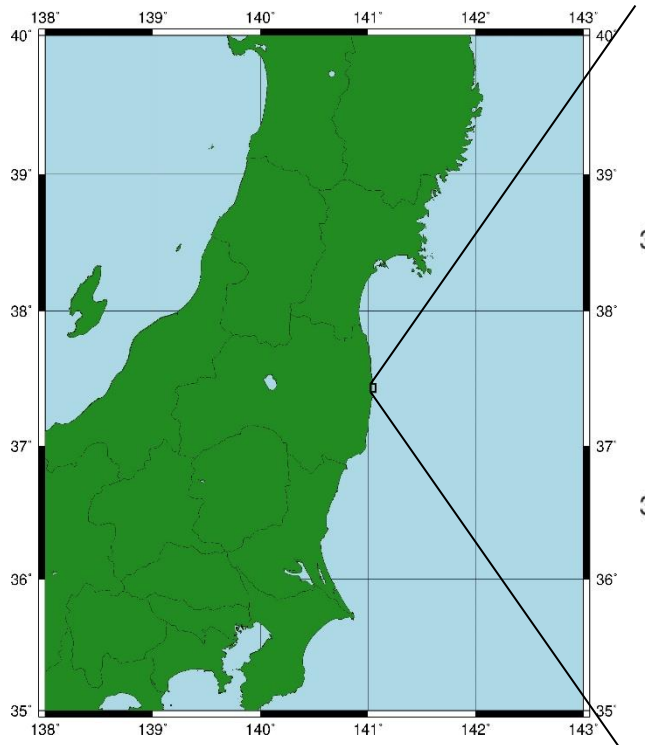
資料2－1
別紙1

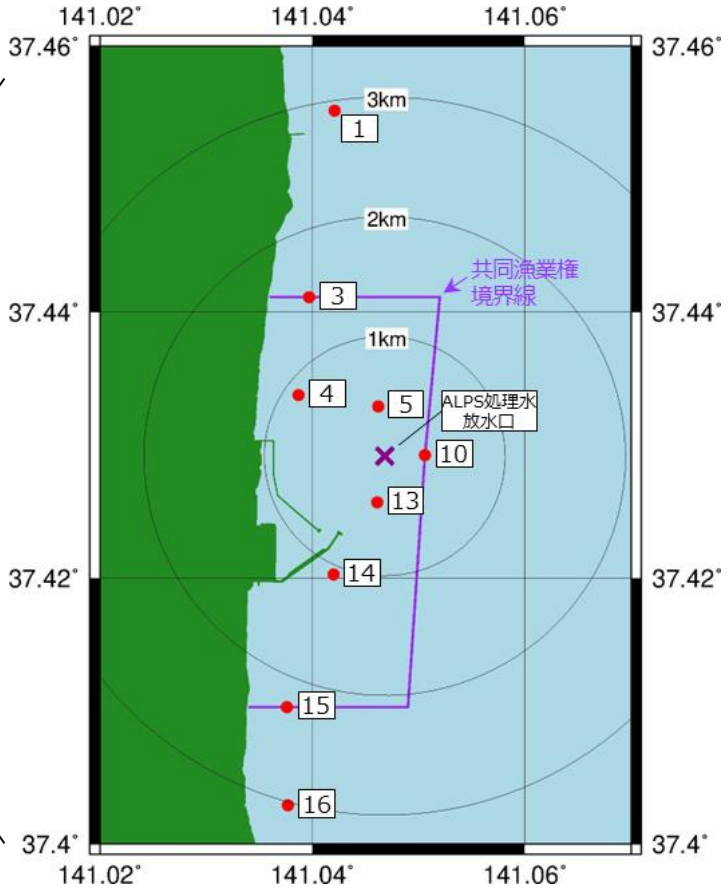
環境省モニタリングにおける
試料採取及び分析測定方法等

海水を採取する測点（放水口から3km圏内）

【放水口から3km圏内の測点】
ALPS処理水の放水口から3km圏内に9の測点を設ける。



広域地図
（地図上の枠内を右に拡大）



放水口から3km圏内の測点
※ 地図中の番号はE-Sを省略（例 E-S1→1）

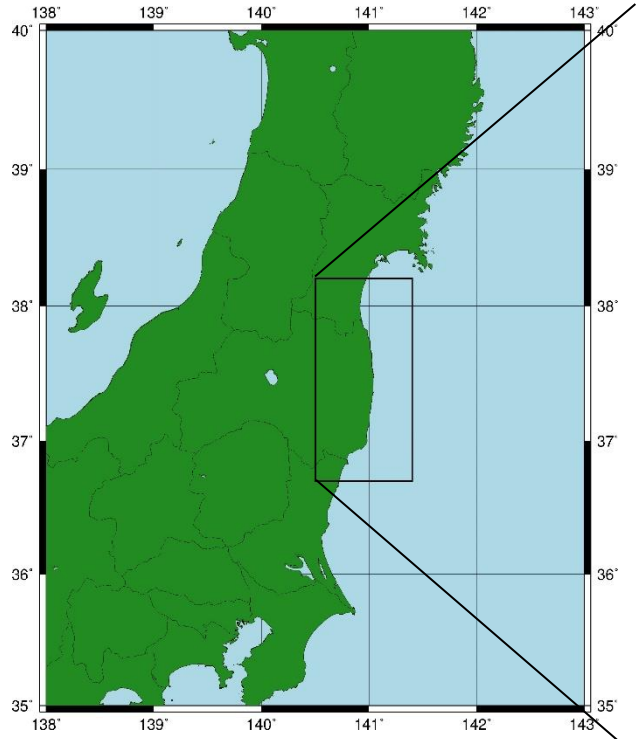
各測点の緯度経度
（放水口から3km圏内）

測点名	緯度	経度
E-S1	37.455	141.042
E-S3	37.441	141.040
E-S4	37.434	141.039
E-S5	37.433	141.046
E-S10	37.429	141.051
E-S13	37.426	141.046
E-S14	37.420	141.042
E-S15	37.410	141.038
E-S16	37.403	141.038

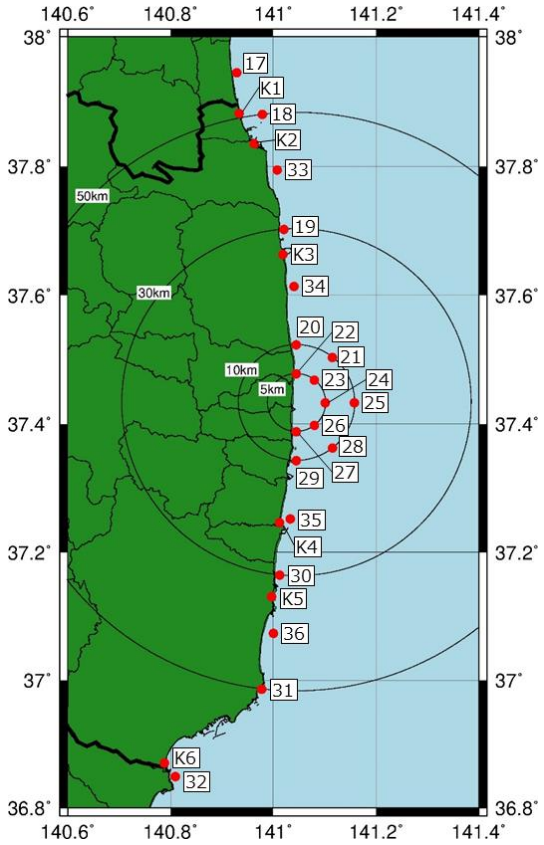
※ 緯度経度は10進法で表記

海水を採取する測点（放水口から3km圏外）

【放水口から3km圏外の測点】
　ALPS処理水の放水口から3km圏外に20の測点を設ける。さらに、6か所の海水浴場（E-SK1～E-SK6）も測点とする。



広域地図
（地図上の枠内を右に拡大）



放水口から3km圏外の測点
※　地図中の番号は「E-S」を省略（例 E-S17→17）

各測点の緯度経度（放水口から3km圏外）

測点名	緯度	経度	備考
E-S17	37.940	140.931	宮城県沖南部
E-S18	37.876	140.980	北50km
E-S33	37.790	141.009	北40km
E-S19	37.698	141.022	北30km
E-S34	37.609	141.042	北20km
E-S20	37.519	141.046	10km圏内
E-S21	37.499	141.117	
E-S22	37.474	141.046	
E-S23	37.464	141.081	
E-S24	37.429	141.103	
E-S25	37.429	141.159	
E-S26	37.393	141.082	
E-S27	37.384	141.046	
E-S28	37.358	141.117	
E-S29	37.338	141.046	
E-S35	37.248	141.035	南20km
E-S30	37.160	141.014	南30km
E-S36	37.069	141.002	南40km
E-S31	36.982	140.979	南50km
E-S32	36.845	140.811	茨城県沖北部
E-SK1	37.877	140.935	釣師浜海水浴場
E-SK2	37.831	140.965	原釜尾浜海水浴場
E-SK3	37.659	141.020	北泉海水浴場
E-SK4	37.242	141.014	岩沢海水浴場
E-SK5	37.127	140.998	久之浜・波立海水浴場
E-SK6	36.866	140.790	勿来海水浴場

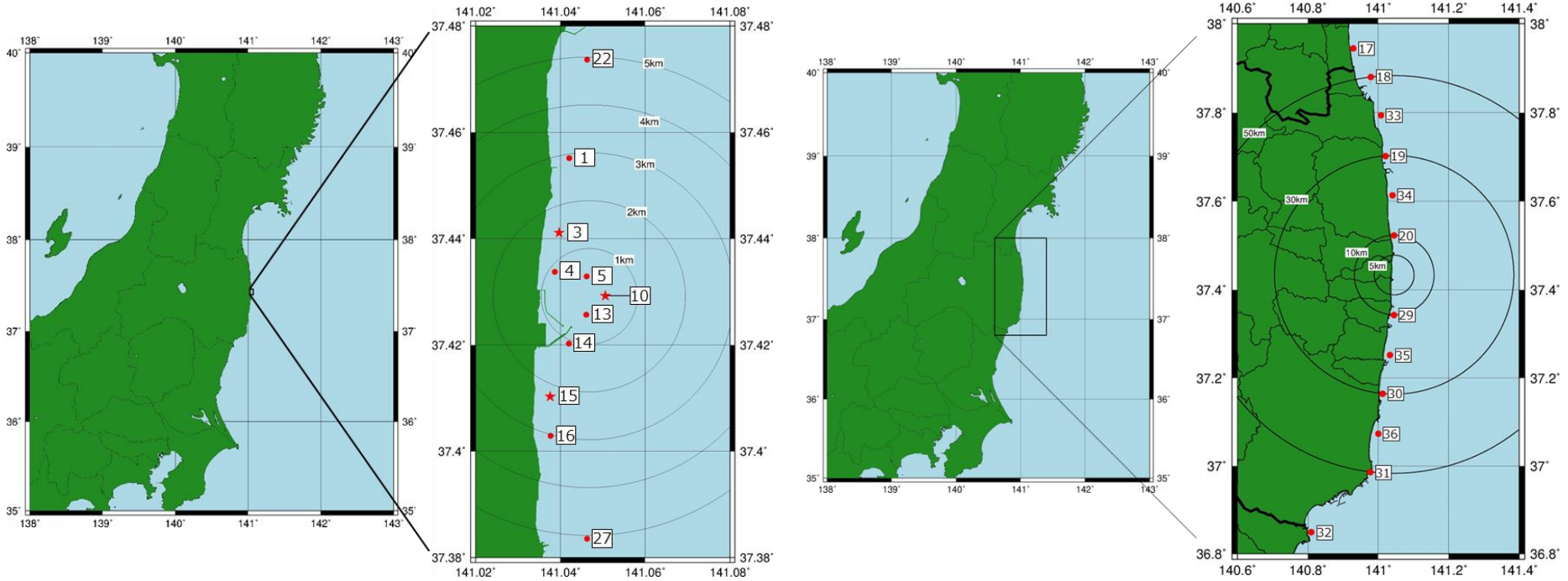
※　緯度経度は10進法で表記
　kmは放水口からの距離を示す。

海水を採取する測点（迅速分析）

以下の要領により、放出期間中と放出停止中でメリハリをつけて運用。

		放出期間中	放出停止中
放水口近傍３か所	トリチウム	期間中に２回実施	月１回実施※
	ガンマ線核種	期間中に２回実施	月１回実施※
その他沿岸20か所	トリチウム	期間中に１回実施	―

※　放出があった月は、基本的に
左欄「放出期間中」の実施分で対応



迅速分析を実施する採取測点(地図中の番号はE-Sを省略)

※ 「放水口近傍3か所」は、E-S3、E-S10及びE-S15の3測点である。
※ 「その他沿岸20か所」は、放水口近傍3か所を除く20測点である。

海水の採取方法（1/2）

①測点におけるGPSによる位置確認、気象海象観測※1

※1　天候、気温、湿度、風向、風速、波高、波向、透明度

②CTD※2を用いて海水面から海底面までの水温、塩分等※3の観測

※3　水温、塩分、密度、電気伝導度、溶存酸素飽和度、濁度、クロロフィル

③採水器による表層※4及び底層※4の採水

ニスキン採水器（トリチウム分析用試料）	ポンプ（セシウム、ストロンチウム等分析用試料）

※4　表層：水面下1.5mで採取
　　底層：水深20m未満の場合は海底から2m上、
　　20m以上の場合は海底から5m上で採取

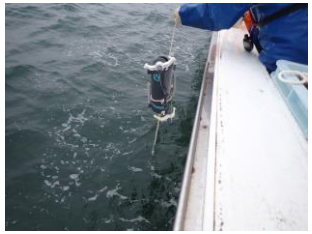
※2　CTD：
電気伝導度水温水深計
（Conductivity-Temperature-Depth profiler）

海水の塩分、水温、圧力（深度）を計測するセンサーで構成された観測装置。ケーブルにつないで海水中に投下し、深さ方向の水温と塩分の分布を観測する。

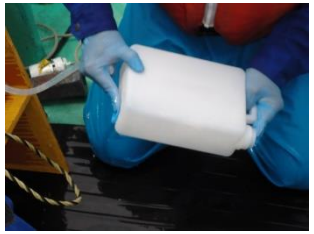
CTDによる水温、塩分等の測定

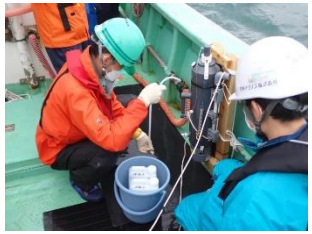
海水の採取方法（2/2）

トリチウム分析用海水の採取には、ニスキン採水器を用いた。
①採水器の投下
②採水及び蓋閉鎖用の錘(メッセンジャー)を投下
③採水した海水による2 L容器(1 L容器※1)の共洗い
④2L容器(1 L容器※1)への海水採取


①採水器の投下

②錘の投下


③2L容器の共洗い


④容器への海水採取

※1　トリチウムの迅速分析用の海水採取で用いる。

ニスキン採水器

塩化ビニル製の採水筒と蓋とからなり、上下の蓋をゴムチューブで閉める仕組みとなっている。接水部に金属を使用してないので微量の金属成分の分析試料を採取するのに適している。

採取容量：5 L
全長：約70cm、外径：約26cm
空重量：約4kg
採水重量：約9kg

セシウム、ストロンチウム等の分析用海水の採取には、分析に多量の試料水が必要なためポンプを用いた。
①ポンプの投下
②大型容器への採水、CTDで塩分等を測定
③採水した海水による20L容器(10 L容器※2)の共洗い
④20L容器(10 L容器※2)への海水採取

重りをつけたホースを目的の深度まで下ろし、ポンプで水をくみ上げる。多量に試料水が必要なときに便利である。

ポンプ

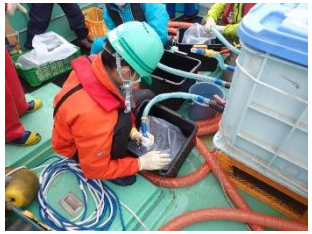
鶴見製作所 50TM2.45
流速：80L/分

①ポンプの投下

②大型容器への採水

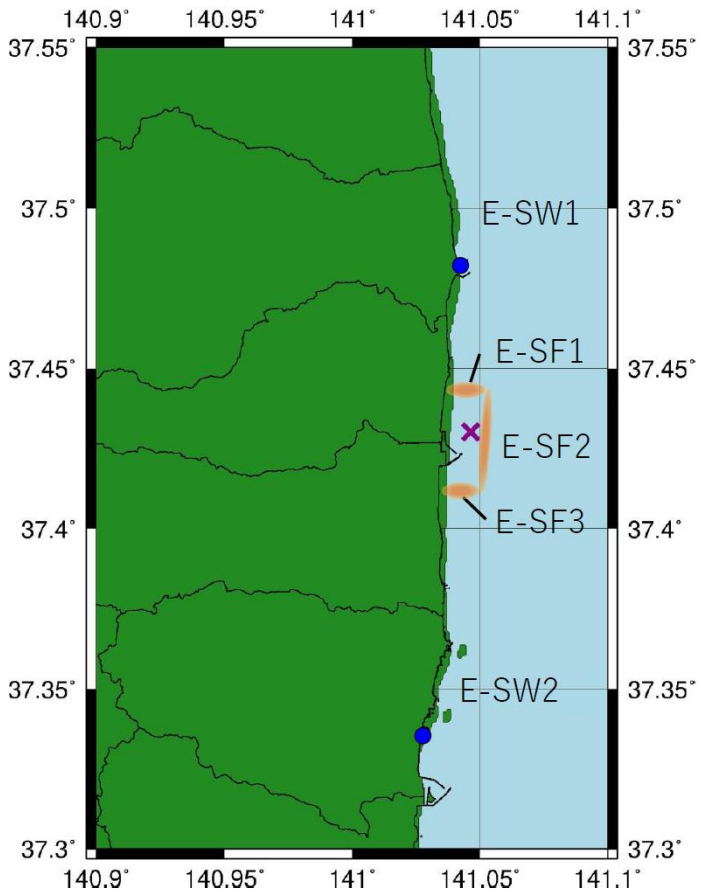
②塩分等の測定

③20L容器の共洗い


④容器への海水採取

※2　ガンマ線放出核種のスクリーニング的な分析用の海水採取で用いる。

水生生物の採取方法



水生生物の採取測点

※ 魚類の採取測点のE-SF1～E-SF3は橙色の楕円で示した。300m程度の刺し網による魚類採取であるため、目安の採取範囲として表記

魚類　採取測点：E-SF1 E-SF2 E-SF3の3地点
採取方法：刺し網漁
(目合い15cm　縦10m×横300m)

※ 採取測点に固定式刺し網を1日程度設置し、ヒラメ、カレイ等を採取する。刺し網漁がうまくいかなかった場合は、延縄漁を用いる可能性もある。

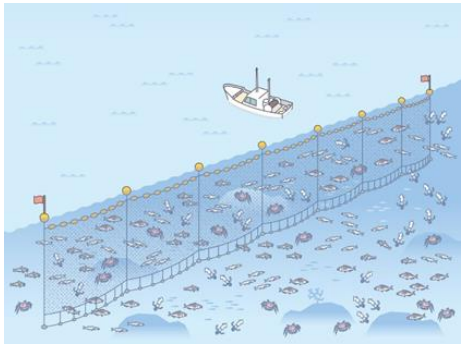
採 取 量 ：各測点　6kg×3魚種程度

※ 魚種毎に十分な採取量が確保できる場合、魚種毎に分析を実施する。単一種で必要量に満たない場合には、複数魚種をまとめて試料として分析を行う。

海藻類　採取測点：E-SW1、E-SW2
採取方法：干潮時に胴長・ウェットスーツ等を着用、手摘み若しくはスクレーパー等で採取

※ 満潮時や冬季において、潜水による採取となる可能性もある。

採 取 量 ：各測点　1kg×2種類程度



刺し網漁※

干潮時の海藻類の状況（富岡魚港6月）

※ 採取方法のイラストは農林水産省webページより引用（https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/gyocen_illust2.html ）

試料ごとの対象核種分析測定方法及び検出下限目標値

【海水】
Cs-137などのγ線放出核種、Pu同位体などα線を放出する核種、トリチウム、Sr-90などβ線を放出する核種を対象とし、合計で62核種とする。
分析方法については、原則として、文部科学省及び原子力規制庁が制定している放射能測定法シリーズに記載の方法に従う。次の6核種(Tc-99、Cd-113m、I-129、Ni-63、Fe-55及びSe-79)の分析は、論文等で公表されている方法に従って行う。
検出下限目標値は右表のとおりである。

【水生生物】
魚類はトリチウム、炭素-14を対象とし、海藻類はI-129を対象とする。分析方法は、海水と同様、放射能測定法シリーズに記載の方法に従う。I-129の分析は論文等で公表されている方法に従って行う。
検出下限目標値は右表のとおりである。

海水

対象核種	検出下限目標値（Bq/L）	分析測定方法※1
トリチウム	0.1	No.9 トリチウム分析法
	10	No.9 トリチウム分析法
^{134}Cs, ^{137}Cs	0.001	No.7 ゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトロメトリー
^{106}Ru, ^{125}Sb, ^{60}Co	^{106}Ru：1.2 ^{125}Sb：0.5 ^{60}Co：0.3	
その他のγ線放出核種	—※2	
^{238}Pu, $^{239+240}$Pu, ^{241}Am, ^{242}Cm	0.00002	No.12 プルトニウム分析法 No.21 アメリシウム分析法 No.22 プルトニウム・アメリシウム逐次分析法 No.31 環境試料中全アルファ放射能迅速分析法
^{243}Am, ^{243}Cm, ^{244}Cm	0.002	
^{90}Sr(^{90}Y)	0.001	No.2 放射性ストロンチウム分析法
^{89}Sr	0.005	No.2 放射性ストロンチウム分析法
^{99}Tc	0.0004	固相抽出による化学分離後、ICP質量分析
^{113m}Cd	0.2	陰イオン交換による化学分離後、液体シンチレーション測定
^{129}I	0.01	希釈後、ICP質量分析
^{63}Ni	20	固相抽出による化学分離後、液体シンチレーション測定
^{55}Fe	20	沈殿分離、固相抽出による化学分離後、液体シンチレーション測定
^{79}Se	2	沈殿分離、固相抽出による化学分離後、液体シンチレーション測定
^{234}U, ^{238}U	0.002	No.14 ウラン分析法
^{237}Np	0.002	No.34 環境試料中ネプツニウム237迅速分析法
^{14}C	0.0005	No.25 放射性炭素分析法

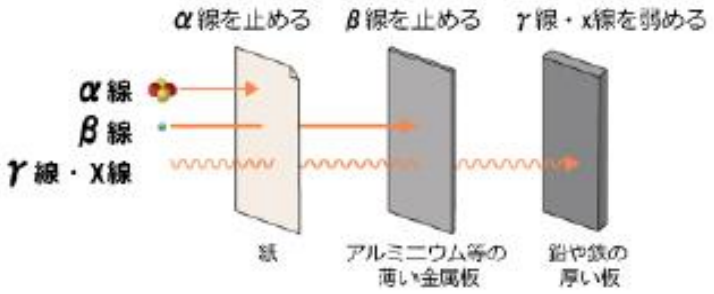
水生生物

対象核種	検出下限目標値		分析測定方法※1
組織自由水型トリチウム	0.1	(Bq/L)	No.9 トリチウム分析法
有機結合型トリチウム	0.5	(Bq/L) ※3	No.9 トリチウム分析法
^{129}I	0.1	(Bq/kg生)	燃焼等による化学分離後、ICP質量分析
^{14}C	2	(Bq/kg生)	No.25 放射性炭素分析法

※1 No.を記載している分析測定方法は、文部科学省及び原子力規制庁が制定している放射能測定法シリーズのことである。
※2 Ru-106、Sb-125、Co-60の検出下限値を満足する条件での同時測定とする。
※3 水として回収した有機結合型トリチウムの検出下限目標値であり、分析結果の単位は、単位変換を行い、Bq/kg生とする。

対象核種の分析方法（概要）

【対象核種と分析方法】
　トリチウム、放射性セシウム(Cs-134及びCs-137など)、放射性ストロンチウム(Sr-89及びSr-90)、炭素-14などを含む62核種を基本とする。
　分析・測定方法は対象核種から放出される放射線(α線、β線及びγ線)を測定する核種と原子の数を測定する核種に大別される。
　放射線を測定する場合は、測定対象となる放射線の透過力(下図参照)やその性質の違いにより、適切な分析・測定方法を選択する必要がある。特に、α線とβ線を測定する場合は、対象核種を十分に分離精製して測定試料にする必要がある。
　①α線は飛程が短いので、できうる限り薄く測定試料を調製する。
　②β線は固有のエネルギーを持たず、連続エネルギーとなることから、他のβ線放出核種から分離する。

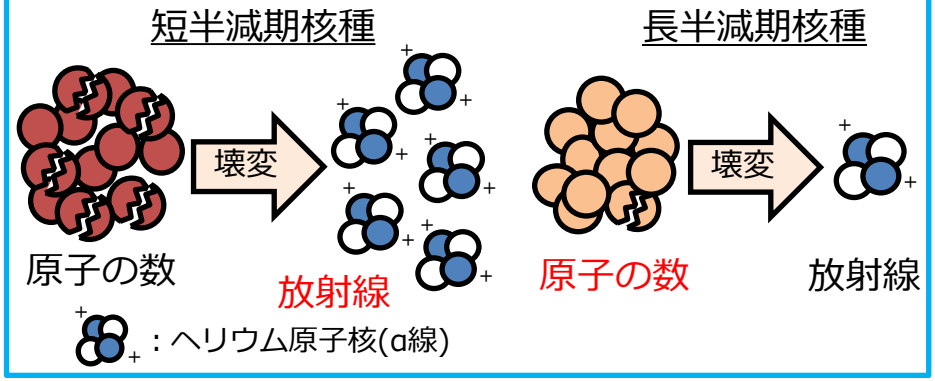


放射線の透過力の違い

出典：「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 平成30年度版」

　一方、Tc-99やI-129などの半減期が非常に長い核種は、放射線を測定するより、原子の数を測定する方が、有利に測定することができる。

α線を放出する核種での例



対象核種の分析方法（α線とβ線の測定）

【α線の測定】

対象核種：Pu、Am、Cm同位体の10核種
Pu-238、Pu-239※1、Pu-240※1、Am-241、
Am-243※2、Cm-242、Cm-243※2、Cm-244※2
U-234※3、U-238※3

沈殿分離、イオン交換分離を組み合わせて、対象核種を分離精製して測定試料を調製する。測定はシリコン半導体検出器もしくはZnS(Ag)シンチレーション検出器を用いて行う。

陰イオン交換樹脂よるPuの分離精製

シリコン半導体検出器

【β線の測定】

対象核種：トリチウム、炭素-14など9核種
トリチウム、炭素-14、Ni-63、Sr-89、Sr-90、
Y-90※4、Cd-113m、Fe-55※3、Se-79※3

蒸留(トリチウム)、ベンゼン合成(炭素-14)及び沈殿分離、イオン交換分離を組み合わせて、対象核種を分離精製して測定試料を調製する。測定は液体シンチレーションカウンタもしくは低バックグラウンドベータ線測定装置(LBC)を用いて行う。

トリチウムの分析方法はスライド12～15で説明。

陽イオン交換樹脂よるSrの分離精製

低バックグラウンドベータ線測定装置

※1　Pu-239とPu-240の合計した放射能濃度とする。
※2　Pu、Am、Cm同位体の合計値をそれぞれの核種の放射能濃度とする。
※3　令和５年度から分析対象に加えた核種
※4　放射平衡と仮定して、Sr-90の結果から評価する。

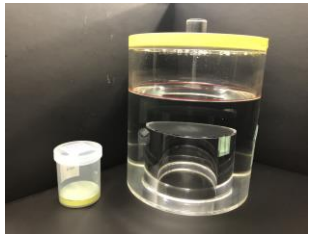
対象核種の分析方法（γ線と原子数の測定）

【γ線の測定】

対象核種：Cs-134、Cs-137など40核種※1

Rb-86、Y-91、Nb-95、Ru-103、Ru-106、Rh-103m、Rh-106、Ag-110m、Cd-115m、Sn-123、Sn-126、Sb-124、Sb-125、Te-123m、Te-125m、Te-127、Te-129、Te-129m、Cs-134、Cs-136、Cs-137、Ba-137m、Ba-140、Ce-141、Ce-144、Pr-144、Pr-144m、Pm-146、Pm-148、Pm-148m、Eu-152、Eu-154、Eu-155、Gd-153、Tb-160、Mn-54、Fe-59、Co-58、Co-60、Zn-65

γ線は透過力が高いため、海水をそのままゲルマニウム半導体検出器で測定することができる。Cs-134及びCs-137については、精密に分析するため、リンモリブデン酸アンモニウム(AMP)に吸着捕集し、より効率の良い条件で測定を行う。スクリーニング的な分析においては、上記にかかわらず幅広い核種を測定。



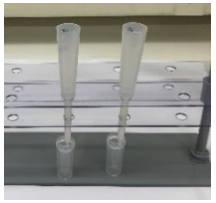
AMP試料とマリネリ試料

ゲルマニウム半導体検出器

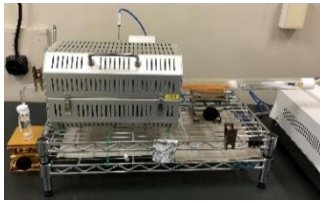
【原子数の測定】

対象核種：Tc-99、I-129及びNp-237※2の3核種

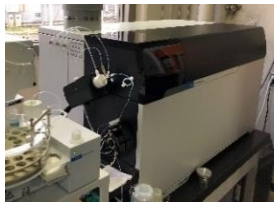
沈殿分離・イオン交換・固相抽出（Tc-99及びNp-237）、燃焼（I-129）により対象核種を分離精製して測定試料を調製する。測定は誘導結合プラズマ質量分析計（ICP-MS）を用いて行う。分離精製操作にて除去できない妨害成分は、装置内セルにおける酸素ガスとの反応により除去する。なお、海水のI-129は希釈して測定試料を調製する。



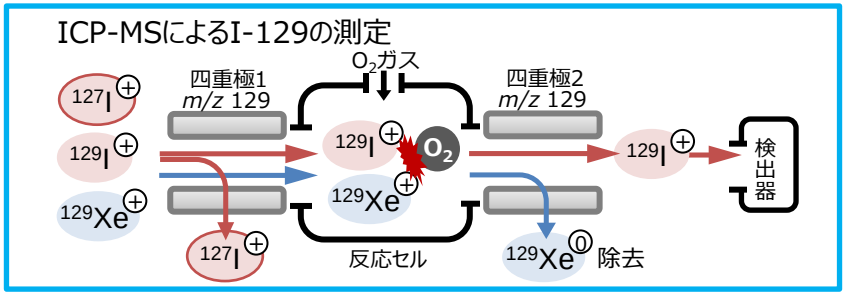
固相抽出による
Tc-99の分離精製



燃焼による
I-129の分離精製

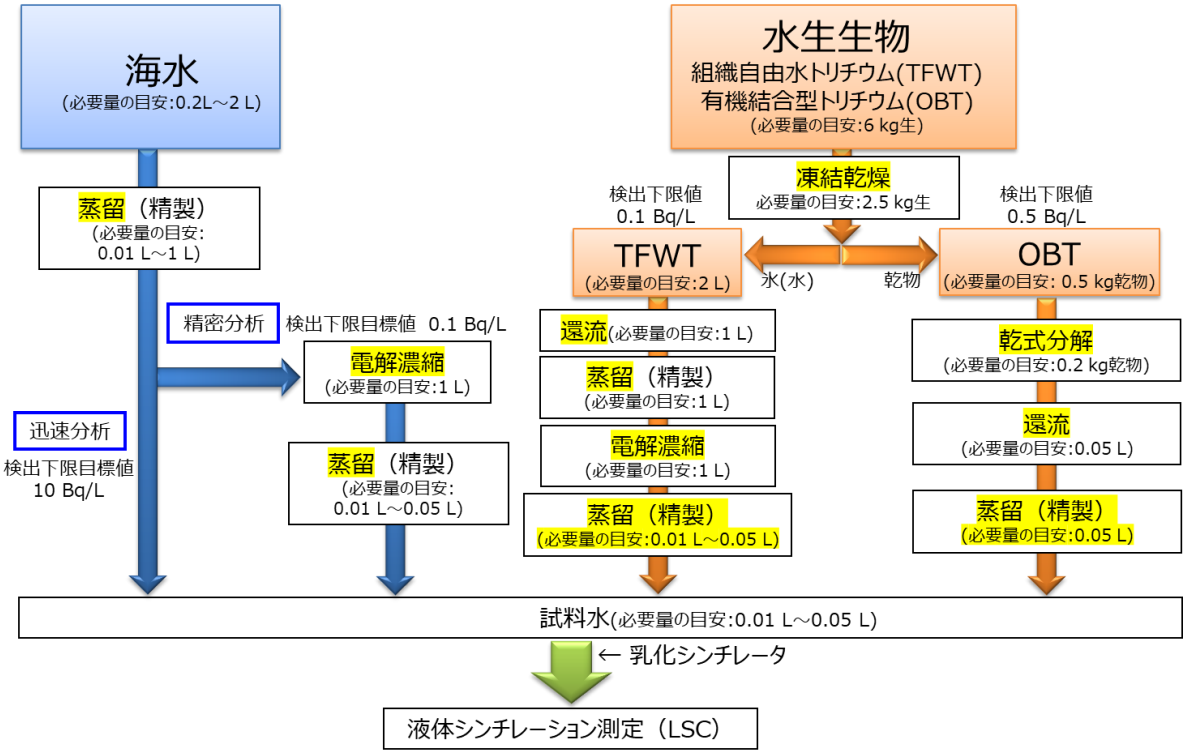


ICP-MS



※1　放射平衡と仮定して評価する核種を含む。　※2　令和５年度から分析対象に加えた核種

トリチウムの分析方法（1/4）



【海水の分析】
海水に含まれる不純物を除去するため蒸留を行う。精密分析の場合は、蒸留による試料水の精製後、電解濃縮により、トリチウムの濃縮を行う。電解濃縮後は、再度蒸留による試料水の精製を行う。

【測定】
精製済みの試料水に乳化シンチレータを加えて測定試料を調製する。疑似計数の影響を下げるため、一定期間経過した後、液体シンチレーション測定により、トリチウム濃度を求める。

【水生生物の分析①】
〇凍結乾燥
水生生物は凍結乾燥処理により、水(組織自由水トリチウム)と乾物(有機結合型トリチウム)に分ける。

【水生生物の分析②】
〇組織自由水トリチウム(TFWT: Tissue Free Water Tritium)
有機物を還流(分解)後に蒸留を行い、電解濃縮により、トリチウムの濃縮を行う。電解濃縮後は、再度蒸留による試料水の精製を行う。

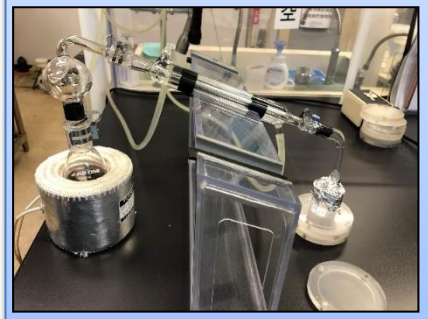
【水生生物の分析③】
〇有機結合型トリチウム
(OBT: Organically Bound Tritium)
乾物を酸素気流中で乾式分解(加熱燃焼)を行い、発生する水蒸気を冷却して、水として回収する。有機物の還流(分解)を行った後。蒸留による試料水の精製を行う。

トリチウムの分析方法（2/4）

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、試料水を精製する。迅速分析では常圧蒸留、精密分析では減圧蒸留で海水を処理する。

○常圧蒸留

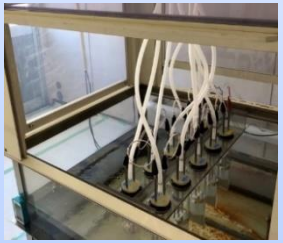


○減圧蒸留

トリチウムの濃縮(電解濃縮)※1

精密分析の場合は、水の電気分解によりトリチウムを濃縮する。

○金属電極による電解濃縮



○固体高分子電解質膜(SPE※2)による電解濃縮

※1　質量数の違いによる同位体効果を利用して、水の電気分解により、電気分解されにくいトリチウムを濃縮する。
※2　Solid Polymer Electrolyte

トリチウム分析法の特徴

トリチウム分析法	所要日数	検出下限値（Bq/L）	特徴
電解濃縮法（精密分析）	1～1.5ヶ月程度	0.1	分析日数は長くなるが、検出下限値を下げることができる。バックグラウンドレベルの海水中のトリチウムを検出することができる。
蒸留法	2～4週間程度	0.5	電解濃縮法と比較して、トリチウム濃縮操作を行わないため所要期間が短くて済む。バックグラウンドレベルの海水中のトリチウムは検出することは難しい。
蒸留法（迅速分析）	3日～5日程度	10	公定法の範囲内で分析量や測定時間を減らすことにより、検出下限値は高くなるものの、結果をより速やかに報告することができる。バックグラウンドレベルの海水中のトリチウムは検出することは難しい。

トリチウムの分析方法（3/4）

凍結乾燥

水生生物試料を凍結し、減圧下において、低温で水分を昇華させて試料を乾燥する。

昇華した水蒸気はコールドトラップで氷として回収、溶かして組織自由水トリチウム(TFWT)試料とする。

凍結乾燥により乾燥した乾物は、有機結合型トリチウム(OBT)試料として分析を行う。

〇凍結乾燥機

〇水(氷)トラップ

〇凍結乾燥後の乾物

還流

酸化剤を添加し、加熱することにより、有機物を分解する。発生した水蒸気は冷却により凝縮し、水に戻す。

乾式分解(燃焼)

凍結乾燥処理の乾物を酸素気流中で加熱燃焼する。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、水として回収する。

〇燃焼装置

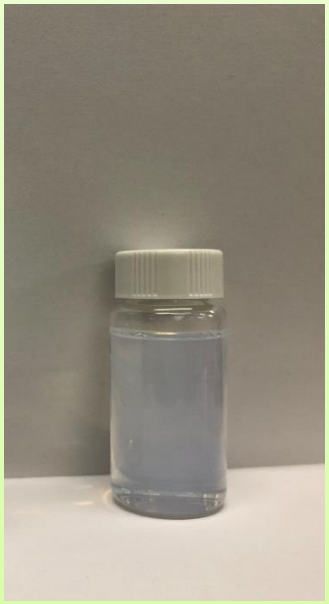
トリチウムの分析方法（4/4）

測定試料の調製

精製した水試料に乳化シンチレータ※1を加えて、測定試料を調製する。トリチウムの壊変により放出されるベータ線は溶媒、溶質とエネルギーが移行し、励起状態の溶質が基底状態に遷移する際に、発光する。

〇100mL テフロンバイアル

〇20mL ガラスバイアル



液体シンチレーション測定(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（PMT※2）により光電子に変換され、電気信号として処理される。

トリチウムから放出されるベータ線は連続分布となるので、トリチウムのベータ線スペクトルを得ることができる。

〇液体シンチレーションカウンタ

※1　放射線のエネルギーを吸収して蛍光する物質(溶質)、有機溶媒及び界面活性剤の混合物
※2　PhotoMultiplier Tube