

出國報告（類別：實習）

赴日本國立環境研究所(NIES)  
等相關單位研習「環境樣品取樣作業  
及放射性分析技術」

服務機關：核能安全委員會輻射偵測中心

姓名職稱：陶良榆技士、林品均技士

派赴國家/地區：日本

出國期間：112年12月18日至22日

報告日期：113年1月30日



## 摘要

本中心為提升我國環境樣品取樣作業及放射性銫與氙分析技術，本次赴日本實習，透過見習與經驗交流，了解日本較快速、高效率的取樣分析流程，以利精進我國在放射性銫及氙核種之分析能力。此外，本次實習單位為國立環境研究所(National Institute for Environmental Studies, NIES)、日本原子力研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)、福島縣(Fukushima Prefecture)調查分析部放射能調查課、福島大學(Fukushima University)環境放射能研究所(Institute of Environmental Radioactivity)，上述單位均為日本環境放射性研究網絡中心成員，具有豐富的环境取樣經驗及成熟的分析技術。本次研習除有助於精進我國取樣作業及放射性銫與氙分析能力，並提供設備更新規劃之參考。

# 目次

壹、 目的.....	1
貳、 行程.....	2
參、 實習紀要.....	3
肆、 心得與建議 .....	27
伍、 附錄.....	29
陸、 參考資料.....	30
柒、 補充資料.....	31

## 壹、 目的

日本於 2019 年成立「環境放射性研究網絡中心 (Environmental Radioactivity Research Network Center, ERAN)」，致力於研究環境中放射性物質相關議題，該中心成員具有豐富的環境取樣經驗及成熟的分析技術。該中心成員包含日本國內研究單位，如筑波大學輻射同位素及地球科學研究中心(CRiES)、國立環境研究所(NIES)、日本原子力研究開發機構(JAEA)、福島大學環境放射能研究所等，以及國外單位如國際原子能總署(IAEA)、法國輻射防護及核能安全研究所(IRSN)、美國國家環境保護局(EPA)等單位。本次赴日實習單位包含國立環境研究所(NIES)福島分所、日本原子力研究開發機構(JAEA)三春分支機構、福島大學環境放射能研究所及福島縣(Fukushima Prefecture)調查分析部放射能調查課。

本中心長期執行我國環境中放射性物質監測及調查作業，需定期取樣環境中水樣並執行放射性銫含量分析，另日本於 2023 年 8 月下旬開始將 ALPS 處理後的含氚廢水排入海洋，為此本中心於 2020 年起執行海水中氚含量之調查及監測作業，並預計於 2024 年起執行海產物中氚含量之監測。

綜上，本次赴日研習目的係提升本中心於環境取樣的技術、樣品中銫-137 及氚的放射性化學分析能力，希望藉由上述單位於環境取樣及放射性化學分析領域的專業及經驗，精進本中心的取樣技術及分析能力，並提供設備更新規劃之參考。

## 貳、 行程

本次實習自 112 年 12 月 18 日至 22 日，實習時間如下表 1。

表 1 實習時間表

日期	行程	地點
2023.12.18	去程：高雄機場 → 成田機場 → 郡山市	
2023.12.19	水壩及河川實地取樣	橫川水壩、小高川
2023.12.20-21	水樣及水中懸浮物放射性銫分析	1.國立環境研究所 (NIES) 2.福島大學環境放射能研究所 (Institute of Environmental Radioactivity)
	生物氚放射性分析	日本原子力研究開發機構 (JAEA) 三春分支機構
	海水氚放射性分析訓練	福島縣調查分析部放射能調查課
2023.12.22	回程：郡山市 → 成田機場 → 桃園機場 → 高雄	

## 參、 實習紀要

本次主要實習項目為水壩水及河川水的取樣作業、水樣及水中懸浮物放射性銫分析、生物氫放射性分析及海水氫放射性分析訓練。

### 一、 水壩水及河川水的取樣訓練

福島第一核電廠事故產生了大量的放射性銫-134 及銫-137 於環境中，銫-134 及銫-137 之半化期分別為 2 年及 30 年，由於銫-137 之半化期較長，因此，各國多以銫-137 做為環境監測主要核種。國立環境研究所依據放射性銫落塵量，選擇福島縣的 4 個河流及 3 個水庫的水樣及懸浮物進行調查。

本次水壩水及河川水的取樣訓練，配合國立環境研究所工作排程，前往橫川水壩(橫川ダム)及小高川進行取樣。水壩水分析項目除放射性銫-134 及銫-137 外，也包含一般水質檢驗的部分項目，如水溫、酸鹼度、濁度、葉綠素及其他共存之離子；河川水分析項目為放射性銫-134 及銫-137。

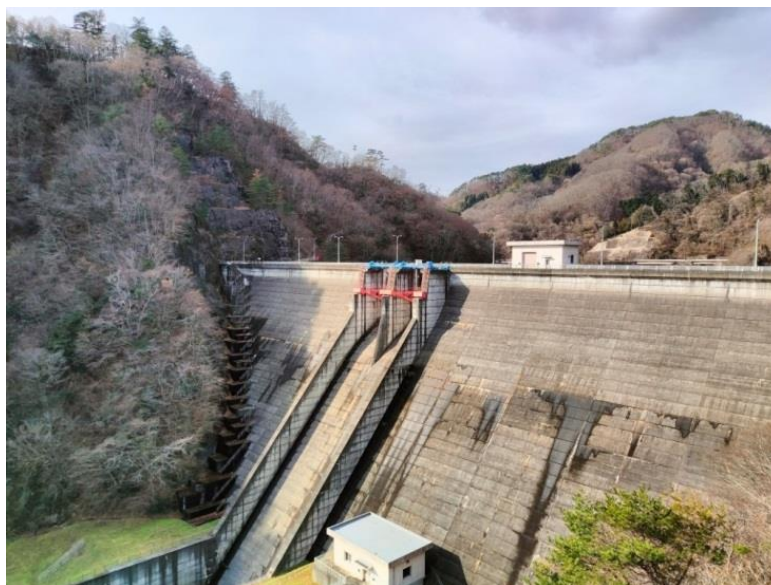


圖 1 橫川水壩(橫川ダム)



圖 2 農田灌溉用渠道

首先水壩水的取樣，現場水壩旁設有自動水樣取樣系統(Automatic Water Sampler)，每月取樣前，會先將此儀器之取水口進行清潔，避免取水口(如圖 3、4 標示)堵塞。



圖 3 清潔取水口之位置





圖 4 利用長刷清潔

自動水樣取樣系統電源配有太陽能板，自動水樣取樣系統上方有分配器(Distributor)，將河川水正確取樣至下方 24 個取樣塑膠瓶，達到長期監測水中濁度(turbidity)之目的。



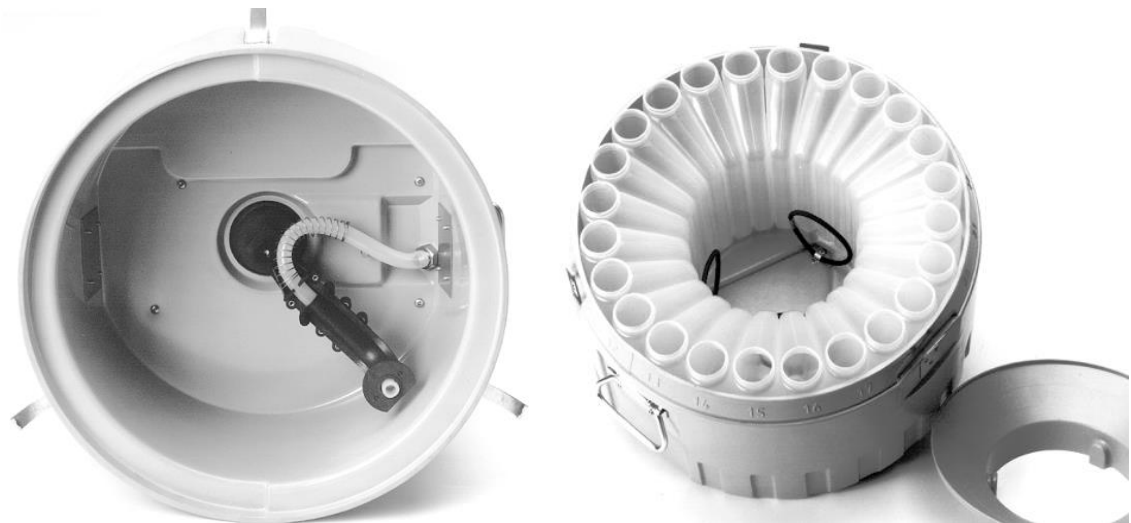
圖 5 電源使用太陽能板

相關數據可藉由行動數據傳輸，並可遠端控制。每月取樣前，會先將此儀器打開，確認各 24 個取樣塑膠瓶情形，若瓶內太髒，則更新取樣塑膠瓶。每個月有 24 個水樣，若因颱風等劇烈變化之情形，才會拿回實驗室進行加馬計測。



圖 6 確認各 24 個取樣塑膠瓶情形

自動水樣取樣系統(Automatic Water Sampler)為商業化儀器，使用儀器為 Teledyne Isco Portable Sampler，相關規格如下。



分配器(Distributor)

24 個取樣塑膠瓶

圖 7 自動水樣取樣系統

資料來源：<https://eco-rentalsolutions.com/product/water/pumps/teledyne-isco-portable-sampler/>

現場水壩水的取樣使用抽水馬達取水，為避免取樣桶子被上個樣品影響，會先使用水壩水清洗取樣桶子。



圖 8 使用抽水馬達取水壩水樣

紀錄取樣表包含相關資料如：日期、時間、水溫、pH 值、導電度、樣品量、流速…等，以利後續統計及分析數據。首先，先在現場取 4 公升的水樣，裝入取樣容器。



圖 9 將 4 公升的水樣裝入取樣容器



圖 10 現場量測導電度

為分析水中共存離子，額外取約 20 毫升的水樣，利用塑膠注射器過濾後裝入 50 毫升離心管，帶回實驗室分析，塑膠注射器之過濾流程如下。

1. 取一個塑膠注射器(syringe)，將水樣品吸入注射器。
2. 連接孔徑  $0.45\mu\text{m}$  針筒過濾器(filter)。
3. 將樣品推入過濾器並放入 50 毫升尖底離心管。
4. 將容器鎖緊，寫上取樣資訊。



圖 11 塑膠注射器過濾取樣

為分析水中浮游生物含量，利用孔徑  $0.7\mu\text{m}$  玻璃纖維濾紙，連接真空幫浦進行過濾。使用鑷子夾取將濾紙向內對折，放入封口袋，帶回實驗室分析水中葉綠素 a (Chlorophyll-a)。濾紙後續會使用丙酮將葉綠素 a 洗出，並使用分光光度計量測水中葉綠素 a，以得知水中浮游生物含量。



圖 12 真空幫浦及過濾器

資料來源：<https://www.mrclab.com/vacuum-filtration-system-for-general-filtration-in-lab-1>



圖 13 將濾紙向內對折

為分析水中及懸浮物中放射性銫之含量，分別使用 SS 過濾匣(SS cartridge)及 Cu-S 過濾匣(Cu-S cartridge)，現場過濾 20 公升之水樣，回實驗室後僅針對過濾匣進行檢測分析。

過濾流速係依據水中離子濃度而定，經測試淡水流速需維持 5 公升/分鐘以下，而海水需維持 1 公升/分鐘以下，水中銫才能完全被過濾匣吸附。另日本目前正在開發其他材料之過濾匣，以提升海水樣品中銫吸附之回收率。



圖 14 現場過濾 20 公升之水樣



圖 15 先 SS 過濾匣，後接 Cu-S 過濾匣

首先，SS 過濾匣孔徑  $1\mu\text{m}$  會吸附懸浮物(suspended solids)，而 Cu-S 過濾匣吸附水中銻(dissolve Cs)。擦乾後將記錄濾芯質量差異，回推水中銻的濃度。



圖 16 SS 過濾匣



圖 17 Cu-S 過濾匣

本次河川水的取樣訓練，前往小高川進行取樣，而太田川、小高川的上游皆為橫川水壩。河川水分析項目為放射性銫-134 及銫-137，取 20 公升河川水並使用 SS 過濾匣(SS cartridge)及 Cu-S 過濾匣(Cu-S cartridge)進行過濾，收集放射性銫帶回實驗室分析。



圖 18 河川水取樣



## 二、水樣及水中懸浮物放射性銫分析訓練

國立環境研究所及福島大學環境放射能研究所主要是以銅離子化合物的過濾匣(Cu-S cartridge)及孔徑為  $1\mu\text{m}$  的過濾匣(SS- cartridge)分別來吸附水中的銫及蒐集水中的懸浮物(suspended solids) ，步驟如下：

1. 將新的過濾匣分別進行編號、秤重並記錄重量為  $W_0$  。



圖 19 過濾匣編號

2. 將樣品水依序注入孔徑為  $1\mu\text{m}$  的過濾匣以及銅離子化合物的過濾匣，使樣品水中的懸浮物附著於孔徑為  $1\mu\text{m}$  的過濾匣後，再以銅離子化合物過濾匣吸附水中的銫。將過濾匣裝入乾淨的夾鏈袋，並記錄注入樣品水的重量，過濾方式如前段所述。
3. 取出過濾匣並擦乾匣外的水後秤重並記錄重量為  $W_1$ ，計算吸附樣品的重量( $W_1 - W_0$ )。

時間	試料	試料量	濾液量	濾液濃度	濾液體積	濾液質量	濾液密度
10:20	10.85	2.05	1.05	1.95	1.05	2.05	1.95
11:15	11.15	2.15	1.15	2.00	1.15	2.15	2.00
12:05	12.05	2.05	1.05	1.95	1.05	2.05	1.95
13:05	13.05	2.05	1.05	1.95	1.05	2.05	1.95
14:05	14.05	2.05	1.05	1.95	1.05	2.05	1.95
15:15	15.15	2.15	1.15	2.00	1.15	2.15	2.00
16:50	16.50	2.50	1.50	2.50	1.50	2.50	2.50

圖 20 取樣紀錄

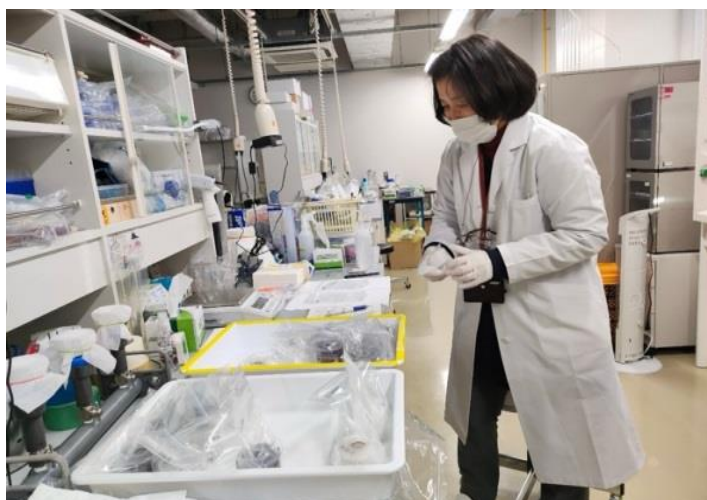


圖 21 擦乾過濾匣秤重並記錄重量

- 將過濾匣放入純鍍偵檢器進行計測。由於過濾匣的幾何形狀與計測皿不同，因此需要使用已知活度的樣品以過濾匣吸附及裝入計測皿進行計測，再計算比值來校正。以國立環境研究所實驗室為例，計測皿與過濾匣的幾何比值為 1.3。

孔徑為  $1\mu\text{m}$  過濾匣的計測結果為懸浮物中銫-137 的含量，銅離子化合物過濾匣的計測結果為水中銫-137 的含量，國立環境研究所及福島

大學環境放射能研究所藉由上述分析技術探討影響銻-137 於水中及沉積物中分布的因素。

### 三、生物氚放射性分析訓練

環境中的氚進入生物體後會以兩種型式存在，一種為組織自由水氚(Tissue Free Water Tritium, TFWT)，以氚水(HTO)形式存在生物體內；另一種為有機結合氚(Organically Bound Tritium, OBT)，以氚與有機物鍵結的方式存在於生物體內。

日本原子力研究開發機構主要是分析福島縣比目魚中生物氚之含量，分析步驟如下：

#### 1. 組織自由水氚(Tissue Free Water Tritium, TFWT)的萃取。

(1) 前處理：將比目魚切成 1 立方公分的塊狀且只保留肉質部分，裝入方鋁盒中以-40°C 預先冷凍。

冷凍乾燥：將 1000 克預冷凍的樣品放入真空冷凍乾燥機，在真空、低溫的狀態下將樣品中的組織自由水氚抽出。



圖 22 真空冷凍乾燥機

2. 有機結合氚(Organically Bound Tritium, OBT) 的萃取。
- (1) 前處理：取出冷凍乾燥後的樣品約 10 克，放入燃燒槽中。
- (2) 燃燒作業：

取冷凍乾燥後的樣品 10 克，放入與上蓋相連的樣品槽中，將蓋子與燃燒瓶旋緊，插入鎳鉻合金引線(Nichrome wire)、填充氧氣後點火。燃燒時間約 2 小時。

燃燒完成後，以冷凝方式收集燃燒瓶內之水蒸氣。將冷凝管放入充滿乾冰的保溫瓶中，冷凝管的一端連接抽氣幫浦，另一端連接燃燒瓶，啟動抽氣幫浦將燃燒瓶中的水蒸氣吸入冷凝管冷凝後收集，10 克的樣品約可收集 5 克的水。



圖 23 燃燒槽內部結構



圖 24 燃燒槽外觀



圖 25 燃燒槽外觀

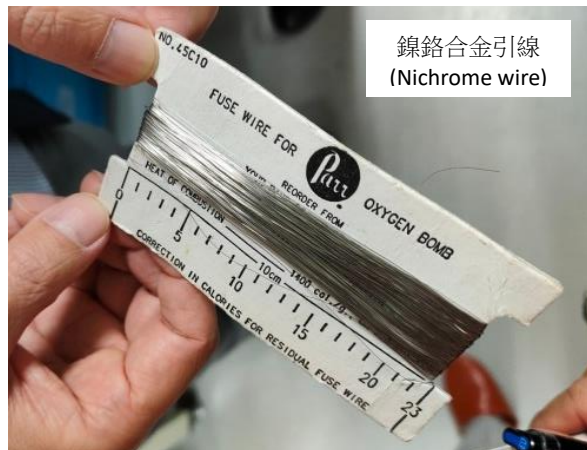


圖 26 鎳鉻合金引線

3. 純化作業：

- (1) 迴流：將萃取出之水樣加入氧化劑(過錳酸鉀， $\text{KMnO}_4$ )，進行加熱、迴流，分解樣品中的有機物。



圖 27 迴流裝置

- (2) 蒸餾：將迴流過後的樣品再次加入氧化劑(過錳酸鉀， $\text{KMnO}_4$ )，進行蒸餾作業並收取蒸餾液。蒸餾液需以分光光度計確認樣品純化的結果。



圖 28 蒸餾裝置

4. 計測作業：氚釋放低能量之貝他粒子，因此須以低背景閃爍計數器（Liquid Scintillation Counter, LSC）進行計測。



圖 29 低背景閃爍計數器(ALOKA LSC-LB-7)

#### 四、海水氚放射性分析訓練

發生福島第一核電廠事故後，因災後產生的廢水即將滿儲，可能將採取海洋排放方式處理。福島縣為了解排放後對周圍海域之影響，自 2020 年一直在福島第一核電廠周圍海域進行海水監測，原先為 6 個監測點。

因日本政府於 2021 年 4 月 13 日正式宣布計畫將 ALPS 處理水排放海洋，福島縣為加強監測而於 2022 年新增了 3 個，共計 9 個監測點進行海域海水取樣分析。為縮短測量分析時間，採取氚快速檢測方式（最低可測值為 10 Bq/L），目前結果顯示均低於最低可測值。

福島縣執行海域監測之 9 個監測點，如下表 2 所列：

表 2 福島縣執行海域監測之 9 個監測點

		監測點位置
原先 6 個 監測點	1	福島第一核電廠 南放水口附近
	2	福島第一核電廠 北放水口附近
	3	福島第一核電廠 取水口附近(港口出入口附近)
	4	福島第一核電廠 離岸 2 公里處
	5	大熊町 夫沢、熊川離岸 2 公里處
	6	雙葉町 雙葉、前田川離岸 2 公里處
增設 3 個 監測點	7	ALPS 處理水放出口以北 2 公里、以西 0.5 公里處
	8	ALPS 處理水放出口以北 1 公里
	9	ALPS 處理水放出口以南 1 公里



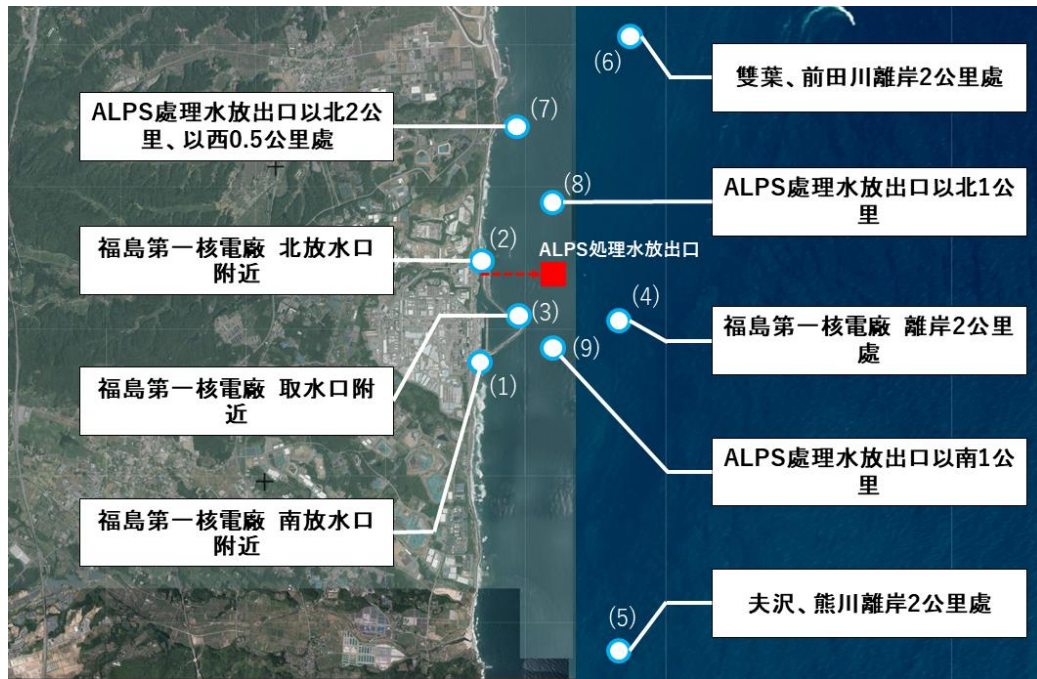


圖 30 福島縣 9 個監測點位置

資料來源：<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-zht/zht-moni-k.html>

本次由福島縣調查分析部放射能調查課長，柴田久男先生講解，並展示實驗室每周取樣之的 9 個監測點海水樣品及氚快速檢測流程。



圖 31 每周取樣之 9 個監測點之海水樣品

海水氚快速檢測係使用減壓濃縮蒸餾法純化，因快速檢測的最低可測值為 10 Bq/L，計測時間約為 100 分鐘。

一般例行海水氣檢測分析方法（減壓蒸餾法純化）：

1. 取約 500 毫升海水樣品中，加入過氧化鈉( $\text{Na}_2\text{O}_2$ )與過錳酸鉀( $\text{KMnO}_4$ )來分解樣品中的有機雜質。
2. 減壓蒸餾純化，透過蒸餾去除雜質，減壓蒸餾裝置如圖 32、33。

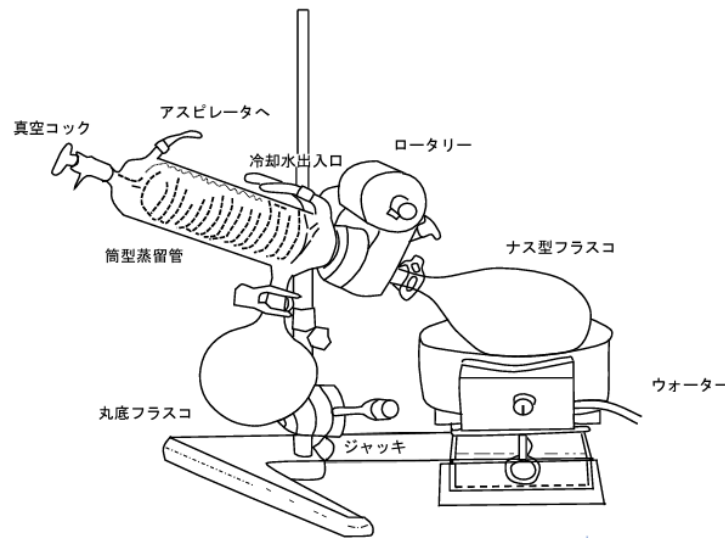


圖 32 減壓蒸餾裝置



圖 33 減壓蒸餾裝置

3. 需檢查冷卻水是否流動，並確認蒸餾管內的壓力已降低。
4. 打開水浴加熱鍋（水溫設定在  $55^{\circ}\text{C}$  左右）。
5. 將海水樣品倒入圓底燒瓶中，蒸餾至樣品乾燥。

6. 使用電導率計測量蒸餾液之電導率(確認小於 1 mS/m)，若大於則需再次蒸餾蒸餾水。
7. 取 50 毫升蒸餾液，置於 100 毫升聚乙烯計測瓶，並加入 50 毫升閃爍劑 (Ultima Gold LLT)，搖動使蒸餾液與閃爍劑均勻混合。



圖 34 聚乙烯計測瓶



圖 35 閃爍劑 (Ultima Gold LLT)

8. 寫上樣品編號、資訊，並於 14°C 下冷藏靜置 1 週。

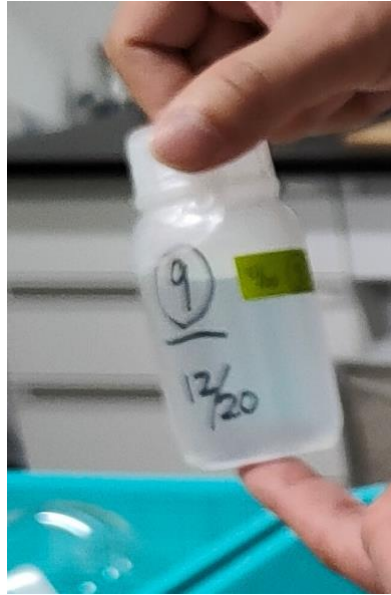


圖 36 寫上樣品編號、資訊

9. 使用低背景液體閃爍計數器 (Liquid Scintillation Counter, LSC) 計測 500 分鐘 (量測 50 分鐘\*10 次，僅取 7 次以去除極端值，得出樣品氚活度濃度)。

日本政府為因應氚水排放之即時檢測，特別建立快速檢測方法，此方法最低可測值(MDA)為 10 Bq/L。

針對海水氚快速檢測，為達到縮短靜置樣品時間，並維持最低可測值(MDA)為 10Bq/L，將 50 毫升蒸餾液及 50 毫升閃爍劑，改為 10 毫升蒸餾液及 90 毫升閃爍劑。一般例行及快速海水氚檢測比較表，如表 3。

表 3 一般例行及快速海水氚檢測比較表

項目	一般例行檢測	快速檢測
前處理方法	減壓濃縮蒸餾	
容器	100 毫升聚乙烯計測瓶	
混合比例 (樣品：閃爍劑)	50 : 50	10 : 90
閃爍劑	Ultima Gold LLT	
樣品冷藏靜置時間	1 週	5~10 小時
計測儀器	液體閃爍計數器(Aloka LB-7)	
計測時間	500 分鐘 (量測 50 分鐘*10 次)	100 分鐘 (量測 10 分鐘*10 次)
最低可測值(MDA)	0.4 Bq/L	10 Bq/L

上述 9 個監測點除了每周之氚快速檢測，還有每季(2 月、5 月、8 月、11 月)執行電解濃縮的氚檢測，最低可測值(MDA)為 0.1 Bq/L。福島縣分析實驗室是以傳統的鹼式電解法進行電解濃縮，由於實驗負責人不在現場，因此未能取得更多資訊。



圖 37 電解濃縮設備

每季除了電解濃縮的氚檢測，還有量測其他核種，包含銫-134+137、銣-90、總 $\beta$ 、鈾-238+239+240。海水放射性濃度調查，詳如表 4。

表 4 各項海水放射性活度濃度調查 (單位：Bq/L)

檢測項目	ALPS 處理水 排放後	ALPS 處理水 排放前	事故前
銫-134	<MDA~0.003	<MDA~0.006	<MDA
銫-137	0.004~0.12	<MDA~0.16	<MDA~0.003
總 $\beta$	0.01~0.02	<MDA~0.07	<MDA~0.05
氚 (電解濃縮)	<MDA~1.6	<MDA~0.66	<MDA~2.9
銣-90	<MDA~0.0032	<MDA~0.015	<MDA~0.002
鈾- 238+239+240	<MDA~0.000018	<MDA~ 0.000018	<MDA~ 0.000013

資料來源：<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/moni-k.html>

## 肆、心得與建議

本次赴日本國立環境研究所(NIES)等相關單位進行環境樣品取樣作業及放射性分析技術訓練，日本對於水樣進行放射性銫分析的方式較為簡單方便，可直接在取樣地點將需要分析的水樣，透過可捕獲銫的過濾匣將樣品中的放射性銫吸附在過濾匣中，無需將 20 公升水樣攜回實驗室中分析。此外，由於過濾匣已將 20 公升水樣中的放射性銫吸附，因此只需將過濾匣直接放入純銻偵檢器中計測即可，相較於本中心需要以磷鉬酸銨結合再沈澱的方式要簡便許多。

由於氚水排放海洋事件，本次也針對日本相關實驗室在海水及生物樣品氚分析技術訓練及交流，在水樣的部分，主要以減壓蒸餾方式進行海水純化，相較中心使用的加熱蒸餾方式，純化樣品所需的溫度較低，時間也較短。在海水氚一般分析方法中樣品冷藏靜置時間為一週，所得計測結果似乎更為穩定。在生物氚的部分，日本原子力研究開發機構使用的是燃燒瓶方式進行生物試樣中生物氚分析，相比目前我國國家原子能科技研究院使用的燃燒方法，雖然此種燃燒過程較為快速（約 2 小時，目前國原院燃燒過程需 8~10 小時），但一次只能裝填 10 克的樣品並回收約 5 克的氚水。

綜上，透過本次見習與經驗交流，了解日本較快速的取樣分析流程，提供本中心在環境取樣及放射性核種分析技術精進之方向，並提出以下建議。

1. 借鏡日本經驗，建議中心評估以過濾吸附技術在取樣地點進行放射性銫或其他核種的吸附之可行性，來減少大量水樣樣品取樣之負擔，同時可省去實驗室純化作業的時間，節省樣品取樣及分析時間。
2. 氚在環境中的活度低，因此日本執行水樣氚一般例行分析時，在混合樣品及閃爍液後的冷藏靜置時間較長並確保樣品及閃爍液充分混合且反應穩定後再進行計測，分析結果較為穩定。目前中心的冷藏靜置時間約半天至一天，建議測試不同靜置時間對計測結果之影響。

3. 環境中氚水進入生物體內會形成生物氚，因此除精進環境水樣氚分析技術外，也需建立生物氚分析技術，建議可參考日本原子力規制廳訂定氚之分析方法(令和 5 年改訂)建立本中心生物氚分析技術。



## 伍、 附錄



與日本國立環境研究所(NIES)成員合照  
(由左至右分別為林 誠二組長、境優主任研究員、辻 英樹主任研究員、  
武地誠一高度技能專門員、石井弓美子主任研究員)



於福島大學環境放射能研究所合照  
(左一為環境放射能研究所五十嵐 康記特任助教，右一為辻 英樹主任研究員)

## 陸、 參考資料

1. 日本原子力規制廳 放射性測量系列 No.9 氚分析方法 (2023 年 10 月改訂)  
[https://www.kankyo-hoshano.go.jp/wp-content/uploads/2023/10/No09\\_R510.pdf](https://www.kankyo-hoshano.go.jp/wp-content/uploads/2023/10/No09_R510.pdf)
2. 日本分析中心(JCAC) 氚分析方法的分析時間與檢測極限  
<https://www.env.go.jp/content/000094125.pdf>
3. 福島縣廳 ALPS 處理水相關海域監測結果  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/moni-k.html>
4. 東電公司處理水入口網  
<https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/watertreatment/index-e.html>
5. 東電公司海域監測結果  
<https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/monitoring/>
6. Rapid Tritium Analysis for Marine Products in the Coastal Area of Fukushima  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/radiatenvironmed/9/1/9\\_28/article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/radiatenvironmed/9/1/9_28/article/-char/ja/)

# 査、 補充資料

## 補充資料一 氚快速分析法之検討

(放射線計測部門)

**トリチウム迅速分析法の検討**

福島県 ○橋本 晃佑、前川 暁洋、鈴木 崇之、吉田 博文

令和3年、政府がALPS処理水の海洋放出の方針を決定し、本年8月24日から放出が開始され、県でもモニタリング体制を強化しながら監視を行っている。体制の強化に当たり、海水のトリチウム濃度を速やかに確認・公表することが重要であることから、従来よりも迅速なトリチウム分析法について検討を行ったので、結果を報告する。

### 従来の分析条件及び今回の検討条件

従来のトリチウム分析条件を以下に示す。

項目	条件等
前処理法	減圧蒸留
容器	100 mLテフロンバイアル
液体シンチレータ	Ultima Gold LLT(ルビィ)
試料：液体シンチレータの混合比	50 mL: 50 mL
静置時間	1週間
トリチウム濃度測定方法	液体シンチレーションカウンター(LSC-LB7, 日本レック)によるβ線測定
測定時間	500分/試料(50分×17回測定を行い、内10回分を濃度計算に使用)
検出下限値	0.4 Bq/L程度

従来法からの迅速化に向けて「静置時間」及び「測定時間」の短縮を検討した。一般に検出下限値は測定時間を長くすると低くなり、逆に測定時間を短くすると高くなる。本検討では検出下限値の目標を10 Bq/L程度とし、この水準となる条件を探ることとした。

また、試料量が減少すれば、前処理の時間を短縮できる可能性もあるため、試料：液体シンチレータの混合比について、50 mL : 50 mLと10 mL : 90 mLの2条件での比較も行うこととした。

### 静置時間の検討

試料と液体シンチレータの混合直後は疑似発光によりカウントが高くなるため、測定前には十分な静置時間が必要とされている。そこで、トリチウムをほとんど含まない水試料(以下、「Bq水」という)と液体シンチレータを混合し、15分間蛍光灯照射後、10分測定を24時間程度継続して行い、カウントの傾向を確認した。

結果を図1、図2に示す。いずれの混合比においても、混合直後は高いカウントを計測するが、数時間程度経過するとカウントが減少することを確認した。これは国による検討結果とも一致している。(1)

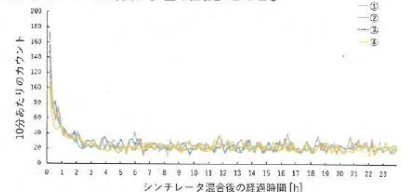


図1 Bq水24時間カウント (試料：液体シンチレータ混合比 50 ml : 50 ml)

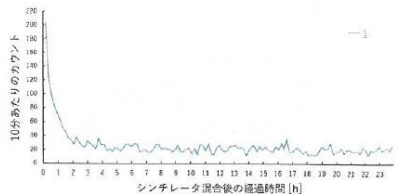


図2 Bq水24時間カウント (試料：液体シンチレータ混合比 10 ml : 90 ml)

(1) ALPS 処理水に係る海域モニタリング専門家会議 (第6回) 資料8 (別紙1) トリチウム分析法の分析時間と検出下限値について <https://www.env.go.jp/content/00094125.pdf>

### 測定時間の検討

次に測定時間の検討を行った。0.39 Bq/L~500 Bq/Lの間の濃度に調製したトリチウム試料水(9種類)と液体シンチレータを混合し、5時間以上静置した後、1~100分間の測定を行った。各試料濃度及び混合比と測定時間の関係を図3に示す。

また、検出下限値が目標である10 Bq/L程度となった条件における各測定データを図4~7に示す。図6と図7を比較すると、平均値をとると同程度の検出下限値となる条件でも、測定時間が短いほど値のばらつきが大きくなる傾向が確認された。

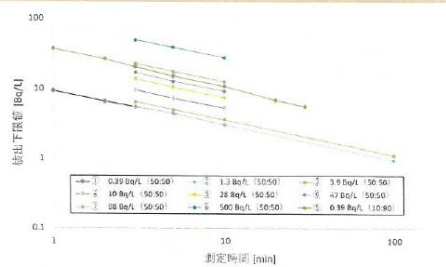


図3 測定時間と検出下限値の関係

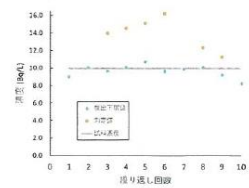


図4 試料濃度10 Bq/L、測定時間3分 (試料：液体シンチレータ混合比 50 ml : 50 ml)

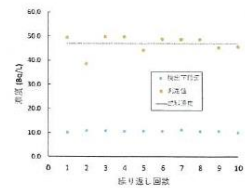


図5 試料濃度47 Bq/L、測定時間10分 (試料：液体シンチレータ混合比 50 ml : 50 ml)

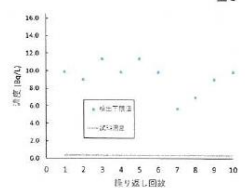


図6 試料濃度0.39 Bq/L、測定時間1分 (試料：液体シンチレータ混合比 50 ml : 50 ml)

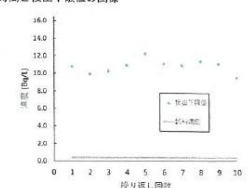


図7 試料濃度0.39 Bq/L、測定時間10分 (試料：液体シンチレータ混合比 10 ml : 90 ml)

## 補充資料二 福島県海域監視結果

資料2-1

### 福島県が実施するALPS処理水に係る海水モニタリングの結果について (令和5年度第1四半期・速報)

令和5年10月11日  
福島県

県では、令和4年度から福島第一原子力発電所周辺海域において、調査測点を3測点追加し、既存6測点と合わせた計9測点で海水のモニタリングを実施しております。

令和5年4月から6月分の調査結果は次のとおりであり、昨年度からの測定値とほぼ同程度でした。

(単位：Bq/L PuはmBq/L)

測定項目	今期の測定結果			過去の測定結果 (最大値)		検出下限値
	R5.4.25	R5.5.10	R5.6.7	R4	R1~R3	
セシウム134	ND	ND~ 0.003	ND~ 0.003	0.006	0.028	約0.001~ 0.002
セシウム137	0.003~ 0.008	0.008~ 0.14	0.004~ 0.12	0.16	0.38	
トリチウム (減圧蒸留法)	ND	ND	ND~0.39	0.62	1.4	約0.3~ 0.5
トリチウム (電解濃縮法)	—	ND~ 0.21	—	0.66	—	約0.03~ 0.06
全ベータ放射能	0.01~ 0.02	0.01~ 0.02	0.01~ 0.02	0.07	0.05	約0.01
ストロンチウム 90	0.0007~ 0.0009	ND~ 0.012	0.0005~ 0.0072	0.015	0.035	約0.0005
プルトニウム 238	ND	ND	ND	ND	ND	約0.003~ 0.01
プルトニウム 239+240	ND~0.010	ND~0.018	ND~0.015	0.014	0.019	

- (注) 1 「ND」：検出下限値未満 「—」は測定値なし  
 2 その他のガンマ線放出核種（マンガン54、コバルト58、鉄59、コバルト60、ジルコニウム95、ニオブ95、ルテニウム106、セリウム144）はNDでした。  
 3 R1~R3の過去の測定結果（最大値）は、既存6測点の結果です。

ALPS処理水に係る海水モニタリングの調査結果（速報）

(単位：Bq/L, PuはmBq/L)

調査測点	採取年月日	Cs-134	Cs-137	H-3 (減圧蒸留法)	H-3 (電解濃縮法)	全ベータ放射能濃度	Sr-90	Pu-238	Pu-239+240
双葉・前田川沖2km	R5.4.25 R5.5.10 R5.6.7	ND ND ND	0.003 0.008 0.006	ND ND ND	- ND -	0.02 0.01 0.01	0.0008 0.0009 0.0007	ND ND ND	ND 0.008 ND
第一（発）北放水口付近	R5.4.25 R5.5.10 R5.6.7	ND ND ND	0.008 0.011 0.110	ND ND ND	- 0.05 -	0.01 0.01 0.01	0.0009 0.0009 0.0012	ND ND ND	ND 0.018 ND
第一（発）取水口付近	R5.4.25 R5.5.10 R5.6.7	ND 0.003 0.003	0.006 0.140 0.120	ND ND 0.39	- 0.21 -	0.02 0.02 0.02	0.0008 0.0120 0.0072	ND ND ND	ND 0.007 0.011
ALPS処理水放出口予定場所北2km西0.5km	R5.5.10	ND	0.009	ND	ND	0.01	0.0010	ND	0.010
ALPS処理水放出口予定場所北1km	R5.5.10	ND	0.009	ND	ND	0.01	ND	ND	ND
ALPS処理水放出口予定場所南1km	R5.5.10	ND	0.020	ND	ND	0.01	0.0007	ND	ND
第一（発）沖合2km	R5.4.25 R5.5.10 R5.6.7	ND ND ND	0.004 0.010 0.025	ND ND ND	- ND -	0.02 0.01 0.02	0.0009 0.0009 0.0016	ND ND ND	0.01 0.012 ND
第一（発）南放水口付近	R5.4.25 R5.5.10 R5.6.7	ND ND ND	0.006 0.014 0.010	ND ND ND	- 0.05 -	0.02 0.01 0.01	0.0009 0.0013 0.0009	ND ND ND	ND 0.008 0.015
夫沢・熊川沖2km	R5.4.25 R5.5.10 R5.6.7	ND ND ND	0.004 0.008 0.008	ND ND ND	- ND -	0.01 0.01 0.02	0.0007 ND 0.0005	ND ND ND	ND ND 0.007
検出下限値		約0.001	約0.002	約0.3~0.5	約0.03~0.06	約0.01	約0.0005	約0.003	約0.01



引用元：Google社「Googleマップ」  
 (注) 1 「ND」：検出下限値未満 「-」：測定値なし  
 2 その他のガンマ線放出核種（マンガン54、コバルト58、コバルト60、ジルコニウム95、ニオブ95、ルテニウム106、セリウム144）はNDでした。

ALPS 処理水に係る海水モニタリングの調査結果（速報）

調査測点	採取年月日	気温 (°C)	水温 (°C)	pH	Cl- (%)
双葉・前田川沖2km	R5.4.25	11.0	12.5	8.1	22.5
	R5.5.10	15.5	14.5	8.1	21.7
	R5.6.7	19.5	17.0	7.9	21.5
第一（発）北放水口付近	R5.4.25	11.0	13.0	8.1	22.3
	R5.5.10	14.5	14.8	8.1	22.0
	R5.6.7	20.5	17.0	7.9	21.6
第一（発）取水口付近	R5.4.25	10.5	13.5	8.1	23.2
	R5.5.10	14.5	15.0	8.0	21.6
	R5.6.7	20.5	17.5	8.0	21.2
ALPS処理水放出出口予定場所 北2km西0.5km	R5.5.10	9.5	10.5	8.1	23.2
ALPS処理水放出出口予定場所 北1km	R5.5.10	9.5	10.7	8.1	23.2
ALPS処理水放出出口予定場所 南1km	R5.5.10	9.5	11.2	8.1	23.1
第一（発）沖合2km	R5.4.25	10.5	13.5	8.1	22.3
	R5.5.10	15.0	14.5	8.1	22.0
	R5.6.7	19.0	17.0	7.9	21.2
第一（発）南放水口付近	R5.4.25	10.5	13.2	8.1	22.5
	R5.5.10	14.5	14.8	8.1	21.8
	R5.6.7	21.0	16.5	7.8	21.1
夫沢・熊川沖2km	R5.4.25	9.5	14.0	8.1	22.7
	R5.5.10	13.5	14.5	8.1	21.7
	R5.6.7	18.5	16.5	7.9	20.9

引用元：Google社「Googleマップ」

福島県が実施するALPS処理水に係る海水モニタリングの結果について  
(トリチウムの迅速分析・速報値)

県では、ALPS処理水の海洋放出に伴う海域への影響を監視するため、海水のトリチウム濃度を速やかに確認・公表するための迅速分析を実施しております。

令和5年8月25日以降、9月末までに毎週採水した海水のトリチウム濃度は、迅速分析を実施した結果、下表のとおり全9測点で検出下限値未満(3.4~6.3 Bq/L未満)であり、人や環境への影響がないことを確認しました。

表 ALPS処理水に係る海水モニタリング結果(トリチウムの迅速分析)

(単位: Bq/L)

調査測点	採水年月日	R5.8.25	R5.8.30	R5.9.3	R5.9.12	R5.9.19	R5.9.26	R4.4月~R5.6月まで
(1) 第一(発)南放水口付近		ND (4.1)	ND (4.1)	ND (4.3)	ND (3.8)	ND (5.9)	ND (3.7)	0.04~0.11
(2) 第一(発)北放水口付近		ND (4.0)	ND (4.2)	ND (4.2)	ND (3.9)	ND (6.3)	ND (3.9)	0.04未満~0.34
(3) 第一(発)取水口付近		ND (3.9)	ND (4.2)	ND (4.4)	ND (3.8)	ND (5.8)	ND (3.8)	0.05~0.66
(4) 第一(発)沖合2km		ND (4.1)	ND (4.1)	ND (4.1)	ND (3.7)	ND (5.3)	ND (3.8)	0.05未満~0.09
(5) 夫沢・熊川沖2km		ND (4.1)	ND (4.4)	ND (4.3)	ND (4.0)	ND (5.2)	ND (3.7)	0.04未満~0.09
(6) 双葉・前田川沖2km		ND (3.8)	ND (4.2)	ND (4.0)	ND (3.5)	ND (5.1)	ND (4.0)	0.05未満~0.10
(7) ALPS処理水放出口北2km西0.5km		ND (3.7)	ND (4.1)	ND (3.8)	ND (3.4)	ND (5.1)	ND (3.9)	0.05未満~0.10
(8) ALPS処理水放出口北1km		ND (3.8)	ND (4.1)	ND (3.8)	ND (3.6)	ND (5.1)	ND (3.9)	0.04未満~0.11
(9) ALPS処理水放出口南1km		ND (3.7)	ND (3.9)	ND (3.8)	ND (3.8)	ND (5.0)	ND (3.9)	0.05未満~0.09

※ND(検出下限値未満)の場合、検出下限値を括弧内に示しています。

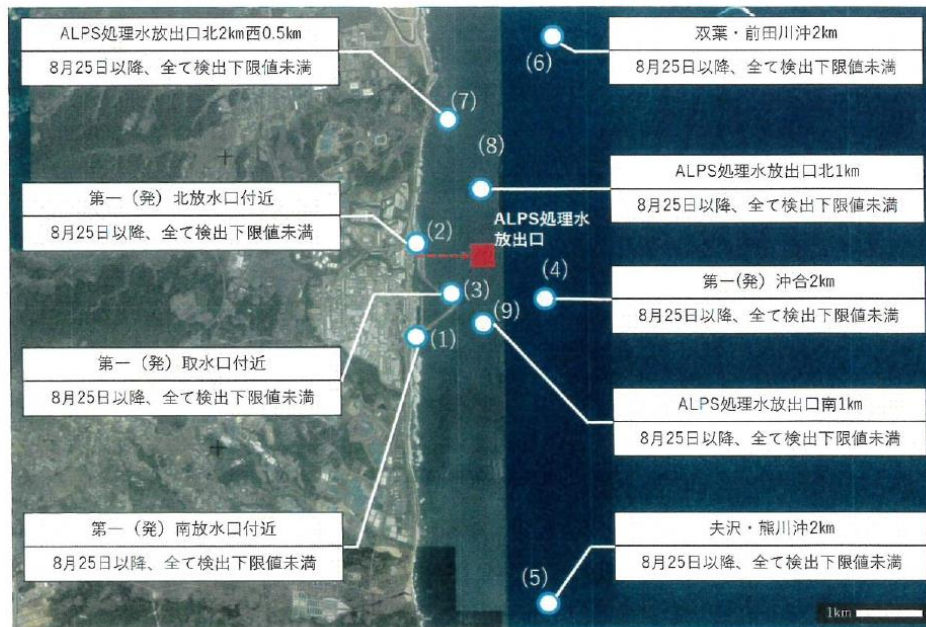


図 ALPS処理水に係る海水モニタリング測点図

令和5年12月19日

ALPS処理水に係る海水モニタリングの結果について  
(トリチウムの迅速分析・速報値)

県では、ALPS処理水の海洋放出に伴う海域への影響を監視するため、海水のトリチウム濃度を速やかに確認・公表するための迅速分析を毎週実施しております。

令和5年12月15日に採水した海水のトリチウム濃度は、迅速分析を実施した結果、下図のとおり、全9測点で検出下限値未満(4.3~5.1 Bq/L未満)であり、人や環境への影響がないことを確認しました。

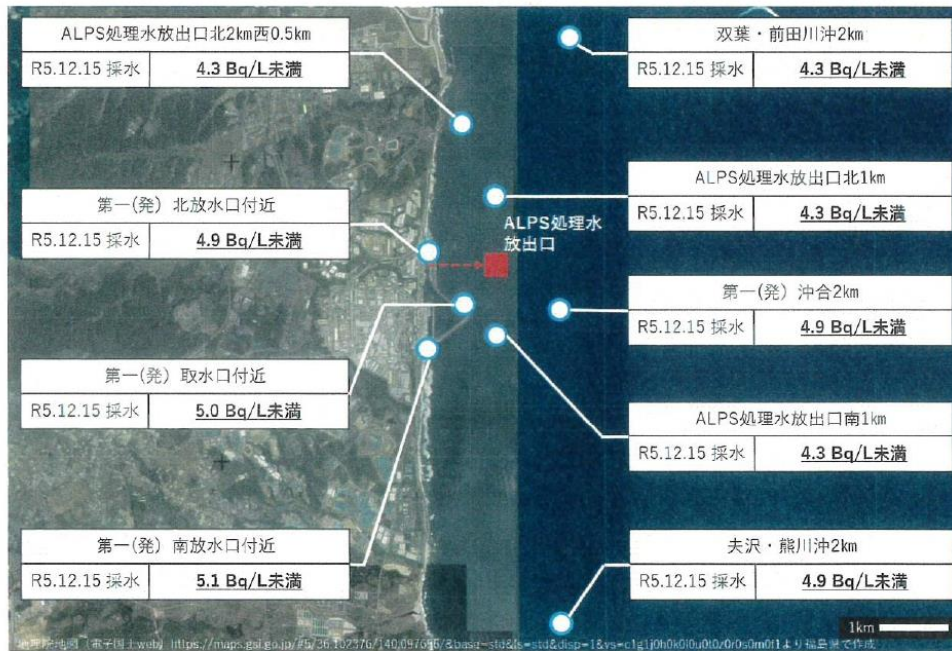


図 ALPS処理水に係る海水モニタリング結果(トリチウムの迅速分析)

これまでのトリチウムの迅速分析結果

採水日	測点数	測定結果
8/25、8/30、9/3、9/12、9/19、9/26、10/8、10/12、10/20、10/24、11/3、11/9、11/14、11/22、11/28、12/5	9測点	検出下限値未満(3.4~6.3 Bq/L未満)

※ トリチウムの迅速分析については、検出下限値の目標値を10 Bq/Lとして、測定時間を短縮する等により、これまでより速やかに測定することができます。  
 検出下限値の目標値10 Bq/L未満であれば、日本全国における2015年度以降の海水の最大値20 Bq/Lや排水に関する国の安全規制の基準及びWHO飲料水の基準を下回っていることを確認できます。

※ トリチウムの電解濃縮法による分析(検出下限値の目標値0.1 Bq/L)は、月に1回実施しております。