

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思います。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kg.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。

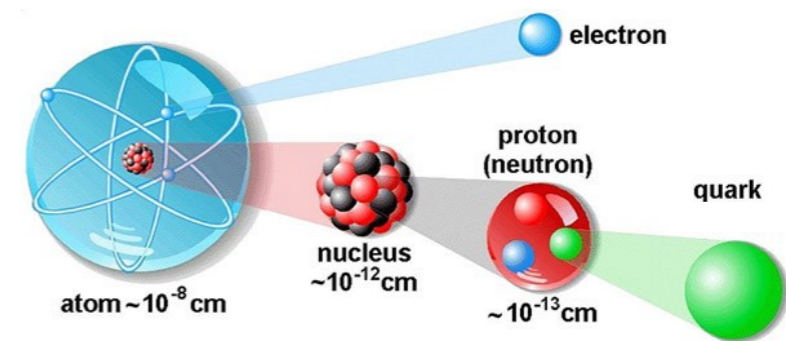
書籍「放射線を科学的に理解する — 基礎からわかる東大教養の講義 —」

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

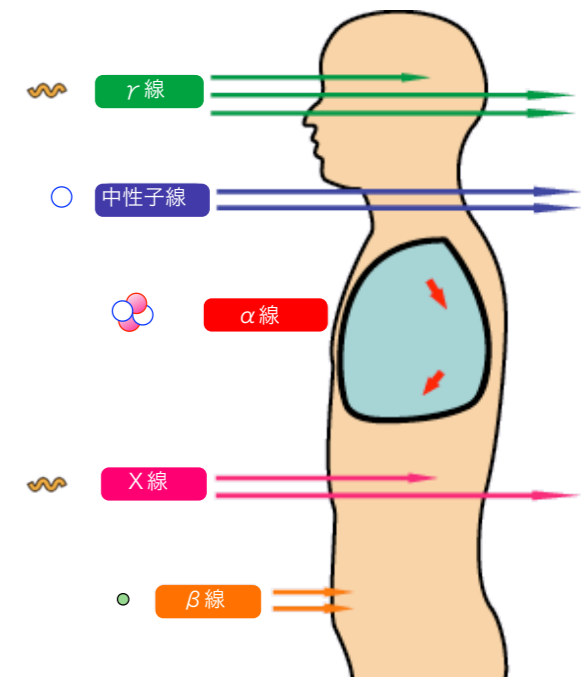
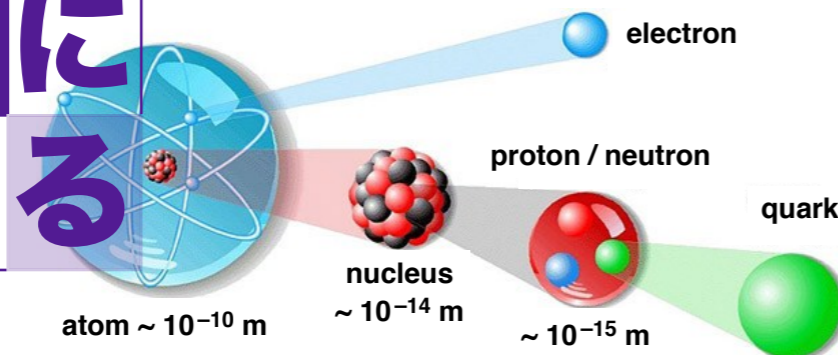
自主講義  
放射線学



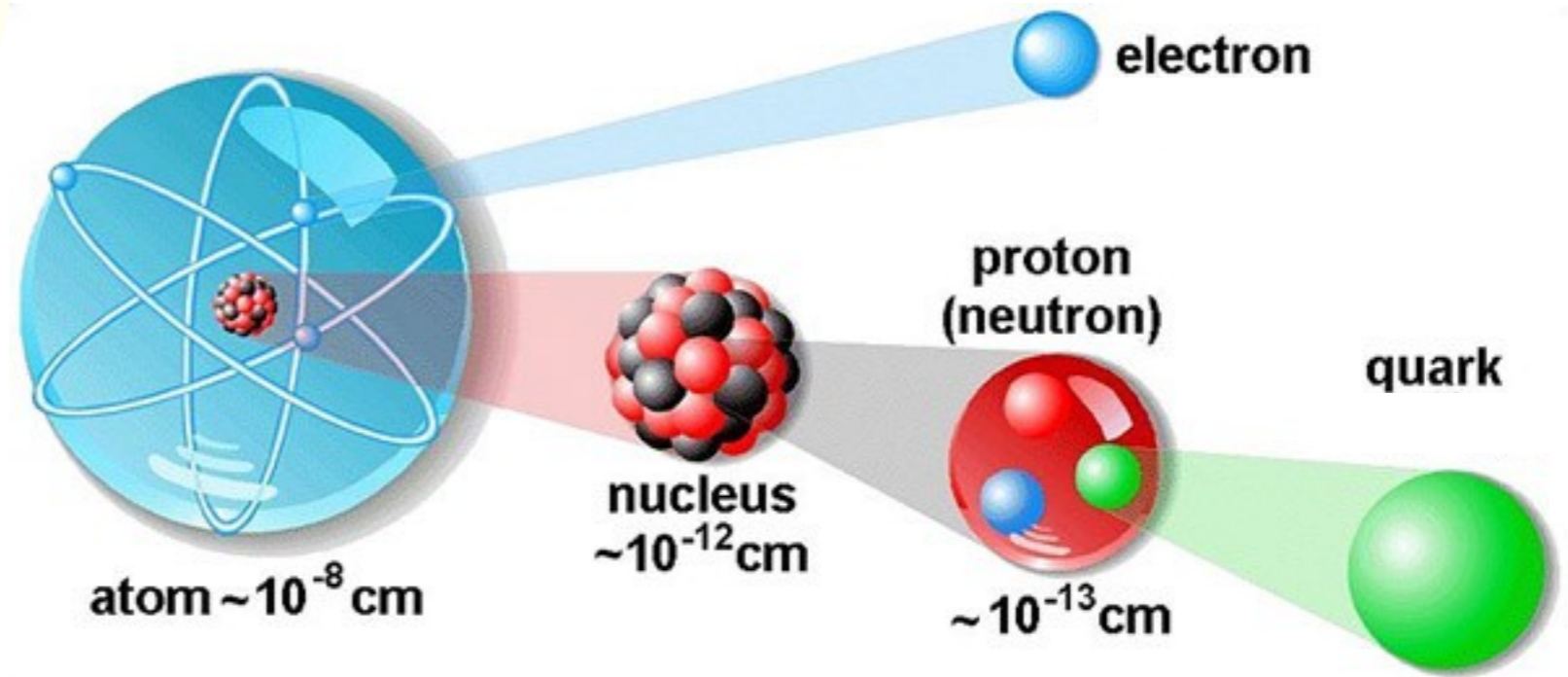
2011年度冬学期  
主題科目テーマ講義

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



# 自主講義 「放射線学」



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

# 自主講義 「放射線学」

## ● 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)
- 予備日 6/21 (火)

**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

# 自主講義 「放射線学」

- 第1回：講義概要のイントロ  
(5/10) 放射線とは？
- 第2回：放射線と物質との相互作用《放射線物理学》  
(5/17) (エネルギー損失、各種反応・散乱過程)
- 第3回：放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》  
(5/24) 放射線と放射能の単位  
放射線の防護《放射線安全管理学》
- 第4回：原子核の壊変《原子核物理学》  
(5/31) 核分裂反応《原子力工学》
- 第5回：放射線の利用、放射線診断・治療《放射線医療》  
(6/7) 放射線の測定《放射線計測学》
- 第6回：高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》  
(6/14) discussion

# 自主講義 「放射線学」

- 第1回：講義概要のイントロ  
(5/10) 放射線とは？
- 第2回：放射線と物質との相互作用《放射線物理学》  
(5/17) (エネルギー損失、各種反応・散乱過程)
- 第3回：放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》  
(5/24) 放射線と放射能の単位  
放射線の防護《放射線安全管理学》
- 第4回：原子核の壊変《原子核物理学》  
(5/31) 核分裂反応《原子力工学》
- 第5回：放射線の利用、放射線診断・治療《放射線医療》  
(6/7) 放射線の測定《放射線計測学》
- 第6回：高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》  
(6/14) discussion



分子  
molecule

nm ( $10^{-9}$  m)

ナノメートル

化学

eV

電子ボルト

Chemistry



原子  
atom

原子物理学

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

# 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

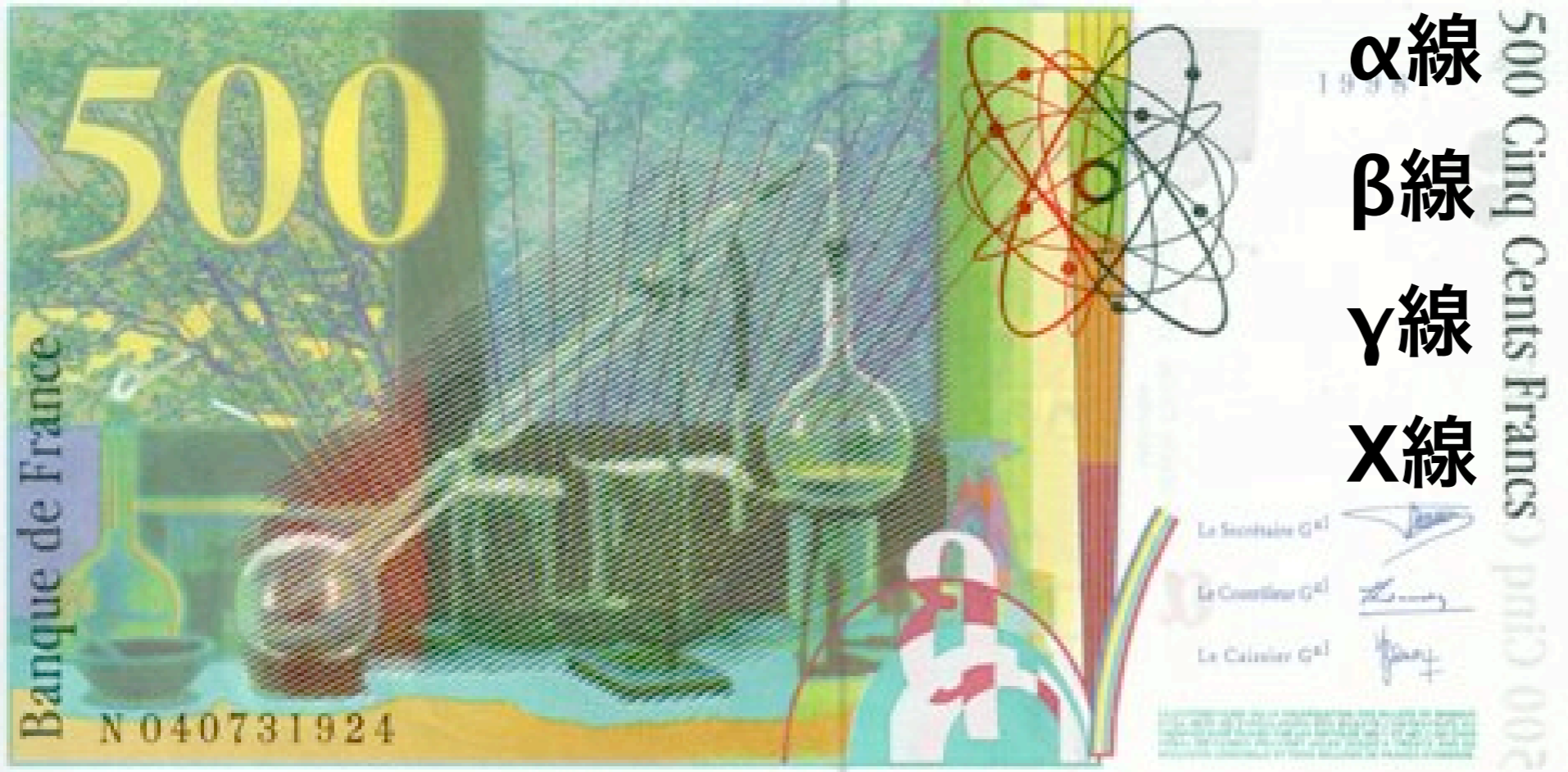
ギガ電子ボルト



クォーク  
quark



Billet de 500 Francs Français  
en circulation: 1993–1999

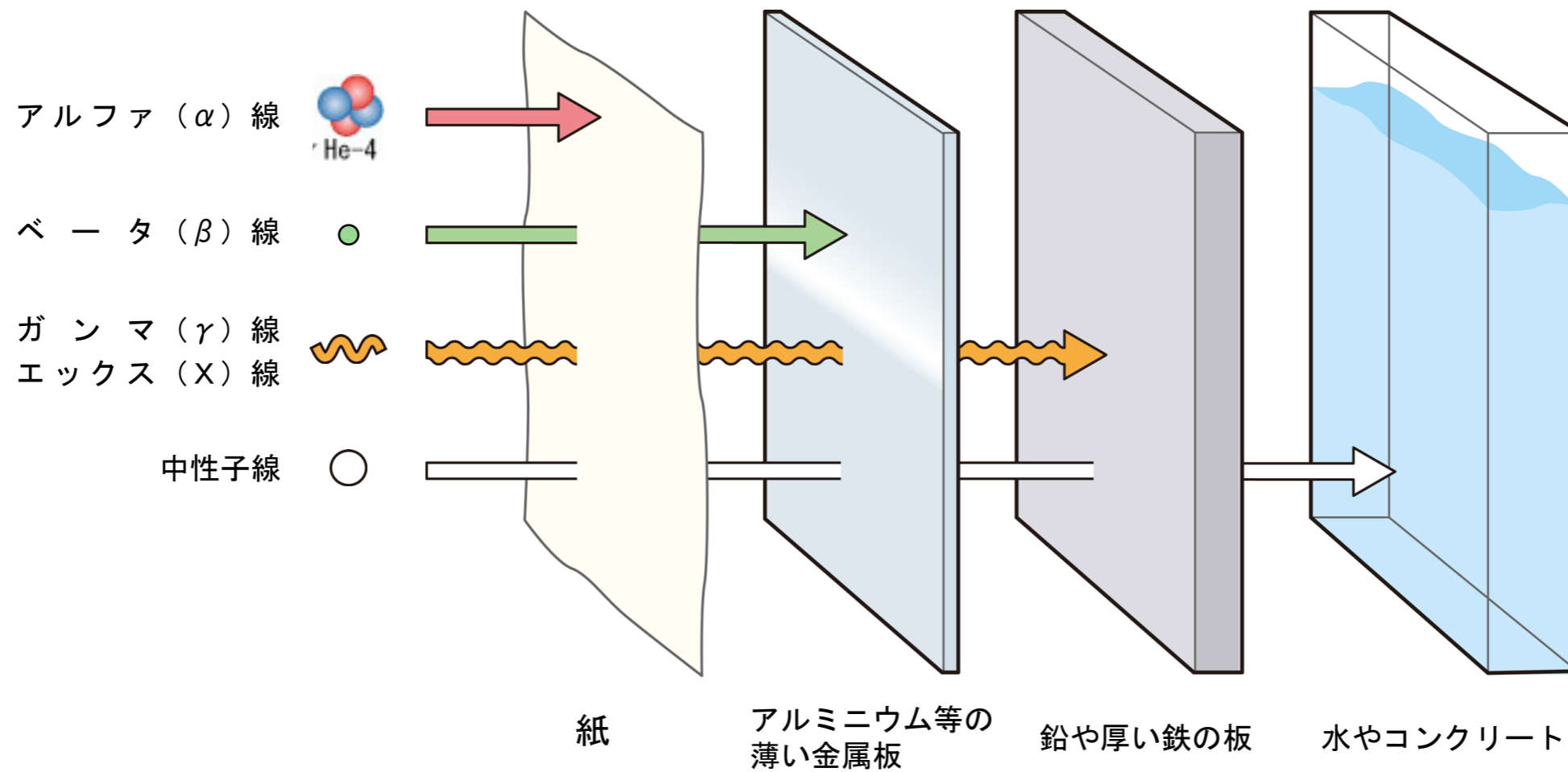


- $\alpha$ 線    ヘリウム原子核
- $\beta$ 線    高速の電子
- $\gamma$ 線    光子（電磁波）
- X線    光子（電磁波）

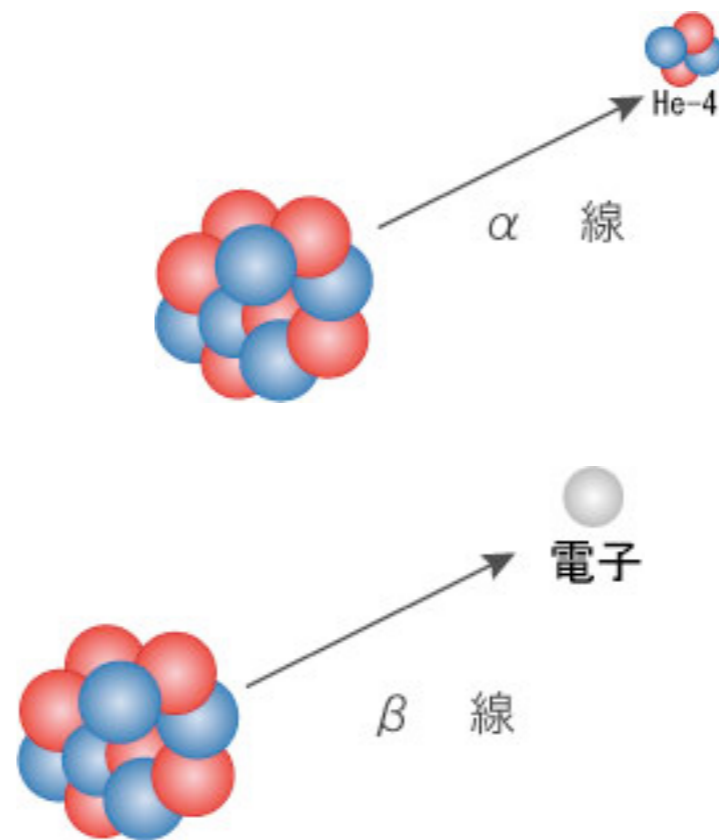
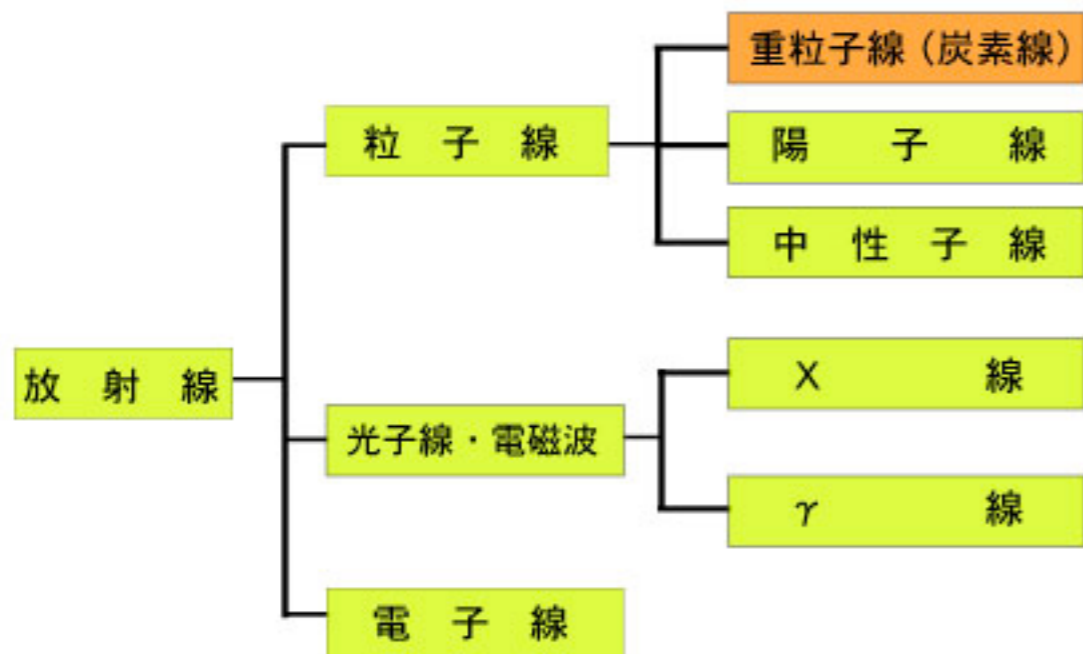


# 放射線の種類と透過力

$\alpha$ 線を止める  $\beta$ 線を止める  $\gamma$ 線、X線を止める 中性子線を止める



# 放射線の種類 (放射線治療分野で用いられる分類)

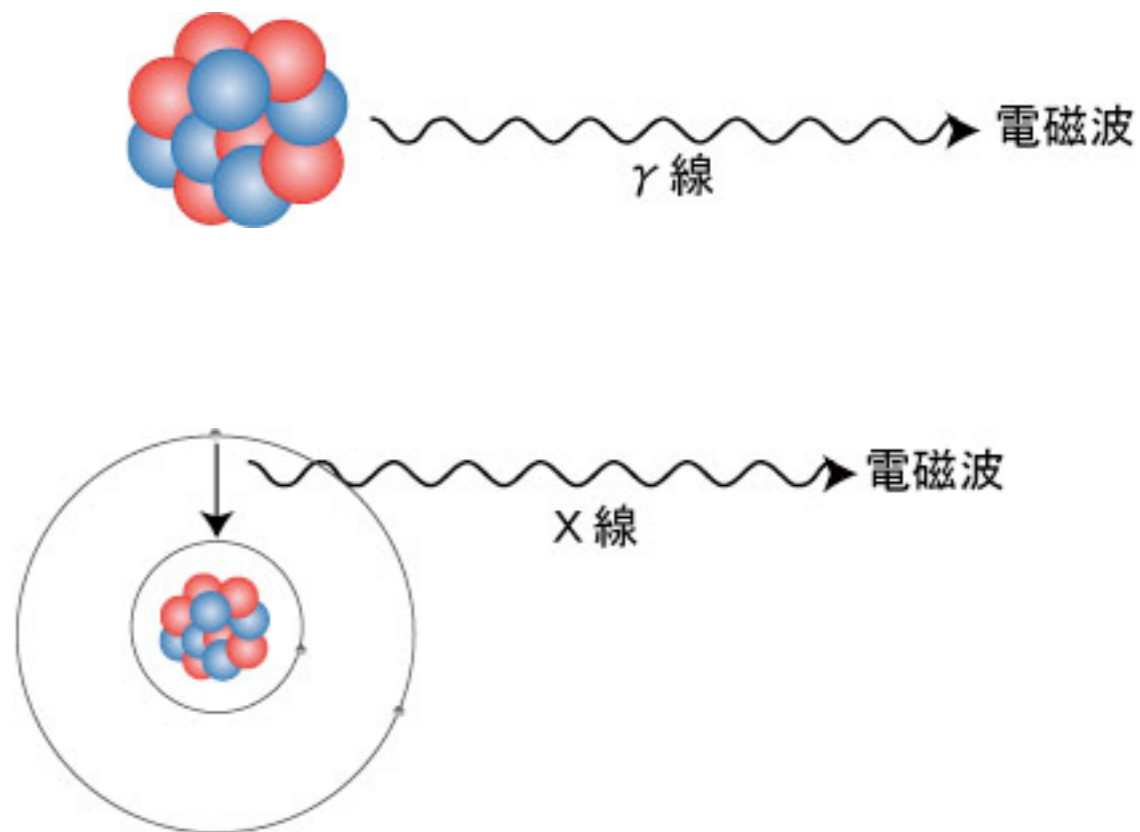


放射線のもつエネルギーは？

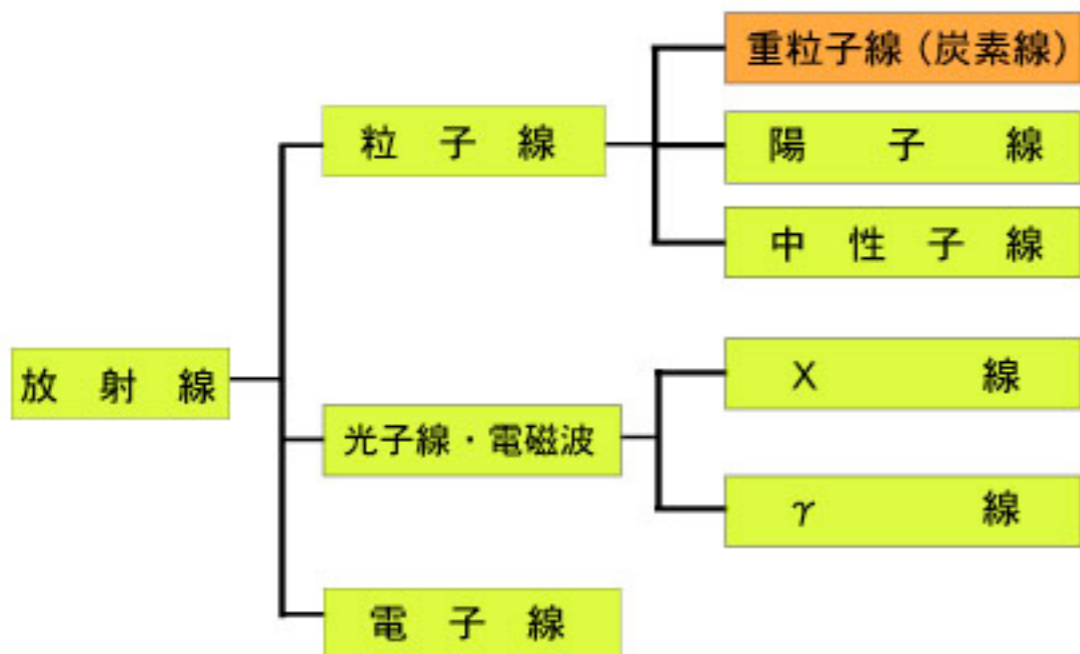
👉 **100 keV ~ MeV** for α/β/γ

**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？

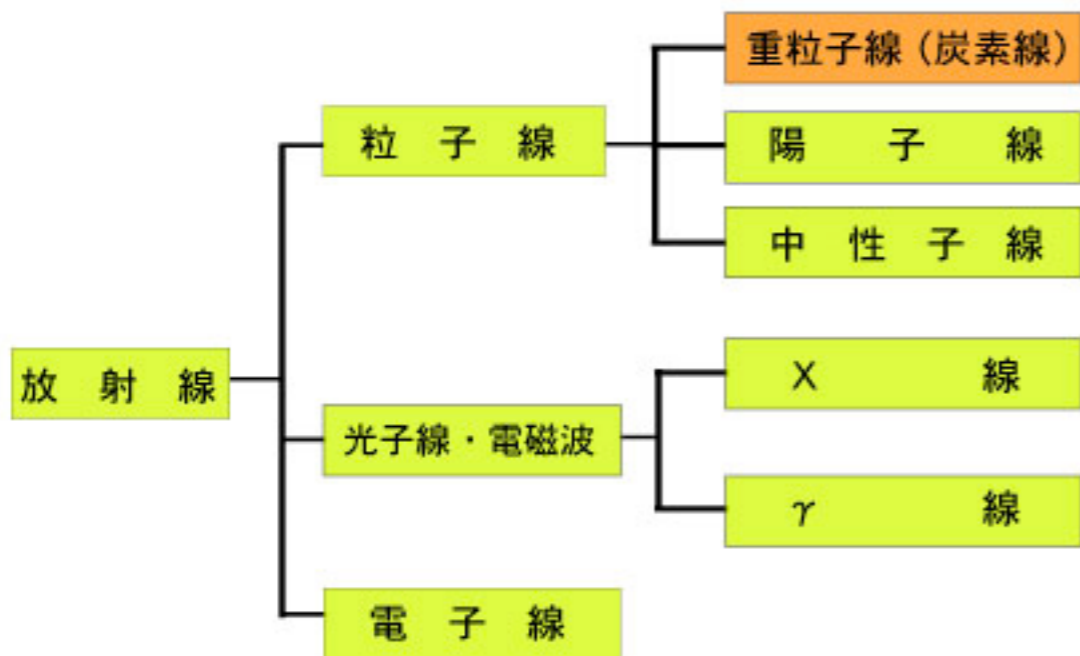
荷電粒子の質量は？

**X 線**

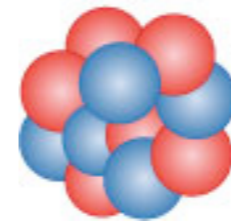
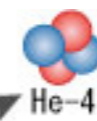
$$A^* \rightarrow A + h\nu(\text{X-ray})$$

原子 A 10 ~ 100 keV

放射線の種類 (放射線治療分野で用いられる分類)



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

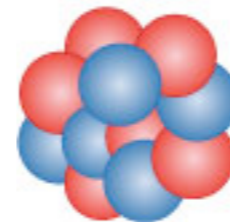


α 線

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

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

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



β 線

電子

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

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

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

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？**

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

$$\beta = v/c$$

$$T = E - mc^2$$

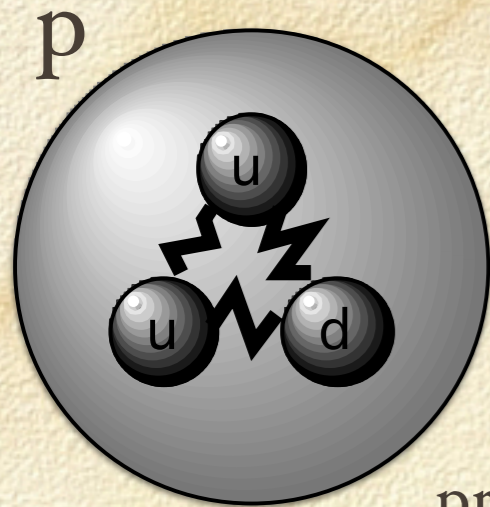
$$\approx \frac{1}{2} mv^2 \quad (v \ll c)$$

# Hadron

# Lepton

## Baryon

## Meson



陽子  
proton

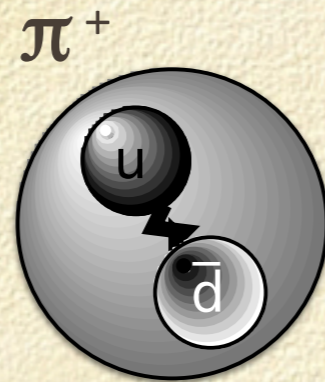


反陽子  
antiproton



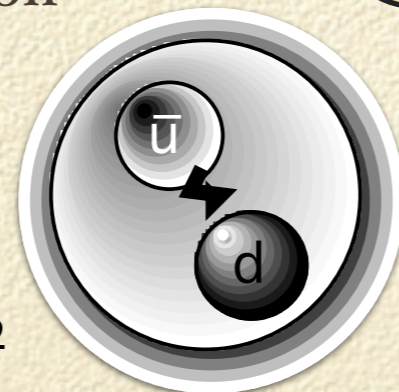
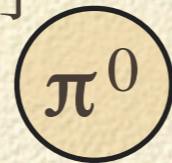
938 MeV/c<sup>2</sup>

$\tau = \infty$



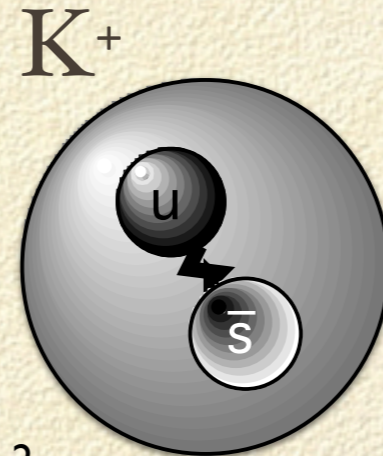
パイ中間子  
pion

135 MeV/c<sup>2</sup>



140 MeV/c<sup>2</sup>

$\tau = 26 \text{ ns}$



K 中間子  
kaon

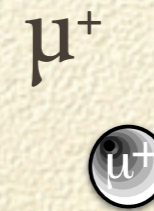


498 MeV/c<sup>2</sup>



494 MeV/c<sup>2</sup>

$\tau = 12 \text{ ns}$

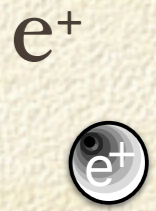


ミュー粒子  
muon



106 MeV/c<sup>2</sup>

$\tau = 2.2 \mu\text{s}$



陽電子 positron



電子 electron

511 keV/c<sup>2</sup>

$\tau = \infty$

$^{131}_{53}$  8 days  $7/2+$   $\beta$  248 keV max (2.1%)

$\beta$ 線の最大エネルギーの平均値  
0.574 MeV (=  $9.2 \times 10^{-14}$  J)

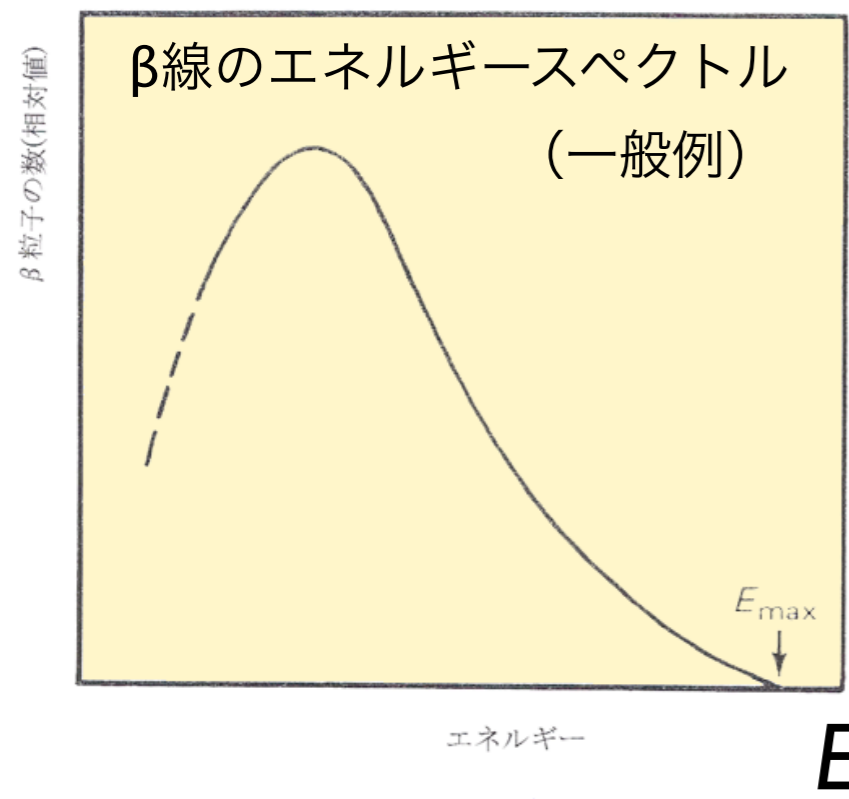
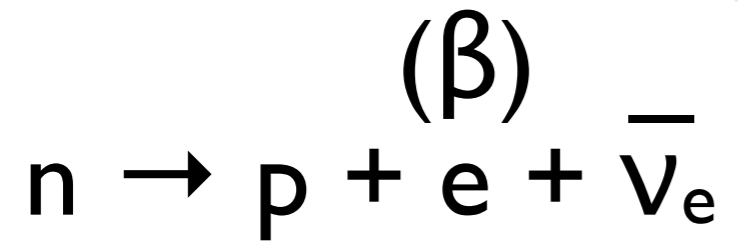
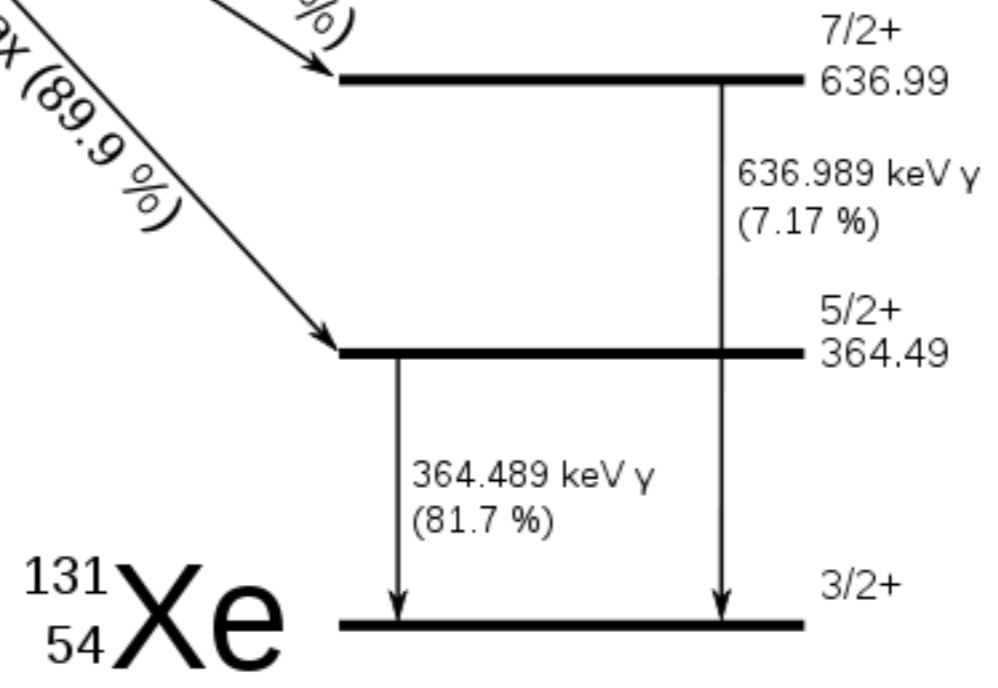
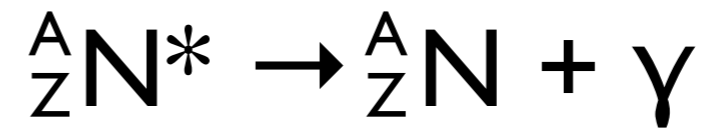


図2  $\beta$ 粒子のエネルギースペクトル  
[出典]石川友清(編):初級放射線、通商産業研究社、p.37

$\beta$  333.8 keV max (7.27%)  
 $\beta$  606.3 keV max (89.9%)



$\gamma$ 線：原子核の脱励起



$\gamma$ 線 (定まったエネルギー)

$\beta$ 線 (連続スペクトル)  
エネルギーの平均値  $\sim 0.3$  MeV

連続状態 continuum

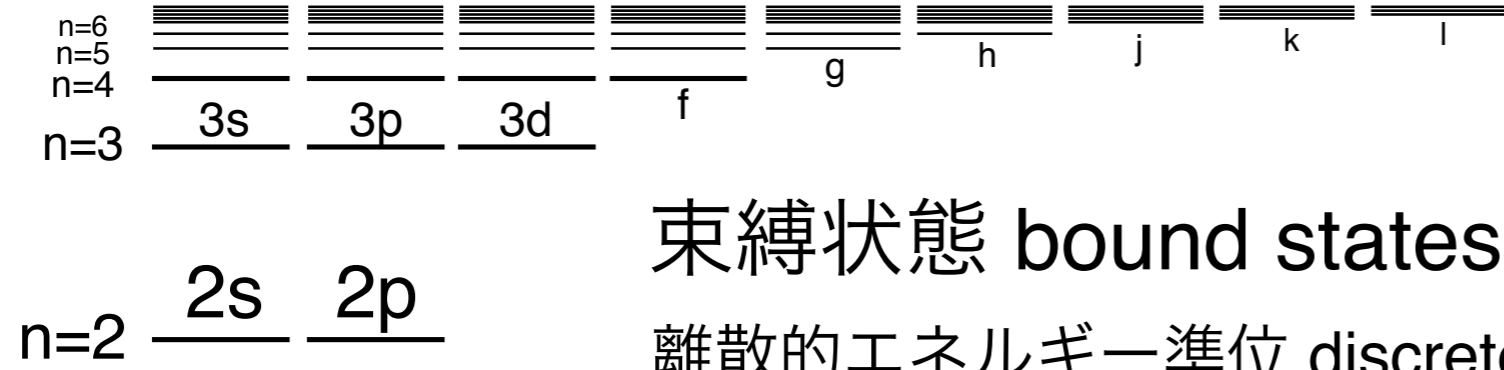
# 原子のエネルギー準位

黒板にて説明

束縛状態 bound states

離散的エネルギー準位 discrete energy levels

覚えにくい



$$-E_B = -\frac{2\pi^2 k_0^2 m_e e^4}{h^2} \frac{Z^2}{n^2} = -\frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \frac{Z^2}{n^2}$$

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

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

$\alpha$  : 微細構造定数  
(無次元量)

n=1  $\frac{1s}{-13.6 \text{ eV}}$   
(水素原子)

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

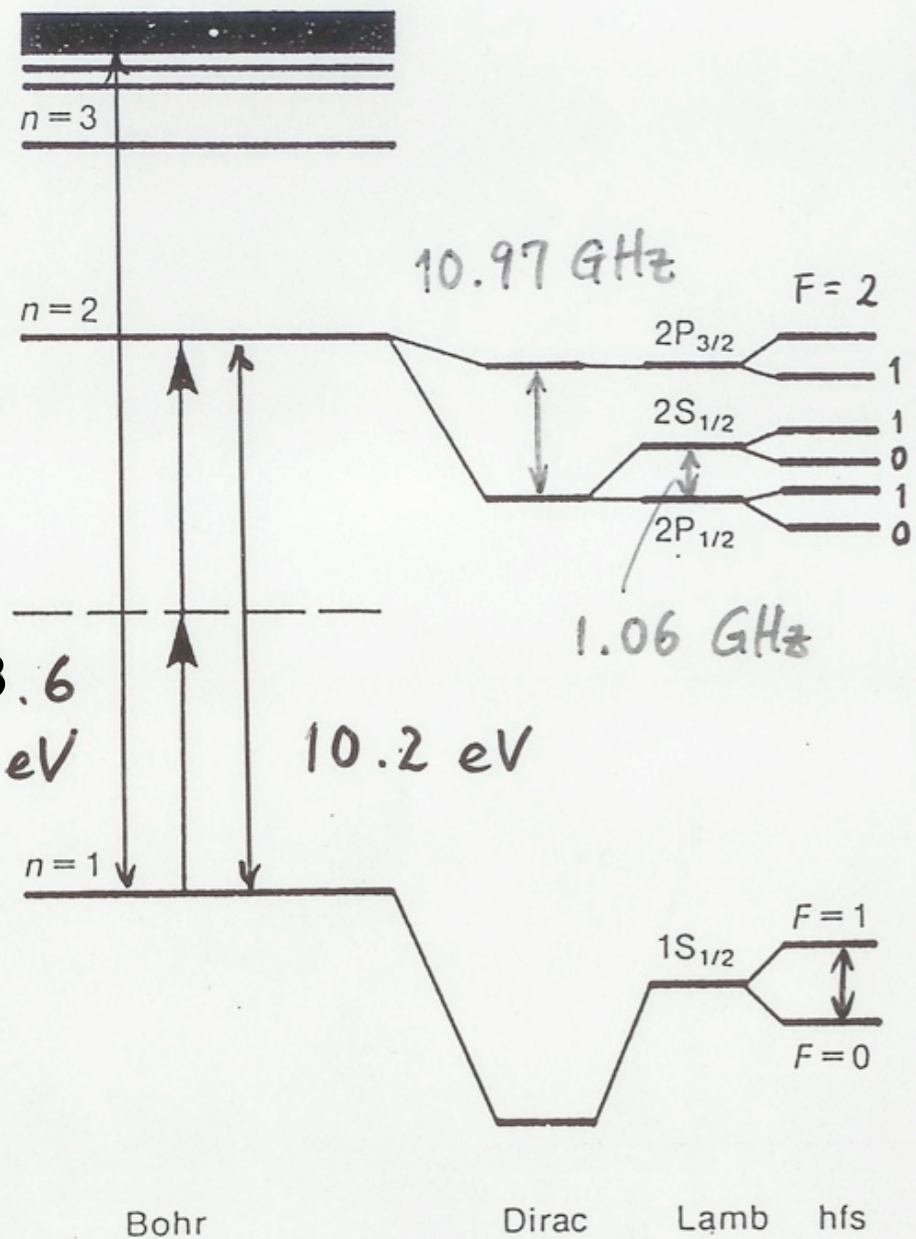
$$-E_B = -\frac{1}{2} m_e c^2 \alpha^2 \frac{Z^2}{n^2}$$

Z 大  $\rightarrow$   $E_B = h\nu$  大 : X線

$$v_e = c \alpha \frac{Z}{n}$$

水素原子  
氢原子

HYDROGEN



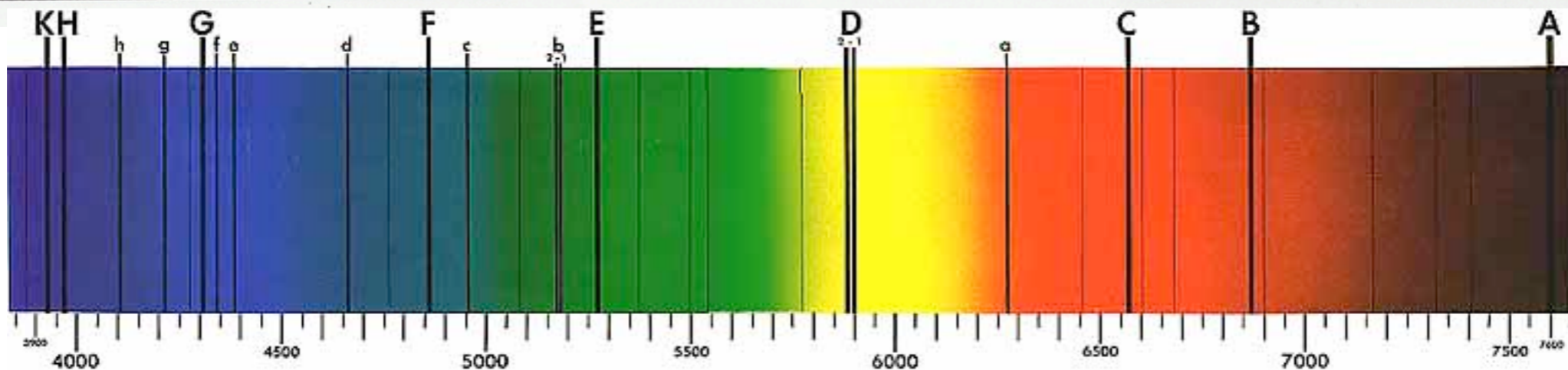
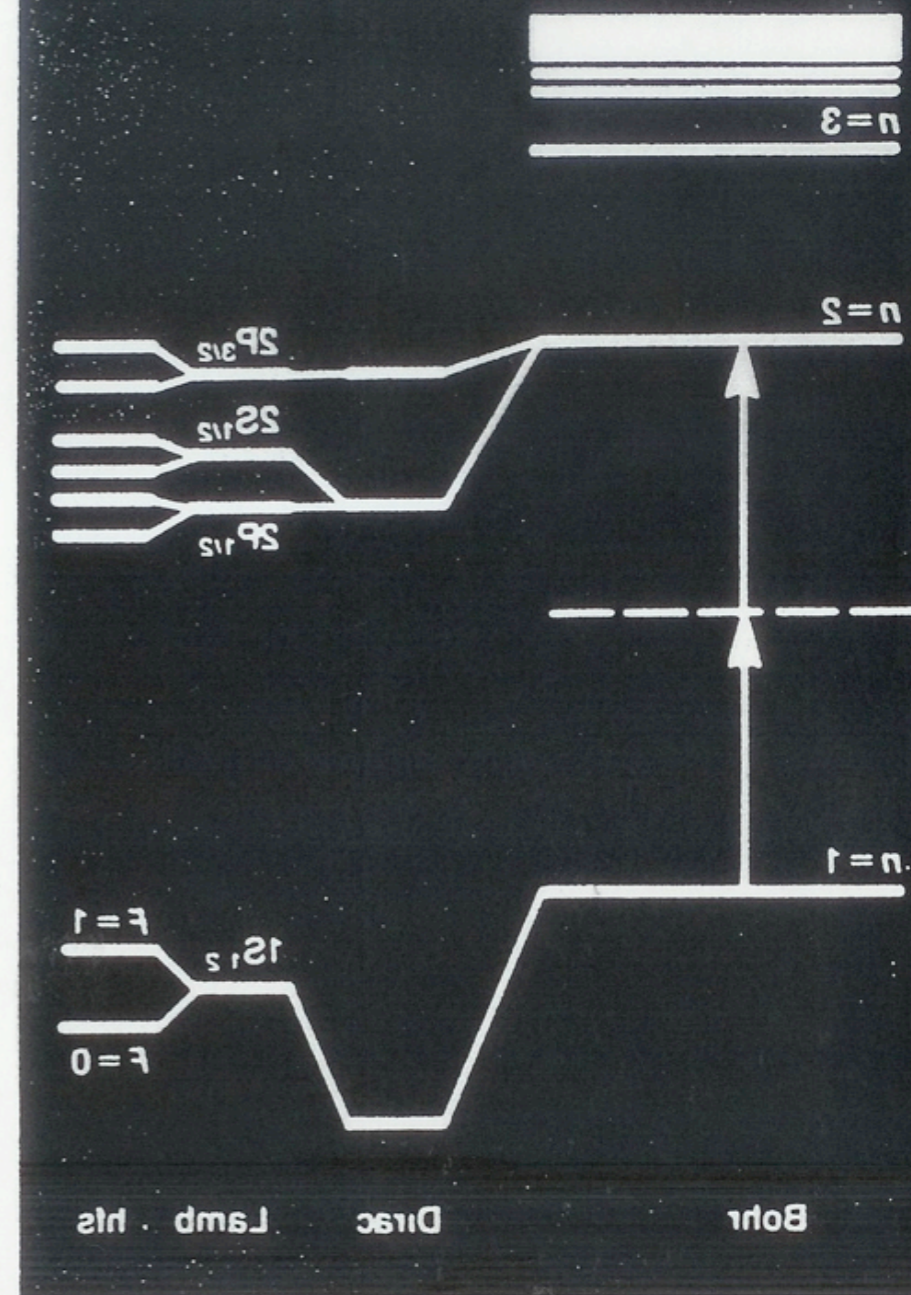
$\updownarrow 24 \text{ MHz}$   
 $\updownarrow 178 \text{ MHz}$   
 $\updownarrow 59 \text{ MHz}$

$1.42 \text{ GHz}$

$\frac{97492}{\text{cm}^{-1}}$   
 $\frac{82259.279}{\text{cm}^{-1}}$   
 $\frac{82258.949}{\text{cm}^{-1}}$   
 $\frac{82258.913}{\text{cm}^{-1}}$

$\frac{0.000}{\text{cm}^{-1}}$

АНТИДРОГЕН





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

## 荷電粒子

### 阻止能

(エネルギー損失) Stopping power (Energy loss)

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。

● **重い粒子**：陽子線(p) /  $\alpha$ 線 / 重粒子線 /  $\pi$ 中間子 /  $\mu$ 粒子

1個の電子に与えるエネルギーは微小。多数個の電子との散乱により減速される。運動量変化も小さいので軌道はほぼ直線。

● **軽い粒子**：電子(e<sup>-</sup>)・陽電子(e<sup>+</sup>)

1回の散乱で失うエネルギーが大きい。ジグザグの軌道も。大きな運動エネルギーをもつ二次電子を生成しうる。

エネルギーが高く、電離能力をもつ二次粒子（大抵は二次電子）のことを  $\delta$  線 と呼ぶことがある。

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

## 荷電粒子

### 阻止能

(エネルギー損失) Stopping power (Energy loss)

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。

● 重い粒子：陽子線(p) / α線 / 重粒子線 / π中間子 / μ粒子

1個の電子に与えるエネルギーは微小。多数個の電子との散乱により減速される。運動量変化も小さいので軌道はほぼ直線。

単位長あたりの電離（電子・イオン対）数 = 比電離

阻止能 ÷ 比電離 = W 値

W 値：1つの電離を生じるに要するエネルギー。

荷電粒子の種類やエネルギーによらない。

イオン化エネルギーより大きな値となる（励起による損失があるため）

物質によらず **W ≈ 30 eV** 程度。

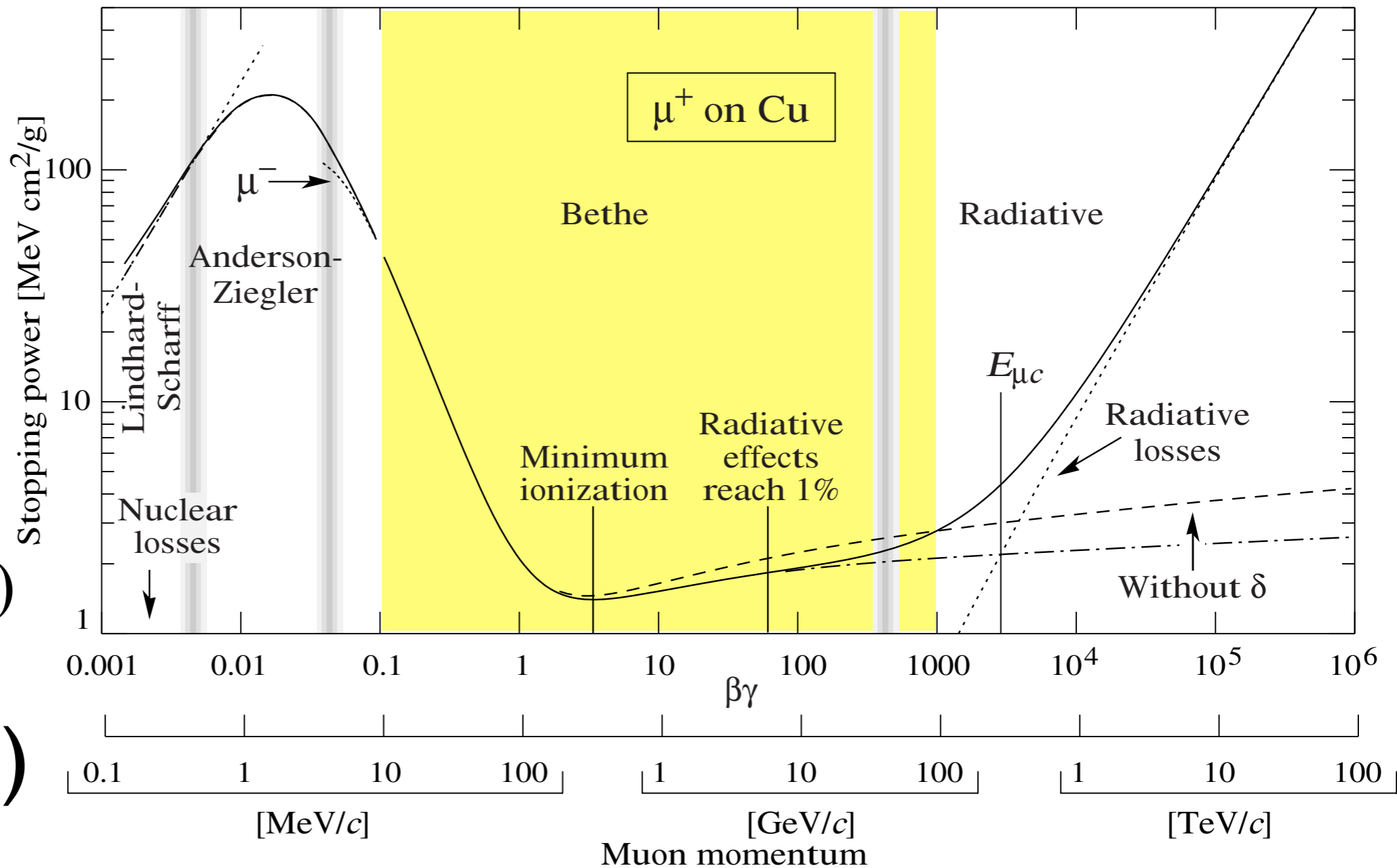
$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle$   
荷電粒子

阻止能

(エネルギー損失)

$\text{MeV} / (\text{g} / \text{cm}^2)$

(線エネルギー付与)  
 $\text{keV} / \mu\text{m}$



### 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

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

荷電粒子の阻止能 (エネルギー損失)

Stopping power

Energy Loss

(線エネルギー付与)

Bohr の計算

Linear Energy Transfer : LET

ただし式の単位系を国際単位系 SI に直した。

$$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle = \frac{z^2 e^4}{4\pi \epsilon_0^2 m_e v^2} n_e \ln \frac{b_{\max}}{b_{\min}}$$

黒板にて導出

Bethe-Bloch の式

$$n_e = Z n_a = \rho N_A Z / A$$

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

$$K = 4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 \rho$$

水素以外はほぼ  $Z/A \approx 1/2$

物質の種類にさほど依らない

質量阻止能  
MeV / (g / cm<sup>2</sup>)

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

# 阻止能（エネルギー損失、線エネルギー付与）

Stopping power

Energy Loss

Linear Energy Transfer : LET

陽子線(p) /  $\alpha$ 線 / 重粒子線 : 高 LET 放射線

中性子線(n) : 物質中の陽子を叩いて弾き出すので、  
高い LET を与える。

電子( $\beta$ )線 : 低 LET 放射線

光子(X線,  $\gamma$ 線) : 物質中の電子を弾き出す。

あるいは高エネルギーでは電子陽電子対を生成する。  
低い LET。

物質の種類にさほど依らない

$$\begin{array}{l} \text{質量阻止能} \\ \text{MeV} / (\text{g} / \text{cm}^2) \end{array} \quad - \frac{1}{\rho} \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \propto \frac{z^2}{v^2} = \frac{z^2 M/2}{Mv^2/2} \propto \frac{z^2 M}{T}$$

# 飛程

Range

阻止能の逆数を積分。

陽子線(p) /  $\alpha$ 線 / 重粒子線：短い飛程。

外部被曝に対して、遮蔽は容易。

中性子線(n)：電子と相互作用しないので遠くまで飛ぶ。

陽子を叩き出せば一気に減速するが、核子同士なので反応断面積が小さい（反応確率が小さい）。

短い飛程。水素原子を含む物質で遮蔽。

電子( $\beta$ )線：p,  $\alpha$ , 重粒子線に比べて長めの飛程。

軽いので散乱されやすい（相手も電子）。

物質の種類にさほど依らない

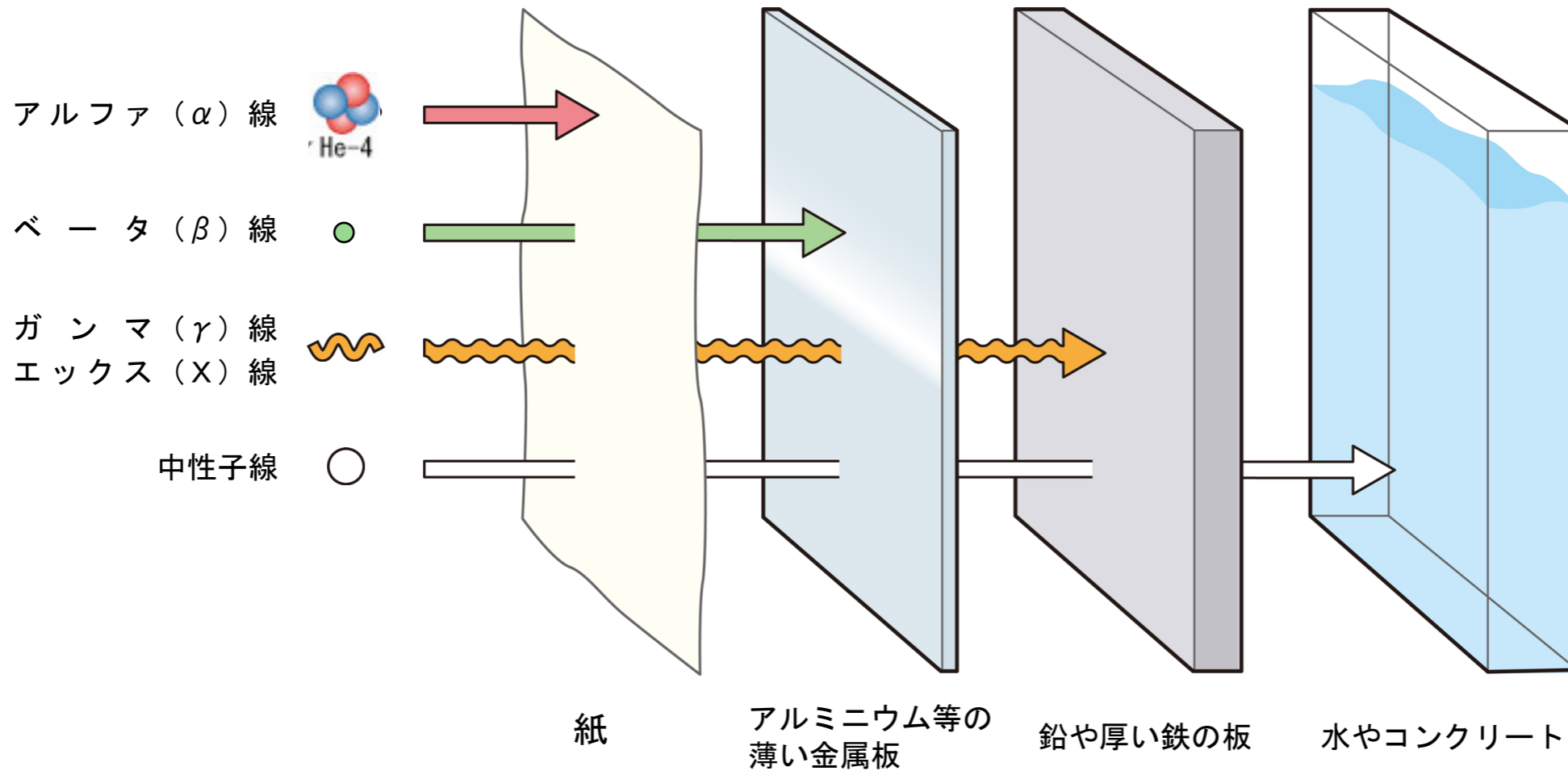
$$\begin{array}{l} \text{質量阻止能} \\ \text{MeV} / (\text{g} / \text{cm}^2) \end{array} \quad -\frac{1}{\rho} \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \propto \frac{z^2}{v^2} = \frac{z^2 M/2}{Mv^2/2} \propto \frac{z^2 M}{T}$$

# 飛程

Range

阻止能の逆数を積分。

$\alpha$ 線を止める  $\beta$ 線を止める  $\gamma$ 線、X線を止める 中性子線を止める



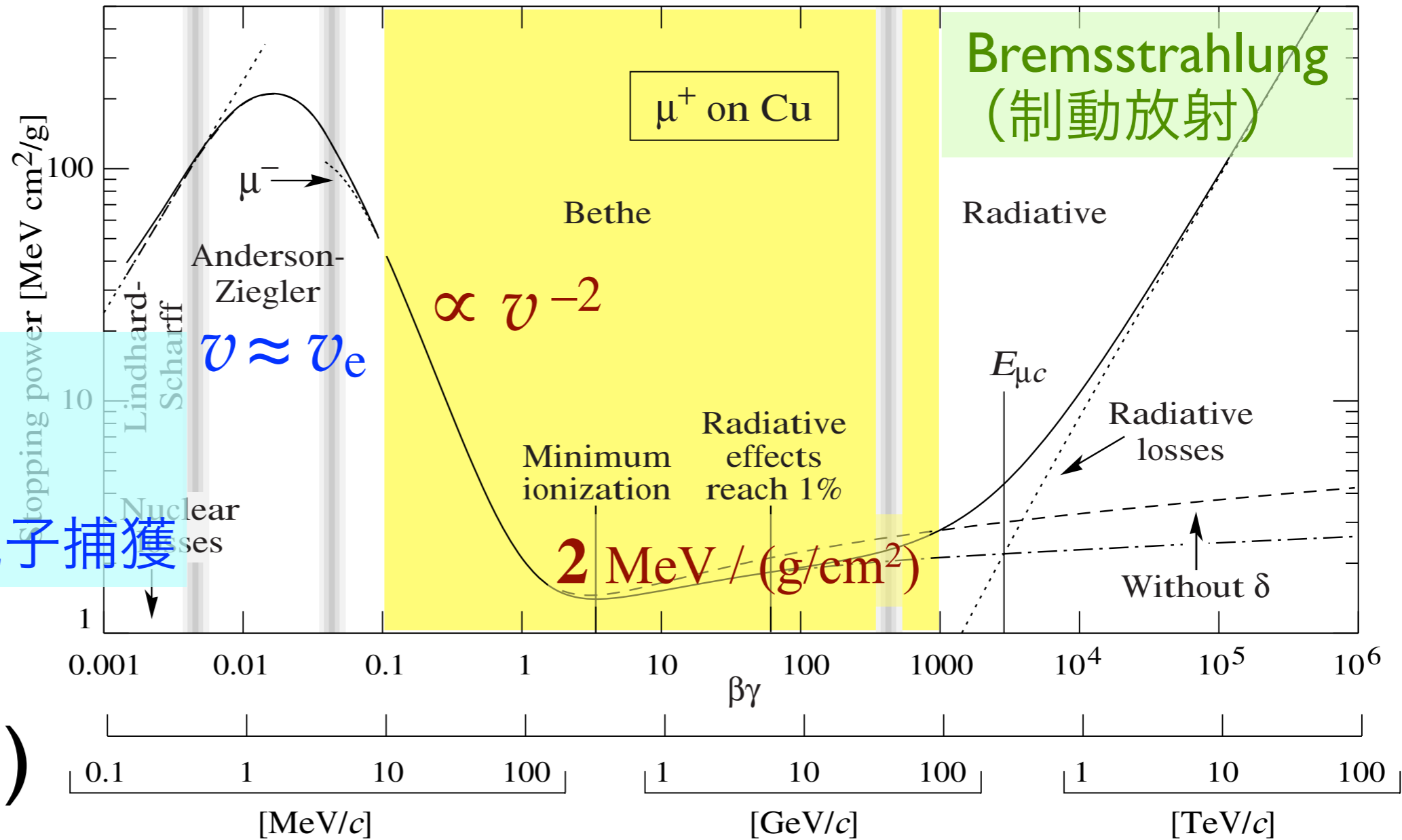
質量阻止能  
MeV / (g / cm<sup>2</sup>)

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

$$-\frac{1}{\rho} \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle$$

高エネルギー物理学業界では  $\rho$  を書かない (x について、 $\rho$  を含んだ次元だと見なす) ことが多い。前のスライドではそう表記。

- 非断熱的
- Barkas 効果
- イオンは電子捕獲



( 線エネルギー付与 )  
keV /  $\mu\text{m}$

### 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**,

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

質量阻止能  
MeV / (g / cm<sup>2</sup>)

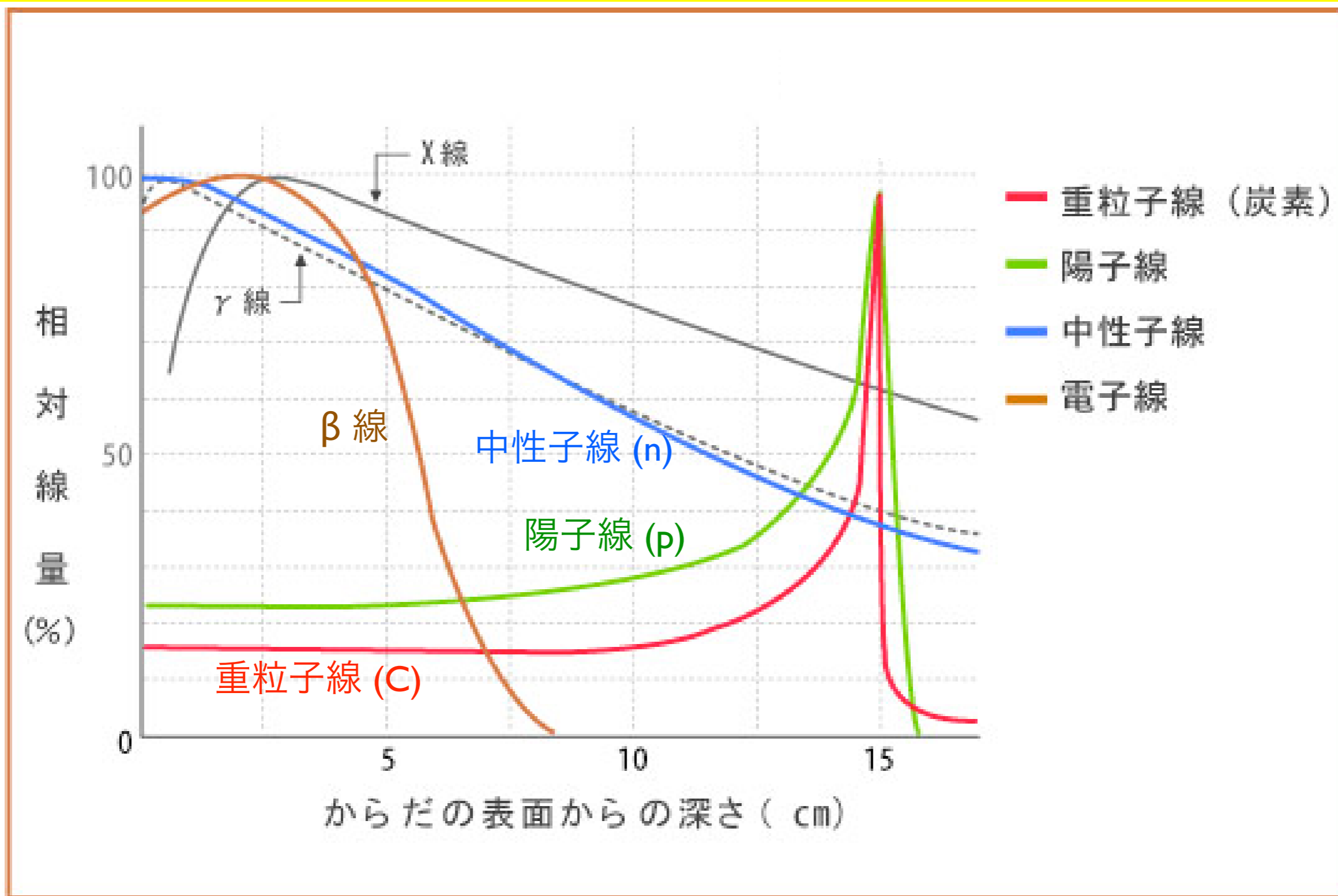
$$-\frac{1}{\rho} \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \propto \frac{z^2}{v^2} = \frac{z^2 M/2}{Mv^2/2} \propto \frac{z^2 M}{T}$$



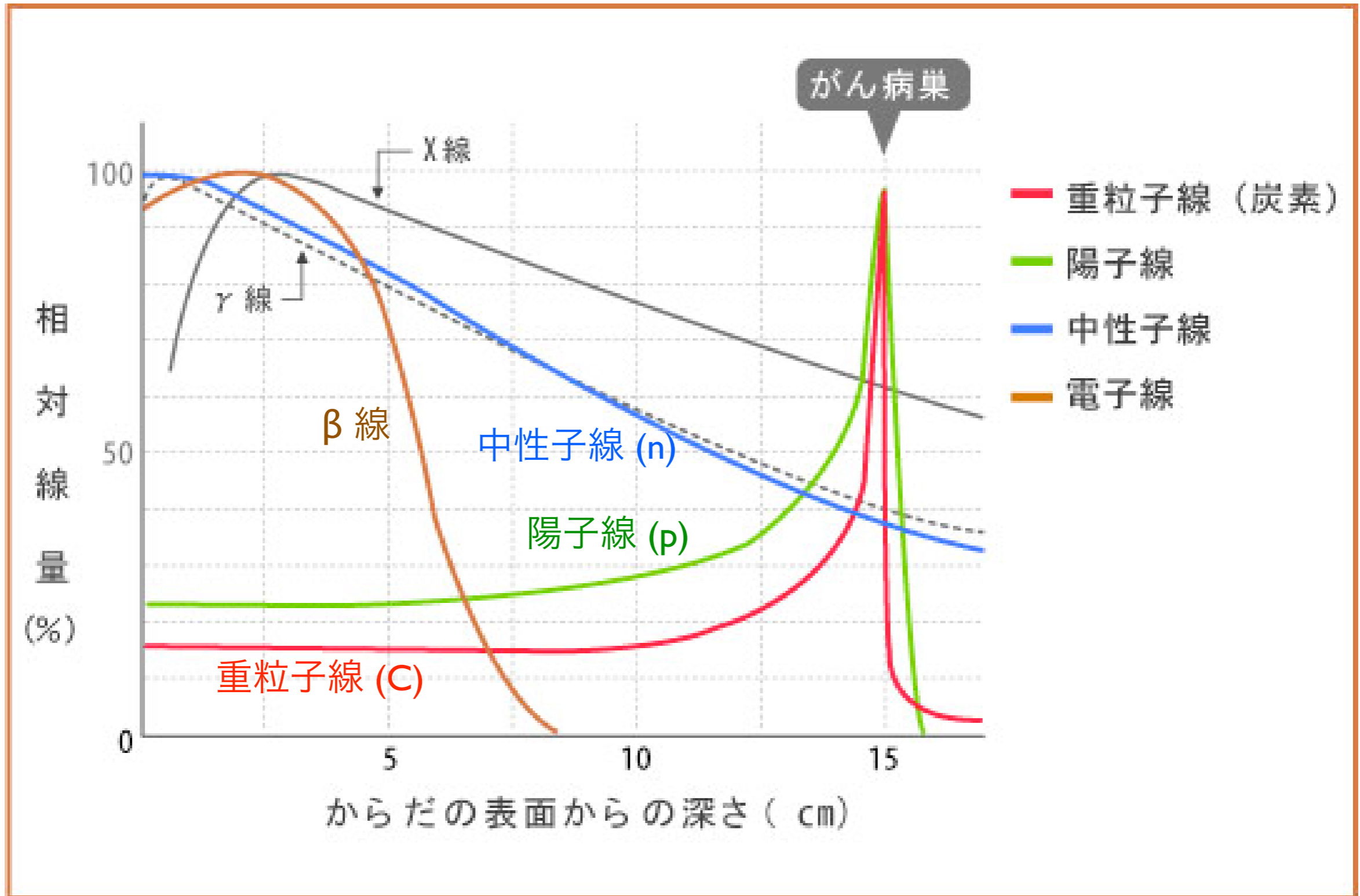
陽子(p)、 $\alpha$ 、重粒子線は飛程が揃っている。

電子( $\beta$ )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, $\gamma$ )は反応が確率的に起こるため、指数関数的減衰をする。

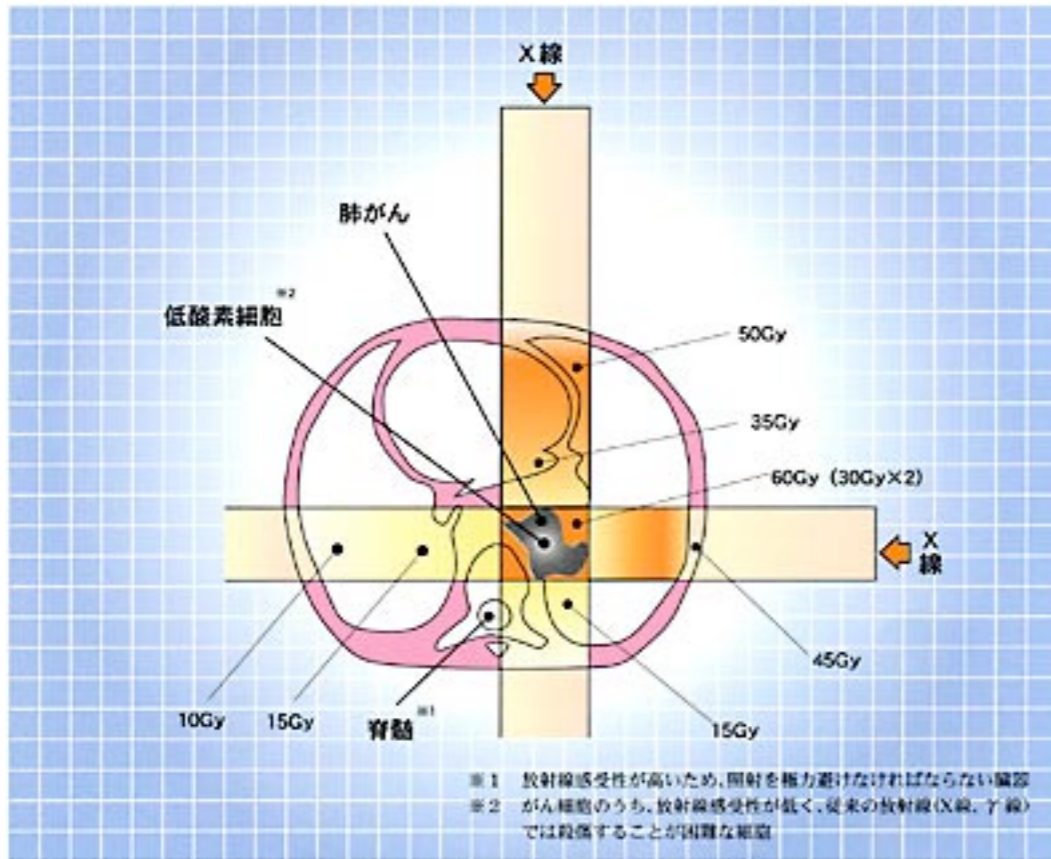


# Bragg peak



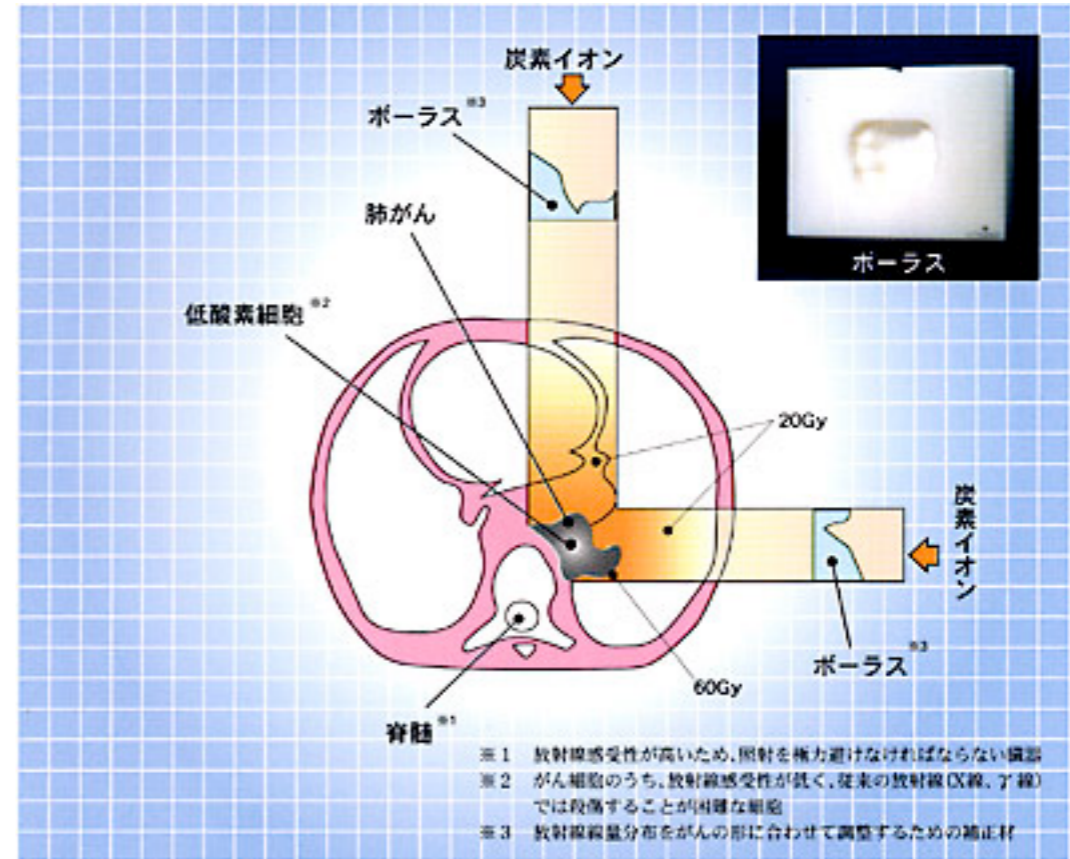
# 放射線 がん治療

## X線

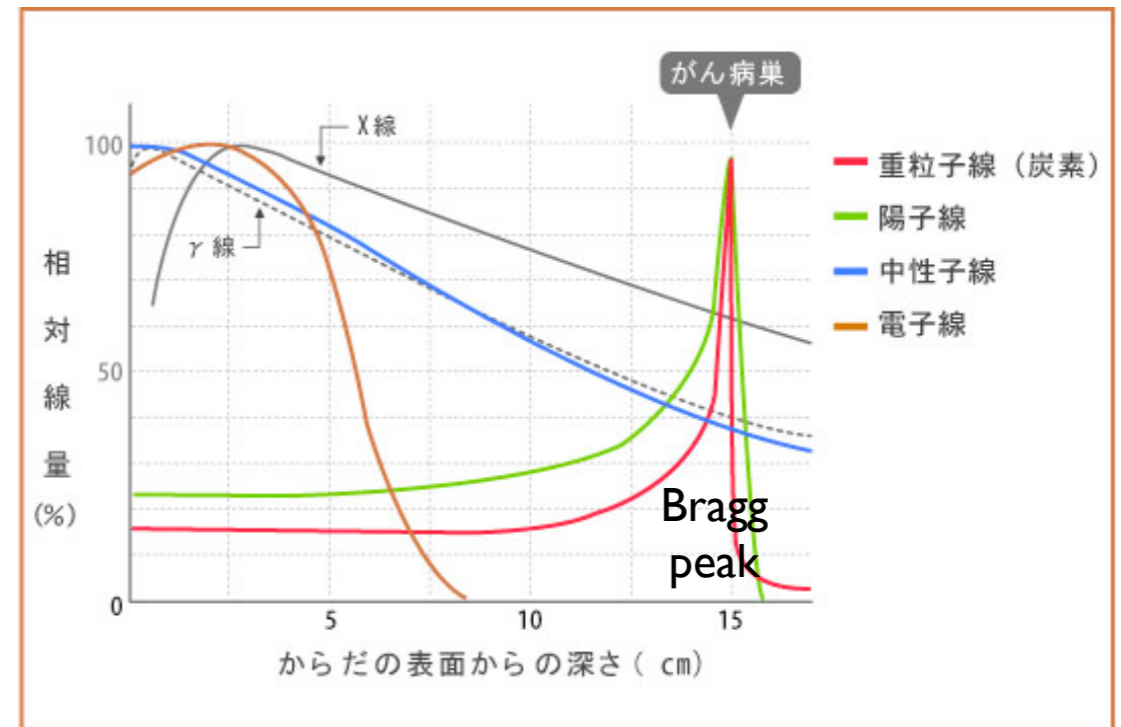


# 数 Gy を複数回

## 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



## ● 制動放射 (Bremsstrahlung)

$$-\frac{1}{\rho} \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \propto \frac{T Z^2}{\rho}$$

ベータ線の遮蔽に鉛を使ってはダメ。

## ● チェレンコフ放射 (Cherenkov radiation) Черенков

- 荷電粒子の速度が物質中の光速を超えると放射
- スーパーカミオカンデ (ニュートリノ検出実験)
- 「目に“青い光”を見た」

# 光マップ THE LIGHT MAP

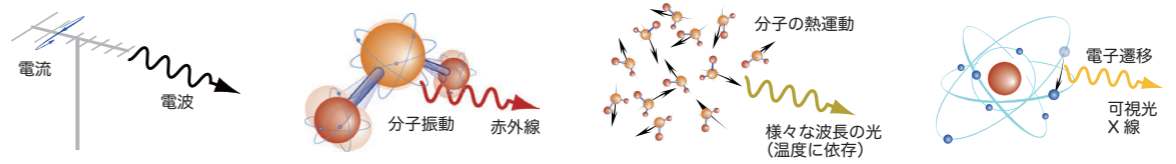
光は、自然界にいつも存在していて、あらゆる植物や生物、人間の生命と営みを支えています。太陽からの光は、地球上に温度をもたらす、植物の光合成のエネルギーとなります。蛍光灯やランプは私たちの生活を明るく照らします。レーザーは材料を加工したり、手術や治療をします。

ラジオやテレビや携帯電話の信号を送る電波、電子レンジで使われるマイクロ波、電気こたつや電熱線で加熱に用いる赤外線、日焼けや殺菌作用がある紫外線、レントゲン写真に用いるX線や、原子崩壊のときに発生するγ線などすべて、光のなかまです。

この光マップは、光が自然界や私たちの生活の中でどのようにつくられ、どのように使われているかをまとめたものです。

## 光の起源

光はどこで生まれるのでしょうか。光子（フォトン）は電子が加速度を持って動くことによって生まれます。アンテナの中で電子が動くと、低い周波数の光である電波が出ます。複数の原子から構成されている分子の中で原子が互いに動く（分子振動）と、原子の中にある電子も一緒に動くので光が生まれます。その光は赤外線です。水や空気の温度が高くなると、水分子が激しく動き回り、電子も共に動くので光が出ます。温度と光の周波数は対応します。分子の振動はランダムですので、熱が発する光（黒体放射）は単色の光ではなく様々な周波数の光が出ます。原子の周りを回る電子が別の軌道に移ると（電子遷移）、光が出ます。これは振動数の高い可視光です。原子の内殻の電子が遷移するとX線が生まれます。

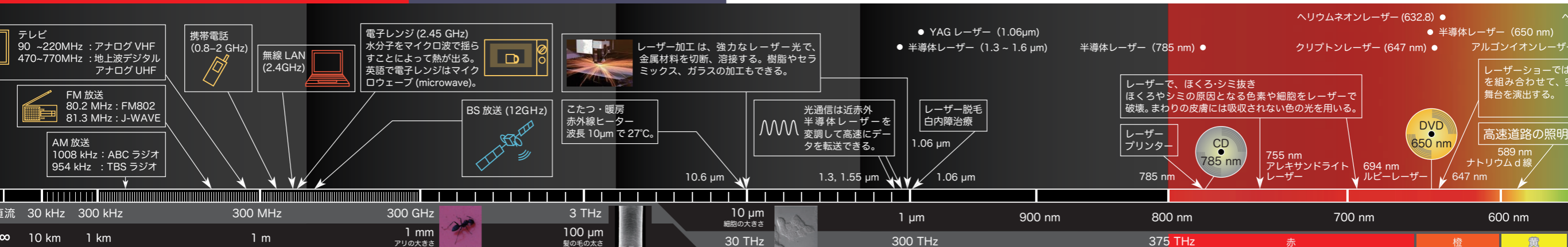


## 波としての光

光は空間横波です。振動数は1秒間の振動の回数（周波数）です。振動数と距離のかけ算は波長です。振動数や波長に関係なく一定で進む速度があります。

## 粒としての光

光の強度は光子の密度（振動数）に相当するエネルギーです。ちょうど、電流が明るいか暗いかは光子の密度（振動数）に相当するエネルギーです。



### 電波領域（電波も光）

アンテナで送受信

- テレビ: 90~220MHz: アナログ VHF, 470~770MHz: 地上波デジタル アナログ UHF
- 携帯電話 (0.8~2 GHz)
- 無線 LAN (2.4GHz)
- 電子レンジ (2.45 GHz): 水分子をマイクロ波で揺らすことによって熱が出る。英語で電子レンジはマイクロウェーブ (microwave)。
- BS放送 (12GHz)
- FM放送: 80.2 MHz: FM802, 81.3 MHz: J-WAVE
- AM放送: 1008 kHz: ABC ラジオ, 954 kHz: TBS ラジオ

単位: 10<sup>3</sup> = 1,000 (キロメートル), 10<sup>6</sup> = 1,000,000 (メガメートル), 10<sup>9</sup> = 1,000,000,000 (ギガメートル), 10<sup>12</sup> = 1,000,000,000,000 (テラメートル), 10<sup>15</sup> = 1,000,000,000,000,000 (ペタメートル), 10<sup>18</sup> = 1,000,000,000,000,000,000 (エクサメートル)

### 遠赤外光

低温の黒体放射

電波望遠鏡: 波長約1mmから1cmの電波を検出する望遠鏡。日本では野辺山宇宙電波観測所にある。温度が非常に低い星間ガスなどからの黒体放射を観測する。

黒体放射: 物体はその温度に応じて様々な波長の光を放射する。この現象を黒体放射という。

自由電子レーザー (FEL): 紫外から赤外までの広範囲で波長を自由に選択して強力な光をつくる。高速の自由電子を磁場によって蛇行させて発生したシンクロトロン放射からレーザー光線をつくる。国内では大阪大学、東京理科大学などにある。

ハッブル宇宙望遠鏡は、近赤外光検出で63光年離れた惑星でメタンと水を見つけ、太陽系外で有機物が確認された。宇宙の他の星にも生物がいるかも？

### 中赤外光

分子振動・格子振動、有機分子が見える領域

有機分子の指紋領域: 中赤外は分子の振動単位が豊富。有機分子の「指紋領域」と呼ばれる。

二酸化炭素 (C=O 基): 4.3 μm  
水・アルコール (O-H 基): 2.9 μm  
メタン (C-H 伸縮): 3.3 μm  
トルエン (ベンゼン環): 6.7 μm

二酸化炭素の吸収スペクトル

すばる望遠鏡: ハワイ島にある日本の大型天体望遠鏡。可視光から中赤外光の光を使って宇宙を探る。直径8.2mの反射鏡は世界最大級。

気象衛星ひまわり: 10 μm 付近 (大気窓): 黒体放射から雲や地表温度を観測する。6~7 μm (水の吸収): 水蒸気の分布を観測する。

### 近赤外光

物質と相互作用しない、物質が透明な領域 (光通信に使われる)

監視カメラ (ナイトビジョン): 近赤外光を照射し、カメラで検知する。目に見えない波長なので、暗闇でも相手に気付かれない。防犯のほか、軍事用にも用いられる。

センサー・赤外線通信 (IrDA): 自動ドアやトイレ、照明用のセンサーや、テレビやステレオのリモコン、パソコンの通信にも近赤外光が使われる。

血糖値測定、果実糖度計: 糖の分子の振動エネルギーが近赤外に相当する。果実を傷つけずに糖度を簡単に測ることができる。

リサイクル識別: 様々なプラスチックの種類を近赤外領域の吸収スペクトルの違いから識別し、リサイクルする。

光CT: 脳の中の酸素濃度を断層画像として取得する。

白熱灯 (2,500°C) の黒体放射のピークは、1 μm 付近。

### 可視光

人間の目に見える光、外殻電子遷移による

血液の赤色はヘモグロビンの色。動脈は酸素を含んで鮮やかな赤色。静脈では黒っぽい色になる。波長800nmで入れかわる吸収率から、近赤外光を使って血中酸素濃度を計測することができる。

紅葉: アントシアン、カロチノイド、クロロフィル。秋になると、葉緑素のクロロフィルが分解されてカロチノイドの黄色に、その後、アントシアンがつくられて赤色に変わる。

3次元ナノ加工は、近赤外パルスレーザーを用いて、レーザー光の波長よりも遙かに小さい100nmの分解能で立体加工を実現。

細胞手術では、近赤外パルスレーザーを細胞内に集光して、細胞内部を加工、刺激する。

半導体量子ドット: 直径数nmの半導体粒子で蛍光を発する。小さい粒子ほど短い波長で光る。

ルビーの赤は不純物のクロムの色。世界初のレーザーはルビーから出た光。

太陽電池は、電卓、腕時計、街路灯から人工衛星にまで使われる。光のエネルギーでクリーン発電。

### 可視光

人間の目に見える光、外殻電子遷移による

発光ダイオードは、発光効率の高光源として、信号機、パラボラアンテナのイルミネーション、街頭ビジョン車のヘッドライトのヘッドライトの光合成等、多目に使用される。

太陽が黄色に見えるのは、500nm付近の黒体放射のため、表面温度は約6,000°C。

ホテルの発光の源はルシフェリン。熱をほとんど出さずに発光する。

白色をつくるには青が必要。テレビの液晶の画素、CRTの蛍光体

### 色づくのは光の干渉

向から伝わってくる光が重なり合うと、互いにめ合ったり弱め合ったりします。シャボン玉や油膜が七色に見えますが、これは膜の表面と反射した光が干渉するからです。立体像である(1971年ノーベル賞)は、光の干渉を使っています。光は**コヒーレント** (可干渉) であるといえます。コヒーレントな光を出す装置です。

七色に光るシャボン玉

クレジットカードのホログラム

### 空の青色は光の散乱

光が小さな粒子 (分子) に当たると散乱します。波長の短い光は長い波長の光よりよく散乱します。空が青いのも夕焼けが赤いのも光の散乱の効果です。

もとの光が赤がずれて散乱する光があります。**ラマン散乱**といい、分子や結晶の振動エネルギーが光子に足し算 (引き算) されるために生じます。この色のずれを計測して、半導体結晶の欠陥や分子の種類を分析する技術があります。

空の色は散乱された青い光

### 虹の七色は光の屈折

光が空気から水やガラスに入ると、曲がります。この現象を屈折といいます。屈折率は光の波長 (色) によって異なります。万有引力の法則で有名なニュートンはプリズムを使って太陽の光には様々な色が混ざっていることを発見しました。雨上がりの路地に虹が見えるのは空気中の水滴がプリズムとして太陽光を分光するからです。最先端の光科学には、**負の屈折率**の物質 (逆方向に光が曲がる) を人工的につくる研究が進んでいます。

折れたように見えるけど...

プリズムで屈折して色分けされた光

### 光は回折する

光の進路に障害物を置くと、光は障害物の裏側にも回り込んで伝わっていきます。細い光線をつくらうとして細い穴に光を通して、すぐ広がってしまいます。光の回折を利用して光を選択することができます。細かい周期構造に光を照射すると、それぞれの構造で回折した光が干渉し、角度によって違う色が見えます。CDやDVDの表面が七色に見えるのは、記録ビットの列が回折格子として働くためです。タマシヤやチョウの羽、貝殻も、表面に周期構造があって七色に見えます。このように回折で現れる色のことを**構造色**といえます。

モルフォ蝶、羽の電子顕微鏡写真

七色に光るCDの表面

### 光子ロケットは光の放射圧

光が物質の境界面で屈折や反射、散乱すると、物質に力がかかります。光の放射圧は、400年前に予言されたといわれています。天文学者のケプラーは彗星 (ほうき星) の尾がいつも太陽と反対側にのびるのを見て、太陽からの光の圧力のせいだと考えました。ステーブン・チューらは光の放射圧で原子を冷却する技術を発明しノーベル賞を受賞しました。SF小説には放射圧で飛ぶ光子ロケットが出てきます。JAXAやアメリカでは実際にソーラーセイル宇宙船を研究しています。

ハレー彗星

アメリカで光で進む宇宙船

「波」として伝わります。粗密波（縦波）の音波とは異なり、光は進行方向と直交する方向に電場と磁場が交流して振動する電磁波です。単位は Hz)、波長は 1 回振動する間に真空中を進む距離 (単位は m) 光が一秒間に進む距離、つまり速度を表します。真空中の光の速度は、 $3 \times 10^8$  m/s です。

光が非常に弱くなってくると、光が粒々であることが見えてきます。光を光子 (フォトン) といい、光子の粒々がたくさん集まって光が「電子」の流れの集まりで、水が「水分子」の集まりのように、密度が決まります。光子一つ一つは、光の色、つまり波長 (あるいは周波数) によって決まっています。

### 光に関連するノーベル賞

- |       |                                |       |  |       |   |       |  |
|-------|--------------------------------|-------|--|-------|---|-------|--|
| 1901年 | X線の発見 (W. レントゲン)               | 1924年 | X線分光学 (K. M. G. シーグバーン)                        | 1961年 | γ線の共鳴吸収とメスバウアー効果の発見 (R. L. メスバウアー)                | 1997年 | レーザー冷却法による中性原子の凝縮 (S. チュー、C. コーエンタウジ、W. D. フィリップス) |
| 1907年 | 干渉計の考案と分光学の研究 (A. マイケルソン)      | 1927年 | コンプトン効果の発見 (A. H. コンプトン)                       | 1964年 | レーザー、レーザー効果の発見 (C. H. タウンズ、N. G. バソフ、A. M. プロホロフ) | 1999年 | フェムト秒化学 (A. H. ズエウエル) (化学賞)                        |
| 1908年 | 光の干渉を利用した天然色写真 (G. リップマン)      | 1930年 | ラマン効果の発見 (C. V. ラマン)                           | 1964年 | X線回折法による生物物質の分子構造の研究 (D. M. ホジキン) (化学賞)           | 2000年 | 高速/光電子技術のための半導体ヘテロ構造の開発 (Z. I. アルフォーロフ、H. クレーマー)   |
| 1909年 | 無線通信 (G. マルコーニ、C. F. ブラウン)     | 1932年 | 量子力学の創始 (W. K. ハイゼンベルグ)                        | 1965年 | 量子電磁力学 (朝永振一郎、J. シュウィンガー、R. P. ファインマン)            | 2002年 | 宇宙ニュートリノ検出 (R. デービス Jr., 小柴昌俊)                     |
| 1914年 | 結晶によるX線回折 (M. フォン・ラウエ)         | 1936年 | X線、電子線回折による分子構造の研究 (P. J. W. デバイ) (化学賞)        | 1966年 | 光ポンピング法による原子の励起 (A. カスレ)                          | 2002年 | タンパクのレーザーイオン化法 (J. B. フェン、田中耕一) (化学賞)              |
| 1915年 | X線結晶解析 (W. H. ブラッグ、W. L. ブラッグ) | 1953年 | 位相差顕微鏡の発明 (F. ツェルニケ)                           | 1967年 | ホログラフィーの発明 (D. ガボア)                               | 2003年 | 核磁気共鳴画像化法 (P. ラウターバー、P. マンスフィールド) (生物・医学賞)         |
| 1918年 | エネルギー量子説 (M. K. E. L. プランク)    | 1954年 | 原子核反応とγ線に関する研究 (W. ボーテ)                        | 1974年 | 電波天文学における先駆的研究 (M. ライル)                           | 2005年 | 光コヒーレンスの量子理論 (R. J. グラウバー)                         |
| 1921年 | 光電効果の法則の発見 (A. アインシュタイン)       | 1958年 | チェレンコフ効果の発見 (P. A. チェレンコフ、I. M. フランク、I. E. タム) | 1979年 | X線 CT (G. N. ハウンズフィールド、A. M. コーマック) (生物・医学賞)      | 2005年 | 光周波数コム技術などレーザー精密分光法の開発 (J. L. ホール、T. W. ヘンシュ)      |



### 紫外光

目に見えない光、外殻電子遷移エネルギー

紫外線洗浄: 半導体基板や金属、セラミックス、プラスチック表面の洗浄、改質に紫外線を使う。

紫外線殺菌: 熱を与えずに、水、食品、医薬品などを殺菌する。

真空紫外: 200 nm ~ 10 nm の紫外線は大気中を伝わらない。太陽からの真空紫外線は、地表まで到達しない。微小加工などの応用が期待されている光だが、真空環境が必要。

オゾン層: 地球上の生物に害のある紫外線を遮ってくれる。

光触媒は、紫外光を吸収して、窓ガラスや壁の汚れを分解する。

酸化チタン

SPring-8: 兵庫県佐用郡にある大型の放射光施設。X線から赤外線まで広い波長範囲で世界最高輝度の光をつくる。周長 1.4 km の蓄積リングと呼ばれる軌道に電子を閉じ込め、光速近くまで加速した電子からのシンクロトロン放射でX線を得る。

### 軟X線 (極短紫外を含む)

内殻電子遷移エネルギー、水に吸収されない

レーザープラズマ光源: 高出力のレーザー光をターゲットに当てて発生するプラズマから軟X線を出す。未来の半導体製造光源。

軟X線顕微鏡: 「水の窓」を使えば、高い空間分解能で生物試料を生きたまま観察できる。軟X線は大気をほとんど伝わらないので、装置を真空中に置く。

X線のレンズ: 軟X線やX線の領域では、ガラスも金属も屈折率がほぼ1.0で、反射も屈折もしない。浅い角度の反射でX線の進行方向を変えて集光する。

ウォルター鏡

ゾーンプレートでX線を回折して集光する方法もある。

フレネルゾーンプレート

反射には、Mo/Si や Cr/Sc などの多層膜が用いられる。

静電気除去: 空気中の分子を分解してイオンを発生し、基板の帯電を除去する。

### X線

内殻電子遷移エネルギー

レントゲン写真: からだが見え透る。X線が透過しにくい骨が影となって映る。胃を見るときはバリウム(造影剤)を飲む。

X線CT (コンピュータ断層撮影): 様々な方向でX線を照射して測定した透過強度から、コンピュータ解析によって断層像を取得する。

X線天文衛星さく: X線は大気層で吸収されるため、望遠鏡を搭載した衛星を宇宙まで飛ばして観測する。

XPS (X線光電子分光): X線を試料に当てて出る光電子から、半導体の構成元素や電子状態を分析する。

### γ線

原子核・素粒子の遷移エネルギー

PET (ポジトロン断層法): 放射性分子をマーカーにした新しいがん検診技術。

γ線バースト: 太陽系外からやってくる原因不明の突発的なガンマ線。

強い放射線: 強力なX線やγ線は人体に致命的な障害をもたらす。

放射線治療: 弱い放射線を使えばがん細胞を退治できる。

γ線滅菌: 弱いγ線なら医療器具などの滅菌にも使える。じゃがいもの発芽防止にもγ線を照射する。

### 光は横波

水面や金属の表面、照葉樹の葉の表面で反射すると、電場が反射面に垂直な方向に揺れている光がよく反射され、光の揺れる方向に偏りが生じます。これを偏光といいます。

偏光フィルターは、特定の方向に揺れる光だけをカットします。偏光メガネやカメラのフィルターに使われます。テレビやパソコンの液晶ディスプレイは偏光を利用した表示装置です。電圧で液晶分子の向きをそらす、光の透過を偏光制御します。

### 光の速度は

真空中で1秒間に30万 km。これは1秒間に地球を7周半回ることができる速さです。月までは1.3秒、太陽までは8.3分かかります。光の速さで1年かかる距離を1光年といいます。太陽から最も近い恒星は4.2光年の距離にあり、銀河系の直径は10光年です。夜空には数多くの星が見えますが、この光は何年も何十年も昔に星を出た光です。真空中の光の速さは、電波も可視光もX線も同じです。また、この速度を超えることは不可能とされています。しかし、速度を遅くすることはできます。屈折率の高いプラスチックやガラスの中での光の速さは、真空中に比べて1.33分の1、1.5分の1になります。最近、**フォトリソグラフィ**や**プラズマディスプレイ** (金属薄膜) で、速度がとても遅い**スローフォトン**をつくり出す研究が進んでいます。

### 太陽の七変化

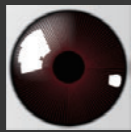
太陽の色は、黄色がかった白色に見えます。太陽の黒体放射で発生した様々な色の光が混ざっているからです。しかし日の出、日の入りの太陽は赤く見えます。陽が傾くと光が大気を通る距離が増え、短波長の光がチリや水滴に散乱されて届かなくなるからです。日没の時、一瞬だけ赤から緑色に見えることがあります。**グリーンフラッシュ**と呼ばれる現象です。太陽が完全に沈んだ瞬間、地球の大気層のプリズム効果で太陽光が屈折し、緑色の光だけが届いて見えます。空気が澄んで地平線や水平線が見える場所であらゆる珍しい現象です。

### 色の見え方

人間は 600 万~1,000 万色を識別できるとされていますが、目の中には、赤、緑、青のセンサーしかありません (犬、猫は2色、鳥は4色)。このセンサーに入る光のバランスで色を認識しています。たとえば、赤と緑の光が同時に目に入ると黄色に、すべての色が混ざると白く見えます。この3色は**光の3原色**といい、テレビ等の発色に使われます。絵の具やインクは光を吸収して色をつくり、赤の絵の具は赤色以外の光を吸収し、赤色の光だけを反射します。シアン (Cyan)、マゼンタ (Magenta)、黄色 (Yellow) の3色 (**色の3原色**) を使えば様々な色をつくることができ、印刷物はこれに黒を組み合わせてつくり、

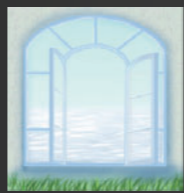
325 nm)

近視矯正手術、角膜切除には、エネルギーの高い紫外光が使われる。エキシマレーザーを使って角膜を蒸発させ削り取る。サブミクロンの精度で精密に一部の角膜だけを削り角膜の形を変えて屈折矯正する。

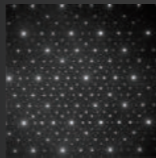


極端紫外光リソグラフィー 極端紫外光を使って半導体に集積回路をつくる次世代のリソグラフィー技術。

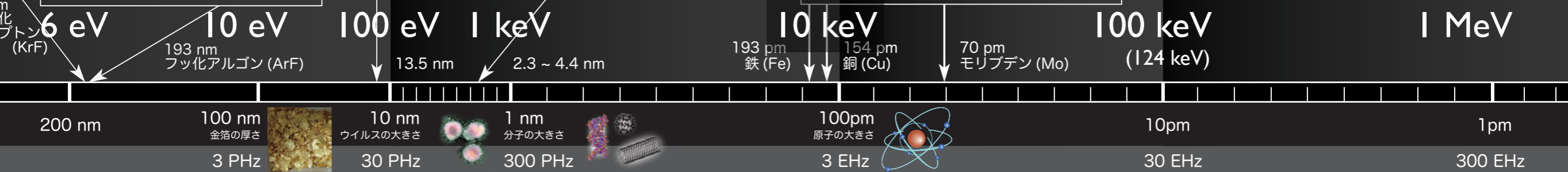
水の窓 水の吸収がない波長。水分を多く含む生物試料の観察に使えるX線。



X線回折結晶構造解析 原子の配列による回折を利用し、配列パターンや原子間距離を測る技術。原子間隔に相当する波長のX線を使う。タンパク質分子の立体構造も知ることができる。



XFEL(X線自由電子レーザー) SPring-8に自由電子レーザーの発振器を建設し、X線の波長域でレーザー光を得る施設。2006年から建設が始まり、2010年に完成を目指している。



### 紫外光

外殻電子遷移エネルギー

紫外線洗浄 半導体基板や金属、セラミックス、プラスチック表面の洗浄、品質に紫外線を使う。

紫外線殺菌 水、食品、薬品などを殺菌する。



地球上の生物に害のある紫外線を遮ってくれる。

触媒は、紫外光を吸収して、窓ガラスや壁の汚れを分解する。

酸化チタン

SPring-8

兵庫県佐用郡にある大型の放射光施設。X線から赤外線まで広い波長範囲で世界最高輝度の光をつくる。周長1.4kmの蓄積リングと呼ばれる軌道に電子を閉じ込め、光速近くまで加速した電子からのシンクロトロン放射でX線を得る。

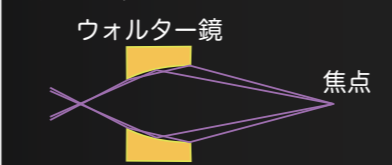
### 軟X線 (極短紫外を含む)

内殻電子遷移エネルギー、水に吸収されない

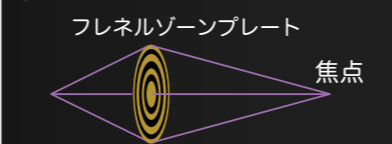
レーザープラズマ光源 高出力のレーザー光をターゲットに当てて発生するプラズマから軟X線を出す。未来の半導体製造光源。

軟X線顕微鏡 「水の窓」を使えば、高い空間分解能で生物試料を生きたまま観察できる。軟X線は大気をほとんど伝わらないので、装置を真空中に置く。

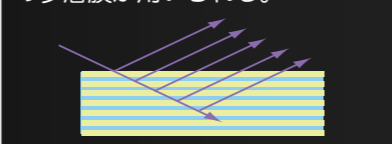
X線のレンズ 軟X線やX線の領域では、ガラスも金属も屈折率がほぼ1.0で、反射も屈折もしない。浅い角度の反射でX線の進行方向を変えて集光する。



ゾーンプレートでX線を回折して集光する方法もある。



反射には、Mo/SiやCr/Scなどの多層膜が用いられる。



静電気除去 空気中の分子を分解してイオンを発生し、基板の帯電を除去する。

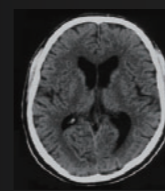
### X線

内殻電子遷移エネルギー

レントゲン写真 からだが透けて見える。X線が透過しにくい骨が影となって映る。胃を見るときはバリウム(造影剤)を飲む。空港の手荷物検査もX線。



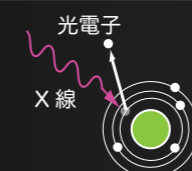
X線CT (コンピュータ断層撮影) 様々な方向でX線を照射して測定した透過強度から、コンピュータ解析によって断層像を取得する。



X線天文衛星すざく X線は大気層で吸収されるため、望遠鏡を搭載した衛星を宇宙まで飛ばして観測する。



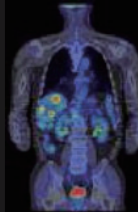
XPS(X線光電子分光) X線を試料に当てて出る光電子から、半導体の構成元素や電子状態を分析する。



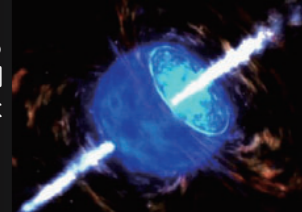
### γ線

原子核・素粒子の遷移エネルギー

PET (ポジトロン断層法) 放射性分子をマーカーにした新しいがん検診技術。



γ線バースト 太陽系外からやってくる原因不明の突発的なガンマ線。



強い放射線 強力なX線やγ線は人体に致命的な障害をもたらす。

放射線治療 弱い放射線を使えばがん細胞を退治できる。

γ線滅菌 弱いγ線なら医療器具などの滅菌にも使える。じゃがいもの発芽防止にもγ線を照射する。



# 光子

紫外線

X

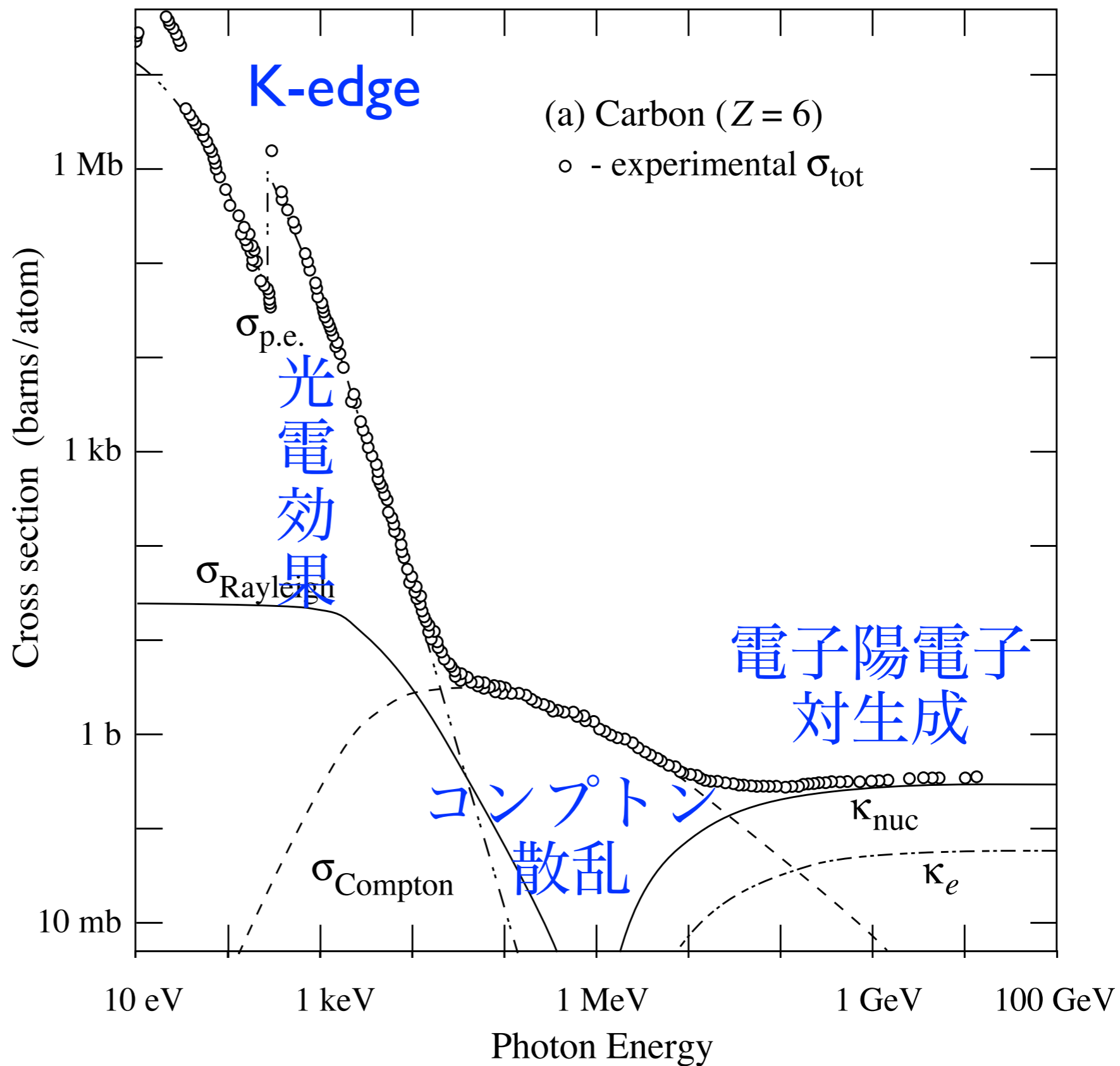
線

γ

線

## 反応断面積

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





## ● 光電効果

- $T_e = h\nu - I$

- K-edge, L-edge, ... (K, L 殻吸収端)

- $\sigma \propto Z^{4\sim 5} (h\nu)^{-7/2}$  ( $\sigma$ : 1 原子あたりの反応断面積)

- X線を鉛で遮蔽

## ● コンプトン散乱

- $h\nu = h\nu' + T_e$

- Compton edge

- $\sigma \propto Z$  ( $\sigma$ : 1 原子あたりの反応断面積)

## ● 電子陽電子対生成

- 陽電子は電子の反粒子

- 電磁シャワー

# 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

## 放射計測量 radiometric quantity

粒子フルエンス fluence  $\Phi$  [ $\text{cm}^{-2}$ ]

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



Röntgen



Gray

## 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  $K$  [ $\text{J} / \text{kg}$ ] = [ $\text{Gy}$ ]

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

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

Röntgen

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

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

Gray

# 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



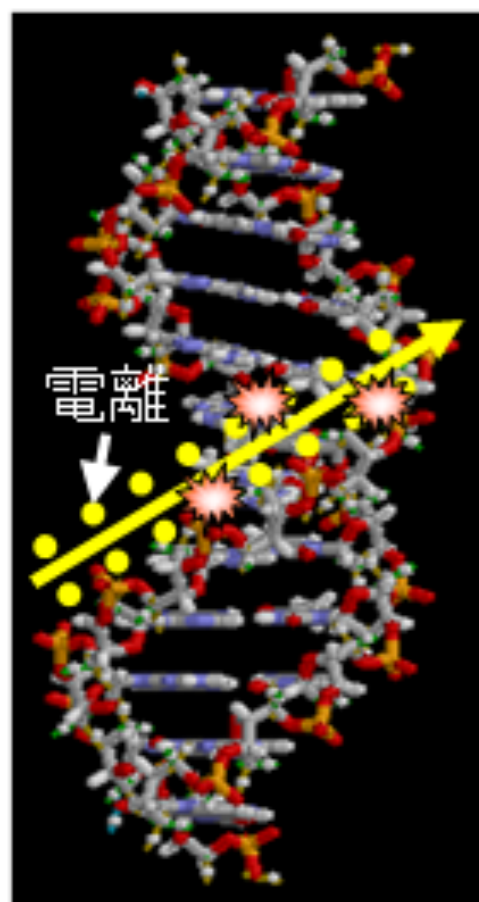
LET に依存  
詳しくは次週

# 次回予告

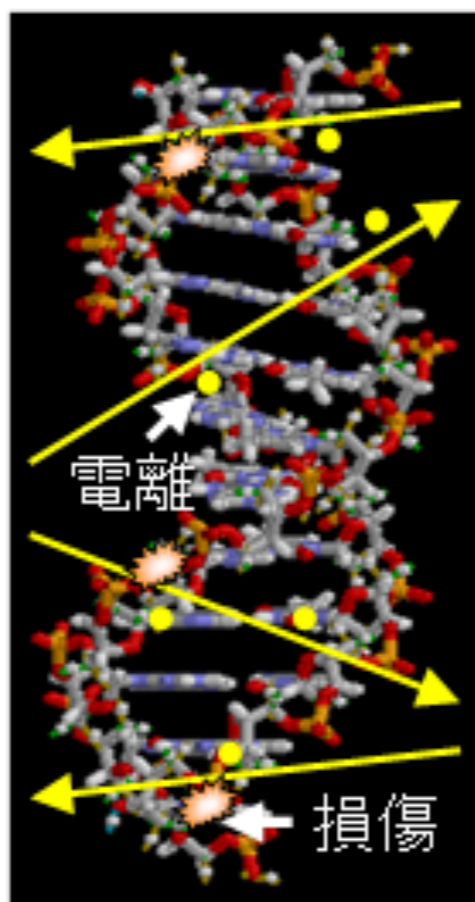
## 第3回 (5/24)

- 放射線の生体への作用と影響 《放射線生物学》
- 放射線と放射能の単位
- 放射線の防護 《放射線安全管理学》

# 放射線による DNA 損傷



重イオン



電子

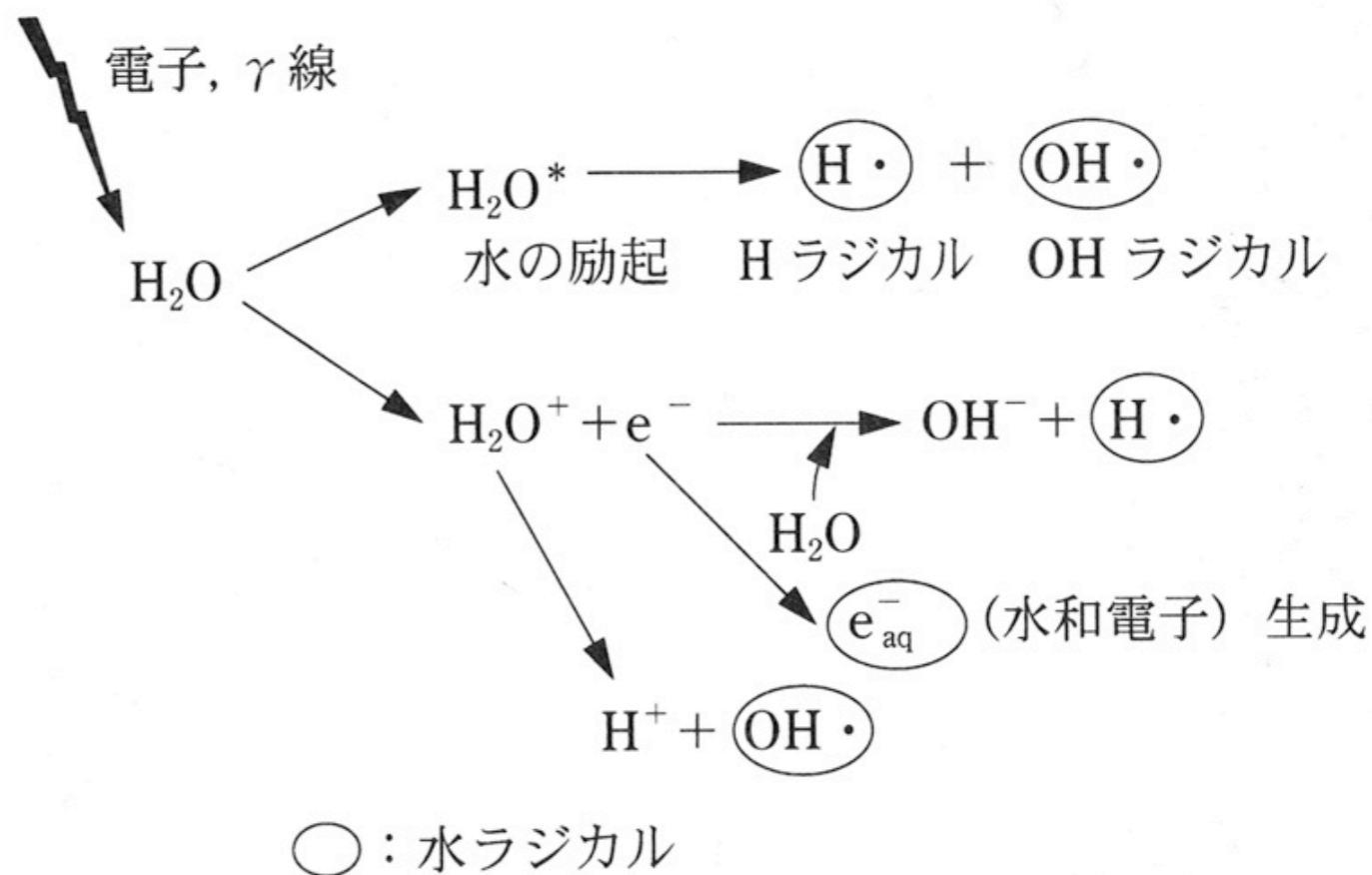


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

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**

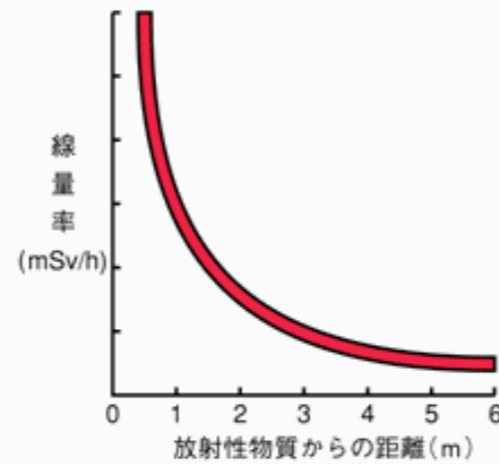
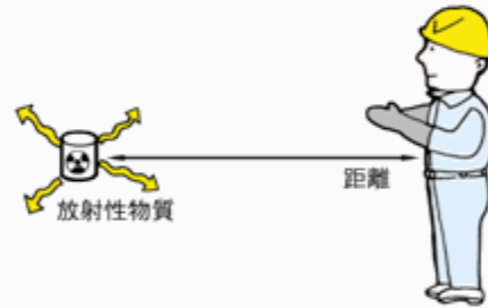
と間接作用 : 水の電離で生じるラジカルが DNA 分子に作用

**高 LET 放射線**

# 放射線防護

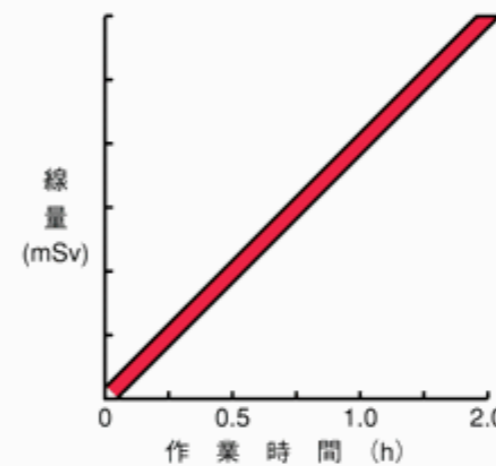
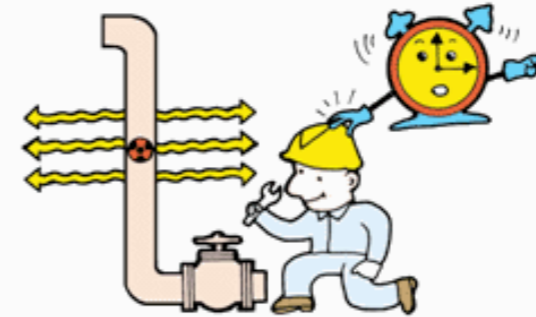
## ● 距離による防護

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



## ● 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

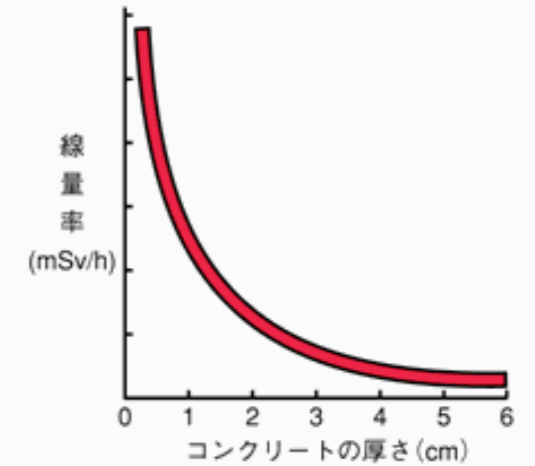
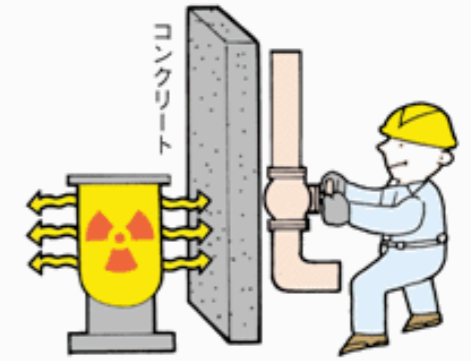


図1 遮へい3原則の図

[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)**

# 自主講義 「放射線学」

- 第1回：講義概要のイントロ  
(5/10) 放射線とは？
- 第2回：放射線と物質との相互作用《放射線物理学》  
(5/17) (エネルギー損失、各種反応・散乱過程)
- 第3回：放射線の生体への作用と影響《放射線生物学》  
(5/24) 放射線と放射能の単位  
放射線の防護《放射線安全管理学》
- 第4回：原子核の壊変《原子核物理学》  
(5/31) 核分裂反応《原子力工学》
- 第5回：放射線の利用、放射線診断・治療《放射線医療》  
(6/7) 放射線の測定《放射線計測学》
- 第6回：高エネルギー・素粒子物理学《加速器科学》  
(6/14) discussion



## 講義スライド、講義予定

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

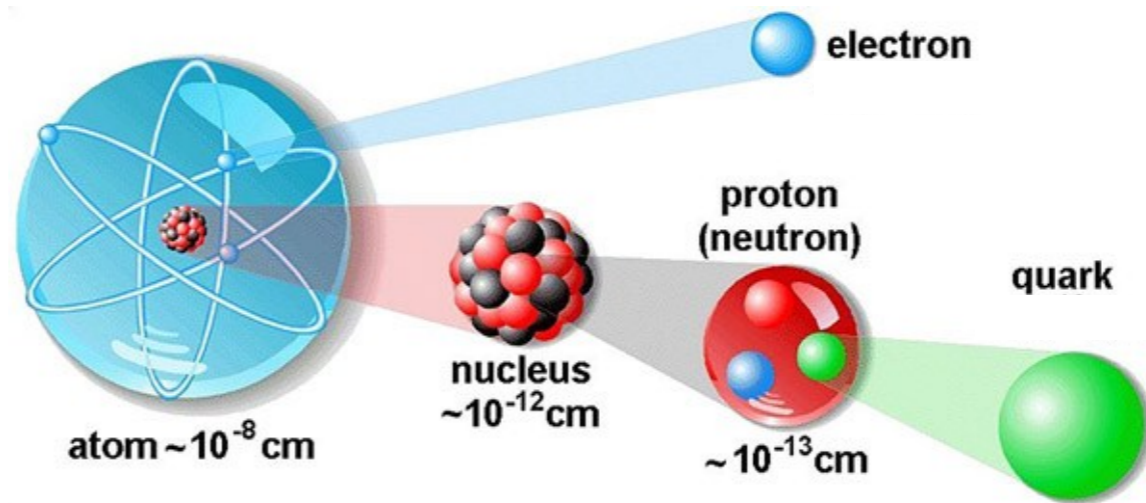
## 連絡先

[torii-radio@radphys4.c.u-tokyo.ac.jp](mailto:torii-radio@radphys4.c.u-tokyo.ac.jp)

担当教員:鳥居 寛之

**授業アンケート**

# 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つたため、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)

火曜5限  
開講中！

## 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。

**Fine** per oggi.

Fin du cours pour aujourd'hui.

That's all for today.

Ci vediamo la prossima settimana.

On se verra la semaine prochaine.

See you next week.