

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 4 年度 (2022 年度) 第 3 四半期)

2023 年 3 月 1 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	4
3-1. 測定項目	4
3-2. 試料採取点	5
4. 測定結果	7
4-1. 海水	9
4-2. 魚類	11
4-3. 海藻類	12
添付資料	
(参考)	
海水のトリチウム濃度の推移 (対数グラフ)	16
魚類のトリチウム濃度の推移 (対数グラフ)	19
海藻類のヨウ素 129 濃度の推移 (対数グラフ)	21
海水のセシウム 137 濃度の推移	22
魚介類のセシウム 134, 137 濃度の推移	27
海藻類のセシウム 134, 137 濃度の推移	29
トリチウムについて	30
海洋拡散シミュレーション結果	41
多核種除去設備等処理水の取扱いに関する安全確保のための設備の全体像	42
魚のトリチウム分析値の検証について	43

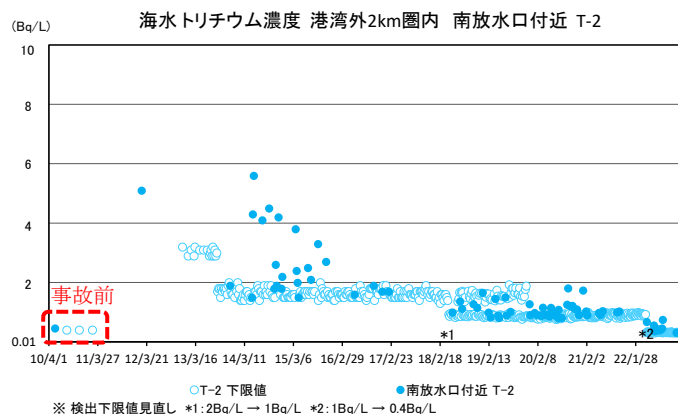
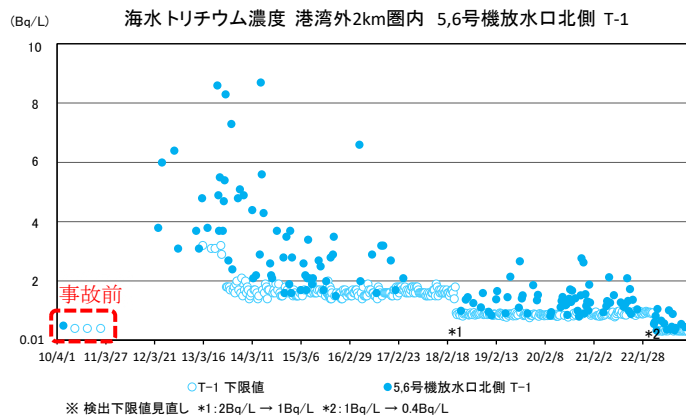
1. 強化したモニタリング結果の概要

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、検出下限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、準備が調ったサンプリングポイントから2022年4月より順次開始しており、2022年度第3四半期(10月~12月)に実施した結果では、特記するものではありませんでした。福島第一原子力発電所の事故により上昇した福島第一原子力発電所付近の海水のトリチウム濃度は、年月の経過とともに低下し、現在は事故前に戻りつつあります。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あり、ゆるやかな低下傾向が見られています。

1-1. 海水

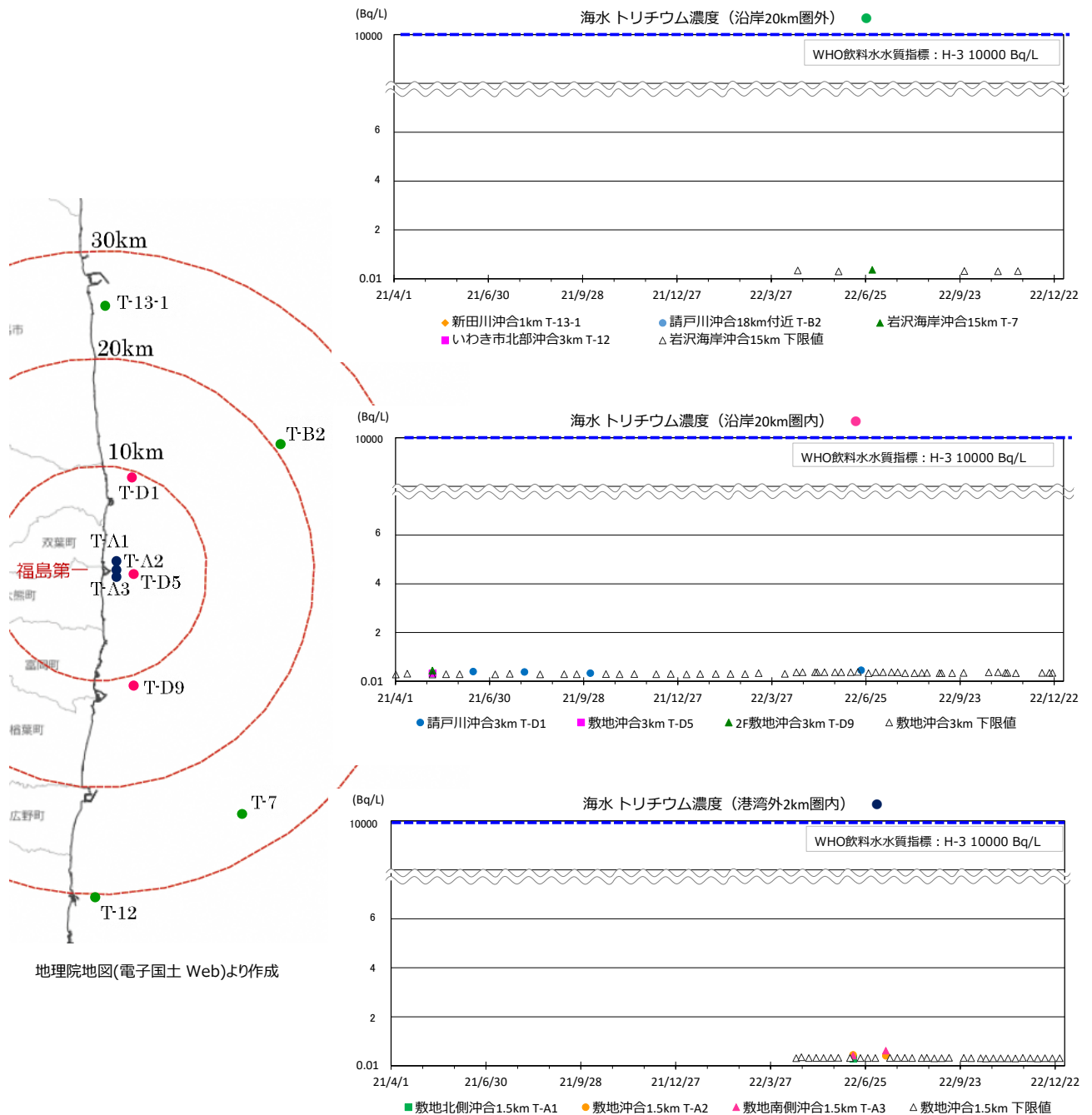
- 事故後に上昇したトリチウム濃度は低下傾向にあり、適宜検出下限値を見直してきました。
- ALPS処理水の取扱いに関する海域モニタリングの強化では、処理水の海洋放出に際して、自然事象、ならびに地下水バイパス排水とサブドレン浄化水等の排水によるトリチウム濃度の周辺海域の変動を把握することによって、あらかじめ解析しているトリチウムの拡散状況の範囲なのかどうかを正しく評価することができるようになります。自然変動をきめ細かく把握するために、2022年4月から目標検出下限値を1Bq/Lから0.4Bq/Lに切り替えることによって、より低いレベルが把握できるようになり、5,6号機放水口北側及び南放水口付近とも、事故前の測定結果まで戻っていることが伺えます。
- 電解濃縮装置*が準備でき次第、国の検出下限目標値である0.1Bq/Lに整合させ、モニタリングを継続してまいります。



(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。

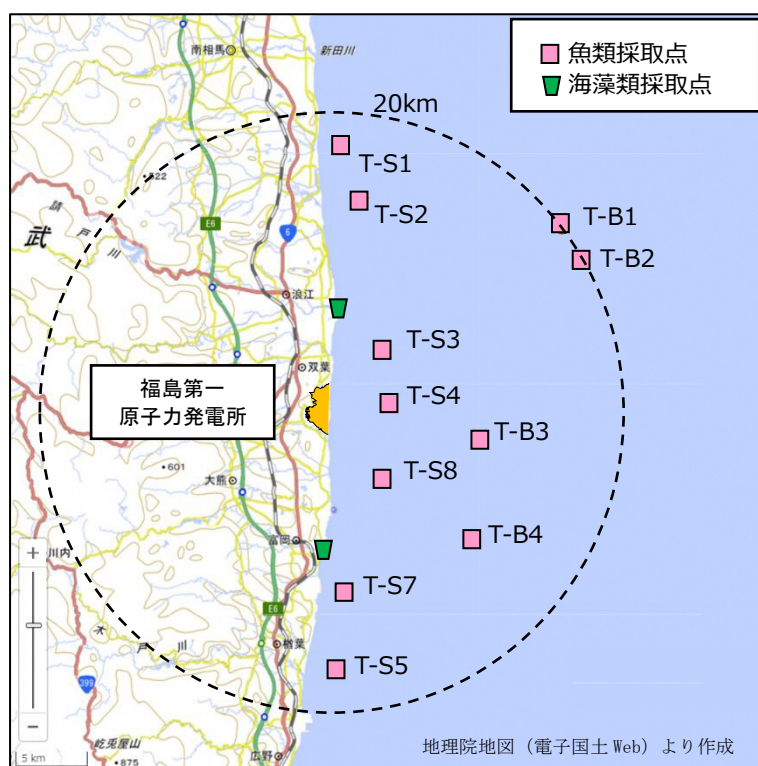
○発電所沿岸の海流は南北方向の出現頻度が占めることから、発電所を中心に南北がほぼ対称となるように試料採取点の中から距離に応じてグループ化して、トリチウム濃度の推移を比較しました。

○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。今後、検出下限値を 0.1Bq/L まで下げて、より詳細にモニタリングを行う計画です。



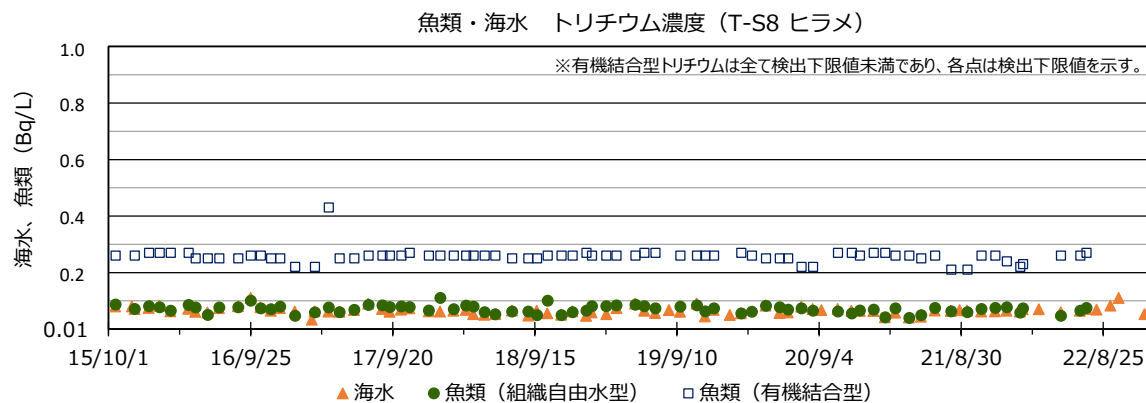
1-2. 魚類、海藻類

- 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、検出下限値を下げるのが難しいOBTは全て不検出でした。
- 本第1四半期より、採取点を11地点に強化しており、第1,2四半期に採取した試料のうち検証*2の済んだ分析値は、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。
- 海藻類は、第1四半期は採取していません。第2四半期に採取した試料のヨウ素129の分析値は、検出下限値未満となっています。



(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、現状の海水、魚類等の放射性物質濃度の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

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。

<海水>

赤字：モニタリング強化により採取点数、測定対象、頻度、検出下限値を変更した点

対象	採取場所 (図 1, 2, 3 参照)	採取点数	測定対象	頻度	検出下限値
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 2km 圏内	2	セシウム 134, 137	1 回/週	0.001 Bq/L
			セシウム 134, 137	毎日	1 Bq/L
			トリチウム	1 回/週	1 Bq/L
	沿岸 20 km 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 ^{*2}	0.4 → 0.1 Bq/L ^{*3}
	沿岸 20 km 圏内 (魚採取箇所)	1	トリチウム	1 回/月	0.1 Bq/L
			トリチウム	なし → 1 回/月	0.1 Bq/L ^{*3}
	沿岸 20 km 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	0.1 Bq/L ^{*3}	

※：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：必要に応じて電解濃縮法*により検出値を得る。

*2：検出下限値を 0.1Bq/L とした測定は、1 回/月

*3：電解濃縮装置が設置されるまでは 0.4Bq/L にて実施する。

*：トリチウム水は電気分解されにくい現象を利用した濃縮法

<魚類・海藻類>

赤字：モニタリング強化により採取点数、測定対象、頻度、検出下限値を変更した点

対象	採取場所 (図 1, 2, 3 参照)	採取点数	測定対象	頻度	検出下限値
魚類	沿岸 20 km 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)
	港湾外 2km 圏内	1	トリチウム (組織自由水型)	1 回/月	0.1 Bq/L
			トリチウム (有機結合型)		0.5 Bq/L
		0 → 10	トリチウム (組織自由水型)*1 トリチウム (有機結合型)*2	なし → 1 回/月	0.1 Bq/L*3 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 2km 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*3
			トリチウム (有機結合型)*2		0.5 Bq/L*3

*1：動植物の組織内に水の状態が存在し、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：電解濃縮装置が設置されるまでは 0.4Bq/L にて実施する。

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。

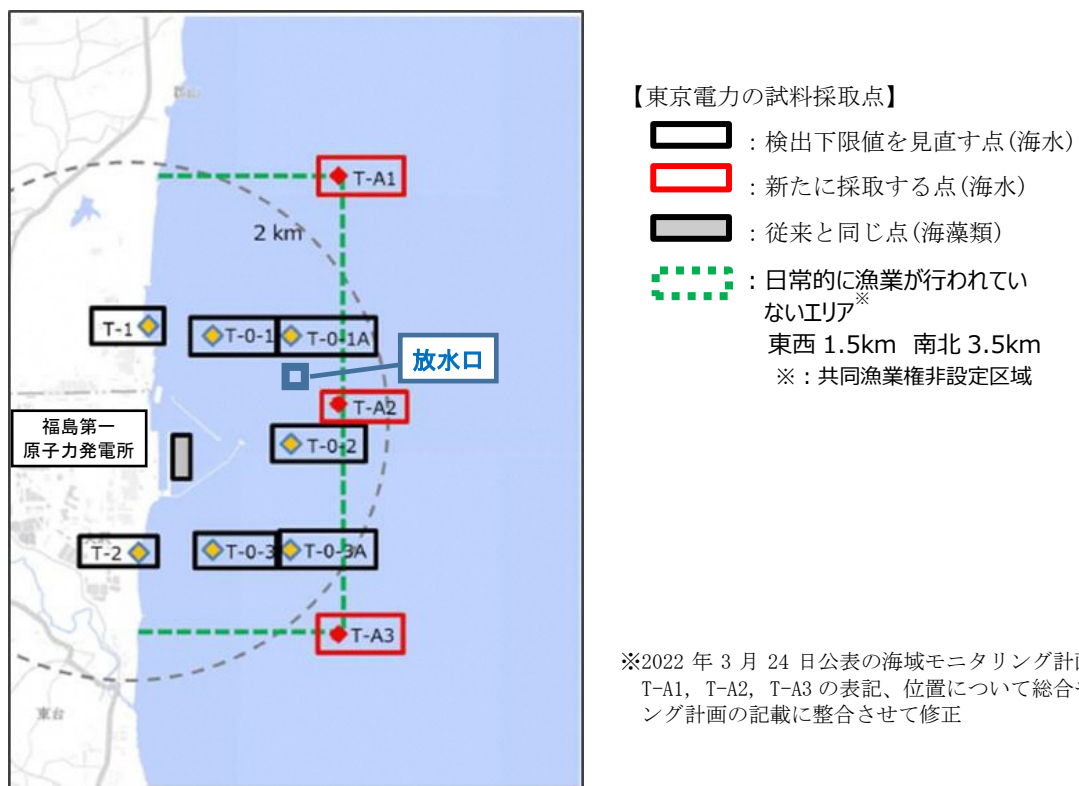


図 1 発電所近傍（港湾外 2km 圏内）

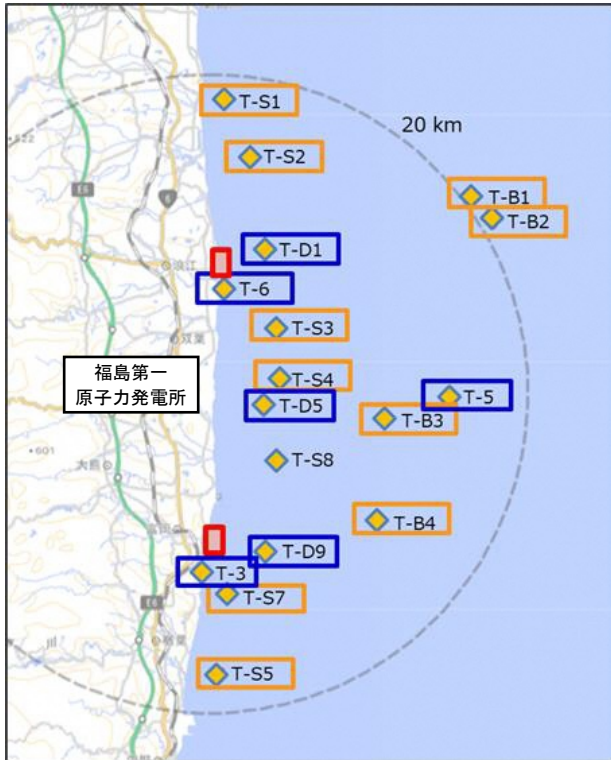


図2 沿岸20km圏内

【東京電力の試料採取点】

■：頻度を増加する点(海水)

□：セシウムにトリチウムを追加する点(海水、魚類)

■：新たに採取する点(海藻類)

*：生育状況により採取場所を選定する。



図3 沿岸20km圏外

【東京電力の試料採取点】

□：セシウムにトリチウムを追加する点(海水)

4. 測定結果

【海水の状況】

<港湾外 2km 圏内>

- トリチウム濃度に変化はなく、新たな測定点についても日本全国の海水の変動範囲*内の低い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。

<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*内の低い濃度で推移しています。

<沿岸 20km 圏外>

- トリチウム濃度は、新たな測定点について日本全国の海水の変動範囲*内の低い濃度で推移しています。

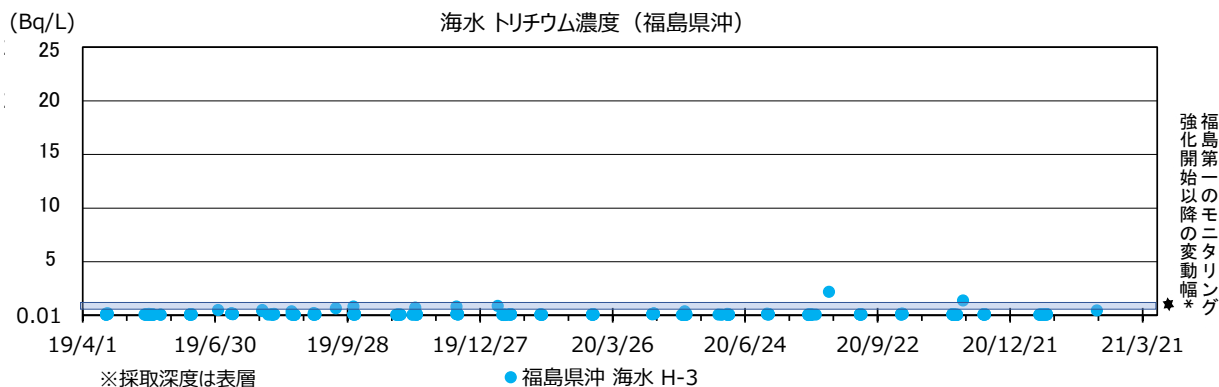
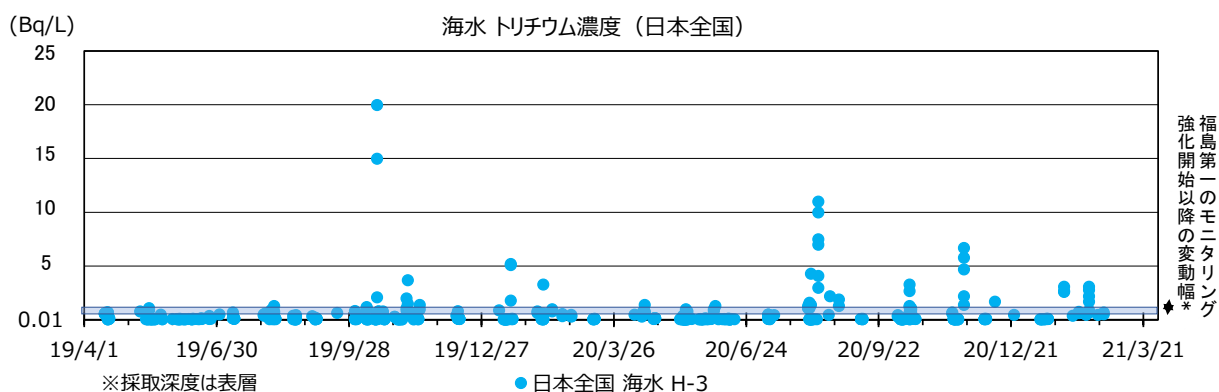
*：下記データベースにおいて 2019年4月～2021年3月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲

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/>



*：福島第一のモニタリング強化開始以降の変動幅 0.3 Bq/L ～ 1.1 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。

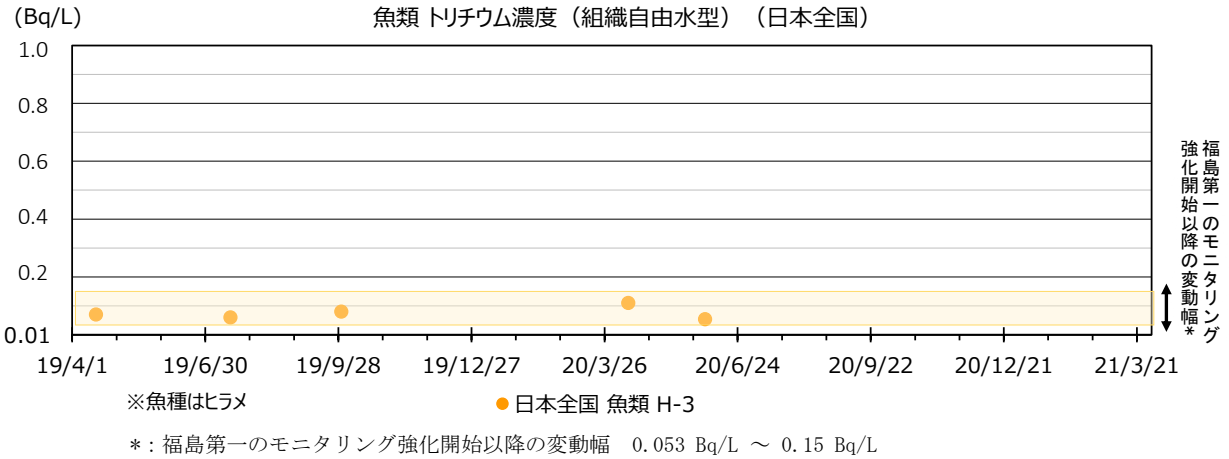
【魚類の状況】

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: 前頁のデータベースにおいて 2019 年 4 月～2021 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 ～ 0.12 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】

第 2 四半期に採取した海藻類のヨウ素 129 の分析値は、検出下限値未満でした。

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。

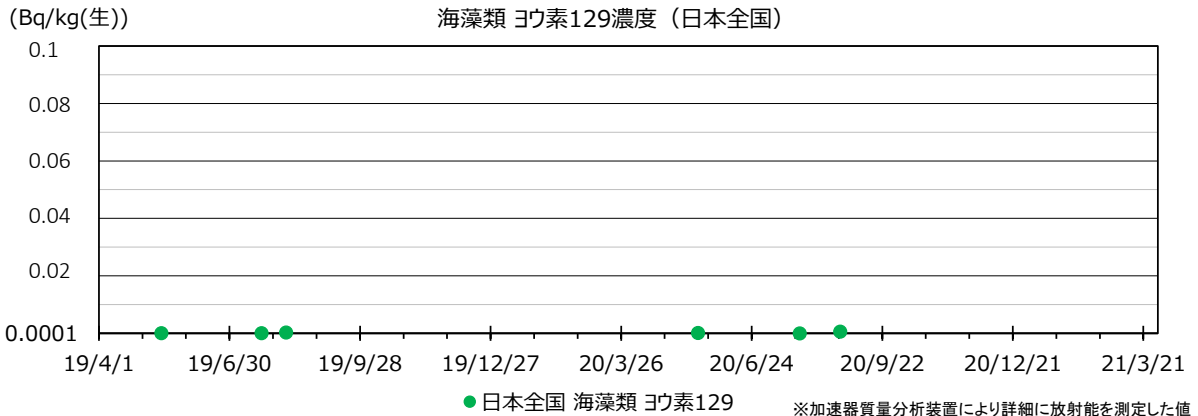
(参考) 日本全国の海藻類のヨウ素 129 濃度の変動範囲

前頁のデータベースにおいて 2019 年 4 月～2021 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/L ～ 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エネルギーを測定します。

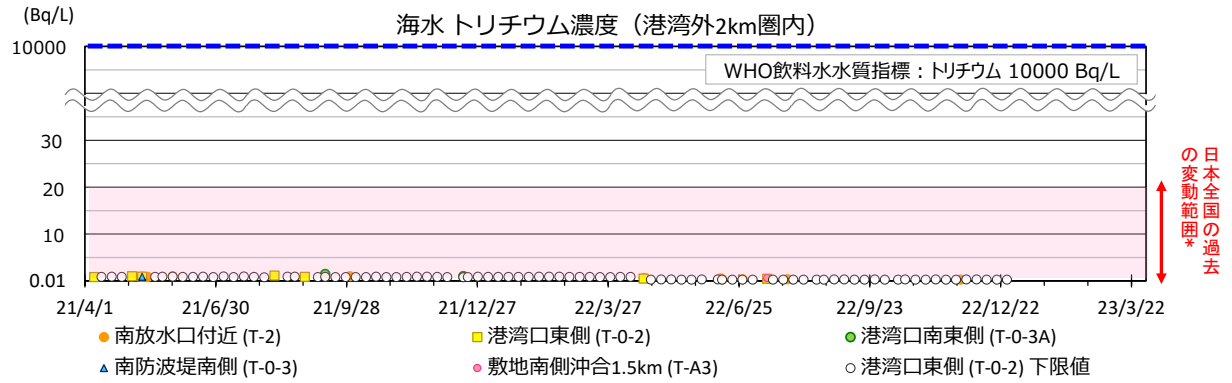
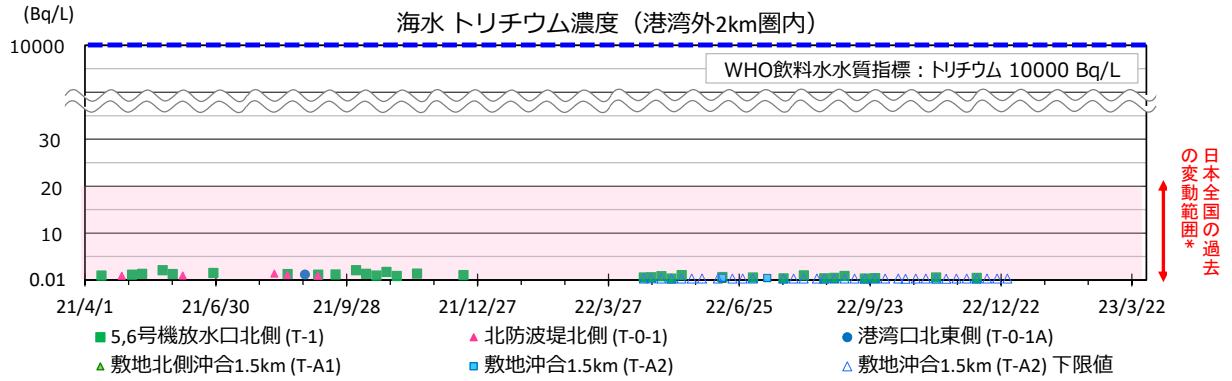


4-1. 海水

第3四半期までのトリチウム濃度の推移を、以下のグラフに示します。

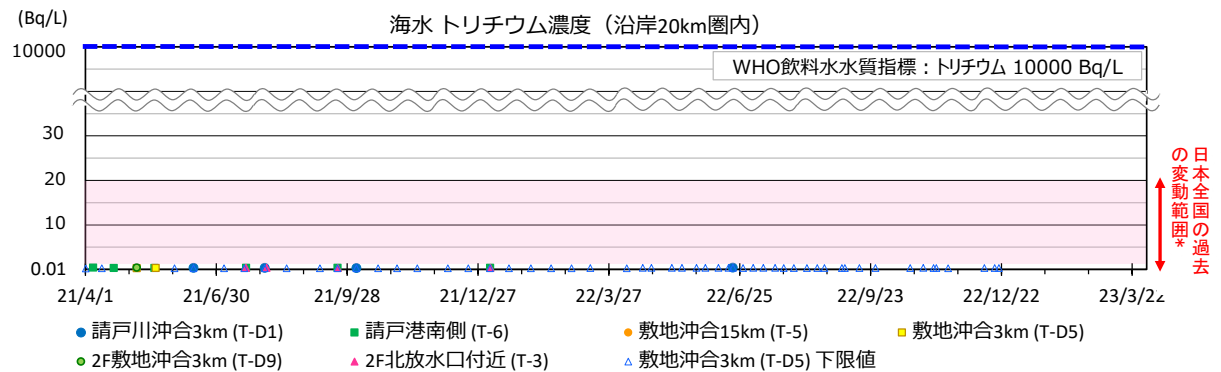
トリチウム濃度に変化はなく、新たな測定点についても日本全国の海水の変動範囲内の低い濃度で推移しています。

<港湾外 2km 圏内>



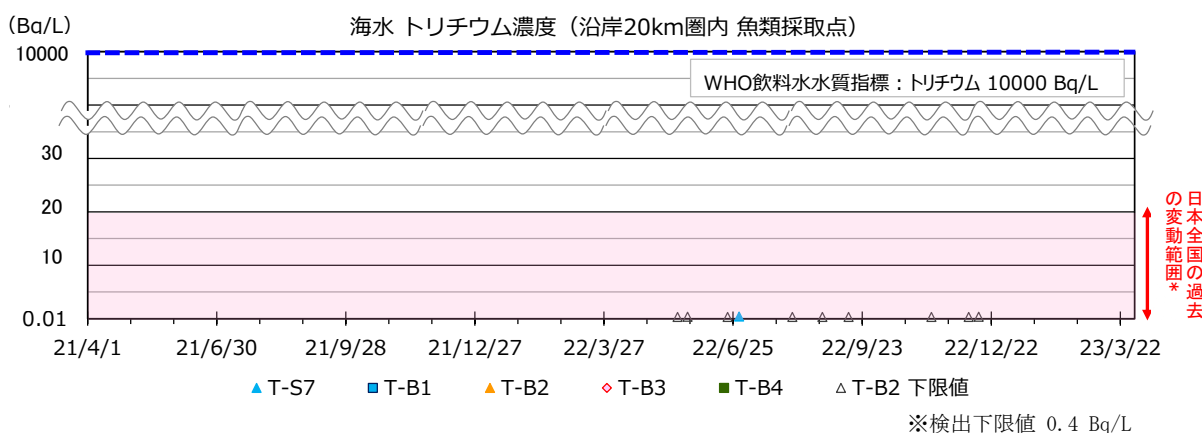
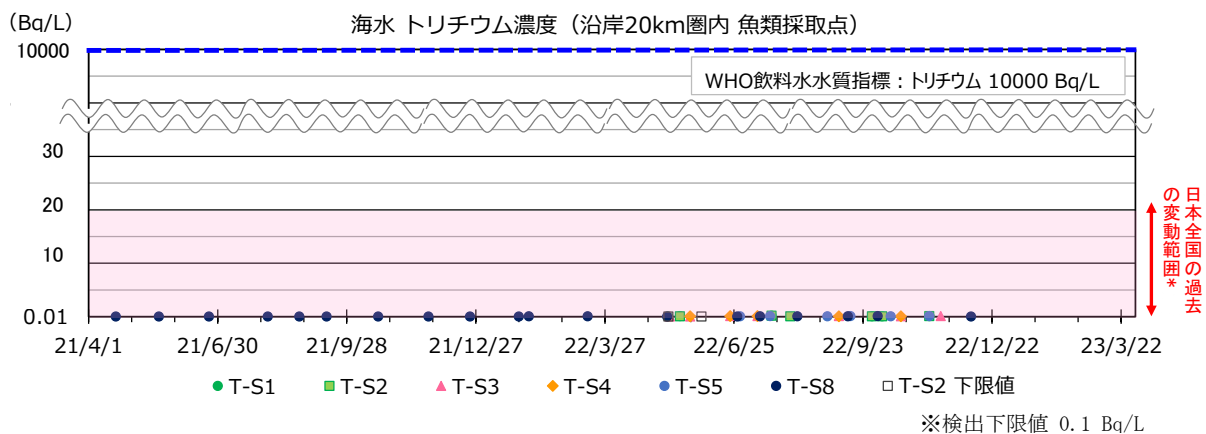
* : 2019年4月～2021年3月の變動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ~ 20 Bq/L

<沿岸 20km 圏内>



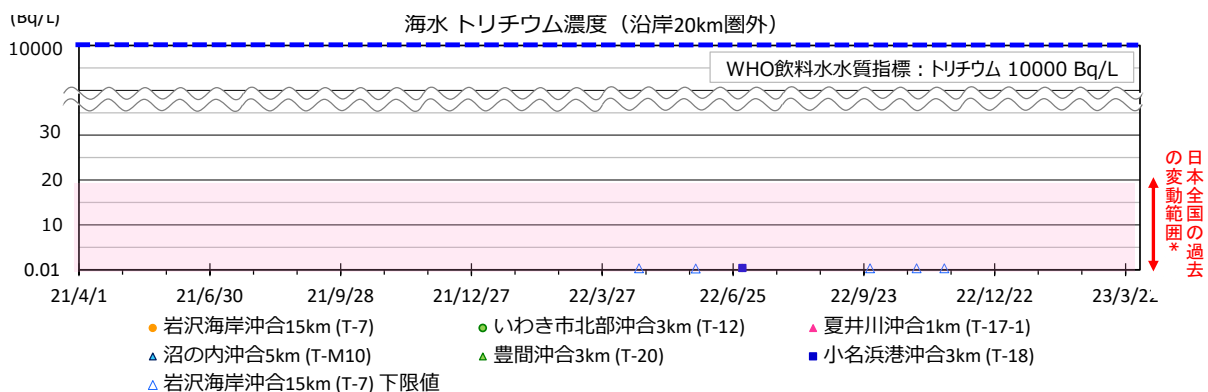
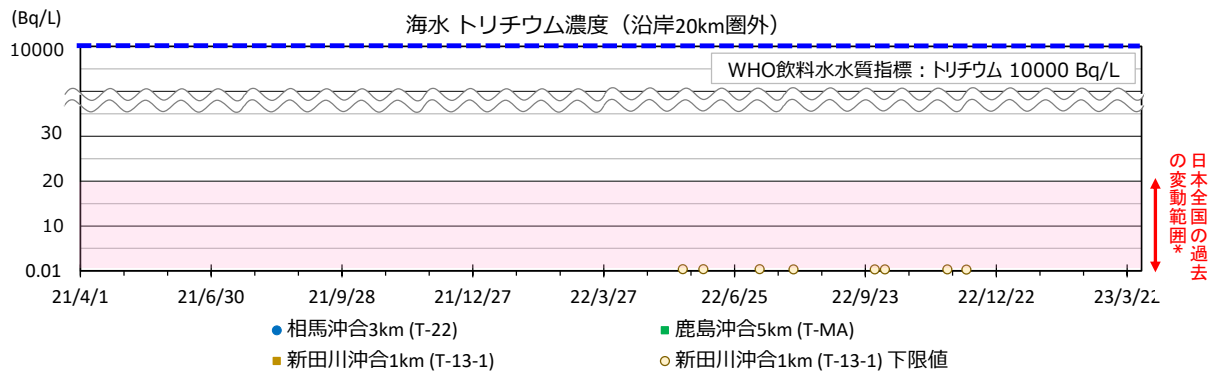
* : 2019年4月～2021年3月の變動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ~ 20 Bq/L

<沿岸 20km 圏内 魚類採取点>



* : 2019年4月～2021年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ~ 20 Bq/L

<沿岸 20km 圏外>



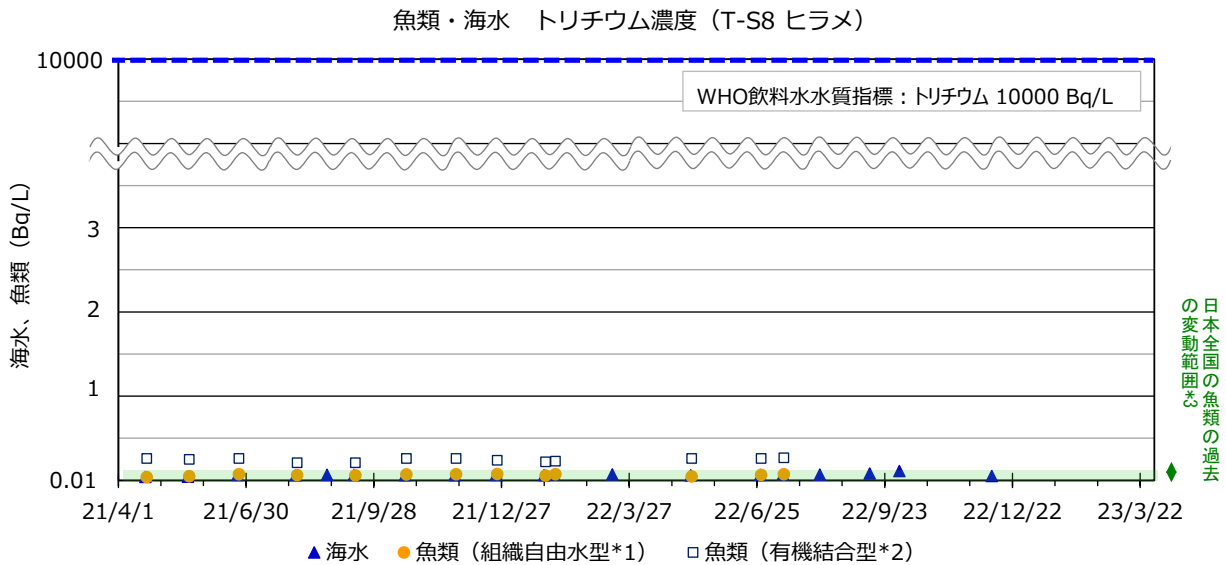
* : 2019年4月～2021年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ~ 20 Bq/L

4-2. 魚類

これまで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第 1, 2 四半期に採取した試料のうち検証の済んだ分析値は、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、すべて検出下限値未満でした。

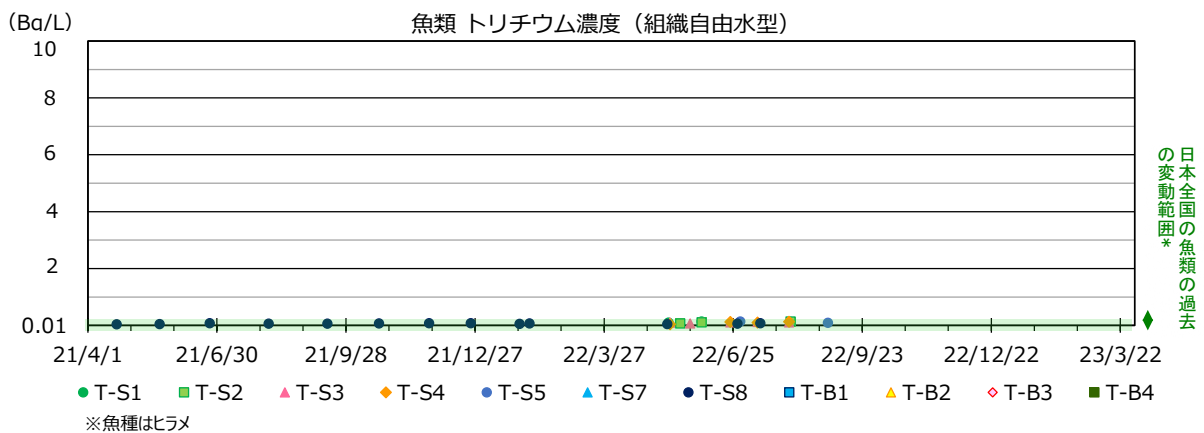


※有機結合型トリチウムは全て検出下限値未満であり、各点は検出下限値を示す。
総合モニタリング計画における有機結合型トリチウムの検出下限値は 0.5 Bq/L となっている。

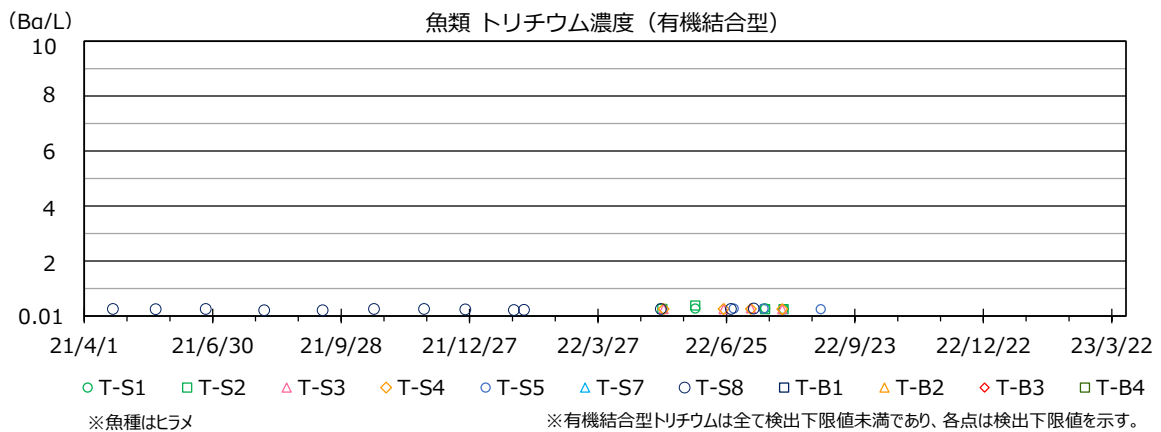
*1: 組織自由水型のトリチウムとは、動植物の組織内に水の状態で存在し、水と同じように組織外へ排出されるトリチウム。

*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～2021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 ~ 0.12 Bq/L



*: 2019年4月～2021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 ~ 0.12 Bq/L



4-3. 海藻類

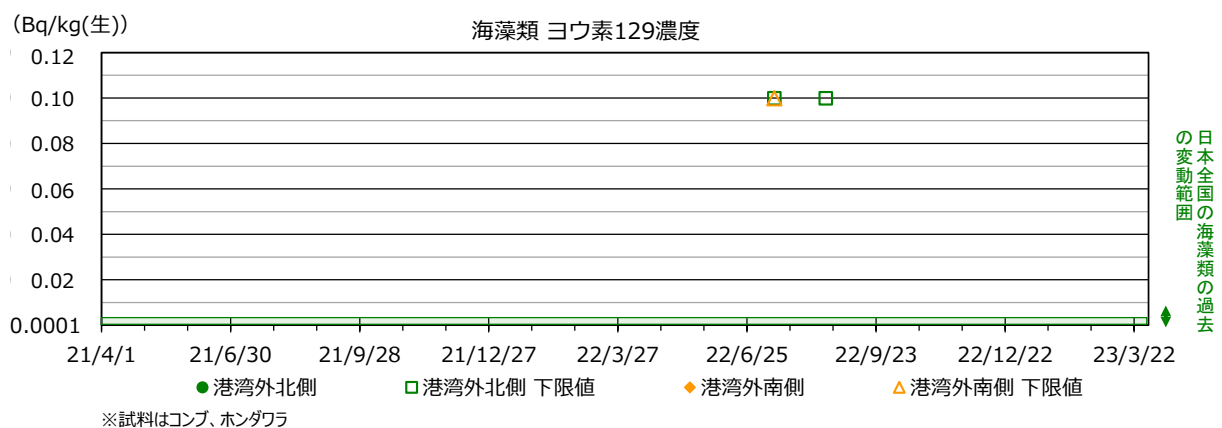
第2四半期に採取した海藻類のヨウ素 129 の分析値は、検出下限値未満 (<0.1 Bq/kg(生)) でした。

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。

採取地点	採取日 2022年7月14日		採取日 2022年8月19日	
	試料名	ヨウ素 129 (Bq/kg(生))	試料名	ヨウ素 129 (Bq/kg(生))
港湾外北側	コンブ	ND (<0.1)	コンブ	ND (<0.1)
港湾外南側	ホンダワラ	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。



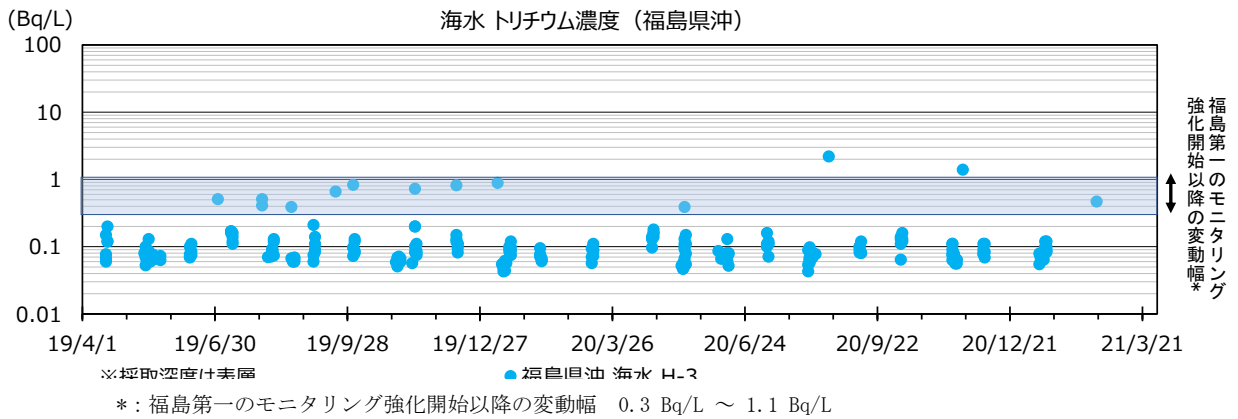
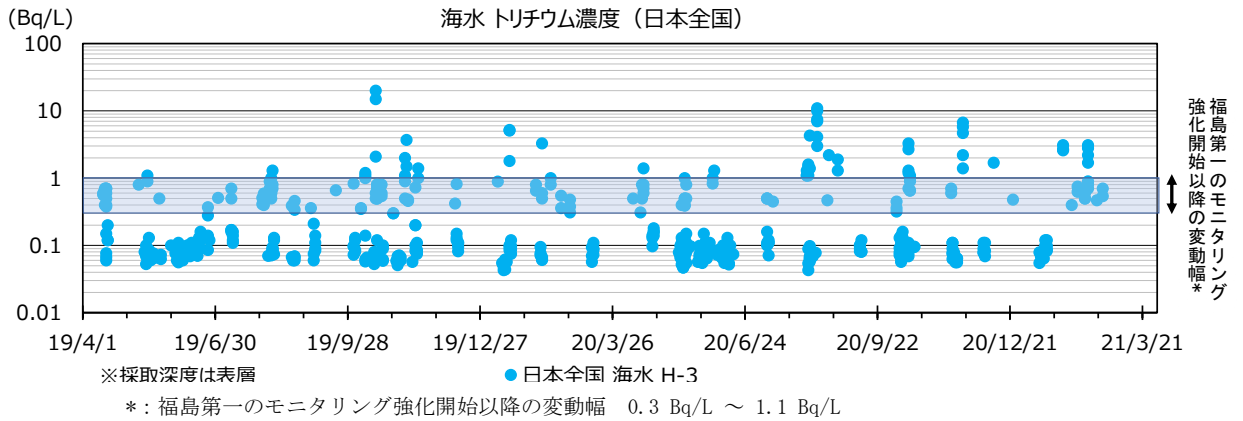
日本全国の海藻類の変動範囲では、2019年4月～2021年3月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲は 0.00013 Bq/L ～ 0.00075 Bq/kg(生) となっていますが、これらの分析値は、加速器質量分析装置（AMS）により詳細に放射能を測定したものです。

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。

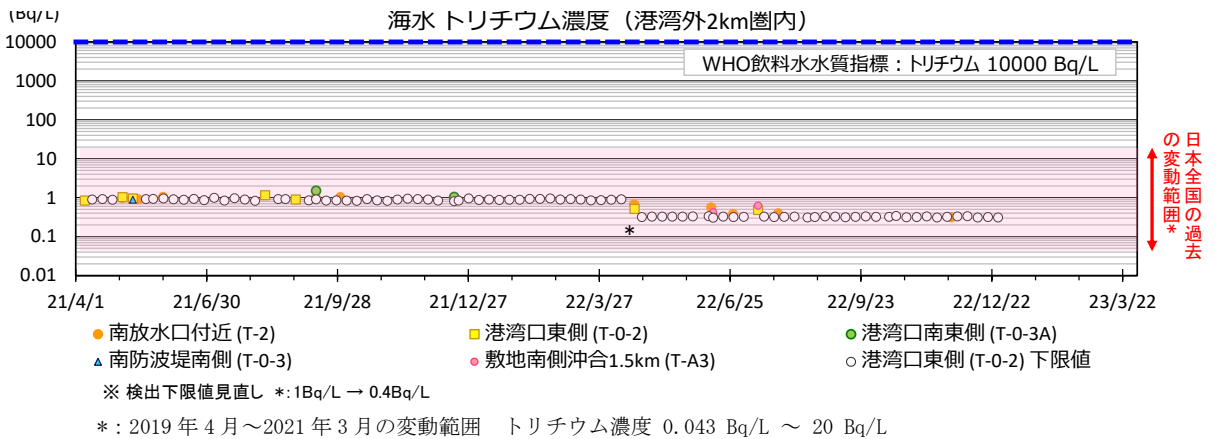
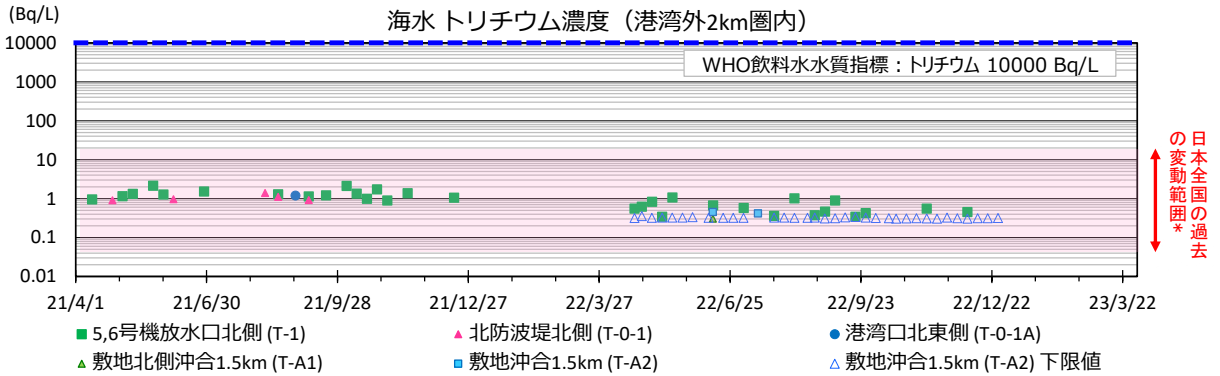
(白 紙)

添 付 資 料

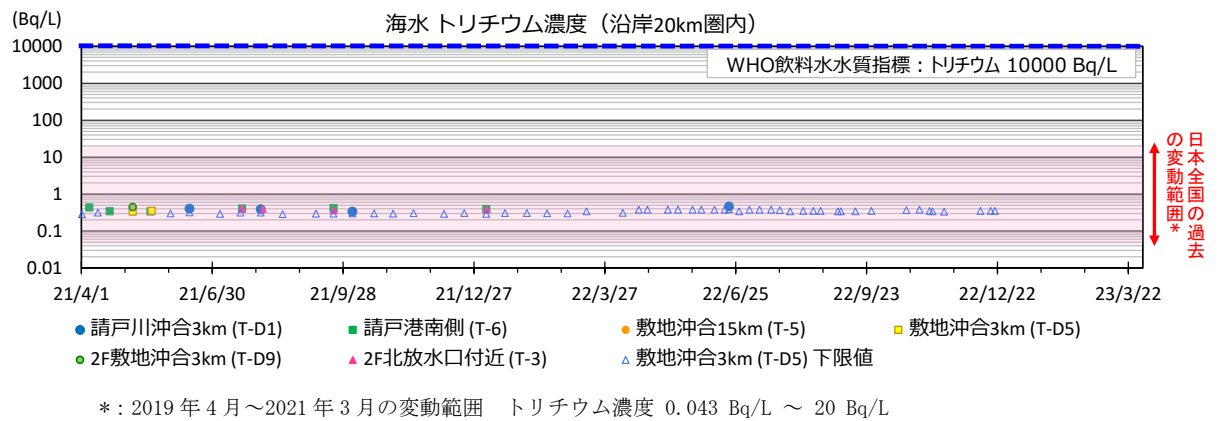
(参考) 海水のトリチウム濃度の推移 (対数グラフ)



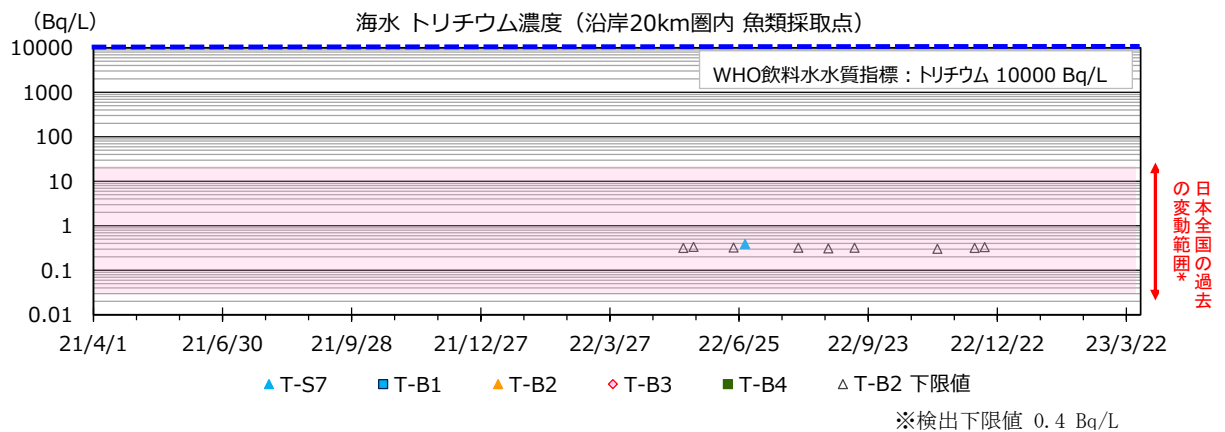
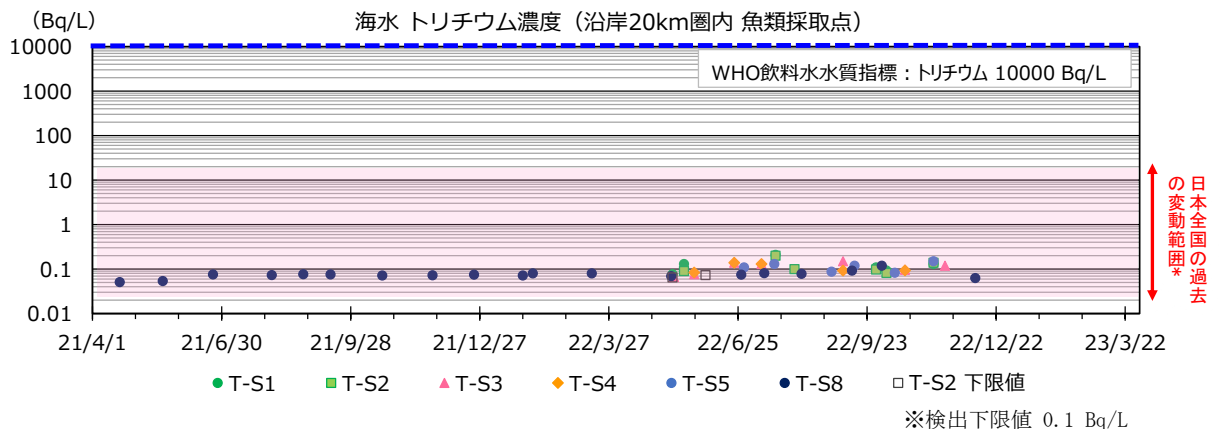
< 港湾外 2km 圏内 >



<沿岸 20km 圏内>

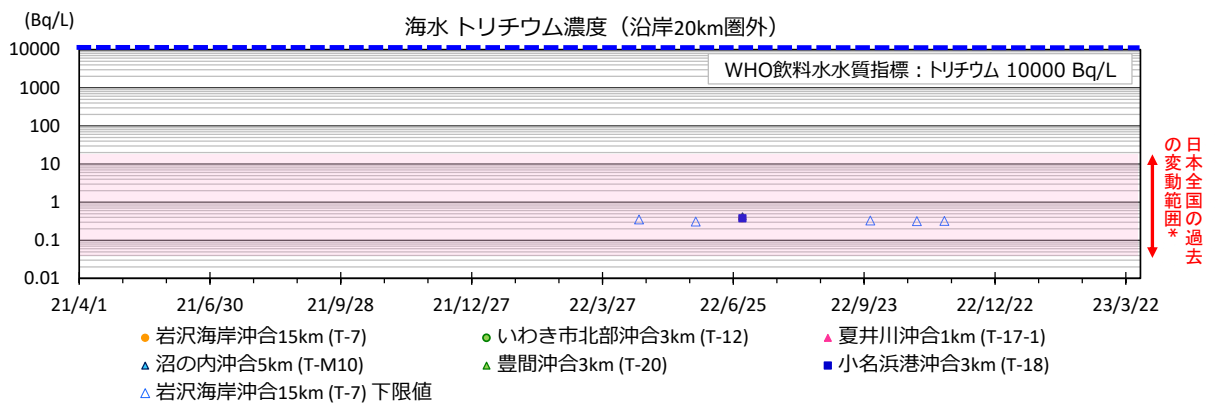
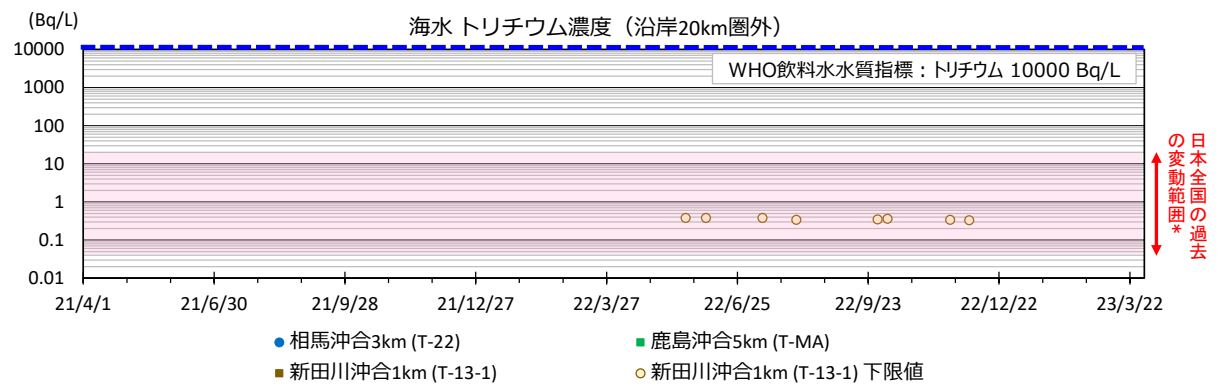


<沿岸 20km 圏内 魚類採取点>



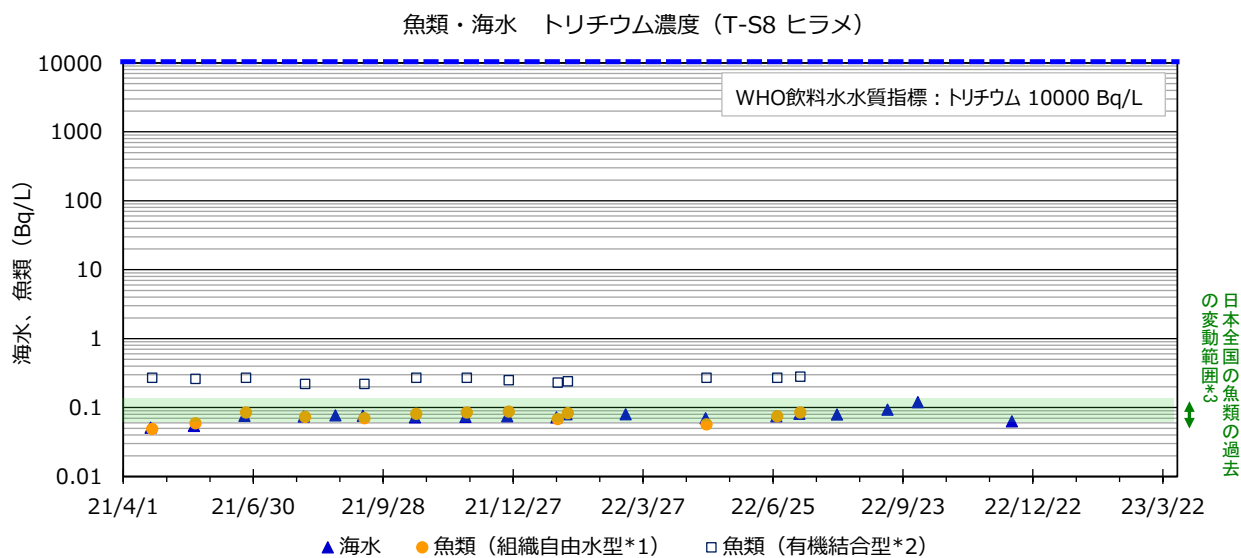
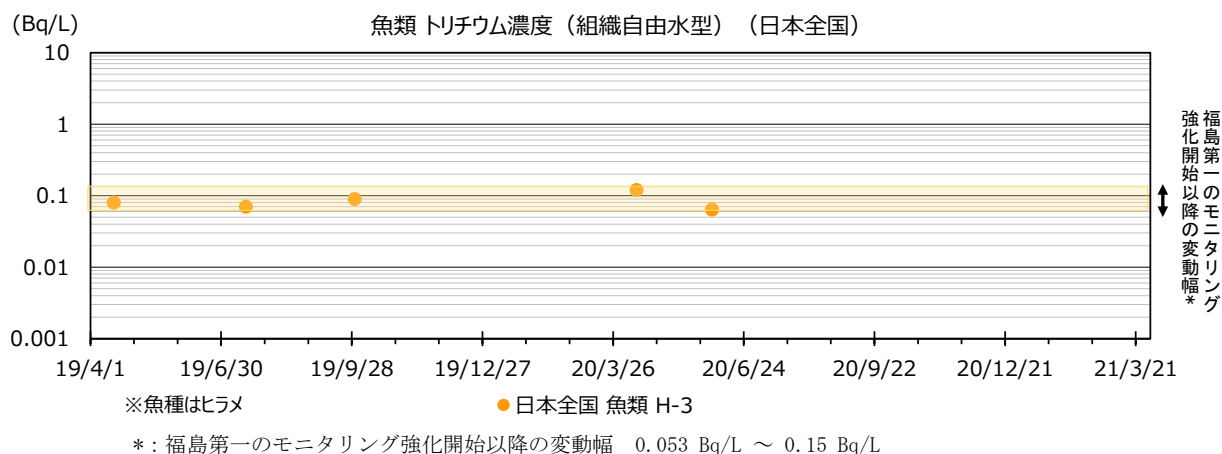
* : 2019年4月～2021年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L

< 沿岸 20km 圏外 >



* : 2019年4月～2021年3月の変動範囲 トリチウム濃度 0.043 Bq/L ～ 20 Bq/L

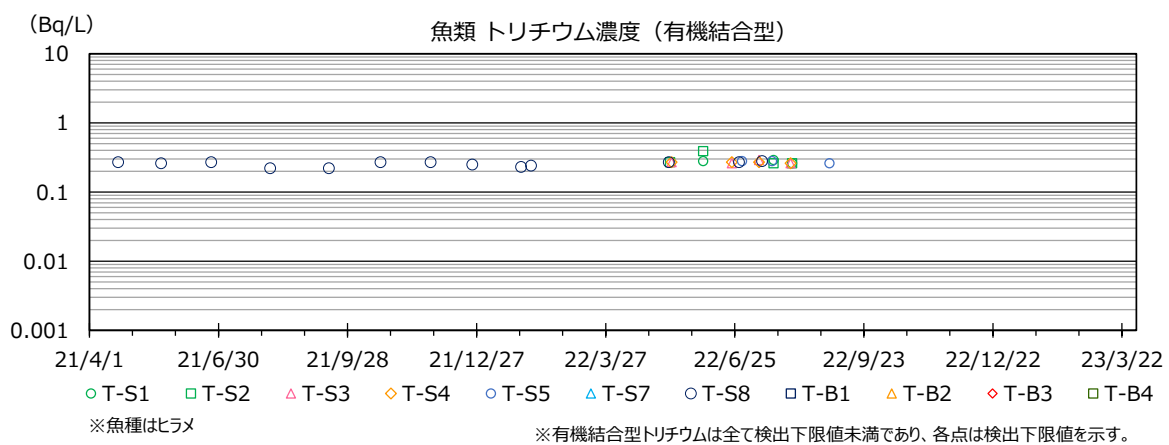
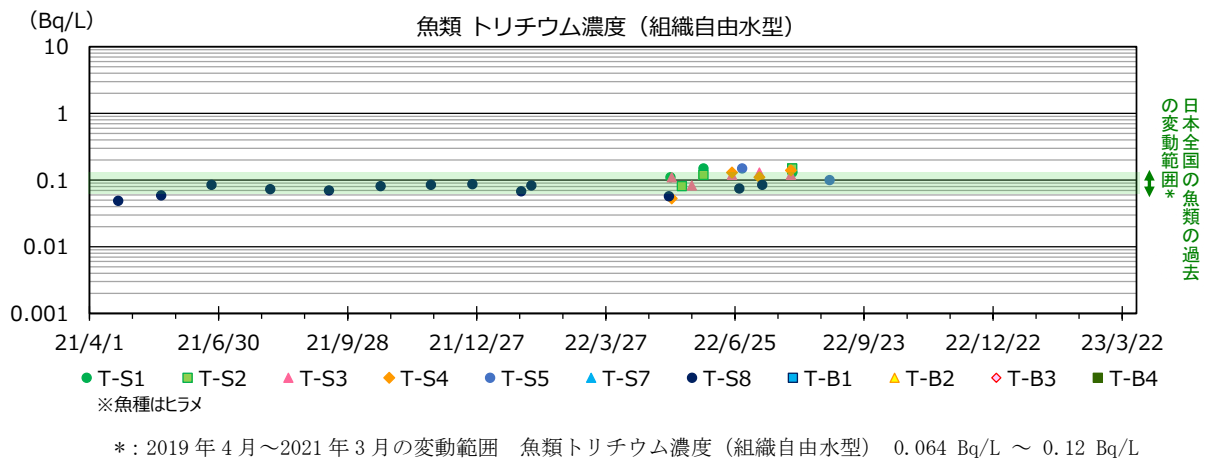
(参考) 魚類のトリチウム濃度の推移 (対数グラフ)



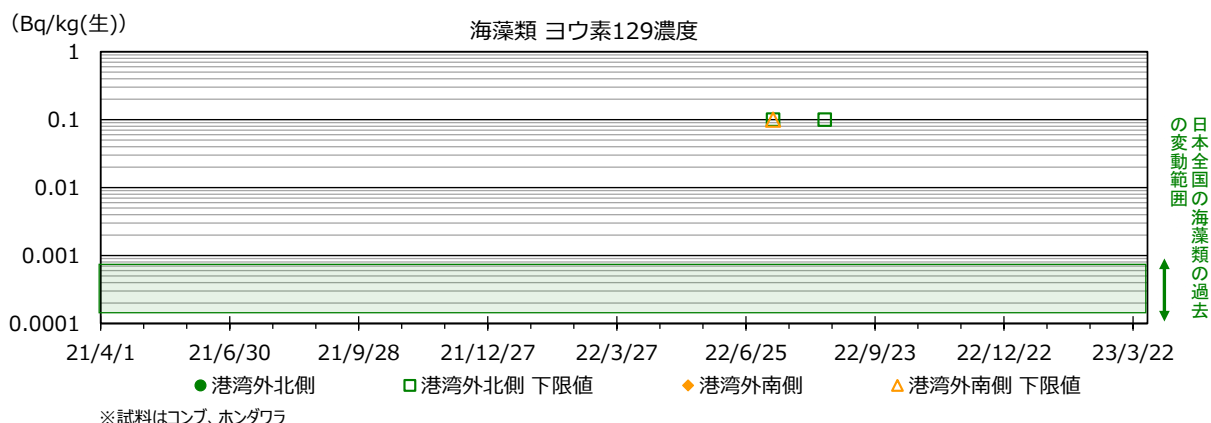
※有機結合型トリチウムは全て検出下限値未満であり、各点は検出下限値を示す。
 総合モニタリング計画における有機結合型トリチウムの検出下限値は0.5 Bq/Lとなっている。

*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～2021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 ~ 0.12 Bq/L



(参考) 海藻類のヨウ素 129 濃度の推移 (対数グラフ)



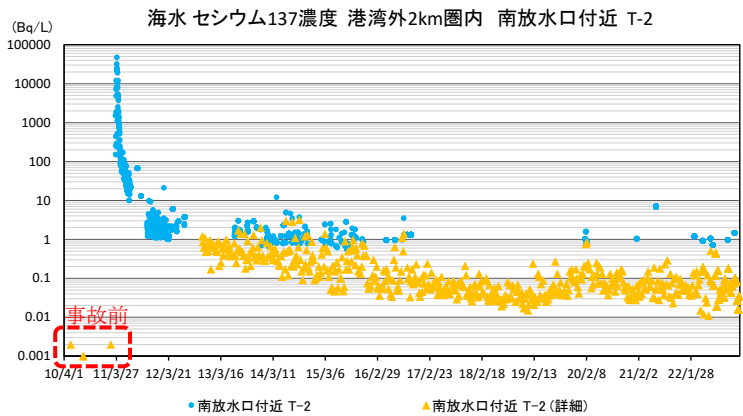
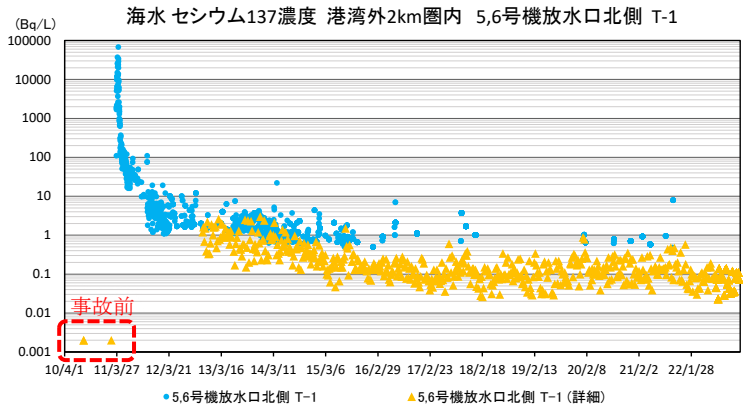
本分析値は、一般の分析機関で使用されている誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) による値です。ICP-MS は、目的とする元素のイオンを生成し、これを加速して質量数に応じて同位体を分離し、それぞれの質量数のイオンを数えるもので、質量分析において広く使用されています。放射能分析では放射性同位体と安定同位体を分離し、放射性同位体の存在比から微量の放射エネルギーを求めます。

日本全国の海藻類の変動範囲では、2019年4月～2021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/L ～ 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。

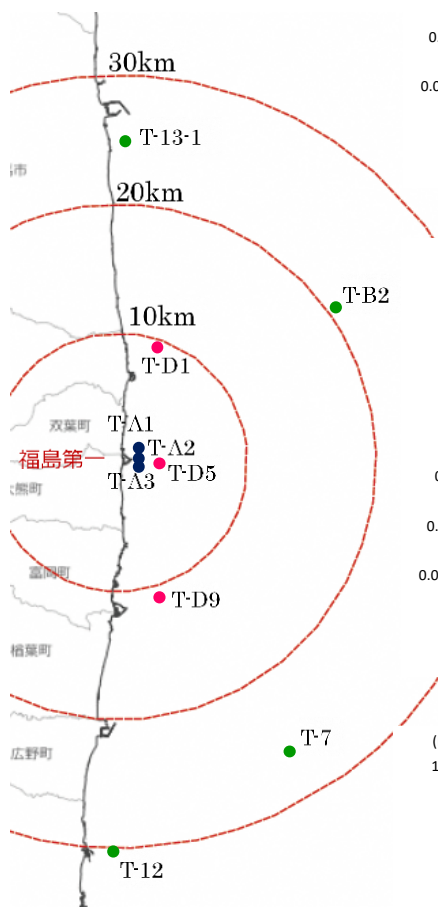
(参考) 海水のセシウム 137 濃度の推移

○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。

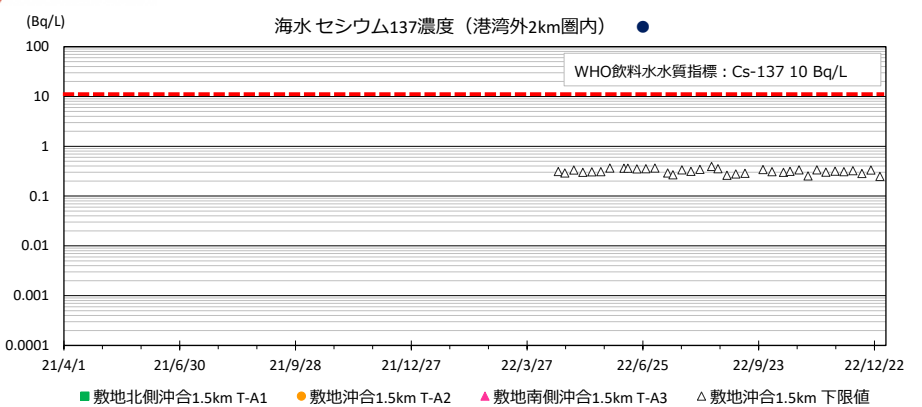
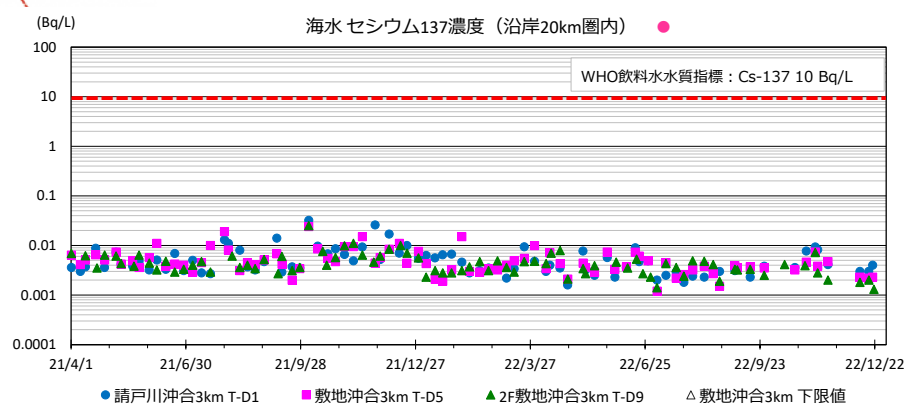
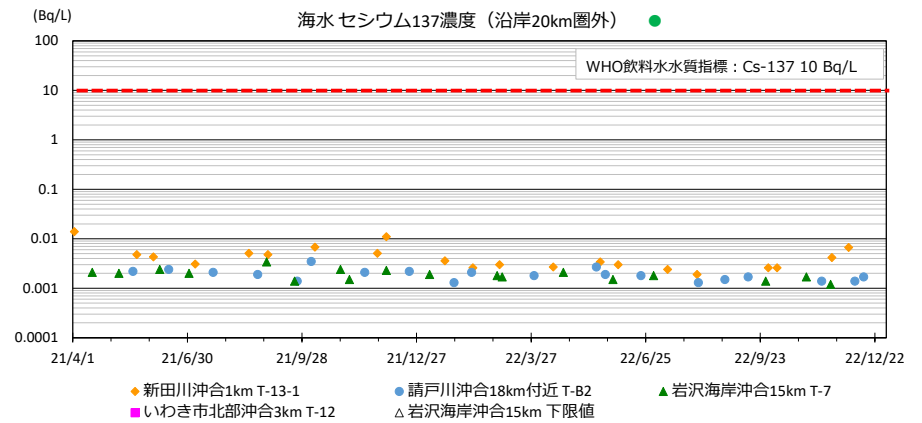


○発電所沿岸の海流は南北方向の出現頻度が占めることから、発電所を中心に南北がほぼ対称となるように試料採取点の中から距離に応じてグループ化して、セシウム 137 濃度の推移を比較しました。

○モニタリング結果に変化はなく、発電所からの距離が遠い採取点においてより濃度が低い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 2km 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、新たな測定点についても日本全国の海水の変動範囲*内の低い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*内の低い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*内の低い濃度で推移しています。

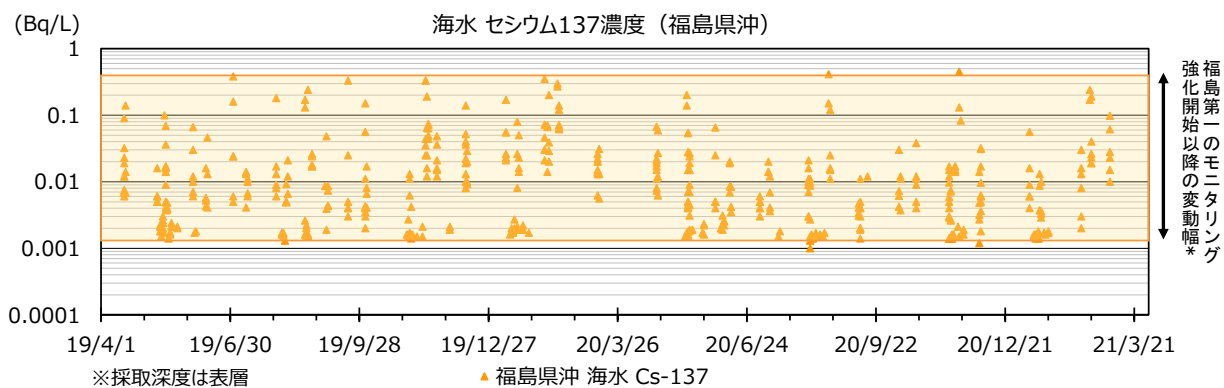
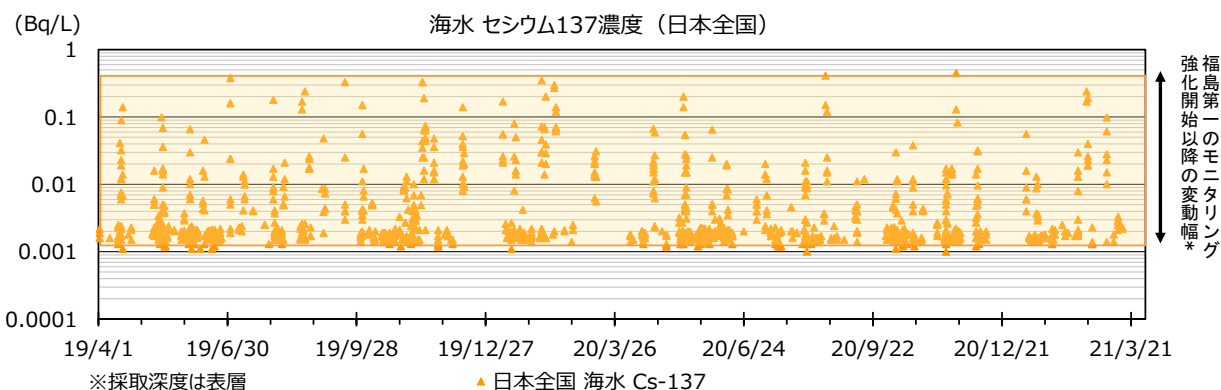
*: 下記データベースにおいて 2019 年 4 月～2021 年 3 月に検出されたデータの最小値～最大値の範囲

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

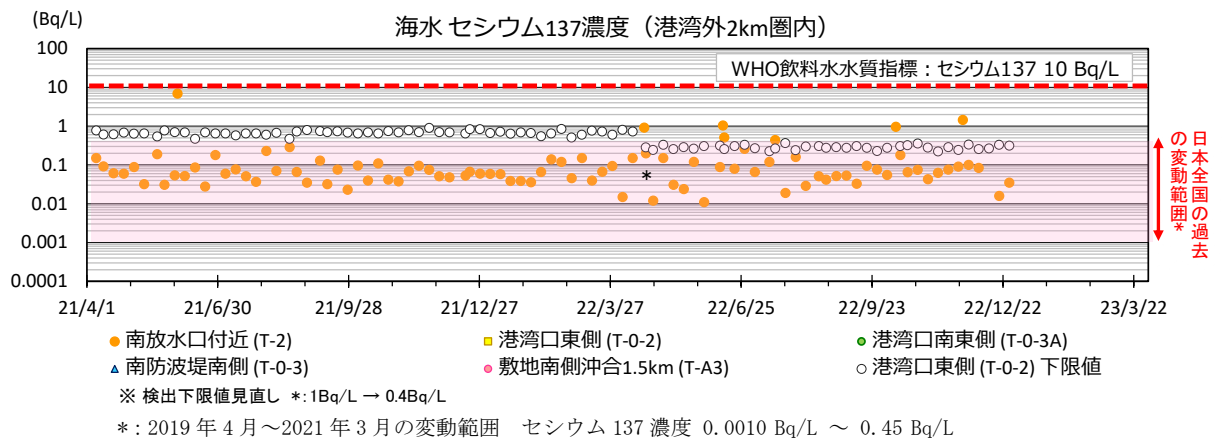
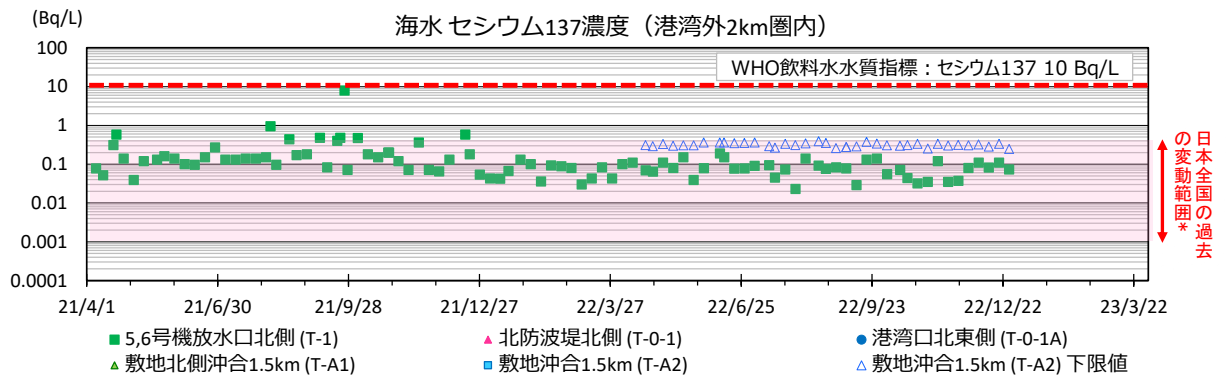
出典：日本の環境放射能と放射線 環境放射線データベース

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

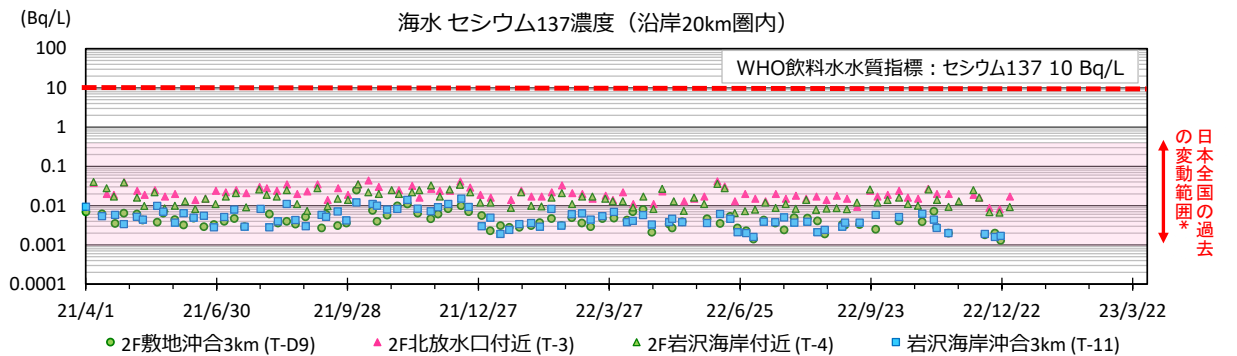
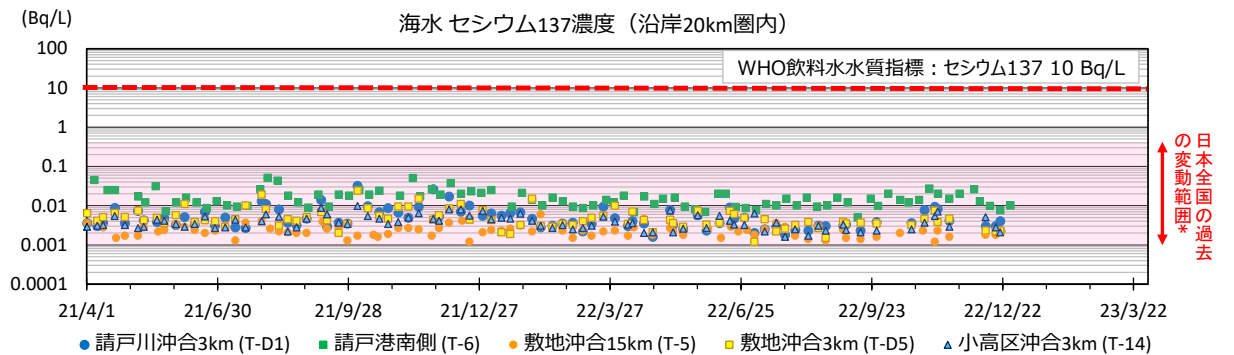


*: 福島第一のモニタリング強化開始以降の変動幅 0.0010 Bq/L ～ 0.4 Bq/L
降雨の影響と考えられる一時的な上昇を除く

< 港湾外 2km 圏内 >

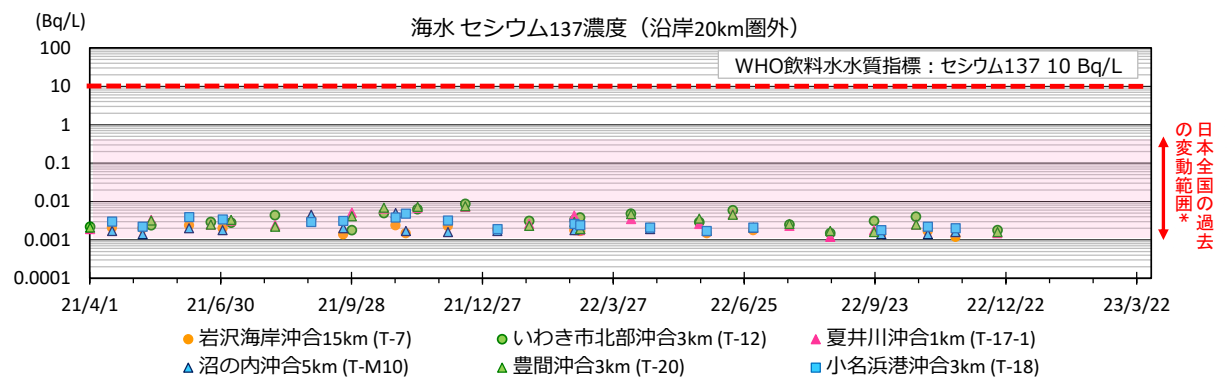
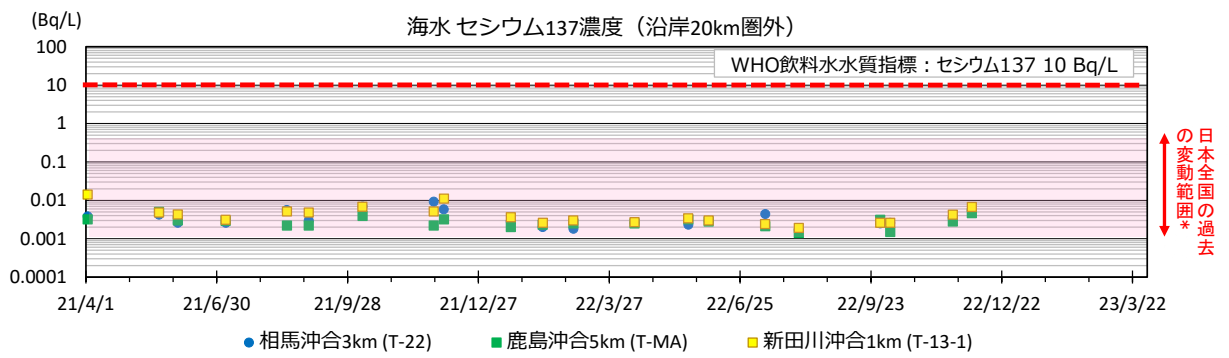


< 沿岸 20km 圏内 >



*: 2019年4月～2021年3月の変動範囲 セシウム137濃度 0.0010 Bq/L ~ 0.45 Bq/L

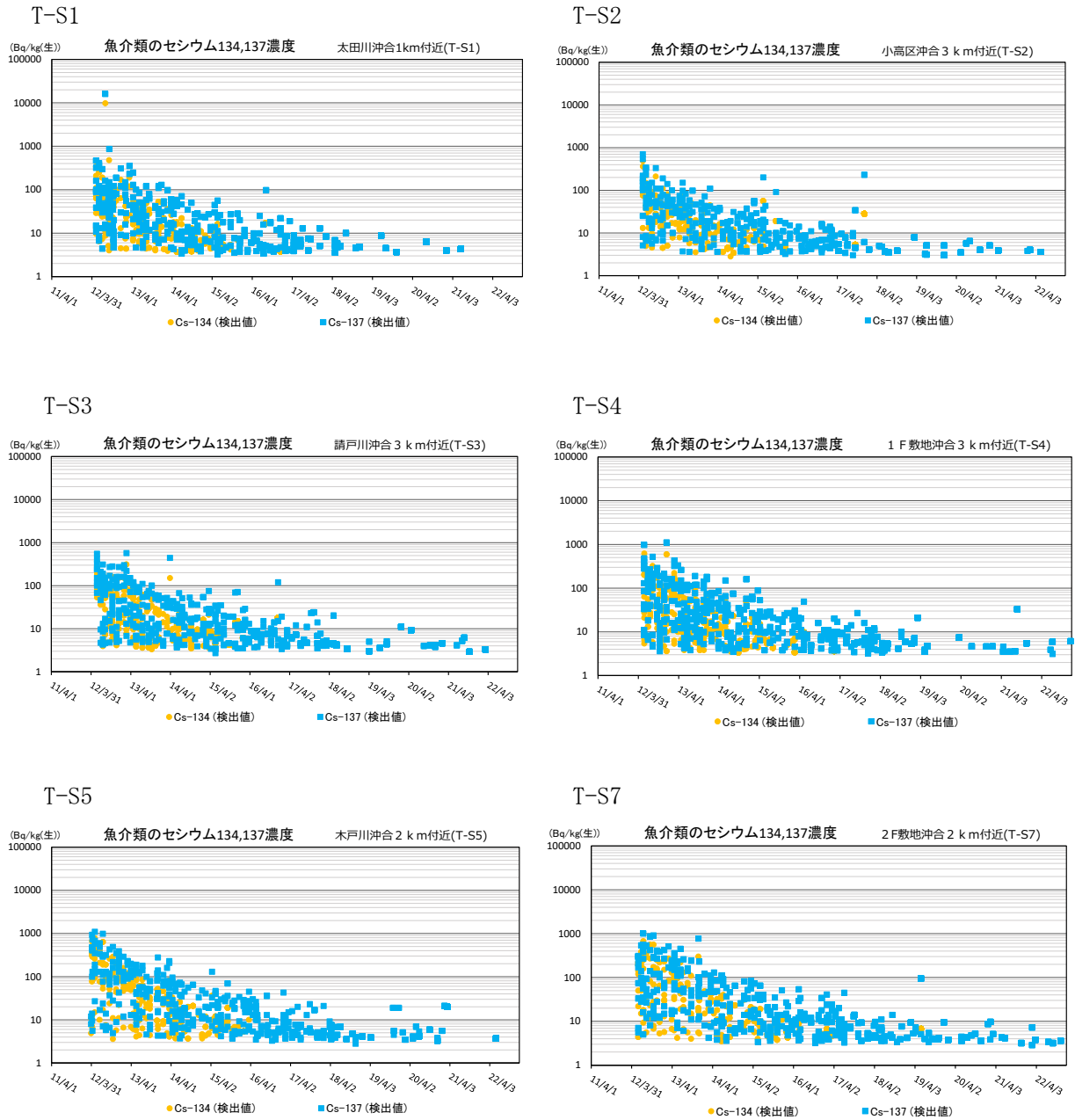
<沿岸 20km 圏外>



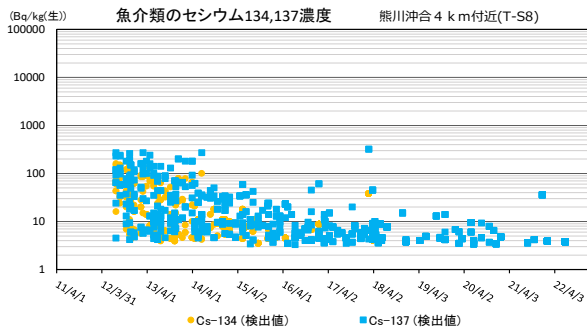
* : 2019年4月～2021年3月の変動範囲 セシウム137濃度 0.0010 Bq/L ~ 0.45 Bq/L

(参考) 魚介類のセシウム 134, 137 濃度の推移

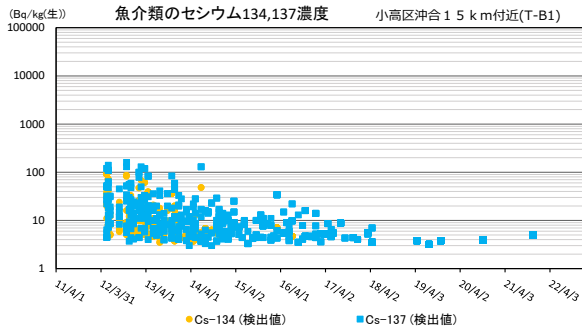
○魚介類のセシウム 134, 137 濃度の結果は、福島第一原子力発電所の事故による影響を受け高い濃度で推移してきましたが、年月の経過とともに減少する傾向にあります。



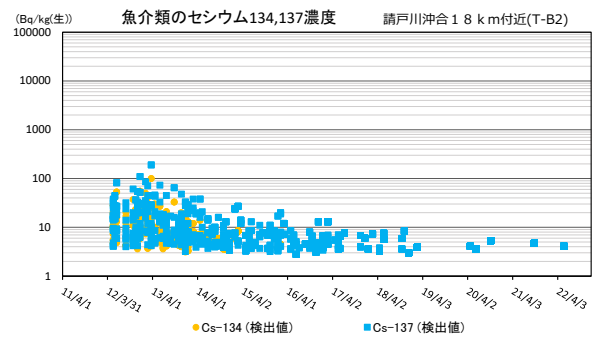
T-S8



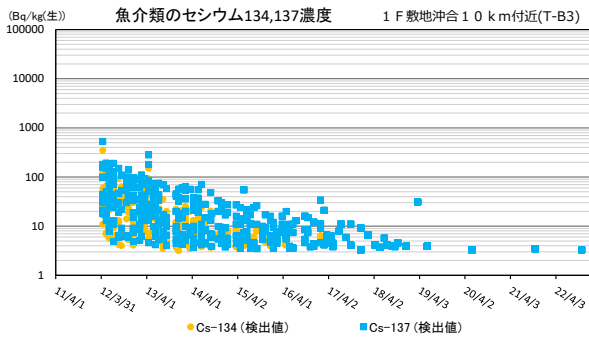
T-B1



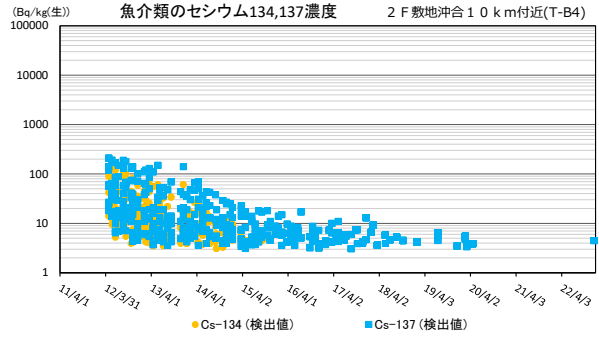
T-B2



T-B3



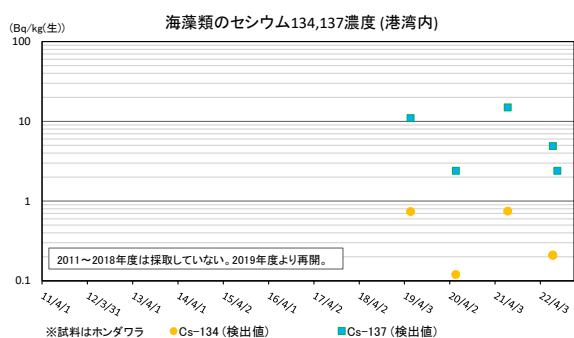
T-B4



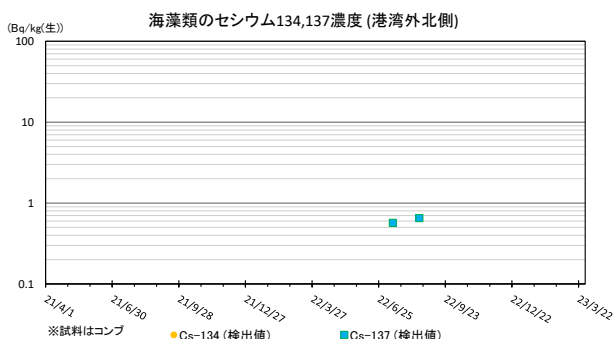
(参考) 海藻類のセシウム 134, 137 濃度の推移

- 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 検出下限値 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、第 2 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。
- 第 2 四半期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第 2 四半期の結果 (2022 年 7 月 4 日採取 セシウム 137 6.9 Bq/kg(生)) と同等となっています。

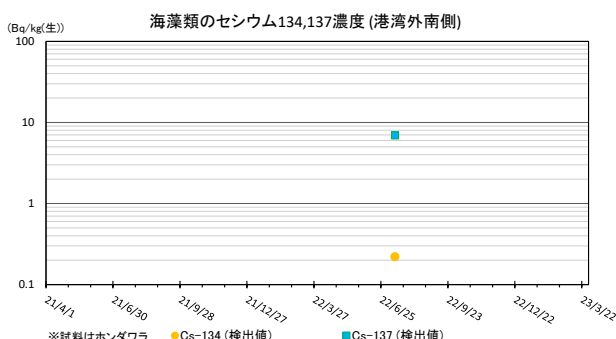
港湾内



港湾外北側



港湾外南側



(参考) 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。

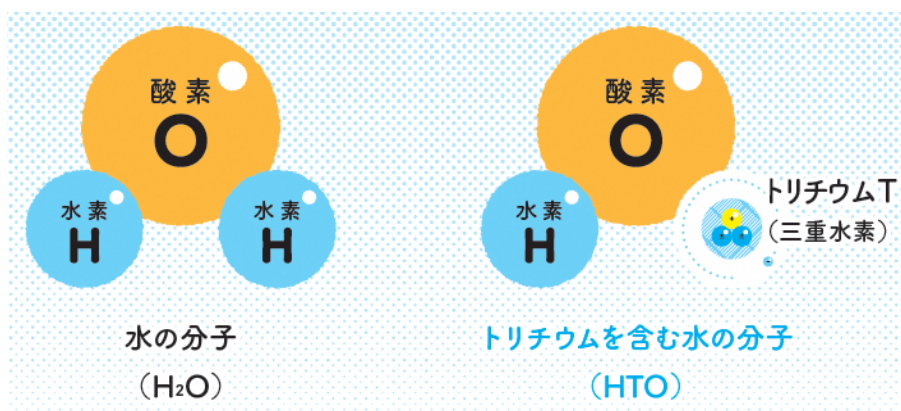
(2) 組織自由水型トリチウム (Tissue Free Water Tritium: TFWT)

- ・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)

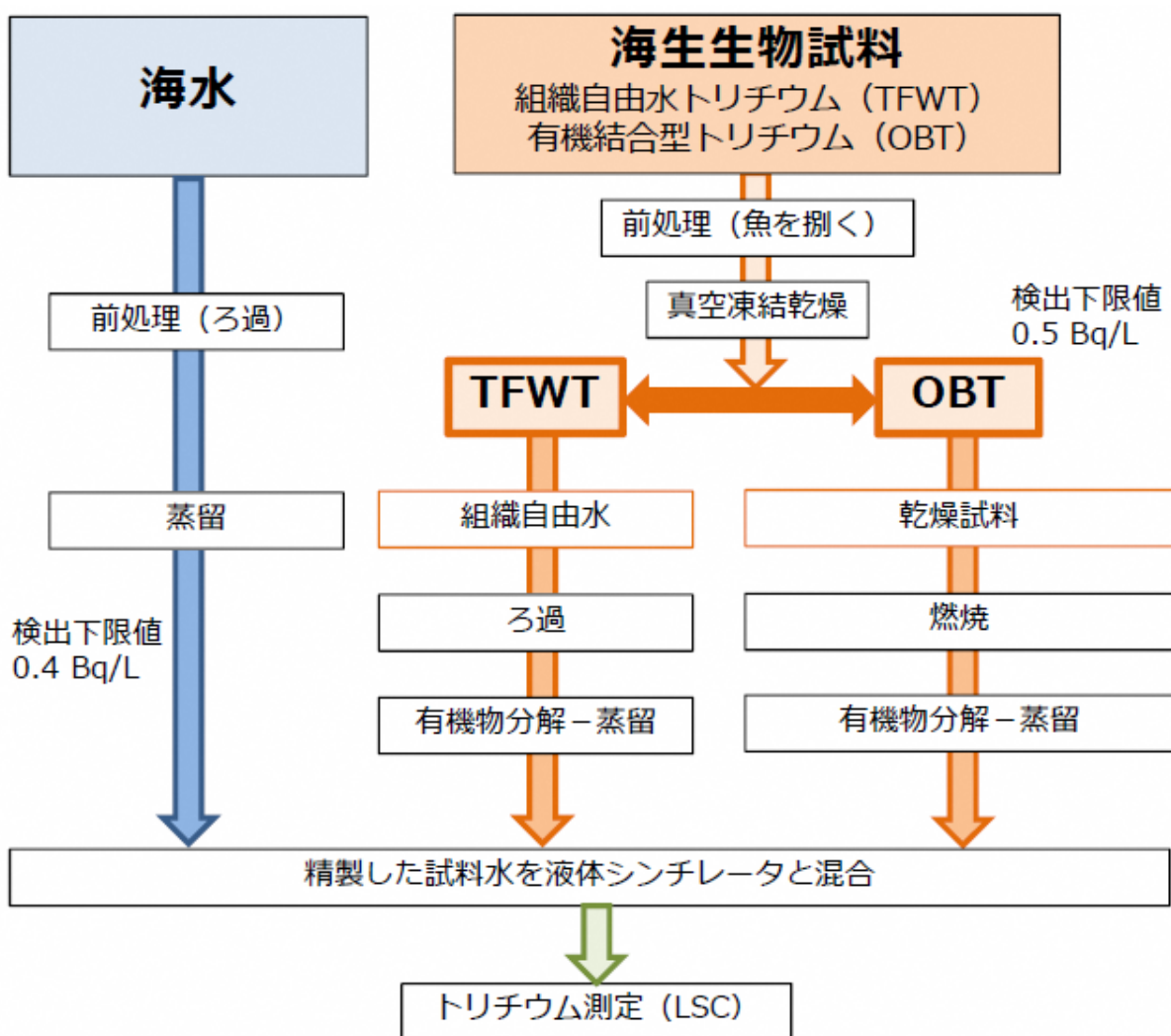
- ・有機結合型トリチウムとは、海生生物など動植物の組織内のタンパク質などに有機的に結合して組織内に取り込まれ、細胞の代謝により組織外へ排出されるトリチウムです。
- ・測定にあたっては、魚類では凍結乾燥した肉部の試料を燃焼させ、発生した水分について、トリチウム水と同様の前処理を行ったうえで液体シンチレーションカウンタによるベータ線計測により定量を行います。有機結合型トリチウム用の試料水は大量に作成できず(※)、電解濃縮を行うのに必要な量が確保できないことから検出限界値の低減に限界があります。

(※) 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



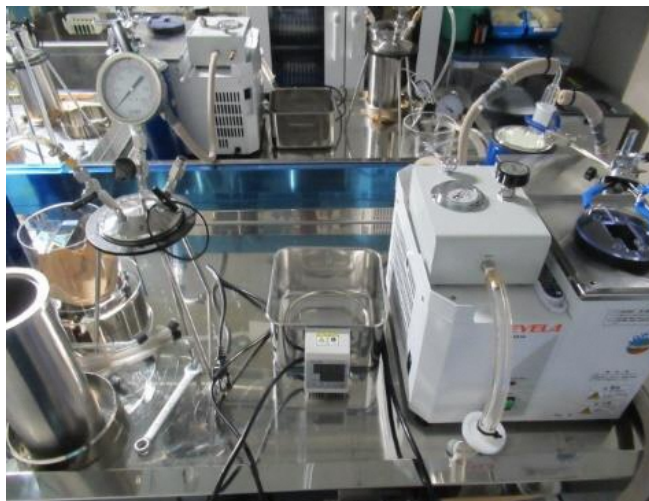
試料セット時



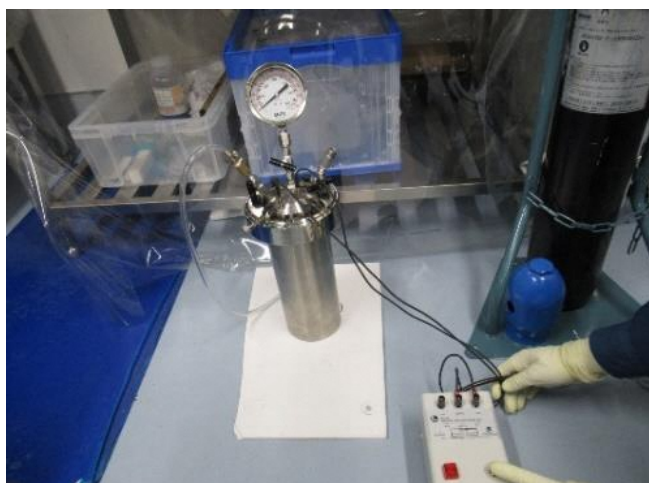
凍結した水分を解凍し回収

< 燃焼 >

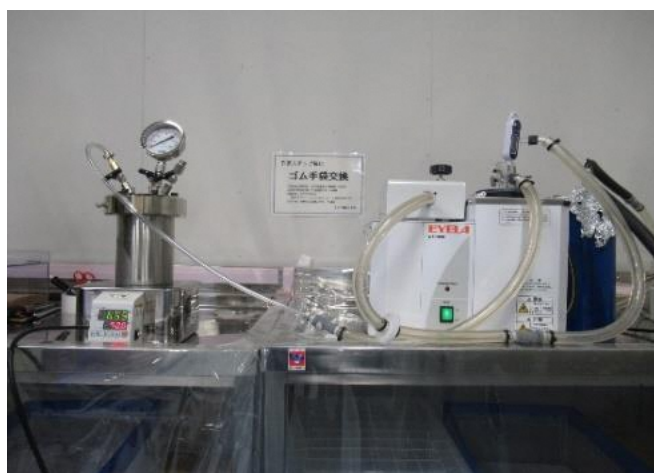
凍結乾燥処理の乾物を酸素気流中で加熱燃焼します。トリチウムは酸化されて水蒸気となるので、コールドトラップにより冷却し、水として回収します。



燃焼装置外観



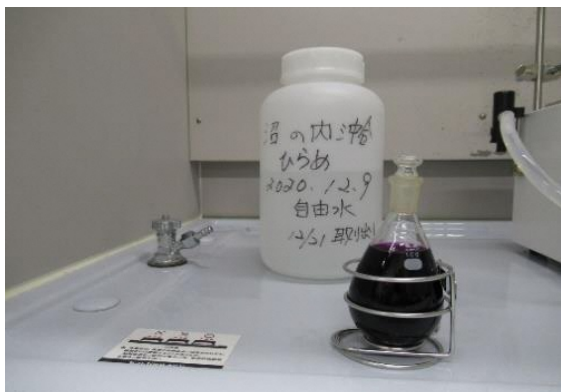
点火・燃焼



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、検出下限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、準備ができ次第使用していきます。

※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。

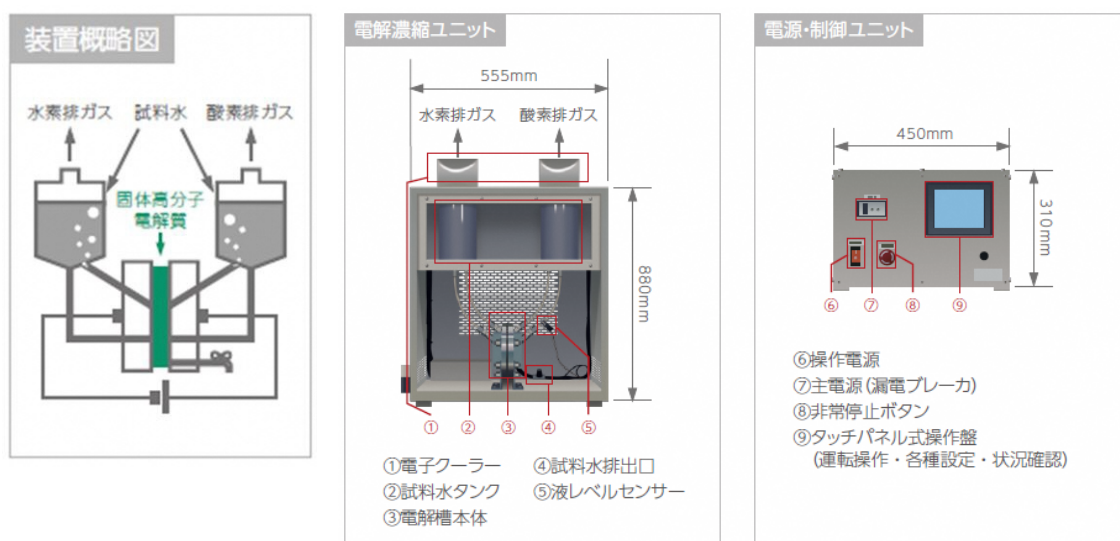
<参考：トリチウム電解濃縮装置の例>

【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】

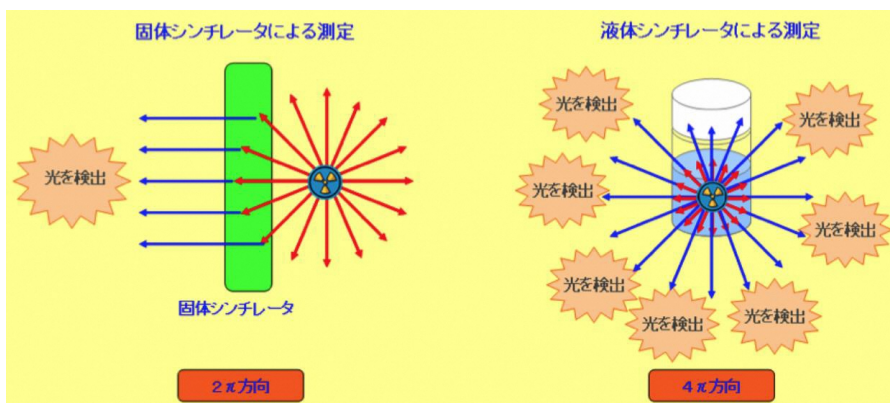
- ・約60時間で、1,000mLの蒸留した試料水を50mLに濃縮することが可能です。
- ・電解による生成物として水素と酸素が分離して発生し、排出されます。



※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>

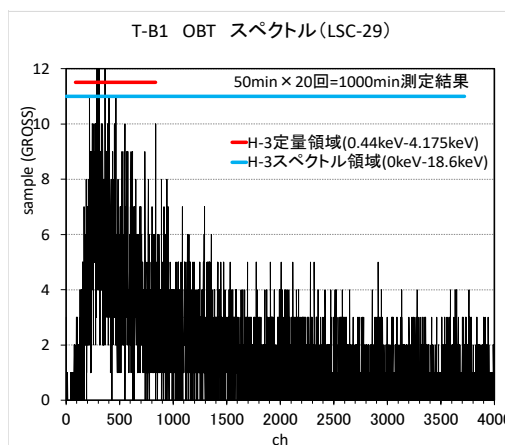
<液体シンチレーションカウンタ (LSC) >

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

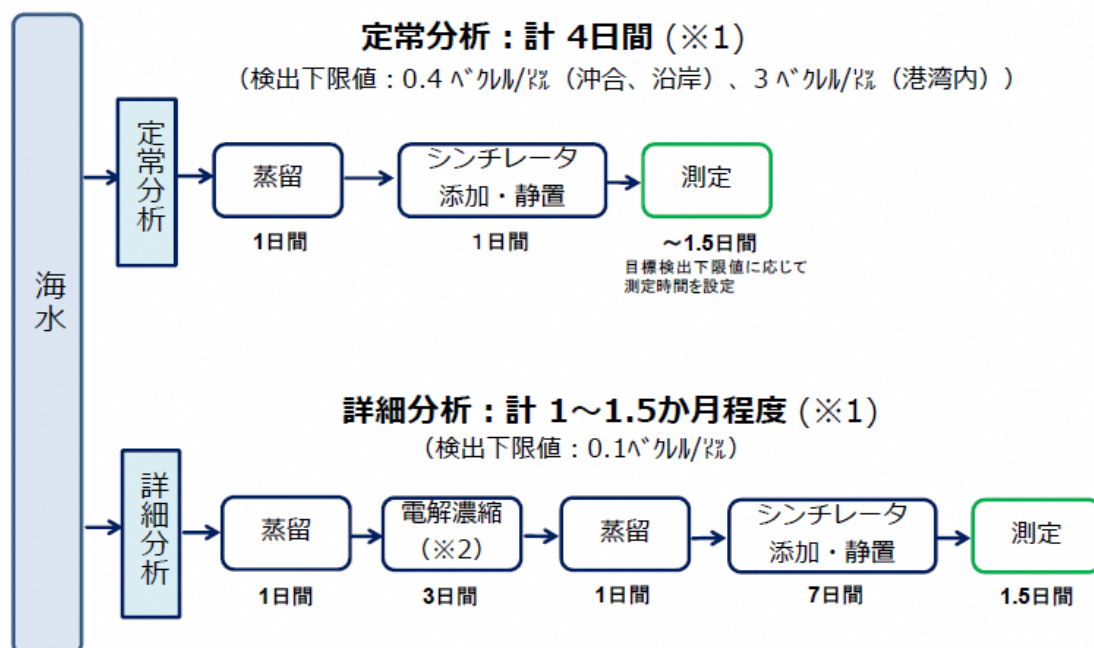


液体シンチレーションカウンタ
 (型式 : LSC-LB7)



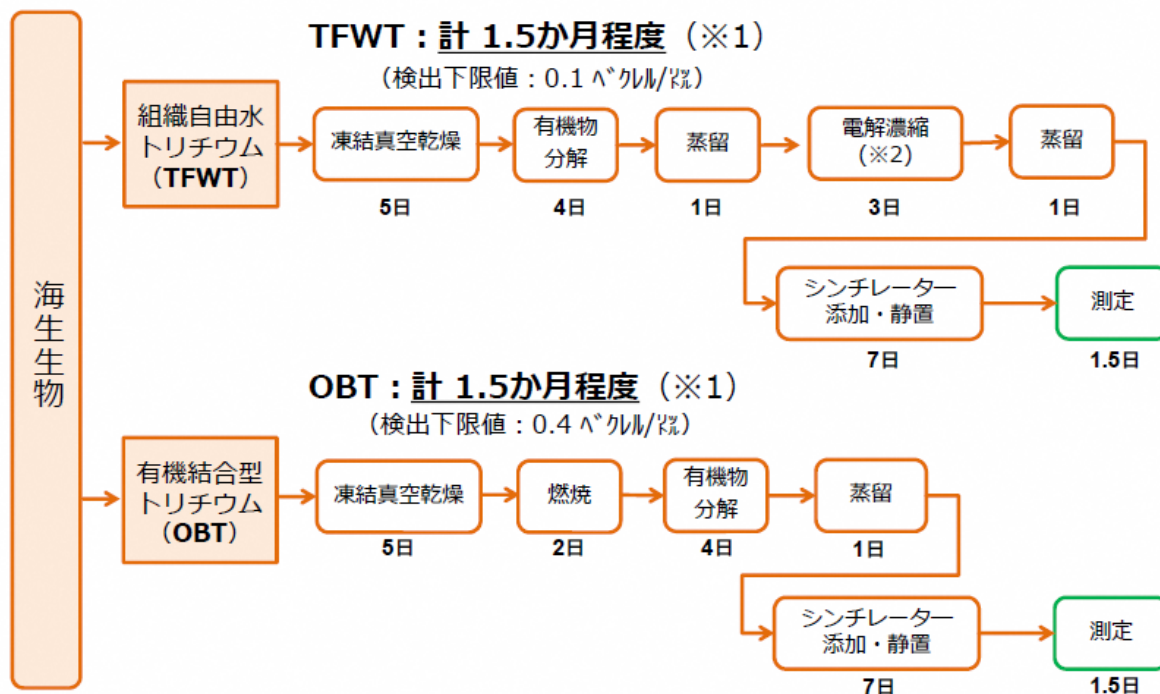
トリチウムのベータ線スペクトルの例

<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。なお、記載している期間は最短期間。
 (※2) 当社においては、電解濃縮装置の準備ができ次第導入する。

<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。なお、記載している期間は最短期間。
 (※2) 当社においては、電解濃縮装置の準備ができ次第導入する。

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。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。(物理学的半減期：12.3 年)

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。

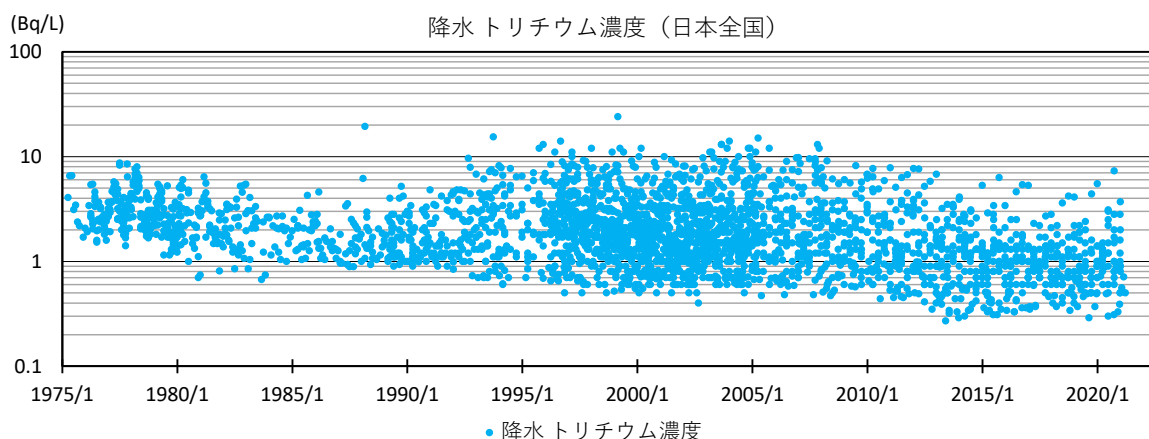
出典：トリチウムの影響と安全管理 日本原子力学会誌 Vol.39 No.11 (1997)

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~2021年3月に検出されたデータ
<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>

4. 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。

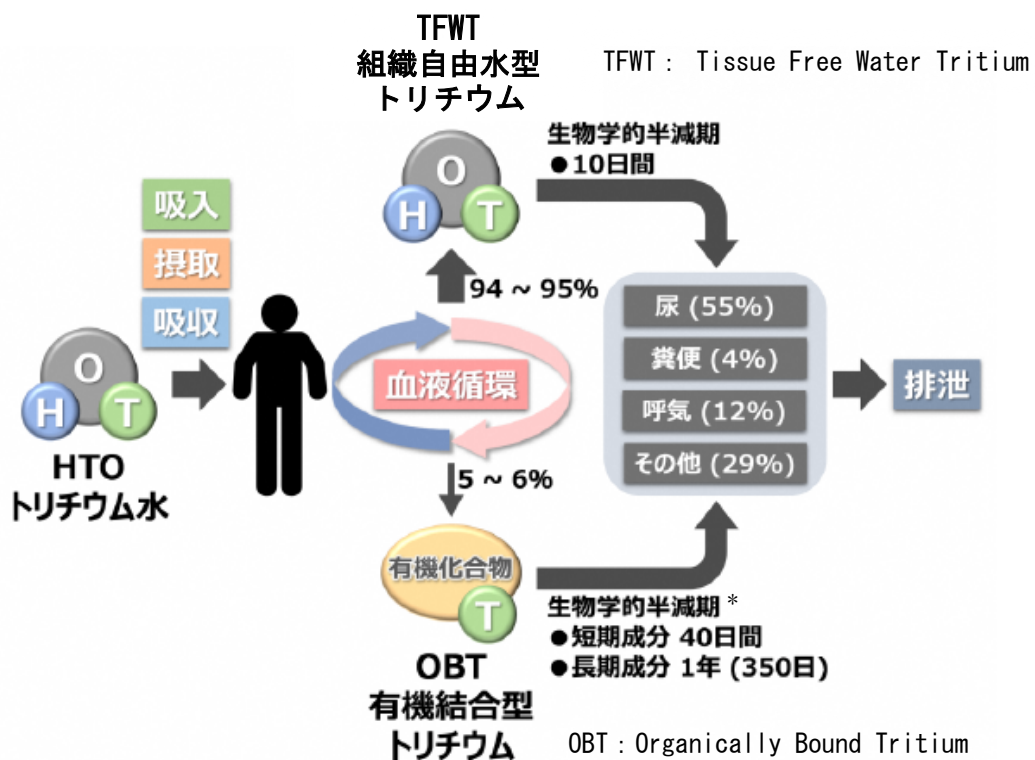
出典：トリチウムの影響と安全管理 日本原子力学会誌 Vol.39 No.11 (1997)

(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

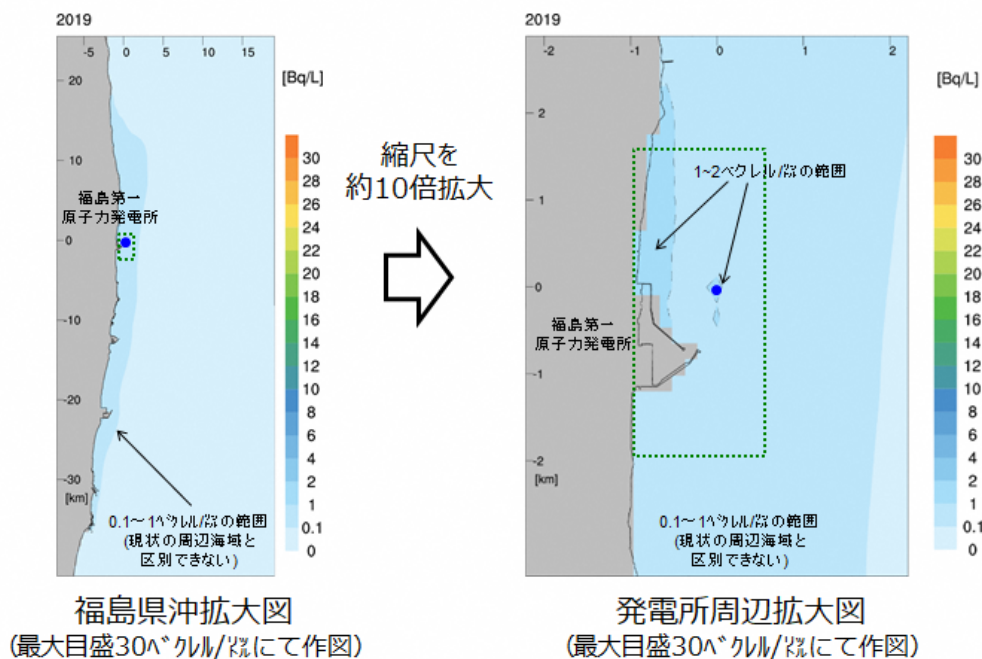
*：生体内で作られる有機物と結合したトリチウムの生物学的半減期は、その有機物の分解に従って体外に排出される。早く分解されるものと遅く分解されるものがあり、それらを短期成分と長期成分として評価すると短期成分のトリチウムは約40日、長期成分のトリチウムは約350日の半減期であった。

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-

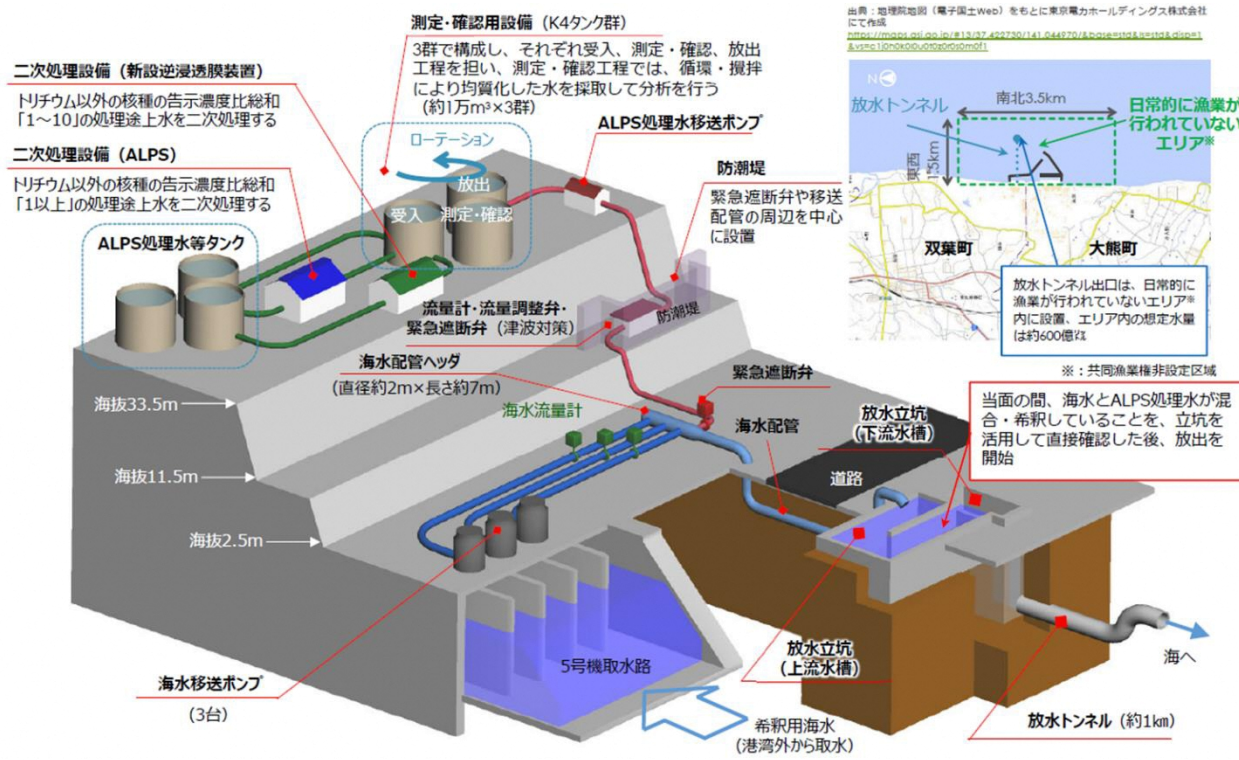
(参考) 海洋拡散シミュレーション結果

○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/ℓ)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/ℓで、WHO飲料水ガイドライン10,000ベクレル/ℓ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の取扱いに関する安全確保のための設備の全体像



(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、分析機関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機関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。

<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。

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、調査を継続中です。調査を完了するまでの間、発電所内で分析する計画であった試料については、発電所外の分析機関で分析を実施しています。

※ 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