

排出放射性物質影響調査

成果報告会

平成 29 年度

公益財団法人 環境科学技術研究所

本成果報告の内容は、青森県から（公財）環境科学技術研究所が受託している「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. 土壌から作物へのセシウムの移行を低減化させる	1-23
(公財) 環境科学技術研究所	
環境影響研究部	山上 睦
2. 放射線の生体影響を防護剤で抑制する試み	24-43
(公財) 環境科学技術研究所	
生物影響研究部	山内 一己

土壌から作物へのセシウムの 移行を低減化させる

環境影響研究部
山上 睦

1. 環境研の紹介
 - ① 施設
 - ② 研究テーマ
2. 調査結果
 - ① 土壌から作物へのセシウムの移行を低減化させる

（公財）環境科学技術研究所 （環境研）の紹介

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。

以上の3点を目的に、上北郡六ヶ所村に平成2年に設立された。

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. (公財) 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

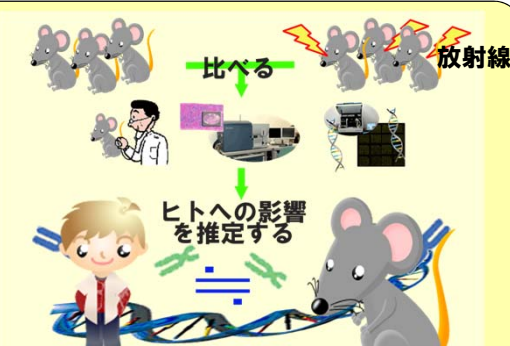


排出放射性物質影響調査



放射性物質の環境中の動きを探り、線量を評価するモデルを構築する

環境影響研究部



低線量・低線量率の放射線が生物に及ぼす影響を探る

生物影響研究部

一要点一

(公財) 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)モデルの推定値と実測値との比較

2. 環境の被ばく線量評価法の開発

3. 放射性物質の移行制御法の開発

施設から放出された放射性物質の環境中での移行を制御し、農作物中の放射性物質濃度を低減化する手法を確立する。

－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3つに分類される。
2. 第一に、大型再処理施設から排出される放射性物質から周辺住民が受ける現実的な被ばく線量が評価できるようなモデル（コンピュータシミュレーションモデル）の構築、そのモデルに使われている各種環境移行パラメータの取得、及び施設周辺の環境試料の分析結果とモデルの推定値との比較を行っている。
3. 第二に、環境（野生生物）自体も放射線から防護されるべきであるとの国際的な認識の高まりを受け、施設周辺の動植物の被ばく線量評価法の開発を行っている。
4. 第三に、環境中に放出された放射性物質の移行を制御する手法を開発する。具体的には、土壌から農作物への移行を低減化する手法を開発しており、今回の報告では、この成果について報告する。

土壌から作物へのセシウムの移行を 低減化させる

放射性セシウムの転流に対して有効な転流・
蒸散抑制剤を検討する。

本調査の背景

1. 放射性セシウムは再処理施設の通常運転時には検出可能なレベルで排出されることはないが、万一の異常放出に備えておくことは重要である。
2. そこで、各種低減化手法の効果を青森県の農耕地土壌で確かめておく必要がある。
3. さらに、新たな手法の開発も必要である。

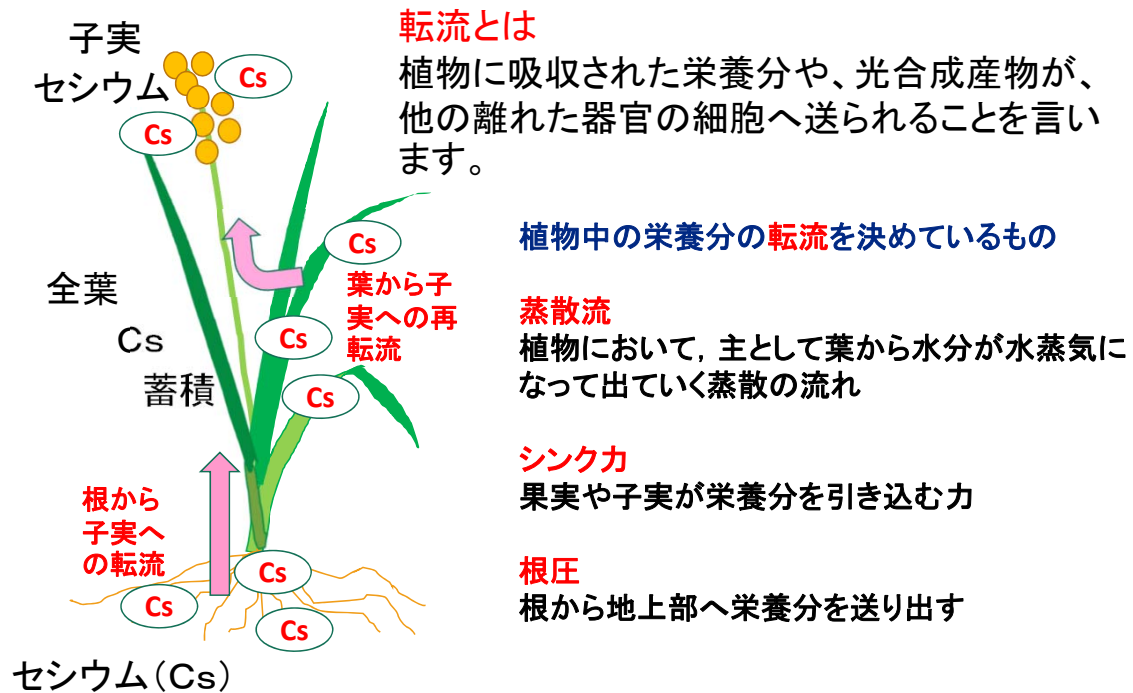
今回は、3.で行った、作物の可食部へのセシウム移行(転流)低減化を図った結果を発表する

—要点—

1. 再処理施設の通常運転時の線量評価ではわずかな量が排出されると仮定されているが、世界の再処理施設で通常運転時に放射性セシウムが排出された例はない。しかし、万一の異常放出に備えておくことは重要である。
2. 放射性セシウムによる環境汚染が問題となっている福島県では、汚染された表層をショベル等の重機を用いて除去する、あるいはカリ肥料の施肥により放射性セシウムの作物への吸収を抑える等の手法が取られているが、各種手法の効果には地域によるばらつきが見られることから青森県の土壌によって効果を確認しておく必要がある。
3. さらに、福島県の経験から、万能な手法はないため、新たな手法を開発しておくことも必要である。
4. 今回は、上記の3.新たな手法開発で行った、イネを対象として植物体内でのコメへのセシウム移行(転流)の抑制を図った結果を発表する。

転流：植物体内で様々な物質が運ばれること。

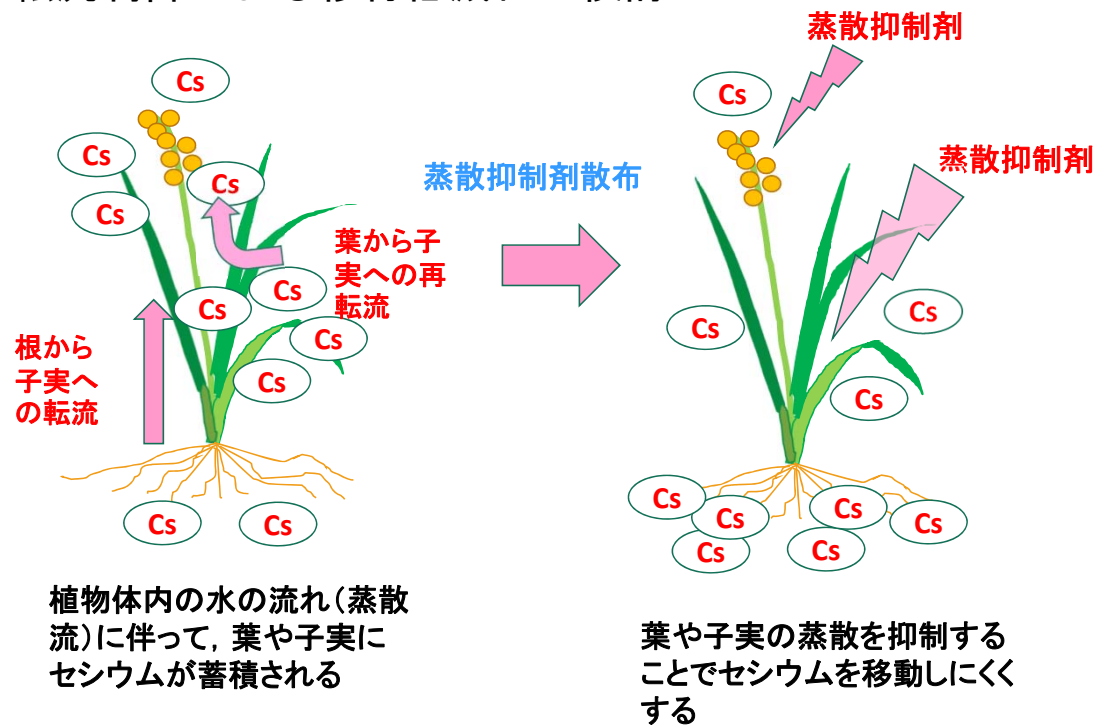
植物生理特性制御による移行低減化



—要点—

1. 転流とは、植物に吸収された栄養分や、光合成でできた物が、他の離れた器官の細胞へ送られることを言う。
2. 植物中の栄養分等の転流は、蒸散流、シンク力、根圧で決まる。
3. 転流を押さえることができれば、移行を低減化することができる。

転流制御による移行低減化の検討



—要点—

1. 転流を決める要素の一つである「蒸散流」に注目し、蒸散しにくくするような薬剤を散布することで、セシウムの移行を低減できないか、検討を行った。

放射性セシウムの転流に対して有効な 転流・蒸散抑制剤を検討する

検討の手順

- ①転流・蒸散抑制剤（以下、蒸散抑制剤）の種類と濃度の違いが玄米中セシウム*濃度に及ぼす影響を調べる。
- ②培養液中のセシウム濃度の違いによって、蒸散抑制剤の効果が異なるのか明らかにする。
- ③蒸散抑制剤の散布部位の違いで、効果が異なるのか明らかにする。

*本調査では放射性セシウムに代わり、同じ挙動を示すと考えられる安定セシウム（放射線を出さない）を使用して実験を行った。

蒸散抑制剤の一般的効果と今回使用した薬剤

- 水田に注入して水面を水不溶液体の薄膜で覆い、田面からの水の蒸発による水温の低下を防ぐ。
- 移植時の農作物や樹木の苗などの茎葉へ処理して水分の蒸散抑制により植え傷みを減らす目的に使われる。

ワックス剤 : グリンナー(商品名)

(ワックス濃度10% メーカー推奨ワックス濃度2.0%)

パラフィン剤 : アビオンC(商品名)

(パラフィン濃度36% メーカー推奨パラフィン濃度1.8%)

ー要点ー

1. 蒸散抑制剤としては市販されている農薬を使用した。
2. ワックス剤を主要成分（ワックス剤10%）とするグリンナーは、植物用コーティング剤とも呼ばれ、植物の呼吸を妨げず適度に水分の蒸発を減少させるような保護膜を作る薬剤である。メーカー推奨のワックス濃度は2%であり、通常は5倍に水で希釈して使用する。
3. パラフィン剤を主要成分（パラフィン剤36%）とするアビオンCは、ワックス剤と同様に保護膜を作り同様の効果がある。メーカー推奨のパラフィン濃度は1.8%であり、通常は20倍に水で希釈して使用する。

①蒸散抑制剤の種類と濃度の違いが玄米中セシウム濃度に及ぼす影響を調べる

材料: イネ(日本晴)

栽培: 水耕栽培、雨よけ温室内

培養液中セシウム濃度: 0.05 μ M(6.6ppb) 54日後～収穫まで

蒸散抑制剤散布: セシウム添加後(60日後)、週2回、収穫(202日後)まで植物体全体に一株当たり10 ml散布した。

グリーンナー : ワックス剤2%相当(推奨濃度)、ワックス剤0.7%相当

アビオンC : パラフィン剤1.8%相当(推奨濃度)、パラフィン剤0.7%相当

水散布区 : 対照実験として、上記の区と同じ日に、水だけを散布した。

分析: 収穫時のイネ子実(玄米)のセシウム濃度を分析した。

—要点—

1. イネに対して蒸散抑制剤の種類及び濃度を変えて散布し、その玄米中のセシウム濃度に及ぼす影響を調べた。
2. イネは雨よけ温室内で水耕栽培を行い、その培養液中にセシウムを添加した。セシウムの濃度は0.05 μ M(マイクロモル/リットル: 1リットル当たりセシウム約0.0066 g)である。
3. グリーンナー(ワックス剤は10%)は5倍及び14.3倍、アビオンC(主要成分のパラフィン剤36%)は20倍、51.4倍に希釈して、それぞれワックス剤2%、0.7%、パラフィン剤1.8%、0.7%となるように調製して用いた。
4. 生育全期にわたり、週2回、植物体全体に上記の蒸散抑制剤を散布した。
5. 対照実験として、同じタイミングで水だけを散布する群も設定した。
6. 玄米中のセシウム濃度を測定した。



実験風景

イネ成長への蒸散抑制剤散布の影響



地上部重量には水散布区と蒸散抑制剤散布区の間では差異がなかった



一つの穂の中の籾の数、穂の中の何パーセントが熟した籾であるかの指標である登熟歩合には差異がなかった



一株当たりの穂の数、全籾数には水散布区と蒸散抑制剤散布区の間では差異がなかった



玄米千粒の重さ（玄米千粒重）には差異がなかった

蒸散抑制剤散布によりイネの生長、収量への悪影響は見られなかった。

—要点—

1. 蒸散抑制剤の、イネの生育に及ぼす影響を調査した結果である。
2. 蒸散抑制剤散布によるイネの乾物重量に差異がないことが明らかになり、この散布条件では生育が抑制されることはなかった。
3. イネの収量と品質を決める、1株中の穂の数、1つの穂内の籾の数、1株中の全籾数、正常に成熟できた籾の数（登熟歩合）、玄米1000粒の重さ（玄米千粒重）は蒸散抑制剤の散布で低下することはなかった。

玄米中のセシウム濃度及びカルシウム、マグネシウム、カリウムの濃度を測定した

セシウム：本調査での目的元素（玄米中濃度を低下させる）

カルシウム：細胞壁や食物繊維の状態を示す指標、極端に少ないと生育異常があることを示す。

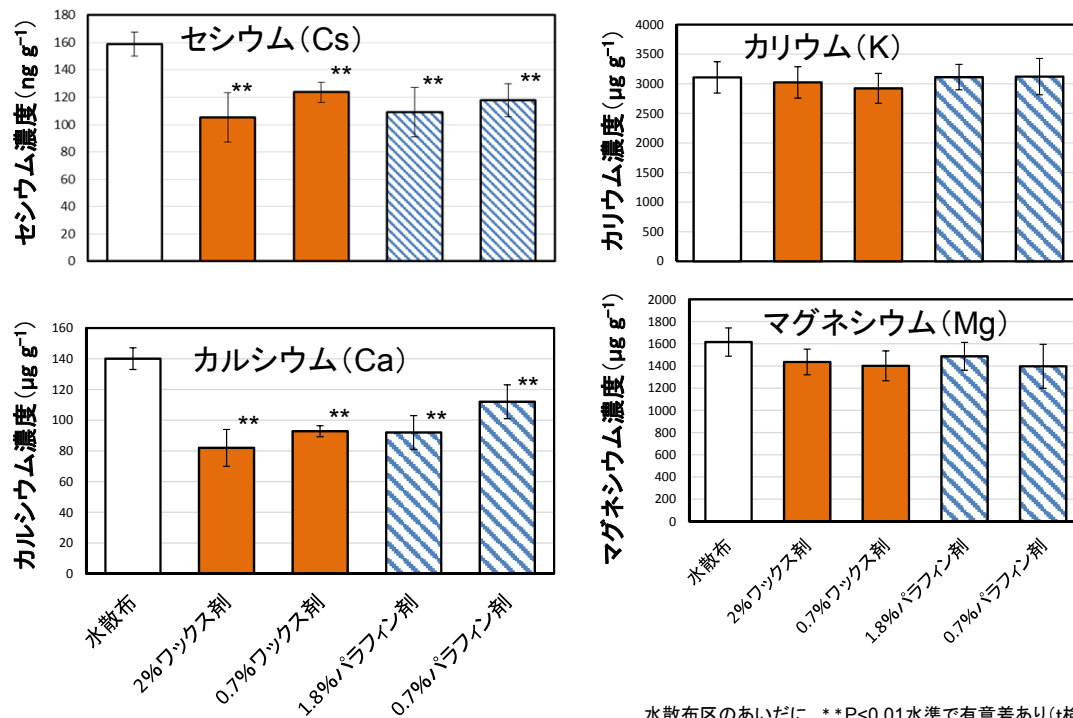
マグネシウム：植物の光合成、葉緑素の状態を示す指標。

カリウム：玄米の主要無機栄養素、成長と水分状態の指標ともなる。セシウムと似た動きをされると言われている。

－要点－

1. 移行低減化の対象物質であるセシウム（Cs）の他、作物の状態について評価をするため、カルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）、カリウム（K）についても測定を行った。

玄米中セシウム濃度への蒸散抑制剤散布の影響



—要点—

1. 玄米中のセシウム濃度、カルシウム濃度、カリウム濃度、マグネシウム濃度を測定した。
2. イネ植物体への蒸散抑制剤（2%・0.7%ワックス剤、1.8%・0.7%パラフィン剤）の散布によって、イネ玄米中のCs濃度は約25～35%低下した。
3. 今回の実験条件での蒸散抑制剤の種類及び濃度の違いでは、玄米中セシウム濃度の低下に大きな違いは見られなかった。
4. 蒸散抑制剤の散布により玄米中の濃度が低下したものは、セシウムとカルシウムであり、カリウムとマグネシウムは影響が見られなかった。（セシウム以外の元素は玄米の主要ミネラルで生育状態や品質の指標となる）

[用語解説]

グラフの縦軸の表記について（セシウム濃度等）

ng g⁻¹ : ナノグラム/グラム 1ng g⁻¹は1 gあたり0.000000001 g

μg g⁻¹ : マイクログラム/グラム 1 μg g⁻¹は1 gあたり0.000001 g

②培養液中のセシウム濃度の違いによって、蒸散抑制剤の効果が異なるのか明らかにする

材料:イネ(日本晴)

栽培:水耕栽培

培養液中セシウム濃度: 0.01 μM (1.3 ppb)
0.05 μM (6.6 ppb)
0.1 μM (13.2 ppb)

蒸散抑制剤散布: グリナー(ワックス剤を0.7%となるよう希釈)を定植後70日目～収穫まで

植物体散布区 :セシウム添加後週に2回植物体全体に散布する

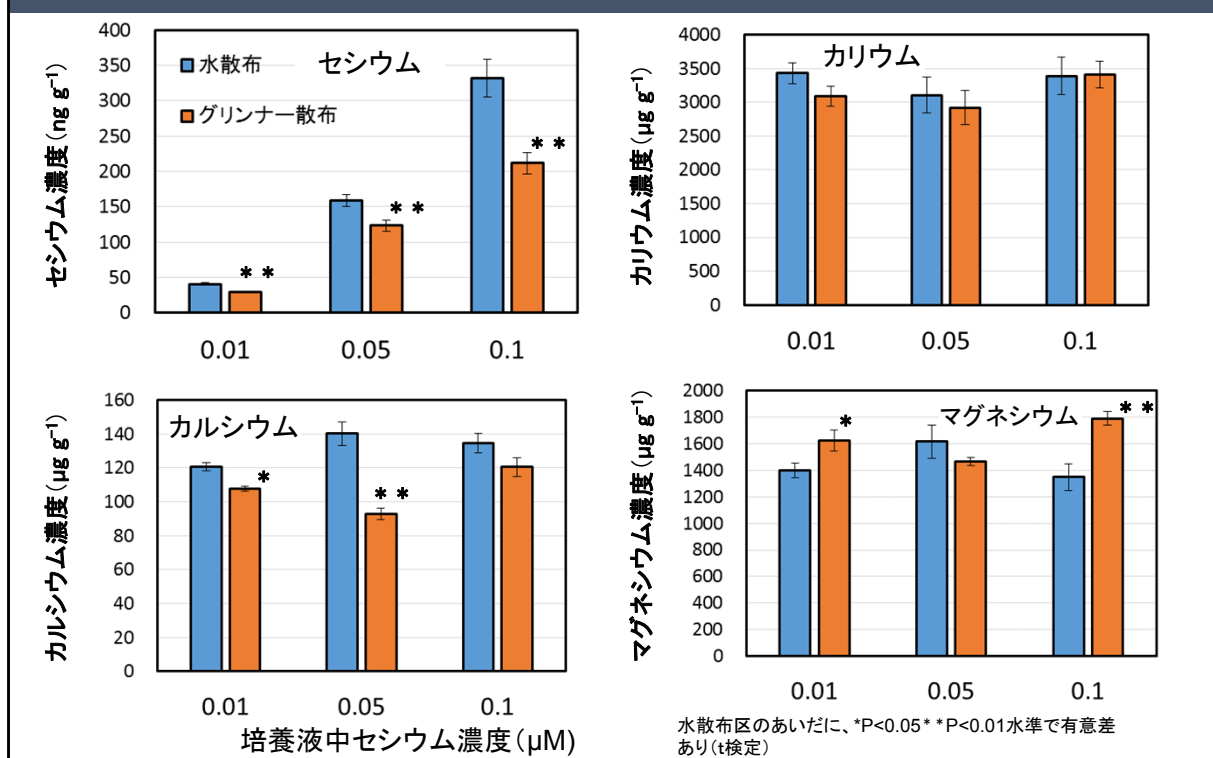
水散布区 :上記の区と同じ日に水だけを散布する

分析:収穫時のイネの子実のセシウム濃度を分析した

ー要点ー

1. セシウム濃度を0.01、0.05、0.1 μM (マイクロモル/リットル:それぞれ1リットル当たりセシウム約0.0013 g、0.0066 g、0.013 g) とした培養液で水耕栽培し、生育全期にわたり週2回、植物体全体に蒸散抑制剤を散布し、その玄米中のセシウム濃度に及ぼす影響を調べた。
2. 蒸散抑制剤はグリナー(ワックス剤)を用い、散布液中のワックス濃度として0.7%になるように調整した。
3. 対照実験として、同じタイミングで水だけを散布する群も設定した。
4. 今回実験に用いたセシウムは、放射線を出さない安定セシウムである。

培養液中セシウム濃度を変えた場合の玄米中元素濃度



－要点－

1. 養液中のセシウム濃度を変えて栽培した場合の、玄米中のセシウム濃度の他、カルシウム濃度、カリウム濃度、マグネシウム濃度を測定した結果である。
2. イネ植物体への蒸散抑制剤（0.7%ワックス剤）の散布によって、イネ玄米中のCs濃度は約25～35%低下した。
3. 培養液中のセシウム濃度（根圏におけるセシウム濃度）の違いによって、蒸散抑制剤の玄米中セシウム低減への効果が異なることはなかった。このことから、根圏におけるセシウム濃度が高い場合や低い場合でも、差異なく蒸散抑制剤散布によって玄米中の放射性セシウムの移行が低減されることが明らかになった。
4. 蒸散抑制剤の散布により玄米中の濃度が低下したものはセシウムとカルシウムであり、カリウムは影響が見られなかった。マグネシウムに関しては、蒸散抑制剤の散布によって濃度が上昇するものとそうでないものが見られ、更に調査が必要である。

[用語解説]

グラフの縦軸の表記について（セシウム濃度等）

ngg⁻¹ : ナノグラム/グラム 1ngg⁻¹は1gあたり0.000000001g

μgg⁻¹ : マイクログラム/グラム 1μgg⁻¹は1gあたり0.000001g

③蒸散抑制剤の散布部位の違いで、効果が異なるのか明らかにする。

材料: イネ(日本晴)

栽培: 水耕栽培

培養液中セシウム濃度: 0.05 μM (6.6 ppb)

蒸散抑制剤散布: グリンナー(ワックス剤を0.7%となるよう希釈)を定植後70日目～収穫まで

植物体散布区 : セシウム添加後、開花最盛期までは週2回植物体全体に散布し、定植後130日のイネの開花最盛期から植物全体に散布する区に加えて、イネ葉茎のみ、穂のみに蒸散抑制剤を散布した2区を追加した。

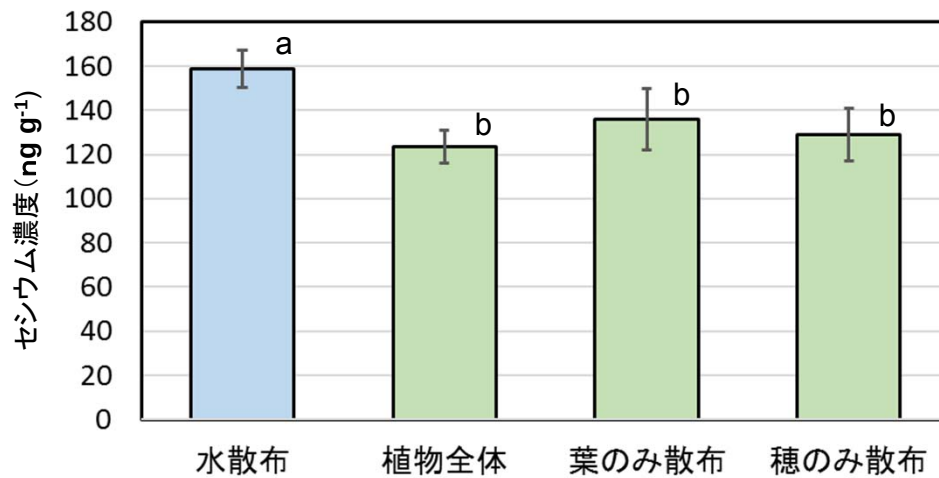
水散布区 : 上記の区と同じ日に水だけを散布する

分析: 収穫時のイネの子実のセシウム濃度を分析した

—要点—

1. これまでの実験と同様にイネを水耕栽培し、開花最盛期になった時点から、植物全体に散布する条件のものに加え、蒸散抑制剤の散布する部位を変えた条件で栽培を行い、セシウムの玄米への移行低減化の効果を比較した。
2. 培養液のセシウム濃度は0.05 μM (マイクロモル/リットル: 1リットル当たりセシウム約0.0066 g) とした。
3. 蒸散抑制剤はグリンナー(ワックス剤)を用い、散布液中のワックス濃度として0.7%になるように調整した。
4. 対照実験として、同じタイミングで水だけを散布する群も設定した。
5. それ以外の条件は、これまでの実験と同じである。

散布部位の違いによる玄米中のCs濃度



培養液中Cs濃度は、0.05 μM 、0.7%ワックス剤(グリーンナー)を定植後70日目から開花最盛期までは週2回植物体全体に散布し、開花最盛期(8月29日から収穫期までは、3区に分けた。

Turkeyの多重検定により異なるアルファベット間に5%水準で有意差があり。

—要点—

1. 開花最盛期以降、散布部位を分けた場合でも、蒸散抑制剤の散布で玄米中のCs濃度は低下し、散布部位による差は出なかった。
2. セシウムの蓄積部位(葉、根、茎)からのセシウムの玄米への移動(転流)が最も多い生育ステージが明確になれば、以降低減の効率の良い散布部位と時期が予測できる可能性がある。

まとめ

- イネ植物体への蒸散抑制剤(2%、0.7%ワックス剤、1.8%、0.7%パラフィン剤)の散布によって、イネ玄米中のCs濃度は約25～35%低下した。
- 開花最盛期以降、穂、葉、全体と散布部位を分けた場合でも、蒸散抑制剤の散布で玄米中のCs濃度は低下し、散布部位による差は出なかった。

今後の課題

- 本試験では、雨よけ条件下での散布であったため、野外での効果を確認する。
- 効果の高い散布時期を特定して、散布の効率化を図る。

放射線の生体影響を 防護剤で抑制する試み

生物影響研究部
山内 一己

本日の発表内容

- 環境科学技術研究所 生物影響研究部の紹介
- 寿命試験：低線量率放射線長期照射による寿命への影響
- 低線量率放射線長期照射による寿命短縮効果のラジカル捕獲剤を用いた軽減化

環境科学技術研究所 生物影響研究部の紹介

低線量率ガンマ線連続照射室とマウス飼育ケージ



マウスを使って、低線量率放射線の生物への影響を調べています

—要点—

1. 環境科学技術研究所の生物影響研究部では、低線量率放射線被ばく（少量ずつ被ばくする）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いない、清潔な状態）という環境下で飼育が可能で、かつ、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。

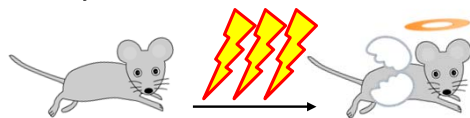
環境研の実験で主に使用している低線量率と総線量

線量率 (mGy/22時間/ 日)	400日間連続照射 した時の総線量 (mGy)	総線量のレベル
0.05	20	自然放射線レベルの約10倍 職業人の年平均線量限度に相当
1	400	宇宙ステーションでの 放射線レベルに相当
20	8000	マウスの半致死線量(急照射) 発がん等の影響が確実に現れると予測 される線量

放射線の線量率が低くなると、生物影響は小さくなる

(ただし、どのくらい小さくなるかは、ヒトや動物ではよくわかっていない)

- ・ **高線量率照射** (約1,000 mGy/分) DNAの傷を治すことができない → 個体が死亡することもある



8000 mGyの放射線を一度に被ばくすると30日以内に半数が死亡する

- ・ **低線量率照射** DNAの傷をほとんど治せる



$20 \text{ mGy/日} \times 400 \text{ 日} = 8000 \text{ mGy}$



一日あたり20 mGyの放射線を400日間連続照射したときの影響はよく分かっていない

低線量率放射線線の長期間照射実験で、
マウスの寿命の変化や腫瘍の発生頻度を調べた

—要点—

1. 線量率が低くなると（単位時間当たりの放射線の量が少なくなると）、同じ線量を被ばくしても、その生物影響は小さくなる。
2. 低線量率の放射線を長期間照射すると、生物にどのような影響が生じるかについての詳細な研究は、我々が行うまでは、あまり行われてこなかった。

寿命試験（1995年～2002年）

非照射群（非照射の飼育室で死ぬまで飼育）



B6C3F1マウス
オス・メス 各500匹

終生飼育→

照射群（3種類の線量率のガンマ線を400日間連続照射し、その後非照射下で飼育）



0.05 mGy / 日 × 400日 =	20 mGy	オス・メス 各500匹
1 mGy / 日 × 400日 =	400 mGy	オス・メス 各500匹
20 mGy / 日 × 400日 =	8,000 mGy	オス・メス 各500匹

¹³⁷Cs ガンマ線



400日間

終生飼育→

3つの異なる線量率の照射群で、非照射群と比較して寿命は短くなるか？

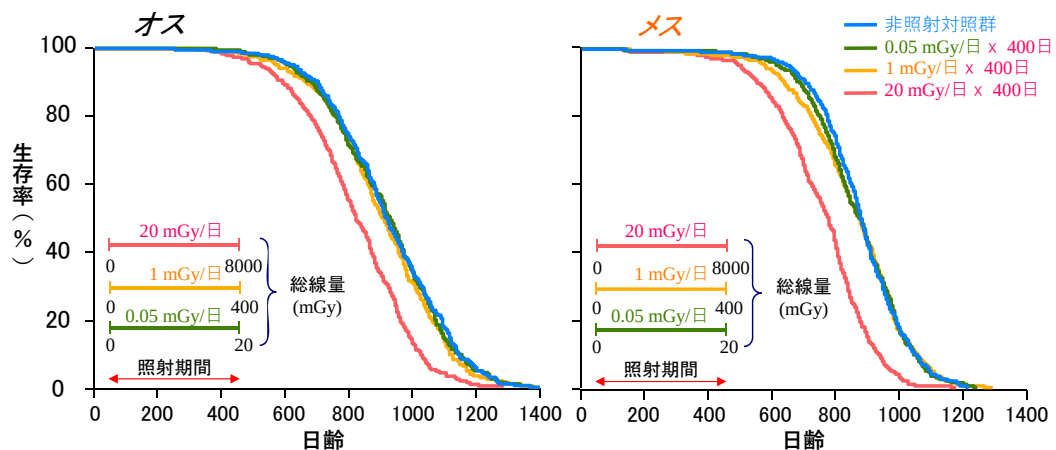
—要点—

1. 低線量率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つの線量率で低線量率ガンマ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。

[用語解説]

B6C3F1マウス：実験用マウスとしてよく使われるマウスの系統。

寿命試験の結果



20 mGy/日の低線量率放射線連続照射により、
マウスの**寿命の短縮**が観察された。



この結果から、低線量率放射線連続照射の生物影響研究を展開

—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8000mGy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1mGyを400日間長期照射した（総線量は400mGyになる）マウス（黄色）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 mGyを400日間長期照射した（総線量は20mGy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。

寿命試験の結果は、国内外の研究論文や教科書に引用されている

No lengthening of life span in mice continuously exposed to gamma rays at very low dose rates

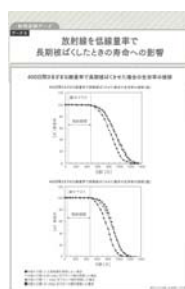
S Tanaka, IB Tanaka III, S Sasagawa, K Ichinohe... - Radiation ..., 2003 - rrjournal.org

Abstract Tanaka, S., Tanaka, IB III., Sasagawa, S., Ichinohe, K., Takabatake, T., Matsushita, S., Matsumoto, T., Otsu, H. and Sato, F. No Lengthening of Life Span in Mice Continuously Exposed to Gamma Rays at Very Low Dose Rates. Radiat. Res. 160, 376–379 (2003). Late effects of continuous exposure to ionizing radiation are potential hazards to workers in radiation facilities as well as to the general public. Recently, low-dose-rate and low-dose ...

引用数 **Cited by 79** Related articles All 10 versions Cite Save

Google Scholarより

- ・ICRP Publication 99（放射線関連がんリスクの低線量への外挿） 2005年刊
- ・ICRP Publication 108（環境防護-標準動物および標準植物の概念と使用-） 2008年刊
- ・原子放射線の影響に関する国連科学委員会 UNSCEAR 2008年報告書



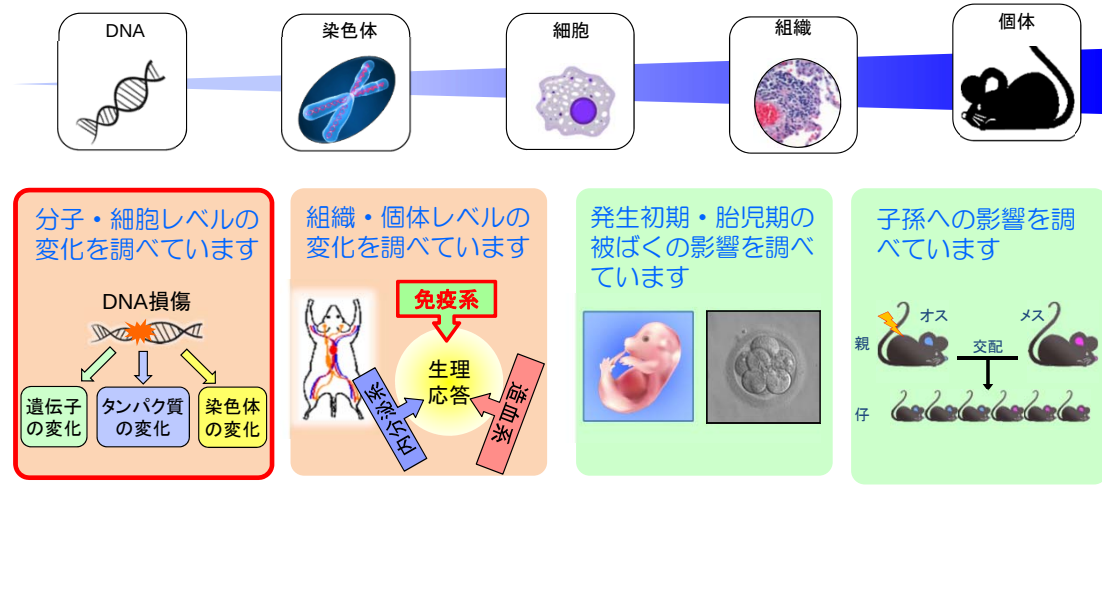
創元社 放射線必須データ32 ISBN:978-4-422-41090-6 (2016年3月刊)

—要点—

1. 寿命試験の結果は、放射線生物研究の論文や国際放射線防護委員会（ICRP）勧告、原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR) の報告書などで70回以上引用されている。
2. 2016年刊行の学術書では、数ページにわたり寿命試験が詳細に紹介されるなど、放射線影響研究では重要な成果であるとされている。

生物影響研究部の現在のテーマ

低線量率放射線の長期照射が生物におよぼす影響を、DNAから個体まで幅広く調べる



—要点—

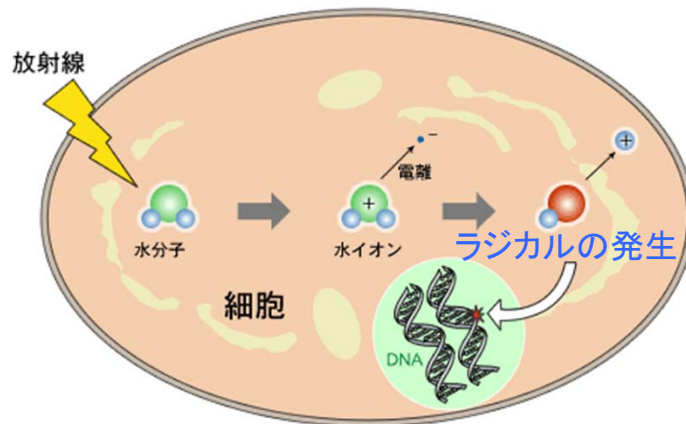
1. 先に紹介した寿命試験は「個体」レベルの研究であるが、この寿命試験の研究結果を礎として、生物の組織、細胞、そして分子レベルまで、対象範囲を広げて、低線量率放射線の影響について研究を行っている。
2. 今回の報告は、放射線により分子・細胞レベルで起こる変化に着目し、放射線影響を低減化させるような手法を検討した一例について報告する。

放射線防護剤

- 放射線被ばくによる細胞や組織の障害を軽減する化学物質。
- これまでに多くの物質が検討されたが、効果が明確なものはラジカル捕獲剤と呼ばれるグループの物質のみである。

低線量率放射線長期照射による寿命短縮効果の
ラジカル捕獲剤を用いた軽減化

放射線が細胞に当たって起こること

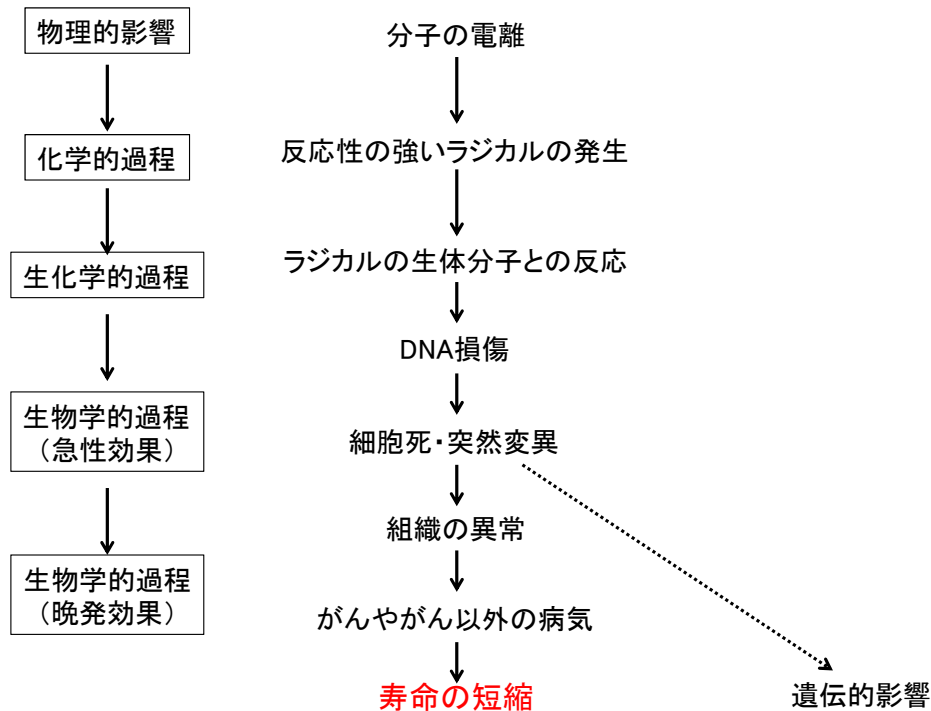


放射線が生体に当たると、細胞中の分子に電離という現象を起こす。その結果、反応性の大きい状態の物質（ラジカル）が発生し、DNAを攻撃して傷をつける。

—要点—

1. 放射線が細胞にあたると、その細胞の中の分子（主に水分子）に衝突し、分子から電子を跳ね飛ばして電離という現象を起こす。
2. その結果、不安定で反応性の高い状態の物質であるラジカルが発生し、DNAを傷つける。

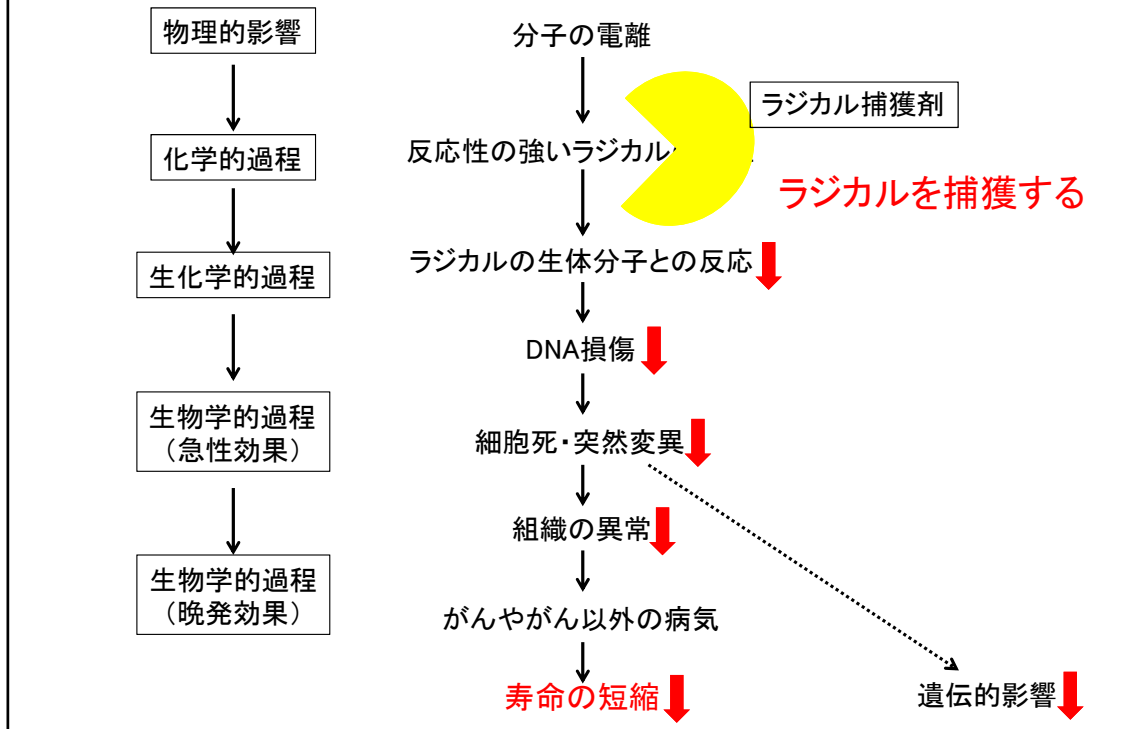
放射線の生物影響が生じる過程



—要点—

1. 放射線による生物の影響は、さまざまな段階を経て発生する。
2. 生物では、放射線による主な影響はDNAに損傷ができることである。通常は修復が行われる。
3. 高線量の放射線では、DNAに多くの損傷が生じる。損傷が多いと、修復が間に合わなかったり、修復を間違えたりするため、その結果として細胞死や突然変異が生じることがある。
4. 細胞死が多い場合は、組織そのものが正常に活動できなくなるため、生体の死につながることもある。
5. 遺伝子の突然変異は、がんやその他の病気を誘発する原因になることがあり、寿命の短縮を起こす一因となる。
6. 生殖細胞に生じた突然変異は、次世代以降に遺伝的影響として残る可能性がある。

放射線の生物影響が生じる過程

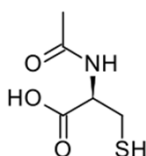


—要点—

1. 放射線により発生するラジカルは、ラジカル捕獲剤により減少させることができ、その後の生物効果を軽減することができるという報告がある。
2. マウスに低線量率放射線を連続照射したとき、寿命短縮の一因にラジカルの発生があるとすれば、ラジカル捕獲剤によりラジカルを減少させると、放射線による寿命短縮効果が軽減できると考えられる。

低線量率放射線長期間照射マウスへの ラジカル捕獲剤投与実験

低線量率放射線長期間照射中に、ラジカル捕獲剤(NAC)を投与し、寿命への影響を調べる。



NAC(N-アセチルシステイン)

抗酸化作用や美白効果があるとしてサプリメントや化粧品などに用いられている

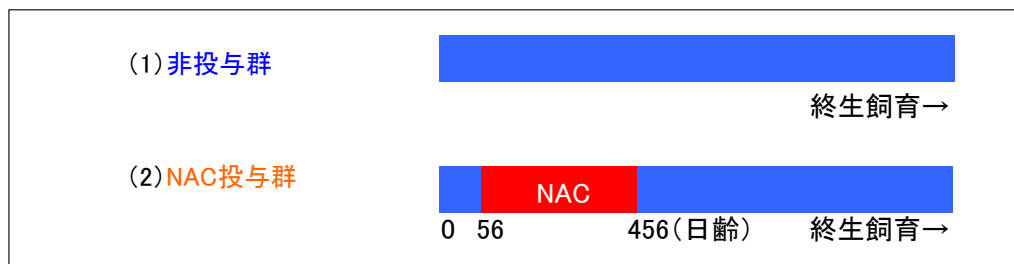
—要点—

1. 今回報告する調査で用いたラジカル捕獲剤は、アミノ酸の1つであるシステインの誘導体であるN-アセチルシステイン (NAC)を用いた。
2. NACはラジカルを捕獲し、DNA損傷を抑制する。
3. 実験では、低線量率ガンマ線連続照射期間(400日間)に、このNACを飲み水に混ぜてマウスに与えた。

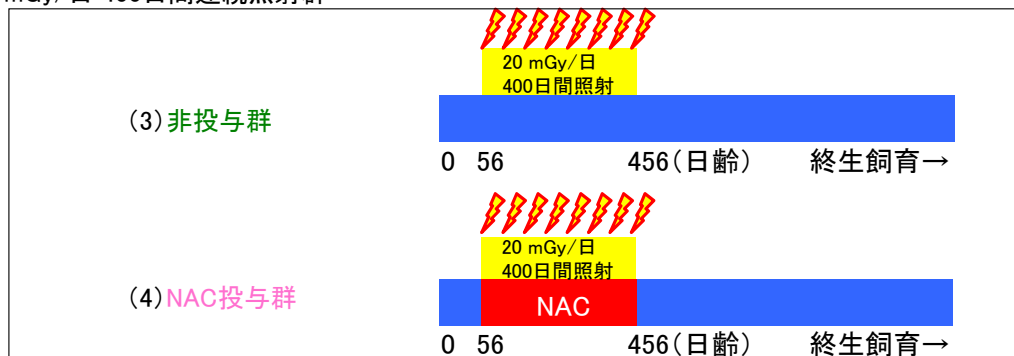
実験方法

B6C3F1 メスマウス 60匹/実験群

・非照射群



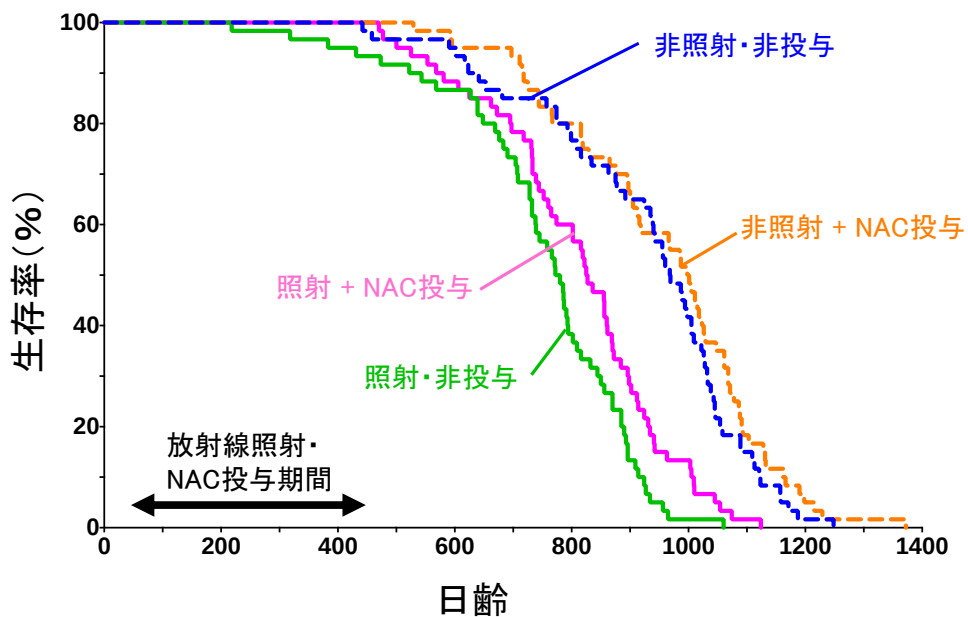
・20 mGy/日 400日間連続照射群



—要点—

1. 今回報告する実験方法をまとめたものである。
2. 20 ミリグレイ/日のガンマ線を、B6C3F1系統の雌マウスに生後8週齢より400日間照射する。同時期に通常の水で飼育するマウスと、NAC（N-アセチルシステイン）水で飼育するマウス群を設定した。
3. 非照射群でも、同期間に通常の水で飼育するマウスと、NAC水で飼育するマウス群を設定した。
4. 照射期間終了後は、非照射エリアで死亡するまで飼育した。このときNACで飼育したマウスも通常の水で飼育した。

低線量率放射線長期照射マウス・NAC投与マウスの生存率曲線



—要点—

1. 各群の生存率の比較をしたグラフを示した。
2. 放射線を照射しない群（非照射）のうち、非投与群（青）とNAC投与群（オレンジ）では、生存率に顕著な差は見られなかった。
3. それに対して、低線量率放射線長期間照射を行った群のうち、非投与群（緑）とNAC投与群（赤紫）を比較すると、NACを飲ませた群の赤紫の線の方が右側にあり、寿命が延びていることが分かる。

低線量率放射線長期間照射による寿命短縮に対するNACの効果

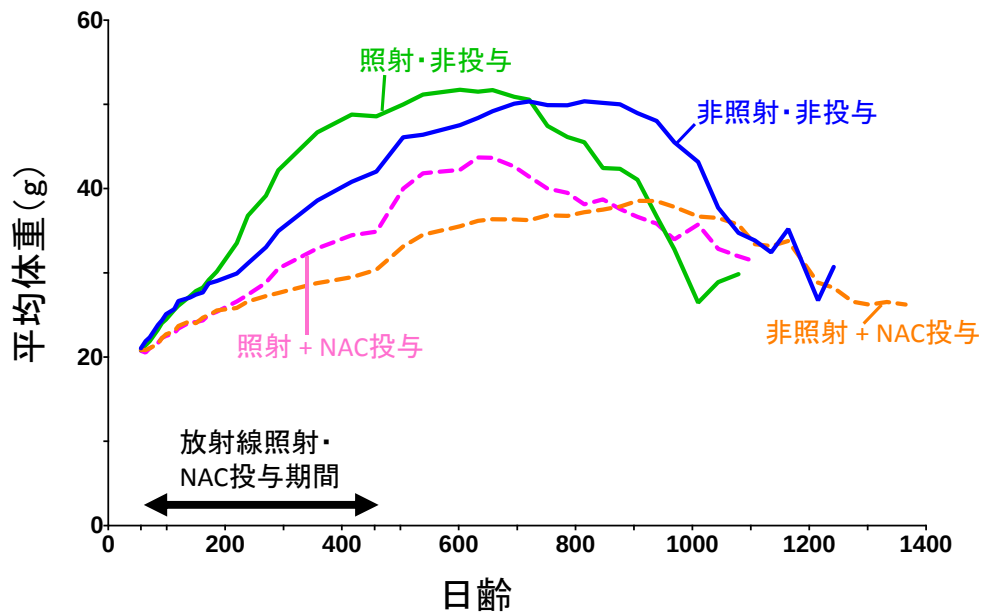
実験群	線量率 (mGy/日)	総線量 (mGy)	平均寿命 ± 標準誤差 (日)	
非照射 非投与	0	0	927 ± 23	] 有意差なし
非照射 NAC投与	0	0	959 ± 23	
放射線照射 非投与	20	8,000	751 ± 21	] 有意差あり☆
放射線照射 NAC投与	20	8,000	810 ± 20	

☆: 統計処理を行い、 $P < 0.05$ で有意差ありとした。

—要点—

1. 前頁の生存率曲線解析の結果を表にまとめたものである。
2. 統計処理を行ったところ、低線量率放射線長期間照射マウスでは、NAC（N-アセチルシステイン）投与により、平均寿命が59日延び、有意な差が認められた。
3. このことから、低線量率放射線長期間照射による寿命短縮は、NAC（N-アセチルシステイン）投与により軽減できることがわかった。

低線量率放射線長期照射マウス・NAC投与マウスの体重



—要点—

1. 実験期間中の体重の変動を表したグラフである。
2. 通常の水で飼育したマウスは、非照射（青）と照射（緑）共に加齢に伴う体重の顕著な増加が見られる。照射（緑）については、非照射（青）より早く体重が増加している。また、生後700日以降で体重の減少が見られるが、これはがん等の病気のためである。
3. NAC（N-アセチルシステイン）投与群では、非照射（オレンジ）と照射（赤紫）ともに体重の増加が抑制されている。この原因は不明であるが、体重増加が抑制されるような条件（摂取カロリー制限など）で、寿命が延長するという報告があり、今回見られた寿命延長には体重増加抑制効果が寄与している可能性がある。

まとめと今後の展開

- 低線量率放射線長期間照射による寿命短縮効果は、NAC投与により軽減できた。
- しかし、低線量率ガンマ線長期間照射による寿命短縮分をすべて打ち消すまでの効果は得られなかった。
- NACによる体重増加の抑制と寿命との関係は不明であるが、体重増加抑制効果をもつ処置(カロリー制限など)による放射線照射影響軽減化について今後探る必要がある。
- ヒトへの応用は今後の課題である。

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