

排出放射性物質影響調查

# 成果報告会

平成 28 年度

公益財団法人 環境科学技術研究所

今回の成果報告会の内容は、青森県からの受託事業「排出放射性物質影響調査」により得られた成果の一部です。

## 目 次

1. アルファ線を出す放射性物質濃度を身の回りで調べました 1-25  
環境影響研究部 大塚 良仁
2. 放射線の生物への影響は飼育環境に左右される 26-46  
生物影響研究部 高井 大策

# アルファ線を出す放射性物質 濃度を身の回りで調べました

環境影響研究部  
大塚 良仁

# 本日の話題

## 1. 環境研の紹介

- ① 施設
- ② 研究テーマ

## 2. アルファ線放出物質について（概要）

## 3. 調査結果

- ① 環境試料（土壌、大気）
- ② 食品試料

## 4. まとめ

## 1. 環境研の紹介

# 環境科学技術研究所（環境研）

## 事業内容

1. 放射性物質の環境への影響と低線量・低線量率放射線の生体影響を調査、研究する。
2. 放射線に対する一般の人の理解の増進をはかる。
3. 原子力関連分野の人材育成を支援する。  
ことを目的に、上北郡六ヶ所村に平成2年に設立

# 環境研周辺の航空写真



## —要点—

1. 六ヶ所村には、原子力発電所の使用済み燃料を再処理する大型再処理施設があり、商用再処理施設としては日本で唯一の原子力施設である。
2. 環境科学技術研究所は六ヶ所村にあり、再処理施設とは、間に尾駁（おぶち）沼をはさんで、尾駁に環境研の本所、鷹架（たかほこ）地区に先端分子生物科学研究センターがある。
3. 尾駁沼や鷹架沼といった湖沼、そして東側は太平洋に面し、西側はむつ湾を望んで、周囲には水環境が多いという特徴がある。



# 原子力施設の中での 大型再処理施設の特徴

## 原子力施設



東通原子力発電所

(株)GNFジャパン  
神奈川県横須賀市  
燃料製造工場

原子力発電所  
燃料製造工場



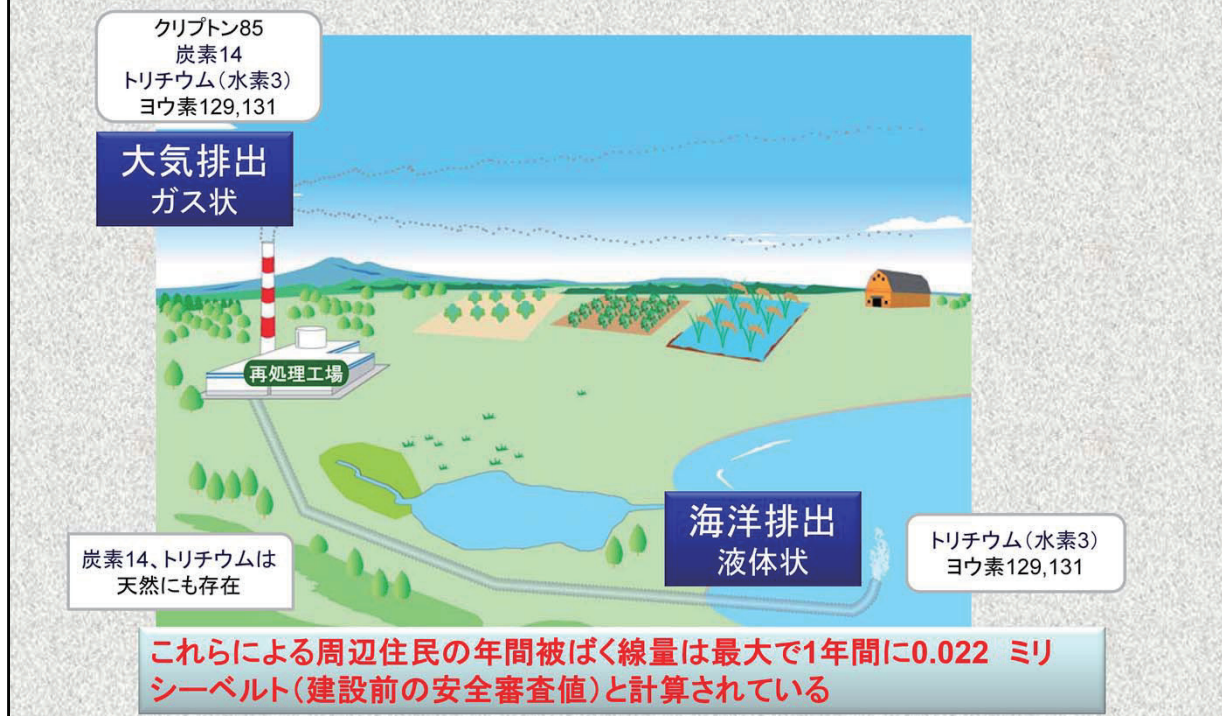
日本原燃(株)

大型再処理施設

### —要点—

1. 原子力施設の代表的なものは原子力発電所であり、日本国内の17か所にある。また、原子力発電所で使用される燃料の製造工場なども国内に数カ所ある。
2. 大型再処理施設は原子燃料の再処理工程で出てくる一部の放射性物質を、排気や排水として排出することを想定している。

# 大型再処理施設から出る主な放射性物質



## —要点—

1. 大型再処理施設からの排気、排水に放射性物質が含まれる。排気は、再処理施設にある主排気塔という煙突から大気中に、排水は、六ヶ所村沖合の海洋排出口から海洋中に出される。いずれも、拡散して薄まっていく。
2. 出てくる放射性物質の代表的なものとして、クリプトン、炭素、トリチウム、ヨウ素の放射性物質の4種類が挙げられる。
3. 想定される放射性物質の排出量から計算をした結果、周辺住民の方が受ける1年あたりの放射線量は0.022ミリシーベルト（22マイクロシーベルト）とされている\*。
4. 青森県は大型再処理施設の六ヶ所村への立地要請を契機に、地域住民や県民の安全・安心が得られるよう関連研究所等の設置を国に要望し、これを受けて平成2年に、同村内に環境科学技術研究所が設立された。以来、大型再処理施設から排出される放射性物質の環境中での挙動や低線量率放射線の生物影響に関する調査研究を行っている。

\*身近な放射線量では、集団検診の胸部X線撮影で1回あたり50マイクロシーベルト程度。

# 環境研での調査研究テーマ

## 排出放射性物質影響調査



### —要点—

環境科学技術研究所には2つの研究部があり、平成2年の創設時から、国や青森県から排出放射性物質影響調査を受託して行っている。

#### 1. 環境影響研究部

再処理施設から排出された放射性物質が環境中でどのように動くのかを明らかにして、その動きを予測し、線量を評価するモデルを構築している。

#### 2. 生物影響研究部

低線量・低線量率の放射線を長期間受けた生物に、どのような影響があるかを調査している。

# 環境影響研究部の調査テーマ

1. 周辺住民の施設由来被ばく線量評価
  - 1)被ばく線量評価モデル
  - 2)モデルに使用する環境移行パラメータの取得
  - 3)天然放射性物質濃度・自然被ばく線量の取得
2. 環境（野生生物）の被ばく線量評価
3. 環境影響の低減化
4. 環境への放射線影響

再処理施設から排出される放射性物質の環境中濃度や施設由来被ばく線量の比較対照となる環境試料等の天然放射性物質濃度や自然被ばく線量は、施設由来成分を評価する上で重要なデータである。

## —要点—

1. 環境影響研究部が進めている研究の内容は大きく分けて4つに分類できる。
2. 施設由来被ばく線量評価には、比較対照となる天然放射性物質濃度や自然被ばく線量を求める調査が含まれており、今回の報告会では、特に、アルファ線を出す放射性物質（アルファ線放出物質）の濃度とそれによる線量について報告する。
3. アルファ線放出物質は内部被ばく\*に大きく寄与するため、重要な放射性物質であるが、一般環境における濃度はあまり知られていない。
4. 再処理施設内ではアルファ線を放出するウランやプルトニウム等を取り扱い、その一部が極僅かであるが環境中に出てくる可能性があるため、それらの濃度と比較するため、環境中に存在する天然のアルファ線放出物質の濃度やその変動を調べた。

\*体内に入った放射性物質から受ける放射線被ばく

## 2. アルファ線放出物質について

## アルファ線の特徴

- アルファ線はヘリウム(He)の原子核
- 非常に透過力が弱く、紙で遮蔽される
  - 飛程\*は、空気中では約3～8 cm、水中ではその1000分の1程度。
- ベータ線やガンマ線と比較してエネルギーが大きい。
  - 外部被ばくではほとんど考慮しないが、内部被ばくでは考慮する必要がある。

\*アルファ線の様な荷電粒子が物質内に入射してから停止するまでの距離

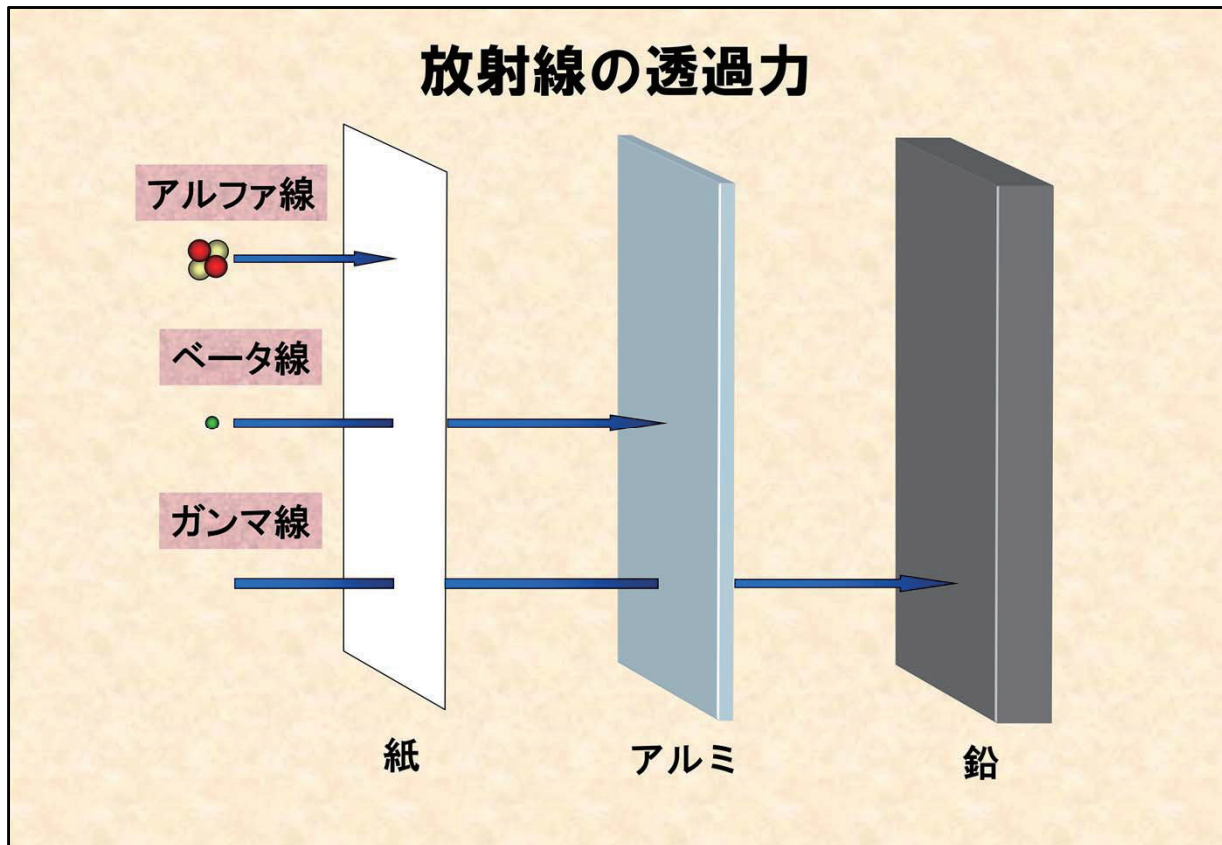
### [解説]

アルファ線の放射線のエネルギーは、電子ボルト (eV : エレクトロンボルト) という単位で表される。

天然の放射性物質の場合、放出されるアルファ線のエネルギーは約4～6 MeV\*\* (メガ・エレクトロンボルト) であるのに対して、ベータ線及びガンマ線のエネルギーの最大は約2 MeVである。

\*\* 1 MeV=1,000,000 eV

## 放射線の透過力



### —要点—

1. 放射線の種類の代表的なものとして、アルファ線、ベータ線、ガンマ線がある。
2. アルファ線やベータ線は、それぞれヘリウム原子核、電子という物質（粒子）がエネルギーを持って飛んでいる放射線であり、粒子線ともいう。
3. ガンマ線は光の仲間であり、目で見える可視光、紫外線よりも波長が短く、空間を伝わる波とも表現される。
4. 粒子線はガンマ線より透過力（物を突き抜ける力）が全体として弱く、粒子の種類や持っているエネルギーによって大きく変わる。アルファ線は紙でも透過することができない。
5. 光の仲間であるガンマ線は、アルファ線やベータ線と言った粒子線よりも透過力が大きい。

## アルファ線を出す放射性物質の分析

濃度の違いはあるが、環境中に必ず存在している。

その濃度は、時間や場所により大きく変化する。

環境研では、以下の試料の分析を行った。

- 大気環境
  - 雨水(雪)、大気(エアロゾル)
- 陸圏環境
  - 土壌
- 水圏環境
  - 湖水、河川水、海水、堆積物、水生生物
- 食品

本発表では、環境試料や食品試料に含まれるアルファ線放出物質の中で、最も高濃度で存在しているポロニウム210について発表する。

### —要点—

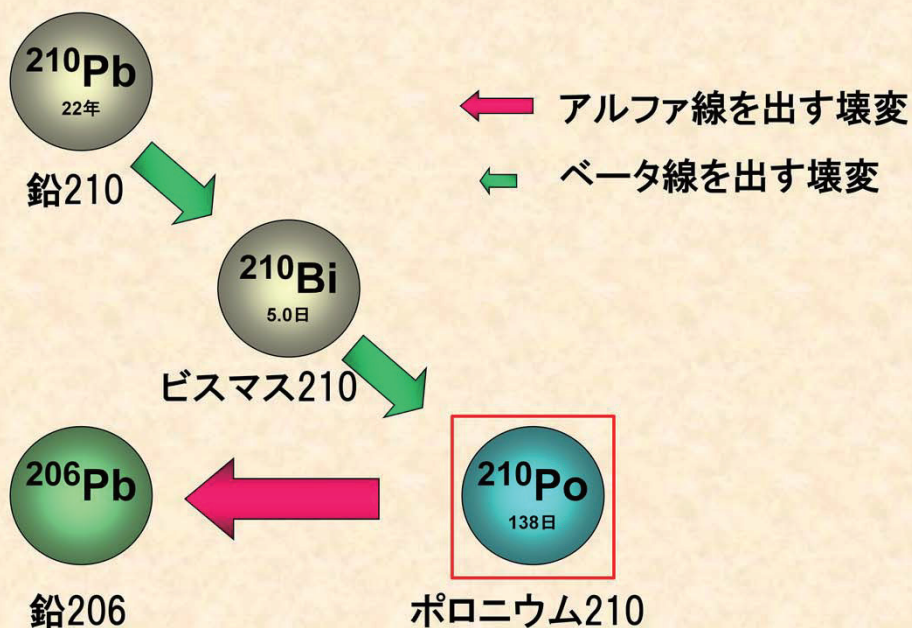
1. 本発表では、環境中や食品に含まれるアルファ線放出物質の中で、最も高濃度で存在しているポロニウム210( $^{210}\text{Po}$ )\*について発表する。
2. 環境研では、スライドに示した全ての環境の試料と食品中の $^{210}\text{Po}$ 濃度を測定したが、ここでは、前半は、環境中に存在する $^{210}\text{Po}$ 濃度を発表する。
3. 後半では食品中に含まれる $^{210}\text{Po}$ 濃度と、 $^{210}\text{Po}$ を含む放射性物質から推定した人体が受ける被ばく線量を示す。

### [用語解説]

\*ポロニウム210：1898年にピエール・キュリーとマリ・キュリー夫妻によって発見された、半減期138日のアルファ線を放出する放射性物質である。



## ポロニウム210 ( $^{210}\text{Po}$ ) の起源

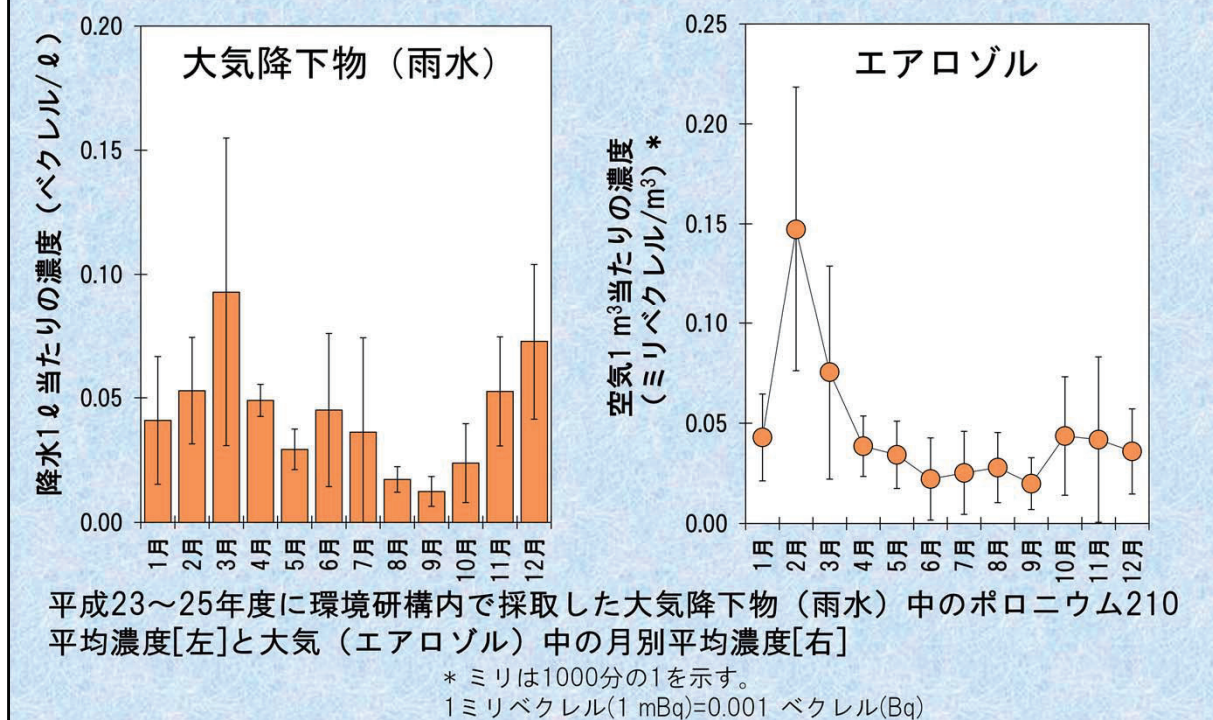


—要点—

1. ポロニウム210 ( $^{210}\text{Po}$ ) は、鉛210 ( $^{210}\text{Pb}$ ) がベータ線を放出してビスマス210 ( $^{210}\text{Bi}$ ) になり、これが再度ベータ線を放出して生成される。
2. アルファ線を放出した $^{210}\text{Po}$ は、安定な鉛206 ( $^{206}\text{Pb}$ )になる。
3. 環境中では $^{210}\text{Pb}$ と共に存在し、 $^{210}\text{Po}$ が単独で存在することは、ほとんどない。

### 3. 調査結果

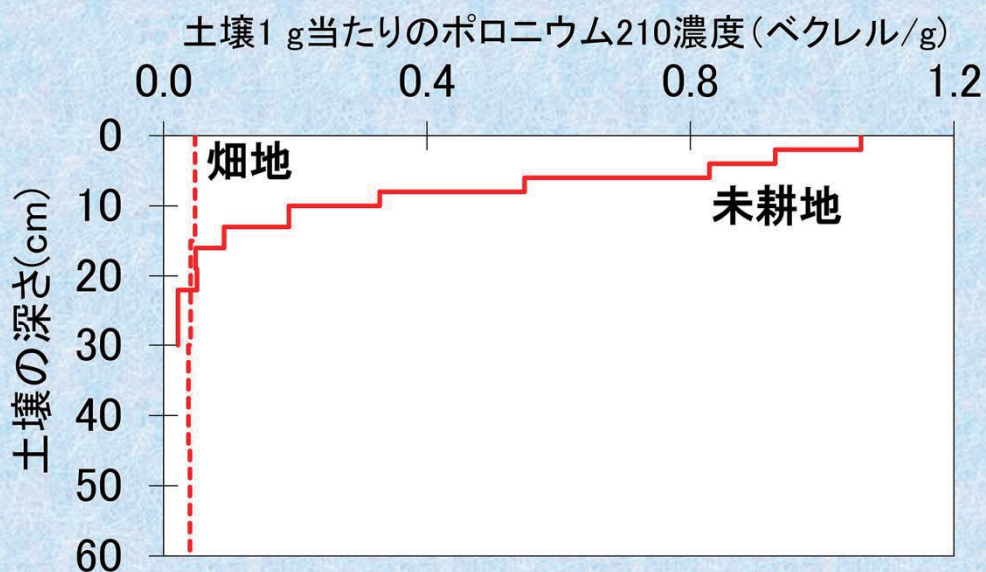
## 気圏環境(雨水とエアロゾル)



### —要点—

1. 左のグラフは、環境研の構内で雨水を約1週間間隔で採取して、ポロニウム210 ( $^{210}\text{Po}$ ) を分析した結果を示している。このグラフのデータは、月毎にまとめて、降水1リットルあたりに含まれるポロニウム210の濃度に換算して示した。
2. 雨水中のポロニウム210濃度は、春先に高く、夏に減少して、秋から冬にかけて増加している。
3. 右のグラフは、環境研の構内で空気を1週間ろ過し、得られた塵（エアロゾル）中のポロニウム210を分析した結果を示している。このグラフのデータは、月毎にまとめて、空気1立方メートルあたりに含まれるポロニウム210の濃度に換算して示した。月別変動は、雨水の結果と異なり、冬に高く、春から秋は濃度が低かった。
4. エアロゾル中ポロニウム210濃度は、大型再処理施設から排出されるアルファ線を放出するプルトニウムの大気浮遊塵中想定濃度と比較して、平均で約220倍に相当する。

## 陸圏環境(未耕地(——)と畑地(-----))



土壤中のポロニウム210( $^{210}\text{Po}$ )は、土壤中に元から存在していた成分と降雨雪等で供給されたポロニウム210と鉛210( $^{210}\text{Pb}$ )から生成した成分の合計

六ヶ所村内の未耕地(尾駁地区:平成23年度調査)と畑地(平沼地区:平成24年度調査)の結果

### —要点—

1. 六ヶ所村の未耕地と畑地におけるポロニウム210( $^{210}\text{Po}$ )の土壤中の深さ方向の濃度分布を示す。
2. ポロニウム210の大部分は、土壤中にもともと存在していたものと、雨や雪で土壤に供給されたポロニウム210と鉛210( $^{210}\text{Pb}$ )から生成した成分の合計である。未耕地では表層では高濃度で存在し、土壤深度の増加とともにその濃度は減少している。
3. 一方、畑地の方は全体的に低濃度で、未耕地の最低濃度程度しかない。これは畑地を造成するために表土を除去したり、六ヶ所村で盛んに生産されているナガイモなどの根菜を育てる際に、土壤が上下に攪拌されたためと考えられる。
4. 表層土壤中ポロニウム210濃度は、大型再処理施設から排出されるアルファ線を放出するプルトニウムの表層土壤中想定濃度と比較して、畑地では約680倍、未耕地で約15,000倍に相当する。

## 食品中のアルファ線放出物質

- 食べ物にも放射性物質が含まれる。
- 野菜であれば土壌や大気（降雨水等）から、魚介類であれば水や餌の放射性物質が取り込まれる。
- 我々はこれらを摂食することで、放射性物質を体内に取り込む。
- ここでは、様々な未調理の食材と調理済み食事を分析して、アルファ線放出物質の濃度やベータ線などを出す物質の濃度を求めた結果を紹介し、さらに、そこから得られる内部被ばく線量率についても発表する。

# 内部被ばく線量の測定方法

- **アルファ線・ベータ線による被ばく**
    - 食物を分析して**放射性物質摂取量**を推定
    - 人体内代謝モデルによる**濃度推定**
- ▼  
▼  
線量予測

## 放射性物質摂取量を求める方法

- 未調理の食材中放射性物質濃度と各食材の1日当たりの平均摂取率から計算・・・**食品別調査**
- 1日分の調理済み食事中の放射性物質量を分析・・・**調理済み食事調査**

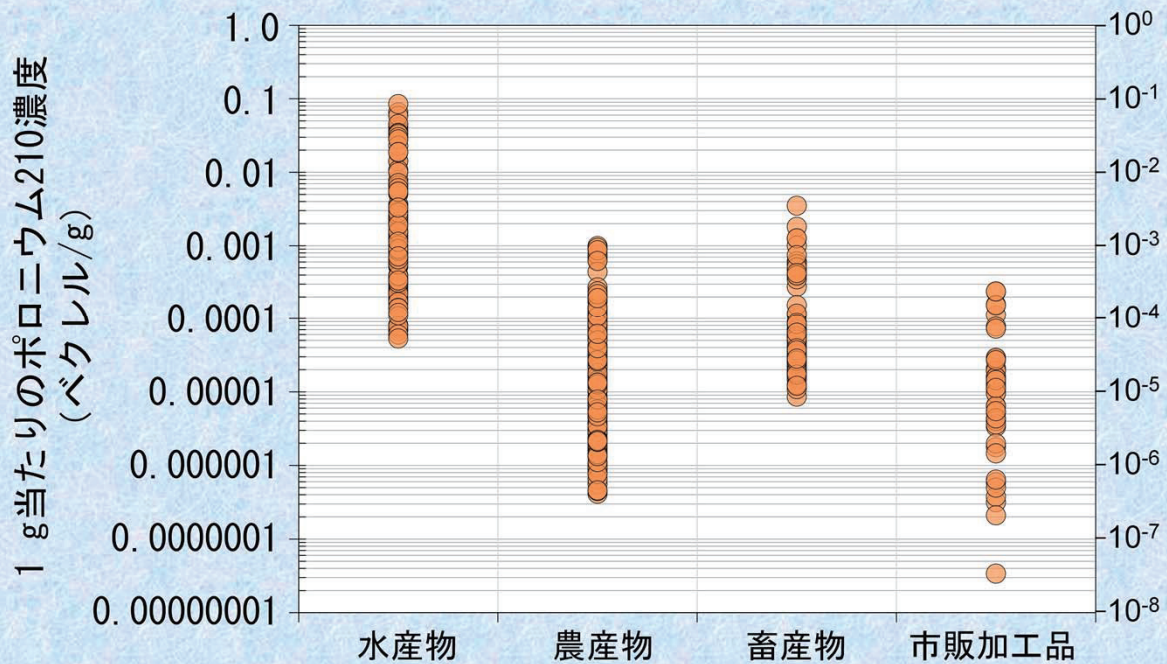
- **ガンマ線による被ばく**
  - **全身用測定器（ホールボディカウンター）**  
**カリウム-40 (<sup>40</sup>K)**

## —要点—

1. アルファ線は透過力が小さいため、体外からの被ばくは無視できる。
2. アルファ線放出物質による被ばくは、体内に入った後に体の内部で放射線を受ける「内部被ばく」を考慮する必要がある。
3. 内部被ばく線量を評価するためにはさまざまな方法があるが、食物中のアルファ線放出物質からの被ばく線量評価は、食物を分析して放射性物質の摂取量を推定し、人体内代謝モデルによって体内濃度を推定し、被ばく線量を評価する。
4. 1日当たりの放射性物質の摂取量を求める手法として、1) 未調理の食材中放射性物質濃度の分析結果と各食材の摂取率から計算する、2) 1日分の調理済み食事中放射性物質量を使う、という2つの方法がある。
5. ここでは、詳しくは触れないが、カリウム40等によるガンマ線による被ばく線量は全身用測定器（ホールボディカウンター）によって測定されている。

## 未調理の食材中ポロニウム210濃度(食品別調査)

平成18～22年度の調査(全105品目、459試料の分析結果)



### —要点—

1. 平成18～22年度に六ヶ所村及び青森市において、水産物、農産物、畜産物及び飲料等の市販加工品を購入し、それぞれの食材の食べる部分だけを切り分け、未調理のまま分析して放射性物質を測定した結果を示している。測定した試料は全部で105品目、459試料であった。
2. グラフは、測定した放射性物質の内、比較的濃度が高かったアルファ線放出物質のポロニウム210 ( $^{210}\text{Po}$ ) の濃度を示している。
3. 縦軸が対数となっており、一目盛り大きくなると、元の濃度の10倍であることを示している。
4. いずれの食品も、測定したアルファ線放出物質の中ではポロニウム210の濃度が最も高く、特に水産物の濃度が高い傾向にある。
5. ポロニウム210を含む各食材中放射性物質濃度は、食品別調査による放射性物質摂取量の計算に使用した。

# 調理済み食事の分析 (調理済み食事調査)

## 試料の採取



一日分の食事

六ヶ所村と青森市  
勤労世帯(のべ50名)  
漁業世帯(20名)  
農業世帯(20名)  
酪農世帯(10名)

5人分を混ぜて  
一試料にする

調査は年4回実施  
したので、試料数は  
全部で80試料

前処理

↓  
化学分離

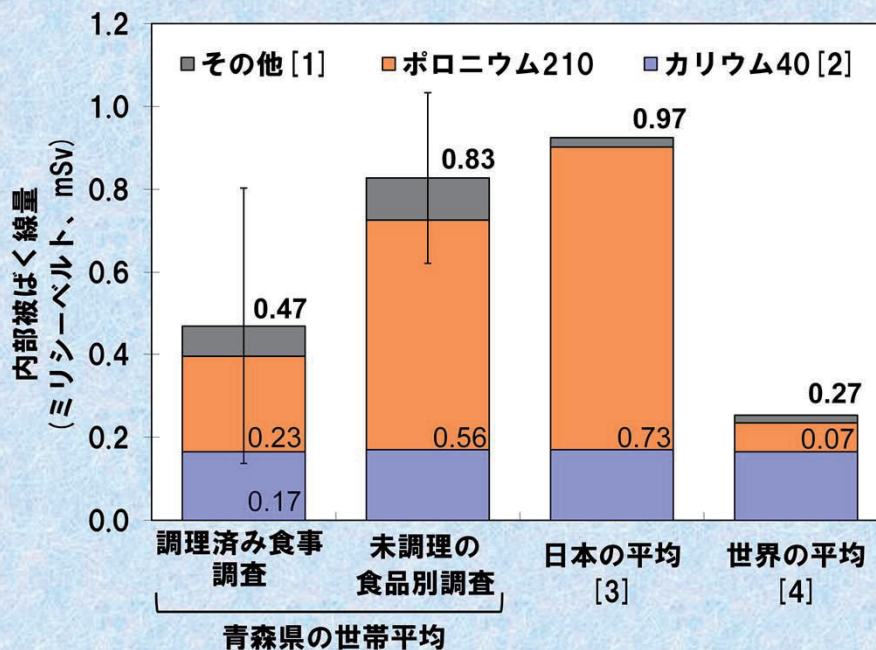
↓  
分析

## —要点—

1. 調理済み食事試料は、ある日一日に摂取した全ての食事（水や飲み物、嗜好品、おやつなど、口に入るもの全て）の複製（陰膳）を回収したものであり、スライドの写真は回収した一人分の一日の食事である。
2. 調理済み食事試料を、六ヶ所村と青森市で平成18から22年度に、職業世帯別に（勤労世帯、漁業世帯、農業世帯、酪農世帯）採取した。
3. 地域・世帯ごとの平均的な放射性物質の濃度を求めるため、5人分の食事を混ぜて一試料とし、5年間で全80試料を採取した。
4. 混合した試料は乾燥等の前処理を行った後、試料中の放射性物質の濃度を分析した。



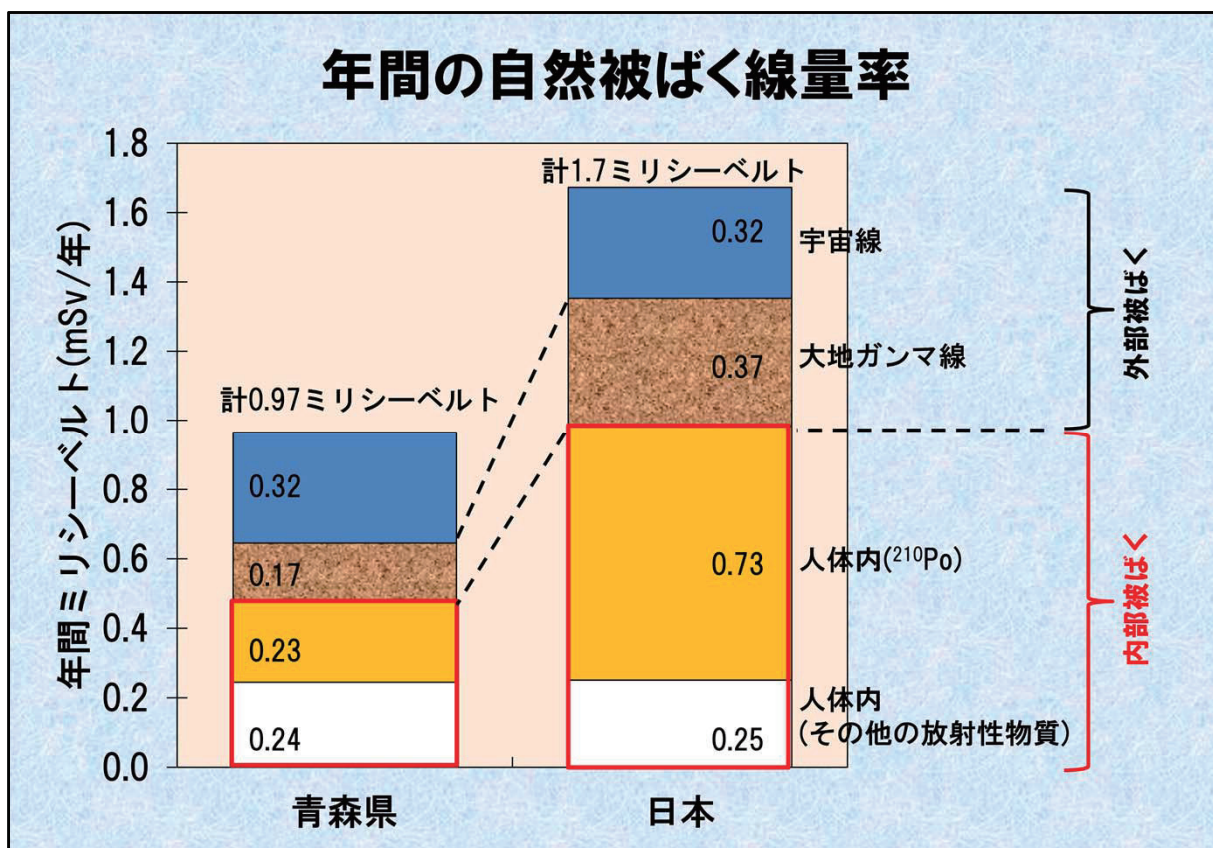
## 青森県の平均、日本人の推定値及び世界の平均値との比較



[1]  $^{238}\text{U}$ や $^{232}\text{Th}$ を含む8種類の放射性物質の合計 [2] 体内の $^{40}\text{K}$ による実効線量 $[0.17 \text{ mSv y}^{-1}]$  Uchiyama et al. (1996)  
 [3] Ota et al.(2009) [4] UNSCEAR (2000)

### —要点—

1. グラフは食物から受ける内部被ばく線量について、今回の調査で得られた青森県の結果、日本平均及び世界平均と比較したものである。
2. 調理済み食事調査の結果から、青森県の職業別の世帯数を考慮して県の平均値を求めたところ、0.47 ミリシーベルト (mSv) となった。
3. 未調理の食品別の放射性物質濃度を用いて、青森県民の職業別食品摂取率と職業別世帯数から県の平均値を求めたところ、0.83 mSvと、調理済み食事調査の結果より大きな値となった。これは未調理の食品別調査では生の食品を用いており、調理されていないことが原因ではないかと考えられる。
4. 調理済み食事調査と未調理の食品別調査では得られた値は異なるが、より実際に近い値は調理済み食事調査の結果であると考えられる。
5. 日本人の内部被ばく線量の推定値は、全国から採取した未調理の食品の調査から求められており、0.97 mSvと青森県の食品別調査結果と大きな差はない。また、世界の平均は0.27 mSvと報告されているが、元のデータには、調理済み食事調査と未調理の食品別調査の結果が混じっている。
6. いずれの方法による結果でも、青森県民を含む日本人の内部被ばく線量は、世界の平均に比べて大きく、特に、ポロニウム210の内部被ばく線量への寄与が大きいことが分かった。



—要点—

1. 今回の調査結果をもとに、青森県民が1年間に受ける自然放射線からの被ばく線量について計算した結果である。
2. 食品中に存在するアルファ線放出物質による被ばく線量は1年間に0.23ミリシーベルト (mSv) であり、内部被ばくのおよそ半分を占めることが分かった。

## 4. まとめ

1. アルファ線は、放射性物質から放出されるヘリウムの原子核である。
2. アルファ線を出す放射性物質は、身の周りの大気や土壌を始めとして、環境中に広く存在する。
3. 環境中のポロニウム210の濃度は、他のアルファ線を出す放射性物質に比べて高濃度で存在する。
4. その濃度は一定ではなく、採取する場所や時期により異なる。
5. 大型再処理施設から排出が予想されているプルトニウムの環境中濃度は、現在の環境中ポロニウム210濃度に比べて極めて低濃度である。
6. 食品中にもポロニウム210は存在しており、食品の種類により、その濃度は大きく異なる。
7. 食品中のポロニウム210は内部被ばく線量に大きく寄与する。

# 放射線の生物への影響は 飼育環境に左右される

生物影響研究部  
高井 大策

# 環境科学技術研究所 生物影響研究施設

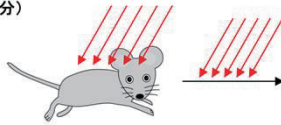


## —要点—

1. 環境科学技術研究所の生物影響研究部では、低線量率・低線量放射線（弱い放射線、少ない量の放射線）が生物に与える影響について調査を行っている。
2. 放射線の生物への影響を評価するために実験用マウスを使っており、多くのマウスをSPF（マウスにとって特定の病原体がない、清潔な状態）という環境下で飼育が可能で、且つ、放射線が照射できるような施設を使って実験を行っている。

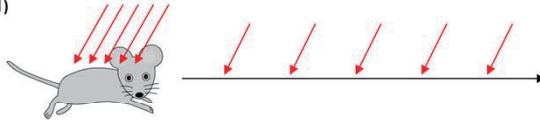
## 線量率が下がると生物影響は小さくなる

・高線量率照射  
(1,000 mGy/分)



DNAの傷を治すことができない

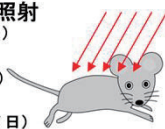
・中線量率照射  
(400 mGy/日)



DNAの傷をある程度治せる

・低線量率照射  
(20 mGy/日)

(1 mGy/日)  
(0.05 mGy/日)



DNAの傷を殆ど治せる

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—

1. 線量率が下がれば下がるほど（放射線の強さが弱くなればなるほど）、同じ総線量を被ばくしてもその生物影響は小さくなる。
2. スライド上部のマウスの部分ではmGy（ミリグレイ）、スライド下の説明ではmSv（ミリシーベルト）、μSv（マイクロシーベルト）を使っている。これは、Sv（シーベルト）は「放射線がヒトに与える危険性」を表す単位、Gy（グレイ）は「放射線から受けるエネルギー量」の単位であり、マウスにSv（シーベルト）という単位を使えないからである。
3. ただし、ガンマ線を全身に均等に被ばくした場合、Gy（グレイ）とSv（シーベルト）の値は同じになる。例えば、1日あたり1ミリグレイ（1mGy/日）のガンマ線を人間が被ばくした場合は1ミリシーベルトになる。

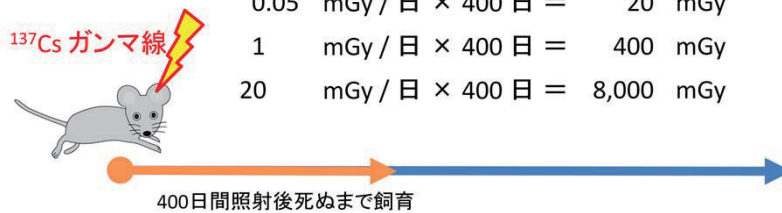
## 寿命試験(最初の大規模実験、1995～2002)

低線量率放射線の長期照射実験でマウス寿命の変化や腫瘍の発生頻度を調べた

非照射群(オス、メス500匹ずつを400日間飼育)



照射群(オス、メス500匹ずつを400日間連続照射)

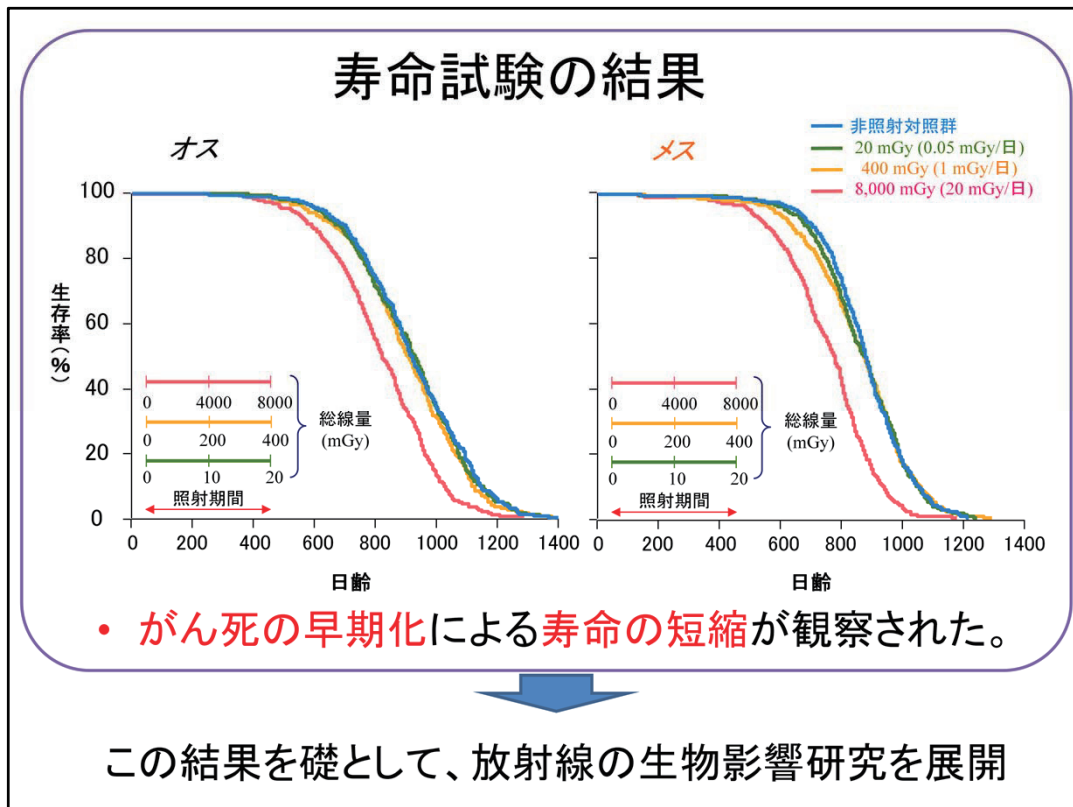


非照射群と比較して寿命は短くなる？  
マウスの死因は変わる？

### —要点—

1. 低線量率・低線量放射線の生物影響研究のスタートとして実施した寿命試験について紹介する。
2. マウスに3つの条件で低線量率放射線の連続照射を行った後に終生飼育を行い、放射線を照射しないグループ(非照射群)と寿命を比較し、その変化について調査を行った。
3. また、腫瘍の発生頻度の変化といった死因に関する調査も行った。



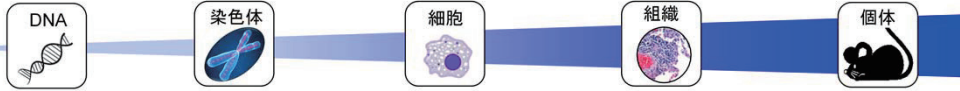


### —要点—

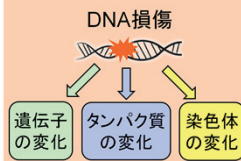
1. 実験結果をグラフとして示す。縦軸はマウスの生存率、横軸はマウスの日齢である。
2. 1日あたり20ミリグレイ (mGy) を400日間長期照射した（総線量は8000ミリグレイ (mGy) になる）マウス (赤色の線) では、寿命がオスでは非照射のマウス (青色) と比べて約100日、メスでは約120日短くなった。
3. 1日あたり1ミリグレイ (mGy) を400日間長期照射した（総線量は400ミリグレイ (mGy) になる）マウス (オレンジ色) では、非照射のマウス (青色) と比べて寿命がメスのみ約20日短くなった。
4. 1日あたり0.05 ミリグレイ (mGy) を400日間長期照射した（総線量は20ミリグレイ (mGy) になる）マウス (緑色) では、非照射のマウス (青色) と比べて寿命が変わらなかった。
5. 寿命短縮の原因として、悪性リンパ腫や他のガンの発生が早期化したことが分かった。
6. この結果を受け、さらなる研究を現在展開している。

# 生物影響研究の概要

分子のレベルから個体のレベルまで

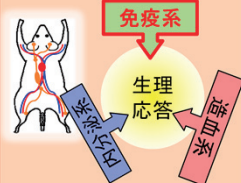


■ 分子・細胞レベルの変化を調べています



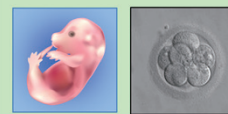
低線量率の放射線が引き起こす分子や細胞レベルの変化を調べています。例えば、遺伝子の働きの変化、タンパク質の変化、染色体の異常の誘発などを解析します。

■ 組織・個体レベルの変化を調べています



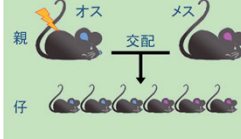
組織や個体の調節機能に対して低線量率の放射線が引き起こす変化を調べています。例えば、免疫系、内分泌系、造血系などの働きの変化を解析します。

■ 発生初期・胎児期の被ばくの影響を調べています



生まれる前の時期に低線量率放射線被ばくした場合の影響については、特にデータが少なく、わかっていません。そこで、生まれる前に低線量率放射線被ばくしたマウスに起こる奇形、がん、寿命短縮、遺伝子異常などのデータを集めます。

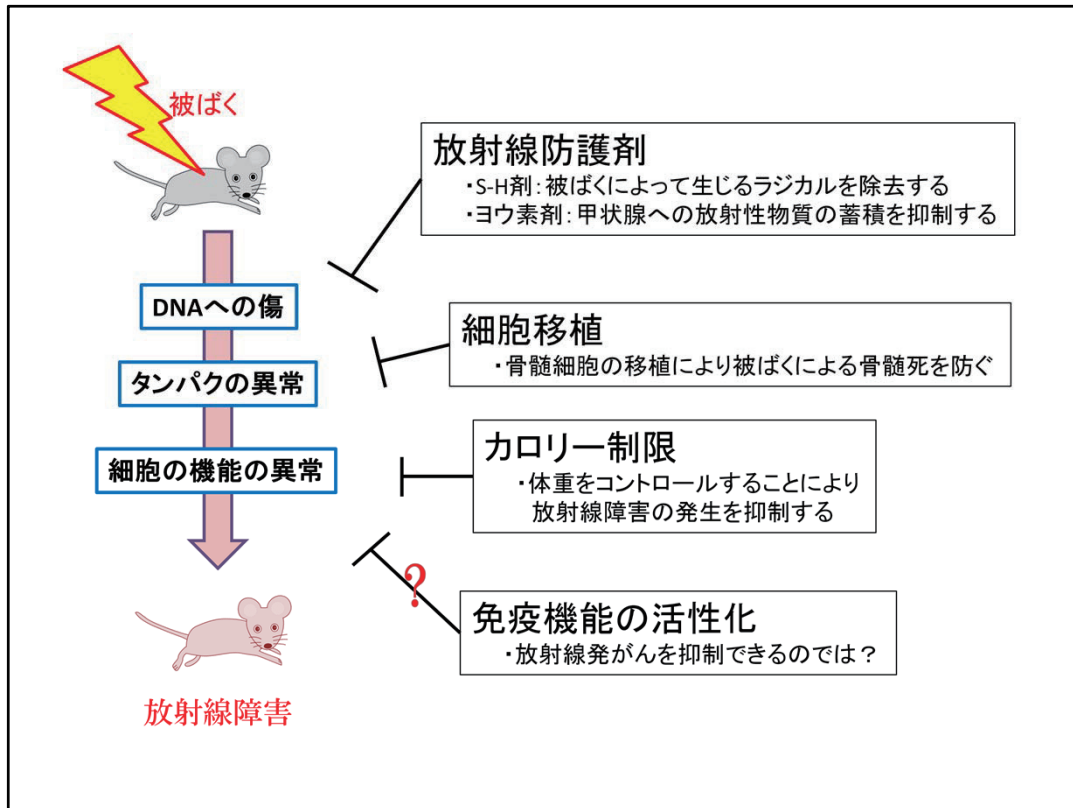
■ 子孫への影響を調べています



低線量率放射線照射したオスマウスと照射していないメスマウスとの交配で生まれた仔マウスへの影響を調べています。仔マウスの寿命、死因、遺伝子変異などのデータを集めます。

## —要点—

1. 先に紹介した寿命試験は「個体」レベルの研究であるが、この寿命試験の研究結果を礎として、生物の組織、細胞、そして分子レベルまで、対象範囲を広げて、低線量率・低線量放射線の影響について研究を行っている。
2. 今回は、生物体内を一定に保つために働いている種々の機能の中で、免疫機能に着目して調査を行った結果について、報告する。

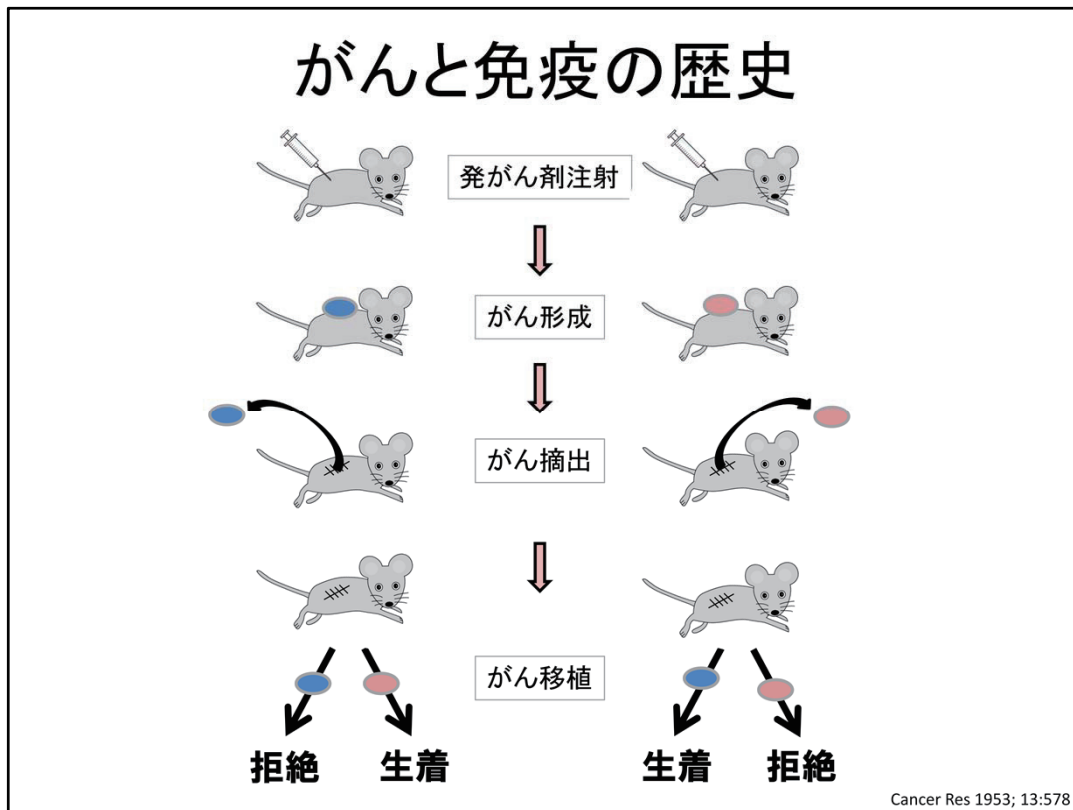


—要点—

1. 放射線被ばくから、がんをはじめとする放射線障害にいたるには、いくつかのステップがある。
2. その抑制の研究は古くからおこなわれており、いくつかの成果を上げている。
3. 今回の報告は、免疫機能の活性化による放射線障害の抑制を調査したものである。

## がんと免疫についての研究の歴史

- 1909年に体内の免疫系によるがんの排除が提唱されたが、確たる証拠はなく懐疑的であった  
→がん細胞も本来自己の細胞であり、  
免疫で攻撃されるのはおかしい！
- 1950年代の移植腫瘍排除の研究から、がんに対する免疫学的拒絶反応が存在することが示された。



—要点—

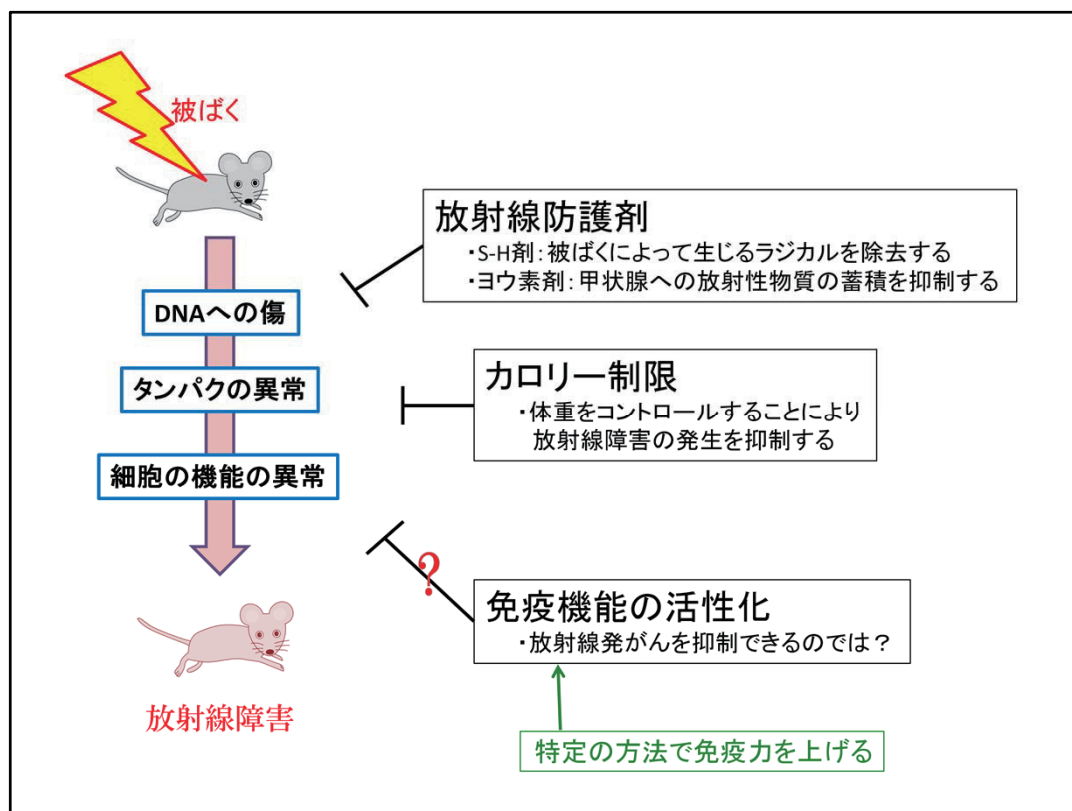
1. 免疫とがんに関わる代表的な研究で、移植されたがんの排除を明らかに示している。

## がんと免疫についての研究の歴史

- 1909年に体内の免疫系によるがんの排除が提唱されたが、確たる証拠はなく懐疑的であった  
→がん細胞も本来自己の細胞であり、  
免疫で攻撃されるのはおかしい！
- 1950年代の移植腫瘍排除の研究から、がんに対する免疫学的拒絶反応が存在することが示された。
- **免疫はがんを排除できる。**
- 近年がんの治療で有力であるとされる、がんワクチン抗PD-1抗体「ニボルマブ」などが開発されている。

### —要点—

1. 当初は、免疫でがんが排除されることについて否定的であったが、研究が進み、免疫によってがんを排除できることが明らかとなった。



—要点—

1. 免疫系の活性化により放射線発がんを抑制できる可能性がある。
2. 免疫機能の活性化にはいくつか方法が考えられるが、今回の報告する研究では、「特定の方法で免疫力を上げる」方法に着目して行った。

# 環境エンリッチメント

定義: A combination of complex inanimate and social stimulation. (Rosenzweig, et. al. Brain Res. 1978;153:563-76)

– 多様な無生物的、及び社会的刺激の組合せ

要するに……

「遊具存在下で  
複数同時に飼育する」



Cell. 2010; 142:52

—要点—

1. 「環境エンリッチメント」という方法に注目した。
2. 環境エンリッチメントの定義は「多様な無生物的、及び社会的刺激の組合せ」とされており、研究としては「遊具の存在下で複数のマウスを同時に飼育する」という形で実験を行った。



## 環境エンリッチメントと免疫・がん

- 1960-1990年代
  - 学習や記憶などの脳神経系への影響が調べられていた。
  - アルツハイマーなどの脳神経系の疾患への効果が示されていた。
- 2000年代
  - 免疫細胞の活性化が示された。
- 2010年
  - 環境エンリッチメント飼育によりがんの成長が抑制され、寿命も伸長することが示された。

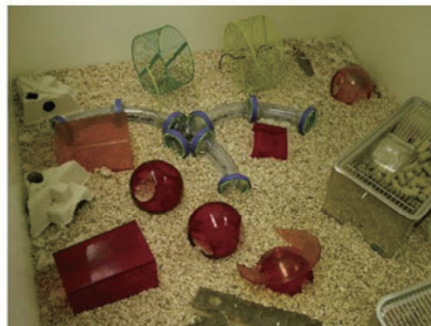
放射線発がんに対してはどうだろうか？

—要点—

1. 環境エンリッチメントの研究は当初、学習や記憶などの脳神経系への影響を中心に行われてきた。
2. 2000年代に入り免疫細胞の活性化とともに、がんの成長の抑制や寿命の伸長も示された。そこで今回、放射線発がんに対しての効果について実験を行ったので、その結果を示す。

## 当研究所における 環境エンリッチメント実験

論文にあるような環境エンリッチメントは低線量率放射線連続照射実験では難しい。



—要点—

1. ただし、これまでの論文にあるような環境エンリッチメントは、低線量率放射線連続照射実験では、実験設備上の制約などでそのまま実現することは困難である。

## 当研究所の連続照射室

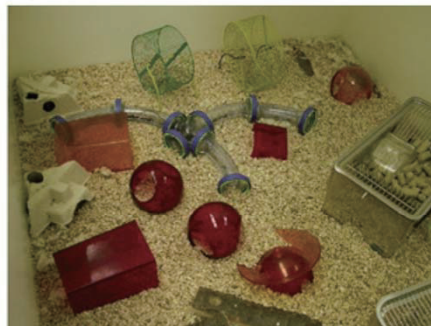


### —要点—

1. 環境科学技術研究所の放射線照射室では、決められた大きさのケージでしか、連続照射を行うことはできない。

## 当研究所における 環境エンリッチメント実験

論文にあるような環境エンリッチメントは低線量率放射線連続照射実験では難しい。



そこで、飼育ケージはそのまま設置できる環境エンリッチメントを選択。

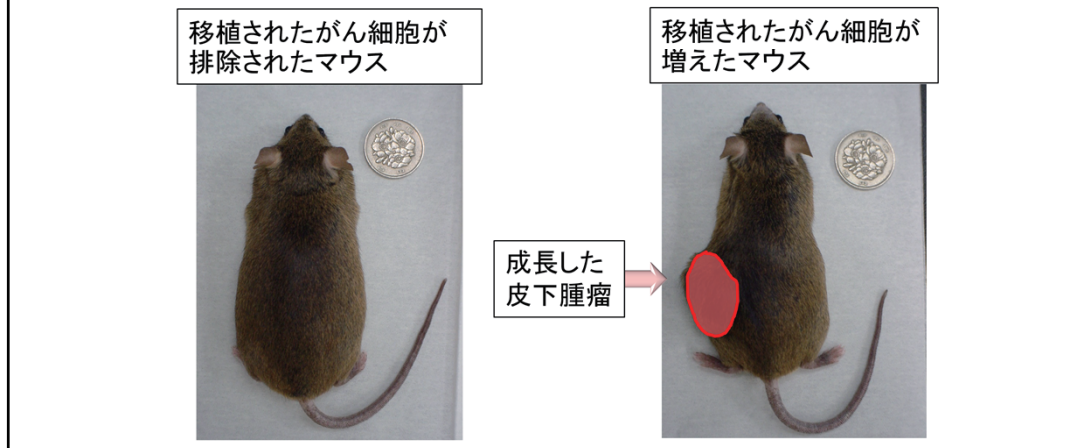


—要点—

1. そこで、飼育ケージはそのまま設置できる環境エンリッチメントの器具を選んで実験を行った。

## 予備試験

放射線照射後のマウス体内で、移植された腫瘍細胞が生着しやすい、つまりがんが育ちやすい環境ができていることがわかっていく。



### —要点—

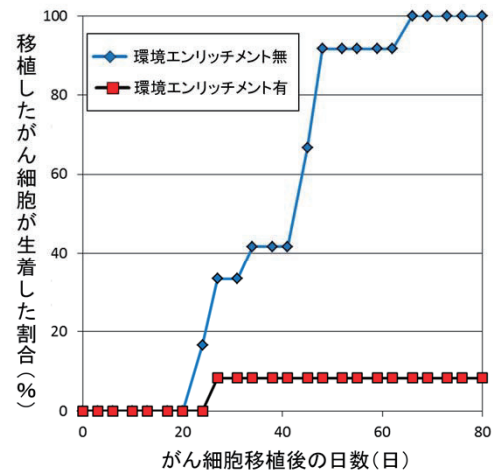
1. 環境エンリッチメントに関する実験の評価をするため、予備試験として実施した概要を示す。
2. マウスの背中の皮下にがん細胞を移植し、80日間飼育観察を行った。
3. この写真のマウスは両方とも同じがん細胞を同じ量皮下移植されたが、左のマウスに比べ、右のマウスでのみ、がん細胞が生き残り、大きく成長している。
4. 解剖して調べたところ、左のマウスではがん細胞が完全に排除されていた。
5. 環境エンリッチメントを施したものと、施していないもののがん細胞の生着・排除を比較することで、マウス体内ががんが育ちやすい環境にあるか否かを見る。
6. 環境エンリッチメントを施したマウスの方が移植されたがん細胞を排除する傾向が見られれば、環境エンリッチメントにより免疫力が上がったと推測できる。

## 予備試験

非照射マウスに環境エンリッチメントを施し、腫瘍細胞を移植した。



ほとんど生着しない、つまり、先行研究通りに、環境エンリッチメントを施されたマウスの体内はがんが育ちにくくなっていることが確認された。



環境エンリッチメントは、放射線照射によりがんが育ちやすくなることを抑制することができるだろうか？

### —要点—

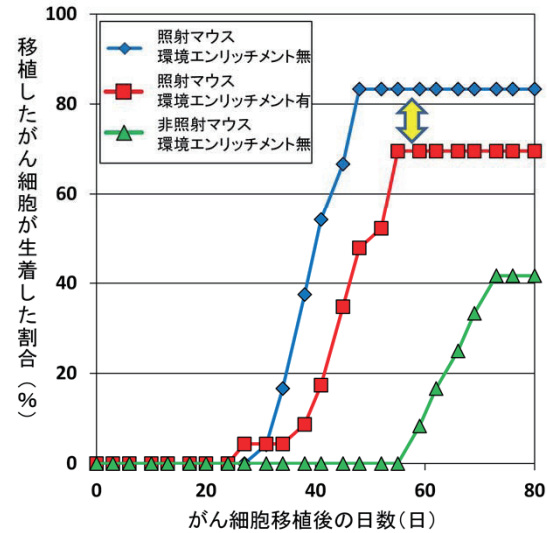
1. 予備試験の結果を示す。
2. 環境エンリッチメントを施したマウスと施さないマウス各12匹に、がん細胞を移植した実験の結果について示す。
3. グラフの縦軸は、移植したがん細胞が生着した割合、横軸は移植後の日数を示した。
4. 環境エンリッチメントを施していないマウス（青色の線）は施したマウス（赤色の線）に比べて、がん細胞が生着していることが分かる。

## 結果

あらかじめ環境エンリッチメント下で飼育したマウスに3 Gyのガンマ線を照射し、腫瘍細胞を移植した。



腫瘍細胞の生着率は環境エンリッチメントにより、差は小さいが有意に抑制されていた。



### —要点—

1. 更に、3 Gy (グレイ) の放射線を照射したマウスについて、環境エンリッチメントを施したマウス (赤色の線) と施していないマウス (青色の線) の比較を行った。なお、参考として照射せずに環境エンリッチメントを施さないマウス (緑色) の結果も示す。
2. 放射線を照射したマウスについても、環境エンリッチメントを施したマウス (赤色の線) の方が移植した腫瘍の生着する割合が小さく、環境エンリッチメントの効果が見られた。

## 更なる展開

- 放射線照射され、がんが育ちやすくなってしまった体を、元に戻すことはできるだろうか？
  - 人が不本意な被ばくを受けたような場合に応用できる可能性がある。
- まだ示すことができない。
  - 今後の課題である。
- 環境エンリッチメント以外の方法はないか？



## ヒトと環境エンリッチメント

- 人への応用はまだ遠い。
- 環境エンリッチメントによる放射線発がんの抑制機構を明らかにしなければならない。

報告内容等の問合せ先：青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字家ノ前1番7  
公益財団法人 環境科学技術研究所

総務部 企画・広報課

TEL 0175-71-1240