

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

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。

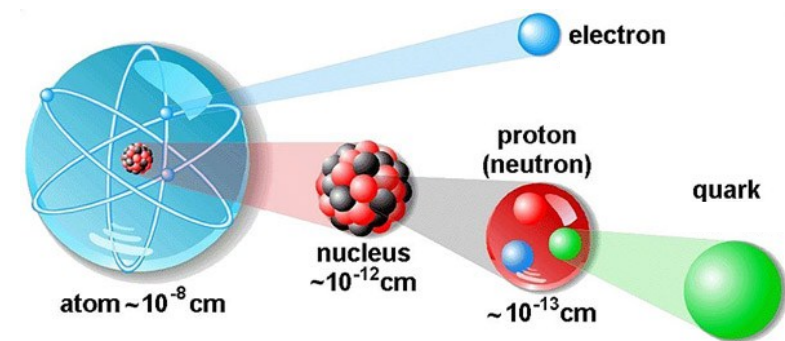
書籍「放射線を科学的に理解する — 基礎からわかる東大教養の講義 —」

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

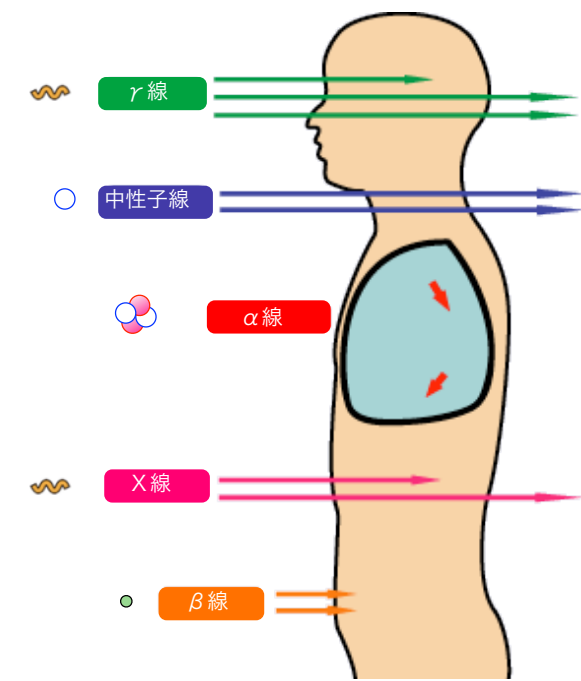
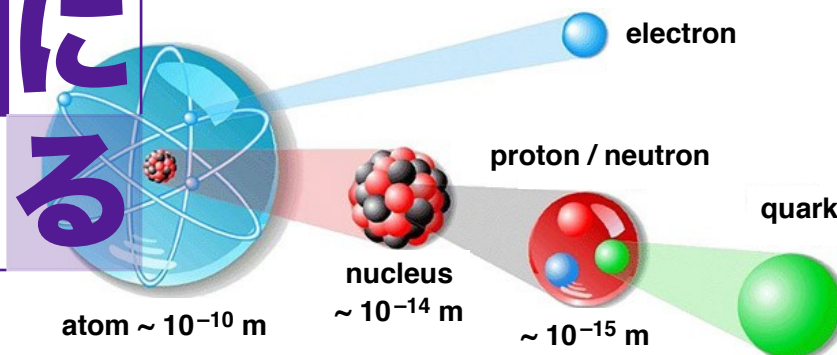
自主講義  
放射線学



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

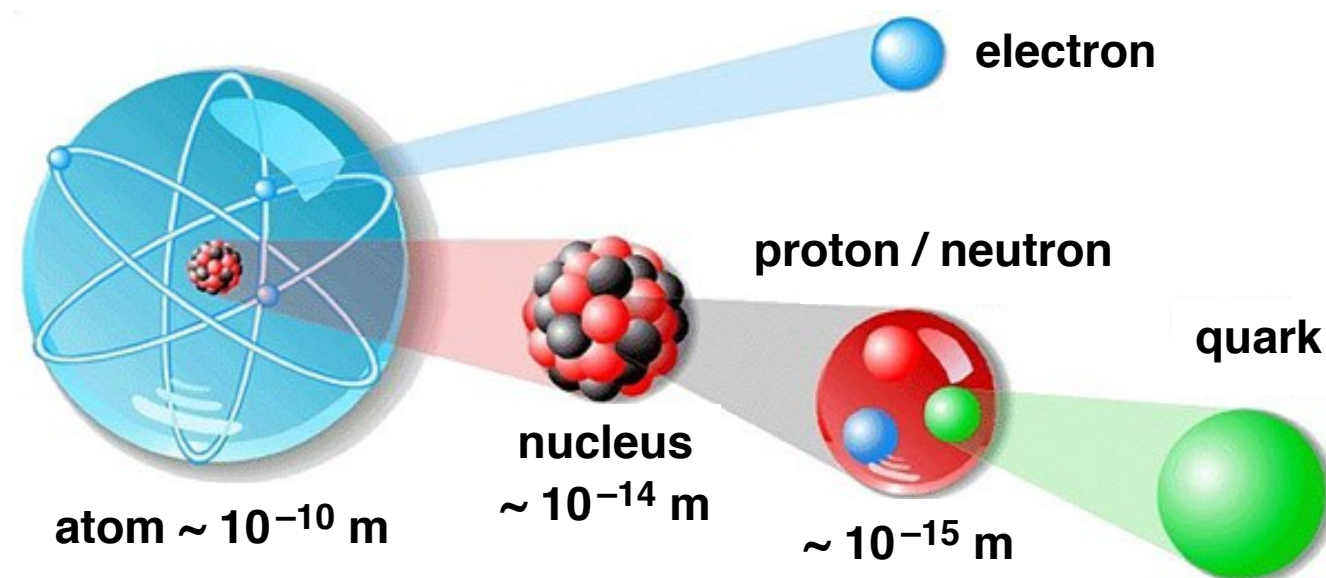
放射線を  
科学的に  
理解する



# 2011年度冬学期 主題科目テーマ講義

第1回：2011 / 10 / 7 (金)

## 放射線を 科学的に 理解する



金曜5限 @ 11号館 1101教室

担当教員 鳥居 寛之 (粒子線物理学)  
小豆川 勝見 (環境放射化学)  
渡邊 雄一郎 (生命環境応答学)

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

原子力発電所の事故以来、環境中の放射能汚染について、また放射線量について、連日報道されてきた。放射線による人体への影響について、専門家の間でも確定的なことが言えず意見が分かれたこともあって、放射線に対する恐怖を訴えるといった反応も見られた。メディアでも度々特集を組んで解説がなされたが、必ずしも国民一人一人が納得して正しい科学的知識を身につけたか疑問である。これまで30年以上にわたって、放射線の基礎的知識に対する教育が十分になされてこなかったことのつけが、科学的リテラシーの欠如となって表れている。

放射線を理解するには、物理・化学・生物学・医学・工学など様々な分野の知識が必要となり、全てを網羅することが難しいことは確かである。大学においても、系統立った授業が行われているのはごく一部の学科などに限られ、広く一般の学生が学べる機会は少ない。

今回のテーマ講義は、夏学期に鳥居が開講して好評をえた自主講義「放射線学」を発展させ、教養学部の3人の教員：鳥居・小豆川・渡邊を中心に、学内外のゲスト講師も招いて、なるべく広く体系的に、放射線に関する科学的知識を身につけ、定性的および定量的に正しく判断する能力を養うことを目的とする。

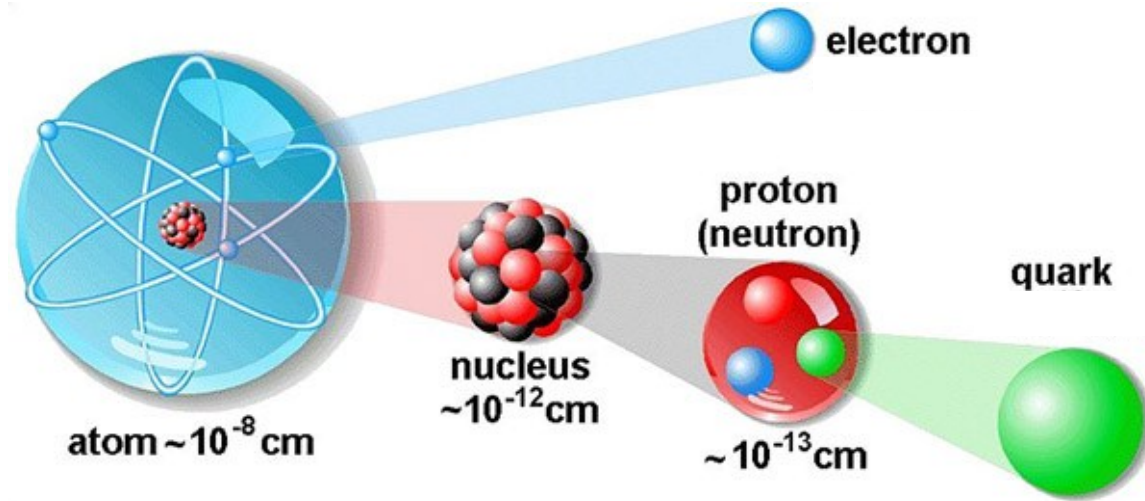
**対象：**東京大学教養学部生。講義は理科生を主な対象とするが、意欲のある文科生も歓迎

**担当教員**      **鳥居 寛之（粒子線物理学）**  
                    **小豆川 勝見（環境放射化学）**  
                    **渡邊 雄一郎（生命環境応答学）**

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



## 放射線を学ぶ

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

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

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

## 講義内容

- 第1回：講義概要のイントロ、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》  
(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》  
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》と核分裂反応《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》
- 第6回：放射線の測定《放射線計測学》  
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)
- 第7回 6/28(火) 討論会

## 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。

5/10  
火曜5限  
開講

# 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 放射線医療【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

# 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 放射線医療【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



# 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 放射線医療【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 (粒子線物理学)  
小豆川 勝見 (環境放射化学)  
渡邊 雄一郎 (生命環境応答学)

《教養学部》

担当教員  
紹介

# 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 放射線医療【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】

## ゲスト講師

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》

# 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 放射線医療【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】

オムニバスではなくて、毎回知識を蓄積してレベルアップすることを目指す。

例：放射線物理の知識は放射化学や放射線生物学の理解に必要



# 成績評価

合否判定（点数なし） 2単位

- 出席
- レポート

各分野ごとに1本選択、合計3本  
（それより多く提出してもよい）

物理：鳥居・石渡

化学：小豆川

生命：渡邊、中川、藤原



# 講義の理解目標の一例

以下のような問いに答えられるように  
(似たようなレポート課題を出題するかも)

「放射線が細胞に及ぼす作用と人体への影響について、  
物理学的、化学的、分子生物学的、医学的観点から  
それぞれ論ぜよ。」

「外部被曝と内部被曝で人体への影響はどう違うか、  
あるいは同じか。また、放射性核種や放射線の種類  
によって、こういった違いがあるか。」



# 成績評価

合否判定（点数なし） 2単位

- **出席**

夏学期の自主講義「放射線学」

出席者は、鳥居担当回の出席について減免措置を講じるので、今日の授業終了後に申し出て下さい。

- **出席記入表 回送**



## 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

担当教員:鳥居 寛之

**出席記入表 回送**

**教養学部報 (10月5日号) 配布**

**放射線**  
**放射能**  
**放射性物質**

# 「放射能うつる」といじめ＝福島から避難の小学生に一千葉

2011年4月15日11時6分



福島第1原発事故を受け、福島県から千葉県船橋市に避難した小学生の兄弟が、地元の子どもに「どこから来たの」と話しかけられた。兄弟が「福島」と答えると地元の子どもは「放射線がうつる」と言い、数人が一斉に逃げ出したという。

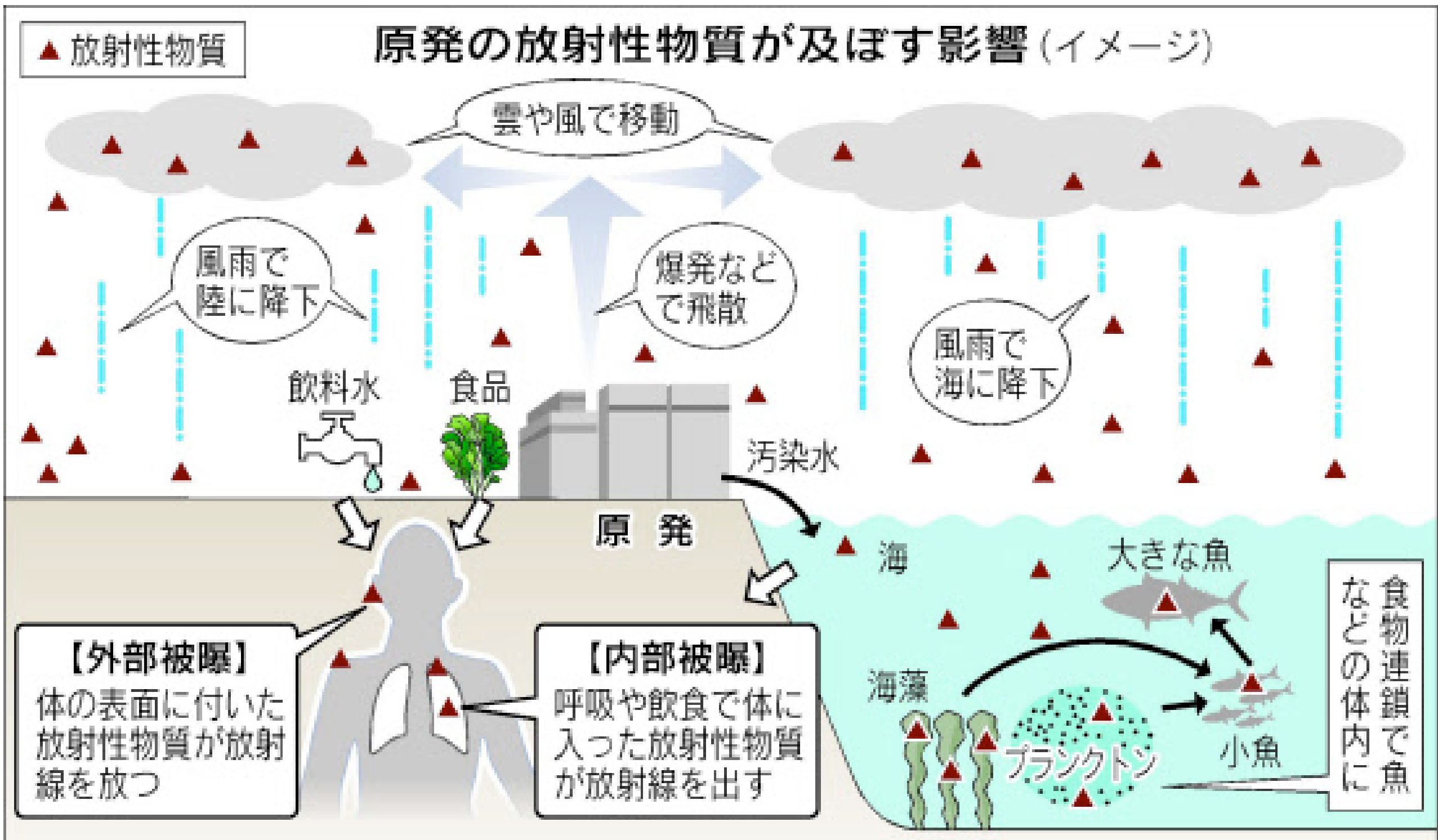
福島第1原発事故を受け、福島県から千葉県船橋市に避難した小学生の兄弟が、地元の子どもに「どこから来たの」と話しかけられた。兄弟が「福島」と答えると地元の子どもは「放射線がうつる」と言い、数人が一斉に逃げ出したという。

放射線はうつらない

放射能と放射線を混同しない

放射線に対する正しい知識をもって  
「正當にこわがる」ことが必要。





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。

# 国際原子力事象評価尺度

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

## 放射性物質の外部放出 (ヨウ素131等価)

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

## “テラベクレル”の謎

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

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

# SI (国際単位系)

表2: 単位の倍数

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

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

[less than a minute ago](#) via [Echofon](#) ☆ [Favorite](#) ↻ [Retweet](#) ↩ [Reply](#)



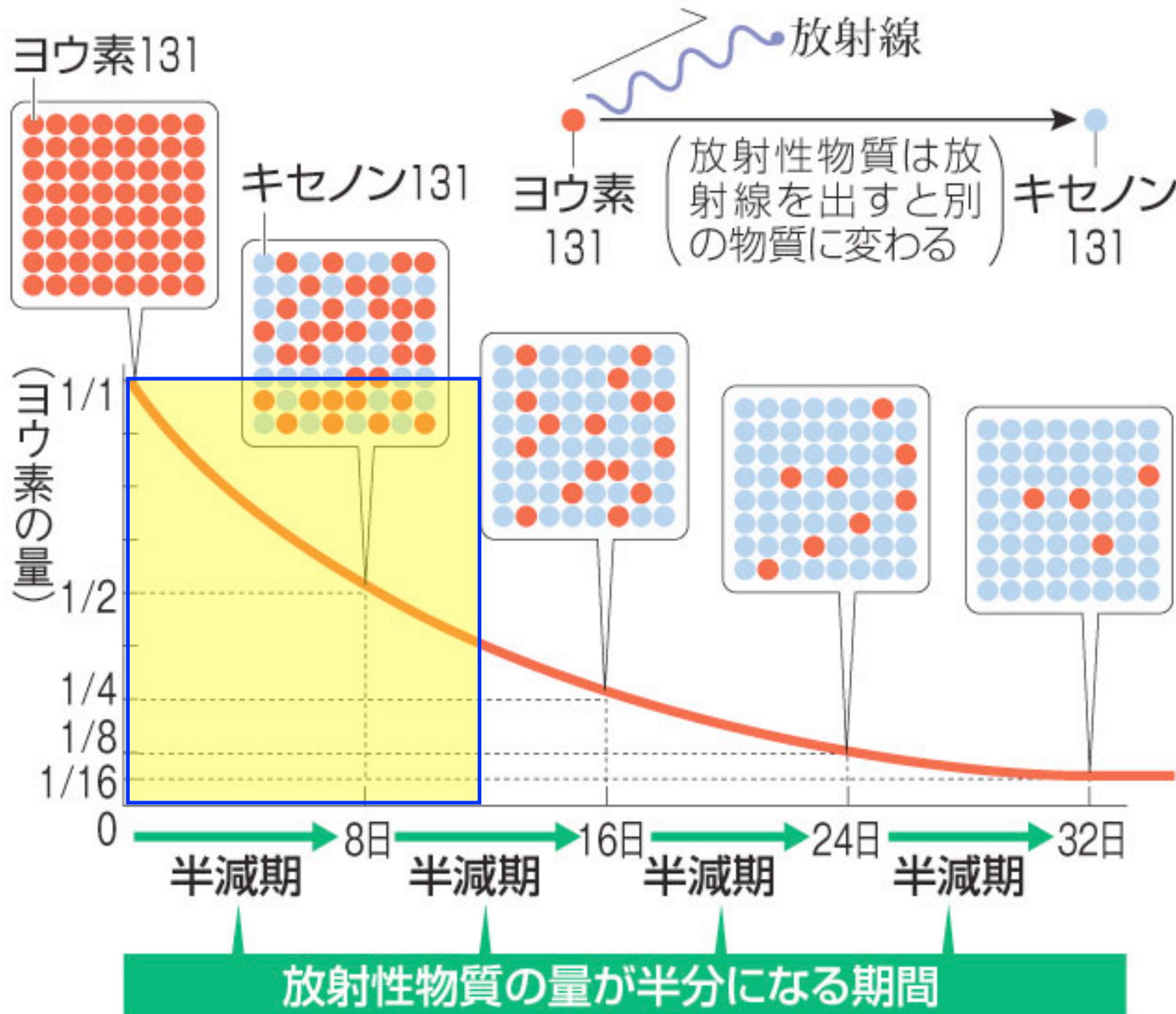
[ryugo hayano](#)  
hayano

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



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

### 放射性物質の半減期のしくみ(ヨウ素131の例)



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

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

[less than a minute ago](#) via [Echofon](#) ☆ [Favorite](#) ↻ [Retweet](#) ↩ [Reply](#)



[ryugo hayano](#)  
hayano

**放射線のもつエネルギーは？ (eV, J)**

**1 ミリシーベルトを熱エネルギーに直すと？ (K)**

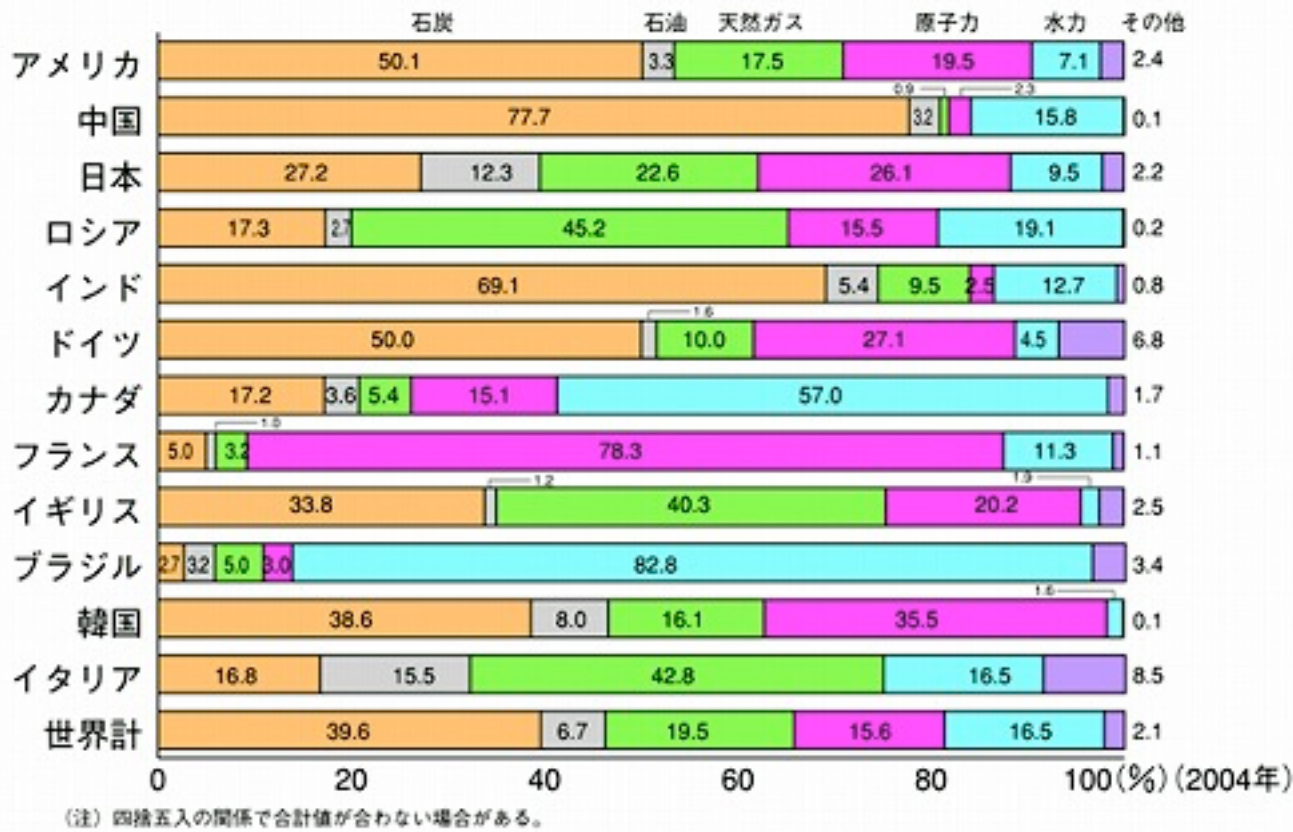


# 原子力工学

【工学系原子力国際専攻 石渡 祐樹 先生】

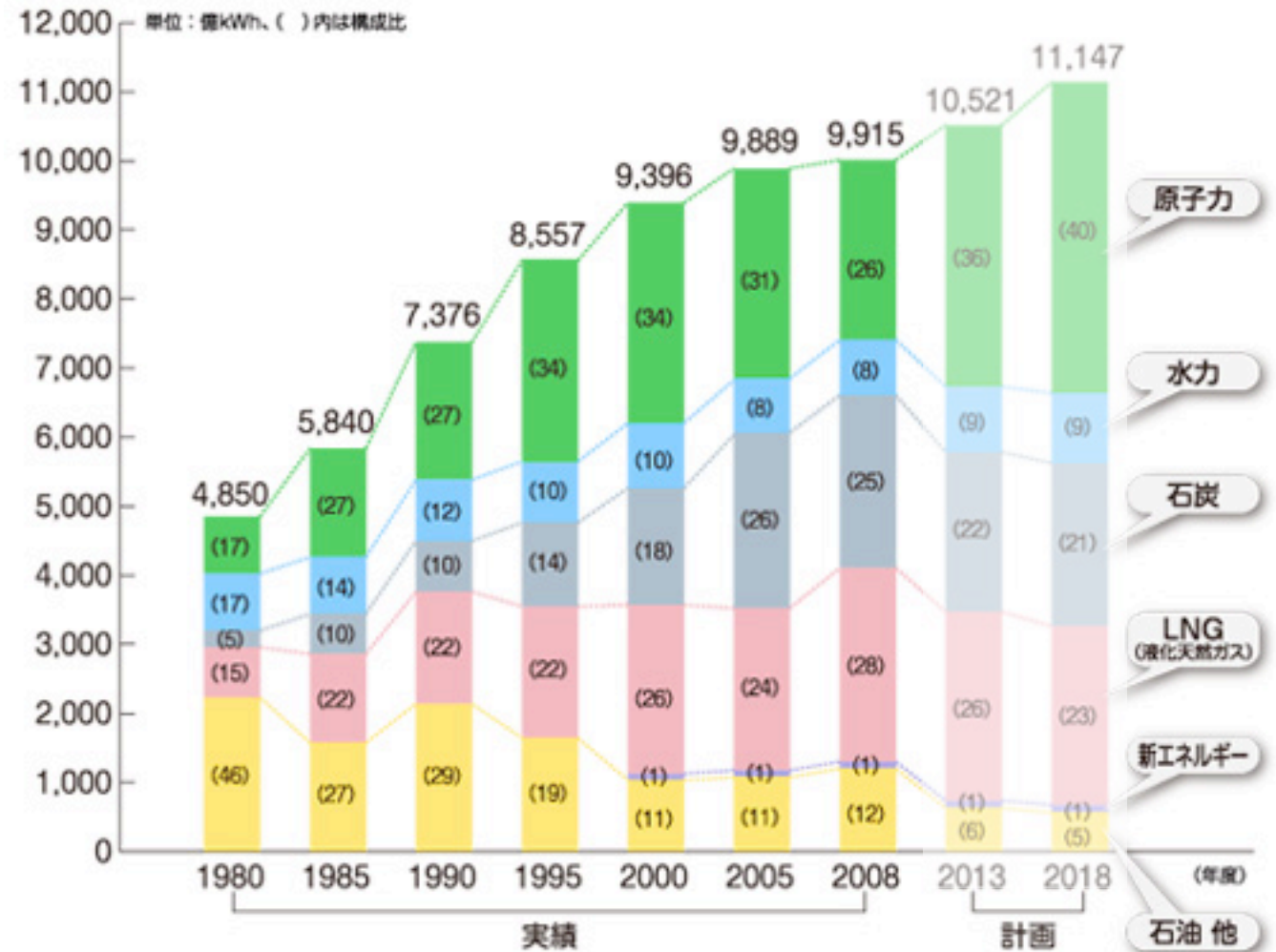


# 主要国の電源別発電電力量の構成比

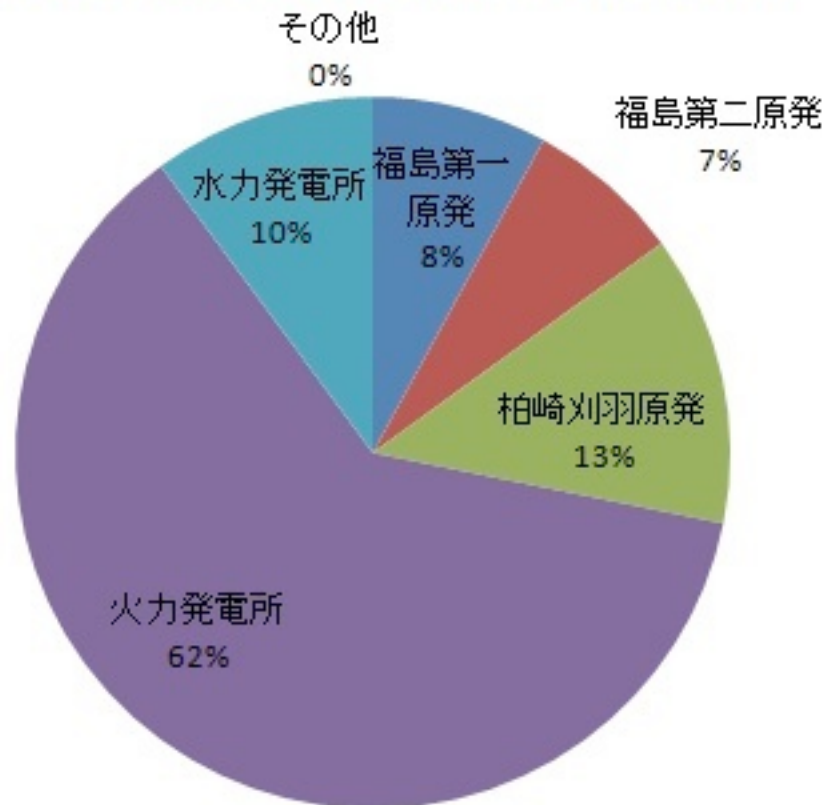


出典：IEA Electricity Information 2006 Edition

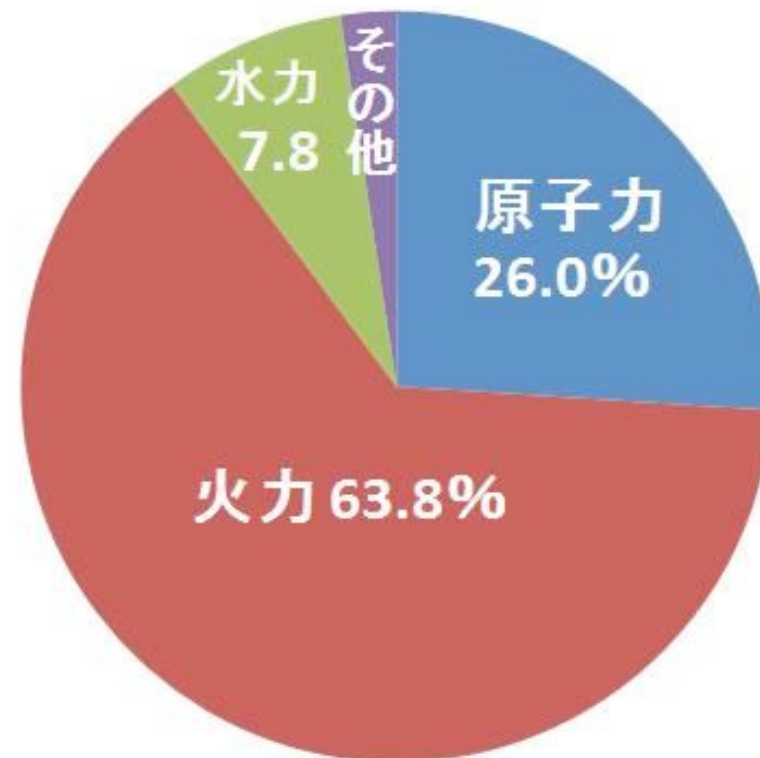
# 発電電力量構成比の推移 (10電力計、受電を含む)



# 東京電力の電力総出力の割合



日本の発電量の比率 2008

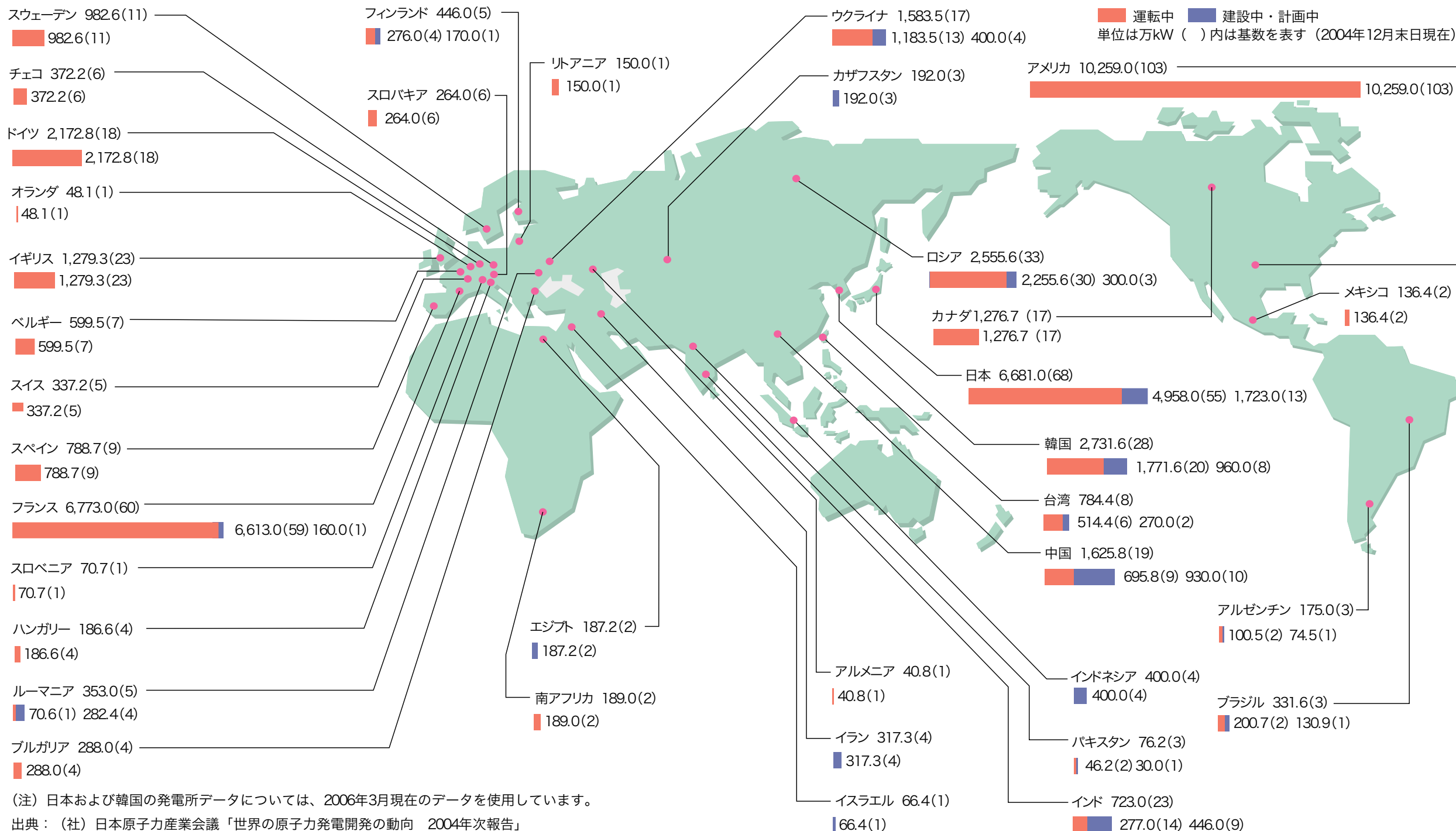




石油に代わるエネルギーとして、世界各国の原子力発電への期待は大きく、世界中で、2004年12月末現在、運転中の原子炉は434基3億7,920万キロワットにおよび、設備容量は、アメリカ、フランス、日本、ロシア、ドイツ、韓国

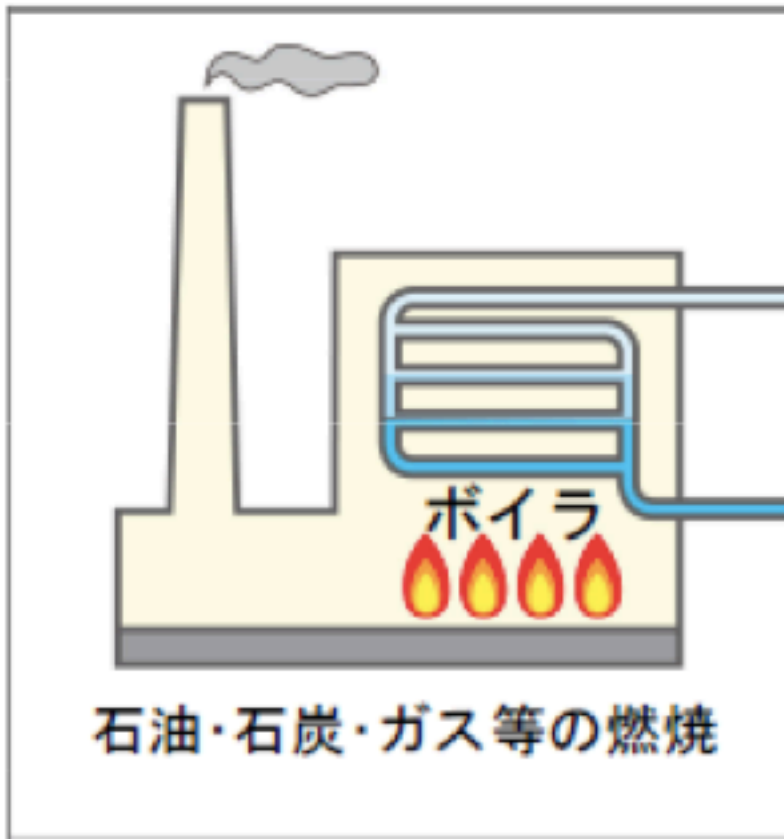
の順となっています。また、建設中・計画中のものは70基で、日本、中国、韓国、インド、ウクライナ、ルーマニア、インドネシア、イランなどとなっています。

●世界の原子力発電の開発状況

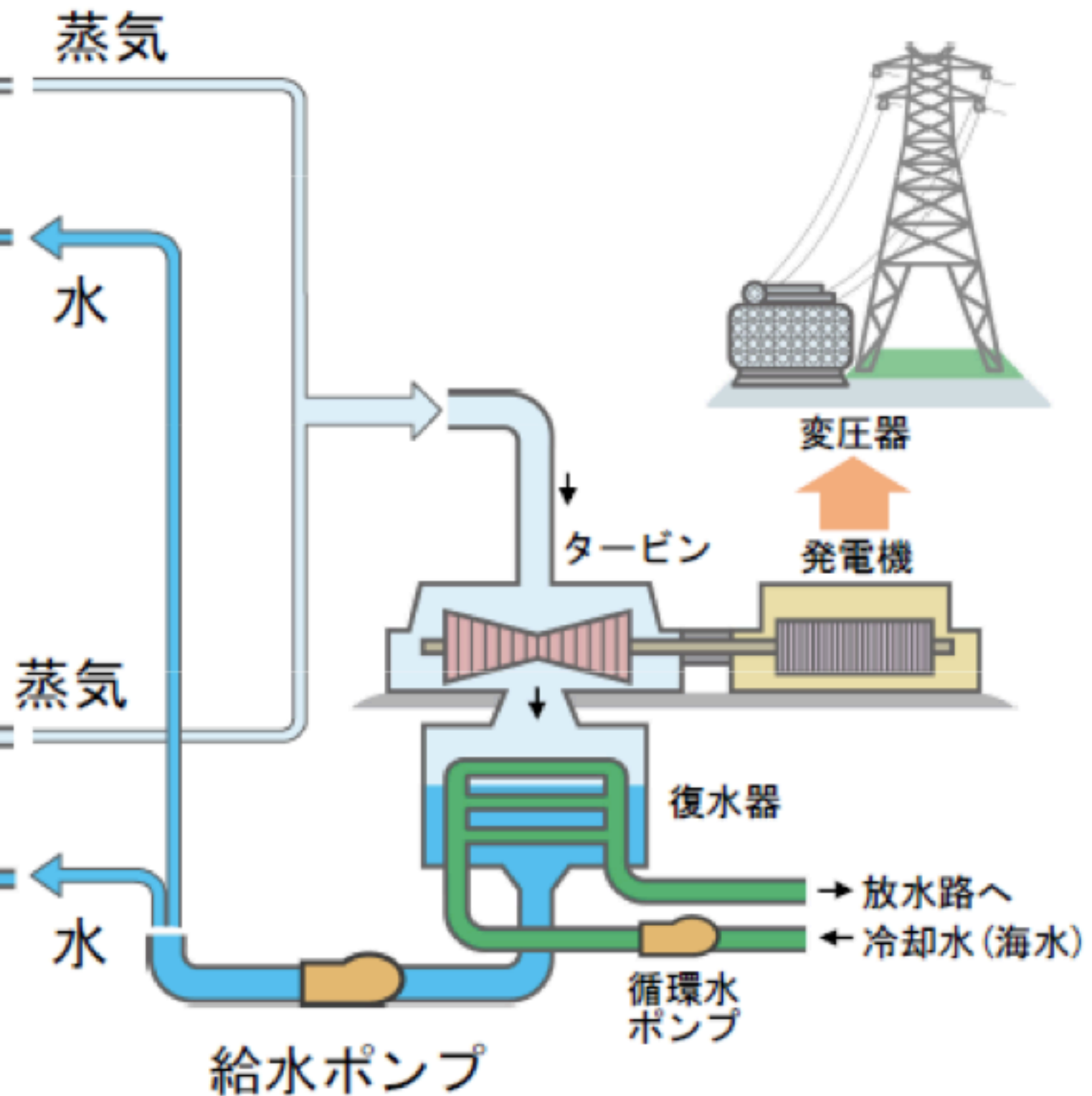
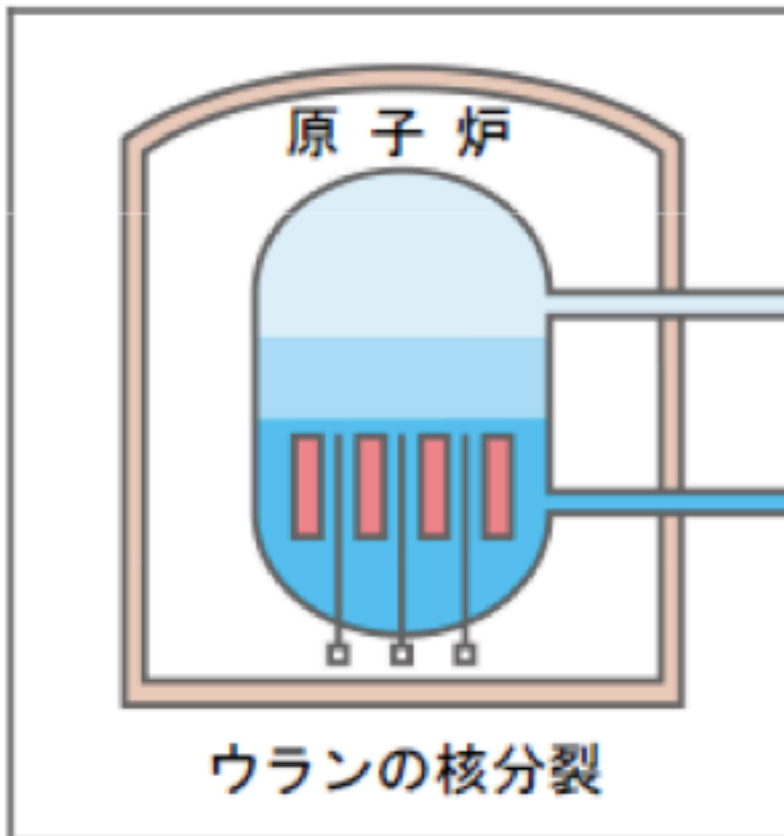


# 火力発電と原子力発電の違い

火力



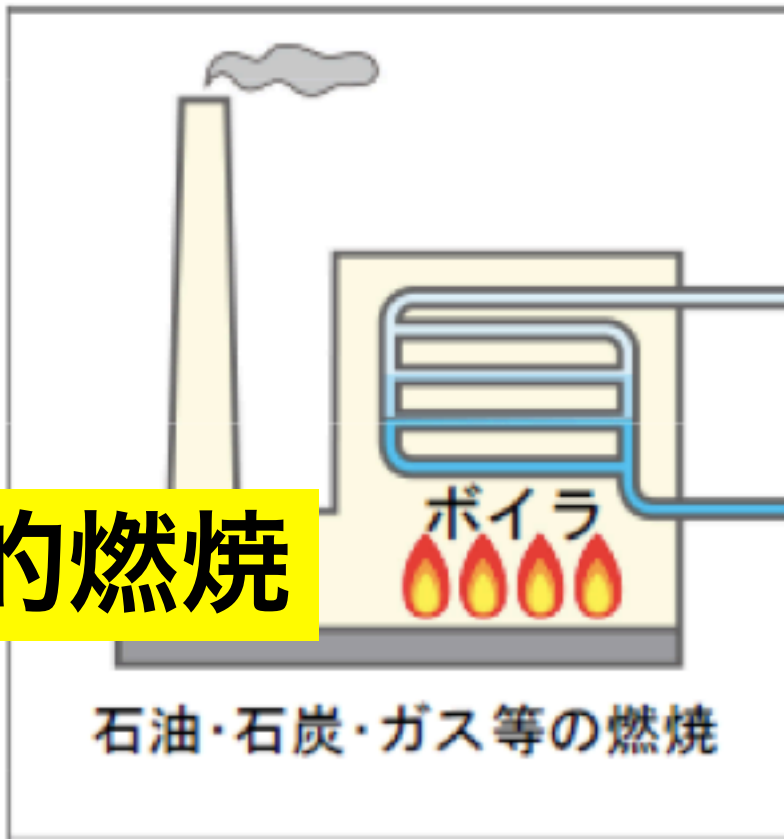
原子力



# 火力発電と原子力発電の違い

火力

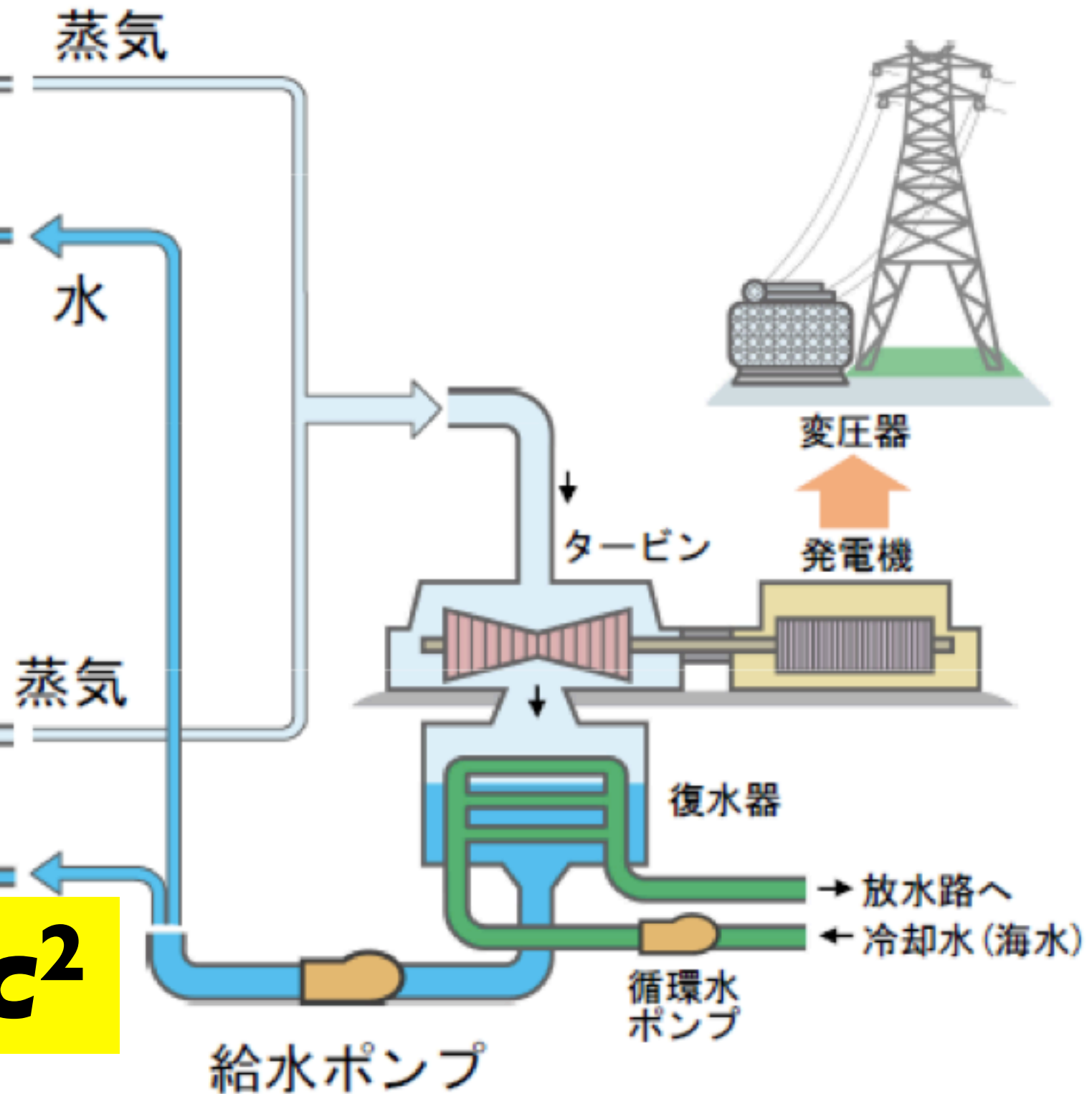
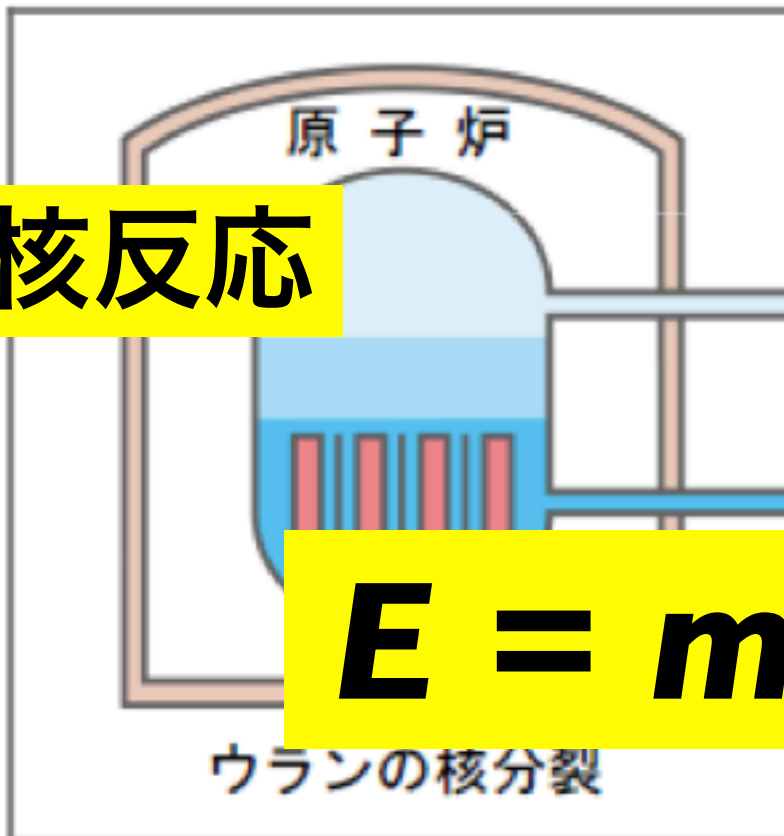
化学的燃焼



原子核反応

原子力

$$E = mc^2$$





# 原子核物理学

【 教養学部物理部会 鳥居 寛之 】





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

Å ( $10^{-10}$  m)

オングストローム

原子物理学

Atomic Physics

eV – keV

数電子ボルト～

キロ電子ボルト

# 錬金術はなぜ失敗したか



原子核  
nucleus

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

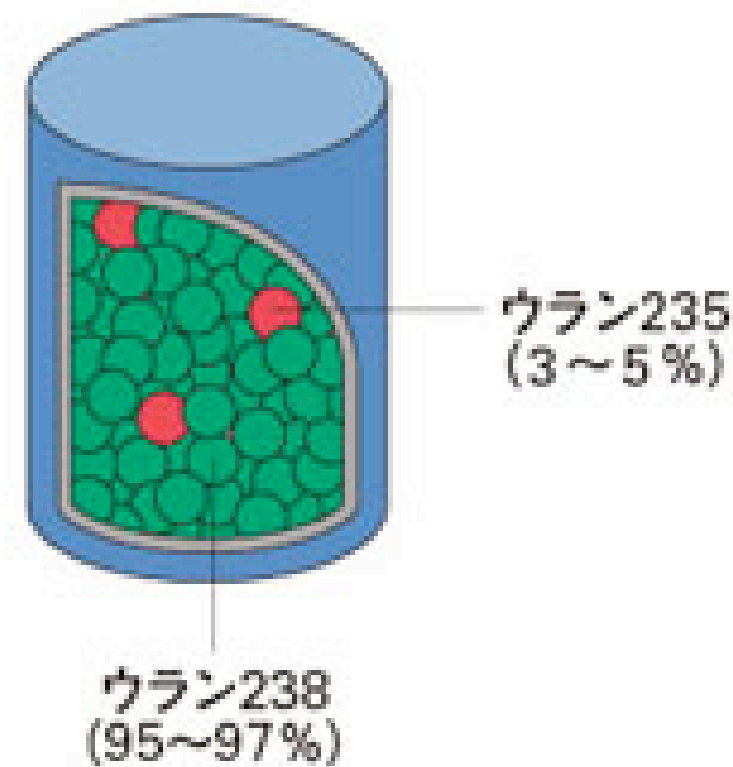
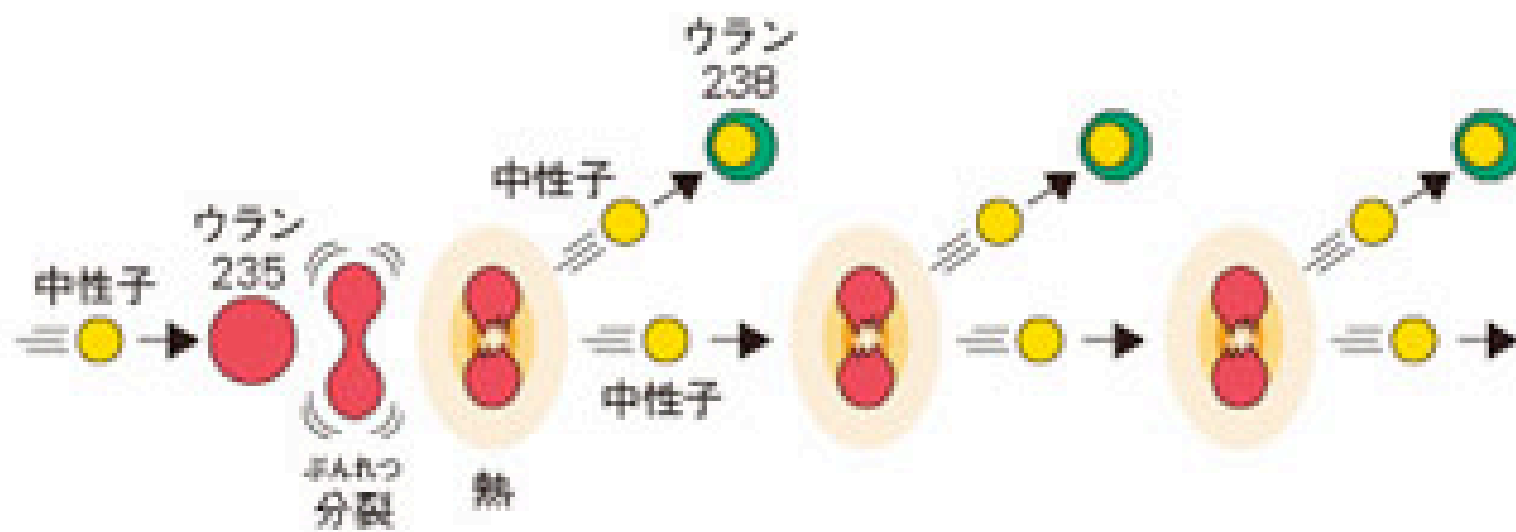
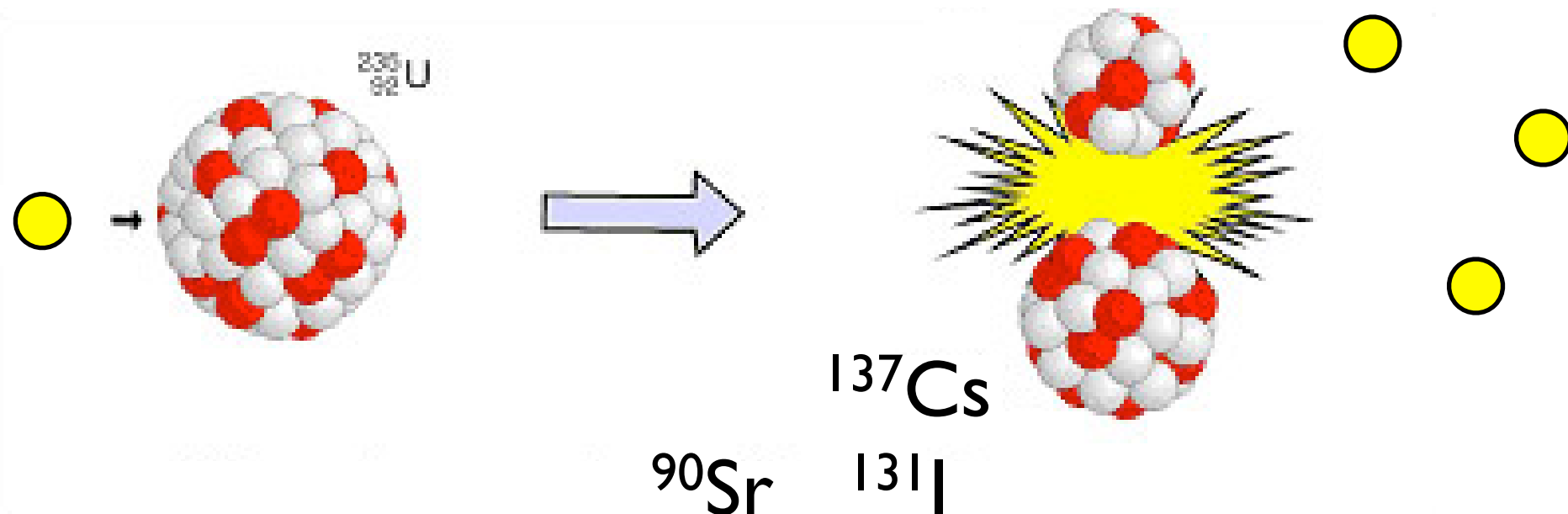
GeV

ギガ電子ボルト



クォーク  
quark

# 原子核分裂反応



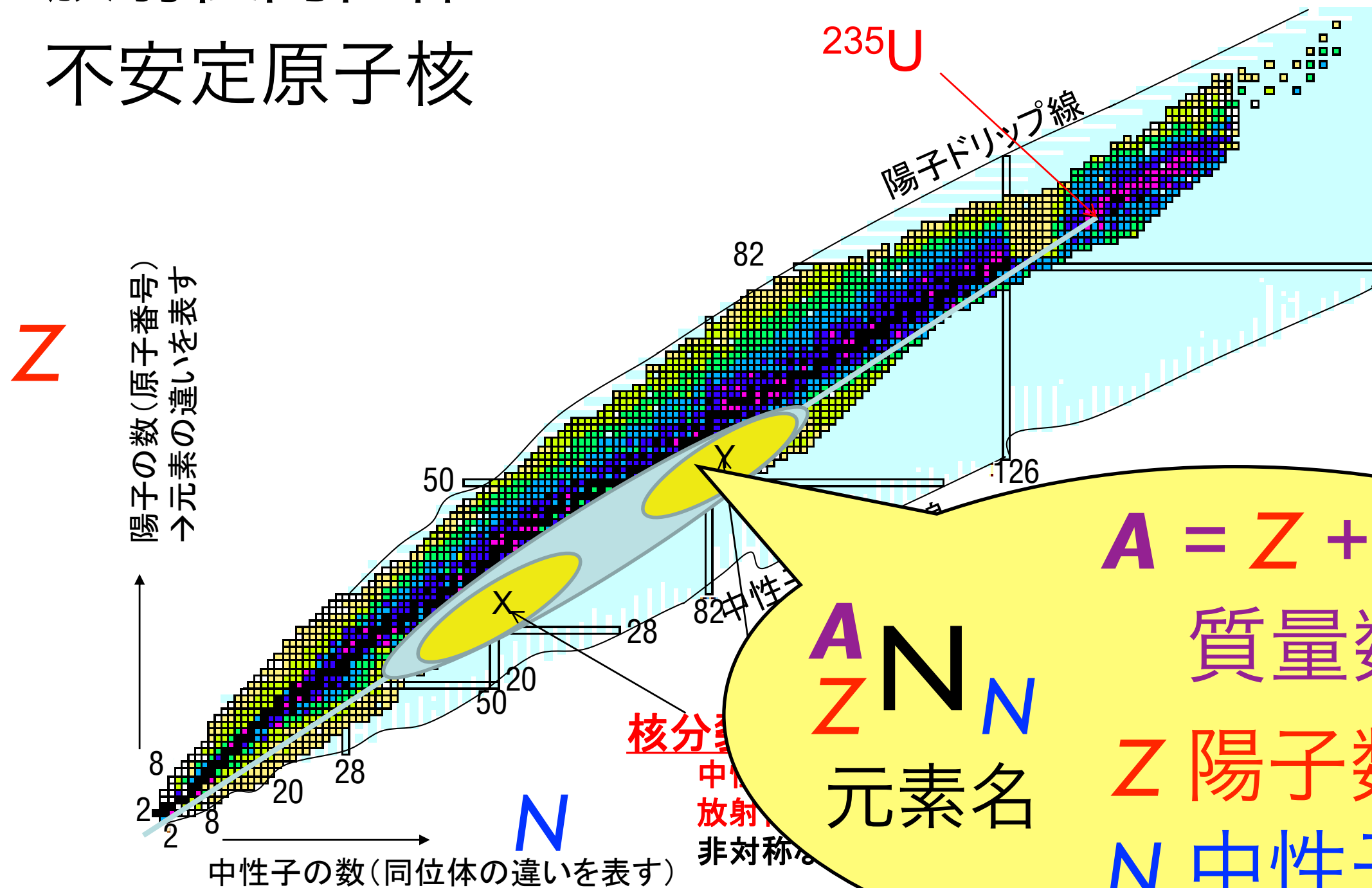
中性子 + ウラン **235** / **238**



# 原子核物理学

## Nuclear Physics

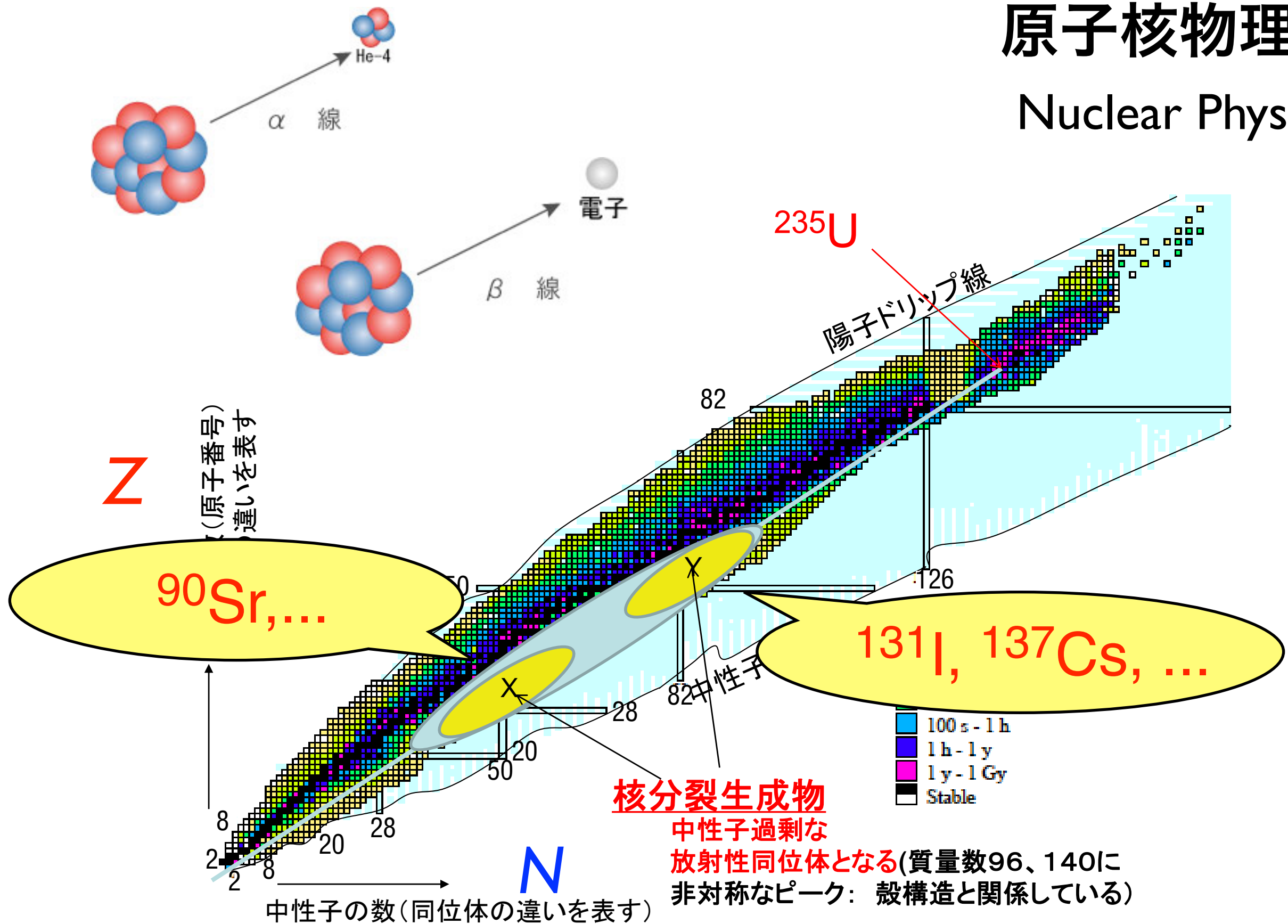
放射性核種  
放射性同位体  
不安定原子核



Nuclear Chart 核図表

# 原子核物理学

## Nuclear Physics



Nuclear Chart 核図表

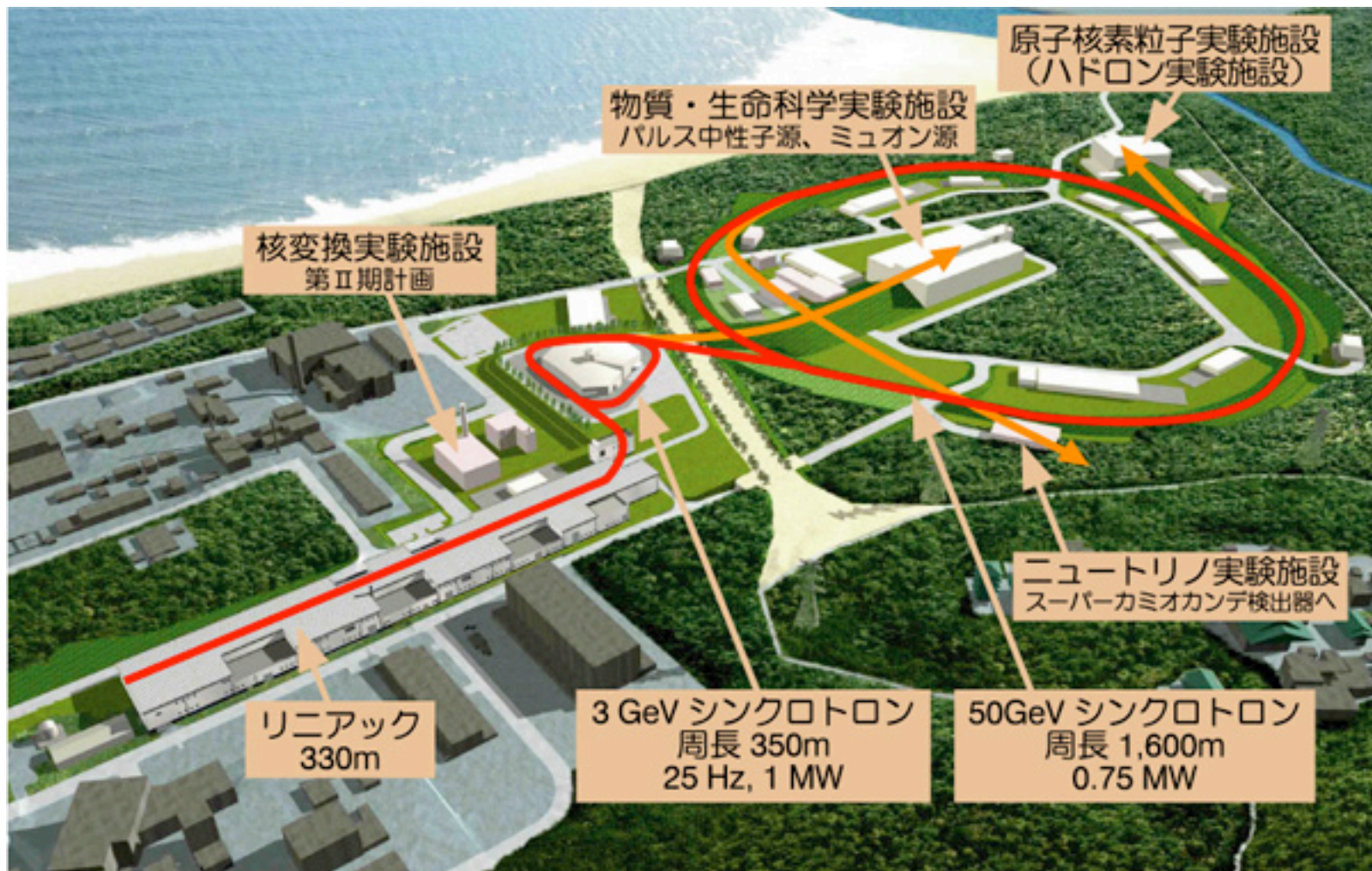


# 加速器科学

～ 高エネルギー物理学（原子核・素粒子） ～

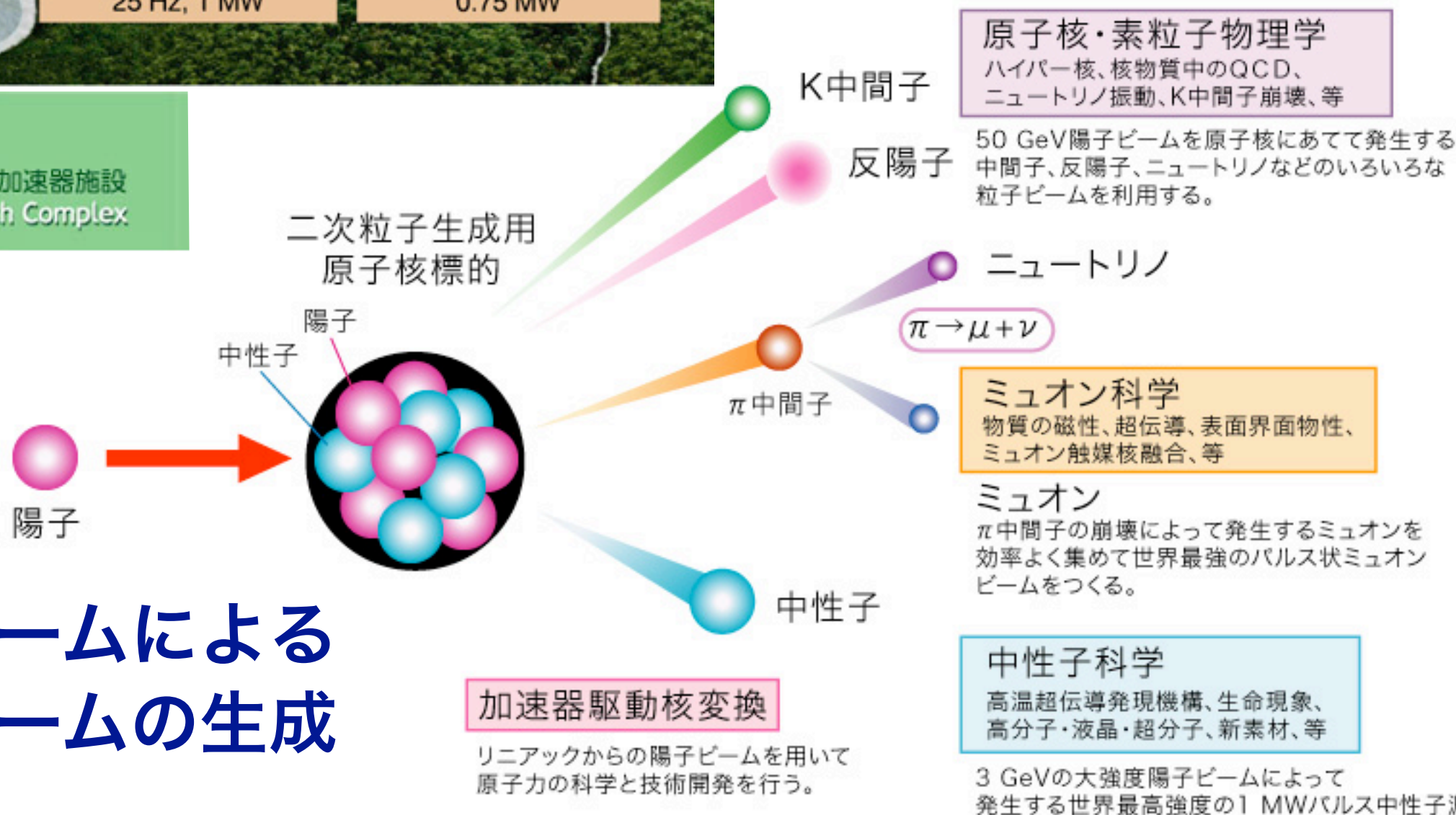
【 教養学部物理部会 鳥居 寛之 】





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

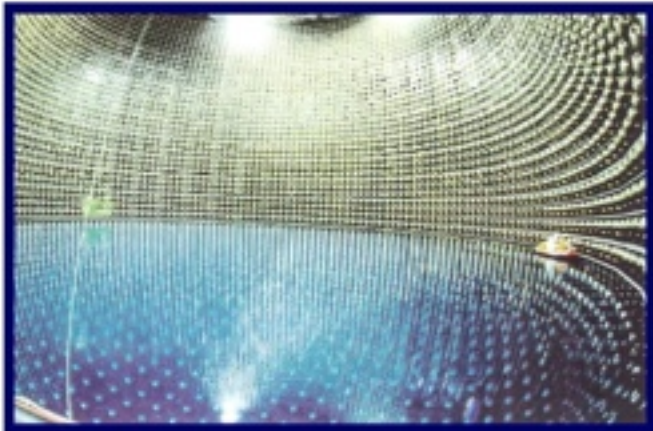
**J-PARC** 大強度陽子加速器施設  
Japan Proton Accelerator Research Complex



# 大強度陽子ビームによる 多様な粒子ビームの生成



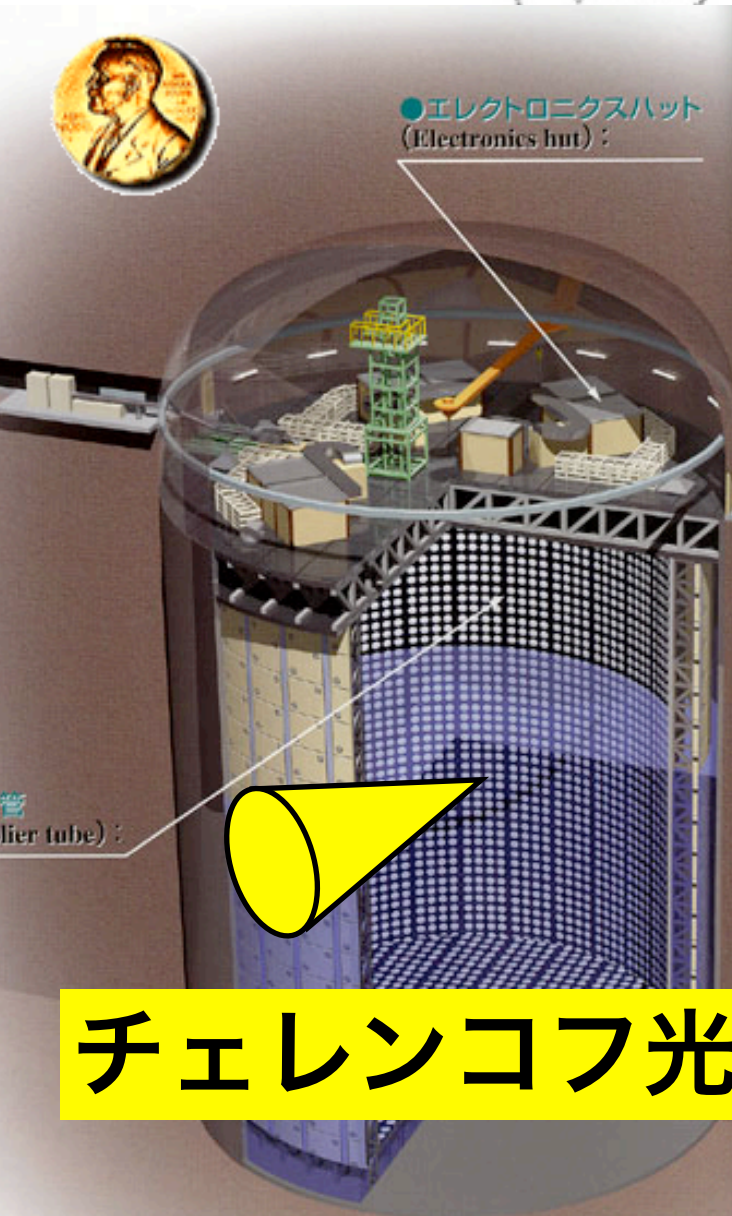
# Super-Kamiokande



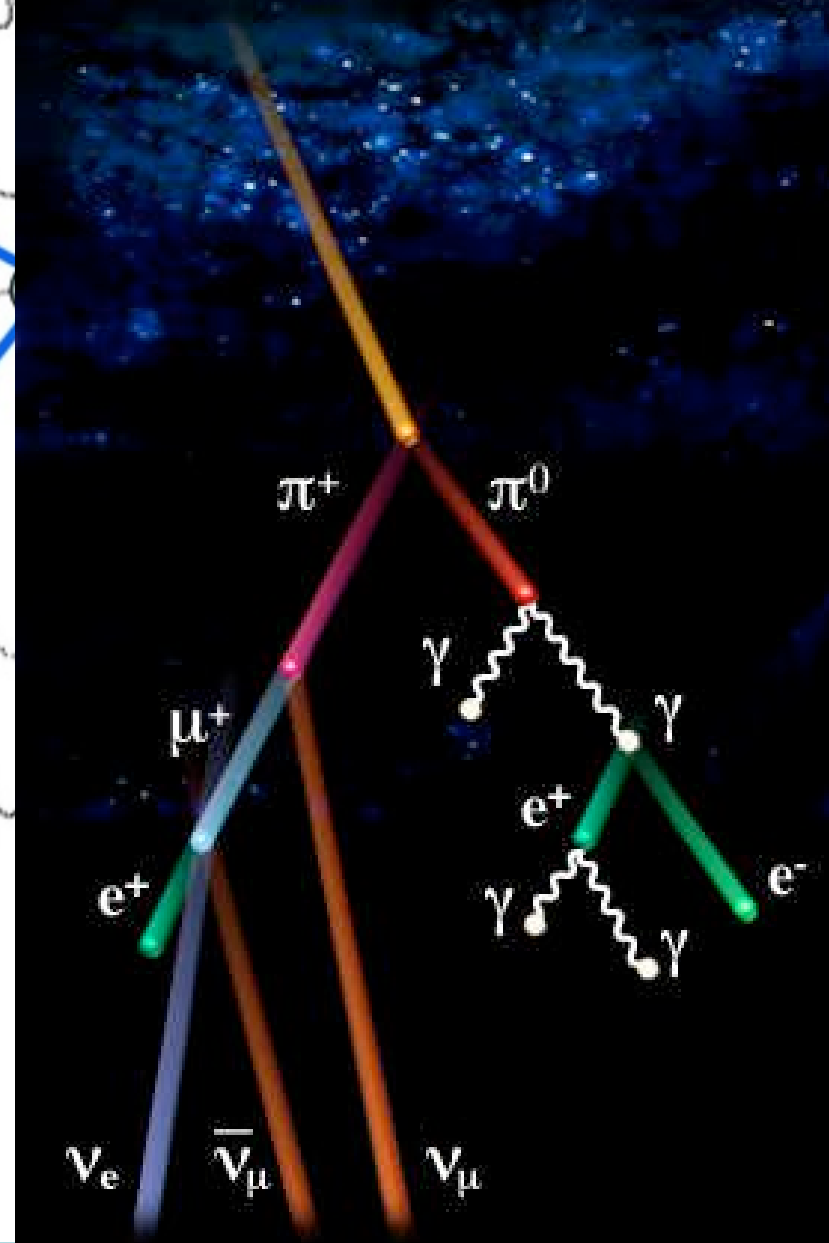
スーパー  
カミオカンデ



●エレクトロニクスハット  
(Electronics hut):



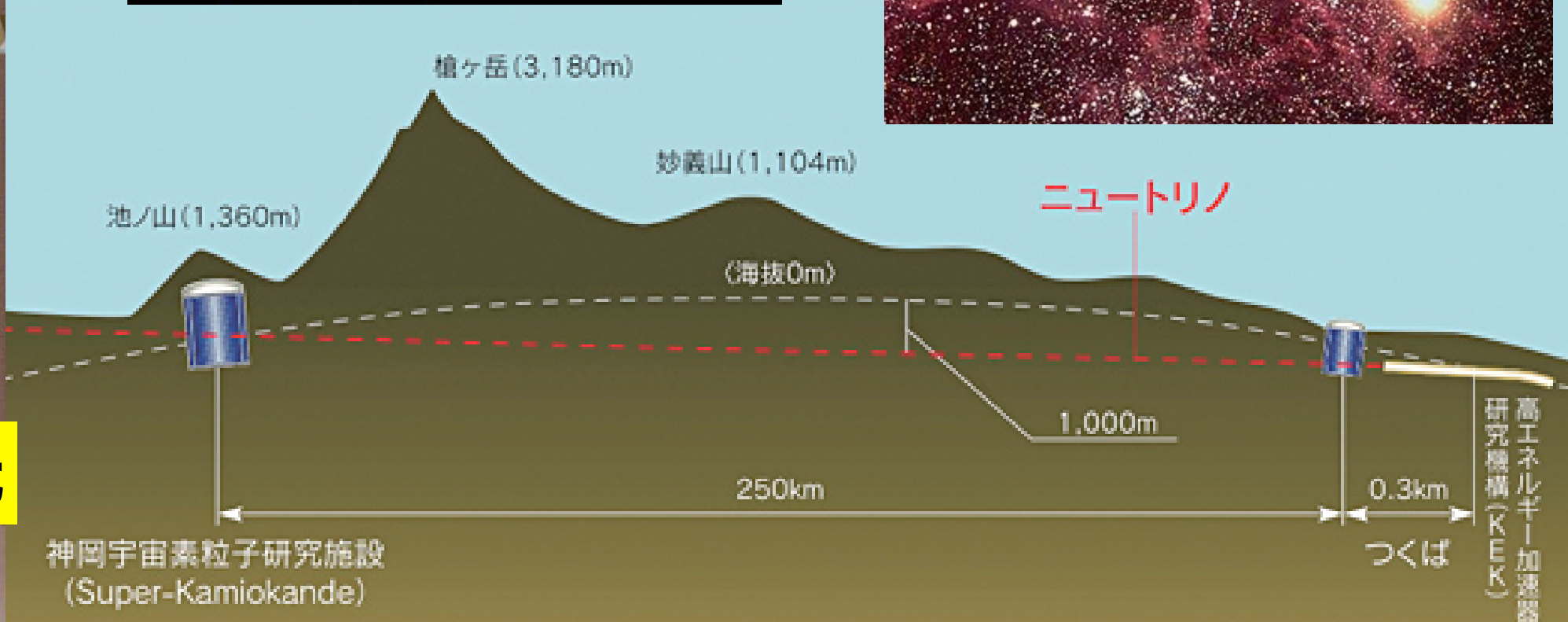
チェレンコフ光



# Neutrino beam



大強度陽子加速器  
ニュートリノビーム

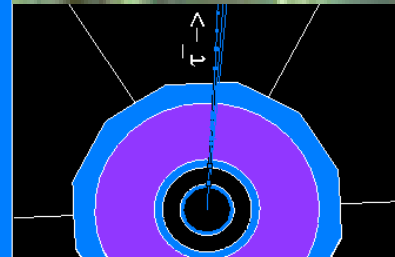
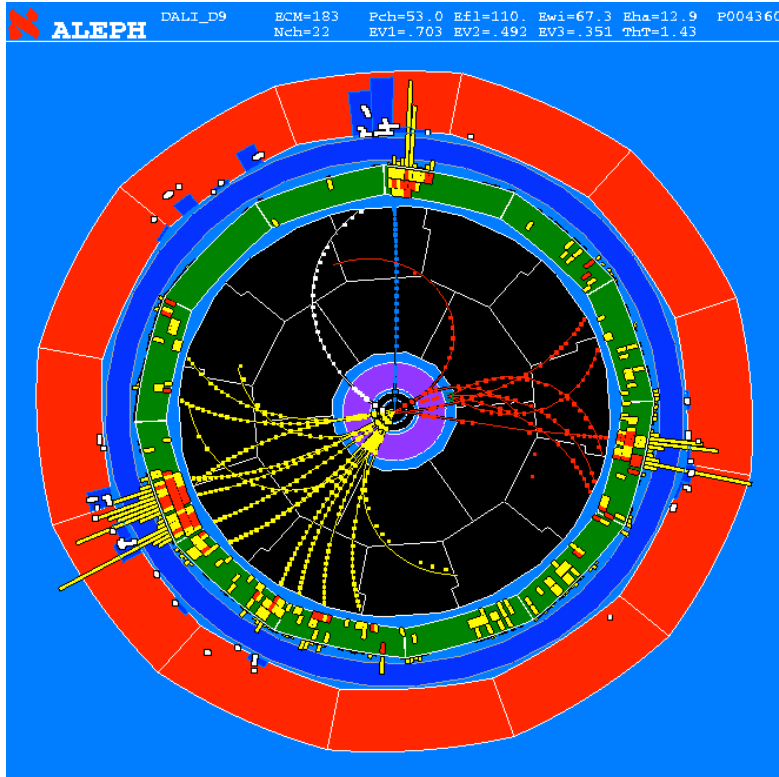
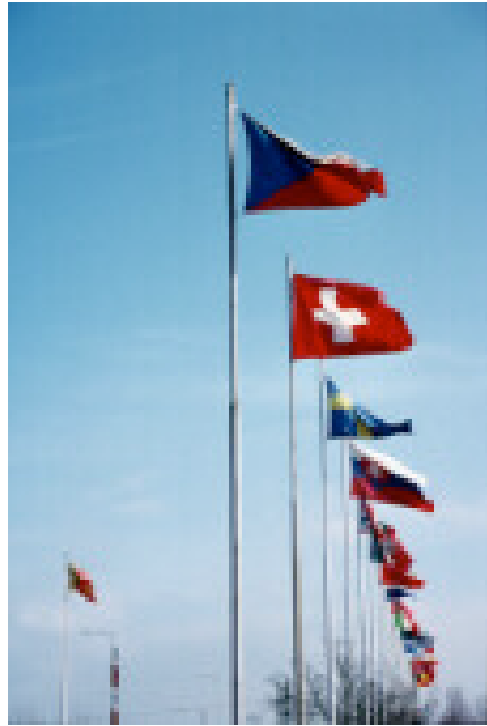






**CERN**    セルン：欧州合同原子核研究機関  
**European Organization for Nuclear Research**  
**Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire**

**Questions:**  
*Why accelerators?*  
*Why so large?*  
*Why circular rings?*



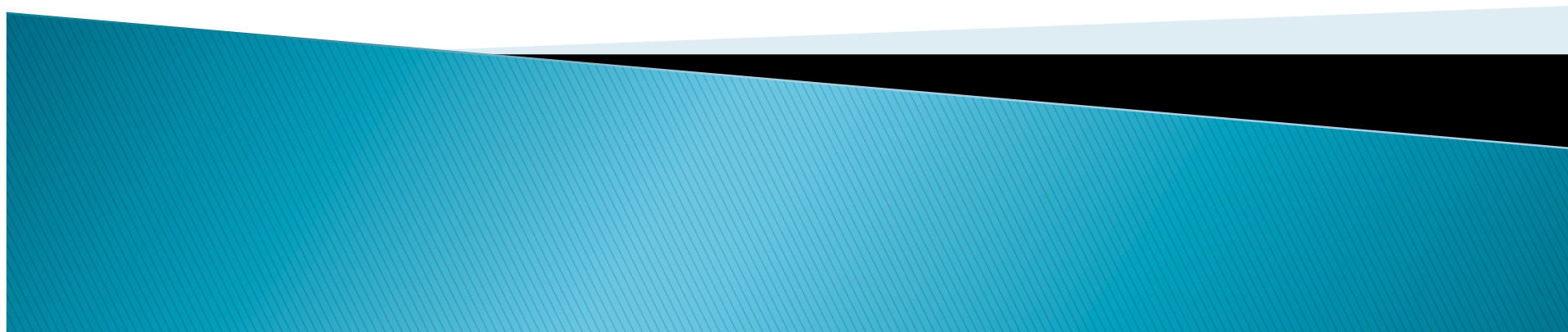


放射線計測学・環境放射化学

【 教養学部化学部会 小豆川 勝見 】

# 放射線を科学的に理解する (化学分野)

担当:小豆川(しょうずがわ)勝見

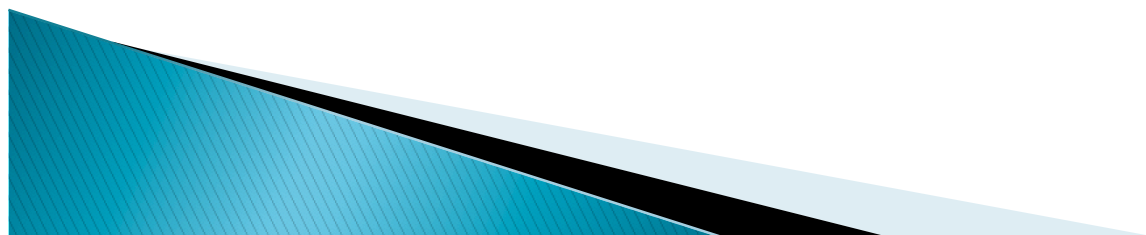




# 放射線を測定する科学 - 環境放射化学(1)

- ▶ 「放射性セシウムが1kgあたり〇〇Bq」、どうやって測っている?
- ▶ 放射線の種類と測定機器の特性
  - ゲルマニウム半導体検出器
  - 液体シンチレーションカウンタ
  - アルファスペクトロメトリ
- ▶ 「放射性セシウム500Bq/kgの暫定基準値」の測定を現場から解説
- ▶ 測定の結果示される値と基準値について議論したい

環境放射能は体温計のように測れるものではない!



# 可搬型の空間線量計



日立アロカ社ウェブサイトより



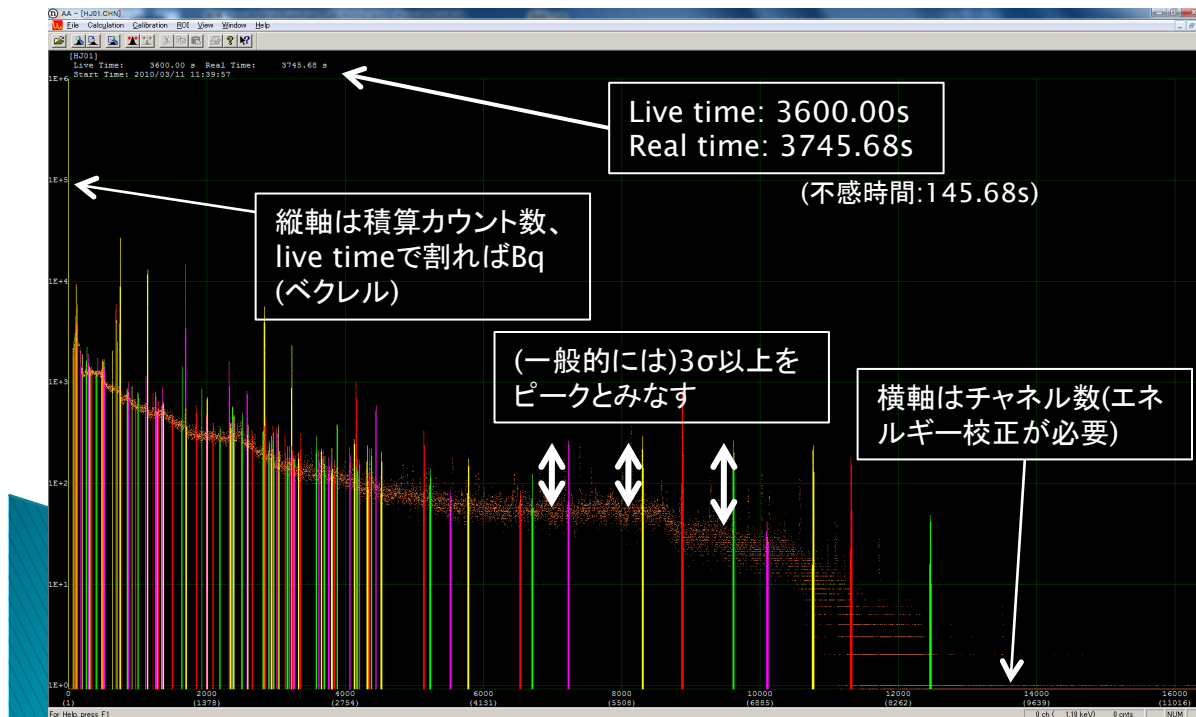
HORIBA社ウェブサイトより

- ▶ それぞれの測定器の特性と示される値の意味は何か。
- ▶ 同じ対象物を測定しているのになぜ値が異なるのか。



# ゲルマニウム半導体検出器

- ▶ どうやってBq単位の濃度を決定する?
- ▶ ガンマスペクトルの読み方
- ▶ 示された値の問題点は何か
  - 放射性セシウムの暫定基準値500Bq/kgの計算方法



ガンマスペクトルの例  
(測定時間1時間)



## 放射線を測定する科学 - 環境放射化学(2)

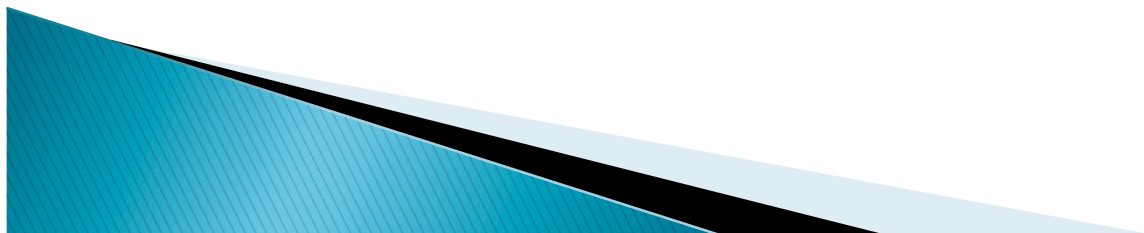
### ▶ 環境放射化学

- 福島第一原発周辺(0-35km圏内)の放射能と核種
- 「ホットスポット」の核種の挙動
- 駒場キャンパスの線量

### ▶ サンプル別の特性(植物、土壌、水...)

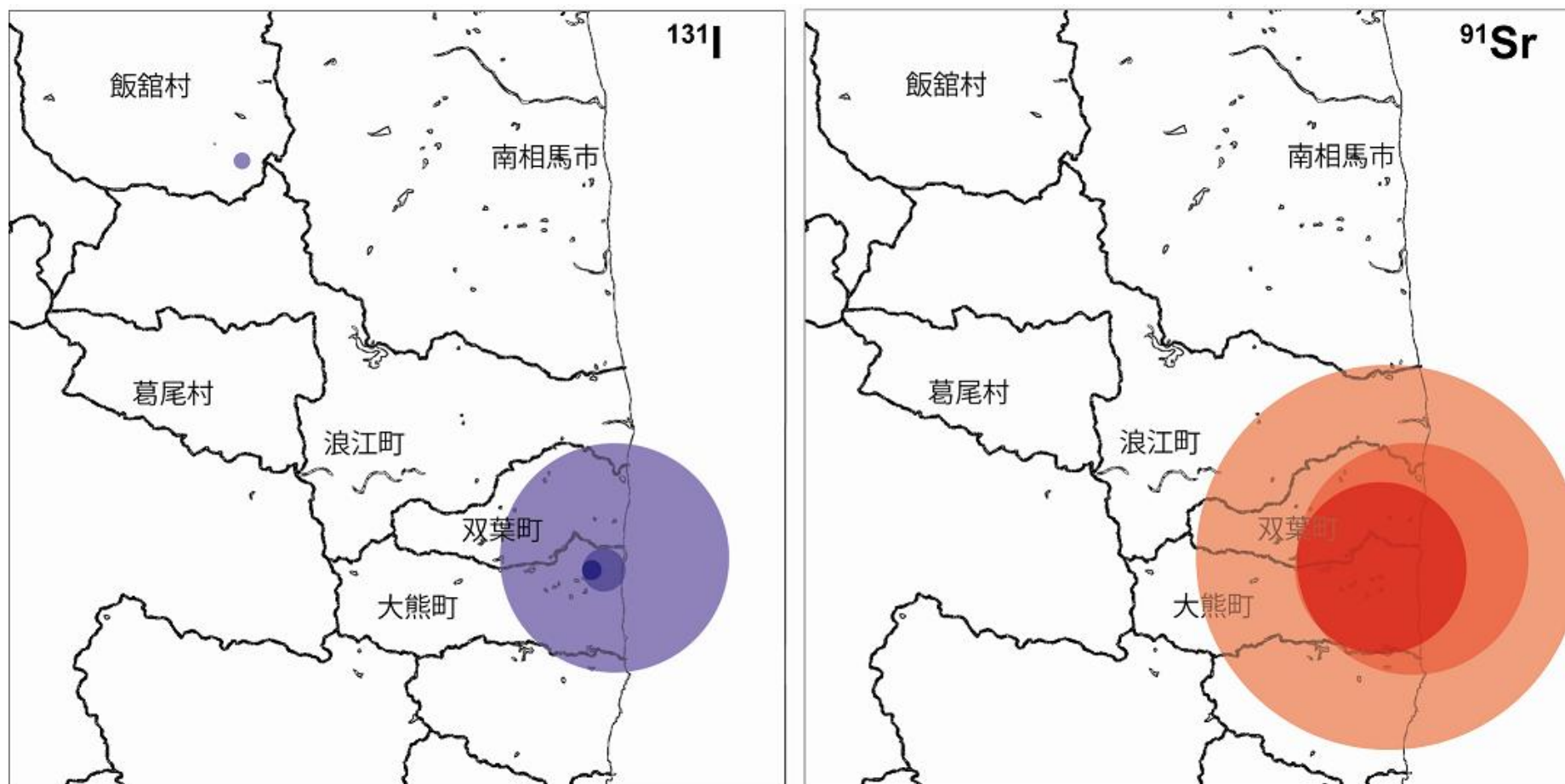
- ▶ 前回の講義で「測定上の問題」を議論した。その結果を踏まえて、環境中試料に含まれる放射性物質の挙動について議論したい。

**サンプル別、地域別の核種の挙動を理解して欲しい**



# 福島第一原子力発電所周辺の放射線量

- ▶  $^{134,137}\text{Cs}$ と $^{131}\text{I}$ ,  $^{91}\text{Sr}$ ( $^{91}\text{Y}$ )との比較を例に





# 放射線を測定する科学 - 環境放射化学(3)

## ▶ 環境放射化学(2)

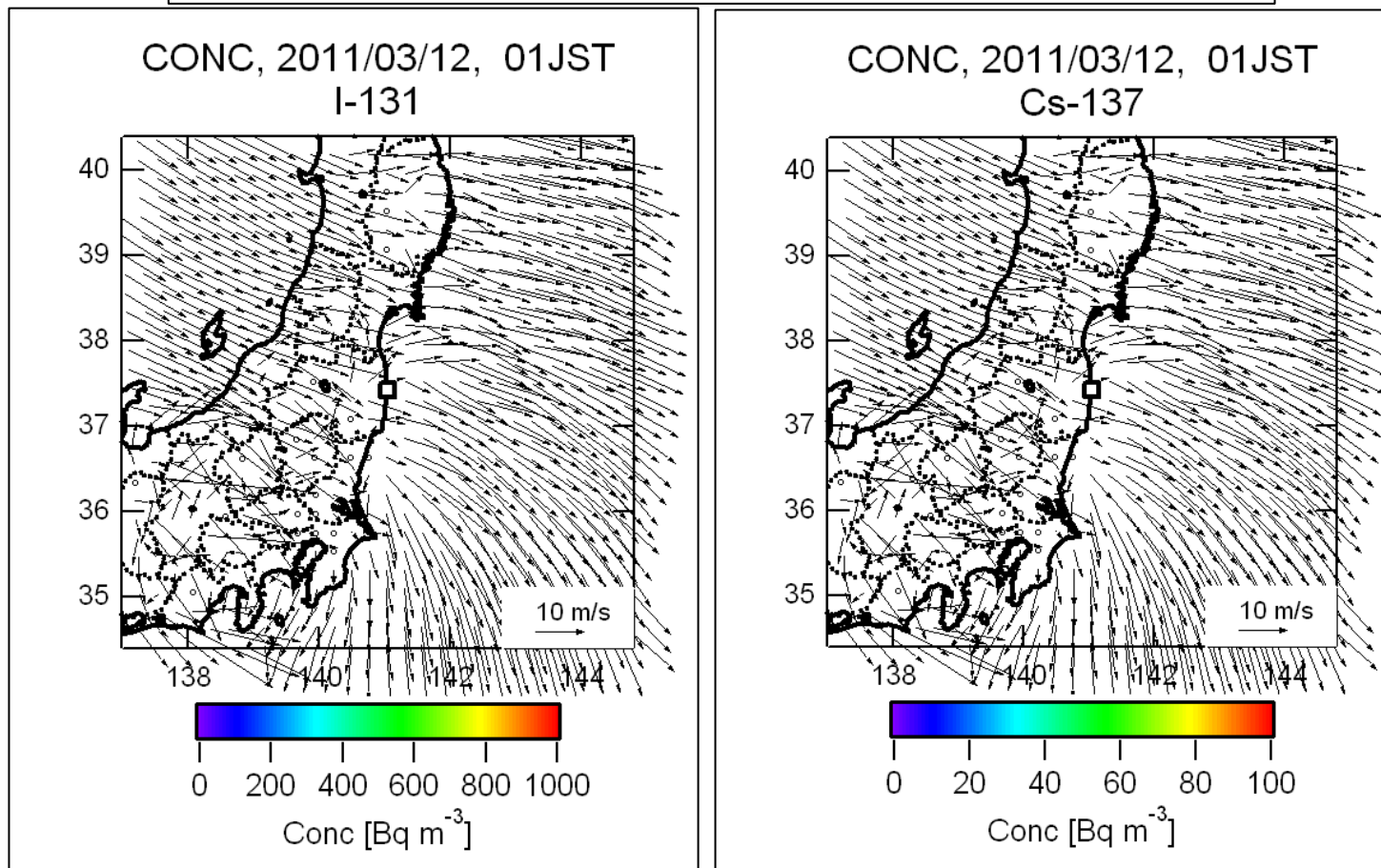
- SPEEDIをはじめとした拡散シミュレーションと実際の環境試料の放射能を各種別に比較
- 陸域/海域のシミュレーション
- モニタリングポストの空間線量値の推移

今後の放射線量の推移を議論したい



# 拡散シミュレーションと実際に観測された放射能の差違

2011年8月25日付 国立環境研究所 報道発表資料

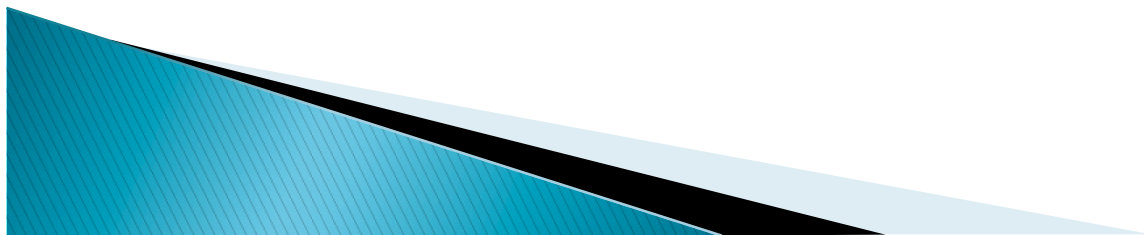


- ▶ 実測値との差違を議論したい



## 化学分野では...

- ▶ 講義のポイントは3点。
- ▶ 「測り方」「現場の線量」「今後の推移」
- ▶ 福島第一原子力発電所正門前で採取された土壌、植物片をはじめ、多くの地点で採取してきたサンプルを用意します。
- ▶ 測定の現場から、「天然の放射能」から「原発由来の放射能」を詳しく講義します。

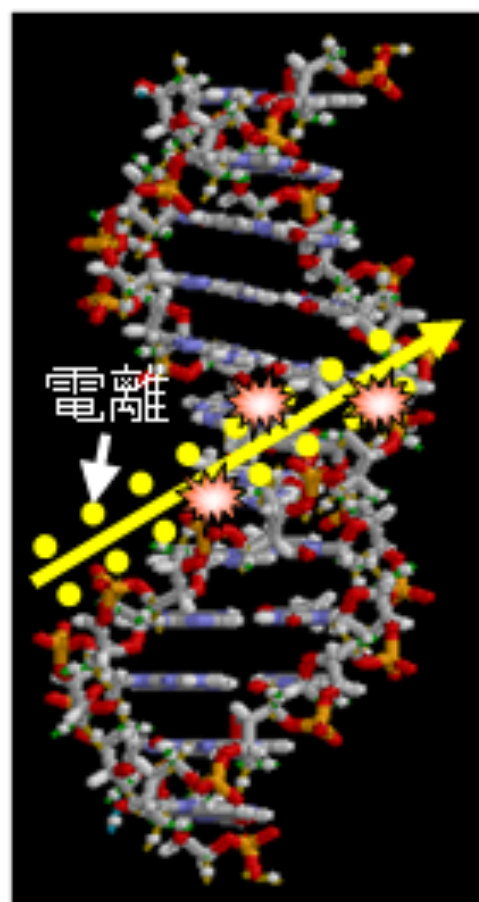


# 放射線と生命科学

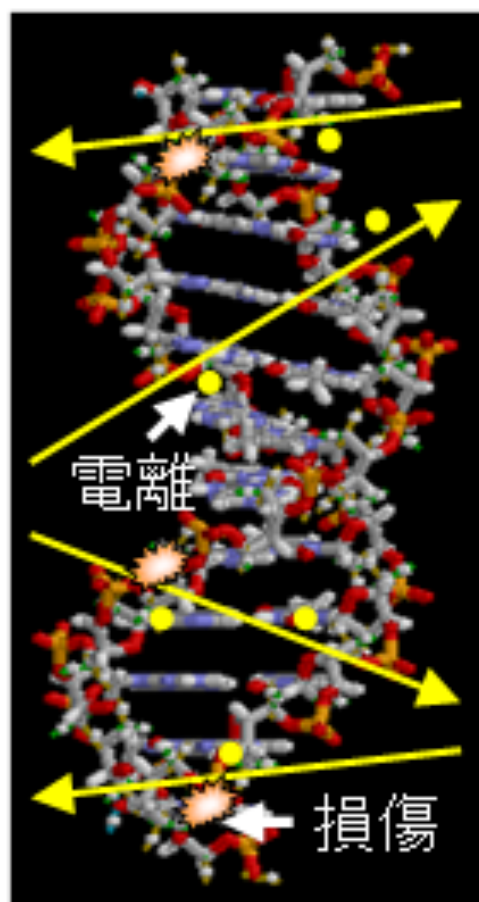
【 教養教育高度化機構  
教養学部生物部会 渡邊 雄一郎 】



# 放射線による DNA 損傷



重イオン



電子

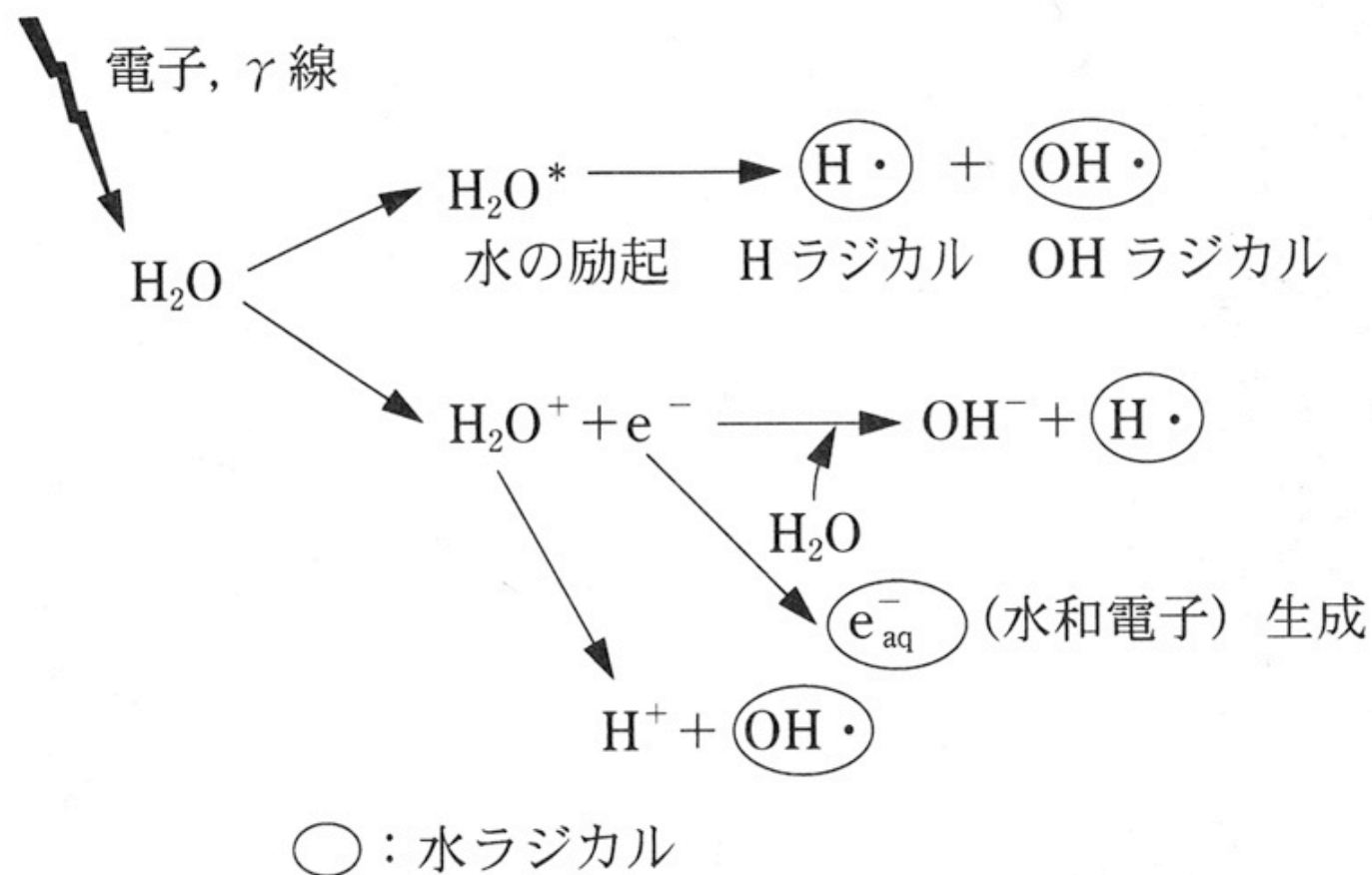


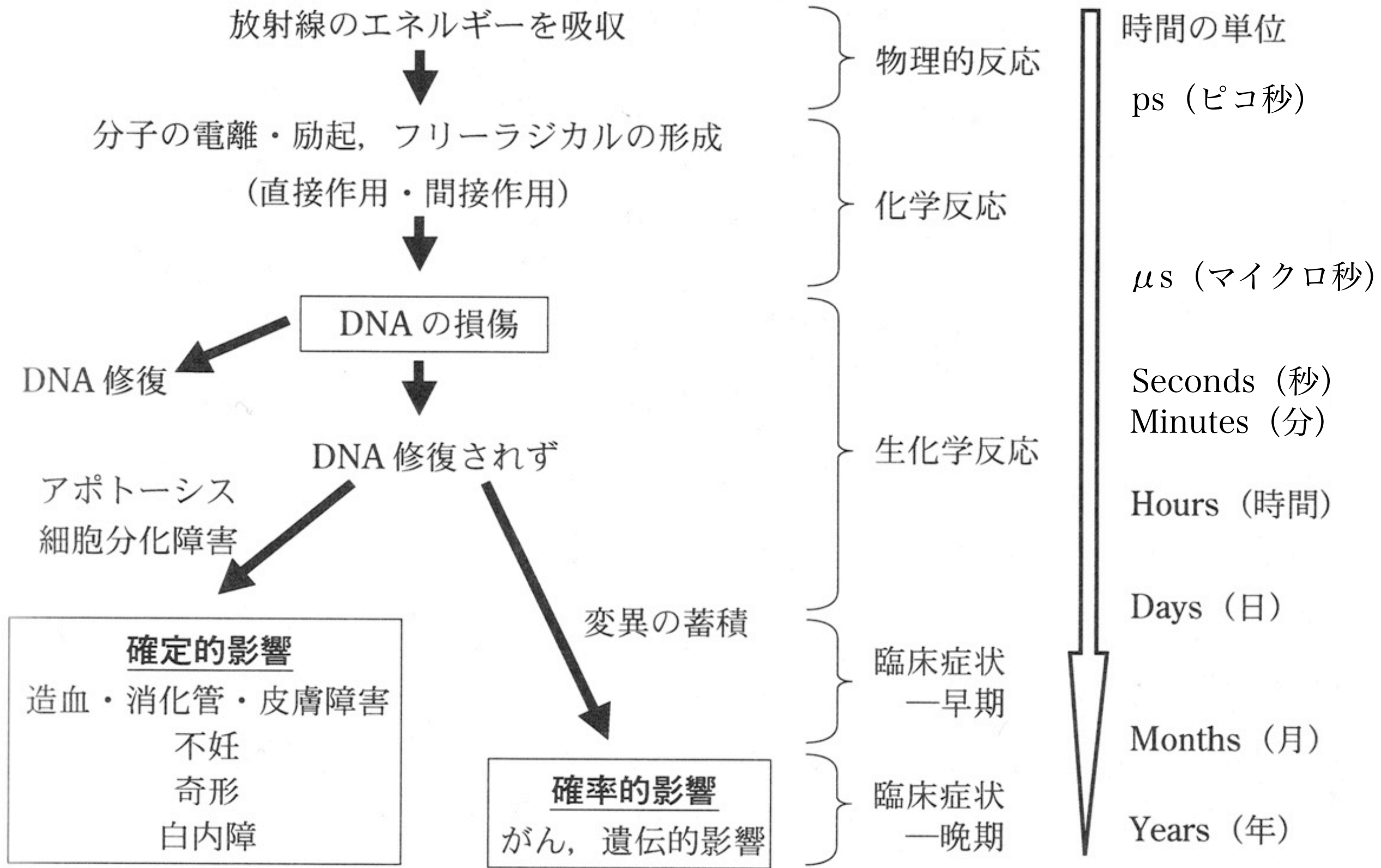
図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

## 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**

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**



放射線被ばく後に起こる生体反応の経時的変化

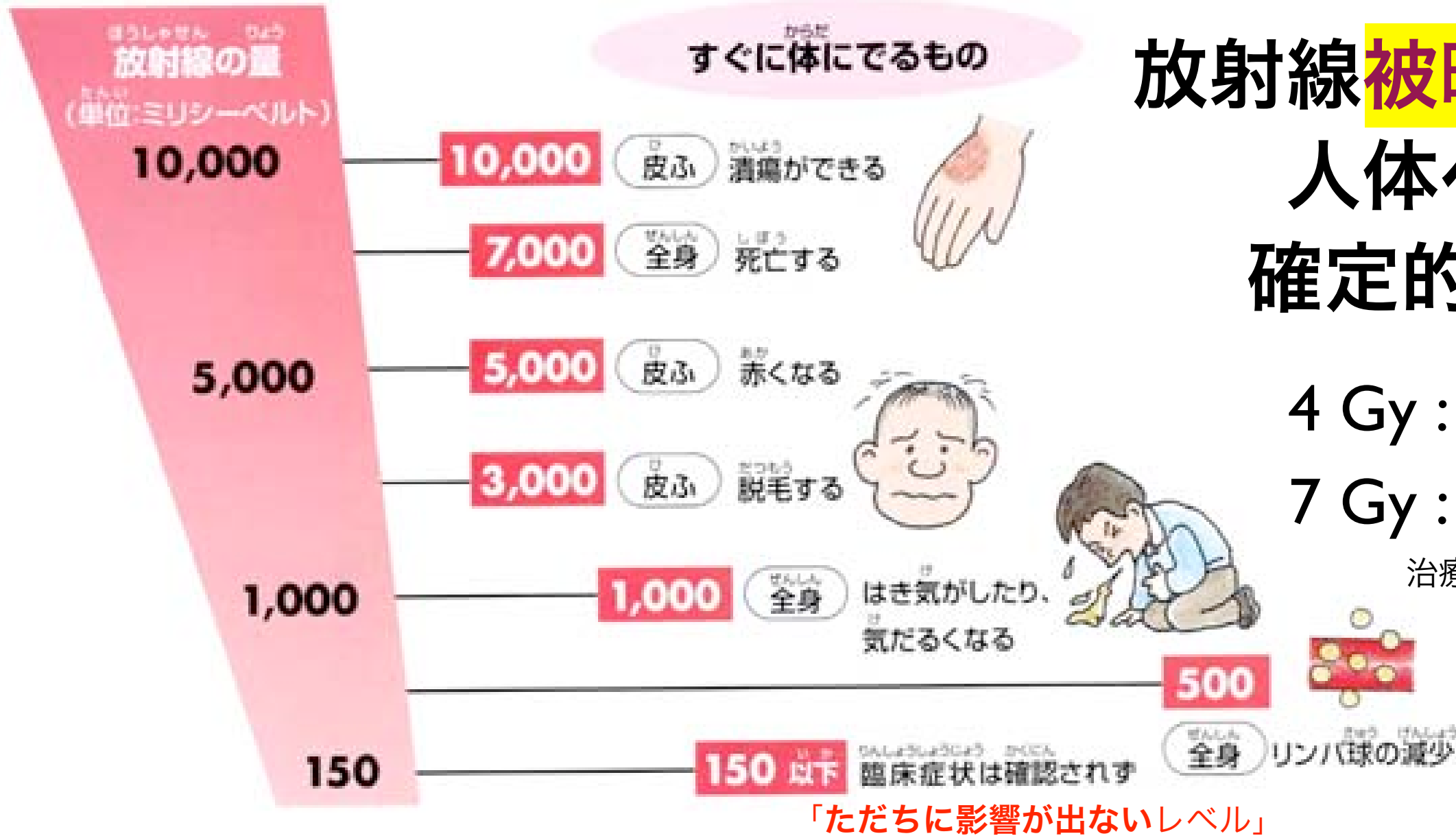


# 放射線被曝による 人体への 確定的影響

4 Gy : 半数死亡  
7 Gy : 全員死亡

治療により助かることも。

すぐに体にできるもの



## JCO 事故 チェルノブイリの 消防隊員

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







放射線  
radiation

## 広島原子爆弾から 放出された放射線

Radiation Released from  
the Hiroshima-type A-bomb

広島原子爆弾の原料には、ウランが使用されてきました。爆弾に詰められていたウラン約50キログラムのうち、わずか約1キログラムが核分裂しました。爆発により発生したエネルギーの約15%が放射線でした。放射線は、原子爆弾の核分裂と同時に、瞬間的に放出されました。この放射線を「初期放射線」といいます。また爆発後、当分の間、地上には大量の「残留放射線」がありました。

The radioactive material used in the Hiroshima bomb was uranium. Of the approximately 50 kilograms of uranium packed into the bomb, only about one kilogram underwent fission. About 15% of the energy released was in the form of radiation. The radiation released the instant the nuclear fission took place is called "initial radiation." The large amount of radiation remaining on the surface for some time after the explosion is called "residual radiation."

放射線  
radiation

放射線  
radiation

radiation

Nu

When  
uranium  
split  
largely  
etc.)  
other  
nuclear  
reaction  
and  
atomic  
bomb





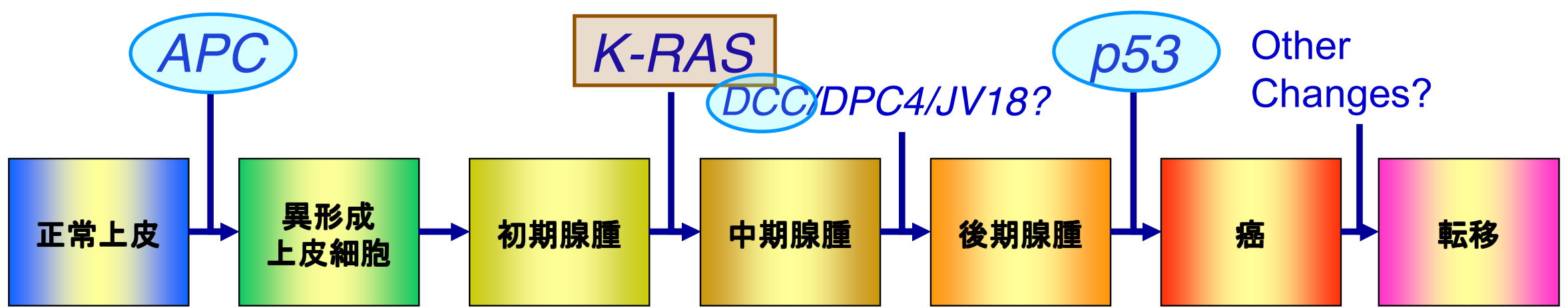
### Effects of Residual Radiation

Residual radiation had devastating effects on human bodies. However, this residual radiation faded rapidly. A week later, it was about one millionth of the original level. Today, residual radiation from the Hiroshima A-bombing is almost gone.

### 残留放射線の影響

残留放射線は人体に強く影響を及ぼしました。その後、残留放射線は急速に減少し、1週間後には約100万分の1になりました。現在では、原子爆弾の爆発により生じた残留放射線が人体に及ぼす影響は全くありません。





## 多段階発がん仮説

がん = 細胞の異常増加

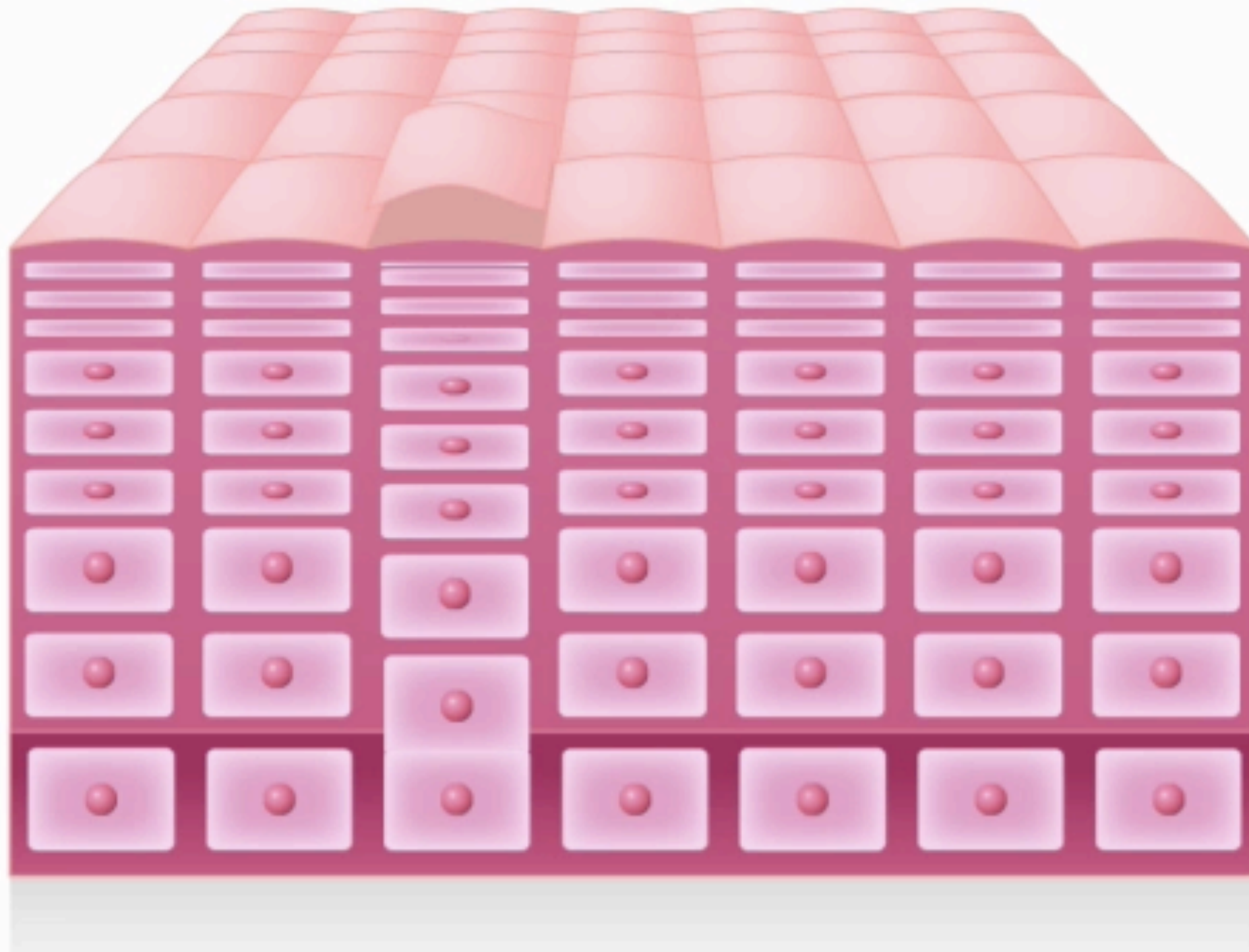
がん遺伝子

がん抑制遺伝子

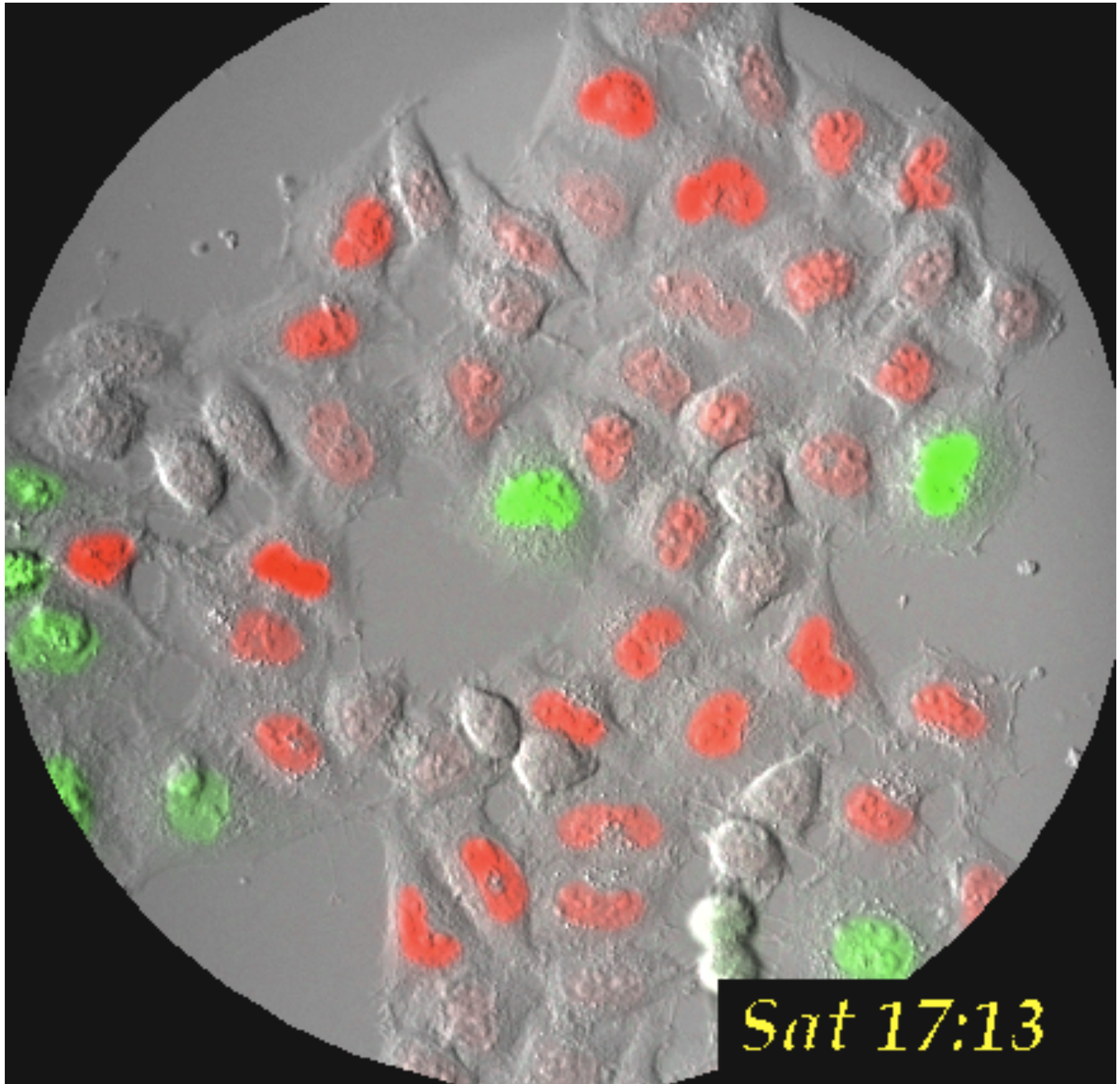
ミスマッチ  
修復の欠陥

ゲノム不安定性の誘導

- 放射線による直接電離、および水のイオン化で生じるラジカルはたしかに DNA に損傷を与える（おそらく線量に比例）。なかでも二本鎖切断が特に問題となる（高LETを与えるα線、中性子線は生物学的効果が大い）。
- しかしそもそも DNA 損傷は化学物質など放射線以外の要因によっても、また普段の DNA 複製の際の複製エラーでも生じている。
- ヒトを含む生物の細胞には、DNA 損傷に対する多種多様な修復機能が備わっている。
- それら DNA 修復遺伝子自体が損傷を受けると修復機能が低下するが、DNA 損傷が残ってもすぐガンになるのではなく、細胞がガン化するのは多段階のガン遺伝子（アポトーシス(細胞死)に関与する p53 ガン抑制遺伝子を含む）に次々に突然変異が生じた場合。
- 一方で、DNA 修復遺伝子に異常のある病気の人、通常の人よりはるかにガンにかかりやすい。（色素性乾皮症、運動失調性毛細管拡張症、ナイミーヘン切断症候群など）







*Sat 17:13*

# 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

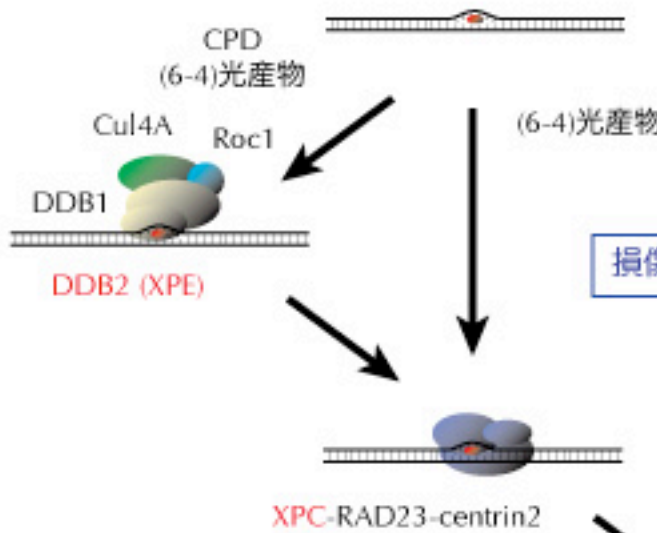
線質係数  $Q$  放射線防護のための取り決め

放射線荷重係数  $w_R$  放射線防護のための取り決め

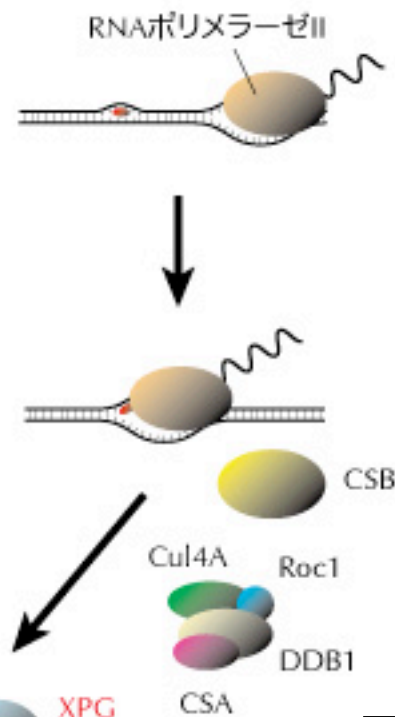




## ゲノム全体を対象とする修復 (GGR)



## 転写と共役した修復 (TCR)

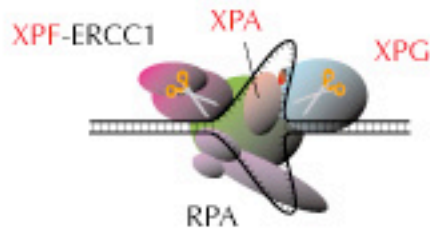


損傷の認識

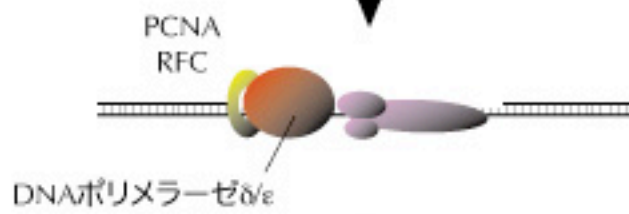
TFIIHによるDNA二重鎖の巻き戻し

TFIIH (XPB, XPD, TTDA)

損傷両側における一本鎖切断



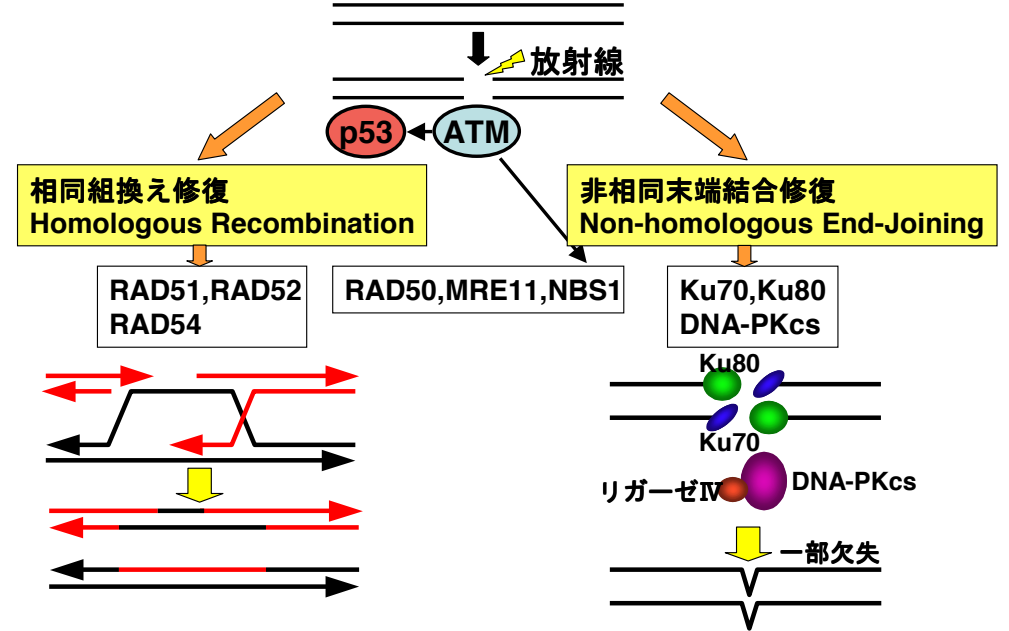
DNA修復合成



DNA鎖の再連結

DNAリガーゼI

## DNA二本鎖切断の修復経路



## ゲノムのキズを修復するシステム

外因性障害因子

化学物質  
紫外線  
放射線  
その他

内因性障害因子

活性酸素  
代謝産物  
その他



ゲノム修復装置

除去修復\*  
相同組み換え修復  
ミスマッチ修復  
末端結合修復  
損傷乗り越え修復  
その他

正しい修復

誤修復

突然変異  
がん

アポトーシス

(\*) { 塩基除去修復  
ヌクレオチド除去修復

食の安全、を科学する。



[ホーム](#) [サイトマップ](#)

[English page](#)

サイト内検索

検索

文字サイズ拡大表示 [A→A](#) [-](#) [=](#) [+](#)



[FSC Views](#)

[食品健康影響評価  
\(リスク評価\)](#)

[意見・情報の交換  
\(リスクコミュニケーション\)](#)

[会議開催予定と  
委員会の実績](#)

[食品安全委員会とは](#)

[リンク集](#)

[アーカイブ](#)

[ホーム](#) > [放射性物質の食品健康影響評価の状況について](#)

## 放射性物質の食品健康影響評価の状況について

### 放射性物質の食品健康影響評価の状況について

#### [食品安全委員会委員長からのメッセージ\[PDF\]](#)

※ 放射性物質の食品健康影響評価については、7月26日の第9回「放射性物質の食品健康影響評価に関するワーキンググループ」において、評価書案がとりまとめられました。なお、第9回の議論の中で出された修正については、座長へ一任となり、同日の食品安全委員会へ報告されました。

既に修正は完了し、現在(7月29日～8月27日)、国民の皆様からの御意見・情報の募集(パブリックコメント)を行っております。

[http://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc1\\_risk\\_radio\\_230729.html](http://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc1_risk_radio_230729.html)

今後、パブリックコメントを経て、食品安全委員会において評価書案を確定し、厚生労働省へ評価結果を通知する予定です。

[「食品中に含まれる放射性物質の食品健康影響評価\(案\)」\[PDF:1,407KB\]](#)



# 植物栄養・土壤肥料学

【農学部応用生命科学 藤原 徹 先生】



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

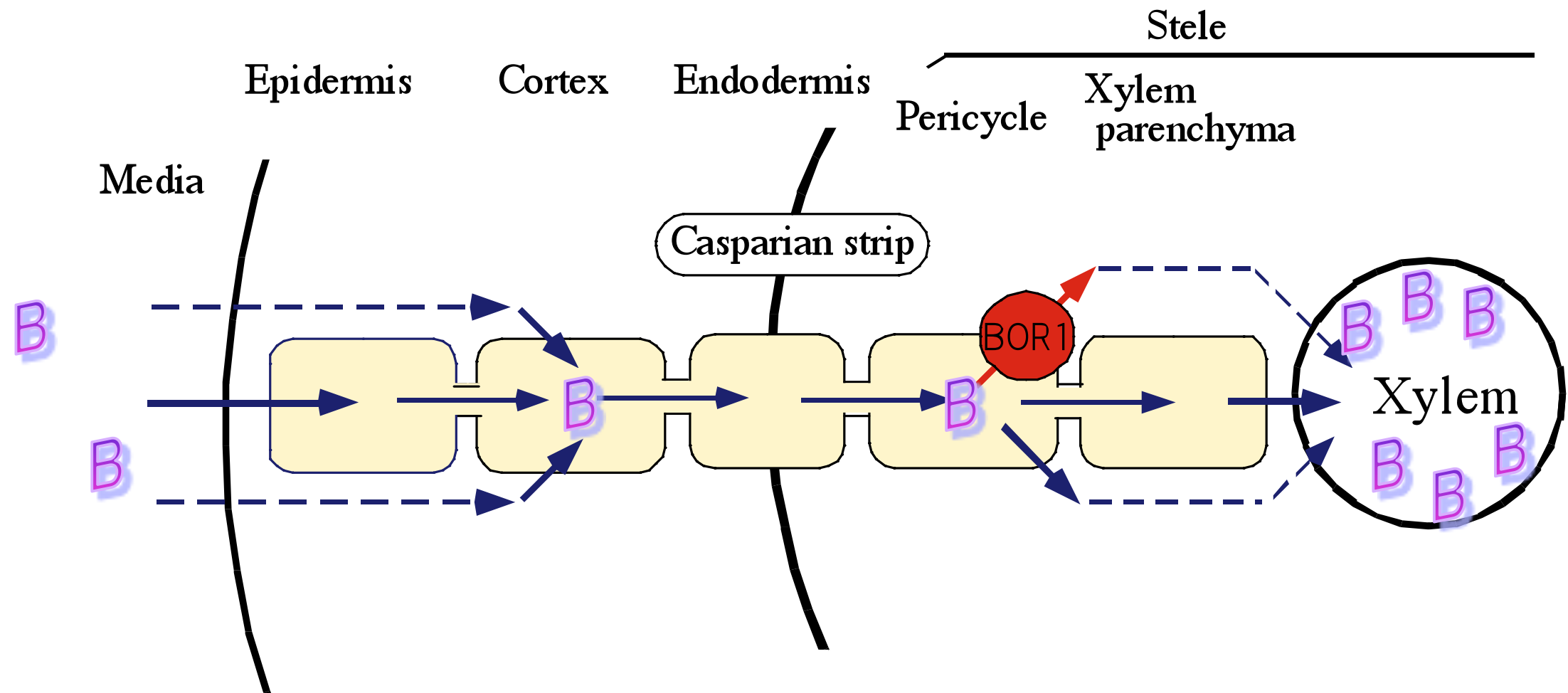


植物の生育に必須な元素は17種類。

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	L	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	A	104 Unq	105 Unp	106 Unh	107 Uns	108 Uno	109 Une	110 Uun									

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

# Model; B transport in *Arabidopsis* root



BOR1 は生物界で初めて同定された  
ホウ素トランスポーター

(Takano et al, Nature 420, 337-340, 2002)



植物の生育に必須な元素は17種類。

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	L	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	A	104 Unq	105 Unp	106 Unh	107 Uns	108 Uno	109 Une	110 Uun									

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

# 放射線医療

【 医学部附属病院 中川 恵一 先生 】



# PET (Positron Emission Tomography)

## 陽電子断層撮影法

### 放射線医療：診断

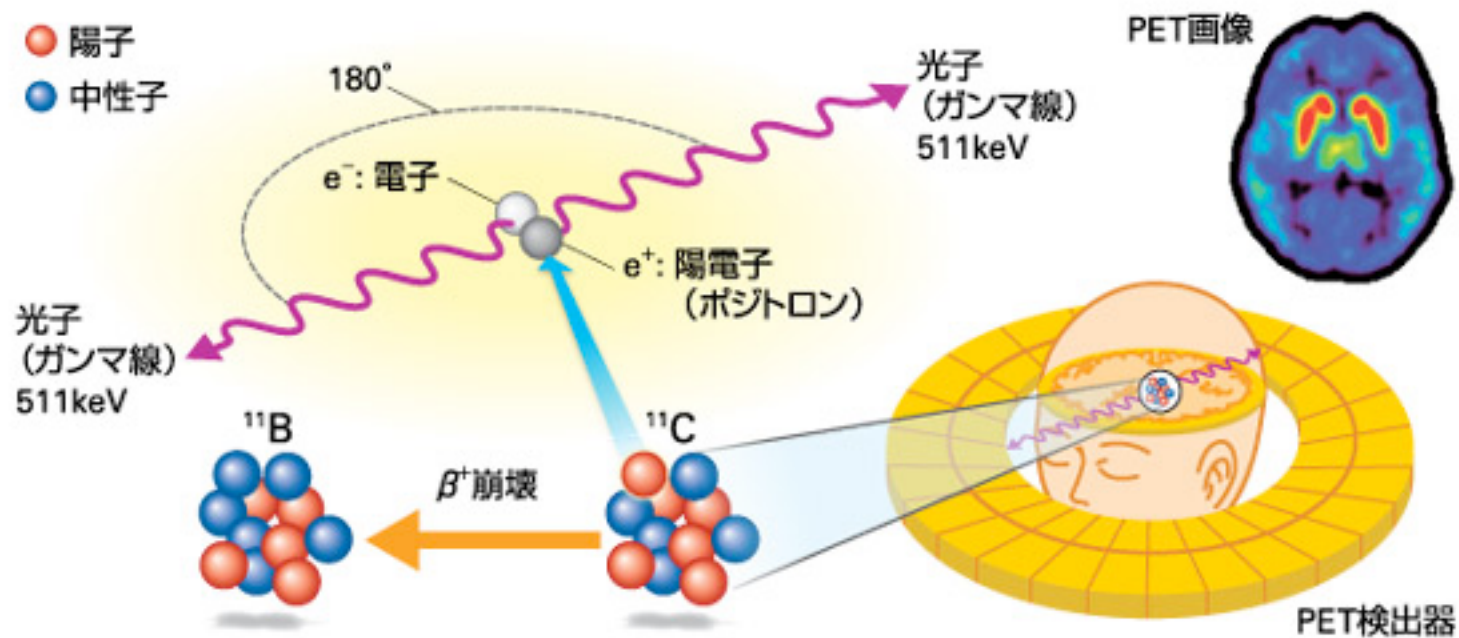
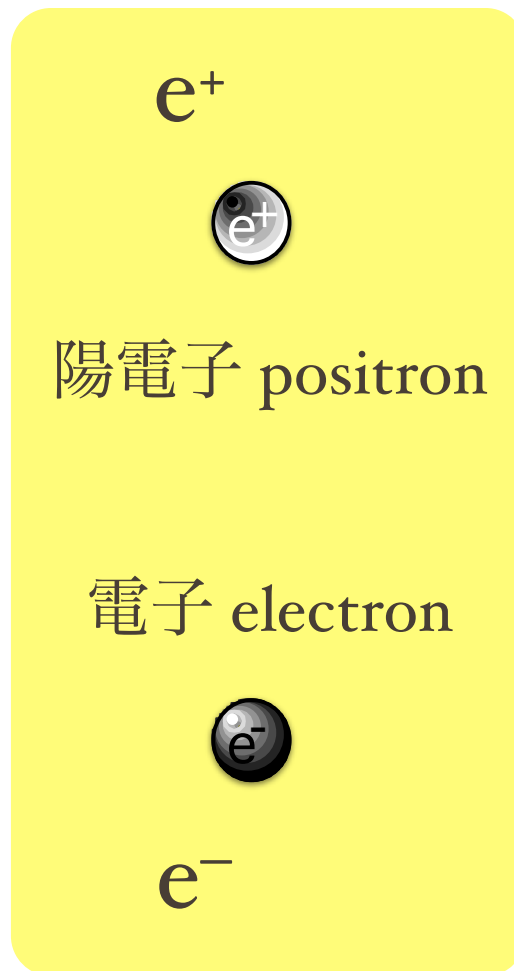
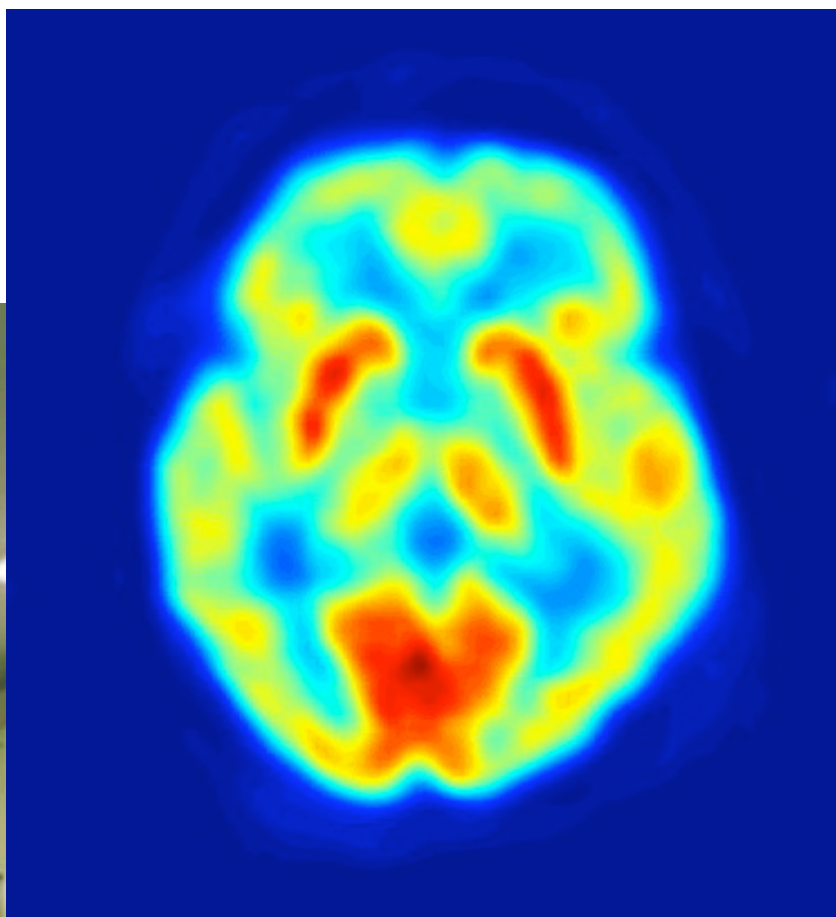


図1 PET (陽電子放射断層画像撮影法) の仕組み

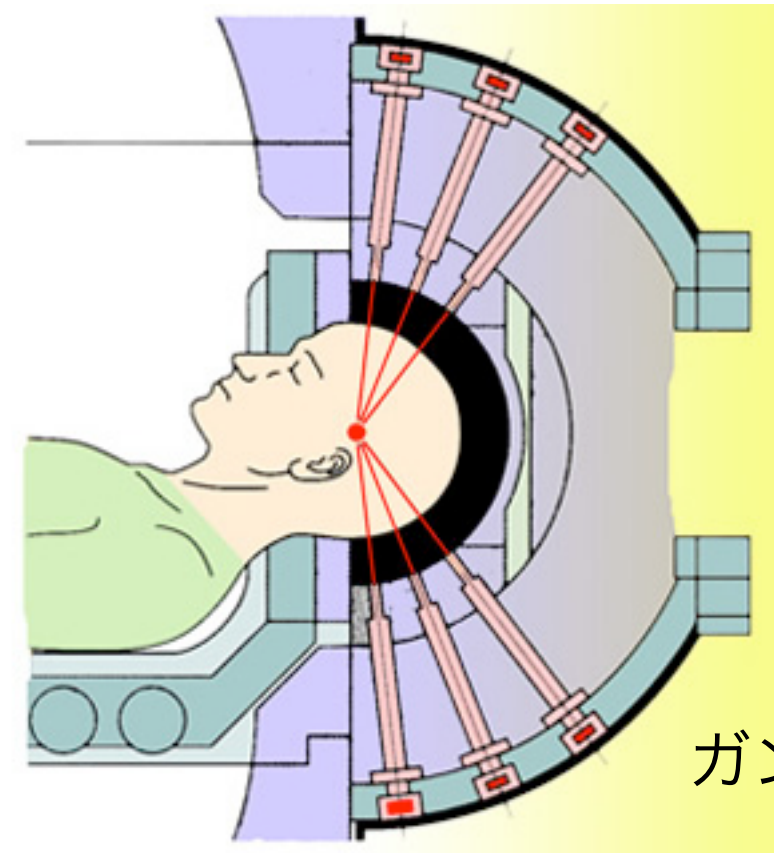
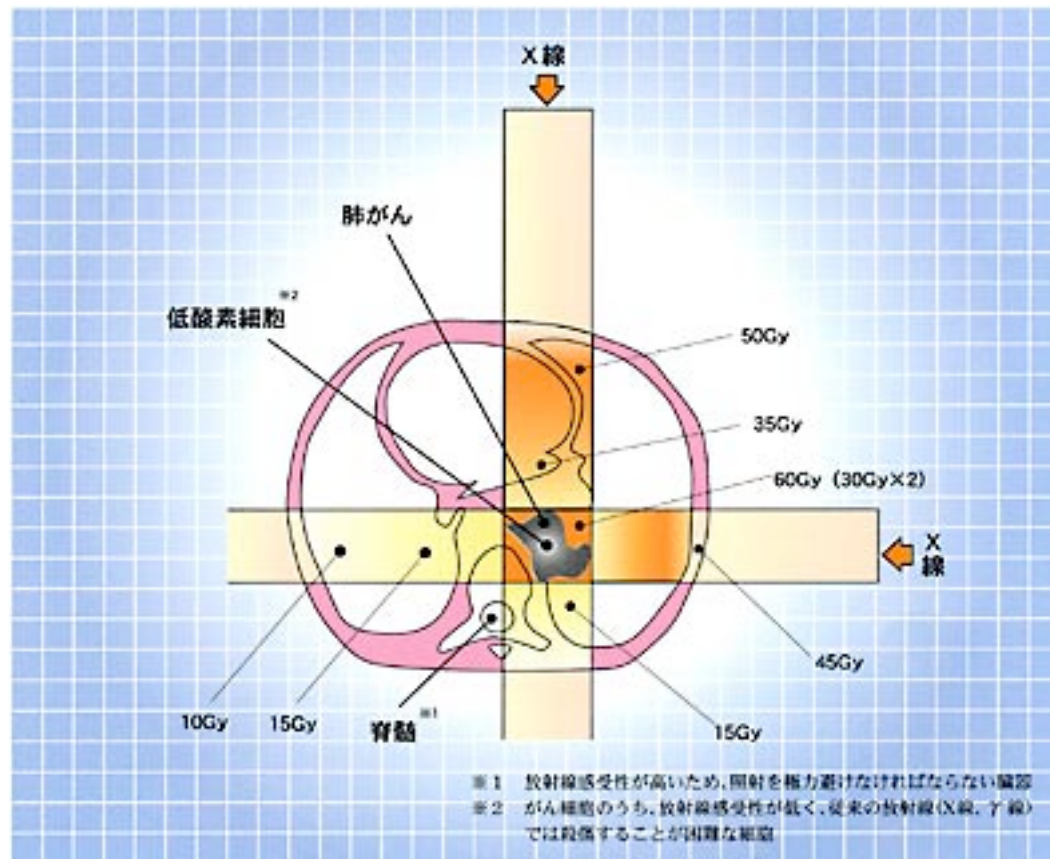
調べたい分子に陽電子を放出する放射性核種を付け、静脈注射によって投与する。例えば、炭素 11 ( $^{11}\text{C}$ ) はホウ素 11 ( $^{11}\text{B}$ ) に崩壊するとき、陽電子を 1 個放出する。その陽電子が近くにある電子と衝突し、両方向にガンマ線が放出される。検出器がガンマ線をとらえることで断層画像が得られ、分子がどこに、どれだけ存在しているのかを知ることができる。



# 放射線医療：がん治療

数 Gy を数十回

## X線 外部照射



医療技術：ガンマナイフ (γ線)  
サイバーナイフ (X線)



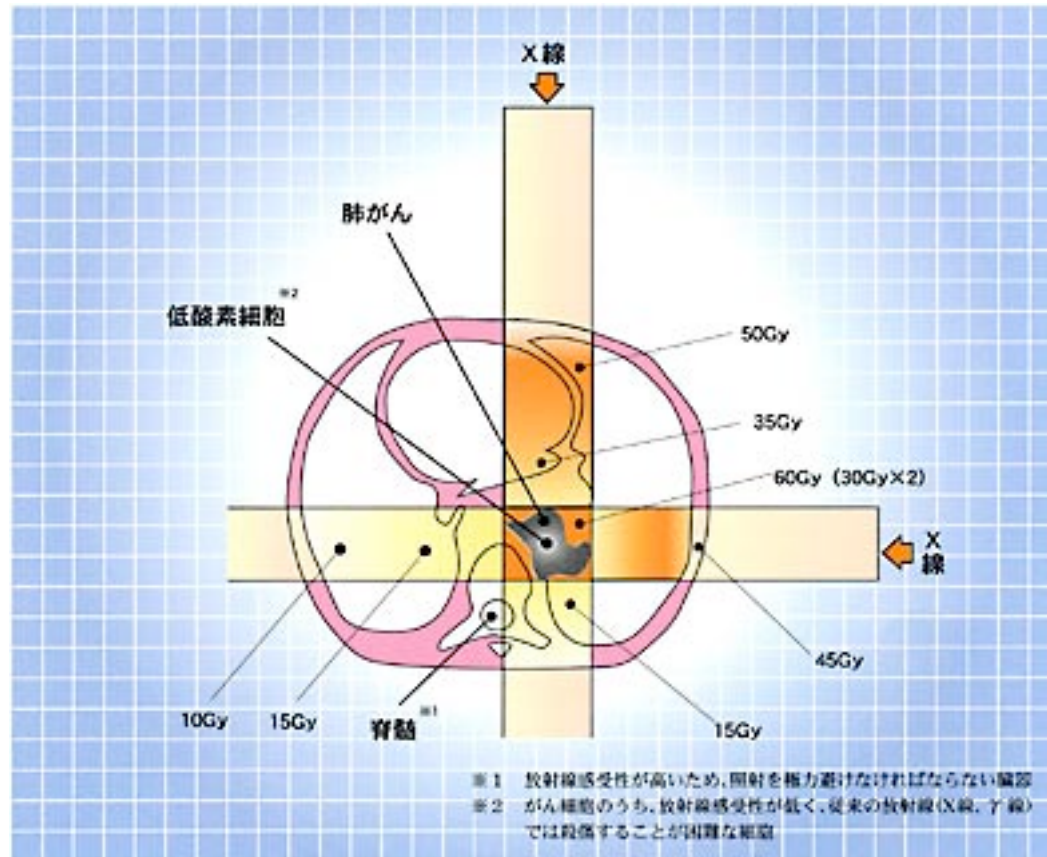
写真提供：(独)放射線医学総合研究所



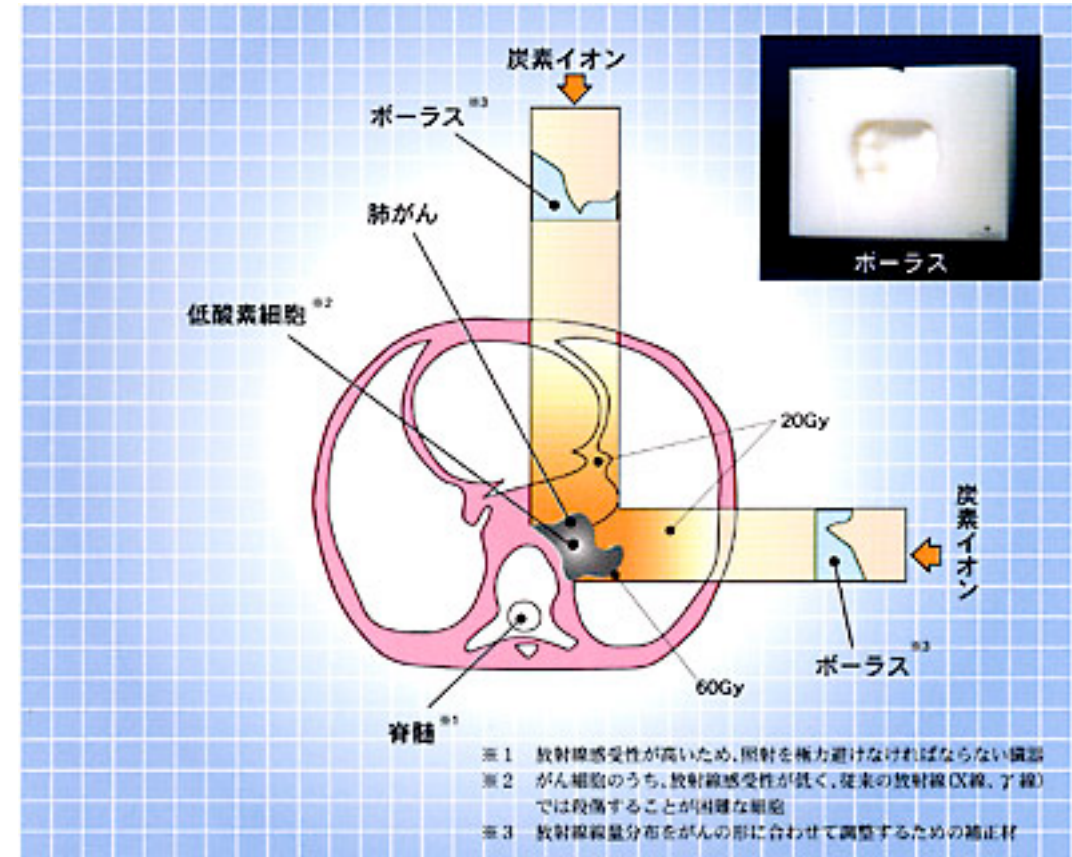
# 放射線医療：がん治療

# 数 Gy を複数回

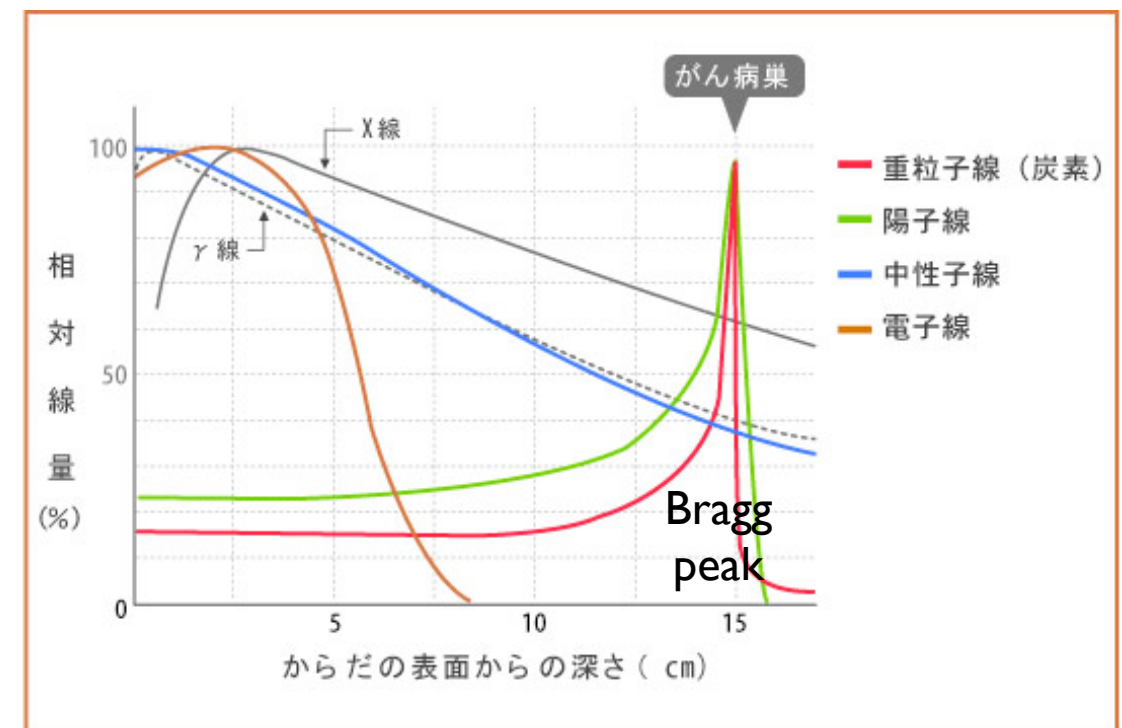
## X線



## 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





# 放射線物理学

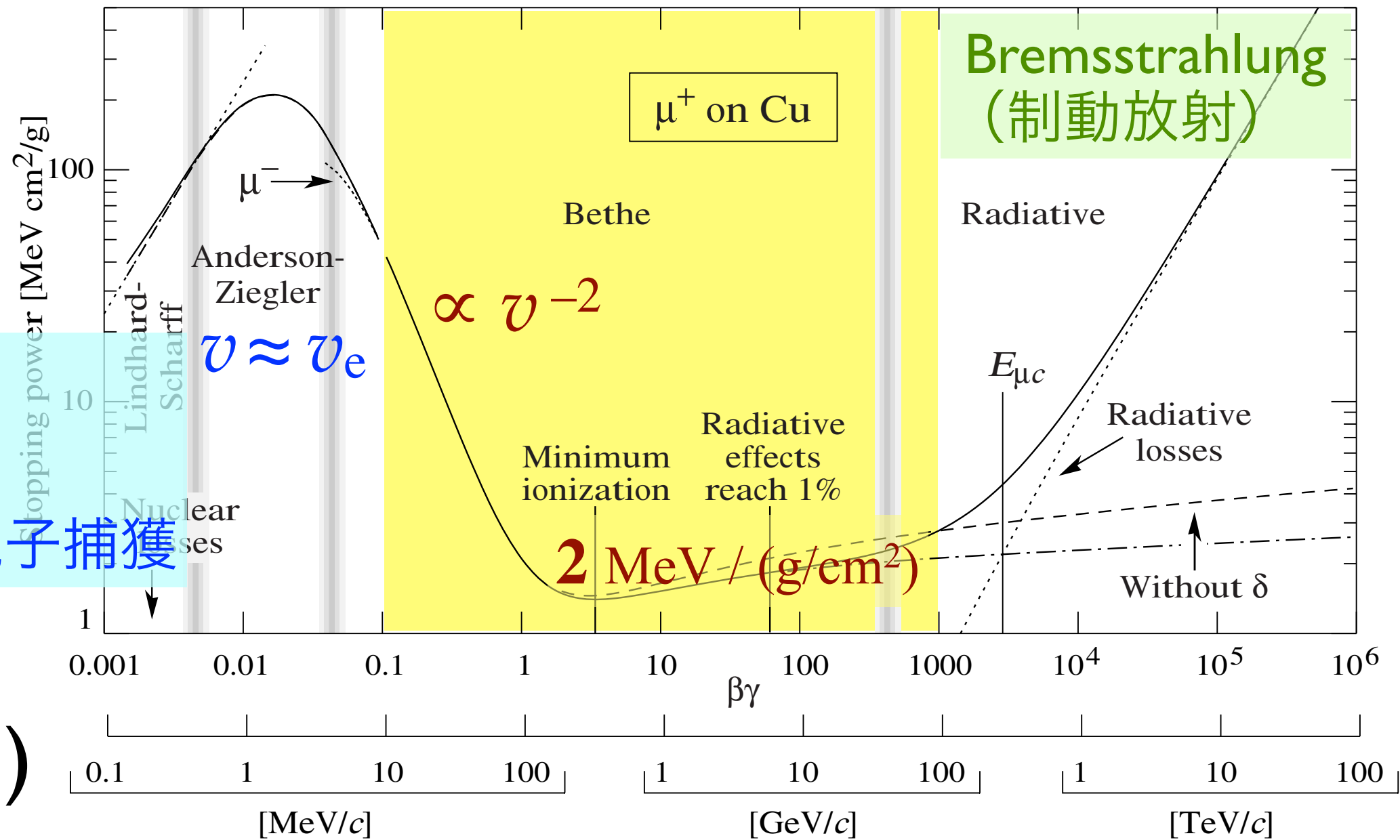
【 教養学部物理部会 鳥居 寛之 】



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

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 / μm

### 27.2.2. Stopping power at intermediate energies :

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

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

質量阻止能  
MeV / (g / cm<sup>2</sup>)

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

# 放射線入門

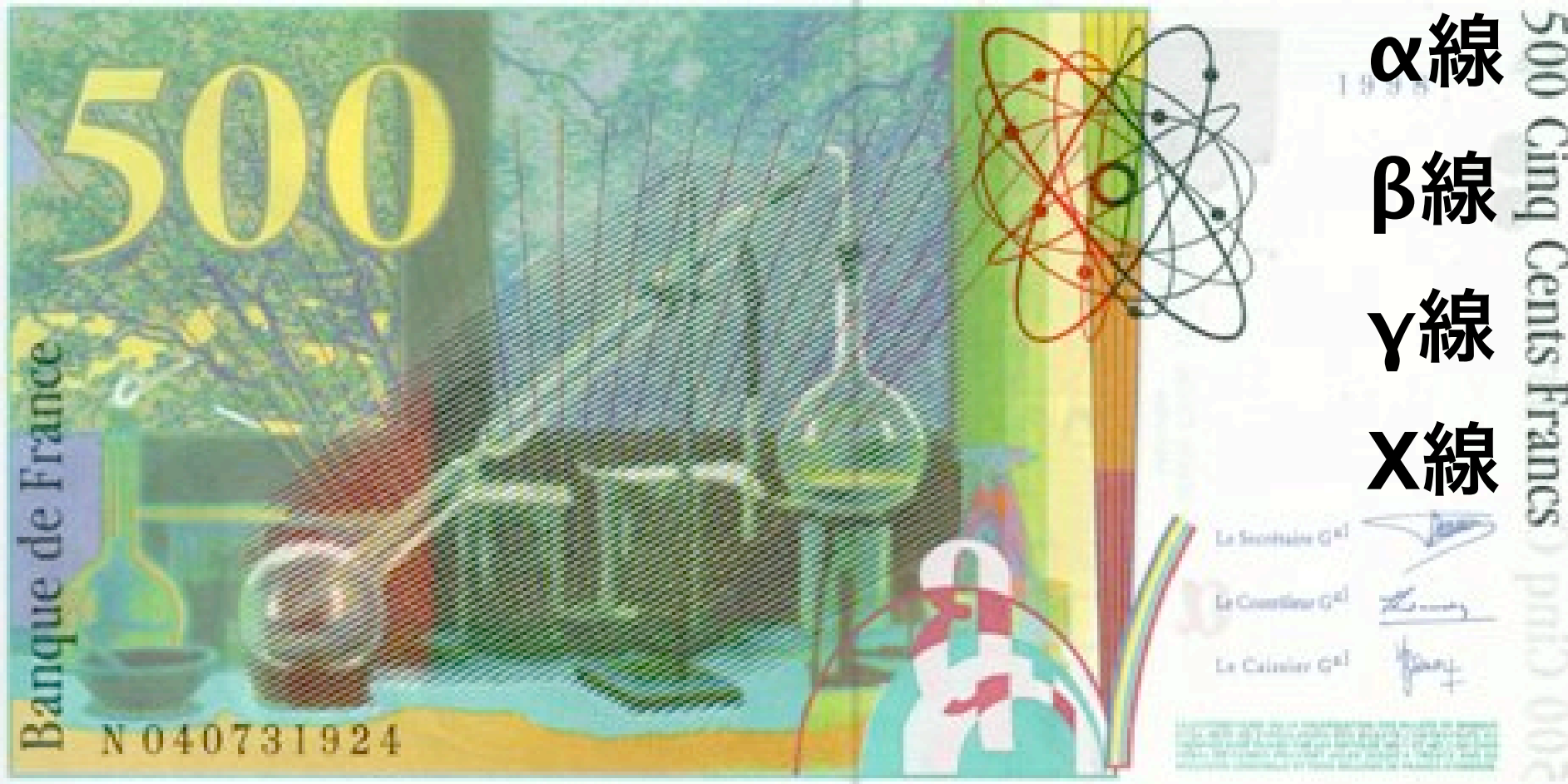
【 教養学部物理部会 鳥居 寛之 】



放射線とは？



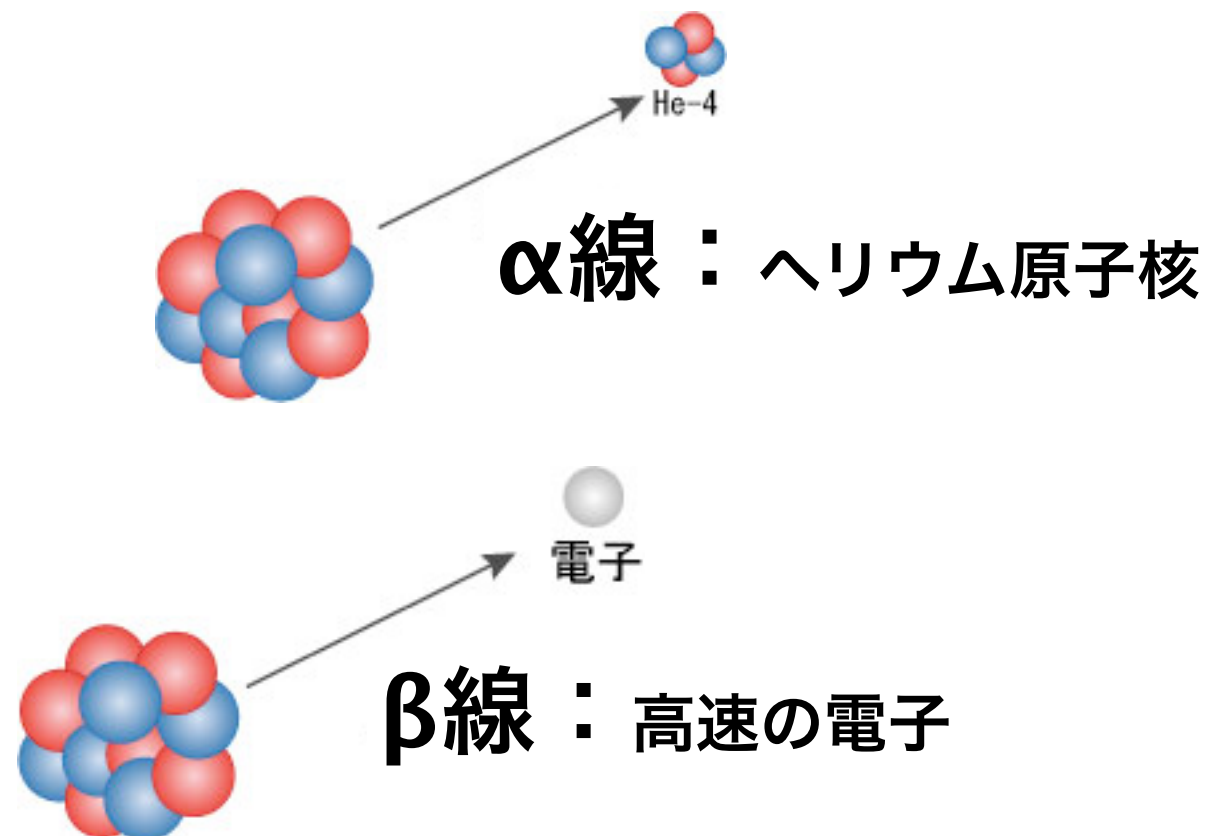
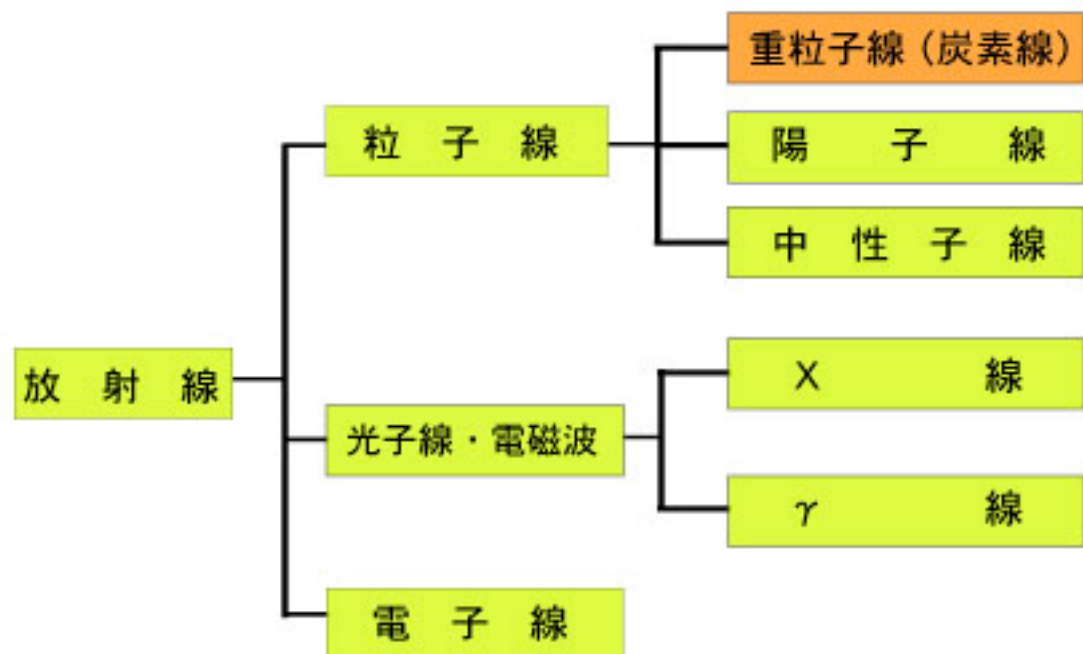
Billet de 500 Francs Français  
en circulation: 1993–1999



- $\alpha$ 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 (放射線治療分野で用いられる分類)

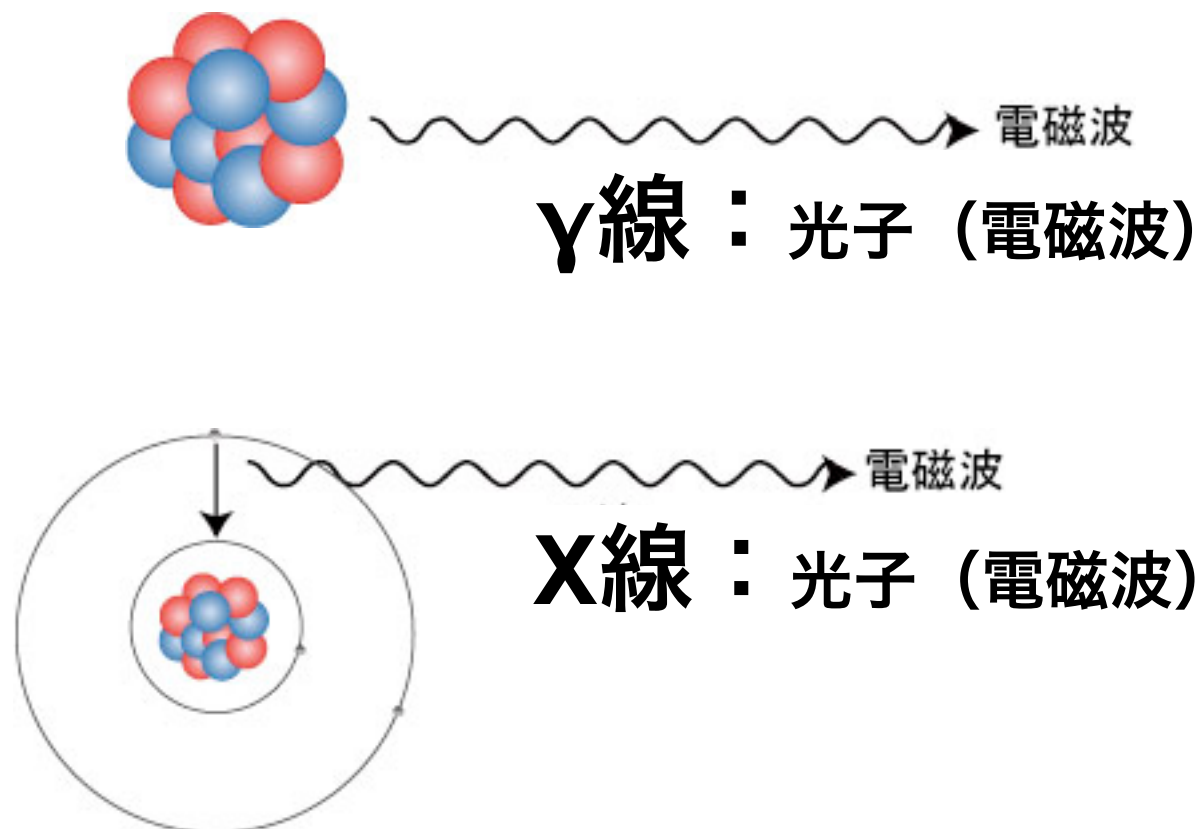


放射線のもつエネルギーは？

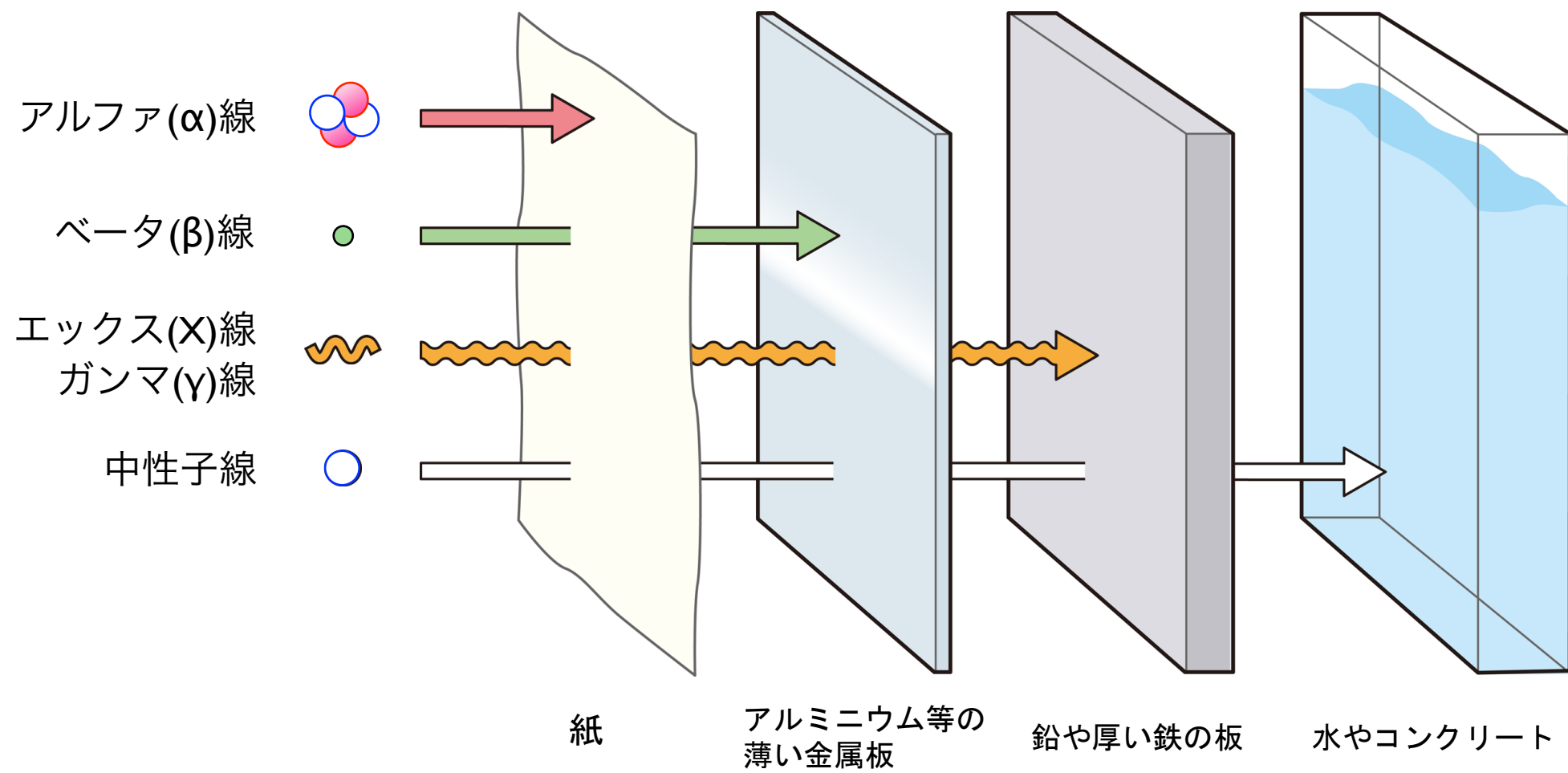
☞ **100 keV ~ MeV** for α/β/γ

**Cf. 原子の束縛エネルギーは？**

荷電粒子の質量は？

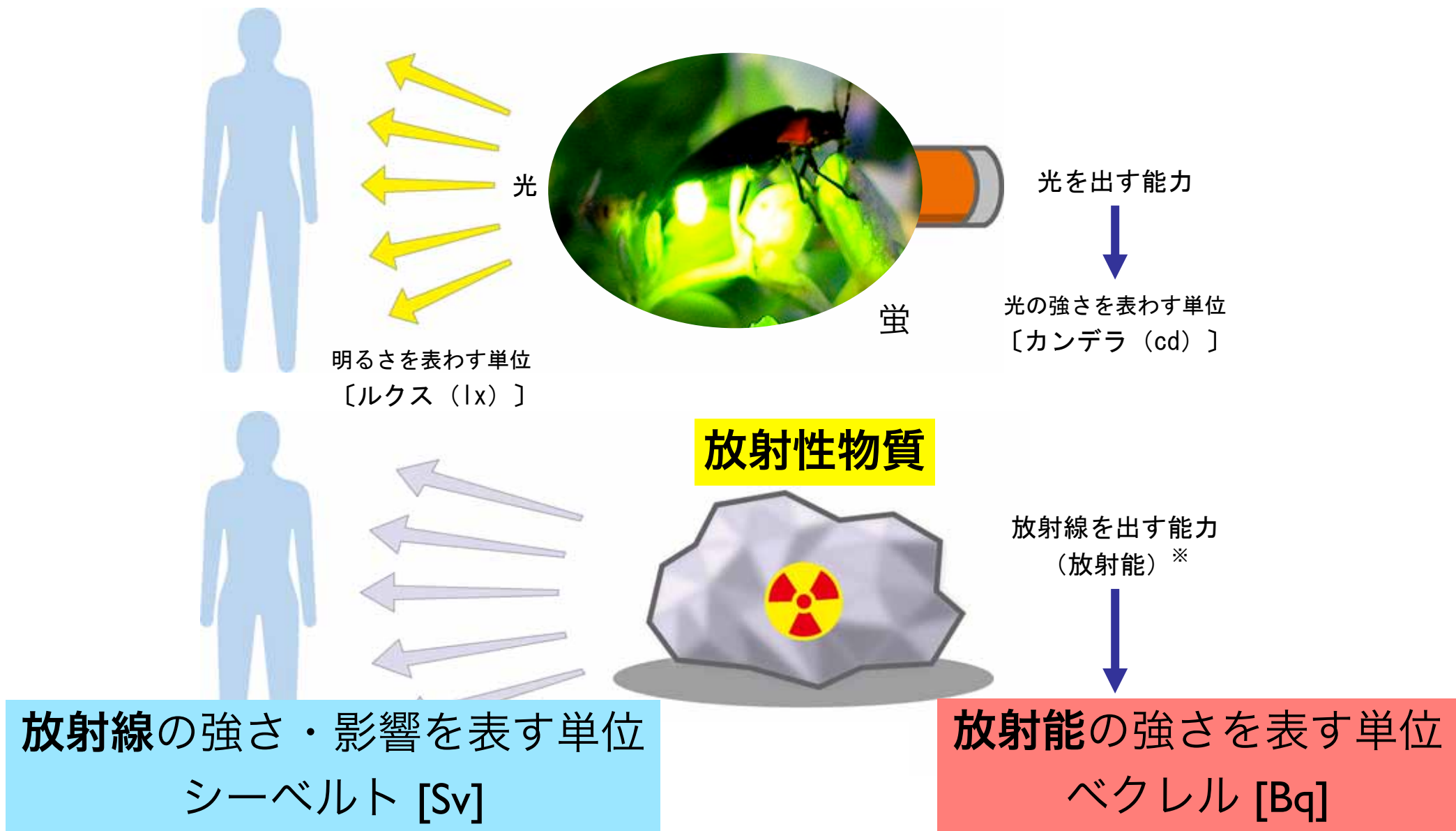


# 放射線の種類と透過力



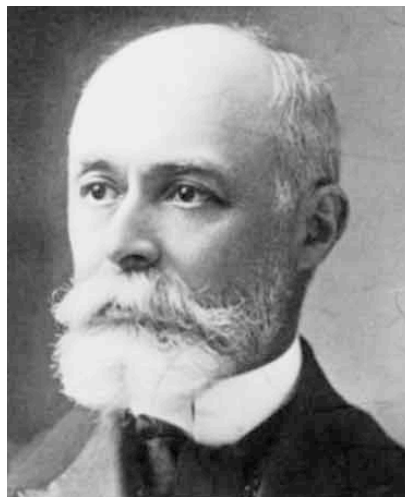


# 放射能と放射線



6-1

出典：資源エネルギー庁「原子力2010」



## 放射能 (radioactivity) の単位

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

Becquerel

decay/disintegration  
per second

Curie



# 放射線量 (radiation dose) の単位

Gray



吸収線量 absorbed dose  $D [J / kg] = [Gy]$

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

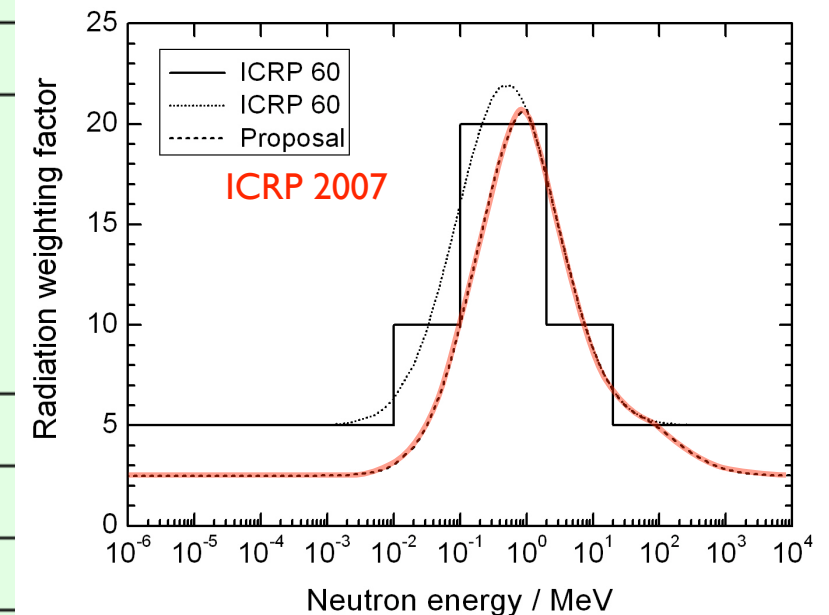
実効線量 effective dose  $E [J / kg] = [Sv]$

Sievert



表 1 放射線荷重係数

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



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

赤字 ICRP 2007



# 放射線量 (radiation dose) の単位

Gray

吸収線量 absorbed dose  $D$  [ J / kg ] = [Gy]

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

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

Sievert



## 放射線量率 (dose rate) の単位

単位時間あたりの放射線量

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

放射線量率の時間積分が（積算）放射線量になる。

# 身の周りの放射線



ブラジル・ガラバリの放射線  
(年間、大地等から) 10

放射線の量  
(ミリシーベルト)

10

Sv (E)

胸部X線コンピュータ断層  
撮影検査(CT スキャン)(1回) 6.9



1人あたりの  
自然放射線(年間)(世界平均) 2.4

1

一般公衆の線量限度(年間)  
(医療は除く) 1.0



岐阜 ↔ 神奈川



0.4

胃のX線集団検診(1回) 0.6



国内自然放射線の差(年間)  
(県別平均値の差の最大)

0.1

胸のX線集団検診(1回) 0.05



Sv (E)

東京—ニューヨーク航空機  
旅行(往復)  
(高度による宇宙線の増加) 0.2

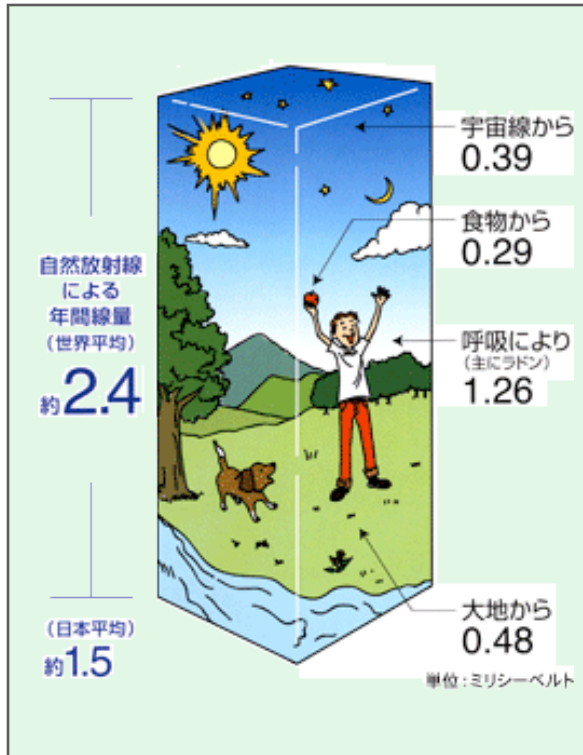


再処理工場からの放射性物質  
の放出による評価値(年間) 0.022

クリアランスレベル導出の  
線量目安値(年間) 0.01

0.01

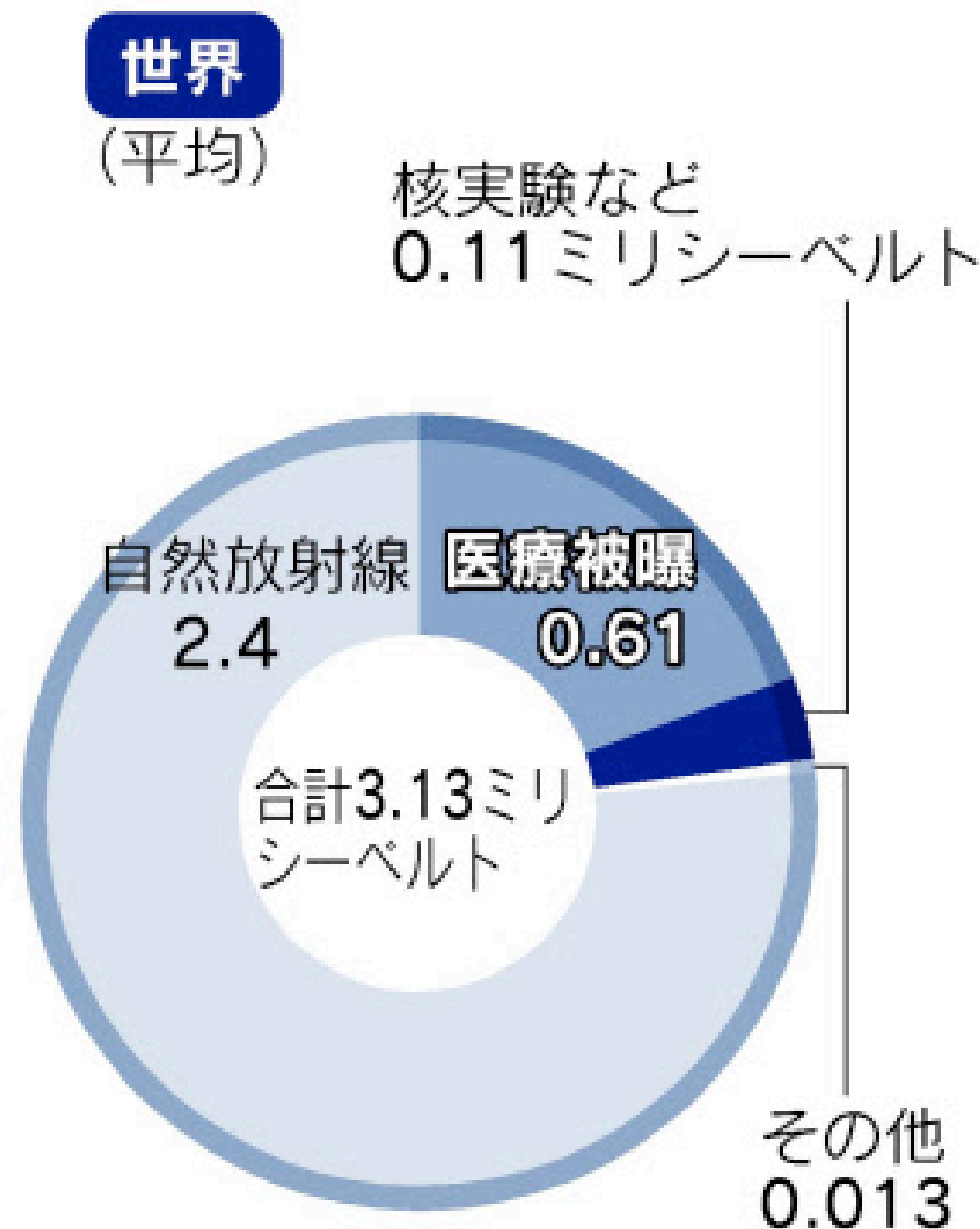
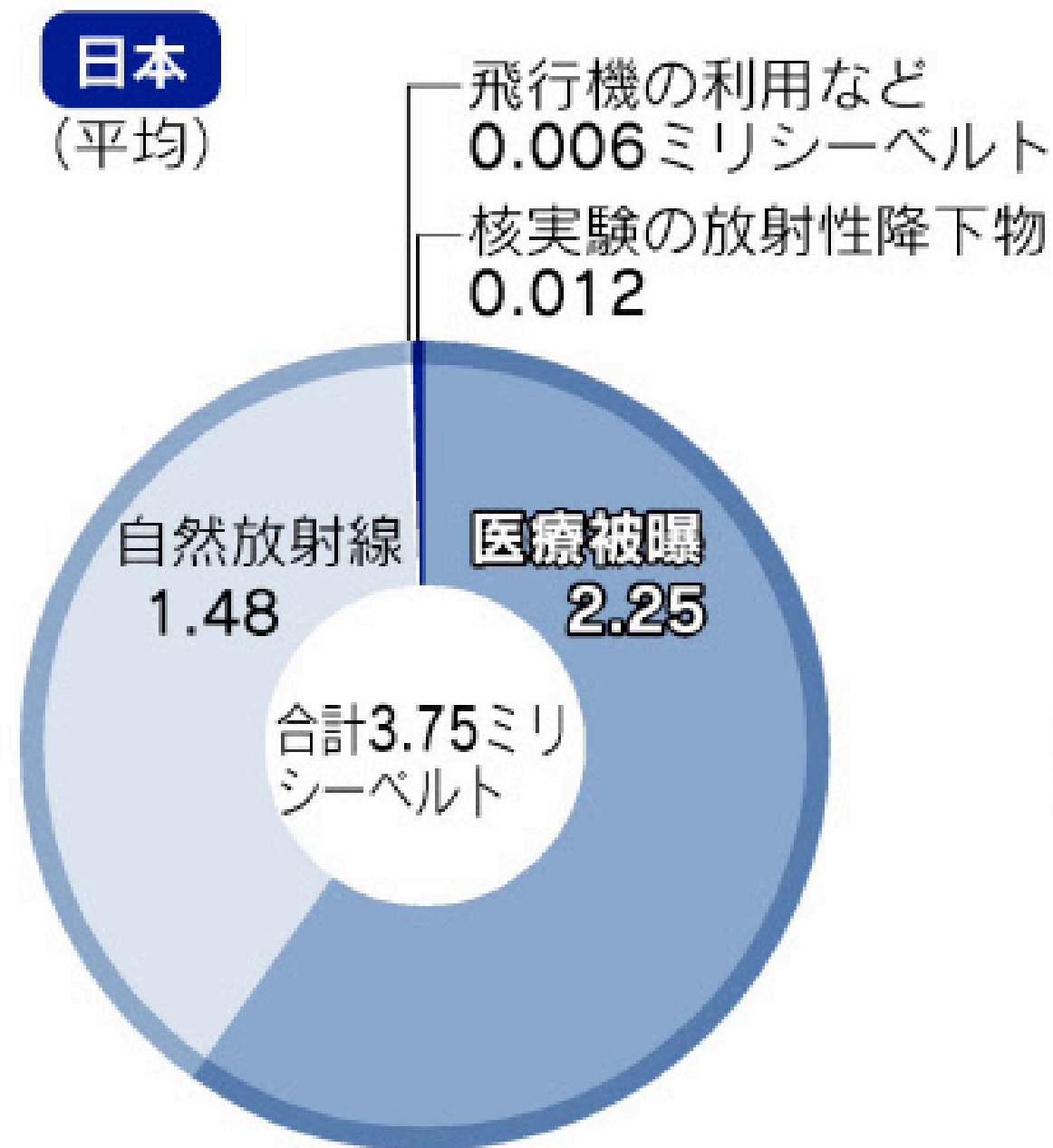
原子力発電所(軽水炉)周辺の線量目標値(年間)  
(実績ではこの目標値を大幅に下回っています)







# 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」



**VIDEO**

# 身の周りの放射線

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

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



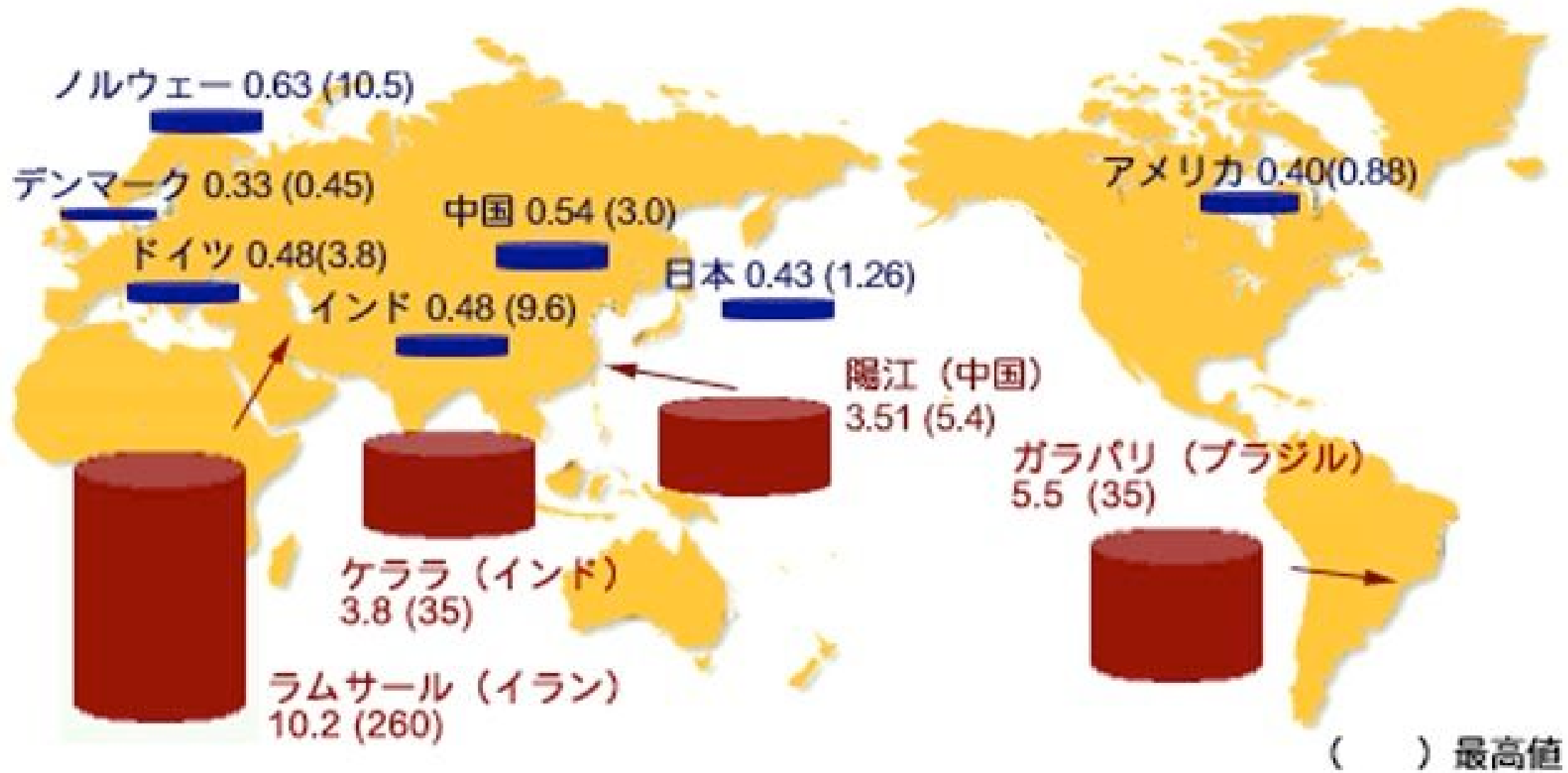


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

表1 高自然放射線地区と対照地区におけるがん死亡率の比較<sup>7,8)</sup>

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

《表6》世界各地における年間積算線量の例 (ラドンを除く)

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

出典：主として「放射線化学1971-6月」(放射線医学総合研究所編)



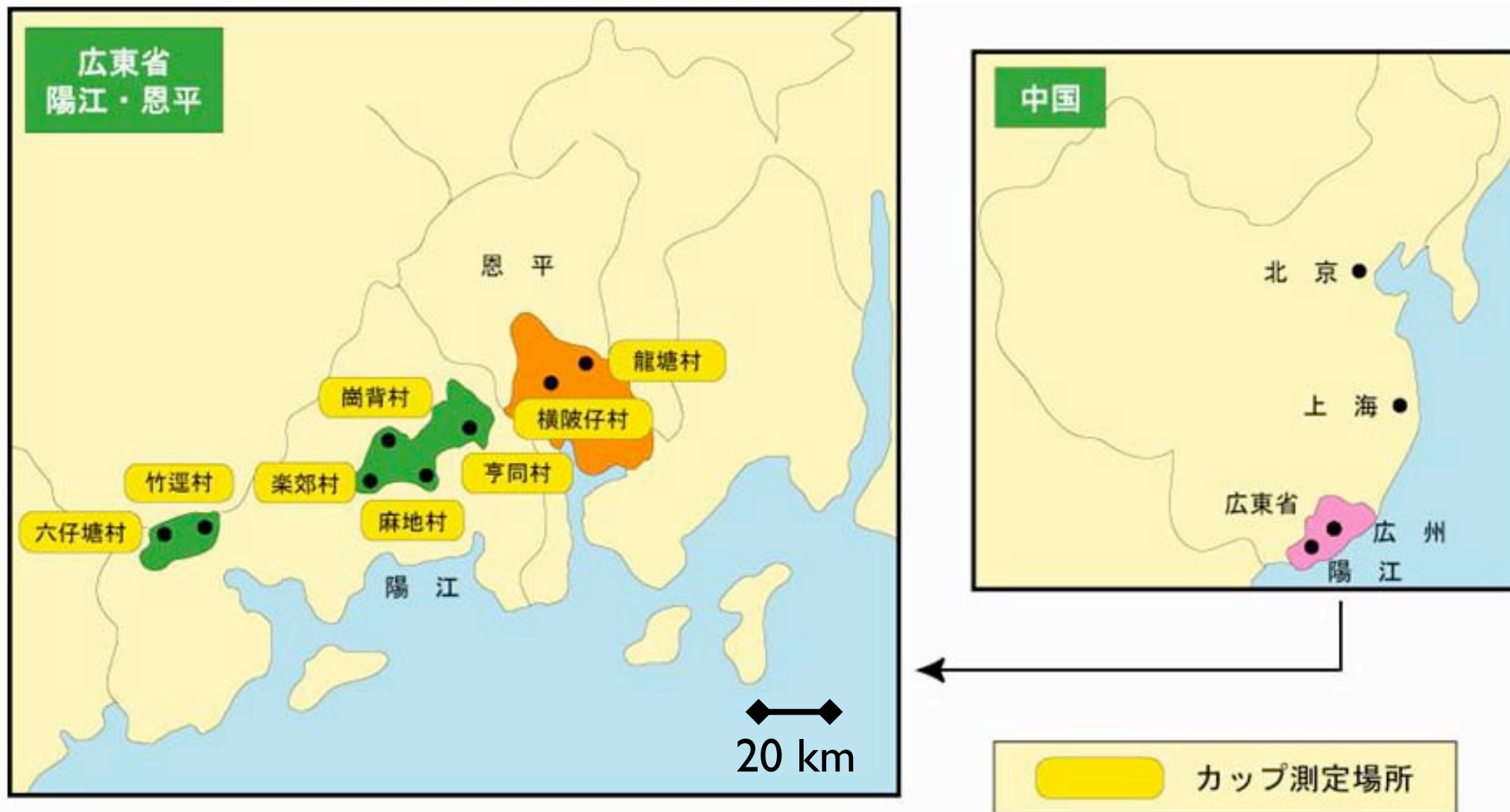


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

表1 高自然放射線地区と対照地区におけるがん死亡率の比較<sup>7,8)</sup>

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

一次宇宙線 (高エネルギー陽子など)

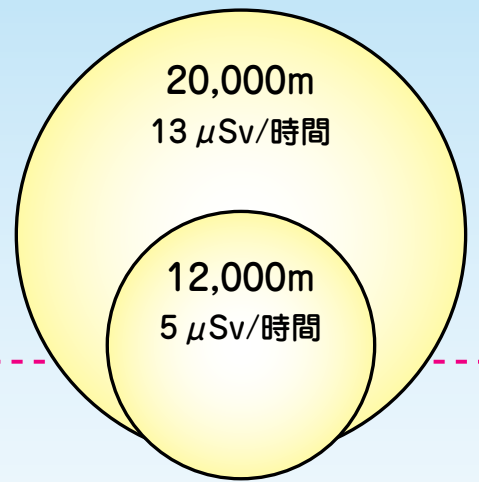
空気中の原子

二次宇宙線

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

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

※○の大きさは、放射線を受ける量をあらわしている。



4,000m ○ 0.2 μSv/時間

2,000m ○ 0.1 μSv/時間

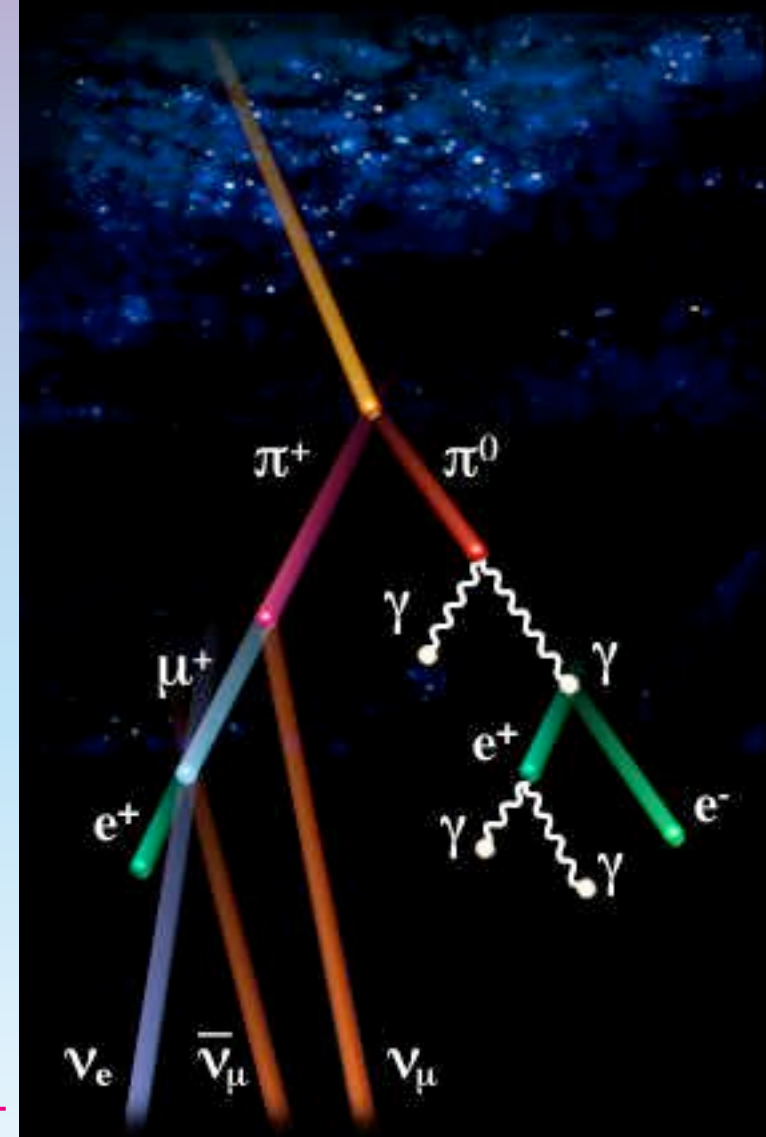
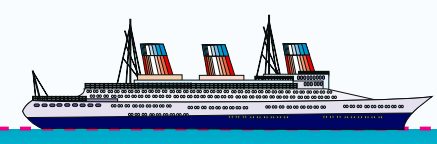
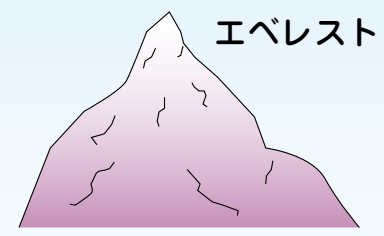
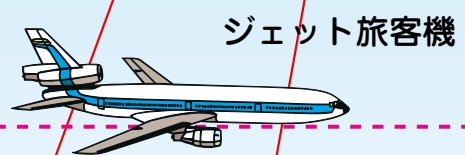
海面 ○ 0.03 μSv/時間

μSv = マイクロシーベルト

100km

10km

1km



東京～NY 往復  
200 μSv (max)

《表4》宇宙線による年平均実効線量

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

出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1993)



# 体内、食物中の自然放射性物質

## ●体内の放射性物質の量

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

## ●食物中のカリウム40の放射能量 (日本)

(単位: ベクレル/kg)



$^{40}\text{K}$   
 同位体比 0.012%  
 寿命 13億年

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

# 課題 (各自で)

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

計算してみよう。

放射線のもつエネルギーは? (eV, J)

MeV を J や K に変換計算してみよう。

1 ミリシーベルトを熱エネルギーに直すと? (K)

$mSv = J / kg$  体重 60 kg の人の全身被曝の場合



# 成績評価

合否判定（点数なし） 2単位

- **出席記入表 回収**

夏学期の自主講義「放射線学」

出席者は、鳥居担当回の出席について減免措置を講じるので、今日の授業終了後に申し出て下さい。



# 次回予告

## 第2回 (10/14)

### 放射線物理学

放射線の物質との相互作用

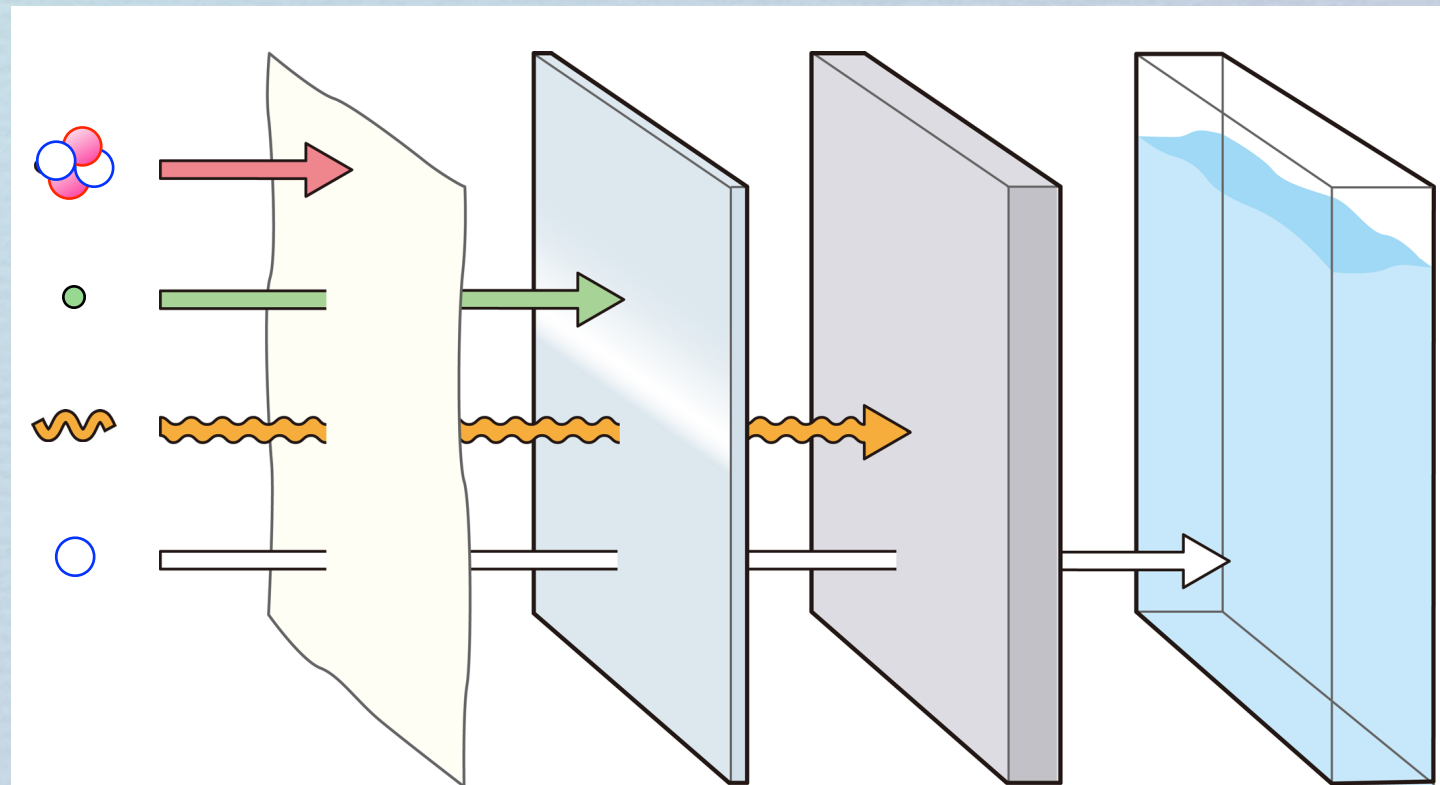
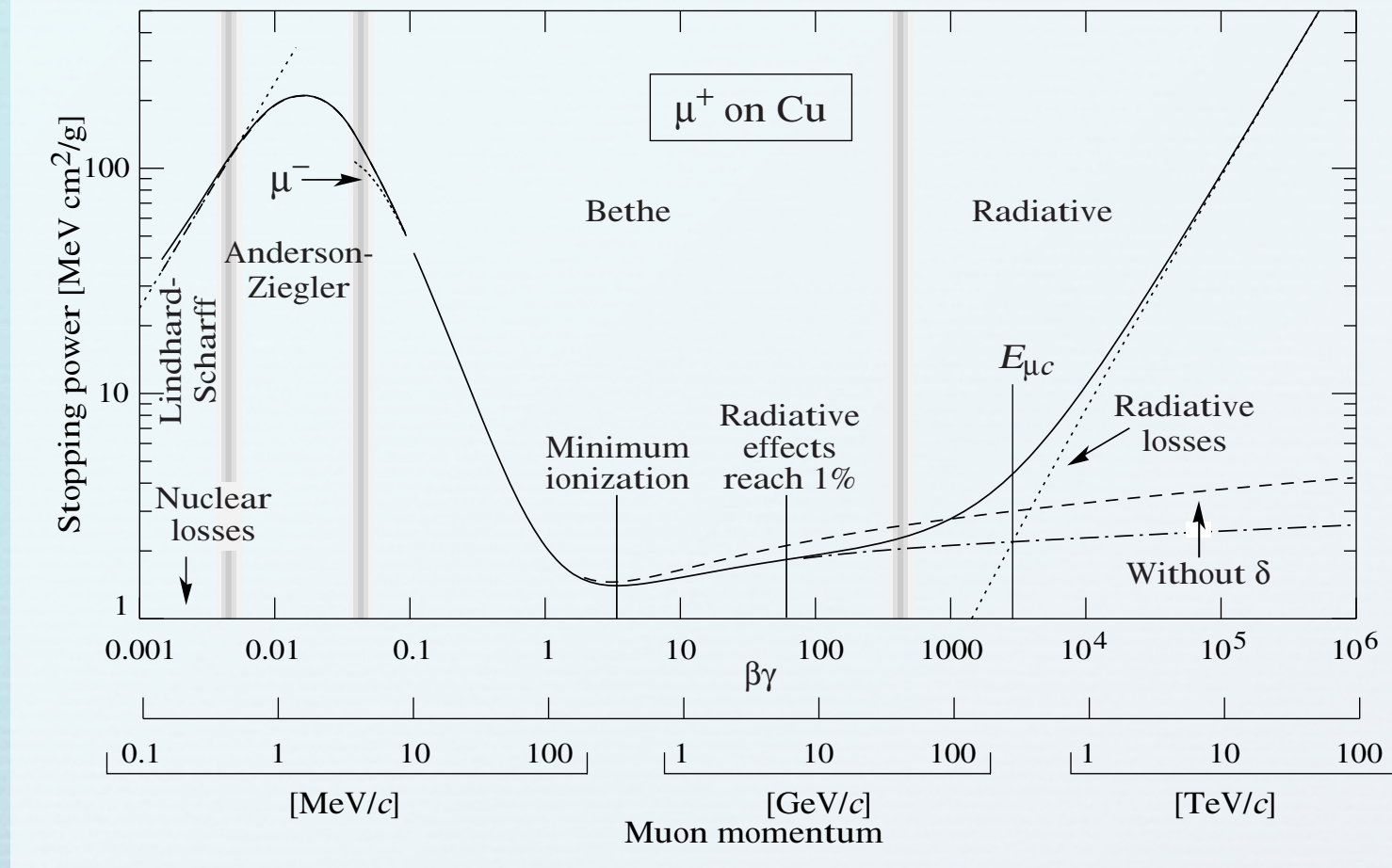
エネルギー付与

以下の講義に必要な知識

第3/4回：放射化学

第5回：放射線生物学

第6回：放射線医療





# 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 放射線医療【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、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

**教養学部報 (10月5日号) 配布**



**Fine.** Per oggi è tutto.

Fini pour aujourd'hui

That's all for today.

Всё за сегодня.

오늘은 여기까지 하겠습니다.

Ci vediamo la prossima settimana.

On se voit la semaine prochaine.

See you next week.

Увидимся на следующей неделе.

다음 주에 또 만납시다.