

環境科学技術研究所

成果報告会

平成 24 年度

公益財団法人 環境科学技術研究所

目 次

1. 環境影響研究部の調査研究	
(1) 概要説明	1-7
(2) 流域に降ったセシウムの川からの流れ出し	8-23
(3) 野生動物の被ばく線量評価	24-36
2. 生物影響研究部の調査研究	
(1) 概要説明「低線量率放射線の長期照射による生物への影響」	37-47
(2) 被ばく線量と染色体異常	48-60
補足説明資料	61-63

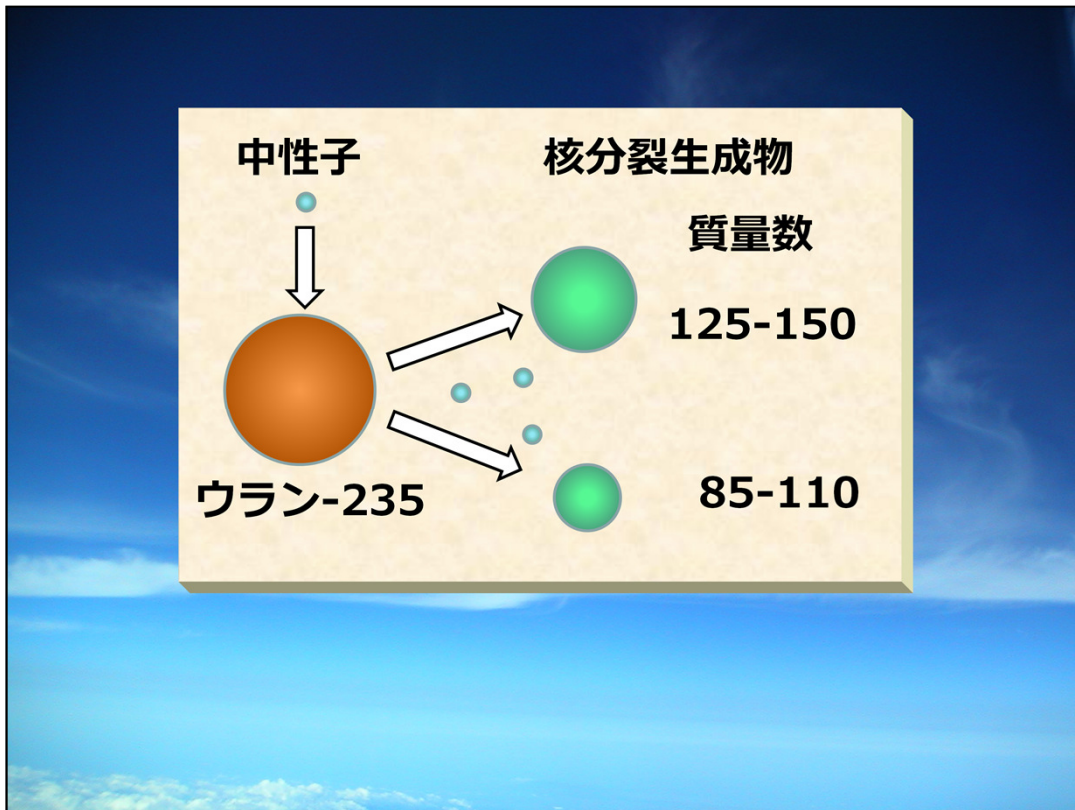
1. 流域に降ったセシウムの川からの流れ出し
2. 野生動物の被ばく線量評価

(公財)環境科学技術研究所
環境影響研究部長
久松 俊一

－ 要点 －

発表の概要

ここでは、予備知識を話します。



－ 要点 －

ウランの核分裂

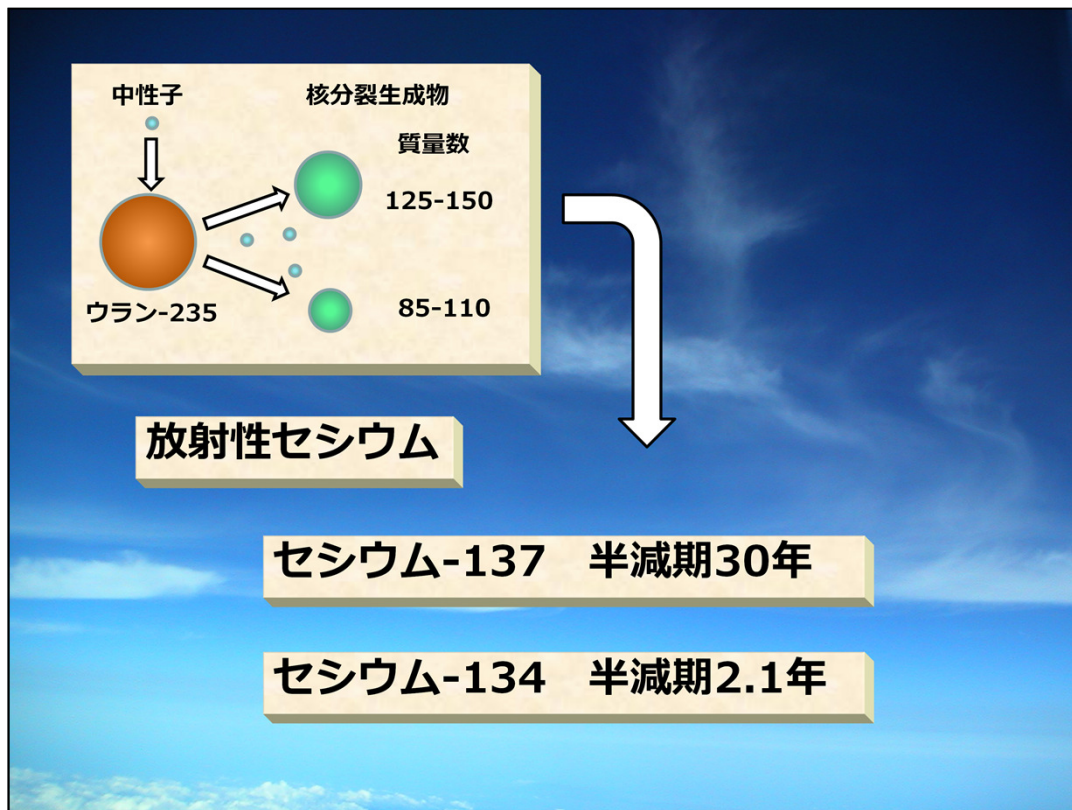
中性子を取り込んだウラン-235は核分裂を起こします。

分裂は等分に起きることは稀で、質量数125-150程度の大きな原子核と85-110程度の小さな原子核に分裂します。

〔用語解説〕

質量数とは: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します。同じウランにも質量数の異なる原子核があります。

ウラン-235、ウラン-238等。



— 要点 —

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-137です。

セシウム-134は核分裂で生成したセシウム-133が更に中性子を1つ吸収してできます。

[用語解説]

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

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 －

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があります。

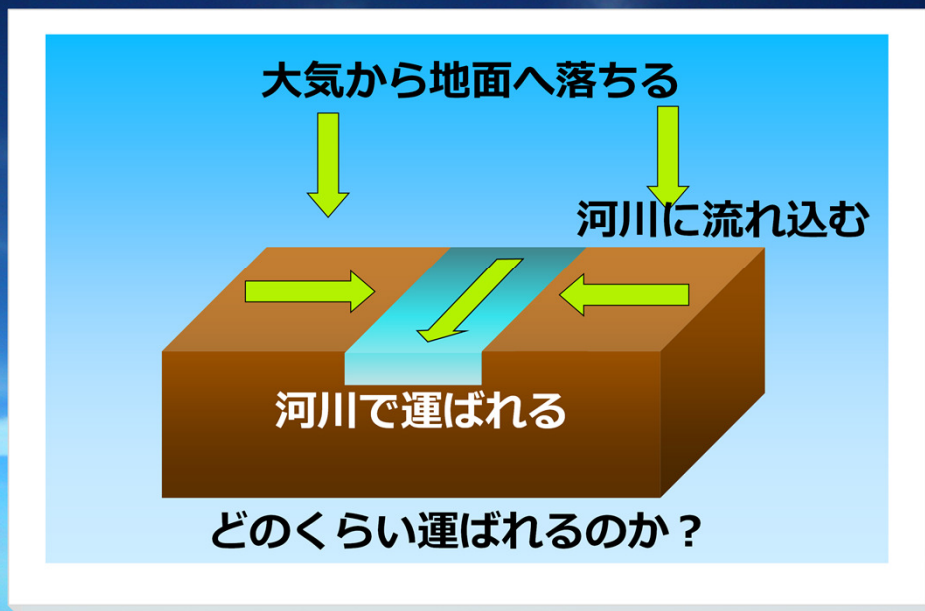
セシウムは温度が下がると粒子となるため、施設外には粒子として出てきます。

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します。

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。

原子力施設が健全なら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。

大気から地面に落ちた放射性セシウムの河川を通じての流れ出し。



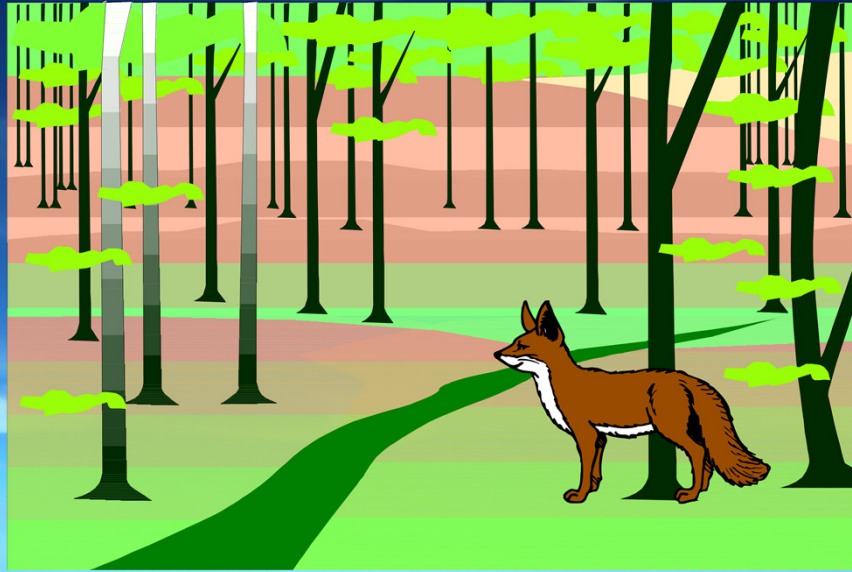
－ 要点 －

大気中に飛散した放射性セシウムは地面に落ち、土壌中に貯まります。

地表の放射性セシウムの一部は河川に流れ込み、運ばれます。

土壌中に貯まっている放射性セシウムの内どれくらいが下流へ運ばれるかを推定することは下流の汚染を考える上で重要になります。

福島県では森林が汚染しており、そこに棲む野生動物の被ばく線量が問題となっている。



— 要点 —

大気中に飛散した放射性セシウムは森林にも落ちており、そこに棲む野生動物も被ばくを受けています。

環境研では野生生物の線量評価の方法についての研究を行っており、その一端を紹介します。

生物の線量評価に必要なファントムとは？



— 要点 —

生物の線量を評価するには、ファントムという模型が必要です。

通常測られている空気中の線量はそのまま生物体内の線量になるわけではありません。

例えば、体内の中心部は周辺の組織によって遮蔽されますから、周辺の組織より低い線量になります。

また、体内に放射性物質があり、それによって被ばくする場合にも、体に線量を与えることなく、体外へ出て行ってしまう放射線もあります。

生物の線量を計算する場合には、生物のモデル(ファントム)を作り、実際に放射線を当てて、体内のそれぞれの場所がどれくらいの線量になるかを測定します。

現在では、これをコンピュータによる計算で行います。コンピュータの中に仮想モデル(数値モデル)を作り、これに仮想の放射線を当てて、どれくらいの線量になるかを計算します(モンテカルロシミュレーション)。

そのためには、できるだけ実際の形、成分に似ているファントムが必要になります。

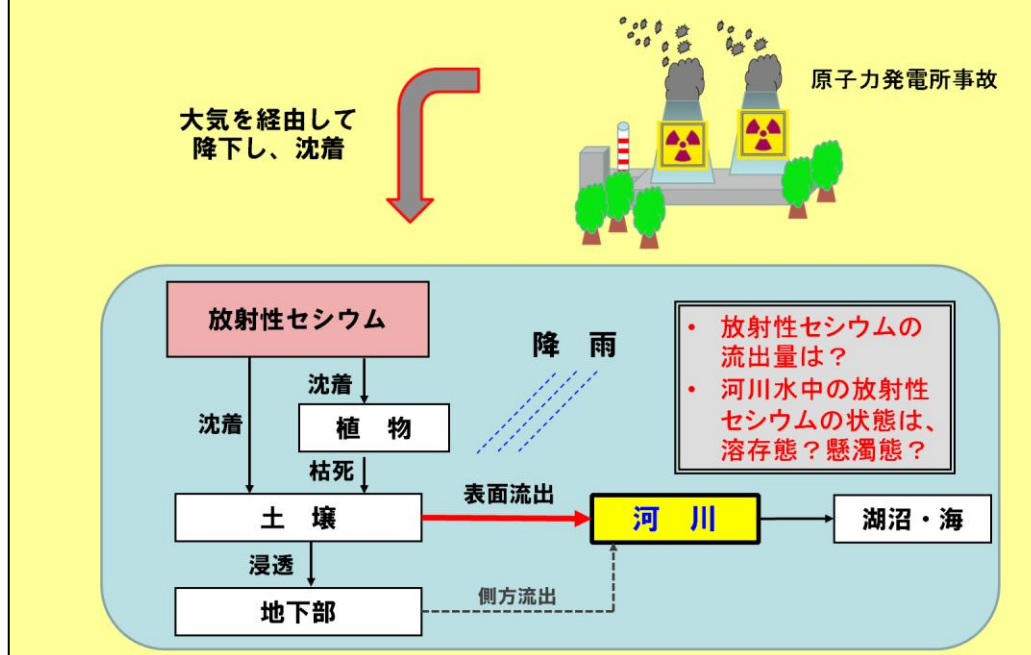
流域に降ったセシウムの川からの流れ出し

環境影響研究部
植田真司



調査の目的

流域に沈着した放射性セシウムが、どれくらい河川を通じて流れ出すのか？



— 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}Cs (半減期：2.07年) と ^{137}Cs (半減期：30.1年) です。これらは同位体であり、環境中での挙動は同じです。
2. 原子力発電所事故により大気中に放出された放射性セシウムの一部は広範囲にわたって土壌や森林植物などに沈着しました。沈着した放射性セシウムは土壌に強く吸着されているため、降水時に土壌粒子そのものが表面流出水とともに上流域から下流域へと移動し、最終的に下流部の湖沼や海洋に流入し、底に積もることが知られています。
3. 本報告会では、放射性セシウムに汚染された河川流域を対象に、流域から河川への放射性セシウム流出について紹介します。

[用語解説]

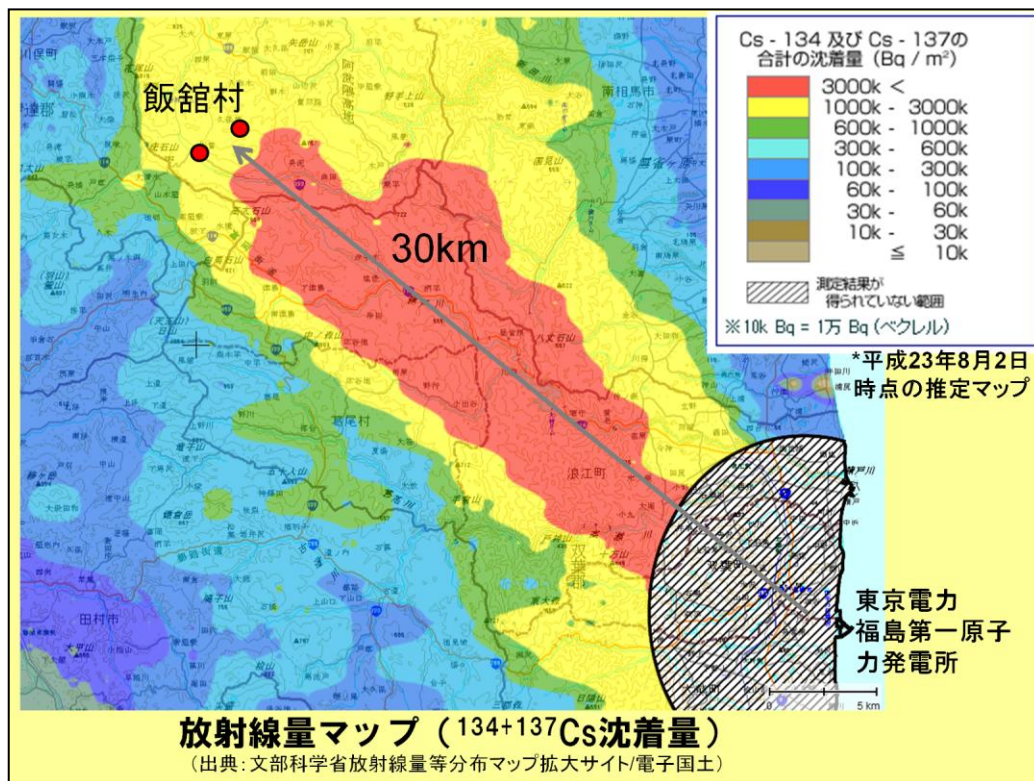
同位体：同じ原子番号を持つ元素で化学的な性質は同じであるが、重さ（質量数）が異なるものを言います。

表面流出：地面を泥や枯死植物などとともに流れます。

側方流出：地下水として流れます。

溶存態：水に溶けている状態を言います。

懸濁態：砂泥や枯死植物など水に溶けていない状態を言います。



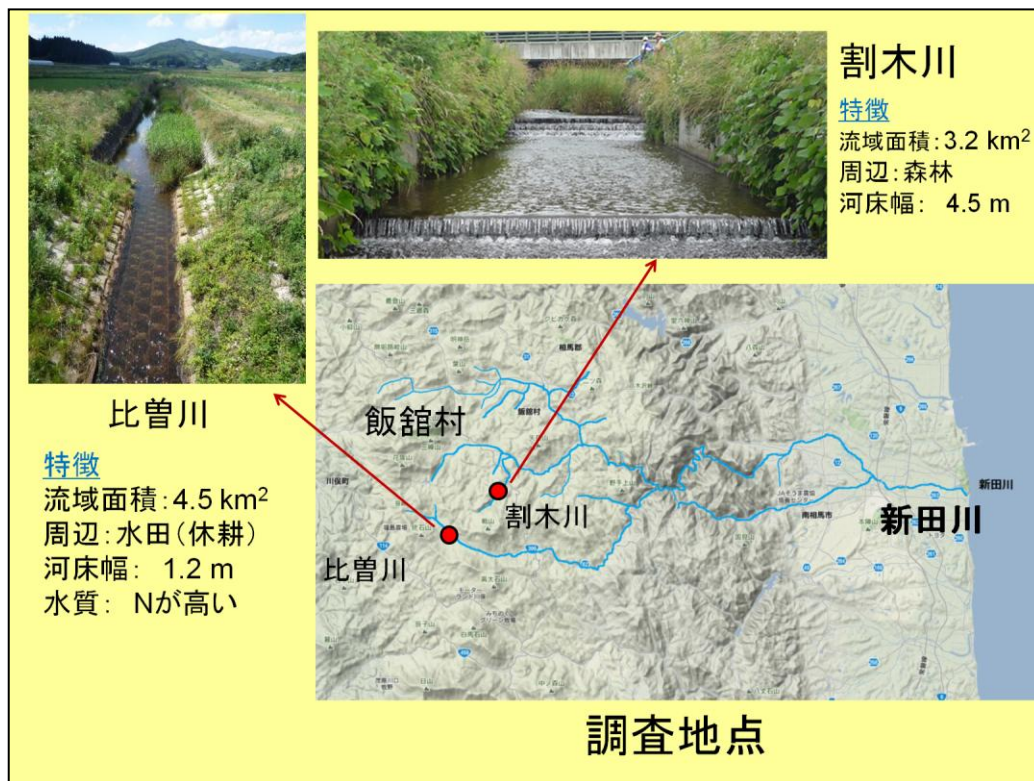
— 要点 —

1. 福島第一原子力発電所から30 km北西に位置する飯舘村の小河川を研究対象としました。
2. 文部科学省の報告（平成23年8月2日時点）によると、対象河川流域の放射性セシウムの沈着量は、約1000 kBq/m²～3000 kBq/m²でした。

[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回放射線を出すとき、1ベクレルと言います。

kBq：キロベクレル。1 kBq=1000 Bq。



— 要点 —

1. 飯舘村の比曽川及び割木川は、新田川水系の上流部にあたり、河川水は太平洋へ注ぎ込みます。
2. 調査地点から上流にかけての流域面積は、比曽川が約4.5 km²、そして割木川が約3.2 km²です。
3. 比曽川の上流は水田に囲まれており（観測時は休耕）、割木川の上流は山地型森林に囲まれた地形です。

現地調査



採水



流速計測



水位連続計測

放射性セシウム測定



イオン交換樹脂を充填したカラム

乾燥後の樹脂



Ge半導体検出器

— 要点 —

1. 現地にて、河川水を採取するとともに、懸濁態物質濃度、河川流速、水位及び水質を計測しました。また、観測期間中、水位データを連続して取りました。
2. 放射性セシウムの測定は、河川水の原水及びろ過水を、それぞれイオン交換樹脂を充填したカラムに通し、樹脂を乾燥後、専用の容器で密封し、Ge半導体検出器を用いて測定しました。懸濁態中の放射性セシウム濃度は、原水中の放射性セシウム濃度からろ過水中の放射性セシウム濃度を引いて算出しました。

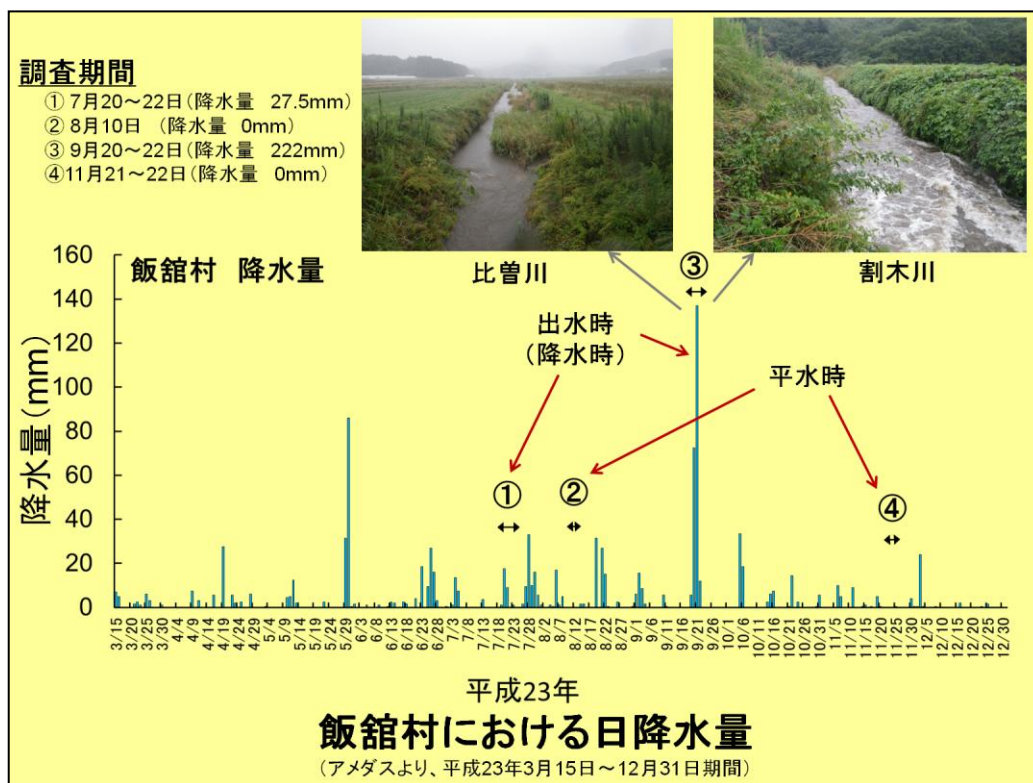
[用語解説]

ろ過水：孔径 $0.45\mu\text{m}$ のフィルターを用いて、通過させた試料水のことです。本研究では、これを溶存態（水に溶けている状態）としました。

懸濁態物質濃度：懸濁態物質濃度は、1リットルの原水試料を孔径 $0.45\mu\text{m}$ フィルターでろ過し、フィルター上に残った粒子態成分を重さ（mg）で示したものです。懸濁態物質には、砂、粘土鉱物などの無機物や植物の腐植物質などの有機物が含まれています。

河川流量：1秒間に流れる河川水の量（ m^3 ）を表したものです。河川流量は、川幅と水位より河川断面積を求め、それに流速を乗じて算出しました。

イオン交換樹脂：イオン交換作用を示す物質（イオン交換体）の一種。水に不溶性の合成樹脂で、陽イオン交換樹脂、陰イオン交換樹脂などがあり、試料水中でイオン状態にあるものを吸着します。

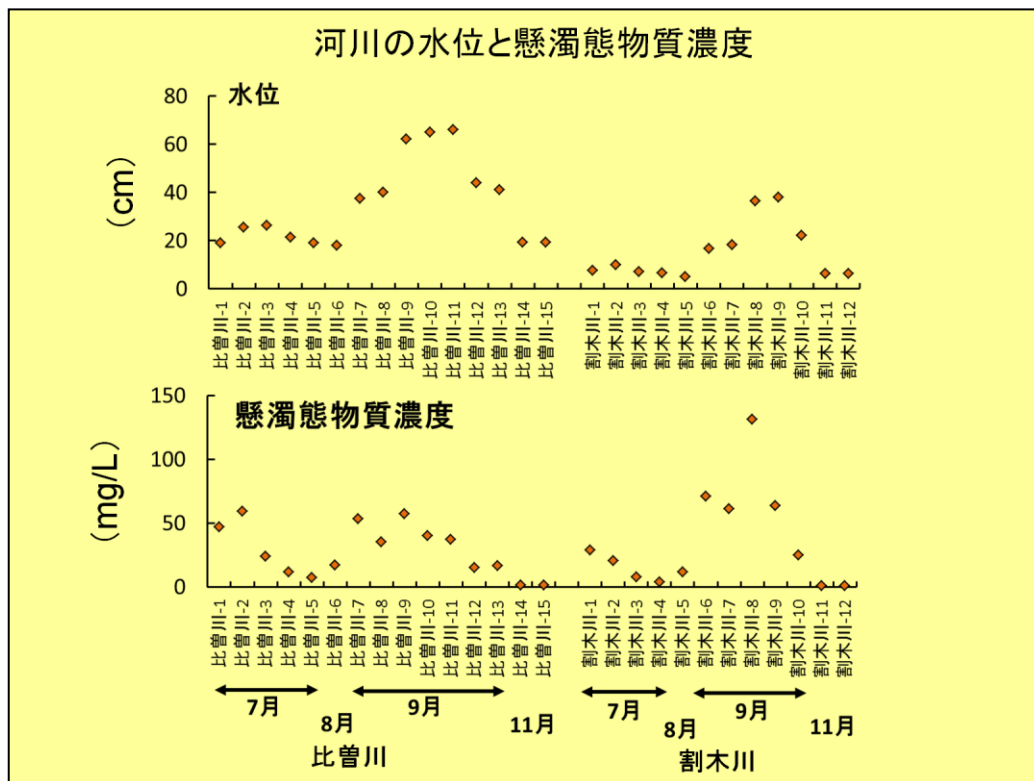


－ 要点 －

1. 図は、飯館村のアメダスより、平成23年3月15日～12月31日期間の日降水量を示したものです。
2. 調査は4回実施し、そのうち、7月20～22日（降水量 27.5mm）と9月20～22日（降水量 222mm）は、土壌流出が見られました（河川水が濁っていました）。特に、9月20～22日は、台風15号が大雨をもたらしました。

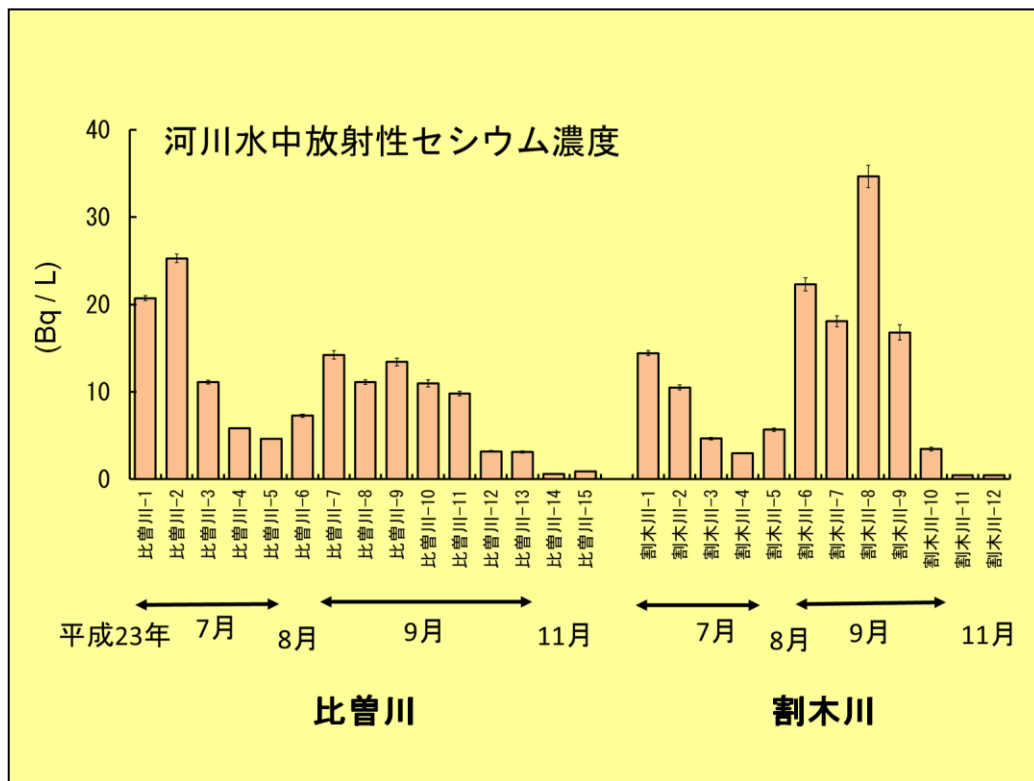
[用語解説]

アメダス（AMeDAS , Automated Meteorological Data Acquisition System）：日本国内約1,300か所の気象観測所で構成される、気象庁の無人観測施設である「地域気象観測システム」の通称です。



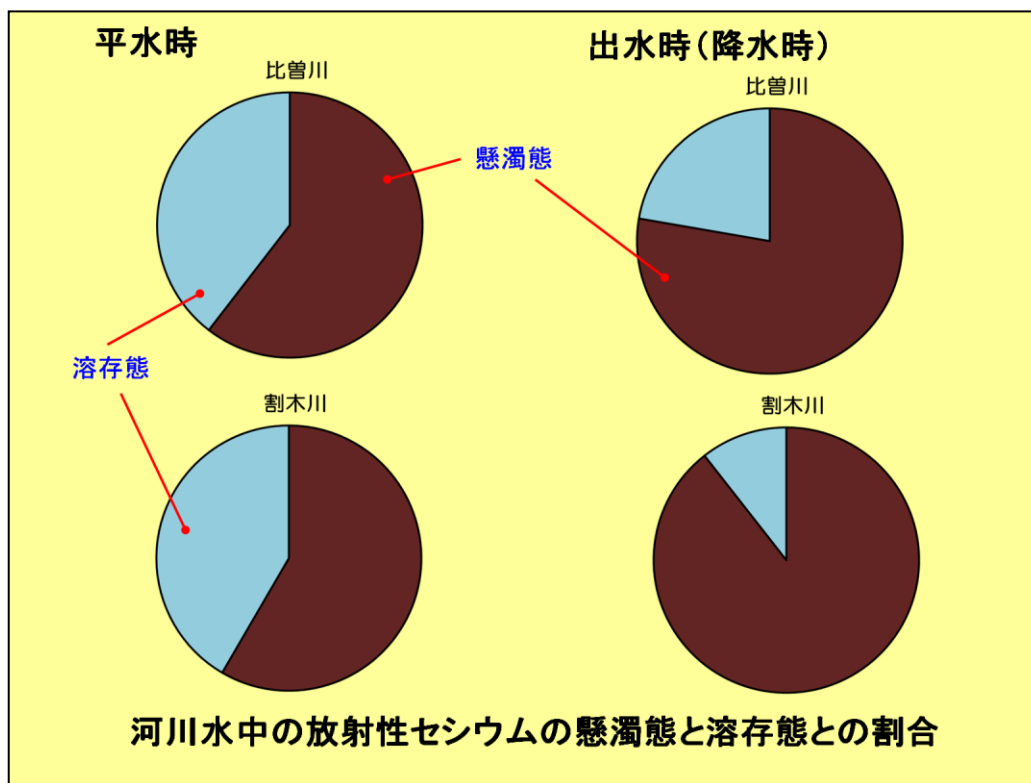
— 要点 —

1. 平成23年7月20～22日と9月20～22日の降水時に、水位及び懸濁態物質濃度が高くなっています。



－ 要点 －

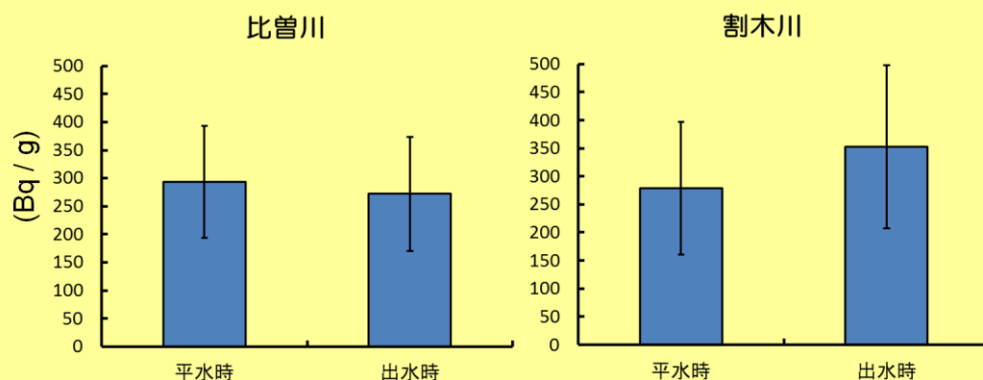
1. 河川水中の放射性セシウム ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$) 濃度は、最大で9月の割木川で $34.7 \pm 1.3\text{Bq/L}$ であり、最小値は11月の割木川で $0.5 \pm 0.01\text{Bq/L}$ でした。
2. 平水時に比べ、雨の降った7月及び9月に放射性セシウム濃度が高くなりました。



－ 要点 －

1. 円グラフの平水時は8月10日及び11月21～22日の測定結果の平均値、出水時（降水時）は7月20～22日及び9月20～22日の測定結果の平均値としてあらわしました。
2. 河川水中の放射性セシウム濃度の懸濁態と溶存態の割合を見ますと、平水時と降水時では異なっていました。
3. 平水時における放射性セシウム全濃度に占める懸濁態の割合は、両河川共に約6割でした。また、降水時の懸濁態の割合は、比曽川が約8割、割木川が約9割と高くなりました。

懸濁態粒子1gあたりの放射性セシウム濃度



懸濁態粒子1gあたりの放射性セシウム濃度

*すべての期間の平均を示す

比曽川: 平均280±69 Bq g⁻¹

(100 ~ 400 Bq g⁻¹)

割木川: 平均330±98 Bq g⁻¹

(100 ~ 600 Bq g⁻¹)

■参考データ

近隣河川の浮遊砂の放射性セシウム濃度
(文部科学省報告)

口太川: 40~100 Bq g⁻¹

阿武隈川: 4~100 Bq g⁻¹

— 要点 —

1. 河川水中の懸濁態粒子1 gあたりの放射性セシウム濃度は、平水時と出水時で大きな違いが認められなかったことから、懸濁態粒子単位重量当たりの放射性セシウム濃度は平水時と出水時ともに同じ濃度のものが流出していると考えられます。
2. 懸濁態粒子中の平均放射性セシウム濃度は、比曽川で280 Bq/g、割木川で330 Bq/gでした。近隣河川で報告されている阿武隈川では4~100 Bq/gと報告されており、今回の懸濁態粒子中の放射性セシウム濃度はそれらを上回りました。
3. 河川水中の溶存態の放射性セシウム濃度は、比曽川で0.4~2.8Bq/L、割木川で0.2~1.3Bq/Lを示しました。

流域からどのくらい放射性セシウムが
流出したか推定します

- 基本的な考え方 -

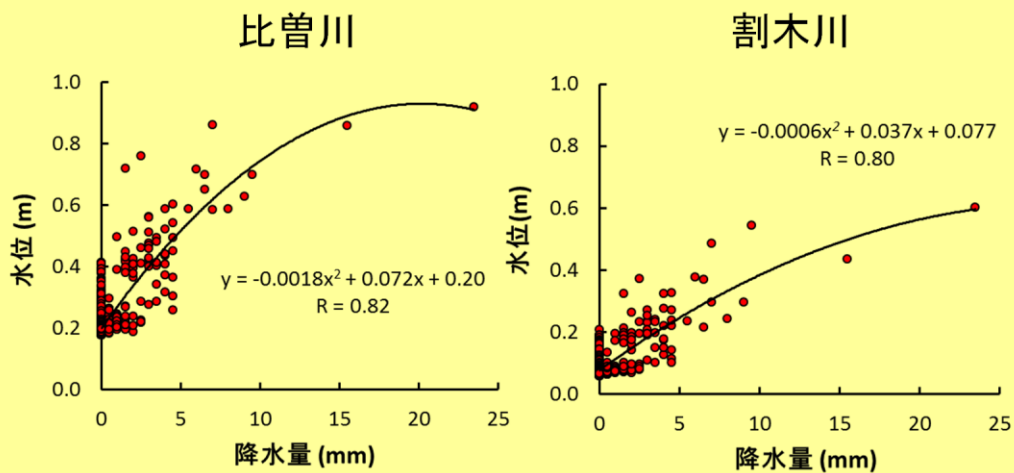
河川からの放射性セシウム流出量は、河川水中の
放射性セシウム濃度に河川流量を掛けることによって
求められます。



実測値から、以下の関係式を求めました

- ①降水量と水位
- ②水位と河川流量
- ③河川流量と放射性セシウム流出量

関係式①



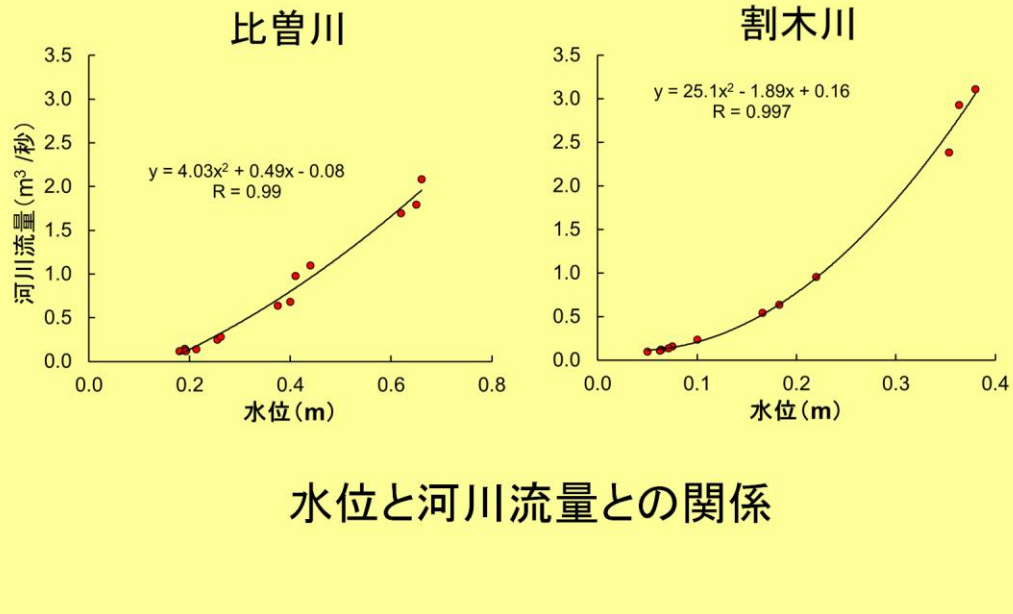
降水量と水位との関係

*水位は、9月20日～11月22日の一時間間隔の連続観測結果を用いた
降水量は、気象庁で観測している飯館村の一時間間隔の結果を使用

－ 要点 －

1. 比曽川及び割木川の水位は飯館村における降水量との間に有意な相関関係があり、降水量の情報があれば、水位を見積もることが可能となります。

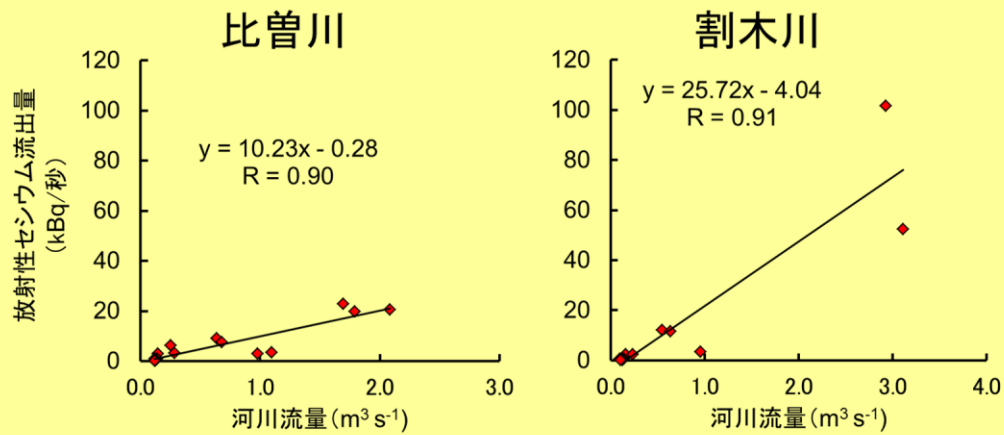
関係式②



— 要点 —

1. 比曽川及び割木川の水位と河川流量との間にも密接な関係があり、河川の水位の情報があれば、河川流量を見積もることが可能となります。

関係式③



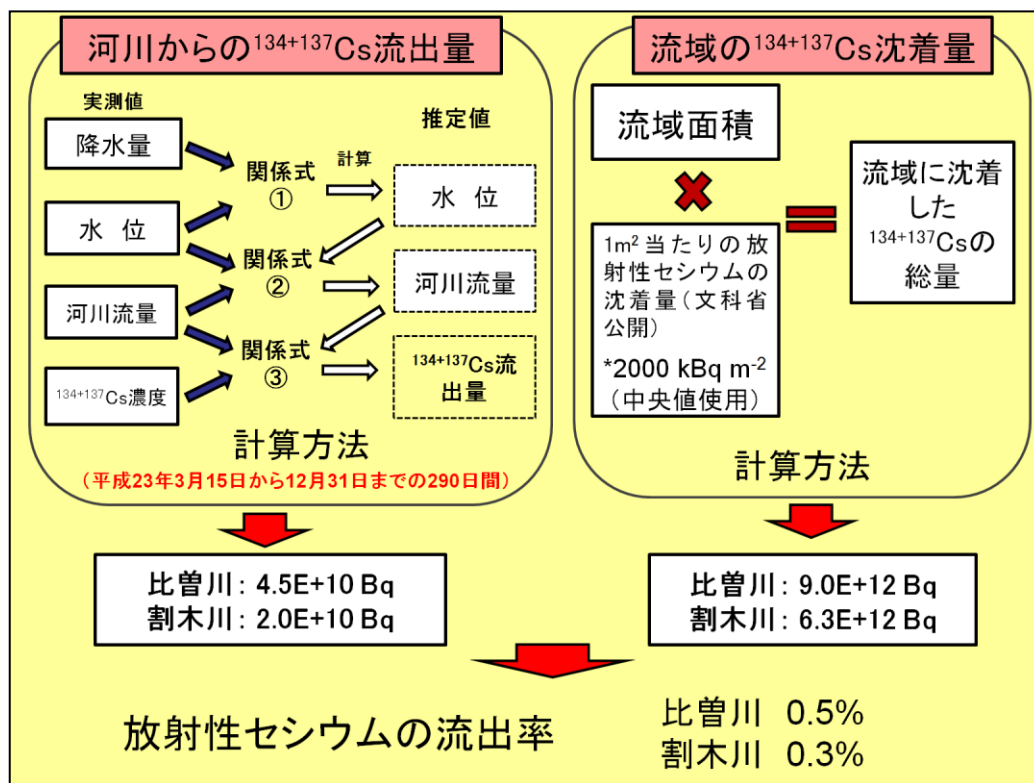
河川からの放射性セシウム流出量と河川流量との関係

－ 要点 －

1. 比曽川及び割木川からの放射性セシウム流出量とそれぞれの河川流量との間には、正の相関関係が認められました。これにより、河川流量がわかれば、放射性セシウム流出量を見積もることが可能となります。

[用語解説]

放射性セシウム流出量：それぞれの河川から1秒間に流出する放射性セシウムの量を示したものです。



— 要点 —

- 平成23年3月15日から12月31日（290日間）を対象に、飯舘村におけるアメダスの結果と関係式①を用いて河川の水位を求め、次に河川水位の結果と関係式②を用いて河川流量を求めます。最後に、河川流量の結果と関係式③を用いて放射性セシウム流出量を算出し、期間中の流出量を積算しました。これにより、比曾川及び割木川の放射性セシウム流出量は、それぞれ 4.5×10^{10} 及び 2.0×10^{10} Bqと推定しました。

- 調査地点より上流に沈着した放射性セシウムの量は、以下の式で求めました。

$$(\text{流域面積}) \times (1\text{m}^2\text{当たりの放射性セシウムの沈着量})$$

沈着量は、文科省（2011）の報告データを引用し、その中央値2000 kBq/m²を用いました。これにより、比曾川及び割木川流域に沈着した放射性セシウムは、それぞれ 9.0×10^{12} 及び 6.3×10^{12} Bqと推定しました。

- 流域全体の放射性セシウム沈着量に占める河川流出した放射性セシウムの量の割合（流出率）を求めたところ、比曾川で0.5%、割木川で0.3%となりました。このことから、一度流域に沈着した放射性セシウムは、流出しにくいことが考えられます。

[用語解説]

放射性セシウム流出率：流域全体の放射性セシウム沈着量に占める河川から流出した放射性セシウム量の割合を言います。

まとめ

- 福島県飯舘村の小河川水中の放射性セシウム濃度は、出水時に高く、そのうちの約9割が懸濁態粒子でした。一方、平水時の河川水中の放射性セシウム濃度は両河川共に低く、懸濁態の割合も6割程度でした。
- 河川流量と放射性セシウム流出量との間に関係式が得られました。
- 平成23年3月15日から12月31日までの河川からの放射性セシウム流出率を推定した結果、比叢川で0.5%、割木川で0.3%となりました。
- 放射性セシウムによって汚染されている流域では河川を通して放射性セシウムが流出していますが、大部分は流域に沈着した状態で留まっていると推定されました。

野生動物の被ばく線量評価

環境影響研究部
大塚 良仁

福島県での事例

福島県で体内の放射性物質濃度が高い野生動物が見つかる

- 野生動物は避難できない→高線量の地域に長時間留まる
- 食餌の選択はしない→放射性物質が高濃度のエサを食べる

被ばく線量率が計算できる手法が必要

環境研では小型と中型のほ乳動物の被ばく線量評価法を開発

- 調査手法の紹介
- 六ヶ所村の森林環境における自然被ばく線量率の計算結果
- 福島県での事例を元にした被ばく線量率の試算

被ばくの種類と調査の方法

被ばくの種類	測定対象	方法
内部被ばく →	対象となる動物の 部位別試料 →	捕獲・解剖 化学分析
外部被ばく →	生息環境（地表や巣穴） の土壌試料や環境ガンマ線 線量率 →	土壌分析 線量測定

3

－ 要点 －

内部被ばくは、体内の放射性物質により被ばくすることです。内部被ばく線量率を精密に調べるためには、動物の体内放射性物質の濃度を部位毎に測定します。

外部被ばくは、土壌中の放射性物質から放出される放射線や宇宙線など、体外にある放射線源により被ばくすることです。

外部被ばく線量率を調べるためには、生息環境の土壌中放射性物質の濃度を調べたり、環境ガンマ線線量率(ガンマ線による空気中の線量率)を測定します。

捕獲したほ乳動物

小型ほ乳動物(平成18-20年度)

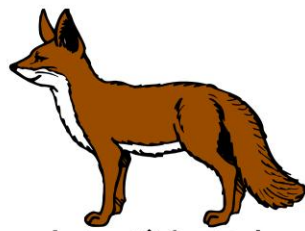


ヒメネズミ



ヒミズ

中型ほ乳動物(平成21-22年度)



ホンドキツネ



ホンドタヌキ

4

－ 要点 －

ここに挙げた動物は、青森県からの捕獲許可を得た上で、罠を使って捕獲した小型ほ乳動物と中型ほ乳動物です。

小型ほ乳動物は、齧歯類のヒメネズミが最も多く捕獲されました。その次に、モグラの仲間であるヒミズも比較的多く捕獲されました。

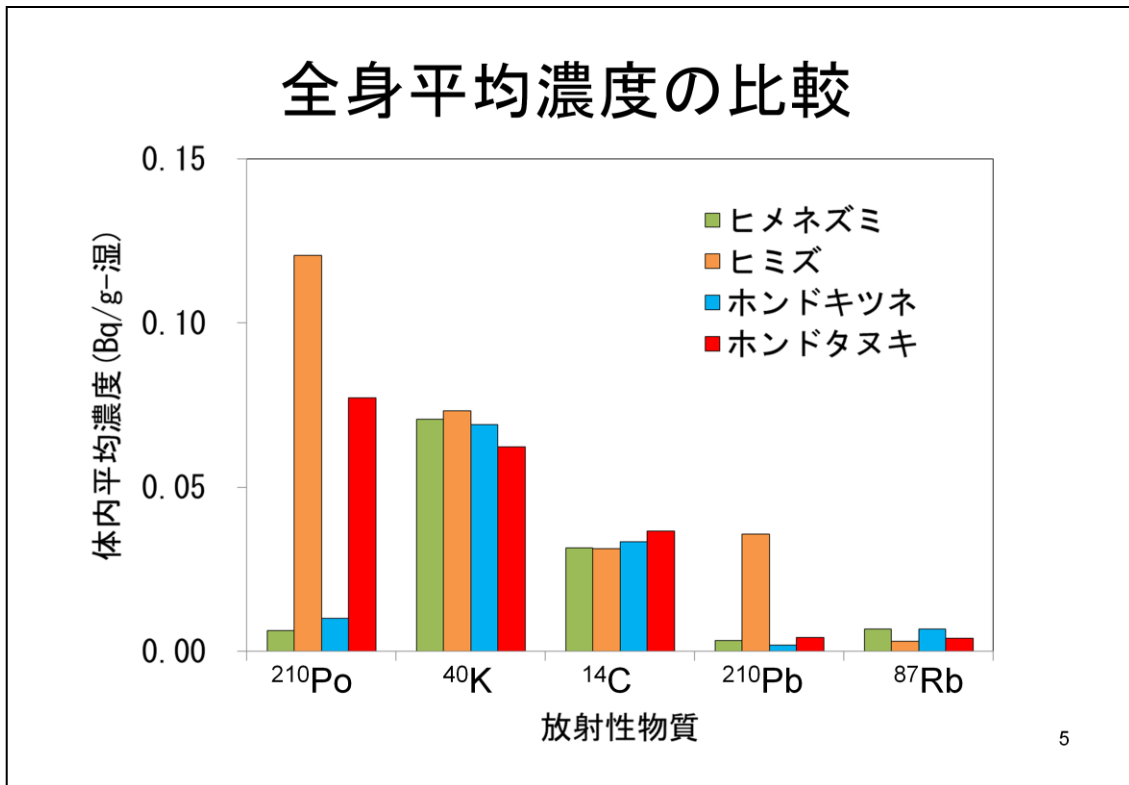
中型ほ乳動物は、ホンドキツネとホンドタヌキを捕獲することが出来ました。

捕獲した動物は解剖して部位別の試料を得た後、化学分析をして、体内の放射性物質を分析します。

〔野生動物の捕獲等について〕

動物の捕獲にあたっては、罠を仕掛ける土地の所有者に許可を受けると共に、上北地域県民局地域農林水産部に鳥獣捕獲等(鳥類卵採取等)許可申請を行い、その許可のもとに野生動物の捕獲を行いました。

また、生け捕りにした動物は、日本哺乳類学会の「哺乳類取扱のガイドライン」が推奨する方法で安楽死させた後、解剖しました。



－ 要点 －

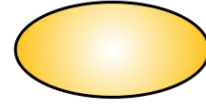
この図は、測定した11種類の放射性物質のうち、濃度の高かった5種類の体内平均濃度を示しています。

1. 体内で最も高濃度の放射性物質は、ヒミズとホンドタヌキの場合は ^{210}Po (ポロニウム-210)、ヒメネズミとホンドキツネの場合は、 ^{40}K (カリウム-40)でした。
2. ^{40}K や ^{14}C (炭素-14)等は、動物間での濃度差はほとんどありませんでした。
3. ここには示していませんが、同じ動物の体内でも部位により放射性物質濃度が異なります。そのため、部位毎に分けて放射性物質等を分析しています。

コンピュータによる野生動物の被ばく線量率計算

これまでの計算・・・

動物の体型を簡略化（円柱状など）
放射性物質等の体内分布を均一
（大型動物については生殖腺のみ考慮）



本研究での計算・・・

動物の形状は、内部構造を含めてより忠実に再現
放射性物質等の体内分布は実データを使用

➡ 実際の線量率により近い値が得られる。

6

－ 要点 －

動物の被ばく線量を評価するために、ファントムというコンピュータモデルを用いて、体内や体外の放射性物質から放出される放射線による動物の線量を計算しました。

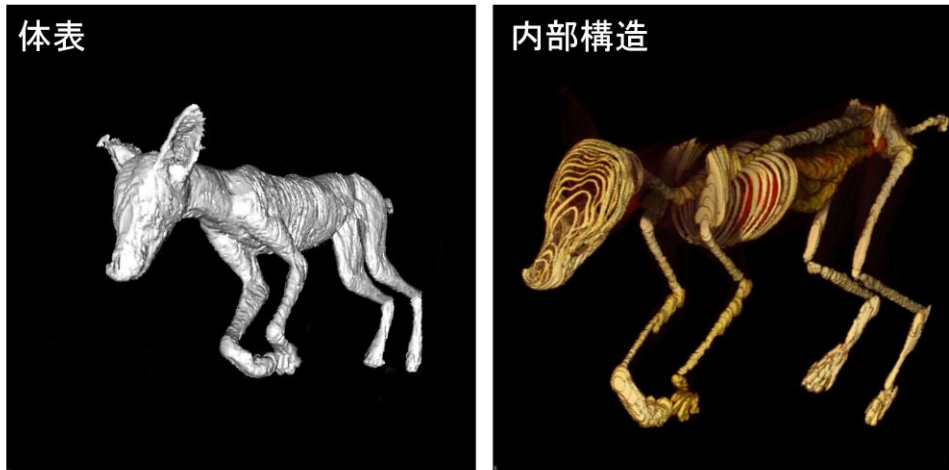
これまでに、生物の被ばく線量をコンピュータで計算した例はありましたが、体型を簡略化したり、体内の放射性物質が均質であるなどの仮定を置いている事例がほとんどです。

近年では、電子計算機の能力が上がったため、このような仮定を置かずに計算することが可能となっています。

この調査では、動物の体型だけではなく、臓器や骨の形状(内部構造)も考慮したファントムを作成しました。もちろん、動物体内の放射性物質濃度や元素濃度は実際に測定した値を使用しました。

これにより、実際により近い被ばく線量率を計算することが出来ます。

動物のコンピュータモデルの例 (キツネファントム)



7

－ 要点 －

この調査では、被ばく線量率を計算するために、ヒメネズミファントム、ヒミズファントム、キツネファントムの3種類を作成しました。

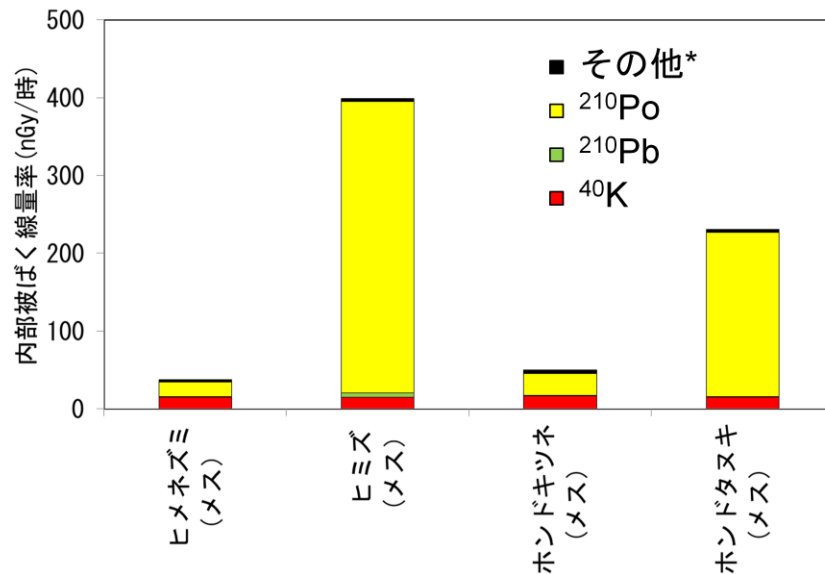
そのうち、キツネファントムを可視化したものを紹介します。

キツネファントムは、捕獲したホンドキツネの体型や臓器などの形状をMRIで撮影し、その画像を元にファントムを作りました。

小型ほ乳動物のヒメネズミとヒミズのファントムは、海外で作成されていたマウスのコンピュータモデルを、捕獲した動物の大きさや体重に合わせて、計算に使用しました。

実際には、コンピュータに動物の形状や放射性物質濃度など、計算に必要なデータを入力した上で、体内から放射線を仮想的に放出させて、内部被ばく線量率を計算します。

内部被ばく線量率の計算結果



その他は、 ^{14}C 、 ^{87}Rb 、 $^{226,228}\text{Ra}$ 、 $^{228,232}\text{Th}$ 、 $^{234,238}\text{U}$ 及び ^{137}Cs に由来する内部被ばく線量率の合計を示す。

8

－ 要点 －

この図は、ファントムを用いて計算した各動物の内部被ばく線量率を、放射性物質別に示したグラフです。

全部で11核種の放射性物質について計算しましたが、寄与の大きい ^{210}Po 、 ^{210}Pb と ^{40}K の3つについてのみ別々に示し、残りの放射性物質についてはその合計値で示しています。

内部被ばく線量率を計算した結果、寄与の大きなこれらの3核種で内部被ばく線量率全体の90～99%を占めていました。

中でも ^{210}Po による内部被ばく線量率の寄与が大きいことが分かります。これは、 ^{210}Po の体内濃度が他の放射性物質に比べて高いことに加えて、 ^{210}Po が放出する放射線(α線)のエネルギーが比較的高く、そのα線のエネルギー全てが体内で吸収されるためです。

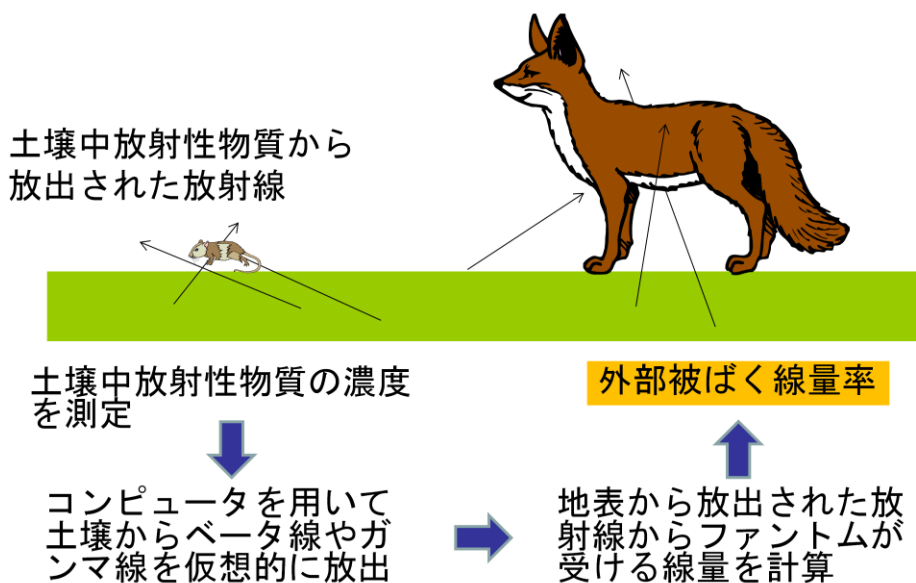
-用語解説-

Gy(グレイ) : 物質が放射線から受ける単位質量当たりのエネルギーの量。1 Gyの放射線量は、1kgの水を0.00024°C上昇させるエネルギーに相当します。

nGy(ナノ グレイ) : グレイの10億分の一を示します。

nGy/時 : 一時間当たりの放射線量

地上での外部被ばく線量率の計算



－ 要点 －

外部被ばく線量率の計算にも、ファントムを使用します。

外部被ばくの計算の場合には、ファントムのデータに加えて、土壌中の放射性物質濃度などのデータをコンピュータに入力した上で、仮想的に土壌から放射線を放出させて計算します。

動物が地上にいるときには土壌表面からでてくる放射線を、巣穴にいるときには巣穴の内壁から出てくる放射線による線量を計算します。

外部被ばく線量率の計算結果

動物	場所	1日の滞在時間 (時間)	土壌からの外部被ばく線量率 (nGy/時)	宇宙線電離成分による線量率 (nGy/時)	外部被ばく線量率の合計 (nGy/時)	
小型ほ乳動物	ヒメネズミ	地上 5 cm	12	21	29	49 51*
		地下 5 cm	12	24	29	
	ヒミズ	地上 5 cm	4	20	29	48 51*
		地下 5 cm	20	23	29	
中型ほ乳動物	キツネ タヌキ	地上 50 cm	12	11	29	40 34*
		巣穴	12	29	-	

*は、それぞれの生活場所の線量率と滞在時間を考慮した線量率です。

-は、巣穴上の土壌により宇宙線電離成分は遮蔽されるとした。

10

－ 要点 －

この表は、それぞれの動物が地上及び巣穴にいる場合のそれぞれについて計算した外部被ばく線量率の計算結果です。

- それぞれの動物が、地上や巣穴に滞在する時間は、適当な文献値が見つからなかったため、上記のような滞在時間を仮定しました。
- 土壌からの外部被ばく線量率は、どの動物も地上よりも巣穴にいるときの方が大きくなっています。これは、地上では放射線源が下方ですが、巣穴では全方向にあるためです。
- 地上での中型ほ乳動物の土壌からの外部被ばく線量率は、小型ほ乳動物よりも小さくなっています。これは、体の大きな動物では放射線が体で遮蔽されるためです。
- ヒトと同様に、動物も土壌からだけでなく、宇宙線による外部被ばくもあります。別の方法で求めた値を「宇宙線電離成分」として示しています。
- 土壌からの被ばくと宇宙線による被ばくの合計を、外部被ばく線量率の合計として示しました。一番右の列は、それぞれの動物の地上と巣穴に滞在する時間を考慮した線量率です。

まとめ

被ばくの種類	被ばく線量率($\mu\text{Gy}/\text{時}$)			
	小型ほ乳動物		中型ほ乳動物	
	ヒメネズミ	ヒミズ	ホンド キツネ	ホンド タヌキ
内部被ばく	0.037	0.40	0.050	0.23
外部被ばく	0.051	0.051	0.034	

11

－ 要点 －

被ばく線量率の計算結果を、被ばくの種類毎にまとめました。

1. この結果は、六ヶ所村森林内で捕獲した動物と、六ヶ所村森林土壌などの放射性物質濃度の実測値を用いて計算していますが、それぞれの動物が地上や巣穴に滞在する時間など多くの仮定を含んでいます。
2. 内部被ばく線量率は、動物によって大きく異なり、その原因は体内の ^{210}Po 濃度によります。
3. 外部被ばく線量率は、同じような環境に生息している場合でも、地上や巣穴に滞在する時間や体の大きさによって異なります。

福島的事例を元にした試算結果

被ばくの種類	被ばく線量率($\mu\text{Gy}/\text{時}$)		
	六ヶ所村で捕獲		福島県内で捕獲
	ヒメネズミ	ヒミズ	アカネズミ
内部被ばく	0.037	0.40	0.34 ¹⁾
外部被ばく	0.051	0.051	3.11 ²⁾

1)東京電力福島第一原子力発電所から約30kmの山林で平成23年10月と12月に捕獲した野生のネズミ12匹の体内放射性セシウムの平均濃度:3.1 Bq/g

2)捕獲地点での空気中放射線量：3.11 $\mu\text{Sv}/\text{時}$

1及び2のデータは、独立行政法人森林総合研究所の報告値。

12

－ 要点 －

森林総合研究所の報告によると、東京電力福島第一原子力発電所から約30 kmの山林で捕獲したアカネズミ12匹の体内放射性セシウムの平均濃度は**3.1 Bq/g**でした。

1. 体内の放射性セシウムが全て¹³⁷Csである。
2. 放射性セシウム以外の放射性物質の体内濃度は六ヶ所村で捕獲したヒメネズミと同じである。
3. アカネズミの体型はヒメネズミと同型である。

と仮定すると、内部被ばく線量率は1時間当たり**0.34 μGy** と計算されました。

このネズミを捕獲した地域の空気中の線量率は1時間当たり**3.11 μSv** (マイクロシーベルト)でした。報告値は**Sv**単位でしたが、表中では**1 Sv=1 Gy**と仮定しています。

-用語解説-

シーベルト (Sv) :放射線によるヒト(人体)の影響を表す単位。ヒトは、放射線の種類や体内の臓器や組織により、放射線に対する感受性が異なるため、その違いを考慮して放射線による影響を評価する必要があります。

今後の計画

ほ乳動物以外の生物の線量評価手法を開発していく予定であり、現在、水生生物を対象とした被ばく線量の評価法を開発中です。

謝辞

本研究は、青森県からの委託事業により得られた成果の一部である。

13

－ 要点 －

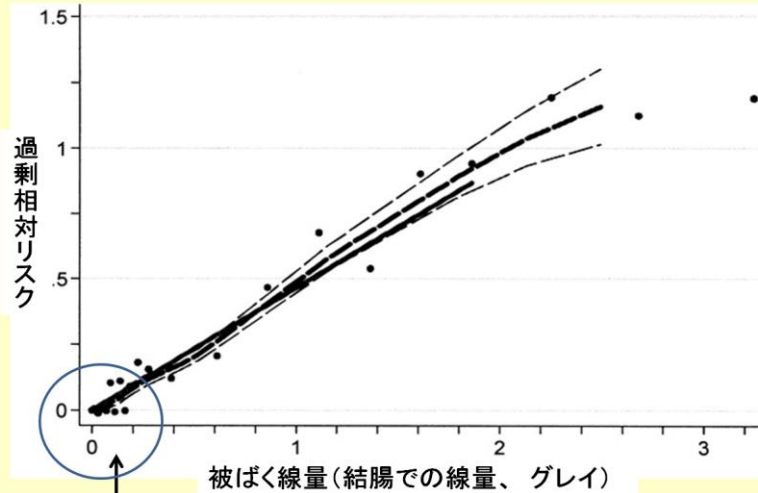
1. 森林環境に生息する小型及び中型ほ乳動物の被ばく線量率を評価する方法を開発し、六ヶ所村森林環境に生息するこれらの動物の自然被ばく線量率が評価出来るようになりました。
2. 【今後について】ほ乳動物以外の生物の線量評価手法を開発していく予定であり、現在、水生生物の被ばく線量評価法を開発中です。

低線量率放射線の長期照射による 生物への影響

—マウスを使った実験研究—

生物影響研究部
田中 公夫

高線量率放射線による影響 —原爆被爆者における固形がんのリスク—



100 ミリシーベルト (mSv)

(Preston D.L.等, 2007年)

100 mSv以下の低線量被ばくでは、がんによる死亡率が増えるかわかっていない。

— 要点 —

1. 原爆被爆者は一度に大量の高線量率の放射線を浴びた。
2. 原爆被爆者集団では被ばくをしていない集団と比べて、白血病の他に、乳がん、肺がん、大腸がん、胃がん等の固形がんによる死亡が増加した。
3. 血液のがんを除いたがん（固形がん）による生涯での死亡率は、被ばく線量が増えるにつれてほぼ直線的に増加した。
4. しかし、100 ミリシーベルト以下の低線量域では、生涯での固形がんの死亡率が、被ばくをしていない集団と比べて有意に増加しているかは確認されていない。

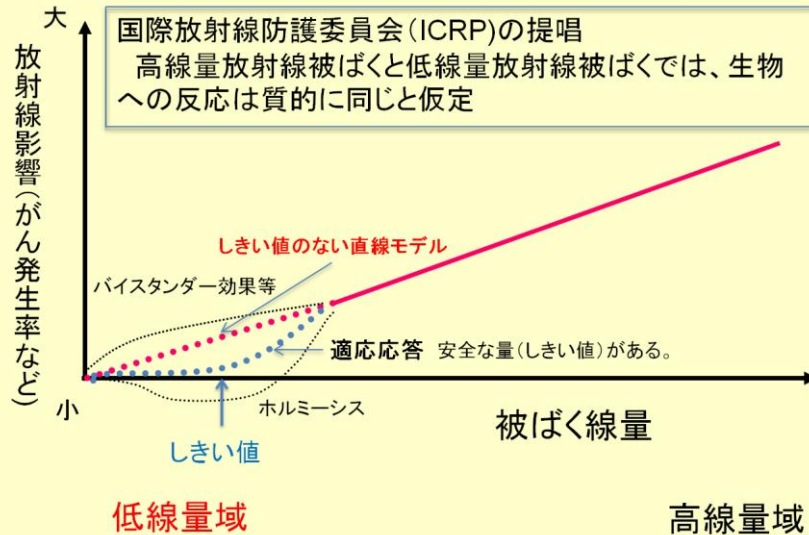
グラフ中の太い破線は平均化した推定値、細い破線は標準誤差、横軸は被ばく線量である。被ばく線量は、大半がガンマ線によるものであるが、中性子寄与分等が加味されている。また被ばく線量として結腸での線量をグレイで表しているが、シーベルトとみなしてよい。

[用語解説]

固形がん：白血病や悪性リンパ腫等の造血系腫瘍を除いた腫瘍

過剰相対リスク：被ばく者集団を一生にわたり観察した時のがんによる死亡率が、非被ばく集団と比べてどれだけ過剰であるかを表わしている。被ばく者集団のがん死亡率をA、非被ばく者集団でのがん死亡率をBとすると、相対リスクは $A \div B$ となり、この相対リスクから1を引いた値 $[(A \div B) - 1]$ が過剰相対リスクとなる。この図では1 グレイ (Gy) の被ばくで50%過剰に固形がんでの死亡が増加している。現在日本人は約30%ががんで死亡するので、1 グレイを被ばくすると $(30\% + 30\% \times 0.5 =)$ 約45%までがん死亡率が増加する。

低線量放射線の影響の推定 —しきい値のない直線モデル—



低線量域での影響はよくわからない。今後、低線量域での影響を調べる実験が必要。

— 要点 —

1. 低線量域での影響を推定するため、高線量放射線被ばくと低線量放射線被ばくでは、それぞれ生物の反応は質的に同じであるという仮定に基づき、高線量域での影響量から、低線量域に直線的に外挿した線量-影響関係（赤色点線の直線）を用いている。これは「しきい値のない直線（LNT：Linear-no-threshold）モデル」と呼ばれている。
2. 国際放射線防護委員会（ICRP）はこの「LNTモデル」を使用して放射線防護に関する規制値を勧告している。
しかし、動物や細胞に低線量放射線を照射した実験等では、青色点線の曲線の様にLNTモデルに必ずしも一致しない知見も得られている。
3. 低線量放射線照射による生物影響はまだよくわかっていない。より良い放射線防護体系を作るためには今後、その仕組みを明らかにしてゆく必要がある。

[用語解説]

低線量：身体等が受ける放射線の総量を線量と言う。環境研では国連科学委員会の2010年報告に従い、200ミリグレイ(mGy)未満を低線量と定義して用いている。100 mGy未満とする機関もある。

低線量率：単位時間あたりに身体等が受ける放射線の量を線量率と言う。環境研では国連科学委員会の2010年報告に従い、0.1ミリグレイ(mGy)/分(132 mGy/22時間/日) 未満を低線量率と定義して用いている。

しきい値のない直線モデルに関する議論は63頁の補足説明資料に掲載した。

低線量率放射線の影響に関する調査・研究

—低線量率放射線長期被ばく者集団の健康影響調査—

- 放射線作業従事者：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
- 旧ソ連マヤック核施設の近隣住民
- 台湾 放射性物質汚染建材で建てられたアパートの住民 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、放射線の影響によりがんなどが生じたのかどうか分からない。

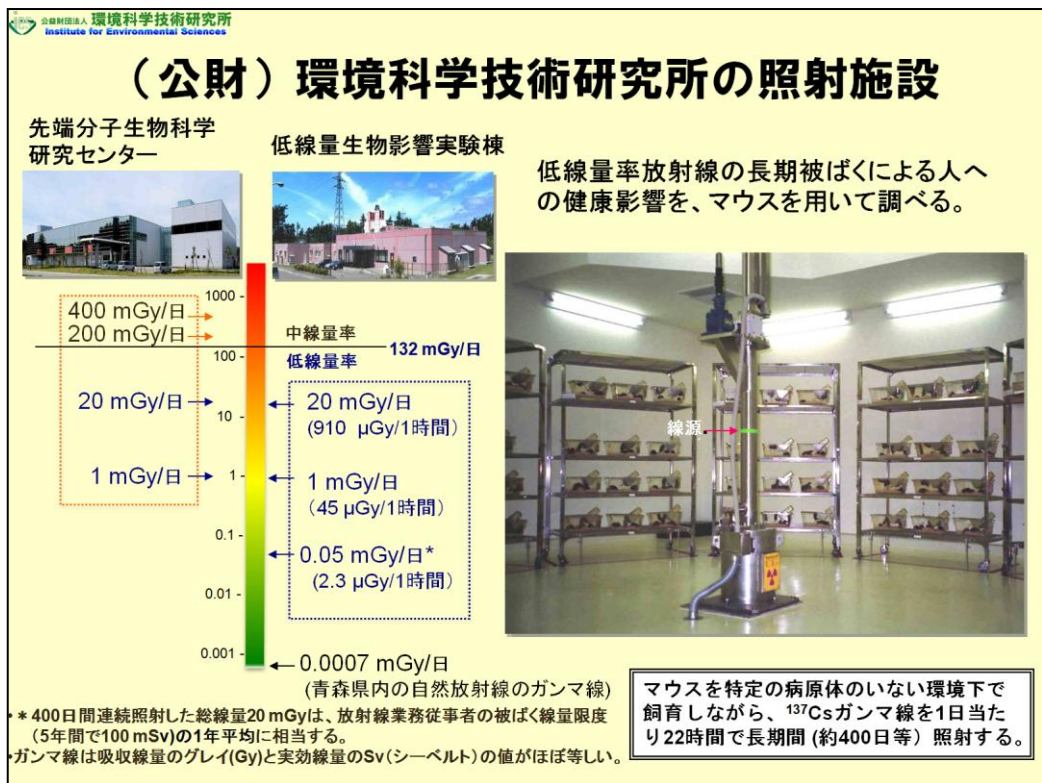


—動物を用いた照射実験—

マウス等の動物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の集団についての調査は少ない。原子力施設作業員、医療放射線技師などは、放射線防護基準で定められた線量限度以下の低線量率環境下で働いている。その他に低線量放射線被ばく事故等の集団がある。
2. しかしこれらの集団の調査対象人数は少ないことが多く、大多数の集団の調査を行うことは困難である。生じる遺伝子変異や染色体異常頻度、健康影響が極めて少ない上に、タバコなど環境変異原の影響が加わるので、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. 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、マウスとヒトの共通の仕組みを知ることでヒトへの影響を推定することが必要である。



— 要点 —

1. 低線量率の放射線を長期間連続して照射したときの影響をマウスを使って実験的に調べるため、環境研には、¹³⁷Csのガンマ線源を中央に配備し、プラスチックのケージに收容したマウスを周囲に配置して長期間照射ができる二つの動物実験施設(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. 長期にわたる飼育中における感染症等の影響を防ぐため、マウスをはじめ動物飼育区域内全てを特定の病原体のいない清潔な条件(SPF)*にして実験を行っている。
3. 照射する放射線としてガンマ線を使用している。使用している線量率は1日あたり20 mGy、1 mGyと0.05 mGyの低線量率である。他に中線量率に相当する200 mGy/日と400 mGy/日の照射も行っている。

[用語解説]

1ミリグレイ(mGy) : 1グレイ(Gy)の千分の1、1マイクログレイ(μGy)は1グレイの百万分の1

*SPF(Specific-Pathogen-Free) : 特定の病原体のいない微生物学的統御条件のこと

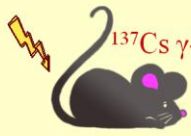
[解説] 原子力施設内、施設の周りの放射線の規制値

- ・放射線作業に従事する人の線量限度 : 5年間で100 mSv (1年間の平均で20 mSv)
- ・施設周辺に住む人の線量限度 : 1年間で1 mSv
- ・原子力発電所周辺に住む人の線量目標値 : 1年間で0.05 mSv (1 mSvの20分の1)

低線量率放射線長期照射実験で マウスの寿命と発がん頻度を調べる

特定の病原体を持たないマウスを使用

・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

mGy: ミリグレイ

8週齢(若年期)から照射開始

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)



死ぬまで飼育

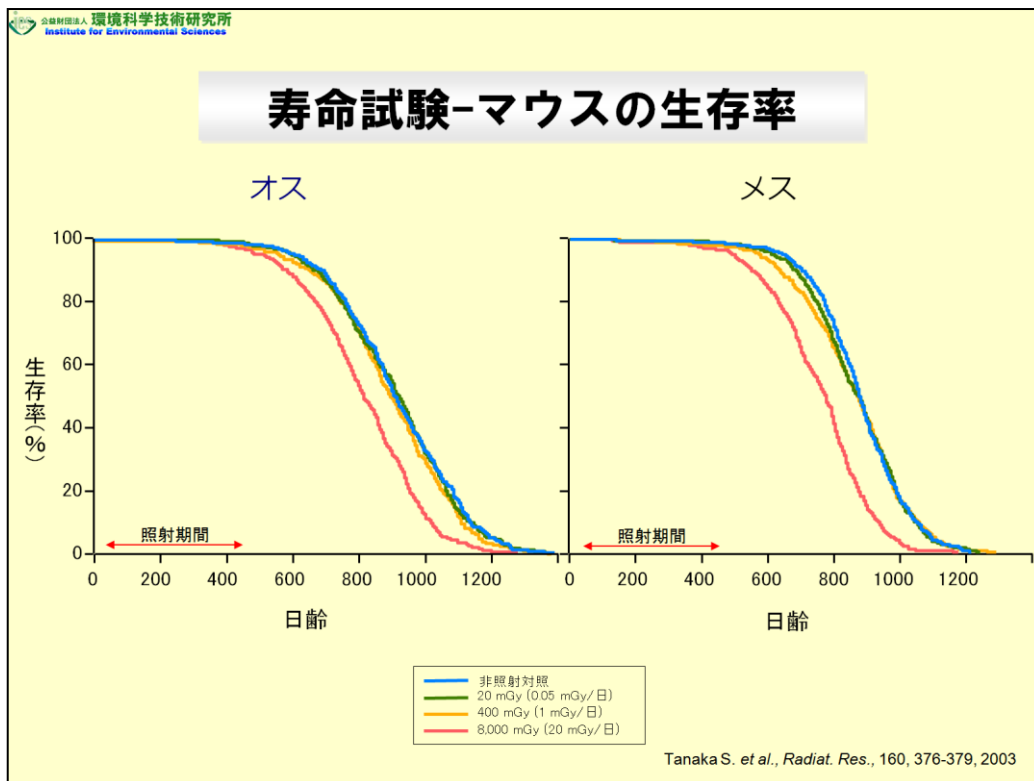
比較する

非照射群と比べて、①寿命が短くなるか？ ②がんが増加するか？

— 要点 —

1. 実験に用いたマウスは、3つの照射群と非照射群1群、オス、メス各群とし、それぞれ500匹ずつ、総数4000匹を用いた。
2. 照射は8週齢より1日当たり0.05ミリグレイ(mGy)、1ミリグレイ(mGy)と20ミリグレイ(mGy)の3つの異なる線量率で、セシウム137(¹³⁷Cs)-ガンマ(γ)線を400日間連続で照射した。
3. 400日間連続照射後の総線量はそれぞれ20、400、8000ミリグレイ(mGy)となる。
4. 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。

全てのマウスは終生飼育し、死亡した後に全マウスの病理解剖を行い、非照射群のマウスと比べて、寿命は短くなるか、死因は何か、がんの発生頻度が増加するかを調べた。

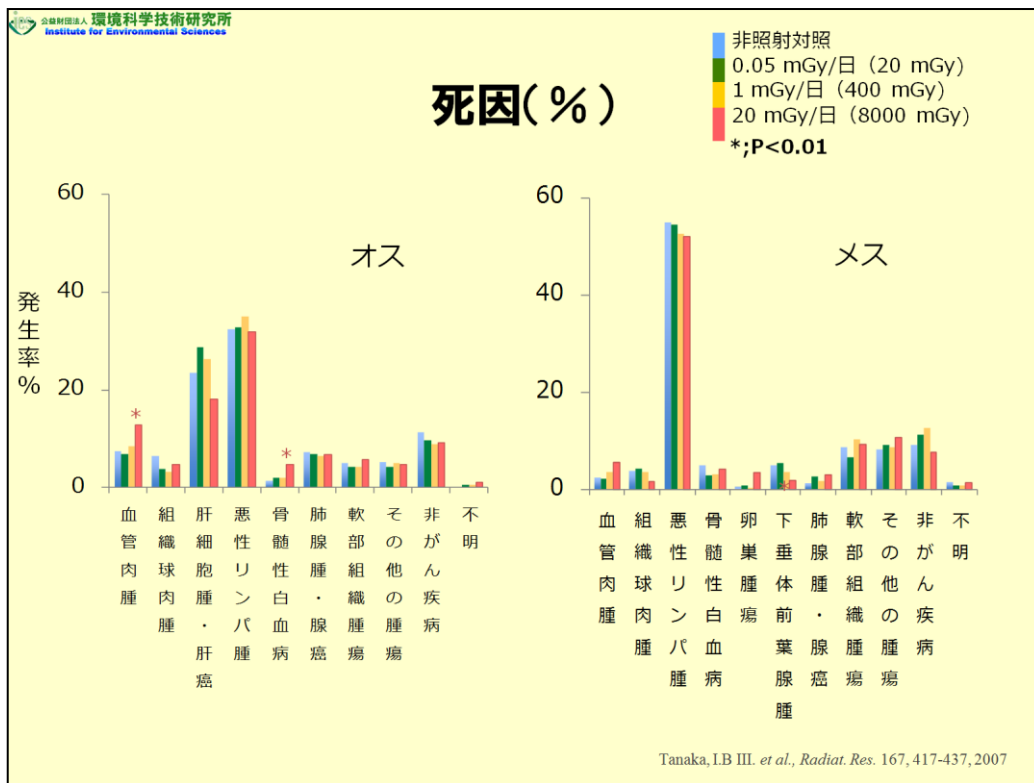


— 要点 —

1. 寿命試験結果のうち、マウスの生存率の日齢推移を示す。非照射群（青色曲線）と比べて、線量率20 mGy/日で高線量（8,000 mGy）まで照射した群（赤色曲線）は、オスで約100日、メスで約120日それぞれ生存日数（寿命）が短くなった。
2. メスの線量率1 mGy/日で中線量（400 mGy）まで照射した群（黄色曲線）でも、約20日生存日数（寿命）が短くなった。
3. しかし、最も低い線量率0.05 mGy/日で低線量（20 mGy）まで照射した群（緑色曲線）では、オス、メスとも非照射群との差がみとめられなかった。

[用語解説]

生存率：各群のマウスのうち生存（生残）している割合（%）。横軸（X軸）に時間（この場合日齢）をとり、縦軸（Y軸）に生存率をプロットしたグラフを生存率曲線という。



— 要点 —

1. 実験に用いたマウスは死亡するまで飼育し、死亡後に病理解剖を行い死因を調べた。
2. 死因は、約90%が悪性リンパ腫や血管肉腫等の腫瘍（がん）によるものだった。どの実験群でも悪性リンパ腫が最も多く、オスで1/3、メスでは半分がこの病気で死亡した。
3. その他にオスマウスでは、肝臓腫瘍、肺腫瘍等、メスマウスでは軟部組織腫瘍等で死亡した。
4. しかし、これらの割合は、非照射群と照射群の間に差が無く、1日20 mGy、400日間の総線量8000 mGyの放射線を浴びたマウスでも、放射線を浴びていないマウスと同じ病気で死亡した。
5. さらに、1日20 mGyの線量率で長期照射したオスマウスでは、骨髄性白血病と血管肉腫で死亡する割合が非照射群や他の1日1 mGyと1日0.05 mGyの低い線量率の放射線を照射した時よりも有意に多かった。

寿命と発がんに関する調査のまとめ

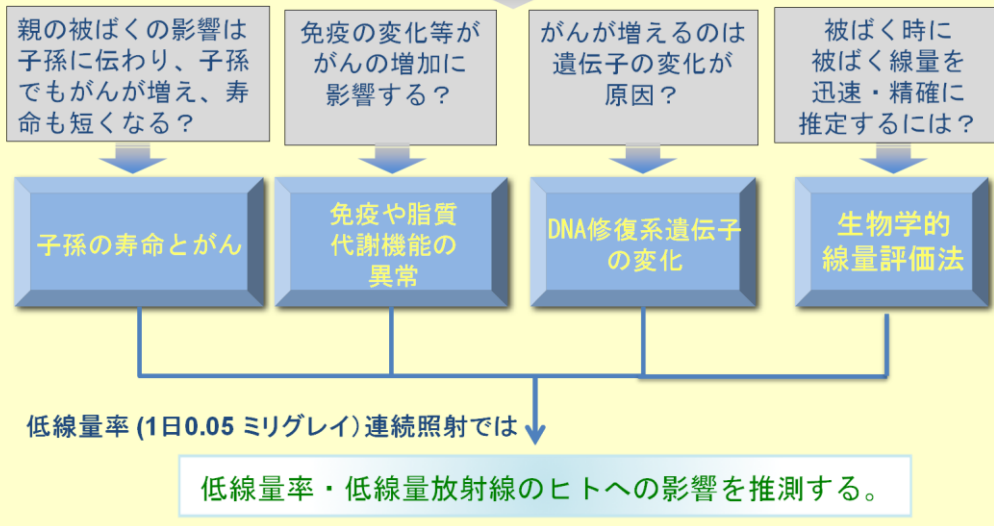
線量率 (1日当たり)	総線量 (400日間)	寿命の長さ	寿命短縮の原因 となった腫瘍	増加した腫瘍
オス				
0.05 ミリグレイ	20 ミリグレイ	変わらず	-	-
1 ミリグレイ	400 ミリグレイ	変わらず	-	-
20 ミリグレイ	8,000 ミリグレイ	有意な短縮 (約100日)	悪性リンパ腫 肺腫瘍・血管肉腫	骨髄性白血病 肝細胞腫 ハーダー腺腫瘍
メス				
0.05 ミリグレイ	20 ミリグレイ	変わらず	-	-
1 ミリグレイ	400 ミリグレイ	有意な短縮 (約20日)	悪性リンパ腫	-
20 ミリグレイ	8,000 ミリグレイ	有意な短縮 (約120日)	悪性リンパ腫 軟部組織腫瘍	肝細胞腫、卵巣腫瘍、 肺腫瘍、血管肉腫、腎腫瘍 副腎腫瘍、ハーダー腺腫瘍

－ 要点 －

1. 1日あたり20 ミリグレイを400日間長期照射し総線量8000ミリグレイになるマウスでは、寿命がオスでは約100日、メスでは約120日短くなった。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。
2. 1日あたり1 ミリグレイを400日間長期照射し総線量400ミリグレイになるメスマウスでは、寿命が約20日短くなった。
3. 1日あたり0.05 ミリグレイを400日間長期照射し総線量20ミリグレイになるマウスでは、オス、メスともに寿命が変わらなかった。
4. 1日あたり20ミリグレイを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。

現在行っている低線量率放射線影響に関する4調査の内容

寿命と発がんに関する調査(平成7年度～15年度)



— 要点 —

1. これまでに紹介した「寿命と発がん」に関する調査で得られた成果を發展させて、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) DNA修復系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。

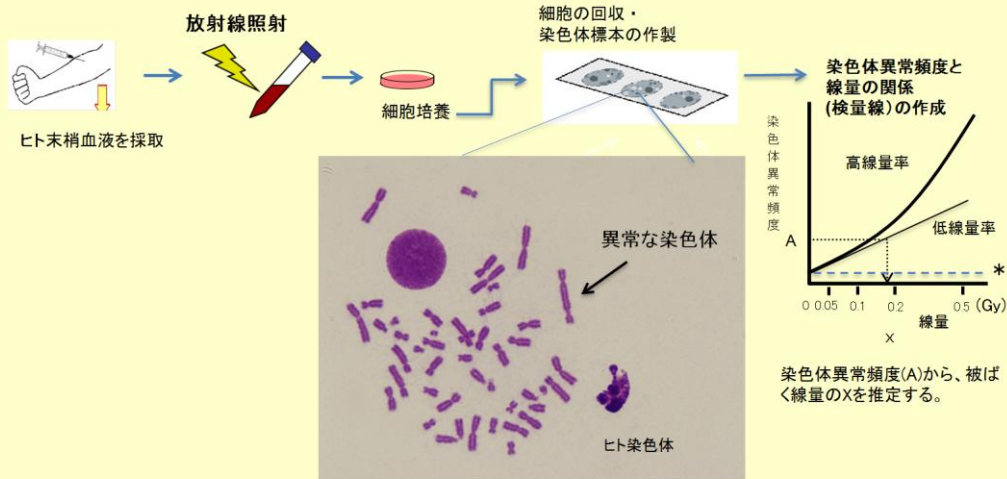
2. 低線量率放射線を長期間照射したマウスを照射しないマウスと比較して、放射線の影響が有意に多くみられるかを調べている。これらの結果がわかるのに最低でも5年～10年という長い年月がかかる。

このような地道で長期間にわたる調査・研究で得られる成果は低線量放射線の影響を理解したり、低線量放射線のリスク評価体系を作るために有益である。

3. このうちの生物学的線量評価法に関する調査で得られた成果について、報告する。

生物学的線量評価法

個人ごとの被ばく線量を推定するためには、あらかじめ染色体異常頻度と線量との関係を調べた検量線を作成しておく。



低線量率放射線の長期被ばく時に使用する
良い生物学的線量評価法は？

* 私たちの体の組織にはもともと
染色体異常や遺伝子変異を持つ
極少数の細胞が存在する。

— 要点 —

1. ヒトが低線量率の放射線を長期被ばくした時の生物学的線量評価法は確立されていない。
2. ヒトでは試料入手が困難なので、マウスをヒトモデルとして低線量率放射線を長期間照射して実験を行い、情報を得る。
3. マウスの脾臓のリンパ球の染色体異常頻度を調べて、染色体異常頻度と線量との関係を調べて、最終的にヒトでの被ばく線量を推定する方法を作ることを目指している。
4. また、マウスに異なる線量率の放射線を長期間照射して、線量率が低下すると染色体異常頻度が低くなるかを調べている。

スライド内の図には末梢血採取後の染色体解析の方法を示している。マウスの照射実験で得られた結果はヒトの低線量率放射線長期被ばく時に使用する線量評価法を作るために有用である。被ばく事故時に実際にヒトの被ばく線量を推定するには、グラフのような検量線をあらかじめ作成しておく必要がある。

低線量率放射線の生物への影響
被ばく線量と染色体異常

生物影響研究部
香田 淳

放射線を被ばくした時、
治療が必要か否かを判断したり、
治療法の選択や予後の推定のため、
個人の被ばく線量を評価することが必要

線量を評価する方法

①物理学的線量推定

- ・ホールボディカウンタによって体内の放射性物質を測定し、内部被ばく線量を推定
- ・個人線量計を装着(作業着)して、外部被ばく線量を推定
- ・環境中の放射線を測定して、外部被ばく線量を推定

②生物学的線量推定(バイオドシメトリ)

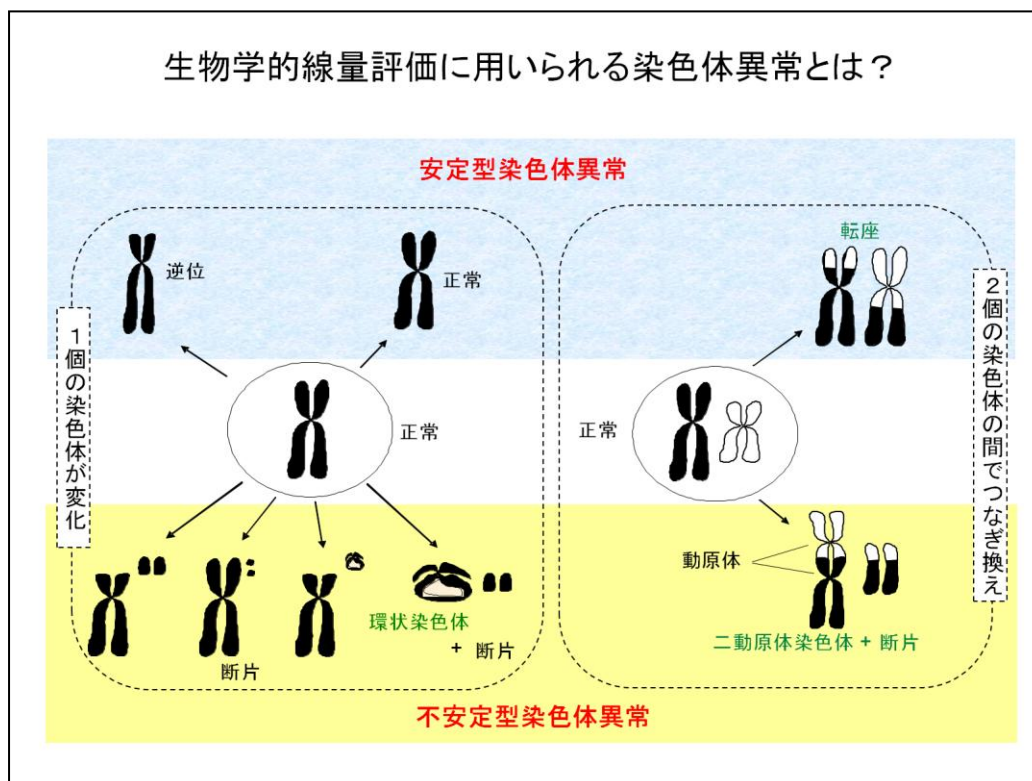
- ・白血球とリンパ球の数の変化を調べて、被ばく線量を推定
- ・リンパ球の染色体異常の頻度を調べて、被ばく線量を推定

我々は、この中で染色体異常の頻度を調べることで被ばく線量を推定するバイオドシメトリについて調べています。

[用語解説]

バイオドシメトリ(生物学的線量評価)：生物の放射線に対する反応(影響)の程度から被ばく線量を推定すること。被ばくしたかどうか不明な集団や個人に対してバイオドシメトリを行うことによって、個人ごとの被ばく線量を推定することが出来る。個人の被ばく線量に応じた最適な治療法を選択する際に有効に利用されている。使用可能なものとしては、末梢血中の白血球数・リンパ球数や末梢血リンパ球の染色体異常等である。

生物学的線量評価に用いられる染色体異常とは？



— 要点 —

1. 染色体異常の種類

- ①逆位：切断された染色体の一部が逆向きになって元の位置につながったもの
- ②断片：染色体が切断されたもの
- ③環状染色体：末端が切断された染色体の端どうしがつながって輪になったもの
- ④転座：切断された2個の染色体の間でつなぎ換えが起きたもの
- ⑤二動原体染色体：つなぎ換えのときにくびれた所(動原体)が2箇所できたもの

2. 上記の染色体異常は、下記のように分類される。

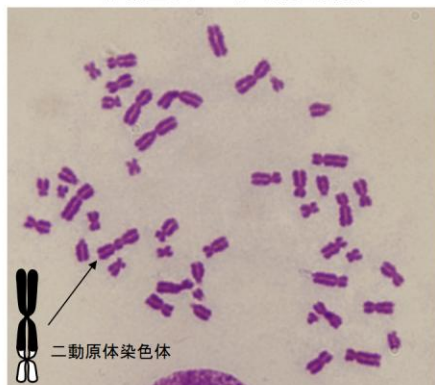
- ①安定型染色体異常：長期間安定して存在する。被ばく後の年数が経っても調べることが可能。しかし観察が難しく、その異常個数を調べるのに時間がかかる。
- ②不安定型染色体異常：細胞分裂時に染色体がうまく分配されないため細胞分裂できず、細胞死によって減少する。しかし、見分けが付き易く結果が早く分ることから、被ばく直後の線量評価に用いられる。

[用語解説]

動原体：染色体のくびれた所。細胞分裂するとき、染色体を分離させる糸（紡錘糸）が付着する場所。正常な染色体では1個のみ存在する。

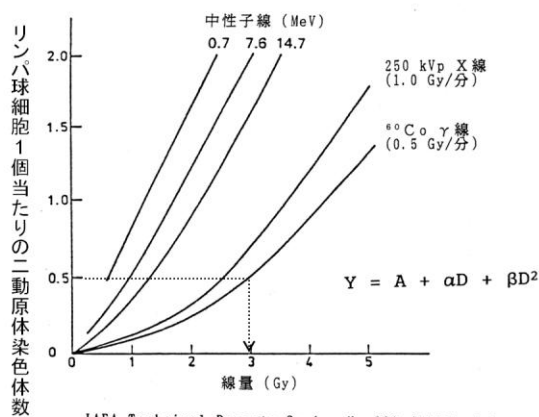
高線量率放射線を被ばくした場合の染色体異常 — 二動原体染色体を指標にした生物学的線量評価 —

末梢血リンパ球の染色体像



二動原体染色体数を調べることで、右図より、被ばく線量が推定できる。

線量と二動原体染色体異常頻度の関係



しかしながら、低線量率で被ばくした場合、上記のグラフのような線量と染色体異常頻度との関係は調べられておらず、よくわかっておりません。

— 要点 —

1. 被ばくしたヒトの末梢血リンパ球の染色体を調べると左図のように二動原体染色体が観察できる。
2. 高線量率で被ばくした際、二動原体染色体異常頻度は右図のように被ばく線量とともに、曲線状に増加する。
3. また、放射線の種類によっても、二動原体染色体数は異なる。
4. 高線量率での事故被ばくの際は、二動原体染色体異常頻度を調べて右図にあてはめることにより、被ばく線量を推定できる。

低線量率放射線を被ばくした場合の染色体異常を調べる

— 生物学的線量評価実験調査の目的 —

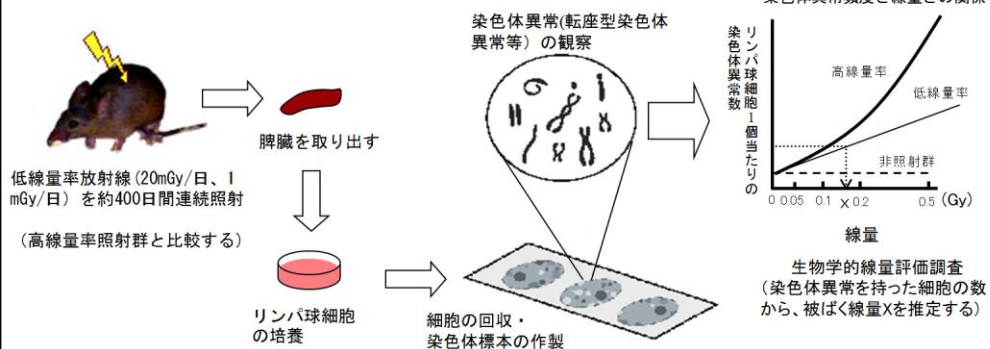
低線量率放射線がマウスの染色体に及ぼす影響を調査し、被ばく線量と染色体異常頻度との関係（線量効果曲線）を作成すること。また、高線量率放射線の効果との違いについて明らかにし、ヒトの低線量率放射線被ばくでの被ばく線量の推定に有益な情報を得る事を目的としている。

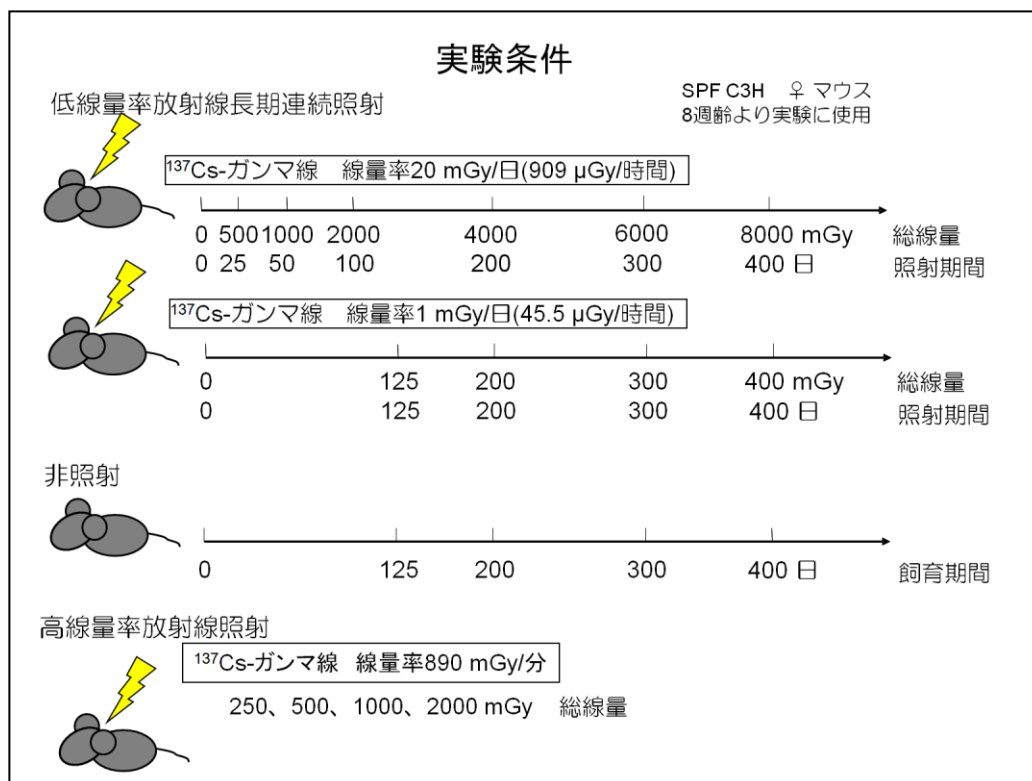
1. 低線量率で被ばく線量が増えるに従い、染色体異常頻度がどのように増加するのか？
2. 低線量率の被ばくで生じる染色体異常頻度は、高線量率の被ばくの何分の一になるのか？

低線量率放射線連続照射マウスの染色体異常数の解析

線量率ごとの線量効果曲線の作成

染色体異常頻度と線量との関係





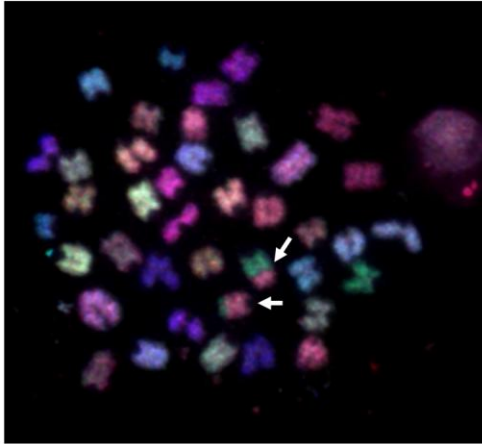
— 要点 —

1. 低線量率照射実験には、セシウム137線源を用いて、1日あたり20ミリグレイや1ミリグレイの放射線を最大400日間連続してマウスに照射した。
2. 放射線を照射しないで最大400日間飼育したマウス及び1分あたり890ミリグレイの高線量率放射線を照射したマウスを比較対照とした。

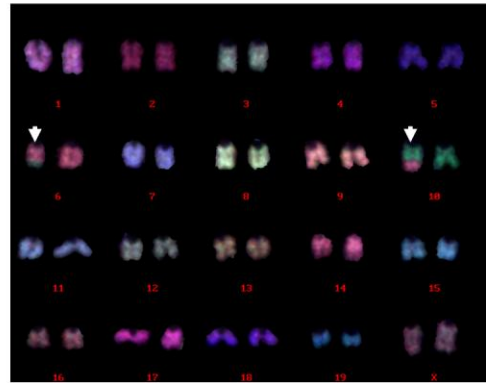
染色体異常の観察例

低線量率ガンマ線による染色体異常は、非常に少ないと予想されることから、マウスの全染色体を染め分ける高精度な解析法を用いて染色体異常を調べた。

染色体像



染色体番号順に並べ替え後



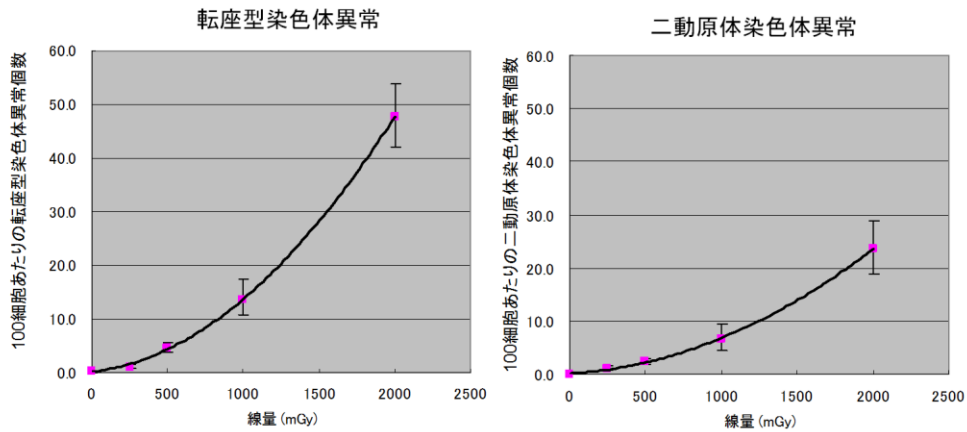
6番染色体と10番染色体の転座

－ 要点 －

1. マウスの全染色体をそれぞれ別の色で染め分けられる方法で染色し、染色体異常を調べた。
2. 正常の染色体は、それぞれ単色で染められているが、他の染色体の一部と入れ替わった染色体異常では、矢印のように1個の染色体中に異なる色の部分が存在する。

高線量率照射によって生じた染色体異常の頻度

高線量率(890 mGy/分)



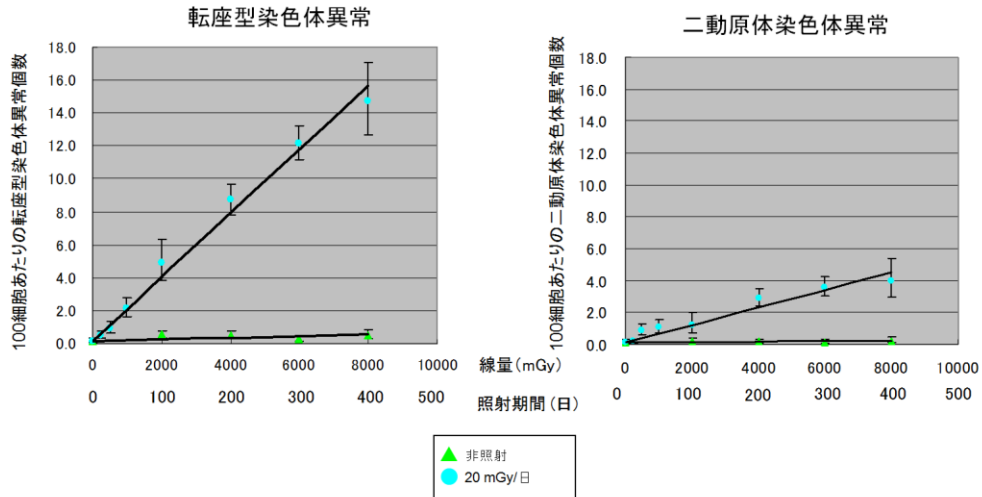
高線量率の放射線1回照射によって生じる染色体異常頻度は図のような曲線の関係で増加する

－ 要点 －

1. 1分あたり890ミリグレイの高線量率放射線で、250、500、1000、2000ミリグレイの線量まで1回照射したマウスリンパ球細胞の染色体での結果。図中の1個の値は観察した3個体の平均値と95%信頼区間
2. 転座型染色体異常の頻度と二動原体染色体異常の頻度はともに、線量が増えると上記図のような曲線関係で増加する。

低線量率連続照射によって生じた染色体異常の頻度

20 mGy/日 (909 μ Gy/時間)



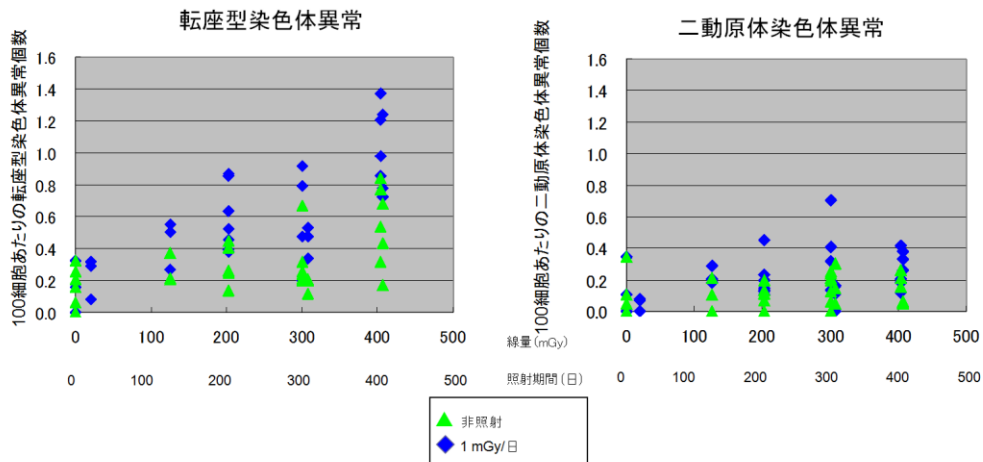
どちらも非照射よりも異常頻度が高く、ほぼ直線的に増加

— 要点 —

1. 1日あたり20ミリグレイの低線量率放射線を連続照射したマウスリンパ球細胞の染色体での結果。図中の各値は観察した3個体の平均値と95%信頼区間
2. 非照射は400日の飼育期間でほとんど増加しない。
3. 高線量率1回照射とは異なり、低線量率連続照射では、転座型染色体異常の頻度と二動原体染色体異常の頻度はともに、線量の増加に伴って上記図のように、ほぼ直線的に増加する。

低線量率連続照射によって生じた染色体異常の頻度

1 mGy/日(45.5 μ Gy/時間)



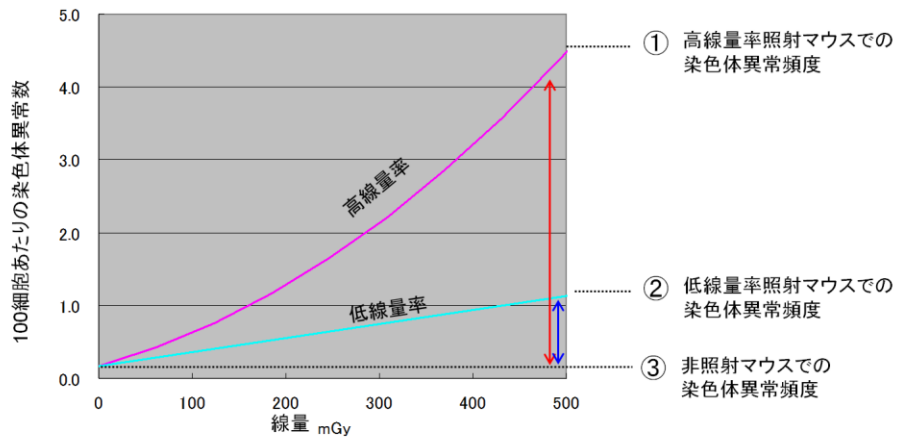
転座型染色体異常は、ほぼ直線的に増加
二動原体染色体異常は、非照射より若干高い傾向

— 要点 —

1. 1日あたり1ミリグレイの低線量率放射線を連続照射したマウスリンパ球細胞の染色体での結果。図中の各印はマウス1個体ごとの値を示す。
2. 非照射は400日の飼育期間では、どちらの染色体異常もほとんど増加しない。
3. 高線量率1回照射とは異なり、転座型染色体異常の頻度は、線量の増加に伴って上記図左のように、ほぼ直線的に増加する。
4. 二動原体染色体異常の頻度は、ほとんど増加しないが、非照射よりは若干高い傾向にある。

低線量率照射による染色体異常の頻度は、
高線量率の場合と比較して何分の一か？

高線量率照射と低線量率照射の効果の違いを同一線量で比較し、上記の「何分の一」の「何」に相当する数値（線量・線量率効果係数）を以下のようにして求めた。



$$\text{線量} \cdot \text{線量率効果係数} = \frac{\text{①} - \text{③} (\text{高線量率で生じた染色体異常数})}{\text{②} - \text{③} (\text{低線量率で生じた染色体異常数})}$$

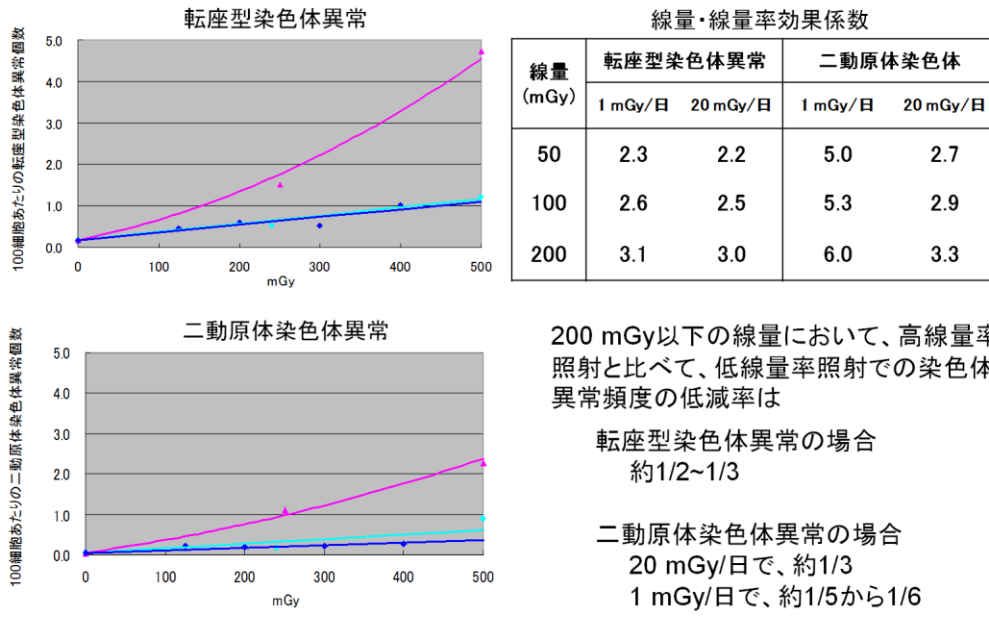
[用語解説]

線量率効果：放射線の生物影響は、同一の線量であっても線量率によって異なる。高線量率で短時間に照射したときに生じる生物影響に比べて、線量率を下げて時間をかけてゆっくり（低線量率長期連続）照射すると生物影響は小さくなる。これを線量率効果という。

このとき、同一の線量において、高線量率照射で生じる生物影響の値と低線量率照射で生じる生物影響の値の比を、線量・線量率効果係数という。例えば、線量・線量率効果係数が2である場合は、低線量・低線量率の被ばくによる生物影響が高線量率被ばくでの2分の1であることを示す。

線量・線量率効果係数の算出

低線量率(20 mGy/日、1 mGy/日)照射の染色体異常頻度は、高線量率(890 mGy/分)の何分の一か？



— 要点 —

- 高線量率（1分あたり890ミリグレイ）照射の結果と低線量率（1日あたり20ミリグレイ、1ミリグレイ）照射の結果から、低線量（200ミリグレイ以下）域で、同じ線量の時に出来る染色体異常数を比較し、その効果が何分の一なのか（何倍違うのか）を調べた。図中の1個の印は観察した3個体の平均値。

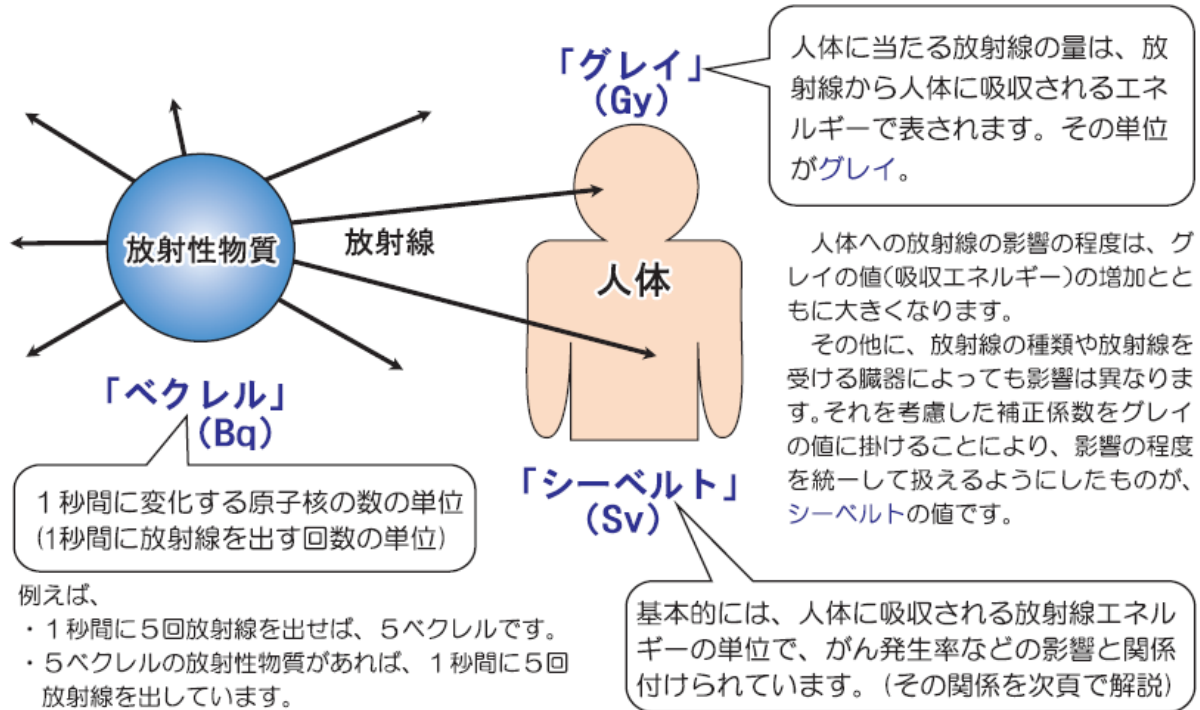
まとめ

1. 20 mGy/日、1 mGy/日の低線量率照射マウスのリンパ球での染色体異常頻度は、非照射群より多かった。
2. 転座型異常頻度は、どちらの線量率(20 mGy/日、1 mGy/日)でも線量に対してほぼ直線的に増加した。
3. 二動原体染色体異常頻度は、20 mGy/日の線量率では、線量に対してほぼ直線的に増加し、1 mGy/日の線量率では、非照射群より若干高い傾向があった。
4. 高線量率照射と比較して、低線量率照射では、同じ線量を被ばくしても染色体異常頻度が少なくなった。すなわち、200 mGy以下の線量域で、二動原体染色体異常頻度は、20 mGy/日で約1/3、1 mGy/日で約1/5～1/6に減少し、転座型異常頻度は、いずれの線量率でも約1/2～1/3に減少した。

現在、0.05 mGy/日の低線量率で照射したマウスでも染色体異常頻度を調べる実験を行っている。

放射線の単位

放射線と放射性物質の量を表すために使われる単位を解説します。



放射線の影響はベクレルではなく、シーベルトの値で判断します。

もっと知ってみよう

シーベルトとグレイの関係

○臓器など各組織のシーベルトの値(実効線量)は、下の式で表されます。

$$\begin{array}{l}
 \text{実効線量} \\
 \text{(シーベルト)}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{l}
 \text{吸収線量} \\
 \text{(グレイ)} \\
 \text{(=ジュール/kg)} \\
 \text{(=0.24カロリー/kg)}
 \end{array}
 \times
 \begin{array}{l}
 \text{放射線荷重係数} \\
 \left[\begin{array}{l} \text{放射線の種類による} \\ \text{影響の違いをガンマ線} \\ \text{を基準にして表す。} \end{array} \right] \\
 \begin{array}{l} \cdot \text{ガンマ線, ベータ線が1} \\ \cdot \text{アルファ線が20} \\ \cdot \text{中性子線が5~20} \end{array}
 \end{array}
 \times
 \begin{array}{l}
 \text{組織荷重係数} \\
 \left[\begin{array}{l} \text{臓器などの組織別の放射線} \\ \text{感受性の違いを表す。} \end{array} \right] \\
 \begin{array}{l} \cdot \text{肺, 胃, 骨髄などが0.12} \\ \cdot \text{甲状腺, 食道, 肝臓, 乳房などが0.05} \\ \cdot \text{皮膚, 骨の表面が0.01} \\ \text{(全ての組織の荷重係数を加えると1)} \end{array}
 \end{array}$$

○全身のシーベルトの値は、各組織のシーベルトの値を合計したもので表されます。

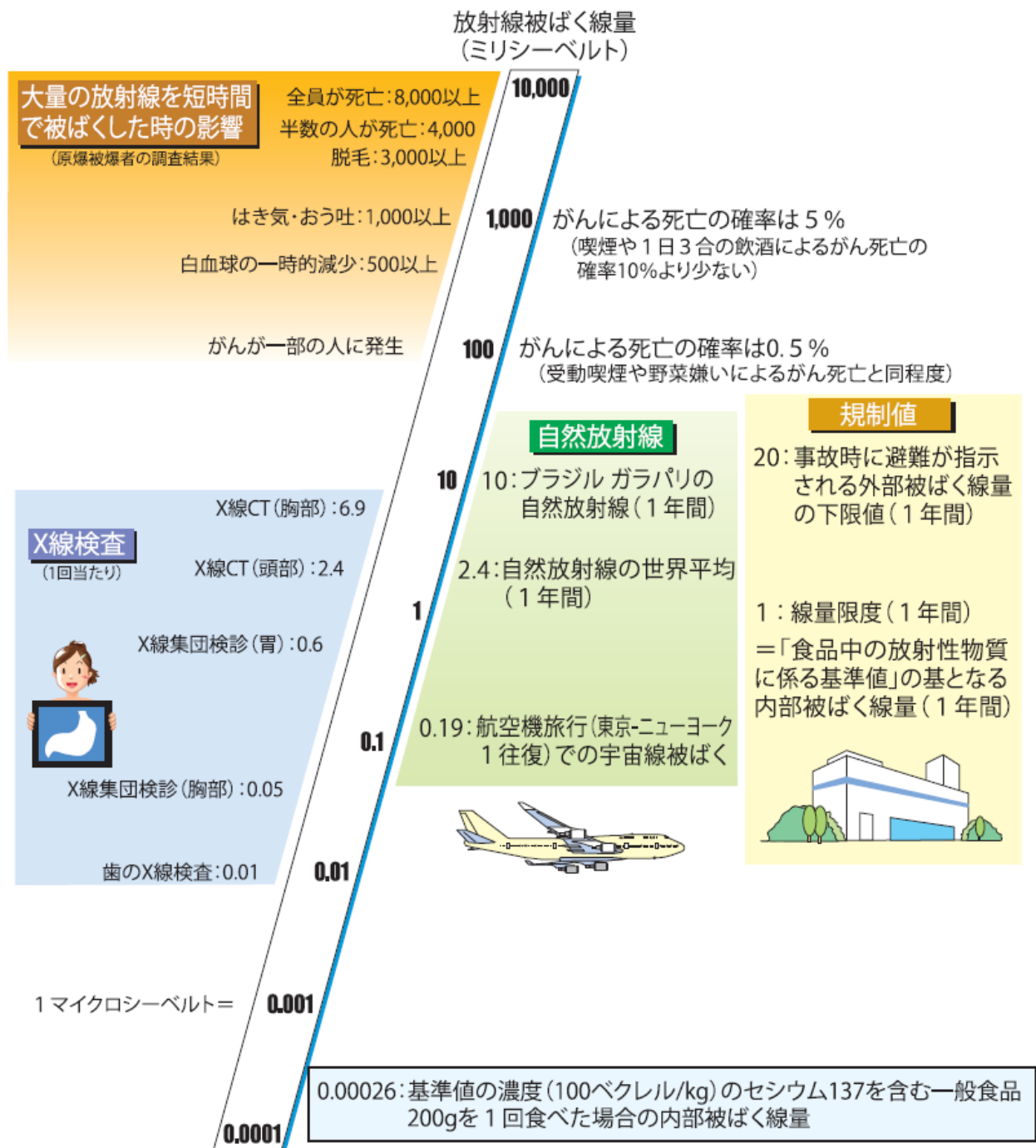
○ガンマ線のエネルギーが全身に均等に吸収された場合には、シーベルトの値はグレイの値に等しくなります。

○グレイは人以外の動物や、測定器などに吸収される放射線エネルギーの単位としても使われます。

放射線の被ばく線量と影響などとの関係の概要

大量の放射線を短時間で被ばくした場合には様々な影響が現れます。被ばく線量が少なくなるとともに影響も少なくなり、約100ミリシーベルト以下の放射線ではがんが発生するかどうかの問題になっています。一方、自然放射線を長期間被ばくした場合の影響は見られていません。

これらに基づき、原子力施設に由来する放射線被ばく線量の規制値が設定されています。



「しきい値のない直線（LNT）モデル」に関する議論

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モデルに基づき100 mSvの被ばく集団で生じるがんの100人中1人 (1%)は放射線に起因すると推定

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人の調査(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 (ただし、カナダのデータのみががん死亡率が高い。)

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。

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。
- ・しきい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モデルを適用することを疑問視している。

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
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