



# 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。

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

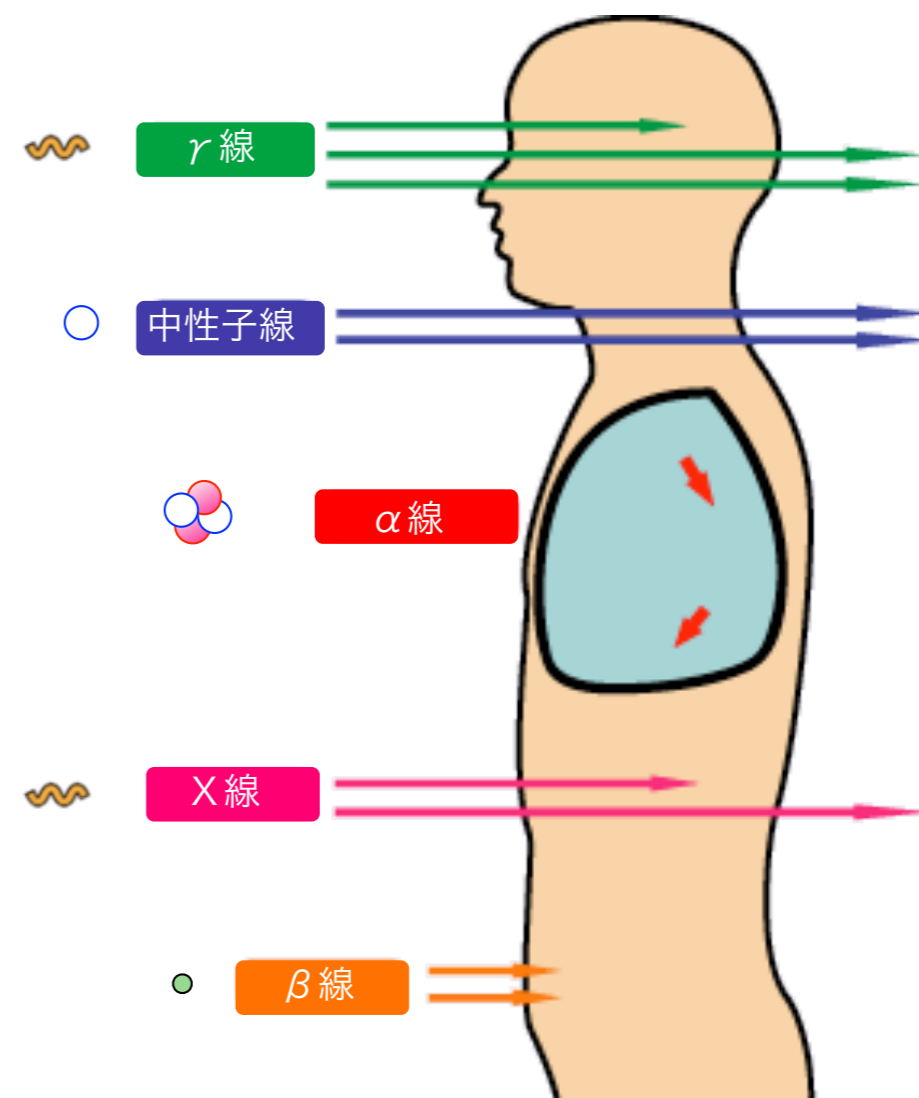
# 2020年度 Aセメスター 主題科目学術フロンティア講義

## 放射線

を

科学的に  
理解する

金曜 5 限  
@ Zoom



担当教員 鳥居 寛之 (粒子線物理学)

理学系研究科

小豆川 勝見 (環境分析化学)

総合文化研究科

渡邊 雄一郎 (生命環境応答学)

総合文化研究科

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

# 2020年度 Aセメスター 主題科目学術フロンティア講義

## 放射線

を

科学的に  
理解する

福島第一原子力発電所の事故から10年の節目を迎えようとしています。現地では、復興と帰還、そして廃炉に向けた取り組みが進んでいますが、事故にともなって広範な地域に放出された大量の放射性物質による環境汚染は、未だに社会的影響を与えています。科学的事実により一定の理解が得られている昨今のコロナ感染症と違い、低線量放射線のリスクに関しては様々な意見が対立し、メディアを賑わせて人々を混乱に陥れました。そして今、必ずしも人々の科学的リテラシーが向上したとは言えない状況の中、意識の風化が起きています。

放射線の問題を理解するには、物理・化学・生物・医学・工学・農学・法律・社会学など様々な分野の知識が必要で、全てを網羅することは容易ではありません。放射線の基礎的知識に関する教育は十分とは言い難く、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すべく、教養学部の教員が科学者・教育者の使命と意気込んで震災以来毎年続けている講義が、主題科目「放射線を科学的に理解する」です。ゲスト講師も含めた様々な分野の専門家が、放射性核種や放射線の物理学的性質から生物学的・医学的影響やリスクの考え方、さらには環境汚染の社会的影響まで、幅広く講義を展開します。学際的な教養学部の強みを生かした講義で、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。

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)

理学系研究科

小豆川 勝見 (環境分析化学)

総合文化研究科

渡邊 雄一郎 (生命環境応答学)

総合文化研究科

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

# 2020年度 Aセメスター 主題科目学術フロンティア講義



# 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)

理学系研究科

小豆川 勝見 (環境分析化学)

総合文化研究科

渡邊 雄一郎 (生命環境応答学)

総合文化研究科

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

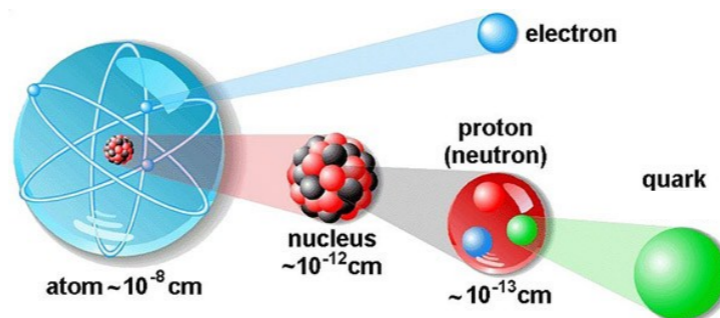
# 東京大学教養学部 放射線講義 スライドのご案内

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 放射線学



2020年度 Aセメスター

2019年度 Aセメスター

2018年度 Aセメスター

2017年度 Aセメスター

2016年度 Aセメスター

2015年度 Aセメスター

主題科目テーマ講義/学術フロンティア講義

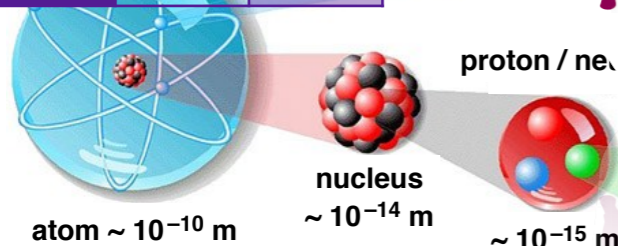
2011年度冬学期

2012年度冬学期

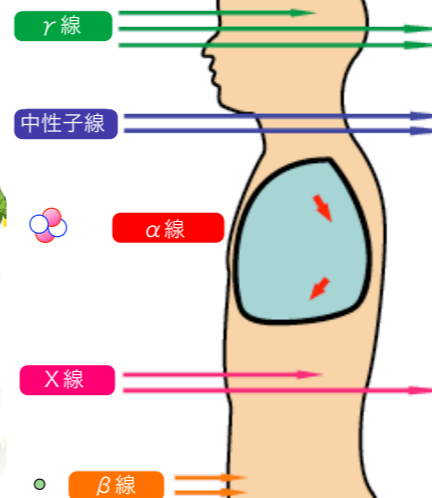
2014年度冬学期

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

# 東京大学教養学部報

## 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。この3つの悲劇は、人類の歴史に刻み込まれた。その原因と結果を、教養学部の教授が語る。



## 放射性物質を測ってみると



放射線計測器の仕組みや、身の周りの放射線レベルについて解説。ALPHA Z SURVEY METERの表示は100 μSv/h。



東京大学教養学部 発行人 藤川 孝 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。展示の準備や、来賓の招待などについて詳しく紹介。



## ヒトラー・ゲーテのハカヤロ!

ヒトラーとゲーテの対比をテーマにした展覧会。両者の思想や行動を比較対照し、その背景を明らかにする。

## 秘密の小部屋

### 「トポフィ」- 夢の空間」展をめぐって

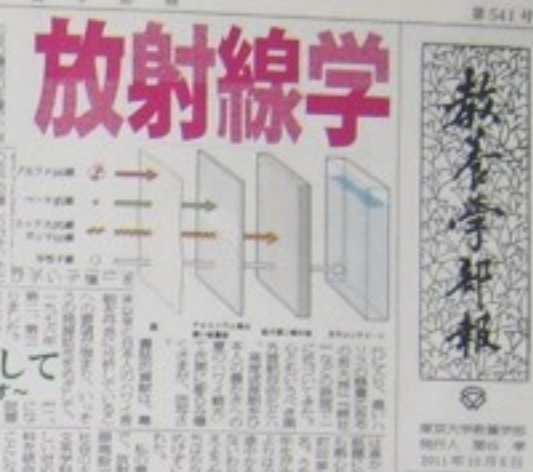
「トポフィ」- 夢の空間」展をめぐって。建築家トポフィの作品や、夢の空間の創造について紹介。



「トポフィ」- 夢の空間」展の会場や、展示内容について詳しく説明。

## 放射線学

放射線学の基礎知識や、最新の研究成果について紹介。放射線の性質や、人体への影響などについて詳しく解説。



## 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

身体運動科学シンポジウムの報告。最新の研究成果や、今後の研究動向について紹介。



### 学際科学 統合自然科学

学際科学と統合自然科学の重要性について紹介。異なる分野の知識を統合し、新たな発見を目指す。

### 教養学部の新しい後期課程

教養学部の新しい後期課程の概要について紹介。新しい科目や、履修方法などについて詳しく説明。

## 本のお湖

### 楽園リゾートの創られ方

本のお湖 楽園リゾートの創られ方。リゾートの計画や、開発の経緯について紹介。

## 受け継がれる教養教育

受け継がれる教養教育。教養教育の重要性や、その発展について紹介。



ジェノサイドと現代世界 石橋義典 著 筑摩書房

東京大学教養学部 発行人 藤川 孝 2011年10月5日

# 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、社会心理学）、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】 \* 2011~19



# 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

ゲスト講師 【2013年度】

坪倉 正治 《(南)相馬病院》

被曝調査・医療支援 13~18

飯本 武志 《環境本部》

放射線防護学 13



【2014年度】

小笹 晃太郎 《放影研》

放射線影響の疫学 14

【2015年度】 【2016年度】

芳賀 昭弘 《医病院》

放射線医療 15~16

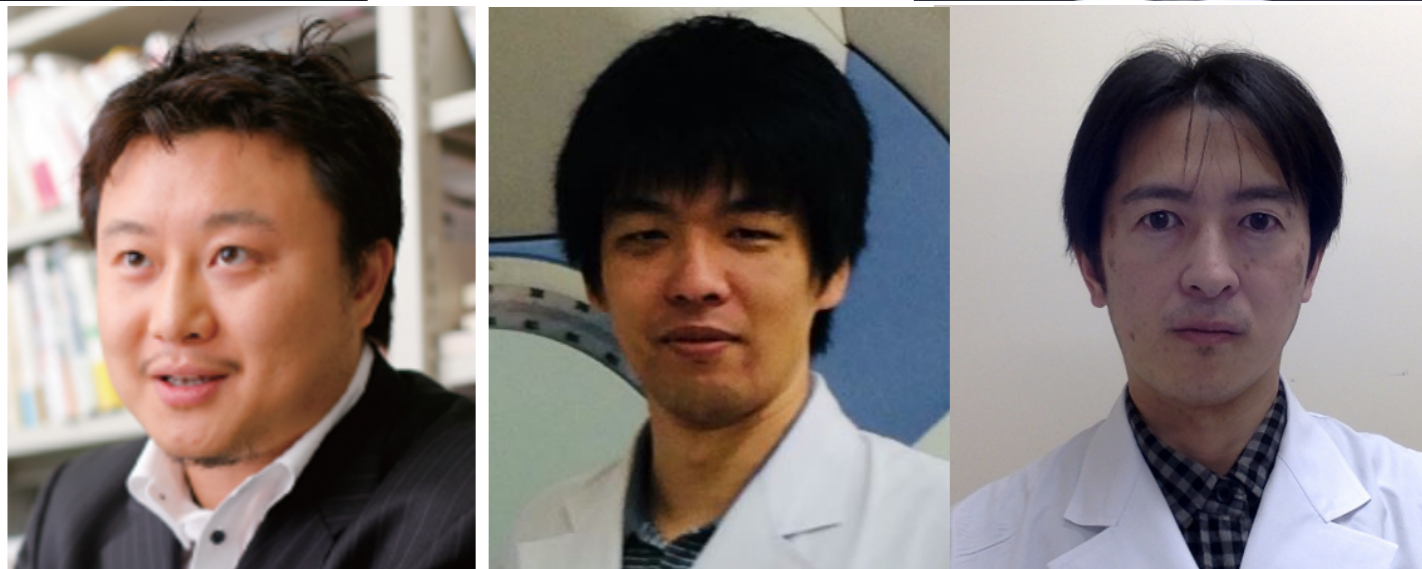


太田 岳史 《医病院》 17~19

【2017年度】 【2018年度】

【2019年度】  
関谷 直也 《情報学環》 19

原子力災害の社会的影響



# 放射線を科学的に理解する

- 9/25 放射線入門 【鳥居】
- 10/ 2 放射線物理学 【鳥居】
- 10/ 9 放射線計測学 【小豆川】
- 10/16 放射線物理・化学 【鳥居】
- 10/23 放射線生物学 【渡邊】
- 10/30 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 11/ 6 環境放射化学 【小豆川】
- 11/27 原子核物理学 【鳥居】
- 12/ 4 原子力工学と原子力事故 【鳥居】
- 12/11 環境放射化学 【小豆川】
- 12/18 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 12/25 放射線の利用 【渡邊】
- 1/ 8 加速器科学・放射線防護学  
・まとめ 【鳥居】

鳥居 寛之 《理学部》

渡邊 雄一郎

小豆川 勝見

《教養学部》

坪倉 正治 《福島県立医大》

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

- 9/25 放射線入門 【鳥居】
- 10/ 2 放射線物理学 【鳥居】
- 10/ 9 放射線計測学 【小豆川】
- 10/16 放射線物理・化学 【鳥居】
- 10/23 放射線生物学 【渡邊】
- 10/30 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 11/ 6 環境放射化学 【小豆川】
- 11/27 原子核物理学 【鳥居】
- 12/ 4 原子力工学と原子力事故 【鳥居】
- 12/11 環境放射化学 【小豆川】
- 12/18 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 12/25 放射線の利用 【渡邊】
- 1/ 8 加速器科学・放射線防護学  
・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

メイン講師

**鳥居 寛之** 《理学部》

放射線物理学・原子核物理学

**小豆川 勝見** 《教養化学》

放射線計測学・環境放射化学

**渡邊 雄一郎** 《教養生物》

放射線生物学・放射線の利用



ゲスト講師

**坪倉 正治** 《福島県立医大》

被曝調査・医療支援

**藤原 徹** 《農学部》

放射性物質と農業



【2020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、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

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是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。

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



# 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5刷～第8刷** を推奨

丸善出版 本体 2500円＋税

ご購入は生協書籍部へ  
またはネット書店で



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**  
**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

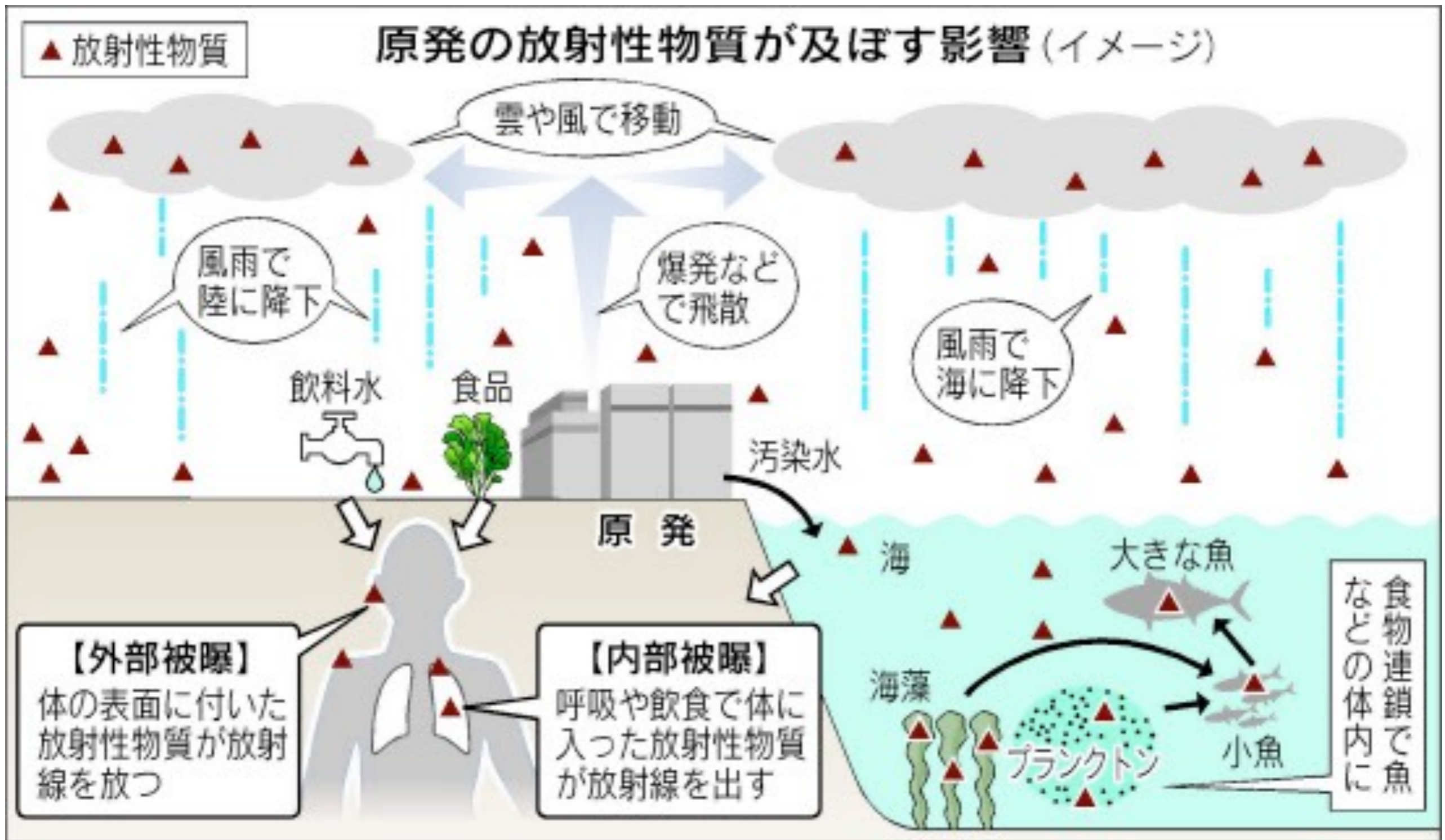
福島第1原発事故を受け、福島県から千葉県船橋市に避難した小学生の兄弟が「放射線がうつる」といじめられたという訴えが市教育委員会にあったことが15日、分かった。市教委は同日までに、避難者の不安な気持ちを考慮し、思いやりを持って被災者の児童生徒に接するよう指導を求め、市立小中学校に出した。

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>

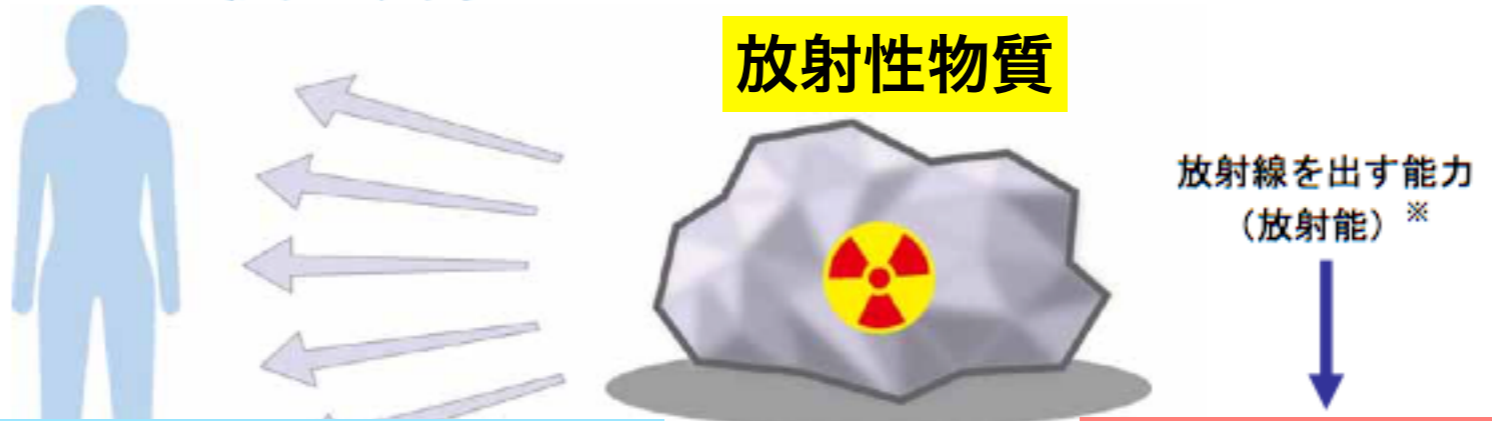
- ✿ ~**万テラベクレル**とかヨウ素とかマジわからん\(^o^)/文系に逃げたツケがこんなことで来るとは思わなかったわ…
- ✿ NHK「37京ベクレル」て言われても分かりづらいw まだメガとかテラのほうが。つーか単位統一してくれればいいのにい
- ✿ 『京』という単位、テレビで見たの初めてかも。テラとか京とか…もはや1ベクレルがなんなのか、全く想像つかない
- ✿ **ミリシーベルト**であんなに騒いでたのに1万テラベクレルってなんや
- ✿ 36万テラベクレルとか63万テラベクレルとか、想像もできない数値になってしまっている原発事故だけど、放射能が人体に影響を及ぼす尺度であるシーベル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

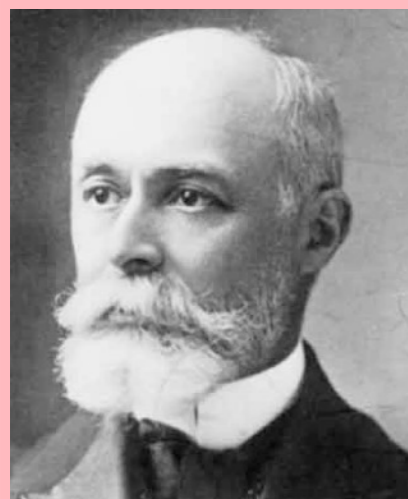
接頭辞	記号	倍数	接頭辞	記号	倍数
デシ (deci)	d	$10^{-1}$	デカ (deca)	da	10
センチ (centi)	c	$10^{-2}$	ヘクト (hecto)	h	$10^2$
ミリ (milli)	m	$10^{-3}$	キロ (kilo)	k	$10^3$
マイクロ (micro)	$\mu$	$10^{-6}$	メガ (mega)	M	$10^6$
ナノ (nano)	n	$10^{-9}$	ギガ (giga)	G	$10^9$
ピコ (pico)	p	$10^{-12}$	テラ (tera)	T	$10^{12}$
フェムト (femto)	f	$10^{-15}$	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	$10^{24}$

# 放射能と放射線



放射線の強さ・影響を表す単位  
シーベルト [Sv]

放射能の強さを表す単位  
ベクレル [Bq]

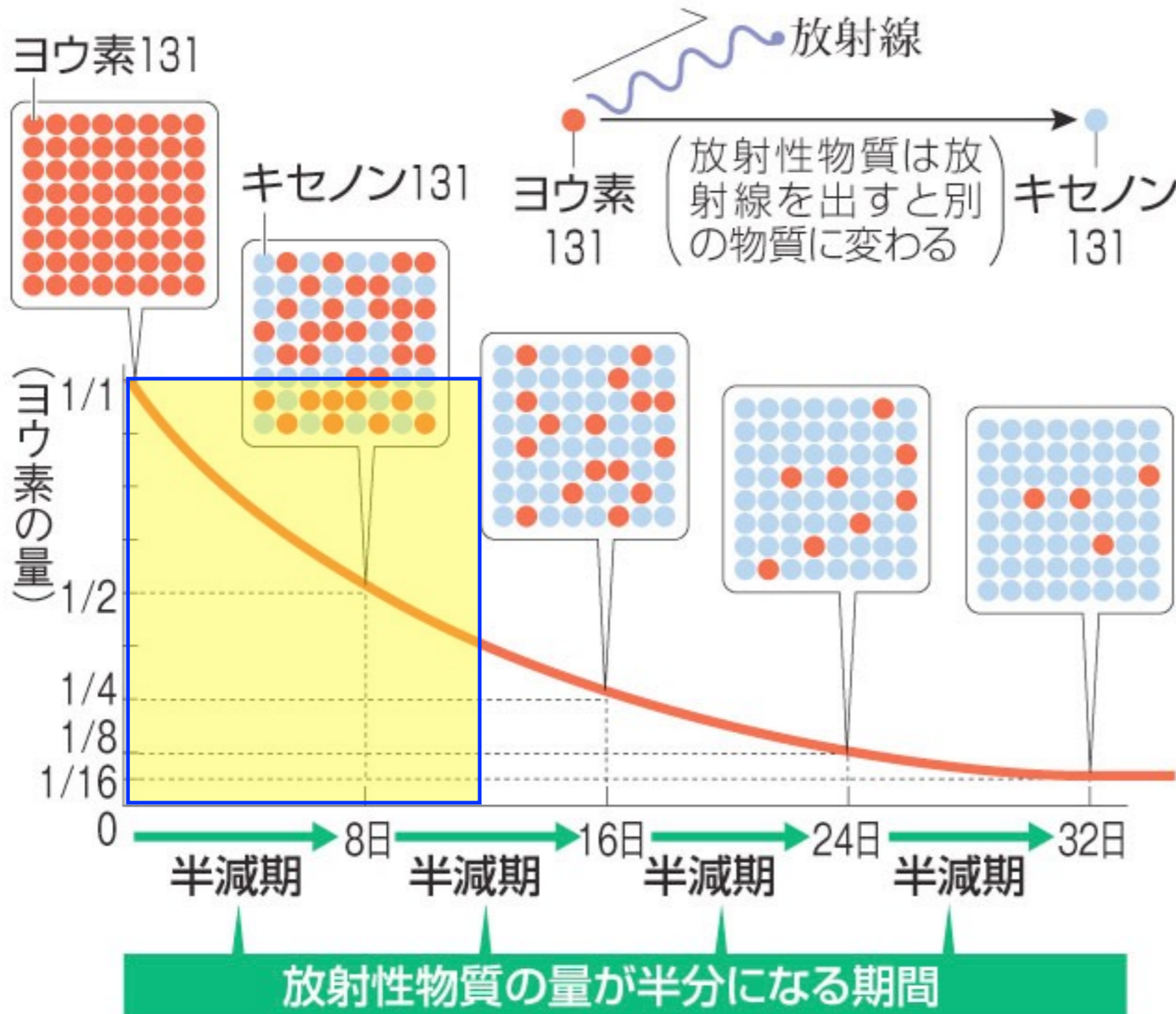


## 放射能 (radioactivity) の単位

[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)**



分子  
molecule

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

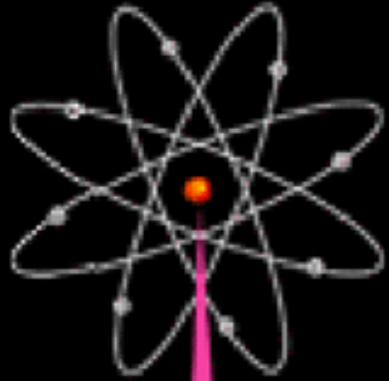
ナノメートル

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

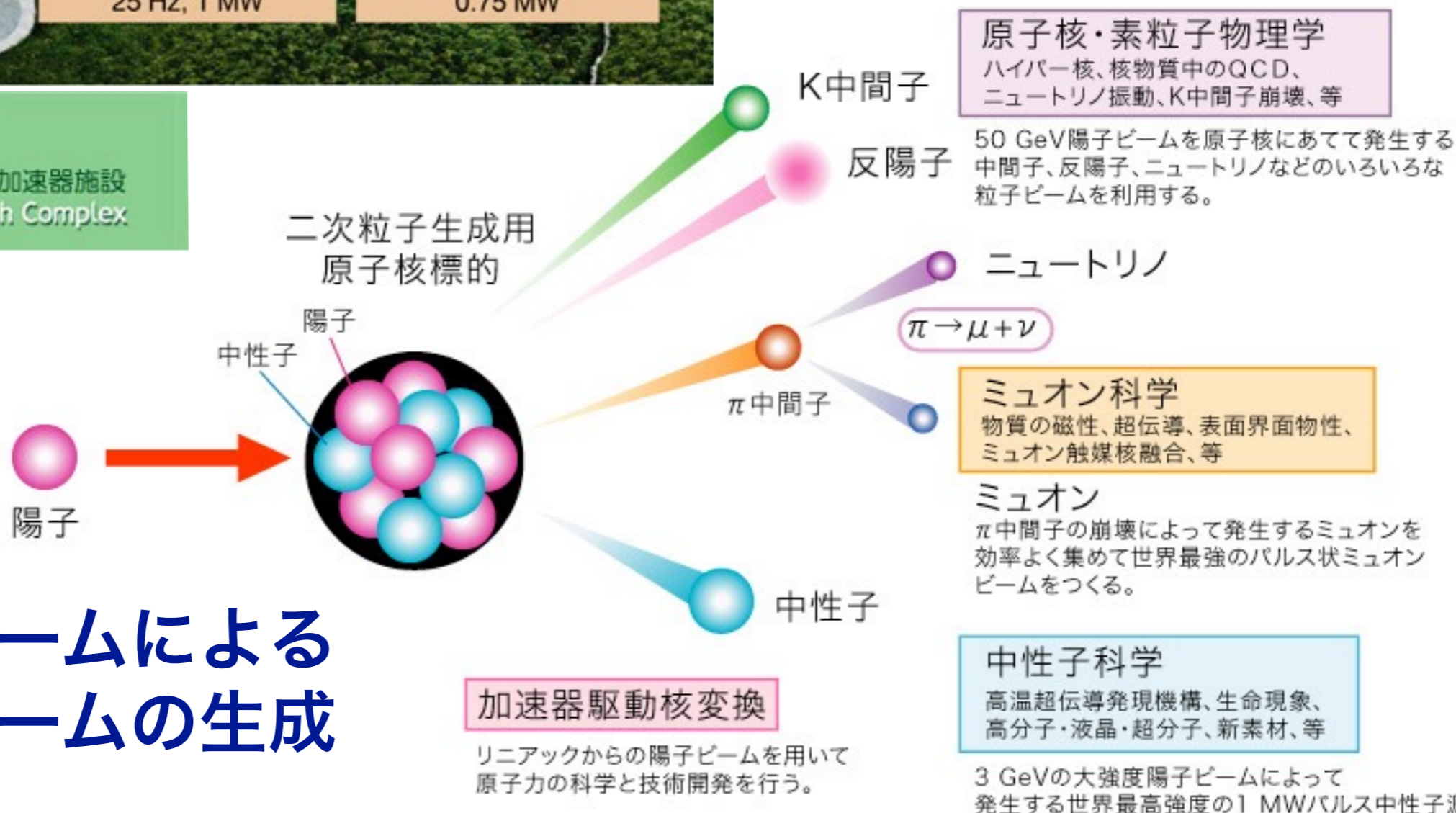


クォーク  
quark



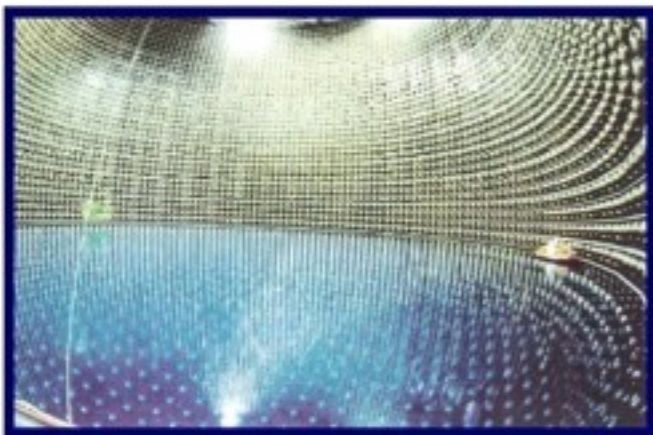
独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
Japan Atomic Energy Agency

**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

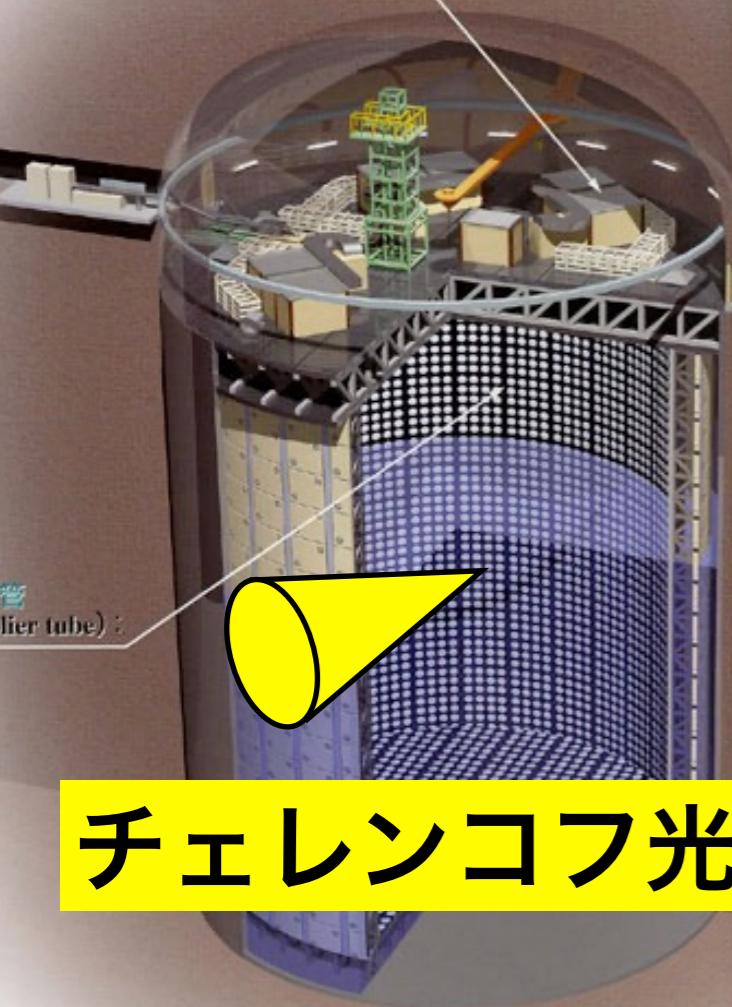
# Super-Kamiokande



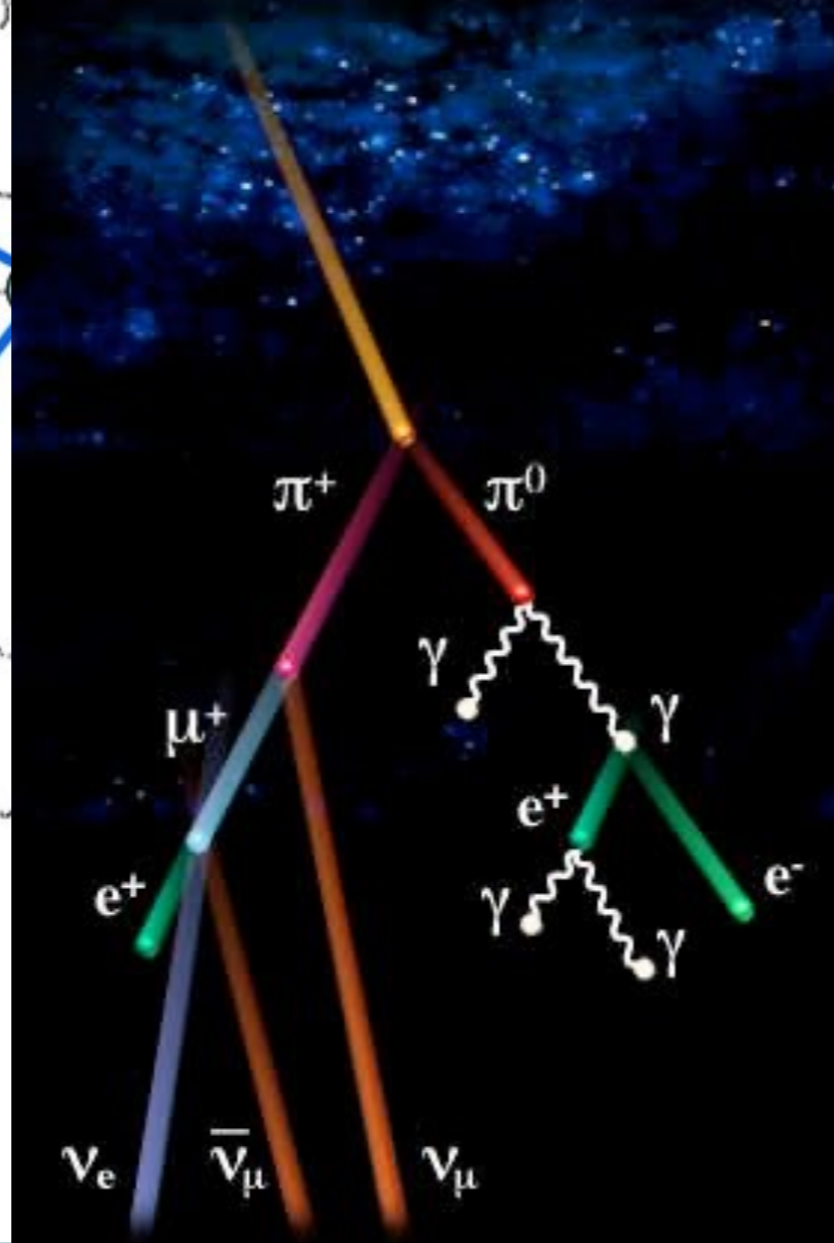
スーパー  
カミオカンデ



●エレクトロニクスハット  
(Electronics hut):



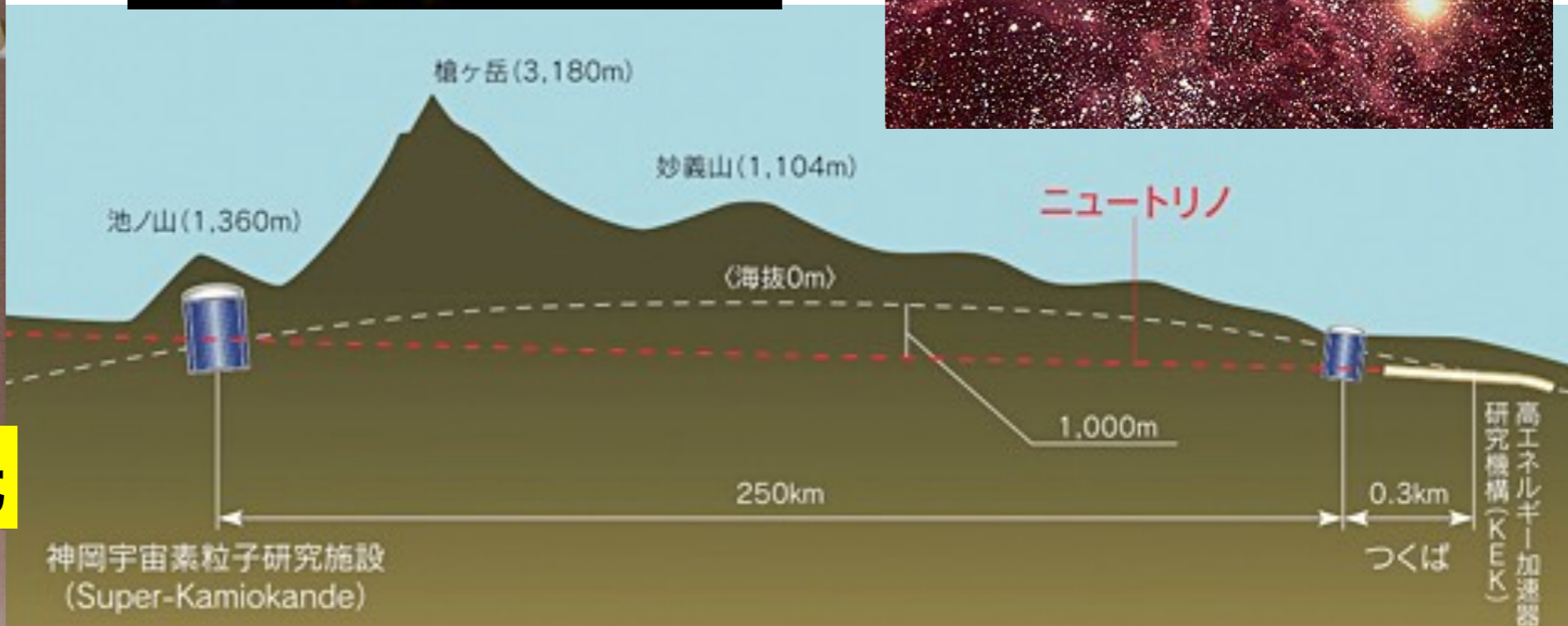
チェレンコフ光



# Neutrino beam



大強度陽子加速器  
ニュートリノビーム

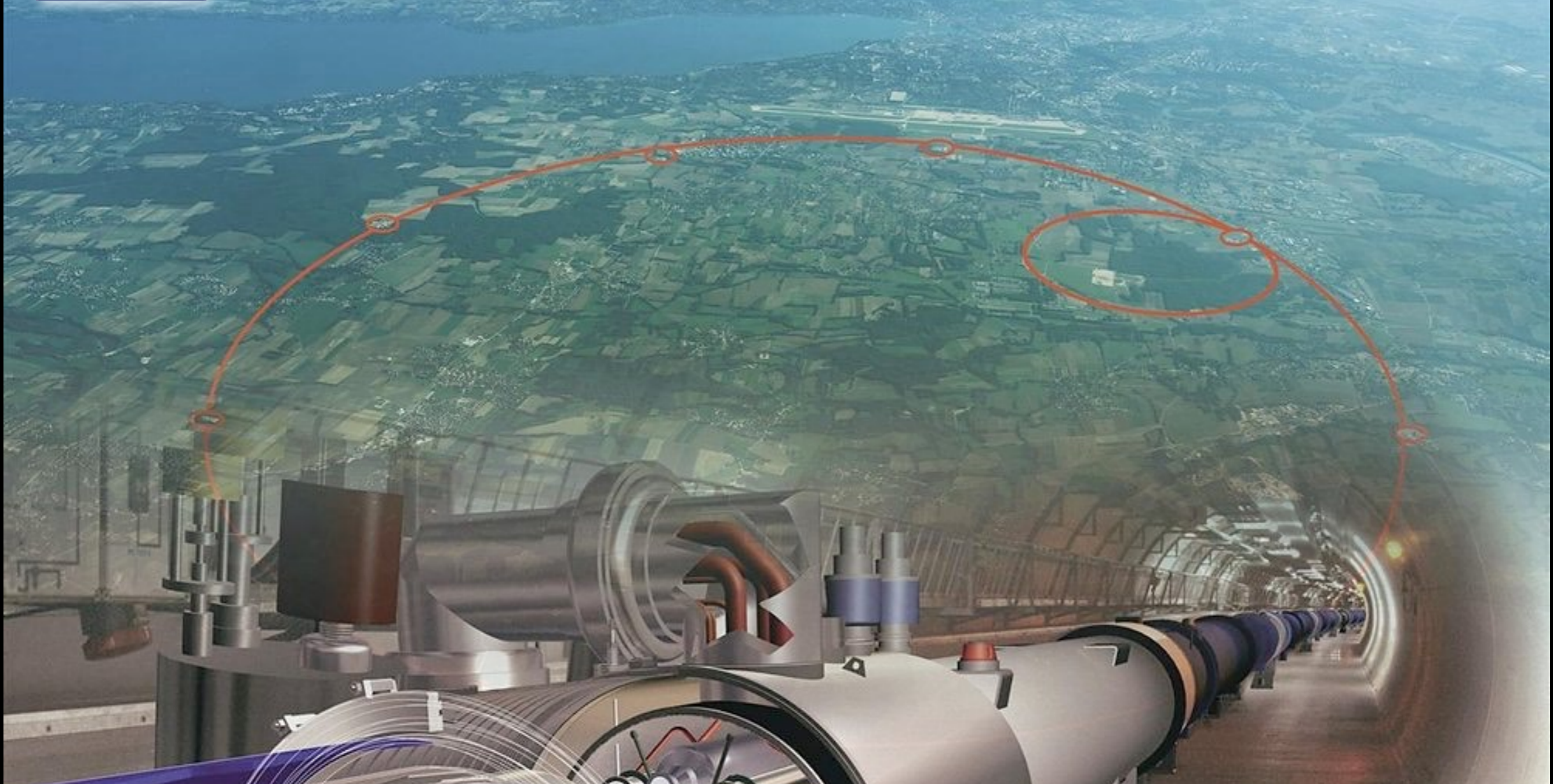


神岡宇宙素粒子研究施設  
(Super-Kamiokande)

高エネルギー加速器  
研究機構(KEK)



**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：1/8

# 火力発電と原子力発電の違い

火力

化学的燃焼

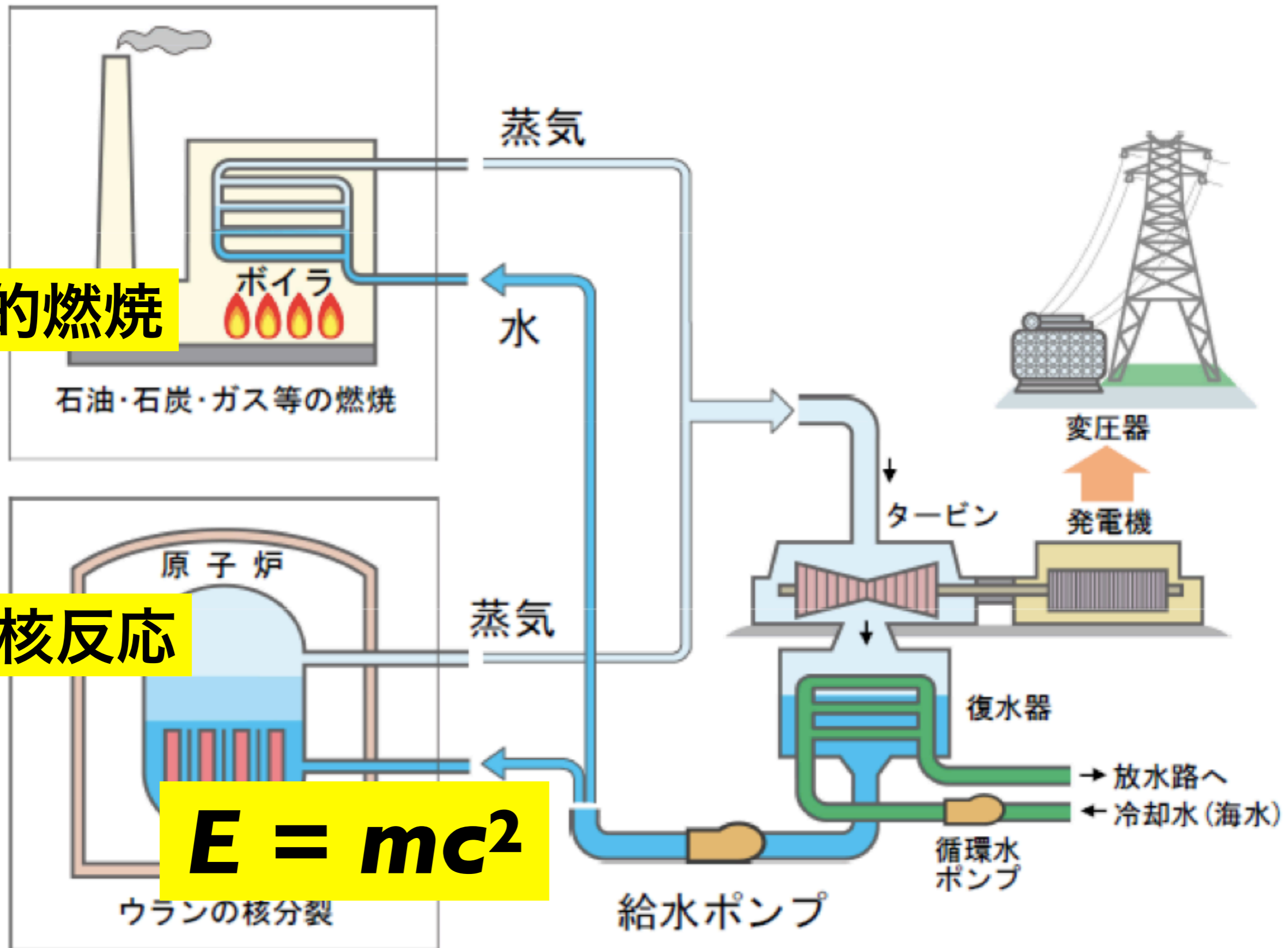
石油・石炭・ガス等の燃焼

原子核反応

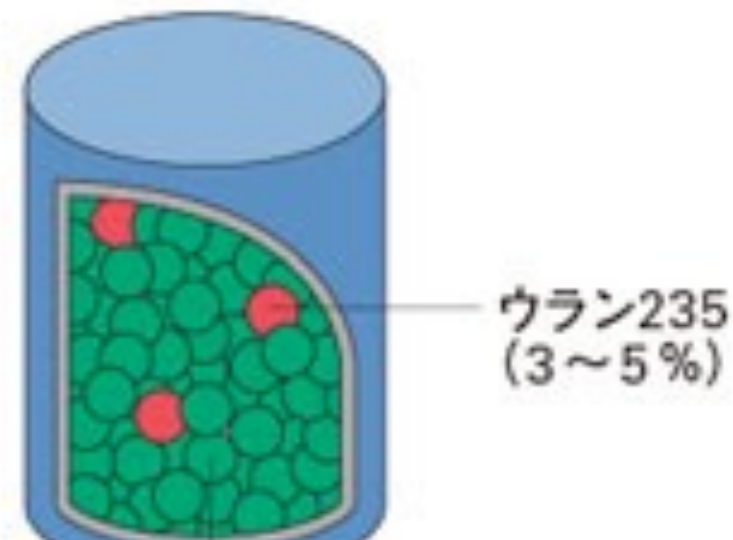
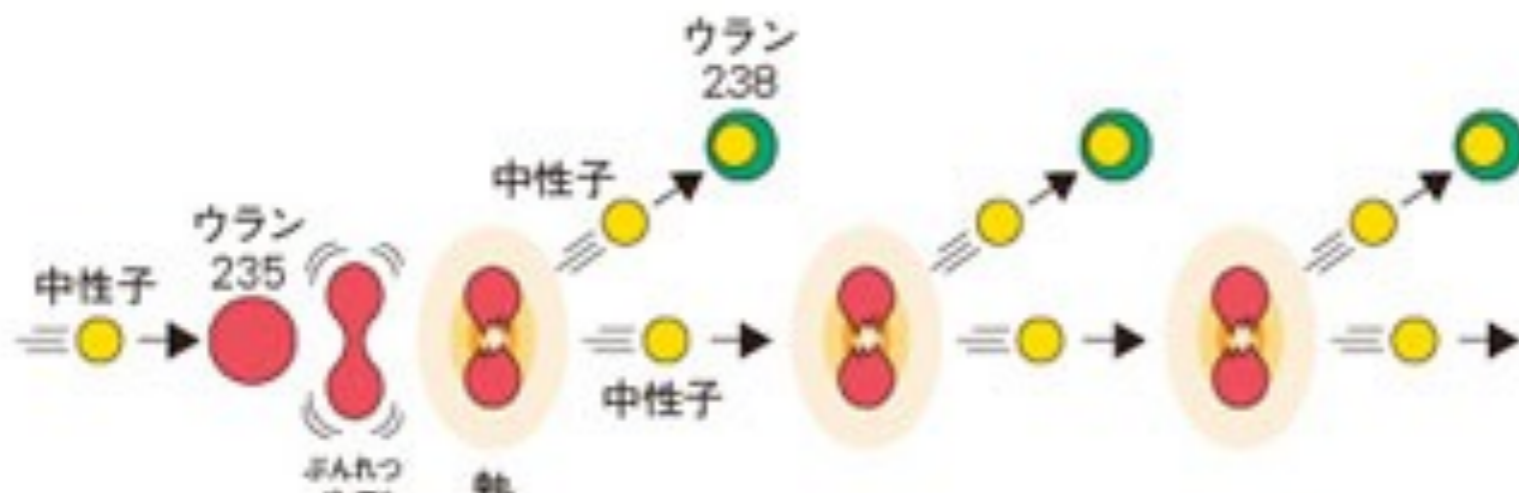
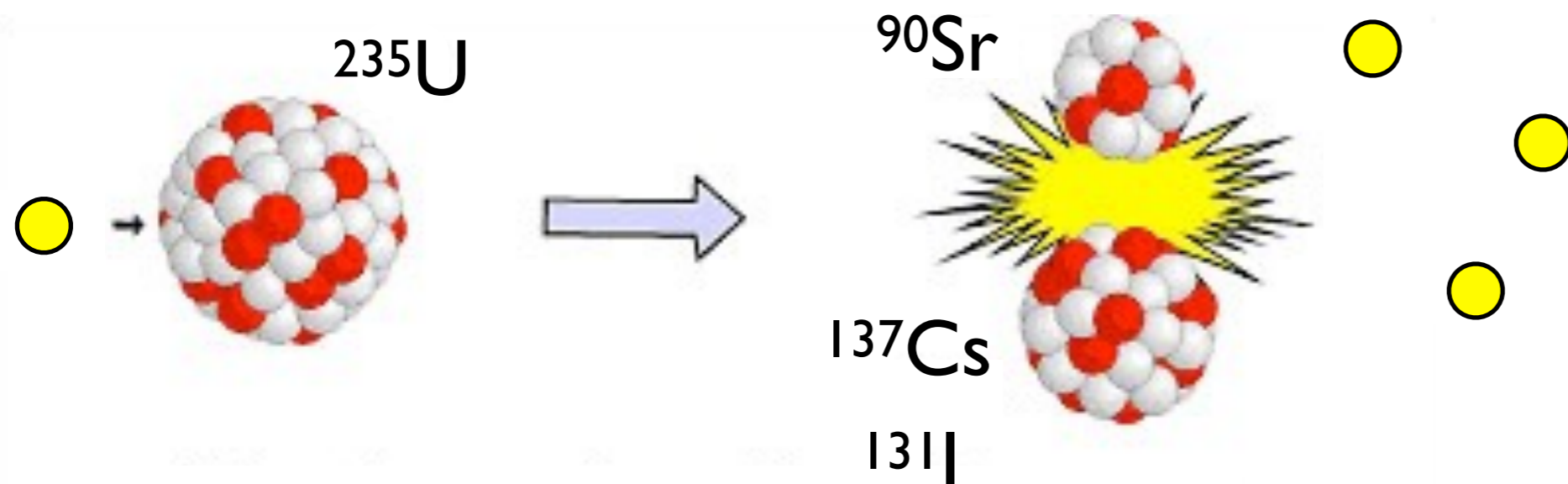
原子力

$$E = mc^2$$

ウランの核分裂



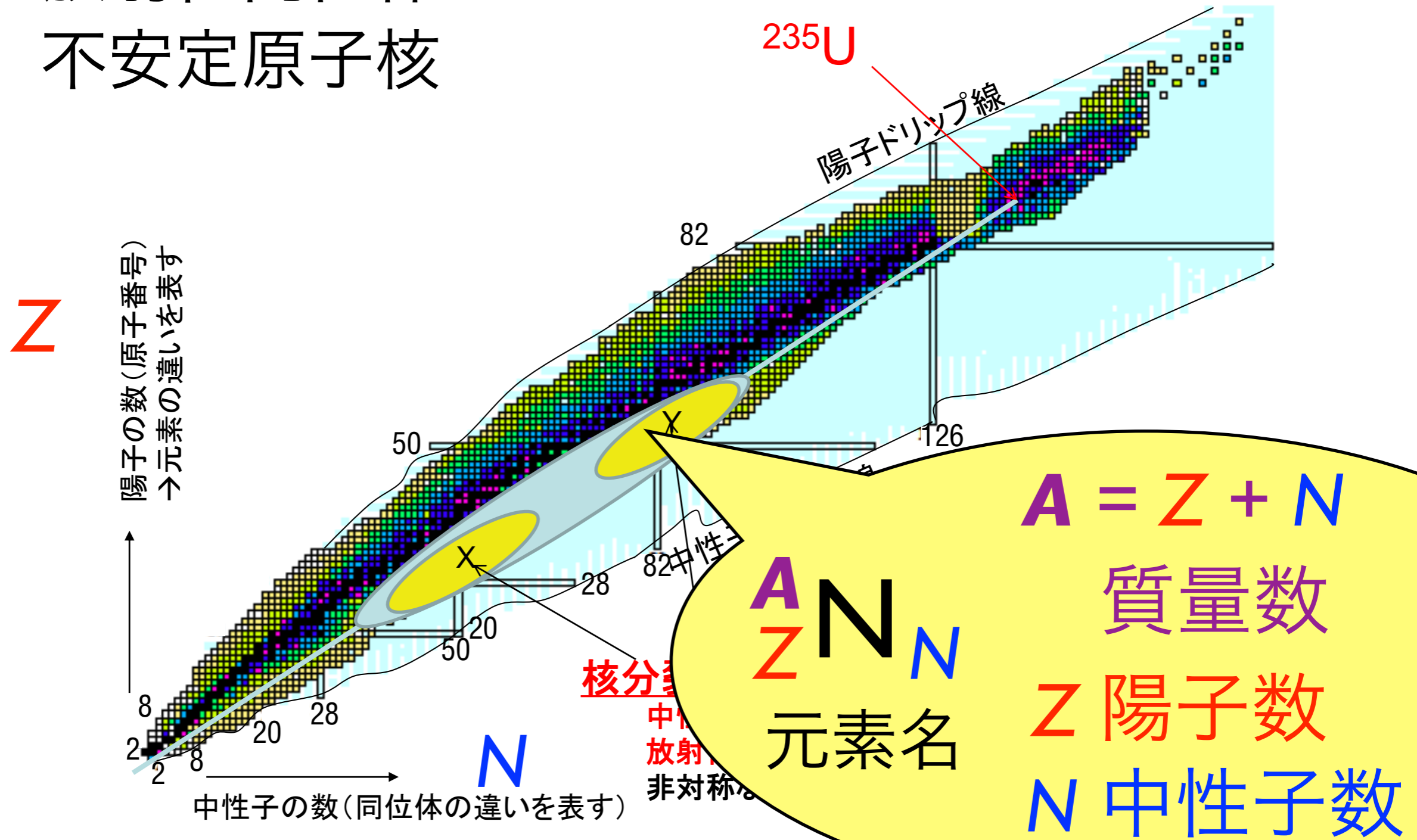
# 原子核分裂反応



# 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

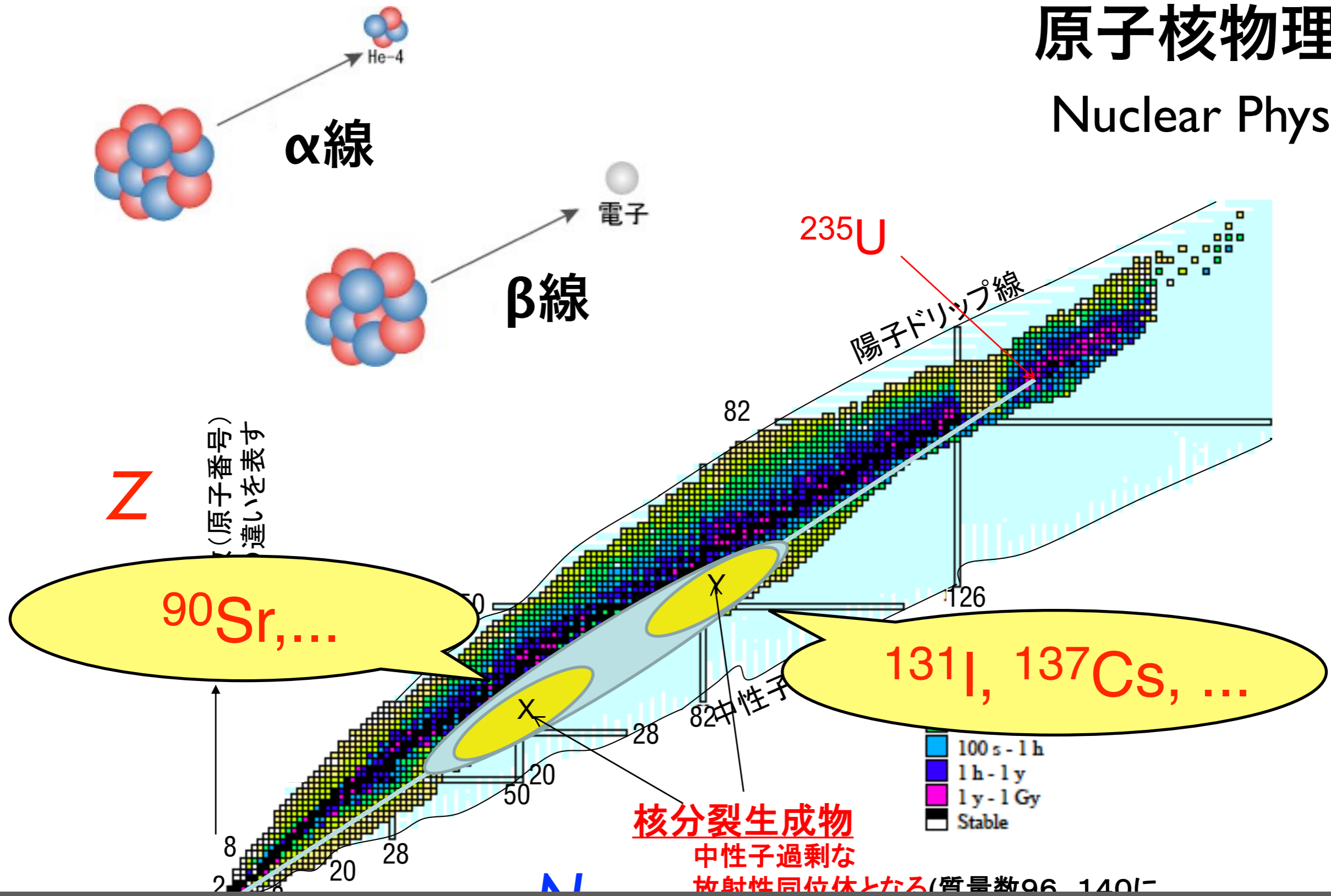


Nuclear Chart 核図表



# 原子核物理学

## Nuclear Physics





第5・12回：10/23, 12/25

# 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)

(生命科学的研究、育種、滅菌、工学応用など)

# 放射線の細胞および生体への影響

## 放射線の利用

### (生物学)

学術フロンティア講義  
「放射線を科学的に理解する」

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





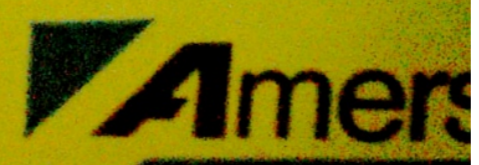
アマンヤ  
 総合研究所  
 〒270-14 千葉県印  
 TEL 0474-91-5581

放射性  
**RADIOACTIVE**

収納物 <sup>35</sup>S  
 CONTENTS

放射能 370 メガベクレル  
 ACTIVITY MEGA BECQUERELS

7







# 自然界から年間数ミリシーベルトの放射線を浴びている

日本平均	宇宙から	0.30
	食物から	0.99
	呼吸から	0.48
	大地から	0.33
年間		約 2.1 mSV

土壌中ガスのラドン濃度は4,000~40,000ベクレル/m<sup>3</sup>の範囲にある。このようなガスが混入して大気中のラドン濃度が上昇する。

ある場所の屋内濃度は、その位置、換気の状態、周辺土壌のウラン含有量などによって大きく変動する。年間平均大気中濃度は0.6から30,000ベクレル/m<sup>3</sup>の間に分布するが、ふつうは10~100ベクレル/m<sup>3</sup>の範囲に入る。

医療被曝は除外して考えます

日本では、平均濃度が13ベクレル/m<sup>3</sup>、最大濃度は310ベクレル/m<sup>3</sup>と報告されている。

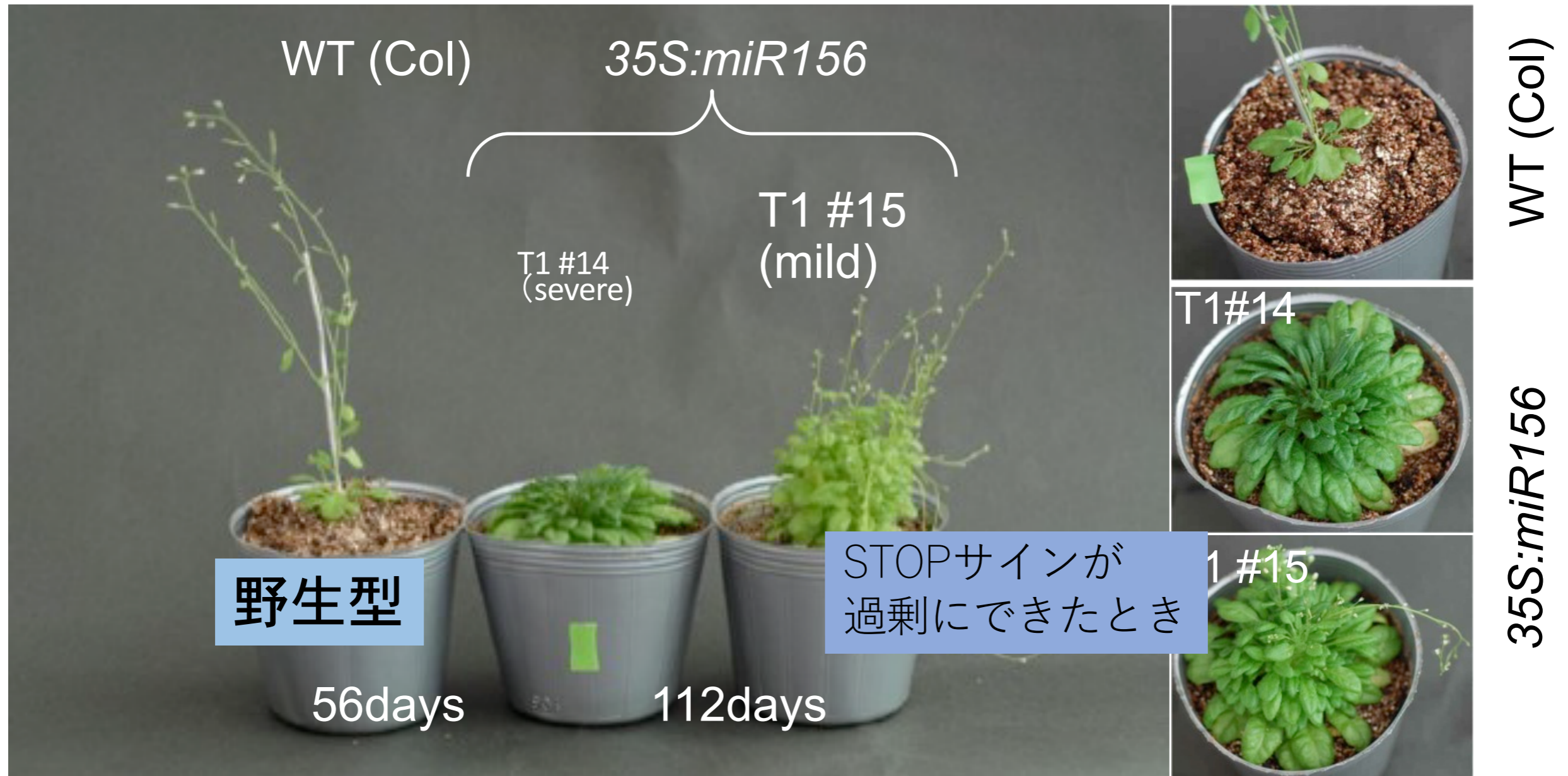


## シロイヌナズナ

- 播種後5週間で次の種子が収穫できる
- アブラナ科  
種々の野菜のモデル
- 遺伝学に向く
- 自家不和合性がない
- 高さ30cmほど
- 人工照明で充分育つ
- 全ゲノム配列2000年に  
解読



# miR156過剰発現体の表現型 (全体)



Squamosa promoter-binding-like p **SPL 転写因子** )

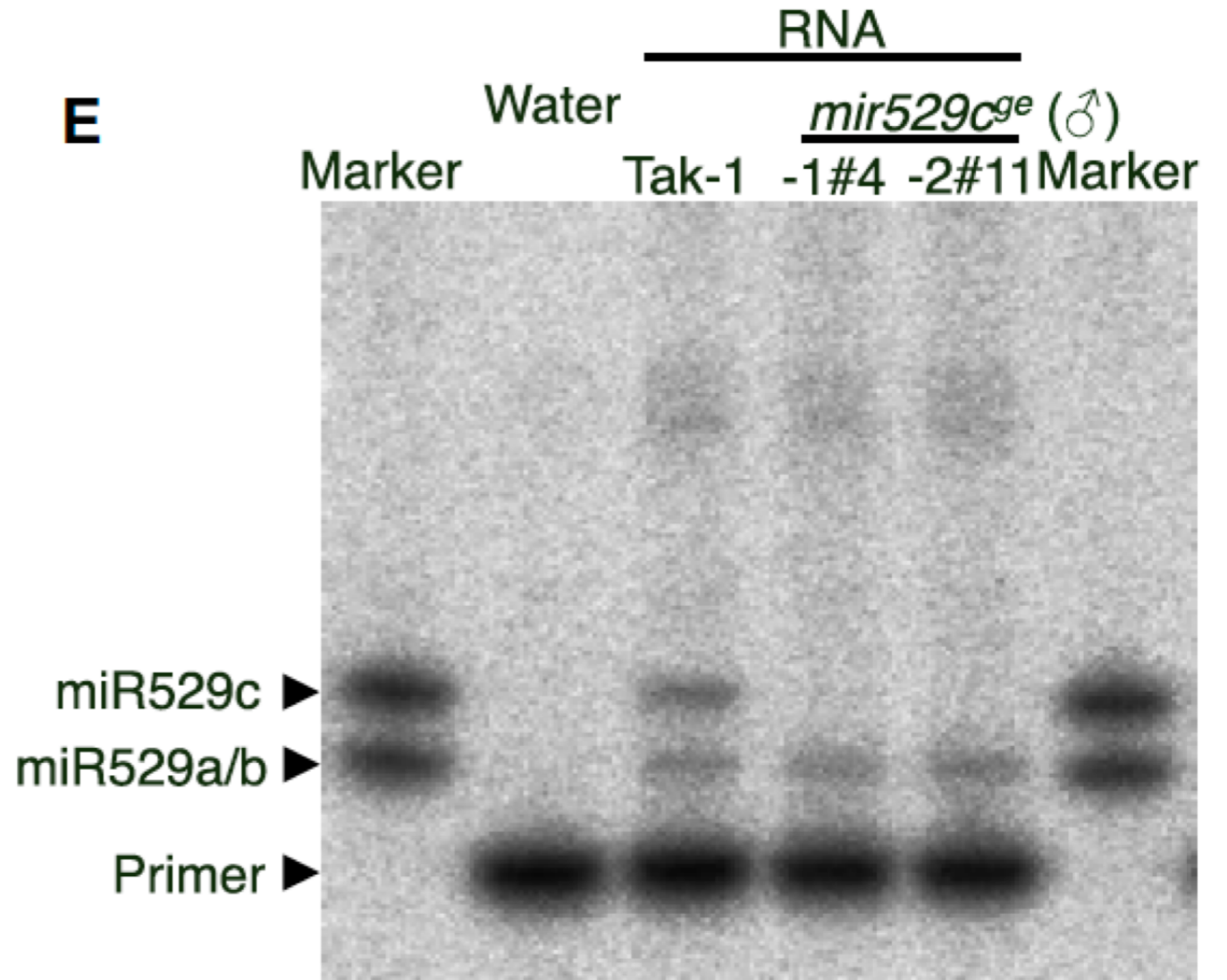
miR156/157

**miR156/miR529c**

# 放射性物質を用いた実験例

微量、わずかな違いを際立たせて見ることが出来る

**D** AGAAGAGAGAGAGCACAGCCC miR529a  
AGAAGAGAGAGAGAGUACAGCCC miR529b  
CCAGAAGAGAGAGAGCACAGC miR529c  
← TCTCTCTCTCGTGTCGGAAA-<sup>32</sup>P Primer





# 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)

食と農ーその文化と先端科学

植物栄養輸送体の解析と応用

藤原 徹

東京大学大学院農学生命科学研究科



May 2009

# 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

**植物は泥に育つ**

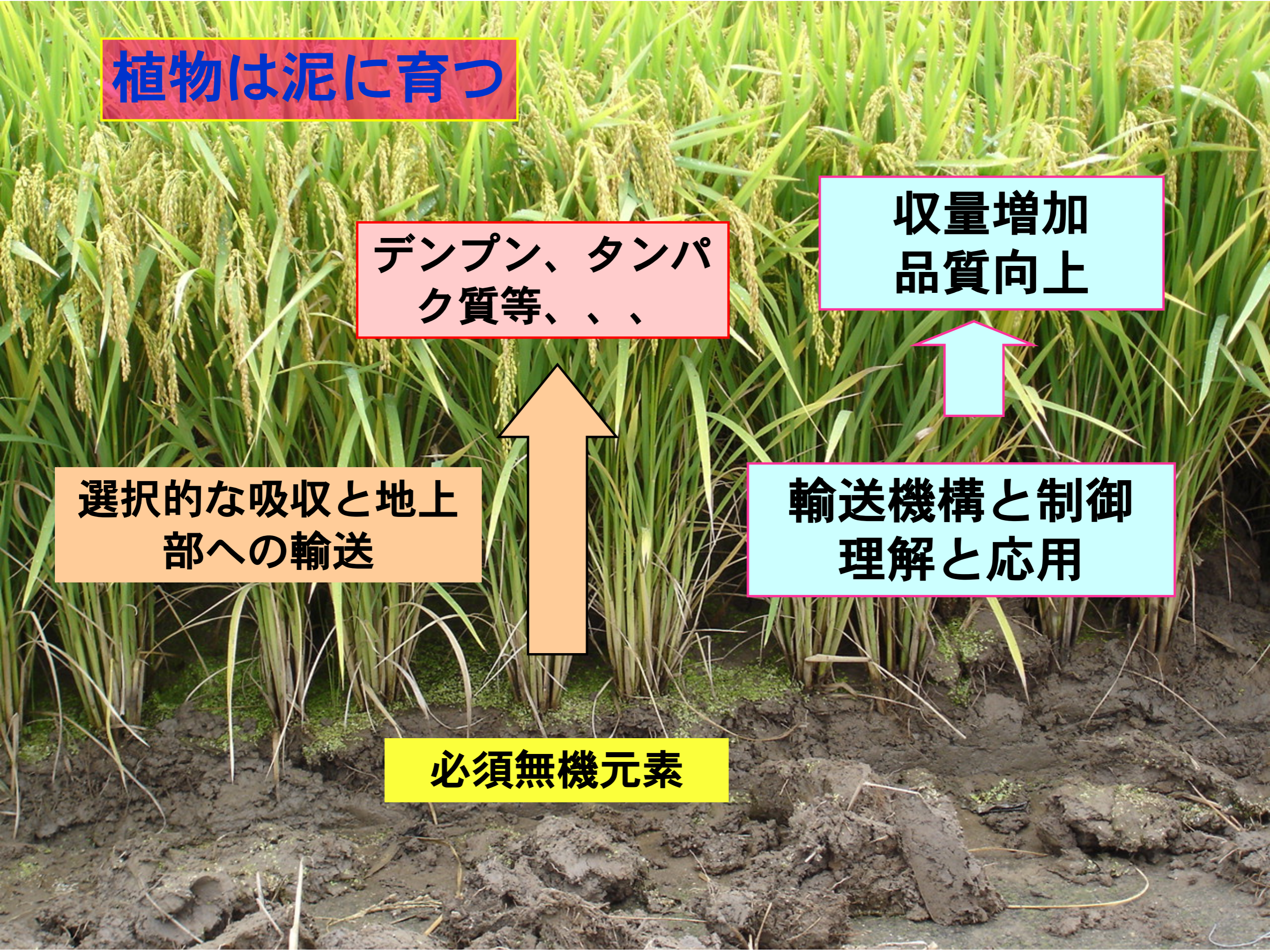
**デンプン、タンパク質等、、、**

**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**





第 3・7・10 回：  
10/9, 11/6, 12/11

# 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

# 放射線を測ってみる (10月9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100 Bq/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!

# 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。

電離作用、ベータ線/ガンマ線の物理的特性をよく理解しておいてね



# 環境の中にある放射線 (11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(帰還困難区域内)の放射能と核種
  - 「ホットスポット」から「ホットエリア」へ
- ▶ サンプル別の特徴(植物、土壌、水...)
- ▶ 実際の現場の映像から考察していただこうと思います。
  - レアですよ。
- ▶ 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

# 現地で前撮りしてきました！



インフラゼロの環境で大変でしたが、その分レアな資料になっていると思います！

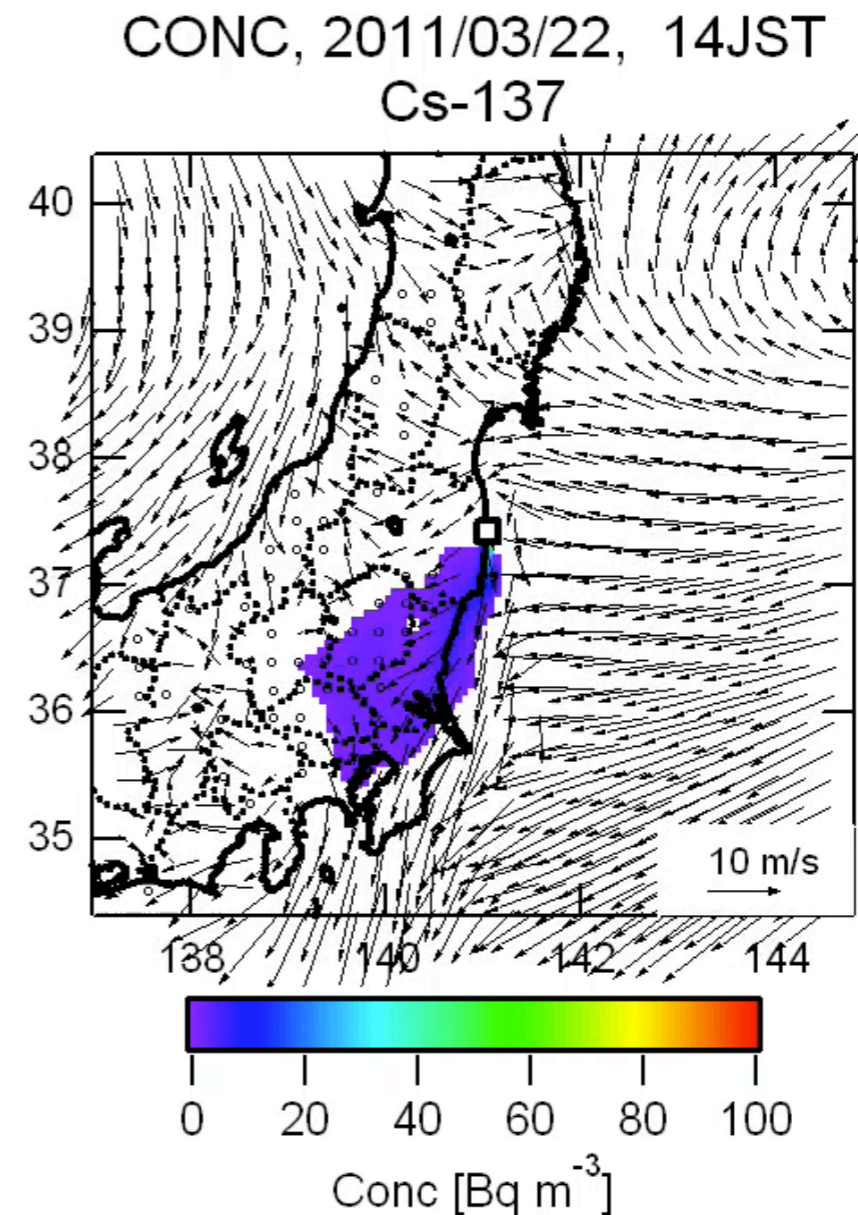
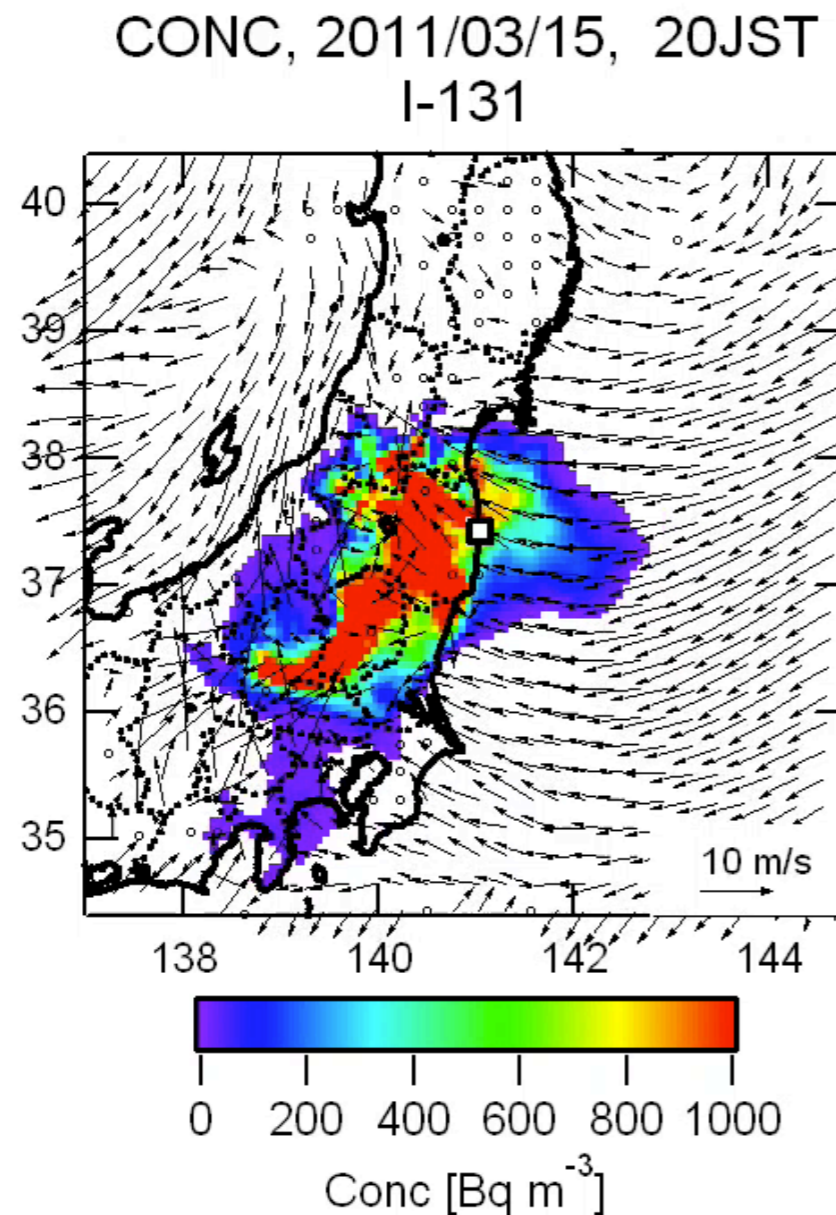
# 将来はどうなる？ (12月11日)

- ▶ 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

# 放射性物質の飛散(2011年当時)

- ▶ 大半が海側に流れていますが、2011年3月15日や3月20日-21日には南方向にも放射性物質が拡散している



# 事故から9年半後の発電所全景



残念なことです、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」「環境中での挙動」「シミュレーションと今後の推移」
- ▶ 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。
  - 今年度も、その場で実験を行います。
- ▶ 測定の現場から、環境中の放射能のとらえ方を詳しく解説します。

第6回：10/30



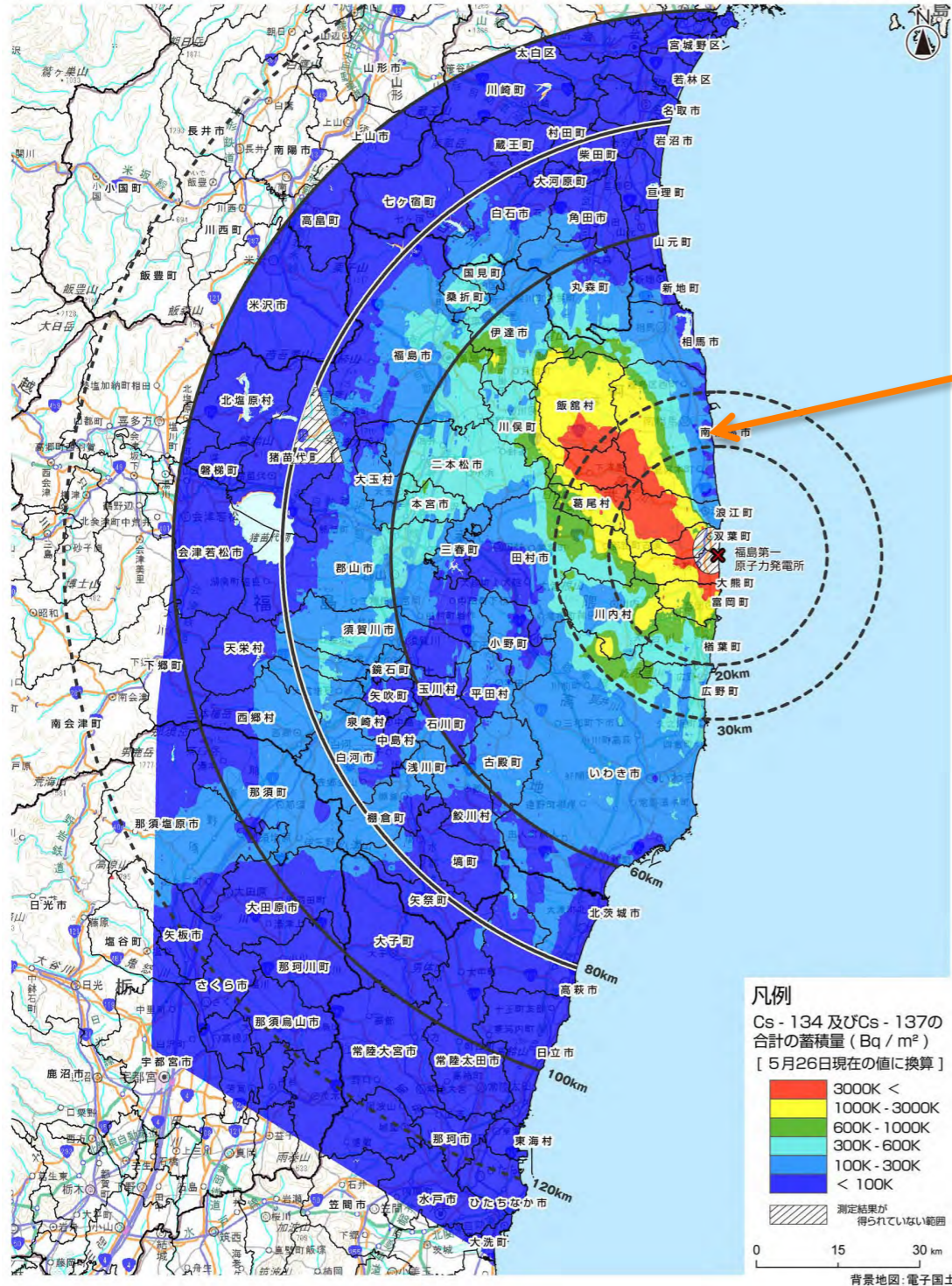
## 被曝調査・医療支援

【福島県立医科大学 坪倉 正治 先生】

(福島事故後の内部被曝の状況、  
現場での医療)

# 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？

文部科学省及び米国DOEによる航空機モニタリングの結果  
(東京電力(株) 福島第一原子力発電所から約100km圏内のセシウム134, 137の地表面への蓄積量の合計)  
別紙2



- 原発から23km
- 230床
- 空間線量 0.1-0.2  $\mu\text{SV}/\text{h}$



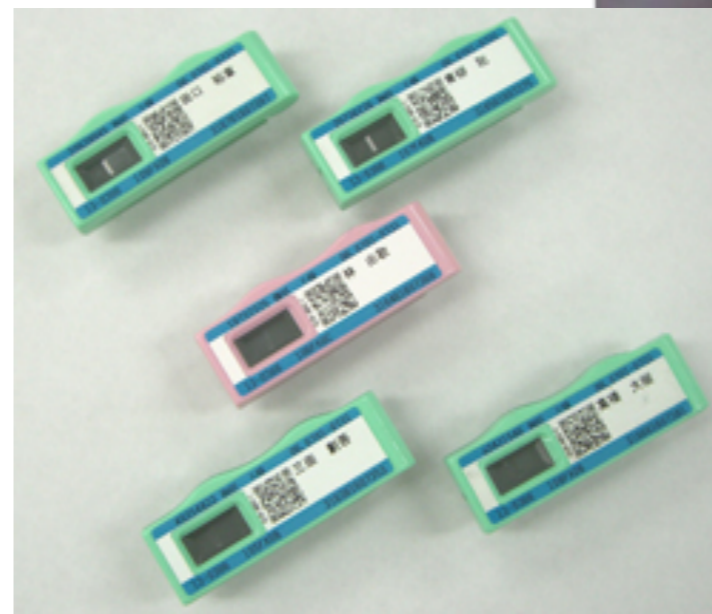
南相馬市人口

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。

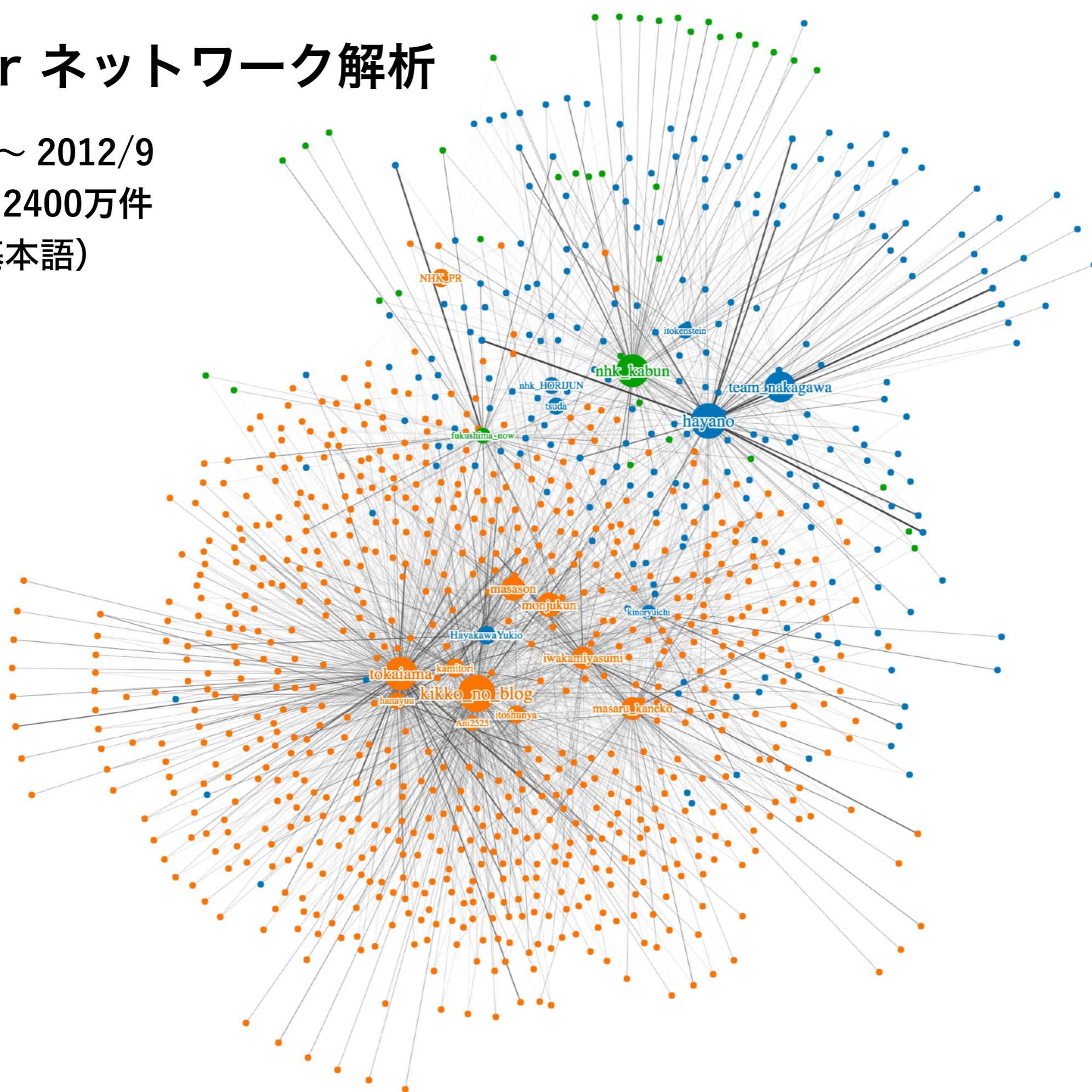


# twitter ネットワーク解析

2011/3 ~ 2012/9

100% = 2400万件

P (基本語)





第1回：9/25  
(today)

# 放射線入門

【理学部化学科 鳥居 寛之】

(放射線とは、身の周りの放射線)



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  
「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





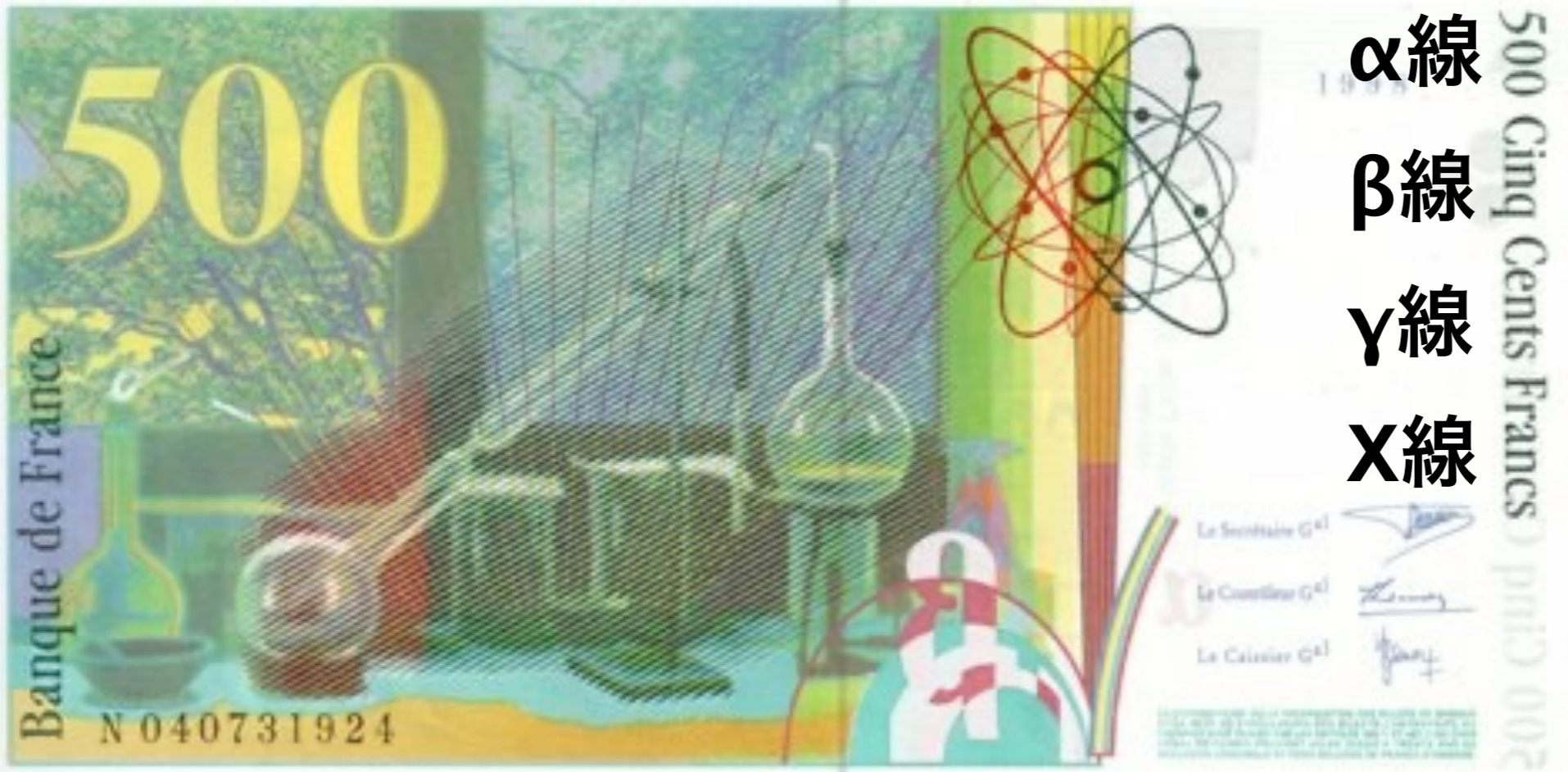
相馬野馬追祭  
執行委員会

# 相馬野馬追

放射線とは？

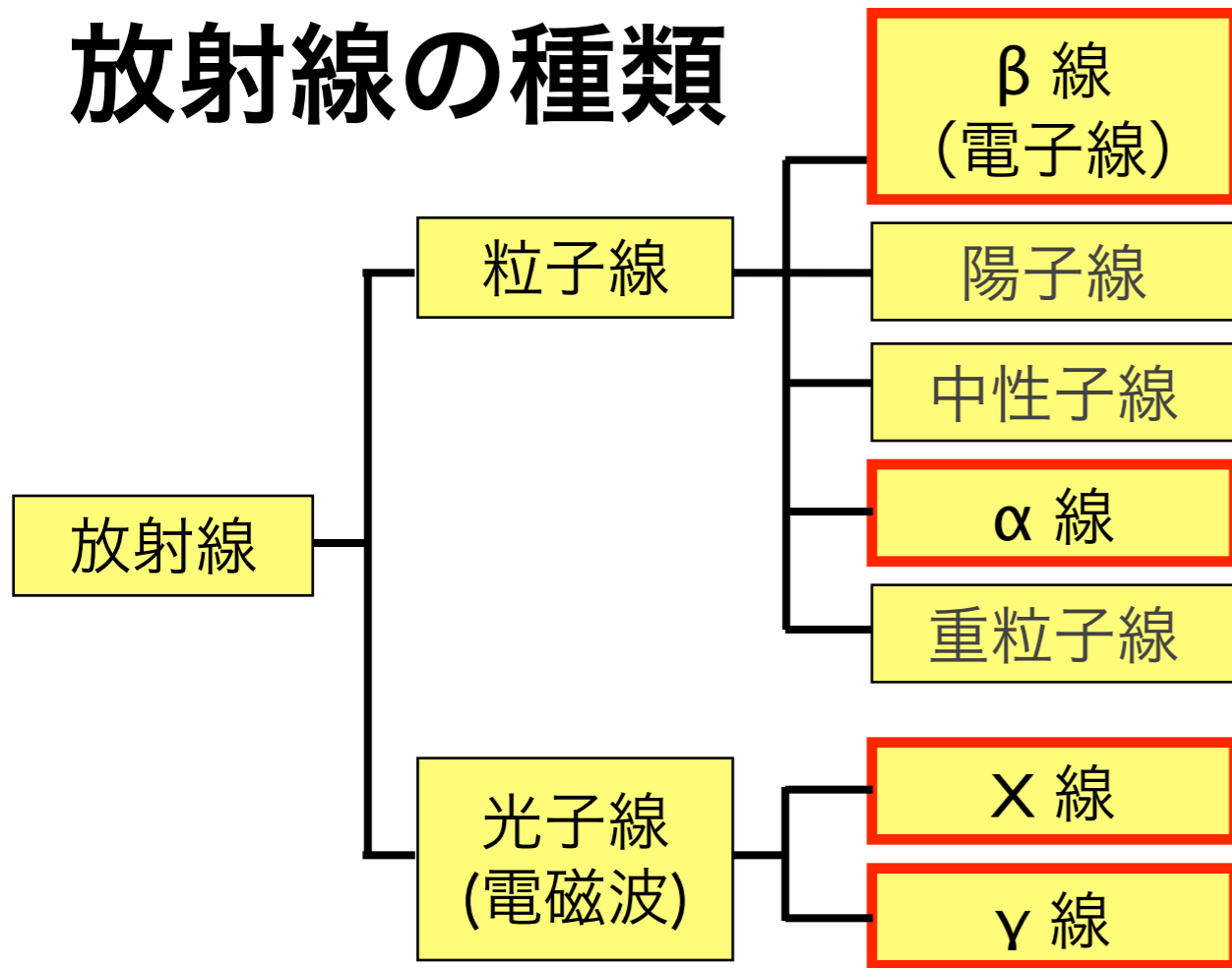


Billet de 500 Francs Français en circulation: 1993–1999

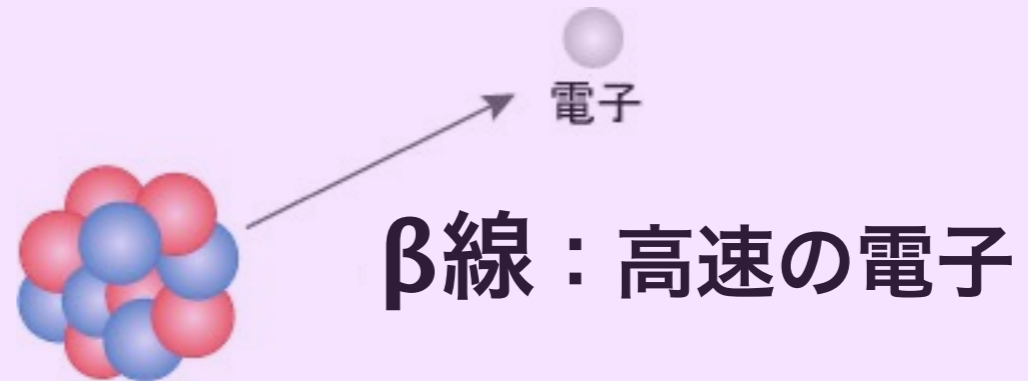
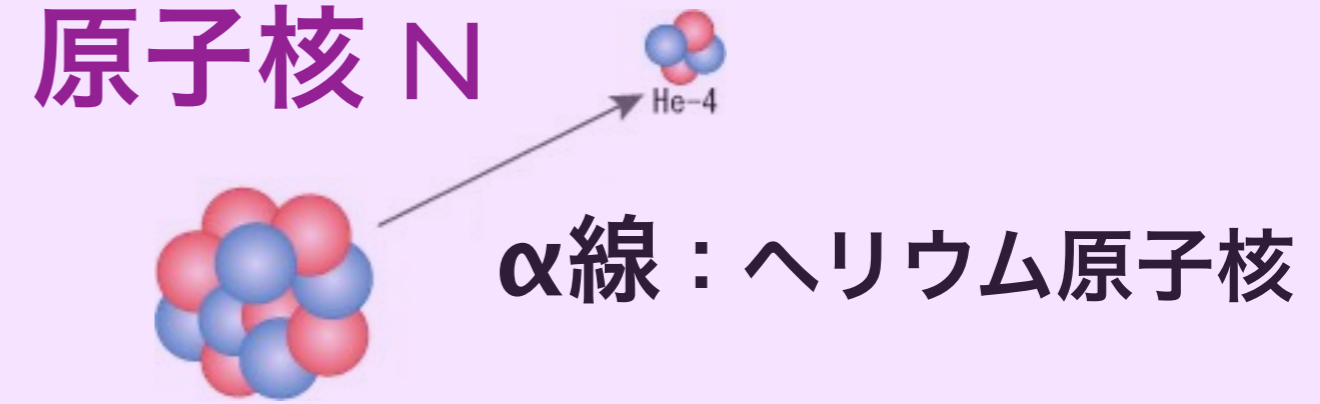


- $\alpha$ 線    ヘリウム原子核
- $\beta$ 線    高速の電子
- $\gamma$ 線    光子（電磁波）
- X線    光子（電磁波）

# 放射線の種類



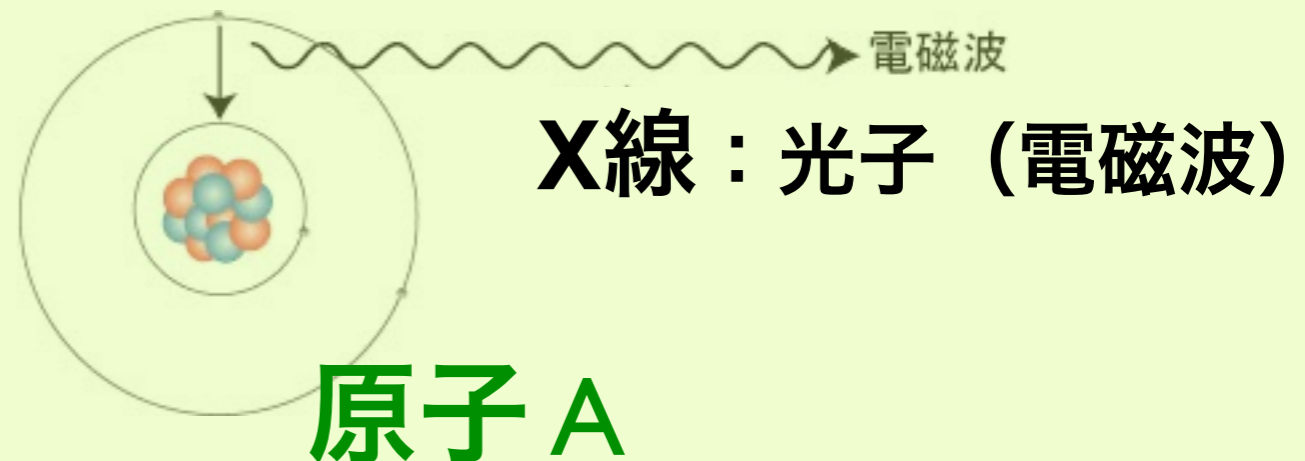
## 原子核 N



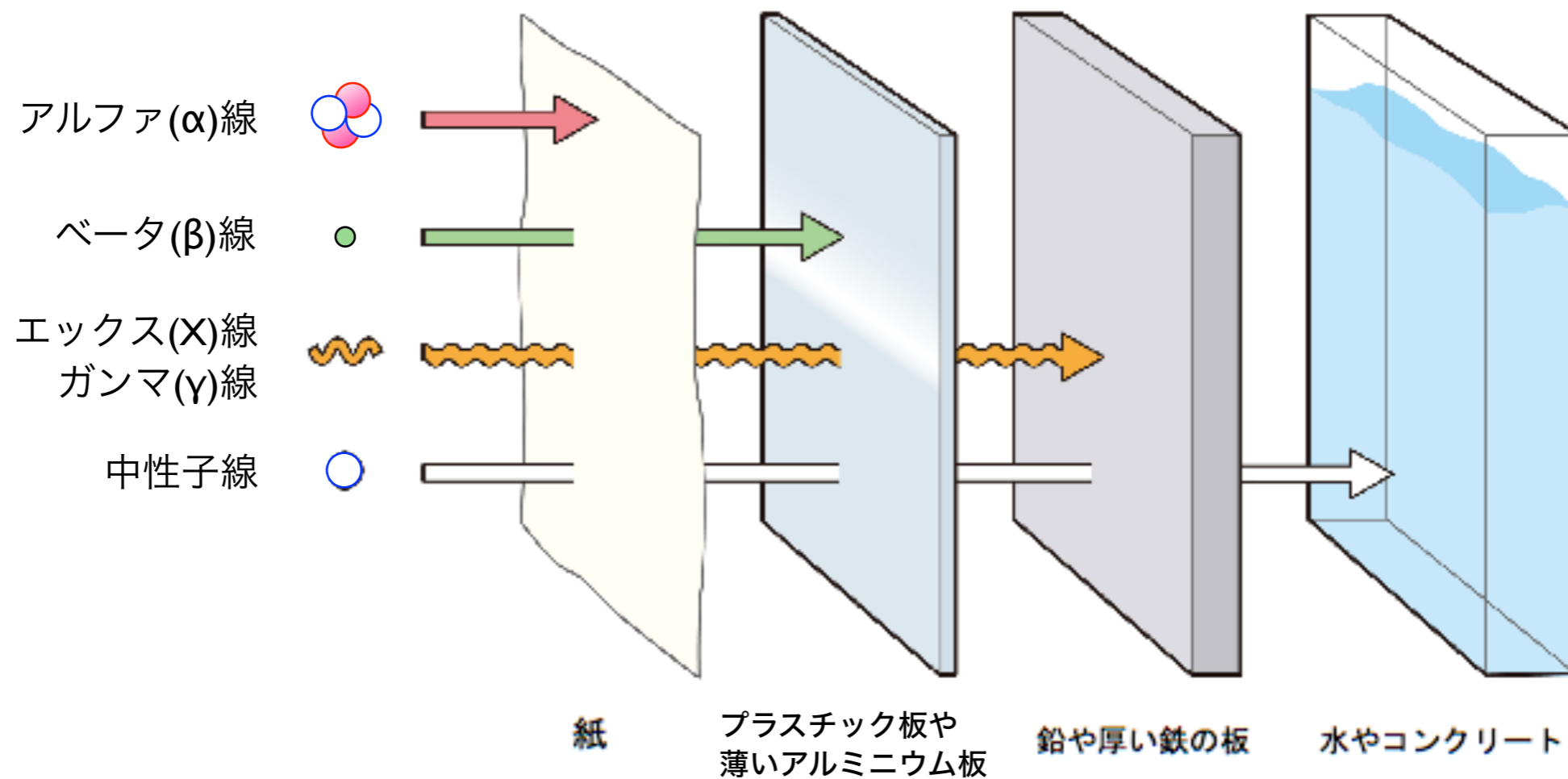
放射線のもつエネルギーは？

Cf. 原子の束縛エネルギーは？

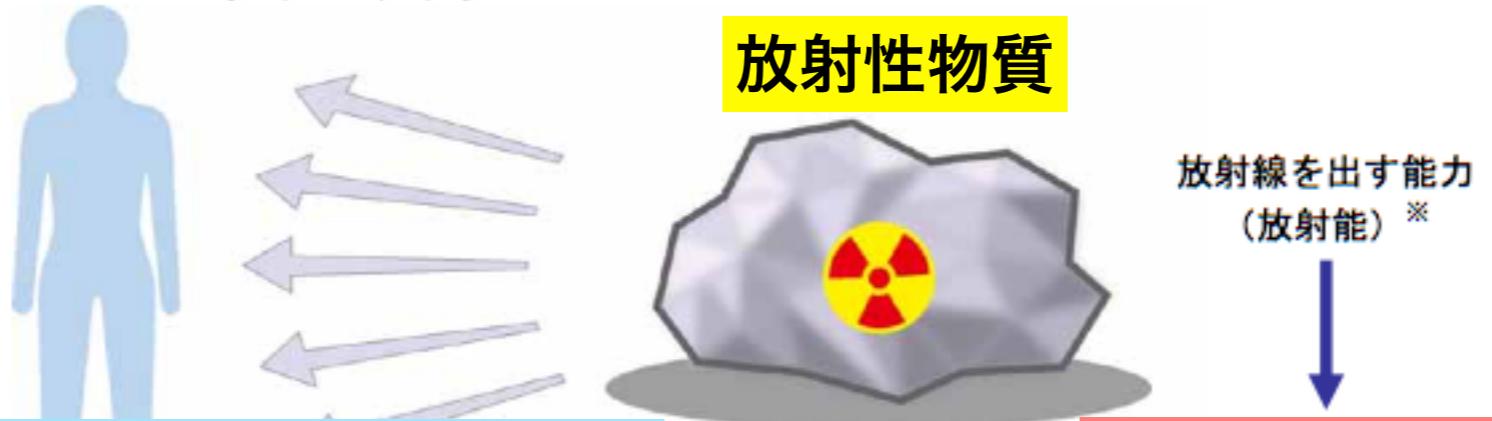
放射線の速度は？



# 放射線の種類と透過力

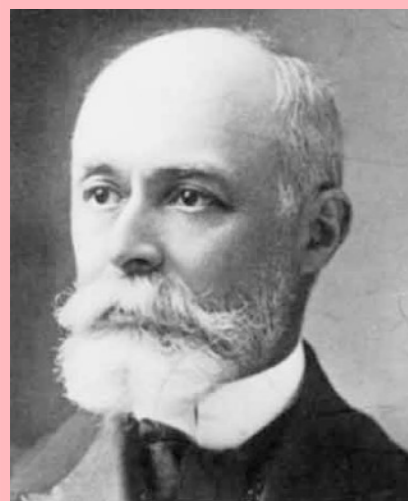


# 放射能と放射線



放射線の強さ・影響を表す単位  
シーベルト [Sv]

放射能の強さを表す単位  
ベクレル [Bq]



## 放射能 (radioactivity) の単位

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

Becquerel

decay/disintegration  
per second

Curie

1 キュリー = 370億ベクレル



● 物質が吸収したエネルギー（単位質量あたり）

吸収線量  $D$  [J / kg] = [Gy]    グレイ

# 放射線量の単位

radiation dose

Gray

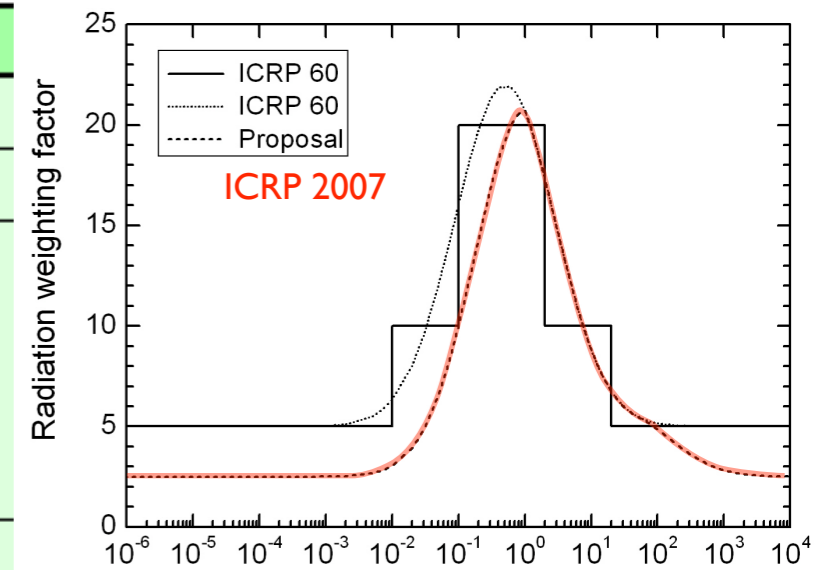


● 放射線の種類による生物学的影響の違いを考慮

等価線量  $H_T = W_R \times D$  [Sv]    シーベルト

放射線加重係数  $W_R$

放射線の種類・エネルギーの範囲	放射線加重係数: $W_R$	
光子(X線・γ線); 全てのエネルギー	1	1
電子(β線)およびミュー粒子; 全てのエネルギー	1	1
中性子; 10keV 以下	5	右図を参照
10keV~100keV	10	
100keV~2MeV	20	
2MeV~20 MeV	10	
20MeV以上	5	
反跳陽子以外の陽子; エネルギー 2MeV 以上	5	2 (正負パイオンも)



放射線物理学・放射線化学 第4回：10/16

放射線防護学（線量評価）第13回：1/8

# 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。



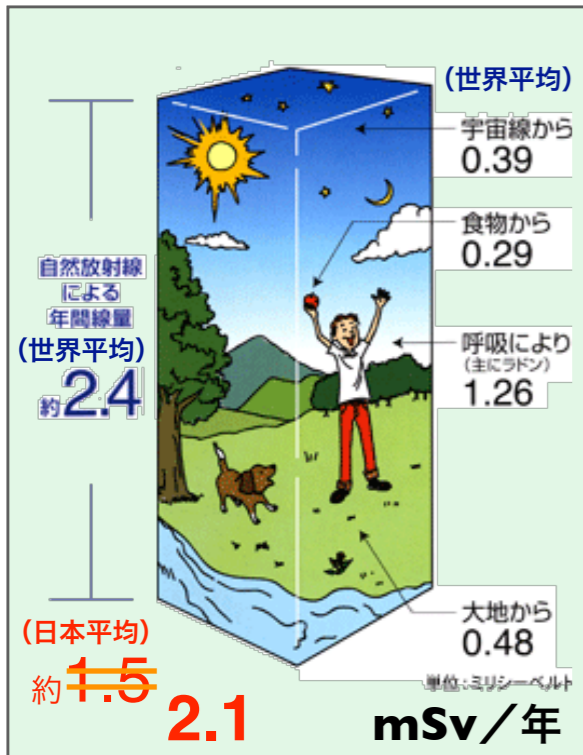
# 身の周りの放射線

mSv (実効線量)



10 → **10**  
 ブラジル・ガラバリの放射線  
 (年間、大地等から)

6.9 ← **10**  
 胸部X線コンピュータ断層  
 撮影検査(CT スキャン)(1回) ★



2.4 → **1**  
 1人あたりの自然放射線(年間)(世界平均) ★

1.0 ← **1**  
 一般公衆の線量限度(年間)  
 (医療は除く)

0.4 → **1**  
 岐阜 ↔ 神奈川  
 国内自然放射線の差(年間)  
 (県別平均値の差の最大)

0.6 ← **1**  
 胃のX線集団検診(1回)

0.2 → **0.1**  
 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)

0.05 ← **0.1**  
 胸のX線集団検診(1回) ★

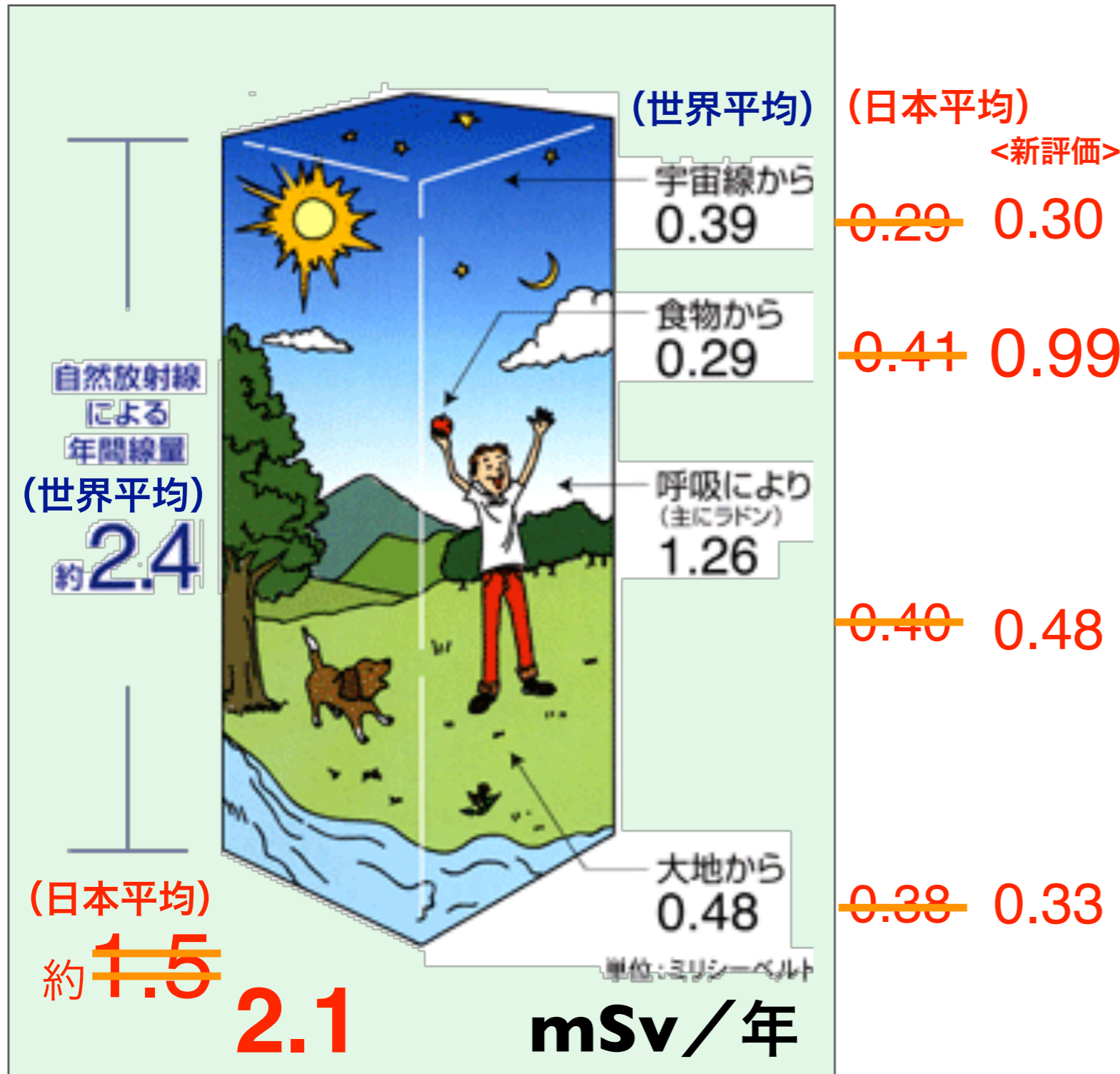
0.022 → **0.01**  
 再処理工場からの放射性物質  
 の放出による評価値(年間)

0.05 ← **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)

0.01 → **0.01**  
 クリアランスレベル導出の  
 線量目安値(年間)

# 身の周りの放射線

mSv/年  
(実効線量)



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

元図: 東京電力の旧ホームページより

# 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



《表5》 土壌や岩石中に含まれる天然の放射性物質

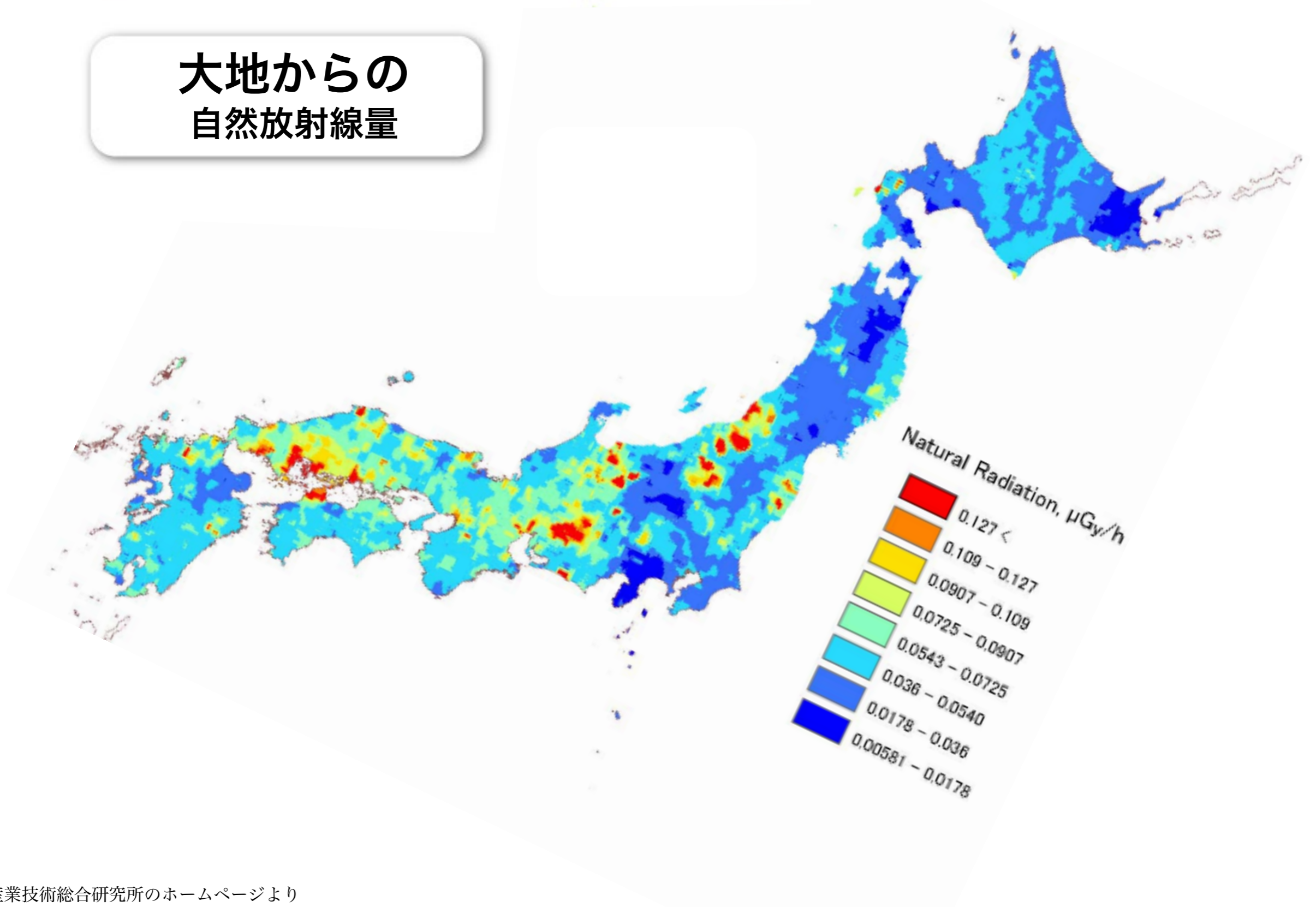
放射性物質の種類	放射能濃度 (ベクレル/kg)	
	一般の土壌・岩石	花こう岩
カリウム40	100~700	500~1600
ウラン238 (娘核種を含む)	10~50	20~200
トリウム232	7~50	20~200

関東ローム層

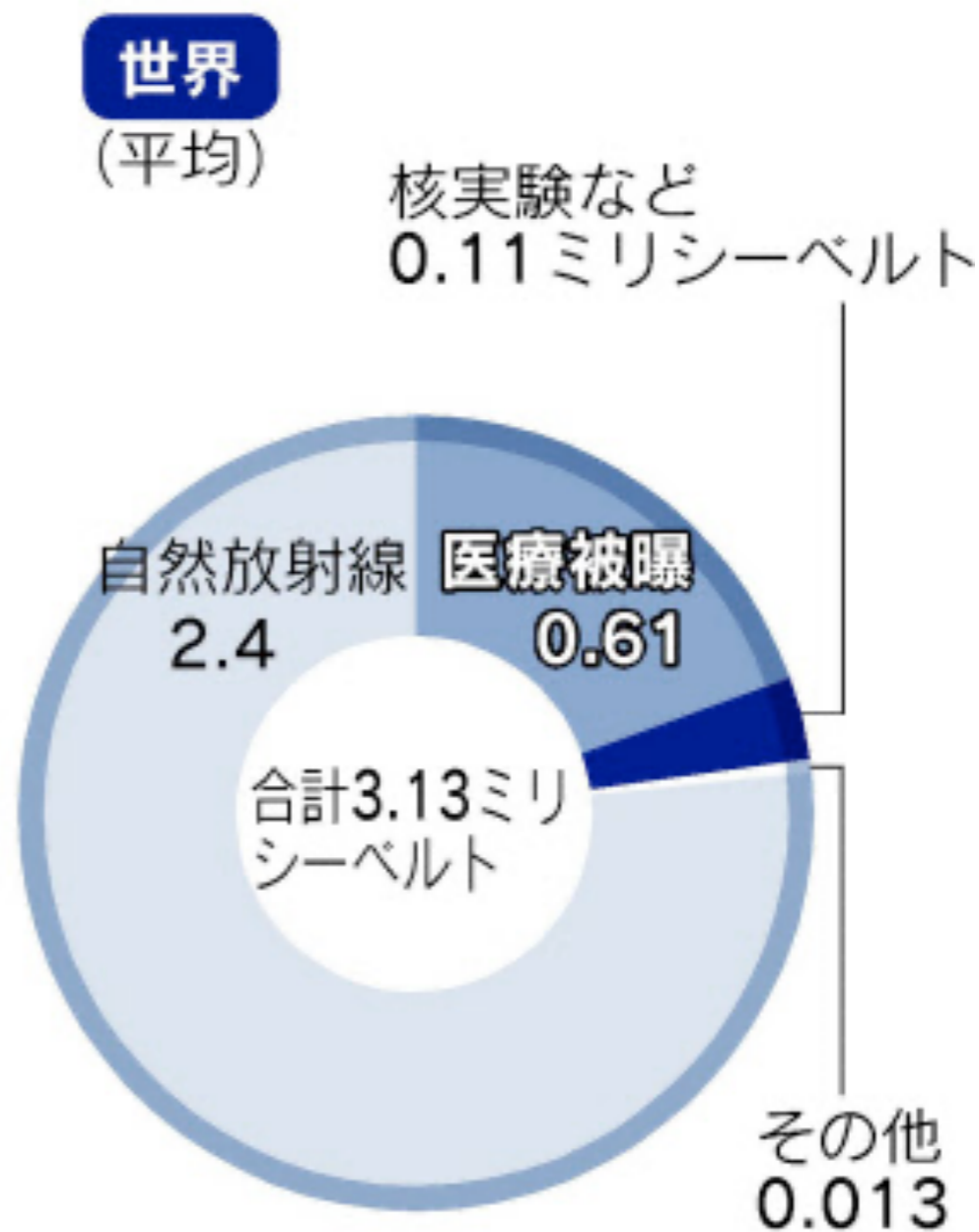
全国の自然放射線量

$\mu\text{Gy}/\text{時}$

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」

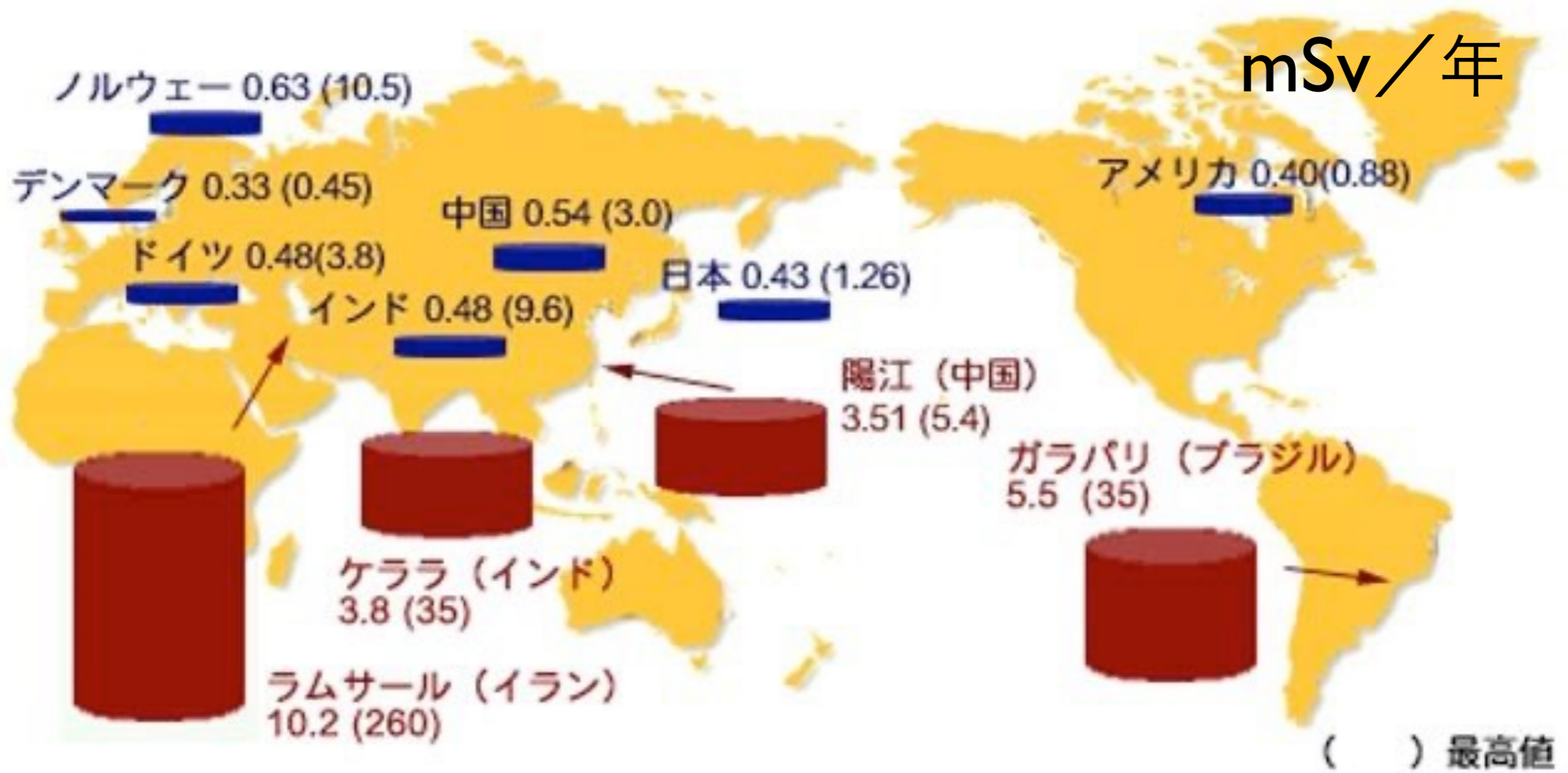


図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

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<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)

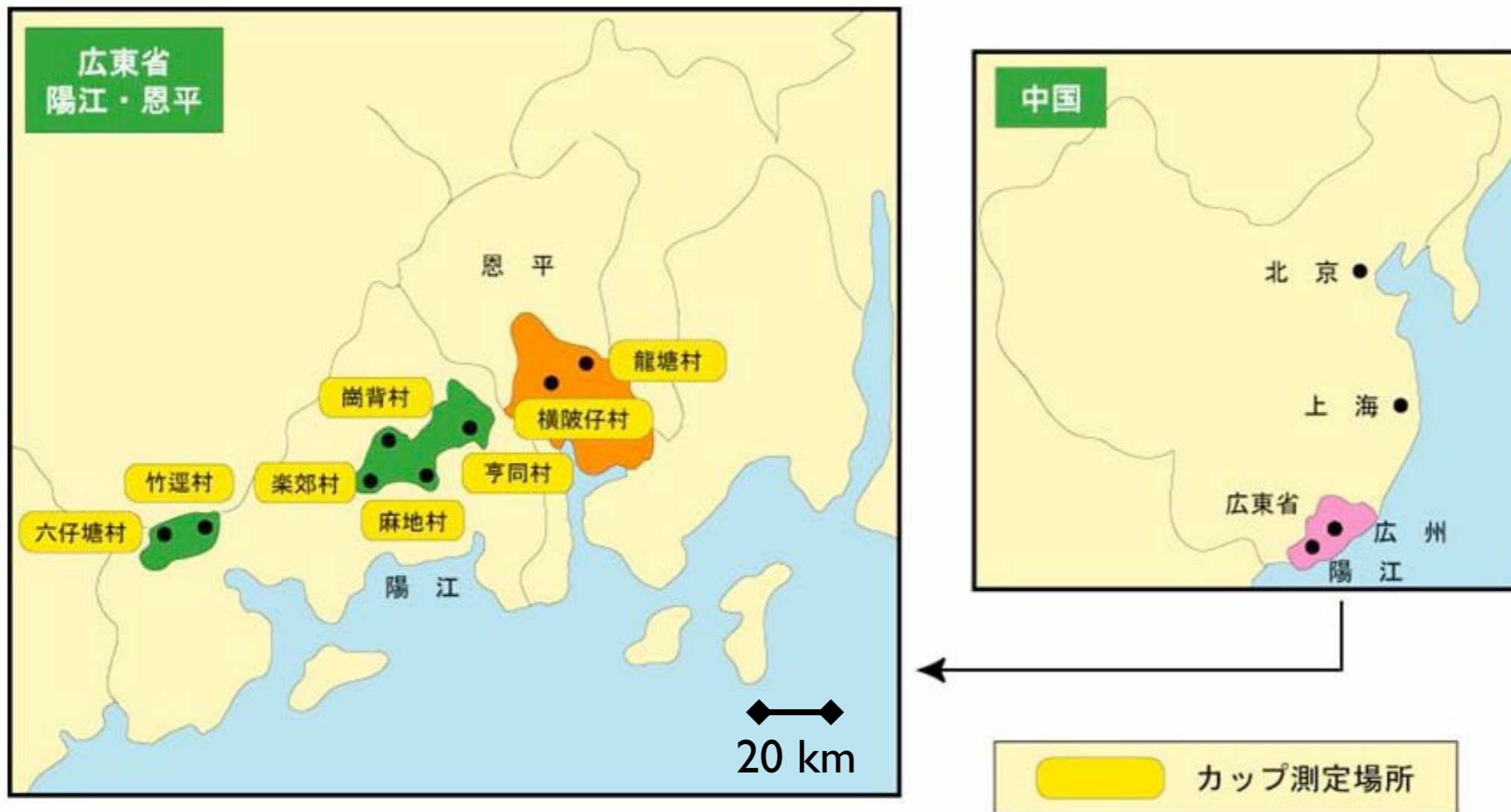
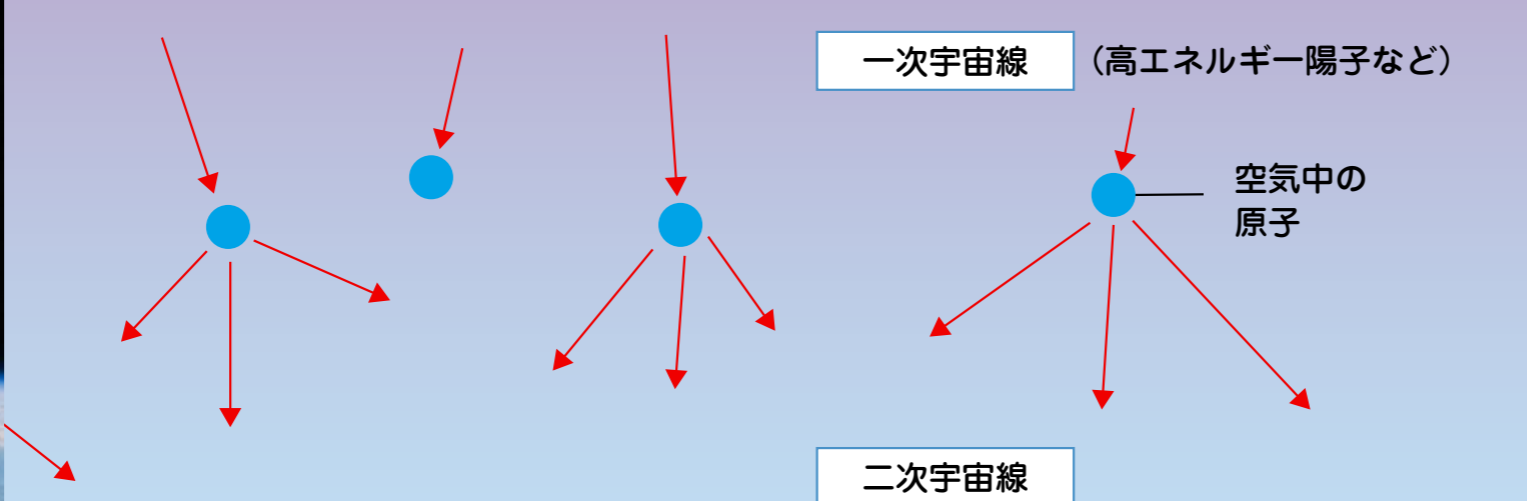


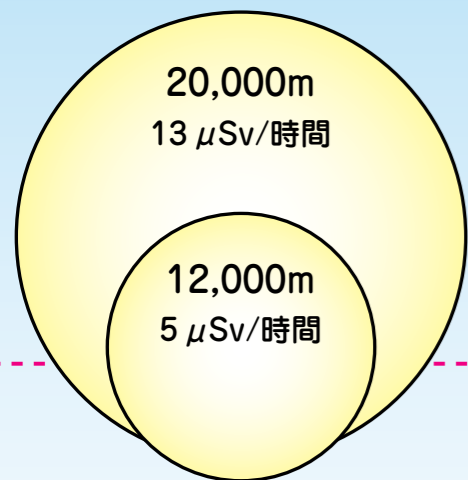
図2 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

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



※○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  $\mu$ Sv/時間

2,000m ○ 0.1  $\mu$ Sv/時間

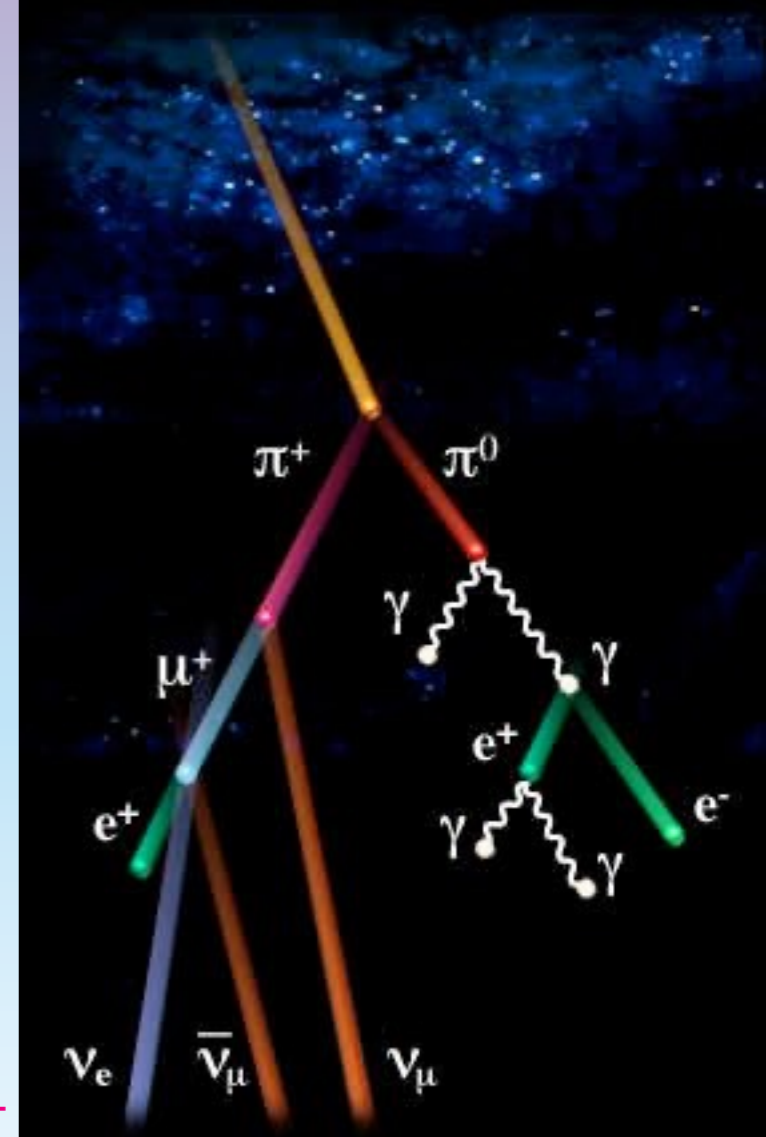
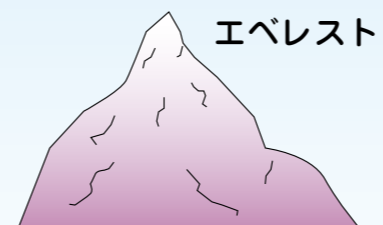
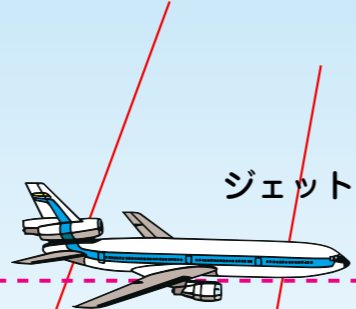
海面 ○ 0.03  $\mu$ Sv/時間

$\mu$ Sv = マイクロシーベルト

100km

10km

1km



東京～NY 往復  
200  $\mu$ 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 ( $\mu$ 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

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

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

毎日カリウム 3 g =  $^{40}\text{K}$  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)

$Sv = J / kg$  人間の比熱は水に近い

**出席：** チャット窓に、まだの人は  
学生証番号 & 氏名を記入

**アンケート：** ITC-LMS 上で記入

**講義スライド：** ITC-LMS から  
ダウンロードできます。

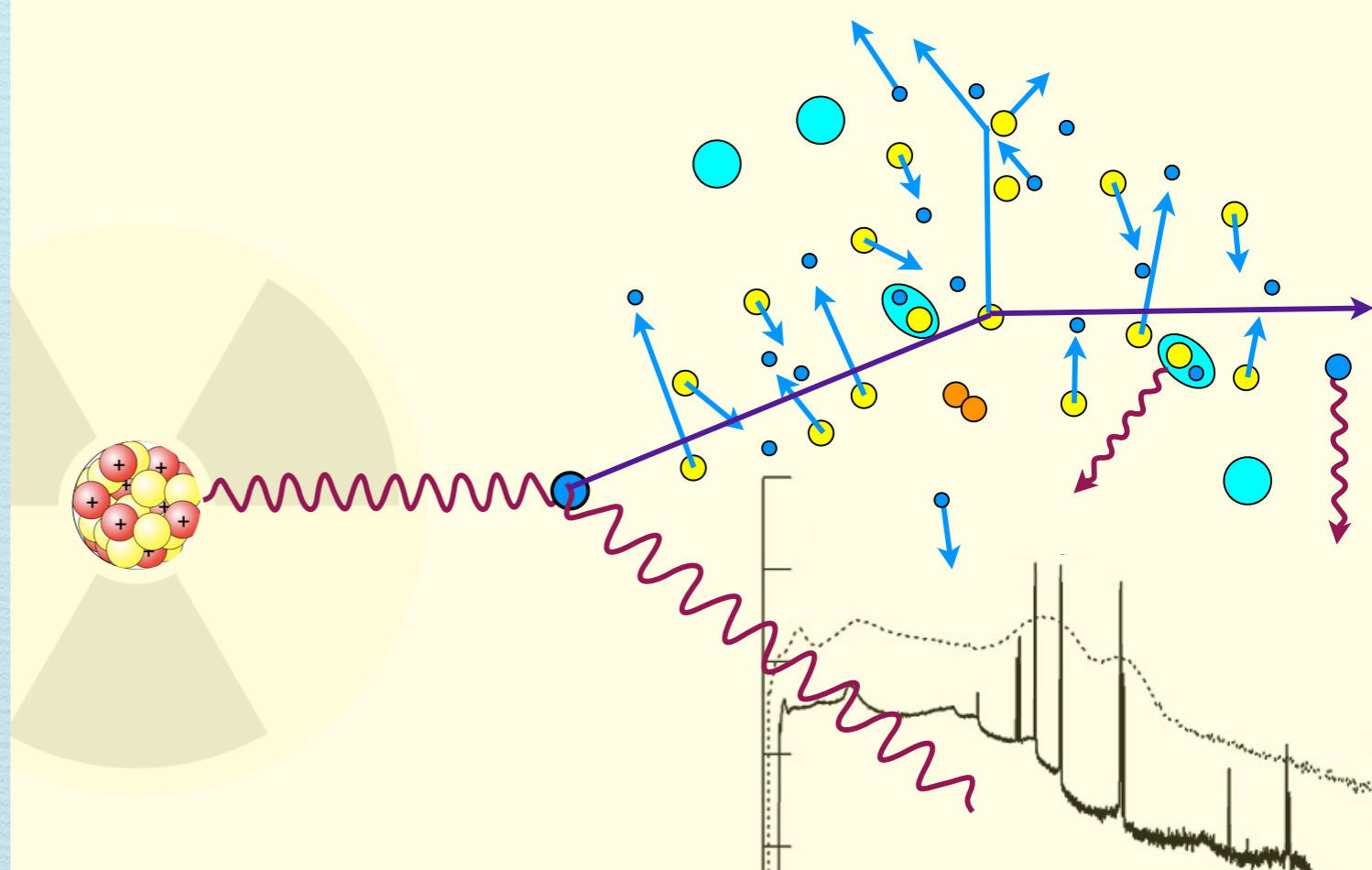
# 次回予告

## 第2回 (10/2)

### 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

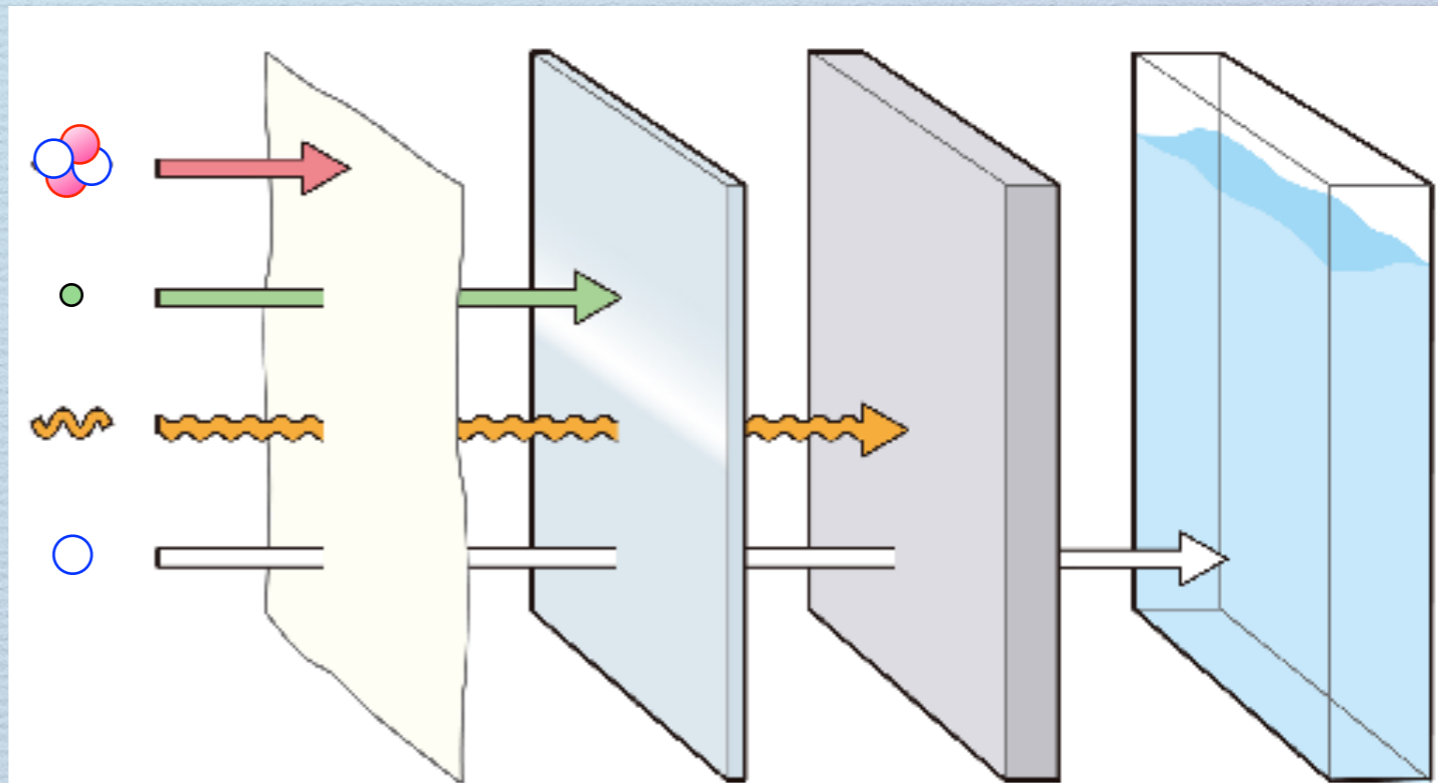


以下の講義に必要な知識

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

ITC-LMS を参照。または、講義 web page

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

東大教養 放射線 講義



検索

## 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

**Fine.** Per oggi è tutto.

Finì pour aujourd'hui

That's all for today.

Всё за сегодня.

오늘은 이만 마치겠습니다.

今天就学到这儿了。

**Ci vediamo la prossima settimana.**

On se voit la semaine prochaine.

See you next week.

Увидимся на следующей неделе.

다음 주에 또 만납시다.

下周见。