



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

「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、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。

2013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

金曜 5 限

@ 21 KOMCEE

K303教室



γ 線



中性子線



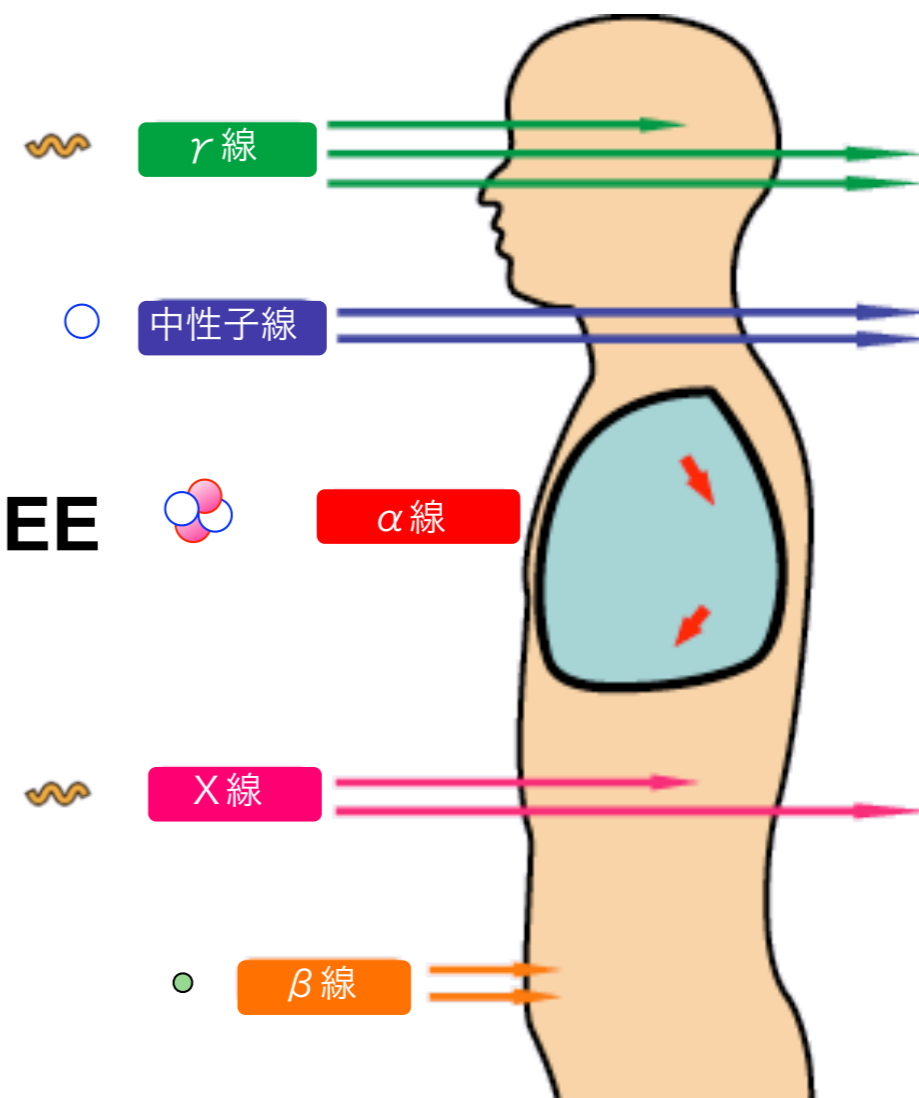
α 線



X線



β 線



担当教員 鳥居 寛之 (粒子線物理学)

小豆川 勝見 (環境分析化学)

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

2013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

東日本大震災および福島第一原子力発電所事故は、われわれ日本人に大きな衝撃と影響を与えました。事故にともなって大量の放射性物質が広い地域にばらまかれ、深刻な環境汚染を引き起こしています。放射線による人体への影響については、専門家の間でも意見が分かれ、混乱を助長してしまいました。わが国でこれまで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による科学的リテラシーの欠如に加えて、リスクを人々にどう伝えるかというリスクコミュニケーションの社会論的問題も浮かび上がりました。

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す。大学においても、広く一般の学生が系統立って学べる機会は少ないのが実情です。

今期で3回目となる冬学期のテーマ講義は、好評だった過去2回を踏まえ、教養学部の3人の教員:鳥居・小豆川・渡邊を中心に、他学部からも各方面でご活躍のゲスト講師を招いて、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します。

担当教員 鳥居 寛之 (粒子線物理学)
小豆川 勝見 (環境分析化学)
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

2013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

放射線の問題に特化して講義。

原発自体の問題や、是非をめぐる議論は切り離し、純粹に放射線の物理学的・生物学的性質について科学的に定性的・定量的に考えるための知識の提供に主眼をおく。

担当教員 鳥居 寛之 (粒子線物理学)

小豆川 勝見 (環境分析化学)

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

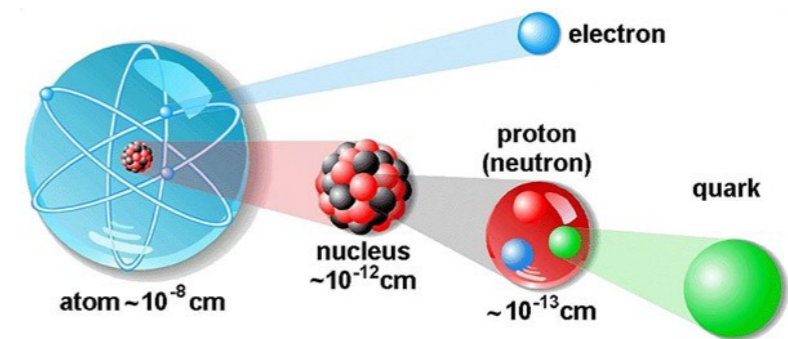
東京大学教養学部 放射線講義 スライドのご案内

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、どうぞご活用下さい。 <http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/torii-radio@radphys4.c.u-tokyo.ac.jp>

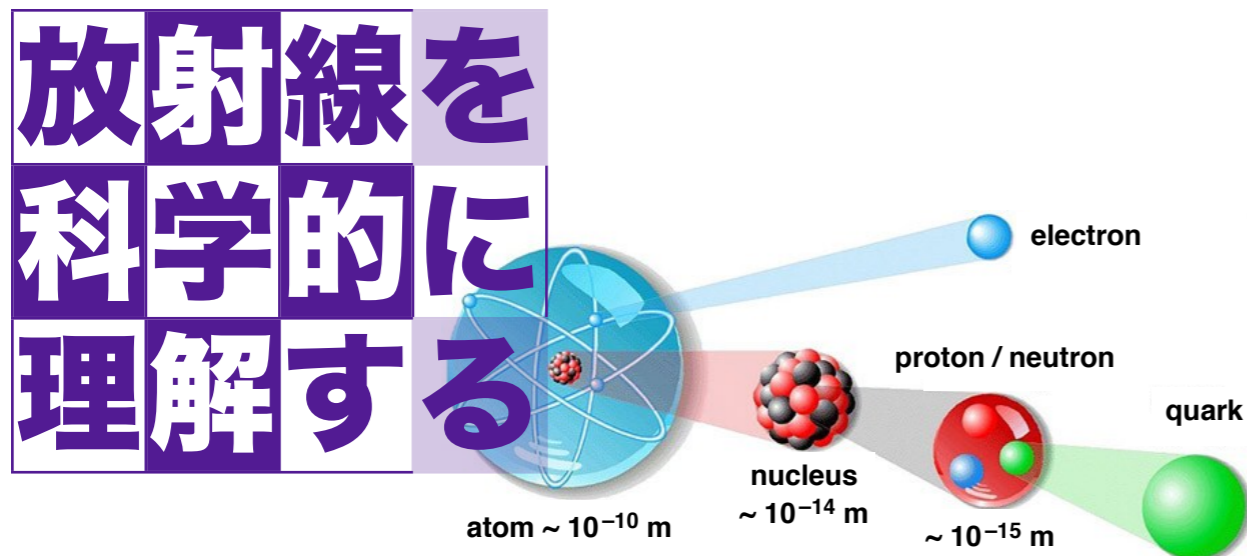
2011年度夏学期
自主講義

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

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

放射線を科学的に理解する

《教養学部》

鳥居 寛之 《物理》
放射線物理学・原子核物理学

小豆川 勝見 《化学》
放射線計測学・環境放射化学

渡邊 雄一郎 《生命》
放射線生物学・放射線の利用



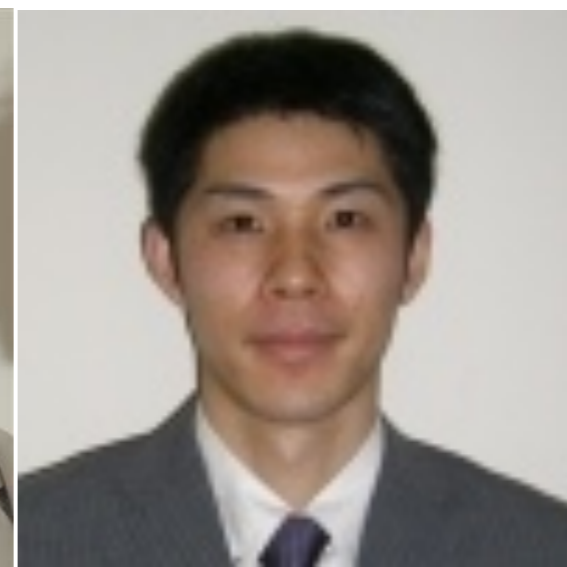
ゲスト講師

中川 恵一 《医学部》
放射線医学

石渡 祐樹 《原子力》
原子力工学

藤原 徹 《農学部》
植物栄養・土壌肥料学

【2011年度】



放射線を科学的に理解する

《教養学部》

鳥居 寛之 《物理》
放射線物理学・原子核物理学

小豆川 勝見 《化学》
放射線計測学・環境放射化学

渡邊 雄一郎 《生命》
放射線生物学・放射線の利用

ゲスト講師

作美 明 《医病院》
放射線医療

森口 祐一 《都市工》
環境汚染・廃棄物問題

藤原 徹 《農学部》
放射性物質と農業

藤垣 裕子 《教養学部》
科学技術社会論



【2012年度】

東京大学教養学部報

2011年(平成23年)11月2日 教養学部報 第542号

悪意なき殺人者と 憎悪なき被害者の住む楽園

ヒロシマ、チェルノブイリ、フクシマ

「悪意なき殺人者」と「憎悪なき被害者」の住む楽園。ヒロシマ、チェルノブイリ、フクシマ。放射能汚染の被害者たちは、悪意なき殺人者から救済されるべきである。彼らは、憎悪なき被害者として、楽園に住むべきである。



放射性物質を測ってみると



放射線計測器の読み方。ALPHA Z SURVEY METERの表示は100 μSv/hです。これは、通常の環境放射線レベルよりも高い値を示しています。



東京大学教養学部
発行人 藤田 肇
2011年11月2日

「一高/獨逸」展の開催の経緯と準備について

「一高/獨逸」展の開催の経緯と準備について。この展覧会は、東京大学とドイツの協力を基に開催されました。展示品は、一高の歴史とドイツの文化に関する貴重な資料です。

ビートルズ「マネー」のバックヤード

ビートルズのマネーに関する貴重な資料や写真が公開されています。マネーの音楽的変遷や、当時の社会背景について詳しく解説されています。



秘密の小部屋

「トポフィリ」 夢の空間展をめぐって。秘密の小部屋は、トポフィリ展の重要な展示空間です。ここでは、夢の世界を再現した空間が展示されています。

「トポフィリ」展の会場は、最新の展示技術を用いて、観客に没入的な体験を提供しています。夢の世界を自由に探索できる貴重な機会です。

2011年(平成23年)10月5日 教養学部報 第541号

放射線学

放射線学の基礎知識と応用。放射線の種類、測定方法、健康への影響について詳しく解説されています。

PEAK (頂)を目指して

2012年度教養学部英語コースが設置されます。英語力向上のための新しい学習プログラムがスタートします。

教養学部の新しい後期課程

新しい後期課程は平成25年4月進学の学生から適用です。

身体運動科学シンポジウム報告

身体運動科学に関する最新の研究成果や課題について議論されました。

本のおしり

楽園リゾートの創られ方。矢口祐人著。楽園リゾートの歴史と創成過程を詳しく描いた書籍です。

受け継がれる教養教育

シエノサイドと現代世界。伝統的な教養教育が現代社会でどのように受け継がれているかを考察しています。

東京大学教養学部
発行人 藤田 肇
2011年10月5日

放射線を科学的に理解する

- 10/11 放射線入門 【鳥居】
- 10/18 放射線物理学 【鳥居】
- 10/25 放射線計測学 【小豆川】
- 11/ 1 放射線物理・化学 【鳥居】
- 11/ 8 放射線生物学 【渡邊】
- 11/15 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 11/29 原子核物理学・原子力工学 【鳥居】
- 12/ 6 環境放射化学 【小豆川】
- 12/13 環境放射化学 【小豆川】
- 12/20 放射線防護学 【飯本】
- 1/10 植物栄養・肥料学 【藤原】
- 1/24 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》

坪倉 正治 《医科学研究所》

飯本 武志 《環境安全本部》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

放射線を科学的に理解する

- 10/11 放射線入門 【鳥居】
- 10/18 放射線物理学 【鳥居】
- 10/25 放射線計測学 【小豆川】
- 11/ 1 放射線物理・化学 【鳥居】
- 11/ 8 放射線生物学 【渡邊】
- 11/15 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 11/29 原子核物理学・原子力工学 【鳥居】
- 12/ 6 環境放射化学 【小豆川】
- 12/13 環境放射化学 【小豆川】
- 12/20 放射線防護学 【飯本】
- 1/10 植物栄養・肥料学 【藤原】
- 1/24 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

放射線を科学的に理解する

- 10/11 放射線入門 【鳥居】
- 10/18 放射線物理学 【鳥居】
- 10/25 放射線計測学 【小豆川】
- 11/ 1 放射線物理・化学 【鳥居】
- 11/ 8 放射線生物学 【渡邊】
- 11/15 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 11/29 原子核物理学・原子力工学 【鳥居】
- 12/ 6 環境放射化学 【小豆川】
- 12/13 環境放射化学 【小豆川】
- 12/20 放射線防護学 【飯本】
- 1/10 植物栄養・肥料学 【藤原】
- 1/24 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

《教養学部》

鳥居 寛之 《物理》
放射線物理学・原子核物理学

小豆川 勝見 《化学》
放射線計測学・環境放射化学

渡邊 雄一郎 《生命》
放射線生物学・放射線の利用



ゲスト講師

坪倉 正治 《医科研》
被曝調査・医療支援

飯本 武志 《環境本部》
放射線防護学

藤原 徹 《農学部》
放射性物質と農業



【2013年度】

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・社会：鳥居・飯本

環境化学：小豆川

生命科学：渡邊、坪倉、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)

「放射線が物質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の違いについて述べよ。また、
放射性核種や放射線の種類による違いを考えよ。」

「放射性物質が農業や食品衛生に与える影響について
述べよ。ゼロでないリスクをどう伝え、どう判断
すべきだろうか。安全と安心を確保する方策は？」

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ー千葉

2011年4月15日11時6分

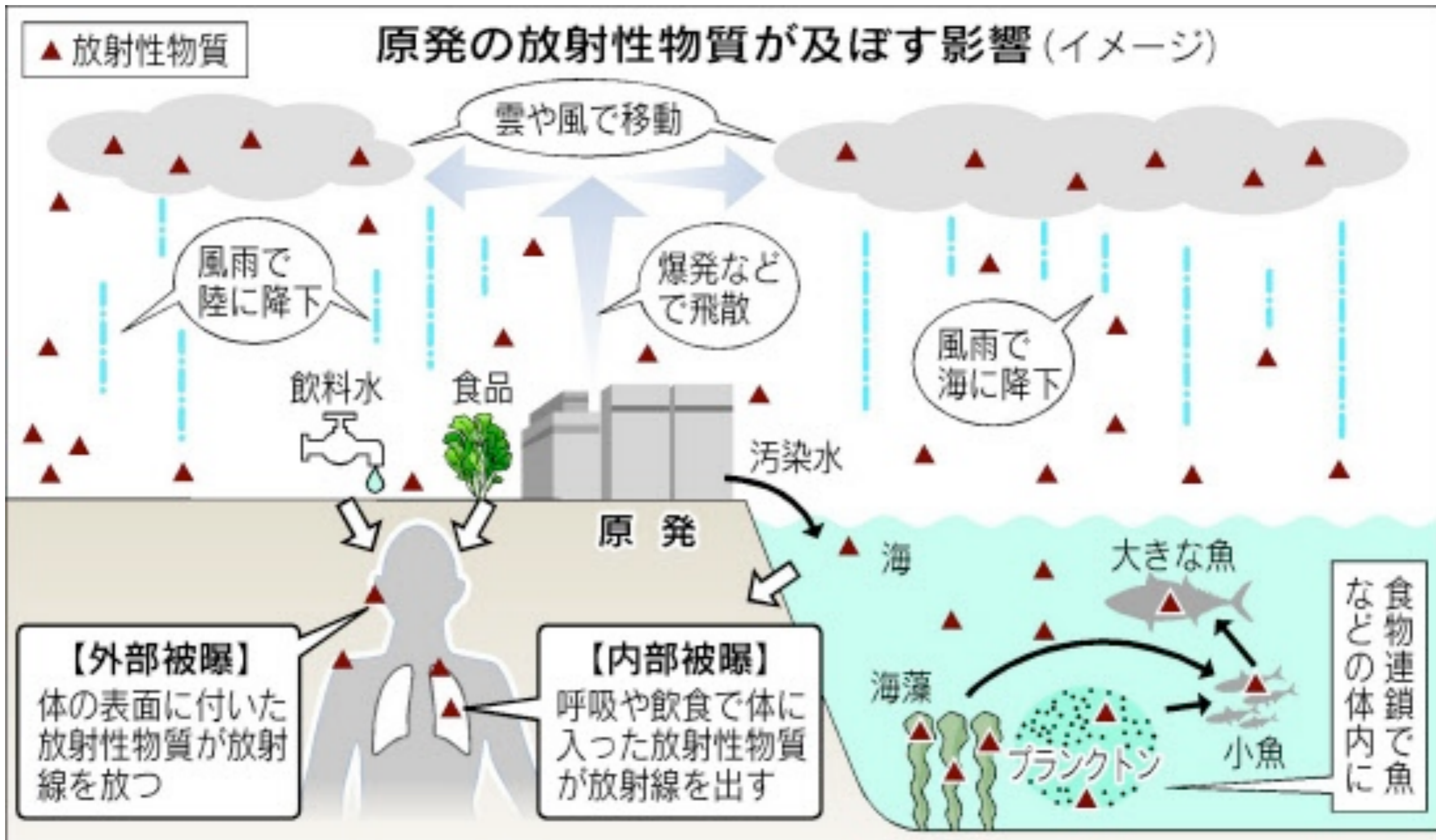
福島第1原発事故を受け、福島県から千葉県船橋市に避難した小学生の「**放射線がうつる**」といじめられたという訴えが市教育委員会の調査で明らかになった。市教委は同日までに、避難者の不安な気持ちを踏まえて、思いやりを持って被災者の児童生徒に接するよう指導を求める通達を市立小中学校に出した。

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

放射線はうつらない

放射能と放射線を混同しない

放射線に対する正しい知識をもって
「正しく怖がる」ことが必要。



放射性物質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>

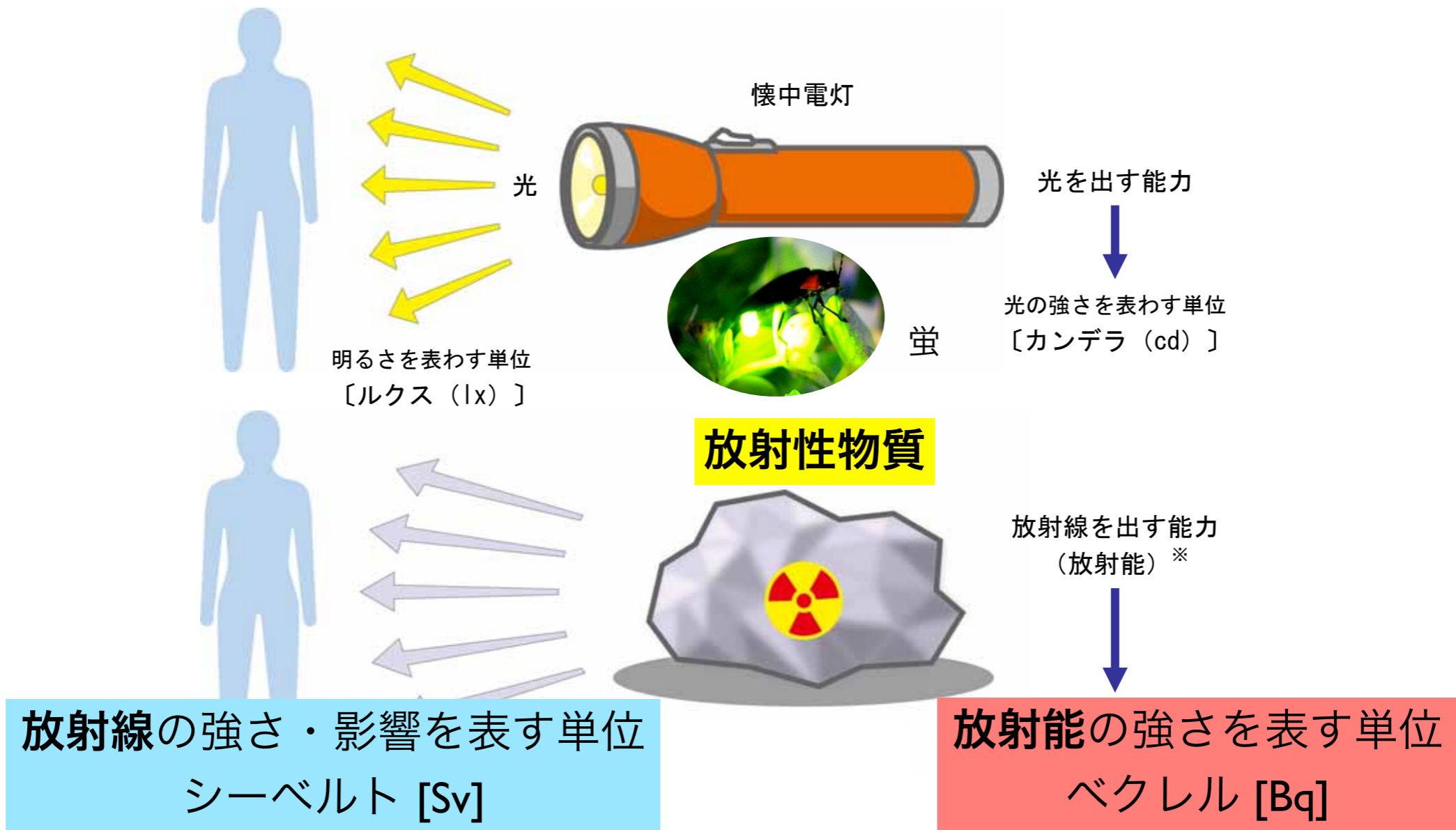
- ✿ ~**万テラベクレル**とかヨウ素とかマジわからん\(^o^)/文系に逃げたツケがこんなことで来るとは思わなかったわ…
- ✿ NHK「37京ベクレル」で言われても分かりづらいw まだメガとかテラのほうが。つーか単位統一してくれればいいのに
- ✿ 『京』という単位、テレビで見たの初めてかも。テラとか京とか…もはや1ベクレルがなんなのか、全く想像つかない
- ✿ **ミリシーベルト**であんなに騒いでたのに1万テラベクレルってなんや
- ✿ 36万テラベクレルとか63万テラベクレルとか、想像もできない数値になってしまっている原発事故だけど、放射能が人体に影響を及ぼす尺度であるシーベルト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

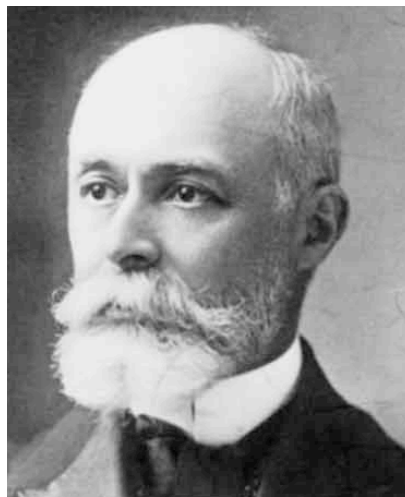
接頭辞	記号	倍数	接頭辞	記号	倍数
デシ (deci)	d	10^{-1}	デカ (deca)	da	10
センチ (centi)	c	10^{-2}	ヘクト (hecto)	h	10^2
ミリ (milli)	m	10^{-3}	キロ (kilo)	k	10^3
マイクロ (micro)	μ	10^{-6}	メガ (mega)	M	10^6
ナノ (nano)	n	10^{-9}	ギガ (giga)	G	10^9
ピコ (pico)	p	10^{-12}	テラ (tera)	T	10^{12}
フェムト (femto)	f	10^{-15}	ペタ (peta)	P	10^{15}
アト (atto)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

放射能と放射線



6-1

出典：資源エネルギー庁「原子力2010」



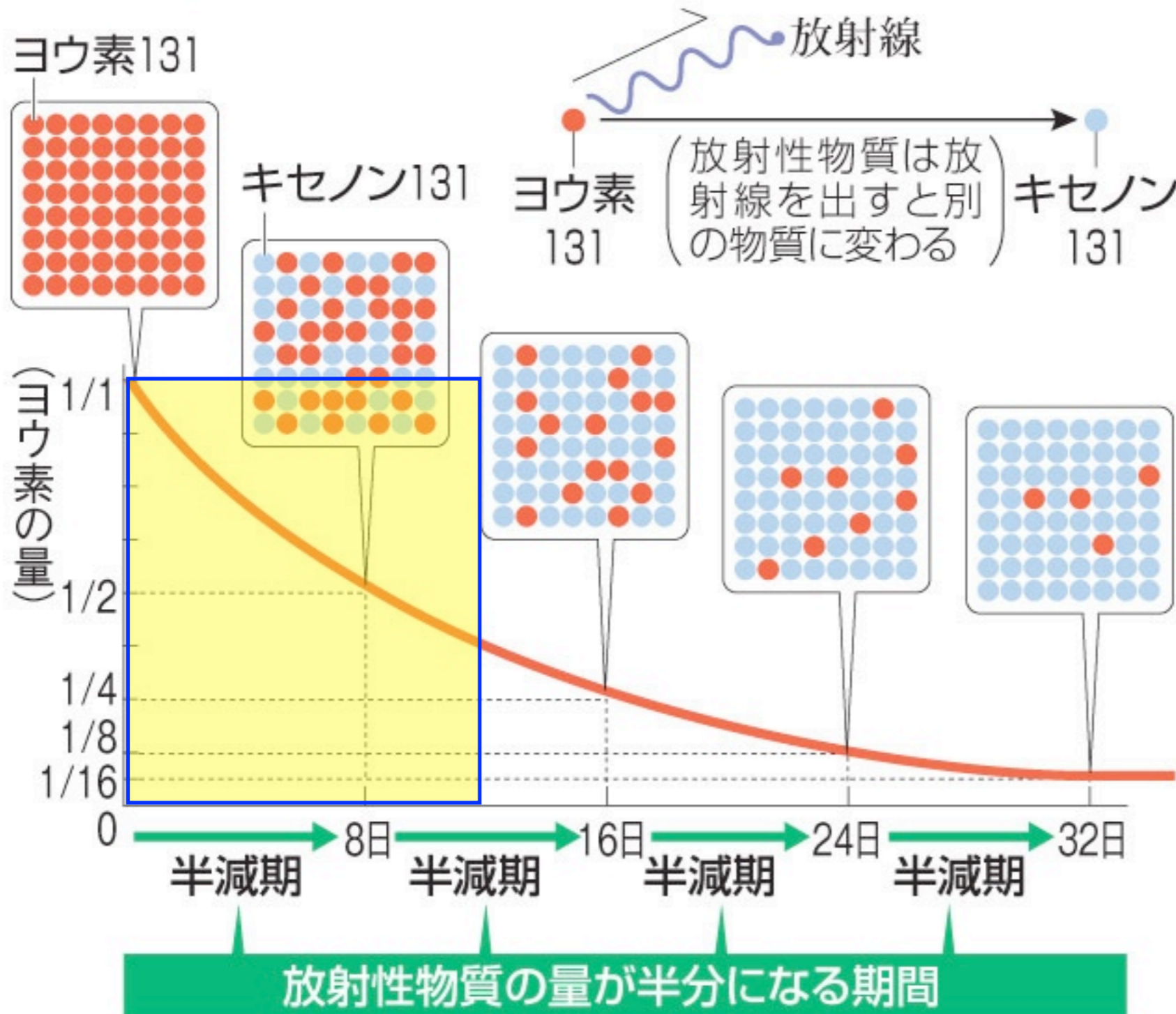
放射能 (radioactivity) の単位

[Bq] | Bq = 1 dps ベクレル (秒当たり1崩壊)

Becquerel decay/disintegration per second

(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

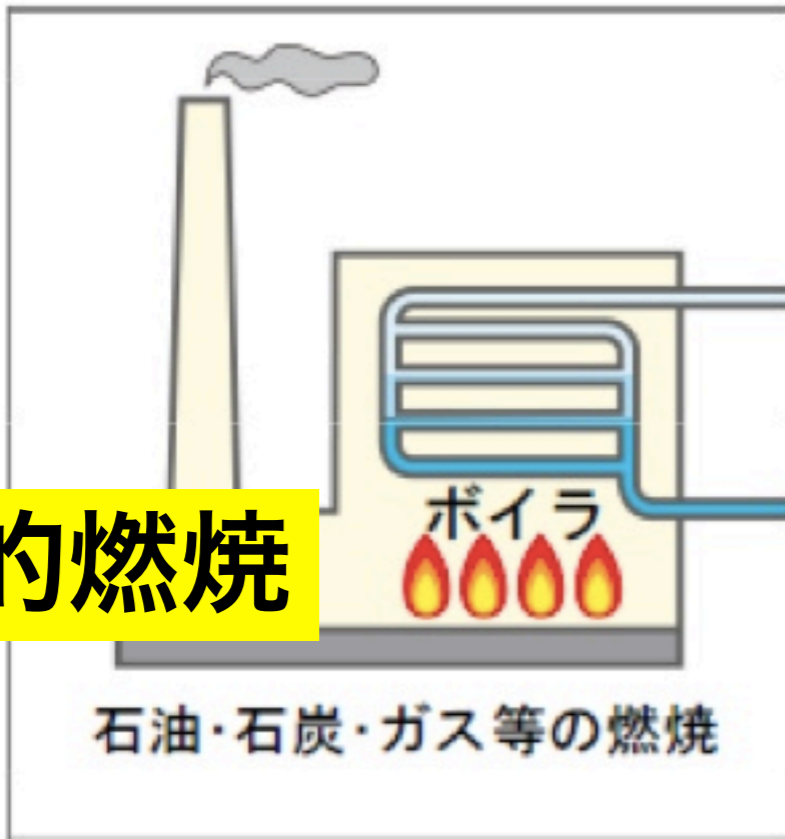
放射線のもつエネルギーは？ (eV, J)

1 ミリシーベルトを熱エネルギーに直すと？ (K)

火力発電と原子力発電の違い

火力

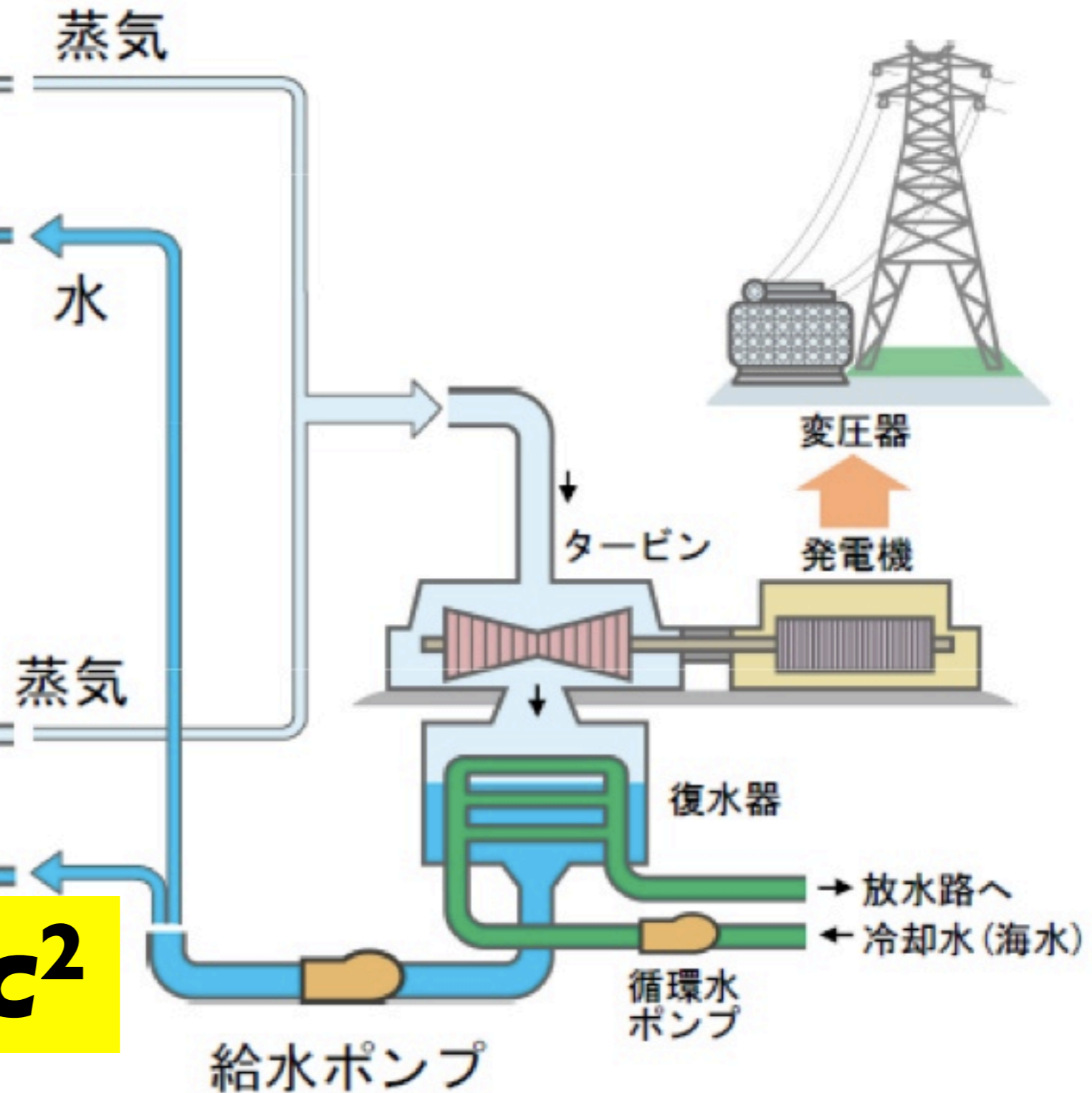
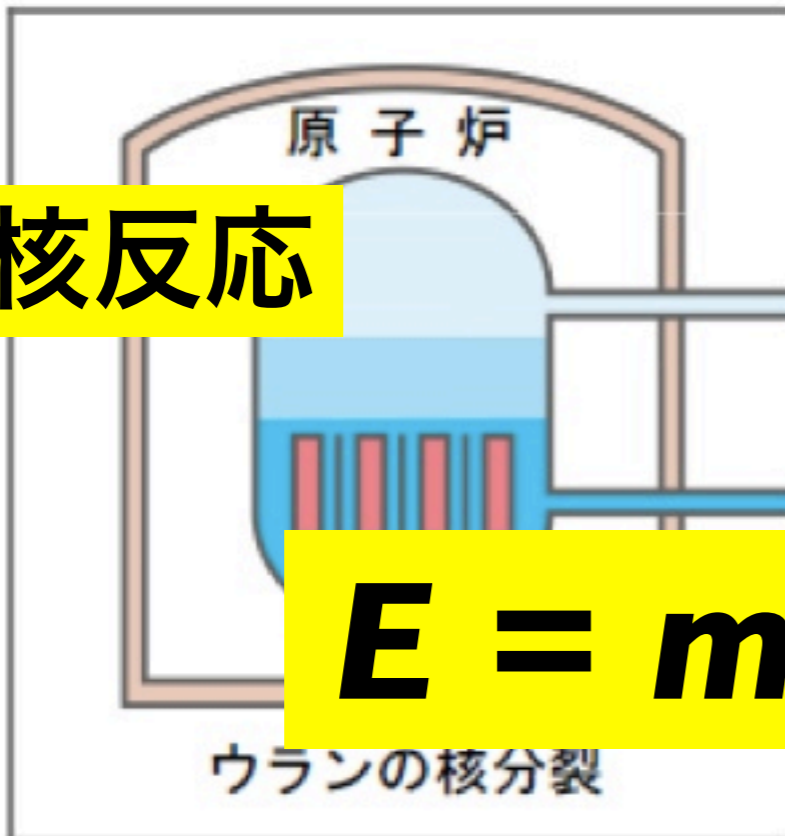
化学的燃焼



原子核反応

原子力

$$E = mc^2$$





分子
molecule

nm (10^{-9} m)

ナノメートル

化学

eV

電子ボルト

Chemistry

原子物理学

Atomic Physics



原子
atom

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

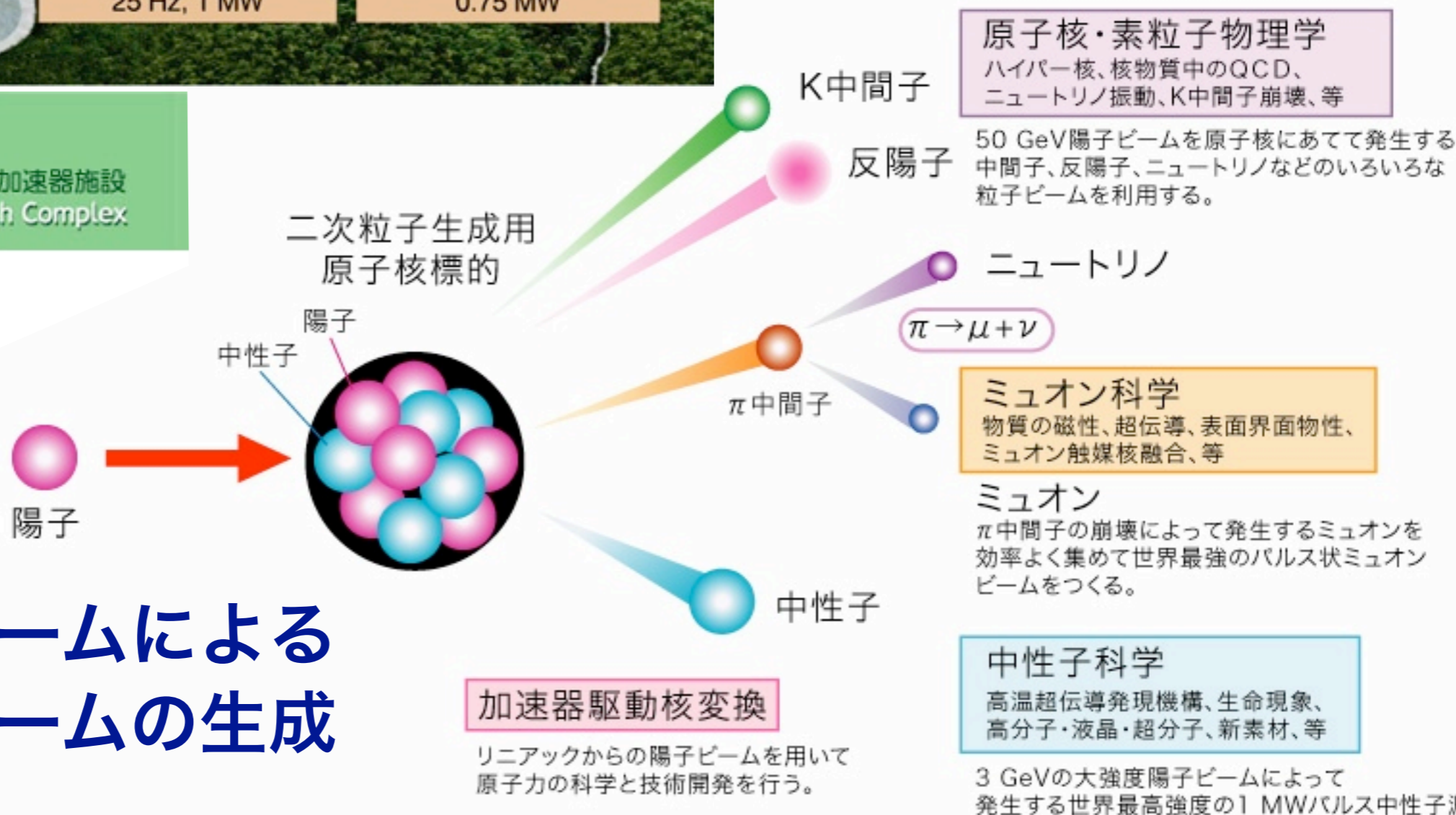


クォーク
quark



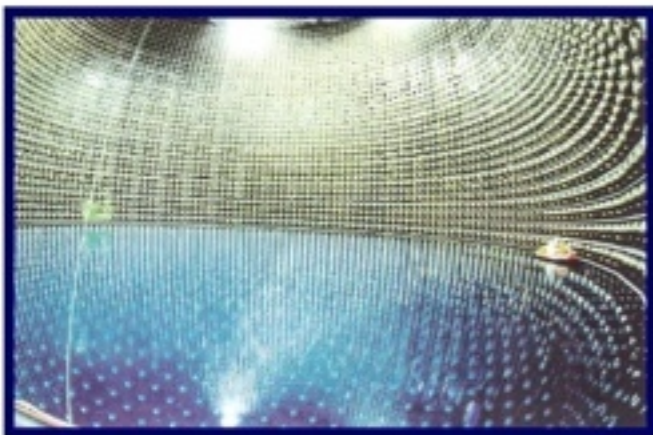
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

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

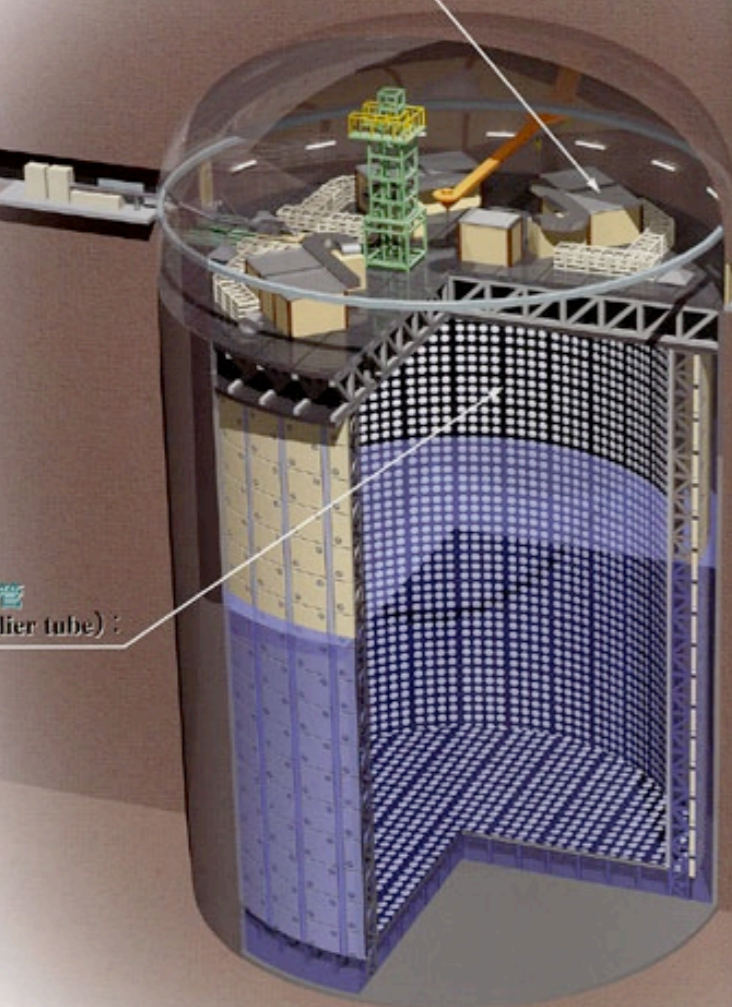
Super-Kamiokande



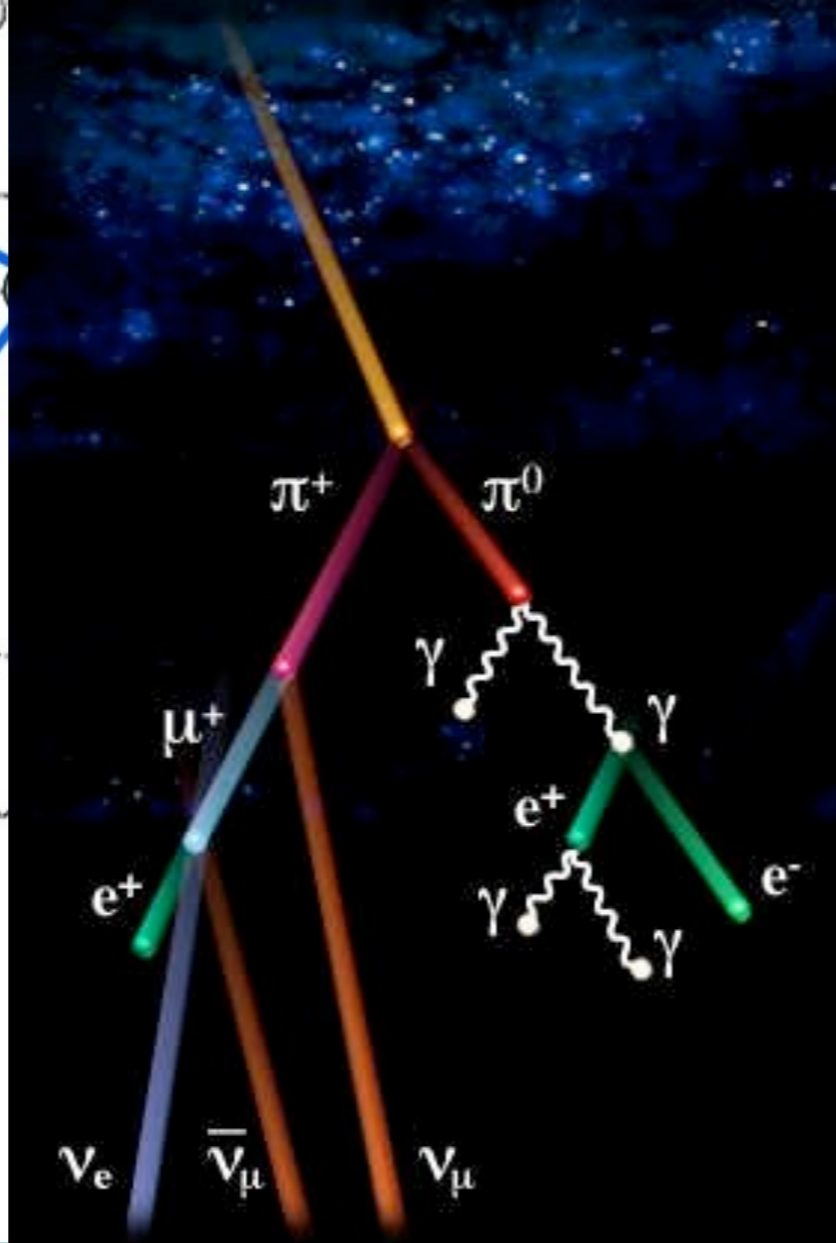
スーパー
カミオカンデ



●エレクトロニクスハット
(Electronics hut):



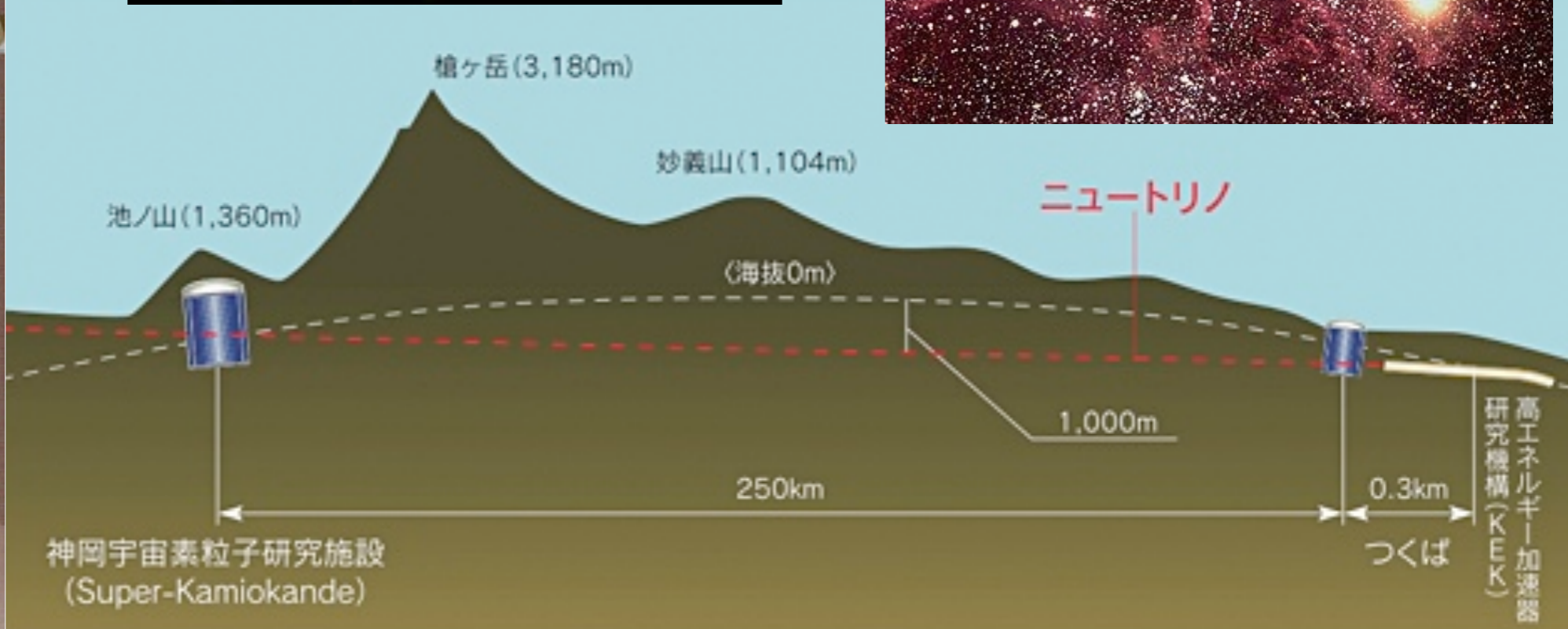
er tube):



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)



The Nobel Prize in Physics 2013
 François Englert, Peter W. Higgs

The Nobel Prize in Physics 2013

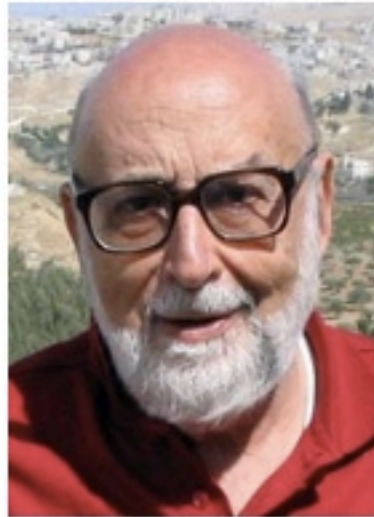


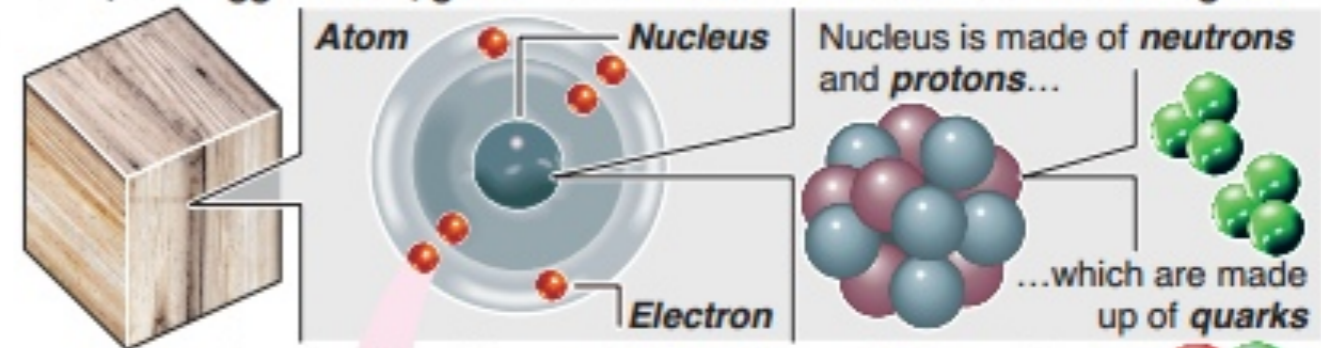
Photo: Pnicolet via Wikimedia Commons
 François Englert

Photo: G-M Greuel via Wikimedia Commons
 Peter W. Higgs

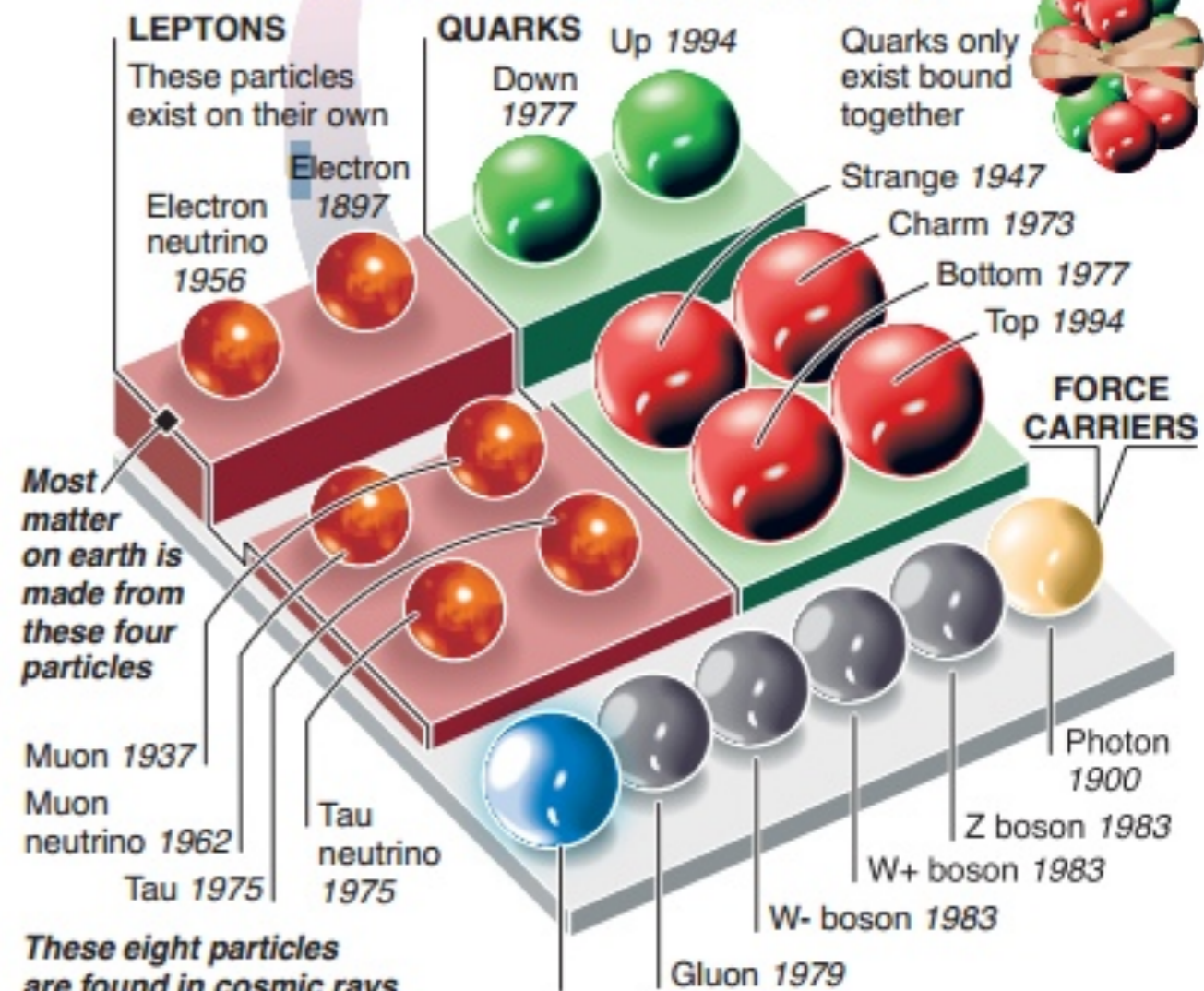
The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs *"for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"*

New particle could be missing force carrier

Physicists believe that matter – created by the Big Bang some 14 billion years ago – is made up of 12 subatomic particles and six force carriers. One, the Higgs boson, gives matter mass and holds the universe together



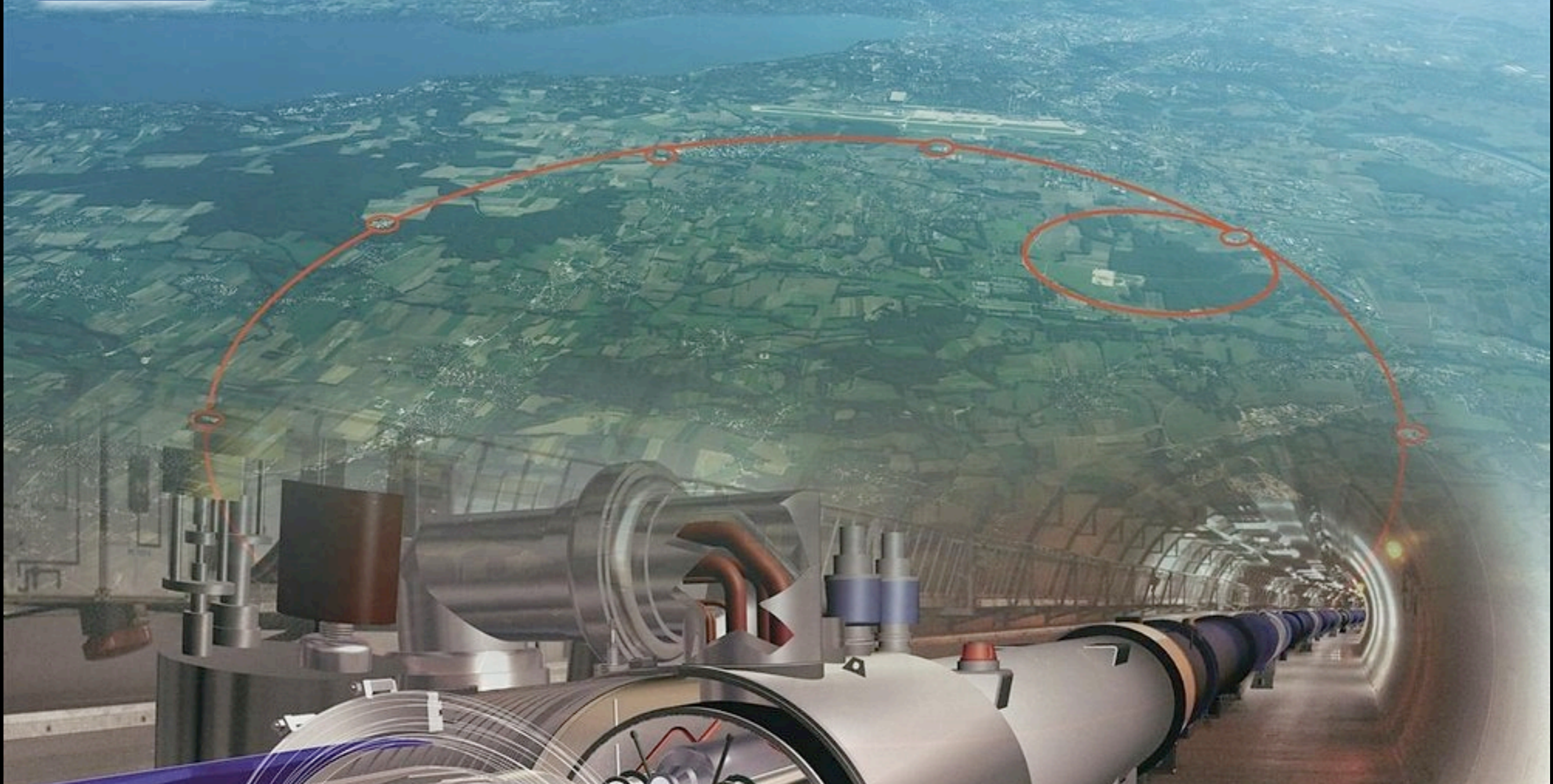
Fundamental particles and forces (year of discovery)



2012: New particle could be Higgs boson



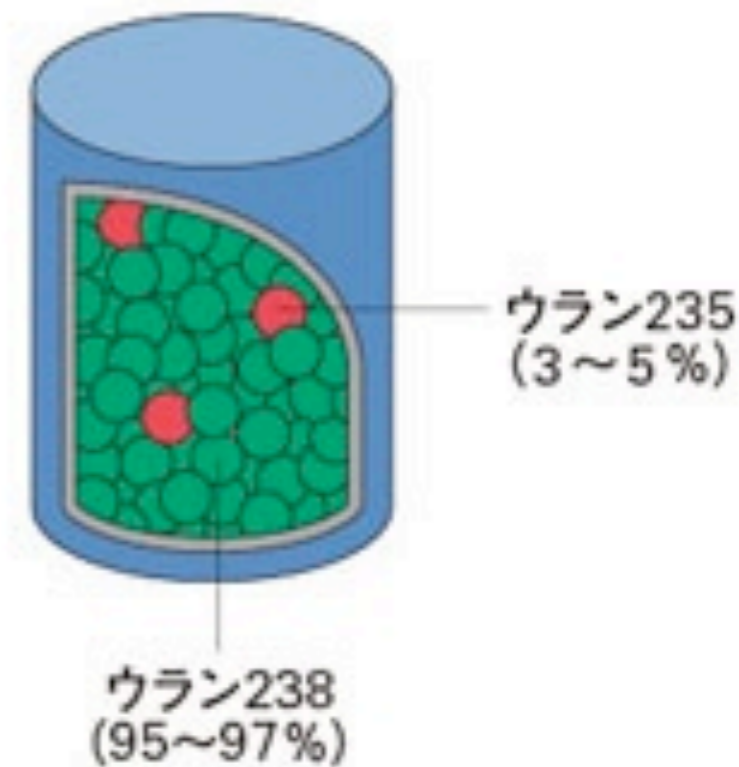
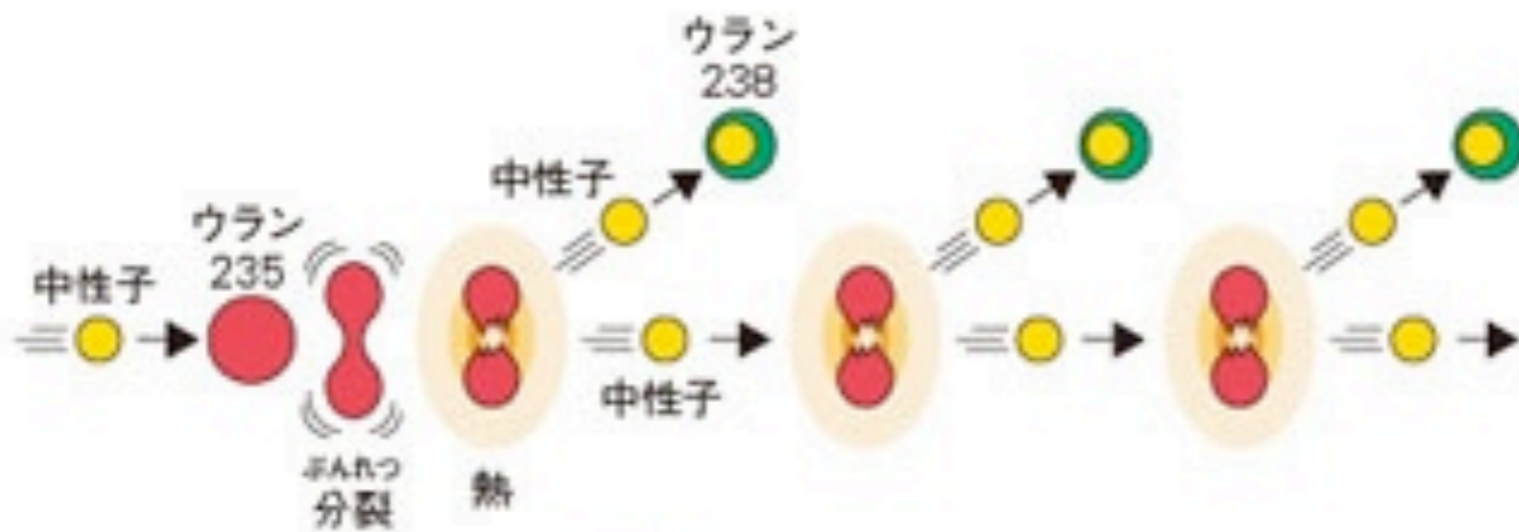
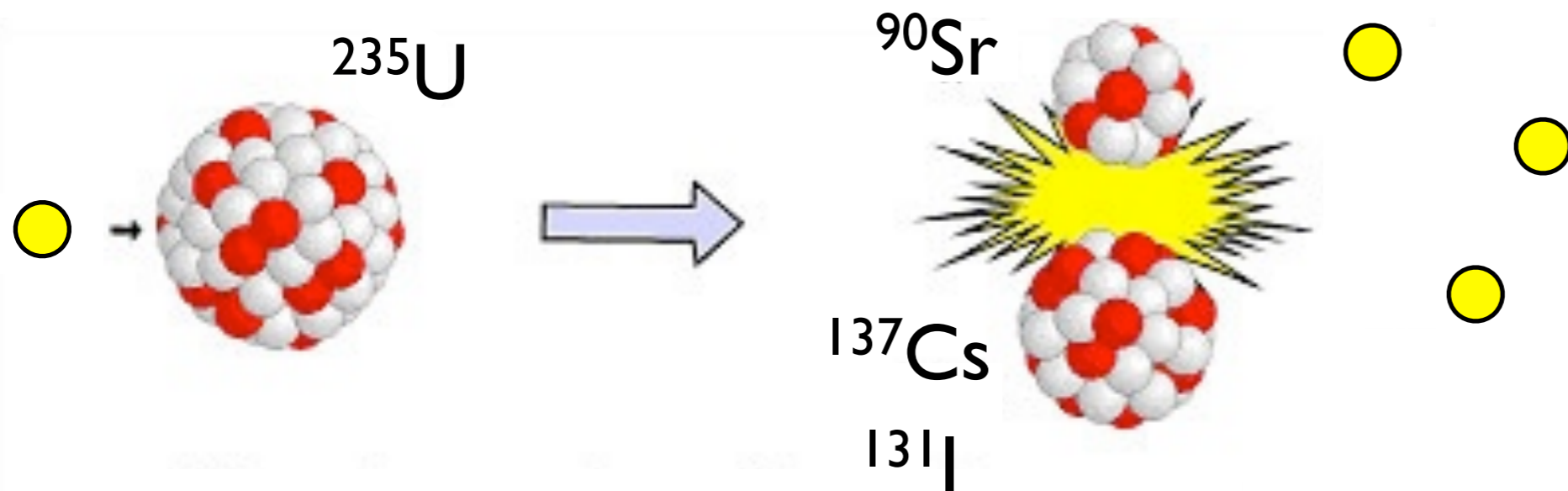
CERN セルン：欧州合同原子核研究機関
European Organization for Nuclear Research
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire



加速器科学

第13回：1/27

原子核分裂反応

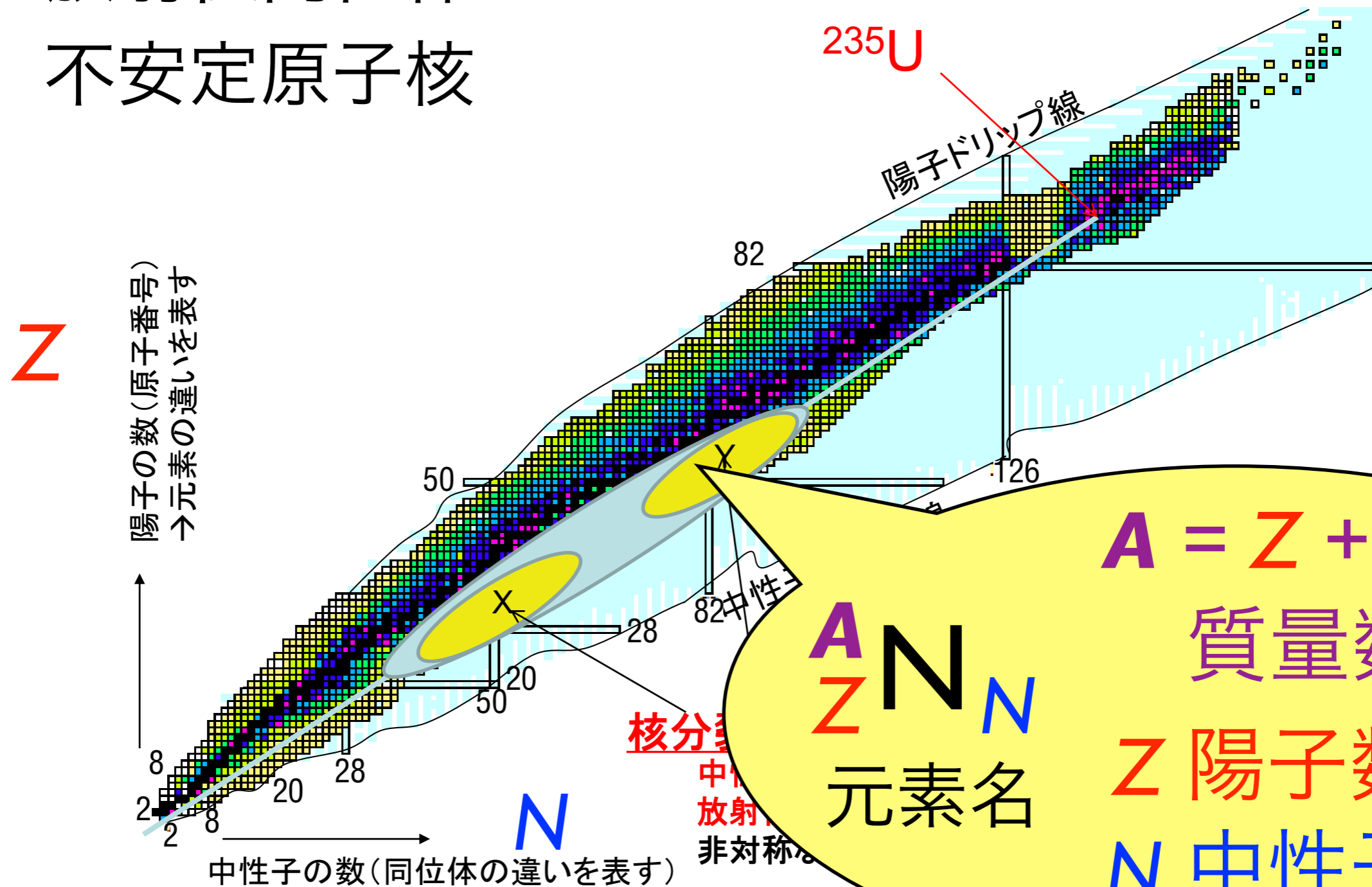


中性子 + ウラン 235 / 238

原子核物理学

Nuclear Physics

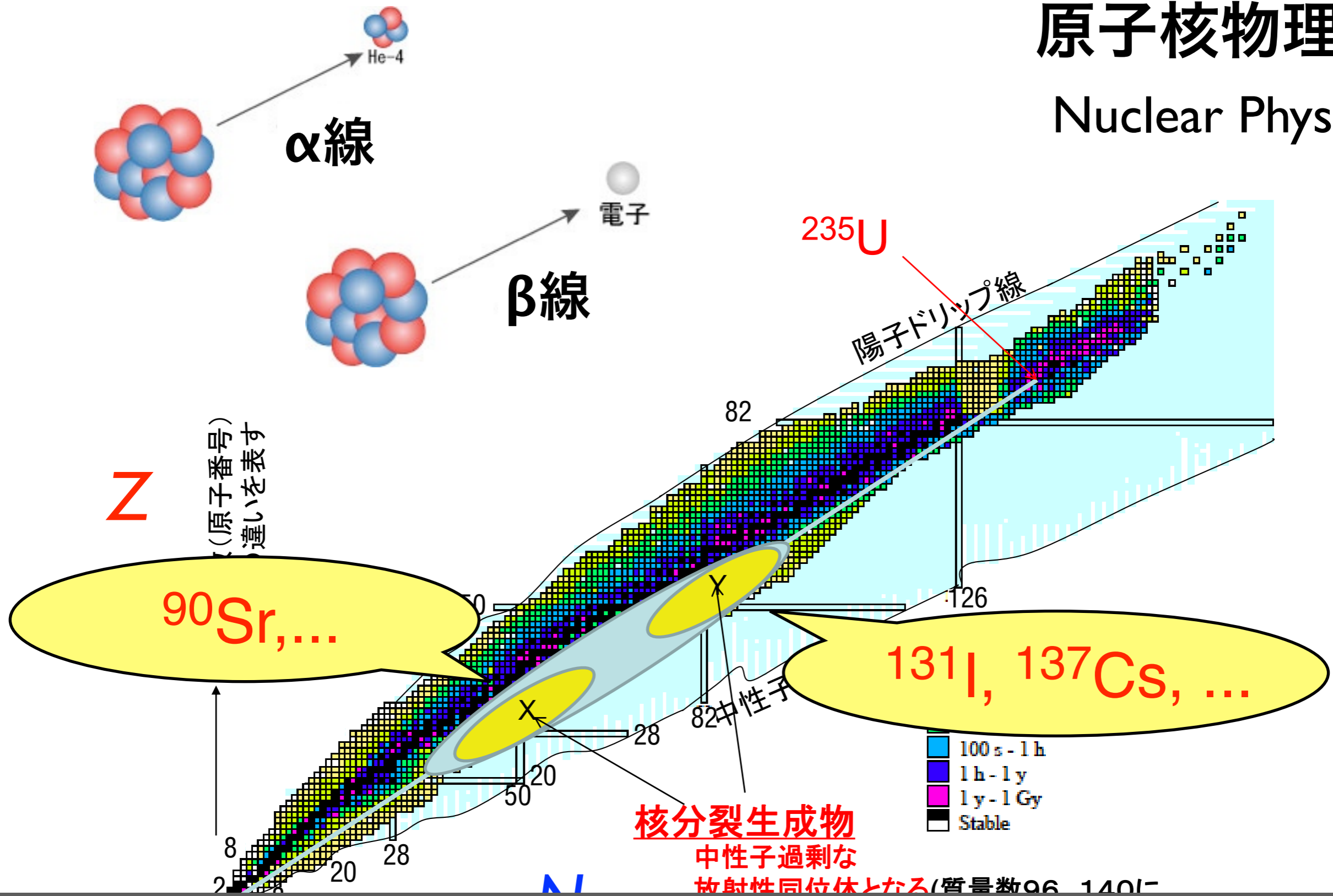
放射性核種
放射性同位体
不安定原子核



Nuclear Chart 核図表

原子核物理学

Nuclear Physics





第3・8・9回：
10/25, 12/6, 12/13

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 】

(放射線の測定原理・方法・問題点)

(放射線量の時間変化、放射性物質の濃縮と拡散)

(現在の事故状況と今後の放射線量)

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 (10月25日)

- ▶ 「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
 - サーベイメータ(GM,NaI...)
 - ゲルマニウム、CdZnTe半導体検出器
 - 液体シンチレーションカウンタ、ガスフローカウンタ
 - アルファスペクトロメトリ、質量分析
- ▶ 「放射性セシウム100Bq/kgの基準値」の意味を測定の現場から解説
 - 測定値には隠れた意味がいっぱい。

環境放射能は体温計のように簡単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。

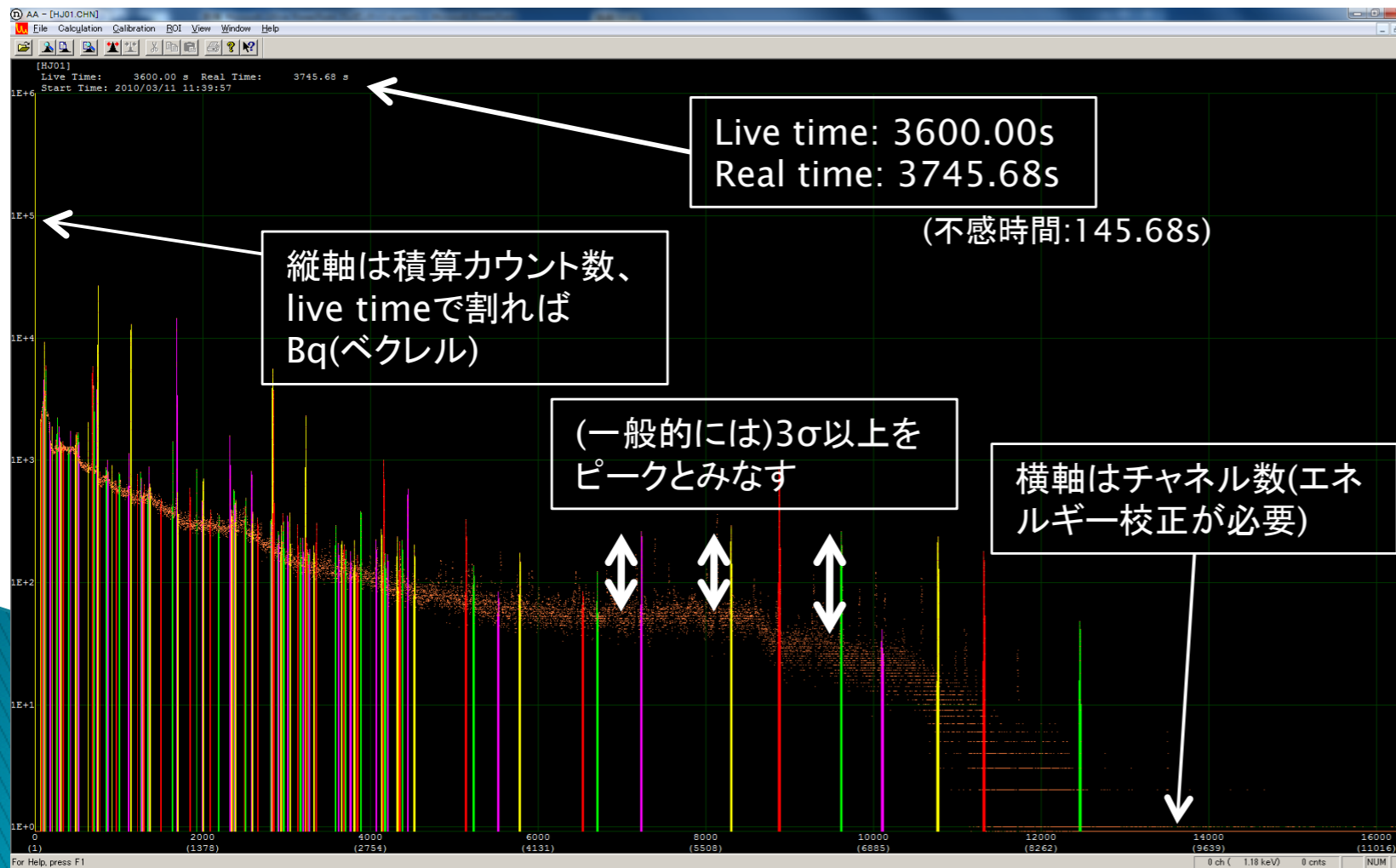


ゲルマニウム半導体検出器

- ▶ 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



ゲルマニウム半導体検出器@東大
アイソトープ総合センター



ガンマスペクトルの例
(測定時間1時間)

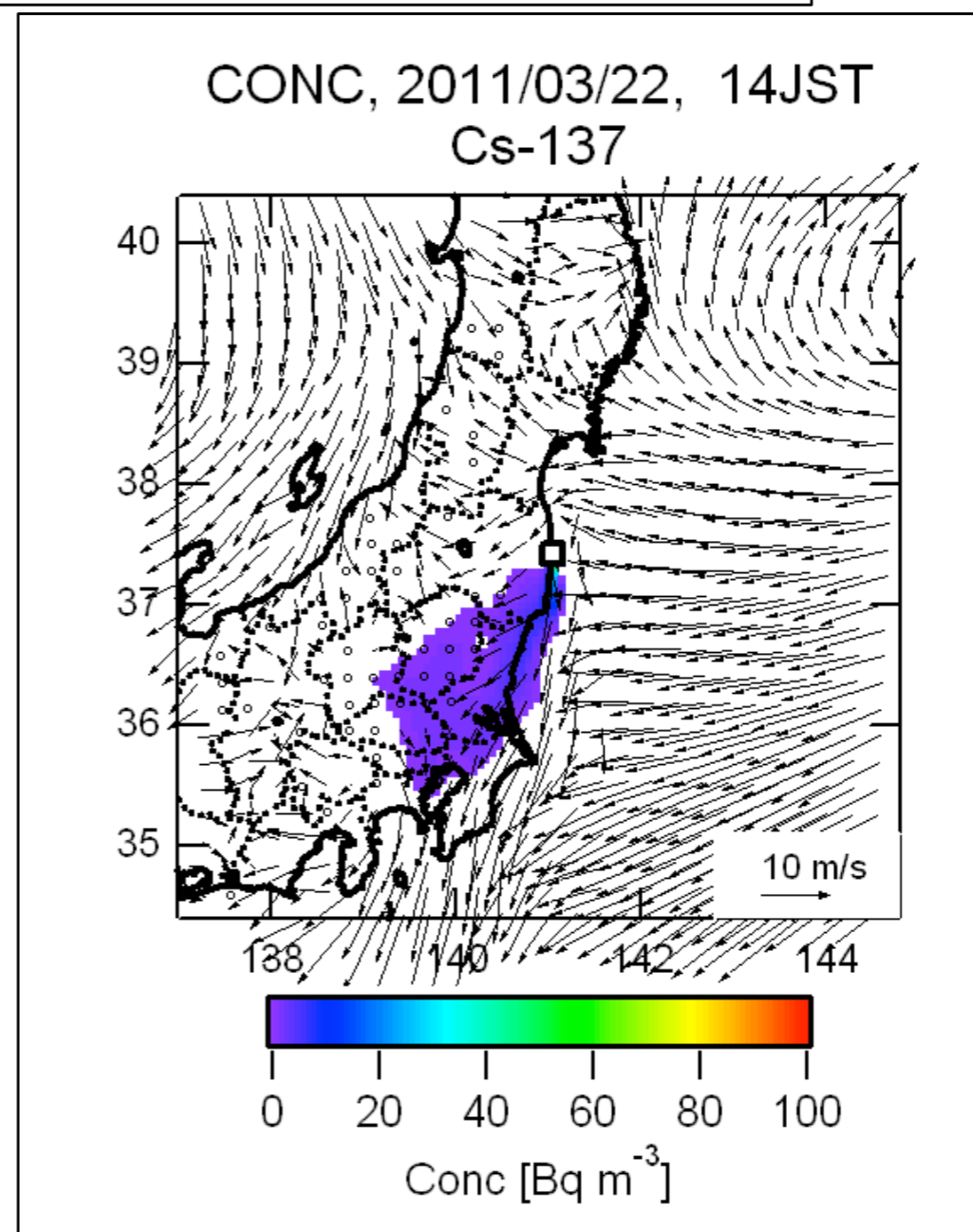
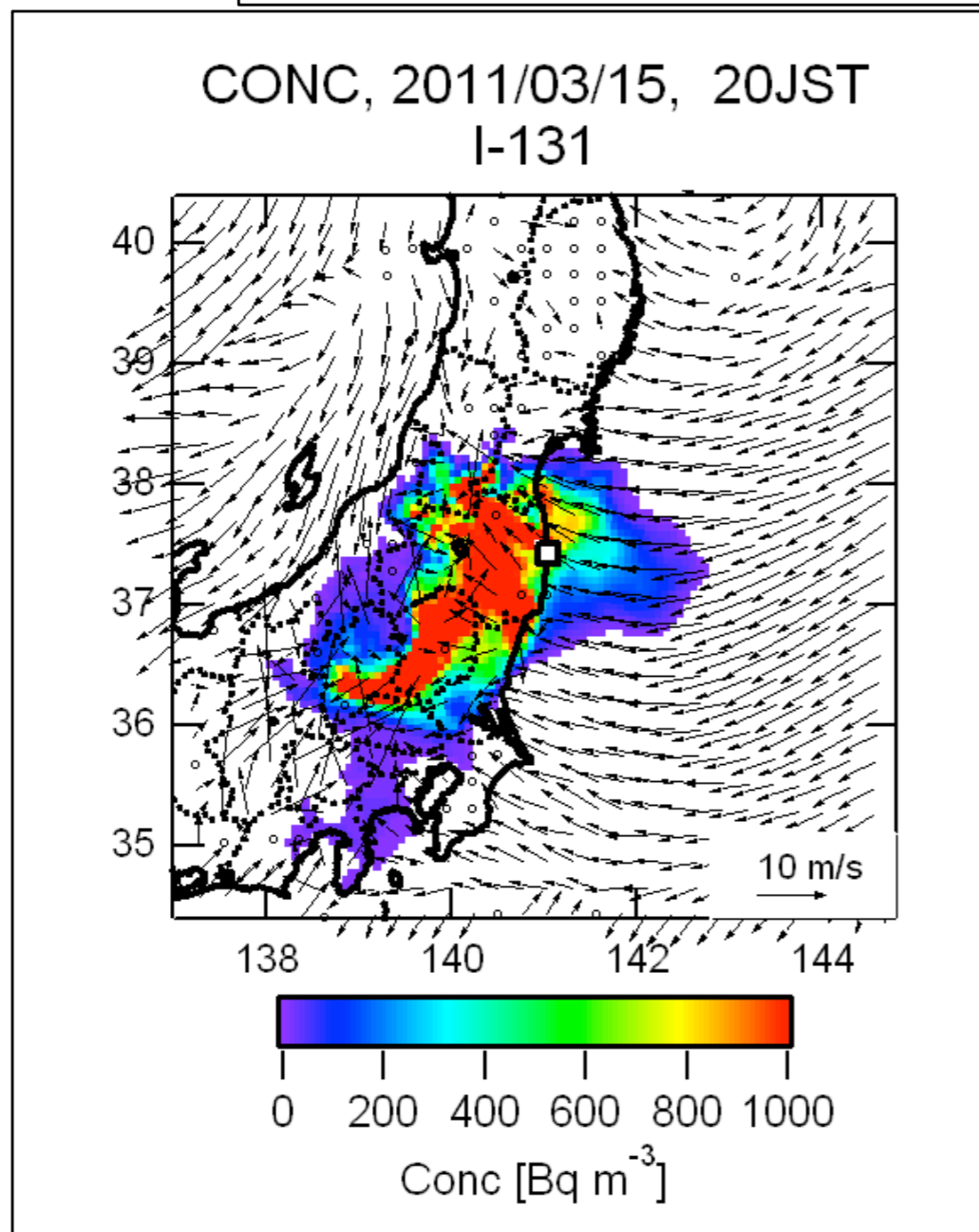
環境の中にある放射線 (12月6日)

- ▶ 降ってきた放射性物質はその後どうなる？
 - 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」から「ホットエリア」へ
- ▶ 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

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

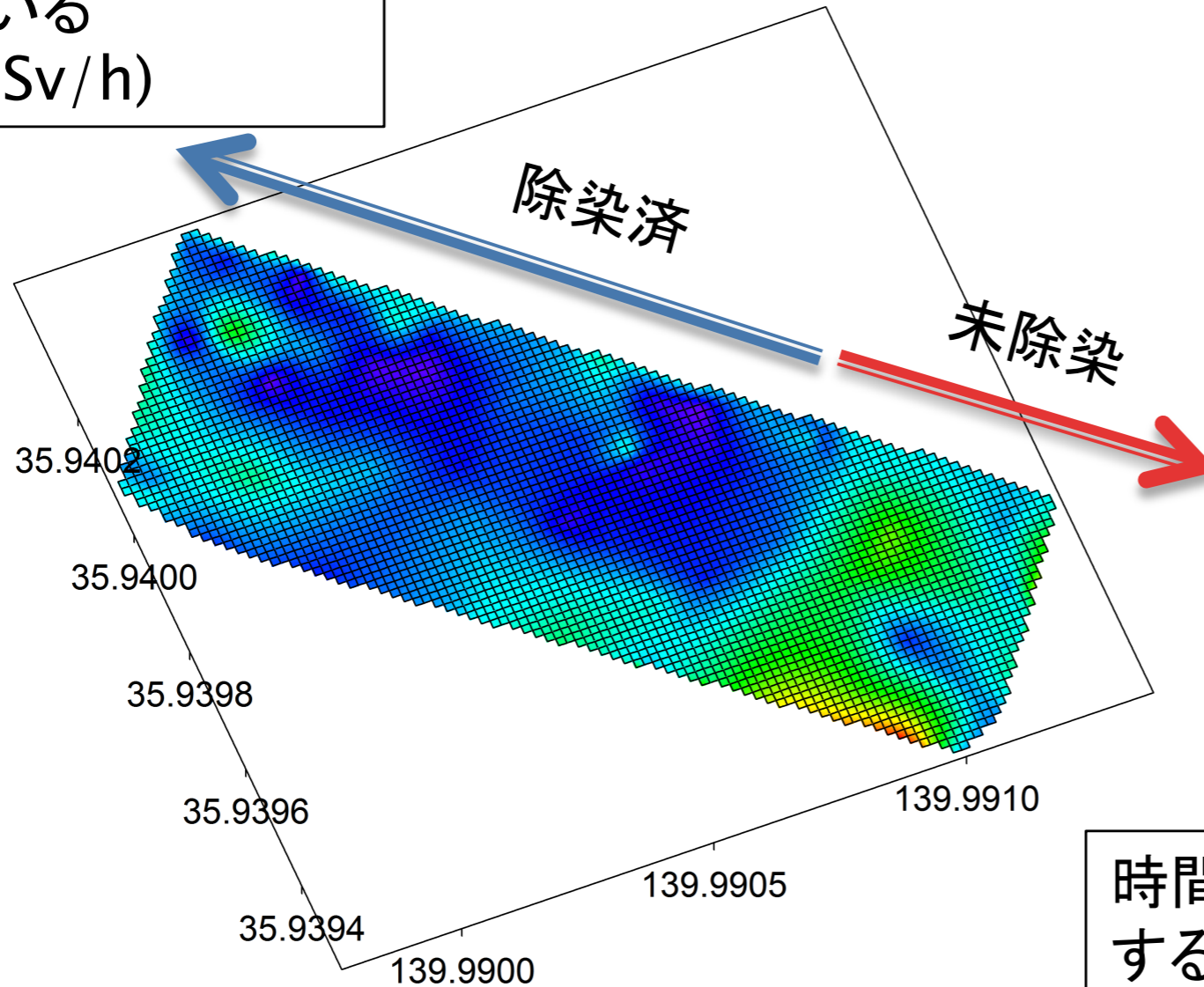
2011年8月25日付 国立環境研究所 報道発表資料



- ▶ 実測値との差違を議論したい

事故後2年経った放射性セシウムの沈着

緑色以上が除染基準を超過している
($>0.23\mu\text{Sv/h}$)



公園の放射性セシウムの分布

高空間分解能を有した空間線量率測定を行うことで除染の効果を検証

現在、様々な場所でこのようなマッピングを行っています。

(例)
文京区内の公立小学校
茨城県守谷市内の公園・水路
大学キャンパス内

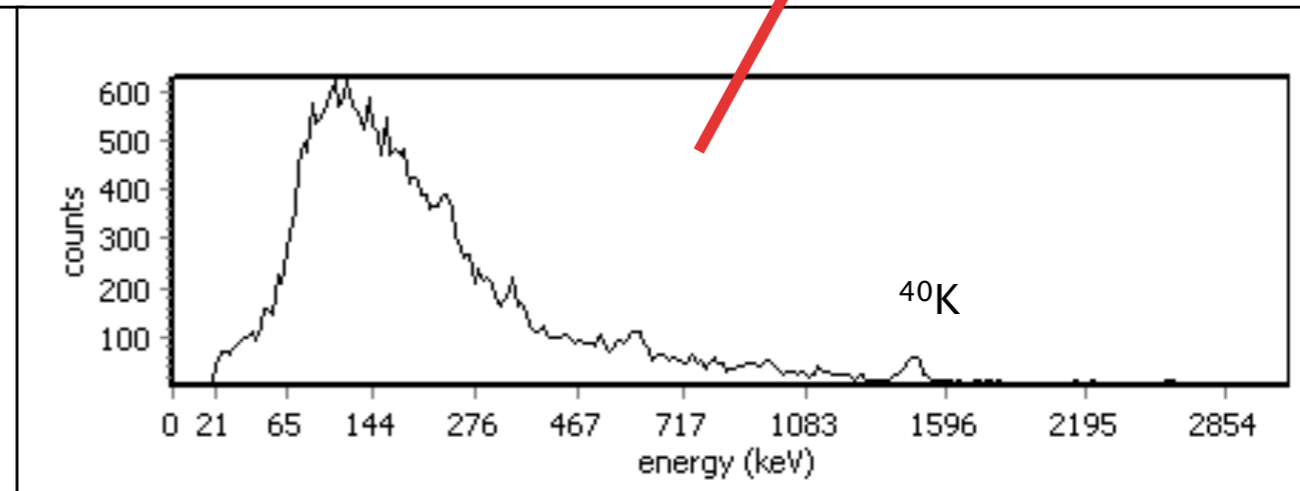
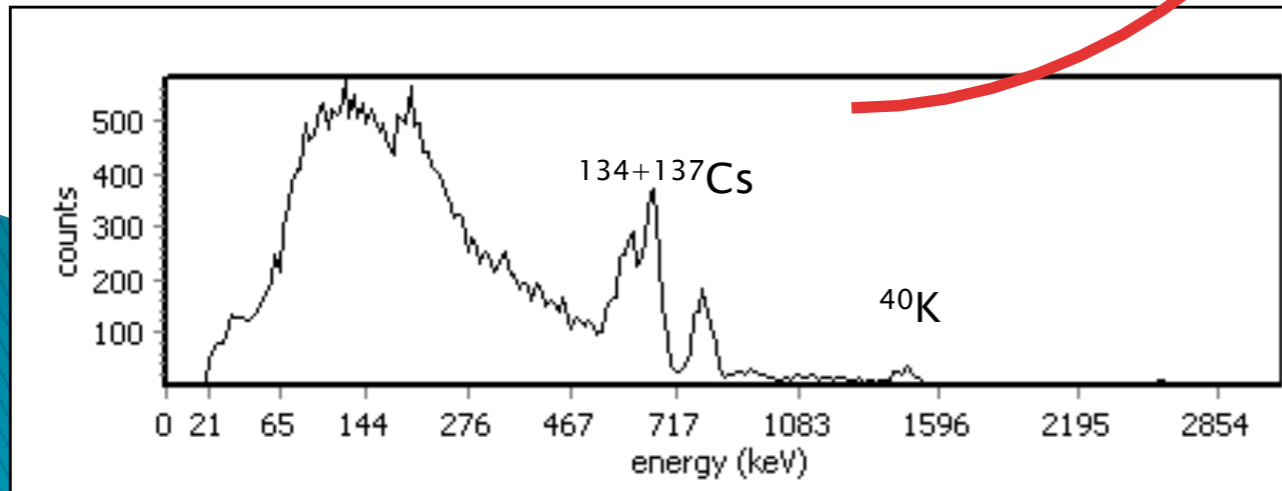
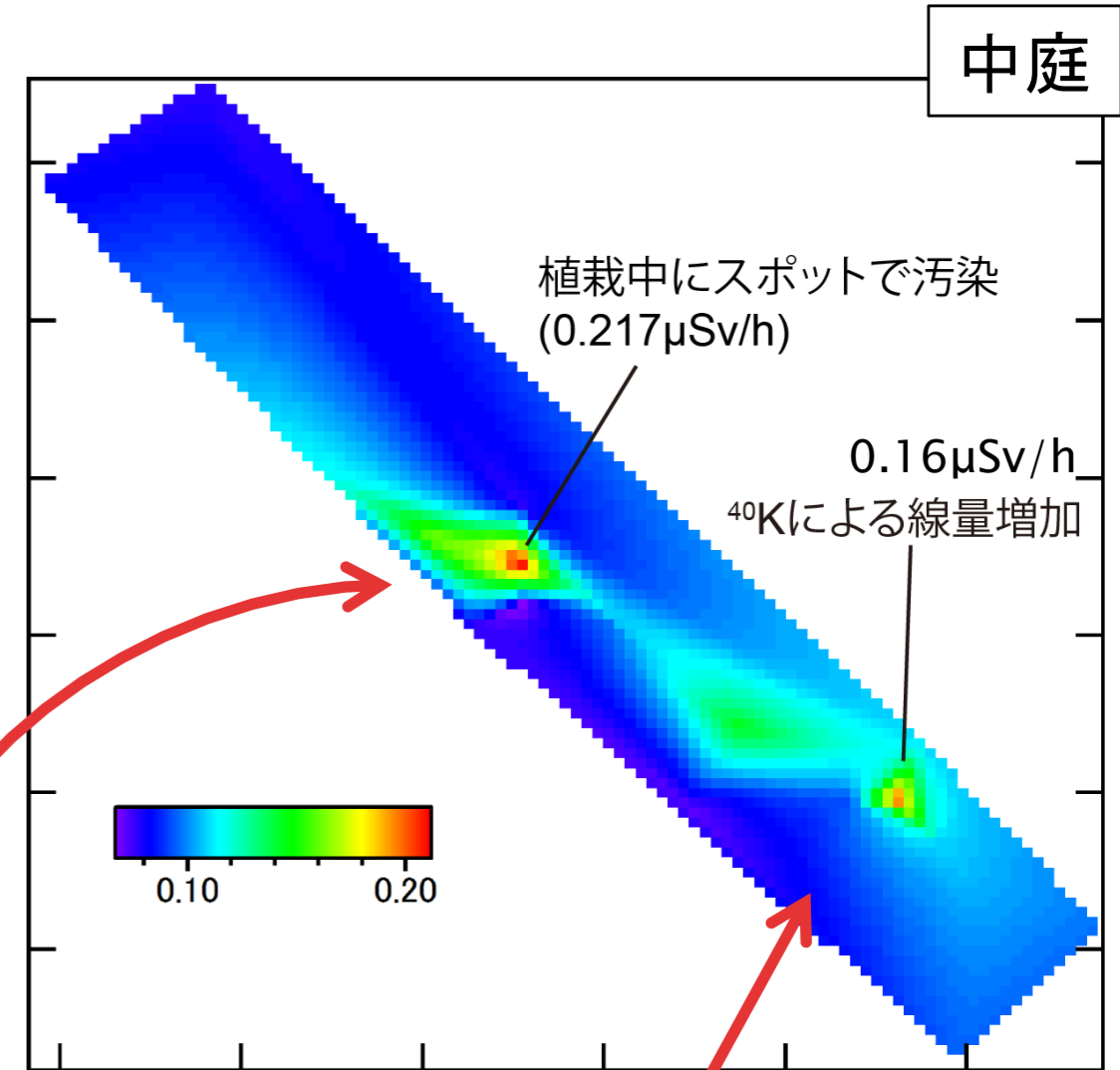
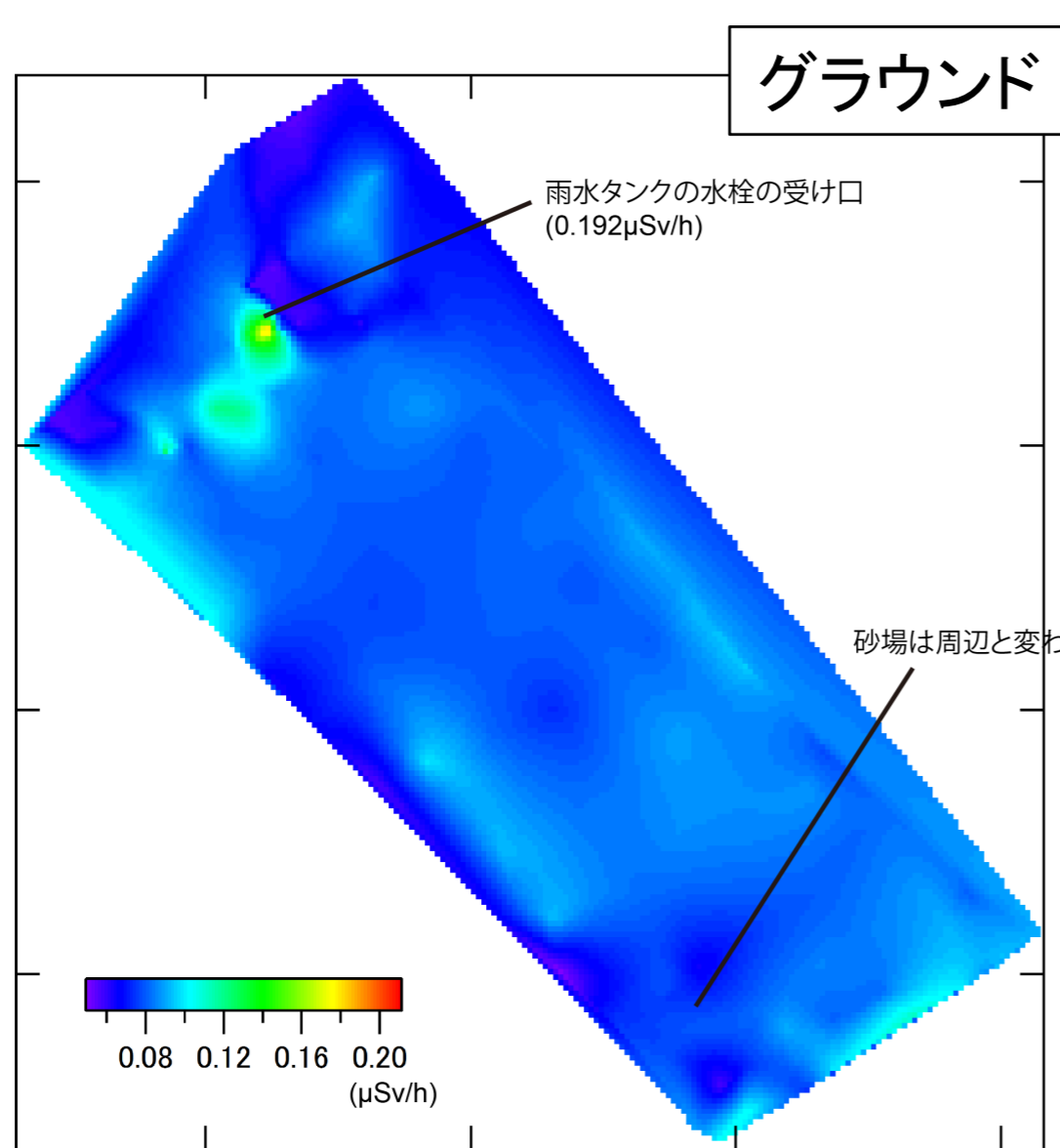


時間とともにその場所の線量が変化する様子をトレース

(例)
あのホットスポットは今後どうなる？
この場所は除染が必要？不必要？

都内小学校での測定

低線量の場合、自然放射能からの寄与が無視できない



将来はようになる (12月13日)

- ▶ 福島原発事故はどう起きたのか
 - これまでに明らかにになった事故の過程
- ▶ モニタリング値と実測値の違い
 - 陸域/海域のシミュレーションと実測値
 - 汚染水問題
 - 廃炉にむけた取り組み

事故の過程を示すとともに、今後の放射性物質の推移について議論したい



Nuclear error

Japan should bring in international help to study and mitigate the Fukushima crisis.

03 September 2013



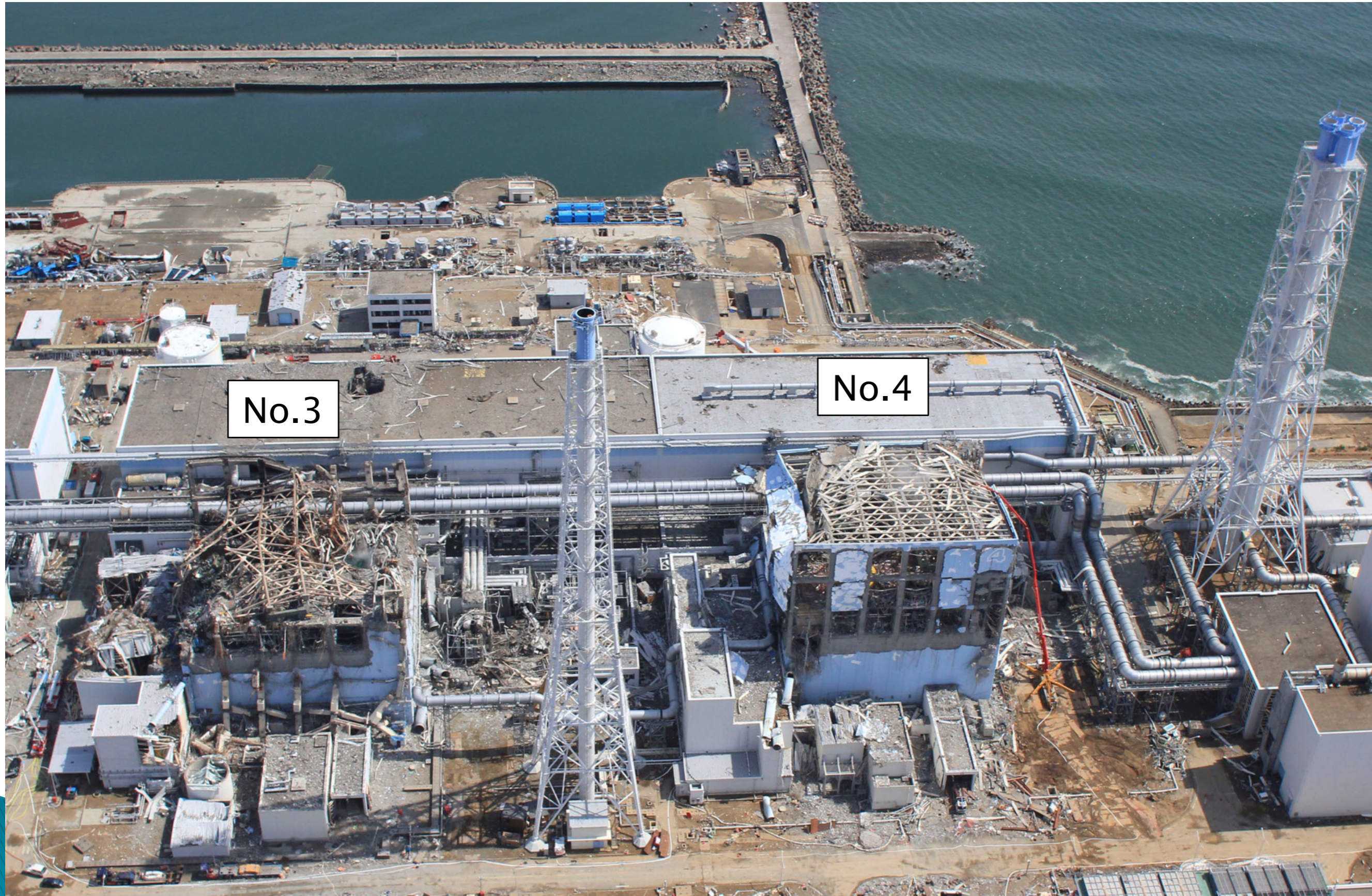
PDF



Rights & Permissions

The radioactive water leaking from the site of the wrecked Fukushima Daiichi nuclear power plant in Japan is a stern reminder that we have not seen the end of the world's largest nuclear crisis since the Chernobyl meltdown in Ukraine in 1986. After an earthquake and tsunami crippled the

太平洋に隣接する原子炉建屋



敷地内の汚染水を貯めるタンク

この汚染水、どうしよう？
廃炉に向けた取り組みは？

すでに拡散した分は将来どうなる？



化学分野では...

- ▶ 講義のポイントは3点。
- ▶ 「測り方」「核種の移動」「事故の検証と今後の推移」
- ▶ 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実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。

第5・12回：11/8, 1/24



放射線生物学 放射線の利用

【 教養教育高度化機構 渡邊 雄一郎 】
教養学部生物部会

(放射線の細胞および生体への影響)

(育種、滅菌、工学応用など)

2013年10月11日

放射線生物学

教養学部 統合自然科学科

総合文化研究科 生命環境科学系

渡邊雄一郎





放射線

？

地球、宇宙に生きている以上、いつも
自然放射線を被曝している

磁場、オゾン層は宇宙線をカットしてくれている

そのレベルと比較してどうなのか

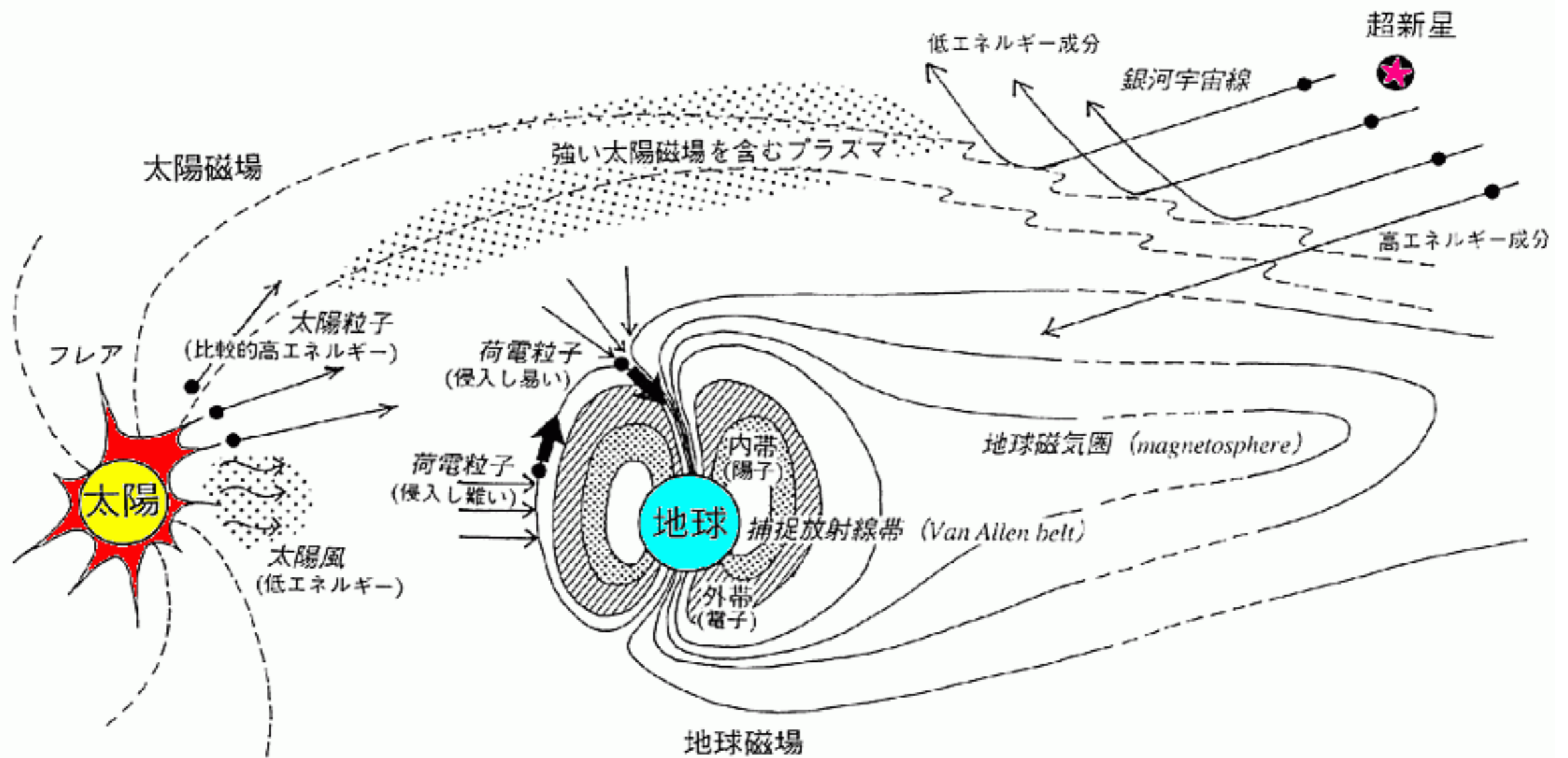


図1 宇宙放射線環境の構造

[出典] 藤高 和信: 宇宙環境の放射線、日本原子力学会誌、35(10)、21(1993)

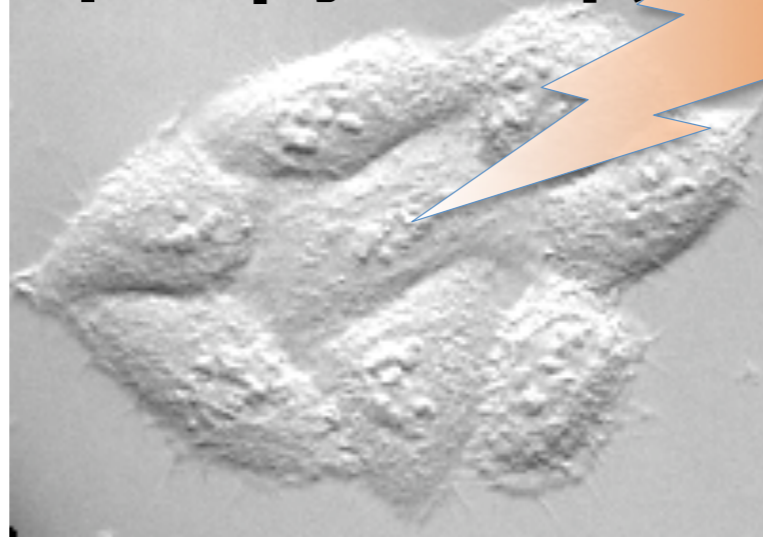
日本有数の温泉保養地
ラジウム温泉

日本観光

大



低線量被ばくによる影響



核 にヒットすると、DNA分子を傷つける

影響がのこる

放射線は遺伝子などに傷をもたらす
低線量被ばくによる影響

細胞には修復能力がある


ただし修復能力にも限界がある

低線量でも確率論的にその傷が残り、
癌につながる可能性が残る。

これが確率論的になる話

発がんリスク

中央道・笹子トンネル崩落事故、死者9人に

2012年12月03日 10:11 発信地:大月/山梨  [ブログ](#)



(3) 医療分野

国は、放射線医学の研究開発成果に基づく患者の負担が少ない放射線治療についての情報が医療や医学教育の現場において広く共有・教育され、適正な放射線治療が普及していくよう、所要の措置を講じるべきである。放射線診断による患者の被ばくについては、関係団体において現場の医療関係者等と連携を図り、国際機関等から提示されている参考レベル等を参照して、国民に不必要な被ばくをさせないために、指針の策定を含め、被ばく線量の最適化に向けた方策の検討が行われることを期待する。

医療への応用・がんとの戦い

写真 8.5.1 がんの治療に使われるリニアック照射装置



【出典】（独）放射線医学総合研究所

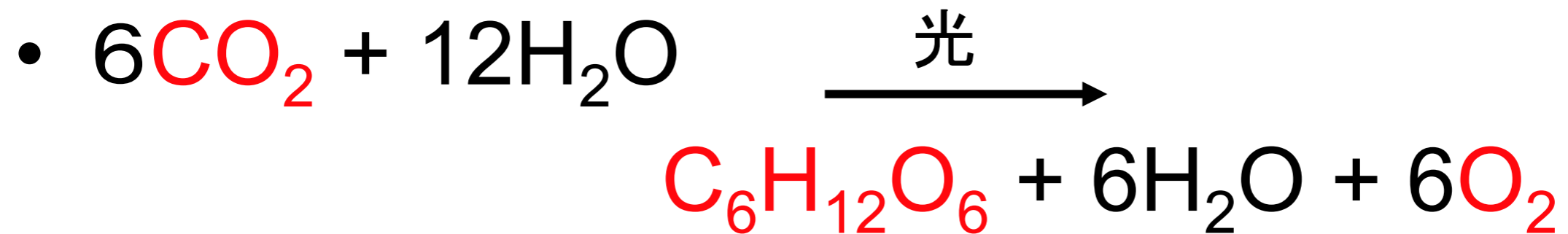
生命科学で頻用される放射性同位体

同位体	半減期
^{32}P DNA, RNA	14 日
^{131}I チロキシン、タンパク質のチロシン残基	8.1 日
^{35}S タンパク質のメチオニン、システイン残基	87 日
^{14}C 有機化合物全般	5570 年
^{45}Ca 細胞内のシグナル伝達物質(イオン)	164 日

^3H 別名トリチウム(三重水素) 化合物全般

12.32年

光合成の収支



Calvin & Benson らの研究

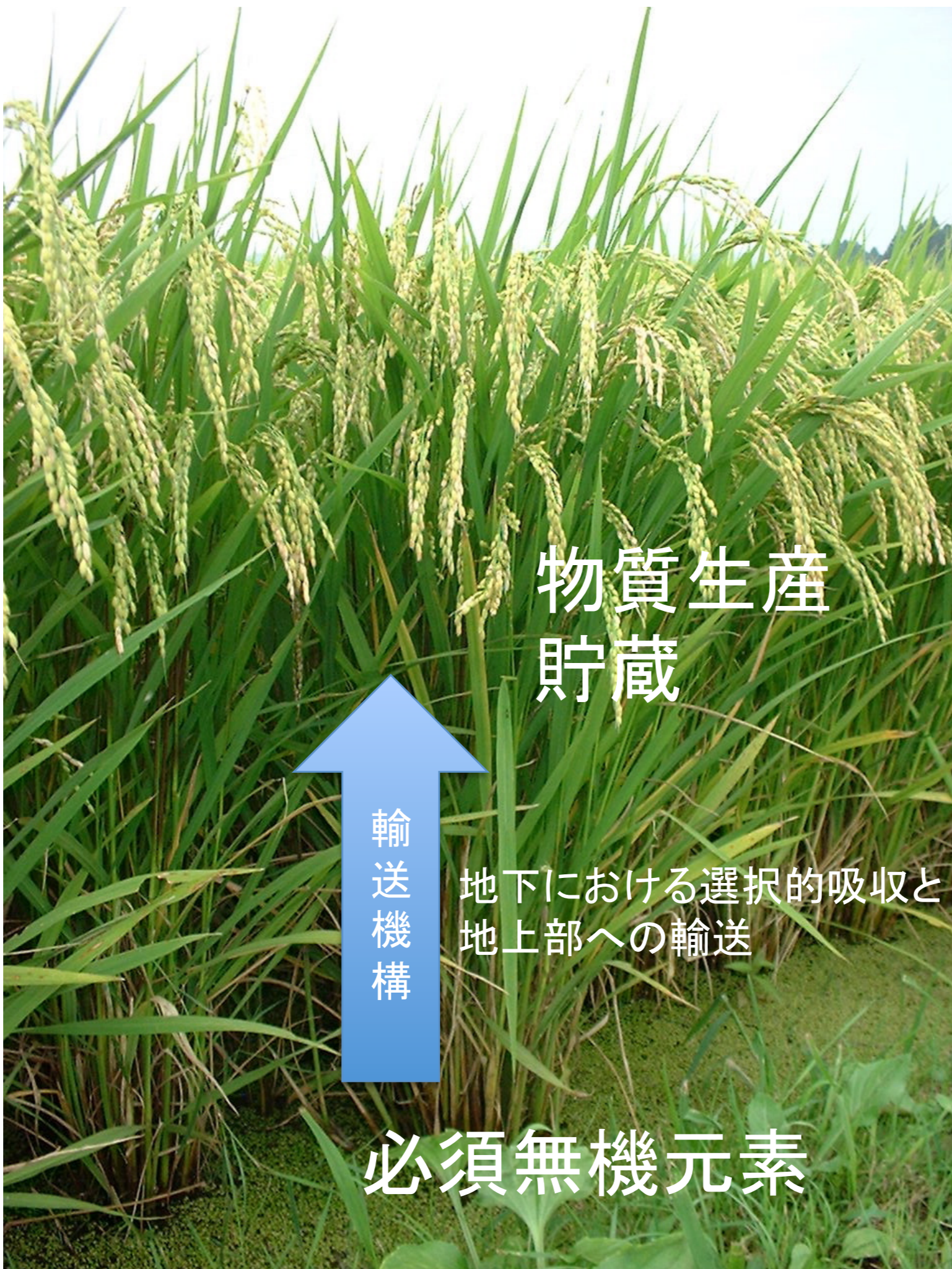
第11回：12/21



植物栄養・肥料学

【農学部応用生命化学 藤原 徹 先生】

(放射性物質と農業)



物質生産
貯蔵



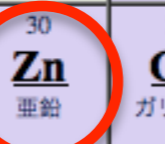
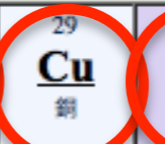
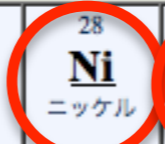
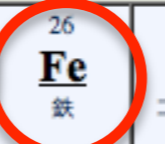
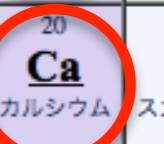
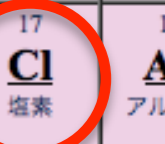
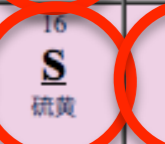
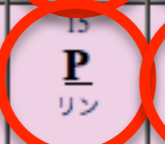
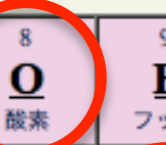
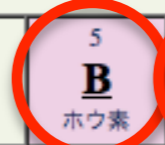
輸
送
機
構

地下における選択的吸収と
地上部への輸送

必須無機元素

	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	9	10	11	12	3B	4B	5B	6B	7B	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 水素																	2 He ヘリウム
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン
3	11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S 硫黄	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン
5	37 Rb ルビジウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテニウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
	55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	L ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	A アクチノイド	104 Rf ラザホージウム	105 Db ドブニウム	106 Sg シーボーギウム	107 Bh ボーリウム	108 Hs ハッシウム	109 Mt マイトネリウム	110 Ds ダームスタチウム	111 Rg レントゲニウム	112 Cn コペルニシウム	113 Uut ウンウントリウム	114 Fl フレロビウム	115 Uup ウンウンペンチウム	116 Lv リバモリウム	117 Uus ウンウンセブチウム	118 Uuo ウンウンオクチウム
	アルカリ金属	アルカリ土類金属	希土類	チタン族	土酸金属	クロム族	マンガン族	鉄族 (上3元素) 白金族 (中6元素)			銅族	亜鉛族	アルミニウム族	炭素族	窒素族	酸素族	ハロゲン	不活性ガス
	L ランタノイド		57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジウム	60 Nd ネオジウム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユーロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロジウム	67 Ho ホルミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イッテルビウム	71 Lu ルテチウム	
	A アクチノイド		89 Ac アクチニウム	90 Th トリウム	91 Pa プロトアクチニウム	92 U ウラン	93 Np ネプツニウム	94 Pu プルトニウム	95 Am アメリシウム	96 Cm キュリウム	97 Bk バークリウム	98 Cf カリホルニウム	99 Es アインスタニウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンタレビウム	102 No ノーベリウム	103 Lr ローレンシウム	

CS →





經根吸收



葉面吸收

放射能を含んだ食品による影響

物理的な崩壊

新陳代謝による減少

体の中で濃縮、あるいは排出

Csは 体内半減期 30 - 110日

蓄積する組織

たとえば ヨウ素は甲状腺

<食品衛生法に基づく飲食物に関する暫定規制値について>

この暫定規制値を上回る食品について、食用に供されることがないよう販売その他について措置されることとなります。暫定規制値のうち、放射性ヨウ素と放射性セシウムに関する暫定規制値は以下のとおりです。

濃縮も考慮されている

対象	放射性ヨウ素(混合核種の代表核種: ¹³¹ I)
飲料水	300Bq/Kg
牛乳・乳製品(注)	
野菜類(根菜、芋類を除く。)	2000Bq/Kg
魚介類	

(注)100Bq/kgを超えるものは、乳児用調製粉乳及び直接飲用に供する乳に使用しないよう指導すること

対象	放射性セシウム
飲料水	200Bq/Kg
牛乳・乳製品	
野菜類	500Bq/Kg
穀類	
肉・卵・魚・その他	

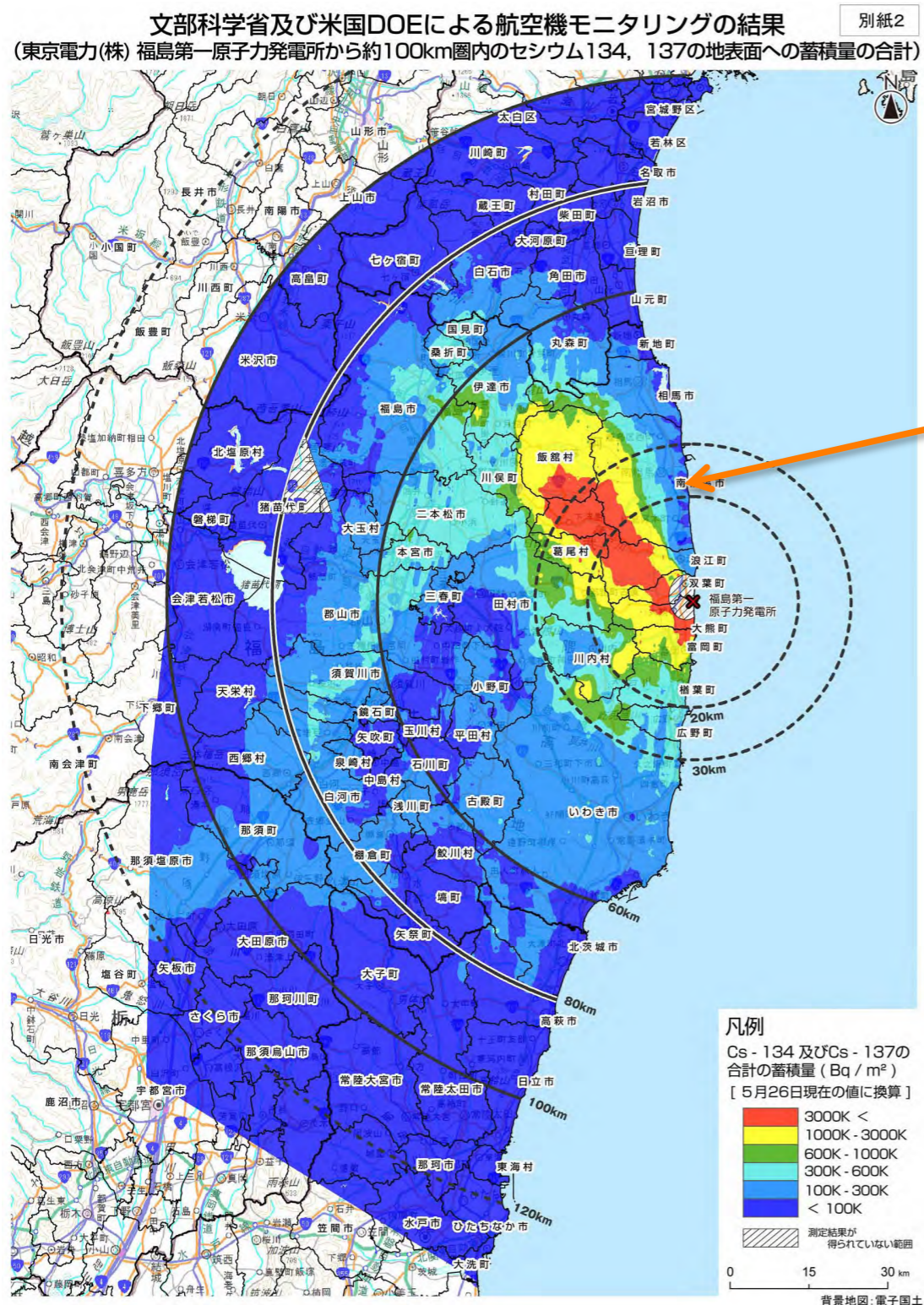


被曝調査・医療支援

【 医科学研究所 坪倉 正治 先生 】

(福島事故後の内部被曝の現状、
現場での医療支援)

原発に最も近い総合病院で、 事故後何が起こり、現在は何が問題なのか？



- 原発から23km
- 230床
- 空間線量 0.1-0.2 μ Sv/h



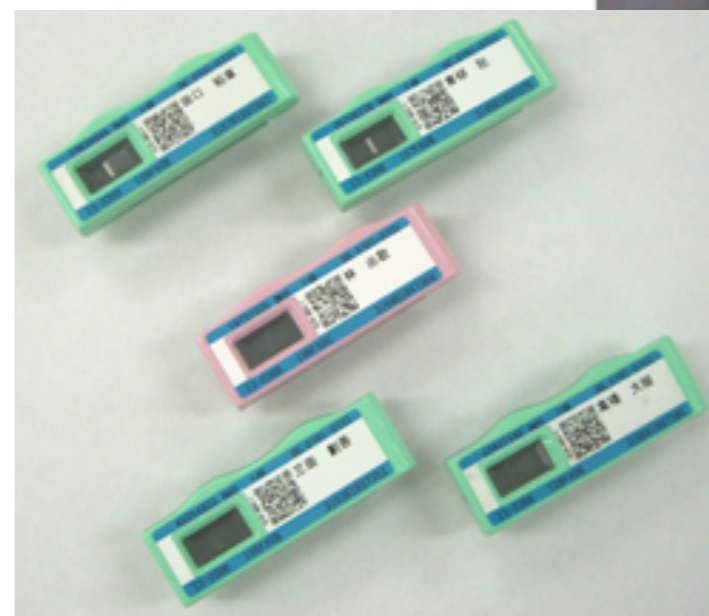
南相馬市人口

70,000 → 10,000 → 40,000

福島県内での被ばく検査はどのような結果なのか。



Whole body counterによる
体内放射能測定



放射線説明会や検診結果を紹介しながら、
これから被災地に必要なことを一緒に考えましょう。



第10回：12/20



放射線防護学

【環境安全本部 飯本 武志 先生】

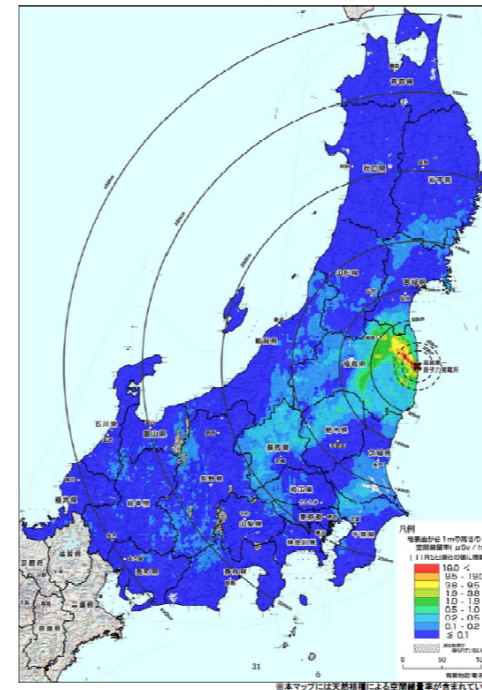
(放射線防護の考え方と実社会への適用)

放射線防護学～その歴史と現在の論点～

環境安全本部 飯本武志

【講義項目】

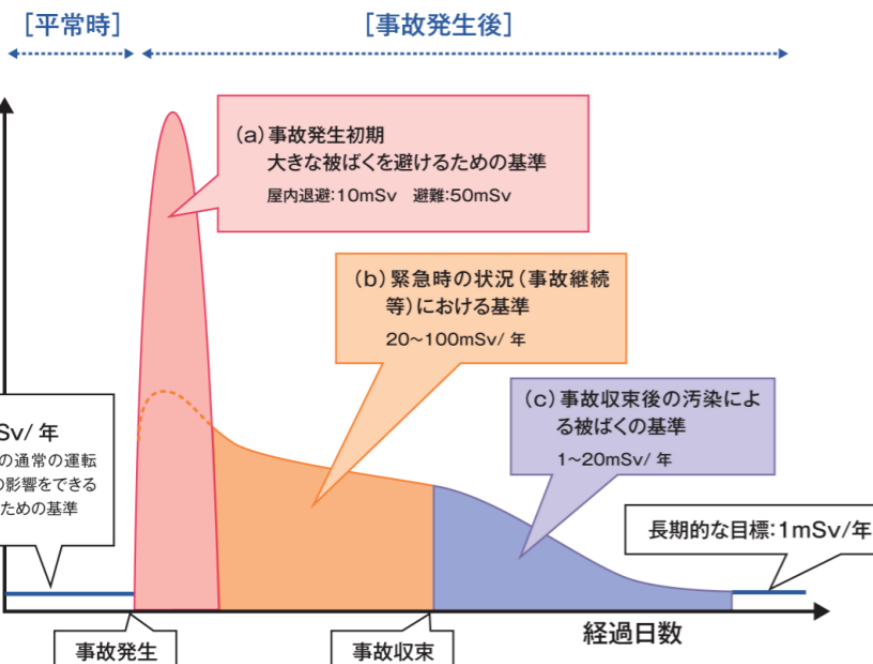
- 我々と放射線の関わり
- 放射線防護の考え方の変遷
- 放射線防護の目的
- 放射線防護体系の基盤
- 放射線防護のための**基準値**の意味
- 現在の代表的な**論点**の例



◆事故後の環境回復

◆自然の高線量環境

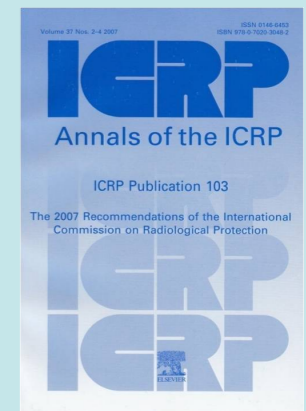
Cs vs Rn どう扱う？



基準値の意味

《放射線防護体系の基盤》

- **被ばくのカテゴリー**
 - 公衆 職業人 患者
- **被ばくの状況**
 - 計画被ばく 緊急時被ばく 現存被ばく
- **放射線防護の三原則**
 - 正当化 最適化 線量限度





第1回：10/11
(today)

放射線入門

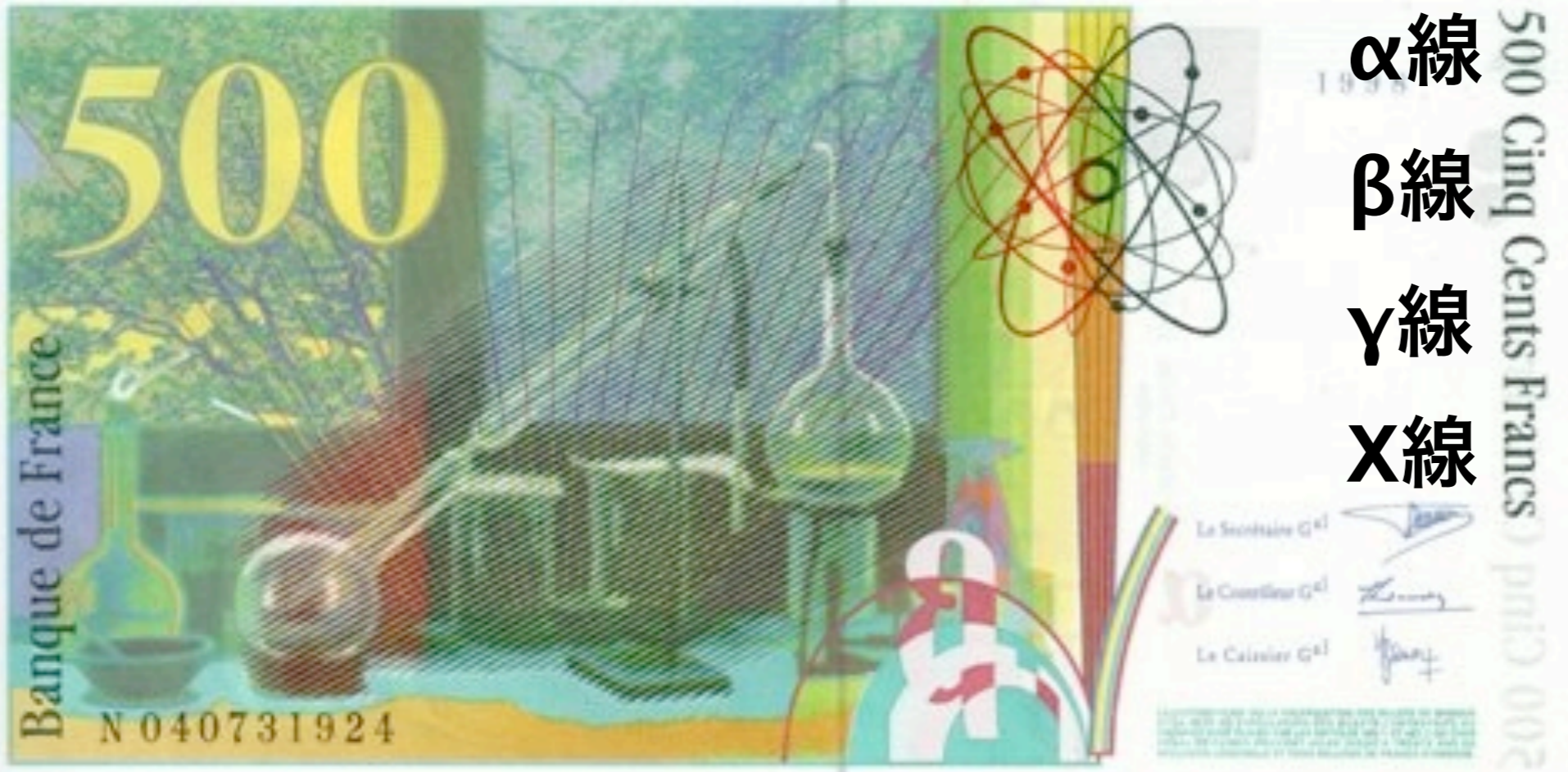
【 教養学部物理部会 鳥居 寛之 】

(放射線とは、身の回りの放射線)

放射線とは？

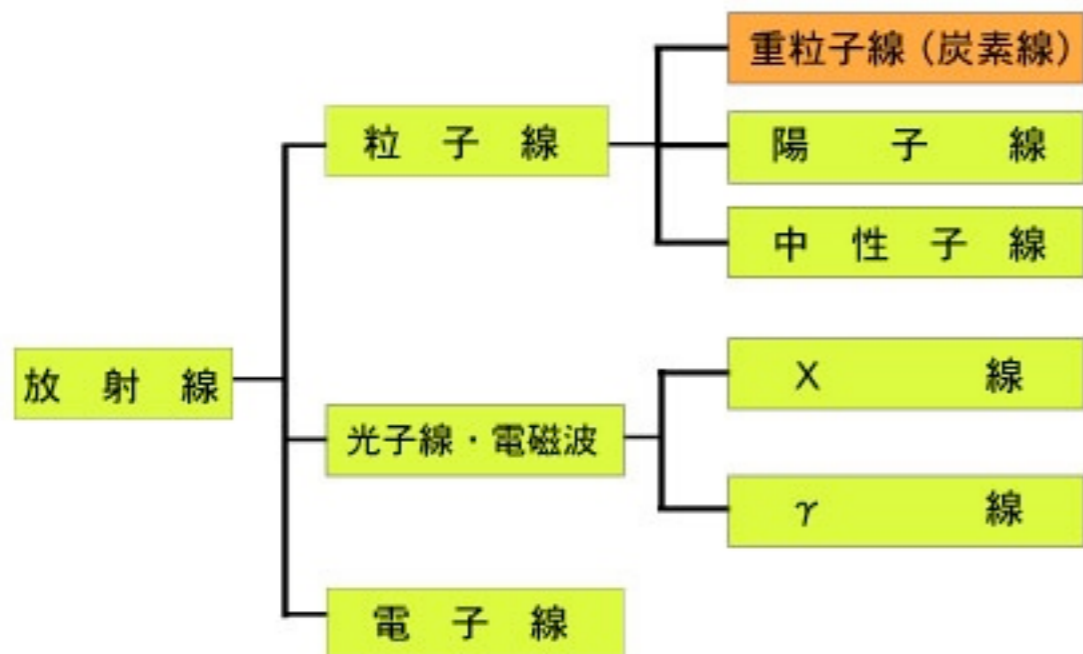


Billet de 500 Francs Français en circulation: 1993–1999

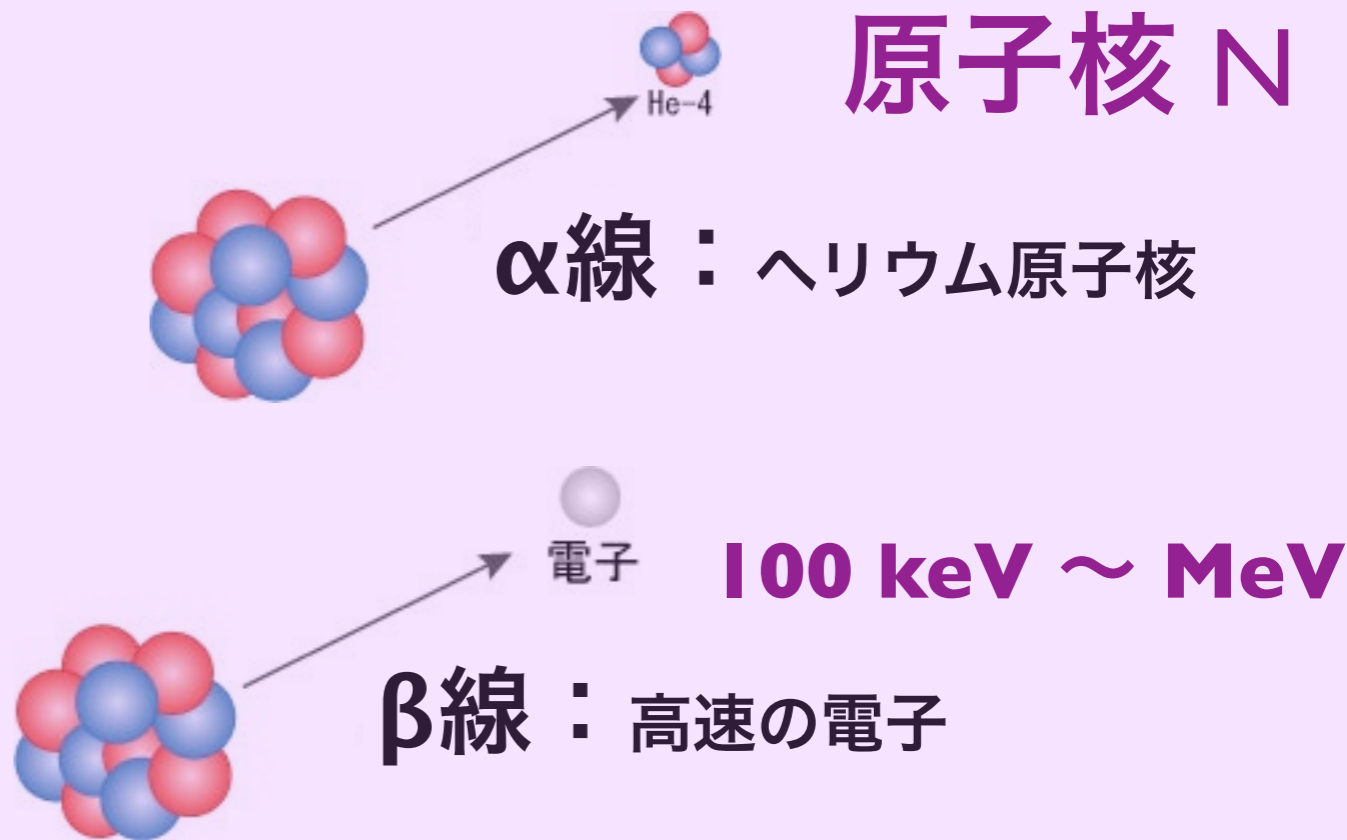


- α線 ヘリウム原子核
- β線 高速の電子
- γ線 光子（電磁波）
- X線 光子（電磁波）

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

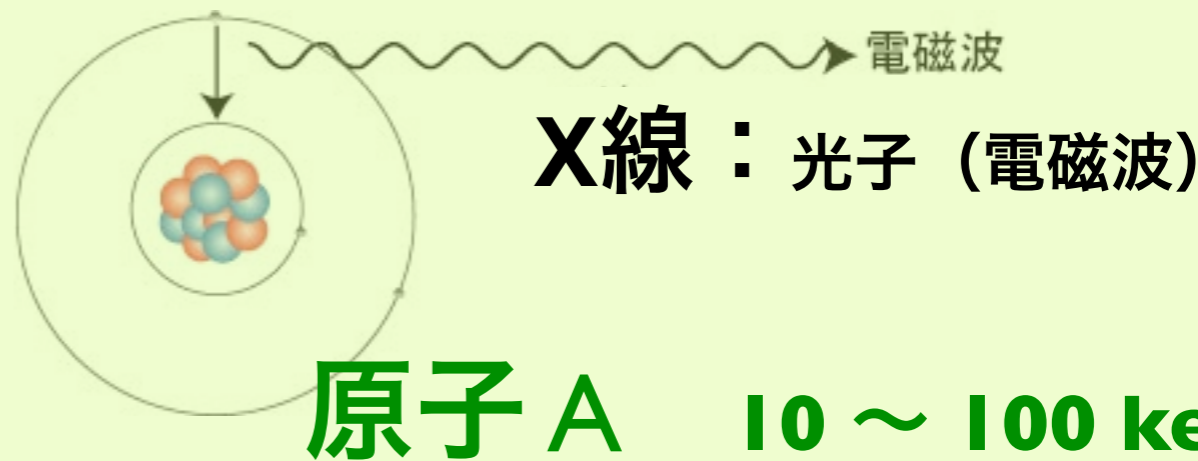


放射線のもつエネルギーは？

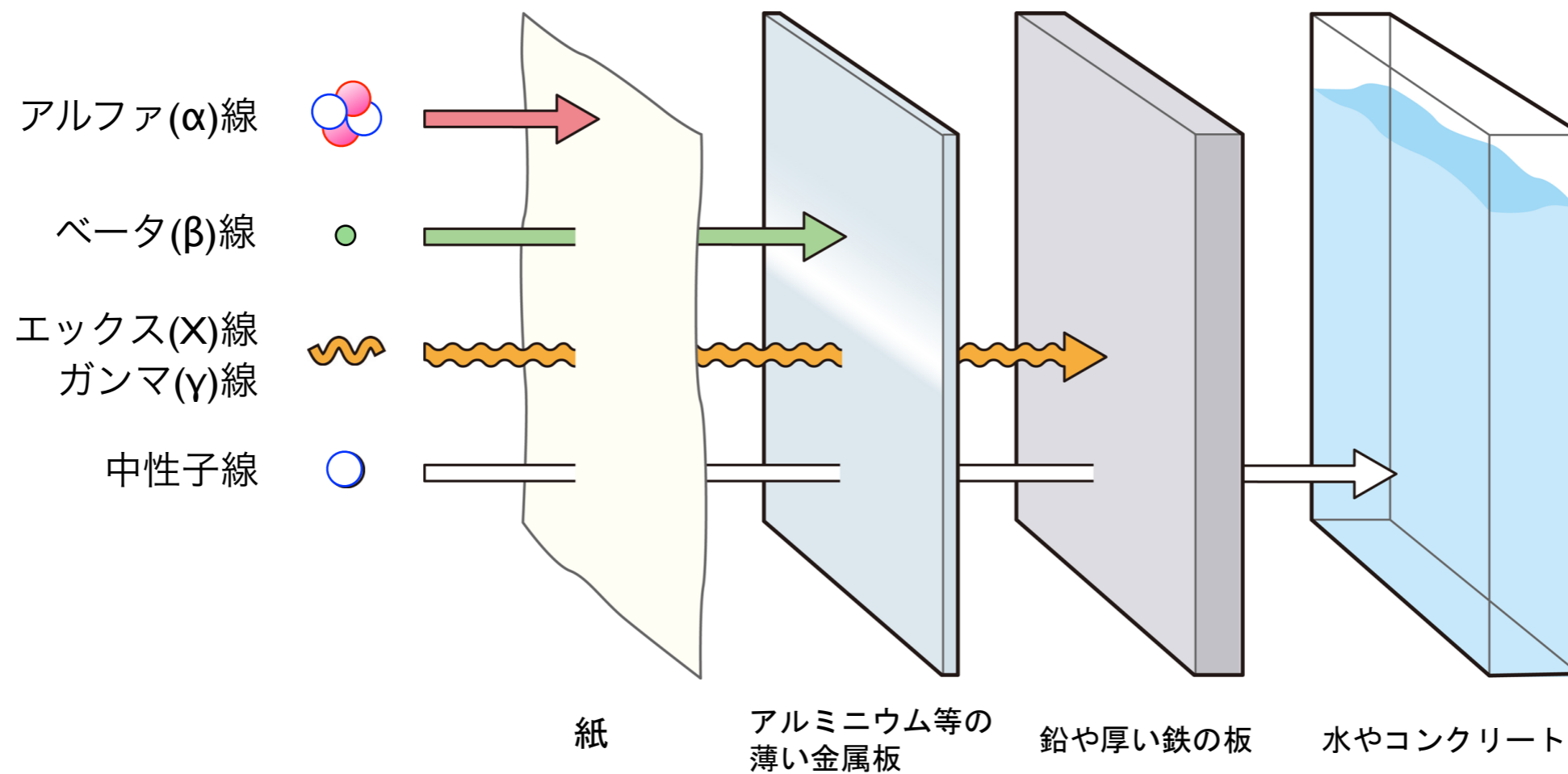
☞ **100 keV ~ MeV** (α, β, γ)

Cf. 原子の束縛エネルギーは？

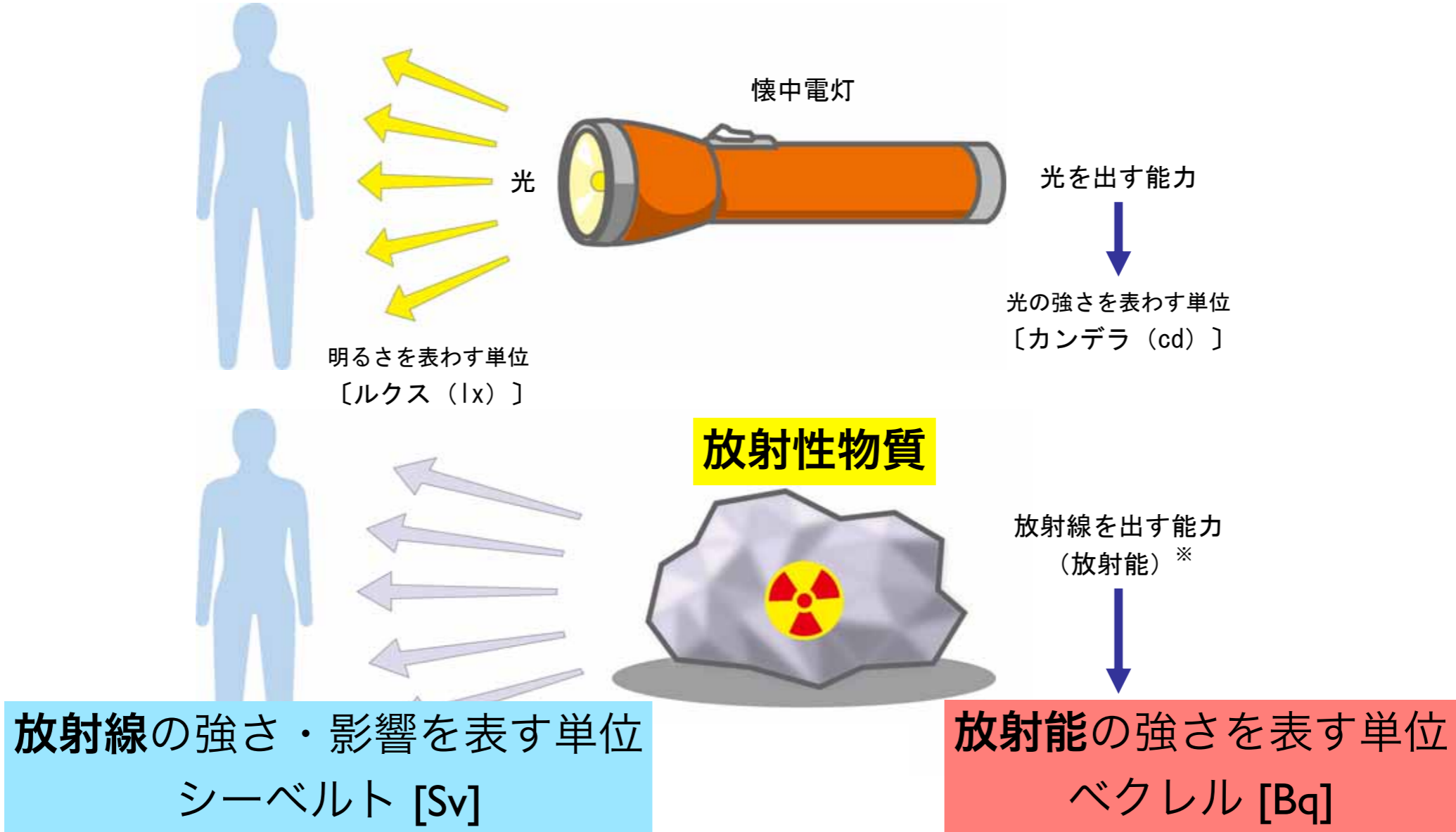
☞ 最外殻電子で **10 eV** 程度
(1 eV = 96 kJ/mol)



放射線の種類と透過力



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



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 $H_T [J / kg] = [Sv]$

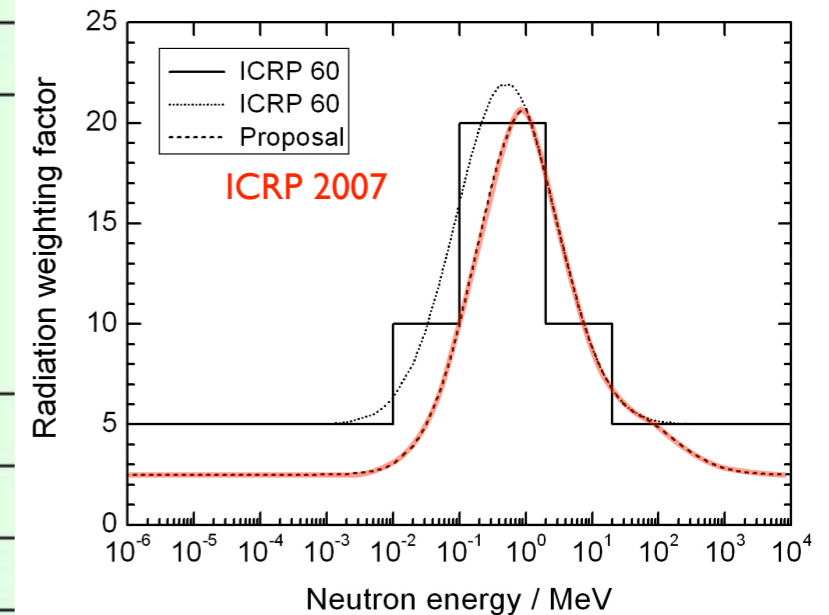
実効線量 effective dose $E [J / kg] = [Sv]$

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

放射線生物学

第5回：11/8

放射線防護学

第10回：12/20

線量評価

第13回：1/27

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

$[Gy/h], [Sv/h], \text{etc....}$

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

mSv (実効線量)



ブラジル・ガラパリの放射線
(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

(日本平均)

宇宙線から
0.39

0.29

食物から
0.29

0.41

呼吸により
(主にラドン)
1.26

0.40

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



自然放射線
による
年間線量
(世界平均)
約 2.4

(日本平均)
約 1.5

大地から
0.48

0.38

岐阜 ↔ 神奈川



0.4

胃のX線集団検診(1回)



国内自然放射線の差(年間)
(県別平均値の差の最大)

0.2

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)



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)

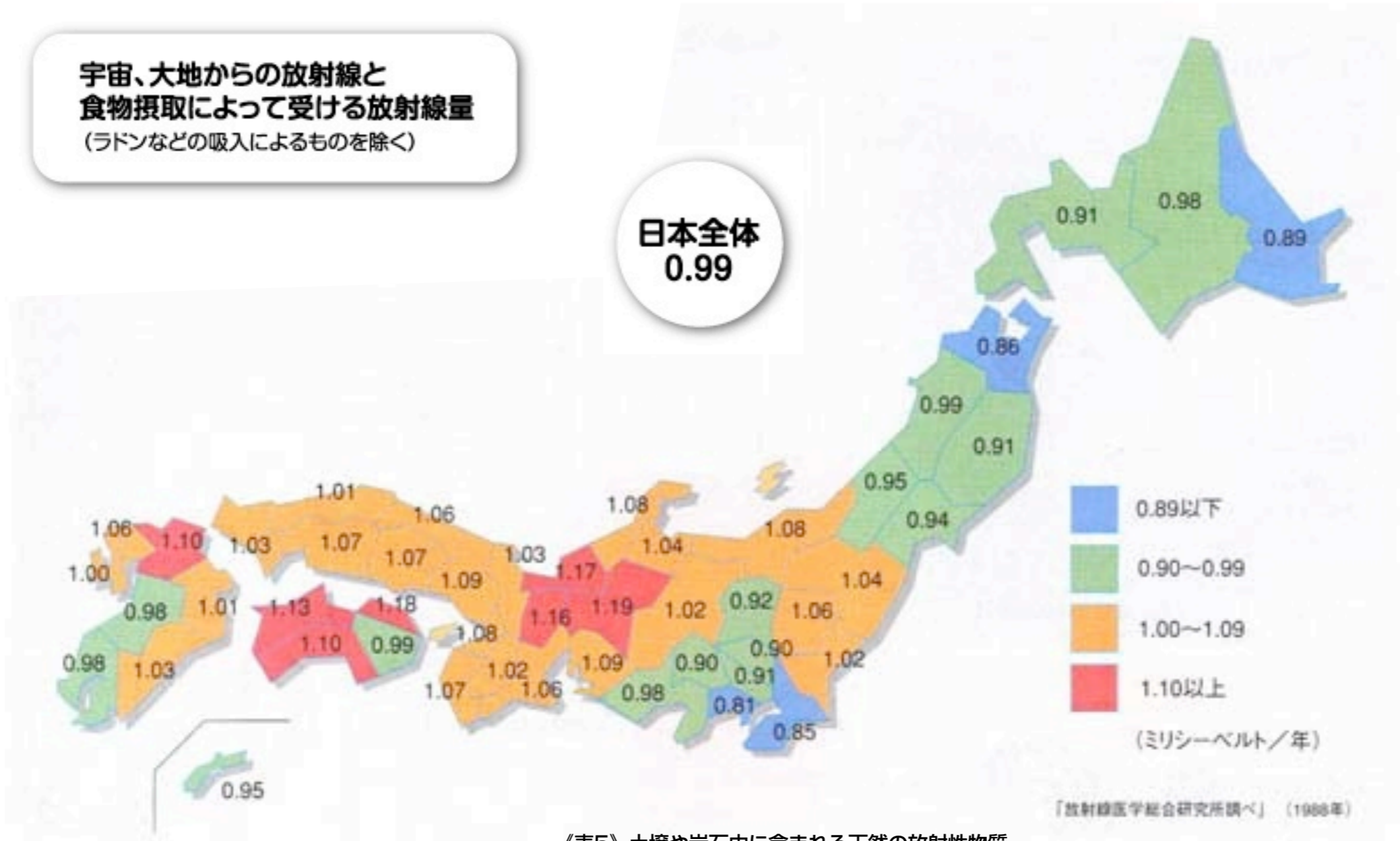
0.01

mSv/年

全国の自然放射線量

宇宙、大地からの放射線と
食物摂取によって受ける放射線量
(ラドンなどの吸入によるものを除く)

日本全体
0.99



《表5》 土壌や岩石中に含まれる天然の放射性物質

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

出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1982) など

関西は自然放射線量が高い！

mSv/年

全国の自然放射線量

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)

関東・東北は低い！

日本全体
0.99

御影石
(花崗岩)

温泉地

関東ローム層

《表5》 土壌や岩石中に含まれる天然の放射性物質

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

出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1982) など

緑医学総合研究所調べ (1988年)

mSv/年

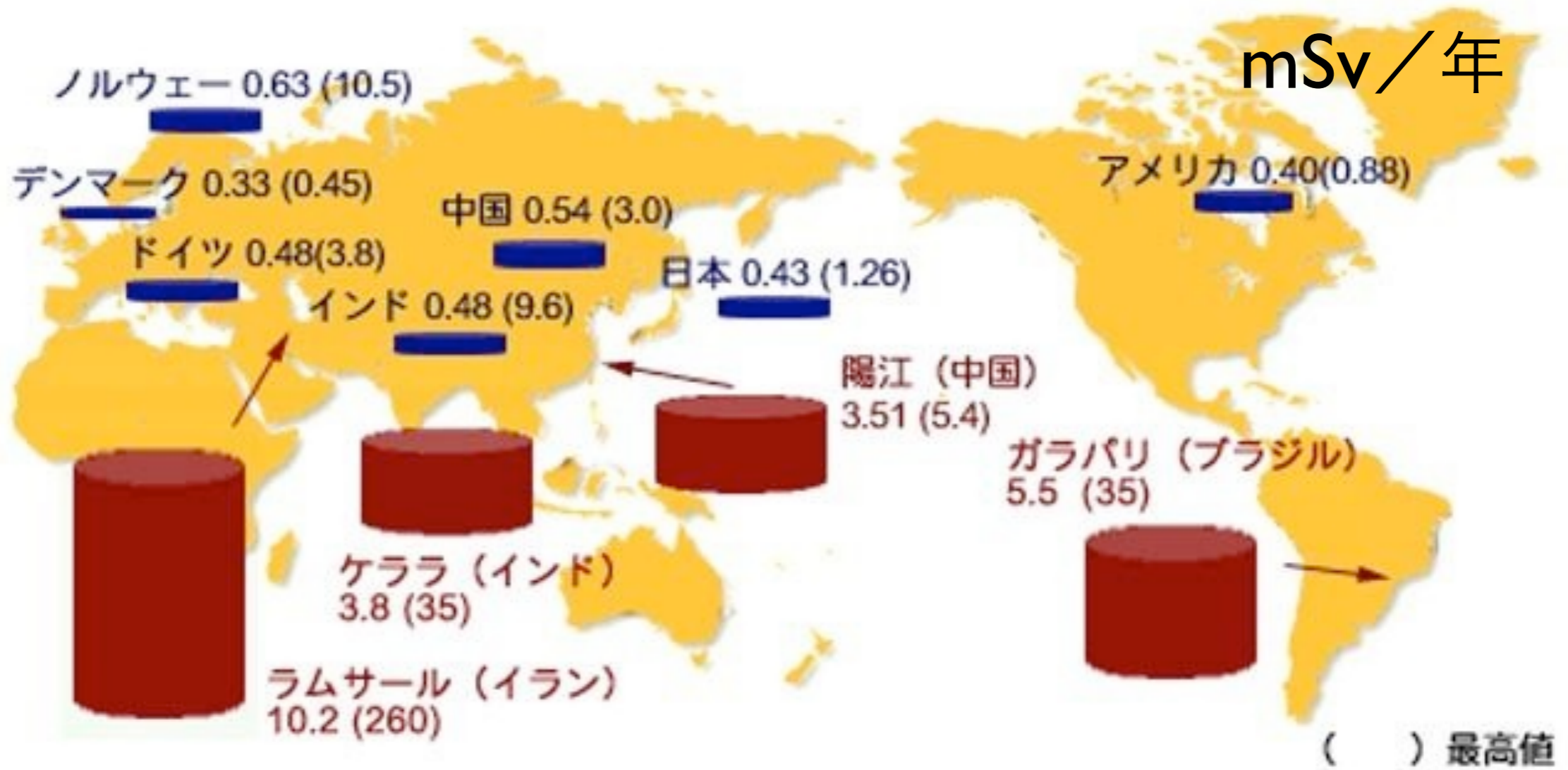


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

表1 高自然放射線地区と対照地区におけるがん死亡率の比較^{7,8)}

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

《表6》世界各地における年間積算線量の例 (ラドンを除く)

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

出典：主として「放射線化学1971-6月」(放射線医学総合研究所編)

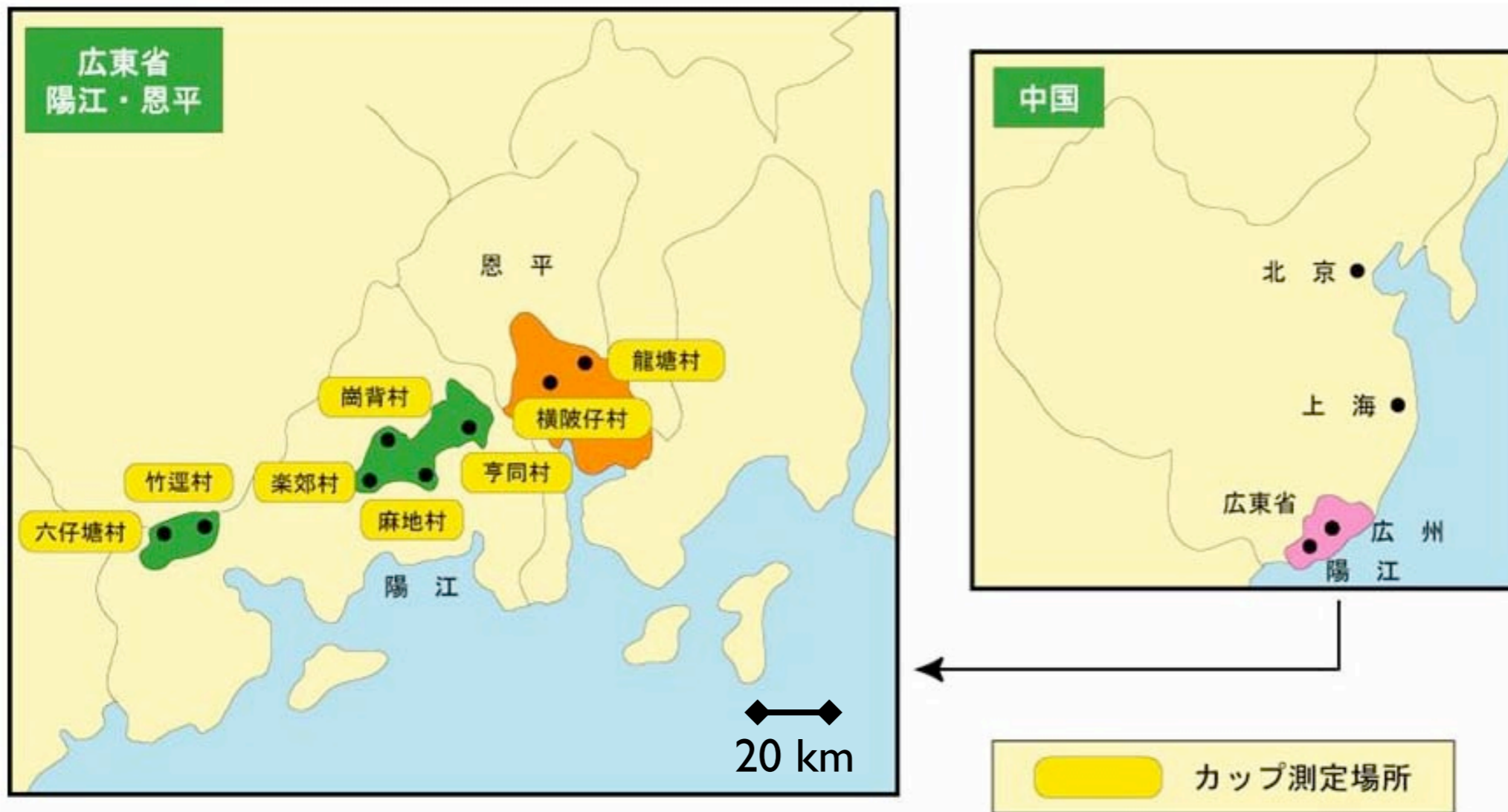
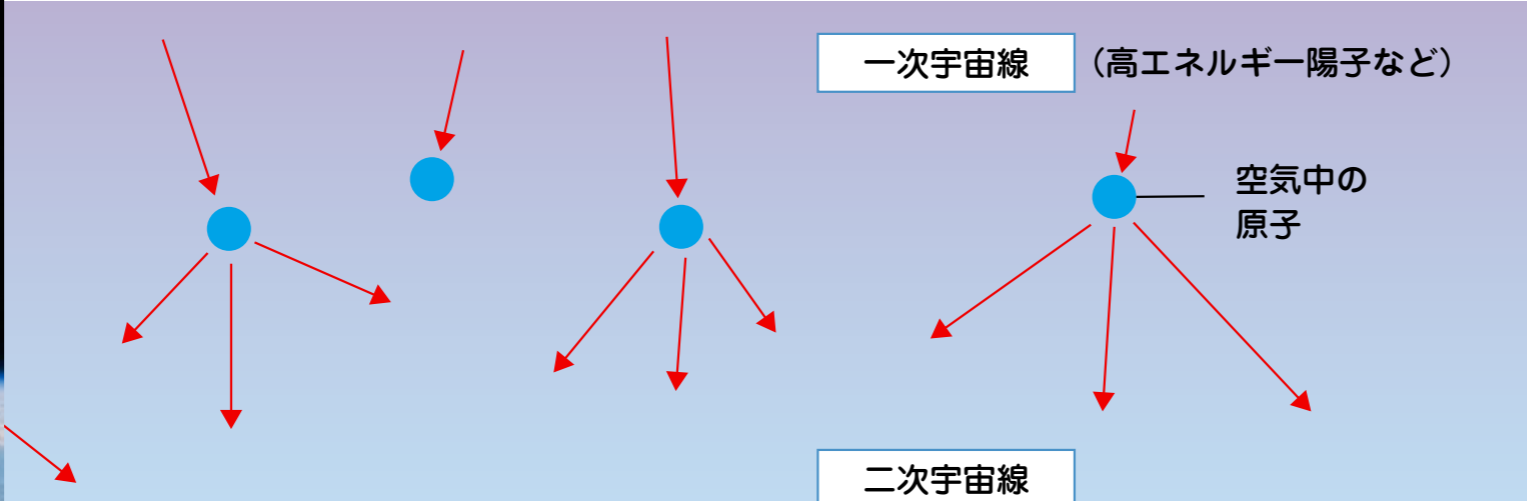


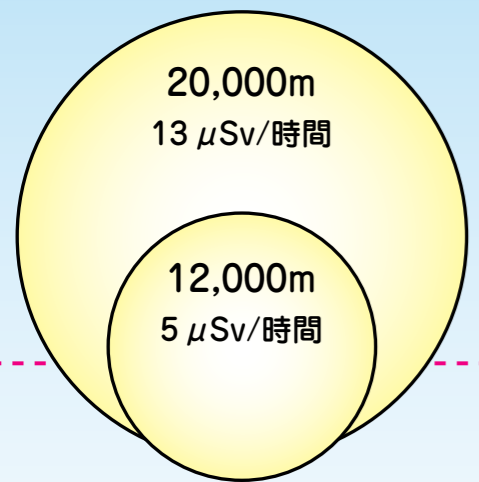
図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

表1 高自然放射線地区と対照地区におけるがん死亡率の比較^{7,8)}

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



※○の大きさは、放射線を受ける量をあらわしている。



4,000m ○ 0.2 μ Sv/時間

2,000m ○ 0.1 μ Sv/時間

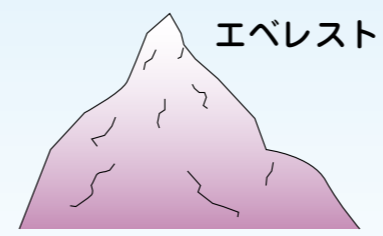
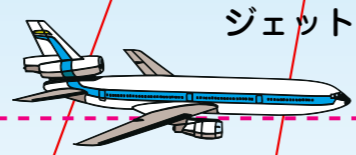
海面 ○ 0.03 μ Sv/時間

μ Sv = マイクロシーベルト

100km

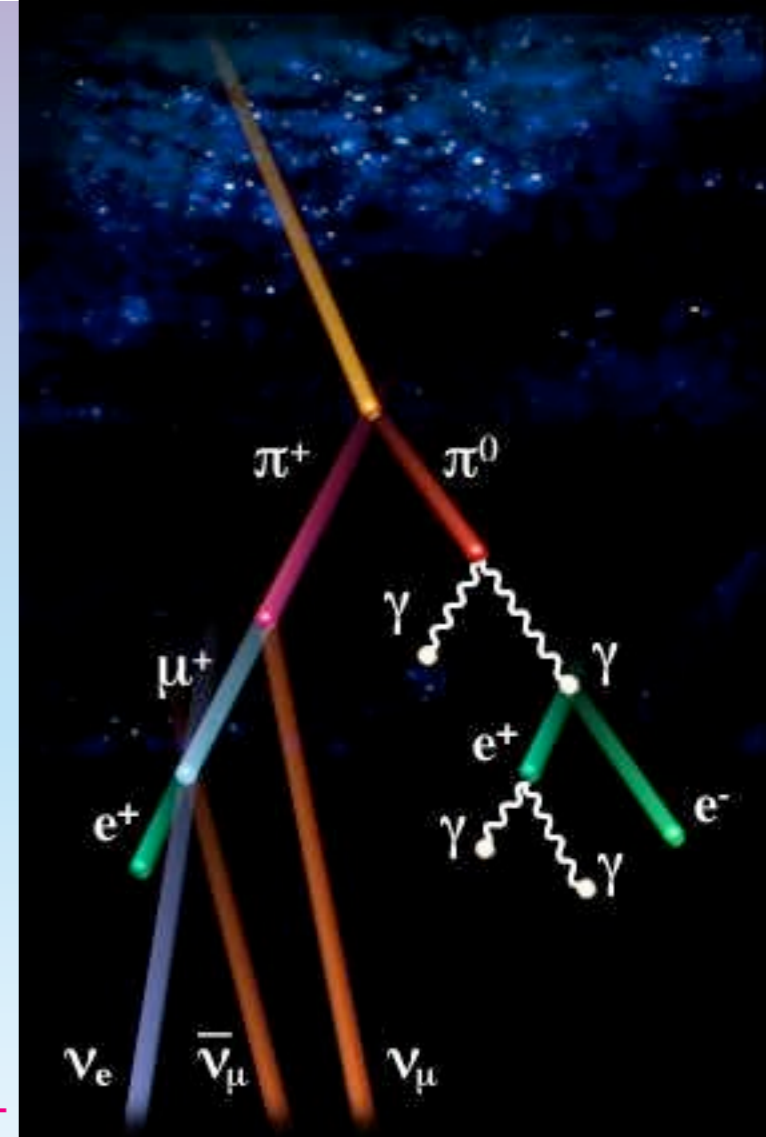
10km

1km



《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



東京～NY 往復
200 μ Sv (max)

出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1993)

体内、食物中の自然放射性物質

出典：旧科学技術庁パンフレット

Bq / kg

Bq (60 kg)

●体内の放射性物質の量

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

●食物中のカリウム40の放射能量 (日本)

(単位：ベクレル/kg)



Bq / kg

^{40}K
 同位体比 0.012%
 半減期 13億年

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

毎日カリウム 3 g = ^{40}K を 80 Bq 摂取。同量を排泄。

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. ?)

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

計算してみよう。

放射線のもつエネルギーは? (eV, J)

MeV を J に変換計算してみよう。

1 ミリシーベルトを浴びることによる体温上昇は? (K)

$mSv = J / kg$ 人間の比熱は水に近い

次回予告

第2回 (10/18)

放射線物理学

放射性崩壊と放射能

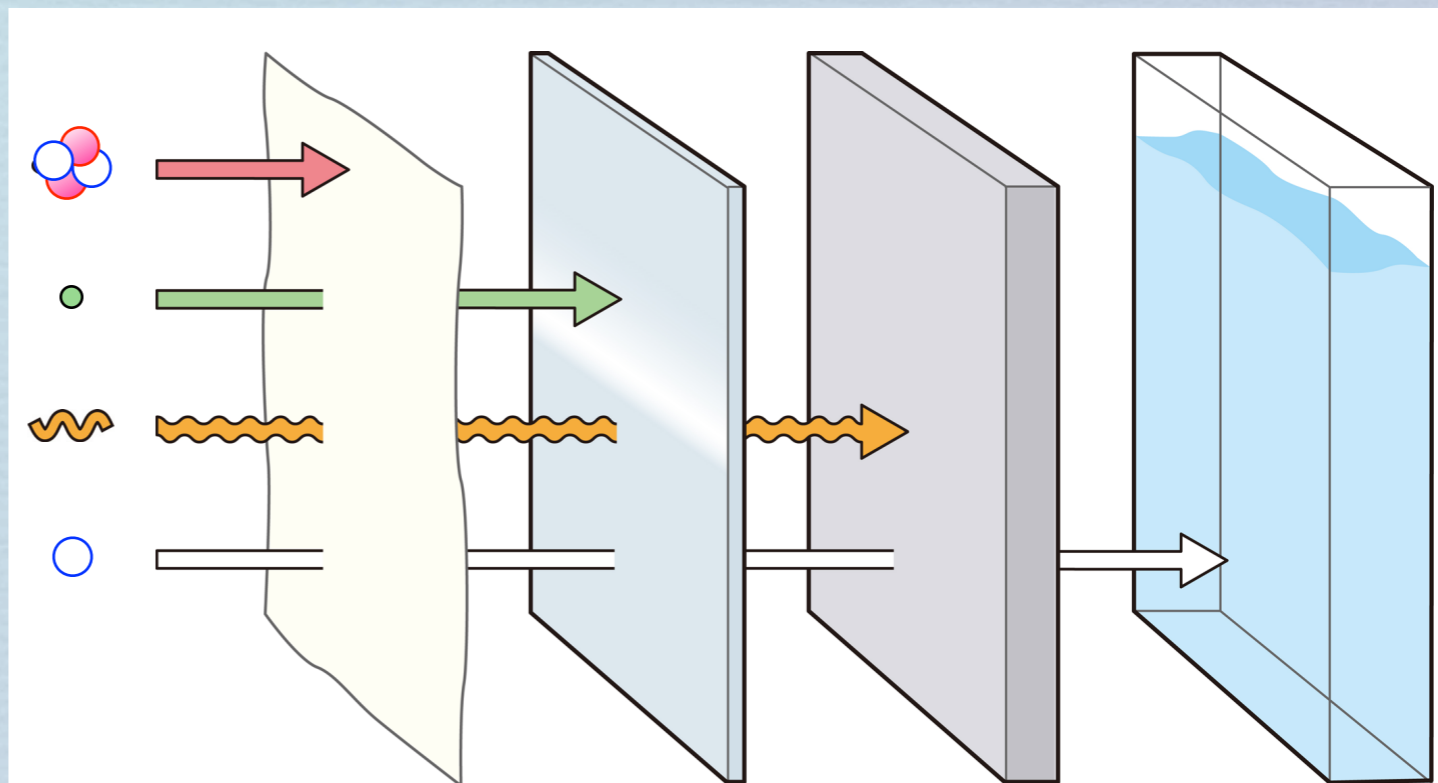
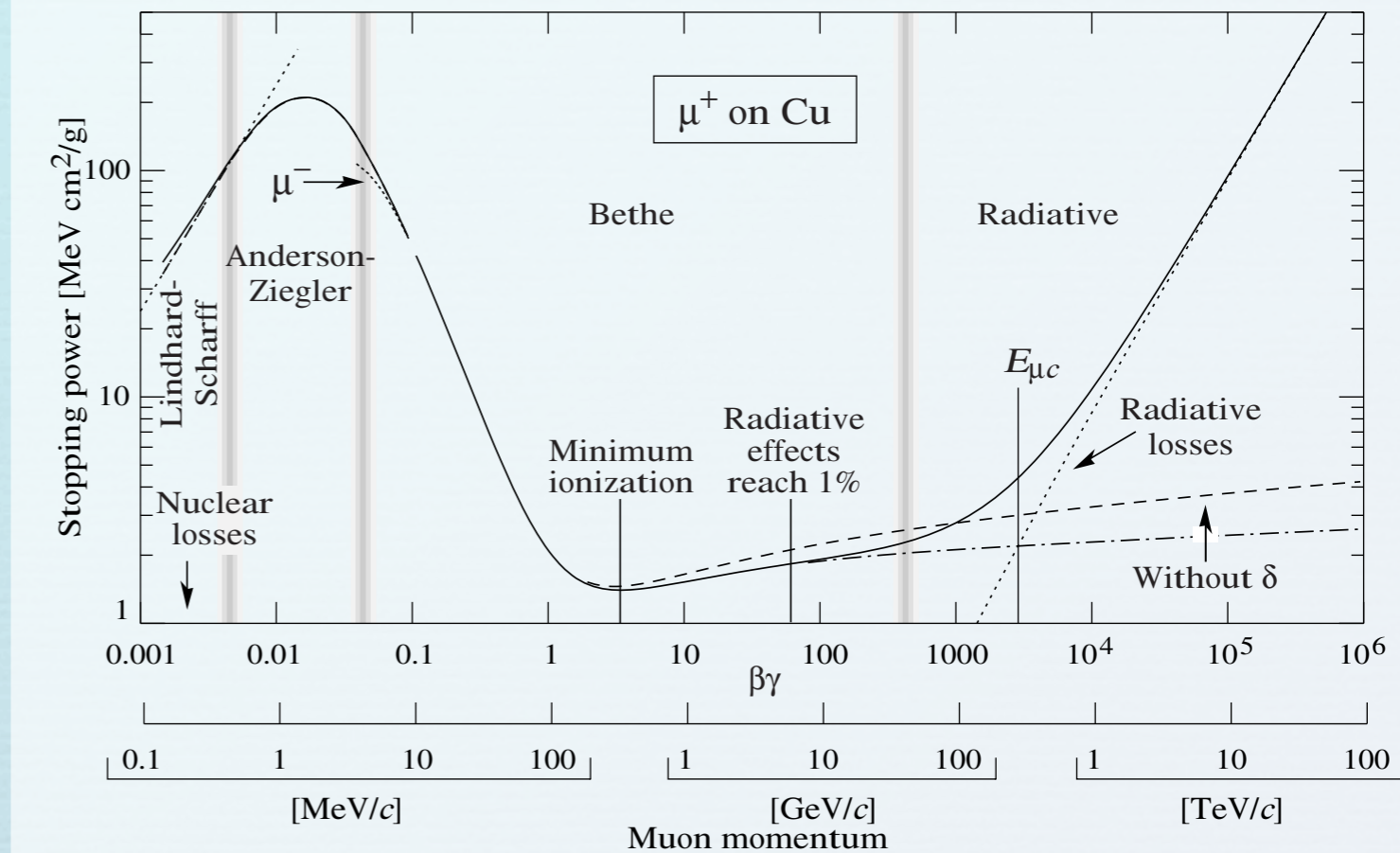
放射線と物質の相互作用

以下の講義に必要な知識

第3回：放射線計測学

第4回：放射線物理・化学

第5回：放射線生物学



講義スライド、講義予定

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

東大教養 放射線 テーマ講義



検索

連絡先

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

担当教員：鳥居 寛之

準教科書

「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

初版 **第3刷** 以降

丸善出版 本体 2500円+税

ご購入は生協書籍部の
教科書販売所で
(本日 6時30分まで)



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

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.