

福島第一原子力発電所

多核種除去設備等処理水の取扱いに関する海域の環境放射能測定結果

(令和5年度(2023年度)第2四半期)

2023年12月4日

東京電力ホールディングス株式会社

福島第一廃炉推進カンパニー
福島第一原子力発電所

目 次

1. 強化したモニタリング結果の概要	1
1-1. 海水	1
1-2. 魚類、海藻類	3
2. 測定目的	4
3. 測定内容	5
3-1. 測定項目	5
3-2. 試料採取点	6
4. 測定結果	8
4-1. 海水	11
4-2. 魚類	14
4-3. 海藻類	15

添付資料

(参考)

測定方法.....	19
東京電力におけるトリチウム分析の定義について.....	20
ALPS 処理水の海洋放出の状況について.....	21
海水のトリチウム濃度の推移（対数グラフ）.....	26
海水のトリチウム濃度の迅速に状況を把握する測定の結果.....	29
魚類のトリチウム濃度の推移（対数グラフ）.....	31
海藻類のヨウ素 129 濃度の推移（対数グラフ）.....	33
海水のセシウム 137 濃度の推移.....	34
魚介類のセシウム 134, 137 濃度の推移.....	39
海藻類のセシウム 134, 137 濃度の推移.....	41
海底土のプルトニウム、セシウム濃度の推移.....	42
トリチウムについて.....	47
海洋拡散シミュレーション結果.....	59
多核種除去設備等処理水希釈放出設備および関連設備の全体像.....	60
魚のトリチウム分析値の検証について.....	61
海域モニタリングにおける指標（放出停止判断レベル等）の設定について.....	62

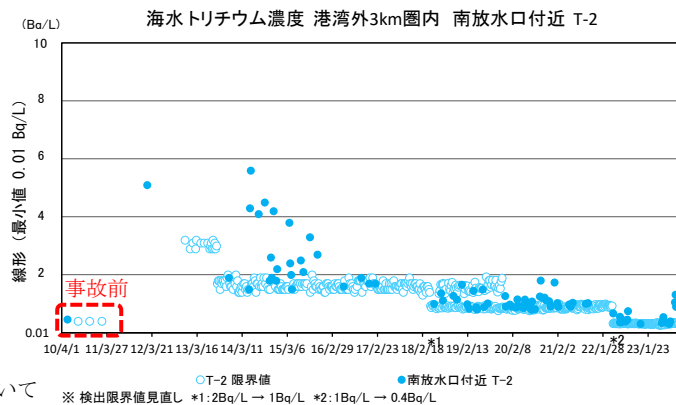
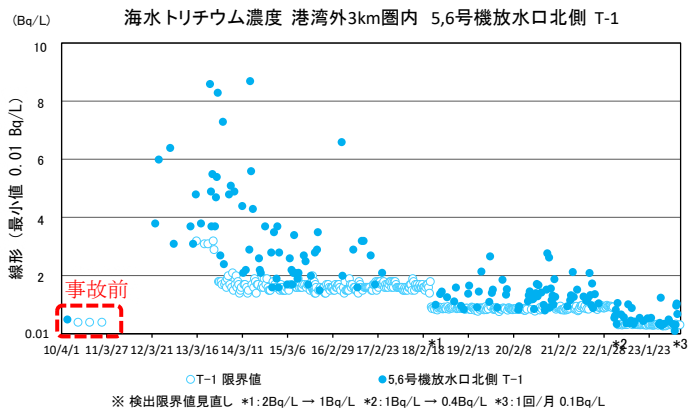
1. 強化したモニタリング結果の概要

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所では、令和4年度(2022年度)より多核種除去設備(以下、ALPS)処理水の取扱いに関する海域モニタリングの強化を開始しました。従来行っている海域モニタリングに加えて、主にトリチウムに注目して、採取点数、頻度を増やし、検出限界値を国の目標値と整合するよう設定しています。

強化したモニタリングは、準備が調った測定点から2022年4月より順次開始しています。海水のトリチウムについて、福島第一原子力発電所の事故により上昇した発電所付近の濃度は、年月の経過とともに低下し事故前に戻りつつありますが、2023年度第2四半期(7月~9月)に実施した結果では、2023年8月24日のALPS処理水の放出開始以降の放出期間中に、放水口周辺の測定点において濃度の上昇が見られています。それ以外については、これまでの傾向と異なる結果は見られませんでした。魚類は、2015年より熊川沖でモニタリングを開始しており、組織自由水型トリチウム*の濃度は、周囲の海水のトリチウム濃度とほぼ同じで推移しています。

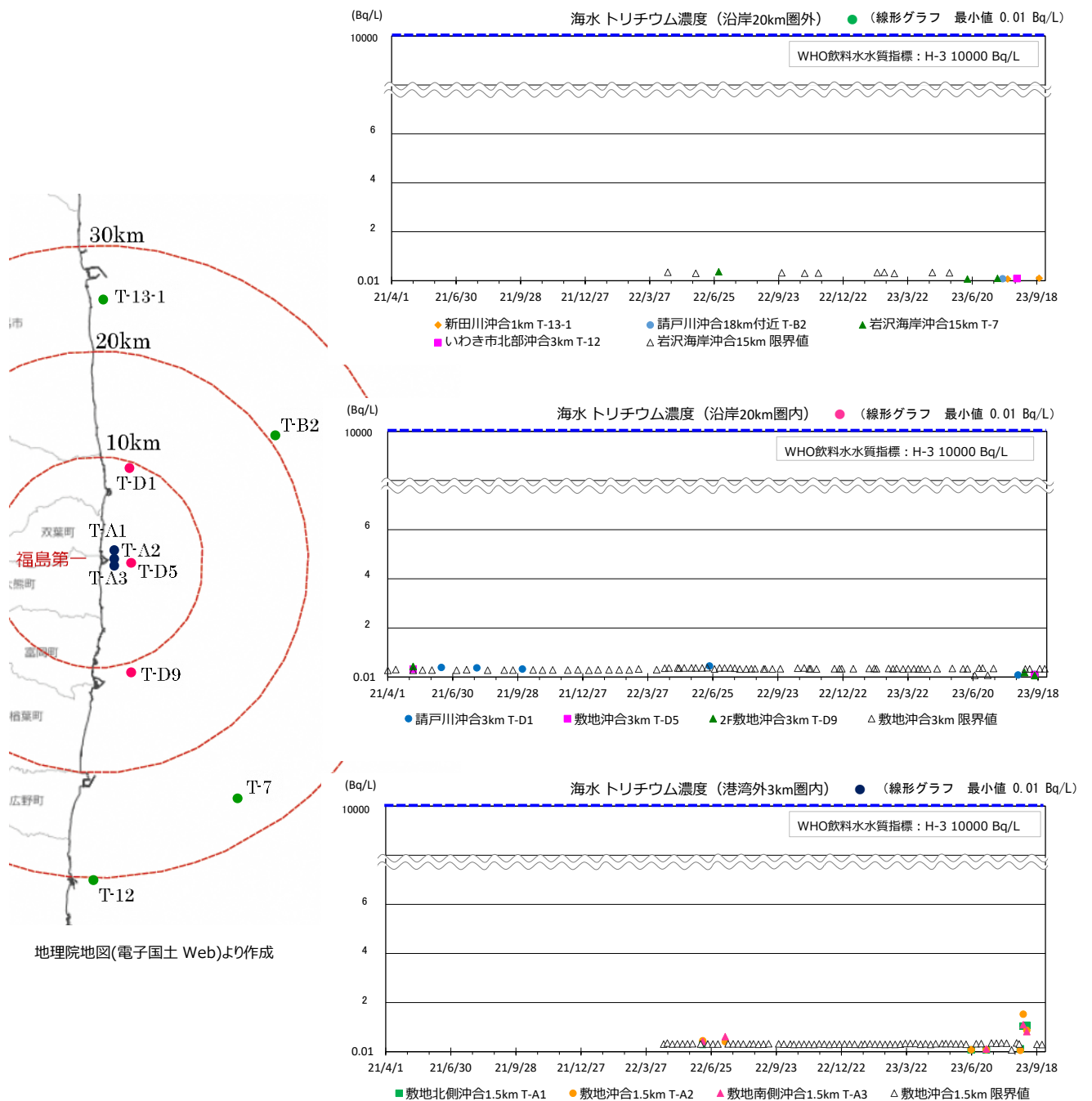
1-1. 海水

- 事故後に上昇したトリチウム濃度は低下傾向にあり、適宜検出限界値を見直してきました。
- 海域モニタリングの強化では、処理水の海洋放出に際して、自然事象、ならびに地下水バイパス排水とサブドレン浄化水等の排水によるトリチウム濃度の周辺海域の変動を把握することによって、解析されたトリチウムの拡散状況の範囲なのかどうかを評価することができるようになります。自然変動をきめ細かく把握するために、2022年4月から目標検出限界値を1Bq/Lから0.4Bq/Lに下げることによって、より低いレベルが把握できるようになり、5,6号機放水口北側及び南放水口付近とも、事故前の測定結果まで戻っていることが伺えます。
- 2023年6月より電解濃縮装置*を導入して総合モニタリング計画の検出限界目標値である0.1Bq/Lに整合させて、モニタリングを継続しています。



(注) *については、添付資料(参考)トリチウムについてを参照してください。

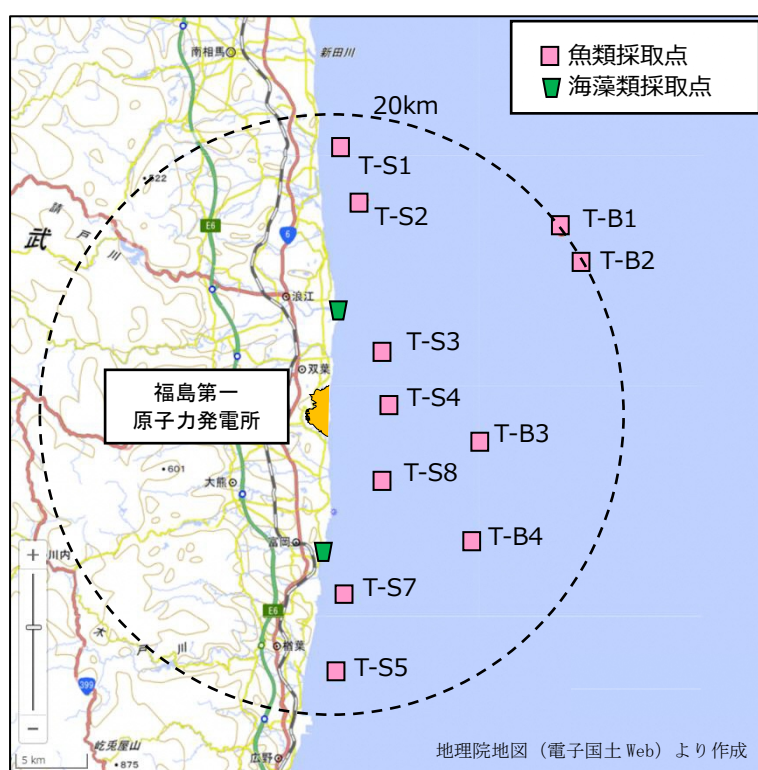
- 発電所沿岸の海流は南北方向の出現頻度が占めることから、発電所を中心に南北がほぼ対称となるように試料採取点の中から距離に応じてグループ化して、トリチウム濃度の推移を比較しました。
- モニタリング結果は、事故前の値 (0.4 Bq/L 未満) と同じレベルで推移しています。2023 年 6 月より 1 回/月の頻度で検出限界値を 0.1 Bq/L まで下げて、より詳細にモニタリングを行っています。
- 港湾外 3km 圏内において、2023 年 8 月 24 日の ALPS 処理水の放出開始以降の放出期間中に、放水口周辺の測定点においてトリチウム濃度の上昇が見られていますが、いずれも日本全国の海水の変動範囲*を下回っています。



*: 下記データベースにおいて 2019 年 4 月～2022 年 3 月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲
 日本全国 (福島県沖含む) トリチウム濃度: 0.043 Bq/L ~ 20 Bq/L
 出典: 日本の環境放射能と放射線 環境放射線データベース

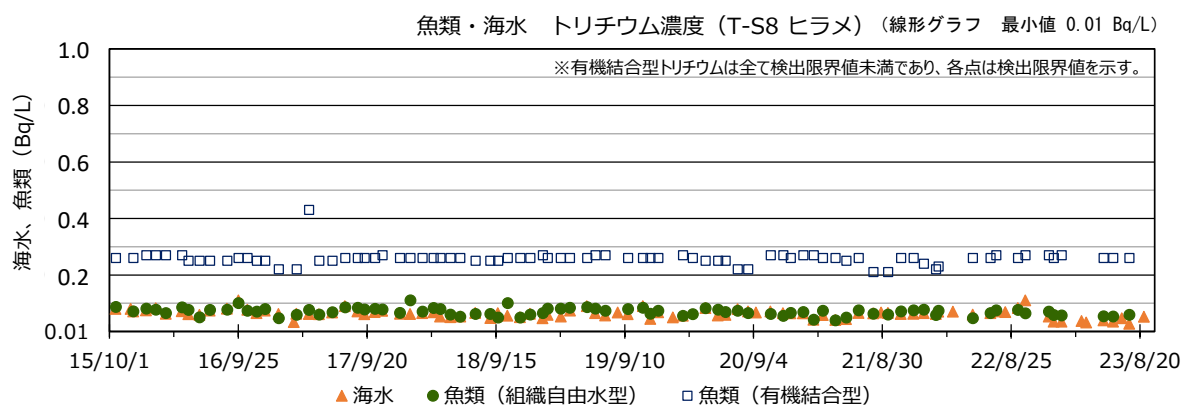
1-2. 魚類、海藻類

- 魚類のトリチウム濃度は、2015年より発電所南側の熊川沖4km地点(T-S8)にて、主にヒラメを対象として組織自由水型トリチウム(TFWT)*1と有機結合型トリチウム(OBT)*1の測定を実施してきました。これまでの測定結果では、TFWT濃度は採取地点付近の海水中のトリチウム濃度と同程度であり、魚類の体内で濃縮するような結果は見られなく、文献などの説明と一致しております。また、検出限界値を下げるのが難しいOBTは全て不検出でした。
- 2022年度第1四半期より採取点を11地点に強化しており、2023年度第1四半期までに採取した試料について検証*2後に分析を再開した結果は、従来から採取している地点(T-S8)と同じレベルで推移しています。
- 海藻類について、2022年度第2四半期、第4四半期、2023年度第1四半期に採取した試料のヨウ素129の分析値は検出限界値未満となっています。2023年度第2四半期に採取した試料のヨウ素129については分析中です。



(注) 採取点番号 (T-S1~S8、T-B1~B4) は「3. 測定内容 3-1. 測定項目 図2」を参照

魚類・海藻類の採取地点



魚と海水のトリチウム濃度 (熊川沖4km地点 (T-S8))

(注) *1については、添付資料 (参考) トリチウムについてを参照してください。

(注) *2については、添付資料 (参考) 魚のトリチウム分析値の検証についてを参照してください。

2. 測定目的

これまで、事故により環境中に放出された放射性物質の拡散、移行等の状況の把握を目的として、国の総合モニタリング計画に基づき、セシウム 134、セシウム 137、ストロンチウム 90 を中心に海域モニタリングを継続して実施してきました。

2021 年 4 月に決定された政府の「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針*」に、海域モニタリングを強化・拡充することが盛り込まれたことから、当社は ALPS 処理水処分の実施主体として、発電所近傍、福島県沿岸において海水、魚類のトリチウム測定点を増やし、発電所近傍において海藻類のトリチウム、ヨウ素 129 の測定を追加した海域モニタリング計画を策定しました。

今後、引き続き事故により環境中に放出された放射性物質の拡散、移行等の状況の把握を継続するとともに、ALPS 処理水の取扱いに係るモニタリングとして、海水、魚類等の放射性物質濃度について通常の変動範囲の把握のためデータ蓄積に努めていきます。

*：東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針（廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議 2021 年 4 月 13 日決定）
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/hairo_osensui/dai5/siryoul.pdf

さらに、ALPS 処理水の放出開始以降は、海水のトリチウムについて、通常と異なる状況かどうか確認するために迅速に結果を得る測定を追加して実施*します。

（注）*については、添付資料（参考）海域モニタリングにおける指標（放出停止判断レベル等）の設定についてを参照してください。

3. 測定内容

3-1. 測定項目

測定項目は以下に示すとおりです。

ALPS 処理水の放出開始以降は、海水のトリチウムについて、通常と異なる状況かどうか確認するため、検出限界値を 10 Bq/L に上げて迅速に結果を得る測定を追加して実施しています。

<海水>

赤字：2022 年度以降強化により採取点数、測定対象、頻度、検出限界値を変更した点

対象	採取場所 (図 1, 2, 3 参照)	採取点数	測定対象	頻度	検出限界値*4
海水	港湾内	10	セシウム 134, 137	毎日	0.4 Bq/L
			トリチウム	1 回/週	3 Bq/L
	港湾外 3km 圏内	2	セシウム 134, 137	1 回/週	0.001 Bq/L
				毎日	1 Bq/L
		5 → 8	セシウム 134, 137	1 回/週	0.4 Bq/L
				トリチウム	1 回/週*1
	沿岸 20k m 圏内	6	セシウム 134, 137	1 回/週	0.001 Bq/L
				トリチウム	2 回/月 → 1 回/週*1
		1	トリチウム	1 回/週*2	10 Bq/L*3
				1 回/月	0.1 Bq/L
		1	トリチウム	なし → 1 回/月	0.1 Bq/L
				3	トリチウム
	沿岸 20k m 圏外 (福島県沖)	9	セシウム 134, 137	1 回/月	0.001 Bq/L
				トリチウム	なし → 1 回/月

※：採取深度はいずれも表層（海面～0.5m 程度）。発電所からの拡散状況を確認するために表層で採取しているが、沖合では底層（海底～5m 程度）においてもセシウムを測定している。

*1：検出限界値を 0.1Bq/L とした測定は 1 回/月、その他の週は 0.4Bq/L

*2：放出開始後当面の間は毎日実施する。

*3：放出開始以降、迅速に結果を得る測定（試料採取日の翌日を目途に測定結果を得る測定）を実施する。

*4：目的に応じた検出限界値の考え方については、添付資料（参考）東京電力におけるトリチウム分析の定義についてを参照してください。

<魚類・海藻類>

赤字：2022 年度以降強化により採取点数、測定対象、頻度、検出限界値を変更した点

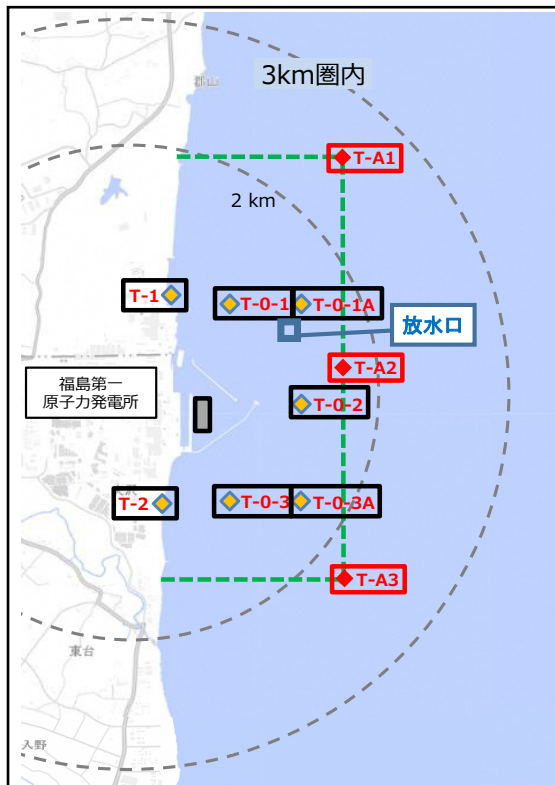
対象	採取場所 (図 1, 2, 3 参照)	採取点数	測定対象	頻度	検出限界値
魚類	沿岸 20k m 圏内	11	セシウム 134, 137	1 回/月	10 Bq/kg(生)
			ストロンチウム 90 (セシウム濃度上位 5 検体)	四半期毎	0.02 Bq/kg(生)
		1	トリチウム (組織自由水型)	1 回/月	0.1 Bq/L
			トリチウム (有機結合同型)		0.5 Bq/L
		0 → 10	トリチウム (組織自由水型)*1	なし → 1 回/月	0.1 Bq/L
トリチウム (有機結合同型)*2	0.5 Bq/L				
海藻類	港湾内	1	セシウム 134, 137	1 回/年 → 3 回/年	0.2 Bq/kg(生)
	港湾外 20km 圏内	0 → 2	セシウム 134, 137	なし → 3 回/年	0.2 Bq/kg(生)
			ヨウ素 129	なし → 3 回/年	0.1 Bq/kg(生)
			トリチウム (組織自由水型)*1	なし → 3 回/年	0.1 Bq/L
			トリチウム (有機結合同型)*2		0.5 Bq/L

*1：動植物の組織内に水の状態で存在し、水と同じように組織外へ排出されるトリチウム。

*2：動植物の組織内のタンパク質などに有機的に結合して組織内に取り込まれ、細胞の代謝により組織外へ排出されるトリチウム。

3-2. 試料採取点

試料採取点は図1～図3に示すとおりです。

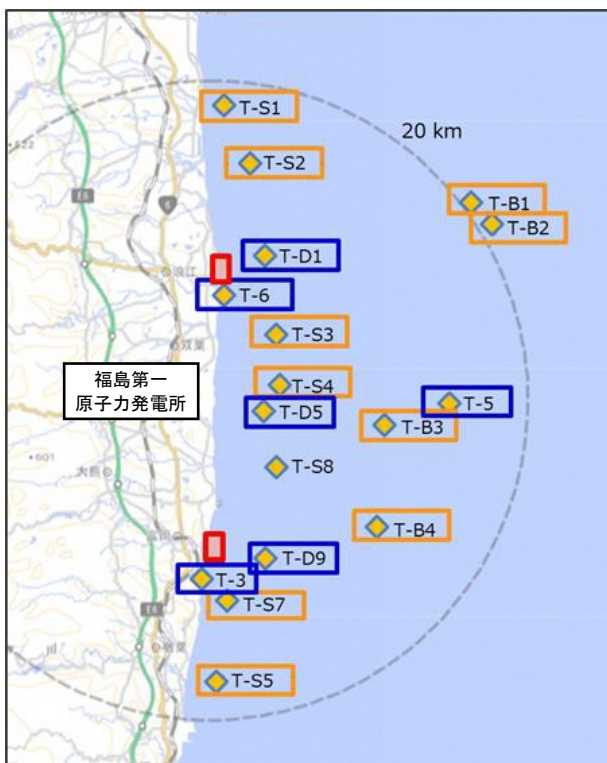


【2022年度以降に強化した試料採取点】

- : 検出限界値を下げた点(海水)
- : 採取を追加した点(海水)
- : 変更なし(海藻類)
- : 日常的に漁業が行われていないエリア*
東西 1.5km 南北 3.5km
※ : 共同漁業権非設定区域

※2022年3月24日公表の海域モニタリング計画から、T-A1, T-A2, T-A3の表記、位置について総合モニタリング計画の記載に整合させて修正

図1 発電所近傍（港湾外3km圏内）



【2022年度以降に強化した試料採取点】

- : 頻度を増加した点(海水)
- : セシウムにトリチウムを追加した点(海水、魚類)
- : 採取を追加した点(海藻類*)
- * : 生育状況により採取場所を選定する。

図2 沿岸20km圏内



【2022 年度以降に強化した試料採取点】

□ : セシウムにトリチウムを追加した点(海水)

図3 沿岸20km圏外

4. 測定結果

【海水の状況】

<港湾外 3km 圏内>

- トリチウム濃度に変化はなく、追加した測定点についても日本全国の海水の変動範囲*内の濃度で推移しています。
- トリチウムは、2022年4月18日以降検出限界値を下げてモニタリングを実施しています。
- 2023年8月24日のALPS処理水の放出開始以降の放出期間中に、放水口周辺の測定点においてトリチウム濃度の上昇が見られていますが、いずれも日本全国の海水の変動範囲*1を下回っています。
- また、放射線環境影響評価（建設段階）における、海洋放出時の海洋拡散シミュレーションの結果などから想定の変動範囲内と考えています。

<沿岸 20km 圏内>

- トリチウム濃度に変化はなく、日本全国の海水の変動範囲*内の濃度で推移しています。

<沿岸 20km 圏外>

- トリチウム濃度は、追加した測定点について日本全国の海水の変動範囲*内の濃度で推移しています。

*1：下記データベースにおいて2019年4月～2022年3月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲

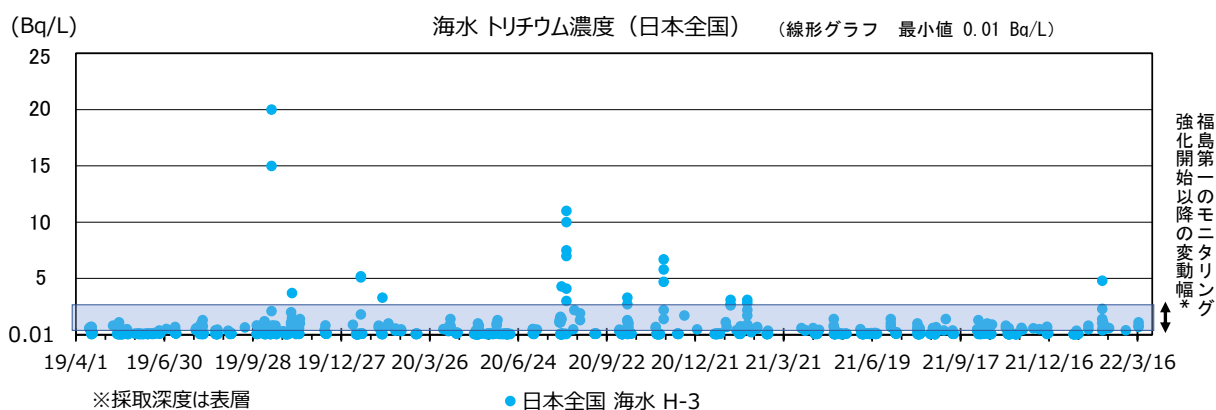
日本全国（福島県沖含む） トリチウム濃度：0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L

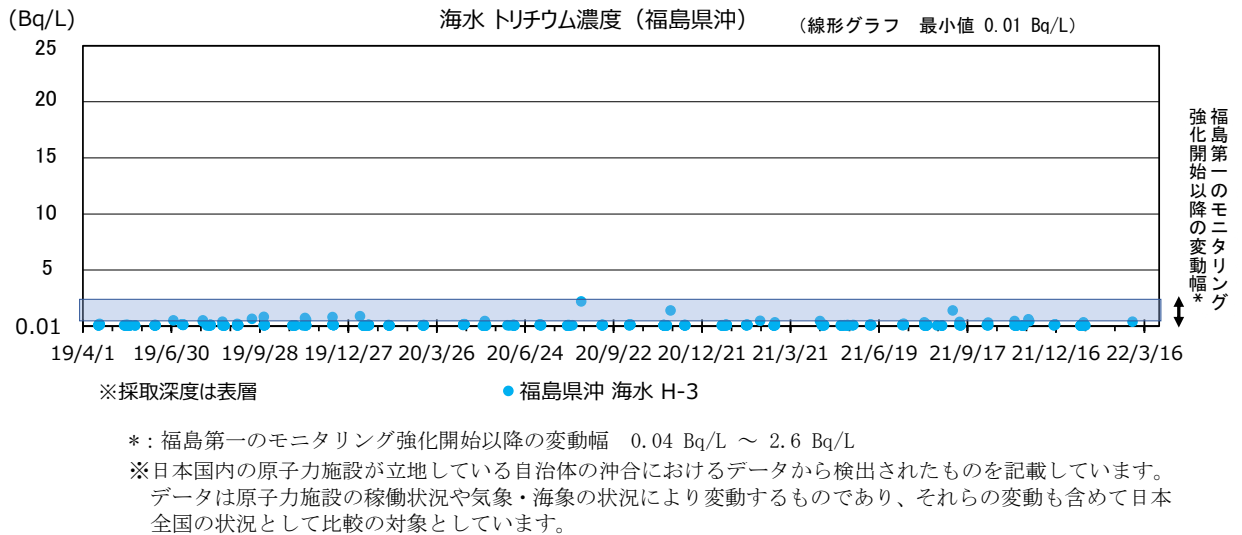
福島県沖 トリチウム濃度：0.043 Bq/L ～ 2.2 Bq/L

出典：日本の環境放射能と放射線 環境放射線データベース

<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>

*2：添付資料（参考）海洋拡散シミュレーション結果を参照してください。

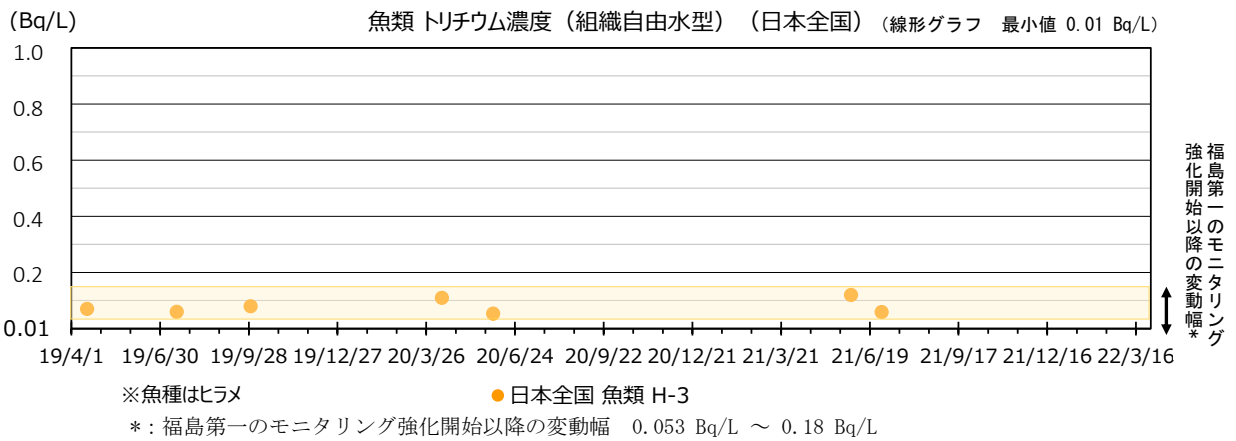




【魚類の状況】

採取点 T-S8 で採取された魚類のトリチウム濃度に変化はなく、日本全国の魚類の変動範囲*1 と同等の濃度で推移しています。その他の採取点における検証*2 の済んだ分析値は、採取点 T-S8 と同じレベルで推移しています。

- *1：前出のデータベースにおいて 2019 年 4 月～2022 年 3 月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲
 日本全国（福島県沖含む） トリチウム濃度： 0.064 Bq/L ～ 0.13 Bq/L
- *2：添付資料（参考）魚のトリチウム分析値の検証について を参照してください。



【海藻類の状況】

2022年度第2四半期、第4四半期、2023年度第1四半期に採取した海藻類のヨウ素129の分析値は、検出限界値未満でした。2023年度第2四半期に採取した海藻類のヨウ素129については分析中です。

2022年度第2四半期に採取した海藻類のトリチウムについては、魚のトリチウム分析値の検証結果による分析手順の見直しにより、改善された手順による再分析に必要な試料量が残っていなかったため分析していません。2022年度第4四半期、2023年度第1四半期、第2四半期に採取した海藻類のトリチウムについては分析中です。

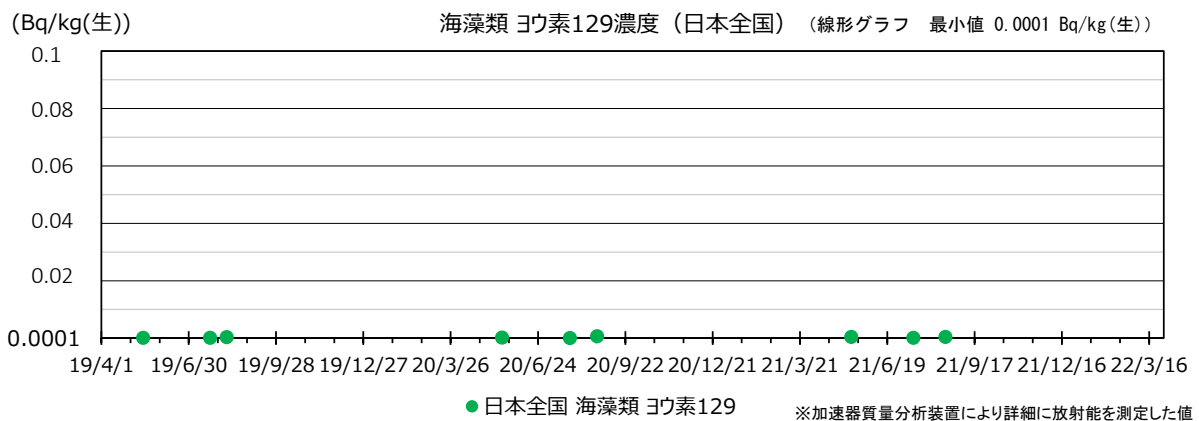
(参考) 日本全国の海藻類のヨウ素129濃度の変動範囲

前出のデータベースにおいて2019年4月～2022年3月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲

日本全国 ヨウ素129濃度 0.00013 Bq/kg(生) ～ 0.00075 Bq/kg(生)

※データベースは加速器質量分析装置*により詳細に放射能を測定した値

*: 目的とする元素のイオンを生成し、これを加速して質量数に応じて同位体を分離し、それぞれの質量数のイオンを数えるもので、質量分析において使用されています。放射能分析では放射性同位体と安定同位体を分離し、放射性同位体の存在比から極微量の放射能を測定します。

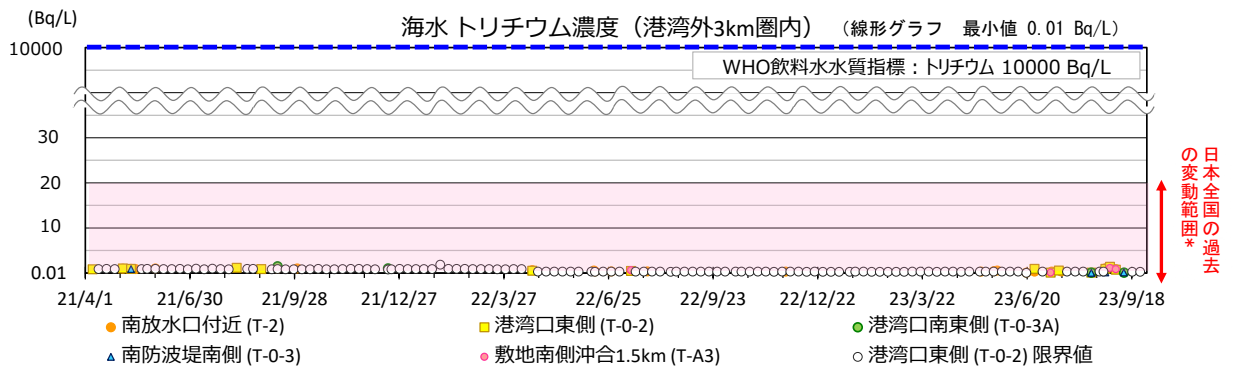
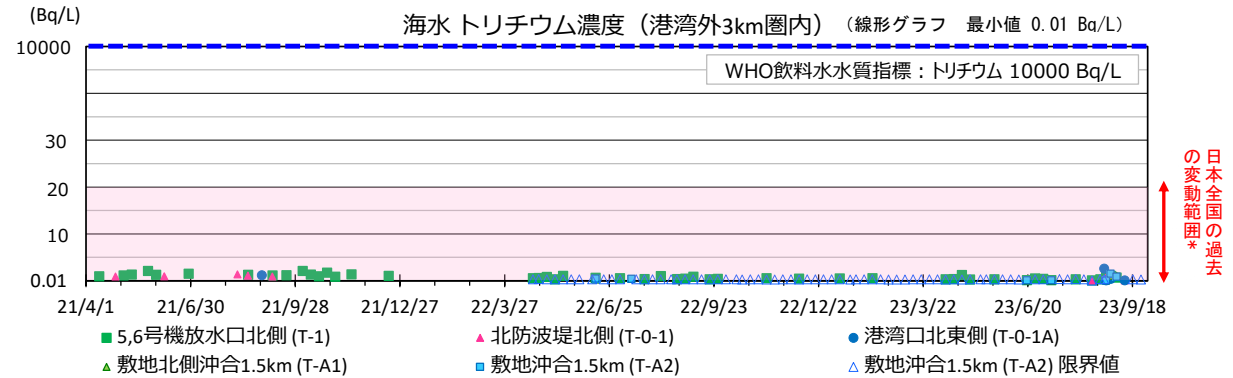


4-1. 海水

2021年4月以降のトリチウム濃度の推移を、以下のグラフに示します。

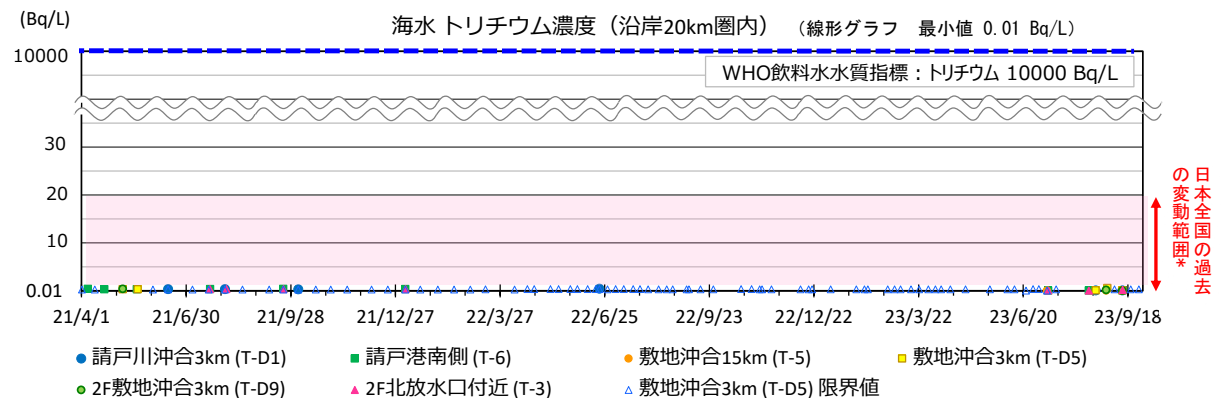
2023年8月24日のALPS処理水の放出開始以降の放出期間中に、港湾外3km圏内の放水口周辺の測定点においてトリチウム濃度の上昇が見られていますが、いずれの測定点においても日本全国の海水の変動範囲内の濃度で推移しています。

< 港湾外 3km 圏内 >



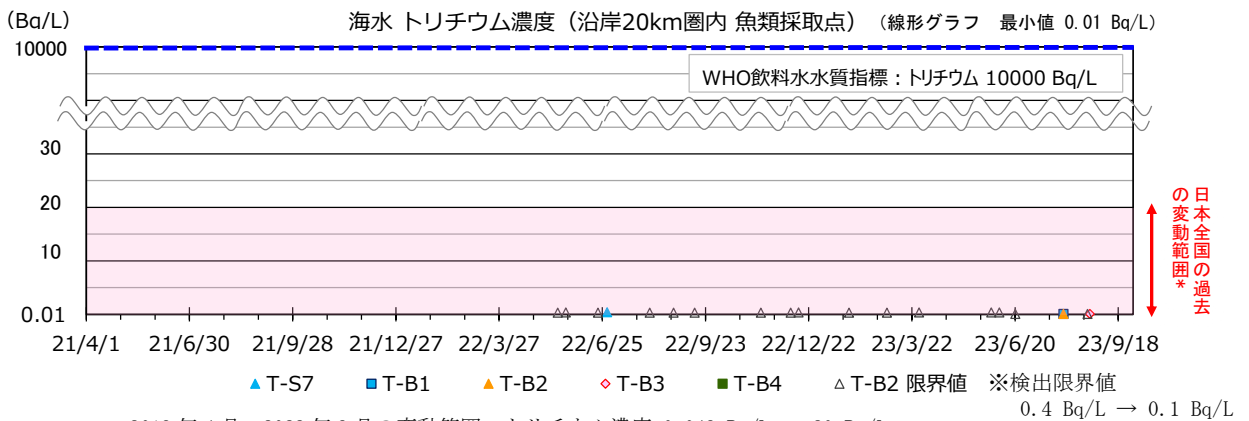
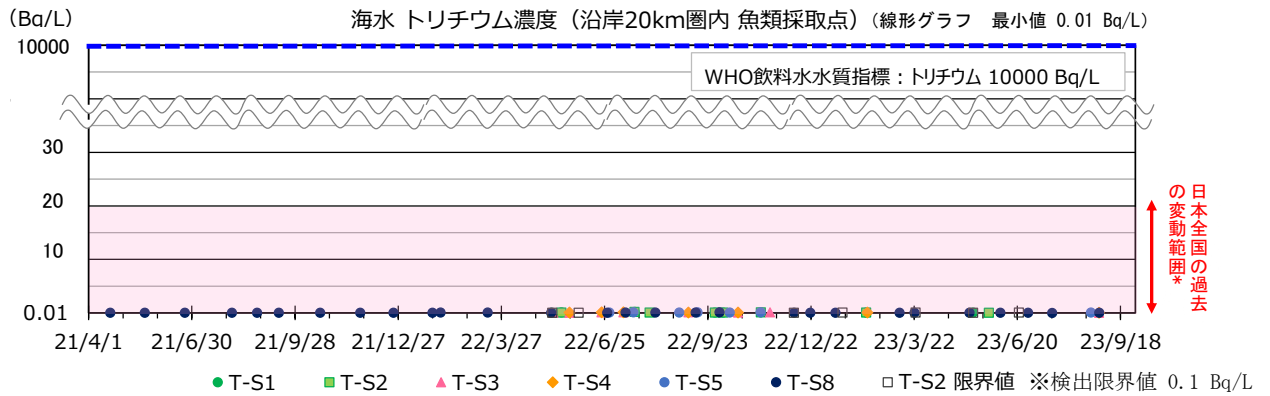
*：2019年4月～2022年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L
日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。データは原子力施設の稼働状況や気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて日本全国の状況として比較の対象としています。

< 沿岸 20km 圏内 >



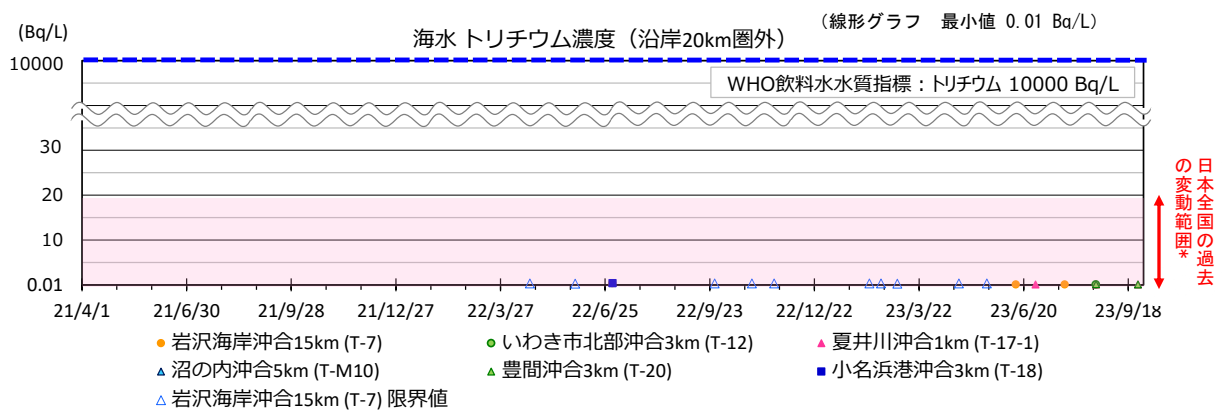
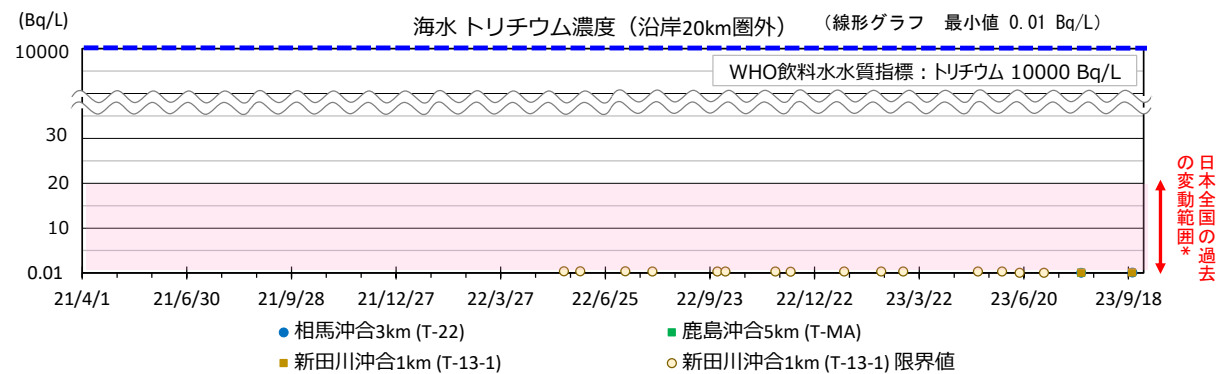
*：2019年4月～2022年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L
日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。データは原子力施設の稼働状況や気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて日本全国の状況として比較の対象としています。

<沿岸 20km 圏内 魚類採取点>



* : 2019年4月～2022年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L
 日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。
 データは原子力施設の稼働状況や気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて
 日本全国の状況として比較の対象としています。

<沿岸 20km 圏外>



* : 2019年4月～2022年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L

日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。データは原子力施設の稼働状況や気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて日本全国の状況として比較の対象としています。

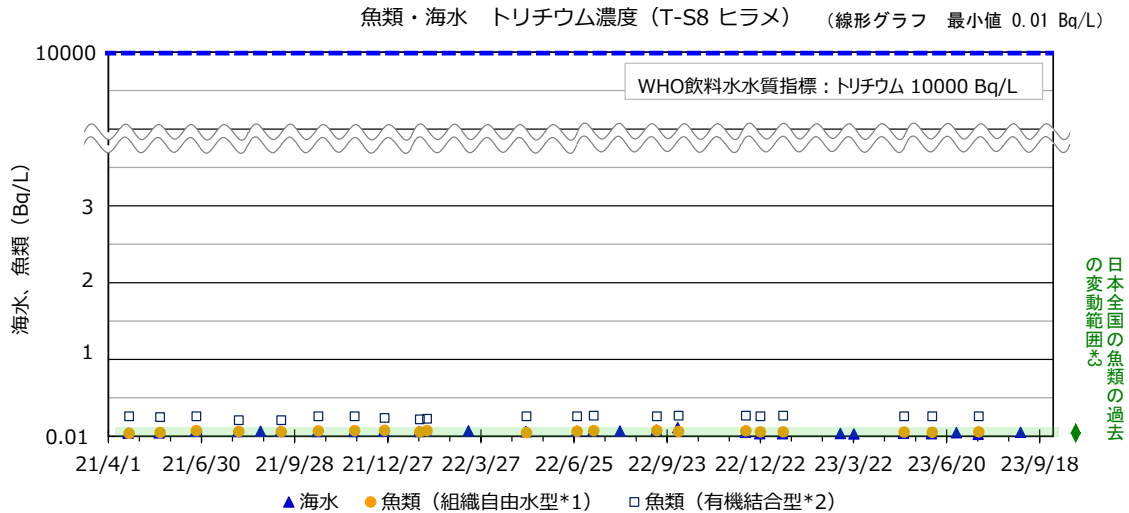
4-2. 魚類

2021年4月以降の魚類のトリチウム濃度の推移を、以下のグラフに示します。

採取点 T-S8 で採取された魚類のトリチウム濃度に変化はなく、日本全国の魚類の変動範囲内の濃度で推移しています。その他の採取点における 2023 年度第 1 四半期までに採取した試料について検証^{*1}後に分析を再開した結果は採取点 T-S8 と同等の濃度で推移しています。

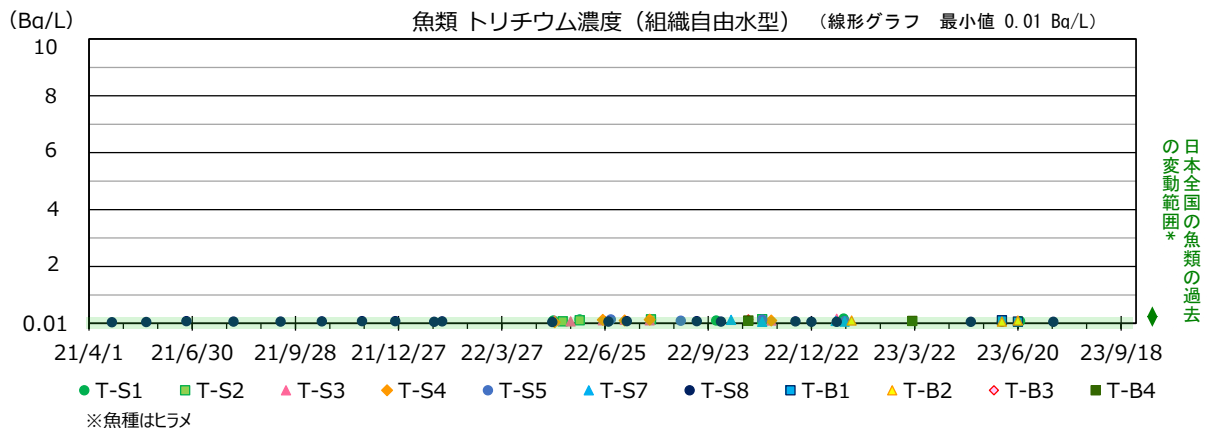
組織自由水型トリチウム(TFWT)については、海水濃度と同程度で推移しています。有機結合型トリチウム(OBT)については、すべて検出限界値未満でした。

(注) *1については、添付資料(参考)魚のトリチウム分析値の検証についてを参照してください。

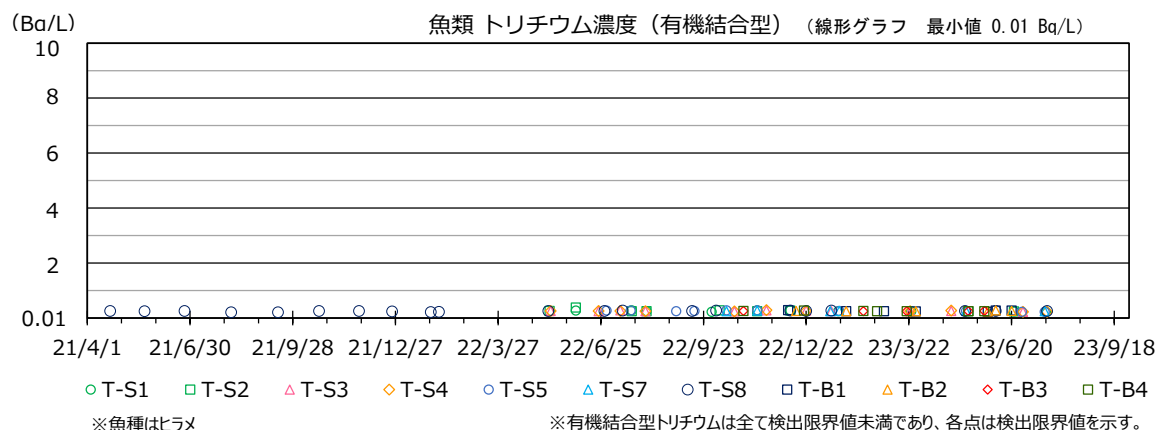


※有機結合型トリチウムは全て検出限界値未満であり、各点は検出限界値を示す。
総合モニタリング計画における有機結合型トリチウムの検出限界値は 0.5 Bq/L となっている。

- *1: 組織自由水型のトリチウムとは、動植物の組織内に水の状態で存在し、水と同じように組織外へ排出されるトリチウム。
- *2: 有機結合型のトリチウムとは、動植物の組織内のタンパク質などに有機的に結合して組織内に取り込まれ、細胞の代謝により組織外へ排出されるトリチウム。
- *3: 2019年4月～2022年3月の変動範囲 魚類トリチウム濃度(組織自由水型) 0.064 Bq/L ~ 0.13 Bq/L



*: 2019年4月～2022年3月の変動範囲 魚類トリチウム濃度(組織自由水型) 0.064 Bq/L ~ 0.13 Bq/L



4-3. 海藻類

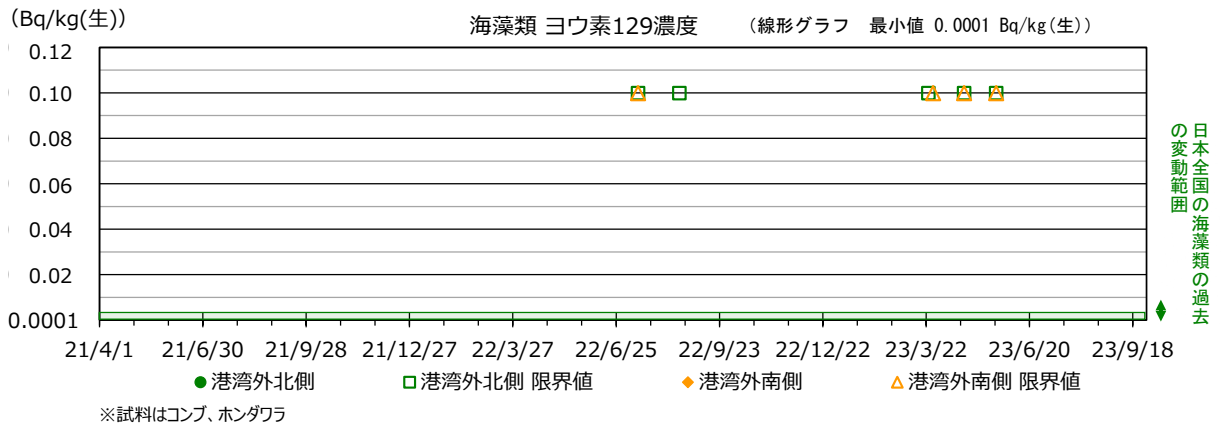
ヨウ素 129 について、2022 年度第 2 四半期、第 4 四半期、2023 年度第 1 四半期に採取した海藻類の分析値は、検出限界値未満 (<0.1 Bq/kg(生)) でした。2023 年度第 2 四半期に採取した試料については分析中です。

トリチウムについて、2022 年度第 2 四半期に採取した海藻類については、魚のトリチウム分析値の検証結果による分析手順の見直しにより、改善された手順による再分析に必要な試料量が残っていなかったため分析していません。2022 年度第 4 四半期、2023 年度第 1 四半期、第 2 四半期に採取した試料については分析中です。

採取日	港湾外北側		港湾外南側	
	試料名	ヨウ素 129 (Bq/kg(生))	試料名	ヨウ素 129 (Bq/kg(生))
2022 年 7 月 14 日	コンブ	ND (<0.1)	ホンダワラ	ND (<0.1)
2022 年 8 月 19 日	コンブ	ND (<0.1)	-*	-*
2023 年 3 月 24 日	コンブ	ND (<0.1)	-	-
2023 年 3 月 28 日	-	-	ホンダワラ	ND (<0.1)
2023 年 4 月 24 日	コンブ	ND (<0.1)	コンブ	ND (<0.1)
2023 年 5 月 22 日	コンブ	ND (<0.1)	コンブ	ND (<0.1)

*: 海藻が無く採取できず。

本分析値は、一般の分析機関で使用されている誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) による値です。ICP-MS は、目的とする元素のイオンを生成し、これを加速して質量数に応じて同位体を分離し、それぞれの質量数のイオンを数えるもので、質量分析において広く使用されています。放射能分析では放射性同位体と安定同位体を分離し、放射性同位体の存在比から微量の放射エネルギーを求めます。



日本全国の海藻類の変動範囲では、2019年4月～2022年3月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲は 0.00013 Bq/kg(生) ～ 0.00075 Bq/kg(生) となっていますが、これらの分析値は、加速器質量分析装置 (AMS) により詳細に放射能を測定したものです。

AMS も質量分析に用いられていますが、極微量の測定が可能で、長半減期の放射性同位体の測定に適していて一般に炭素 14 の測定による年代測定に用いられています。装置は大掛かりなものとなり、保有している分析機関は限られています。

AMS による分析値が示すように、海藻におけるヨウ素 129 の濃度は非常に低く、一般的な分析機関で用いる ICP-MS による分析では検出限界値未満になります。本分析では検出されることが無いことを監視していきます。

(白 紙)

添 付 資 料

(参考) 測定方法

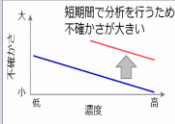
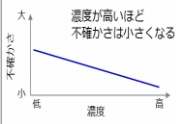
測定項目	測定装置	測定方法
トリチウム濃度	ローバックグラウンド液体シンチレーション検出装置	<p>文部科学省編「トリチウム分析法」(平成 14 年改訂)</p> <p>【海水】 検出限界値 0.4, 10 Bq/L : 蒸留して測定。検出限界値 0.1 Bq/L : 蒸留、電解濃縮して測定。</p> <p>【魚、海藻】 組織自由水型トリチウム : 凍結乾燥法により試料中の水分を回収して測定。有機結合型トリチウム : 乾燥後の試料中の有機結合型トリチウムを燃焼法により水として回収して測定。</p> <p>※詳細については、(参考) トリチウムについて 1. トリチウムの測定 を参照してください。</p>
ヨウ素 129 濃度	誘導結合プラズマ質量分析装置	<p>文部科学省編「環境試料中ヨウ素 129 迅速分析法」(平成 16 年)</p> <p>【海藻】 アルカリ溶液で処理して測定。</p>
ガンマ核種濃度 (セシウム 134, 137 濃度)	Ge 半導体検出装置	<p>原子力規制庁編「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」(令和 2 年改訂)</p> <p>【海水】 リンモリブデン酸アンモニウム法及び二酸化マンガン共沈法で処理して測定。</p> <p>【魚】 可食部のみを生試料により測定。</p> <p>【海藻】 乾燥して測定。</p> <p>【海底土】 乾燥して測定。</p>
プルトニウム 238、 プルトニウム 239+ 240 濃度	シリコン半導体検出器	<p>文部科学省編「プルトニウム分析法」(平成 2 年改訂)</p> <p>【海底土】 イオン交換して測定。</p>
プルトニウム 240/ プルトニウム 239 同位体比	誘導結合プラズマ質量分析装置	<p>文部科学省編「環境試料中プルトニウム迅速分析法」(平成 14 年)</p> <p>【海底土】 化学分離して測定。</p>

(参考) 東京電力におけるトリチウム分析の定義について

- ALPS 処理水の放出開始前より実施し、放出開始後も継続して実施している海水のトリチウム濃度の測定（精密分析）は、処理水放出による環境影響を把握することを目的として、海域モニタリング計画を策定して取り組んでいます。（精密分析の具体的な内容については下表を参照してください。）
- 一方、ALPS 処理水の放出開始より開始した迅速に結果を得る測定（迅速分析）は、放出した処理水の希釈拡散が想定とおりに行われていることを確認することを目的とし、希釈拡散が想定とおりにできていない状況を検知（安全確認）するために実施しています。（迅速分析の具体的な内容については下表を参照してください。）
- 今後もそれぞれの分析を継続して実施していきます。精密分析によるモニタリングにおいては、海域環境への影響を把握していきます。迅速分析においては、当社が設定した放出停止を判断する指標（放出停止判断レベル、調査レベル）*を下回っていることを確認していきます。

(注) *については、添付資料（参考）海域モニタリングにおける指標（放出停止判断レベル等）の設定についてを参照してください。

【海水のトリチウム分析の定義】

		東京電力における迅速分析※1				東京電力における精密分析		【参考】 調査研究			
トリチウム濃度 (Bq/L)	60,000	10,000	700	350	10	5	0.4	0.1	0.01		
目的		ALPS処理水希釈放出設備および関連施設が設計とおりに稼働、または計画とおりに海域での拡散ができていないことを迅速に把握する				総合モニタリング計画のように、目標感度を設定し、その感度でのトリチウム濃度の変動を監視する通常のモニタリング		調査研究機関により世界規模での分布状況の把握、経時的な微細変動の把握評価のために、精度・確度の高いトリチウム濃度を得る ※ 当社は実施予定なし			
特徴		精密分析に比べて、検出下限値が高く、不確かさが大きい 				低濃度になるほど不確かさが大きい 		高度技術を駆使し、数十～百数十日にわたる分析時間をもって不確かさを可能な限り小さくする			
結果取得までの時間		翌日				1週間程度		1ヵ月程度		5ヵ月以上	
前処理・計測方法		蒸留法・LSC※2				蒸留法・LSC		電解濃縮法・LSC		希ガス質量分析法など	
事例	試料名	海水：T-0-1A				海水：T-2		海水：T-B3		試験水※3	
	採取日	2023/10/22				2023/10/16		2023/8/24		—	
	分析値	1.6E+01 Bq/L				6.6E-01 Bq/L		7.1E-02 Bq/L		2.4E-02 Bq/L (0.2 TU)	
	検出下限値	7.3E+00 Bq/L				3.4E-01 Bq/L		6.8E-02 Bq/L		—	

※1 迅速分析：迅速に結果を得る測定

※2 LSC：液体シンチレーション計数装置

※3 文献：Development of the ³He mass spectrometric low-level tritium analytical facility at the IAEA
Journal of Analytical Atomic Spectrometry 2022

(参考) ALPS 処理水の海洋放出の状況について

ALPS 処理水の第 1 回の海洋放出を以下のとおり実施しています。

- 2023 年 8 月 22 日に第 1 段階として、ごく少量の ALPS 処理水 (約 1 m³) を海水 (約 1,200 m³) で希釈し、ALPS 処理水が想定とおり希釈できていることを確認するために、放水立坑 (上流水槽) に貯留し、希釈した ALPS 処理水を採取しました。
- 8 月 24 日に希釈した ALPS 処理水のトリチウム濃度について、分析値が計算上の濃度の不確かさの範囲内であること、および 1,500 Bq/L を下回っていることを確認し、8 月 24 日から ALPS 処理水の第 1 回の海洋放出を開始し、9 月 11 日に放出を完了しています。

(注) 設備については、添付資料 (参考) 多核種除去設備等処理水希釈放出設備および関連設備の全体像を参照してください。

【第 1 回放出の概要】

放出したタンク群： 測定・確認用設備 (K4 エリア) B 群

放出開始： 2023 年 8 月 24 日

放出終了： 2023 年 9 月 11 日

トリチウム濃度： 14 万 Bq/L

放出量： 約 7,800 m³


トリチウム総量： 1.1 兆 Bq

なお、2023 年度は計 4 回 (トリチウム総量 約 5 兆 Bq) の放出を計画しています。

【第1回放出の状況】

<放出の実績>

第1回放出期間：2023年8月24日～9月11日

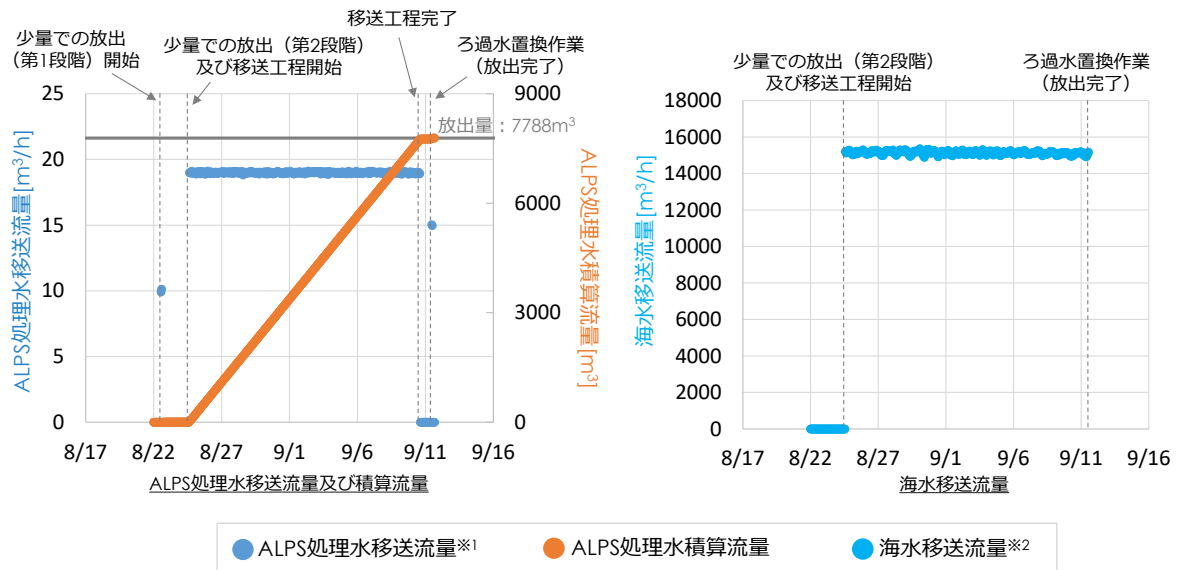
K4-B群の放出概要			
処理水の性状	測定・評価対象の29核種の放射性物質の濃度（トリチウムを除く）	国の基準（告示濃度比総和1未満）を満たす （告示濃度限度比総和：0.28※） （詳細、QRコード1ページ）	
	トリチウム濃度	14万 Bq/L （詳細、QRコード2ページ）	
	自主的に有意に存在していないことを確認している39核種	全ての核種で有意な存在なし （詳細、QRコード3ページ）	
	水質検査の状況	国、県の基準を満たす （詳細、QRコード4ページ）	
	水温	外気温とほぼ同じ。約740倍に希釈後は、希釈用海水と同じ温度（発電所の温排水とは異なる）。	
処理水放出量		約7,800 m ³	
処理水流量		約460 m ³ /日 （設計最大流量500 m ³ /日を超えないように運用上定めたもの）	
希釈用海水流量		約340,000 m ³ /日 （放水トンネル内を人が歩く程度のスピード（約1 m/秒））	
希釈後の想定トリチウム濃度		約190 Bq/L	
放出期間		約17日	

※ 海水希釈後の告示濃度限度比総和との比較

	海水希釈前	海水希釈後（海水で740倍に）	
29核種	0.28	0.00038	0.0036（国の基準のおよそ1/270）
トリチウム	2.33	0.0032	

<処理水、海水の移送の実績>

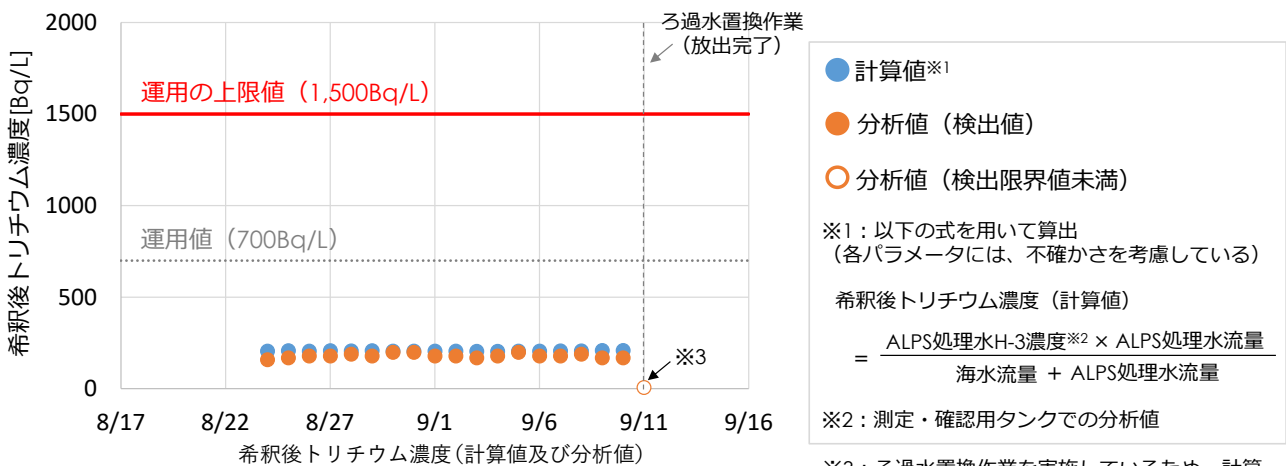
- 放出期間中において、ALPS 処理水移送系統及び海水系統ともに異常無く、運転することができました。



※1：流量計は2重化しているため、2つの値のうち、高い方をプロット
 ※2：A/B系統の合計値をプロット

<放出期間中の希釈後のトリチウム濃度>

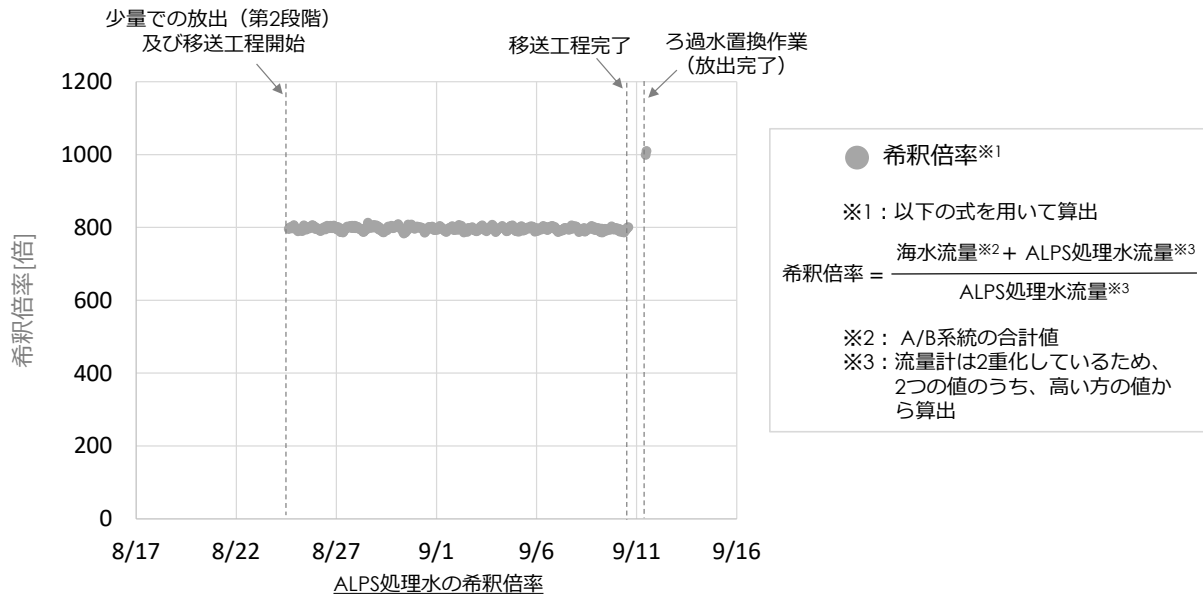
- 放出期間中は毎日、海水配管ヘッダ下流の水を採取し、トリチウム濃度を分析。
 ⇒ 運用の上限値である 1,500 Bq/L 未満であることを確認しました。
- 9月11日はALPS 処理水移送配管に配管容積以上のろ過水を移送した時点で試料を採取し、その試料を分析した結果、検出限界値未満となったことから、ALPS 処理水移送配管内がろ過水に置換されたことを確認しました。



	8/24	8/25~9/10	9/11
計算値：データ抽出時間	16:00	7:00	-
分析値：試料採取時間	15:22	7:00~10:00	12:11

<放出期間中の希釈倍率>

- 放出期間中において、ALPS 処理水の希釈倍率は常時 100 倍以上で運転することができました。



<2023 年度の放出計画>

- 2023 年度は測定・確認用設備に転用した K4 エリア A～C 群に貯留している ALPS 処理水ならびに、K4-E 群および K3-A 群に貯留している ALPS 処理水の放出を計画しています。各タンク群の放出予定量は以下のとおりで、これらのトリチウム総量は約 5 兆 Bq となります。

第1回放出	測定・確認用設備 (K4エリア) B群	: 約7,800 m ³	二次処理 : 無 トリチウム濃度 : 14万 Bq/L トリチウム総量 : 1.1 兆 Bq	完了
第2回放出	測定・確認用設備 (K4エリア) C群	: 約7,800 m ³	二次処理 : 無 トリチウム濃度 : 14万 Bq/L トリチウム総量 : 1.1兆 Bq	完了
第3回放出	測定・確認用設備 (K4エリア) A群	: 約7,800 m ³	二次処理 : 無 トリチウム濃度 : 13万 Bq/L ※1 トリチウム総量 : 1.0 兆 Bq ※1	完了
第4回放出	K4エリアE群 (測定・確認用設備 B群※2に移送) K3エリアA群 (測定・確認用設備 B群※2に移送)	: 約4,500 m ³ : 約3,300 m ³	二次処理 : 無 トリチウム濃度 : 17~21万 Bq/L ※1 トリチウム総量 : 1.4兆 Bq ※1	

➡ 2023年度放出トリチウム総量：約**5兆** Bq

※1 タンク群平均、2023年7月1日時点までの減衰を考慮した評価値
 ※2 第1回放出後、空になったB群に移送

【参考】

< 第1回放出における測定・評価対象核種（29核種）の放射能総量 >

○ 第1回放出（B群）における、測定・評価対象核種（29核種）の放射能総量[Bq]は以下の通りです。（それぞれの分析値^{※1}[Bq/L]と放出量（7,788 m³）から算出。）

※1：告示濃度比総和は0.28となり、1未満であることを確認

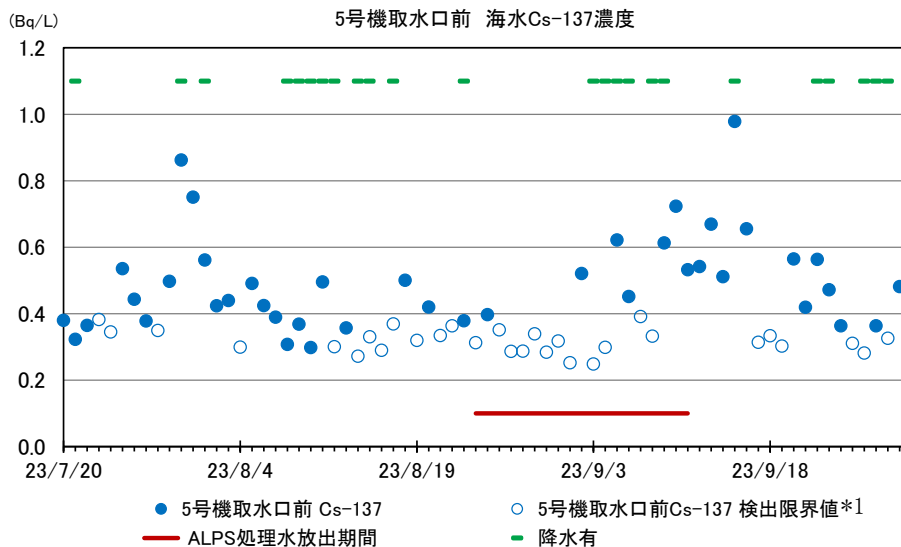
○ なお、分析値が検出限界値未満である核種の放射能総量は算出しません。

核種	分析値 [Bq/L]	放射能総量 [Bq]	核種	分析値 [Bq/L]	放射能総量 [Bq]	核種	分析値 [Bq/L]	放射能総量 [Bq]
C-14	1.4E+01	1.1E+08	Sb-125	1.8E-01	1.4E+06	U-234 ^{※3}	<2.1E-02	—
Mn-54	<2.6E-02	—	Te-125m ^{※2}	6.4E-02	5.0E+05	U-238 ^{※3}	<2.1E-02	—
Fe-55	<1.5E+01	—	I-129	2.0E+00	1.5E+07	Np-237 ^{※3}	<2.1E-02	—
Co-60	3.5E-01	2.7E+06	Cs-134	<3.3E-02	—	Pu-238 ^{※3}	<2.1E-02	—
Ni-63	<8.8E+00	—	Cs-137	4.7E-01	3.6E+06	Pu-239 ^{※3}	<2.1E-02	—
Se-79	<9.3E-01	—	Ce-144	<3.6E-01	—	Pu-240 ^{※3}	<2.1E-02	—
Sr-90	4.1E-01	3.2E+06	Pm-147 ^{※2}	<3.1E-01	—	Pu-241 ^{※2}	<5.8E-01	—
Y-90 ^{※2}	4.1E-01	3.2E+06	Sm-151 ^{※2}	<1.2E-02	—	Am-241 ^{※3}	<2.1E-02	—
Tc-99	6.8E-01	5.3E+06	Eu-154	<7.0E-02	—	Cm-244 ^{※3}	<2.1E-02	—
Ru-106	<2.5E-01	—	Eu-155	<1.9E-01	—			

※2：放射平衡等により分析値を評価
 ※3：全α測定値

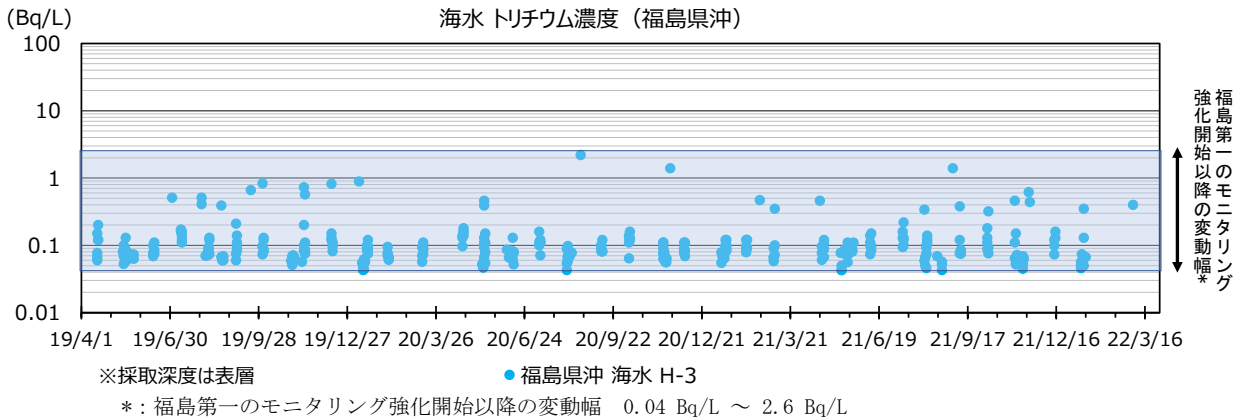
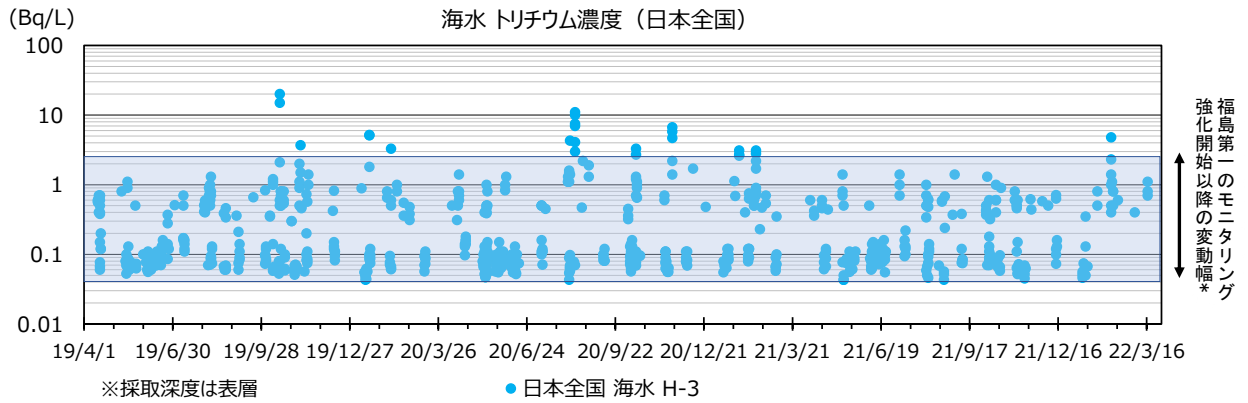
< 5号機取水路における海水のセシウム137濃度 >

○ ALPS 処理水の放出期間中の希釈用海水の取水口付近の海水モニタリング結果は、放出期間外の値と同等であることを確認しています。

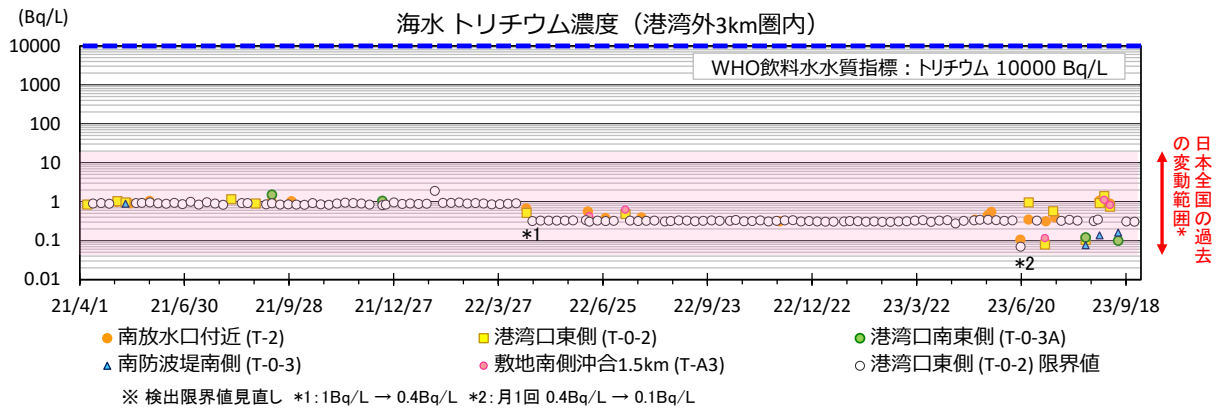
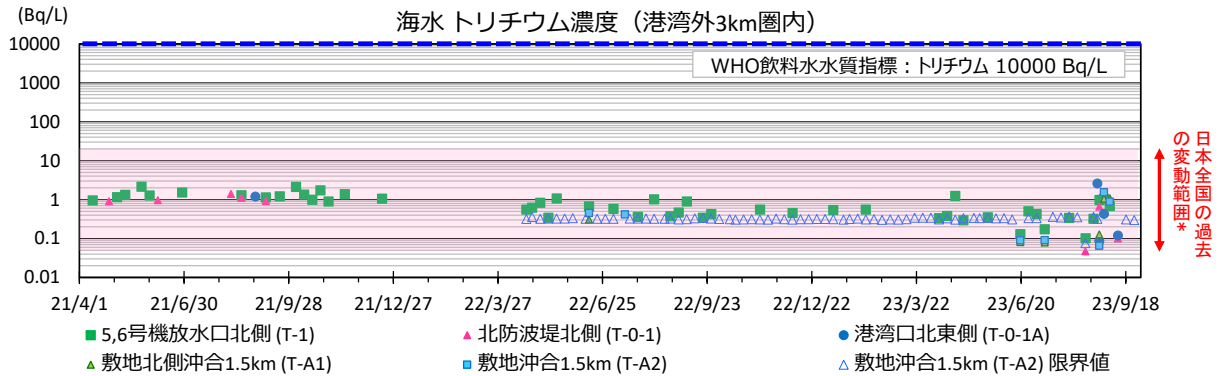


*1：検出限界値未満の場合には検出限界値を表示
 ※5,6号機取水路開渠内の海水モニタリング位置を、希釈用海水の取水口付近の採取地点に変更して実施している（6号機取水口前から5号機取水口前）。

(参考) 海水のトリチウム濃度の推移 (対数グラフ)



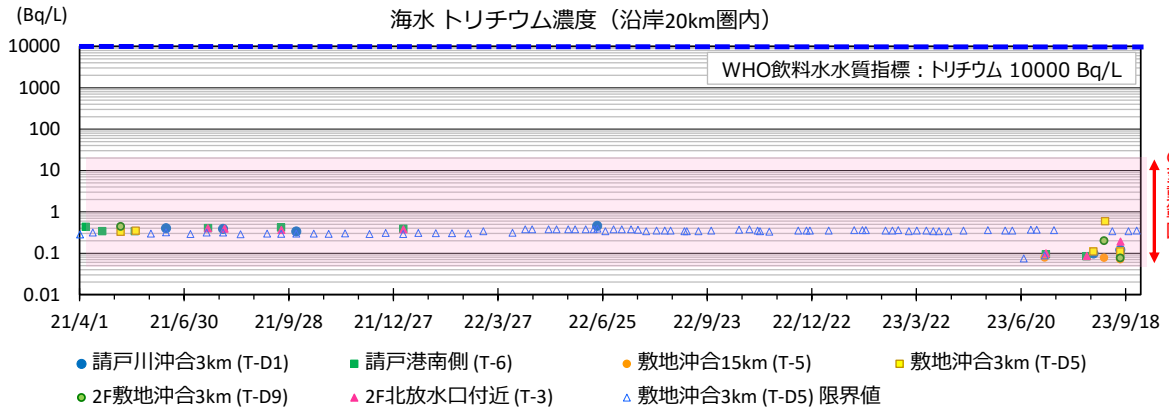
< 港湾外 3km 圏内 >



* : 2019年4月~2022年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ~ 20 Bq/L

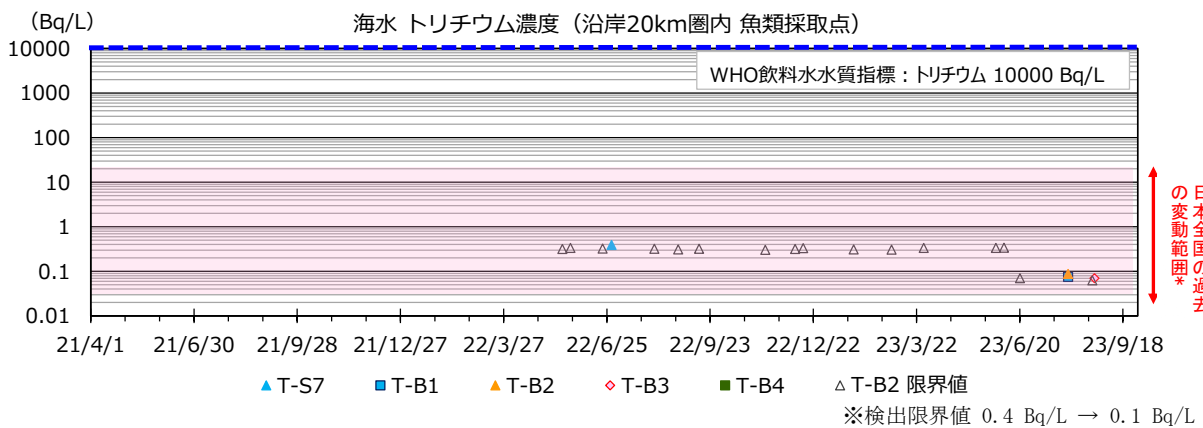
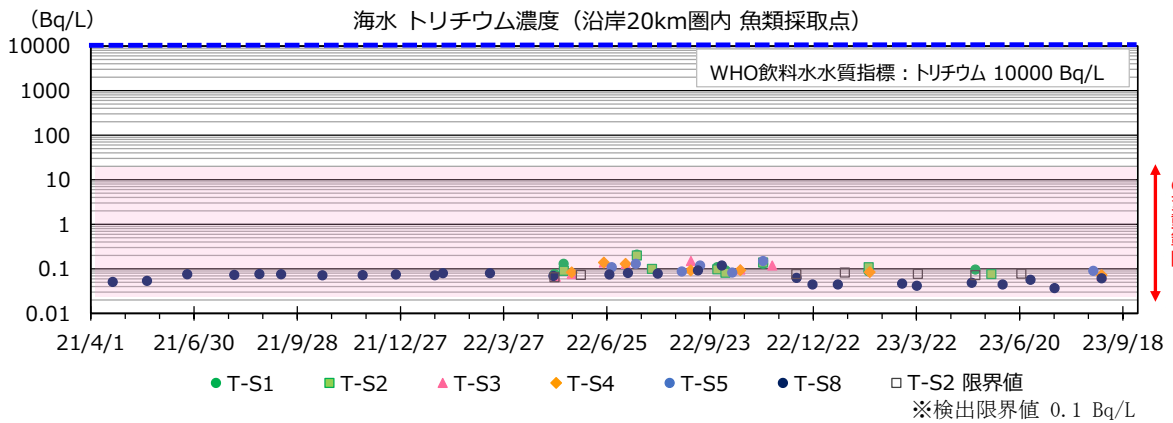
日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。データは原子力施設の稼働状況や気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて日本全国の状況として比較の対象としています。

<沿岸 20km 圏内>



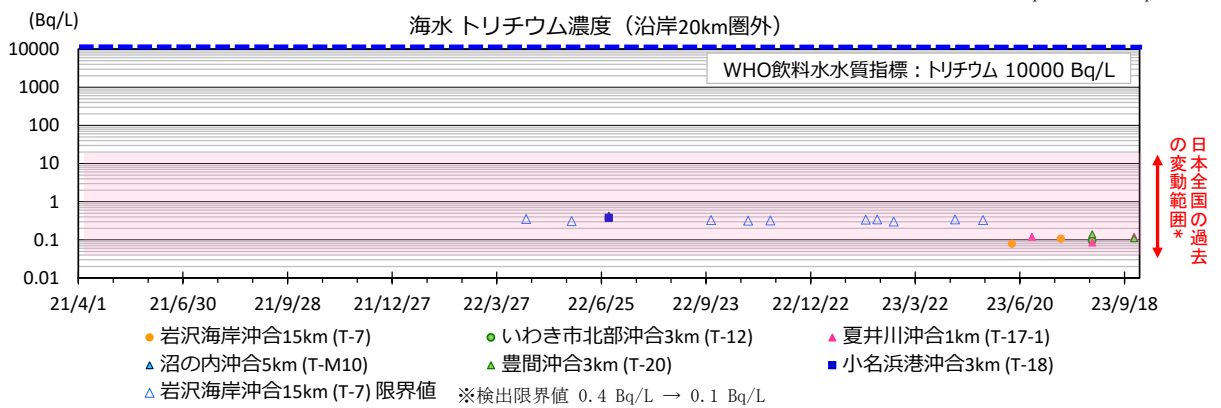
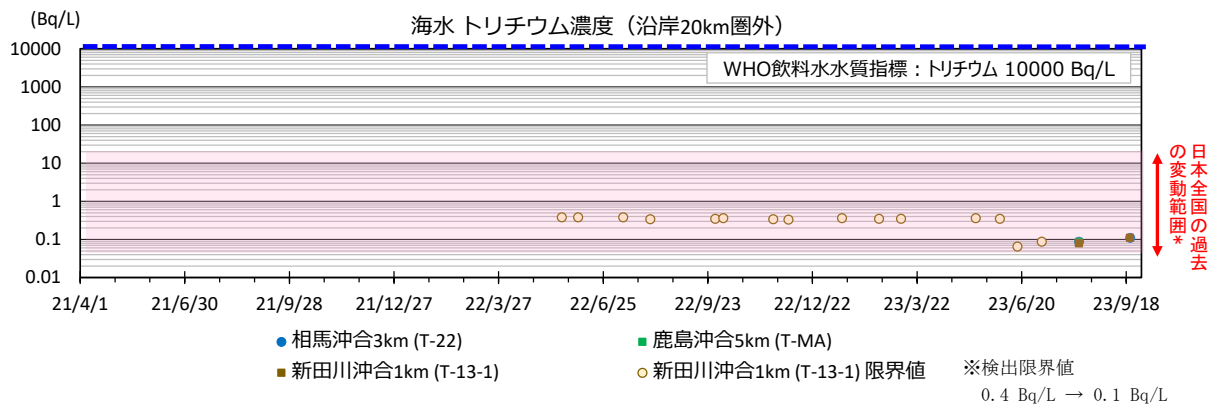
* : 2019年4月～2022年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L
 日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。
 データは原子力施設の稼働状況や気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて
 日本全国の状態として比較の対象としています。

<沿岸 20km 圏内 魚類採取点>



* : 2019年4月～2022年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L
 日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。
 データは原子力施設の稼働状況や気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて
 日本全国の状態として比較の対象としています。

<沿岸 20km 圏外>



* : 2019年4月～2022年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L
 日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。
 データは原子力施設の稼働状況や気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて
 日本全国状況として比較の対象としています。

(参考) 海水のトリチウム濃度の迅速に状況を把握する測定の結果

2023年8月24日のALPS処理水の放出開始後より、海水のトリチウムについて迅速に状況を把握するために検出限界値を10 Bq/Lとして採取日の翌日を目途に結果を得る測定を、放出開始前より継続している測定に追加して開始しました。

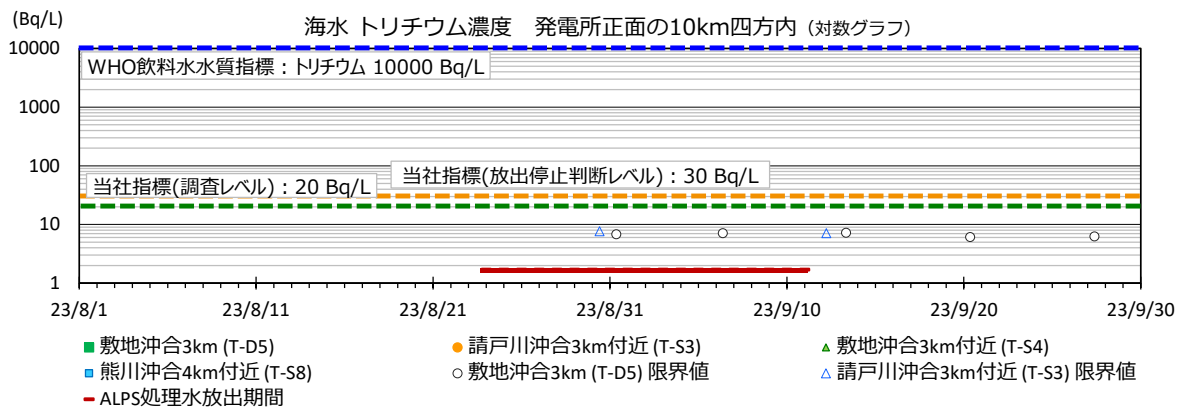
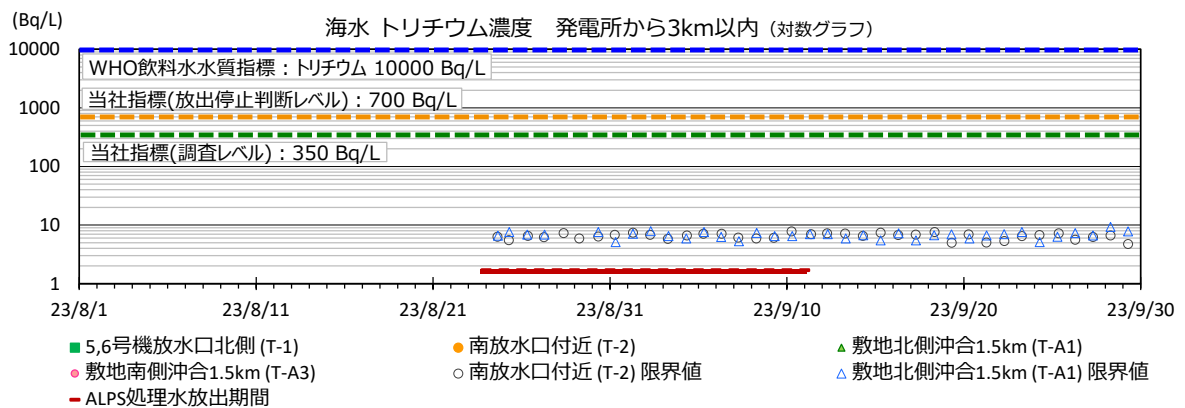
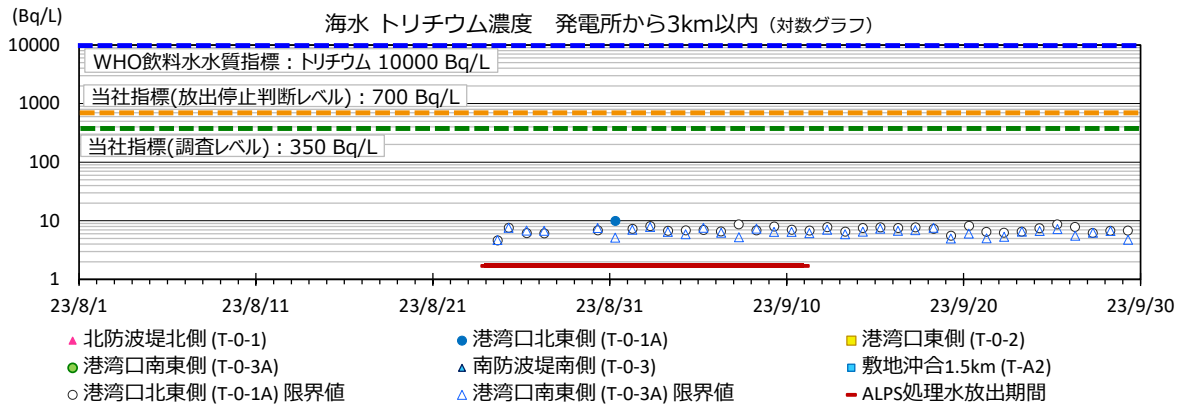
<放水口付近（発電所から3km以内）>

- これまでに測定されたトリチウム濃度は、当社が設定した放出停止を判断する指標（放出停止判断レベル 700 Bq/L、調査レベル 350 Bq/L）*をいずれも下回っています。
- 放出開始後当面の間、測定頻度は、通常の1回/週から毎日に強化して、速やかにその結果を公表していきます。

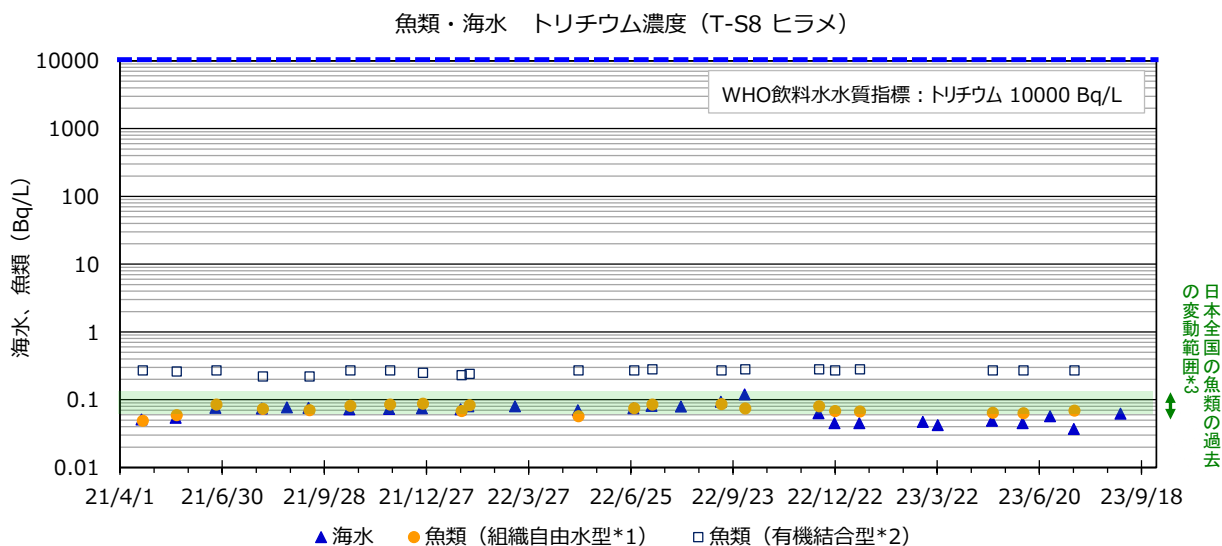
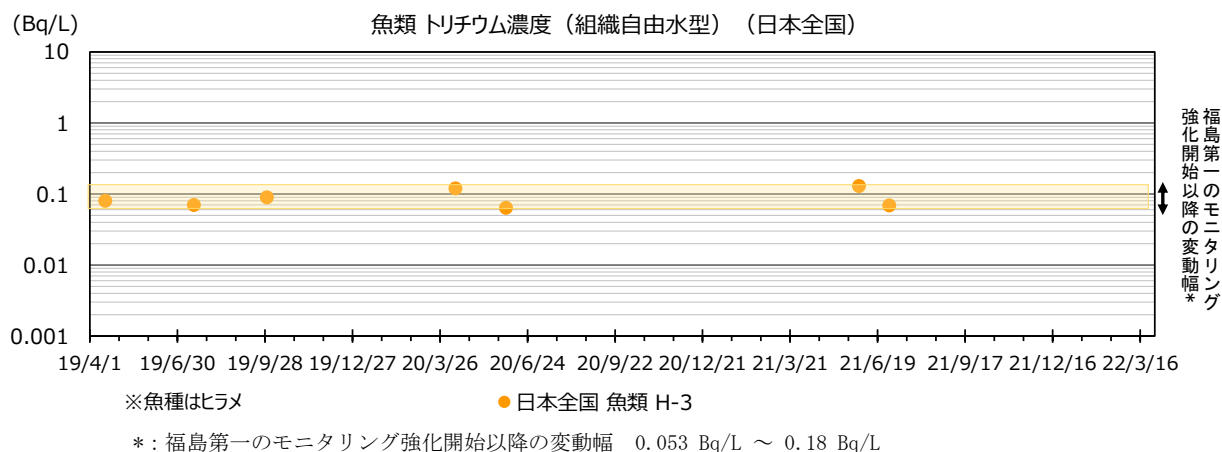
<放水口付近の外側（発電所正面の10km四方内）>

- これまでに測定されたトリチウム濃度は、当社が設定した放出停止を判断する指標（放出停止判断レベル 30 Bq/L、調査レベル 20 Bq/L）*をいずれも下回っています。

(注) *については、添付資料(参考) 海域モニタリングにおける指標(放出停止判断レベル等)の設定についてを参照してください。



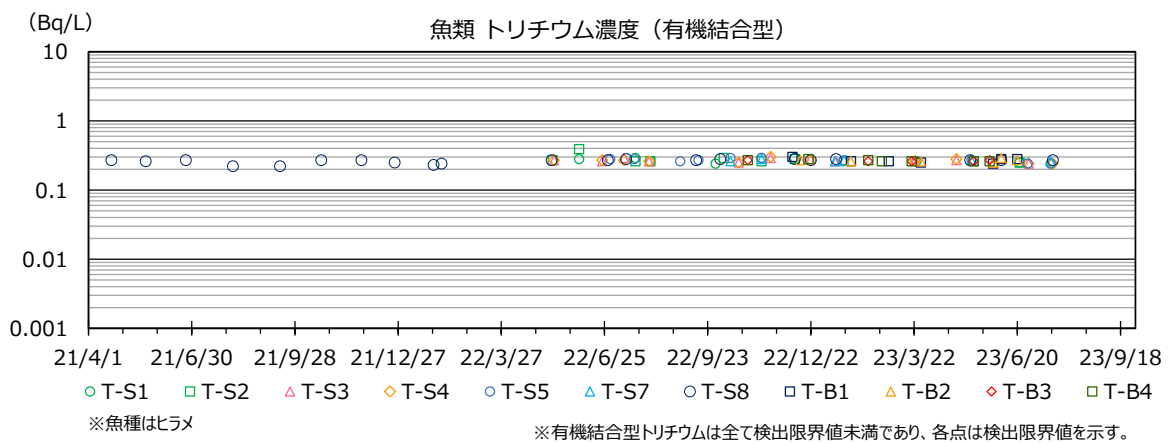
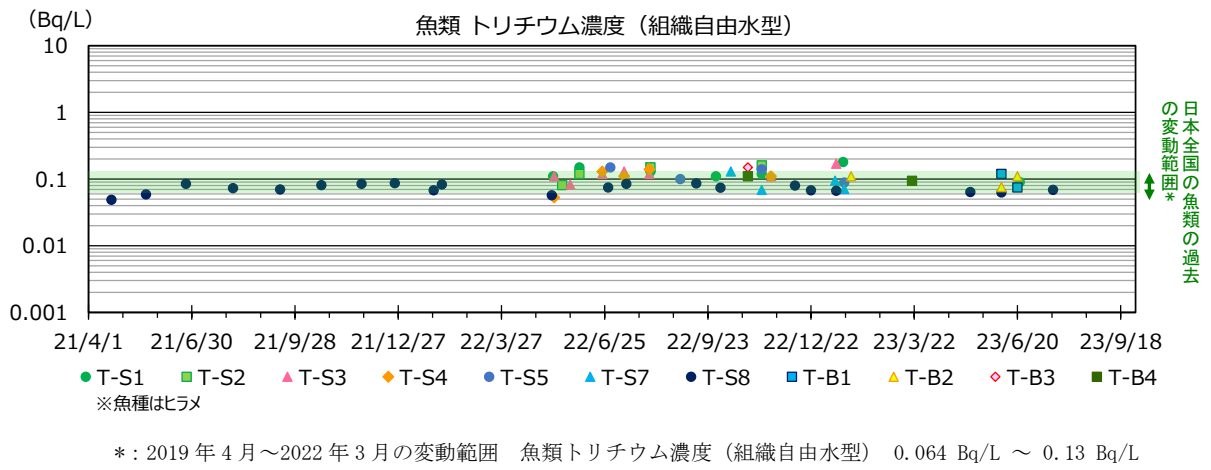
(参考) 魚類のトリチウム濃度の推移 (対数グラフ)



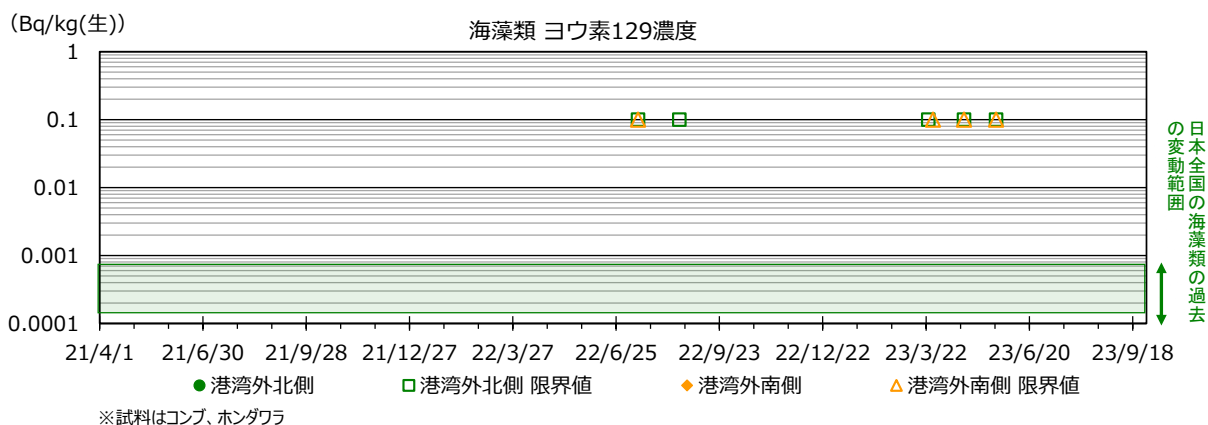
※有機結合型トリチウムは全て検出限界値未満であり、各点は検出限界値を示す。
総合モニタリング計画における有機結合型トリチウムの検出限界値は0.5 Bq/Lとなっている。

*1 : 組織自由水型のトリチウムとは、動植物の組織内に水の状態で存在し、水と同じように組織外へ排出されるトリチウム。
*2 : 有機結合型のトリチウムとは、動植物の組織内のタンパク質などに有機的に結合して組織内に取り込まれ、細胞の代謝により組織外へ排出されるトリチウム。

*3 : 2019年4月～2022年3月の変動範囲 魚類トリチウム濃度 (組織自由水型) 0.064 Bq/L ~ 0.13 Bq/L



(参考) 海藻類のヨウ素 129 濃度の推移 (対数グラフ)



本分析値は、一般の分析機関で使用されている誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) による値です。ICP-MS は、目的とする元素のイオンを生成し、これを加速して質量数に応じて同位体を分離し、それぞれの質量数のイオンを数えるもので、質量分析において広く使用されています。放射能分析では放射性同位体と安定同位体を分離し、放射性同位体の存在比から微量の放射エネルギーを求めます。

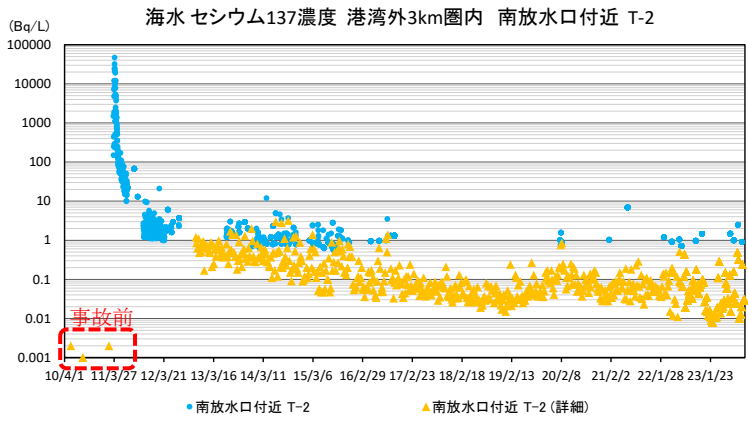
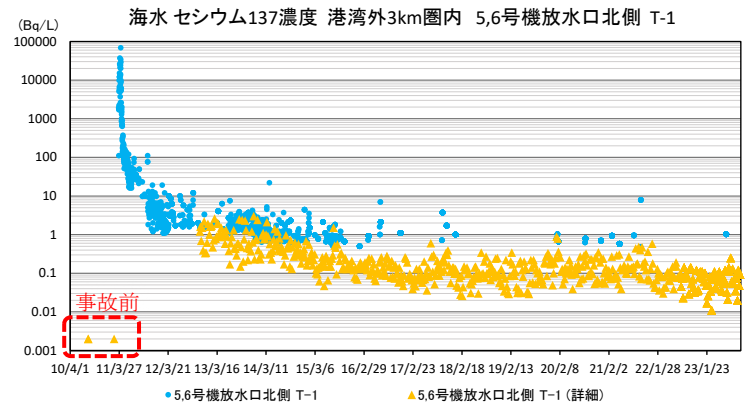
日本全国の海藻類の変動範囲では、2019年4月～2022年3月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲は 0.00013 Bq/kg(生) ～ 0.00075 Bq/kg(生) となっていますが、これらの分析値は、加速器質量分析装置 (AMS) により詳細に放射能を測定したものです。

AMS も質量分析に用いられていますが、極微量の測定が可能で、長半減期の放射性同位体の測定に適していて一般に炭素 14 の測定による年代測定に用いられています。装置は大掛かりなものとなり、保有している分析機関は限られています。

AMS による分析値が示すように、海藻におけるヨウ素 129 の濃度は非常に低く、一般的な分析機関で用いる ICP-MS による分析では検出限界値未満になります。本分析では検出されることが無いことを監視していきます。

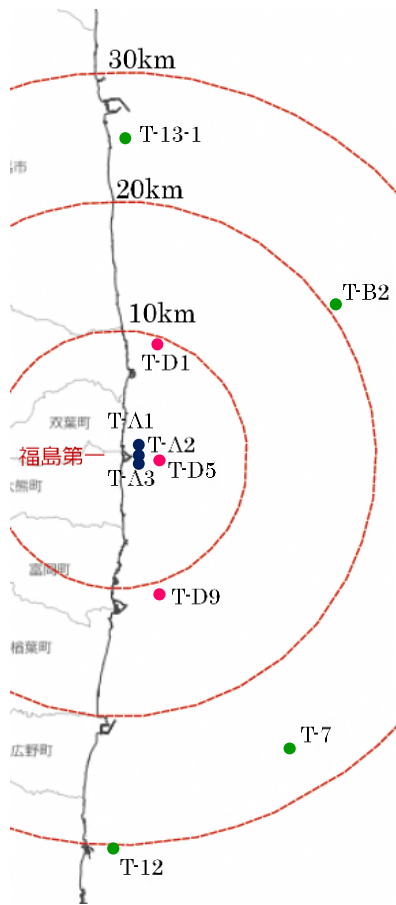
(参考) 海水のセシウム 137 濃度の推移

○海水中のセシウム 137 濃度は、福島第一原子力発電所の事故による影響を受け、事故前の測定値の範囲を上回っていますが、年月の経過とともに減少する傾向にあります。

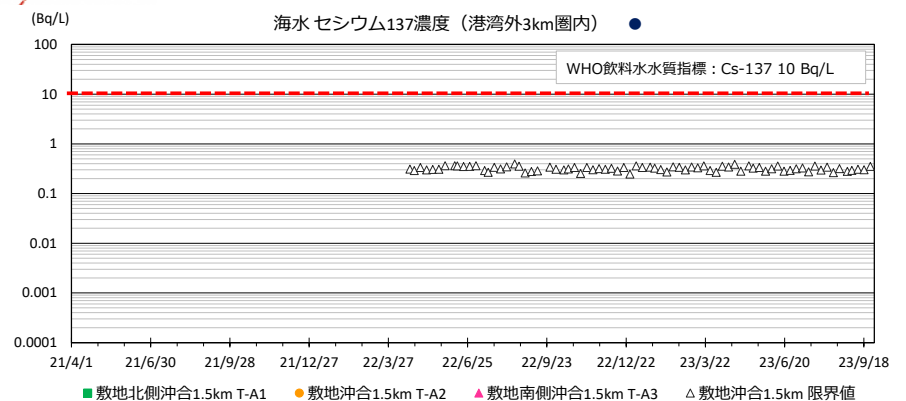
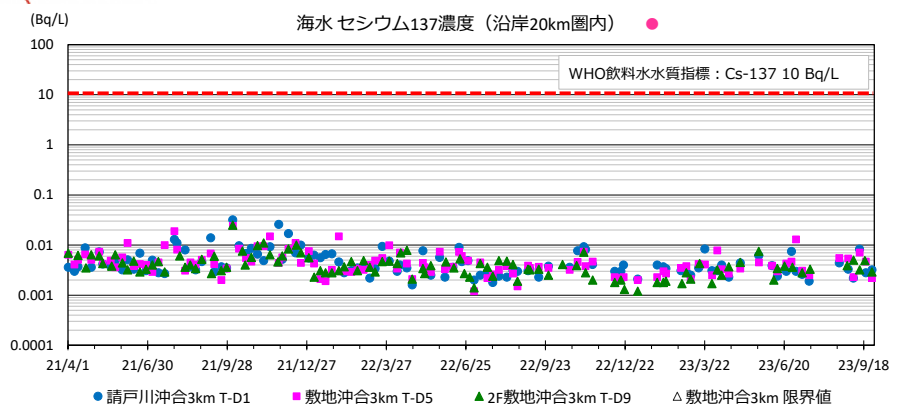
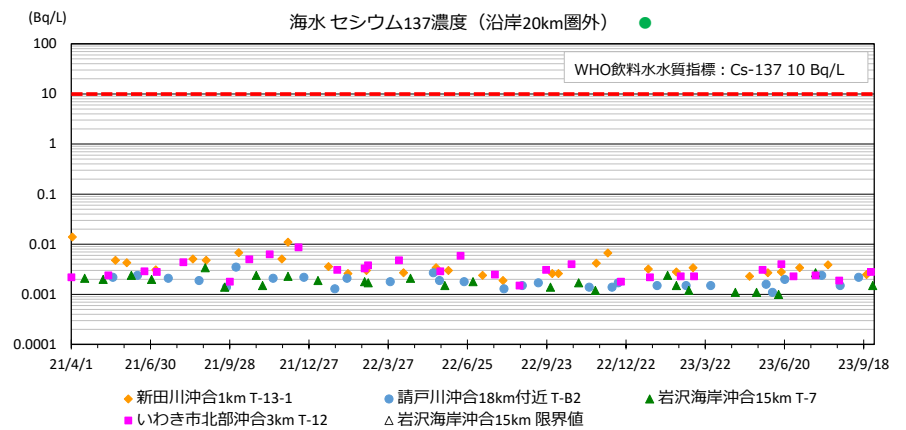


○発電所沿岸の海流は南北方向の出現頻度が占めることから、発電所を中心に南北がほぼ対称となるように試料採取点の中から距離に応じてグループ化して、セシウム 137 濃度の推移を比較しました。

○モニタリング結果に変化はなく、発電所から距離が遠くなるほど濃度が低くなる傾向が見られています。



地理院地図(電子国土 Web)より作成



<港湾外 3km 圏内>

- セシウム 137 濃度は、過去の発電所近傍海水の変動原因と同じ降雨の影響と考えられる一時的な上昇が見られる以外の変化はなく、追加した測定点についても日本全国の海水の変動範囲*内の濃度で推移しています。

<沿岸 20km 圏内>

- セシウム 137 濃度に変化はなく、日本全国の海水の変動範囲*内の濃度で推移しています。

<沿岸 20km 圏外>

- セシウム 137 濃度に変化はなく、日本全国の海水の変動範囲*内の濃度で推移しています。

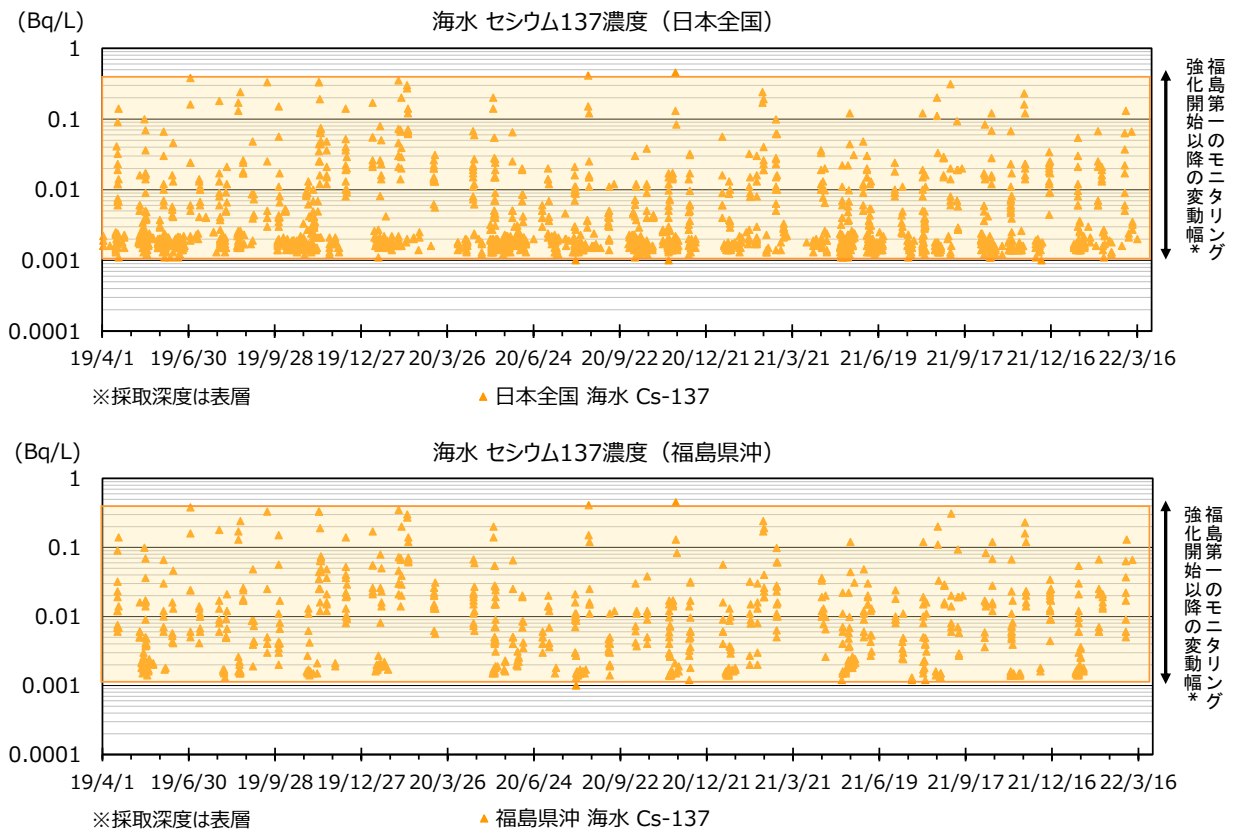
*：下記データベースにおいて 2019 年 4 月～2022 年 3 月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲

日本全国（福島県沖含む） セシウム 137 濃度： 0.0010 Bq/L ～ 0.45 Bq/L

福島県沖 セシウム 137 濃度： 0.0010 Bq/L ～ 0.45 Bq/L

出典：日本の環境放射能と放射線 環境放射線データベース

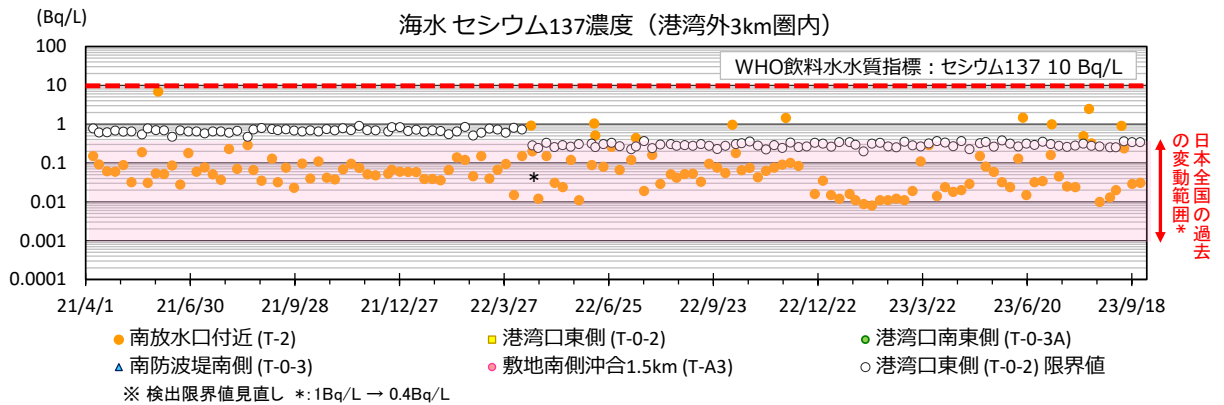
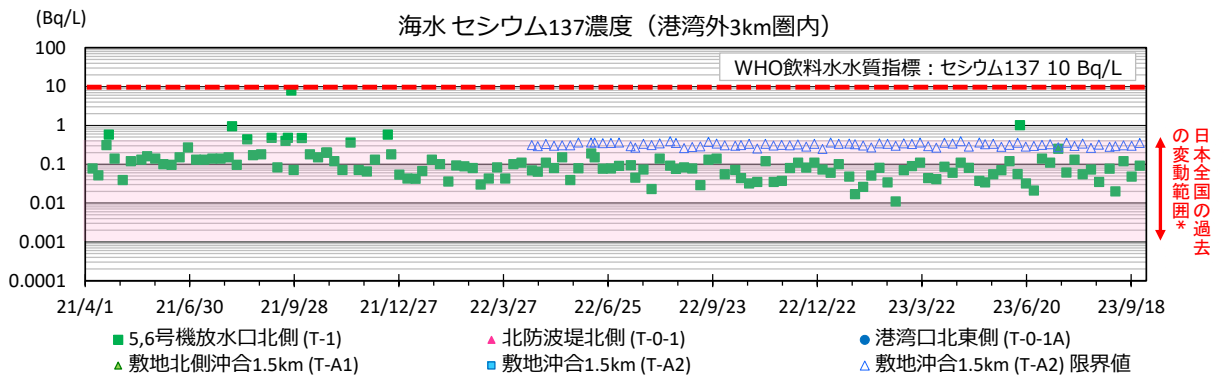
<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>



*：福島第一のモニタリング強化開始以降の変動幅 0.001 Bq/L ～ 0.4 Bq/L
降雨の影響と考えられる一時的な上昇を除く

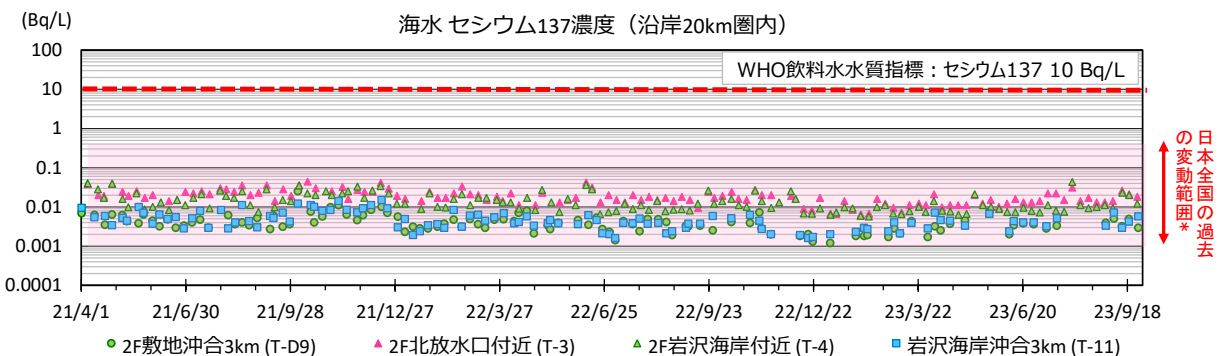
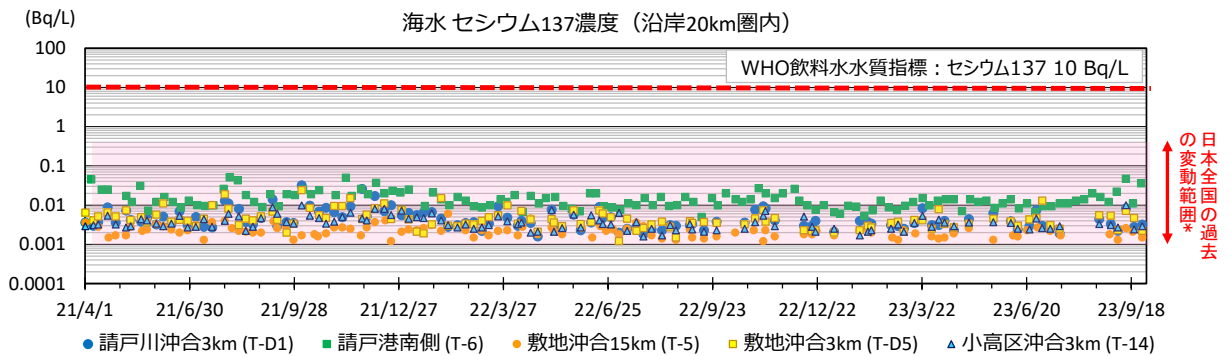
※日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。データは気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて日本全国の状況として比較の対象としています。

< 港湾外 3km 圏内 >



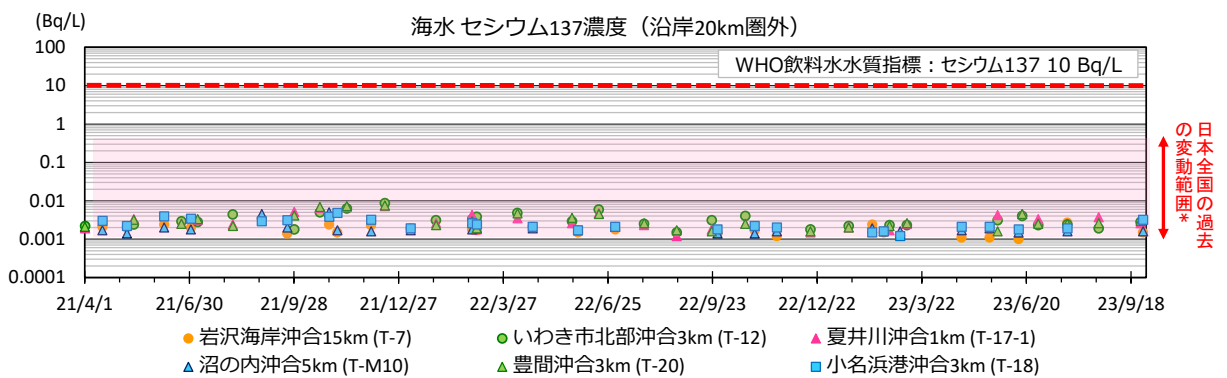
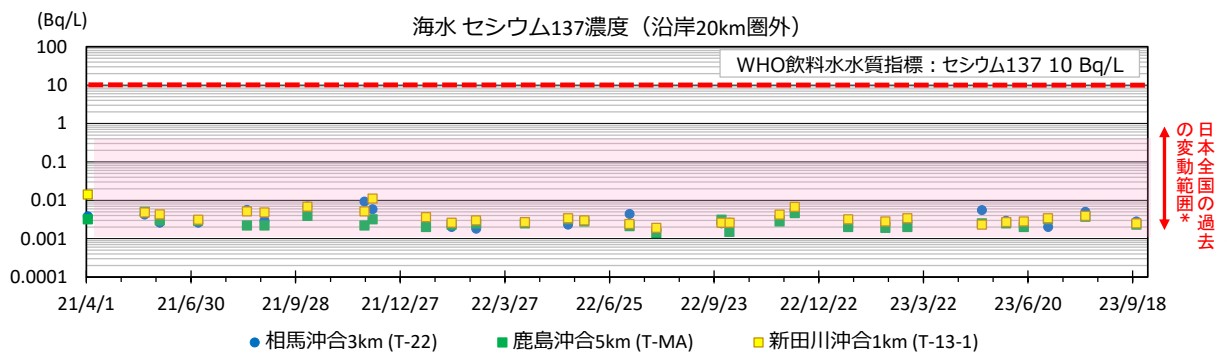
* : 2019年4月～2022年3月の変動範囲 セシウム137濃度 0.0010 Bq/L ～ 0.45 Bq/L
日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。
データは気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて日本全国の状況として比較の対象としています。

< 沿岸 20km 圏内 >



* : 2019年4月～2022年3月の変動範囲 セシウム137濃度 0.0010 Bq/L ～ 0.45 Bq/L
日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。
データは気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて日本全国の状況として比較の対象としています。

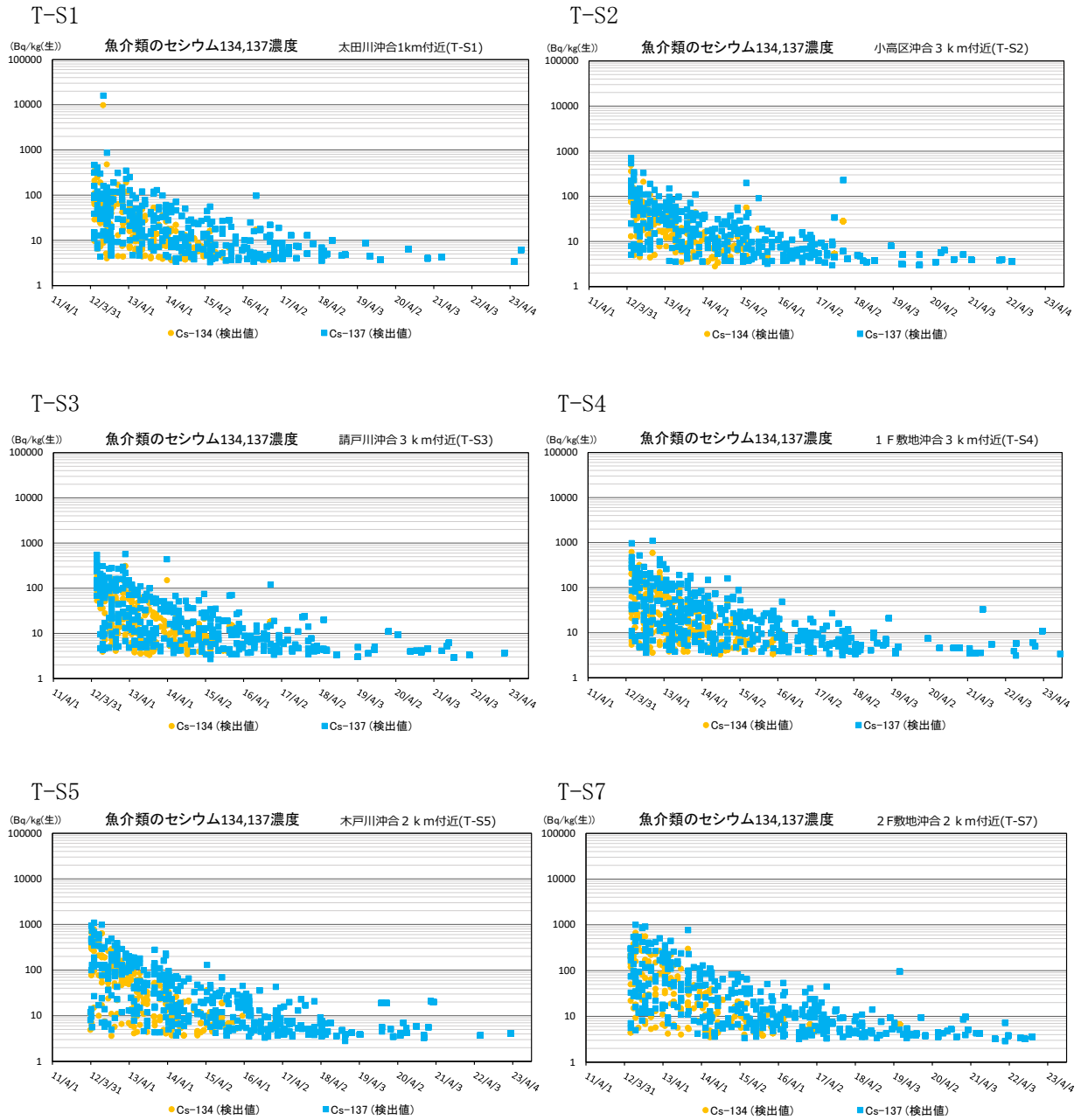
< 沿岸 20km 圏外 >



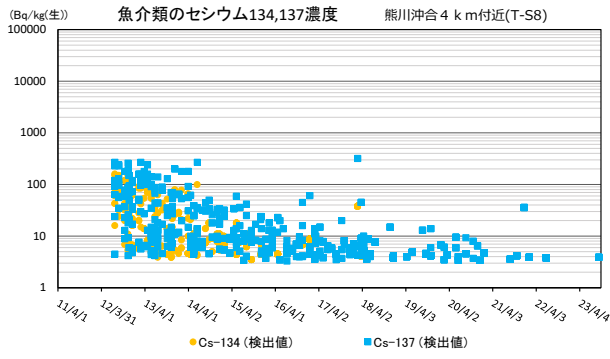
* : 2019年4月～2022年3月の変動範囲 セシウム137濃度 0.0010 Bq/L ～ 0.45 Bq/L
 日本国内の原子力施設が立地している自治体の沖合におけるデータから検出されたものを記載しています。
 データは気象・海象の状況により変動するものであり、それらの変動も含めて日本全国状況として比較の対象としています。

(参考) 魚介類のセシウム 134, 137 濃度の推移

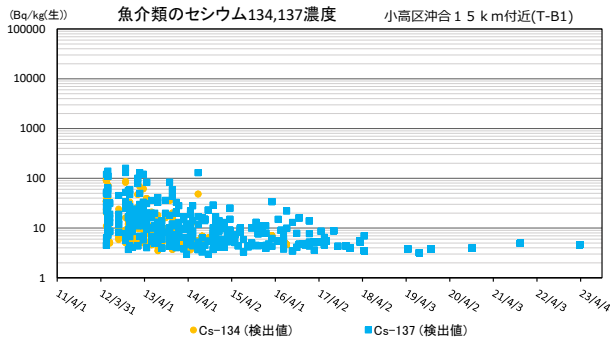
○魚介類のセシウム 134, 137 濃度の結果は、福島第一原子力発電所の事故による影響を受け高い濃度で推移してきましたが、年月の経過とともに減少する傾向にあります。



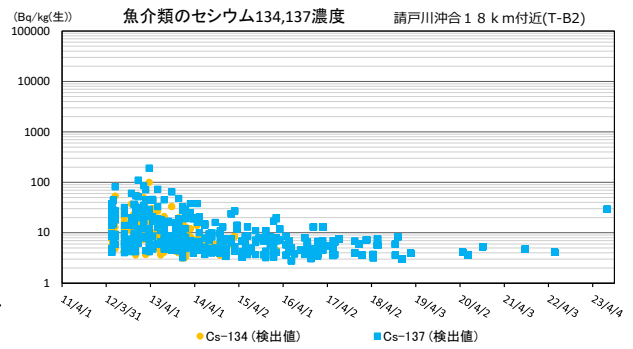
T-S8



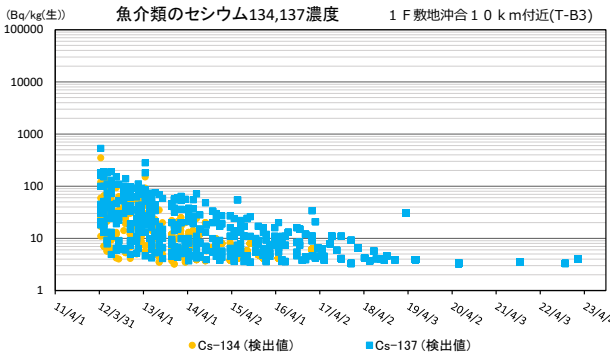
T-B1



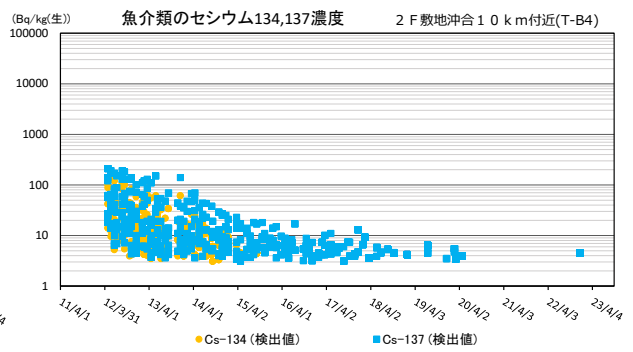
T-B2



T-B3



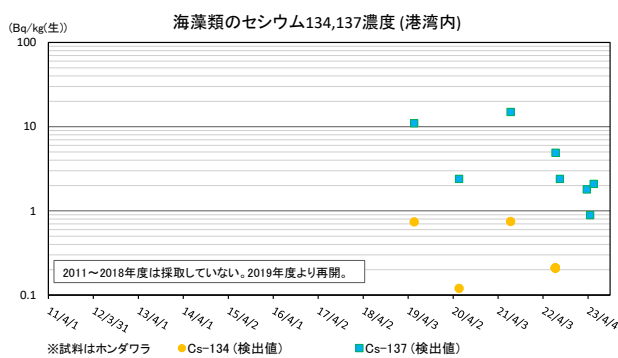
T-B4



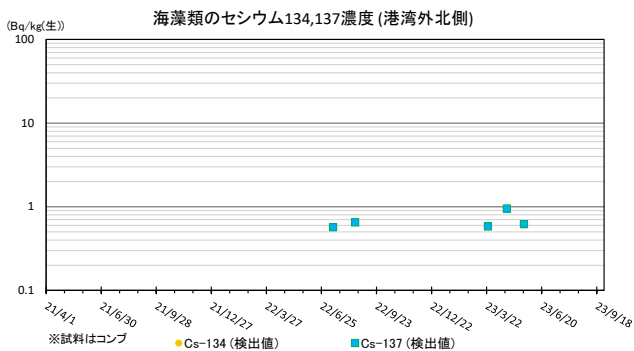
(参考) 海藻類のセシウム 134, 137 濃度の推移

- 海藻類のセシウム 134, 137 濃度の結果について、福島第一原子力発電所の事故前は港湾外において不検出 (2010 年度 セシウム 137 検出限界値 0.09 Bq/kg(生)) でしたが、事故後 2019 年度より再開した結果では港湾内で 10 Bq/kg(生)前後となっていて、2022 年度第 2 四半期、第 4 四半期、2023 年度第 1 四半期に採取した試料の結果についても事故後の変動範囲内となっています。2023 年度第 2 四半期に採取した試料については分析中です。
- 2023 年度第 1 四半期 (4 月) に採取した港湾外の結果については、福島第二の港湾内における 2023 年度第 2 四半期の結果 (2023 年 7 月 4 日採取 セシウム 137 1.3 Bq/kg(生)) と同等となっています。

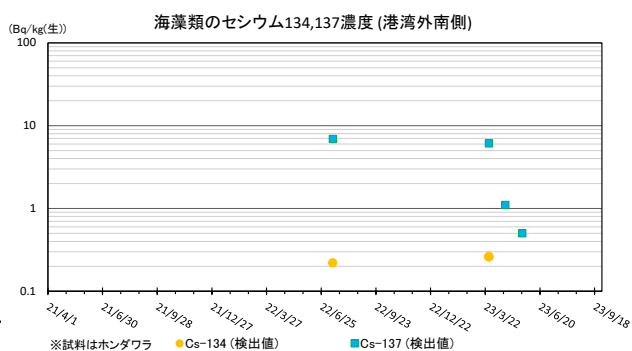
港湾内



港湾外北側



港湾外南側



(参考) 海底土のプルトニウム、セシウム濃度の推移

○海底土のプルトニウム、セシウム濃度について、事故後より測定を継続しています。

○海底土に含まれるプルトニウム 239 とプルトニウム 240 の同位体比（原子数比）を把握することにより、プルトニウムの起源を特定する情報が得られ、大気圏核実験のフォールアウト以外の起源を持つプルトニウムであるかどうかを確認できるとの報告が文献にあることから、2022年度より海底土のプルトニウム同位体比の測定を開始しました。

1. プルトニウム

(1) 海底土のプルトニウム 238, 239+240 濃度の推移

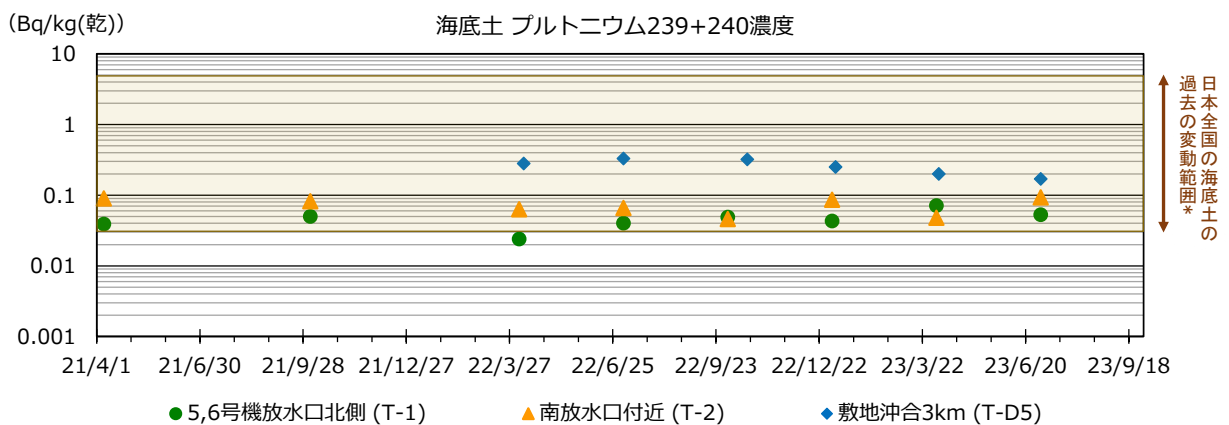
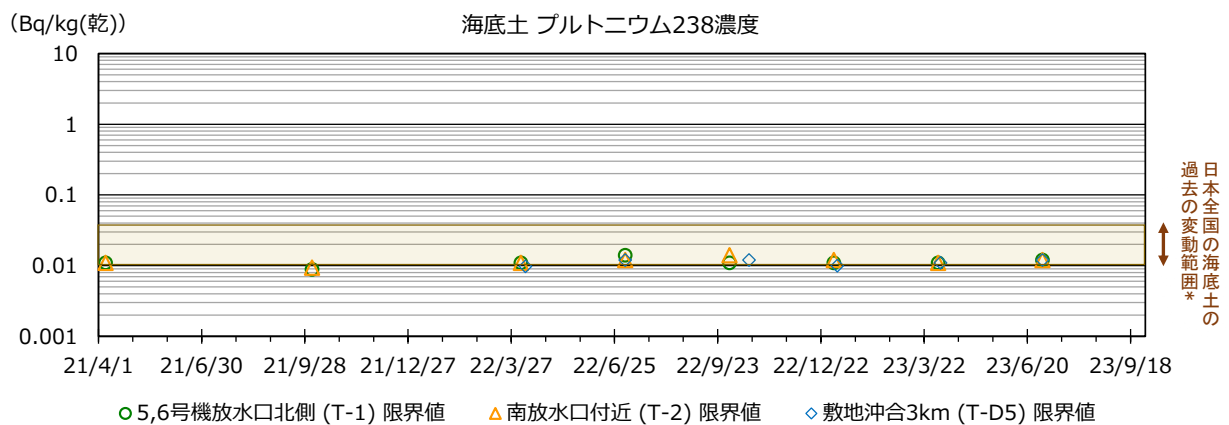
- ・南北放水口の 2021 年 4 月以降のプルトニウム 238, 239+240 濃度に変化は見られていません。
- ・2022 年度より測定を開始した敷地沖合 3km の採取地点についても変化は見られていません。

採取日	5, 6 号機放水口北側 (T-1)		
	プルトニウム 238 濃度 (Bq/kg(乾))	プルトニウム 239+240 濃度 (Bq/kg(乾))	プルトニウム 240 /プルトニウム 239 同位体比 (原子数比)
2022 年 4 月 4 日	ND (<0.011)	0.024	0.240
2022 年 7 月 4 日	ND (<0.014)	0.040	0.239
2022 年 10 月 3 日	ND (<0.011)	0.049	0.246
2023 年 1 月 2 日	ND (<0.011)	0.043	0.244
2023 年 4 月 3 日	ND (<0.011)	0.071	0.236
2023 年 7 月 3 日	ND (<0.012)	0.053	0.216

採取日	南放水口付近 (T-2)		
	プルトニウム 238 濃度 (Bq/kg(乾))	プルトニウム 239+240 濃度 (Bq/kg(乾))	プルトニウム 240 /プルトニウム 239 同位体比 (原子数比)
2022 年 4 月 4 日	ND (<0.011)	0.063	0.240
2022 年 7 月 4 日	ND (<0.012)	0.066	0.245
2022 年 10 月 3 日	ND (<0.014)	0.046	0.242
2023 年 1 月 2 日	ND (<0.012)	0.086	0.243
2023 年 4 月 3 日	ND (<0.011)	0.048	0.242
2023 年 7 月 3 日	ND (<0.012)	0.093	0.243

採取日	敷地沖合 3km (T-D5)		
	プルトニウム 238 濃度 (Bq/kg(乾))	プルトニウム 239+240 濃度 (Bq/kg(乾))	プルトニウム 240 /プルトニウム 239 同位体比 (原子数比)
2022年4月8日	ND (<0.0098)	0.28	0.249
2022年7月4日	ND (<0.012)	0.33	0.247
2022年10月20日	ND (<0.012)	0.32	0.247
2023年1月5日	ND (<0.010)	0.25	0.249
2023年4月5日	ND (<0.011)	0.20	0.243
2023年7月3日	ND (<0.012)	0.17	0.250

※試料採取点は図 1、図 2 に示すとおりです。



*: 下記データベースにおいて 2019年4月～2022年3月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲

日本全国 (福島県沖含む) プルトニウム 238 濃度: 0.01 Bq/kg(乾) ~ 0.037 Bq/kg(乾)

プルトニウム 239+240 濃度: 0.032 Bq/kg(乾) ~ 4.8 Bq/kg(乾)

福島県沖 プルトニウム 238 濃度: 0.01 Bq/kg(乾) ~ 0.022 Bq/kg(乾)

プルトニウム 239+240 濃度: 0.11 Bq/kg(乾) ~ 0.97 Bq/kg(乾)

出典: 日本の環境放射能と放射線 環境放射線データベース

<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>

(2) 海底土のプルトニウム 240/プルトニウム 239 同位体比

- ・プルトニウムの放射能濃度を測定している南北放水口 2 地点に発電所東側の既存モニタリング地点 1 ヶ所（敷地沖合 3km）を追加し、計 3 地点について海底土の「プルトニウム 240/プルトニウム 239 同位体比（原子数比）」を測定することとしました。
- ・3 地点の 2022 年 4 月以降の同位体比について、これまで報告されている発電所海域の結果と同等の結果が得られています。
- ・2023 年度以降も継続*し、放出開始前後で変化のないことを確認していきます。

*：放出開始前から放出開始後 3 年間は四半期 1 回、放出開始後 4 年目以降は年 2 回の測定を予定

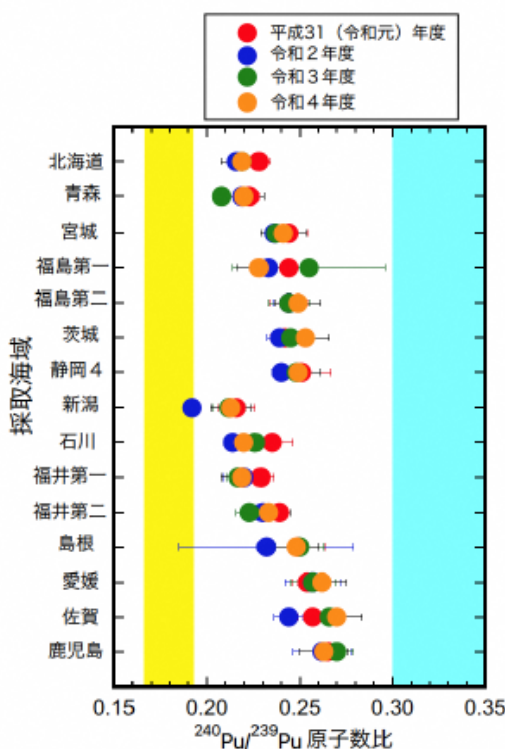
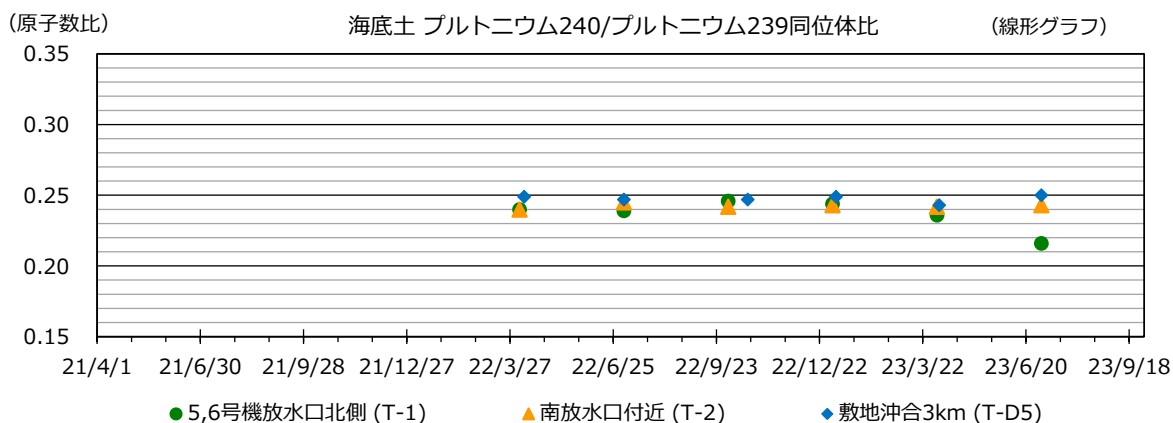


図 I-2-2-1-2 各海域で採取した海底土に含まれるプルトニウムの $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比 (オレンジ、緑、青及び赤丸は、それぞれ、令和4年度、令和3年度、令和2年度及び平成31(令和元)年度の原子数比を示す。黄色及び水色の網掛けは、それぞれ、グローバルフォールアウト比及び太平洋核実験場起源の局地フォールアウト比を示す。)

<プルトニウム同位体の半減期>

- プルトニウム 238 : 87.7 年
- プルトニウム 239 : 2.411×10^4 年
- プルトニウム 240 : 6,564 年
- プルトニウム 241 : 14.35 年

<北太平洋におけるプルトニウム同位体の主要な起源と同位体比>

- ・1950年代から1960年代はじめに行われた大気圏核実験による大量の地球規模放射性降下物 (グローバルフォールアウト)
 プルトニウム 240/プルトニウム 239 同位体比 (原子数比) : 0.180 ± 0.014
- ・1946年から1958年にかけてマーシャル諸島 (ビキニ及びエニウェトク環礁) にあった米国太平洋核実験場で行われた大気圏核実験による放射性降下物 (局地フォールアウト)
 プルトニウム 240/プルトニウム 239 同位体比 (原子数比) : 0.30~0.36

<発電所海域の海底土のプルトニウム>

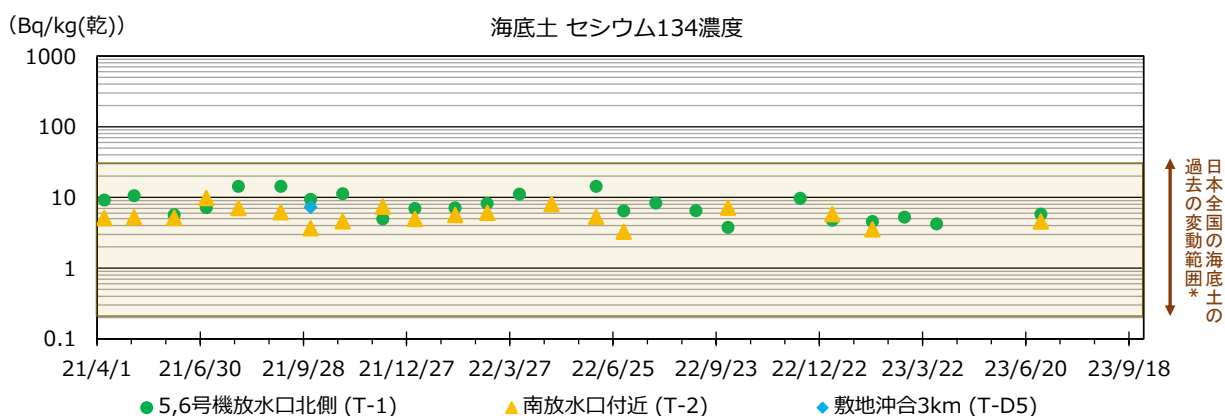
- ・局地フォールアウト起源のプルトニウムも北赤道海流及び黒潮並びに対馬海流によって日本周辺海域に運ばれ、グローバルフォールアウト起源と太平洋核実験場の局地フォールアウト起源が存在していることが分かっています。

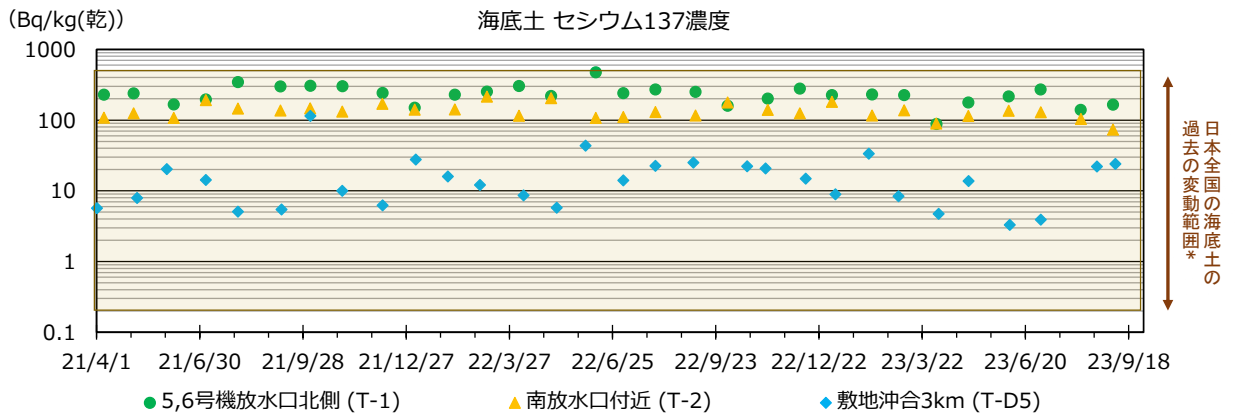
出典：原子力規制委員会ホームページ

令和4年度原子力施設等防災対策等委託費 (海洋環境における放射能調査及び総合評価) 事業 調査報告書
<https://www.nra.go.jp/data/000447926.pdf>

2. 海底土のセシウム 134, 137 濃度の推移

- ・2021年4月以降のセシウム 134, 137 濃度に変化は見られていません。





* : 前出のデータベースにおいて 2019 年 4 月～2022 年 3 月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲

日本全国（福島県沖含む） セシウム 134 濃度： 0.18 Bq/kg(乾) ～ 30 Bq/kg(乾)

セシウム 137 濃度： 0.19 Bq/kg(乾) ～ 500 Bq/kg(乾)

福島県沖 セシウム 134 濃度： 0.28 Bq/kg(乾) ～ 30 Bq/kg(乾)

セシウム 137 濃度： 0.79 Bq/kg(乾) ～ 500 Bq/kg(乾)

(参考) トリチウムについて

1. トリチウムの測定

(1) トリチウム水 (HTO)

- ・トリチウム水とは、水分子(H_2O)の水素原子(H)のうちの1つがトリチウム(T:三重水素、放射性)である水(HTO)です。
- ・トリチウムは極めて弱いベータ線を放出する放射性物質であるため、その測定にあたっては、試料水を蒸留等の操作で精製してトリチウム以外のベータ線放出核種やその他不純物を除去し、放射線と蛍光反応する液体(シンチレータ)を混ぜ合わせて蛍光反応を計測する液体シンチレーションカウンタによりベータ線計測を行い定量します。

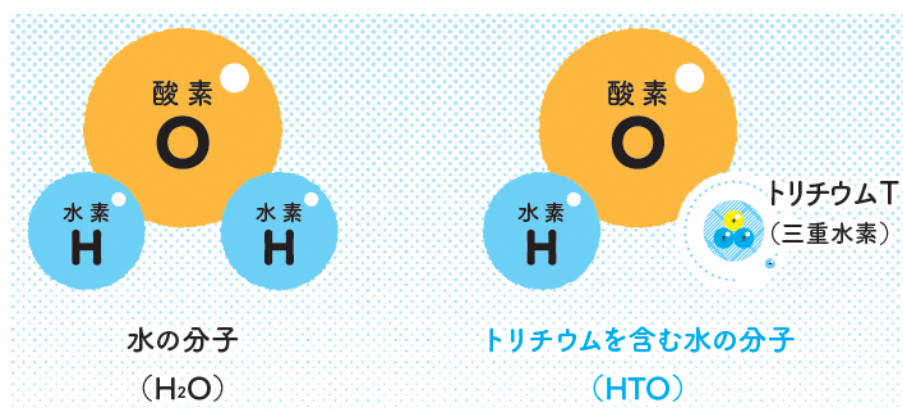
(2) 組織自由水型トリチウム (Tissue Free Water Tritium: TFWT)

- ・組織自由水型トリチウムとは、海生生物など動植物の組織内に水の状態で存在し、トリチウム水と同じように組織外へ排出されるトリチウムです。
- ・測定にあたっては、魚類では肉部の試料から凍結乾燥により水分を回収し、トリチウム水と同様の処理を行ったうえで液体シンチレーションカウンタによるベータ線計測により定量を行います。極低濃度の定量が必要な場合には電解濃縮法にてトリチウムの濃縮を行います。

(3) 有機結合型トリチウム (Organically Bound Tritium: OBT)

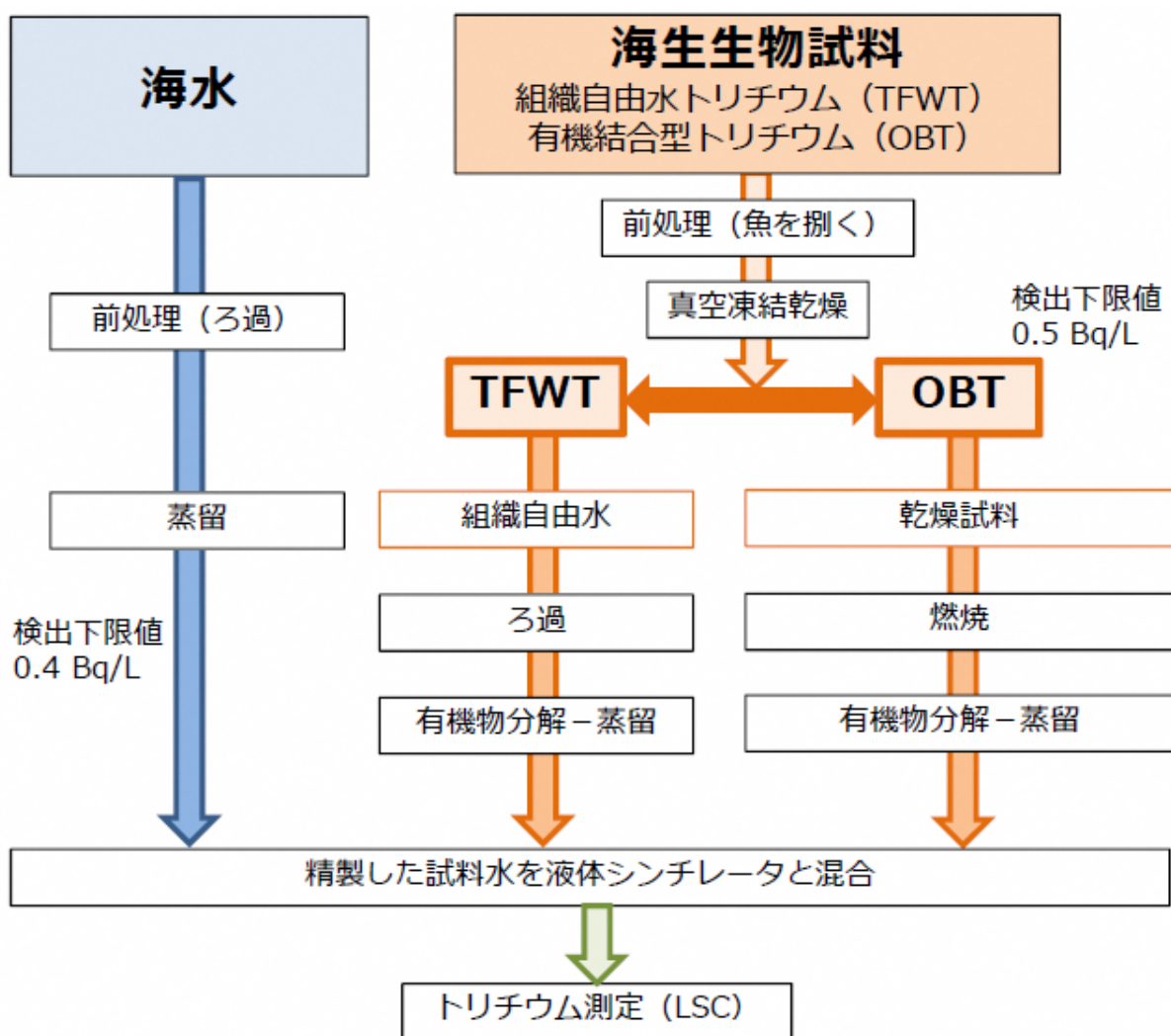
- ・有機結合型トリチウムとは、海生生物など動植物の組織内のタンパク質などに有機的に結合して組織内に取り込まれ、細胞の代謝により組織外へ排出されるトリチウムです。
- ・測定にあたっては、魚類では凍結乾燥した肉部の試料を燃焼させ、発生した水分について、トリチウム水と同様の前処理を行ったうえで液体シンチレーションカウンタによるベータ線計測により定量を行います。有機結合型トリチウム用の試料水は大量に作成できず(※)、電解濃縮を行うのに必要な量が確保できないことから検出限界値の低減に限界があります。

(※) 2kgの生試料に対して、約50mlの試料水を作成



出典:「トリチウム」について 東京電力ホールディングス

(4) 測定手順



TFWT : Tissue Free Water Tritium
OBT : Organically Bound Tritium

(5) 海水の分析

海水に含まれる不純物を除去するため、ろ過および蒸留を行い、測定します。

(6) 海生生物試料の分析

水生生物は真空凍結乾燥により、水(組織自由水トリチウム：TFWT)と乾燥試料(有機結合型トリチウム：OBT)に分けて測定します。

<TFWT の測定>

ろ過および有機物分解の後に蒸留を行い、試料水の精製後に測定します。

<OBT の測定>

乾燥試料を酸素気流中で燃焼し、発生する水蒸気を冷却して、水として回収する。有機物分解、蒸留を行い、試料水の精製後に測定します。

(7) 海生生物の処理例

<真空凍結乾燥>

海生生物試料を凍結し、減圧・低温下で水分を昇華させて試料を乾燥します。昇華した水蒸気はコールドトラップで氷として回収し、溶かすことで組織自由水トリチウム(TFWT)試料とします。凍結乾燥により乾燥した試料は、有機結合型トリチウム(OBT)試料として分析を行います。



真空凍結乾燥装置



試料セット時



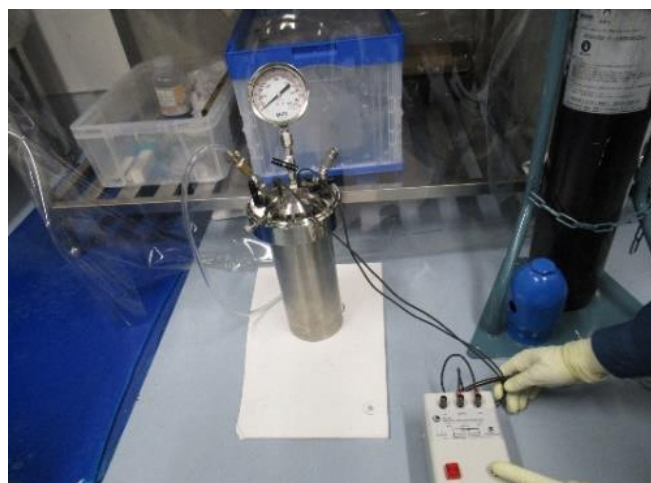
凍結した水分を解凍し回収

< 燃焼 >

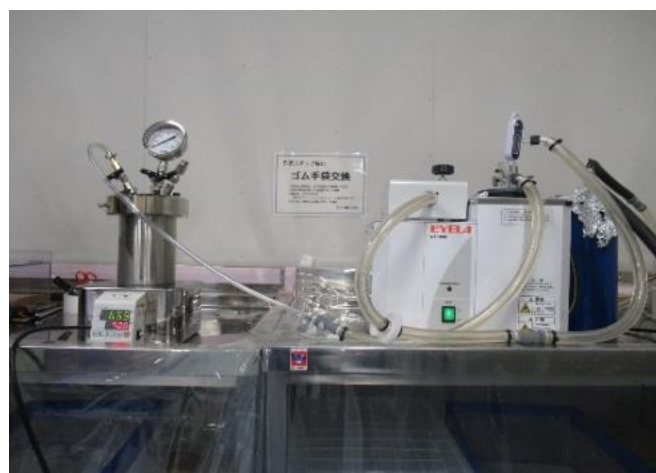
凍結乾燥処理の乾物を酸素気流中で加熱燃焼します。トリチウムは酸化されて水蒸気となるので、コールドトラップにより冷却し、水として回収します。



燃焼装置外観



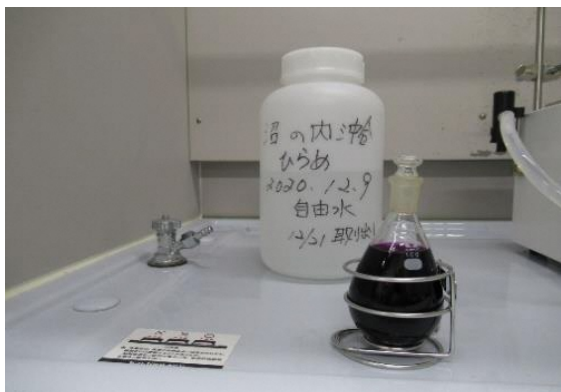
点火・燃焼



コールドトラップにより水を回収

<有機物分解>

酸化剤を添加し加熱することにより、試料に含まれる有機物を分解します。



過マンガン酸カリウム添加



加温有機物分解

<蒸留>

測定の妨害となる不純物(トリチウム以外の放射性核種や有機物)を除去し、試料水を精製します。



蒸留(精製)水



乾固状態

<参考：電解濃縮>

バックグラウンドレベルの表層海水中のトリチウムを検出するためには、水の電気分解(※)によりトリチウムを濃縮する必要があります。濃縮すると分析日数は1か月～1.5か月程度となりますが、検出限界値を下げて測定することができます。福島第一原子力発電所でのトリチウム分析においても、2023年6月より使用しています。

※質量数の小さい軽い水素ほど早く電気分解が進む性質を利用して、電気分解されにくいトリチウムの量が多くなっていくことによりトリチウムを濃縮します。

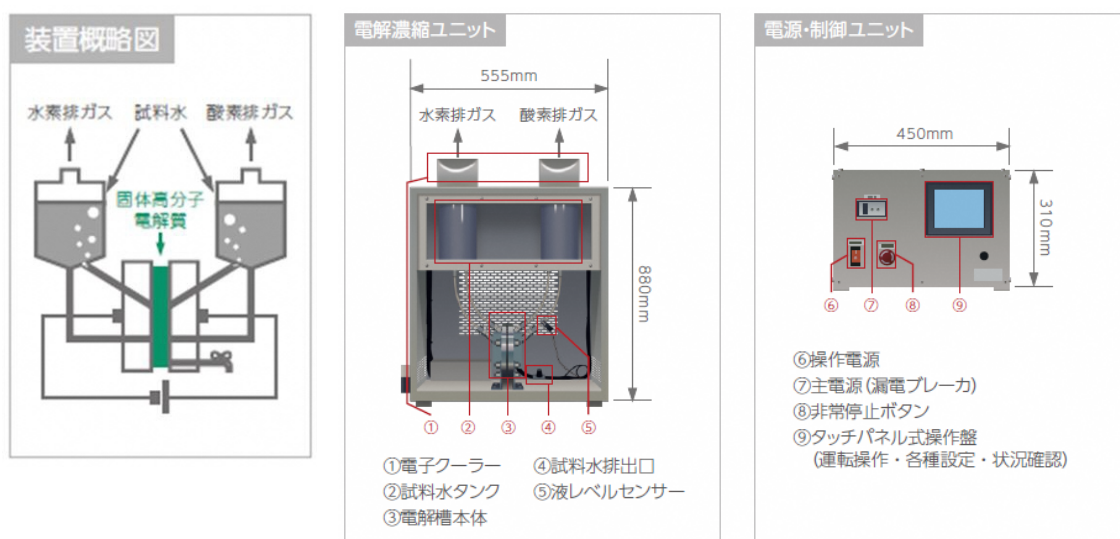
<参考：トリチウム電解濃縮装置の例>

【原理】

- ・水が電気分解され、水素ガスになる際の反応速度の違いを用いて濃縮します。
反応速度早い $1\text{H} > 2\text{H}$ (重水素) $> 3\text{H}$ (トリチウム) 反応速度遅い
- ・濃縮装置は市販されており、安全に濃縮を行うことができます。

【仕様】

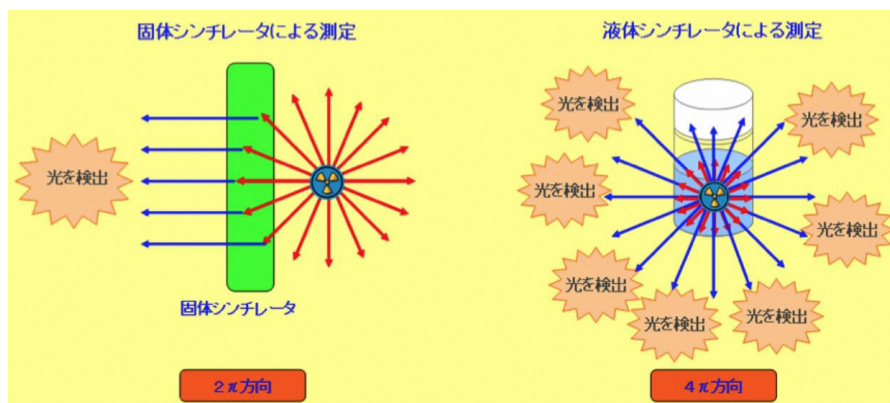
- ・約60時間で、1,000mLの蒸留した試料水を50mLに濃縮することが可能です。
- ・電解による生成物として水素と酸素が分離して発生し、排出されます。



※デノラ・ペルメック株式会社 ホームページより転載

<トリチウムのベータ線測定>

トリチウムのベータ線エネルギーは極めて小さく、プラスチックシンチレータ等の固体のシンチレータでは効率良く測定はできませんが、液体シンチレータを使用すると、高い効率で測定ができます。試料水を蒸留等の操作で精製し、トリチウム以外のベータ線放出核種やその他不純物を排除し、専用の小型のビン（バイアル瓶）の中で液体のシンチレータを直接混ぜ合わせた後、バイアル瓶内から発生するシンチレーション光を検出器にて測定します。



(一社) 日本電気計測器工業会 (JEMIMA)
<https://www.jemima.or.jp/tech/6-03-02-11.html>

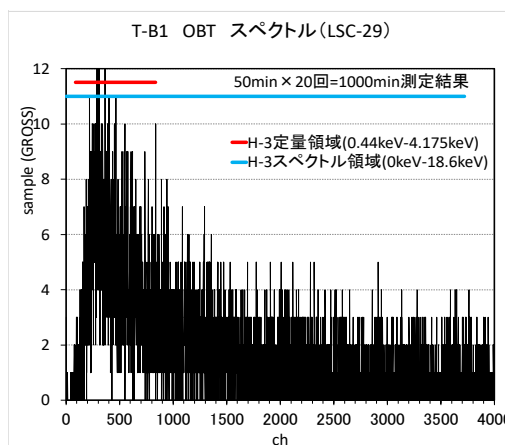
<液体シンチレーションカウンタ (LSC) >

測定試料から放出された光は、液体シンチレーションカウンタ内の光電子増倍管^{*1}により光電子に変換され、電気信号として処理されます。トリチウムから放出されるベータ線は連続分布となり、トリチウムのベータ線スペクトル^{*2}を得ることができます。

- *1: 試料から放出された光を増幅し、高感度に検出する光センサ
- *2: 横軸をチャンネル（ベータ線のエネルギー）、縦軸をその計数（カウント）として示した図

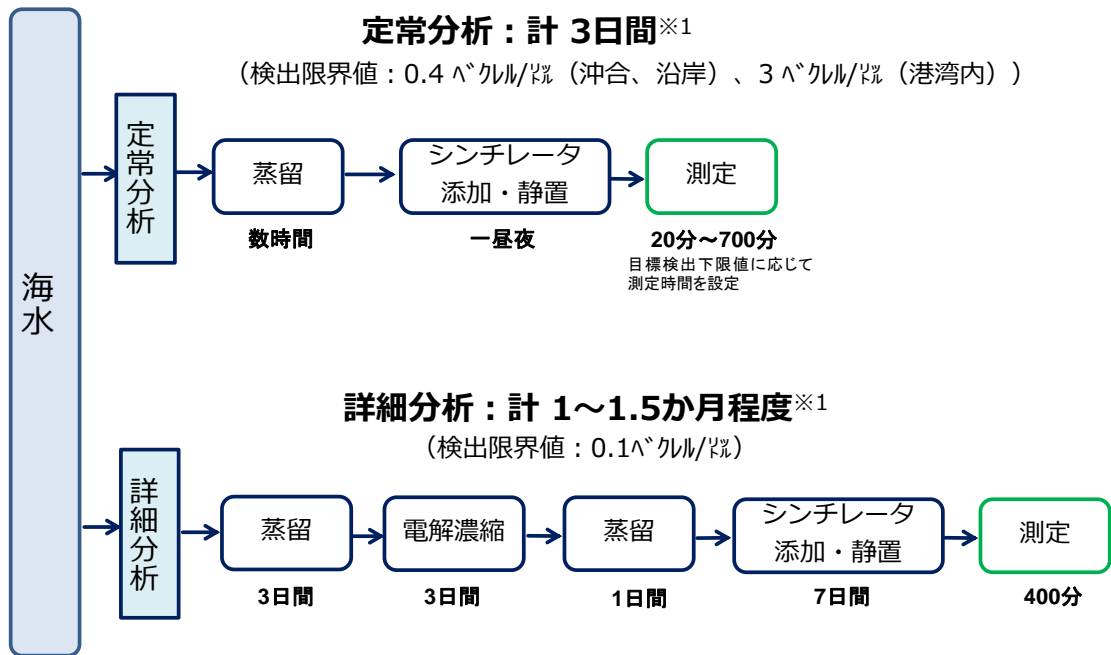


液体シンチレーションカウンタ
 (型式: LSC-LB7)



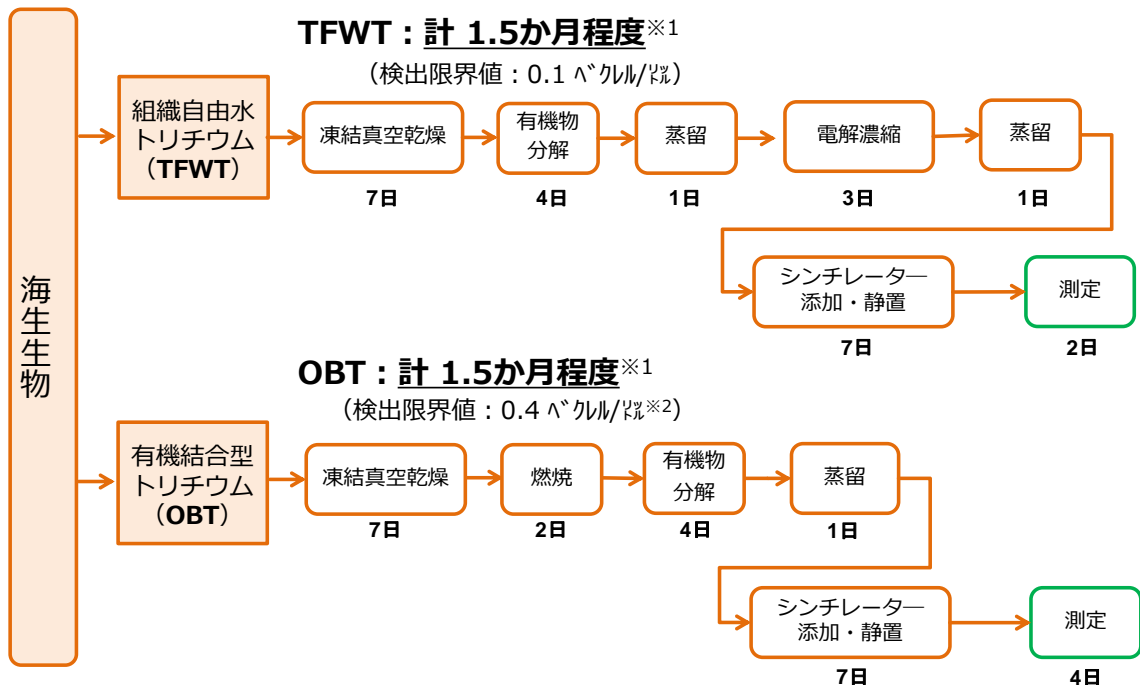
トリチウムのベータ線スペクトルの例

<海水のトリチウム測定～公表にかかる所要時間>



※1：所要時間は採取からデータ公表までのおおよその期間を示している。同時に複数の試料を取り扱う際など、機器の運用状況により所要時間が変動する。

<海生生物のトリチウム測定～公表にかかる所要時間>



※1：所要時間は採取からデータ公表までのおおよその期間を示している。同時に複数の試料を取り扱う際など、機器の運用状況により所要時間が変動する。

※2：総合モニタリング計画では0.5 ㏄/㏄となっているが、0.4 ㏄/㏄を目標としている。

2. 地球規模でのトリチウムの挙動

トリチウムは自然界において常に生成されています。その主な生成場所は大気です。トリチウムは、大気上層において宇宙線の陽子や中性子と大気を構成している窒素や酸素との核反応により生成されます。(天然起源トリチウムの存在量：約 $1.0 \sim 1.3 \times 10^{18}$ Bq)

地球環境中トリチウムの最大の発生源は、大気圏内核実験、特に 1954 年以降の水爆実験です。1963 年の大気圏内核実験停止条約締結までに天然起源の 200 倍程度のトリチウムが放出されたと推定され、その結果として環境中トリチウムレベルは大きく増加しました。1963 年以降は核実験起源の大気中トリチウムは物理的崩壊および海水中への移行により、減少傾向を示しています(物理学的半減期: 12.3 年)。また、原子炉の運転及び原子燃料の再処理に伴い発生します。

これらのトリチウムは大気の循環や降雨によって地上付近に移動し、空気、環境水(河川水、地下水、海水等)、植物や動物の生体中等に広く分布しています。

大気圏または水圏に放出されたトリチウムは、他の放射性核種と同様に大気や水の流れに従って移行および拡散をします。大気中へ放出されたトリチウムに特徴的な環境中移行は、大気から土壌への沈着、土壌から大気への再放出、土壌中移行、植物への取り込み等です。海洋等の水圏へ放出されるトリチウムは、ほとんどトリチウム水であるため水とまったく同じ挙動をします。

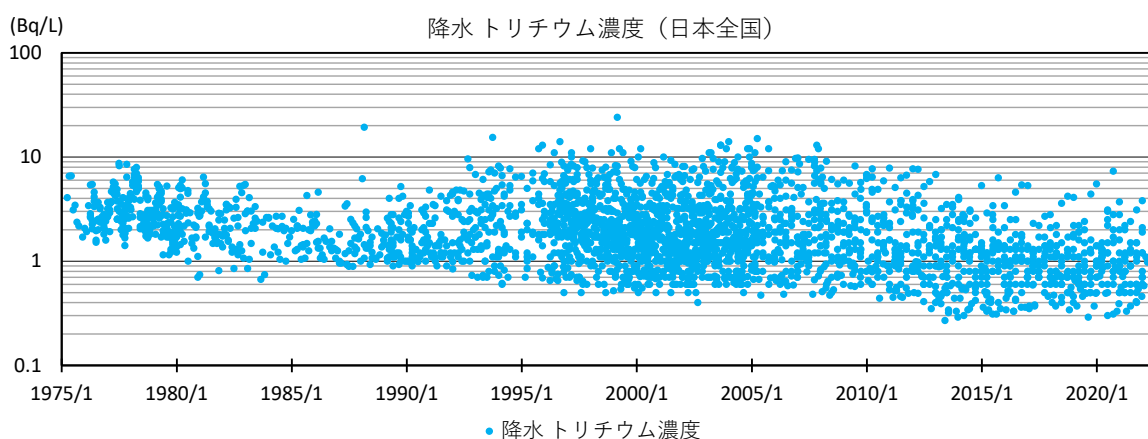
出典：トリチウムの影響と安全管理 日本原子力学会誌 Vol. 39 No. 11 (1997)

3. 降水中のトリチウム濃度

わが国において核実験開始前に測定された降水中トリチウム濃度は 0.77 Bq/L ですが、1960 年代の初めには 12~180 Bq/L まで増加しました。その後、減少し始め、現在はほぼ核実験前のレベルに戻りつつあります。

出典：トリチウムの影響と安全管理 日本原子力学会誌 Vol. 39 No. 11 (1997)

日本国内(原子力施設の立地県)における降水のトリチウム濃度の推移を以下の図に示します。

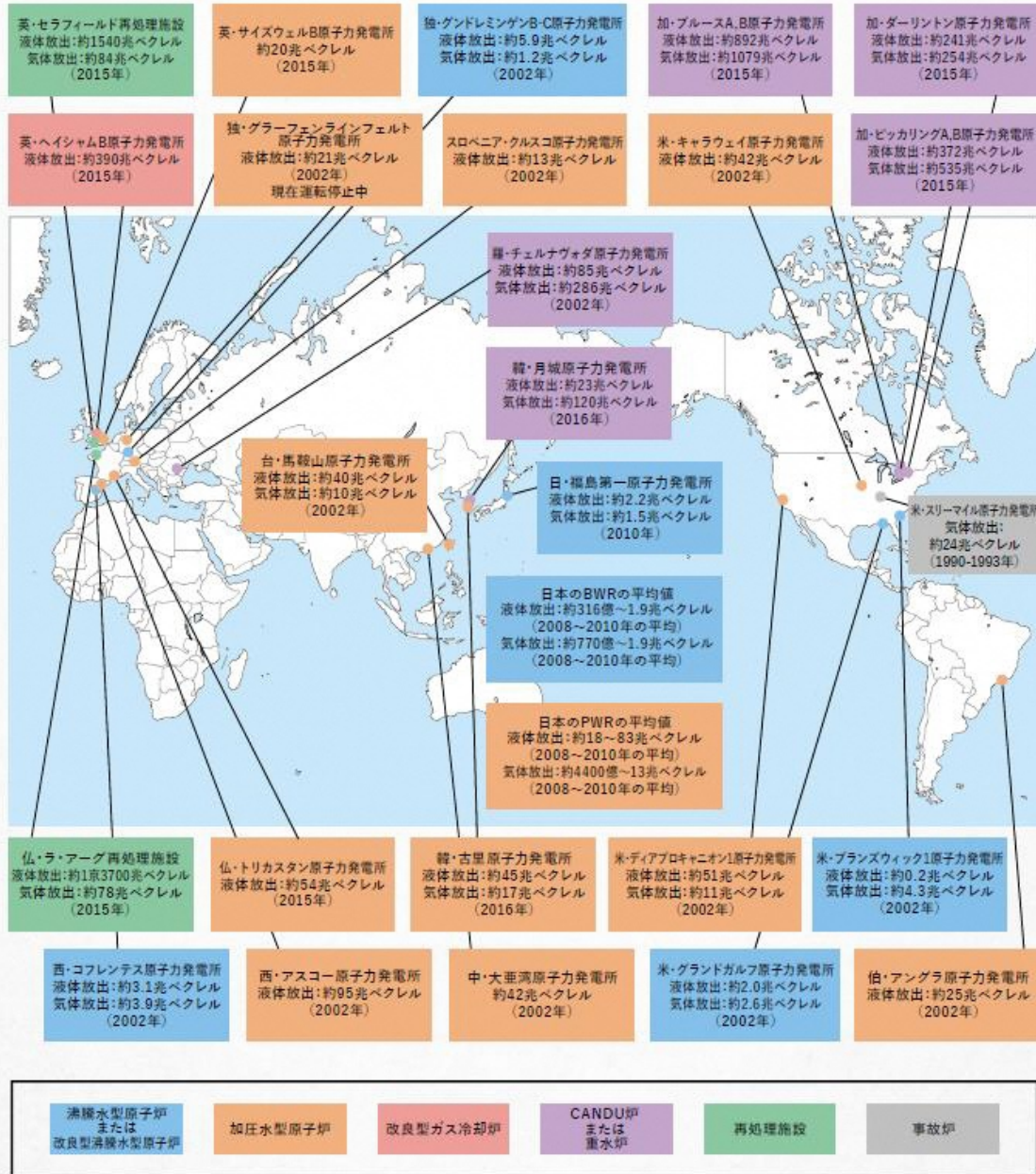


出典：日本の環境放射能と放射線 環境放射線データベース
1975年4月~2022年3月に検出されたデータ
<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>

4. 原子力施設からのトリチウムの放出量

国内外の原子力施設からのトリチウムの年間放出量

トリチウムは、原子力発電所や再処理施設の運転により生成されるため、世界中の原子力施設から放出されています。



※枠内の数値はトリチウム排出量を示す。(参考)トリチウム1兆ベクレルを、トリチウムを含む水に換算すると約0.019グラムに相当。

[出典] 英国: Radioactivity in Food and the Environment, 2015 / カナダ: Canadian National Report for the Convention on Nuclear Safety, Seventh Report / フランス: トリチウム白書2016 / 韓国: 韓国原子力安全委員会(Korean Sixth National Report under the Joint Convention on the safety of spent fuel Management and on the safety of radioactive Waste Management) / 日本: 平成25年度原子力施設運転管理年報(原子力安全基盤機構) / その他の国々: UNSCEAR/2008年報告書

出典: 処理水リーフレット 東京電力ホールディングス (2021年6月)

5. トリチウムの人への影響

トリチウムが放出するベータ線のエネルギーは非常に低く細胞を通過できないため、トリチウムによる放射線被ばくは外部被ばくではなく、トリチウム水を体内へ吸入・摂取・吸収により取り込むことによる内部被ばくとなります。(ベータ線エネルギー：平均 5.7 keV、最大 18.6 keV)

出典：トリチウムによる健康影響 日本放射線影響学会（2019年11月11日）

○トリチウムによる人の健康影響

成人が経口で取り込んだトリチウムの預託実効線量係数*は、組織自由水型トリチウムで 1.8×10^{-8} mSv/Bq、有機結合型トリチウムで 4.2×10^{-8} mSv/Bq（組織自由水型の約 2.3 倍）で、セシウム 137 の 1.3×10^{-5} mSv/Bq に比べて、それぞれ 1/700 以下、1/300 以下となります。同じ放射性物質の量（Bq 数）であればトリチウムによる健康影響はセシウム 137 に比べてはるかに小さいことになります。

*：預託実効線量係数（mSv/Bq）

放射性物質の摂取量（Bq）から内部被ばく線量（Sv）を換算するための係数で、1Bq あたりの内部被ばく線量（Sv）として表す。預託実効線量とは放射性物質を 1 回だけ摂取した場合に、それ以後の生涯にどれだけの放射線を被ばくすることになるかを推定した被ばく線量。

出典：トリチウムによる健康影響 日本放射線影響学会（2019年11月11日）

告示に定めるトリチウムの濃度限度 60,000 Bq/L

国際保健機関（WHO）の飲料水水質のトリチウムの指標 10,000 Bq/L

○トリチウムの生物濃縮

有機結合型トリチウムの比放射能が同じ生体中の組織自由水中トリチウムの比放射能より高くなる可能性に関しては、トリチウム濃度を注意深く制御した室内実験では観測されておらず、トリチウムの生物濃縮はないことが確認されています。

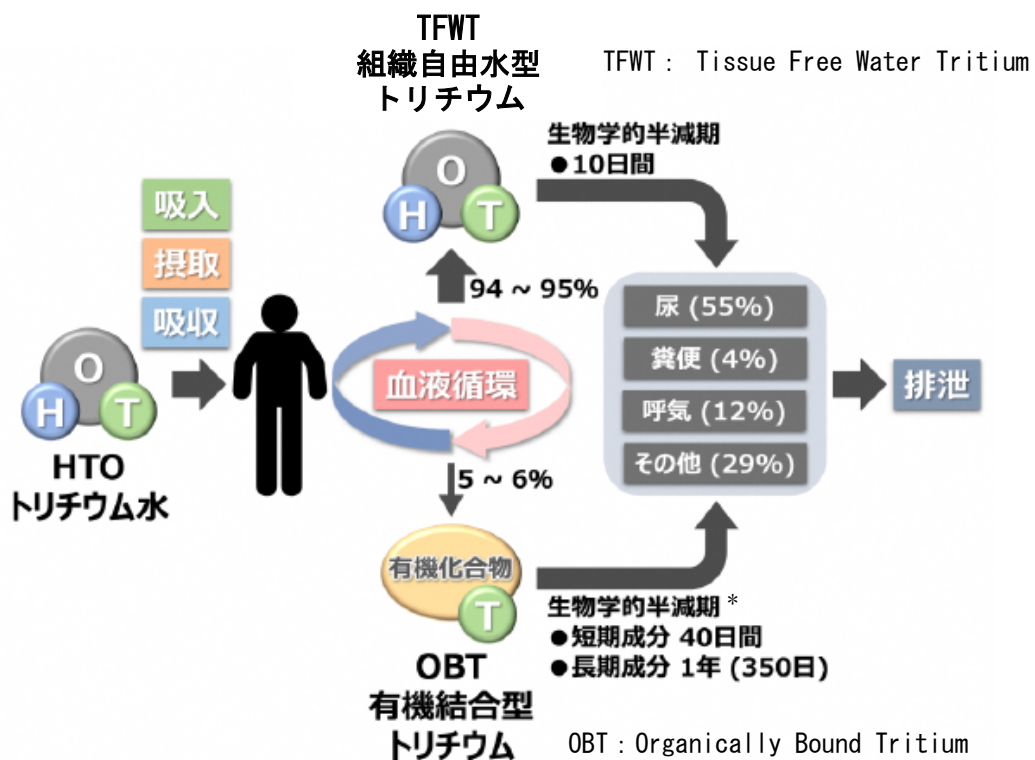
出典：トリチウムの影響と安全管理 日本原子力学会誌 Vol.39 No.11（1997）

（参考）食品の放射性物質の基準値

一般食品の放射性セシウムの基準値：100 Bq/kg

- ・食べ続けたときに、その食品に含まれる放射性物質から生涯に受ける影響が 1 mSv/年以下となるように定められている。
- ・セシウムからの影響が大半であり、セシウム以外は測定にきわめて時間がかかることから、他の半減期が 1 年以上の放射性物質の影響を計算に含めたうえで、セシウムを指標としている。

○人におけるトリチウムの代謝



出典：トリチウムによる健康影響 日本放射線影響学会（2019年11月11日）に一部加筆

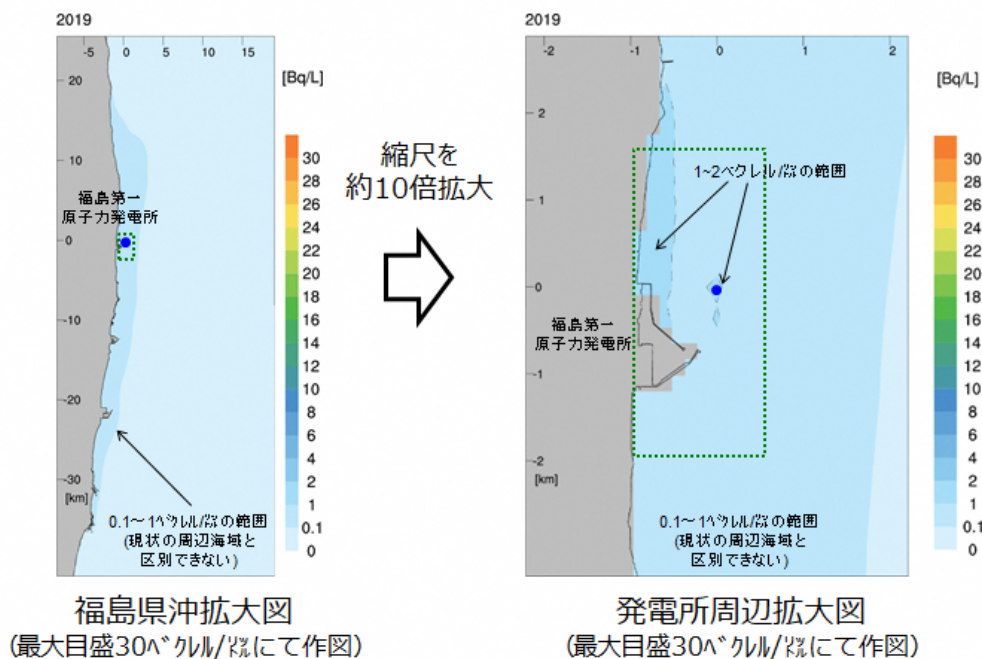
*：生体内で作られる有機物と結合したトリチウムの生物学的半減期は、その有機物の分解に従って体外に排出される。早く分解されるものと遅く分解されるものがあり、それらを短期成分と長期成分として評価すると短期成分のトリチウムは約40日、長期成分のトリチウムは約350日の半減期であった。

出典：Organically bound tritium. Health Physics 65(6):698-712; 1993

原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR) 2016年報告書 科学的附属書C
内部被ばく核種の生物学的影響 -トリチウム-

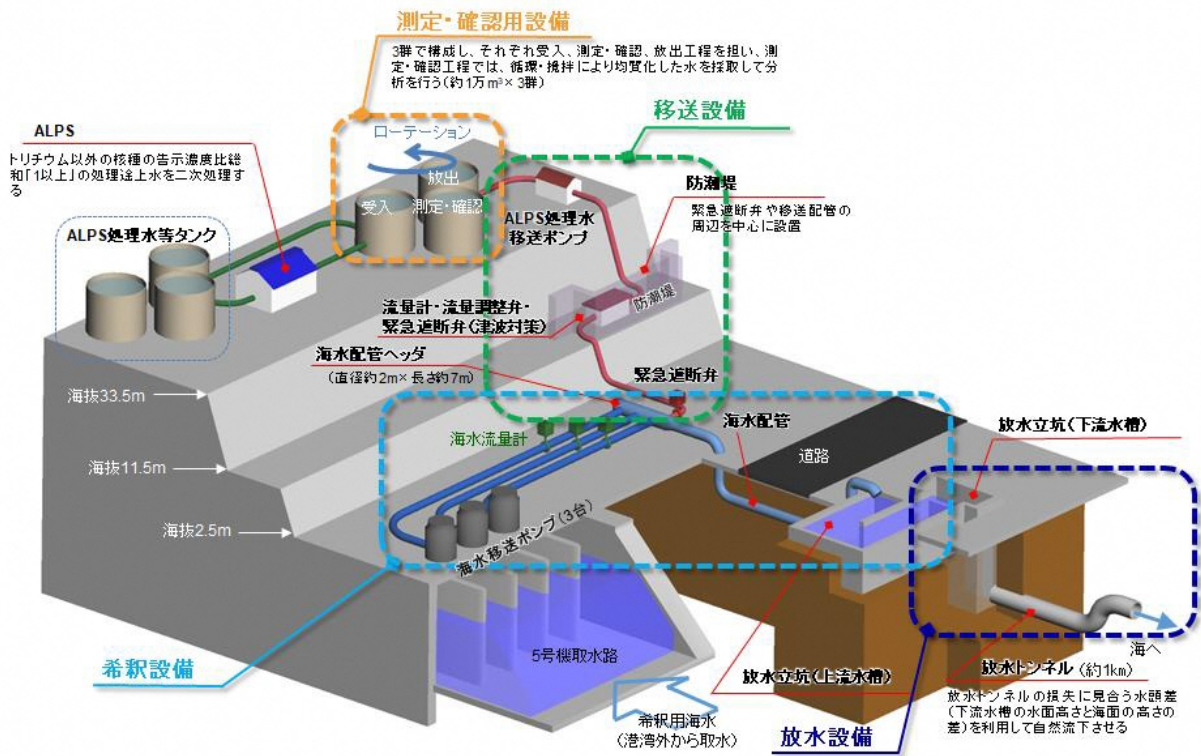
(参考) 海洋拡散シミュレーション結果

○2019年の気象・海象データを使って評価した結果、現状の周辺海域の海水に含まれるトリチウム濃度(0.1~1ベクレル/リットル)よりも濃度が高くなると評価された範囲は、発電所周辺の2~3kmの範囲で1~2ベクレル/リットルで、WHO飲料水ガイドライン10,000ベクレル/リットルの10万分の1~1万分の1となります。



※：シミュレーションは、米国の大学で開発、公開され各国の大学・研究機関で使用されている海洋拡散モデル (ROMS) に電力中央研究所が改良を加えたプログラムを用いて実施

(参考) 多核種除去設備等処理水希釈放出設備および関連設備の全体像



(参考) 魚のトリチウム分析値の検証について

魚のトリチウム分析値について、新たな採取点において周辺海水のトリチウム濃度より高い濃度で検出されていることが確認されました。このため、2022年8月以降分析を一旦中断し、分析施設における分析方法の相違点をはじめとする原因調査を行いました。

分析値に影響する要因として、「測定装置の影響」、「不純物（有機物）の影響」、「化学反応の影響」を抽出し、検証を行いました。その結果により発電所外の分析施設において分析手順を見直し、魚のトリチウム分析を2022年10月より再開しています。

発電所内で分析する計画であった海生物試料は、発電所外の分析施設で分析を実施することとしました。

<分析値に影響する要因と検証結果>

- ・測定装置の違いによる影響はないことを確認しました。
- ・不純物を除去するための化学反応が十分でなかったことを確認しました。
- ・化学反応を排除するための静置時間が十分ではないおそれがあることを確認しました。

※ 第104回 特定原子力施設監視・評価検討会（2022年12月19日）資料3-1より抜粋

発電所内の分析については、不純物の除去方法の精査を続けるとともに、トリチウムが環境中から混入していることが原因となっている可能性についても検討に加え、調査を実施しました。

調査のため、有機結合型トリチウム（OBT）を検出する可能性の低い市場の魚を用いて、発電所内の分析施設と、空気中のトリチウム濃度が低い発電所外の分析施設で分析を行いました。その結果、発電所内の分析ではOBTが偽検出され、一方で発電所外の分析では不検出でした。OBT分析では前処理工程にて試料を乾燥させたのちに粉末状に加工したものを燃焼し、試料に含まれる僅かな水素（トリチウム）を抽出しています。粉末状体の試料は吸湿しやすい状態であるため、トリチウムを含む空気中湿分の吸湿影響の確認試験を行ったところ、空気中トリチウムがOBT濃度に影響していることを確認しました。

このことから、試料への空気中のトリチウムの混入対策として、魚のトリチウム分析の前処理作業は発電所内の分析施設ではなく、発電所外の分析施設にて実施することとしました。その後、発電所外の分析施設で前処理作業を実施した魚のトリチウム分析の妥当性確認が完了したため、また、組織自由水型トリチウム分析についても、分析方法を見直し、十分な不純物除去・静置を行うことで、問題なく分析を実施できることを確認したため、2023年6月採取試料から発電所外の分析施設にて前処理を行い、発電所内の分析施設にて測定を行うことで、魚のトリチウム分析を再開しました。

(参考) 海域モニタリングにおける指標（放出停止判断レベル等）の設定について

海域モニタリングにおいて、海洋放出を一旦停止する際の考え方を実施計画に追加する認可を2023年5月10日に受け、以下の運用上必要な事項について社内マニュアルに定め、5月18日に公表しました。（7月13日に「異常値」の表現を「放出停止判断レベル」に変更しています。）

○ 通常と異なる状況と判断する場合（指標（放出停止判断レベル）の設定）

- ・海水で希釈した放出水が十分に拡散していないような状況（トリチウム濃度が通常と異なる状況）等が確認された場合、設備の運用として「放出停止」を判断する際の指標を「放出停止判断レベル」として設定します。
- ・迅速に状況を把握するために行う測定（検出限界値 10 Bq/L）の結果から海水中のトリチウム濃度が以下の①又は②に該当する場合に通常と異なる状況と判断します。

①：放水口付近（発電所から3km以内 10地点 図1参照）

政府方針で定める放出時のトリチウム濃度の上限値である 1,500Bq/L を、設備や測定の不確かさを考慮しても上回らないように設定された放出時の運用値の上限（約 700 Bq/L）を超えた場合

⇒ 運用値の上限をもとに、放水口付近における指標（放出停止判断レベル）を 700 Bq/L に設定します。

②：①の範囲の外側（放水口付近の外側）（発電所正面の10km四方内 4地点 図2参照）
分析結果に関して、明らかに通常と異なる状況と判断される値が得られた場合

⇒ 至近3年の、日本全国の原子力発電所の前面海域におけるトリチウム濃度の最大値*（20 Bq/L）を明らかに超過する場合を通常な状況ではないとみなし、放水口付近の外側における指標（放出停止判断レベル）を最大値（20 Bq/L）の1.5倍の30 Bq/L に設定します。

※下記データベースにおける2019年4月～2022年3月のデータの最大値

出典：日本の環境放射能と放射線 環境放射線データベース

<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>

○ 指標（放出停止判断レベル）超過時の対応

- ・周辺海域モニタリングの測定結果が確定した後、直ちに数値を確認し、対象地点のうち1地点でも指標（放出停止判断レベル）を超えた場合には、速やかに放出を停止します。
- ・停止後は、頻度を増やしたモニタリングで傾向を把握するとともに、気象・海象を確認し、拡散状況を評価します。
- ・なお、指標（放出停止判断レベル 700 Bq/L または 30 Bq/L）を超えた場合でも、周辺海域のトリチウム濃度は法令基準 60,000 Bq/L や WHO 飲料水水質ガイドライン 10,000 Bq/L を十分下回り、周辺海域は安全な状態であると考えています。

○ 放出停止後の放出再開

- ・設備、運転状況に異常がないか、操作手順に問題がないかを確認します。
- ・停止後の海域モニタリングの結果について、指標（放出停止判断レベル）を下回っている

かを確認します。

- ・確認後、放出再開をお知らせしたうえで、放出を再開します。

○ 指標（調査レベル）の設定

- ・指標（放出停止判断レベル）に達する前の段階において必要な対応を取る指標（調査レベル）も設定します。
- ・指標（調査レベル）は、放水口付近（発電所から 3km 以内 10 地点）で 350 Bq/L（放出停止判断レベルの 1/2）、放水口付近の外側（発電所正面の 10km 四方内 4 地点）で 20 Bq/L（放出停止判断レベルの 1/2 強）とします。
- ・それらを超える値が検出された場合、速やかに、設備・運転状況に異常のないこと、操作手順に問題がないことを確認するとともに、海水を再採取し、結果に応じて頻度を増やしたモニタリングを実施します。

○ 放出開始後から当面の間のモニタリング頻度

- ・放水口付近（発電所から 3km 以内 10 地点 図 1 参照）の採取点については、総合モニタリング計画での各機関の実施頻度を踏まえ、放出開始後当面の間は通常の間隔から毎日に強化して実施し、速やかにその結果を公表します。

○ 総合モニタリング計画に基づく海域モニタリング結果への対応

- ・総合モニタリング計画に則って実施される各機関の詳細なモニタリングにおいて、通常と異なる状況等が確認された場合においても、必要な対応を検討して実施してまいります。

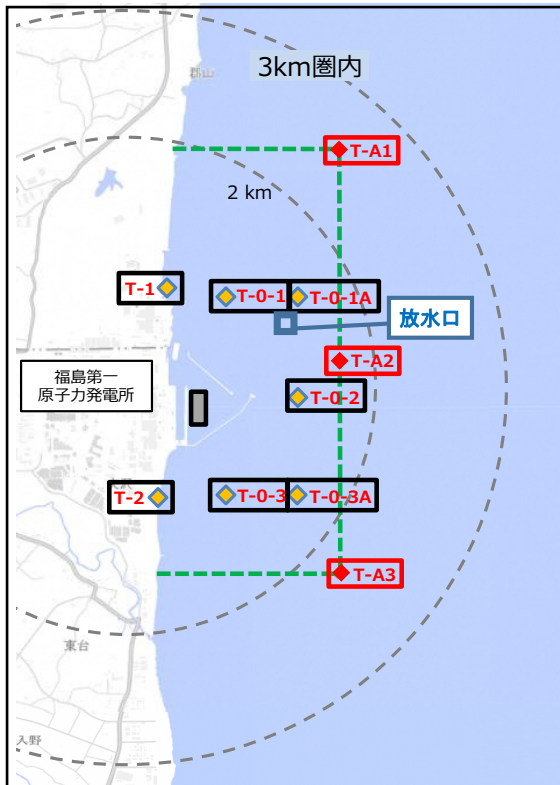


図1 発電所近傍（港湾外3km圏内）

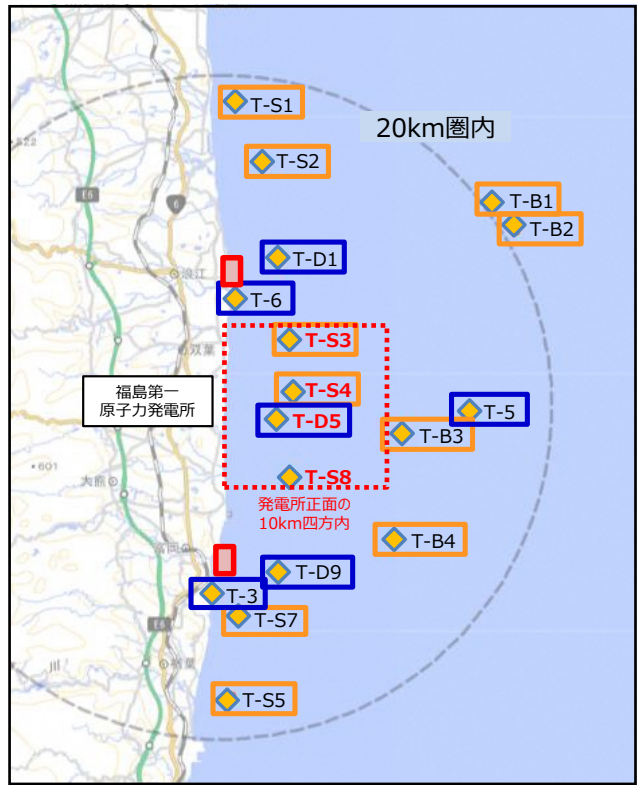


図2 沿岸20km圏内

赤字 T-O : 海水トリチウム濃度について指標(放出停止判断レベル、調査レベル)を設定した点 (14 地点)
 発電所近傍 (10 地点) 指標(放出停止判断レベル) : 700 Bq/L 指標(調査レベル) : 350 Bq/L
 沿岸 20km 圏内 (4 地点) 指標(放出停止判断レベル) : 30 Bq/L 指標(調査レベル) : 20 Bq/L
 通常と異なる状況かどうか確認するために迅速に結果を得る測定を追加して実施 (検出限界値 10 Bq/L)

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| : 検出限界値を下げた点(海水) | : 採取を追加した点(海水) |
| : 頻度を増加した点(海水) | : セシウムにトリチウムを追加した点(海水, 魚類) |
| : 変更なし(海藻類) | : 採取を追加した点(海藻類) |
| : 日常的に漁業が行われていないエリア | |