

環境科学技術研究所

# 成果報告会

平成 23 年度

財団法人 環境科学技術研究所

## 目 次

1. 放射性物質の農作物への取り込み	
(1) 概要説明	1-9
(2) 作物の葉の表面にのったセシウムはどうなるか？	10-24
(3) 土壌から農作物への放射性セシウムの移行	25-37
2. 低線量率放射線の生物への影響	
(1) 概要説明	38-48
(2) がんを退治する免疫細胞	49-59
補足説明資料	60-62

報告内容等の問合せ先 : 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駁字家ノ前 1 番 7

財団法人 環境科学技術研究所

総務部 広報・研究情報課

TEL 0175-71-1240

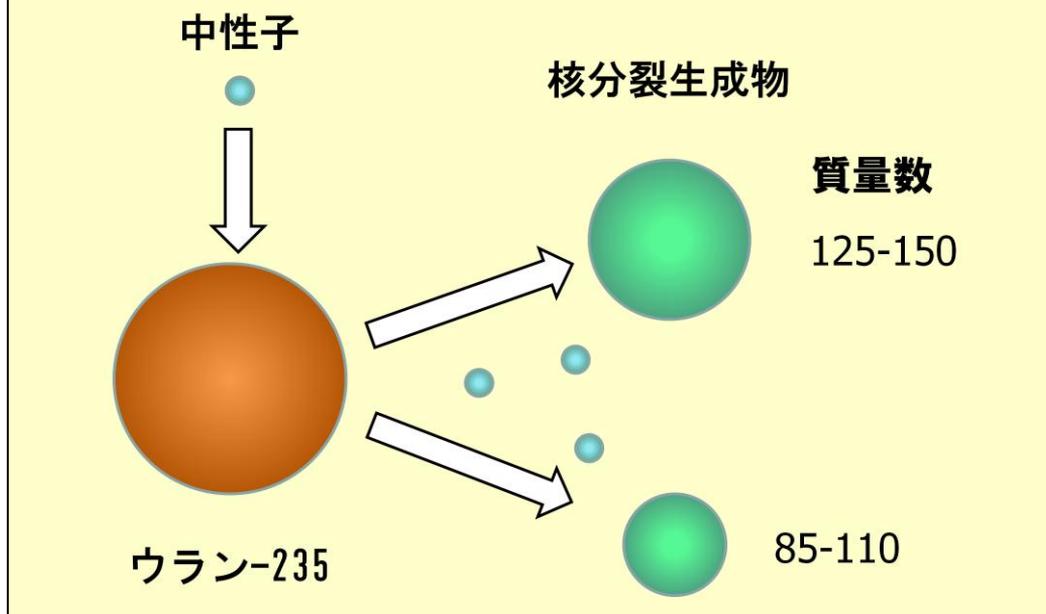


# 放射性物質の農作物への取り込み

環境動態研究部長  
久松 俊一

1. 作物の葉の表面にのったセシウムはどうなるのか？
2. 土壌から農作物への放射性セシウムの移行

## ウランの核分裂



### － 要点 －

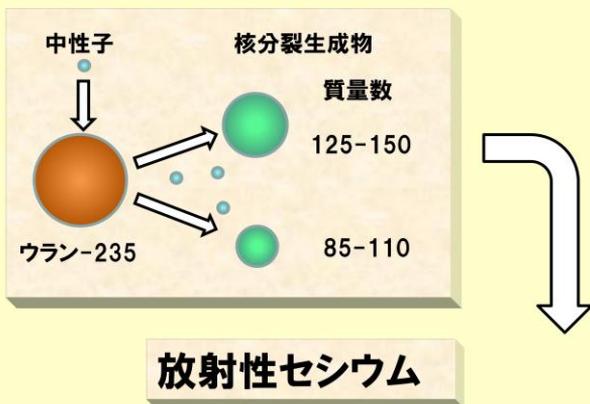
1. 中性子を取り込んだウラン-235は核分裂を起こす。
2. 分裂は等分に起きることは稀で、質量数125から150程度の大きな原子核と85から110程度の小さな原子核に分裂する。

### 〔用語解説〕

質量数：原子の質量のほとんど全ては原子核にあり、原子核の質量を質量数で表す。同じウランにも質量数の異なる原子核がある。

例) ウラン-235、ウラン-238等。

## 核分裂で生成するセシウム



セシウム-134 半減期2.1年

セシウム-137 半減期30年

### － 要点 －

1. 質量数の大きな核分裂生成物の代表的なものがセシウム-134とセシウム-137である。

### 〔用語解説〕

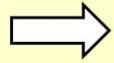
半減期：放射能が半分になるまでの時間。半減期の時間が経つと、放射能は1/2になり、更に半減期の時間が経つと1/2になるため、最初の1/4になる。

## 原子力施設から大気へ飛散する 主な放射性物質

### 希ガス

クリプトン-85、87、88

キセノン-133、135



気体

### ヨウ素

ヨウ素-131



気体、粒子

### セシウム

セシウム-134、137

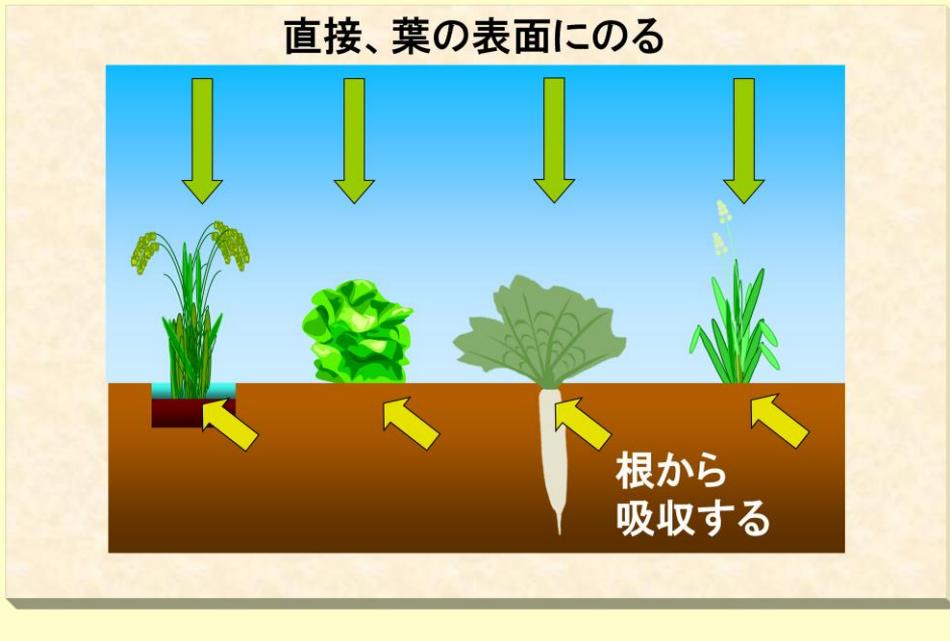


粒子

### － 要点 －

1. 原子力施設から大気へ飛散する放射性物質は、常温で気体状の希ガス、高温で気体となり易いヨウ素やセシウムである。セシウムは温度が下がると粒子となるため施設外には粒子として出てくる。ヨウ素は中間的な性質を持ち、一部は気体、残りは粒子として拡散する。
2. ストロンチウム、ウラン、プルトニウムは高温でも気体となりにくいので、飛散しにくい。
3. 原子力施設が健全な状態であれば粒子はフィルターで除去されるため、セシウムの飛散量は極めて少ない。

## 大気中に飛散した放射性セシウムの作物への取り込み



### 〔用語解説〕

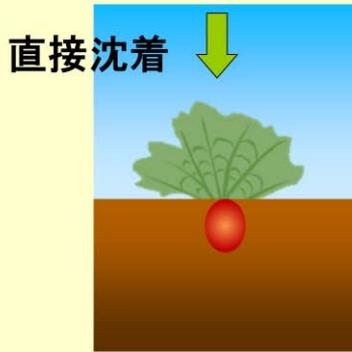
直接沈着：大気中から落ちたものが、葉の表面にのる。

経根吸収：土壌に落ちたものが水に溶け、作物が根から吸収する。

## 大気中に飛散した放射性セシウムの作物への取り込みについての調査

1) 葉の表面にのったセシウムがどのくらい残るのか？

2) 土壌に入ったセシウムがどのくらい吸収されるのか？



ハツカダイコン



牧草

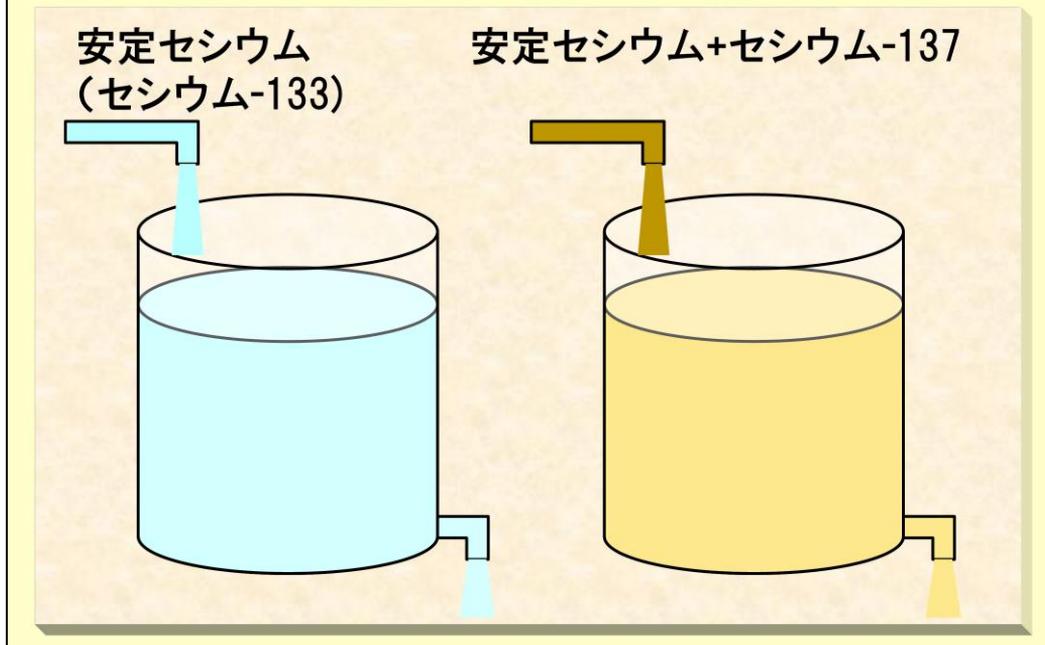
### － 要点 －

大気中に飛散した放射性セシウムの作物への取り込みについての調査から本日は次の2つの話しを行う。

1) 大気中から落ちて、葉の表面にのったセシウムの内、どれくらいが残るのかをハツカダイコンを用いて調べた。

2) 土壌に入ったセシウムがどのくらい吸収されるのか、また吸収率は時間が経つとどう変わるのかを、牧草を用いて調べた。

## コンパートメントモデルとは



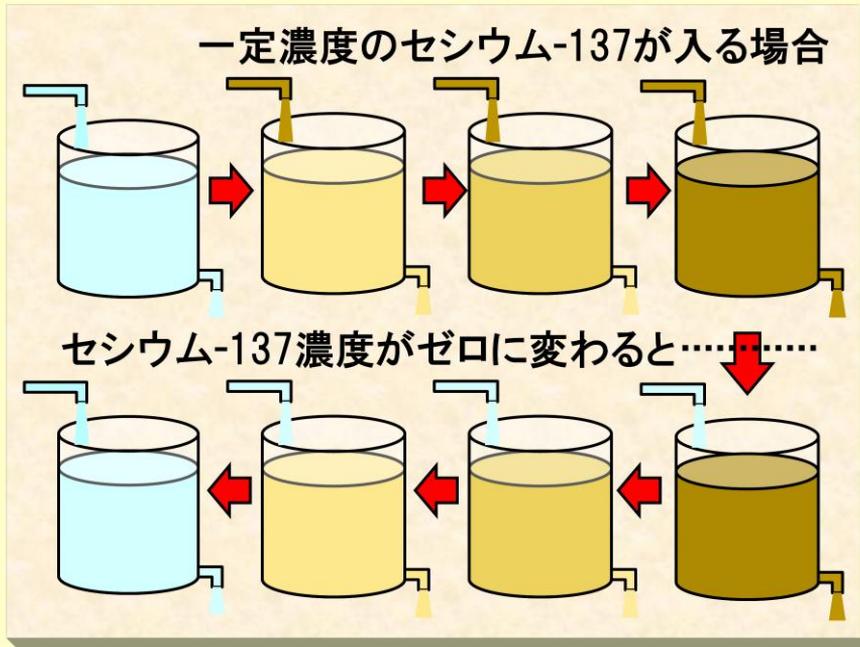
### － 要点 －

「作物の葉の表面にのったセシウムはどうなるか？」の中で「コンパートメントモデル」という用語が出てくるのでその説明をする。

コンパートメントモデルとは物が生物等の体内に溜まる様子を表すために使うものである。

1. バケツが一つあると考える。
2. バケツには上から水が流れ込み、底にある穴から流れ出ている。流れ込む量と流れ出る量が同じなので、バケツの中の水の量は一定になっている。
3. 生物が体の中に安定セシウム（放射能を持っていないセシウム-133）を溜めるバケツを一つ持っている。吸収されるセシウムの量と排泄される量が釣り合っていて、体内のセシウムの量は一定に保たれている（左のバケツ）。
4. セシウム-137が入って来ることは、色のついた水が入って来ると考えられる（右のバケツ）。

## コンパートメント内のセシウム-137濃度



### － 要点 －

1. 一定の濃度のセシウム-137を含んだセシウムが入ると、バケツの中のセシウム-137の濃度は徐々に濃くなり、入って来るセシウムと同じ濃度になる。
2. 同じ濃度になったところで、セシウム-137を含まないセシウムに切り替えると、バケツの中のセシウム-137の濃度は徐々にゼロになる。

### 生物濃縮について

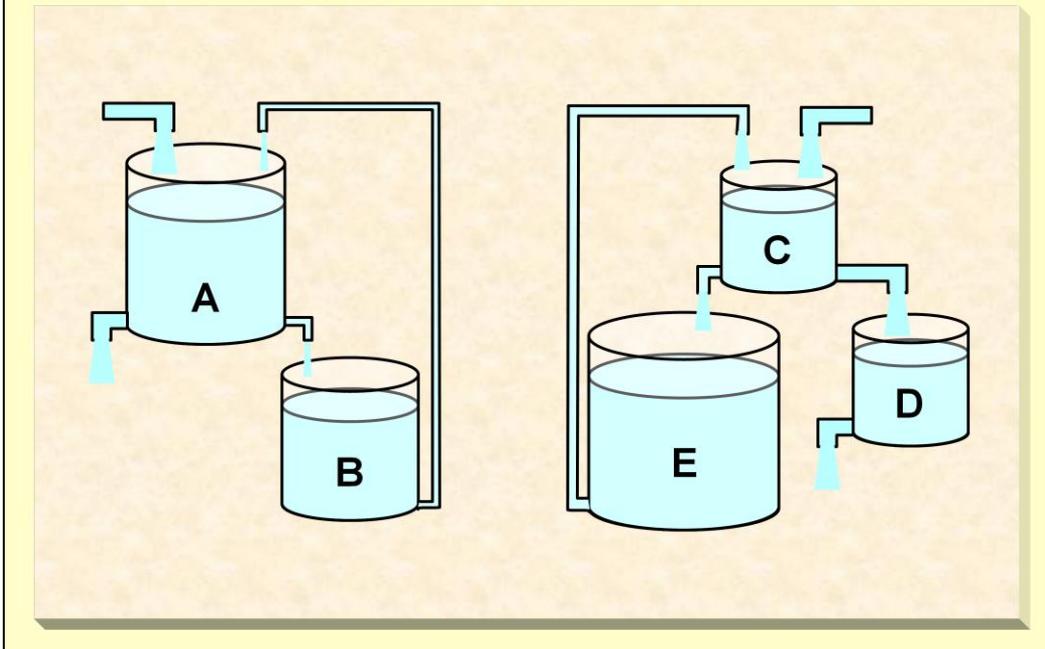
生物濃縮は周りの環境中のセシウム-137濃度より生物中の濃度が高くなることを言うが、上の図からは、入って来るセシウムと同じ濃度にしかならず、濃縮は起きないように見える。

実際には、生物中の濃度は上のバケツに入っているセシウム-137の量を生物の体重で割ることになる。バケツの大きさは生物の体重とは比例しない。

小さな生物が大きなバケツを持っている場合は体重当たりの濃度は高くなるし、大きな生物が小さいバケツしか持っていなければ体重当たりの濃度は低い。

つまり、体に比べて大きなバケツを持っている生物は生物濃縮を起こすことになる。

## 色々なコンパートメントモデル



### － 要点 －

いろいろなコンパートメントを組み合わせ、生物中の溜まり方を表す。

#### 1. 左の図の場合

大きなバケツAの中は比較的早く入れ替わるが、小さなバケツBは濃度が上がりにくい、一度上がると下がりにくい。

#### 2. 右の図の場合

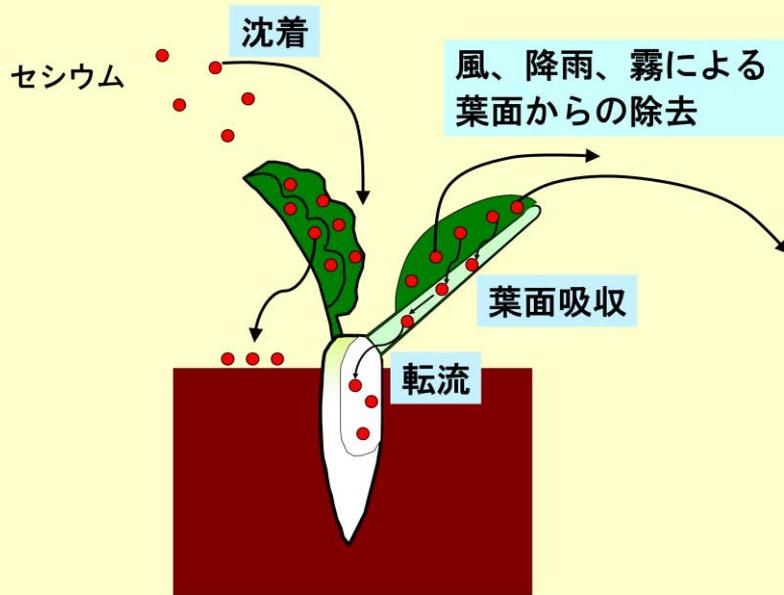
バケツCは小さいが、流れ込む量が多いので、すぐに濃度が上がる。バケツDはCよりも上がりにくい。一方、バケツEは大きく一度濃度が上がると下がりにくい。

このように、バケツの数、大きさ、流れ込む速度を変えて、生物中での溜まり方を表す。今回出てくるコンパートメントモデルは複雑なモデルになっているが、考え方は同じである。

# 作物の葉の表面にのった セシウムはどうか？

環境動態研究部  
川端 一史

## 調査の目的



### — 要点 —

1. 作物の葉の表面（葉面）にのったセシウムは、葉面から吸収され（葉面吸収）、他の部位へ移動（転流）するが、一部は、風や雨等により、葉面から除かれる。
2. 環境から人への放射性物質の移動にとって作物は重要なルートであり、葉面にのった放射性物質の動きを知ることは人の被ばく線量を計算するためには必要である。
3. 六ヶ所村の気象条件におけるセシウムの葉面からの吸収、転流及び葉面からの除去の速度を求め、地域特性に即した現実的な被ばく線量の計算に役立てることを目的とした。

### 〔用語解説〕

転流：植物体のある部分から他の部分に物が運ばれること。

## 本日の内容

1. 実験の方法
2. 雨を降らせない時のセシウムの動き
3. 雨を降らせた時のセシウムの動き
4. 六ヶ所村で実測した気象データを用いた葉面上セシウムの半減期の計算

全天候型人工気象実験施設



### — 要点 —

1. 今回の実験は、当所にある全天候型人工気象実験施設の人工気象設備を使って行った。この全天候型人工気象実験施設には、大型人工気象室があり、温度、湿度を変えることができ、日射、雨、雪、霧を再現することができる。

### 〔用語解説〕

半減期：ここではある物質の量が半分になるのにかかる期間。

## 実験方法(1)

### 六ヶ所村における農作物の 作付面積

作物の種類	作付面積 (ha)
ダイコン	358
ヤマノイモ	143
ニンジン	82
バレイショ	82
ゴボウ	31
水稻	164

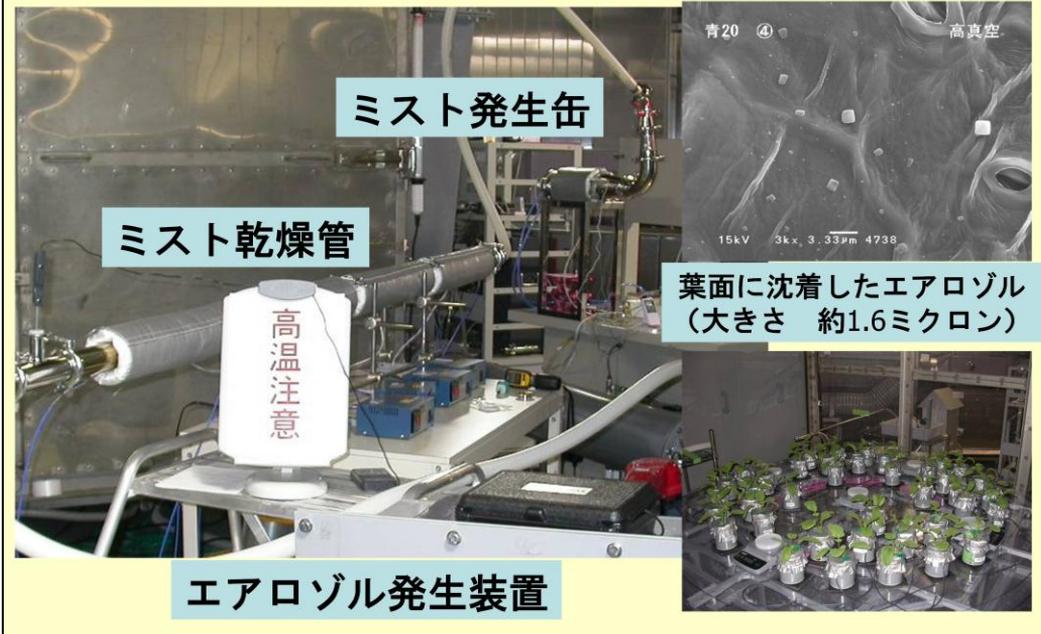


実験に使用した植物  
(ハツカダイコン)

#### —要点—

1. 六ヶ所村では、ダイコンが最も多く栽培されているので、ダイコンと同じアブラナ科に属するハツカダイコンを実験用植物に選んだ。
2. 今回は葉面上のセシウムの動きを知ることを目的としたため、根から吸収されるセシウムができるだけ少なくなるように、土の代わりにガラスビーズを使い、毎日培養液を与えて栽培した。

## 実験方法(2)



### —要点—

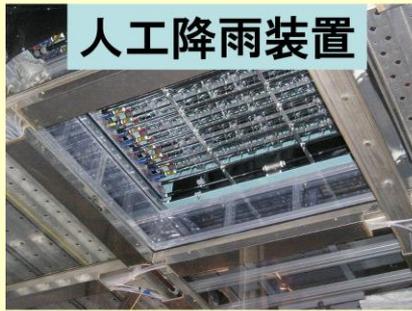
1. 実験に用いたセシウムは放射性セシウムではなく、安定なセシウムである。
2. ハツカダイコンの葉面へセシウムをのせるために、まず、塩化ナトリウムと塩化セシウムを混合した水溶液を小さな水滴（ミスト）状にし、その後水滴に含まれる水分を乾燥させて、セシウムを含む固体エアロゾルを作った。

### 〔用語解説〕

エアロゾル：空気中に浮遊している微小な液体粒子や固体粒子。例えば、塵やほこり。

ミクロン： $\mu\text{m}$  1000分の1ミリメートル。

## 実験方法(3)

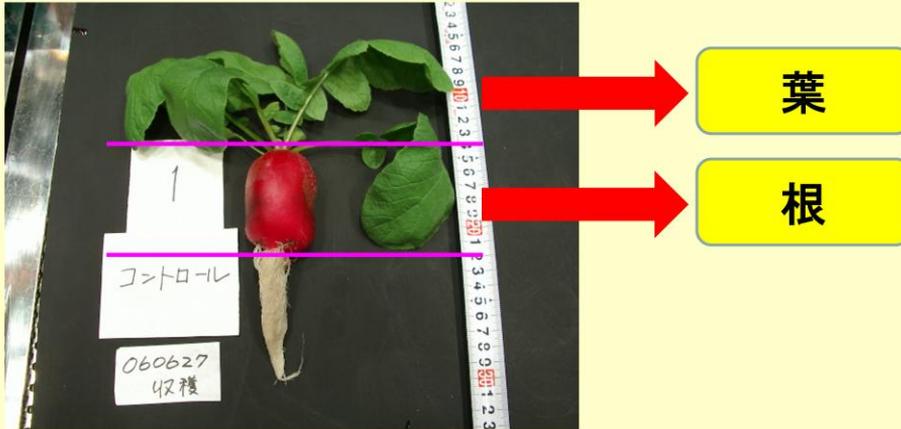


### —要点—

1. 雨を降らせる実験では、まず、ハツカダイコンの葉面にセシウムを載せた後、人工降雨装置を用い、ハツカダイコンに雨を当てた。

## 実験方法(4)

100mlの葉面洗淨液で葉面を洗淨



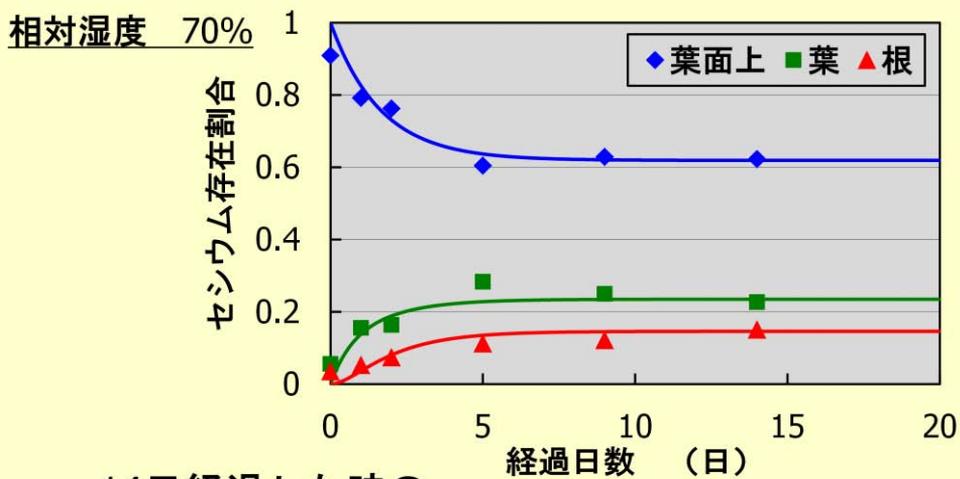
— 要点 —

1. 採取した植物は、葉面を葉面洗淨液で洗った後、葉と根に分けた。  
その後、葉面洗淨液、葉及び根に含まれるセシウムを測定した。

〔用語解説〕

葉面洗淨液：界面活性剤と硝酸を混合して作製した溶液。

## 雨を降らせない時のセシウムの動き



14日経過した時の

葉の表面から吸収された割合：0.38

根まで移動した割合：0.15

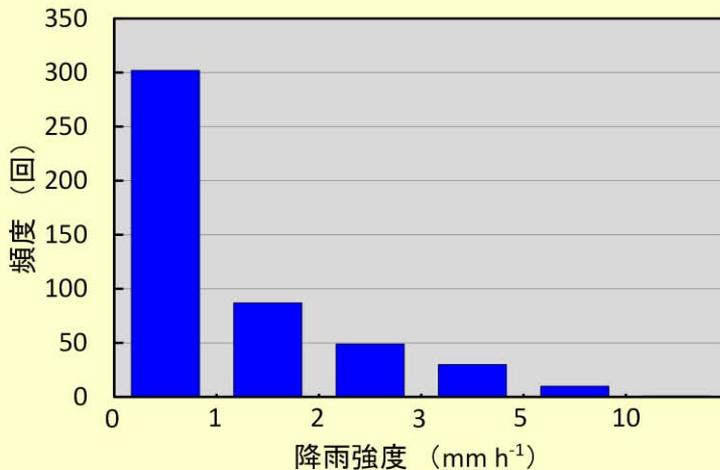
—要点—

1. 葉面にのったセシウムは、のった後数日間、速く葉面から吸収され、他の部位へ転流したが、その後の吸収はゆっくりになった。
2. 葉面にセシウムをのせた後14日経過した時点で、葉面上から吸収された割合は0.38で、根まで移動した割合は0.15であった。

[用語解説]

セシウム存在割合：葉面にのせたセシウム量に対する葉面上に残っていた量、葉の中の量又は根の中の量の比。

## 六ヶ所村で実測したひと雨の降雨強度



統計量	降雨強度 (mm h <sup>-1</sup> )
平均値 <sup>*1</sup>	0.6
最小値	0.02
最大値	14.4

(事象数: 479)

\*1: 幾何平均値

### —要点—

- 六ヶ所村で実測したひと雨の平均降雨強度は、 $0.6 \text{ mm h}^{-1}$ であった。また、9割以上が気象庁の定義する弱い雨に含まれていた。このため、雨を降らせる実験は、降雨強度が $3 \text{ mm h}^{-1}$ 以下を中心に行った。

### 〔用語解説〕

降雨強度：単位時間あたりの降雨量。

降雨量：ある時間内に降った雨の量であり、降雨が流れ去らずに地表面上を覆ったとしたときの水の深さで表す。

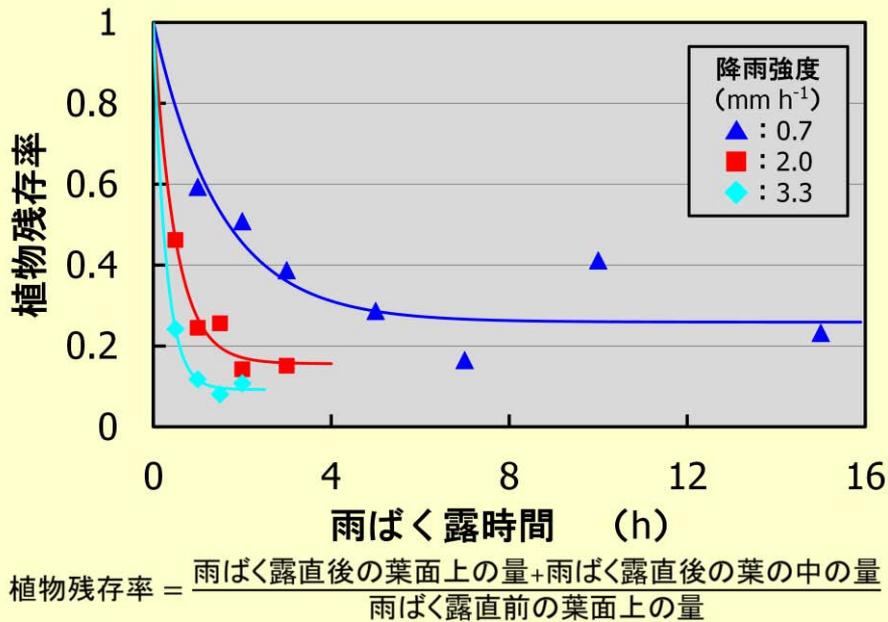
ひと雨：24時間以上の無降水継続があれば、その前後を別の雨として「ひと雨」と決める。

幾何平均値：飛び抜けて大きな値を含んだ数値の平均値を求める時に使う。  
n個の正数の観測値の積のn乗根。相乗平均とも言う。

### 〔基礎知識〕

用語	説明	説明
弱い雨	1時間雨量が3 mm未満の強さの雨。	
やや強い雨	1時間に10 mm以上20 mm未満の雨。	ザーザーと降る。
強い雨	1時間に20 mm以上30 mm未満の雨。	どしゃ降り。
激しい雨	1時間に30 mm以上50 mm未満の雨。	バケツをひっくり返したように降る。
非常に激しい雨	1時間に50 mm以上80 mm未満の雨。	滝のように降る(ゴーゴーと降り続く)。
猛烈な雨	1時間に80 mm以上の雨。	息苦しくなるような圧迫感がある。恐怖を感じる。

## 雨を降らせた時のセシウムの動き



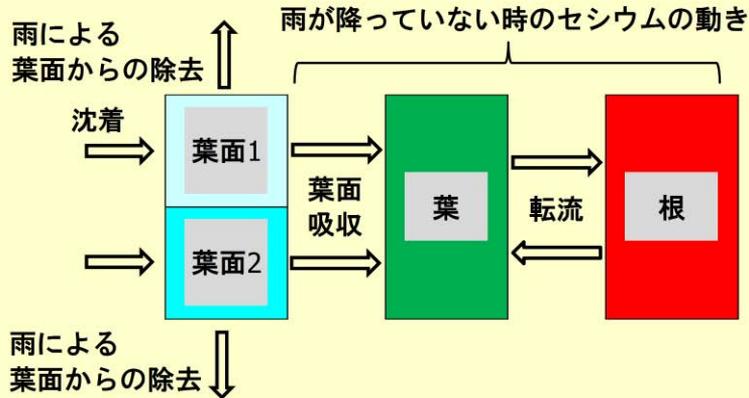
### —要点—

1. 降雨強度が強いほど、植物残存率は小さくなっており、より多く葉面から除去されていた。
2. 雨ばく露時間が長いほど、植物残存率は小さくなっており、より多く葉面から除去されていた。
3. 雨の降り始めは、植物残存率が急激に小さくなったが、その後変化は緩やかになった。このことから、雨の降り始めに葉面から速く除去されるセシウムとその後ゆっくり除去されるセシウムとが存在していた。

### [用語解説]

植物残存率：雨ばく露直前の葉面上のセシウム量に対する雨ばく露直後に葉面上に残っていた量と葉の中に在った量を足した量の比。

## 六ヶ所村で実測した気象データを用いた 葉面上セシウムの半減期の計算



### コンパートメントモデルの概念図

$$\text{除去率} = 1 - [(1 - 0.35 \cdot e^{-0.4R}) \cdot e^{-0.95 \cdot R \cdot t} + \{1 - (1 - 0.35 \cdot e^{-0.4R})\} \cdot e^{-0.001 \cdot t}] \quad (1)$$

R : 降雨強度 t : 降雨時間

#### — 要点 —

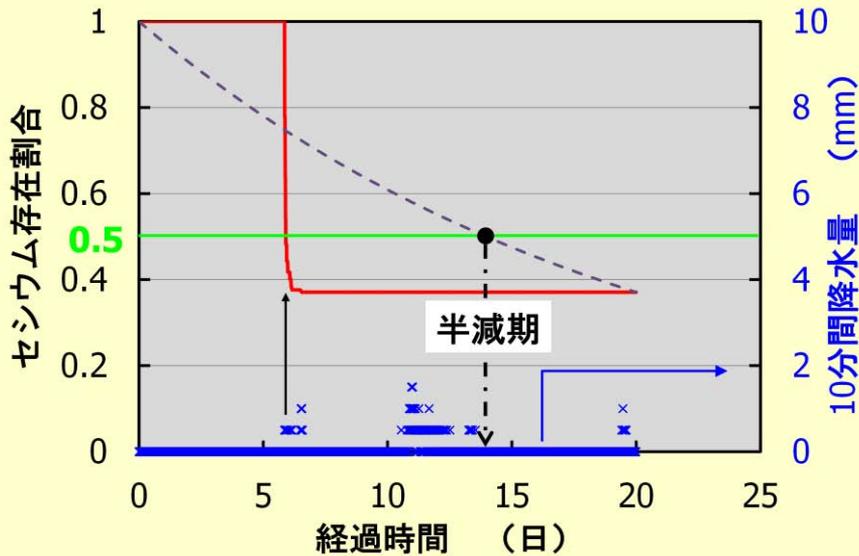
1. 葉面からの吸収で、速く吸収されるセシウムとゆっくり吸収されるセシウムがあったので（17ページ）、葉面を2つの区画に分け、その他に葉と根の区画を設けた。また、葉面への沈着及び葉面からの吸収は一方向に、葉と根との間は両方向に、セシウムが動くとして仮定した。
2. 葉面からの吸収及び転流の速度は、17ページの結果から求めた値を使用した。また、雨による葉面からの除去は、19ページの結果から導いた式（1）に降雨強度と降雨時間を与え計算した。

#### 〔用語解説〕

コンパートメント：区画を意味する。

## 計算結果の一例

— 葉面上 + 葉 + 根 × : 10分間降水量



### — 要点 —

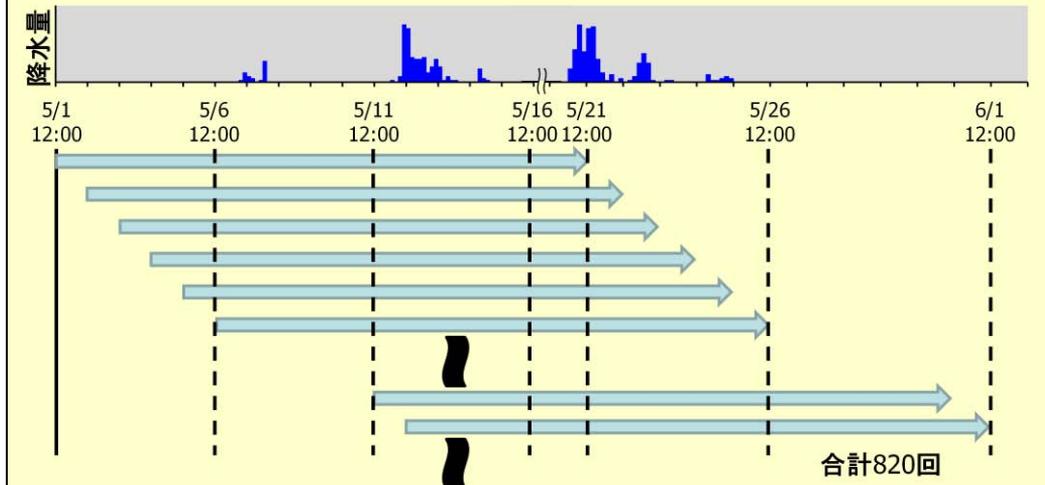
1. 赤色の線が葉面上に残っていた割合と葉及び根の中に在った割合の和の変化である。
2. 雨が降り始めるまでは、葉面上のセシウムは葉に吸収されるが、葉から除かれないので、赤色の線は1である。雨が降り始める(↑)と、葉面上のセシウムが洗い流されるため、赤色の線は1より小さくなる。
3. 20日目の葉面上と植物内の存在割合の和は20日間指数関数的に減少した結果であると仮定して、葉面上と植物内の存在割合の和が0.5になるまでに要した日数を半減期とした。

## 半減期の計算

計算期間：平成18年～平成22年の各年の5月～10月

計算開始時間：各日の12時

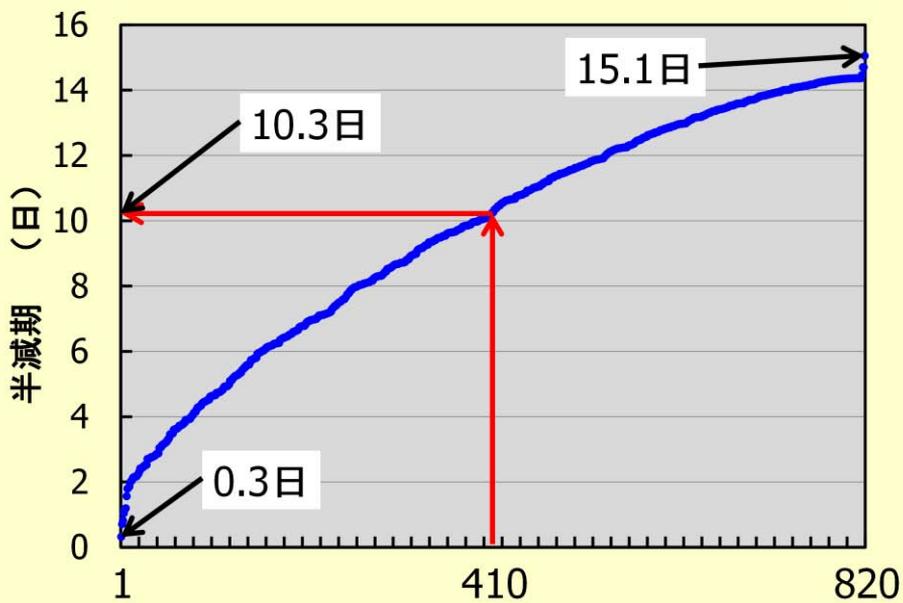
計算期間：20日



### — 要点 —

1. 21ページで示した計算を、平成18年から平成22年までの各年の5月から10月の毎日の12時をスタートに六ヶ所村で実測された降雨強度及び降雨頻度を用いて行った。

## 半減期の計算結果



### — 要点 —

1. 全部で820個のデータを小さいものから順に並べた結果、最小値は0.3日で、最大値は15.1日、中央値は10.3日であった。最小値は、セシウムが葉面にのった後直ぐに雨が降った場合、最大値はのった後しばらく雨が降らなかった場合を示す。

### 〔用語解説〕

中央値：有限個のデータを小さい順に並べたとき中央に位置する値。

## まとめ

1. セシウムについて求めた半減期は、大型再処理施設の安全審査で使用されている値（14日）よりも短かった。
2. より現実的な被ばく線量評価を行うためには、気象条件を考慮する必要がある。

### 〔用語解説〕

安全審査：大型再処理施設の建設にあたっての事業申請に対して、原子力・安全保安院により実施された安全性の審査。これにより、立地条件や安全設計が審査され、通常運転時の被ばく線量評価や安全評価が行われ、安全性が担保されている。

# 土壌から農作物への 放射性セシウム(Cs)の移行

環境動態研究部 塚田 祥文

- ・ 東京電力福島第一原子力発電所事故前の青森県内の土壌および農作物中濃度
- ・ 土壌から農作物への移行
- ・ イネにおける分布

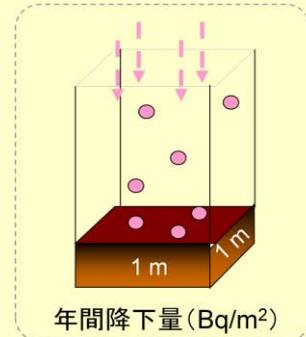
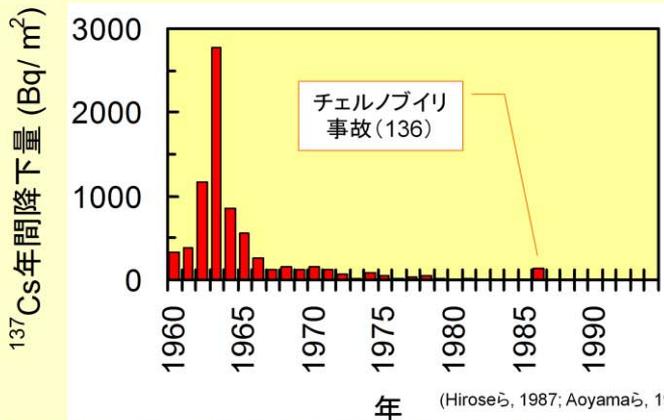
## － 要点 －

1. 東京電力福島第一原子力発電所事故によって放出された放射性セシウム (Cs) は、 $^{134}\text{Cs}$  (半減期：2.07年) と $^{137}\text{Cs}$  (半減期：30.1年) である。これらは同位体であり、環境中での挙動は同じである。東京電力福島第一原子力発電所事故前の環境には、主に1950年代から1960年代に行われた大気圏核実験による $^{137}\text{Cs}$ が存在する。
2. 今回は、事故前の大気圏核実験に由来する土壌および農作物中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度、土壌から農作物への移行、イネにおける分布について報告する。

## [用語解説]

同位体：同じ原子番号を持つ元素で化学的な性質も同じであるが、重さ（質量数）が異なるものを言う。

## 青森市における1960-1994年の $^{137}\text{Cs}$ 年間降下量の推移 (東京電力福島第一原子力発電所事故前)



### 東京電力福島第一原子力発電所事故後の青森市における $^{137}\text{Cs}$ 月間降下量

	2011年3月
降下量 (Bq/m <sup>2</sup> )	0.097

青森県による調査結果

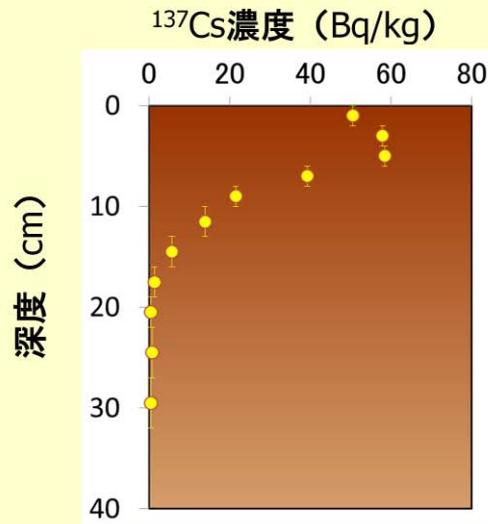
### —要点—

1. 1950年～1960年代を中心にアメリカ、ロシア、中国等により大気圏核実験が行われ、放射性物質が世界中に広がった。
2. 1980年まで大気圏核実験が行われた。
3.  $^{137}\text{Cs}$ 降下量とは、1平方メートル当たりに降下する $^{137}\text{Cs}$ 量を  $\text{Bq}/\text{m}^2$ と表記する。
4. 大気圏核実験により青森に降下した年間の $^{137}\text{Cs}$ 降下量 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) は、1963年にピークの2800  $\text{Bq}/\text{m}^2$ を示し、1970年に150  $\text{Bq}/\text{m}^2$ 、1980年に8  $\text{Bq}/\text{m}^2$ 、1990年に0.7  $\text{Bq}/\text{m}^2$ へ減少した。
5. 1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故では、一時的に130  $\text{Bq}/\text{m}^2$ まで増加したが、翌1987年に2.5  $\text{Bq}/\text{m}^2$ まで減少した。
6. 東京電力福島第一原子力発電所事故後青森市で観測された $^{137}\text{Cs}$ 降下量は、3月の一ヶ月間で0.097  $\text{Bq}/\text{m}^2$ であり、 $^{134}\text{Cs}$ も検出されたことから原発事故からの影響が確認された。

### 〔用語解説〕

**Bq**：ベクレル。放射性物質の量を表す単位。1秒間に1回放射線を出す時、1ベクレルという。

## 福島第一原子力発電所事故以前の青森県六ヶ所村未耕地 における土壌中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度鉛直分布



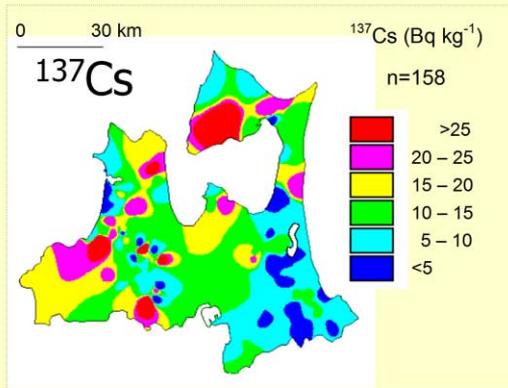
2003年の調査結果

### —要点—

1. 東京電力福島第一原子力発電所事故前の未耕作地における土壌中 $^{137}\text{Cs}$ の鉛直分布を示す。
2. 1960年代に行われた大気圏核実験によって表層土壌に沈着した $^{137}\text{Cs}$ の鉛直分布を表している。
3. 人為的な攪乱がないため、雨、植物等の影響によって $^{137}\text{Cs}$ が自然に下方浸透した結果である。
4. 表層0~10 cmまでに90%以上の $^{137}\text{Cs}$ が残ったままであり、土壌に沈着してから40年以上経過しても5 cm程度しか下方に移行しておらず、 $^{137}\text{Cs}$ の下方浸透が極めて遅いことがわかる。

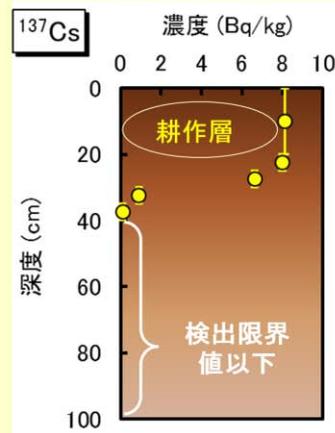
## 福島第一原子力発電所事故以前の青森県における 耕作土壤中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度分布

青森県内の耕作土壤中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度を  
基に作成した県内濃度分布



1999年～2002年の調査結果  
平均値：11 Bq/kg  
(土壤中 $^{40}\text{K}$ 濃度：280 Bq/kg)

十和田市藤阪における $^{137}\text{Cs}$   
鉛直分布の例



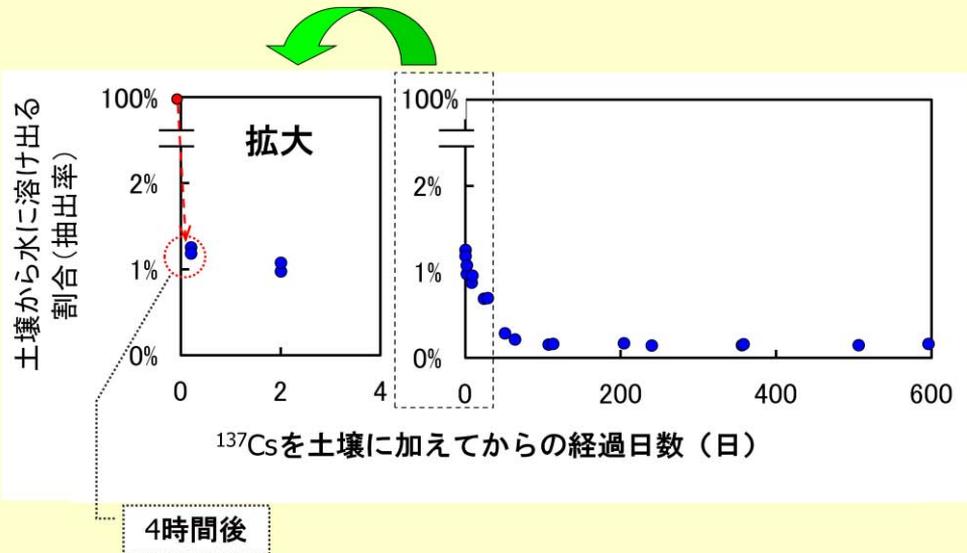
2001年の調査結果

### —要点—

1. 東京電力福島第一原子力発電所事故前の青森県における耕作土壤中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の水平分布を示す。
2. 耕作土壤中平均濃度：11 Bq/kg（最少値 0.02 Bq/kg, 最大値 53 Bq/kg）。
3. 耕作土壤中カリウム含量から求めた天然放射性物質の $^{40}\text{K}$ 濃度：280 Bq/kg。
4. 耕作土壤中における $^{137}\text{Cs}$ の鉛直分布は、耕作によって上下混合される0～25 cm程度まで一様な濃度にあるが、40 cm以深で $^{137}\text{Cs}$ は検出されていない。

⇒長年の耕作による土壌の混合により、表層土壌中 $^{137}\text{Cs}$ は一様に分布するが、耕作層より深い土壌では $^{137}\text{Cs}$ が検出されていない。これも、土壌中での放射性セシウムの動きは極めて遅いことを示している。

## 土壌から水に溶け出る $^{137}\text{Cs}$ の割合



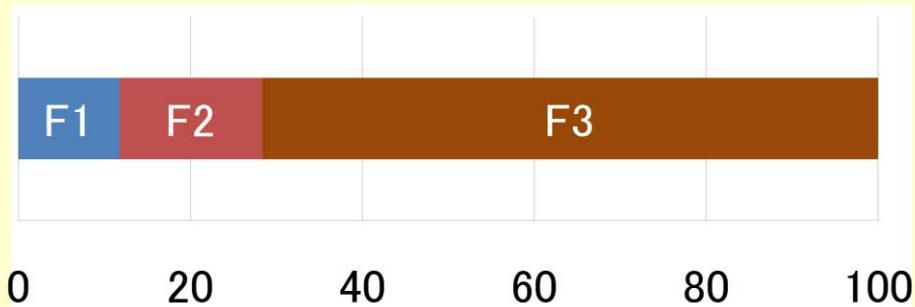
### —要点—

1. 実験的に $^{137}\text{Cs}$ を土壌に添加した。
2. その結果、4時間後に約1%しか水に溶け出てこない。更に、100日後には約0.1%しか溶け出ない。

⇒土壌の放射性セシウムは速やかに土壌に吸着し、溶出しなくなる。

## 土壌中の $^{137}\text{Cs}$ はどんな部分に存在するのか

土壌中の存在割合 (%)

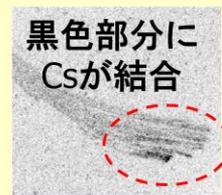
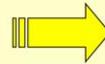
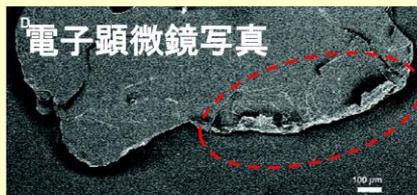
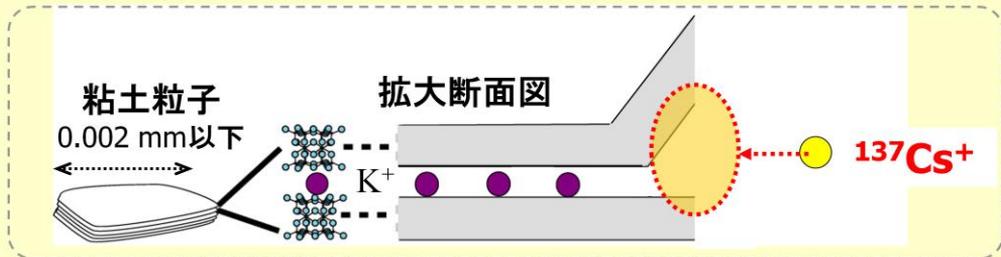


- F1：比較的溶けだしやすい部分  
（雨水で溶け出す成分と植物に吸収可能な存在を含む）  
F2：有機物と結合している部分  
F3：粒子中に存在している部分（植物に吸収されず移動しない）

### —要点—

1. 大気圏核実験に由来する土壌中 $^{137}\text{Cs}$ の存在形態を示す。
2. 土壌中放射性セシウムは、比較的溶けだしやすい部分（F1：水に溶け出す部分に加え、植物に吸収されると考えられる部分）、有機物と結合している部分（F2）、粒子と結合している部分（F3）に分けられる。
3. そのうち粒子（土壌中に含まれる砂、シルトや粘土）と結合している割合が最も多い。
4. 特に、0.002 mm以下の粒子（粘土鉱物）に多く集まることが知られている。

## なぜ土壌の粒子中に $^{137}\text{Cs}$ は強く結合するか



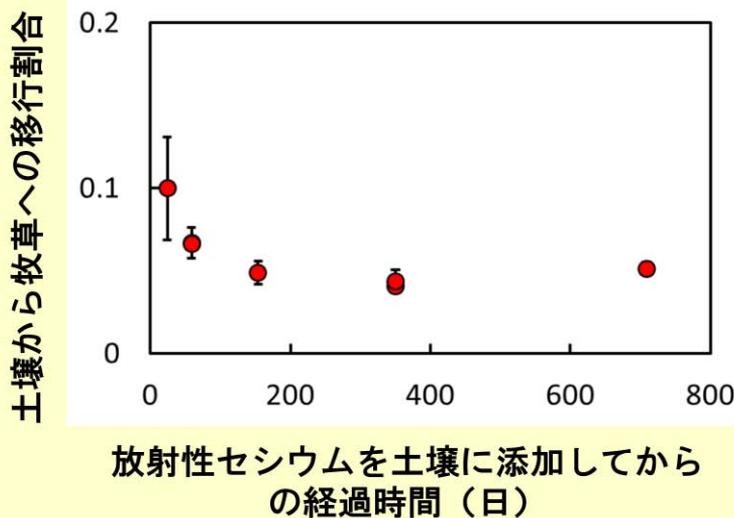
### —要点—

1. セシウムは、土壌の微小な粒子（粘土鉱物）の隙間に入り込む。

⇒その結果、放射性セシウムは水にも溶けず、植物にも吸収されにくくなる。



## 土壌から植物への $^{137}\text{Cs}$ の移行割合は どのように変化するか



### —要点—

1. 土壌に放射性セシウムを添加し、その後一定時間経過毎に牧草を栽培して、土壌から牧草への移行割合を調査した。
2. 移行割合とは、土壌中濃度に対する乾燥植物中濃度の比を示す。
3. 土壌に添加した放射性セシウムの植物への吸収割合も時間の経過と共に減少し、植物へ吸収されにくくなる。
4. 約100日以降には大きな変化はない。

⇒放射性セシウムが土壌に沈着した後、土壌から植物への $^{137}\text{Cs}$ の移行も次第に減少する。

## 東京電力福島第一原子力発電所事故前に青森県内から採取した農作物（可食部、生）中<sup>137</sup>Csと<sup>40</sup>K濃度

農作物	試料数	平均値	
		<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K
Bq/kg 生			
米			
白米	20	0.022	19
根菜類			
ダイコン	13	0.028	64
ニンジン	9	0.042	114
パレイショ	26	0.11	116
葉茎菜類			
ハクサイ	6	0.074	68
キャベツ	8	0.038	66
ニンニク	14	0.019	157
果菜類			
キュウリ	11	0.040	66
カボチャ	6	0.017	115
トマト	21	0.032	71
果実的野菜			
メロン	8	0.060	89

### —要点—

1. 東京電力福島第一原子力発電所事故前に、青森県内から採取した農作物中放射性セシウム（<sup>137</sup>Cs）と天然の放射性カリウム（<sup>40</sup>K）濃度を示す。これら試料を採取した時に土壤中に存在した<sup>137</sup>Csは、大気圏核実験から数十年が経過している（東京電力福島第一原子力発電所事故後の<sup>137</sup>Csは含まれていない）。
2. 土壤中<sup>137</sup>Csおよび<sup>40</sup>K濃度は、それぞれ約10 Bq/kgおよび280 Bq/kgと比較的一様であった。
3. 東京電力福島第一原子力発電所事故前の農作物中<sup>137</sup>Cs濃度は、生1 kg当り0.1 Bq以下であった。

### 〔用語解説〕

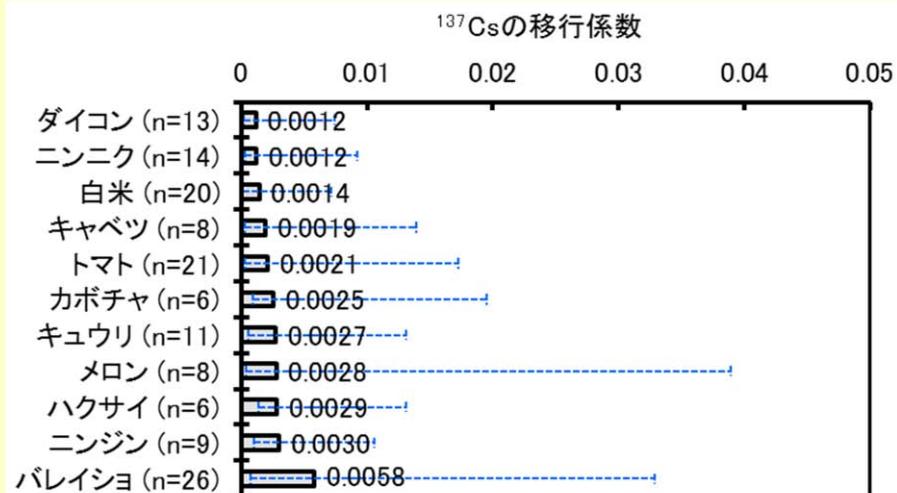
放射性カリウム（<sup>40</sup>K）：

- ・カリウム中に0.0117%存在する半減期13億年の天然放射性物質。カリウムは植物や動物の必須元素であり、生体機能を正常に維持するため、常に一定濃度存在し、農作物中<sup>40</sup>K濃度は事故前後で変化はない。
- ・天然放射性物質である<sup>40</sup>Kは、生1 kg当り数十～約200 Bq存在する。



## 農作物中<sup>137</sup>Cs濃度を予測するにはどうすればよい か。

青森県内から採取した土壌から農作物（可食部、生）への<sup>137</sup>Cs移行係数の平均値、最小値と最大値（nは分析試料数）



### —要点—

1. 移行係数とは、「農作物中<sup>137</sup>Cs濃度（Bq/kg 生）／土壌中<sup>137</sup>Cs濃度（Bq/kg）」で表す値である。
2. 農作物の種類や土壌の種類によって、<sup>137</sup>Csの移行係数は異なり、同じ農作物であっても通常2桁の変動がある。
3. 図に示す値は大気圏核実験由来の<sup>137</sup>Cs(土壌に沈着してから数十年が経過) から求めた移行係数の平均値で、土壌中<sup>137</sup>Cs濃度に移行係数を乗ずることによって農作物中<sup>137</sup>Cs濃度(生) の目安がわかる。
4. 農林水産省が目安として発表した移行係数の平均値（最小値—最大値）は下記の通り。

ダイコン：(0.00080—0.0011)

キャベツ：0.00092 (0.000072—0.076)

トマト：0.00070 (0.00011—0.0017)

カボチャ：(0.038—0.023)

キュウリ：0.068

メロン：0.00041

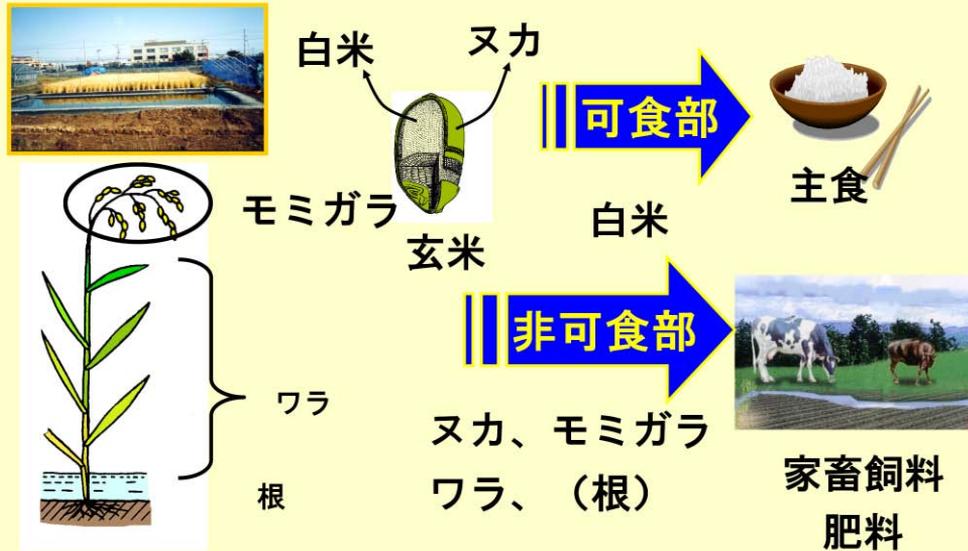
ハクサイ：0.0027 (0.00086—0.0074)

ニンジン：0.0037 (0.0013—0.014)

パレイシヨ：0.011 (0.00047—0.13)

なお、乾物重量当りに換算した移行係数では、白米が最も低く(0.0016)、キュウリが高い値(0.069)となる。

# イネの部位別利用区分

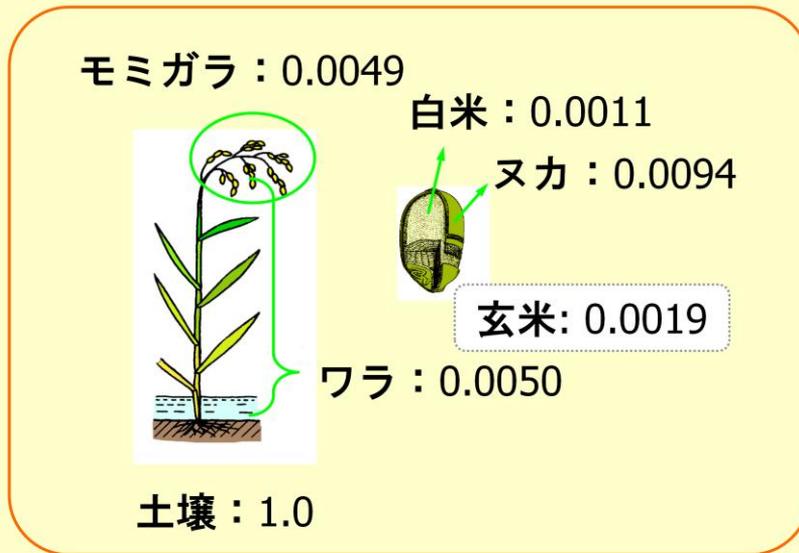


イネの部位別区分  
(*Oryza sativa* cv. Mutsuhomare)

## —要点—

1. 農作物の非可食部も家畜の飼料や土壌肥料等として利用される。
2. イネを白米、ヌカ、モミガラ、ワラ及び根に区分し、各部位中<sup>137</sup>Cs濃度を調査した。

## 土壌中濃度を1.0とした場合のイネの乾燥部位別 $^{137}\text{Cs}$ 濃度 (土壌から根をとおしてイネに吸収された $^{137}\text{Cs}$ )



### —要点—

1. 白米中濃度が最も低く、ヌカ中濃度は白米中濃度の9倍高かった。
2. 白米中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は、玄米の約半分の濃度である。
3. ワラとモミガラ中濃度は同様だった。

⇒イネの部位によって、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度に違いがある。



## 土壌から農作物への放射性セシウムの移行 —まとめ—

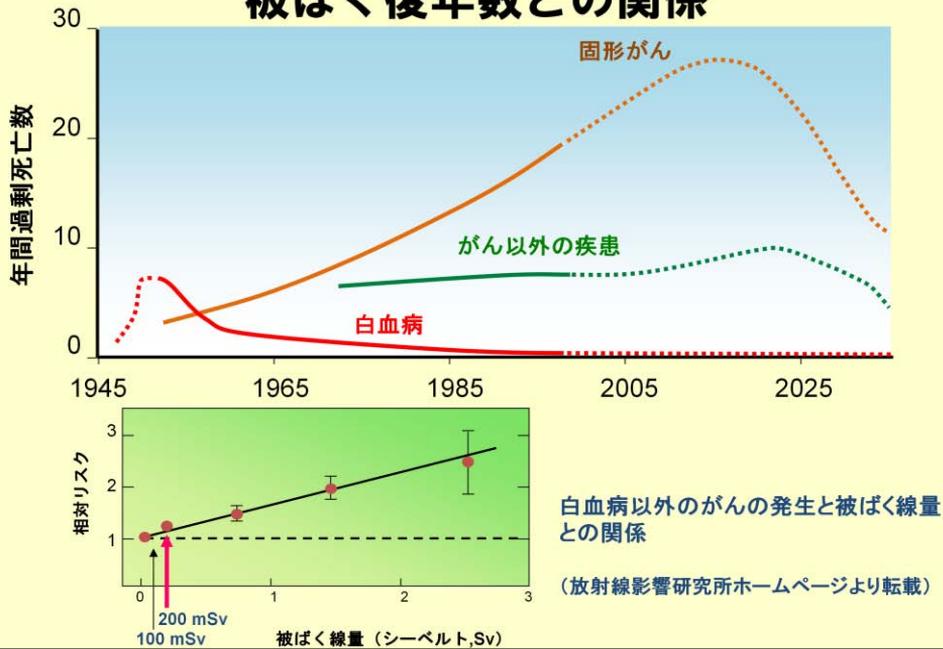
- 土壌中での移動は遅い。
- 土壌中の細かな粒子（粘土鉱物）に多く含まれている。
- 土壌から農作物への移行は、時間の経過に伴って減少する。
- 農作物の種類、土壌の種類によって農作物中濃度は大きく異なる。
- イネの部位によって約10倍の濃度差がある（白米で最も低く、ヌカで最も高い）。

# 低線量率放射線の生物への影響

## —マウスを使った実験研究—

生物影響研究部長  
田中 公夫

## 原爆被爆者にみられたがんの発生頻度と被ばく後年数との関係



白血病以外のがんの発生と被ばく線量との関係  
(放射線影響研究所ホームページより転載)

### － 要点 －

1. 高線量率放射線を被ばくした原爆被爆者集団でのがん発生の特徴を示した。
2. 原爆被爆者では被ばくしていない集団と比較してがんでの死亡が多いことがわかっている。白血病は最初の10年間で増加したが、以降は甲状腺がん、乳がん、肺がん、大腸がん、胃がんなどの固形がんによる死亡が増加している（上図）。
3. これらのがんは被ばく線量が高くなるほど増えており、200 mSv(ミリシーベルト)（下図中赤矢印）以上の線量に被ばくした場合には明らかにがんによる死亡リスクが高い。被爆者のデータを詳細に別の統計方法で解析をしたアメリカ科学アカデミー電離放射線生物影響に関する委員会（BEIR）VII報告書等では、100 mSv（下図中黒矢印）の被ばくでは100人中1人（1%）ががんで死亡し、がんの死亡リスクが高くなると報告している。
4. 原爆被爆者の調査を行っている（財）放射線影響研究所では、200 mSv以下の低線量域の発がんリスクと被ばく線量との関係が直線であることを否定しないと報告している。
5. がんの発生は被ばくした時の年齢と関係がある。例えば被ばく時の年齢が若いほど、白血病による死亡リスクが高い。
6. がん以外の疾患（心血管系疾患、白内障、甲状腺の良性腫瘍など）も高線量被ばく者で増加している（上図）。

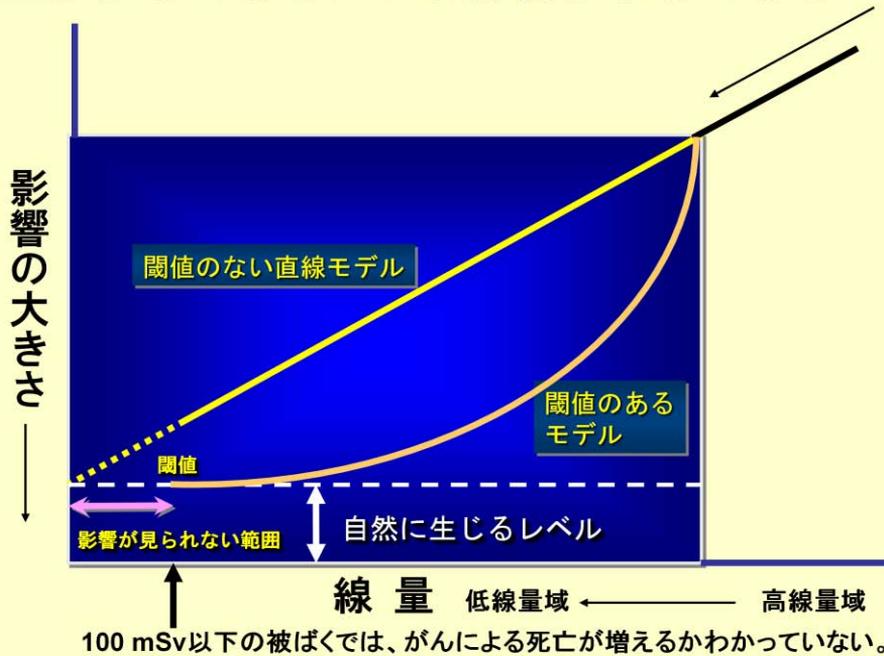
### [用語解説]

年間過剰死亡数：被ばく集団における1年間のがん等による死亡数が、放射線に被ばくしていない集団における1年間のがん等による死亡数と比べてどれだけ過剰かを示す。

相対リスク：被ばく集団における発生率と被ばくしていない集団における発生率の比で表わされる。



## 線量が少なくなるにつれ影響が小さくなる



### — 要点 —

放射線の影響は、線量が少なくなれば低下する。

1. 放射線によるがん死亡率等の影響の大きさと放射線量との関係は、原爆被爆者等の調査結果や動物実験等から図中に示すような直線か、下に凸で線量の低下に伴い閾値のある曲線で表される（低線量域では殆どデータがなく、よくわかっていないので点線で示している）。低線量域（青地で示した）では線量と影響との大きさの関係がまだわからない。
2. 低線量域での影響を推定するため、高線量域から低線量域まで影響の大きさが一定の割合で低下するとして作成した線量と影響の大きさの関係（青い図中の黄色の直線）が作られた。これは、国際的な放射線防護の考え方に使用され、「しきい（閾）値のない直線(LNT)モデル」と呼ばれている。
3. 一方で、低線量の放射線を動物や細胞に照射する実験が多く行われるようになり、閾値のある直線（LNT）モデルに必ずしも合致しないような知見がこれまで得られている。線量を下げていると、影響が見られなくなる線量の範囲（しきい（閾）値）がある。
4. ヒトでは、原爆被爆者や原子力施設等放射線業務従事者の数万から数十万人を疫学調査した結果、100 mSv以下の被ばくでは統計学的にがん死亡率の有意な増加は見られていない。
5. 低線量率・低線量放射線による生物影響はまだよくわかっていないので、疫学調査や動物実験により明らかにしてゆく必要がある。

### [基礎知識]

自然に生じるレベル：ヒトなどの生物は、放射線を受けなくてもわずかの異常を元々持っている。

放射線に被ばくするとこの異常に上乗せして異常の増加が見られる。



## 低線量率放射線長期被ばく者集団の疫学調査

- 放射線業務従事者：原子力関連施設作業員、医療放射線技師
- 高自然放射線地域居住住民：中国の広東省、インドのケララ州
- チェルノブイリ原子力発電所事故：汚染除去作業員と近隣住民
- 旧ソ連のマヤック核施設の近隣住民、台湾の放射性物質汚染建材アパート住民等

### <問題点>

- 大規模の調査対象集団が必要
- タバコ、食物、環境汚染物質などの影響も加わるので放射線に起因する影響かどうか分からない。

極めて低い被ばく線量では生じる影響も小さく、影響の検出が現在の技術では困難  
自然に生じる発がん頻度に放射線による影響分がわずかに上乗せする。

総線量が100 mSv以下の健康影響はよくわかっていない。



マウスを用いた低線量率放射線長期被ばく実験により生物に及ぼす影響を調べて、ヒトへの影響を推定することが必要

### — 要点 —

1. 低線量率放射線長期被ばく者集団についての調査は少ない。原子力施設作業員、医療技術者などは、放射線防護基準で定められた線量限度以下の環境で働いているが、その他に事故等により被ばくした集団もある。
2. しかしこれらの多くの集団は、調査対象人数が少ない、生じる遺伝子変異や染色体異常の頻度が極めて少ない、タバコなど環境変異原の影響がある等、放射線によって生じる影響について有意な差を検出するには限界がある。
3. 100 mSv以下の被ばくによる人の健康影響について以下の報告があるが、よく分かっていない。

#### しきい値のない直線 (LNT) モデルを支持する報告

##### 1) アメリカ科学アカデミー (BEIR) VII 報告 (2005年, 2006年)

原爆被爆者、がんの放射線治療患者、原子力施設作業員の13年間の追跡調査

- LNT仮説に基づき100 mSvの被ばく集団でがんが死亡する人が100人中1人 (1%) と推定

##### 2) WHO 国際がん研究所 (IARC) の国際共同論文 (2005年, 2007年)

- 15カ国154カ所の原子力施設等作業員407,000人 (平均被ばく線量19.4 mSv) (日本の結果も含む)
- 100 mSvで白血病は19%, その他のがんの死亡率は10%増加 (例: 日本人のがん死亡率33%が36.3%になる)

##### 3) イギリスの放射線業務従事者17万5000人の22年間の追跡調査 (2009年)

- 平均被ばく線量が約30 mSv。タバコの影響を考慮して解析している。100 mSv以下で白血病、他のがんの増加がみられる。

#### しきい値のない直線 (LNT) モデルを支持しない報告

##### 1) フランス科学・医学アカデミー報告 (2005年)

- 100 mSv未満の低線量放射線による発がんの可能性は生体の防御機能等により守られるので低い。閾値の存在を示唆する最新の知見を提示して、低線量放射線による発がんリスクにLNT仮説を適用することを疑問視している。

4. 従って、マウスを用いた実験から生物に及ぼす影響を調べ、ヒトへの影響を推定することが必要である。

## (財) 環境科学技術研究所の照射施設

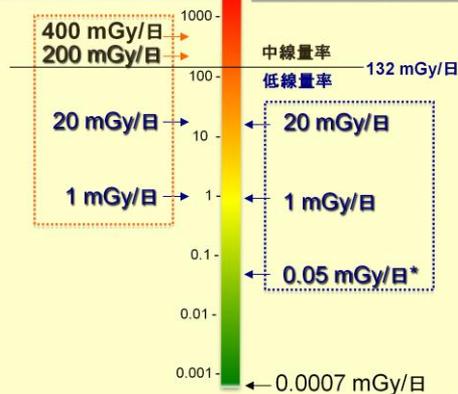
先端分子生物科学  
研究センター



低線量生物影響実験棟



低線量率・低線量放射線の長期被ばくの人への健康影響をマウスを用いて調べる。



マウスを特異な病原体のいない環境下で飼育しながら毎日22時間<sup>137</sup>Csガンマ線を長期間(約400日等)照射する。

\* 400日間連続照射した総線量20 mGyは放射線業務従事者の年間平均被ばく線量限度に相当する(5年間で100 mSv)。  
ガンマ線は吸収線量のグレイ(Gy)と実効線量のSv(シーベルト)の値がほぼ等しい。

### — 要点 —

1. 環境研には、放射性物質セシウム137を中央に配備し、周囲にプラスチックのケージに収容したマウスを配置して、毎日ガンマ線照射ができる動物実験施設（低線量生物影響実験棟と先端分子生物科学研究センター）がある。
2. 主に使用している線量率は1日あたり20 mGy, 1 mGyと0.05 mGyである。

### [用語解説]

mGy：ミリグレイ、物が放射線から受けたエネルギーを表す単位。

SPF：特定の病原体のいない(Specific-Pathogen-Free)微生物学的統御条件。低線量率放射線の影響を調べるため、長期にわたる照射と飼育中における感染症等の影響を防ぐ環境にする必要がある。

線量率：単位時間あたりに身体に受ける放射線の量を言う。

低線量率とは、国連科学委員会の1993年と2010年報告によれば、0.1 mGy/分未満を言う。これは1日あたり144 mGy未満の線量率となり、実験で使用している線量率(20、1、0.05 mGy/日) よりかなり高い。

なお、環境研では1日当たりの照射時間を22時間としているため、1日あたり132 mGy未満を低線量率としている。

線量：身体に受ける放射線の総量を言う。

国連科学委員会の1993年と2010年報告では、200 mGy未満を低線量としている。

## 低線量率放射線長期照射実験で マウスの寿命と腫瘍の発生頻度を調べる

特定の病原体を持たないマウス

8週齢(若年期)から照射開始

・照射群(オス、メス500匹ずつを400日間連続照射)



0.05 mGy/日 × 400 日 = 20 mGy

1 mGy/日 × 400 日 = 400 mGy

20 mGy/日 × 400 日 = 8,000 mGy

400日間の照射後 死ぬまで飼育

・非照射群(同じ週齢のオス、メス500匹ずつ)



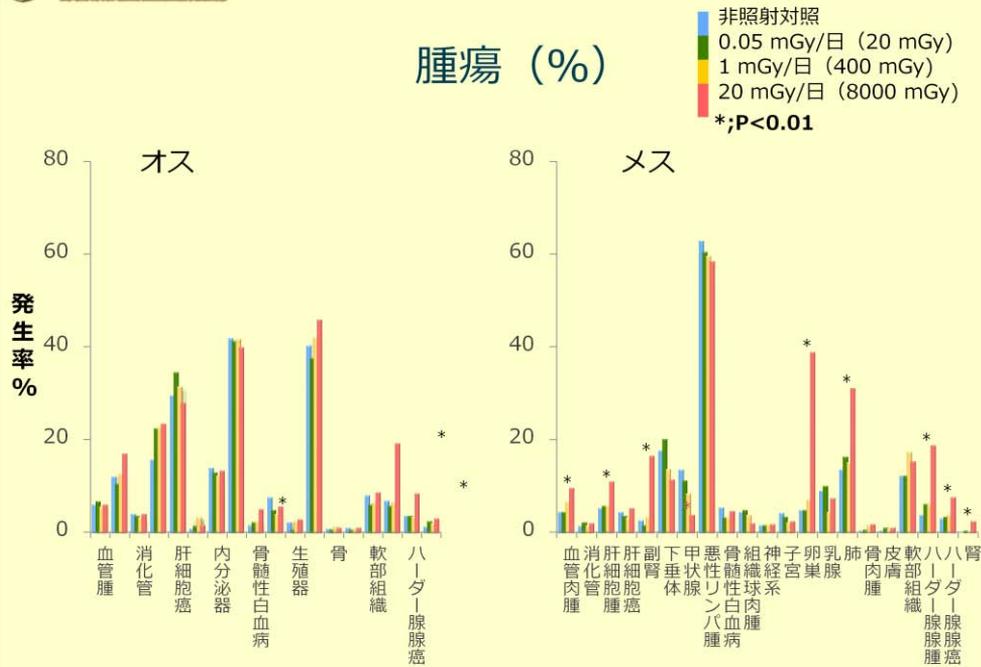
比較する

非照射群と比べて、①寿命は短くなるか？ ②がんは増加するか？

### － 要点 －

1. 環境研で低線量率放射線長期照射マウス及び非照射マウスを使って行った「寿命試験」について紹介する。
2. 実験にはSPFのB6C3F1マウスを用いた。オス、メスそれぞれ500匹ずつの非照射対照群1群と3つの照射群を作成した。総数4000匹となる。
3. 照射群は1日当たり0.05 mGy、1 mGyと20 mGyの3つの異なる線量率で、セシウム137(<sup>137</sup>Cs)-ガンマ線を400日間連続して照射した。
4. 400日間連続照射後の総線量はそれぞれ20、400、8000 mGyとなる。
5. 照射期間400日は、照射期間中にマウスが死亡しないと考えられる最長期間を予想して設定した。
6. 1日当たり20 mGyで総線量8000mGyの照射群は、がん等の影響が出るだろうと予想して使用した。
7. 全てのマウスを終生飼育して寿命を調べるとともに、病理解剖を行い発生した腫瘍及び死因を調べた。

## 腫瘍 (%)

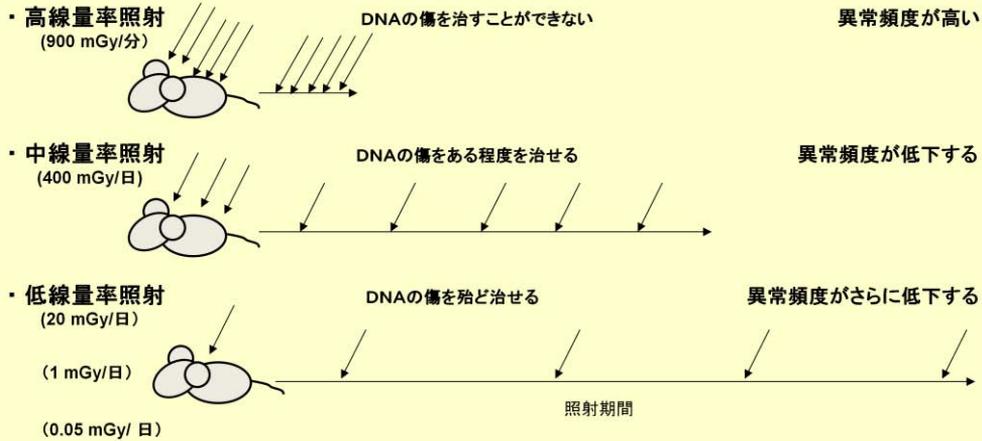


### — 要点 —

1. 多くのマウスは、腫瘍により死亡した。
2. 20mGy/日の線量率の長期照射で、非照射対照群のマウスと比べて肺腫瘍や卵巣腫瘍が多く生じた。
3. しかし、1mGy/日や0.05mGy/日のさらに低い線量率の放射線照射では、非照射対照群のマウスと比べて多く出現する腫瘍は見られなかった。
4. 寿命の長さは、20mGy/日の線量率では、オス、メスともに短くなった。  
 また1mGy/日の線量率においては、メスのみで短くなった。  
 しかし、0.05mGy/日のさらに低い線量率では、オス、メスともに寿命は短くはならなかった。



## 線量率が下がると生物影響はどんどん小さくなる



線量率: 単位時間あたりの放射線量

例 福島県内で、避難指示がされた線量率は、年間20 mSv (ミリシーベルト) 以上

1日あたりの線量率では、0.055 mSv (ミリシーベルト)

1時間あたりの線量率では、2.3 μSv (マイクロシーベルト)

自然放射線レベルは、1時間あたりの線量率で、約0.05μSv [ガンマ線のための外部被ばく(日本平均)]

### — 要点 —

放射線の影響の特徴は、線量率が低くなれば生じる影響が小さくなることである。

1. かなり高い線量率の照射においては調べられていたけれども、1日あたり20 mGy以下の低線量率の範囲では、線量率が低下すると、生物への影響が少なくなるかはこれまで調べられていなかった。
2. ヒトをはじめ地球上の生物は放射線照射により生じたDNAの傷を治す能力(修復能)を持っている。この能力のおかげで、線量率が低下すると、DNAや染色体に生じる異常の頻度がだんだん少なくなる。
3. そこで、マウスに高線量率(900 mGy/日)と中線量率(400 mGy/日)のガンマ線を照射するとともに、三つの低線量率(20、1、0.05 mGy/日)のガンマ線を長期間照射して、それぞれ脾臓のリンパ球に生じる染色体異常の頻度と線量との関係を調べて比較した。

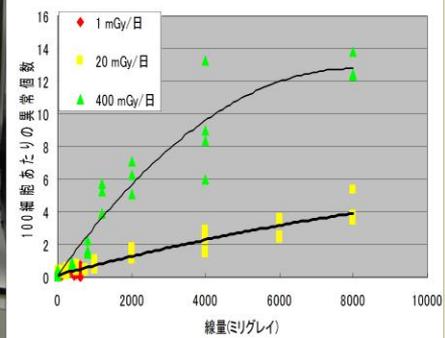
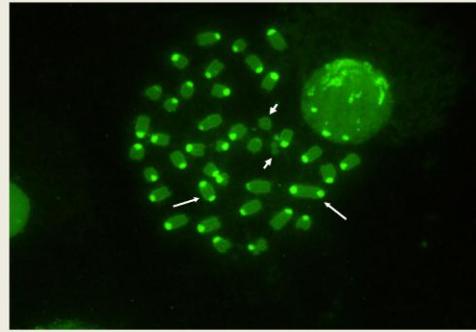
### [基礎知識]

ガンマ線の全身被ばくでは、Sv (シーベルト) の値はGy (グレイ) の値にほぼ等しい。

## 染色体分裂像自動探査、撮影、解析装置 (ドイツ製)



マウスの二動原体染色体異常(長い矢印)

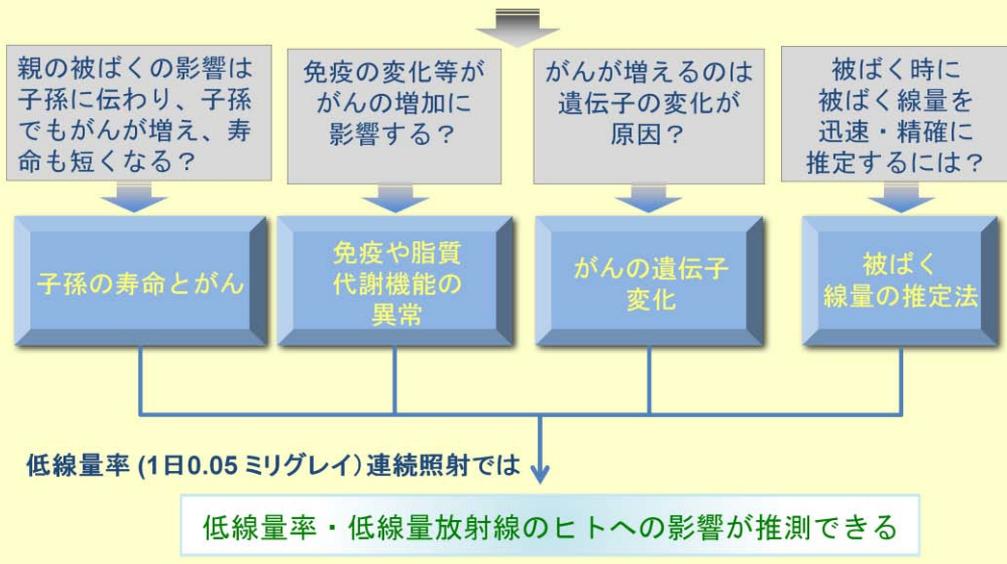


### —要点—

1. 顕微鏡で染色体を観察し、1匹のマウスごとの異常個数を調べた。
2. 右下のグラフは、線量率毎の異常個数と線量との関係を示したものである。
3. 線量率が下がると異常個数が少なくなる。

## 環境研で行っている低線量率放射線影響に関する4調査の内容

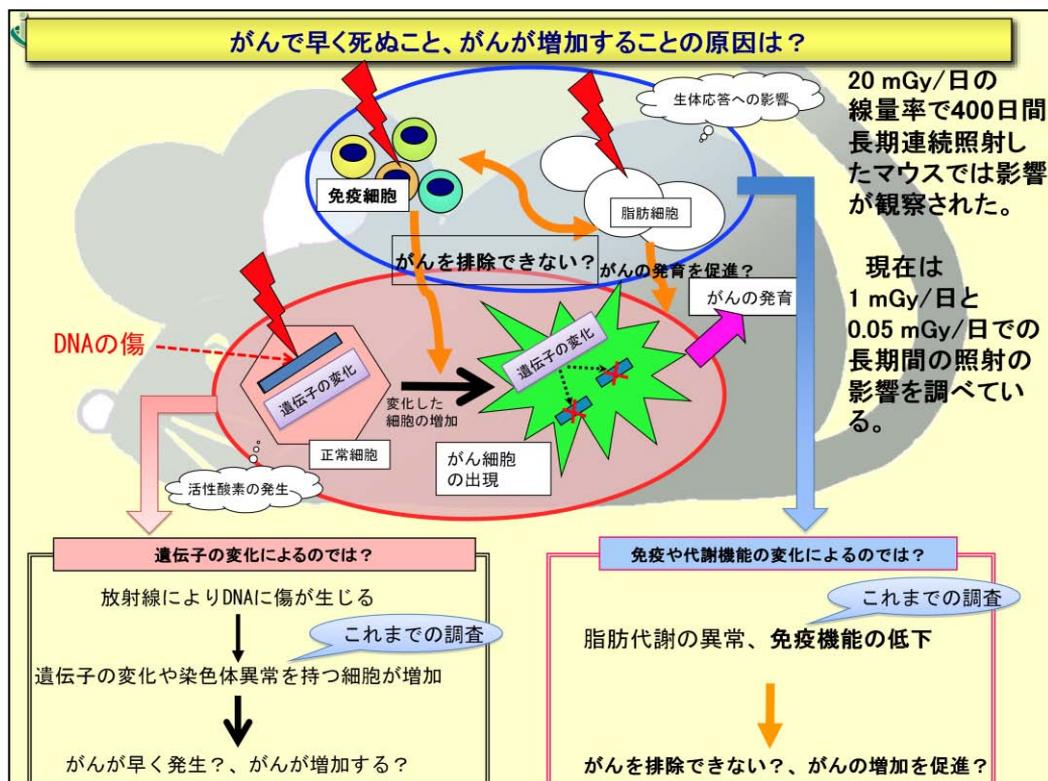
1日1ミリグレイの400日間照射でもメスマウスでは寿命は短くなった。



### － 要点 －

1. 環境研では、平成7年度から平成15年度まで、マウスを用いて低線量率放射線が寿命に与える影響を調べた。
2. 現在は、4つの調査を行っている。
  - (1) 子や孫に遺伝するか？
  - (2) 免疫や代謝機能が変化して、がんの増加に影響を与えるか？
  - (3) がん遺伝子等が変化して、がんが増えるか？
  - (4) 万が一、低線量放射線に被ばくした時に、迅速に被ばく線量を調べる方法は？について詳しく調べている。
3. 現在はさらに低い線量率（0.05 mGy/日）の放射線の影響を調べている。
4. 低線量率放射線を照射したマウスと照射をしないマウスと比較して影響が多くみられるかを調べている。

これらの結果がわかるのに最低でも5年～10年という長い年月がかかる。  
このような調査・研究で得られる結果は低線量放射線の影響を理解するために非常に貴重である。



— 要点 —

がんで早く死ぬこと、がんが増加する仕組みを、二つの側面から調べている。

1. 1日あたり20 ミリグレイのガンマ線を長期（400日間）照射したマウスで、
  - ・放射線により生じたDNAの傷が原因で遺伝子が変わった細胞が増えた結果、がんが早く発生、増加したのではないかな？
  - ・免疫や代謝機能が変化しているので、がんを排除できずに、がんが発育しやすくなったのではないかな？
2. 現在は、1日あたり1ミリグレイの線量率とさらに低い1日あたり0.05 ミリグレイの線量率でも実験を行っている。

〔基礎知識〕

免疫機能の低下は、がんのみでなく、がん以外の病気、すなわち心筋梗塞、脳梗塞などの心血管系疾患、高脂血症などの病気の発生とも深く関係している。

# 低線量率放射線の生物への影響 がんを退治する免疫の働き

生物影響研究部  
高井 大策

# 免疫とは？

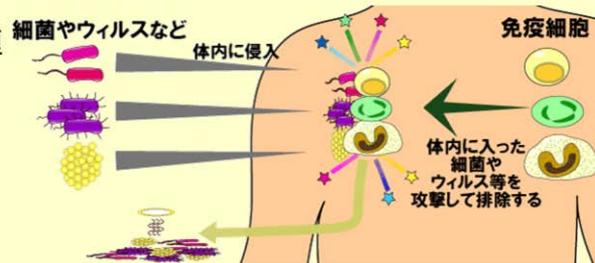
- ・ 免疫は体を守る働きをしている

- 病原体を駆除する

- ・ ワクチン、予防接種

- 異物を除去する

- ・ 拒絶反応
- ・ がんを退治する



- ・ 免疫の暴走

- 花粉症、アレルギー、リウマチ等

- ・ 免疫は絶妙なバランスのもとに、働いている

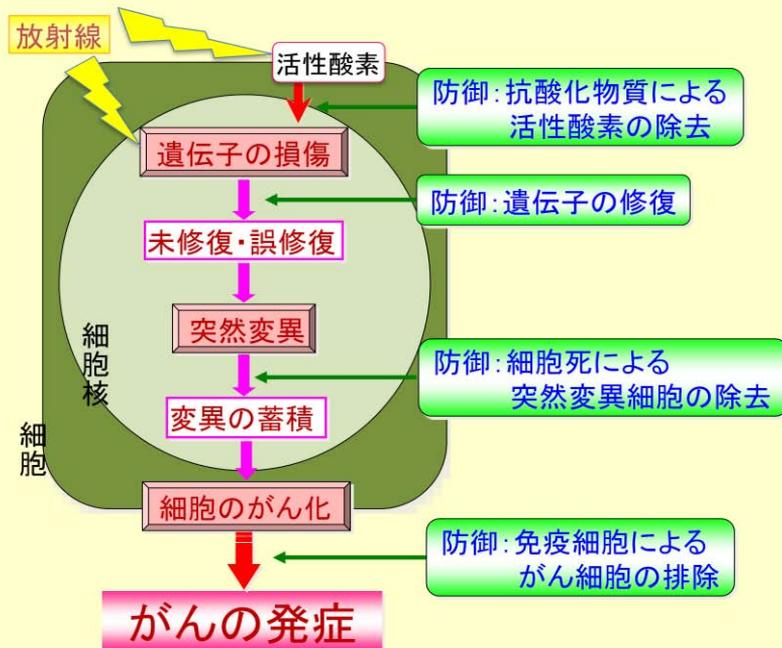
## － 要点 －

### 「免疫のバランス」：

1. 体の中で免疫は、病原体や異物に対しては素早く強力に働くことが必要である一方、働きすぎ（免疫の暴走）により悪影響をもたらすこともある。
2. 免疫にかかわる細胞には多くの種類の細胞がある。
  - ・ 病原体や異物を見つけ出す細胞、
  - ・ 信号を発し必要な細胞を必要な場所に集める細胞、
  - ・ 病原体や異物を攻撃する物質を作り出す細胞、
  - ・ 病原体や異物を飲み込み無力化する細胞など。
3. これらの細胞の働きが一部でも損なわれると、免疫機能が正常に働くことができなくなり、様々な病気が引き起こされる。



# 放射線によるがん発生の流れ



## — 要点 —

1. 放射線によって遺伝子が損傷して突然変異が生じ、がんに関する特定の遺伝子の突然変異が蓄積することによって細胞ががん化する。
2. それに対して、生物は損傷した遺伝子を修復するなどの防御機能を備えており、その一つとして免疫細胞によるがん細胞の排除がある。



## がんと免疫の関係

- ・ がん細胞も元々は自分の細胞から生じる
- ・ 正常な細胞ががん細胞になると、異物として排除の対象になる
- ・ がん細胞は体内で頻繁に生じていると考えられている
  - 免疫が正しく働けば、がん細胞を排除できる
  - 免疫細胞とがん細胞の競争
- ・ がん細胞が増えるためには
  - がん細胞を退治する免疫の働きが低下している
  - がん細胞が免疫から身を隠す

### － 要点 －

「正常な細胞ががん細胞になる」：

1. 細胞は、特定の遺伝子が変わると「がん化」することが知られている。
2. がん化すると、がん細胞は盛んに増殖を行い、ほかの臓器に場所を移すなど転移して、臓器が正常に働かなくなるようにする。



## 放射線と免疫

- ・ 免疫の主役であるリンパ球は放射線に弱い
- ・ 高線量率放射線被ばくでは多くのリンパ球が死ぬ
  - リンパ球が死ぬと免疫の働きは失われる
  - 白血病や悪性リンパ腫の治療に応用されている
- ・ 低線量率放射線を長期間被ばくしたら
  - 免疫の働きは失われないがバランスは壊れるかも？
  - バランスが壊れると免疫が正常に働くことができなくなる

### 〔用語解説〕

リンパ球：人やマウスの体内に存在する白血球の一種であり、外部から体内に侵入した異物の排除など免疫系の主要な役割を果たす細胞。

## 環境研での実験結果から

線量率 (1日あたり)	総線量 (400日間)	寿命の長さ	寿命短縮の原因 となった“がん”	増加した“がん”
<b>オス</b>				
0.05 ミリグレイ	20 ミリグレイ	変わらず	-	-
1 ミリグレイ	400 ミリグレイ	変わらず	-	-
20 ミリグレイ	8,000 ミリグレイ	有意な短縮 (約100日)	悪性リンパ腫 肺がん、血管のがん	白血病 血管のがん
<b>メス</b>				
0.05 ミリグレイ	20 ミリグレイ	変わらず	-	-
1 ミリグレイ	400 ミリグレイ	有意な短縮 (約20日)	悪性リンパ腫	なし
20 ミリグレイ	8,000 ミリグレイ	有意な短縮 (約120日)	悪性リンパ腫 軟部組織のがん 血管のがん	卵巣がん・軟部組織 のがん・血管のがん

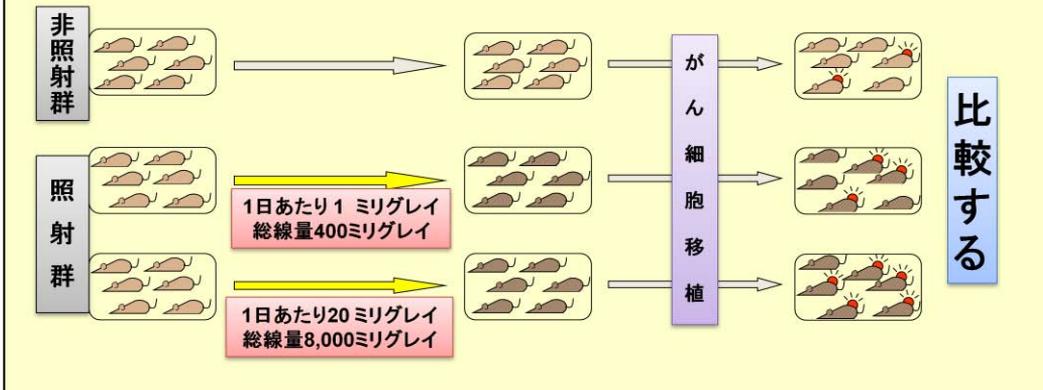
### － 要点 －

1. 実験にはSPFのB6C3F1系統のマウスを用いた。
2. 実験に用いたマウスは、非照射対照群1群と3つの照射群とし、オス、メス各群、それぞれ500匹ずつ、総数4000匹を用いた。
3. 照射群は1日当たり0.05ミリグレイ、1.0ミリグレイ及び20ミリグレイの3つの異なる線量率で、セシウム137(<sup>137</sup>Cs)-ガンマ線を400日間連続照射し、総線量はそれぞれ20、400、8000ミリグレイとなる。
4. 全てのマウスは終生飼育し、死因調査のため全マウスの病理解剖を行った。その結果、がんで早期に死亡することがわかった。
5. 放射線の照射により「がんを退治する免疫の働きが低下している」可能性があるため、400日照射直後に非照射マウス、照射マウスにがん細胞を移植する比較実験を行った。

## 低線量率放射線長期照射マウスへのがん細胞移植実験

がん細胞をマウスに移植する

- もし、がん細胞が排除されれば
  - ・ 免疫機能が正常に働いている
- もし、がん細胞が排除されずに増えれば
  - ・ 免疫機能が正常に働いていない可能性がある



### 〔用語解説〕

がん細胞：マウスに発生したがん細胞をマウス体内から取り出し、実験室で培養した細胞。様々な種類の細胞がある。今回の移植実験では卵巣がんの細胞を使用した。

## 移植マウスの比較

移植されたがん細胞が  
排除されたマウス



移植されたがん細胞が  
増えたマウス



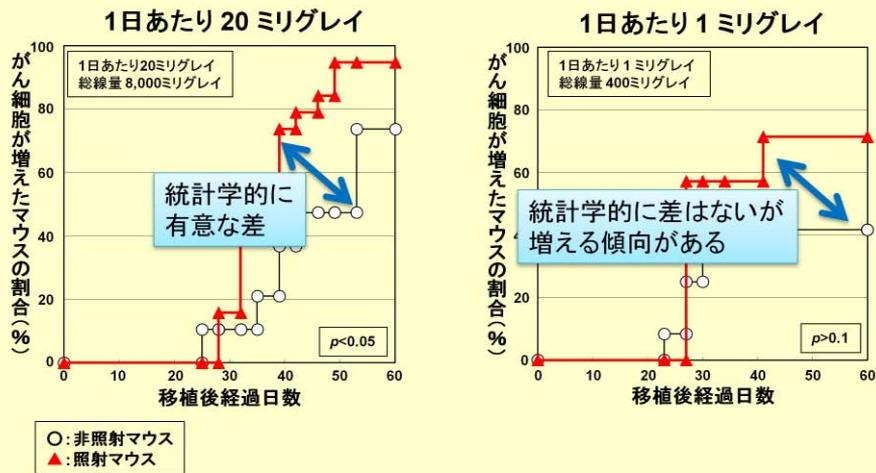
成長したがん

### － 要点 －

#### 実験手順：

1. B6C3F1系統のメスマウスの背中の皮下にがん細胞を移植し、60日間飼育観察を行った。
2. この写真のマウスは両方とも同じがん細胞を同じ量皮下移植されたが、左のマウスに比べ、右のマウスでのみ、がん細胞が生き残り、大きく成長している。
3. 解剖して調べたところ、左のマウスではがん細胞が完全に排除されていた。

## 結果



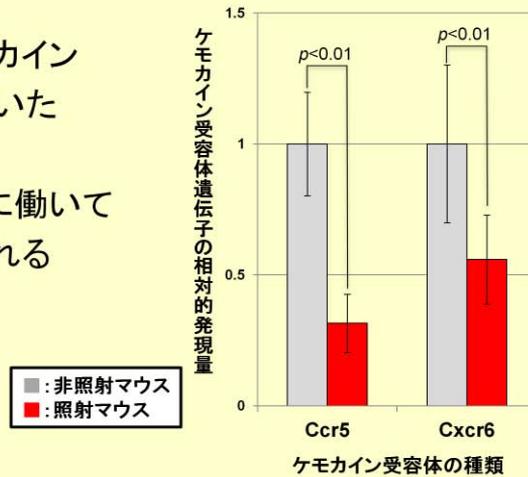
### — 要点 —

1. B6C3F1系統のメスマウスを使用した結果。
2. 1日あたり20ミリグレイあるいは1日あたり1.0ミリグレイの放射線を400日間連続照射したマウスと、同じ日齢の非照射マウスに、がん細胞を皮下移植し、60日間飼育観察を行った。
3. 非照射マウスでもがん細胞が生き残ったマウスがいるが、照射マウスのほうがより多くのマウスでがん細胞が生き残っていることがわかる。

## 免疫への影響

- 1日あたり 20 ミリグレイの放射線を400日間浴びせ続けたマウスの免疫機能の変化を調べた

- 免疫機能に関わるケモカイン受容体の量が減少していた
- ケモカインの系が正常に働いていない可能性が考えられる



### 〔用語解説〕

ケモカインの系：ケモカインという物質を介して、離れた細胞に信号を伝える系。マウスでは48種類のケモカインと19種類のケモカイン受容体があり、その組み合わせで様々な信号を送受信する。正常な細胞だけではなくがん細胞も特殊なケモカインやケモカイン受容体を持っており、がん細胞を退治する免疫と強く関連している。

ケモカイン：細胞から放出されるたんぱく質。特定のケモカイン受容体を持った細胞に信号を伝える。

ケモカイン受容体：細胞の表面にあるたんぱく質。特定のケモカインと結合することによって、離れた細胞からの信号を受信する。

## まとめ

放射線を浴びせなかったマウスと比べて・・・

- 1日あたり 20 ミリグレイの放射線を長く浴びせたマウスでは
  - がん細胞が増えたマウスが多かった
  - がん細胞を退治する免疫の働きに関わるケモカインの系が正常に働かない可能性
- 1日あたり 1 ミリグレイの放射線を長く浴びせたマウスでは
  - がん細胞が増えたマウスが少し多かった
  - がん細胞を退治する免疫の働きが低下しているかどうかは不明

現在、1日あたり 0.05 ミリグレイの放射線を長く浴びせたマウスに、  
がん細胞を移植する実験を行っている。

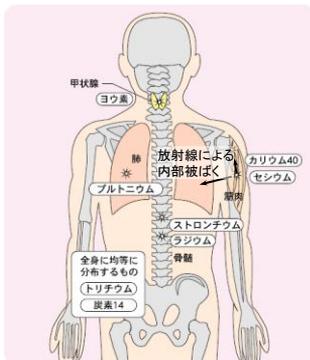
## 補足説明資料

1. 飲食による内部被ばく
2. 飲食物中放射性物質濃度の暫定規制値と被ばく線量との関係
3. 放射線の被ばく線量と影響の関係
4. 放射性物質と放射線
5. 放射線の量の単位

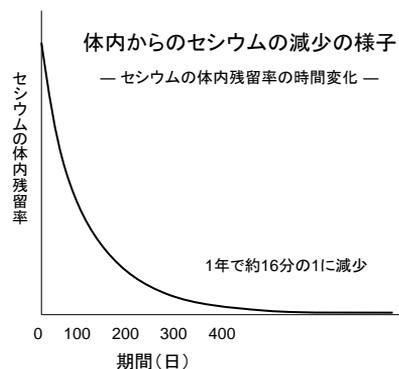
### 飲食による内部被ばく

1

- ・ 飲食によって体内に取り込まれた放射性セシウムは、体全体に分布し、特に筋肉に多く含まれます。
- ・ その後、代謝によって排泄されるため、放射性セシウムは減少して行きます。放射性セシウムの量が半分に減少する期間は、大人で約90日、子どもではより短期間です。
- ・ 放射性セシウムが体内に残留している間に発生した放射線が、内部被ばくを起こします。
- ・ 1ベクレルのセシウム137が体内に取り込まれた場合に、内部被ばくする放射線の量は10万分の1.3ミリシーベルトです。この値を線量換算係数といいます。



放射性物質が蓄積しやすい組織



## 飲食物中放射性物質濃度の暫定規制値と被ばく線量との関係

飲食物中の放射性物質濃度の測定が全国的に行われ、暫定規制値を超えるものも発表されています。

### 飲食物の摂取制限に関する放射性セシウムの暫定規制値

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

(厚生労働省)

放射性セシウム：セシウム134とセシウム137の和

### 暫定規制値の意味

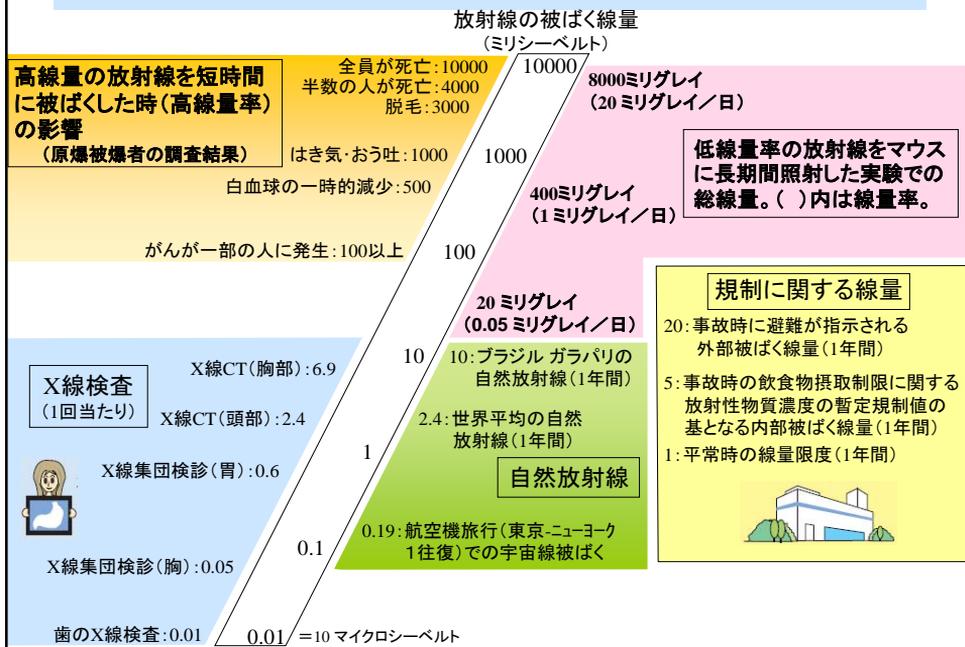
・規制値程度の濃度の放射性物質を含む食べ物を1回食べても、人体への影響はありません。

例えば、500ベクレル/kgの牛肉を200g食べた時の被ばく線量は、線量換算係数を用いて、0.0013ミリシーベルトになります。  
(この値は、歯のX線検査による被ばく線量の10分の1程度です。)

・1年間に飲食するものの半分にこれらの規制値の濃度の放射性セシウムが含まれていても、内部被ばく放射線量が5ミリシーベルト以下になるよう、規制値が定められています。

・暫定規制値は、事故時における対策として飲食物の摂取制限や出荷制限を実施する基準です。

## 放射線の被ばく線量と影響との関係



# 放射性物質と放射線

4

## 放射性物質とは何か

放射性物質の原子



- ・放射性物質は、普通の物質と同様、原子が集まって出来ています。
- ・原子の中心にある原子核が、放射性物質では不安定であるため、安定になろうとして変化して行く。その時に放射線が出ます。
- ・原子核が変化すると別の物質になるので、時間が経つと放射性物質の量は減って行きます。
- ・放射性物質の量が半分になる時間（期間）を、半減期といいます。半減期は、放射性物質の種類によって異なります。

ヨウ素131 : 8日  
セシウム134 : 2年  
セシウム137 : 30年

## 放射線とは何か

放射線には、様々な種類がありますが、大きく分けると以下の2種類になります。

- ①小さな粒が速く飛んでいるもの
- ・アルファ線 中性子陽子
  - ・ベータ線 電子
  - ・中性子線 中性子

②光線（紫外線より波長の短い波）



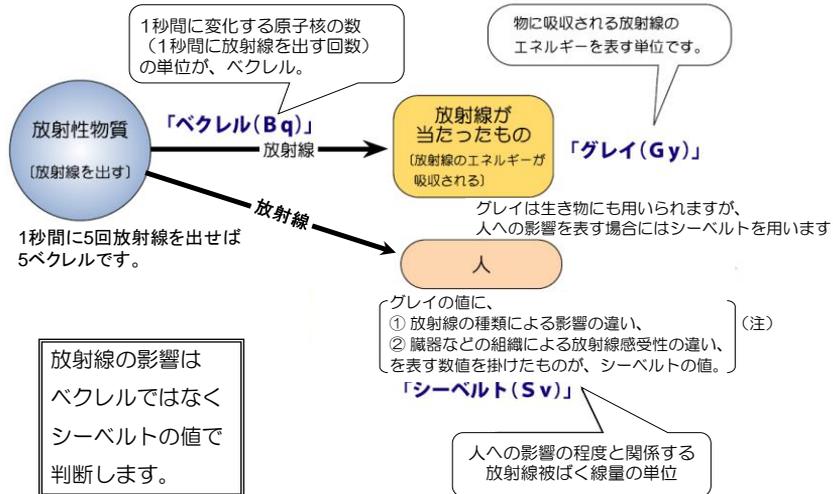
赤外線 光 紫外線 エックス線 ガンマ線

放射性物質から出る放射線は、アルファ線、ベータ線とガンマ線です。

放射能とは？・・・放射性物質が放射線を出す能力のこと。

# 放射線の量の単位

5



(注)

- ①ガンマ線を基準にして、アルファ線は20倍影響が大きくなります。
- ②肺、胃、骨髄などは、皮膚に比べ放射線感受性が大きい組織です。
- ③ガンマ線が全身に均等に当たった場合、シーベルトの値はグレイの値とほぼ同じです。