

環境科学セミナー

成果報告資料

令和2年度

公益財団法人 環境科学技術研究所

公益財団法人 日本海洋科学振興財団

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」及び（公財）日本海洋科学振興財団が受託している「六ヶ所村沖合海洋放射能等調査」により得られた成果の一部です。

目 次

1. 放射性物質は土壤に蓄積されるのか？ ～放射性炭素やトリチウムの土壤中への移行～	1-20
概要説明	1
環境科学技術研究所の紹介と環境影響研究の概要	
(公財) 環境科学技術研究所	
環境影響研究部長 高久 雄一	
成果報告	8
環境影響研究部 谷 享	
2. 色と形から分かる放射線の影響 ～染色体の変化から分かったこと～	21-44
概要説明	21
生物影響研究の概要	
(公財) 環境科学技術研究所	
生物影響研究部長 小村 潤一郎	
成果報告	29
生物影響研究部 香田 淳	
3. 六ヶ所村沖で物質はどのように拡散するか	45-66
概要説明	45
日本海洋科学振興財団の紹介と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 所長 渡邊 修一	
成果報告	51
むつ海洋研究所 小藤 久毅	

環境科学技術研究所の紹介と 環境影響研究の概要

(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) とは？



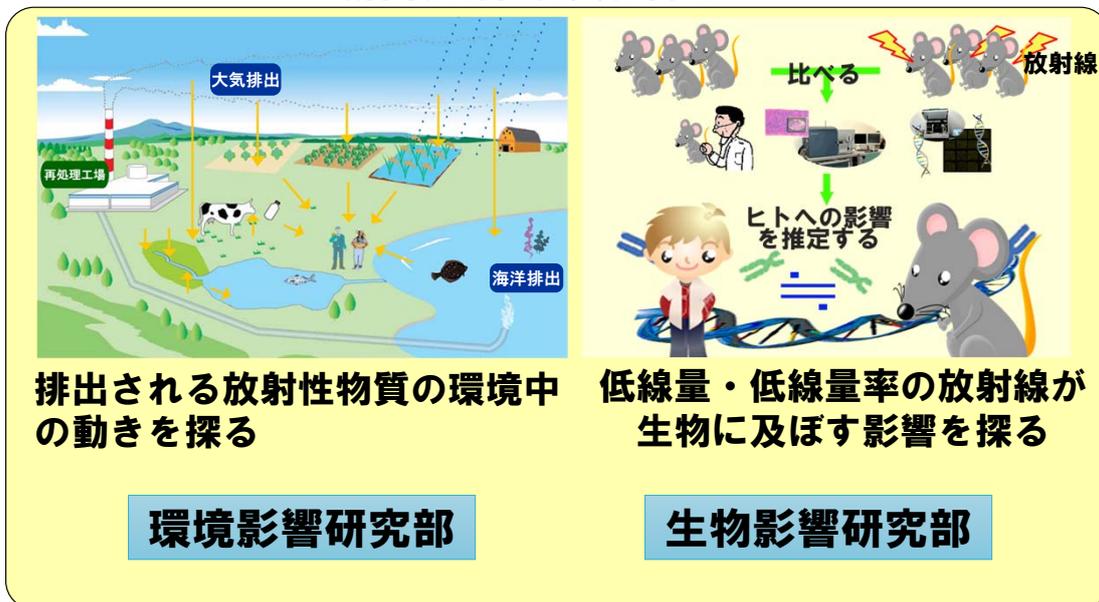
—要点—

1. 六ヶ所村にある大型再処理施設（原子力発電所の使用済み燃料を再処理する工場）から排出される放射性物質に関する研究をする研究所である。
2. 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。
3. （公財）環境科学技術研究所は、大型再処理施設と尾駁（おぶち）沼をはさんで、尾駁地区に環境研の本所、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。
4. 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。

環境研 調査研究の2つの柱



排出放射性物質影響調査



—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、被ばく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（合計して少量、時間あたりで少ない量、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。

環境研は調査研究以外にも..

調査研究の内容や成果を説明する

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



将来の地域を支える人材を育てる

大学生等の実習受入れ

学校への講師派遣

理科教室や職場体験

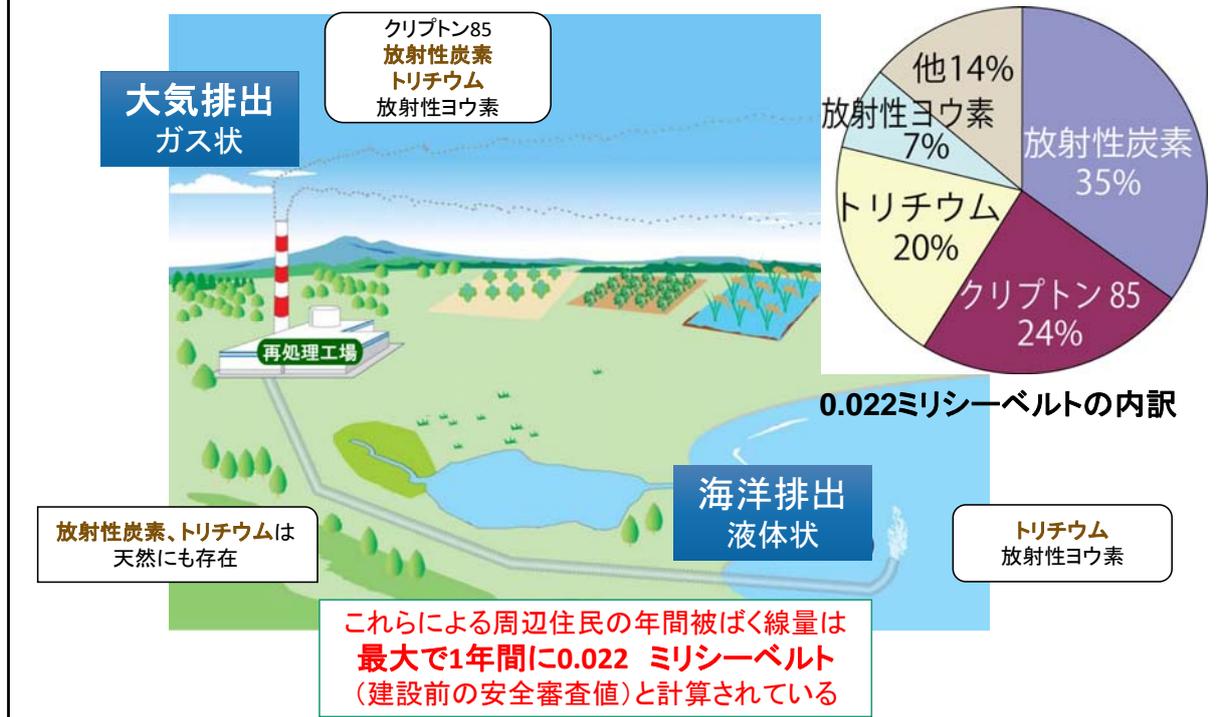
施設公開・セミナーの開催



—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。

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、排水には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*。（安全審査での評価値）
4. 今回の調査の報告で取り上げる“放射性炭素”と「トリチウム」は、総被ばく線量のうち、それぞれ35%、20%を占める。

*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。

環境科学技術研究所 環境影響研究部の調査研究



人体や生態系に対する**詳細な放射線の線量評価**を行うため、放射性物質の**環境中での動き**に関する調査研究を行っている。

—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っている。
2. 私たち環境影響部の一番の調査目的は、環境中での放射性物質の動きをモデル化し、詳細な被ばく線量やその分布が評価できるようにすることである。

環境影響研究部の調査詳細



周辺住民の現実的な被ばく線量を評価する



気圏の調査研究



排出放射能環境動態調査



陸域の調査研究



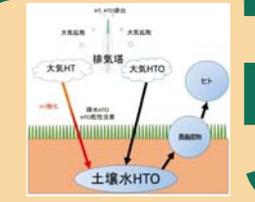
県産物移行



水圏の調査研究



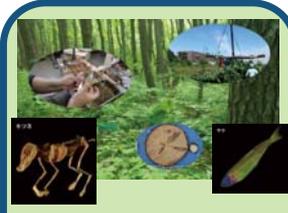
水圏の調査研究



HT型トリチウム移行



移行蓄積(昨年度まで)
今回の報告テーマ



環境生態系



移行低減化

—要点—

1. 環境影響研究部が進めている調査内容の詳細である。1つの大きな柱となる調査（排出放射能環境動態調査及びその関連研究）及び付随する2つの調査（環境生態系、移行低減化）を行っている。
2. 大きな柱の研究として、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）の構築を行っている。そのモデルに関連する研究として、青森県産物（果樹や海産物）に関する調査や気体状のトリチウム（放射性の水素）の土壌への移行蓄積に関する調査（HT型トリチウム移行）を行っている。
3. 今回紹介する放射性炭素、トリチウムの土壌への移行・蓄積に関する調査は昨年度まで行ってきたものである。
4. その他、環境生態系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。
5. また、環境中に放出された放射性物質等の土壌から農作物への移行低減化に関する調査も行っている。

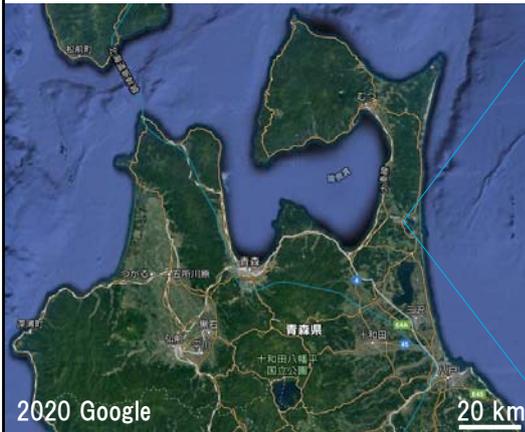
放射性物質は土壤に蓄積されるのか？

～放射性炭素やトリチウムの土壤中への移行～

環境影響研究部

谷 享

土壌への蓄積に注目した理由



再処理施設から大気中に排出された放射性炭素とトリチウムは、光合成で植物に取り込まれる



枯れた植物が土壌にかえることで、放射性炭素とトリチウムは土壌に蓄積しないのか？

—要点—

1. 青森県の六ヶ所村にある原子燃料大型再処理施設が稼働すると、気体状の放射性物質が主排気塔から排出される。
2. 排出された気体状の放射性物質には、放射性炭素やトリチウムが含まれている。
3. 放射性炭素とトリチウムは、それぞれ化学的性質が炭素と水素と同じであり、光合成で植物に取り込まれる。
4. 植物が枯れると土壌にかえるため、植物に取り込まれた放射性炭素とトリチウムは土壌に入っていく。
5. 大型再処理施設の周辺において、放射性炭素やトリチウムが土壌に蓄積するのかを予測することは、放射性炭素やトリチウムの環境中での動きについて理解するために重要である。

地球上の炭素はどこに？どのくらい？



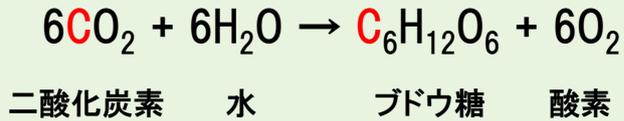
土壌は炭素の蓄積の場として注目されている

—要点—

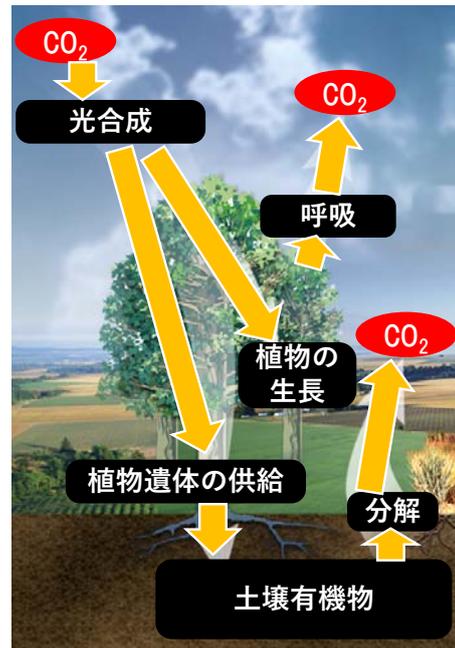
1. 放射性炭素の話題の前に、地球上の炭素の量について紹介する。
2. 炭素の代表的な化合物は“二酸化炭素”であり、温室効果ガスとして有名である。
3. 大気中には、炭素に換算すると約8600億トンあるとされており、産業革命後、2600億トンほど増加したと言われている。
4. 大気中の二酸化炭素は、光合成により植物の体になると土壌に入っていくが、一部は土壌中で分解されて大気に戻る。
5. 地球全体では、土壌の炭素量は大気の2倍以上といわれており、土壌は炭素の蓄積の場として注目されている。

大気中の炭素は植物を介して土壌に入る

大気中の炭素(C)は光合成で植物に取り込まれる



植物に取り込まれた炭素は落葉落枝や枯死根などの植物遺体の形で土壌に入る



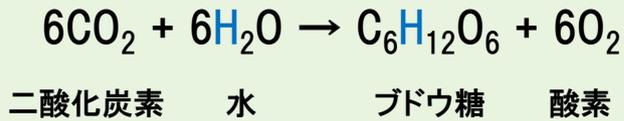
U.S. Department of Energy Genomic Science program
(<https://genomicscience.energy.gov>)

—要点—

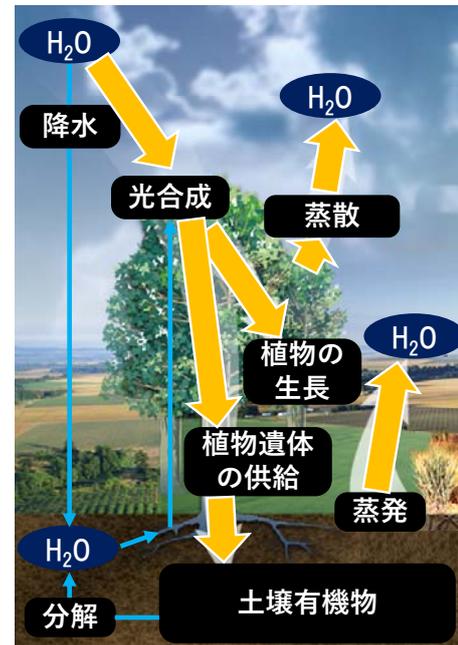
1. 大気中に二酸化炭素として存在する炭素は、光合成でブドウ糖に取り込まれ、植物の生長に使われる。
2. 植物が枯れて植物遺体として土壌に入ると、そこに含まれている炭素がセルロースなどの有機物と呼ばれる形で土壌に残る。
3. ただし、土壌中で分解されて、二酸化炭素などの形で空気中に出ていく炭素もある。
4. 土壌の炭素量は、植物遺体の供給と土壌有機物の分解のバランスで決まる。

大気中の水素も植物を介して土壌に入る

植物が吸収した水の水素(H)は
光合成で植物に取り込まれる



植物に取り込まれた水素は
植物遺体の形で土壌に入る



—要点—

1. 水は水素 (H) と酸素 (O) からできており、大気中に水として存在する水素は、降水によって土壌に入る。
2. 植物が水を吸うと、光合成では水が使われるため、水素は炭素と同様に植物遺体の形で土壌に入る。
3. 土壌中で分解されて、水や水蒸気の形で土壌から出ていく水素もある。
4. 土壌有機物としての水素量は、炭素と同じように植物遺体の供給と土壌有機物の分解のバランスで決まる。

放射性炭素（炭素14）って何？

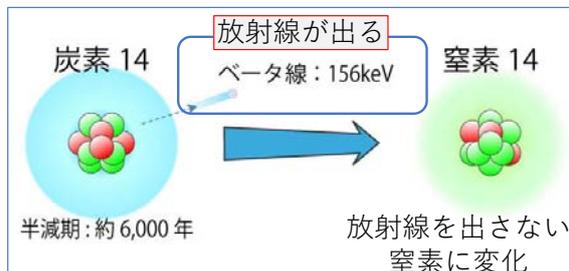
	^{12}C	^{13}C	^{14}C
			
陽子	6	6	6
中性子	6	7	8
質量数	12	13	14
存在比	98.93%	1.07%	微量

ほとんどが
炭素12

安定
同位体

放射性
炭素

炭素には3種類の重さが
違う元素がある

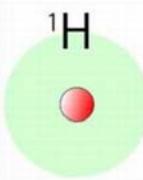
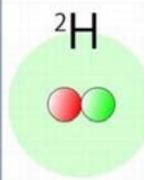
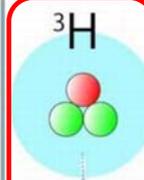


光合成に使われる
二酸化炭素には
 $^{12}\text{CO}_2$, $^{13}\text{CO}_2$, $^{14}\text{CO}_2$
がある

—要点—

1. 炭素は3種類あり、ほとんどは放射線を出さない炭素12と炭素13であるが、放射線を出す炭素14が微量、環境中に存在する。
2. 炭素14は時間とともに、一定の確率で放射線を出して、安定な物質（窒素・・空気の主成分）に変化する。
3. 植物の光合成に使われる二酸化炭素には、 $^{12}\text{CO}_2$ 、 $^{13}\text{CO}_2$ 、 $^{14}\text{CO}_2$ がある。

トリチウムって何？

			
陽子	1	1	1
中性子	0	1	2
質量数	1	2	3
存在比	99.985%	0.015%	ごく微量
呼称	水素	重水素	トリチウム
略号	H	D	T



放射線が出る
ベータ線：18.6keV
半減期：12.3年

放射線を出さない
ヘリウムに変化

**光合成に使われる
水には
H₂O, HDO, HTO
がある**

—要点—

1. 水素にも3種類あり、ほとんどは放射線を出さない水素と重水素であるが、トリチウム (^3H) がごく微量、環境中に存在する。
2. トリチウムは放射線を出して安定な物質であるヘリウム3に物理的に変化する。
3. なお「ヘリウム」は、空気中を浮かぶ風船をふくらますガスとして使われており、最近ではイグ・ノーベル賞を受賞したワニの鳴き声に関する研究でも利用された。
4. 植物の光合成に使われる水分子には、通常の水 (H_2O) の他、 H_2O の2つの水素のうち1つが重水素に置き換わったHDOや、1つがトリチウムに置き換わったHTOがある。

放射性炭素とトリチウムの発生源

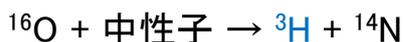
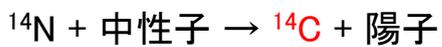
天然起源



施設起源



大気中の窒素(N)や酸素(O)が宇宙線と反応してできる



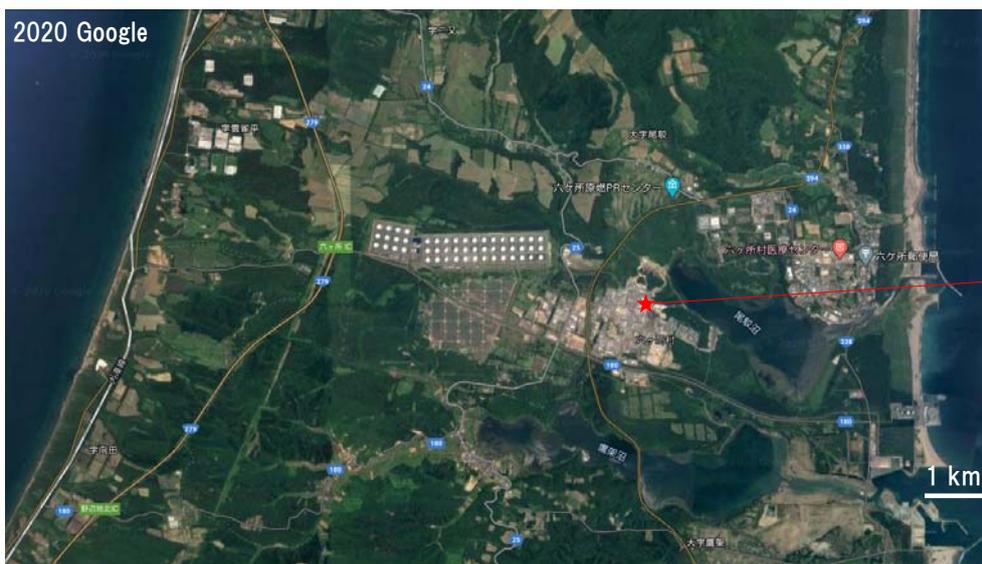
原子力施設等から排出される

大型再処理施設周辺の土地別に¹⁴Cと³Hの土壌への蓄積を予測

—要点—

1. 放射性炭素やトリチウムは、宇宙からの放射線が原因で常に発生しており、自然環境中に微量ではあるが存在している（天然起源）。
2. 天然起源の他に、原子力施設等から排出される放射性炭素やトリチウムも環境中に微量ながら存在する（施設起源）。
3. 大型再処理施設の近傍において、土壌中に放射性炭素（¹⁴C）やトリチウム（³H）が蓄積することがないのか、調査を行った。

大型再処理施設周辺の土地利用



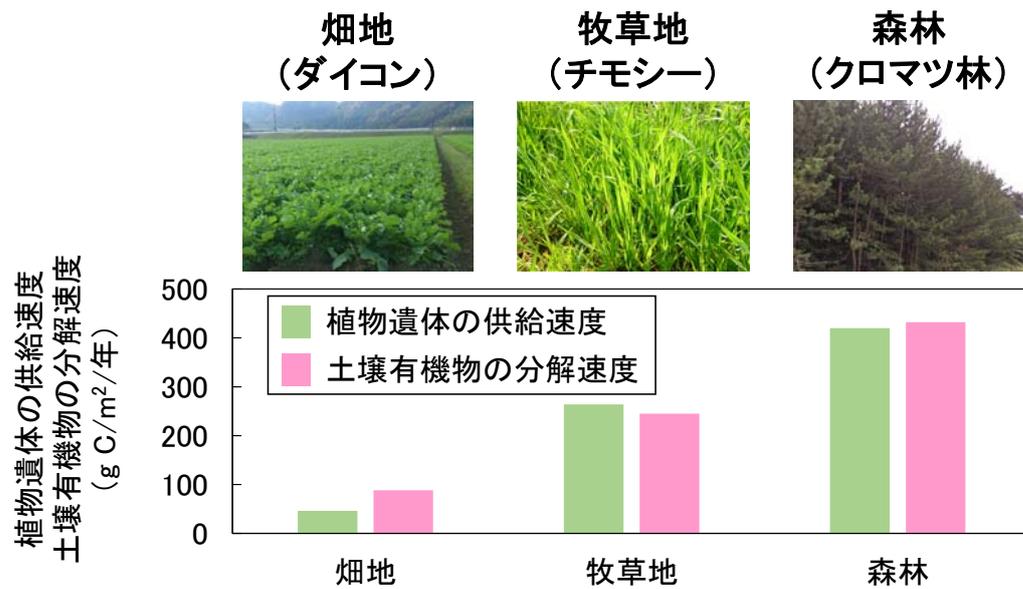
原子燃料
大型再処理施設

**植物遺体が供給される土地として
畑地や牧草地などの耕作地と森林が広く分布している**

—要点—

1. 大型再処理施設の周辺で、植物遺体が土壌に供給される土地としては、畑地や牧草地などの耕作地と森林が広く分布している。
2. そこで、畑地、牧草地、森林を対象として、放射性炭素とトリチウムの土壌への蓄積量を計算することにした。

植物遺体の供給速度と土壌有機物の分解速度

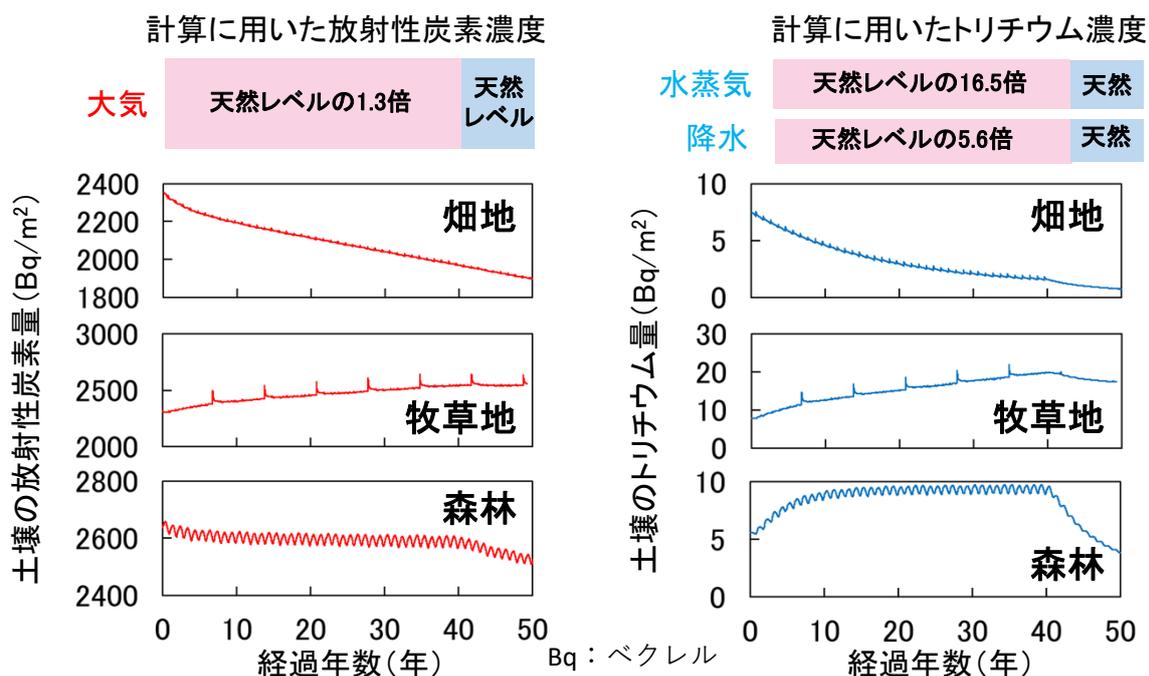


畑地、森林： 土壌有機物の分解速度(■)の方が高いため、土壌有機物が年々減少
 牧草地： 植物遺体の供給速度(■)の方が高いため、土壌有機物が年々増加

—要点—

1. 畑地、牧草地、森林としては、それぞれ、ダイコン畑、チモシー採草地、クロマツ林を選んだ。
2. 植物遺体の供給速度は、気象条件から推定される光合成速度をもとに、計算で求めた。
3. 土壌有機物の分解速度は、気象条件と土壌の性質をもとに、計算で求めた。
4. 計算対象とした畑地と森林では、土壌有機物の分解速度が植物遺体の供給速度を上回るため、土壌有機物としての炭素と水素は減少していくと予測される。
5. 牧草地では、植物遺体の供給速度のほうが高いため、土壌有機物としての炭素と水素は増加していくと予測される。
6. なお、畑地では牧草地や森林と比較して生育している植物の量が少ないため、植物遺体の供給速度も低くなり、土壌に有機物が溜まりにくい。

放射性炭素とトリチウムの土壌への蓄積量



深さ30cmまでの蓄積量 (1m²あたり)

—要点—

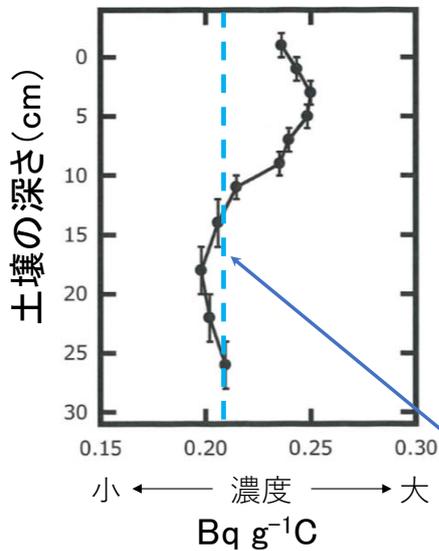
1. 大型再処理施設は40年稼働する予定であることから、放射性炭素とトリチウムの蓄積は、大型再処理施設が40年間稼働し、その後停止してから10年経過するという条件で計算した。
2. 40年間の大気中の放射性炭素濃度と、水蒸気および降水中のトリチウム濃度には、平成18年から平成20年のアクティブ試験期間中に観測された濃度の最大値を用いており、計算ではその最大値が40年間一定で続くと仮定とした。
3. 経過年数0年での図の縦軸の値は、天然レベルの土壌の放射性炭素量とトリチウム量を表す。なお、深さ30cmまでで、1m²あたりの量を示している。
4. 土壌の放射性炭素量について40年までの推移を見ると、植物遺体の供給速度が土壌有機物の分解速度を上回る牧草地でのみ増加した。
5. 40年までのトリチウム量の推移を見ると、森林では放射性炭素と異なり増加した。
6. 森林土壌でトリチウム量が増加したのは、水蒸気および降水中のトリチウム濃度を高くしたことで、植物遺体として土壌に入るトリチウム量が多くなったためである。

Bq : ベクレル。放射性物質の量を表す単位である。

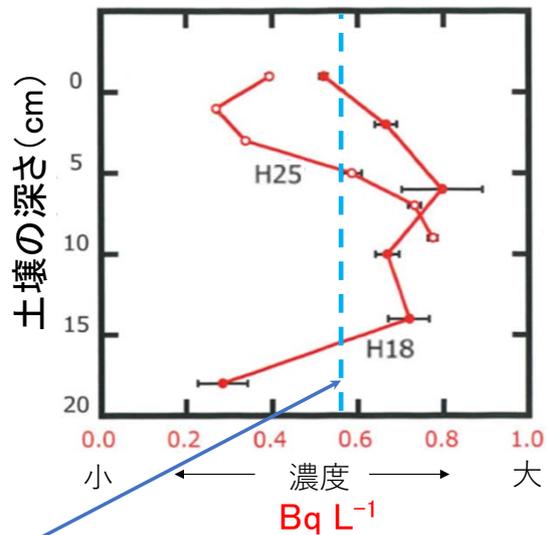
蓄積は天然レベルの範囲内



土壌有機物としての
放射性炭素濃度 ($\text{Bq g}^{-1}\text{C}$)



土壌有機物としての
トリチウム濃度 (Bq L^{-1})



今回計算した牧草地の最大濃度の値

Bq: ベクレル

—要点—

1. 放射性炭素とトリチウムの両方が土壌に蓄積する結果となった牧草地について、放射性炭素とトリチウムの土壌中濃度に換算して表した。
2. 今回の蓄積を評価する計算では深さ0~30 cmの土壌をひとまとめにしており、計算で求められた最大濃度を土壌中の濃度に換算すると、放射性炭素濃度は $0.21 \text{ Bq g}^{-1}\text{C}$ 、トリチウム濃度は 0.56 Bq L^{-1} であった（図中の青い破線）。
3. 過去に六ヶ所村の未耕地で深さ別に調べた値と比較すると、計算で得られた牧草地の放射性炭素及びトリチウムの最大濃度は、実際に調べた天然レベルの観測値の範囲内に収まっていた。

Bq: ベクレル。放射性物質の量を表す単位である。

$\text{Bq g}^{-1}\text{C}$: ベクレル/グラム炭素。土壌中の炭素1グラム中に含まれている放射性炭素の量。

Bq L^{-1} : ベクレル/リットル。土壌中の有機物を燃やしてできる水1リットルに含まれるトリチウムの量。

計算結果のまとめと今後の課題



土地	土壌有機物としての蓄積量	
	放射性炭素	トリチウム
畑地	減少傾向	減少傾向
牧草地	増加傾向	増加傾向
森林	減少傾向	増加傾向

放射性炭素は牧草地で、トリチウムは牧草地と森林で微量ながら蓄積するという計算結果になったが、天然レベルの範囲内である。

実際の蓄積状況を把握するために、今後観測を続けていく

—要点—

1. 土壌有機物としての放射性炭素とトリチウムの蓄積量は、現時点の天然レベルと比較して、畑地では減少し、牧草地では増加するという計算結果となった。森林では、放射性炭素量は減少したが、トリチウム量は増加するという計算結果になった。
2. 今回の計算では、過去のアクティブ試験中に観測された大気中の放射性炭素およびトリチウム濃度の最大値を用いており、実際には大気中の濃度の上がり方によって蓄積の仕方が変わると考えられる。
3. また、同じ畑地、牧草地、森林であっても、場所によって植物遺体の供給速度が変われば、蓄積の仕方も変わると予想される。
4. ただし、増加傾向であったとしても、天然レベルの範囲を超える蓄積はほぼ無いと推測される。
5. 実際の蓄積状況の把握をするため、土壌中の放射性炭素やトリチウムの観測を続けていく予定である。

生物影響研究の概要

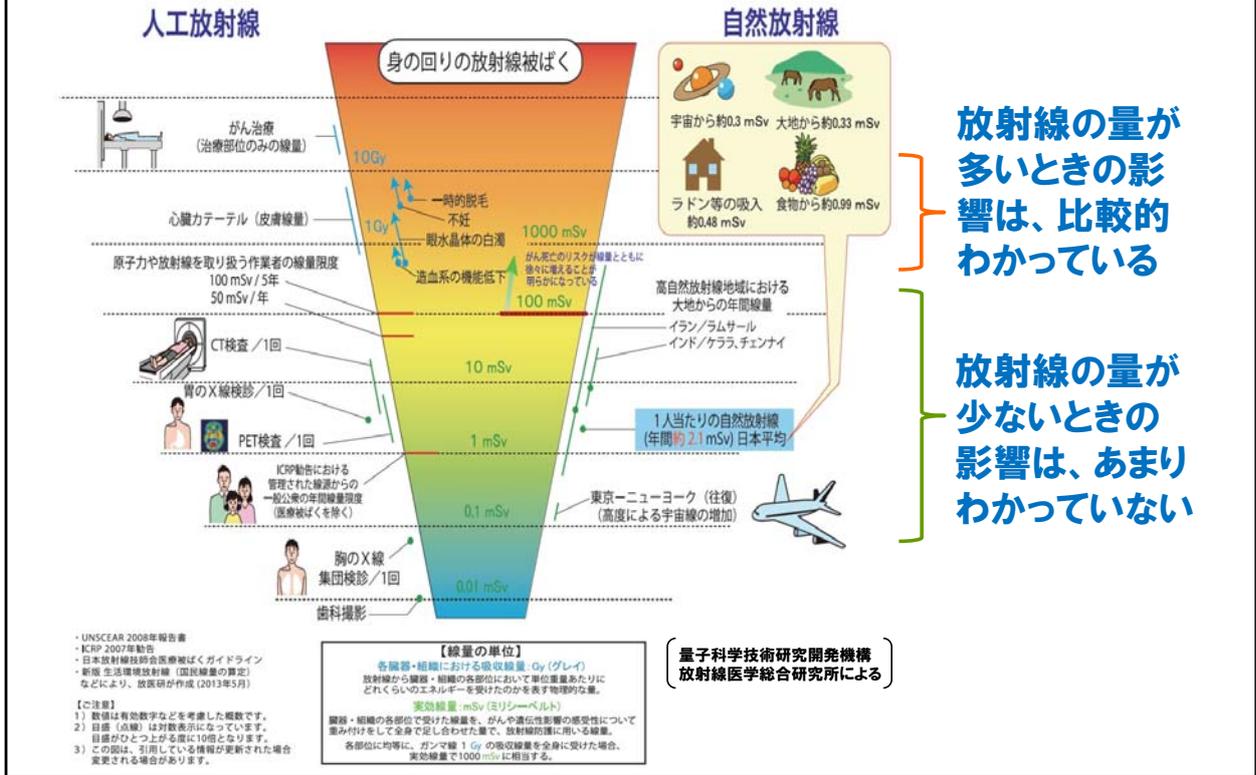
少量の放射線の影響を
マウスを使って調べる

(公財) 環境科学技術研究所

生物影響研究部長

小村 潤一郎

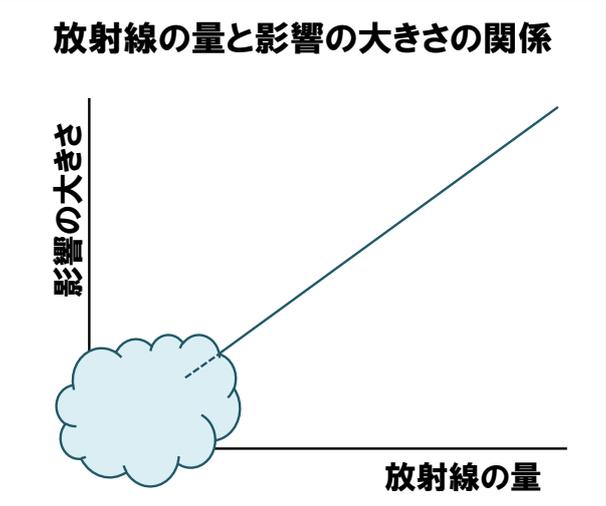
放射線被ばくの早見図



—要点—

1. 人が放射線を被ばくしたときの影響については、放射線の量が多いときの影響は比較的よくわかっている。しかし、放射線の量が少ないときの影響はあまりよくわかっていない。
2. 環境からの被ばく、医療による被ばくなどを考える際に必要な情報は、放射線の量が少ないときの影響に関するものであるが、これは十分ではない。

放射線の量と影響の大きさの関係





放射線の影響に関する情報は、おもに広島、長崎の被ばく者の調査に依存している

放射線の量が少なくなると、その影響は小さくなり、検出が難しく、よくわかっていないことが多い

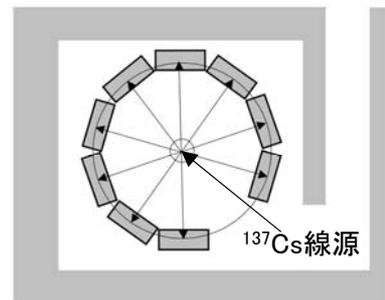


そこで、私たちは、少量の放射線、あるいは少量ずつの放射線の被ばくが生物に与える影響を、実験動物(マウス)を用いて調べている

—要点—

1. 人が放射線を被ばくしたときの影響についての最大の情報源は、広島、長崎の原爆被ばく者に関する調査である。これによって、放射線の量が多いときの影響は、比較的よくわかっている。
2. しかし、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、検出が難しく、よくわかっていないことが多い。
3. そこで、環境科学技術研究所では、少量の放射線、あるいは少量ずつの放射線の被ばくが生物に与える影響を、実験用のマウス（ハツカネズミ）を用いて調べている。

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

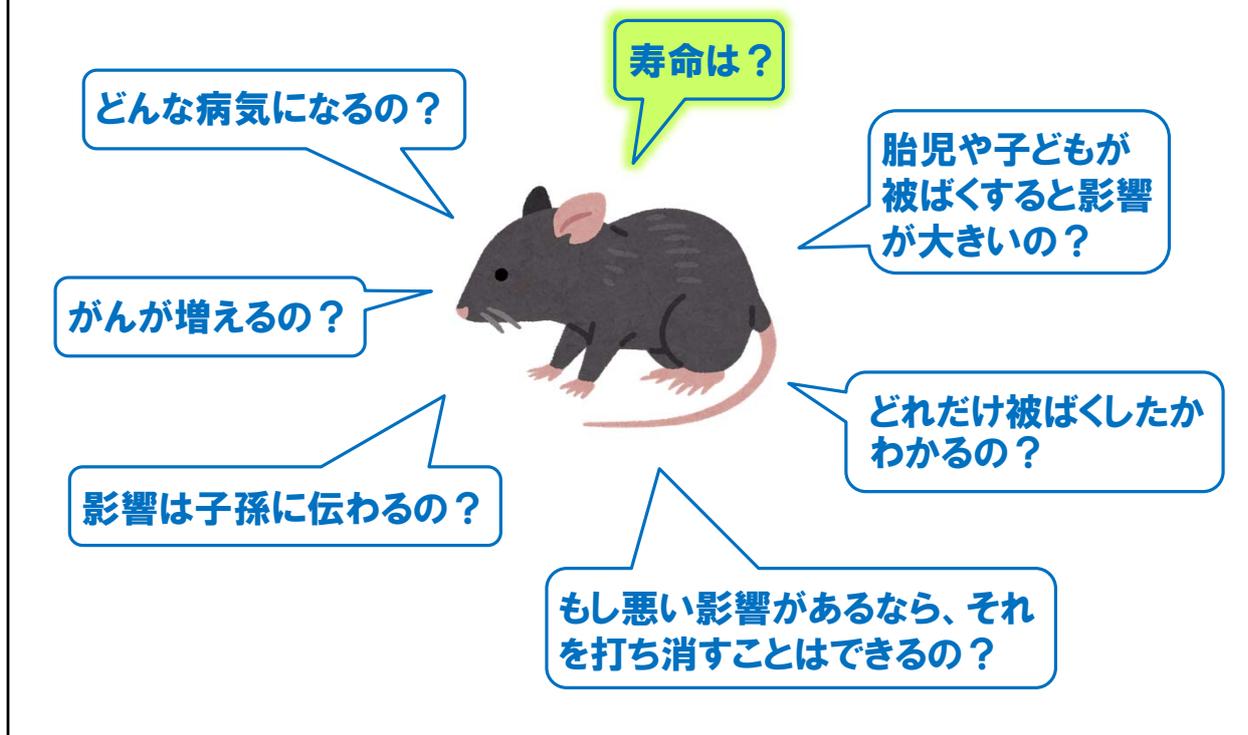
放射線を少しずつ長い期間にわたって多くのマウスに照射し、そのわずかな影響を調べている

—要点—

1. 環境科学技術研究所には、全部で9室の生物への放射線照射施設があるが、そのうち5室は、中心の放射性セシウム (^{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いる。
2. このようなタイプの照射室では、1室あたり300匹以上のマウスに対して、放射線を少しずつ長い期間にわたって照射することが可能である。

[右下] ケージ (かご) の中で飼育されているマウスの様子の動画。左側には、運動用の廻し車があり、右側には、餌がある。

放射線を少しずつ長い期間にわたって被ばくした場合、



—要点—

1. 私たちは、マウスに放射線を少しずつ長い期間にわたって照射し、その影響を調べているが、その際、特に情報を得たいと考えている事柄を、ここに記載した。
2. これらについては、既に調べたものもあるし、現在調べているもの、将来調べる計画となっているものもある。
3. 本題に入る前に、私たちが最初に行った実験、「寿命は？」に関する実験について説明する。

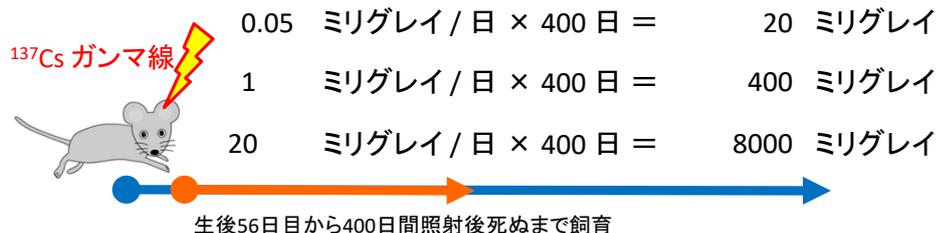
寿命は？ 実験の概要

マウスにガンマ線を少しずつ(低線量率で)400日間照射したときの寿命短縮を調べた

非照射群(オス、メス500匹ずつ)



照射群(それぞれの線量率でオス、メス500匹ずつを400日間連続照射)

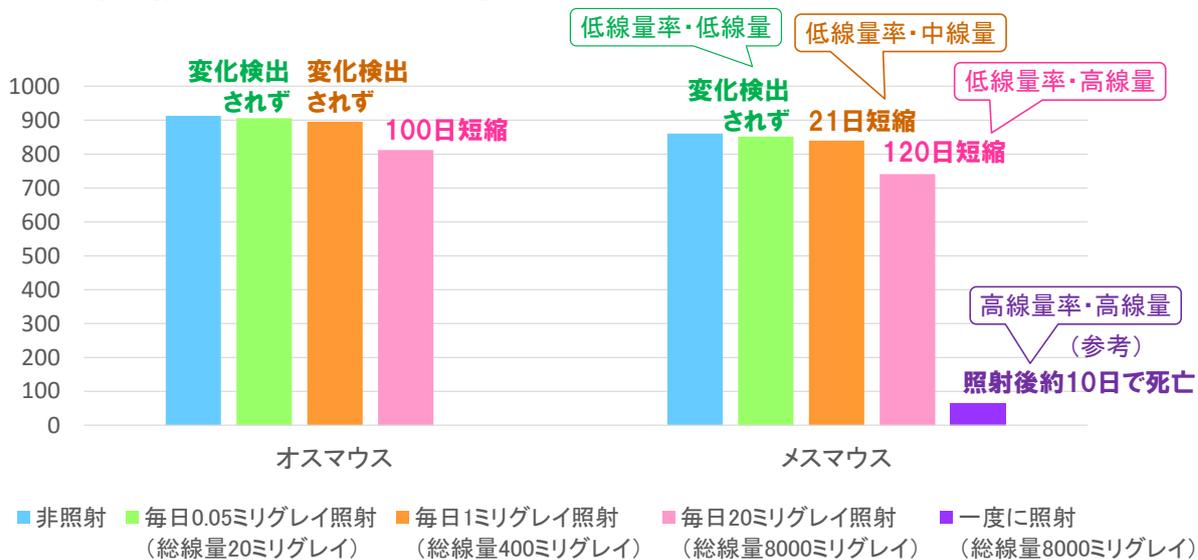


非照射群と比較して寿命は短くなる？

—要点—

1. この実験では、1グループ500匹のマウスにガンマ線を少しずつ(低線量率で)長期にわたって照射し、照射後もずっと飼育し、寿命を調べた。
2. マウスの寿命は約3年であるが、照射は生後56日目(大人になったばかり)から400日間(中年になるまで)行った。
3. マウスへの放射線の照射は以下の3つの条件である。
 - 1日あたりの線量が0.05ミリグレイで総線量が20ミリグレイ
 - 1日あたりの線量が1ミリグレイで総線量が400ミリグレイ
 - 1日あたりの線量が20ミリグレイで総線量が8000ミリグレイ

マウスにガンマ線を少しずつ（低線量率で）400日間照射したときの寿命

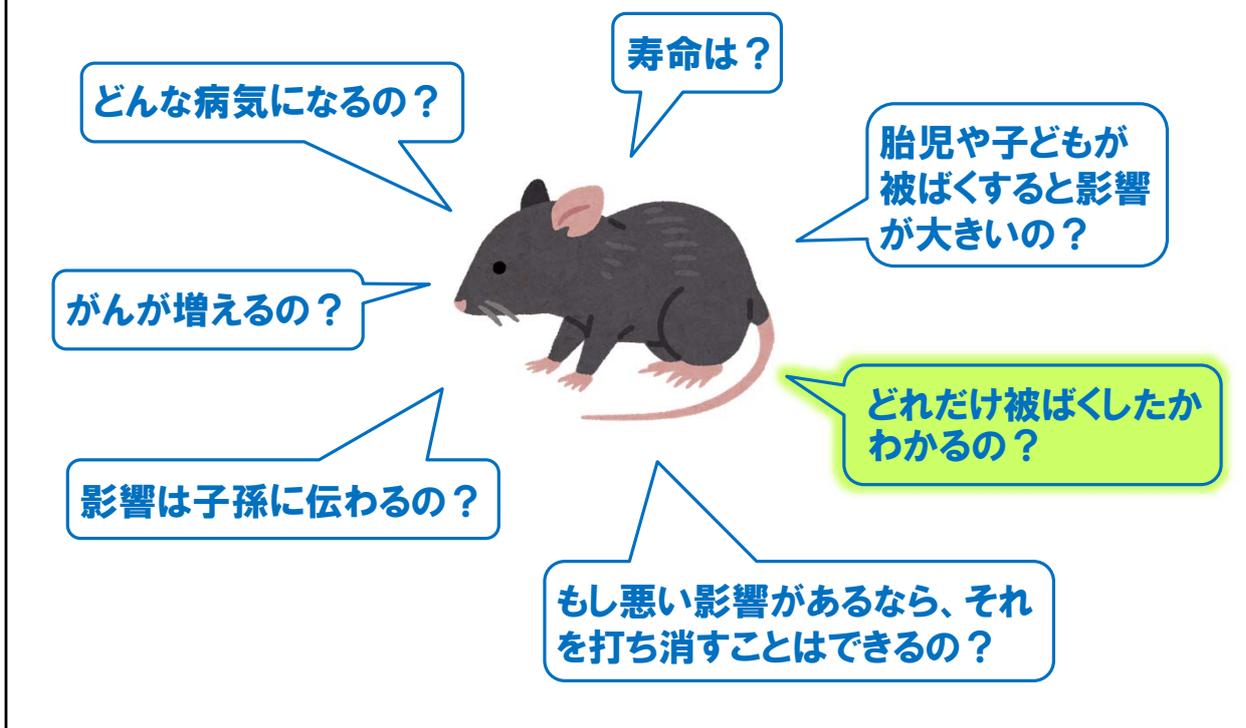


- ◆ 低線量率の被ばくであっても、総線量が多くなると、寿命短縮などの影響が見られる
- ◆ 低線量率・低線量だと明確な影響は認められない
- ◆ 同じ総線量でも、線量率が低いと（少しずつ照射すると）、影響がより小さい

—要点—

- 実験の結果は以下の通りであった。
 - 1日あたりの線量が0.05ミリグレイで総線量が20ミリグレイのときには、明確な（統計的に有意な）影響は見られなかった。
 - 1日あたりの線量が1ミリグレイで総線量が400ミリグレイのときには、メスのみで寿命短縮が見られた。
 - 1日あたりの線量が20ミリグレイで総線量が8000ミリグレイのときには、オス、メス両方とも寿命短縮が見られた。
- 福島における避難指示基準（20ミリシーベルト/年）や職業人の被ばく限度（100ミリシーベルト/5年=20ミリシーベルト/年）は、このスライドの実験で用いられた最も低い線量率（0.05ミリグレイ/日=20ミリグレイ/400日）にほぼ相当する。線量の単位グレイ（Gy）とシーベルト（Sv）は、ここではほぼ同じと考えてよい。
- この後の話の実験では、このスライドの実験で用いられた最も高い線量率（20ミリグレイ/日）が用いられており、総線量も人の放射線被ばくで一般に問題とされる線量より、はるかに多い。

放射線を少しずつ長い期間にわたって被ばくした場合、



—要点—

1. 本日の話は、放射線が当たると「どれだけ被ばくしたかわかるのか？」に関するものでもある。線量計を持っていなくても、体の細胞の中にある「染色体」に被ばくの跡が残っているので、被ばく線量を推定できる。

色と形から分かる放射線の影響

～染色体の変化から分かったこと～

生物影響研究部

香田 淳

最初に

放射線は目には見えません。

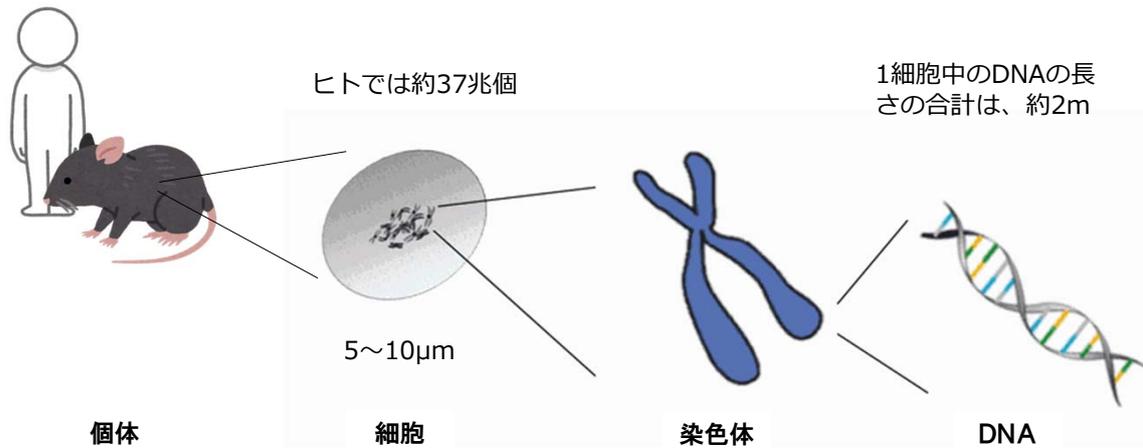
放射線に被ばくしてしまった際、個人線量計をつけていないと
どれくらいの量の被ばくしてしまったのかよくわからない。

被ばくすると、身体の中の細胞内で**DNAに傷**がつき染色体異常が出来る。

高線量率被ばくの場合、出来た**染色体異常**の数を調べることで、
被ばくした量が分かる。（低線量率被ばくではどうか分からない）

どこまで**低い線量率**での被ばくまで、**染色体で見る**ことが出来るだろうか？

染色体とは何？

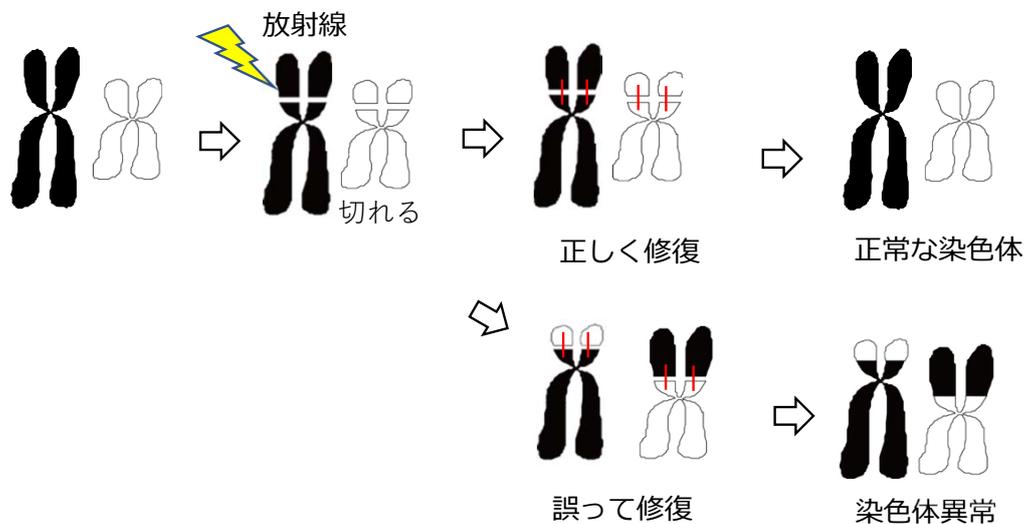


- 染色体とは、細胞の核の中に畳み込まれて存在しており、分裂中の細胞で観察することができる。
- 染色体は、遺伝子の集合体として親から子供へ生物としての“設計図”を伝える運び屋（遺伝子の入れ物）の役割を果たしている。
- 染色体中にDNAがあり、そこに遺伝子が散在している。

—要点—

1. 生物の体は細胞等で構成されており、その細胞の中に細胞核があり、細胞核の中に染色体がある。
2. 染色体は生物を構成する細胞の核の中にあり、遺伝子の集合体として、親から子供へ生物としての“設計図”を伝える運び屋（遺伝子の入れ物）の役割を果たしている。
3. 染色体の名前は、色素でよく染色することができることから染色体（chromosome）と呼ばれるようになり、顕微鏡で簡単に観察することができる。
4. 染色体は、細胞分裂中の細胞で観察することができる。

染色体は放射線の影響を確認しやすい！？

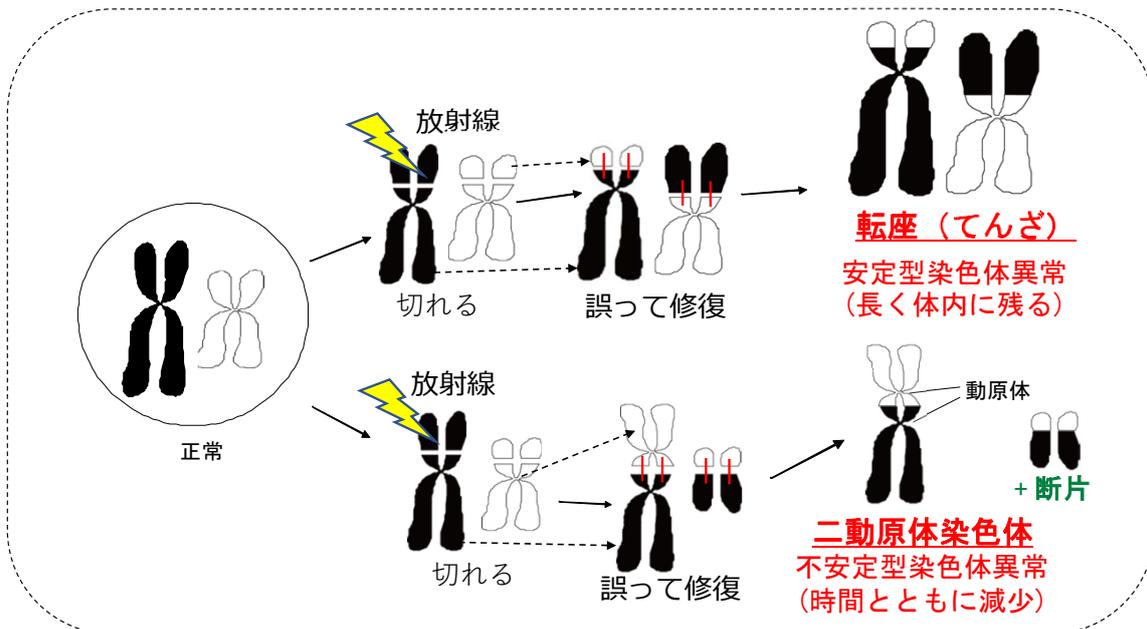


DNA切断が修復される時、一部が誤って修復される結果、染色体異常が生じます。

—要点—

1. 放射線を被ばくすると、ある一定の確率でDNA切断が起きる。DNA切断は、放射線の量が増えると多くなり、低ければ少ない。
2. DNAが切断されても、生物にはそれを修復する機能が備わっている。ただし、いつも正しく修復できるわけではなく、誤って修復してしまう場合がある。誤って修復してしまと「染色体異常」が発生する。
3. 放射線の量が多くなると、発生する染色体異常は比例して多くなることが分かっている。
4. 生物への放射線の影響を確認するためには、染色体異常が一番、検出しやすい。
5. 染色体異常は、放射線以外にも発生することが知られており、歳をとると、染色体異常は増加する。
6. ただし、染色体異常が起こったからと言って、すぐに健康影響が現れることはない（生物には、細胞レベルだけでなく、組織レベルや個体レベルで体を守る機能があるから）。

染色体異常の種類



放射線の調査には、二動原体染色体、転座、環状染色体がよく利用されている。

—要点—

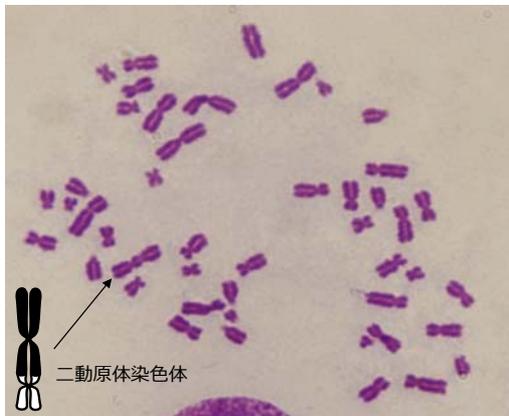
1. 2個の染色体の間で起こる染色体異常には「転座」と「二動原体染色体」がある。転座は安定型染色体異常であり、二動原体染色体は不安定型染色体異常である。
2. 安定型染色体異常は細胞分裂が可能であり、長期間安定して存在することから被ばく後の年数が経過しても調べることが可能である。
3. 不安定型染色体異常は細胞分裂できず、細胞死してしまうために時間とともに減少するという特徴がある。
4. 放射線の人体への影響の中で最も検出感度の高い指標は、染色体異常であり、二動原体染色体、転座、環状染色体異常（1個の染色体で起こる異常でリング状に変化する）が、よく調査に利用されている。

染色体異常を調べることで被ばく量が分かる

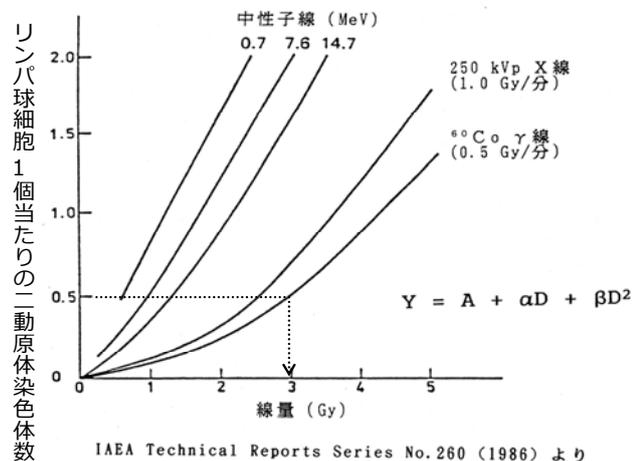


染色体異常の頻度は被ばく量に比例して増加し、右図のような検量線が作成できる。

末梢血リンパ球の染色体像



線量と二動原体染色体異常頻度の関係



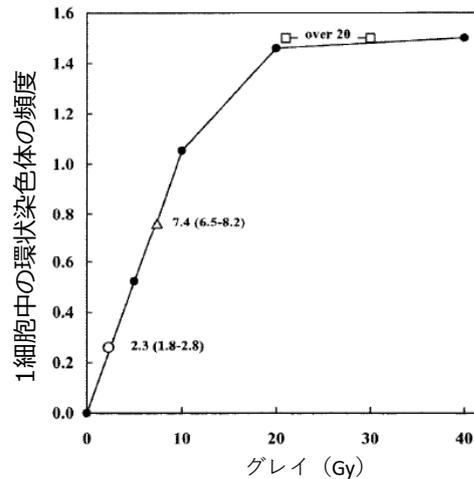
高線量率での事故被ばくの際は、二動原体染色体異常頻度を調べて、右図の検量線にあてはめることで、個人の被ばく線量を推定できる。

— 要点 —

1. 染色体異常の頻度は線量依存的に増加し、右図のような検量線が作成できる。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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、右図の検量線にあてはめることにより、被ばく線量を推定できる。

高線量率放射線を被ばくした場合の染色体異常

染色体異常（環状）指標にした被ばく線量の推定



この方法では、～20 Svまでの高い被ばく線量を推定でき、1999年の東海村でのJCOの臨界事故の際、現場の作業者の線量推定に用いられた

Hayata I, Kanda R, Minamihisamatsu M, Furukawa M, Sasaki MS.J. Radiat. Res., 42: Suppl., S149-S155, 2001

—要点—

1. 研究の紹介の前に、高線量率放射線による染色体異常についての実例を示す。
2. 左写真の環状になっているのが染色体異常であり、右側のグラフに被ばく線量とその染色体異常頻度の関係を示した。
3. 被ばく線量が増えると、1つの細胞中に見られる環状染色体の発生頻度が増加することが分かる（右側グラフ）。
4. 事故等で被ばくした人の細胞中の環状染色体線の発生頻度を調べると、このグラフから被ばく線量を推定することができる。
5. 実際に、1999年の東海村での臨界事故の際、現場作業者の被ばく線量推定に用いられた。
6. 環状染色体異常では、だいたい20シーベルトまでの被ばく線量を推定することができる。

疑問

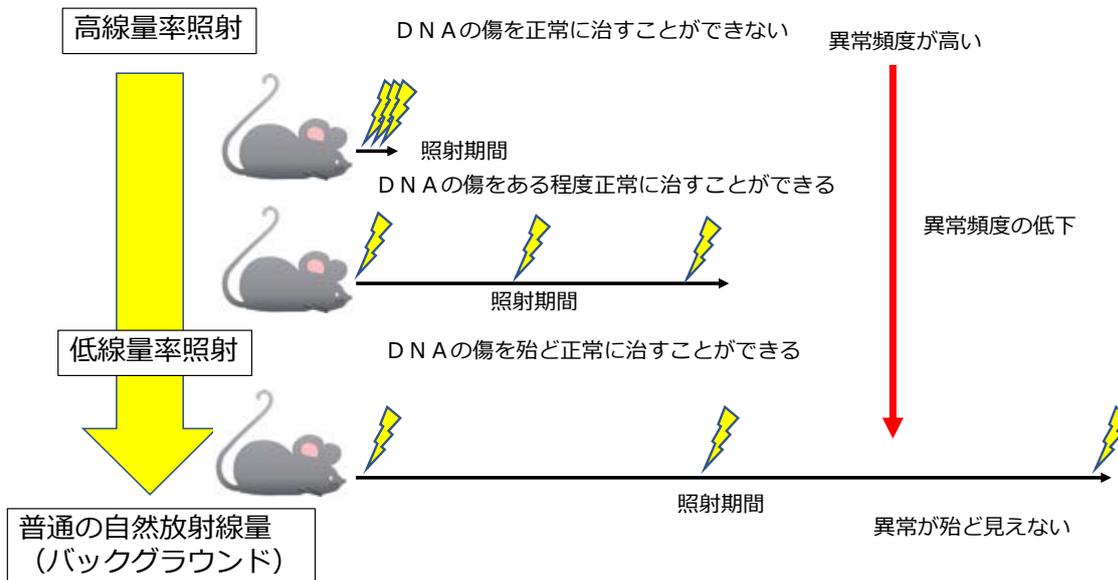
- ・強い放射線（高線量率放射線）で短期間で被ばくした場合
- ・弱い放射線（低線量率放射線）で長期間で被ばくした場合



どこまで低い線量率まで、染色体異常で被ばく量を見ることが出来るのか？

身体に対する影響はどうなるのか？

線量率が下がると同じ線量でも生物影響は小さくなる 線量率効果



線量率効果は、かなり高い線量率の範囲では調べられていたが、低い線量率の範囲では調べられていなかったため、環境研で調査を行った。

—要点—

1. ヒトをはじめ地球上の生物は放射線照射により生じたDNAの傷を治す能力（修復能）を持っている。この能力のおかげで、線量率が低下すると、同じ線量でもDNAや染色体に生じる異常の頻度がだんだん少なくなる。これを線量率効果という。
2. 線量率効果は、かなり高い線量率の範囲では調べられていたが、低い線量率の範囲では、これまで調べられていなかった。
3. 環境科学技術研究所では、この“低い線量率の範囲”で染色体異常の頻度について調査研究を行った。

染色体異常頻度と線量率の関係はどうか？



総線量は
最大1000mGyの照射

- 高線量率 {
 - 890 mGy/分
 - 135 mGy/分
 - 33.3 mGy/分
 - 8 mGy/分
 - 1.5 mGy/分
- 中線量率 {
 - 400 mGy/日
 - 20 mGy/日
- 低線量率 {
 - 1 mGy/日
 - 0.05 mGy/日
 - 非照射

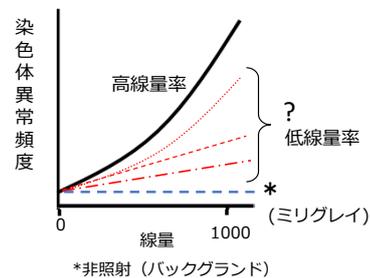
mGy : ミリグレイ

マウスに高線量率から低線量率まで、それぞれ様々な線量で照射した後、リンパ球の染色体異常解析（転座型と二動原体染色体異常）を行い、右図のような線量率ごとの線量効果曲線を作成し、比較を行いました。

低線量率照射室



線量率ごとの効果曲線の作成



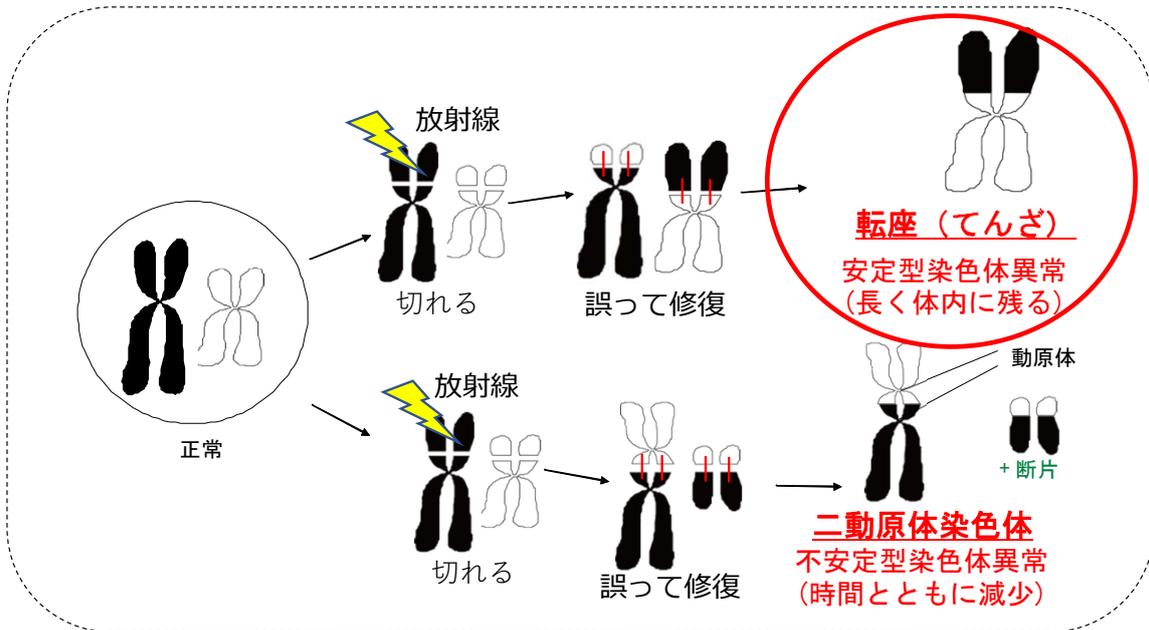
—要点—

1. 実験では、“高線量率”から“低線量率”の範囲まで、線量率（放射線の強さ）の違いによる染色体異常の発生頻度の違いについて調査を行った。
2. これまで、低線量率の範囲ではほとんど調査が行われたことがなかった。
3. 高線量率放射線は890mGy/分、135mGy/分、のように1分間あたりの放射線量、中・低線量率は400mGy/日、20mGy/日のように1日間（24時間＝1440分）あたりの放射線量となっている。
4. 様々な線量率、線量で放射線を照射した後、血液中の細胞（リンパ球）の染色体異常解析（転座型染色体異常、二動原体染色体異常）を行った。
5. 右下図のような、線量率ごとに、総線量と発生する染色体異常頻度の関係（線量効果曲線）を示すグラフ作成し、比較を行った。

mGy : ミリグレイ 放射線の単位

- 1ミリグレイ/日は、国際宇宙ステーションでの線量率と同程度
- 0.05ミリグレイは、1年間被ばくすると約20ミリグレイとなり、ヒトが全身に均等に浴びた場合に20ミリシーベルトとなる。20ミリシーベルトは原子力施設などの業務従事者の年間被ばく線量の目安となる線量である。

調べた染色体異常の種類

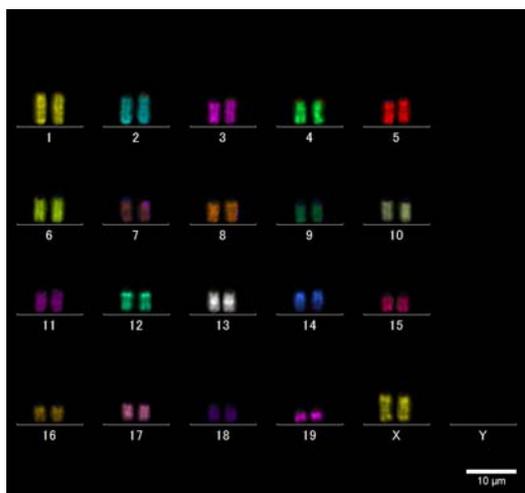


今回の報告では、転座、を調べた結果について紹介する。

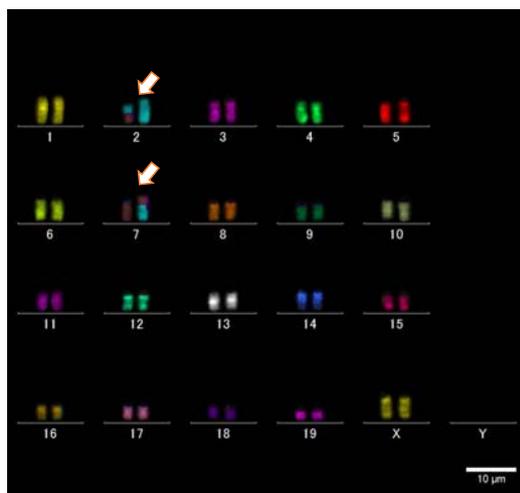
—要点—

1. 2個の染色体の間でつなぎ換えが起こる、転座と二動原体染色体の染色体異常を対象に、その発生頻度を調べた。
2. 今回の報告では、転座型染色体異常の結果について、紹介する。

マウス染色体の異常の例



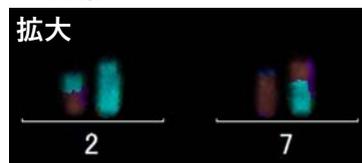
正常



異常

< M-FISH法による染色 >

- ・ 染色体の色の変化で、染色体異常が分かる。
- ・ 異常の写真では、2, 7番の間で異常が見られる。

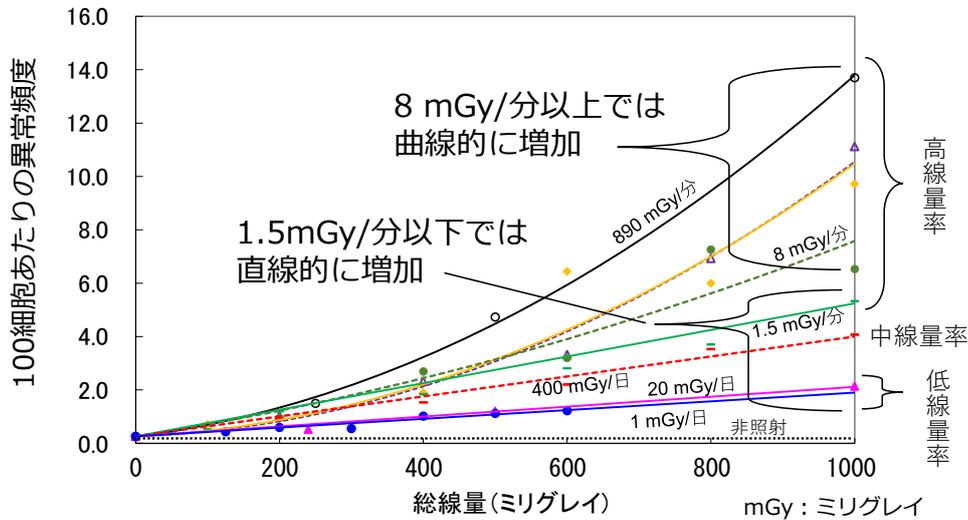


—要点—

1. 正常な染色体（左側）と異常（右側）の写真である。
2. M-FISH法の染色により、染色体異常を見つけやすくなっている。
3. 異常の写真を見ると、2, 7番染色体の間で異常が発生していることが分かる。

各線量率の線量効果関係の比較

転座型染色体異常



- 同じ総線量でも、線量率が低くなると、異常頻度が低くなることが分かった。
- 1 mGy/日の線量率までは染色体異常による放射線の影響を検出可能。

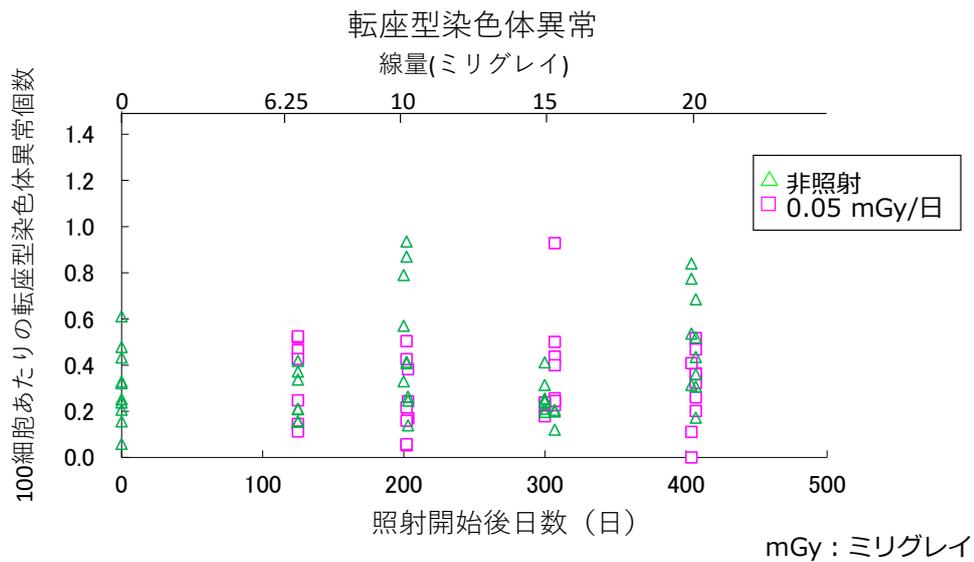
—要点—

1. 放射線の総線量が同じ場合、低線量率放射線の方が高線量率放射線よりも染色体の異常発生頻度が低くなることが分かる。
2. 各線量率での染色体異常頻度の増加のしかたを比較すると、8mGy/分以上の線量率は曲線的に増加、1.5mGy/分以下では直線的に増加しており、増加のパターンが異なる。高線量率放射線では、総線量が大きくなるほど、より大きな異常が発生することが分かった。
3. 1 mGy/日の線量率（低線量率の範囲）までは、放射線影響を検出可能であることが分かった。
4. 今回、実験を行った最も低い線量率である「0.05mGy/日」の結果については、次のスライドで示す。
5. 二動原体染色体異常でも、同様の傾向が見られた。

mGy：ミリグレイ 放射線の単位

- 1ミリグレイ/日は、国際宇宙ステーションでの線量率と同程度
- 0.05ミリグレイは、1年間被ばくすると約20ミリグレイとなり、ヒトが全身に均等に浴びた場合に20ミリシーベルトとなる。20ミリシーベルトは原子力施設などの業務従事者の年間被ばく線量の目安となる線量である。

0.05 mGy/日の低線量率放射線照射と染色体異常頻度

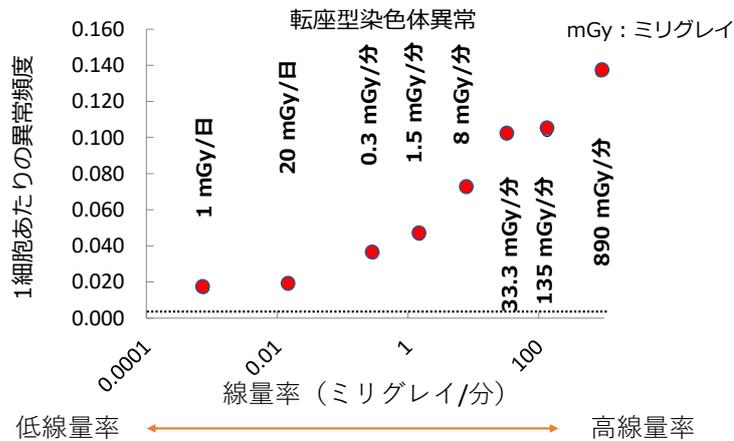


- ・ 0.05 mGy/日は400日間、照射をすると20mGyとなる線量
- ・ 今回の実験で最も低い線量率、0.05 mGy/日では、異常頻度の増加は検出できなかった。

—要点—

1. 今回の調査で最も低い線量率である0.05 ミリグレイ/日での結果である。
2. 400日間、つまり約1年間強、照射をすると20ミリグレイとなるが、ヒトがこの線量率で全身に均等に放射線を浴びた場合に20ミリシーベルトとなる。この1年間に20ミリシーベルトという値は、原子力施設などの業務従事者の年間被ばく線量の目安となる線量である。
3. この線量率では、非照射群と比較して異常頻度が高くなるような変化は見られなかった。
4. 二動原体染色体異常でも、同様の傾向が見られた。

線量率と染色体異常頻度の関係 総線量1グレイで発生する染色体異常頻度の違い



それぞれの線量率で1グレイ（1000ミリグレイ）を被ばくした場合の発生する染色体異常頻度の違いを比較した結果、線量率が低くなると染色体異常頻度が低下する傾向が見られた。つまり、「線量率効果」が広い線量率範囲で見られた。

—要点—

1. 線量率が低くなるに伴い、染色体異常の発生頻度が低下していることが分かった。つまり、明確な線量率効果があった。
2. 二動原体染色体異常の結果も同様であり、いずれの染色体異常でも、広い線量率領域で、線量率効果が見られる現象であることが分かった。

疑問に対する答え

- ・1ミリグレイ/日(1年に約400ミリグレイ)までは、放射線の影響を染色体の変化で確認することができた。
- ・0.05ミリグレイ/日(1年に約20ミリグレイ、ヒトが全身均等被ばくすると約20ミリシーベルト/年に相当)では、染色体でも放射線の影響を見ることができなかった。
- ・同じ総線量でも、線量率が低い(時間当たりの放射線の量が少ない)と染色体異常が減る。
 - ⇒ “線量率効果”を染色体の変化から確認できた。
 - ⇒放射線の身体への影響は小さくなると考えられる。



- ・このような結果を基にして、放射線のリスクに関する評価について、更に進めていくことが可能であると考えている。

日本海洋科学振興財団の紹介と 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 所長
渡邊 修一

1

—要点—

日本海洋科学振興財団は排出放射性物質影響調査の中の六ヶ所村沖合海洋放射能等調査事業を受託し、実施しています。

公益財団法人

日本海洋科学振興財団

故日高孝次先生(初代の東京大学海洋研究所長)により昭和46年(1971)に設立された日高海洋科学振興財団を前身として、日本海洋科学振興財団は設立された財団です。



平成7年10月(1995.10) 日本海洋科学振興財団 発足
日高海洋科学振興財団の名称及び寄付行為の一部を変更
平成25年4月(2013.4) 公益財団法人化

財団の目的

- ・海洋科学及び技術研究の振興を図ること
- ・海洋科学及び技術に関する調査、研究等を行うこと
- ・我が国の海洋に関わる科学技術の発展に寄与すること
-

主な事業

- ・「日本海洋学会日高論文賞」の副賞授与
- ・若手研究者への海外渡航費の援助
- ・海洋に関する調査研究 ⇒ **六ヶ所村沖合海洋放射能等調査事業**
- ・「むつ科学技術館」の管理運営、イベント等開催
(日本原子力研究開発機構からの受託事業)



2

一要点一

日本海洋科学振興財団は故日高孝次先生（初代の東京大学海洋研究所長）により設立された日高海洋科学振興財団を前身として、日本海洋科学振興財団は設立された財団です。財団の目的は海洋科学及び技術研究の振興を図り、また、自ら調査・研究を行うことにより海洋科学の発展に寄与することです。そのために、これらの事業を行っています。

六ヶ所村沖合海洋放射能等調査の目的

<http://www.aomori-hb.jp/index.html>

大型再処理施設から周辺海域に排出される放射性物質が海洋の中でどのように動くかをできるだけ正確に予測する

⇒ 青森県民の安心・安全につなげる

海洋中の物質の動きを予測するためには

- ・海を理解すること（観測）
- ・物理・化学に知識を使い、輸送モデルを構築

● 実際に本事業では
六ヶ所村沖合で海洋観測を行い（海を知る）、得た知識を使って

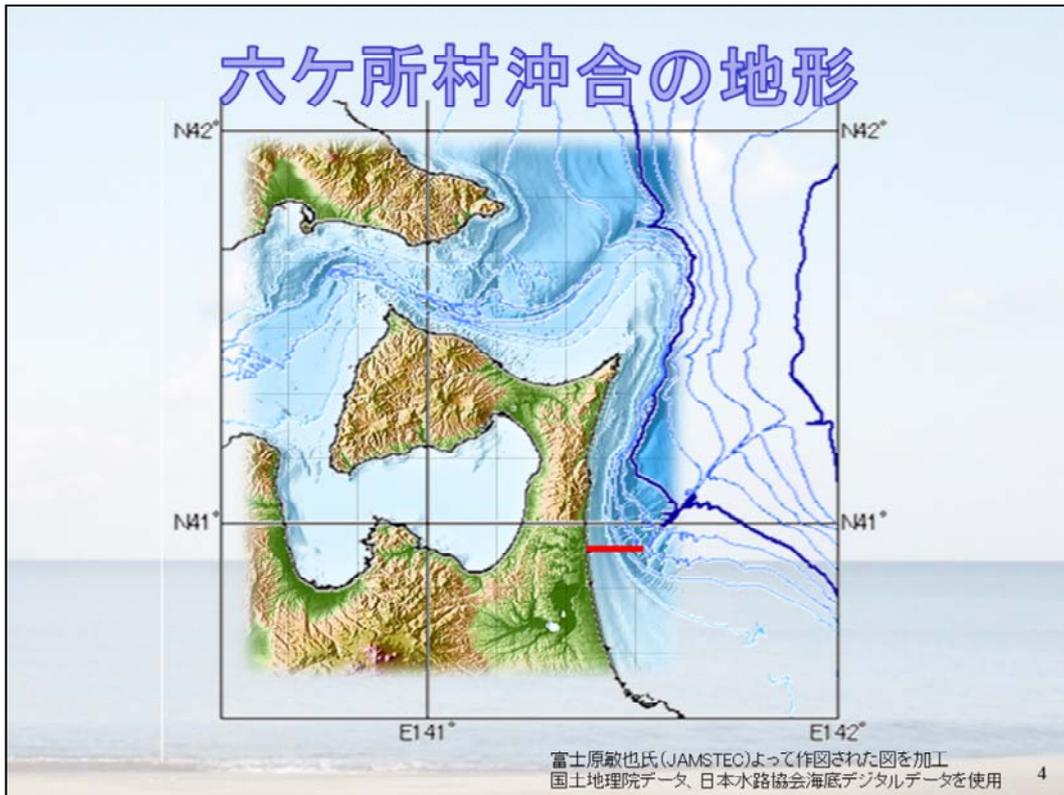
- ・海水の流れを予測する
- ・海洋中で物質の動きを予測する

ことを行なっています

3

—要点—

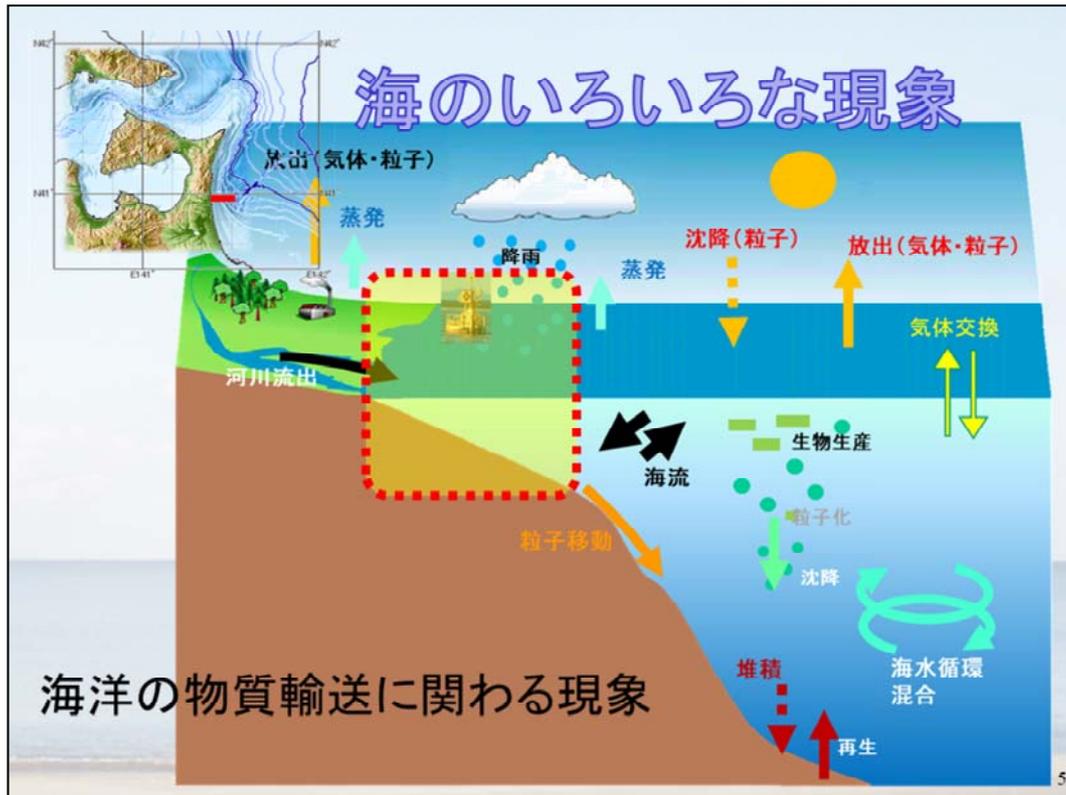
調査・研究事業の一つとして行っている六ヶ所村沖合海洋放射能等調査は、大型再処理施設から周辺海域に排出される放射性物質が海洋の中でどのように動くかをできるだけ正確に予測し、県民の安心・安全に繋げることを目的としています。そのために必要なのは、まず観測を通して六ヶ所沖合の海を理解すること、それらから得た知識を用いて放射性物質の輸送モデルを構築することです。具体的には、六ヶ所沖合で観測を行い、それらの結果を用いて流れや物質の動きを予測することです。



—要点—

なぜ、観測すなわち六ヶ所沖合の海について知る必要があるかを考えてみたいと思います。

この図は六ヶ所村沖合の海底地形です。わずかな陸棚、海岸線から平らな部分があって、その圧は急激に深くなっています。そのような海域で起きている現象は次のようなものがあります。



—要点—

陸で放出された気体、粒子は大気を通して海面に運ばれます。また、海洋表層では生物が活動し、粒子を作ったりします。生物によって作られた粒子は海底に運ばれて堆積し、また、分解して海水に溶ける物質となってまた海の中へ運ばれます。さらに海水の混合や流れによってほかの場所へ運ばれます。放射性物質の動きを考えるためには、これらのことを十分に理解しておく必要があります。岸に近いところではより複雑な現象が関わっています。



—要点—

沿岸域の状況を示したのがこの図です。

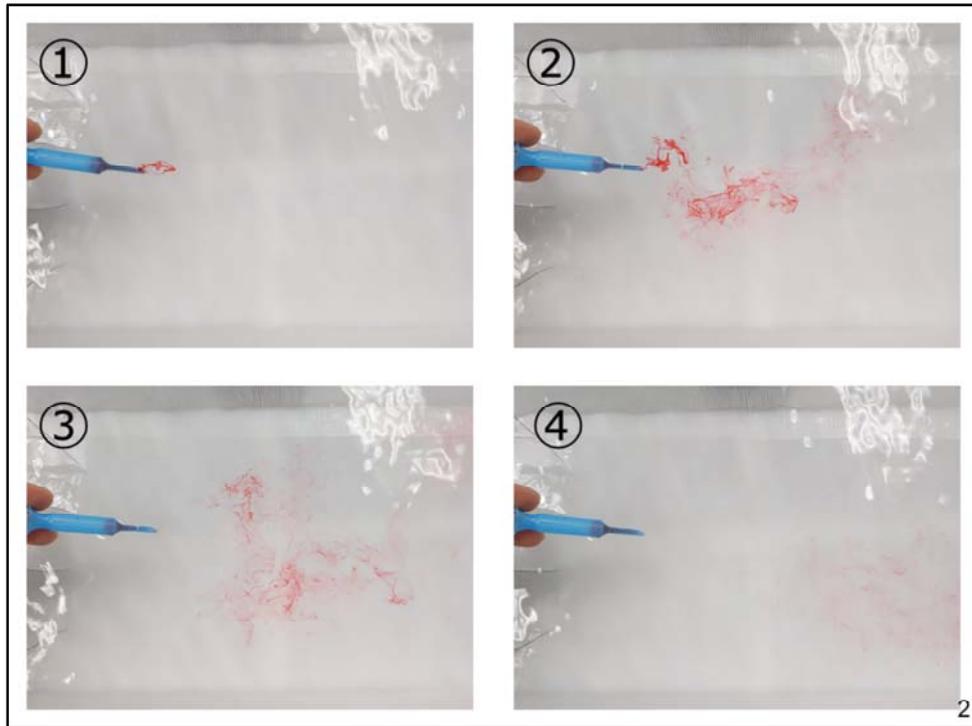
河川からの流入があり、岸付近では外洋とは異なる流れがあり、また、六ヶ所村沖合では、その沖合に少し早めの流れがあります。その外側は外洋水となっています。

各流れの間で水や粒子・化学物質の交換が行われます。ここで陸から何らかの物質を放出すると、海水中の混合や拡散によって薄められます。さらに海水の流れに沿った水の移動によってほかの場所へ運ばれていきます。

六ヶ所村沖で物質はどのように拡散するか

(公財)日本海洋科学振興財団
むつ海洋研究所
小藤久毅

1

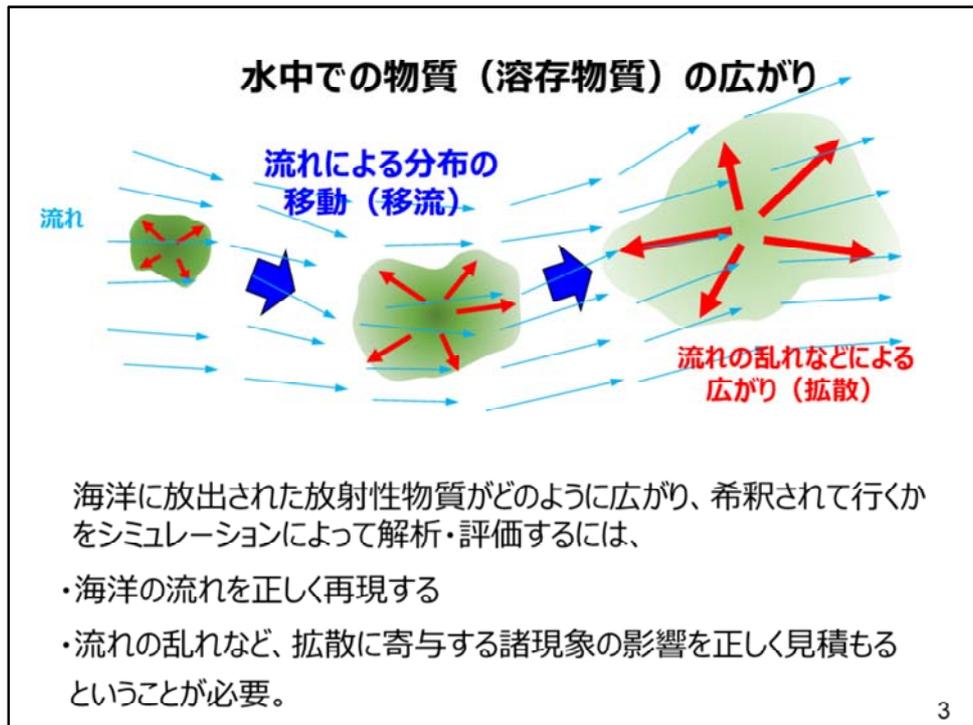


—要点—

写真：水槽に入れたインクが広がって消えるまでの様子（時系列は①→②→③→④）。水は左から右へ流れている。

インクは流れによって全体として右に移動するとともに、細かい複雑な流れによって広がる（拡散する）。

拡散することにより、濃度は低くなり（希釈される）、色が見えなくなる。



—要点—

溶存する物質が水中でどのように分布や濃度を変化させていくかを考えるとき、流れによる物質の分布全体としての移動（移流）と流れの乱れなどによる分布範囲の拡大（拡散）の2つの過程から成ると見ることができます。海洋に放出された放射性物質の動きをコンピュータシミュレーションによって再現するためには、①海洋の流れを正しく再現する、②拡散に寄与する諸現象の影響を正しく見積もる、ということが必要です。

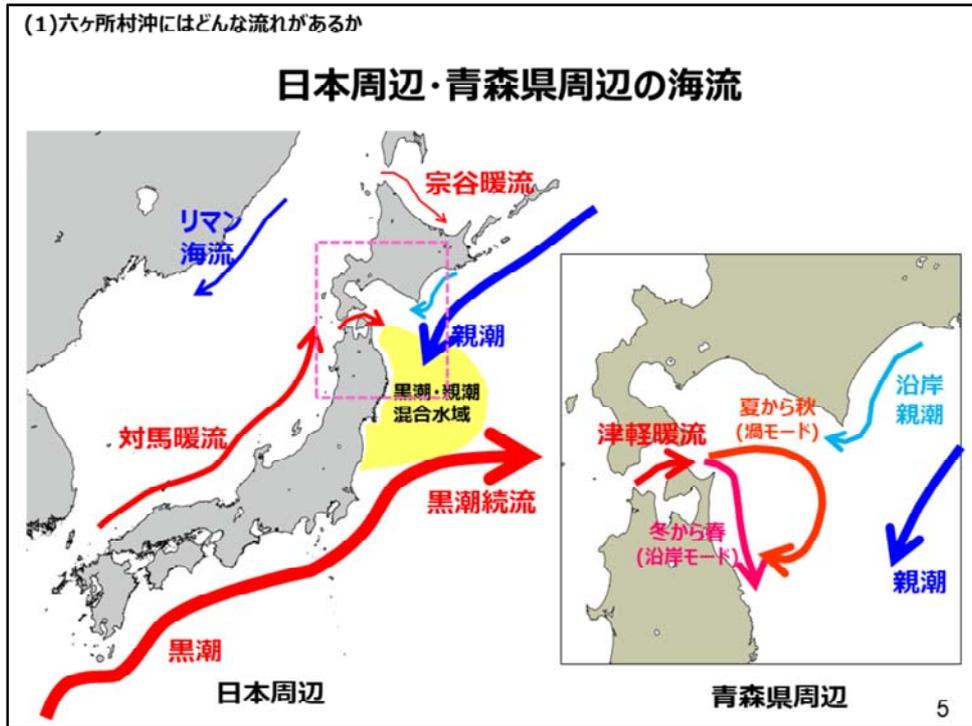
今日の内容

- (1) 六ヶ所村沖にはどんな流れがあるか
- (2) 六ヶ所村沖の流れのシミュレーション
- (3) 海の混合・拡散過程
- (4) 六ヶ所村沖の拡散シミュレーション

4

—要点—

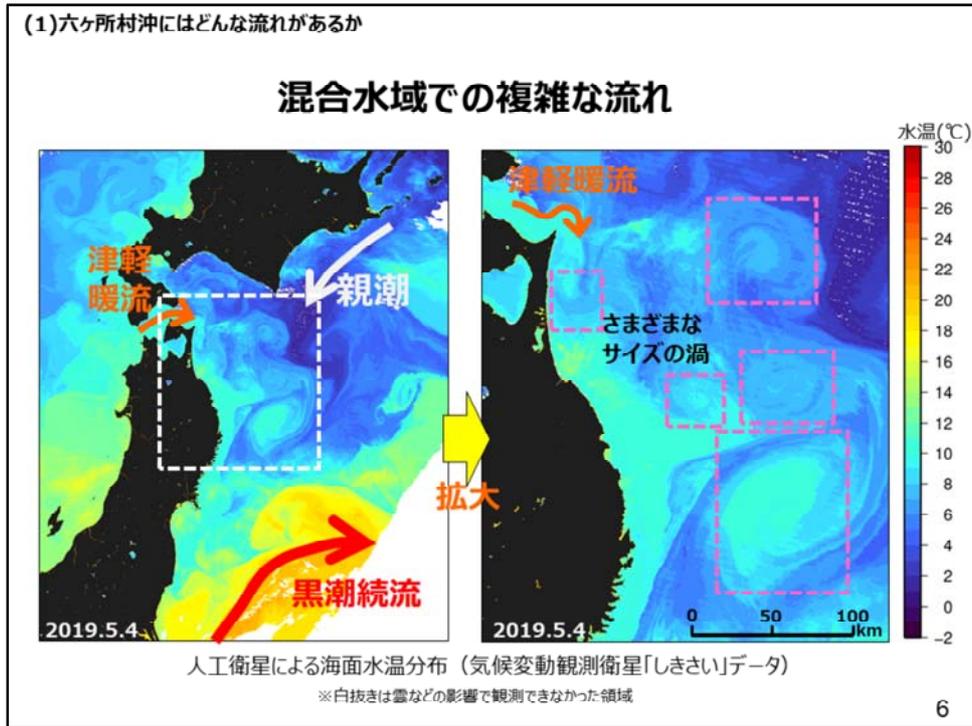
六ヶ所村沖での放射性物質の拡散のシミュレーションをどのように行っているかについて、六ヶ所村沖の流れの状況や海洋での混合・拡散に影響する現象を例示しながら説明します。



—要点—

日本周辺の大きな海流としては、暖流である黒潮と対馬暖流、寒流である親潮があります。対馬暖流の一部は津軽海峡から太平洋へと流れ出ており、津軽暖流と呼ばれています。青森県東方沖を含めた三陸沖は、黒潮と親潮、津軽暖流がぶつかる混合水域であり、世界的に見ても水産資源に富んだ海域となっています。

青森県東方沖を流れる主要な海流である津軽暖流は、夏から秋にかけて流れが強くなり東方に大きく張り出して時計回りの渦を形成し（渦モード）、冬から秋にかけては流れが弱まって本州沿岸を南下する（沿岸モード）というように、季節的に変化することが知られています。



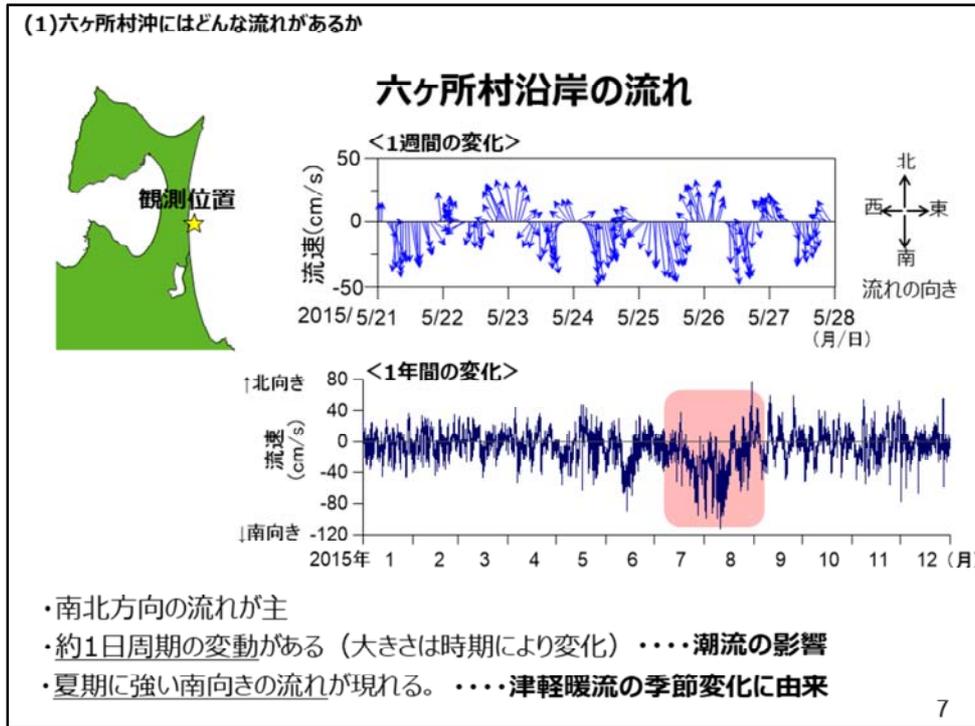
—要点—

人工衛星で観測された海面の水温分布をみると、暖かい水、冷たい水の渦が各所に存在します。実際の海は必ずしも概略図で示されるような一続きの流れになっておらず、大小さまざまなサイズの渦が形成され、水塊と水塊が非常に入り組んだ構造になっています。

このような渦の状況は刻々と変化していき、流れによって運ばれる物質も複雑な動きを示します。海に流れ出た物質がどのように広がるかをコンピュータでシミュレートするには、複雑に変化する海流の状況、その周辺にできる渦の状況などの再現が必要です。

<人工衛星による海面水温分布について>

上図は気候変動観測衛星「しきさい」による海表面の水温分布であり、JAXAが提供 (<https://gportal.jaxa.jp/gpr/>) するデータを元に作成しました。



—要点—

六ヶ所村沿岸では地形に沿った南北方向の流れが主となっています。時期によって大きさは異なりますが、流れには約1日周期の変動が見られます。また、年間を通してみると夏期に強い南向きの流れが現れます。

約1日周期の変動は、津軽海峡における潮流変動が六ヶ所村沿岸に伝播してきたものと考えられます。また、夏期の強い南向きの流れは、津軽暖流が沿岸モードから渦モードへと変化する過程で発生していると考えられます。

(1)六ヶ所村沖にはどんな流れがあるか

六ヶ所村沖の流れ

- ・津軽暖流と親潮、その季節変化
- ・混合水域で作られる大小さまざまな渦
- ・潮流

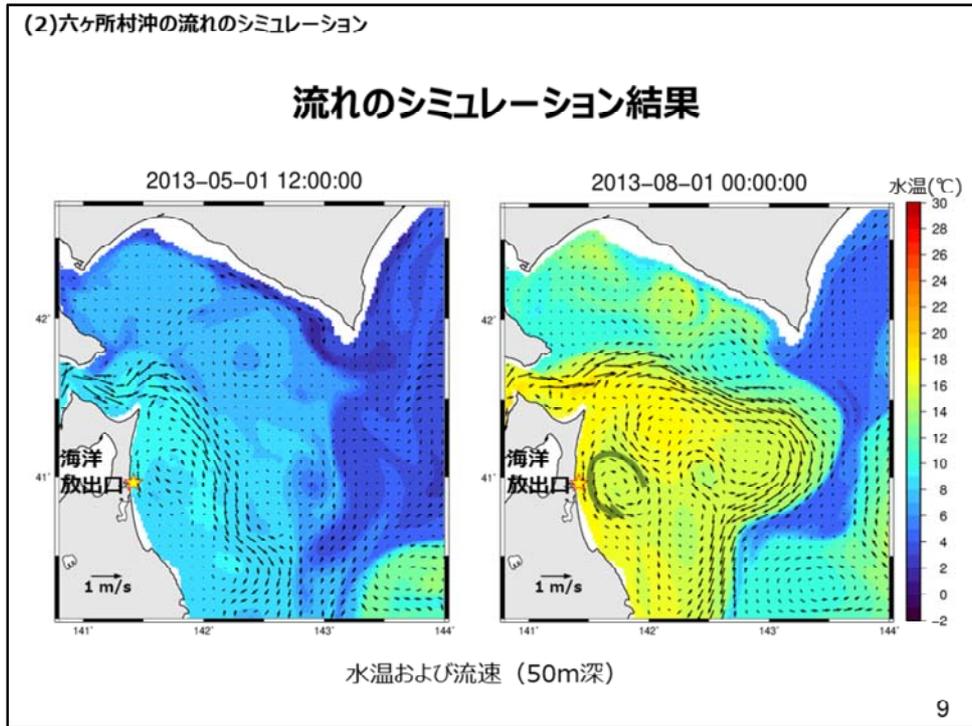


シミュレーションでは、このような流れを再現する必要がある。

8

—要点—

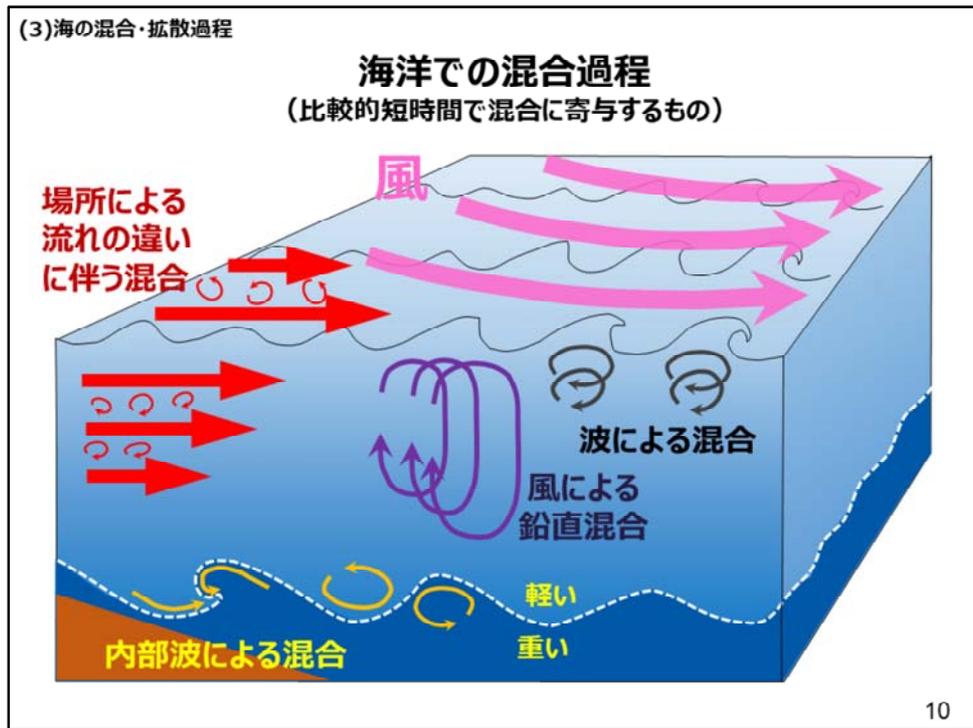
コンピュータシミュレーションにより海洋に放出された放射性物質の広がりを再現するためには、六ヶ所村沖の流れについての上記のような特徴を再現する必要があります。



—要点—

上図はコンピュータシミュレーションで再現した青森県東方沖の流れと水温の変化です。図の矢印が流れの向きと大きさを、色が水温を示しています。春から夏にかけて津軽暖流が沿岸モードから渦モードへと変化していく様子が再現されています。また、津軽暖流の渦の周辺にも多くの時計回り、反時計回りの渦が形成されています。

津軽暖流が沿岸モードから渦モードへ移行する7～8月には六ヶ所村沿岸に反時計回りの渦が時折り形成されており、その影響によって放出口付近で南向きの流れが発生しています。また、六ヶ所村沿岸の潮流も再現されています。



—要点—

海水は図に示すような様々な過程で混合されます。海水が混合されることによって海水中に放射性物質が拡散し、その結果、濃度は低くなって（希釈されて）行きます。

[波による混合]

波が大きくなると波頭が崩れ（砕波する）、それによって表層付近が大きく攪拌されます。

[風による鉛直混合]

風によって海表面に発生する流れや、大気によって海水が冷却されて重くなることなどによって上層と下層の水が混ぜられます。

[流れの違いに伴う混合]

隣り合う2地点の間で流れに違いがあると、その間で流れに乱れが生じ混合が起きます。深さ方向で流れが異なる（鉛直シア）場合は鉛直方向の混合が、水平方向に隣り合う2地点で流れが異なる（水平シア）では水平方向の混合が起きます。

[内部波による混合]

深さによって水温や塩分がことなることで密度が変化している境界面には、海面と同じように波が伝わります。水深が浅くなる場所などではこの波が崩れ、海水が混合します。

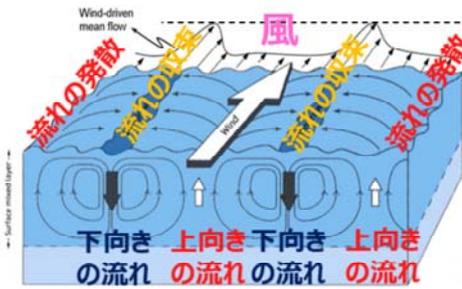
(3)海の混合・拡散過程

風による鉛直混合の例

※あくまで一例であり、風により生じる海水混合には多くのパターンがあります。



水面に見られる筋状構造（ストリーク）
（鷗崎ら, 2012）



風による鉛直循環（ラングミュア循環）
の模式図（C.Akan, 2012）

11

—要点—

上図は風によって生じる鉛直循環流の一つであるラングミュア循環の概略です。ラングミュア循環は、風によって表層の海水に流れが生じるとともに、流れが集まる部分（収束）と広がる部分（発散）が交互に繰り返され、その間で鉛直方向の循環流が生じる現象です。帯状に生じる収束と発散の領域が海面の筋状の構造（ストリーク）を形成します。

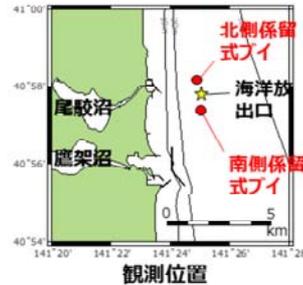
海洋ではラングミュア循環をはじめとして海水の混合に寄与する多くの現象が発生しています。

(4)六ヶ所村沖の拡散シミュレーション

放出口付近での連続的な観測



観測ブイ（係留式ブイ）



観測位置

	観測項目
北側係留式ブイ	流向流速 (鉛直20層: 2m毎) 水温・塩分 (鉛直2層: 4m, 20m深) 水中γ線 (2.2m深) 風向風速 (海面上5m高)
南側係留式ブイ	流向流速 (鉛直20層: 2m毎) 水温・塩分 (鉛直2層: 1.5m, 4m深) 水中γ線 (2.2m深) 風向風速 (海面上5m高)

係留式ブイをはじめとした観測データを元に、海域での拡散のしやすさ※を求めます。

※拡散シミュレーションにおいて使用するパラメーター（拡散係数）を計算します。

—要点—

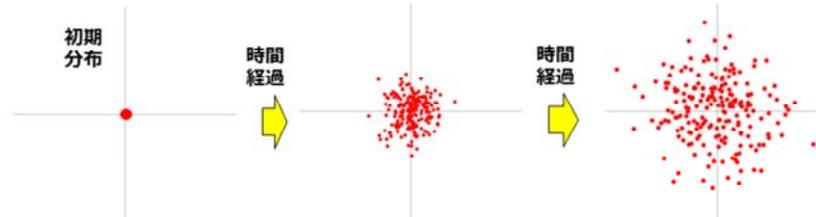
海の細かな現象による水の動きはシミュレーションによる再現が難しいため、観測データからそれら現象が拡散に与える影響を解析しています。海での混合・拡散の状況はいつでも同じでは無く、気象や流れの状況、さらには海水中の水温や塩分の分布によって大きく変化します。そこで、海洋放出口付近に設置した観測ブイ（係留式ブイ）によって、流れや水温・塩分、風などのデータを連続的に取得しています。

係留式ブイをはじめとした六ヶ所村沿岸での観測データから海の状態を把握し、それらを元に海水中での物質の拡散のしやすさを示すパラメータ（拡散係数）を求めています。

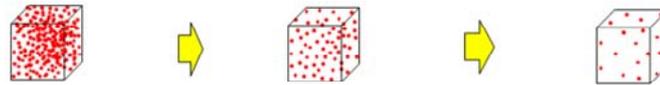
拡散の再現方法

<ランダムウォーク法>

放射性物質を多数の仮想粒子（下図の赤点●）で表し、粒子を一個ずつランダムな方向に移動させて行くことで拡散を表現する。



時間とともに粒子の分布が広がって行く（拡散して行く）



同じ体積の海水あたりで見ると、粒子の数は減って行く（＝濃度が下がって行く）

—要点—

放射性物質の拡散シミュレーションでは、放射性物質を多数の粒子（仮想粒子）で表し、拡散を粒子のランダムな方向への移動で表現する方法（ランダムウォーク法）を用いています。粒子が拡散していくことで粒子の分布範囲が広がるとともに、海水体積あたり粒子の個数は減少して行きます（＝濃度が低下する）。

(4)六ヶ所村沖の拡散シミュレーション

拡散の再現方法

シミュレーションで計算した流れの中に仮想粒子※（下図の赤点●）を入れ、流れに乗せて移動させるとともに拡散によるランダムな移動をさせることで、海洋での放射性物質の広がりを再現する。

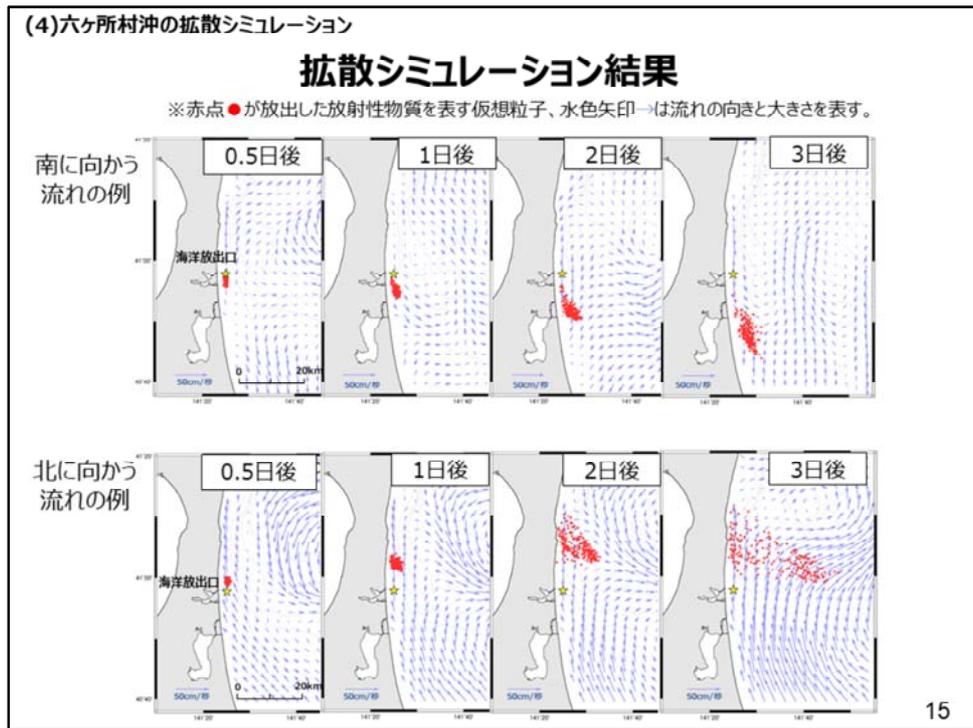
※海洋放出口からの放出一回に対し、数万個以上の仮想粒子を使って計算しています。



14

—要点—

ランダムウォーク法では、シミュレーションで計算した流れの中に仮想粒子を入れ、流れに乗せて移動させるとともに拡散によるランダムな移動をさせることで、海洋での放射性物質の広がりを再現します。海域の各位置における海水体積あたりの粒子数を放射性物質濃度に換算し、濃度分布を計算します。



—要点—

上図は刻々と流れが変化する中で、放射性物質を模した仮想粒子がどのように移動・拡散していくかを計算した例です。

仮想粒子は時間の経過によって単純に広がるわけではなく、海域の流れに応じて分布が変形し、拡散の速度も変化します。

※上図では仮想粒子の分布が見やすいよう、実際に拡散シミュレーションを行う際よりも粒子数を減らして表示しています。

まとめと今後

- 海洋に放出された物質は、流れによる移動（移流）と流れの乱れなどの諸現象による拡散によって広がる。
- コンピュータシミュレーションにより計算した流れの上で放射性物質を模した仮想粒子を与え、海洋での放射性物質の広がりを推定する。

今後は、海域での放射性物質濃度の分布やその変動のデータを蓄積して、シミュレーションの検証を行うことが重要であり、それによってシミュレーションの信頼性を高めていく。

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