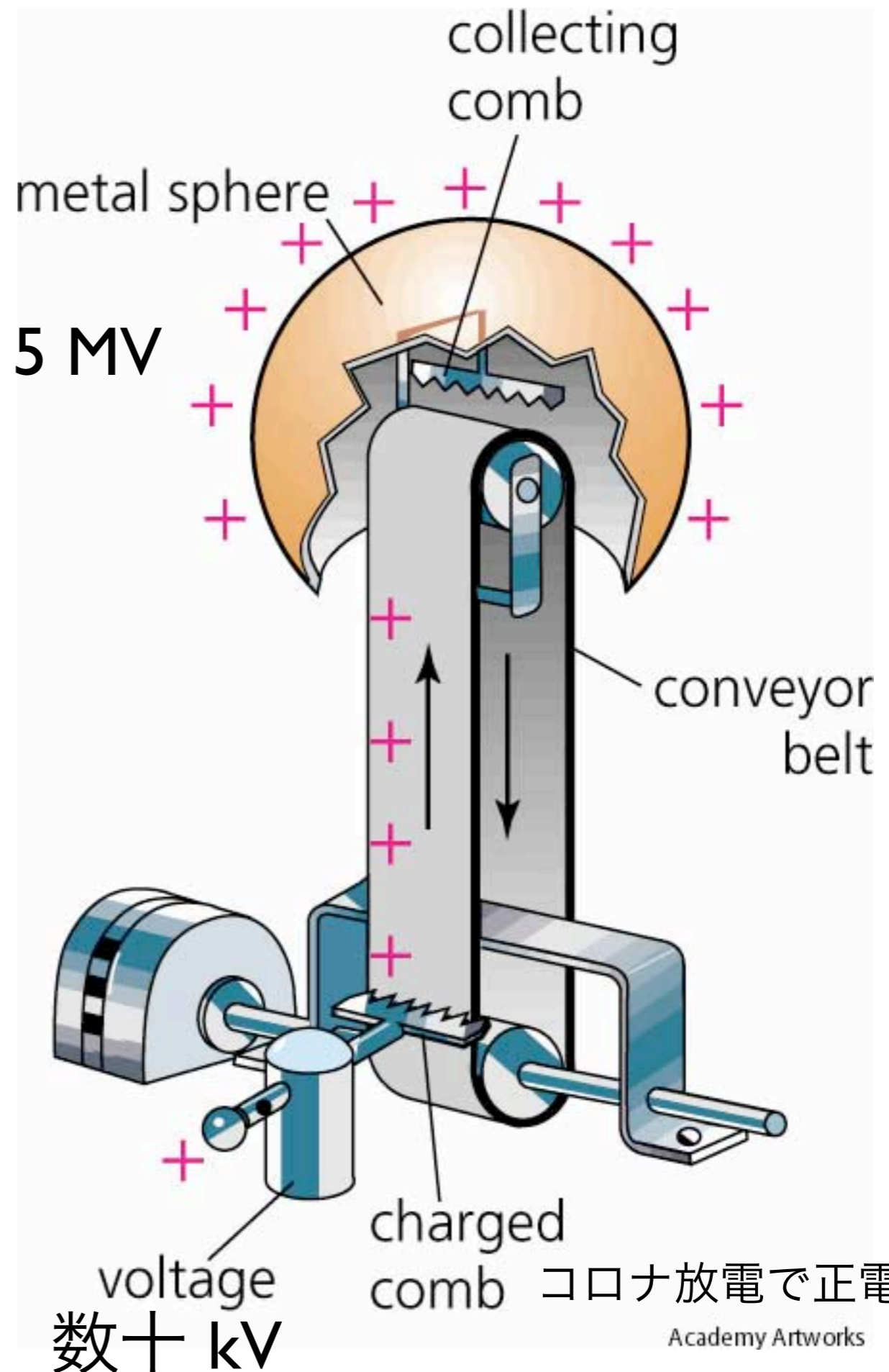
600 keV p



高電圧発生装置

ヴァンデグラフ型
Van de Graaf

upto 5 MV

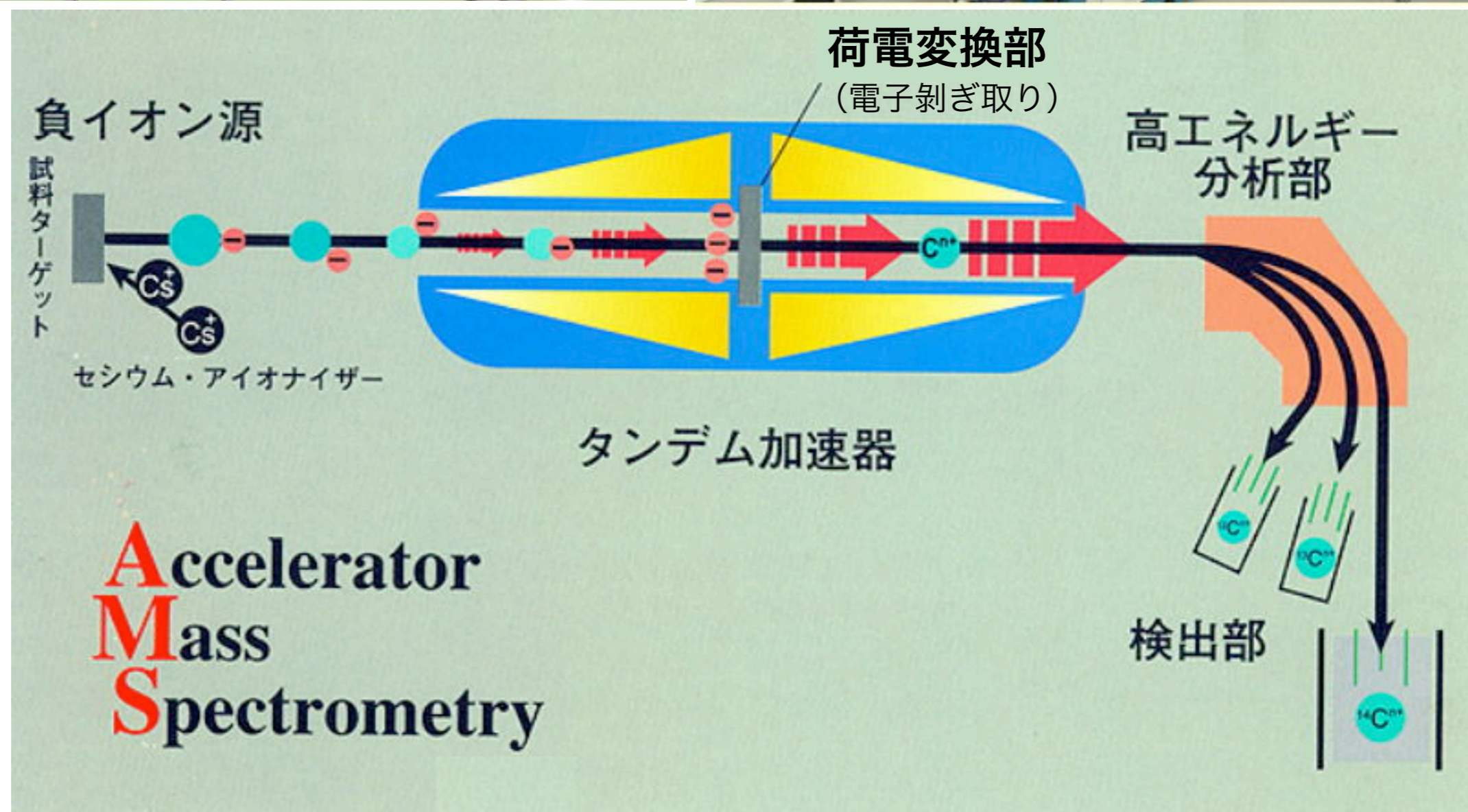


静電加速器 $F = qE$

⇒ タンデム加速器
Tandem accelerator

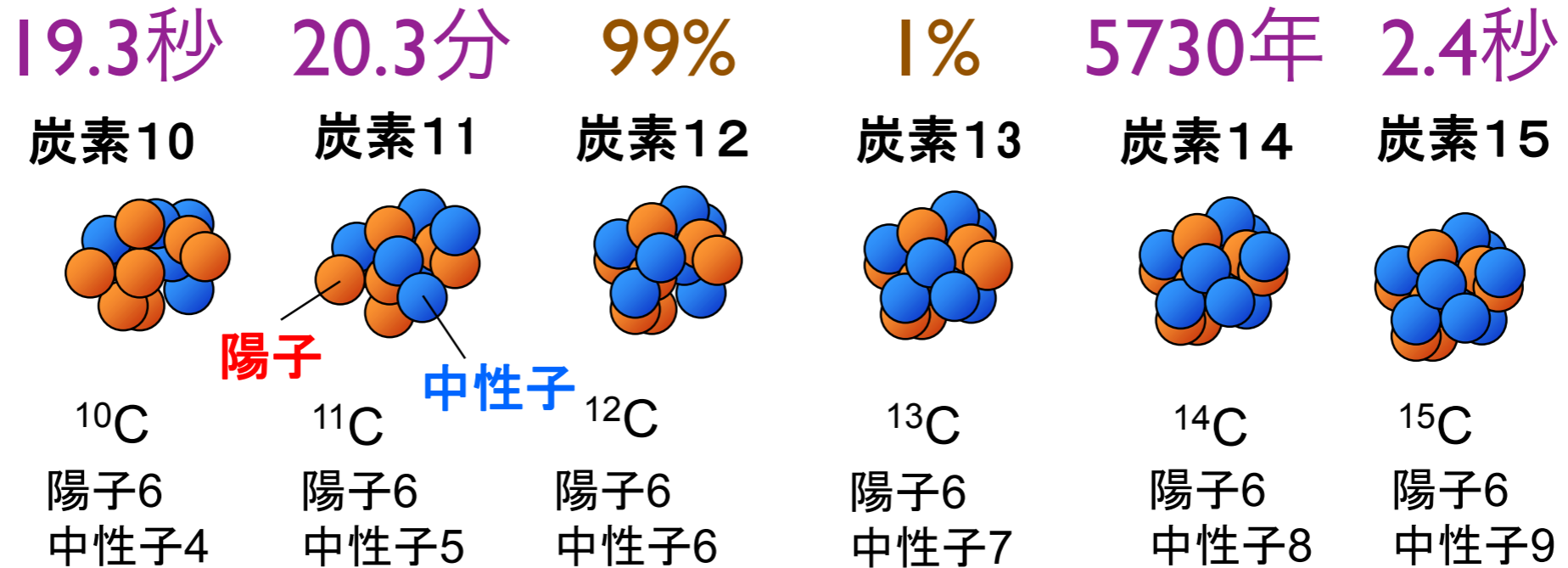
加速器質量分析

AMS (Accelerator Mass Spectrometry)



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))

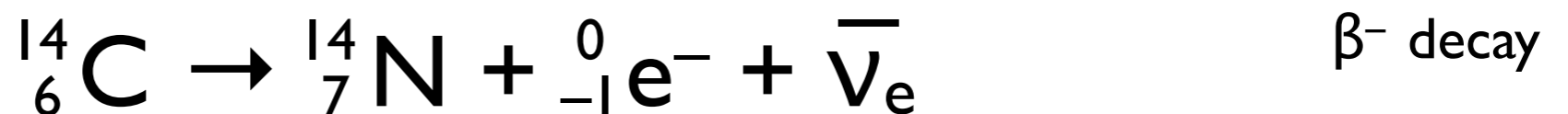
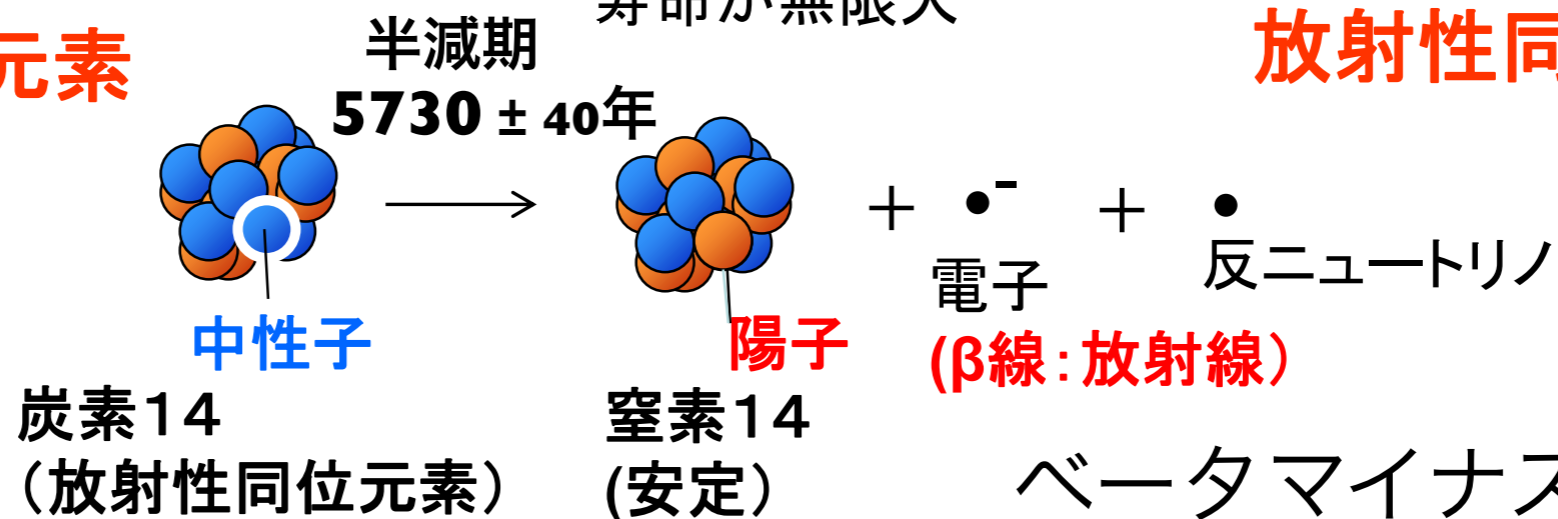
天然に存在=**安定同位体**
寿命が無限大

中性子過剰になると？

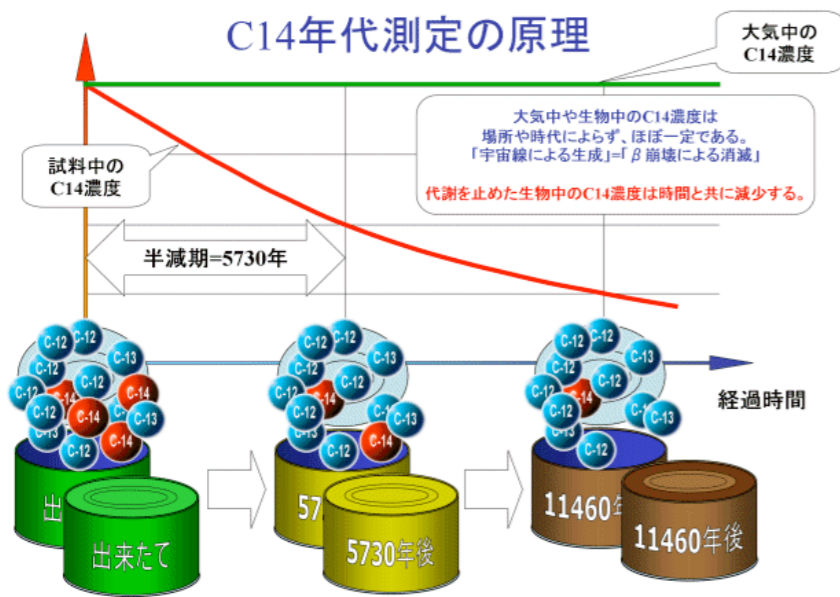
(寿命がある： β^- 壊変)

放射性同位元素

放射性同位元素



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 - 10,000,000	鉱物
	ウラン・鉛法	10,000 - 10,000,000,000	鉱物
	ルビウム・ストロンチウム法	10,000 - 10,000,000,000	鉱物
	フィッション・トラック法	10,000 - 10,000,000	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 - 10,000	樹木
	氷縞粘土法	100 - 10,000	湖底堆積物(粘土)

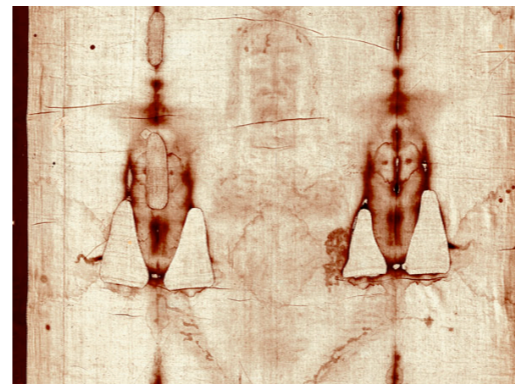
<<図 2-1>> 主な年代測定法による測定可能な年代の範囲

出典:ATOMICA他より作成

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

- 弥生時代

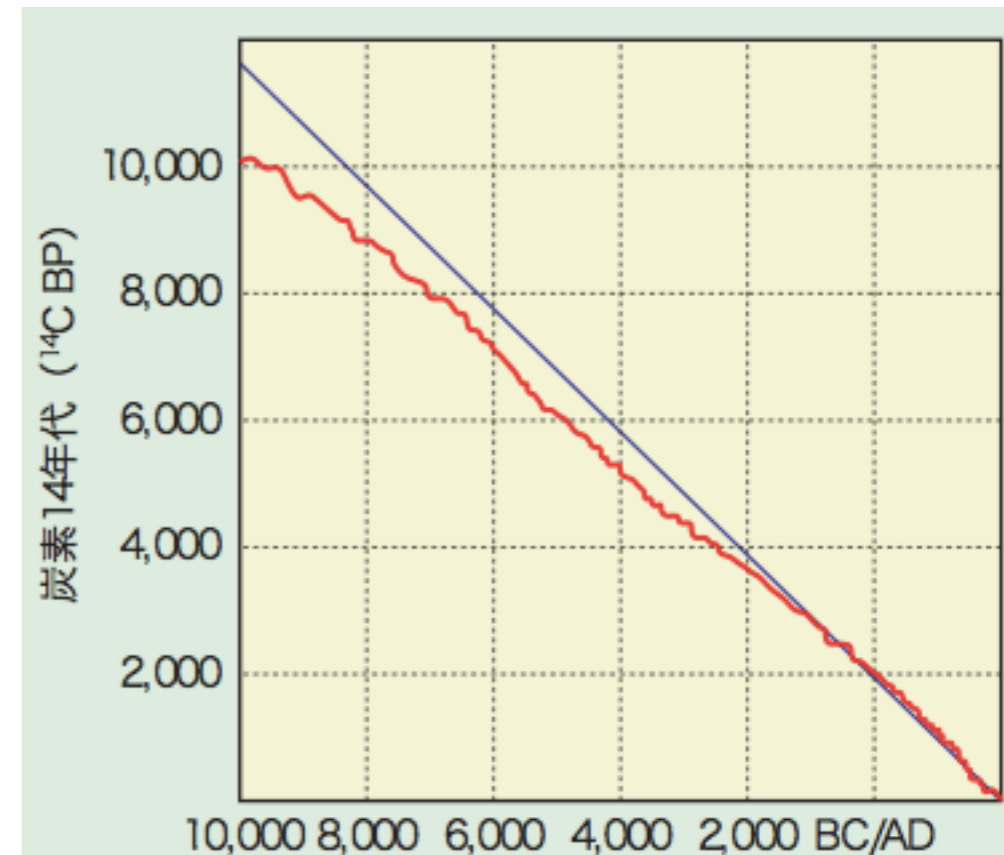
- 聖骸布 (Torino の聖骸布 (1260-1390 A.D., 95% CL))



- 空気中の ^{14}C の比率はほぼ一定

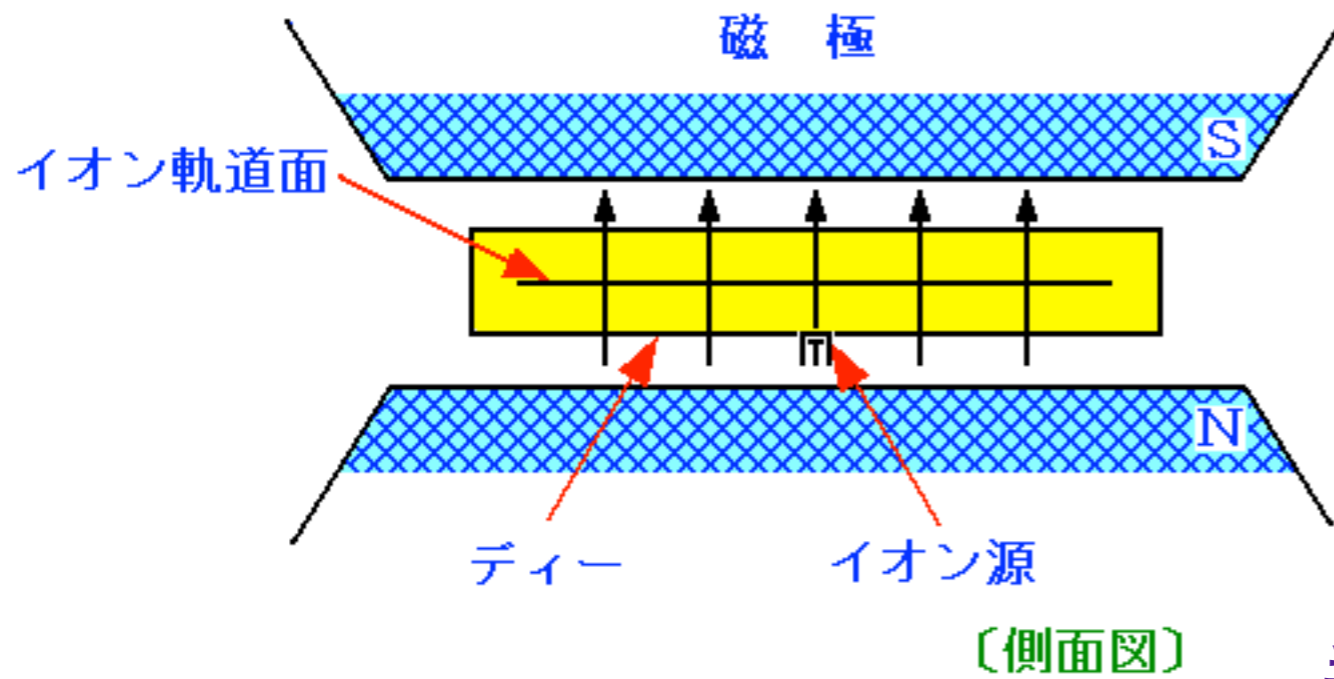
- 微小な変動は年輪中の炭素データで較正

- 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較正曲線(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



サイクロトロン

Cyclotron

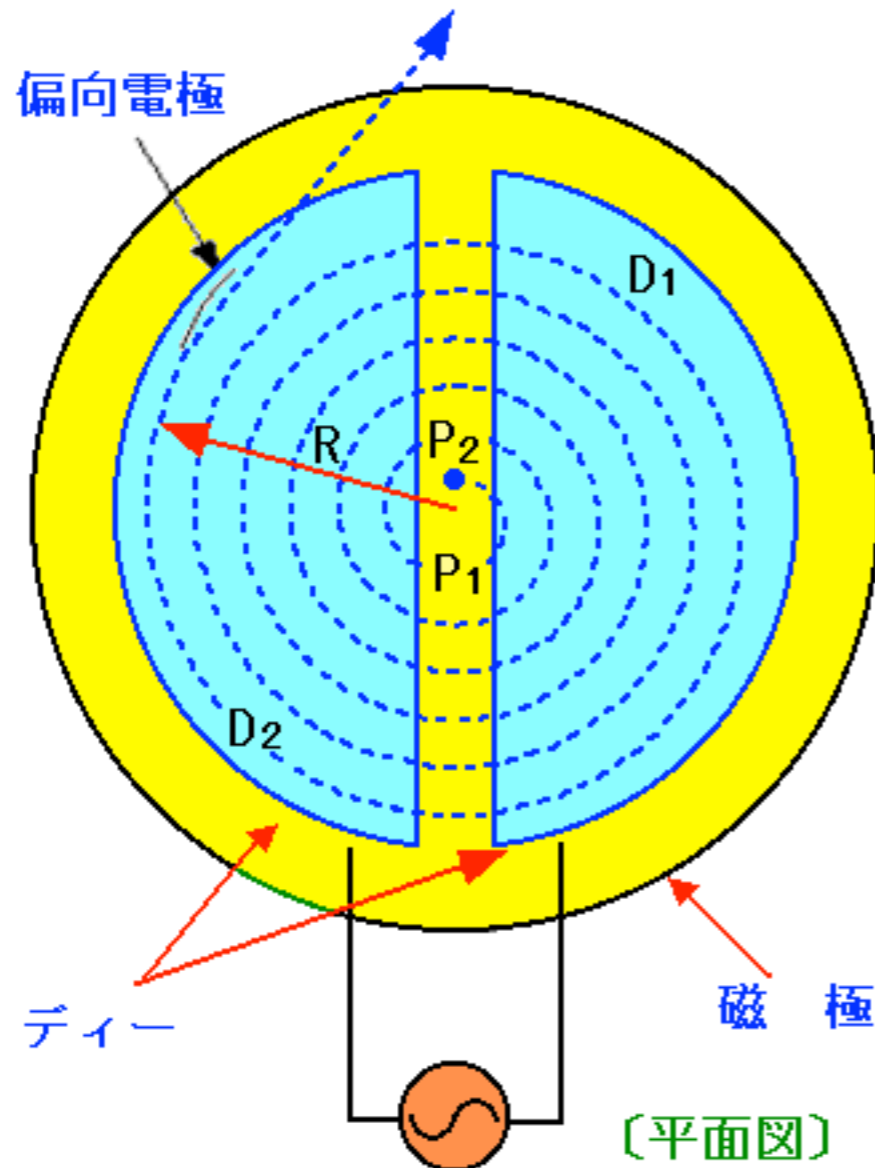
Lawrence (1929)



垂直磁場

$$t = \pi m / B q$$

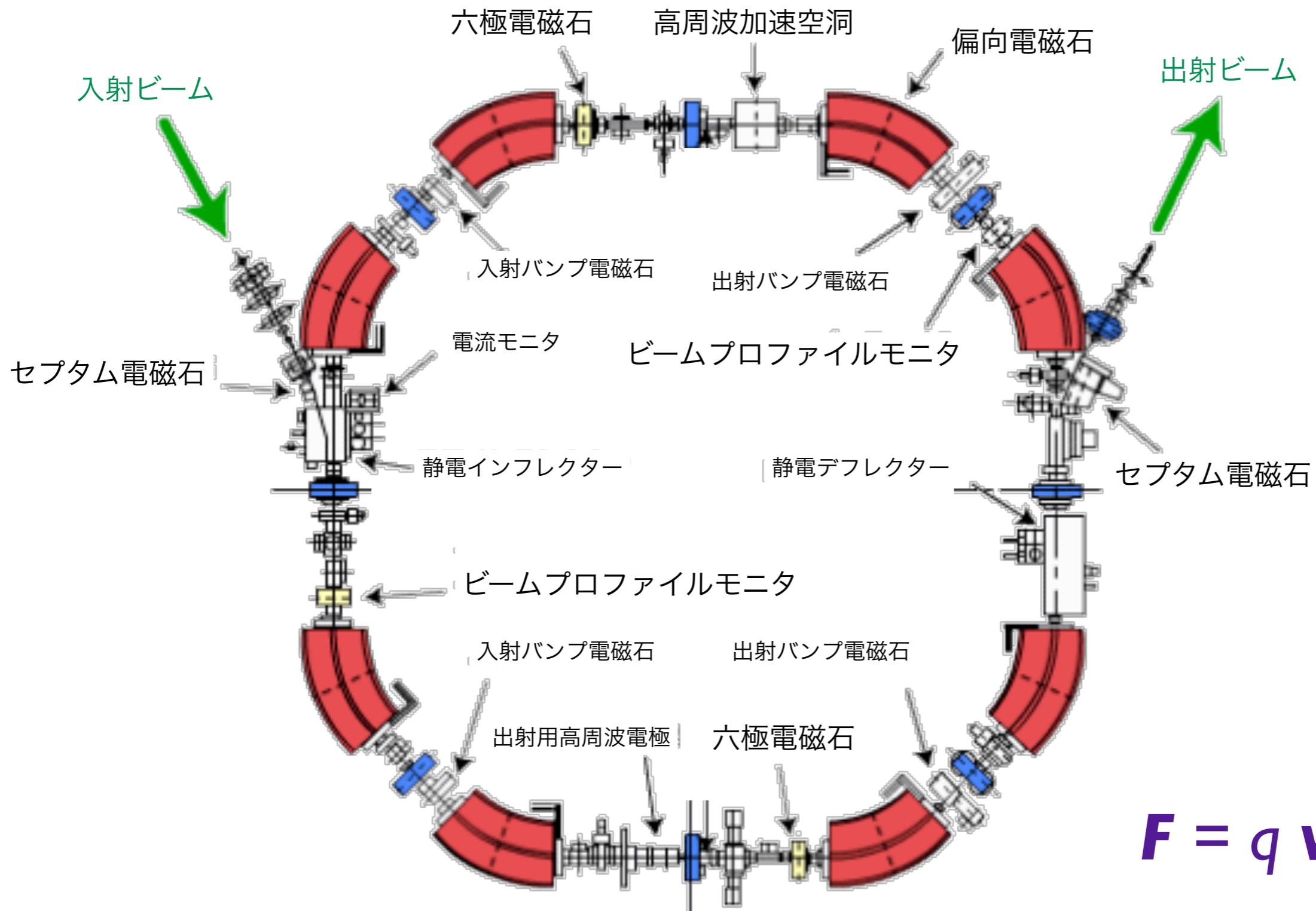
相対論的領域では周期が遅れる



シンクロサイクロトロン
Synchrocyclotron

AVF サイクロトロン
Azimuthally-varying-field
Cyclotron

シンクロトロン Synchrotron



$$F = q v \times B$$

磁場による偏向・収束 (高エネルギー)

リニアック (線形加速器)

Linac (Linear accelerator)

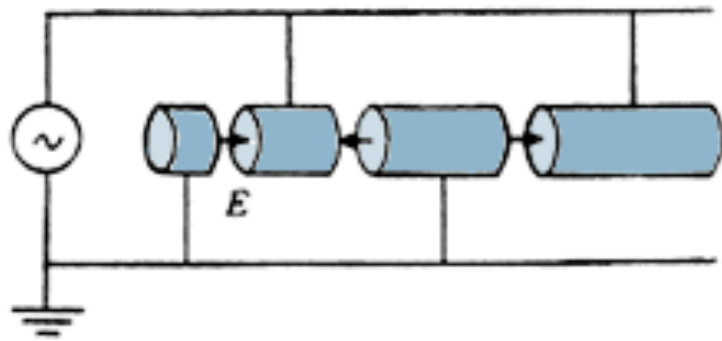


図1 ヴィデレー型リニアック

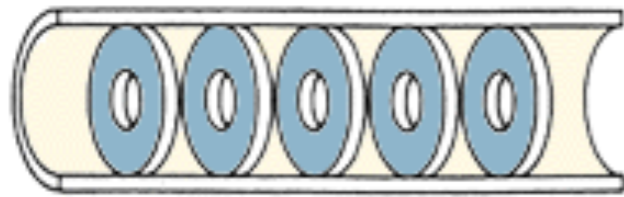


図2 円盤装荷導波管

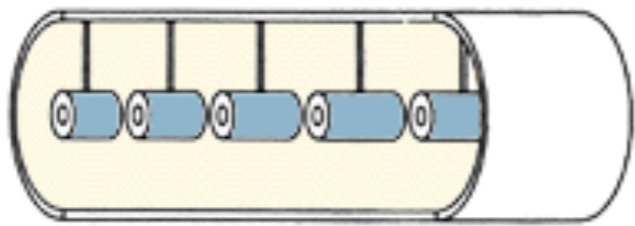
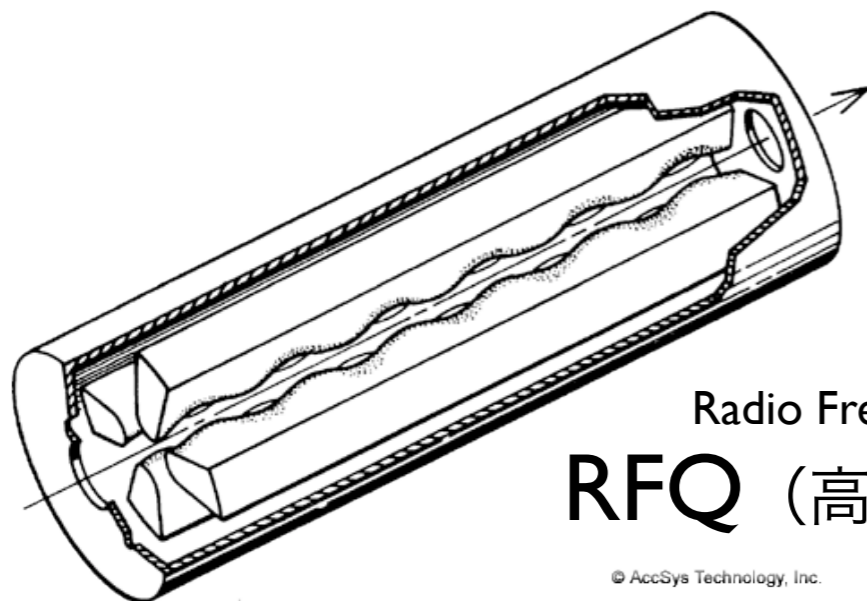
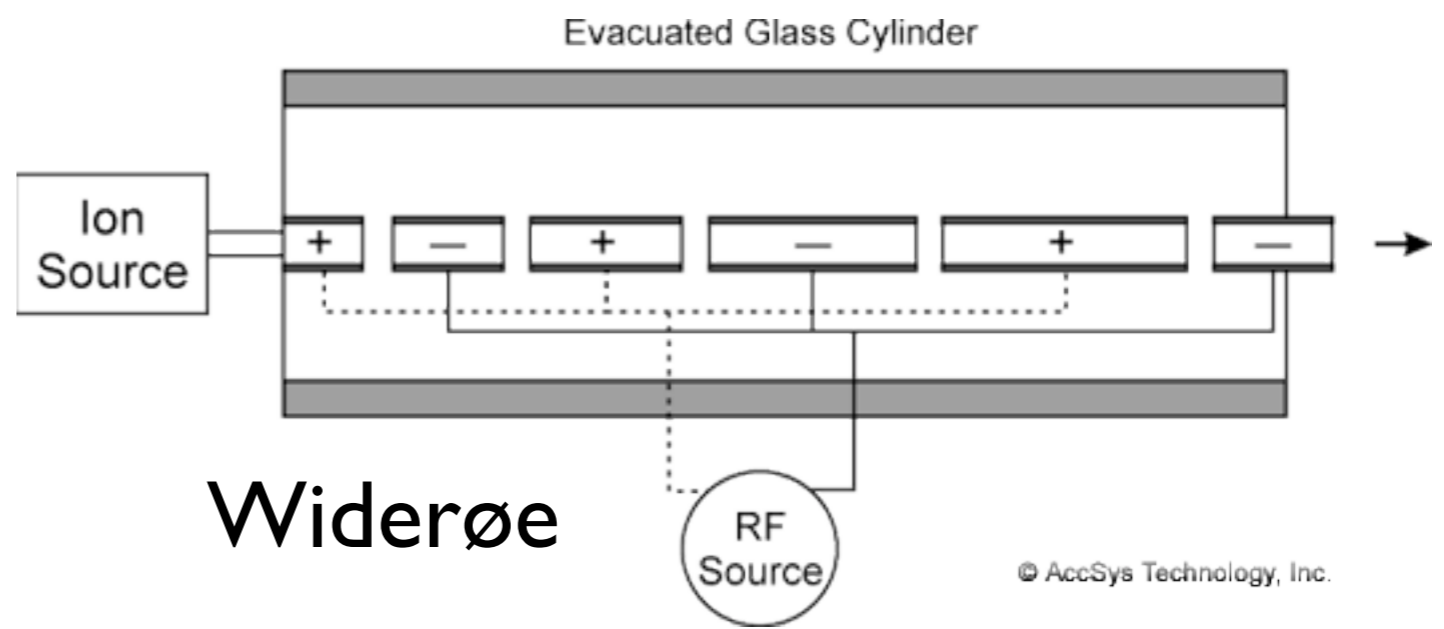


図3 アルバレ型リニアック



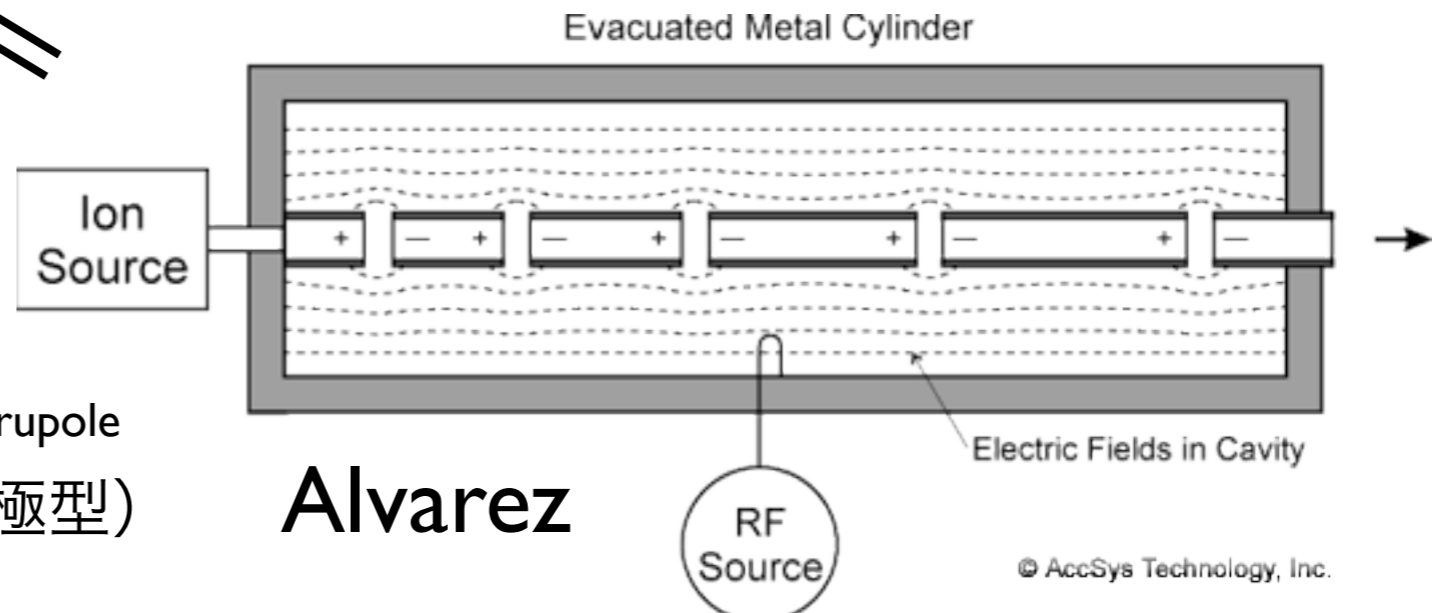
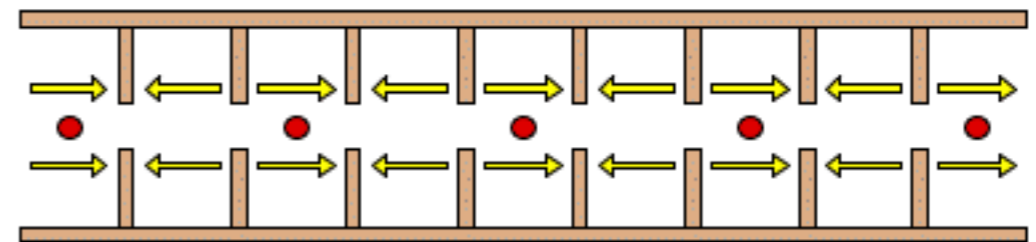
Radio Frequency Quadrupole
RFQ (高周波四重極型)

© AccSys Technology, Inc.



Widerøe

© AccSys Technology, Inc.

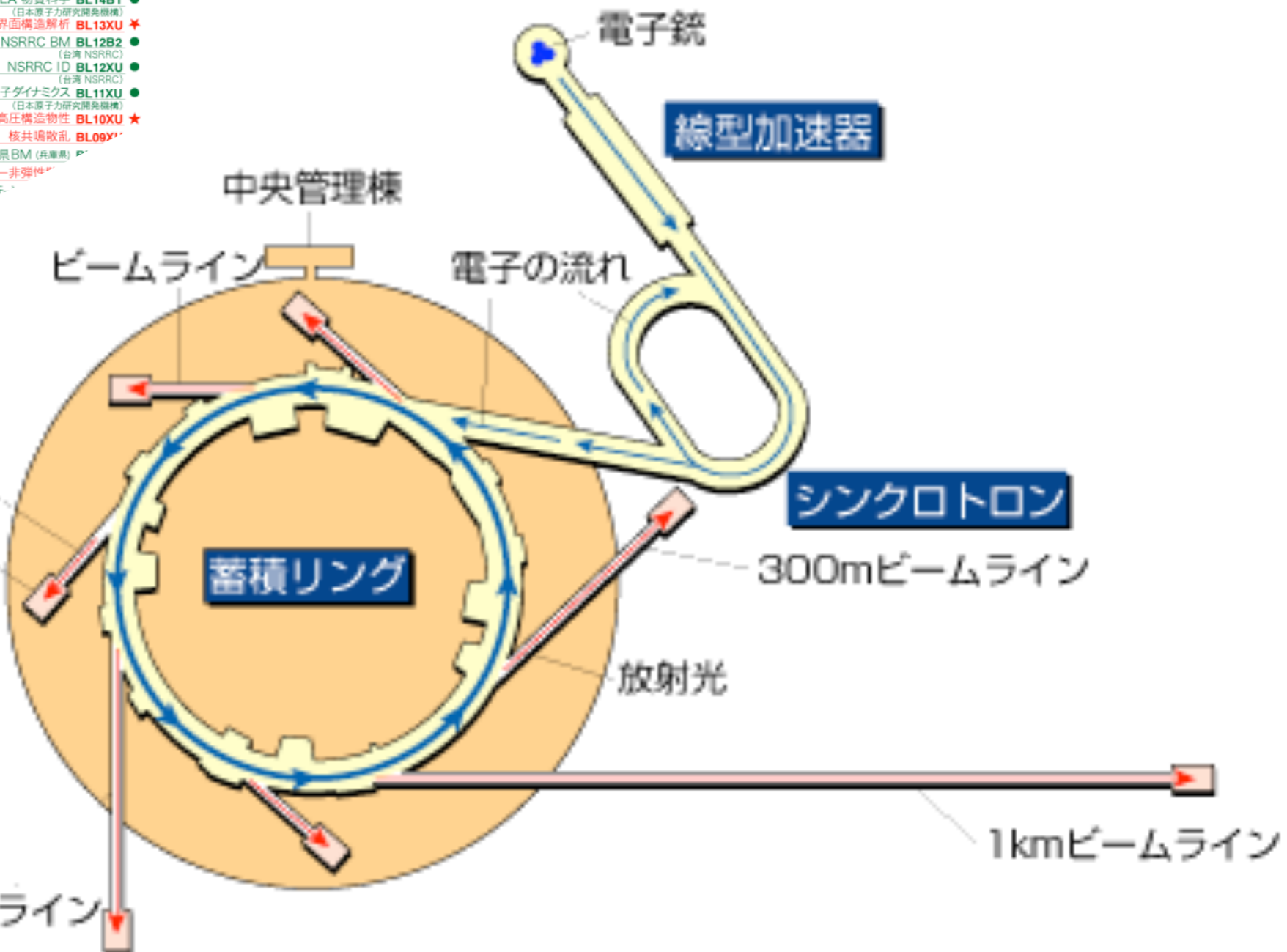
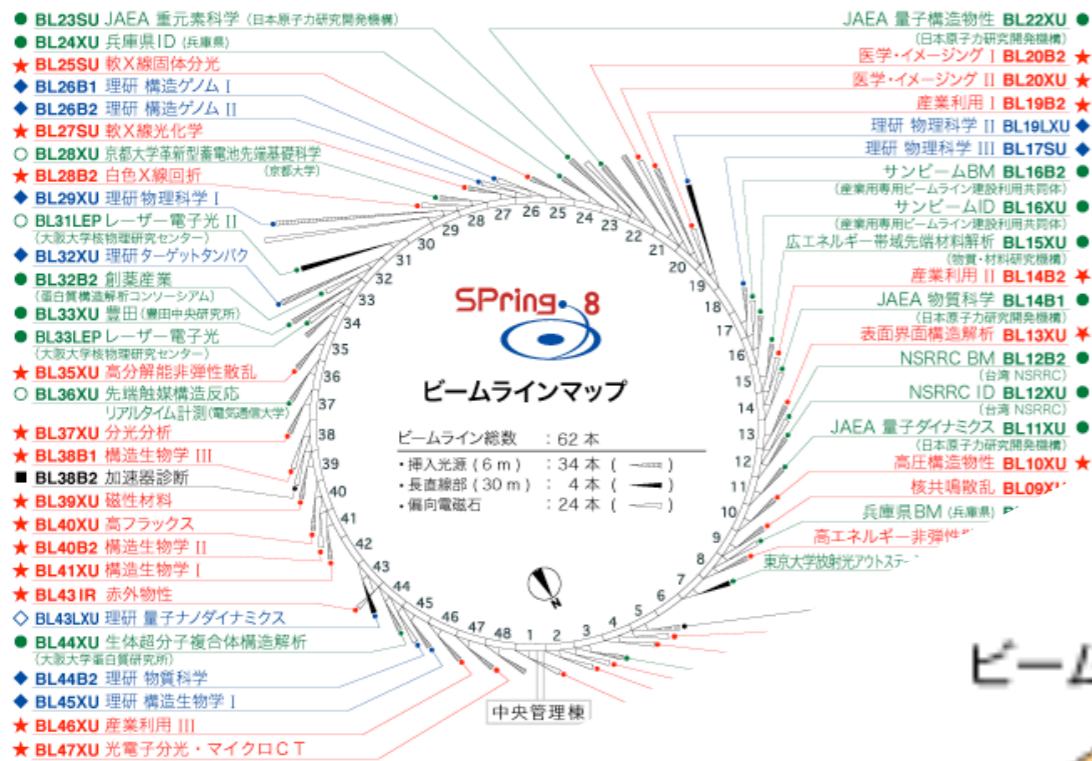


Alvarez

© AccSys Technology, Inc.

SPring-8 (大型放射光施設: 播磨)

8 GeV 電子ビーム ⇒ 放射光 (X線, γ線)





CERN

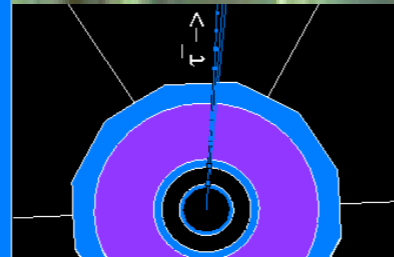
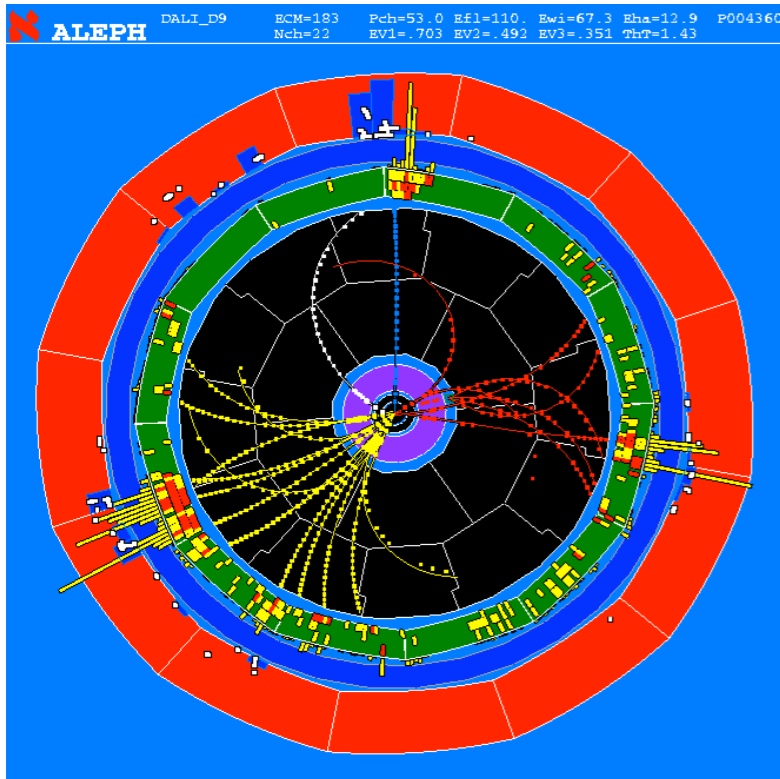
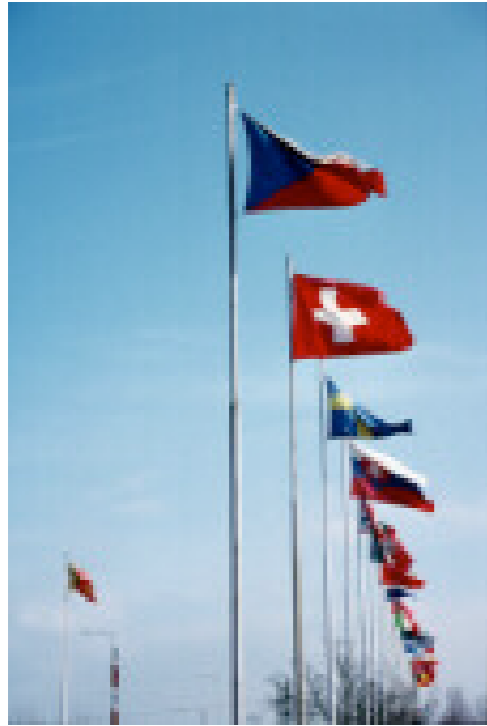
セルン：欧州合同原子核研究機関
European Organization for Nuclear Research
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

Questions:

Why accelerators?

Why so large?

Why circular rings?



素粒子物理学

物質粒子

	第1世代	第2世代	第3世代
クォーク	 アップ	 チャーム	 トップ
	 ダウン	 ストレンジ	 ボトム
レプトン	 電子ニュートリノ	 ミューニュートリノ	 タウニュートリノ
	 電子	 ミューオン	 タウ

top quark 発見
at Fermilab in 1995

強い力

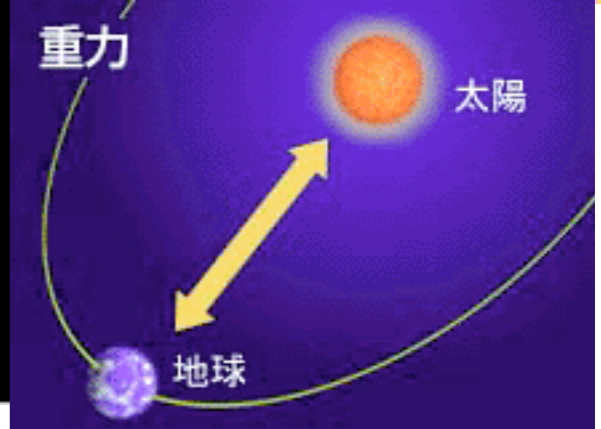
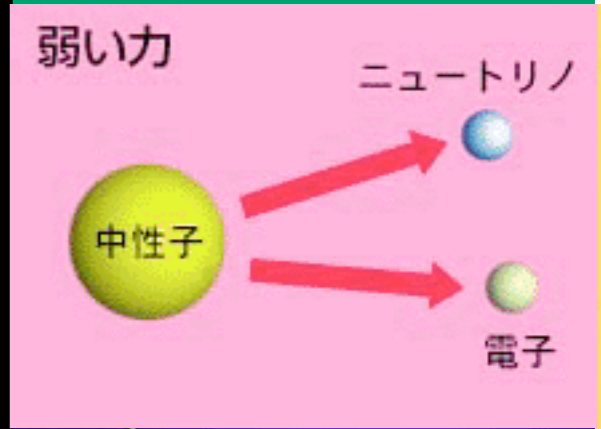
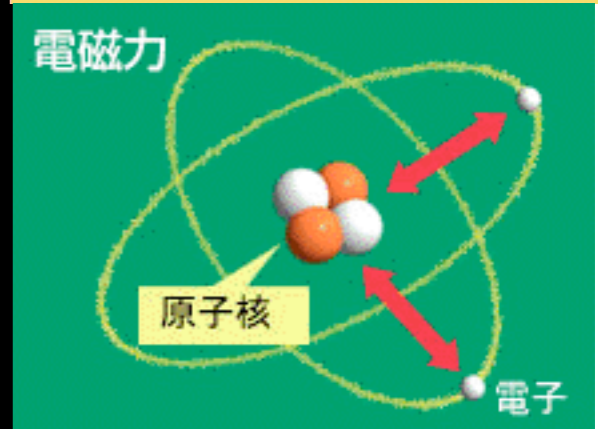
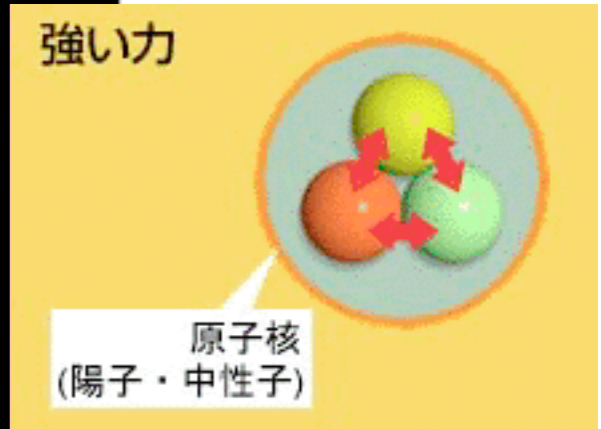
 グルーオン

電磁力

 光子

弱い力

 W ボゾン Z ボゾン

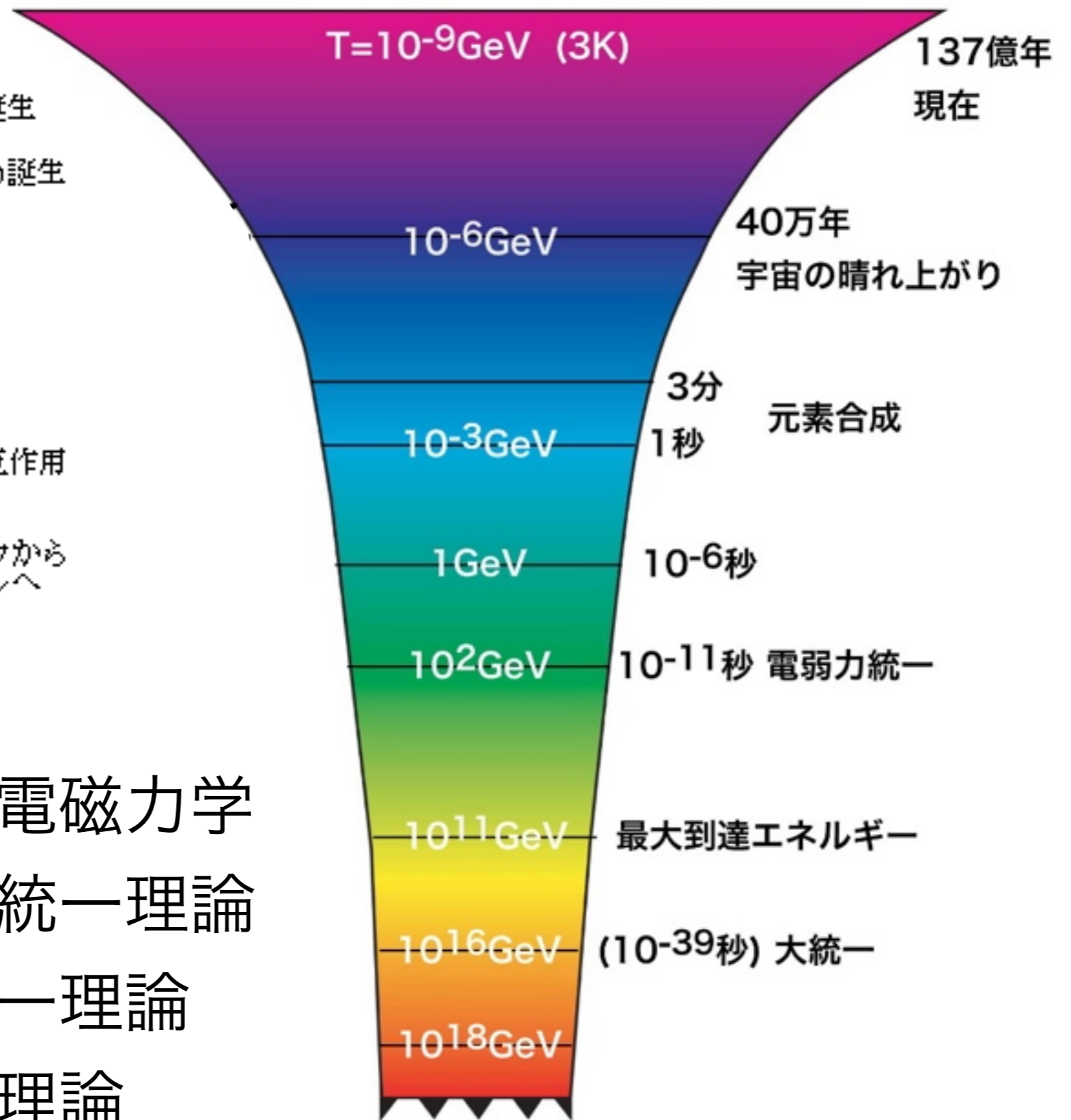
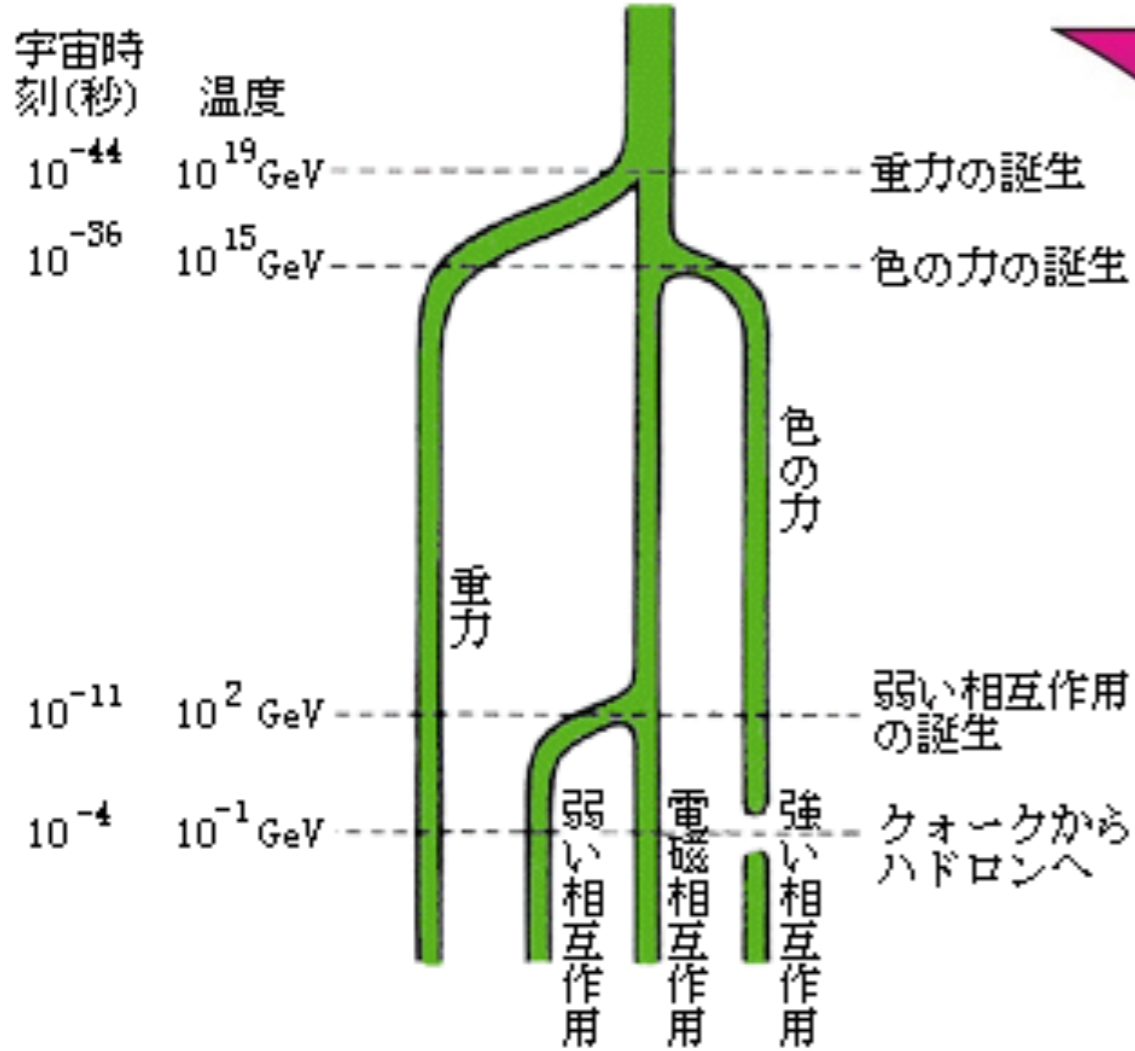


ヒッグス場に伴う粒子
(未発見)


ヒッグス粒子

宇宙と素粒子

相互作用の進化図



標準理論

質量の起源
Higgs 粒子

量子電磁力学
電弱統一理論
大統一理論
超弦理論



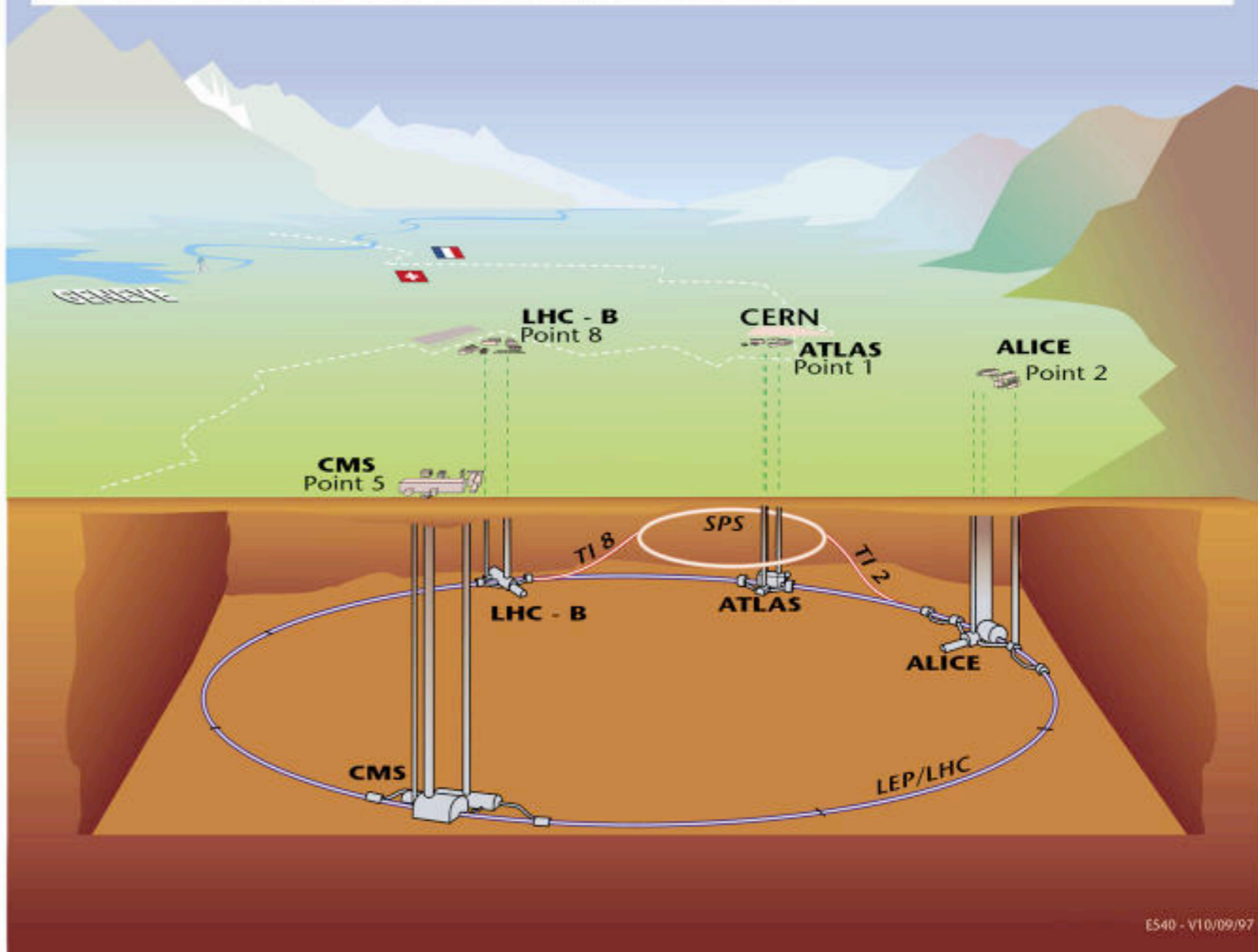
LHC

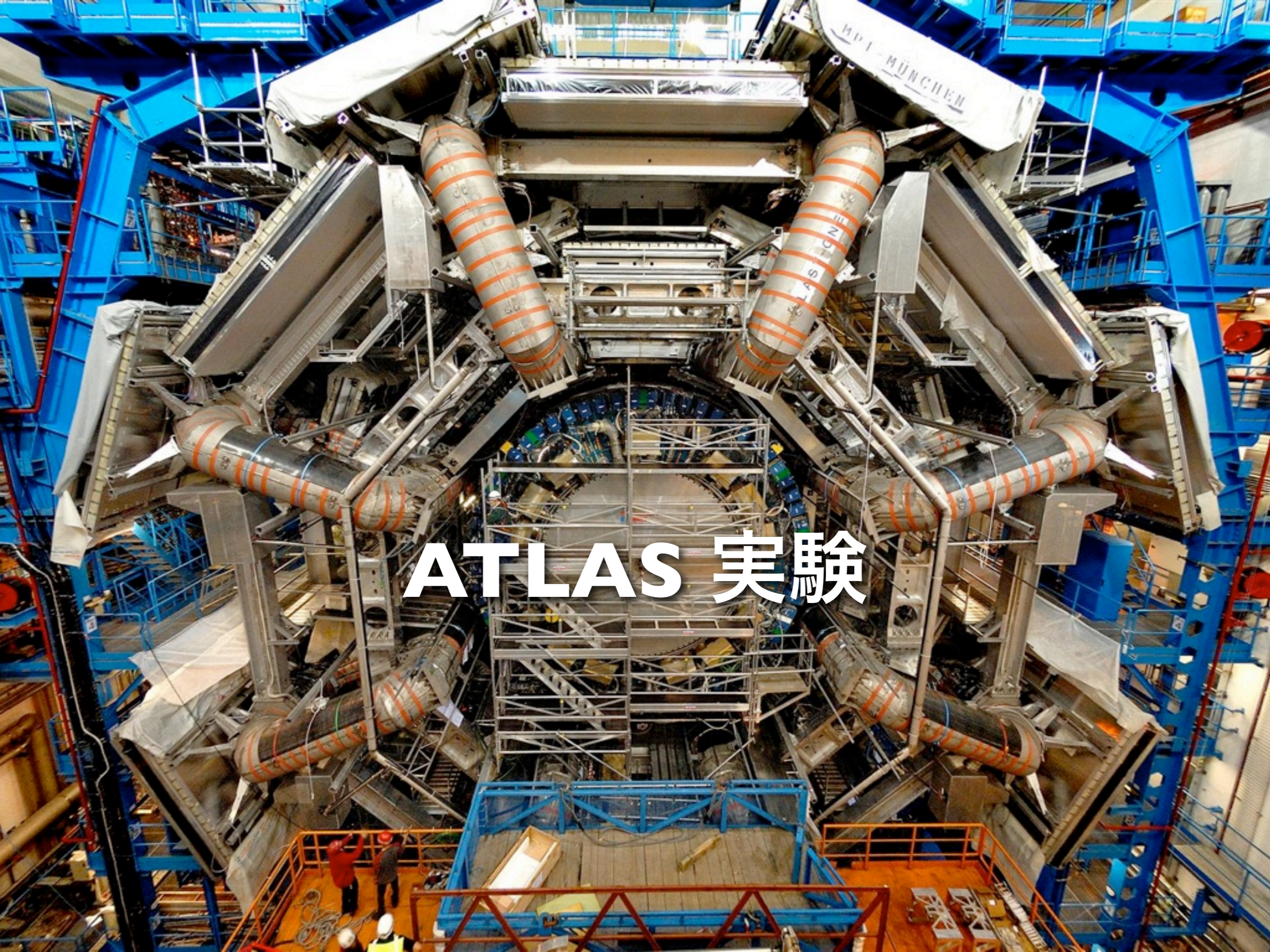
Large Hadron Collider

質量の起源 Higgs 粒子

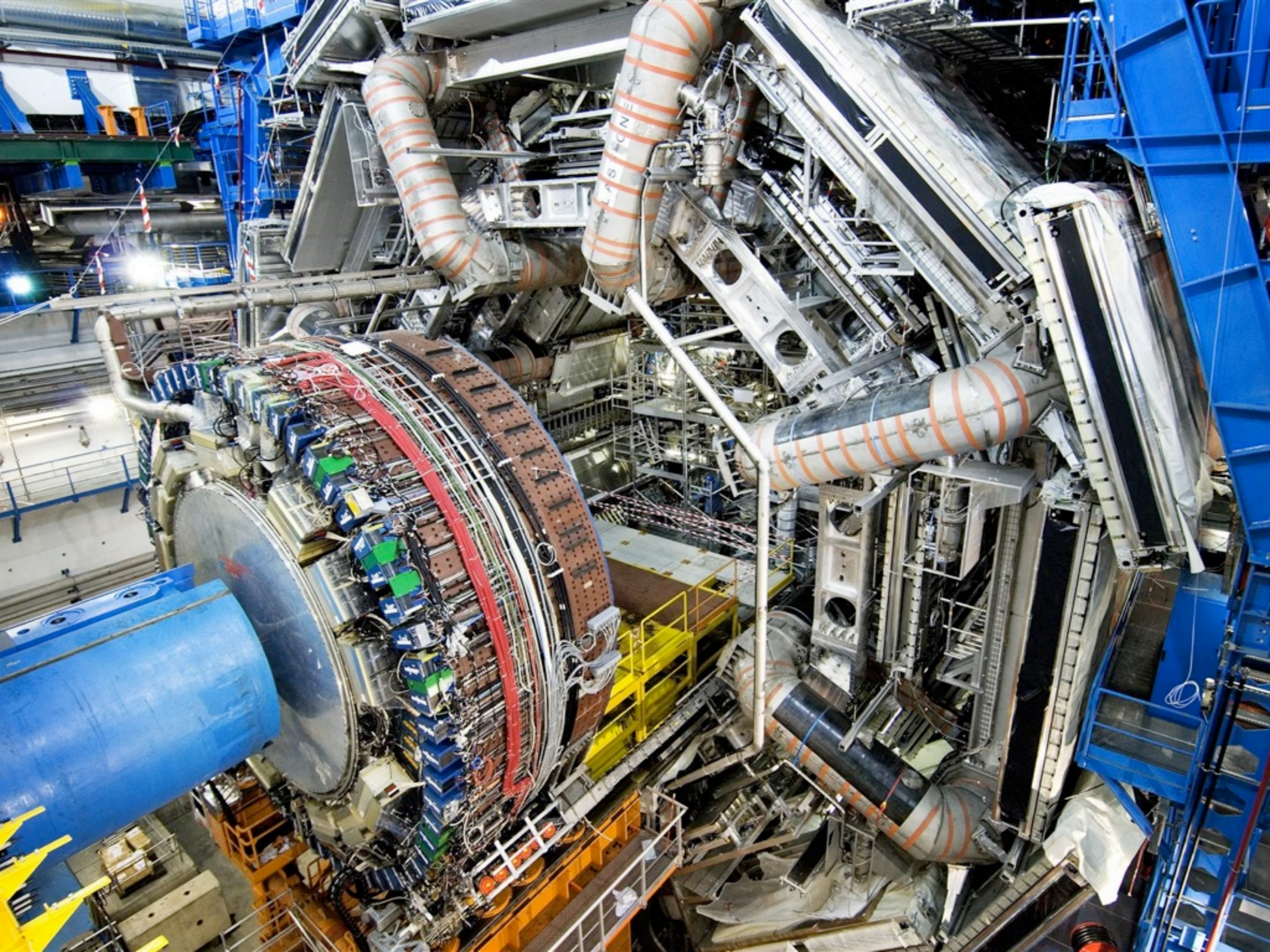


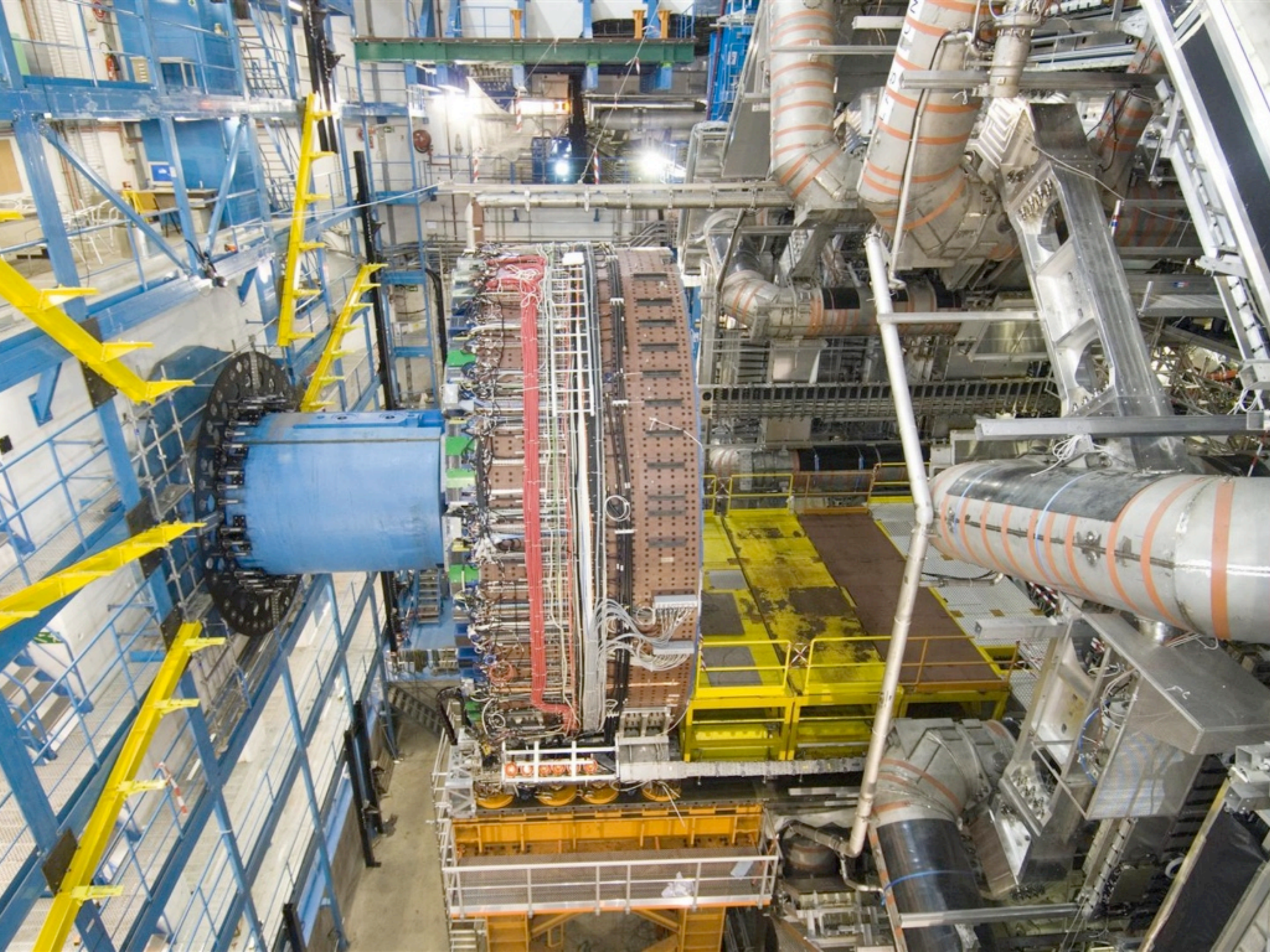
Overall view of the LHC experiments.





ATLAS 実験







Detector characteristics

Width: 44m
Diameter: 22m
Weight: 7000t

CERN AC - ATLAS V1997

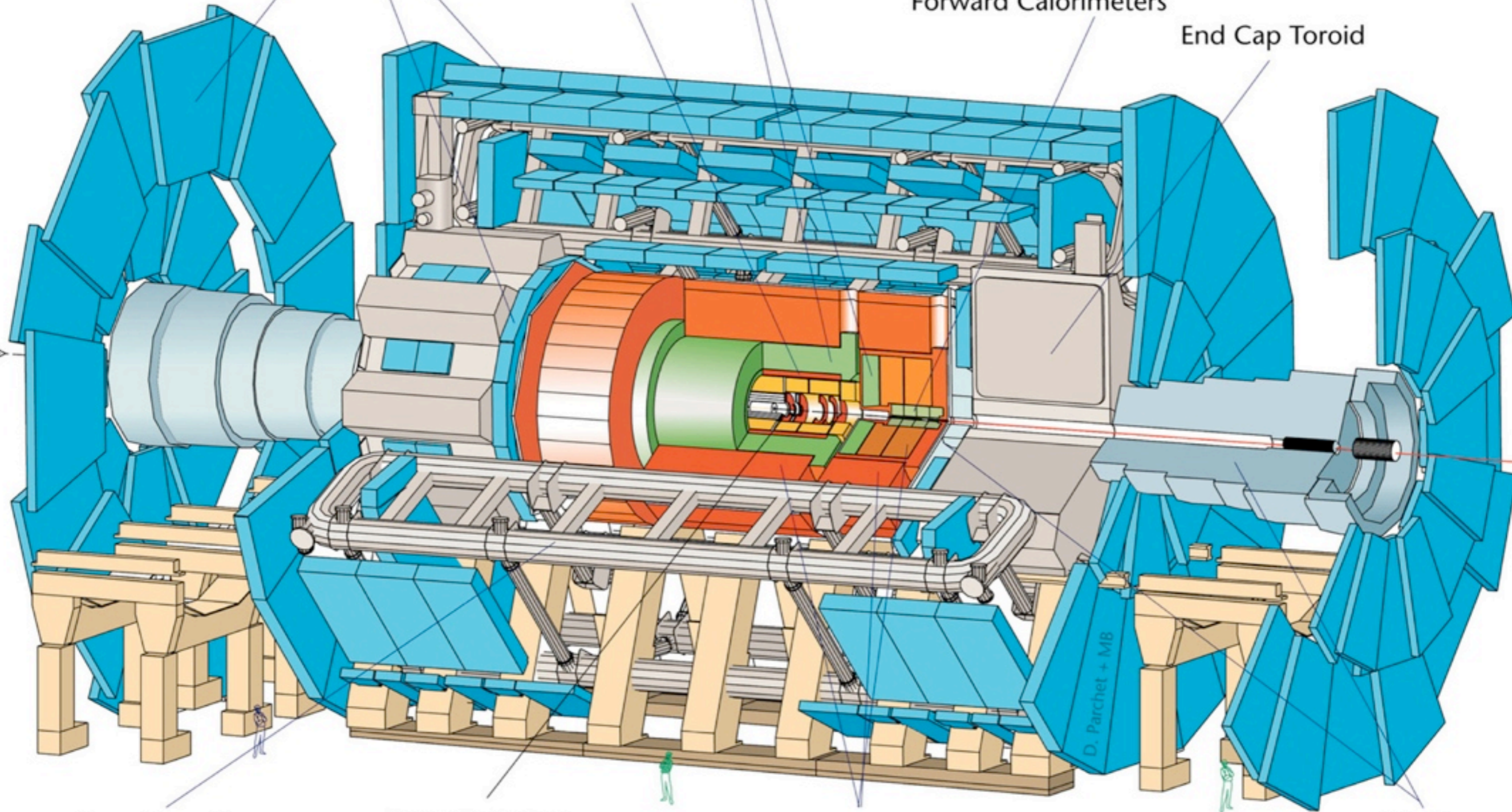
Muon Detectors

Electromagnetic Calorimeters

Solenoid

Forward Calorimeters

End Cap Toroid



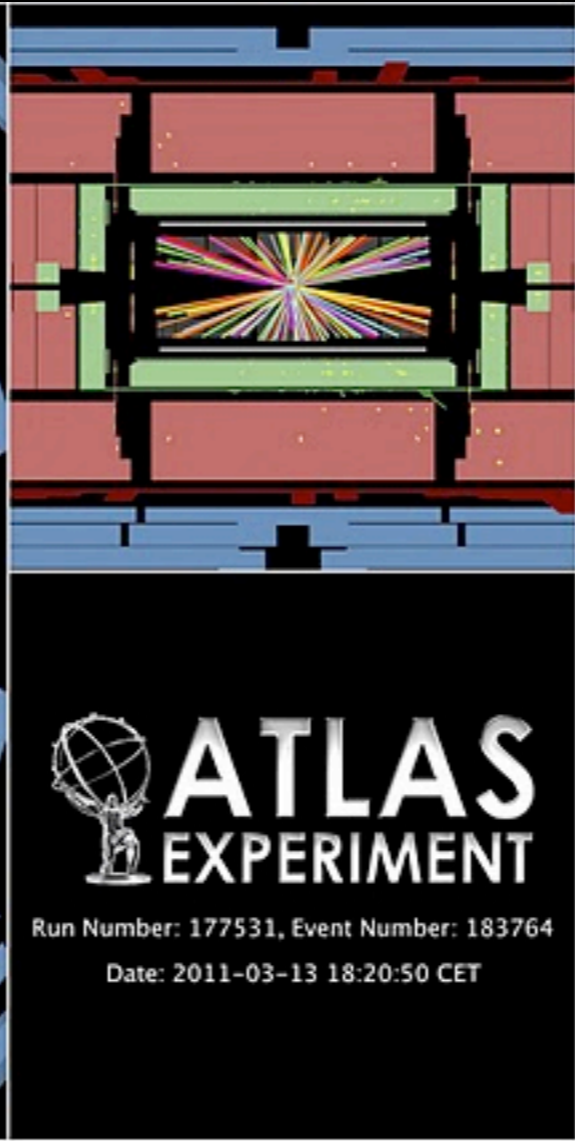
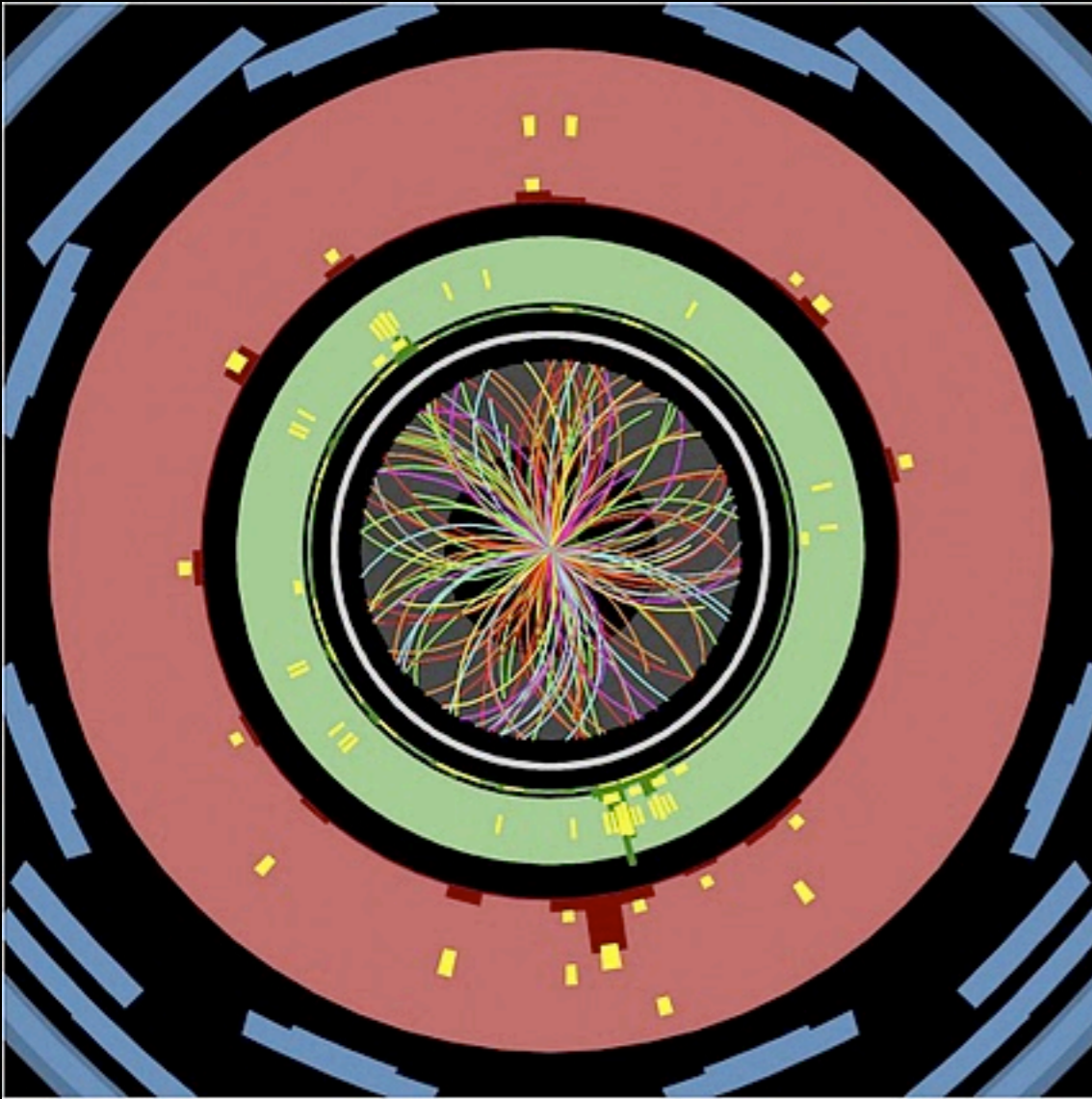
Barrel Toroid

Inner Detector

Hadronic Calorimeters

Shielding

D. Parquet + MB

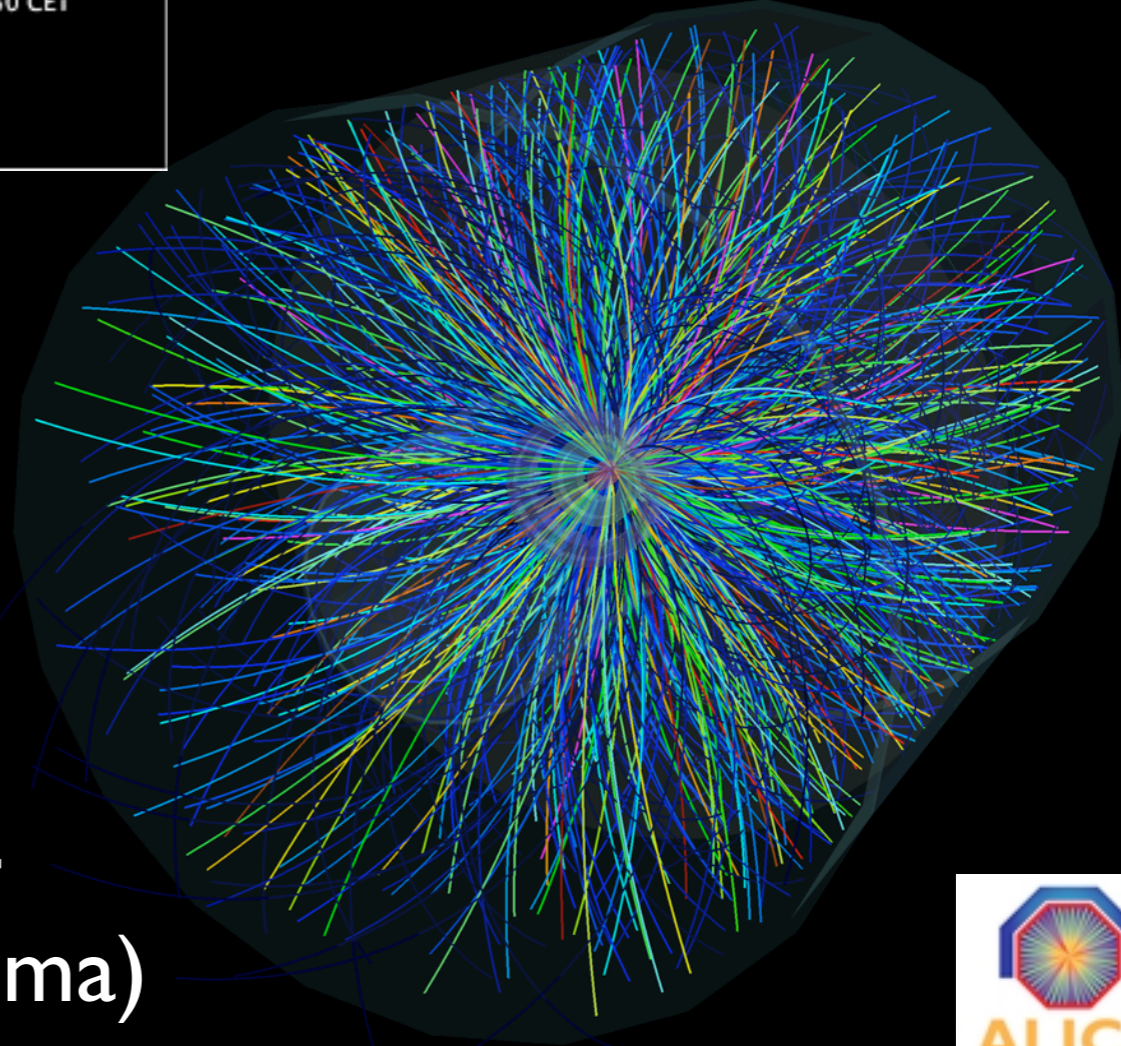


ATLAS
EXPERIMENT
Run Number: 177531, Event Number: 183764
Date: 2011-03-13 18:20:50 CET

$3.5 \text{ TeV} + 3.5 \text{ TeV}$
 $= 7 \text{ TeV}$

目標： $7 \text{ TeV} + 7 \text{ TeV} = 14 \text{ TeV}$

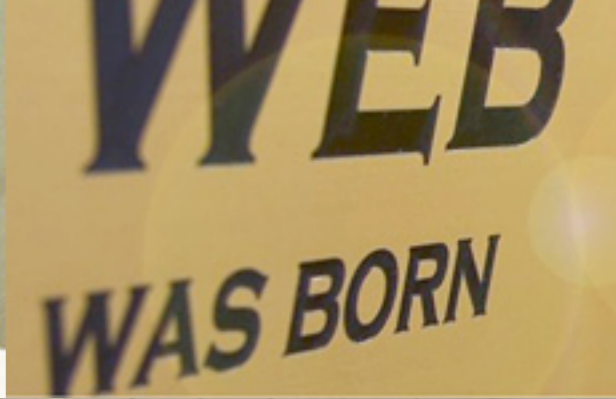
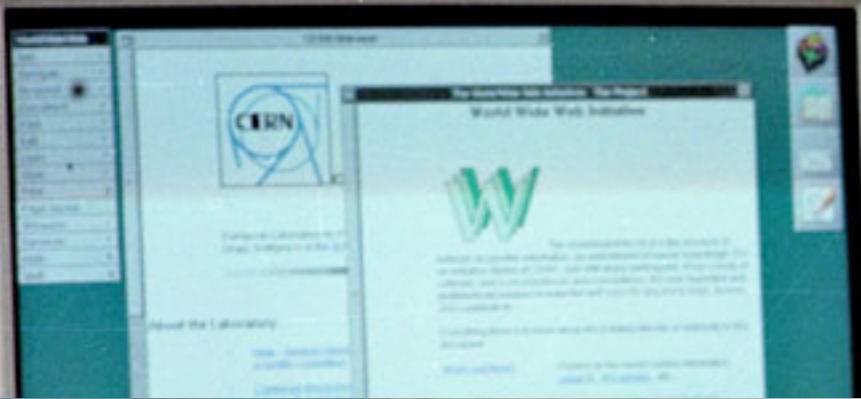
Higgs search



ALICE experiment
QGP (Quark-Gluon Plasma)







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.

CERN Information

A general keyword index to the information available on the WWW. Includes CERN's history and the "Writeup" and the computer network (CERN). (This is the same data on CERN's WWW which is also available on CERNVM with the [VM FIND](#) program.)

Telephone Directory

A keyword index to the CERN telephone book by location.

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:

- [CERN's WWW](#)
- [CERN's Technology Interest Group](#) news.

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

- [Information 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.

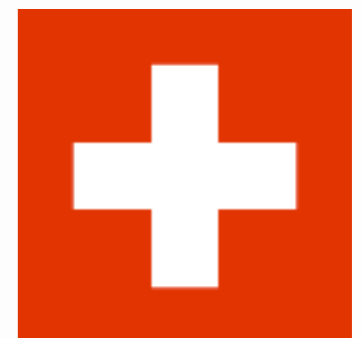
This is the first version of the NextStep WorldWideWeb application with the libWWW library. Bug reports to www-bug@info.cern.ch. Check the list of known bugs in the web too.

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



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 !

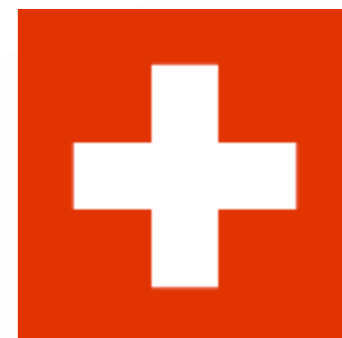
Bonjour !

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)
天使と悪魔
ANGELS & DEMONS

大ヒット上映中!

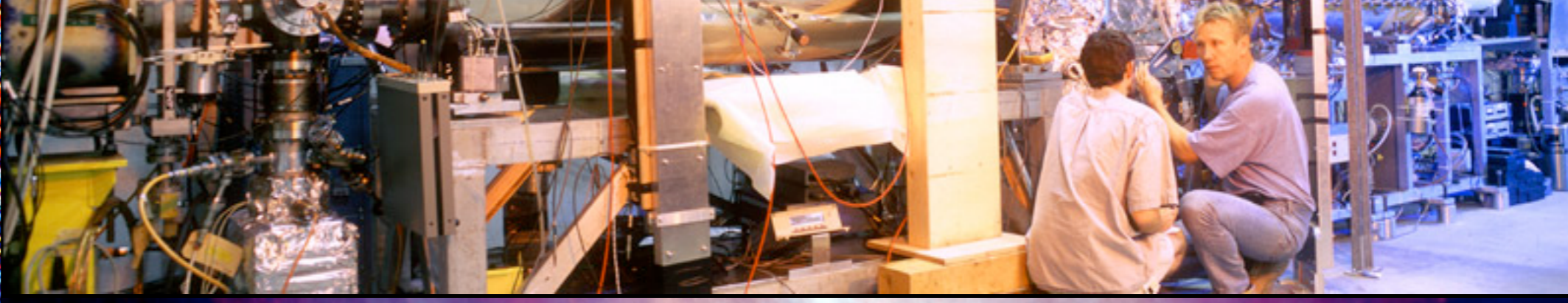
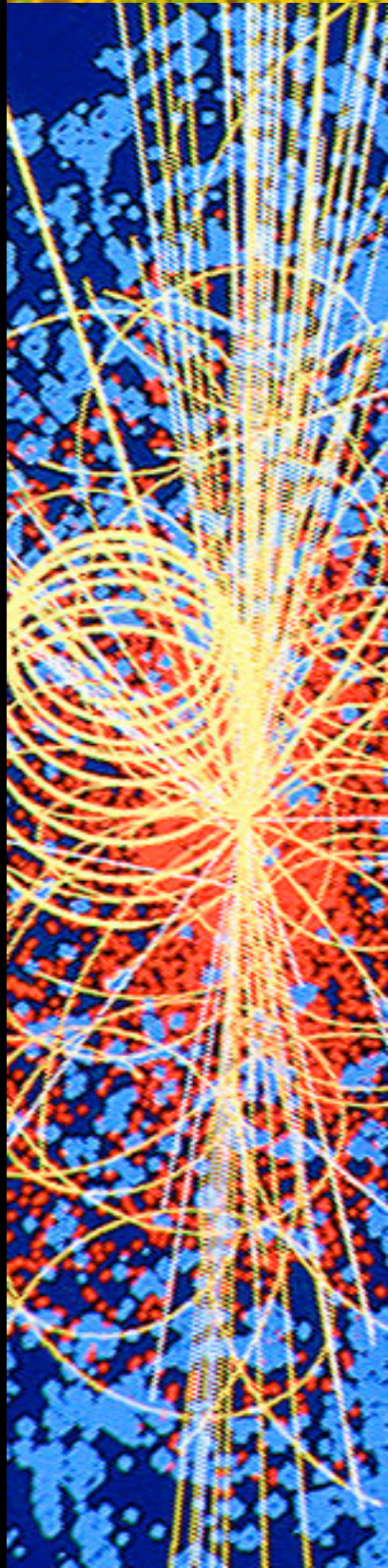
A RON HOWARD FILM
ANGELS & DEMONS
FROM THE AUTHOR OF THE DA VINCI CODE



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

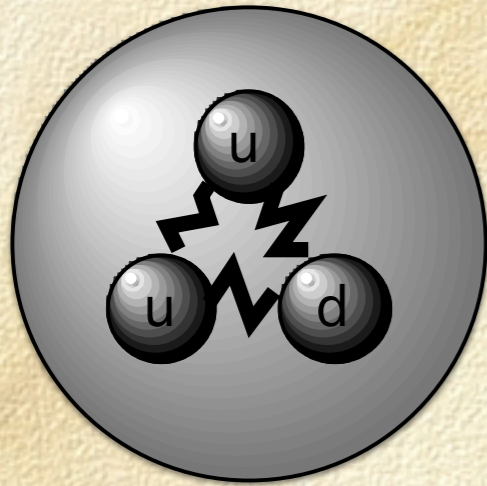


CERN

European Organization for Nuclear Research

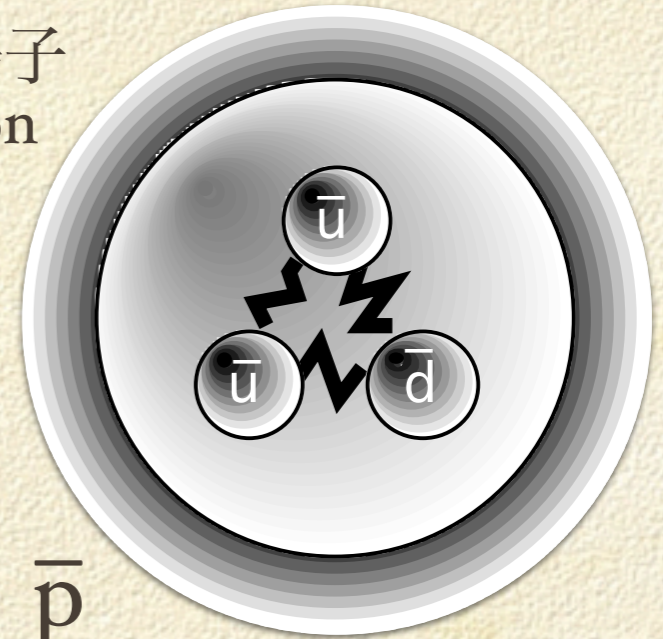
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

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^+

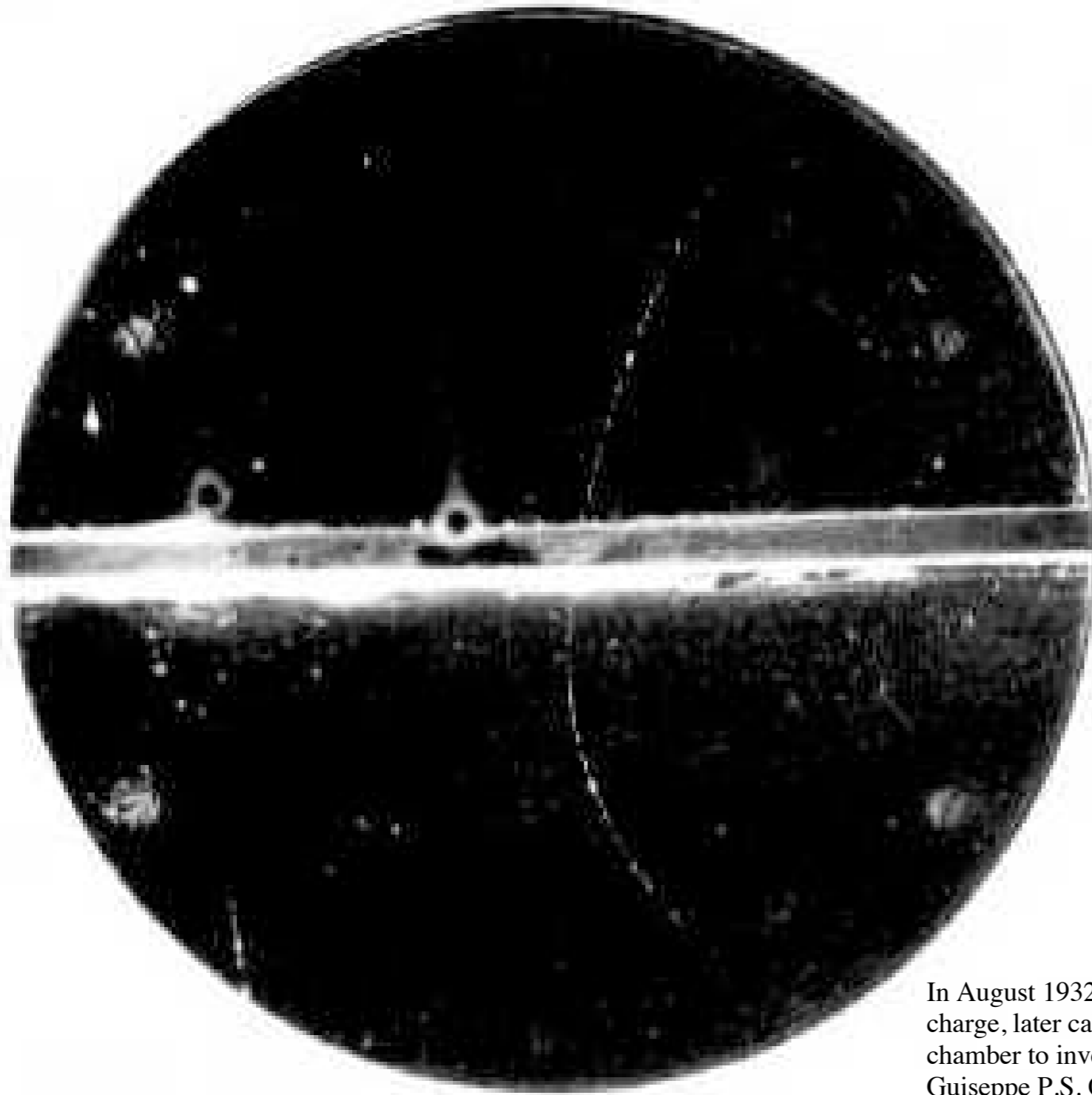


陽電子 positron

Paul Dirac
(相對論的量子力學)

陽電子の発見

Discovery of Positron (1932; Carl D. Anderson)



Anderson's first picture of a positron track (Source: C D Anderson)

The positron travelled downwards and lost energy as it passed through a lead plate in the middle of the chamber. Its track is curved because there was a magnetic field in the chamber.

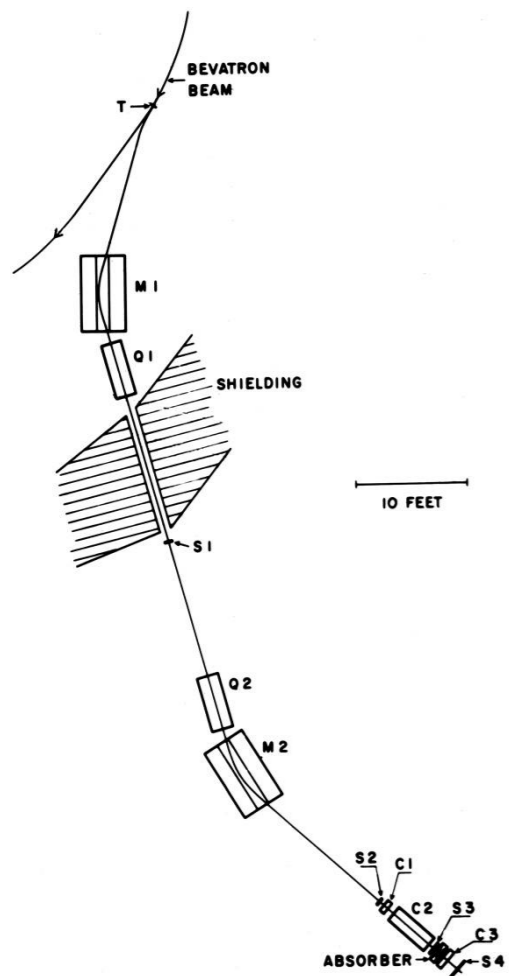
In August 1932, Carl D. Anderson found evidence for an electron with a positive charge, later called the positron. Anderson discovered the positron while using a cloud chamber to investigate cosmic rays. This work was continued by Patrick Blackett and Giuseppe P.S. Occhialini who showed that a positron was produced together with an electron, in line with an earlier theory of Paul Dirac's. According to this theory, a positron was a hole in a sea of ordinary electrons. The positron was the antimatter equivalent to the electron.

Discovery of Antiproton

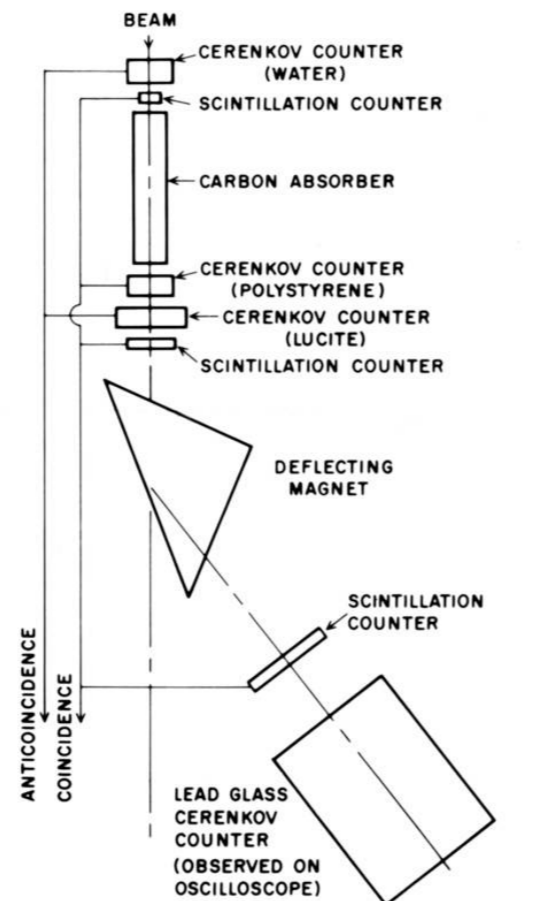
1955; E. Segré & O. Chamberlain

Lawrence-Berkeley Lab., Bevatron

反陽子の発見



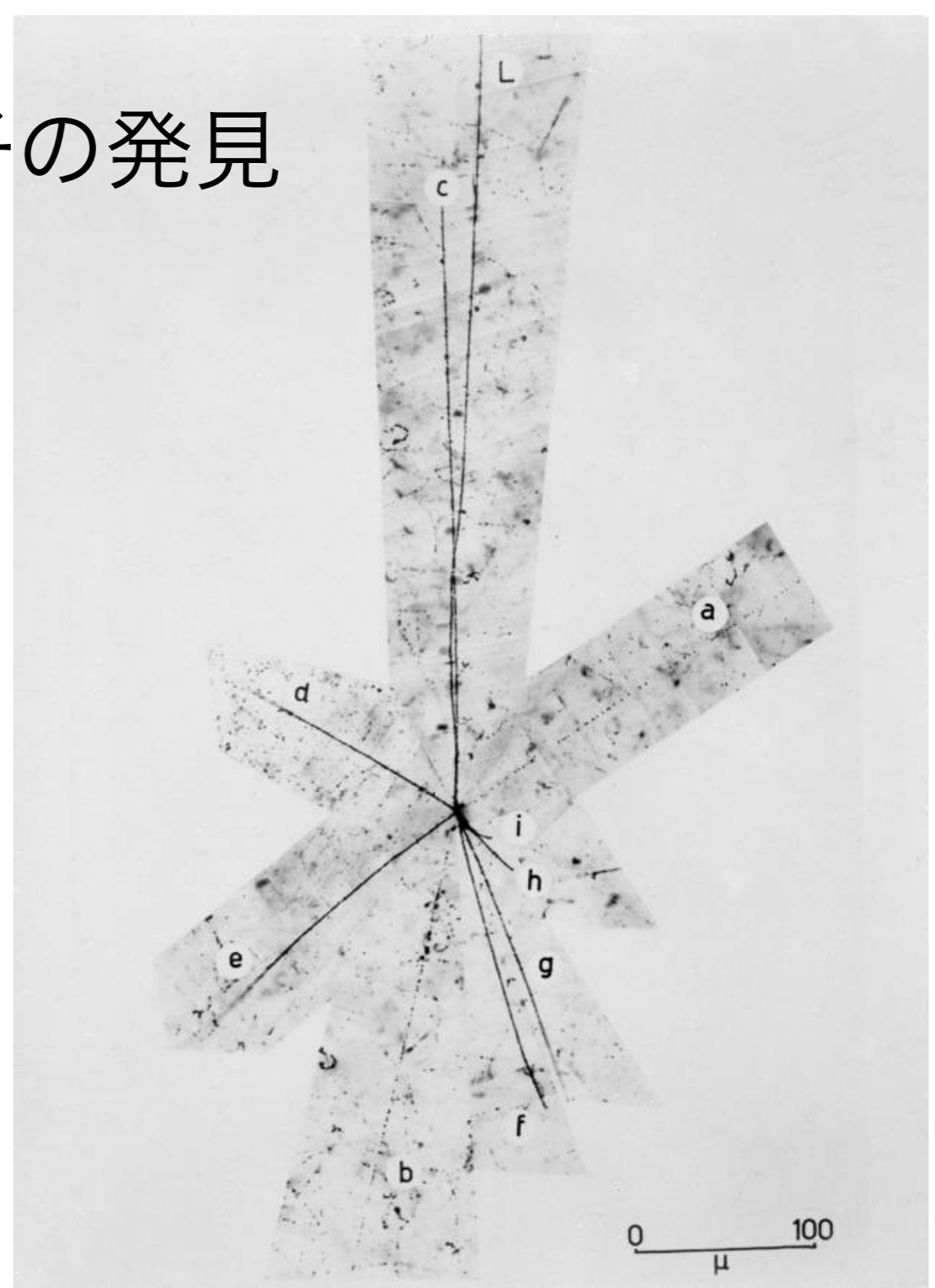
XBD 9606-02963



XBD 9606-02964

Anti-proton detector used successfully in 1955 by Segre's group. M indicates bending magnets, Q indicates focusing quadrupole magnets, S indicates scintillation counters and C indicates Cerenkov counters to eliminate false counts

Anti-proton detector, used by Lofgren's group, analyzed the beam from Segre's magnets. The small Cerenkov counters distinguished the anti-proton from a meson, the large one registered the annihilation of an anti-proton with a proton.



First annihilation star "Faustina" of an anti-proton found in film exposed by the Segre group, 1955. Segre's group pressed forward with the scanning of emulsion stacks in collaboration with a group under Edoardo Amaldi in Rome. The Rome team found the first annihilation star, whose visible energy (the combined energy of all ionizing fragments) amounted to above 826 MeV, an amount deemed appropriate for an explosion initiated by an antiproton. (The preceding information was excerpted from the text of the Fall 1981 issue of LBL Newsmagazine.)

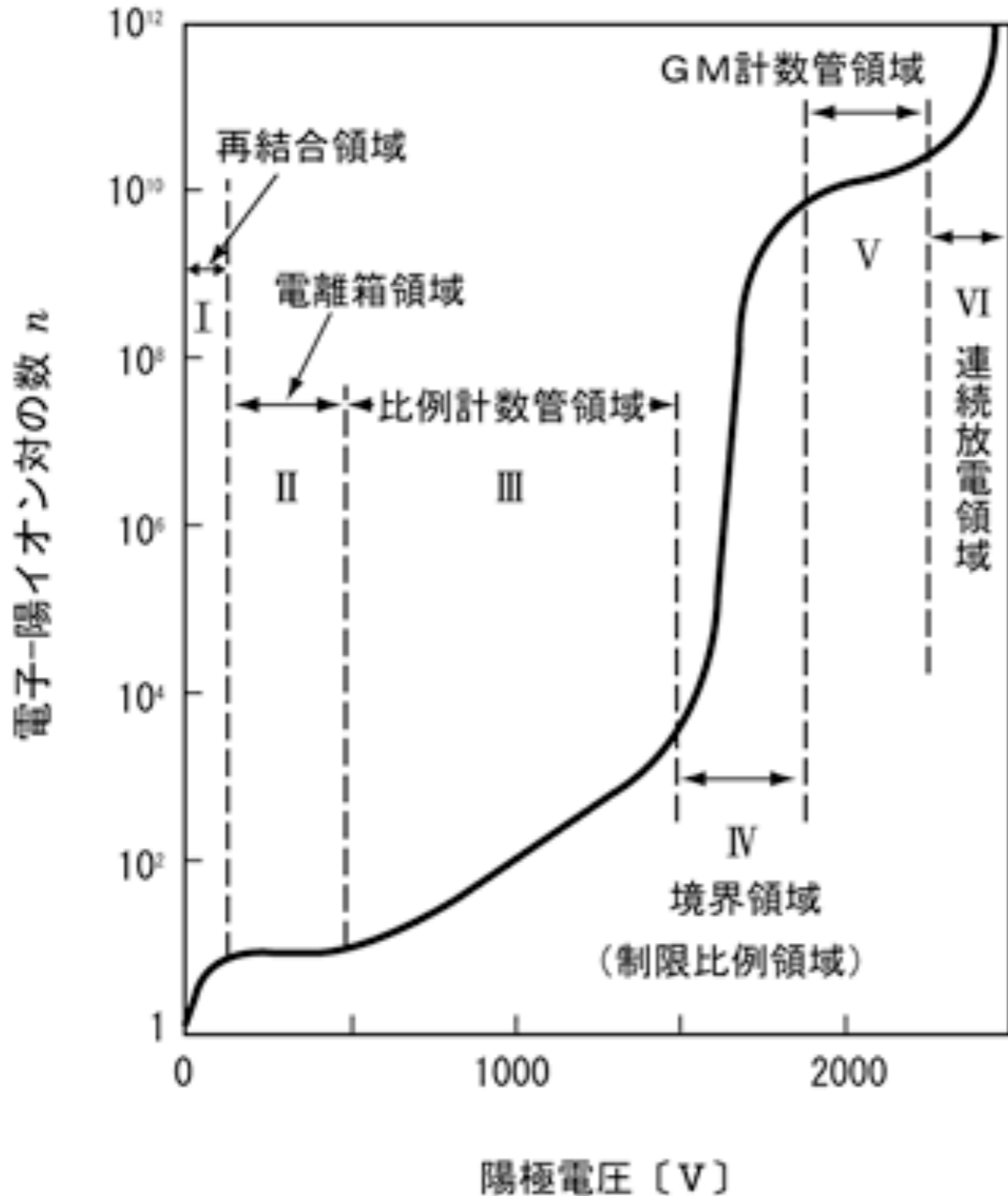
放射線計測学

(高エネルギー物理学実験用)

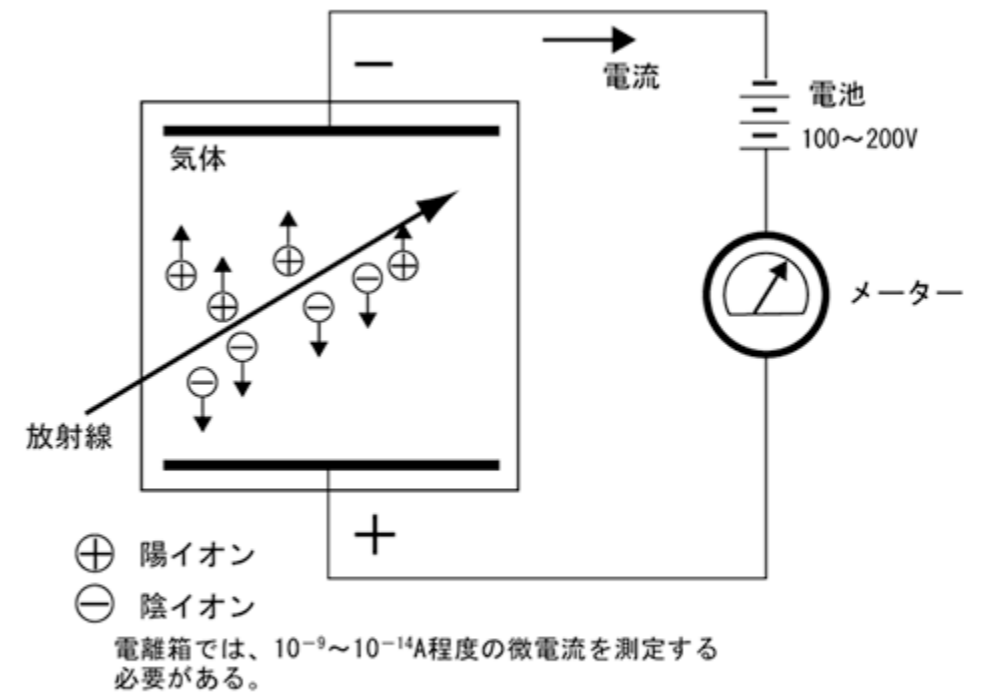
気体の電離を利用する放射線計測

電離箱, 比例計数管, GM管

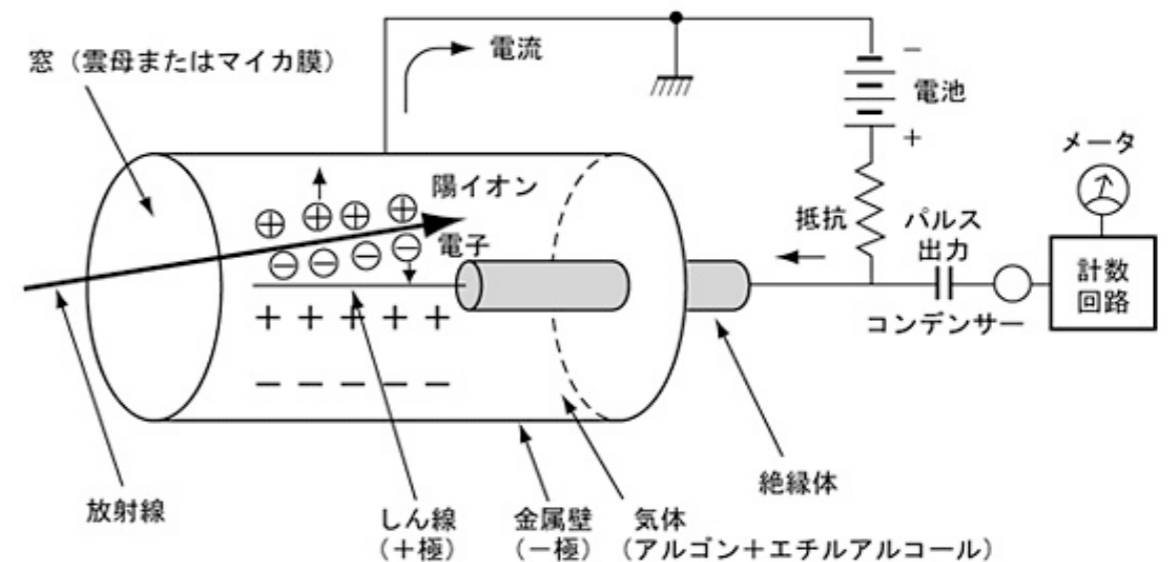
(ガイガー・ミュラー管)



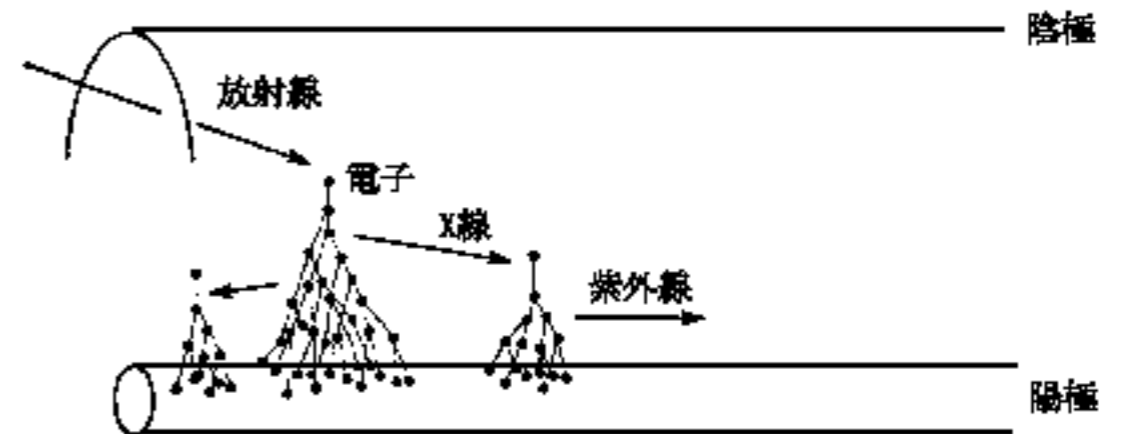
電離箱



GM管

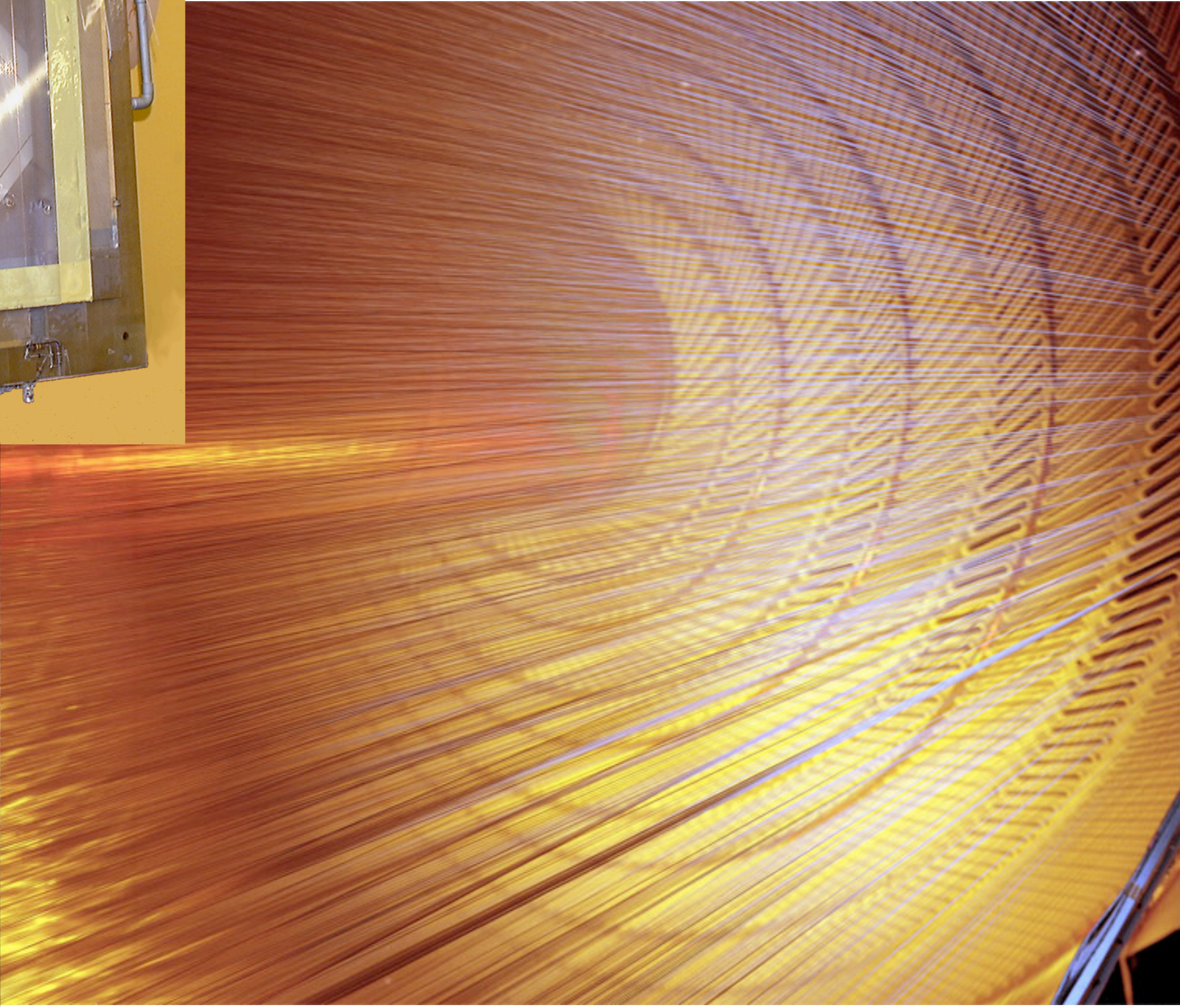
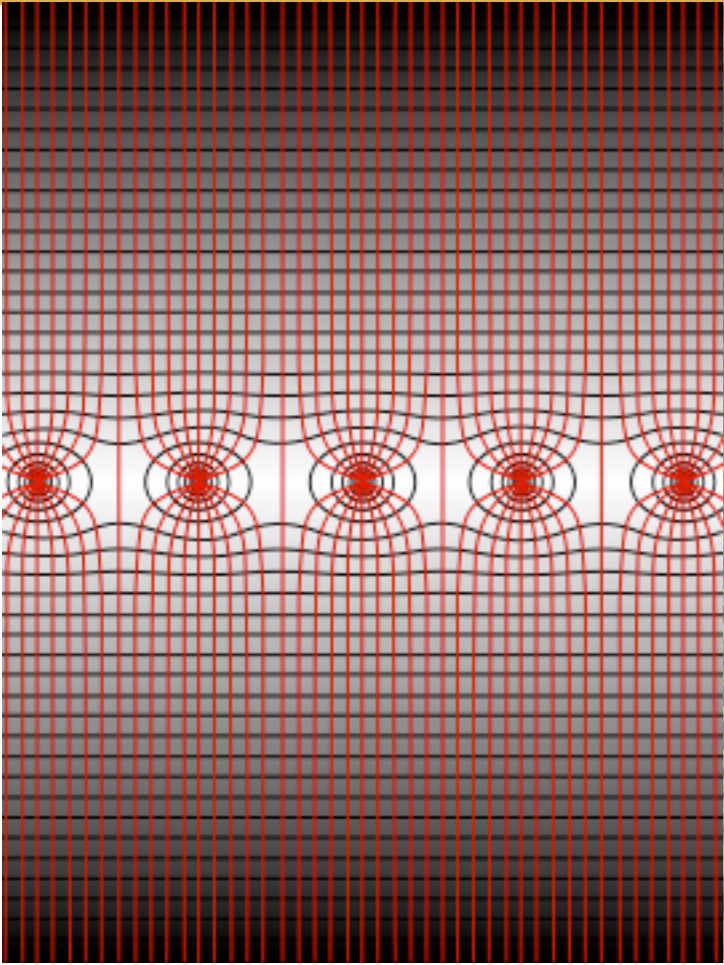
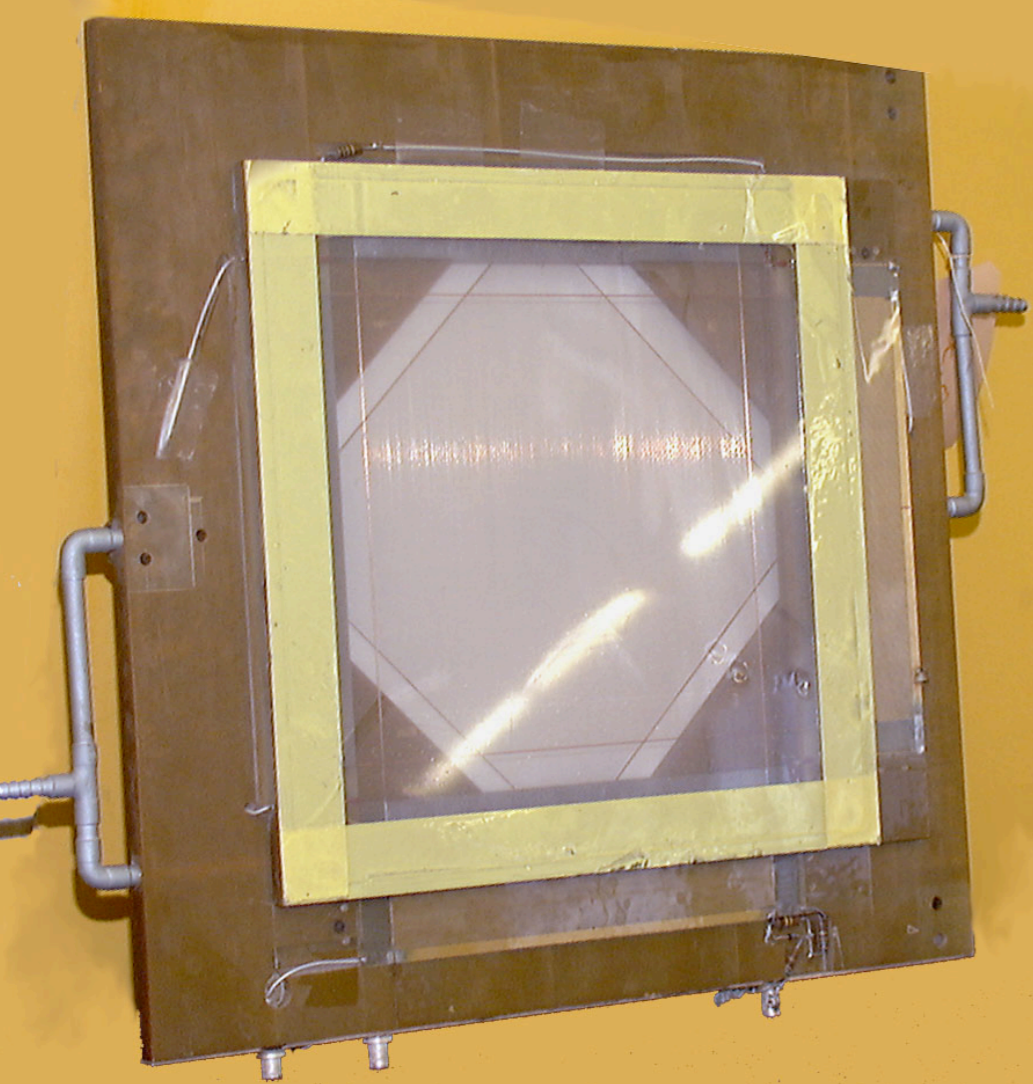


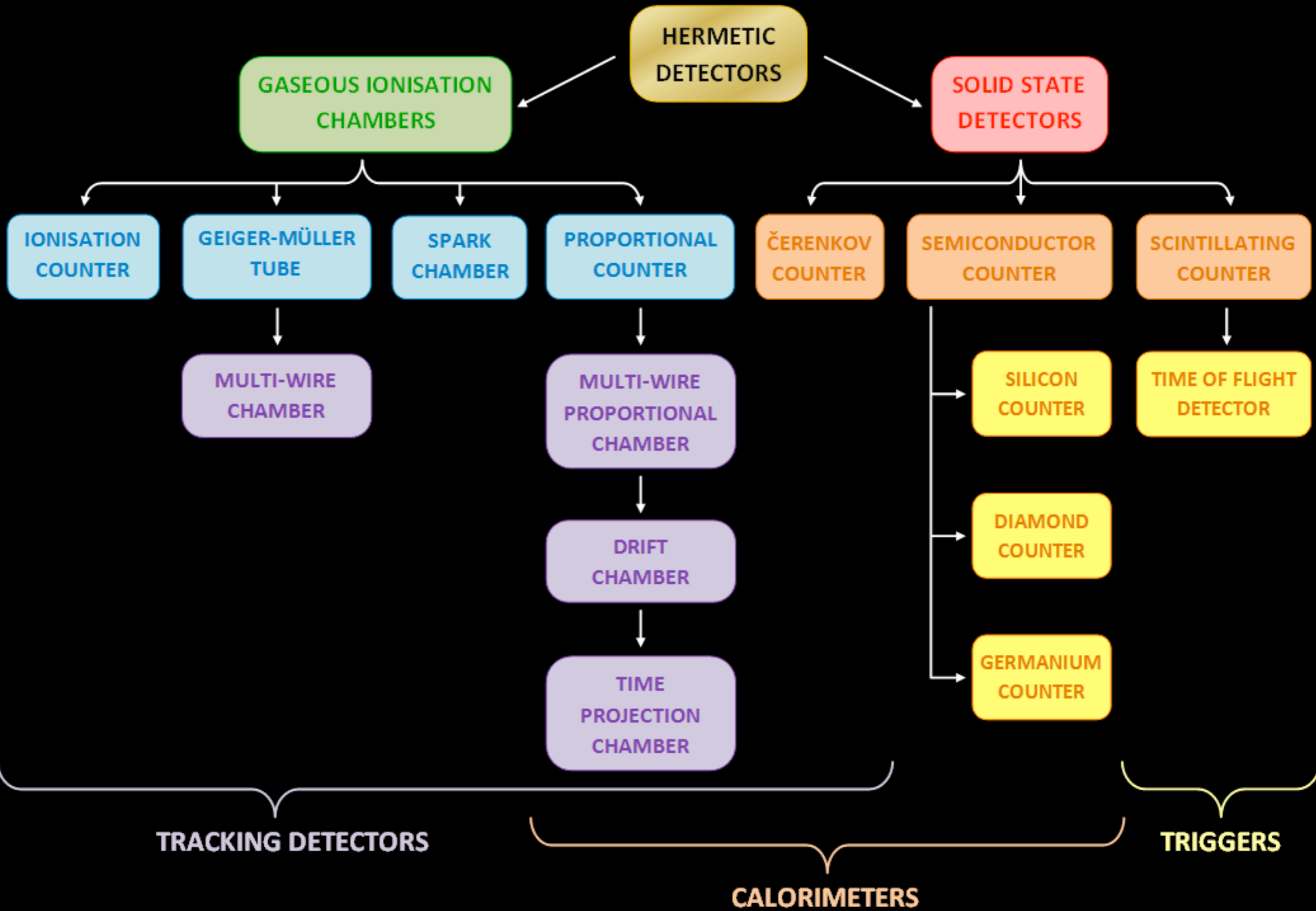
GM管での電子の発生



ワイヤーチェンバー MWPC

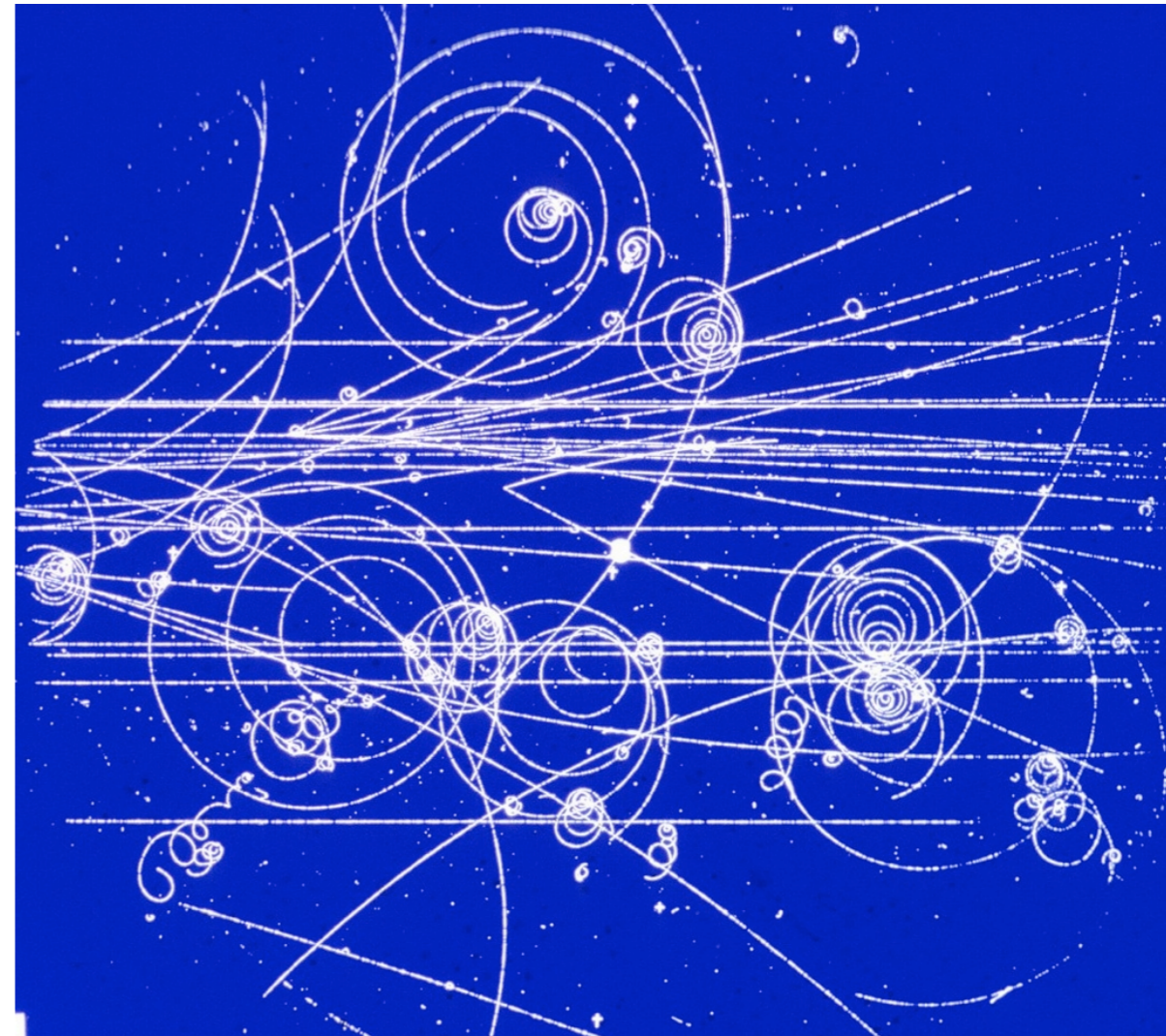
Multi-wire proportional chamber



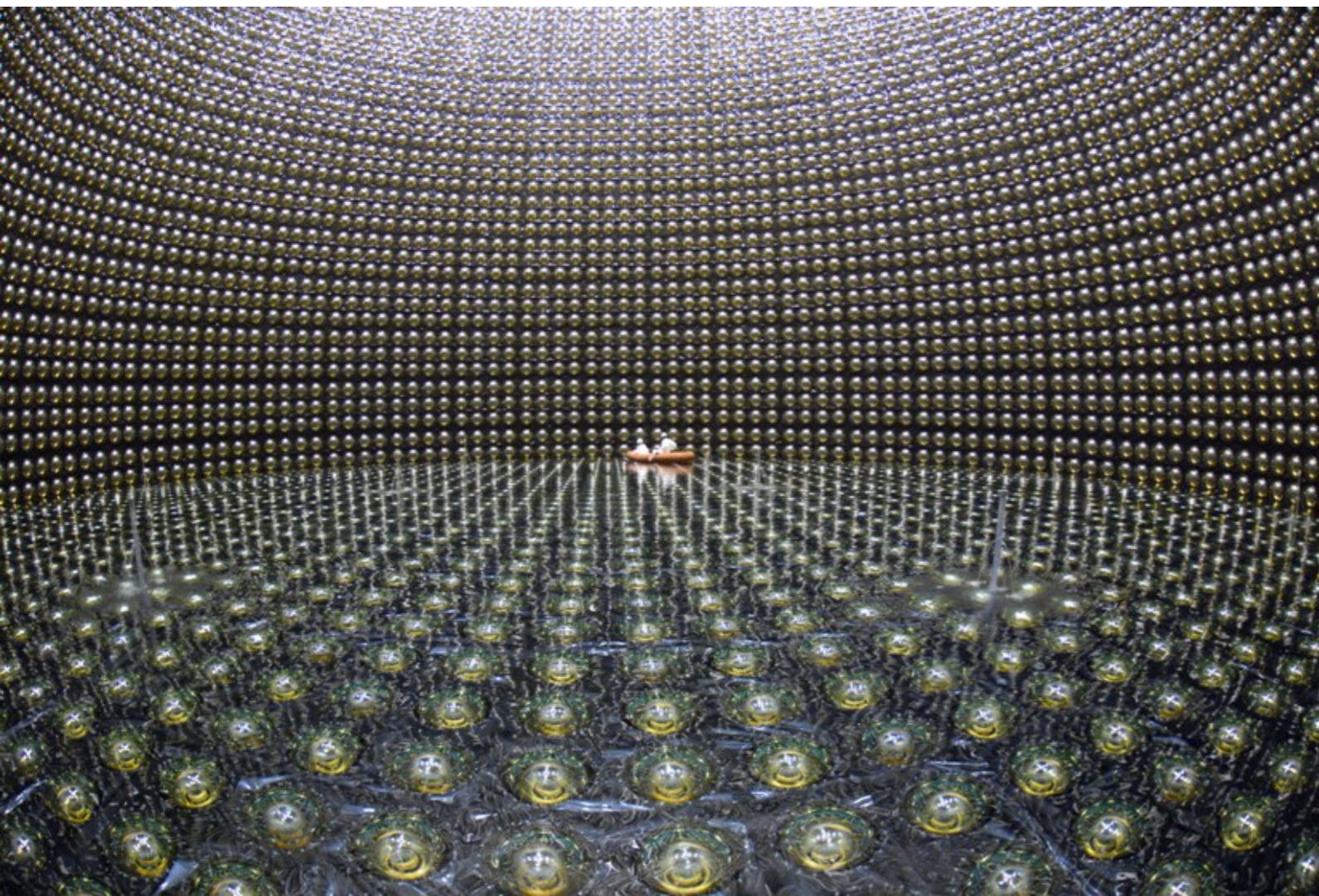
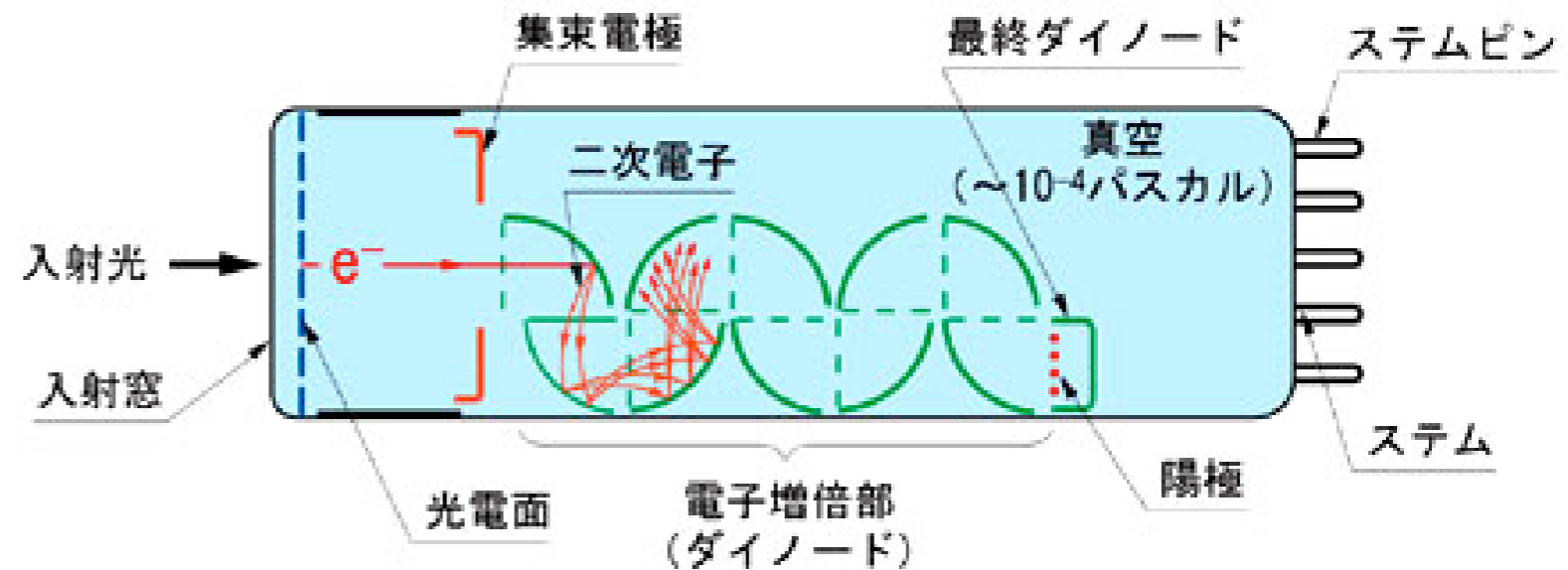


泡箱

Bubble chamber



光電子増倍管 (PMT: Photomultiplier tube)



光 \Rightarrow 光電効果 \Rightarrow 電子増幅
 \Rightarrow 電流

シンチレータとの組み合わせ
Scintillator

放射線 \Rightarrow 分子の励起 \Rightarrow 蛍光
光 \Rightarrow 光電子増倍管

シンチレータ (Scintillators)

シンチレータ
およびライトガイド

無機 : NaI (Tl), CsI, ZnS, BaF₂,
BGO, GSO など (γ線、X線)
Bi₄Ge₃O₁₂ Gd₂SiO₅

有機 : プラスチックシンチレータ (電子線)
例 : PPO, POPOP / ポリスチレン (荷電粒子)

: 液体シンチレータ

例 : p-テルフェニル / トルエン



ゲルマニウム検出器 (Ge detector)

半導体検出器 (Semiconductor detectors)



例 : Si(Li) 検出器、Ge 検出器 (高エネルギー分解能) (γ線)

放射線 ⇒ 電離 ⇒ 電子正孔対 ⇒ 電荷測定

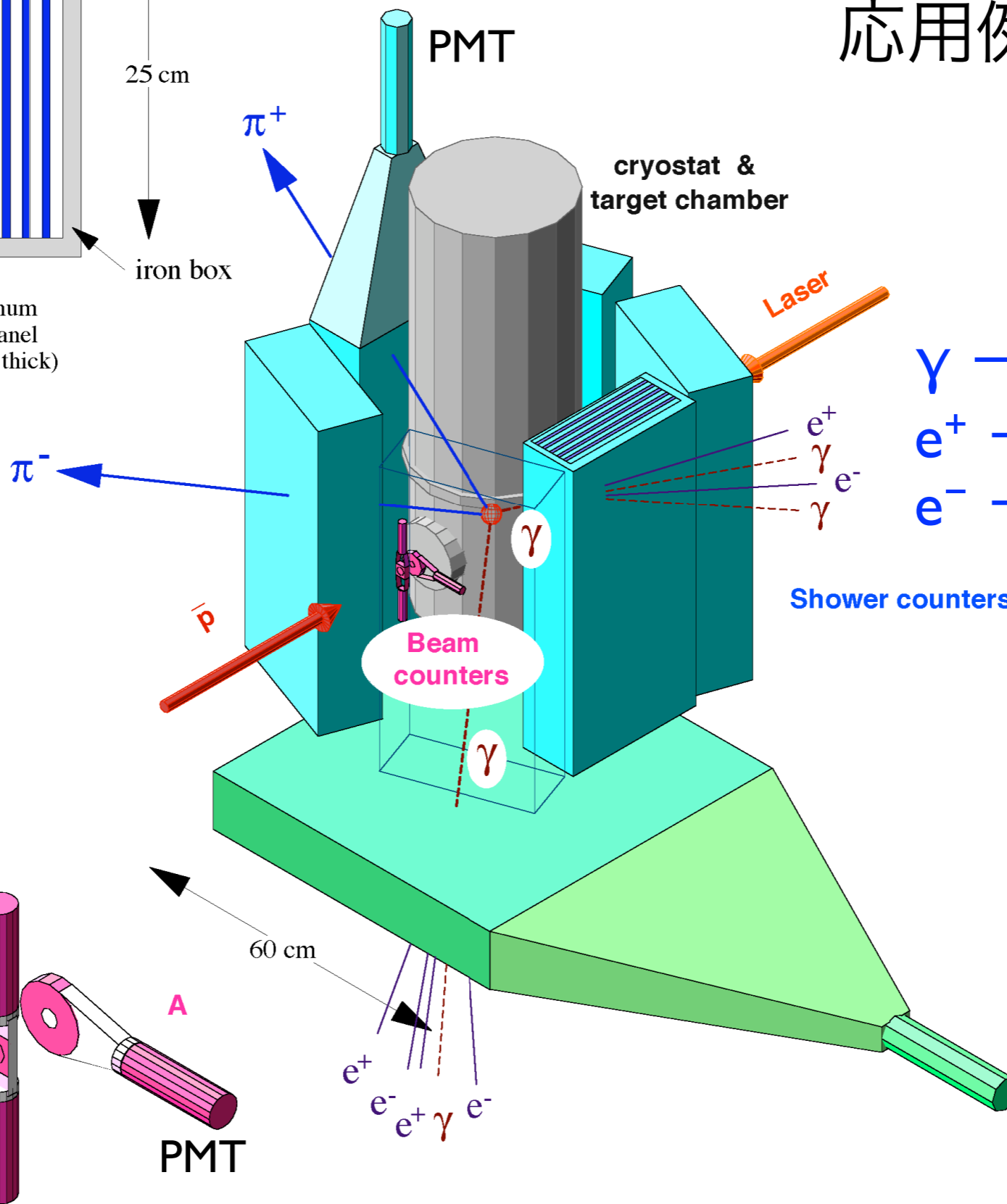
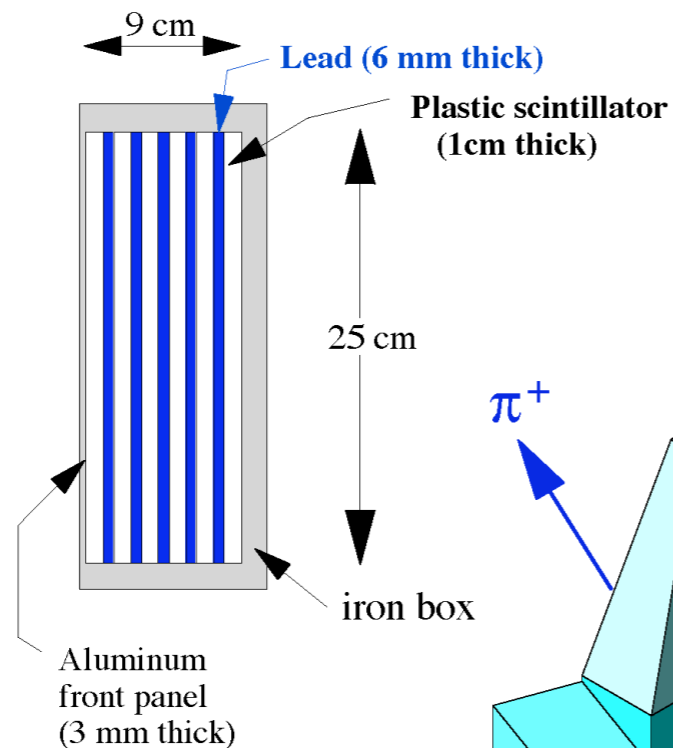
電気パルス : タイミング : 粒子透過時刻

: パルス高 : エネルギー

シンチレーションカウンター

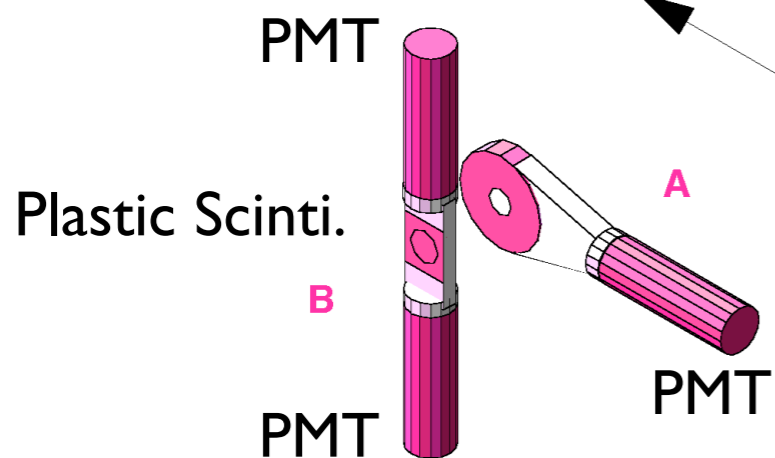
応用例

鉛：Z大
電子対生成
 $\gamma \rightarrow e^+ e^-$



$\gamma \rightarrow e^+ e^-$ (電子対生成)
 $e^+ \rightarrow e^+ \gamma$ (制動放射)
 $e^- \rightarrow e^- \gamma$ (制動放射)

電磁シャワー



線量計 (個人線量計、環境放射線測定)

フリック線量計 Fricke dosimeter



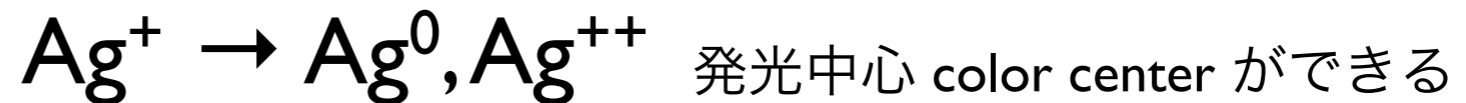
熱ルミネッセンス線量計 TLD: thermoluminescence dosimeter

蛍石などの固体結晶 + 放射線 → (加熱) → 蛍光

電子・正孔が格子欠陥に捕えられる

蛍光ガラス線量計 glass badge (RPL: radio-photoluminescence)

銀活性リン酸塩ガラス + 放射線 → (紫外線) → 蛍光



ガラス線量計: コバルトガラス → 発光中心 (着色)

光刺激ルミネッセンス線量計 OSL: optically stimulated luminescence

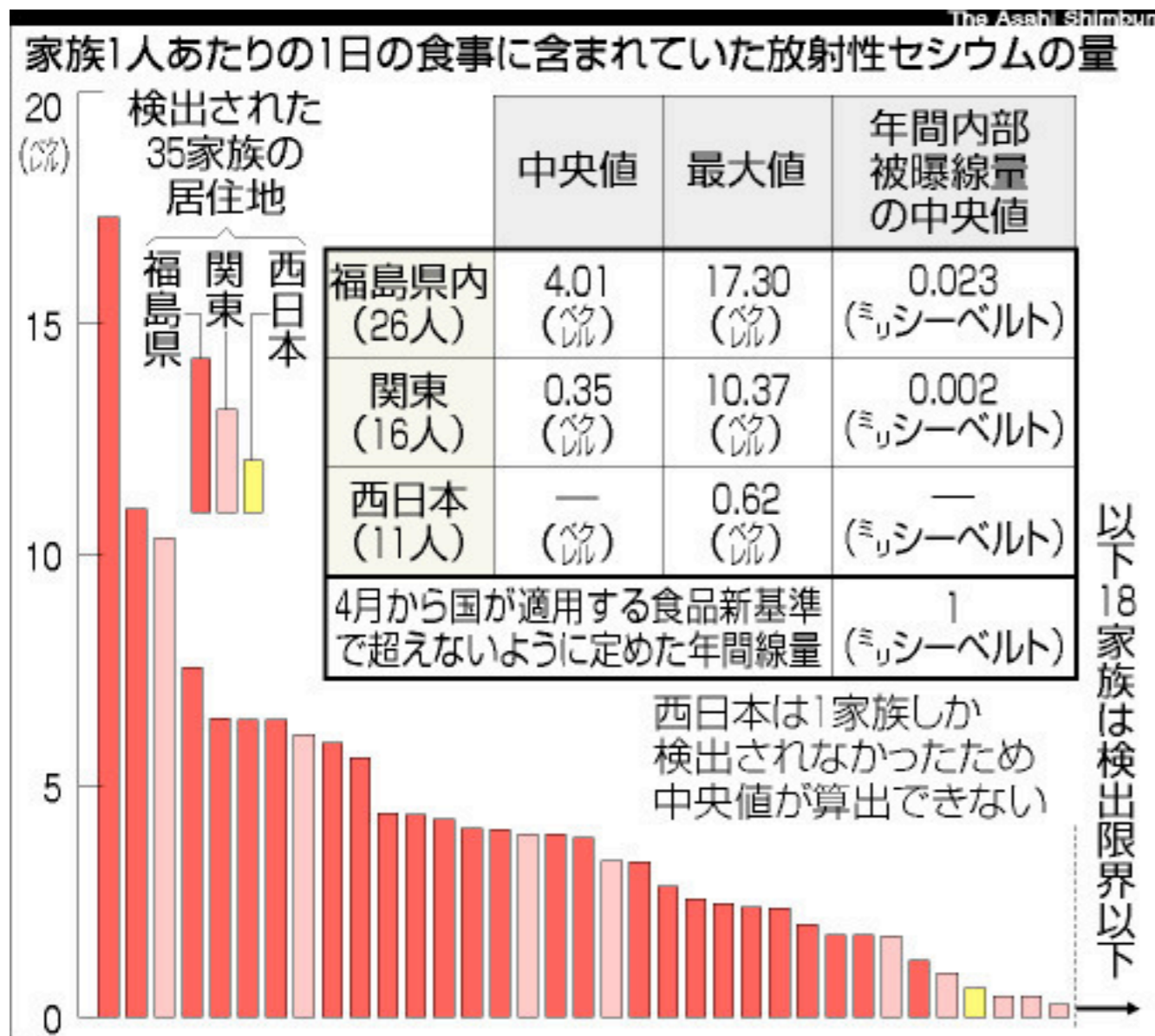
ポケット線量計: 電離箱、半導体検出器

フィルムバッジ: 銀塩写真フィルム AgBr



さて、

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

これまでの講義のまとめ

放射線計測学

(環境放射能モニタリング)

レポート総評

空間線量測定

放射線の測定

試料測定



β (γ)



γ

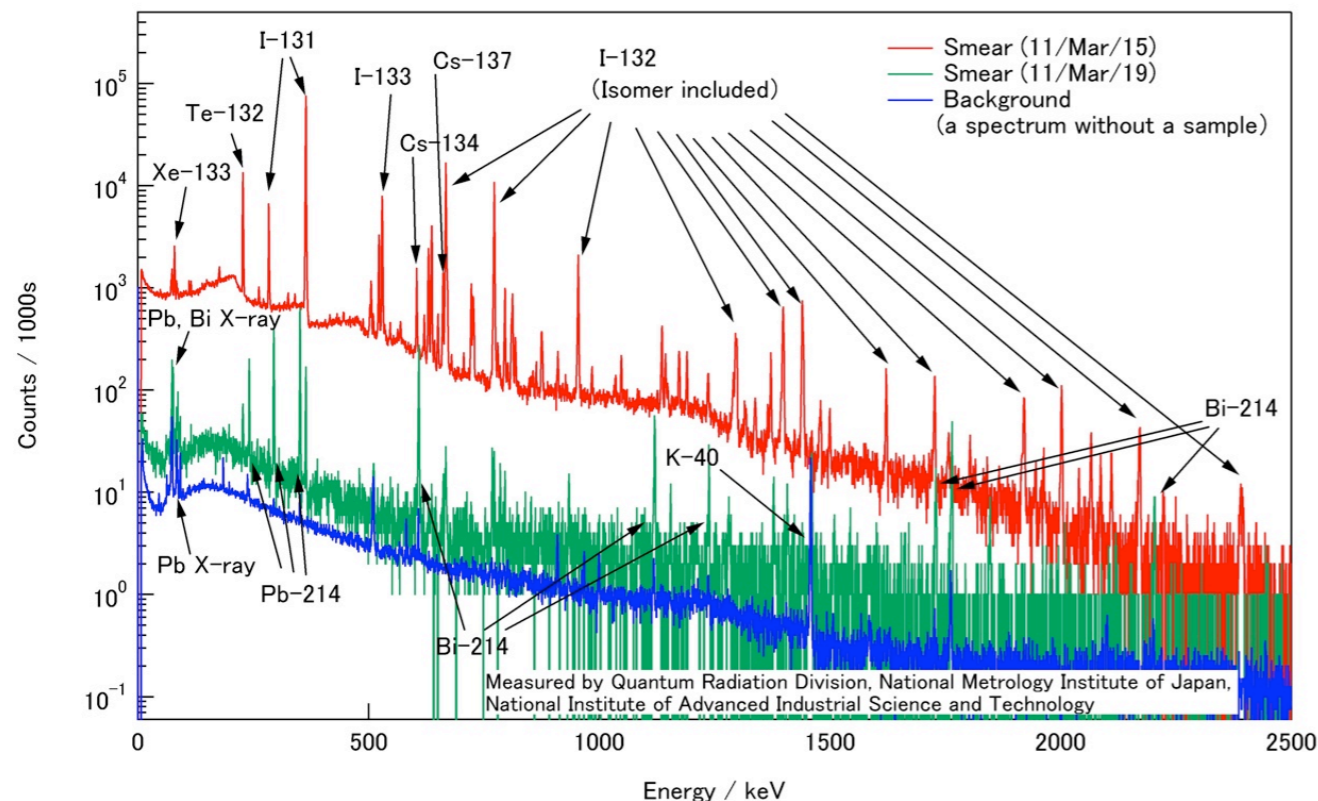
γ ゲルマニウム検出器 (Ge detector)

計数 (cps = counts per second)

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)

エネルギー分析 (核種同定)

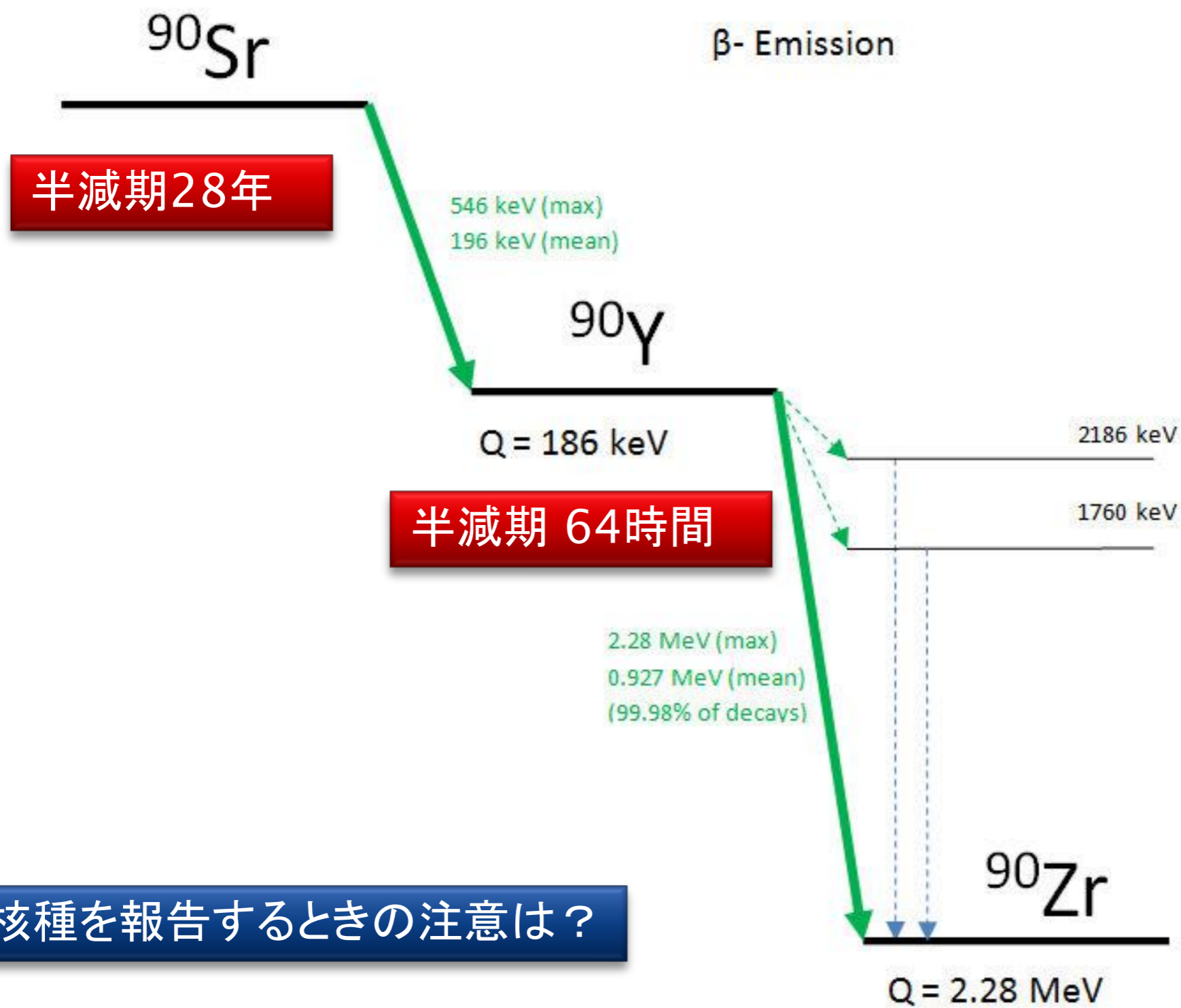
ガンマ線スペクトル (ゲルマニウム検出器)



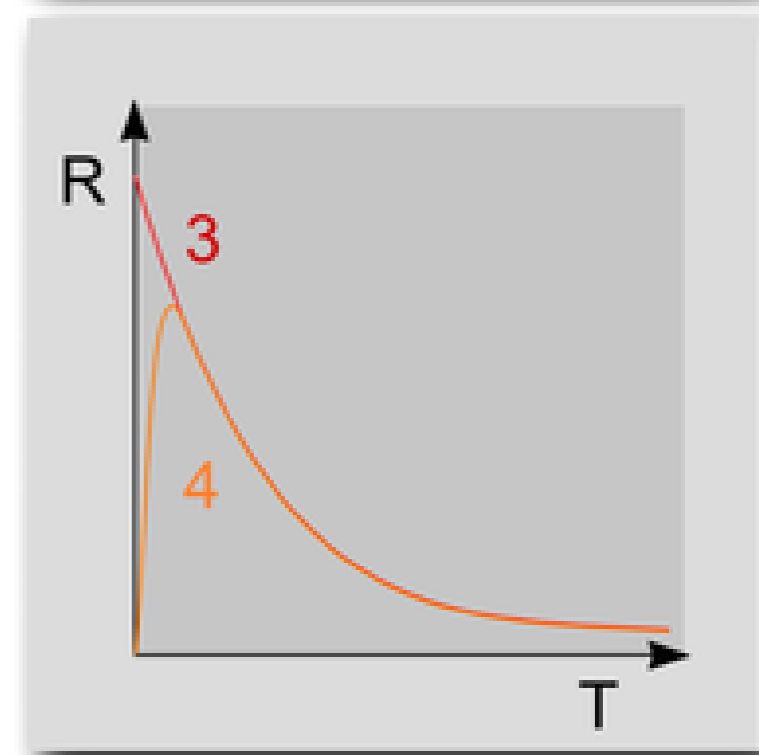
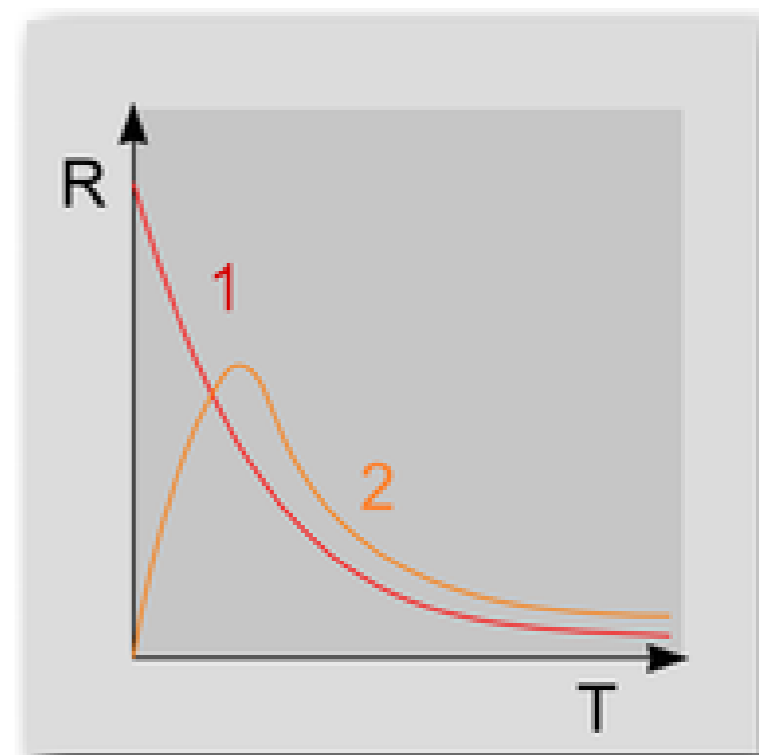
食品検査用ゲルマニウム検出器



^{90}Sr は過渡平衡？永続平衡？



核種を報告するときの注意は？

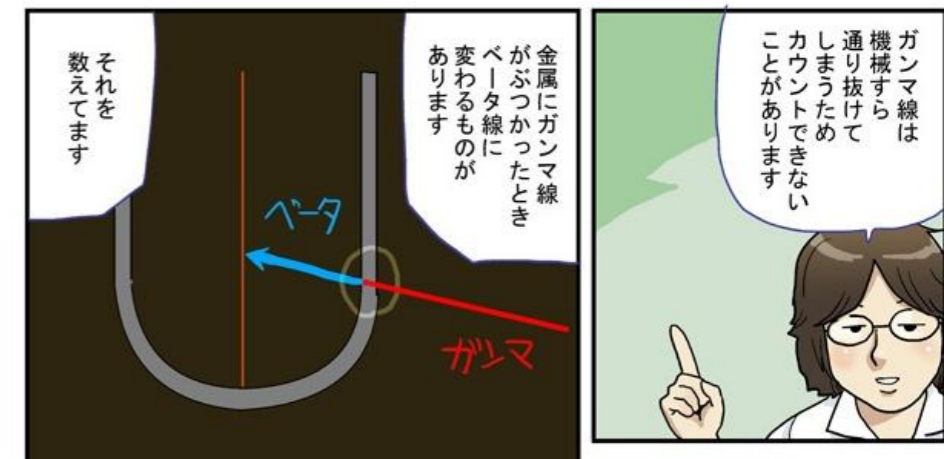
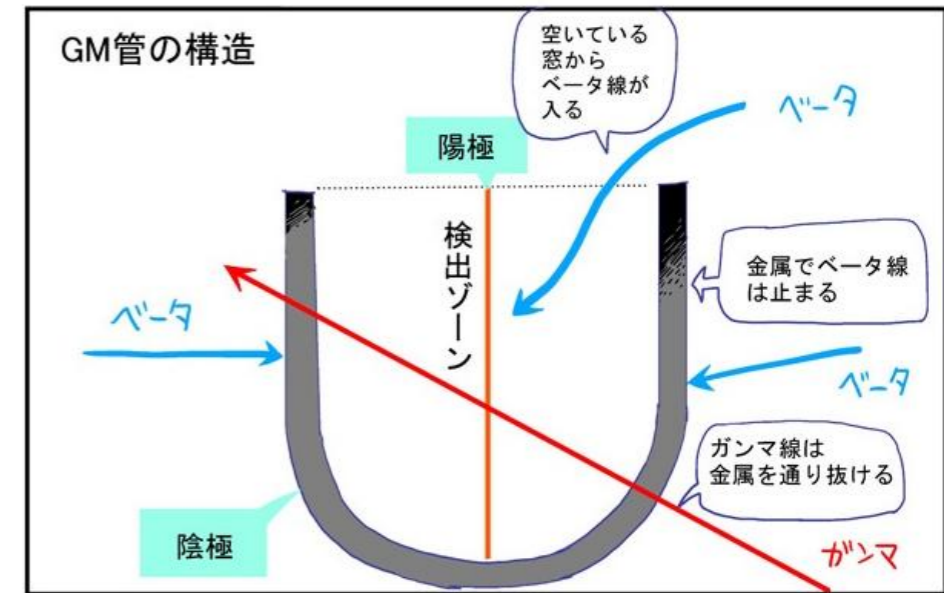


レポート総評

- 被曝（被ばく） ≠ 被爆

GM管の検出効率

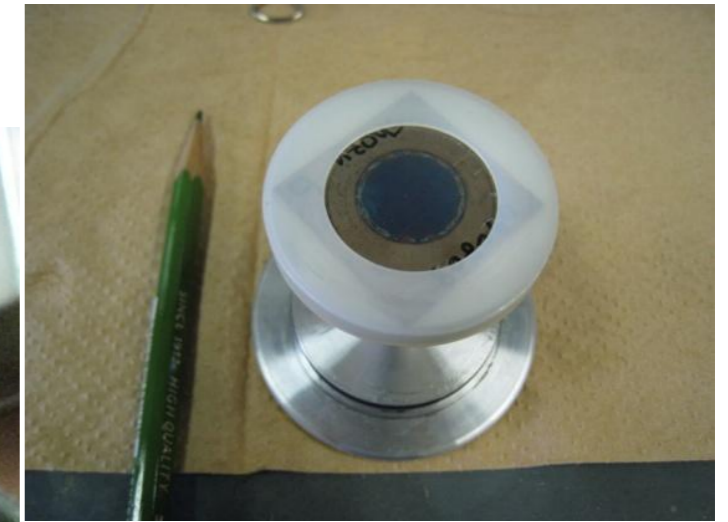
- β 線は高効率で検出
 - γ 線はガス中での反応確率は小さい
 - 窓膜や筒側面の金属で β 線に変換
 - α 線は入り口の窓膜を通れない
 - 雲母 (mica) でも 10–20 μm 程度で止まる。
 - それより薄い膜なら透過できるが、空気中で2–3 cm の飛程しかないので、いずれ正確な測定は期待できない。
- ☞ 真空チェンバー中（GM管の中）に α 線源を入れて測定する必要がある。



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 線は大半のものは相互作用（光電効果・コンプトン散乱）せず体を素通りし、体内で吸収されるエネルギーは全体の数分の1程度（外部・内部被曝）
- X線の場合も吸収されるエネルギーは何割か程度。

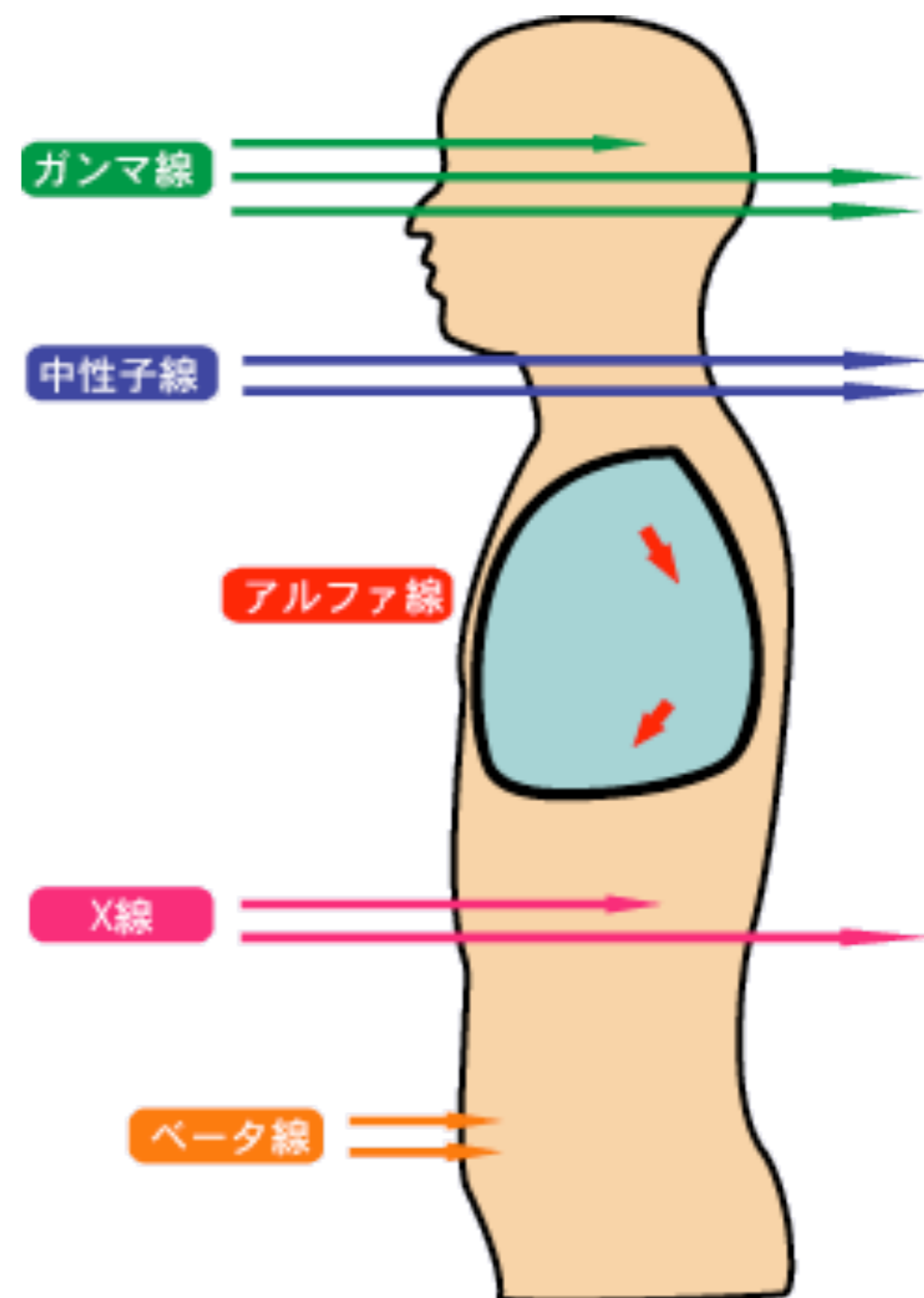


図3 人体を透過する放射線

放射線防護のための線量 protection quantity

預託線量 committed dose 放射性核種の吸収率、体内分布、 放射線 (α/β/γ) の

預託等価線量 体による放射性核種の吸収率、体内分布、
この係数には、放出される放射線 (α/β/γ) の
排泄による生物学的半減期、臓器ごとのエネルギー付与などの計算
エネルギーの違い、臓器ごとのエネルギー付与などが含まれている。
エネルギー係数 (成人) がすべて含まれている。のみならず排泄機能による生
物学的半減期を考慮のうえ、50年間分の積分をする。

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}	
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}

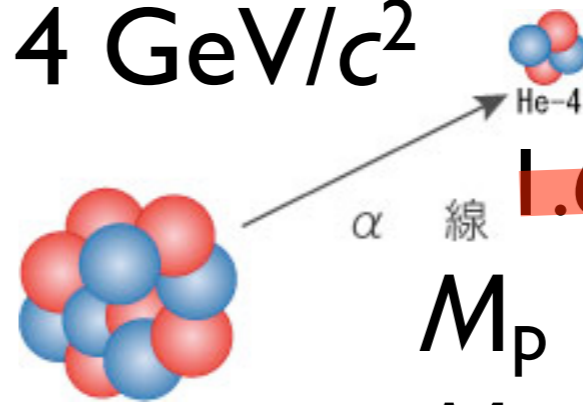
新たに食べた場合の係数。
既に体内に存在する K-40 からの
内部被曝の計算に使うと間違ふ。

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}

放射線の速度

- X線・γ線は光なので、光速。
 - $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$
- α線は光速の数パーセント。
(ニュートン力学で計算)
- β線は運動エネルギー 0.7 MeV 以上なら光速の 90% 以上。
 - 相対性理論により計算する。
 - ニュートン力学で計算すると光速を超えるが、間違い。

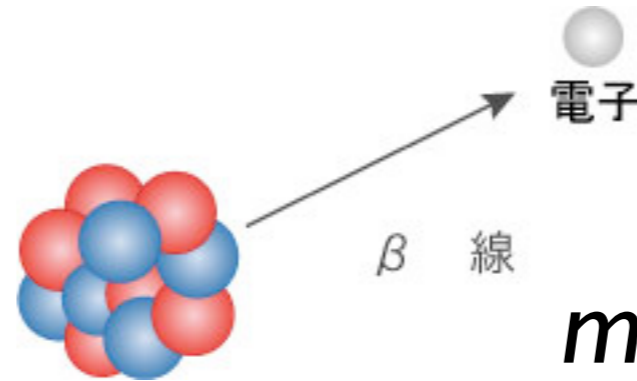
$$M_\alpha \approx 4 \text{ GeV}/c^2$$



~~$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 4$~~

$$M_p = 938 \text{ MeV}/c^2$$

$$M_n = 940 \text{ MeV}/c^2$$



~~$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$~~

$$m_e = 511 \text{ keV}/c^2$$

$$\approx 0.5 \text{ MeV}/c^2$$

$$E = mc^2\gamma = mc^2 \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$\beta = v/c$$

$$T = E - mc^2$$

$$\approx \frac{1}{2} mv^2 \quad (v \ll c)$$

放射線のもつエネルギーは？

👉 **100 keV ~ MeV** for α/β/γ

Cf. 原子の束縛エネルギーは？

荷電粒子の質量は？

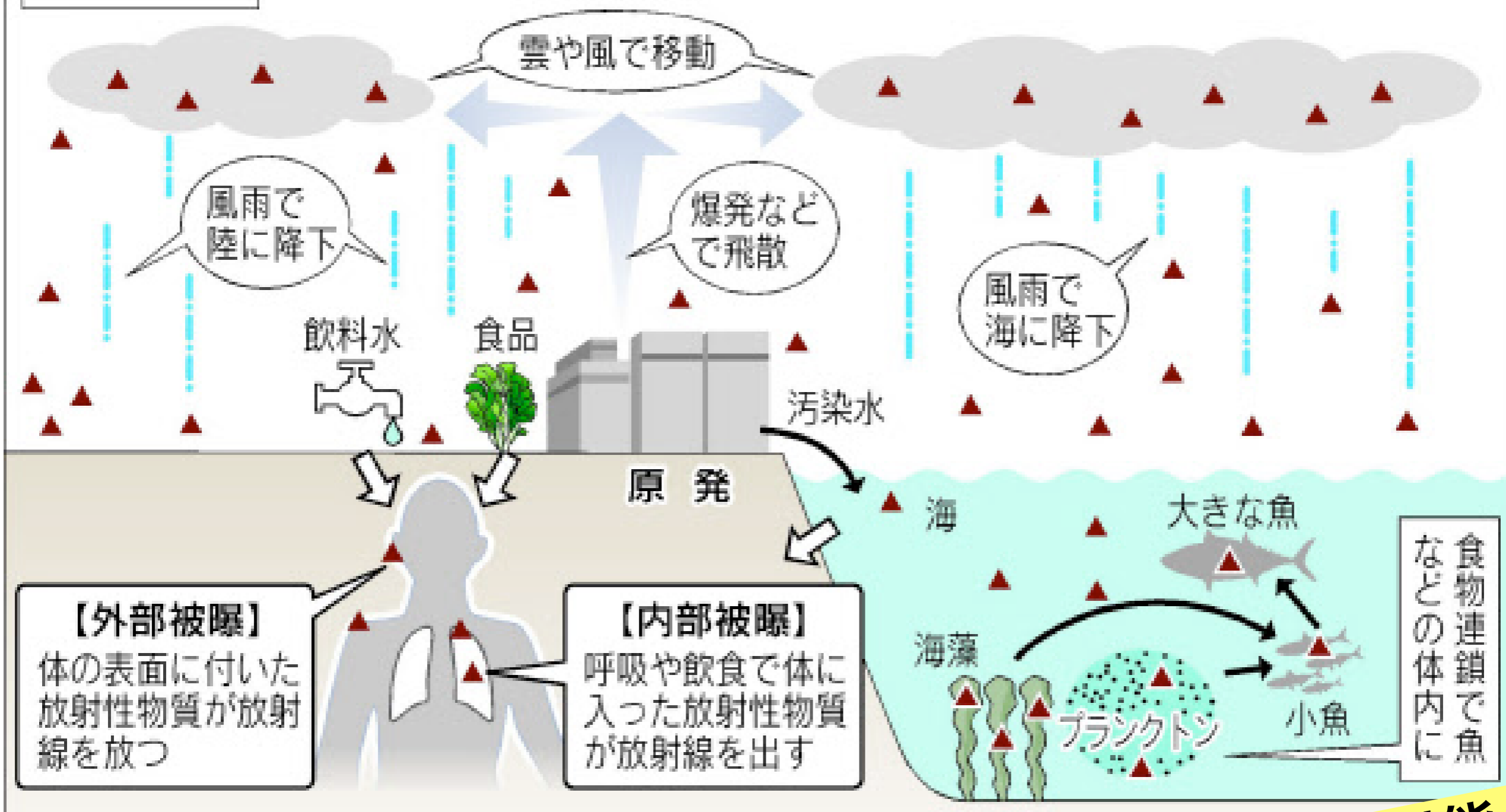
放射線物理学

原子核物理学

原子力工学

▲ 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

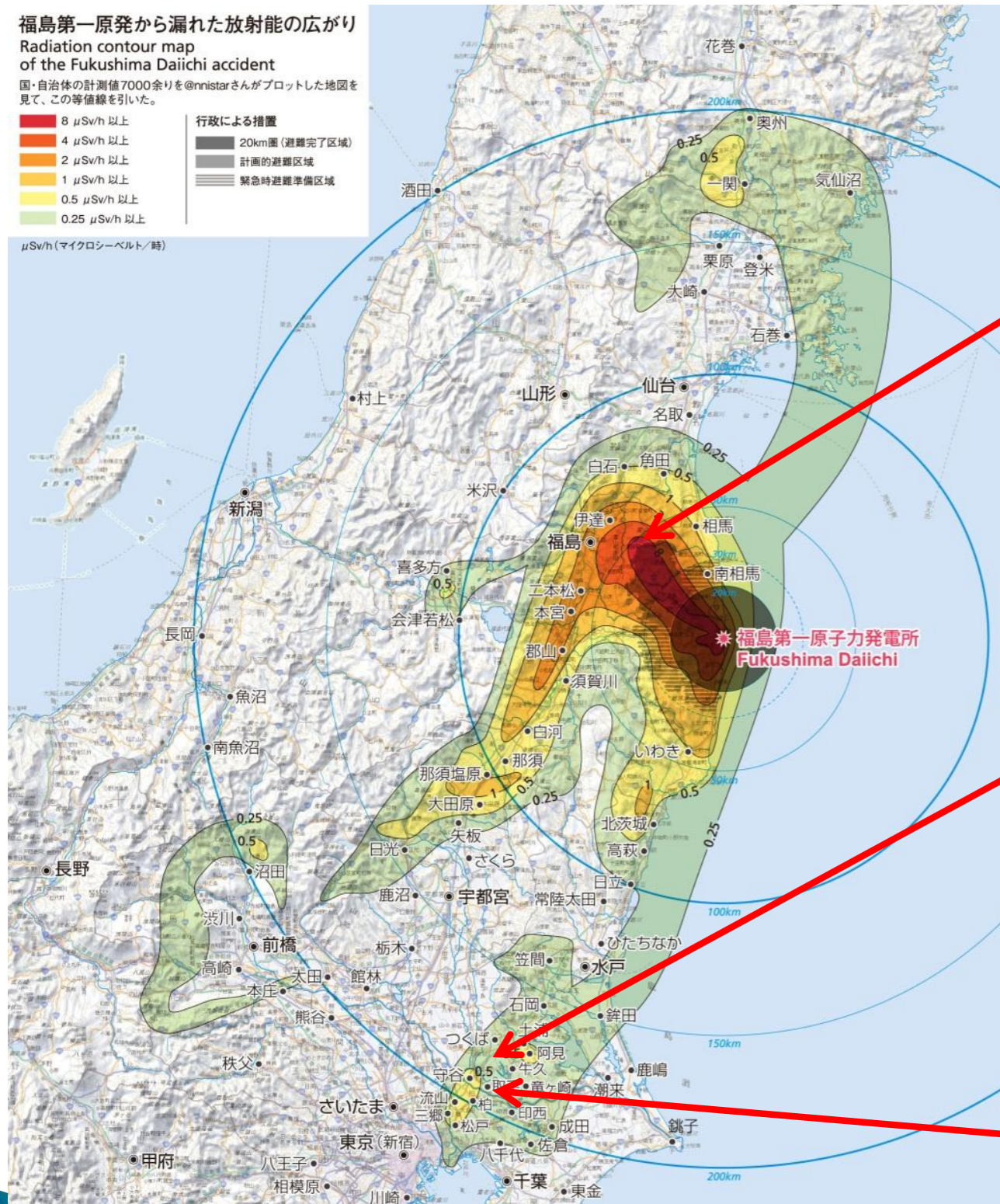
国・自治体の計測値7000余りを@nnistarさんがプロットした地図を見て、この等値線を引いた。

- 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。

住宅地からの雨水の集積

都市部での放射性物質の濃縮

1. 里山湿地帯 調査場所

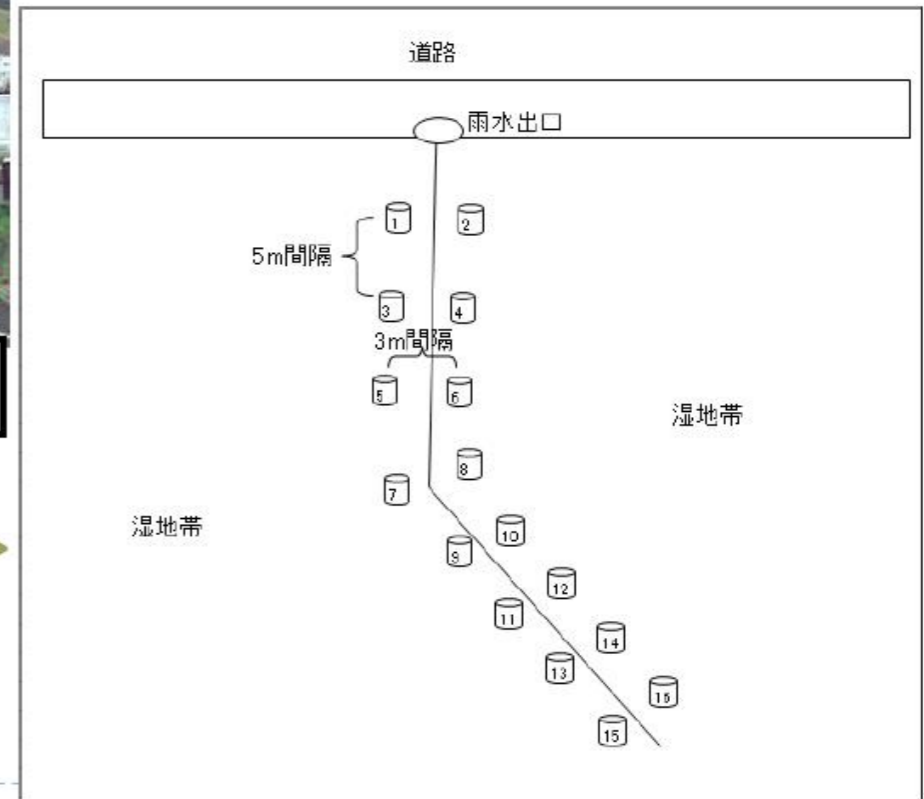


③ 湿地帯の奥を流れる小川沿いの放射線量率を測定

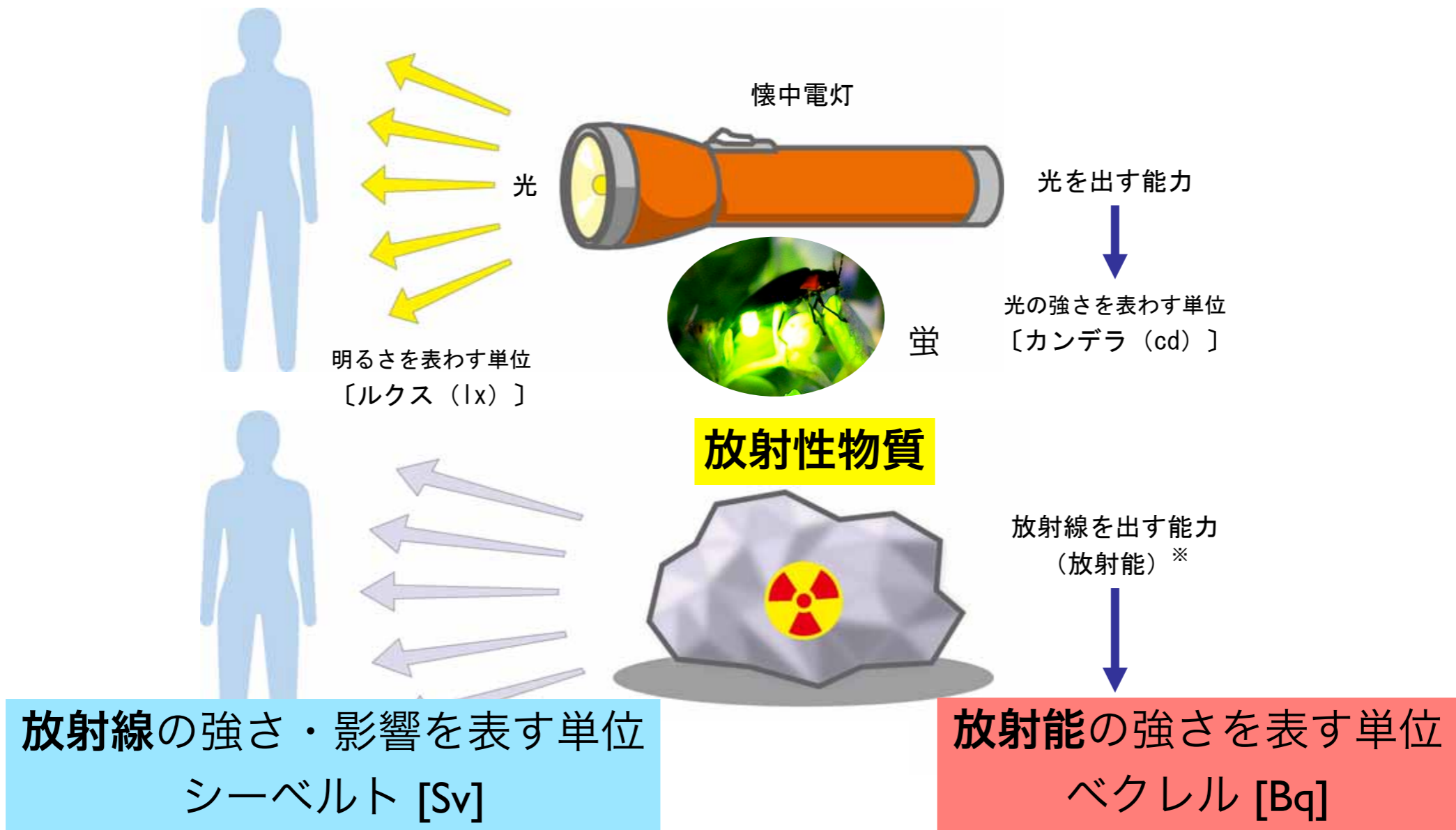


排水口付近

- ① 排水口の真上で放射線量率を測定
- ② 排水口先の湿地内で、水路の溝に沿って等間隔に杭を打ち、一帯の放射線量率を測定

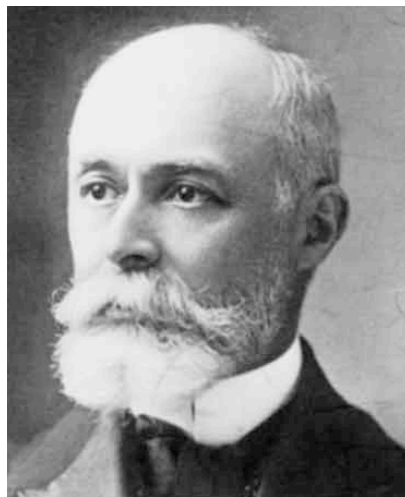


放射能と放射線



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, [Ci] | Ci = 37 GBq

Becquerel

decay/disintegration
per second

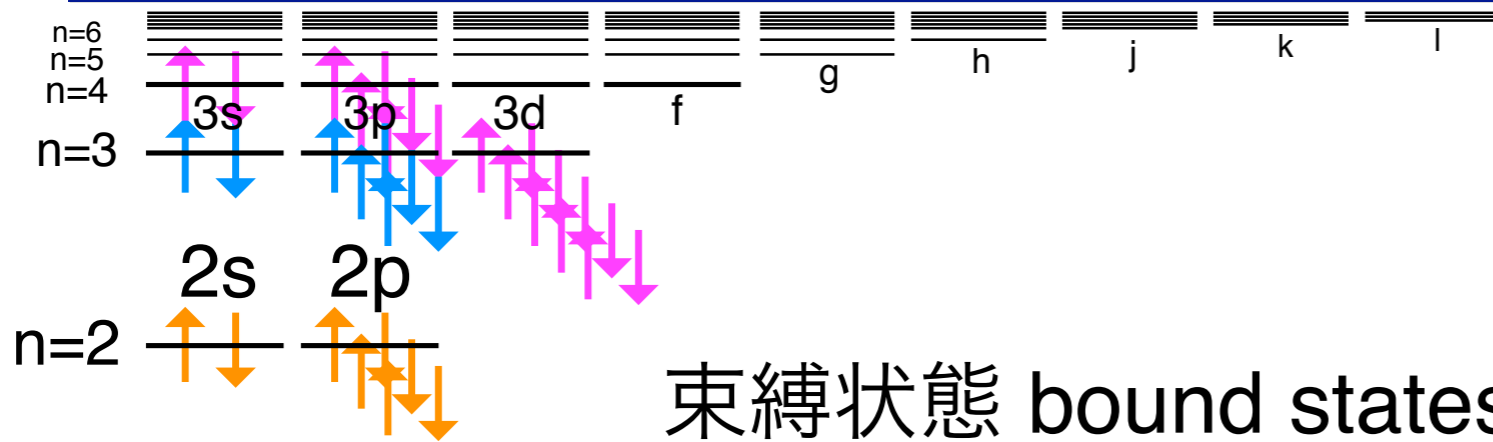
Curie

1 キュリー = 370億ベクレル



原子のエネルギー準位

連続状態 continuum



束縛状態 bound states

離散的エネルギー準位 discrete energy levels

$$-E_B = -hc R_\infty \frac{Z^2}{n^2} \quad R_\infty : \text{リュードベリ定数}$$

$$\hbar \equiv \frac{h}{2\pi}, \quad \alpha \equiv \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} \approx \frac{1}{137} \quad h : \text{プランク定数}$$

α : 微細構造定数

(無次元量)

$$n=1 \quad 1s \quad \uparrow\downarrow \quad -13.6 \text{ eV}$$

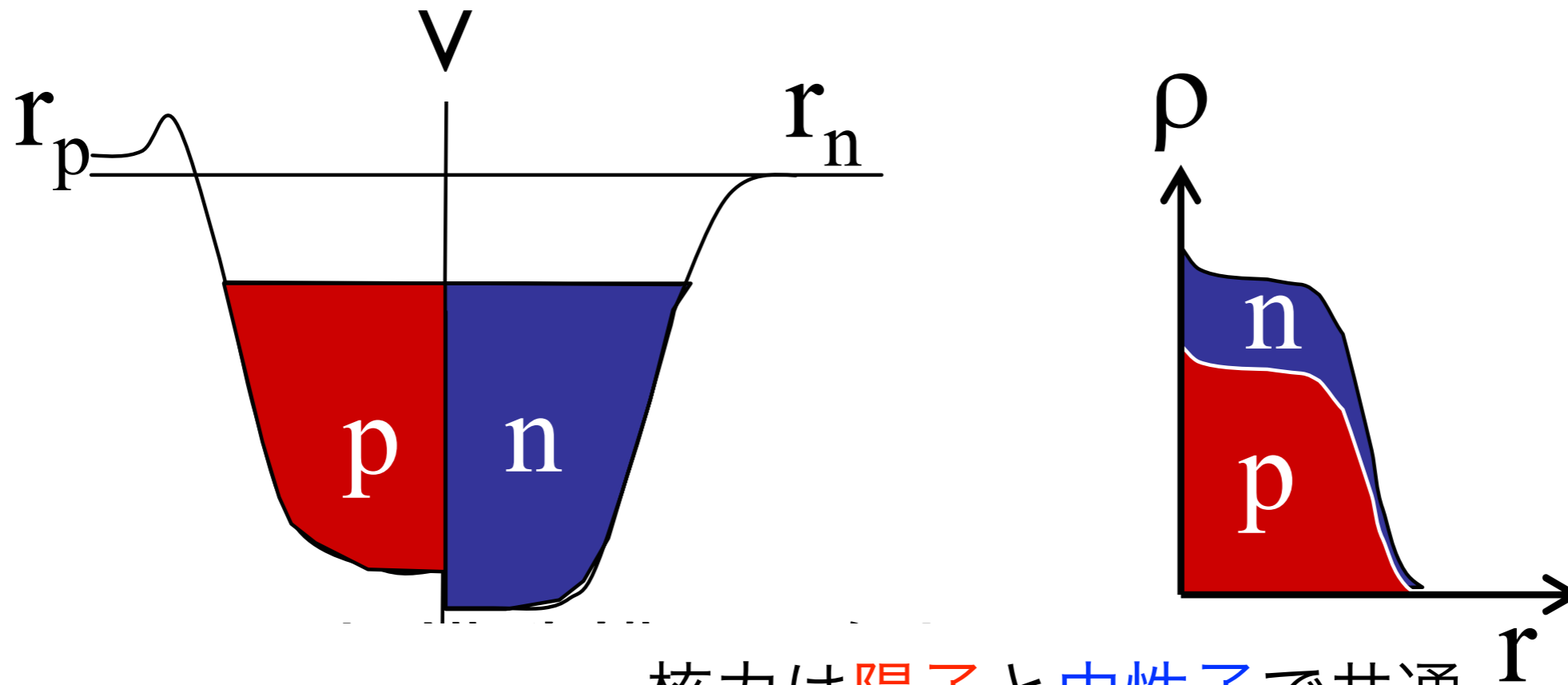
(水素原子)

$$E_B(\text{H}) = \frac{M}{M+m} E_B$$

$$-E_B = -\frac{1}{2} m_e c^2 \alpha^2 \frac{Z^2}{n^2}$$

原子核のポテンシャル

密度分布



核力は陽子と中性子で共通

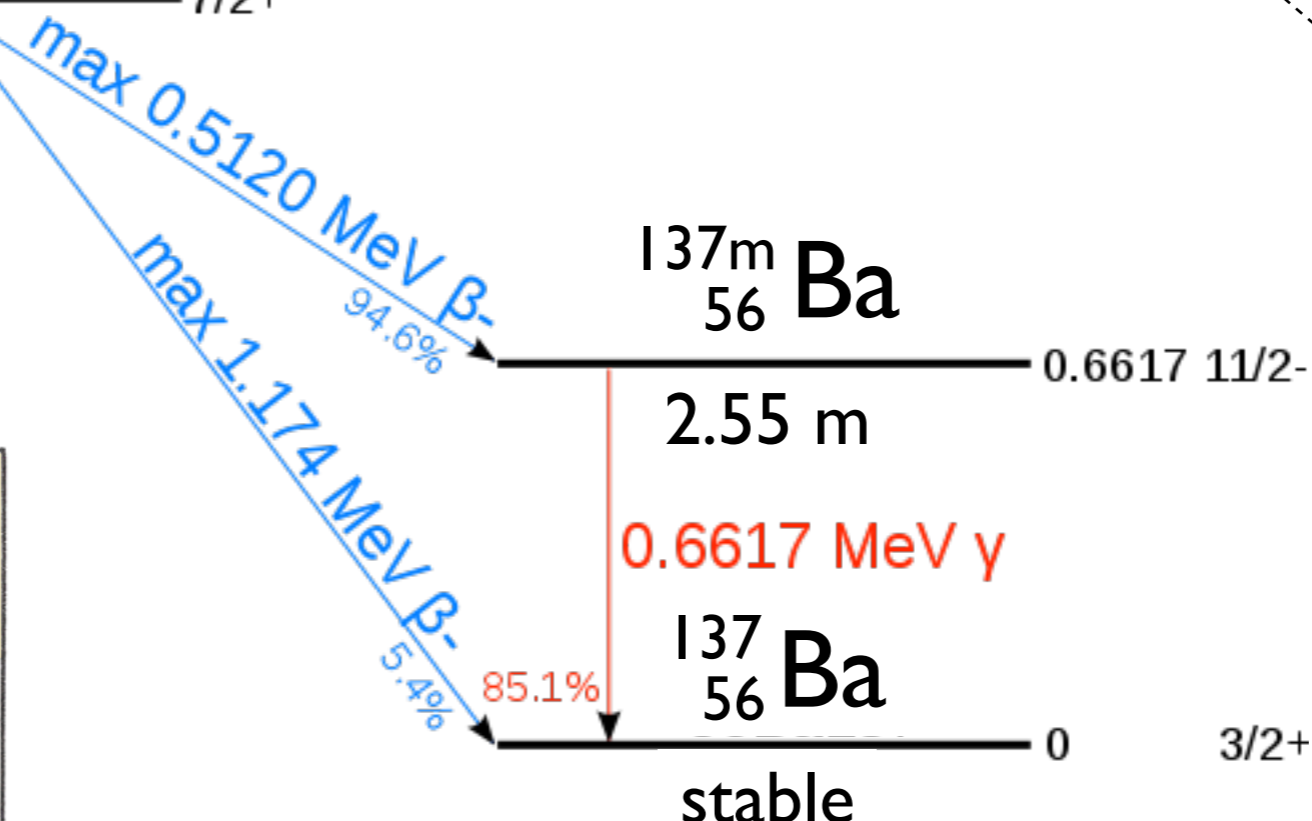
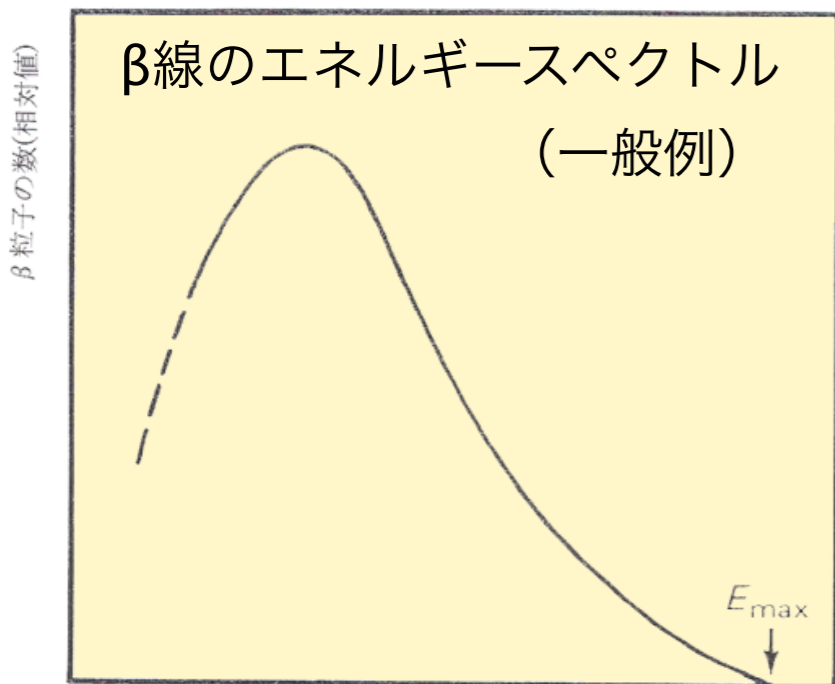
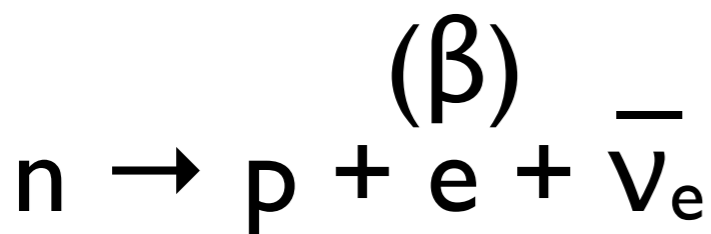
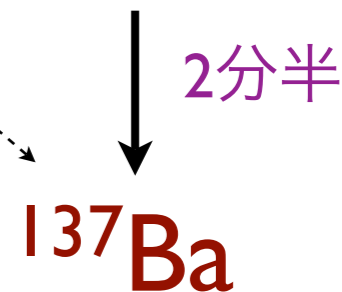
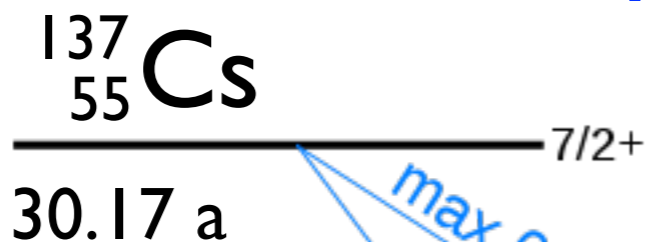
陽子のポテンシャルは

クーロン反発により上昇。 $\propto Z^2 / A^{1/3}$

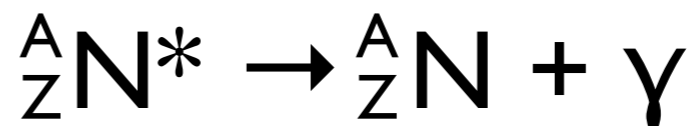
(特に重い原子核で) 中性子の方が数多く入る。

陽子数も中性子数も魔法数となる (二重閉殻、double magic)

原子核は特に安定。 e.g. ${}^4_2\text{He}_2$ ${}^{16}_8\text{O}_8$ ${}^{40}_{20}\text{Ca}_{20}$ ${}^{48}_{20}\text{Ca}_{28}$ ${}^{208}_{82}\text{Pb}_{126}$



γ線：原子核の脱励起



γ線 (定まったエネルギー)

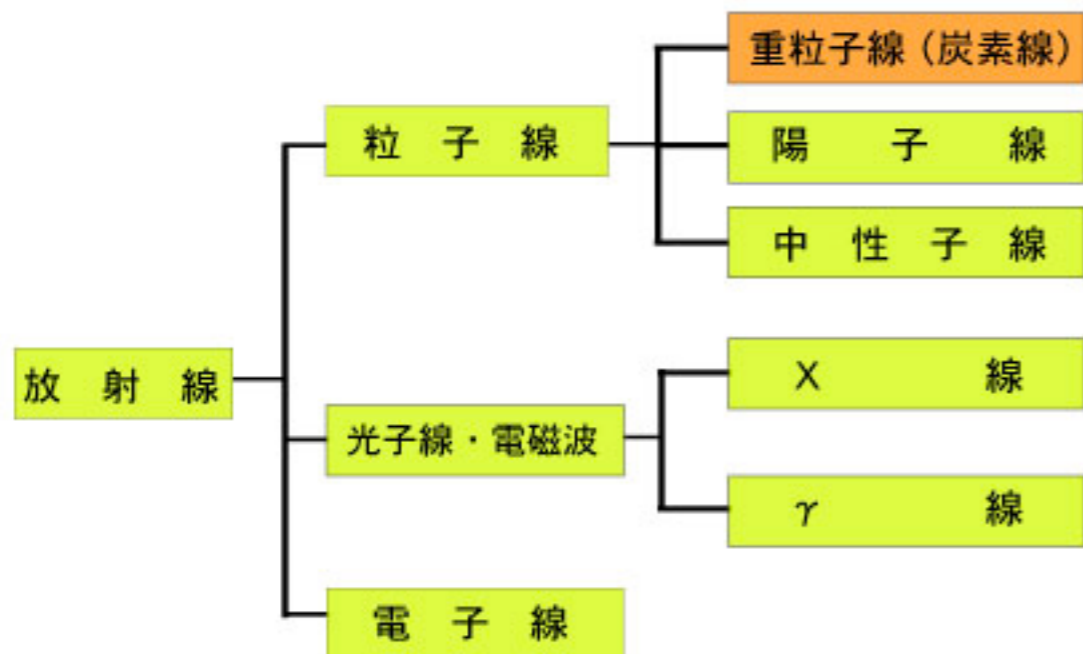
核種の同定

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

放射線の種類 (放射線治療分野で用いられる分類)



原子核 N

α 線

$${}^A_Z N \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} M + {}^4_2 \alpha$$

β 線

$${}^A_Z N \rightarrow {}^A_{Z+1} M + {}^0_{-1} \beta + \bar{\nu}_e$$

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e^0$$

γ 線

$${}^A_Z N^* \rightarrow {}^A_Z N + {}^0_0 \gamma$$

100 keV ~ MeV

放射線のもつエネルギーは？

☞ 100 keV ~ MeV for α/β/γ

Cf. 原子の束縛エネルギーは？

荷電粒子の質量は？

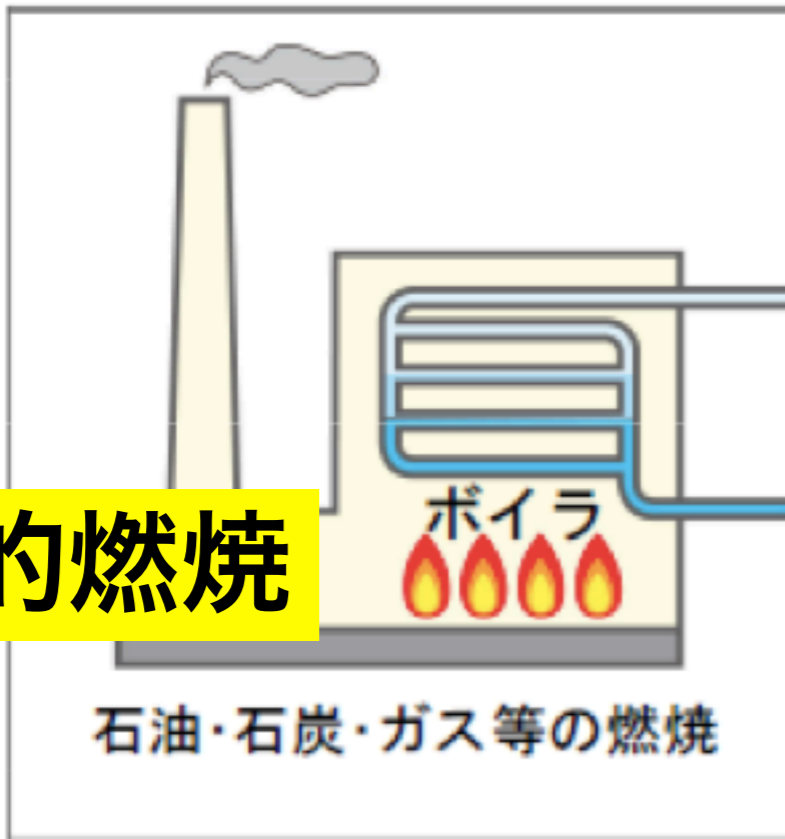
$$A^* \rightarrow A + h\nu(\text{X-ray})$$

原子 A 10 ~ 100 keV

火力発電と原子力発電の違い

火力

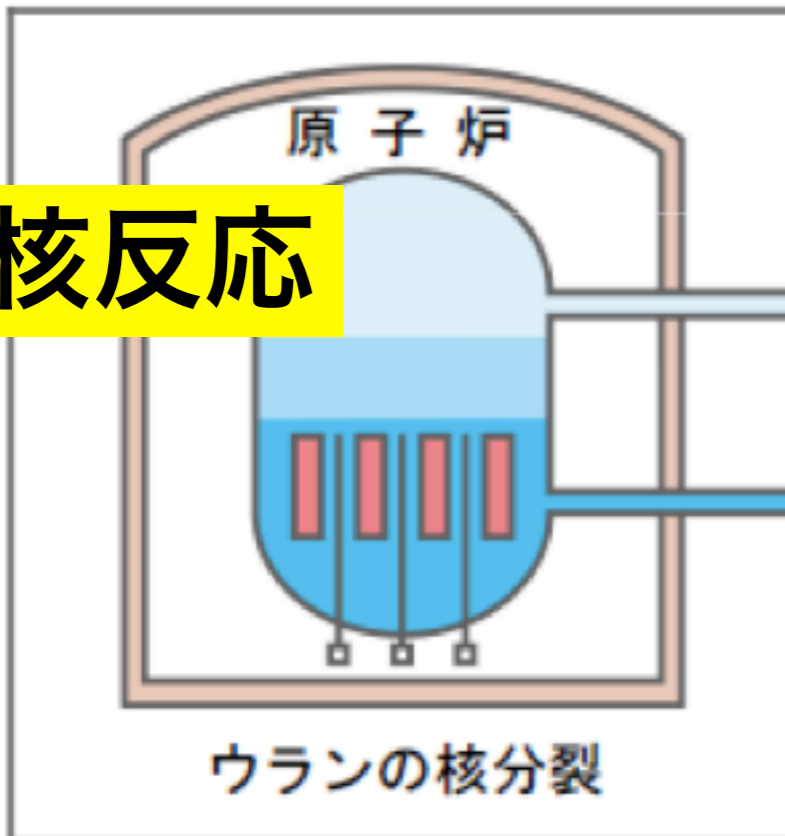
化学的燃焼



石油・石炭・ガス等の燃焼

原子核反応

原子力



ウランの核分裂

蒸気

水

蒸気

水

給水ポンプ

タービン

復水器

循環水ポンプ

変圧器

発電機

→ 放水路へ

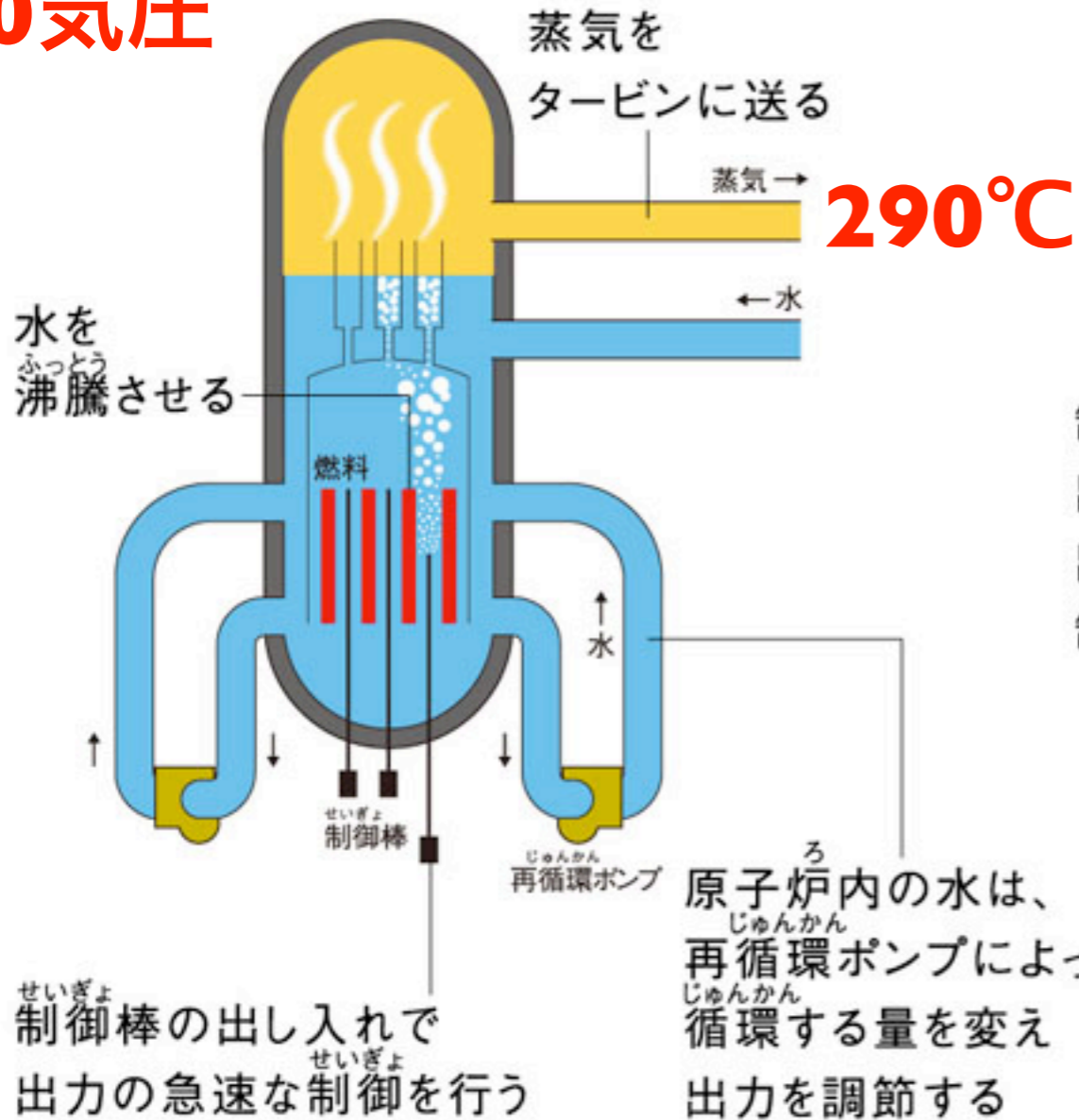
← 冷却水(海水)



《 原子炉のしくみ 》

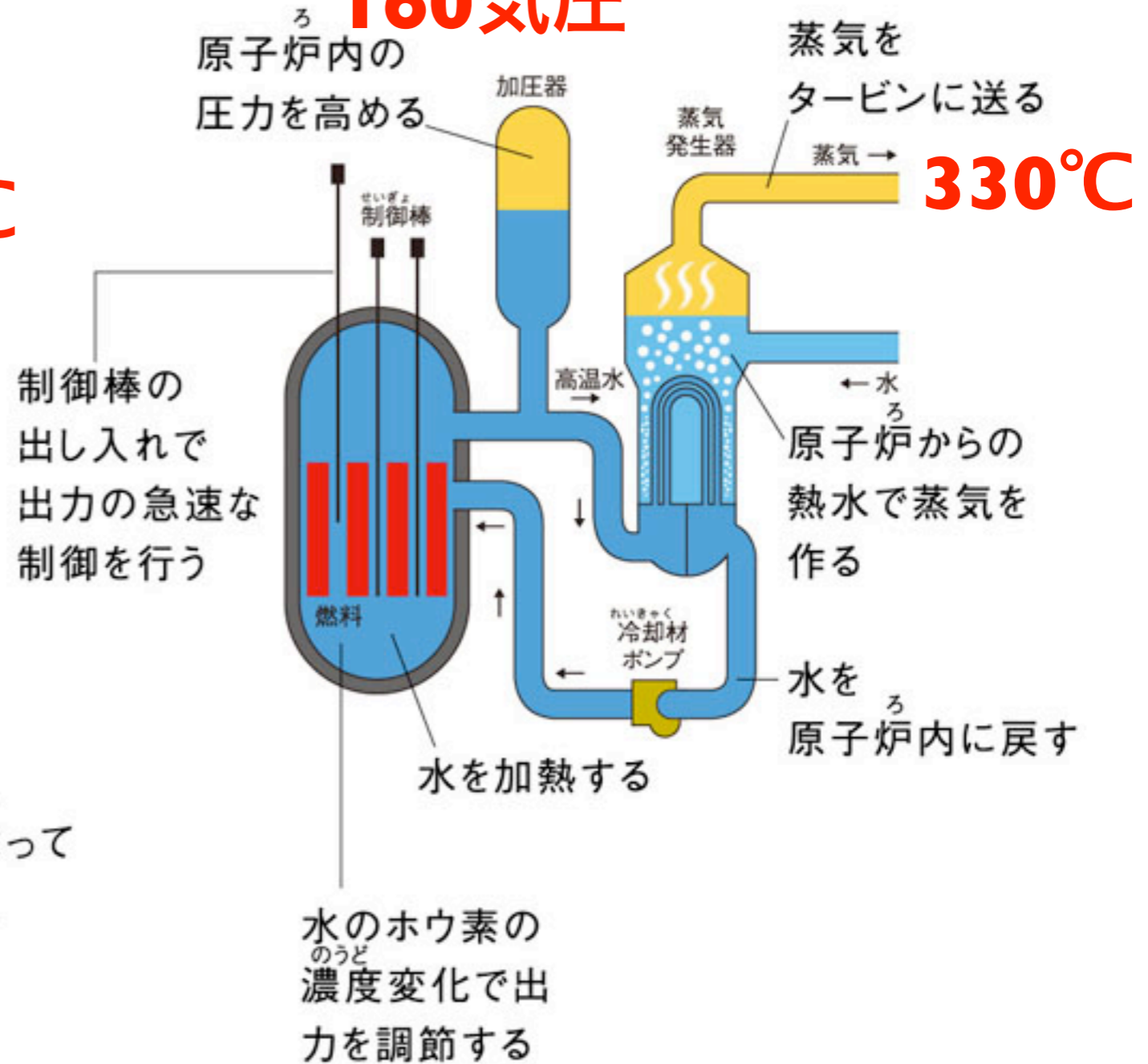
沸騰水型原子炉 (BWR)

70気圧

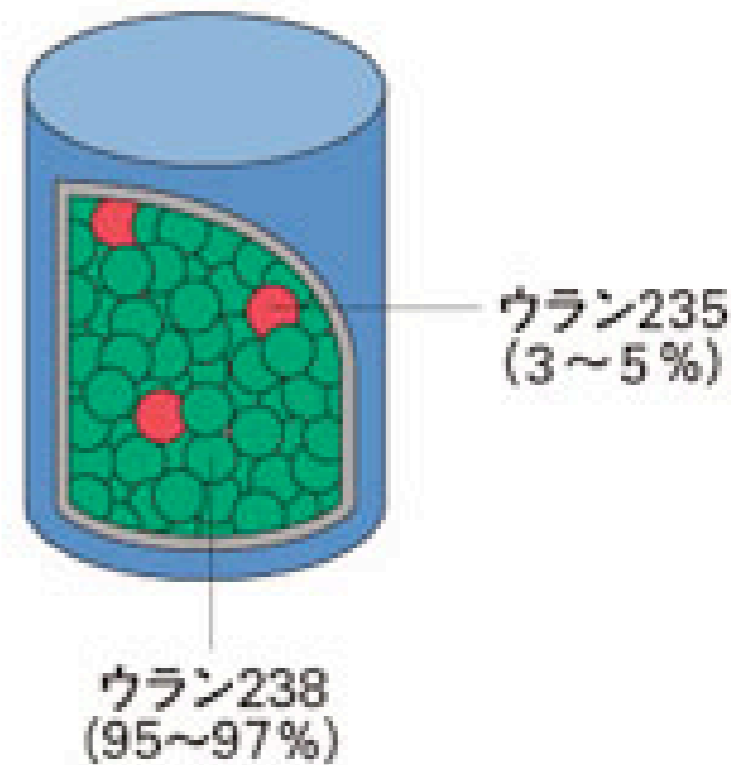
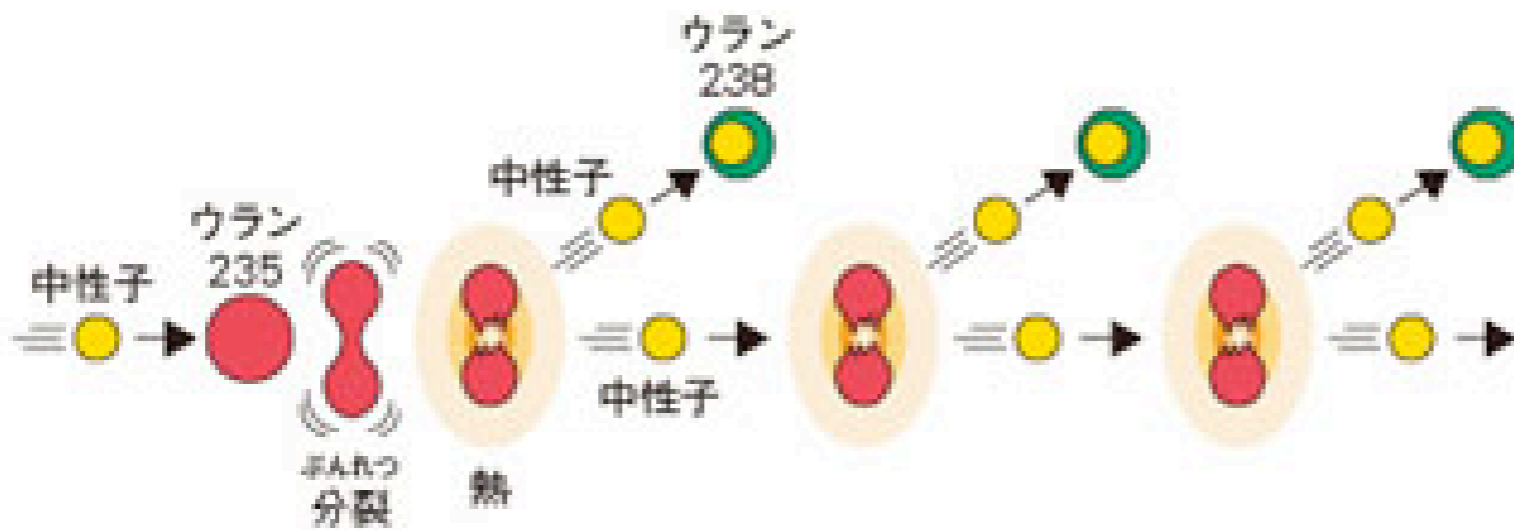
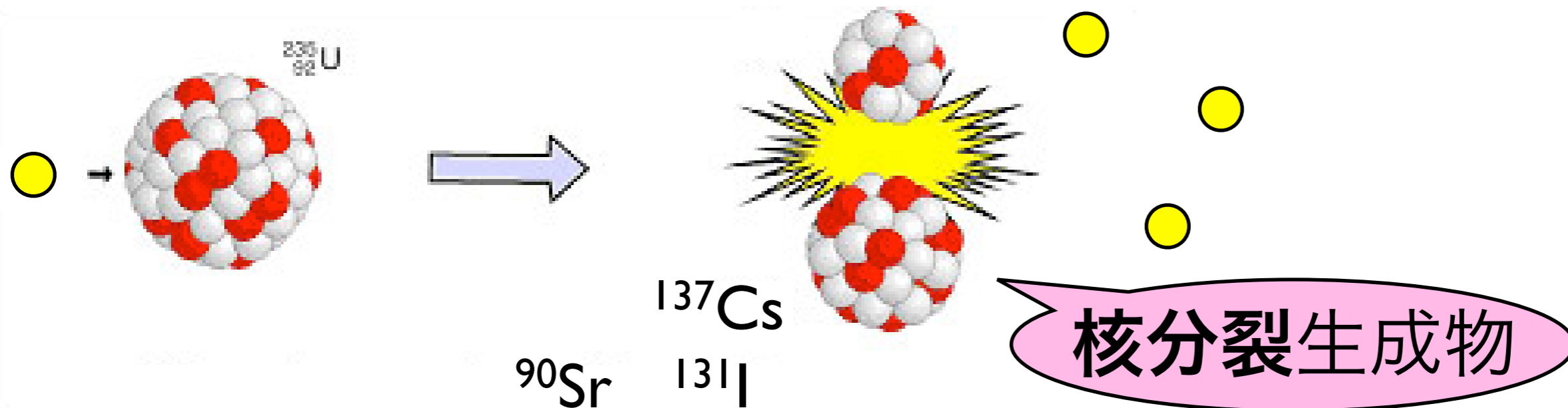


加圧水型原子炉 (PWR)

160気圧

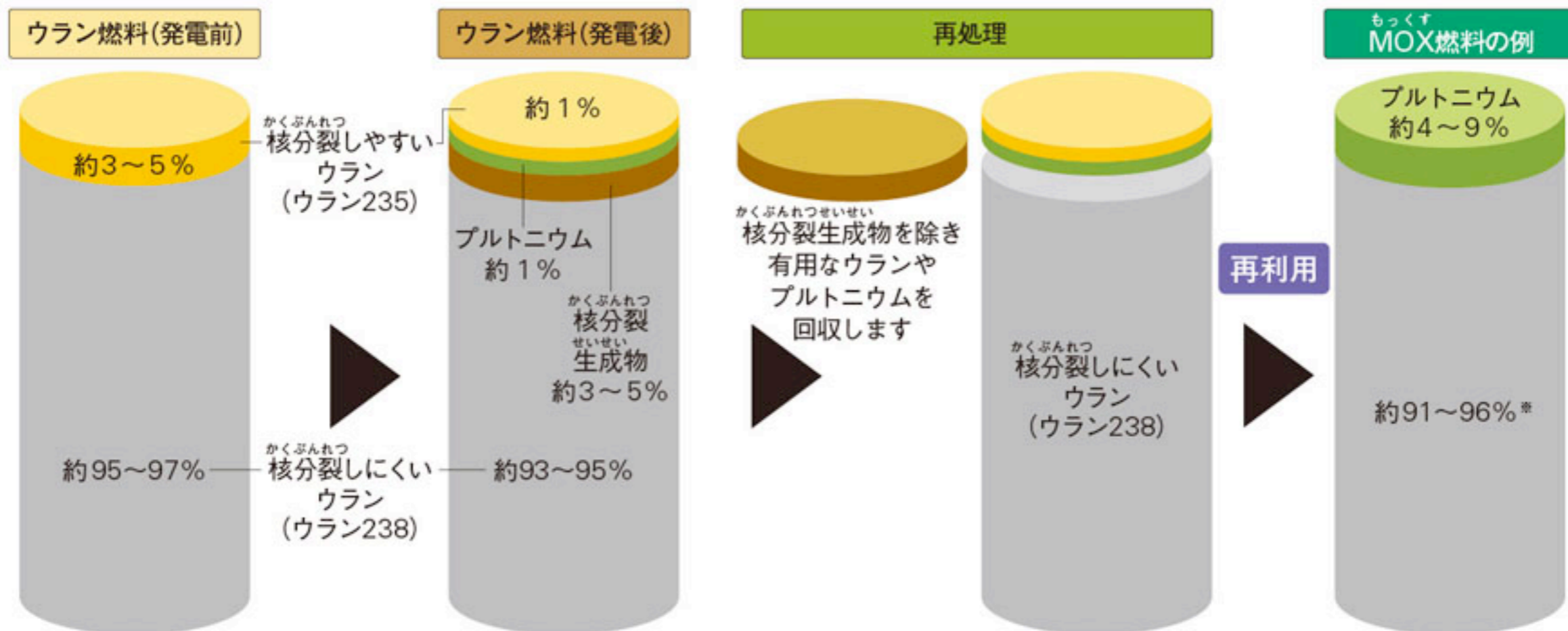


原子核分裂反応



中性子 + ウラン **235** / **238**

《 ウラン燃料とMOX燃料 》



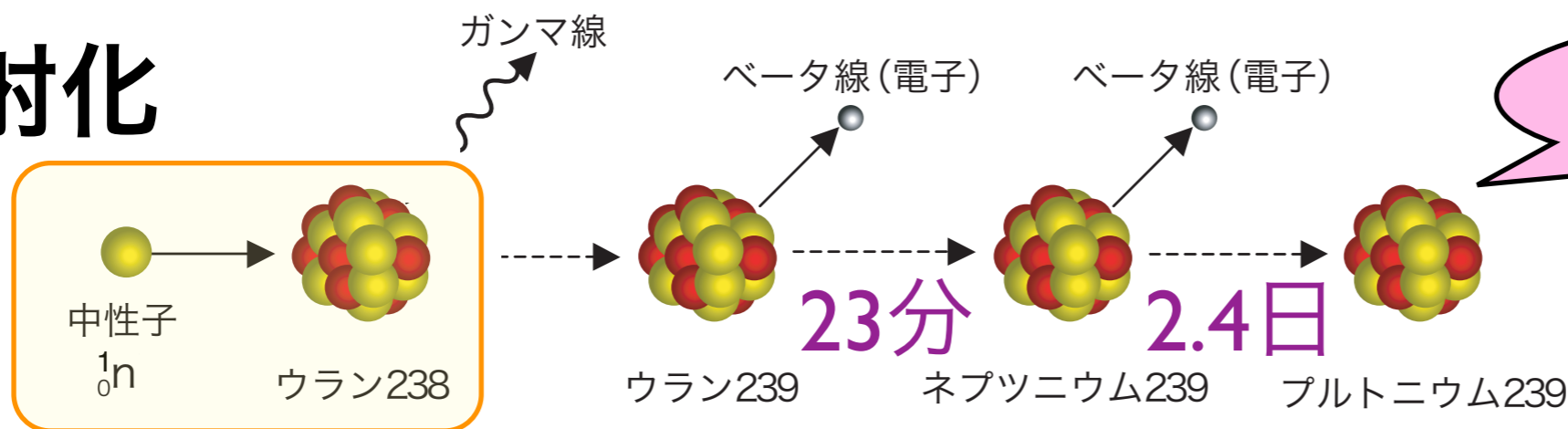
かくぶんれつ核分裂生成物

非常に高いレベルの放射線を発生する元素がふくまれています。

もっくすMOX燃料

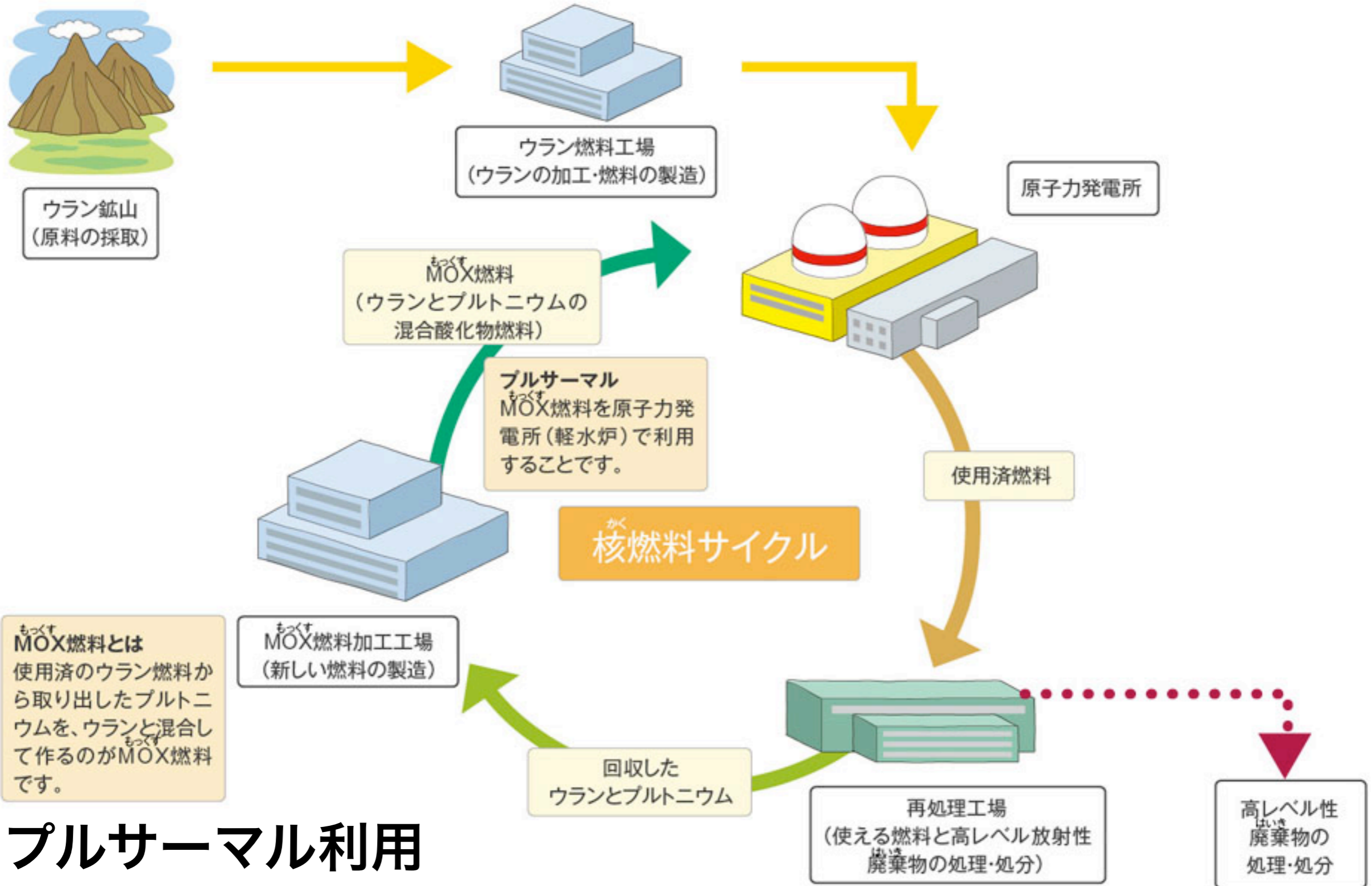
プルトニウムとウランの酸化物を混ぜて作った混合酸化物燃料です(※わずかにウラン235をふくみます)。

放射化



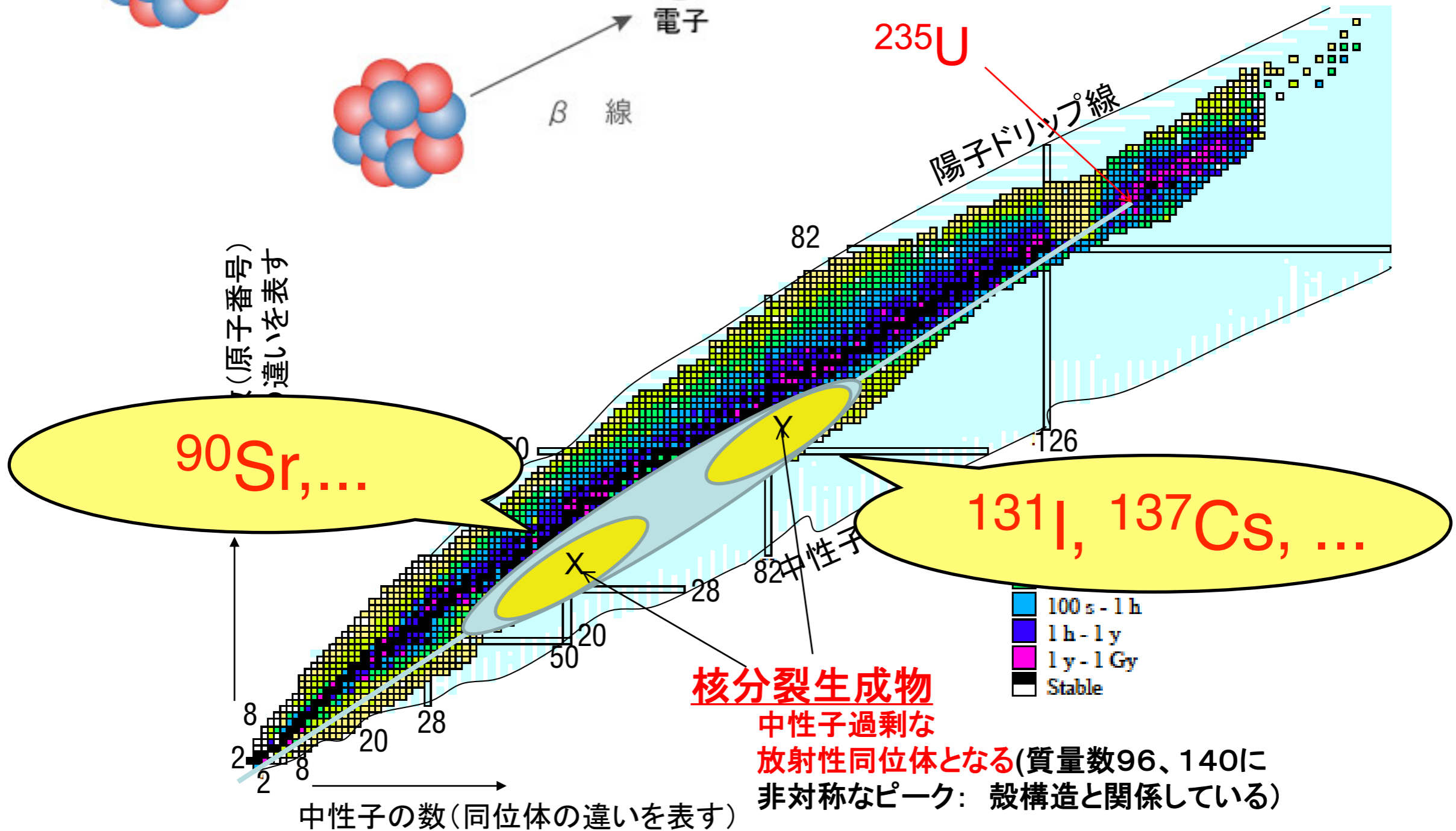
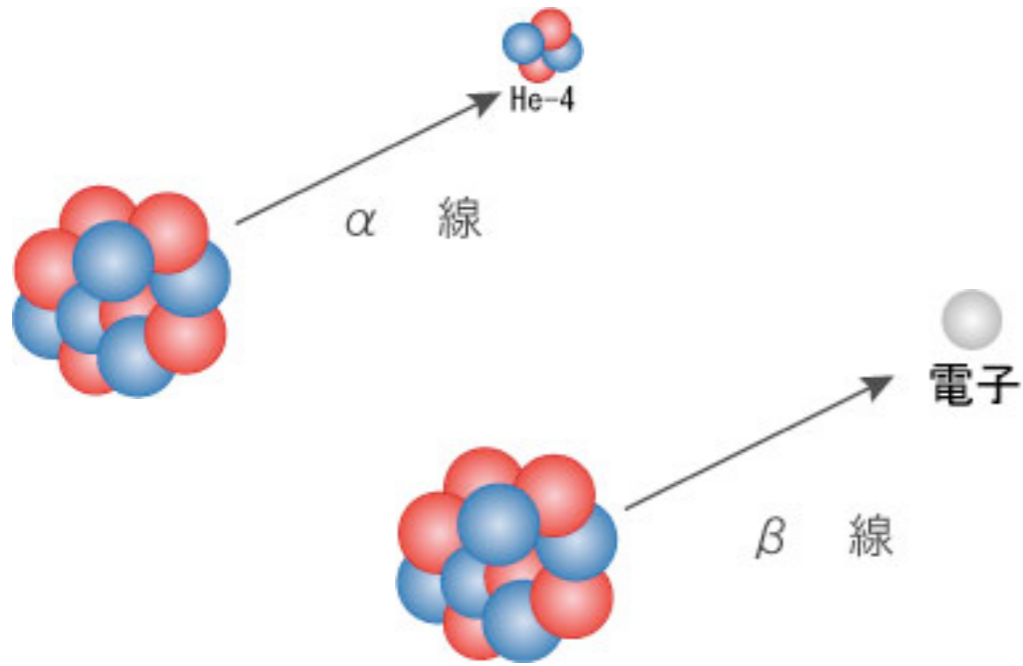
放射化生成物

《 核燃料サイクルの流れ 》



プルスーマル利用
MOX 燃料 ($\text{UO}_2 + \text{PuO}_2$)

放射能とは 放射性物質が放射線を出す能力のこと。

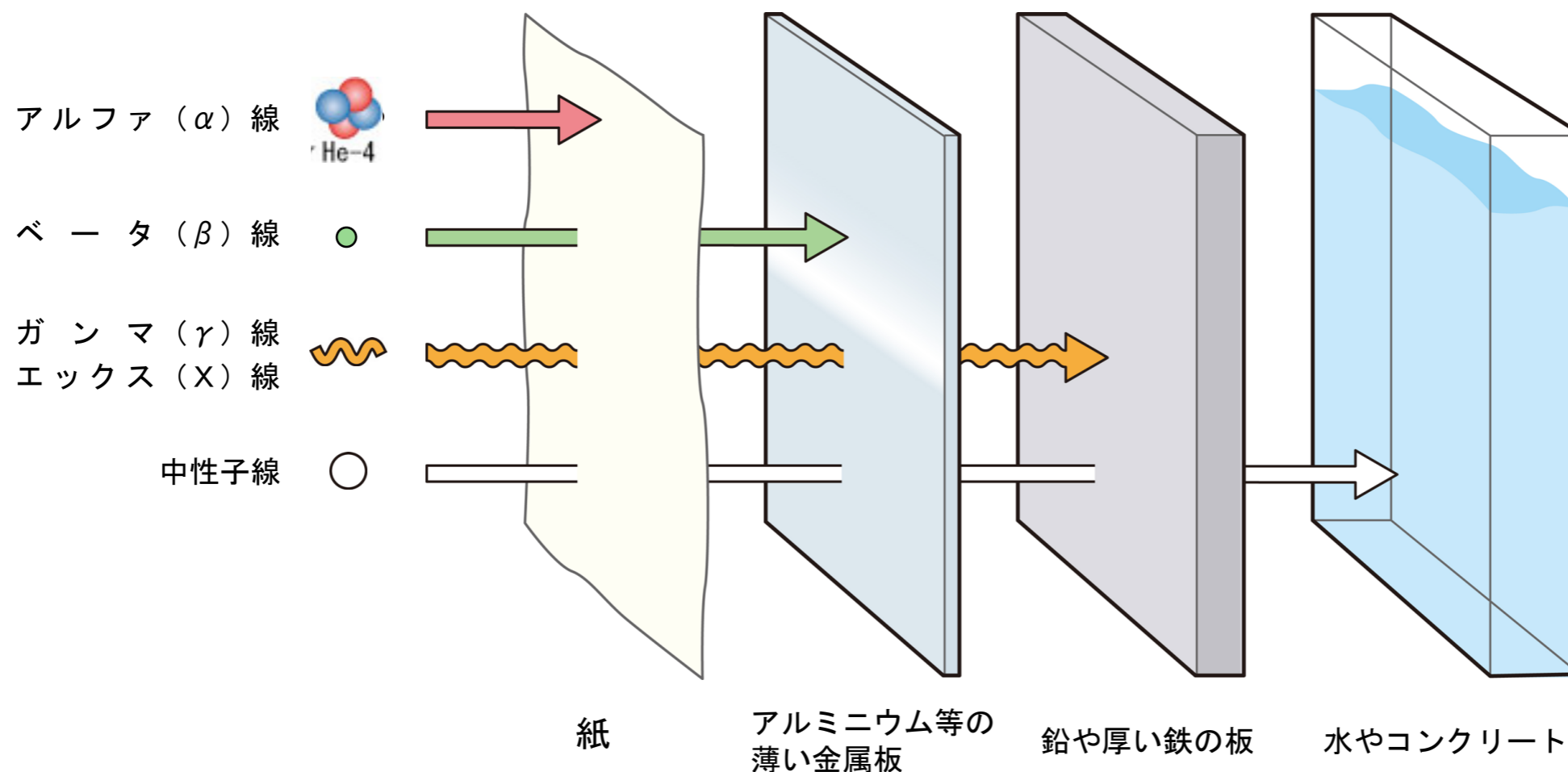


Nuclear Chart 核図表

放射線の種類、透過力と遮蔽

透過力が強い =
なかなか反応しない

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



飛程 Range

阻止能の逆数を積分。

質量阻止能
MeV / (g / cm²)

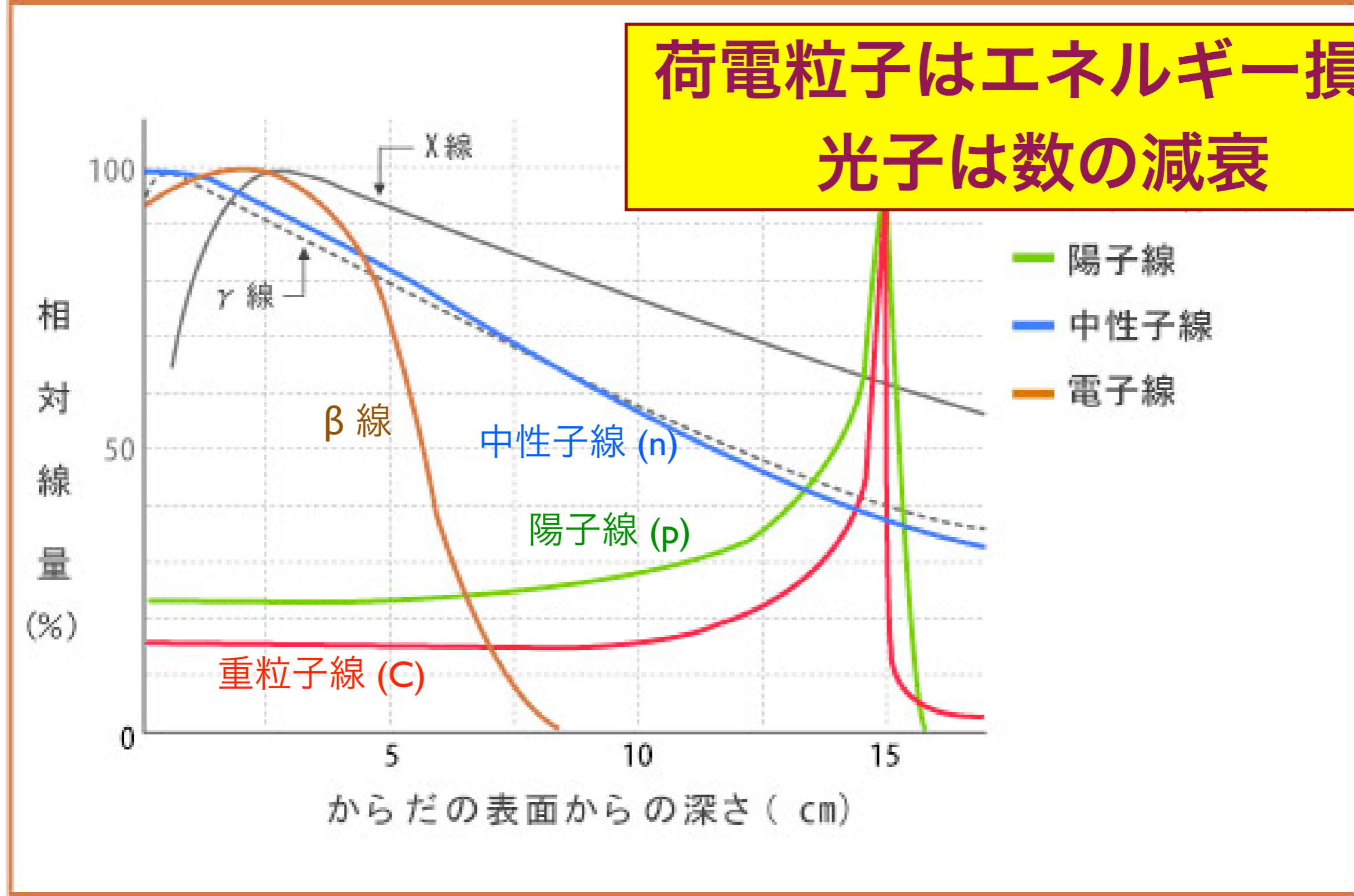
$$-\frac{1}{\rho} \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \propto \frac{z^2}{v^2} = \frac{z^2 M/2}{Mv^2/2} \propto \frac{z^2 M}{T}$$

陽子(p)、 α 、重粒子線は飛程が揃っている。

電子(β)は散乱されやすく、飛程を直線距離(物質厚)で測るとばらつきが大きい。

中性子(n)、光子(X, γ)は反応が確率的に起こるため、指数関数的減衰をする。

**荷電粒子はエネルギー損失
光子は数の減衰**

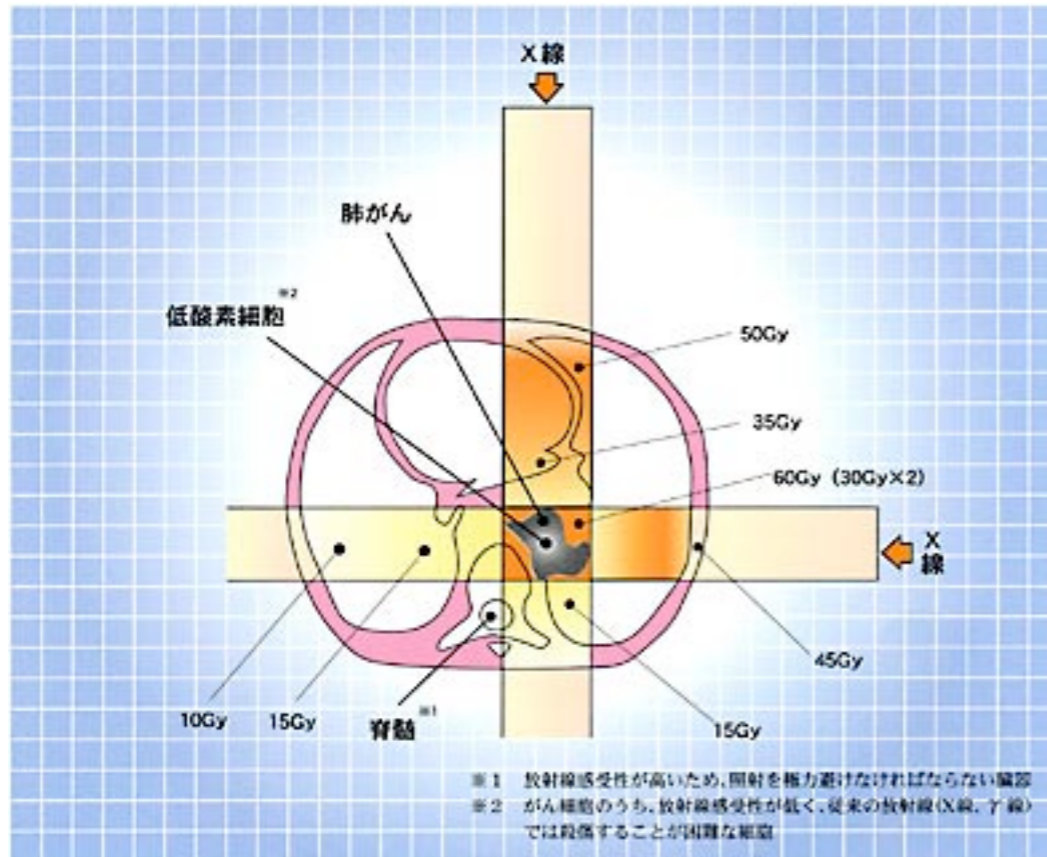


放射線医療

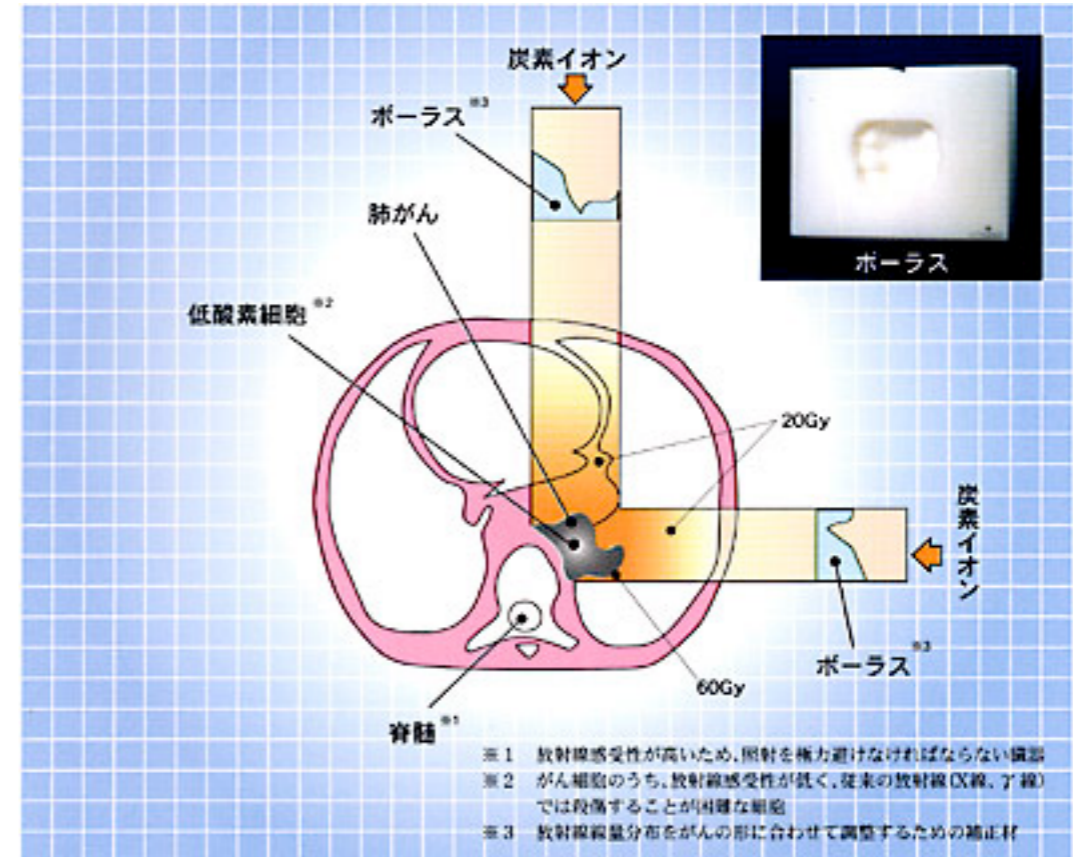
放射線医療：がん治療

数 Gy を複数回

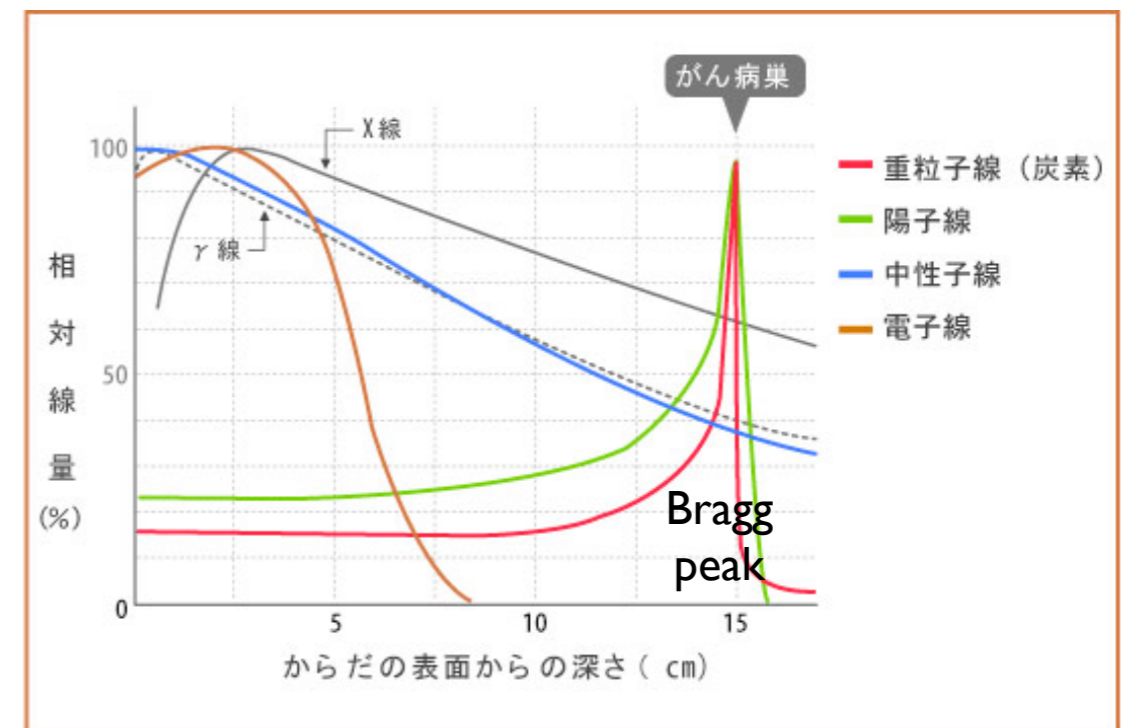
X線



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



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^-

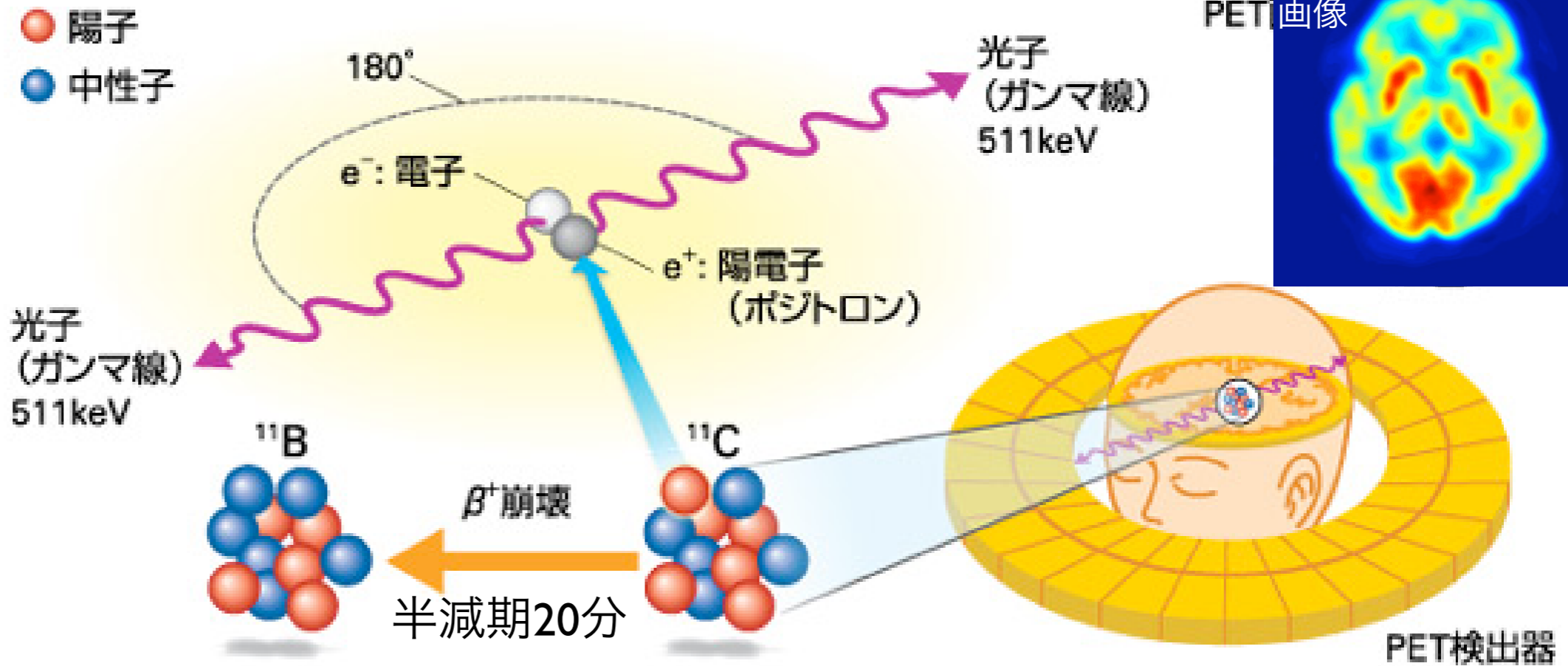


図1 PET (陽電子放射断層画像撮影法) の仕組み

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

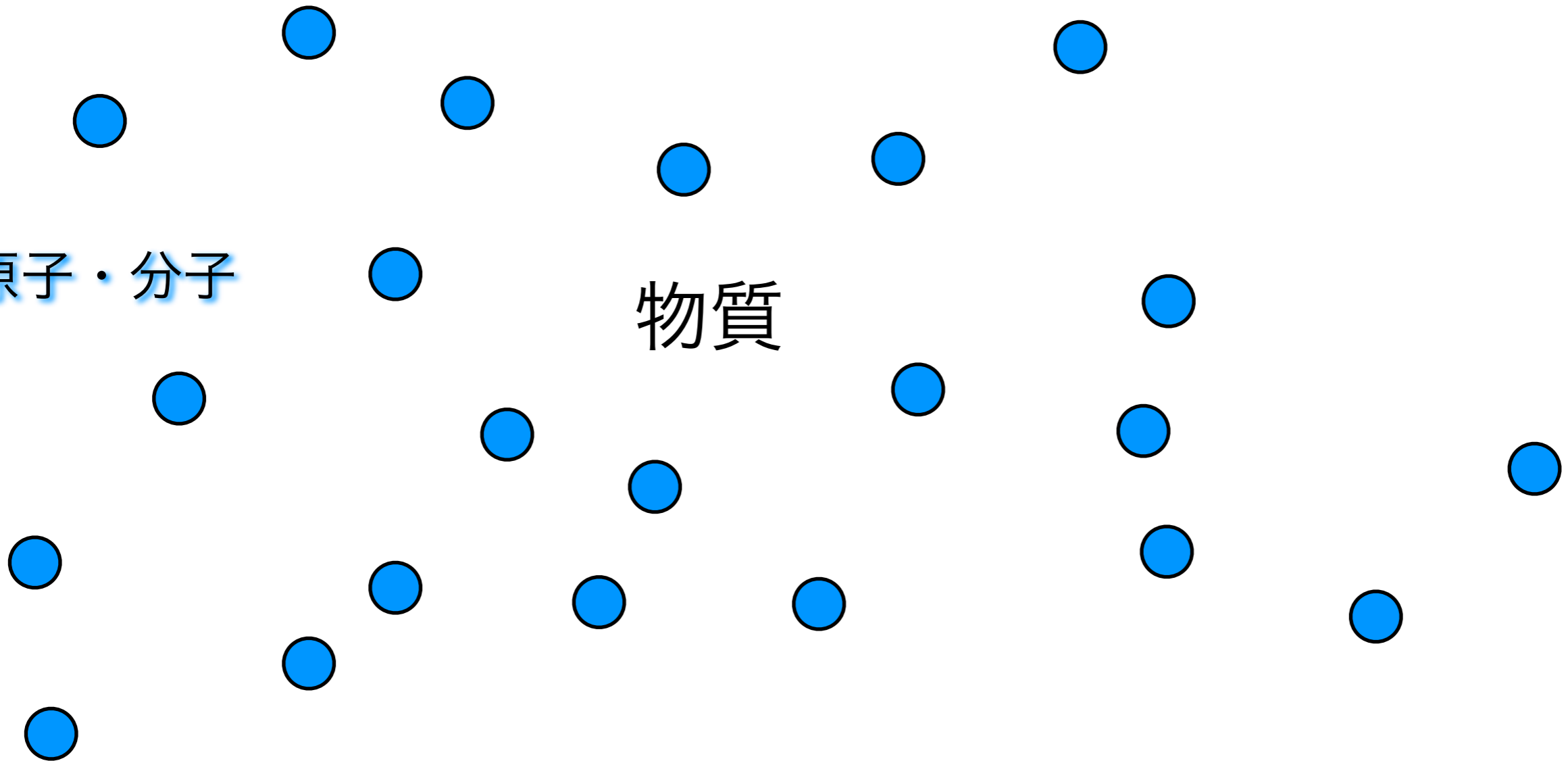
荷電放射線 (α, β) と物質との相互作用

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

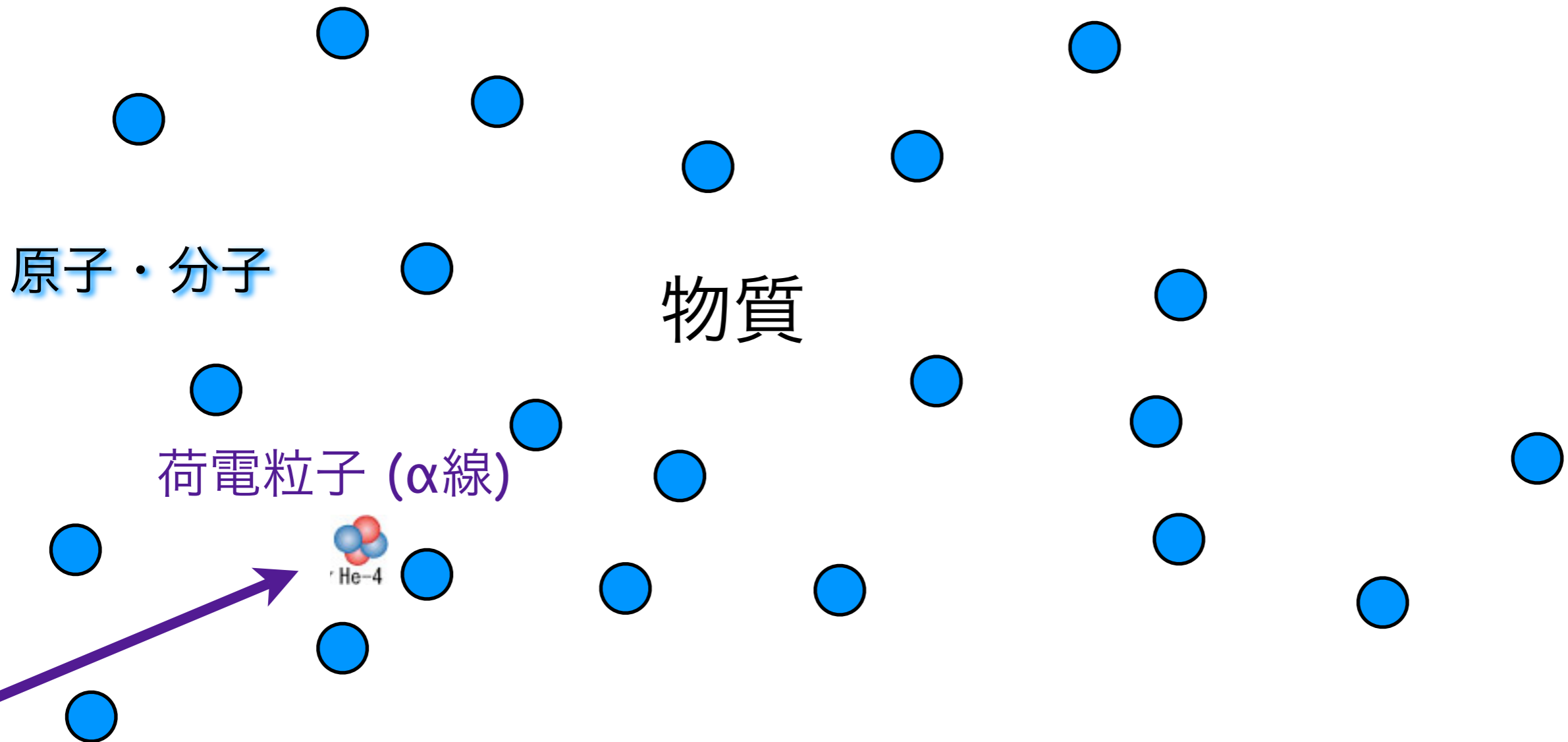
物質



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

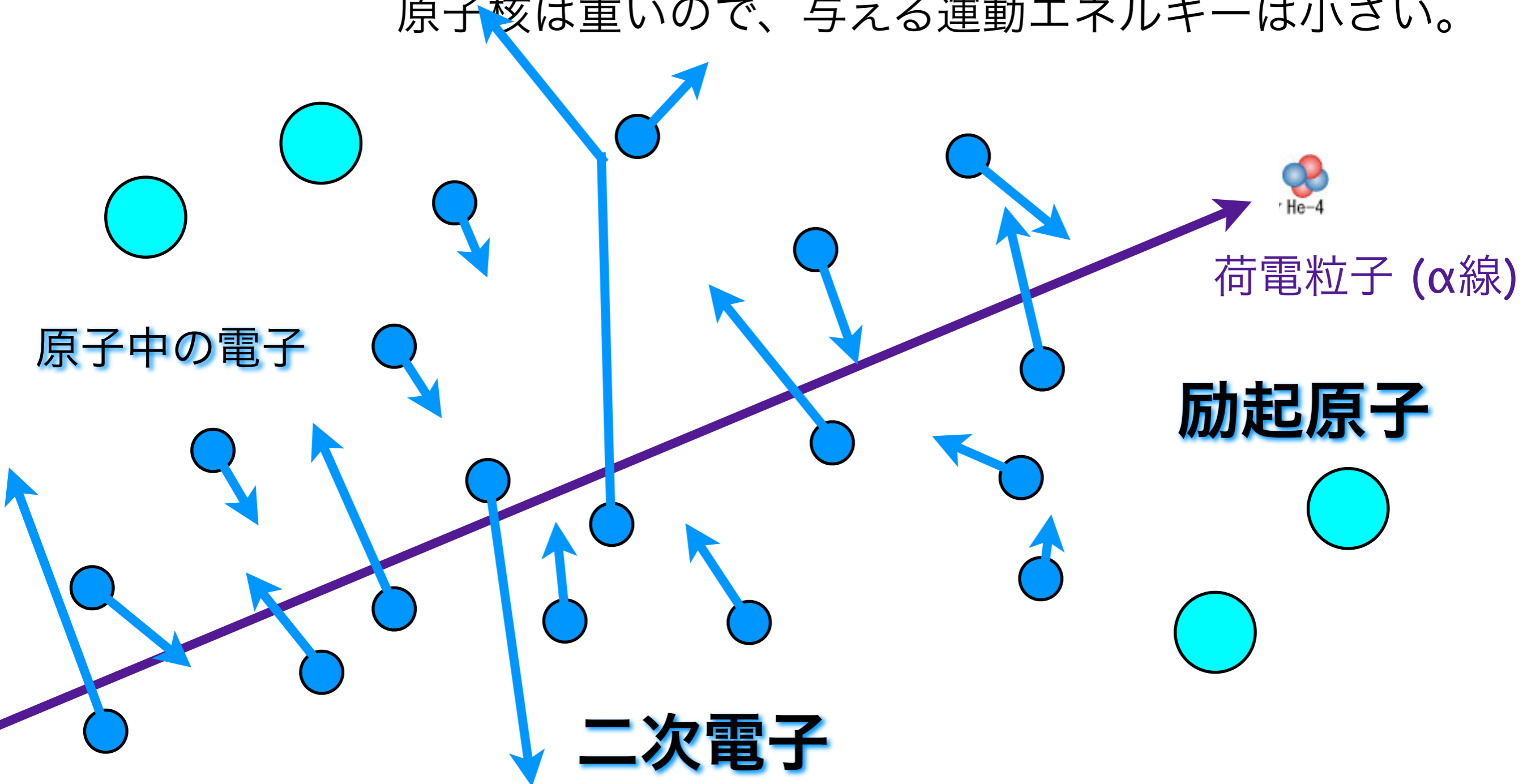
物質中の原子を電離・励起して電子に運動エネルギーを受け渡し、その分だけ減速される（電子衝突阻止能）。
原子核は重いので、与える運動エネルギーは小さい。



荷電放射線 (α, β) と物質との相互作用

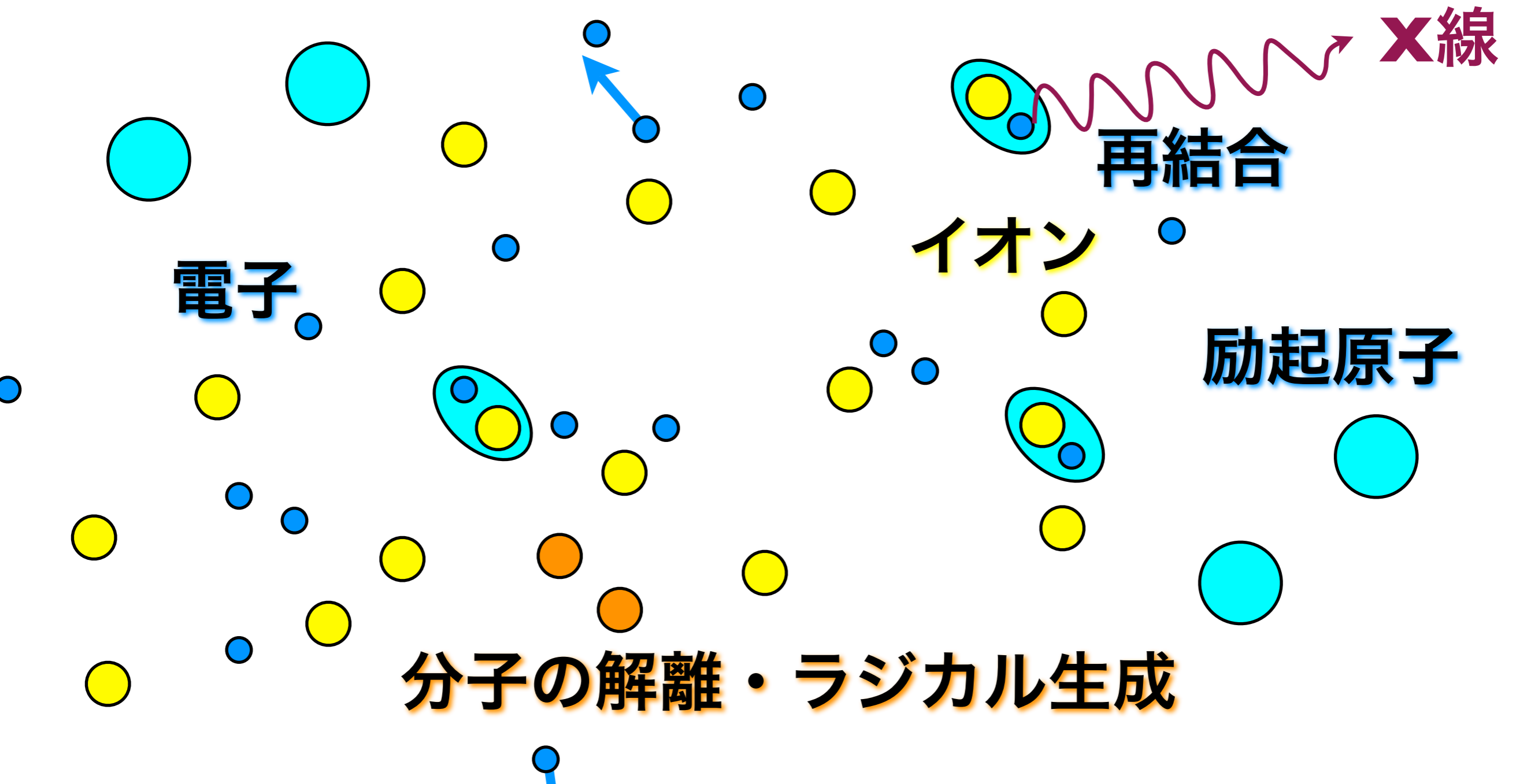
荷電粒子：
クーロン力

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

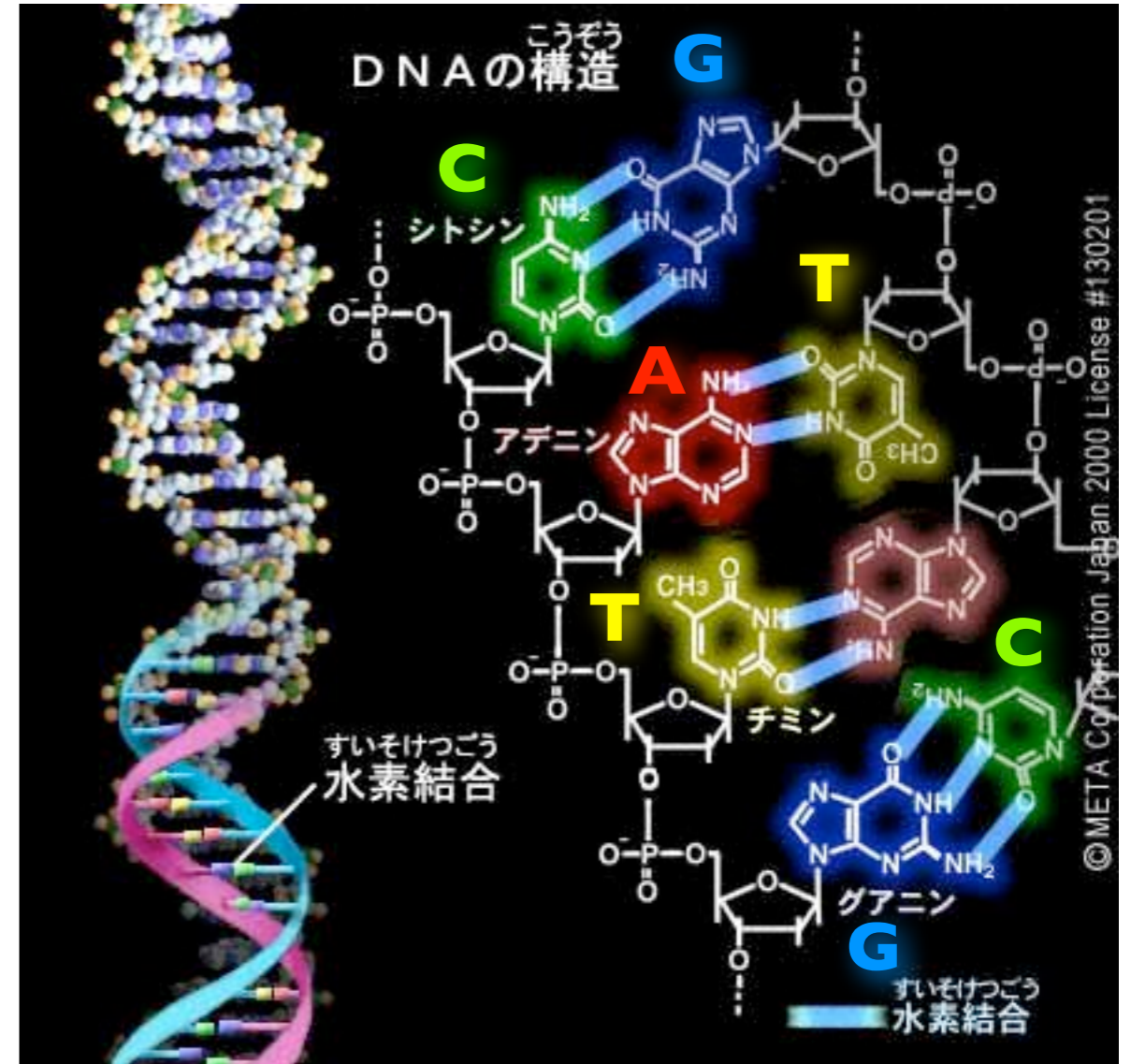
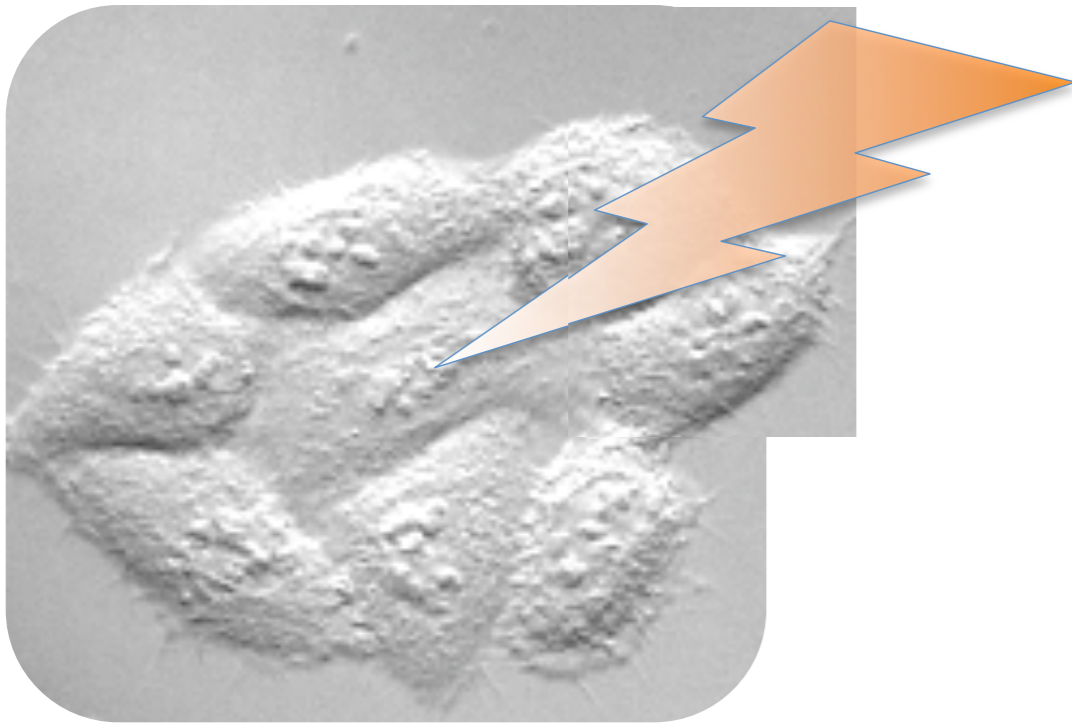
物質中の原子は電離・励起されてイオンや励起原子を生じ、運動エネルギーを受け取った電子は二次電子として更に別の原子を電離。また再結合によりX線が発生。



放射線生物学

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/>

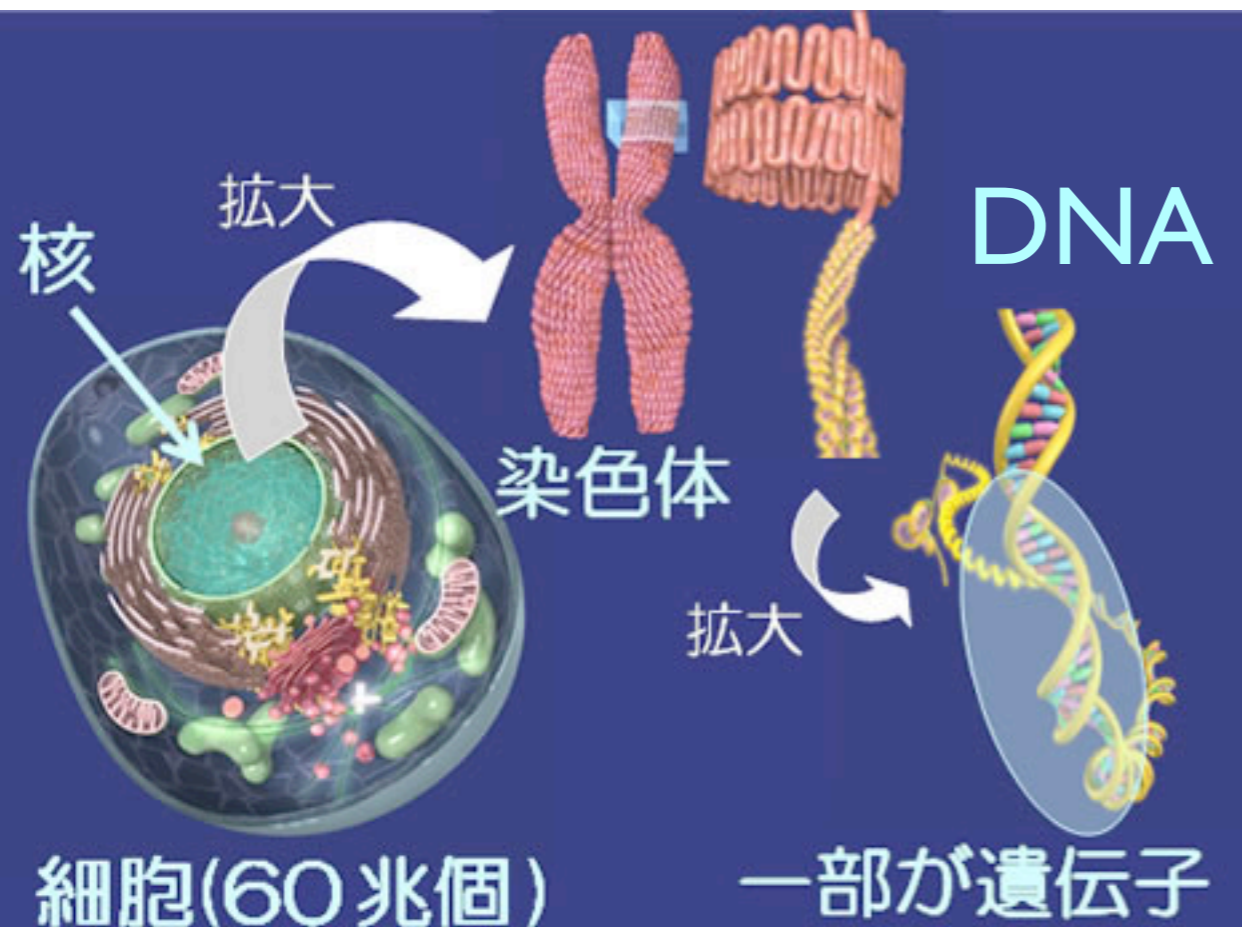
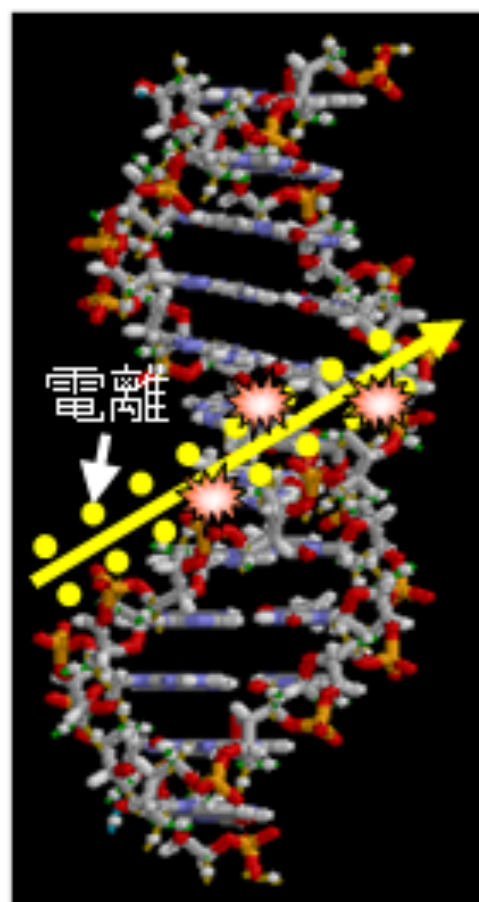
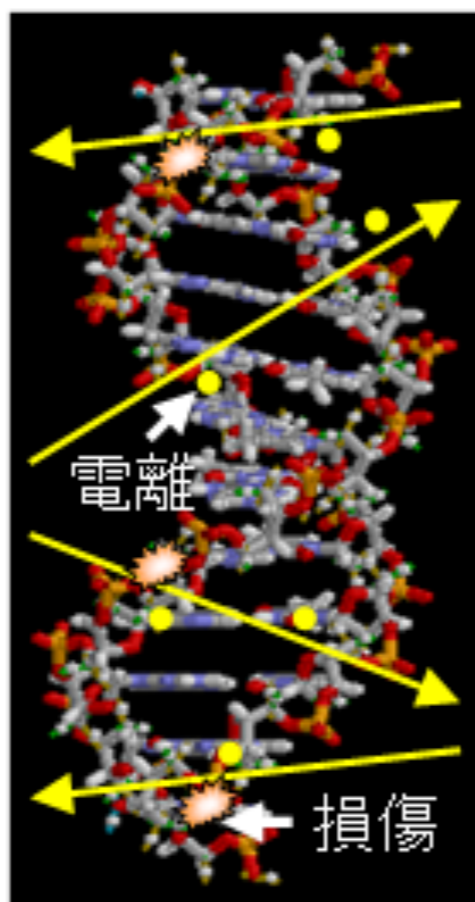


図1 核、染色体、遺伝子

放射線による DNA 損傷



重イオン



電子

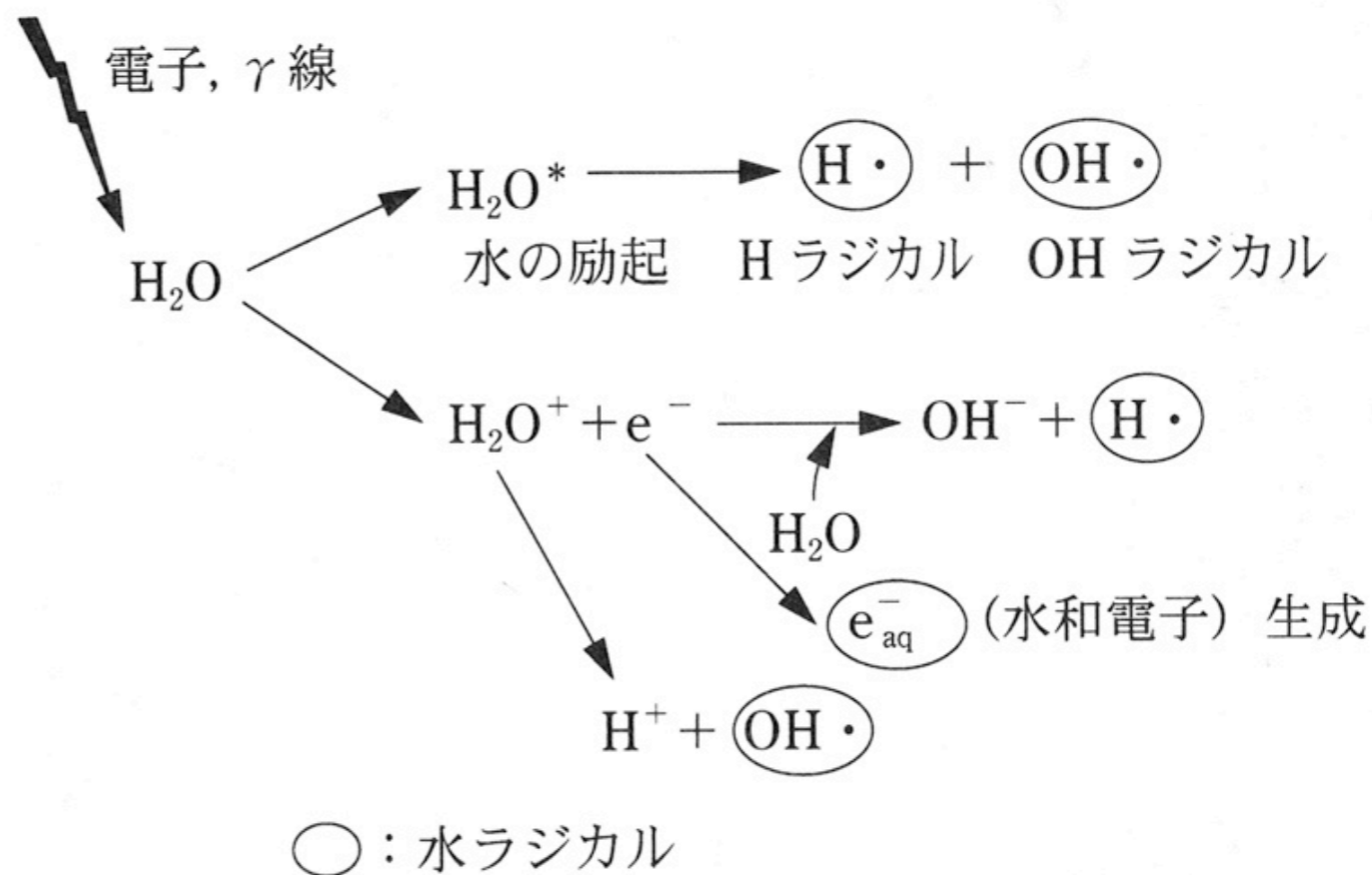


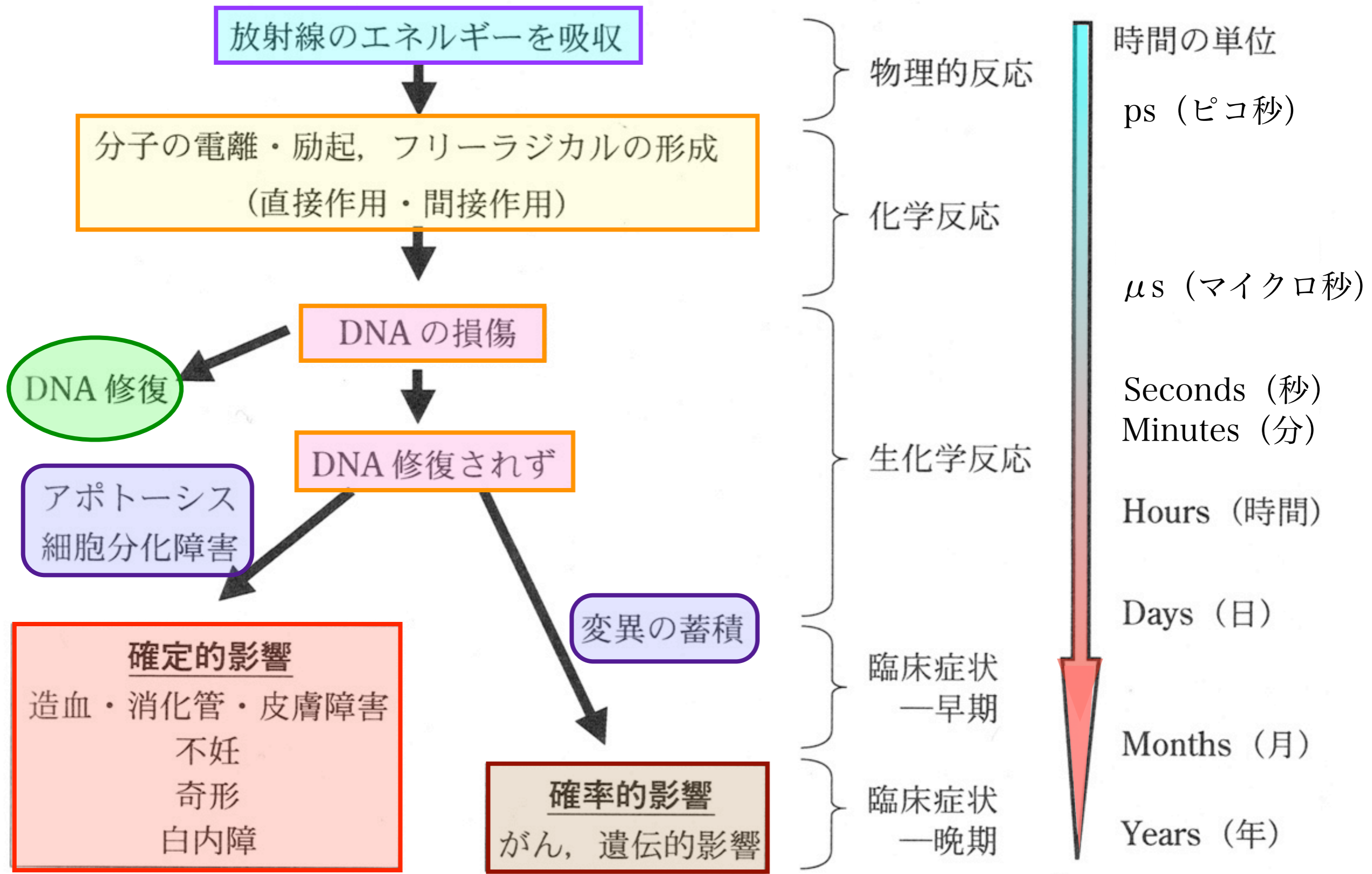
図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

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



放射線被ばく後に起こる生体反応の経時的変化

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。)

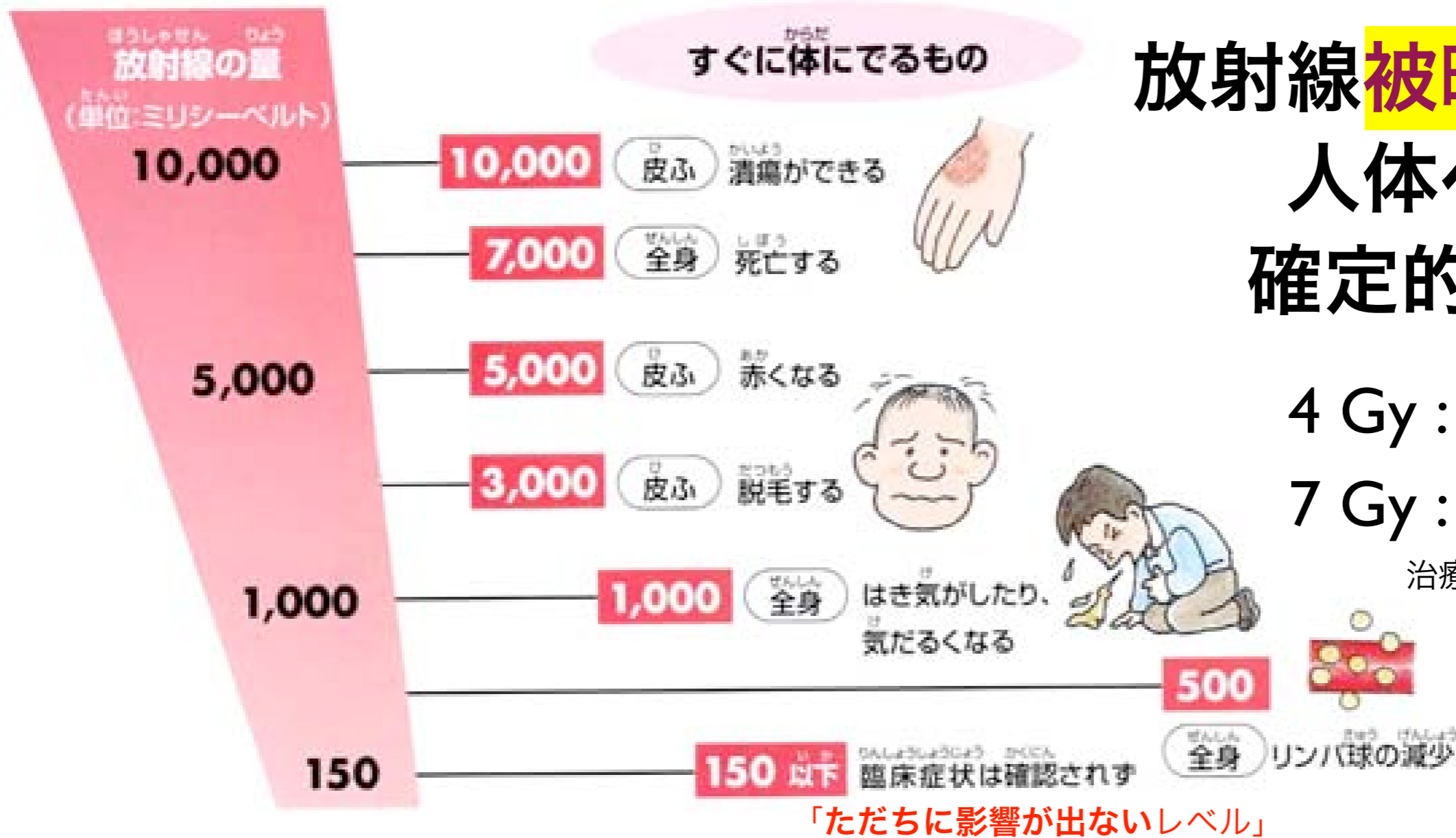
疫学調査の結果から結論を導きだすのは**統計学的**に困難。

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

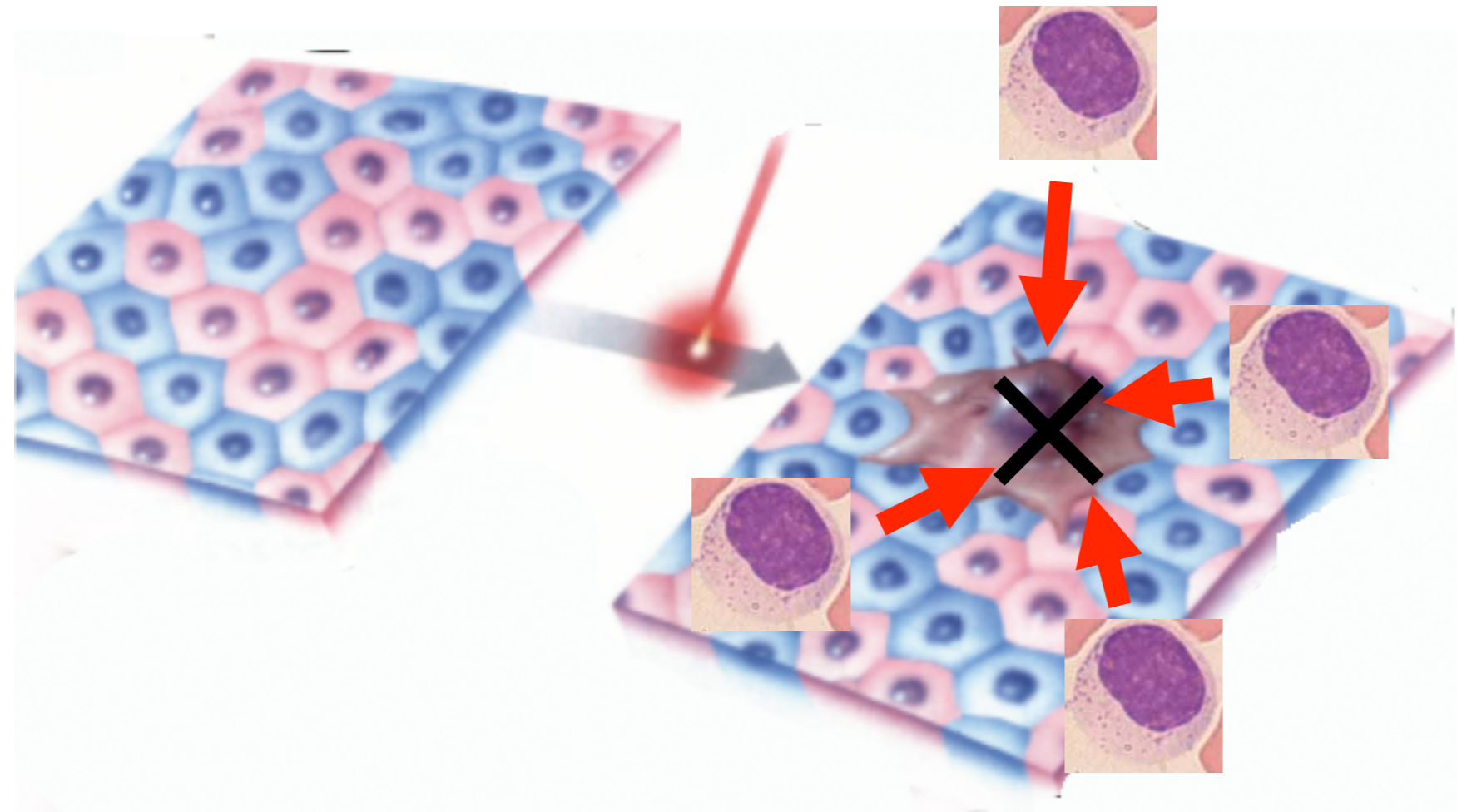


JCO 事故 チェルノブイリの 消防隊員

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 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

がん、とは？

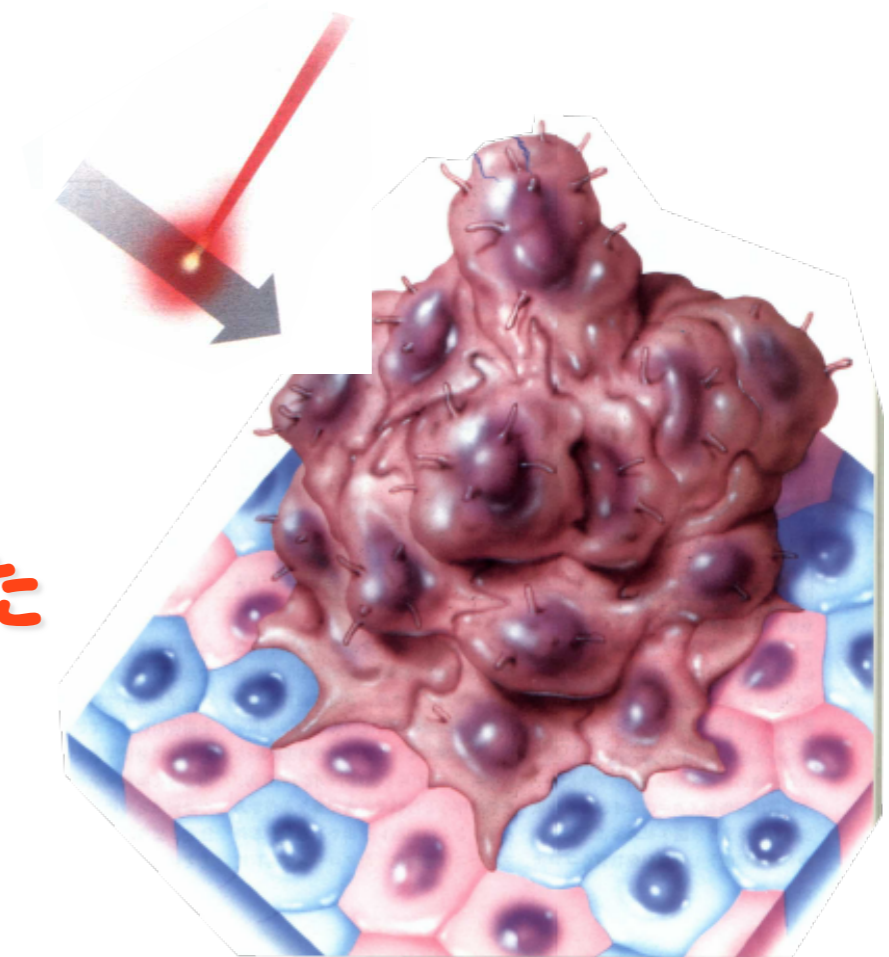
がん細胞は毎日5000個もできている！！



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」



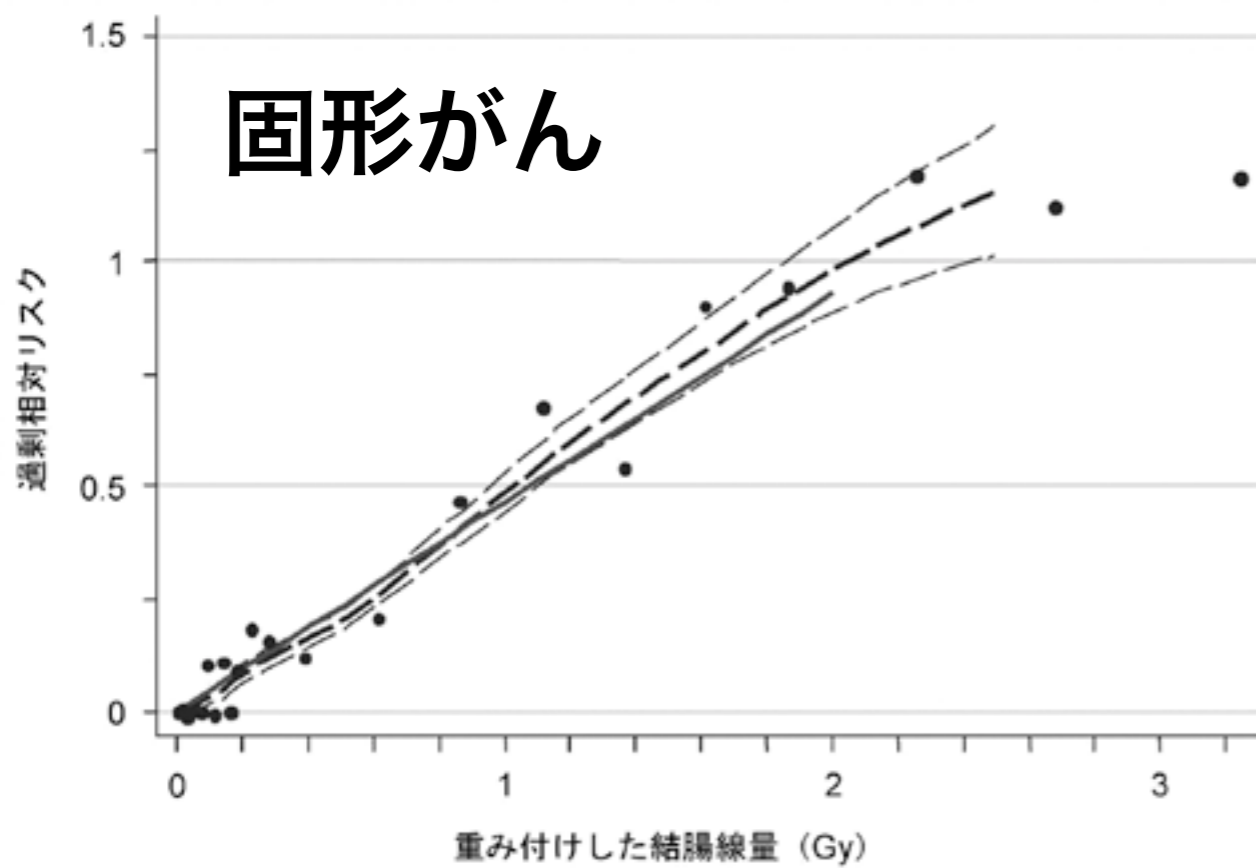


図 LSS (寿命調査) 集団における固形がん発生の過剰相対リスク (線量別) 1958-1998年。太い実線は、被爆時年齢30歳の方が70歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク (ERR) の線形線量反応を示す。太い破線は、線量区分別リスクを平滑化したノンパラメトリックな推定値であり、細い破線はこの平滑化推定値の上下1標準誤差を示す。

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%

(財) 放射線影響研究所 データ

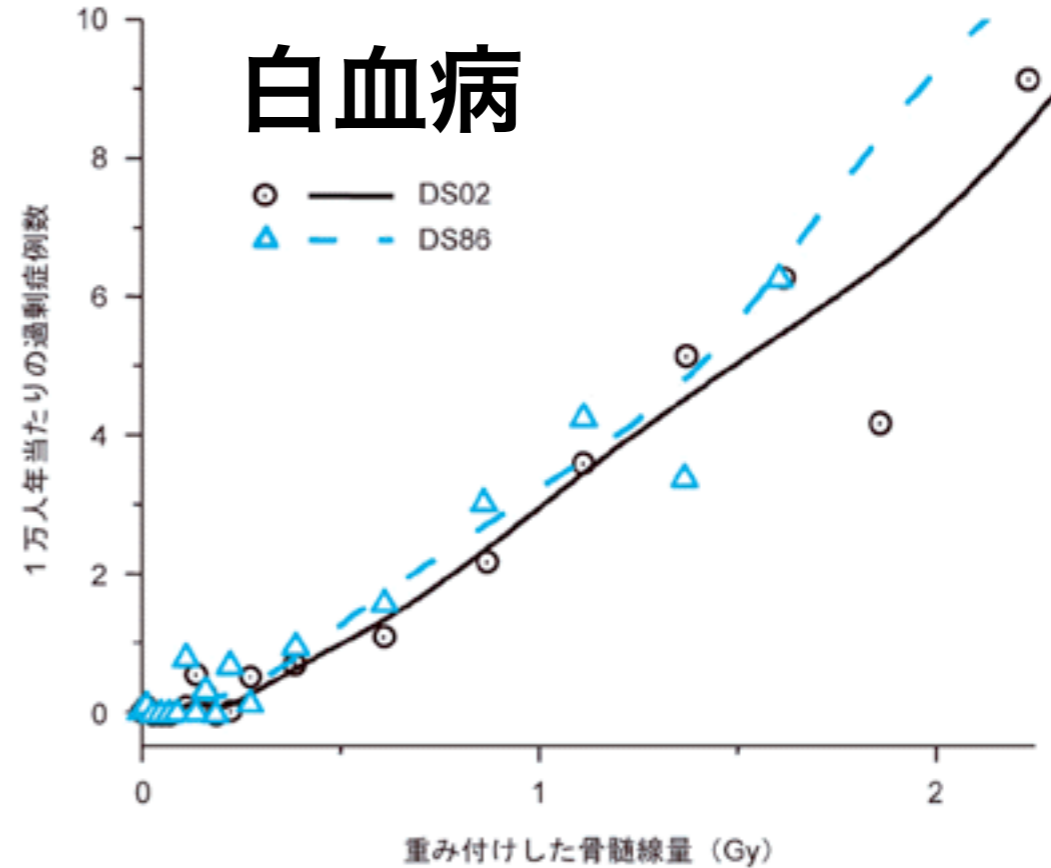


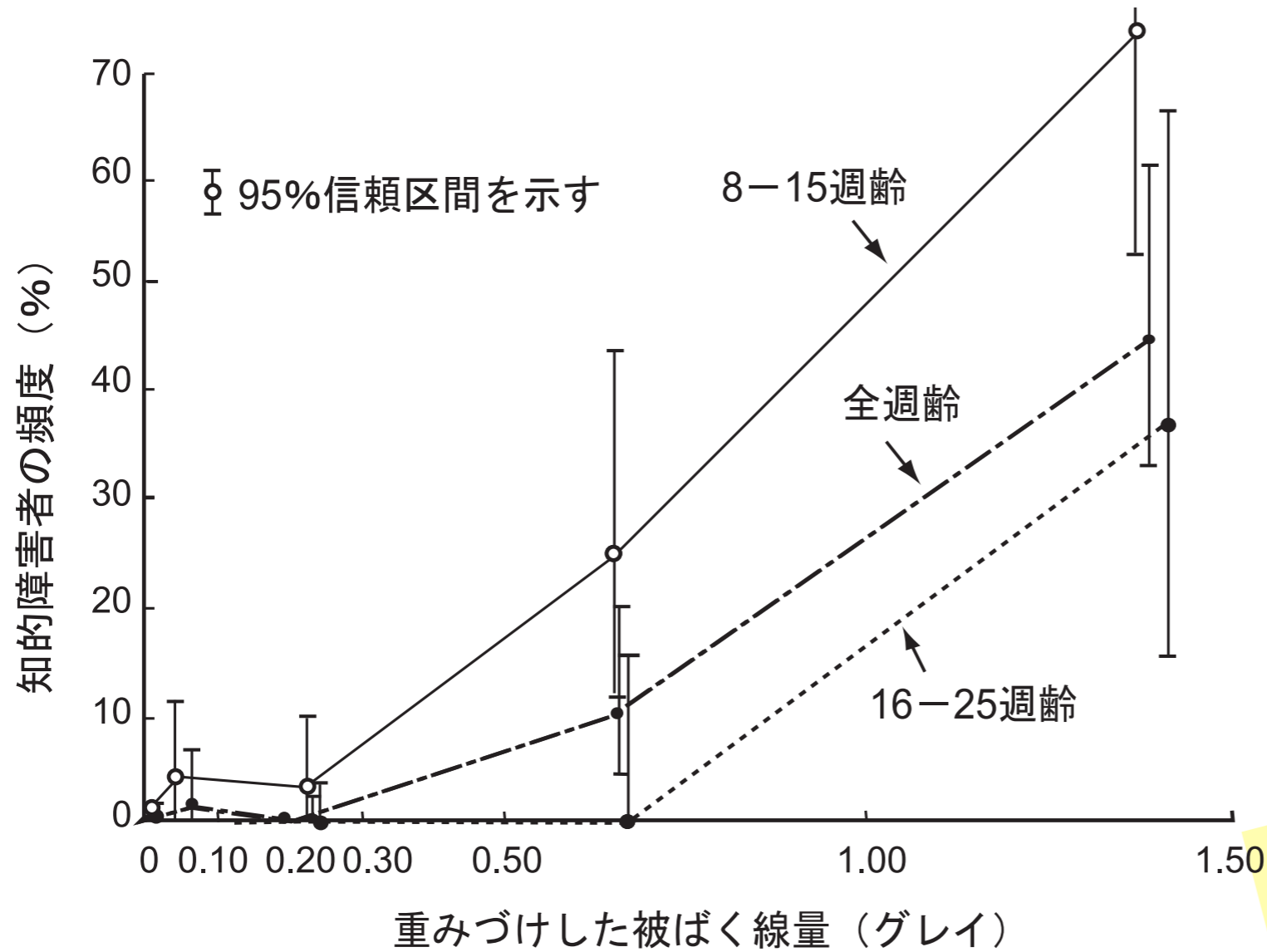
図. DS02とDS86による白血病のノンパラメトリックな線量反応、1950-2000年。被爆時年齢20-39歳の方の1970年における男女平均リスク。

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%

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



旧ソ連



ロシア語



現地 ウクライナ語

Чернобыль / Чорнобиль

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)

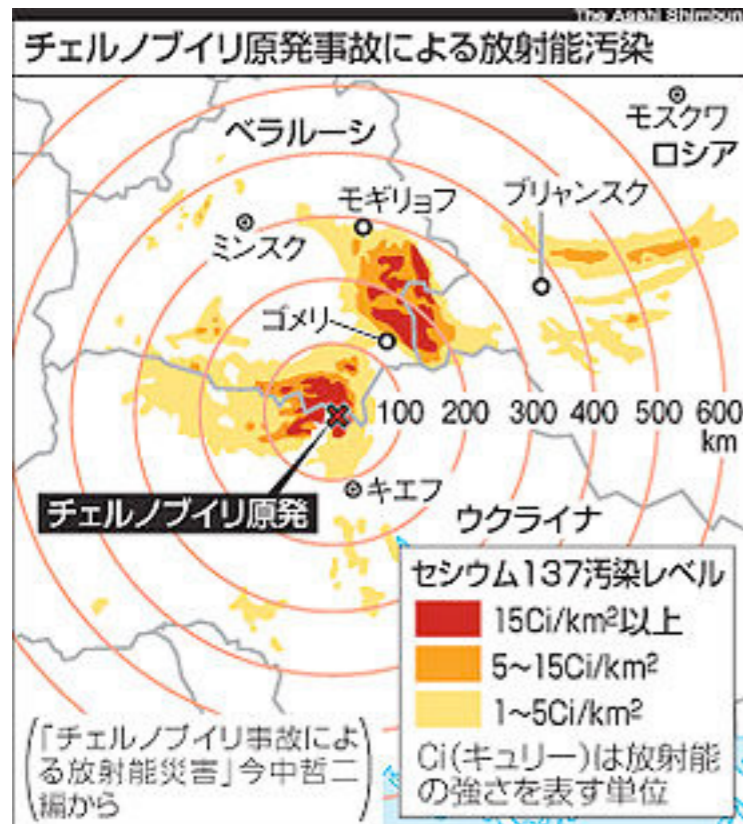
30 km 圏内の牛乳の摂取規制がなされず。

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



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** !!

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)

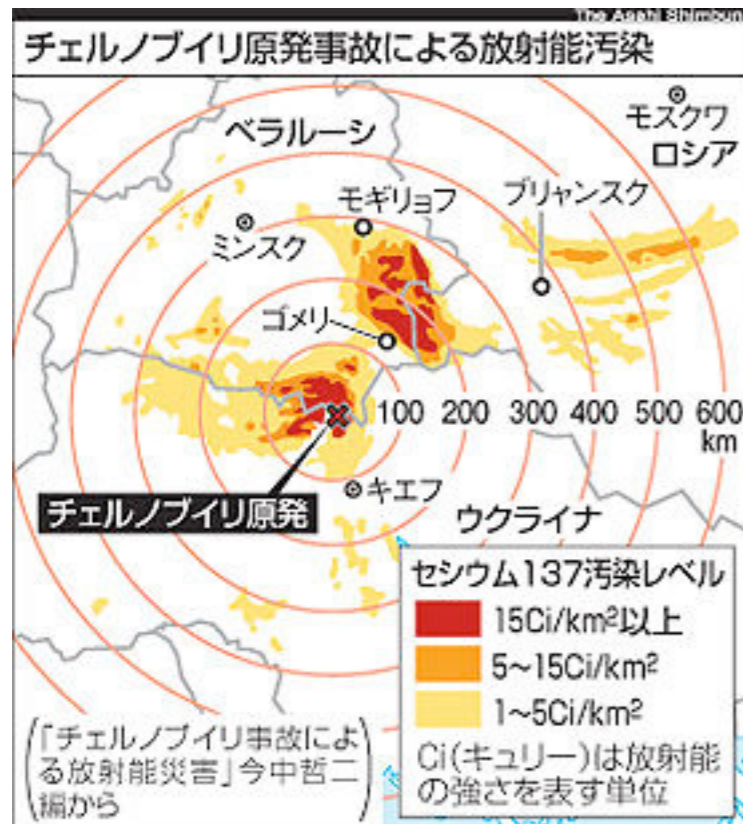
甲状腺平均被曝量 2 Gy (= 2000 mSv) !!

(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

- 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

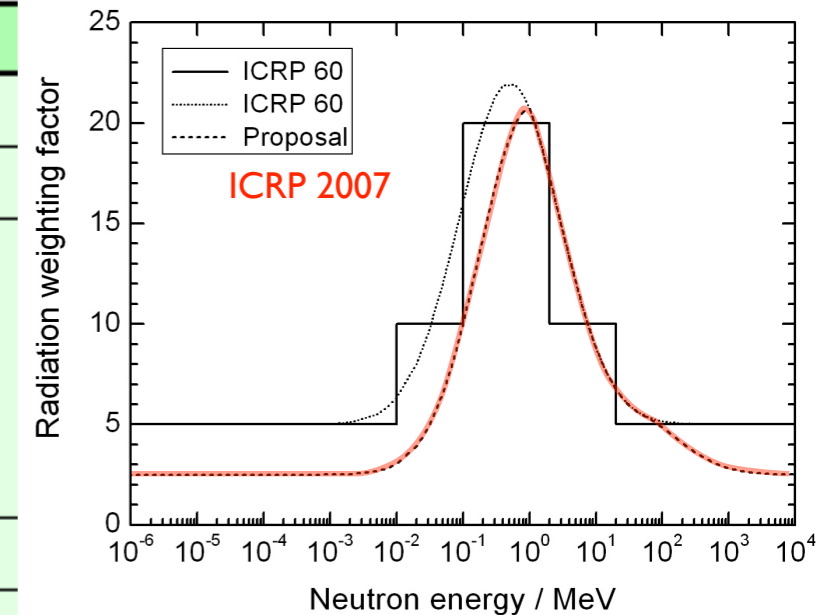


- 放射線の種類による生物学的影響の違いを考慮

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

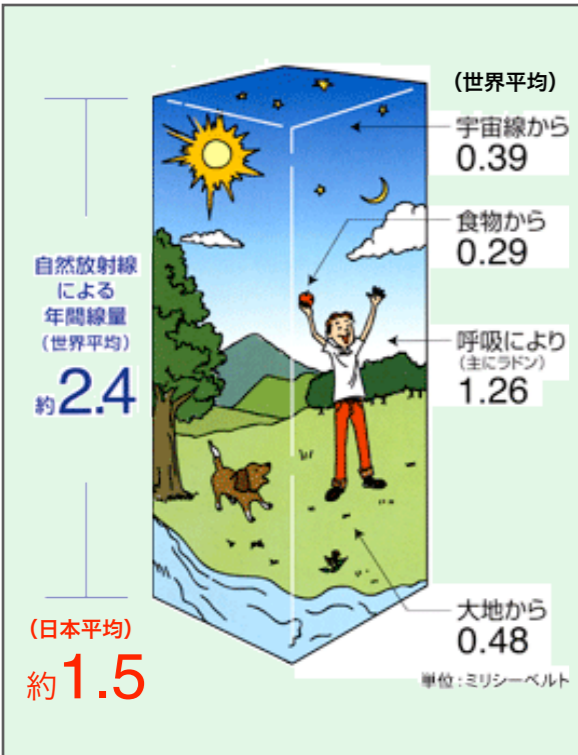
放射線の量
(ミリシーベルト)

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

東京ー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)



0.05

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



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

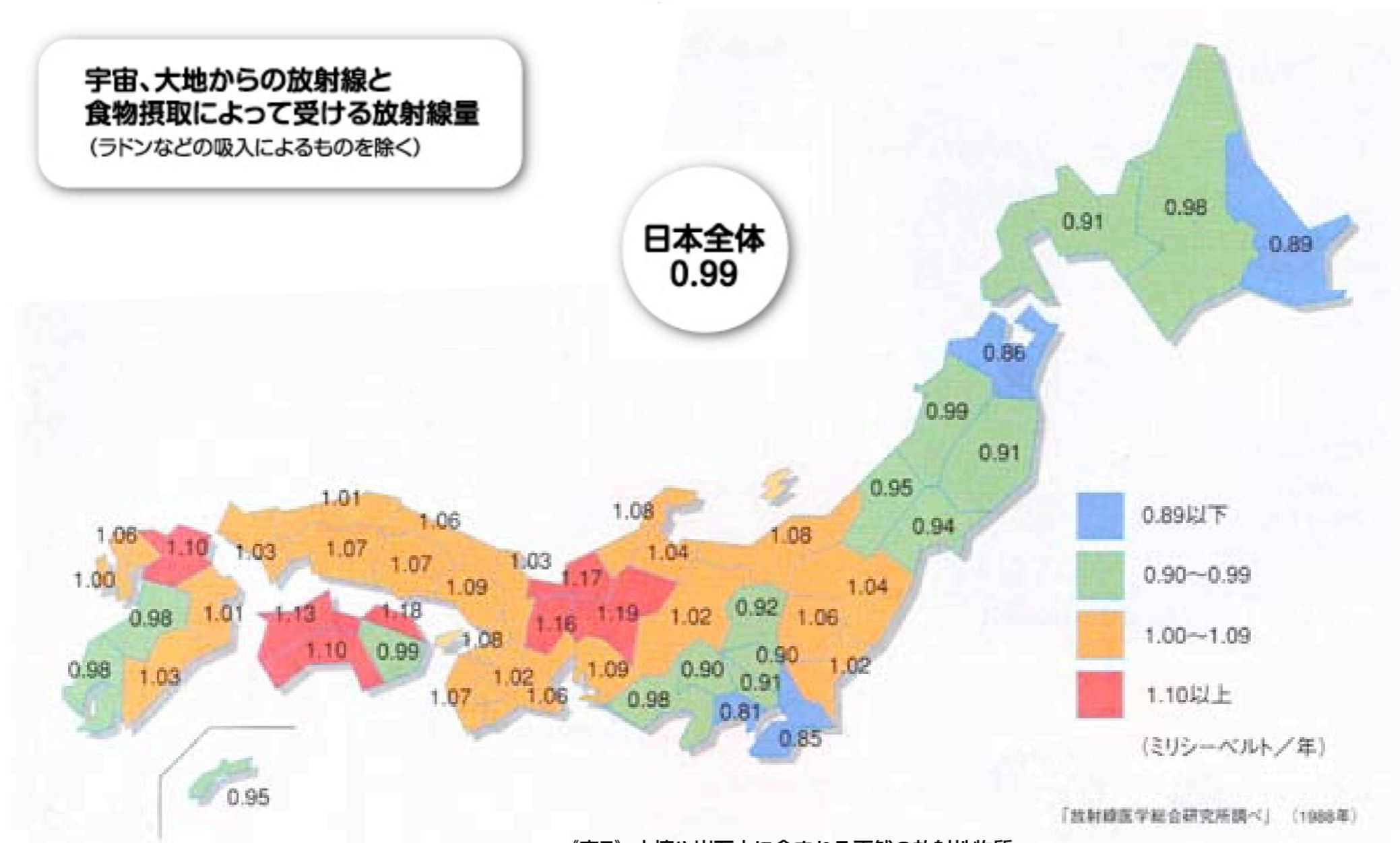
0.01

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)

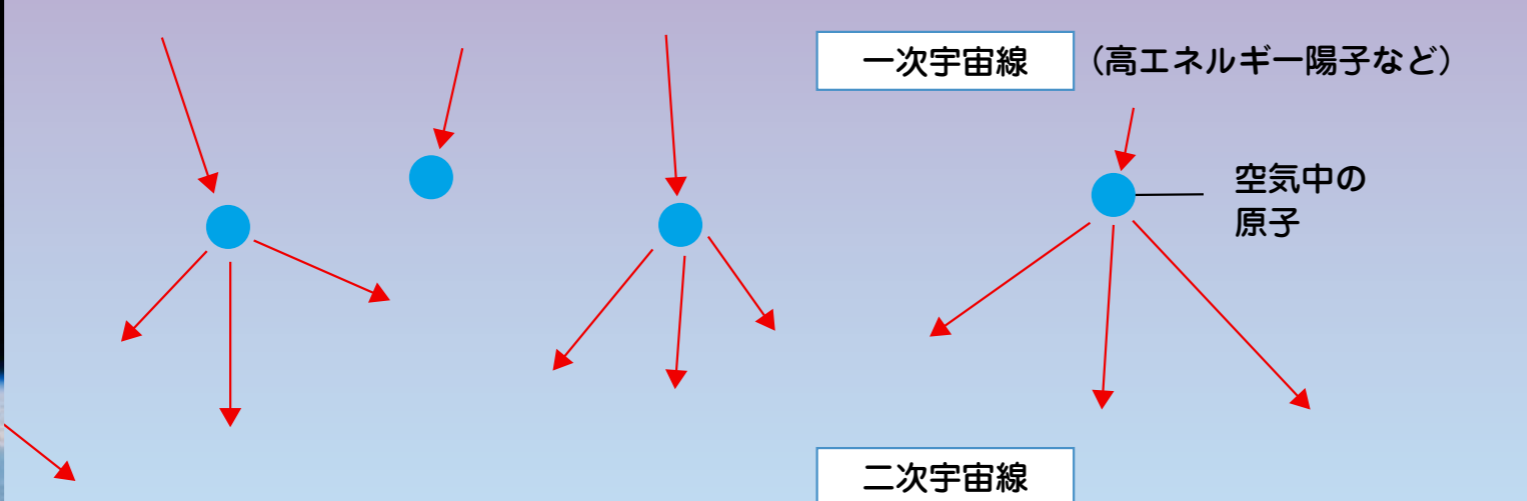
日本全体
0.99



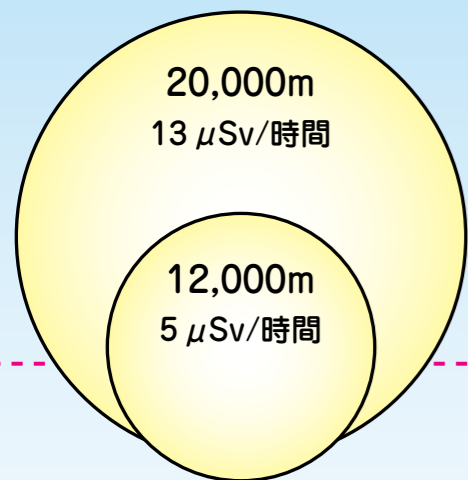
《表5》 土壌や岩石中に含まれる天然の放射性物質

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



※○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

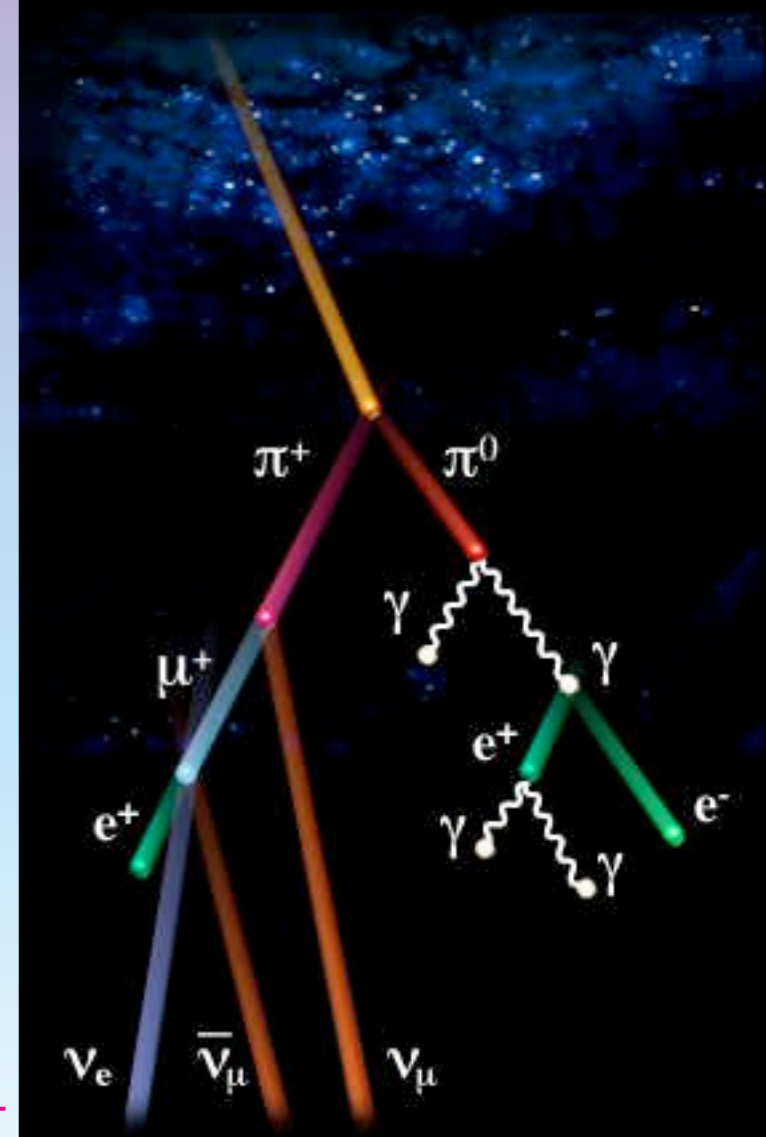
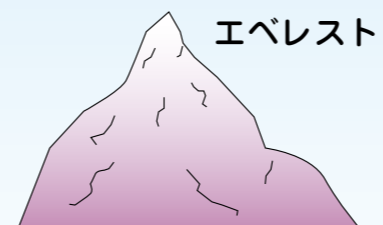
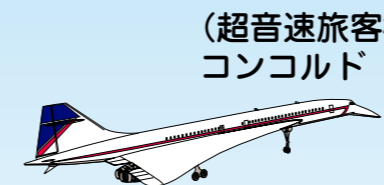
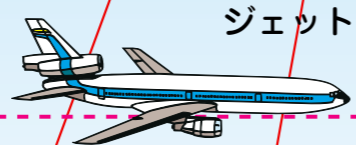
海面 ○ 0.03 μ Sv/時間

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%
 寿命 13億年

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

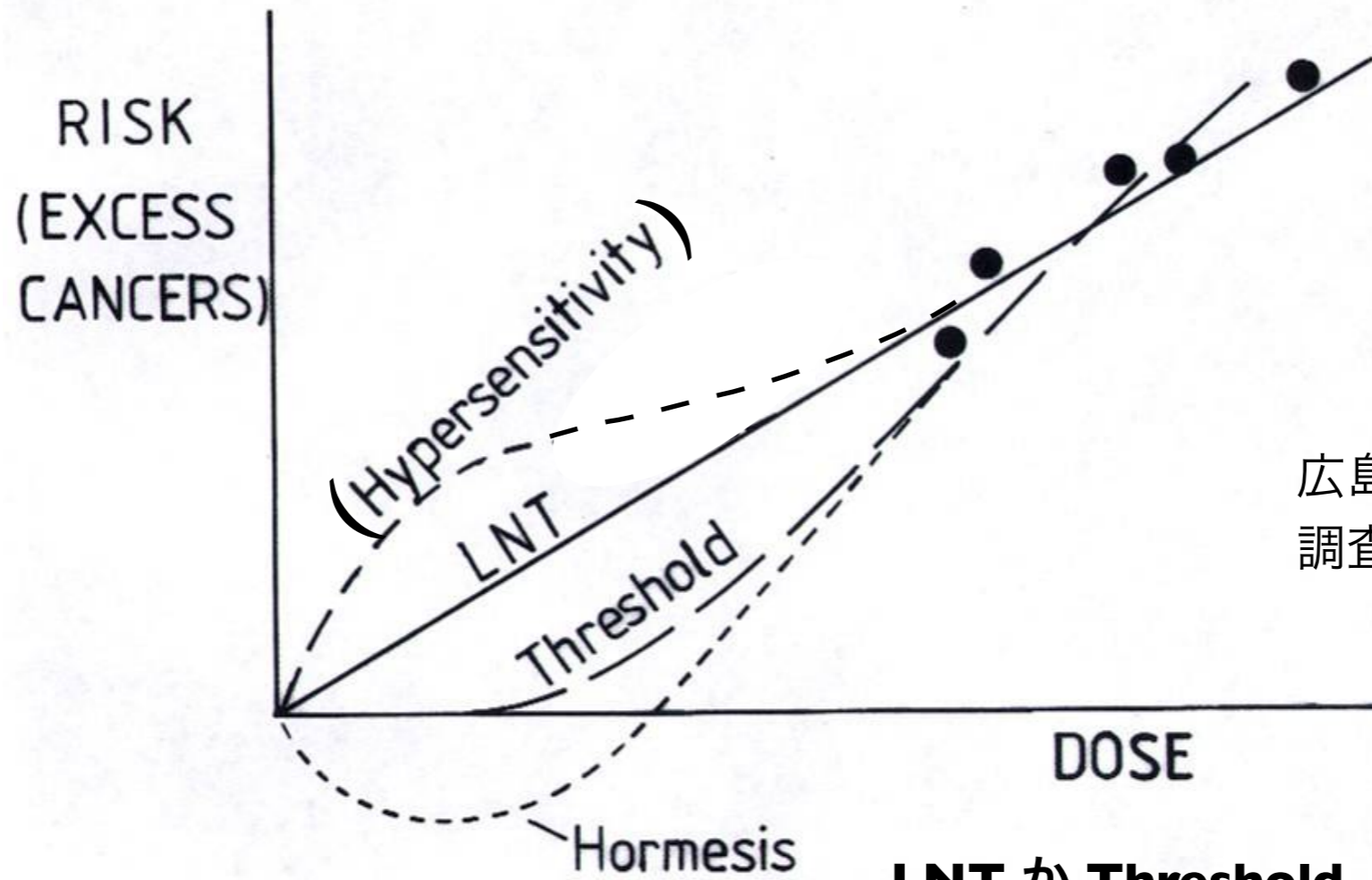
毎日カリウム 3 g = ^{40}K を 80 Bq 摂取。同量を排泄。

放射線のリスク評価と防護

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)

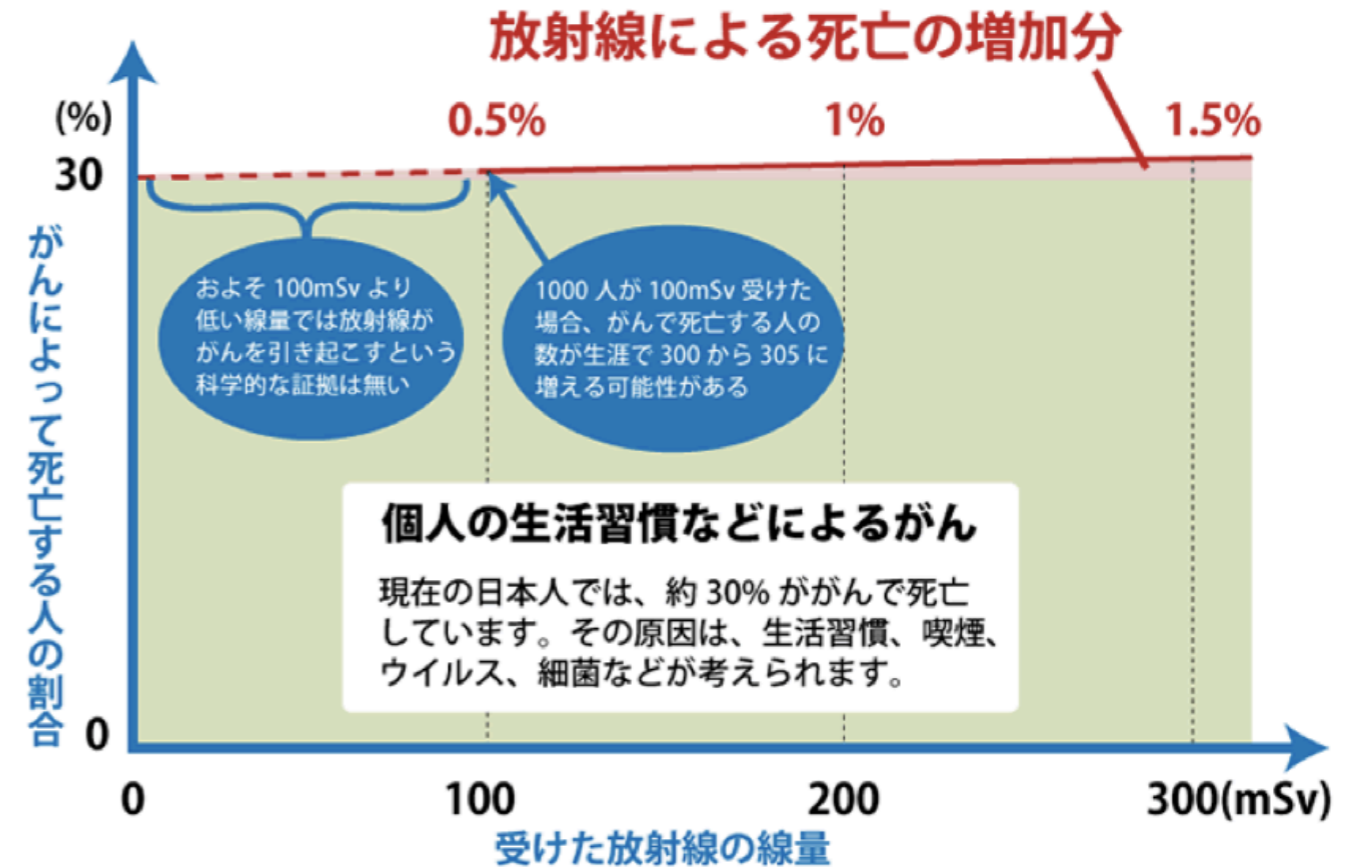
(10,000人当り、全年齢平均、1Sv当り過剰死亡数)

	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)

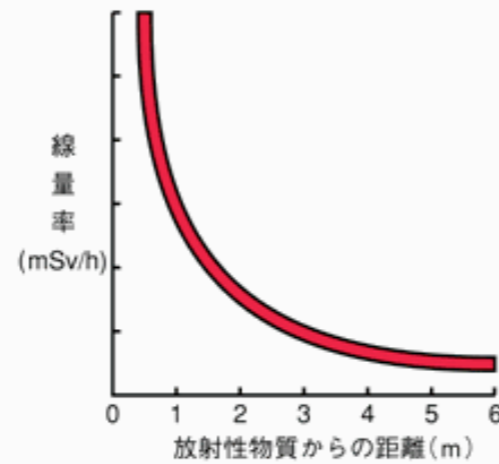
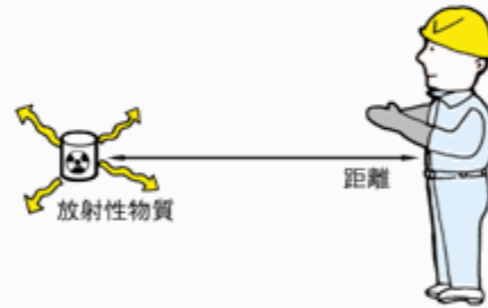
喫煙によるリスクより遥かに小さい。

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

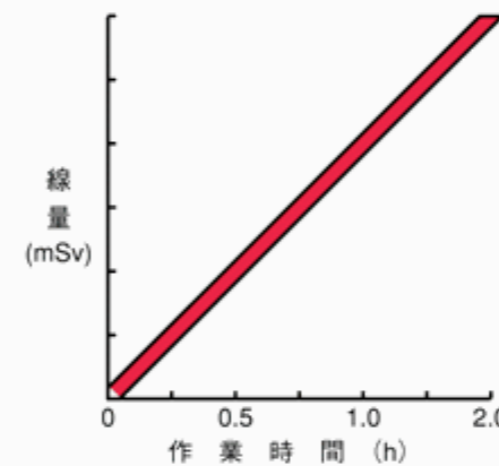
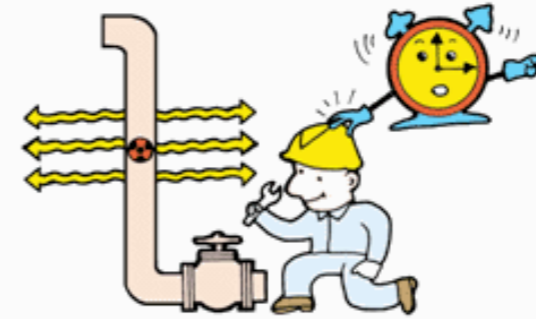
● 距離による防護

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



● 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

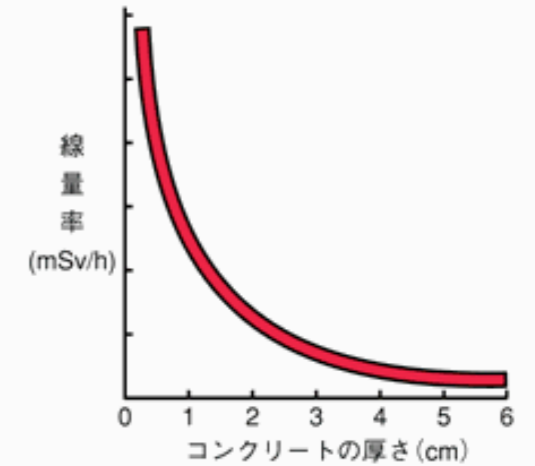
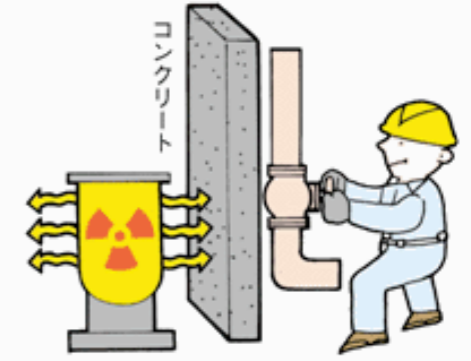


図1 遮へい3原則の図

[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

	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）

公衆被曝（一般公衆）

実効線量	1 mSv / 年
等価線量	
水晶体	—
皮膚	—

	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〕

国内法令による防護基準

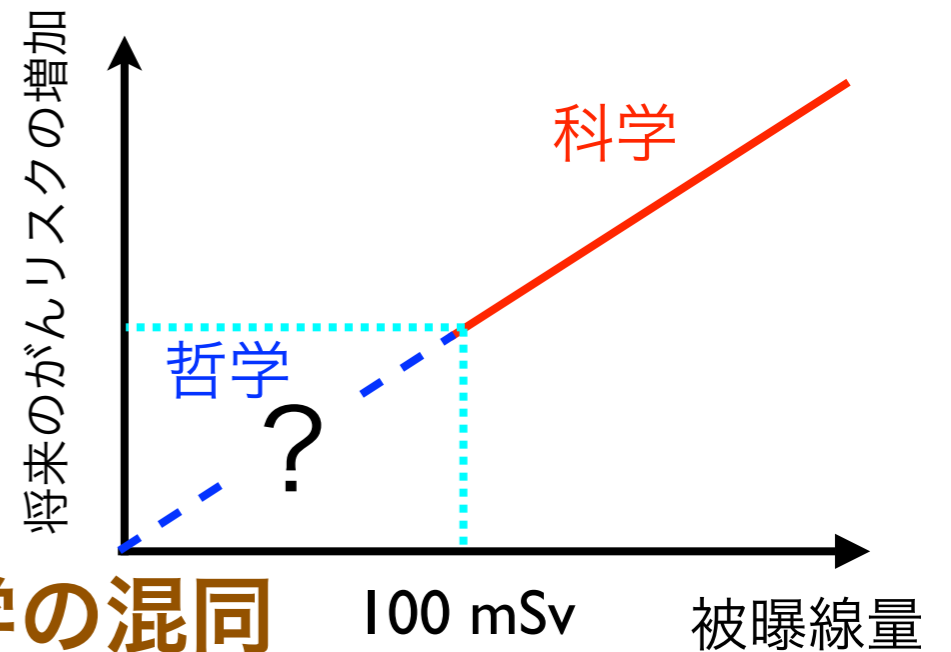
放射線の影響に関して異なった意見があるのはなぜか

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。

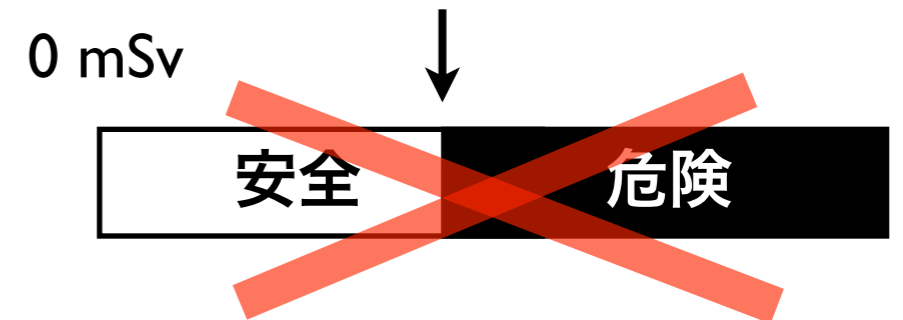
他のリスクとの相対比較

情報に対する信頼の問題

政府、東電に対する不信

御用学者? / 恐怖の煽動?

イデオロギーの問題 (原発推進/反原発、その他の利権?)



リスクは相対的

基準値
(社会が決める)

放射線のリスク

正しい情報をどうやって判断するか。

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

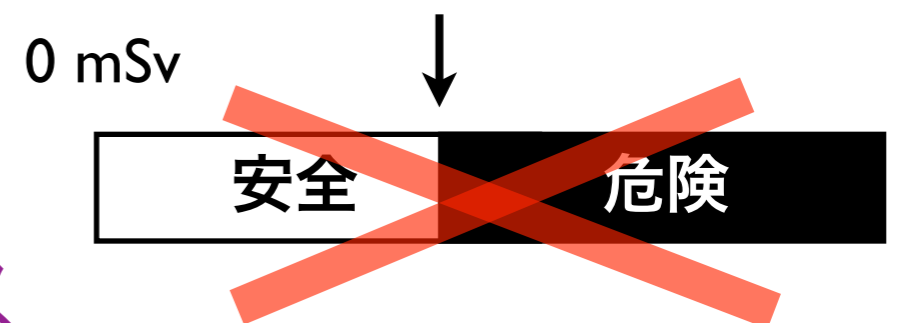
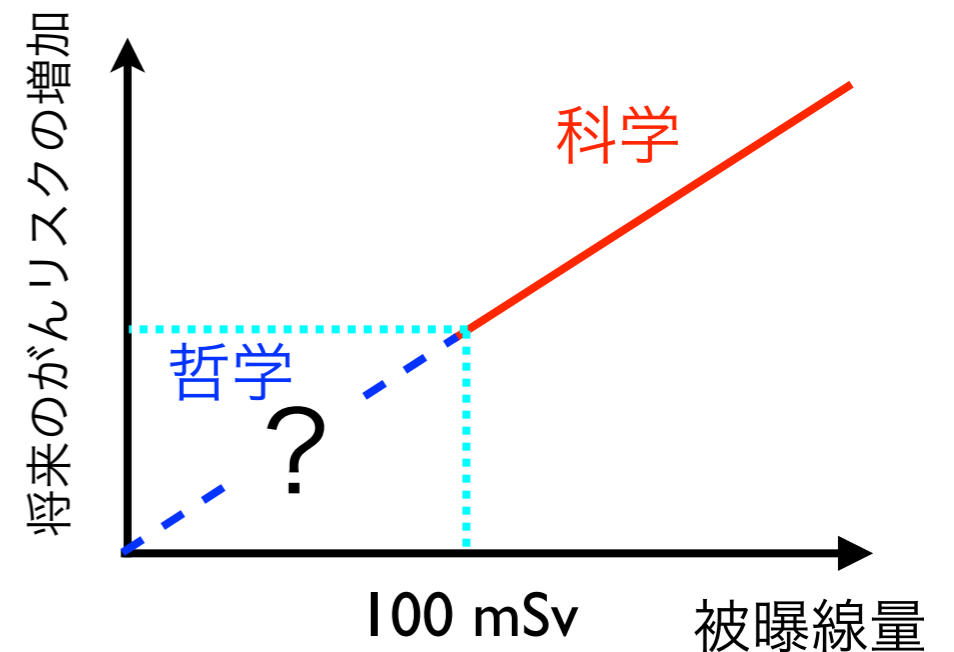
慣れない土地での生活ストレス

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

人はなぜ恐れるのか。

知らないものには恐怖を感じる（生物の自己防御反応）。

慣れると恐れは弱まる。

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。

被災地に対する風評被害

日本人・モノに対する外国の過敏対応（日本製品の輸入禁止、海外の空港で放射線検査、関西でも観光客・留学生激減）

「絶対安全」は世の中に存在しない。

BSE の全頭検査要求は絶対安全の幻想を求めた結果。
（あるいは、米国の対策に対する不信感の表れ）

相対的なリスク評価の目を養うべき。（現在の汚染状況においてどう行動すべきかの指針）

身の回りにも放射線が存在している。食品にも。

放射線を恐れるあまり必要な栄養素を摂取しないと栄養問題で体調に失調をきたす。

他のリスクとの比較。交通事故、転落事故、食中毒、携帯電話の電波の影響？、新型インフルエンザ対策

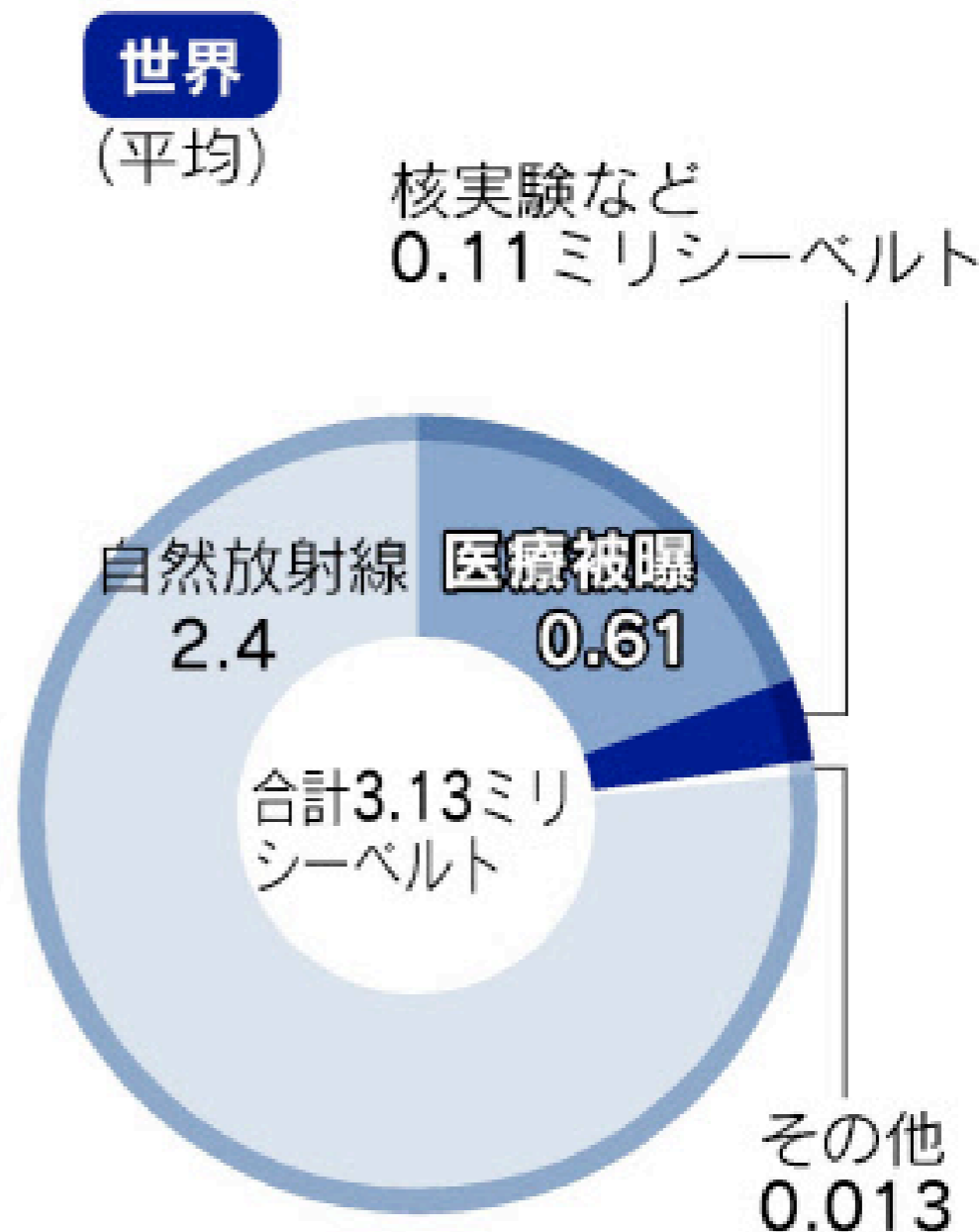
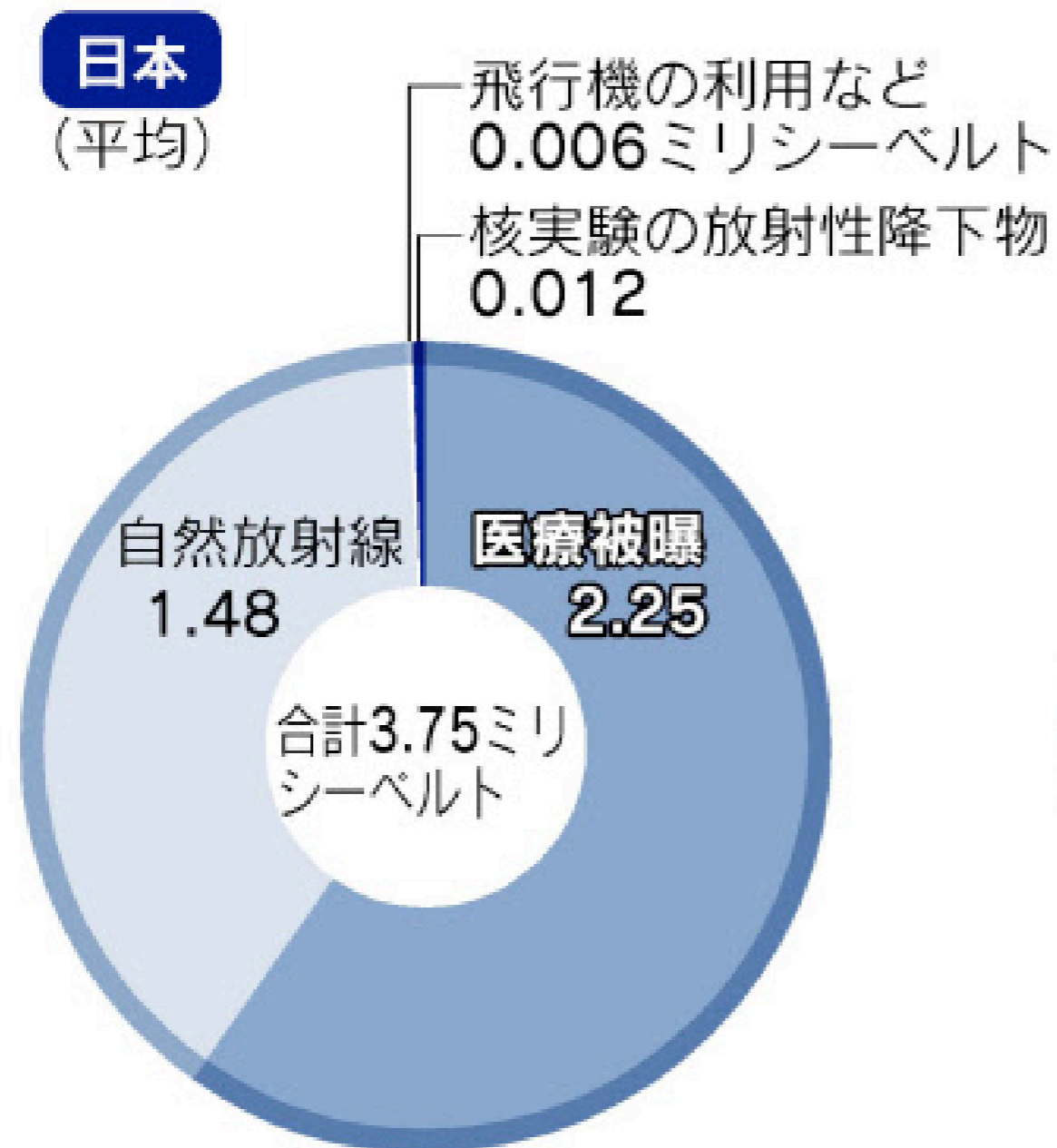
避難・移住によるリスク、避難所での保健衛生対策（東北の避難生活で亡くなった人は数十名を下らない。）

知らぬが仏：冷戦時代の核実験

合理性：ベネフィットとリスク、またコストとの兼ね合い。

被曝を怖れすぎても怖れなさすぎても健康被害が出る。

1人が1年間に浴びる放射線量



(注) ICRPが定める一般人が浴びてもさしつかえないとする限度1ミリシーベルトは医療被曝と自然放射線は除く。「原子力・エネルギー図面集 2011年版より」

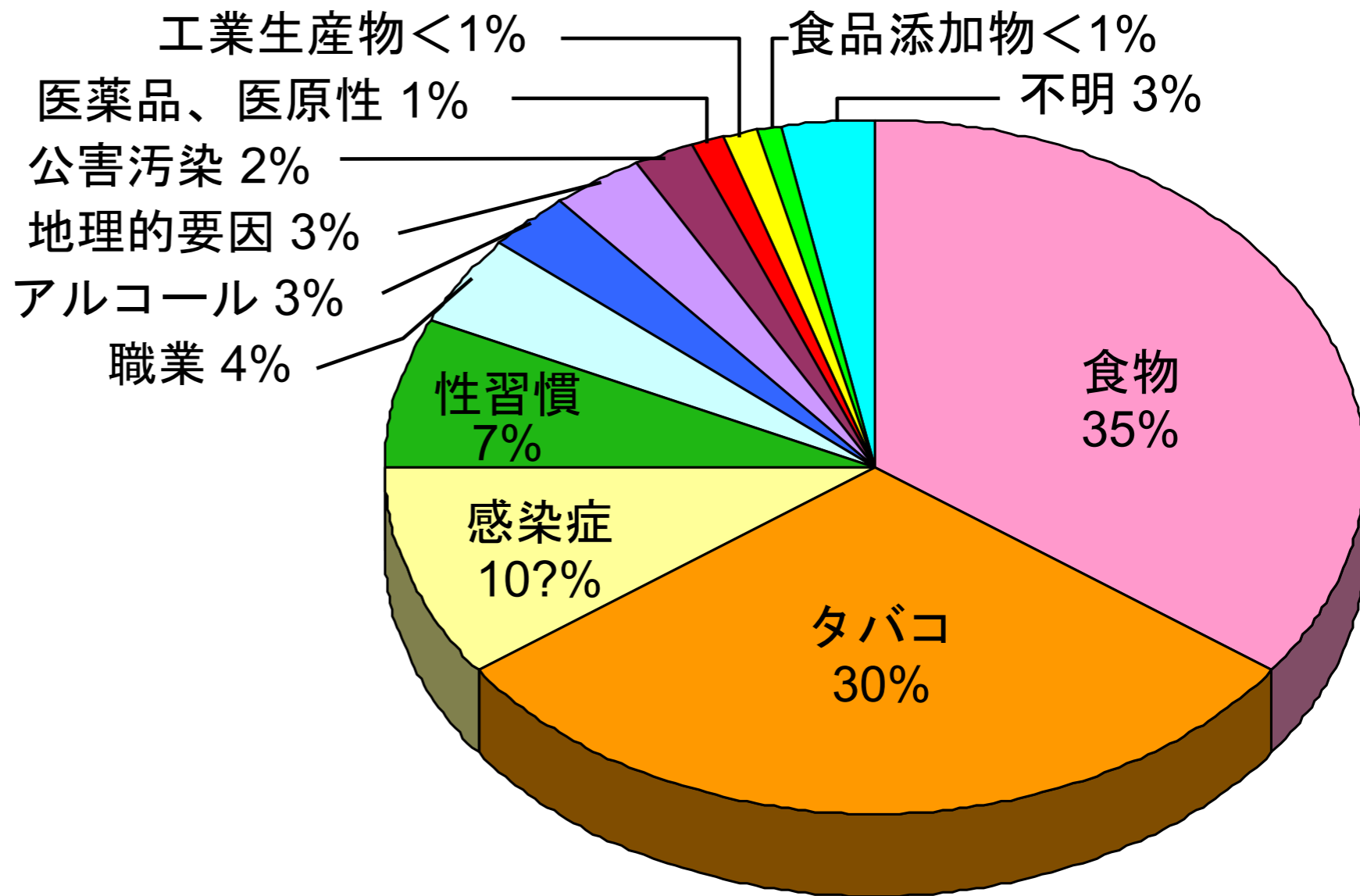
放射線と生活習慣の発がんの相対リスク比較

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
200~500ミリシーベルトを浴びる	1.16倍
運動不足	1.15~1.19倍
肥満	1.22倍
1000~2000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
2000ミリシーベルト以上浴びる	
喫煙	
毎日3合以上の飲酒	

※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。

(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。)

がん死中にしめる各因子の割合 (%)

がんで死なないためには、

👉 がんにならないのが一番

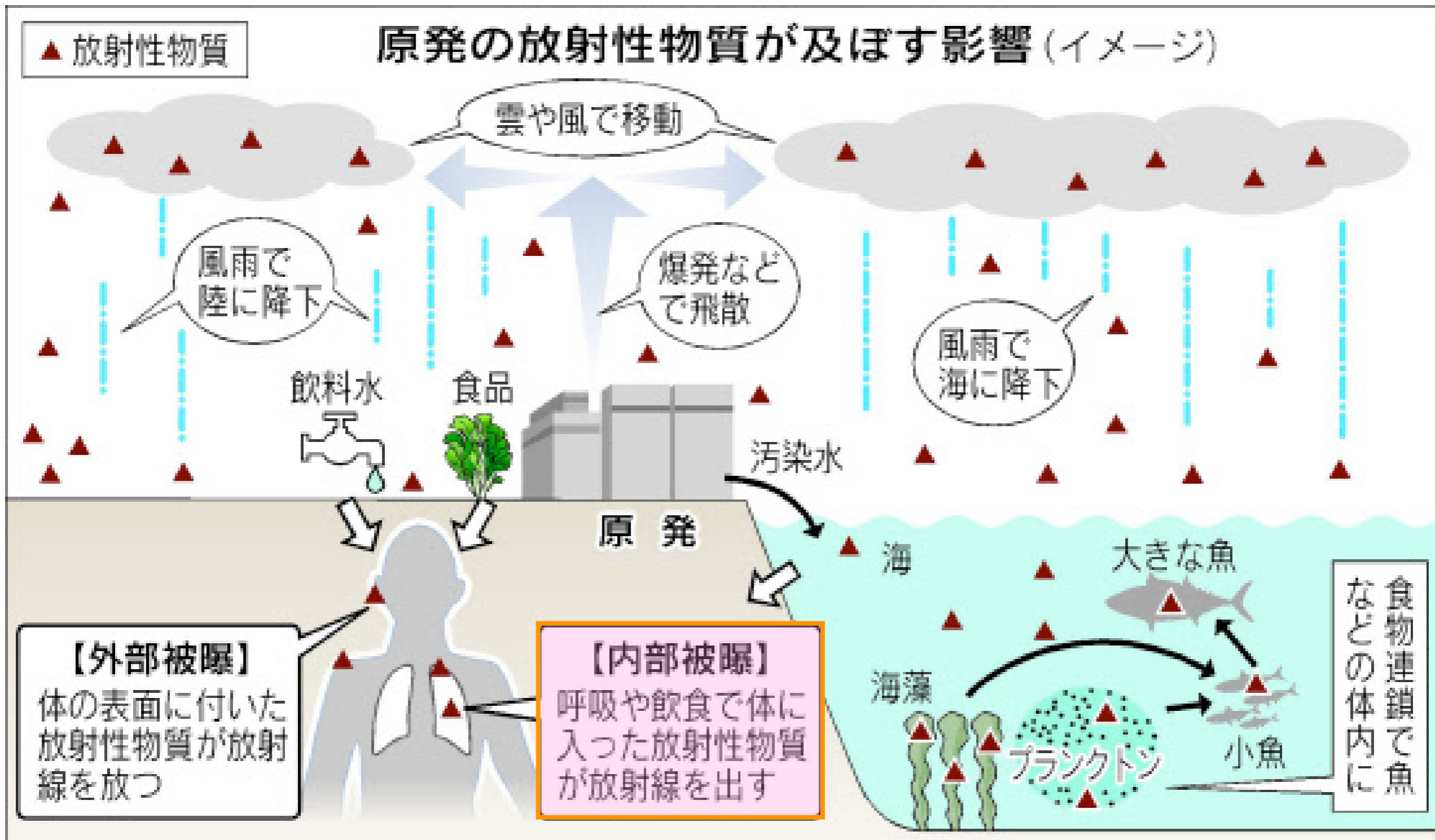
+ なっても、早期発見で完治させる

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



被曝量の定量的管理が大切。

外部被曝：ホットスポットに注意。除染が有効。

内部被曝：食品検査。全品検査は不可能

自家製消費に注意。
ベラルーシの例に学ぶ

植物は泥に育つ

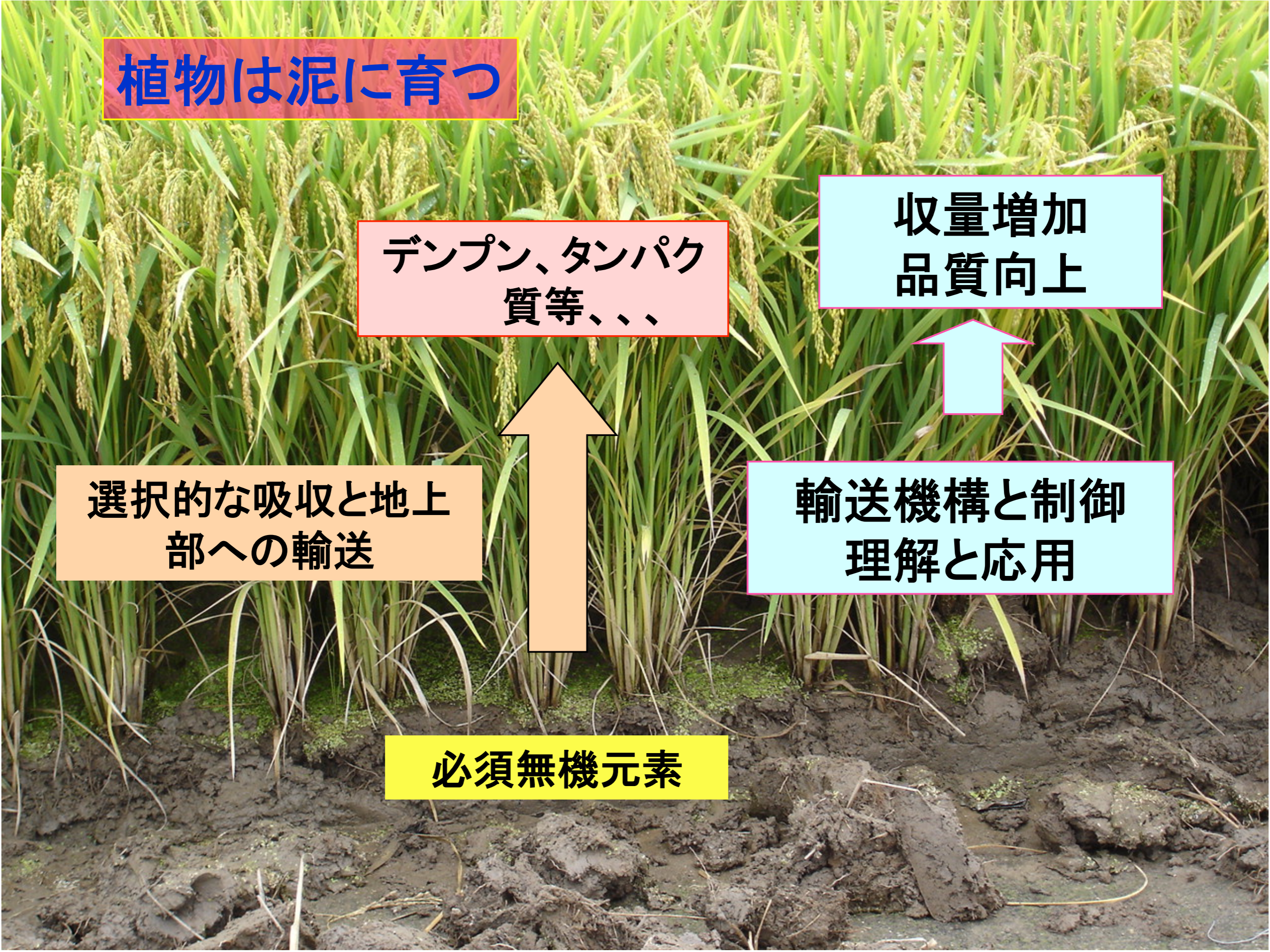
**デンプン、タンパク
質等、、、**

**収量増加
品質向上**

**選択的な吸収と地上
部への輸送**

**輸送機構と制御
理解と応用**

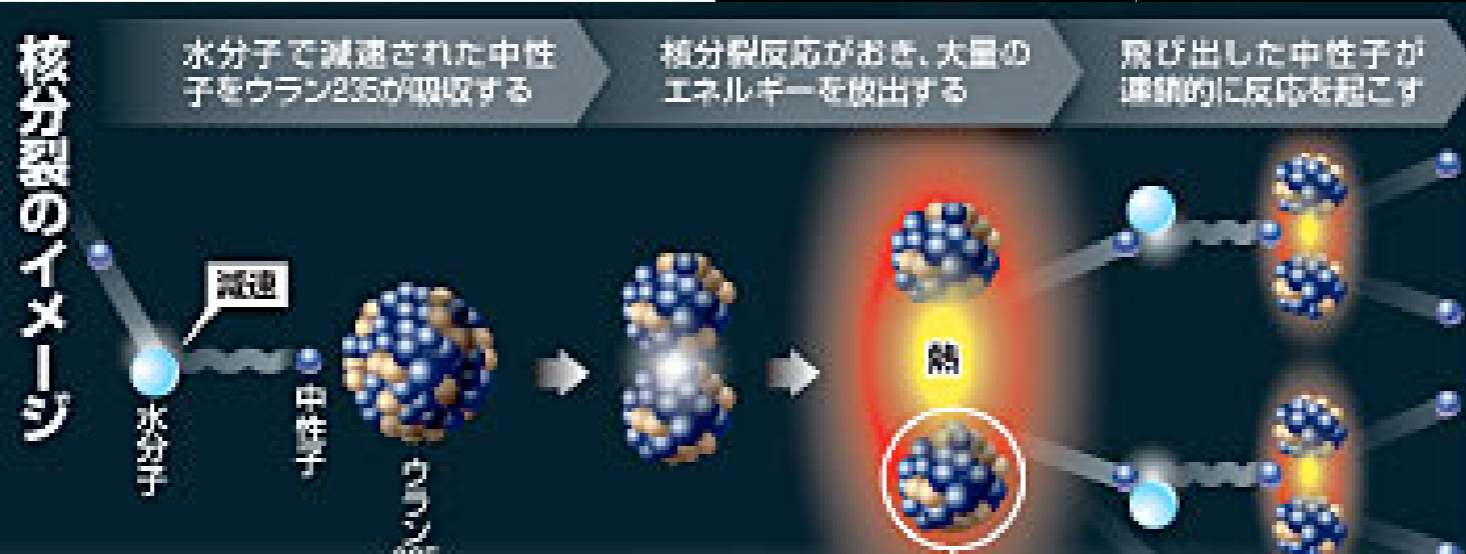
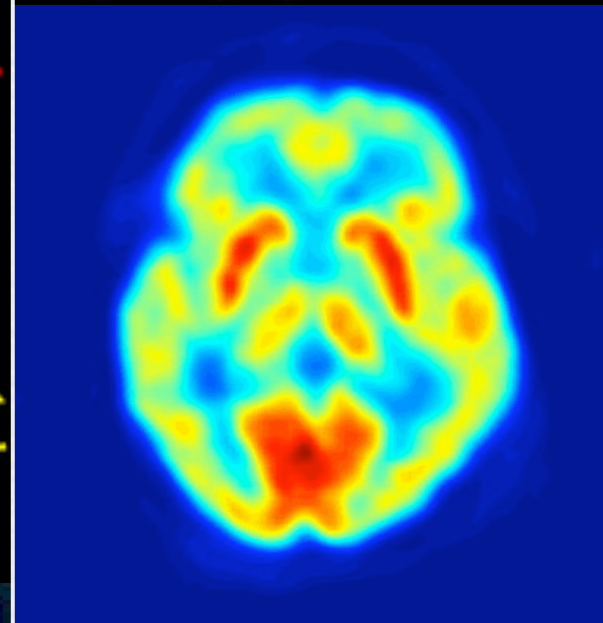
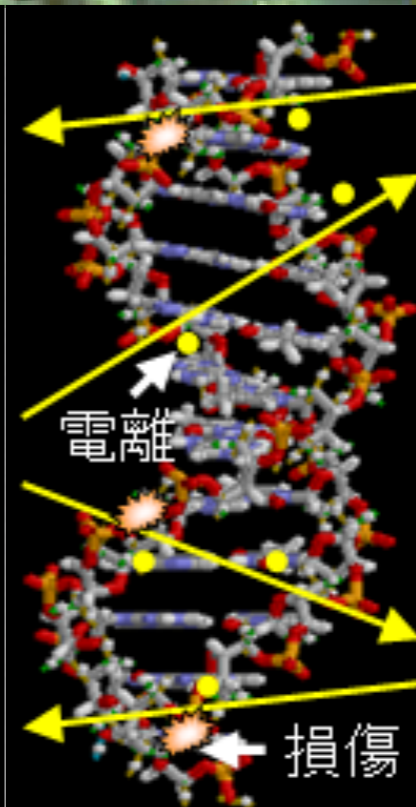
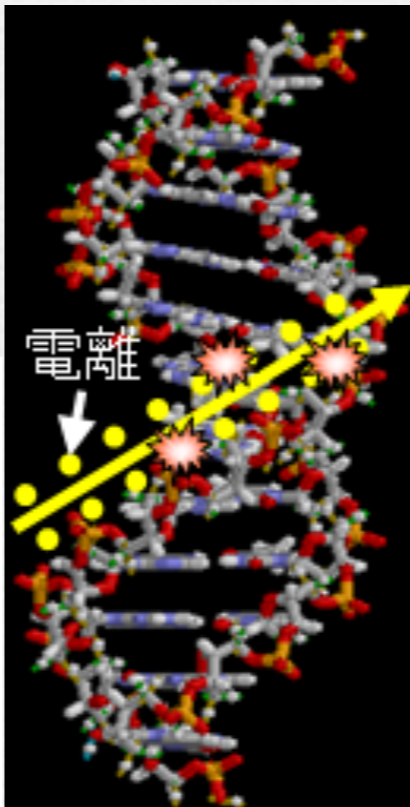
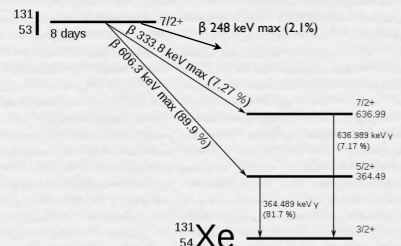
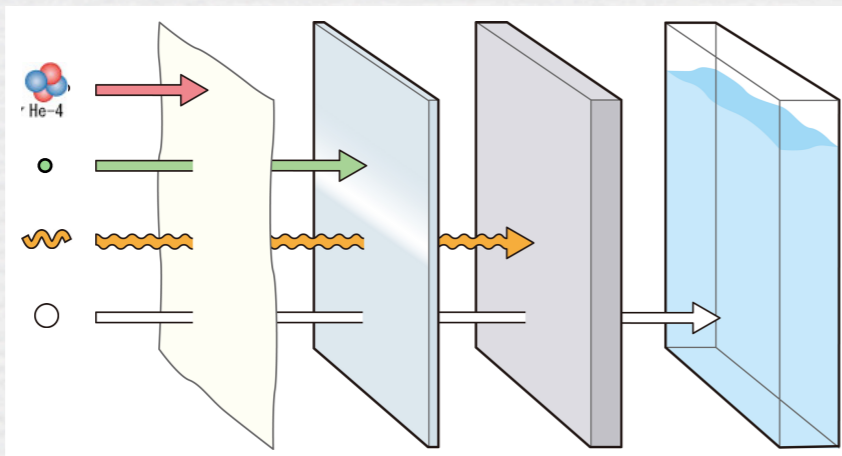
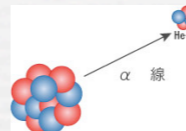
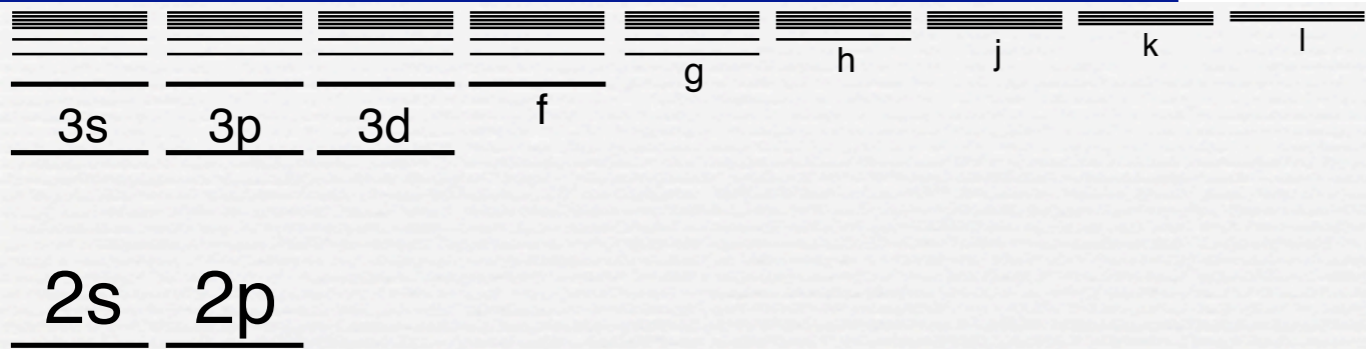
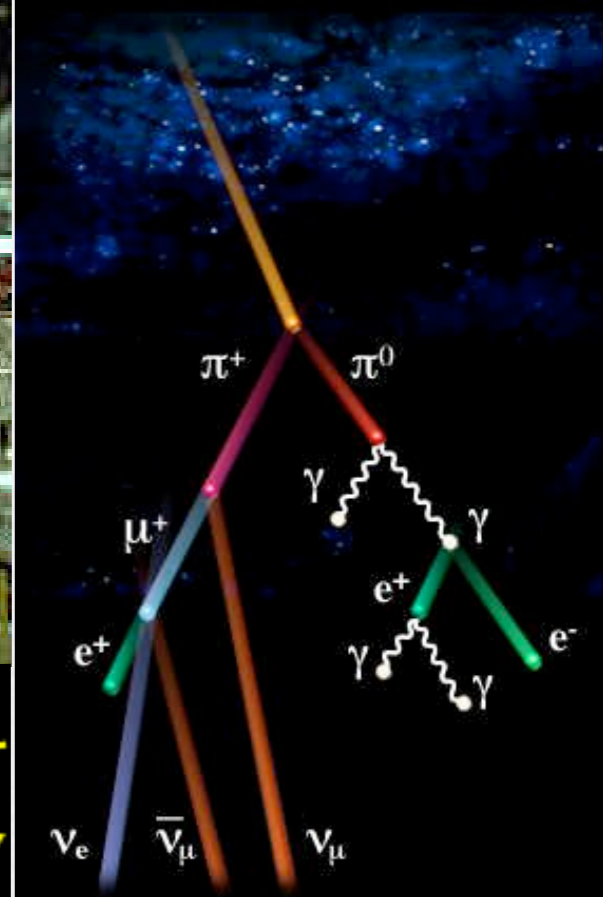
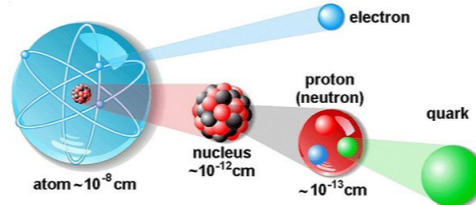
必須無機元素



「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)

放射線



放射線を科学的に理解する

- 10/ 7 放射線入門【鳥居】
- 10/14 放射線物理学【鳥居】
- 10/21 放射線計測学【小豆川】
- 10/28 環境放射化学【小豆川】
- 11/ 4 放射線生物学【渡邊】
- 11/11 放射線医学【中川】
- 11/18 原子核物理学【鳥居】
- 12/ 2 原子力工学【石渡】
- 12/ 9 放射線物理学【鳥居】
- 12/16 環境放射化学【小豆川】
- 1/10 植物栄養・土壌肥料学【藤原】
- 1/20 放射線の利用【渡邊】
- 1/27 加速器科学・まとめ【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

中川 恵一 《医学部附属病院放射線科》

石渡 祐樹 《工学系原子力国際専攻》

藤原 徹 《農学部応用生命科学》

ゲスト講師

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 放射線 テーマ講義



検索！

Fine

完

Fine.

Grazie per vostra attenzione.

Merci pour 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