

環境科学技術研究所の紹介と 環境影響研究部の概要

(公財) 環境科学技術研究所
環境影響研究部長
高久 雄一



公益財団法人 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。

平成2年に上北郡六ヶ所村に財団法人として設立され、
以上の3点を目的に事業を行っている。

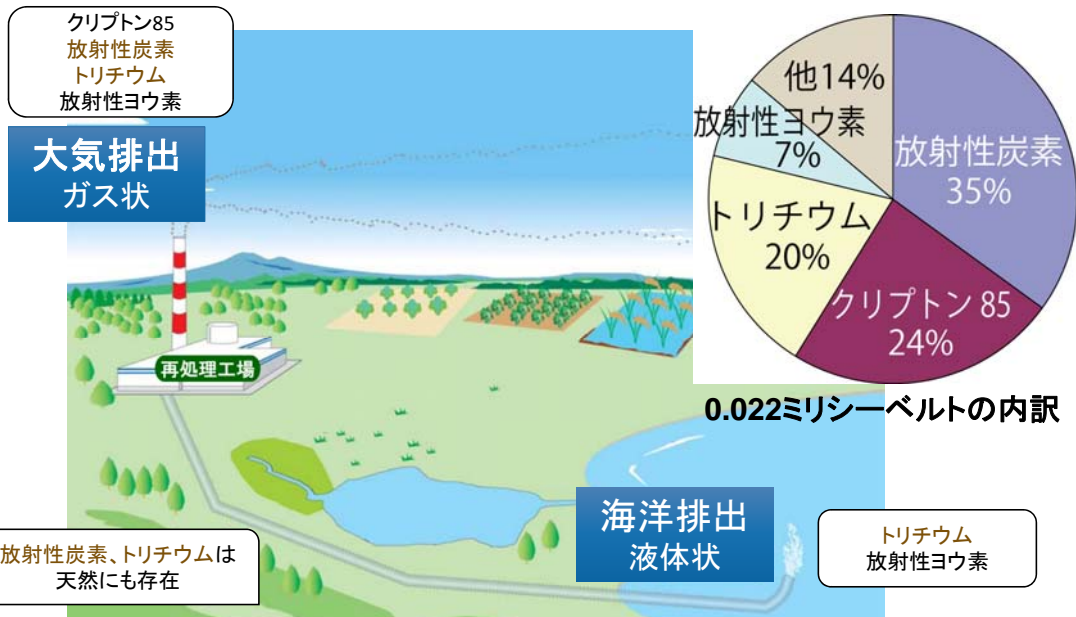
環境研周辺の航空写真



—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。

大型再処理施設から出る主な放射性物質



これらによる周辺住民の年間被ばく線量は最大で1年間に0.022 ミリシーベルト(建設前の安全審査値)と計算されている

—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、放射性炭素（炭素14）、クリプトン85、トリチウム、放射性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年あたりの最大の放射線量は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。

*身近な放射線量では、日本人の自然放射線から受ける放射線量が1年あたり約2.1ミリシーベルト（2100マイクロシーベルト）、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

—要点—

(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年の創設時より、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。

情報発信活動

成果報告会

出前説明会

ホームページによる情報発信

「放射線の基礎知識」等のパンフレット作成と配布



人材育成支援等

大学生の実習

大学の非常勤講師派遣

理科教室

職場体験

施設公開・セミナーの開催



—要点—

1. 調査に加えて、排出放射性物質影響調査の情報発信活動、人材育成支援などの活動も行っている。

環境影響研究部では

- 大型再処理施設から排出される放射性物質の環境中挙動を解析する。
- 解析結果をモデル化し、被ばく線量の分布を評価する。



—要点—

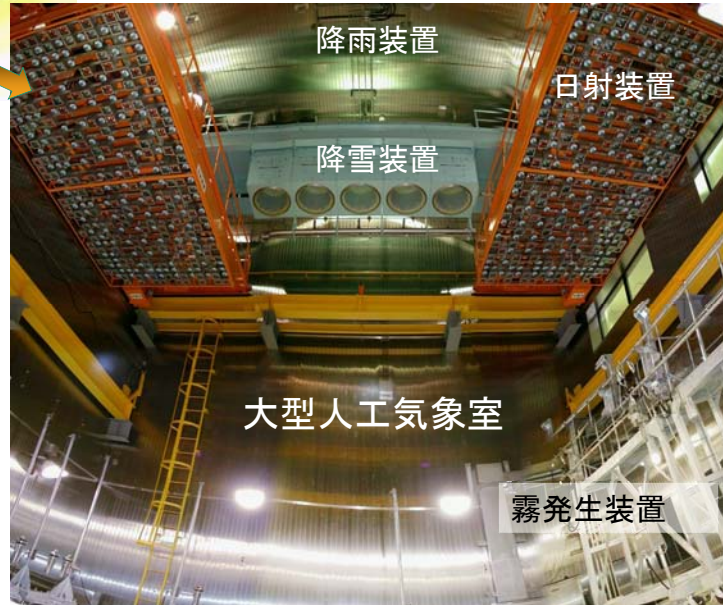
1. 環境影響研究部では、大型再処理施設から排出される放射性物質の環境中での動きに関する調査を行う。
2. 環境中での放射性物質の動きをモデル化し、現実的な被ばく線量やその分布が評価できるようにする。



モデル中のパラメータを求めるための 全天候型人工気象実験施設



- 12 m x 13 m、高さ13 m
- 環境放射能研究用では国内最大
- 日射、降雨、降雪、霧、温湿度の制御
- やませ気象等の青森県内の気象条件を再現可能



—要点—

1. 環境研では、放射性物質の動きをモデル化するため、全天候型人工気象実験施設などのユニークな施設を用いた実験を行っている。
2. 特に気象条件の影響を大きく受ける農作物等への放射性物質の移行について、このような人工気象を再現できる装置を用い、農作物への移行パラメータを実験により求めている。

最近の成果の例

- 作物表面に付着した放射性物質の雨や霧による除去
安全評価では作物、放射性物質の種類や気象条件によらず一定の除去速度を使用。



作物、放射性物質の種類別に雨や霧による除去速度を測定。



気象の変化に応じた予測が可能となった。

ハツカダイコンを用いた実験の様子



- 福島県における調査

事故後の大気中トリチウム濃度を初めて推定し、それによる住民の被ばく線量は極めて小さかったことを報告。

環境影響研究部の現在のテーマ



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

—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。

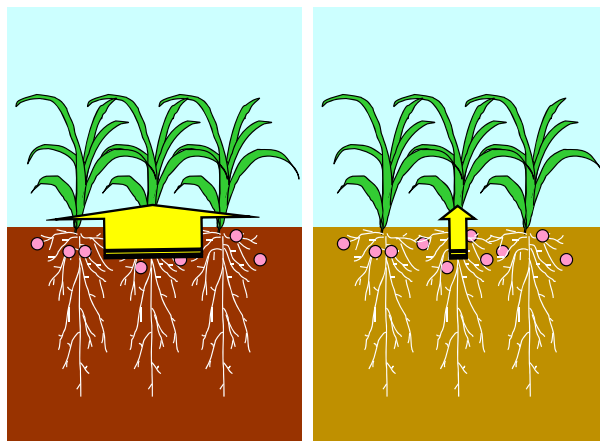
牧草への放射性セシウム移行低減に向けて

**牧草が放射性セシウムを吸収しやすい
土壌の特徴**

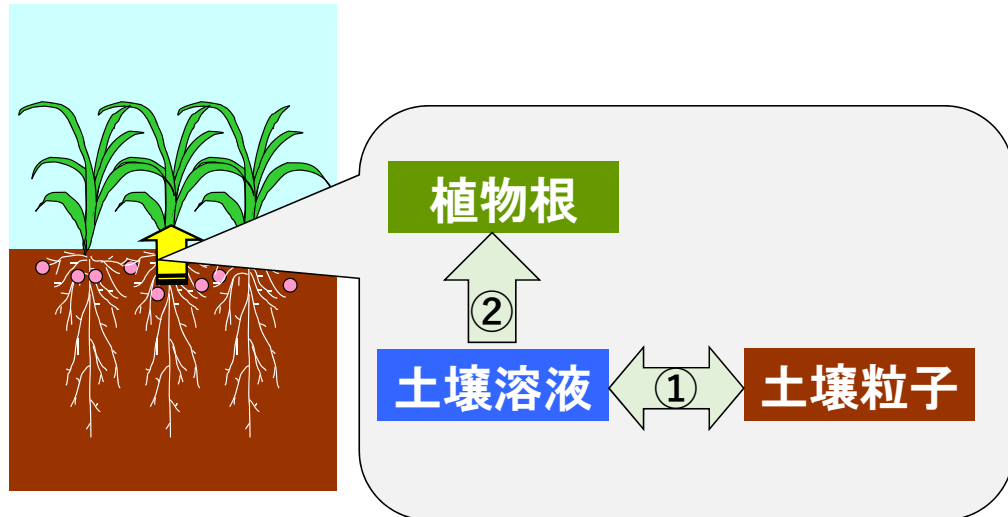
**(公財) 環境科学技術研究所
環境影響研究部
武田 晃**

本調査の背景

- 放射性セシウムが土壌中に同じ程度含まれていても、土壌の性質の違いによって、牧草中の放射性セシウム濃度は大きく異なることが判ってきた。
- 牧草の放射性セシウム濃度を予測し、必要に応じて対策を行うためには、どのような土壌から移行しやすいのかを突き止める必要がある。



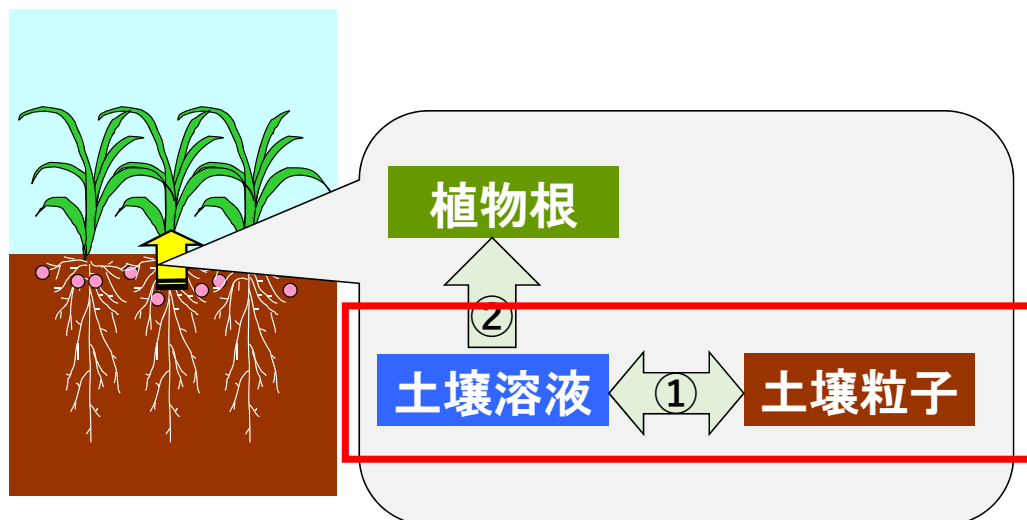
土壌中の放射性セシウムの植物による吸収



—要点—

1. 植物は、土壌の中の水（土壌溶液）から養分や放射性物質を吸収する。
2. 放射性セシウムの土壌から植物への移行を考える際には、①土壌粒子と土壌溶液の間の放射性セシウムの分配、②土壌溶液中の放射性セシウムの植物による吸収、の二つの経路について考える必要がある。

土壌中の放射性セシウムの植物による吸収

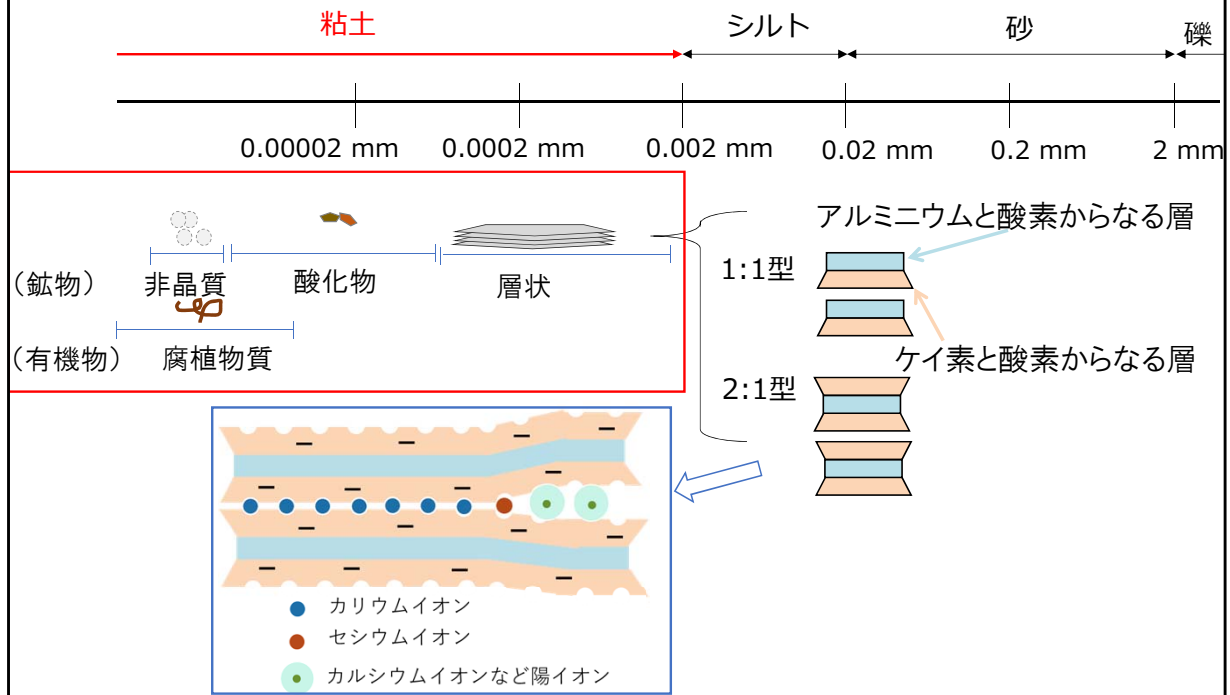


放射性セシウムが土壌溶液に溶出する程度は、
土壌のセシウム固定力の違いが影響する。

—要点—

1. 土壌中の放射性セシウムの大部分は、土壌粒子（主に粘土鉱物）に強く保持され、容易に溶出しにくい状態になる。この状態を固定という。放射性セシウムが土壌に固定される程度は、土壌によって異なる。

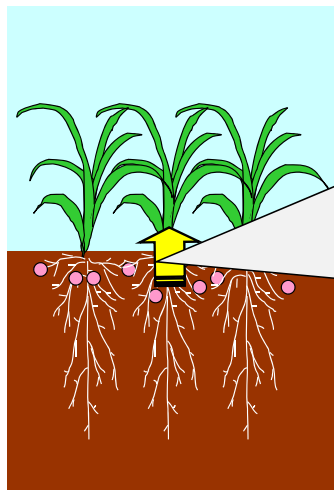
土壌の構成成分



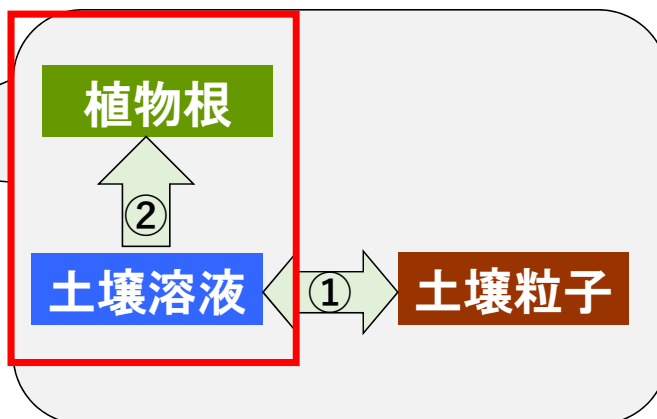
—要点—

1. 土壌を構成している粒子のうち、0.002 ミリメートル（2マイクロメートル）以下の細かい粒子を一般に粘土という。
2. 粘土を構成している主な鉱物は、土壌の元になる岩石の中の鉱物（1次鉱物）が長い時間をかけて変質してできた鉱物（2次鉱物）であり、粘土鉱物と呼ばれる。粘土鉱物の種類と量は、土壌の特徴に大きく影響する。
3. 粘土鉱物のうち、アルミニウムと酸素、およびケイ素と酸素からなる層が層状に積み重なった構造のものがある。
4. 層状の粘土鉱物のうち、2:1型と呼ばれるものは、層の間にセシウムイオンやカリウムイオンを閉じ込めるのにちょうどよい大きさの空間をもつ。
5. このうち、雲母と呼ばれる粘土鉱物の仲間は、層の間はカリウムイオンで埋められているが、末端の広がった部分は他のイオンよりもセシウムイオンを優先的に保持できる。
6. 土壌がセシウムを固定できる力は、粘土鉱物の種類や量などによって大きく異なる。

土壌中の放射性セシウムの植物による吸収



土壌溶液中の放射性セシウムが植物に吸収される程度は、土壌溶液中のカリウム濃度が大きく影響する。

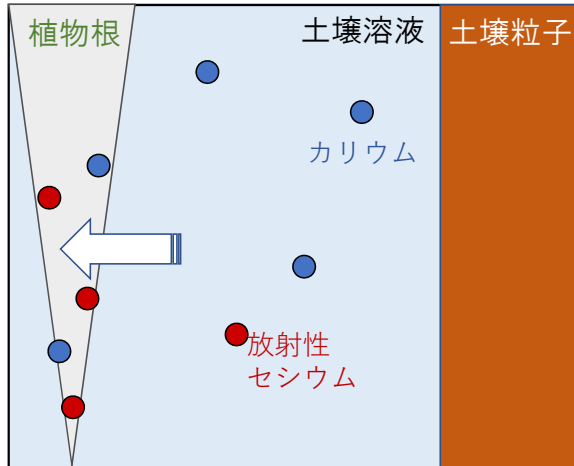


—要点—

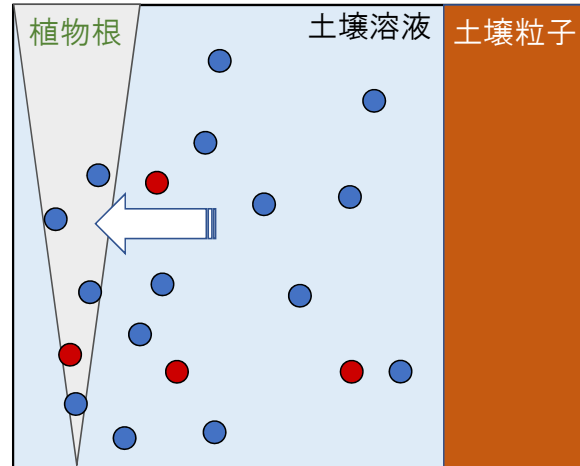
1. 土壌溶液中の放射性セシウムの一部が根から植物に吸収される。
2. 放射性セシウムの吸収されやすさは、土壌溶液中のカリウム濃度に大きく影響する。

カリウムによる放射性セシウムの吸収抑制効果

土壌溶液中のカリウムが
不足している場合



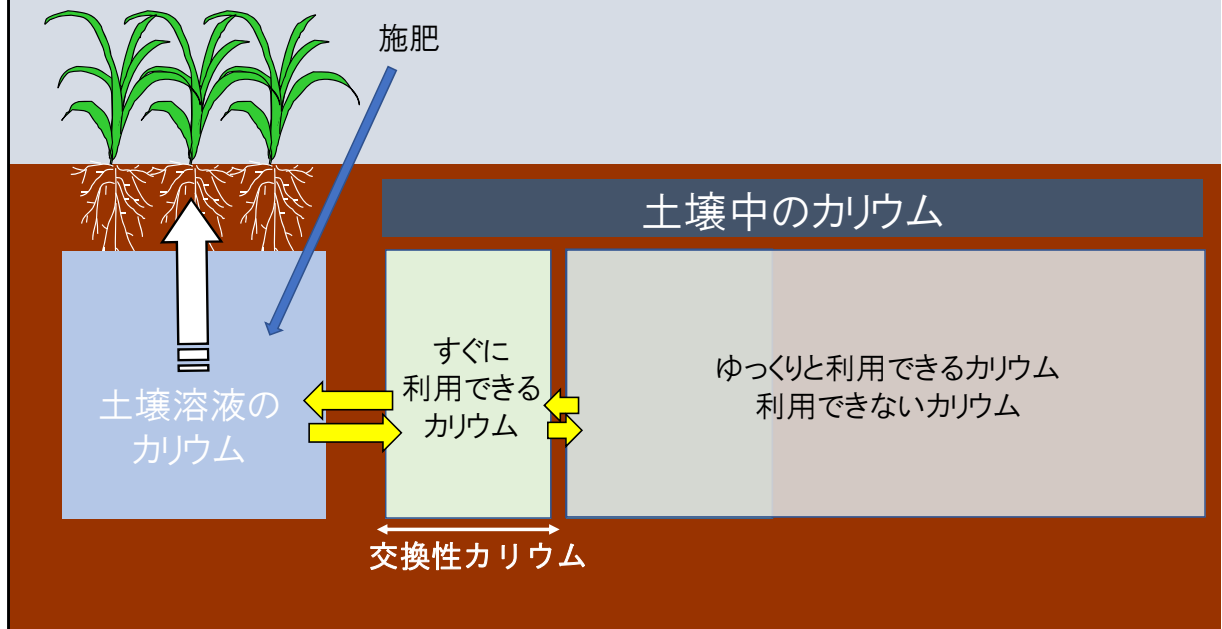
土壌溶液中のカリウムが
充分にある場合



—要点—

1. カリウムは、窒素とリンとともに植物の三大栄養素の1つで、植物の生育に不可欠な元素である。
2. 土壌溶液中のカリウムが不足する場合、放射性セシウムは植物根に吸収されやすくなる。
3. 土壌溶液のカリウムは植物に吸収され、濃度が下がると、土壌粒子からカリウムが供給される。
4. 土壌溶液中のカリウム濃度を高く維持できる土壌は、放射性セシウムが移行しにくい。

土壌中カリウムの植物による吸収



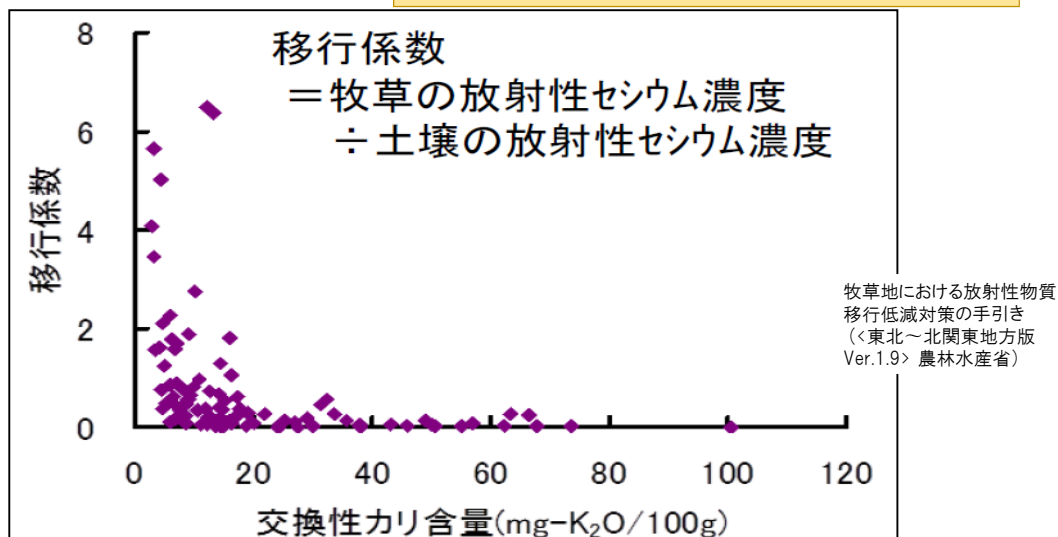
—要点—

1. 土壌中のカリウムの大部分は、土壌溶液にはすぐに溶け出さない状態で、植物には利用されない。
2. 土壌の粘土鉱物や腐植物質などの表面にゆるやかに吸着されているカリウムは、他のイオンに交換されて土壌溶液に溶出し、植物に利用される。このようなカリウムは、交換性カリウムと呼ばれる。
3. 施肥により加えられたカリウムは土壌溶液中のカリウム濃度を高め、その大部分は主に交換性カリウムとして土壌に保持される。

福島原発事故に由来する放射性セシウムの 土壌－牧草間移行係数と土壌中交換性カリ含量の関係

青森県の牧草地における交換性カリ適性範囲：8～18

Cs対策のための交換性カリ改良目標：30～40



－要点－

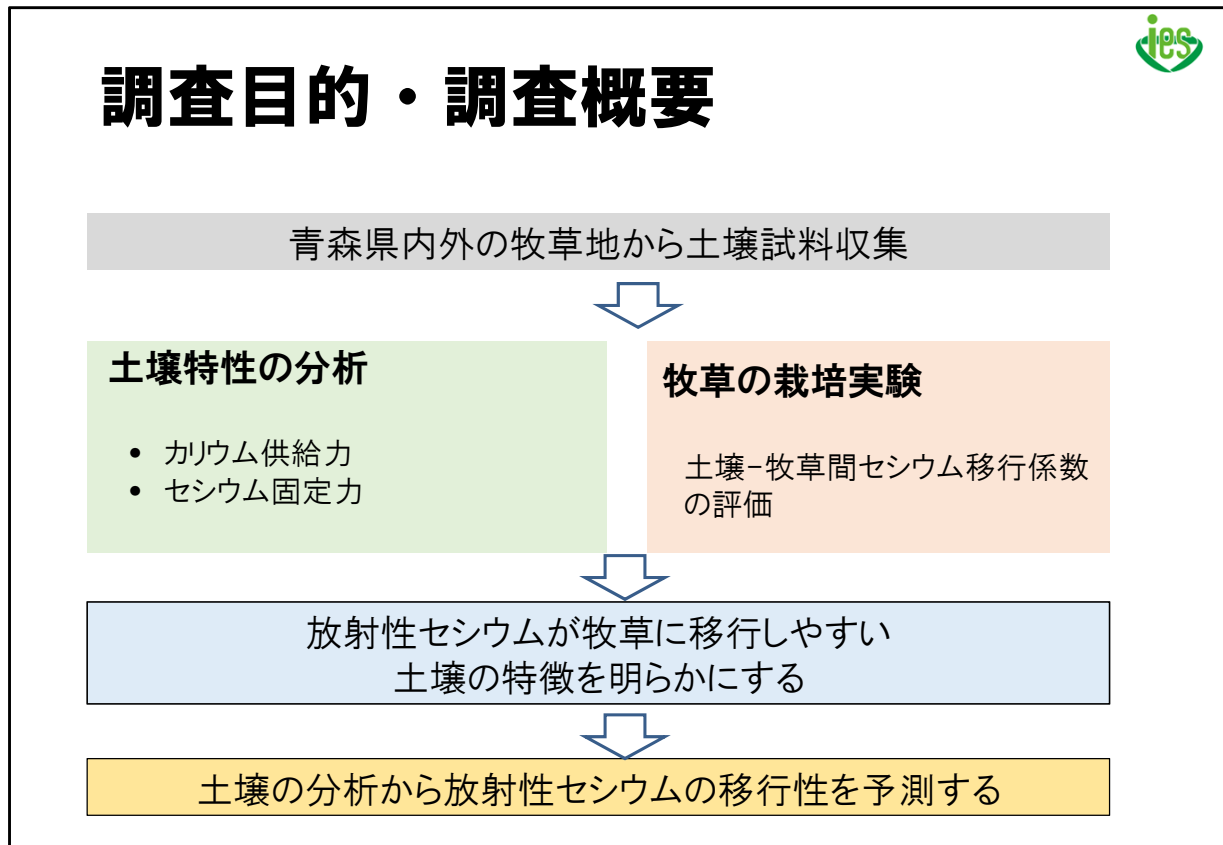
1. 福島原発事故後の調査により、牧草に放射性セシウムが移行しやすい土壌は、交換性カリ含量が低いことが分かった。
2. セシウム吸収対策のため、交換性カリ含量の改良目標が示されたが、通常よりも高い値に設定されている。
3. 交換性カリ含量が低くても放射性セシウムが移行しにくい土壌もある。
4. カリウムの過剰な施肥は、牧草のミネラルバランスを悪化させ家畜の病気（グラスステタニー）の原因となるため、土壌の性質に応じた効果的な対策が必要である。

用語解説

移行係数：土壌から牧草への放射性セシウムの移行しやすさを表す指標。放射性セシウムの牧草中濃度を土壌中濃度で割った値。

交換性カリ：肥料成分として示す際には、元素名の「カリウム」ではなく「カリ」と表記し、酸化物(K_2O)としての重量で表される。作物に利用されるカリウム量を判断するために土壌診断で一般的に使用されている。土壌から酢酸アンモニウム溶液で抽出されるカリウム量を測定し、乾土100 g当たりのカリ量として表す。

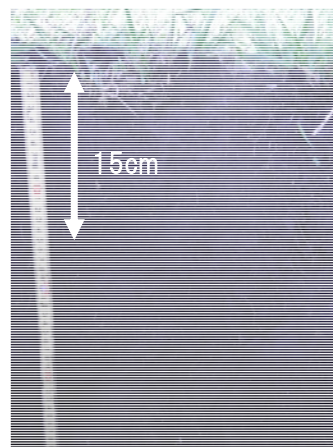
調査目的・調査概要



—要点—

1. 土壌分析と栽培実験により、放射性セシウムが移行しやすい土壌の特徴を調べる。
2. 土壌の分析結果から、放射性セシウムの牧草への移行しやすさを予測することを目指す。

土壌試料の採取



—要点—

1. 青森県上北地域の牧草地から表層土壌（0-15 cm深）を採取
2. 県外（岩手・宮城・福島・栃木）の牧草地土壌と比較

牧草の栽培実験

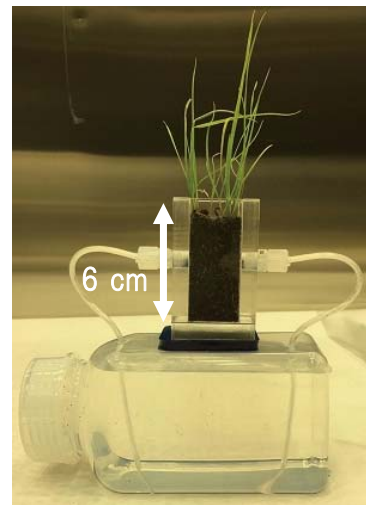
土壤にセシウム-137を添加



発芽させた幼植物体を移植して
人工気象室内で3週間栽培



牧草地上部中のセシウム-137濃度を測定

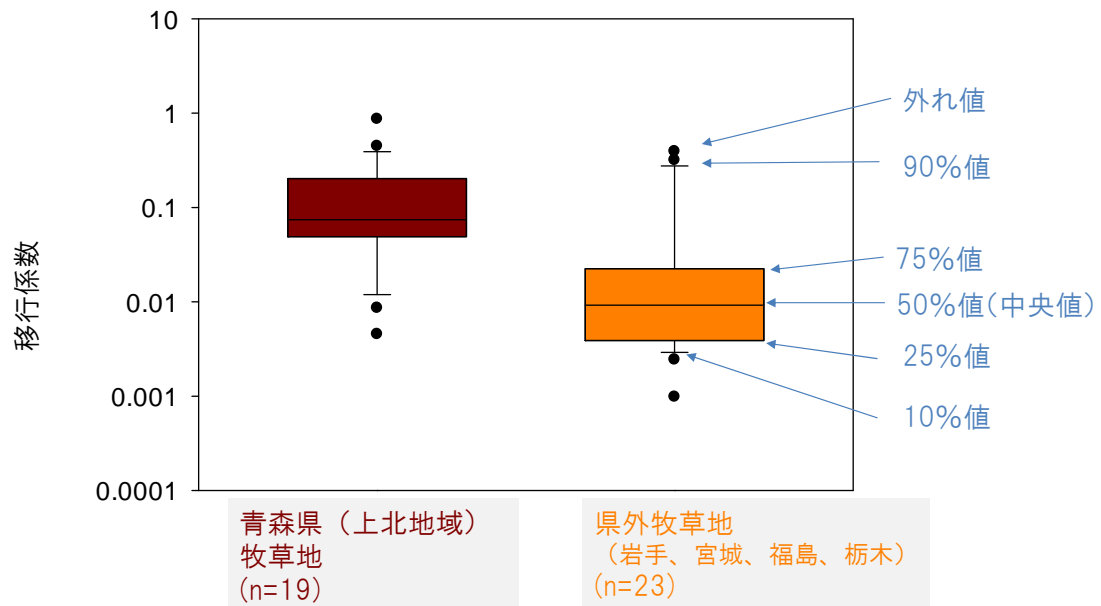


$$\text{移行係数} = \frac{\text{牧草中セシウム-137濃度 (Bq/kg)}}{\text{土壤中セシウム-137濃度 (Bq/kg)}}$$

—要点—

1. 放射線管理区域内の人工気象室で、放射性同位体セシウム-137を土壤に加えた後、牧草（オーチャードグラス）の短期間の栽培を行った。
2. 多様な土壤を、同じ条件で比較することができる。
3. 牧草の放射性セシウムを測定することが難しい土壤でも、セシウムの移行しやすさを調べることができる。

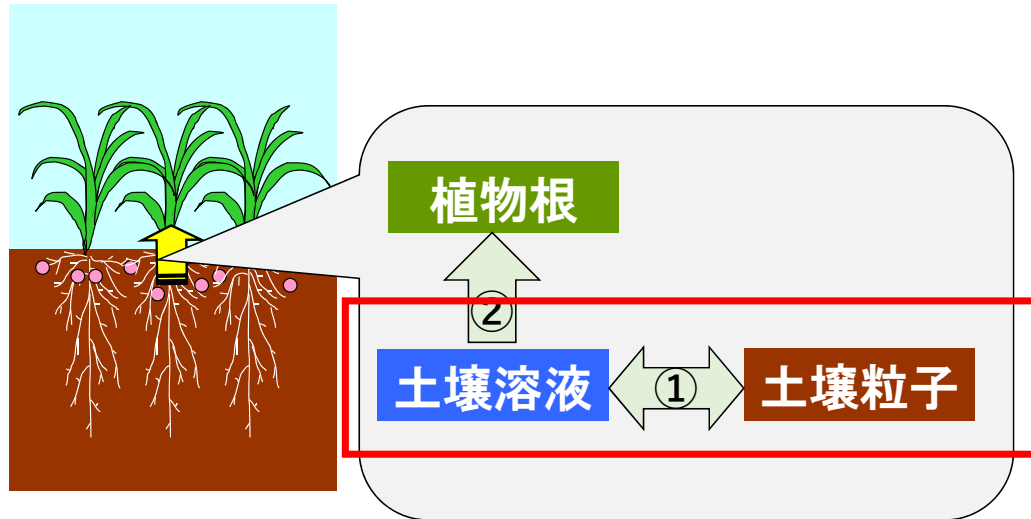
土壌－牧草間放射性セシウム移行係数



－要点－

1. 実験によって得られた移行係数を見つめる。グラフの縦軸は、一目盛りで桁数値が変わる対数で表している。
2. 移行係数は土壌によって大きく異なる。
3. 移行低減化対策が行われている地域の牧草地土壌に比べると、青森県上北地域の牧草地土壌はセシウムが移行しやすい傾向にある。

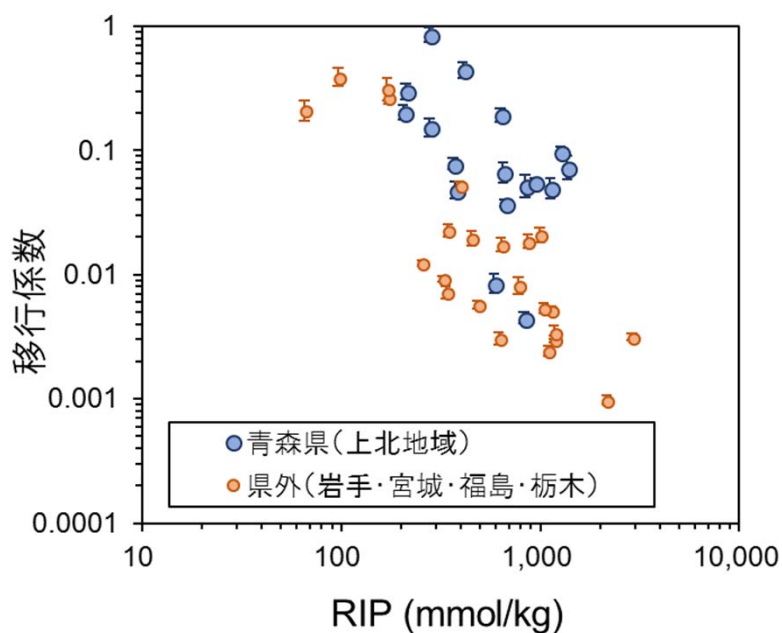
土壌セシウム固定力と移行係数の関係



—要点—

1. まず、移行係数と土壌のセシウム固定力との関係を見てみる。

移行係数と土壌のセシウム固定力の関係



—要点—

1. 土壌のセシウム固定力の指標であるRIPが低い土壌ほど移行係数が高い傾向にある。
2. RIPが同程度の土壌でも移行係数は大きな変動範囲をもつことから、牧草への移行係数は、土壌のセシウム固定力だけではなく、他の要因の影響が大きいと考えられる。

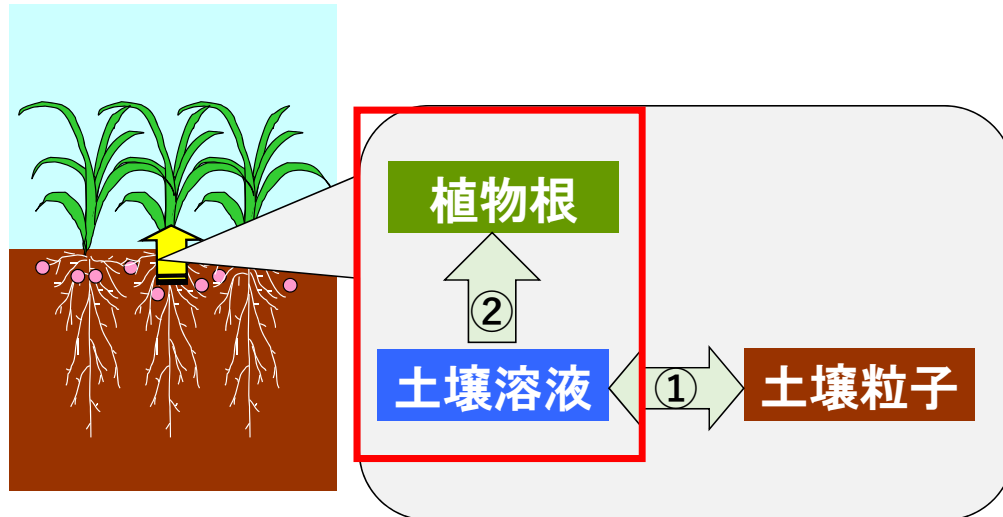
用語解説

RIP：放射性セシウム捕捉ポテンシャル（Radiocesium Interception

Potential）の略で、土壌がもつ放射性セシウムの固定力を表わす指標。一定の条件下で土壌に放射性セシウム溶液を添加し、土壌に吸着された量を測定することにより求める。数値が大きいほど、土壌の放射性セシウム固定力が大きい。

単位は土壌1kgあたりのミリモル（mmol/kg）として表す。

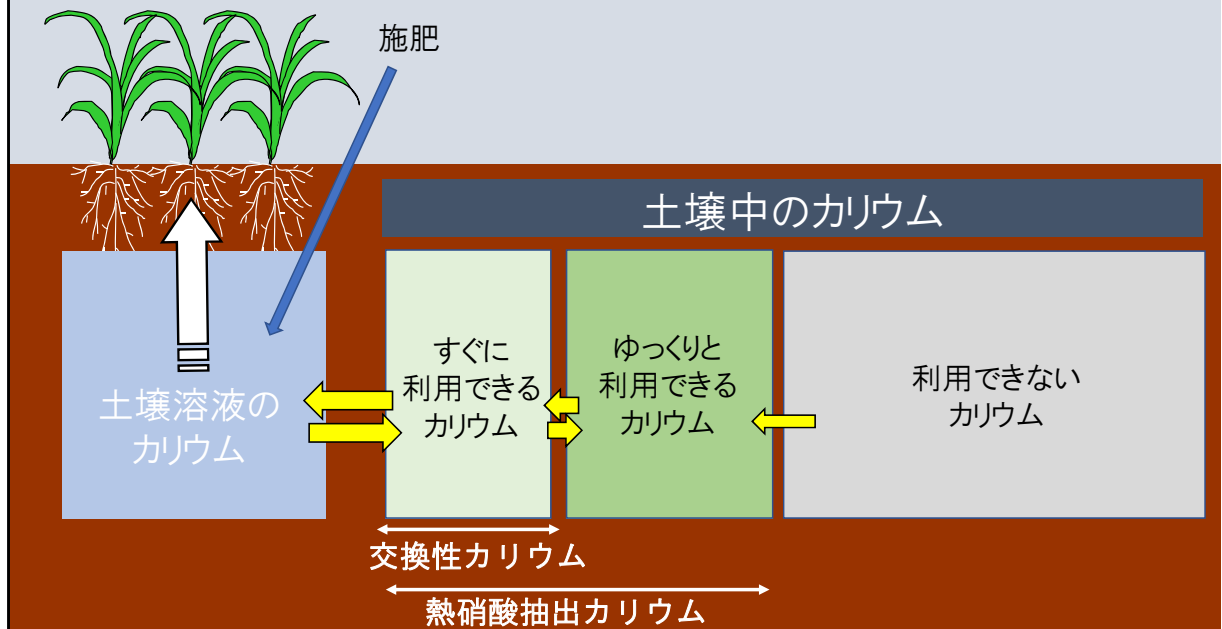
土壌カリウム供給力と移行係数の関係



—要点—

1. 次に、土壌溶液から植物根へ吸収される過程に重要な土壌のカリウム供給力の観点から移行係数を見てみる。

土壌中カリウムの植物による吸収



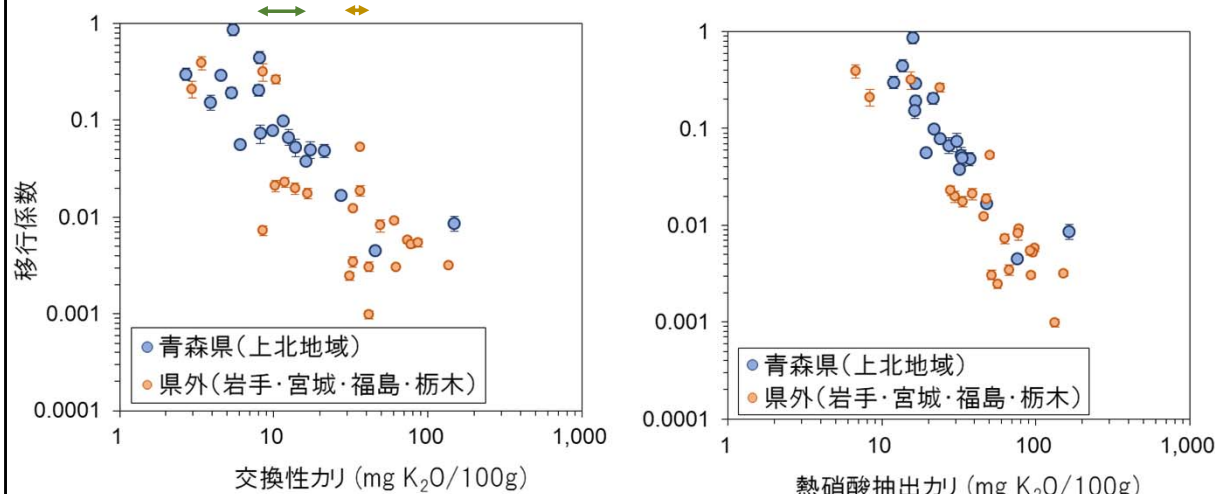
—要点—

1. 土壌溶液中のカリウムの供給源として、交換性カリウムのほかに、ゆっくりと溶け出してくる土壌鉱物由来のカリウムがある。
2. 施肥によるカリウムだけではなく、土壌がもつ天然のカリウム供給力の違いが、放射性セシウムの移行しやすさに影響する。
3. 通常、交換性カリウムは酢酸アンモニウム溶液で抽出する。この研究では、ゆっくりと利用できるカリウムも含めて抽出できる「熱硝酸」も使ってみた。

放射性セシウム移行係数と 土壌中カリウム濃度の関係

青森県牧草地に
おける適性範囲

Cs対策のため
の改良目標



—要点—

1. 左の図は「すぐに利用できるカリウム（交換性カリウム）」、右の図は「すぐに利用できるカリウム+ゆっくりと利用できるカリウム」（熱硝酸抽出カリウム濃度）と移行係数の関係を表している。
2. 青森県上北地域の土壌では、セシウム吸収対策のための改良目標と比較して交換性カリウム濃度が低い傾向にある。
3. 交換性カリウム濃度が低い土壌ほど移行係数が高い傾向にあるが、交換性カリウムが同程度であっても移行係数は大きなばらつきがある。
4. より抽出力が強い熱硝酸抽出カリウム濃度は、移行係数のばらつきを良く反映しており、放射性セシウム移行係数の予測に役立つことが分かった。

まとめ

- 土壌から牧草への放射性セシウムの移行は、土壌のカリウム供給力が大きく影響している。
- 放射性セシウムの移行係数を予測するためには熱硝酸抽出カ리가有効である。
- 牧草への放射性セシウムの移行を効果的に低減するために、カリウム施肥や固定化資材等による移行低減化対策の有効性を検証する実験を行う予定である。

生物影響研究部の概要

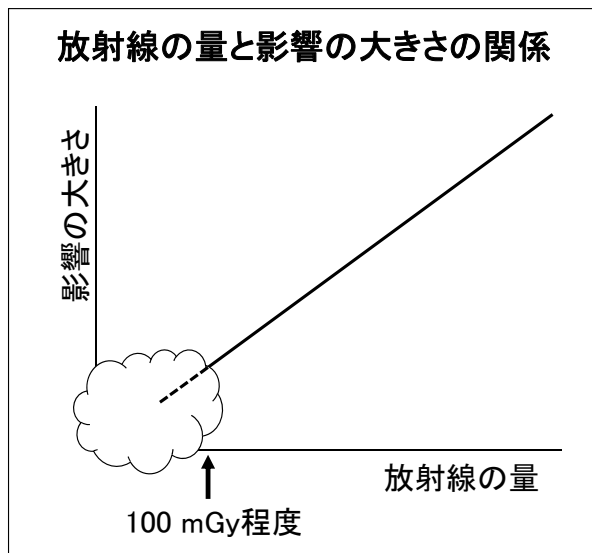
(公財) 環境科学技術研究所

生物影響研究部長

小村 潤一郎

生物影響研究部では

低いレベルの放射線が生物に与える影響を、
実験動物(マウス)を用いて調べている。

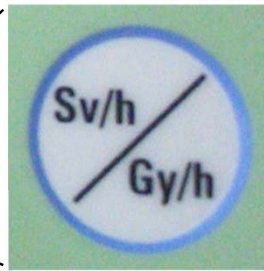


低いレベルの放射線の影響については、検出が難しく、よくわかっていないことが多い。

—要点—

1. 放射線の量が少なくなると、それに従い生物への影響は小さくなっていくので、低いレベルの放射線の影響については、検出が難しく、よくわかっていないことが多い。そこで、環境科学技術研究所の生物影響研究部では、低いレベル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。

線量率 = (総) 線量 / 時間



サーベイメータ
の表示：
シーベルト/時間
または
グレイ/時間

低線量放射線：100 mGy 未満を指すことが多い。

低線量率放射線：0.1 mGy/分 未満を指すことが多い。

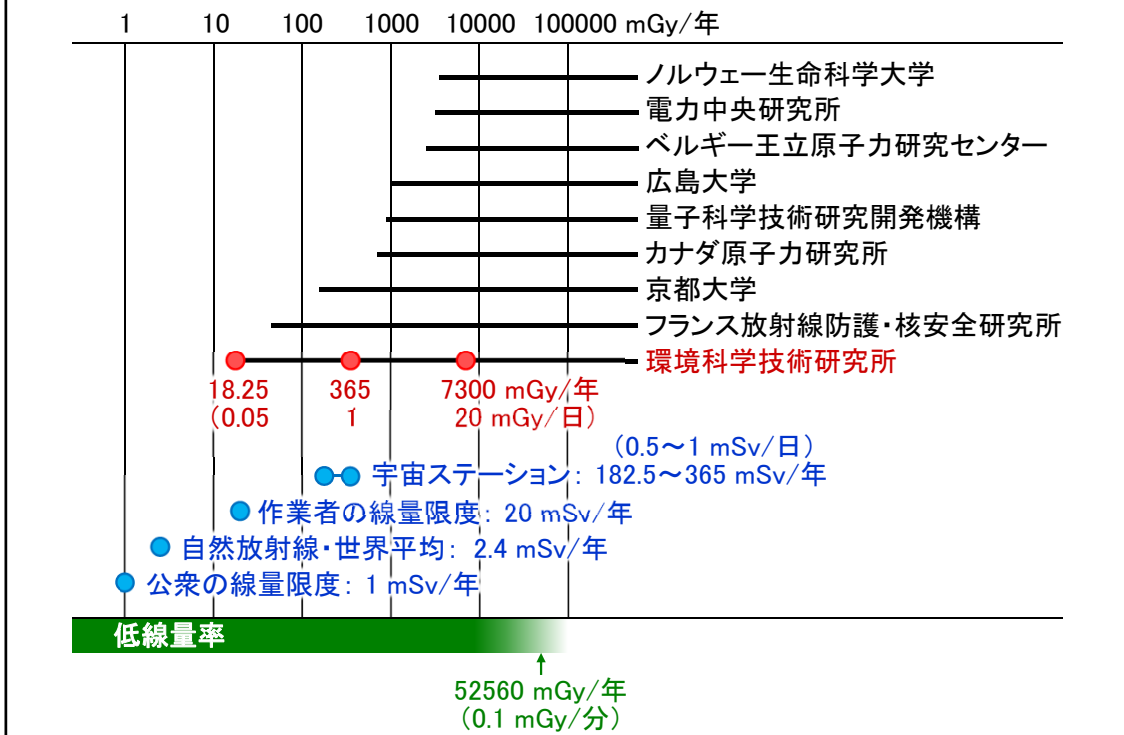
環境科学技術研究所では、低線量率放射線長期被ばくの影響に特に重点を置いて調査をしている。

- ・環境からの放射線の影響を考えるうえで重要。
- ・ヒトのデータが非常に少ない。

—要点—

1. 低いレベルの放射線と言う場合、低線量（総線量が少ない）と低線量率（少しずつ被ばくする）のふたつの場合がある。
2. 放射線線量の単位としては、グレイ（Gy）もしくはシーベルト（Sv）が用いられる。グレイは、実際に測定できる量（物理量）の単位であり、シーベルトは、放射線防護のために計算や近似によって求める量（防護量・実用量）の単位である。
3. ガンマ線やエックス線の全身被ばくの場合、グレイでもシーベルトでも値はおおむね同じになる（1グレイ ≒ 1シーベルト）。
4. 線量率の単位としては、単位時間（1分、1時間、1日、あるいは1年）あたりの、グレイもしくはシーベルトが用いられる。
5. 低線量あるいは低線量率について、絶対的な定義があるわけではないが、UNSCEAR（原子放射線の影響に関する国連科学委員会）などの機関は、現時点では、スライドに示したような定義をしている。

放射線生物影響研究に用いられている低線量率



—要点—

1. 日本や海外のいくつかの放射線生物影響研究機関において、どのくらい低い線量率で照射実験ができるかを示した。
2. 環境科学技術研究所は、世界的に見て、非常に低い線量率で照射実験が可能な機関である。
3. 参考として、放射線防護に関係したいくつかの数値を青字で示した。

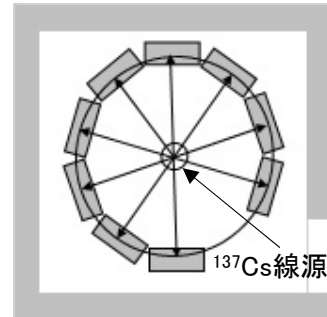
環境研の動物実験で使用している低線量率

線量率 (mGy/22時間 /日)	400日間連続 照射した時の 総線量(mGy)	
0.05	20	<ul style="list-style-type: none">・自然放射線レベルの約8倍。・作業者の年平均線量限度に相当。
1	400	<ul style="list-style-type: none">・国際宇宙ステーションでの放射線レベルに相当。
20	8000	<ul style="list-style-type: none">・発がん等の影響が確実に現れると推測される。・この総線量を一度に高線量率で照射すると、マウスが短時間で死亡する。

—要点—

1. 環境科学技術研究所では、主に表のような低線量率の放射線を用いて、成体のマウスを対象とした照射実験を行っている。

環境科学技術研究所の低線量率ガンマ線連続照射室



照射室を上から見た図



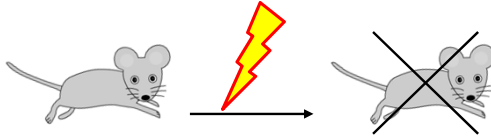
マウス飼育ケージ

—要点—

1. 環境科学技術研究所では、放射線の生物への影響を評価するために、実験用マウスを用いている。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）という条件下で飼育しつつ、低いレベルの放射線を照射できるような施設を使って実験を行っている。
2. 全部で9室の生物照射施設があるが、そのうち5室は、中心の ^{137}Cs 線源をマウスのケージが等距離で取り囲む形になっており、1室あたり300匹以上のマウスをSPF条件下で連続照射することが可能である。

・放射線の線量率が低くなると、同じ総線量を被ばくしても、影響が小さくなる
ことが知られているが、どのくらい小さくなるかは、ヒトや動物の個体ではよ
くわかっていない。

・高線量率照射：影響が大きい。



総線量8000 mGyの高線量率
放射線を一度に被ばくすると、
マウスは短時間で死亡する。

・低線量率照射：同じ総線量でも影響がより小さいと考えられる。



・しかし、動物の低線量率長期照射実験はこれまでほとんど行われてこなかった。

・多数のマウスを用いて、低線量率放射線長期照射-終生飼育実験を行い、
寿命の変化や腫瘍の発生頻度を調べた。

—要点—

1. 放射線の線量率が低くなると、同じ総線量を被ばくしても、その生物影響は
小さくなることが知られている。
2. しかし、低線量率の放射線長期照射によって生物個体にどのような影響が生
じるかについての詳細な研究は、これまであまり行われてこなかった。

寿命試験 (1995年～2002年)

非照射群(非照射で死ぬまで飼育 平均寿命:約3年)



B6C3F1マウス
オス・メス 各500匹

終生飼育→

照射群(3種類の低線量率のガンマ線を400日間連続照射し、その後非照射で死ぬまで飼育)



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 =	8000 mGy	オス・メス 各500匹

¹³⁷Cs ガンマ線



400日間

終生飼育→

3つの異なる低線量率の照射群で、非照射群と比較して寿命は短くなるか？

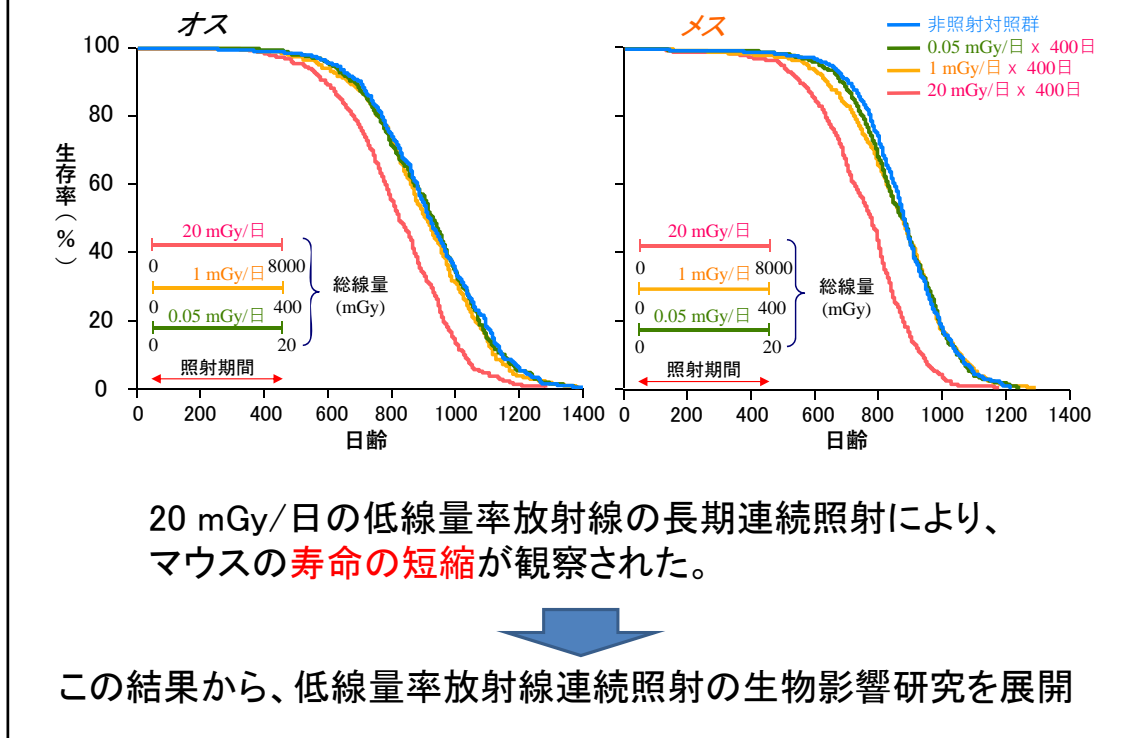
—要点—

1. 環境科学技術研究所における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. SPF条件下で、計4000匹のマウスを終生飼育（マウスの平均寿命は約3年）する大規模な実験であり、実施に8年を要した。
3. マウスに3つの低線量率で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。

[用語解説]

B6C3F1マウス：実験用マウスとしてよく使われる。

寿命試験の結果



—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. 寿命短縮の主原因は、悪性リンパ腫や他のがんのため、より早期に死亡していることであると考えられる。
6. この結果を受け、さらなる研究を現在展開している。

寿命試験の結果は研究論文や国際機関の勧告などに引用されている

(研究論文による引用)

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 - rjournal.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 ...

☆ 99 **Cited by 88** Related articles

(引用回数-Google Scholarによる)

(国際機関の勧告などによる引用)

国際放射線防護委員会(ICRP)

- ・Publication 99(放射線関連がんリスクの低線量への外挿) 2005年
- ・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

原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)

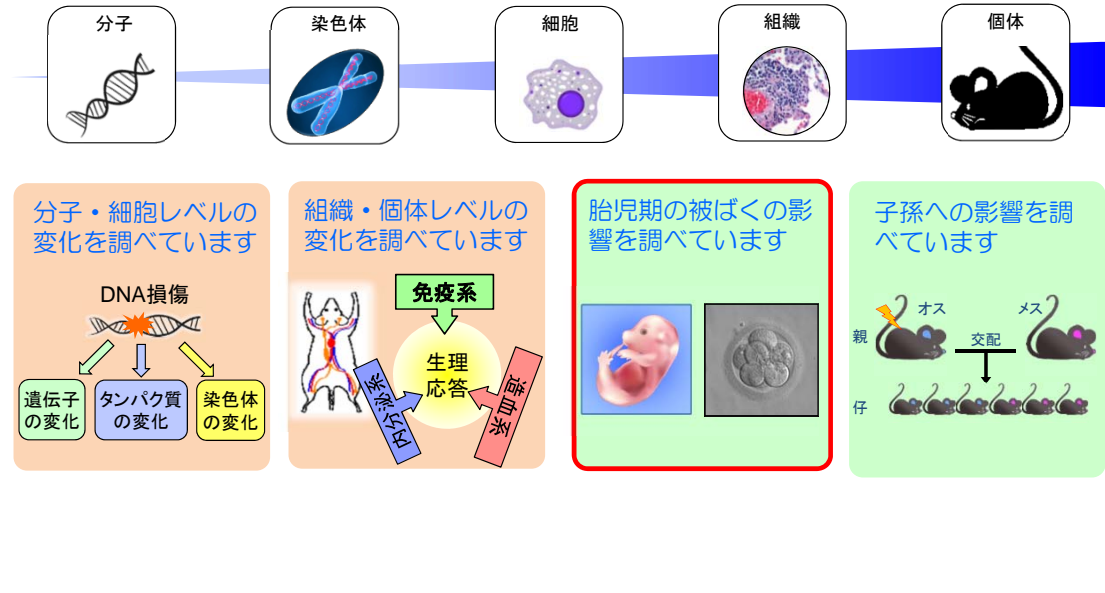
- ・2008年報告書

—要点—

1. 寿命試験の結果は、80編以上の研究論文に引用されている。
2. 各国の放射線に関する基準値設定に大きな影響がある国際機関（ICRP、UNSCEAR）の勧告などにも引用されている。

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、個体から分子まで幅広く調べる。



—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、生物の組織や細胞、そして分子の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、胎児期の被ばくの影響に関する調査の内容に関するものである。

環境研の動物実験で使用している線量率

	線量率 (mGy/22時間 /日)	400日間連続 照射した時の 総線量(mGy)	
低線量率	0.05	20	・自然放射線レベルの約8倍。 ・作業者の年平均線量限度に相当。
	1	400	・国際宇宙ステーションでの放射線レベルに相当。
	20	8000	・発がん等の影響が確実に現れると推測される。 ・この総線量を一度に高線量率で照射すると、マウスが短時間で死亡する。
中線量率	200		・より大きな影響が推測される。
	400		・より大きな影響が推測される。
高線量率	770 mGy/分		・影響がすでに調べられている。

—要点—

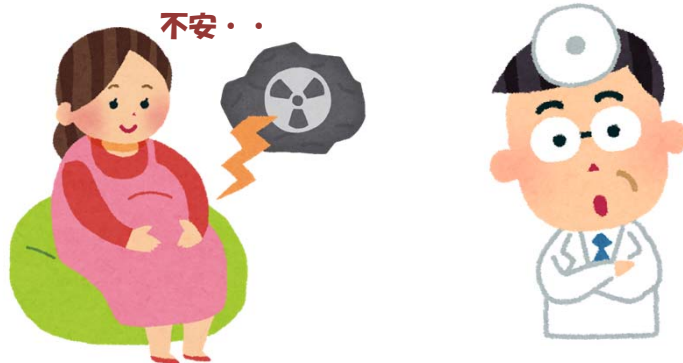
1. 今回紹介する胎児期の被ばくの影響に関する調査では、これまでに述べた低線量率のほかに、より高い線量率も用いてマウス照射実験を行っている。

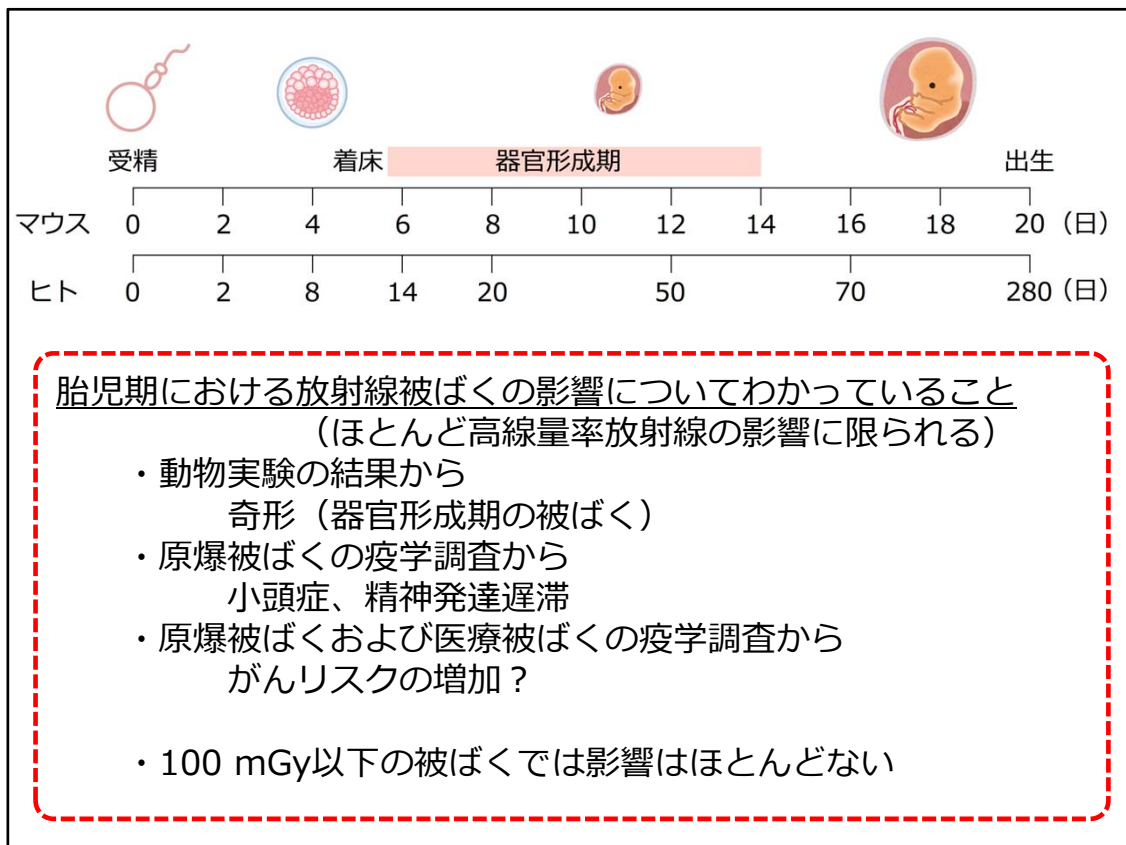
母体内における 放射線被ばくの影響を調べる

(公財)環境科学技術研究所
生物影響研究部
中平 嶺

胎児期における放射線被ばくの影響

- ・これまでの調査では、わかっていないことが多い。





—要点—

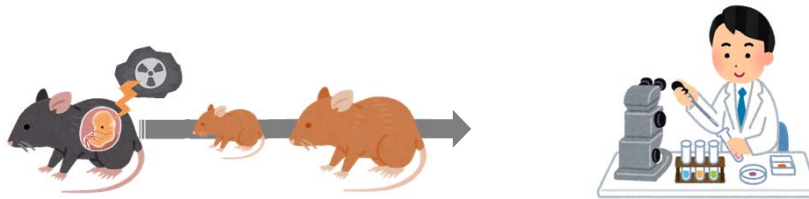
1. 胎児期のうち、着床からの一定期間は、器官形成期と呼ばれ、様々な組織や臓器の形成・発達が起きているため、放射線などの外的な因子への感受性が高いとされている。
2. 現在までに、動物実験の結果から、胎児期（器官形成期）の被ばくにより奇形が引き起こされることが明らかになっている（ヒトでは確認されていない）。
3. また、原爆胎内被ばく者の疫学調査の結果から、小頭症や精神発達遅滞が引き起こされることが明らかになっている。
4. 原爆や医療による胎内被ばく者の疫学調査から、がんリスクの増加の可能性が指摘されているが、現在のところ結論に至っていない。
5. これらの影響は、ほとんどが高線量率放射線の影響である。また、100 ミリグレイ (mGy) 以下の被ばくでは影響はほとんどないと考えられている。

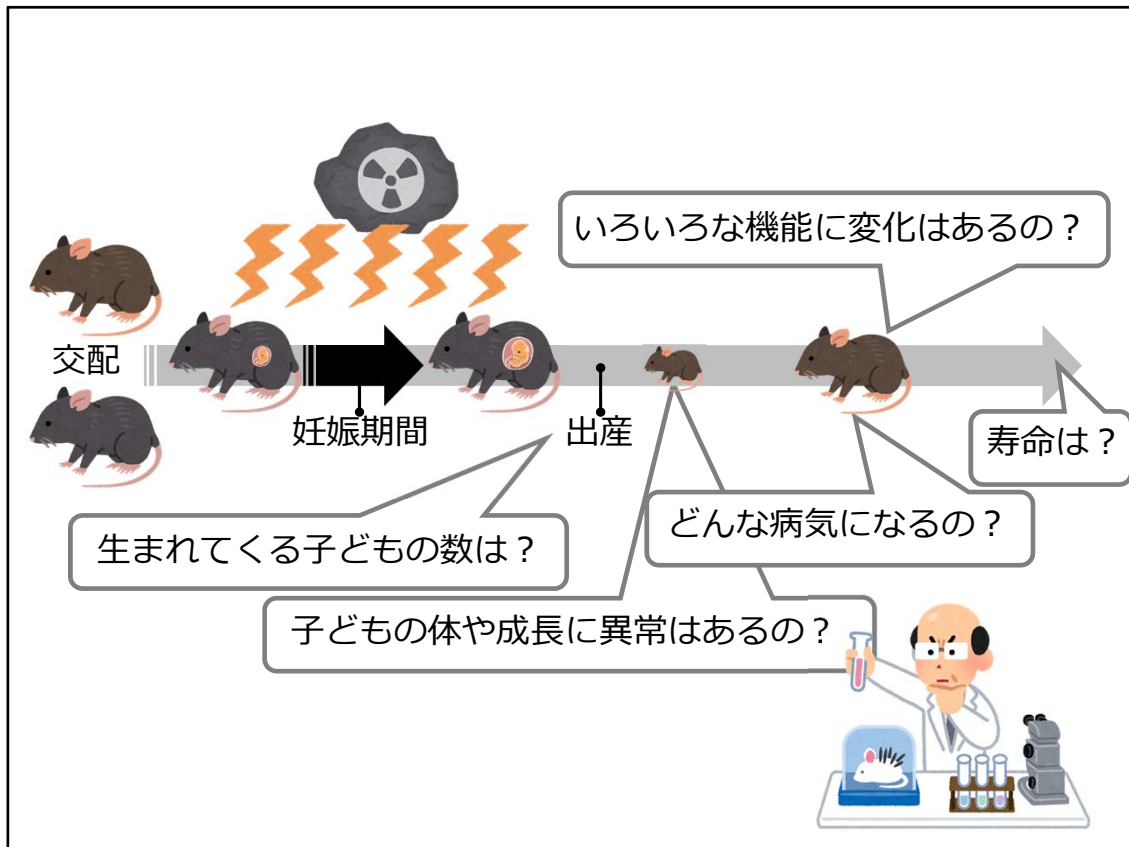
胎児期における放射線被ばく

- ・わかっていないことが多い



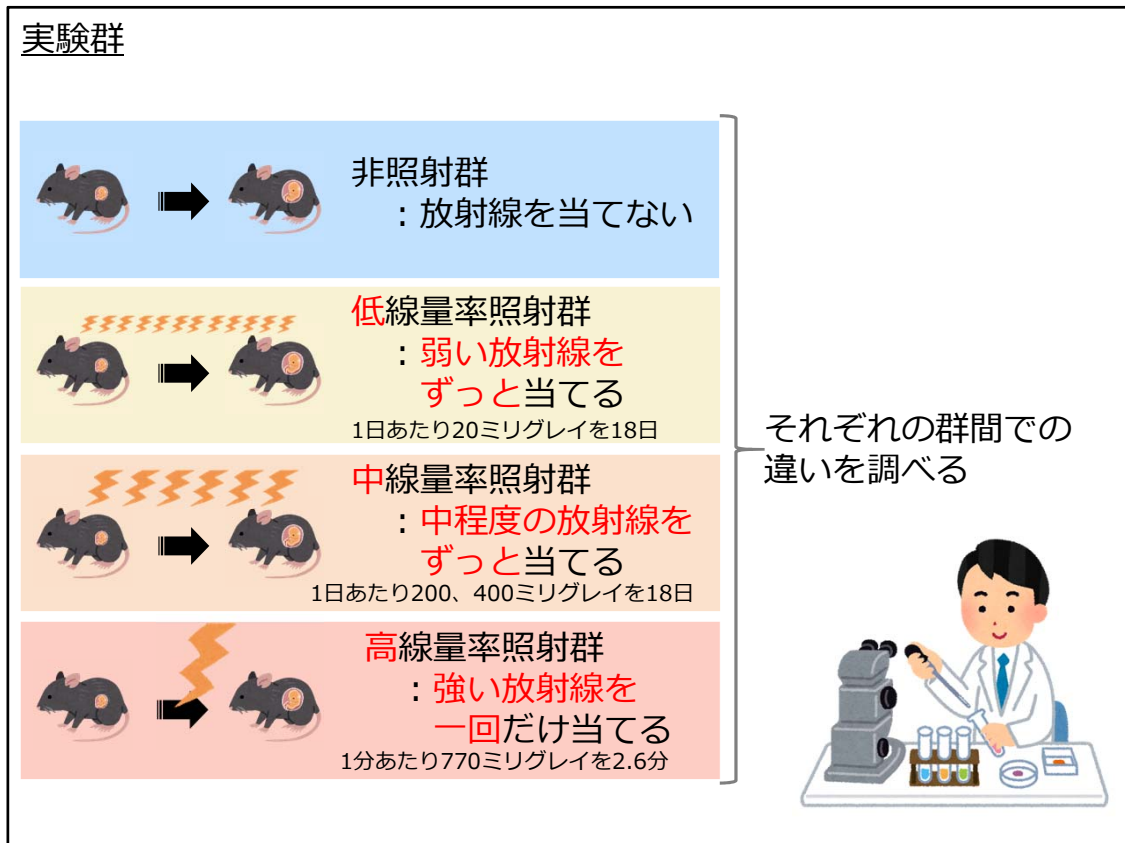
- ・マウスを用いて、胎児期に放射線（特に低い線量率）を被ばくした時の影響を調べる





—要点—

1. 環境科学技術研究所では、妊娠期間中の胎児期に放射線を照射し、出産
子数や生まれた仔の異常の有無、寿命などについて調査を行っている。



—要点—

1. 実験では以下のように条件を変えて放射線照射を行い、それぞれの条件の実験群で起こる変化を観察した。

①非照射群

放射線を当てない

②低線量率照射群

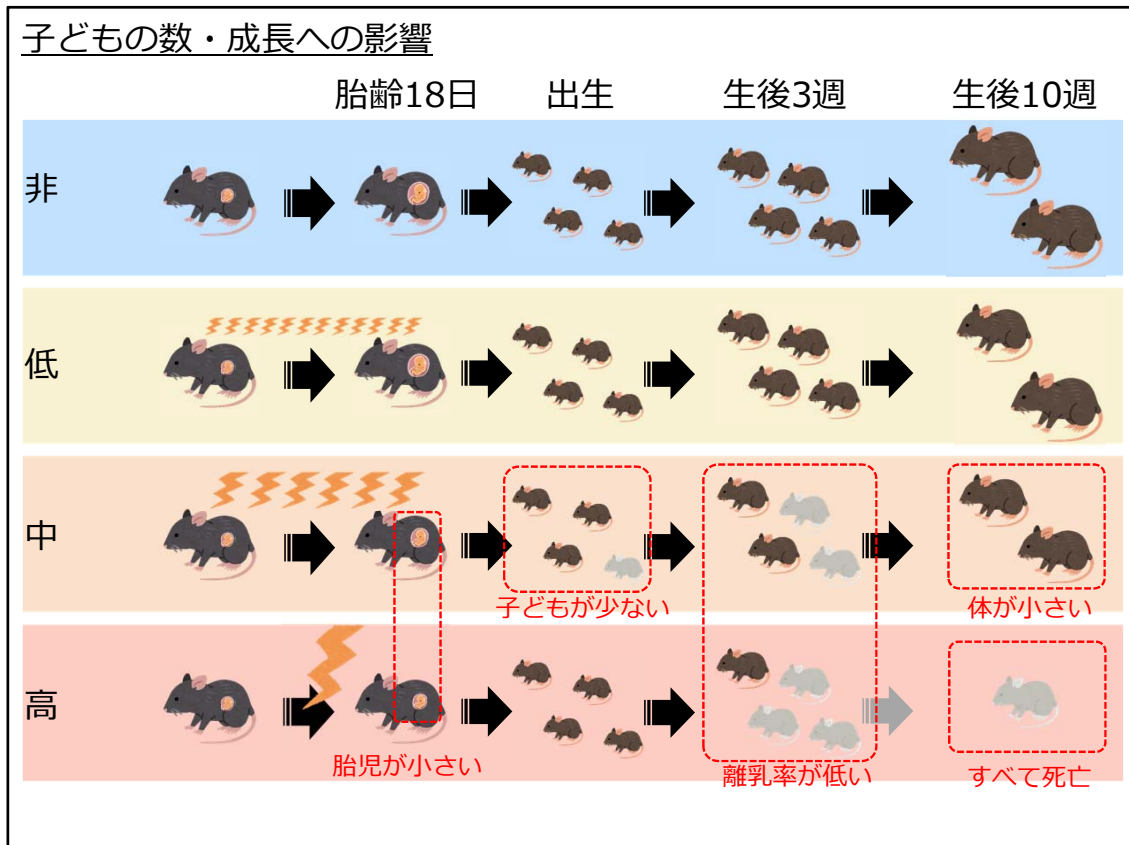
弱い放射線（20 ミリグレイ（mGy）/日×18日＝総線量360 mGy）を受精から出生の直前まで当て続ける

③中線量率照射群

中程度の強さの放射線（200 mGy/日×18日＝総線量3600 mGy、400 mGy/日×18日＝総線量7200 mGy）を受精から出生の直前まで当て続ける

④高線量率照射群

強い放射線（770 mGy/分×2.6分＝総線量2000 mGy）を胎齢11日（もっとも影響が大きいとされている時期）に一回だけ当てる

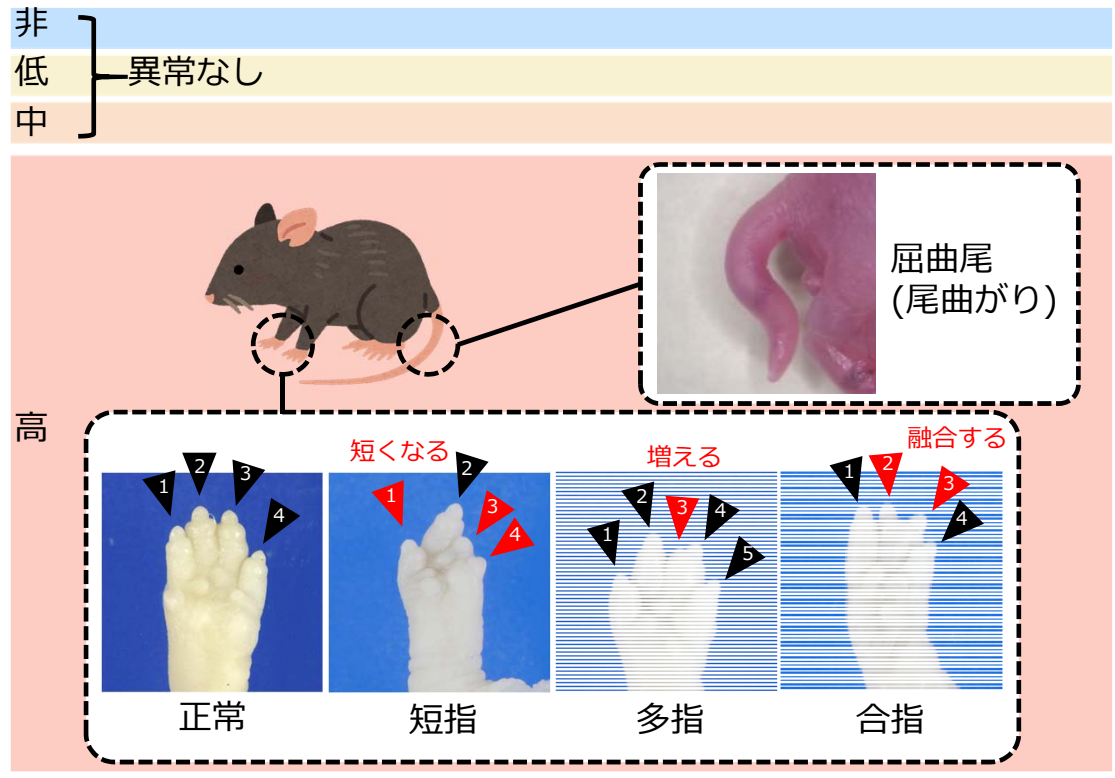


—要点—

1. 子供の数や成長への影響については以下のような結果が得られた。
2. 低線量率照射群では、非照射群と明らかな違いは認められない。
3. 胎齢18日では、中線量率照射群および高線量率照射群では、非照射群に比べ、胎児が小さい。
4. 出生時期では、中線量率照射群のうち400 ミリグレイ (mGy)/日照射群 (中線量率照射群の高い方) では、非照射群に比べ、生まれる子どもの数が少ない。
5. 生後3週では、中線量率照射群のうち400 mGy/日照射群および高線量率照射群では、非照射群に比べ、離乳率*が低い。
6. 生後10週では、中線量率照射群では、非照射群に比べ、成体になった際のオスの体が小さい。高線量率照射群では、この時期までにすべての個体が死亡した。

*離乳率：生まれた子マウスのうち、離乳時 (生後3週) まで生存していたものの割合

放射線を被ばくしたマウス胎児における外表奇形



—要点—

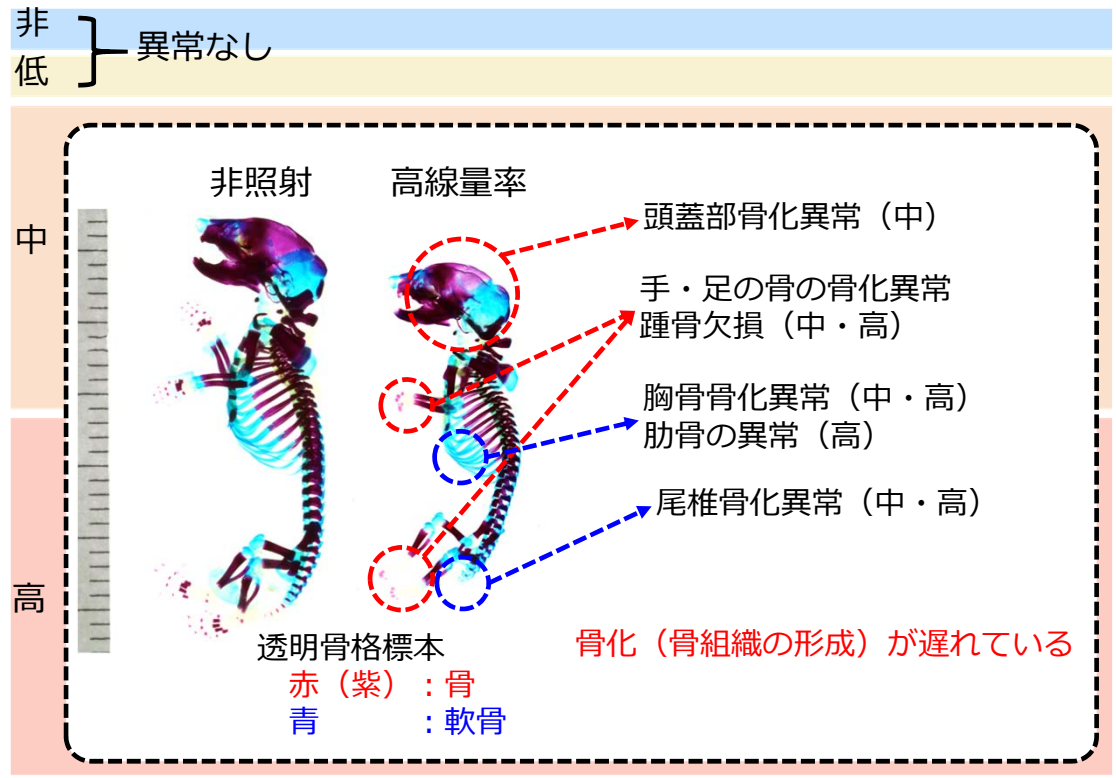
1. 胎齢18日における外表奇形を調べ、以下のような結果が得られた。
2. 低／中線量率照射群では明らかな異常は認められなかった。
3. 高線量率照射群では、ゆび、尾の奇形が認められた。

短指（趾）：正常なゆびに比べて長さが短い。

多指（趾）：正常よりもゆびの数が多い。

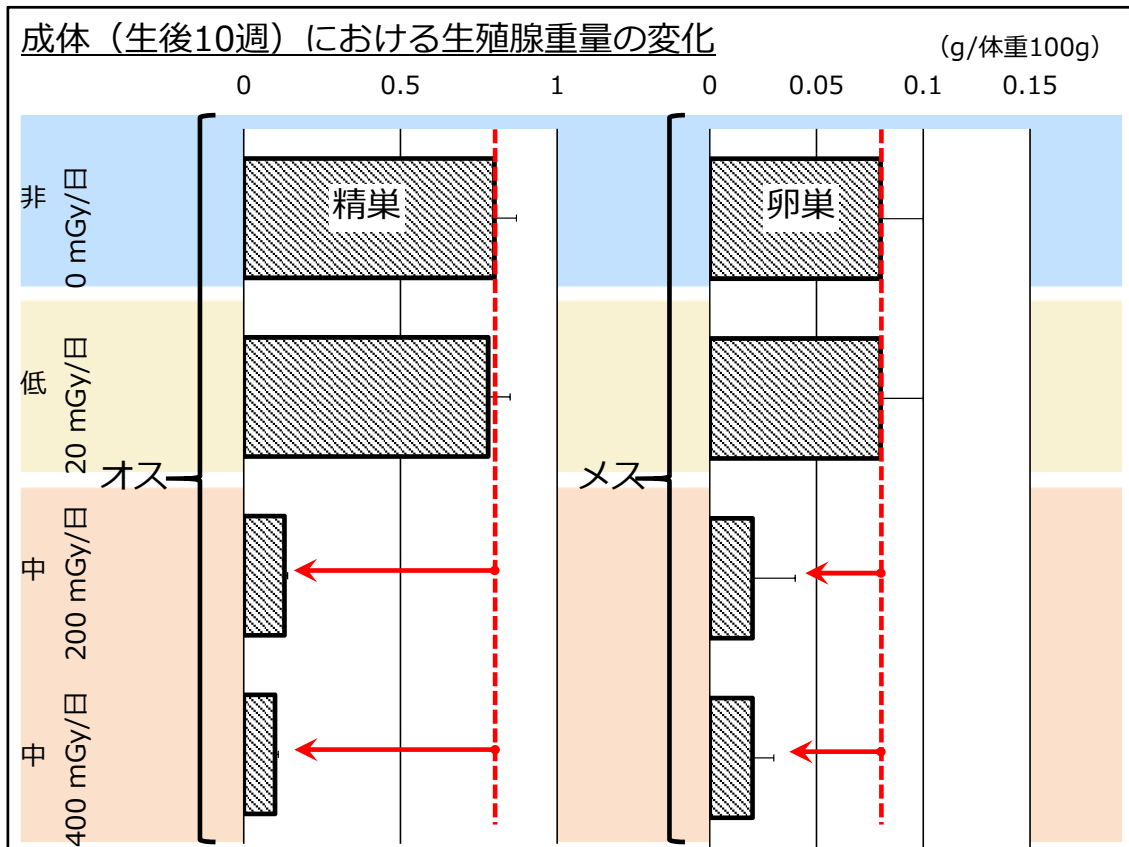
合指（趾）：複数のゆびが分離せず融合している。

放射線を被ばくしたマウス胎児における骨形成異常



—要点—

1. 胎齢18日におけるマウス胎児の骨形成異常について調べるため、透明骨格標本（硬骨をアリザリン赤、軟骨をアルシアン青で染色）を作製・観察し、以下のような結果が得られた。
2. 低線量率照射群では、非照射群と比較して、明らかな異常は認められなかった。
3. 中／高線量率照射群では、複数の骨で骨化の異常ないし欠損が認められた。総合的にみて、中／高線量率照射群では、骨化が遅れていると考えられる。



—要点—

1. 成体（生後10週）における生殖腺重量を測定し、照射の影響を調べた。
2. グラフは、臓器相対重量（体重100gあたりのグラム数）を示す。
3. 中線量率照射群では、オスメスともに、生殖腺が小さくなっている。

生殖細胞を可視化！

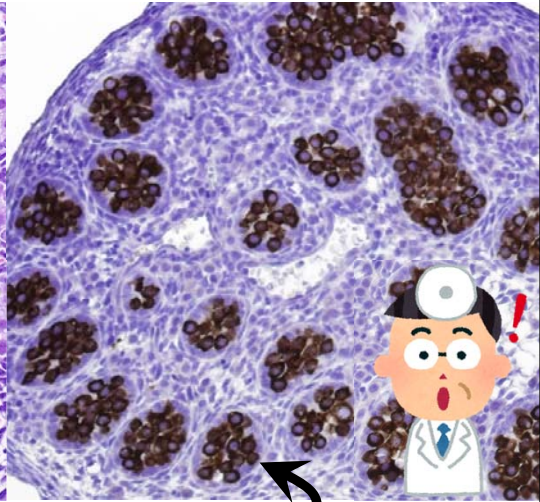
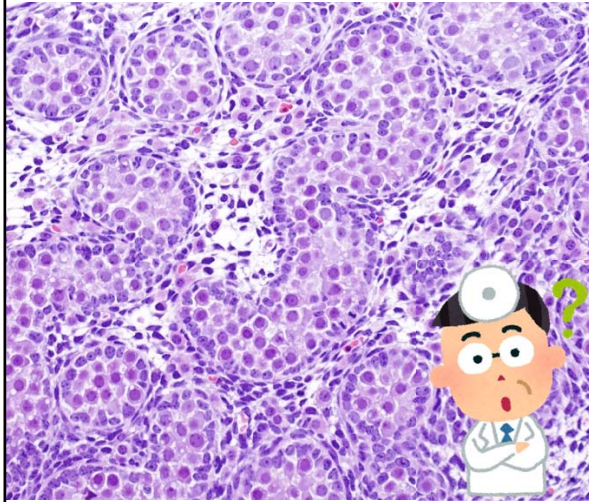
特定の細胞が染まる染色法を用いて

生殖細胞（精子や卵子のもとになる細胞）を判別しやすくする

胎齡18日、オス生殖腺（精巢）

ヘマトキシリン・エオシン染色

免疫染色（抗MVH抗体）

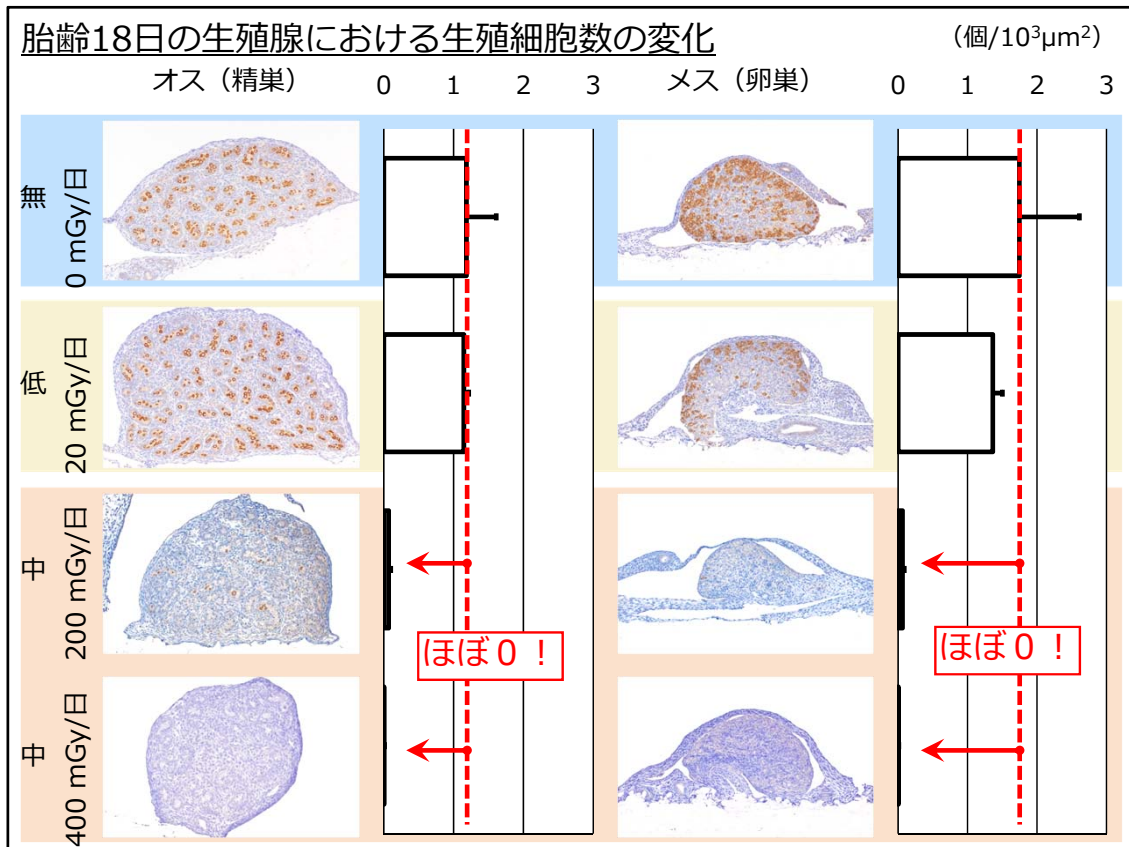


通常の染色ではわかりにくい…

生殖細胞が茶色～黒色に！

—要点—

1. 生殖細胞の数を数えるため、免疫染色（特定のタンパク質を検出する、ここでは生殖細胞の持つタンパク質を検出する）を行い、可視化した。
2. ヘマトキシリン・エオシン染色とは、組織標本を作成する場合に一般的に行われる染色方法であり、通常、核が青色、細胞質が赤色に染まる。
3. 免疫染色とは、特定のタンパク質に対する抗体を用いて染色を行う方法である。MVHは生殖細胞において比較的広く存在するタンパク質であり、生殖細胞を観察する染色法として非常に有用である。



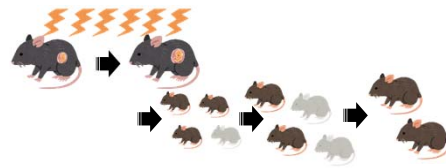
—要点—

1. 胎齢18日におけるマウス胎児の生殖腺を観察した。写真の茶色くなっている部分が、生殖細胞である。
2. グラフは精細管（オス）または卵巣（メス）の面積、 $10^3\mu\text{m}^2$ （1000マイクロ平方メートル； 1mm^2 の1000分の1）あたりの生殖細胞（MVH陽性細胞）数を示す。
3. 低線量率照射群では、非照射群と比べ、違いが明らかではない。
4. 中線量率照射群では、非照射群に比べ、生殖細胞数が減少し、ほぼ0となっている。

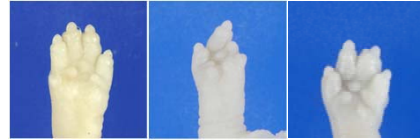
現時点までにわかったこと

・中/高線量率では…

子どもの数が**少**くなる
子どもが**小**さくなる



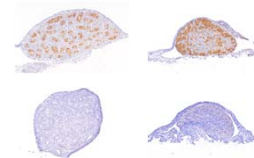
ゆびなどの**奇形**が起こる



骨化が遅れる



生殖腺が小さくなる
生殖細胞の数が少くなる



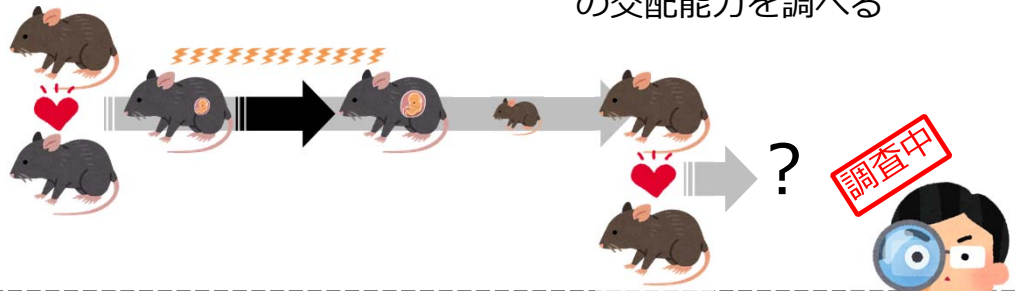
・低線量率では… 明らかな変化はみられない

—要点—

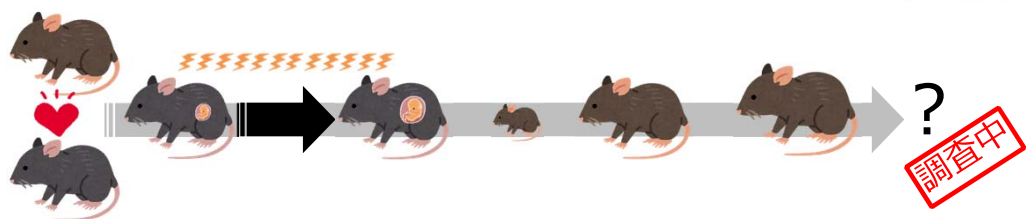
1. これまでの胎児の放射線被ばく影響に関する調査により、以下のようなことが明らかになった。
2. 中/高線量率の放射線被ばくでは、子どもの数が少なくなる、また子どもが小さくなる。
3. 高線量率の放射線被ばくでは、ゆびなどの奇形が起こる（中線量率ではみられない）。
4. 中/高線量率の放射線被ばくでは、骨化が遅れる。
5. 中/高線量率の放射線被ばくでは、生殖腺が小さくなり、生殖細胞の数が少なくなる。
6. 一方で、低線量率の放射線被ばくでは、現在のところ、明らかな変化は認められていない。

現在進行中の調査

生殖機能への影響：胎仔期に放射線を当てたマウスの交配能力を調べる



寿命や病気などへの影響：胎仔期に放射線を当てたマウスの寿命や死因を調べる



—要点—

1. これまでの実験により、生殖腺・生殖細胞への放射線の影響が大きいことが明らかになったため、胎児期に放射線を当てたマウスが成体になったときの交配能力を調べる実験を実施している。
2. 長期的な影響を明らかにするため、胎児期に放射線を当てたマウスの寿命や死因を調べる実験を実施している。この実験では、より低い線量率の放射線（0.05ミリグレイ（mGy）/日×18日＝総線量0.9 mGy、1 mGy/日×18日＝総線量18 mGy）も用いている。



平成30年度成果報告会

**六ヶ所村沖合海洋放射能等調査
—概要—**

**(公財) 日本海洋科学振興財団
むつ海洋研究所 分析部長
藤田 浩**

(公財) 日本海洋科学振興財団の紹介

－事業内容－

- ★ 海洋科学及び技術の研究分野において、我が国及び外国の優れた業績を挙げた者又は団体に対する**日高賞**その他の褒賞の授与
- ★ 海洋科学及び技術の発展に重要と認められる研究に対する研究費の援助（海外渡航費の援助）
- ★ 海洋科学及び技術に関する調査及び研究
 - **六ヶ所村沖合海洋放射能等調査 など**
- ★ 海洋科学及び技術に関する図書及び資料の蒐集並びにその一般利用への提供
- ★ 内外の重要文献及び資料の紹介並びに配布
- ★ 海洋科学及び技術に関する科学技術館等の設置・運営
 - **むつ科学技術館の運営管理**
- ★ その他この法人の目的達成に必要な事業

六ヶ所村沖合海洋放射能等調査の目的

大型再処理施設から周辺海域に排出される放射性物質の海洋への影響について、コンピューターによるシミュレーションモデル（固有モデル）によって解析

海水循環モデル：海水の流れの変化を計算
核種移行モデル：放射性物質の拡がりを再現・予測



県民の施設への安心感の醸成

－要点－

六ヶ所村沖合海洋放射能等調査は、排出放射性物質による六ヶ所村沖合周辺海域への影響についてコンピューターによるシミュレーションによって解析し、県民の施設への安心感の醸成に寄与することを目的としている。

シミュレーションモデルは、海水の流れの変化を計算する海水循環モデルと、その計算結果をもとに放射性物質の分布の変化を再現・予測する核種移行モデルから成り、これらを併せて固有モデルと称している。

青森県周辺の海況の概要



－要点－

青森県東方沖の海況の特徴：

1. 青森県の東方沖は、対馬暖流の一部が津軽海峡を通過して太平洋側に流出する津軽暖流と、千島列島に沿って南下する親潮の影響を受け、複雑な流れを形成する。
2. 津軽暖流の流路は季節によって変化し、概観的には夏から秋には渦を形成（渦モード）し、冬から春には青森県太平洋沿岸に沿って流れる（沿岸モード）が、津軽暖流の渦形成の時期や規模など年による違いが見られる。

調査研究の必要性：

大型再処理施設の操業に伴い、海洋へ放出される放射性物質による影響を把握するためには、当該海域の海水の流れを正しく評価し、それに基づいた放射性物質の広がり（移行拡散）を解析する必要がある。現在、固有モデルによる計算結果の信頼性向上のための検証・改良を進めるとともに、そのために必要な海洋観測を実施している。

固有モデル信頼性向上のための海洋観測



<今日の話題>

- ・放出口付近での長期観測データ
- ・下北半島沿岸の多地点での同時観測データ

を元に、下北半島沿岸での流れの変動の特徴に関する報告を行う。



－要点－

固有モデルの信頼性の向上には、モデル計算結果との比較やモデルで使用する各種パラメータの最適化などに用いるデータ取得のため、海洋観測が不可欠である。放出口付近に設置した係留式ブイや調査船、苫小牧～仙台航路に就航しているフェリーなどにより、六ヶ所村周辺海域の海洋物理・化学的な観測を実施している。

- ・係留式ブイ：定点（放出口周辺）での水温・塩分、流向流速（海水の流れ）、風向風速などを連続的に観測
- ・調査船観測：ある時刻での空間的な分布状況を把握するため、水温・塩分、流向流速（海水の流れ）などを観測するとともに、海水を採取し放射性物質濃度等を分析
- ・フェリー観測：定期船上から投棄式の水温・塩分計を投入し、航路での水温・塩分分布を定期的に観測

今回は、海洋放出口付近で長期の観測を行っている係留式ブイのデータ及び下北半島沿岸の多地点にセンサを係留して行った同時観測のデータを元に、下北半島沿岸での流れの変動の特徴に関する報告を行う。

[基礎知識]

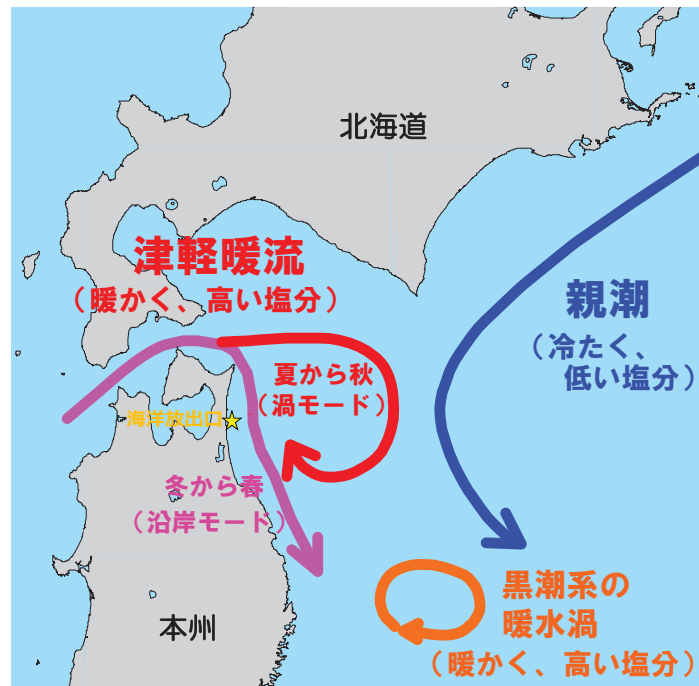
投棄式水温・塩分計：

水温検出部及び導電率検出部を装着したプローブを海中に投下することにより、水温及び導電率から得られる塩分の鉛直分布を計測するシステムで、船舶航走中でも観測が可能。

下北半島太平洋側沿岸における 流れの変動の伝播について

(公財)日本海洋科学振興財団
むつ海洋研究所 分析部
小藤 久毅

青森県東方沖の海況の概要



—要点—

青森県の東方沖は、津軽暖流と親潮双方の影響を受け、複雑な流れを形成する。さらに、沿岸付近では潮汐や気象、地形などによる複雑な影響が加わる。

沿岸の流れとその変動は、排出された放射性物質の移流や拡散に影響するため、固有モデルの検証・改良を行いモデルの信頼性を向上する上で重要な情報である。

[用語説明]

津軽暖流：日本海から太平洋に流れ出る、暖かく高塩分の海流（暖流）

親潮： 千島列島に沿って南下し、三陸沖に達する冷たく低塩分の海流（寒流）

今日の話題

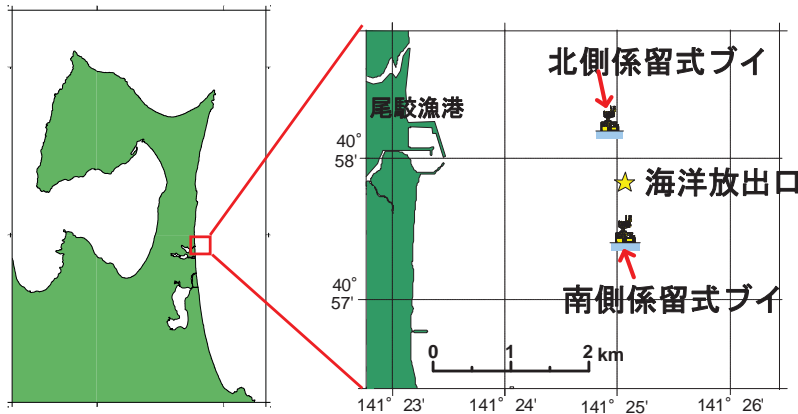
☆ 海洋放出口付近の流れの変動の特徴

- ・観測概要
- ・流れの変動周期とそれぞれの要因
- ・流れの変動の季節的な特徴

☆ 下北半島太平洋沿岸での流れの変動の伝播

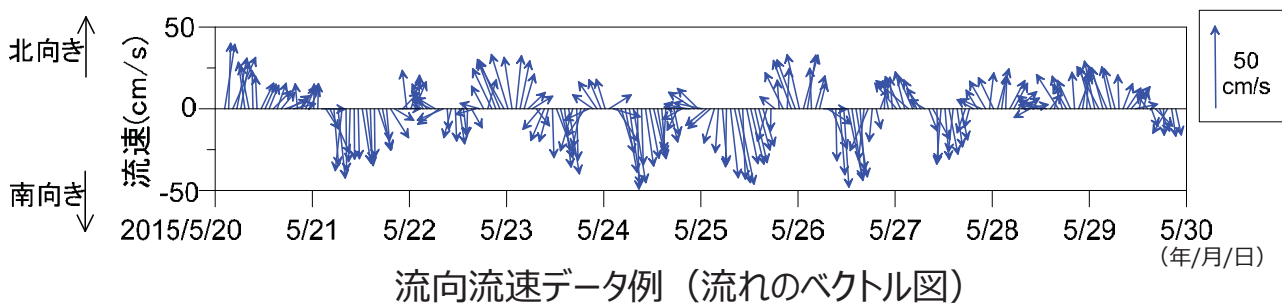
- ・観測概要
- ・各地点での流れの概況
- ・変動の伝播

海洋放出口付近での観測：観測概要



係留式ブイ

流向流速、水温・塩分等の継続的な観測（2003年～）



流向流速データ例（流れのベクトル図）

－要点－

海洋放出口付近の海況の把握や固有モデルの信頼性向上のために必要なデータの取得のため、海洋放出口付近に2基の海洋観測ブイ（係留式ブイ）を設置し、流向流速、水温・塩分等の観測を実施している。今回は、その流向流速データを用いて、放出口付近の流れの変動の特徴について説明する。

海洋放出口付近の流れは、流れのベクトル図で例示したように、強さ・向きが時間とともに変化する。流れの向きは概ね南北方向の場合が多く流速も大きいのに対し、東西方向の流れは割合が少なく流速も小さい。流れの変動には様々な要因（後述）が考えられる。

[用語説明]

流れのベクトル図：矢印の向きで流れの向き、矢印の大きさを流れの強さを表す。

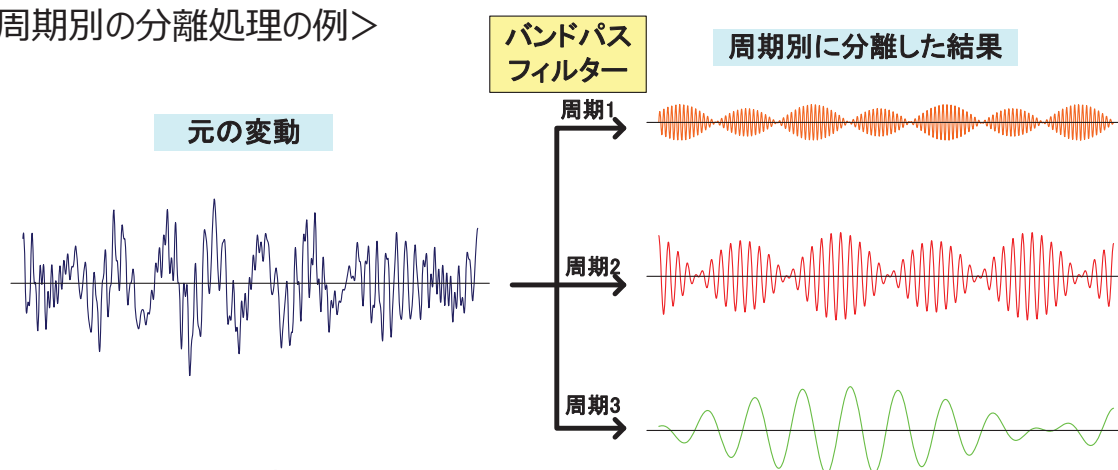
[参考]

本発表では、流速の単位は「cm/s」（センチメートル毎秒）で表している。船の速度などで良く使用される速度の単位「ノット」とは下記の関係にある。

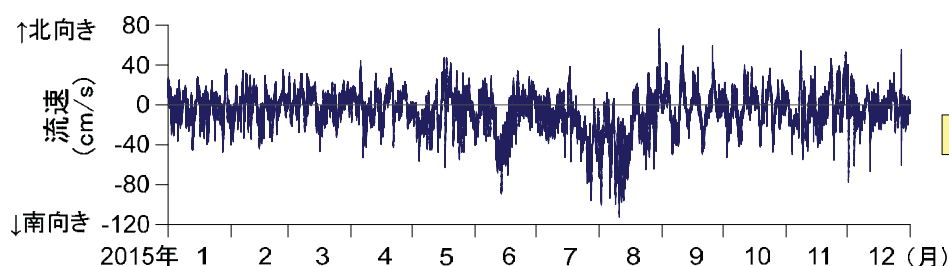
$$50 \text{ cm/s} = 0.97 \text{ ノット}$$

流れの変動の特徴について：解析手法

<周期別の分離処理の例>



<海洋放出口付近の流れの変動>



変動の要因
が異なる周期
別に分離して
その特徴を解
析

—要点—

流れの時間変化は色々な要因が重なって起きている。このような複雑な現象を解析する方法の一つとして、変動を周期別に分離し、要因が異なるそれぞれの周期について変動の特徴を調べる方法がある。今回、海洋放出口付近の流れの変動の特徴を示すため、バンドパスフィルターを用いて変動を周期別に分離する手法を用いた。

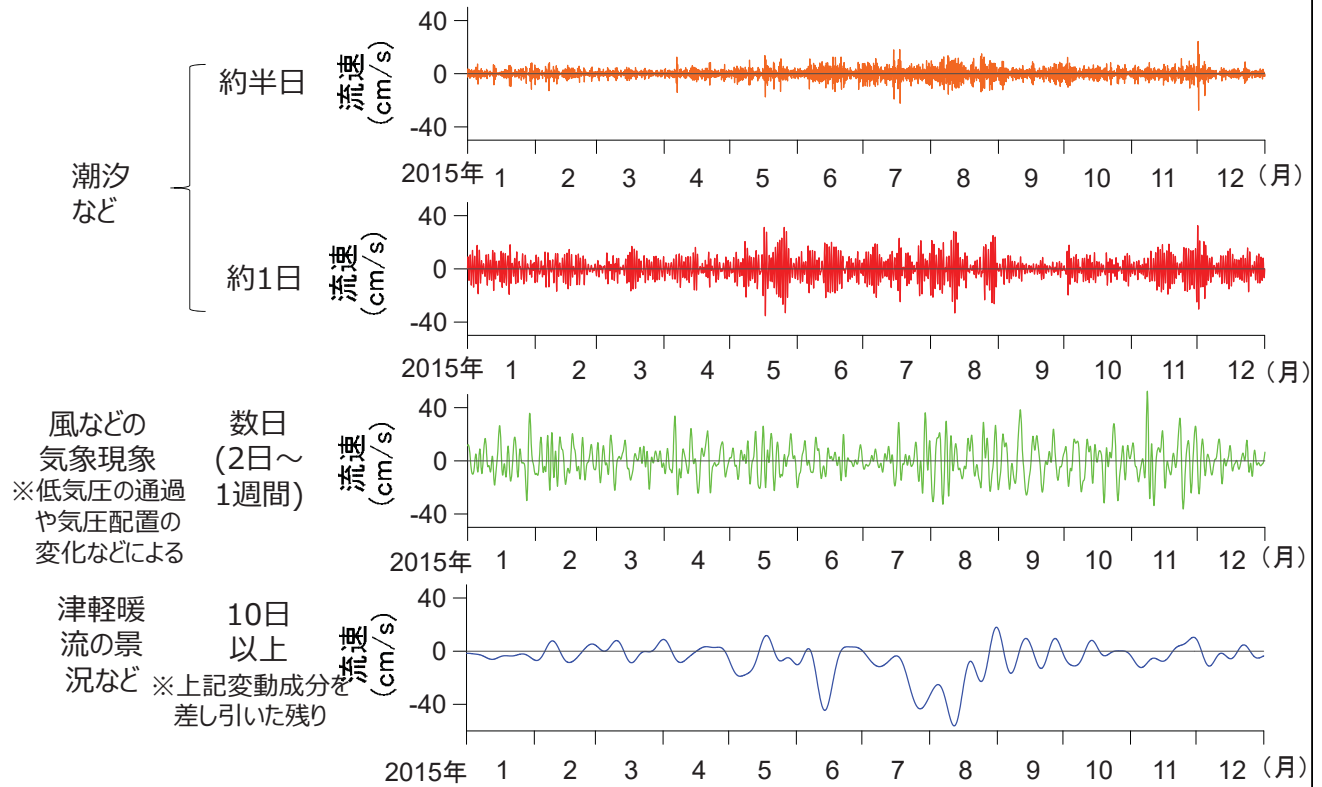
[用語説明]

バンドパスフィルター：特定の範囲の周期の変動のみを残し他の周期の変動は減衰させることで、目的とする変動周期の成分を取り出す処理

流れの変動の特徴について

～周期別に見た流れの変動～

<変動要因> <抽出周期>



－要点－

海洋放出口付近における流れの主な変動方向である南北方向の流れ（上図では北向きを正、南向きを負で表示）について、これまでの調査により存在が確認されている、約半日、約1日及び数日（各周期の主な要因は下記）の変動を抽出し上図に示した。

潮流としては約1日周期の変動が大きく、約半日周期の変動は小さいことが、海洋放出口付近の流れの変動の特徴である。潮流での流れの変動は、短期的には放射性物質の移流に、長期的には拡散に寄与すると考えられることから、排出された放射性物質の影響を評価する上で重要な現象の一つである。

<流れに見られる主な変動周期とその要因>

約半日及び約1日： 潮汐など

数日周期（2日～1週間）：風など

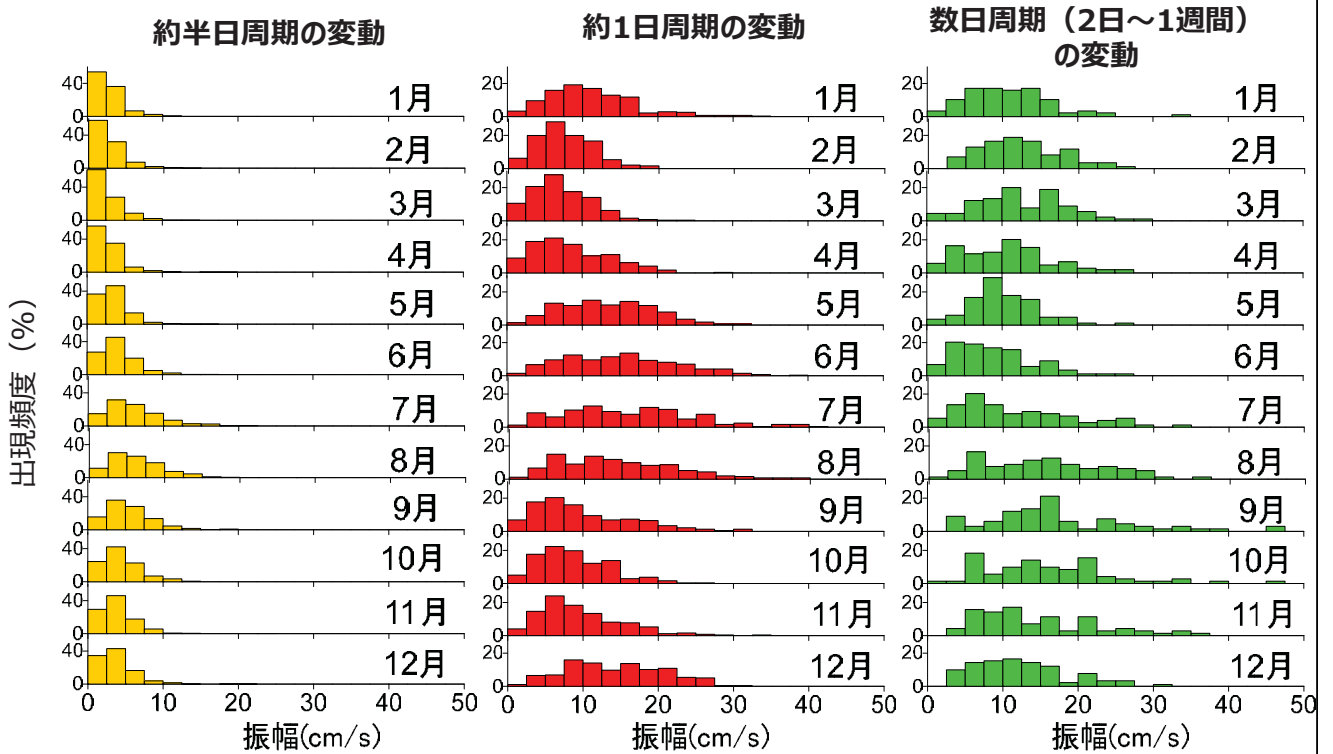
（低気圧の通過や気圧配置の変化などによる）

10日以上（上記変動を差し引いた残り）：津軽暖流などの影響

流れの変動の季節的な特徴

～変動の大きさの頻度分布の季節変化～

※データ期間：2007年4月～2016年8月



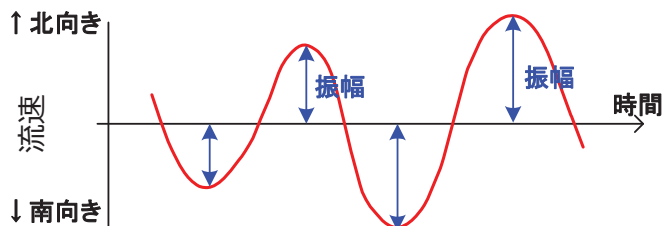
－要点－

流れの変動の大きさについての季節的な特徴を示すため、長期の観測データ（2007年4月～2016年8月）を元に、周期別に抽出した流れの変動から、1波毎に振幅（下記解説参照）を求めて月毎に集計した。

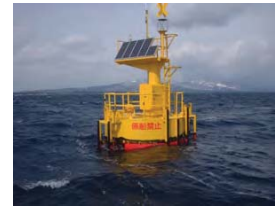
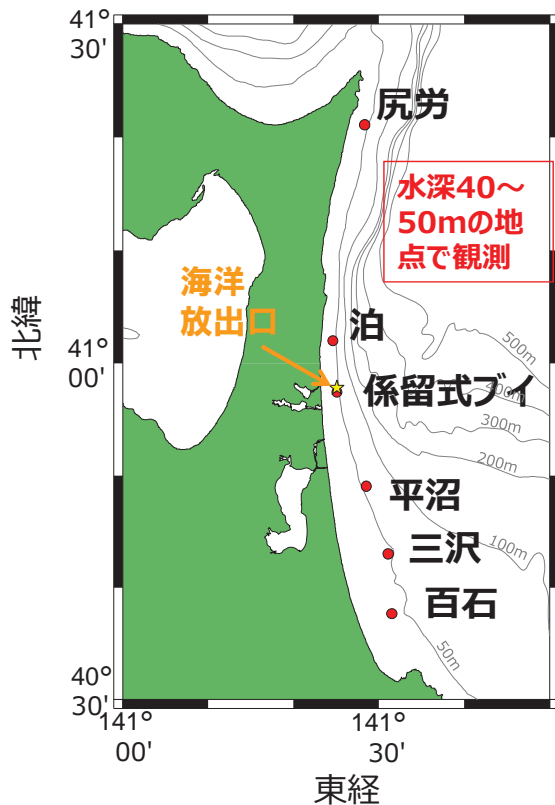
振幅の頻度分布を月別に見ると、約半日周期の変動は全般に振幅が小さいものの7～9月は相対的に大きく、約1日周期の変動は5～8月及び12、1月に大きく、数日周期の変動は8～11月に大きいという季節的な特徴がある。

[用語解説]

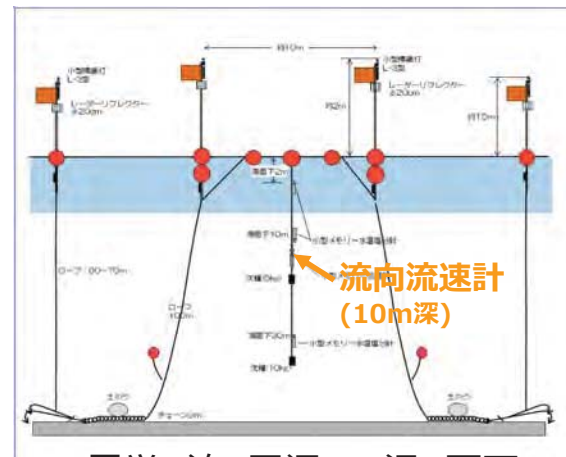
振幅：波のような周期的な変動での、山及び谷の部分の大きさのこと



多地点での流向流速の同時観測：観測概要 (2015年夏季に実施)



係留式ブイ (海洋放出口付近)



尻労, 泊, 平沼, 三沢, 百石
センサーを一定期間係留して観測 (2015年夏季)

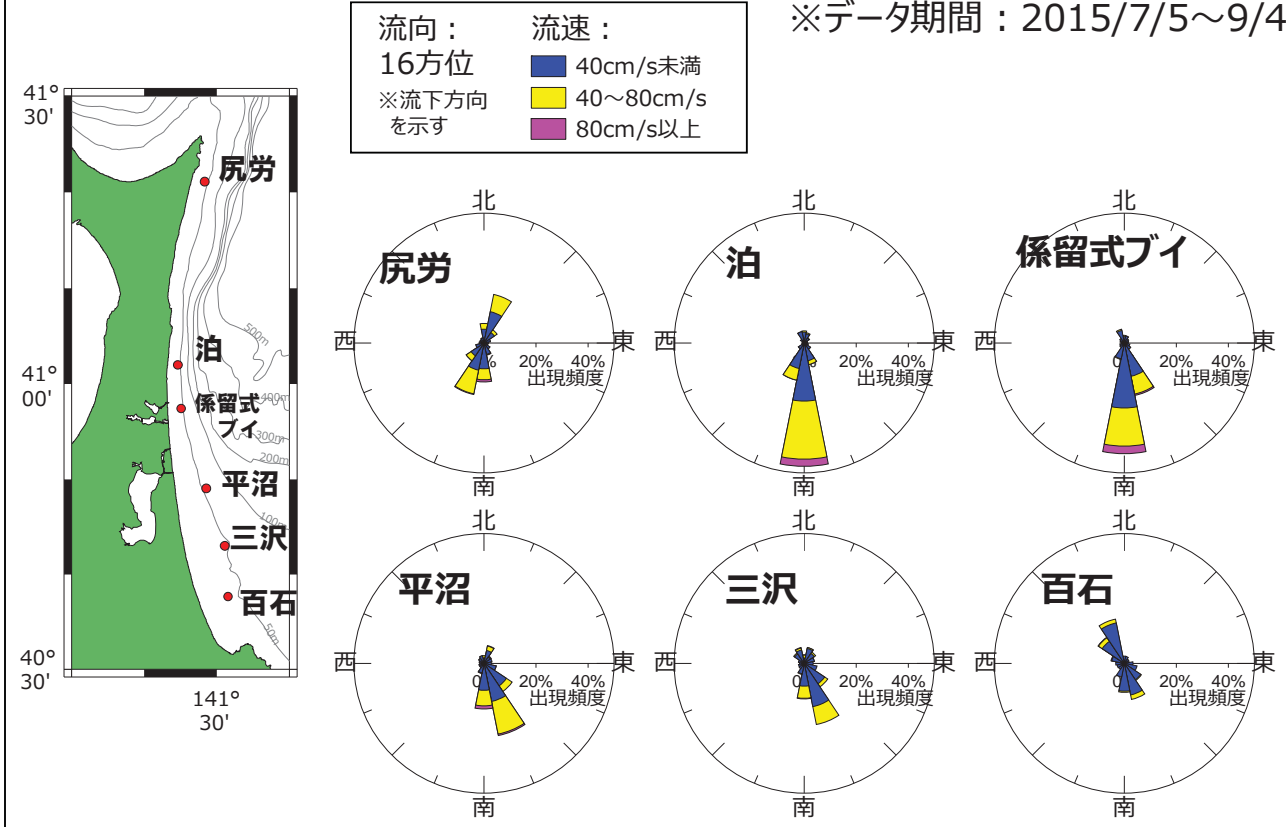
—要点—

青森県太平洋側沿岸における、流れや水温・塩分の変化の時間・空間的な特徴を把握する目的で、海洋放出口付近で係留式ブイにより継続的に実施している観測に加え、2015年夏季に上図に示す多地点（いずれも水深40~50m地点）での同時観測を行った。

海洋放出口付近見られる特徴的な変動の一つである約1日周期の変動が、下北半島太平洋側沿岸ではどのようになっているかについて、この観測で取得した流れのデータを用いて説明する。

各地点での流れの概況1：流れの出現状況

※データ期間：2015/7/5～9/4



－要点－

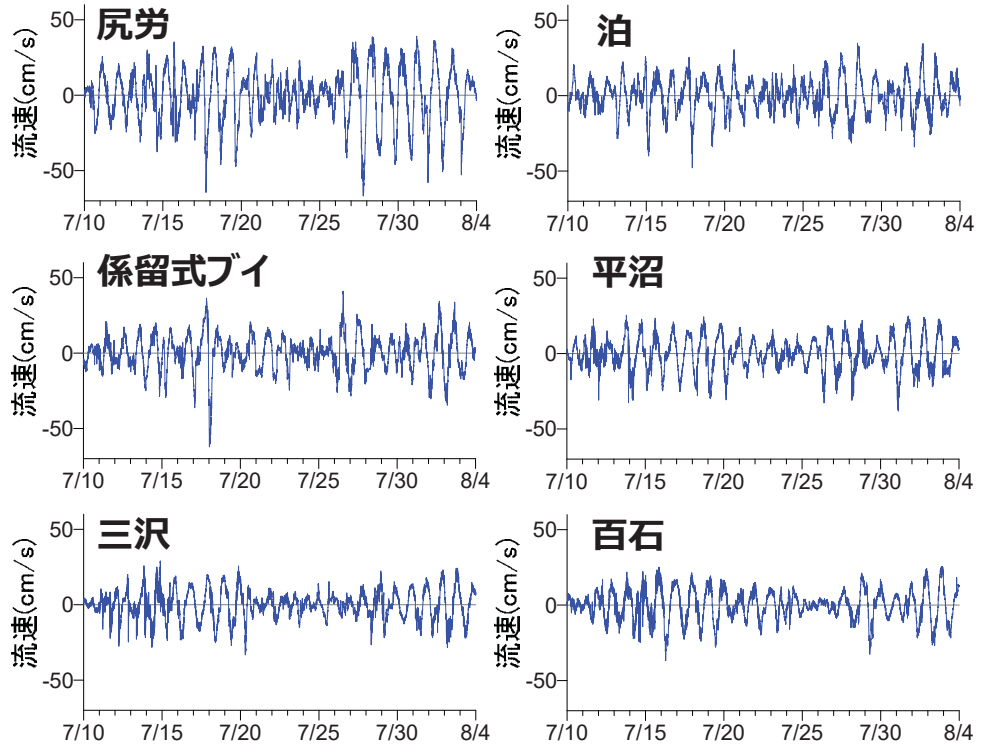
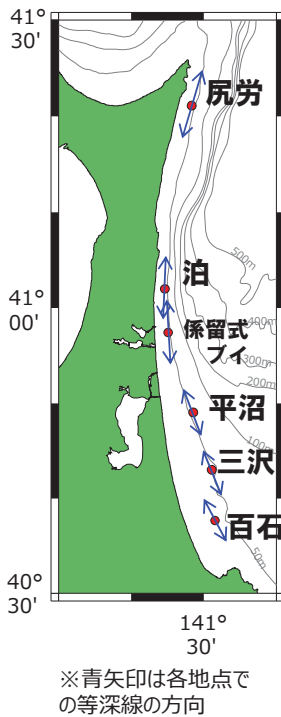
観測された流れの向きは、尻労では北北東及び南南西向き、泊では南向きといったように、各地点とも地形（等深線）に沿ったものの出現頻度が大きい。

夏季のみの限られたデータではあるが、泊及び係留式ブイでは他の地点と比べ流速が大きい場合が多く、三沢及び百石では流速が小さい場合が多い。

各地点での流れの概況2：流れの変動成分

地形(等深線)に沿った方向の流速の変動

— 流れの変動成分 (周期1日以下)
※計測した流れから1日より長い変動を差し引いたもの



—要点—

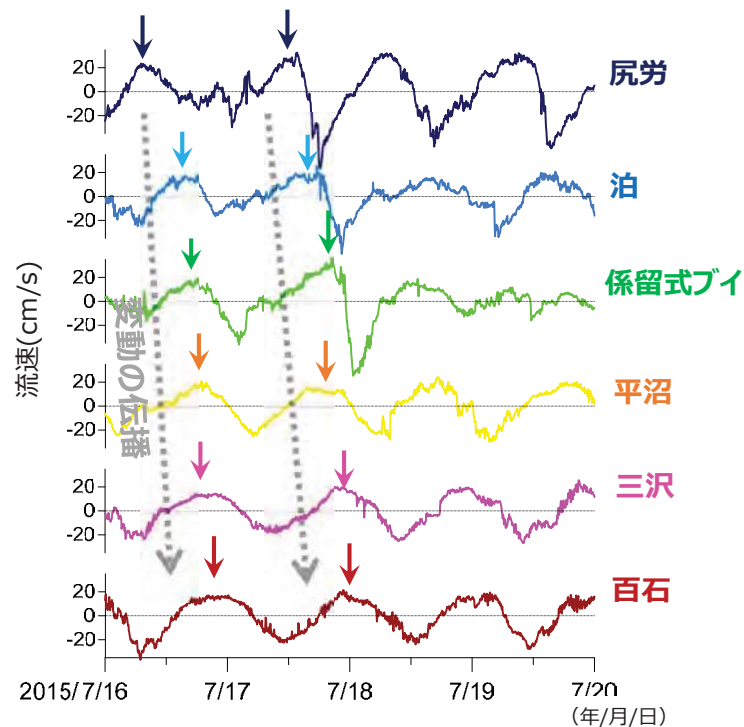
地点によって主な流れの方向に違いがあるため、地形に沿った方向の流れを取り、その変動成分（周期1日以下（1日を含む））を抽出して比較した。

いずれの地点でも約1日周期での変動が存在する。約1日周期の変動は下北半島太平洋側沿岸全域で見られる特徴と考えられる。

変動の大きさは尻労で最も大きく、三沢・百石で小さい。

変動の伝播1：地点間で流れの変動の時間差

～1日以下の周期の変動についての地点間での比較～



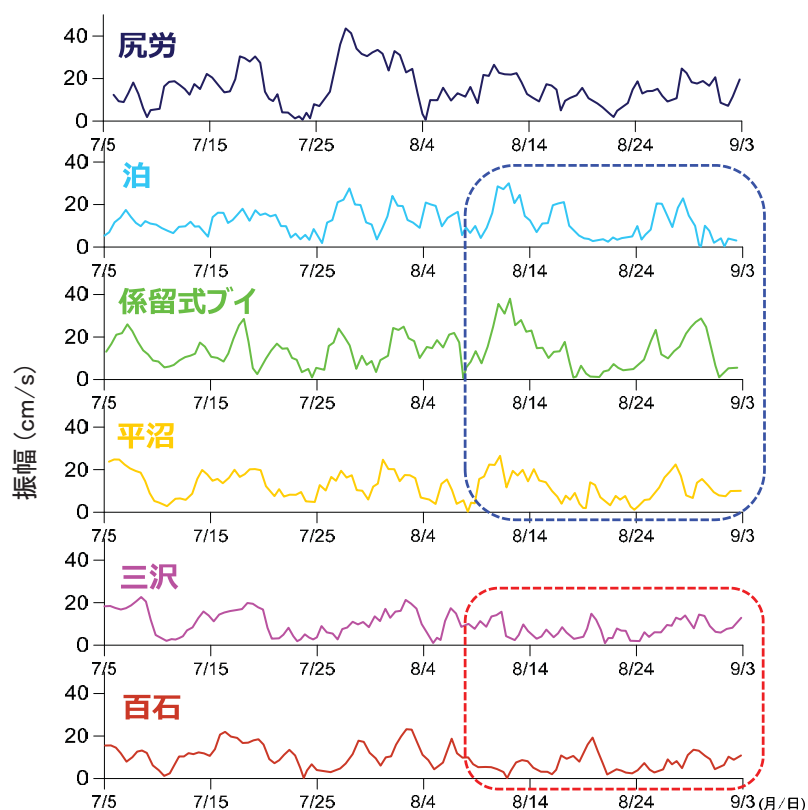
－要点－

1日以下の周期（1日を含む）の流れの変動を地点間で比較すると、変動のタイミングには時間差が見られた。

概ね北の地点ほど先に流れが変化しており、変動が北から南へ伝播していると考えられる。潮汐による流れの変動が大きい津軽海峡から、下北半島沿岸に変動が伝わってきていると考えられる。

変動の伝播2：変動の大きさの時間変化

～約1日周期変動の振幅が時間的にどう変化するかの地点間での比較～



－要点－

約1日周期の変動の振幅は尻労で最も大きく、三沢・百石で小さい。約1日周期の変動は、津軽海峡から遠い地点では減衰していると考えられる。

約1日周期の変動の振幅の時間的変化には地点間で違いが見られた。特に8月中旬以後は泊・係留式ブイ・平沼と三沢・百石で傾向が大きく異なることから（上図の青点線及び赤点線囲み）、伝播の状況は時期や海況により違いがあると考えられる。

放出口付近での観測で見られた約1日周期の変動の季節的な特徴も、変動伝播の時期や海況による違いが関係したものである可能性がある。

まとめ

海洋放出口付近における流れの変動の特徴の一つである約1日周期の変動には下記のような特徴がある。

- 約1日周期の変動は下北半島太平洋側沿岸の全域で見られ、概ね北から南へ伝播している。ただし、津軽海峡から遠い地点では減衰が見られる。
- 約1日周期の変動の伝播の状況には時期や海況による違いがあると考えられる。海洋放出口付近での変動の大きさの季節変化も伝播の状況の違いによる可能性がある。