

調査研究活動報告会

放射線の影響を探る 4

平成 22 年度

財団法人 環境科学技術研究所

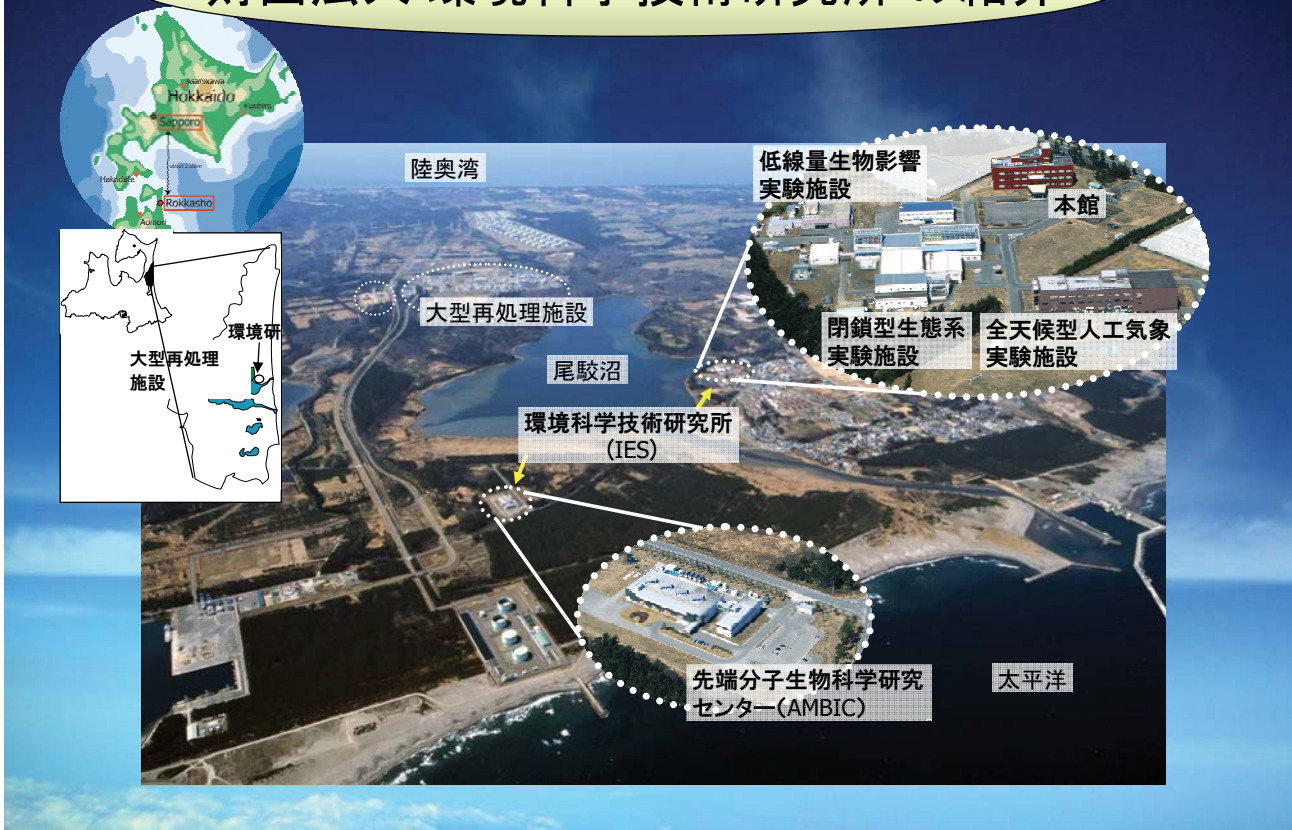
目 次

1. 環境中での放射性物質の動きを調べる	
(1) 概要説明	1-9, 21
(2) 水田土壌における稲わらの分解	10-20
(3) 植物を使った環境浄化の道を開く	22-35
2. 低線量率放射線の生物影響 —マウスを使った実験研究—	
(1) 概要説明	36-47
(2) 低線量率ガンマ線を連続照射した雌マウスに見られる 体重増加とその原因	48-63
補足説明 マウス寿命試験で照射した放射線（ガンマ線）の線量率について	64-65

環境中での放射性物質の動きを調べる

環境シミュレーション研究部長
中村 裕二

財団法人 環境科学技術研究所 の紹介



—要点—

1. 環境科学技術研究所の場所

六ヶ所村内の2ヶ所に分かれて立地

(財)環境科学技術研究所の研究活動

目的:大型再処理施設から排出される放射性物質の
環境安全と住民の放射線安全の確保に関する
実証的調査研究

主な研究内容

1. 放射性物質の環境・生体内挙動に関するモデルを構築し、放射性物質の挙動を明らかにする研究
2. 青森県内の自然放射線の分布や天然放射能摂取量を明らかにする研究
3. 低線量率放射線が生物に与える影響に関する実証的研究

放射性核種の環境安全に関する研究
(線源)

放射線の影響に関する研究

—要点—

1. 環境科学技術研究所の調査研究活動の目的

大型再処理施設から排出される放射性物質の 環境安全と住民の放射線安全の確保に関する実証的調査研究

2. 活動の内容

- ① 放射性物質の環境・生体内挙動に関するモデルを構築し、放射性物質の挙動を明らかにすること
- ② 青森県内の自然放射線の分布や天然放射能摂取量を明らかにすること
- ③ 低線量率放射線が生物に与える影響に関する実証的研究を行うこと
- ④ 放射線（能）やその生物影響等に関する知識の普及・啓発を行うこと

放射性核種の環境安全に関する研究

1. 放射性物質の環境移行に関する研究
シミュレーションモデル開発と線量評価

2. 環境放射能に関する基礎的調査研究

- ① 青森県における自然放射線レベル
 - ・大地 γ 線レベル調査
 - ・食品中の天然放射性核種の濃度調査
 - ・ラドン濃度調査
- ② 放出放射性核種の濃度調査
- ③ 青森県民の被ばく線量評価

3. 環境放射能に係わる新たな技術開発

再処理施設由来の放射性核種による**現実的な線量**の把握

点(モニタリング)から面(予測・評価)へ

放射線被ばくの実態把握
○自然放射線と施設由来放射線の量的な比較

— 要点 —

I. 放射性物質の環境移行に関する研究

— シミュレーションモデル開発と現実的な線量評価

- 1. モニタリング — “測る”ということ。“正確”である反面、
 - ①決まった場所での測定で、その他の場所については、推測の域を出ない。
 - ②長期的な蓄積など将来の予測は難しい。
 - ③内部被ばく線量を“測る”ことは困難。
- 2. 被ばく線量を予測・評価する必要がある。
 - 予測、計算するための方法・方式が必要 → “モデル”

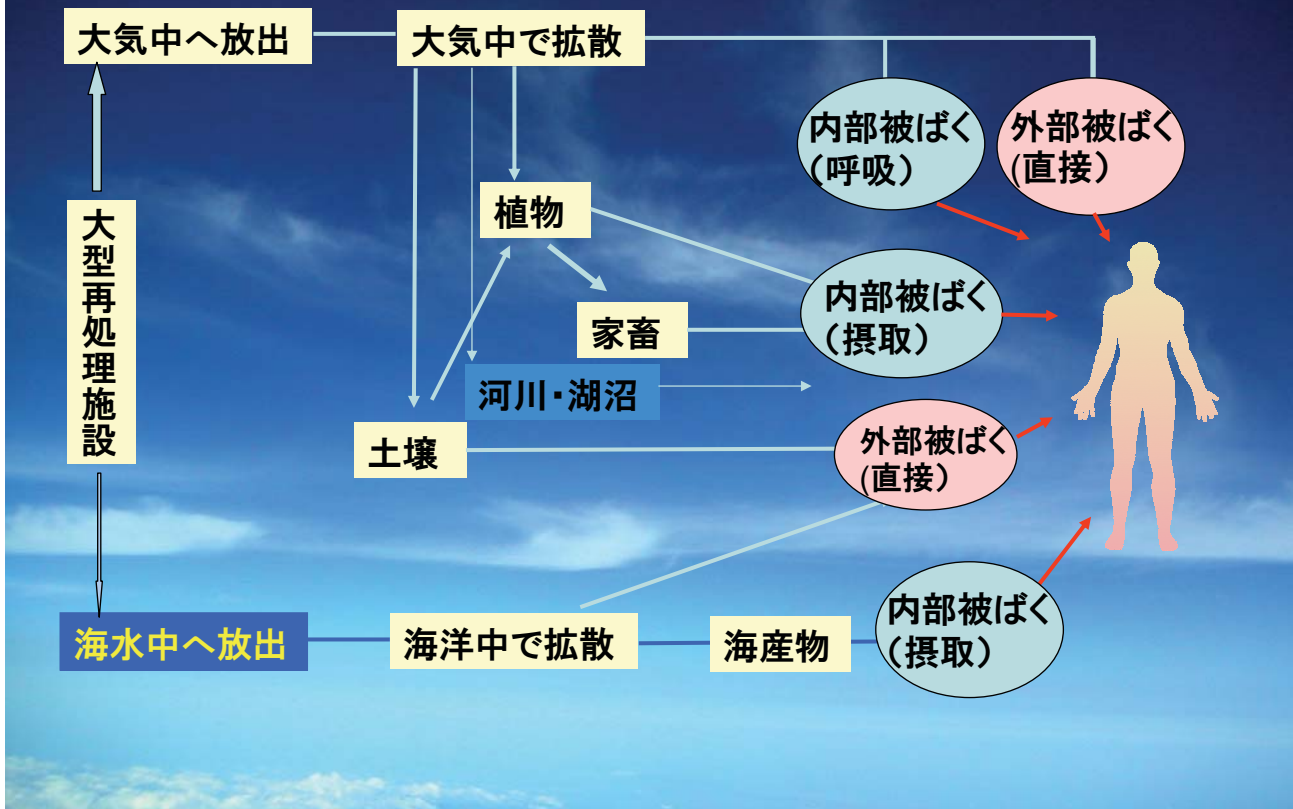
II. 再処理施設から排出される放射性物質による影響

- 1. 物質の量だけではなく、それによる放射線の量（被ばく線量）が重要
- 2. 影響の目安となるのは、私達が日頃自然から受けている放射線の量
 - 自然放射線被ばく線量についての調査研究の重要性



青森県における自然放射線レベルの内容は、「環境放射線ポケットブック」の27、28ページをご覧ください。

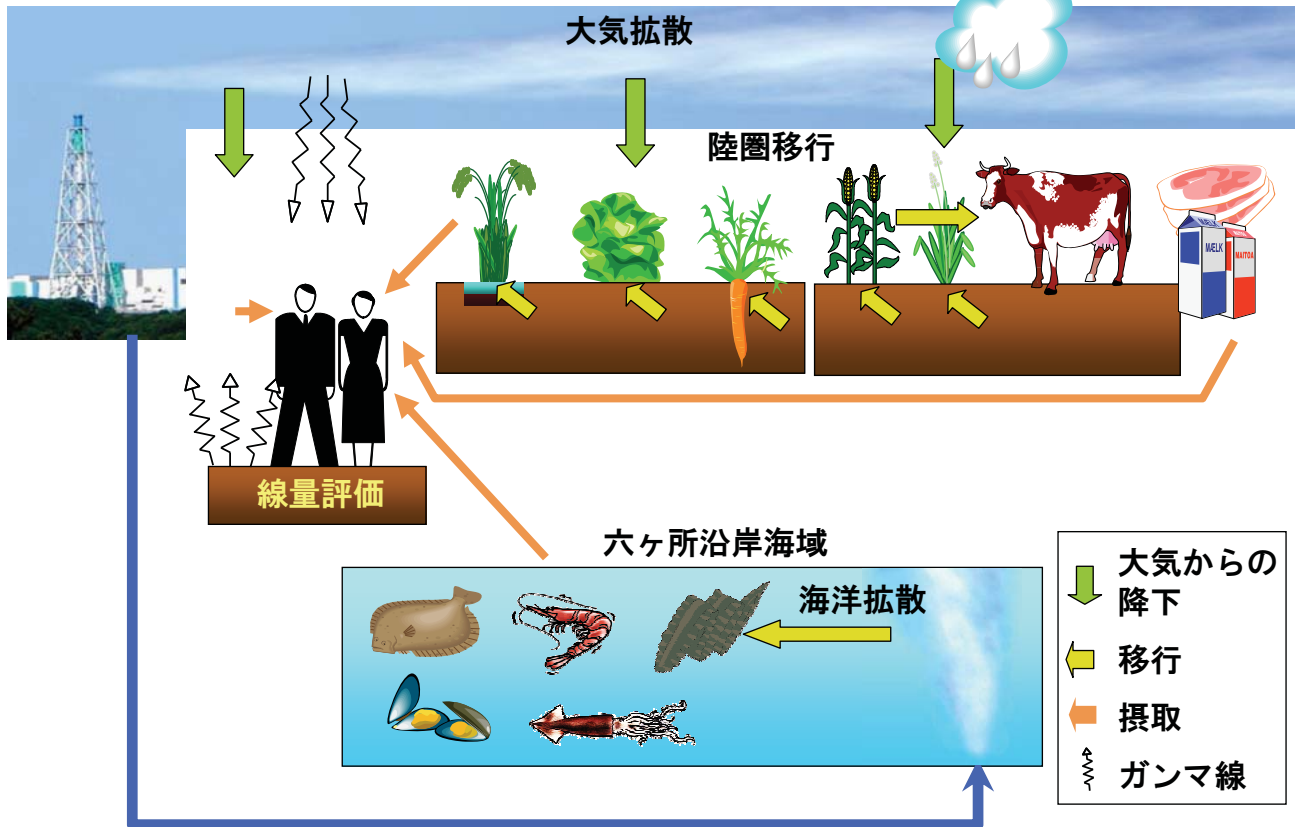
1. 放射性物質の環境移行に関する研究—シミュレーションモデル開発と線量評価 放射性物質の移行経路のモデル化(被ばく線量評価)



—要点—

1. 私達が、再処理施設から排出された放射性物質から放射線を受ける経路
2. 排出の経路 — 大気中と海水中
3. 放射線被ばくの経路 — 外部被ばくと内部被ばく

大型再処理施設安全評価のためのシミュレーションモデル — 放射性物質の移行経路 —



安全評価で考慮されている放射性物質による被ばく経路

大気放出	海洋放出
大気中移流・拡散	海水中移流・拡散
外部被ばく	船上での外部被ばく
呼吸による吸入	海中作業での外部被ばく
地表への沈着	魚網への付着
外部被ばく	外部被ばく
作物・牧草への取り込み	船体への付着
表面への沈着	外部被ばく
根からの吸収	海産物への取り込み
家畜への移行	食品調理
牛乳への移行	食品摂取
食品調理	
食品摂取	



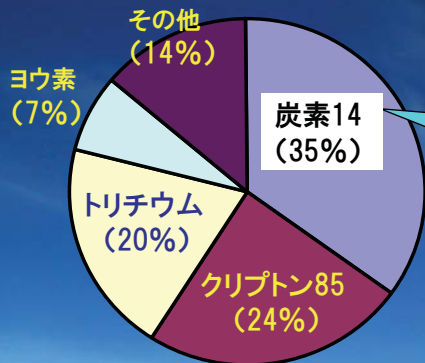
安全評価での放射線被ばく線量の内訳については、「環境放射線ポケットブック」の26ページをご覧ください。

本日の話題

- ① 水田土壌における稲ワラの分解
(環境シミュレーション研究部 永井 勝 研究員)
- ② 植物を使った環境浄化の道を開く
(環境動態研究部 山上 睦 研究員)

話題①に関連して

再処理施設から排出される炭素14



総線量 年間22マイクロシーベルト

放射線被ばく線量では？

- ・炭素は人体の主要元素
- ・人体内に留まる
- ・放射線被ばくが継続する
- ・排出量も多い

→ 被ばく線量への寄与が大きい

環境中での循環・蓄積は？

- ・炭素は植物の主要元素
- ・光合成で植物に固定される
- ・炭素14は半減期が長い
- 土壌中で循環・蓄積？

—要点—

1. 再処理施設から排出される炭素-14

- 被ばく線量への寄与は、全体（22マイクロシーベルト）の約3分の1
- 大気中から光合成で植物に吸収される。
- 植物—土壌—大気の間で、循環—蓄積
- 被ばく線量評価、環境中での循環の面から重要な物質

<説明>

マイクロとミリ

- マイクロは百万分の1、ミリは千分の1という意味があります。
- 22マイクロシーベルトは、1シーベルトの百万分の22になります。
- ミリシーベルトで示すと、22マイクロシーベルト=0.022ミリシーベルトです。



放射線の単位のこと、[「環境放射線ポケットブック」](#)の24ページをご覧ください。

環境科学技術研究所における 炭素14の環境挙動に関する調査研究

- 大気→植物への移行・蓄積
- 植物→動物(家畜)への移行・蓄積
- 湿地における炭素の挙動調査、等
- 水田や畑地における炭素の挙動調査
— 稲ワラの鋤き込み等の人為的行為に伴う炭素挙動の調査

— 要点 —

1. 環境研における炭素-14に関する調査研究
 - 大気→植物への移行・蓄積
 - 植物→動物(家畜)への移行・蓄積
 - 湿地における炭素の挙動調査、等
 - 水田や畑地における炭素の挙動調査

水田土壌における稲ワラの分解

環境シミュレーション研究部

永井 勝



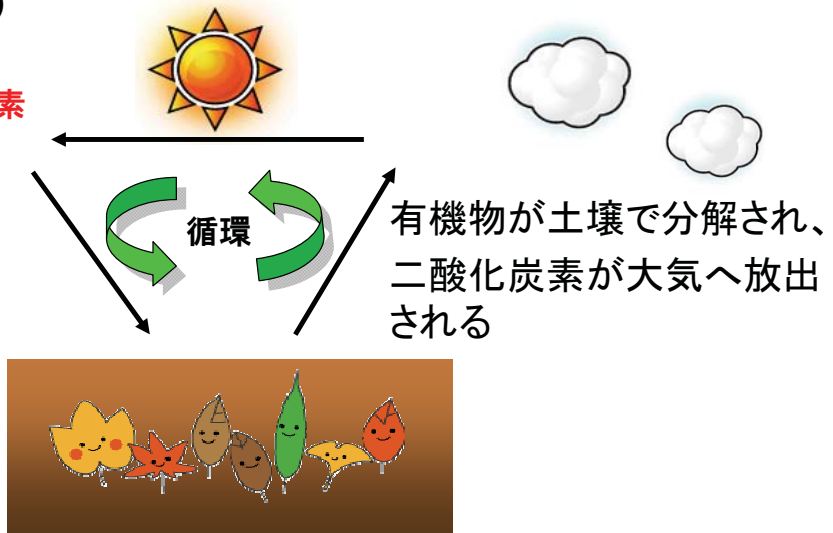
Photo:六ヶ所村の水田

背景1(炭素の循環)

二酸化炭素+水 $\xrightarrow{\text{光}}$ 糖+酸素



二酸化炭素を吸収した
植物が炭素を固定する



枯れた植物に含まれる炭素が土壌に入っていく



再処理施設からは微量の放射性炭素(炭素14)
が排出される。

放射性炭素(炭素14)も土壌に入っていく。

-要点-

1. 大気中の二酸化炭素は、植物に吸収され、その炭素が植物に固定される。植物の遺体はやがて土に戻り、土壌中の微生物によって分解を受け、分解された有機物の一部は二酸化炭素として再び大気に放出され、再び植物に固定される。自然界において炭素はこのような循環を示している。また、その時、分解されにくい有機物の一部は土壌中に残る事が考えられる。
2. 大型再処理施設からは、極微量の放射性炭素(炭素14)が大気中に排出される。この排出放射性炭素は二酸化炭素の形態を含んでおり、炭素循環によっていずれは土壌に入っていくと考えられる。

背景2(バイオマス資源としての稲わら)



家畜飼料として



堆肥原料として



民芸、工芸品として



野焼きされる事も....

-要点-

1. 近年、農業廃棄物（収穫後の非可食部）をバイオマス資源とする「循環型農業」が注目されている。私たちはこのバイオマス資源の一つである稲わらに着目した。
2. 稲わらは稲の収穫物のうち、重量で約56%を占めている。家畜飼料、堆肥原料として使われる事が多いが、一部は廃棄、野焼きされるものもある。

背景3(稲わらの鋤き込み)

青森県では、稲わらの有効利用として、水田への「鋤き込み」を推奨している。



収穫



稲わらの鋤き込み

稲わらは水田に生の状態で鋤き込まれる。

→地力増強、土壌改良、野焼き防止

「青森県では、稲わらの有効利用として、生産者には堆肥化や水田への「鋤き込み」等による土づくりを進めるとともに、稲わらを必要とする畜産農家や稲わら収集団体を紹介している。また、「稲わらふりーでん」や「稲わらフリーマーケット」を設置して、地域住民へ稲わらの提供・販売を行っている。」(県庁ホームページより)

-要点-

1. 青森県では稲わらを生のまま水田に「鋤き込む」事を推奨している。
稲わらの鋤き込みは、稲わらの分解物を養分として用いることによる施肥効果の他、土壌微生物の活性を増加し、土壌内に酸素を供給するなど、土壌改良、地力増強に効果があるとされる。
2. 稲わらを鋤き込む際は、収穫量を全て水田に鋤き込む方法が一般的である。その場合、 1 m^2 あたりにおよそ600 gの稲わらが鋤き込まれる。これにより 1 m^2 あたり約190 gの炭素が土壌に入る。

目的 ～稲わらに含まれる炭素の挙動を知る～



-要点-

1. 水田土壌に鋤き込まれた稲わらに含まれる有機物は、様々な土壌微生物による分解を受け、二酸化炭素やメタンとして大気中に放出される。
2. 有機物には比較的速やかに分解されるものと、分解されにくいものがあると推測される。
3. 分解されにくい有機物に含まれる炭素は長期的に土壌に残留する可能性がある。
4. 二酸化炭素にまで分解されることで、稲わら由来の炭素は、そこで栽培された稲に固定されるかもしれない。

-目的-

- ・ 稲わらに含まれる炭素の土壌への残留量を推定すること
- ・ 土壌から放出される二酸化炭素に含まれる稲わら由来の炭素量を調べ、稲わらの分解がいつ起こるのかを推測すること
- ・ 稲わらを鋤き込んだ水田で栽培された稲、特に米に含まれる稲わら由来の炭素量を把握すること

方法 ～標識(炭素13)稲わらの鋤き込み実験～



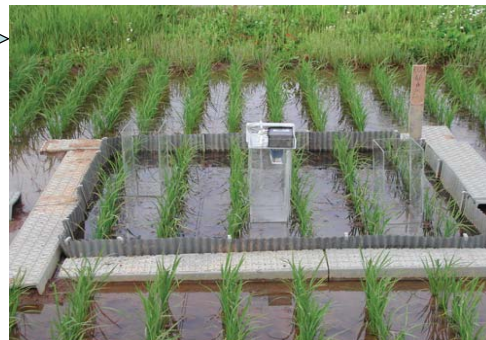
1. 標識稲わらの作成(光合成により取り込ませる)



2. 標識稲わらの水田土壌への鋤き込み



3. 田植えから収穫まで



4. 放出ガスと土壌中の炭素13を測定

(地独)青森県産業技術センター農林総合研究所

-要点-

1. 稲を植物を栽培出来る密閉型の装置で栽培し、 $^{13}\text{CO}_2$ を光合成により固定させることで、標識稲わらを作成した。
2. 水田の一角を簡易の畦で囲み、そこに標識稲わらを鋤き込んだ。
3. 稲の栽培は通常通りに行った。ただし、機械が入れないため、手作業が多い。
4. 標識稲わらを鋤き込んだ水田の土壌から放出する二酸化炭素をチャンバー法を用いて測定した。また、土壌も定期的に採取して分析を行った。

水田は、地方独立行政法人 青森県産業技術センター農林総合研究所（元 青森県農林総合研究センター）のご協力を得て、試験圃場を利用させて頂いた。

[基礎知識]

炭素13：化学的な性質が同じで質量数(重さ)が異なるものを同位体という。炭素では、炭素12, 13, 14が主な同位体であり、陽子の数6個は同じであるが、中性子数が6, 7, 8個と異なっている。自然界の炭素のうち99%は炭素12、約1%が炭素13である。化学的な性質は変わらない。炭素の同位体のうち、炭素14は放射線を出す。

実験では、放射線が出ない炭素13で標識した稲わらを水田に鋤き込んだ。

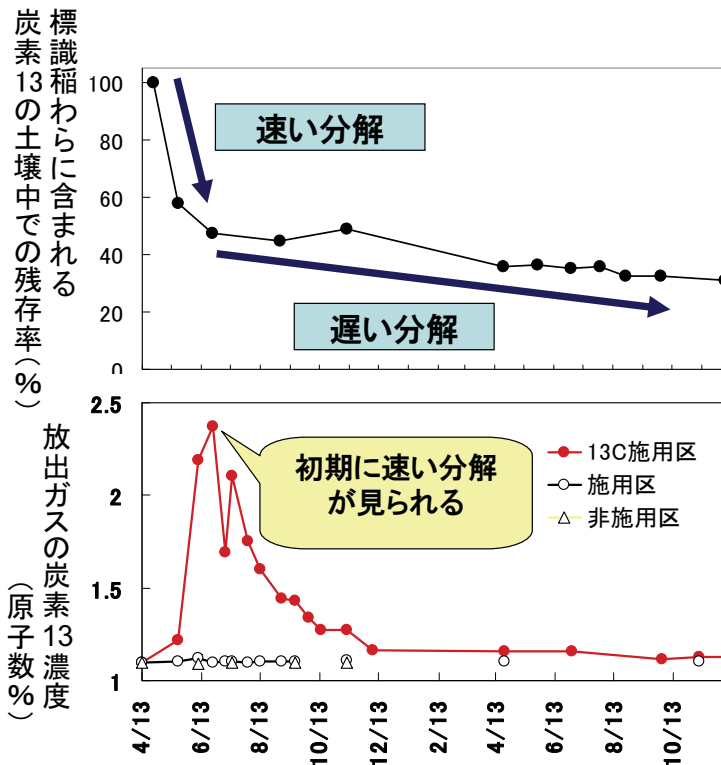
チャンバー法：密閉された容器を土壌にかぶせ、内部のガス成分の濃度の単位時間あたりの変化を調査することで、ガスの放出速度を求めることが出来る。今回は二酸化炭素の放出速度を求め、また炭素同位体比の変化も測定した。測定は二週間に一度、0時、6時、18時、24時に行った。

結果 ～標識(炭素13)稲わらの土壌中での分解～

・土壌中の炭素13



・放出ガス中の炭素13

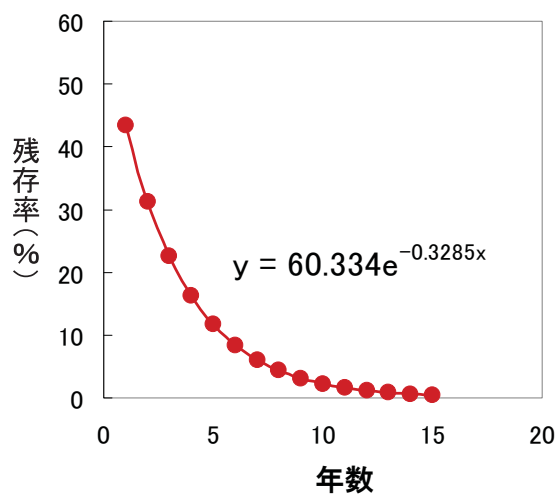
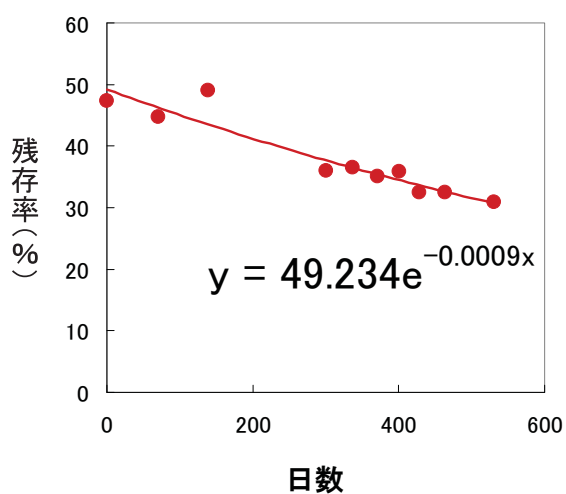


-要点-

1. 定期的に土壌を採取し、土壌中の炭素13の量を測定して、稲わらの分解を追跡した。稲わら由来の炭素は、鋤き込み直後に大きく減少し、その後は緩やかに減少した。これにより、稲わらの有機物は比較的分解されやすいものと、分解されにくいものに分ける事が出来ると考えられる。
2. 土壌から放出される二酸化炭素に含まれる炭素13の濃度を測定することで、土壌から放出される二酸化炭素のうち、稲わらの有機物に由来するものの割合を推定することができる。この結果より、六月中旬から七月上旬にかけて、稲わらの分解が盛んであることがわかる。

解析 ～土壌中の稲わら由来の炭素の残存率の推定～

一日あたりの残存率の変化を式にする → 一年あたりの残存率の変化を式にする

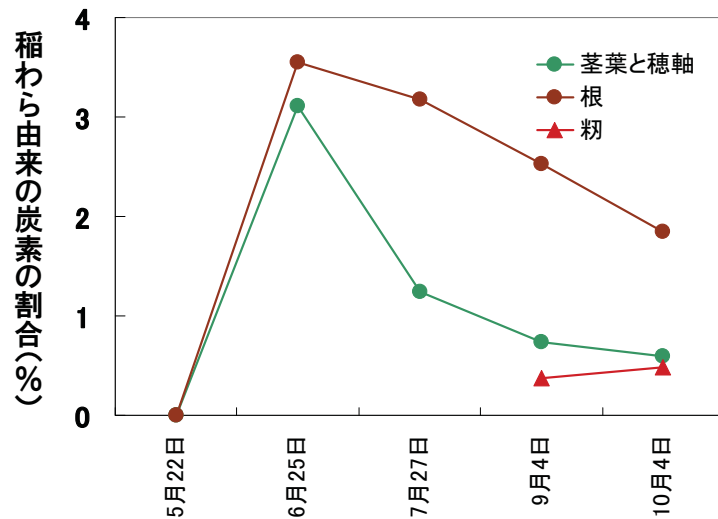


土壌中の分解されにくい有機物の炭素は約二年で半減すると推定された

- 要点 -

1. 左図では分解されやすい有機物の分解が終わったと考えられる日から、一日ごとの稲わら由来の炭素の土壌中での残存率を式で表した。
2. 左図で得られた式より、一年あたりの残存率の変化を予測し、鋤き込みから数年後の稲わら由来の炭素の残存率を推測した。この式より、稲わら由来の炭素は二年目以降は二年に半分になる速度で減少すると推測された。

結果 ～標識(¹³C)稲わらの炭素は米に移行するか～

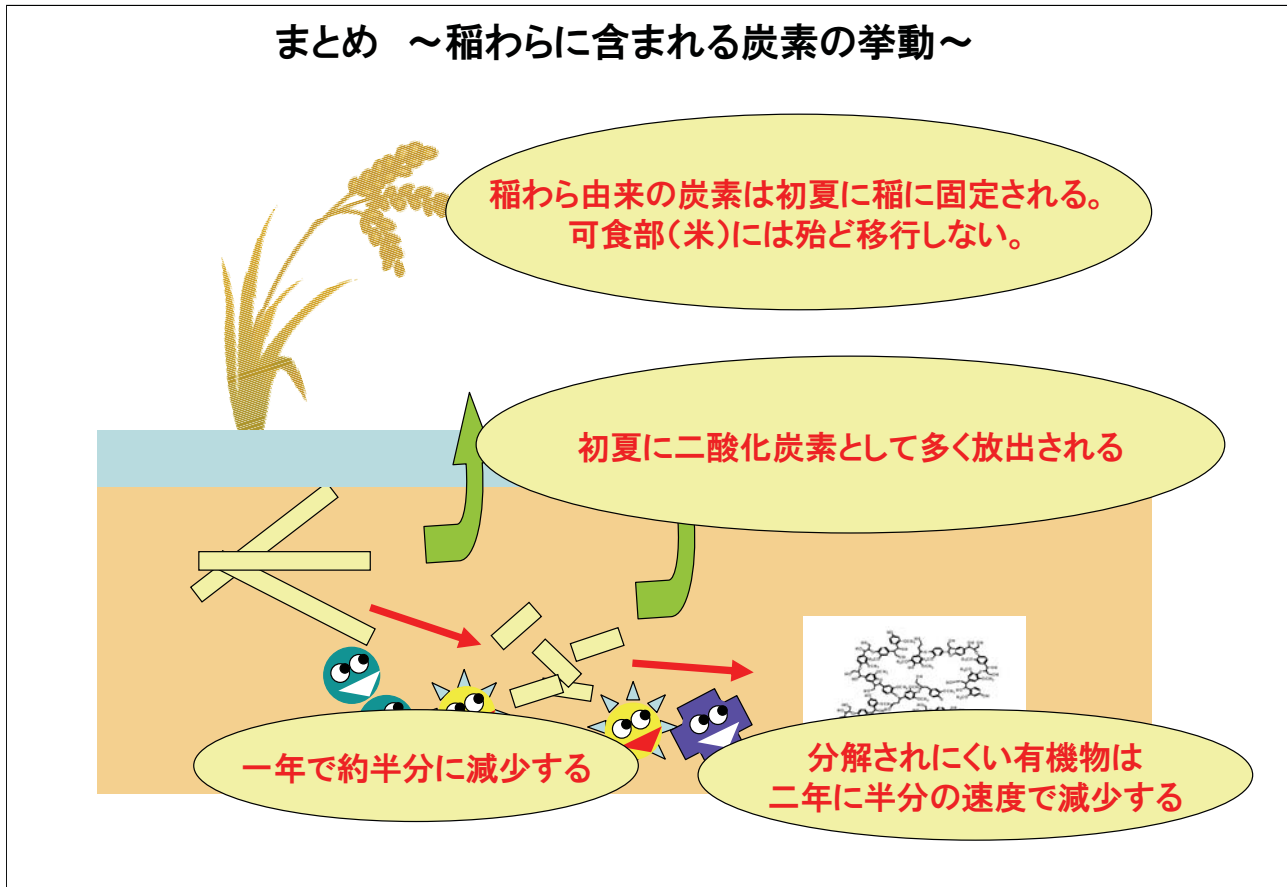


栽培された稲に含まれる稲わら由来の炭素の割合

-要点-

1. ポットの中に土と標識稲わらを入れ、稲を栽培した。栽培途中に稲を採取し、炭素13の量を測定し、稲わら由来の炭素量を推定した。
2. 稲わらの分解が盛んである時期に、稲に固定される炭素13（稲わら由来の炭素）は多くなったが、その後は呼吸により放出されるため、稲わら由来の炭素は減少した。
3. 収穫時の稲（籾、茎葉）を構成する炭素のうち、鋤き込まれた稲わら由来の炭素は0.5%程度であった。

まとめ ～稲わらに含まれる炭素の挙動～



-まとめ-

1. 水田土壤に鋤き込まれた稲わらの炭素は一年目の秋には半減していた。
2. 二年目以降に土壤に残った稲わら由来の有機物は分解されにくいものが多いが、二年に半分になる速度で分解される。
3. 鋤き込み後の初夏に二酸化炭素として多く放出され、その頃にはそこで栽培される稲にも固定される。しかし、一旦固定された炭素も呼吸などにより消費されるため、収穫時に残るものはわずかであった。

今後の展開 ～様々な土地での炭素循環～



-今後-

この研究では、バイオマスとして利用される稲わらに着目して、水田に鋤き込まれた稲わらに含まれる炭素の挙動を標識稲わらを用いて調査した。

大型再処理施設周辺には、水田以外にも様々な種類の土地がある。その土地の利用方法（もしくは未利用）によって、生育する植物種が異なり、土壌へ入る炭素の形態は様々である。また、土壌の水分、地温、微生物などにも違いがあるため、土壌中の炭素の挙動はその土地によって異なっている。

そこで、今後はこれまでの研究成果および手法を活かして、六ヶ所村にある土地利用別（森林、畑地、牧草地、湿地、水田）に研究範囲を広げた研究を進める計画である。

話題②に関連して

○植物を使った環境浄化法の開発
身の回りの植物を用いて、放射性物質に汚染された土壌を浄化する方法の開発

—要点—

1. 植物を使った環境浄化法

○ 植物を使って、有害な物質に汚染された場所を浄化する方法を開発する。

今回は、

○ よく知られている放射性物質であるセシウム137やストロンチウム90などを対象とする研究を紹介する。



植物を使った環境浄化の 道を開く

環境動態研究部
山上 睦

植物を使った環境浄化の道を開く

- 汚染土壌を浄化する方法として、汚染土壌を取り除く方法と植物や微生物を使って汚染土壌を浄化する方法がある。
- 一般に行われている微生物を使った環境浄化は石油汚染物質や有害有機物の分解技術としては有望であるが、環境中から有害物質(重金属、放射性物質など)を取り除く技術としては不向きである。

—要点—

- 重金属や有害化学物質で汚染された土壌を浄化する方法としては、汚染された土を取り除き、きれいな土で埋めなおす方法が一般的であるが、高額な処理費用が問題となっている。
- 植物の物質を吸収する能力もしくは物質を分解する能力を使って環境を浄化する。
- 浄化に用いた植物は、現時点では植物を乾燥後、燃やし灰にして体積を少なくし廃棄することが一般的である。希少元素などに関しては再利用する手法の開発が待たれている。

植物を使った環境浄化の利点と欠点

利点

- 安価である
- 周辺環境を変えずに除染が可能である

欠点

- 除染に時間がかかる
- サイト特有な必要条件がある(汚染環境の気象・土壌環境・近隣環境などにより使える植物が様々である)

—要点—

- ・ 植物を使った環境浄化の利点は安価であること、周辺環境への影響力が著しく低いことなどが上げられる。
- ・ 植物根からの有機酸等の分泌により根の周りの微生物が活性化し、有害物質の分解および根等への吸着が変化し、土壌の浄化効率が上がることも重要事項である。
- ・ 欠点は、植物の根の伸びる範囲に除染範囲が限られる。
- ・ 植物の成長速度や吸収できる濃度に制限があるので、除染には時間がかかる。
- ・ 除染植物が育つことができる気候や土壌などが制限されるため、汚染土壌地域に適応した植物種の選定が必要になる。

調査の目的

青森県下で栽培可能な栽培植物および野生植物から、セシウム、ストロンチウム及びヨウ素の土壤中からの除染効率の良い植物を探索し、環境浄化植物を選定する。

平成18-19 栽培植物からの選定

平成20-22 野生植物からの選定

—要点—

- ・ セシウム
カリウムと似た性質をもつアルカリ金属元素。
天然には、安定なセシウム-133が存在する。
ウラン等の核分裂により放射性セシウム-137が生じる。
- ・ ストロンチウム
カルシウムと似た性質をもつアルカリ土類金属元素。
天然には、安定なストロンチウム-88が存在する。
ウラン等の核分裂により放射性ストロンチウム-90が生じる。
- ・ ヨウ素
動物にとっての必須元素であるハロゲン元素。
天然には、安定なヨウ素-127が存在する。
ウラン等の核分裂により放射性ヨウ素-129、131が生じる。
- ・ セシウム、ストロンチウム、ヨウ素浄化植物を栽培植物及び野生植物から選定する。

植物体が大きく、かつCs,Sr,I 濃度が高いものを選定する

ハキダメギク



Cs濃度が高い



植物体が小さい



植物体が横に広がり葉茎の空間密度が小さい



単位面積当たりの除染量は少ない

オオイヌタデ



Cs濃度中程度



植物体が大きい



植物体が立ち上がり葉茎の空間密度が大きい



単位面積当たりの除染量は大きい

—要点—

- ・ Cs（セシウム）、Sr（ストロンチウム）、I（ヨウ素）の葉や茎における濃度が高くても、植物体が小さく全体の乾物量が少ないと除染効率が低くなるので、植物体が大きくなるものを中心に選抜し栽培した。

例1) ハキダメギクはCs濃度が高くても植物体が小さいので除染能力が低かった。

例2) オオイヌタデはCs濃度が一番高くはなかったが、植物体が大きくなるので除染能力が高くなった。

実験方法

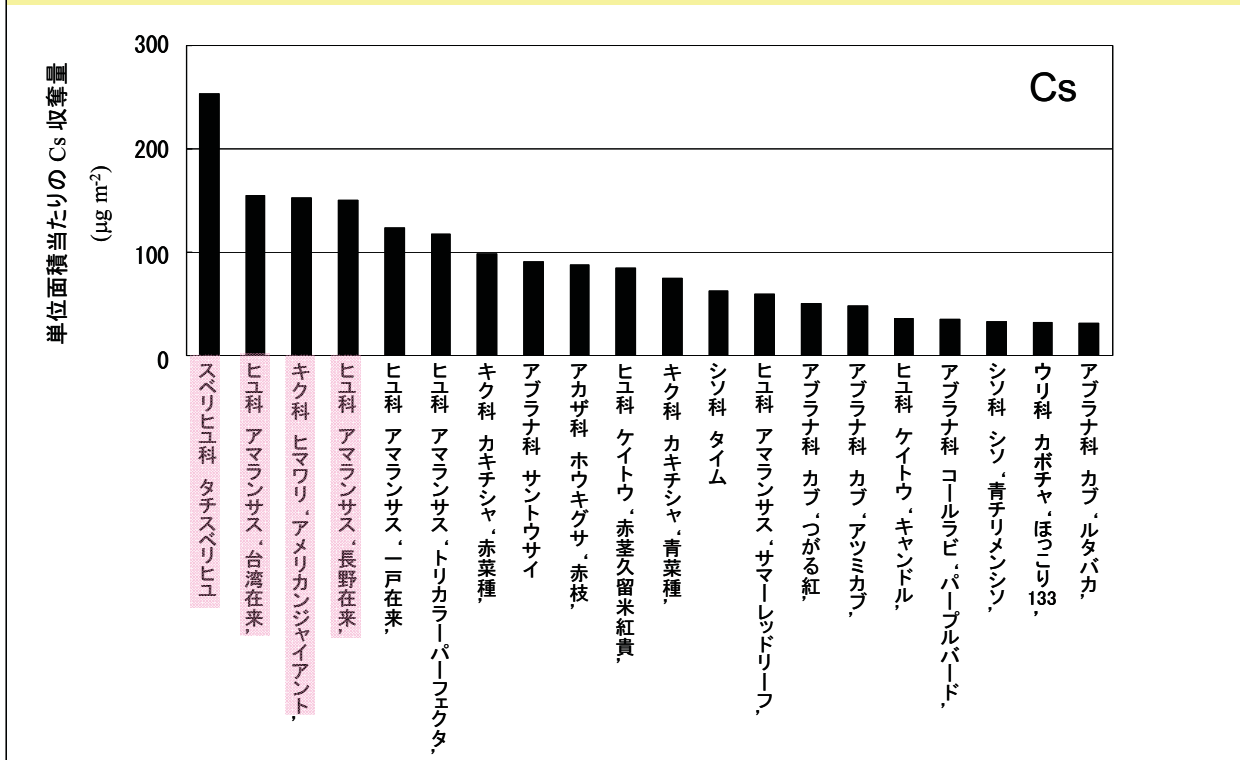
●平成18、19年度に、合計77種の栽培植物を環境研の実験圃場で栽培し、セシウム、ストロンチウム、ヨウ素収奪量の高い、環境浄化用候補**栽培植物**を選定した。

●平成20、21年度に、合計50種の野生植物を環境研の実験圃場で栽培し、栽培植物においてセシウム、ストロンチウム、ヨウ素の収奪量の高かったアマランスよりも高い収奪量を示す、環境浄化用候補**野生植物**を選定した。

—要点—

- ・過去に報告されている研究をもとに、セシウム、ストロンチウム、ヨウ素の蓄積性が高くなる可能性のある植物の仲間（科）について、栽培植物、野生植物の中から選んだ。
- ・土壌には慣行法に準じた肥料を与えたのみで、セシウム、ストロンチウム、ヨウ素は添加しなかった。
- ・植物体は、開花後、結実し、葉茎重量が減少する直前に採取した。
- ・分析結果の有効利用を考慮して、他の環境汚染物質（重金属）もあわせて分析した。

セシウムの除染効率が良い栽培植物はタチスベリヒユ、アマランサス、ヒマワリであった



—要点—

- ・ 単位面積当たりの収奪量とは、1平方mの耕地面積に植物を隙間なく栽培した場合に土壤中から除去される元素量を示す。
- ・ アマランサスは過去の報告中で、最もセシウムを蓄積する能力の高い植物であったが、今回の調査研究で同様の結果となった。
- ・ ヒマワリはCs濃度は高くなかったが、植物体の乾物生産が高かったため除染効率が高くなった。
- ・ スベリヒユ科のタチスベリヒユが新たに除染植物として明らかになった。
- ・ タチスベリヒユはヨーロッパで栽培される食用のスベリヒユである。青森の気候に合ってよく育つ。



タチスベリヒユ

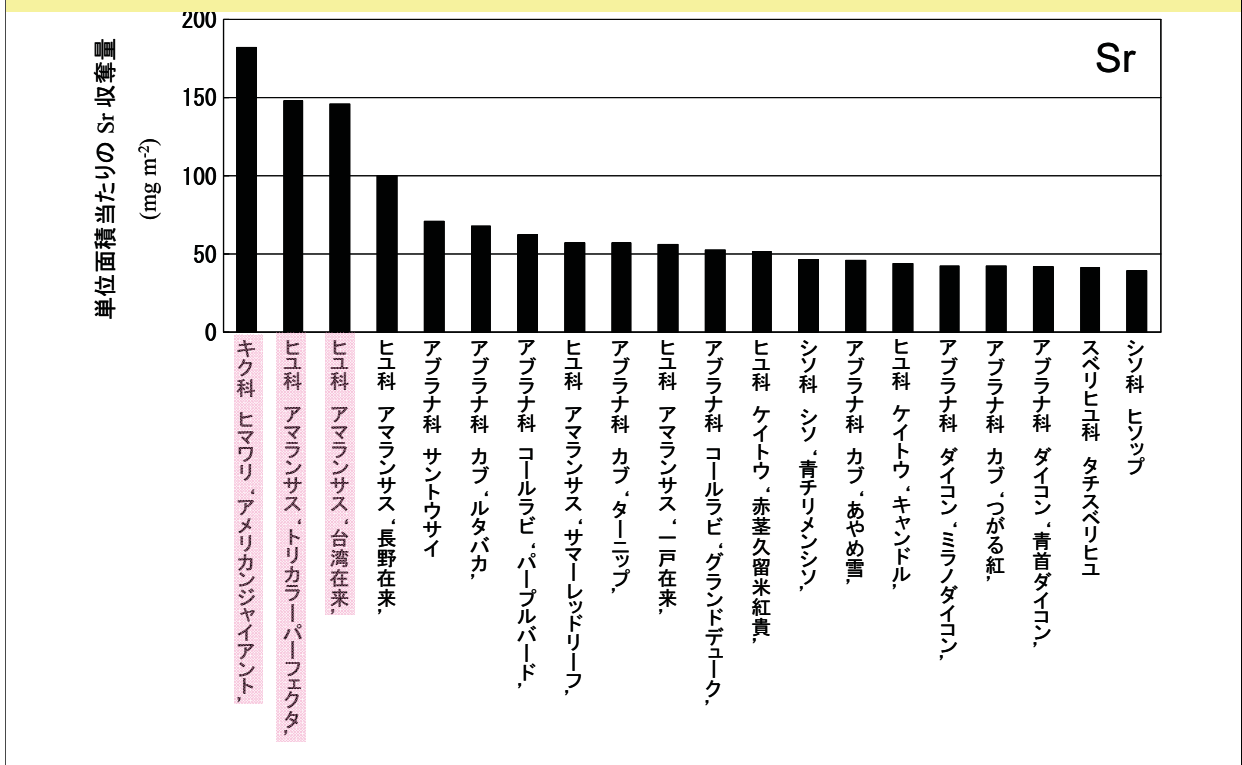


ヒマワリ
‘アメリカンジャイアント’



アマランサス
‘台湾在来’

ストロンチウムの除染効率が良い栽培植物は ヒマワリ、アマランサスであった



—要点—

- ・アマランサス、ヒマワリがストロンチウムの除染効率が良かった。



ヒマワリ
‘アメリカンジャイアント’

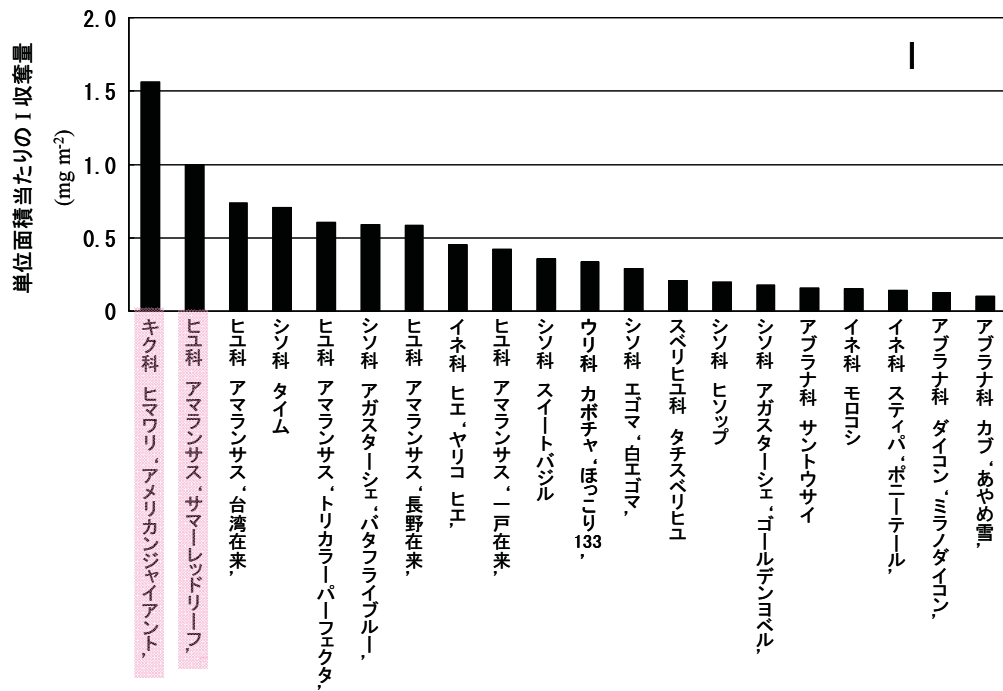


アマランサス
‘トリカラーパーフェクタ’



アマランサス
‘台湾在来’

ヨウ素の除染効率が良い栽培植物はヒマワリ、アマランサスであった



—要点—

- ・ヨウ素に関しては、過去にほとんど報告がなく、様々な栽培植物種でのヨウ素濃度の差異が明らかになった。
- ・ヒマワリがヨウ素の除染効率が大きく、アマランサスもやや高かった。



ヒマワリ
‘アメリカンジャイアント’



アマランサス
‘サマーレッドリーフ’



アマランサス
‘台湾在来’

まとめ（栽培植物）

Cs, の収奪量が
多かった植物



スベリヒユ科
タチスベリヒユ

Cs, Sr, I の収奪量が多かった植物

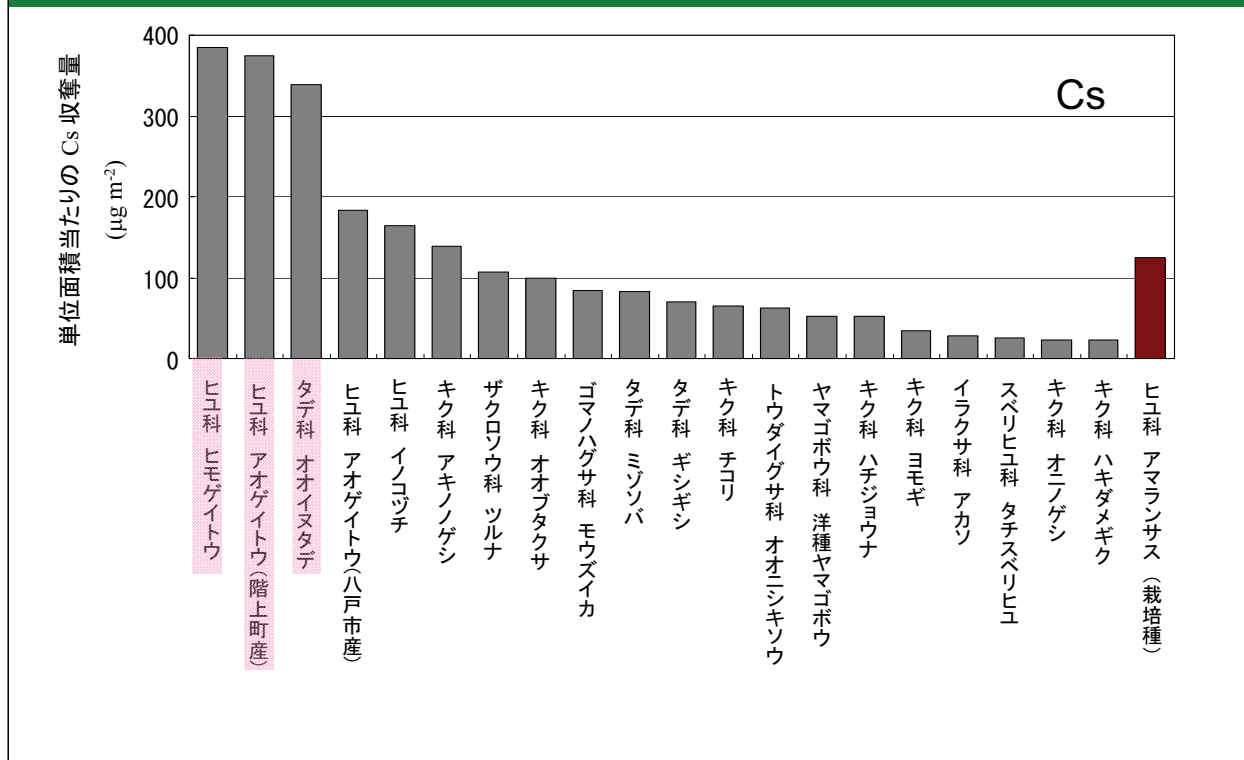


キク科 ヒマワリ



ヒユ科 アマランサス

セシウムの除染効率が良い野生植物はアオゲイトウ、ヒモゲイトウ、オオイヌタデであった



—要点—

- ・ アマランサスは過去の報告中で、最もセシウムを蓄積する能力の高い植物であったが、今回の調査研究で同じアマランサス属の野生種（アオゲイトウ、ヒモゲイトウ）のほうが栽培種よりも2倍以上高い除染能力があることが明らかになった。
- ・ タデ科のオオイヌタデが新たに除染植物として明らかになった。



ヒモゲイトウ

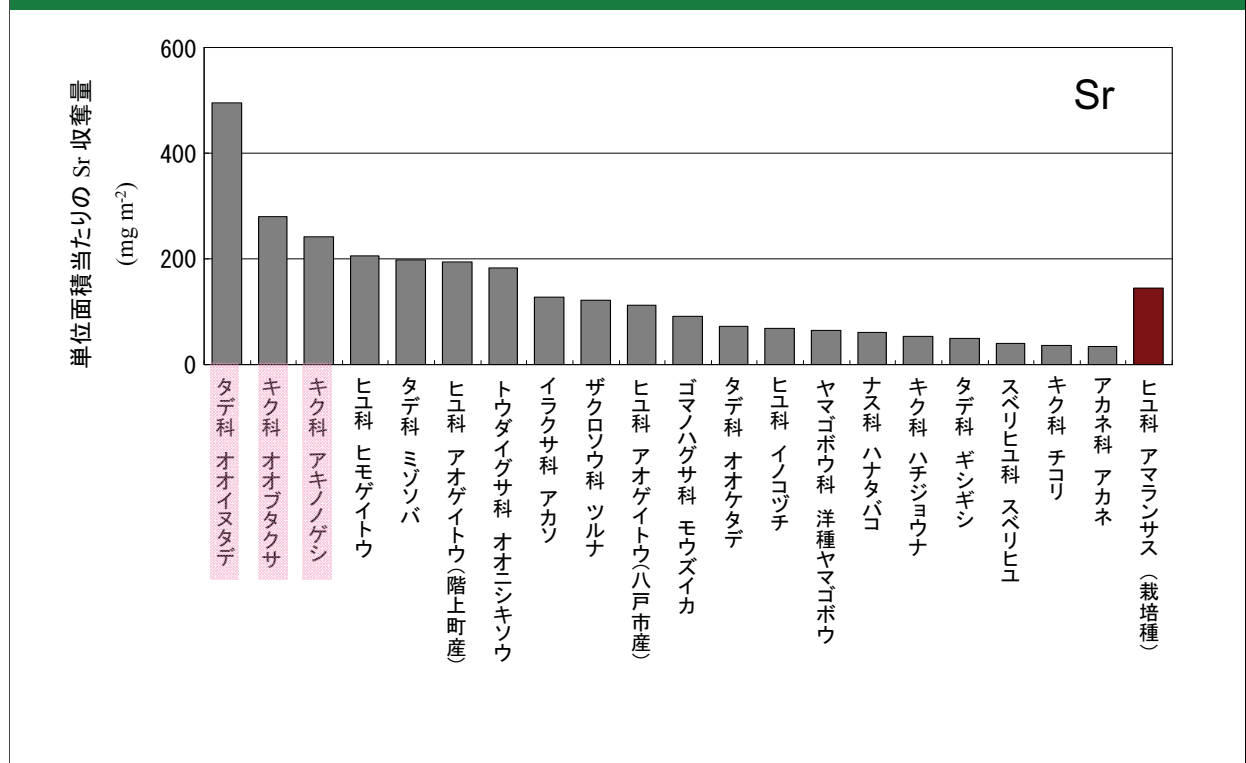


アオゲイトウ



オオイヌタデ

ストロンチウムの除染効率が良い野生植物は オオイヌタデであった



—要点—

- ・ アマランサスは過去の報告中で、最もストロンチウムを蓄積する能力の高い植物であったが、今回の調査研究でタデ科のオオイヌタデがアマランサスより優れた除染植物であることが明らかになった。



オオイヌタデ

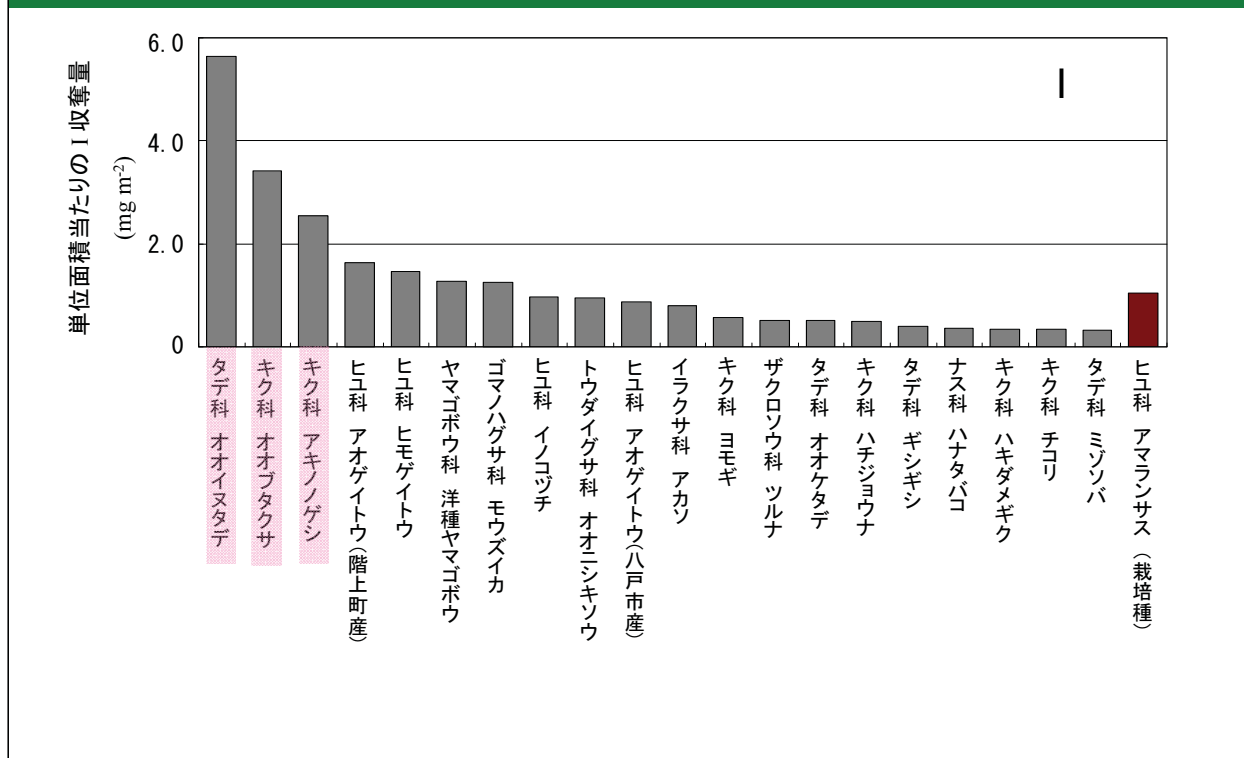


オオブタクサ



アキノゲシ

ヨウ素の除染効率が良い野生植物は オオイヌタデであった



—要点—

- ・ ヨウ素に関しては、過去にほとんど報告がなく、様々な野生植物種でのヨウ素濃度の差異が明らかになった。
- ・ タデ科のオオイヌタデが除染植物として有望であることが明らかになった。



オオイヌタデ



オオブタクサ



アキノノゲシ

まとめ(野生植物)

野生植物でCsの収奪量が多かった植物



ヒユ科
アオゲイトウ



ヒユ科 ヒモゲイトウ

野生植物でCs,Sr,Iの収奪量が多かった植物



タデ科 オオイヌタデ

低線量率放射線の生物影響

—マウスを使った実験研究—

(財) 環境科学技術研究所
生物影響研究部
田中 公夫

マウスを扱う実験施設



実験施設のある場所



特定の病原体のいない清潔な環境下での長期連続照射



マウスを清潔な環境下で飼育しながらガンマ線を毎日22時間、長期間(約400日)連続照射する。
毎日午前10-12時に照射を停止してマウスの餌、水やりなどの作業を行う。



マウスの飼育ケージ

マウスの餌、水やりなどの作業の様子



低線量率放射線長期被ばく者集団の疫学調査

- 放射線作業員： 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
- 核兵器開発施設(マヤック)の近隣住民 等

<問題点>

- 大規模の調査対象集団が必要
- 極めて低い遺伝子変異や染色体異常頻度等の検出が現在の技術では困難
- 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の影響かどうかわからない。



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のヒトへの影響を調べた調査は少ない。放射線防護基準で定められた線量限度以下（極低線量率放射線）の作業環境下で働く、原子力施設作業員、医療技術者の集団の他に、事故等により被ばくした集団の疫学調査がある。
2. しかし、これらの多くの集団の人数は小さいために低線量率放射線長期被ばくによって生じる影響について統計学的に有意な差を得ることは困難である。
3. また、低線量率放射線長期被ばくで生じる遺伝子や染色体の変化は低頻度であるために、検出が困難である。
4. さらに、ヒト集団の調査では、タバコ、食物、環境汚染物質、医療放射線への被ばくなどの影響も加わるので、本当に放射線の影響で生じたのかわからない。
5. 従って、マウス等の動物実験で、低線量率放射線の長期照射の影響を調べる必要がある。最終的には動物実験で得られた結果からヒトへどのような影響があるかが推定することが必要である。

〔基礎知識〕

低線量率：環境研では、国連科学委員会の定義に従い、0.1ミリグレイ (mGy)/分未満、すなわち、1日をマウスの照射時間の22時間として計算し、132 ミリグレイ (mGy)/22h/日未満を低線量率としている。

低線量：環境研では、国際放射線防護委員会等での定義に従い、200 ミリグレイ (mGy) 未満を低線量としている。他に、100 ミリグレイ (mGy) 以下を低線量とする報告もある。

マウスの実験結果からヒトへの影響を推定する

マウス実験結果



マウスとヒトで構造と機能が似ている遺伝子*と細胞を用いて調べる

- 寿命短縮はがんで早く死ぬことによる、どのように起きるのか、仕組みは？
- 低線量率放射線被ばくと高線量率放射線被ばくでは遺伝子や細胞の異なる変化がみられるか？
- マウスとヒトのゲノムを比較する*

低線量率・低線量放射線長期照射に対する
生体の応答にマウスとヒト共通の仕組み

*2003年ヒトゲノム解析, 2005年マウスゲノム
解析終了
機能している遺伝子の99%がマウスとヒトで共通



ヒトへの影響

— 要点 —

1. 低線量率放射線を照射する動物実験で得られた結果からヒトでの影響を正確に知るためには、今後、マウスとヒトで構造が似ている遺伝子、また機能が似ている遺伝子と細胞を用いて以下のことを詳しく調べる必要がある。
 - (1) 環境研では低線量率放射線長期照射マウスが、がんで早く死ぬために寿命が短くなるらしいことを見つけた。これはどうして起きるのか、マウスとヒトでの共通の仕組みを調べる。
 - (2) 低線量率放射線長期照射によって遺伝子や細胞に生じる変化は、高線量率放射線照射の場合とどの程度異なるかを調べる。
 - (3) マウスとヒトのゲノムの構造や機能がどの程度同じかを調べる。

〔基礎知識〕

ヒトとマウスの遺伝子比較：ヒトとマウスの遺伝子数は共に約24,000個であり、機能している遺伝子の約99%は両者に共通して存在し、約80%は遺伝子の構造が大変良く似ていた。

寿命を調べるマウスの照射実験

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

・非照射群(オス、メス500 匹ずつ)



どんな病気で、いつ死んだのかを調べ、
照射群と非照射群とで比較する。

死ぬまで飼育

・照射群(オス、メス500 匹ずつを400日間連続照射)

¹³⁷Cs γ-線

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

非照射群と比べて①寿命は短くなるか？ ②がんは増加するか？

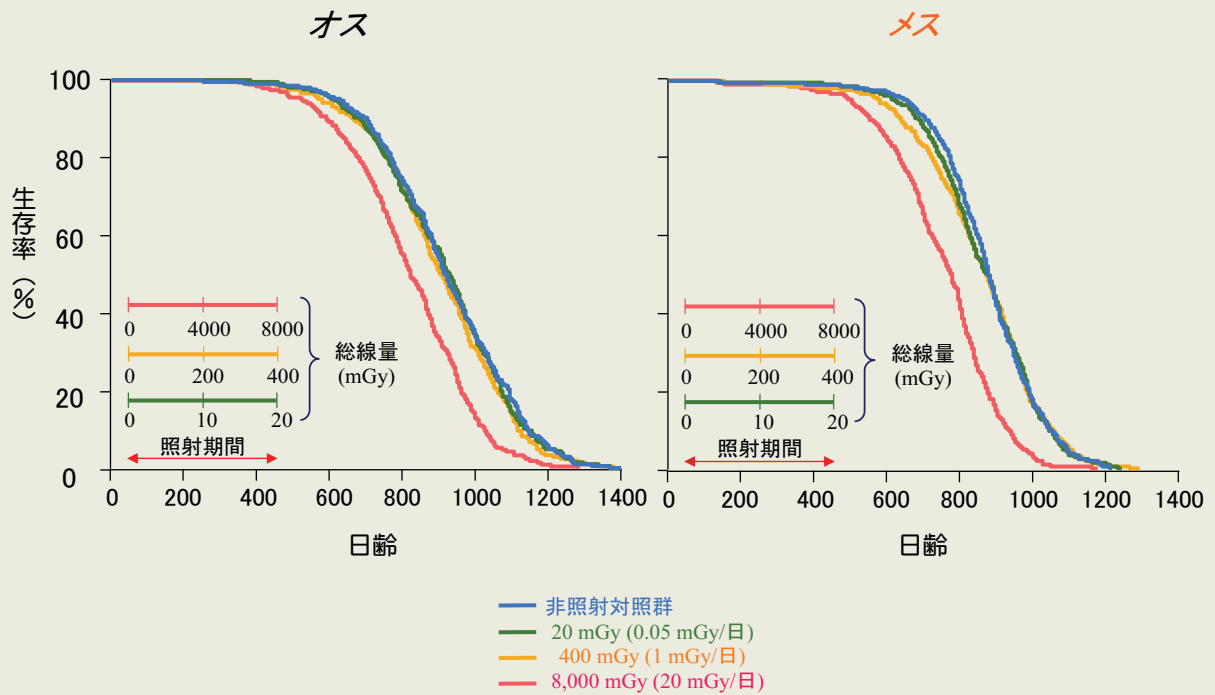
— 要点 —

まず、寿命を調べる実験の結果について説明する。

1. 1日あたり、0.05 ミリグレイ (mGy)、1ミリグレイ (mGy)、20 ミリグレイ (mGy) の3種類の低線量率を、それぞれ500匹のマウスに若い8週齢から400日間長期照射をした。総線量はそれぞれ、20 ミリグレイ (mGy)、400 ミリグレイ (mGy.)、8000 ミリグレイ (mGy) となる。
2. 400日間 (飼育マウスの寿命約800日のほぼ半分に相当) 長期間照射後、死ぬまで観察をして、いつ、どんな病気で死んだのかを詳しく調べた。

照射しなかった (非照射群) 500匹のマウスと比較して、寿命がより短くなるか、がんはより増えるかを調べた。

マウスの生存率曲線



— 要点 —

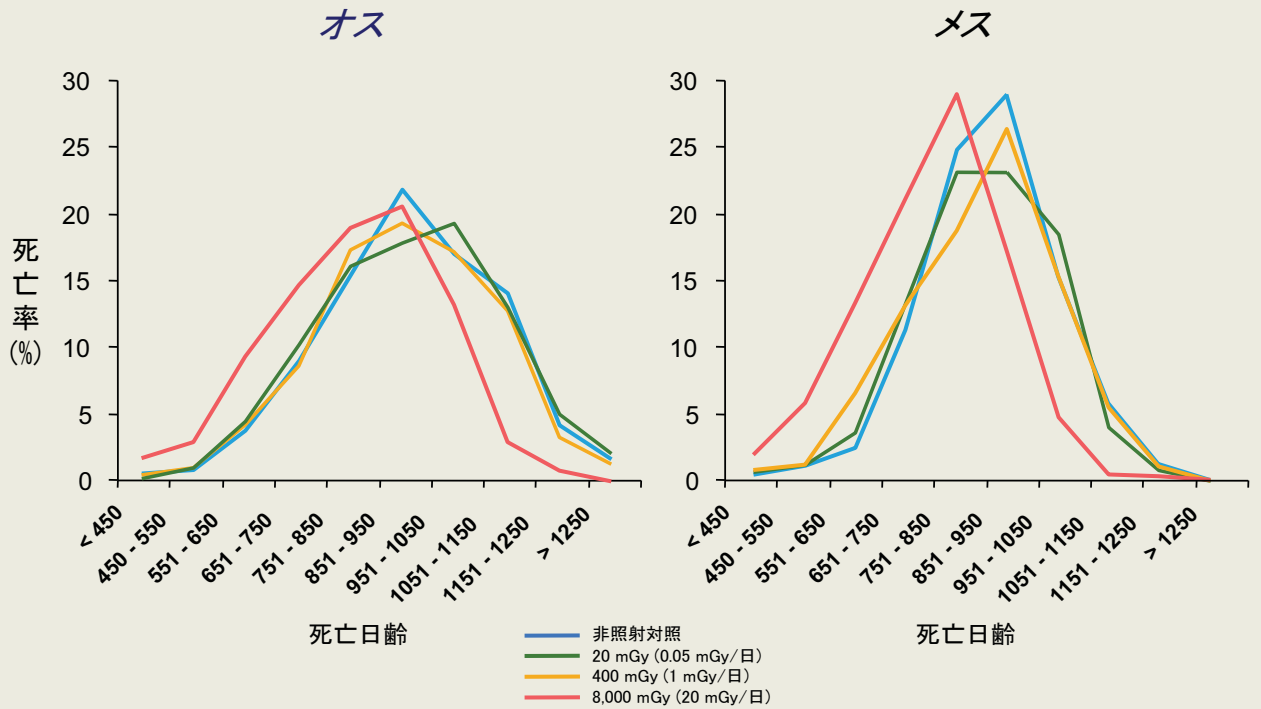
照射しないマウスと比べて、低線量率放射線を長期間照射したマウスでは生存率がどのように変化するかを調べた。

1. 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) 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。
2. 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。
3. 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。

[用語解説]

生存率：放射線照射を開始したマウス500匹のうち、時間（日齢）の経過とともに何%のマウスが生存しているかの割合。照射開始時の値を100%として示した曲線を生存率曲線という。

マウスのがん死亡率



— 要点 —

低線量率放射線を長期間照射して死んだマウスの死因を詳しく調べた。

1. 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) では、非照射のマウス (青色) と比べてオス、メスともに、がんによる死亡の時期が早かった。
2. 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) と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) と比べてオス、メスともに、がんによる死亡の時期は変わらなかった。
3. 1日あたり20 ミリグレイ (mGy) を400日間長期照射したマウス (赤色) の死因の約90%が悪性リンパ腫や血管等のがんによった。
4. よって、このがんによって早く死ぬことが寿命が短くなったことの一つの原因と考えられた。

寿命に関する調査のまとめ

線量率と線量	寿命の長さ	寿命短縮の原因となった“がん”	増加した“がん”
オス			
低線量率 (0.05 mGy/日) 低線量 (20 mGy)	変わらず	-	-
低線量率 1 mGy/日) 中線量 (400 mGy)	変わらず	-	-
低線量率 (20 mGy/日) 高線量 (8,000 mGy)	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
メス			
低線量率 (0.05 mGy/日) 低線量 (20 mGy)	変わらず	-	-
低線量率 1 mGy/日) 中線量 (400 mGy)	有意な短縮 (約20日)	悪性リンパ腫	なし
低線量率 (20 mGy/日) 高線量 (8,000 mGy)	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

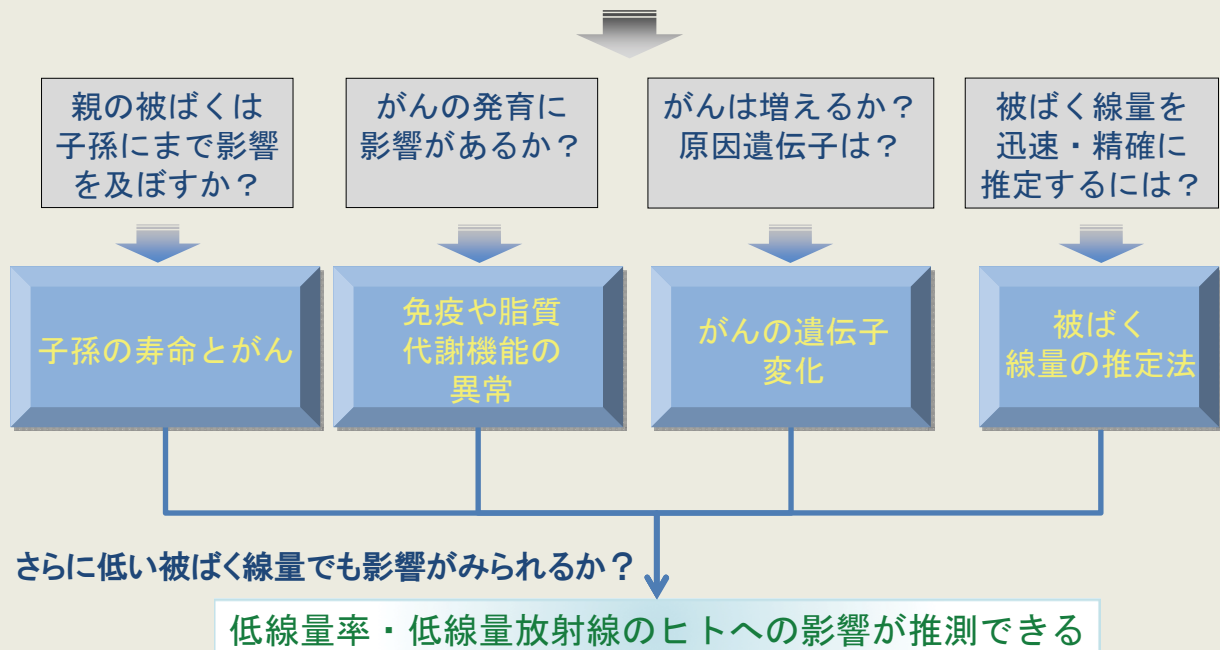
－ 要点 －

低線量率放射線の長期照射により寿命が短くなるかを調べた実験の結果をまとめます。

- 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] マウスでは、寿命がオスでは約100日、メスでは約120日短くなった。
- この寿命が短くなった原因は、悪性リンパ腫や他のがんで早く死んだためである。
- 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] メスマウスでは、寿命が約20日短くなった。
- 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] マウスでは、寿命が変わらなかった。
- 1日あたり20 ミリグレイ (mGy) を400日間長期照射したオスマウスでは、白血病等のがんの発生する割合が増えた。
- 1日あたり20 ミリグレイ (mGy) を400日間長期照射したマウスでは、多くみられるがん以外の病気はみつからなかった*。
*しかしその後、別の実験で詳しく調べると、卵巣の萎縮と脂肪肝等も増えていることがわかった。
- 1日あたり20 ミリグレイ (mGy) を400日間長期照射したメスマウスでは体重が増加した。

マウスを用いて低線量率・低線量放射線の影響を調べる がんで早期に死ぬために寿命は短くなる(20 mGy/日、8,000 mGy)

他に体重の増加がみられた。



— 要点 —

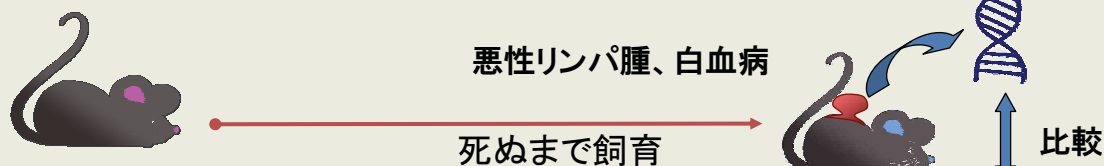
1. 環境研では、平成7年度から平成15年度まで、マウスを用いて低線量率放射線が寿命に与える影響を調べた。
2. 現在は、4つの調査を行っている。
 - (1) 子や孫に遺伝するか?
 - (2) 免疫や代謝機能が変化したことががんの発育に影響するのか?
 - (3) がん遺伝子等が変化して、がんが増えるか?
 - (4) 万が一、低線量放射線に被ばくした時に、迅速に被ばく線量を調べる方法は?
について詳しく調べている。
3. 低線量率放射線を照射したマウスを照射しないマウスと比較して影響が多くみられるかを調べている。これらの結果がわかるのに最低でも5年~10年という長い年月がかかる。このような調査・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。
4. 将来はもっと低い低線量率放射線の影響を調べる計画である。

低線量率放射線長期照射マウスのがんの発生

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

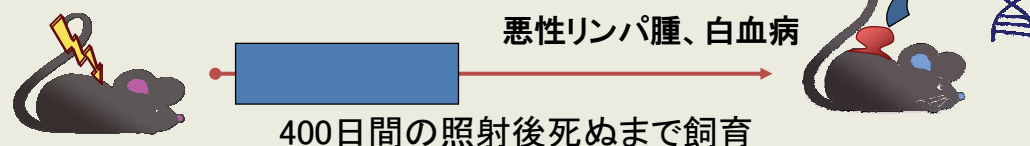
がん組織よりDNAを抽出し遺伝子解析

・非照射群



・照射群(400日間連続照射)

^{137}Cs γ -線 20 mGy/日 \times 400 日 = 8,000 mGy



非照射群と比べて ①がんで早く死んだり、がんが多くなるのは、
→がん遺伝子に変化したから？

— 要点 —

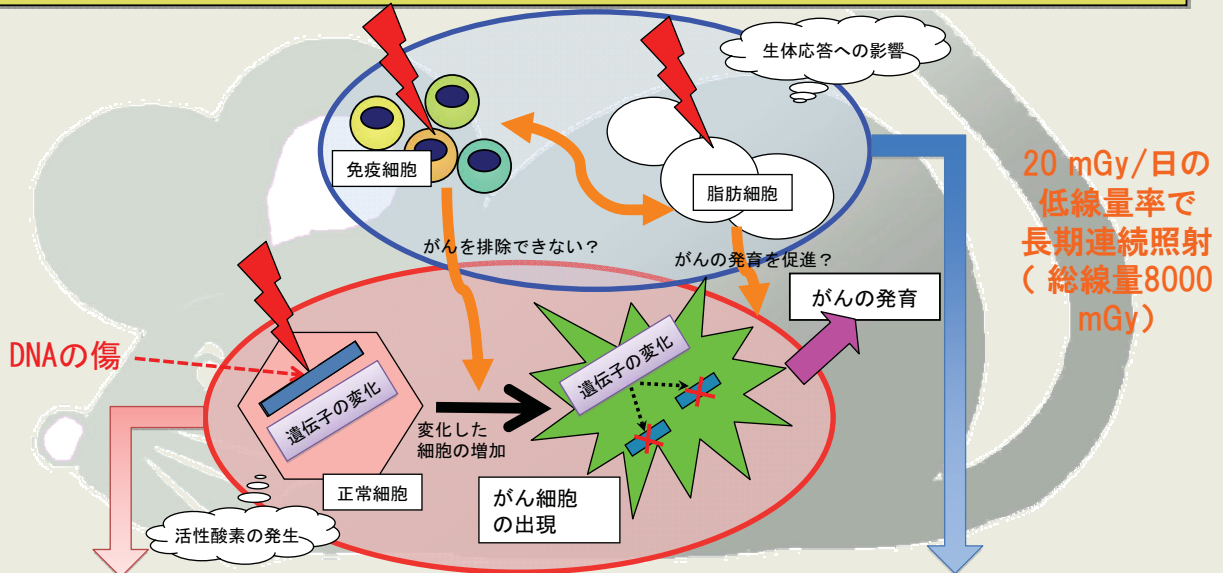
1. 1日あたり20 ミリグレイ (mGy) を400日間長期照射した〔総線量は8000ミリグレイ (mGy) になる〕マウスで、寿命が短くなったのは、悪性リンパ腫などのがんで早く死んだから。
これは、低線量率放射線を長期照射したマウスでは、がんを作るがん遺伝子に変化して、がんが早く出てきたのではないかと？
そこで、照射したマウスから発生した悪性リンパ腫で、がん遺伝子などのゲノムの変化を調べた。
→照射しないマウスから発生した悪性リンパ腫と比べて異なるゲノムの変化がみられた。
2. 1日あたり20 ミリグレイ (mGy) を400日間長期照射した〔総線量は8000ミリグレイ (mGy) になる〕マウスで白血病が多くなったのは、がん遺伝子などのゲノムが変化したためではないかと？
そこで、照射したマウスから発生した白血病で、がん遺伝子などのゲノムの変化を調べた。
→照射しないマウスから発生した白血病と比べて異なるゲノムの変化がみられた。
3. もっと低い低線量率の照射ではがん遺伝子などのゲノムの変化に差があるかどうかを調べている。

[用語解説]

がん遺伝子：がんは正常に働いている遺伝子が突然変化して、細胞が異常に増殖をする病気である。がんを引き起こす遺伝子をがん遺伝子という。正常細胞では、この遺伝子は細胞の分裂、増殖、細胞内情報伝達等の大切な働きをしている。

ゲノム：マウスは父母の双方の親から来た40本の染色体、ヒトは46本の染色体を持つ。そのDNAの構造を含むすべての遺伝子情報をゲノムという。

*** 寿命を調べて明らかになった、がんで早く死ぬこと、がんが増加することの原因は？**



遺伝子の変化によるのでは？

放射線によりDNAに傷が生じる

↓

遺伝子の変化した細胞が増加

↓

がんが早く発生？増加する？

これまでの調査

免疫や代謝機能の変化によるのでは？

免疫機能の低下、脂質代謝の異常、
体重増加、卵巣の異常

↓

がんを排除できない？、がんの発育を促進？

これまでの調査

— 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. 低線量率放射線を長期照射したマウスで、放射線により生じたDNAの傷がもとで、遺伝子が増えた細胞が増えるので、がんが早く発生、増加したのではないかと？
2. 低線量率放射線を長期照射したマウスでは、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と？

↓

低線量率放射線を長期照射したマウスでは、特に脂質代謝が変化して体重が増加したり、卵巣が異常になっている。

このことが、がんを排除できない、がんが早く発育することと関係しているのではないかと？

低線量率ガンマ線を連続照射した雌マウスにみられる
体重増加とその原因

微弱な放射線を長期間浴びた雌マウスの体重が増加した。

1. 体重の増加は肥満なのか？
2. なぜ太るのか？

(財) 環境科学技術研究所
生物影響研究部

中村 慎吾

— 要点 —


- ・ 環境研で行った研究において、微弱なガンマ線（放射線）を毎日連続して照射した雌マウスの体重が、照射しないマウスと比較して増加することが分かった。
- ・ この体重の増加は、一日あたり20 ミリグレイ（20 mGy/日）の強さでガンマ線を400日間連続して照射する実験の途中に観察された。
- ・ また、この照射による体重の増加は、雌マウスにのみ認められ、雄マウスでは認められなかった。
- ・ 本報告会では、①観察された体重増加は肥満なのか？②どのような仕組みで太るのかについて調べた結果を発表する。

微弱な放射線に長期間にわたり、被ばくすると何が起こるのか？


雌マウスを用いて動物実験を行った。

自然放射線の約20倍(0.05 mGy/日)の強さの照射で影響はみられなかった。

自然放射線の約400倍(1 mGy/日)の強さの照射でマウスの寿命が短縮した。

マウスの平均寿命: 860日  840日
20日短縮

自然放射線の約8,000倍(20mGy/日)の強さの照射でマウスの寿命が短縮した。

マウスの平均寿命: 860日  740日
120日短縮

20 mGy/日での照射期間中マウスの体重が増加することが分かった。

— 要点 —

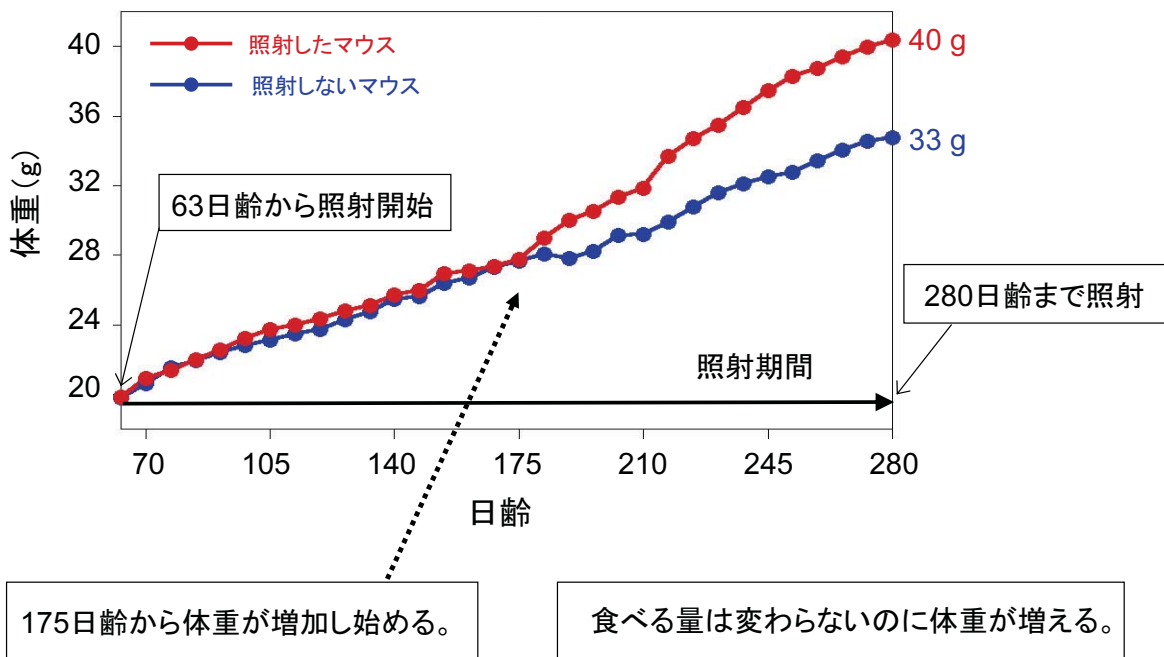
- ・これまでに環境研は、3つの強さの微弱な放射線を毎日連続して400日間照射するとマウスにどんな影響があるのかを調べた。この実験では、雄でも雌でも影響を調べたが、照射による体重の増加は、雌にのみ認められたので、本報告会では、雌マウスの結果のみを発表する。
- ・自然放射線の約20倍の強さ(0.05 mGy/日)の放射線を400日間(雌マウスの平均寿命は860日なので一生のほぼ半分の期間)連続して照射しても雌マウスの寿命やがんの発生に変化は見られなかった。
- ・自然放射線の約400倍の強さ(1 mGy/日)の放射線を400日間連続して照射した雌マウスの寿命は、およそ20日短縮した。
- ・自然放射線の約8,000倍の強さ(20 mGy/日)の放射線を400日間連続して照射した雌マウスの寿命は、およそ120日短縮した。また、いくつかのがんが多く発生した。
- ・自然放射線の約8,000倍の強さ(20 mGy/日)の放射線を照射した雌マウスの体重が、照射しないマウスと比べて重くなることが分かった。

〔解説〕

自然放射線に対する照射線量率の倍数は、次の計算によっています。

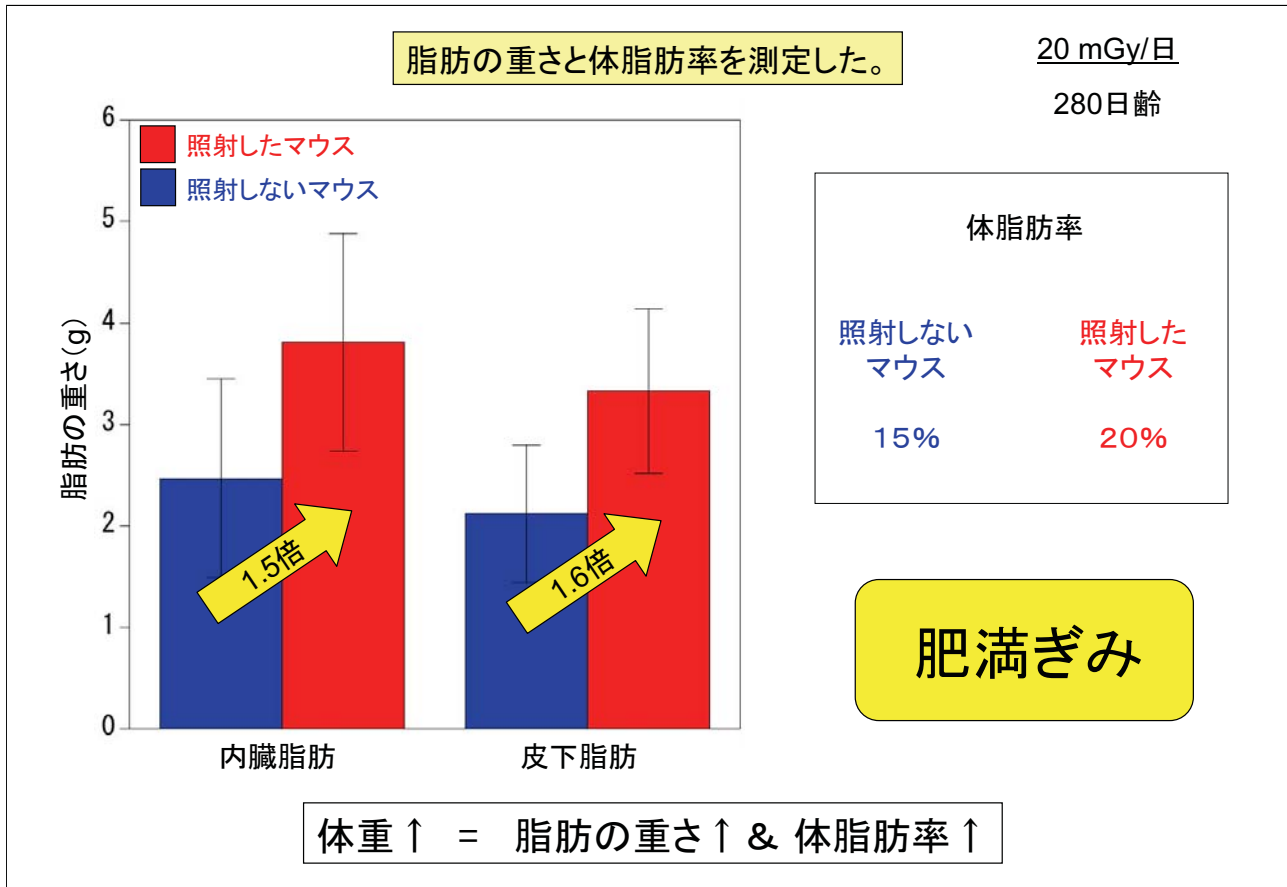
- ①ラドンを除く自然放射線からの被ばく線量は、1年間に1mSv程。一定の線量率で1年間被ばくすると考えて、1時間当り(1年間は8760時間)の線量率は $1 \div 8760 = 0.000114 \text{ mSv/時}$ 。
- ②マウスへの放射線照射時間は1日当り22時間であるので、その時間での自然放射線の線量率は $0.000114 \times 22 = 0.00251 \text{ mSv/日}$
- ③マウスに照射した放射線の線量率が自然放射線の何倍になるかを計算して、
 $0.05 \div 0.00251 = 19.9 \rightarrow$ 約20倍
 $1 \div 0.00251 = 398.4 \rightarrow$ 約400倍
 $20 \div 0.00251 = 7968.1 \rightarrow$ 約8000倍

自然放射線より約8,000倍強い放射線(20 mGy/日)を長期間連続して照射したマウスの体重が、照射しないマウスより重くなった。



— 要点 —

- ・ 低線量率 (20 mGy/日) の放射線を雌マウスに63日齢から280日齢まで毎日連続して照射した。
- ・ 照射開始から175日齢までは、照射をしたマウスと照射をしないマウスの体重に違いはみられなかった。
- ・ 175日齢 (照射を始めてからおよそ110日後) から体重に違いが見られ始めた。
- ・ 280日齢 (照射を始めてからおよそ220日後) の照射したマウスの体重は、照射しないマウスの体重よりおよそ7g重くなった。
- ・ 照射期間中に食べる餌の量に違いはなかった。



— 要点 —

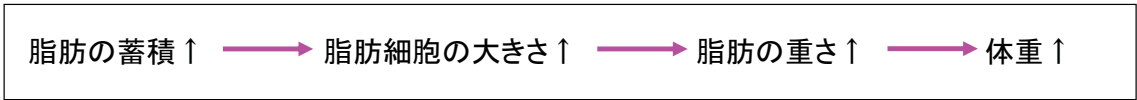
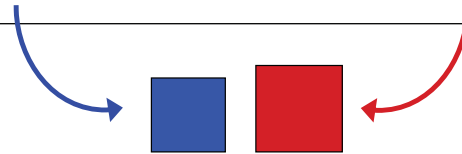
- ・照射したマウスの体重が増加した理由を調べるために、280日齢（照射を始めてからおよそ220日後）でマウスを解剖し、脂肪組織の重さを測った。
- ・体重と脂肪組織の重さから体脂肪率（脂肪の重さ÷体重）を計算した。
- ・照射したマウスの内臓脂肪と皮下脂肪の重さは、照射しないマウスの1.5～1.6倍重かった。
- ・照射したマウスの体脂肪率は照射しないマウスより1.3倍高かった。
- ・体重の重くなる理由は、脂肪重量（体脂肪率）の増加であることが分かった。

脂肪細胞の大きさを測定した。

20 mGy/日
280日齢



	照射しないマウス	照射したマウス	比
脂肪細胞の大きさ (μm^2)	3603.4 ± 926.9	4835.6 ± 970.5	1.34



— 要点 —

- ・ 照射したマウスの脂肪組織の重さが重くなる理由を調べた。
- ・ 脂肪組織の重さは、組織を構成する脂肪細胞が脂肪を溜め込み大きくなるほど重くなる。つまり、太っているマウスほど脂肪細胞は大きい。
- ・ 脂肪組織を薄く切り（組織切片を作成）、色素で染めて、顕微鏡で観察して脂肪細胞の大きさを調べた。
- ・ 照射したマウスの脂肪細胞の大きさは、照射しないマウスのおよそ1.3倍大きかった。
- ・ 脂肪細胞への脂肪の蓄えが増え、脂肪細胞が大きくなったため脂肪組織の重さが重くなった。

血液中の脂肪				20 mGy/日 280日齢
	照射しないマウス	照射したマウス	比	
中性脂肪 (mg/ dl)	190.4 ± 29.9	216.3 ± 12.2	1.14	
総コレステロール (mg/ dl)	125.4 ± 13.2	157.8 ± 15.6	1.26	
HDLコレステロール (mg/ dl)	81.0 ± 9.2	90.9 ± 5.4	1.12	
血液中の脂肪が増加				
レプチン (ng/ml)	23.2 ± 11.5	50.3 ± 17.8	2.2	
血液中の肥満物質(レプチン)の増加				

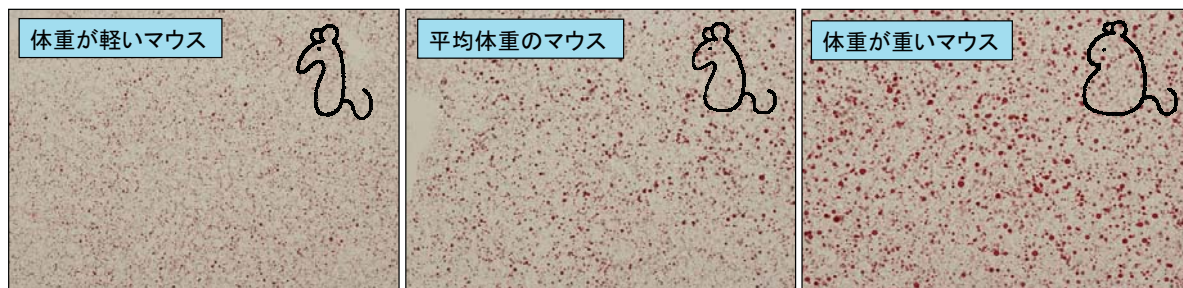
— 要点 —

- ・ 血液中に溶け込んだ脂肪の量を調べるため、280日齢（照射を始めてからおおよそ220日後）のマウスの血液検査を行った。
- ・ 照射したマウスの血液中の3種類の脂肪（中性脂肪、総コレステロール、HDLコレステロール）の測定値は、照射しないマウスに比べて高かった（いわゆる高脂血症のような状態）。
- ・ 肥満した動物（ヒトも含む）では、血液中のレプチンという物質が増加することが分かっている。血液中のレプチンの量は、肥満度が高くなるにつれて増加する。そのためレプチンは肥満物質と呼ばれる。
- ・ 照射したマウスの血液中のレプチンの量は、照射しないマウスに比べて2.2倍多かった。

肝臓の脂肪

20 mGy/日

280日齢



	照射しないマウス	照射したマウス	比
染色の濃度	1.09 ± 0.43	1.95 ± 0.36	1.79
中性脂肪	15.60 ± 4.00	24.25 ± 8.87	1.55

肝臓中の脂肪が増加

— 要点 —

- ・ 肝臓は脂肪を蓄える臓器である。
- ・ 280日齢（照射を始めてからおよそ220日後）のマウスの肝臓を薄く切り（組織切片を作成）、脂肪分を赤い色素で染色して顕微鏡で観察した。
- ・ 照射したマウスの肝臓は、照射しないマウスの肝臓より濃く赤色に染まったことから、脂肪分の含有量が多いことが分かった。
- ・ 肝臓をすりつぶして、脂肪分を取出して、中性脂肪の量を測った。
- ・ 照射したマウスの肝臓中に含まれる中性脂肪の量は、照射しないマウスより多かった。
- ・ どちらの実験でも、照射したマウスの肝臓中に含まれる脂肪の増加が認められた（いわゆる脂肪肝に近い状態）。

まとめ1

低線量率放射線連続照射



体重増加



組織の脂肪化、肥満

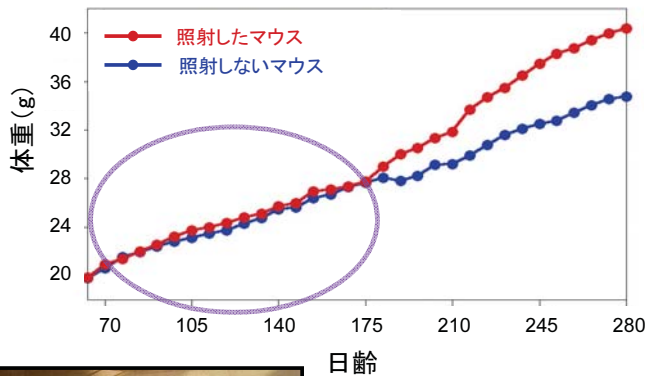
なぜ太るのか？

— 要点 —

- ・ 低線量率のガンマ線を連続して照射した雌マウスでは、体重増加が起こるが、これは脂肪組織、血液、肝臓中の脂肪の含有量が増加し、組織の脂肪化が起こっているためであることが分かった（いわゆる肥満に近い状態）。
- ・ なぜ、低線量率のガンマ線を連続照射した雌マウスは太るのか？

自然放射線より約8,000倍強い放射線を連続照射したマウスが太るメカニズムは？

ヒント① 太る前に違っていることを探せ！！



ヒント② 共通する事象はないか？

肥満の原因として知られていること
放射線の生体影響として知られていること

ヒント③ めす！！

卵巣を切除するとホルモンバランスが崩れて太りやすくなる。

卵巣は放射線に弱い。

卵巣は♀にしかない。

卵巣がターゲットでは？



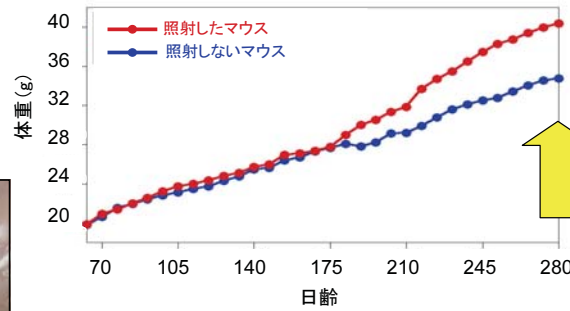
— 要点 —

- 原因を探るためには、太る前に、照射したマウスと照射しないマウスとを比べて違っていることを見つけなければならない。
- 肥満の原因としてこれまでに知られている事象と放射線を照射した生体に起こることが知られている事象とで共通していることはないか？
- 照射による体重増加は、雌に認められたが雄にはみられなかった（雌にだけあるものが原因ではないか？）。
- 避妊手術で卵巣を切除した雌猫は極端に太る場合がある。
- 卵巣を除去するとホルモンバランスが崩れ、太りやすくなることが分かっている。
- 放射線に対する卵巣の感受性はとても高い（放射線に弱い）ことが分かっている。ヒトでは、2グレイ (Gy) の被ばくで卵細胞の半分が死んでしまう。
- 卵巣は雌にしかない。
- 仮説：卵巣が放射線でやられてしまっているのではないか？

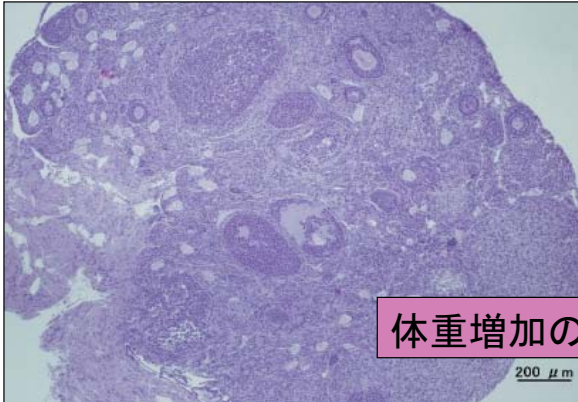
自然放射線より約8,000倍強い放射線を長期間照射したマウスの卵巣

20 mGy/日
280日齢

照射しないマウス



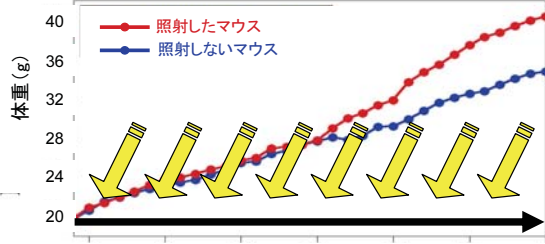
照射したマウス



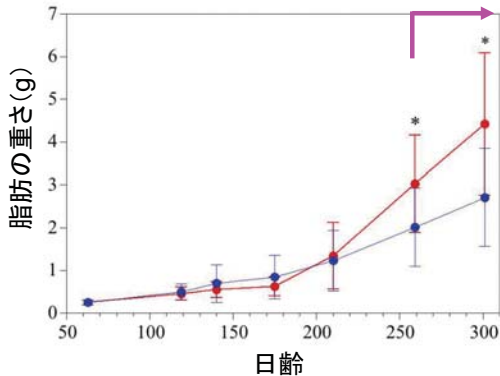
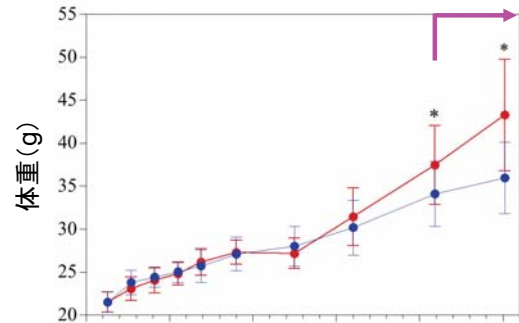
体重増加の前に起こるのか？

— 要点 —

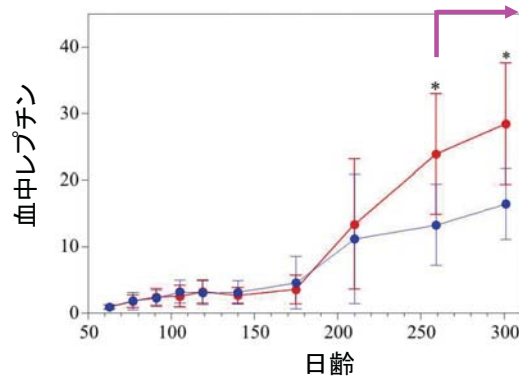
- ・ 低線量率の連続照射によって卵巣に変化が起きているのかを確かめるために、スライド4からスライド8で体重と脂肪の増加を調べたマウスの卵巣を調べた。
- ・ 照射したマウスの卵巣は、照射しないマウスの卵巣より小さくなっていた。
- ・ 取り出した卵巣を薄く切り、色素で染色して顕微鏡で観察した。
- ・ 照射したマウスの卵巣は萎縮していて、卵胞や黄体などの本来あるべき構造がみられなかった。
- ・ 連続照射によって卵巣に萎縮が起こることが分かったが、この萎縮がいつから起こるのがまだ分からない。もし、卵巣の萎縮が体重増加より早く起こるのなら、卵巣の萎縮は体重の増加原因である可能性がある。



経時的にマウスを解剖し、脂肪化を調べた。



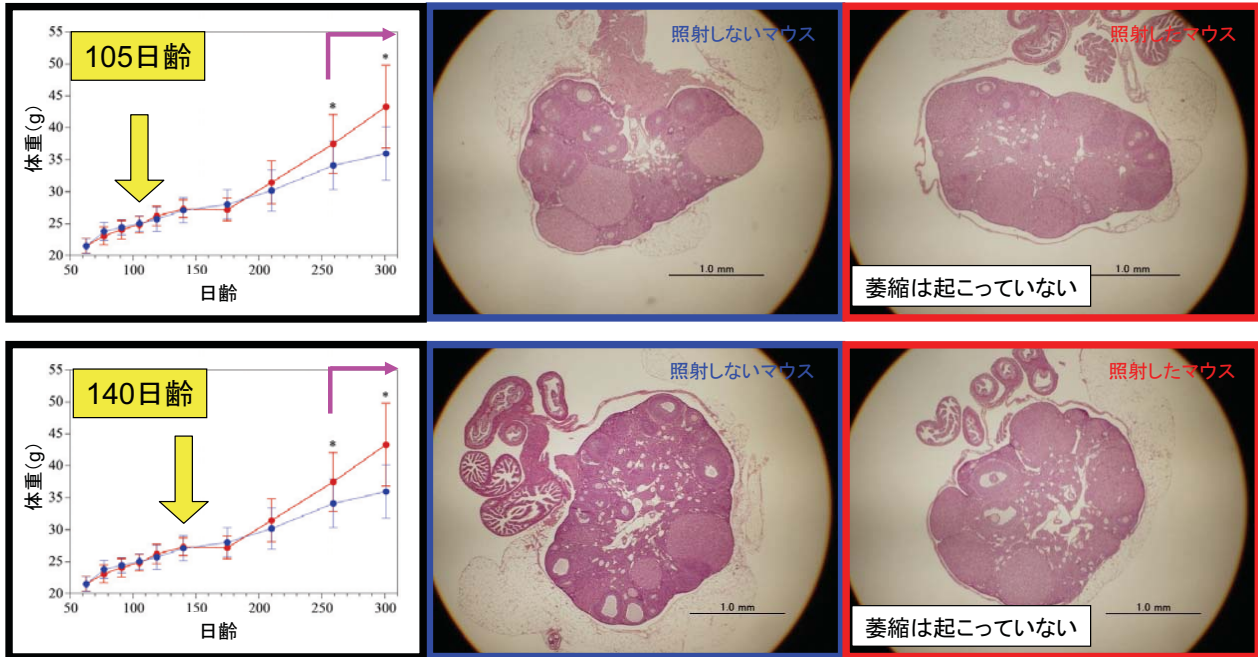
260日齢以降に脂肪化がみられる。



卵巣の萎縮は260日齢より前に起こっているのか？

— 要点 —

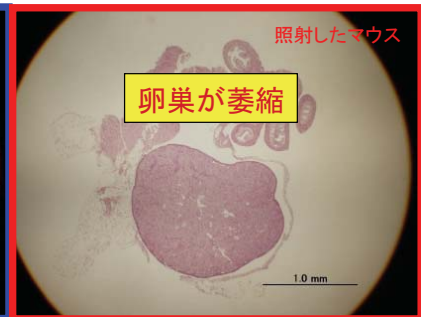
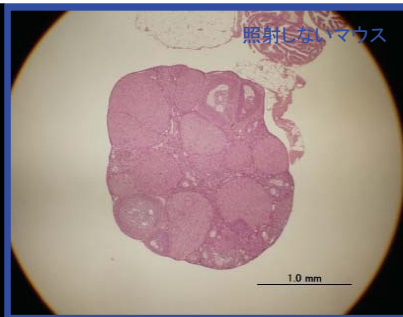
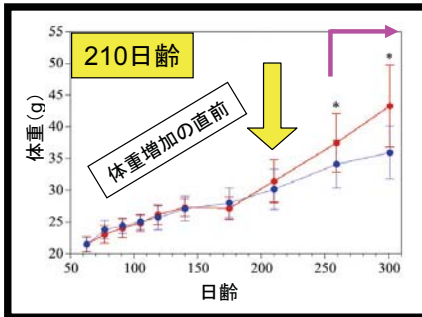
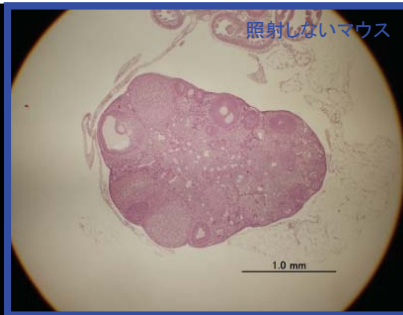
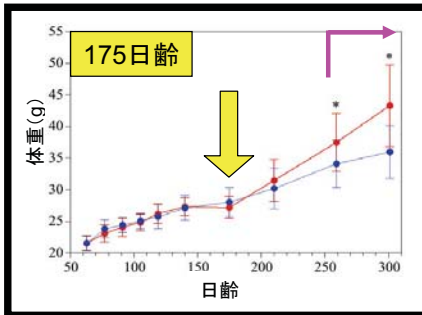
- ・ 体重の増加と卵巣の萎縮のどちらが先に起こるのかを調べるために、新しい実験を行った。
- ・ まず、いつ体重増加（脂肪化）が起こるのか調べるために、照射期間中、時間を追って（経時的に）マウスを解剖して、体重、脂肪の重さ、肥満物質（レプチン）の量を調べた（*印は統計的に差が認められたことを示す）。
- ・ 照射したマウスの体重、脂肪組織の重さと肥満物質レプチンの量は、260日齢以降から増加することが分かった。
- ・ では、卵巣の萎縮は260日齢より前（太る前）に起こっているのか？



さらに照射を続けると……

— 要点 —

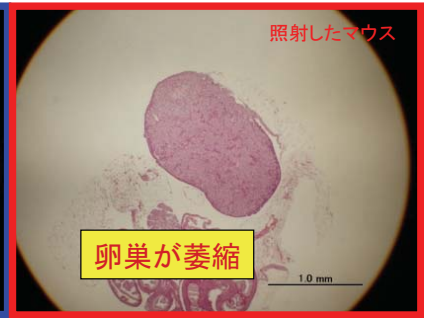
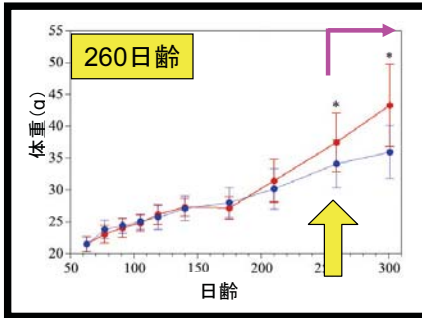
- ・ いつ卵巣の萎縮が起こるのかを調べるために、照射期間中、経時的にマウスを解剖して卵巣を調べた。
- ・ 卵巣を薄く切り、色素で染色して顕微鏡で観察した。
- ・ 105-140日齢では、照射したマウス、照射しないマウスともに卵巣の萎縮はなかった。



体重が増える直前に、卵巣は萎縮していた。

— 要点 —

- ・ 175日齢では、照射したマウスの卵巣にやや萎縮が始まっていた。
- ・ 体重が増加する直前の210日齢では、照射したすべてのマウスの卵巣に萎縮が認められた。
- ・ 体重が増加する前に卵巣の萎縮が起こっていることが分かった。



260日齢の卵巣は完全に萎縮していた。

卵巣が完全に萎縮した後に体重が増加した。

卵巣の萎縮 → 卵巣機能の低下? → 閉経?

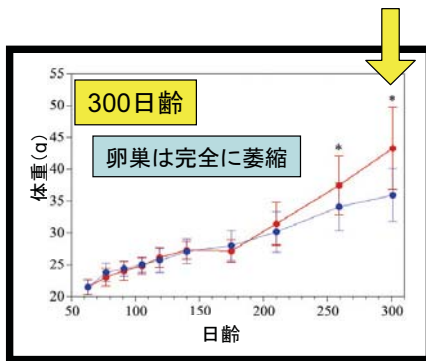
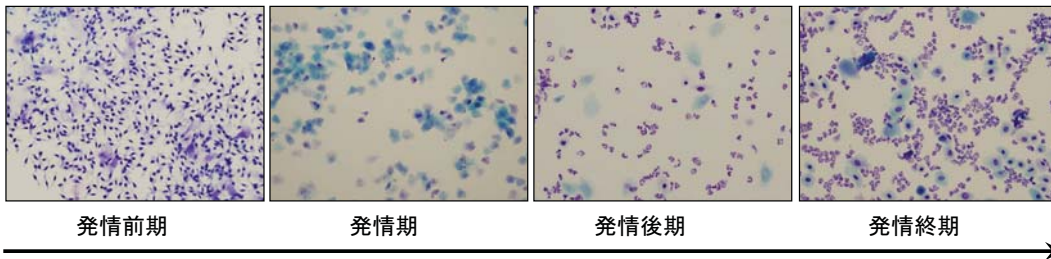
— 要点 —

- ・ 照射を続けると、260日齢では照射したマウスの卵巣は完全に萎縮していた。
- ・ 照射したマウスの萎縮した卵巣には、卵胞、黄体などが認められず、正常な機能が失われていると考えられた。つまり照射したマウスでは、照射しないマウスより早く閉経が起こっていると予測された。そのため、照射したマウスに早期の閉経が起こっているのかを実験で確かめた。

自然放射線より約8,000倍強い放射線を長期間照射したマウスの性周期

20 mGy/日

マウスの性周期は4日周期 → 膣スメア標本から性周期の有無を診断



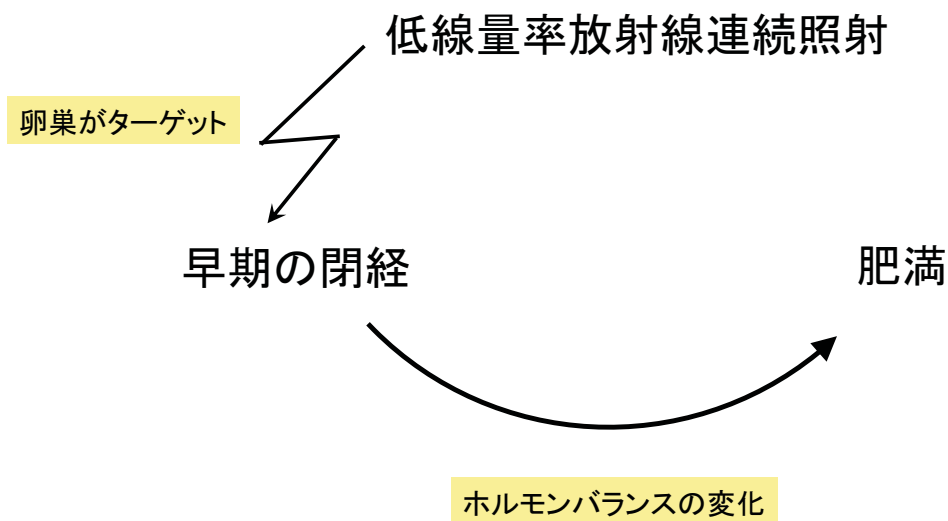
照射しないマウス 10匹中9匹に性周期がある

照射したマウス 10匹中10匹に性周期がない

早期に閉経していた。

一 要点 一

- ・ 閉経は性周期を判定することで調べることができる。マウスの性周期は4日周期であることが分かっており、膣の細胞を顕微鏡で観察して判定した。
- ・ 発情前期、発情期、発情後期、発情終期の順で性周期は移り変わり、それぞれの時期で観察される細胞に違いがある。
- ・ 300日齢の照射しないマウスでは、10匹中9匹に正常な性周期が認められたが、同日齢の照射したマウスでは、すべてのマウスに正常な性周期が認められなかった。
- ・ 照射したマウスでは、照射しないマウスより早く閉経が起きていると考えられる。

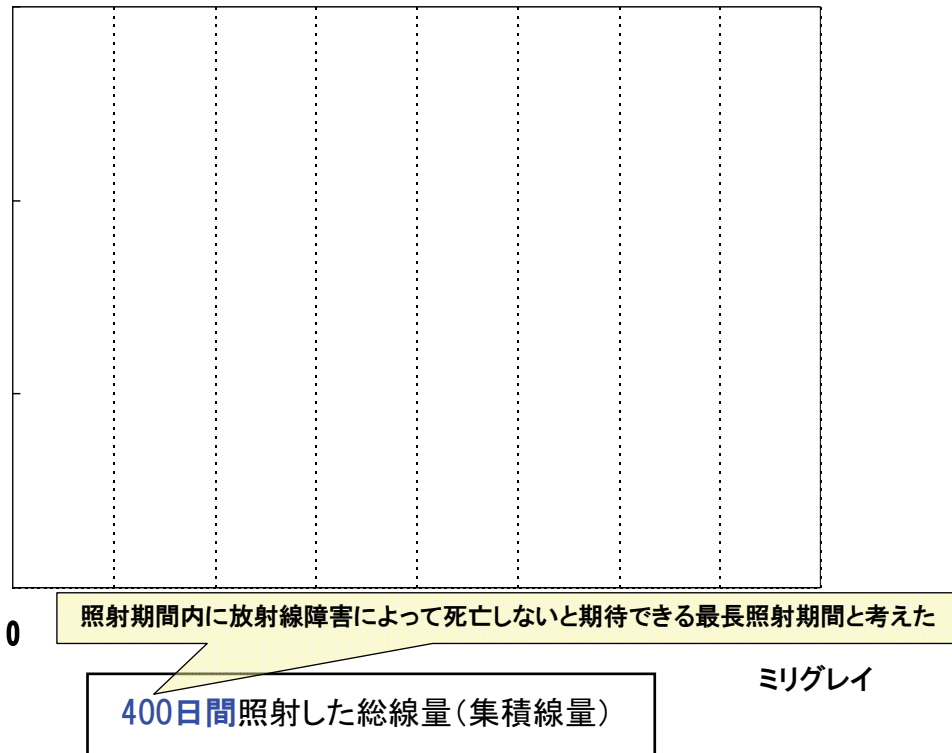


— 要点 —

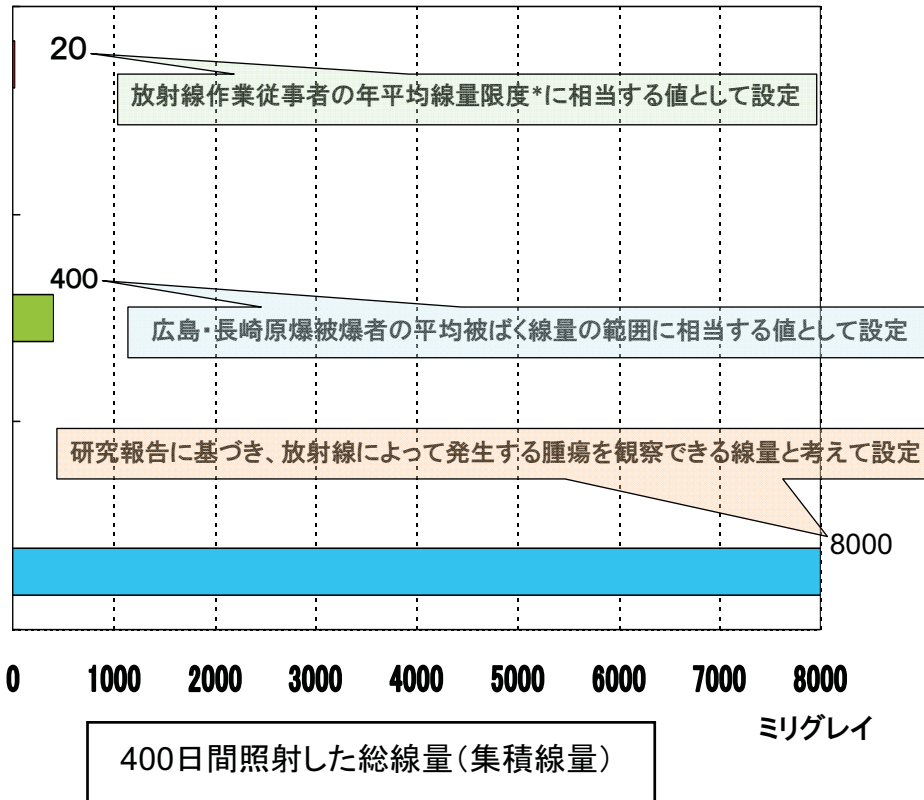
- ・ 低線量率（20 mGy/日）の放射線による連続照射は、放射線に弱い卵巣に障害を引き起こす。
- ・ 連続照射による障害で萎縮した卵巣は機能を失い、早期に閉経が起こる。
- ・ 閉経によるホルモンバランスの変化が照射したマウスの体重増加（肥満）の原因である可能性が高い。
- ・ 低線量率の放射線による卵巣の障害と体重増加との関連についてより詳しく調べるために、現在継続して調査・研究を行っている。

マウス寿命試験で照射した放射線(ガンマ線)の線量率について

1. マウスへの放射線照射日数を設定



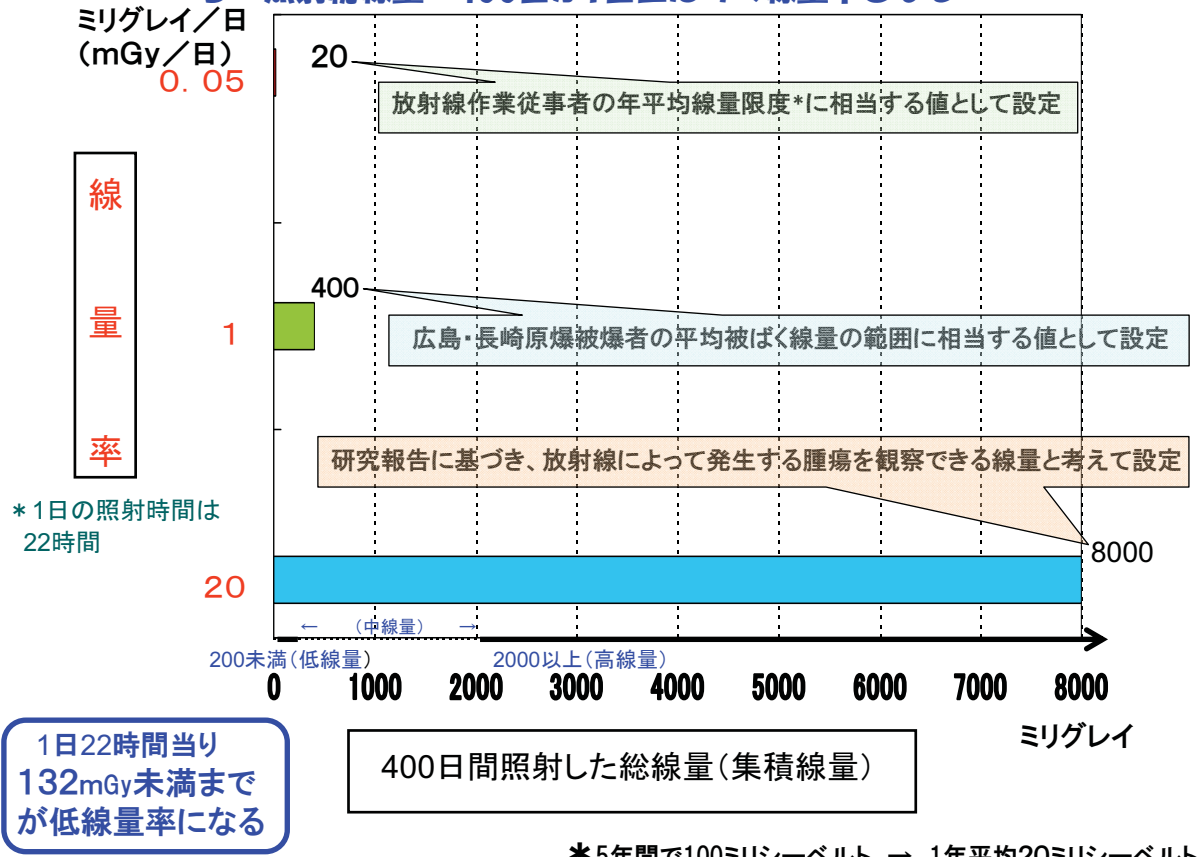
2. 照射する総線量を設定



放射線の単位
↓
環境放射線
ポケットブック
24ページをご
覧ください

*5年間で100ミリシーベルト → 1年平均20ミリシーベルト

3. 照射総線量 ÷ 400日が1日当たりの線量率となる



報告内容等の問合せ先 : 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駮字家ノ前 1 番 7

財団法人 環境科学技術研究所 広報・研究情報室

TEL 0175-71-1240