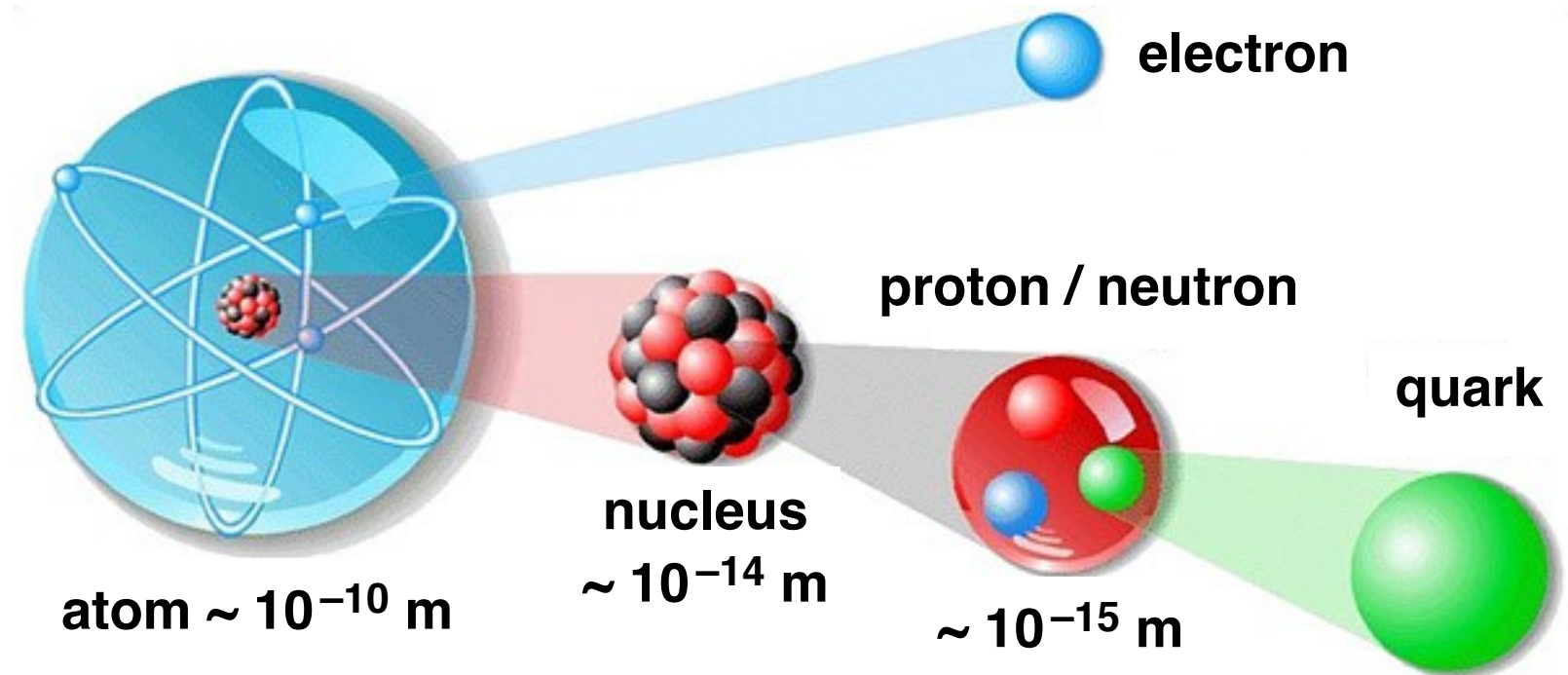


東大教養での放射線教育



東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

東大教養での放射線教育

- 自主講義「放射線学」
- テーマ講義「放射線を科学的に理解する」
- 高校生のための金曜特別講座「放射線の科学」
- ワークショップ「災害廃棄物処理を考える プロジェクト」
- 書籍「放射線を科学的に理解する」

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

助教 鳥居 寛之

(粒子線物理学・素粒子原子物理学)

自己紹介

大学 : 平成元年 東京大学理科 1 類入学

平成 5 年 理学部物理学科卒業

大学院 : 平成10年 東京大学大学院理学系研究科 博士 (物理学)

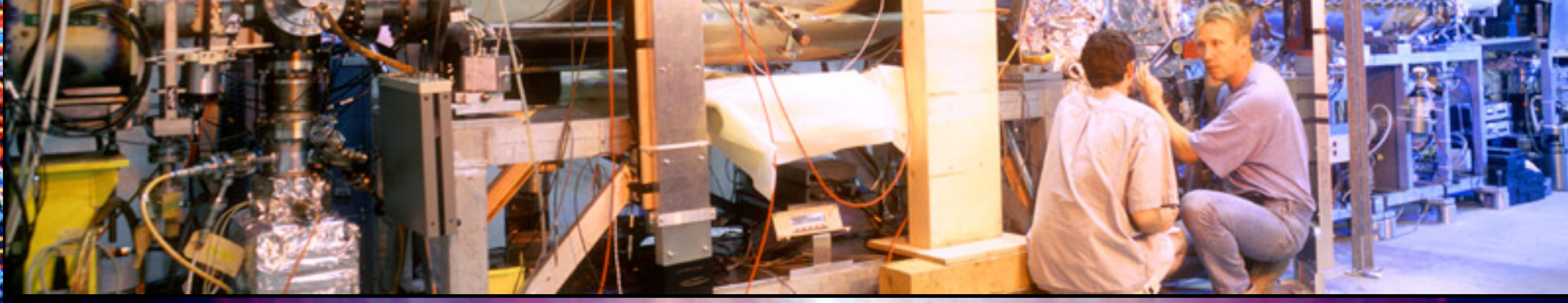
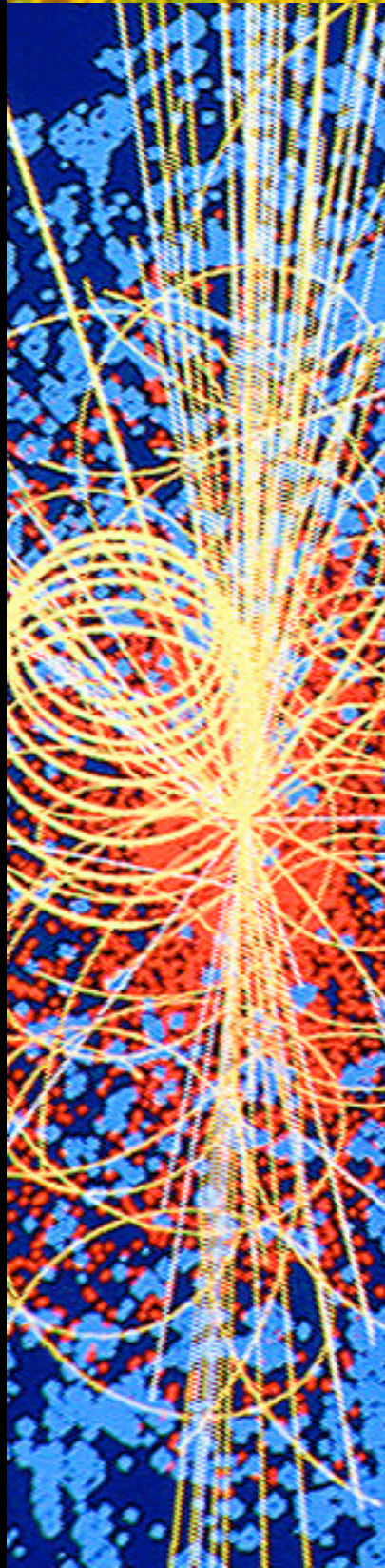
現在 : 東京大学 教養学部・大学院総合文化研究科 助教

研究 : CERN 研究所で反陽子原子・反水素合成の実験

専門 : 粒子線物理学・素粒子原子物理学

家庭 : 2 児の父 (年長児の息子、1 歳半の娘) 東京在住





CERN

European Organization for Nuclear Research

Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

『ダヴィンチ・コード』から3年——新たな歴史の謎が暴かれる。

反物質科学

待望の映画化!
『ダヴィンチ・コード』
シリーズ第2弾!

CERN
Antimatter

トム・ハンクス
(ロバート・ラングドン教授)
天使と悪魔
ANGELS & DEMONS

大ヒット上映中!

A RON HOWARD FILM
ANGELS & DEMONS
FROM THE AUTHOR OF THE DA VINCI CODE

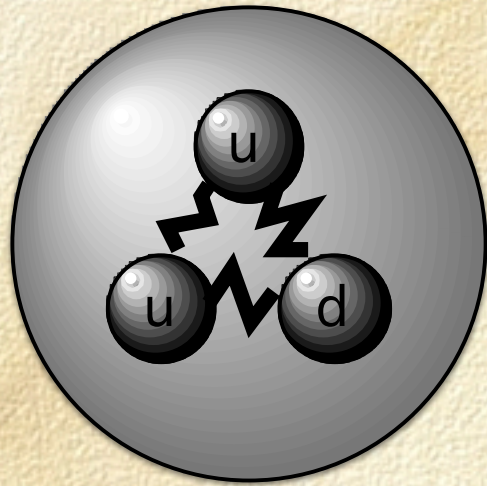


ヴァチカンを元と闇がほみ込む

『ダヴィンチ・コード』の原作者による
大ベストセラーの完全映画化

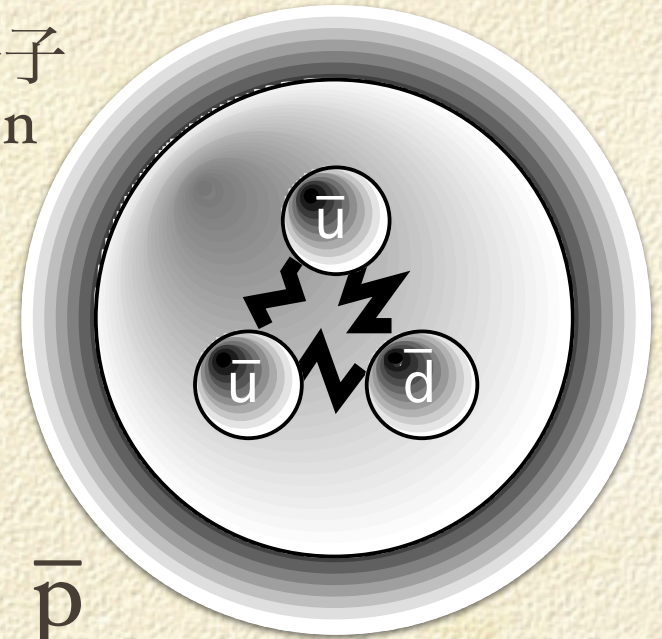
2009.5.15

陽子
proton



p

反陽子
antiproton



p̄

粒子 / 反粒子

Why No Antimatter?

物質 反物質

Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

e^-



電子 electron

e^+



陽電子 positron

Paul Dirac
(相對論的量子力學)

自己紹介

放射線講義・講座・講演会

2011/4：東大広域科学専攻にて教員・院生向けに講演・討論会

2011/春夏：東大教養にて1、2年生向けに自主講義「放射線学」

2011/6：オープンラボで大学・高校生・一般向けシンポジウム

2011/秋冬：主題科目テーマ講義「放射線を科学的に理解する」

(生命科学、環境放射化学、放射線医学らの専門家とタイアップ)

2011/11：高校生のための特別講座「放射線の科学」福島高校にも配信

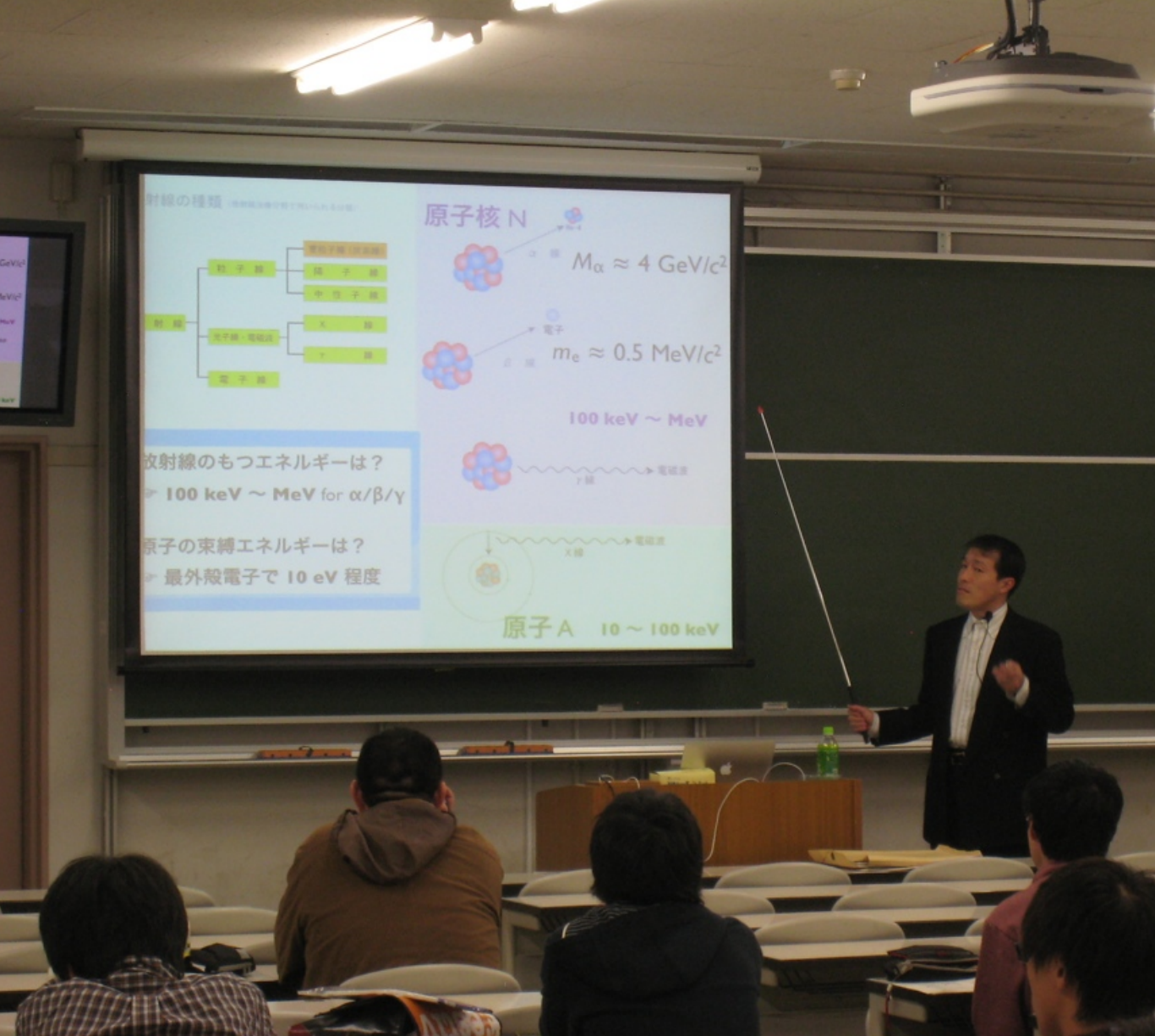
2011/11：福島市で講演「放射線と正しく向き合うために」

子どもの親や保育士向け

ほか：東京都三鷹市、立川市で講演

2012/3：東京大学 × 博報堂 × 時事通信社 (特別協力：環境省)

「3.11のガレキを考える」プロジェクト 細野環境大臣に提言



◎ 4/26 教員・院生向け

★ 放射線に関する講演・討論会

◎ 6/3 オープンラボ (研究室公開)

★ 怖がらないための放射線の基礎知識

◎ 11/11, 11/18 高校生のための金曜特別講座 (全国の高校に同時配信)

★ 放射線の科学 《放射線物理学》

★ 放射線の科学 《環境放射化学・放射線生物学》

◎ 5~6月 自主講義

★ 「放射線学」全6回+討論会

◎ 10~1月 主題科目テーマ講義 (正課)

★ 「放射線を科学的に理解する」

東大教養での講義

自主講義

テーマ講義

放射線の問題に特化して講義・講演。

**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
供に主眼をおいた。**

自らも勉強

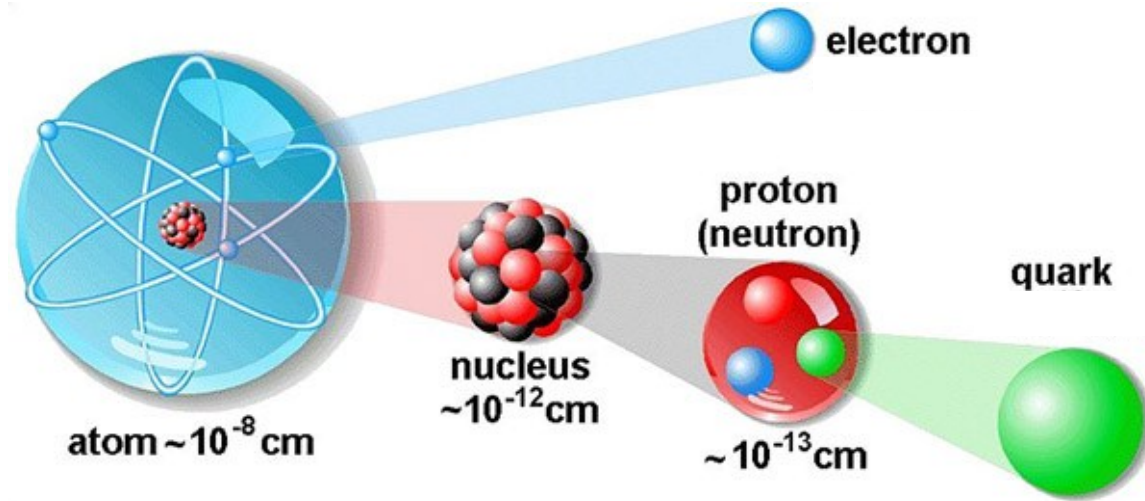
放射線生物学は学部時代に履修

教科書を総復習

様々な書籍を読む

web page も参考に

自主講義 放射線学



放射線を学ぶ

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

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

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

講義内容

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

講師 鳥居 寛之 教養学部物理部会 助教

講義日程

- 第1回 5/10(火)
- 第2回 5/17(火)
- 第3回 5/24(火)
- 第4回 5/31(火)
- 第5回 6/7(火)
- 第6回 6/14(火)
- 第7回 6/28(火) 討論会

場所・時間

11号館1101教室
火曜5限16:20~17:50

対象

主に1, 2年の理系が対象ですが、意欲のある文科生や3年生以降も歓迎します。

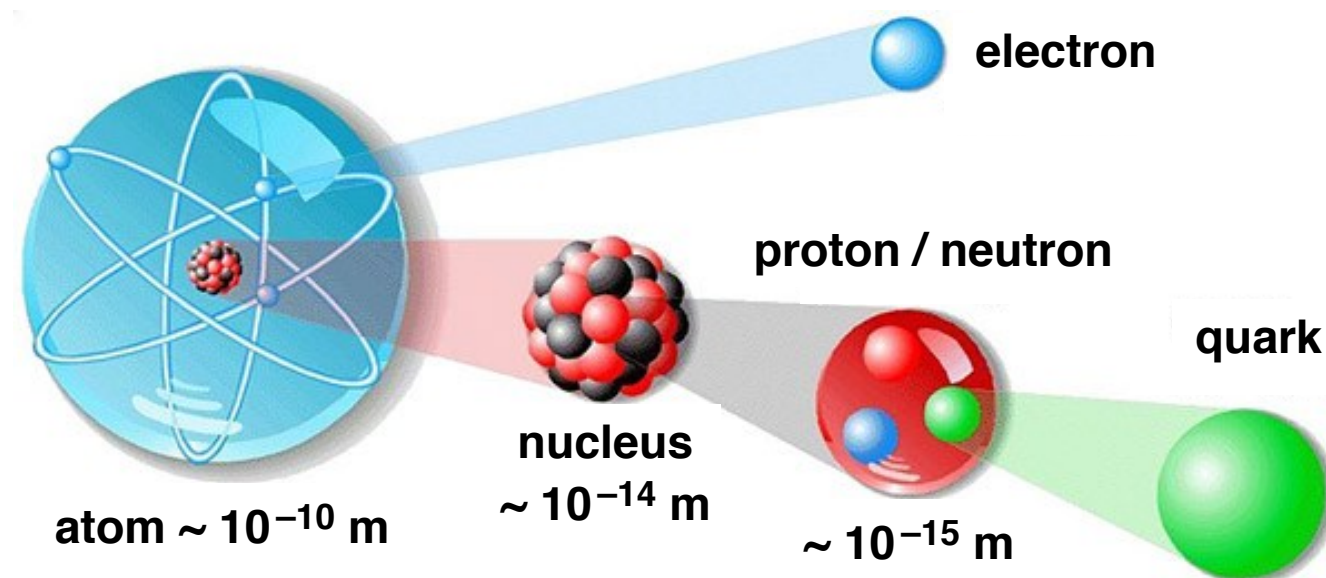
5/10
火曜5限
開講

自主講義 「放射線学」

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

2011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 @ 11号館 1101教室

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

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

放射線を科学的に理解する

- 10/ 7 放射線入門【鳥居】
- 10/14 放射線物理学【鳥居】
- 10/21 放射線計測学【小豆川】
- 10/28 環境放射化学【小豆川】
- 11/ 4 放射線生物学【渡邊】
- 11/11 放射線医療【中川】
- 11/18 原子核物理学【鳥居】
- 12/ 2 原子力工学【石渡】
- 12/ 9 放射線物理学【鳥居】
- 12/16 環境放射化学【小豆川】
- 1/10 植物栄養・土壌肥料学【藤原】
- 1/20 放射線の利用【渡邊】
- 1/27 加速器科学・まとめ【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

中川 恵一 《医学部附属病院放射線科》

石渡 祐樹 《工学系原子力国際専攻》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

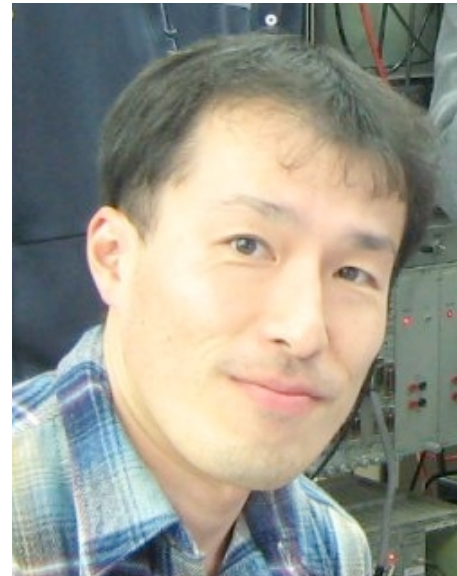
放射線を科学的に理解する

《教養学部》

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎



ゲスト講師

中川 恵一 《医学部》

石渡 祐樹 《工学系》

藤原 徹 《農学部》



講義の理解目標の一例

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

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

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

参加人数、内訳

自主講義

	1・2年生	大学院生＋教職員	外部一般
1. 放射線入門	28	3+4	5
2. 放射線物理学	20	4+4	5
3. 放射線生物学	22	3+5	5
4. 原子核物理学	12	3+5	5
5. 利用・医療	9	2+2	5
6. 計測学・加速器	8	4+2	5
7. discussion	1	0	4

テーマ講義

初回： 80名以上（多くは1年生）

3回目（登録）： 60名程度（全員理系）

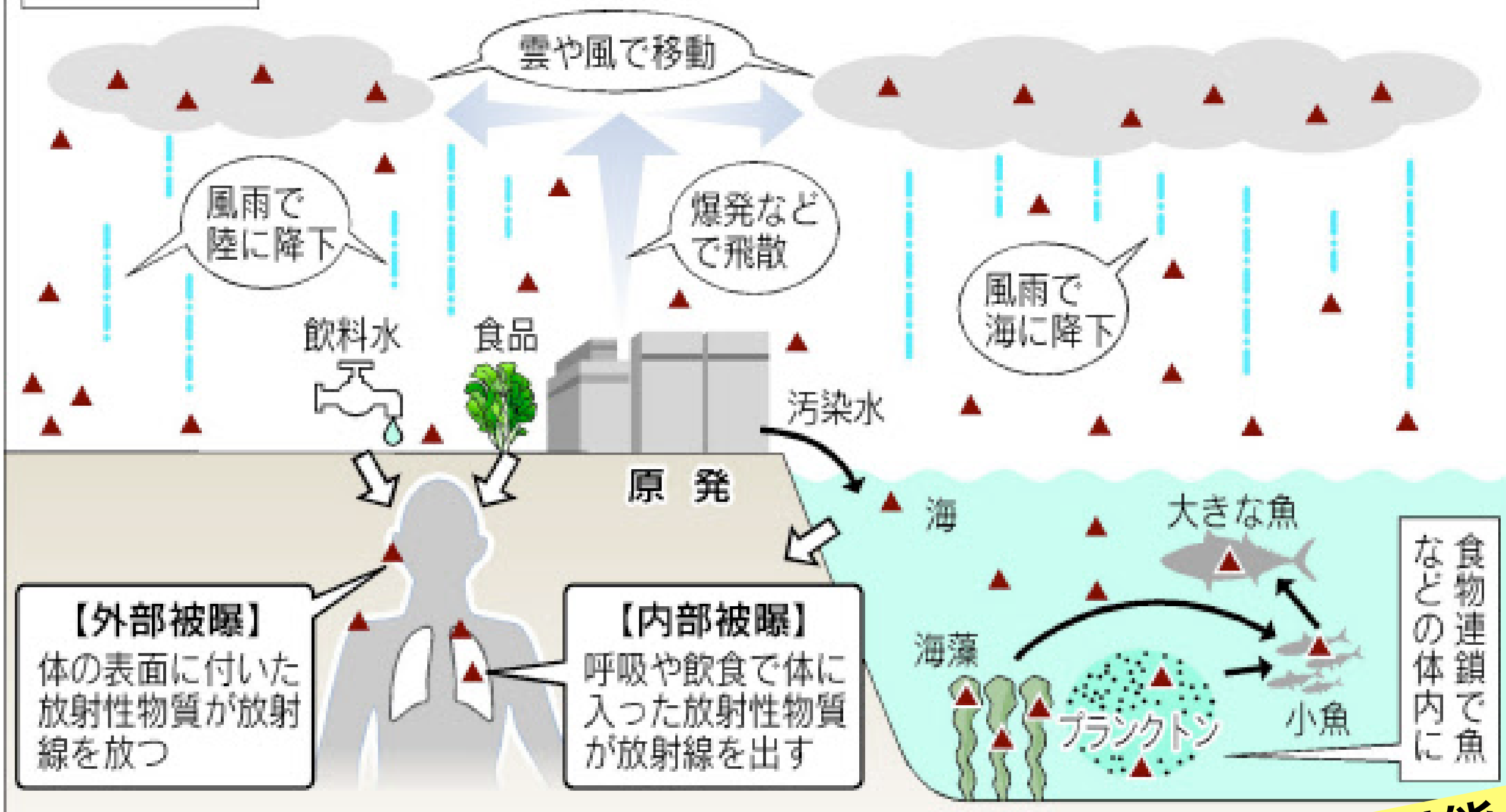
後半の参加者： 40名程度

登録確認した人： 41名

単位を取った人： 29名

▲ 放射性物質

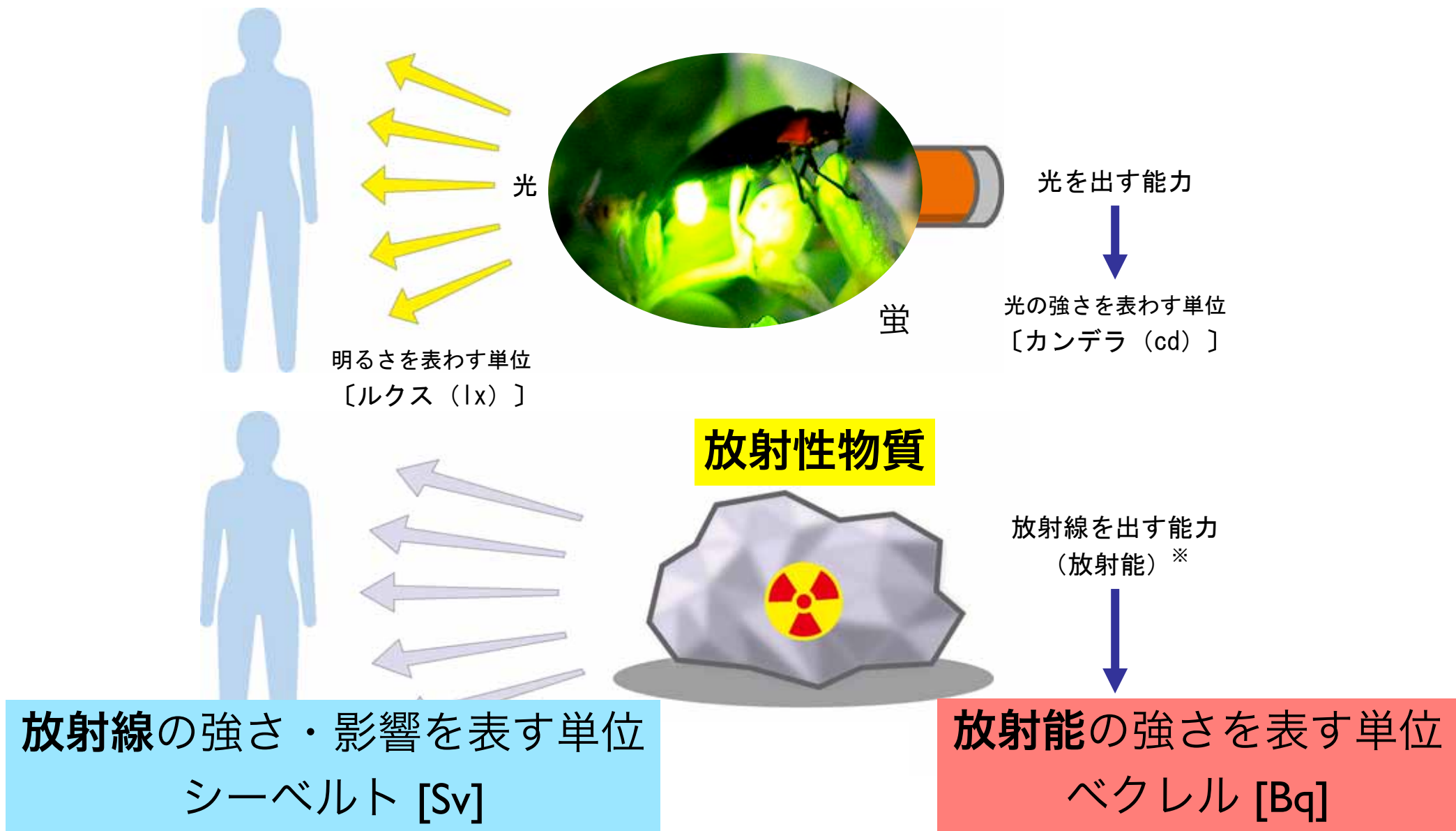
原発の放射性物質が及ぼす影響 (イメージ)



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

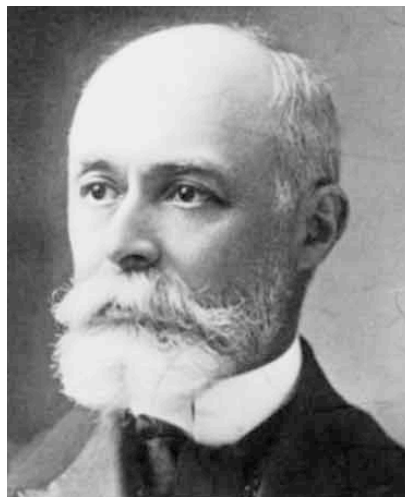
放射性物質、放射能と
放射線を混同しない

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

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？

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

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



[ryugo hayano](#)
hayano

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

講義スライド

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

連絡先

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

担当教員：鳥居 寛之

東大教養 鳥居 放射線



検索！

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



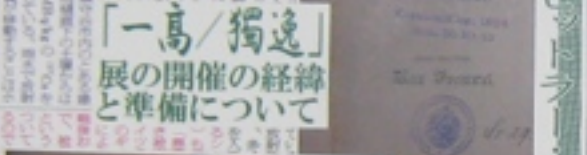
放射線計測器の読み方。100 μSv/hは、通常の放射線レベルに相当する。しかし、フクシマの放射能汚染は、このレベルを大幅に超えている。



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、ドイツの美術史をテーマとし、東京大学教養学部で開催された。



「一高/獨逸」展の開催の経緯と準備について。この展覧会は、ドイツの美術史をテーマとし、東京大学教養学部で開催された。



秘密の小部屋

「トポフィリ」 夢の空間展をめぐって

「トポフィリ」 夢の空間展をめぐって。この展覧会は、夢の世界をテーマとし、東京大学教養学部で開催された。



「トポフィリ」 夢の空間展をめぐって。この展覧会は、夢の世界をテーマとし、東京大学教養学部で開催された。

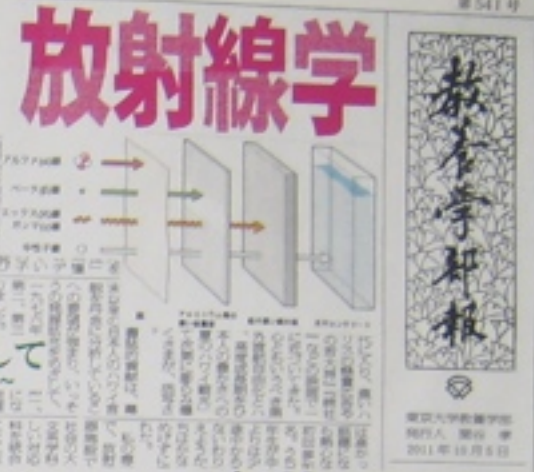


ヒトラー・ネーゲットのハカヤロ!。この展覧会は、ヒトラーの政治思想をテーマとし、東京大学教養学部で開催された。

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。放射線とは、電磁波や粒子線など、エネルギーを伝える現象のことである。



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報告。このシンポジウムは、身体運動科学の最新の研究成果を共有する機会となった。



受け継がれる教養教育

受け継がれる教養教育。東京大学の教養教育は、長い歴史を誇る。その伝統を大切に受け継いでいく必要がある。



ジェノサイドと現代世界
石原典子 著



東京大学教養学部
発行人 藤田 肇
2011年10月5日

東京大学 教養学部 物理部会

Institute of Physics, UT @ Komaba



ホーム 物理部会について メンバー 前期課程講義の紹介 談話会 セミナー 物理授業懇談会 部会教員向け

東日本大震災と福島原発問題について

この3月11日にマグニチュード9.0という日本の歴史上未曾有の巨大地震が発生しました。震源地は三陸海岸沖100km程の海底下で、南北400kmに及ぶ広域の領域で地殻プレートが破壊が起きたとされています。東京でも震源地より400km以上離れていたのに、揺れが最大で震度5を超え、人々の揺れが観測されました。今回の地震で特に大きな被害を被ったのは海岸線沿いの地域で、地震が発生した高さ10mを越え、巨大な津波が押し寄せ、なぎ押し流され壊滅した市町村がたくさんありました。犠牲者の数は、行方不明者も含めると、既に2万3千人を越えています。

まず、この震災で亡くなられた方々のご冥福をお祈りするとともに、そのご家族や、現在も厳しい避難生活を続けられている被災者のみなさんに心からお見舞い申し上げます。また、過酷な条件の中で復旧活動に携わっている皆さんに励ましの声援を送りたいと思

福島原発問題

- 東日本大震災と福島原発問題について

駒場キャンパス

- 駒場キャンパスへのアクセス
- 東京大学 駒場キャンパス 教養学部
- UTask-Web

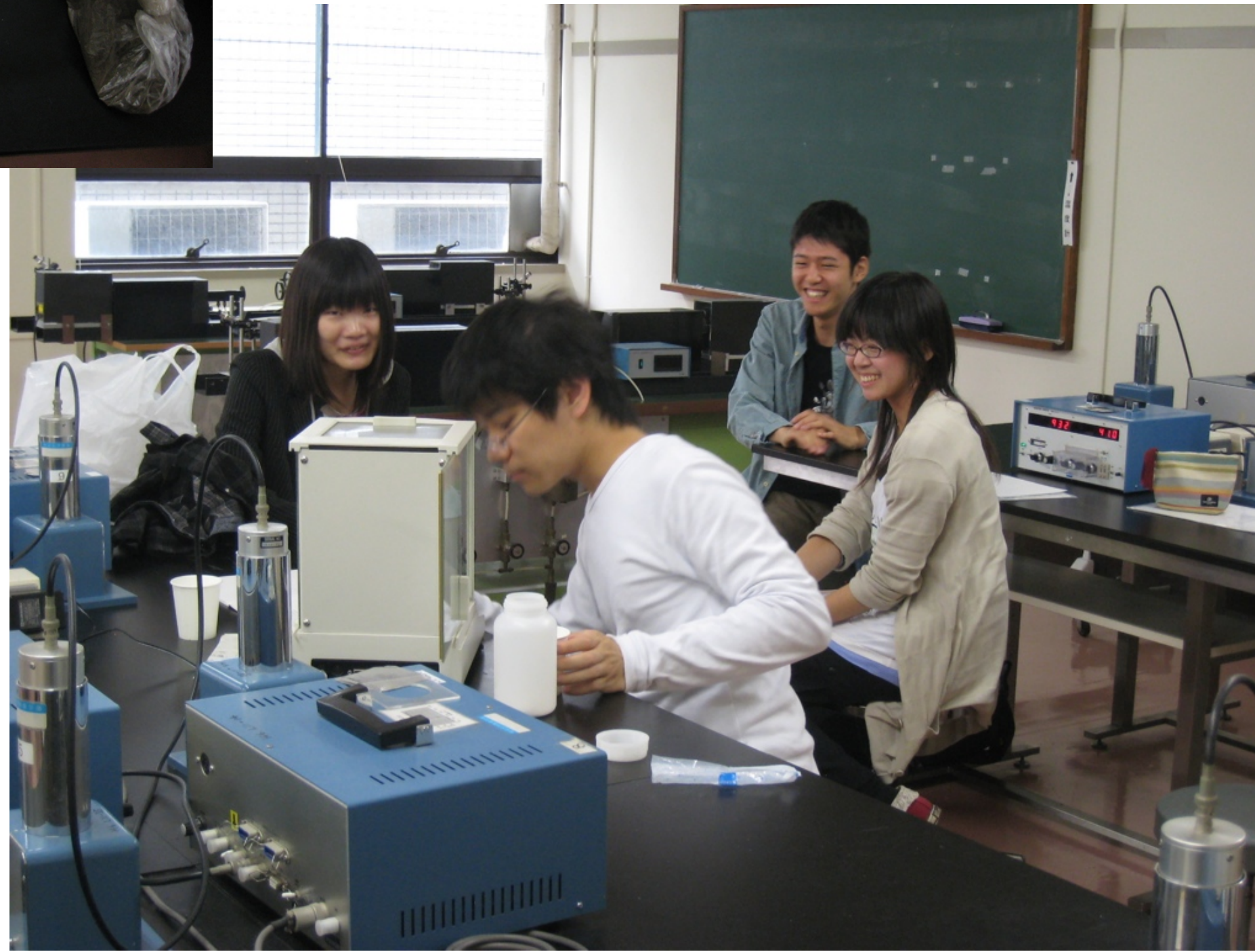
メニュー

- ホーム
- 物理部会について
 - 研究グループ紹介
 - 物理部会紹介パンフレット
 - メンバー

「放射線の物理および生体への影響」 鳥居寛之・澁谷憲悟

「原子炉の物理」 松井哲男

東大環境系学生団体のサポート
落ち葉堆肥中の Cs 放射線計測
GM管による β 線測定
Ge検出器による γ 線計測



科学教育の普及

☞ 放射線計測

学生実験

GM管・霧箱

東大教養での高校講座

http://high-school.c.u-tokyo.ac.jp/ 高校生のための金曜特別講座

高校生のための金曜特別講座



東京大学教養学部では、高校生を対象とした公開講座を開講しています。

11月11日 17時30分から 18号館ホール

放射線の科学 《放射線物理学》



講師：鳥居 寛之

東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 相関基礎科学系

11月18日 17時30分から 18号館ホール

放射線の科学 《環境放射化学・放射線生物学》



講師：小豆川勝見^{*}、渡邊雄一郎^{**}

^{*}東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 広域システム科学系

^{**}東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 生命環境科学系

- 新着情報
- 金曜講座について
- 参加方法
- 金曜講座に関するQ&A
- 講義に関するQ&A
- 受講者の声

講義リスト

- 2012年度夏学期
- 2011年度冬学期
- 2011年度夏学期
- 2010年度冬学期
- 2010年度夏学期
- 2009年度冬学期
- 2009年度夏学期
- 2008年度冬学期
- 2008年度夏学期
- 2007年度冬学期
- 2007年度夏学期
- 2006年度冬学期
- 2006年度夏学期

質疑応答 2 時間



双方向通信

スライド印刷
用語集を配布

主催：東京大学教養学部附属 教養教育高度化機構

全国約20の高校に同時双方向配信

延べ 1000人以上が受講

東大オープンコースウェア (OCW)
にて動画配信を準備中



講義 1 時間

受講者・会場からの質問（講義・高校講座・市民講演会）

- 自然界にもとからある放射線と、原発事故による放射性物質から出ている放射線とで、違いはあるのですか。
- 浴びることによってがんになる可能性が高くなる放射線と、がんを治すために用いる放射線は種類として同じですか。
- 体内にたまった放射性物質も放射線を出していますが、観測できるほどの放射線を出しているのでしょうか？
- 食べ物や空気中の放射線が人体に与える影響は？
- 世界の中で年間放射線量の高い地域はどこでしょうか。またその地域の放射線量は何ミリシーベルトでしょうか。
- 低レベルの放射線が人体に与える影響はどうでしょうか？
- ICRPは何故リスク評価のグラフを「直線グラフ」としたのか
- 臨界について世間で言われているような状態と、ここで説明を受けた状態とでは違いがあることが分かりましたが、何故間違った認識が広まっているのでしょうか。またメディアのニュースなどでこういった報道がなされるとき専門家の指導はないのでしょうか。
- 一般人に正當にこわがらせるような説明を原子力科学者が出力していないと思うが、メディアへの出力方法について今後見直す事は考えていらっしゃるか？

受講者・会場からの質問（講義・高校講座・市民講演会）

- ベクレルからシーベルトの変換、あるいはその逆は可能なのでしょうか？
- 測定器によって空間線量値が異なります。
- 福島原発の事故とチェルノブイリ原発事故の違いは？
- 環境中にどのような核種がどのあたりにどれくらい飛び散ったのでしょうか。
- 福島原発の処理に使っているロボットの素材が放射化して故障したりしないのか？
- プルトニウムを燃料にしたときに何が出てくるのかを教えてください
- ストロンチウムを測る方法についてですが、どのように測っているのですか？
- ストロンチウム・プルトニウムの内部被曝は非常に危険だと思います。
- 除染によって放射性核種の量を減らすことはできますか。
- 除染についていろいろ試していますが、なかなか難しいです。（福島高校科学部）
- 福島在住です。私も子どもも WBC 検査を受けたのですが、体重キログラムあたり3~7ベクレルのセシウムが検出されました。食べ物には注意しているのですが、なかなか下がりません。健康への影響はどのようなのでしょうか。

社会とかかわる活動

《リスクコミュニケーション》

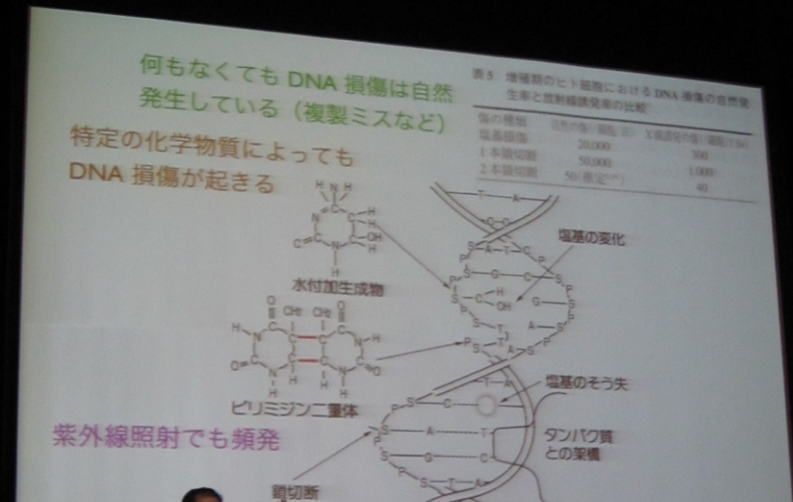
基調講演 「放射線と正しく向き合うために」



子どもの笑顔・元気サミット
—被災地の子どもたちのために いま私たちができること—



子どもの笑顔・元気サミット
—被災地の子どもたちのために いま私たちができること—



子どもの笑顔・元気サミット in 福島 「被災地の子どもと放射能」

主催：NPO 法人みやぎ・せんだい子どもの丘、財団法人こども未来財団
於：福島市「こむこむ」わいわいホール



鳥居 寛之

近藤 能之

中手 聖一



震災がれき処理問題

東京大学 × 博報堂 × 時事通信社

放射線に対する強い恐怖心をもっている人たちがいる

あるウェブページのコメント欄より (2011/11~12)

まったく汚染されていない瓦礫などありません。

「私たちにできることは、被災地の苦しみ、痛み、悲しみを分かち合う、寄り添うことだ」とおっしゃっていますが、瓦礫受け入れによって、その苦しみや痛み、悲しみを市民に与えることになるとは思われないのでしょうか？瓦礫を受け入れたことによってもたらされる影響を熟考され、適切な判断をされるべきです。

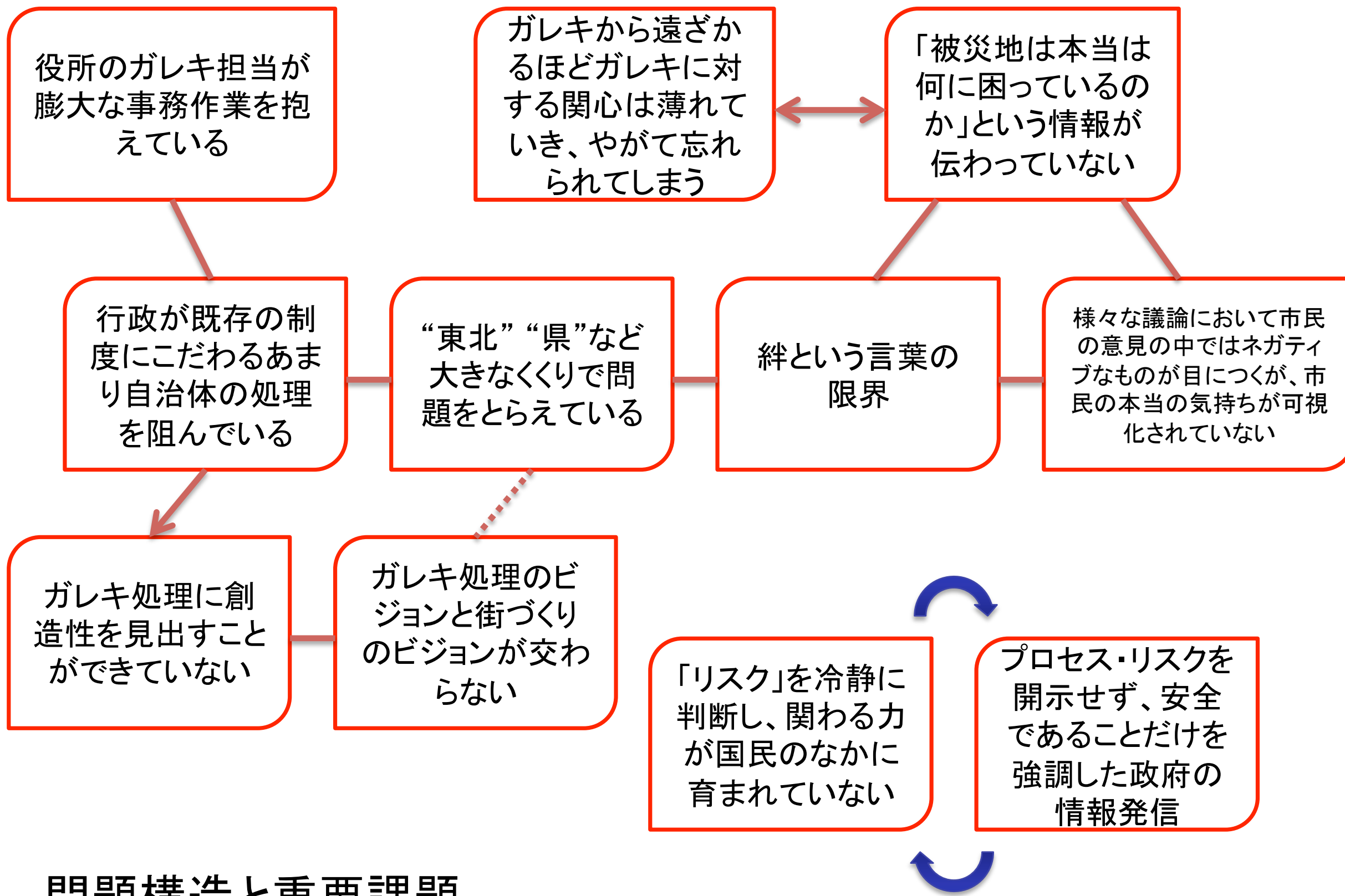
大反対です！今回の瓦礫受け入れは、被災地の隣、福島県内の食べ物ばかりです。放射線レベルを高くても、手間をかけてでも、この期に及んで「安全」を、一般国民の何人が心から信じますか？

**放射線に関する科学的知識の欠如、
科学者の社会への情報発信の失敗、
行政に対する不信感、が問題。**

市長さんの今回の決定に不安を感じます。皆さんが仰る通り、正直風評被害が一番怖いのです。私の大事な故郷が悪く言われるのは耐えられません。被災地の方を少しでも助けたいという思いは、私も溢れそうなくらいあります。本当に今回の件を遂行されたいのなら**反対する市民、日本国民をどうか納得させて下さい。**

b@d brand design studio





問題構造と重要課題

「絆」の限界？

● 誤解

- 宮城・岩手のがれきを広域処理要請
- 福島のがれきは対象外
- 地理の知識不足
 - 福島からの距離は、岩手県宮古市は東京より遠い。
- 放射線に関する知識不足・悪いイメージ
- 「絶対反対」の意見の人をどうするか。
- 脅迫、受け入れ地に対する風評被害

京都五山送り火と陸前高田の松

放射線講義

《スライド例》

放射線とは？ 身の回りの放射線

《放射線入門》

身の周りの放射線

mSv (実効線量)



ブラジル・ガラバリの放射線
(年間、大地等から) 10

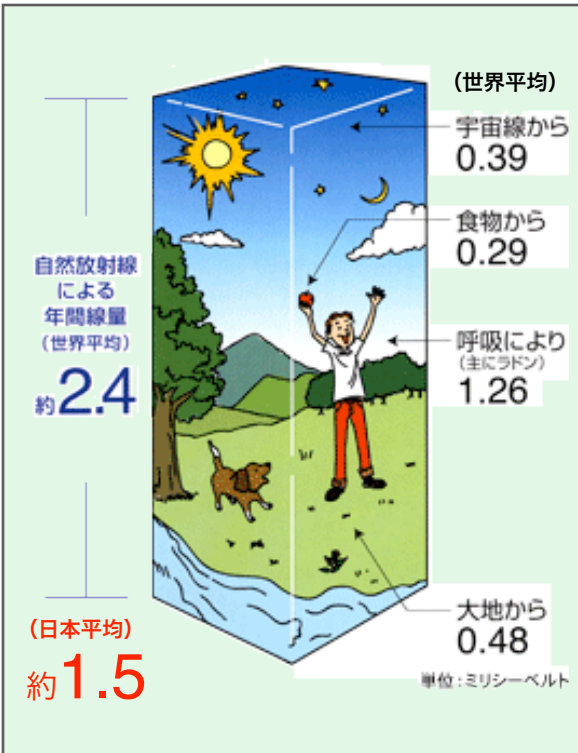
放射線の量
(ミリシーベルト)

10

胸部X線コンピュータ断層
撮影検査(CT スキャン)(1回)



6.9



1人あたりの自然放射線(年間)(世界平均) 2.4



1

一般公衆の線量限度(年間)(医療は除く) 1.0



岐阜 ↔ 神奈川



0.4

胃のX線集団検診(1回) 0.6



国内自然放射線の差(年間)(県別平均値の差の最大) 0.4

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) 0.2



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

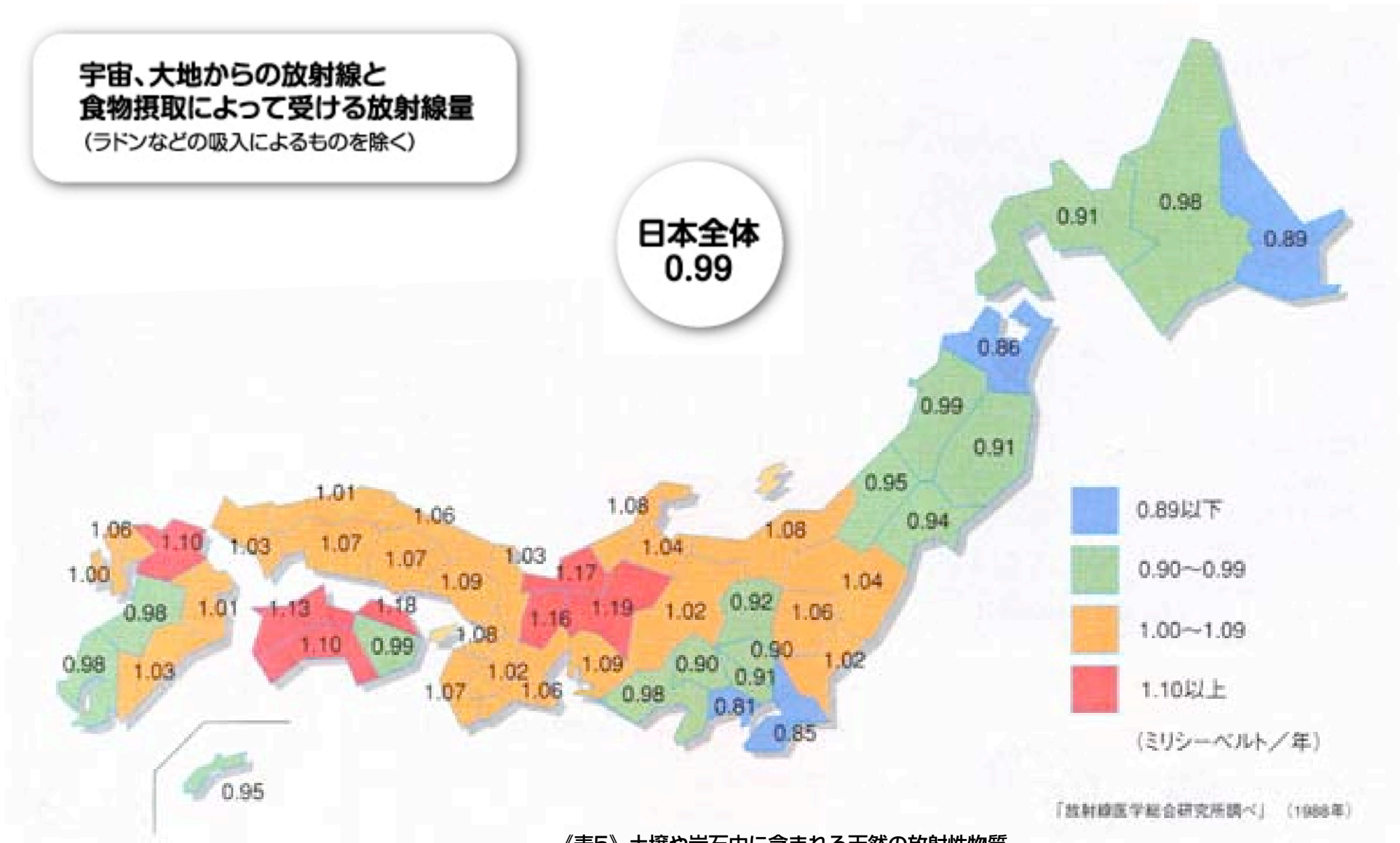
0.01

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)

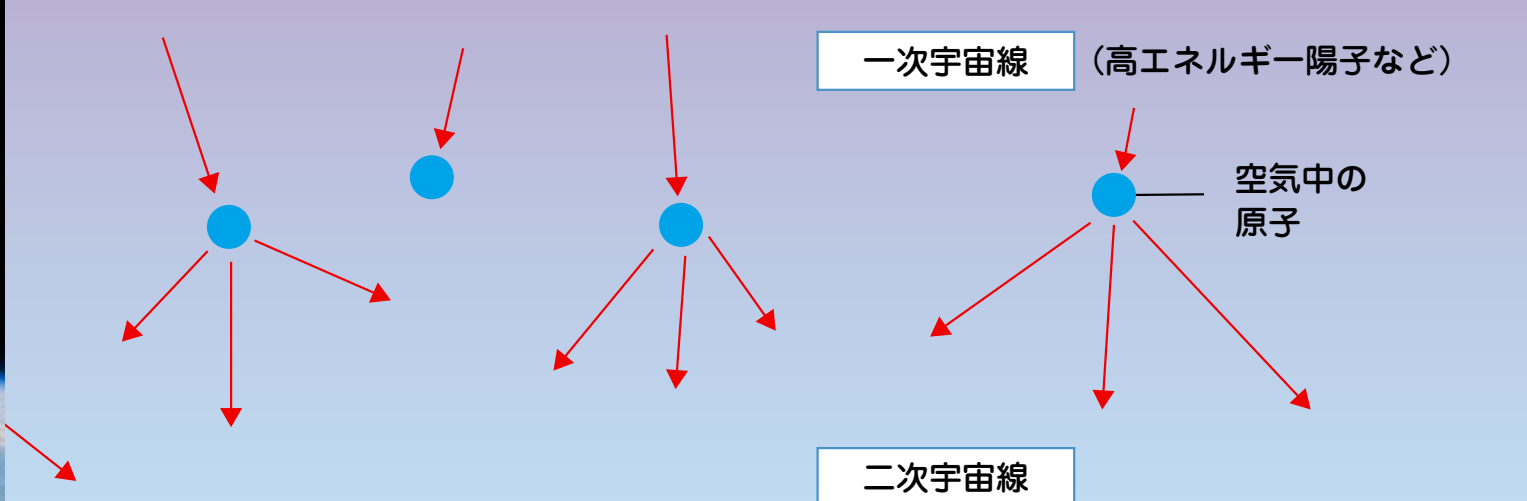
日本全体
0.99



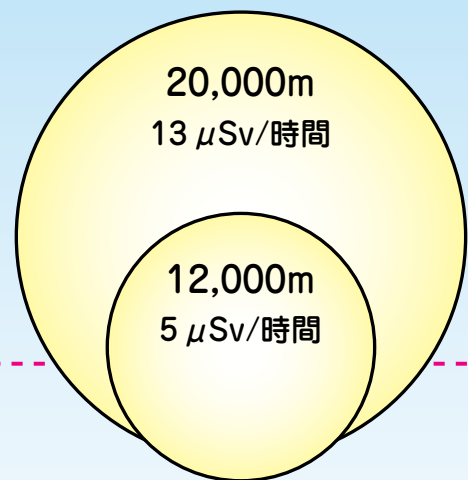
《表5》 土壌や岩石中に含まれる天然の放射性物質

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



※○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

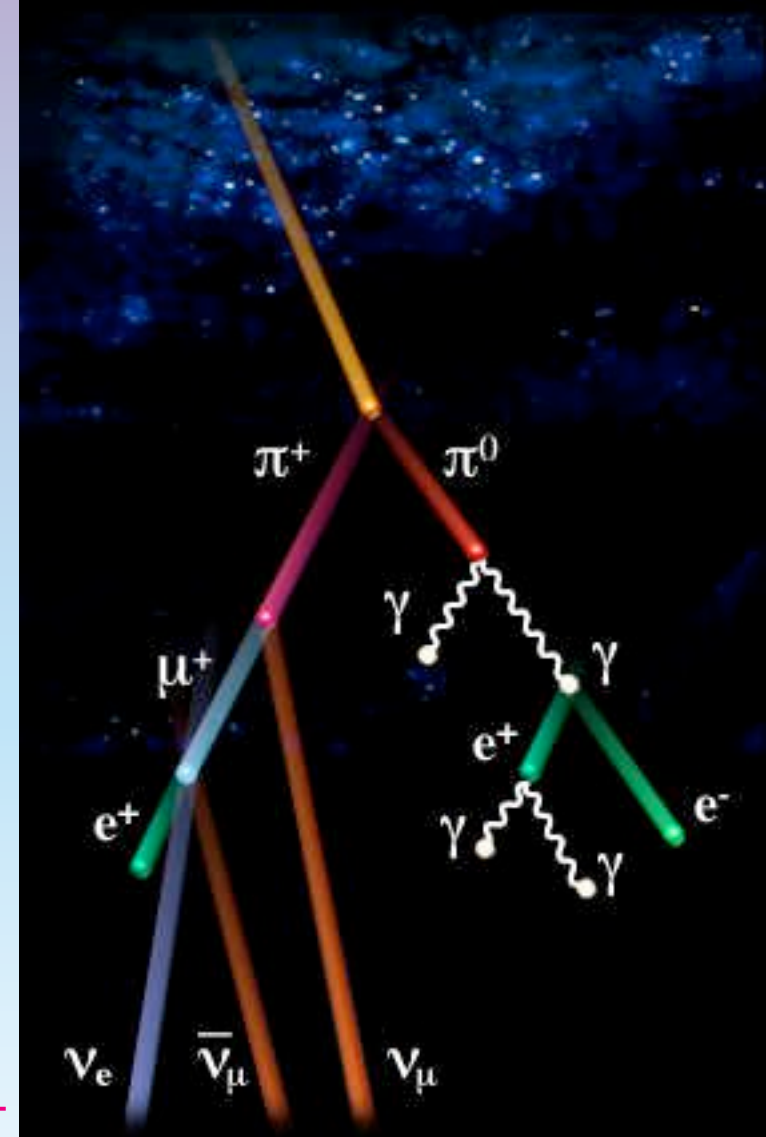
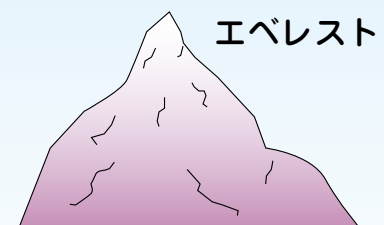
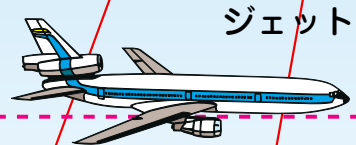
海面 ○ 0.03 μ Sv/時間

μ Sv = マイクロシーベルト

100km

10km

1km



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

●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

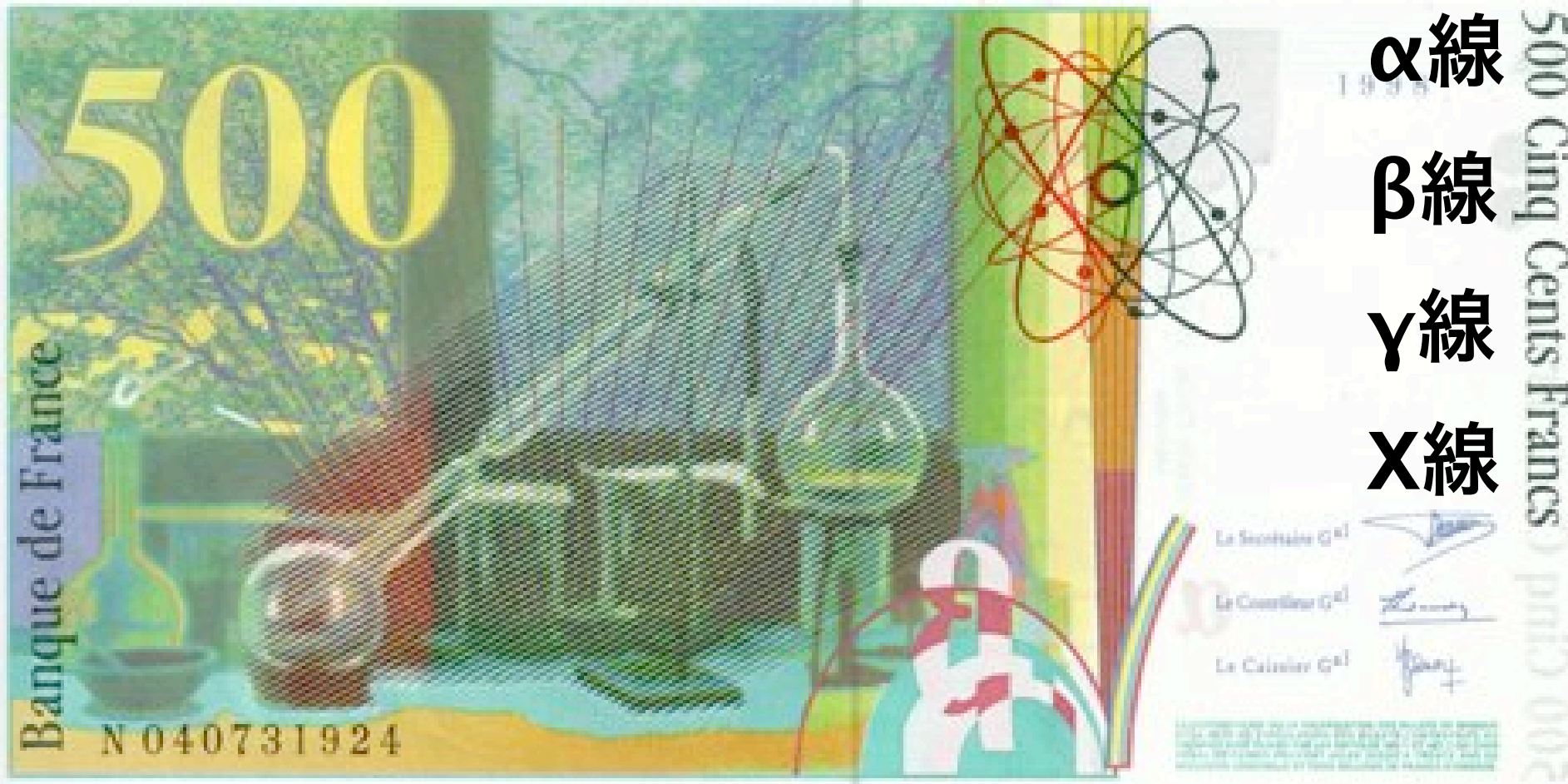
$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar} (\text{EC}\gamma) \quad 11\%$

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

毎日カリウム 3 g = ^{40}K を 80 Bq 摂取。同量を排泄。



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）

VIDEO

放射線

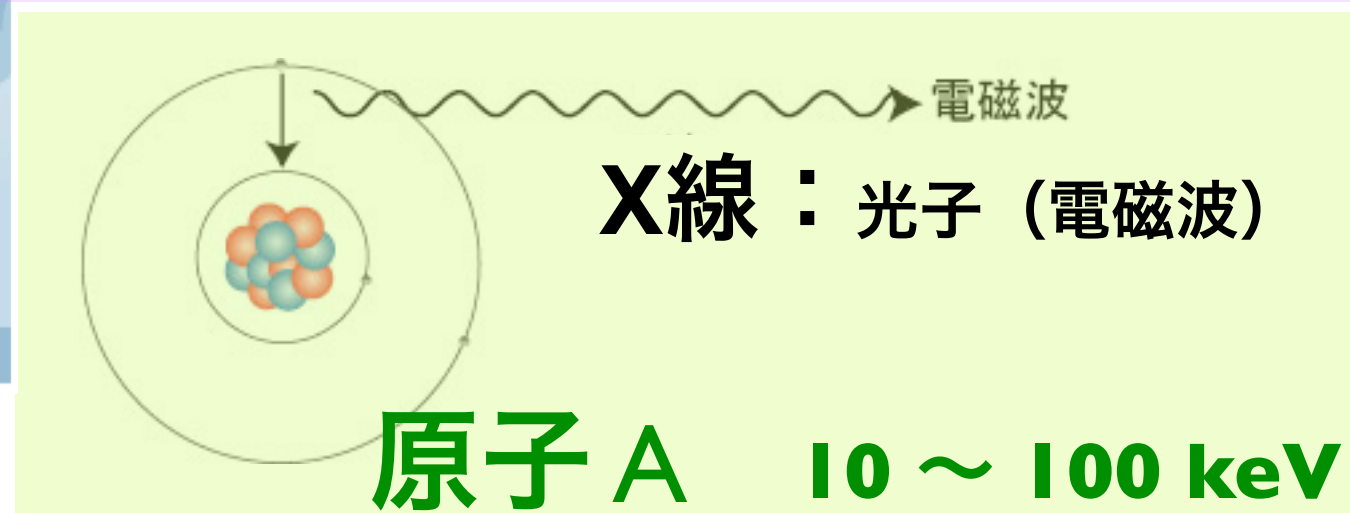
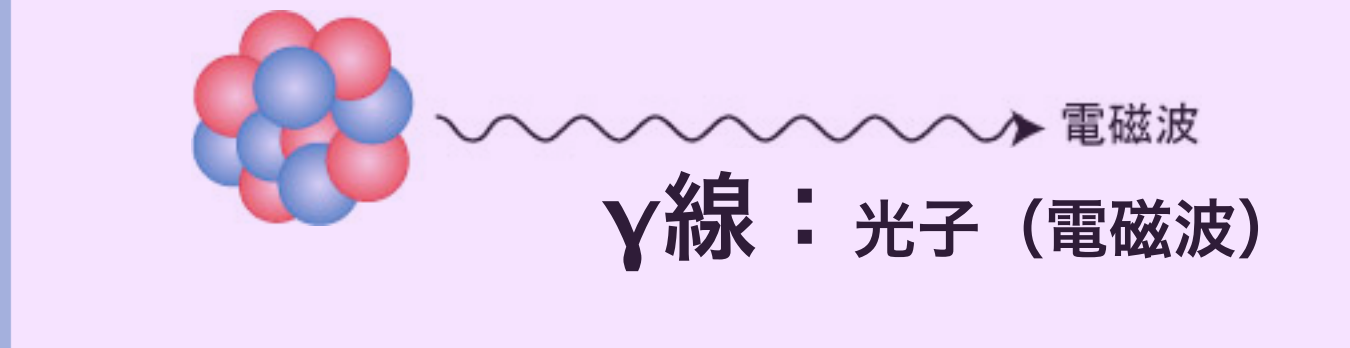
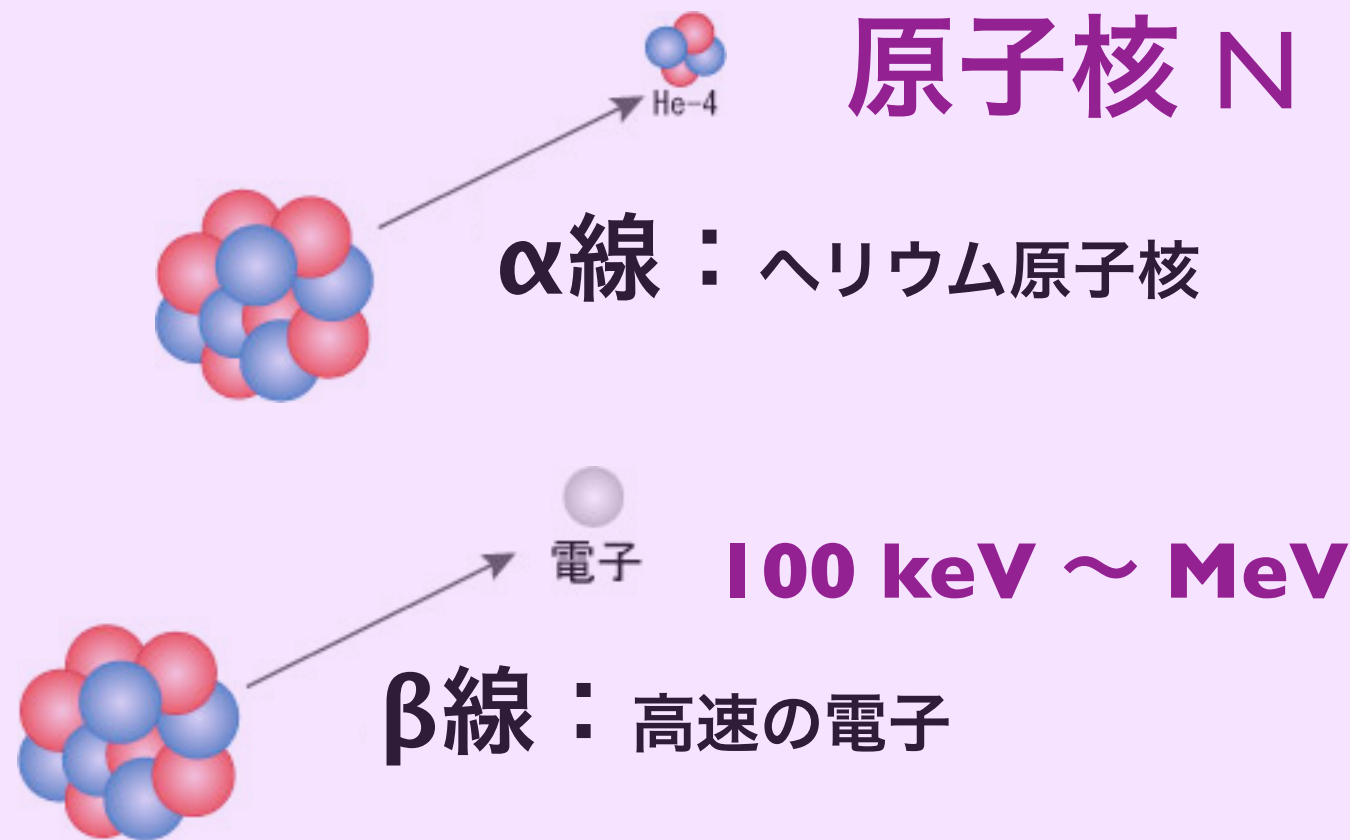
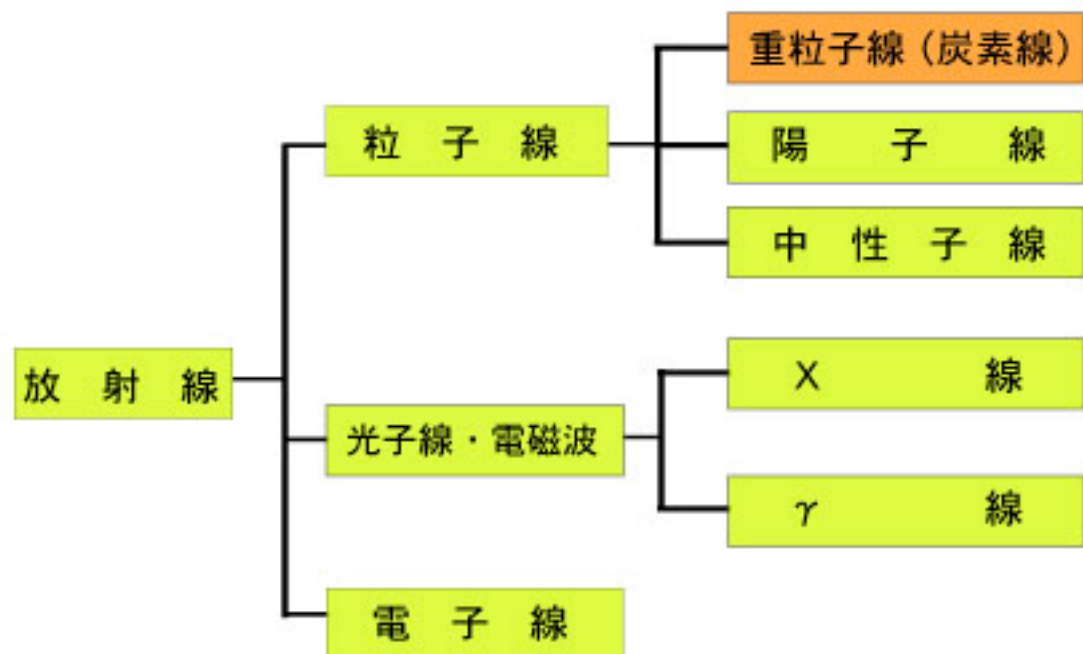
日本原子力文化振興財団：エネコチャンネルのビデオ映像「探検！身近な放射線」より抜粋

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

放射線の物質への作用

《放射線物理学》

放射線の種類 (放射線治療分野で用いられる分類)



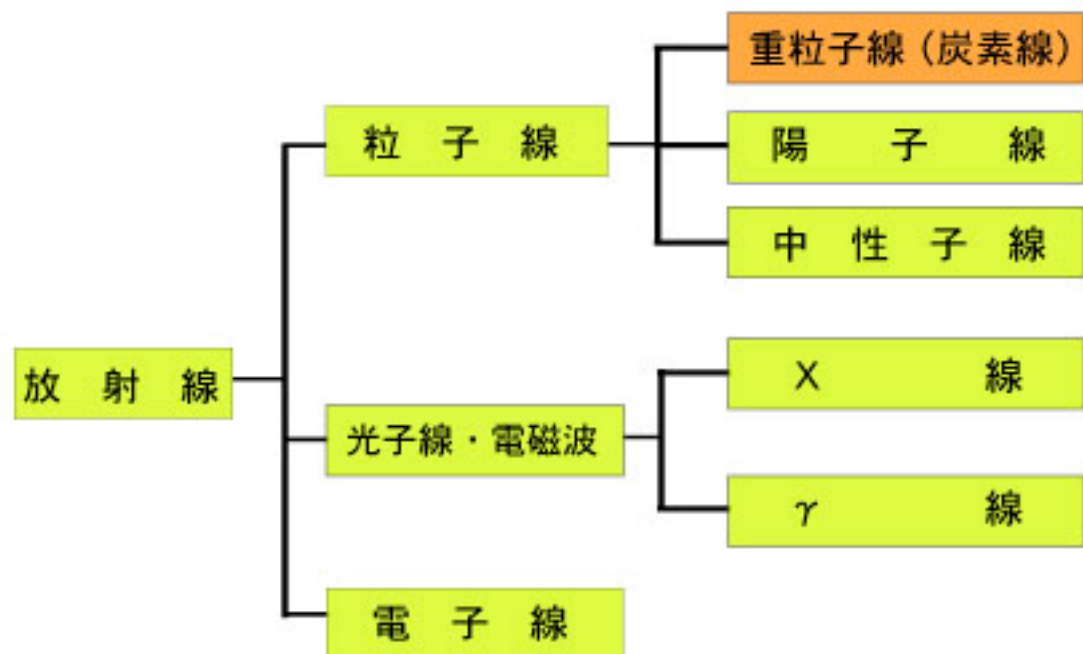
放射線のもつエネルギーは？

👉 **100 keV ~ MeV** (α, β, γ)

Cf. 原子の束縛エネルギーは？

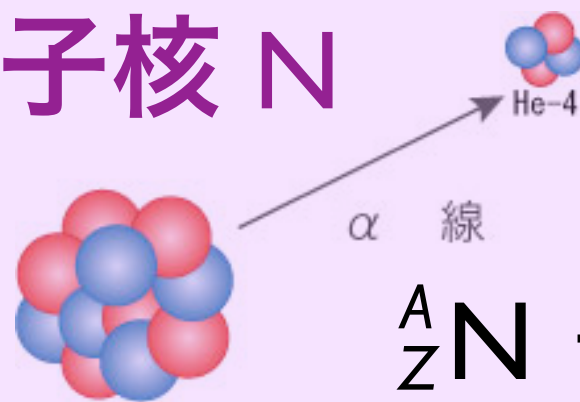
👉 最外殻電子で **10 eV** 程度
(1 eV = 96 kJ/mol)

放射線の種類 (放射線治療分野で用いられる分類)



原子核 N

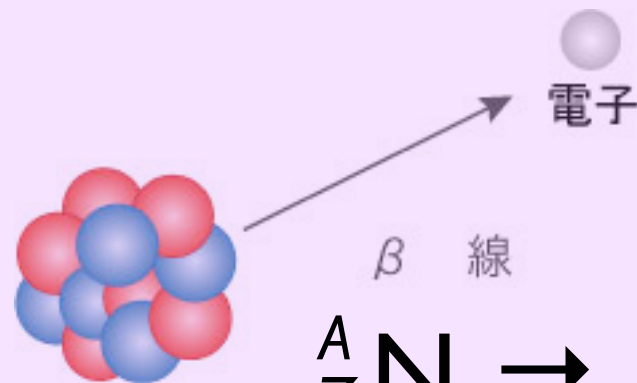
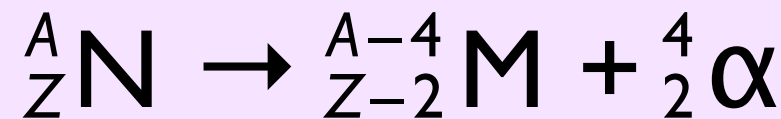
100 keV ~ MeV



α 線

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

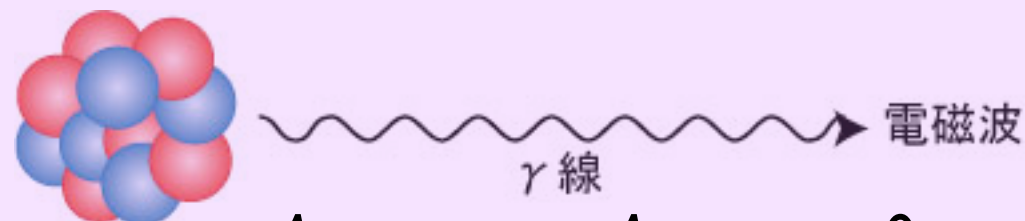
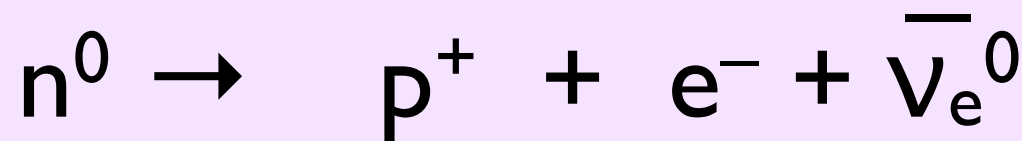
$$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 4$$



β 線

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

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



γ 線

電磁波



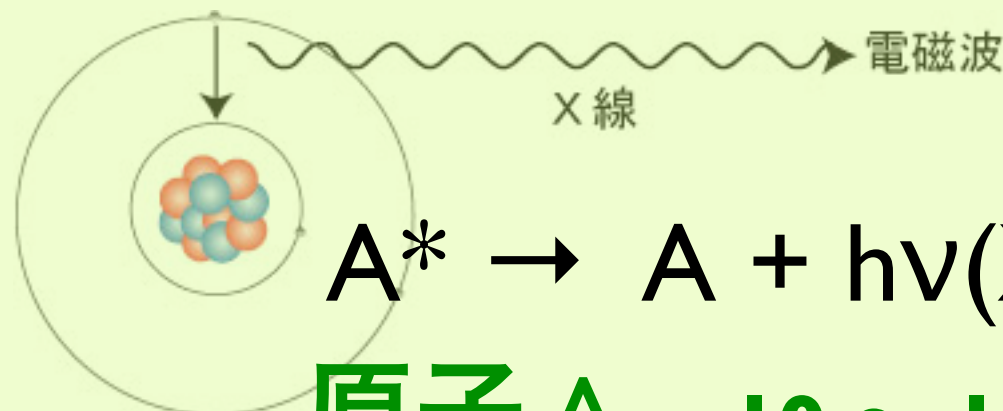
放射線のもつエネルギーは？

👉 100 keV ~ MeV for α/β/γ

Cf. 原子の束縛エネルギーは？

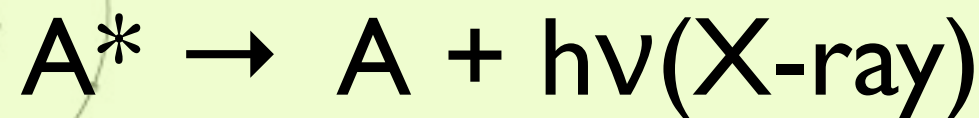
👉 最外殻電子で 10 eV 程度

荷電粒子の質量は？



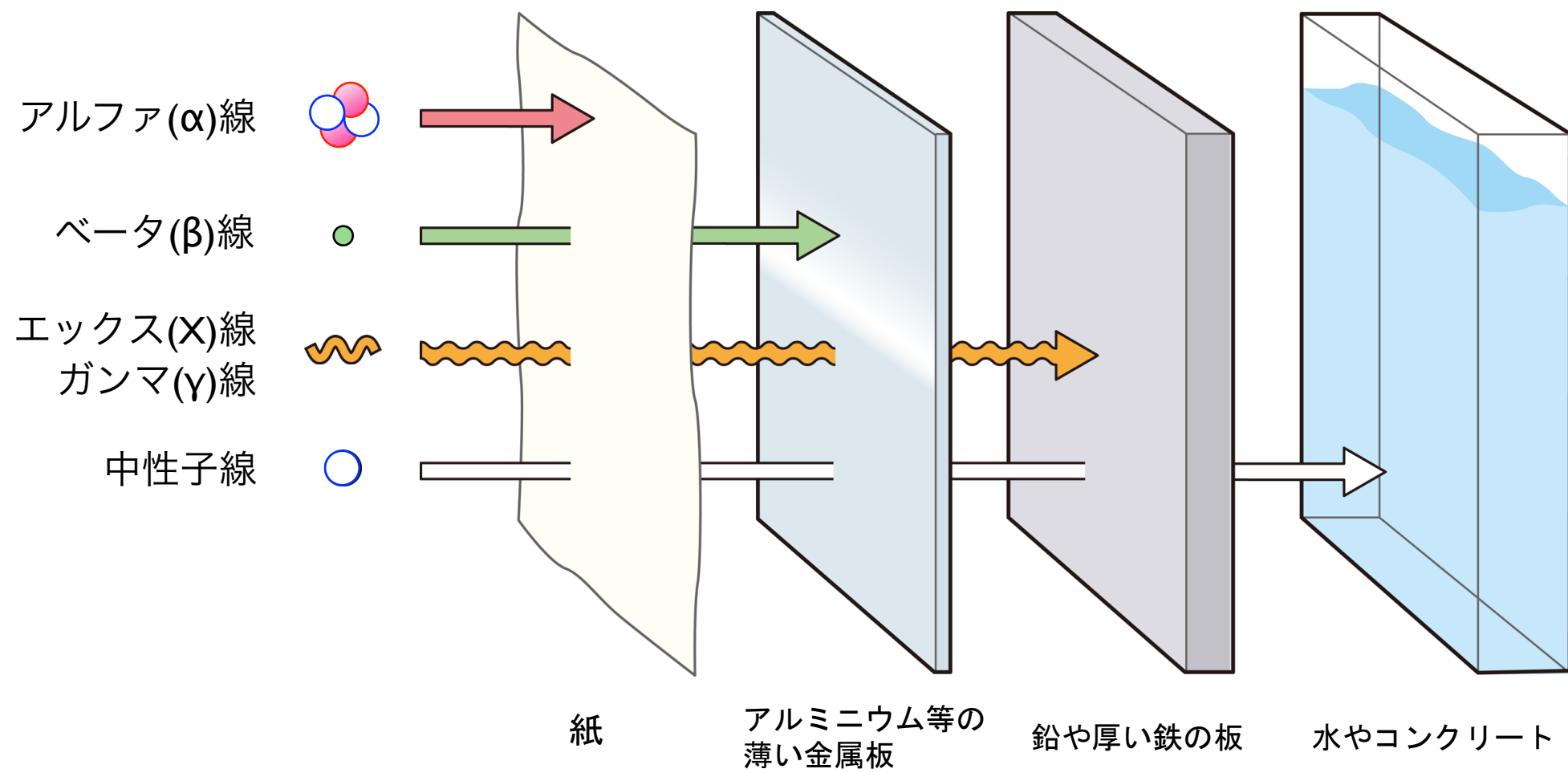
X 線

電磁波



原子 A 10 ~ 100 keV

放射線の種類と透過力

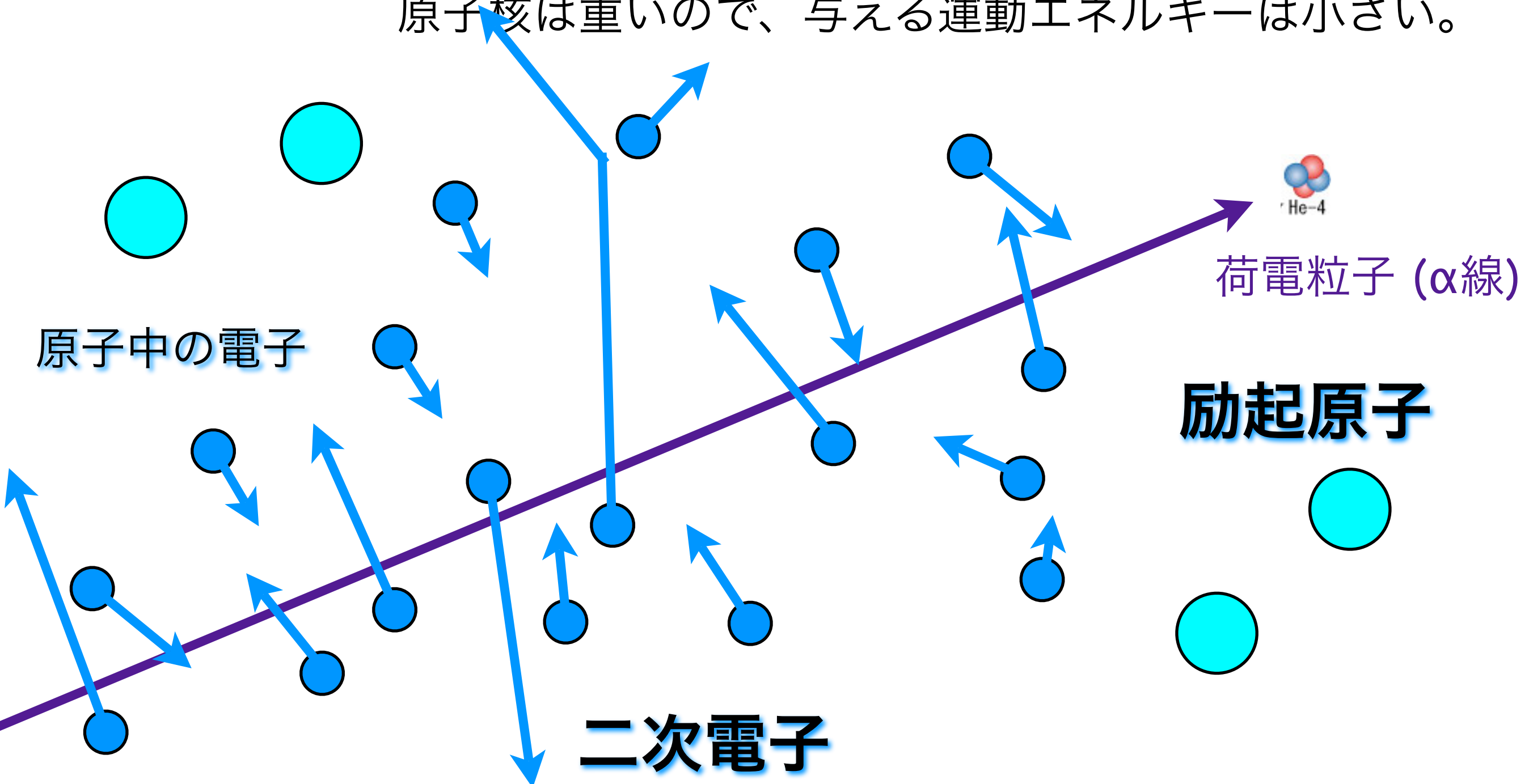


透過力が強い = なかなか反応しない

荷電放射線 (α, β) と物質との相互作用

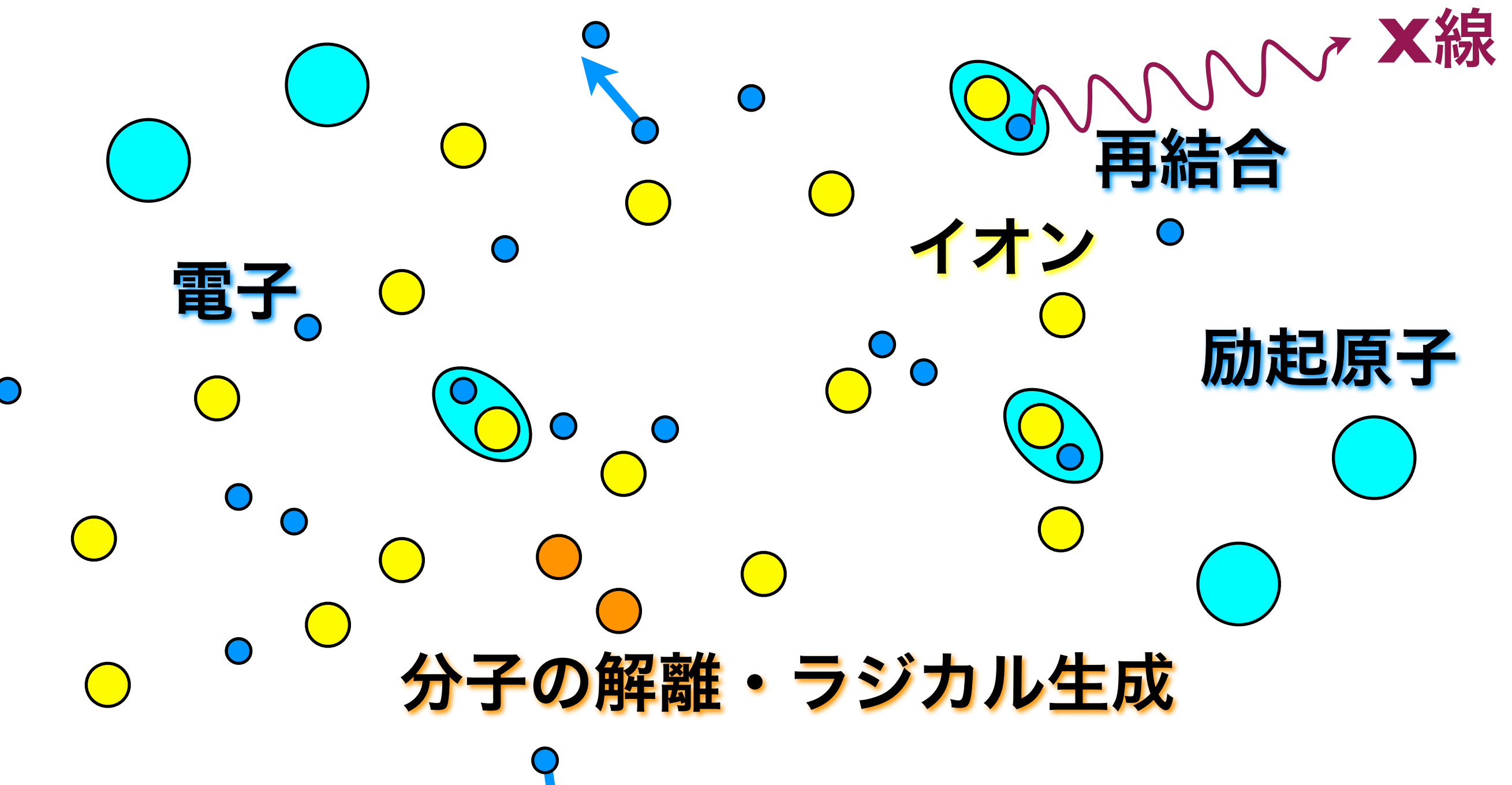
荷電粒子：
クーロン力

物質中の原子を電離・励起して電子に運動エネルギーを受け渡し、その分だけ減速される（電子衝突阻止能）。
原子核は重いので、与える運動エネルギーは小さい。

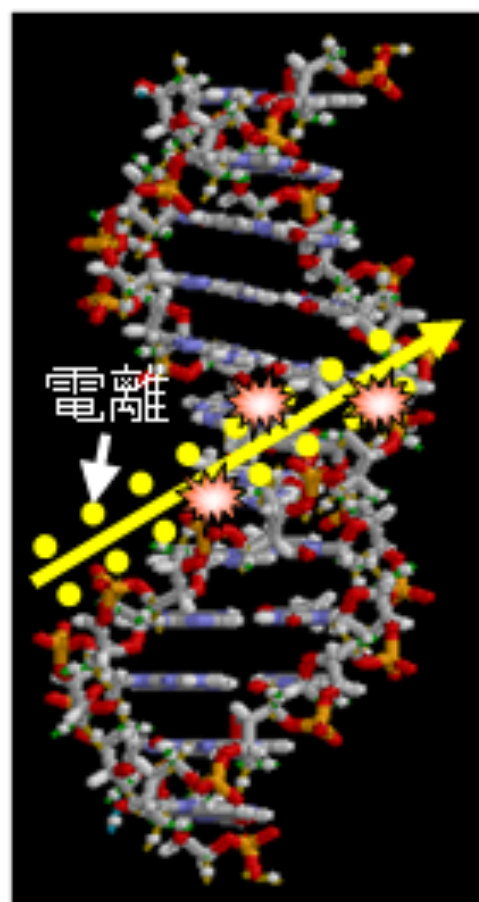


放射線通過後の軌跡近傍の様子

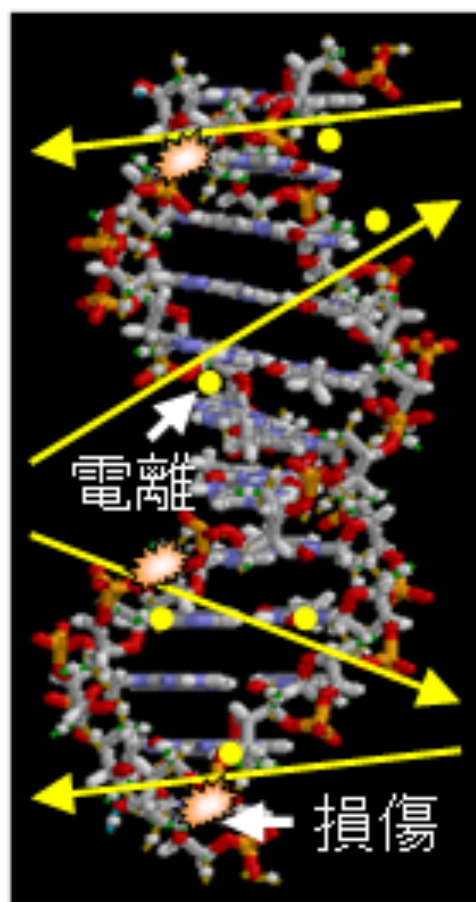
物質中の原子は電離・励起されてイオンや励起原子を生じ、運動エネルギーを受け取った電子は二次電子として更に別の原子を電離。また再結合によりX線が発生。



放射線による DNA 損傷



重イオン



電子

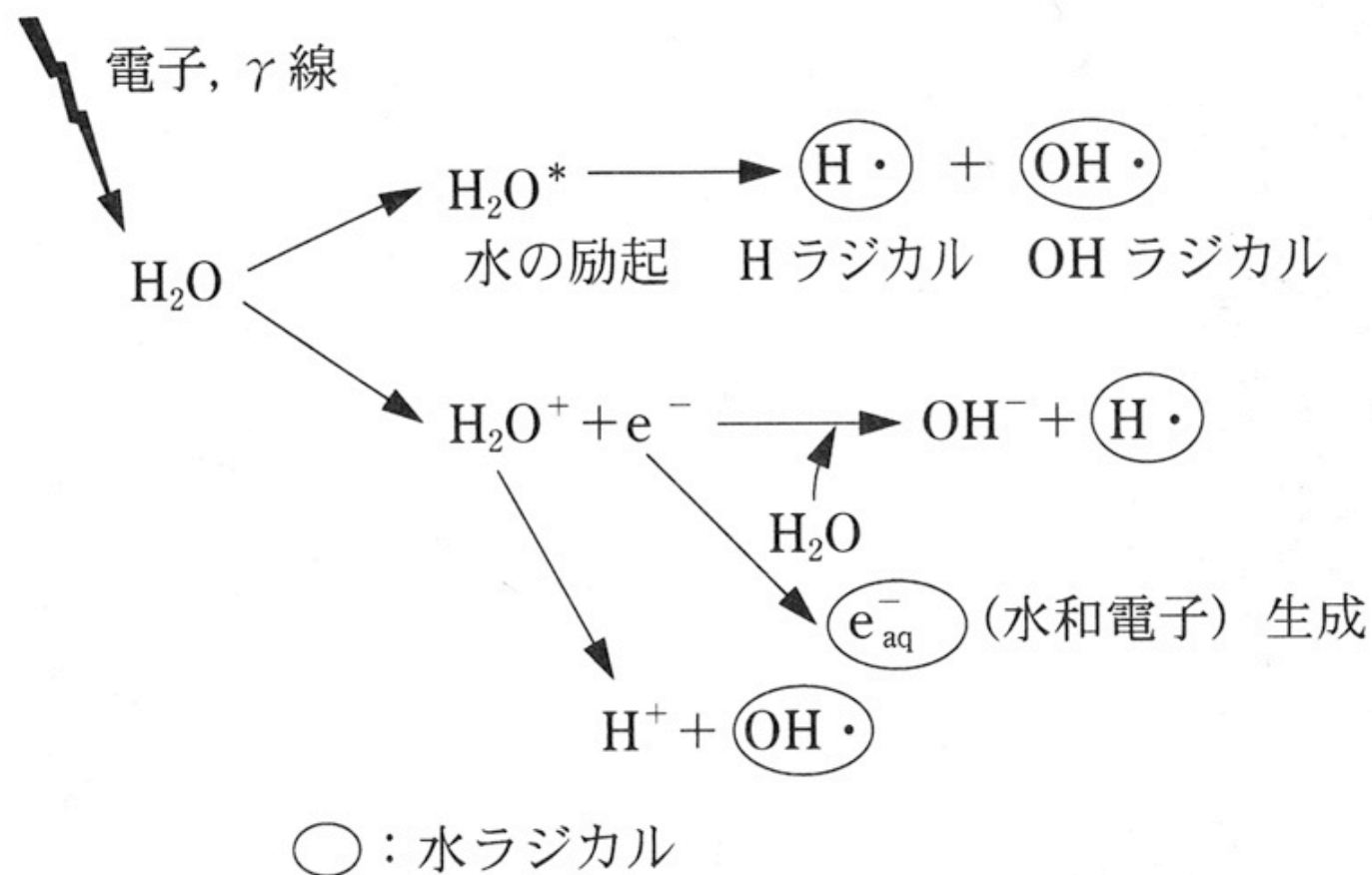


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

LET : 線エネルギー付与

放射線の直接作用 : 荷電粒子が直接 DNA 分子を叩く **高 LET 放射線**
 α 線

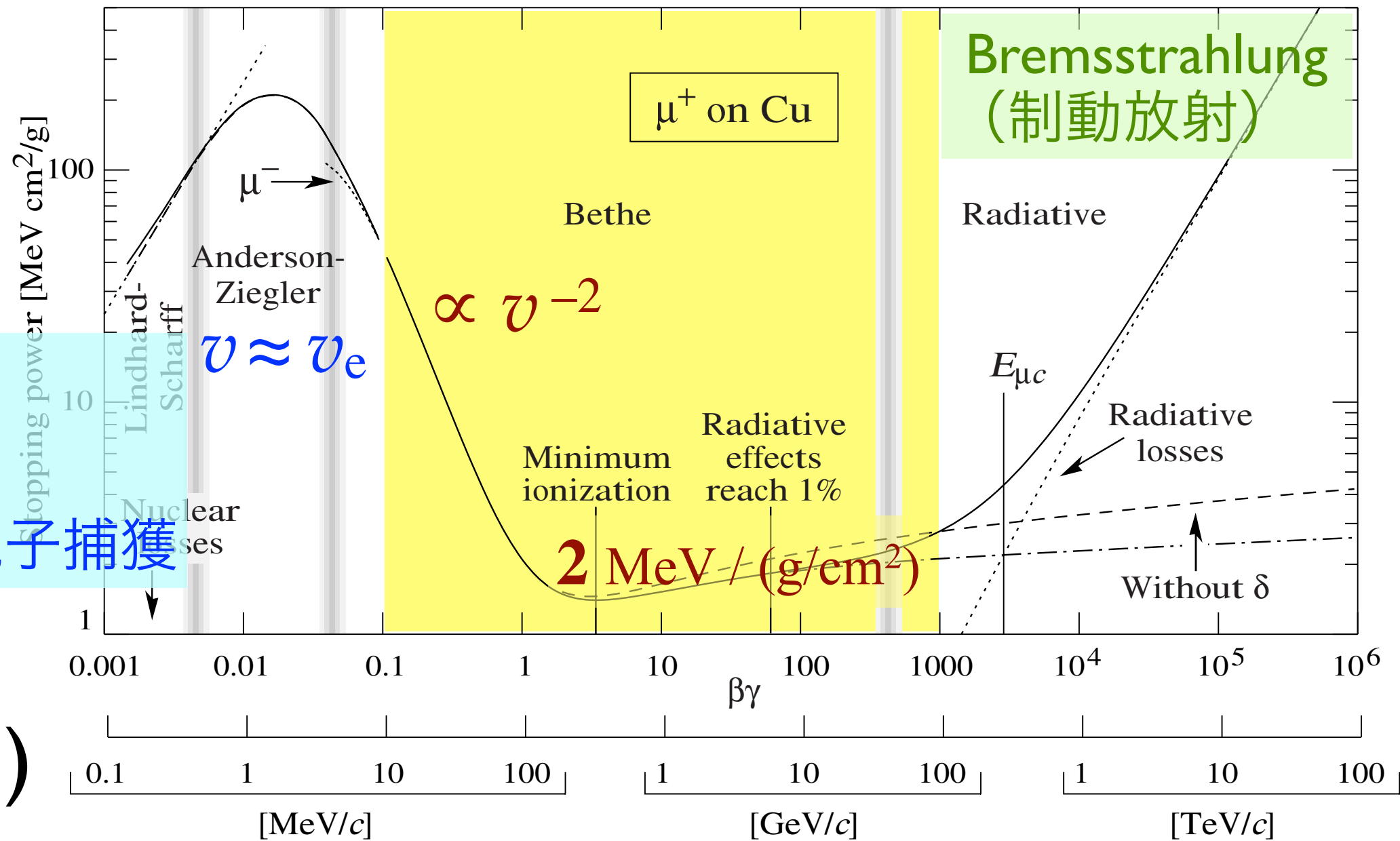
と間接作用 : 水の電離で生じるラジカルが DNA 分子に作用

低 LET 放射線
 β 線, γ 線

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

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

- 非断熱的
- Barkas 効果
- イオンは電子捕獲



(線エネルギー付与)
keV / μm

27.2.2. Stopping power at intermediate energies :

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

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

質量阻止能
MeV / (g / cm²)

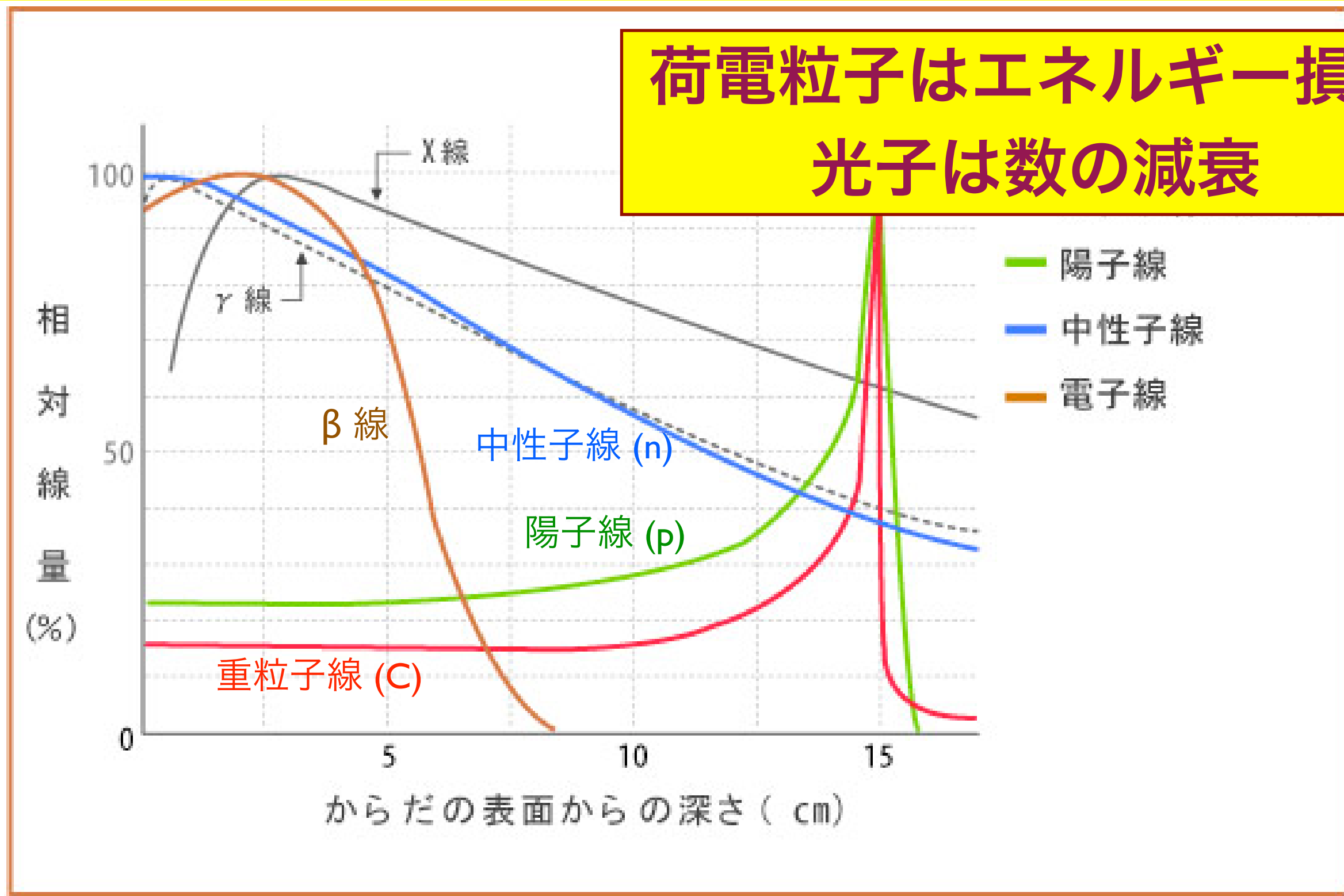
$$-\frac{1}{\rho} \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \propto \frac{z^2}{v^2} = \frac{z^2 M/2}{Mv^2/2} \propto \frac{z^2 M}{T}$$

陽子(p)、 α 、重粒子線は飛程が揃っている。

電子(β)は散乱されやすく、飛程を直線距離(物質厚)で測るとばらつきが大きい。

中性子(n)、光子(X, γ)は反応が確率的に起こるため、指数関数的減衰をする。

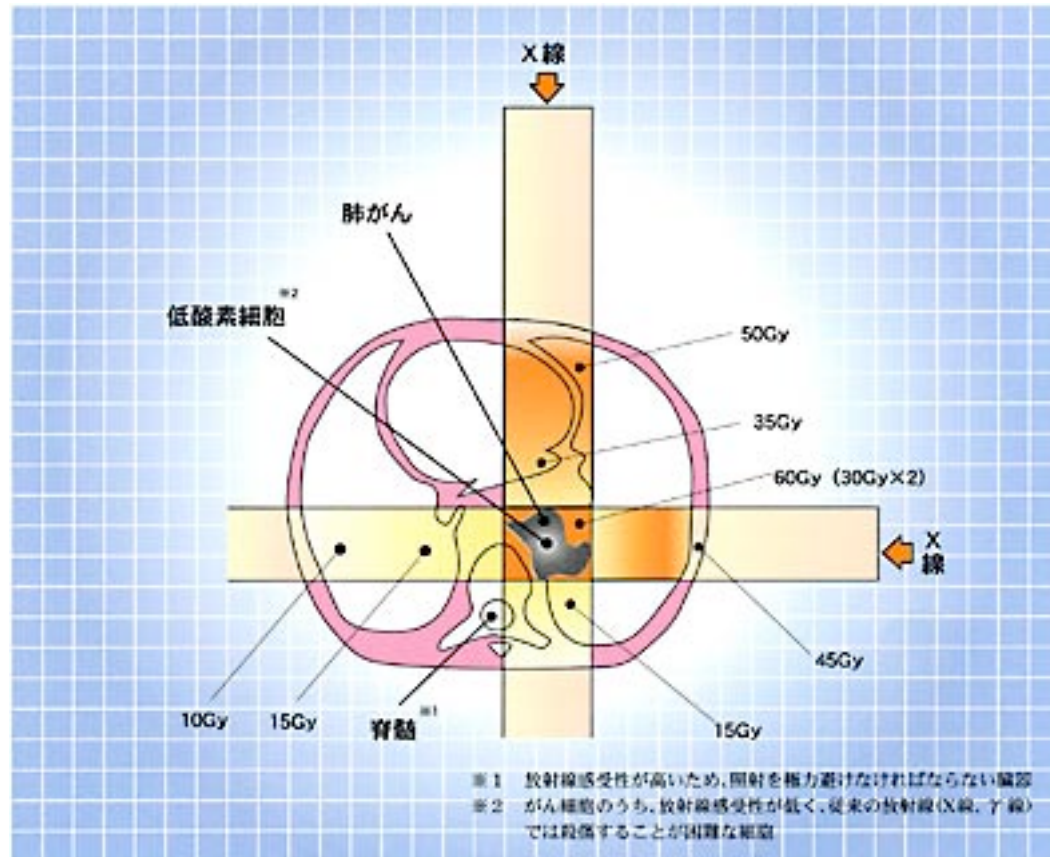
**荷電粒子はエネルギー損失
光子は数の減衰**



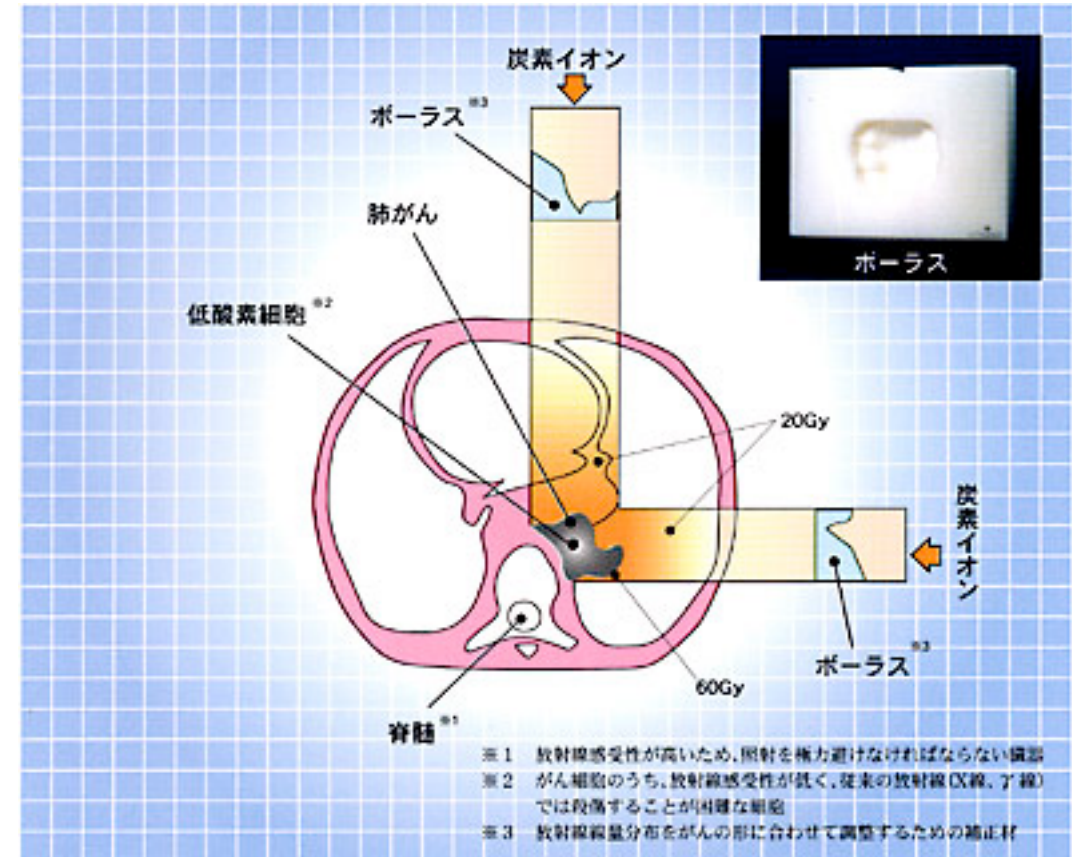
放射線医療：がん治療

数 Gy を複数回

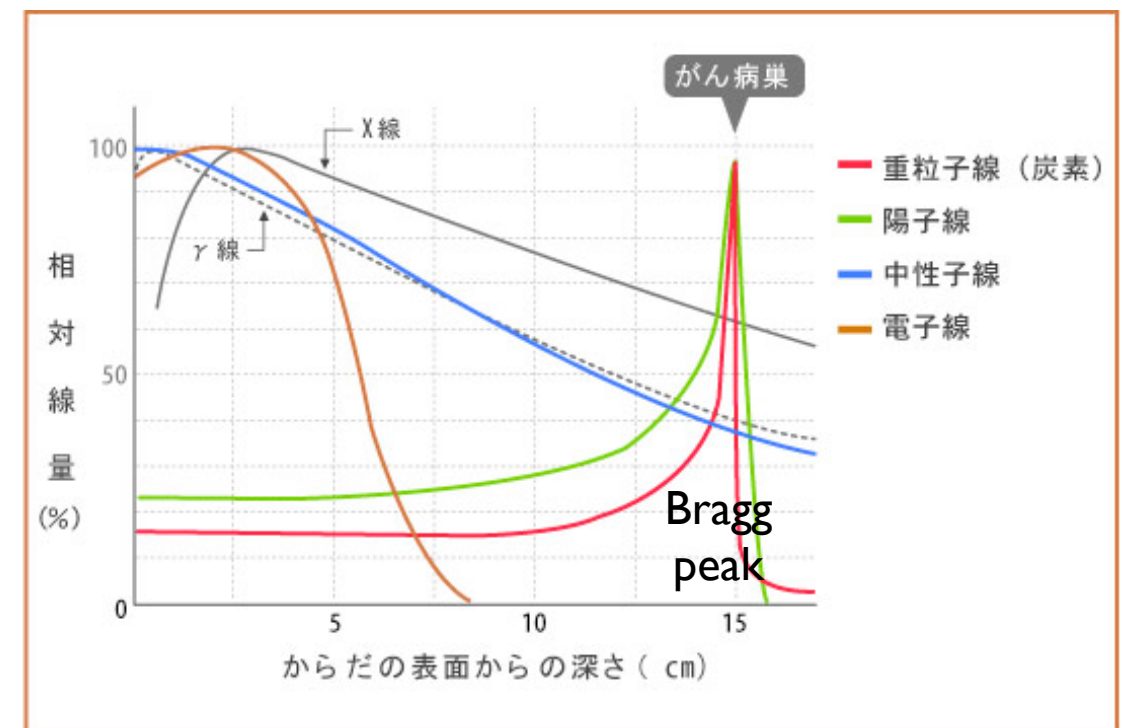
X線



重粒子線 (炭素イオン)



他には：ガンマナイフ、
陽子線、パイ中間子
研究中：反陽子



PET (Positron Emission Tomography) 陽電子断層撮影法


組織の”はたらき”を知る

^{18}F -FDG (fluorodeoxy glucose), $^{15}\text{O}_2$, H_2^{15}O




放射線医療：診断

e^+



陽電子 positron

電子 electron



e^-

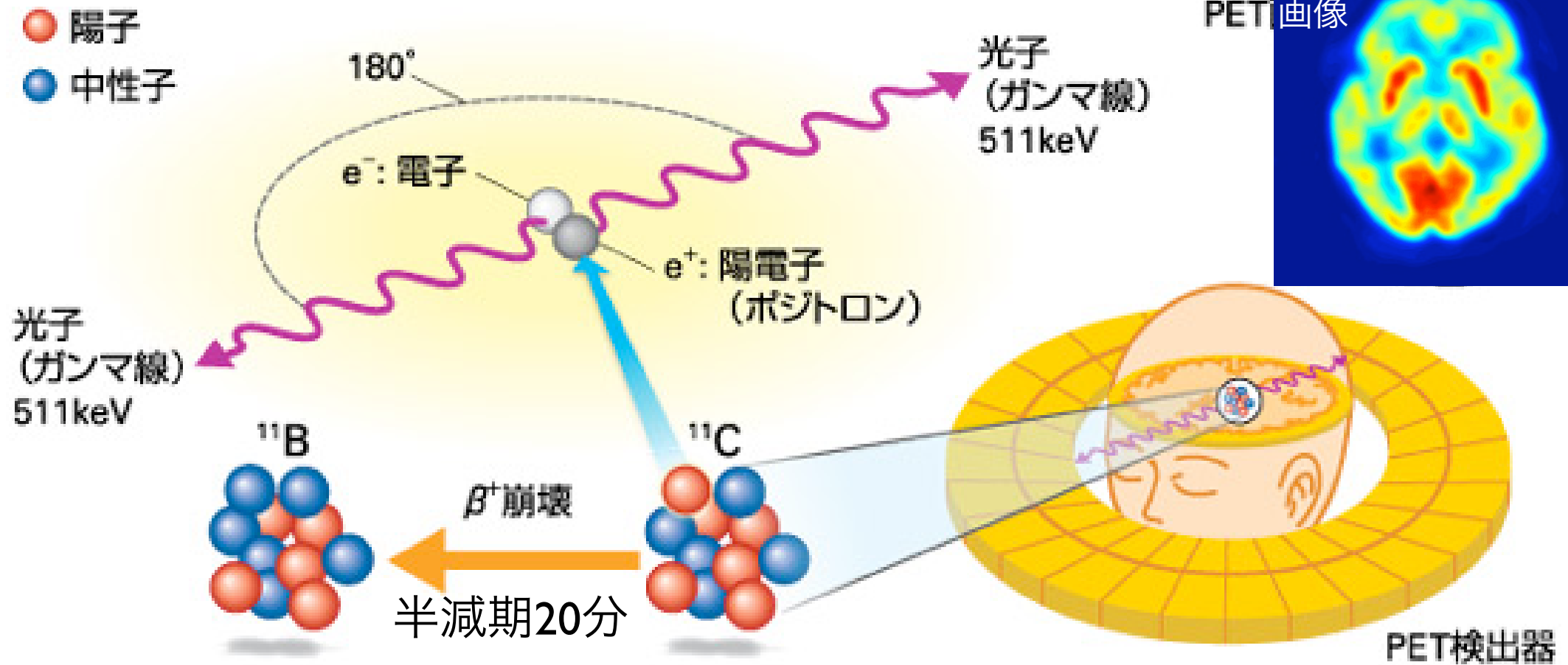


図1 PET (陽電子放射断層画像撮影法) の仕組み

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

^{11}C , ^{13}N ,
 ^{15}O , ^{18}F

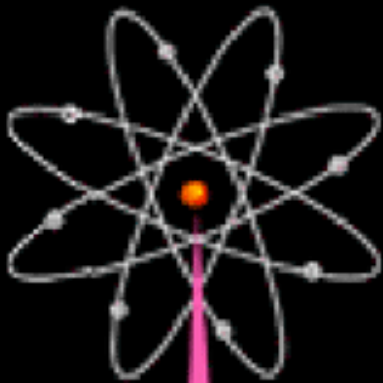
放射性物質とは？

《原子核物理学》

《原子力工学》



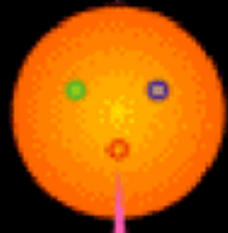
分子
molecule



原子
atom



原子核
nucleus



陽子
proton



クォーク
quark

錬金術はなぜ失敗したか

nm (10^{-9} m) 化学

ナノメートル

eV Chemistry

電子ボルト

原子: atom < atomus < ατομος < a- + témnein + -os
(切ることができない)



原子物理学 Atomic Physics

Å (10^{-10} m)

オングストローム Ångström

eV – keV

数電子ボルト～
キロ電子ボルト



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



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

放射性物質とは

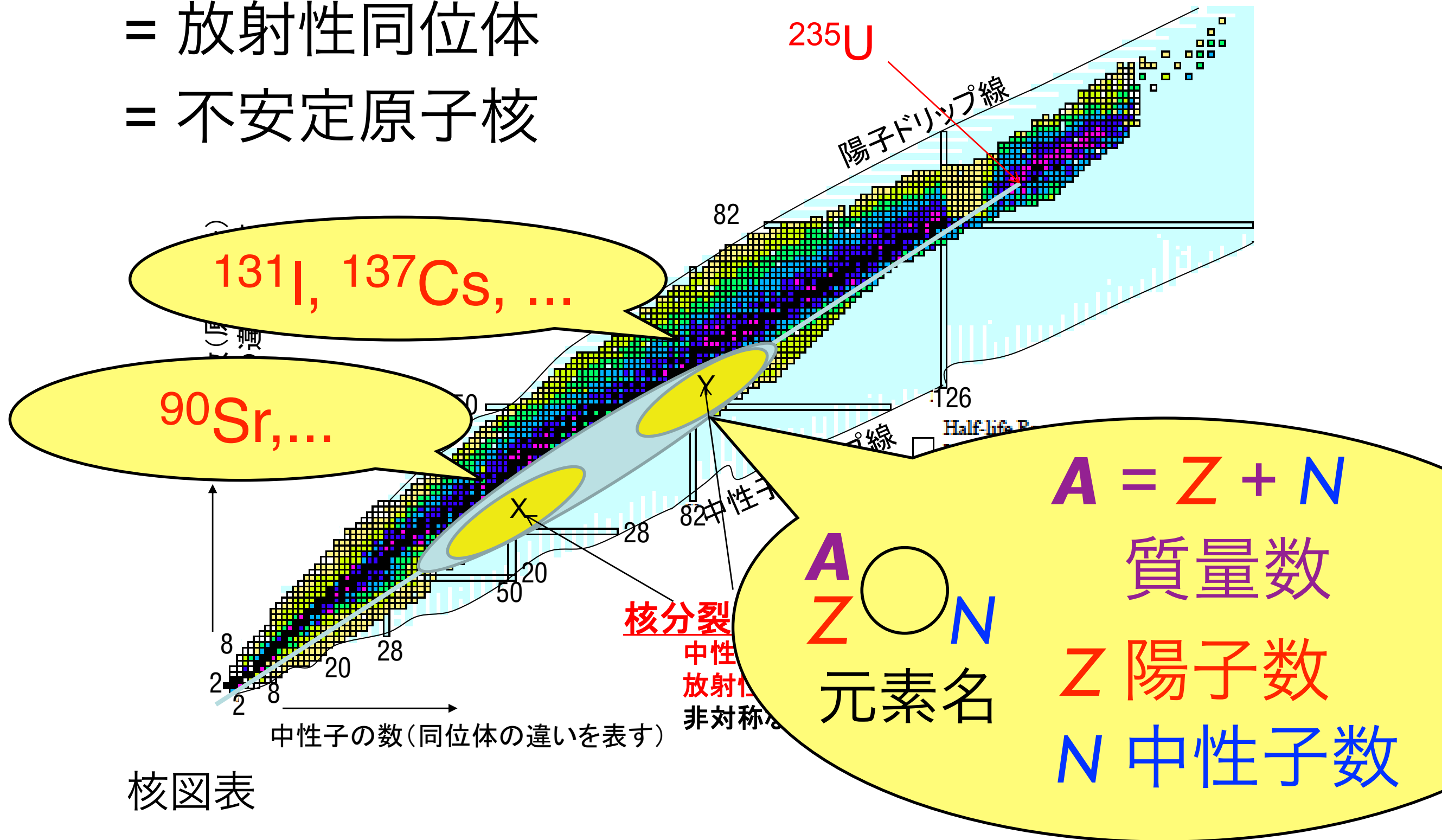
放射性核種

= 放射性同位体

= 不安定原子核

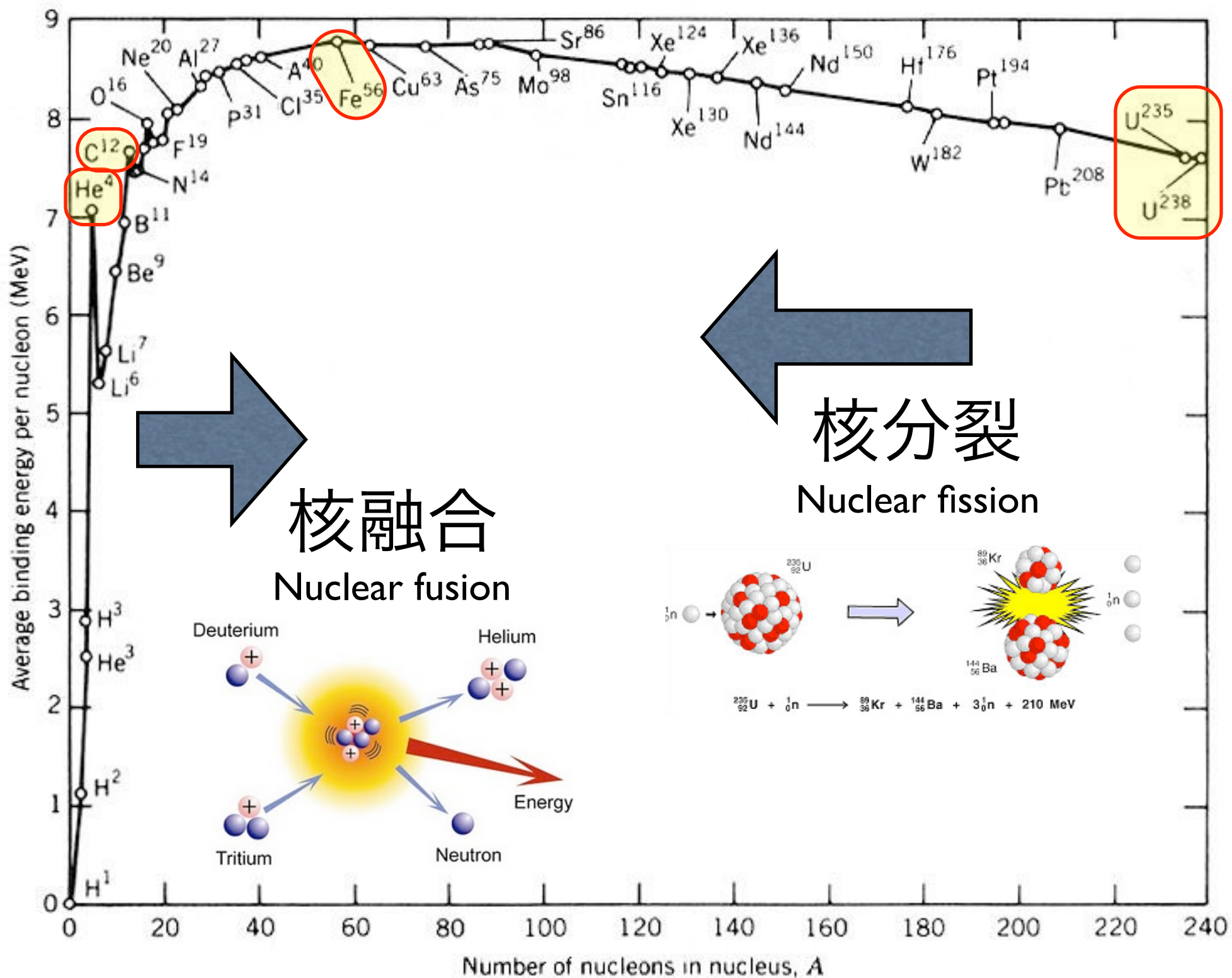
原子核物理学

Nuclear Physics

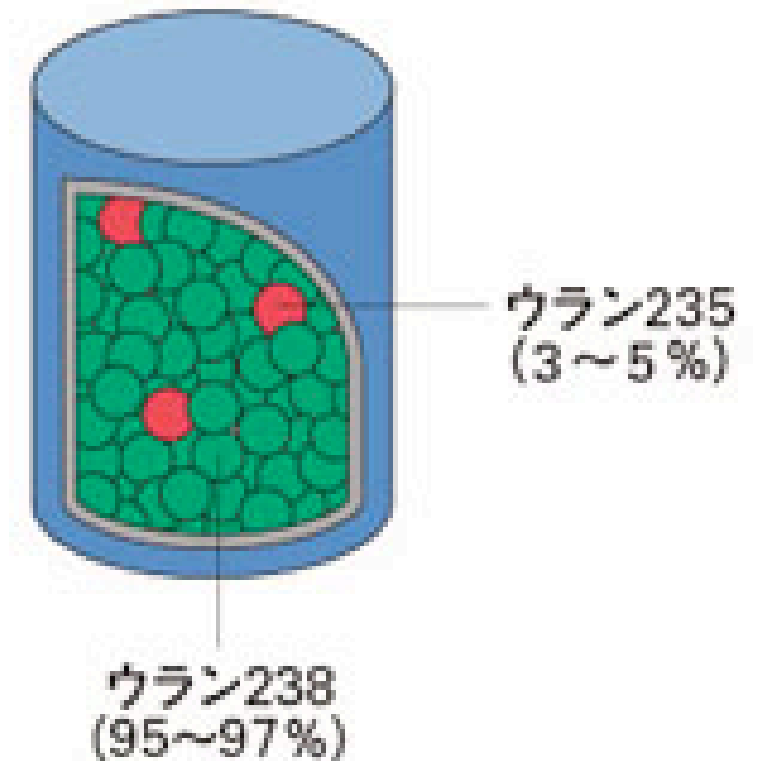
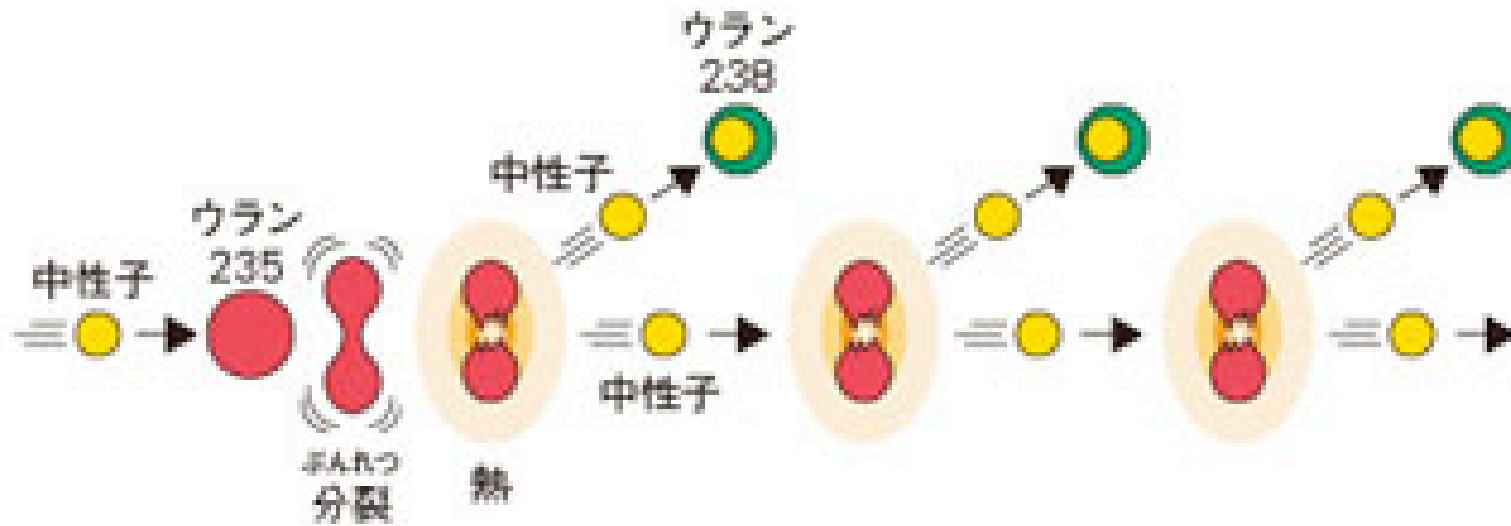
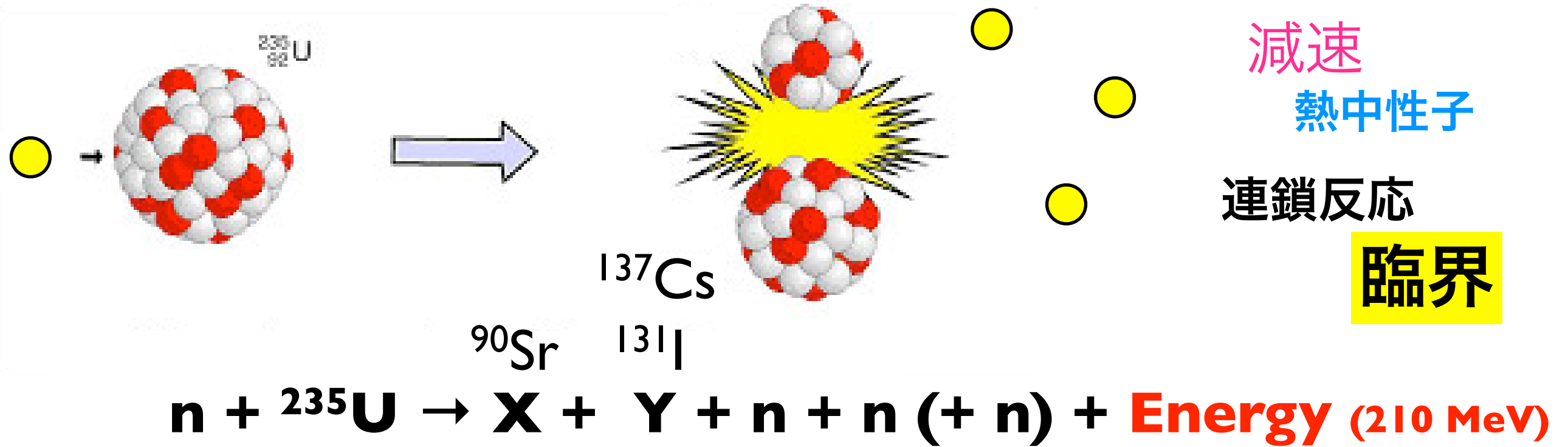


最も安定な原子核は？

核子あたりの結合エネルギー (MeV)



原子核分裂反応



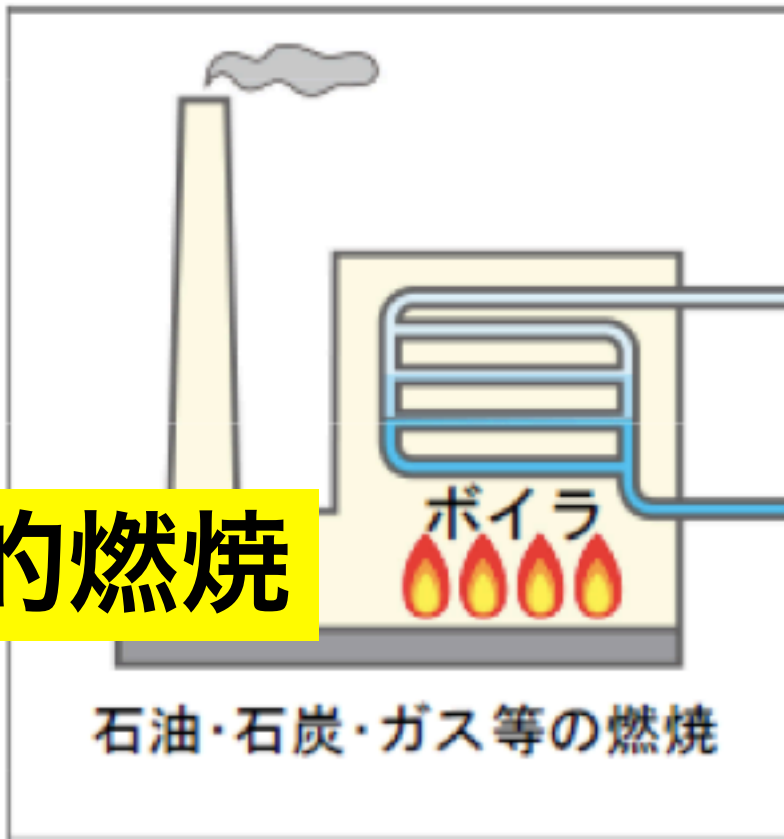
中性子 + ウラン 235 / 238

👉 ${}^{235}\text{U}$ 濃縮燃料を使う

火力発電と原子力発電の違い

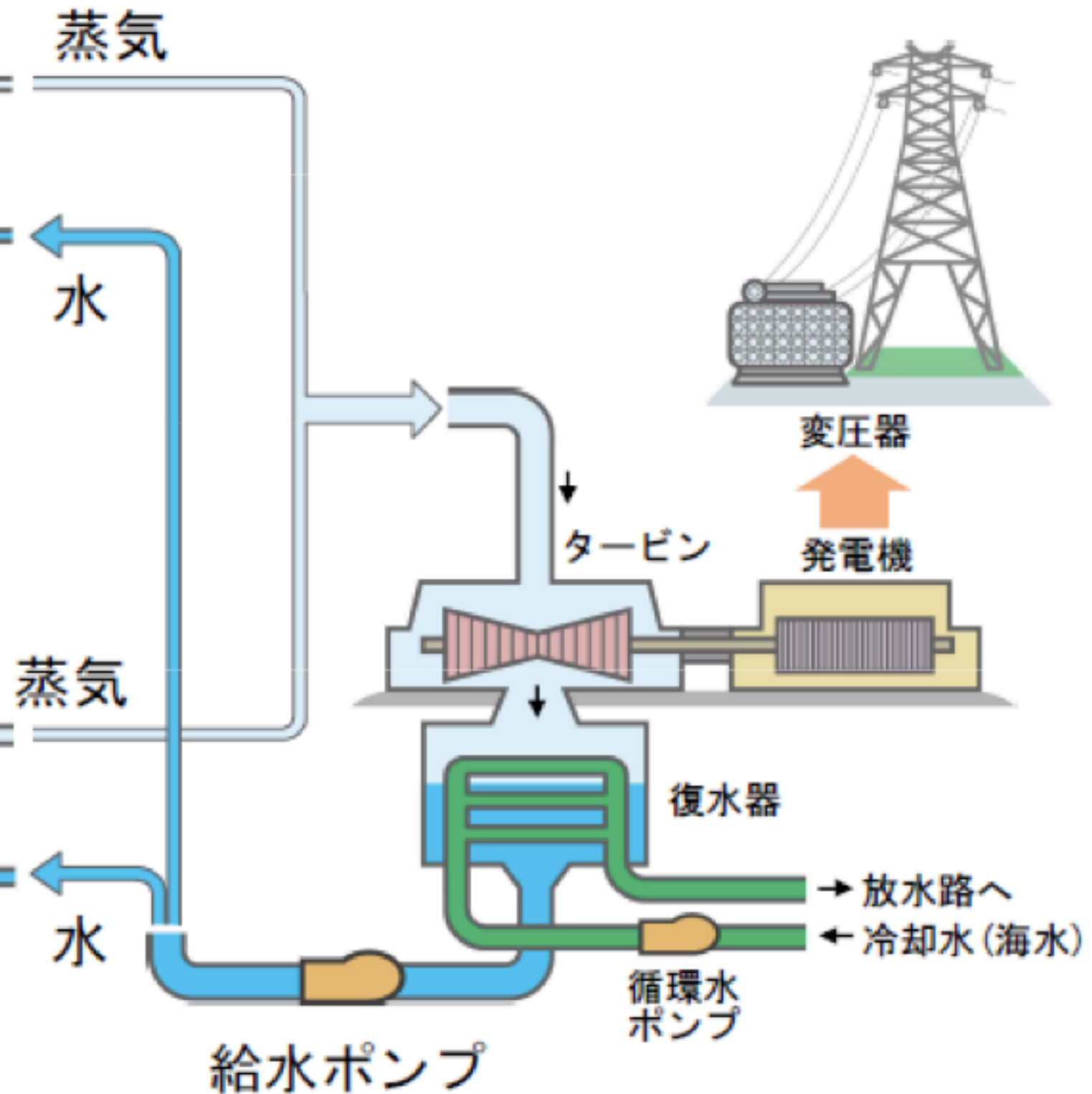
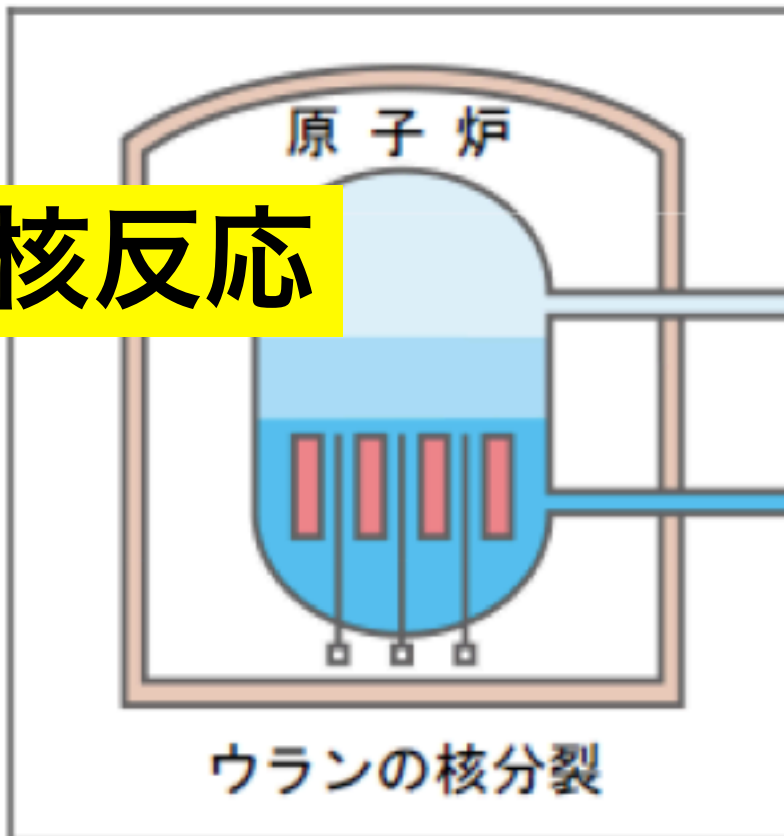
火力

化学的燃焼



原子核反応

原子力



放射線を測る

《放射線計測学》

DEMO



**放射線測定
(GMサーベイメータ)**

空間線量測定

放射線の測定

試料測定



β (γ)



γ

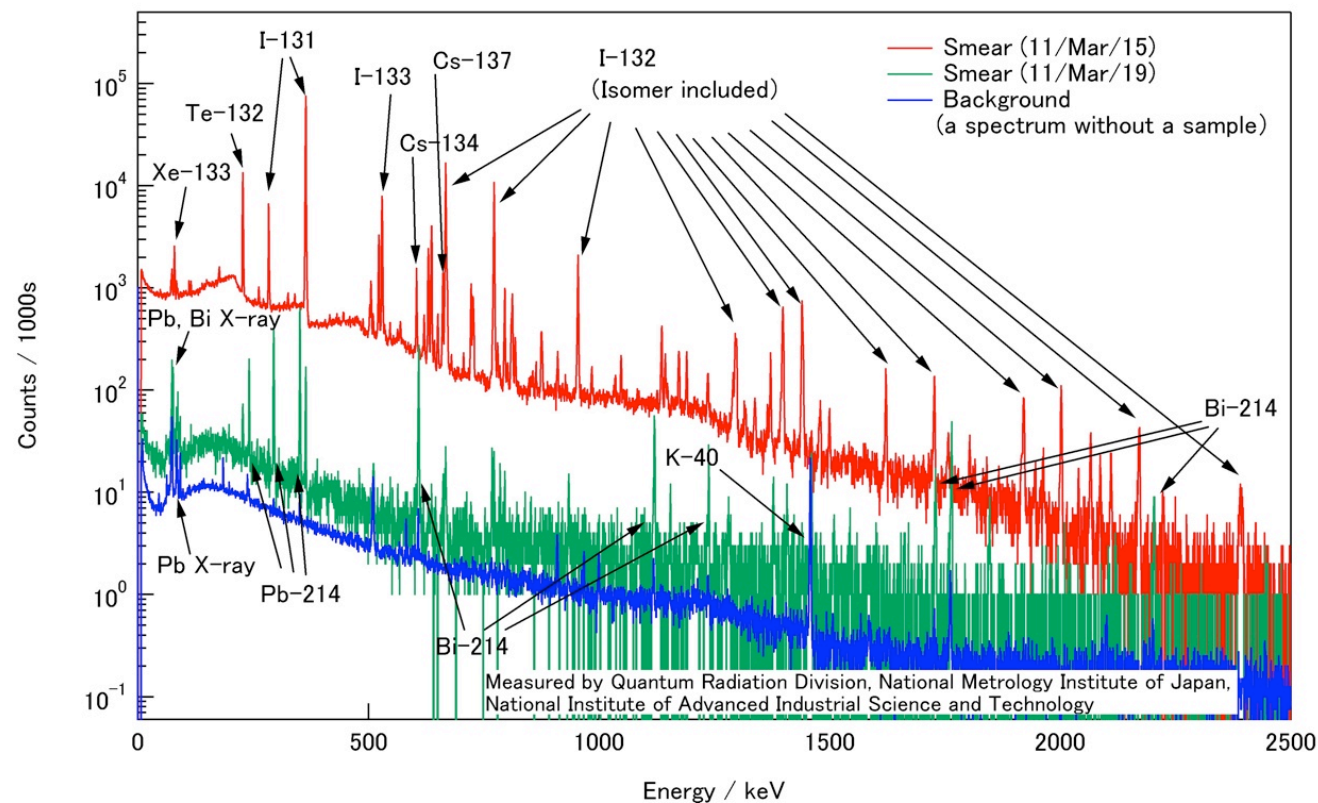
γ ゲルマニウム検出器 (Ge detector)

計数 (cps = counts per second)

表面汚染検査計 (例: GM サーベイメータ) 空間線量計 (例: NaI(Tl) サーベイメータ)

エネルギー分析 (核種同定)

ガンマ線スペクトル (ゲルマニウム検出器)



食品検査用ゲルマニウム検出器



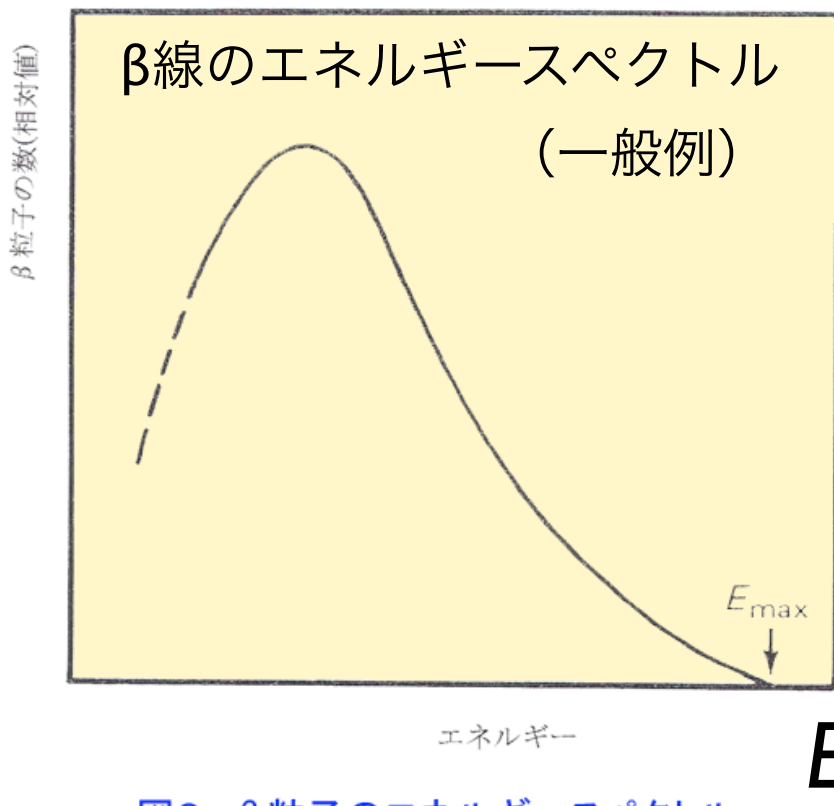
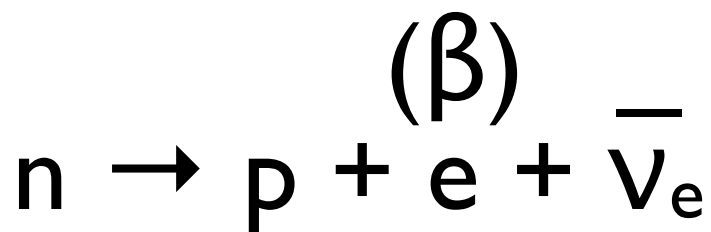
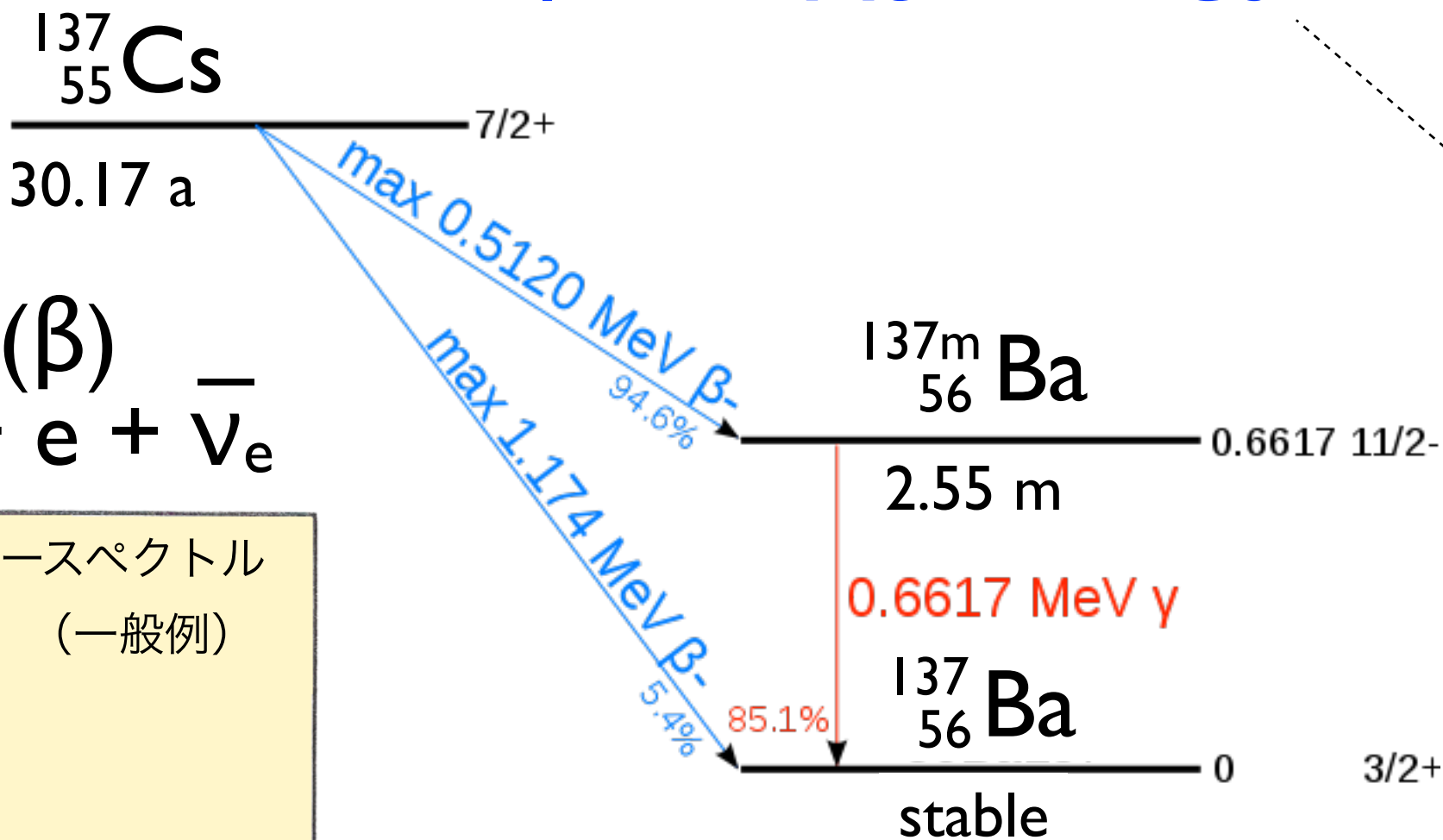
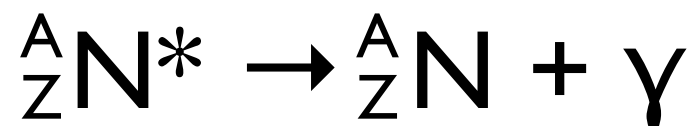


図2 β粒子のエネルギースペクトル
[出典]石川友清(編):初級放射線、通商産業研究社、p.37

γ線：原子核の脱励起



γ線（定まったエネルギー）

核種の同定

β線（連続スペクトル）

⁹⁰Sr の検出が困難

原発北西方向の汚染と「ホットスポット」

福島第一原発から漏れた放射能の広がり
Radiation contour map
of the Fukushima Daiichi accident

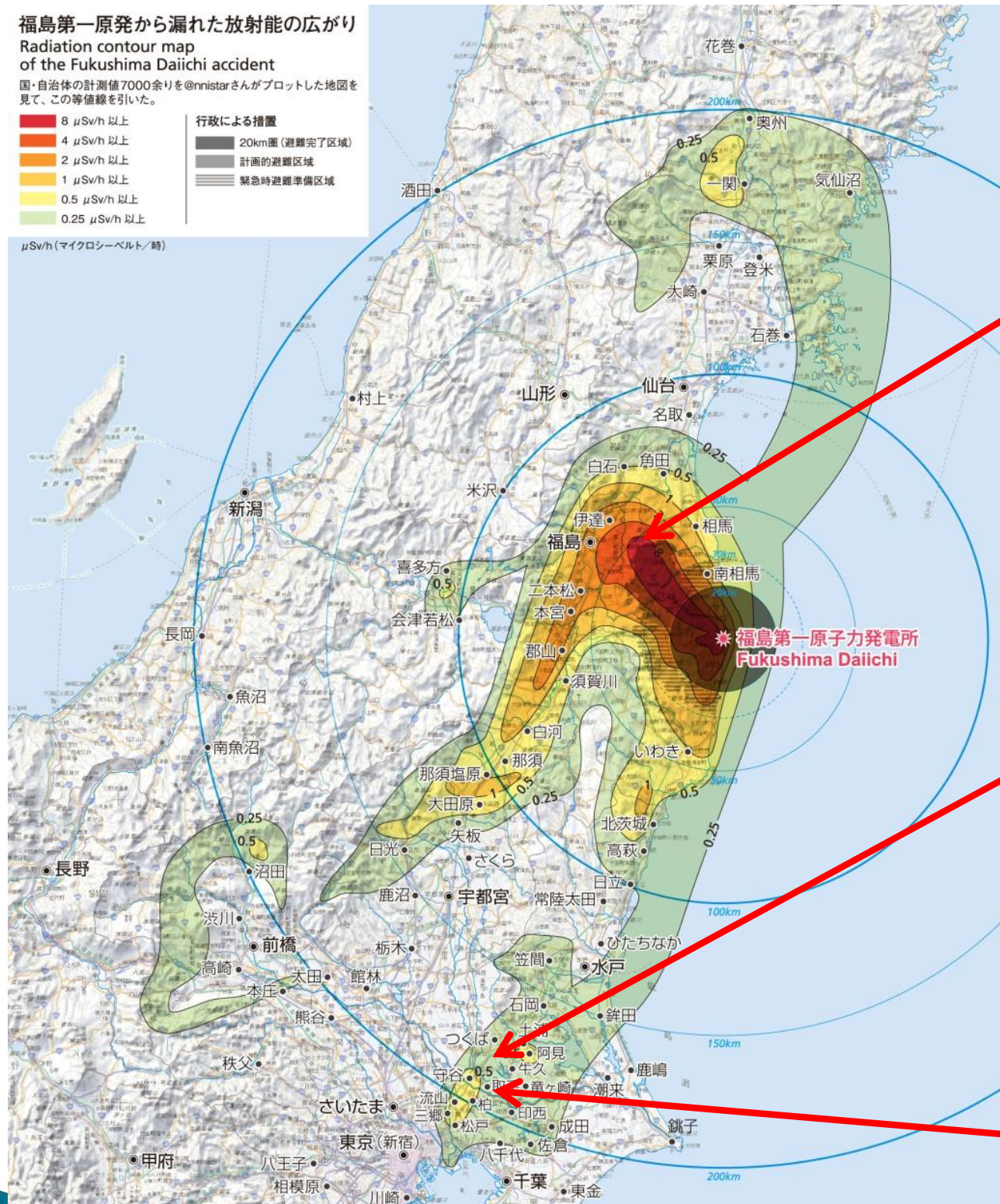
国・自治体の計測値7000余りを@nnistarさんがプロットした地図を見て、この等値線を引いた。

- 8 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 4 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 2 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 1 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 以上
- 0.25 $\mu\text{Sv/h}$ 以上

行政による措置

- 20km圏 (避難完了区域)
- 計画的避難区域
- 緊急時避難準備区域

$\mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト/時)



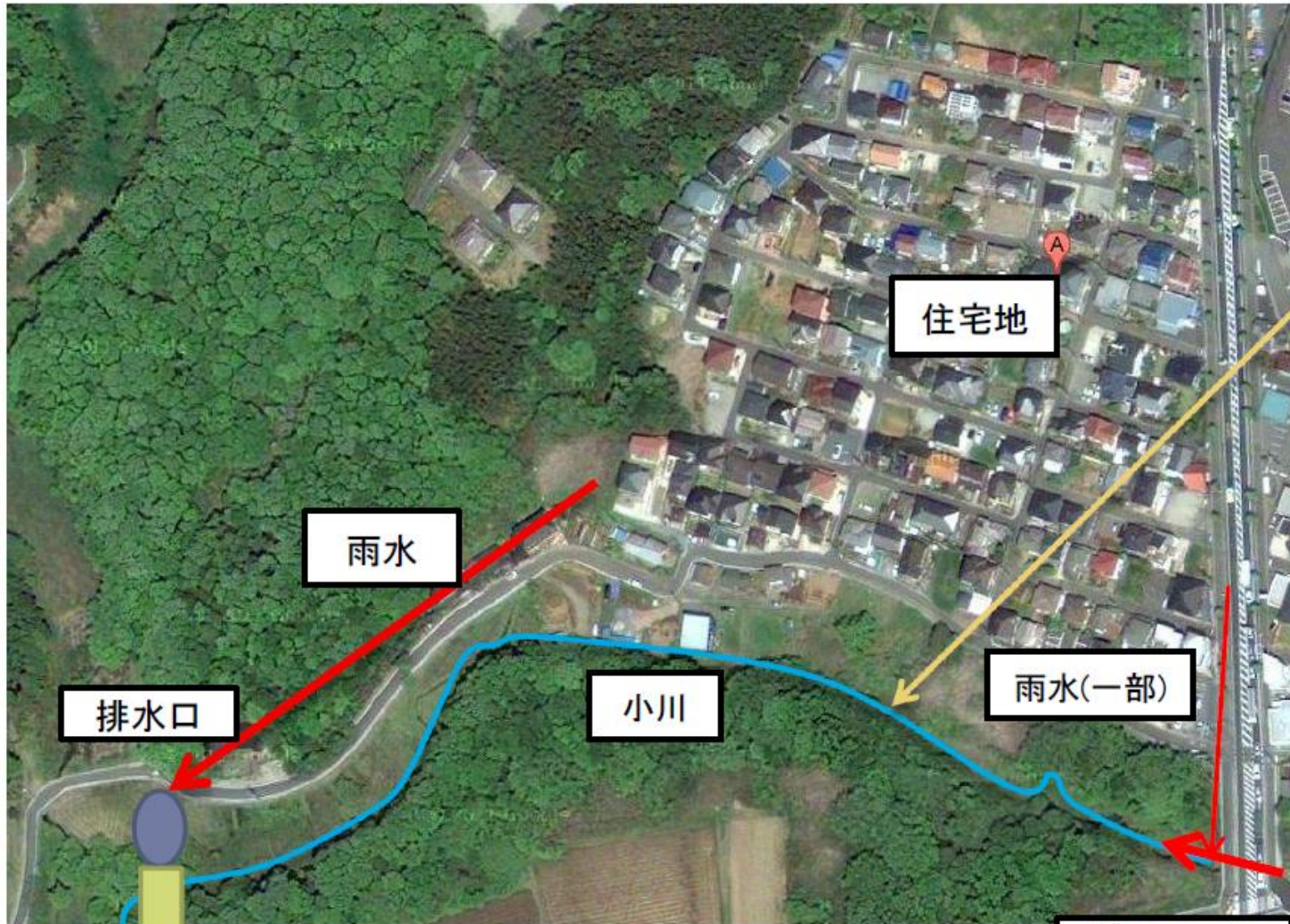
早川由紀夫教授(群馬大学)作成、7月26日版

三訂版7月26日(初版4月21日)
等値線作成: 早川由紀夫(群馬大学) (kipuka.blog70.fc2.com/
@nnistarさんの地図 (www.nnistar.com/gmap/fukushima.html)
Contour lines drawn by Yukio Hayakawa (Gunma Univ.),
Source: @nnistar
地図製図: 萩原佐知子
背景地図には電子国土ポータル(portal.cyberjapan.jp)の地図を使用しました。

住宅地からの雨水の集積

都市部での放射性物質の濃縮

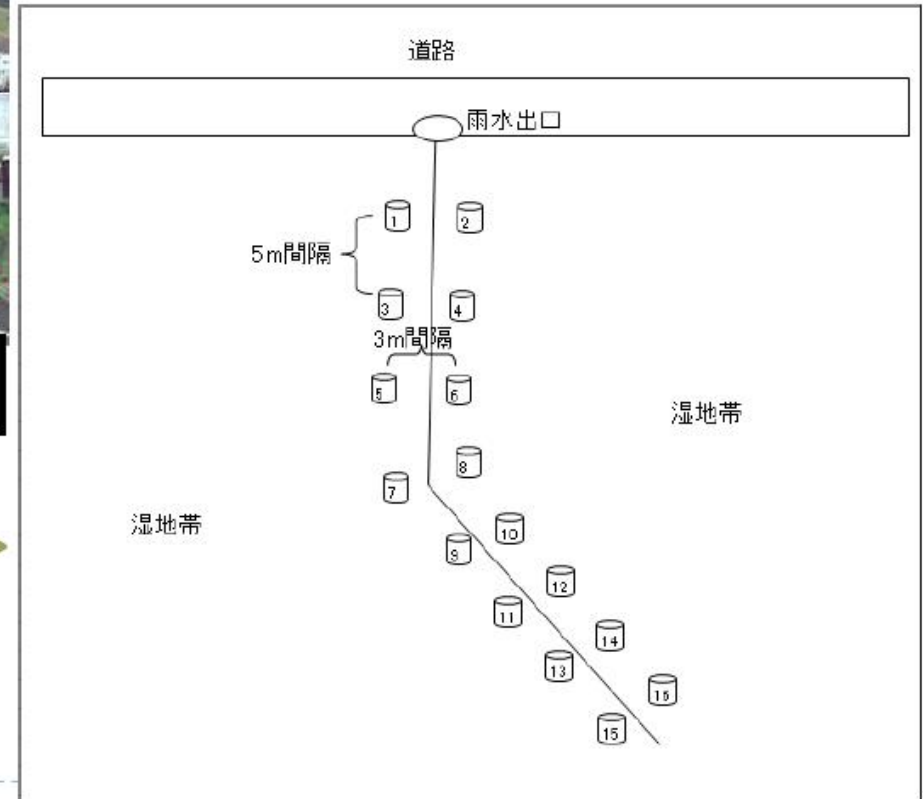
1. 里山湿地帯 調査場所



③ 湿地帯の奥を流れる小川沿いの放射線量率を測定



- ① 排水口の真上で放射線量率を測定
- ② 排水口先の湿地内で、水路の溝に沿って等間隔に杭を打ち、一帯の放射線量率を測定

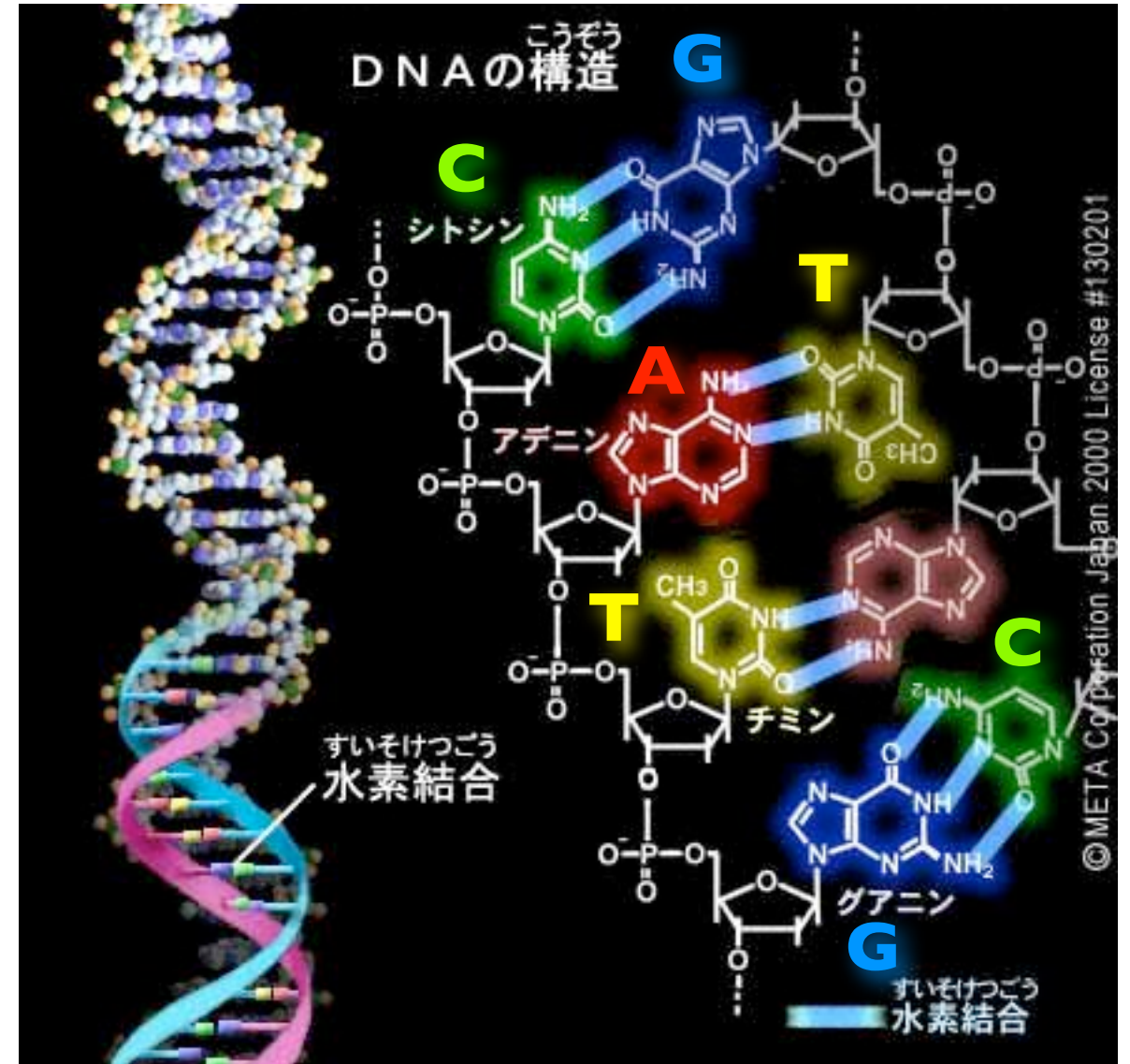
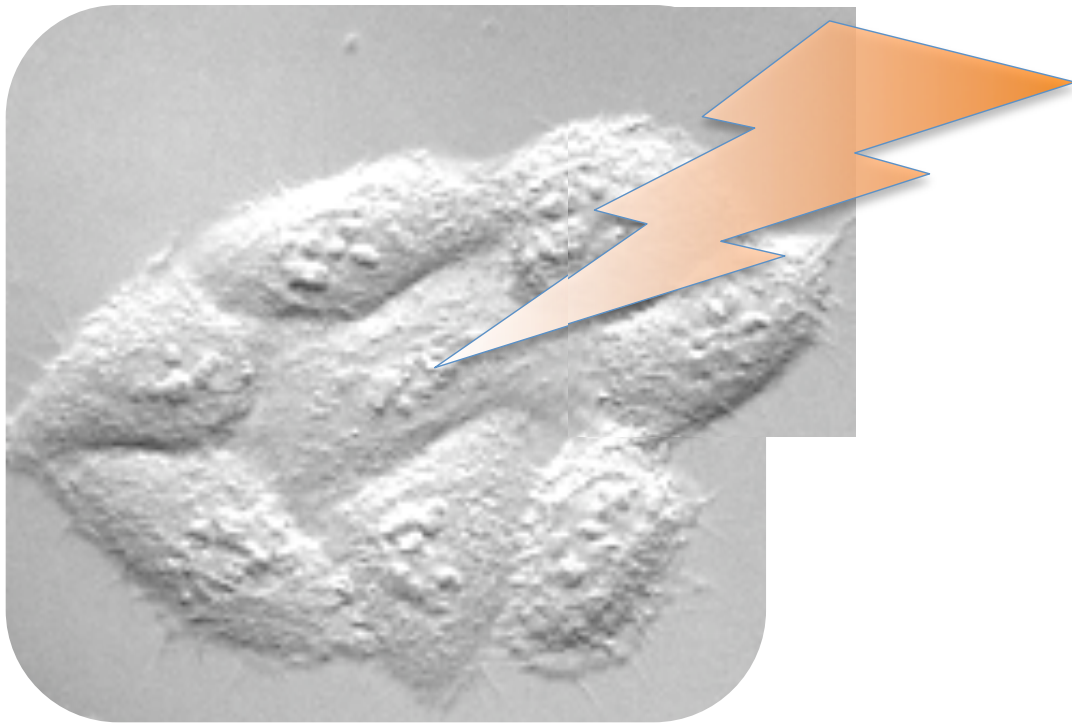


放射線の人体への影響

《放射線生物学・放射線医学》

細胞の核に放射線が照射

DNA



出典：IPA「教育用画像素材集サイト」 <http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>

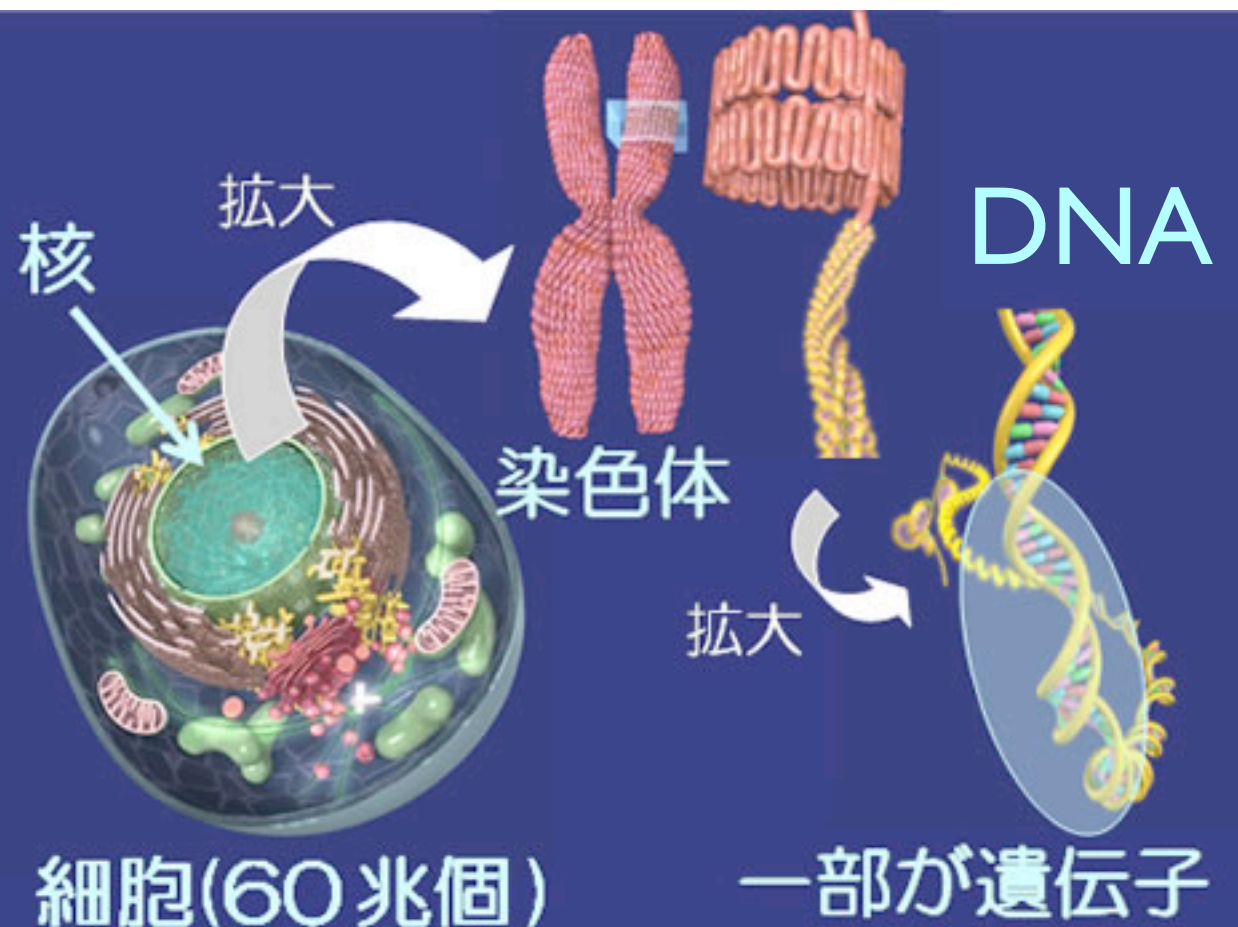
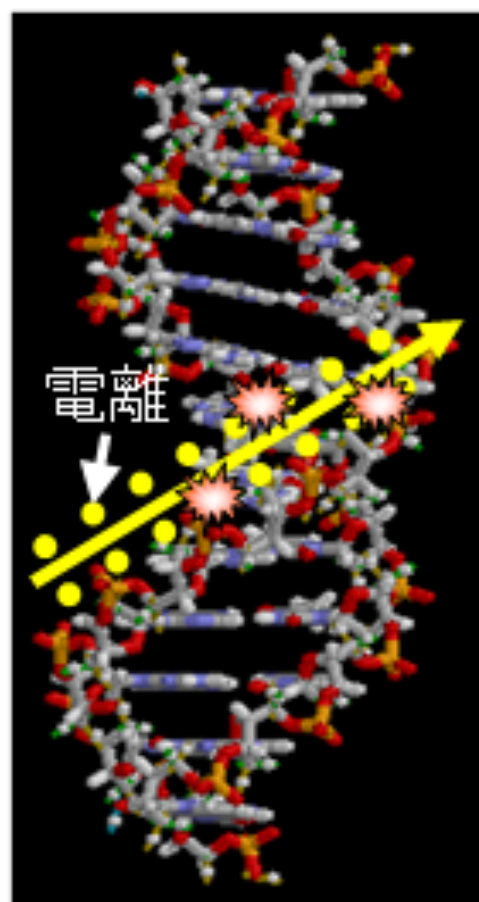
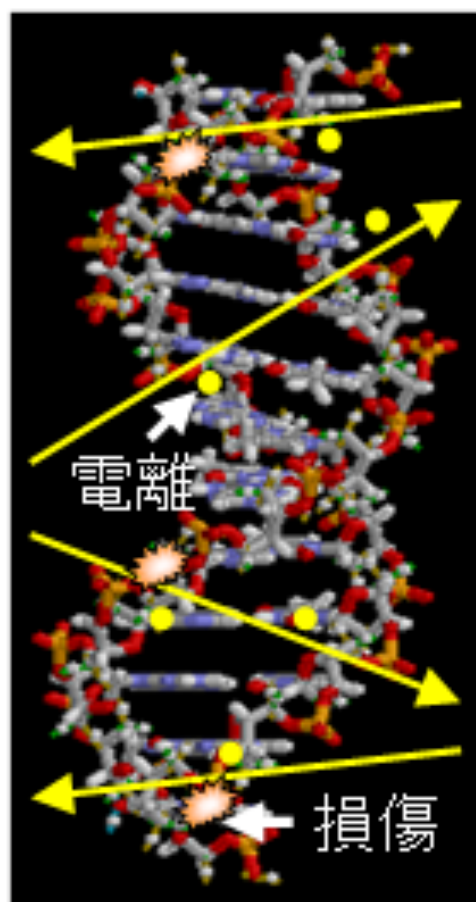


図1 核、染色体、遺伝子

放射線による DNA 損傷



重イオン



電子

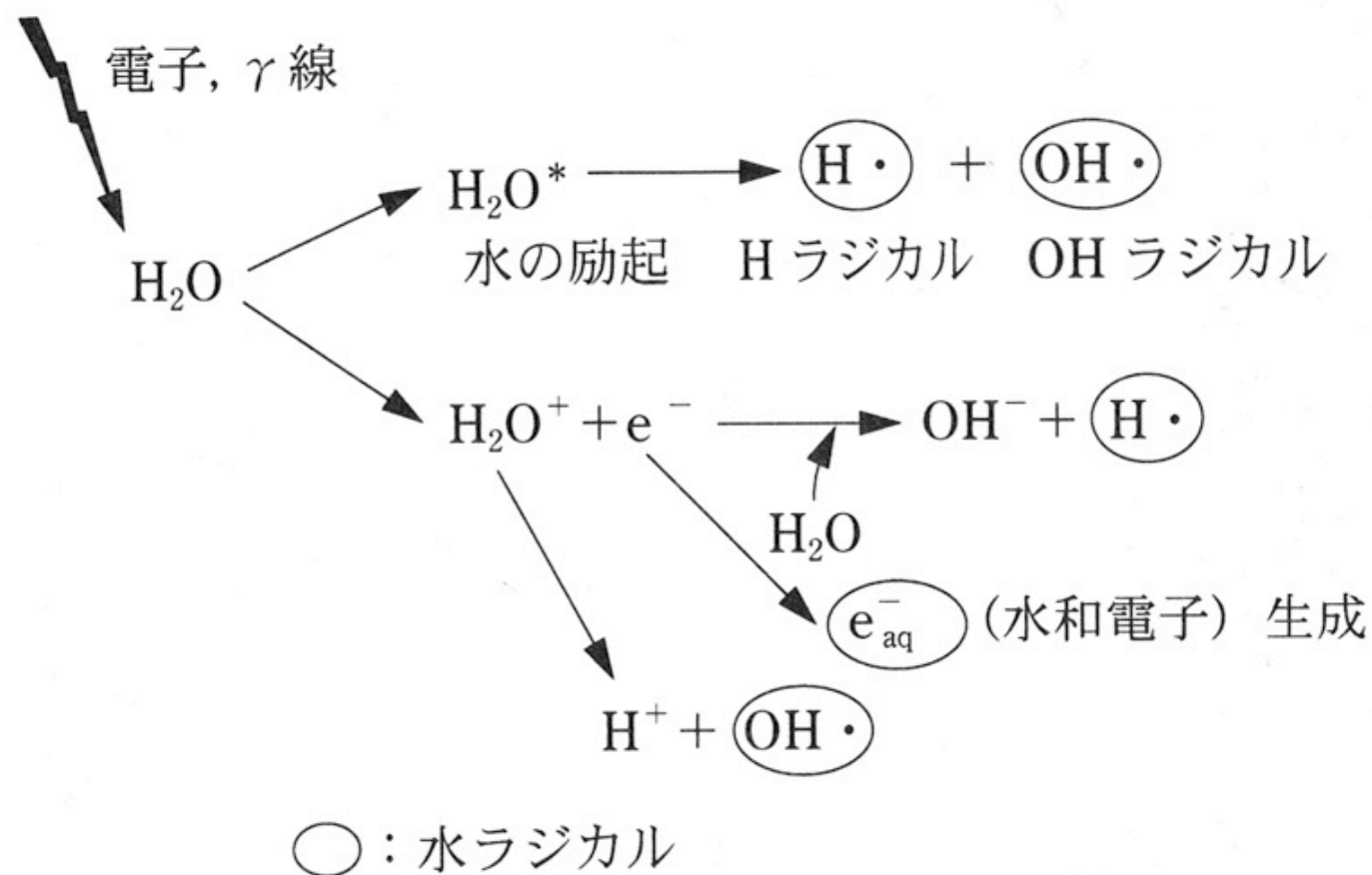


図 6・5 電離放射線による水分子の電離と励起の概略

LET : 線エネルギー付与

放射線の直接作用 : 荷電粒子が直接 DNA 分子を叩く **高 LET 放射線**
 α 線

と間接作用 : 水の電離で生じるラジカルが DNA 分子に作用

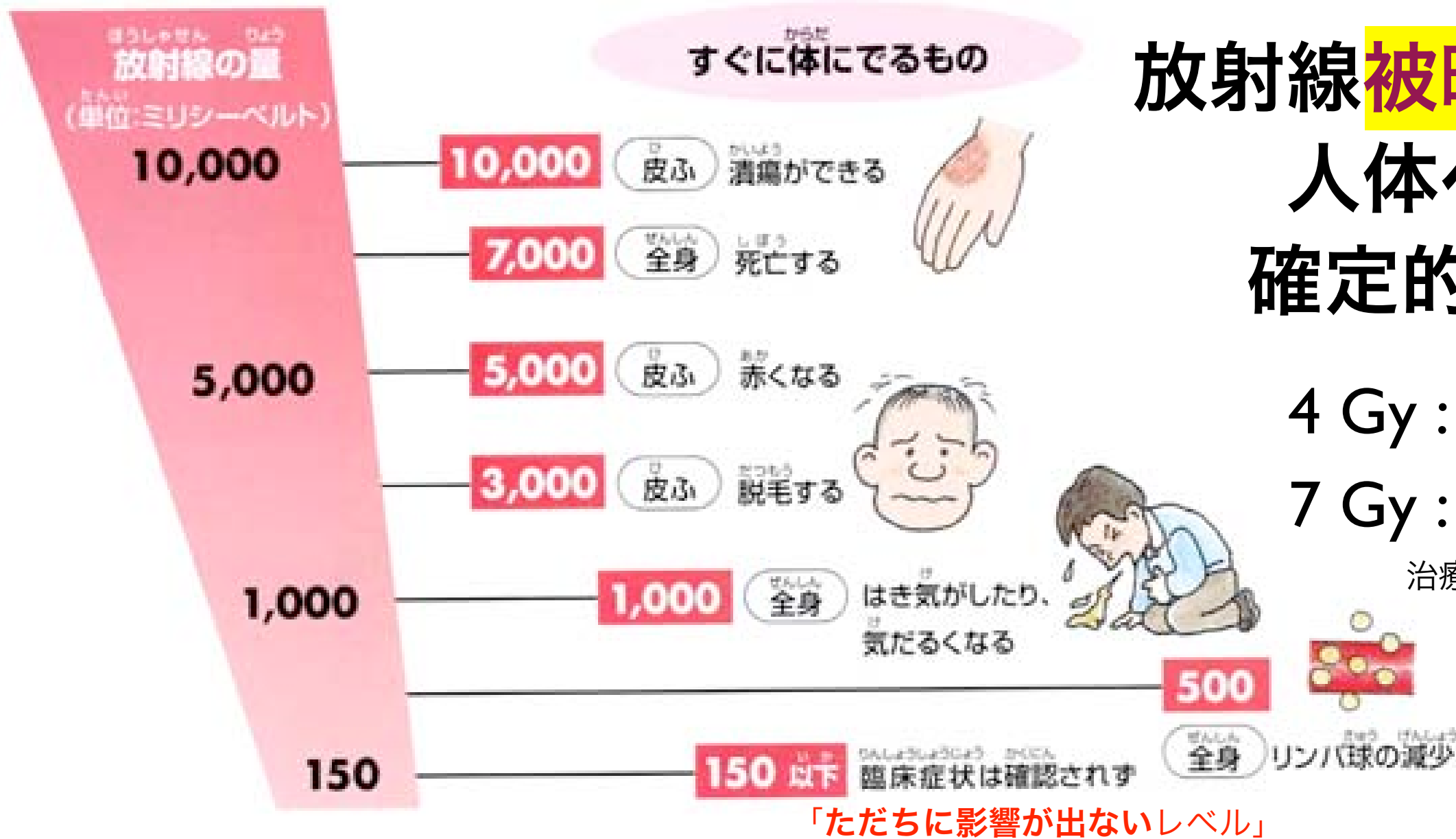
低 LET 放射線
 β 線, γ 線

放射線被曝による 人体への 確定的影響

4 Gy : 半数死亡
7 Gy : 全員死亡

治療により助かることも。

すぐに体にできるもの



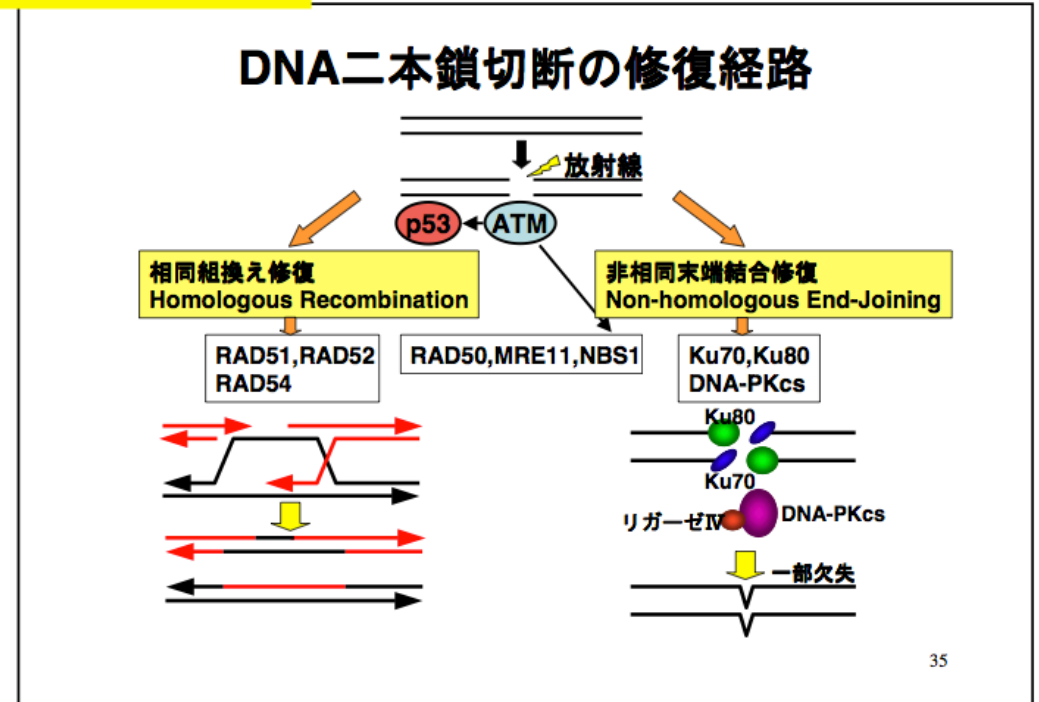
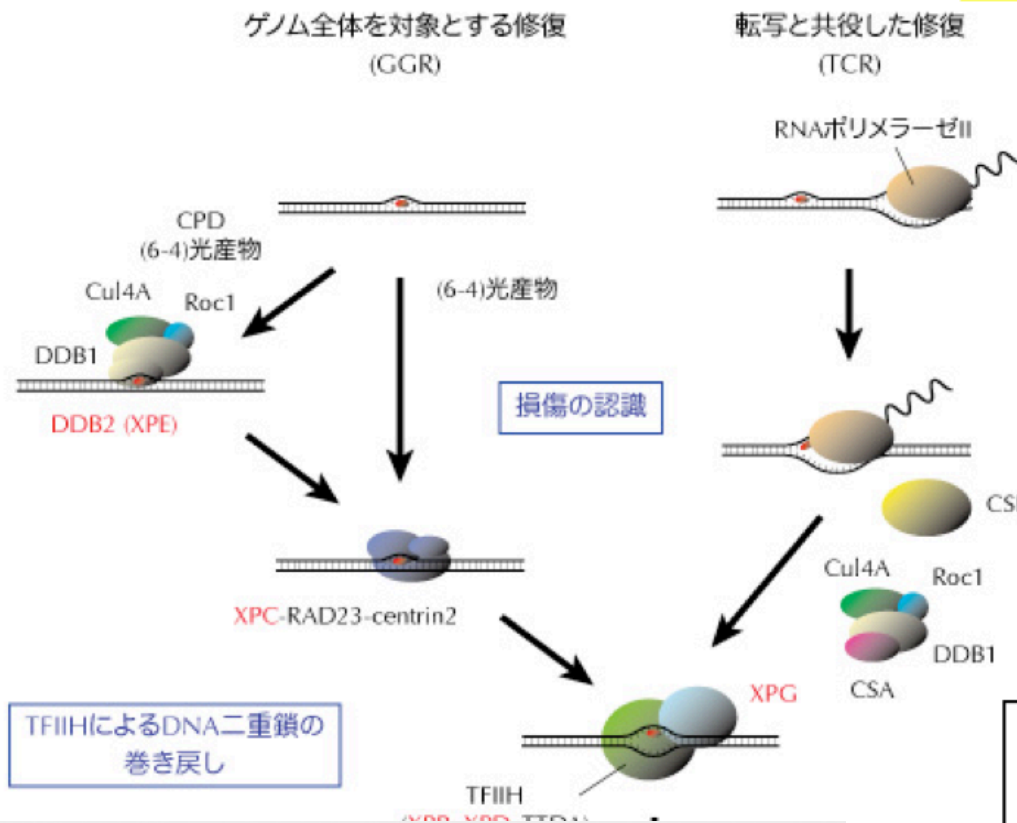
JCO 事故 チェルノブイリの 消防隊員

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

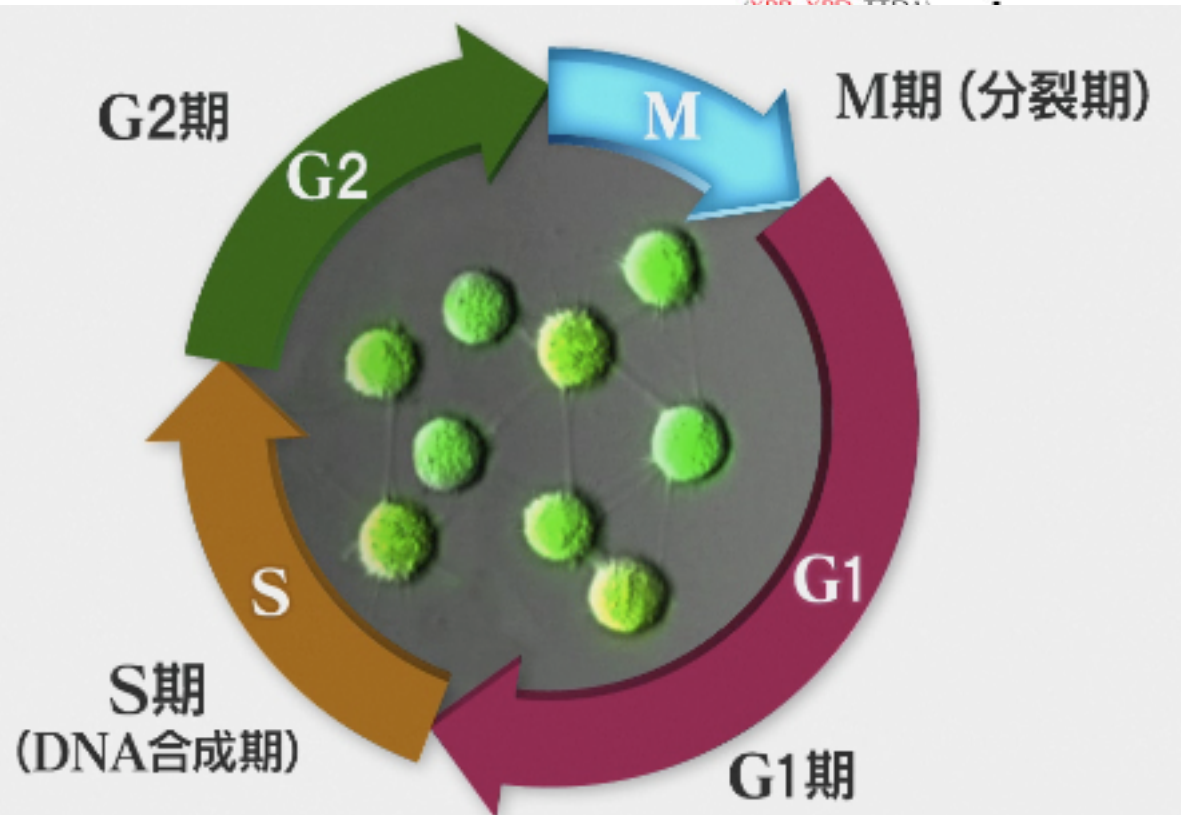
間違えたDNA、傷ついたDNAの修復

ヌクレオチド除去修復

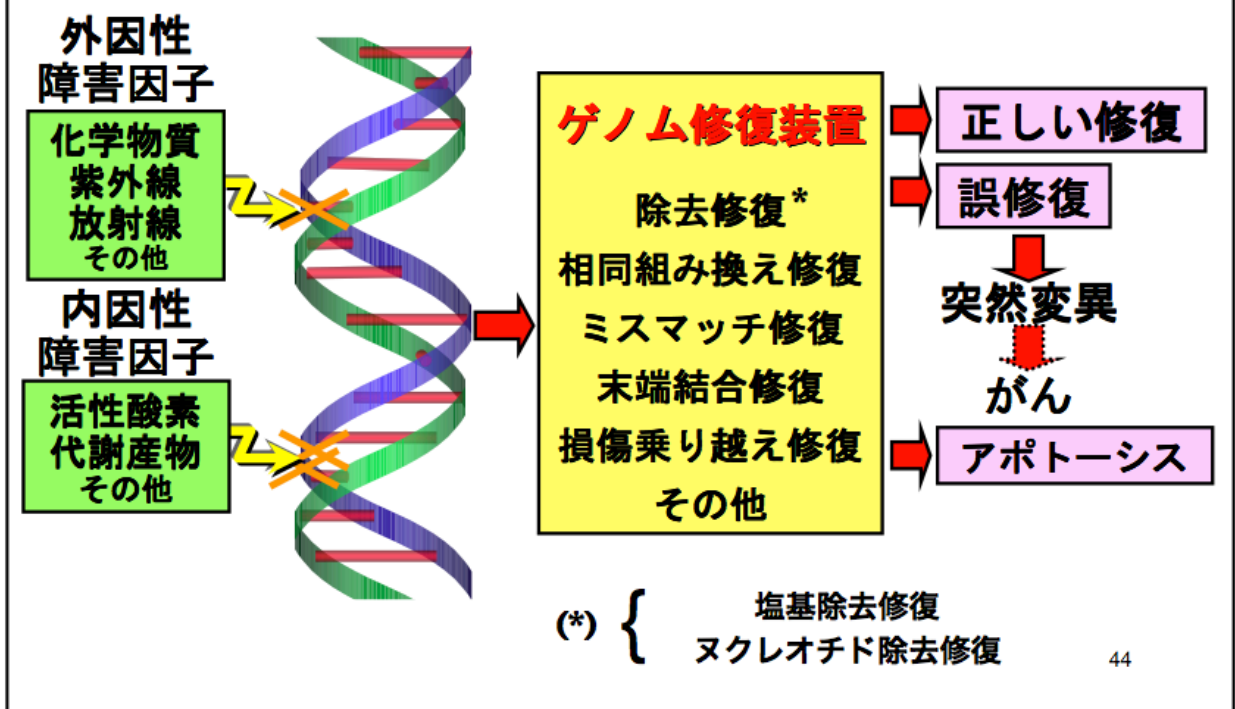
DNA 修復



35



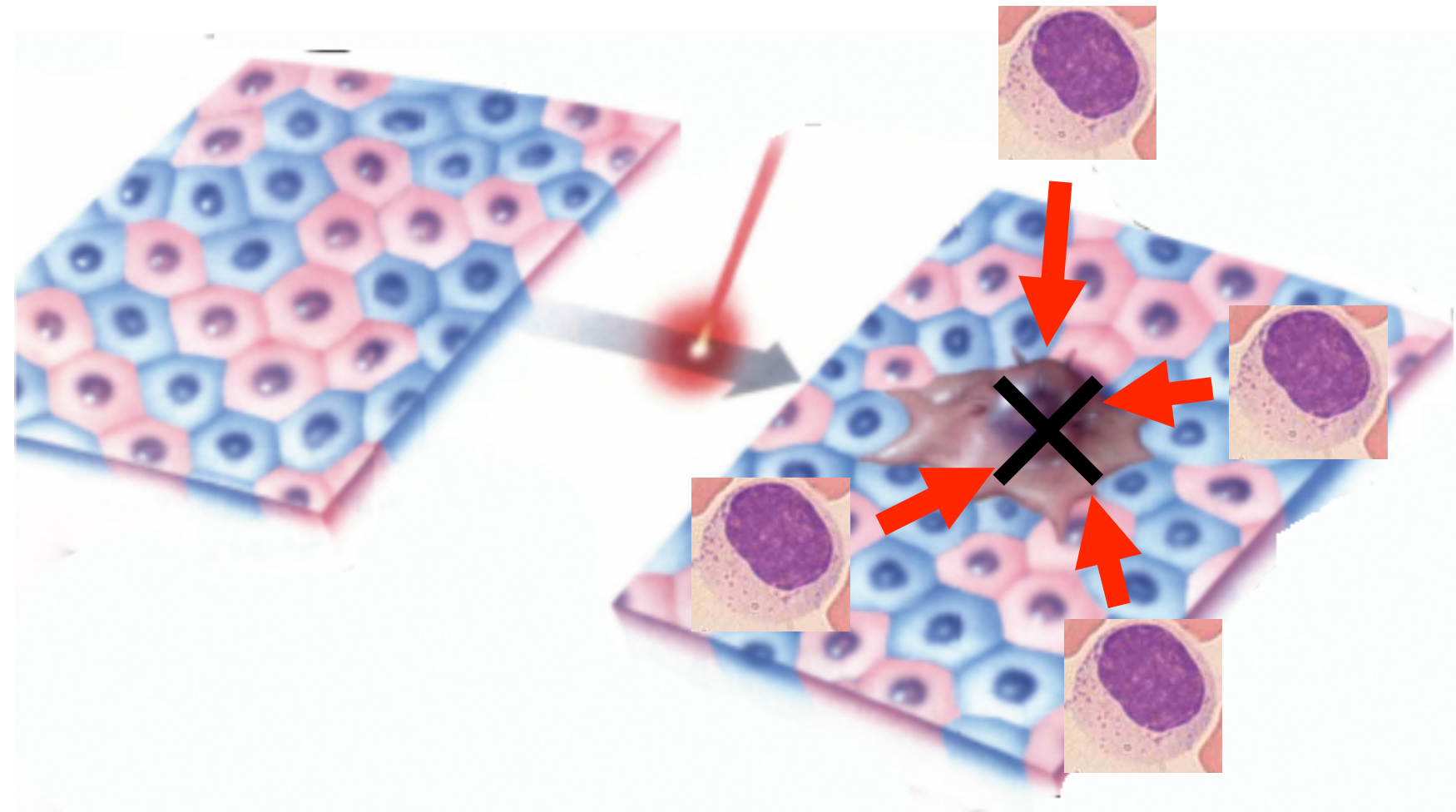
ゲノムのキズを修復するシステム



44

がん、とは？

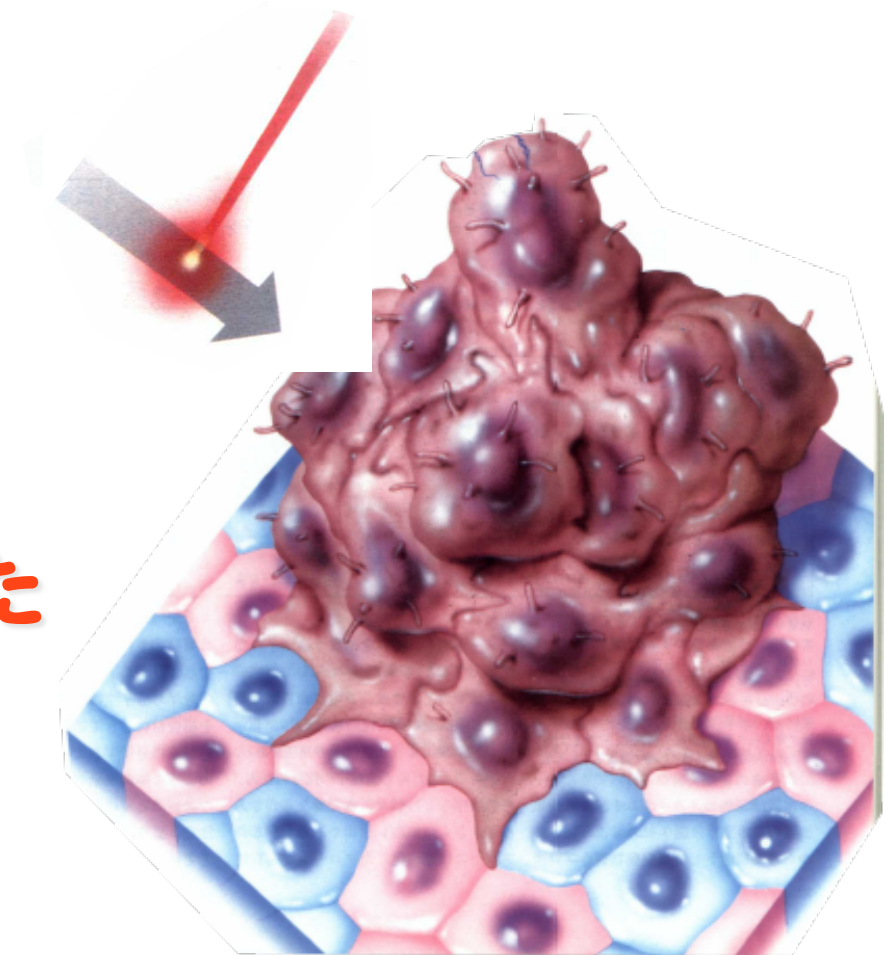
がん細胞は毎日5000個もできている！！



リンパ球が、できたてのがん細胞を殺す

免疫の攻撃をかいくぐった
ものが「がん」

がん、とは一種の「老化」



放射線量の単位

- 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

Gray

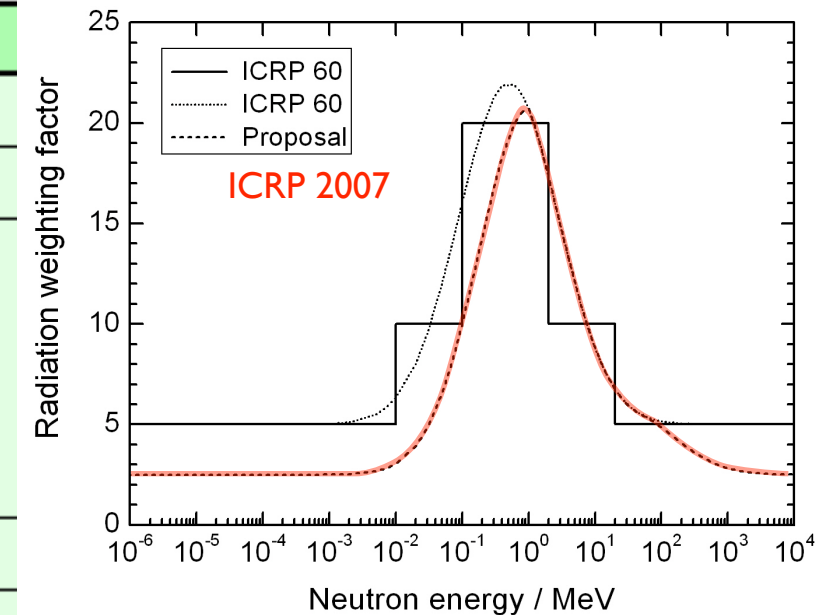


- 放射線の種類による生物学的影響の違いを考慮

等価線量 $H_T [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

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	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)
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

- 全身被曝での影響に換算（臓器ごとに荷重係数をかけて合算）

実効線量 $E [J / kg] = [Sv]$ シーベルト

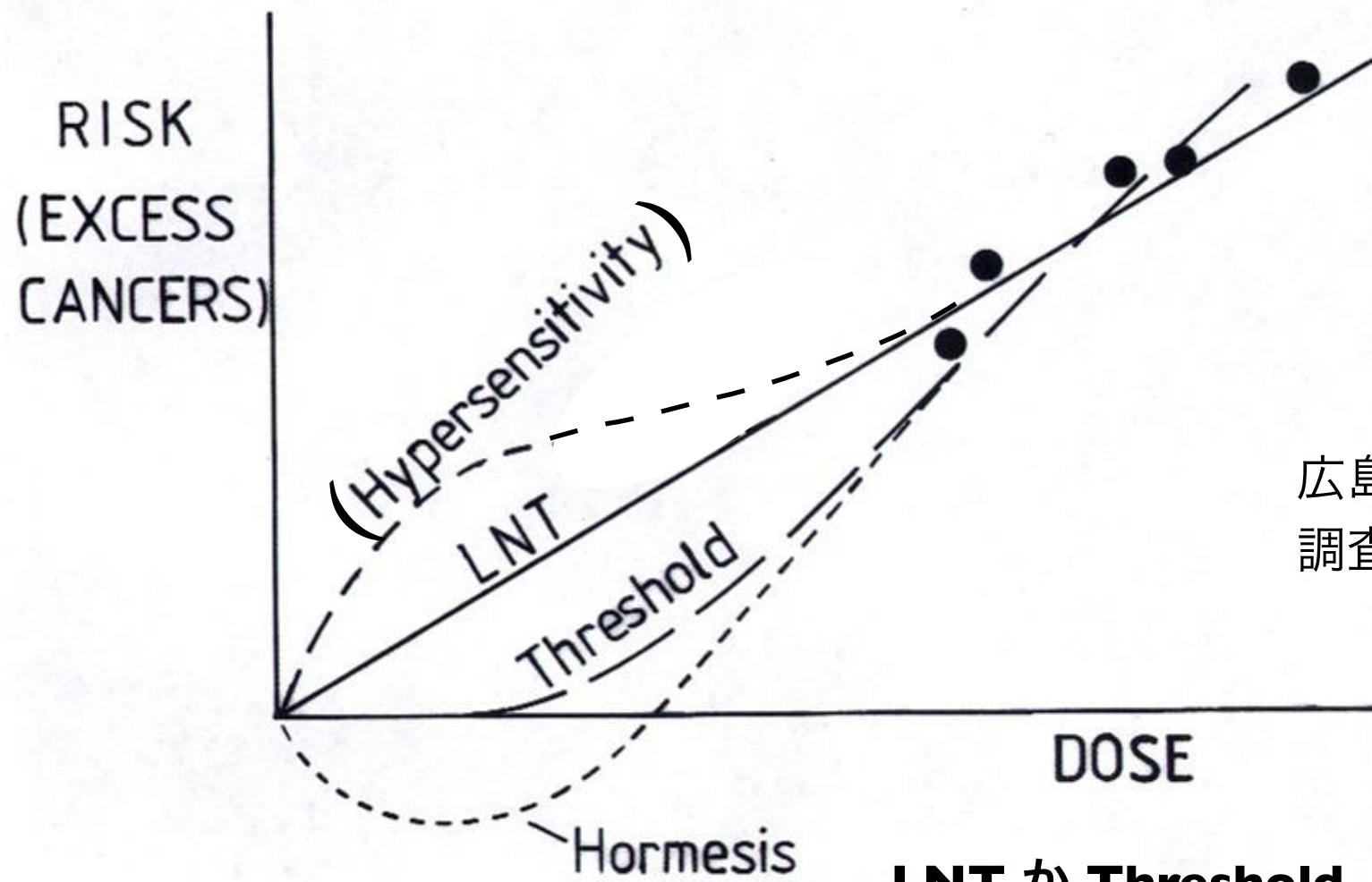
Sievert



低線量におけるリスク評価

(0 – 100 mGy)

将来のガンの増加リスク



広島・長崎被爆生存者の放影研調査は重要な疫学データ。

LNT か **Threshold** (閾値あり) かは疫学調査から統計学的に判断がつかず、議論が分かれている。

国際放射線防護委員会 (**ICRP**) は安全サイドに立って **LNT** (Linear Non-Threshold = 線形閾値なし) **仮説**を採用。

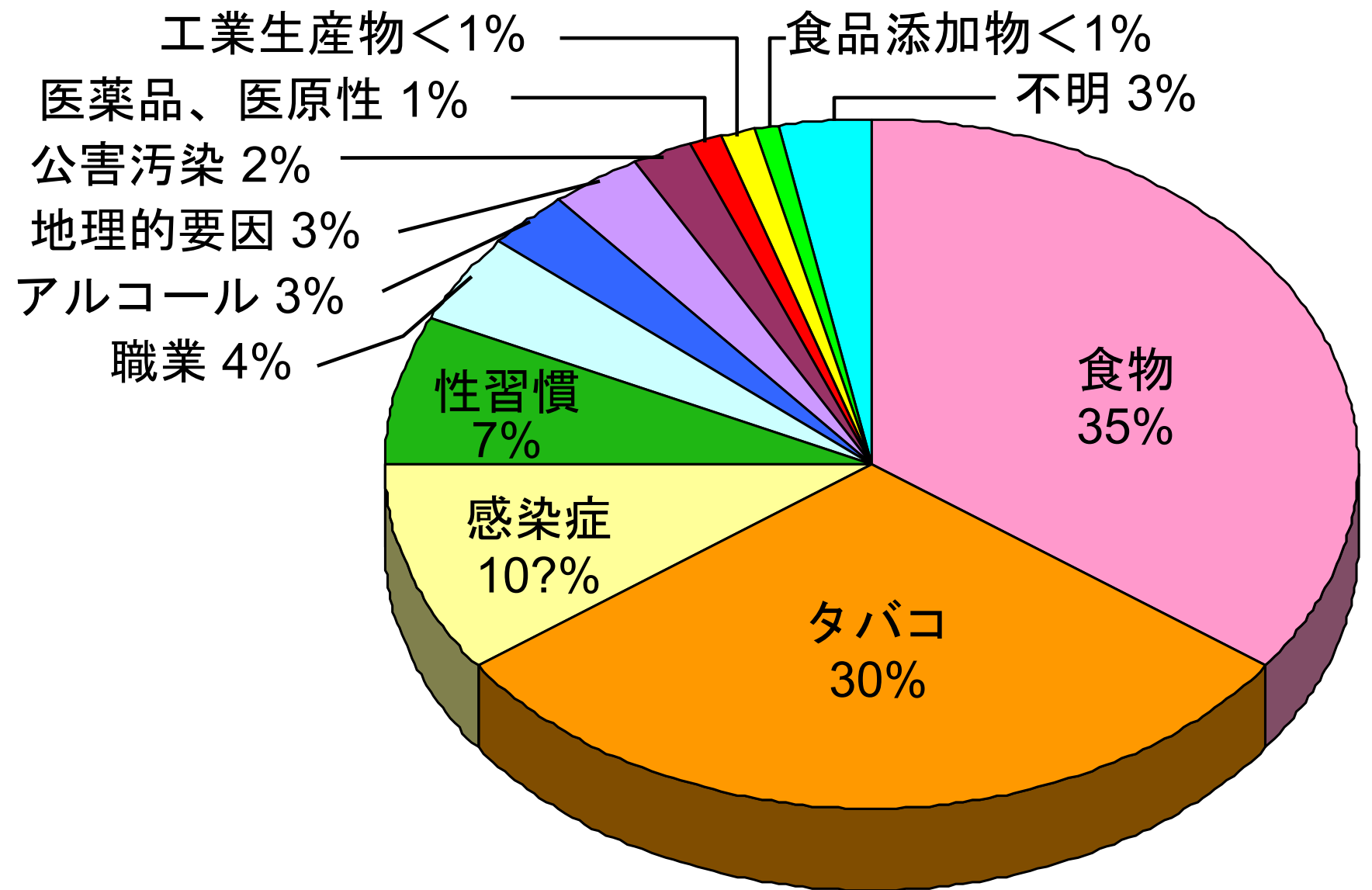
放射線と生活習慣の発がんの相対リスク比較

受動喫煙の女性	1.02~1.03倍
野菜不足	1.06倍
100~200ミリシーベルトを浴びる	1.08倍
塩分の取りすぎ	1.11~1.15倍
運動不足	1.15~1.19倍
200~500ミリシーベルトを浴びる	1.19倍
肥満	1.22倍
500~1000ミリシーベルトを浴びる	1.4倍
毎日2合以上の飲酒	1.6倍
喫煙	
毎日3合以上の飲酒	1.8倍
1000~2000ミリシーベルトを浴びる	

※網かけは放射線

(注)相対リスクは、例えば喫煙者と非喫煙者のがんの頻度を比較した数字

ヒトのがんの原因と関連のある因子



(R.Dool and R.Peto, 1981)

表の値は短時間での被曝の場合。

がん死中にしめる各因子の割合 (%)

(低線量率では損傷の修復のためリスクはより小さい。どれだけ小さいかは議論のあるところで、結論は出ていない。ICRPは係数1/2を採用。)

低線量・低線量率の被曝とガン死亡

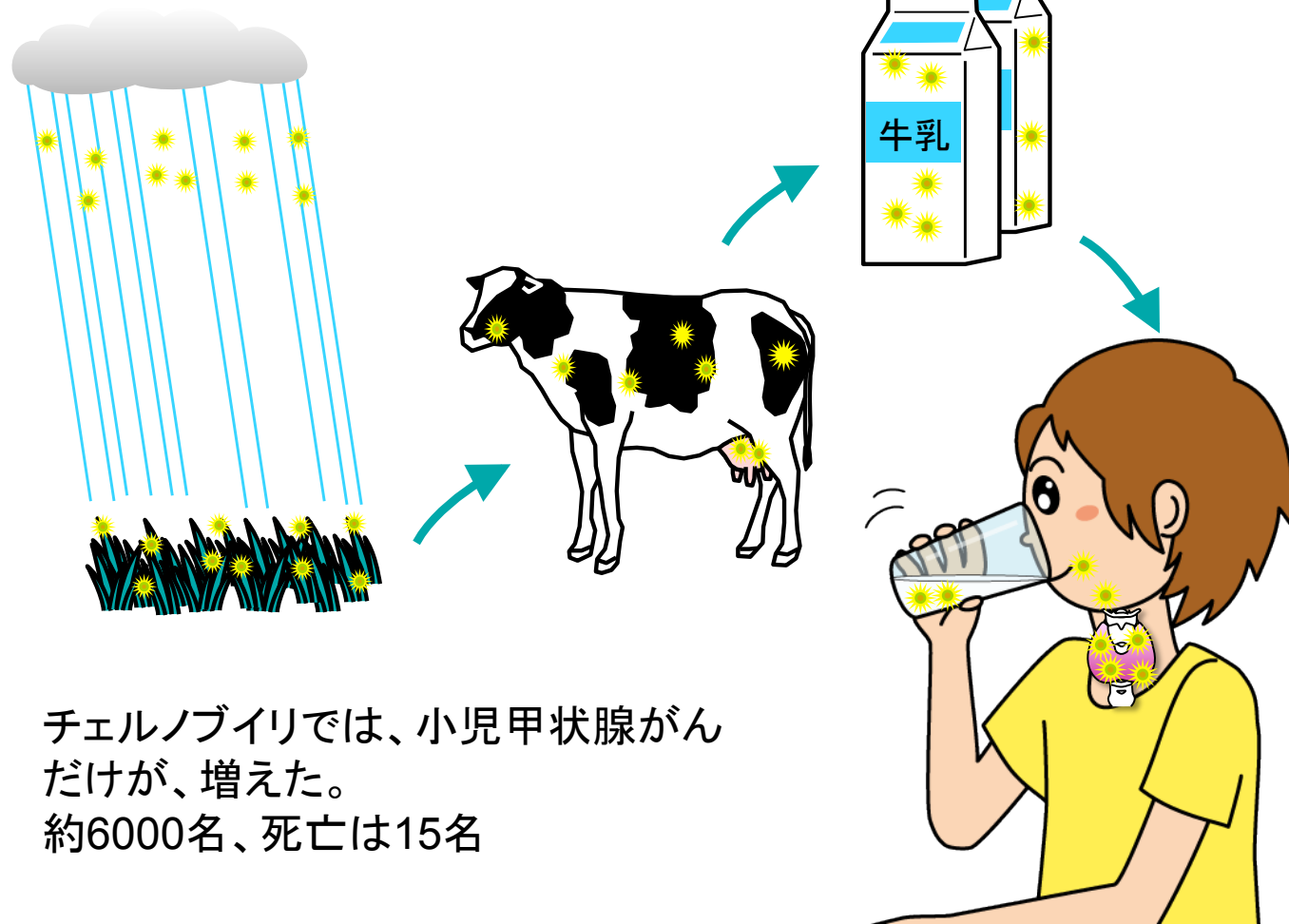


ロシア語
Чернобыль / Чорнобиль



チェルノブイリ原発事故

^{131}I (ヨウ素131) total 200京ベクレル !!



一般住民で確認された健康への影響は
こどもの甲状腺ガンの増加のみ。
(地産地消の牛乳による摂取が問題)

毎年 1/300,000人 → 1/10,000人
(患者数 5000人、死亡 15人)

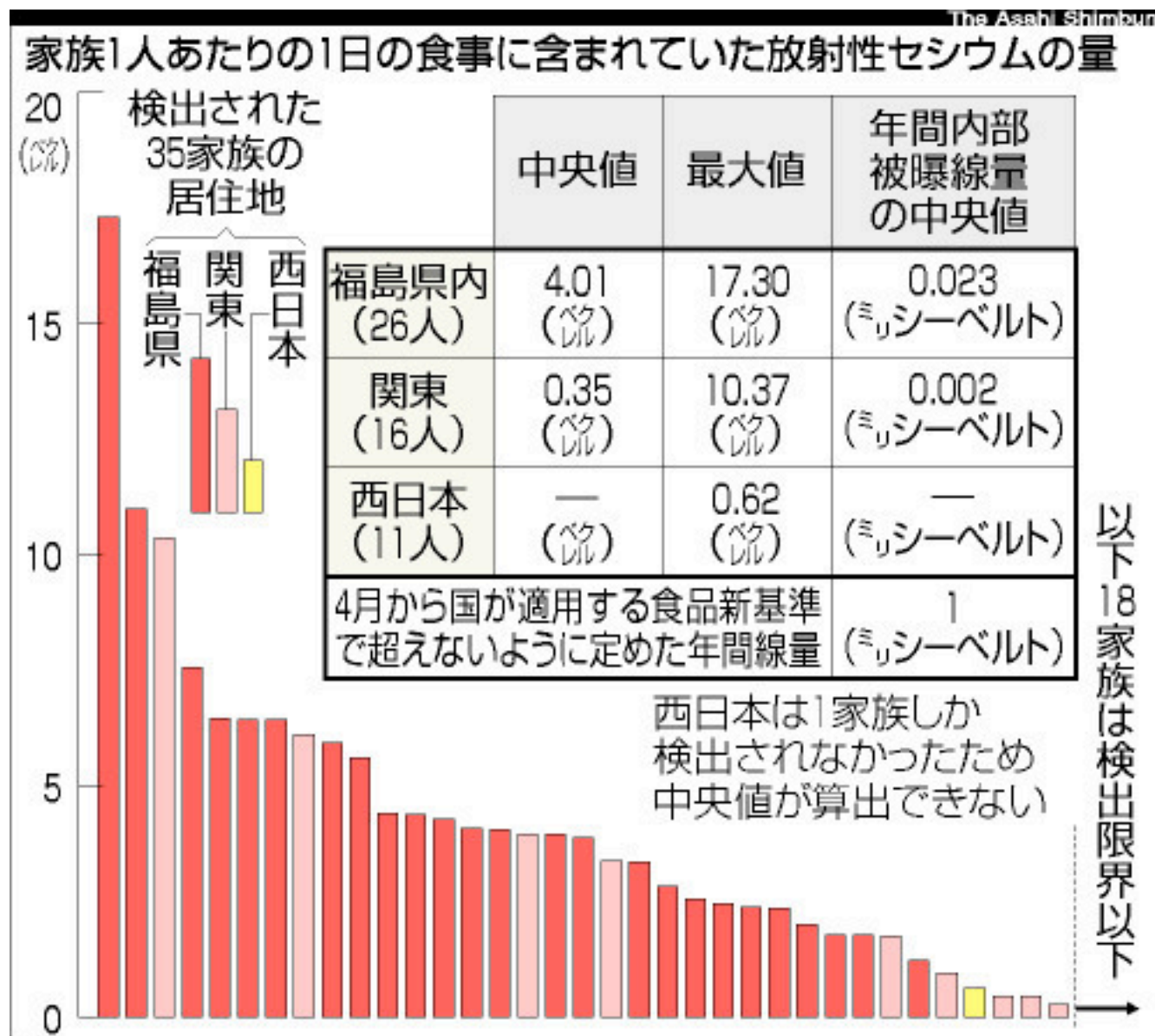
甲状腺平均被曝量 **2 Gy**

= **2000 mSv !!** (10 Gy 以上の被曝も!)
と、ずっと大きいストレスによる失調

いわき市、飯舘村のこどもの甲状腺被曝調査
最大で **35 mSv** の被曝 (甲状腺等価線量)

震災・事故による喪失感は共通

セシウムによる内部被曝について



2012/1/18 朝日新聞：京都大医学研究科 小泉昭夫教授らの調査

最近の調査結果をみれば、ひとまず安心。

自然の内部被曝に比べ一割以下
(いろいろ批判されてきたが)
食品規制が奏効しているようだ。

■放射性セシウムの基準

暫定基準		新基準案	
野菜類	500%	一般食品 (野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他)	100%
穀類	500%		
肉・卵・魚・その他	500%		
飲料水	200%	飲料水	10%
牛乳・乳製品	200%	牛乳	50%
		乳児用食品	50%

(1kgあたり)

事故前から体内に存在する放射性物質による自然放射線の内部被曝量 (体重 60 kg の人)

カリウム40、炭素14などあわせて 7200 ベクレル：0.3 ミリシーベルト／年間

うち、カリウム40 が 4100 ベクレル：0.2 ミリシーベルト／年間

放射性物質と植物

《放射線と農業》

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

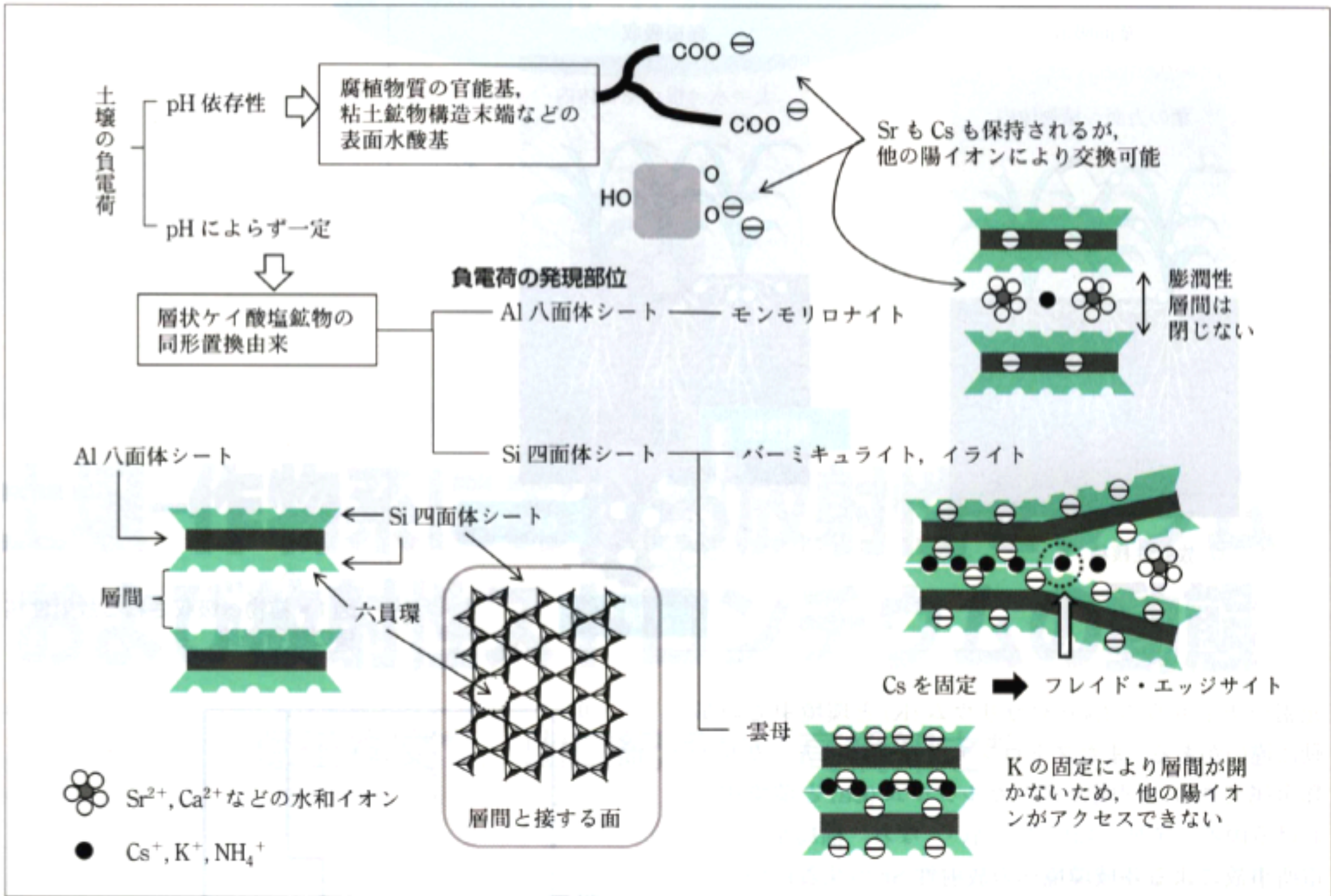


図 3 ■ 土壌の負電荷への Cs, Sr 保持メカニズム

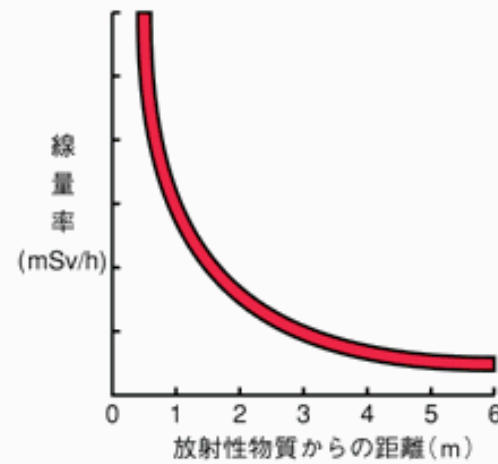
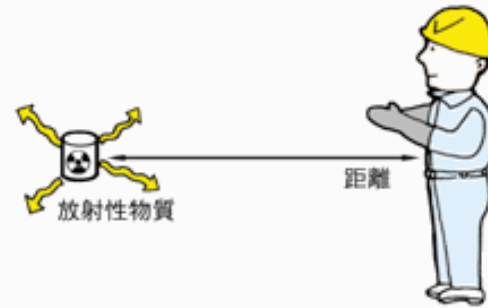
放射線のリスク評価と防護

《放射線防護学》

放射線防護

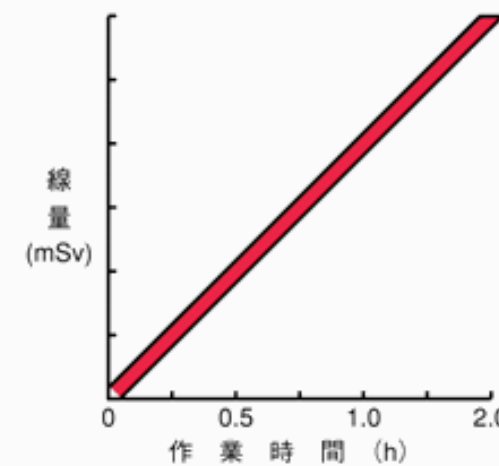
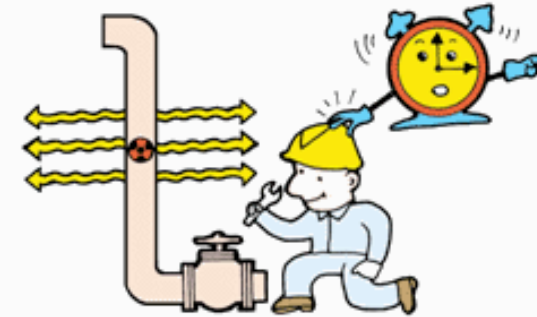
● 距離による防護

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



● 時間による防護

$$[\text{線量}] = [\text{作業場所の線量率}] \times [\text{作業時間}]$$



● 遮へいによる防護

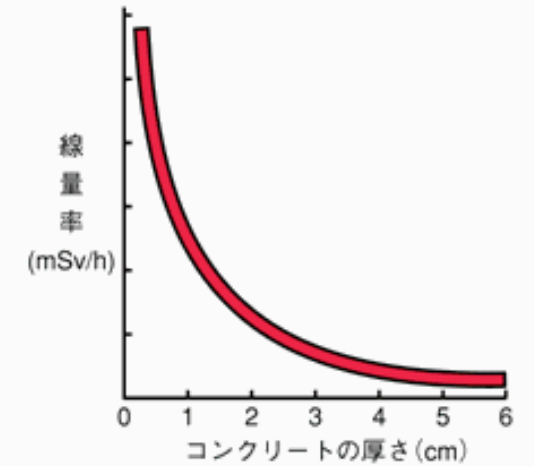
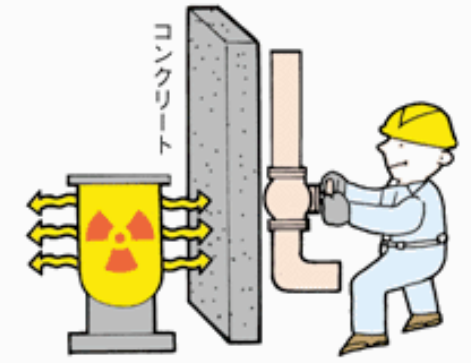


図1 遮へい3原則の図

[出典] 電気事業連合会:「原子力・エネルギー」図面集2003-2004、p.130

防護の最適化：個人線量、被曝人数、潜在的被曝の可能性のすべてを、経済的および社会的要因を考慮に入れたうえで、合理的に達成できる限り低く保つべきである。

(ALARA の原則 = As Low As Reasonably Achievable)

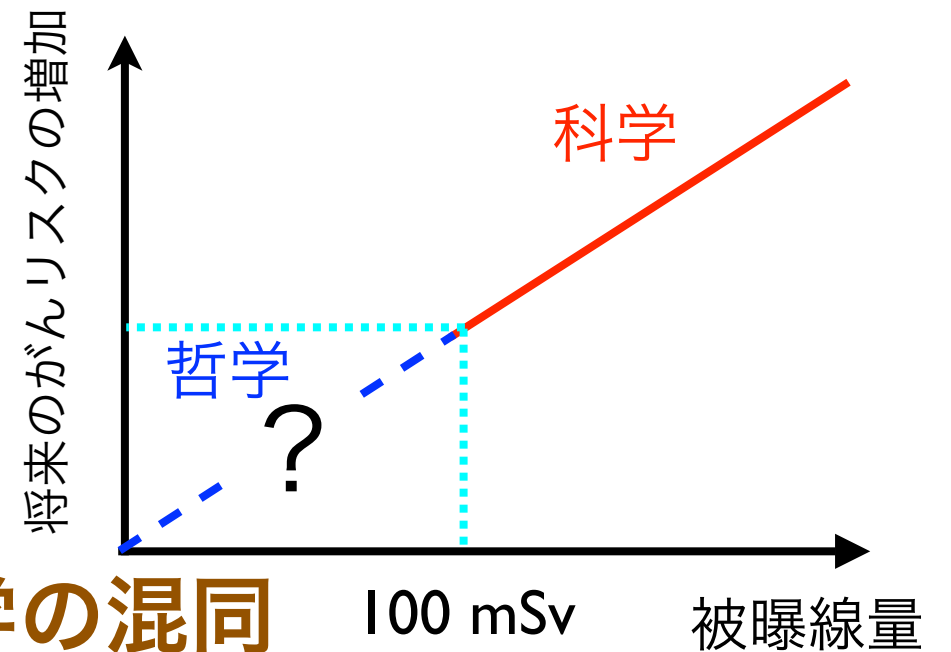
放射線の影響に関して異なった意見があるのはなぜか

がんの原因が医学的に分かっていない

疫学調査の問題点

統計学的有意性

影響の因果関係 スクリーニング効果・別の要因

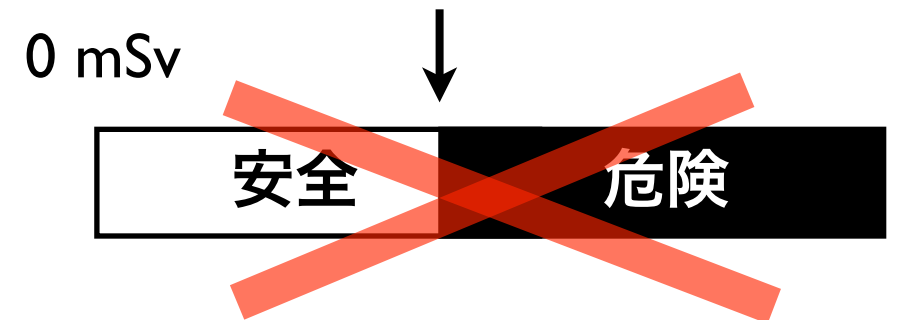


科学的知見と防護学(安全管理学)の哲学の混同

リスクをどこまで許容するか

安全と危険の線引きはできない。

他のリスクとの相対比較



リスクは相対的

基準値

(社会が決める)

放射線のリスク

「絶対安全」は世の中に存在しない。
相対的なリスク評価の目を養うべき。

正しい情報をどうやって判断するか。

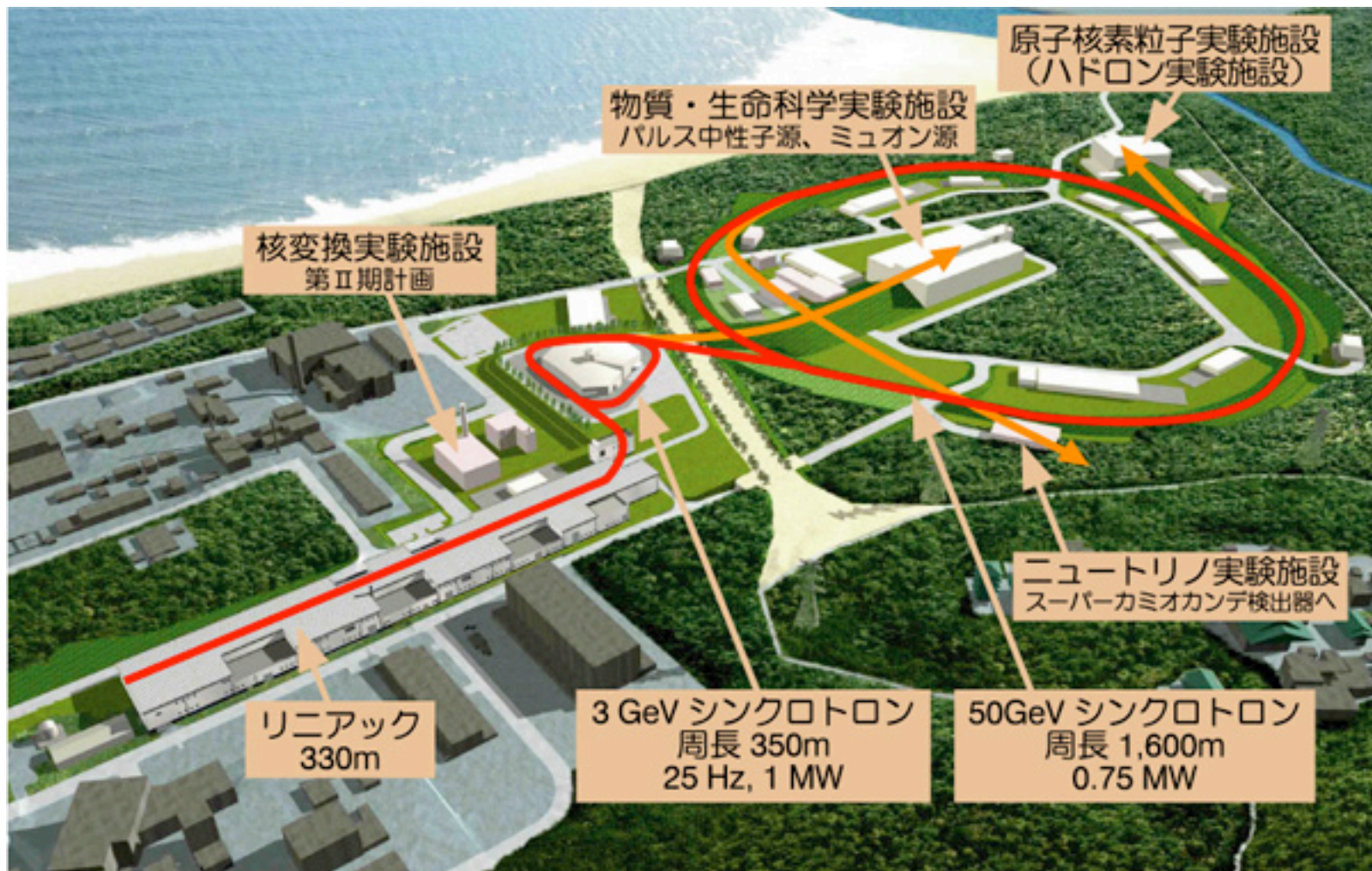
根拠のない過信・安心は問題だが、
根拠のない恐れや不安もまた問題。

☞ JCO の事故

☞ パニック、風評、健康被害。

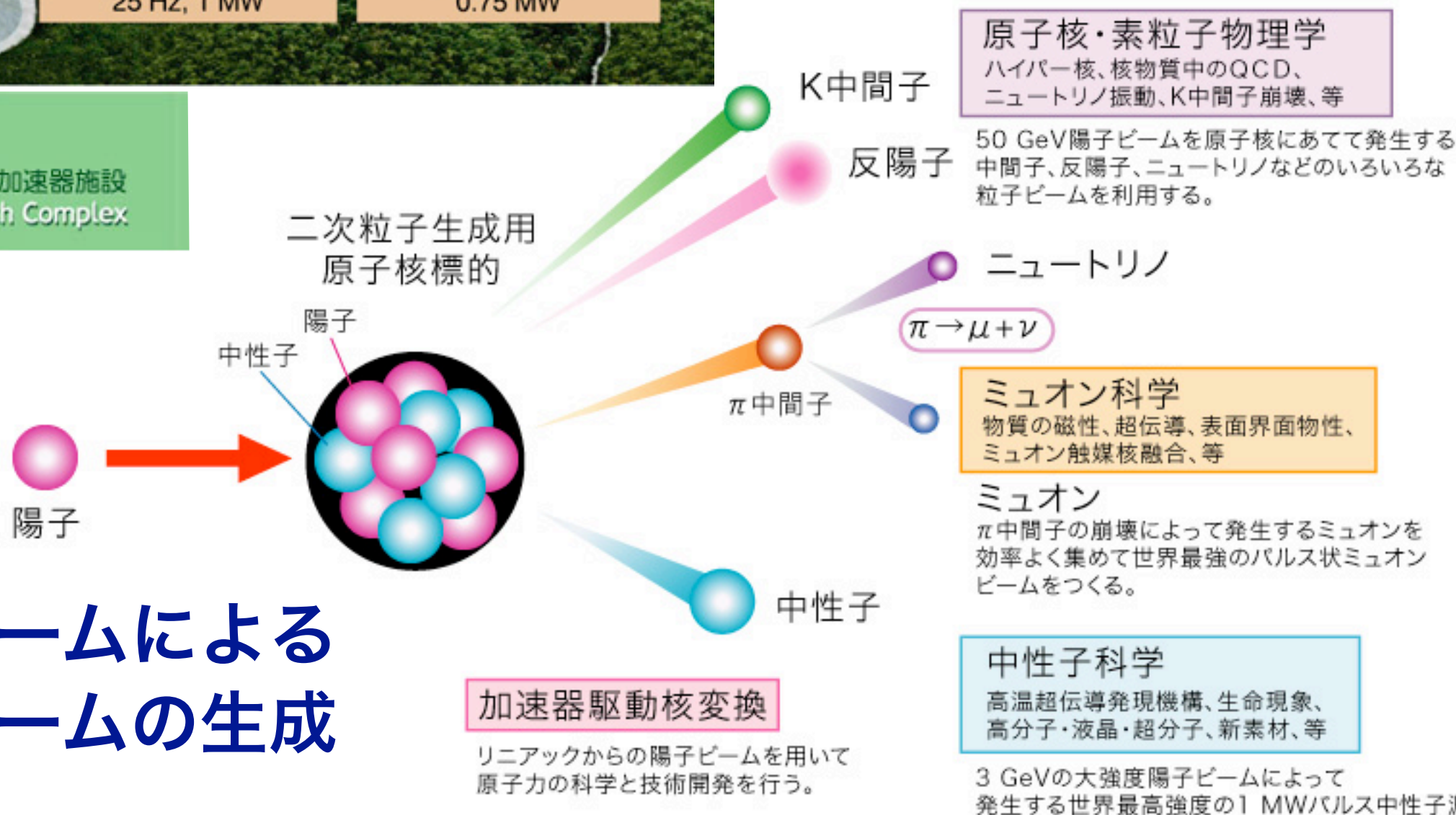
放射線の利用

加速器科学



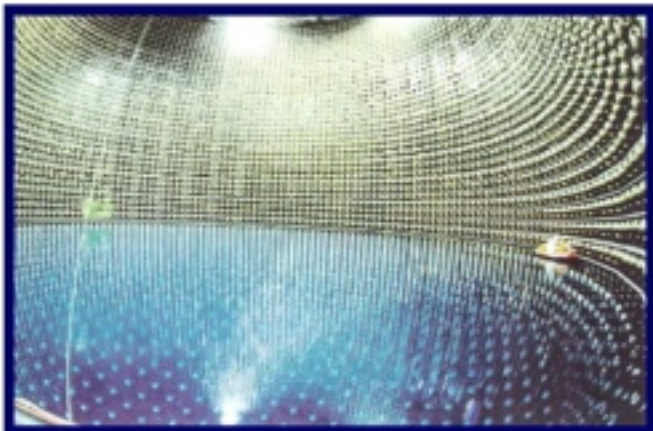
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

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

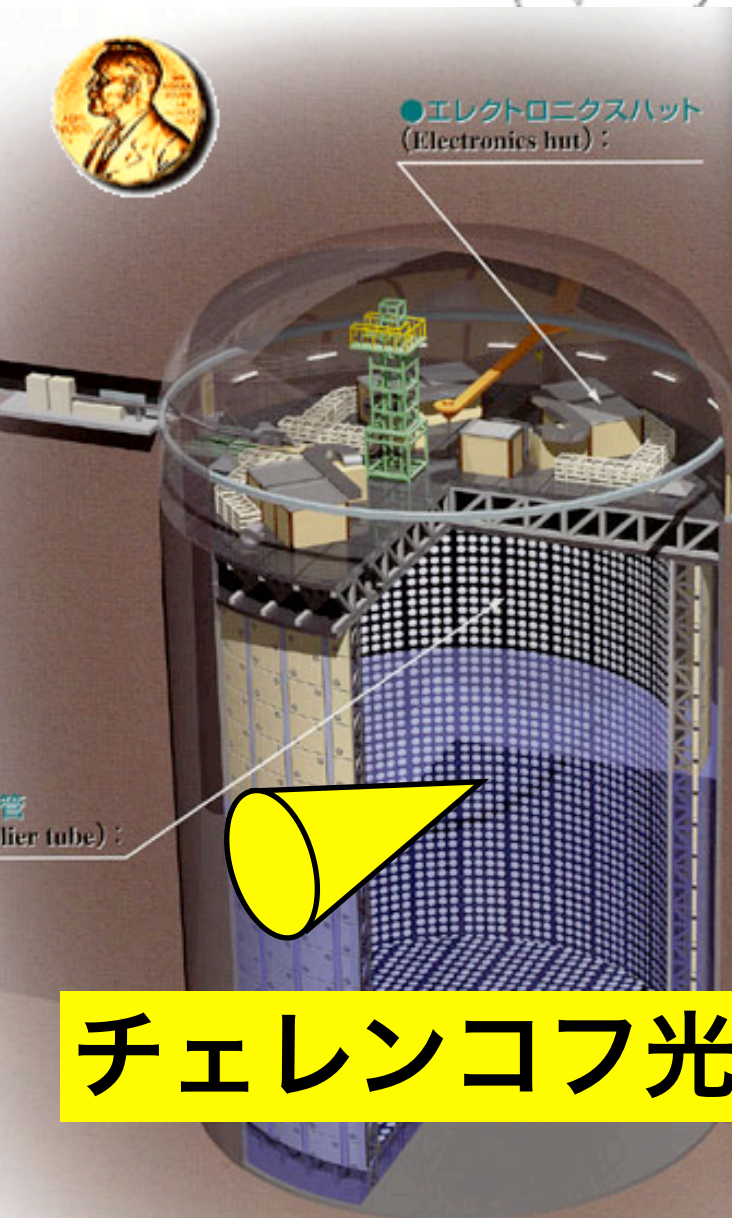
Super-Kamiokande



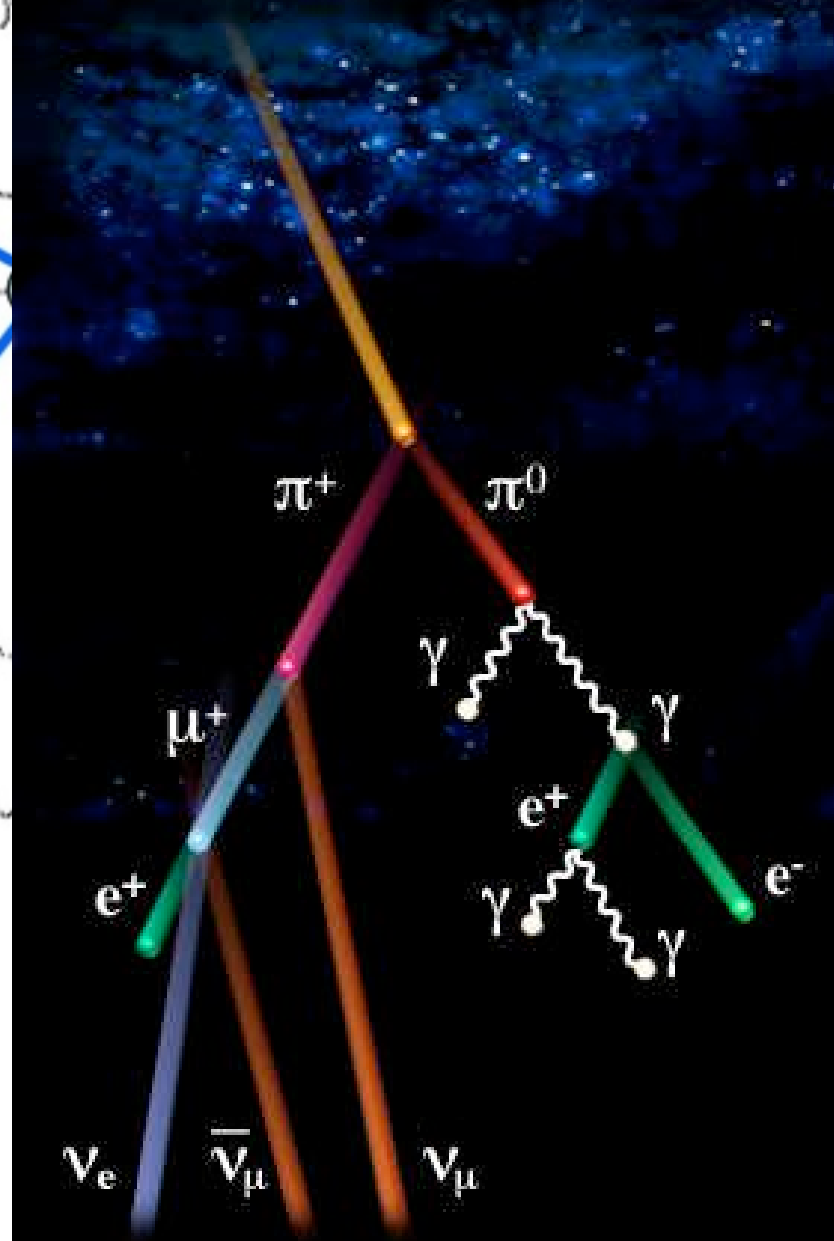
スーパー
カミオカンデ



●エレクトロニクスハット
(Electronics hut):



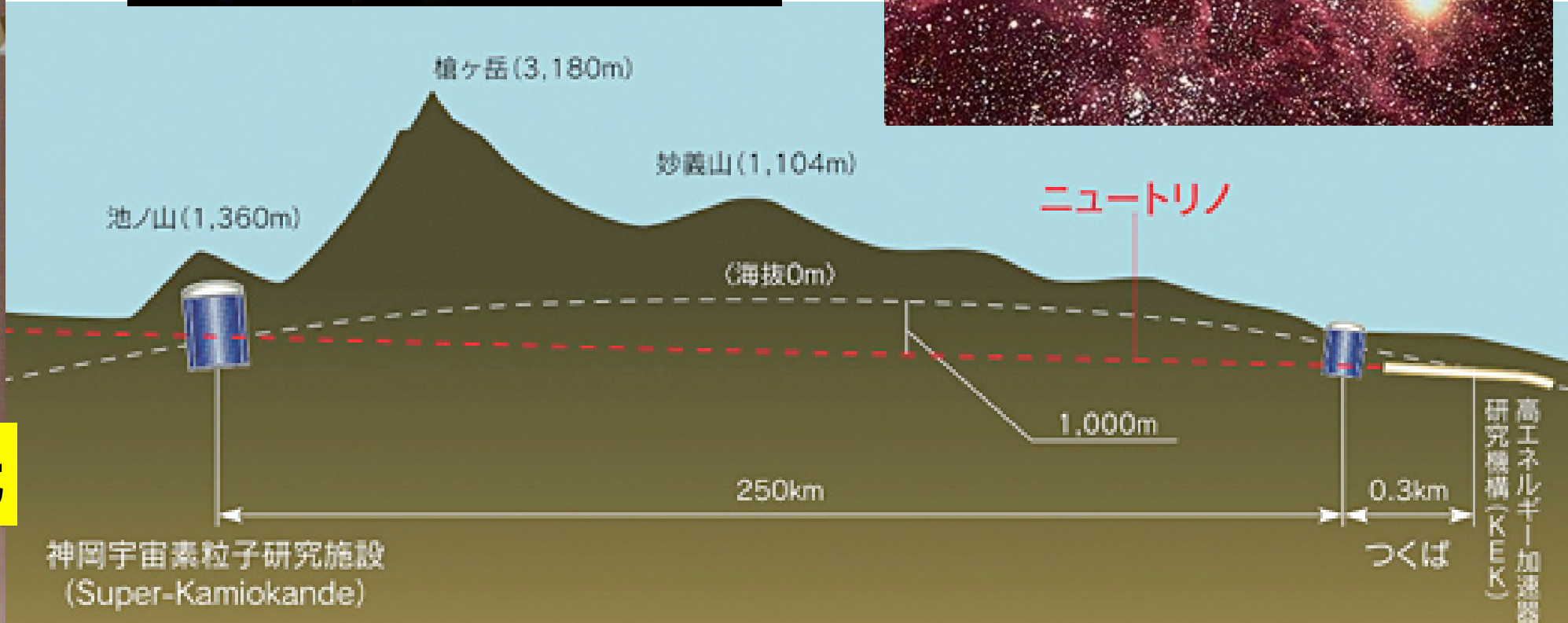
チェレンコフ光



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)

講義スライド

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

連絡先

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

担当教員：鳥居 寛之

東大教養 鳥居 放射線



検索！

内部被曝は怖い！という主張

チェルノブイリの「悲惨な例」のイメージ

放射線の安全を説く本は売れない。

安全と安心

信頼と納得、不信と不安と不満

ゼロリスク神話の盲点

定量的判断の必要性

「放射能の検査は大前提」 安全の担保としての基準値

科学者の立場・役割

情報開示・「伝える」ことの重要性

「ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたり
するのはやさしいが、**正当にこわがる**ことは
なかなかむづかしい**ことだと思われた。**」

寺田 寅彦 (1935年)

被曝を

怖れすぎても、怖れなさすぎても

健康被害が出る。

(放射線科医)

病は気から = 精神失調、免疫力低下などに注意

著書の紹介

「放射線を科学的に理解する」

鳥居寛之・小豆川勝見・渡邊雄一郎 著

中川恵一 執筆協力

丸善出版

9月発売予定

著書 「放射線を科学的に理解する」

- 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・土壌肥料学》
- 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

Fine.

Grazie per vostra attenzione.

Merci de votre attention.

Thank you for your attention.

Спасибо за внимание.

경청해 주셔서 감사합니다.

ご清聴ありがとうございました。

鳥居 寛之

Hiroyuki A.TORII