

科發基金管理會補助計畫成果報告

國家海域放射性物質環境輻射監測及安全 評估整備計畫

計畫編號：MOST 110-3114-Y-042A-001

執行期間： 110年 7月 1日至 111年 12月 31日

計畫主持人：行政院原子能委員會核能研究所徐獻星副所長

共同主持人：交通部中央氣象局馮欽賜副局長

海洋委員會國家海洋研究院楊文昌主任

行政院原子能委員會輻射偵測中心蔡文賢副主任

期末報告處理方式：

1. 公開方式：

非列管計畫亦不具下列情形，立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否 是

3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考 否 是，行政院原子能委員會（請列舉提供之單位；本會不經審議，依勾選逕予轉送）

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所

中 華 民 國 112年3月8日

中文摘要

日本經濟產業省針對日本福島貯存共 860 兆貝克的含氚處理水提出 5 種建議處置方式，包含：地層注入、地下埋設、海洋排放、水蒸氣排放及氫氣排放；而其中「海洋排放」因為成本較低及有排放先例，成為最後日本政府拍板定案之處置方式，並預計於 2023 年開始進行排放。含氚處理水的排放不僅提高海洋環境核輻射值，水中可能也含有些微的高毒性核種，並透過海洋的傳輸和擴散而影響我國人的食安和健康、海洋生物的輻射累積，以及漁業經濟與海域遊憩活動，必須儘早因應。

為此，本計畫透過跨部會整合，彙整原子能委員會的原子能專長以及海洋委員會的海洋專長，以跨領域整合國家型任務來解決具有時效性的含氚處理水排放事件，以主動災害防護的觀點進行應變整備工作，其研究成果包含：(1)建立公開透明的資訊整合平台供民眾即時查詢，可同時顯示排放事件的趨勢預測、水產檢測、海水分析、漁場影響等，降低日本排放福島處理水事件對我國漁業的損害衝擊，並達到安定民心的效果；(2)結合海流趨勢預測與生態調查建立前瞻海洋輻射預警系統，可提前預警分析福島含氚處理水排放的影響趨勢；(3)訂定代表性取樣點進行海水、漁獲取樣分析，取得背景基線數據，確保海域輻射安全。

本計畫完成之成果分述如下：(1)已完成「放射性物質海域擴散海洋資訊平台 TW-ORIS」之上線作業，持續匯入海水及生物輻射檢測數據，提供海域輻射監測、海流趨勢、及漁場魚種的互動地圖呈現功能供民眾查詢。(2)於 2022 年 8 月 25 日辦理「福島第一核電廠含氚處理水排放之輻射擴散模擬與量測技術國際研討會」，邀請美、法、日、台專家針對福島電廠氚水排放之擴散模擬及量測技術進行交流，學習相關技術經驗，有助於未來相關技術之研發，並藉此提升國際能見度。(3)為了解含氚處理水排放後的傳輸擴散情形，已完成蒐集並分析西北太平洋洋流流況相關文獻，清楚瞭解西北太平洋的海流流況特性。此外，透過海象預報技術、使用 SCHISM 模式開發海洋傳輸擴散系統及建立預警系統，包含顆粒軌跡模擬以及放射性物質海洋傳輸擴散系統，透過理想案例測試、小範圍測試及全域測試分析放射性物質傳輸擴散的過程，完成放射性物質海洋傳輸擴散預報作業系統並校驗。(4)透過海洋委員會海巡署、海洋保育署及農業委員會水產試驗所之協助，已完成臺灣沿岸、離島及鄰近海域的海水取樣，由輻射偵測中心執行海水氚活度分析，檢測結果均無異常；而生物氚檢測技術開發部分，核研所已於 2022 年 6 月完成生物氚檢測實驗室建置，其中包含檢測所需設備購置及標準作業程序建立，並完成國海院海生中心 2021 年第四季~2022 年第四季臺灣沿近岸 6 個採樣點之生態採集、樣本氚含量分析，檢測結果均未超標，完善國內海域背景基線數據庫。(5)國海院已完成加馬輻射偵檢儀和浮標的系統整合、布放和試營運，以確保現場輻射自動偵檢系統能穩定提供每日即時監測數據，目前監測結果均無異常。

關鍵字：含氚處理水、海水取樣分析、輻射背景基線、輻射預警系統、海洋生態永續

英文摘要

Japan Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) suggested the disposal methods for all 860 trillion Becquerel (TBq) tritiated water in the Fukushima site, including geosphere injection, discharge into the sea, vapor release, hydrogen release and underground burial. Recently, the Japanese government has chosen “Sea disposal method” as the final decision because it seems to be the most feasible method for current situation. However, the tritiated water discharge would have a chance to increase radioactivity in the marine environment and may contain a small amount of toxic nuclei. By means of the transmission and diffusion throughout the ocean, the discharge may influence our people's food safety and health, the bio-accumulation of radiation in marine creatures, and fisheries economics and maritime recreational activities, which must be responded to as soon as possible.

To solve this time-limited national issue, Atomic Energy Council (AEC) and Ocean Affairs Council (OAC) held an inter-departmental integration preparation project aimed at radioprotection and marine safety. And gives expected key-results as below: (1) Establishing an integrated open information platform: The platform will be designed for showing real-time trend analysis, radiation monitoring data, radionuclide analysis results, etc. (2) Developing an early radiation warning system by sea dispersion forecast model and marine ecosystem research. (3) Radionuclide baseline analysis of seawater and aquatic products: The samples will be collected from a representative sampling area, calculated by the sea dispersion forecast model.

The achievements of this project are described as follows: (1) The “TW-ORIS” platform has been deployed on-line, which provides the interactive map presentation function of ocean radiation monitoring, current trends, and fish species in fisheries for public inquiry. In addition, the platform also integrates various information and related popular science explanations on the original official website of the AEC, so that the public can find the correct information, which can not only reassure the public, but also avoid wrong information. (2) An international conference was held on August 25, inviting experts from the United States, Europe, Japan, and Taiwan to exchange views on the dispersion simulation and measurement technologies of tritiated water discharge from Fukushima Power Plant, and learn relevant technical experience, which will help further research and development of related technologies. (3) To understand the phenomenon of discharging the diluted tritium wastewater, this project has completed the investigation and analysis of references around the northwest Pacific. Besides, this project applied the SCHISM diffusion and dispersion module on the transportation of radionuclides and set up an ideal case to examine the performance of the module. Successfully, the SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model) diffusion and dispersion module can be utilized to comprehensively display the transportation phenomenon of radionuclides' concentration. (4) To establish the background database of tritium activity in the ocean, the seawater samples were collected around Taiwan in cooperation with OAC and Council of Agriculture. The seawater samples were analyzed by Radiation Monitoring Center. And the result shows that there is no abnormal radiation. In addition, for the development of

tritium analysis technique for biota in this project, the tritium analysis laboratory for marine biota has been constructed in June 2022, which included the purchase of measurement equipment for testing and the establishment of standard operating procedures. The established tritium analysis technique was used to measure the tritium activity of the pelagic economic fish for building up the base-line data around Taiwan. (5) This project also setup a gamma radiation buoy station. The system integration, deployment and operation of gamma radiation detectors and buoys was done to ensure that the on-site radiation automatic detection system can stably provide daily real-time monitoring data.

Keywords: Tritiated water, Seawater sampling, Radiation baseline, Early warning system, Ecological sustainability of marine lives

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
壹、 前言	1
貳、 研究目的	4
參、 研究方法	6
肆、 計畫執行情形說明	11
伍、 結果與討論	25
一、 資訊公開平台建置與國際交流	25
二、 放射性物質擴散潛勢預報及示警	42
三、 背景基線數據庫建立-生物氬實驗室成立及技術開發	70
四、 背景基線數據庫建立-海水分析及研究船取樣作業	82
五、 背景基線數據庫建立-臺灣沿近岸海域之生物樣本採集調查	87
六、 背景基線數據庫建立-建置海洋核輻射即時監測裝置	91
陸、 參考文獻	109
柒、 計畫成果自評	119
附錄 1、原能會 2022 年 2 月 16 日執行本計畫查核之紀錄	127
附錄 2、原能會 2022 年 8 月 16 日執行本計畫查核之紀錄	135
附錄 3、研究船海水取樣紀錄表(A~I 點)	157
附錄 4、沿岸生態樣本取樣紀錄	182

壹、前言

日本於 2011 年 3 月 11 日的發生福島第一核電廠 7 級核災事件，依據國際原子能總署於 2015 年的發布資料，累計福島事故到 2011 年 4 月初的放射性核種外釋到海洋的量是處於高峰，向海洋直接外釋的碘-131 累計估計為 10~20 千兆貝克，銫-137 估計為 2.3~26.9 千兆貝克。雖大部分放射核種仍保留在燃料棒中，但尚有少部分人造放射核種未經處理而釋放至環境中，又以直接流入太平洋居多，總放射活度計約 520 ± 180 PBq(即千兆貝克)；流經受損核電廠的地下水即使經過先進液體處理系統(ALPS - Advanced Liquid Processing System)處理，仍含有相當的輻射活度，特別是氫。然，時隔 10 年，2021 年 4 月日本政府宣告福島第一核電廠所儲存經 ALPS 處理之含氫處理水擬於 2023 年排放，再度引起包括臺灣在內的諸多國家警覺。

這批處理水儲量於 2020 年底達 1.37 百萬立方公尺，預計於 2023 年滿載。日本政府正式於 2021 年宣布以海洋排放方式處理含氫處理水；此舉已獲國際原子能總署(IAEA)支持，雖日方說明此氫水排放規劃對於人體造成輻射影響低微，然日方排放含氫處理水之規劃，引起國內民眾與立院委員，對於含氫處理水經海洋水體傳輸，是否會對於海洋生態、漁產品、以及民生經濟等造成危害產生疑慮。我國政府正視及研究福島含氫處理水排放所可能引發的民生、生態和經濟的短期和長期效應，行政院迅速指示由原能會成立跨部會因應平台，掌握日本動態並提出因應對策，降低可能對民眾、環境的傷害或損失。

日本規劃排放含氫處理水，對我國可能產生之衝擊與影響包括放射性物質可能沿洋流衝擊我國遠洋及近海魚場，衝擊我國漁業風評，漁民憂心生計受影響；放射性物質可能隨進口或國內捕撈或養殖，而隨水產食品進入市場，民眾擔心食品安全；放射性物質可能影響沿岸海洋生態系；相關資訊若無準確傳達，民眾亦可能因未知而產生恐慌。

綜上，對日本規劃排放核處理水，引起鄰國不滿，最主要還是消費者擔心漁獲食品安全，且漁民喊苦憂生計受影響。而政府保障國內漁業及人民健康的決心，也針對漁民未來若受損害之求償機制等議題，進行跨部會協商。首要需加強海域環境背景輻射監測與分析技術，以及透過跨部會合作機制，持續精進我國周邊海域監測並做好影響評估。而原能會超前部署於 2020 年 4 月即邀請相關部會召開「福島核災處理水排放跨部會因應平台」，站在政府自主防護與保障國人安全的觀點，提早佈署應對策略，並依據日方預期排放的時間，以目標導向擬定我國鄰近海洋輻射監測之「整備期」、「應對期」及後續「長期監控」三階段技術發展與事件應對佈局：

(一)整備計畫(1.5年)(本計畫 2021~2022年):

由原能會核研所、海委會國海院及交通部氣象局共同研提第一階段之「國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫」，執行期程自 2021 年 7 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日，共計 1.5 年。整備計畫之主要目標為因應兩年後的排放事件，提前完成所有必要的整備工作，如前述包括：(1)針對遠洋關注海域增補量測以建立「海水氚活度背景基線值」；完成開發生物體(洄游魚種)「自由無機氚」與「有機鍵結氚」檢測技術。如此排放前的氚基線數據可作為排放後對照之重要數據，生物體之氚檢測技術則因為難度較高，在整備階段完成相關之檢測標準流程，除了後續可應用於應對期之檢測工作外，甚至可以先進之技術供國際其他團隊參考。(2)進行區域性精準海洋擴散趨勢模擬分析，並透過海洋浮標進行氣象資訊蒐集與模式驗證；完成不同季節之臺灣海域生態系調查作業，精準預測放射性物質擴散路徑，該分析能透過歷史洋流資訊，以模式運算提供日方排放氚水後擴散至臺灣海域的可能濃度及抵達時間點，將可能之擴散趨勢及可能遭受影響魚種，透過資訊公開平台顯示，提供政府提前採取應對機制。(3)開發動態圖形化海域影響與監測作為等資訊公開平台，整合跨部會之相關監測與預報資訊，提供民眾隨時查找正確資訊，避免假消息誤傳擾亂民心，並透過資訊公開，使國人可以「安心」、「放心」。

(二)應對計畫(4年)(2023~2026年):

原能會擬依循國家科技預算編列，透過「跨部會因應平台」邀集農委會漁業署、水試所、交通部氣象局、海委會國海院、衛福部食藥署等相關部會，規劃於日本福島含氚處理水排放後開始接續執行第二階段之四年期「國家海域放射性物質擴散預警及安全評估應對計畫」。

四年期應對期間將依循第一階段所預警的可能擴散趨勢範圍及受影響魚種，規劃進行排放後的跨領域應對監測技術開發，其內容包含：(1)臺灣鄰近海域海水及重點洄游魚類放射性物質監測，針對排放後的海水及魚類進行全方位監測，將延伸背景基線值調查的概念，配合取樣、輻射檢測等量能盤點，逐步建立轉變為配合排放時程持續進行的例行性監測技術(每季度、每年)；(2)進行臺灣鄰近海洋食用魚類、藻類邊境調查及風險評估，透過氚的代謝研究，必要時可提供主管機關做為食安法規修訂之參考；(3)將海洋擴散預報及示警系統配合氣象局之氣象預報經驗，提升為例行作業化之預報系統，並可擴大模擬應用範圍至中國大陸沿岸核電廠異常排放，仿照沙塵暴預警的概念，隨時監控可能對臺灣海域所造成之影響；(4)臺灣沿岸海洋生態輻射背景和食物鏈累積評估，透過海域生態調查及評估報告，提出年度報告，確保我國沿岸海洋環境之生態永續發展。

(三)長期監控計畫(2027年~):

在應對計畫執行完成後，所有的技術開發已經成熟並獲得驗證可行，可從應對技術之開發將轉為長期例行監控，考量相關部會之長期營運人力與設備量能，並依照應對計畫之取樣、輻射檢測經驗及技術開發，透過維持一定的例行營運人力及設備，完善後續長達數十年的後續「長期監控」計畫；但由於日方尚未公布詳細的排放計畫、排放設備細節、海域監測規劃等內容，後續仍有許多的不確定性，原能會將持續關注日方在未來的規劃動向，並依當下情勢隨時滾動修正計畫之研發策略。

綜上所述，為確保福島電廠排放含氚處理水排放之：(1)我國民眾後續健康影響、(2)維護我國漁民權益與保護漁產食品安全、(3)降低民眾之輻防/食安疑慮等施政重點，而進一步評估對於社會、經濟與環境永續發展影響層面。本計畫在第一階段完成重要之技術工具，做為未來解決相應挑戰之基礎，並準確銜接至未來長達數年的排放應對當中。

貳、 研究目的

本計畫在整備階段以 1.5 年期程達成整體目標，以求在 2023 年的預期氫水排放事件前，完整臺灣海域放射性物質擴散預報及示警之整備作業，以安定民心、確保漁業水產風評、確保輻射安全及海洋永續等需求為導向，共規劃 3 大計畫主軸，包含「資訊公開與國際交流」、「放射性物質海域擴散潛勢預報及示警」、「擴大海域背景基線調查」，其中可歸納為背景基線數據、檢測技術、資訊平台、海流模式及資料庫等重要工具，並以此延伸至 2023 年開始的應對計畫相關應用，如圖 1，分別延續應用至水產洄游魚檢測、食品後市場調查、擴散預警系統等面向，守護臺灣海域安全。

本計畫完成上述之重點技術研發後，以技術基礎延伸銜接至 112~115 年「國家海域放射性物質擴散預警及安全評估應對計畫」，以及 116 年以後之長期監控計畫，在應對計畫當中，主要是將整備計畫之相關技術研發繼續延伸，補足缺乏的劑量安全評估、生物代謝研究、海用連續監測設備、中小尺度計算流體力學模擬等，透過科研技術持續發展，完善相關應對工作。而前述技術研發皆可轉化、整合至未來長期監控之需求，超前部署掌握未來可能需要之技術，面對長達數十年的挑戰。

若以主動災害防護的概念來進行應對含氫水處理水排放事件的整備工作，首要目標為根據民眾關切之議題重點，以目標導向的方式確立計畫最終的目的，計畫目的如下：

- (1) 以結合洋流模式的海洋擴散模擬系統，提前預測日方氫水排放對臺灣海域可能造成之影響及衝擊潛勢。
- (2) 針對臺灣海域之水產漁業進行海洋生態調查，審慎該排放事件對漁業之衝擊。
- (3) 擴大進行海域背景基線調查，進行海水氫核種以即時浮標偵檢及海水、水產輻射分析，完善特定關注海域之輻射監測。
- (4) 建立生物氫之檢測實驗室，並擴大海水及魚類背景基線之分析數據庫。
- (5) 將上述研究內容整合至相關的資訊公開平台，民眾可隨時查找，確保關切該事件之民眾得到正確的資訊，防止負面風評的擴散，安定民心。

整備計畫-Phase 0		應對計畫-Phase 1				長期監控	權責部會 (長期後)
110	111	112	113	114	115	116~	
整備技術項目		子項一：海域重要魚場水質與迴游魚種輻射安全評估研究					原能會(海域) 農委會(水產)
背景基線數據		台灣海域海水取樣及氡分析作業				整併/持續進行 (由權責單位 提出檢測需求)	
生物氡檢測技術		重點迴游魚類取樣及氡分析作業				完成/用於例行預警	
		境外海洋輻射事件劑量安全評估研究				完成/用於例行預警	
		淡水氡連續監測研究	海水氡連續監測技術建立			完成/用於例行預警	
		子項二：日本含氡處理水排放對水產動物類及藻類劑量安全與風險研究					食藥署
生物氡檢測技術		邊境輸入水產品及藻類食品檢測		安全風險研究		整併/持續進行	
		魚類有機氡/無機氡代謝研究					
		子項三：海域放射性物質排放事件例行化預報及異常排放示					氣象局(預報) 原能會(網站)
海流模式及資料庫		預警系統例行化運跑				持續進行	
資訊平台		資訊公開平台維運、社會溝通				持續進行	
		中小尺度沿岸放流模式	跨尺度界接			完成/併入預警系統	
		子項四：海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查					國海院
背景基線數據		海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查				持續進行	

圖 1. 國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備重點技術發展及銜接規劃

參、 研究方法

而面對氙水排放此類跨領域的複雜議題，本計畫規劃透過跨部會專業整合之模式，在確保時效性、科技發展及災害應變的前提下，完成保障臺灣海域輻射安全的國家型任務。本計畫細項架構如圖 2，同時因為事件之時效性及跨領域性，計畫之整體管理及執行具有一定的挑戰，為了保障計畫之產出符合民眾之需求，並能順暢以成果導向進行管考，本計畫納入 OKR 之管理方式，並在以計畫經費為主的計畫架構下新增 OKR 管理主軸，搭配整體計畫策略 OKR、年度 OKR 及季進度管理，確保計畫之順利執行，圖 3 為 OKR 管理主軸之設計，工作項目變為對應相關技術的明確成果，如：輻射監測數據之公開、擴散預警數據之公開、生物氙分析、氣象資料庫建置、浮標建置等。

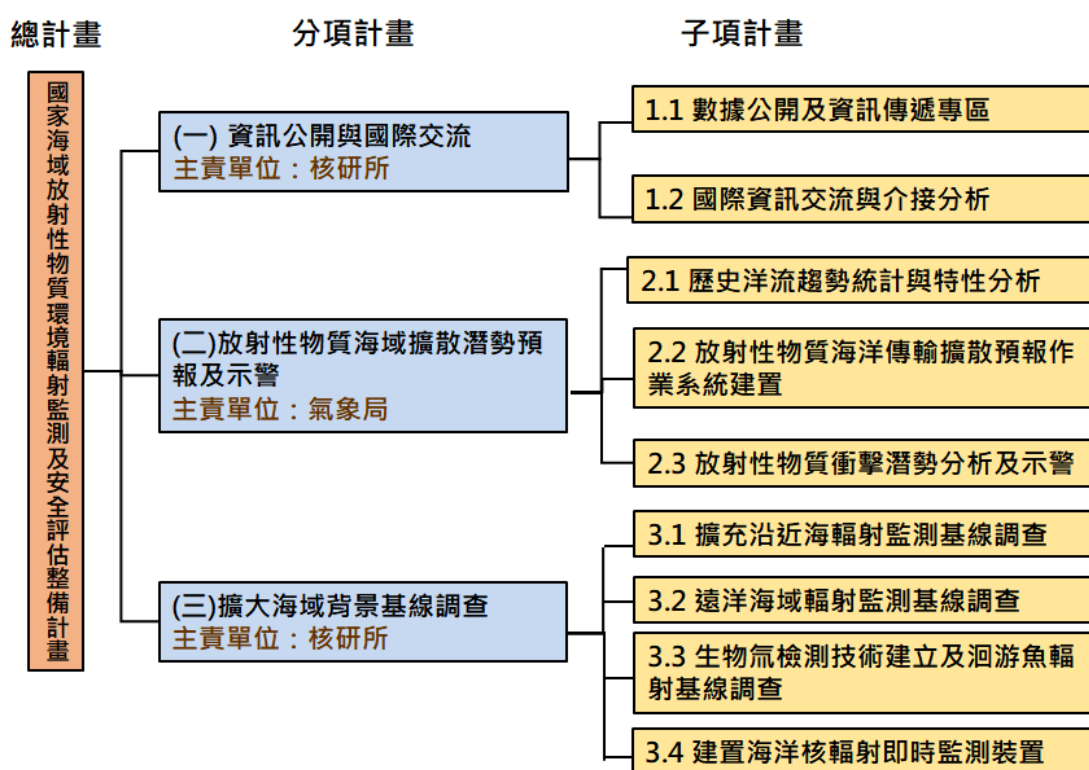


圖 2. 國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫架構圖

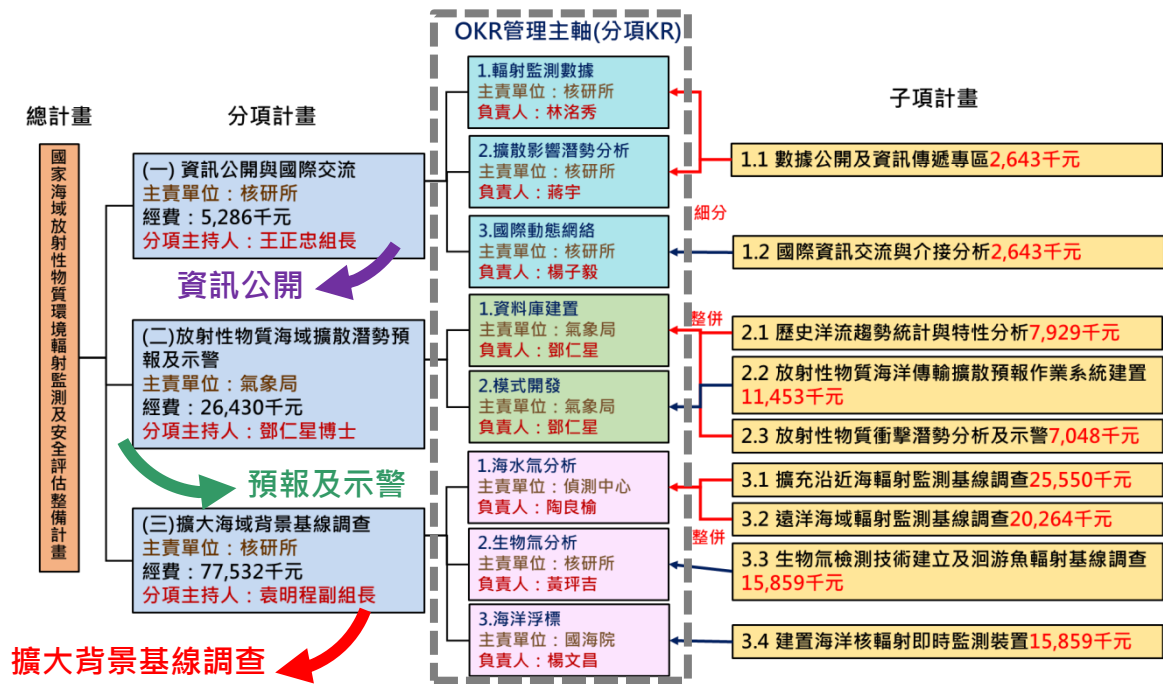


圖 3. 計畫架構與新增之 OKR 管理主軸

而對應三個重點分項計畫，包含資訊公開、預報示警、背景基線調查而撰寫之計畫策略 OKR 如表 1，最終目標即為完成福島氚水排放整備作業，於原能會資訊專區進行輻射基線數據庫及衝擊影響潛勢等資訊揭露，達到安定民心的效果。

表 1. 計畫策略 OKR

策略 O	策略 KR
完成因應福島氚水排放整備作業，於原能會資訊專區進行輻射基線數據庫及衝擊影響潛勢等資訊揭露，以安定民心。	KR1： 於原能會資訊專區完成視覺化展示輻射監測數據、季節擴散潛勢以及國際動態網絡等，並雙管道資料開放至 Ocean-Taiwan 海洋一站式平台，達到安定民心的效果。
	KR2： 跨域結合氣象局海流趨勢預報與核研所放射性物質專長，建立臺灣海域放射性物質擴散預警系統一套，依季節完成日本氚水排放對臺灣海域擴散之衝擊潛勢影響分析。
	KR3： 建置生物氚檢測分析實驗室，並完成臺灣周遭海域之海水氚與重點魚類生物氚之放射性物質背景基線數據庫。

在 KR1 資訊公開與國際交流的部分，主要由核研所主導，依照計畫管理層面及目標需求導向建置符合民眾即時查詢需求的「資訊公開平台」；而資訊公開平台呈現的資訊配合區分為：「輻射監測數據」、「擴散潛勢分析」及「國際動態網絡」，並分別代表透過視覺化資訊公開頁面顯示監測點數值、海象擴散模擬預報數值及國際 IAEA 資料庫，整合所有該計畫囊括的技術及內容，確保將艱深原子能科學及海洋科學研究，以易懂、精準方式傳達到民眾。

KR2 方面則為放射性物質擴散潛勢預報及示警，由氣象專業之中央氣象局主導，搭配核研所之放射性物質特性研究團隊，共同建置臺灣海域之潛勢預警系統，工作項目包含：「歷史洋流趨勢統計與特性分析資料庫」及「放射性物質海洋傳輸擴散預報作業系統建置」，透過歷史洋流資料庫根據既往洋流趨勢之十年統計，以得到依照季節分類之可能洋流及擴散預報案例分析，做為未來海流擴散計算評判之重要參考。

KR3 則是由核研所主導並與輻射偵測中心及國家海洋研究院合作的「擴大海域背景基線調查」，主要目標為擴大臺灣海域監測量能、擴大臺灣海域輻射監測點及成立生物氚檢測實驗室，確保在排放前順利完成臺灣海域之輻射背景基線調查，工作項目包含：「海水氚分析」、「生物氚分析技術開發」、「海洋浮標建立」，如此可透過氚的輻射監測工作建立海洋氚背景基線值，並以建立「基線資料庫」的方式做為未來重要之比對工具。確保臺灣的輻射檢測量能及技術，能迅速在兩年內完成相對應的整備工作。

本計畫工作細節如下所述：

- (1) **數據公開及資訊傳遞專區**：本計畫將資訊區分為兩大類：(1)中性的輻射監測數據(如：海水、魚類檢測結果)；(2)具專業成分的相關資訊(如：事件 Q&A、模擬潛勢分析等)，以向民眾快速傳達資訊為出發點，本計畫的所有監測會傳送至國發會公開數據庫，並與海委會合作，於其現有之海洋一站式平台「Ocean-Taiwan」展示所有的海洋輻射監測數據，即時公開，並同步利用原能會官網的「海域資訊平台」揭露所有其他具專業知識的資訊，與跨部會平台整合調整於該專區公布的所有內容，簡化放射性物質之擴散模擬及監測結果顯示，站在民眾的角度展示具有專業的科技技術，安定民心的同時確保漁業水產之風評。資訊公開之整合系統可顯示海水採樣監測值、水產生態調查、擴散潛勢預警等資訊，除使民眾清楚了解可能帶來之影響外，亦可同時以此提升政府面對國際災害之積極應變以及超前整備之形象，確保符合政府整體應對整備之需求，也確保將艱深原子能科學及海洋科學研究，精準的傳達到民眾。

- (2) **國際資訊交流與介接**：國際原子能總署 IAEA 擁有龐大的海域輻射監測國際資料庫，包含數十年來北太平洋海域之海水、魚類輻射檢測數值，本計畫預期整合該資料庫之數據，並補足該資料庫於臺灣海域監測數量不足之情形，透過數據介接展示於國內的 Ocean-Taiwan 資料庫及原能會資訊公開專區，同時邀請國際於海洋、氣象、輻射等專家進行國際研討會，共同強化國內針對氙水事件之資訊傳遞，確保專業知識都能準確傳達給民眾。
- (3) **歷史洋流趨勢統計與特性分析**：為瞭解海洋環境中放射性核種分布及傳輸擴散路徑過往之情形，氣象局透過海象中心長期的歷史洋流資料庫整合，建立季節性的海流特性分類數據，提前取得擴散可能之路徑，由數十年之洋流統計資料，供後續海流作業化預報系統之使用。
- (4) **放射性物質海洋傳輸擴散預報作業系統建置**：利用氣象局既有的高速運算資源，將各種可能發生的排放狀況在不同空間尺度及時間尺度的數值模式，透過本作業系統整合為一每日自動作業化的系統，提供北太平洋放射性物質擴散之濃度趨勢分布及時間/空間預測結果，並預期於日方開始排放氙水前上線營運，即時提供海流趨勢預測之作業化預報資訊。
- (5) **放射性物質衝擊潛勢分析及示警**：將前述(4)項目之模式搭配核研所於放射核種之特性研究，以加值應用的方式整合成完整的模擬分析系統，於福島含氙處理水排放前，模擬各種排放情境預測海洋污染傳輸擴散，並透過疊合重要經濟魚場，配合氣象局的資源，作業化產生「放射性核種衝擊潛勢分析預報及示警」，此為我國第一套針對海域放射性物質傳輸擴散、且兼顧未來進階擴充為融合放流模式的先期模擬系統。該系統之預報結果將定期提供給跨部會平台，並透過協調各部會針對該潛勢預警之需求提出資訊呈現之調整，公布給民眾。
- (6) **擴充沿近海輻射監測基線調查**：自海拋假議題後，原能會輻射偵測中心便持續針對臺灣海域進行輻射監測作業，目前針對海水中的氙核種共有 33 個取樣監測點，而本計畫配合農委會確保海水基線之需求，於臺灣周遭海域增加 62 點的海水取樣位置，並且每季執行取樣及氙含量分析，每年共擴增 248 點海水氙偵檢量能，配合國海院的沿岸生物取樣作業進行臺灣近海生態系背景基線分析作業，完成臺灣沿近海包含海水及海生物的所有基線調查工作，確保排放前取得沿近海的足夠科學數據，以應對未來之挑戰。

- (7) **遠洋海域輻射監測基線調查**：除沿近海擴大取樣分析外，本計畫亦依照日方主張中線新增臨海9點研究船航行取樣點，並結合海域擴散模擬研究結果，選定特定遠洋關注海域(如公海之秋刀魚魚場接近福島排放位置)，由漁業署協商漁民攜回公海之海水及漁獲，進行關注海域之海水及特定魚種之背景基線分析，擴大輻射調查之數據範圍。
- (8) **生物氙檢測技術建立及洄游魚輻射基線調查**：因生物氙之檢測技術國際間也仍處於開發階段，為在排放前快速建立臺灣海域魚類之生物氙基線，本計畫承襲核研所既有於食品輻射檢測之技術，成立生物氙檢測技術實驗室，建立生物氙之標準檢驗技術及流程，以此將(6)(7)兩項由國海院沿岸生態調查及漁民協助攜回之特定魚種進行氙及銫-137之核種分析，建立重點洄游魚之輻射基線，並即時透過相關平台公布所有分析數據給民眾。
- (9) **建置海洋核輻射即時監測裝置**：在臺灣海域建立一套海水核輻射近即時監測系統，作為「監測未知的、驗證已知的」海域核輻射污染的利器，同時驗證及精進海洋傳輸擴散預報模式。本系統除了自行偵測潛在但未知的海洋污染，可搭配海洋擴散預報模式進行預報資料驗證或數值同化，再利用模式大範圍的逆軌跡追蹤分析(backward trajectory analysis)推測可能污染源。本監測站亦將成我國第一座海洋輻射即時遠端監控站，亦有助提供遠洋漁業、近岸漁業/養殖業和海洋遊憩活動充分的避險資訊。

肆、計畫執行情形說明

計畫執行		經費使用	
預定進度 (%)	實際執行(%)	總支用數(千元)	經費使用率(%)
100	99.95	109,192	99.95

「國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫」已於 2022 年 12 月 31 日結案，總經費 109,250,000 元，預算執行率 99.95%，預算代號 10A4742201 (計畫結餘:57,270 元及逾期罰款 16,795 元)，依規定將計畫餘款繳回國科會。

本計畫主要工作項目包括：資訊公開與國際交流(再細分資料公開平台之展示、國際交流及相關排放資料蒐集)、放射性物質擴散潛勢預報及示警、擴大海域背景基線調查(再細分生物氡檢測實驗室建置運作、加強臺灣海域海水氡輻射監測、完成「海域加馬輻射自動偵檢」站、完成「沿近岸生態系基線數據」調查)，由核能研究所、輻射偵測中心、中央氣象局、國家海洋研究院依照專業分工共同執行，而其經費收支及重要成果綜整如表 2、3。

表 2. 合作執行單位經費收支及主責工作項目

執行單位	工作項目	預算數	執行	結餘
核能研究所	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 資料公開平台之展示 ➤ 國際交流及相關排放資料蒐集 ➤ 生物氡檢測實驗室建置運作 	61,820,153	61,778,629	41,524
輻射偵測中心	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 加強臺灣海域海水氡輻射監測 	8,126,028	8,110,282	15,746
中央氣象局	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 「放射性物質衝擊潛勢分析及示警」建置 	15,526,909	15,526,909	0
國家海洋研究院	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 完成「海域加馬輻射自動偵檢」站 ➤ 完成「沿近岸生態系基線數據」調查 	23,776,910	23,776,910	0
合計		109,250,000	109,192,730	57,270

表 3. 主要工作項目之重要成果說明

主要工作項目	重要成果	主要成果使用者/服務對象/合作對象
資訊公開與國際交流		
資料公開平台之展示(詳如 P.25~30)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 原能會氬水資訊專區新增海域輻射調查數據及科普化圖卡，說明海域輻射調查數據及計畫執行成果，同時持續於國發會平台更新海域輻射數據。 2. 海委會協助於 Ocean-Taiwan 一站式平台新增展示海域輻射數據之功能。 3. 已完成放射性物質海域擴散海洋資訊平台 https://tworis.aec.gov.tw/ 之上線作業，提供海域輻射監測、海流趨勢、及漁場魚種的互動地圖呈現功能供民眾查詢。且整合原能會官網氬水專區之像關資訊，供民眾查詢。 	主要成果使用者： 一般民眾可透過相關網站關切計畫之執行進度，並取得重點數據。
國際交流及相關排放資料蒐集(詳如 P.30~41)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 透過舉辦國際技術交流會，確保國內之預報模式、實驗室檢測技術等同國際。 2. 透過外交管道，持續取得最新的排放數據及規劃，確保國內之整備、應對措施隨事件發展滾動調整，確實達到超前部署之成效。 3. 8月25日舉辦福島第一核電廠含氬處理水排放之輻射擴散模擬與量測技術國際研討會，邀請美、法、日、台專家針對福島電廠氬水排放之擴散模擬及量測技術進行交流，並學習相關技術經驗。 	主要成果使用者： 氣象局、核研所預警模式開發團隊、原能會及跨部會因應平台之相關部會 合作對象： 臺日關係協會、日本東京電力公司、日本電力中央研究所
放射性物質擴散潛勢預報及示警		
「放射性物質衝擊潛勢分析及示警」建置(詳如 P.42~69)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 透過中央氣象局觀測之臺灣周遭海域的海象監測資料，以及長期的海流模式歷史數據，完成分析至少十年之洋流月變化、季節變化，並建置臺灣海域歷史洋流之分析資料庫(約 20000 筆)，提升海流預報之準確度 2. 蒐集中央氣象局海流模式預報之海流資料及美國海流模式(HYCOM)歷史海流資料，開發擴散濃度計算模組，完成放射性物質海洋傳輸擴 	主要成果使用者： 交通部氣象局/一般民眾可透過相關網站使用歷史洋流分析資料

	<p>散預報作業系統離型建置。</p> <p>3. 以結合洋流模式的海洋擴散模擬系統，配合 10 年歷史洋流資料庫進行趨勢分析，10 年模擬中，最大影響台灣周圍海域之稀釋比為 1×10^{-8} 倍，而擴散抵達台灣時間則約為排放後 400~700 天。</p>	
擴大海域背景基線調查		
<p>生物氫檢測實驗室建置運作(詳如 P.70~81)</p>	<p>1. 2022 年 6 月完成生物氫檢測實驗室建置，其中包含檢測所需設備購置及標準作業程序建立，以提供外界生物氫檢測服務。</p> <p>2. 2022 年 8 月 31 日生物氫檢測實驗室正式揭牌成立，並持續提升檢測量能當中，預期於 2023 年可達 500 件/年，符合各部會提出之檢測需求。</p> <p>3. 應用建立之生物氫檢測技術，完成遠洋經濟漁獲(北太赤魷及秋刀魚各 1 件)及國海院海生中心生態採集樣本氫活度分析，持續蒐集生物樣氫含量基線數據，建立可用於比對之基線資料庫。</p>	<p>主要成果使用者：海委會國海院/農委會漁業署/衛福部食藥署需求之生物氫檢測。</p>
<p>加強臺灣海域海水氫輻射監測(詳如 P.82~86)</p>	<p>1. 執行臺灣鄰近海域取樣分析海水氫輻射共 475 件(2021 年執行 177 件、2022 年執行 398 件)，另於公海海域秋刀魚場取樣分析海水氫輻射共 12 件，分析結果均無輻射異常狀況。</p> <p>2. 核研所利用氫水電解濃縮技術將海水試樣中氫濃度 6 至 8 倍，進而降低氫檢測的最低可測值(約 0.13~0.17 Bq/L)，檢測低限與日本東京電力公司於 111 年 3 月 24 日公布福島第一核電廠加強海洋監測計畫中，海水氫設定偵測下限(MDA:0.1 Bq/L)相當。</p> <p>3. 透過電解濃縮取得海水氫背景數值為<MDA(0.13)~0.374 Bq/L。</p>	<p>主要成果使用者：原能會輻射偵測中心/相關數據上傳國發會公開數據庫供一般民眾使用</p> <p>合作對象：海委會海巡署、海委會海保署、農委會水試所、國立中山大學</p>
<p>完成「海域加馬輻射自動偵檢」站(詳如 P.91~108)</p>	<p>1. 2022 年 1 月 6 日拜會宜蘭頭城漁會說明浮標布放及與漁民協調。</p> <p>2. 海域加馬輻射偵檢浮標(含偵檢儀 2 套)於 2022 年 4 月 22 日前完成設計規劃、採購，於 6 月 6 日前完成</p>	<p>主要成果使用者：海委會國海院/公開每日一筆自動監測資料，供一般民眾查閱</p> <p>合作對象：原能會核研所執行加馬輻射偵檢儀性能測試</p>

	教育訓練、設備驗收，於 6 月 17 日完成系統整合，6 月 25 日於臺中港進行輻射浮標布放前測試檢查，並於 7 月 28 日於宜蘭近海布放試運轉至今。	
完成「沿近岸生態系基線數據」調查(詳如 P.87~90)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成共計 5 次生物樣本採集，共完成 3 處漁港及 3 處沿近岸生物採集。本次採集漁港魚類(以非經濟性為主)小型計 30 公斤、中型計 30 公斤及生態系生物，藻類計 30 公斤、甲殼類計 9 公斤、軟體動物計 9 公斤、魚類 9 公斤，後續由核研所進行分析，以收集氚水排放前生物體輻射背景基線資料。 2. 沿岸生態系檢測結果為： 銫：$<MDA(0.34) \sim 0.71 \text{ Bq/kg}$； 自由水氚：$<MDA(0.3) \sim 0.61 \text{ Bq/kg}$； 有機鍵結氚：$<MDA(0.03) \sim 0.67 \text{ Bq/kg}$。 	主要成果使用者： 海委會國海院 合作對象： 原能會核研所執行生物氚分析

「國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫」之重要儀器設備、購案及查核點對照說明如下，相關規劃接依照原安排順利完成，且順利投入於計畫成果之產出運用。

重要儀器設備：

項次	儀器名稱	金額(千元)	辦理情形
1	超低背景液體閃爍計數器 (Quantulus GCT6220)	17,680	核研所及偵測中心已各完成採購交貨 2 套及 1 套。
2	高效率智慧型純鍍偵檢器 (ORTEC)	4,456	核研所已完成採購交貨(1 套)。
3	數據浮標錨碇系統	11,345	國海院已完成採購交貨(1 套)。
4	管型燃燒爐 RADDEC Pyrolyser-6 Trio Gen III	3,680	核研所已完成採購交貨(1 套)。
5	歧管式冷凍真空乾燥機	559	核研所已完成採購交貨(1 套)。
6	水電解濃縮裝置	741	核研所已完成採購交貨(1 套)。

7	海流資料庫及分類統計作業建置	4,209	氣象局已完成採購交貨(1套)。
8	海洋傳輸擴散預報作業化系統建置	4,209	
9	放射性物質海洋擴散分析資料統計作業與傳輸	2,525	

重要委辦購案：

項次	購案名稱	金額(千元)	辦理情形
1	委託資訊專業廠商建置海洋資訊公開資訊展示平台等相關費用	1,833	已完成採購交貨。
2	委託處理分析關鍵區域近場海域海底數值地形	917	
3	委託處理洋流流場、海流擴散及核種特性劑量分析等資料介接與整合傳輸與開放資料產製	1,375	
4	委託處理放射性物質海洋擴散數據與地理資訊圖層套疊與增值應用圖層	458	
5	委託建置放射性核種傳輸參數資料庫	875	已完成採購交貨。
6	委託進行海洋生態調查採樣作業	3,208	已完成採購交貨。
7	實驗所需之代工、輻射劑量量測、佈線、輔具/夾具、假體、散熱、屏蔽、機構等之改良、維修、加工；機台/設備之拆裝、搬運與儀器/人員保險；法規與品保之測試等相關工作	1,833	已完成採購交貨。
8	委託專業科學研究船協助執行遠洋關注海域不同深層海水取樣作業	3,208	已完成採購交貨。

9	委託專業輻射分析實驗室 建置生物氫代謝模式及檢 測流程建立	2,292	已完成採購交貨。
10	錨碇浮標布放維護與回收 作業費、研究船租賃費、出 海零耗件、例行維護及緊急 救援	4,583	已完成採購交貨。

計畫查核點說明：

查核點	進度 (%)	累積進度 (%)	辦理事項
第一季 (2021.07~2021.09)	10	10	(1)規劃並撰寫相關檢測設備採購之招標案(2)歷史海水監測資料上傳國發會資訊公開數據庫
第二季 (2021.10~2021.12)	15	25	(1)提出檢測及前處理設備購案；(2)完成歷史洋流趨勢統計與特性分析；(3)完成研究船取樣航線規劃報告；(4)完成沿近海、遠洋海生物取樣規劃
第三季 (2022.01~2022.03)	25	50	(1)完成錨碇浮標系統採購驗收；(2)Ocean-Taiwan 平台上線海域輻射監測資訊；(3)成立生物氚檢測實驗室，建立相關檢測之分析技術標準流程
第四季 (2022.04~2022.06)	20	70	(1)完成臺灣東北海域一座錨碇浮標系統布放；(2)將擴大之海水背景基線監測及生物氚實驗室數據開始上傳至國發會資訊公開數據庫
第五季 (2022.07~2022.09)	20	90	(1)完成海域關鍵放射性物質特性資料庫；(2)完成網格化核污染擴散濃(活)度計算模組開發建置；(3)完成 MARIS 監測資料庫介接；(4)舉辦國際研討會
第六季 (2022.10~2022.12)	10	100	(1)完成海洋擴散情境模擬影響評估及作業化系統測試；(2)完成重要魚場、漁船作業區域等海域衝擊潛勢預報及示警系統；(3)完善海域基線資料庫；(4)完成錨碇浮標系統資料整合與介接

第一季：

(1) 規劃並撰寫相關檢測設備購之招標案：**已完成**。

(2) 歷史海水監測資料上傳國發會資訊公開數據庫：**已完成**。

已配合本計畫及唐鳳政委辦公室針對開放政府資料公開之期許，本計畫將輻射偵測中心的歷史海域監測及本計畫新增之海水氚監測數據，上傳傳於國發會網站，政府

資料開放平台-臺灣海域輻射調查資料(如下圖 4) (<https://data.gov.tw/dataset/136060>), 其中包含偵測中心自 2017 年 3 月起至今完成的海域輻射監測數據, 而該數據也依原先規劃, 由海委會海域遊憩一站式平台-Ocean-Taiwan 使用。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	取樣日期	緯度	經度	深度(M)	核種	活度	單位	類別	地點編號	地點	取樣單位	最低可測	備註
2	106/03/14	22°20'18.0"	120°53'55.88"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-9	大武漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
3	106/03/14	23°06'25.0"	121°23'21.34"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-8	成功漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
4	106/03/15	23°58'34.4"	121°37'11.12"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-7	花蓮港	輻射偵測	0.78	岸沙
5	106/03/21	24°50'46.6"	120°55'25.45"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-4	南寮漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
6	106/03/22	23°58'19.5"	120°19'25.65"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-3	王功漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
7	106/03/23	23°27'02.5"	120°08'15.46"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-2	東石漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
8	106/03/31	22°37'28.7"	120°15'48.20"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-1	西子灣	輻射偵測	0.78	岸沙
9	106/04/06	24°34'55.1"	121°52'06.06"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-6	南方澳	輻射偵測	0.78	岸沙
10	106/04/07	25°08'40.4"	121°47'29.32"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-5	八斗子	輻射偵測	0.78	岸沙
11	106/08/29	23°58'19.5"	120°19'25.65"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-3	王功漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
12	106/08/29	23°27'02.5"	120°08'15.46"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-2	東石漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
13	106/08/30	23°58'34.4"	121°37'11.12"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-7	花蓮港	輻射偵測	0.78	岸沙
14	106/08/30	24°50'46.6"	120°55'25.45"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-4	南寮漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
15	106/08/31	23°06'25.0"	121°23'21.34"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-8	成功漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
16	106/09/01	22°20'18.0"	120°53'55.88"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-9	大武漁港	輻射偵測	0.78	岸沙
17	106/09/19	24°34'55.1"	121°52'06.06"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-6	南方澳	輻射偵測	0.78	岸沙
18	106/09/20	25°08'40.4"	121°47'29.32"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-5	八斗子	輻射偵測	0.78	岸沙
19	106/09/22	22°37'28.7"	120°15'48.20"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物	R-1	西子灣	輻射偵測	0.78	岸沙
20	106/09/27	22°03'27.2"	119°48'01.25"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物		機動取樣	中山大學	0.78	海底沉積物
21	106/09/28	22°03'35.5"	119°48'00.81"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物		機動取樣	中山大學	0.78	海底沉積物
22	106/11/07	22°02'58.9"	121°33'51.99"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物		東清灣	中山大學	0.78	岸沙
23	106/11/07	22°01'28.9"	121°33'10.00"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物		紅頭村	中山大學	0.78	岸沙
24	106/11/07	22°02'13.9"	121°31'32.99"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物		蜜月灣	中山大學	0.78	岸沙
25	107/02/21	22°02'13.2"	121°31'33.6"		鉍-137	0.15	貝克/公F	沉積物		蘭嶼鄉	中山大學	0.06	岸沙
26	107/02/22	22°01'30.0"	121°33'07.2"		鉍-137	0.1	貝克/公F	沉積物		蘭嶼鄉	中山大學	0.06	岸沙
27	107/02/22	22°02'59.6"	121°33'50.4"		鉍-137	0.12	貝克/公F	沉積物		蘭嶼鄉	中山大學	0.06	岸沙
28	107/03/12	22°21'36.5"	120°54'23.97"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物		大武溪	輻射偵測	0.06	岸沙
29	107/03/12	22°41'56.1"	121°02'53.88"		鉍-137	—	貝克/公F	沉積物		知本溪	輻射偵測	0.06	岸沙

圖 4. 海域輻射調查資料-資訊公開資料集

第二季：

(1) 提出檢測及前處理設備購案：已完成。

本計畫共採購重要儀器設備如前章節所述, 其購案皆已完成提出及相關之專業審查工作。

(2) 完成歷史洋流趨勢統計與特性分析：已完成。

氣象局完成歷史資料庫之建置, 除完成相關報告外, 亦可透過歷史資訊觀察到臺日間洋流之總體趨勢, 包含黑潮沿著臺灣的東部以及東海陸棚邊緣持續傳輸到日本的南端, 但在日本東南岸的路徑較不穩定, 會有蜿蜒的現象發生, 造成黑潮在日本東南岸的流域較廣且擴散許多, 也將此現象納為後續模式運算的重點考量項目。

(3) 完成研究船取樣航線規劃報告：已完成。

該案配合水試所針對海域輻射採樣之經驗, 提前規劃研究船取樣之航線規劃, 並依照亞熱帶水團可能將日本污染物帶到臺灣東邊水深 200 米處, 故預期除採樣表層水外, 每個取樣點皆配合取 1~2 個深層海水, 以作為重要之背景基線數據。

(4) 完成沿近海、遠洋海生物取樣規劃：已**完成**。

已由國海院海生中心完成「海洋生態系物種採樣計畫書」，包含各區域之取樣物種：

初步規劃如下：

一、 潮間帶調查：在樣區範圍內以非固定採樣的方式進行物種採樣，各物種之調查方式如下：

1. 魚類

以浮潛或潛水之方式，於潮池內或利用漲潮時觀察水體內之定棲性魚類或隨潮水游進之魚類，直接計數種類或拍照錄影供後續之種類鑑定；設置流刺網進行採集，並放置一個潮水後再進行採收，較深之潮池可利用一支釣之方式進行採集，並記錄釣獲之魚種與位置，部分中小潮池，亦可輔以麻醉劑採樣，以提升採捕效率。

2. 無脊椎動物

選擇大潮退潮時前往樣區，在樣區範圍內以非固定採樣的方式進行物種採樣，並記錄物種出現的潮位。

甲殼類及軟體與棘皮動物--於潮間帶樣區選擇生物多樣性高的採樣地點，以 GPS 進行實地定位並拍照記錄現場環境。在大潮退至最低潮之前後 20 分鐘進行採樣。

二、 亞潮帶調查：利用水肺潛水及非固定採樣方式進行物種採樣，並記錄物種出現之深度及位置。

1. 魚類

盡量觀察及採集各式各樣之水下微棲息地，以採獲更全面的魚類物種標本。

2. 無脊椎動物

甲殼類及軟體與棘皮動物--亞潮帶調查則無考慮樣區高低潮時間。由 3 名潛水員進行船潛採集，在樣區內選擇生物多樣性較高的採集點後，以 GPS 實地定位，採集範圍水深 5 至 20 公尺，採樣時間 40 分鐘，亦盡量紀錄所有發現的大型甲殼類和軟體及棘皮動物等，進行物種的採集。

三、 分區域進行代表性物種調查作業：本次規劃於東北部、東部、東南部以及西南部海域進行代表性物種採集並進行生物體內核種分析，進而建立背景值，做為未來比對的基線。調查海域如下：

1. 石門海域

岸際代表性物種：雀鯛、臭肚魚、鋸尾鯛、龍蝦、近緣皺蟹、拉氏岩瓷蟹、尖額蟚蛄、藤壺。

2. 龍洞海域

岸際代表性物種：雀鯛、臭肚魚、扇蝦、活額蝦、寄居蟹、善泳蟚蛄、尖額附齒蟚蛄。

3. 宜蘭大溪海域

(1) 岸際代表性物種：臭肚魚、倒吊(刺尾鯛)、雀鯛、石狗公、玳瑁石斑、鸚哥魚、狐鯛、金梭魚、海膽、梭子蟹、龍蝦、裸胸鯙。

(2) 底棲代表性物種：火燒蝦、蝦蛄、黑角魚、赤宗、石狗公、安康、梭氏蜥鮫、灰海鰻。

- (3) 中層代表性物種：胭脂蝦、櫻花蝦、大眼鯛、肉魚、圓鰩、真鰩、鯖魚、史氏紅諧魚、棘鱗、長尾狐鮫。
- (4) 深層代表性物種：海螯蝦(小龍蝦)、金眼鯛、燧鯛、烏鯊、鼠尾鱈、粗鰭魚、六鰓鯊、青眼魚、仙女魚。
4. 花蓮海域
- (1) 岸際代表性物種：臭肚魚、倒吊(刺尾鯛)、雀鯛、石斑、豆仔魚, 龍蝦。
- (2) 中層代表性物種：飛魚、齒鱗、圓花鰹、鬼頭刀、小黃鰭鮪、棘鱗、雨傘旗魚。
5. 臺東成功海域
- (1) 岸際代表性物種：臭肚魚、刺尾鯛、雀鯛、石狗公、玳瑁石斑、鸚哥魚、金梭魚、海膽、梭子蟹、龍蝦、裸胸鯔。
- (2) 底棲代表性物種：刺尾鯛、笛鯛、赤石斑、臭肚、大眼鯛、姬鯛、花鱸、石狗公。
- (3) 大洋代表性物種：飛魚、鬼頭刀、金梭魚、正鰹、黃鰭鮪、雨傘旗魚、立鰭鰭魚、劍旗魚、水鯊(鋸鋒齒鯊)。
- (4) 深層代表性物種：金眼鯛、燧鯛、鼠尾鱈、石狗公、六鰓鯊
6. 屏東東港海域
- (1) 岸際代表性物種：臭肚魚、倒吊(刺尾鯛)、雀鯛、石狗公、橫紋九刺(石斑)、鸚哥魚、狐鯛、金梭魚、海膽、龍蝦、梭子蟹、裸胸鯔。
- (2) 底棲代表性物種：蝦蛄、對蝦、狗母、印度鎌齒魚、石狗公、紅喉、灰海鰻。
- (3) 中層代表性物種：櫻花蝦、赤尾青、七夕魚、瓦氏燈籠魚、胭脂蝦、大甲鰩、圓花鰹、小黃鰭鮪、棘鱗、雨傘旗魚。
- (4) 深層代表性物種：海螯蝦(小龍蝦)、石狗公、金眼鯛、燧鯛、烏鯊、鼠尾鱈、六鰓鯊、仙女魚。

第三季：

- (1) 完成錨碇浮標系統採購驗收：**已完成**。

已於 2022 年 2 月 22 日完成低背景液體閃爍計數器之交貨，完成錨碇浮標系統採購，於 6 月 17 日完成系統整合。

- (2) Ocean-Taiwan 平台上線海域輻射監測資訊：**已完成**。

已透過國發會數據庫連結之方式，於海委會平台呈現海域輻射監測數據。

- (3) 成立生物氚檢測實驗室，建立相關檢測之分析技術標準流程：**已完成**。

如圖 5，本計畫已於 2022 年 6 月完成生物氚實驗室建置，目前生物氚技術開發分為兩階段分析，包含第一階段冷凍乾燥的組織內自由水氚檢測及第二階段的生物燃燒有機結合氚檢測，海生物氚檢測 MDA 係參考日本東電公司於 2022 年 3 月 24 日公布之加強版海域環境輻射監測計畫之 MDA 進行設定，本計畫仍刻正研析國際資訊並隨時滾動調整、測試所有的檢測流程，完善國內相關檢測技術之發展。

生物氚實驗室已於 2022 年 8 月 31 日由各部會代表共同揭牌成立，擔負未來國內

的生物氚檢測工作，如圖 6。



圖 5. 核研所生物氚檢測實驗室



圖 6. 核研所生物氚檢測實驗室揭牌儀式

第四季：

(1) 完成臺灣東北海域一座錨碇浮標系統布放：已完成。

海域加馬輻射偵檢浮標(含偵檢儀 2 套)於 2022 年 4 月 22 日前完成設計規劃、採購，於 6 月 6 日前完成教育訓練、設備驗收，於 6 月 17 日完成系統整合，6 月 25 日於臺中港進行輻射浮標布放前測試檢查，並於 7 月 28 日於宜蘭近海布放試運轉至今。

(2) 擴大之海水背景基線監測及生物氚實驗室數據上傳至國發會資訊公開數據庫：已完成。

已於政府資訊公開委員會完成生物氙檢測資料上線之申請，並於原能會氙水資訊平台展示資料，如圖 7。



圖 7. 放射性物質海域擴散海洋資訊平台 TW-ORIS 網站顯示資料

第五季：

(1) 完成海域關鍵放射性物質特性資料庫：**已完成**。

已完成關鍵資料庫建置，包含氙、銫等 9 個關鍵核種之傳輸參數彙整。

(2) 完成網格化核污染擴散濃(活)度計算模組開發建置：**已完成**。

氣象局已完成污染擴散計算模組，並以此進行福島 10 年歷史案例分析。

(3) 完成 MARIS 監測資料庫介接：**已完成**。

MARIS 資料庫已介接至 TW-ORIS 網路平台，需透過使用者登入取用資料，如圖 8。

(4) 舉辦國際研討會：**已完成**。

於 2022 年 8 月 25 日假集思台大會議中心，舉辦因應 2023 年日本福島核電廠含氙處理水排放之輻射擴散模擬與量測技術國際研討會，如圖 9。



圖 8. MARIS 資料庫於 TW-ORIS 網站顯示



圖 9. 研討會留影

第六季：

- (1) 完成海洋擴散情境模擬影響評估及作業化系統測試：已完成。
- (2) 完成重要魚場、漁船作業區域等海域衝擊潛勢預報及示警系統：已完成。

氣象局已完成系統建置，並進行包含 10 年歷史案例，黑潮大蜿蜒影響評估等。

- (3) 完善海域基線資料庫：已完成。

生物氬檢測及研究船取樣調查等數據皆完成，完整基線調查資料庫。

(4) 完成錨碇浮標系統資料整合與介接：**已完成**。

浮標系統已完成資料回傳，並看出相對應的分析結果。

綜上，本計畫對應進度皆符合原先於計畫書之查核點規劃，經費執行及購案亦符合原計畫書之規劃，詳細技術面之研究成果將於下一章節妥善說明，並進行後續討論。

伍、 結果與討論

一、 資訊公開平台建置與國際交流

本計畫基於開放政府之概念，最重要的目標之一即是透過視覺化的資訊公開管道，將計畫產出的專業數據提供給民眾、關聯部會使用，而建立視覺化專區同時，也牽涉到如何有效的呈現數據。

1. 資訊公開平台及科普化資訊傳遞

本計畫目前已完成放射性物質海域擴散海洋資訊平台 TW-ORIS 之建立 (<https://tworis.aec.gov.tw/>)，如圖 10，本網站以圖像化方式呈現臺灣海域之輻射監測及擴散預報示警等結果。此些公開資訊作為計畫成果彙整與展示工具，將複雜的技術細節以精簡的圖像化成果顯示，連結洋流預報、海流擴散模擬與監測分析資料的關聯性。

為整合核能研究所與中央氣象局建置之放射性物質衝擊潛勢區域以及示警系統，並搭配放射核種之特性研究，以加值應用的方式整合成完整的模擬分析系統，於福島含氚處理水排放前，模擬各種排放情境預測海洋污染傳輸擴散，並疊合重要經濟漁場，將預報結果定期提供給跨部會平台，並透過協調各部會針對該潛勢預警之需求提出資訊呈現之調整，公開給社會大眾，以達到資訊公開透明化之目的，本計畫產出的公開資訊共有以下幾類：

- (1) 海水氚背景調查數據：包含偵測中心進行的歷史海水輻射監測數據，及新增農委會擴大取樣之每季 62 個點。
- (2) 魚類生物氚調查數據：由國海院進行沿岸生態採樣作業，由核研所以新開發之生物氚檢測技術進行檢測，依照捕獲經緯度放置於圖台，展示水生物之氚實驗室分析結果。
- (3) 海洋擴散模擬預警：由氣象局提供擴散模擬結果，提供氚水擴散至臺灣的可能時間及濃度。
- (4) 國際海域輻射資料庫：連結國際輻射監測平台，顯示國際原子能總署 (IAEA) 彙整之海域輻射監測數值。

本案委託具備相關網頁架設技術之廠商進行，於 2022 年 2 月 11 日進行第一次工作討論會議，確立了平台之介面設計概念及資訊呈現方式，並於 6 月 30 日正式上線，此平台也整併舊有原能會官網氚水專區之相關資料，後續也會持續精進平台的各項功能。本平台目前共包含四大子選單可供點選，以下將依序進行說明：

- (1) 公告專區：此子選單提供各種相關活動、報導、會議、輿情回應、整備計畫說明等資訊，供民眾即時掌握與本計畫相關之資訊。同時也藉由科普化圖卡，以簡單之圖形化說明，將專業技術轉化為民眾容易吸收理解之內容，其中包含赴日專家觀察團、跨部會平台會議紀錄等資料，皆持續於該區塊進行更新，如圖 11。
- (2) 互動地圖：此子選單提供 3 種互動式地圖功能，如下說明：
 - (a) 海流趨勢：呈現 HYCOM 混合座標海洋模式預測之臺灣及日本周遭海域的海流趨勢。
 - (b) 輻射監測：呈現臺灣及日本周遭海域的輻射監測資料，包含國家海域整備計畫之擴大監測資料和臺灣海域基線調查之資料，並提供核種(氬及銫-137)及量測對象(海水、沉積物、海產物)的選擇功能，如圖 12 所示。
 - (c) 漁場魚種：呈現日本東方之秋刀魚漁場範圍，如圖 13 所示。
- (3) 相關網站：此子選單提供各種與福島氬處理水排放之相關網站連結，包含 IAEA 之 ALPS 處理水專區、日本臺灣交流協會 ALPS 處理水專區等國外網站連結，以及如中央氣象局、行政院農委會漁業署輻射專區等國內跨部會相關網站。
- (4) 常見問題：此子選單提供與福島氬水排放相關之 QA 供民眾查詢，如圖 14 所示，同時也提供專有名詞說明的小知識，有助於傳達正確觀念及知識予民眾了解。



圖 10. 放射性物質海域擴散海洋資訊平台首頁

◎ 圖文花絮



自 焦點訊息

- 原能會公布「我國因應福島第一核電廠ALPS處理水排放之赴日專家調查團報告(第二次)」 new!
- 原能會針對國際原子能總署(IAEA)專家調查團本週(1月16~20日)赴日執行含氚廢水排放計畫安全管制追蹤審查之初步結果說明 new!
- 台灣沿岸海或返台太平洋漁獲輻射抽驗檢測結果 new!
- 原能會針對國際原子能總署(IAEA)專家調查團本週(1月16~20日)赴日執行含氚廢水排放計畫之安全管制追蹤審查任務說明 new!
- 有關日本核災排放氚廢水，原能會已成立跨部會因應平台 new!

圖 11. 網頁公告專區即時更新氚水排放相關資訊



圖 12. 放射性物質海域擴散海洋資訊平台互動地圖

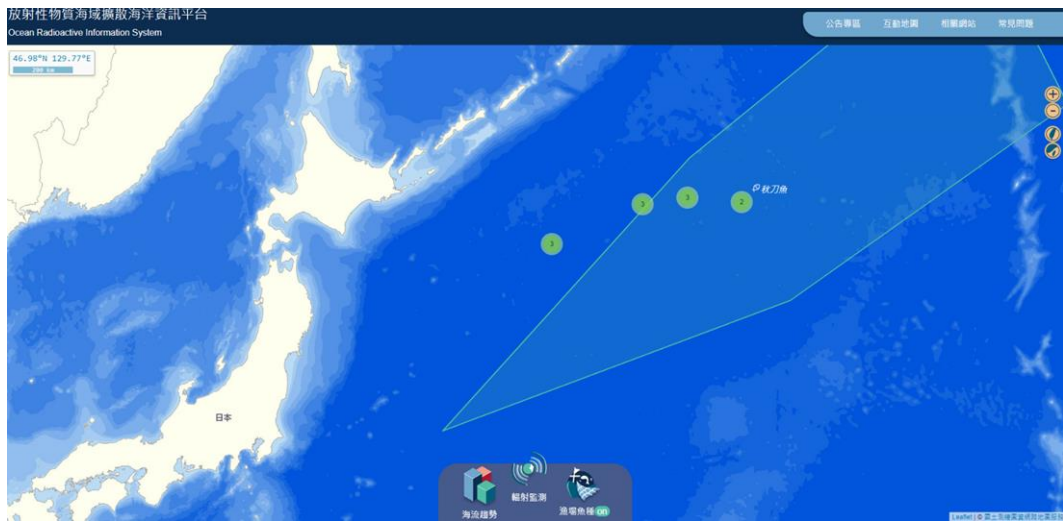


圖 13. 放射性物質海域擴散海洋資訊平台互動地圖漁場漁種功能

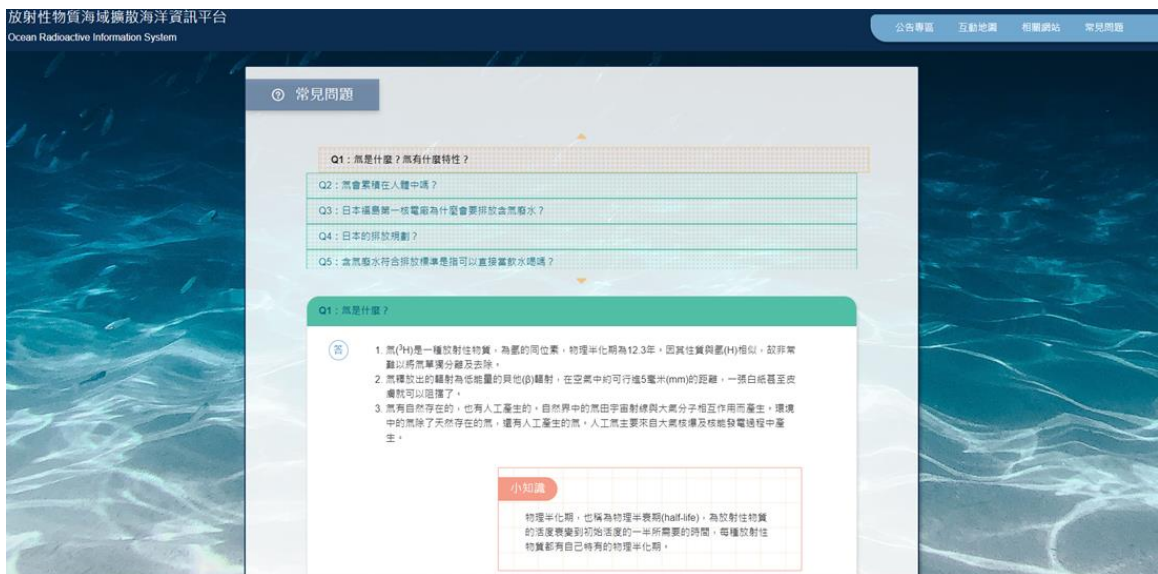


圖 14. 放射性物質海域擴散海洋資訊平台常見問題

同時，為符合該網站於專業資訊之揭露，彙整介接氣象局福島 10 年歷史案例分析及 IAEA 的 MARIS 國際海域輻射監測資料庫，透過登入網站之方式，提供國內專家學者進行後續之學術研究，提升國內海域應對之技術根本。圖 15 為福島 10 年歷史案例分析於 TW-ORIS 顯示之結果，可由使用者操作顯示 2011 年至 2022 年共計 11 年的擴散歷史分析數據(福島銫-137 案例)，其結果顯示在一開始釋放量較大時，福島電廠附近較大的銫-137 活度濃度可達到 10 Bq/L 左右，後期隨著釋放量減少，高值降低。若參考銫-137 最低可偵測極限 0.5 mBq/L 之活度濃度分布，最遠於 2015 年三月左右擴散至西經 135 度(太平洋東側)，而臺灣附近海域則都低於此數值。

圖 16 為 MARIS 資料庫匯入後，於網站互動地圖顯示之資訊，可依此查看日本週遭等非臺灣海域的輻射監測數據。

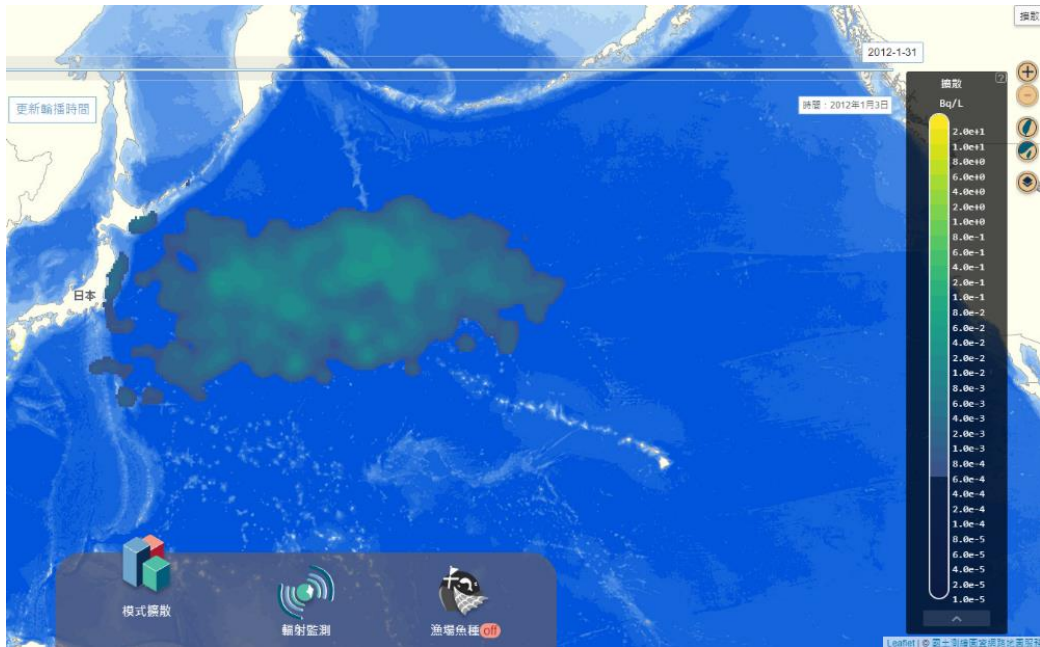


圖 15. 福島銫-137 之 10 年歷史擴散案例



圖 16. MARIS 資料庫於互動地圖之顯示

另外，本計畫除了放射性物質海域擴散海洋資訊平台更新及原能會官網氬水專區之資料整併外，亦與海委會合作，將輻射相關監測數據雙管道展示於海洋遊憩平台 Ocean-Taiwan，在以海洋資訊為主的平台上傳遞資訊，除可避免掉輻射帶來的負面觀感外，也可提升觸及之關鍵群眾，圖 17 為本計畫資訊公開之展示資訊示意圖，圖 18 為 Ocean-Taiwan 平台關於海域輻射數據之顯示頁面。其中「國發會數據庫」即為國發會建置的「政府資料開放平台」(<https://data.gov.tw/>)，為實現開放政府的重要標的

性資訊公開數據庫。

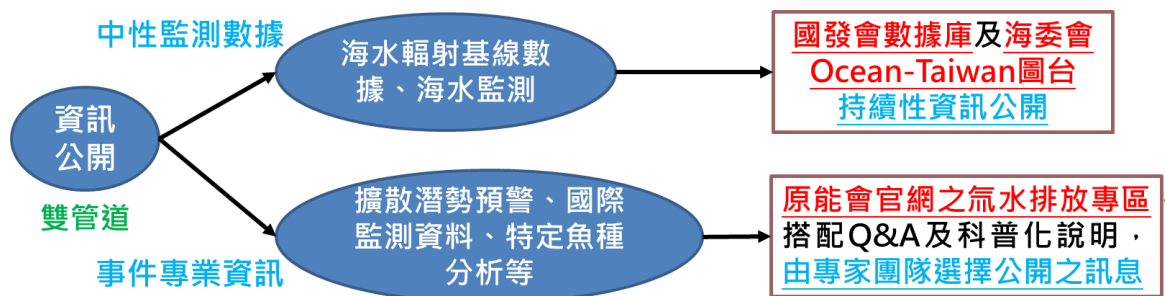


圖 17. 雙管道資訊公開流程

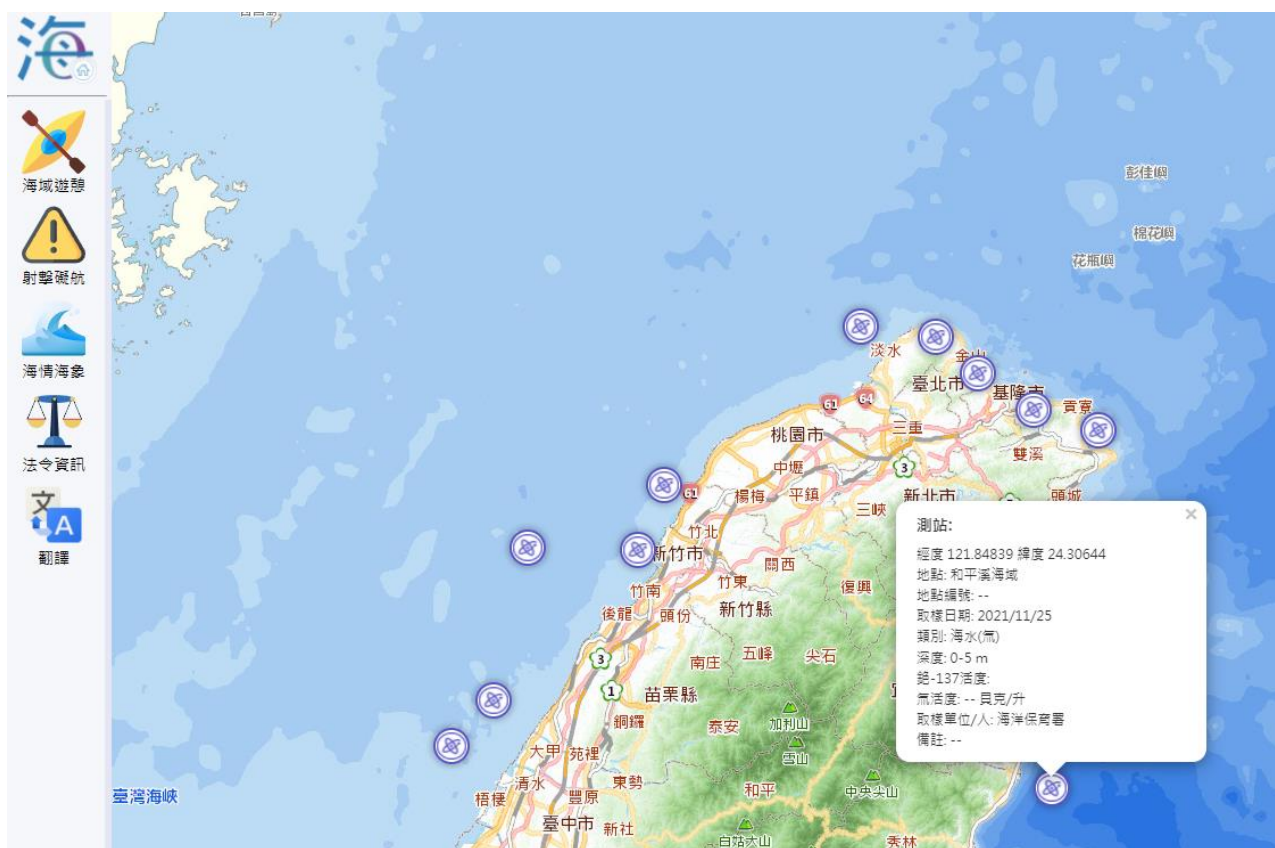


圖 18. Ocean-Taiwan 顯示之輻射監測數據

圖片來源：海委會 Ocean-Taiwan 網站

2. 國際交流及日本氬水排放資訊更新

本項目分為「日方專家交流會議」及「舉辦國際技術交流研討會」兩部分，前者主要邀請日方專家對於各項重要技術進行說明及問答討論；後者則透過舉辦研討會之方式，邀請日、美、歐及我國之專家進行經驗分享，以達到國際技術交流、提升我國國際能見度之目的。

日方專家交流會議：

透過原能會及日本臺灣交流協會之聯繫，邀請日本相關領域專家進行，目前已舉辦之會議摘錄內容如下：

- (1) 2021 年 8 月 27 日召開第一次技術交流會，由日本電力中央研究所的津旨大輔博士進行「放射性物質於海洋中的擴散行為」之說明，亦取得日方相關驗證之數據資料，有助於我國海洋擴散模式的建立。
- (2) 2021 年 11 月 11 日召開第二次技術交流會(如圖 19)，由日本電力中央研究所的立田穰博士進行「銫-137 於食物鏈內的動態轉移模式」之說明，並針對食物鏈各生物體對於放射性物質之攝食、累積之間的關聯性和氚與銫之差異等議題進行討論，對於後續計畫之生物健康風險評估極具助益。
- (3) 另外日方分別於 2022 年 2 月 24 日、3 月 29 日、4 月 18 日、5 月 11 日、5 月 20 日、6 月 22 日、7 月 26 日、10 月 19 日、11 月 25 日召開對台視訊說明會，由日方外務省、經產省、NRA、東京電力公司等分別針對東電含氚處理水排放之實施計畫變更、NRA 審核及 IAEA 赴日調查團等議題向臺灣進行相關說明，臺日雙方隨時保持交流以掌握最新日本東電的排放規劃及環境影響、人員劑量等安全評估。

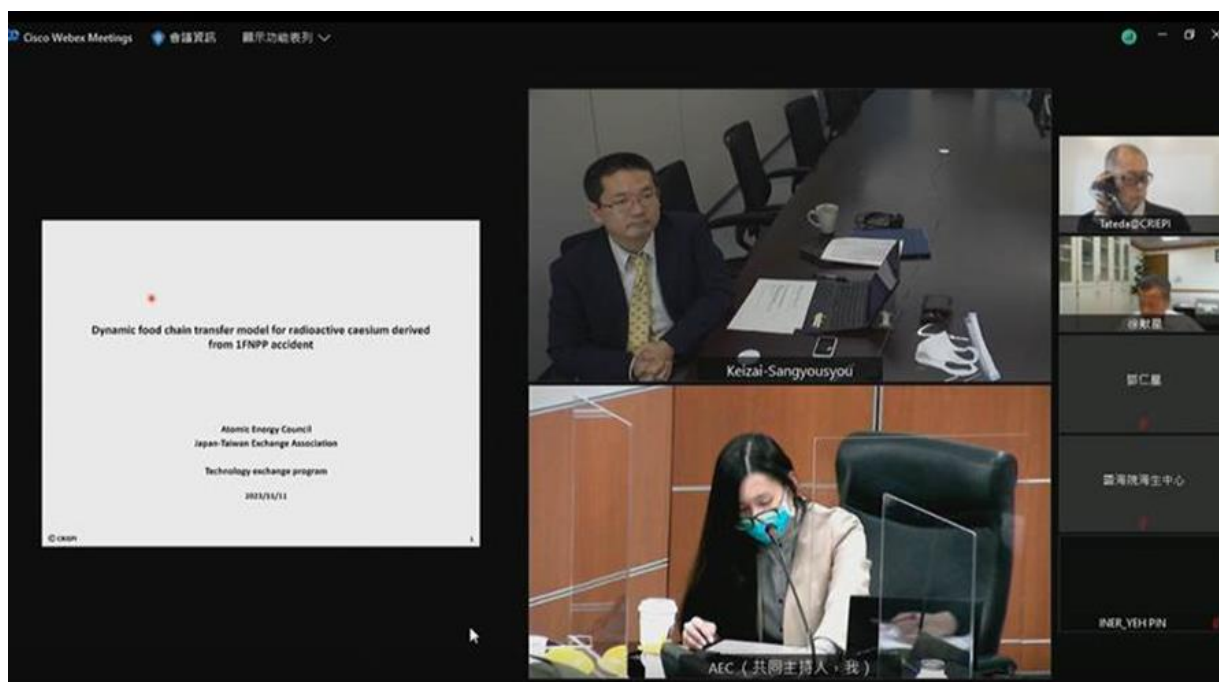


圖 19. 2021 年 11 月 11 日第二次技術交流會立田博士簡報

舉辦國際技術交流研討會

本計畫在 1.5 年整備期間內完成相關技術之籌備建置，包含海洋放射性核種擴散模式及生物氙檢測等新技術研發，故透過舉辦國際技術交流研討會之方式，參考國內、外已具備成熟技術團隊之經驗，結合學研單位之研發能量，完成相關技術之開發，同時也可達到技術交流之目的。在 2022 年 8 月 25 日於集思台大會議中心舉辦「福島第一核電廠含氙處理水排放之輻射擴散模擬與量測技術國際研討會」，邀請美國、法國、日本及臺灣共 8 位專家就福島含氙處理水排放之輻射擴散模擬及相關量測技術進行分享及討論，會議海報、詳細議程及講題如圖 20 所示。本次研討會講座之晤談主題為福島含氙處理水排放之相關技術，包含海洋傳輸擴散模式、放射性核種海洋傳輸、海生物及海水檢測相關技術、放射性物質對海洋的影響等主題。與會的國外專家包括美國伍茲霍爾海洋研究所 Ken Buesseler 博士、日本電力中央研究所津旨大輔博士與立田穰博士、日本產業技術綜合研究所保高徹生博士和法國輻射防護與核安全研究所 Sabine Charmasson 博士；國內專家則包括國立中山大學于嘉順教授、核能研究所黃珏吉博士及葉斌先生。其中美國的 Ken Buesseler 博士曾於 2011 年被《泰晤士高等教育》評選為十年間(2000-2010)論文被引用次數最多的海洋科學家；日本的津旨大輔博士負責協助日本東京電力公司進行福島事件放射性物質海流擴散模擬的分析研究；法國的 Sabine Charmasson 博士更具備三十幾年的研究經驗。

為因應疫情及人數容納之需求，本次會議採實體及線上同步轉播並行之方式進行，並邀請計畫相關部會一同共襄盛舉，共有原能會、核研所、輻射偵測中心、氣象局、海委會、農委會、食藥署、臺灣食品安全促進協會、中研院、臺灣大學和中山大學等單位合計 122 位人員參加。透過專家的經驗分享及意見交流，共同提升專業知能，同時也能展現臺灣目前的技術發展成果，增加國際能見度，對於學術研究價值、國際經驗交流及後續日本含氙處理水的海洋排放應對等方面均深具意義。

International Conference on Radioactivity Dispersion Simulation and Measurement Technology of Tritiated Water Discharged from Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

2022 福島第一核電廠含氚廢水排放之輻射擴散模擬與量測技術國際研討會

議程表 Agenda 111年8月25日星期四 / 集思台大會議中心蘇格拉底廳

時間	活動
8:30-9:00	報到
9:00-9:10	開幕儀式及長官致詞
	座長：孫毓昇副所長 - 行政院原子能委員會核能研究所
9:10-9:50	日本福島第一核電廠ALPS處理水排放對海洋影響的最新評估 講者：Ken Buesseler - 美國西拉華斯哥海洋研究所
9:50-10:30	福島第一核電廠ALPS處理水的海洋擴散模擬研究 講者：津野大輔 - 日本電力中央研究所
10:30-10:50	中場休息
10:50-11:30	三維海洋數值模式追蹤福島核電廠污染海洋擴散 講者：李雲康 - 國立中山大學
11:30-12:10	以FLOW3D建立放射性物質海洋擴散模式及初步案例分析 講者：蕭毓 - 行政院原子能委員會核能研究所
12:10-13:30	中場休息
	座長：王正忠副長 - 行政院原子能委員會核能研究所
13:30-14:10	日本沿海生物群中放射性物質質量的模式及動態生物轉移參數回顧 講者：立川和 - 日本電力中央研究所
14:10-14:50	台灣鄰近海域海水及生態樣本輻射調查的初步結果 講者：黃明吉 - 行政院原子能委員會核能研究所
14:50-15:30	中場休息
	座長：陳毓玲副所長 - 行政院原子能委員會核能研究所
15:30-16:10	放射性氚在環境水中的快速測量方法開發及陸地上的濃度現況分析 講者：佐竹健也 - 日本產業技術綜合研究所
16:10-16:50	環境水中放射性的量測技術介紹 講者：Sobine Christmann - 法國放射環境與核安全研究所
16:50-17:00	閉幕式

圖 20. 8 月 25 日國際研討會海報及議程

日本氚水排放資訊更新

同時，本計畫亦透過外交管道取得日方設計及排放之相關資料如下：

(1)充分知悉日本福島電廠之排放設計：

根據相關報告分析，福島廠內之污染水由 ALPS(advanced liquid processing system) 處理後保管在貯存桶中，超過標準濃度比總和(除了氫)1 以上的 ALPS 處理水需進行二次處理，將濃度降至總和 1 以下。每種核種都有其對應之標準濃度，標準濃度比總和之計算為：核種之濃度除以其對應之標準濃度，再將各核種之標準濃度比加起來後即為標準濃度比總和。圖 21 為安全排放方式之整體示意圖，目前二次處理是設在 K4 貯存桶區域，標準濃度比總和 1 以上之處理水進行二次處理，標準濃度比總和 1 至 10 之處理水進行新設有逆滲透膜裝置之二次處理，經過二次處理的水會送至由三座構成的測定與確認用設備，分別負責接受處理水、測量與確認其濃度與釋出，一座可容下 1 萬立方公尺之處理水，大約是 1 日所產生的污染水。而處理這些處理水需進行均一化循環與攪拌，並將採樣分析後再釋放。

圖 22 顯示 ALPS 處理水排放異常相關對策，當發生 ALPS 處理水之稀釋率故障的情況，包含海水幫浦停止、海水流量低下、ALPS 處理水流量增加、流量計故障，或者 ALPS 處理水特性不尋常(可能是放射線偵測系統故障)時，會快速關閉圖 22 中之防潮堤內的緊急遮斷閥(1)與進入海水前之緊急遮斷閥(2)兩處，伴隨緊急遮斷閥之關閉，

ALPS 處理水之輸送幫浦也會停止作動。若偵測到海域監視系統出現異常值的情況也會暫停排放。海水幫浦設計用來抽取港灣外海水至放水立坑與 ALPS 處理水稀釋後排放，目標為經過海水稀釋後之氚濃度在 1500 Bq/L 以下，年間的排出量在 22 兆 Bq 以下，要排放之 ALPS 處理水會經過 1 公里的海底隧道，海底隧道的出口位在沒有進行漁業活動的區域，如圖 23 中地圖範圍的綠色虛線區塊內，這個區域之水量預估在 600 億公升左右。圖 23 顯示了 ALPS 處理水從測定與確認用設備(K4 區)到排放之整體路徑鳥瞰圖。

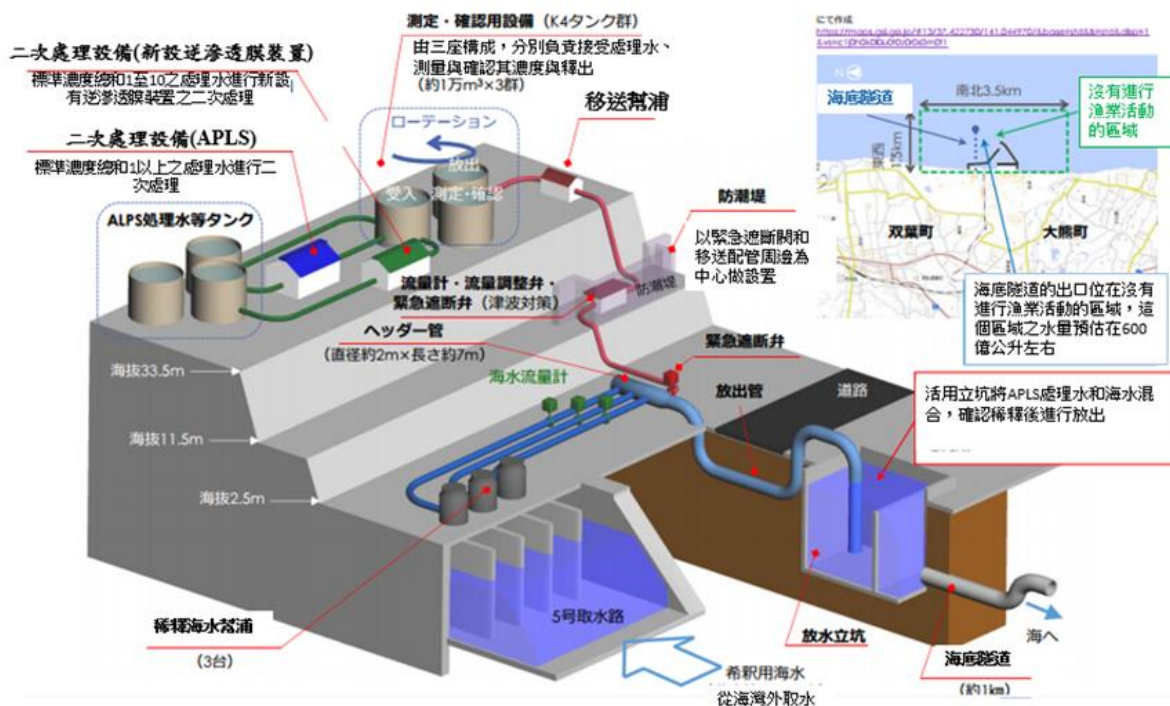


圖 21. 確保安全排放之整體圖 (圖片來源：東京電力公司官網)

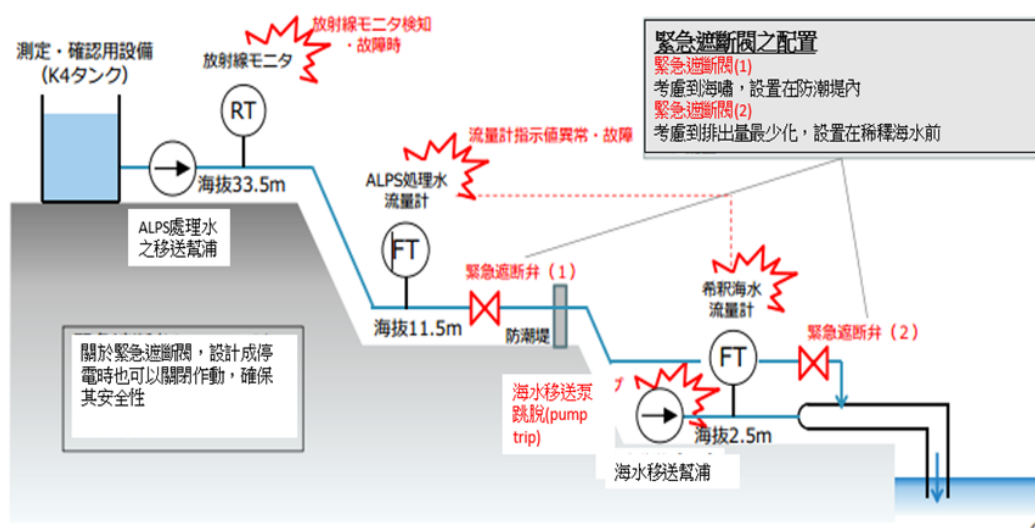


圖 22. 排放路徑之整體路徑剖面圖與異常時之對策(圖片來源：東京電力公司官網)



圖 23. ALPS 處理水從測定與確認用設備(K4 區)到排放之整體路徑鳥瞰圖

圖片來源：東京電力公司官網：「多核種除去設備等處理水の取扱いに関する安全確保のための設備の検討状況について」，2021 年 8 月 25 日

(2)東電公布之 ALPS 處理水排放擴散模擬計算相關分析報告：

[1]. 東電排放之規劃

東電於報告中首先闡述排放 ALPS 處理水有以下幾點必要事項，往後所有的排放工作皆會符合所有項目，並可接受民眾檢視：

- A. 排放設施若要執行海洋排放，必須受到管制單位之認可，且所有內容須由日本原子力規制委員會審查通過。
- B. 所有處理水須可以「重複進行」二次純化工作，須持續過濾純化直到該處理水內所有放射性物質之告示比值總和小於 1 (核種與各自的法規限值之比值加總)。
- C. 承諾所有 62 核種+氬+C-14 需在排放前完成輻射偵檢及評估工作，且相關數據需揭露給大眾，同時須有第三方團體進行相同工作。
- D. 因氬難以透過 ALPS 過濾純化，必須透過海水稀釋至少 100 倍以上，此時除氬以外的所有核種告示比值總和應小於 0.01。
- E. 氬之活度需遠低於日本排放限值 6 萬 Bq/L 或 WHO 限值 1 萬 Bq/L，而排放之濃度目標值為 1500 Bq/L，此為正常運轉排放至地下水之目標設定值。
- F. 排放須非常小心，先從小體積排放開始測試，且同時須充分考量排放後

隨海洋稀釋及擴散之情況。

G. 若不幸的發生了排放設備及管路之故障，應立刻停止排放工作，同時，若有偵測到任何的輻射異常數據，也必須停止所有的排放工作，直到相關研究及檢測找出問題所在，確保安全無虞的情形，才能繼續排放。

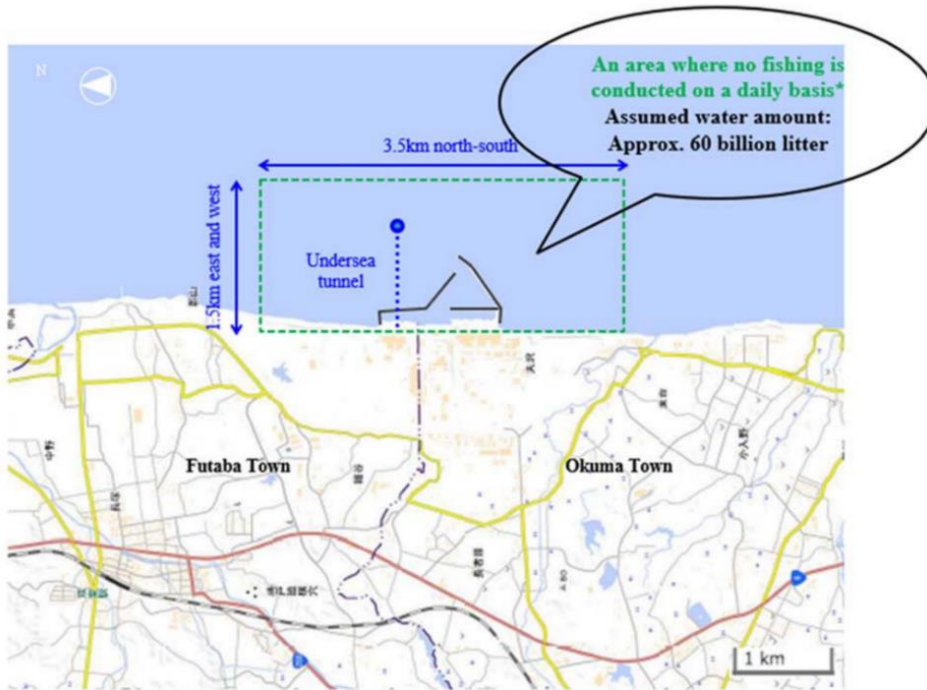
H. 氫水排放之上限值為 22 TBq/year，此為電廠正常運轉排放之數值。

[2]. 排放管路設計

圖 24 為東電氫水排放之管路設計(離岸管)，圖 25 為東電初步設計之氫水排放管路，並有以下幾點說明：

- A. ALPS 處理水在排放至大海並與海水混和稀釋前，有設計一個樣本槽 (Sample tank)，該樣本槽會隨時檢測並公開所有數據，確保稀釋前之 ALPS 處理水低於法規限值。
- B. 安裝在福島電廠廠址中央地帶的儲水槽被選用為「樣本槽」，一組共有 10 個儲水槽，可儲存約 1 萬立方公尺的處理水，儲水槽間加裝循環系統，使樣本槽內的處理水可均勻混合，也因為 ALPS 處理水排放必須毫不間斷提供定量的排放，共會有三組桶槽輪替使用，每日最大排放量約 500 立方公尺。
- C. 預計在 5、6 號機安裝海水傳輸管路，需透過幫浦提供 100 倍的海水進行稀釋，也為了安全性考量，預計會設計三組海水幫浦，一組每日可提供約 17 萬立方公尺的海水量。
- D. ALPS 排放傳輸管路設置於樣本槽旁，且管路需安裝可監測並調控流量之閘門，確保稀釋之比例。
- E. 整體管路安裝兩套緊急隔離閘，一組安裝靠近海水稀釋管，可在任何緊急情況關閉，隔離未稀釋之 ALPS 處理水及海水，另一組則安裝於海嘯牆內部，作為前一組閘門因海嘯失效之備用設備。

而後續之規畫皆依照此初步安排進行，且假設排放為離岸 1 公里之海底管路。



Source: Prepared by Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. based on the map developed by the Geospatial Information Authority of Japan (Electronic territory web)
<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>
 ※Areas where common fishery rights are not set

圖 24. 東電氙水排放之管路設計(離岸管)

圖片來源：東京電力公司官網(環境衝擊評估報告)

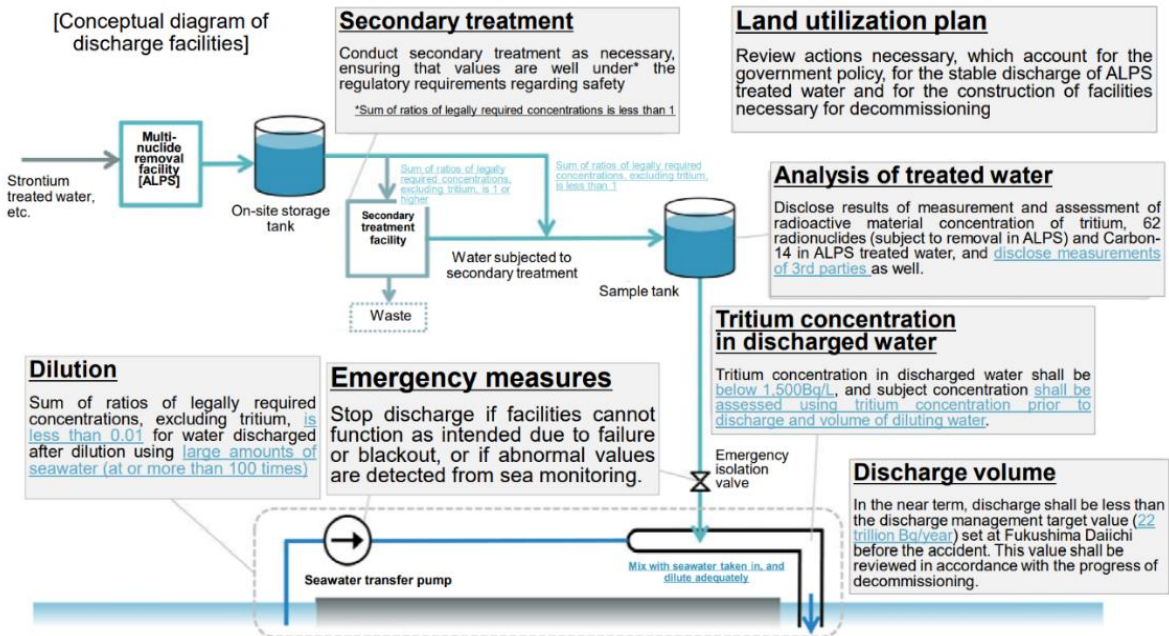


圖 25. 東電氙水排放之管路設計

圖片來源：東京電力公司官網

[3]. 環境衝擊評估

以下內容節錄翻譯自東京電力公司公布之評估報告：Radiological Impact Assessment Report Regarding the Discharge of ALPS Treated Water into the Sea(design stage)

根據東電該評估報告，後續即為依照 IAEA GSG-10 建議之評估流程進行：射源項決定→模式計算(海洋傳輸擴散評估)→決定曝露途徑→決定關鍵群體→進行關鍵群體的劑量評估→將評估出的劑量數值對比於約束劑量。

A. 決定射源項：首先射源項之決定，東電在評估報告中選定三組水槽，分別為 K4、J1-C 及 J1-G，而各自之水槽都有其對於所有(62+2)放射性核種之檢測或評估值，並各自存在比例，而先前有提到過，東電對於氫的排放值為每年 22 TBq (福島電廠在發生事故前的每年排放目標值)，因此在此評估中，所有核種之射源項乃是透過量測各組水槽之「氫」活度含量，將其等比放大到 22 TBq，並將其他核種依照該水槽之比例同樣等比計算。

B. 海洋擴散評估：在海洋擴散評估方面，東電採用日本電力中央研究所之分析模式 ROMS: Regional Ocean Modeling System，來進行海洋擴散之相關評估，該模式透過福島事件之銫-137 進行量測值之對比驗證，有一定之可信度。其模式細節如下：

a. Resolution (general) : North south abt. 925m x East west abt. 735m (approx. 1km), Vertical direction: 30 layers

b. Resolution (close-up) : North south abt. 185m x East west abt. 147m (approx. 200m), Vertical direction: 30 layers

c. Scope of model : North latitude 35.30- 39.71 degrees, East longitude 140.30 -143.50 degrees (490km x 270km), North south abt. 22.5m x East west abt. 8.4m around the NPS

C. 曝露途徑：

a. 在海上工作受到海洋表面的直接體外曝露：

劑量 D_1 (mSv/year)之計算方程式如下：

$$D_1 = \sum_i (K_1)_i \cdot (x_1)_i \cdot t_1$$

其中 K_1 為海洋表層加馬射線之劑量轉換係數((mSv/h)/(Bg/L))； x_1 為海洋區塊之核種濃度(Bq/L)； t_1 平均每年在海上受到曝露之時間(h/year)。

b. 海上工作者受到附著於船體之放射性物質體外曝露：

劑量 D_2 (mSv/year)之計算方程式如下：

$$D_2 = \sum_i (K_2)_i \cdot (S_2)_i \cdot t_2$$

$$(S_2)_i = (F_2)_i \cdot (x_2)_i$$

其中 K_2 為附著於船體上之加馬射線劑量轉換係數((mSv/h)/(Bg/m²))； S_2 為附著於船體之核種密度(Bq/m²)； x_2 為海洋區塊之核種濃度(Bq/L)； F_2 為海水轉移至船體之傳輸係數((Bg/m²)/(Bq/L))； t_2 平均每年在海上受到曝露之時間(h/year)。

c. 游泳及水底工作者受到之體外曝露：

劑量 D_3 (mSv/year)之計算方程式如下：

$$D_3 = \sum_i (K_3)_i \cdot (x_3)_i \cdot t_3$$

其中 K_3 為海水之加馬射線劑量轉換係數((mSv/h)/(Bg/L))； x_3 為海洋區塊之核種濃度(Bq/L)； t_3 平均每年受到曝露之時間(h/year)。

d. 海灘活動之體外曝露：

劑量 D_4 (mSv/year)之計算方程式如下：

$$D_4 = \sum_i (K_4)_i \cdot (x_4)_i \cdot (F_4)_i \cdot t_4$$

其中 K_4 為受到海灘沙子中核種之加馬射線劑量轉換係數((mSv/h)/(Bg/kg))； x_4 為海洋區塊之核種濃度(Bq/L)； F_4 為海水轉移至沙子之傳輸係數((Bg/kg)/(Bq/L))； t_4 平均每年受到曝露之時間(h/year)。

e. 受到附著於漁網上核種之體外曝露：

劑量 D_5 (mSv/year)之計算方程式如下：

$$D_5 = \sum_i (K_5)_i \cdot (S_5)_i \cdot t_5$$

$$(S_5)_i = (F_5)_i \cdot (x_5)_i$$

其中 K_5 為附著於漁網上之加馬射線劑量轉換係數((mSv/h)/(Bg/kg))； S_5 為附著於漁網之核種濃度(Bq/kg)； x_5 為海洋區塊之核種濃度(Bq/L)； F_5 為海水轉移漁網之傳輸係數((Bg/kg)/(Bq/L))； t_5 平均每年受到曝露之時間(h/year)。

f. 體內曝露：

體內曝露之劑量主要來自於攝入海產，其劑量 D_6 (mSv/year)之計算方程式如下：

$$D_6 = \sum_k \sum_i (K_F^{50})_i \cdot H_{ki}$$

$$H_{ki} = 365 \cdot 10^{-3} \cdot x_i \cdot (CF)_{ki} \cdot F_k \cdot W_k \cdot f_{ki}$$

其中 K_F 為攝入之劑量轉換係數(mSv/Bq)； H_{ki} 為隨不同水產攝入核種之攝取率(Bq/year)； x_i 為海洋區塊之核種濃度(Bq/L)； CF 為特定水生物之核種濃度比(濃縮係數)((Bq/kg)/(Bq/L))； F_k 為該水產於市場的稀釋係數(-)； W_k 為每天吃入的水產品(kg/day)； f_{ki} 為攝取特定水產品與人體吸收之傳輸係數(-)。

- D. 決定關鍵群體：根據日本相關數據及輕水式電廠民眾劑量評估導則，決定以下各種假設：
- a. 漁民每年工作 120 天在海上捕魚，其中 80 天會靠近漁網。
 - b. 海灘遊憩 500 小時，游泳 96 小時。
 - c. 攝入水產則依照成人、非成人計算，並額外考量每年吃大量水產的關鍵群體，透過使用不同於一般人的強化攝入參數，做為一組保守對照組。
- E. 劑量評估結果並對照於約束劑量：後續分析結果應將劑量對照於公共劑量 1 mSv/year，但本報告保守採用運轉核電廠周遭之目標劑量 0.05 mSv/year 作為對比數值。而根據前述一連串分析方法計算，挑選出的三組水槽得到的劑量評估數值為：0.000017 (1.7E-05) 至 0.00031 (3.1E-04) mSv/year，遠低於 0.05 mSv/year。

綜上所述，前述資料正好提供福島電廠之安全設計、排放設計及 IAEA 之相關傳輸參數建議，與本計畫關注之擴散模擬、核種傳輸參數工作之項目息息相關，可作為模式計算時的重要參考對照，也實際顯示了國際交流在本計畫中扮演的重要角色，後續計畫亦會透過持續之外交聯繫，持續舉辦資訊交流及技術討論會議，確保臺灣可掌握日方最新一手的排放資訊外，也擁有對應國際之模擬及評估能力。

二、 放射性物質擴散潛勢預報及示警

針對擴散預報及示警方面，本計畫優先執行相關之洋流資料研蒐，包含調查西北太平洋流況，如圖 26 左。在西北太平洋，黑潮為最主要的海流。黑潮是由北赤道流碰撞到菲律賓東岸後，北向的海流所形成。黑潮在北向的過程中，沿途流經菲律賓東岸、呂宋海峽、臺灣東岸及東海陸棚，最後抵達日本東南岸(Qiu, 2019)。因上游流量的影響，黑潮在日本東南岸有較多變的流動方式(圖 26 右)，分別為 A：沿日本東岸流動、B：以蜿蜒的形式流動，俗稱黑潮大蛇行(大蜿蜒)以及 C：介於兩者之間的過渡狀態(Kawabe, 2005; Nagano et al., 2019; Qiu, 2019)。當流量越大，形成大蜿蜒的機率越高，根據過去文獻提出，黑潮在流經圖克拉海峽的平均流量低於 23.5 Sv (0.001 km³/s)則不會形成大蜿蜒的現象(Nagano et al., 2019)。最近一次大蜿蜒發生的時間點則從 2017 年開始持續到今日 (Nagano et al., 2019; Qiu, 2019)。在 2017 年前就觀測到黑潮流量逐漸增加，隨後在東海陸棚的流量有超過 25 Sv(0.001 km³/s)，因此黑潮逐漸發展為大蜿蜒的模式(Nagano et al., 2019)。離開日本東南岸後，黑潮會在約 140°E, 35°N 離開日本東岸成為黑潮延伸流(Kuroshio Extension)。根據過去文獻指出黑潮延伸流的穩定度與大尺度的風場相關(Ma et al., 2016)，除此之外，在黑潮延伸流離開日本東岸後會形成蜿蜒型態及渦流，渦流的型態變化會影響延伸流的穩定性(Qiu, 2019)。

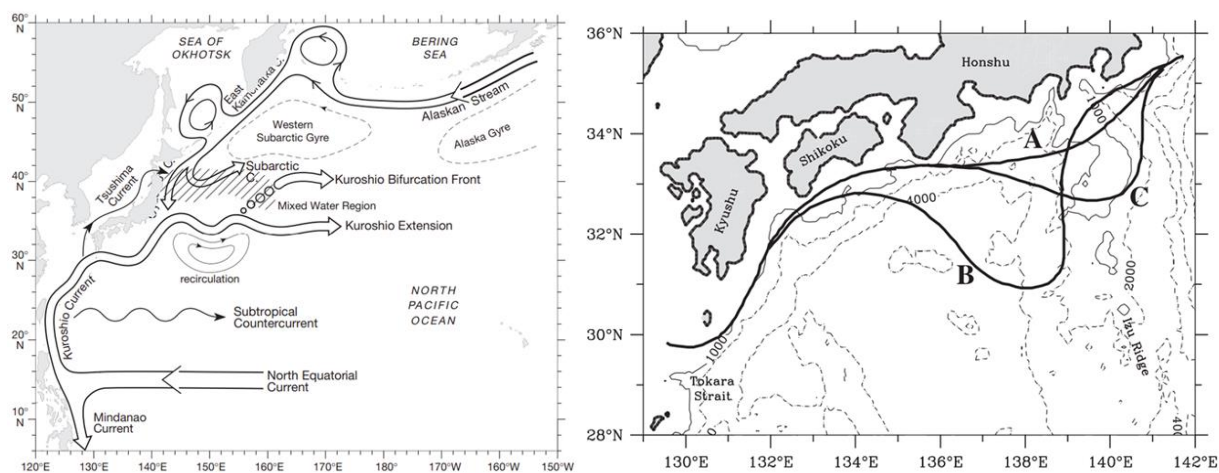


圖 26. 西北太平洋洋流流況分布圖；黑潮在日本東岸流動模式示意圖(Qiu, 2019)

另外，Kawamura et al.(2011)使用 Lagrangian 的方式模擬銫-137 排放後的初步評估，放射性物質在海嘯事件發生後先是蓄積在福島核電廠的外海，隨後隨著南向的沿岸海流進入到黑潮延伸流內，並隨著黑潮延伸流快速的稀釋以及擴散。透過顆粒擴散路徑捕捉魚類進行驗證，被檢測有放射性物質存在(Kawamura et al., 2011)。在 311 海嘯事件模擬排放的放射性顆粒開始時大量聚集於近岸區域，排放後迅速與上層 500 公尺的水體混合，且快速消

散。此外，模擬結果顯示在 5~6 年後，放射性顆粒會到達美國的西海岸(Kawamura et al., 2014)。研究結果顯示，排放的放射性顆粒受到黑潮以及親潮所主導；在排放後進入黑潮主流，會被迅速的稀釋，且容易受到黑潮延伸流下方的中尺度渦流影響，並且在隨後的數十年逐漸擴散到整個太平洋海域(Rossi et al., 2013; Rossi et al., 2014)。

此外，過去研究以 ROMS 海洋模式配合沉積物擴散方程式模擬鈉-137 的擴散(Kamidaira et al., 2021)，模擬結果與現地放射性濃度測量資料比較，表示模式可良好的重現鈉-137 的擴散以及傳輸。在 3 月 11 日核災排放的放射性物質存在於近岸區域，隨後在 5 月時表層區域的放射性物質隨著海流逐漸向北傳輸至仙台灣內，隨時間而逐漸擴散；此外，部分的放射性物質進入到黑潮後(約 36°N)，擴散的速度增加，使放射性物質濃度快速削減。研究指出鈉-137 會與沉積物結合，在底層區域沉積的放射性物質與表層有相同的傳輸方式，但大部分的放射性核種累積在仙台灣內現象較為明顯。

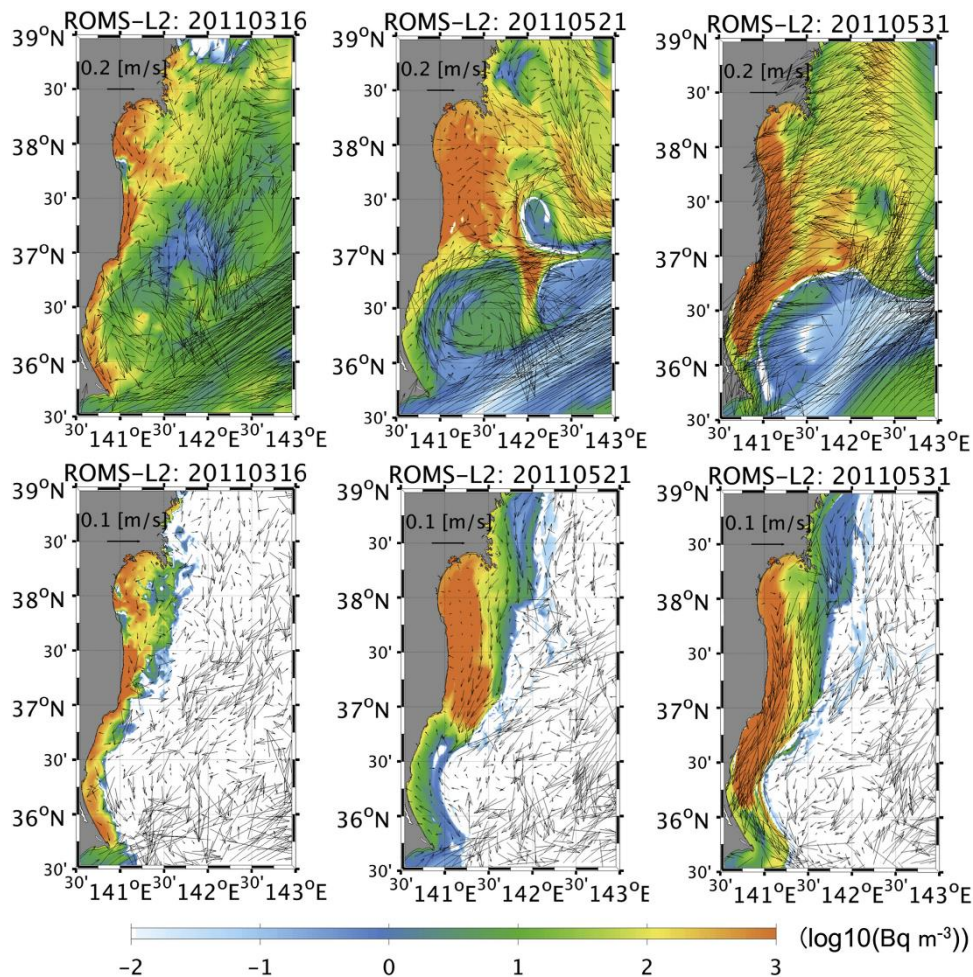


圖 27. 以 ROMS 模擬放射性核種結果分布圖(Kamidaira et al., 2021)

完成前述文獻討論後，氣象局團隊依此為基礎執行海流擴散之理想案例測試(Lock Exchange Test Case)，以此測試水體傳輸擴散模式之效果。根據文獻，測試的方式為在一個封閉水槽，有兩不同密度之靜止流體以隔板間隔(Benjamin, 1968; Haidvogel and Beckmann,

1999; Kolar et al., 2009)。在這封閉的水槽中，只考慮重力影響，不考慮科式力及摩擦力。本計畫使用 SCHISM 測試水體傳輸及擴散之計算方式。設計一水槽，邊長為 64 公里，寬為 20 公里，水深 20 公尺，邊界無潮汐及流速輸入，垂直層數分 11 層，水溫設定為 25°C。鹽度設定為左邊 6.3 PSU，右邊 0 PSU；放射性物質濃度設定為左邊 6 Bq/L，右邊 0 Bq/L，模擬三者在水體中交互作用。兩邊的鹽度不同導致水體產生傳輸擴散的現象，如圖 28 左。此外，值得注意的是放射性濃度亦會受到水體傳輸的影響，使放射性濃度產生與鹽度相同分布現象，如圖 28 右。此現象是因為放射性濃度會因為水體傳輸運動，移動且擴散。SCHISM 模式可以完整呈現出溫度及鹽度的傳輸現象。溫度及鹽度的不同，會使密度較高的水體往下層傳輸，密度低的水體往上層傳輸。以氫處理水為主的放射性物質傳輸較為特別，因氫處理水溶於水的特性，故不會影響水體的密度。後續加入半衰期影響之模擬，如圖 29。與前述理想案例相同，放射性活度濃度亦會受到水體傳輸的影響，使活度濃度產生與鹽度產生相同分布現象，並隨著時間衰變，放射性物質活度濃度會因為水體傳輸移動且擴散。

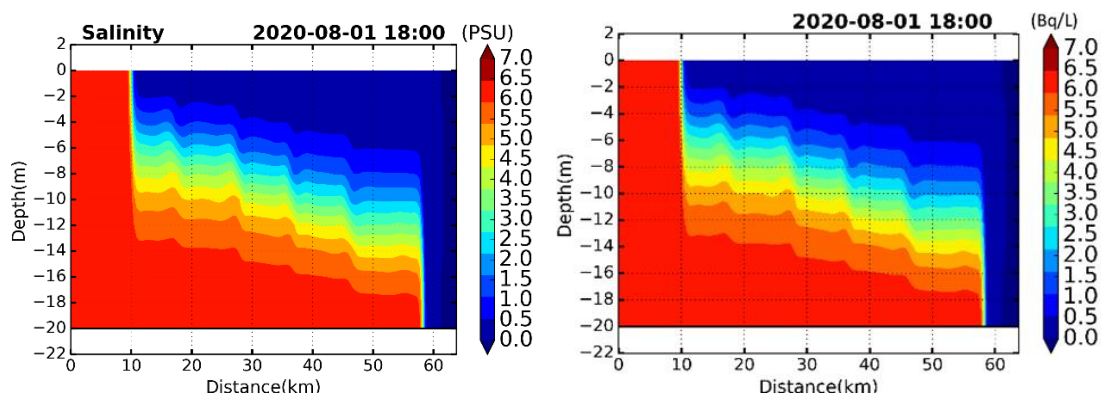


圖 28. 不同鹽度之輻射濃度模擬結果剖面圖(左:鹽度、右:放射性活度濃度)

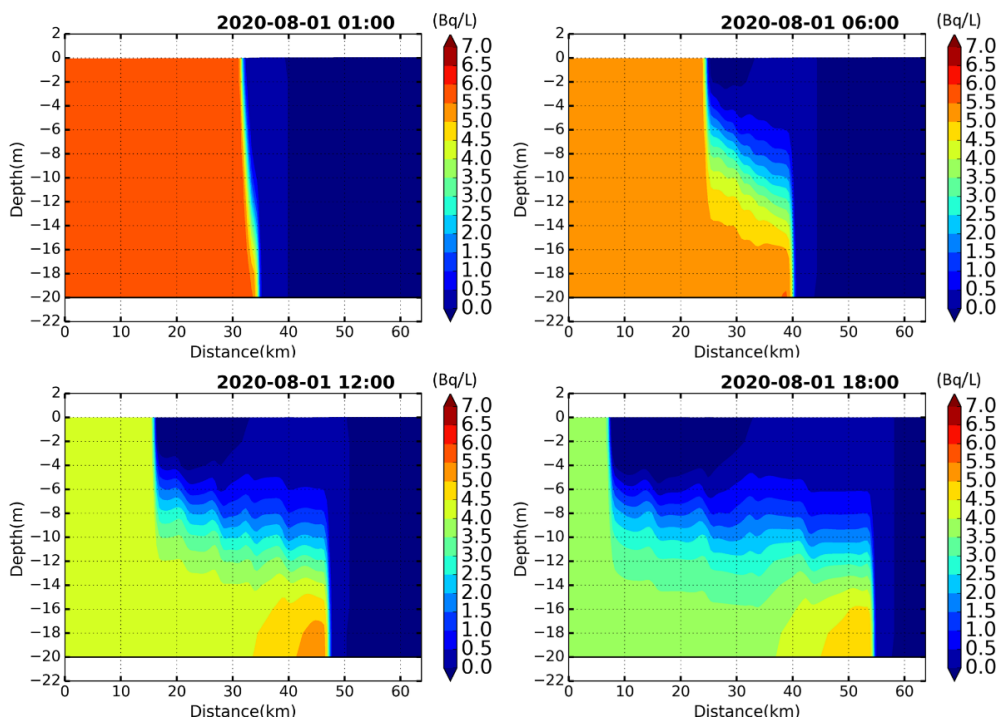


圖 29. 加入半衰期影響不同鹽度之輻射濃度模擬結果剖面圖

為測試模式的穩定性、準確性及合理性，除了理想案例之外，本計畫亦透過設置福島第一核電廠周邊海域之小範圍模式進行模擬及分析，並與東京電力公司排放評估報告 (TEPCO, 2021) 進行比對。放射性物質排放結果如圖 30。放射性物質排放的活度濃度為 1500 Bq/L，但由於海洋水體因活度濃度為 0 Bq/L，為最佳的緩衝溶液。因此，氬處理水在排放後會迅速地被稀釋(圖 30 上)，排放點周邊的活度濃度約在 10 Bq/L 以下。然而，在潮汐較小的情況下會出現近岸堆積的現象(圖 30 下)。當潮汐較小時，近岸流速較小，無法將放射性物質傳輸擴散至外海區域，會使放射性物質蓄積在港口，甚至於進入港口內部，隨著時間經過才會被潮汐向外帶出。

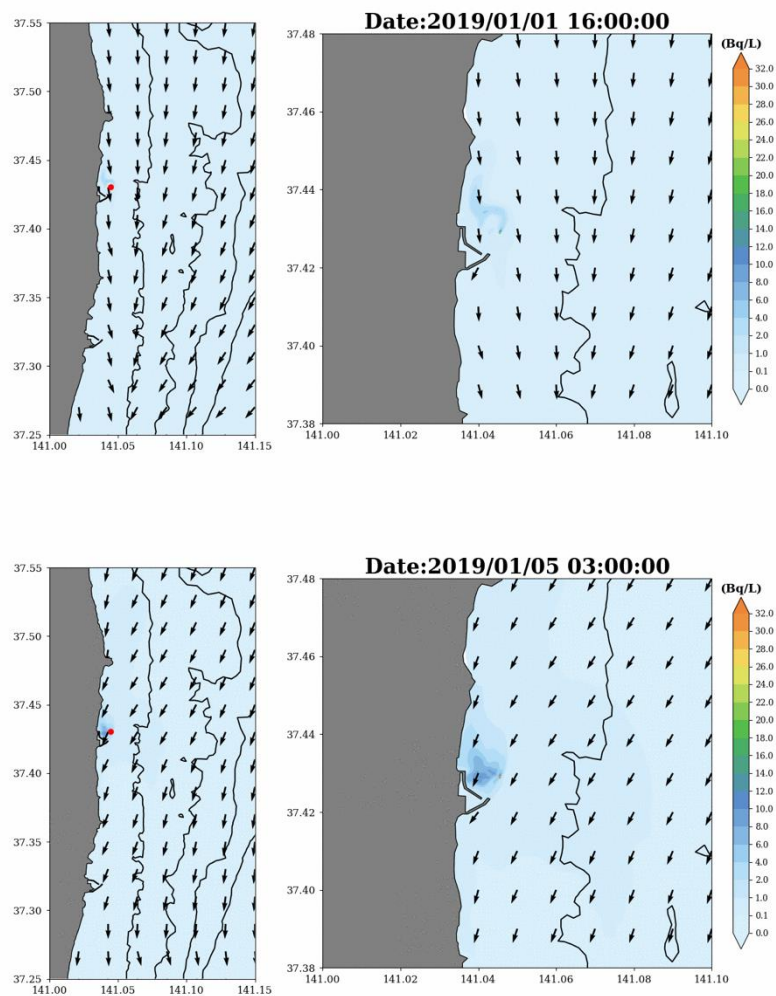


圖 30. 2019 年 1 月 1 日 16 時(上)及 2019 年 1 月 5 日 03 時(下)放射性物質擴散模式結果分佈

另外，為了可以長時間追蹤來自福島排放的氬處理水，得知其長此以往對於臺灣的影響程度，將利用 SCHISM 中的粒子擴散模式中對於各個粒子的軌跡追蹤，進行十年之追蹤模擬，並將每個粒子當作是煙陣的中心，以高斯擴散分布的概念，並加入半衰期效應，得

到放射性物質的活度濃度(Bq/L)分布。

本計畫蒐集長期實測資料(1988~2021 年 GDP 浮標資料)以及模式資料(2011~2020 年 HYCOM 海流資料) 分析西北太平洋的海洋流場分布，結果如圖 31 所示。圖中均可觀察到約在 $5^{\circ}\text{N}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 的海域有較強的流速出現，為北赤道流。隨後，北赤道流與菲律賓東部碰撞，形成兩股海流，分別為民答那峨海流以及黑潮(Zhai & Hu, 2013)。黑潮沿著菲律賓東部向北部傳輸，流經呂宋海峽，部分的黑潮會形成支流(Bifurcation)越過呂宋海峽進入南海，在冬季時會形成(Kuroshio Jet)在南海的北部形成較大的渦流；黑潮主流的受科氏力(Coriolio Force)影響流速加快，沿著臺灣的東部以及東海陸棚邊緣持續傳輸到日本的南端。黑潮在日本南端穿過圖克拉海峽，進入到日本的東南沿岸。但是在日本東南岸的黑潮路徑較不穩定，會有蜿蜒的現象發生(Kawabe, 2005; Nagano et al., 2019; Qiu, 2019)，因此從圖 26 可觀察到黑潮在日本東南岸的流域較廣且擴散許多。黑潮會在約 140°E , 35°N 離開日本的東部海岸，形成黑潮延伸流(Kuroshio Extension)。與黑潮在日本東南岸有相同的現象，在約 $140\sim 150^{\circ}\text{E}$ 會出現蜿蜒的現象且傳輸的主要路徑較不穩定。過去文獻提到，傳輸較不穩定的因素可能為大尺度的風場影響以及下方渦流動能強弱的影響(Qiu, 2019)。

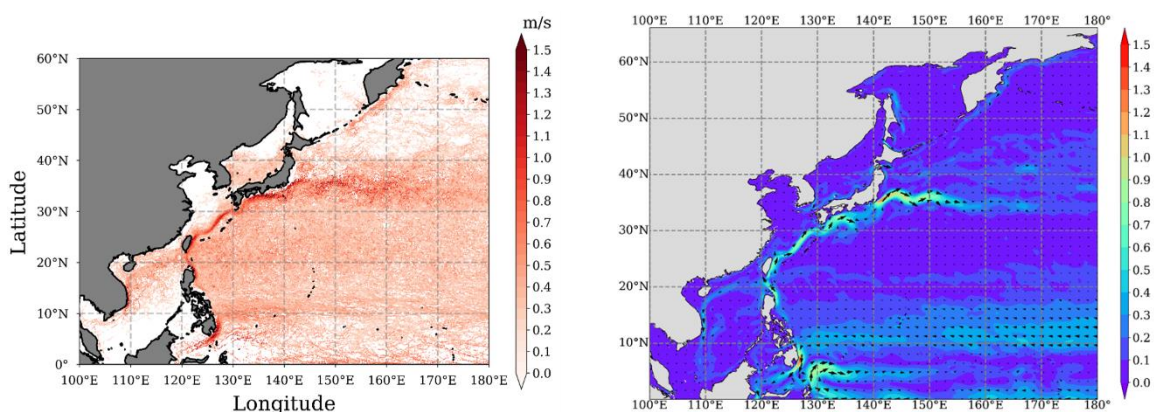


圖 31. 1988~2021 年 GDP 浮標資料長期平均表層海流分布；2011~2020 年 HYCOM 海流模式資料長期平均表層海流分布(單位： ms^{-1})

受到亞洲季風系統的影響，黑潮在不同季風的情況下會有不同的傳輸路徑及強度。亞洲季風系統在東亞區域的夏季時為西南季風，在冬季時為東北季風。季風的方向會使黑潮在不同季節有不同的強度，由 GDP 浮標資料以及 HYCOM 海流模式資料的分析結果顯示，在西南季風時(夏季)流速較強，如臺灣東岸、東海陸棚區域以及黑潮延伸流區域；東北季風時期(秋季及冬季)，黑潮的流速則較弱(圖 32)。黑潮的季節性變化，在 HYCOM 海流模式資料的結果亦有呈現相同的現象，夏季流速較強，冬季流速較弱(圖 33)。此外，在呂宋海峽的黑潮，受到東北季風的影響會產生支流進入南海，在 GDP 的結果中可明顯觀察到秋季及冬季在 110°E~120°E，20°N 有較強的流速進入南海內部，並在海南島及越南東部轉為南向之海流，在南海北部形成大型的環流(圖 33)。

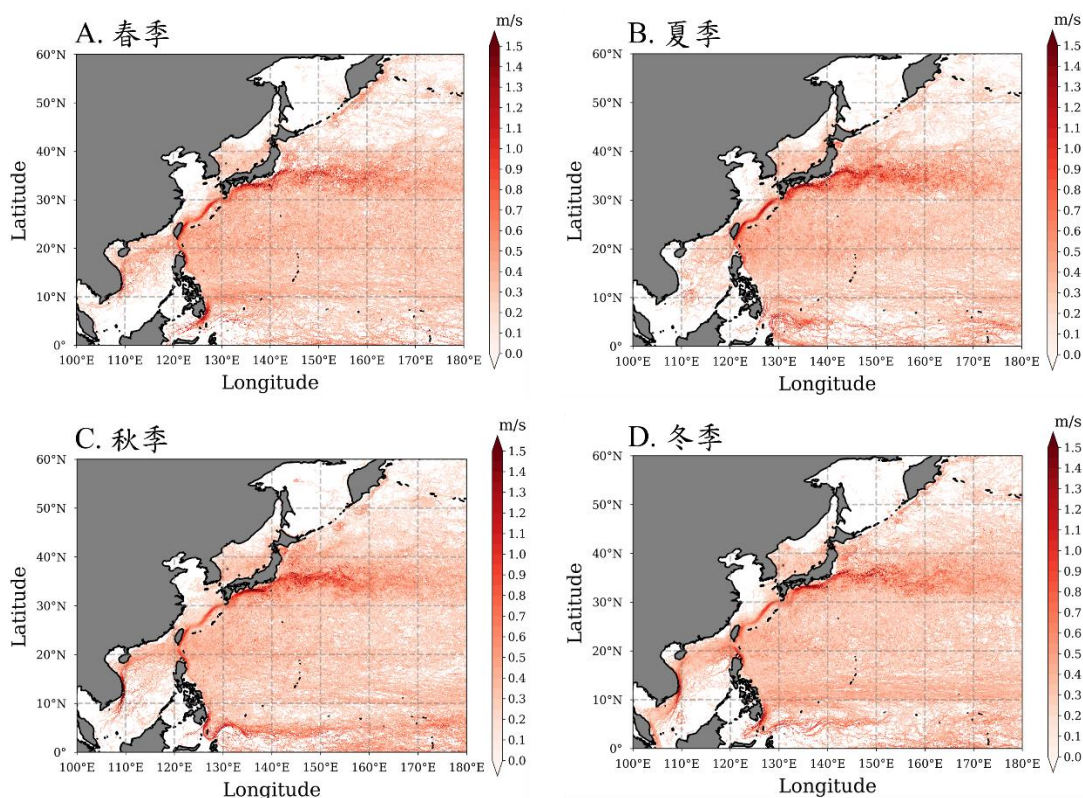


圖 32. 1988~2021 年 GDP 長期季節性平均表層海流分布(單位： ms^{-1})

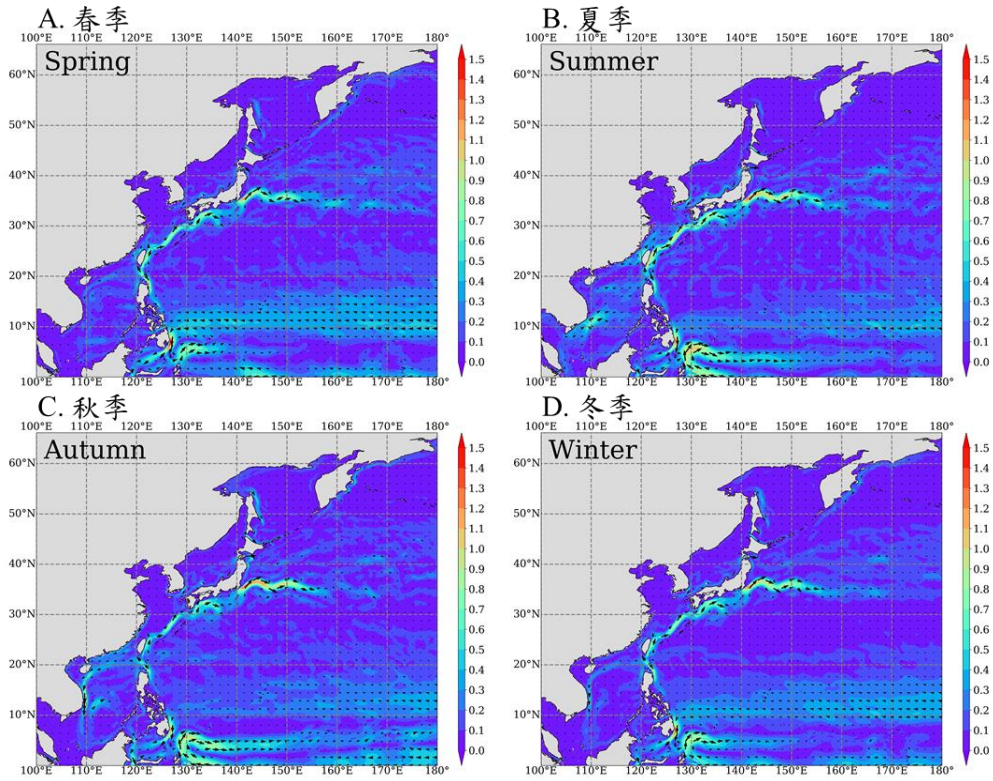


圖 33. 2011~2020 年 HYCOM 長期季節性平均表層海流分布(單位：ms⁻¹)

完成文獻研析、歷史趨勢分析及洋流資料庫探討後，本計畫以實際運算之 SCHISM 案例，作為擴散預警系統建置之雛形，以延伸應用至接續的應對計畫。

1. 不同深度之福島核電廠投放顆粒模擬案例

透過追蹤顆粒質點軌跡，可以模擬放射性核種在排放後的傳輸擴散情形。本計畫使用 HYCOM 全球模式之海流資料進行模擬測試，2021 年 9 月在福島核電廠外海投放 100 顆顆粒，模擬時間為 15 天，觀察顆粒在投放後的傳輸擴散情形(圖 34)。表層(10 公尺、12 公尺、15 公尺及 20 公尺水深)的模擬結果顯示，顆粒受到南向的海流影響，向南傳輸進入到黑潮延伸流。流速較快的黑潮延伸流將顆粒擴散帶往下游。文獻指出福島海域的流場是受黑潮與親潮所主導(Rossi et al., 2013; Rossi et al., 2014)，在排放後受到黑潮而迅速的擴散，使放射性濃度降低。比對結果與文獻，在顆粒排放後，雖然顆粒會在福島外海稍做停留，但隨後受到南向海流將顆粒帶往黑潮主流，顆粒即會快速的擴散及稀釋。

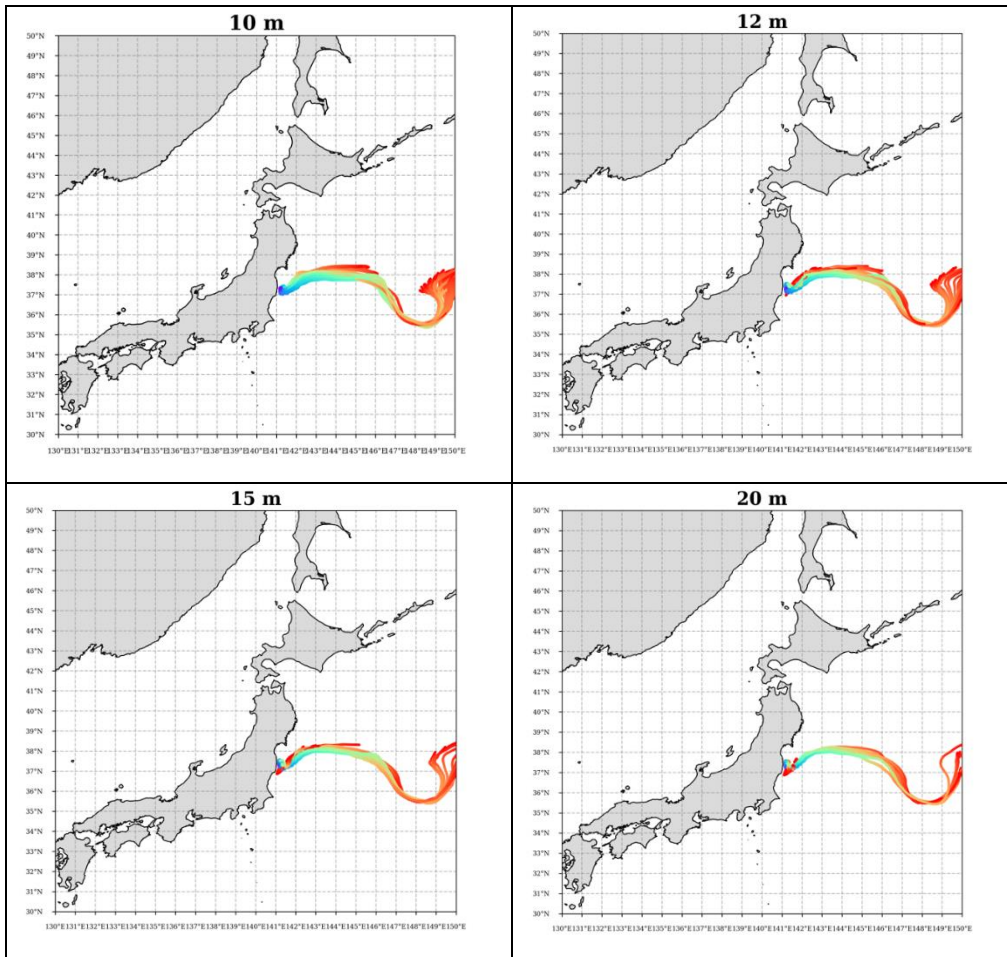


圖 34. 以 HYCOM 海流資料模擬顆粒在福島核電廠投放後之軌跡，分別為 10、12、15、20 公尺處投放

2. 日本小笠原諸島福德岡之場火山浮石案例

2021 年 8 月 12 日透過衛星照片觀察到日本小笠原諸島的福德岡之場海底火山爆發的現象，隨後在周邊海域陸續發現有火山浮石的蹤跡。JAMSTEC(Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)利用衛星觀測沖繩周邊的火山浮石位置，並利用模式模擬顆粒移動的方向及位置(圖 30)。本計畫亦透過 JAMSTEC 公告的浮石分布位置作為模擬追蹤計算浮石顆粒的起始點，模擬火山浮石對臺灣周邊的影響(圖 35)。模擬結果如圖 36 所示，在黑潮主流區域的顆粒，因黑潮的流速較強，因此顆粒會沿著黑潮主流的區域流動。在琉球島鏈下方的顆粒，因中尺度渦流的影響 (Jan et al., 2019; Rudnick et al., 2011; Wu et al., 2017; Tada et al., 2021)，會在琉球的下方逐漸傳輸形成漩渦狀的分布。除了中尺度渦流的影響之外，冬季的主要風向為東北季風，亦會影響火山浮石傳輸的方向，將火山浮石逐漸帶往臺灣東部。隨後進入臺灣東部海域，首當其衝的區域就是綠島及蘭嶼。在東北季風的持續作用下，部分火山浮石大約在 1 月 7 日逐漸侵入臺灣南部，進入到墾丁海域(圖 36)。過去文獻指出，在冬季時的黑潮會有

侵入呂宋海峽的現象(Hsin et al., 2008;Nan et al., 2011; Jan et al., 2015)，再加上東北季風的影響，使火山浮石進入到呂宋海峽(圖 36)。另有一部分火山浮石隨著黑潮向臺灣北部傳輸，流經臺灣東北部時因部分黑潮在臺灣東北部會產生入侵流進入東海陸棚(Cheng et al., 2018; Liu et al., 2021)，因此可觀察到浮石沿著臺灣北部海岸侵入。隨著海流的影響，可以觀察到在新竹及苗栗一帶可以觀察到火山浮石(圖 36)，亦與海委會海巡署監控到的火山浮石動態相吻合。

補充說明：浮石為一種多孔性火山碎屑岩石，於火山爆發後，大量岩漿噴發到空氣中急速冷卻形成，內部含有大量氣體，密度小於水，浮石落在海洋後會漂流於海面上；而氚水是由放射性物質氚取代水中一個氫原子而形成的分子 HTO，因為與水非常相似，本身會溶於水，在海洋中在海面下隨著海水流動，兩者在海洋中擴散漂流的方式不相同。本案例中使用 SCHISM 模擬計算浮石之流向，主要目的為浮石結構簡單，易於建構 SCHISM 海流擴散模式與使用粒子追蹤模式來模擬浮石流向，並利用 JAMSTEC 之監測衛星公告的浮石位置來驗證所建置之海流擴散模式正確性。

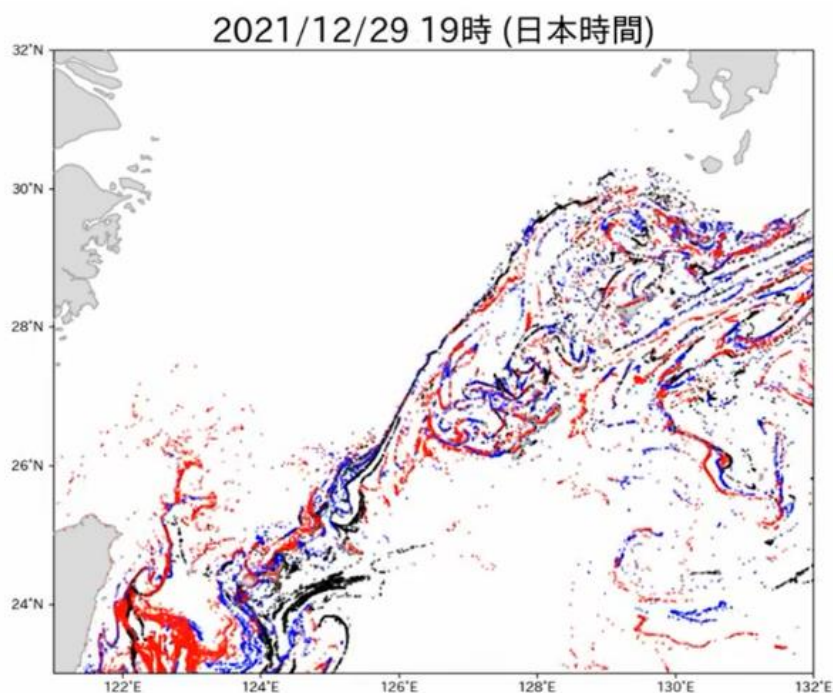


圖 35. JAMSTEC 模擬浮石位置分布圖

(擷取自 JAMSTEC 網站：

[https://www.youtube.com/watch?v=w8f4kbJTJ2s&list=PLKT1Tlr-tdGG85epmm6U9Gg7woBV4gd6p&index=123&ab_channel=APL_JAMSTEC\)](https://www.youtube.com/watch?v=w8f4kbJTJ2s&list=PLKT1Tlr-tdGG85epmm6U9Gg7woBV4gd6p&index=123&ab_channel=APL_JAMSTEC)

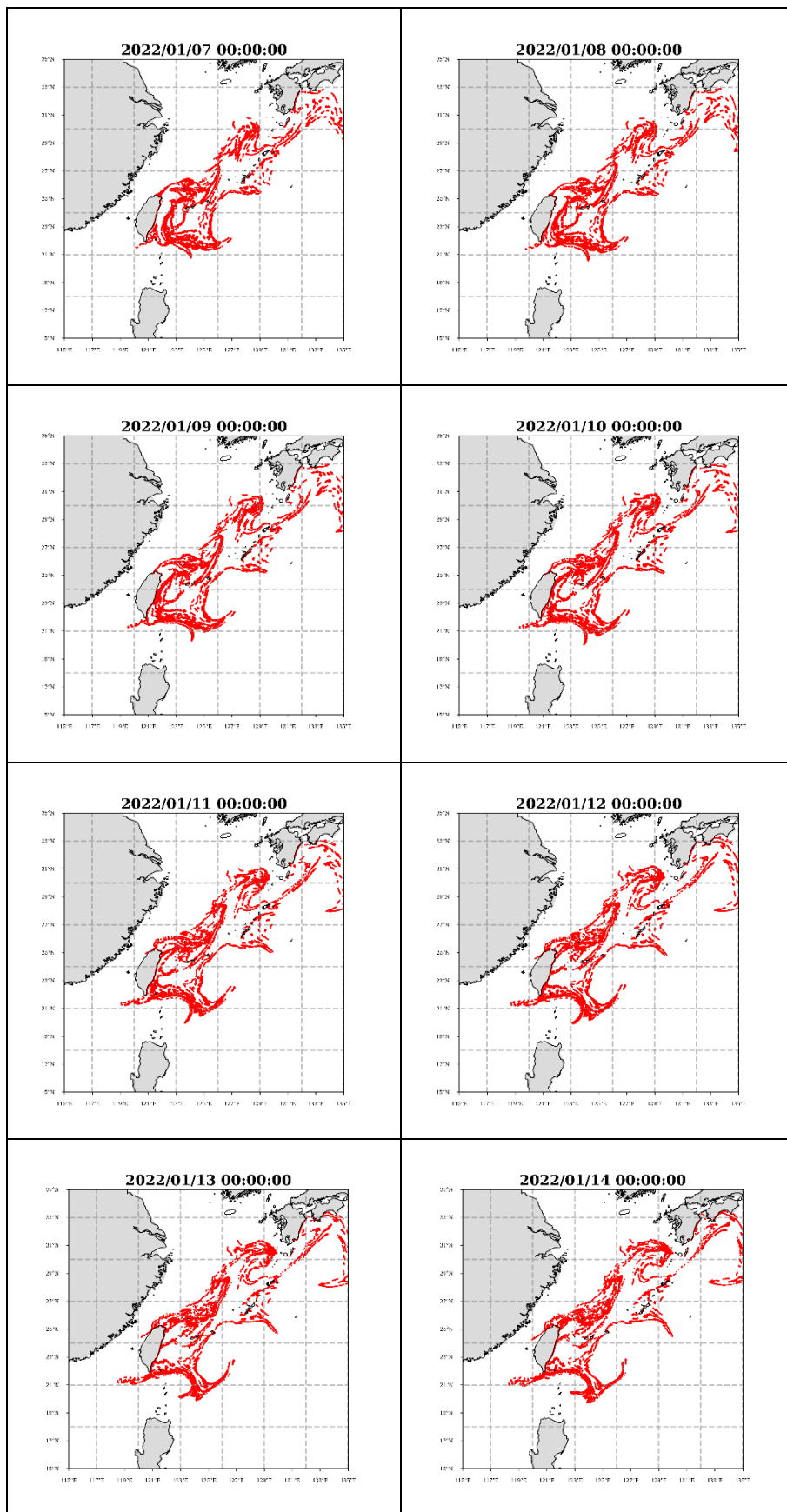


圖 36. 2022 年 1 月 7 日至 2022 年 1 月 14 日火山浮石顆粒軌跡模擬結果

3. 311 日本福島核電廠事故放射性物質鈾-137 模擬

本計畫同樣也使用 HYCOM 全球模式之海流資料進行放射性物質銫之顆粒傳輸擴散計算，透過計算單位區域內的顆粒數換算放射性活度濃度，與 Buessler et al.(2012) 在日本福島外海量測數據進行比對驗證，其背景使用 IAEA(2015)所記錄之東京電力公司於 2011 年 4 月 4 日至 10 日排放較低活度濃度之處理水，當時高活度濃度放射性處理水因累積過多導致輻射處理水儲存空間不足，故緊急狀況下將活度濃度相對較低之五號與六號機組污染處理水排放入海，此期間約估計排放 10,393 噸處理水，排放入海洋中之放射性物質估計為 $1.5E+11$ Bq。圖 37 為模擬結果以定網格方式進行呈現，多數顆粒會堆積於福島近岸區域，在東經 141.5 度位置模擬結果較實測值低估現象，可能原因為 311 事件發生後輻射處理水排放位置時有其他區域發生洩漏，導致洩漏總量有低估的狀況；而部分顆粒受到黑潮主流影響會向東傳輸進入太平洋區域，故在福島外海區域實測值也會呈現較高活度濃度數值，與模式模擬結果與其趨勢相符；量測資料顯示在北緯 36 度以南皆無較高活度濃度之核處理水觀測值，未來也會持續蒐集相關文獻進行比對。

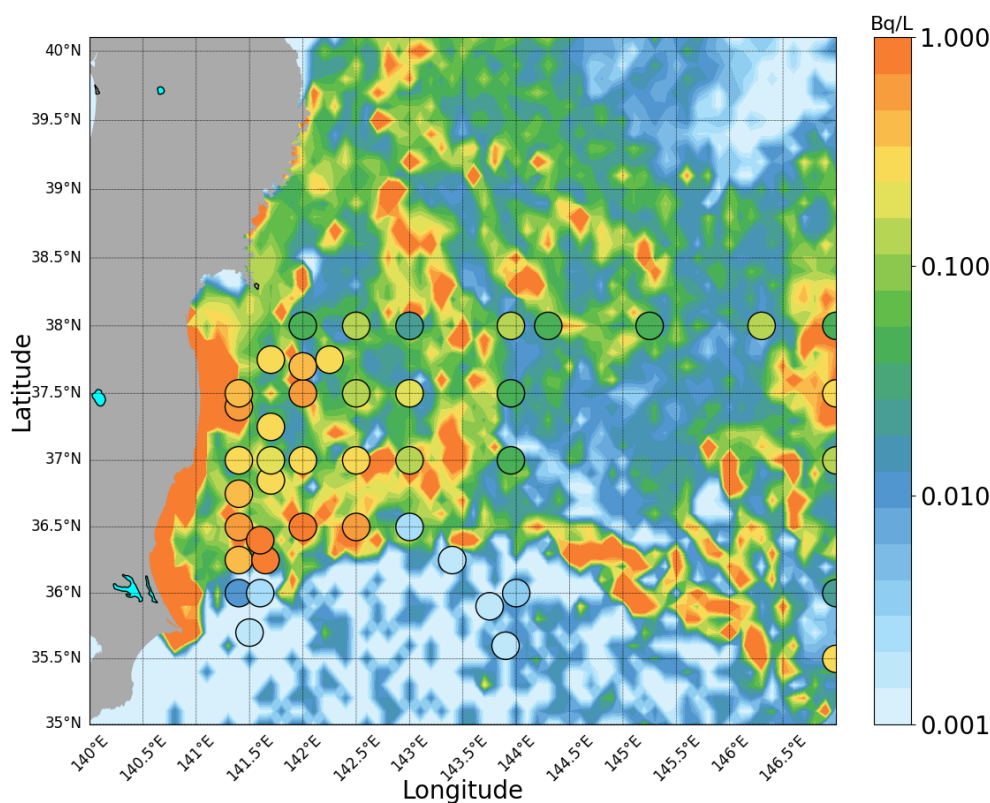


圖 37. 放射性物質銫模式(圖中底圖)與實測資料(圖中圓點)比對結果

4. 311 日本福島核電廠事故歷史長期且不同排放源情境顆粒軌跡模擬案例

另外本計畫透過顆粒軌跡模擬，透過 HYCOM 歷史洋流資料模擬污染事件污染擴散分布，預期重現 2011 年福島核電廠處理水排入海洋後傳輸擴散的情形。

- 案例一為模擬在 311 事件後，放射性顆粒一次性排入海洋當中，總共投放 50,000 顆顆粒，模擬時間為 2011 年 3 月 11 日至 2022 年 8 月 31 日。
- 案例二為模擬在 311 事件後，放射性顆粒連續排入海洋當中。投放顆粒方式為 365 天，且每時投放 10 顆顆粒，總共 87,600 顆粒，模擬時間為 2011 年 3 月 11 日至 2022 年 8 月 31 日。

圖 38 顯示案例一顆粒在排放後，大部分的放射性顆粒會分布在福島外海，隨後因黑潮延伸流的影響大部分放射性物質會向東傳輸。結果顯示，放射性顆粒約在三年以後會抵達美國西岸，與過去文獻之模擬結果相符(Kawamura et al., 2014)。抵達美國西岸的放射性物質少部分會在近岸地區停留，甚至附著於近岸區域。因太平洋環流在美國西岸會分為兩股海流，分別為阿拉斯加暖流及加州涼流。阿拉斯加暖流會將放射性物質帶往加拿大西岸及阿拉斯加周邊；進入加州涼流的放射性物質則有可能因為北太平洋環流，再回到臺灣周邊。值得注意的是，在夏威夷東北方有廣為人知的海洋垃圾帶「The Great Pacific Garbage Patch」，在十年的模擬結果中，大部分的顆粒都會進入這個區域，並停留在此。

圖 39 顯示案例二為連續投放放射性物質。與案例一有相似的傳輸路徑，顆粒受黑潮延伸流的驅動向東傳輸進入太平洋中部，隨著黑潮延伸流流向北美洲西岸前進。然而，在連續投放的情況下，會出現季節性的變化。在冬季投放的放射性物質，因為冬季親潮影響範圍較大，對於福島周邊影響較大。因此，放射性物質在投放後，會迅速的受到親潮影響進入黑潮延伸流內傳輸擴散。此外，因為臺灣及日本皆位於亞洲季風系統內，導致在表層投放的放射性物質會受到季風系統的影響，使放射性物質向臺灣及沖繩周邊傳輸的機會增加。在連續投放的過程中，因受到不同時間點海流影響，有部分放射性物質向南漂流侵入臺灣周邊的海域。雖僅佔總投放比例的一小部分，仍有可能會使放射性物質傳輸至臺灣周邊海域。

將案例二的粒子軌跡的結果，依照津旨大輔等人(2012)，對 2011 年福島事件時排放入海洋當中的估計量隨時間變化(圖 40)，依序對應到各個時間所排放的粒子所代表之活度，進行擴散濃度計算，其計算結果如圖 41，其挑選呈現日期與案例二(圖 39)的日期相同，估算的銫-137 海洋排放率自 2011 年 3 月 26 日開始，因此在第 1 張圖 3 月 27 日的濃度結果中，僅有近福島海面上有高濃度分布，其餘地方尚未解析出濃度，1 年之後 2012 年 3 月 15 日，為這個福島案例銫-137 擴散出去後，濃度相對較高的時

期，其濃度值達到 0.05 Bq/L，且位置在中太平洋地區。而接著 2013~2015 年可看到粒子滯留在太平洋垃圾帶中，濃度漸漸降低，直至 2016 年 3 月此處濃度在 10^{-4} Bq/L 以下，再往後幾年只有近福島電廠海域，可看到銫-137 的濃度分布達 10^{-4} Bq/L 是非常小區域，且主要都是往黑潮延伸流的方向傳送。

若以海底排放考量整體稀釋比率，10 年模擬中影響台灣周圍海域之最稀釋比約為稀釋 10^{-8} 倍，而擴散抵達台灣時間則約為排放後 400~700 天。

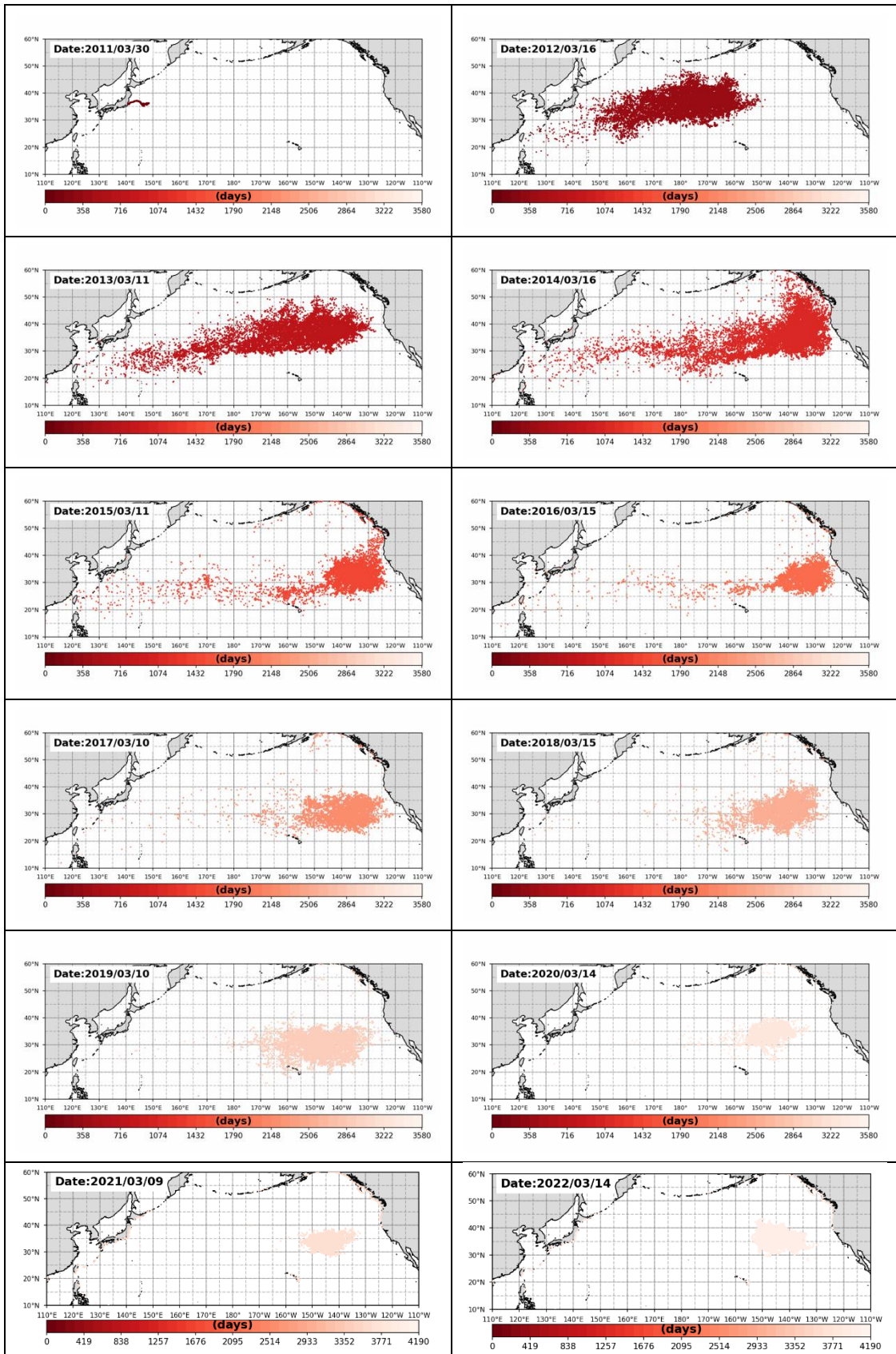


圖 38. 案例一日本福島核電廠顆粒質點軌跡結果分布

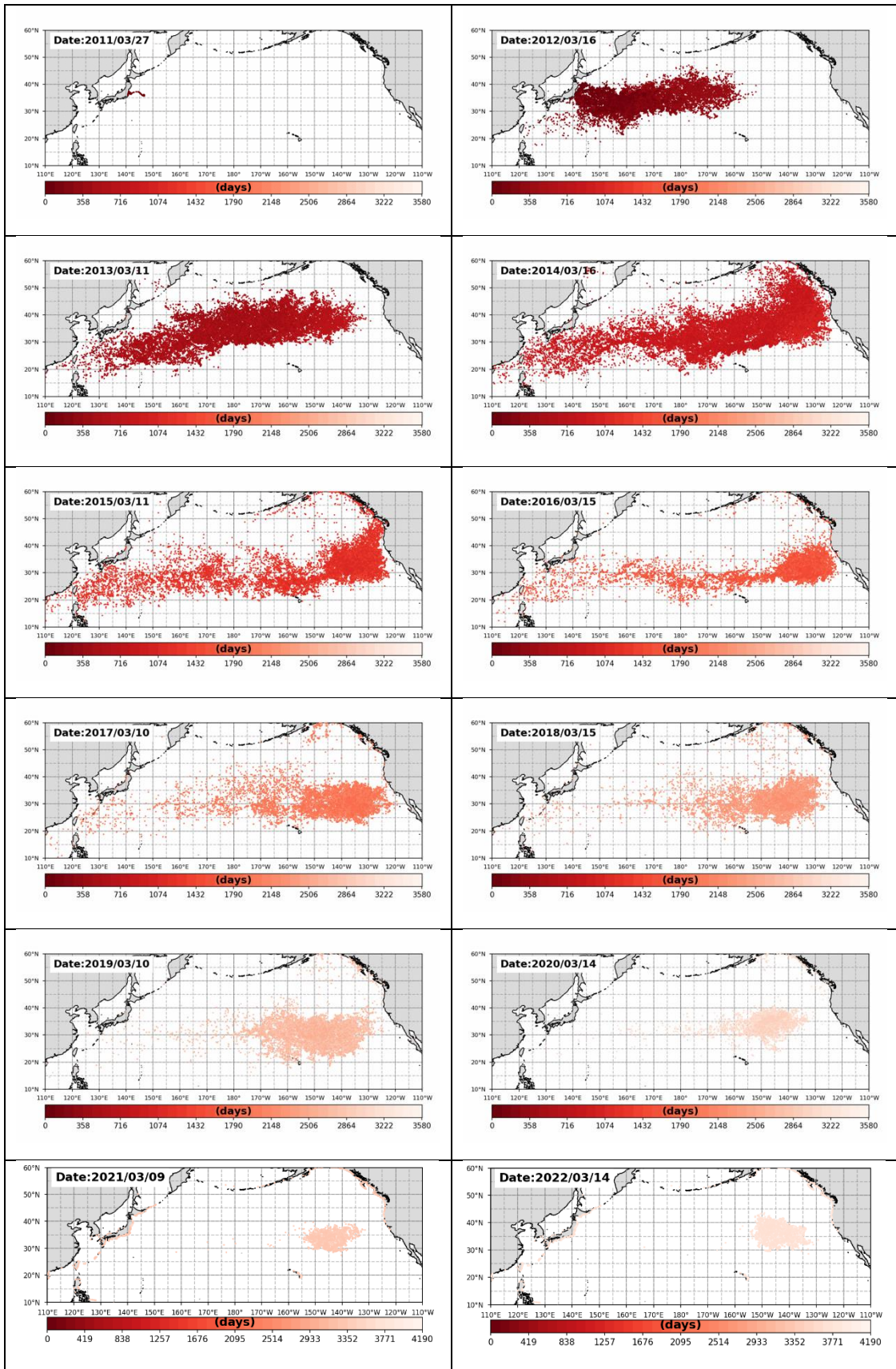


圖 39. 案例二日本福島核電廠顆粒質點軌跡結果分布

Term	3/26-4/6	4/7-4/26	4/27-5/31
Assumption	Constant	Exponential decrease	Exponential decrease
Rate (Bq/day) (t : days)	2.2E+14	$2.2E+14 e^{(-0.236t)}$	$2.2E+12 e^{(-0.026t)}$

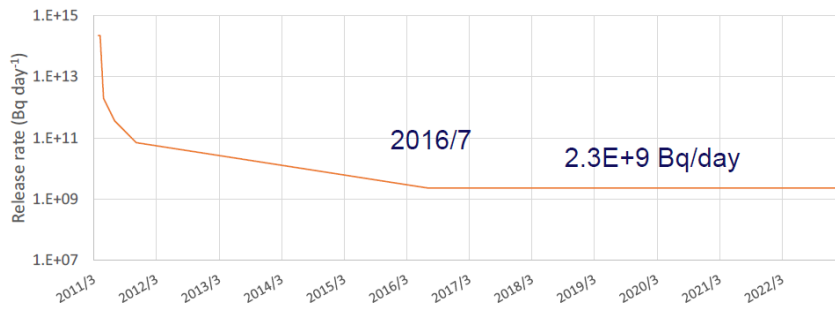
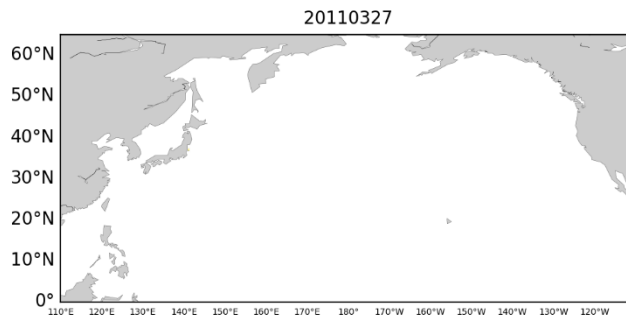
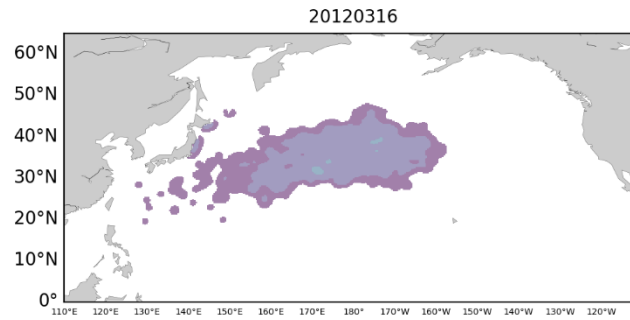


圖 40. 2011 年福島事件銫-137 海洋估算排放釋放率(資料來源:日本中央電力研究所 津旨大輔博士 2012)

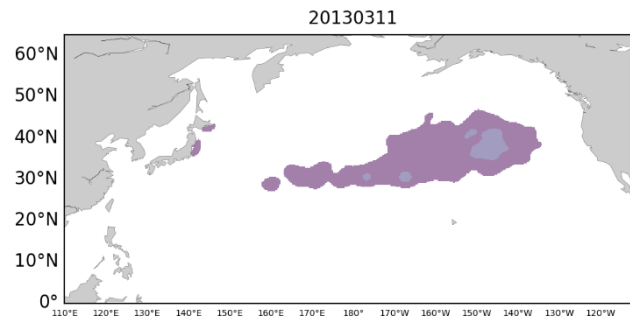
concentration of Ocean



concentration of Ocean

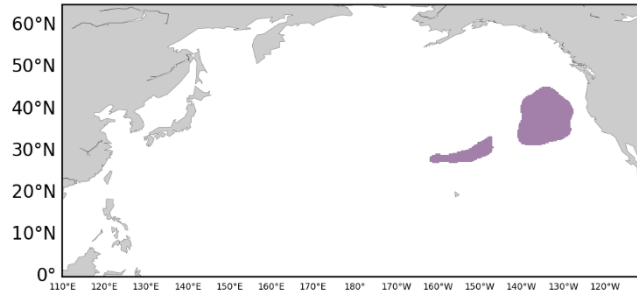


concentration of Ocean



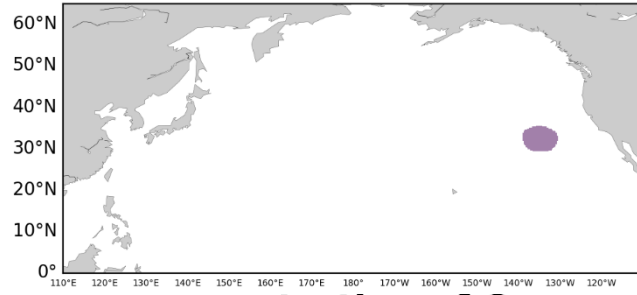
concentration of Ocean

20140316



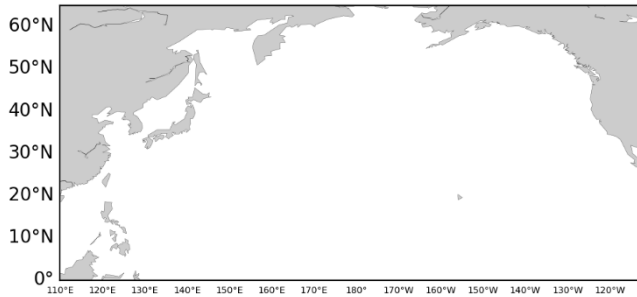
concentration of Ocean

20150311



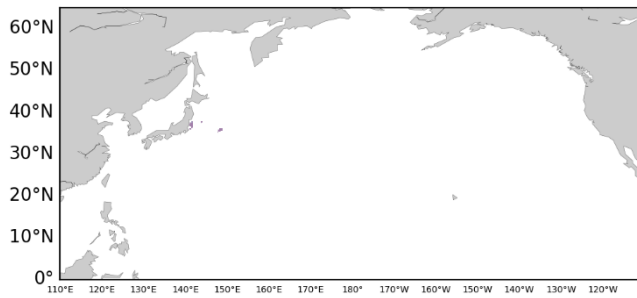
concentration of Ocean

20160315



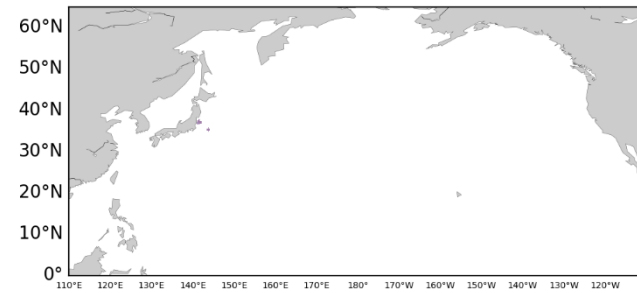
concentration of Ocean

17031101

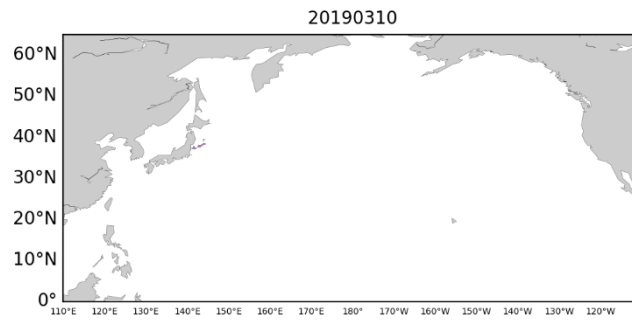


concentration of Ocean

20180315



concentration of Ocean



concentration of Ocean

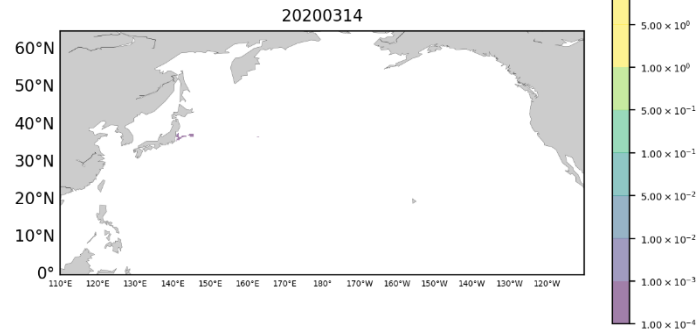


圖 41. 2011 年 3 月 11 日福島事件連續排放十年之擴散濃度結果，依據圖 35 之粒子軌跡結果挑選呈現之日期，大致為每年 3 月 11 日前後之濃度結果(Bq/L)

5. 季節性及黑潮大蜿蜒排放測試

日本及臺灣皆位於亞洲季風系統內，因此冬夏季各有不同的主要風向及強度，且冬季季風較強，本計畫挑選夏季(7月)及冬季(1月)進行模擬分析。此外，黑潮大蜿蜒影響範圍亦在福島海域，故黑潮大蜿蜒會影響放射性物質在排放後的傳輸及擴散。根據過去文獻，最近黑潮大蜿蜒由2017年9月開始，持續至今(Nagano et al., 2019; Qiu, 2019)，本計畫以2019年為大蜿蜒時期，非大蜿蜒時期為2014年。本計畫針對季節性的變化及黑潮大蜿蜒的變化的組合，進行四種案例設計，如表4：

表 4. 投放案例介紹

	大蜿蜒(2019年)	無大蜿蜒(2014年)
夏季投放(7月)	案例一	案例三
冬季投放(1月)	案例二	案例四

案例一 – 大蜿蜒時期夏季排放

案例一為顆粒在大蜿蜒時期2019年夏季投放。黑潮在夏季時的流速較強，冬季流速較弱(Hsin et al., 2008)。因此，顆粒在投放後會在福島周邊海域短暫停留，隨後進入秋冬季親潮逐漸增強，受到向南的親潮會傳輸進入黑潮延伸流(Wang et al., 2022)(圖 42)。受到流速較快的黑潮延伸流影響後會迅速傳輸至北太平洋中部，並在該區域打轉。大部分的顆粒會持續受到黑潮延伸流的推送，向美國的西部傳輸；然而，在黑潮延伸流周邊存在大量的中尺度渦流，導致少部分的顆粒會受到太平洋中的中尺度渦流影響(Wang et al., 2022)，回到日本週邊。

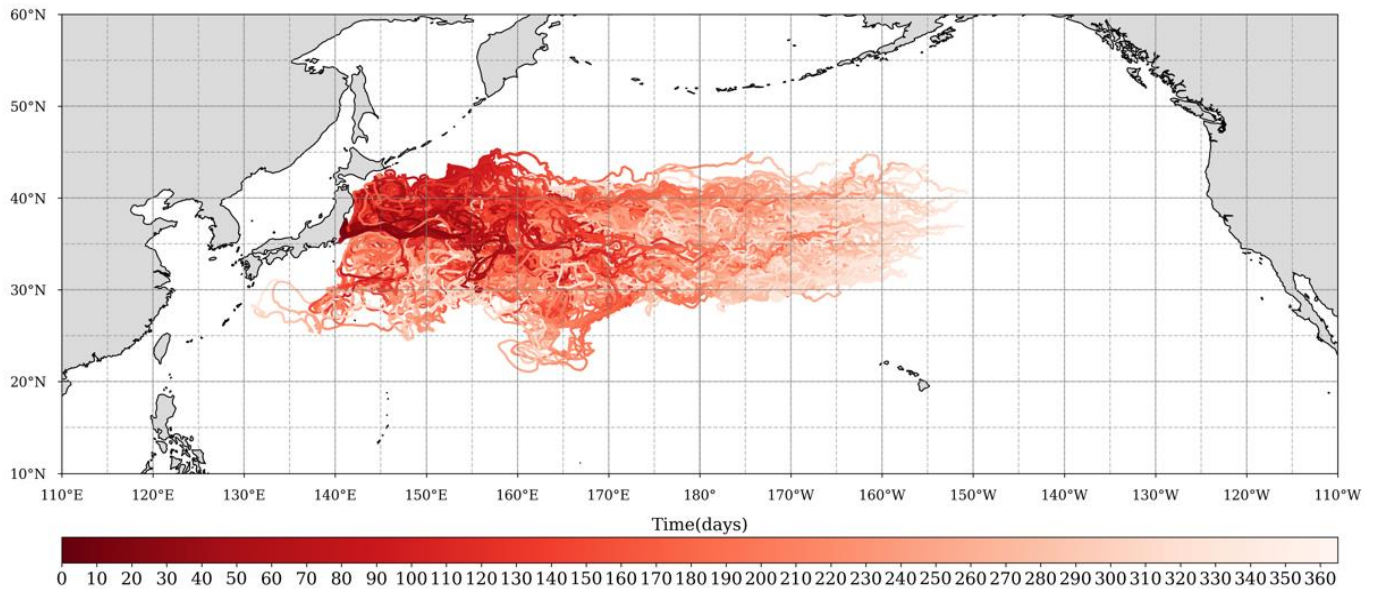


圖 42. 案例一模擬結果隨時間變化軌跡圖

案例二 – 大蜿蜒時期冬季排放

案例二為顆粒在大蜿蜒時期 2019 年冬季投放之案例，冬季在福島周邊之親潮流速較強且影響範圍較廣。故顆粒在投放之後，快速進入黑潮延伸流的範圍，並向美洲西岸傳輸。然而，受到冬季季風的影響，表層海流方向會向南傳輸，使較多的顆粒向南傳輸，如圖 43 所示。

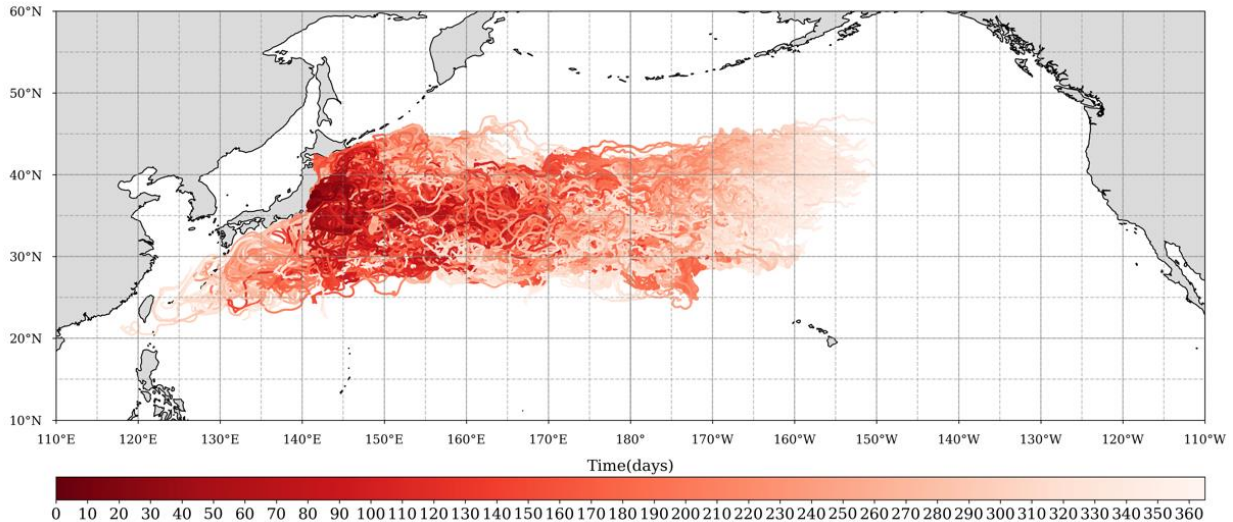


圖 43. 案例二模擬結果隨時間變化軌跡圖

案例三 – 非大蜿蜒時期夏季排放

案例三為非大蜿蜒時期 2014 年夏季顆粒投放結果(圖 44)。根據過去文獻，黑潮大蜿蜒發生的原因主要是在上游的黑潮流速過強，因此會導致黑潮在日本東南岸出現蜿蜒的情況，且會使黑潮延伸流分佈的位置偏向北方，而非大蜿蜒時期黑潮延伸流分佈的位置偏南(Nagano et al., 2019)。故當顆粒投放後，因夏季親潮流速較弱影響範圍較小，使顆粒在福島周邊停溜後，且因黑潮延伸流較為南端，會使顆粒進入黑潮延伸流主流時間較大蜿蜒時期晚。當進入黑潮延伸流後，因流速較小，傳輸較慢，會使顆粒在西北太平洋區域停留較久的時間。等進入冬季時，顆粒會受到亞洲季風系統的東北風影響，向西南傳輸，進入臺灣周邊的範圍。受到臺灣周邊中尺度渦流的影響，顆粒進入到臺灣東部的黑潮主流的機率增加，甚至於會進入南海。

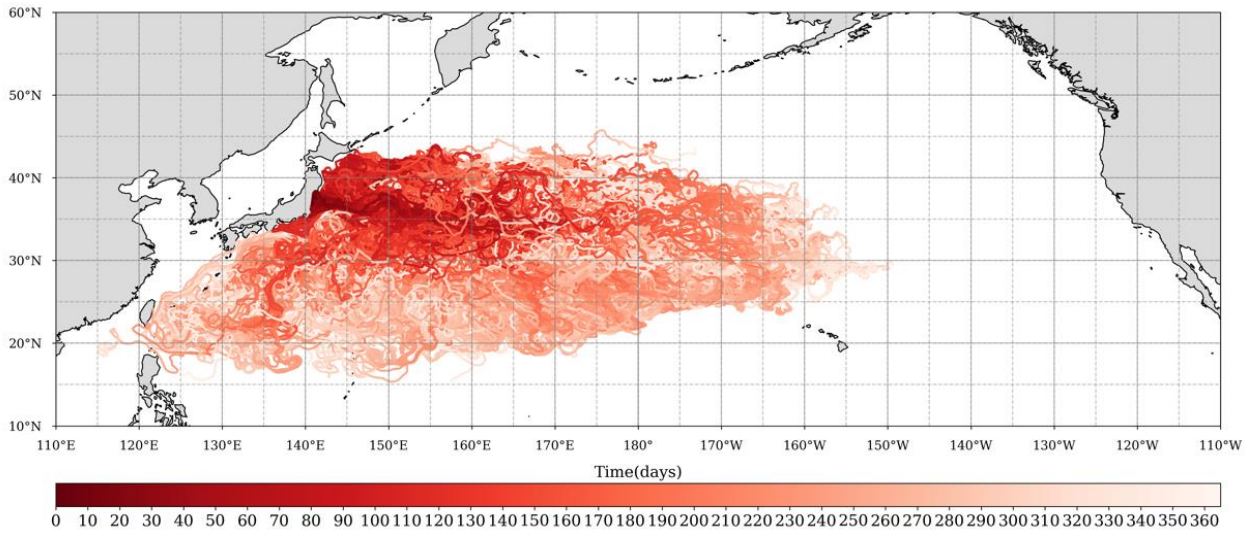


圖 44. 案例三模擬結果隨時間變化軌跡圖

案例四 – 非大蜿蜒時期冬季排放

案例四為非大蜿蜒時期 2014 年冬季投放結果(圖 45)。顆粒在冬季投放後受到親潮的影響，會迅速進入到黑潮延伸流的影響範圍內，會將顆粒帶往北太平洋中部。與案例一相比，傳輸速度較慢，主要是因為在非大蜿蜒時期的黑潮延伸流流速較慢，使顆粒移動速度較慢。隨後位於西北太平洋的中尺度渦流會將少部分的顆粒帶往沖繩群島以及臺灣周邊。

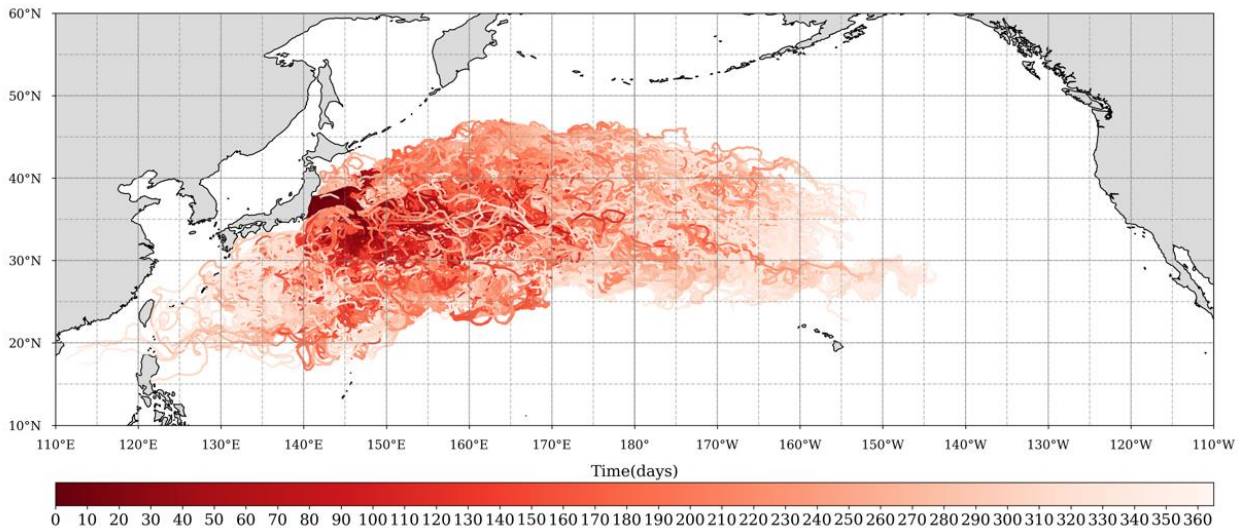


圖 45. 案例四模擬結果隨時間變化軌跡圖

將上述案例設定接近臺灣周圍海域範圍後作量化分析，設定東經 118 度至 125 度，北緯 20.5 度至 27 度為接近臺灣周圍海域之範圍，此範圍後續簡稱鄰近臺灣海域。透過案例模擬期間進入鄰近臺灣海域之顆粒與總顆粒數之比例，與計算最快抵達此範圍

之天數，可了解不同背景與時間點投放對臺灣影響何者最大，統計與計算結果如表 5 所示。

根據上述案例模擬結果分析，在不同時期及不同季節投放的顆粒會有不一樣的傳輸狀況。在大蜿蜒時期因黑潮延伸流的流速較強，使顆粒進入黑潮大蜿蜒後傳輸及擴散速度較快，快速的黑潮延伸流將福島排放的顆粒快速向東傳輸；反之，在非大蜿蜒時期，黑潮延伸流的流速較小，傳輸速度較慢。在傳輸速度較慢的情況下，容易受到中尺度渦流影響，使顆粒被帶往沖繩、臺灣周邊及菲律賓等區域，甚至於會進入南海內部。除了大蜿蜒的影響，季節的變化對於顆粒傳輸的影響亦相當重要。當顆粒在冬季排放時，強勁東北季風使得福島周邊的親潮流速較強，使顆粒進入黑潮延伸流的流速時間較短。在夏季時，因為親潮流速較慢且偏離日本沿岸，因此顆粒會在福島周邊外海停留一段時間，才進入黑潮延伸流的影響範圍。

根據上述的案例分析與表 5 可知，在非大蜿蜒時期夏季排放對於臺灣的影響較明顯，進入接近臺灣周圍海域之顆粒數最多也最快，主要是因為顆粒受到季風影響比起其他狀況更快進入黑潮延伸流，當顆粒進入後停留在西北太平洋的時間較長。顆粒隨後受到季風與中尺度渦流影響，使顆粒加速被帶往沖繩、臺灣周邊及菲律賓等區域，甚至於會進入南海內部。

表 5. 不同投放案例之接近臺灣顆粒比例與最快抵達天數

	大蜿蜒 夏季投放 (2019 年 7 月)	大蜿蜒 冬季投放 (2019 年 1 月)	無大蜿蜒 夏季投放 (2014 年 7 月)	無大蜿蜒 冬季投放 (2014 年 1 月)
靠近臺灣範圍 顆粒數(顆)	0	182	897	152
總顆粒數(顆)	28800	28800	28800	28800
比例(%)	0	0.632	3.115	0.528
最快抵達時間 天數(天)	X	306	231	287

6. 放射性物質海洋傳輸作業化系統上線測試及作業化上線運作

放射性物質海洋傳輸作業化系統所需的海流資料來自福島擴展網格海流預報作業系統(CWB OCM-FH)，其所需各項驅動力例如表 6，以下逐一說明。

氣象驅動力將採用中央氣象局發展的氣象區域 CWB WRF 預報模式(Weather Research Forecast)提供之區域性大氣模式輸出的每日 00run 海面風場預報逐時資料，包含海面風速、氣壓、相對濕度、氣溫及熱通量等資訊。

潮汐邊界驅動力以法國 LEGOS 實驗室發展的 FES2012 (Lyard et al., 2006)全球潮汐模式作為計算資料之來源，該模式利用多重的衛星資料，配合全球潮汐模式進行資料同化，同時利用了新的地形與岸線資料計算，並配合岸站之水位計資料進行同化，除包含主要分潮外，亦納入 4 個長週期的分潮(Mf、Mm、Mtm、Msqm)。在此選擇半日潮 M2、S2、N2、K2 及全日潮 K1、O1、P1、Q1 作為輸入，並將分潮納入 Nodal factor 的修正。

海流模式邊界與初始場是由美國國家海洋夥伴計畫(National Ocean Partnership Program, NOPP)所開發之三維海流模式(1/12° Real-Time Ocean Forecast System, RTOFS 及 Global HYbrid Coordinate Ocean Model, G-HYCOM, 以下簡稱 HYCOM 及)預報場資料，包含水位、流場、海溫及鹽度。

當福島擴展網格海流預報作業系統(CWB OCM-FH)預報計算完成後，放射性物質海洋傳輸作業化系統才開始執行排程，而福島擴展網格預報系統預計每日提供未來三日預報資料，因其水位、流場、溫度及鹽度初始場來自於 HYCOM 或 RTOFS，兩者皆無潮汐水位驅動力，為了降低因初始場的差異造成模式計算的異常，會提前執行五日分析場弭平因潮汐驅動力造成的震盪，其相關排程時間序圖參見圖 46，因 CWB OCM-FH 網格節點數量較為龐大，為分散模式執行時間，前五日分析場會在前一天 18 Run 的 WRF 預報資料完成後(約當天早上 10 時提供)立即啟動計算，前五日分析場計算時間約 2 個小時完成計算，等待當天 00 Run 於下午 16 時提供 WRF 預報資料後，進行 1+3 預報場計算，其計算時間約為 1.5 個小時完成模擬，接續執行福島氙處理水海洋傳輸擴散分析及預報作業，預計在 23 時前提供未來 72 小時預報資料，以下將描述其預報系統詳細執行架構及檔案。

福島氙處理水海洋傳輸擴散分析及預報作業系統放置氣象局機器內(PCC)，以下為檔案路徑：tritium/，資料夾內包含一 ptrack4.f90 之主執行程式、mk_bp.f90 及 mk_bp2.f90 之 particle.bp 前處理程式、particle.bp 之參數設定檔案(如表 6)，程式皆以 Fortran 進行編碼。

(1) Ptrack4.f90 計算主程式：

原始檔案為 SCHISM 中 ptrack3.f90，為符合福島氙處理水海洋傳輸擴散分析及預報作業系統之要求，本計畫進程式開發。在程式中納入濃度的傳輸，並融入半衰期的影響至系統中，使在計算的中放射性物質會逐漸衰變。此外，亦修改原始程式之輸出方式，將輸出方式改為每日輸出，並新增計時的概念，使輸出之檔案能以日期之方式呈現。

(2) 前處理程式 mk_bp.f90：

主要作為回收上一日之結果以及新增投放顆粒之使用；會經由 outputs 資料夾中提取前一日之結果，並根據設定之執行核心數量，均勻分配至每一個 Task 資料夾中。

(3) 前處理程式 mk_bp2.f90：

主要作為起始投放顆粒使用，將第一日投放之顆粒均勻分配至每一個 Task 資料夾中。

(4) 後處理程式 combine_pth.f90：

主要為回收每一個 Task 資料夾中之結果檔(YYYYMMDD.pth)。

(5) 參數設定檔案 particle.bp：

主要為 ptrack4.f90 之執行參數設定檔案。

表 6. CWB OCM-FH 海流模式驅動力來源表

驅動力	來源
氣象場	中央氣象局 WRF 氣象場
潮汐邊界	FES2012
溫度及鹽度邊界和初始場	RTOFS 或 HYCOM

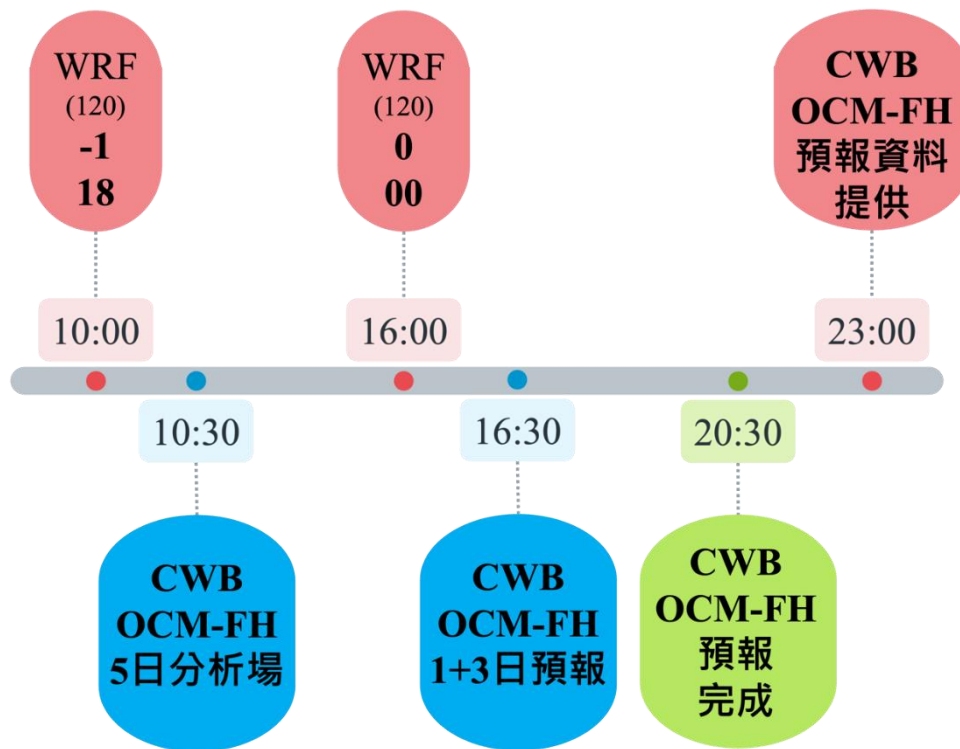


圖 46. CWB OCM-FH 預報作業系統時程圖

SCHISM 之 Particle Tracking 模組內有特定之檔案需求，檔案需求為執行檔 (ptrack4.exe)、水平網格資料 (hgrid.ll)、垂直網格資料 (vgrid.in)、流速資料 (YYYYMMDD_schout.nc)、參數設定檔 (particle.bp)。在 ptrack4.exe 執行結束後，會產出 .pth 結果為 ASCII 檔案格式，內部包含經度、緯度、深度、放射性物質活度 (concentration in Bq)、存在時間 (exist_time in hour unit)、半衰期 (half-life in hour unit)，並放置在子資料夾 outputs/ 中，檔案名稱為 YYYYMMDD.pth 之最終結果。

本計畫使用 run.sh 之 shell script 方式，執行每日作業化任務，執行邏輯架構如圖 47。於第一日起始執行的狀況下，因 outputs/ 資料夾中無前一日之結果檔案 (YYYYMMDD.pth)，故會採用 mk_bp2.f90 產出最初投放之 particle.bp，並將顆粒依據設定之核心數量均勻分佈於 Task 資料夾中。結束所有核心執行後，會使用 combine_pth.f90 進行資料回收，將散佈於所有 Task 資料夾中之結果，收回 outputs 資料夾中，並結束當日執行。

第二日以後之執行方式皆為一致，因前一日之結果需持續計算，故使用 mk_bp.f90 取回前一日之結果點位資訊，並加入新投放之顆粒 (240 顆)，並將顆粒依據設定之核心數量均勻分佈於 Task 資料夾中。結束所有核心執行後，會使用 combine_pth.f90 進行資料回收，將散佈於所有 Task 資料夾中之結果，收回 outputs 資料夾中，並結束當日執行。

目前氙處理水預報分析設定為取今日最新海流結果作為分析場，取明日開始 2 天海流預報結果作為預報場，使用 1 天分析場與 3 天預報場進行每日計算。

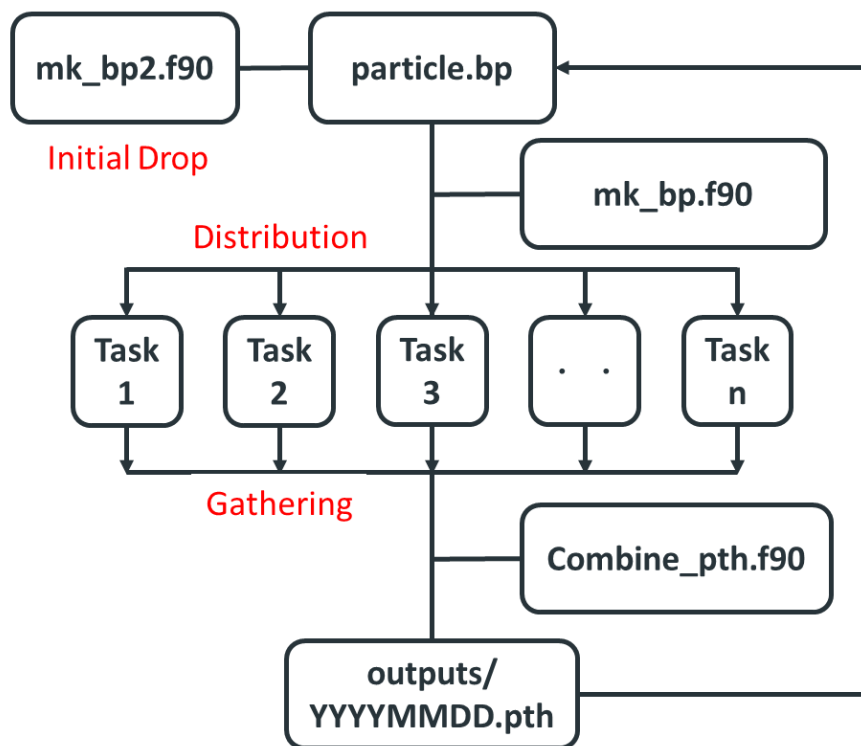


圖 47. 福島氙處理水海洋傳輸擴散分析及預報作業系統執行架構

表 7. mk_bp.f90 及 mk_bp2.f90 產出 particle.bp 之係數設定說明

模式執行參數		
rnday	INTEGER	執行天數
dtm	INTEGER	流速資料之時間步長
nspool	INTEGER	流速資料之輸出時間間隔
ihfskip	INTEGER	流速資料之輸出檔案間隔
ndeltp	INTEGER	單一時間間隔再切分之數量
擴散係數設定		
ihdf	INTEGER	水平係數選項
hdc	REAL	水平擴散係數
horcon	REAL	Smagorinsky 之水平係數
其他參數設定		
ibuoy	INTEGER	浮力選項
iwind	INTEGER	風拖曳選項
pbeach	REAL	著陸設定
initial_cncen	REAL	初始活度
hlf	REAL	半衰期

綜上所述，本計畫透過歷史洋流趨勢統計與特性分析建立海洋資料庫，作為長期資料分析之基礎，並使用該資料模擬 311 日本福島核電廠事故顆粒軌跡案例。透過理想案例測試、小範圍測試、全域測試以及歷史與特性個案案例分析，分析放射性物質傳輸擴散的過程。同時本計畫建立福島區域放射性物質擴散模組，結果顯示含放射性物質之處理水會迅速消散並稀釋於海洋中；而在顆粒傳輸模組中，不同案例分析可了解部份顆粒受到季風與海流影響，容易進入中尺度渦流，進入臺灣周圍海域。放射性物質氬半衰期為 12.3 年，因此可以透過顆粒軌跡模擬來追蹤影響區域且提供示警。

三、 背景基線數據庫建立-生物氚實驗室成立及技術開發

由於在此計畫前我國尚未建立海域生物體輻射數據資料及有關氚輻射基線數據資料庫，核研所藉由本計畫建立我國第一間「生物氚檢測實驗室」，除可提供外界相關檢測技術服務外，亦可提供鄰近海域生態輻射背景數據基線，不僅可作為日本排放含氚處理水後，評估海域生態輻射影響之重要參考數據亦可提供預警數據模擬及異常排放情形下，適時採取因應措施，避免民眾受到輻射影響。

氚核種為人工核種，在大氣中形成後，經由氧化還原過程變成水分子，再透過雨水到達陸地表面和海洋表面。氚一般以水的形態存在著，包含雨水、河流乃至自來水中皆含氚，其放射性半衰期時間為 12.3 年，由於氚相較於氫多了兩個中子，當處於能量激發不穩定狀態下，其中一個中子會釋放出電子，轉變為質子而成為氦原子，此時所釋放的電子是放射線之一的 β 射線，氚核種於 18.6 keV 下釋放出能量，屬於低能量放射性核種，故須由閃爍計數儀進行氚放射性分析。氚於生物樣中存在的型式可區分為兩種，第一種為當環境中含氚水分子經由生物體攝食進入生物體內組織作為水分子，長期可與環境水分子平衡或交換，此種氚稱為組織內自由水氚(Tissue Free Water Tritium)，簡稱為 TFWT，其可經由冷凍乾燥或蒸發等方法，將組織內的水分子去除並收集，進而分析氚活度；另外一種為環境中含氚水分子經由生物體攝食後進行新陳代謝模式，並於生物體生長過程存在於生物組織內，與有機體碳或氫原子具有共價鍵結，且經研究具有於生物體內累積現象，此種氚型式稱為有機結合氚(Organically Bound Tritium)，簡稱為 OBT，其需經由高溫燃燒爐裂解共價鍵，將有機物氧化燃燒為二氧化碳與水分子，再藉由冷凝循環系統將水分子收集，進行氚活度分析。

在執行本計畫之前，核研所環境試樣放射性核種分析實驗室僅對環境樣品中氚核種活度建立作業流程，並未建立生物樣氚活度分析方法，且國內目前並未有分析生物氚核種放射性實驗室，爰依生物特性及國際實驗流程進行國內第一個生物氚實驗室建立，包含設立所需設備及 TFWT 與 OBT 的氚活度分析流程及相關分析數據，建立國內生物氚數據資料。綜上，本節將針對於計畫中成立的生物氚檢測實驗室及其分析流程、設備進行說明：

1. 分析設備

氚核種存在於水體中，故含氚處理水可藉由排放至海水再經洋流擴散至各地，並由海洋生物體攝食或新陳代謝方式進入生物體中。因此，氚核種在陸地上可由植被和土壤之低溫等方法蒸發至環境中此為含氚水(HTO)，在海洋中生物體藉由攝食及水分子交換等方式將氚核種進入生物體中，依據氚核種在生物組織液的水分子中，或經生物體攝食累積放射性核種並與碳、氫及氧元素結合形成有機物質，依其可與環境中水

分子進行流動性交換得平衡狀態或與生物有機質共價鍵結，區分為組織內自由水氫(TFWT)與有機結合氫(OBT)。TFWT 在蒸發或冷凍乾燥下將氫分子收集，又稱為可交換氫，OBT 則需藉由高溫燃燒裂解將氫分子收集，故稱為不可交換有機結合氫，在不可交換氫中與氧氮或碳鍵結差異，可分為可交換有機結合氫及不可交換有機結合氫，可交換的有機結合氫與有機物內氮及氧和氮原子共價鍵結，不可交換有機結合氫與碳鍵結，需要藉由高溫裂解才可將氫核種裂解分析，目前經國際研究不可交換有機結合氫為主要有機結合氫含量。

由於國際目前無標準生物氫實驗研究方法，研蒐國際間實驗方法，進行生物氫實驗方法設計。因生物氫存在於生物體中主要有兩種型式，故萃取之實驗方法亦不同：TFWT 以水分子形式存在於生物體基質內，可與外界進行平衡交換，故可藉由冷凍乾燥方法進行樣品取樣，冷凍乾燥是指運用樣品在冷凍狀態下，以抽真空方式將樣品中水分抽出，進而取得 TFWT，另有一方法是將生物樣於特定溫度持續加熱，以蒸餾的方式收集 TFWT，惟目前國際間作法多以冷凍乾燥法為主，且此法可萃取出無油脂之水樣，並可將冷凍乾燥後樣品進行後續燃燒取得 OBT 進而分析，故本實驗以冷凍乾燥方法為主；OBT 則是透過高溫燃燒爐，將生物體中與碳、氮、硫共價鍵結之氫核種進行有機質裂解，再透過氧化燃燒反應取得。萃取出 TFWT 及 OBT 後續再進行氫活度分析。

冷凍乾燥機

真空冷凍乾燥機需搭配抽真空馬達，其原理為大氣壓力降到一定的真空度時，水的沸點和冰點重疊，冰不經液態而直接汽化為氣體，故在低溫高真空環境下，水只能以固態(冰)或氣態(蒸氣)的形式存在如圖 48，將冷凝器控制在零下 25°C 以下時，水蒸氣透過抽真空會自然地流向溫度較低的冷凝腔體中，並在壁上凝結成冰如圖 49，因此冷凍乾燥過程中，適當的真空狀態搭配低溫環境下，可改善冷凍系統無法及時凝結水蒸氣，而過剩的水蒸氣會破壞真空狀態，進而降低冷凍乾燥的效果。此冷凍乾燥方法廣泛運用在食品保存上，運用真空使食品中水分溢出，不僅可以保存食品原來的結構及成分，亦可以原物品相同狀態下進行後續生物樣分析。冷凍乾燥機可分為棚板或歧管式兩種，歧管式為可同時冷凍乾燥 8 個不同容量凍乾瓶，並可隨時卸除或更換樣品，機動性及乾燥效率高，棚板為可同時將樣品放置腔體，由腔體冷凍樣品後進行冷凍乾燥，效率較歧管式差，本實驗室購買冷凍乾燥機為 Utek(友德)歧管式真空冷凍乾燥機如圖 50，此機型採用 SECOP 壓縮機，可迅速將腔體溫度降至-50°C，而液晶觸控螢幕如圖 51 所示，可便於操作者簡單操作，透明凍乾瓶透視凍乾狀態如圖 52，

使操作者隨時掌握凍乾狀態。

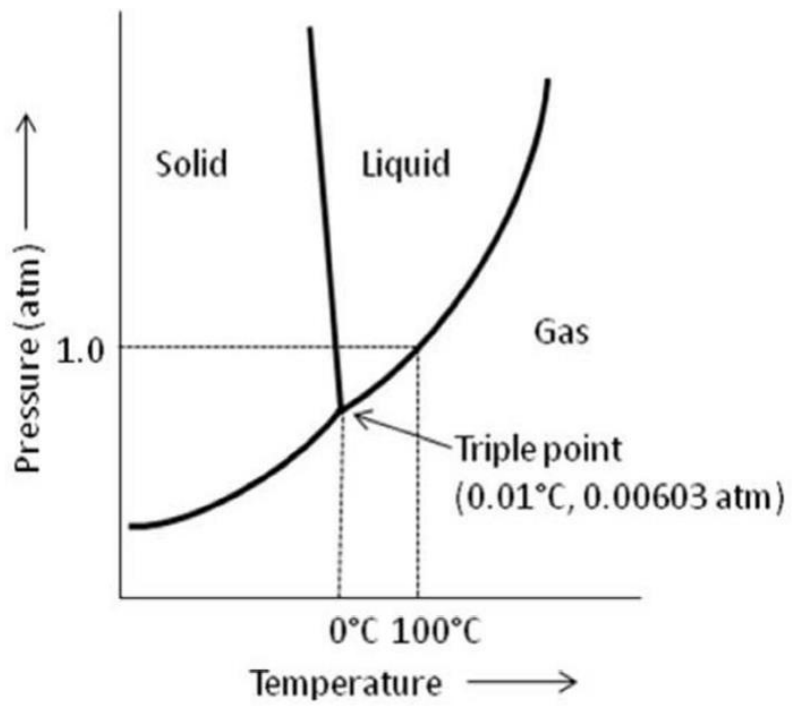


圖 48. 水分子三相點



圖 49. 冷凍腔體結晶水



圖 50. 岐管式真空冷凍乾燥機



圖 51. 岐管式冷凍乾燥機液晶螢幕顯示



圖 52. 樣品冷凍真空狀態

高溫管型燃燒爐

海水中的氫透過初級生產者的光合作用與有機化合物共價結合形成 OBT，在食物鏈中被更高階生物體攝食累積於體內，由於 OBT 在生物體內的代謝率低，易造成生物體的長期傷害。因此依據生物氫特性，需藉由高溫機制將生物組織內與碳鍵結的生物氫分子進行裂解，並透過氧化燃燒作用生成水分子，再進行 OBT 活度分析，經由國際文獻及市售燃燒爐研蒐，國際上以管型燃燒爐為主要燃燒設備。

本實驗室購置英國品牌 RADDEC 高溫燃燒爐如圖 53，型號為 Pyrolyser-Thio-6-Gen III，系統經過科學設計和評估，可透過不同的燃燒條件，於多種類型的樣品(食品、生物群、土壤、沉積物)中萃取出氫和碳 14(以及其他揮發性放射性核種)。此燃燒爐為管型燃燒爐，利用管型石英管將樣品放至高溫爐樣品區後高溫燃燒分解，產生之水氣經由通氣將帶至冷凝系統收集分析，樣品經過緩慢有效的氧化得穩定回收率之燃燒水，爰此燃燒裝置的設計為至關重要。此燃燒爐設計為三個爐

區，包含樣品區、中間區、催化區，分別由三個控制器控制三個爐區燃燒的溫度，第一個爐區為樣品區，樣品放至樣品燃燒區，待中後段中間區及催化區爐體溫度上升至設定溫度後，始開始樣品燃燒，可將有機質完全裂解燃燒，搭配中間區緩衝樣品燃燒熱氣及增加停留燃燒時間，及催化區中添加催化劑加快燃燒反應使樣品完全燃燒。三區燃燒爐設定功能不同至燃燒溫度亦不同，三個爐體最高溫度都皆可達 1000 度，但因三區燃燒目的不同，設定溫度設定上具有不同，分別於樣品區最高 800°C、中間區 600°C、催化區 800°C 進行樣品高溫燃燒，爐體總長 100 公分，燃燒電熱圈區域共 60 公分，燃燒過程需搭配混和氣體通氣，分別為氧氣與空氣，使樣品在長時間高溫緩慢燃燒狀態下得到燃燒水。

燃燒爐分為三個爐區進行溫度調控，於燃燒爐中間放置石英管進行樣品燃燒。爐子設計為第一個爐區為樣品區，樣品被放置在石英舟中可以在高溫下焚燒，通過壓力差導致一些燃燒不完全之粉末透過氣流流向第二個爐區中間區，在此區使燃燒更充分及乾淨，避免焦油和黑粉污染石英管壁，第三個爐區為催化區，將石英管填充鉑-過氧化鋁等催化劑進行高溫催化，使樣品完全燃燒為水分子進行 OBT 收集。燃燒過程需於剛開始通空氣使樣品碳化，待第一爐區溫度上升至 500°C 後，改使用氧氣使焦油等高燃點樣品進行高溫催化燃燒，並於燃燒管後端接上冷凝系統，進而取得 OBT 樣品如圖 54。一次可燃燒 6 個樣品，每一個石英管內放入船舟及乾燥樣品，將船舟推行至樣品燃燒區間內，單一石英管可燃燒乾燥樣品 5 克，故一次燃燒 6 個石英管共可燃燒樣品 30 克，再經由 RADDEC Cryo-trapping system 冷凝系統如圖 55，將燃燒水於 -110°C 下以低溫冷凍凝結水氣，該冷凝系統電冷裝置原理為運用高校石墨塊換熱器，將該設備冷凝至極低溫，再運用真空密封玻璃冷凝管，將燃燒水收集於冷凝管內如圖 56，依據實際乾燥樣品與燃燒水比例得到產水比。依據國際文獻研蒐可食組織樣品粉末與燃燒水樣產水比約為 0.5，不同樣品品種具有不同含碳氫比率而有所差異，依據本文實驗作法燃燒組織樣品所得產水比亦約為 0.5，也依據不同樣品碳氫比率不同產水比可由 0.4 到 0.5，詳細數據如後 4. 生物樣品實驗數據分析，故樣品需經由多次高溫燃燒始可取得足夠水樣進行後續分析實驗流程。

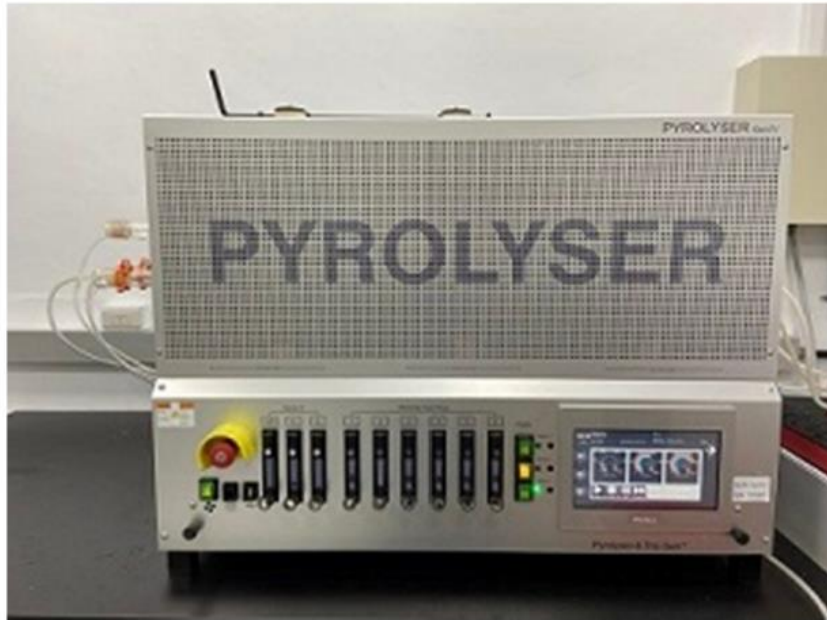
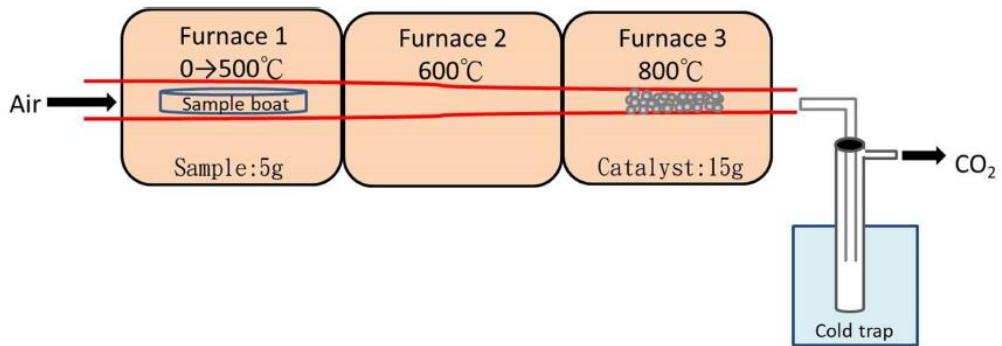
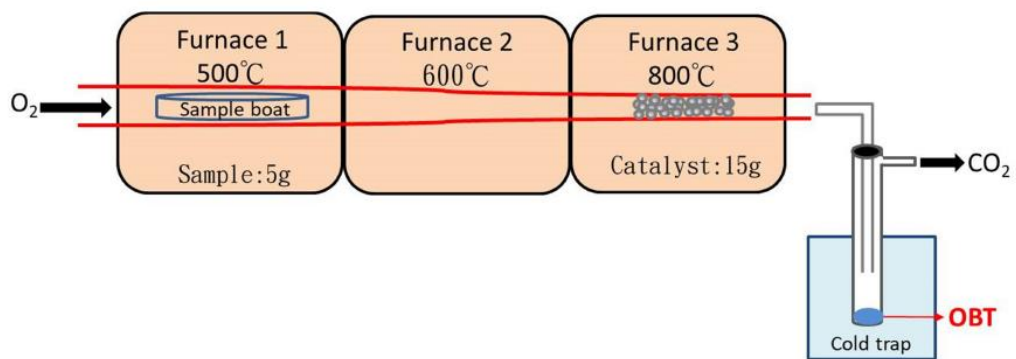


圖 53. RADDEC 高溫燃燒爐



(a) 燃燒溫度 0~500°C



(b) 燃燒溫度 500°C 以上

圖 54. 石英管燃燒模擬圖 (a) 燃燒溫度 0~500°C 由空氣輔助燃燒 (b) 燃燒溫度 500°C 以上由氧氣輔助燃燒



圖 55. RADDEC Cryo-trapping system 冷凝系統

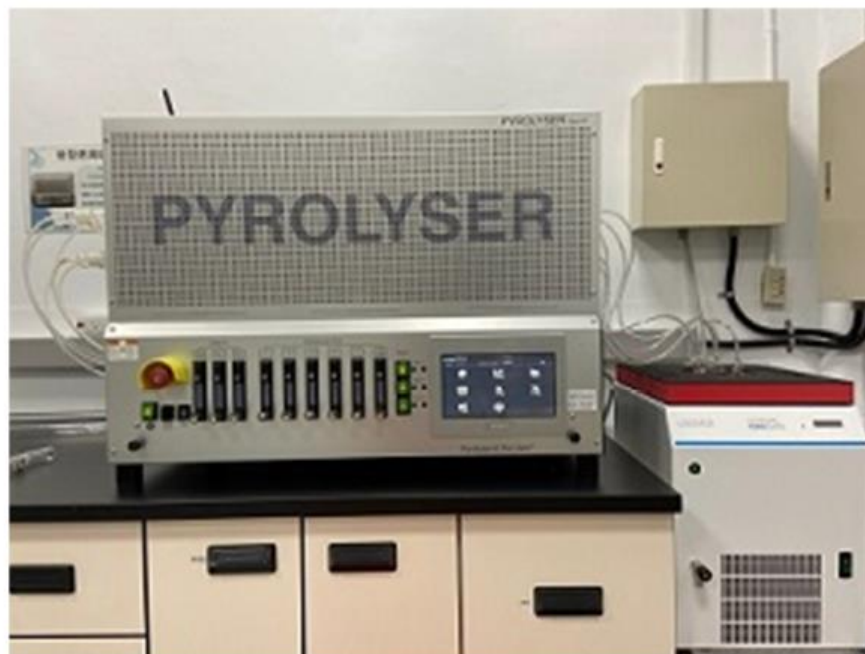


圖 56. 燃燒爐與冷凝系統串接

閃爍計數儀

氚為低能量核種且會釋放 β 粒子，量測 β 粒子包含總阿伐/總貝他活度分析、氚核種活度分析，其中本實驗室量測氚核種主要以液態閃爍計數器方法量測，液體閃爍計數器較一般固體閃爍計測器有較高的計測效率，是由於閃爍液螢光劑與樣品能充分接觸，增加計測效率，同時減少樣品的自吸收效應，因此本實驗室使用有機液體閃爍液進行氚核種量測分析。目前有機閃爍液法為放射性核種所放射出的能量，經由有機閃爍液(通常為有機體與螢光劑組合而成)的吸收，使電子能階產生躍遷至激發態，當不穩定的電子由激發態躍遷至基態時，多餘的能量便以光子的型態放出，再利用光電倍增管、信號放大器等組成將光子訊號轉變為電子訊號，電子訊號再經放大，量測其累積計數量，相關流程圖如圖 57，本實驗室目前使用 PerkinElmer Ultima Gold LLT 閃爍液作為量測氚活度如圖 58。其系統可以執行各種計數校正計算並確定每個樣品的每分鐘計數值(CPM)，亦可計算每分鐘衰變數值 (DPM)，儀器將以淬息曲線與樣品淬息指數進行比較，比對每個樣品的不同計數效率，運用軟體計算量測，其中透過計數的能量通道 (keV)間信號幅度決定了計數值及技術效率，然後儀器在確定樣品計數效率後運用氚活度計算公式，計算未知樣品的 DPM。

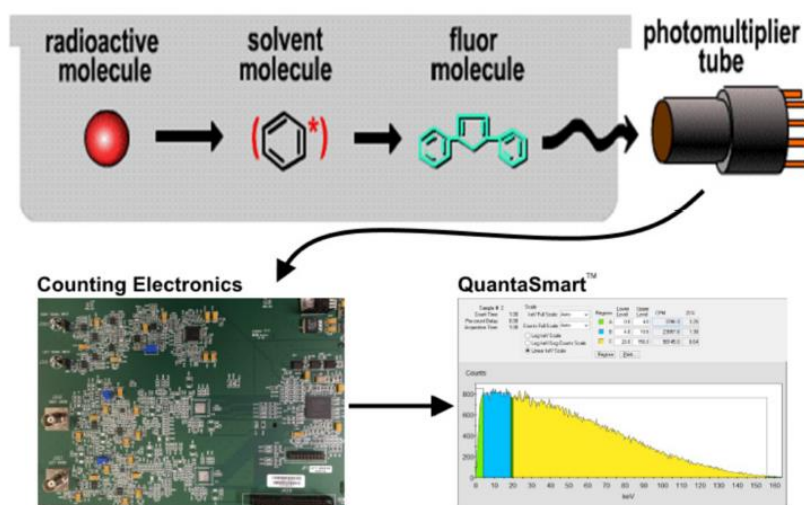


圖 57. 閃爍計數儀量測原理



圖 58. 低背景液態閃爍計數儀

2. 分析流程

本計畫透過建立的生物氫檢測技術，分析由國海院提供沿岸生態樣品，取得 TFWT 與 OBT 活度。其簡易分析流程如圖 59，將生物樣品進行可食部分前處理，樣品分裝至適當容器進行冷凍，冷凍隔夜後透過歧管式冷凍乾燥機將樣品冷凍乾燥 24 小時取得 TFWT，除將 TFWT 進行化學蒸餾，並添加過氧化鈉及過錳酸鉀，蒸餾取得透明無色樣品溶液，取 10 ml 樣品溶液與 10 ml Ultima Gold LLT 閃爍液進行混合，放置低背景閃爍計數儀進行樣品量測。

後續將冷凍乾燥後樣品進行 105°C 烘箱烘乾 4 天，取得乾燥魚樣品，由含水率公式得知樣品含水率，將乾燥魚乾粉碎為粉末，依據生物氫檢測分析標準流程進行樣品高溫燃燒，樣品經高溫 800°C，燃燒 7 小時以上後，經由冷凝系統取得冷凝燃燒水 OBT 樣品，將燃燒水樣品進行蒸餾，蒸餾前先行添加過氧化鈉與過錳酸鉀，量測能量為 0.5-3.5keV，取得檢測數據。

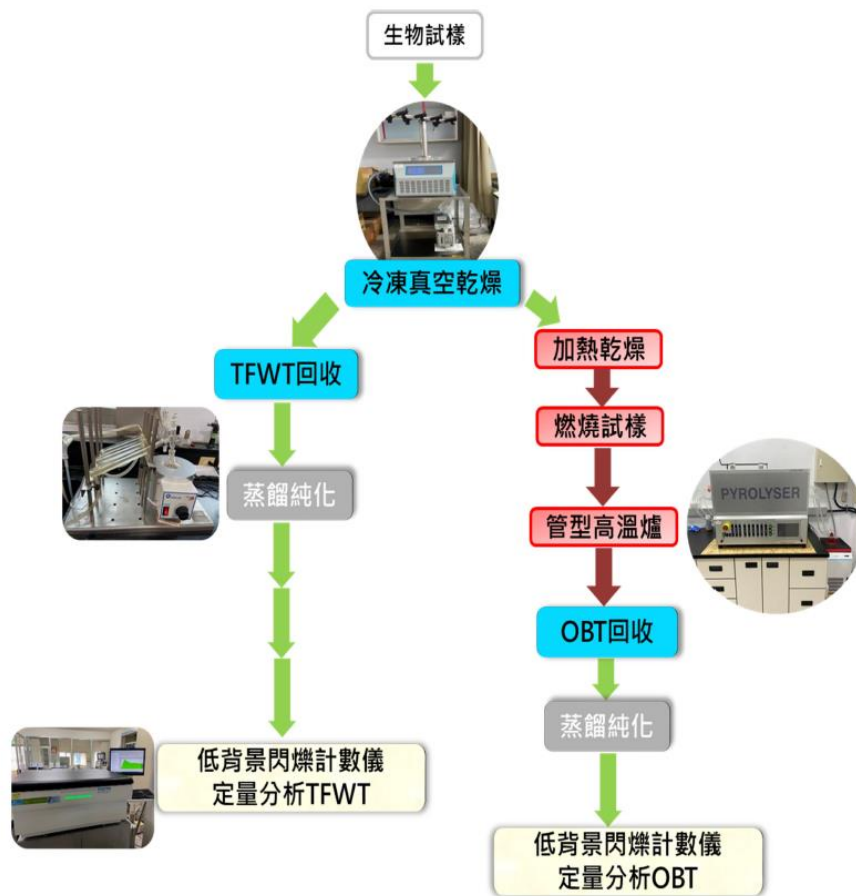


圖 59. 生物氚分析流程圖

3. 分析結果

本計畫透過生物氚檢測技術分析國海院送樣 180 件樣本，並額外進行加馬核種檢測，其檢測結果皆無發現異常，如表 8。未來預計於 113 年辦理國內實驗室間生物氚比對試驗，並通過 1 項生物氚檢測技術增項 TAF 認證。

表 8. 國海院送樣檢測分析之生態調查數據

分析結果	核種分析 (單位：Bq/kg)		
	加馬核種(銫)	組織自由水氚	有機鍵結氚
2021 年第 4 季 至 2022 年第 3 季	<MDA(0.34)~0.71	<MDA(0.3)~0.61	<MDA(0.03)~0.67
註：食品中原子塵或放射能污染容許量標準，銫-134+銫-137 限值為 100 Bq/kg。 註：CODEX 食品中輻射容許量標準，有機鍵結氚限值為 10,000 Bq/kg。			

綜上所述，本計畫已建立國內第一間「生物氚檢測實驗室」，除提供技術服務外，亦建立氚排放前之生物背景基線調查，提供日本含氚處理水於排放前與排放後輻射影

響評估。未來透過本計畫所建立檢測技術，除可提供外界相關檢測分析服務外，另可建立我國鄰近海域生態輻射背景基線數據庫，以作為日本排放含氫處理水後，評估海域生態輻射影響之重要參考數據。

四、 背景基線數據庫建立-海水分析及研究船取樣作業

原能會輻射偵測中心自 2017 年起便持續針對臺灣海域進行輻射監測作業，而本計畫配合農委會確保海水基線之需求，於臺灣周遭海域增加 62 點的海水取樣位置，並且每季執行取樣及氡含量分析，每年共擴增 248 點海水氡偵檢量能，同時為完善監測點位，取得水試所作業範圍外的背景基線數據，核研所委託專業研究船進行取樣，針對台灣東部日本主張中線以西的尚未被水試所納入的取樣位置，進行不同深度海水進行分析，得到相對應之背景數據結果。

1. 偵測中心海水分析結果

本計畫由水試所、海巡署、海保署協助取樣，偵測中心進行海水氡分析，2022 年度完成分析 406 件氡分析結果顯示，臺灣鄰近海域與沿岸海水之氡活度為低於儀器最小可測量值(MDA 為 2 貝克/升)至 17.37 貝克/升，如表 9，檢出氡活度位置為核電廠周圍海域，屬於核電廠正常排放之活度範圍，並無輻射異常現象，並預期於後續年度依此持續執行例行的海域監測工作，守護海域安全。

表 9. 海水氡分析結果

執行單位	應取件數	已取件數	分析件數	分析結果
偵測中心	62	101	101	<MDA(2 Bq/L)~17.37 Bq/L
水試所	209	254	254	<MDA(2 Bq/L)
海巡署	13	14	14	<MDA(2 Bq/L)
海保署	36	37	37	<MDA(2 Bq/L)
2022 合計	320	406	406	<MDA(2 Bq/L)~17.37 Bq/L

2. 核研所委託研究船執行海水取樣

如上所述，本計畫為完善臺灣周遭海域之取樣範圍，於原取樣範圍外由研究船進行專業海水取樣，擴大海域基線背景調查，涵蓋臺灣鄰近海域所有重點區域之海水取樣及輻射檢測工作，新增 9 點研究船航行取樣點，以擴大既有之海水輻射取樣及分析數據庫，確保排放前後之相關檢測對照工作。圖 60 為計畫規劃之 9 點海水取樣點。



圖 60. 計畫設計之 9 點取樣點(A~I)

為使取樣之 9 點海水樣本具有代表性，研究船同時具備「定深度海水取樣」及「海水樣本保存」等設備，並針對取樣之航線進行預先之規劃及排程，並於取樣過程及點位進行照片及 GPS 數據(9 點經緯度數據如表 10)、取樣設備之記錄，確保取樣之樣本符合本案之位置及深度需求。其 9 點取樣依照不同深度共有總計 27 件樣本如下(詳細取樣紀錄參考附錄 3)：

- (1) 進行 A~I 共 9 點「表層」海水取樣工作，共 9 桶樣本
- (2) 進行 A~I 共 9 點「深層」海水取樣工作，共 18 桶樣本
- (3) 海水深層取樣深度可由當點之地形調整，但必須介於海平面下 150 公尺至 800 公尺，以和表層水作區隔。每個取樣點進行兩個不同深度之深層海水取樣，9 點共計 18 桶樣本。

表 10. 9 點取樣點位之經緯度座標

點位編號	經度(E)	緯度(N)
A	122°3.92'	26°54.22'
B	122°41.18'	27°30.55'
C	123°23.45'	27°58.45'
D	124°32.24'	29°9.55'

E	123°11.27'	21°54.21'
F	124°5.59'	21°5.5'
G	123°25.87'	20°25.83'
H	122°45.24'	20°0.42'
I	122°33.5'	21°19.81'

銫-137 分析結果

研究船取樣之海水樣本分析結果如表 11 及圖 61~62，此 9 點海水取樣範圍為水試所作業範圍外之位置，本期計畫核研所藉由委託專業研究船進行採樣分析，以完備臺灣鄰近海域海水背景基線數據建立。

表 11. 9 點(27 件樣本)之銫分析結果(單位 mBq/L)

深度(m)	A 點	B 點	C 點	D 點	深度(m)	E 點	F 點	G 點	H 點	I 點
0	0.90	1.44	1.04	1.37	0	0.83	1.08	0.74	0.87	1.20
30	1.59	1.40	1.47	1.45	300	1.24	1.66	1.44	1.13	1.19
90	2.82	1.91	1.35	1.45	800	2.24	1.19	1.16	0.69	2.21

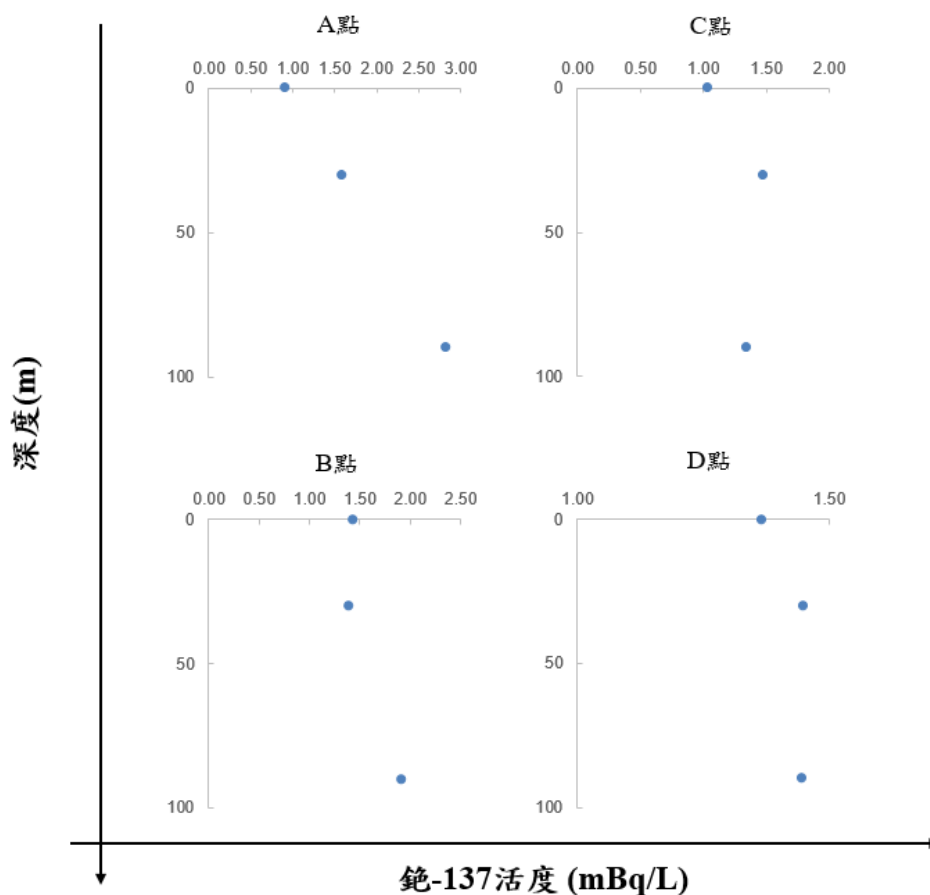


圖 61. 淺海域銫-137 活度與深度對照圖(點 A~D)

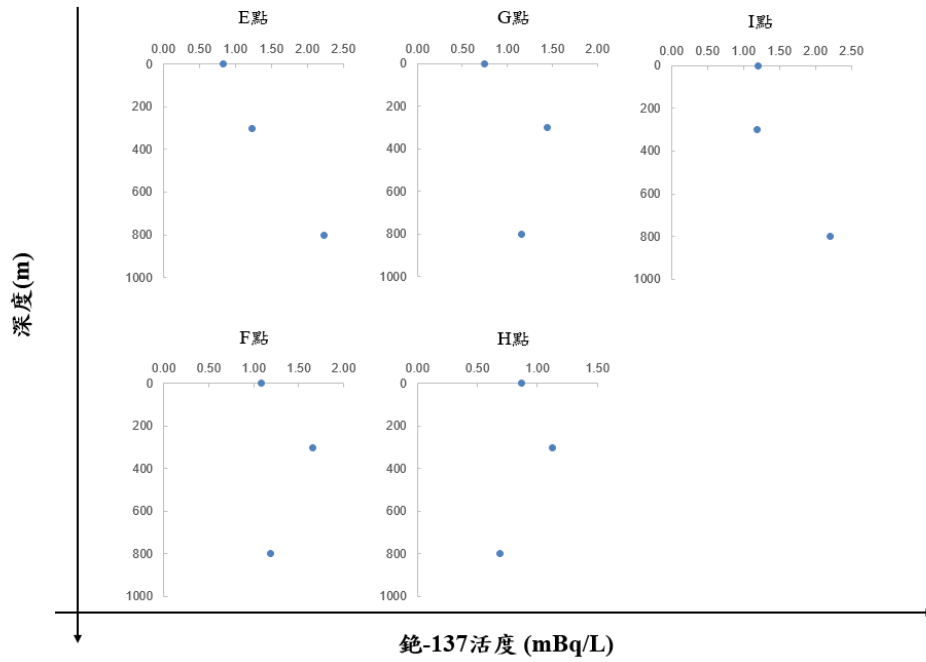


圖 62. 深海域銫-137 活度與深度對照圖(點 E~I)

氚分析結果

利用氚水電解濃縮技術(圖 63)，可將海水試樣中氚濃度 6 至 8 倍，進而降低氚檢測的最低可測值(約 0.13~0.17 Bq/L)，檢測低限與日本東京電力公司於 111 年 3 月 24 日公布福島第一核電廠加強海洋監測計畫中，海水氚設定偵測下限(MDA:0.1 Bq/L)相當。上述 9 點表層海水應用電解濃縮之氚含量分析結果如表 12 所示。



圖.63 氚水電解濃縮裝置

表 12. 9 點表層海水氡分析結果(單位 Bq/L)

編號	氡活度濃度	MDA
A	0.335	0.15
B	<MDA	0.13
C	<MDA	0.16
D	<MDA	0.17
E	<MDA	0.16
F	0.374	0.16
G	0.150	0.13
H	<MDA	0.15
I	0.141	0.14

五、 背景基線數據庫建立-臺灣岸際與沿近岸海域之生物樣本採集調查

本計畫透過臺灣沿近岸海域生態系透過臺灣沿近岸海域生態系放射性調查，以掌握近岸具代表性海洋生物物種放射性物質背景值及其分布與棲息環境等資訊，並於未來日本福島放射性處理水排放後，持續進行調查監控各代表性物種。針對首當其衝的東北部、東部、東南部以及西南部海域進行優先調查，選定石門、龍洞、花蓮、宜蘭大溪、臺東成功及屏東東港等海域生物體內放射性基線調查，建立代表性生物體內之基本背景值資料，並續進行前述六個海域生物放射性監測，以瞭解我國海域生物是否受日本福島含氚處理水的入侵影響。

規劃進行臺灣海域(東北部、東部、東南部以及西南部海域)潮間帶及亞潮帶魚類、無脊椎動物等生物採樣分析。其生態系分類包含東北部岸際：石門(藻礁)、龍洞(岩礁)及花蓮(礫石、沙灘)；東部沿近岸：宜蘭大溪、臺東成功及西南部沿近岸：屏東東港(食物鏈傳遞)，於完成採樣後將物種樣品交由核研所進行分析及檢驗。針對未來可能遭受影響的區域，設計一系列的採樣與研究方法，故調查方式將依各區域生態系及環境的不同而有些許差異，並於每季採取部分相對應具代表性的物種，樣品採集後立即送至核研所進行分析。藉由計畫執行，逐步建立沿近岸海域生態系核輻射檢測的採樣方法、代表性物種，以及各採檢物種體內之核輻射背景值等。初步規劃如下：

1. 潮間帶調查：

在樣區範圍內以非固定採樣的方式進行物種採樣，各物種之調查方式如下：

- (1) 魚類：以浮潛或潛水之方式，於潮池內或利用漲潮時觀察水體內之定居性魚類或隨潮水游進之魚類，直接計數種類或拍照錄影供後續之種類鑑定；設置流刺網進行採集，並放置一個潮水後再進行採收，較深之潮池可利用一支釣之方式進行採集，並記錄釣獲之魚種與位置，部分中小潮池，亦可輔以麻醉劑採樣，以提升採捕效率。
- (2) 無脊椎動物：選擇大潮退潮時前往樣區，在樣區範圍內以非固定採樣的方式進行物種採樣，並記錄物種出現的潮位。
- (3) 甲殼類及軟體與棘皮動物：於潮間帶樣區選擇生物多樣性高的採樣地點，以 GPS 進行實地定位並拍照記錄現場環境。在大潮退至最低潮之前後 20 分鐘進行採樣。

2. 亞潮帶調查：

利用水肺潛水及非固定採樣方式進行物種採樣，並記錄物種出現之深度及位置。

- (1) 魚類：盡量觀察及採集各式各樣之水下微棲息地，以採獲更全面的魚類物種標本。
 - (2) 無脊椎動物：
 - (3) 甲殼類及軟體與棘皮動物：亞潮帶調查則無考慮樣區高低潮時間。由 3 名潛水員進行船潛採集，在樣區內選擇生物多樣性較高的採集點後，以 GPS 實地定位，採集範圍水深 5 至 20 公尺，採樣時間 40 分鐘，亦盡量紀錄所有發現的大型甲殼類和軟體及棘皮動物等，進行物種的採集。
3. 本計畫之採樣規劃，將臺灣東北部海域(石門、龍洞及宜蘭大溪)、東部海域(花蓮)、東南部海域(臺東成功)及西南部海域(屏東東港)分為潮間帶、亞潮帶及漁港採集，並於完成採樣後將物種樣品交由核研所進行分析及檢驗。採樣方式將依各區生態系及季節採取相對應具代表性的物種，並將樣品以冷凍保存，送至核研所進行分析。本計畫採樣初步規劃於 2021 年第 4 季(10~12 月)開始，至 2022 年第 4 季(10~12 月)為止，每季完成 1 次採樣作業，共計 5 次，目前已完成生物樣本採集(圖 64)，並由核研所進行分析。本計畫採樣作業規劃如下：
- (1) 採樣時間：於 2021 年第 4 季(10~12 月)開始，至 2022 年第 4 季(10~12 月)為止，每季完成 1 次採樣作業，共計 5 次。
 - (2) 採樣類別：本計畫於各規劃之採樣點，進行生態系物種採集：
 - A. 潮間帶：藻類、甲殼類、軟體動物及魚類。
 - B. 亞潮帶：藻類、甲殼類、軟體動物及魚類。
 - C. 漁港：小型魚類及中型魚類。
 - (3) 採樣數量：
 - A. 潮間帶及亞潮帶採集：
 - a. 藻類：每季採 2 種，重量各為 1 公斤(以大型藻類為主)。
 - b. 甲殼類：每季採 2 種，重量各為 300 公克。
 - c. 軟體動物：每季採 2 種，重量各為 300 公克。
 - d. 魚類：每季採 2 種，重量各為 300 公克。
 - B. 漁港採集：
 - a. 小型魚類：每季採 2 種，重量各為 1 公斤。
 - b. 中型魚類：每季採 2 種，重量各為 1 公斤。



圖 64. 沿近岸生物樣本採集

國海院已完成 5 季次採樣工作，共完成 3 處漁港及 3 處沿近岸生物採集。本次採集漁港魚類(以非經濟性為主)小型計 30 公斤、中型計 30 公斤及生態系生物，藻類計 30 公斤、甲殼類計 9 公斤、軟體動物計 9 公斤、魚類 9 公斤，後續由核研所進行分析，以收集氙水排放前生物體輻射背景基線資料。生態系樣本共計 120 組樣本(3 個樣點*4 類*2 種 *5 季);漁港樣本共計 60 組樣本(3 個樣點*2 類*2 種 *5 季)，而其銻-137 檢測結果均未超標；TFWT 檢測結果為<MDA(0.3)~0.61 Bq/kg；OBT 檢測結果為<MDA(0.03)~0.67 Bq/kg，詳如表 13 及附錄 4 之樣本取樣紀錄。

表 13. 沿近岸生物採樣及分析結果

	送件數	送件時間	核研所完成時間	銫-137	氚活度
2021 年 Q4	36	2/7	2 月底全數完成	均未超標	國際上尚無 TFWT 相關標準，不過目前檢測結果均遠低於 CODEX 嬰兒食品中 OBT 之容許量標準值 1,000 貝克/公斤，TFWT 檢測結果為 <MDA(0.3)~0.61 Bq/kg；OBT 檢測結果為<MDA(0.03)~0.67 Bq/kg。
2022 年 Q1	36	3/18	^{銫-137} 3-5 月初全數完成 氚分析中	均未超標	
2022 年 Q2	36	6/9	12 月底已全數完成	均未超標	
2022 年 Q3	36	9/6	12 月底已全數完成	均未超標	
2022 年 Q4	36	11/18	2023 年 2 月底已全數完成	均未超標	

六、 背景基線數據庫建立-建置海洋核輻射即時監測裝置

<p>目標</p>	<p>透過已成熟的海象浮標系統整合，建置臺灣海洋輻射即時監測站，並完成資料傳輸之設定，資料用於已知或未知的輻射污染監測、驗證海洋擴散數值模擬，亦供資訊公開平台取用</p>
<p>執行方法及預期產出</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成海象浮標採購及驗收作業，並完成衛星/4G 資料傳輸之設定。 2. 預先進行浮標設置、回收作業之航程規劃，完成該數次特定航次之研究船出船事宜協調，確保研究船航次可於時限內出發布放。 3. 完成浮標系統設備整合掛載及布放。 4. 完成浮標系統設備之回收工作。
<p>所需技術開發</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建置臺灣第一座整合海象資料與輻射探針的浮標輻射即時監測站。 2. 浮標位置選定作業。 3. 選定本計畫所需之監測儀器，確保監測資料可同步回傳至資訊公開系統，或供海洋模式驗證之用。

1. 建置整合海象資料與輻射探針的即時監測浮標

日本福島含氚處理水的排放預將提高北半球環太平洋環流系統的海洋環境輻射背景。此環流系統係北半球東北信風帶影響形成、由東向西的北赤道洋流，當北赤道洋流流動到菲律賓東岸民答那峨島時，會分開成往南及往北流的分支，往南的稱為民答那峨海流，往北的就是俗稱的黑潮洋流(Kuroshio Current)。黑潮沿著呂宋島的東岸往北流動，經過呂宋海峽東側，臺灣東岸，繼續流往東海陸棚邊緣及日本東南方外海，並在日本東側海域與親潮相會後轉向東流，逐漸成為北太平洋洋流、亞熱帶環流及亞極區環流(圖 65)。北太平洋洋流持續往東流碰到加拿大之後分為南北兩道海流。往南方流動的成為加利福尼亞涼流，往低緯度移動後與北赤道洋流會合形成一個北赤道環流循環。從整個北太平洋環流系統而言，日本排放含有輻射物的水體有機會隨著亞熱帶環流及北太平洋環流在臺灣東側可能會被偵測到。研究指出，2011年福島核災所釋放至海洋的放射性銫，在2014年的量測證據顯示其擴散前緣已隨著

亞熱帶模態水團傳播至北緯 15 度的亞熱帶地區(圖 66)，亦即當時放射性污染擴散範圍已涵蓋太平洋熱帶-亞熱帶西半部。另外，我們也須留意海洋區域輻射物質濃度的不同，透過海洋物理作用(例如中尺度渦漩、模態水、溫鹽環流等)影響臺灣近海的背景值。以銫-137 為例(Aoyama et al, 2008)，20 世紀中期核試爆所遺留的銫-137 透過風驅和溫鹽密度在海洋呈現三維立體的傳輸和擴散，於北太平洋又受到模態水的混合、中尺度渦漩的混合使原僅分布於表層海洋的銫-137 已往深海傳輸，目前主要的濃度高區位於北太平洋次表層水和中層水(圖 67)；其對臺灣的影響，可能透過中尺度渦漩、近海的湧升流等作用，將相對高的背景輻射傳送至臺灣近岸的表層海洋。因此，進行海域輻射背景值調查的過程，亦需搭配更大面積的海域的調查或文獻資料收集。

因此，為因應日本福島含氚處理水未來的排放，本項工作擬發展海域輻射觀測技術。其關鍵及重要性在於能提供作業化即時海洋觀測資訊，作為原能會相關單位記錄、研析和發報，以及聯繫海委會、農委會、環保署、衛福部、教育部、外交部等相關部會擬定適切的緊急應對和決策。海域輻射監測站的另一項功能為提供數值模式的資料同化和驗證的依據。

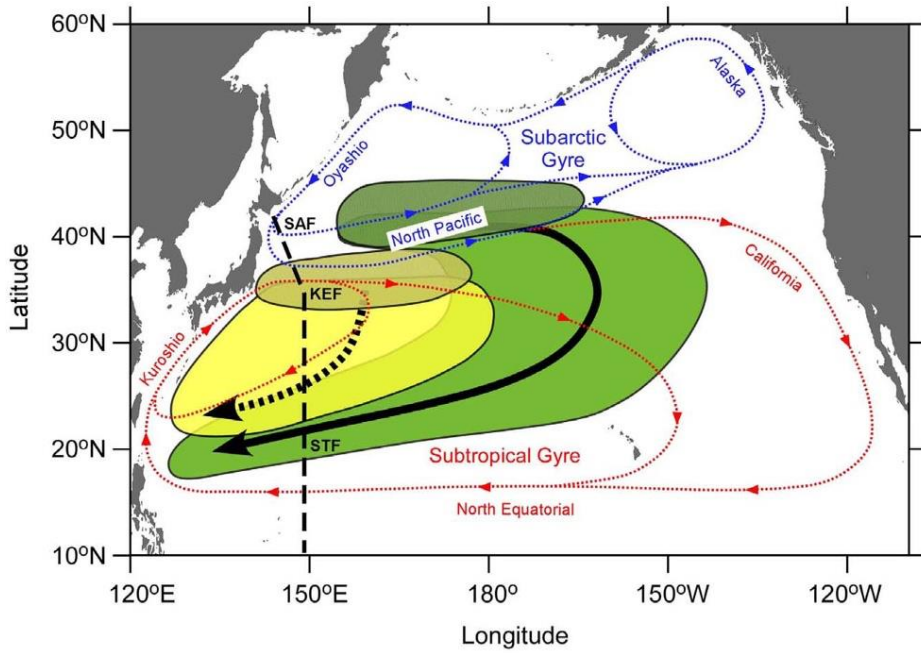


圖 65. 北太平洋環流系統(藍色及紅色點線)、亞熱帶模態水團(黃色區塊)、中層模態水團(綠色區塊)的形成與潛沒示意圖(Men et al., 2015), 反映污染可跟隨北太平洋環流系統或進入模態水團之路徑, 導致污染到達臺灣周邊海域的時間有所差異。

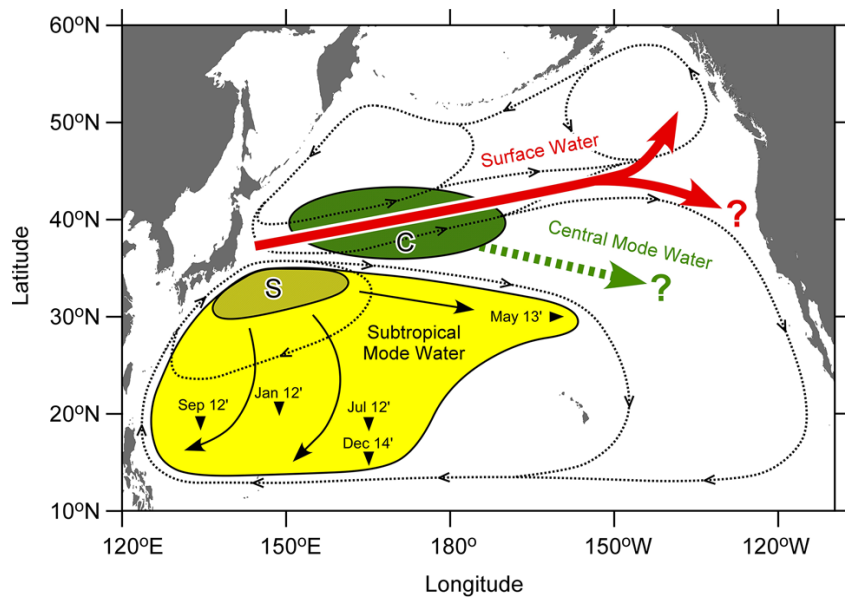


圖 66. 福島核災造成放射性濃度擴散北太平洋示意圖。在 2012 至 2014 年間觀測放射性銫的實測資料推論污染的傳播路徑, 證據指示污染前緣已隨著亞熱帶模態(黃色區域)水體傳播並擴散至太平洋熱帶-亞熱帶西半部, (Kumamoto et al., 2017)。

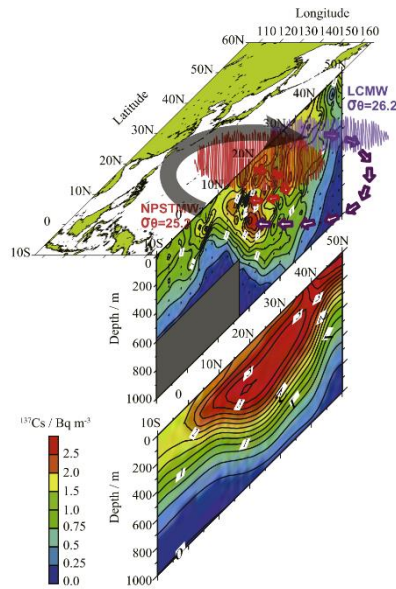


圖 67. Aoyama 等(2008)分析西太平洋海水的鈉-137，發現 20 世紀中期核試爆所遺留的輻射物質，透過洋流的傳輸、北太平洋模態水的混合、中尺度渦旋的混合，目前主要的濃度高區位於北太平洋次表層水和中層水。圖中單位為 Bq m^{-3} ，顏色反映濃度。

本計畫擬建置之即時監測浮標，其架構係國家海洋研究院使用於臺灣近海及太平島之錨碇式資料浮標(圖 68)。浮標體採用直徑 1.8 公尺之鋁合金材質，標體基座上方安裝 3 片 90 瓦的太陽能板，使維持長期作業化觀測所需電力，並加裝警示燈與雷達反射器，對於經過船隻產生警示效用，避免發生碰撞。輻射儀安裝於水面下 1 公尺處、固定於標體下方的支架，所觀測之資料經由資料擷取系統預設每小時讀取一次，並透過傳輸設備即時將輻射值、GPS 位置與電壓值等傳輸至陸上資料監控站(4G 優先)。使用本標體的特點是標體體型大因而浮力大，具有充裕的空間架設所需電量之太陽能板和蓄電組，仍有額外空間掛載水上和水下科儀設備，浮標系統本身具有即時回傳功能，可將儀器檢測數值定期以 4G 通訊或衛星通訊方式傳送至陸地的接收站；浮標亦配有資料紀錄器，用於備份儀器檢測數據，作為預防通訊傳輸受影響時維護資料的機制。本項浮標觀測技術在國內已運作多年且技術發展成熟，國海院於 2020 年於南沙太平島建置的浮標系統，即為一套能提供近即時之氣溫、氣壓、風、波、水下海流、溫、鹽、水質等資料。於此基礎上，本計畫規劃初期即研議以本浮標系統增設放射性核種偵測儀，針對天然放射性鉀、鈾和人造放射核種鈉之 γ 輻射值進行監測(Kumagai et al., 2012; Ren et al., 2017; Pensieri et al., 2018)。



圖 68. 本計畫浮標系統規劃參考國家海洋研究院太平島資料浮標。該浮標系統係由國立成功大學近海水文中心設計和製作，觀測項目可包含水上和水下。科儀設備可由浮標體上的太陽能板透過纜線或直接經由鋼纜供電。觀測資料採用衛星和 4G 雙通道即時傳輸技術；近域傳輸以 4G 為主，在無 4G 基地台覆蓋的遠域或當 4G 訊號微弱時，系統將自動切換為衛星通訊，使觀測資料的收集得以連續。

有關海用輻射偵檢儀器，在國際已發展逾三十年，主要目的為因應核電廠日常排放的海洋監測以及核事故發生的緊急應變，利用即時監測來達到預警進而迅速應變。其中，技術較成熟、成本效益較實用的當屬加馬(γ)輻射偵檢儀(Povinec et. al., 2012)，而以NaI(Tl)晶體作為探頭的海用加馬輻射偵檢儀因計測效率相對高、工作環境條件門檻相對低、造價相對低、體積相對陽春等優點，是目前國際上應用於實海加馬輻射監測的主流(Pensieri et al., 2018)。考量我國尚未有海域輻射自動即時監測之技術能量，本計畫透過國際合作引進海用加馬偵檢儀和技術，並結合國內成熟的浮標技術能量，一方面進行海域加馬輻射監測的先期實驗，同時藉以強化我國於海域輻射監測和污染預警之能力，將每季的例行的岸際和海上採樣的地毯式「巡邏」調查，輔以定點自動檢測和高頻率定期回報的駐點式「監測」調

查，後者優點是可以針對特定海域加強監測。

加馬輻射偵檢儀的工作原理為海水加馬粒子接觸閃爍晶體產生光電效應而激發出與加馬粒子能量呈正相關比例的光子，光子再擊中光電倍增管轉為電子訊號並倍比放大，透過電子訊號轉換為正比於加馬粒子能量的電壓脈衝訊號，最後再以多頻道能譜解析各特徵能量峰的積分面積獲得特定核種的能量強度。本文比較 HPGe、NaI(Tl)、LaBr₃(Ce)、CdZnTe 等閃爍半導體的特性(Kwak et al., 2017)，選用發光效率相對高、檢測技術門檻相對低、造價相對實惠的 NaI(Tl)晶體。本計畫所用輻射偵檢儀為 HORST 公司之產品 KATERINA II 標準型加馬輻射偵檢儀(Pensieri et al., 2018)(圖 69a)。該攜帶型偵檢儀係自主水下加馬射線能譜儀，可偵測加馬衰變的天然和人造放射性核種。其標配的 NaI(Tl)閃爍晶體的尺寸為 7.62 × 7.62 cm，具有 1024 個能譜頻道用以解析加馬能譜範圍 50 至 2,800 keV 的核種。針對銫-137(能峰約於 661 keV)，儀器檢測分辨率約為 6.5%，系統之偵測下限約 30 Bq/m³(1 日積分)，最大工作深度達水下 400 公尺；針對銫-137，本輻射偵檢儀的偵測下限雖然高於臺灣周邊海域和西太平洋(約 1±0.5 Bq/m³)，參考原子能委員會《環境輻射監測規範》調查基準為 2,000 Bq/m³，本輻射偵檢儀仍足以勝任我國海域加馬輻射監測預警之任務。考慮系統調校和試營運期間維護的便利性，本計畫將之加馬輻射偵檢儀安置於水面下 2 公尺的浮標支架。參考實驗場域條件，使用天然輻射核種鉀-40(主要能峰位於 1,460 keV)和加馬輻射總計數值(gross count)作為評估輻射偵檢儀運作穩定的參考。本計畫浮標之加馬輻射偵檢儀設定每 1 小時回傳資料一次連續積分的加馬輻射能譜數據，再從數據後台將累積 1 日(24 小時)的輻射積分值依據各核種的輻射特徵峰積分值換算為單日的活度濃度(activity concentration)(如圖 69b 所示)。

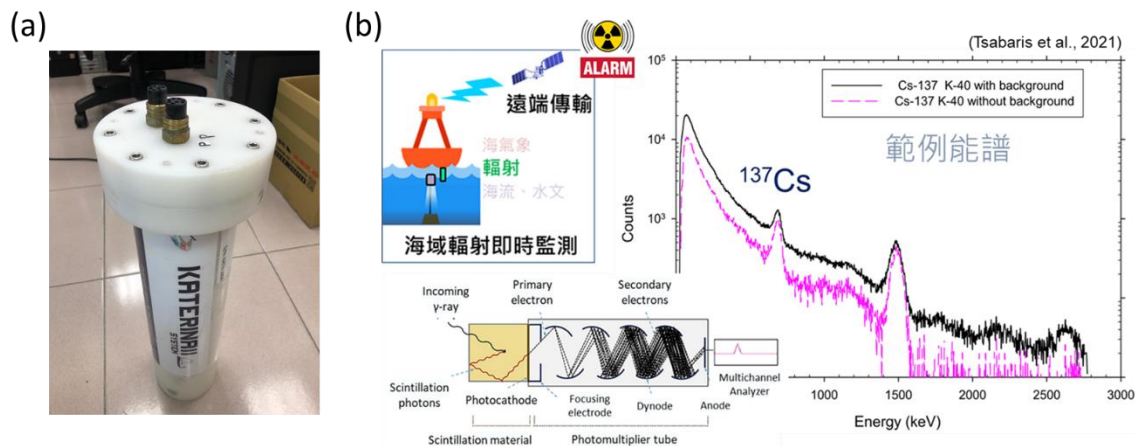


圖 69. (a)本計畫使用之加馬輻射偵檢儀。(b)輻射偵檢儀之光電倍增訊號之示意，以及儀器掛載於錨碇浮標透過遠端傳輸輻射能譜之示意。

2. 浮標位置選定作業

海流與即時觀測浮標之選址依據，初步參考 2011 年福島核災海洋污染傳輸擴散的速率和範圍、2008 年以前西太平洋鈾-137 的活度濃度和三維空間分布，以及針對福島核災而開發的擴散模式 NEMO 之模擬結果(Behrens et al., 2012)(圖 70)。姑且不論放射性核種於擴散過程中因稀釋作用、顆粒體移除作用或自身的衰變而導致活度降低，歸納前人研究結果顯示，因 2011 年日本福島核災而自福島海域釋放的輻射物質，大致仍依循北太平洋表層環流系統傳輸，帶有放射性物質的水體若隨著黑潮蔓延至臺灣東部海域、甚至於冬季循呂宋海峽進入臺灣西南海域，需時約一年；帶有放射性物質的水體若自源頭擴散初期即伴隨著中尺度渦漩於亞熱帶模態水團內傳輸及擴散，則放射性物質可能在數個月內即蔓延至臺灣東部海域。另從污染擴散模式 NEMO 模擬結果，亦顯示海洋污染於事發後一年內即影響臺灣東北領海邊界在內的整個西太平洋，5 年內已污染臺灣整個東部和西北方近岸海域。然而，此次福島含氫處理水的排放，一旦採取目前傾向執行的海洋放流方案，其傳輸擴散的途徑未必依循 2011 年福島核災時的情況，其原因在於放流管安置的海域地理位置、水深，以及排放的方向和通量，皆不同於福島核災，因此建議使用自行開發的海洋污染擴散傳輸模式預設情境(濃度擴散模式，非質點模式)，以及於含氫處理水可能最快到達的海域建立海域即時觀測浮標站，作為因應此次海域污染的哨兵。

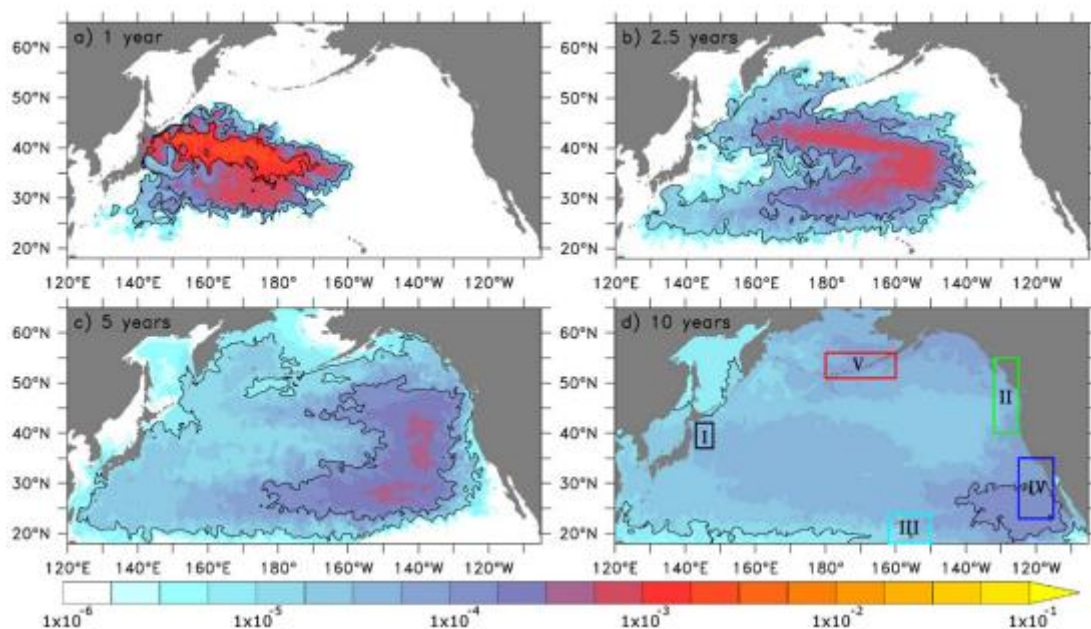


圖 70. 德國基爾亥姆霍茲海洋研究中心(GEOMAR)和美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)針對福島核災而開發的污染擴散模式 NEMO，模擬銫-137 在太平洋的三維傳輸：(a)1 年(b)2.5 年(c)5 年(d)10 年後的海洋污染影響範圍 (Behrens et al., 2012)。

3. 輻射偵檢儀及錨碇浮標規格概述

本計畫浮標系統之規劃，將參照前述南沙太平島浮標測站建置經驗，初步選定臺灣東北海域設置一座核輻射即時監測浮標站(圖 71)，引進海用加馬(γ)輻射偵檢儀並整合至現熟用之浮標系統，並鎖定銫-134 和銫-137 等人造放射性核種偵測預警目標。倘有自然環境監測需求，本浮標也可提供海洋環境基礎參數包含氣溫、風、波、流等海氣象，水下海流、溫、鹽及水質等參數，品管作業參考美國 NDBC 與中央氣象局「資料浮標品管及作業規範」(Doong et al., 2007)。針對研究目的及需求，本計畫選用儀器依據如下：

(1) 加馬輻射偵檢儀

常見輻射偵測器可分為電離偵測、閃爍偵測、半導體偵測等。由於 α 、 β 射線的電離作用和彈性散射，導致在水中能量散失而無法偵測，反之 γ 射線穿透能力強且各放射性核種具有其特徵能譜，故可藉由偵測海水 γ 能譜來辨識水中的核種和其輻射活度。常用於 γ 射線偵測的半導體晶體有 NaI(Tl)、HPGe、CdZnTe、LaBr₃:Ce、LaCl₃:Ce 等，其中 NaI(Tl)晶體因發展技術成熟，且具有偵測靈敏、體積小、工作環

境需求小等優勢，較適用於自然環境的輻射監測，故目前海用輻射探針多以 NaI(Tl) 為系統核心。資料透過 RS232 介面傳輸，但原始資料亦儲存於系統的資料紀錄器；傳輸之資料透過衛星或 4G 通訊到達陸上接收站(4G 優先)，再經由分析模組的資料處理，提供資料的圖形化展示及危險警示。海用型探針系統須密封於水密結構金屬體內以保護，使用的材質常為外覆防鏽蝕(anti-corrosion)或防生物污損(anti-biofouling)塗料的鎂合金、316 不銹鋼、鈦合金等材質，探頭部分則必須為塑膠材質，以利接收環境輻射。本次使用的 KATERINA II 基本規格如下：

- A. 以 Bq/L 或 Bq/m³ 為絕對單位，提供天然放射性核種(如 radium, radon, thoron 等)與人工放射性核種的加馬射線頻譜。為達峰譜解析度要求，頻譜分析頻道數為 1024 或以上。
- B. 感應單元類型為 3"x3"NaI(Tl)(碘化鈉晶體)。
- C. 銫-137 檢測 24 小時，偵測下限約可達 0.03 Bq/L。能量解析度約為 6.5-7%(約 661 keV 銫-137)。
- D. 頻譜儀直徑小於 15 公分(含)以下，長度小於 40 公分(含)以下，空氣中重量小於 4.5 公斤(含)以下，水中重量小於 3 公斤(含)以下。可耐壓水深 300 公尺(含)以上。
- E. 電源：5-18VDC。
- F. 耗電量 0.9 至 1.2W(操作模式)。
- G. 提供連接至電腦及電源供應的水下電纜各一條(含 8-pin 水中可插拔接頭)。
- H. 資料通訊協定為 RS232 和/或 USB 和/或 Ethernet。
- I. 可設定在無電腦連線的狀態下，以連續模式，或獨立模式自主運作，需能以即時模式整合到現有浮標或浮動平台作業。
- J. 提供 200 Ah 自主供電電池，連續測量續航力可達 90 天以上(每日至少一筆資料)。
- K. 儀器參數調校軟體功能包括高電壓、成型時間、極零對消、基線調整、放大增益等。

(2) 錨碇資料浮標

浮標體採用直徑為 1.8 公尺鋁合金材質，標體附 3 片 90 瓦太陽能板以維持長期作業化觀測所需電力，並加裝警示燈與雷達反射器，對於經過船隻產生警示效用，避免發生碰撞。輻射儀安裝於水面下約 1 至 2 公尺處，所觀測之資料經由資料擷取系統於每小時讀取，並主要透過 4G 傳輸設備即時將輻射值、GPS 位置與系統電壓值等傳輸至陸地資料接收站。本系統之錨繫使用工作負荷強度較耐用之鐵鍊；為減輕

鐵鍊在水中重量，系統採緊迫式錨繫設計，以確保浮標體上方通訊與充電設備保持在水面上，維持良好通訊傳輸與太陽能板充電效率。鐵鍊採用 19 釐米與 26 釐米兩種尺寸，最大抗拉力可承受波浪、海流等極端條件海象作用下，仍有 2 倍以上安全係數。鐵鍊係熱鍍鋅鐵鍊材質，可確保海上 1 年半內抗海水腐蝕性。所以建議每年定期更換整套錨繫設備，以維持錨繫存活之安全性。錨碇串為每串 1.2 噸火車廢鐵輪、3 串總重達 3.6 噸以上，可抵禦颱風所造成強風巨浪之侵襲。

透過以上開發之技術整合臺灣產業界已成熟發展的浮標整合設備，可透過監測浮標取得許多的即時監測數據，透過衛星訊號傳送至資訊公開平台，成為臺灣海域的第一道防線，同時浮標掛載的海象監測設備資訊，亦可用做海洋擴散模式之驗證，提升國內海洋科學之技術發展。



圖 71. 本計畫之加馬輻射即時監測錨碇浮標站建置於臺灣東北方蜜月灣海域(圖片來源：內政部海域資訊整合平台)。

4. 系統整合和布放作業

由於輻射儀為新式觀測儀器，國內尚未有自動化觀測與傳輸之技術，為達到輻射儀在浮標系統中進行即時觀測與傳輸功能，需進行為期 2 至 3 個月之整合測試作業，包括以下工作項目(圖 72)：

(1) 確認儀器特性，包含：

- A. 供電電壓和電流
- B. 探頭形式及安裝方式

- C. 水下傳輸線訊號定義
 - D. 觀測需求之設定方式
 - E. 輸出訊號格式及相關指令
- (2) 設定操作：
- A. 連接原廠電源線以及設定線至電腦，使用原廠軟體進行設定
 - B. 確認量測資料依照設定格式穩定輸出至電腦
- (3) 水下線材製作
- A. 依照手冊接線定義製作水下接線
 - B. 加強水下接線保護及防水措施
- (4) 固定支架設計製作
- A. 可以保護儀器並且不影響探頭量測
 - B. 架設位置選定內側，避免漁網纏繞等外力破壞
- (5) 輸出資料確認
- A. 資料格式
 - B. 輸出時間
 - C. 指令接收及資料回傳
 - D. 資料量
- (6) 資料浮標系統軟體撰寫
- A. 觀測系統之架構設計調整。
 - B. 各項功能排程規劃
 - C. 輻射儀遠端重開機功能
 - D. 每小時送出指令
 - E. 蒐集回傳資料
 - F. GPS 及電壓監測資料擷取回傳
 - G. 原始資料儲存
 - H. 每小時自動傳輸平均電壓、經緯度與輻射頻譜
 - I. 於自動傳輸後，預留時間作為調整工作參數、補傳資料...等之用途。

- J. 指令碼撰寫
 - K. 每小時資料擷取系統開關機控制
 - L. 系統暖機控制
- (7) 資料擷取系統製作
- A. 電路設計
 - B. 元件組裝固定
 - C. 功能測試
- (8) 燒機測試
- A. 輻射儀與資料擷取系統連結測試
 - B. 確認儀器、線路以及資料擷取系統穩定運作

錨碇浮標布放前選定福島含氫處理水優先接近臺灣海域的位置，試營運以設置於近岸海域為目標，利於測試、保養和維修；評估原則除了蒐集航海圖及水深測量圖，亦須考量海域用地規範和不妨礙漁民漁撈作業、規避航道區及海底纜線等，並於確保浮標觀測系統安全性原則下進行布放。浮標布放船期需參考最新一週海況預報，選擇符合安全作業條件(中央氣象局發布該海域之鄉鎮沿海預報有連續兩天浪高在 1 公尺(含)以下及流速在 0.5 公尺/秒(含)以下者)日期而調整。

本計畫採購 2 套加馬輻射偵檢儀，作為系統維護之交替使用，以及預防儀器故障而有備援能量。加馬輻射偵檢儀於 2022 年 2 月 9 日決標，於 4 月 22 日前先行第一套加馬輻射偵檢儀部分驗收後，即開始進行 8 日、合計 24 小時原廠教育訓練，同時著手進行加馬輻射偵檢儀與錨碇資料浮標的系統整合，並於 6 月 6 日前完成教育訓練、設備驗收。6 月 17 日完成加馬輻射偵檢儀與錨碇資料浮標系統整合(圖 73)，6 月 25 日於臺中港進行出海前輻射浮標布放前測試檢查，並於 7 月 27 日於宜蘭近海蜜月灣附近完成設備布放(圖 73a)，7 月 28 日開始試運轉。另外，有關浮標建置的海域用地，業與宜蘭縣頭城區漁會漁民完成初步溝通、漁會總幹事亦表示將協助相關宣導，也前往定置漁場與業者溝通並獲得支持；海域用地亦已向內政部營建署申請完成。

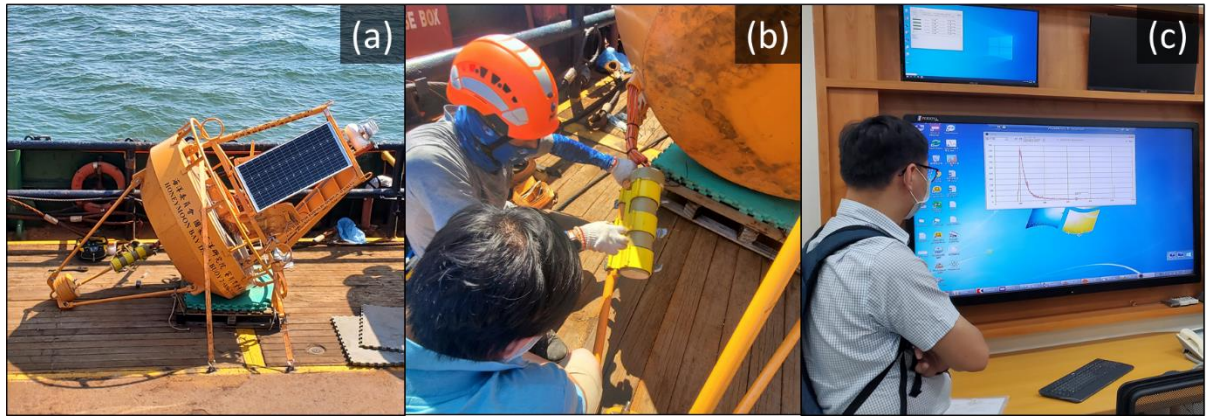


圖 72.(a)錨碇資料浮標；(b)加馬輻射偵檢儀安置於浮標下支架；(c)加馬輻射偵檢儀資料 4G 傳輸及讀取測試。

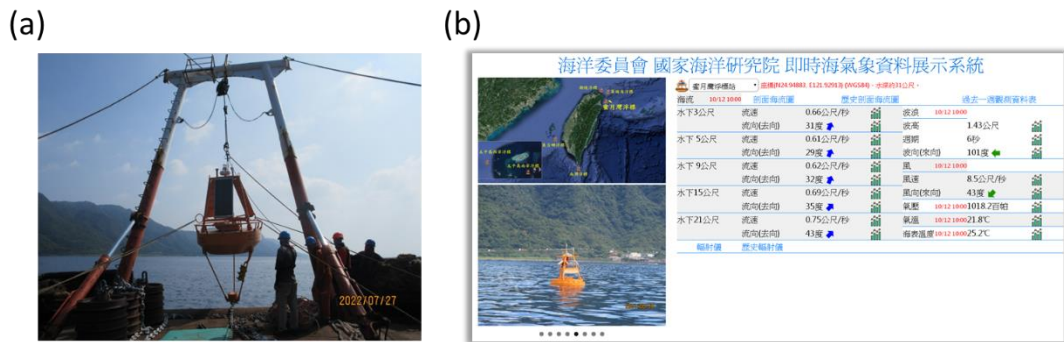


圖 73.(a)本輻射偵檢浮標海上布放作業。(b)本浮標系統原設計掛載之水面儀器包括海氣象和波浪、水下儀器包括水溫、鹽度、壓力、溶氧、營養鹽、海流等。本計畫將加馬輻射偵檢儀整合至本浮標系統。

5. 資料傳輸後臺建置和初步結果

本計畫建置輻射偵檢浮標站之資料接收與即時監控系統，以展示及查詢輻射浮標的即時觀測資訊。作業流程說明如下：

- (1) 資料編碼：海上資料回傳前為確保資料安全性，先以 ASCII 字串進行編碼，每筆(每小時)資料共 3102byte，包含時間字串(8 byte)、坐標(12 byte)、電壓(1 byte)、各能譜頻道的計數(1024x3)以及結尾字串(9 byte)。
- (2) 資料傳輸：輻射浮標在海上偵測輻射值每小時累積 1 次，在資料編碼完成後即時透過浮標上 4G 數據機將測值回傳監控中心站，歷時約 1 分鐘將資料回傳

完成。

- (3) 資料儲存與監控：回傳監控中心資料會對資料進行解碼，並儲存在監控中心資料庫中。資料庫中輻射觀測數據目前只進行資料觀測成功率統計與監控，未來將對每日輻射累積量進行初步定性品管。
- (4) 健康度檢測：針對浮標回傳的電力及座標設定警戒標準(電力 $>12.3V$ ，移動半徑 <150 公尺)，一旦超過標準則透過簡訊或電子郵件通知監控人員，並將資訊透過 Line、電話或電子郵件通知國海院。
- (5) 資料展示：回傳監控中心資料已整合於「海洋委員會國家海洋研究院即時海氣象資料展示系統」(圖 73b)，透過網路在展示網頁中可查詢即時輻射值圖與歷史輻射值圖。

加馬輻射能譜於 661 keV 特徵能峰附近(圖 74)，無論以 12 小時、24 小時、36 小時或 48 小時的積分計數，宜蘭蜜月灣浮標站皆無出現鈾-137 能峰，顯示本海域的海水鈾-137 活度濃度低於儀器的偵測下限的 30 Bq/m³，此下限值為康普敦邊緣(Compton edge)拖尾的背景訊號。無法測得海水鈾-137 活度濃度的主因在於宜蘭海域、或延伸至臺灣東部黑潮(Kuroshio Current)表層海水的鈾-137 常態值約為 1 ± 0.3 Bq/m³(Wu et al., 2020; Huang et al., 2021)，遠低於儀器偵測下限。即使如此，本加馬輻射錨碇浮標站設立之目的在於海域加馬輻射異常預警，日常偵測不到鈾-137 訊號反映宜蘭蜜月灣海水、或擴大解讀為黑潮表層水無加馬輻射污染疑慮。參考原子能委員會現行法規《環境輻射監測規範》，其調查基準針對鈾-137 為 2,000 Bq/m³。

本計畫使用的輻射偵檢儀屬標準型、非高靈敏型，其偵測下限雖然無法滿足我國海域鈾-137 活度濃度的背景調查需求，但作為輻射異常事件(例如核電廠事故海洋外洩、核廢料海洋傾倒、海域核試爆等)仍具有相當的預警能力，相較於我國原子能委員會及所屬機關目前執行每季一次的海域輻射調查，本加馬輻射錨碇浮標站在我國首度建置別具意義，它代表著我國已具備海域的加馬輻射鈾-137 現場自動、連續監測和即時遠端傳輸的能力。

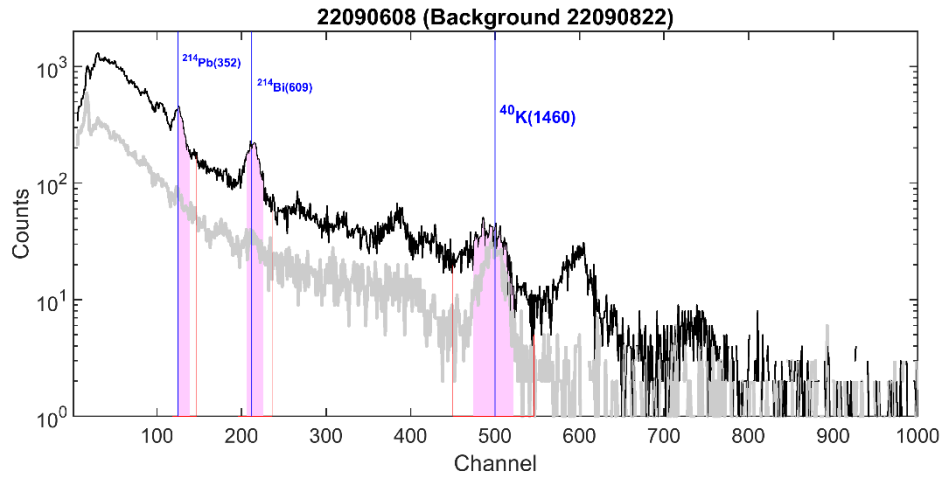


圖 74. 宜蘭蜜月灣輻射偵檢浮標站傳送之能譜數據換算為活度濃度(Bq/m³), 能峰積分範圍以粉紅色標示。本能譜未出現高於儀器偵測下限的 30 Bq/m³ 銻-137 訊號, 沒有波峰面積供計算活度濃度。

根據宜蘭蜜月灣加馬輻射偵檢浮標站的時間序列資料(圖 75), 經去除干擾峰後, 總加馬輻射計數穩定, 其中天然核種鉀-40 在無降雨時期平均為 12099±1960 Bq/m³(±2SD), 該平均值穩定且數值相符於與國外報導值, 反映當地海水鹽度在無降雨時期穩定。2022 年 9 月上旬, 軒蘭諾颱風掠過我國臺灣本島東北部外海域, 縱然該颱風未直接入侵我國陸域, 但位於臺灣東北部、宜蘭蜜月灣浮標站的加馬輻射能譜仍呈現與降雨有很好的關係, 亦即當降雨發生時, 總輻射計數也隨之增高。輻射計數增高的部分主要來自於天然放射核種鉛-214 和銻-214 的衰變, 其原因係為大氣中的氬氣因降雨而部分被帶至海表面, 再藉由其子核種鉛-214 和銻-214 的衰變而增高海水的加馬輻射總計數(Tsabarlis et al., 2021)。考慮銻-214 能峰遠高於背景值, 可利用銻-214 輻射值隨時間變化來驗證氬-222 的子核種銻-214 與降雨量之關係。初步結果顯示, 銻-214 能峰於最大降雨時期明顯高於降雨初期; 然而, 2022 年 9 月 6 日、9 月 15 日最大降雨發生後 1 至 2 小時銻-214 仍持續增高, 爾後再迅速降回背景值, 此延遲現象尚需更多資訊探究原因, 包括雨團的位置、河川(因降雨)的影響等。

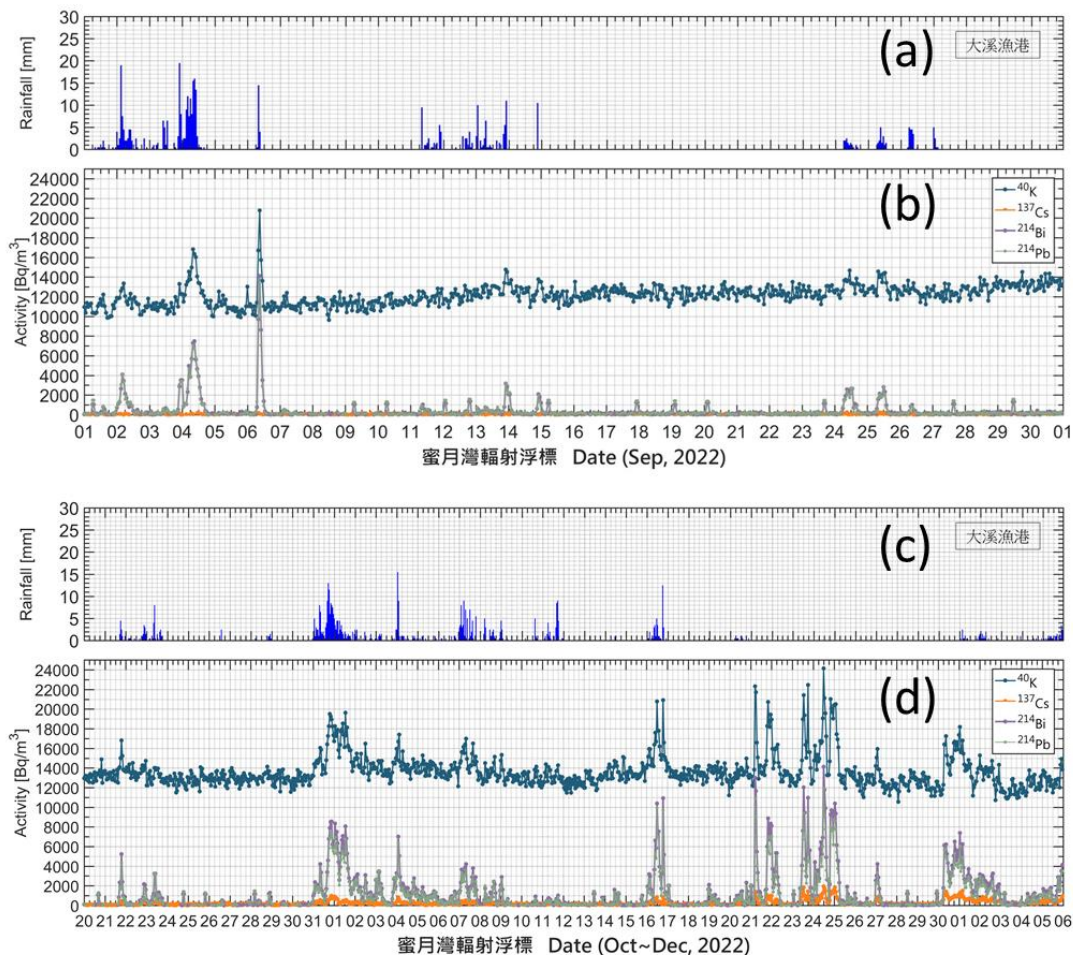


圖 75、宜蘭蜜月灣輻射偵檢浮標站時間序列之能譜原始數據，已換算為活度濃度 (Bq/m^3) (圖 b 和 d)，搭配降雨量 (圖 a 和 c)。

本計畫浮標建立之價值，除了消除民眾質疑「福島含氫處理水可能含有氫以外未徹底去除的放射物質」，具有安定民心之科學依據，更在於強化我國海洋全域的輻射監測能力。目前系統試營運順暢，未來若有需求，可透過自動分析和品管程序，將檢測資料發布展示於國家海洋研究院的「GoOcean」海域遊憩風險資訊網站及介接資料至「Ocean Taiwan」海域遊憩平台一站式網站 (圖 76)。透過引進海用輻射偵檢儀高頻率偵測海水加馬輻射值，原能會現行規劃的海域輻射監測調查為每季一次，輻射偵檢儀對於平時設定每日自動偵測一次，針對高風險事件可每小時偵測一次；搭配錨碇浮標可在海洋任何位置布放的靈活度，未來可應用於領海邊陲或針對中國沿海核電廠的潛在風險而針對性的設置，一旦遭遇海洋和污染事件，可及時通報 (透過 4G 或衛星通訊)，相關檢測人員亦可根據自動偵測之輻射值判斷是否須前往進一步採

集海水或海生物；偵測資料亦協助驗證海洋輻射污染傳輸擴散模式及作為數值資料同化之參考依據。有關加馬輻射偵檢儀在海洋的應用，國際上已發展數十年(圖 77)，不僅歐、美先進國家已推出商業化儀器，亞洲國家的日本、韓國、中國亦有自行研發海用加馬輻射偵檢儀器的科研文獻，甚至韓國核研所已使用海用輻射自動偵檢錨碇浮標輔助執行海域輻射監測業務。因此，本子項計畫的另一個重要價值，在於優化我國海洋輻射污染的預警技術，目前已初步建立異常通報機制，以及本浮標站之運維技術手冊 1 本。

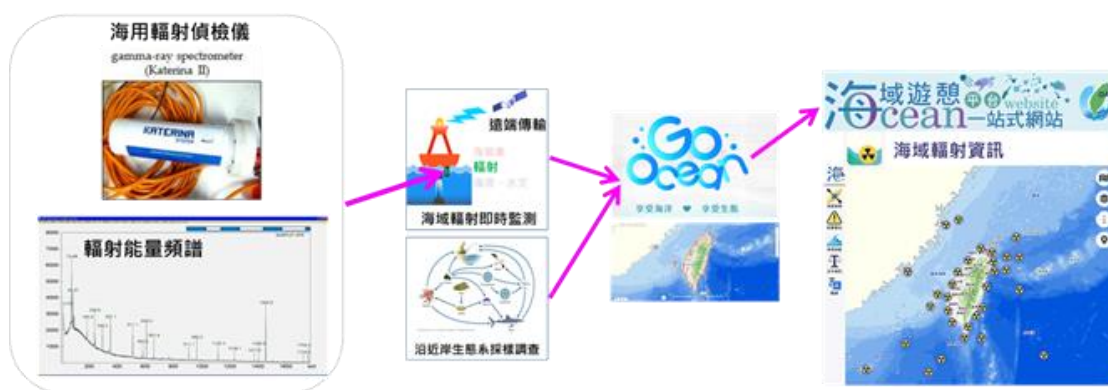


圖 76. 國家海洋研究院建置加馬輻射偵檢浮標和海域生態系調查採樣，相關資料產出將收錄於國家海洋研究院的「GoOcean」海域遊憩風險資訊網站及介接資料至「Ocean Taiwan」海域遊憩平台一站式網站。

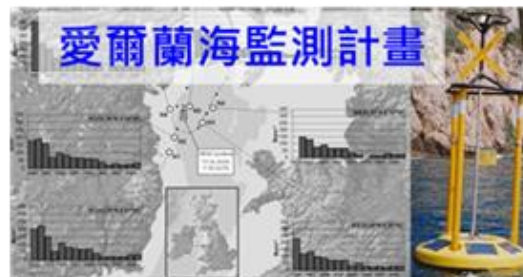
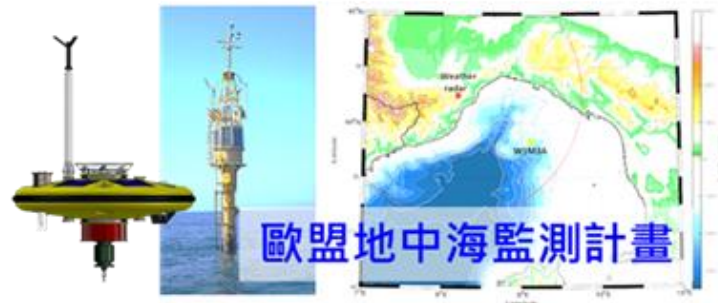
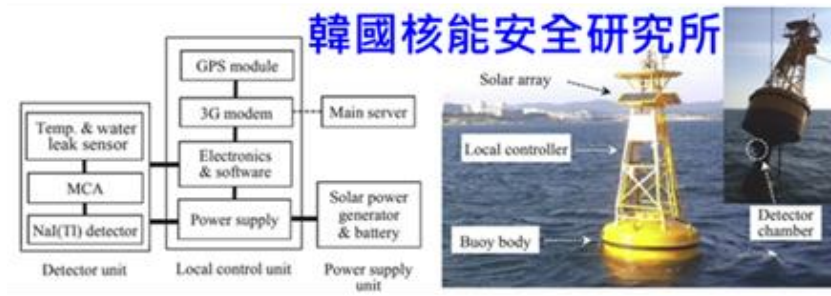


圖 77. 加馬輻射偵檢儀在海洋的應用 (圖片來源: Byun, 2020; Osvath, 2005; Pensieri, 2018)。

陸、 參考文獻

1. 李元佳(2003)核電站液態排放物在海洋生態系統中行為的研究。中國廣州：暨南大學碩士論文。
2. 李冰、楊端節、陳曉秋、余少青(2012)福島第一核電站事故對近岸海域魚類的輻射影響。輻射防護 32(6)，398-403。
3. 林幸助、邵廣昭、黃守忠(2020)我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃-成果報告書。國家海洋研究院，計畫編號 NAMR109012。
4. Aoyama, M., Hirose, K., Nemoto, K., Takatsuki, Y., and Tsumune, D. (2008) Water masses labeled with global fallout 鈉-137 formed by subduction in the North Pacific. *Geophysical Research Letters* 35, L01604.
5. Behrens, E., Schwarzkopf, F.U., Lübbecke, J.F., and Böning, C.W. (2012) Model simulations on the long-term dispersal of 鈉-137 released into the Pacific Ocean off Fukushima. *Environmental Research Letters* 7, 034004.
6. Byun, J., Choi, S., Song, M., Chang, B., Kim, Y., Yun, J. (2020) A large buoy-based radioactivity monitoring system for gamma-ray emitters in surface seawater. *Applied Radiation and Isotopes* 162.
7. Dagestad, K. F., & Röhrs, J. (2019). Prediction of ocean surface trajectories using satellite derived vs. modeled ocean currents. *Remote Sensing of Environment*, 223(January), 130–142.
8. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.001>
9. Doi, H., Takahara, T., and Tanaka, K. (2012) Trophic position and metabolic rate predict the long-term decay process of radioactive cesium in fish: a meta-analysis. *PLoS One* 7(1), e29295.
10. Kumamoto, Y., Aoyama, M., Hamajima, Y., Oka, E., and Murata, A. (2017) Time evolution of Fukushima-derived radiocesium in the western subtropical gyre of the North Pacific Ocean by 2017. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 318, 2181-2187.

11. Men, W., He, J., Wang, F., Wen, Y., Li, Y., Huang, J., and Yu, X. (2015) Radioactive status of seawater in the northwest Pacific more than one year after the Fukushima nuclear accident. *Scientific Reports* 5, 7757.
12. Osvath, P., Povinec, P., Livingston, H.D., Ryan, T.P., Mulsow, S., and Commanducci, J.F. (2005) Monitoring of radioactivity in NW Irish Sea water using a stationary underwater gamma-ray spectrometer with satellite data transmission. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 263, 437-440.
13. Pensieri, S., Patiris, D., Alexakis, S., Anagnostou, M. N., Prospathopoulos, A., Tsabaris, C., and Bozzano, R. (2018) Integration of Underwater Radioactivity and Acoustic Sensors into an Open Sea Near Real-Time Multi-Parametric Observation System. *Sensors* 18, 2737.
14. Ren, G.X., Wei, Z.Q., Liu, D.Y., and Zhang, Y.Y. (2017) Marine radioactive field monitoring sensor based on NaI (Tl). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 82, 012088.
15. Schwantes, J. M., Orton, C. R., & Clark, R. A. (2012). Analysis of a nuclear accident: Fission and activation product releases from the Fukushima Daiichi nuclear facility as remote indicators of source identification, extent of release, and state of damaged spent nuclear fuel. *Environmental Science and Technology*, 46(16), 8621–8627. <https://doi.org/10.1021/es300556m>
16. Tsabaris, C., Androulakaki, E.G., Ballas, D., Alexakis, S., Perivoliotis, L. and Iona, A. (2021) Radioactivity monitoring at north Aegean Sea integrating in-situ sensor in an ocean observing platform. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9, 77.
17. Amante, C. and B.W. Eakins, 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5C8276M Feb. 22, 2022.
18. Benjamin T. B. Gravity currents and related phenomena. *J. of Fluid Mech.*, 31:209-248, 1968.

19. Blasco Lorente, J., Maidana, M. A., German, A., & Espino Infantes, M. (2008). Finite element approximation of 3D non-hydrostatic turbulent coastal ocean flows using a LES model.
20. Bleck, R., 2002: An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-cartesian coordinates. *Ocean Modeling*, 4, 55-88.
21. Buesseler, K. O., Jayne, S. R., Fisher, N. S., Rypina, I. I., Baumann, H., Baumann, Z., ... & Yoshida, S. (2012). Fukushima-derived radionuclides in the ocean and biota off Japan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 5984-5988.
22. Buesseler, K.O., M. Aoyama, and M. Fukasawa (2011) Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity. *Environmental Science & Technology* 45:9,931–9,935.
23. Carrère L., F. Lyard, M. Cancet, A. Guillot, L. Roblou, FES2012: A new global tidal model taking advantage of nearly 20 years of altimetry, Proceedings of meeting "20 Years of Altimetry", Venice 2012.
24. Chassignet, E.P., H.E. Hurlburt, E.J. Metzger, O.M. Smedstad, J. Cummings, G.R. Halliwell, R. Bleck, R. Baraille, A.J. Wallcraft, C. Lozano, H.L. Tolman, A. Srinivasan, S. Hankin, P. Cornillon, R. Weisberg, A. Barth, R. He, F. Werner, and J. Wilkin, 2009. U.S. GODAE: Global Ocean Prediction with the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM). *Oceanography*, 22(2), 64-75.
25. Chen, C.-C., Jan, S., Kuo, T.-H., & Li, S.-Y. (2017). Nutrient flux and transport by the Kuroshio east of Taiwan. *Journal of Marine Systems*, 167, 43–54. <https://doi.org/10.1016/J.JMARSYS.2016.11.004>
26. Cheng, Y.-H., Hu, J., Zheng, Q., & Su, F.-C. (2018). Interannual variability of cold domes northeast of Taiwan. *International Journal of Remote Sensing*, 39(13), 4293–4303. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1395972>
27. Cummings, J. A. (2006). Operational multivariate ocean data assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. <https://doi.org/10.1256/qj.05.105>

28. Cummings, J. A., & Smedstad, O. M. (2013). Variational data assimilation for the global ocean. In *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II)*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35088-7_13
29. Cummings, J.A., 2005: Operational multivariate ocean data assimilation. *Quart. J. Royal Met. Soc., Part C*, 131(613), 3583-3604.
30. Fox, D. N., Teague, W. J., Barron, C. N., Carnes, M. R., & Lee, C. M. (2002). The modular ocean data assimilation system (MODAS). *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0240:TMODAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0240:TMODAS>2.0.CO;2)
31. Garraffo, Z.D., J.A. Cummings, S. Paturi, Y. Hao, D. Iredell, T. Spindler, B. Balasubramanian, I. Rivin, H-C. Kim, A. Mehra, 2020. RTOFS-DA: Real Time Ocean-Sea Ice Coupled Three Dimensional Variational Global Data Assimilative Ocean Forecast System. In: *Research Activities in Earth System Modelling*, edited by E. Astakhova, WMO, World Climate Research Program Report No.6, July 2020. (PDF, available here)
32. Haidvogel D. B. and A. Beckmann. *Numerical ocean circulation modeling of series on environment science and management*, vol 2. Imperial College Press, London, 1999.
33. Hassanvand, M., & Mirnejad, Z. (2019). Hydrodynamic model of radionuclide dispersion during normal operation and accident of Bushehr nuclear power plant. *Progress in Nuclear energy*, 116, 115-123.
34. Hohenemser, C., M. Deicher, A. Ernst, H. Hofsäss, G. Lindner, and E. Recknagel. (1986) Chernobyl: An early report. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 28:6-43.
35. Hsin, Y. C., Wu, C. R., & Shaw, P. T. (2008). Spatial and temporal variations of the Kuroshio east of Taiwan 1982-2005: A numerical study. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2007JC004485>
36. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015) *The Fukushima Daiichi Accident*, Non-serial Publications.

37. Jan, S., Wang, S.-H., Yang, K.-C., Yang, Y. J., & Chang, M.-H. (2019). Glider observations of interleaving layers beneath the Kuroshio primary velocity core east of Taiwan and analyses of underlying dynamics. *Scientific Reports*, 9(1), 11401. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47912-z>
38. Jan, S., Yang, Y. J., Wang, J., Mensah, V., Kuo, T. H., Chiou, M. Da, et al. (2015). Large variability of the Kuroshio at 23.75°N east of Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1002/2014JC010614>
39. Kamidaira, Y., Uchiyama, Y., Kawamura, H., Kobayashi, T., & Otsuka, S. (2021). A modeling study on the oceanic dispersion and sedimentation of radionuclides off the coast of Fukushima. *Journal of Environmental Radioactivity*, 238, 106724.
40. Kawabe, M. (1995). Variations of current path, velocity, and volume transport of the Kuroshio in relation with the large meander. *Journal of Physical Oceanography*, 25(12). [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1995\)025<3103:VOCPVA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1995)025<3103:VOCPVA>2.0.CO;2)
41. Kawabe, M. (2005). Variations of the Kuroshio in the Southern Region of Japan: Conditions for large meander of the Kuroshio. *Journal of Oceanography*, 61(3). <https://doi.org/10.1007/s10872-005-0060-0>
42. KAWAMURA, H., KOBAYASHI, T., FURUNO, A., IN, T., ISHIKAWA, Y., NAKAYAMA, T., SHIMA, S., AWAJI, T. (2011), Preliminary numerical experiments on oceanic dispersion of ¹³¹I and ¹³⁷Cs discharged into the ocean because of the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster, *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol. 48:11, 1349–1356. <https://doi.org/10.1080/18811248.2011.9711826>
43. KAWAMURA, H., KOBAYASHI, T., FURUNO, A., USUI, N., KAMACHI, M., Numerical simulation on the long-term variation of radioactive cesium concentration in the North Pacific due to the Fukushima disaster, *Journal of Environmental Radioactivity* 136 (2014) 64–75.

44. Kolar R. L., T. C. G. Kibbey, C. M. Szpilka, K. M. Dresback, E. M. Tromble, I. P. Toohey, J. L. Hoggan and J. H. Atkinson. Process-oriented tests for validation of a baroclinic shallow water models: The lock-exchange problem. *Ocean Modelling*, 28:137-152, 2009.
45. Kouketsu, S., & Yasuda, I. (2008). Unstable frontal waves along the Kuroshio Extension with low-potential vorticity intermediate Oyashio water. *Journal of physical oceanography*, 38(10), 2308-2321.
46. Large, W.C., J.C. McWilliams, and S.C. Doney, 1994: Oceanic vertical mixing: a review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. *Rev. Geophys.*, 32, 363-403.
47. Liang, W. Der, Yang, Y. J., Tang, T. Y., & Chuang, W. S. (2008). Kuroshio in the Luzon Strait. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2007JC004609>
48. Liu, Y., and R.H. Weisberg, (2011), Evaluation of trajectory modeling in different dynamic regions using normalized cumulative Lagrangian separation, *J. Geophys. Res.*, 116, C09013, doi:10.1029/2010JC006837.
49. Liu, Y., R.H. Weisberg, S. Vignudelli, and G.T. Mitchum (2014), Evaluation of altimetry-derived surface current products using Lagrangian drifter trajectories in the eastern Gulf of Mexico, *J. Geophys. Res.*, 119(5), 2827-2842, doi:10.1029/2013JC009710.
50. Liu, Z., Gan, J., Hu, J., Wu, H., Cai, Z., & Deng, Y. (2021). Progress of Studies on Circulation Dynamics in the East China Sea: The Kuroshio Exchanges With the Shelf Currents. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.620910>
51. Lizarbe Barreto, D. A., Chevarria Saravia, R., Nagai, T., & Hirata, T. (2021). Phytoplankton Increase Along the Kuroshio Due to the Large Meander. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.677632>
52. Lü, X., Qiao, F., Xia, C., Zhu, J., & Yuan, Y. (2006). Upwelling off Yangtze River estuary in summer. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2005JC003250>
53. Ma, J., Xu, H., & Dong, C. (2016). Seasonal variations in atmospheric responses to oceanic eddies in the Kuroshio Extension. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 68(1), 31563.

54. Mehra, A. and I. Rivin, 2010: A Real Time Ocean Forecast System for the North Atlantic Ocean. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 21, No. 1, 211-228.
55. Mensah, V., Jan, S., Andres, M., & Chang, M. H. (2020). Response of the Kuroshio east of Taiwan to mesoscale eddies and upstream variations. *Journal of Oceanography*, 76(4). <https://doi.org/10.1007/s10872-020-00544-8>
56. Mensah, V., Jan, S., Chang, M. H., & Yang, Y. J. (2015). Intraseasonal to seasonal variability of the intermediate waters along the Kuroshio path east of Taiwan. *Journal of Geophysical Research C: Oceans*. <https://doi.org/10.1002/2015JC010768>
57. Morino, Y., Ohara, T., and Nishizawa, M. (2011) Atmospheric behavior, deposition, and budget of radioactive materials from the Fukushima Daiichi nuclear power plant in March 2011. *Geophysical Research Letters* 38, L00G11.
58. Nagano, A., Yamashita, Y., Hasegawa, T., Ariyoshi, K., Matsumoto, H., & Shinohara, M. (2019). Characteristics of an atypical large-meander path of the Kuroshio current south of Japan formed in September 2017. *Marine Geophysical Research*, 40(4). <https://doi.org/10.1007/s11001-018-9372-5>
59. Nahum A, Seifert A. Technique for backward particle tracking in a flow field. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys.* 2006 Jul;74(1 Pt 2):016701. doi: 10.1103/PhysRevE.74.016701. Epub 2006 Jul 7. PMID: 16907210.
60. Nan, F., Xue, H., & Yu, F. (2015). Kuroshio intrusion into the South China Sea: A review. *Progress in Oceanography*, 137, 314–333. <https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2014.05.012>
61. Nan, F., Xue, H., Chai, F., Shi, L., Shi, M., & Guo, P. (2011). Identification of different types of Kuroshio intrusion into the South China Sea. *Ocean Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s10236-011-0426-3>
62. NOAA National Geophysical Data Center. 2009: ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model. NOAA National Centers for Environmental Information. Accessed Feb. 22, 2022.
63. Qiu, B. (2019). Kuroshio and Oyashio Currents. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 384–394. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11295-3>

- 64.ROSSI, V., SEBILLE, E., GUPTA, A.E., GARC,ON, V., ENGLAND, M.H., Corrigendum to Multi-decadal projections of surface and interior pathways of the Fukushima Cesium-137 radioactive plume, *Deep-Sea Research I* 93 (2014) 162–164.
- 65.ROSSI, V., SEBILLE, E., GUPTA, A.E., GARÇON, V., ENGLAND, M.H., Multi-decadal projections of surface and interior pathways of the Fukushima Cesium-137 radioactive plume, *Deep-Sea Research I* 80 (2013) 37–46.
- 66.Rudnick, D. L., Jan, S., Centurioni, L., Lee, C. M., Lien, R. C., Wang, J., et al. (2011). Seasonal and mesoscale variability of the Kuroshio near its origin. *Oceanography*. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2011.94>
- 67.Schwantes, J.M., C.R. Orton, and R.A. Clark. (2012) Analysis of a nuclear accident: Fission and activation product releases from the Fukushima Daiichi nuclear facility as remote indicators of source identification, extent of release, and state of damaged spent nuclear fuel. *Environmental Science & Technology* 46:8,621–8,627.
- 68.Steinhauser, G., Brandl, A., and Johnson, T.E. (2014) Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of the Total Environment* 470-471, 800-817.
- 69.Sugimoto, S., & Hanawa, K. (2012). Relationship between the path of the Kuroshio in the south of Japan and the path of the Kuroshio Extension in the east. *Journal of oceanography*, 68(1), 219-225.
- 70.Tada, N., Nishikawa, H., Ichihara, H., Watanabe, H. K., & Kuwatani, T. (2021). Drift of an ocean bottom electromagnetometer from the Bonin to Ryukyu Islands: estimation of the path and travel time by numerical tracking experiments. *Earth, Planets and Space*, 73(1), 1-12.
- 71.Tokyo Electric Power Company (TEPCO). (2021) Application for approval to amend the Implementation Plan for Fukushima Daiichi Nuclear Power Station as Specified Nuclear Facility.
- 72.Tokyo Electric Power Company (TEPCO). (2021) Radiological Impact Assessment Report Regarding the Discharge of ALPS Treated Water into the Sea.

73. Wang, F., Men, W., Yu, T., Huang, J., He, J., Lin, J., Lin, F. & Deng, F. (2022). Intrusion of Fukushima-derived radiocesium into the East China sea and the Northeast South China Sea in 2011–2015. *Chemosphere*, 294, 133546.
74. Wessel, P., and W. H. F. Smith (1996), A global, self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline database, *J. Geophys. Res.*, 101(B4), 8741–8743, doi:10.1029/96JB00104.
75. White, W.B. and J.P. McCreary (1976): The Kuroshio meander and its relationship to large-scale ocean circulation. *Deep-Sea Res.*, 23, 33–47.
76. Wu, C. R., Wang, Y. L., Lin, Y. F., & Chao, S. Y. (2017). Intrusion of the Kuroshio into the South and East China Seas. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08206-4>
77. Yamanishi, T., Kakiuchi, H., Tauchi, H., Yamamoto, T., & Yamamoto, I. (2020). Discussions on tritiated water treatment for Fukushima daiichi nuclear power station. *Fusion Science and Technology*, 76(4), 430-438.
78. Yamanishi, T., Kakiuchi, H., Tauchi, H., Yamamoto, T., and Yamamoto, I. (2020) Discussions on tritiated water treatment for Fukushima Daiichi nuclear power station. *Fusion Science and Technology* 76, 430-438.
79. Yang, D., Yin, B., Chai, F., Feng, X., Xue, H., Gao, G., & Yu, F. (2018). The onshore intrusion of Kuroshio subsurface water from February to July and a mechanism for the intrusion variation. *Progress in Oceanography*, 167, 97–115. <https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2018.08.004>
80. Yang, D., Yin, B., Liu, Z., & Feng, X. (2011). Numerical study of the ocean circulation on the East China Sea shelf and a Kuroshio bottom branch northeast of Taiwan in summer. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2010JC006777>
81. Yoshida, N., and J. Kanda. (2012) Tracking the Fukushima radionuclides. *Science* 336:1,115–1,116

82. Zhai, F., & Hu, D. (2013). Revisit the interannual variability of the North Equatorial Current transport with ECMWF ORA-S3. *Journal of Geophysical Research: Oceans*.
<https://doi.org/10.1002/jgrc.20093>
83. Zhang, Y. J., Ye, F., Stanev, E. V., & Grashorn, S. (2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM. *Ocean Modelling*, 102, 64-81.
84. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment General Safety Guide No. GSG-10 Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities, 2018.

柒、計畫成果自評

本計畫已於「執行情形」章節說明其與原規劃之工作期程相符，並依照規劃產出對應之重要技術工具，包含「資訊公開平台」、「擴散預警模式」、「生物氫檢測技術」、「背景基線數據庫」等，皆可做為應對氫水排放事件的重要資產。

本計畫之執行，提供海洋污染物輻射劑量安全評估、關注海域環境輻射檢測數據、數值模式的預報結果、海域污染的觀測現報資料，以及海域環境生態輻射影響調查標準程序等。以數值模擬系統協助進行超前預警和災損評估，現場監測協助取得焦點海域已知和未知的污染實況進而緊急應變，兩者相互搭配而成為一個完整的預報及示警系統。計畫執行成果及各項效益如下：

- (1) 提升污染預警能力：我國自福島核災事件的發生，已逐步建置大氣的擴散式預警和現地即時監測；藉由福島氫水排放的議題，目前終於開始重視海域輻射預警和即時監測。本計畫之推動，由氣象局開發之預警系統，有助原能會儘早判斷海洋污染引發的各項效應，進而各迅速協調、組織各部會因應措施，同時針對災害應變之人員編制、資源盤點做出準備，提升應變人員之處置時間，強化應變人員之訓練。
- (2) 降低風評影響帶來之經濟損失：我國漁業整體年產值近 900 億，其中，遠洋漁業年產值約 400 億元居全球第三，「魚類及其製品」輸出佔 50 億元，為最重要的外銷農產品；近海及沿岸漁業產值約 180 億元。因此，一旦風評影響，對我國經濟命脈與糧食安全影響甚鉅。本計畫建立之 TW-ORIS 作為單一的政府資訊傳遞窗口，以即時資訊輔以科學證據，使民眾取得重要資訊，守護漁業風評。
- (3) 建立海域生態系輻射調查基礎：本計畫的海域生態系核輻射背景先期調查，初步建立沿岸海域生態系檢測的採樣方法和規範，並建立沿岸海域生態系輻射調查代表性物種、及各採檢物種體內核輻射背景值，以提供長期監測之建議地點及調查監測構想。其成果有利未來探討核輻射透過食物鏈的生物累積效應，以及海域生態系核輻射資料庫的建置。
- (4) 建立生物氫檢測實驗室，發展國內尚未擁有的生物氫檢測技術，建立魚類氫基線分析之能力，以等同國際之技術提供國內相關檢測服務，保障水產生物之輻射安全。
- (5) 科研成果發表：本計畫之模式、海上觀測結果和生物調查，極具研究發表之潛力，特別是向國際傳達福島含氫處理水排放對我陸域國土鄰近海域的環境和生態影響。相關資料可提供研究人員將計畫成果向國際展示。

主要績效指標表

計畫類別 績效指標	1	2	3	4	5	6	7	8	9	99
	學術研究	創新前瞻	技術發展 (開發)	系統發展 (開發)	政策、法規、 制度、規範、 系統之規劃 (制訂)	研發環境 建構 (改善)	人才培 育 (訓練)	研究計 畫管理	研究調 查	其他
A 論文										
B 研究團隊養成										
C 博碩士培育										
D 研究報告										
E 辦理學術活動										
F 形成教材										
G 專利										
H 技術報告										
I 技術活動										
J 技術移轉										
K 規範/標準制訂										
L 促成廠商或產業團體投資										
M 創新產業或模式建立										
N 協助提升我國產業全球地位或產業競爭力										
O 共通/檢測 技術服務										
P 創業育成										
Q 資訊服務										
R 增加就業										
S 技術服務										
T 促成與學界或產業團體合作研究										
U 促成智財權資金融通										
V 提高能源利用率										
W 提升公共服務										
X 提高人民或業者收入										
Y 資料庫										
Z 調查成果										
AA 決策依據										

佐證資料表

【A 論文】

題名	作者	發表處及日期	文獻類別	被引用次數	成果歸屬
以顆粒軌跡模擬日本福德岡之場火山浮石之案例	徐誌壕、于嘉順	2022 年天氣分析與預報研討會 (2022 年 6 月 7-8 日)	A-2-1		國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
臺灣鄰近海域中海水含氡活度之調查	陶良榆、李明達、陳婉玲	2022 年環境分析化學研討會 (2022 年 08.31~09.01)	A-2-1		國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
海域加馬輻射自動監測技術的建立與展望	王博賢、Christos Tsabaris、傅科憲、楊文昌、施孟憲、李建明、陳聖學、林昆毅、李宜芳、饒國清	2022 年海洋工程研討會 (2022 年 11 月 17、18 日)	A-2-1		國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
以顆粒軌跡模擬 311 日本福島核電廠事故	徐誌壕、東佳穎、于嘉順	2022 年海洋工程研討會 (2022 年 11 月 17、18 日)	A-2-1		國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫

文獻類別:A-1 期刊論文 A-1-1 國內(篇) A-1-2 國外(篇)、A-2 研討會論文 A-2-1 國內(篇) A-2-2 國外(篇) A-3 專書論文 A-3-1 國內(篇) A-3-2 國外(篇)

【B 合作團隊(計畫)養成表】

團隊(計畫)名稱	合作對象	合作模式	團隊(計畫)性質	成立時間(西元年)	成果歸屬
核研所生物氡分析及前處理技術開發團隊	漁業署	B	A	2021	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
偵測中心海水取樣及氡分析團隊	水試所、海巡署、海保署、中山大學	B	A	2021	國家海域放射性物質環境輻

					射監測及安全 評估整備計畫
氣象局擴散預警 及例行化作業傳 輸發展團隊	中山大學	B	A	2021	國家海域放射 性物質環境輻 射監測及安全 評估整備計畫
國海院生態系及 沿岸浮標輻射監 測技術發展團隊	核研所	B	A	2021	國家海域放射 性物質環境輻 射監測及安全 評估整備計畫

註：合作模式分成 A 機構內跨領域合作、B 跨機構合作、C 跨國合作；團隊(計畫)性質分成 A 形成合作團隊
或合作計畫、B 形成研究中心、C 形成實驗室、D 簽訂協議；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【C 博碩士人才培育表】

姓名	學歷	機構名稱	聯絡方式(地址/電話/MAIL)
呂宜潔	成功大學水利 及海洋工程學 系博士班	國家海洋研究 院(海洋科學及 資訊研究中心)	80661 高雄市前鎮區成功二路 25 號 11 樓 07-3382097#263307 minieyeslu@namr.gov.tw
許世霖	中山大學海下 科技研究所博 士班	國家海洋研究 院(海洋生態及 保育研究中心)	80661 高雄市前鎮區成功二路 25 號 11 樓 07-3382097#263510 hsuab@namr.gov.tw
王啟竑	博士班	國立中山大學	高雄市鼓山區蓮海路 70 號海工系/0972-003044/ wchihome@gmail.com
陳韋新	博士班	核研所	桃園市龍潭區文化路 1000 號
張皓婷	博士班	核研所	桃園市龍潭區文化路 1000 號
陳立言	博士班	核研所	桃園市龍潭區文化路 1000 號

學歷：博士碩士學士

【D1 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年(西元年)	是否被採納	成果歸屬
福島含氚處理水 海洋傳輸擴散分	鄧仁星、朱啟豪	2022	C	國家海域放射性 物質環境輻射監

析研究				測及安全評估整備計畫
日本福島核電廠核處理水之氚危害與我國因應作為	林洺秀、蔣宇、陳韋新、袁明程	2022	C	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
海水生物之氚代謝模式、代表性物種評估及日本東京電力公司之養殖研究	廖子權、蕭憲明、楊智翔	2023	C	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
臺灣海域環境輻射調查計畫 110 年度執行報告	偵測中心	2022	C	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
放射性核種海洋傳輸參數資料庫建置	蔣宇	2023	C	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫

註：是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【E 辦理學術活動表】

學術活動名稱	性質	論文數	參與人數	活動時間	辦理單位	成果歸屬
福島第一核電廠含氚處理水排放之輻射擴散模擬與量測技術國際研討會	國際(臺日美法講者參與)	8	122	20220825	核研所	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫

【H 技術報告檢驗方法表】

技術或檢驗方法名稱	性質	作者姓名	出版年(西元年)	出版單位	成果歸屬
海洋生態系物種採樣計畫書	A	洪臧燮	2021	國海院	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫

沿近海研究船取樣行線 規劃說明	A	蔣宇	2022	核研所	國家海域放射性物 質環境輻射監測及 安全評估整備計畫
福島氙處理水海洋傳輸 擴散預報作業系統	A	朱啟豪	2022	氣象局	國家海域放射性物 質環境輻射監測及 安全評估整備計畫
輻射浮標建置及維運技 術報告	A	王博賢	2022	國海院	國家海域放射性物 質環境輻射監測及 安全評估整備計畫
SCHISM 程式運跑及氣 象場匯入分析流程	A	黃培傑	2023	核研所	國家海域放射性物 質環境輻射監測及 安全評估整備計畫
生物氙分析標準作業程 序書	A	蔡惠雯	2022	核研所	國家海域放射性物 質環境輻射監測及 安全評估整備計畫
水樣氙活度分析計測作 業程序書	A	陶良瑜 羅會義	2022	偵測中心	國家海域放射性物 質環境輻射監測及 安全評估整備計畫

[I1 辦理技術活動表]

技術活動名稱	活動性質	活動屬性	舉辦日期	人數	成果歸屬
海洋擴散模式 SCHISM 訓練 課程	A	A	20211220	12	國家海域放射性物質 環境輻射監測及安全 評估整備計畫

註：性質分成 A 技術研討會、B 競賽活動、C 技術說明會或推廣活動、D 其他；屬性分成 A 國內技術活動、
B 國際技術活動；成果歸屬請填細部計畫名稱。

[I2 參加技術活動表]

成果名稱	技術活 動名稱	活動性 質	活動屬 性	活動日期 (YYYYMMDD)	主辦 單位	是否獲獎 (Y/N)	成果歸屬
第一次臺 日氙水排 放技術交	海洋擴 散模式 及鉅	A	B	20210827	臺日交流協 會/原能會	否	國家海域放射性 物質環境輻射監 測及安全評估整

流會議	-137 計算						備計畫
第二次臺日氬水排放技術交流會議	核種食物鏈傳輸模式	A	B	20211111	臺日交流協會/原能會	否	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫

註：性質分成 A 技術研討會、B 競賽活動、C 技術說明會或推廣活動、D 其他；屬性分成 A 國內技術活動、B 國際技術活動；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【R 增加就業表】

廠商名稱	廠商統一編號	增加員工人數	增加之年度	成果歸屬
核能研究所	02717206	7	2022	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
輻射偵測中心	85875165	2	2022	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
中央氣象局	03730109	5	2022	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【Y 資訊平台資料庫表】

資訊平台/資料庫名稱	內容描述	類別	資料筆數	成果歸屬
政府資料開放平台/臺灣海域輻射調查資料	臺灣海域輻射調查資料	Numerical	2371	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫
國家海洋資料庫	輻射浮標逐時(日)監測資料、沿岸生態系季節性採樣資料	Numerical	輻射浮標監測資料：153 筆圖	國家海域放射性物質環境輻

			譜、 沿近岸生態系 季節性採樣： 180 筆	射監測及安全 評估整備計畫
西北太平洋歷史海流資料庫	HYCOM 全球三為海洋模式資料(2011-2020 年每日一筆)、GDP 全球浮標觀測資料(1988-2021 年每六小時一筆)	Numerical	42658642	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫

註：類別分成 Bibliography、Numerical、Factual、Multimedia、Text；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【Z 調查成果】

調查成果名稱	內容描述	調查面積/筆數/物種數等	達成率	成果歸屬
海域監測資料及臺灣沿近岸海域生態系背景輻射資料	輻射浮標逐日海水銫-137 監測資料、沿近岸生態系季節性採樣之銫-137 和生物氫資料	完成 1 座輻射浮標建置並取得 153 筆圖譜、完成臺灣沿近岸 6 個點，5 季次共計 180 個生物樣本採集送驗。	100%	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫

附錄 1、原能會 2022 年 2 月 16 日執行本計畫查核之紀錄

檔 號：

保存年限：

行政院原子能委員會 函

地址：234634 新北市永和區成功路1段80號2樓

承辦人：蘇健友

電話：(02)8231-7919 分機：2052

傳真：(02)8231-7805

電子信箱：cysu@aec.gov.tw

受文者：行政院原子能委員會核能研究所

發文日期：中華民國111年2月24日

發文字號：會綜字第1110002855號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：會議紀錄

主旨：檢送111年2月16日本會110年科發基金補助計畫「國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫」查訪會議會議紀錄乙份，請查照。

正本：楊委員智傑、陳委員璋玲、陳委員昭銘、趙委員君行、交通部中央氣象局、國家海洋研究院、行政院原子能委員會核能研究所、行政院原子能委員會輻射偵測中心、本會綜合計畫處

副本：

行政院原子能委員會 110 年科發基金補助計畫 「國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評 估整備計畫」查訪會議紀錄

壹、會議時間：111 年 2 月 16 日(星期三)上午 10 時 30 分

貳、會議地點：核能研究所 060 館 315 會議室

參、主 席：趙處長裕

肆、審查委員：楊委員智傑、陳委員璋玲、陳委員昭銘、趙委員君行

伍、出席機關：核能研究所、交通部中央氣象局、國家海洋研究院、
輻射偵測中心

陸、列席機關：原子能委員會

柒、紀 錄：蘇健友技佐

捌、報告及討論事項：

一、核能研究所簡報：略。

二、計畫評核意見及答復說明：詳如附件二。

三、決議事項：

(一)該計畫係屬行政院國家科學技術發展基金管理會補助計畫，依照相關規定該計畫請於 2 月底提供期中進度報告，供本會進行期中考評，以利 4 月 1 日前送科技部。請注意時程及內容撰寫。

(二)計畫單位提供之簡報資料(紙本)其進度和經費執行情形，無清楚說明，雖現場簡報電子檔有顯示及報告，惟應要求一致。

(三)唐政委希望該計畫所獲得的數據，要求結合 open data 對外界開放，請計畫單位在資訊安全的前提下，盡量開放讓民眾瞭解。

(四)該計畫執行符合原規劃進度與內容，請計畫單位參考審查意見繼續執行。

四、散會。

審查意見答復說明

審查意見	答復說明
<p>1. 計畫之規劃內容完整，各子項目分工明確，設有進度檢核點，請依照時程落實執行，當能達成預期目標。</p> <p>2. 於歷史洋流及擴散趨勢統計資料庫建置後，其資料分析所顯示福島海域海水擴散之主要範圍為何？所到達最南側之海域為何？依其所顯示之主要擴散海域與最南海域，宜加強注意該區漁獲之生物氚檢測。</p> <p>3. 海流模式之預報能力檢核，除了潮位之外，是否有針對海流流場進行檢核？</p> <p>4. 本計畫強調海水氚之檢驗，但浮標監測之輻射物質顯示為鈾-134、鈾-137，浮標是否有檢測氚？</p>	<p>1. 謝謝委員的肯定。</p> <p>2. 謝謝委員的建議，依照歷史洋流資料分析，福島海域海水擴散之主要範圍為有二個，第一條路徑為黑潮的大蜿蜒到美國的西岸，第二條路徑為日本南方海域裡的小黑底；以漂流浮標蒐集到的過往海水表面擴散資料進行分析，會到北緯 20 度或是更南邊，但如果於海水較深處排放，則會聚集在日本東部海域，擴散至表面後隨黑潮往東擴散，往南擴散的機率較低。</p> <p>3. 謝謝委員的建議，海流模式的驗證主要有以下模式：Argo 浮標可驗證垂直的溫度和鹽度，漂流浮標驗證模擬水位，浮標定點流速亦可作為驗證，而氣象局透過美國研究單位未來將取得其相關的監測資料，可作為海流模式的驗證資料。</p> <p>4. 謝謝委員的建議，本計畫主要為生物氚及海水氚之檢驗及監測，相關的資料（如採樣海水經緯度、海產種類等）皆會放置在資訊公開平台；而浮標監測效能於本計畫主要是針對γ射線進行示範性的檢測工作，其要</p>

審查意見	答復說明
<p>5. 於臺灣與日本間之東北海域，是否規劃設置前進浮標，進行較遠海域海水之輻射物質檢驗？</p> <p>6. 請提供海水背景基線氚活度的分析技術與資訊現況。</p> <p>7. 依據上述是否可以評估氚排放造成的劑量影響？</p> <p>8. 數據浮標錨碇系統使用碘化鈉偵檢器，如何偵測海水中的氚？</p>	<p>應用在海水氚檢測具有其難度。而浮標監測主要可應用於以下幾個面向：日本源頭的污染確認、日本的ALPS 是否已全過濾掉氚以外的其他核種、當中國大陸沿岸核電廠發生核子事故或意外排放時可快速即時監測γ核種。</p> <p>5. 謝謝委員的建議，本計畫之浮標監測工作為臺灣第一次進行該即時監測試驗，為了增加傳輸效率，故浮標布放位置在臺灣近岸，未來如果驗證浮標有相對應之間測能力符合需求，可考慮爭取增加經費，並往外島進行布放，擴大監測範圍。</p> <p>6. 7. 謝謝委員的建議，目前海水氚活度之可測值皆低於儀器的MDA，所以日本利用電解濃縮方法以降低MDA值。故本計畫規劃參照電解濃縮方法以降低MDA約可達0.04 Bq/L，日後將分別建立日本排放含氚處理水前之海水背景基線值及排放後之監測，並透過擴散模擬的結果來判斷海水之氚活度是否有變化。由於目前尚沒有日本氚水排放數據，尚無法評估氚排放造成的劑量影響。</p> <p>8. 謝謝委員的建議，浮標錨碇系統無法監測β核種，目前世界上亦無相關</p>

審查意見	答復說明
<p>9. 請問日本(1)311 事故時間與(2)未來氚排放量佔自然背景產生量的百分比?</p> <p>10. 就資訊公開的角度而言，肯定團隊以視覺化展示幅射監測數據。然而對一般民眾而言，對數據可能較無感，較有感的是數據本身代表的”風險、危險或安全意涵”。數據所對應的風險、危險或安全的意涵，或者和國際/法規的安全標準比較，建議亦有相關資訊呈現，以使民眾更清楚瞭解海域氚值(和生物氚值)代表的意涵。此外，風險、危險或安全的分級設定和閾值，亦應有科學或文獻參考的基礎。</p> <p>11. 放射性物質擴散預警系統部分，簡報 22 頁提及已建立歷史洋流及擴散趨勢資料庫，28 頁提及 110 年海</p>	<p>儀器可以直接在海上進行氚核種監測。本計畫規劃於未來四年期中長程計畫來開發水體中氚活度濃度之連續監測技術，而本錨碇浮標系統之優勢在於不受限於海域，可放置在近岸及遠岸即時監測 γ 核種。</p> <p>9. 謝謝委員的建議，目前日本所規劃含氚處理水年排放量將低於電廠例行運轉排放標準(每年 22 兆貝克)，且相關文獻亦顯示福島事故發生至今對於海水中氚活度上升影響並不顯著；後續將通過確立排放前後背景基線與監測調查兩者數據之差異，再搭配總量或擴散模擬判讀結果來監測有無污染變化。</p> <p>10. 謝謝委員的建議，本項目於整備計畫期間係採用氚水濃度作為海水中污染上升潛勢之評量依據，後續應對計畫中則將納入漁業署之洄游魚類資料蒐集，以及食藥署之後市場與邊境輸入食品調查結果，並由權責單位來負責食品、洄游魚等安全風險分析之工作，參考相關氚含量檢測及國際標準以評估國人健康風險。</p> <p>11. 謝謝委員的建議，目前團隊已透過臺日交流模式取得 311 事故期間福島周遭海水監測數據資料，後續將透</p>

審查意見	答復說明
<p>水取樣分析結果(背景基線)為未檢出。查日本福島 2011 年亦有排放含氚水，迄今已 10 年，是否可以以建置的海流模式模擬當年排放時到現在可能增加的海水氚值，而此值和 110 年海水監測背景值作一比較，再分析可能的意涵(如若高於背景值，是否意味當時排放的氚水對臺灣周遭海域已沒有影響；若低於背景值，則是否代表有其他的氚來源累積於臺灣周遭海域)。</p>	<p>過此案例的分析結果來校驗所開發擴散模擬系統之準確程度，同時透過 CFD 的模式開發團隊從大中小尺度、傳輸模式等不同面向分別進行相關的開發及驗證工作。</p>
<p>12. 此外，亦可預先模擬不同排放情境(數量及排放於表面或深度的不同等情境)對臺灣周遭海域海水氚值的影響，以因應日本未來排放時可能面臨的情境。此外，資訊內容上，除海水氚值外，是否亦可呈現排放後，約多久時間抵達臺灣海域或某處漁場。</p>	<p>12. 謝謝委員的建議，氣象局已規劃於應對計畫期間發展不同深度及污染排放量的情境模擬，後續可透過計畫所建置的中小尺度及大尺度模型來評估污染擴散潛勢及氚水排放對於臺灣周遭海域影響情形。</p>
<p>13. 海水氚值和生物氚值之間是否有關聯性，若有，建議亦於公共資訊中呈現，因民眾不會食入海水，但會吃漁產，所以若有上述數值關係的資訊，也許有利民眾瞭解海水氚值對於魚類累積氚的影響。</p>	<p>13. 謝謝委員的建議，根據加拿大等文獻顯示海水氚值和生物氚值之間 TFWT、OBT 約為 1:1:0.19。此模擬系統建置作業將持續與核研所合作而逐步精進，後期計畫中亦會納入洄游魚類模型來考量生物氚或其他核種於海水及生物中的傳輸行為模式。</p>
<p>14. 本研究計畫具有安定民心之意義，值得肯定。部分工作提出一下建議，供參考：</p>	<p>14. 謝謝委員的肯定及建議，(1)核研所目前已成立相關工作小組，如沿岸中小尺度係透過 Ansys Fluent 程式</p>

審查意見	答復說明
<p>(1) 需釐清影響海水氣運移擴散之機制，例如：以洋流為主，或納入中尺度渦流。</p> <p>(2) 若物理機制不同，則須謹慎思考研究模擬範圍、網格解析度及模擬時間等。例如：目前的網格是否能描述中尺度渦流。</p> <p>(3) 如何定義量化放射性處理水之影響。首先需清楚掌握放流之流量、水溫、放射物質濃度，亦要瞭解背景溫度。以上物理水文條件均對含放射物質處理水之運移有相當大之影響。另外，放射物質之沉降、衰變等過程均需合理的考慮。影響之定義為何(1%濃度)?</p> <p>(4) 需明確掌握目標，何謂潛勢(情境為何)，如何預報，目前的驗證為潮汐(潮流)，洋流部分需留</p>	<p>模擬海流擴散評估作業，而大尺度洋流部分則與氣象局合作，應用 SCHISM 程式進行北太平洋洋流之運算作業，最後核種傳輸則是透過研蒐國際文獻中有關核種沉降係數及衰變係數等影響因子，並將蒐集結果逐步納入此跨尺度之模式運算中。</p> <p>(2) 目前海流模式開發係採用 SCHISM 程式，其特點為沿岸淺水區域具備較高解析度，而外海處則受地形深度影響導致解析度較低。在模擬範圍部分 SCHISM 雖僅涵蓋至換日線以西處，但團隊亦有蒐集 HYCOM 程式資料，故此擴散模式可針對北太平洋範圍進行有效評估。</p> <p>(3) 海排口的溫度與流速確實會對海流造成影響，目前規劃之 CFD 模型正是為此而設立，而未來 SCHISM 海流模式發展上亦將納入河川與核電廠排水口的海流資訊以獲取更為精確之評估結果。</p> <p>(4) 預警項目係指未來例行化預報工作，類似氣象局的颱風預報等災害預報工作，每天產出後數天的分析工作，而條件則主要是根據實際觀</p>

審查意見	答復說明
意。	<p>測之狀況；而潛勢分析則為特定條件及歷史、假想案例下，利用模式進行污染排放對於關注區域所造成的影響，屬於單一案例分析評估，是以個案需求進行討論，並非每日例行化執行分析。而計畫之模擬結果，除透過潮汐等海流、海象觀測進行校驗外，日後亦規劃根據福島事故相關的輻射監測數據進行污染物擴散的相關驗證工作。</p>

附錄 2、原能會 2022 年 8 月 16 日執行本計畫查核之紀錄

檔 號：

保存年限：

行政院原子能委員會 函

地址：234634 新北市永和區成功路1段80號2樓

承辦人：賴良斌

電話：(02)8231-7919 分機：2218

傳真：(02)8231-7829

電子信箱：lilai@aec.gov.tw

受文者：行政院原子能委員會核能研究所

發文日期：中華民國111年9月5日

發文字號：會輻字第1110012326號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：國家海域整備計畫111年度期中查核會議紀錄、附件一_簽名表、附件二_審查意見及回復說明

主旨：檢送111年8月16日「國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫」111年度期中查核會議紀錄乙份，請查照。

正本：尹委員學禮、田委員能全、陳委員昭銘、陳委員璋玲、楊委員智傑、交通部中央氣象局、國家海洋研究院、行政院原子能委員會核能研究所、行政院原子能委員會輻射偵測中心、本會綜合計畫處

副本：

國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫

111 年度期中查核會議紀錄

壹、 會議時間：111 年 8 月 16 日(星期二)上午 10 時 30 分

貳、 會議地點：核能研究所 060 館 702 會議室

參、 主 席：張處長淑君

肆、 審查委員：尹委員學禮、田委員能全、陳委員昭銘、陳委員璋玲

伍、 出席機關：核能研究所、交通部中央氣象局、國家海洋研究院、

輻射偵測中心(詳如附件一簽到表)

陸、 紀 錄：賴良斌

柒、 報告及討論事項：

一、 核能研究所簡報：略。

二、 審查意見及回復說明：如附件二。

三、 決議事項：

(一) 請計畫團隊充分考量委員的意見與建議，修訂審查意見回復說明，若委員仍有意見，請核研所再修訂回復說明，並參考委員意見精進本計畫之執行成果。(註：委員皆已同意附件二之回復說明。)

(二) 請妥適建立監測基準值，並以圖示方式呈現取樣範圍與背景值。另除國內監測數值外，亦請將國際數據共同呈現，俾讓民眾參考。

(三) 擴散評估係為福島含氫廢水排放影響之重大成果，請計畫團隊考量模式發展過程中之驗證與比對，增進未來預警模

式的可信度。成果呈現除定性模式外，亦需有定量影響數據，並建立定期預警系統，以讓國人安心。

- (四) 請提早準備預期成果目標值之比對表，以利行政院核定期末報告時，更能彰顯計畫效益。
- (五) 請計畫團隊對未來期末報告以系統化方式展現成果，以達彰顯本計畫的效益。如海洋資訊平台應以科普為目標，對日本排放氫水的背景、海洋監測跨部會因應及協作的方
式，以圖文概念的方式展現，提高政績能見度。呈現數據時，可以直接設置類似紅綠燈表達，讓民眾直接感受監測數據代表的意義，安全是可以更直覺地獲得。

行政院原子能委員會

國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫期中進度報告

審查意見表

田能全委員：

項次	頁碼、章節或段落	審查意見	意見回復說明
1	放射性物質 海域擴散海 洋資訊公開 平台	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告請加入目錄 2. 網站運作順暢，值得鼓勵。但許多佈點，選擇氡與銫-137 核種時，卻無銫-137 資料？若無資料，建議該點關閉選項，以免引起困擾 3. 除海流趨勢外，能否於網站加入粒子傳輸軌跡與到達特定地點所需時間？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員意見，將依建議加入目錄。 2. 目前平台中銫-137 數據庫僅包含國海院提供每季 36 件生物樣檢測資料，後續將陸續加入臺灣外海 27 件(9 個點位三種深度)之海水樣檢測資料，待本所取得海水樣品並完成檢測與數據檢核後，將陸續安排上線展示。而偵測中心歷年執行的海域監測結果，已放入 9 大漁港之資料，另中山大學及海保署之資料將逐步放入平台，供民眾了解。 3. 整備計畫以歷史海流與放射性擴散分析追蹤為主。後續將於應對計畫進行例行化氡水擴散預報追蹤，至於到達特定範圍所需時間之功能，可納入後續模式研發項目內，感謝委員之建議。
2	(四) 建置海洋核輻射即時監測裝置	<ol style="list-style-type: none"> 1. 原能會對於環境監測已有法規要求，引用 WHO 標準是否有特殊考量？ 2. 若採樣或監測超過標準，通報規劃為何？時限、主管機關、流程等 3. “加馬輻射偵檢儀基於其 NaI 晶體的<u>能量分辨率高</u>特性？”， 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無特殊考量，僅列出國際標準。針對海水銫-137 監測，將採用原能會《環境輻射監測規範》之環境試樣放射性分析之預警措施基準。 2. 首先確認異常數值為真、而非儀器故障，倘監測超過標準，通報機制將循海委會既

		<p>抑或是效率高?</p>	<p>有之三級通報機制，並增列跨機關機制：每日監測資料自動匯入國海院資料庫時，由系統自動通報警示（系統警示及 G-mail 發報），業務單位通報中心主任、再通知海巡署勤指中心，中心主任通報行政副院長及院長，行政副院長通報海委會及所屬機關之副首長 Line 群組，院長通報海委會主委 (Line)；以上通報機制於 6 小時內完成。跨機關通報由中心主任通報核能研究所 (Line)，時間點於通報院長後。另外，輻射偵檢浮標於日常狀態每日發布一批觀測資料，倘遇監測值異常狀況，業務單位將視情況透過遠端設定，提高浮標海域監測數據的發布頻率。並附上國海院規劃中之異常數值處置草案供委員參考。</p> <p>3. 數種實驗室常用的加馬輻射偵檢晶體，國際上偏好使用 NaI(Tl)晶體的原因在於其效率高、工作環境要求相對低，適合應用於海洋輻射探測器。</p>
3	其他	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告中提到多個洋流數值工具，是否已進行模式比對？是否有基準案例？計算結果若有差異，要如何取捨？ 2. NaI 偵檢器似乎無列入採購案中？ 3. 類似圖 33 之資料集，一般民眾應接受度不高，建議可配合地圖資料加上泡泡圖方式呈現 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國際間洋流數值工具目前已有 HYCOM, ROMS 與 CWB-OCM 等，皆有作業化應用及長期比對，尤其本計畫使用的 CWB-OCM 為氣象局現有作業化版本，早已透過臺灣附近的水位觀測資料進行校驗比對證明其可信度。目前國際上洋流數值工具之間並無所謂的基準案例進行模式間的比對，故無結果差異的取捨問

			<p>題。CWB-OCM 使用非結構式網格且為隱式法求解，可以同時提升海岸地形解析度並提高執行效率。原有範圍聚焦在黑潮主流流域及臺灣周遭海域現象，由於福島海域過於接近現有作業模式邊界，本計畫中將擴展至東經 160 度以東範圍，將黑潮延伸流影響納入，並加密福島海域網格設定。</p> <p>2. NaI 偵檢器為海洋核輻射即時監測裝置之一部分，併入錨碇浮標布放維護與回收委託案中辦理。</p> <p>3. 因資料集資料很多，故在報告中僅以圖 33 示意。主要資料請委員參閱在海洋資訊公開平台網頁中互動式地圖之各顯示圖、亦可下載原始數據。</p>
4	會議中新增	資料庫數據表呈現方式較不易被民眾接受，建議可透過大數據軟體處理，改用圖示方式應更能為民眾所接受理解。	請委員參閱在海洋資訊公開平台網頁中互動式地圖之各顯示圖，皆以民眾可理解、友善方式來呈現。

國海院輻射偵檢儀於海域發送異常數值之處置草案：

13. 輻射偵檢儀於海域發送異常數值之處置

一、作業內容：

海用加馬 (γ) 輻射偵檢儀於實海運作，無論掛載於錨碇浮標、底碇於海床，其海水監測標準採用原能會《環境輻射監測規範》。當海水銨-137 單日積分值高於 2Bq/L，一旦確認異常數值非儀器故障，旋即啟動預警措施。

(一) 輻射偵檢儀於海域發送異常數值警示：

輻射偵檢儀於海域之檢測值，透過 4G 或衛星發報傳送至陸上資料處理後台。該後台除了負責存取海域儀器傳送的近即時資料，也自動將單日的數據進行積分並展示於後台網站；同時，全國海洋資料庫亦將介接此陸上資料處理後台，將原始資料檔和積分處理之資料一併收納典藏。陸上資料處理後台、全國海洋資料庫皆備有數據判識和自動警示的設計，一旦銨-137 單日檢測積分值高於 2Bq/L，陸上資料處理後台、全國海洋資料庫系統皆將自動發布警示，亦將自動發布異常訊息至維護單位相關人員 G-mail 信箱。

(二) 輻射偵檢儀於海域發送異常數值警示檢核：

1. 確認海上觀測設施是否正常，包括坐標位置、電力供輸等。
2. 確認海上觀測設施之儀器是否正常，包括電壓值、微電腦運作等。
3. 確認海上觀測設施之儀器回傳原始訊號是否正常。
4. 請設施維護團隊或海域鄰近駐點人力前往現場探查。

(三) 輻射偵檢儀發送異常數值之通報：

1. 院內及會內通報：

承辦單位一旦確認輻射偵檢儀發送之警示值為真，即循海委會及所屬單位之三級通報機制；通報機制或使用 Line 軟體取代電話，提升通報效率。第一時間，承辦單位須立即通報本院海科中心主任、行政副院長，之後視情況通報海巡署勤指中心。海科中心主任通報院長，院長再通報主委；行政副院長通報海委會及所屬單位之副首長 Line 群組。

2. 外部通報：

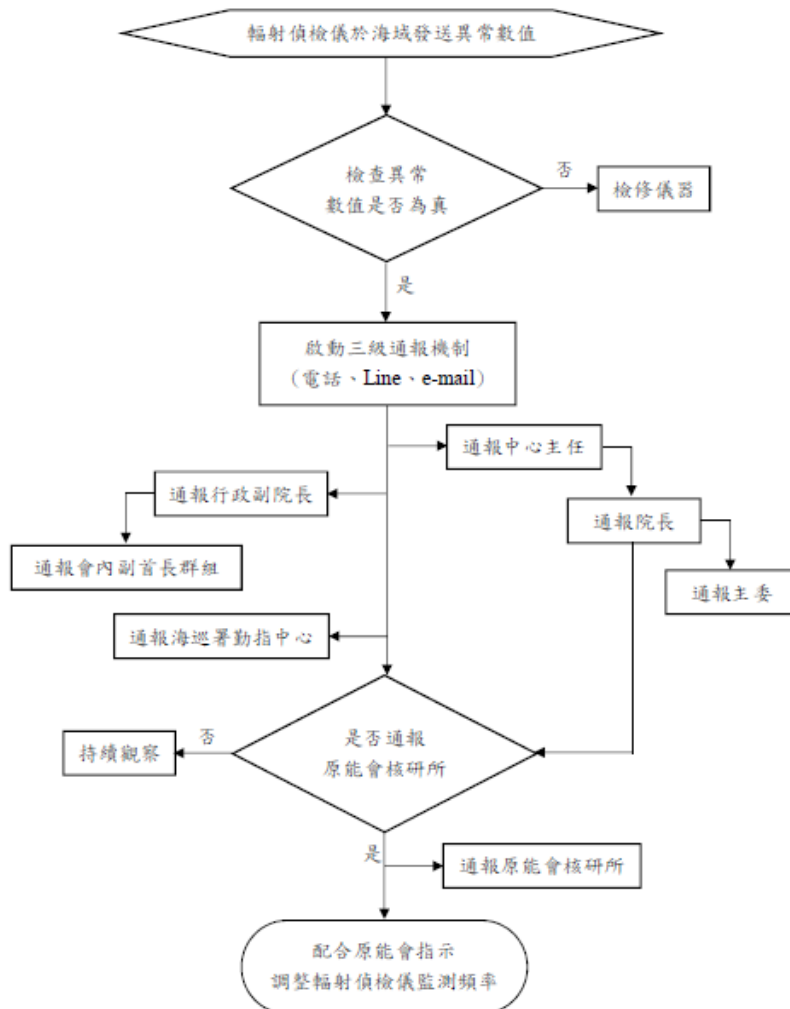
院內通報機制完成後，經院長核示，得通報原能會核研所與本院海科中心之接洽窗口。

二、注意事項

(一) 本處置流程著重於部會內之海情通報。

(二) 通報原能會核研所後，將由原能會負責跨部會因應協調事宜。

流 程



尹學禮委員：

項次	頁碼、章節或段落	審查意見	意見回復說明
1		此計畫是具科技研究及民眾福祉應用的重要工作，不僅要確保國民的輻射安全，亦是目前民眾至為關切的課題，同時更具有以科技應用拓展國際上對我國重視的意義。計畫之成果會對民眾信心有絕對的說服力，希望在後續計畫時程內，能將相關完整性，精確性與展示性均做到更完備而實用。	謝謝委員意見
2	P7	報告第貳章中有說明各分項計畫及子項計畫之內容，建議能詳述其相關性的 milestone 圖，並能更詳盡說明子項工作的負責團隊及相互關連性。使更能顯示計畫時程與協調管理的特性。	Milestone 部分，已於期中報告內容新增各時序績效亮點圖，如 P.70 之圖 34。而各子項工作的負責團隊及相互關連性請參閱 P.14 圖 1、2。
3	P.10~12	第參章執行成果表中，有說明許多合作對象包括日本電力中央研究所、國立中山大學、農委會水試所等單位，請補充說明這些單位所佔之經費比例？如有可能並將其工作列於前項問題建議之 milestone 中。	海洋整備計畫總經費 1.09 億元，目前分屬於核能研究所、國家海洋研究院、中央氣象局及輻測偵測中心，以共同執行本案。而委員所提本計畫所合作交流之對象，如日本電力中央研究所、國立中山大學、農委會水試所等單位並未分擔本計畫之經費。而中山大學、農委會水試所等協助海域之監測，則由輻測偵測中心另一海域監測計畫支應部分經費。
4		未來建置之預報及示警系統是否具有實質上警示之實質標準？其推導方式為何？ 另外是否在後續(至計劃結案前)執行案例分析，預估未來日本排放氚時我國何時可能會有監測到氚的濃度？其數值將為多少？與規劃之示警值關係為何？	1. 警示之實質標準仍有待與主管機關討論訂定之，目前可以參考的標準為「環境輻射監測規範」附件六：環境試樣放射性分析之預警措施基準，其中氚水的紀錄基準為 10 Bq/L，調查基準為 1100 Bq/L。而未來在接續的

			<p>112-115 年的海洋應對計畫中則參照先前建立之背景資料庫規劃建立海水氾及生物氾監測變化異常指標。詳如下圖。</p> <p>2. 謝謝委員指導，本計畫中已進行歷史資料模擬的趨勢分析，探討若日本排放氾水時在何種(洋流及氣象條件)情況下會較易傳輸至臺灣附近，並初估其可能的影響程度(氾水的活度濃度值)，目前初步的分析結果大致都在 MDA 以下，較詳細歷史分析將在期末報告中呈現，而即時的趨勢預報規劃於明年日本氾水排放後，開始同步進行作業化運行，每日均提供未來 4 天的預測結果。此結果將與規劃的示警值比較，並以不同燈號方式進行區域的示警。</p> <p>3. 由於計畫結束時日本尚未進行排放，因此無法獲得實際的輻射源項進行模擬評估，未來在 112-115 年的海洋應對計畫中會依據日本實際排放活度進行模擬評估。</p>
5	會議中新增	是否考量如門框偵檢系統採用背景值加三倍 σ 作為啟動調查基準。	謝謝委員建議，將納入計畫執行參考。



陳昭銘委員：

項次	頁碼、章節或段落	審查意見	意見回復說明
1	2, 7 頁	日本含氫處理水預計何時開始排放?摘要說 2023 年, 第 7 頁說 2022 年春季, 請一致論述。	預計 2023 年開始排放, 第 7 頁文字錯字已修正。
2	13 頁	計畫網頁之公告專區, 建議增加整體監測結果之呈現, 如”無異常”或”有異常(在何處異常)”, 使民眾可一目了然。	感謝委員之建議, 由於檢測數值非即時監測資料, 檢測樣品經取樣、檢測、數據覆核完成至公告於平台, 會有一段時間落差。後續於應對計畫將規劃依據最新上架數據, 根據原能會公布之標準, 顯示有無異常之判斷功能。
3	17 頁	Ocean-Taiwan 之測站輻射監測結果, 若正常可使用藍色標誌顯示該站, 若異常(超標)則可改用紅色標誌顯示, 協助民眾容易了解整體狀況, 不必每個測站去點選與查看數據內容。	Ocean-Taiwan 係唐鳳政委指示建置之一站式平台網站。該網站僅彙整並展示跨機關之海洋相關資訊, 網站本身不具資料儲存和處理功能。因此藍、紅燈之標示須先由原機關(核研所)展示於自建網站的圖台, Ocean-Taiwan 介接後即能如實呈現。相關技術問題可再由原能會核研所和海委會海資處討論。
4	29 頁	東電現有多少含氫處理水需排放, 若每天排放 500 立方公尺, 預計多少天來排放?這可做為本計畫整備、執行、後續持續監測之分階段作業時間規劃。	依據日方統計數據, 東電 ALPS 處理水目前儲存量約 125 萬立方公尺, 年處理量約 5~6 萬立方公尺; 每日新增的污染水從事故發生初期的 500 立方公尺降低至今 140 立方公尺。而基於儲槽空間有限, 東電僅剩 5%, 故訂於 2023 年春季後開始排放。若東電配合其除役時程, 規劃將以 30~40 年的排放時間進行排放。 目前因應日本規劃排放含氫處理水而擬定「整備期」、「應

			對期」及「監控期」三階段計畫，「整備期」為日本排放前之建立基線背景資料庫及發展各項檢測技術、海洋擴散模擬示警能力；「應對期」為日方開始排放後，執行全方位海域輻射監測、開發海洋輻射外釋應對及預報系統並進行海域生態影響評估，確保國人食品安全及漁業之風評。在後續的長期「監控期」中，則依照實際情況滾動修正、持續監控臺灣海域及水產品安全。
5	30 頁	就圖 16 黑潮之 A、B、C 三種流動模式，何者於擴散模式中對臺灣附近海域影響最大?可用模式實驗加以檢驗，以利後續之監測與預報使用。	謝謝委員指導，圖 16 為過去文獻紀錄中黑潮延伸流的型態，黑潮之 B 流動型態因流速較快，西北太平洋中尺度渦流及季風都有可能將部份物質帶入臺灣海域，對臺灣附近海域影響最大，由小笠原群島火山噴發所造成的浮石漂流案例可見。
6	32 頁	含氫水之最後濃度取決於傳輸與擴散兩種作用，與海流之流向與水體之擴散均有關係，模式對濃度之預報是否將洋流之傳輸與濃度之擴散一併計算或分開計算?	謝謝委員指教，本計畫中已規劃兩種擴散傳輸方式進行(均為傳輸與擴散一併計算)，一種為 Lagrange 的 puff-particle model，另一種為 Eulerian 的網格模式。Puff-particle model 的洋流與擴散模式是分開計算的，而網格模式的擴散是與洋流模式同步進行運算。因海洋容含量與排放量差異甚大，以濃度方式模擬，排放之氫水將與海水混合並迅速擴散，不易觀察到輻射擴散之情況，由於氫為放射性物質且有較長的半衰期，為求了解其排放後之路徑及分布，故同時使用顆粒軌跡追蹤方法進行模擬，也容易掌握其軌跡及衰減現象。

7		整體而言，本計畫之期中進度符合原計畫之進度規劃，各查核點內容亦順利完成，達成預期目標。	謝謝委員肯定
8	會議中新增	目前計畫採用 CWB-OCM，是否有其他程式可進行比對。	計畫共同執行單位氣象局，先前之預報、模擬，皆已與其他單位進行比對，故本計畫之分析、成果是可被檢驗的。
9	會議中新增	粒子亦有下沉被吸附可能性，故水平傳送與垂直擴散效應造成濃度稀釋應為重要因素，是否有單項與兩者同步影響下的分析結果，另外物質不會全數分布於海水表面，團隊對於傳直分布是否有所掌握。	此部分之各重要影響因素皆納入 112~115 年應對計畫中再精進。

陳璋玲委員：

項次	頁碼、章節或段落	審查意見	意見回復說明
1	2	建議報告增列目錄及圖表目錄，以利閱讀。	謝謝委員意見，已經依建議加入目錄。
2	3	Ocean Taiwan 及 GoOcean，建議使用中文名稱，前者為海域遊憩活動一站式資訊服務平台(Ocean Taiwan)，後者為海洋遊憩風險資訊平臺(GoOcean)。	謝謝委員意見，配合加註中文名稱。
3	12	建議資訊公開平台網站增加此站架設緣由的背景說明，以利一般民眾瞭解係政府因應日本排放含氚處理水所做的因應措施，以增加政績能見度。	感謝委員之建議，在資訊公開平台網站的首頁有說明網站架設的緣由，以及排放前後政府透過該平台的相應作為，後續會將相關說明內容加入期中報告中。
4	14, 15	<ol style="list-style-type: none"> 1. 初看網頁的字體相對整網頁畫面很小，請再檢視是否調整成較易讀取的字體大小。 2. 網站已於 6 月 30 日正式上線，不清楚是否有試行期，讓一般民眾測試功能是否周全？若沒有，建議可設定一定期間的測試期，鼓勵民眾使用並提供回饋意見，供進一步網站內容修正參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員之建議，後續會收集更多使用者意見回饋後，進行版面字體的調整與修訂，另字體大小亦可由使用者端之瀏覽器調整設定。 2. 本資訊公開平台網站於 6 月 30 日上線前，僅提供給相關部會試行操作，避免呈現不完整或誤導之內容給民眾。本網站提供意見信箱，收集民眾對於網站及網站提供資料之反饋意見，作為後續精進之參考。
5	20	請問處理水經過 1 公里海底隧道的出口，其水深多少？	處理水排放口位於距岸 1 公里，深度約 12 公尺深的位置。
6	49	筆誤，表 2 右欄，定制漁場=>定置漁場	感謝委員意見，文字錯字已修正。
7		建議本計畫期末時可辦理新聞發表會及發布新聞稿，以增加成果能見度，以及讓民眾瞭解政府把關其健康風險及食品安全所做的努力。	謝謝委員意見
8		整體而言，期中進度報告內容完	謝謝委員肯定

		善，依三大工項(分項計畫)依進度持續核實進行，予以高度肯定。	
--	--	--------------------------------	--

楊智傑委員：

項次	頁碼、章節或段落	審查意見	意見回復說明
		<p>本計畫書為國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫之期中進度報告。預期成果包含：(1)建立公開透明的資訊整合平台；(2)建立前瞻海洋輻射預警系統；(3)取得背景基線數據，確保海域輻射安全。大致而言，報告呈現之架構充分、進度妥善。以下僅依委員專業部分針對放射性物質海域擴散潛勢模擬提供拙見。</p>	
1		<p>報告中提及東電公布之ALPS處理水排放擴散模擬計算相關分析報告。可以在更具體的整理出，日本是如何進行模擬分析？在本計畫中，又是如何進行分析？例如，提到環境衝擊評估，射源項決定模式計算(海洋傳輸擴散評估)，模式細節解析度等。到底射源項的決定或是模擬？再代入海洋傳輸擴散評估？模式如何設定與銜接？若有一至兩張圖表應能更清楚說明日本的研究方法。</p>	<p>感謝委員之建議，東電公布之環境評估報告(REIA)提及之模擬分析係依照IAEA GSG-10建議之流程進行，以文字簡要說明如下，也整理流程圖於報告中P.37之圖16呈現：</p> <p>Step1.決定射源項：先利用氫的年排放量22TBq除上ALPS水中的氫濃度(Bq/L)，得出ALPS處理水的年排放量(L)，再分別去乘上其他核種於K4桶槽中ALPS處理水中的量測濃度(Bq/L)，來得出各核種的年排放量(Bq)，藉此作為射源項。</p> <p>Step2.海洋擴散評估：透過ROMS進行模擬，考量海流、潮汐等作用影響，評估範圍及解析度則包含兩種呈現方式，分別為：</p> <p>a. 整體(35.30°N至39.71°N, 140.30°E至143.50°N, 約490km×270km範圍)：</p> <p>925m×735m</p>

			<p>b. 局部區域(約輻島電廠周遭 22.5km×8.4km 範圍)：</p> <p>185m×147m</p> <p>Step3.曝露途徑：考量 5 種體外劑量及 3 種體內劑量途徑，考量接觸範圍、時間、體積等條件，整理出各核種在不同曝露途徑下的劑量轉換因子。</p> <p>Step4.關鍵群體：考量該地區民眾生活習慣特徵，並參考統計報告中的數據分布，決定出可能受到最大影響之群體的情況，如漁民的工時、成人及兒童對於水產品射入的相關數據等。</p> <p>Step5.劑量評估：先根據 ROMS 模擬結果整理出各年度的氡的活度濃度分布，再以其中數值最高的 2019 年進行最保守的評估，而其它核種的活度濃度則依照射源項中與氡的比例進行推算，接著將各核種活度濃度乘上不同途徑的轉換因子得出劑量值。最後再加總各核種結果得出總劑量，並與約束劑量進行比對。</p>
2	P.29	<p>在 P29.二、放射性物質海域擴散潛勢預報及示警方面，可以看出計畫仔細分析西北太平洋流況。此部分建議為回顧，而非調查以避免誤解與誤導。</p>	<p>謝謝委員肯定與指教，依委員意見加註 P43. 依據回顧資料。</p>
3		<p>報告中提到黑潮(延伸流)與渦流的影響。究竟有多少放射性物質隨著洋流傳輸，或是在侷限在渦流範圍內，抑或脫離渦流範圍南下影響臺灣周遭海域。</p>	<p>謝謝委員指教，海洋系統現象的產生原因複雜，目前長期模擬結果顯示大部分粒子會隨著黑潮延伸流直接快速往東推移，若在冬季季風(東北)狀況下部分顆粒則會脫離黑潮系統而進入南方海域的渦流系統內，透過渦流系統回流至</p>

			南方的黑潮主流系統隨之進入臺灣海域。而不管黑潮或渦流均非恆定，而是隨時間會改變，這也導致其影響區域、時間、量值的變異性。
4		文中提到文線 Lagrangian 進行分析，主要是追蹤質點的運移，放射性顆粒開始時大量聚集於近岸區域，排放後迅速混合且快速消散。然在是否僅考慮質點隨洋流流場的傳輸？而非有文中所謂的稀釋、擴散等。或許以有多少質點在某一範圍，有少部分質點可能漂移至何處。建議在內文描述稍加斟酌，以避免誤解。	謝謝委員指教，文獻中以 Lagrangian 方式進行模擬追蹤考慮質點僅隨著洋流流場進行傳輸，以顆粒質點方式計算濃度，後續會根據委員意見修正內容描述。
5	P31	過去研究以 ROMS 海洋模式配合沉積物擴散方程式模擬，是如何進行模擬？其擴散係數約略為何？	謝謝委員指教。一般較好的擴散模式分為兩種，一為 Lagrangian 的 puff-particle model，另一為 Eulerian 的網格式模式，均是以沉積物的質量保守方程式進行積分運算。質量保守方程式(或稱為擴散方程式)中均包含傳輸、擴散及其他源、匯效應。其中擴散效應的擴散係數主要是透過洋流中的亂流變數來計算，會因不同的亂流強度而有不同的擴散係數。
6	P29、P.30、P.33	在 P33. 內文提到本計畫蒐集長期的實測資料以及模式資料分析西北太平洋的海洋流場分布。然 P29. 提及西北太平洋流況之回顧；P30. 則是本計畫進行理想案例；P33. 則又回到分析西北太平洋的海洋流場分布。建議內文架構可把相關部分一併呈現，或是重新構思調整，以提升報告的閱讀性。	謝謝委員指教，將委員意見納入後續期末報告中重新安排整體架構讓整體內文更易於閱讀。
7		本計畫採用理想案例測試 Lock Exchange Test Case 之目的為何？有多少案例進行模擬？此部分可	謝謝委員指教，採用 Lock Exchange Test Case 常適用於各種模式理想案例測試，其模

		以提供表格彙整，以更清楚了解此部分分析工作之焦點為何？	擬目的是為了討論模式工具是否有不合理的數值擴散現象，是較為嚴苛的測試。未來也會根據委員意見進行多種案例測試。
8	圖 20、圖 21、圖 22 至圖 23	最後，在圖 20、圖 21、圖 22 至圖 23，建議清楚說明圖中的顏色變化表示為何？色階呈現的是何種物理量？顏色深代表的是質點較多？抑或只是初期排放？顏色淺代表三年之後？或是濃度衰減？分析火山浮石的目的為何？	謝謝委員指教，會根據委員意見納入後續期末報告中加強各圖顏色描述說明，而火山浮石案例目的是採用 CWB-OCM 模式作業化海流結果進行模擬並與 JAMSTEC 衛星觀測進行趨勢討論及比對。進行浮石模擬一方面是為提供臺灣相關單位參考，另一方面也是一個難得的比對機會。
		整體而言，內容豐富。以上建議期能使本計畫的研究工作在質與量面向都能更加順利。	謝謝委員肯定

輻防處：

項次	頁碼、章節或段落	審查意見	意見回復說明
1	資訊公開平台	<ol style="list-style-type: none"> 1. 輻射監測結果為本案資料公開的重點之一，目前平台上的監測資料數量並不多，亦無生物氚的檢測結果，請說明相關資料公開的規劃？ 2. 監測結果宜有更清楚的呈現與說明，包括取樣單位、檢測單位、取樣類別(海水、魚類等)、最低可測值、偵測結果代表的意義等，以利民眾了解。 3. 資訊公開平台雖已於6月30日初步上線，但後續仍有持續精進規劃，請說明規劃內容與日後維運管理方式。 4. 為能以使用者角度持續精進，建議可請民間代表協助檢視，提供精進建議。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 核研所目前已完成國海院海生中心110年第四季生態採集樣本放射性銫及氚含量分析，待完成數據確認檢核後，即可安排上線。 2. 目前已規劃將取樣類別、物種等資訊加入呈現列表，並增加檢測資料小知識等說明功能，以增進民眾了解檢測數據。另考量版面資訊分配問題，取樣單位與檢測單位等非必要資訊，再行評估。 3. 待平台後端資訊上架更新功能完成後，由本所專人定期(每周1~2次)檢查原能會新公告的方式來盡量達到同步更新，若有需即時上架之資訊，可由原能會通知本所承辦人員。 4. 依意見辦理，將積極尋求有意願之民間代表協助。
2	擴大海域背景基線調查	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建立海域輻射背景基線為本計畫執行重點之一，報告書的p62生物氚檢測的部分有說明海生物氚檢測的MDA是參考日本東電公司的加強版海域輻射監測計畫之MDA進行設定。在量測海水氚、TFWT、OBT時，其MDA值應該小於多少才有意義？目前實驗室的MDA值為何？另請問銫-137核種的監測，其MDA的設定依據？ 2. 有關委託科學研究船協助遠洋關注海域海水取樣，依p40辦理規劃及p56辦理情形說明，已完成南部5點採樣，餘北部4 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗室檢測MDA係受到檢測樣本重量、量測時間及儀器效率等因素影響而改變之動態變數，並配合不同檢測目的進行目標值訂定，因此為建立臺灣海域輻射背景基線數據，本計畫參考日本東電公司針對生物氚檢測之MDA設定值，作為海域生態物種氚含量分析之背景基線，其中TFWT為0.4貝克/公升，OBT為0.5貝克/公升。而有關海水銫-137核種監測的MDA，核研所將

		<p>點取樣將於 8 月(本月)完成，請問目前執行狀況為何？</p> <p>3. 有關海洋核輻射即時監測裝置，已於 7 月 29 日完成布放，本(8)月刻正進行試運轉，未來相關結果亦將介接至 GoOcean 與 Ocean Taiwan 網站，請問目前試運轉的情形?以及是否有異常標準、即時監測異常的處理流程，未來預計介接至 2 平台之呈現方式?</p>	<p>參照偵測中心之海域調查計畫的 MDA 設定來執行。而海水氚 MDA 部分，偵測中心現行 MDA 為 2 Bq/L，乃因偵測中心調查歷年臺灣周邊海域(含核電廠周邊)海水氚活度為小於 MDA 至 90.4 Bq/L。</p> <p>2. 遠洋關注海域 9 點三種深度共 27 件海水樣本取樣作業已全數完成，待廠商完成水質分析與資料彙整作業後，會盡速送交核研所進行後續核種濃度檢測工作。</p> <p>3. 浮標目前試運轉順利，浮標每日階連續回傳加馬輻射頻譜。異常標準擬參照原能會《環境輻射監測規範》，異常處理流程參見回復 A 委員項次 2。至於 GoOcean 網站為國海院營運，目前擬依《環境輻射監測規範》使用燈號區別正常、異常狀態。</p>
3	海洋核輻射即時監測裝置	<p>累積一日的加馬輻射偵測下限為 0.03Bq/L，針對高風險事件可每小時偵測一次，請問一小時的偵測下限為何？</p>	<p>輻射偵檢儀原廠提供之儀器規格使用每日的偵測下限，未知一小時偵測下限，將再洽詢原廠及委請核研所使用射源測試；若估算偵檢儀之偵測下限為時間之倒數，則粗估一小時的偵測下限約為 0.72Bq/L。(備註：本次採購一般型輻射偵檢儀之鈾-137 一日積分偵測下限為 0.03Bq/L；原廠另有高敏度型機種，偵測下限 0.005Bq/L；考慮目的為海域警示並非研究需求，故採購價格較實惠的一般型。)</p>

4	文字、序號誤植	<ol style="list-style-type: none"> 1. P10 資料公開平台之展示之項目 3,「像」關資訊應為「相」關資訊。 2. P.19 最後一行與 P.20 第一行”標準濃度總和”是否應修正為”標準濃度比總和”。 3. p13 之 NRA 中文應為「日本原子力規制委員會」,請修正。 4. P.43 圖 26 是否應為圖 28。 5. P.46 圖 26 是否應為圖 31。 <p>p59 與 p48 均有圖 32,圖片序號有重複情形,請確認。</p>	<p>謝謝委員意見,修正文字、序號誤植部分。</p>
5	會議中新增	<p>日本已具有電解濃縮技術,計畫團隊是否考慮引進。</p>	<p>目前核研所已經針對電解濃縮技術進行研發中,後續若有具體成果將再納入期末報告。</p>
6	會議中新增	<p>目前超標通報規劃查證機制較不明顯建議補強說明。</p>	<p>未來在接續的 112-115 年的海洋應對計畫中則參照先前建立之背景資料庫規劃建立海水氾及生物氾監測變化異常指標。詳如回復 B 委員意見之附圖。</p>
7	會議中新增	<p>資訊公開平台未來將擔負民眾溝通與各部會因應作為的宣傳工具,建議計畫應於下半年度完成改善。</p>	<p>資訊公開平台之執行進度依檢核表及與廠商之合約來規劃與進行。</p>
8	會議中新增	<p>目前數據庫資料較少,資訊公開平台未來是否會考慮納入偵測中心以往檢測資料。</p>	<p>偵測中心歷年執行的海域監測結果,目前資訊公開平台已放入 9 大漁港之資料,另中山大學及海保署之資料將逐步放入平台,供民眾了解。</p>

附錄 3、研究船海水取樣紀錄表(A~I 點)

遠洋關注海域研究用海水取樣紀錄表

基本 資訊	取樣日期：	111.08.02 (星期二)		取樣座標：	E：122°3.931			N：26°54.224				
	地點編號：	A 點		天候 (晴/雨)	晴	浪高	0.2	潮況 (漲退)	退潮	流向	南	
	取樣深度：	表層		1m		中層		30m		深層		90m
	作業時間：	起	10：20		迄	11：56		作業人員：	林建志			
樣品 資訊	位置	溫度 (°C)		鹽度 (‰)		溶氧量 (mg/L)		酸鹼值 (pH)		備註說明		
	表層	29.8		34.3		6.6		8.27				
	中層	24.4		35.3		6.2		7.95				
	深層	23.8		35.5		5.8		7.93				

規範事項






1. 「表層」海水取樣位置需置於水面下 0 m 至 5 m 深度內；「深層」海水取樣位置分為兩大區塊，其中 A-D 四點之深層海水取樣須於水面下 30 m 至 90 m 處之間，E-I 五點之深層海水取樣須於水面下 300 m 至 800 m 之間，兩取樣深度需相差 1 倍以上距離。
2. 每指定採樣位置需採集 1 組「表層」及 2 組「深層」海水樣本，為降低取樣過程中船隻飄移及分次取樣對海水樣品同質性造成影響，船隻所搭載海水取樣器之取樣量須達單次可採取共 100 公升(含以上)海水(海水中不得存在直徑 0.6 cm 之顆粒物體)，再裝入由核能研究所提供承裝容器中(每桶 20 公升，單一深度樣本共須 5 桶，總計一個樣品 100 公升，每一桶水誤差範圍為± 5 公升)，並逐一貼上試樣標籤以及膠帶封口。















試樣標籤填寫範例：

核能研究所環境試樣	
試樣名稱：海水	編號：A-001-1
取樣地點：A點表層	鮮重：20公升
取樣日期：111年 XX月XX日	灰重：免填
取樣人：王XX	型態：免填
分析核種：免填	備註：免填

3. 試樣編碼原則：
 - (1) 「表層」海水：編號-深度-流水號，如：A-001-1(深度位置統一以 001 標示)。
 - (2) 「深層」海水：編號-深度-流水號，如：A-350-1。
4. 本案 27 個海水樣本運送至核能研究所。
5. 取樣行程規畫以人員安全為第一考量，儘量於白天時段執行作業，同一處海域取樣儘量於同一日完成(影響安全狀況除外，如遇颱風、豪雨停止採樣；如現場遇巨浪、風速等影響，可變更採樣行程)。採水動作，應在海水流動往船隻方向之上游面來進行採集，且避免於船隻引擎及艙底排水孔口附近採樣。

佐證照片資訊


















AIS 自動識別系統(定位、時間)		取樣設備		
				
取樣深度	表層	中層	深層	
				
取樣照片		取樣完成品		

					
表層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值	
					
中層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值	
					
深層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值	
					

遠洋關注海域研究用海水取樣紀錄表

基本資訊	取樣日期：	111.08.02 (星期二)		取樣座標：	E : 122°41.186			N : 27°30.550			
	地點編號：	B 點		天候 (晴/雨)	晴	浪高	0.2	潮況 (漲退)	漲潮	流向	北
	取樣深度：	表層		1m	中層		30m	深層		90m	
	作業時間：	起	16 : 04		迄	18 : 02		作業人員：	林建志		
樣品	位置		溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溶氧量 (mg/L)	酸鹼值 (pH)		備註說明			

資訊	表層	29.8	34.8	6.8	8.14	
	中層	23.1	34.5	6.3	8.19	
	深層	21.1	35.3	5.5	8.20	
規範事項	<p>1. 「表層」海水取樣位置需置於水面下 0 m 至 5 m 深度內；「深層」海水取樣位置分為兩大區塊，其中 A-D 四點之深層海水取樣須於水面下 30 m 至 90 m 處之間，E-I 五點之深層海水取樣須於水面下 300 m 至 800 m 之間，兩取樣深度需相差 1 倍以上距離。</p> <p>2. 每指定採樣位置需採集 1 組「表層」及 2 組「深層」海水樣本，為降低取樣過程中船隻飄移及分次取樣對海水樣品同質性造成影響，船隻所搭載海水取樣器之取樣量須達單次可採取共 100 公升(含以上)海水(海水中不得存在直徑 0.6 cm 之顆粒物體)，再裝入由核能研究所提供承裝容器中(每桶 20 公升，單一深度樣本共須 5 桶，總計一個樣品 100 公升，每一桶水誤差範圍為±5 公升)，並逐一貼上試樣標籤以及膠帶封口。</p> <p>試樣標籤填寫範例：</p> <div data-bbox="279 817 1082 1160" data-label="Image"> </div> <p>3. 試樣編碼原則：</p> <p>(3) 「表層」海水：編號-深度-流水號，如：A-001-1(深度位置統一以 001 標示)。</p> <p>(4) 「深層」海水：編號-深度-流水號，如：A-350-1。</p> <p>4. 本案 27 個海水樣本運送至核能研究所。</p> <p>5. 取樣行程規畫以人員安全為第一考量，儘量於白天時段執行作業，同一處海域取樣儘量於同一日完成(影響安全狀況除外，如遇颱風、豪雨停止採樣；如現場遇巨浪、風速等影響，可變更採樣行程)。採水動作，應在海水流動往船隻方向之上游面來進行採集，且避免於船隻引擎及艙底排水孔口附近採樣。</p>					
	佐證照片資訊	AIS 自動識別系統(定位、時間)			取樣設備	
取	表層		中層		深層	

様 深 度				
	取 様 照 片		取 様 完 成 品	
				
表 層	温 度	鹽 度	溶 氧 量	酸 鹼 値
				
中 層	温 度	鹽 度	溶 氧 量	酸 鹼 値
				
深 層	温 度	鹽 度	溶 氧 量	酸 鹼 値
				

遠洋關注海域研究用海水取樣紀錄表

基本資訊	取樣日期：	111.08.03 (星期三)		取樣座標：	E : 123°23.452			N : 27°58.458				
	地點編號：	C 點		天候 (晴/雨)	晴	浪高	0.2	潮況 (漲退)	漲潮	流向	北	
	取樣深度：	表層		1m		中層		30m		深層		90m
	作業時間：	起	00 : 22		迄	02 : 17		作業人員：	林建志			
樣品資訊	位置	溫度 (°C)		鹽度 (‰)		溶氧量 (mg/L)		酸鹼值 (pH)		備註說明		
	表層	30.3		35.0		7.5		8.22				
	中層	28.8		35.4		5.3		8.24				
	深層	26.8		34.1		6.2		8.30				






規範事項















- 「表層」海水取樣位置需置於水面下 0 m 至 5 m 深度內；「深層」海水取樣位置分為兩大區塊，其中 A-D 四點之深層海水取樣須於水面下 30 m 至 90 m 處之間，E-I 五點之深層海水取樣須於水面下 300 m 至 800 m 之間，兩取樣深度需相差 1 倍以上距離。
- 每指定採樣位置需採集 1 組「表層」及 2 組「深層」海水樣本，為降低取樣過程中船隻飄移及分次取樣對海水樣品同質性造成影響，船隻所搭載海水取樣器之取樣量須達單次可採取共 100 公升(含以上)海水(海水中不得存在直徑 0.6 cm 之顆粒物體)，再裝入由核能研究所提供承裝容器中(每桶 20 公升，單一深度樣本共須 5 桶，總計一個樣品 100 公升，每一桶水誤差範圍為±5 公升)，並逐一貼上試樣標籤以及膠帶封口。
試樣標籤填寫範例：

核能研究所環境試樣	
試樣名稱：海水	編號：A-001-1
取樣地點：A點表層	鮮重：20公升
取樣日期：111年 XX月XX日	灰重：免填
取樣人：王XX	型態：免填
分析核種：免填	備註：免填

- 試樣編碼原則：
 - 「表層」海水：編號-深度-流水號，如：A-001-1(深度位置統一以 001 標示)。
 - 「深層」海水：編號-深度-流水號，如：A-350-1。
- 本案 27 個海水樣本運送至核能研究所。
- 取樣行程規畫以人員安全為第一考量，儘量於白天時段執行作業，同一處海域取樣儘量於同一日完成(影響安全狀況除外，如遇颱風、豪雨停止採樣；如現場遇巨浪、風速等影響，可變更採樣行程)。採水動作，應在海水流動往船隻方向之上游面來進行採集，且避免於船隻引擎及艙底排水孔口附近採樣。

佐證照片資訊

AIS 自動識別系統(定位、時間)		取樣設備		
				
取樣深度	表層	中層	深層	
				
取樣照片		取樣完成品		

				
表層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值
				
中層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值
				
深層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值
				

遠洋關注海域研究用海水取樣紀錄表

基本資訊	取樣日期：	111.08.03 (星期三)		取樣座標：	E：124°32.242			N：29°09.555				
	地點編號：	D 點		天候 (晴/雨)	晴	浪高	0.2	潮況 (漲退)	漲潮	流向	北	
	取樣深度：	表層		1m		中層		30m		深層		90m
	作業時間：	起	12：49		迄	14：41		作業人員：	林建志			
樣品資訊	位置	溫度 (°C)		鹽度 (‰)		溶氧量 (mg/L)		酸鹼值 (pH)		備註說明		
	表層	30.2		34.4		6.7		8.19				
	中層	27.9		35.0		6.1		8.18				
	深層	25.8		35.1		5.8		8.16				

規範事項






1. 「表層」海水取樣位置需置於水面下 0 m 至 5 m 深度內；「深層」海水取樣位置分為兩大區塊，其中 A-D 四點之深層海水取樣須於水面下 30 m 至 90 m 處之間，E-I 五點之深層海水取樣須於水面下 300 m 至 800 m 之間，兩取樣深度需相差 1 倍以上距離。
2. 每指定採樣位置需採集 1 組「表層」及 2 組「深層」海水樣本，為降低取樣過程中船隻飄移及分次取樣對海水樣品同質性造成影響，船隻所搭載海水取樣器之取樣量須達單次可採取共 100 公升(含以上)海水(海水中不得存在直徑 0.6 cm 之顆粒物體)，再裝入由核能研究所提供承裝容器中(每桶 20 公升，單一深度樣本共須 5 桶，總計一個樣品 100 公升，每一桶水誤差範圍為±5 公升)，並逐一貼上試樣標籤以及膠帶封口。















試樣標籤填寫範例：

核能研究所環境試樣	
試樣名稱：海水	編號：A-001-1
取樣地點：A點表層	鮮重：20公升
取樣日期：111年 XX月XX日	灰重：免填
取樣人：王XX	型態：免填
分析核種：免填	備註：免填

3. 試樣編碼原則：
 - (7) 「表層」海水：編號-深度-流水號，如：A-001-1(深度位置統一以 001 標示)。
 - (8) 「深層」海水：編號-深度-流水號，如：A-350-1。
4. 本案 27 個海水樣本運送至核能研究所。
5. 取樣行程規畫以人員安全為第一考量，儘量於白天時段執行作業，同一處海域取樣儘量於同一日完成(影響安全狀況除外，如遇颱風、豪雨停止採樣；如現場遇巨浪、風速等影響，可變更採樣行程)。採水動作，應在海水流動往船隻方向之上游面來進行採集，且避免於船隻引擎及艙底排水孔口附近採樣。

佐證照片資訊

AIS 自動識別系統(定位、時間)		取樣設備		
				
取樣深度	表層	中層	深層	
				
取樣照片		取樣完成品		

					
表層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值	
					
中層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值	
					
深層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值	
					

遠洋關注海域研究用海水取樣紀錄表

基本資訊	取樣日期：	111.07.13 (星期三)		取樣座標：	E : 123°11.276			N : 21°54.212				
	地點編號：	E 點		天候 (晴/雨)	晴	浪高	0.2	潮況 (漲退)	漲潮	流向	北	
	取樣深度：	表層		1m		中層		300m		深層		800m
	作業時間：	起	18 : 28		迄	20 : 26		作業人員：	林建志			
樣品	位置		溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溶氧量 (mg/L)	酸鹼值 (pH)		備註說明				

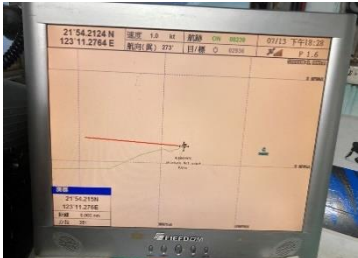
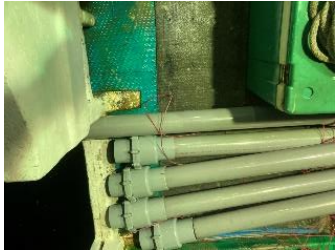
資訊	表層	29.8	35.8	6.8	7.89	
	中層	13.2	36.0	6.4	7.55	
	深層	8.8	36.7	5.2	7.91	


規範事項

- 「表層」海水取樣位置需置於水面下 0 m 至 5 m 深度內；「深層」海水取樣位置分為兩大區塊，其中 A-D 四點之深層海水取樣須於水面下 30 m 至 90 m 處之間，E-I 五點之深層海水取樣須於水面下 300 m 至 800 m 之間，兩取樣深度需相差 1 倍以上距離。
- 每指定採樣位置需採集 1 組「表層」及 2 組「深層」海水樣本，為降低取樣過程中船隻飄移及分次取樣對海水樣品同質性造成影響，船隻所搭載海水取樣器之取樣量須達單次可採取共 100 公升(含以上)海水(海水中不得存在直徑 0.6 cm 之顆粒物體)，再裝入由核能研究所提供承裝容器中(每桶 20 公升，單一深度樣本共須 5 桶，總計一個樣品 100 公升，每一桶水誤差範圍為±5 公升)，並逐一貼上試樣標籤以及膠帶封口。
試樣標籤填寫範例：

核能研究所環境試樣	
試樣名稱：海水	編號：A-001-1
取樣地點：A點表層	鮮重：20公升
取樣日期：111年XX月XX日	灰重：免填
取樣人：王XX	型態：免填
分析核種：免填	備註：免填

- 試樣編碼原則：
 - 「表層」海水：編號-深度-流水號，如：A-001-1(深度位置統一以 001 標示)。
 - 「深層」海水：編號-深度-流水號，如：A-350-1。
- 本案 27 個海水樣本運送至核能研究所。
- 取樣行程規畫以人員安全為第一考量，儘量於白天時段執行作業，同一處海域取樣儘量於同一日完成(影響安全狀況除外，如遇颱風、豪雨停止採樣；如現場遇巨浪、風速等影響，可變更採樣行程)。採水動作，應在海水流動往船隻方向之上游面來進行採集，且避免於船隻引擎及艙底排水孔口附近採樣。

佐證照片資訊	AIS 自動識別系統(定位、時間)		取樣設備	
				
取	表層	中層	深層	

樣 深 度				
取樣照片		取樣完成品		
				
表 層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值
				
中 層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值
				
深 層	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值
				

遠洋關注海域研究用海水取樣紀錄表

基本 資訊	取樣日期：	111.07.14 (星期四)		取樣座標：	E : 124°5.596			N : 21°05.505				
	地點編號：	F 點		天候 (晴/雨)	晴	浪高	0.2	潮況 (漲退)	退潮	流向	南	
	取樣深度：	表層		1m		中層		300m		深層		800m
	作業時間：	起	11 : 33		迄	13 : 29		作業人員：	林建志			
樣品 資訊	位置	溫度 (°C)		鹽度 (‰)		溶氧量 (mg/L)		酸鹼值 (pH)		備註說明		
	表層	29.4		35.0		6.3		8.10				
	中層	17.4		35.8		5.8		7.39				
	深層	8.7		36.5		5.4		7.30				


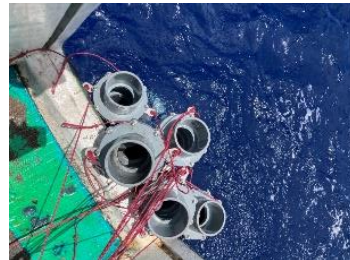



規範事項

1. 「表層」海水取樣位置需置於水面下 0 m 至 5 m 深度內；「深層」海水取樣位置分為兩大區塊，其中 A-D 四點之深層海水取樣須於水面下 30 m 至 90 m 處之間，E-I 五點之深層海水取樣須於水面下 300 m 至 800 m 之間，兩取樣深度需相差 1 倍以上距離。
2. 每指定採樣位置需採集 1 組「表層」及 2 組「深層」海水樣本，為降低取樣過程中船隻飄移及分次取樣對海水樣品同質性造成影響，船隻所搭載海水取樣器之取樣量須達單次可採取共 100 公升(含以上)海水(海水中不得存在直徑 0.6 cm 之顆粒物體)，再裝入由核能研究所提供承裝容器中(每桶 20 公升，單一深度樣本共須 5 桶，總計一個樣品 100 公升，每一桶水誤差範圍為±5 公升)，並逐一貼上試樣標籤以及膠帶封口。
試樣標籤填寫範例：

核能研究所環境試樣	
試樣名稱：海水	編號：A-001-1
取樣地點：A點表層	鮮重：20公升
取樣日期：111年 XX月XX日	灰重：免填
取樣人：王XX	型態：免填
分析核種：免填	備註：免填

3. 試樣編碼原則：
 - (11) 「表層」海水：編號-深度-流水號，如：A-001-1(深度位置統一以 001 標示)。
 - (12) 「深層」海水：編號-深度-流水號，如：A-350-1。
4. 本案 27 個海水樣本運送至核能研究所。
5. 取樣行程規畫以人員安全為第一考量，儘量於白天時段執行作業，同一處海域取樣儘量於同一日完成(影響安全狀況除外，如遇颱風、豪雨停止採樣；如現場遇巨浪、風速等影響，可變更採樣行程)。採水動作，應在海水流動往船隻方向之上游面來進行採集，且避免於船隻引擎及艙底排水孔口附近採樣。

佐證照片資訊

AIS 自動識別系統(定位、時間)		取樣設備		
				
	表層	中層	深層	
取樣深度				
	取樣照片	取樣完成品		



	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值
表層				
中層				
深層				

遠洋關注海域研究用海水取樣紀錄表

基本 資訊	取樣日期：	111.07.14 (星期四)		取樣座標：	E : 123°25.873			N : 20°25.839				
	地點編號：	G 點		天候 (晴/雨)	晴	浪高	0.2	潮況 (漲退)	漲潮	流向	北	
	取樣深度：	表層		1m		中層		300m		深層		800m
	作業時間：	起	20 : 43		迄	22 : 34		作業人員：	林建志			
樣品 資訊	位置	溫度 (°C)		鹽度 (‰)		溶氧量 (mg/L)		酸鹼值 (pH)		備註說明		
	表層	29.3		34.8		6.8		8.16				
	中層	17.6		35.8		6.4		7.70				
	深層	10.8		36.1		5.9		7.55				

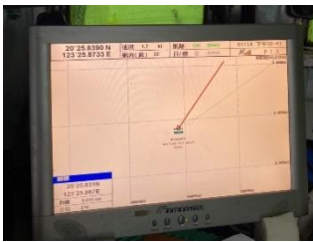




規範事項

- 「表層」海水取樣位置需置於水面下 0 m 至 5 m 深度內；「深層」海水取樣位置分為兩大區塊，其中 A-D 四點之深層海水取樣須於水面下 30 m 至 90 m 處之間，E-I 五點之深層海水取樣須於水面下 300 m 至 800 m 之間，兩取樣深度需相差 1 倍以上距離。
- 每指定採樣位置需採集 1 組「表層」及 2 組「深層」海水樣本，為降低取樣過程中船隻飄移及分次取樣對海水樣品同質性造成影響，船隻所搭載海水取樣器之取樣量須達單次可採取共 100 公升(含以上)海水(海水中不得存在直徑 0.6 cm 之顆粒物體)，再裝入由核能研究所提供承裝容器中(每桶 20 公升，單一深度樣本共須 5 桶，總計一個樣品 100 公升，每一桶水誤差範圍為± 5 公升)，並逐一貼上試樣標籤以及膠帶封口。
試樣標籤填寫範例：













核能研究所環境試樣	
試樣名稱：海水	編號：A-001-1
取樣地點：A點表層	鮮重：20公升
取樣日期：111年 XX月 XX日	灰重：免填
取樣人：王XX	型態：免填
分析核種：免填	備註：免填

- 試樣編碼原則：
 - 「表層」海水：編號-深度-流水號，如：A-001-1(深度位置統一以 001 標示)。
 - 「深層」海水：編號-深度-流水號，如：A-350-1。
- 本案 27 個海水樣本運送至核能研究所。
- 取樣行程規畫以人員安全為第一考量，儘量於白天時段執行作業，同一處海域取樣儘量於同一日完成(影響安全狀況除外，如遇颱風、豪雨停止採樣；如現場遇巨浪、風速等影響，可變更採樣行程)。採水動作，應在海水流動往船隻方向之上游面來進行採集，且避免於船隻引擎及艙底排水孔口附近採樣。

佐證照片資訊

AIS 自動識別系統(定位、時間)		取樣設備		
				
取樣深度	表層	中層	深層	
				
取樣照片		取樣完成品		



	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值
表層				
				
深層				

遠洋關注海域研究用海水取樣紀錄表

基本 資訊	取樣日期：	111.07.15 (星期五)		取樣座標：	E：122°45.242			N：20°0.428				
	地點編號：	H 點		天候 (晴/雨)	晴	浪高	0.2	潮況 (漲退)	漲潮	流向	北	
	取樣深度：	表層		1m		中層		300m		深層		800m
	作業時間：	起	05：24		迄	07：13		作業人員：	林建志			
樣品 資訊	位置	溫度 (°C)		鹽度 (‰)		溶氧量 (mg/L)		酸鹼值 (pH)		備註說明		
	表層	28.6		35.5		6.5		7.85				
	中層	18.8		36.5		6.3		8.04				
	深層	12.3		36.6		6.0		7.65				






規範事項

- 「表層」海水取樣位置需置於水面下 0 m 至 5 m 深度內；「深層」海水取樣位置分為兩大區塊，其中 A-D 四點之深層海水取樣須於水面下 30 m 至 90 m 處之間，E-I 五點之深層海水取樣須於水面下 300 m 至 800 m 之間，兩取樣深度需相差 1 倍以上距離。
- 每指定採樣位置需採集 1 組「表層」及 2 組「深層」海水樣本，為降低取樣過程中船隻飄移及分次取樣對海水樣品同質性造成影響，船隻所搭載海水取樣器之取樣量須達單次可採取共 100 公升(含以上)海水(海水中不得存在直徑 0.6 cm 之顆粒物體)，再裝入由核能研究所提供承裝容器中(每桶 20 公升，單一深度樣本共須 5 桶，總計一個樣品 100 公升，每一桶水誤差範圍為±5 公升)，並逐一貼上試樣標籤以及膠帶封口。
試樣標籤填寫範例：













核能研究所環境試樣	
試樣名稱：海水	編號：A-001-1
取樣地點：A點表層	鮮重：20公升
取樣日期：111年 XX月XX日	灰重：免填
取樣人：王XX	型態：免填
分析核種：免填	備註：免填

- 試樣編碼原則：
 - 「表層」海水：編號-深度-流水號，如：A-001-1(深度位置統一以 001 標示)。
 - 「深層」海水：編號-深度-流水號，如：A-350-1。
- 本案 27 個海水樣本運送至核能研究所。
- 取樣行程規畫以人員安全為第一考量，儘量於白天時段執行作業，同一處海域取樣儘量於同一日完成(影響安全狀況除外，如遇颱風、豪雨停止採樣；如現場遇巨浪、風速等影響，可變更採樣行程)。採水動作，應在海水流動往船隻方向之上游面來進行採集，且避免於船隻引擎及艙底排水孔口附近採樣。

佐證照片資訊

AIS 自動識別系統(定位、時間)		取樣設備		
				
	表層	中層	深層	
取樣深度				
	取樣照片	取樣完成品		



	溫度	鹽度	溶氧量	酸鹼值
表層				
				
深層				

遠洋關注海域研究用海水取樣紀錄表

基本資訊	取樣日期：	111.07.15 (星期五)		取樣座標：	E：122°33.508			N：21°19.819				
	地點編號：	I 點		天候 (晴/雨)	晴	浪高	0.2	潮況 (漲退)	漲潮	流向	北	
	取樣深度：	表層		1m		中層		300m		深層		800m
	作業時間：	起	18：39		迄	20：33		作業人員：	林建志			
樣品資訊	位置	溫度 (°C)		鹽度 (‰)		溶氧量 (mg/L)		酸鹼值 (pH)		備註說明		
	表層	28.7		35.0		6.9		8.17				
	中層	17.8		35.5		5.8		7.63				
	深層	7.8		36.5		5.0		8.01				






規範事項















1. 「表層」海水取樣位置需置於水面下 0 m 至 5 m 深度內；「深層」海水取樣位置分為兩大區塊，其中 A-D 四點之深層海水取樣須於水面下 30 m 至 90 m 處之間，E-I 五點之深層海水取樣須於水面下 300 m 至 800 m 之間，兩取樣深度需相差 1 倍以上距離。
2. 每指定採樣位置需採集 1 組「表層」及 2 組「深層」海水樣本，為降低取樣過程中船隻飄移及分次取樣對海水樣品同質性造成影響，船隻所搭載海水取樣器之取樣量須達單次可採取共 100 公升(含以上)海水(海水中不得存在直徑 0.6 cm 之顆粒物體)，再裝入由核能研究所提供承裝容器中(每桶 20 公升，單一深度樣本共須 5 桶，總計一個樣品 100 公升，每一桶水誤差範圍為±5 公升)，並逐一貼上試樣標籤以及膠帶封口。
試樣標籤填寫範例：

核能研究所環境試樣	
試樣名稱：海水	編號：A-001-1
取樣地點：A點表層	鮮重：20公升
取樣日期：111年 XX月XX日	灰重：免填
取樣人：王XX	型態：免填
分析核種：免填	備註：免填

3. 試樣編碼原則：
 - (17) 「表層」海水：編號-深度-流水號，如：A-001-1(深度位置統一以 001 標示)。
 - (18) 「深層」海水：編號-深度-流水號，如：A-350-1。
4. 本案 27 個海水樣本運送至核能研究所。
5. 取樣行程規畫以人員安全為第一考量，儘量於白天時段執行作業，同一處海域取樣儘量於同一日完成(影響安全狀況除外，如遇颱風、豪雨停止採樣；如現場遇巨浪、風速等影響，可變更採樣行程)。採水動作，應在海水流動往船隻方向之上游面來進行採集，且避免於船隻引擎及艙底排水孔口附近採樣。








佐證照片資訊








AIS 自動識別系統(定位、時間)		取樣設備		
				
取樣深度	表層	中層	深層	
				
取樣照片		取樣完成品		





				
表層	<p style="text-align: center;">溫度</p>	<p style="text-align: center;">鹽度</p>	<p style="text-align: center;">溶氧量</p>	<p style="text-align: center;">酸鹼值</p>
				
中層	<p style="text-align: center;">溫度</p>	<p style="text-align: center;">鹽度</p>	<p style="text-align: center;">溶氧量</p>	<p style="text-align: center;">酸鹼值</p>
				
深層	<p style="text-align: center;">溫度</p>	<p style="text-align: center;">鹽度</p>	<p style="text-align: center;">溶氧量</p>	<p style="text-align: center;">酸鹼值</p>
				








附錄 4、沿岸生態樣本取樣紀錄

第 1 次(110 年第四季)生物樣本採樣列表


地點	名稱	總重量 (g)	照片
屏東東港	逆鈎鱚	1018	
屏東東港	"渡瀨眶燈魚	"	
屏東東港	星雞魚	1047	
屏東東港	大鱗鯪	1050	
台東成功	單角革單棘魷	1469	
台東成功	扁鶴鱗	1025	
台東成功	鬼頭刀	1679	

台東成功	長腰鮭	1176	
宜蘭大溪	六帶擬鱸	1015	
宜蘭大溪	多齒蛇鯔	1013	
宜蘭大溪	花腹鯖	1033	
宜蘭大溪	長鰺	1052	
藻類			
石門	指枝藻	1228	
石門	澣苔	1033	







龍洞	澣苔	1039	
龍洞	紫菜	1021	
磯崎	條澣苔	2600	
磯崎	紅絲藻	1031	
軟體動物			
石門	黑瘤海捲	329	
石門	黑齒牡蠣	343	
龍洞	黑瘤海捲	340	

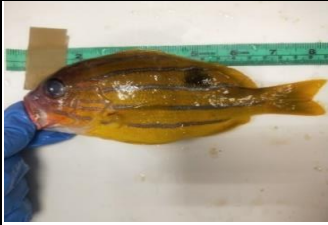






龍洞	芝麻螺	337	
磯崎	漁舟蜃螺	2300	
磯崎	花斑鐘螺	2200	
魚類			
石門	庫氏天竺鯛	500	
石門	瓜子鱸	380	
龍洞	暗紋蛙鰕	486	
龍洞	橫帶間頸鬚鰕	391	


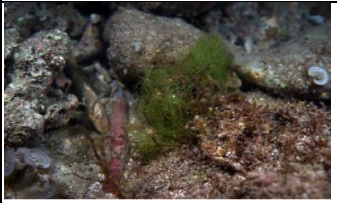





磯崎	細點裸胸鯨	700	
磯崎	黃邊鰭裸胸鯨	400	
節肢動物			
石門	日本絨螯蟹	320	
石門	達氏短漿蟹	297	
龍洞	白紋方蟹	300	
龍洞	黑潮笠藤壺	313	
磯崎	波紋龍蝦	443	

磯崎	方蟹	1100	
----	----	------	--

第 2 次(2022 年第一季)生物樣本採樣列表

地點	名稱	總重量 (g)	照片
屏東東港	白口尾甲鯪 (<i>Uraspis uraspis</i>)	1514	
屏東東港	灰海鰻 (<i>Muraenesox cinereus</i>)	1611	
屏東東港	藍圓鯪 (<i>Decapterus maruadsi</i>)	2201	
屏東東港	日本金梭魚 (<i>Sphyraena japonica</i>)	1991	
台東成功	鬼頭刀 (<i>Coryphaena hippurus</i>)	1472	
台東成功	東方齒鱈 (<i>Sarda orientalis</i>)	1588	
台東成功	杜氏刺尾鯛 (<i>Acanthurus dussumieri</i>)	1906	

台東成功	五線笛鯛 (<i>Lutjanus quinquelineatus</i>)	2020	
宜蘭大溪	日本馬加鱈 (<i>Scomberomorus niphonius</i>)	2831	
宜蘭大溪	多鱗四指馬鮫 (<i>Eleutheronema rhadinum</i>)	1890	
宜蘭大溪	刺鯧 (<i>Psenopsis anomala</i>)	1820	
宜蘭大溪	藍點鸚哥魚 (<i>Scarus ghobban</i>)	1950	
藻類			
石門	浒苔 (<i>Ulva</i> spp.)	1000	
石門	小海帶 (<i>Petalonia binghamiae</i>)	1000	








龍洞	澣苔 (Ulva spp.)	1000	
龍洞	剛毛藻 (Chaetomorpha aerea)	1000	
磯崎	條澣苔 (Ulva clathrata)	2000	
磯崎	裂片石蓴 (Ulva lactuca)	1700	
軟體動物			
石門	黑齒牡蠣 (Saccostrea scyphophilla)	328	
石門	黑瘤海蜷 (Batillaria sordidus)	307	
龍洞	"花笠螺 (Cellana toreuma)		
龍洞	斗笠螺 (Cellana grata)"	308	








磯崎	台灣鮑 (<i>Haliotis diversicolor</i>)	388	
磯崎	漁舟蜚螺 (<i>Nerita albicilla</i>)	538	
魚類			
石門	瓜子鱻 (<i>Girella punctata</i>)	318	
石門	花尾唇指魚翁 (<i>Cheilodactylus zonatus</i>)	319	
龍洞	瓜子鱻 (<i>Girella punctata</i>)	325	
龍洞	褐臭肚 (<i>Siganus fuscescens</i>)	187、215	
磯崎	細點裸胸鯨 (<i>Gymnothorax pictus</i>)	1461	
磯崎	黃邊鰭裸胸鯨 (<i>Gymnothorax flavimarginatus</i>)	786	






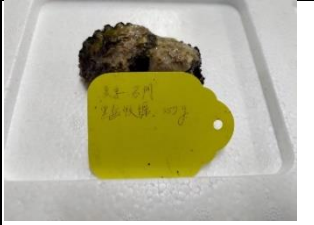
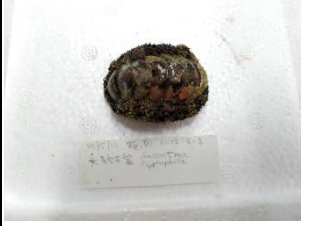

節肢動物









石門	達氏短槳蟹 (<i>Thalamita danae</i>)	325	
石門	兇猛酋腹蟹 (<i>Eriphia ferox</i>)	328	
龍洞	黑潮笠藤壺 (<i>Tetraclita kuroshioensis</i>)	320	
龍洞	美麗笠藤壺 (<i>Tetraclita formosana</i>)	330	
磯崎	環紋蟬 (Charybdis <i>annulate</i>)	590	
磯崎	頑強黎明蟹 (<i>Matuta victor</i>)	420	





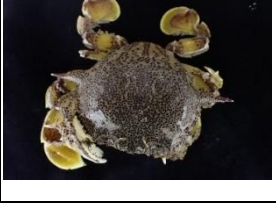
第 3 次(2022 年第二季)生物樣本採樣列表

地點	名稱	總重量 (g)	照片
屏東東港	扁花鰹 (Auxis thazard thazard)	2788	
屏東東港	斑點雞籠鰺 (Drepane punctata)	3109	
屏東東港	黑口鮫鰈 (Lophiomus setigerus)	1546	
屏東東港	小鰭鎌齒魚 (Harpadon microchir)	2675	
台東成功	長尾革單棘魷 (Aluterus scriptus)	1056	
台東成功	巴布亞鰹 (Caranx papuensis)	3244	
台東成功	單帶眶棘鱸 (Scolopsis monogramma)	1252	






台東成功	柏氏鋸鱗魚 (<i>Myripristis botche</i>)	1160	
宜蘭大溪	鋸尾鯛 (<i>Prionurus scalprum</i>)	3347	
宜蘭大溪	杜氏鰺 (<i>Seriola dumerili</i>)	2760	
宜蘭大溪	中國鰺 (<i>Pampus chinensis</i>)	2046	
宜蘭大溪	黑鰭鬚唇飛魚 (<i>Cheilopogon cyanopterus</i>)	2640	
藻類			
石門	翼枝菜 (<i>Pterocladia</i> spp.)	1000	
石門	羊栖菜 (<i>Sargassum fusiforme</i>)	1000	

龍洞	翼枝菜 (<i>Pterocladia</i> spp.)	1000	
龍洞	小杉藻 (<i>Chondracanthus intermedius</i>)	1000	
磯崎	南方團扇藻 (<i>Padina australis</i>)	1300	
磯崎	裂片石蓴 (<i>Ulva lactuca</i>)	1400	
軟體動物			
石門	黑瘤海蜷 (<i>Batillaria sordida</i>)	304	
石門	黑齒牡蠣 (<i>Saccostrea scyphophilla</i>)	357	
龍洞	大駝石鰲 (<i>Liolophura japonica</i>)	390	
龍洞	黑齒牡蠣 (<i>Saccostrea scyphophilla</i>)	327	








磯崎	小笠原珠螺 (<i>Lunella ogasawarana</i>)	1051	
磯崎	日本花棘石鱉 (<i>Liolophura japonica</i>)	537	
魚類			
石門	藍點石斑 (<i>Epinephelus coeruleopunctatus</i>)	301.9	
石門	大鱗龜鮫 (<i>Mugil cephalus</i>)	332	
龍洞	大鱗龜鮫 (<i>Mugil cephalus</i>)	345.7	
龍洞	褐深鰕虎 (<i>Bathygobius Fuscus</i>)	308.9	
磯崎	細點裸胸鯔 (<i>Gymnothorax pictus</i>)	1900	
磯崎	黃邊鰭裸胸鯔 (<i>Gymnothorax flavimarginatus</i>)	537	
節肢動物			

石門	達氏短槳蟹 (<i>Thalamita danae</i>)	315	
石門	兇猛酋腹蟹 (<i>Eriphia ferox</i>)	305	
龍洞	美麗笠藤壺 (<i>Tetraclita formosana</i>)	303	
龍洞	黑潮笠藤壺 (<i>Tetraclita kuroshioensis</i>)	320	
磯崎	環紋蟬 (Charybdis annulate)	750	
磯崎	頑強黎明蟹 (<i>Matuta victor</i>)	340	







第 4 次(2022 年第三季)生物樣本採樣列表



地點	名稱	總重量 (g)	照片
屏東東港	布氏金梭魚 (<i>Sphyraena putnamae</i>)	1880	
屏東東港	眼眶魚 (<i>Mene maculata</i>)	1840	
屏東東港	紅鰓龍占魚 (<i>Lethrinus rubrioperculatus</i>)	2391	
屏東東港	大眼長尾鯊 (<i>Alopias superciliosus</i>)	3192	
台東成功	雙帶鰺 (<i>Elagatis bipinnulata</i>)	2943	
台東成功	尖翅燕魚 (<i>Platax teira</i>)	2388	

台東成功	密點少棘胡椒鯛 (<i>Diagramma pictum</i>)	1837	
台東成功	普拉斯林棘鱗魚 (<i>Sargocentron praslin</i>)	3423	
宜蘭大溪	雲紋雨印鯛 (<i>Zenopsis nebulosa</i>)	2058	
宜蘭大溪	土佐鰐 (<i>Uranoscopus tosae</i>)	2647	
宜蘭大溪	尖棘角魚 (<i>Pterygotrigla hemisticta</i>)	1813	
宜蘭大溪	日本緋鯉 (<i>Upeneus japonicus</i>)	2035	
藻類			
石門	冬青葉馬尾藻 (<i>Sargassum ilicifolium</i>)	1000	









石門	墊狀剛毛藻 (<i>Cladophora patentiramea</i>)	1000	
龍洞	冬青葉馬尾藻 (<i>Sargassum ilicifolium</i>)	1000	
龍洞	鹿角沙菜 (<i>Hypnea cervicornis</i>)	1000	
磯崎	條澣苔 (<i>Ulva clatherata</i>)	1900	
磯崎	鹿角沙菜 (<i>Hypnea cervicornis</i>)	1100	
軟體動物			
石門	黑瘤海蜷 (<i>Batillaria sordida</i>)	300	
石門	黑齒牡蠣 (<i>Saccostrea scyphophilla</i>)	400	








龍洞	漁舟蜃螺 (Nerita albicilla)	300	
龍洞	黑齒牡蠣 (Saccostrea scyphophilla)	300	
磯崎	漁舟蜃螺 (Nerita albicilla)	2200	
磯崎	日本花棘石鱉 (Liolophura japonica)	447	
魚類			
石門	孟加拉雀鯛 (Abudefduf bengalensis)	311	
石門	大鱗龜鮫 (Planiliza macrolepis)	312	
龍洞	闇紋蛙鰕 (Istiblennius edentulus)	315.8	









龍洞	大鱗龜鮫 (<i>Planiliza macrolepis</i>)	306.5	
磯崎	細點裸胸鯔 (<i>Gymnothorax pictus</i>)	774	
磯崎	黃邊鰭裸胸鯔 (<i>Gymnothorax flavimarginatus</i>)	314	
節肢動物			
石門	達氏短槳蟹 (<i>Thalamita danae</i>)	310	
石門	兇猛酋腹蟹 (<i>Eriphia ferox</i>)	320	
龍洞	美麗笠藤壺 (<i>Tetraclita formosana</i>)	310	
龍洞	黑潮笠藤壺 (<i>Tetraclita kuroshioensis</i>)	310	










磯崎	環紋蟬 (Charybdis annulate)	1075	
磯崎	頑強黎明蟹 (Matuta victor)	443	




第 5 次(2022 年第四季)生物樣本採樣列表

地點	名稱	總重量 (g)	照片
屏東東港	雙髻鯊 (Sphyrna)	2070	
屏東東港	大口逆鈎鯨 (Scomberoides commersonianus)	3875	
屏東東港	短棘鰺 (Leiognathus equulus)	2080	
屏東東港	金線魚 (Nemipteridae)	2479	
台東成功	鋸尾鯛 (Prionurus scalprum)	2133	
台東成功	托爾逆鈎鯨 (Scomberoides tol)	2568	
台東成功	赤鯮 (Doederleinia berycoides)	2260	
台東成功	杜氏刺尾鯛 (Acanthurus dussumieri)	2950	

宜蘭大溪	長尾濱鯛 (Etelis coruscans)	2260	
宜蘭大溪	黃魷 (Hemirhynchus bennettii)	2381	
宜蘭大溪	黑魷 (Atrorhynchus nibe)	2280	
宜蘭大溪	白馬頭魚 (Branchiostegus albus)	3050	
藻類			
石門	氣生硬毛藻	1000	
石門	腔腺剛毛藻	1000	
龍洞	魚棲苔	1000	

龍洞	巢沙菜	1000	
磯崎	鹿角沙菜 (<i>Hypnea cervicornis</i>)	1200	
磯崎	條浒苔 (<i>Ulva clatherata</i>)	1800	
軟體動物			
石門	黑瘤海蜷 (<i>Batillaria sordida</i>)	300	
石門	黑齒牡蠣(<i>Saccostrea scyphophilla</i>)	300	
龍洞	漁舟蜃螺 (<i>Nerita albicilla</i>)	300	
龍洞	黑齒牡蠣 (<i>Saccostrea scyphophilla</i>)	300	
磯崎	漁舟蜃螺 (<i>Nerita albicilla</i>)	1659	

磯崎	滑圓蜚螺 (Nerita ocellata)	1297	
魚類			
石門	星斑臭肚魚 (Siganus guttatus)	301	
石門	大鱗龜鮫 (Planiliza macrolepis)	334	
龍洞	瓜子鱾 (Girella punctata)	630.0	
龍洞	大鱗龜鮫 (Planiliza macrolepis)	308.7	
磯崎	邵氏裸胸鯔 (Gymnothorax shaoi)	766	
磯崎	黃邊鰭裸胸鯔 (Gymnothorax flavimarginatus)	370	
節肢動物			
石門	達氏短槳蟹 (Thalamita danae)	310	
石門	兇猛酋婦蟹 (Eriphia ferox)	315	

龍洞	美麗笠藤壺 (<i>Tetraclita formosana</i>)	320	
龍洞	黑潮笠藤壺 (<i>Tetraclita kuroshioensis</i>)	305	
磯崎	環紋蟬 (Charybdis annulate)	433	
磯崎	細紋方蟹 (Grapsus tenuicrustatus)	407	