



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。

2014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
(West)

K303教室



γ 線



中性子線



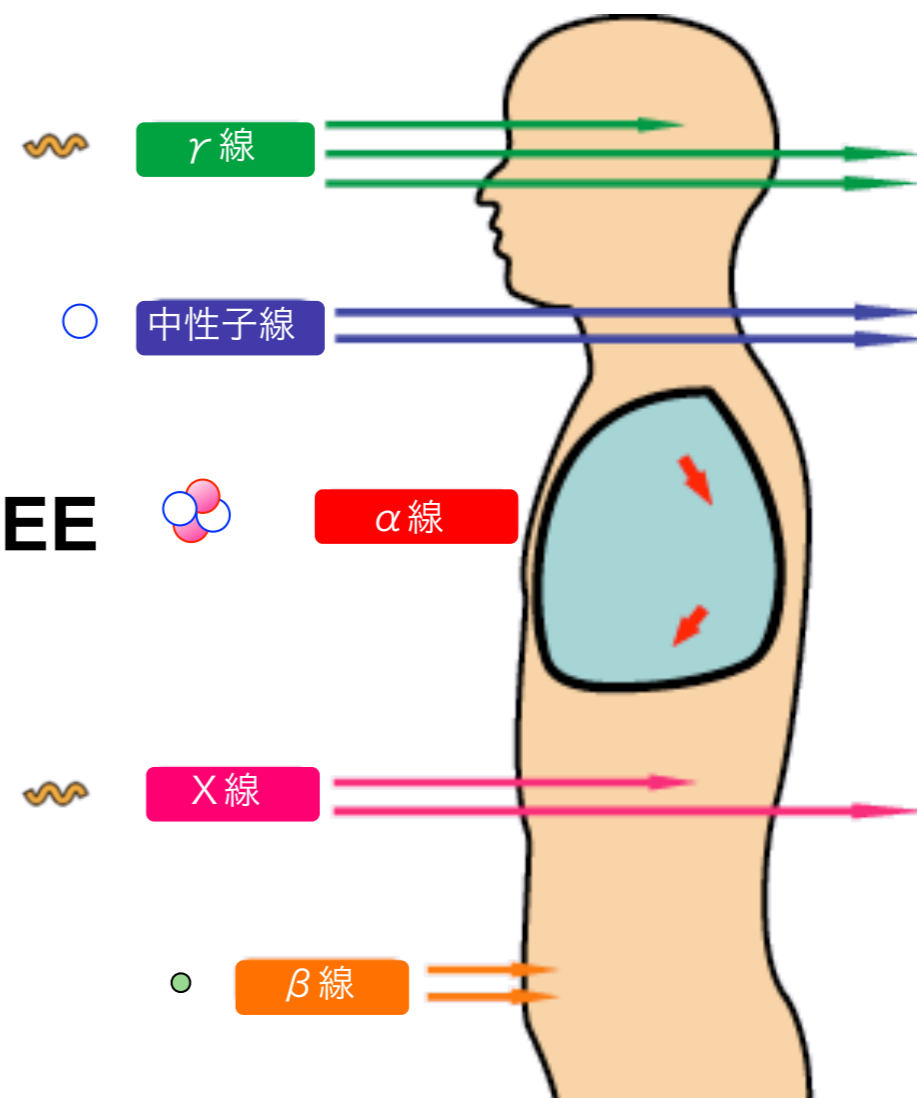
α 線



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

2014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。事故にともなって放出された大量の放射性物質は、広い地域で環境汚染を引き起こし、今なお人々を苦悩させています。放射線による人体への影響について、科学はどう答えてくれるのでしょうか。

わが国ではこれまで放射線の基礎的知識に関する教育が十分になされず、科学的リテラシーの欠如が問題となりました。放射線を理解するには、物理・化学・生物・医学・工学・農学・法律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は容易ではありません。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限られています。

その貴重な機会を提供しようというのが、今期で4回目となる放射線テーマ講義です。教養学部の3人の教員：鳥居・小豆川・渡邊を中心に、他学部や学外の専門家もゲスト講師に招き、放射性核種や放射線の物理学的性質から環境汚染問題、そして医学的影響やリスクの考え方まで、幅広く講義を展開します。科学的知識を体系的に身につけ、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。

講義は理科生を主な対象としますが、意欲のある文科生も歓迎します。

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

2014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

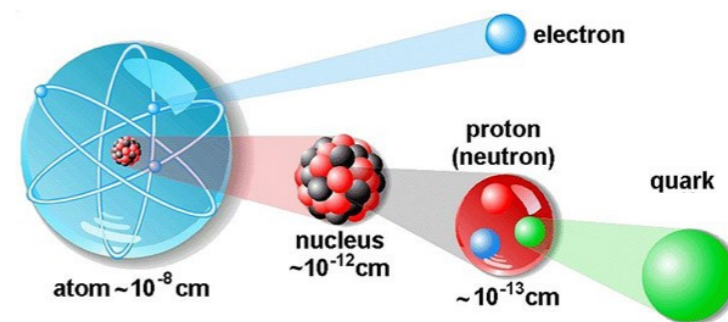
東京大学教養学部 放射線講義 スライドのご案内

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、どうぞご利用下さい。 <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



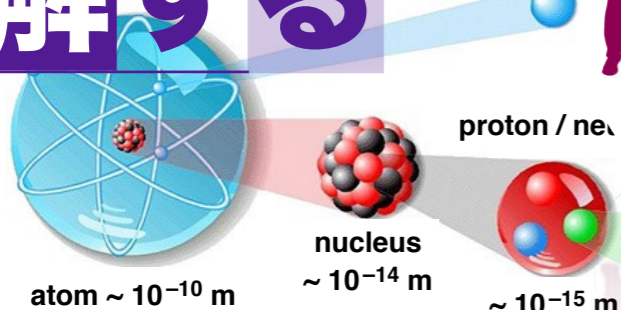
2011年度冬学期

主題科目テーマ講義

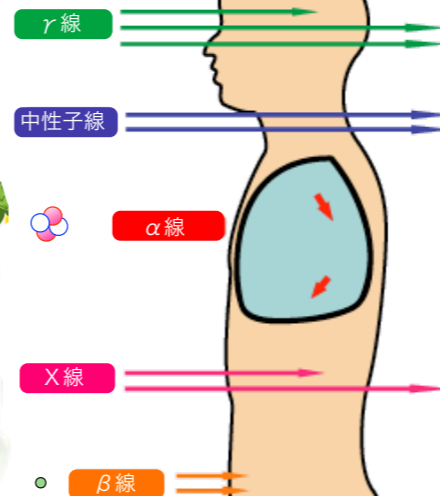
2012年度冬学期

2013年度冬学期

放射線を
科学的に
理解する



放射線を
科学的に
理解する



放射線を
科学的に
理解する

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

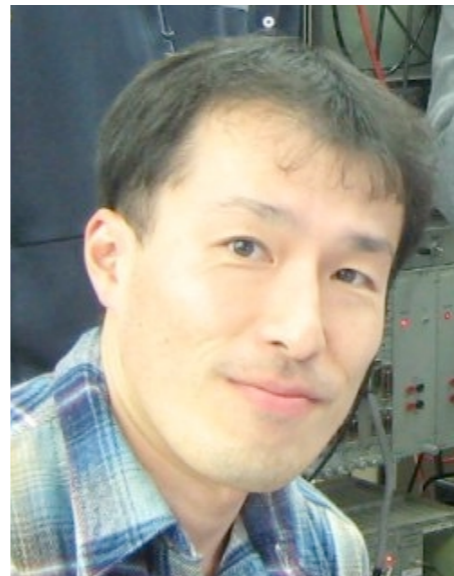
放射線を科学的に理解する

《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

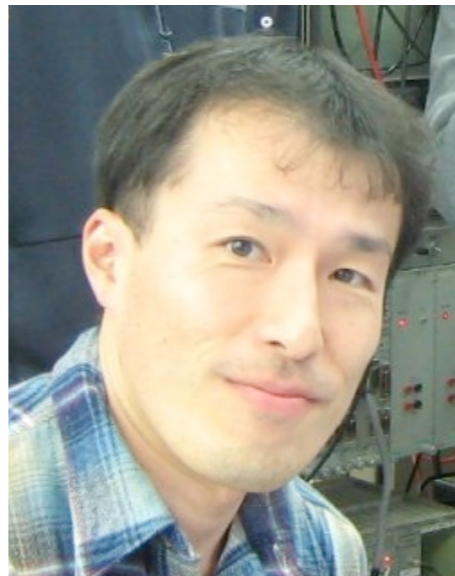
ゲスト講師

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】

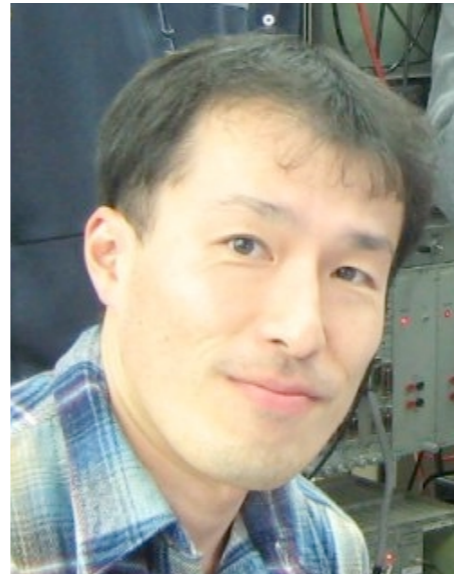
放射線を科学的に理解する

《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】

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



放射能計の測定結果。100 μSv/hの放射線量を示している。



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、日本の美術とドイツの美術を比較対照し、両国の文化交流を促進することを目的としています。



ヒトラー・ネーゲットのハカヤロ!

ヒトラー・ネーゲットのハカヤロ! この展覧会は、ヒトラーとネーゲットの作品を展示し、彼らの芸術的価値を再評価することを目的としています。



秘密の小部屋

「トポフィリ」 夢の空間展をめぐって。この展覧会は、トポフィリという建築的アプローチを通じて、夢の世界を再現することを目的としています。

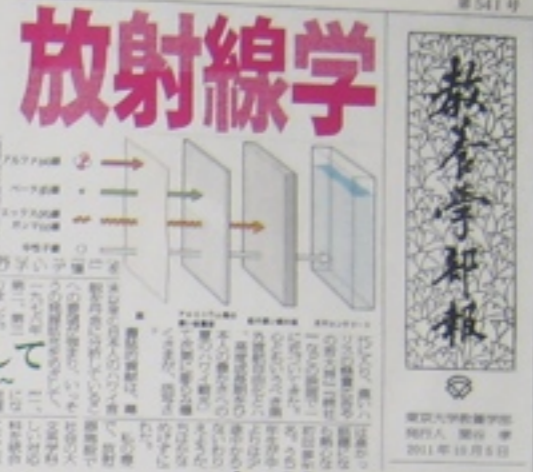
身体運動科学シンポジウム報告

身体運動科学シンポジウム報告。このシンポジウムでは、最新の身体運動科学研究の成果を報告し、今後の研究の方向性を議論しました。

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。放射線学の基礎知識と応用について詳しく解説しています。



PEAK (頂)を目指して

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。

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

教養学部の新しい後期課程

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

身体運動科学シンポジウム。最新の身体運動科学研究の成果を報告し、今後の研究の方向性を議論しました。

受け継がれる教養教育

受け継がれる教養教育。教養教育の重要性を再認識し、受け継がれる教育の大切さを説きます。

本物のハワイ

本物のハワイ。ハワイの魅力を伝えるための取り組みについて紹介します。

ジェノサイドと現代世界

ジェノサイドと現代世界。ジェノサイドの歴史と現代世界におけるその問題について議論します。

楽園リゾートの創られ方

楽園リゾートの創られ方。楽園リゾートの創りかたについて詳しく紹介します。

ジェノサイドと現代世界

ジェノサイドと現代世界。ジェノサイドの歴史と現代世界におけるその問題について議論します。

楽園リゾートの創られ方

楽園リゾートの創られ方。楽園リゾートの創りかたについて詳しく紹介します。

ジェノサイドと現代世界

ジェノサイドと現代世界。ジェノサイドの歴史と現代世界におけるその問題について議論します。

楽園リゾートの創られ方

楽園リゾートの創られ方。楽園リゾートの創りかたについて詳しく紹介します。

ジェノサイドと現代世界

ジェノサイドと現代世界。ジェノサイドの歴史と現代世界におけるその問題について議論します。

楽園リゾートの創られ方

楽園リゾートの創られ方。楽園リゾートの創りかたについて詳しく紹介します。

ジェノサイドと現代世界

ジェノサイドと現代世界。ジェノサイドの歴史と現代世界におけるその問題について議論します。

放射線を科学的に理解する

- 10/10 放射線入門 【鳥居】
- 10/17 放射線物理学 【鳥居】
- 10/24 放射線計測学 【小豆川】
- 10/31 放射線物理・化学 【鳥居】
- 11/ 7 放射線生物学 【渡邊】
- 11/14 放射線影響の疫学 【小笹】
- 11/28 原子核物理学・原子力工学 【鳥居】
- 12/ 5 環境放射化学 【小豆川】
- 12/12 環境放射化学 【小豆川】
- 12/19 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 1/ 9 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 1/23 放射線の利用 【渡邊】
- 1/27 加速器科学・放射線防護学 【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》

小笹 晃太郎 《放射線影響研究所 (広島)》

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

- 10/10 放射線入門 【鳥居】
- 10/17 放射線物理学 【鳥居】
- 10/24 放射線計測学 【小豆川】
- 10/31 放射線物理・化学 【鳥居】
- 11/ 7 放射線生物学 【渡邊】
- 11/14 放射線影響の疫学 【小笹】
- 11/28 原子核物理学・原子力工学 【鳥居】
- 12/ 5 環境放射化学 【小豆川】
- 12/12 環境放射化学 【小豆川】
- 12/19 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 1/ 9 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 1/23 放射線の利用 【渡邊】
- 1/27 加速器科学・放射線防護学 【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

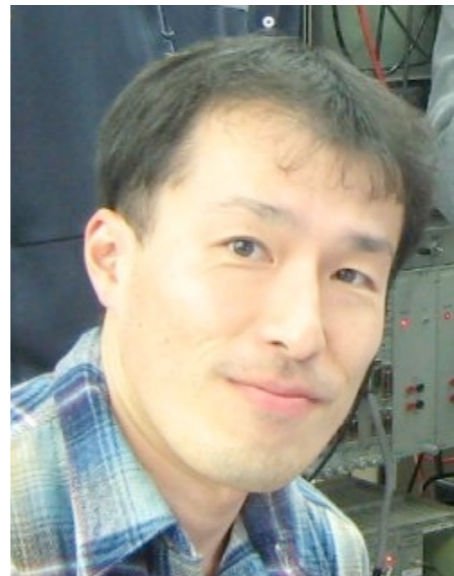
放射線を科学的に理解する

《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

小笹 晃太郎 《放影研》
放射線影響の疫学

坪倉 正治 《医科研》
被曝調査・医療支援

藤原 徹 《農学部》
放射性物質と農業



【2014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 : 鳥居

環境化学 : 小豆川

生命科学 : 渡邊、小笹、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

「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**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、**どういった違いがあるか。**」

「**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―千葉

2011年4月15日11時6分

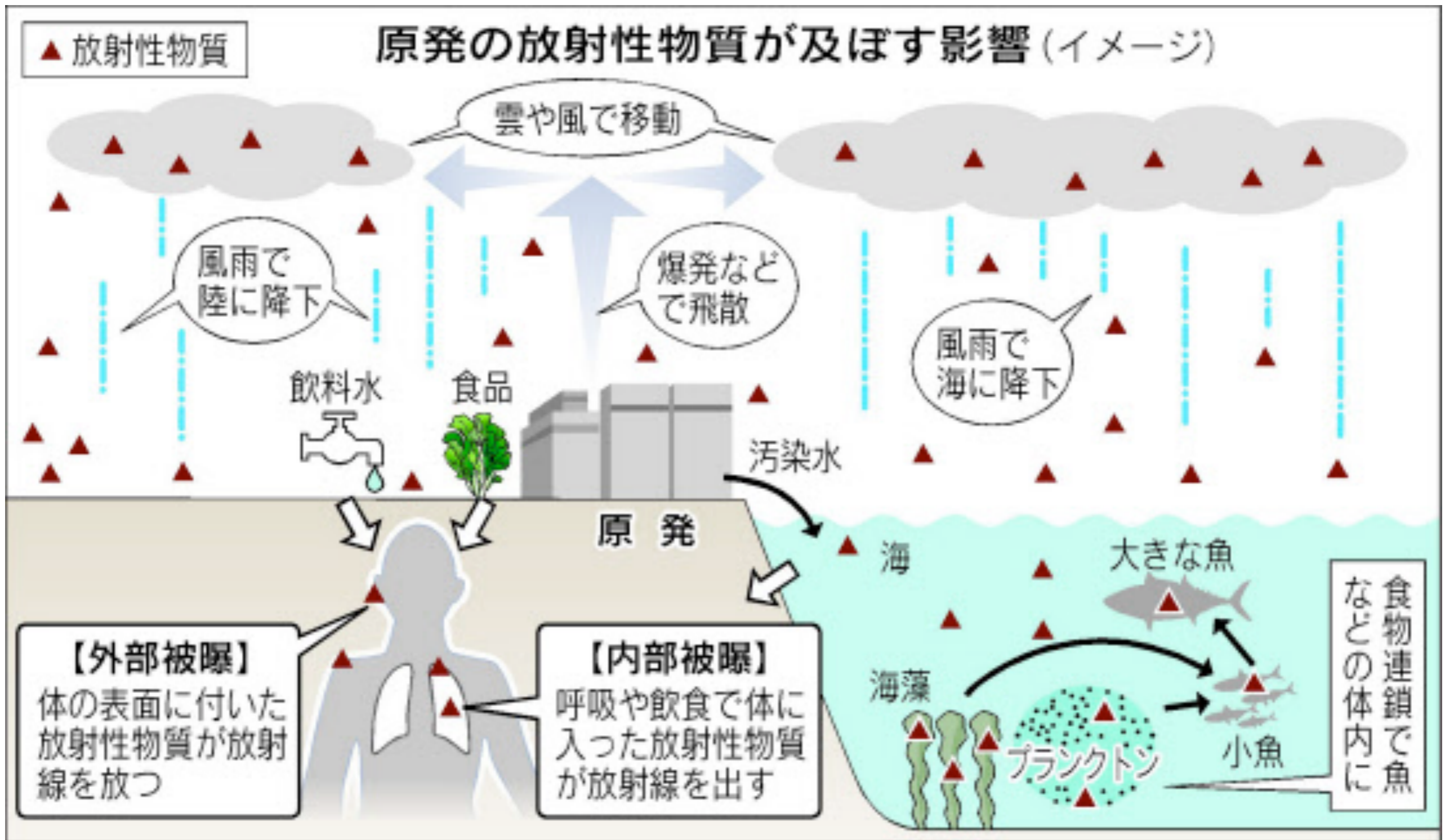
福島第1原発事故を受け、福島県から千葉県船橋市に避難した小学生の「**放射線がうつる**」といじめられたという訴えが市教育委員会で明らかになった。市教委は同日までに、避難者の不安な気持ちを踏まえた言動に注意し、思いやりを持って被災者の児童生徒に接するよう指導を求める通達を市立小中学校に出した。

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、地元の子どもに「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>

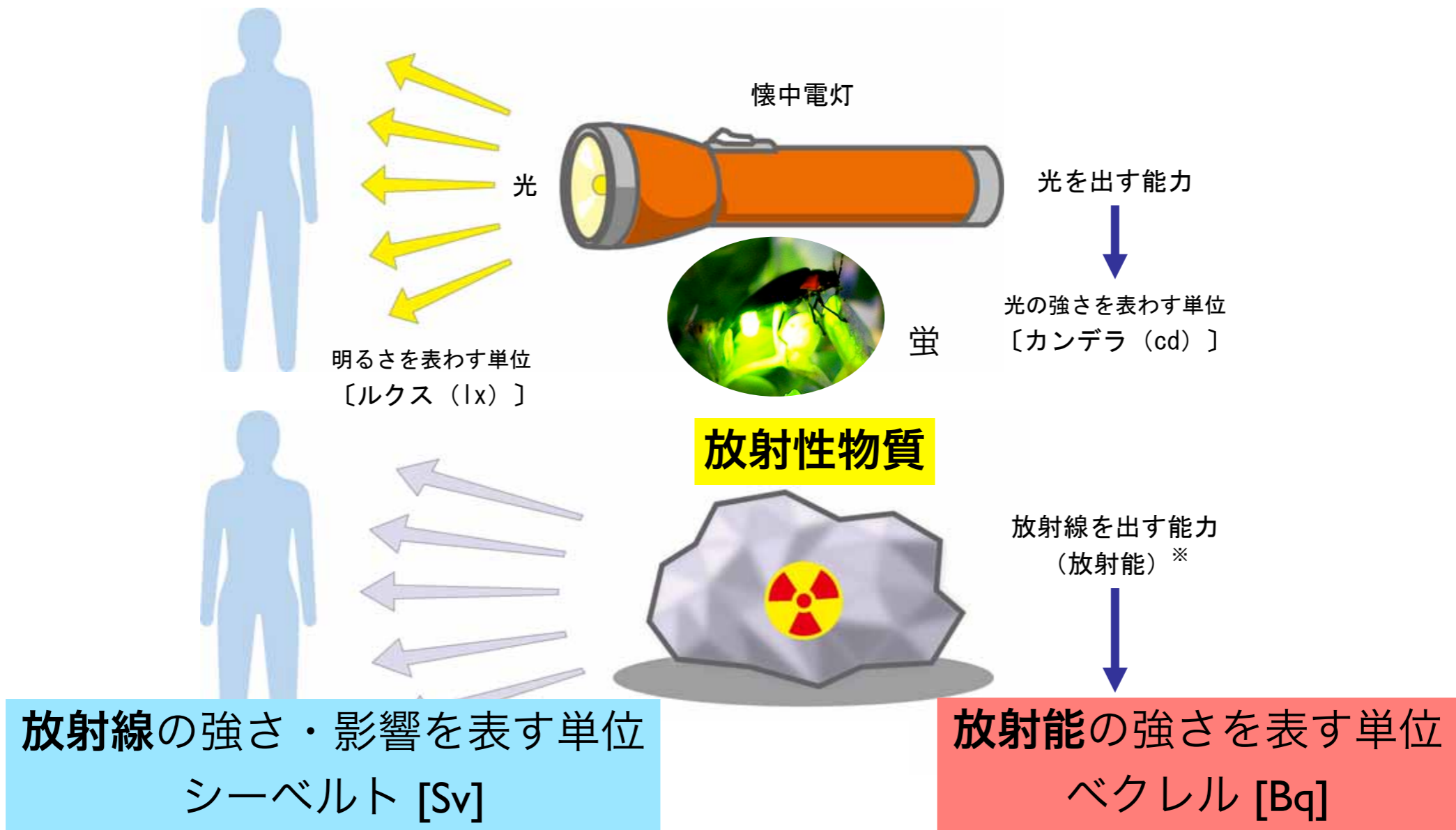
- ✿ ~**万テラベクレル**とかヨウ素とかマジわからん\(^o^)/文系に逃げたツケがこんなことで来るとは思わなかったわ…
- ✿ NHK「37京ベクレル」で言われても分かりづらいw まだメガとかテラのほうが。つーか単位統一してくれればいいのに
- ✿ 『京』という単位、テレビで見たの初めてかも。テラとか京とか…もはや1ベクレルがなんなのか、全く想像つかない
- ✿ **ミリシーベルト**であんなに騒いでたのに1万テラベクレルってなんや
- ✿ 36万テラベクレルとか63万テラベクレルとか、想像もできない数値になってしまっている原発事故だけど、放射能が人体に影響を及ぼす尺度であるシーベルト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

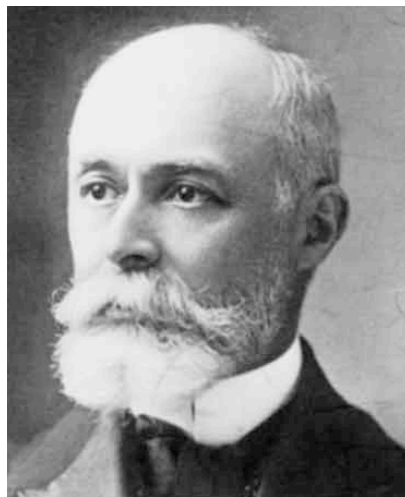
接頭辞	記号	倍数	接頭辞	記号	倍数
デシ (deci)	d	10^{-1}	デカ (deca)	da	10
センチ (centi)	c	10^{-2}	ヘクト (hecto)	h	10^2
ミリ (milli)	m	10^{-3}	キロ (kilo)	k	10^3
マイクロ (micro)	μ	10^{-6}	メガ (mega)	M	10^6
ナノ (nano)	n	10^{-9}	ギガ (giga)	G	10^9
ピコ (pico)	p	10^{-12}	テラ (tera)	T	10^{12}
フェムト (femto)	f	10^{-15}	ペタ (peta)	P	10^{15}
アト (atto)	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」



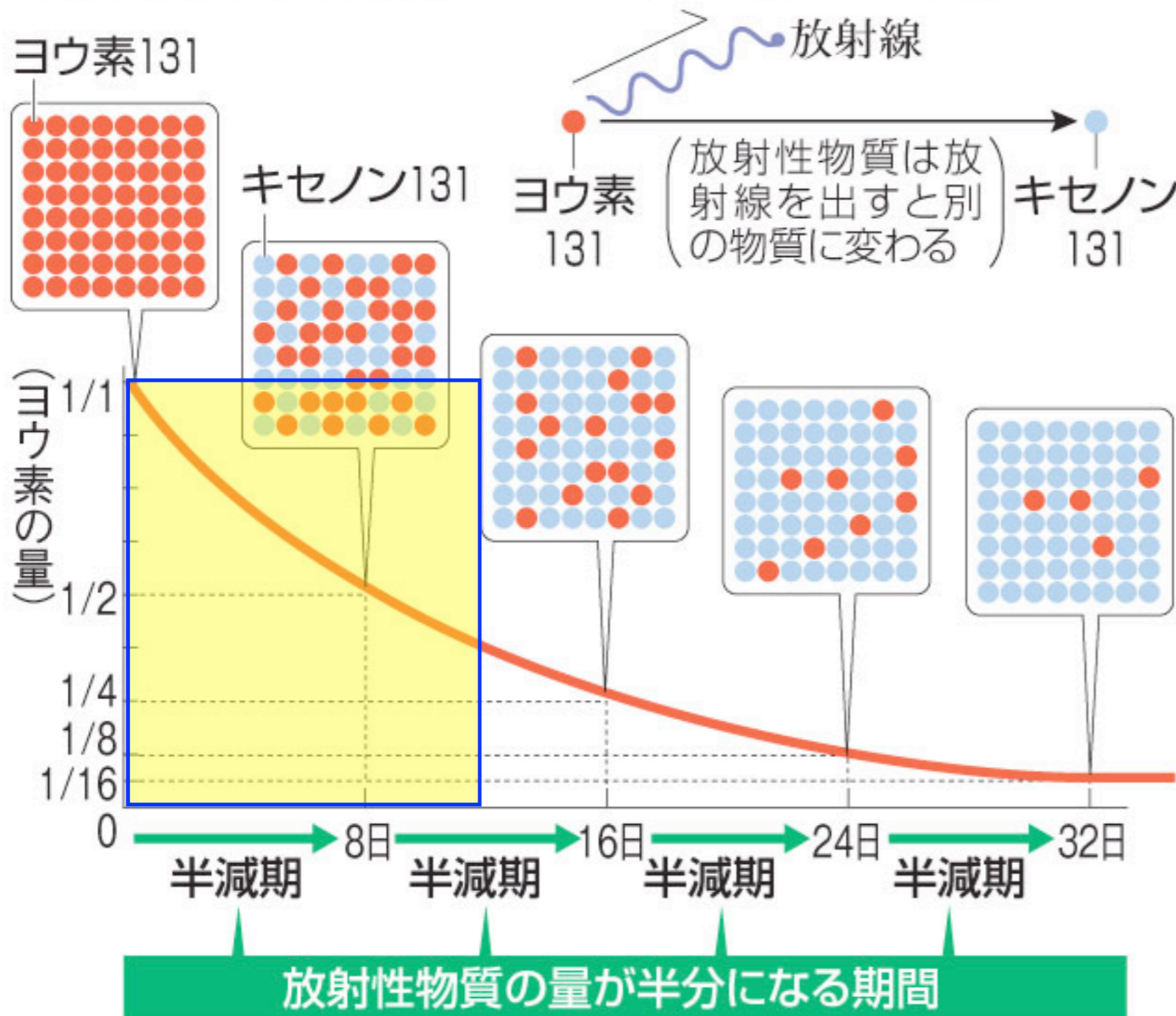
放射能 (radioactivity) の単位

[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

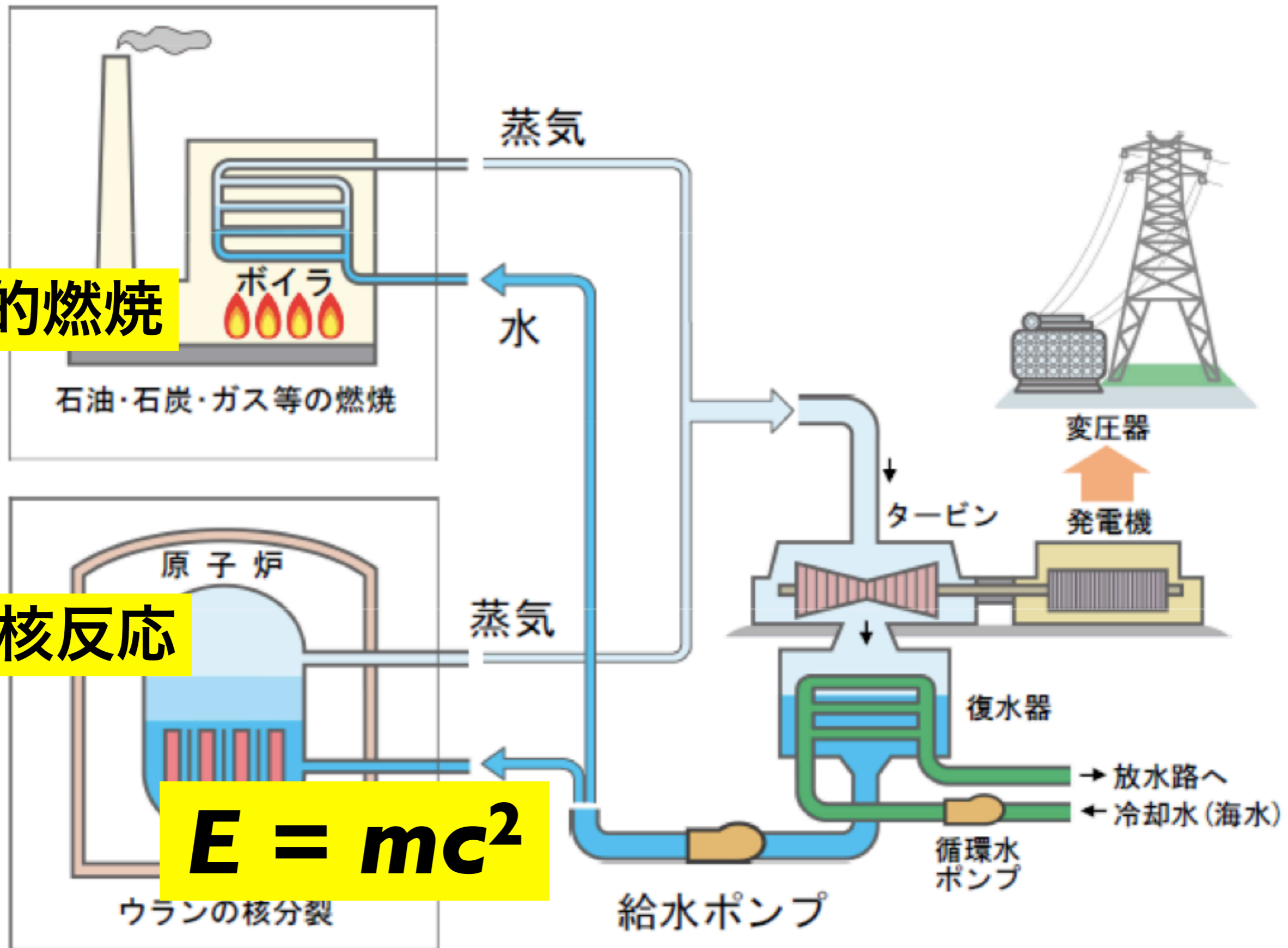
石油・石炭・ガス等の燃焼

原子核反応

原子力

$$E = mc^2$$

ウランの核分裂





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)

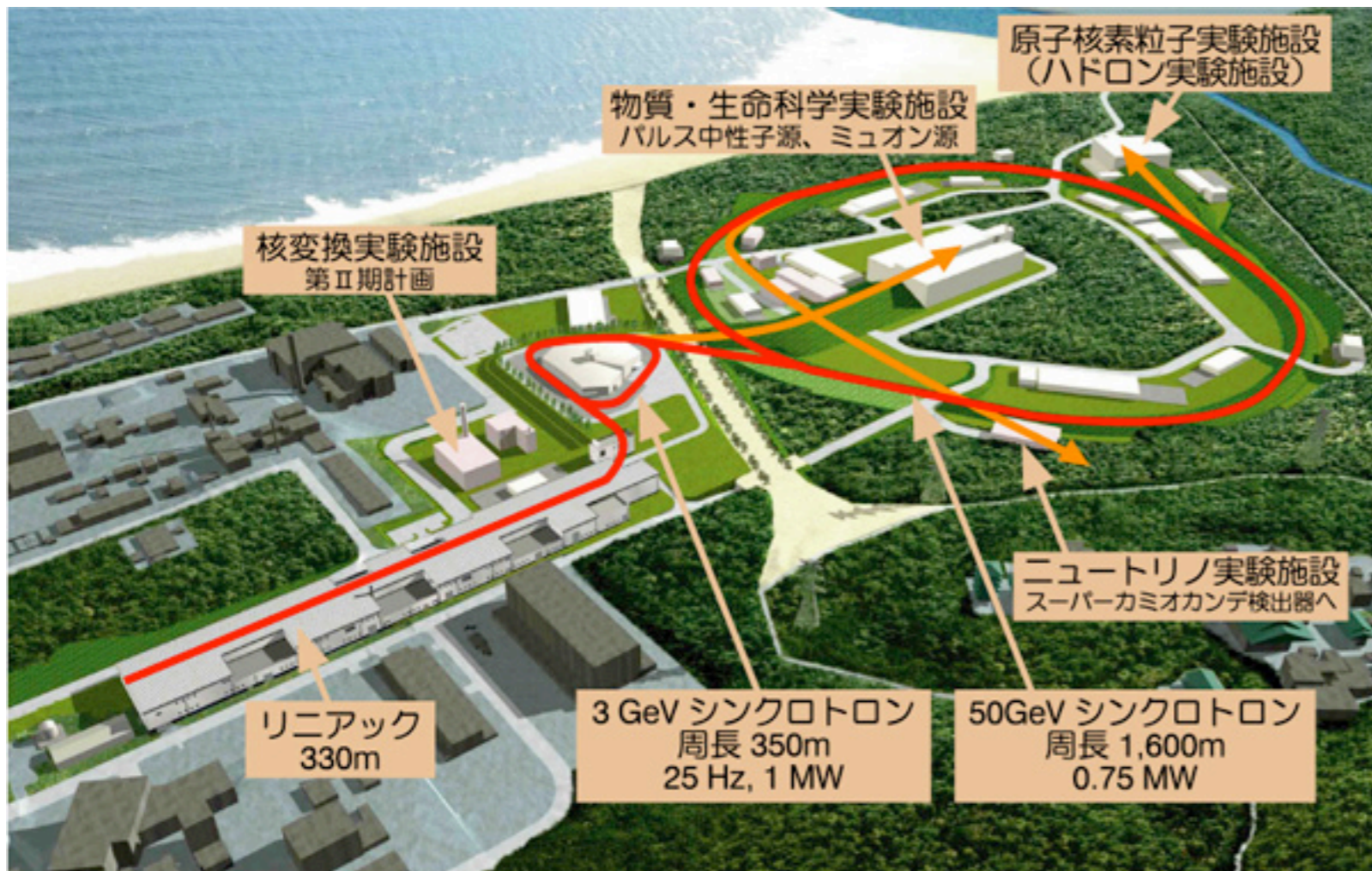
アトメートル

GeV

ギガ電子ボルト

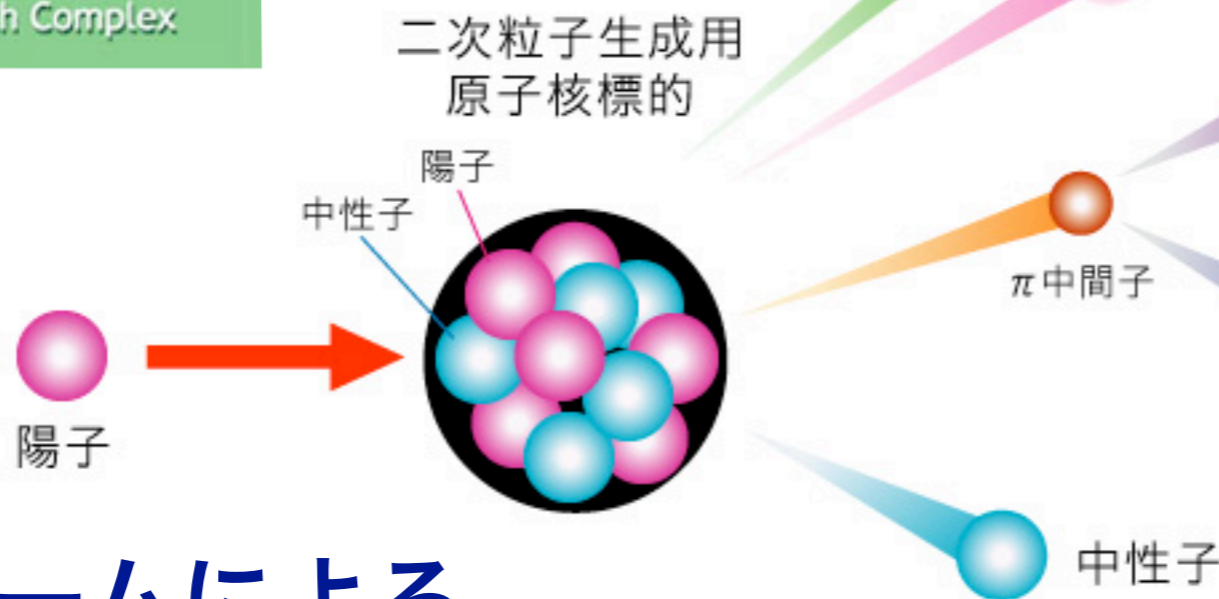


クォーク
quark



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



原子核・素粒子物理学
ハイパー核、核物質中のQCD、
ニュートリノ振動、K中間子崩壊、等

50 GeV陽子ビームを原子核にあてて発生する
中間子、反陽子、ニュートリノなどのいろいろな
粒子ビームを利用する。

ニュートリノ
 $\pi \rightarrow \mu + \nu$

ミュオン科学
物質の磁性、超伝導、表面界面物性、
ミュオン触媒核融合、等

ミュオン
 π 中間子の崩壊によって発生するミュオンを
効率よく集めて世界最強のパルス状ミュオン
ビームをつくる。

中性子科学
高温超伝導発現機構、生命現象、
高分子・液晶・超分子、新素材、等

3 GeVの大強度陽子ビームによって
発生する世界最高強度の1 MWパルス中性子源。

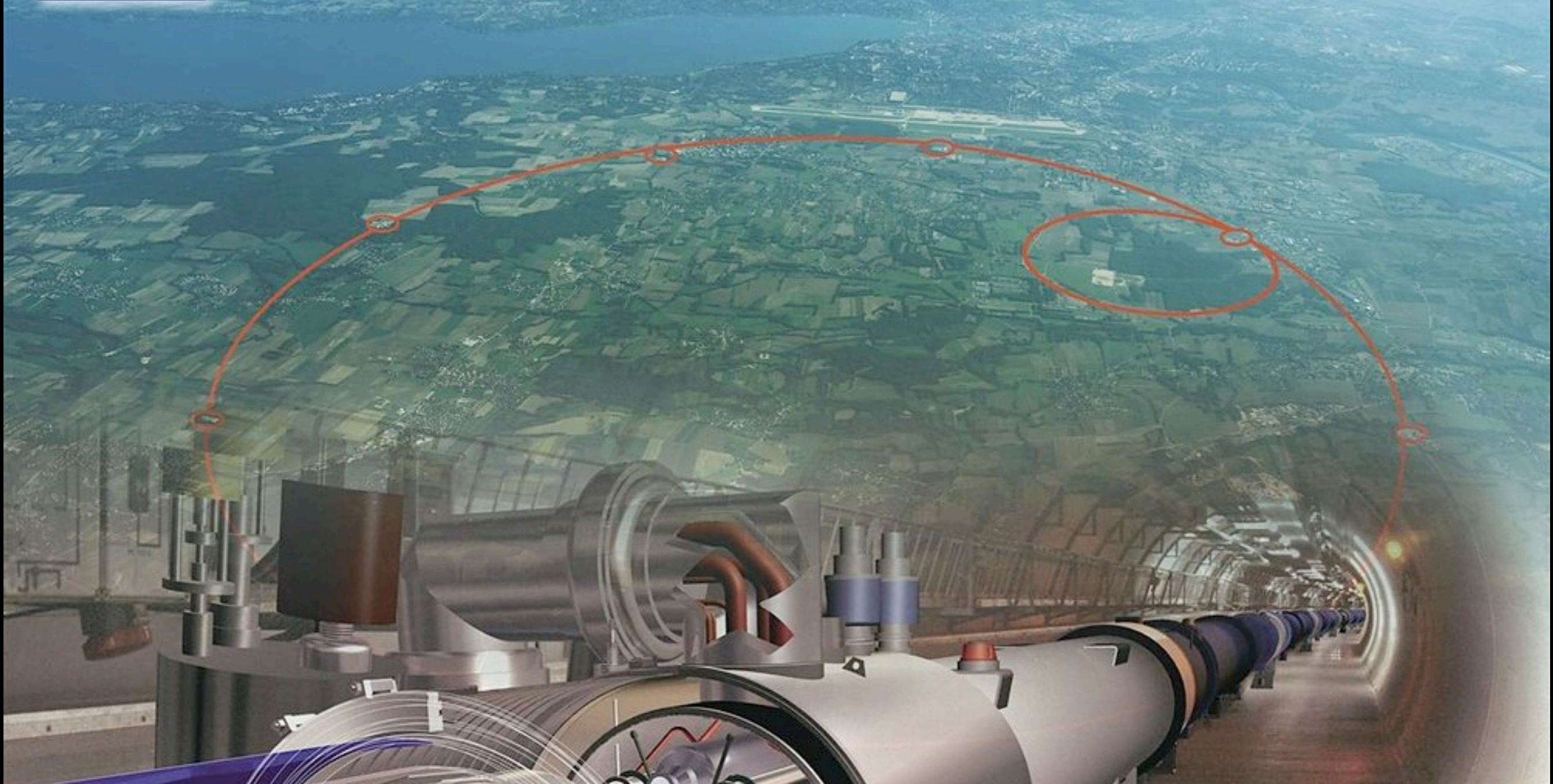
加速器駆動核変換

リニアックからの陽子ビームを用いて
原子力の科学と技術開発を行う。

大強度陽子ビームによる 多様な粒子ビームの生成



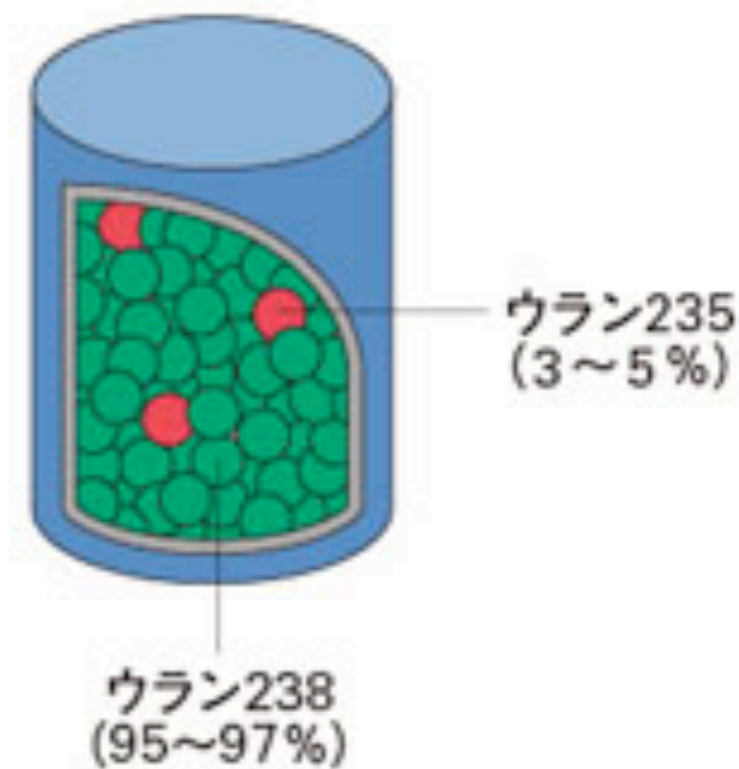
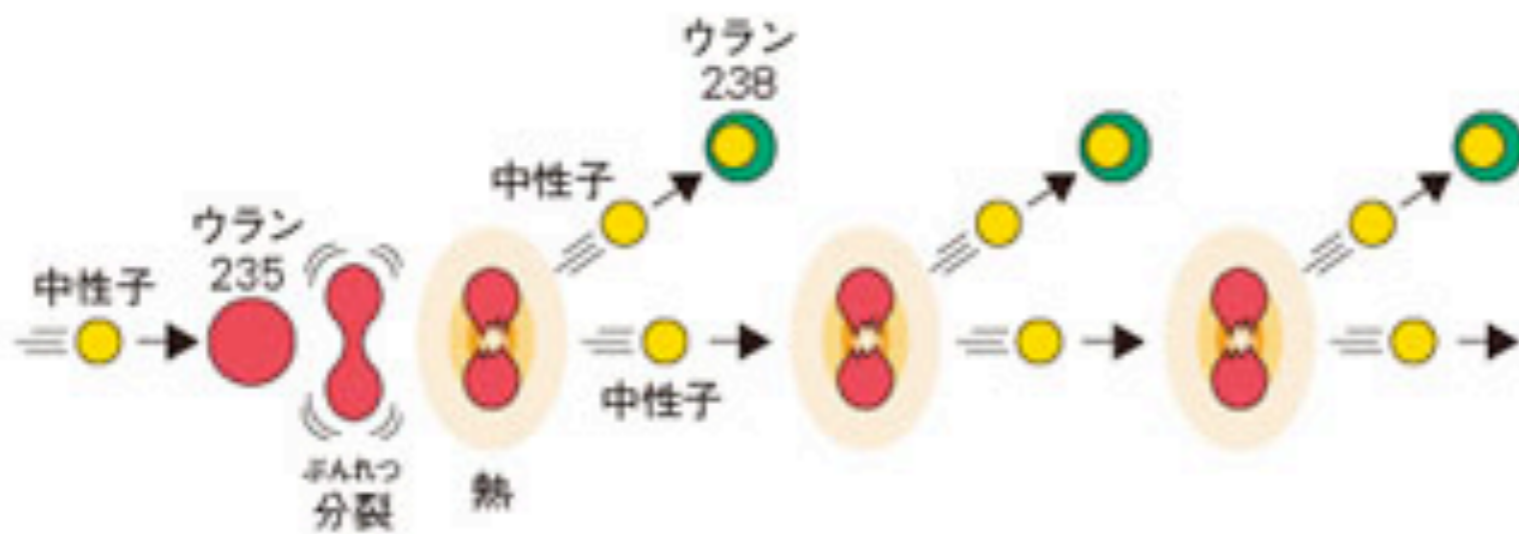
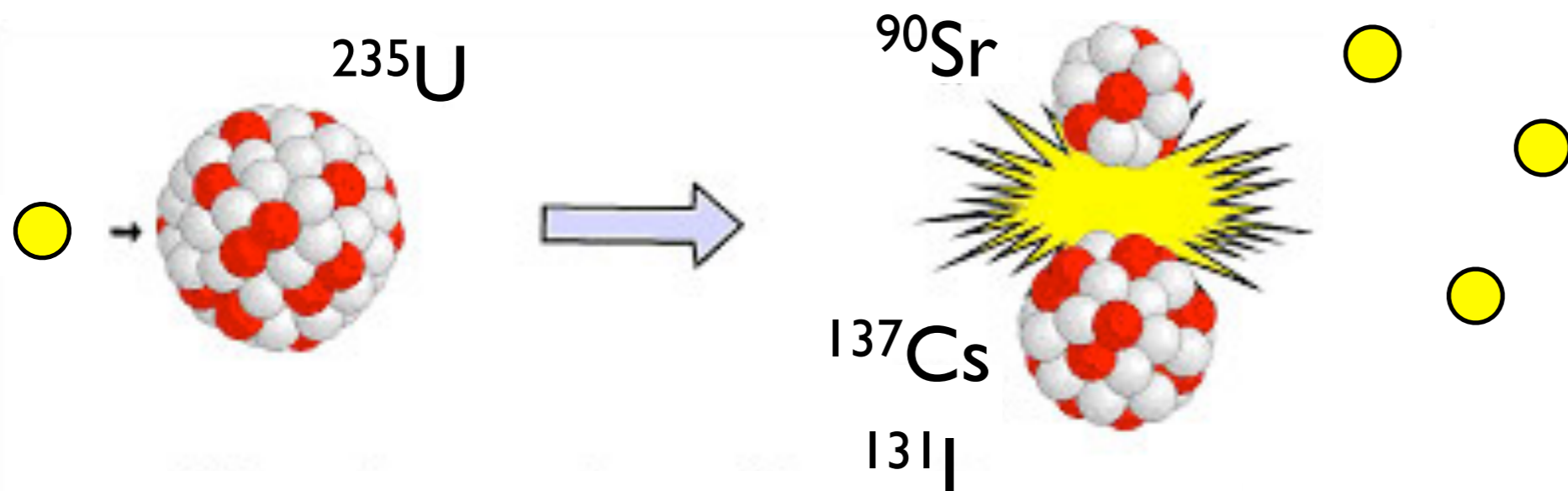
CERN セルン：欧州合同原子核研究機関
European Organization for Nuclear Research
Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire



加速器科学

第13回：1/27

原子核分裂反応

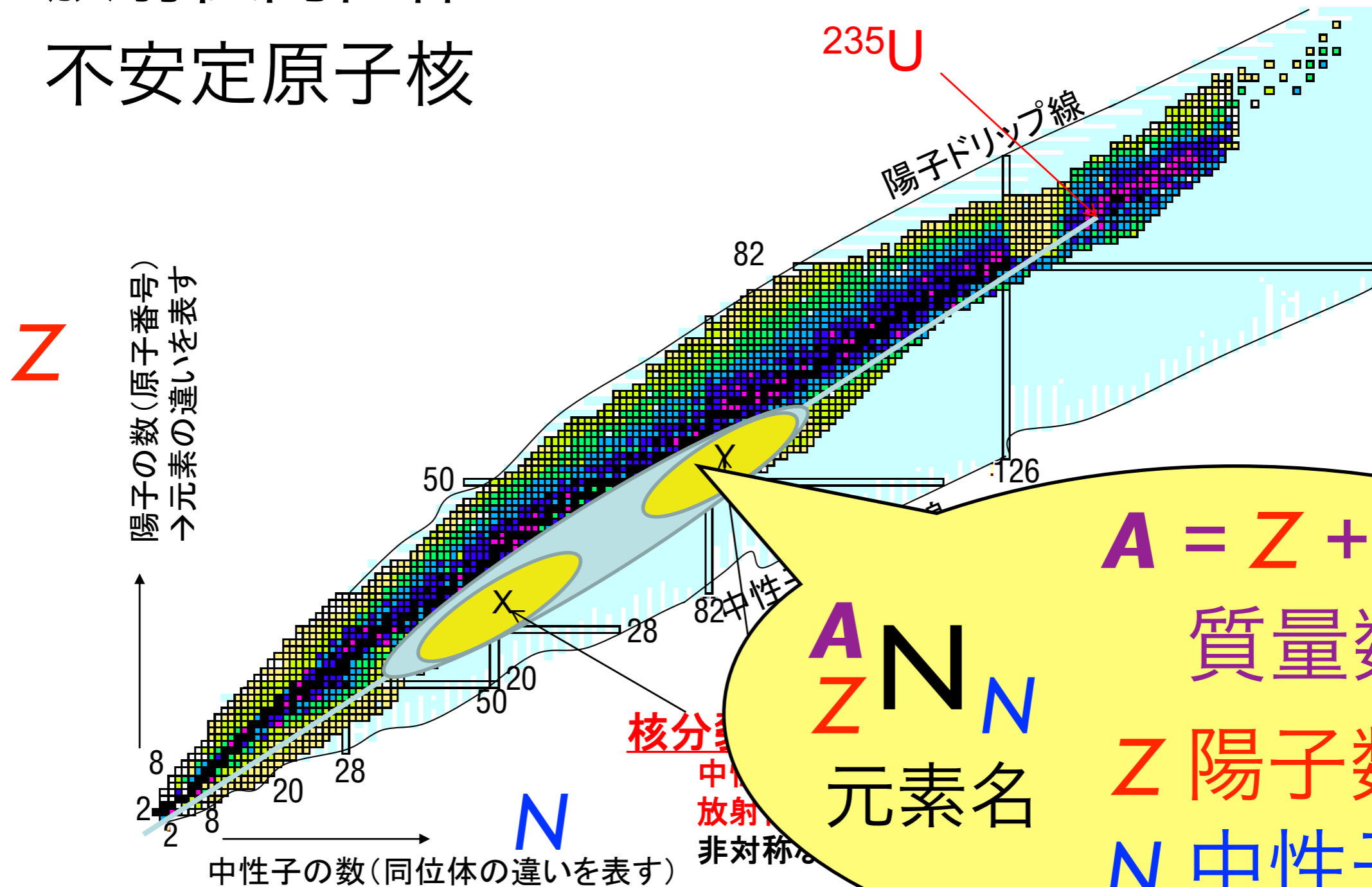


中性子 + ウラン 235 / 238

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



$$A = Z + N$$

質量数

A
 Z
 N

元素名

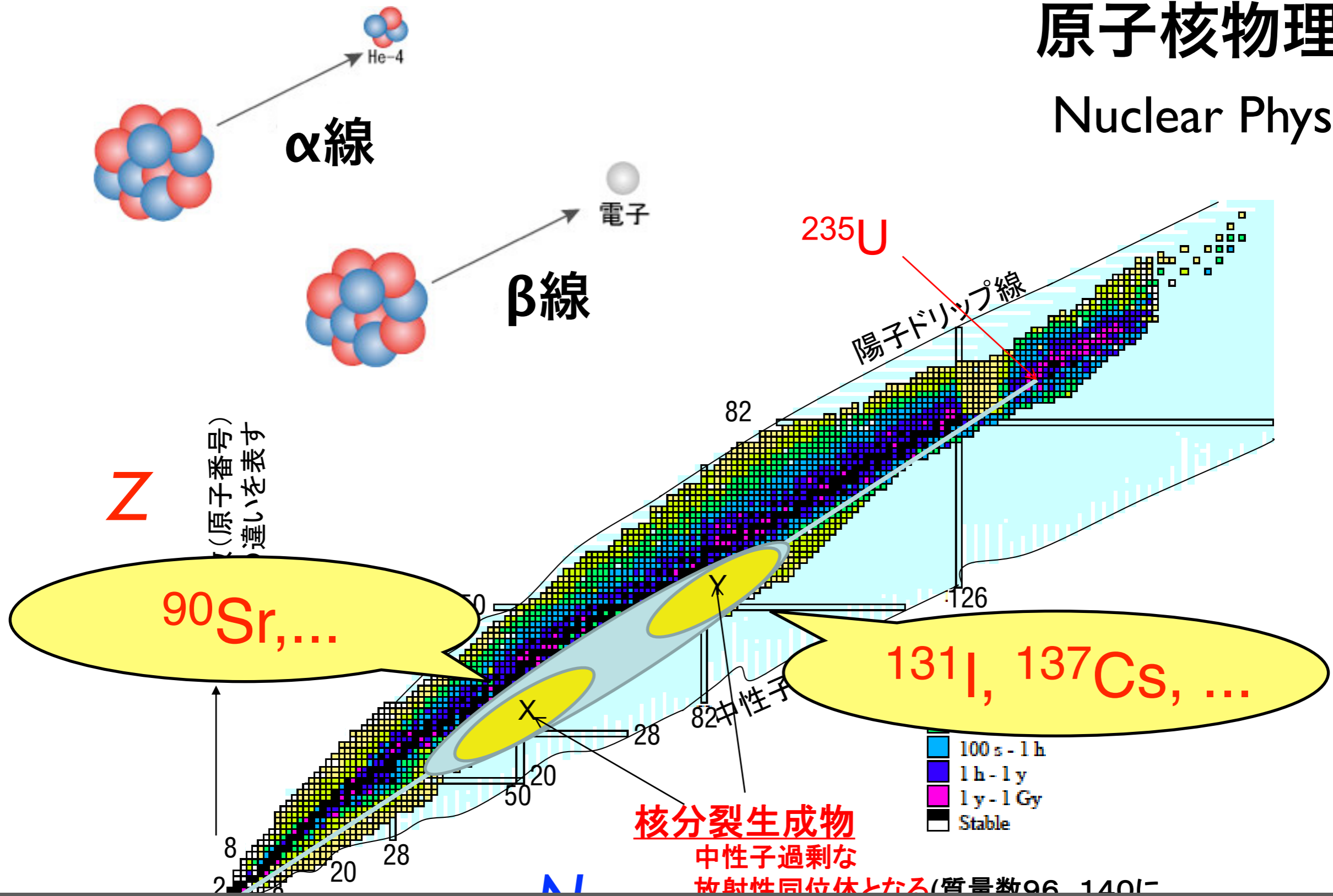
Z 陽子数

N 中性子数

Nuclear Chart 核図表

原子核物理学

Nuclear Physics





第3・8・9回：
10/24, 12/5, 12/12

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)

(シミュレーションと将来の放射線量)

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24日)

- ▶ 「放射性セシウムが1 kg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
 - この教室から検出器を動かしてみましよう!
 - 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!

(例)可搬型の空間線量計



日立アロカ社ウェブサイトより



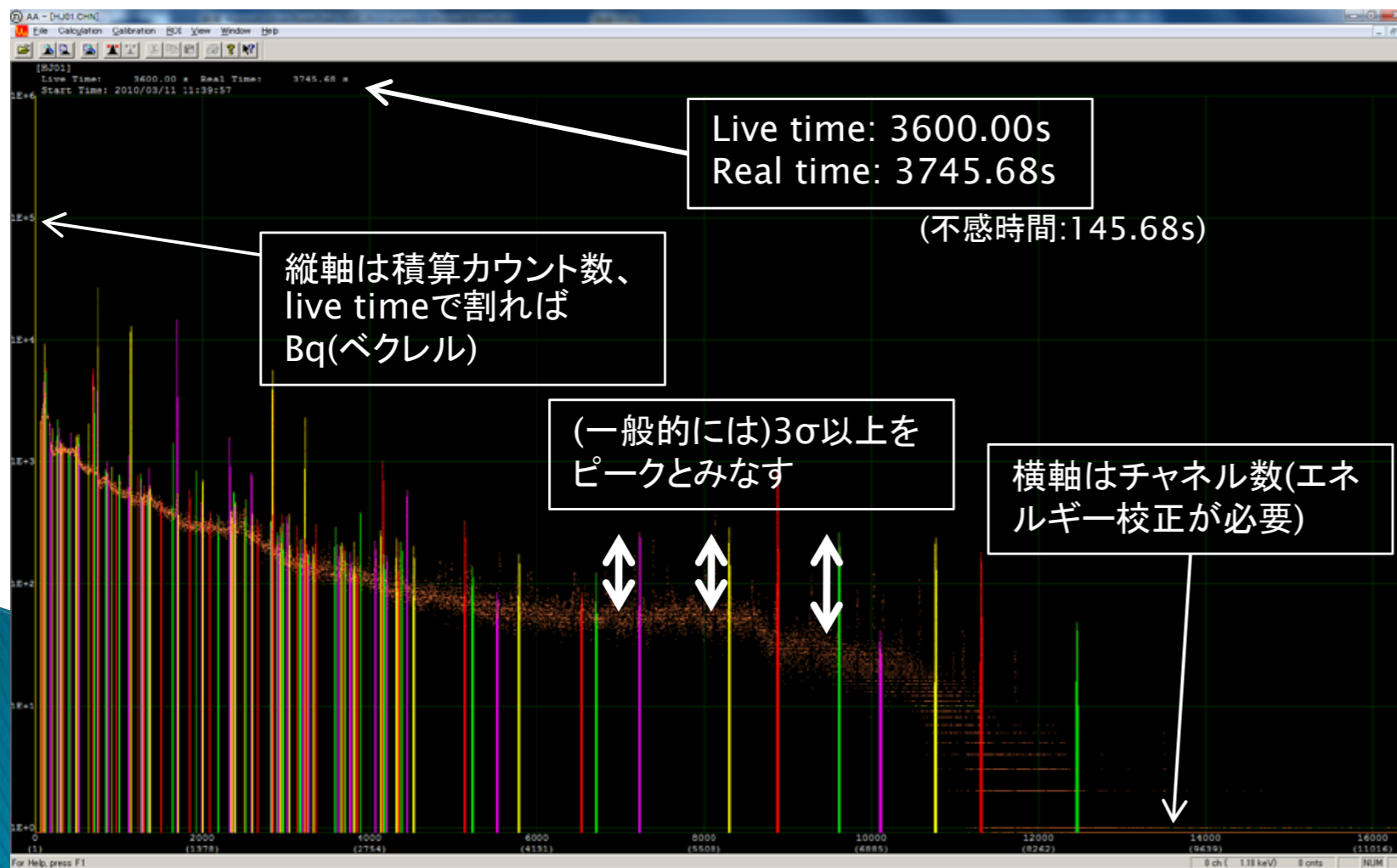
HORIBA社ウェブサイトより

- ▶ 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。



(例)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¹³⁷の100Bq/kgの計算方法



ガンマスペクトルの例
(測定時間1時間)

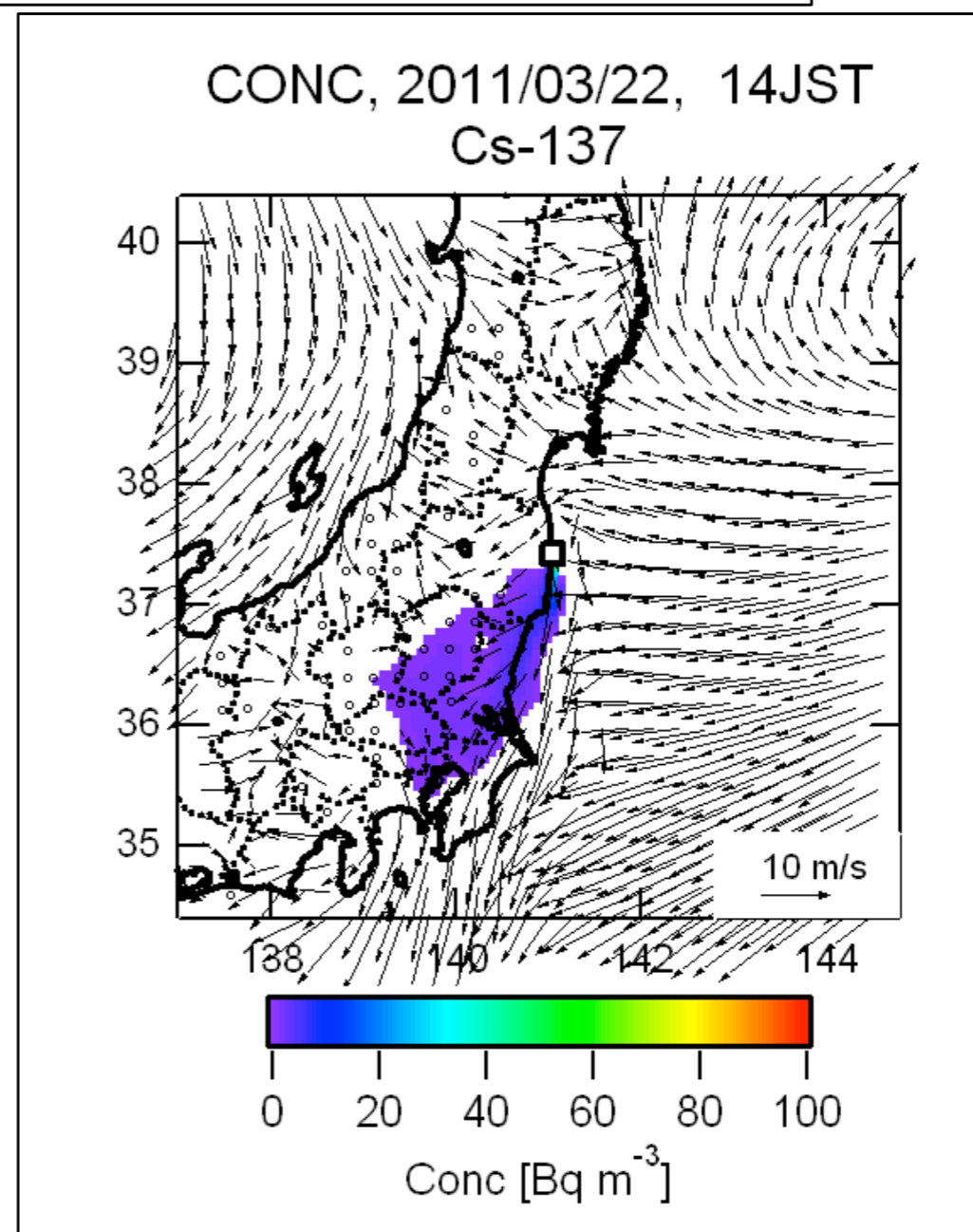
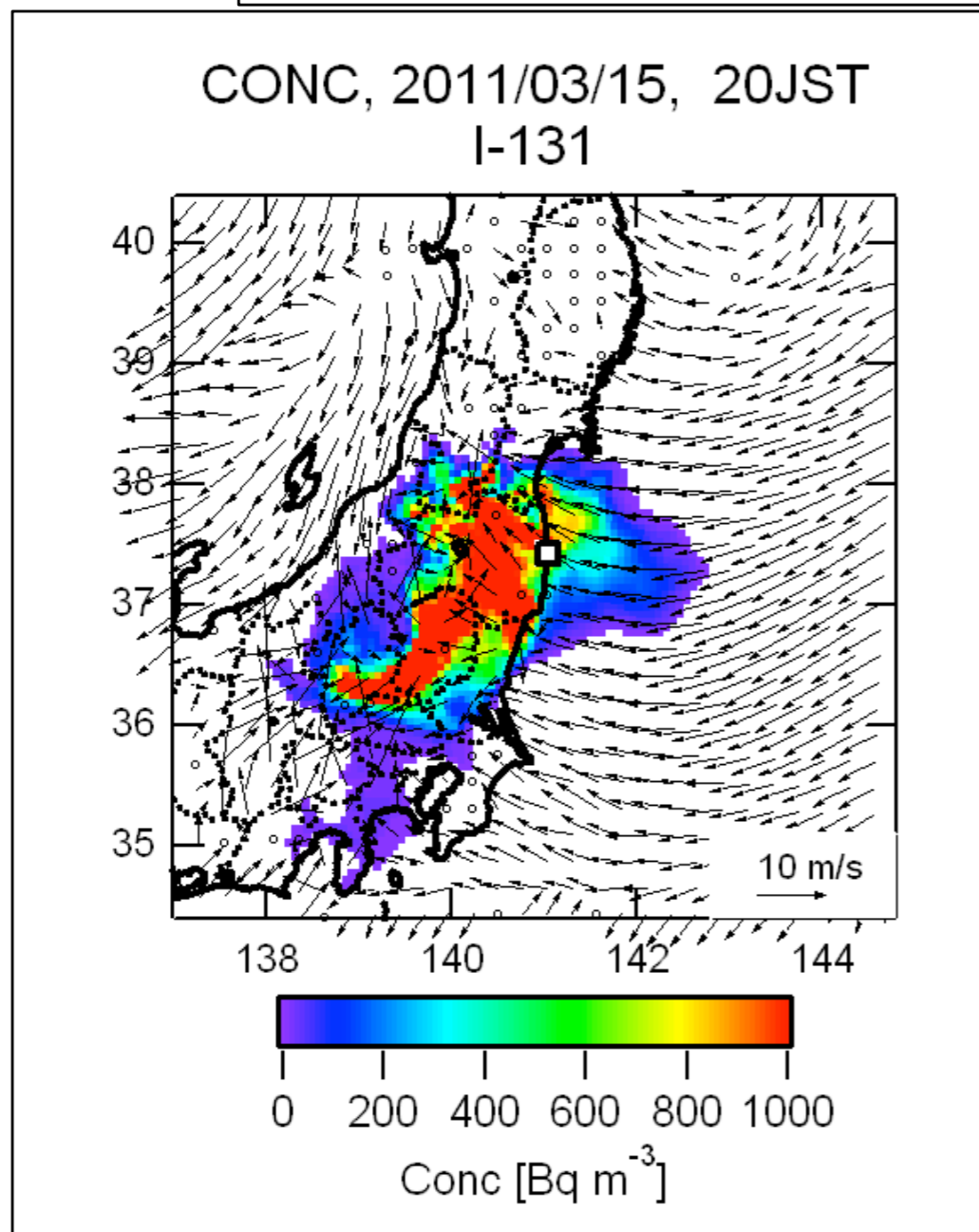
環境の中にある放射線 (12月5日)

- ▶ 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...)
- ▶ (実演)みなさんにも検出器を使って測定を体験してもらいます
- ▶ 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

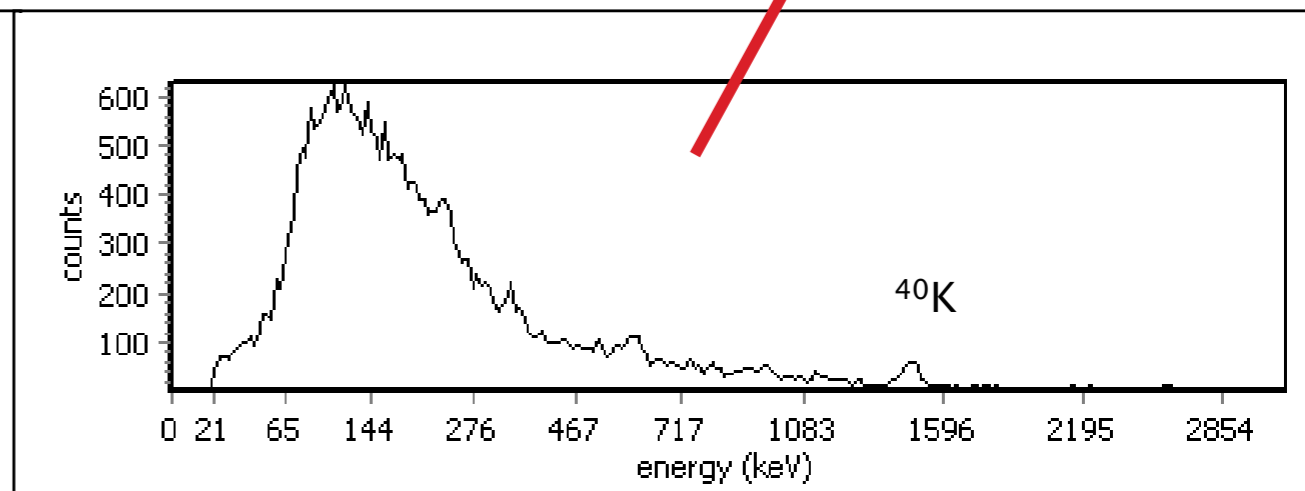
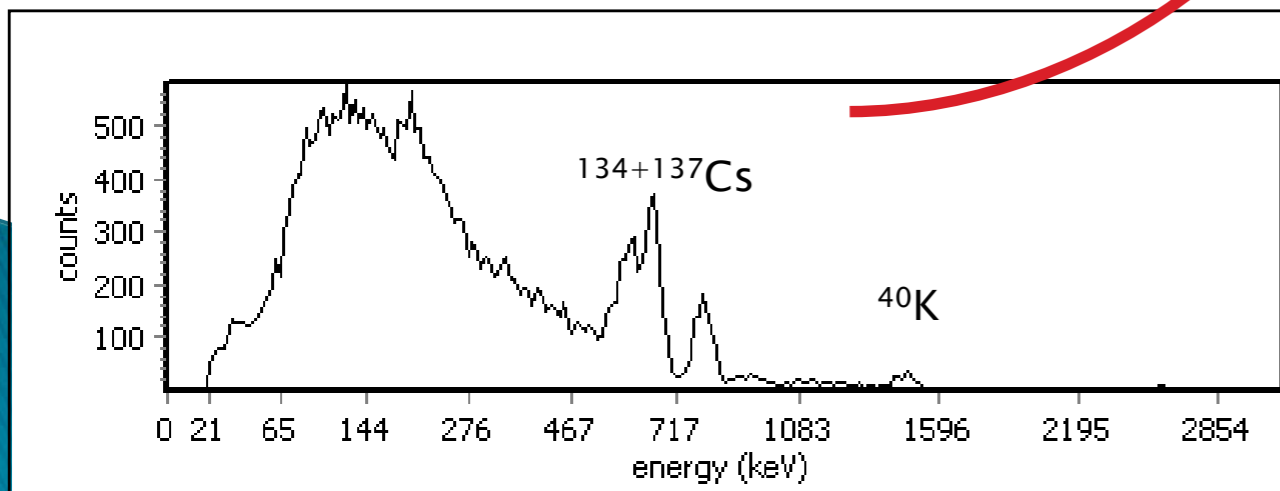
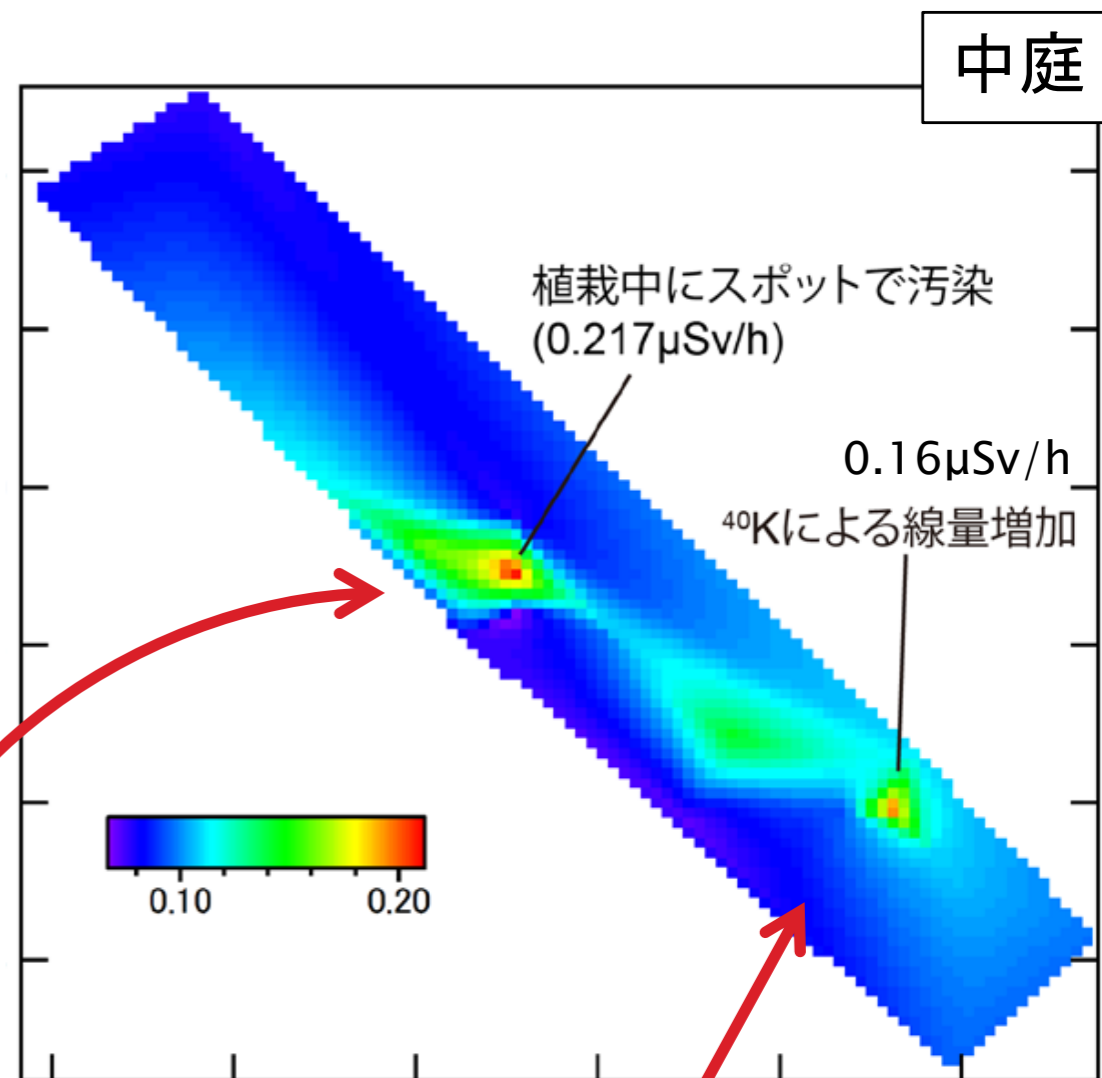
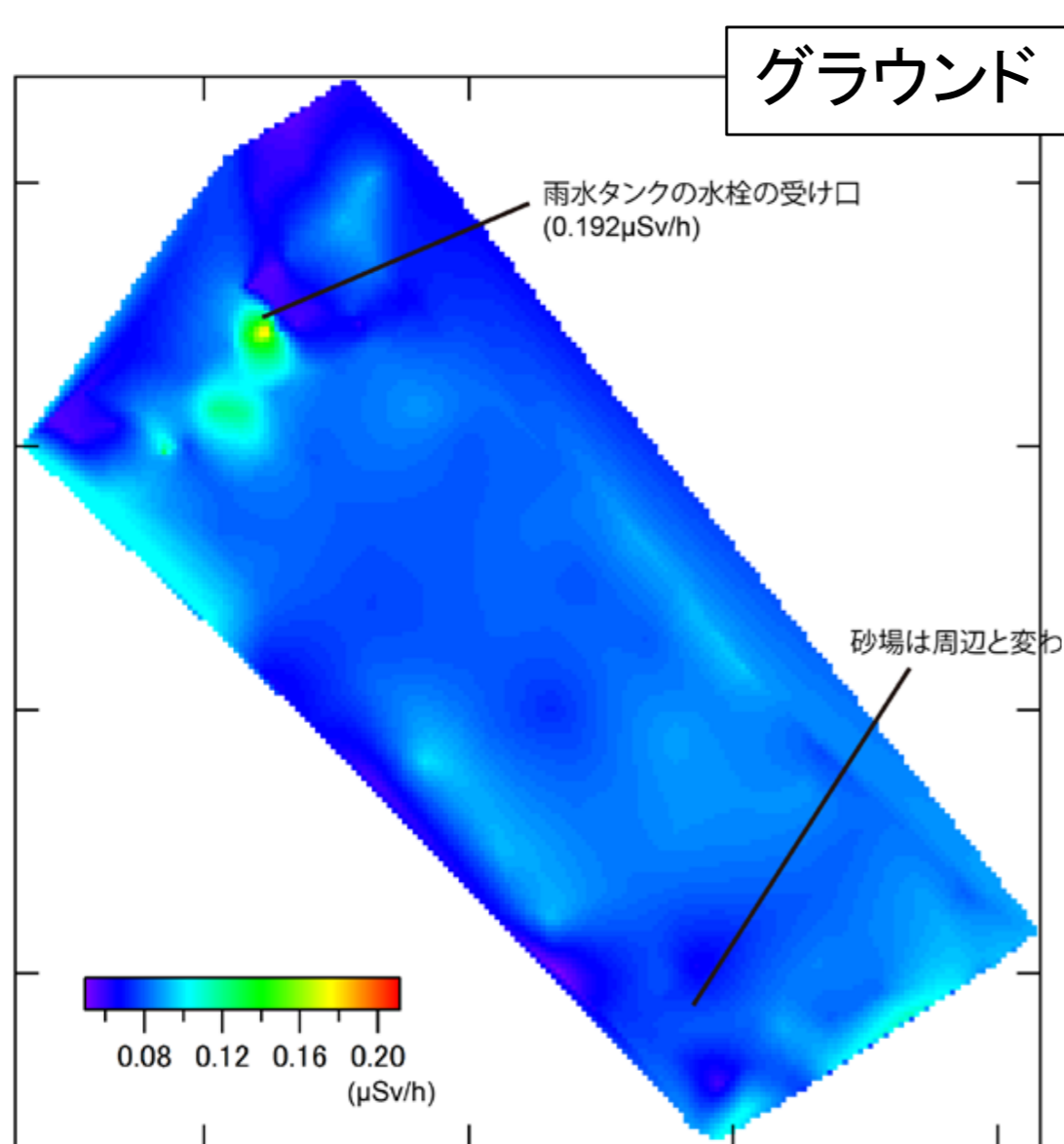
2011年8月25日付 国立環境研究所 報道発表資料



- ▶ 実測値との差違を議論したい

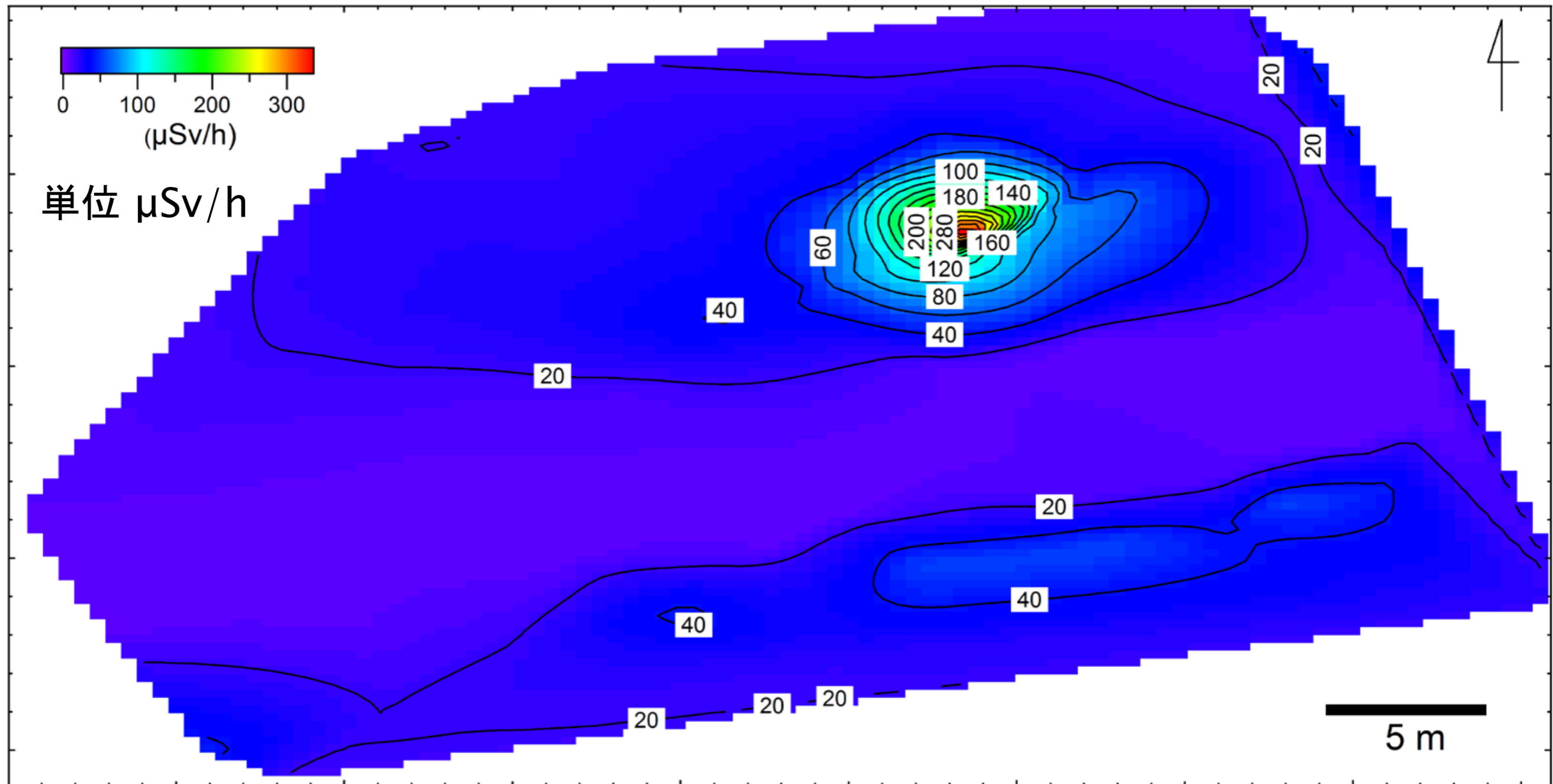
都内小学校での空間線量率

低線量の場合、自然放射能からの寄与が無視できない



原発から1.5kmにある水溜まりの空間線量率

(2014年3月測定)



将来はどうか (12月12日)

- ▶ 福島原発事故はどう起きたのか
 - これまでに明らか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
- ▶ 一般市民が行う放射線測定

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

画像は某所の汚染水を貯めるタンク

残念なことですが、今後数十年間は片付きそうにない話です。
放射線を知ることは、これからの時代を生きていく君たちに
必須な知識になってしまった、とも言えます



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。
 - 今年度から、体験要素をぐっと増やします！
- ▶ 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：11/7, 1/23



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)

2014年10月10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





1945
8.9 11:02'

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

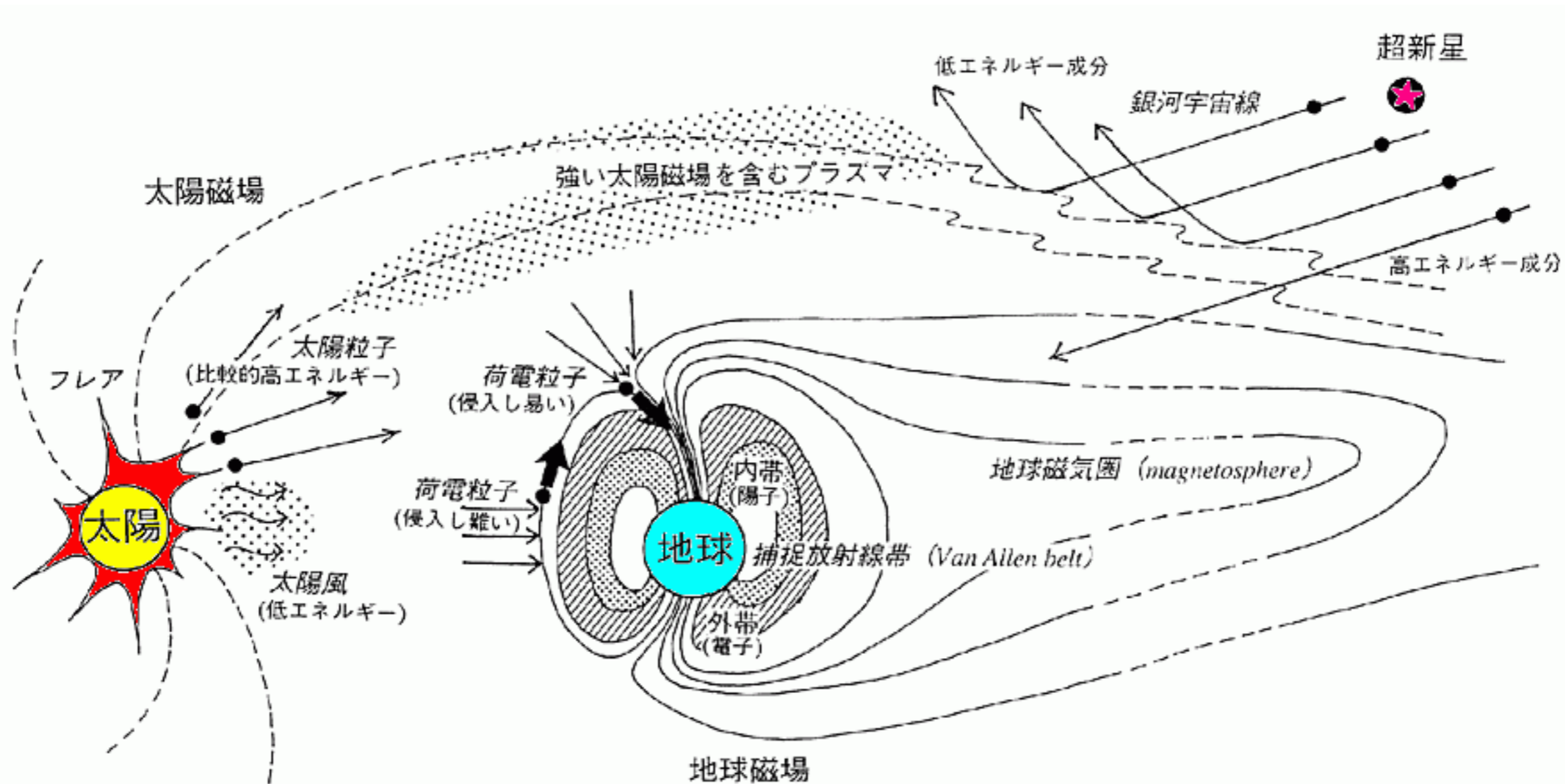


図1 宇宙放射線環境の構造

[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)

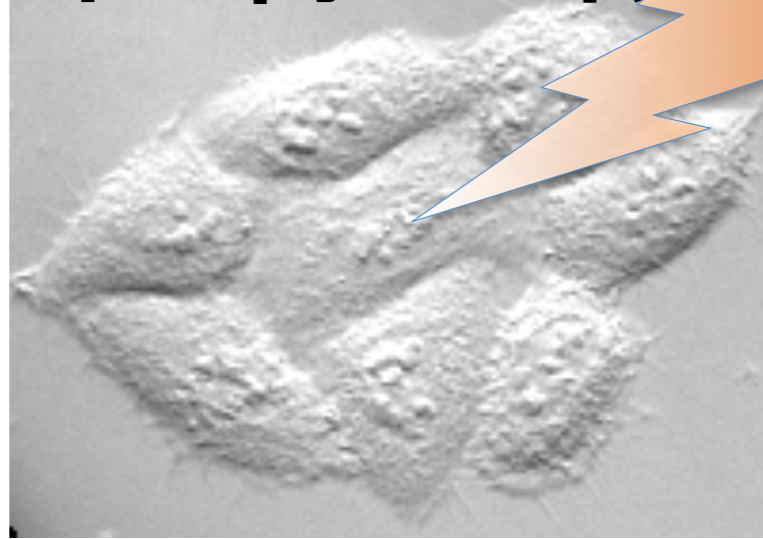
日本有数の温泉保養地
ラジウム温泉

日本観光

大

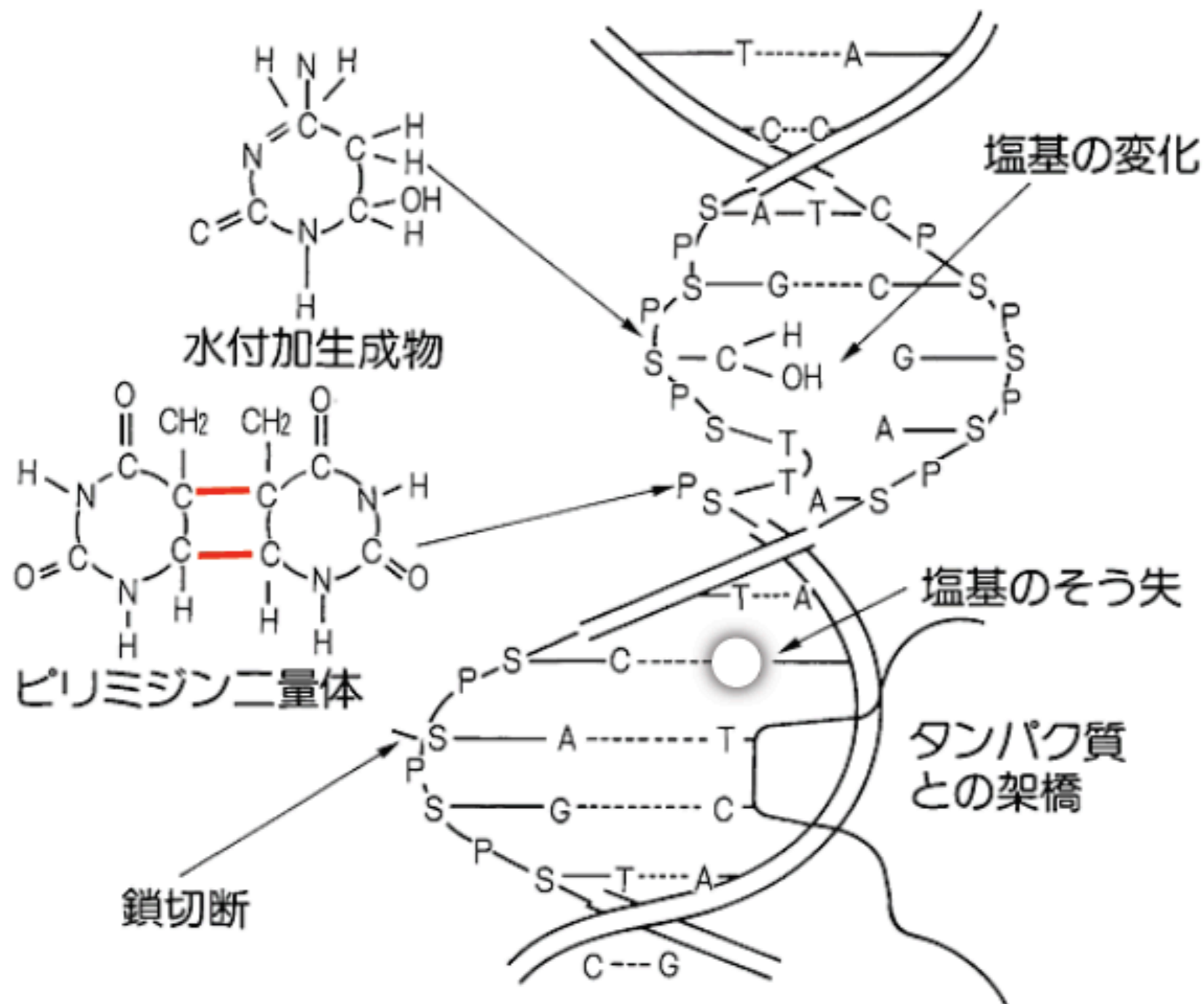


低線量被ばくによる影響



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

原爆にあっても生き延びた植物



非破壊検査



非破壊検査は、建物や橋、ヒコークなど

(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

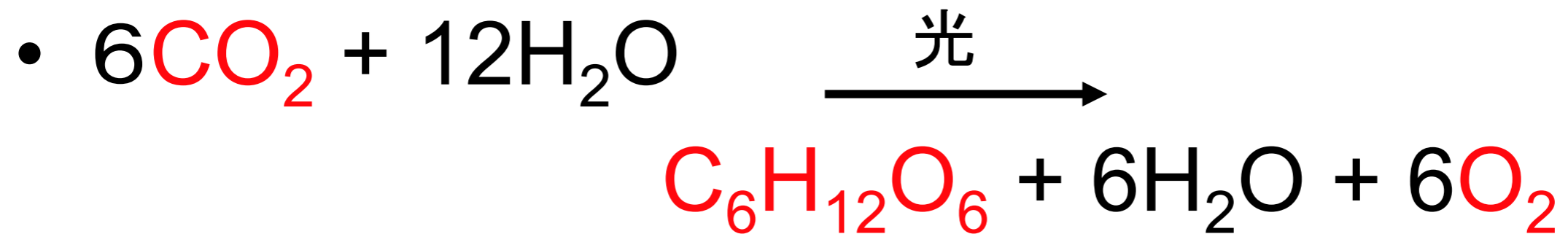


【出典】（独）放射線医学総合研究所

生命科学で頻用される放射性同位体

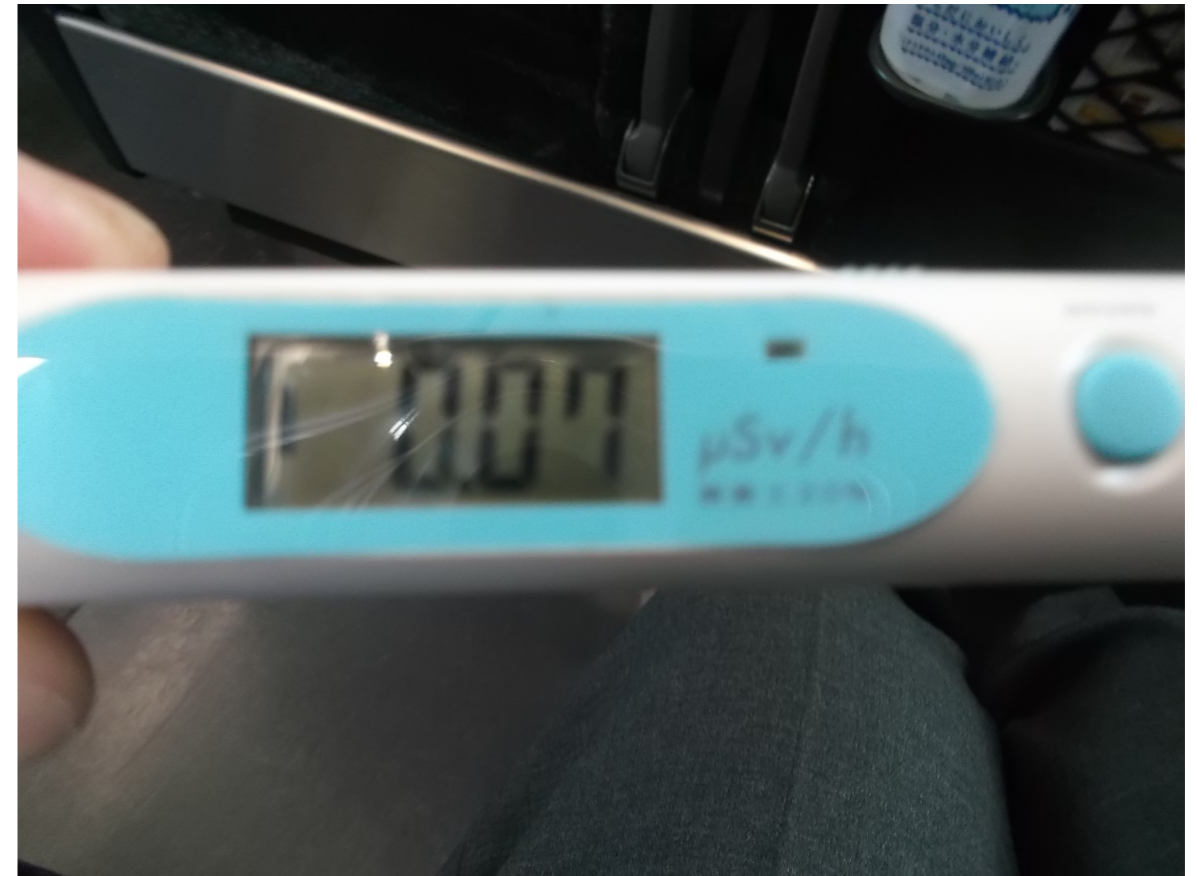
同位体	半減期
^{32}P DNA, RNA	14 日
^{131}I チロキシン、タンパク質のチロシン残基	8.1 日
^{35}S タンパク質のメチオニン、システイン残基	87 日
^{14}C 有機化合物全般	5730 年
^{45}Ca 細胞内のシグナル伝達物質(イオン)	164 日
^3H 別名トリチウム(三重水素) 化合物全般	12.32 年

光合成の収支



Calvin & Benson らの研究

いわき市見学



Journal of Plant Research

JPR和文要旨 バックナンバー

[《前号](#) [表紙画像一覧](#) [次号》](#)

(画像のクリックで英文ページを表示)

2014年01月号 (Vol.127 No.1)

新年のご挨拶

Nishida I (2014) As we begin a new year with the *Journal of Plant Research*. *J Plant Res* 127: 1-2

JPRの編集・発刊の現状を紹介し、2014年の主な企画である、福島原発特集、古生物学特集について紹介する。また、2014年から任につく編集委員を紹介するとともに、2013年に任を終えた編集委員に感謝申し上げる。(p.1-2)

特集号：福島における野生植物、農作物、藻類の放射性Cs汚染の現状とその制御に関わる調査研究

福島における野生植物、農作物、藻類の放射性Cs汚染の現状とその制御に関わる調査研究--序文

Mimura T, Fujiwara T, Fukuda H (2014) Current status and future control of cesium contamination in plants and algae in Fukushima.-Preface. *J Plant Res* 127: 3-4

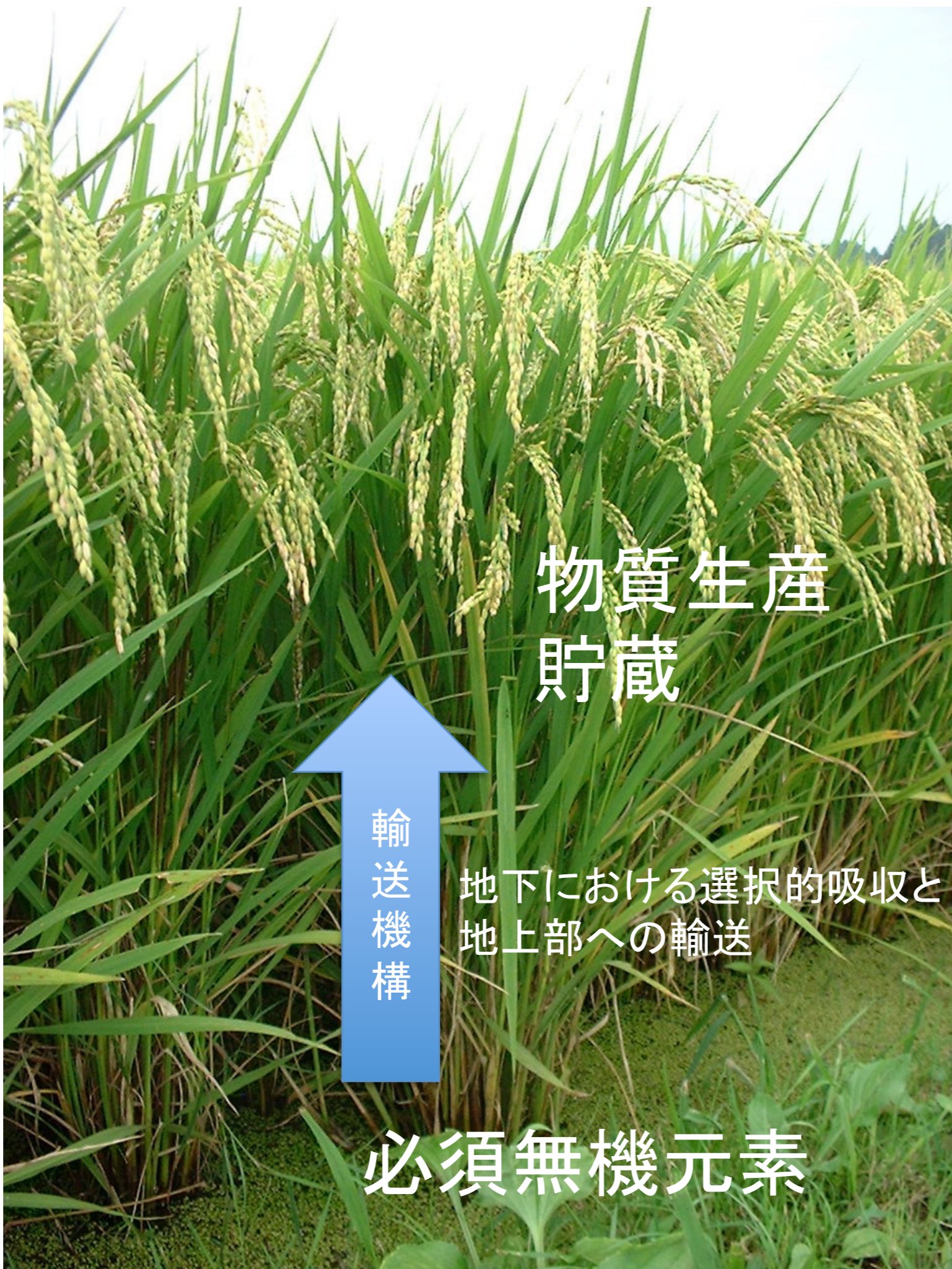




放射性物質汚染と農業

【農学部応用生命化学 藤原 徹 先生】

(植物によるセシウムの吸収と輸送)



物質生産
貯蔵



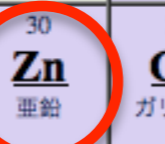
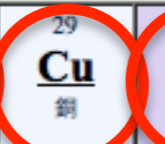
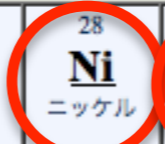
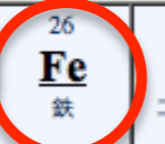
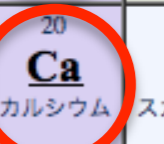
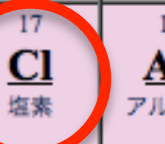
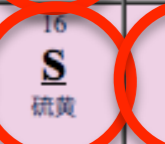
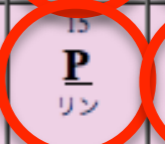
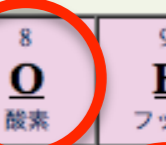
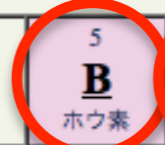
輸
送
機
構

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	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
6	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

放射性物質を含む食品からの被ばく線量の上限を、年間5ミリシーベルトから
年間1ミリシーベルトに引き下げ、これをもとに放射性セシウムの基準値を設定しました。

○放射性セシウムの暫定規制値

食品群	規制値 (単位:ベクレル/kg)
野菜類	500
穀類	
肉・卵・魚・その他	
牛乳・乳製品	200
飲料水	200

※ 放射性ストロンチウムを含めて規制値を設定



- 食品の区分を変更
- 年間線量の上限を引き下げ

○放射性セシウムの新基準値

食品群	基準値 (単位:ベクレル/kg)
一般食品	100
乳児用食品	50
牛乳	50
飲料水	10

※放射性ストロンチウム、プルトニウムなどを含めて基準値を設定

第6回：11/14



放射線影響の疫学

【放射線影響研究所 小笹 晃太郎 先生】

(広島・長崎における原爆被爆者の疫学調査)



日米共同研究機関

公益財団法人 放射線影響研究所

Radiation Effects Research Foundation

A Cooperative Japan-US Research Organization

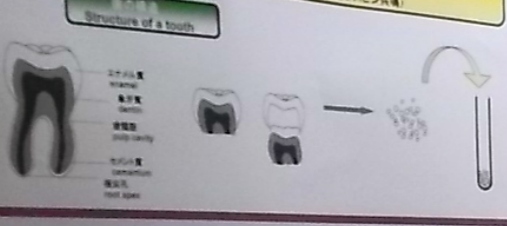
放射線被ばくの記録は歯にも残されている

Radiation Effects Remain in Tooth Enamel

方法の概要

Principle of the methods

磨かれた歯からエナメル質を分離して、小さい粒にして測定します
 After separation, the teeth's enamel is ground, and measured by ESR
 *ESR: Electron spin resonance (電子スピン共振)



何を検出しているのか?

What are the radiation effects that ESR detects?

エナメル質の主成分はハイドロキシアパタイト
 $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ です。
 この中の PO_4 が CO_3 にかわったものが一部あります。
 この CO_3 に放射線があると電子を捕獲して $CO_3^{\cdot-}$ を生成し、その後分解して CO_2 ラジカル ($CO_2^{\cdot-}$) ができます。
 このラジカル ($CO_2^{\cdot-} \rightarrow CO_3^{\cdot-} \rightarrow CO_2^{\cdot-}$) をESRで測っています。

放射線

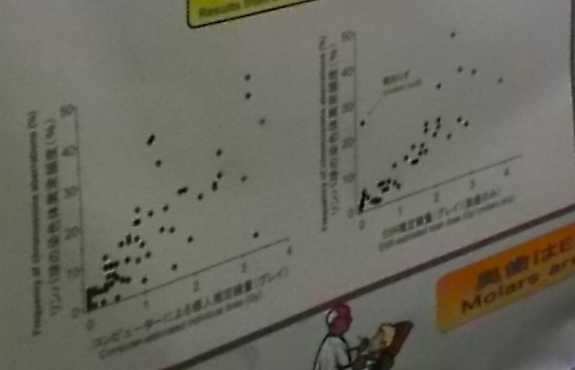
The Major component of enamel is hydroxyapatite.
 $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$
 In enamel, CO_3 replaces a portion of the PO_4 in hydroxyapatite. When $CO_3^{\cdot-}$ traps one electron after irradiation, $CO_3^{\cdot-}$ is formed. Later $CO_3^{\cdot-}$ radicals are formed, which can be measured by ESR
 $(CO_3^{\cdot-} \rightarrow CO_2^{\cdot-} \rightarrow CO_2^{\cdot-})$
 Radiation

測定結果

Results

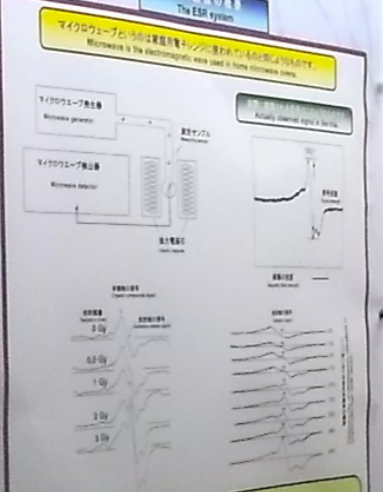
射線についての測定結果

Results from 61 A-bomb survivors



ESR装置の概要

The ESR system



照射実験
 照射された歯を測定し、ESR信号を測定します。
 この結果から、放射線被ばく量を知ることができます。

ESR信号
 ESR signal

歯の種類による測定結果

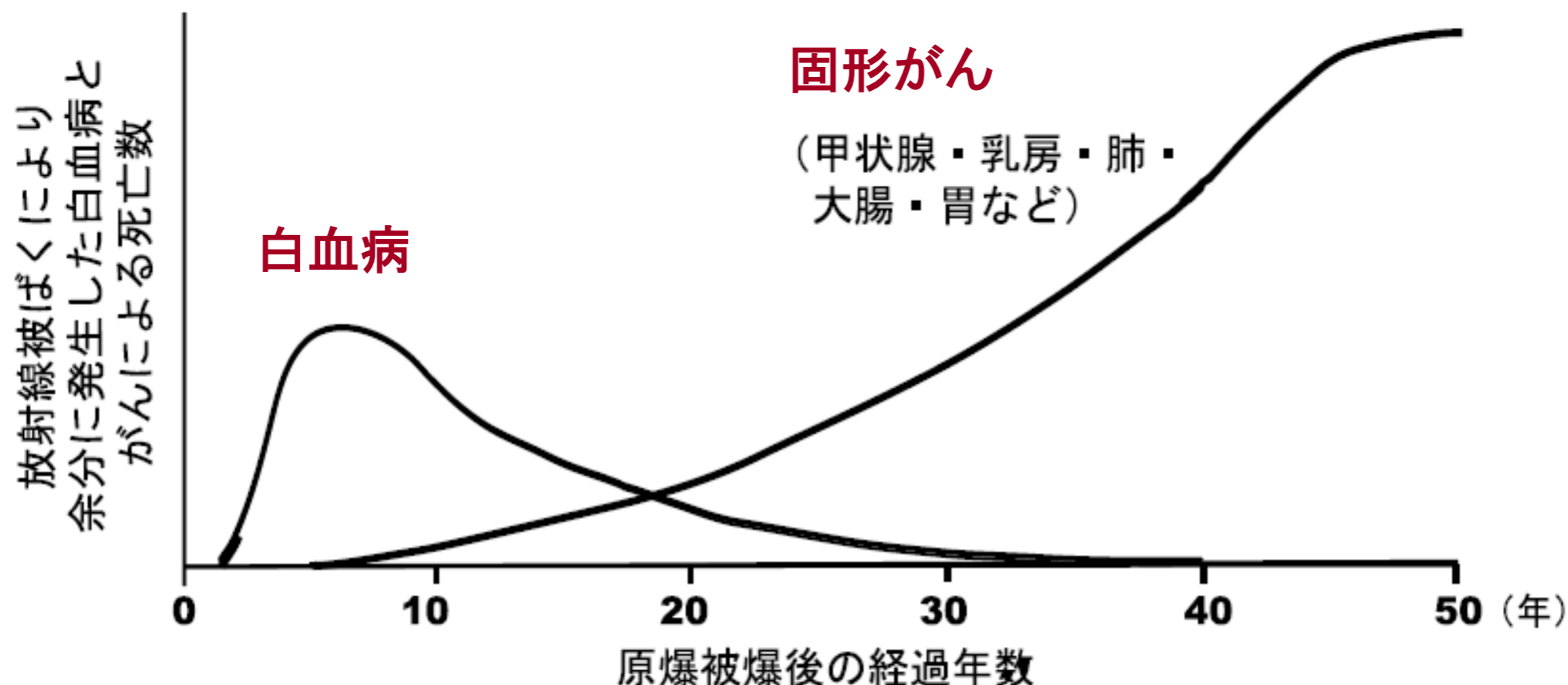
Results by tooth type



歯はESRで最も良い選択です！
 Molars are the best choice in ESR!

放射線被曝後の悪性腫瘍の発生

放射線被ばくによって白血病とがんがどれだけ余分に発生したか
(原爆被爆後の経過年数による) (模式図)

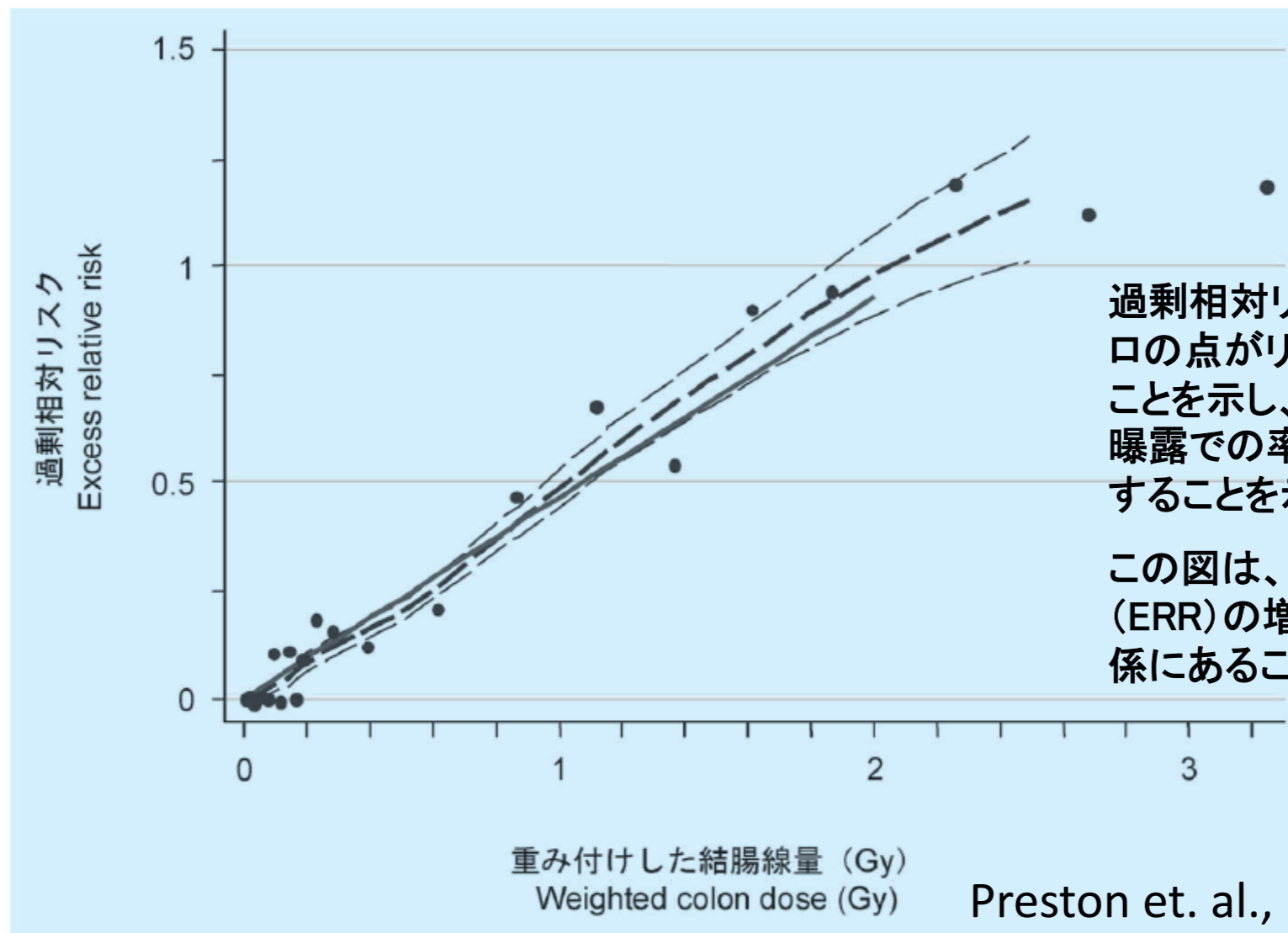


- 白血病は被爆後数年にピークとなりその後減少する
- 固形がんは、放射線被曝をしていない人での加齢とともに発生するがんに乗せられるような形で過剰に発生する

がん罹患リスクの線量反応関係、1958-98

図 3. LSS 集団における固形がん発生の過剰相対リスク（線量別）、1958-1998 年。¹⁰ 太い実線は、被爆時年齢 30 歳の人が 70 歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク（ERR）の線形線量反応を示す。太い破線は、線量区分別リスクを平滑化したノンパラメトリックな推定値であり、細い破線はこの平滑化推定値の上下 1 標準誤差を示す。

Figure 3. LSS solid cancer incidence, excess relative risk by radiation dose, 1958-1998.¹⁰ The thick solid line is the fitted linear sex-averaged excess relative risk (ERR) dose response at age 70 after exposure at age 30. The thick dashed line is a non-parametric smoothed estimate of the dose category-specific risks and the thin dashed lines are one standard error above and below this smoothed estimate.



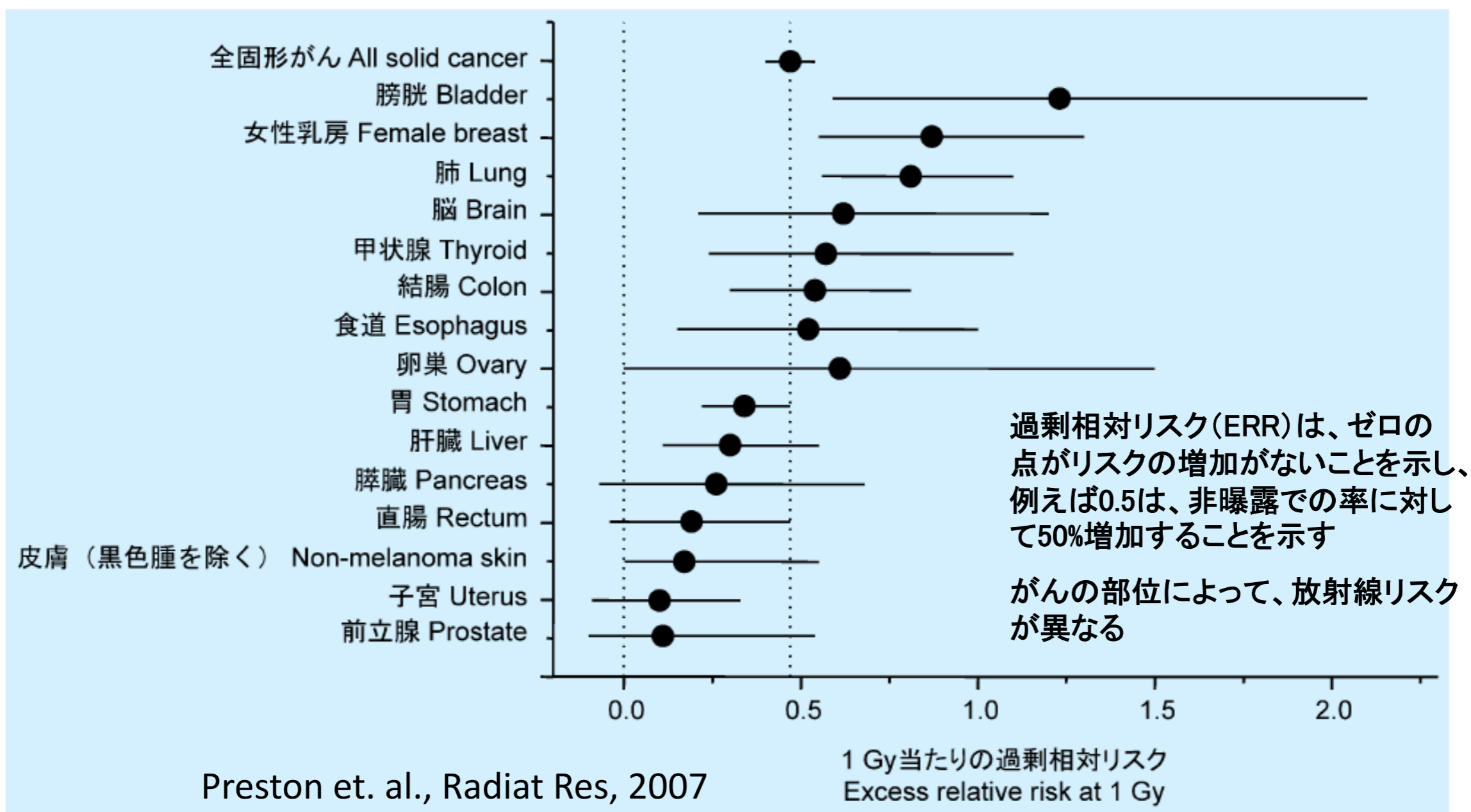
過剰相対リスク(ERR)は、ゼロの点が増加がないことを示し、例えば0.5は、非曝露での率に対して50%増加することを示す

この図は、線量とリスク(ERR)の増加がほぼ直線関係にあることを示す

部位別がん罹患リスク(/Gy)、1958-98

図 5. LSS 集団における被爆時年齢 30 歳 (男女平均) の人が、70 歳に達した時の 1 Gy 当たりの部位別がん発生率の過剰相対リスク。横線は 90% 信頼区間を示す。¹⁰

Figure 5. Excess relative risk per Gy for the incidence of site-specific cancers in the LSS cohort. The risk is standardized as exposure at 30 years of age (sex-averaged) and diagnosed at age 70. The horizontal bars indicate 90% confidence intervals.¹⁰



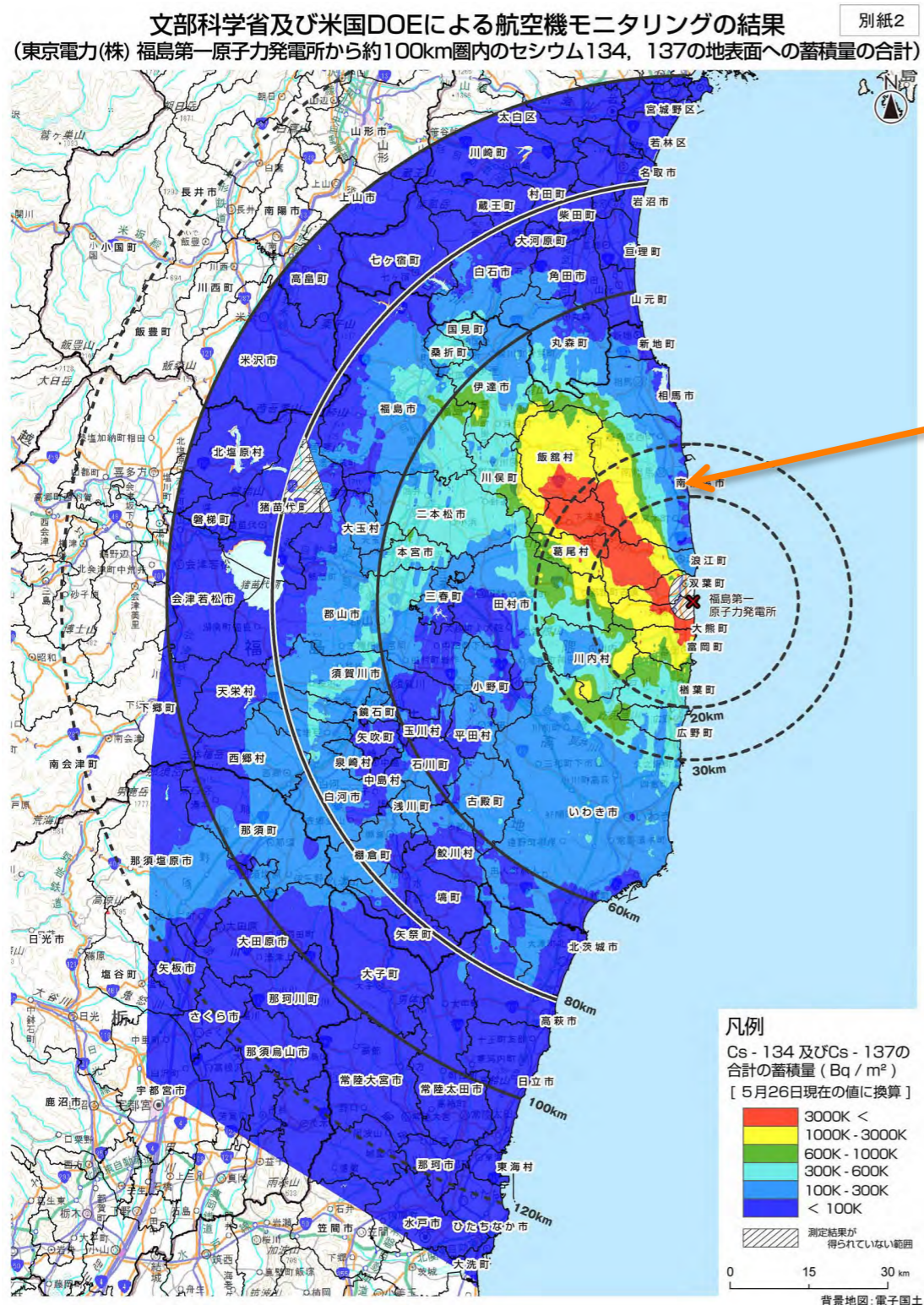


被曝調査・医療支援

【東大医科学研究所 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



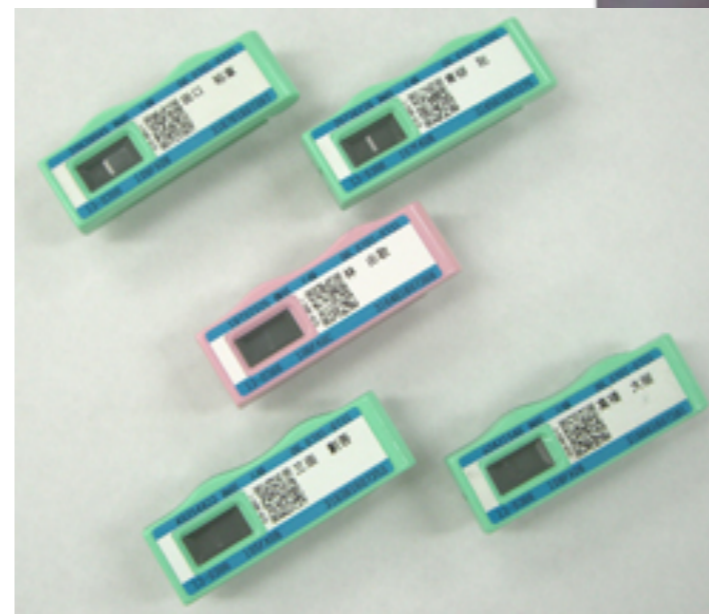
南相馬市人口

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1回：10/10
(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)



双葉町



飯舘村

対話型講演会 @ 福島県

伊達市・南相馬市・郡山市

チーム

2014/8/5-7

「あいんしゅたいん」

企画：NPO 法人あいんしゅたいん



郡山市



南相馬市

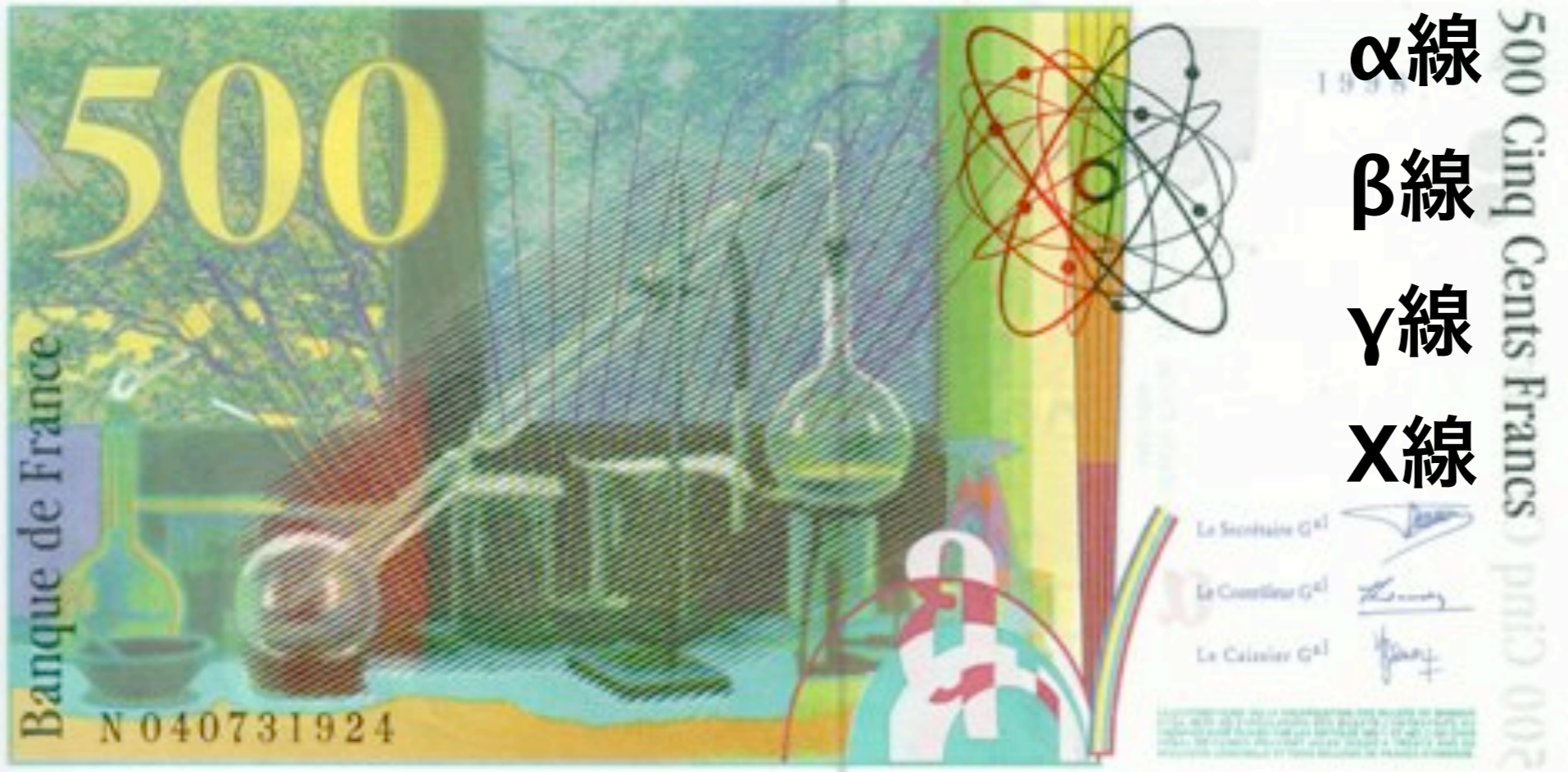


伊達市

放射線とは？

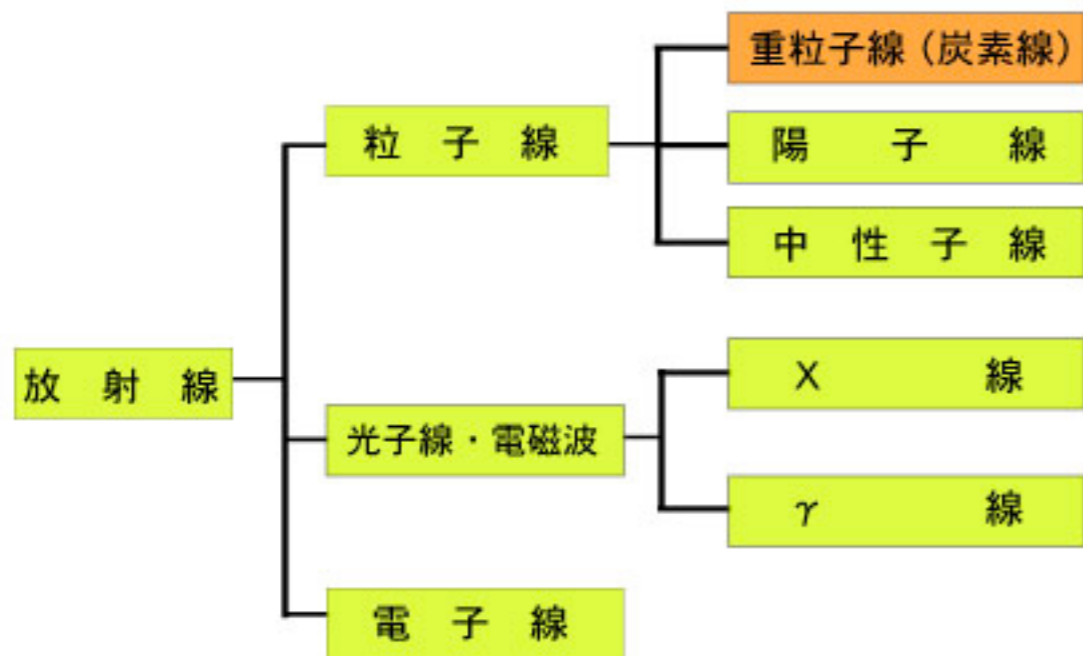


Billet de 500 Francs Français en circulation: 1993–1999

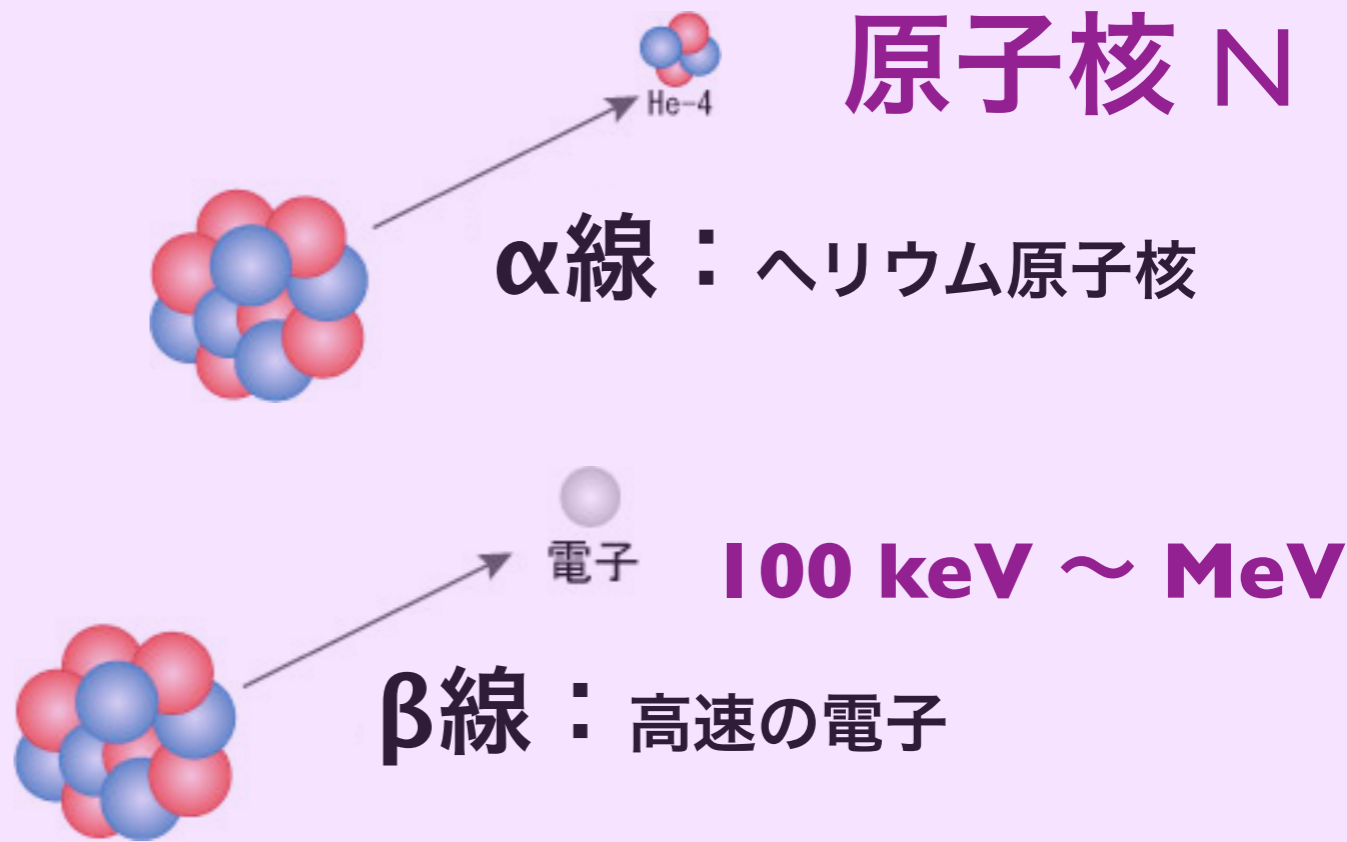


- α線 ヘリウム原子核
- β線 高速の電子
- γ線 光子（電磁波）
- X線 光子（電磁波）

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

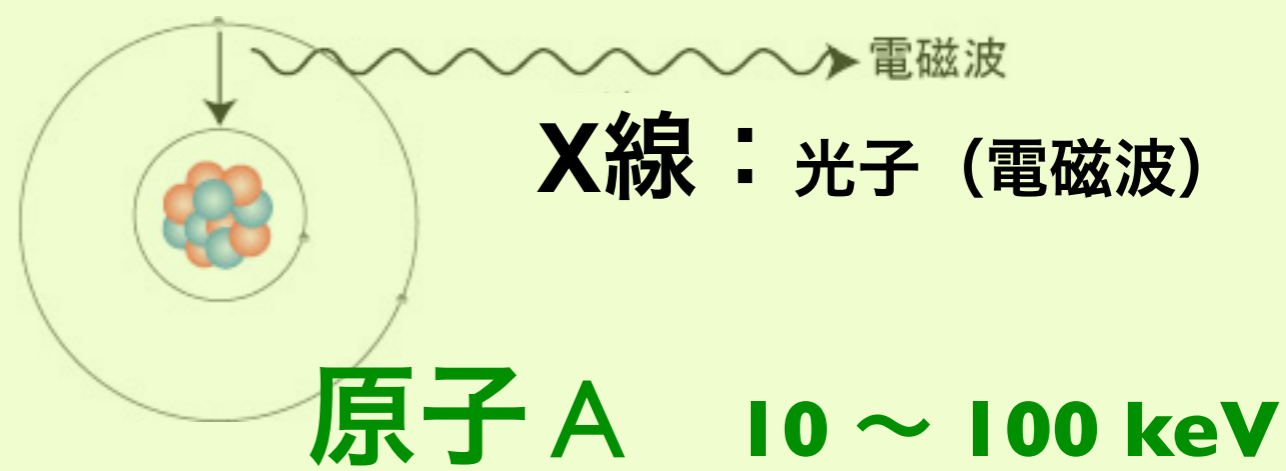


放射線のもつエネルギーは？

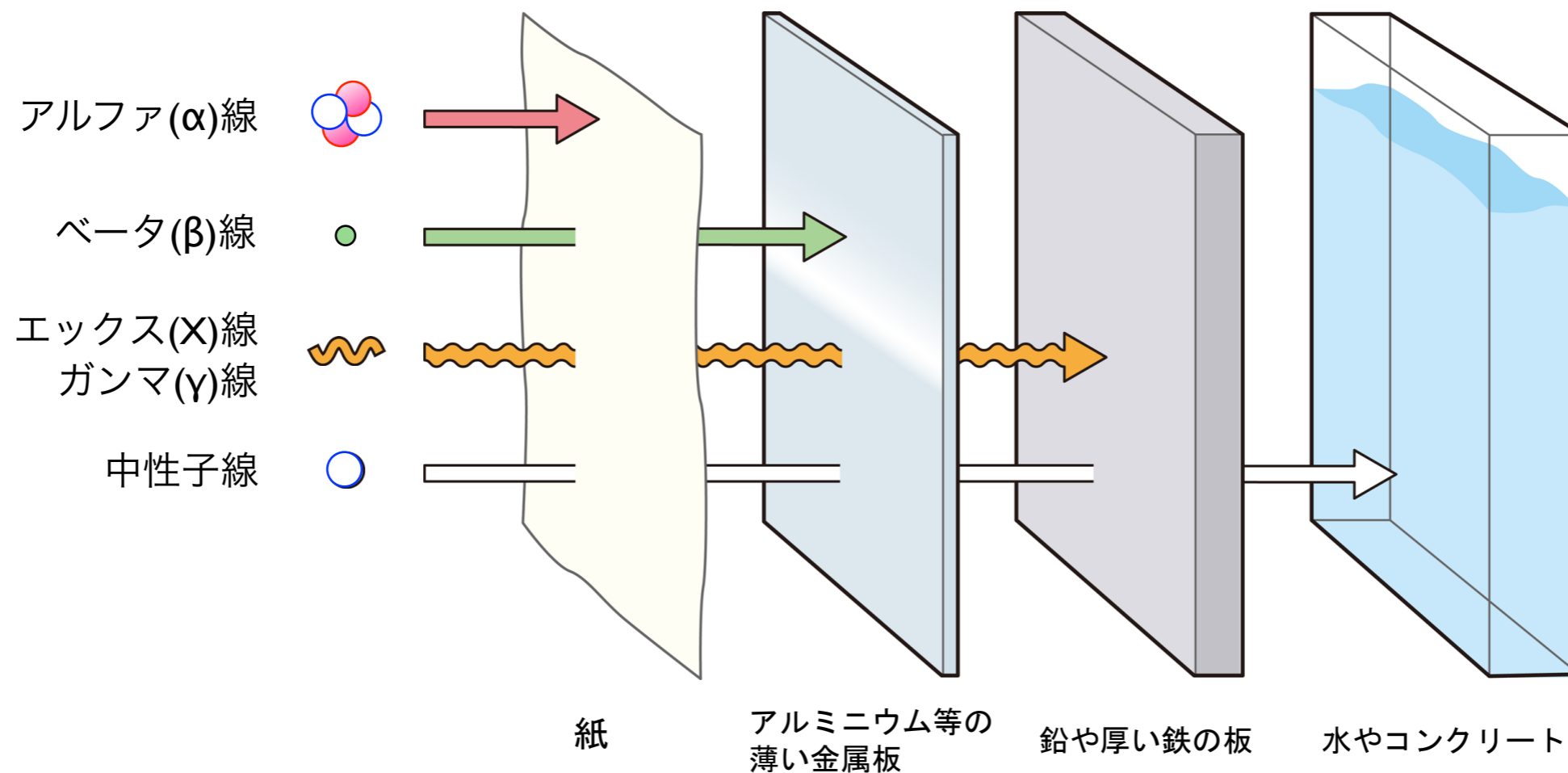
👉 **100 keV ~ MeV** (α, β, γ)

Cf. 原子の束縛エネルギーは？

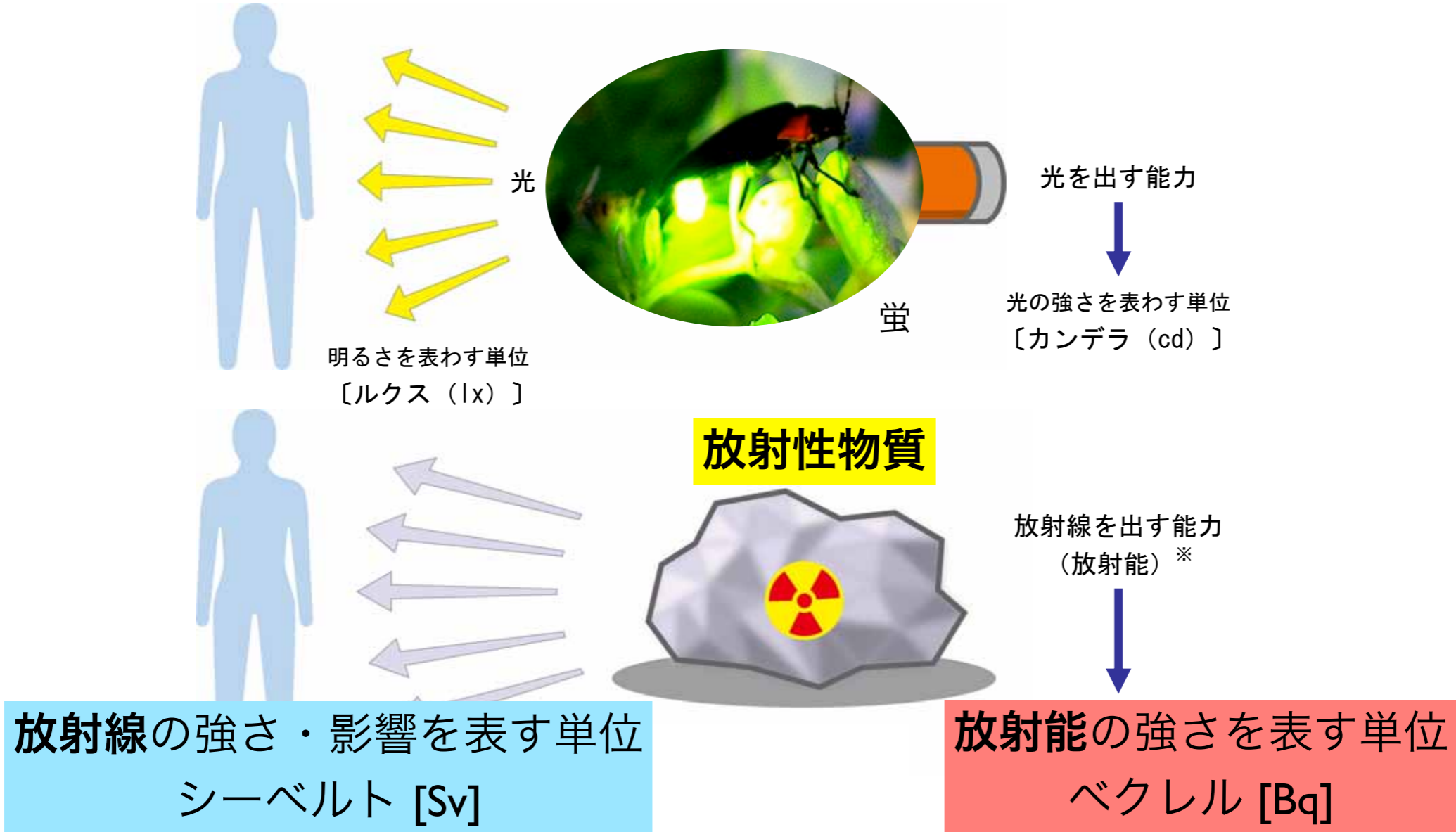
👉 最外殻電子で **10 eV** 程度
(1 eV = 96 kJ/mol)



放射線の種類と透過力

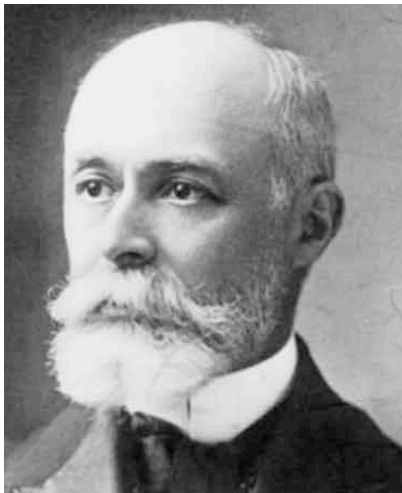


放射能と放射線



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



放射線物理学・化学 第4回：10/31

放射線生物学 第5回：11/7

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

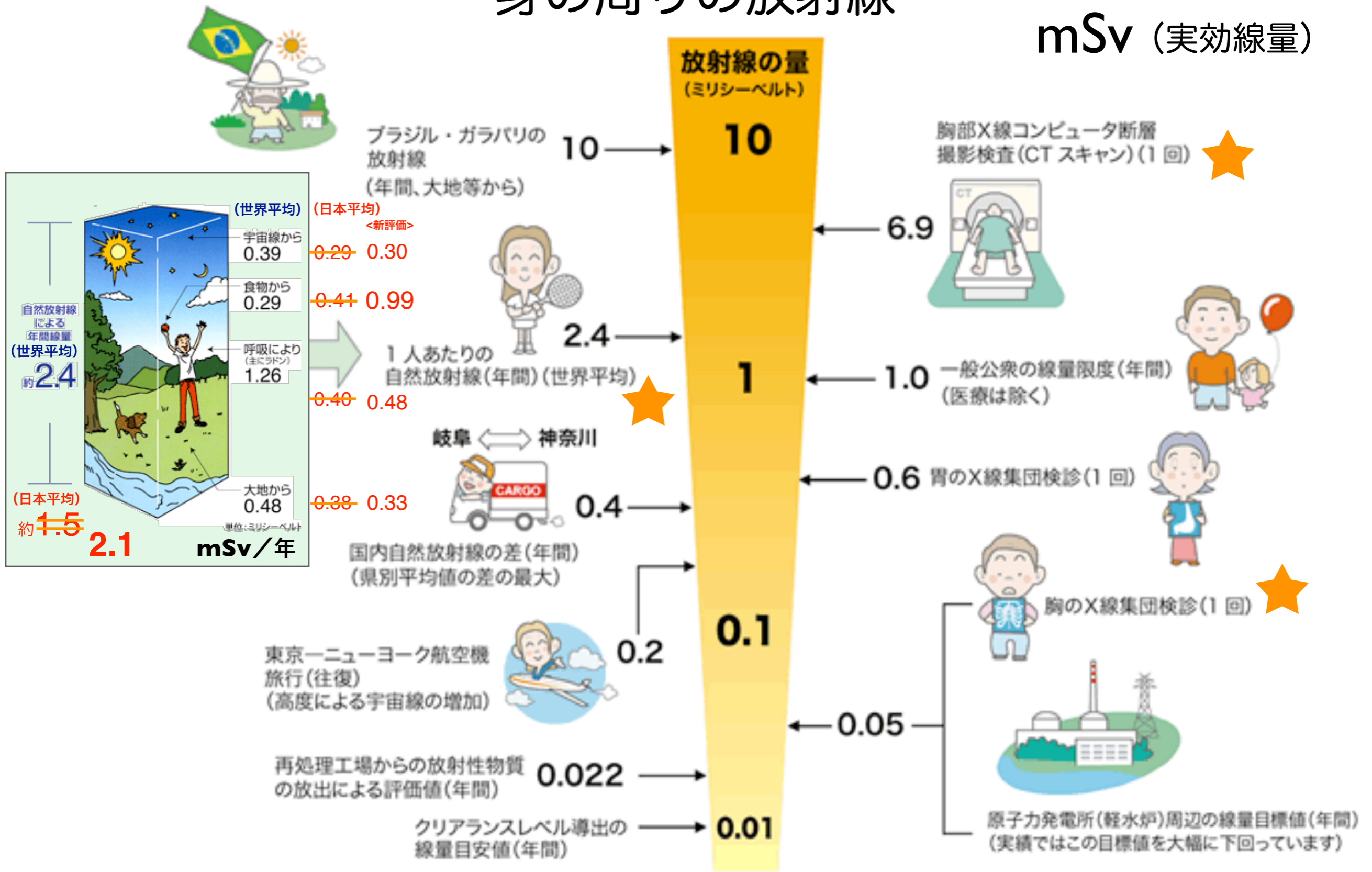
単位時間あたりの放射線量

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

放射線量率の時間積分が（積算）放射線量になる。

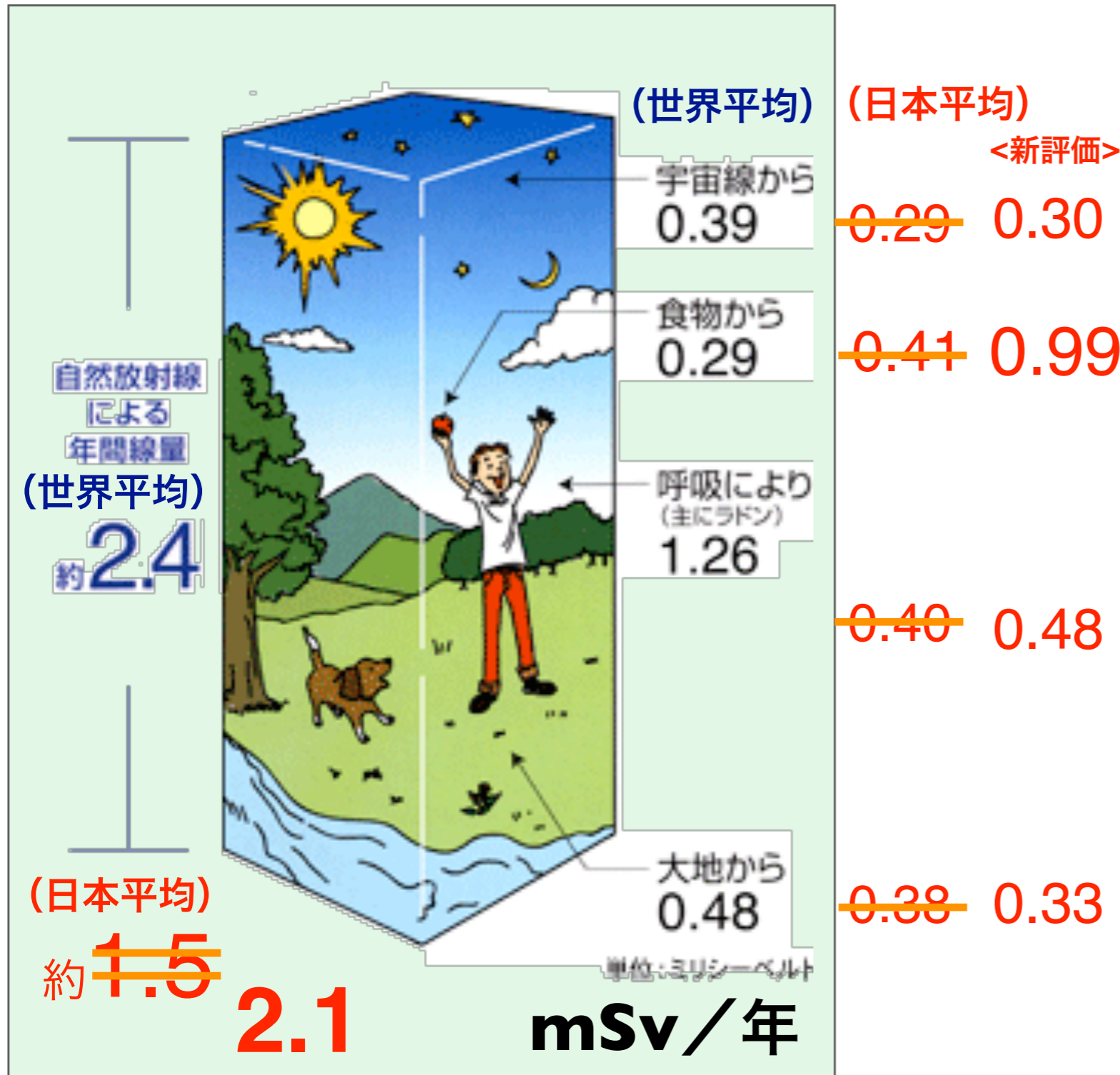
身の周りの放射線

mSv (実効線量)



身の周りの放射線

mSv (実効線量)



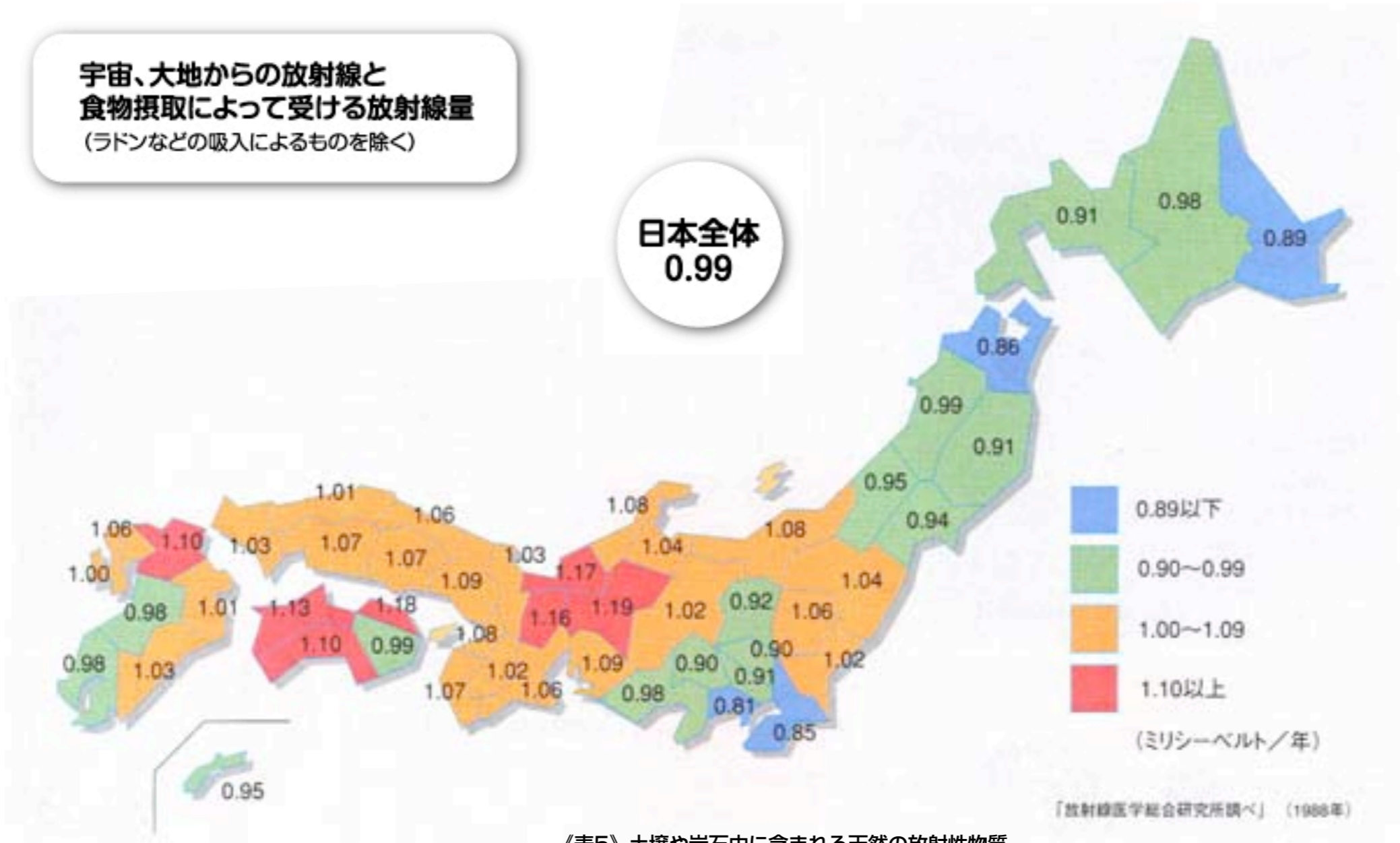
日本人の食す魚介類に ^{210}Po や ^{210}Pb が多く含まれ、それによる α 線内部被曝の評価値を従来より上方修正。

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

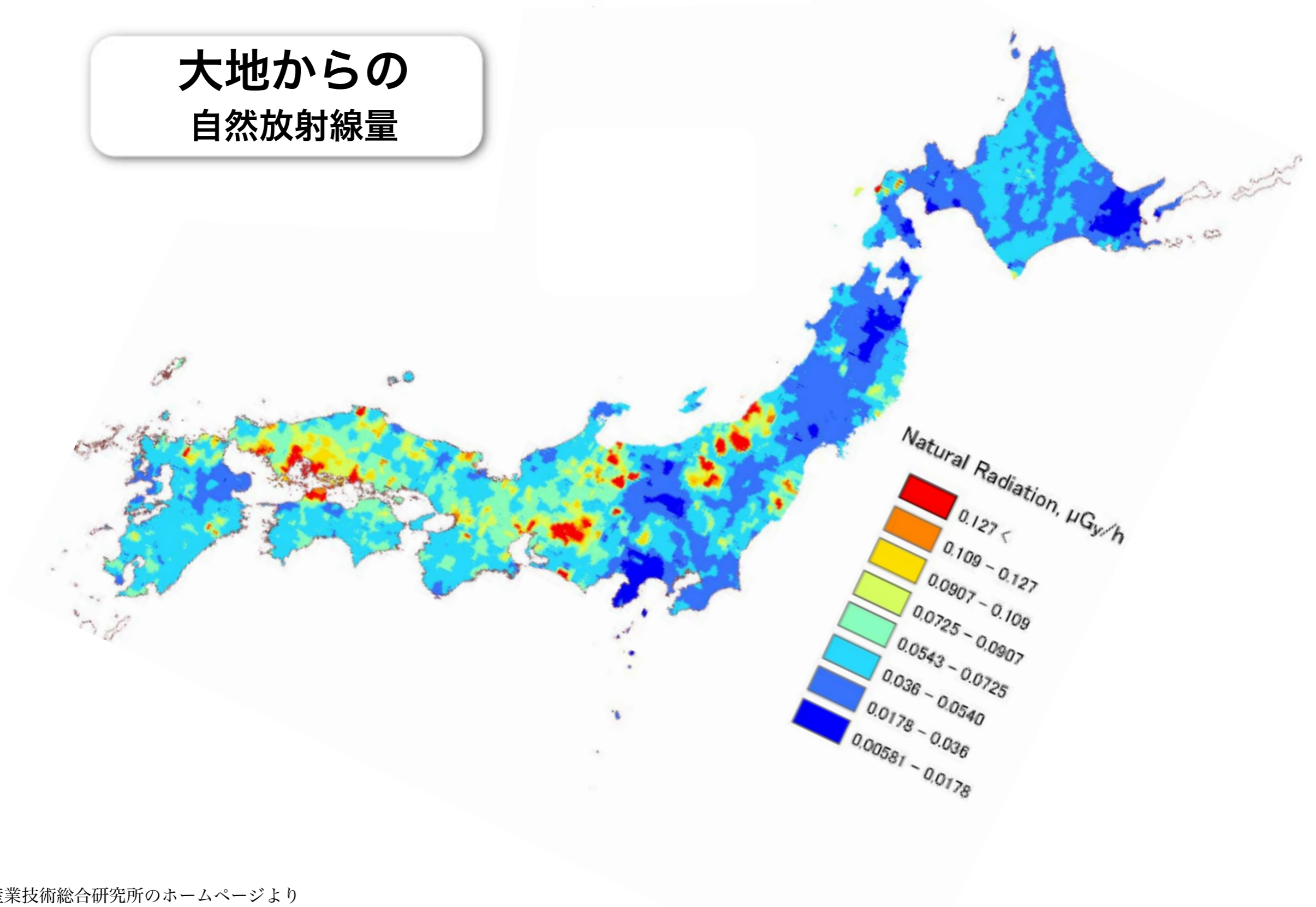
出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1982) など

「放射線医学総合研究所調べ」 (1988年)

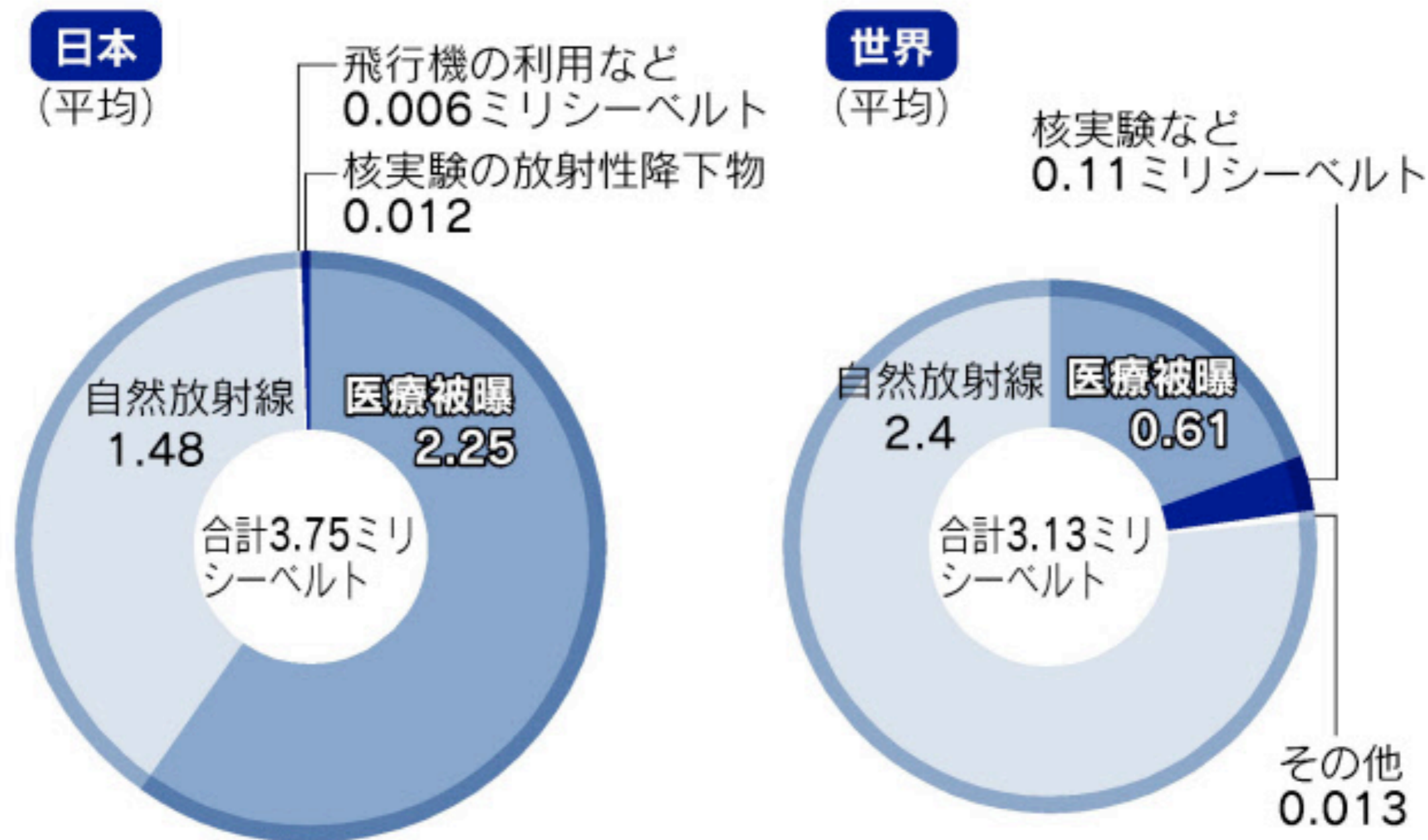
全国の自然放射線量

$\mu\text{Gy}/\text{時}$

大地からの
自然放射線量



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」

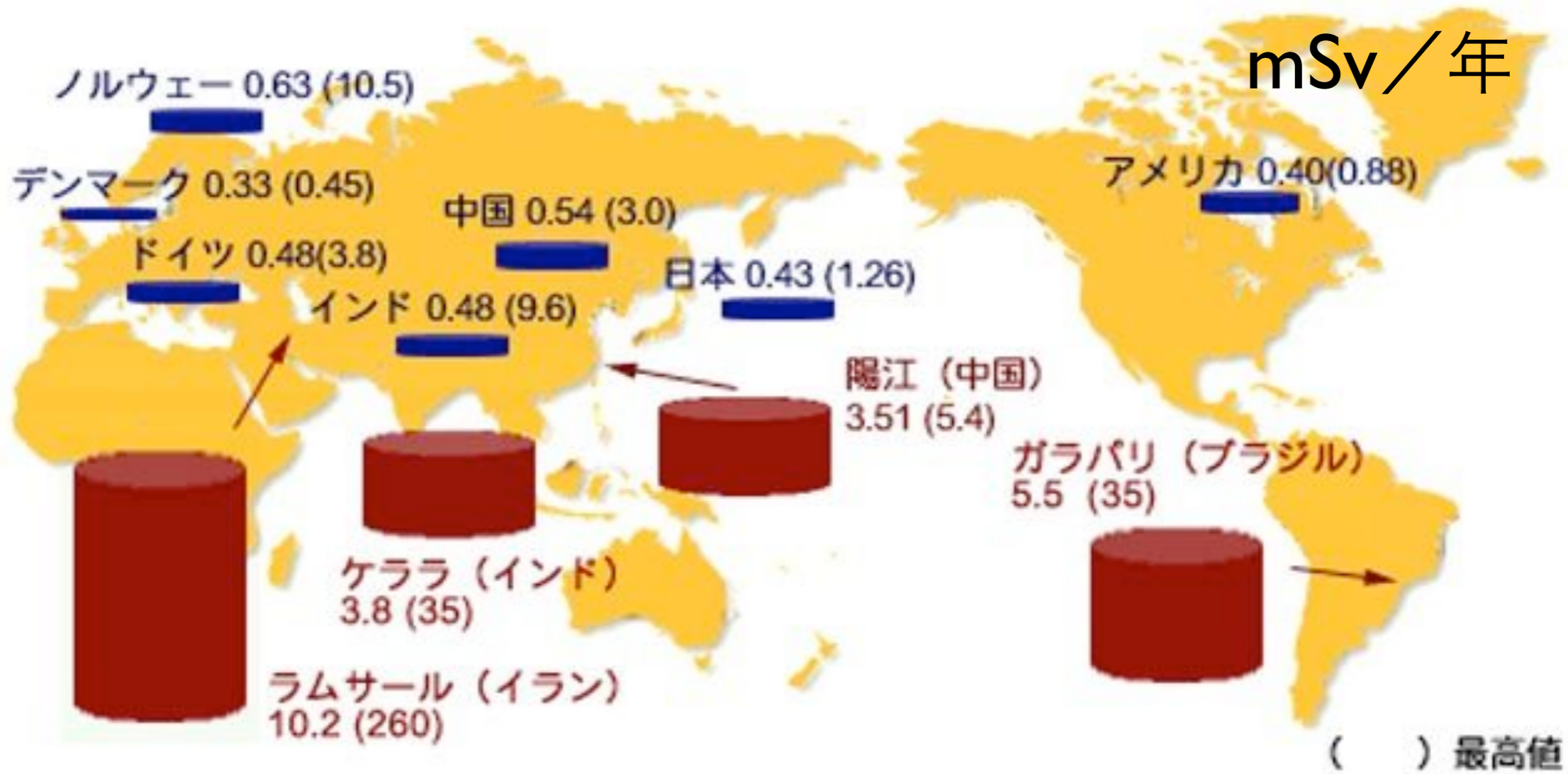


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

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)

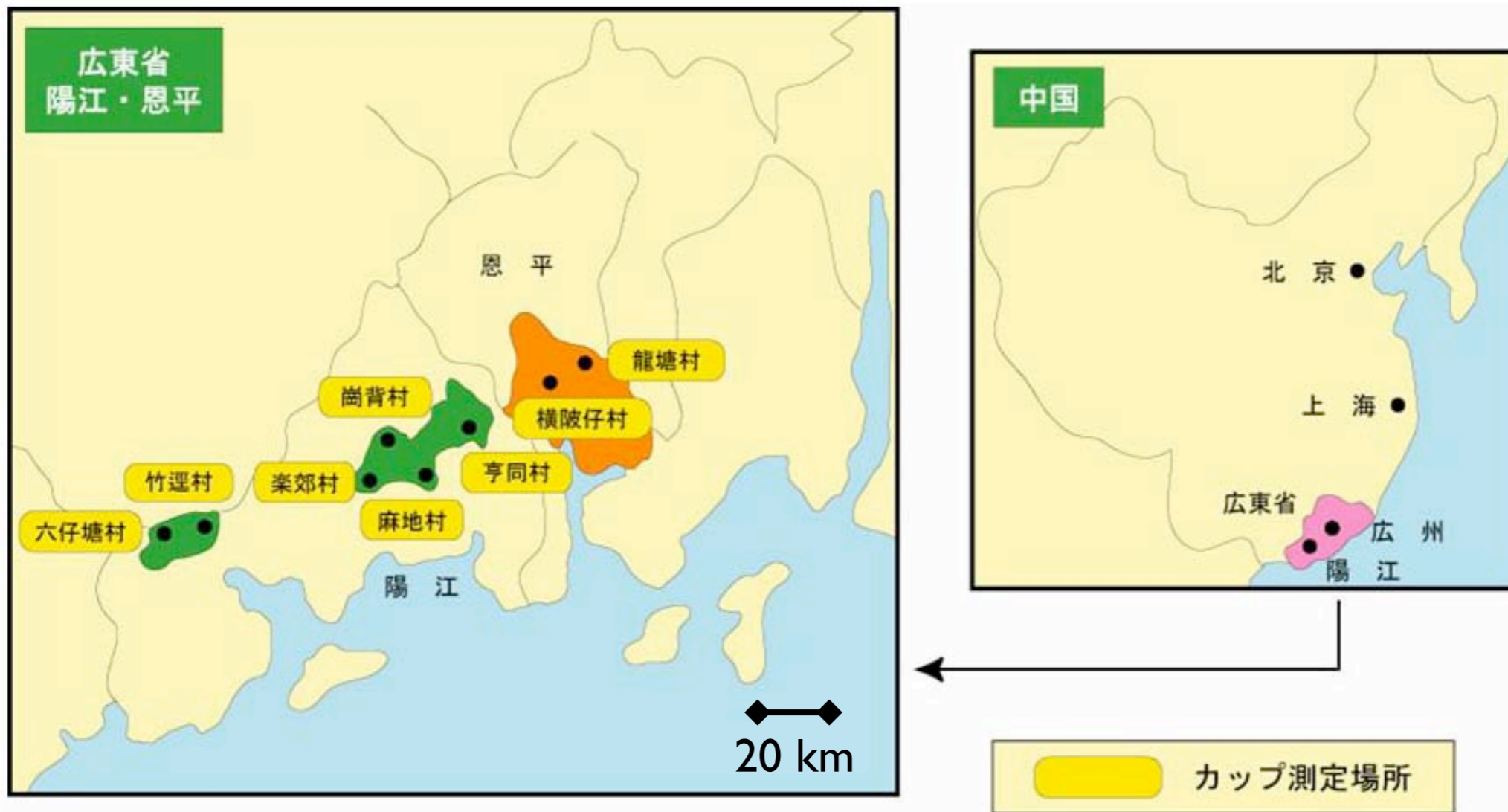
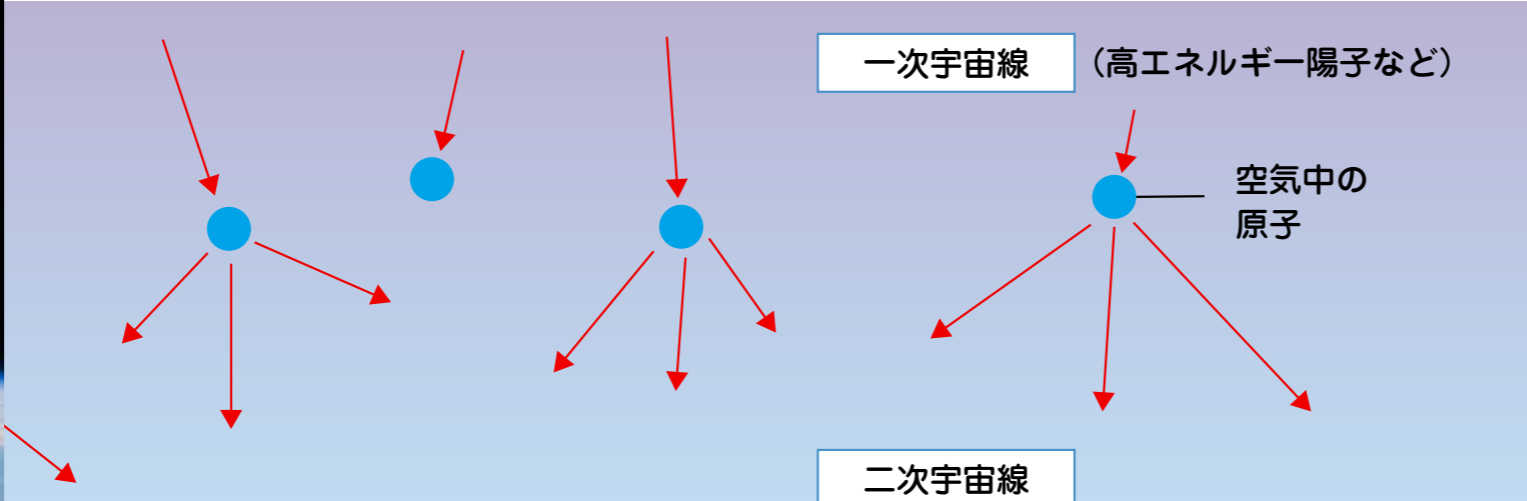


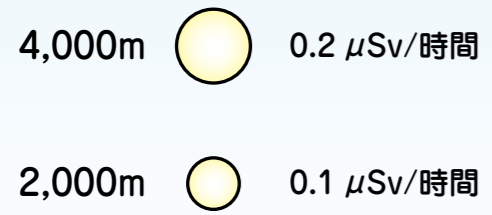
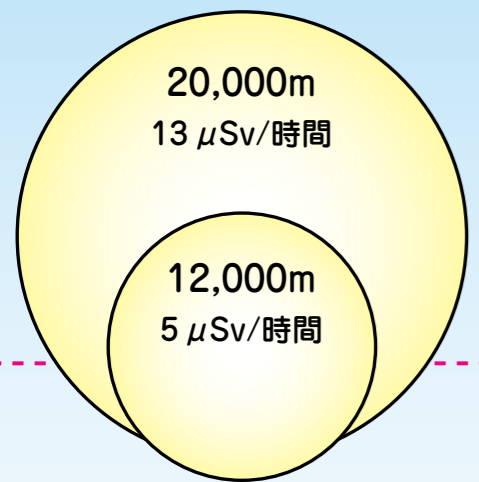
図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

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。



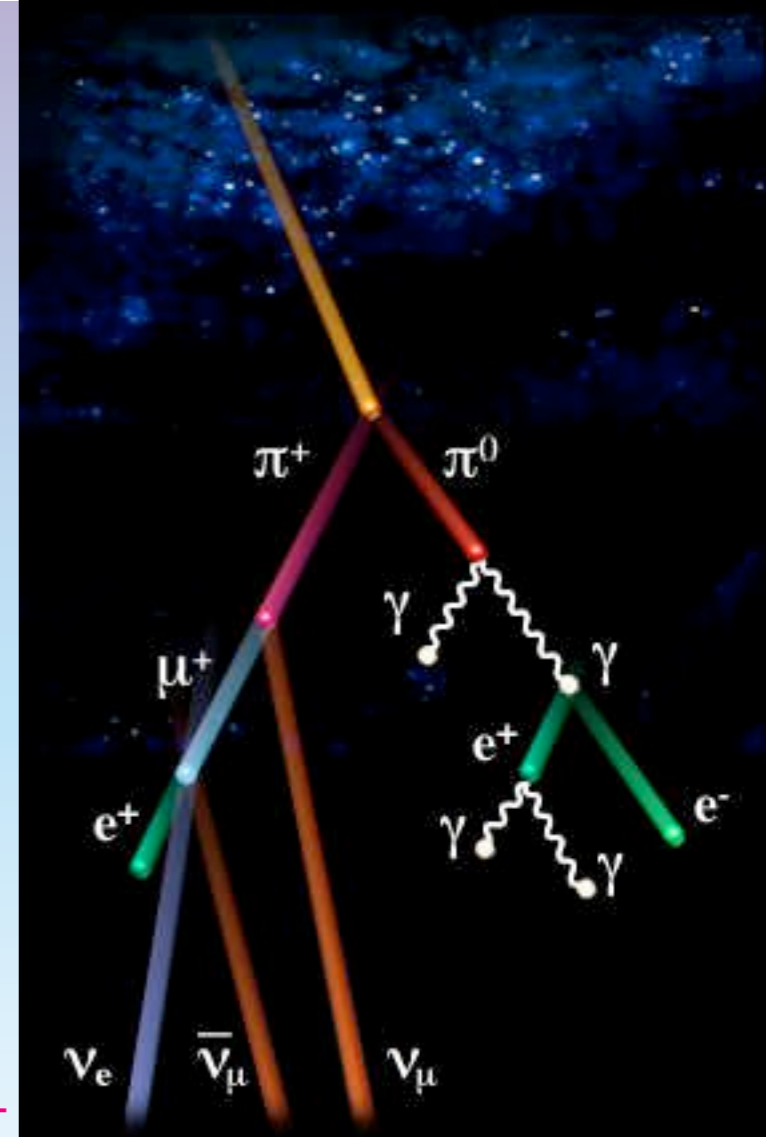
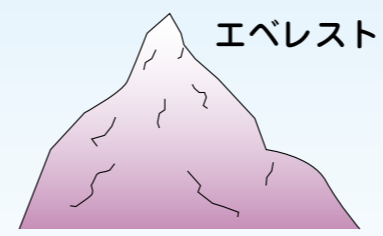
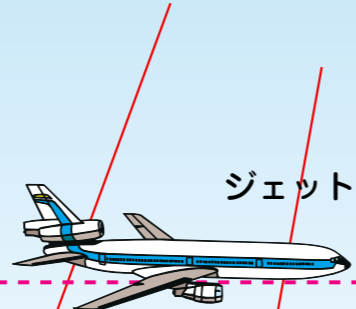
海面 0.03 μ Sv/時間

μ Sv = マイクロシーベルト

100km

10km

1km



東京～NY 往復
200 μ Sv (max)

《表4》宇宙線による年平均実効線量

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

出典：国連放射線影響科学委員会報告 (1993)

体内、食物中の自然放射性物質

出典：旧科学技術庁パンフレット

Bq / kg

Bq (60 kg)

●体内の放射性物質の量

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

日本人は高い値
(魚介類に多く
含まれる)

●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

$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$ (EC γ) 11%
 $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca}$ (β^-) 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

• 出席記入表 回収

• アンケート 回収

次回予告

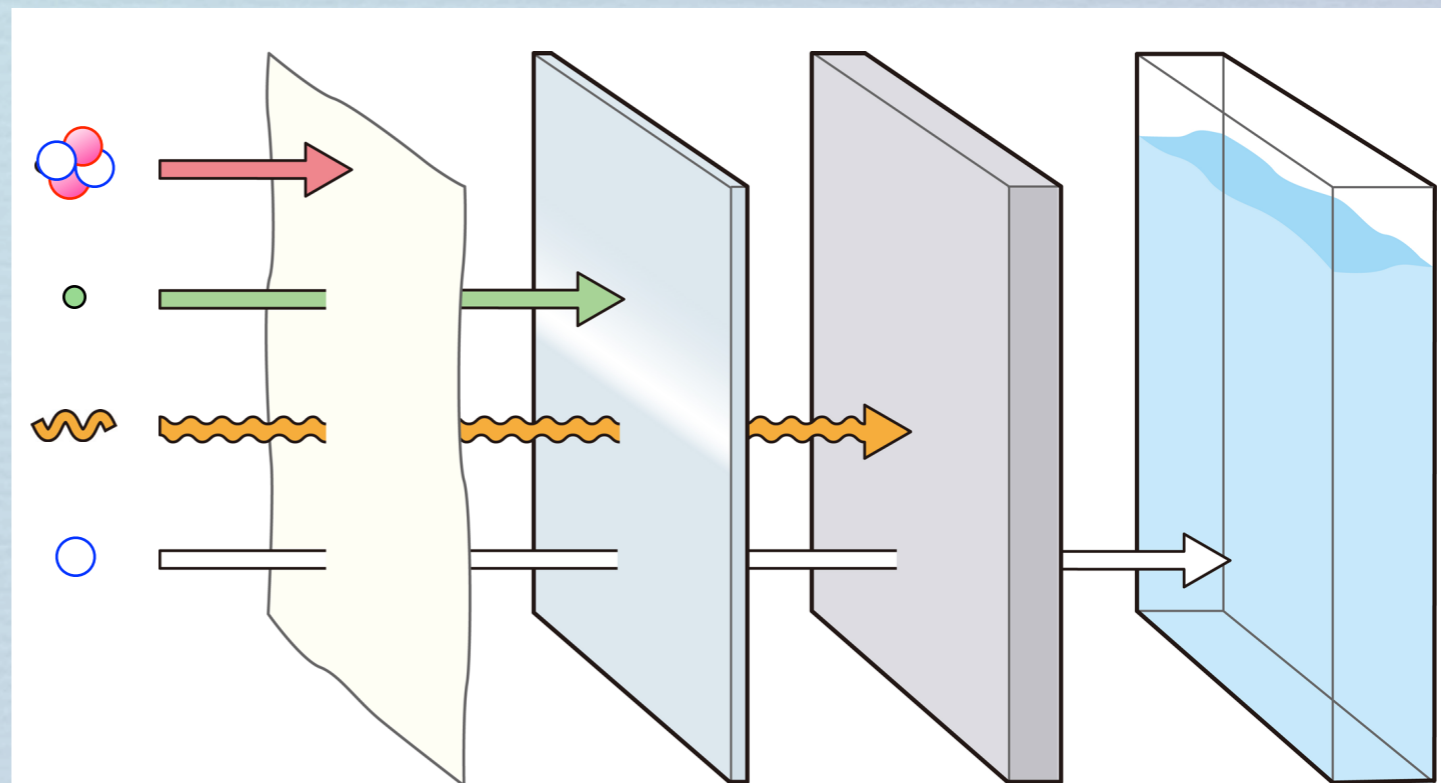
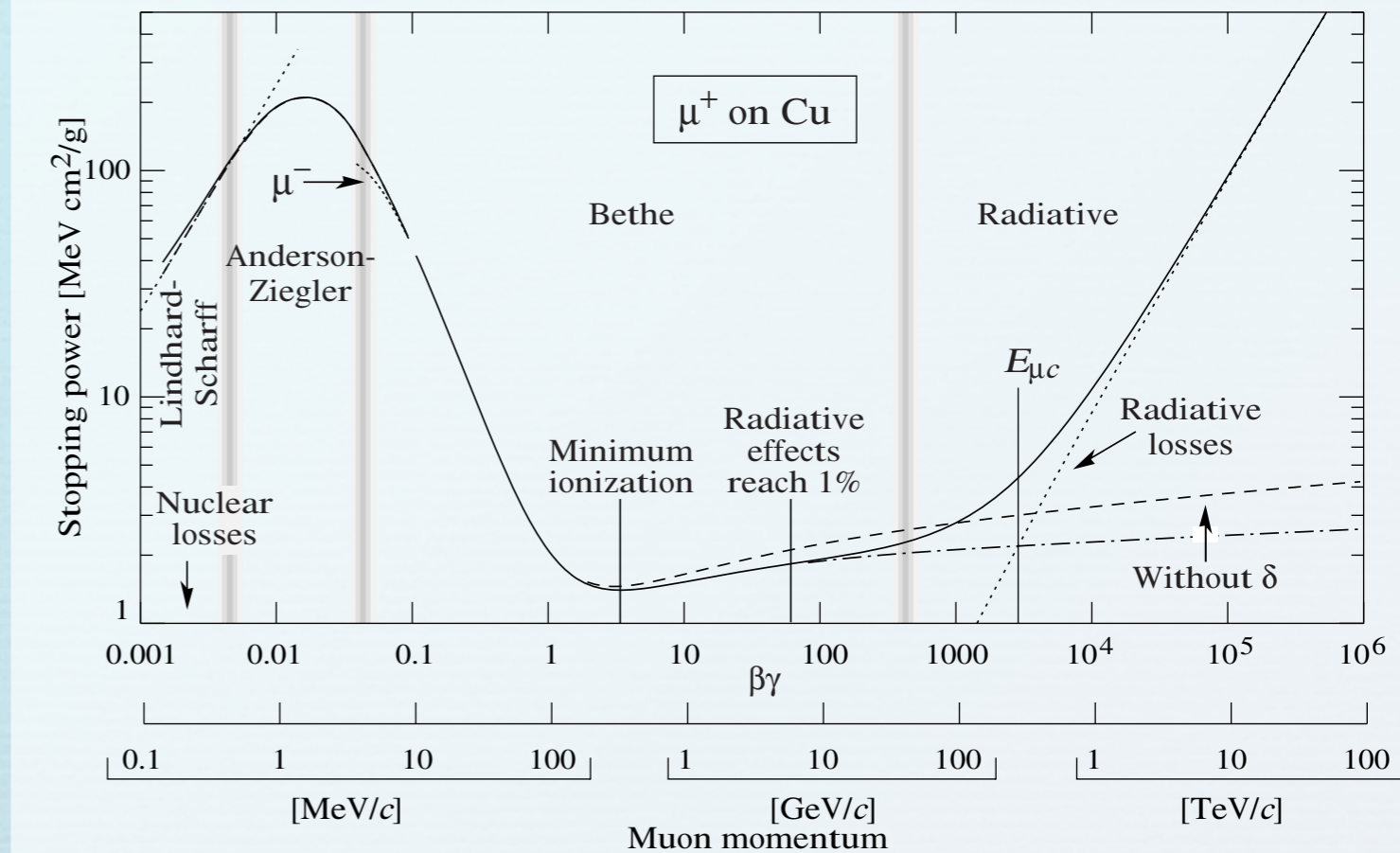
第2回 (10/17)

放射線物理学

- 放射線崩壊と放射能
- 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
初版 **第5刷** を推奨

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



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.