

環境研の研究成果から読み解く

再処理工場の 稼働と環境

—せん断・溶解処理時に排出された
放射性物質の調査結果について—



公益財団法人
環境科学技術研究所

はじめに

(公財)環境科学技術研究所(以下、環境研)は、青森県六ヶ所村への原子燃料サイクル施設の立地にあたり、青森県からの要請を受け、放射性物質の環境中での動きと住民の被ばく線量評価、並びに低線量率放射線の長期被ばくの生体影響に関する調査研究を行い、放射線に関する科学的知見に基づく情報を広く発信することを目的として、1990年に設立されました。

原子燃料サイクルの中核的な役割を担う六ヶ所再処理工場(以下、再処理工場)からは、管理された量の放射性物質が大気と海洋に排出されます。これらの放射性物質による周辺住民の被ばく線量はあらかじめ安全側にたって評価された上で事業が許可されていますが、操業にあたっては、排出される放射性物質が実際に環境中でのように動き、それによる現実的な被ばく線量がどの程度になるのかを確認することが大切です。

再処理工場では、2006年3月から2008年10月に、操業に向けたアクティブ試験の一環として、実際の使用済燃料を用いたせん断・溶解処理が実施され、環境中にトリチウム(水素-3)、炭素-14、クリプトン-85、ヨウ素-129などの放射性物質が排出されました。環境研はこの時にも様々な観測・調査を実施しており、得られたデータは、再処理工場が操業した際の放射性物質の動きなどの計算精度の向上に活用されています。

本冊子は、せん断・溶解処理で排出された放射性物質の環境中における濃度や蓄積状況に関して、環境研が行なった観測・調査の結果をご紹介します、再処理工場が操業を迎えた際に起こりうる状況を皆様と共有することを目的としています。

なお、本冊子の掲載内容は、日本アイソトープ協会発行の以下の文献をもとにしており、データや図表を引用しています。

【参考文献】植田真司, 長谷川英尚, 柿内秀樹, 大塚良仁, 阿部康一, 赤田尚史, 落合伸也 (2024) 六ヶ所再処理工場のアクティブ試験時における環境放射能 ―放出された放射性物質の環境への影響について―. RADIOISOTOPES, 73, 81-99.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/radioisotopes/73/1/73_730108/_article/-char/ja/

再処理工場と放射性物質の排出

再処理工場では、原子力発電所から出る使用済燃料から再利用可能なウランやプルトニウムなどを取り出します。この際に、使用済燃料を切断して薬品で溶解する操作がせん断・溶解処理です(図1)。使用済燃料に含まれる放射性物質は薬品の液体中に溶かし出され、その後の工程によって、再利用可能なものと廃棄物に分離されます。工場からの排気や排液中に含まれる放射性物質は大部分が除去されますが、除去が困難な物質については管理された状態で大気と海洋に排出されます。

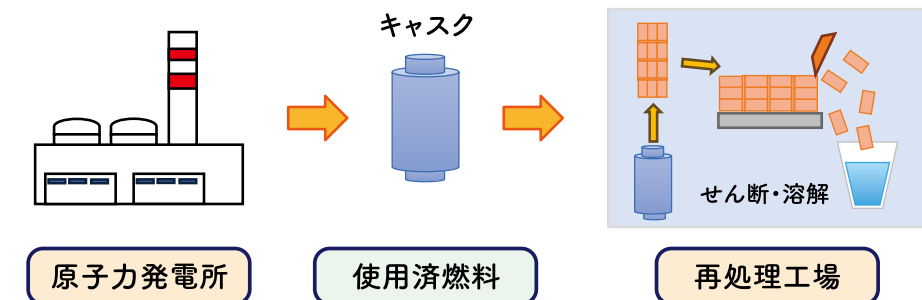


図1 再処理の工程におけるせん断・溶解処理

再処理工場の操業時の年間最大処理量は800トン(ウラン換算)で、この時に排出される放射性物質による一般公衆の被ばく線量は年間0.022ミリシーベルト^{*1}と評価されています(再処理事業変更許可申請書)。この値は、国際放射線防護委員会(以下、ICRP)が勧告する一般公衆における年間の実効線量限度^{*2}である1ミリシーベルトに比べて十分に低い値です。

2006年3月から2008年10月にかけてのせん断・溶解処理では、期間全体で425トンの使用済燃料が実際に処理され、図2に示す種類と量の放射性物質が排出されました。トリチウムとヨウ素-129は、せん断・溶解処理期間後も施設内に残っているものがごく僅かに排出されています。

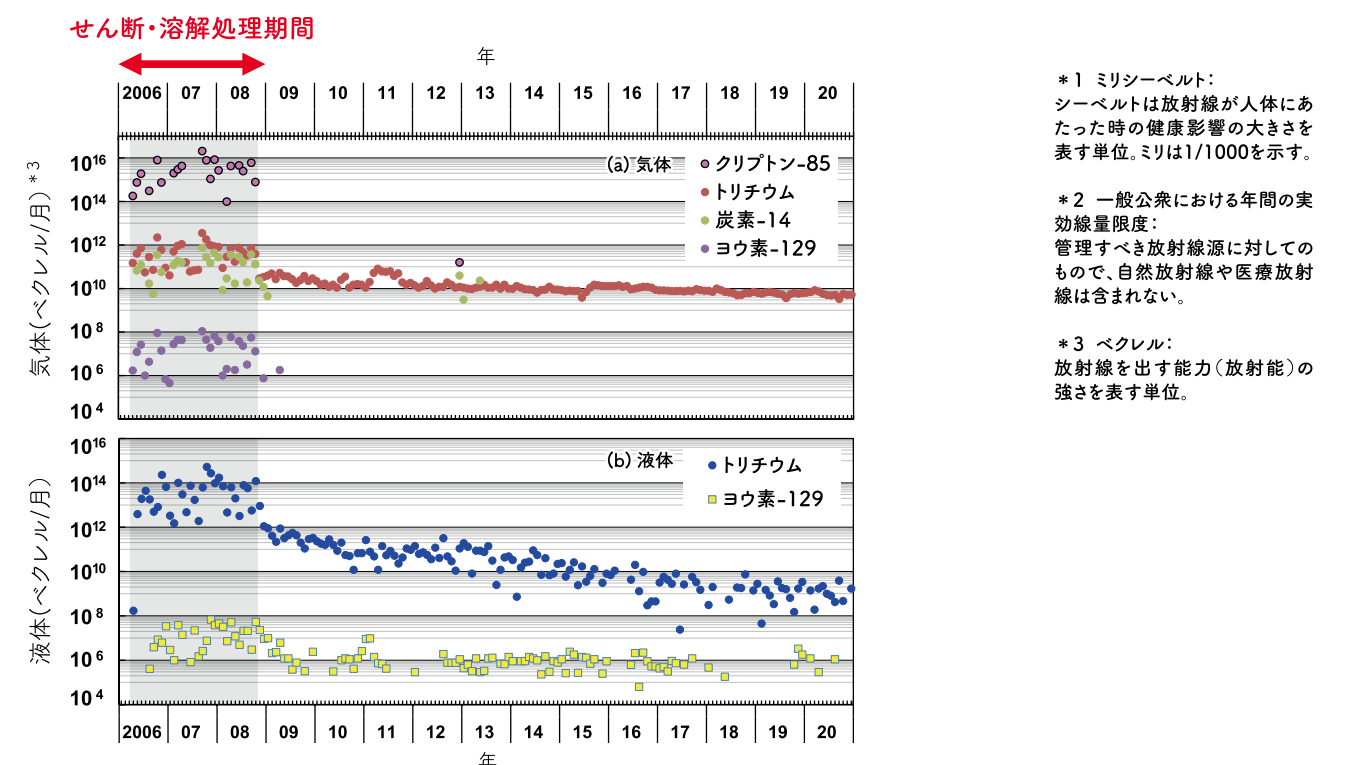


図2 再処理工場からの(a)気体および(b)液体の月間排出量

出典: 日本原燃 (<http://www.jnfr.co.jp/safety-agreement>)

*1 ミリシーベルト:
シーベルトは放射線が人体にあたった時の健康影響の大きさを表す単位。ミリは1/1000を示す。

*2 一般公衆における年間の実効線量限度:
管理すべき放射線源に対してのもので、自然放射線や医療放射線は含まれない。

*3 ベクレル:
放射線を出す能力(放射能)の強さを表す単位。

環境研が実施している環境影響調査

大気中の物質や降雨・降雪などを採取するための装置群
(環境研建屋屋上)



尾駁沼における試料の採取

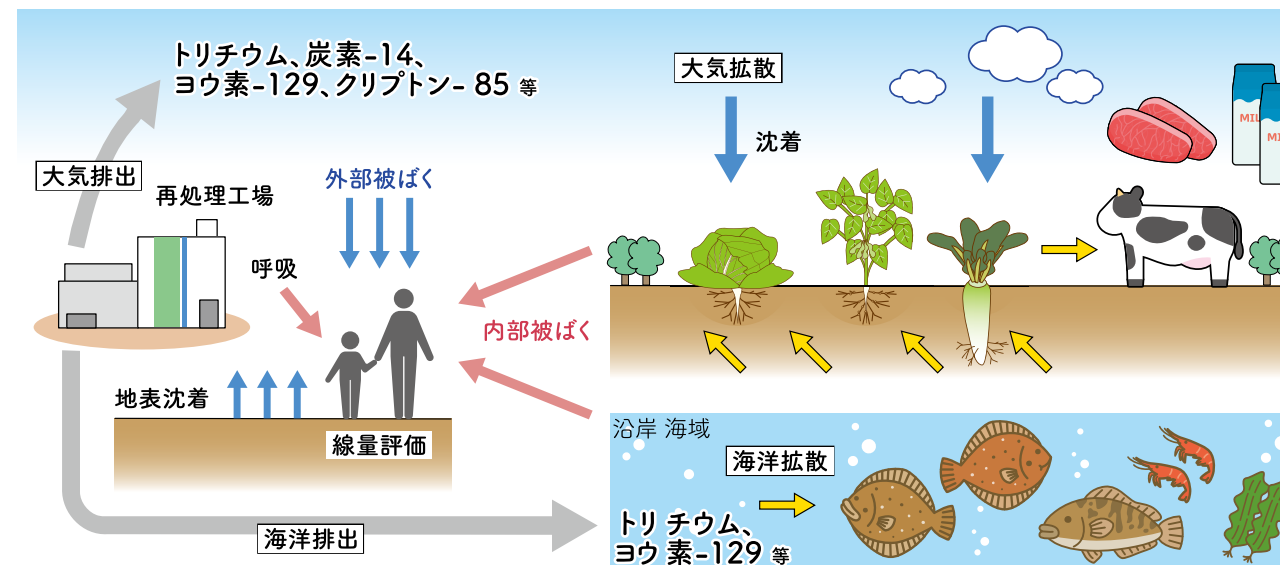


環境研敷地内の圃場における
米の収穫



空間の放射線量(空間ガンマ線量率)を
測定するための装置(環境研敷地内)

環境研では再処理工場から大気と海洋に排出される放射性物質について環境中での動きを明らかにし、それらを通じた住民の現実的な被ばく線量(外部被ばくと内部被ばく)を明らかにするための研究を行っています。このため、研究所敷地内において空間の放射線量と気象のデータを継続的に収集するとともに、六ヶ所村内を中心に、大気・降下物、河川・湖沼水、海水、土壌、農畜水産物、日常食などさまざまな試料を収集して、バックグラウンドの値まで正確に放射性物質の濃度を測定をしています。合わせて、環境中の放射性物質の動きをコンピュータ上でシミュレーションすることにより、実態に即した住民の被ばく線量を評価しています。



採取した海産物の前処理
(可食部を分析試料にする)



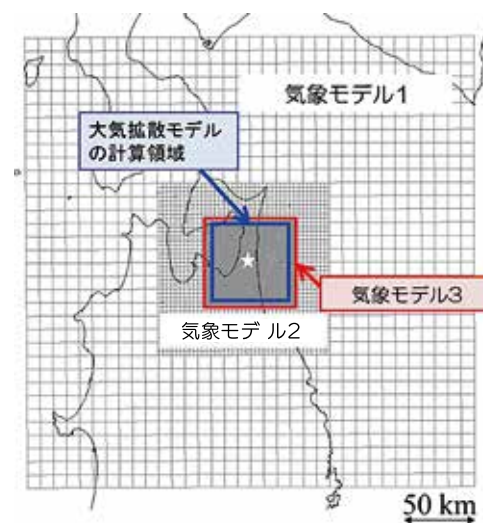
住民から提供を受けた1日分の
食事試料(日常食)



環境中のトリチウムを分析するための前処理装置群



放射性セシウムなどを
分析する装置
(ゲルマニウム半導体検出器)



コンピュータによる
被ばく線量の
シミュレーション領域



トリチウムなどを
分析する装置
(液体シンチレーション
カウンター)

調査の場所と変化が検出された放射性物質

環境試料の網羅的な調査によりせん断・溶解処理による変化を検出しました

環境研では、図3に示す通り、再処理工場および海洋放出口の周辺で定期的に様々な観測と試料採取を行っています。その結果、せん断・溶解処理期間において、表1に示す試料について特定の放射性物質の濃度等の変化を検出することができました。通常、環境放射線モニタリングでは定量下限値以下となるようなバックグラウンドの値まで正確に測定することにより、わずかな変化も検出可能となっています。

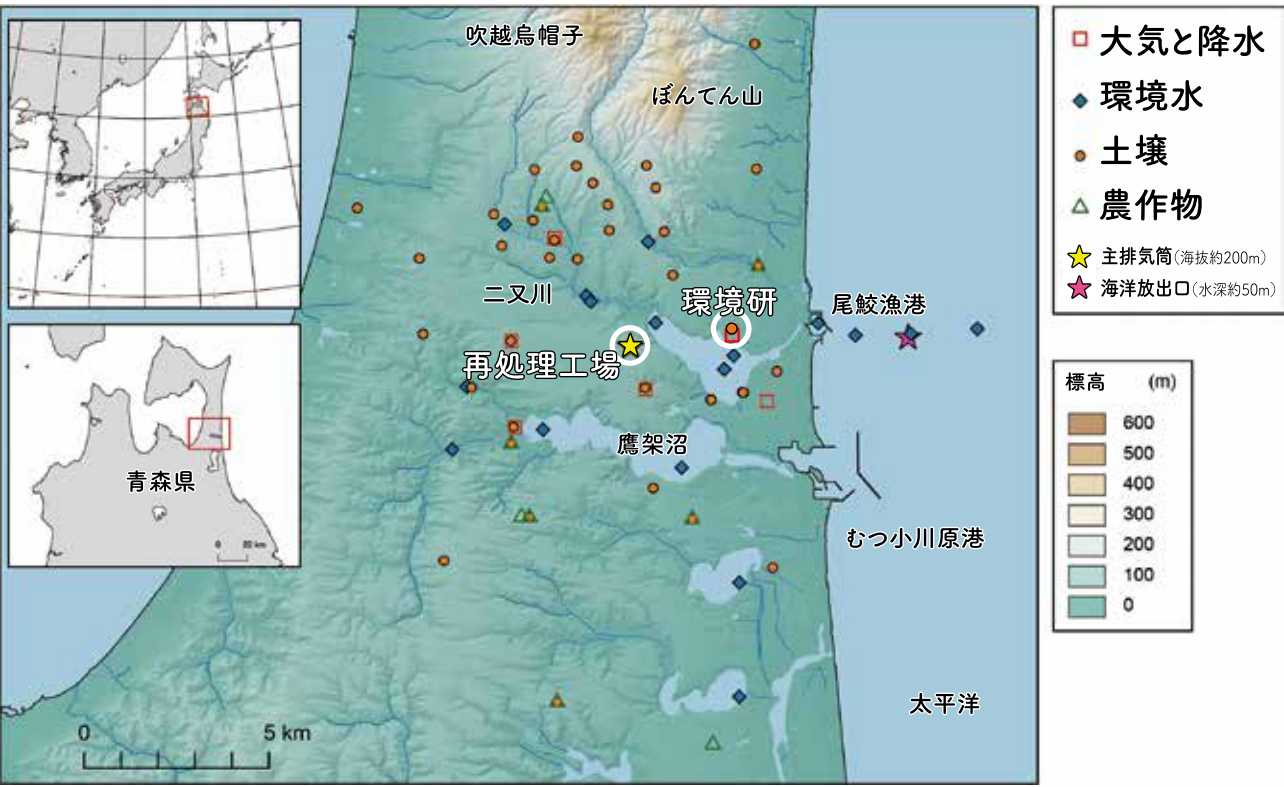


図3 環境試料の採取地点

表1 せん断・溶解処理時に環境試料から変化が検出された再処理工場由来の放射性核種

試料	クリプトン-85	炭素-14	トリチウム	ヨウ素-129
大気あるいは水蒸気	○ (6ページ)	○	○ (7ページ)	○
降水			○ (7ページ)	○
土壌				○ (8ページ)
食事(調理済み)				
農作物(キャベツ、ダイコン)				○
コメ			○	
植物(マツ葉、クマイザサ)			○	○
水産物(魚)			○ (9ページ)	○
環境水(河川水、湖沼水、海水)			○ (9ページ)	○
湖底堆積物・水生生物				○

(表中のページ数は本冊子で解説しているページを示す。)

大気中の放射性物質(クリプトン-85)

大気中にクリプトン-85が検出されコンピュータでの計算結果と一致しました

せん断・溶解処理期間中に、環境研の敷地内のモニタリングポスト(写真1)で、クリプトン-85による空間放射線量率の一時的な増加が観測されました。環境研では、再処理工場から排出される放射性物質の移動を、シミュレーションモデルによりコンピュータで計算する研究を進めています。せん断・溶解処理期間中の計算結果は実測値と概ね一致しました(図4)。

図5は、せん断・溶解処理期間中に一時的に上昇した地上付近のクリプトン-85の大気中平均濃度を計算した結果です。クリプトン-85は体に取り込まれることが少ないため、考慮すべきは大気中のクリプトン-85からの外部被ばくです。期間中の被ばく線量(実効線量)は平均濃度が最大の地点でも約0.0011ミリシーベルトで、この値は、ICRPが勧告する一般公衆における年間の実効線量限度1ミリシーベルトに比べて十分に低い値です。

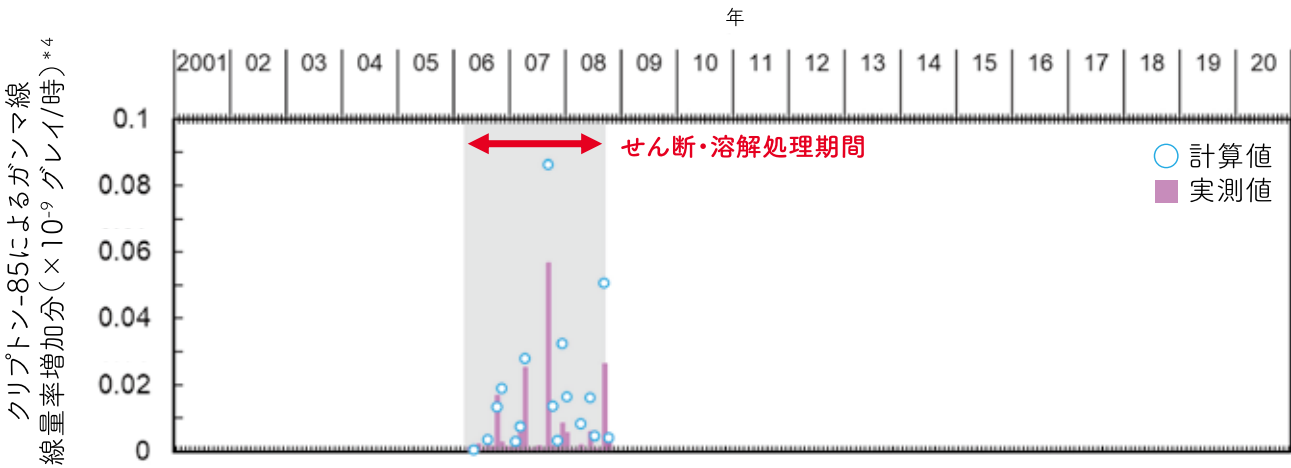


図4 環境研敷地内における計算値と実測値の比較(月平均値)

*4 グレイ:
放射線の量を表す単位。
物質に放射線があたる時に吸収
されるエネルギーの量を表す。

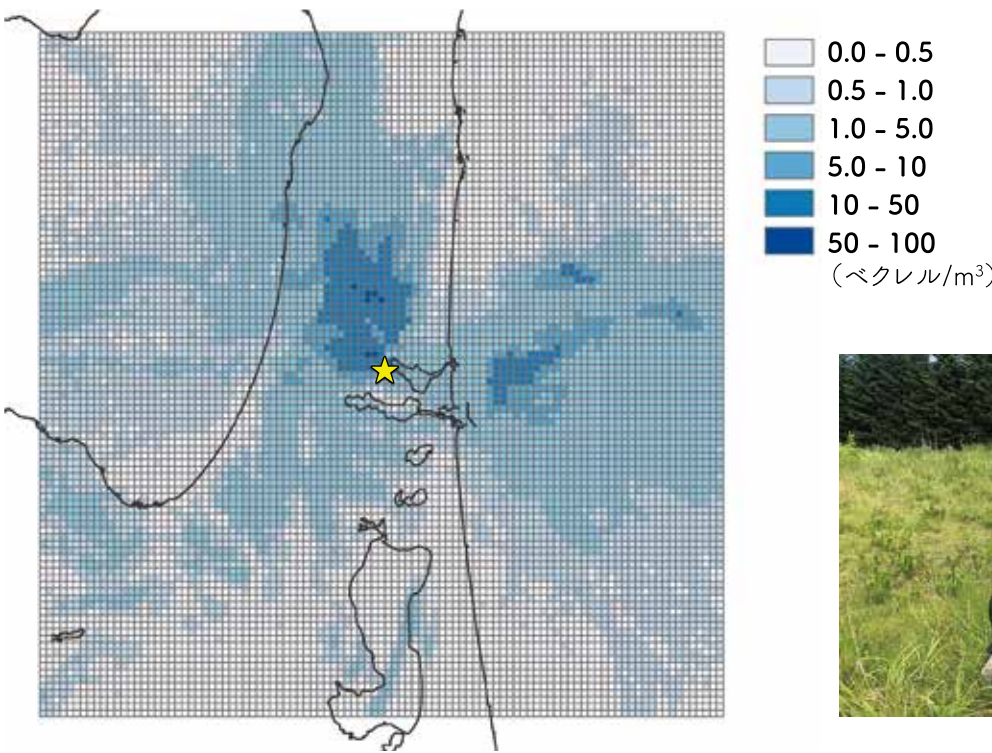


図5 せん断・溶解処理期間中のクリプトン-85の大気中平均濃度計算値(★は再処理工場主排気筒の位置)



写真1 環境研敷地内のモニタリングポスト

大気・降水中の放射性物質(トリチウム)

大気と降水中のトリチウム濃度に変化がありました

せん断・溶解処理期間中の大気へのトリチウム排出に伴い、大気中および降水中のトリチウム濃度が上昇し、せん断・溶解処理期間後には排出量の減少とともに、濃度も速やかに低下してバックグラウンドの状態になりました(図6)。せん断・溶解処理期間中の排出量と観測された濃度の変化傾向は必ずしも一致しておらず、これは風向きや降雨・降雪など、その時の気象条件の影響によると考えられます。

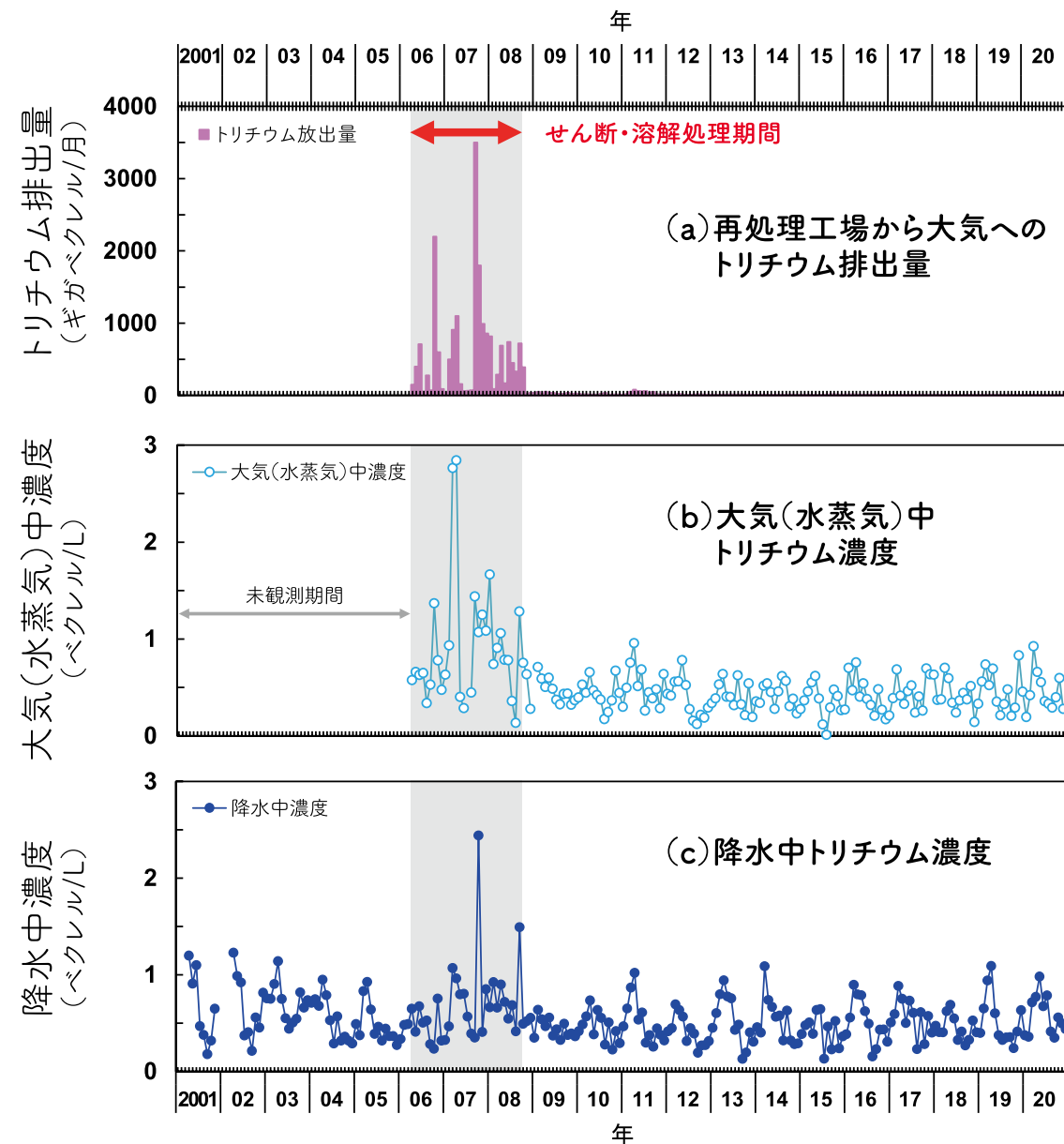


図6 (a)再処理工場から大気へ排出されたトリチウム量の変化と、
(b)大気(水蒸気)中および(c)降水中のトリチウムの濃度の時間変化

大気・降水中のトリチウム濃度が上がると、呼吸によって体内に取り込まれたり、土壌に沈着して農作物に吸収されたものを食べるなどによって内部被ばくが起こります。せん断・溶解処理期間中に観測された濃度の増加をもとに評価した再処理工場由来の被ばく線量(実効線量)は、最も多い年(2007年)で年間0.000009ミリシーベルトで、この値は、ICRPが勧告する一般公衆における年間の実効線量限度1ミリシーベルトに比べて十分に低い値です。

土壌中の放射性物質(ヨウ素-129)

土壌へのヨウ素-129の蓄積が見られました

土壌中には、宇宙線によって生成される自然由来や過去の大気中核実験由来のヨウ素-129がバックグラウンドとして存在しています。一方、せん断・溶解処理に伴って大気中に排出されたヨウ素-129も一部が地表に降下しました。この結果、あらかじめ明らかにしておいたバックグラウンドの値と比較することにより、土壌中のヨウ素-129濃度および蓄積量が増加したことが確認されました。蓄積量は場所によって異なり、気象条件などの影響が考えられます(図7)。

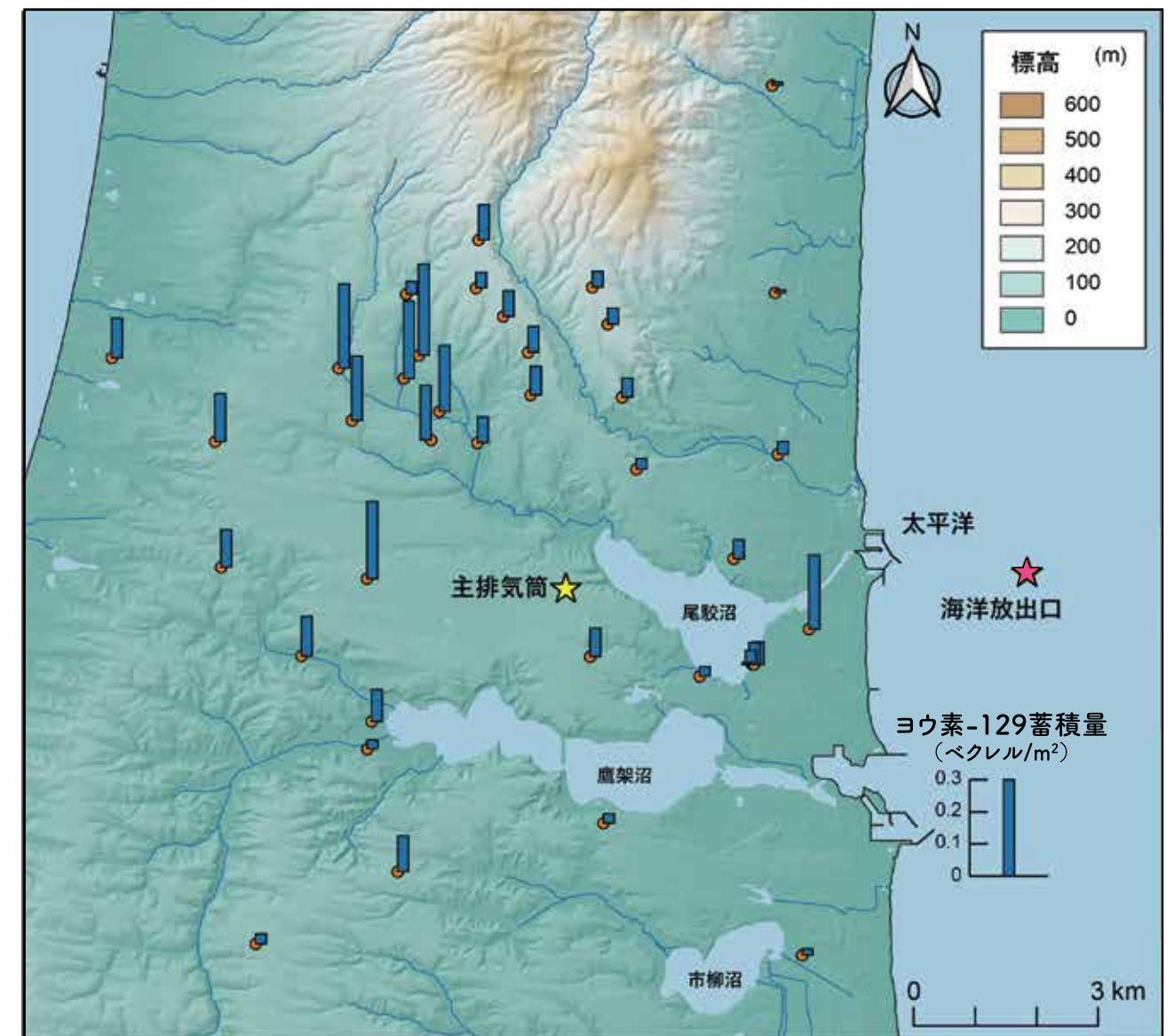


図7 せん断・溶解処理由来のヨウ素-129の土壌への蓄積量

地表に降下したヨウ素-129は土壌にとどまる傾向があり、土壌から農作物に移行して人に取り込まれる可能性があります(内部被ばく)。せん断・溶解処理の影響が最も大きく見られた地点の表層10cmまでの土壌のデータをもとに計算した被ばく線量(実効線量)はバックグラウンド値も含め年間0.0000004ミリシーベルトで、この値は、ICRPが勧告する一般公衆における年間の実効線量限度1ミリシーベルトに比べて十分に低い値です。

河川・湖沼・海の放射性物質(トリチウム)

一部の環境水と魚中のトリチウム濃度に上昇が見られました

せん断・溶解処理により、トリチウムが海洋放出口から海水中に排出されました。これらは潮流によって拡散・希釈されたことにより、環境研の調査では沿岸海水中の濃度上昇は検出されませんでした。河川水においても濃度の上昇は見られませんでした。一方、近くの汽水湖である尾駈沼と漁港では海洋から流入したトリチウムが滞留し、せん断・溶解処理期間中には、前後の期間のバックグラウンドに比べて一時的に濃度が上昇しました(図8)。河川水や沿岸海水でトリチウムのバックグラウンド濃度が時間と共に緩やかに減少しているのは、過去の大気中核実験の影響が年々減少しているためです。

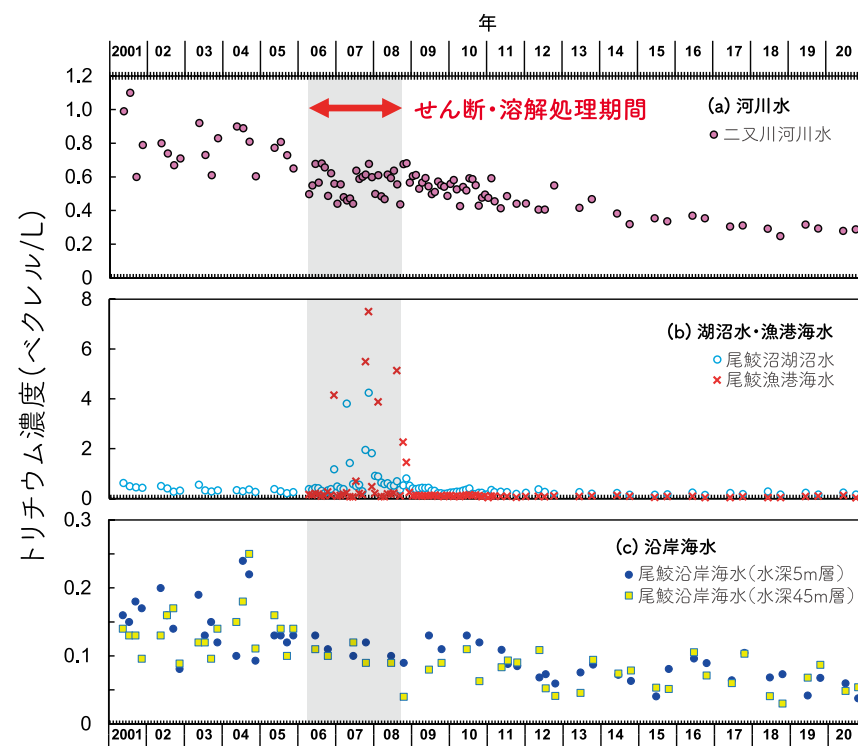


図8 再処理工場周辺の環境水中のトリチウム濃度



写真2 尾駈沼における試料の採取

沿岸海域で採取されたヒラメやカレイなどの一部の魚について、せん断・溶解処理期間中に一時的にトリチウム濃度の上昇が観測されました(図9)。観測された最も高濃度の魚を毎日食べた場合でも内部被ばく線量(実効線量)は年間0.000008ミリシーベルトで、この値は、ICRPが勧告する一般公衆における年間の実効線量限度1ミリシーベルトに比べて十分に低い値です。

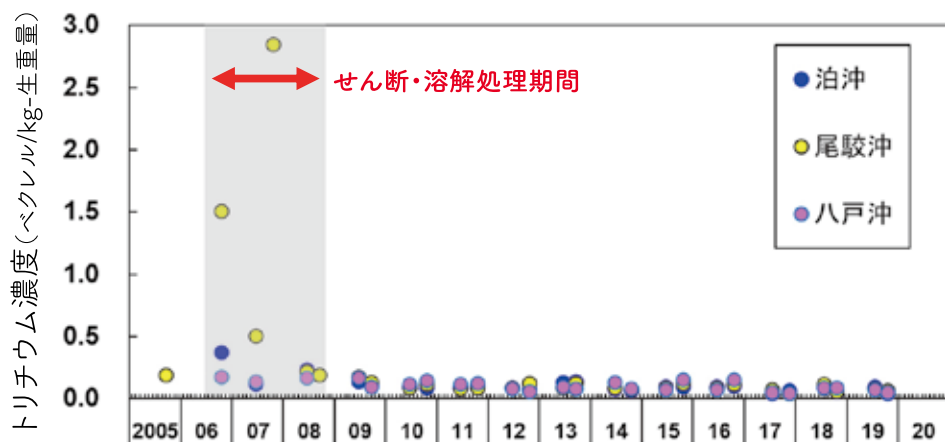
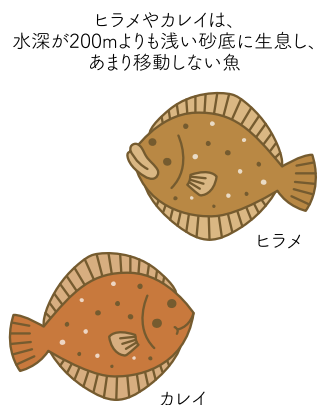


図9 青森県太平洋沿岸海域の魚(ヒラメ・カレイ)中のトリチウム濃度



調理済み食事に含まれる放射性物質

食事に含まれる放射性物質の量に変化は見られませんでした

住民は、その地域で生産された食品だけを食べているわけではありません。そこで、住民が日常的に摂取している実際の食事に含まれる放射性物質の量を把握するために、六ヶ所村と青森市の住民から調理済みの食事の提供を受けて分析をしています。これにより、現実の食生活に基づいた内部被ばく線量の推定が可能になります。



1回の調査では、1地域につき5名の調査協力者から調理済み食事1日分の提供を受け(写真3)、これらを地域ごとに混合して、個人の食事内容で結果に偏りが出ないようにしています。

トリチウム、炭素-14、ヨウ素-129について、食事の分析に基づく大人1人あたりの1日摂取量の推定値を求めたところ、せん断・溶解処理期間とその後の期間で差はなく、六ヶ所村と青森市の間にも違いは見られず、再処理工場の明確な影響は検出されませんでした。

写真3 大人1名・1日分の調理済み食事の例

再処理工場由来の被ばく線量(まとめ)

再処理工場由来の放射線被ばくは小さく、その影響は無視できる程度でした

再処理工場のせん断・溶解処理により、大気中のクリプトン-85(6ページ)、大気・降水中のトリチウム(7ページ)、土壌中のヨウ素-129(8ページ)、環境水と水産物中のトリチウム(9ページ)などで濃度上昇が観測されました。各ページに記載したように、濃度の上昇が見られた放射性物質について、得られたデータやシミュレーションモデルの計算値から評価した再処理工場由来の被ばく線量(実効線量)は十分小さい値でした。これらの値は、ICRPが勧告する一般公衆における年間の実効線量限度1ミリシーベルトに比べて十分に低く、日本人の自然放射線による年間被ばく線量2.1ミリシーベルト*5と比べても無視できると言えます。

再処理工場が操業すると、大気と海洋に放射性物質が排出され、環境中の一部の試料では、せん断・溶解処理期間中に見られたような濃度上昇が観測されることが考えられます。一方で、影響を正しく評価するためには、放射性物質の濃度の変化に基づく被ばく線量の大きさを知ることが大切です。

環境研の調査は継続しており、再処理工場の操業後の影響も明らかにしていく予定です。

*5 日本人の自然放射線による年間被ばく線量：原子力安全研究協会「生活環境放射線第3版(2020)」より。一般公衆における年間の実効線量限度には含まれない。



この調査研究は青森県の委託により実施したものです。
放射性物質の周辺への影響については、以下のホームページもご覧ください。

<https://www.aomori-hb.jp/>



このパンフレットに関するお問合せ先

公益財団法人 環境科学技術研究所 共創センター

〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字家ノ前1番7
TEL: 0175-71-1200(代表) 0175-71-1240(共創センター) FAX: 0175-71-1270

<https://www.ies.or.jp/>

E-mail: kanken@ies.or.jp



2025年12月 制作