

# 112 年度政府科技發展計畫 期末報告書

計畫名稱：國家海域放射性物質擴散預警及安全評估  
應對計畫(1/4)

執行期間：

全程：自 112 年 1 月 1 日 至 115 年 12 月 31 日止

本期：自 112 年 1 月 1 日 至 112 年 12 月 31 日止

主管機關：核能安全委員會

執行機關：核能安全委員會、國家原子能科技研究院、輻射偵測中心；農業部水產試驗所、漁業署；衛生福利部食品藥物管理署；交通部中央氣象署；海洋委員會國家海洋研究院





## 英文摘要

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. Therefore, it is necessary to continuously monitor and compare with the baseline values before discharge, and conduct source control, strengthened monitoring, early radiation warning system and open information through inter-ministerial communication with the public.

This plan integrates the atomic energy expertise of the Nuclear Safety Commission and the oceanographic expertise of the Ocean Affairs Council through cross-department integration, and integrates national tasks across fields to solve tritium-containing treated water discharge incidents and proactive disaster protection. The main research results in 2023 include: (1) Establish representative sampling points to conduct sampling and analysis of seawater, fisheries, Japanese food, and marine ecology. In 2023, at least 362 seawater tritium cases, 3,000 catches, 100 pieces of food and 144 pieces of ecological samples ensure radiation safety in the sea and food safety for the people; (2) Health risks of imported aquatic products in Taiwan's ocean area. Tritium metabolism research can provide the competent authorities with a reference for the impact of radioactive tritium in aquatic animals and the revision of food safety regulations; (3) Establishing an open and transparent information integration platform for the public, which can simultaneously display real-time emission monitoring of emission events, cross-department radiation monitoring integrated dashboard, weekly diffusion forecast overview, etc. , reduce the impact of Japan's discharge of treated water from Fukushima; (4) Complete Taiwan's coastal marine ecological radiation background through 144 samples in 2023, and completing annual marine ecological surveys.

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



## 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「海洋排放」之處置方式，並於 2023 年 8 月 24 日開始進行排放。含氚處理水的排放不僅提高海洋環境核輻射值，並可能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。因此本計畫延續 110~112 年度之整備計畫，持續進行海域監測，並透過跨部會間的聯繫，進行源頭管制、強化監測、擴散預報以及資訊公開等四大配套措施，以專業技術整合，在排放的第一年開始完善的應對工作。

為此，本計畫 112 年度研究成果包含：(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，配合採樣、輻射檢測等量能盤點，訂定代表性取樣點進行海水、漁獲、日本食品、海域生態取樣分析，112 年度完成 344 件海水氚、3000 件漁獲物檢測工作；(2)進行臺灣鄰近海洋食用進口水產動物類及藻類健康風險評估，透過氚的代謝研究，可提供主管機關做為進口水產動物類及藻類中放射性氚影響及食安法規修訂之參考，112 年度共完成 100 件食品生物氚檢測；(3)將海洋擴散預報及示警系統配合氣象署之氣象預報經驗，提升為例行作業化之預報系統，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即時排放監測、跨部會輻射監測整合儀表板、一週擴散預報概述等，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；(4)臺灣沿岸海洋生態輻射背景和食物鏈累積評估，透過 112 年度 144 件生態樣本採樣檢測，完成年度海域生態調查及評估報告，確保我國沿岸海洋環境之生態永續發展。

關鍵字：含氚處理水、海水取樣分析、輻射預警系統、海洋生態永續



# 目錄

英文摘要 .....	II
中文摘要 .....	IV
壹、 前言 .....	1
貳、 研究目的 .....	5
參、 研究方法 .....	9
肆、 計畫執行情形說明 .....	13
子項計畫一：海域重要漁場水質與洄游魚種輻射安全評估研究 .....	13
【研究計畫一：臺灣海域海水取樣及氡分析作業】 .....	14
【研究計畫二：重點洄游魚類取樣及氡分析作業】 .....	22
【研究計畫三：境外海洋輻射事件劑量安全評估研究】 .....	26
【研究計畫四：水體中氡活度濃度之批次自動監測技術建立】 .....	33
子項計畫二：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 .....	42
【研究計畫一：魚類及藻類邊境輸入檢測及氡健康風險評估】 .....	42
【研究計畫二：魚類有機氡/無機氡代謝研究】 .....	44
子項計畫三：海域放射性物質排放事件例行化預報及異常排放示警處理研究 .....	49
【研究計畫一：擴散模式精進及擴增臺灣海峽預報模組】 .....	50
擴散模式精進及擴增臺灣海峽預報模組 .....	51
【研究計畫二：放射性物質海洋擴散例行作業化系統整合及營運】 .....	103
放射性物質海洋傳輸擴散模式校驗系統 .....	120
放射性物質海洋傳輸擴散預報作業化系統結果的年度趨勢統計分析 .....	132
資訊公開及數據轉譯 .....	146
【研究計畫三：放射性物質排放之 CFD 沿岸放流模式建立】 .....	184
大尺度 CFD 模式 .....	184
中小尺度 CFD 模式 .....	199
子項計畫四：海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查 .....	249
【研究計畫一：海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查】 .....	249

伍、 結語 .....	255
陸、 參考文獻 .....	259
附件一、氣象署擴散模式方法及資料 .....	265
研究資料 .....	265
西北太平洋流況分析方式 .....	272
海流模式(Ocean Current Model).....	278
粒子軌跡模式(Particle Tracking Model).....	281
網格化擴散模組 .....	286
放射性核種擴散機制 .....	287
附件二、平台系統管理與資料維護 .....	297
系統架構 .....	297
系統功能 .....	299
檢測數據傳遞與公開作業程序 .....	302
附件三、沿岸生態系採集紀錄 .....	305

## 壹、 前言

日本於 2011 年 3 月 11 日發生福島第一核電廠核災事件，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，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。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 (Advanced Liquid Processing System，先進廢水處理系統或稱多核種去除設備) 處理之含氚處理水擬於 2023 年排放，再度引起包括臺灣在內的諸多國家警覺，我國政府正視及研究福島含氚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，行政院迅速指示由核安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。

為此，面對未來的環境衝擊，本計畫以輻射偵測網、資訊研判與預警系統作為技術發展主軸，並透過資訊公開與即時揭露之策略，提供資訊予政府跨部會因應平台，發揮其橫向協調整合功能，針對各民生衝擊的關鍵議題，提供相關輻射標準或準則以及作業流程，降低對漁業產值衝擊，以及建立民生水產品食用安全與信心；同時亦進行海域環境水質監測，防治海洋污染，維護海域環境，達到生態永續。

為此，核安會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。

整備期由國家原子能科技研究院、海委會國海院及交通部氣象署共同研

提「國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫」，該計畫執行期程自 110 年 7 月 1 日至 111 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，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)「組織內自由水氚(Tissue Free Water Tritium, TFWT)」與「有機鍵結氚(Organic Bounded Tritium, OBT)」檢測技術。(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。(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。

應對期則延續整備期，規劃於日本福島含氚廢水排放開始的 112 年度接續執行四年期「國家海域放射性物質擴散預警及安全評估應對計畫」(本計畫)。應對計畫將依循整備計畫所預警的可能擴散趨勢範圍，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，配合採樣、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)，以及建立變化異常指標與跨部會應對流程；(2) 進行臺灣鄰近海洋食用進口水產動物類及藻類健康風險評估，透過氚的代謝研究，可提供主管機關做為進口水產動物類及藻類中放射性氚影響及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署之氣象預報經驗，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。



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，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。



## 貳、 研究目的

日本政府正式於 2023 年以海洋排放方式處理含氚處理水；此舉已獲國際原子能總署（IAEA）支持，雖日方說明此氚水排放對於人體造成輻射影響低微，仍引起國內民眾與立院委員，對於含氚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。

針對日本規劃排放含氚處理水，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。

因此為確保福島電廠含氚處理水排放之：(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，並進一步評估對於社會、經濟與環境永續發展影響層面。本計畫與農業部漁業署、水試所、交通部氣象署、海委會國海院、衛福部食藥署等相關部會共同合作，於日本福島含氚處理水開始排放的 112 年度接續執行四年期「國家海域放射性物質擴散預警及安全評估應對計畫」，依循整備計畫所預警的可能擴散趨勢範圍及受影響魚種，進行排放後的海水、漁產品、水產食品、海域生態等跨領域應對監測、例行放射性物質海洋擴散衝擊潛勢預報技術開發、建立變化異常指標與跨部會應對流程。

本計畫扣合守護漁業、確保食安、災防預警、海洋永續四大主軸，整合跨部會專業能量，確保民眾輻射安全，以科學證據解決民眾疑慮，並落實資訊公開，使民眾安心、放心。

本計畫共有四大子項計畫，由各部會依照其專業分工分別執行相關工

作，如圖 1，包含：子項一：海域重要漁場水質與洄游魚種輻射安全評估研究；子項二：日本含氫廢水排放對水產動物類及藻類劑量安全與風險研究；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警處理研究；子項四：海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查。

#### **子項一：海域重要漁場水質與洄游魚種輻射安全評估研究**

此子項計畫之主責單位為國原院，參與單位包括偵測中心、農業部水試所以及漁業署，針對日本 ALPS(Advanced Liquid Processing System，先進處理水處理系統)含氫廢水排放作業，放射性物質可能隨著洋流擴散至我國周圍海域，使國內漁民捕獲之魚獲產品受到品質安全疑慮，藉由監控我國漁船作業近海與遠洋海域之水體氫輻射變化數據，與我國重要洄游魚之輻射檢測，透過強化長週期監測與連續數據紀錄，以科學數據，提供政府捍衛漁民捕獲水產品之品質，保障漁民權益，另並逐步建立監測異常之跨部會應對流程，以及建立水體中氫活度濃度之連續監測技術，預備輻射意外事件應變之前瞻監測技術。

#### **子項二：日本含氫廢水排放對水產動物類及藻類劑量安全與風險研究**

此子項計畫之主責單位為國原院，參與單位為衛福部食藥署，因應福島含氫廢水排入海洋後，對於日本排放符合標準之含氫廢水若擴散至臺灣海域，國人食用之水產動物類及藻類仍有可能遭受含氫廢水污染，且其對人體健康風險危害程度尚不明確等議題，首先蒐集國際研究文獻、各國現行管理現況，並以精進具程序標準化的水產品放射性核種氫之檢測技術，來調查邊境輸入水產動物類及藻類中放射性核種氫輻射數值，並依據監測所得之監測值資料，適時滾動調整評估，另同步模擬含氫海水環境進行水產品育種試驗，分析水中無機氫量與水產品生物體內有機氫之關聯性，藉以建置核種遷移係數，以科學數據進行分析海水中無機氫量與水產品生物體內有機氫之

關聯性，藉以建置量測快篩機制與氙核種對人體影響之健康風險評估，續以提供相關數據供政府部門採行相對應之管理措施。

### **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警處理研究**

此子項計畫之主責單位為交通部氣象署，參與單位為國原院，主要目標為透過氣象署長年海象觀測及預報之能量，結合國原院放射性物質專長及小尺度流體力學之技術，發展精準且例行化之放射性物質擴散預報系統，可有效透過風險警示之方式，確保排放事件發生時，可以快速提供時間及空間的模擬運算，同時透過國際團隊之合作，以科學證據強化運算模式之驗證，供相關部會提前因應，同時透過創新之資訊轉譯工作，以民眾需求為出發，確保生硬的科學數據可有效被民眾吸收，透過媒體影片、圖卡、科普展覽等進行資訊傳遞，保障國人對於氙水排放事件之理解，達到安定民心的目標。

在該系統建置完成後，除應對日本含氙廢水排放事件外，亦可作為臺灣海域之全方位擴散預警系統，持續監控環太平洋核電廠的未知輻射外釋事件，達到長遠海洋安全之效益。

### **子項四：海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查**

此子項計畫之主責執行單位為海委會國海院，奠基於 110-111 年 1.5 年期整備計畫以及 112 年應對計畫，執行定期、定點監測，透過臺灣岸際與沿岸海域之生物樣本採集調查，建立臺灣周遭海域生態系輻射影響現況基線，觀察沿近岸生態系是否受到輻射影響及受污染後的生態影響程度。

本計畫整體目標為保障海洋環境及民生輻射安全，整合相關部會之技術能量，透過學術合作進行技術精進和技術擴散，使研究成果有助我國因應日本排放含氙廢水事件可能引發的後續輻射安全影響，並以此精進發展海洋擴散模式、量測技術以及建立海洋輻射意外事故之因應措施，對於未來類似之海洋輻射污染事件及早因應、超前佈署。

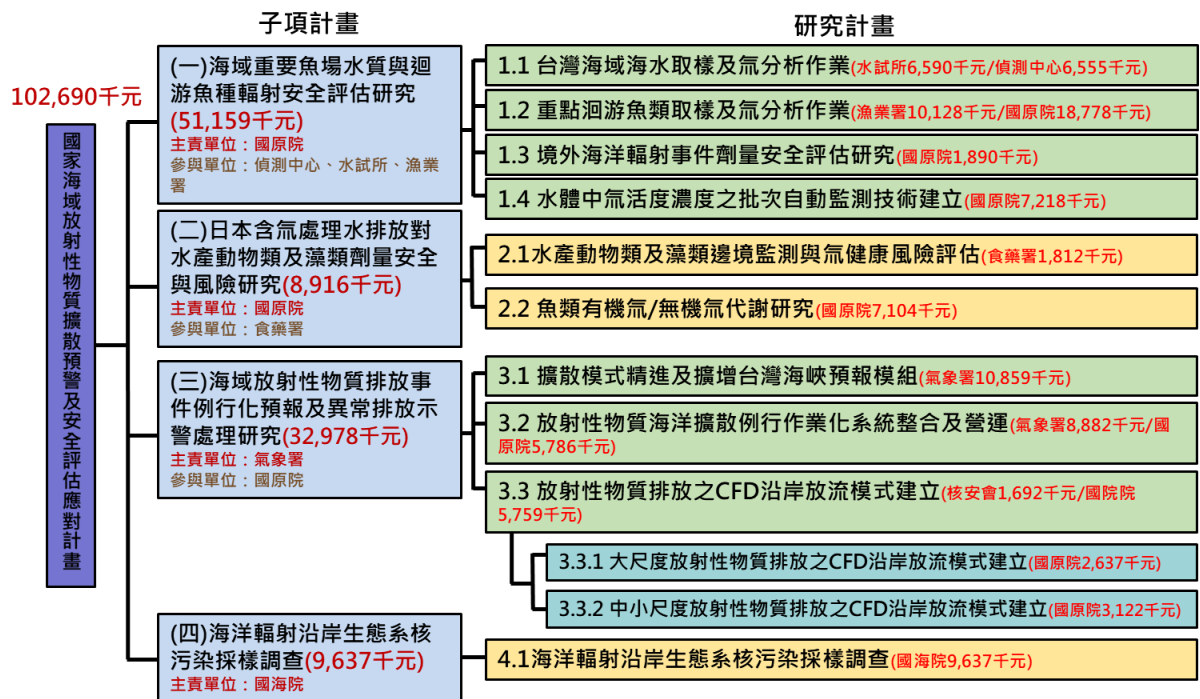


圖 1. 本計畫架構及各部會經費/工作配置(112 年度)

## 參、 研究方法

本統整相關子項計畫下之研究計畫，執行方法與分工如下：

**臺灣海域海水取樣及氡分析作業：**由跨部會單位定期採集臺灣周邊海域樣本，海水送偵測中心檢測氡，其他樣本(包含：洄游魚類、藻類、甲殼類等)由國原院進行放射性核種氡濃度調查。由偵測中心執行臺灣沿岸 9 個漁港海水取樣，並執行跨部會單位於臺灣鄰近海域取樣海水之氡輻射含量分析，提出評估報告。

**重點洄游魚類取樣及氡分析作業：**由農業部漁業署完成漁獲物取樣，由國原院實驗室進行漁產放射性核種濃度調查，嚴密監控沿近海海域漁獲物輻射濃度。

**境外海洋輻射事件劑量安全評估研究：**由國原院(1)配合 IAEA 針對海域輻射事件之相關導則，選定關鍵群體及曝露途徑。(2)針對相關關鍵群體及曝露途徑，反以核種傳輸參數計算 1 mSv 代表之氡水活度濃度，建立「異常指標」。(3)將前述氡水活度濃度指標設定為跨部會應對流程之參考數值，並以此設計相關標準流程。

**水體中氡活度濃度之批次自動監測技術建立：**由國原院(1)進行水中氡核種活度濃度之連續監測技術資料收集，評選合適氡偵測器之規格，並建置水體中氡活度濃度之偵測設備 1 套及完成模擬無機氡水之偵測試驗。(2)進行水質純化、過濾、脫鹽之單元設計及處理設備。(3)整合氡活度濃度偵測設備及水質處理設備，並設計、建置氡活度濃度之連續監測系統 1 套，完成含氡淡水試樣之活度濃度驗證。(4)完成含氡海水試樣之活度濃度驗證及連續數據記錄。

**水產動物類及藻類邊境監測及氡健康風險評估：**由衛福部食藥署(1)蒐集國

際研究文獻及各國現行管理現況。(2)建立水產動物類及藻類中放射性核種氙之檢驗方法(國原院協助)。(3)規劃、執行邊境輸入水產動物類及藻類之監測計畫，並建立資料庫，依據監測所得之監測值資料，適時滾動調整評估，必要時，提報至食品風險諮議會討論細部規劃。(4)提報至食品風險諮議會討論，建立可行之風險評估模式，併同考量國人水產品攝食量、終生癌症風險等相關數據，據以評估風險程度及後續採行之管理措施，包括是否需進一步訂定食品中之管限制值。

**魚類有機氙/無機氙代謝研究：**由國原院(1)人工養殖場建置及代表性海水生物評估及選定。(2)完成養殖之海水生物評估、有機氙累積活度及各種影響因子，並進行海水生物取樣及其放射性活度分析。(3)測試不同海水生物體內有機氙之累積活度及其影響因子；建立現場與實驗室低微放射性核種氙量測技術。(4)完成海水水質及無機氙濃度對生物體劑量累積及其變化趨勢模型建立，獲得核種遷移係數並建立其快篩機制。

**擴散模式精進及擴增臺灣海峽預報模組：**由交通部中央氣象署(1)精進海流作業化模式。(2)強化放射性物質海洋傳輸擴散模式。(3)透過放射性物質海洋傳輸擴散模式與海洋生態模式耦合技術評估，進行文獻蒐集、模式參數解析及觀測資料相關性分析，完善放射性物質衝擊潛勢分析及示警系統計算範圍。

**放射性物質海洋擴散例行作業化系統整合及營運：**由交通部中央氣象署確保福島核電廠含氙廢水海洋傳輸擴散預報作業化系統正常作業。每年評估校驗並精進海流預報作業化系統、強化放射性物質海洋傳輸擴散模式結果的可信度。整合海洋擴散、放射性物質、海洋生態等領域專業(國原院協助)，完善放射性物質衝擊潛勢分析及示警系統。

**放射性物質排放之 CFD 沿岸放流模式建立：**因氣象預報等級之海流擴散模



式多為大尺度海流模擬，但實際上日本的氙水排放會因為特殊放流管之設計而影響擴散之結果，如：排放深度、排放流量、排放管離岸距離，皆須透過小尺度沿岸計算流體力學做為大尺度模式之初始條件，因此為配合日本之放流設計及沿岸地形，交通部中央氣象署以放流模擬作為氣象模式之初始條件，提升模擬計算之精確度(國原院協助)。

**資訊公開及數據傳遞創新轉譯：**核安會與其他部會共同合作，蒐集必要之資訊，舉行資訊公開傳遞討論會議至少 3 場，提升資訊傳遞之觸及率並提前妥善規劃。舉辦或參與至少一場科普展覽，並以網路社群圖卡、影片進行社會溝通。

**海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查：**由國海院海生中心執行沿近岸生態系調查，在沿岸生態輻射累積調查方面，持續進行臺灣東北部(石門、龍洞、大溪)、東部(花蓮)、東南部(成功)以及西南部(東港)海域等 3 個生態系及 3 個漁港採樣調查。強調生態系採樣的方式，並考量生物物種於食物鏈之位階，以瞭解不同區域、不同時節的各沿近岸生態系核輻射基線變化和可能的輻射影響食物鏈累積。



## 肆、計畫執行情形說明

### 子項計畫一：海域重要漁場水質與洄游魚種輻射安全評估研究

細項項目 (執行單位)	目標	112 年度工作項目	達成情形(百分比)
<b>研究計畫一：臺灣海域海水取樣及氡分析作業</b>			
臺灣周邊海域海水放射性核種氡濃度調查(水試所)	分析臺灣周邊海域漁場之海水歷年放射性核種濃度變化趨勢，進行放射性核種濃度對臺灣周邊漁場污染之風險評估。	完成臺灣周邊海域 50 個測站之海水放射性核種氡濃度調查。	取樣完成 204 件。 (100%)
臺灣周邊海域魚類及其餌料生物之放射性核種氡濃度調查(水試所)	分析臺灣周邊海域漁場之浮游動物及仔稚魚歷年放射性核種濃度變化趨勢，進行放射性核種濃度對臺灣周邊漁場污染之風險評估。	完成臺灣周邊海域 4 大區域之仔稚魚及浮游動物放射性核種氡濃度調查。	完成 4 大區四季浮游動物取樣檢測工作，計 20 件。 (100%)
臺灣鄰近海域海水氡輻射取樣分析與評估(偵測中心)	完成臺灣海域海水氡含量輻射分析，評估日本福島核電廠含氡處理水排放海洋對我國海域之影響；完成評估報告 1 份，相關數據並公開於政府資料開放平台讓民眾安心。	1. 跨部會單位於臺灣鄰近海域執行海水取樣 320 件以上。 2. 完成年度臺灣海域海水氡輻射分析與評估報告 1 份。	1. 執行臺灣鄰近海域取樣分析海水氡輻射共 399 件之取樣及分析，結果無輻射異常。 (125%) 2. 北太平洋公海海域取樣 12 件海水樣品進行氡分析。已完成取樣及分析 41 件，結果無輻射異常。 (300%) 3. 完成研究報告 1 份。
<b>研究計畫二：重點洄游魚類取樣及氡分析作業</b>			
重點洄游魚類取樣及氡分析作業(國原院、漁業署)	完成臺灣海域漁獲物氡含量分析，評估日本福島核電廠含氡處理水排放海洋對我國海域之影響，相關數據並公開於政府資料開放平台讓民眾安心。	完成 240 件漁獲物氡檢測，嚴密監控沿近海域漁產輻射濃度。提供科學監測數據，以供相關部會採行因應作為之依據。	1. 完成農業部漁業署臺灣近海漁場 240 件及北太平洋秋刀魚漁場 28 件取樣。 (112%) 2. 完成生物氡檢測量能擴充，由原 200 件/年提升至 500 件/年。 3. 協助研擬兩階段食品中氡之檢驗方法，以提供全國一致檢

細項項目 (執行單位)	目標	112 年度工作項目	達成情形(百分比)
			驗方法，確保各實驗室檢驗水準。 4. 完成自動化電解濃縮技術開發，提升氡水活度檢測之靈敏度。
<b>研究計畫三：境外海洋輻射事件劑量安全評估研究</b>			
國家海域氡水輻射事件劑量安全評估研究(國原院)	完成一套跨部會橫向連結之數據運用及輻射異常事件應對標準流程。	依照 IAEA 相關核種傳輸分析建議報告，完成氡水排放之關鍵曝露途徑及關鍵群體研析報告 1 份。	完成氡水排放之關鍵曝露途徑及關鍵群體研析報告 1 份。(100%)
<b>研究計畫四：水體中氡活度濃度之批次自動監測技術建立</b>			
水體中氡活度濃度之連續監測技術建立(國原院)	建立水體中氡活度濃度之即時監測系統，完成含氡水樣之活度濃度驗證，預備輻射意外事件應變之前瞻監測技術，使民眾安心。	完成氡活度濃度之偵測設備 1 套及模擬無機氡水之活度濃度驗證。	完成氡活度濃度之偵測設備 1 套及模擬無機氡水之活度濃度驗證。(100%)

### 【研究計畫一：臺灣海域海水取樣及氡分析作業】

研究計畫一為臺灣海域海水取樣及氡分析作業，考量臺灣地理位置、洋流流向、海域分布、沿岸近海遠洋與深層分布之監測資料及實驗室分析量能等相關因素，偵測中心於臺灣周邊海域擇定具代表性 107 個監測點，並執行 332 件，海水樣品之氡分析，另於北太平洋公海海域取樣 12 件海水樣品進行氡分析，全年總計 344 件，取樣件數及負責單位詳如表 1-1。取樣位置及頻次如表 1-2 至表 1-6 及圖 1-1，說明如下：

1. **沿岸漁港**：為我國沿岸及漁港取樣點，包含高雄西子灣、嘉義東石漁港、彰化王功漁港、新竹南寮漁港、基隆八斗子漁港、宜蘭南方澳漁港、花蓮港、台東成功漁港、台東大武漁港等，共計 9 點，目的為監測臺灣本島沿岸漁港海水輻射量。

2. **臺灣南北端沿岸：**為我國南北核電廠周圍地區沿岸取樣點，包含石門、野柳、金山、南灣、白沙及 3 個核電廠之進水口與出水口等，共計 11 點，目的為監測核電廠周圍地區沿岸海水輻射量。
3. **離島沿岸：**為我國離島地區沿岸取樣點，包含東引、南竿、金門、澎湖、東沙、南沙等，共計 6 點，由海洋委員會海巡署協助取樣，目的為監測臺灣西側海域海水輻射量。
4. **臺灣周圍漁場：**為農業部水產試驗所執行臺灣周邊海域漁場環境監測之 62 個固定測站，取樣點分布於臺灣本島四周，由水產試驗所協助取樣，目的為監測臺灣周圍漁場海水輻射量。
5. **近海海域：**為臺灣及離島近海海域取樣點，包含龜山島、臺灣東北角外海、旗津、核三廠出水口右側、主要溪流出海口外 4 海浬及離島海域等 18 點，由海洋委員會海洋保育署協助取樣，目的為監測臺灣近海海域海水輻射量。
6. **黑潮海域：**為黑潮主流及支流流經區域之取樣點，包含臺灣東北外海 1 點，由海洋委員會海巡署協助取樣表層海水，另由臺灣周圍漁場 62 點中選定貢寮龍洞外海、小琉球外海及蘭嶼外海等 3 個代表點位，由農業部水產試驗所協助取樣表層及深層海水，目的為監測黑潮主流及支流海水輻射量。

表 1-1、112 年海水氚執行件數統計表

單位	計畫件數	執行件數
輻射偵測中心	83	91
海委會海巡署	13	13
海委會海保署	36	24
農業部水試所	200	204
農業部漁業署	12	36
合計	344	368

表 1-2、沿岸 9 大漁港及臺灣南北端海域之監測點及座標表(輻射偵測中心)

海域	編號	位置	經度	緯度	取樣深度	監測頻次
臺灣南北 端海域	R-11	核一廠入水口	121.6000	25.2800	表層	1/季
	R-12	核一廠出水口	121.5900	25.2900	表層	1/季
	R-13	石門	121.5600	25.2900	表層	1/季
	R-14	核二廠入水口	121.6700	25.2000	表層	1/季
	R-15	核二廠出水口	121.6600	25.2000	表層	1/季
	R-16	金山海水浴場	121.6400	25.2300	表層	1/季
	R-17	野柳	121.6900	25.2000	表層	1/季
	R-18	核三廠入水口	120.7500	21.9500	表層	1/季
	R-19	核三廠出水口	120.7400	21.9500	表層	1/季
	R-10	白沙	120.7100	21.9300	表層	1/季
	R-20	南灣	120.7600	21.9600	表層	1/季
沿岸 9 大 漁港	R-1	高雄西子灣	120.2682	22.6175	表層	1/季
	R-2	嘉義東石漁港	120.1382	23.4530	表層	1/季
	R-3	彰化王功漁港	120.3239	23.9720	表層	1/季
	R-4	新竹南寮漁港	120.9245	24.8475	表層	1/季
	R-5	基隆八斗子漁港	121.7915	25.1446	表層	1/季
	R-6	宜蘭南方澳漁港	121.8684	24.5820	表層	1/季
	R-7	花蓮港	121.6244	23.9812	表層	1/季
	R-8	台東成功漁港	121.4030	23.1595	表層	1/季
	R-9	台東大武漁港	120.8971	22.3351	表層	1/季

備註： 1.取樣點座標僅供建議定位用，實際以取樣時的座標為準。

2.表層為水下 0~5 公尺。

3.沿岸 9 大漁港採樣頻次為 112 年第 2 季起每季 1 次，避免隔月採為原則。

表 1-3、西側離島海域監測點及座標表(海巡署)

海域	編號	位置	經度	緯度	取樣深度	監測頻次
西側離	C-1	東沙	116.7000	20.8000	表層	1/半年

島海域	C-2	南沙	114.2000	10.4000	表層	1/半年
	C-3	金門	118.5000	24.4000	表層	1/半年
	C-4	澎湖	119.7000	23.4300	表層	1/半年
	C-5	東引	120.6400	26.4700	表層	1/半年
	C-6	南竿	119.8700	26.0400	表層	1/半年
黑潮海域	C-7	東北外海	124.0000	25.1333	表層	1/年

備註：表層為水下 0~5 公尺。

表 1-4、臺灣及離島近海海域監測點及座標表(海委會海保署)

海域	編號	位置	經度	緯度	取樣深度	監測頻次
臺灣及離島近海海域	O-1	龜山島	121.94341	24.82801	表層	1/半年
	O-2	核四預定地外海	121.93877	25.04538	表層	1/半年
	O-3	淡水河口外 4 海浬處	121.37085	25.20752	表層	1/半年
	O-4	和平溪口外 4 海浬處	121.83391	24.29811	表層	1/半年
	O-5	金門本島東側沿海	118.47518	24.43933	表層	1/半年
	O-6	北竿東部沿海	120.01842	26.23645	表層	1/半年
	O-7	東引北部沿海	120.47943	26.3951	表層	1/半年
	O-8	客雅溪河口外 4 海浬處	120.83262	24.8063	表層	1/半年
	O-9	大肚溪口外 4 海浬	120.42518	24.20855	表層	1/半年
	O-10	濁水溪口外 4 海浬	120.18257	23.86615	表層	1/半年
	O-11	朴子溪口外 4 海浬	120.06542	23.43424	表層	1/半年
	O-12	二仁溪口外 4 海浬	120.11448	22.91065	表層	1/半年
	O-13	旗津	120.26271	22.58792	表層	1/半年
	O-14	高屏溪口外 4 海浬	120.39269	22.41375	表層	1/半年

	O-15	核三廠出水口右側	120.75636	21.92546	表層	1/半年
	O-16	卑南溪口外4海裡	121.23079	22.75099	表層	1/半年
	O-17	吉貝海域	191.61561	23.7339	表層	1/半年
	O-18	七美海域	191.41767	23.19011	表層	1/半年

備註：表層為水下0~5公尺。

表 1-5、黑潮海域監測點及座標表(農業部水試所)

海域	編號	位置	經度	緯度	取樣深度	監測頻次
黑潮海域	ST-61	貢寮龍洞外海	122.5000	25.5000	表層	1/半年
					深層	1/年
	ST-31	小琉球外海	120.0000	22.0000	表層	1/半年
					深層	1/年
	ST-17	蘭嶼外海	122.0000	22.2500	表層	1/半年
					深層	1/年

備註：表層為水下5公尺；深層為水下200公尺。

表 1-6、臺灣外海海水監測點及座標表(農業部水試所)

編號	經度	緯度	取樣深度	監測頻次
ST-1	122	24.9	表層	1/季
ST-2	122.5	25	表層	1/季
ST-3	123	25	表層	1/季
ST-4	122.48	24.5	表層	1/季
ST-5	122	24.5	表層	1/季
ST-6	121.7	24	表層	1/季



ST-7	122	23.75	表層	1/季
ST-8	122.5	23.75	表層	1/季
ST-9	123	23.75	表層	1/季
ST-10	123	23	表層	1/季
ST-11	122.5	23	表層	1/季
ST-12	122	23	表層	1/季
ST-13	121.5	23	表層	1/季
ST-14	121.2	22.7	表層	1/季
ST-15	121	22.25	表層	1/季
ST-16	121.5	22.25	表層	1/季
ST-17	122	22.25	表層	1/季
ST-18	122.5	22.25	表層	1/季
ST-19	123	22.25	表層	1/季
ST-20	123	21.5	表層	1/季
ST-21	122.5	21.5	表層	1/季
ST-22	122	21.5	表層	1/季
ST-23	121.5	21.5	表層	1/季
ST-24	121	21.5	表層	1/季
ST-25	120.5	21.5	表層	1/季
ST-26	120	21.5	表層	1/季
ST-27	119.5	21.5	表層	1/季
ST-28	119	21.5	表層	1/季
ST-29	119	22	表層	1/季
ST-30	119.5	22	表層	1/季
ST-31	120	22	表層	1/季
ST-32	120.5	22	表層	1/季
ST-33	120.3	22.4	表層	1/季
ST-34	120	22.5	表層	1/季
ST-35	119.5	22.5	表層	1/季
ST-36	119	22.5	表層	1/季
ST-37	119	23	表層	1/季
ST-38	119.5	23	表層	1/季
ST-39	120	23	表層	1/季
ST-40	120	23.5	表層	1/季
ST-41	119.5	23.5	表層	1/季

ST-42	119	23.5	表層	1/季
ST-43	119.017	24	表層	1/季
ST-44	119.5	24	表層	1/季
ST-45	120	24	表層	1/季
ST-46	120.5	24.5	表層	1/季
ST-47	120	24.5	表層	1/季
ST-48	119.517	24.5	表層	1/季
ST-49	120.017	25	表層	1/季
ST-50	120.5	25	表層	1/季
ST-51	121	25	表層	1/季
ST-52	120.517	25.5	表層	1/季
ST-53	121.017	26	表層	1/季
ST-54	121	25.5	表層	1/季
ST-55	121.5	25.5	表層	1/季
ST-56	121.5	26	表層	1/季
ST-57	122	26	表層	1/季
ST-58	122.5	26	表層	1/季
ST-59	123	26	表層	1/季
ST-60	123	25.5	表層	1/季
ST-61	122.5	25.5	表層	1/季
ST-62	122	25.5	表層	1/季

備註：表層為水下 5 公尺。

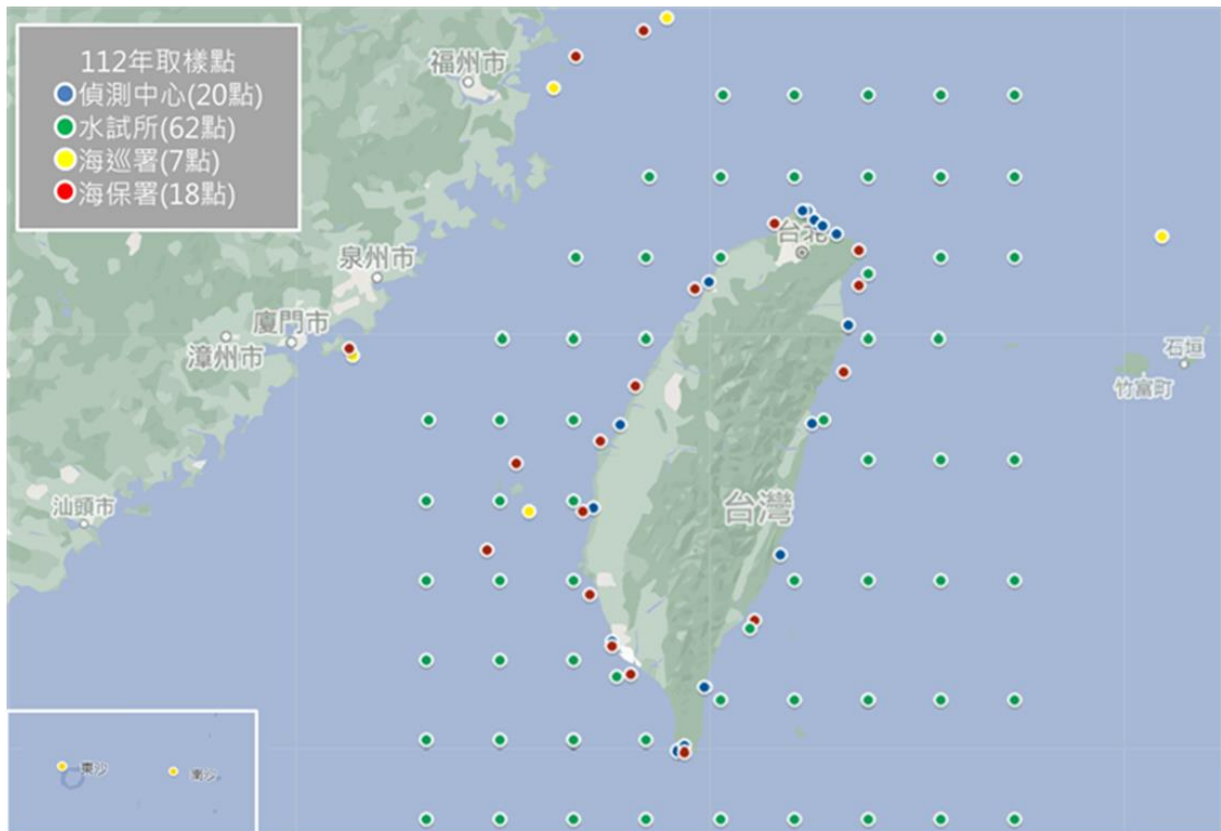


圖 1-1、輻射偵測中心、海巡署、水試所及海保署取樣位置圖

綜上，112 年執行臺灣鄰近海域取樣分析海水氚輻射，總計 344 件，執行率為 103%。為確保國人海洋遊憩及食魚安全，除原計畫取樣點位的海水取樣分析外，今年新增 10 處海水浴場(宜蘭外澳、新北福隆、基隆外木山大武崙、新北白沙灣、桃園竹圍、苗栗通宵、高雄旗津、台中大安、花蓮磯崎及台東杉原)及擴大北太平洋漁場之海水氚取樣分析，分析結果為小於最低可測值(2 貝克/公升)至 11.17 貝克/公升，遠低於我國環境輻射監測規範中氚之調查基準(1,100 貝克/公升)，檢出活度之地點為核設施周圍海域，爰分析結果均無異常。

## 【研究計畫二：重點洄游魚類取樣及氚分析作業】

針對洄游魚類取樣及氚分析作業項目，已於前年度建立國內第一間生物氚實驗室，並由國原院與漁業署合作進行臺灣沿岸、遠洋之魚類生物氚檢測，並針對量能、檢測技術持續精進，相關成果如下：

**生物氚檢測量能擴充：**因應日本於今 (112) 年 8 月 24 日排放福島核電廠含氚廢水後，各部會增加檢測需求，故國原院擴充生物氚檢驗設備以提升生物氚檢測量能，由原 111 年每年 200 件提升至 112 年每年 500 件，擴充設備包含：超低背景液態閃爍計數器由 2 台擴充至 4 台、管型高溫爐由 2 台擴充至 4 台、歧管式冷凍真空乾燥機由 3 台擴充至 5 台及新購低壓旋轉濃縮儀 1 台，另同時擴增檢測實驗室空間。

**海生物樣本氚含量檢測結果：**配合衛福部食藥署、農業部漁業署、農業部水試所及海委會國海院，進行日本排放前後我國日本輸入水產動物及藻類、臺灣沿岸漁獲物、海域生態樣本之氚含量基線檢測，共計完成 551 件重點洄游魚及邊境抽驗之生物氚檢測，包含農業部漁業署臺灣近海漁場 248 件及北太平洋秋刀魚漁場 33 件、衛福部食藥署邊境輸入水產食品與藻類 100 件、國海院海生中心臺灣海域生態樣本 144 件、農業部水試所北太平洋公海浮游生物 6 件及 5 大區浮游動物 15 件，其檢測結果皆小於 MDA (0.01 ~ 0.79 Bq/L)，詳如表 1-7。由於國內尚未有生物氚含量相關容許量標準，本計畫主要進行日本排放含氚處理水前後，我國鄰近海域海生物氚含量背景基線調查研究，其中國海院海生中心本年度送測 144 件生態樣本氚含量(TFWT) 檢測結果，相較前期「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 TFWT 檢測結果(<MDA(0.3)~0.61)，未發現顯著異常；其餘部會係於本年度起始進行送樣檢測，將持續相關樣本氚含量背景基線蒐集。

表 1-7. 112 年海域輻射監測統計

類別	核種	取樣位置	取樣單位	分析單位	提報規劃年度 件次	追加數量 (件次)	接收取樣數量 (件數)	完成分析數量 (件次)	TFWT 分析結果	分析結果單位	備註	
海生物	氬	近海漁場	漁業署	國原院	240	8	248	248	<MDA (0.50~0.79)	Bq/kg		
		北太平洋秋刀魚漁場	漁業署	國原院	0	33	33	33	<MDA (0.50~0.79)		20 件秋刀魚 + 13 件鯖旗鯊	
		10 月 2 日水試所公務船攜回之北太平洋公海試樣	水試所	國原院	0	6	6	6	<MDA (0.72~0.75)		浮游生物	
		5 大區	水試所	國原院	0	20	20	15	<MDA (0.64~0.70)		5 件浮游動物/ 季	
		邊境輸入水產食品與藻類	食藥署	國原院	100	0	100	100	<MDA (0.51~0.78)			
		臺灣海域生態樣本	國海院	國原院	144	0	144	144	<MDA (0.01~0.42)			
		海生物氬總計				<b>484</b>	<b>67</b>	<b>551</b>	<b>546</b>			

**自動化電解濃縮裝置開發：**因應日本排放福島核電廠含氬處理水，為評估含氬廢水排放對我國周圍海域氬背景含量之變化趨勢，國原院開發自動化電解濃縮裝置，具有程序簡便、電解氣體分流、高電解效率及電解完成自動斷

電等功能，除可減少人工定期監控濃縮進度外，亦可進一步降低氚分析最低可測活度至 0.15 貝克/升以下，如圖 1-2 所示。應用所前述開發自動化電解濃縮技術，針對農業部水試所於本年度 9 月期間赴北太平洋秋刀魚漁場採集 7 件海水樣本進行氚含量分析，採集地點如圖 1-3，氚分析結果如表 1-8 所示，檢測結果均低於核安會所訂定海水輻射監測燈號之深綠燈( $\leq 100$  貝克/公升)標準，未發現顯著異常。

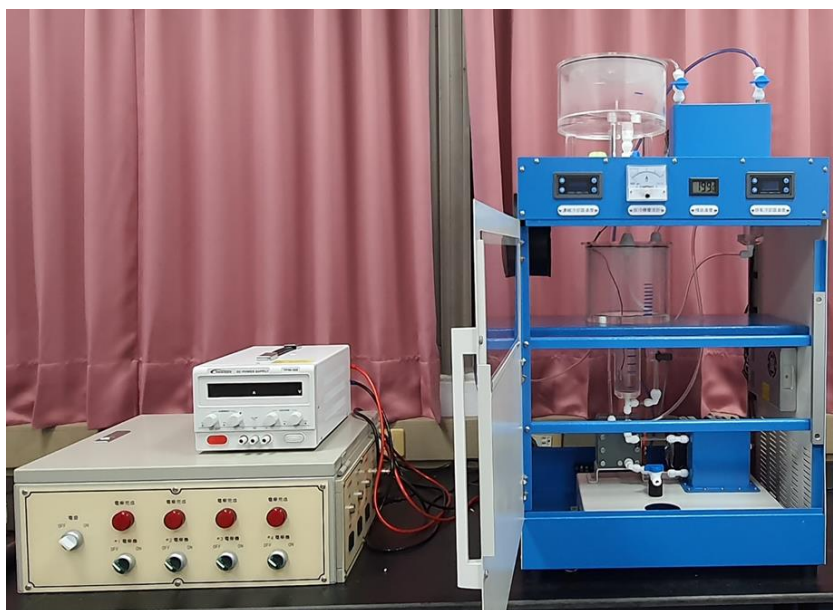


圖 1-2、自動化電解濃縮裝置

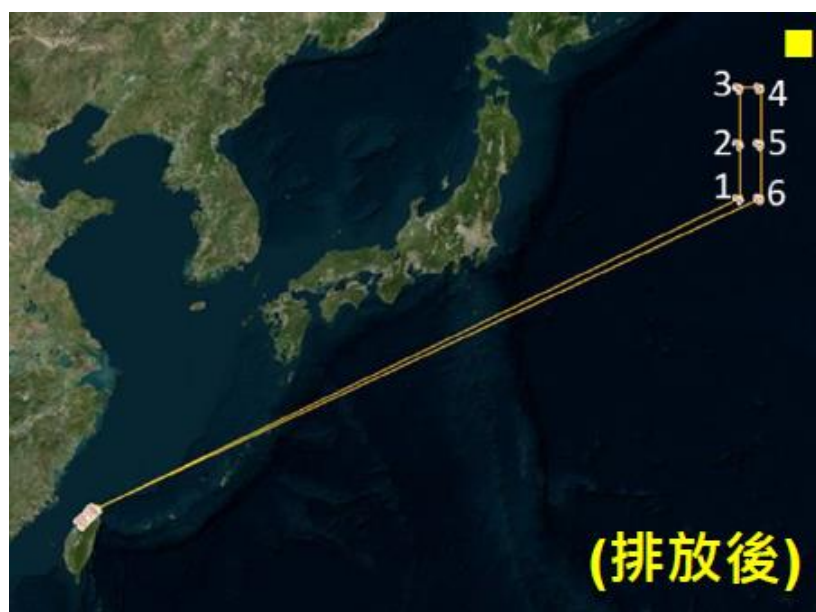


圖 1-3、北太平洋秋刀魚漁場 7 處海水取樣點

表 1-8、秋刀魚漁場 7 點海水氡輻射檢測結果  
單位:貝克/公升

測站編號	採樣日期	氡分析
1	112.09.18	<MDA(0.10)
2	112.09.19	<MDA(0.10)
3	112.09.19	0.11
4	112.09.19	<MDA(0.10)
5	112.09.23	<MDA(0.11)
6	112.09.24	0.19
新增接駁站	112.09.22	<MDA(0.10)

**研擬兩階段食品中氡之檢驗方法：**提供全國一致的檢驗方法，確保各實驗室檢驗水準，提升實驗室檢驗量能。國原院持續精進食品中生物氡之檢驗技術，基於科學專業與參照現行食品中銻之檢驗方法，研擬兩階段分析之檢測技術，第一階段篩檢組織自由水氡(TFWT)，當 TFWT 之放射性比活度超過 10 Bq/L 時，進行第二階段有機鍵結氡(OBT)測定分析，且 MDA 需小於 1 Bq/kg，詳如圖 1-4，並提送該檢驗方法草案予衛福部食藥署進行審查，以提供正確且迅速檢測結果為國人食品輻射安全把關。

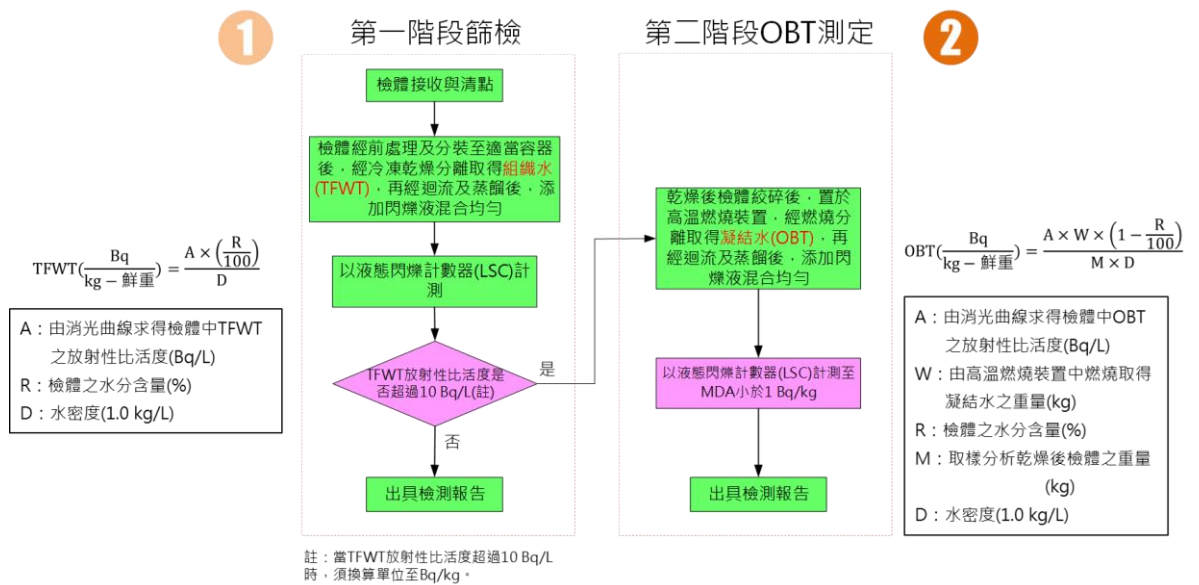


圖 1-4. 兩階段食品中氡之檢驗方法

### 【研究計畫三：境外海洋輻射事件劑量安全評估研究】

本計畫重點為利用國際文獻進行重要曝露途徑、劑量評估方法等探討，相關重要分析報告摘錄如下：

#### 核設施與活動預期之放射性環境影響評估報告

本報告重點為 IAEA 建議之正常運轉民眾防護評估流程，該流程可應用於日本氚水例行排放對臺灣民眾之曝露劑量評估，流程說明如下。

1. 選定射源項：輻射影響評估所選擇的射源項應代表所要評估核設施活動的型態，應適當地分別考慮核種外釋到大氣與外釋到水體環境和直接曝露。
2. 模擬環境中直接曝露、擴散與遷移模式：假設輻射物質外釋之環境區域(例如空氣、沉積物、土壤、水、生物)活度濃度應該藉由數學模式來評估。



3. 確認曝露途徑：應考量正常運轉下(通常指核子核設施，例如核能電廠)放射性核種外釋到大氣與地表水可能的曝露途徑。
4. 確認正常運轉時代表人：應使用民眾中一群曝露程度較高的代表人特性，來計算代表人的劑量。代表人的習性數據應該可以代表核設施所在位置或國家整個地區居住人民的一般習性。習性數據包括食物飲水量和呼吸率。評估代表人劑量重要的特性是假設代表人位置(也就是距離放射性核種釋出點的距離與方向)。同樣重要的有代表人攝取食物中，來自當地或地區食物的比例、不同位置佔用時間以及停留室內外時間比例。代表人居住地點可以選擇真實個人或一群人，或基於謹慎假設下所假設的人或一群人的居住地點(例如靠近圍籬或預期最高地表沉積核種的地區)。
5. 代表人的劑量評估：攝取放射性核種的約定有效劑量(呼吸或攝食體內曝露)和體外曝露的有效劑量之總和。體內曝露的劑量轉換係數則有不同年齡層之分，如果某一年齡層有比較高的曝露之情況時，則評估時應該考慮這個年齡層。
6. 評估劑量與劑量約束劑量限值比較：因為劑量約束是參考單一射源，管制單位在規定核設施活動特別劑量約束時要考慮代表人從其他位於鄰近或相同場址核設施或活動所貢獻的可能劑量。

## 日本 ALPS 處理水排放關鍵曝露途徑及代表人研析報告

重點摘要：

參考日本東京電力公司(TEPCO)於 2022 年發表之「ALPS 處理水排放之輻

射影響評估報告」，所選擇臺灣受 ALPS 處理水排放影響之代表人曝露途徑，說明如下：

● 體外關鍵曝露途徑：

- (1) 在海上工作時從海面受到的體外曝露：在海上工作時受到的海中放射性物質造成的體外曝露。
- (2) 海上工作期間附著在船體上的放射性物質造成的體外曝露：在海上工作期間，從海水轉移到船體的放射性物質對船上工作人員所造成的體外曝露。
- (3) 游泳和水下工作時受到的體外曝露：遊客、居民或工作人員在游泳和水下工作時，受到海中放射性物質造成的體外曝露。
- (4) 在海灘的體外曝露：遊客、居民或工作人員在海灘停留時，受到從海水轉移至沙灘的放射性物質造成的體外曝露。
- (5) 附著在漁網上的放射性物質造成的體外曝露：捕撈作業期間，被海水中放射性物質污染的甲板上或陸地上的漁網對工作人員造成的體外曝露。

● 體內關鍵曝露途徑：

- (1) 喝到污染海水造成的體內曝露劑量：在海中游泳時，可能會意外攝入受放射性物質污染的海水，而導致體內曝露劑量。
- (2) 吸到海水浪花產生的噴霧造成的體內曝露劑量：遊客、居民或工作人員在海灘逗留時，可能會吸入由海水浪花所產生的噴霧，而導致體內曝露劑量。
- (3) 攝入海產造成的體內曝露劑量：攝入被海水中的放射性物質污染的海產而產生的體內曝露劑量。

根據上述曝露途徑與日本「核電輕水堆安全評審公眾劑量評估指南」，

有幾項代表人的特徵參數需要訂定，以進行本土化輻射劑量評估，包含平均捕魚時間、在漁網附近生活(使用漁網)的時間、平均在海灘停留的時間、平均在海邊游泳的時間、海產攝入量(平均/大量)。以下比較日本代表人特徵與臺灣代表人特徵差異。

#### 平均捕魚時間(小時/年)與在漁網附近生活(使用漁網)的時間(小時/年)

日本 TEPCO 的輻射影響評估報告假設：日本代表人每年有 120 天(2,880 小時)進行捕魚，其中 80 天(1,920 小時)在漁網附近生活。

而臺灣漁民的資料由漁業署提供，說明如下：我國漁船實際作業天數可能因船長作業習慣、漁況、天候、補給及轉載等因素而有減少，捕魚時間尚不包含追魚及船上處理魚貨時間，估算為 90 天。故將臺灣代表人之每年平均捕魚時間與在漁網附近生活的時間皆設定為 90 天。日本與臺灣代表人之平均捕魚時間與在漁網附近生活的時間參數比較如表 1-9 所示。

表 1-9、日本與臺灣代表人之平均捕魚時間與在漁網附近生活的時間參數比較

參數	日本	臺灣
平均捕魚時間	2,880 hr/yr	90 day/yr (2,160 hr/yr)
在漁網附近生活(使用漁網)的時間	1,920 hr/yr	90 day/yr (2,160 hr/yr)

#### 平均在海灘停留的時間(小時/年)與平均在海邊游泳的時間(小時/年)

日本 TEPCO 的輻射影響評估報告假設：日本代表人在海灘每年停留 500

小時，每年游泳 96 小時。臺灣代表人的平均在海灘停留的時間與平均在海邊游泳的時間係參考引用臺灣核電廠(核一廠、核二廠、核三廠)調查資料，資料整理如表 1-10 所示。

表 1-10、核一廠、核二廠、核三廠之居民的沙灘停留與游泳時間之平均值

	沙灘停留(小時/年)	游泳(小時/年)
成人	273.0	290.3
兒童	182.6	157.2
嬰兒	22.0	25.7
資料來源：107 年臺灣南北部地區居民生活環境與飲食習慣調查計畫		

### 海水攝入率

在污染的海水中游泳時，不小心喝到污染的海水之攝入率，係參考日本使用之數據：成人和學齡前兒童保守設定為 0.2 L/h。

### 呼吸率

在日本 TEPCO 所發表的輻射影響評估報告中，其呼吸率參考日本「核電輕水堆安全評審公眾劑量評估指南」，依照不同年齡群：成人、兒童、嬰兒，分別採用 0.925 m<sup>3</sup>/h、0.363 m<sup>3</sup>/h、0.119 m<sup>3</sup>/h。

根據我國游離輻射防護安全標準之附表三，參考人在輕微體力之活動下，一年中將吸入 2400 m<sup>3</sup> 之空氣，於一年中呼吸此濃度之空氣 2000 小時，將導致年攝入限度。以上述資訊換算，成年人在輕微體力之活動下，呼吸率約為 1.2 m<sup>3</sup>/hr。

因我國法規並無提及其他年齡群的呼吸率，因此，計算日本兒童、嬰兒呼吸率與成人呼吸率的比值，再以台灣成人呼吸率回推其他年齡群(兒童、嬰兒)的呼吸率。

台灣成人呼吸率，以及所推算出來的台灣兒童、嬰兒年齡群的呼吸率數值與日本之呼吸率比較，如表 1-11 所示。

表 1-11、日本與台灣之 3 個年齡群的呼吸率(m<sup>3</sup>/h)比較

評估年齡群	日本	台灣
成人	0.925	1.2
兒童	0.363	0.471
嬰兒	0.119	0.154

## 海產攝入量

海產攝入量分為平均海產攝入量與大量海產攝入量。大量海產攝入量為海產攝入量平均值加上兩倍標準差值。代表人攝入海產的物種，分為魚類、無脊椎動物與藻類。

日本平均海產攝入量係根據日本「商業輕水反應爐設施目標劑量評估指引」，20 歲或以上人士的平均攝取量設定為成人攝取量，而兒童及嬰兒的攝取量則分別被設定為成人攝取量的 1/2 及 1/5。大量海產攝入量被設定為平均攝入量加上 2 倍標準差值。日本平均海產攝入量與大量海產攝入量如表 1-12 與表 1-13 所示。

臺灣海產攝入量資料取自國家攝食資料庫，整理如表 1-14 與表 1-15 所示。

表 1-12、日本代表人平均海產攝入量(g/day)

	魚類	無脊椎動物	藻類
成人	58	10	11
兒童	29	5.1	5.3
嬰兒	12	2	2.1

表 1-13、日本代表人大量海產攝入量(g/day)

	魚類	無脊椎動物	藻類
成人	190	62	52
兒童	97	31	26
嬰兒	39	12	10

表 1-14、臺灣代表人平均海產攝入量(g/day)

	魚類	無脊椎動物	藻類
成人	77.79	21.67	38.09
兒童	59.65	15.41	39.41
嬰兒	38.34	13.56	25.50

表 1-15、臺灣代表人大量海產攝入量(g/day)

	魚類	無脊椎動物	藻類
--	----	-------	----

成人	258.29	165.79	87.80
兒童	189.16	143.27	60.05
嬰兒	120.70	85.53	61.12

綜合以上所述，本計畫所評估之曝露途徑與對應的代表人特徵參數如表 1-16 所示。

	曝露途徑	代表人特徵參數	值
體 外 曝 露	1. 海面曝露	平均捕魚時間(hr/yr)	90 day/yr
	2. 船體曝露	平均捕魚時間(hr/yr)	90 day/yr
	3. 游泳曝露	平均游泳時間(hr/yr)	參見表 1-10
	4. 海灘沙子曝露	平均海灘停留時間(hr/yr)	參見表 1-10
	5. 漁網曝露	平均在漁網附近生活時間(hr/yr)	90 day/yr
體 內 曝 露	6. 誤飲海水	游泳時平均誤飲海水量(L/h)	成人和學齡前兒童 保守設定為 0.2 L/h
	7. 吸入海水浪花	年呼吸率(m <sup>3</sup> /h)	參見表 1-10
	8. 攝入海產	平均海產攝入量與大量海產攝入量(g/day)	參見表 1-14 與表 1-15

#### 【研究計畫四：水體中氫活度濃度之批次自動監測技術建立】

本計畫目標為完成水體中氫活度濃度連續監測之系統及模擬無機氫水之活度濃度驗證；透過自動化流程與規劃(如圖 1-5)，進行海水純化如微過濾、膜過濾、RO 透析與電離離透析等，將海水中干擾氫分析的陰、陽離子移除，並配合線上混合器將純化的海水樣品與閃爍液混合後再控制進入氫水活度濃度分析儀，進行水體中氫活度濃度自動監測。計畫使用已知活度濃度氫水混合無機鹽離子配置樣品進行活度濃度驗證，模擬無機氫水含有 K 離子與 Cl 離子其濃度 10 ppm 條件結果顯示，其電導度量測值為 21.9 uS/cm，

氡分析值為 0.22 Bq/mL，與超純水樣品分析數值 0.22 Bq/mL 一樣；當模擬無機氡水樣品中含有 K 離子與 Cl 離子其濃度 20 ppm，其電導度量測值為 30.2 uS/cm，其分析數值為 0.24 Bq/mL。同時使用高活度氡水對海水樣品水質中雜質干擾之問題進行探討，根據主要陽離子：鈉、鎂、鉀、鈣與主要陰離子：氯離子、硫酸根離子等，對氡水活度濃度分析監測干擾，作為海水純化要求之所必需移除離子之條件(如圖 1-6~1-8 及表 1-15)。

而本計畫已依規畫完成相關系統串接，後續安排執行相關檢測系統測試工作，如圖 1-9~1-11 分別為混合裝置、純化裝置、氡活度分析瓶(放入液態閃爍偵檢器)。

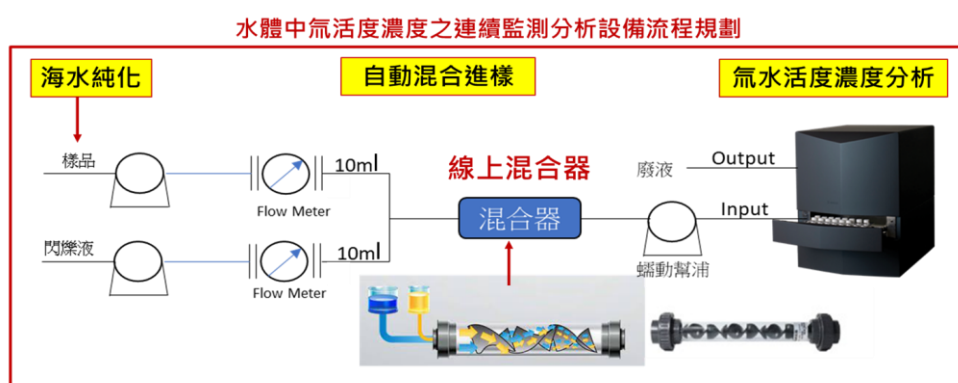


圖 1-5、水體中氡活度濃度自動監測之自動化流程與規劃



### 海水成分組成分析

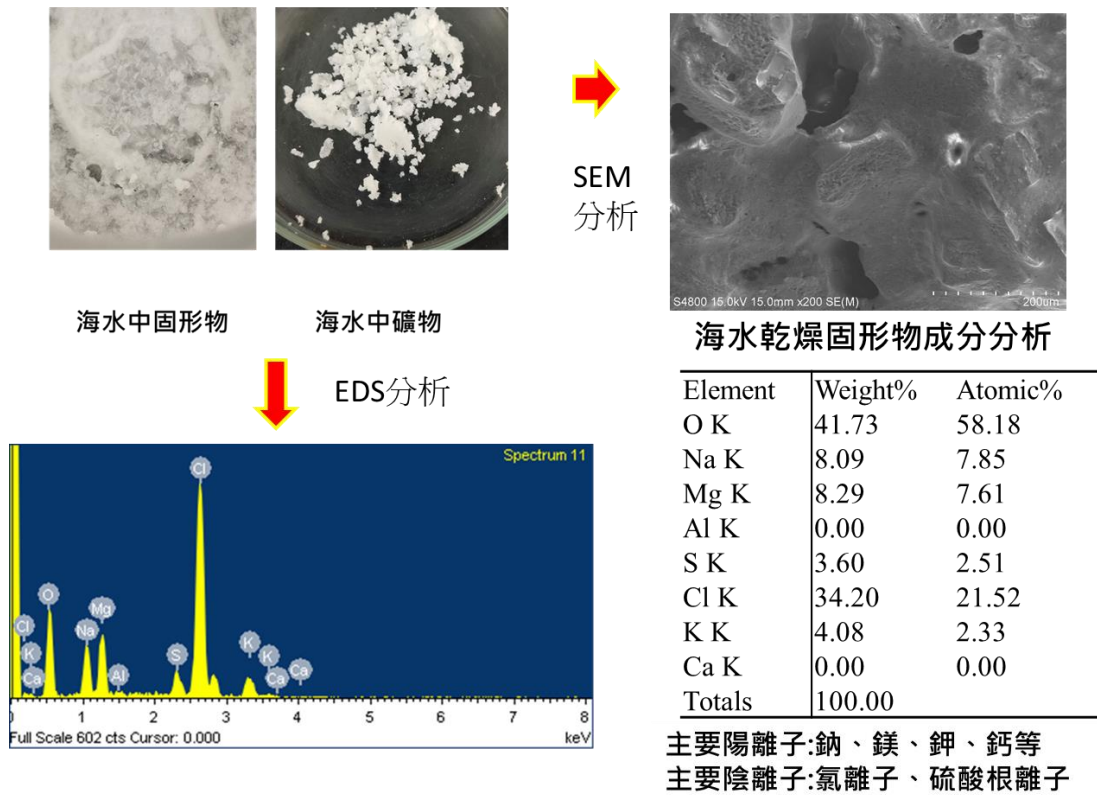
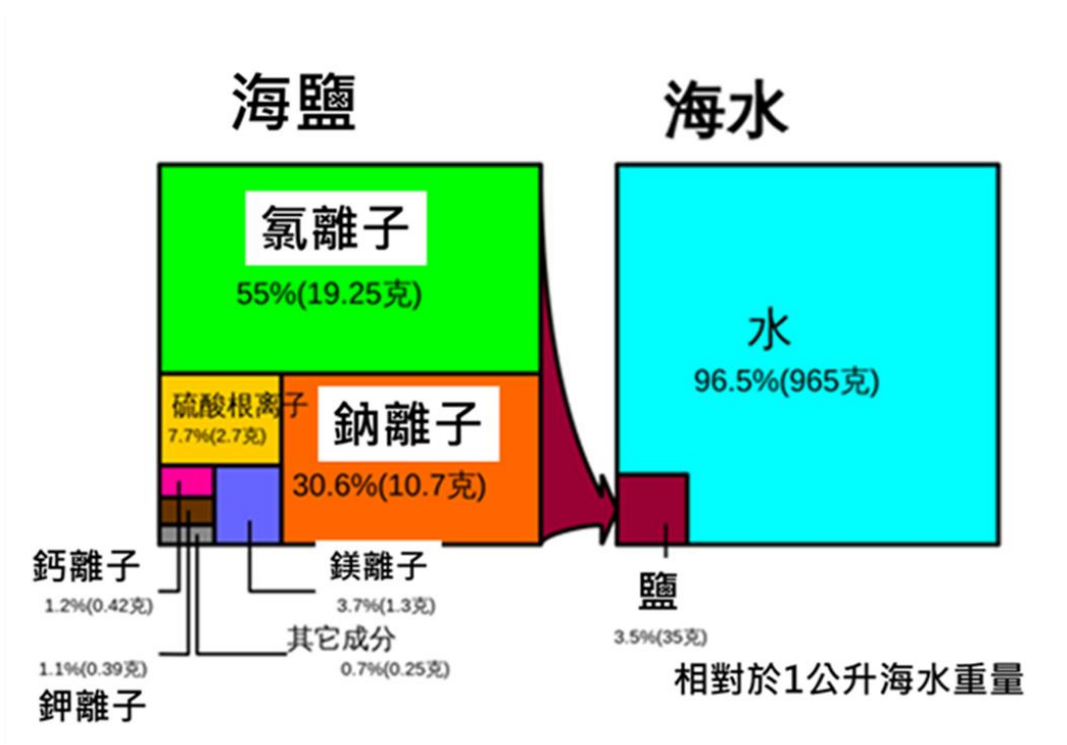


圖 1-6、海水成分組成分析



### 海水樣品水質中雜質干擾問題

主要陽離子:鈉、鎂、鉀、鈣等

主要陰離子:氯離子、硫酸根離子

圖 1-7、海水組成鹽類含量與主要陰陽離子成分

## 水質電導度與氬LSC分析數值下降關係

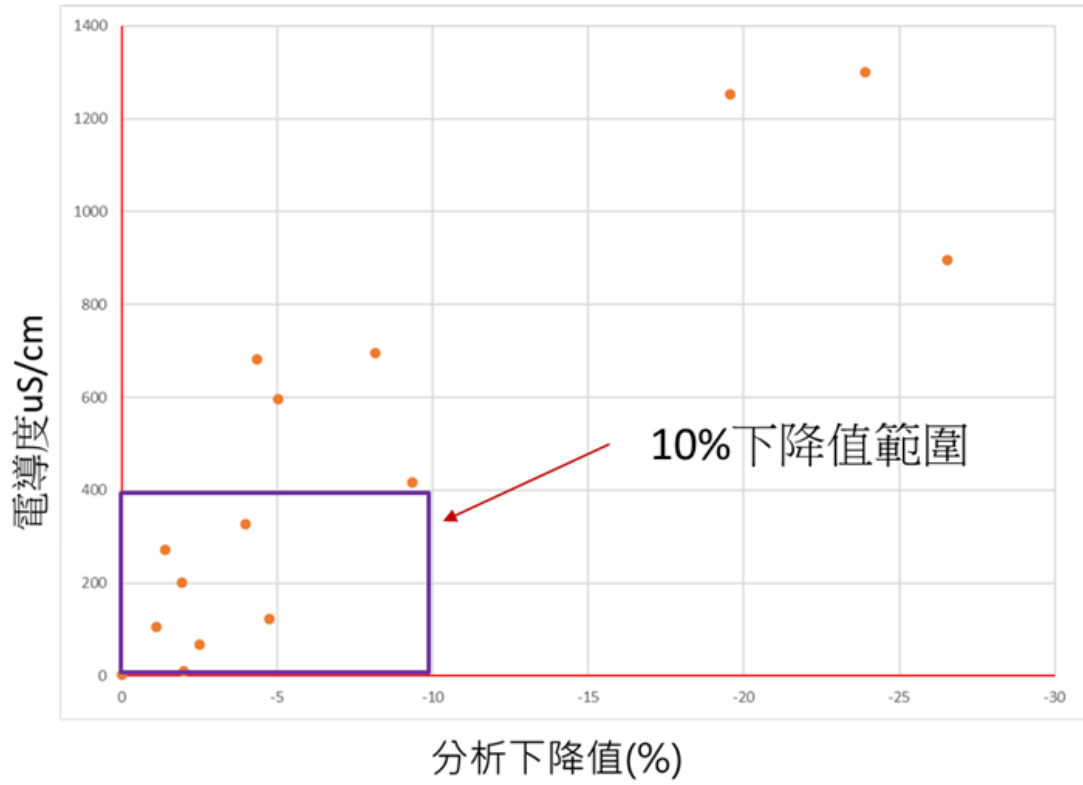


圖 1-8、水質電導度與氬 LSC 分析數值下降關係

表 1-16、模擬無機氚水之活度濃度驗證，離子干擾對氚 LSC 分析數值下降關係

	樣品	氚Bq/mL	分析降低	Na ppm	SO4 ppm	電導度uS/cm
1	超純水	184				2.8
2	海水1/160 Cl 120	181.4	-1.40%	67 ppm	17 ppm	272
3	海水1/80 Cl 240	169	-8.15%	134 ppm	34 ppm	695
4	海水1/40 Cl 481	140	-23.91%	268 ppm	68 ppm	1301
5	Cl 125ppm	176.7	-3.99%	125 ppm	125 ppm	328
6	Cl 250 ppm	176	-4.35%	250 ppm	250 ppm	683
7	Cl 500 ppm	148	-19.57%	500 ppm	500 ppm	1252
8	SO4 62.5 ppm	181.9	-1.12%	125 ppm	62.5 ppm	105
9	SO4 125 ppm	180.4	-1.94%	250 ppm	125 ppm	202
10	SO4 250 ppm	166.8	-9.34%	500 ppm	250 ppm	416
11	SO4 500 ppm	135	-26.54%	1000 ppm	500 ppm	895
12	KCl 10 ppm	180.5	-1.99%			9.9
13	KCl 25 ppm	179.4	-2.51%			66.7
14	KCl 50 ppm	175.3	-4.74%			122.5
15	KCl 200 ppm	174.7	-5.04%			597.0



圖 1-9、水質純化系統



圖 1-10、混合裝置



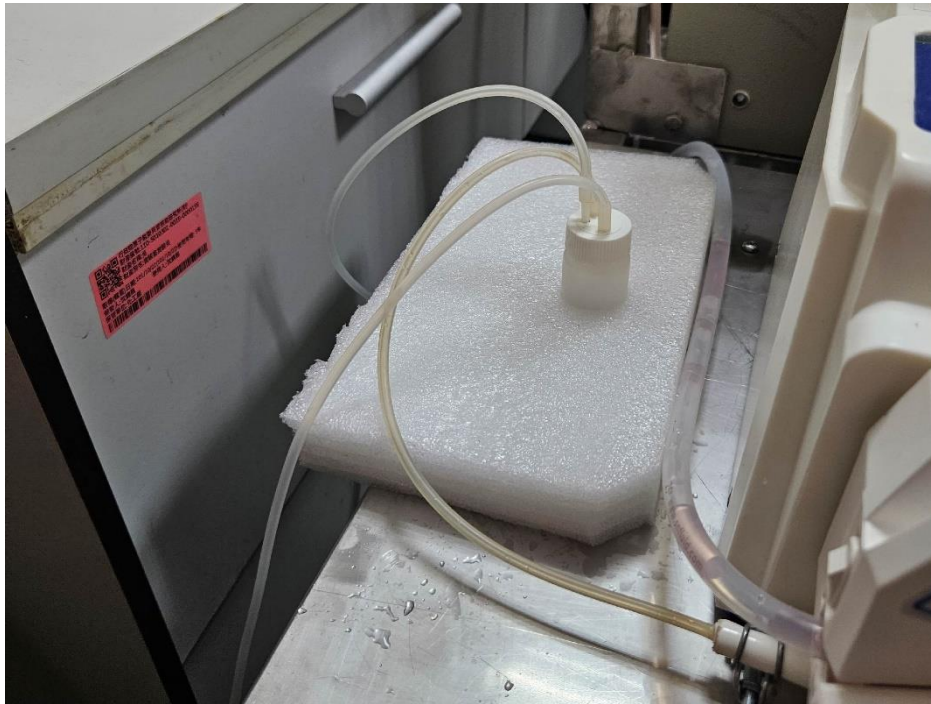


圖 1-11、預期放入液態閃爍偵檢器之管路設備

子項一重要儀器設備：

項次	儀器名稱	金額(千元)	辦理情形
1	冷凍乾燥機	220	偵測中心已完成採購交貨 1 套。
2	減壓濃縮裝置	218	偵測中心已完成採購交貨 1 套。
3	液體閃爍計數器光電倍增管	870	偵測中心已完成採購交貨 1 套。
4	超低背景液體閃爍計數器(Quantulus GCT6220)	12,750	國原院已完成採購交貨 2 套。
5	管型燃燒爐	1,600	國原院已完成採購交貨 2 套。

6	岐管式冷凍真空乾燥機	657	國原院已完成採購交貨 3 套。
7	自動化電解濃縮裝置	237	國原院已完成採購交貨 1 套。
8	微光分光光度計	324	國原院已完成採購交貨 1 套。

## 子項計畫二：日本含氫處理水排放對水產動物類及藻類劑量安全與風險研究

細項項目 (執行單位)	目標	112 年度工作項目	達成情形(百分比)
<b>研究計畫一：魚類及藻類邊境輸入檢測及氫健康風險評估</b>			
魚類及藻類邊境輸入檢測及氫健康風險評估(食藥署)	提出我國針對食品中可能含放射性物質氫之管制因應策略(說帖或Q&A)。	1. 蒐集各國對於氫在生物體內之累積及毒性研究資訊。 2. 邊境輸入水產動物類及藻類放射性核種氫之監測值調查，至少檢測 100 件。	1. 完成日本進口水產動物類及藻類 100 件之抽樣，並執行氫檢測分析。(100%) 2. 檢測結果公開於跨部會輻射監測整合儀表板及相關連結。 3. 蒐集近期核污染食品議題 2 篇評估文獻。
<b>研究計畫二：魚類有機氫/無機氫代謝研究</b>			
魚類有機氫/無機氫代謝研究(國原院)	人工養殖海水生物，觀察氫核種於生物體之實際累積濃度。	完成人工養殖場初步建置及代表性海水生物評估。	1. 完成代表性海水生物之種類評估(中/小型魚(黃錫鯛)、甲殼類(白蝦)、貝類(九孔螺)、藻類(菊花心種龍鬚菜)。 2. 持續進行黃錫鯛生態缸之飼養條件及水質環境之數據紀錄，維持現有生存率。 3. 完成建置室內養殖場及空調通風系統。(100%)

### 【研究計畫一：魚類及藻類邊境輸入檢測及氫健康風險評估】

本計畫針對日本進口水產動物類及藻類執行抽樣與氫檢測分析 100 件，包括魚類、貝類、軟體動物類及藻類等，目前結果均低於最小可測活度 (Minimum Detectable Amount, MDA)，檢測結果並公開於跨部會輻射監測整合儀表板及相關連結。而針對檢測分析調查結果，將持續透過跨部會機制彙整、關注、公開資訊及預為因應，並作為管理及溝通之參考。



另一方面，本計畫今年度已蒐集國際間針對近期核污染食品議題之最新研究文獻，並進行分析研議，研究結果顯示，許多受訪者不信任政府對於排放污水之相關資訊，且超過 60%受訪者不同意排放受污染的水，尤其是法國及英國受訪者，於信任政府所公布相關資訊之受訪者中，英國受訪者最反對污水的排放，日本受訪者最不信任政府所公布污水排放的資訊，而法國受訪者對污染則最不擔憂。另一篇研究則指出，社交媒體平台如 Twitter 在危機期間與後續被廣泛使用，以獲得資訊及交換意見，分析與危機相關的推文有助於獲得公共情勢意識發展、全球性的危機應對協調及災後政策制定的見解。

因此，本研究建議，我國政府應強烈要求日本政府參考法國過往案例，仿效其風險溝通及輻射監測的措施，在輻射監測提供明確、即時的溝通管道，並讓國際社會（尤其是日本周邊鄰國）參與輻射監測，以確保各國政府及其人民的「知情權」，降低對日本食品安全性的疑慮。此外，社群媒體已成為風險溝通重要的影響力因素，有效運用社群媒體，透過其快速、公開、透明的資訊傳播方式，及來自官方的驗證及標示能夠有效減少錯誤資訊流通的現象。而本研究另針對近期媒體關注之食品安全議題，研擬我國之配套風險溝通文案(如:Q&A)及懶人包。

表 2-1 日本輸入水產品及藻類於我國抽樣檢測情形

檢驗核種	全年件數	完成件數		分析進度
		取樣	分析	
氫	100 (食藥署取樣送國原院)	100	100	100%

## 【研究計畫二：魚類有機氙/無機氙代謝研究】

為執行本計畫子項二「魚類有機氙/無機氙代謝研究」計畫，為防制游離輻射之危害，維護人民健康及安全，確保臺灣漁民的權益與生計，並因應日本政府排放含氙廢水事件，執行境外海洋輻射事件劑量安全評估研究，希冀研究成果可消滅日本排放事件對臺灣民眾所造成的恐慌。透過各式不同環境之代表性海水生物(魚、蝦、貝、甲殼類等)進行人工養殖，測試放射性核種於生物體上之實際濃度累積情形，評估其生存模式變更、習性是否改變等，並獲取海水中放射濃度與生物體累積之關係，建置我國海水生物氙實驗平台；核種測試直接以實際放射性核種進行實驗及驗證，觀察氙核種於海水生物體之累積及代謝情形。針對氙水排放後臺灣水產動物類及藻類之生物氙檢測、代謝評估、健康風險評估進行研究，透過邊境調查之方式確保水產動物類及藻類安全性，並以專業科學數據及相關研究，配合專家團隊進行食品健康風險討論，另依據監測所得之監測值資料，適時滾動調整評估，做為相關放射性核種食品法規修訂之依據，保障國人食品安全。

完成我國海水生物氙實驗平台建置及測試海水生物於不同海水氙濃度之體內有機氙濃度之累積及代謝模式，獲得氙核種遷移係數。透過代表性魚類及藻類之含氙海水養殖，海水及海水生物體之氙核種標準化分析及其頻率確立。建置人工養殖場，篩選代表性海水生物養殖標的。完成生物氙健康風險研析，做為相關放射性核種食品法規修訂之評估依據。工作項目為：(1)完成魚類體內有機氙濃度累積試驗：以不同活性強度無機氙濃度之海水進行養殖，評估魚類體內之累積活度及其影響因子。(2)建立海水水質對魚類劑量累積及變化趨勢模型，推估海水生物受輻射之影響。(3)建立海水生物取樣之放射性活度分析技術及現場/實驗室低微放射性核種氙量測技術。(4)

藉由有機氮/無機氮濃度關係模型獲得核種遷移係數。112 年度已完成(1) 完成代表性海水生物之種類評估(中/小型魚(黃錫鯛)、甲殼類(白蝦)、貝類(九孔螺)、藻類(菊花心種龍鬚菜(紅藻))，(2)以 4 呎海水缸預飼養海水生物及藻類，獲取飼養時相關生存條件，利後續大量養殖最為基礎。(3)完成室內人工養殖場空調通風系統及室內人工海水養殖場建置及測試。海水生物(中/小型魚(黃錫鯛)飼養水質環境：溫度為 25oC、溶氧為 4 ppm 以上、鹽度為 30 ‰、pH 值為 7.5 以上、氨氮小於 0.1 ppm、亞硝酸氮小於 1 ppm；藻類(菊花心種龍鬚菜(紅藻)) 飼養水質環境除溫度為 23oC 外，其餘飼養條件與海水生物(中/小型魚(黃錫鯛)相同。



圖 2-1、4 呎海水缸預飼養海水生物(黃錫鯛)



圖 2-2、養殖場水槽設備





圖 2-3、養殖場溫度監測設備

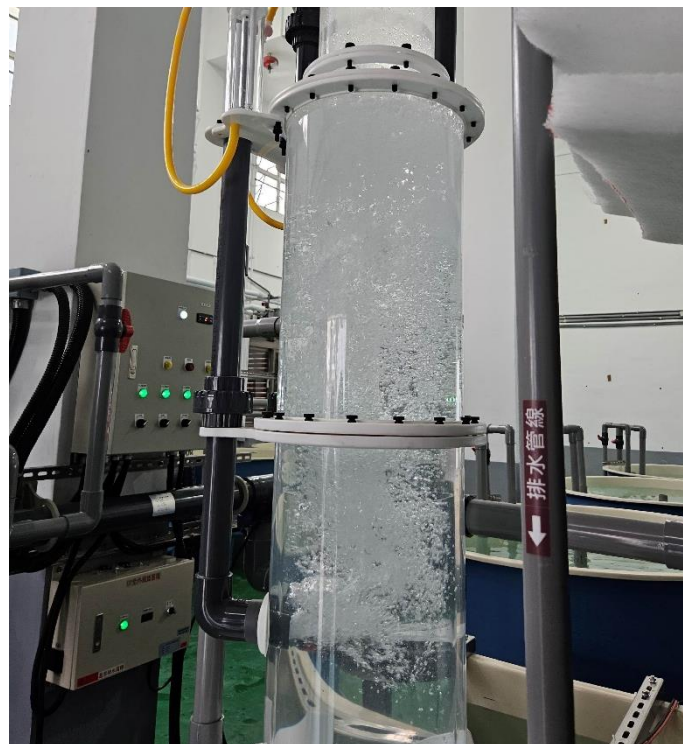


圖 2-4、養殖場維生設備

子項二重要儀器設備：

項次	儀器名稱	金額(千元)	辦理情形
1	015F 館新增空調系統	2,930	已完成採購交貨(1 套)。
2	015F 館網路機櫃	345.4	已完成採購交貨(1 套)。
3	015F 館網路攝影機(含錄影主機、硬碟)	119	已完成採購交貨(1 套)。
4	015F 館室內海水養殖場建置	1,576	水質處理系統、飼養槽、水體管線均已配置完成，各槽及管線清洗中，於 12 月中完成採購交貨(1 套)。

子項計畫三：海域放射性物質排放事件例行化預報及異常排放示警處理研究

細項項目 (執行單位)	目標	112 年度工作項目	達成情形(百分比)
<b>研究計畫一：擴散模式精進及擴增臺灣海峽預報模組</b>			
擴散模式精進及擴增臺灣海峽預報模組(氣象署)	完善海洋傳輸擴散預報系統相關海流、放射性物質海中擴散行為、及海洋生態影響等的技術開發與建置。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 精進海流作業化模式</li> <li>2. 海流模式校驗系統開發建置</li> <li>3. 強化放射性物質海洋傳輸擴散模式</li> <li>4. 放射性物質海洋傳輸擴散模式校驗系統開發建置</li> <li>5. 完善放射性物質衝擊潛勢分析及示警系統</li> <li>6. 不同核種海洋擴散傳輸技術開發-不同核種半化期影響的引進</li> <li>7. 與海洋傳輸擴散相關的放射性核種增減效應評估</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 透過蒐集潮位資料、AVISO 衛星資料、GDP 浮標資料等資料進行海流模式校驗，抓取東京電力公司於排放口周圍之監測點資料，進行擴散模式之比對，藉以精進模式表現。(已涵蓋前欄之 1~5 工作項目)(100%)</li> <li>2. 模式優化-納入放射性核種半衰期並進行期增減效應之參數評估(已涵蓋前欄之 6~7 工作項目)(100%)</li> </ol>
<b>研究計畫二：放射性物質海洋擴散例行作業化系統整合及營運</b>			
放射性物質海洋擴散例行作業化系統整合及營運(氣象署、國原院)	確保福島核電廠含氚廢水海洋傳輸擴散預報作業化系統正常運作。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 福島核電廠含氚廢水海洋傳輸擴散預報作業化系統運維</li> <li>2. 擴散預報作業化系統正式上線</li> <li>3. 擴散預報作業化系統運維</li> <li>4. 擴散預報作業化系統結果的年度趨勢統計分析</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 放射性物質海洋擴散系統於 2022 年底開始正式上線，於排放前以年排放 22 兆貝克之限值作為模式初始排放設定，測試系統之穩定性與產品調整並於 2023 年 8 月 24 日日本正式開始排放時，亦同步進行預報模擬，每日順利產出，提供各界 7 日預報資訊。(已涵蓋前欄之 2~3 工作項目)(100%)</li> <li>2. 透過源頭資料的掌握，每日自動化抓取日本東京電力公司所釋出之排放資訊，將含氚廢水排放之逐時資料引入系統中，進行擴散模擬，</li> </ol>

細項項目 (執行單位)	目標	112 年度工作項目	達成情形(百分比)
			令擴散預報結果貼合實際排出狀況。(已涵蓋前欄之 1、4 工作項目) <b>(100%)</b> 3. 將擴散預報結果加值為親民易懂之預報圖文資訊，提供其他政府單位和民眾所關注之訊息，穩定社會及民情。
資訊公開及數據傳遞創新轉譯 (國原院)	透過資訊轉譯及相關觸及管道，提升計畫產生，科學數據之資訊呈現，民眾可透過多重管道取得氬水排放事件之相關資料，達到安定民心之目的。	舉行資訊公開傳遞討論會議至少 3 場，提升資訊傳遞之觸及率並提前妥善規劃。舉辦或參與至少一場科普展覽，並以網路社群圖卡、影片進行社會溝通，實體及網路加總至少提升相關資訊之觸及率 20000 人次/年。	資訊平台於 112 年三月起召開資訊公開協調討論會議共計 11 場，並依照團隊協調成果，於 5 月 19 日正式上線營運，截至目前瀏覽人次已累積 21 萬餘人，並有 5 部科普影片、40 張科普圖卡做為網站資訊傳遞之用，且相關資訊之觸及率 210,000 人次/年。 <b>(1000%)</b>
<b>研究計畫三：放射性物質排放之 CFD 沿岸放流模式建立</b>			
放射性物質排放之 CFD 沿岸放流模式建立(國原院)	進行日本沿岸地形 3D 模式建立，並蒐集日本放流形式之 3D 化模組資料。	完成日本沿岸小尺度放流計算流體模式，作為國內擴散預報作業化系統之初始條件，提升預報模式之精準運算。	完成 CFD 大尺度/中小尺度模式運算，分別進行「模式驗證」、「沿岸放流」案例，做為未來模式持續發展之重要參考。 <b>(100%)</b>

### 【研究計畫一：擴散模式精進及擴增臺灣海峽預報模組】

在子項計畫三(圖 3-1)的部分，建置一「放射性物質海洋擴散預報系統」，可提供(西)北太平洋放射性物質擴散之濃度分布趨勢在時間及空間預測結果，搭配國原院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。本作業系統將結合氣象署既有之運算資源，每日作業化產出預報結果，以類似沙塵暴預警的概念，提供臺灣民眾關於日本含氬廢水排放可能對臺灣海域造成之衝擊潛勢預報，善用新興科技工具與管理技術，精進災



害預警與防救，納入災害風險管理機制，幫助沿岸活動、居民、漁民等關鍵群體，並同時將其預報結果回饋於跨部會因應平台，確保各部會於任何放射性物質海洋事件皆可充分應對。

112 年度子項計畫三工作內容重點包含：

1. 系統各部分模式校驗以精進模式。
2. 增加臺灣海峽周遭地形與網格解析度以更細節呈現臺灣所關注之區域。
3. 放射性物質海洋擴散例行作業化系統整合及營運，確保系統能穩定提供未來 7 天之含氚廢水擴散模擬預報資訊，並配合需求將預報結果轉化成親民易懂之資訊，提供各界參考。

## 擴散模式精進及擴增臺灣海峽預報模組

### 校驗系統評估方式選定

在粒子傳輸擴散模式中，粒子的傳輸主要受到海流影響，為了解福島核電廠放射性含氚廢水海洋傳輸擴散預報作業化系統與海流模式的合理性及準確性，本計畫將進行潮位、海流、海溫等資料校驗系統開發建置，預計以觀測資料與海流模式進行校驗，持續精進海流模式。

本計畫在校驗系統中的量化指標預計使用皮爾遜積差相關係數 (coefficient of correlation, R 值)、決定係數 (coefficient of determination,  $R^2$ ) 以及均方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE)。皮爾遜積差相關係數是由 Karl Pearson 於 1895 年提出，是量化統計中常用的一種統計公式，用來描述兩個變數之間的關係強度和方向。相關係數通常表示為一個數值，當相關係數為 1 時，表示兩個變數呈現正向完美線性關係；當相關係數為 0

時，表示兩個變數之間沒有線性關係，如表 3-1 所示。當模式資料與實際觀測資料相關係數越接近 1，即表示模式資料數據越符合真實情形數據 (Pearson, 1895)，該公式為下：

$$R = \frac{\sum(X_i - X)(Y_i - Y)}{\sqrt{\sum(X_i - X)^2} \sqrt{\sum(Y_i - Y)^2}} \quad \text{式 (1)}$$

其中  $X_i$  為實際值， $X$  為實際值平均， $Y_i$  為預測值， $Y$  為預測值平均。

表 3-1、相關係數大小與意義(來源：邱皓政，2010)

係數範圍(絕對值)	變相相關程度
1.00	完全相關
0.70 至 0.99	高度相關
0.40 至 0.69	中度相關
0.10 至 0.39	低度相關
0.10 以下	微弱或無相關

R 平方又稱決定係數是一個介於 0 和 1 之間的值，用於表示迴歸模型對於被解釋變數的變異性解釋程度。R 平方用於衡量迴歸模型預測值與實際觀測值之間的差異，越接近 1 表示模型能夠很好地解釋被解釋變數的變異性，越接近 0 則表示模型的解釋能力較差，其公式如下：

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad \text{式 (2)}$$

其中  $X_i$  為實際值， $X$  為實際值平均， $Y_i$  為預測值。均方根誤差(RMSE)為評估預測值和實際值之間差異的統計指標，通常用於比較預測值的準確性。在海洋資料中，RMSE 用於比較數值模式結果和實際觀測值之間的差異。當 RMSE 的值越小，表示數值模式的結果越接近真實數據，反之則表示數

值模式結果與實際觀測結果不符合，計算公式如下：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{N}} \quad \text{式 (1)}$$

其中 $X_i$ 為實際值， $Y_i$ 為預測值， $N$ 為個數。

在海流模式校驗系統開發建置中的工作項目包含潮位校驗系統開發建置、AVISO 地轉流校驗系統開發建置以及 GHRSSST 海溫校驗系統開發建置。

以下為工作項目說明：

### 日本及臺灣潮位校驗系統結果分析

海流模式基礎理論是由伯努力定理所衍伸的連續方程式如式(4)及動量方程式如式(5) 進行守恆計算，其透過 $h$ (海面高度變化)及 $u$ 和 $v$ (流速變化)進行海洋水動力物理現象的模擬計算，由圖可知 $h$ 變化會影響到周遭 $u$ 和 $v$ 的變化，而 $u$ 和 $v$ 變化又會影響到其他格點的 $h$ 變化，故若可以準確模擬潮位變化，流場變化的準確度就會準確模擬，因為兩者是有互相影響關係，其中流速會受到水位梯度變化演算而來，因此沿海潮差較大的地區(例如臺中測站)影響流場就會較大，而潮位站數量眾多，也是海洋資料中最易獲得的觀測資料之一。

$$\nabla u + \frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \int_{-h}^{\eta} u dz = 0 \quad \text{式 (4)}$$

$$\frac{Du}{Dt} = F - g\nabla\eta + \frac{\partial}{\partial z} \left( v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad \text{式 (5)}$$

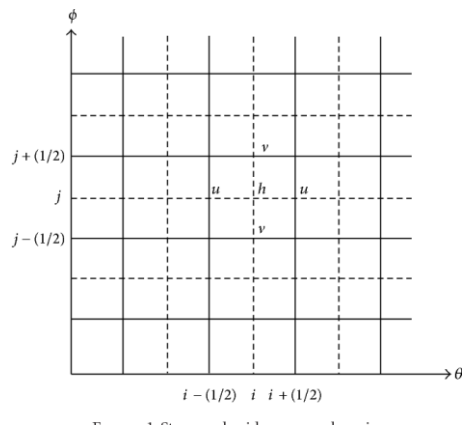


圖 3-2 海流模式網格示意圖

臺灣及日本潮位校驗系統結果分析海洋模式是一種透過數值方法模擬真實海洋物理的工具，通常用於模擬海洋的動態行為，例如海流、海溫、海表高度等，這些模式在科學研究、天氣預報、海洋工程、氣候變化研究等領域中皆有廣泛應用。然而，這些模式是基於數學方程組和初始條件的近似解，因此需要校驗以驗證其準確性和可靠性。然而，潮位是海洋表面相對於固定地點的上下運動，它是由許多因素（例如地球引力、月球和太陽引力、風等）所產生的。使用潮位數據來校驗海洋模式具有以下幾個重要原因：

1. 準確性：比較模式預測的潮位和實際觀測的潮位資料，可以確認模式是否能夠準確地捕捉潮汐現象。如果模式能夠準確預測潮汐，這就表明模式的物理過程和數值方法是可靠的。
2. 診斷模型：潮位資料對模式進行診斷是非常重要的，它可以幫助了解模式的弱點和不足之處。如果模式在某些地區或特定時間段的預測效果較差，可以通過對模式的參數修正來提高其準確性，如底床摩擦項或邊界分潮資訊等。

3. 驗證模型：潮位資料的校驗還可以用來驗證模型的適用範圍。模式可能只適用於某些特定地區或海洋條件，通過與實際潮位資料進行比較，可以確定模式的應用範圍。
4. 預測能力：模式的預測能力是評估其實用性的關鍵。如果模式能夠準確預測未來一段時間內的潮位變化，那麼它在海洋預報和相關應用中就會變得非常有價值。

總體而言，使用潮位校驗海洋模式是確保模式準確性、可靠性和實用性的重要步驟。這有助於確保模式在科學研究和實際應用中能夠提供有價值的信息和預報。

因此，本計畫採用日本與臺灣沿海地區海洋潮位測站觀測資料，引入定點測站每月進行連續潮位時序資料校驗比對，並根據過往文獻決定係數範圍佐證模式表現，以下說明使用日本與臺灣海洋潮位測站觀測資料。

日本潮位觀測資料來源為日本國土交通省氣象廳海上保安廳海洋情報部(Hydrographic and Oceanographic Department，以下稱JHOD)之潮位觀測紀錄，如圖3-3所示。JHOD提供過去歷史潮位，其資料涵蓋日本沿岸與日本群島(圖3-3)，資料與當天即時潮位時序資料，各站觀測潮位紀錄為每5分鐘記錄一筆資料即時更新，潮位記錄單位為公分。由於潮位資料繁多，故本計畫針對計畫起始時間4月至9月最新資料進行下載分析，並從東日本沿岸及離島潮位站進行挑選，於每個主要區域挑選一站作為代表，共選擇十一測站進行資料下載，並將其由北至南給予測站編號，1至11分別為Miyako、Ayukawa、Onahama、Mera、Omaezaki、Kushimoto、Kochi、Tanegashima、Chichijima、Naha以及Yonaguni測站(表)，以供後續模式潮位校驗所需。

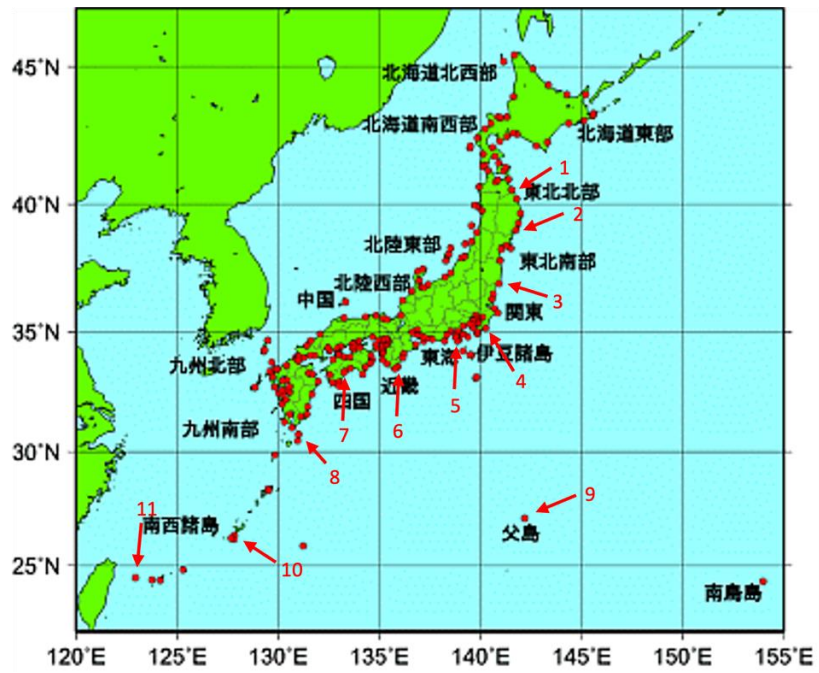


圖 3-3、日本各地觀測潮位(圖片來源:

<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>)

表 3-2、日本潮位站編號對照表

測站編號	測站名
01	Miyako
02	Ayukawa
03	Onahama
04	Mera
05	Omaezaki
06	Kushimoto
07	Kochi
08	Tanegashima
09	Chichijima
10	Naha
11	Yonaguni

臺灣潮位測站觀測資料來源使用交通部中央氣象署(Central Weather Administration)，以下稱CWA)所提供的open data潮位站資料，潮位站分布在臺灣各地沿海地區，以及澎湖、金門、連江等離島地區。該潮位資料數據可供查詢的時間範圍由2000年至今，各測站觀測潮位資料單位為公厘，資料每6分鐘一筆，測站分布如圖3-4所示。

由於臺灣受黑潮影響區域大多位於東部海域，僅有部分支流進入臺灣海峽，故分別就東部北、中、南各一測站進行校驗，由北至南分別為龍洞、成功、後壁湖，另黑潮於流經巴士海峽時，受到氣候影響，如：東北季風等，將有部分支流流向臺灣海峽，形成黑潮支流，故於臺灣西南部選一測站小琉





值觀測產生時序上的落差，並使各站均方根誤差、相關係數、決定係數受到影響，惟後續模擬皆表現良好。另將均方根誤差、決定係數以及相關係數記錄至製作統計表(表3-4及表3-5)。

依據結果顯示，日本各測站間除Chichijima及Naha測站因位處外島，受到地形影響相關係數稍低外，其餘測站R及R<sup>2</sup>皆能達到0.9以上，如表3-4所示，兩者呈現高度相關，Ayukawa潮位站為福島第一核電廠北側最近潮位站，而Onahama潮位站為福島第一核電廠南側最近之潮位站，由結果可知在2023年4月至9月間，兩站平均之均方根誤差RMSE僅為12及13公分，表示在約2公尺潮差的測站位置其海流模式與實際觀測誤差約為7%以內，差異甚小，而兩測站之相關係數R值也皆達到0.89，另外在決定係數R<sup>2</sup>也分別具有0.86與0.85的高度相關性。如以盒鬚圖來看(圖)，各測站4至9月的RMSE分布差異皆小於10公分，並且Ayukawa及Onahama潮位站的RMSE分布集中，顯示各月份的RMSE並無太明顯落差。

分別就臺灣東北方的龍洞、南方後壁湖、小琉球及中部成功測站進行4月至9月潮位資料校驗，並將其結果以時序圖表示。根據結果RMSE分別為0.11、0.13、0.12及0.15公尺，由於四站間潮差差異較小，故四站表現相當，四站之相關係數R值皆高於0.91，決定係數R<sup>2</sup>值皆高於0.8，其中成功測站平均R<sup>2</sup>值更達0.86，以RMSE盒鬚圖展示(圖3-6)，四站的RMSE分布雖較日本測站廣，但極值仍低於20公分，並且中位數與日本潮位站相當，仍然具有良好的表現，並附上日本與臺灣測站於4至9月逐月RMSE、相關係數以及決定係數比對圖(圖3-7至圖3-18)。透過上述統計分析後，顯示臺灣周圍之海流模式潮位資料與真實潮位在4月至9月區間具有高度相關性。

根據過往文獻使用多種模式與觀測值相互比較，有學者使用SELEF模式與臺灣周遭海域潮位觀測值比較，決定係數皆為0.9以上(Chen, 2013)；使用ROMS三維水動力模式模擬珠江口沿岸，與大橫琴及赤灣潮位站比對後，決定係數皆大於0.94，且均方根誤差RSME分別為35公分及29公分(Dong, 2020)；吳祚任於2021年使用調和分析模式Utide模式(Codiga, 2011)與氣象署現行作業化調和分析預報水位及觀測值比對，顯示整體範圍落在0.52至0.98間，各測站平均決定係數約為0.8。與三者相較之下，CWA-OCM-FH模式與觀測值比對，整體測站決定係數範圍落在0.8至0.89之間，平均決定係數為0.85，顯示CWA-OCM-FH模式對於長期潮位模擬具有良好的模擬結果，進一步驗證目前CWA-OCM-FH海洋模式的準確性、可靠性和實用性。

未來會持續透過使用日本以及臺灣潮位觀測資料與海流模式數值進行比對，藉由相關係數、決定係數及均方根誤差等量化指標持續評估海流作業化模式潮位變化之準確度，藉此確定模式可能存在的誤差，進而改善並優化海流作業化模式。

表 3-4、日本測站 4-9 月各潮位站相關係數統計表

測站名	RMS E	R	R <sup>2</sup>	最大差異	最小差異	平均差異
Miyako	0.09	0.93	0.93	0.27	-0.22	0.01
Ayukawa	0.10	0.93	0.92	0.29	-0.21	0.03
Onahama	0.10	0.92	0.91	0.47	-0.25	0.03
Mera	0.10	0.93	0.93	0.25	-0.27	0.03
Omaezaki	0.12	0.96	0.91	0.30	-0.12	0.09
Kushimoto	0.12	0.92	0.92	0.28	-0.29	-0.01
Kochi	0.13	0.92	0.91	0.29	-0.80	0.01
Tanegashima	0.14	0.92	0.91	0.35	-0.30	0.05
Chichijima	0.11	0.87	0.85	0.27	-0.19	0.04
Naha	0.19	0.85	0.84	0.53	-0.35	0.04
Yonaguni	0.09	0.96	0.96	0.24	-0.20	0.02

表 3-5、臺灣測站 4-9 月各潮位站相關係數統計表

測站名	RMSE	R	R <sup>2</sup>	最大差異	最小差異	平均差異
Houbihu	0.11	0.97	0.90	0.23	-0.35	-0.04
Longdong	0.10	0.94	0.88	0.43	-0.24	0.00
Chenggong	0.12	0.97	0.92	0.27	-0.38	-0.07
XiaoLiuqiu	0.10	0.96	0.88	0.28	-0.32	-0.03

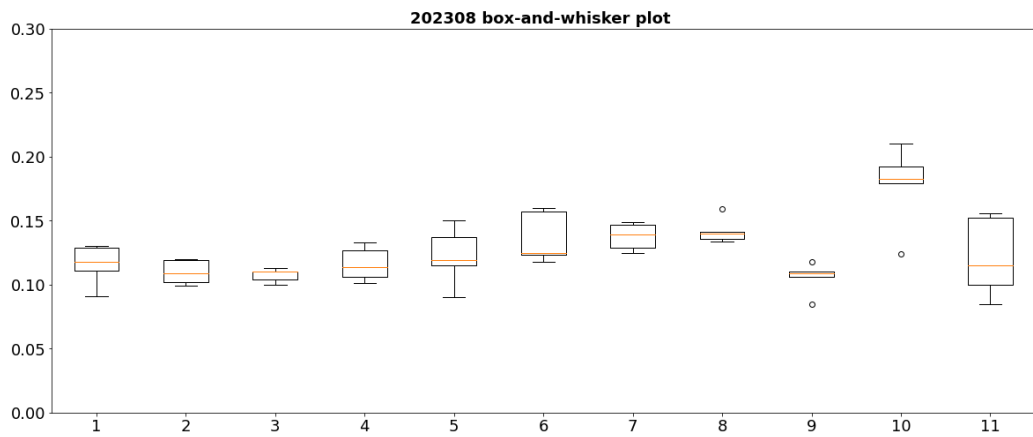


圖 3-5、日本測站 4-9 月各潮位站 RMSE 盒鬚圖(測站對照表 3-4)

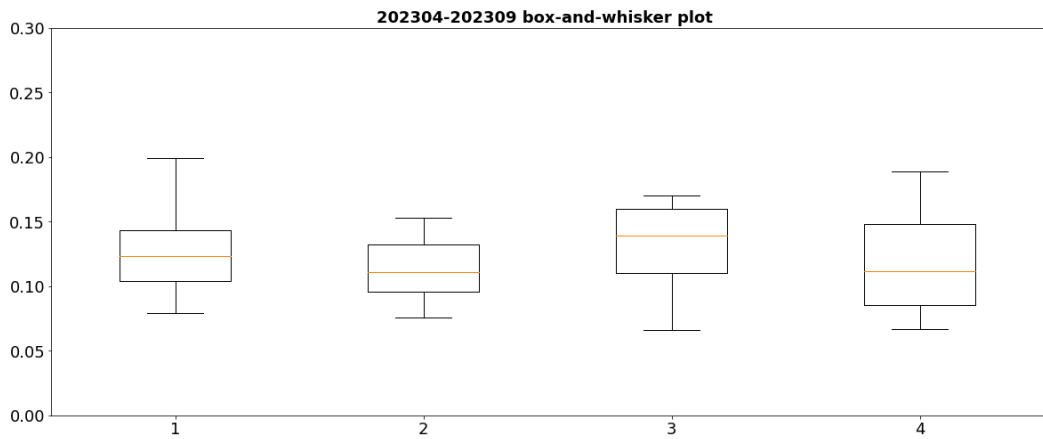


圖 3-6、臺灣測站 4-9 月各潮位站 RMSE 盒鬚圖(測站對照表 3-5)

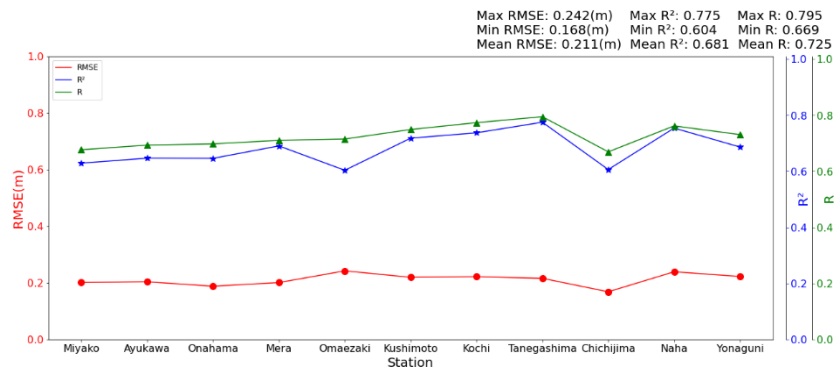


圖 3-7、日本測站 4 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

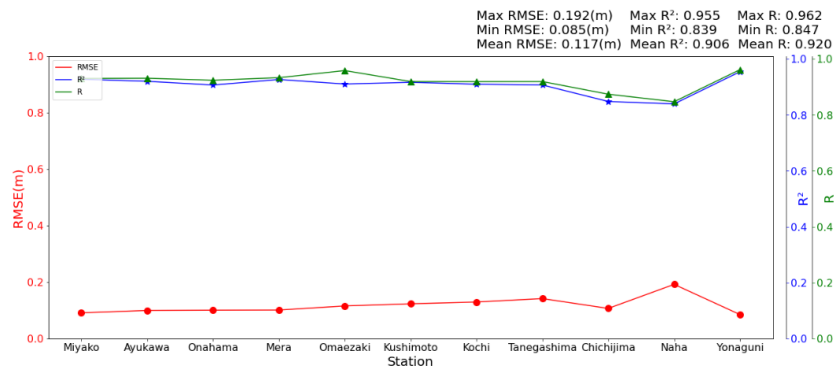


圖 3-8、日本測站 5 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

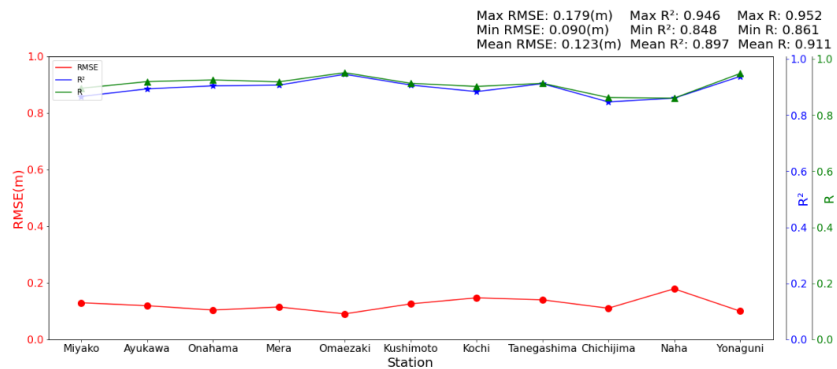


圖 3-9 日本測站 6 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

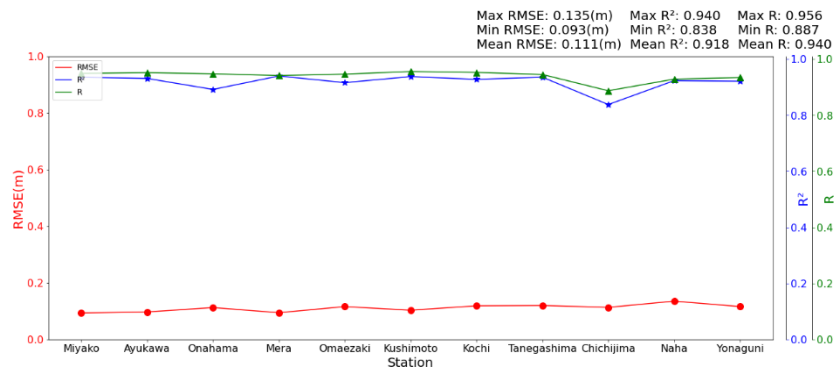


圖 3-10、日本測站 7 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

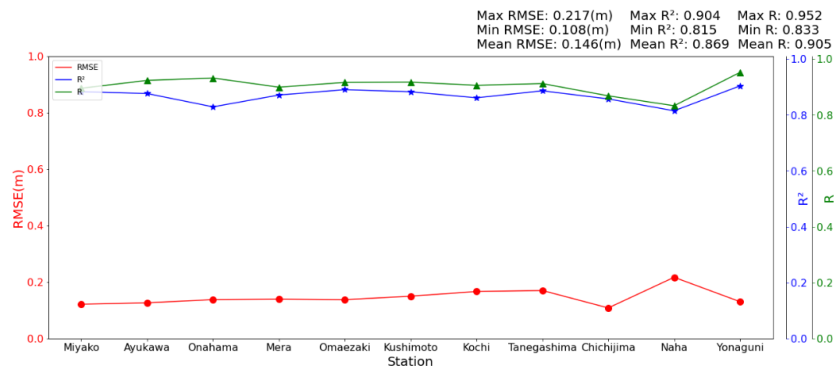


圖 3-11、日本測站 8 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

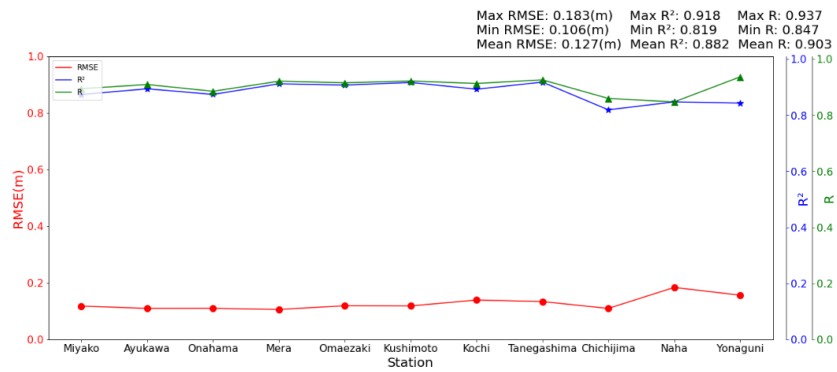


圖 3-12、日本測站 9 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

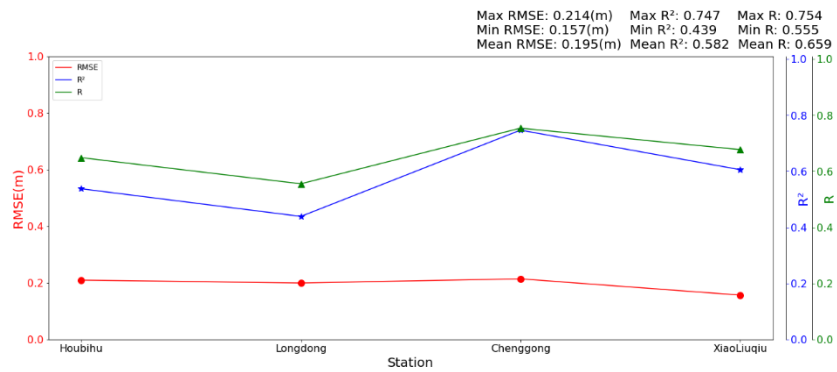


圖 3-13、臺灣測站 4 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

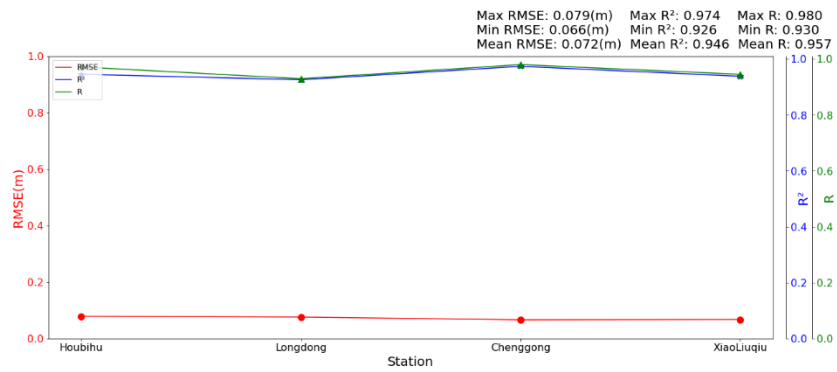


圖 3-14、臺灣測站 5 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

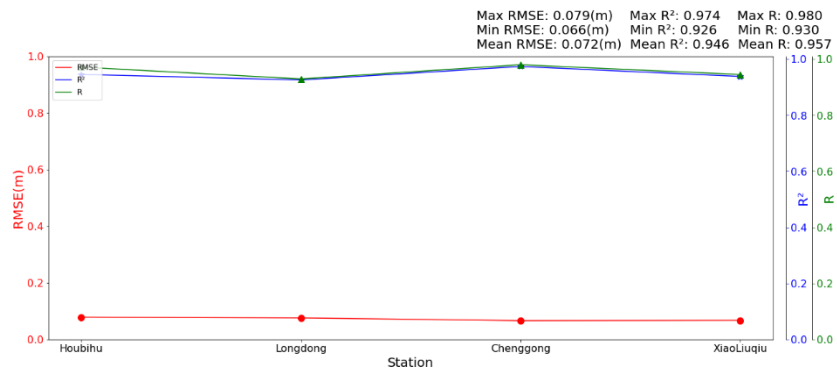


圖 3-15、臺灣測站 6 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

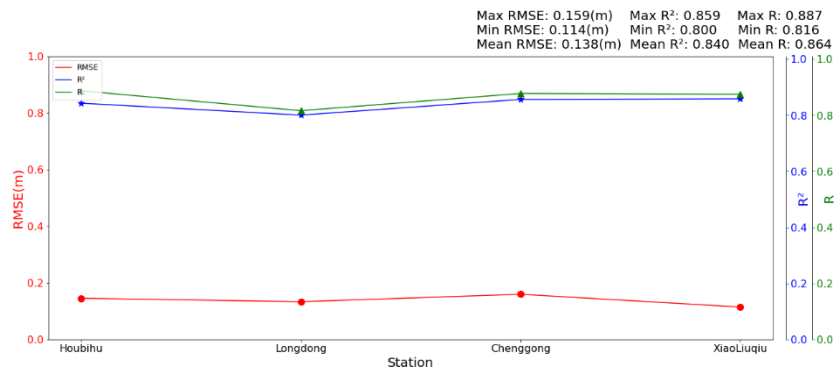


圖 3-16、臺灣測站 7 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

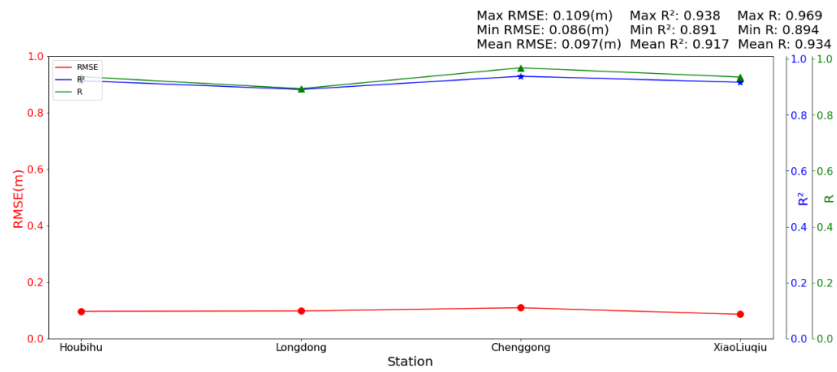


圖 3-17、臺灣測站 8 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖

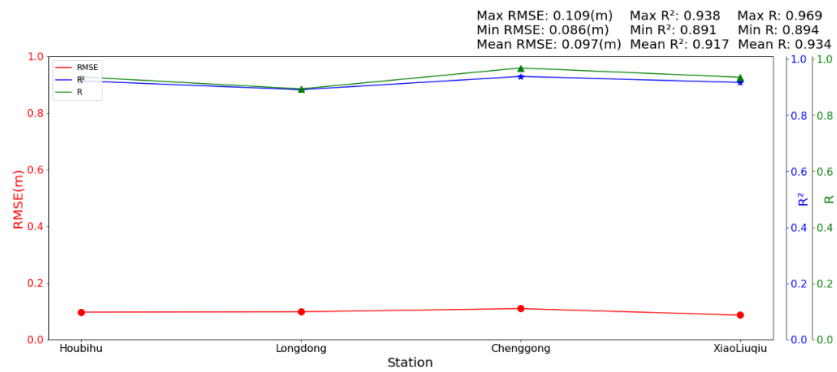


圖 3-18、臺灣測站 9 月份 RMSE、相關係數以及決定係數比對圖



## AVISO 地轉流海流校驗系統結果分析

粒子擴散最主要驅動力是使用CWA-OCM-FH海流模式的海流預報資料，一般使用流場校驗使用的資料採用某一區域的船測資料，定點的ADCP流速資料，或平面的衛星資料進行海流校驗，此兩種資料成本巨大且多為機密資料，相較於前兩者資料會受到較多的限制而無法取得外，衛星資料則是可以提供定期及穩定的校驗資料，因此本計畫採用AVISO（Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Oceanographic data）地表高度衛星資料進行校驗，其地轉流是由衛星觀測所提供的海洋地表高度資料進行分析計算而來的。這些資料取自於全球海洋衛星定位系統，例如法國國家太空研究中心（CNES）運行的Jason、Topex/Poseidon、Jason-1、Jason-2、Jason-3及Envisat等衛星。這些衛星傳送雷達脈衝到地球表面，通過衛星接收器接收回傳的信號，根據信號的時間延遲來計算海洋地表高度，再藉由內插法，將其空間解析度內插為0.25度，時間解析度為日平均資料，而AVISO本身是得到海面高度資料，透過一系列的計算後反演出流場資料，故在反演過程中可能有額外誤差的產生。

地轉流的計算主要是基於海洋地表高度的變化，並使用地球動力學和海洋動力學的理论知識。下面是大致的計算步驟：

1. 衛星觀測：衛星透過雷達脈衝觀測海洋地表高度。這些觀測數據涵蓋了全球範圍，並提供了對海洋表面高度變化的詳細觀察。
2. 參考潮汐模式：地球上存在著潮汐運動，這是由月球和太陽引力造成的。為了從海洋地表高度數據中獲得真正的地球運動信息，需要使用潮汐模式來消除潮汐影響。

3. 去除其他干擾：地球的地轉流受到許多其他因素的影響，例如海洋氣候變化、海洋渦漩、風場等。這些因素也需要在計算過程中進行去除或校正，以便更準確地得到地轉流場。
4. 地轉流計算：在去除潮汐和其他干擾因素後，可以計算出海洋地表高度的變化，進而得到地球的地轉流場。地轉流場顯示了海洋表面在不同位置上的水流速度和方向。

本計畫透過與AVISO衛星觀測資料進行海流模式比對，其比對範圍分為兩區，分別為黑潮延伸流及中尺度渦流區域，此兩區特性不同且流速差異大，福島含氚廢水排放後，主要透過黑潮延伸流向東傳輸，而中尺度渦流區則是影響放射性粒子往南傳輸主要原因，兩區範圍分別位於北緯30至40度、東經140至160度及北緯20至30度、東經125至145度，，如

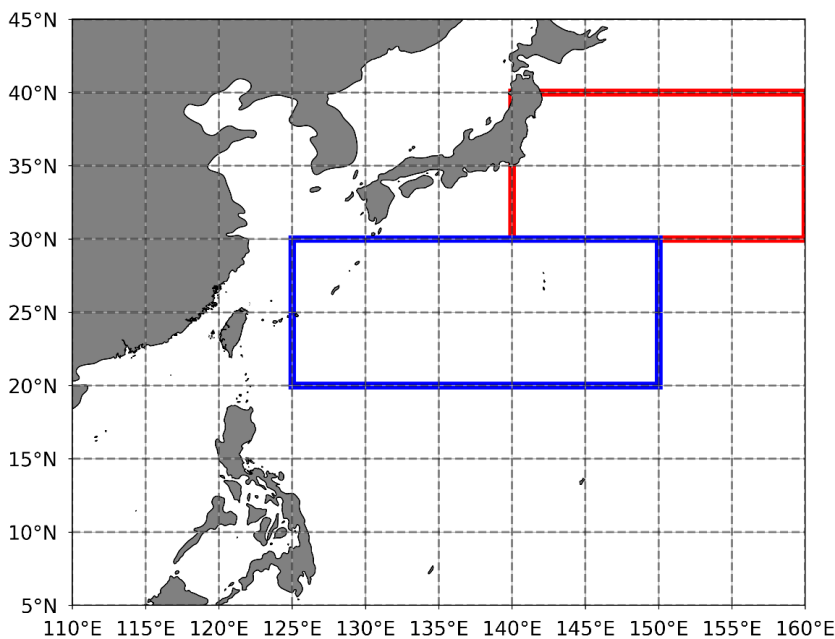


圖3-19、所示。

以下分別就主要影響粒子擴散的黑潮延伸流區域(Kuroshio Extension)與中尺度渦流區域(Meso-Scale Eddy)之相關係數、決定係數及均方根誤差等量化指標進行分析，藉此評估海流作業化模式與觀測間的差異及確保模式之準確性與可靠性。根據4月至9月平均差異，黑潮延伸流區域海域及中尺度渦流區域海域均方根誤差平均分別介於每秒0.194至0.289公尺及0.140至0.199公尺。其中日本東部外海黑潮延伸流區域由於流速差異明顯，平均相關係數及決定係數大多低於中尺度渦流區域，兩者分別為0.447至0.742及0.197至0.586。臺灣東部外海中尺度渦流區域，其平均相關係數及決定係數分別為0.595至0.769及0.366至0.61。藉由4月至9月平均相關係數統計表(表)顯示，中尺度渦流區域表現明顯差於黑潮延伸流區域，推估可能為中尺度渦流區流速較小，流速特性不明顯，故相關係數及決定係數較黑潮延伸流區域低。

由於AVISO資料範圍涵蓋全球，其解析度較低，在與模式差異間的相關係數較低，除探討其與CWA-OCM-FH模式間差異外，參考同為模式資料的HYCOM模式與其進行比對校驗。根據比對結果，兩種模式於中尺度渦流區域差異不大，各月平均均方根誤差落在0.149至0.191間，惟CWA-OCM-FH模式在黑潮延伸流區域因黑潮延伸流蜿蜒現象有些差異導致相關係數或決定係數降低，但趨勢上兩者差異小。

主要的差異來源是由於CWA-OCM-FH具有潮汐運動，但是HYCOM模式或是AVISO資料均未有潮汐影響。由於本計畫的重點海域為日本福島海域，受潮汐動力影響明顯，故模式納入潮汐動力應屬合理。

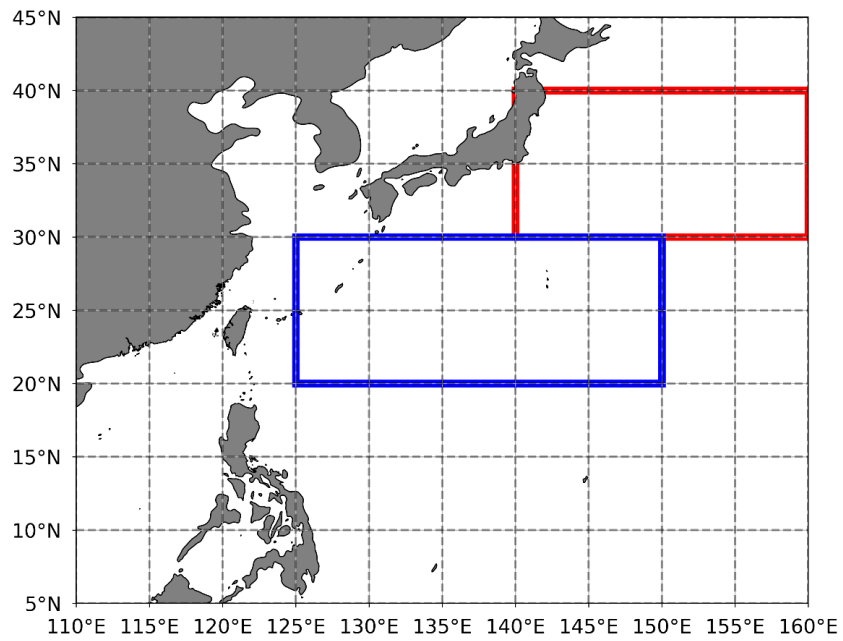


圖 3-19、海流校驗比對範圍(黑潮延伸流、中尺度渦流)

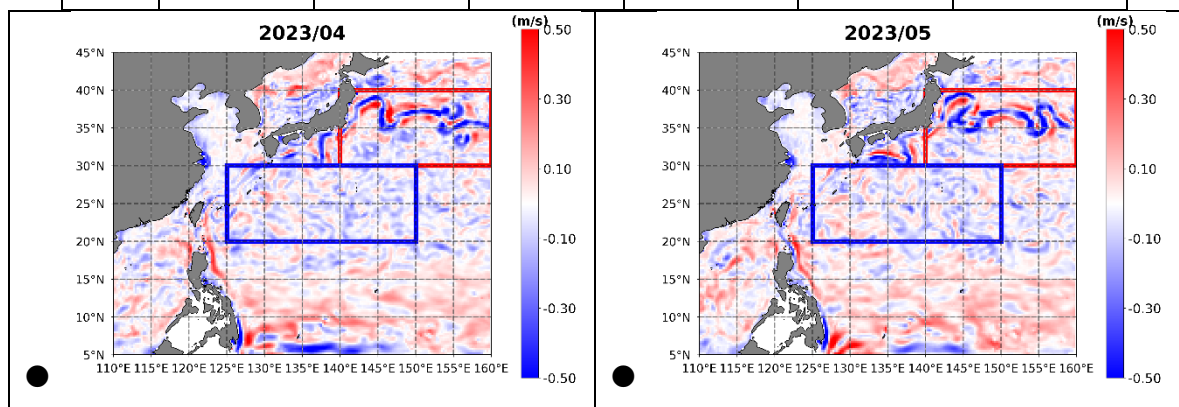
表 3-6、CWA-OCM-FH 與 AVISO 衛星資料 4-9 月相關係數統計表

月份	黑潮延伸流 RMSE	中尺度渦流 RMSE	黑潮延伸流 R	中尺度渦流 R	黑潮延伸流 R <sup>2</sup>	中尺度渦流 R <sup>2</sup>
4月	0.22	0.13	0.67	0.78	0.48	0.62
5月	0.19	0.13	0.74	0.78	0.59	0.63
6月	0.19	0.13	0.76	0.76	0.62	0.61
7月	0.23	0.13	0.68	0.78	0.49	0.64

8月	0.25	0.15	0.59	0.70	0.38	0.53
9月	0.23	0.12	0.60	0.80	0.39	0.65

表 3-7、CWA-OCM-FH 與 AVISO 衛星資料 4-9 月差異統計表

月份	黑潮延伸流最大差異	中尺度渦流最大差異	黑潮延伸流最小差異	中尺度渦流最小差異	黑潮延伸流平均差異	中尺度渦流平均差異
4月	1.06	0.48	-0.88	-0.57	-0.01	-0.04
5月	0.53	0.60	-0.97	-0.98	-0.03	-0.03
6月	0.59	0.54	-0.76	-0.76	-0.02	-0.03
7月	0.92	0.50	-1.05	-0.93	-0.03	-0.03
8月	0.65	0.66	-1.16	-1.23	-0.04	-0.03
9月	0.66	0.55	-1.11	-0.62	-0.05	-0.04



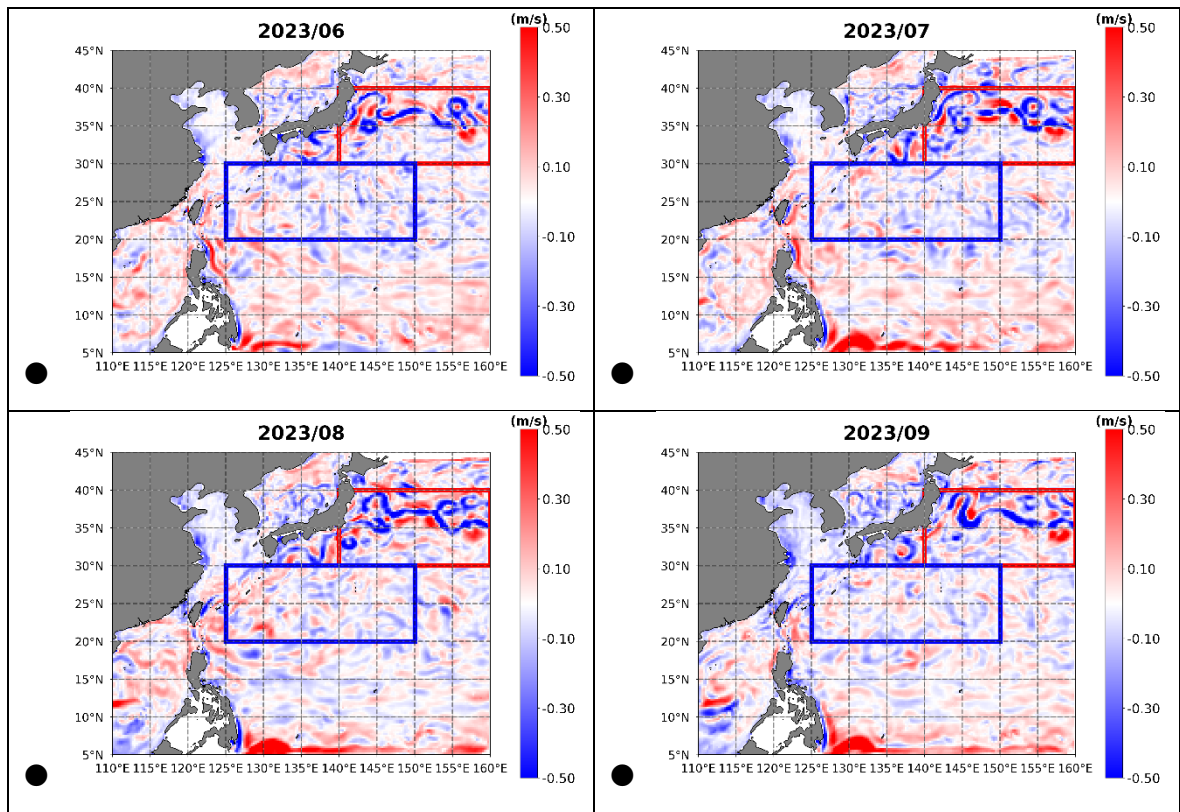


圖 3-20、CWA-OCM-FH 與 AVISO 衛星資料 4-9 月平均差異圖

表 3-8、HYCOM 與 AVISO 衛星資料 4-9 月平均相關係數統計表

月份	黑潮延伸流 RMSE	中尺度渦流 RMSE	黑潮延伸流 R	中尺度渦流 R	黑潮延伸流 R <sup>2</sup>	中尺度渦流 R <sup>2</sup>
4 月	0.21	0.12	0.84	0.86	0.59	0.69
5 月	0.16	0.11	0.87	0.89	0.71	0.76
6 月	0.18	0.12	0.83	0.85	0.64	0.69
7 月	0.19	0.12	0.82	0.86	0.63	0.67
8 月	0.20	0.13	0.78	0.85	0.58	0.65
9 月	0.19	0.11	0.83	0.90	0.66	0.75

表 3-9、HYCOM 與 AVISO 衛星資料 4-9 月平均差異統計表

月份	黑潮延伸流最大差異	中尺度渦流最大差異	黑潮延伸流最小差異	中尺度渦流最小差異	黑潮延伸流平均差異	中尺度渦流平均差異
4 月	1.10	0.79	-0.86	-0.52	0.10	0.05
5 月	0.71	0.70	-0.62	-0.48	0.07	0.04

6 月	0.92	0.64	-0.77	-0.74	0.06	0.04
7 月	0.98	0.61	-0.87	-0.74	0.05	0.05
8 月	1.03	0.54	-0.92	-0.73	0.05	0.05
9 月	1.10	0.58	-0.94	-0.43	0.04	0.04



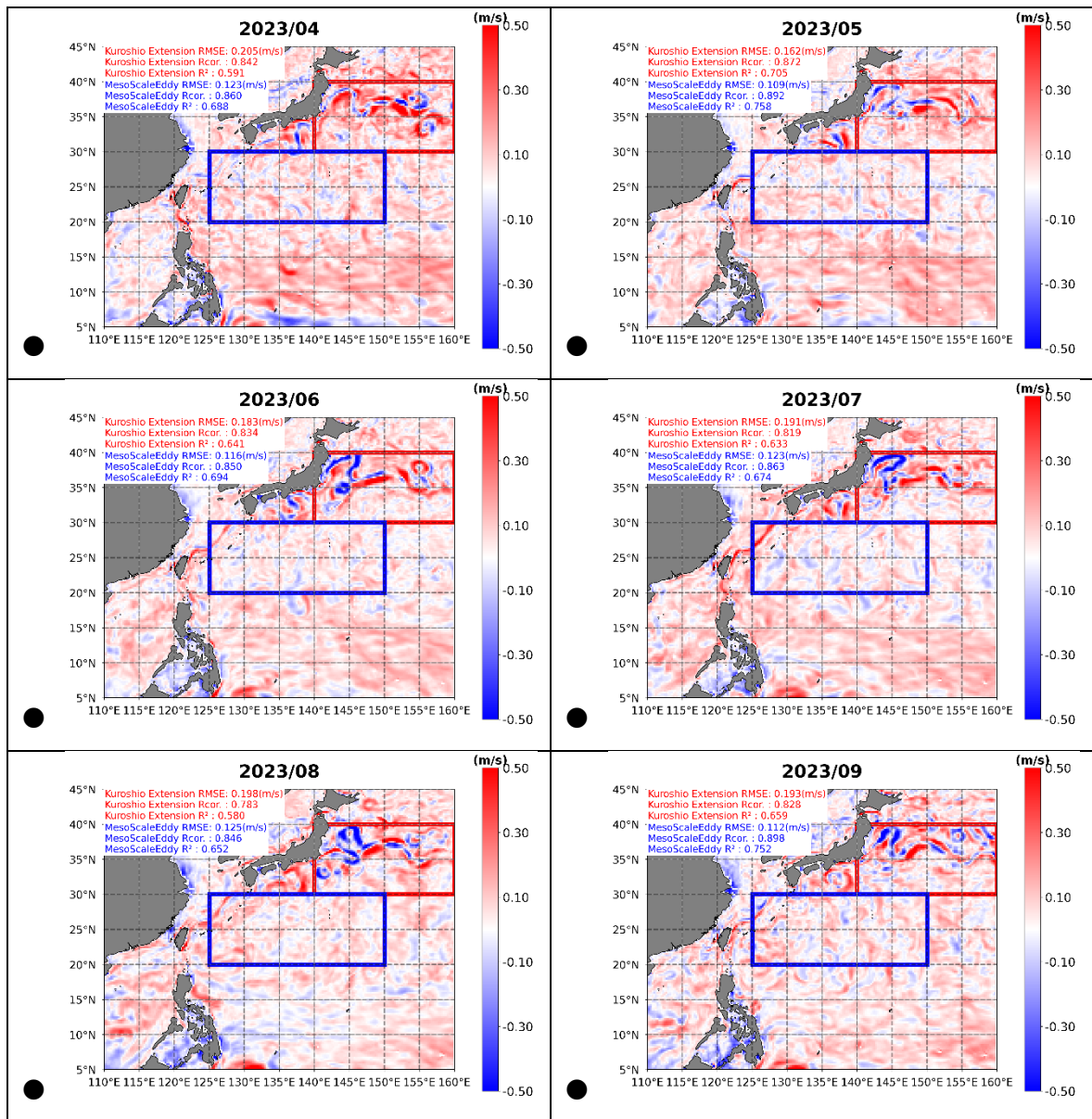


圖 3-21、HYCOM 與 AVISO 衛星資料 4-9 月平均差異圖

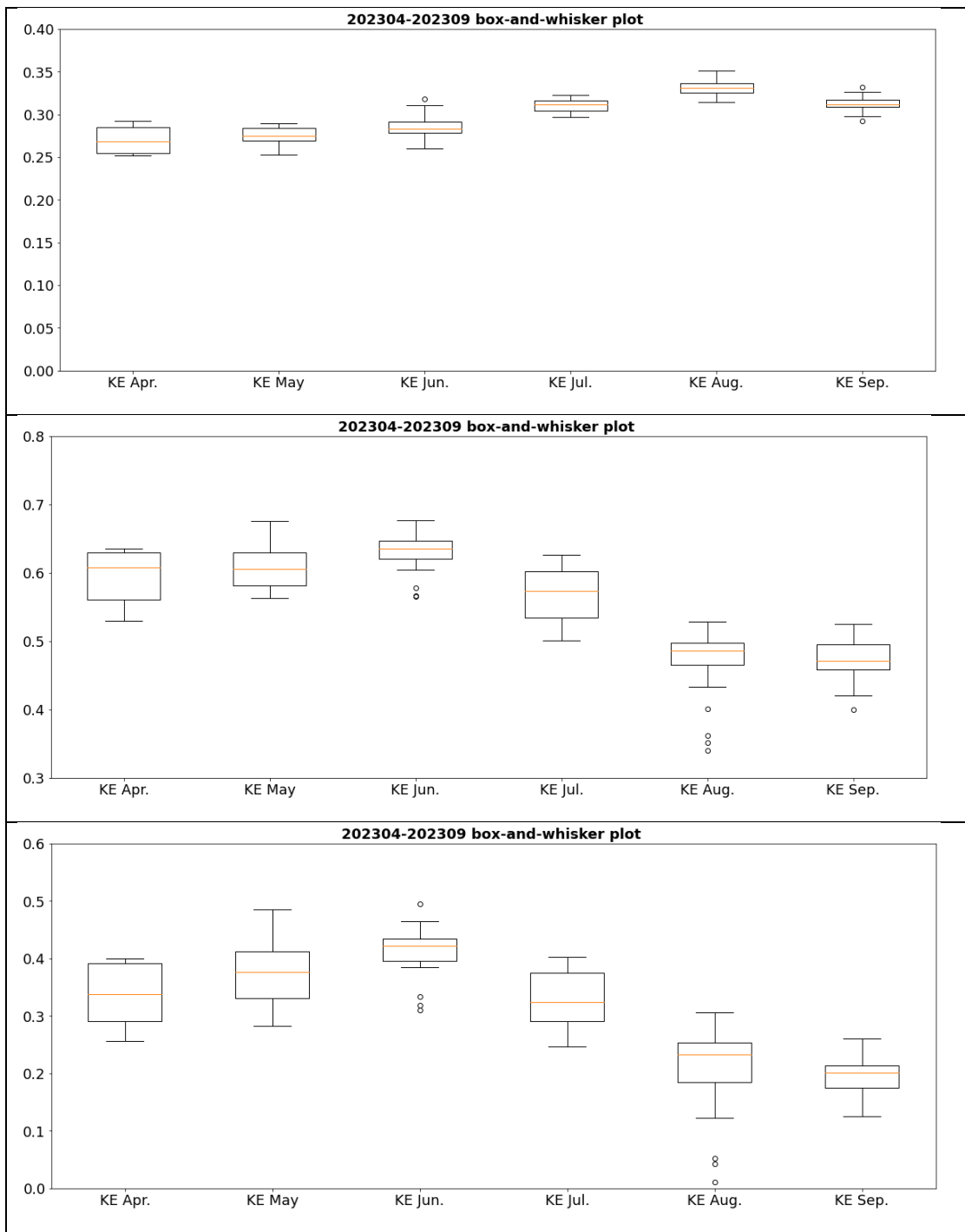


圖 3-22、黑潮延伸流區域盒鬚圖(上為 RMSE，中為 R，下為 R<sup>2</sup>)

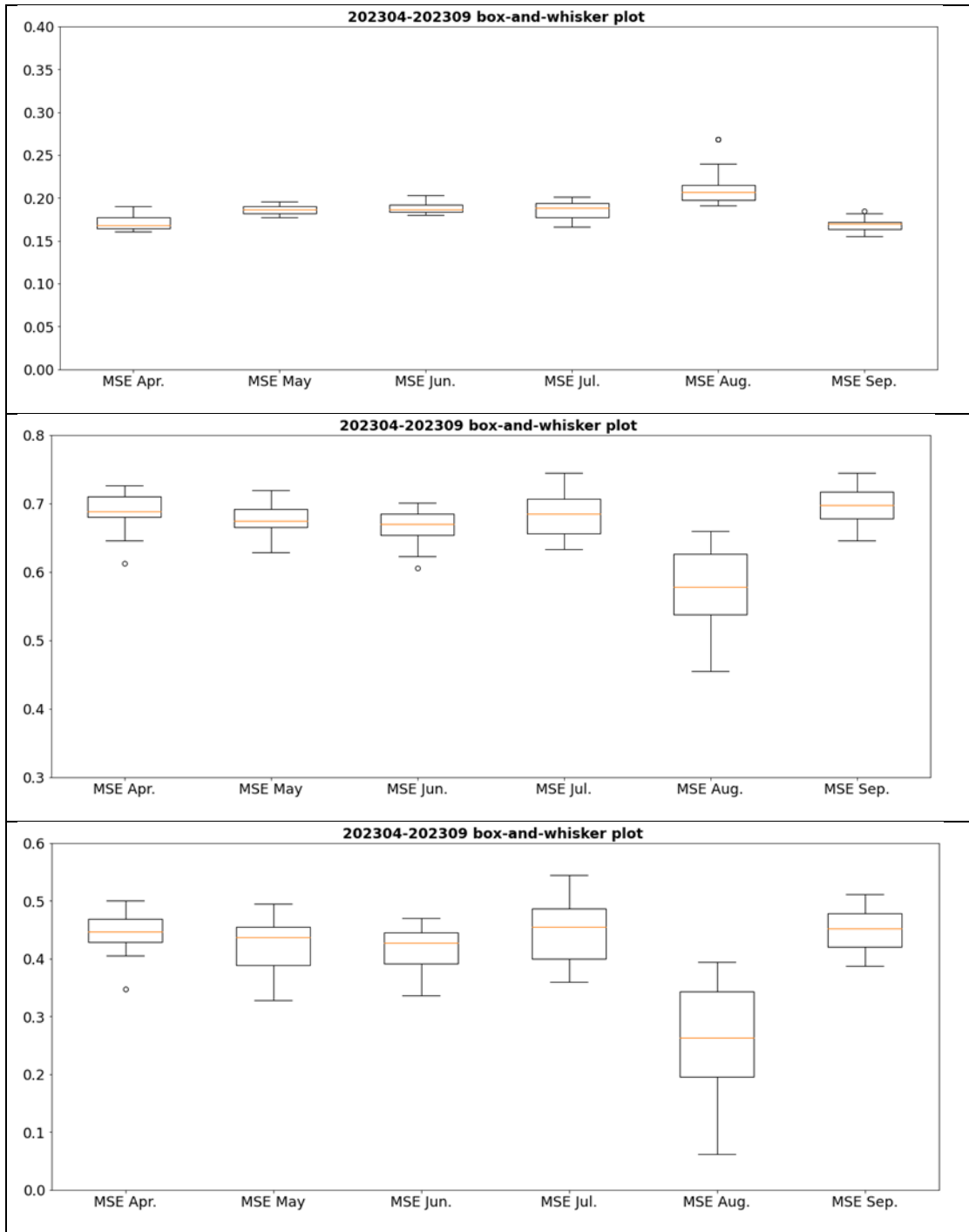


圖 3-23、中尺度渦流區域盒鬚圖(上為 RMSE，中為 R，下為  $R^2$ )

## GHRSSST 海溫校驗系統結果分析

由於在流體方程式中溫度所產生的密度差異也會影響海流的變化，因此採用GHRSSST作為觀測值對模式做校驗。透過GHRSSST衛星觀測資料，進行海溫觀測與模式進行校驗分析，根據結果顯示，4至7月CWA-OCM-FH與GHRSSST相比，北端鄰近日本海域CWA-OCM-FH海溫較GHRSSST高，南端菲律賓海周邊海域呈現溫度較低情況。7月開始CWA-OCM-FH模式海溫從臺灣海峽及中國沿岸向北延伸海溫逐漸降低，西太平洋及菲律賓海區域則反之上升。另於日本北部北海道東部海域，CWA-OCM-FH模式於半年間海溫與GHRSSST相比大多高於後者。根據相關係數統計表分析，4月決定係數表現最好，9月表現最差，雖然5、6月CWA-OCM-FH與GHRSSST均方根誤差較大，但南北差異範圍相當，且整體平均差異僅0.66度，使相關係數及決定係數未大幅下降。8、9月雖整體均方根誤差較小，惟各區域間受颱風影響差異落差過大，反而使相關係數及決定係數偏低。

透過各月份的每日誤差及係數繪製盒鬚圖(圖3-25)，其結果顯示8、9月雖相關係數及決定係數較前幾月份都有下降趨勢，但是均方根誤差反而表現較佳，並且其分布範圍高度集中，表示8、9月CWA-OCM-FH與GHRSSST之間差異大多來自於局部溫差，主要差異集中於日本海區域及日本東北區域，菲律賓海至西太平洋區域溫度差異反而較前幾個月降低，推估為沿岸地區三維海流模式受天氣影響垂直循環，以致短期現象產生的差異累積所造成。

雖HYCOM模式使用氣象場與CWA-OCM-FH模式不同，考慮其海溫資料較為完整，故仍採用其做為不同模式的對照。以HYCOM模式與GHRSSST相比(圖3-26)，各月份差異與CWA-OCM-FH差異趨勢相似，惟HYCOM模式

與GHRSSST間差異值較小，並且極端值多集中於沿岸區域，以致均方根誤差、相關係數及決定係數表現較好(表3-11)，此結果是由於HYCOM模式經過資料同化DA(Data assimilation)處理，DA能夠透過衛星、船測、儀器監測等多種實際觀測值來修正模式誤差值與偏差，故在與觀測值差異比較時，往往能得到比未經過DA處理模式更加良好的數據。

整體而言，雖CWA-COM-FH與GHRSSST的差異較大，其誤差呈現輻射振幅不足現象，但就平均差異而言，CWA-OCM-FH平均差異皆小於1度，並且整體趨勢與HYCOM相比接近，顯示CWA-OCM-FH雖未經DA處理，即可得到與經過DA處理模式相似趨勢。未來將針對模式所使用的氣象場與模式內部使用公式進行分析，另外也會透過資料同化技術精進CWA-OCM-FH模式預報能力。

表 3-10、CWA-OCM-FH 與 GHRSSST 資料 4-9 月相關係數統計表

月份	RMSE	R	R <sup>2</sup>	最大差異 (°C)	最小差異 (°C)	平均差異 (°C)
4 月	0.73	0.93	0.99	7.72	0.00	0.50
5 月	0.96	0.93	0.98	8.19	0.00	0.66
6 月	1.09	0.92	0.97	7.38	0.00	0.83
7 月	0.86	0.89	0.96	5.14	0.00	0.62
8 月	0.82	0.82	0.90	5.84	0.00	0.57
9 月	0.77	0.81	0.87	6.34	0.00	0.52

表 3-11、HYCOM 與 GHRSSST 衛星資料 4-9 月相關係數統計表

月份	RMSE	R	R <sup>2</sup>	最大差異 (°C)	最小差異 (°C)	平均差異 (°C)
4月	0.28	0.99	1.00	6.38	0.00	0.20
5月	0.34	0.99	1.00	4.63	0.00	0.26
6月	0.40	0.99	0.99	4.05	0.00	0.31
7月	0.45	0.99	0.99	4.12	0.00	0.36
8月	0.42	0.99	0.97	4.74	0.00	0.36
9月	0.33	0.99	0.98	5.59	0.00	0.29

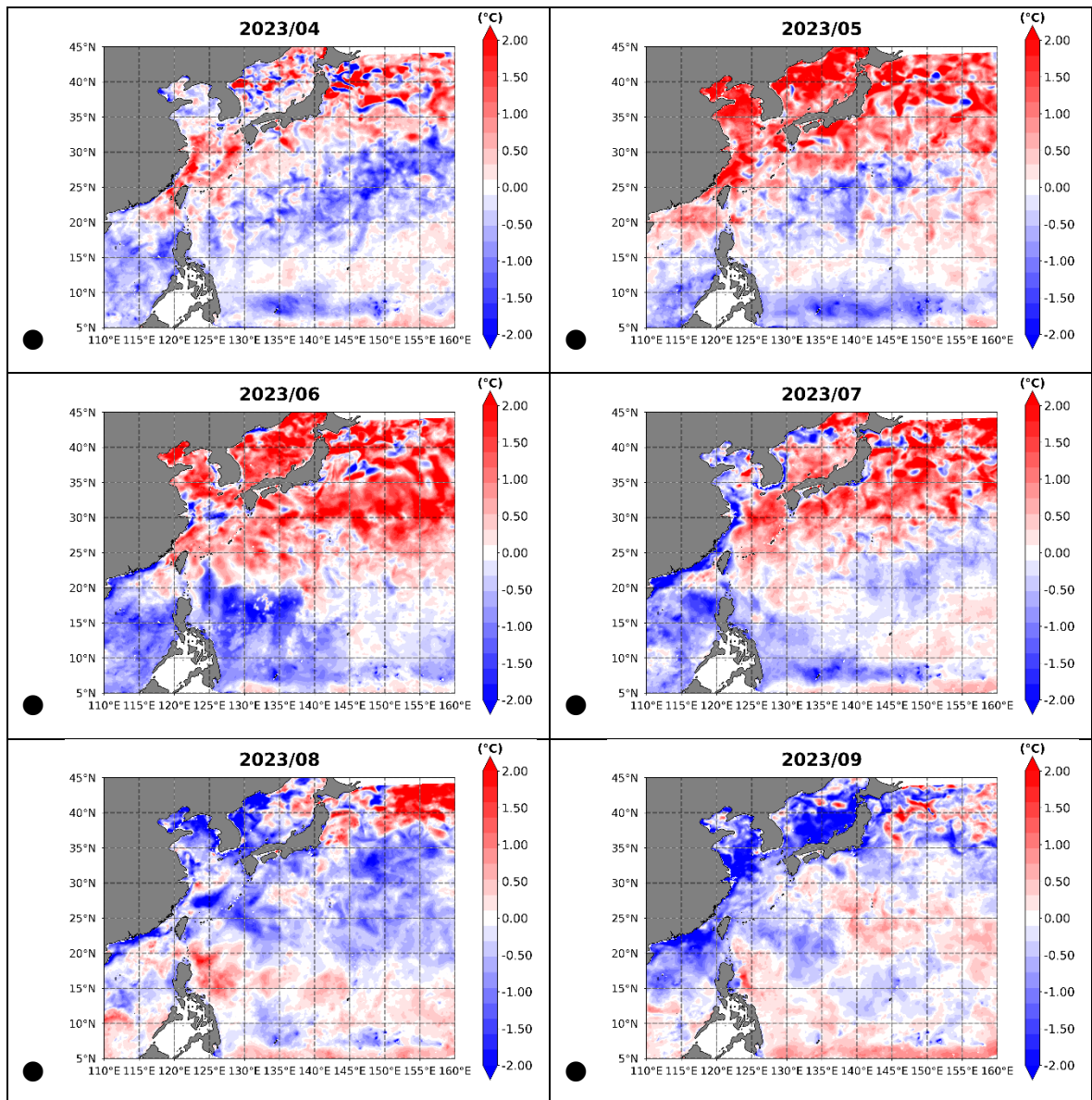


圖 3-24、CWA-OCM-FH 與 GHRSSST 衛星資料 4-9 月平均差異圖

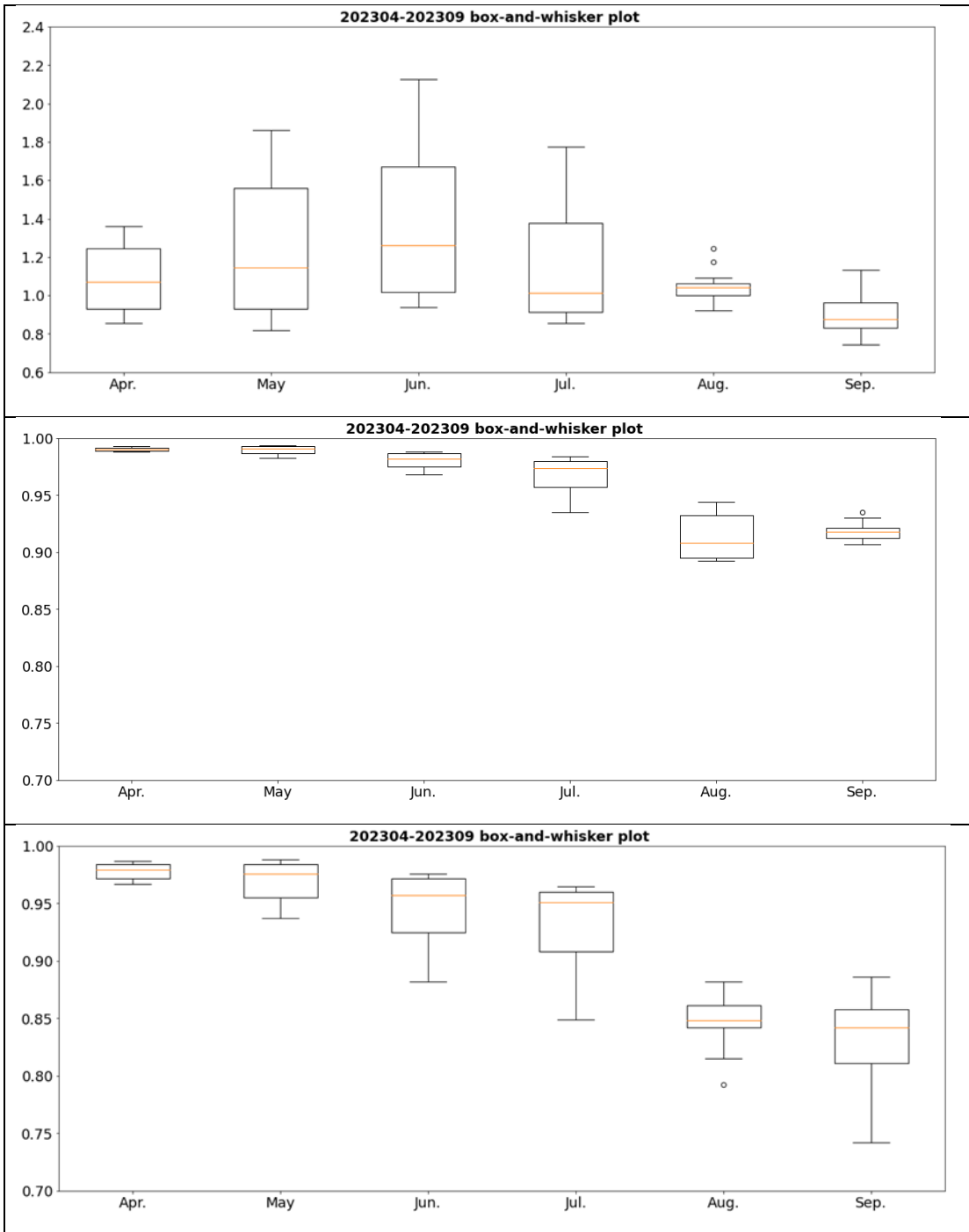


圖 3-26、海溫校驗盒鬚圖(上為 RMSE，中為 R，下為  $R^2$ )



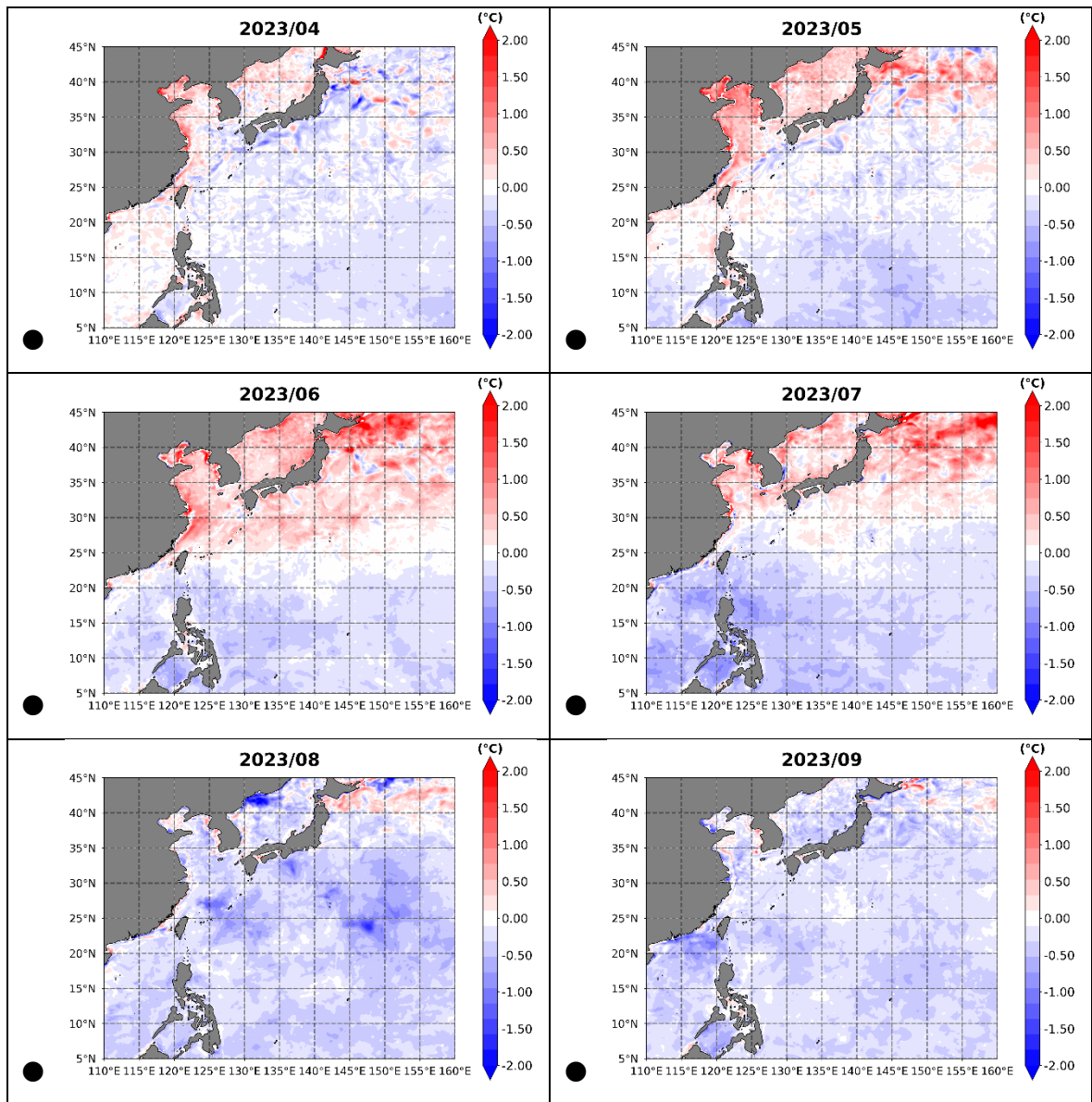


圖 3-26、HYCOM 與 GHRSSST 衛星資料 4-9 月平均差異圖

## ARGO 海溫校驗系統結果分析

ARGO 浮標由於其運作原理，可透過下沉及上浮的過程來收集海溫剖面變化，本計畫收集各國研究單位布放後流經在東經 100 至 150 度以及的北緯 0 至 50 度範圍內的 AGRO，依據其點位座標與 CWA-OCM-FH 及 HYCOM 兩種模式比較，繪製出三者在同一地理位置下剖面溫度變化，本計畫校驗主要採用日本東南部至西太平洋來做驗證。

根據比對結果(圖 3-27 至圖 3-29)顯示，4、5 月兩種模式與 ARGO 海溫剖面變化趨勢相近，僅於日本東部近海模式與觀測值有較明顯差異，另於西太平洋海域，ARGO 於 300 至 600 公尺深水域有較大變化，與模式值產生些微落差。6、7 月結果同樣產生相似趨勢，於日本東部沿海會產生不同海溫變化趨勢，並且隨著水深增加，兩種模式會逐漸接近觀測值。8、9 月此現象進一步加深，除一點位於西太平洋區外，其餘皆呈現模式與觀測差於中段水深差異增加。如以混合層深度來看，CWAOCM-FH 大多有略為低估情形，但考量到 HYCOM 海溫經過 DA 處理，CWA-OCM-FH 僅藉由垂直網格計算溫鹽，此結果顯示模式結果具有良好表現。

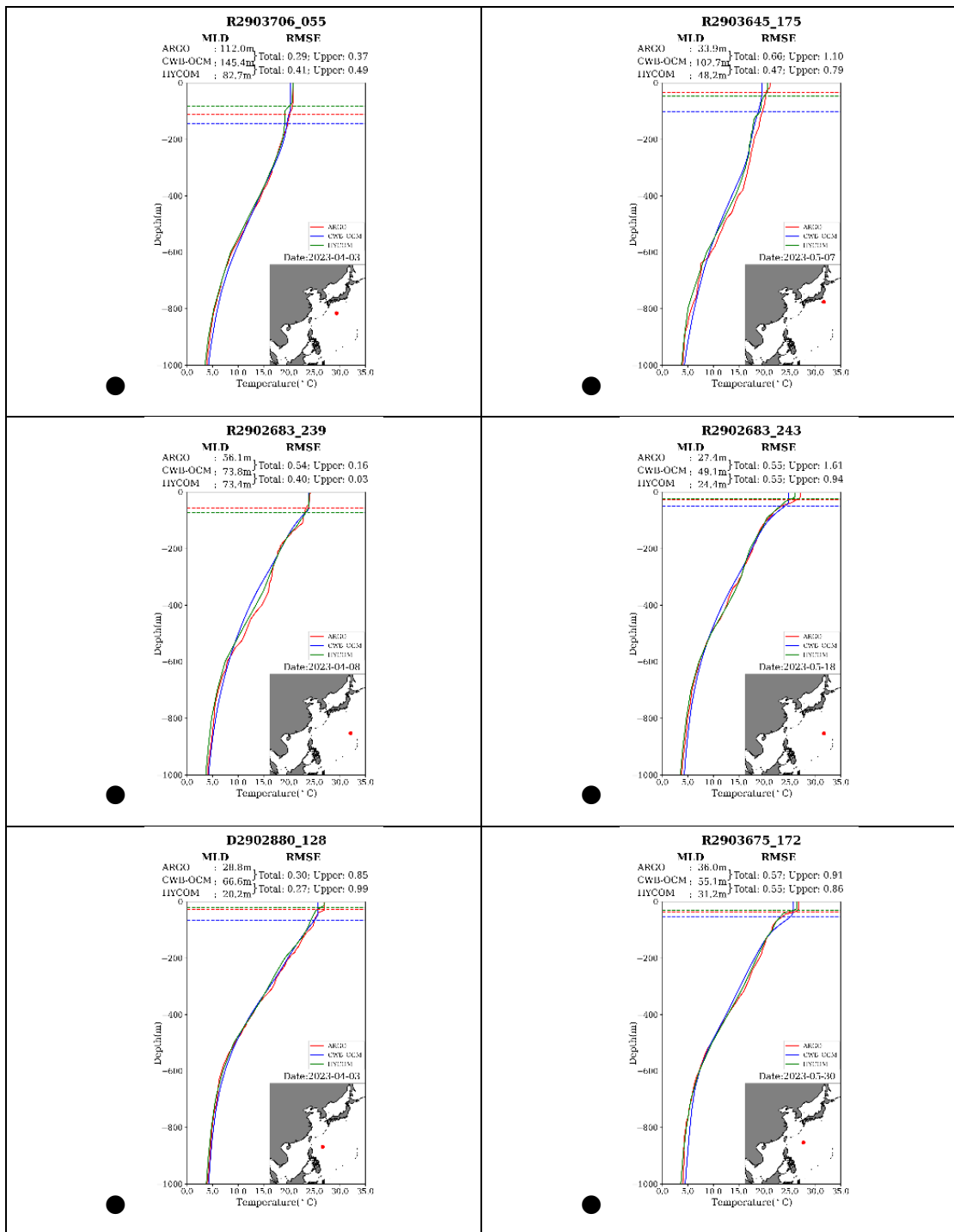


圖 3-27、CWA-OCM-FH、HYCOM 模式與 ARGO 浮標海溫剖面圖 4、5 月

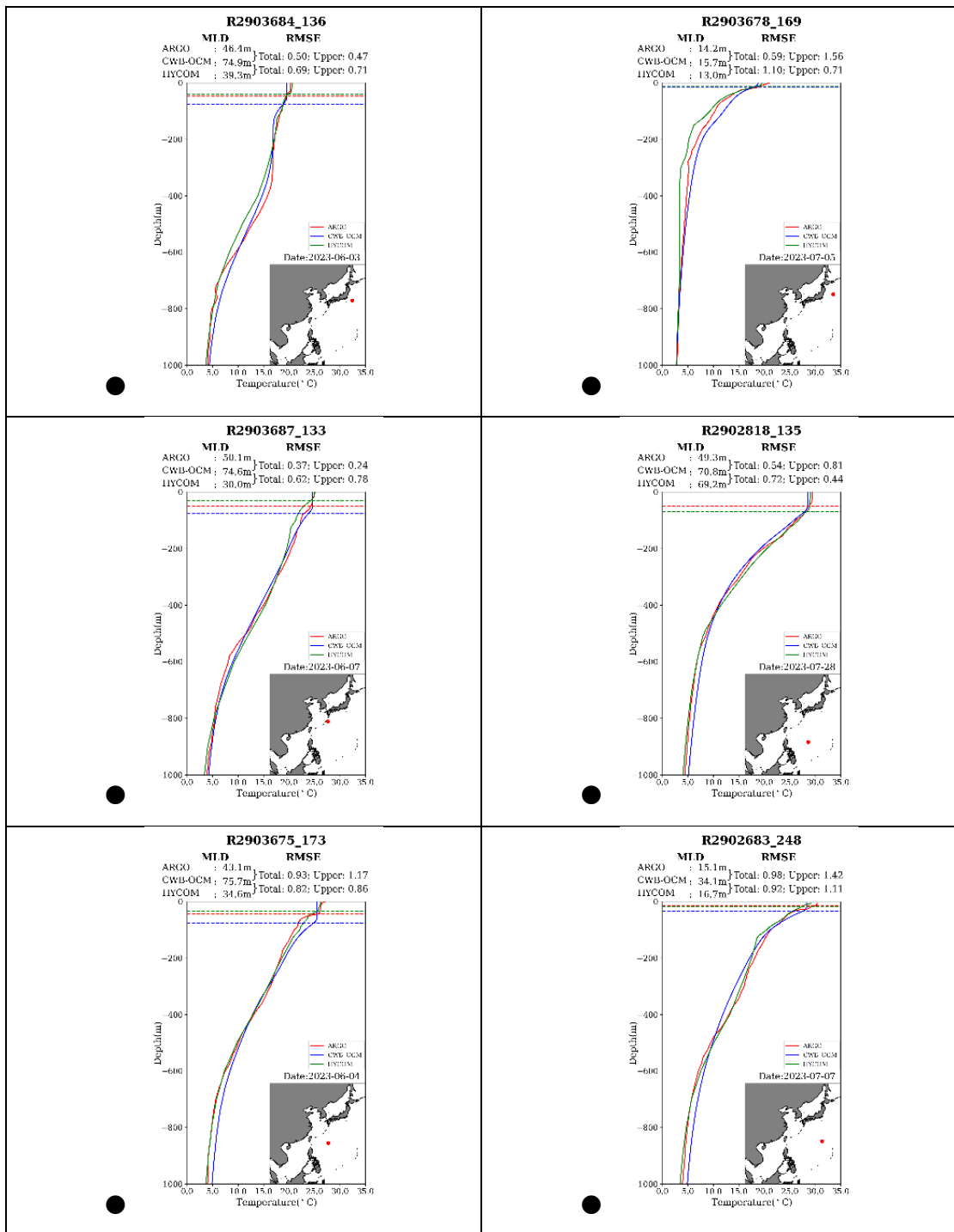


圖 3-28、CWA-OCM-FH、HYCOM 模式與 ARGO 浮標海溫剖面圖 6、7 月

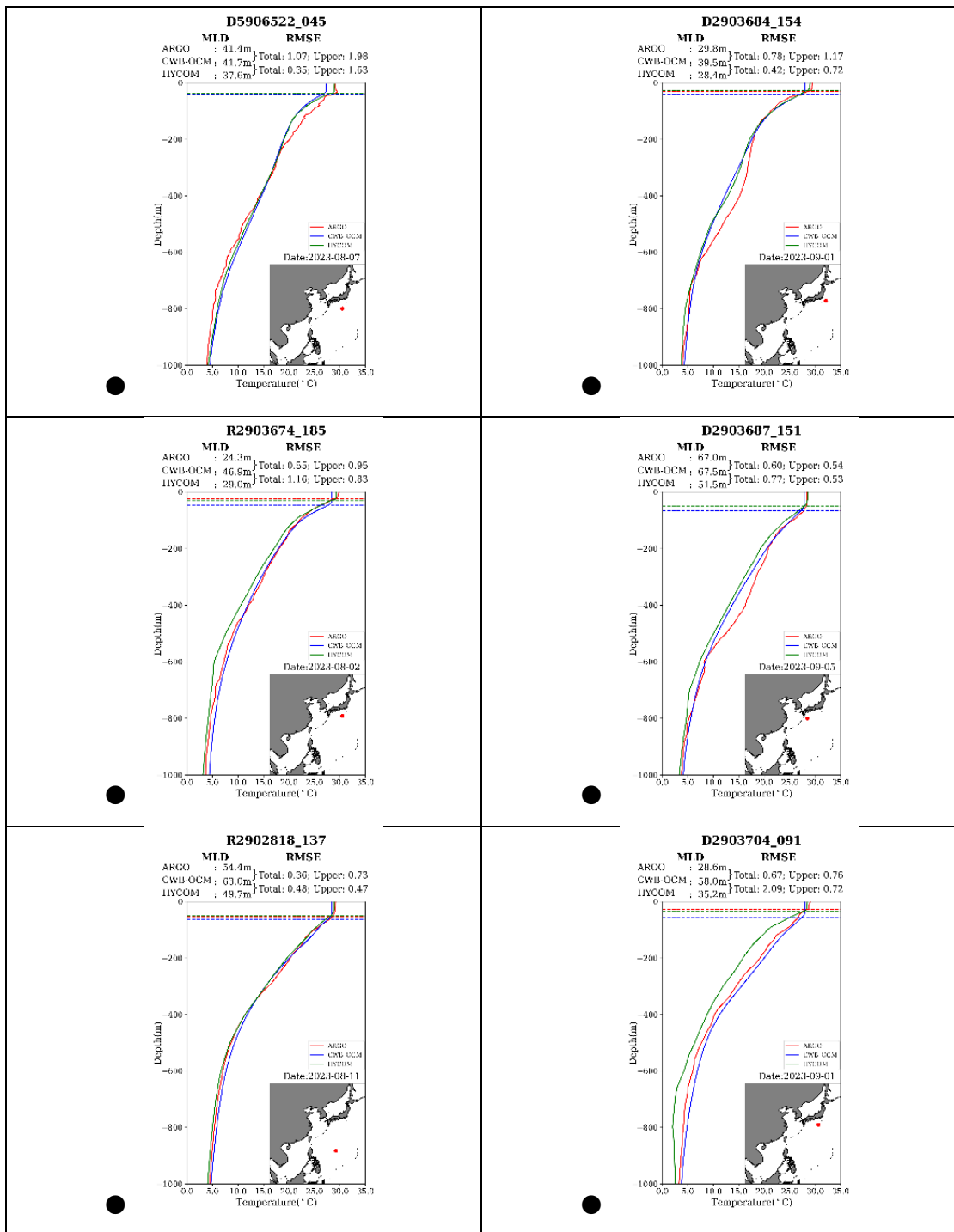


圖 3-29、CWA-OCM-FH、HYCOM 模式與 ARGO 浮標海溫剖面圖 8、9 月

## 放射性核種模擬案例

於整備計畫期間已完成連續投放為投放一年模擬十年歷史案例之計算，但考慮放射性核種氙的半化期較長(為12.3年)，並且配合今年東京電力公司預計排放含氙廢水計畫，本計畫將提前以福島311事件為時間背景進行連續十年排放進行以氙水粒子案例模擬，並使用半化期模組於粒子擴散模式進行計算，以此模擬長期排放稀釋後含氙廢水事件演化狀況。

由於放射性核種銫137的半化期長達30年，本計畫根據上述設定，延伸案例進行以表層連續十年投放模擬銫137之粒子傳輸路徑，並搭配使用HYCOM歷史洋流資料模擬不同放射性核種污染事件之濃度擴散分布情況，藉此分析不同放射性核種之擴散傳輸比較，案例規劃說明如下：

案例一為以水下12公尺處排放粒子藉此代表氙水排放後粒子擴散案例，粒子設定放射性核種為氙，半化期設定為12.3年，投放粒子方式為於福島核電廠外海水深12公尺處投放，粒子每小時投放10顆，模擬時間為2011年3月11日至2021年1月1日，總粒子數為860160顆。

案例二為以海面排放粒子藉此代表銫137粒子擴散案例，粒子設定放射性核種為銫137，半化期設定為30.2年，投放粒子方式為於福島核電廠外海水深0公尺處投放，粒子每小時投放10顆，模擬時間為2011年3月11日至2022年8月31日，總粒子數為860160顆。

案例一粒子在排放後，因為粒子受海表面黑潮延伸流的影響使之向東傳輸，其粒子移動軌跡如圖；而由粒子經度深度圖(如圖3-31)可知，粒子排放後在日本沿岸逐漸向下傳輸，但因其排放位置非常非常接近海面，故受黑潮影響大，在離開日本東岸進入到太平洋後，粒子在垂直剖面受垂直流影響

向較深區域傳輸，當粒子進入較深海區域時，因水深較深區域流速較慢，在水平傳輸分布結果呈現擴散的範圍較為離散。長期模擬結果顯示，粒子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粒子受到近岸較低海流流速影響使之移動緩慢，甚至滯留於當地美西外洋區的垃圾帶。而由日本排放後部分粒子受到親潮、東北季風與中尺度渦流影響，使其向南傳輸，重新進入到黑潮傳輸或就是由當地海流帶往臺灣海域前進，但此部分粒子數量稀少。

為分析粒子傳輸的分布情形，將模擬海域區分為三個主要區域如圖所示日本區域、向東區域與向南區域，向南區域中再切出臺灣區域，以四個區域進行統計分析投放五年後其影響程度，由表統計結果發現，十年歷史案例粒子傳輸模擬有57%停留在日本海域，而42%向東進入西部海域，僅有不到0.5%向南傳輸，而進入臺灣海域的粒子則只有0.25%。

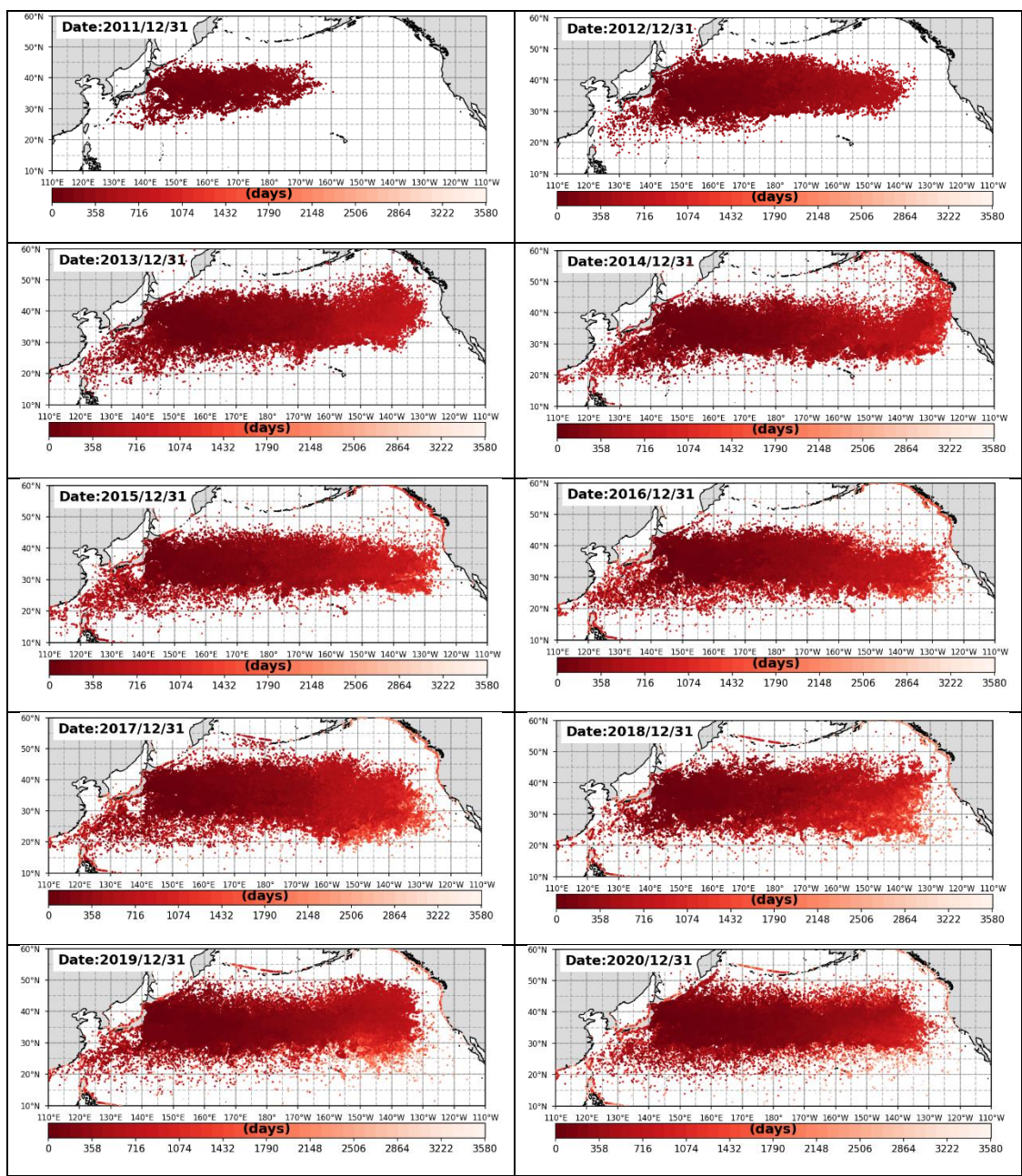
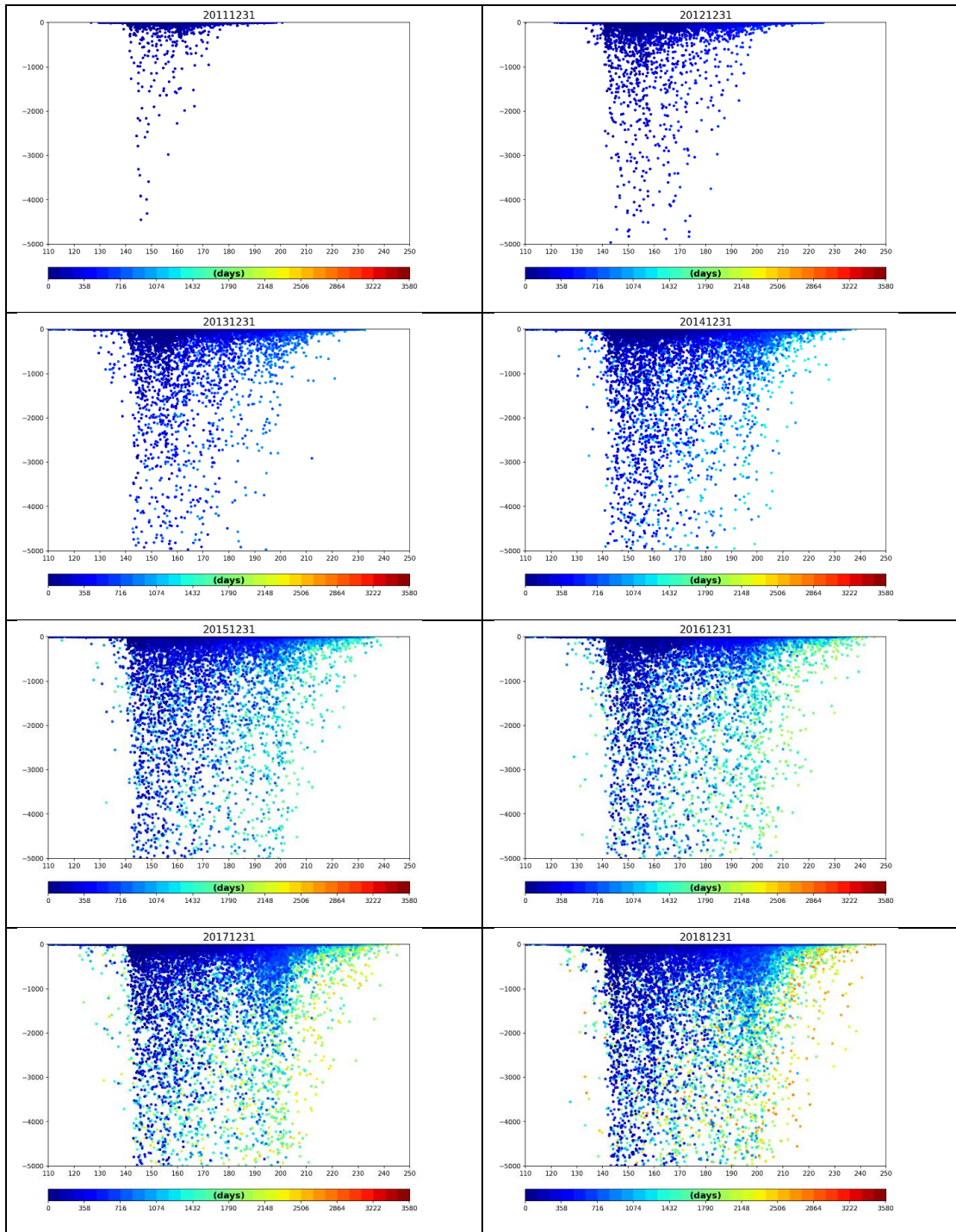


圖 3-30、案例一含氡粒子軌跡結果水平分布圖





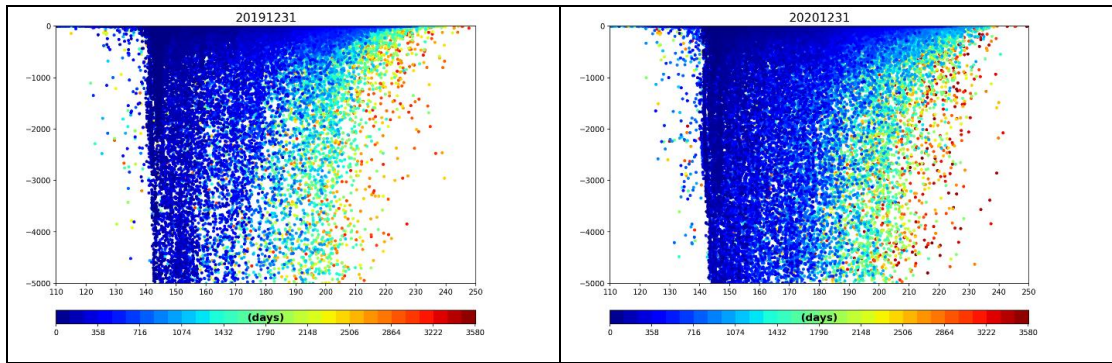


圖 3-31、案例一含氡粒子經度深度垂直分布圖

表 3-12、氡水粒子與銫 137 粒子案例分區量化統計

	氡水粒子案例		銫 137 粒子案例	
	數量(顆)	比例	數量(顆)	比例
向東	185602	42.3%	245545	55.97%
向南	1823	0.42%	2662	0.61%
日本 周圍海域	251295	57.28%	190513	43.42%
臺灣 周圍海域	1110	0.25%	1620	0.37%
總顆粒數:438720				

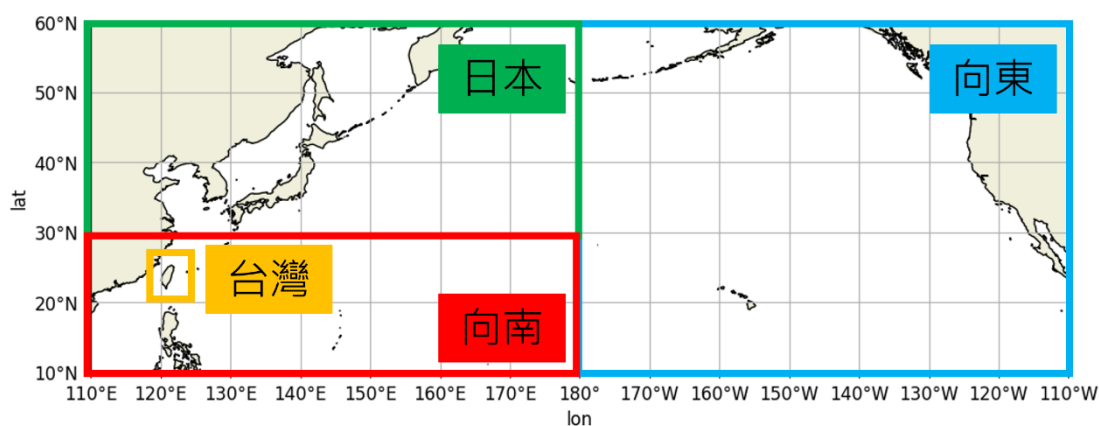


圖 3-32、放射性粒子位置分區示意圖(藍框：向東，紅框：向南，綠框：日本周圍海域，橘框：臺灣周圍海域)

案例二為以海表面投放粒子代表銫137傳輸擴散案例，由粒子水平分布圖3-33、可知放射性粒子在投放後，其水平分布與案例一有相似的傳輸路徑，粒子受黑潮延伸流的驅動向東傳輸進入太平洋中部，同樣隨著北太平洋洋

流流向北美洲西岸，此外因臺灣及日本皆位於亞洲季風系統內，導致在表層投放的粒子容易受到季風系統的影響，如東北季風導致粒子向南傳輸，使其較容易進入至中尺度渦流漂移，漂移時可能進入黑潮主流使粒子向臺灣及沖繩周邊傳輸的機會增加，甚至使粒子傳輸進入至南海區域。然而，在水下12公尺與海表面的投放情境下，由粒子經度深度垂直分布(圖1與圖3-34)可知粒子在開始投放前幾年時有著不同的深度分布差異。由2011年排放案例模擬結果可知在表層布放的粒子較容易受到表面的黑潮影響迅速往東傳輸，而水深12公尺布放粒子之案例，則較多會隨著垂直流進入較深層的海域。

藉由上述兩案例設定進行粒子軌跡模擬可得知，在不同深度投放粒子之分布具有明顯差異，如圖與圖3-34所示。本計畫後續以分區方式(如圖)，並選擇投放時間為前五年之粒子執行統計計算，其代表該粒子以充分在海洋中傳輸擴散，以投放時間前五年之粒子進行向東、向南、停留日本區域以及影響臺灣周圍海域之統計分析，如表3-12所示。由統計結果可知，絕大多數粒子受到當地海流以及黑潮延伸流影響，使98%以上粒子傳輸至向東區域或停留於日本周圍海域，僅有少部分粒子會受到中尺度渦流影響向南傳輸，而兩案例在影響臺灣周圍海域粒子數量皆僅佔0.25%及0.37%，顯示含氫粒子或含銫粒子案例在透過長時間的傳輸擴散過程中，即使會傳輸至臺灣周圍其機率也相當小，綜合上述透過HYCOM歷史海流資料進行福島事件不同放射性核種的長期模擬分析，可了解過去核種外洩後的核種傳輸路徑，且也可以提供含氫廢水稀釋排放後可能傳輸的路徑及影響範圍。

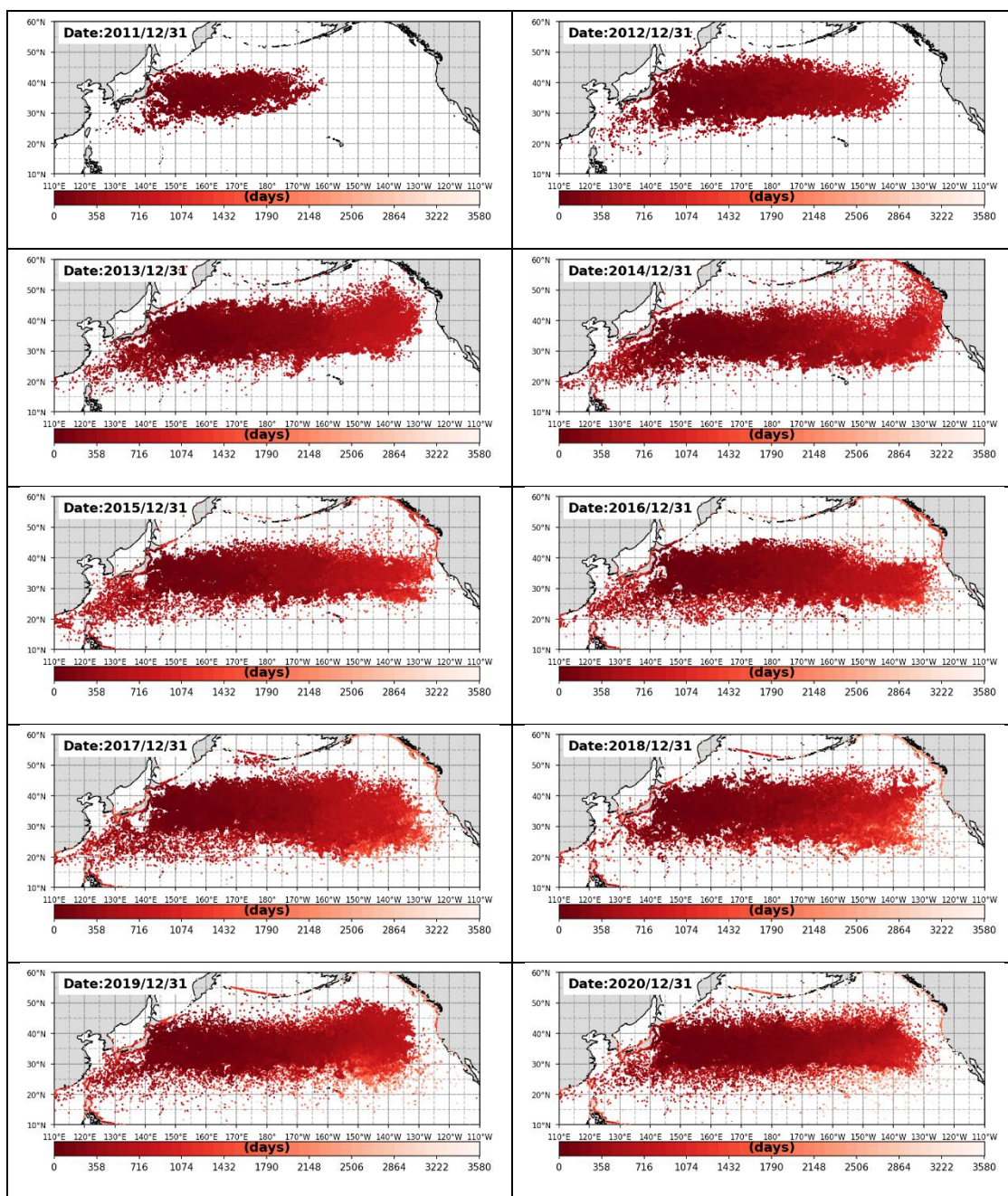


圖 3-33、案例二含鈉 137 粒子軌跡結果水平分布圖



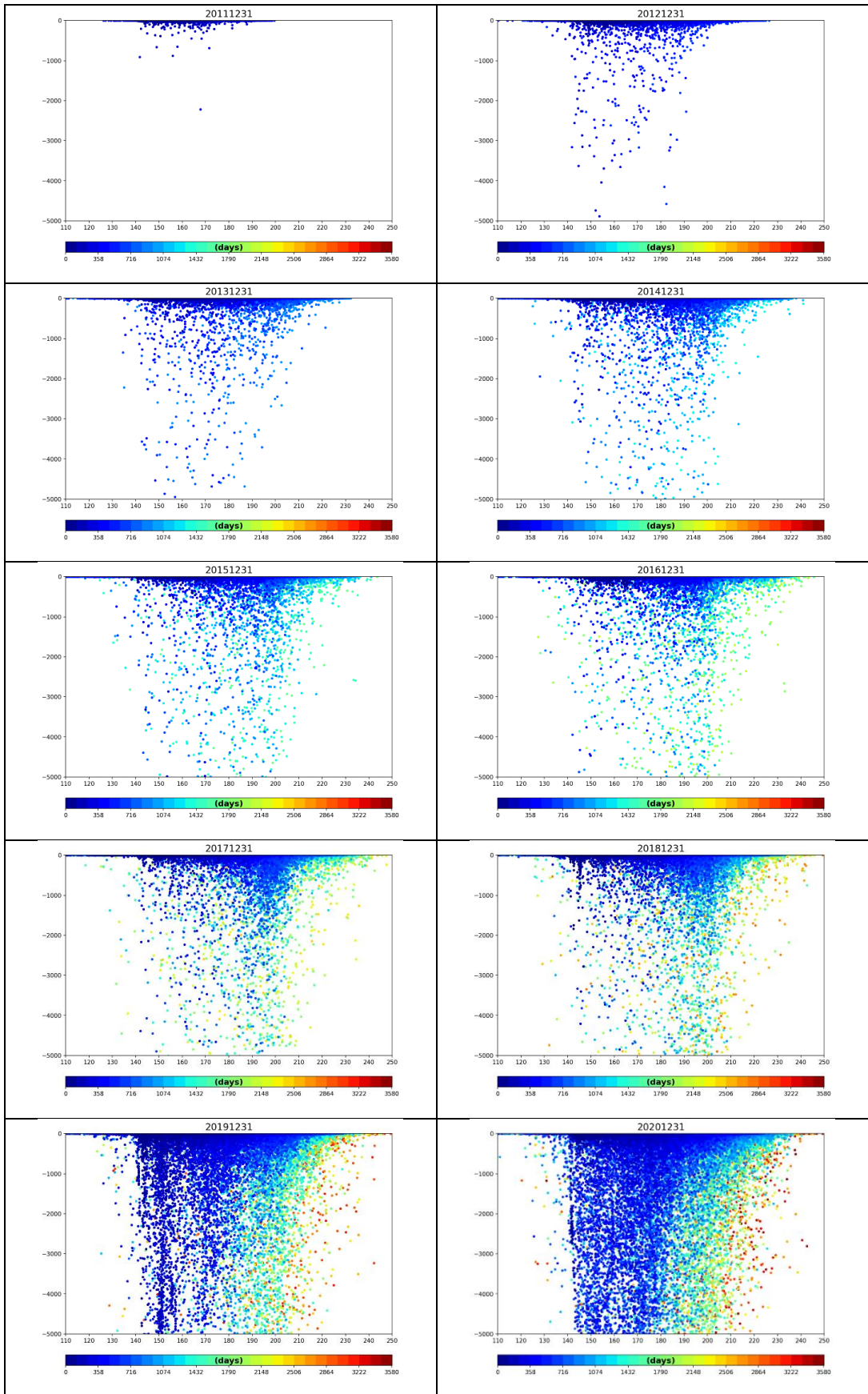


圖 3-34、案例二含鈾 137 粒子經度深度垂直分布圖

透過過去文獻回顧模擬分析放射性核種傳輸方式，其除了傳輸機制複雜且各核種的特性不同，只能透過理想案例及控制參數進行模擬分析，而粒子透過海流流場資料進行傳輸擴散，擴散後結果透過後處理方式進行放射性核種活度濃度計算，經由附件一放射性核種擴散機制之文獻得知不同的放射性核種具有不同半化期，故將其影響加入粒子活度計算如下式：

$$C_{new} = C \times 2^{-\left(\frac{\text{total exist time}}{\text{halflife}}\right)} \quad \text{式 (6)}$$

根據此公式加入粒子擴散傳輸模擬計算之中，圖3-35為測試結果，測試時間為一日，半化期設為一日，初始活度為10貝克；可觀察到粒子在傳輸的過程中逐漸衰變，一日之後衰減為5貝克。

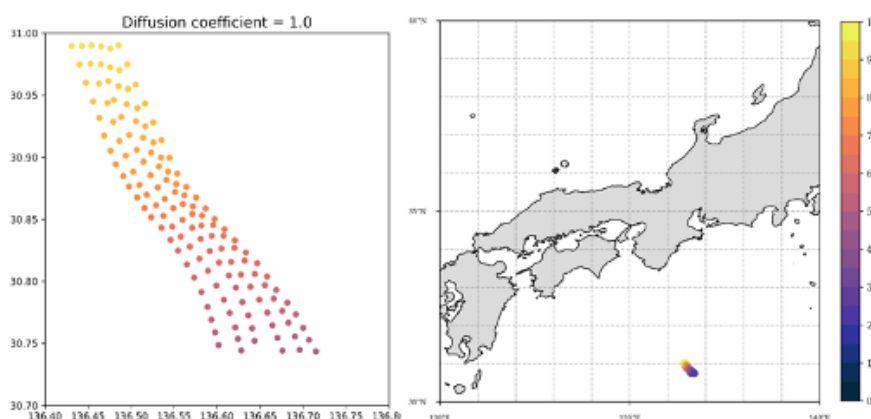


圖 3-35、粒子擴散傳輸模擬半化期模組測試

排放後的粒子移動軌跡都代表一個可能的傳輸路徑，於某些路徑上會有重複疊加，因此採用定網格方式進行每個固定網格的粒子總數計算，讓粒子透過式(4)進行計算，最後得到網格中的粒子總數與總活度，並除以每個網格影響之水體體積，透過此方式進行氙水粒子案例的活度濃度分布計算，由十年氙水粒子案例傳輸模擬中的活度濃度分布如圖3-36、3-36所示，在福島核電廠的氙水排放點100公里附近活度濃度約每公升 $10^{-7}$ 貝克，其他大部



分區域都在每公升 $10^{-10}$ 貝克以下，最後活度濃度十年模擬結果透過黑潮延伸流往東傳輸，最後匯集中於美國西岸外海的垃圾帶，但其活度濃度仍低於每公升 $10^{-9}$ 貝克以下，遠低於儀器的可量測最小數值，而模擬十年後可發現，滯留於美西外海的氡水因半化期影響及擴散離散程度大，也逐漸降低其活度濃度至每公升 $10^{-9}$ 貝克以下，未來仍逐步加入不同核種的傳輸機制，如與懸浮沉積物的交互作用、生物的攝食作用、大氣沉降初始場與海洋背景場等機制，藉此分析模擬歷史案例進而精進放射性核種擴散模擬準確性。

透過分析2011~2020年HYCOM海流模式的計算結果(圖3-37)，觀察到的西北太平洋海流分布情況。在約 $10^{\circ}\text{N}$ ，北赤道流沿著緯度線向西流動，在碰撞到菲律賓的東部邊界後，形成向北流動的黑潮以及向南流動的民答那峨海流，此處為黑潮的起源(Zhai & Hu, 2013)。黑潮沿著菲律賓的東部向北流動且流速逐漸增強，流經呂宋海峽時會有部分黑潮進入呂宋海峽(約 $20^{\circ}\text{N}$ )，在南海形成氣旋渦流。黑潮離開呂宋海峽後，沿著臺灣東岸向北傳輸，並沿著東海陸棚的邊坡流動(Yang et al., 2011)。在東海陸棚的傳輸過程中，因為陸棚地形變化的影響，黑潮會入侵到東海陸棚上方(Liu et al., 2021; Qiu, 2019; Wu et al., 2017)。在臺灣東北部可觀察到有部分黑潮侵入東海陸棚，隨後又回到黑潮主流(Qiu, 2019)。除了臺灣東北部可觀察到入侵流，在日本九州島南端亦可以觀察到黑潮侵入到東海陸棚上方，並且進入到對馬海峽內(Qiu, 2019)。之後，黑潮主流進入日本東南沿海，沿日本東南海岸傳輸。在 $30^{\circ}\text{N} \sim 35^{\circ}\text{N}$ ， $135^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 之間，黑潮的流速中心逐漸擴展、變寬。導致黑潮主流中心擴展的主要因為黑潮在這個區域會出現蜿蜒的現象，蜿蜒的現象會使黑潮主流的位置變動(Kuroshio Meandering) (White and McCreary, 1976)。根據過去研究資料顯示，在2011~2020年發生黑潮大蜿蜒現象的時間在2017年約8、9月開始發生，並且持續到現在(Lizarbe Barreto et

al., 2021), 因此在長期平均的情況下有可能會使黑潮主流消散、較不明顯。此外, 在黑潮流動的海域中, 包括菲律賓東岸、呂宋海峽、臺灣東岸、東海陸棚以及日本東南岸都涵蓋在亞洲季風系統內。亞洲季風系統會有季節性的變化, 在東亞地區的夏季為西南季風, 冬季為東北季風(圖3-38), 黑潮會受到季風系統的影響導致在各區域會有不同的變化。

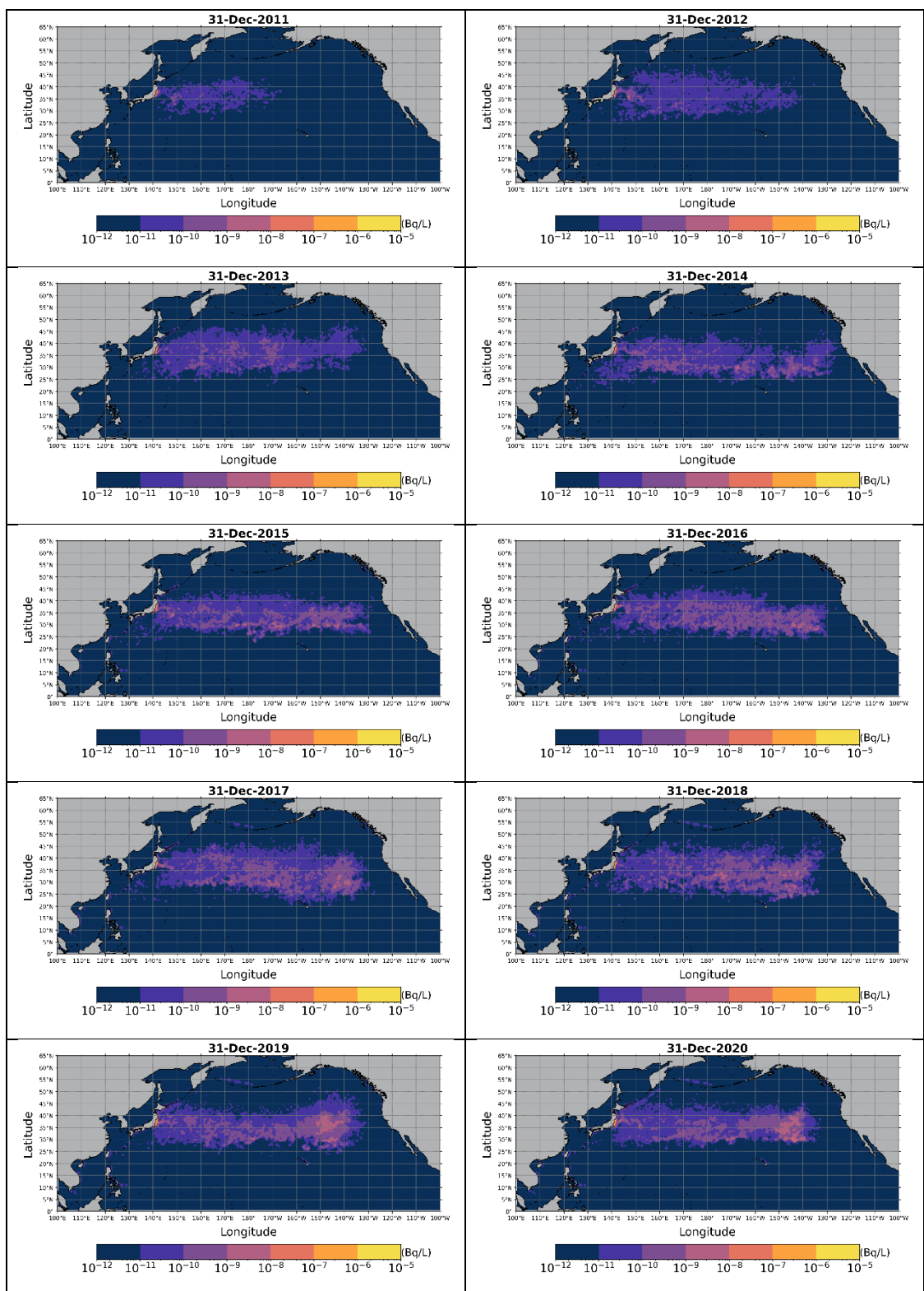


圖 3-36、案例一氬水粒子活度濃度分布圖

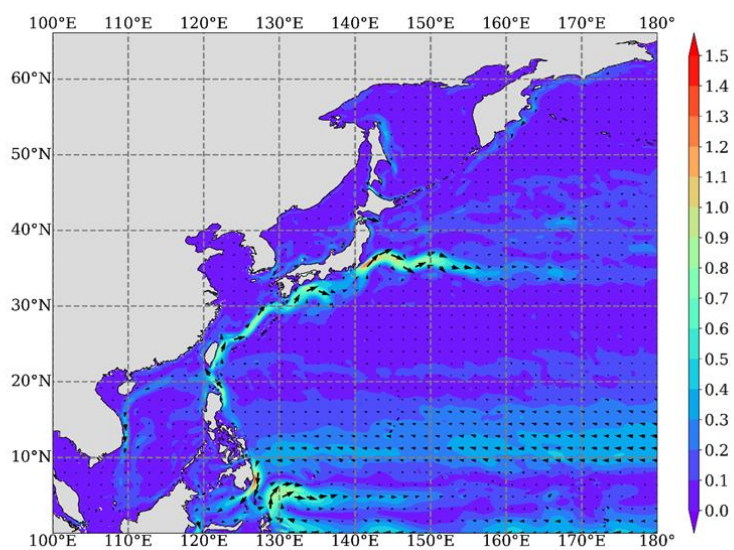


圖 3-37、2011~2020 年 HYCOM 海流模式資料長期平均表層海流分布圖(單位：m/s)

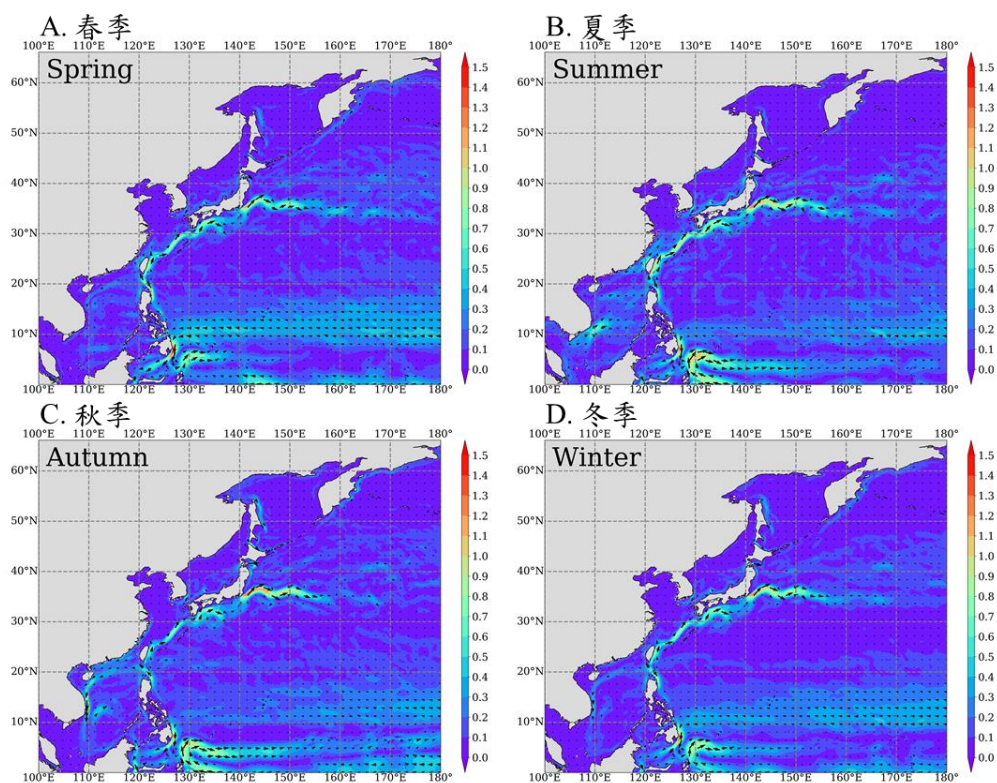


圖 3-38、2011~2020 年 HYCOM 長期季節性平均表層海流分布(單位：m/s)

## 【研究計畫二：放射性物質海洋擴散例行作業化系統整合及營運】

### 精進日本福島核電廠鄰近海域三維海流模式網格系統

根據 2021 年東京電力公司公布核污染廢水的排放設計及詳細過程 (TEPCO, 2021)，排放設施有檢測槽、抽水泵浦、排水泵浦及地底排放管等 (如圖所示)，經由 ALPS 處理後的處理水中氚水以外的放射性物質濃度小於國際排放標準，才能進入檢測槽，水體會在被測量及評估所有核種是否有符合各項的排放標準，當有符合排放標準的處理水會透過泵浦打出，並抽取的海水進行混合，排放管線會透過泵浦加壓以海底隧道方式，延伸至外海 1 公里處進行排放(圖所示)。

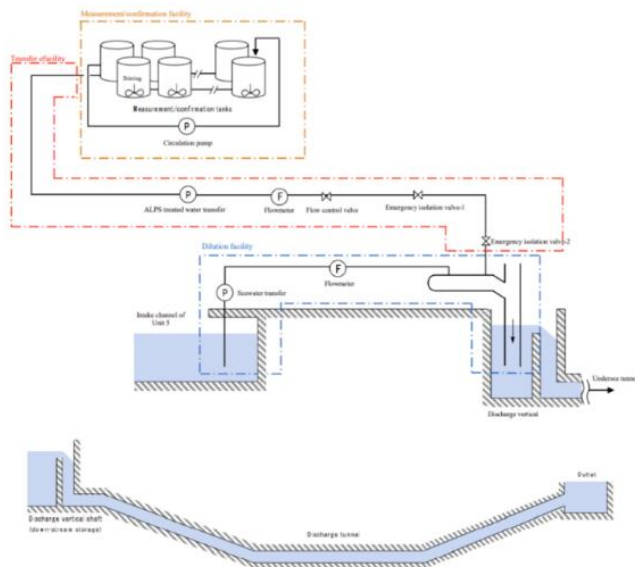


圖 3-39、核污染廢水排放處理線路示意圖(TEPCO, 2021)





取得福島近岸細部地形資料，採用國際公開的通用海洋水深圖 GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans)地形資料(參見圖 3-41、)，而福島近岸岸線與網格參見圖 3-42、所示，其岸線能看到福島第一及第二核電廠港口，為足夠呈現岸線細節，近岸解析度提升至 50 公尺，足夠清楚描繪整個岸線變化，而根據福島輻射排放規劃相關文件，可知該排放口深度為水下 12 公尺，為清楚描繪出水口位置，將網格解析度提升至 20 公尺，未來將由此出水口位置進行後續氙水排放模擬。

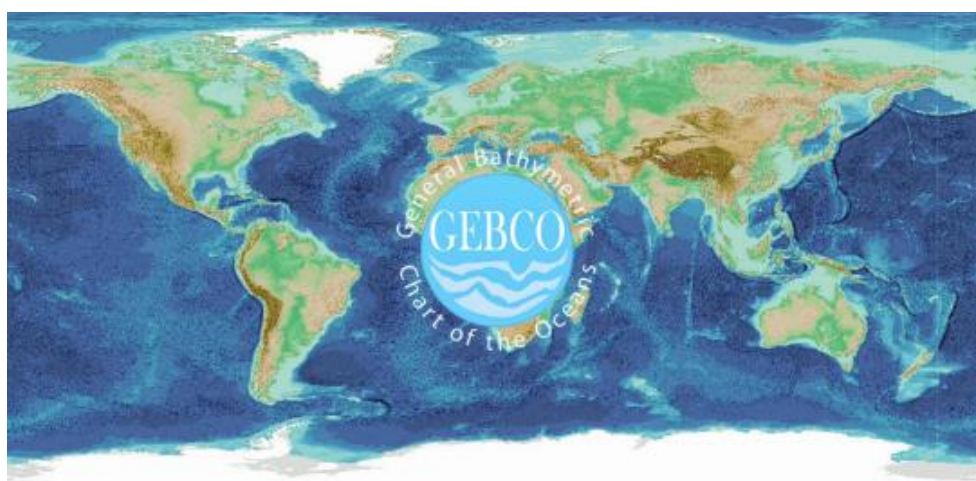


圖 3-41、Gebco 網格化地形資料庫地形資料

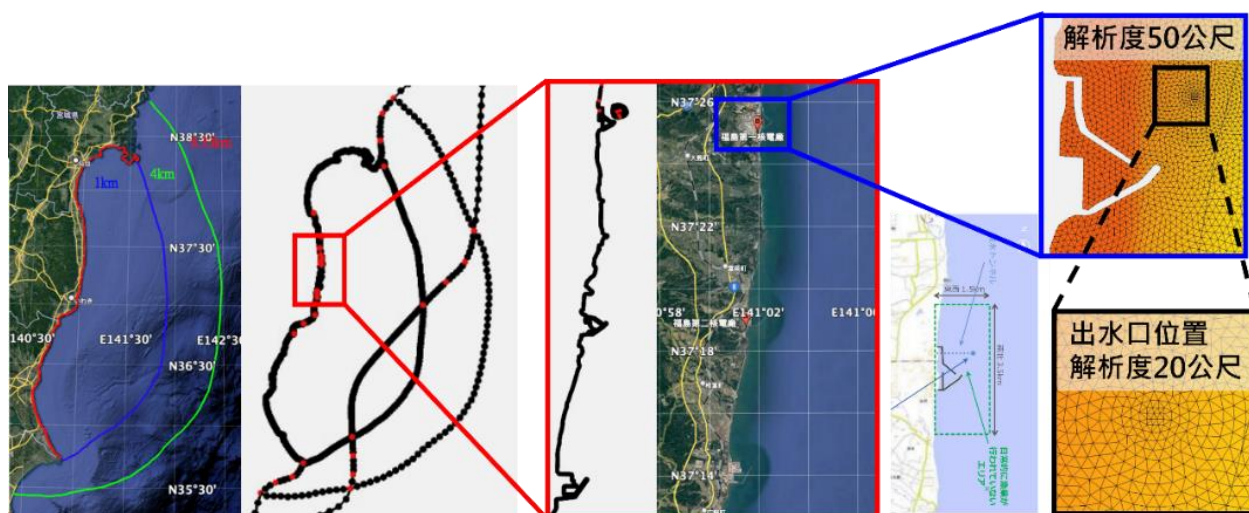


圖 3-42、福島近岸岸線與網格分布

將福島核電廠未來輻射水排放口繪製約五公里的東西向剖面線如圖 3-

43、所示，進行此線的海溫及鹽度剖面繪製如圖 3-44、3-44 所示，此區域海溫模擬最後在攝氏 19 度左右，而鹽度則約為 33.5 PSU 分布，洋流與潮流在此區域影響不大，區域平面流速小，導致海溫及鹽度分布均勻，模式測試模擬後結果呈現合理，未有異常的水平流場或湧升流結果，目前已初步完成福島鄰近海域三維海流模式網格系統。

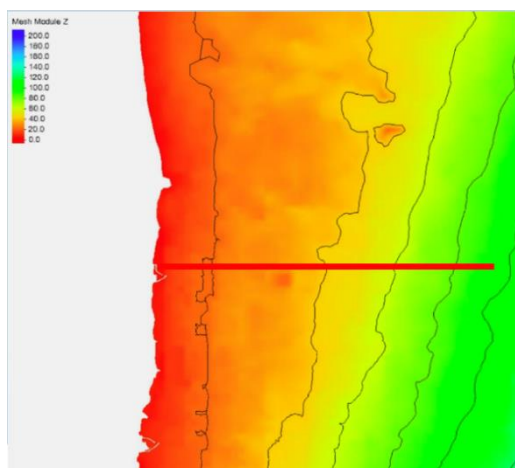


圖 3-43、擴展網格福島剖面線位置圖

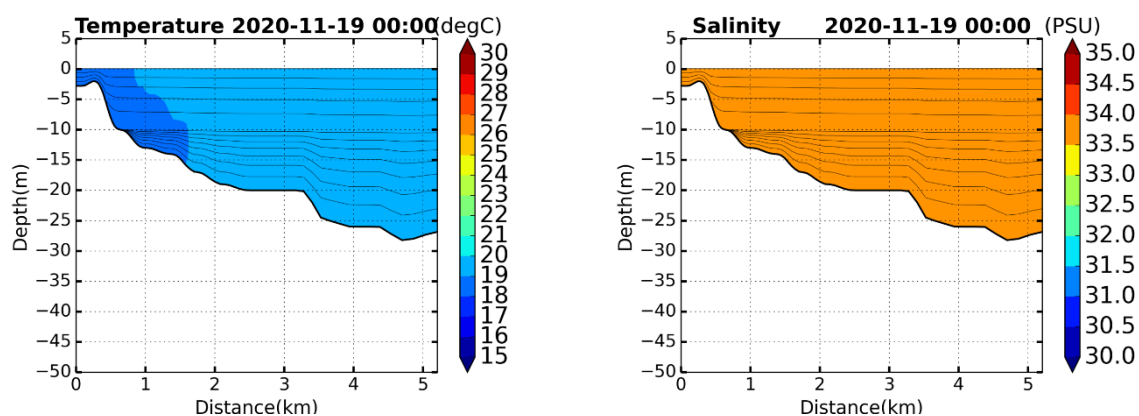


圖 3-44、擴展網格第 9 日福島海溫及鹽度剖面圖

### CWA-OCM-FH 海流模式系統每日作業化維運

因應日本核廢水排放問題，建置「福島含氚廢水海洋傳輸擴散分析及預報作業系統」，預期達成(西)北太平洋放射性物質擴散濃度趨勢分布及時間/空間預測結果，因此配合氣象署資源，於日本福島含氚廢水正式排放後，



由氣象署海象氣候組進行每日作業化系統產出海流預報，提供預報結果給予相關單位進行後續放射性物質擴散濃度分布預測。

由於目前中央氣象署三維作業化海流模式(CWA-OCM)之東部邊界位於約東經148度處，但考量在含氫廢水排放後，日本沿岸黑潮及黑潮延伸流對於含氫廢水傳輸影響較大，模式邊界過於接近福島海域，因此，本計畫研議配合福島含氫廢水傳輸擴散模式需求，由氣象署另案建立適合福島含氫廢水排放之海流作業化模式(CWA-OCM-FH)，將模式範圍之東部邊界擴展至東經180度，將黑潮延伸流納入模式計算。

CWA-OCM-FH作業化海流模式範圍擴大除延續中央氣象署作業化海流模式發展，以現行作業化臺灣海域海流模式，網格水平網格計算範圍北至北緯46度，南至北緯4度，西至東經105度，東至東經148度（參見圖、綠線範圍），包含南海、日本海與西北太平洋，其包含臺灣本島、金門、馬祖、澎湖、小琉球、龜山島、綠島、蘭嶼、東沙群島與南沙群島，所有網格皆小於5分，臺灣海域網格則小於1分，計畫區域網格則為500公尺，為因應福島海域含氫廢水排放影響將範圍擴大至東經180度及北緯46度，涵蓋整個黑潮主要範圍外，且包含西太平洋環流區域，簡稱(CWA-OCM-FH)，其實際範圍參見圖橘線範圍，其也符合CWA-WRF最大範圍。

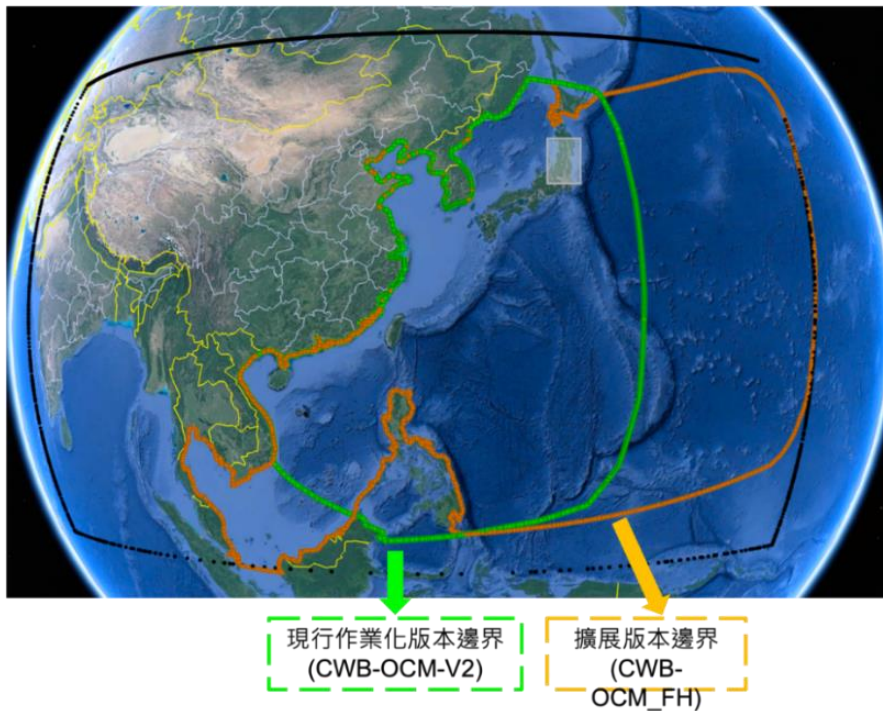


圖 3-45、CWA-OCM-FH 模式網格擴展後之範圍

模式所需的基本網格，依據現有岸線及地形資料變化分配網格疏密。岸線部分是使用高解析NOAA coastline，並配合利用Google Earth進行描繪修正，由西部至東部岸線逐一記錄點位之經度及緯度資料。水深地形資料使用美國國家物理資料中心(National Geophysical Data Center, NGDC)資料庫解析度一分的水深地形資料(ETOPO1)及臺灣周圍海域之水深地形(科技部海洋資料庫，包含1000公尺、500公尺及200公尺解析度地形資料)，擷取計畫所需範圍後，再依據這些水深資料與岸線地形進行差分作為模式所需資料。

為能夠繪製更符合福島核電廠周邊海域岸線，本計畫利用Google Earth進行細部岸線描繪(參見圖3-46、所示)，因此在水深較深的區域，網格設計較疏，在近岸或水深變化複雜的區域，網格面積則設計較密，由於模式大部分海域地形水深資料使用ETOPO1一分資料，其解析度約為2公里，故將近岸地形解析度設為約1公里，離岸越遠將逐漸放疏網格。因背景場採用

HYCOM全球海洋模式資料，故外海解析度將放疏至與HYCOM模式相近之解析度約為1/12度，根據此原則所設計水平網格除增加計算速率，同時也能清楚解析近岸區流場。



圖 3-46、福島範圍網格解析度分布圖

本計畫針對氣象署海象中心所提供擴大網格進行初步海流模擬，進行2023年6月2日模擬結果分析，其6日分析場為5月28日至6月2日和4日預報場為6月3日至6月6日的海流模式初步模擬測試，控制方程式使用溫鹽斜壓項設定，邊界採用8個主要分潮及RTOFS模式海溫、鹽度及流速與水位作為邊界驅動，初始場採用RTOFS模式進行內插，而氣象場使用局內WRF氣象場，進行9日模擬測試，確認模式預報結果。圖3-47、為作業化9日模擬最後的海流強度，可觀察到黑潮在臺灣東岸及日本東岸流速較強區域，可明顯觀察到黑潮與黑潮延伸流變化。

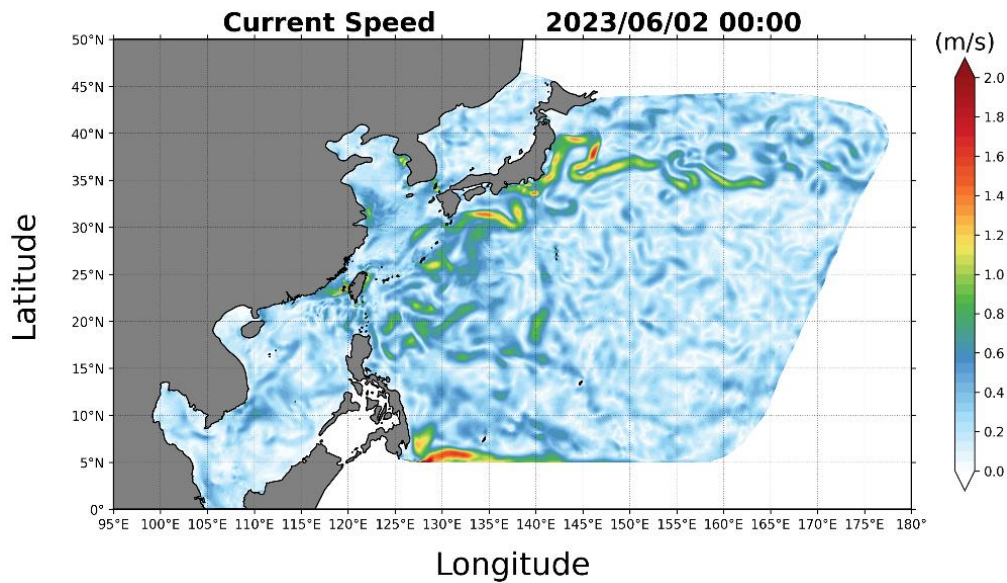


圖 3-47、CWA-OCM-FH 擴展網格測試第 9 日海流強度圖

為了使用氣象署最新氣象場進行海流模式作業化計算，每日00Run的氣象1日分析場及4日預報場於下午1700前完成計算，海流模式接續於1730開始進行6日分析場與4日預報場計算，10日的海流模式計算約耗時3至3.5小時，預計於2030前完成所有的模式計算；而為了提供更長的預報資料予以相關單位進行規劃及使用，同時考慮到現有計算資源與氣象場邊界驅動力資料，CWA-OCM-FH計算只包含4日預報場的計算，而粒子擴散模式所需的海流預報5至7日海流資料將使用CWA-OCM-FH潮汐模式及HYCOM海流模式的流場進行結合提供流場進行計算。HYCOM海流模式預報資料將於每日下午1600開始提供7日的每三小時預報資料，預計HYCOM下載排程將於晚上2300前完成所有資料下載，下載同時開始會同步進行CWA-OCM-FH及HYCOM海流模式結果檔的後處理，並於整體資料完成後同時啟模擬作業，預計於2400前完成後處理產品，將模擬結果提供使用者進行應用，完整的流程圖如圖所示，目前CWAO-COM-FH海流模式已於今年4月正式作業化，本

團隊持續將各項服務進行自動作業化，且持續進行系統的運作維護且持續進行模式的各項校驗工作。

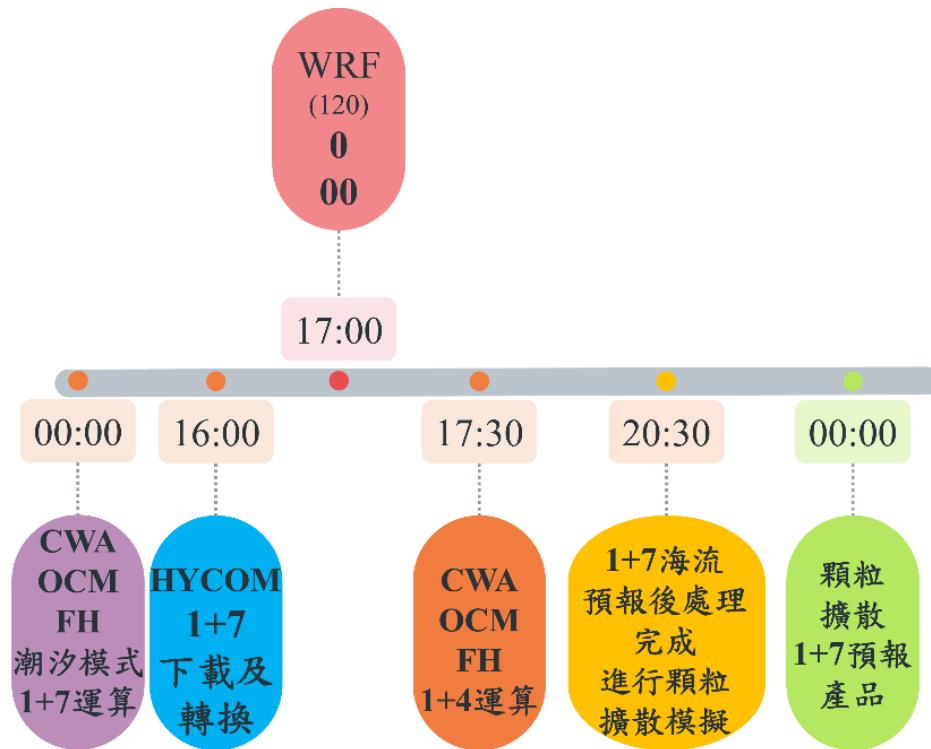


圖 3-48、CWA-OCM-FH 預報作業系統時程圖

## 海洋傳輸擴散預報作業化系統建置及維運

### 軌跡模式

福島氙廢水海洋傳輸擴散分析及預報作業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(CWA OCM-FH)，故當後者預報計算完成後，前者才會開始執行排程，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，其相關排程時間序圖參見圖，等待當天00 Run的WRF預報資料於下午17時提供後，進行1+3預報場計算，其計算時間約為3個小時完成模擬，接續執行福島氙廢水海洋傳輸擴散分析及預報作業，預計在隔天00時前



提供未來7日粒子傳輸擴散預報資料，以下將描述其預報系統詳細執行架構及檔案。

福島氙廢水海洋傳輸擴散分析資料夾內包含ptrack4.f90之主執行程式、makeParticleInitialFile.py及makeParticleSequentialFile.py之particle.bp前處理程式、particle.bp之參數設定檔案(如表)，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，為符合福島氙廢水海洋傳輸擴散分析及預報作業系統之要求，本計畫進行程式開發。在程式中納入濃度的傳輸，並融入半化期的影響至系統中，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makeParticleInitialFile.py：

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makeParticleSequentialFile.py：

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。

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)、半化期(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。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，並結束當日執行的計算，並開始進行下一日的計算。

本計畫擴散傳輸模擬已由2022年12月28日開始執行每日放射性粒子傳輸擴散預報作業化系統執行測試，至2023年6月20日止總共模擬175日，排放42000顆粒子進行擴散模擬，其結果如圖所示。

CWA-OCM-FH海流模式於2022年12月28日開始每日作業化後，海洋傳輸擴散模式也同步作業化執行，兩者已執行半年以上的類作業化執行測試，同時也進行系統的維護運行及優化修正，海洋傳輸擴散預報所需的海流驅動力則由CWA-OCM-FH提供1-4日預報，5-7日預報則由HYCOM海流模式提供，傳輸擴散模式則透過兩個模式的海流資料進行7日預報的計算，除每日進行7日預報並將資料上傳予以氣象署團隊進行擴散濃度計算，而8月24日開始福島核電廠正式依先前公告規劃進行稀釋氙水的排放，上述兩個系統也同時正式上線，相關的統計分析將於下個章節進行詳述說明。



表 3-13、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	● 半化期

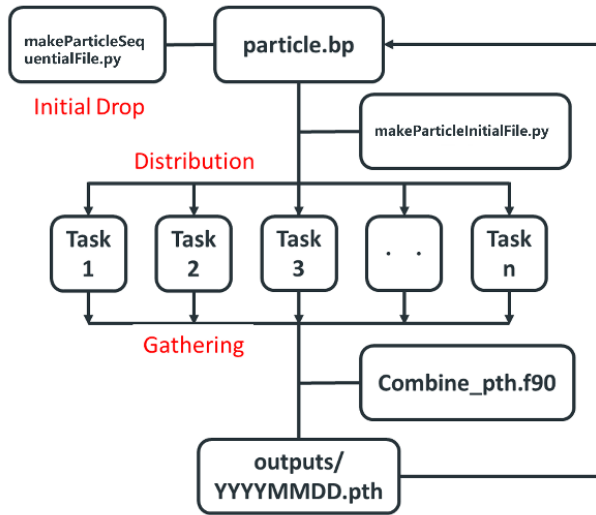


圖 3-49、福島氙廢水海洋傳輸擴散分析及預報作業系統執行架構

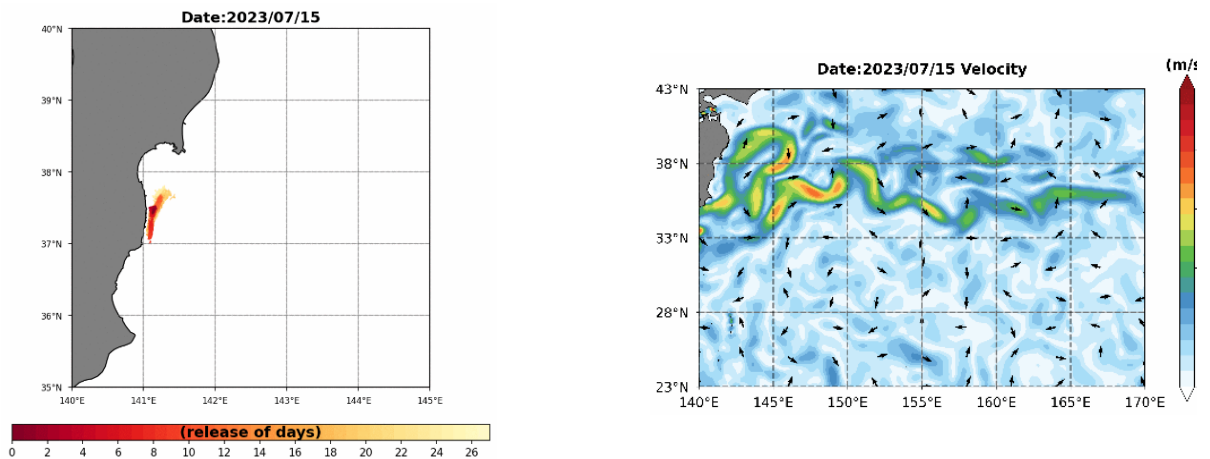


圖 3-50、海洋傳輸擴散粒子 7 月傳輸軌跡(左圖)及當地海流圖(右圖)

### 網格化活度濃度作業化

網格化濃度計算作業化主要接續粒子軌跡模式，由各個顆粒逐時的位置變化配合上每個時間含氙廢水的濃度進行網格化計算，亦即每個顆粒所代表的氙之活度皆不同，而模式計算所需之含氙廢水的排出總量與活度總量資料來自於東京電力公司「處理水入口網站」之稀釋、排水設備的情況(圖)，分別取得網站之處理水排放量、稀釋海水泵抽取量及實際排出濃度，如圖所

示，共有3種資料格式為CSV之檔案，系統每日自動化取得逐時資訊導入模式之中，令擴散預報結果更具實際活度濃度變化之影響。

配合計劃中之「放射性物質海域擴散海洋資訊平台」之分層需求(圖)，每日擴散預報作業產出之產品包含了首頁及第二層所需各分區(圖 3-54)之未來一週每日極大值、每日濃度分布，與互動地圖中之未來一週逐時濃度分布(圖 3-55)等產品。

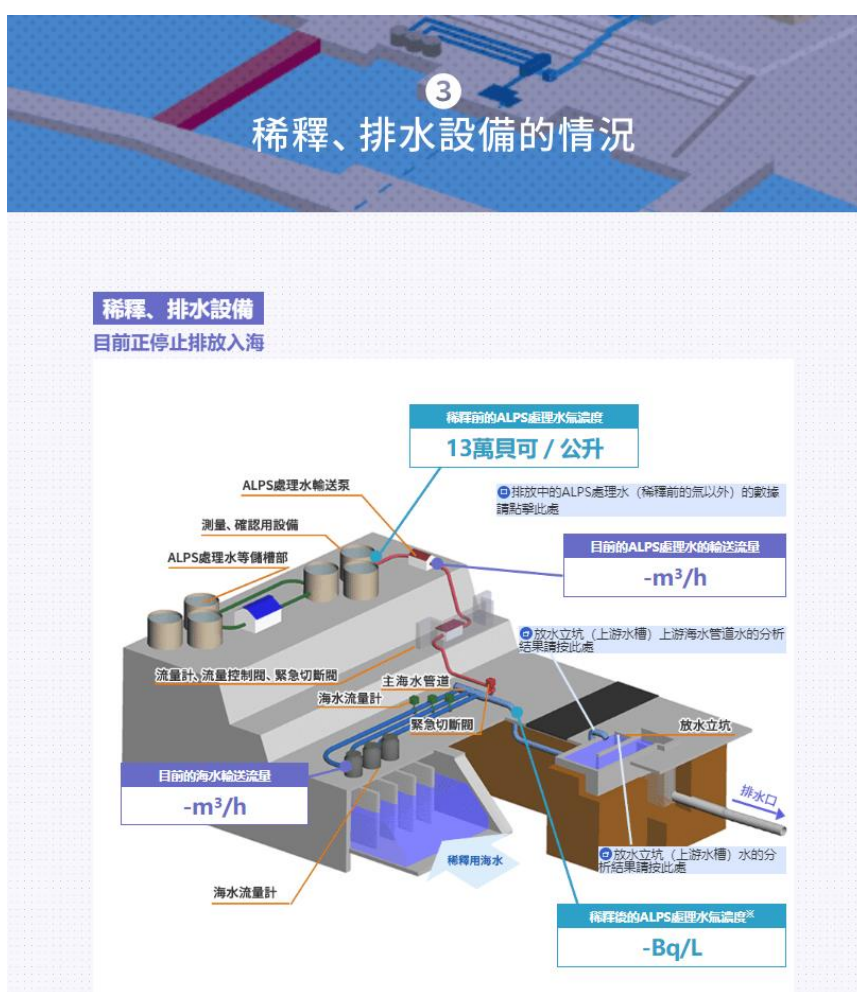


圖3-51、東京電力公司「處理水入口網站」之稀釋、排水設備的情況(資料來源：<https://www.tepco.co.jp/zh-hk/decommission/progress/watertreatment/dischargefacility/index-hk.html>)

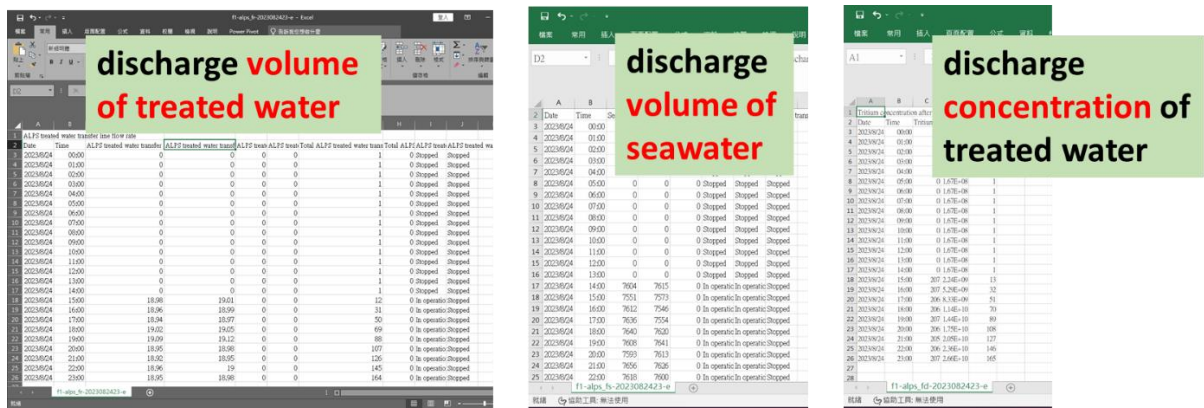


圖3-52、由處理水入口網站取得之每日逐時排出氬廢水之濃度相關資訊檔案示意圖

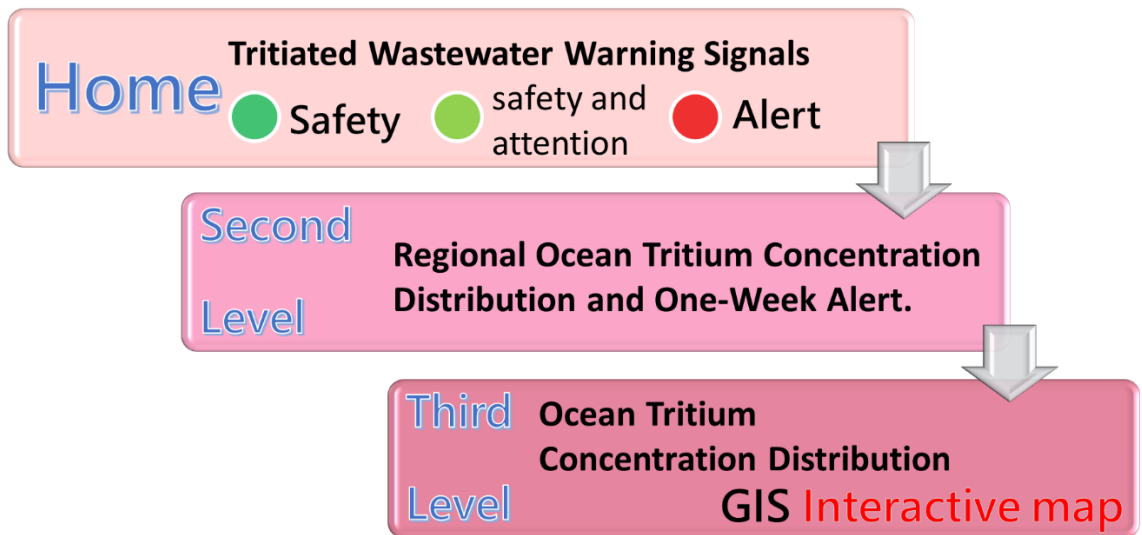
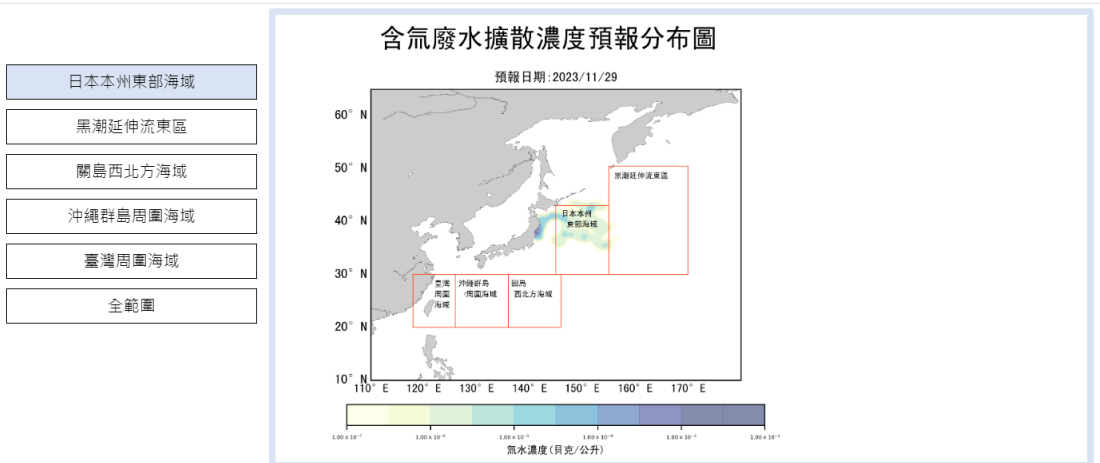


圖3-53、放射項物質海洋擴散預報結果於資訊平台上之分層設計概念



資料更新時間：20231124

日本本州東部海域 一週預報

氚一週最大濃度值： $2.3 \times 10^{-5}$  Bq/L

日期	11/24 星期五	11/25 星期六	11/26 星期日	11/27 星期一	11/28 星期二	11/29 星期三	11/30 星期四
燈號	●	●	●	●	●	●	●
最大濃度值	$2.0 \times 10^{-6}$ Bq/L	$2.2 \times 10^{-6}$ Bq/L	$2.3 \times 10^{-6}$ Bq/L	$2.1 \times 10^{-6}$ Bq/L	$2.1 \times 10^{-6}$ Bq/L	$2.1 \times 10^{-6}$ Bq/L	$2.2 \times 10^{-6}$ Bq/L

圖3-54、每日擴散預報結果於資訊平台第二層呈現之示意圖



圖3-55、每日擴散預報結果於資訊平台互動地圖呈現之示意圖

## 放射性物質海洋傳輸擴散模式校驗系統

### 粒子軌跡校驗

由附件一說明可了解GDP漂流浮標之特性，透過網頁下載最新資料，目前10月底可下載到最新資料是至2023年6月中旬全球所有漂流浮標每6小時一筆的資料，透過一系列的空間與時間的過濾後，可得到今年4月到6月所有在CWA-OCM-FH海流模式系統內的所有浮標，將這些浮標軌跡輸出為KML檔案呈現在Google Earth軟體上後之軌跡呈現如圖所示，橘線為CWA-OCM-FH模式範圍，紅線為4月至6月漂流浮標於系統內之浮標軌跡，總共約57顆浮標軌跡，為了比對海洋傳輸擴散模式之特性，最後挑選最適合的10顆浮標進行比對(如表所示)，此10顆浮標針對黑潮、黑潮大蜿蜒、黑潮延伸流、中尺度渦流、北赤道洋流等區域進行軌跡比對，利用CWA-OCM-FH海流資料設置虛擬浮標進行擴散模擬，再與實際浮標位置進行分析比對，透過此方式可了解擴散模擬的結果準確度，由表所示10顆浮標幾乎都是從4月1日到6月15日的漂流軌跡，只有2顆浮標未滿75日，透過10顆浮標的觀測資料依序進行後續的比對分析。

各漂流浮標隨機模擬10日軌跡進行比對，藍色實點為觀測浮標每日實際位置，各顏色實線為每日向後模擬N日之軌跡線，如第一日實線為由第一點浮標實際位置布放後往10日軌跡結果，依序往後延伸，若實線與點的位置有重疊時，可視為兩者軌跡接近，如圖至圖3-66所展示大部分粒子軌跡趨勢與觀測浮標相似，若在海流較小區域因傳輸擴散模式有隨機擴散項影響故其占比增加，而在海流較強區如黑潮或黑潮延伸流區域則以海流為主要引導驅動力，未來仍持續蒐集相關文獻，以適合的評估指標傳輸擴散模式系統的表現程度。

表 3-14、漂流浮標資訊表

浮標編號	觀測日期	模擬日期
300234060352970	2023/04/01~ 2023/06/15	2023/04/01~ 2023/04/10
300534060520160	2023/04/01~ 2023/06/15	2023/04/06~ 2023/04/15
300534060523100	2023/04/01~ 2023/06/15	2023/04/11~ 2023/04/20
300534061394350	2023/04/01~ 2023/06/12	2023/04/16~ 2023/04/25
300534061658910	2023/04/01~ 2023/06/15	2023/04/21~ 2023/04/30
300534061658920	2023/04/01~ 2023/06/15	2023/05/01~ 2023/05/10
300534061703450	2023/04/01~ 2023/06/15	2023/05/11~ 2023/05/20
300534062364800	2023/04/01~ 2023/06/15	2023/05/21~ 2023/05/30
300534062365830	2023/04/01~ 2023/06/15	2023/06/01~ 2023/06/10
300534063010360	2023/04/28~ 2023/06/15	2023/06/01~ 2023/06/10



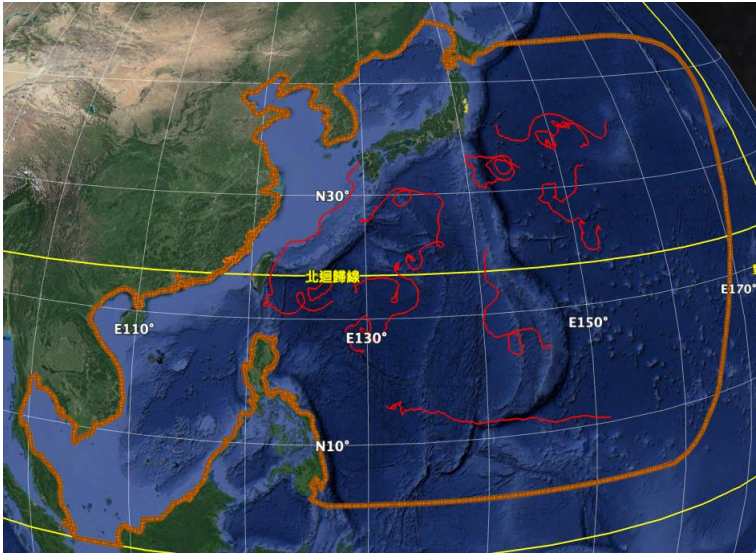


圖 3-56、GDP 漂流浮標 2023 年 4-6 月於 CWA-OCM-FH 範圍軌跡圖

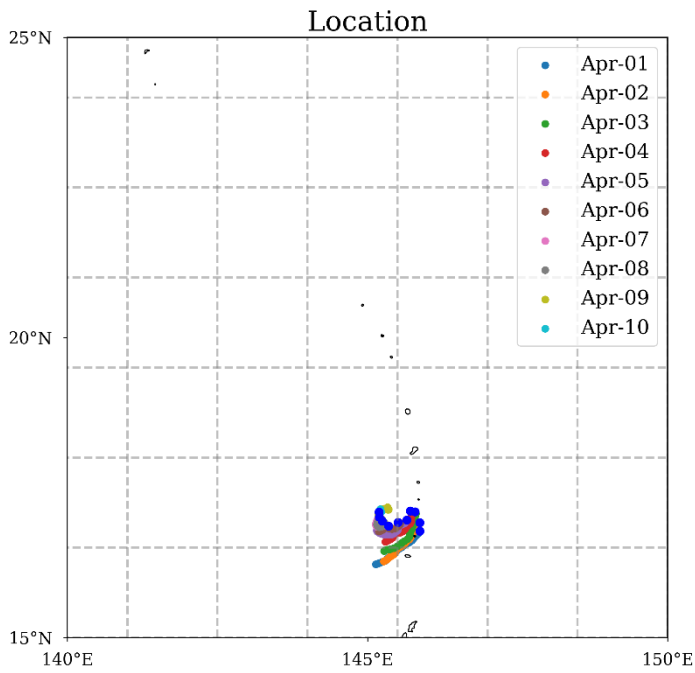


圖 3-57、300234060352970 漂流浮標於 4/1 至 4/10 模擬軌跡圖



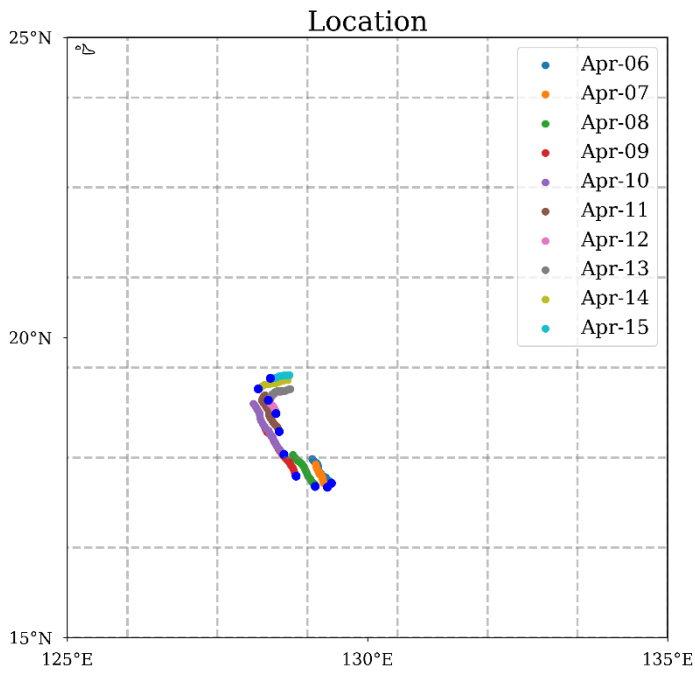


圖 3-58、300534060520160 漂流浮標於 4/6 至 4/15 模擬軌跡圖

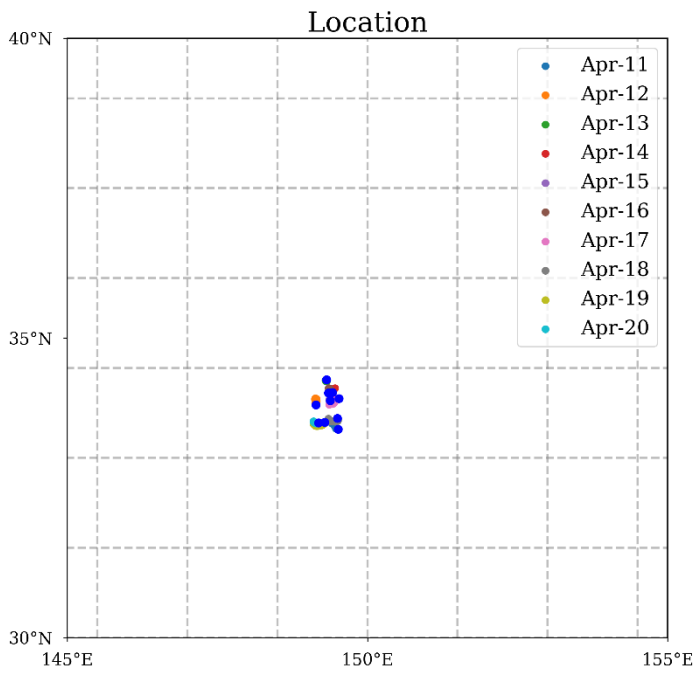


圖 3-59、300534060523100 漂流浮標於 4/11 至 4/20 模擬軌跡圖

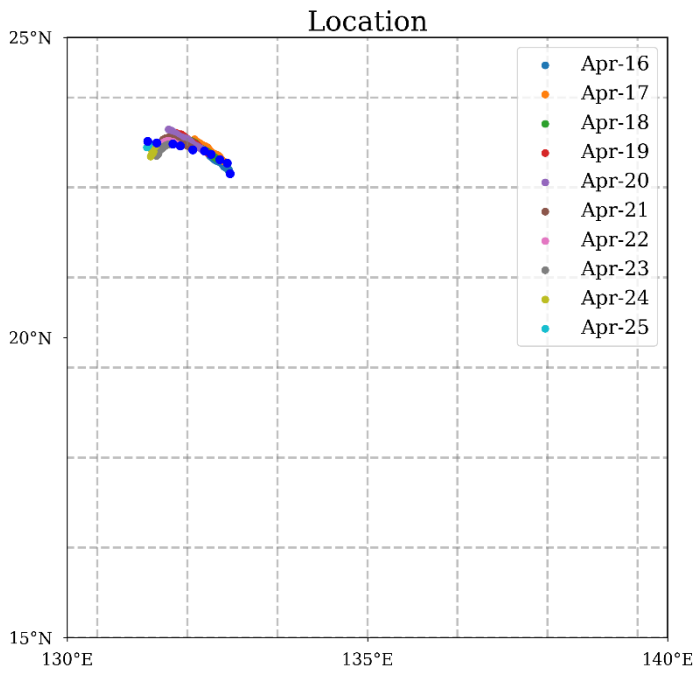


圖 3-60、300534061394350 漂流浮標於 4/16 至 4/25 模擬軌跡圖

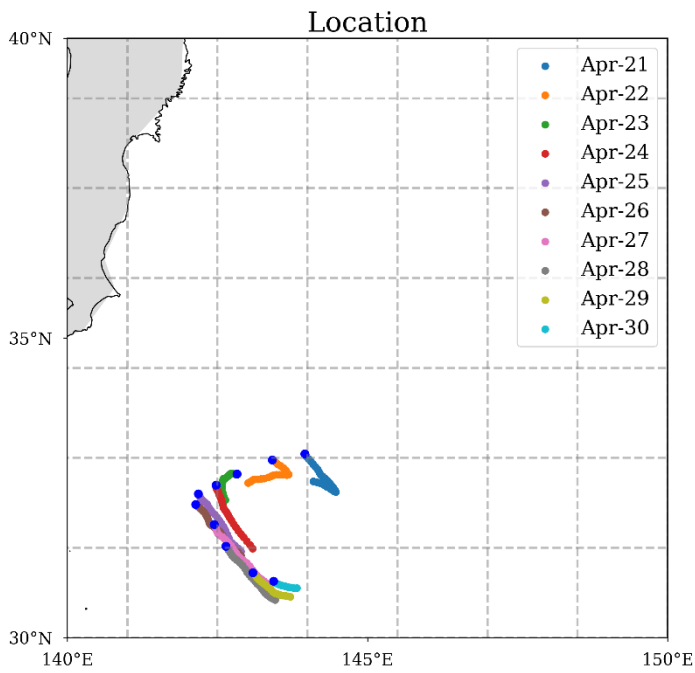


圖 3-61、300534061658910 漂流浮標於 4/21 至 4/30 模擬軌跡圖

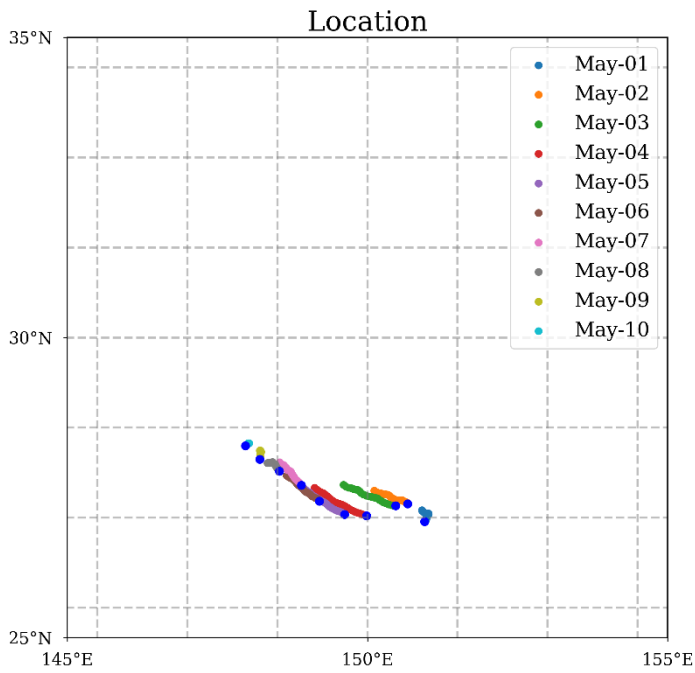


圖 3-62、300534061658920 漂流浮標於 5/1 至 5/10 模擬軌跡圖

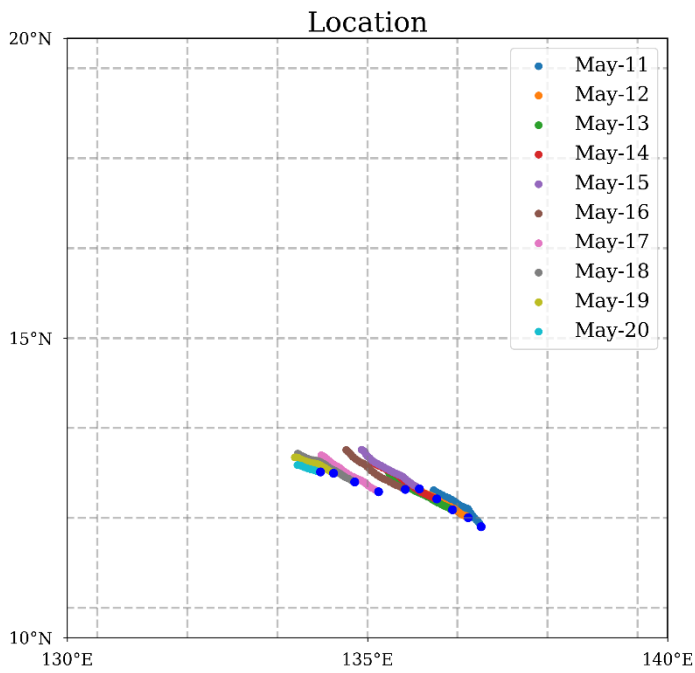


圖 3-63、300534061703450 漂流浮標於 5/11 至 5/20 模擬軌跡圖

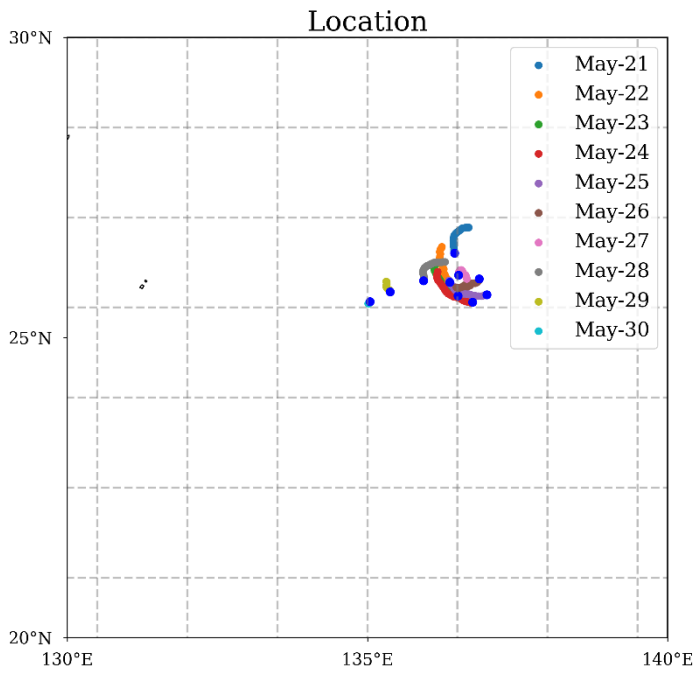


圖 3-64、300534062364800 漂流浮標於 5/21 至 5/30 模擬軌跡圖

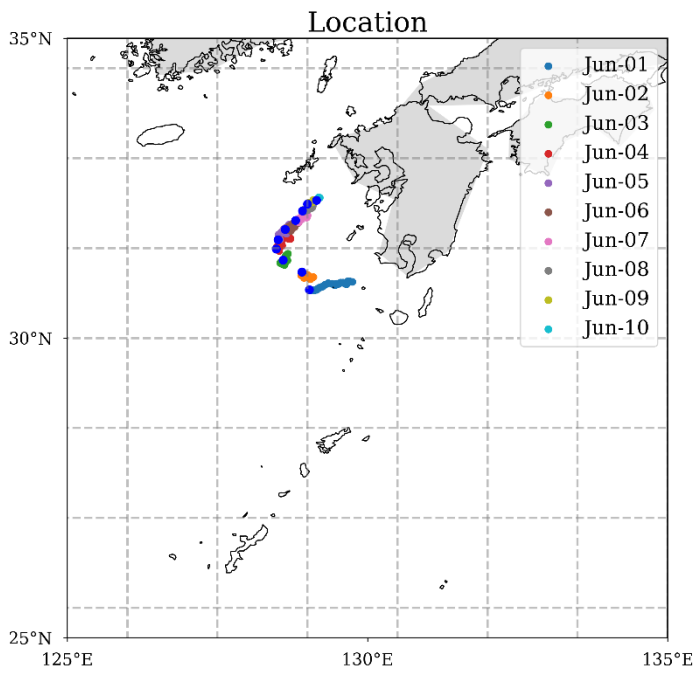


圖 3-65、300534062365830 漂流浮標於 6/1 至 6/10 模擬軌跡圖

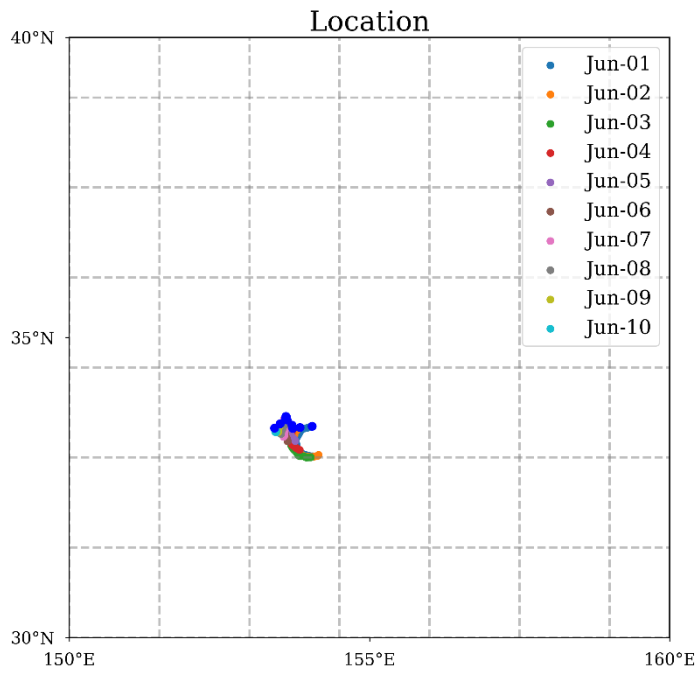


圖 3-66、300534063010360 漂流浮標於 6/1 至 6/10 模擬軌跡圖

## 網格擴散濃度校驗

濃度主要比對福島電廠氙廢水排放口周圍 3 公里內的監測點(圖(左))，與模式計算至各監測點的濃度時序變化。自 2023 年 8 月 24 日東京電力公司開始排放氙廢水以來，由於排出濃度遠低於限值 1500 Bq/L，因此各監測點之量測值幾乎皆小於最低可測量值 10 Bq/L，僅排放口東北方之監測點，編號 T-0-1A，至 2023 年 11 月 23 日為止，量測到幾個超過最小可測值之數據，其數值介於 7.1~22 Bq/L 之間，最大值出現在日本時間 2023 年 10 月 21 日 7 時 45 分。而本系統中網格化擴散模組針對此 10 個監測站之計算結果隨時間變化如圖，由其時序變化可知模式忠實呈現出各批次排放期間與停止排放時之濃度差異，截至目前(2023 年 11 月 25 日)為止，共排放了第三批次的含氙處理水，如圖為依據東電釋出之濃度資訊所繪製之時序變化圖，排放時間分別為第一批次的 2023 年 8 月 24 日至 9 月 10 日，第二批次的 10 月 5 日至 10 月 22 日，第三批次為 11 月 2 日至 11 月 20 日，其中前兩次的排放含氙處理水未稀釋前濃度為 14 萬 Bq/L，第三批次則為 13 萬 Bq/L。在數值的部分，模式呈現之數值最大值約在 3 Bq/L 左右，且計算得最大值之監測點即為 T-0-1A 點，與實際監測得到最高監測濃度之測站相同，顯示模式雖與實際相差了 10 倍左右，但其含氙廢水傳輸的方向模式是能夠掌握到的，且除了 T-0-1A 之濃度最高之外，T-A2 監測點在模式計算下為次高之濃度分布，顯示在模式計算中將每顆粒子初始的影響範圍在水平方向過於均勻，應考慮流場之變化，使其在軌跡方向能有較高的濃度聚集，更貼近實際氙廢水排放情境。

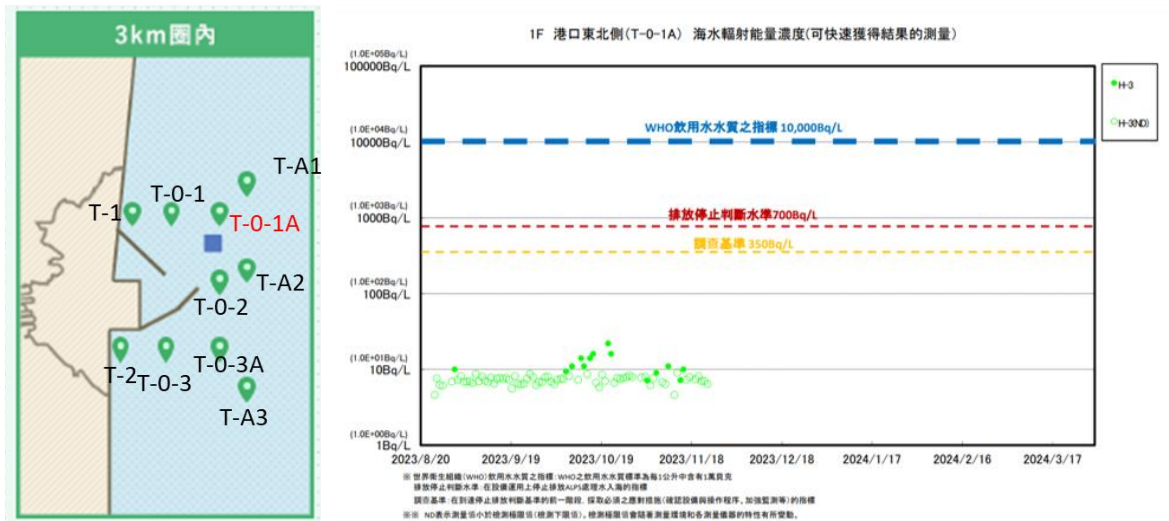
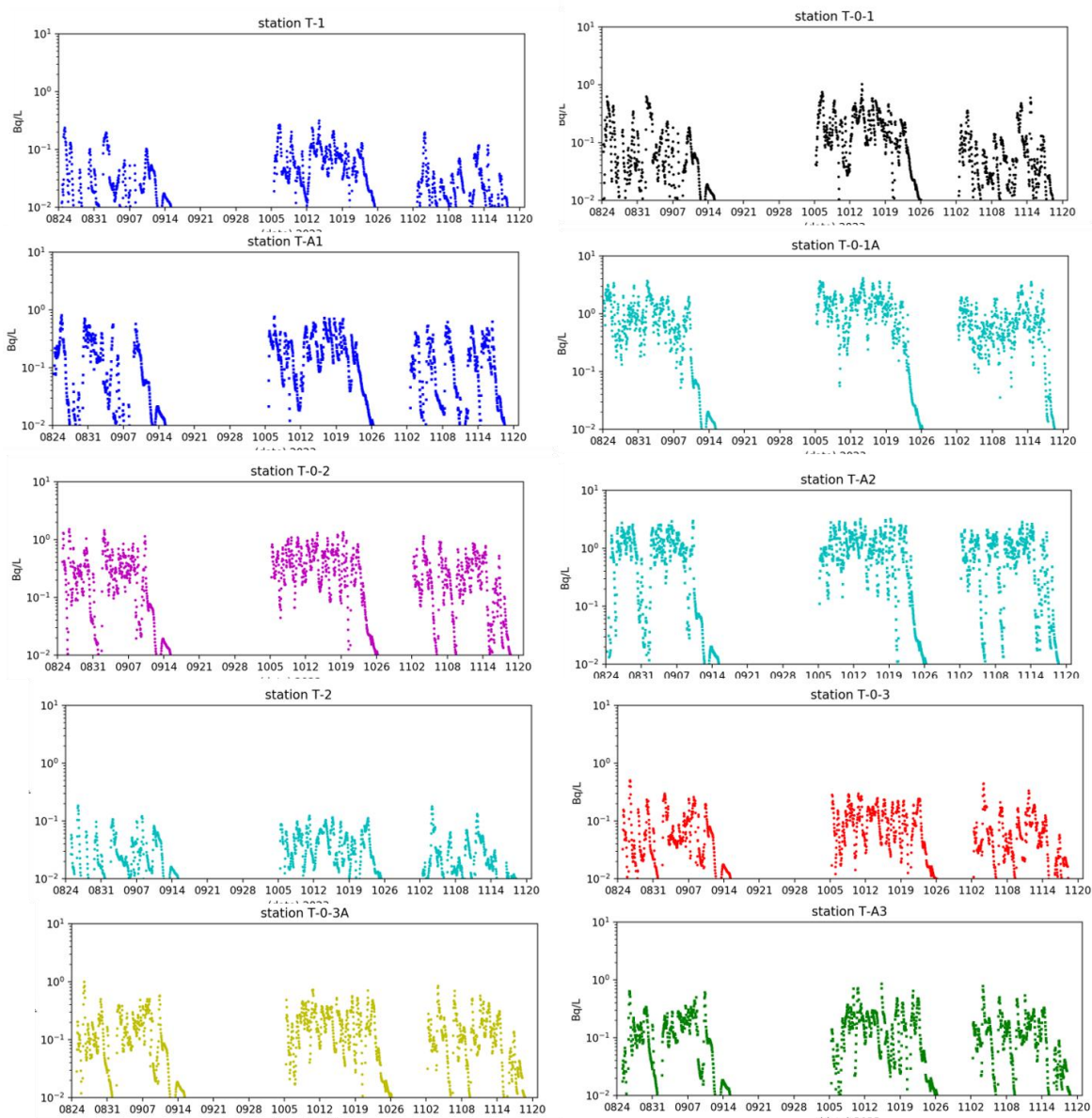


圖 3-67、(左)日本福島電廠氚廢水排放口 3 公里內各監測點位置示意圖，藍色方框為排放口位置，其餘綠色標註為監測點位置。(右)為 T-0-1A 監測點監測數據逐日變化，橫軸為日期，縱軸為活度濃度，單位:Bq/L。



9

圖 3-68、系統擴散模式計算在福島電廠 3 公里內 10 個監測站點之活度濃度隨時間變化，橫軸為時間，縱軸為活度濃度，單位:Bq/L。



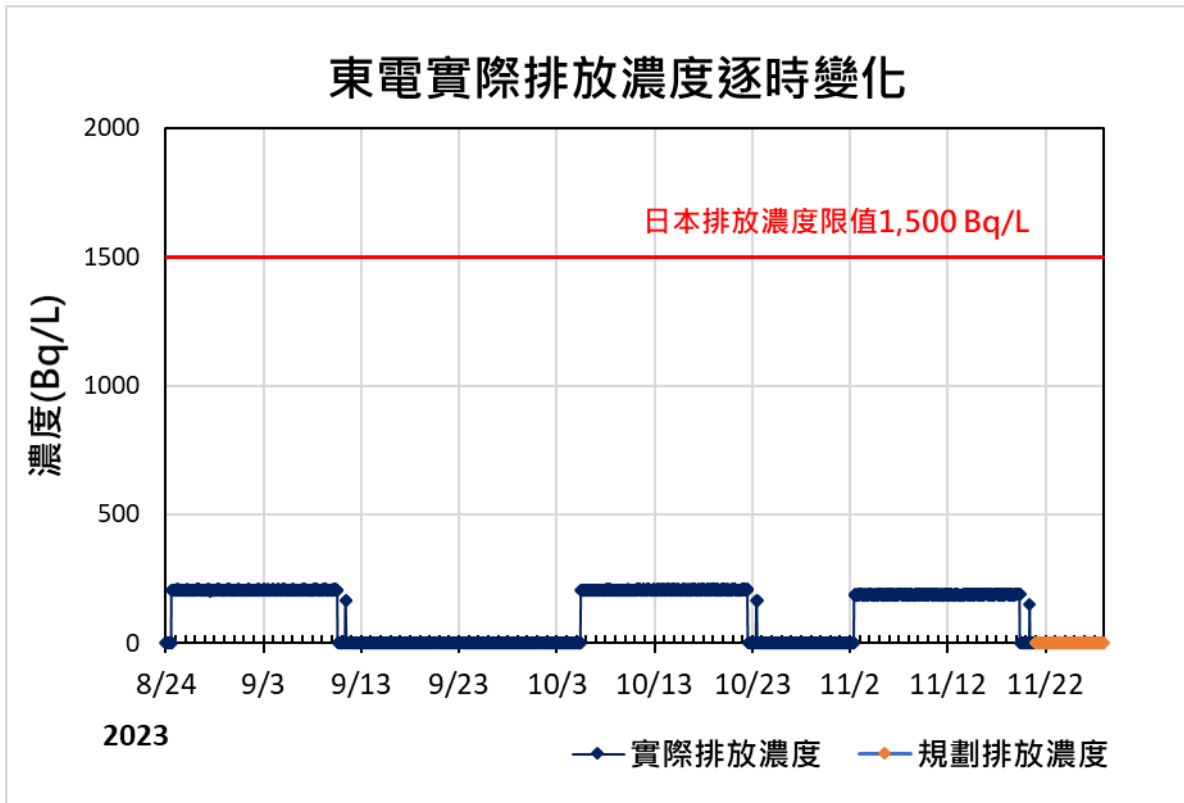


圖 3-69、藍線為依照日本東電釋出之逐時稀釋排出之氙廢水濃度繪製而成之時序變化圖，黃線則為本系統規畫之濃度排放值，做為擴散預報之設定值。

## 放射性物質海洋傳輸擴散預報作業化系統結果的年度趨勢統計分析

### 海流與粒子軌跡年度趨勢統計分析

日本政府於2023年初經日本內閣通過了將處理過後的放射性廢水排入海洋的計劃，因此本計畫已先行由2022年12月28日開始執行每日放射性粒子傳輸擴散預報作業化系統執行測試，至2023年6月20日止總共模擬175日，並排放42000顆粒子進行擴散模擬，藉由每日產品可進行後處理程式展示粒子於產品日期之位置與排放時間，並由排放口向東、向南及臺灣周圍海域進行分區量化統計分析，透過質化與量化分析結果說明每日排放之放射性粒子在海洋中傳輸分布狀況，以及整體排放量中影響海洋各區域之比例統計。

在分區量化統計分析中，粒子傳輸位置訂定為向東、向南、日本周圍海域三個區域，其中在向南區域中，獨立統計影響臺灣周圍海域之顆粒。在分區訂定原則中，向東區域為180度以西；向南區域為東經180度以東同時北緯30度以南；其餘範圍則訂定為日本周圍海域；另外獨立統計的臺灣周圍海域為東經118度至125度，北緯20度至27度之間區域，如圖所示。

根據海流模式即擴散傳輸預報作業化系統結果得知，由圖3-71左圖可知，放射性粒子在排放後因當地海流流速較慢，故粒子移動主要由潮汐動力進行主導且移動距離小，一月放射性粒子僅在福島縣沿海處緩慢向北漂移。考慮一月放射性粒子移動距離甚小，若進行分區統計意義不大，故本計畫就一月海洋傳輸擴散預報作業化結果進行一月最早時間投放粒子於不同月份最後時間之粒子位置與排放口位置距離統計，透過此統計方式可了解在移動距離較小之粒子平均移動量為多少。由表可知海洋傳輸擴散預報作業化一月最早時間投放粒子傳輸一個月後，其距離排放口平均僅85.75公里，放射性粒子傳輸狀況相當緩慢。

隨著時間經過，每日排放的放射性粒子也隨著海流逐漸向北後向東傳輸，二月中旬開始有部分放射性粒子進入到黑潮，使其開始快速向東移動。由2月28日的粒子位置分布結果可知放射性粒子尚未離開東經145度，故二月統計採取與一月相同統計量化分析方式，如表所示。因二月粒子分布結果較為離散，故放射性粒子在距離排放口位置平均距離僅有186.19公里，但在距離排放口位置最遠的粒子已有相差244.75公里，顯示透過二月時期的海況條件，放射性粒子已可傳輸離排放口較遠位置。隨著放射性粒子持續投放且傳輸，其傳輸擴散範圍預期將如同歷史案例一樣，傳輸擴散的範圍將會抵達距離排放口更遠區域，故每日放射性粒子傳輸擴散預報作業化系統將採取氣象署所訂定之分區量化統計分析方式進行。分區量化統計分析中的統計方式如下：

$$\text{各區粒子比例數} = \frac{\sum \text{進入各區域粒子數(重複粒子不計數)}}{\text{排放粒子總數}}$$

透過上述統計方式進行上半年傳輸擴散結果統計，由圖之4月30日作業化粒子位置圖可知，粒子已傳輸至北緯35度以南，截至6月20日作業化粒子統計結果如表所示，已有0.03%的粒子進入向南區域。

同年日本政府宣布從8月24日進行含氬廢水正式排放，預計至年底共分為四次排放，第一批從8月24日排放至9月11日，第二批為10月5日至10月23日，本計畫根據排放日期進行每日放射性粒子傳輸擴散預報作業化系統模擬佈放，總排放粒子數為14400顆。藉由2個月時長模擬，依據先前放射性粒子位置分區與紀錄放射性粒子位置對照後，即可得出放射性粒子分佈及比例。

依據海流模擬結果顯示，於北緯33至43度、東經140度至170度之間有明顯黑潮及其延伸流所致流速較高區域，由於此處海域位於親潮與黑潮交界處，由於冷暖流交會，此處呈現曲折蜿蜒的渦流狀態。

初始布放放射性粒子後，由於沿岸海流流速較弱，粒子主要受到潮汐作用影響。8月24日開始排放10天後放射性粒子仍在近岸受潮汐主導南北往復漂移，福島第一核電廠近岸海流都在每秒0.8公尺以下，離黑潮較強流速區域尚有一段距離(圖)。放射性粒子於模擬20天後始有部分粒子向外海擴散，此時外海黑潮流域蜿蜒情況更加明顯(圖3-72)。模擬一個月後開始有部分放射性粒子進入黑潮範圍，由於黑潮流速相較強勁，影響粒子作用力由潮汐轉為海流主導，與沿岸受到潮汐往復影響之粒子軌跡有明顯區隔。模擬40日後，部分放射性粒子已過東經146度以東，另有部分放射性粒子於福島以南沿岸，由於流速差異產生明顯渦流現象，此處正位於黑潮主流流經交界處。模擬50日後，原先福島南方放射性粒子開始轉向北傳輸，同時先前傳輸至外海粒子於東經148度隨黑潮產生轉折現象。模擬兩個月後，粒子開始大量向外海傳輸，其中部分粒子受擴散影響向北傳輸，此結果與先前模擬結果相似。

經統計兩次福島核廢水佈放後各區放射性粒子分佈及其比例後，可發現不論一個月或兩個月，放射性粒子皆未抵達它區，均徘徊於日本周遭海域。其中第一次排放時放射性粒子總數為4560顆，第二次排放時放射性粒子總數達14400顆(表3-17)。這與先前進行長期模擬，得出半年僅有0.06%的放射性粒子抵達向南區域，未有粒子抵達向東區域狀況相符。

先前使用HYCOM海流資料進行福島311核災後模擬，由於HYCOM模式僅有海流資料，無加入潮汐作用影響，故主要受到擴散作用以及海流影

響。使用HYCOM海流資料執行海洋傳輸擴散粒子模擬60天後，放射性粒子已達東經170度(圖)，使用CWA-OCM-FH模式模擬放射性粒子僅達東經150度(圖3-84)，由於CWA-OCM-FH模式模擬再排放初期主要受到潮汐作用影響，於日本東部沿岸進行往復作用，而HYCOM模式無此作用影響，擴散速率相較CWA-OCM-FH模式快，兩種模式於進入黑潮流域後，皆轉為黑潮作主導作用，惟CWA-OCM-FH模式在受到潮汐影響後，黑潮流速會被相對減弱，故兩種模式於進入黑潮後速率同樣為HYCOM快於CWA-OCM-FH。然而實際海洋作用同時包含潮汐、海流、溫鹽等多種作用交互影響，故納入潮汐作用影響的CWA-OCM-FH模式相較HYCOM模式更貼近真實情況。

後續將透過統計資料進行每月以及年度放射性粒子質化與量化統計分析，更新各區域之比例，藉以了解正式排放後放射性粒子傳輸至各海域以及臺灣海域影響程度。

表 3-15、一月及二月粒子位置與排放口位置距離統計表

粒子 ID	一月距離排放口距離(km)	二月距離排放口距離(km)
202301010000001	85.16	232.35
202301010000002	84.65	170.99
202301010000003	84.76	160.05
202301010000004	86.92	163.58
202301010000005	85.24	167.86
202301010000006	84.93	160.17
202301010000007	85.91	232.56
202301010000008	86.81	164.93
202301010000009	86.86	164.67
202301010000010	86.3	244.75
平均距離	85.75	186.19

表 3-16、 傳輸擴散模擬各區粒子統計及比例

月 份	向東		向南		日本周圍海域		臺灣周圍海 域		總 粒 子 數 (顆)
	數 量	比 例	數 量	比 例	數 量	比 例	數 量	比 例	
202 3/06 /20	0	0%	27	0.06 %	41,973	99.94 %	0	0%	42,000

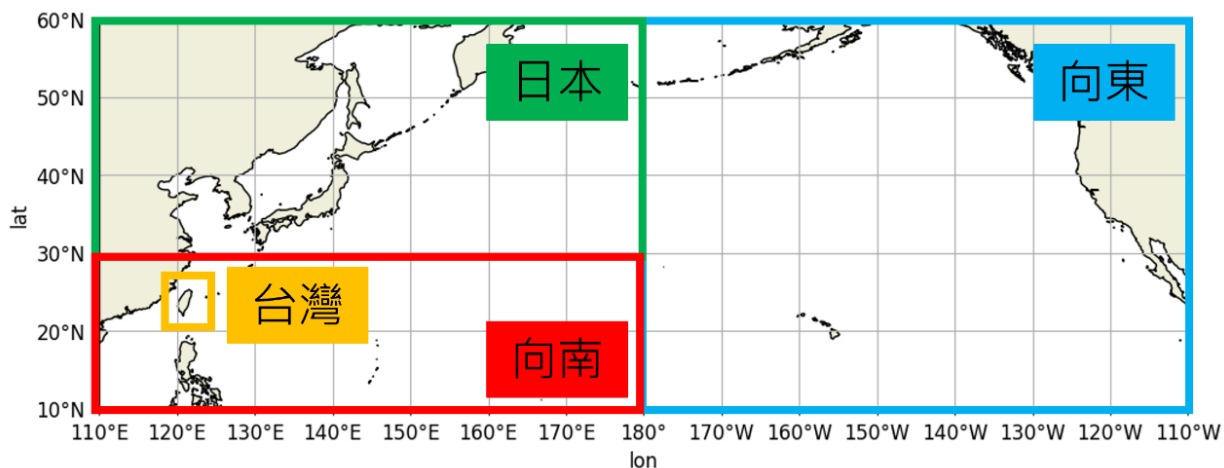


圖 3-70、放射性粒子位置分區示意圖(藍框：向東，紅框：向南，綠框：日本周圍海域，橘框：臺灣周圍海域)

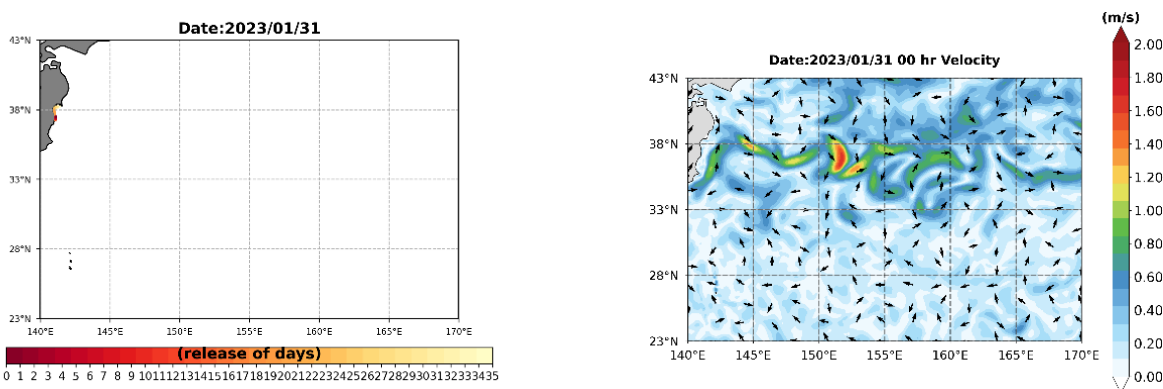


圖 3-71、海洋傳輸擴散粒子測試 1 月傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

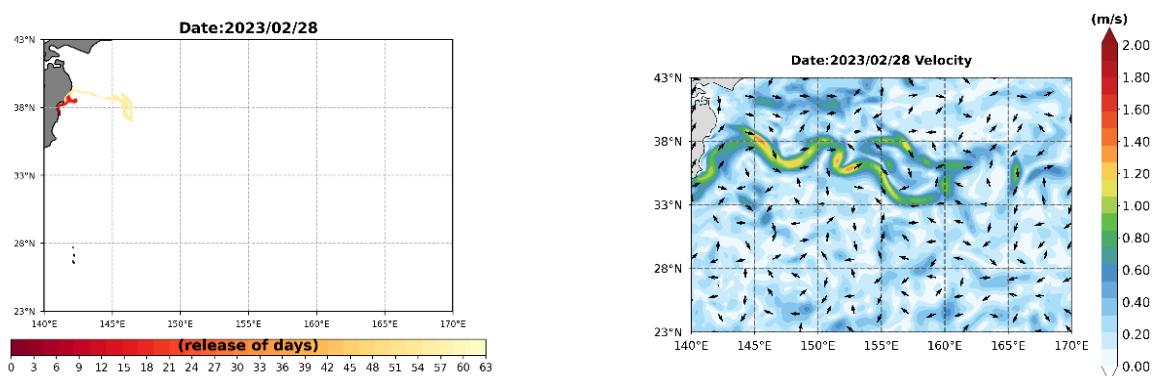


圖 3-72、海洋傳輸擴散粒子測試 2 月傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

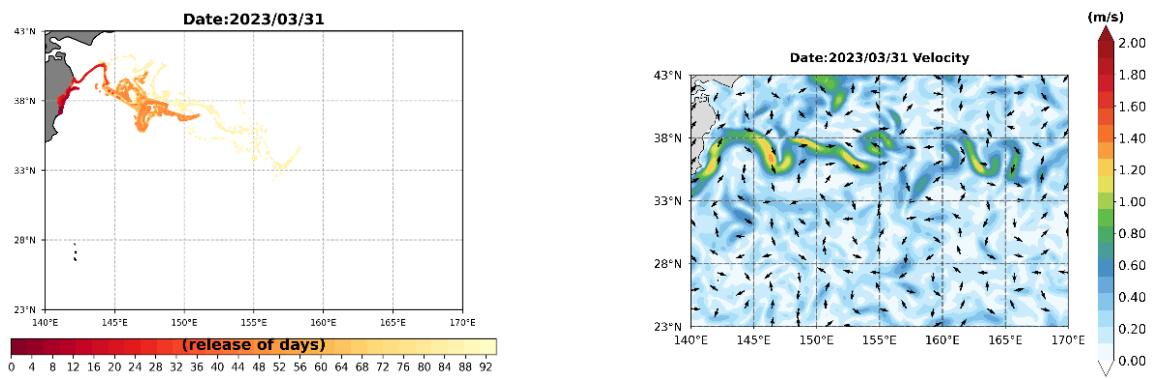


圖 3-73、海洋傳輸擴散粒子測試 3 月傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

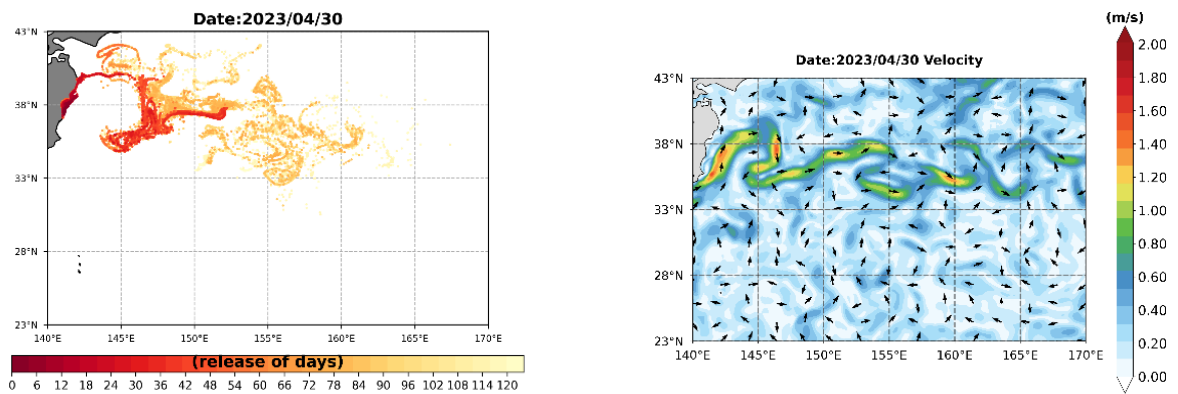


圖 3-74、海洋傳輸擴散粒子測試 4 月傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

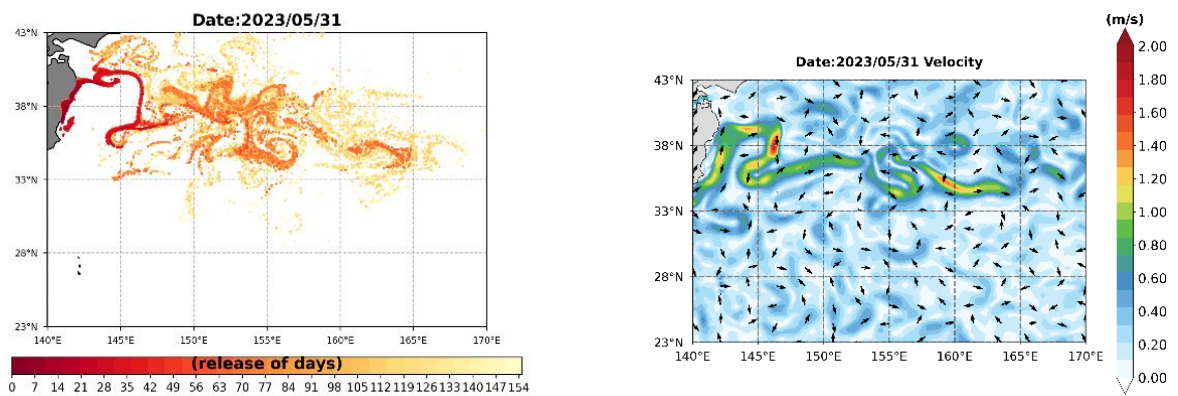


圖 3-75、海洋傳輸擴散粒子測試 5 月傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)



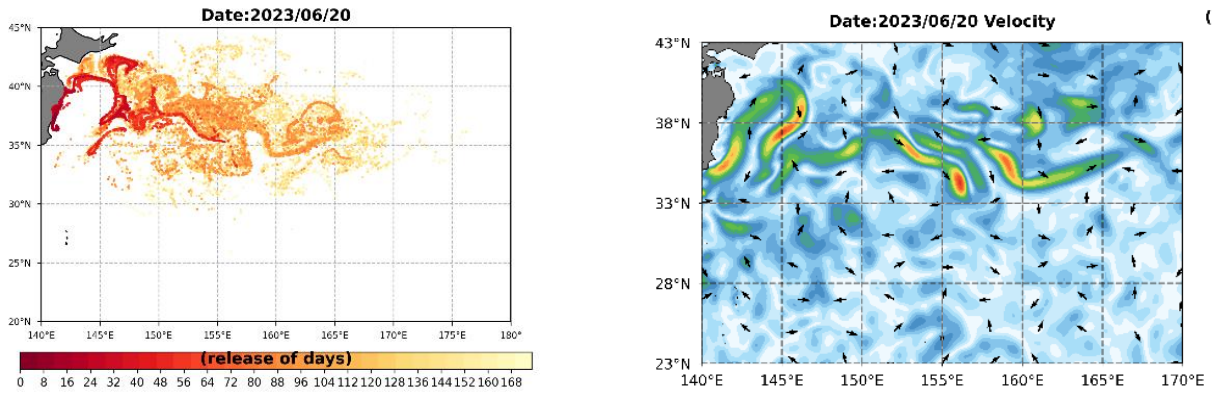


圖 3-76、海洋傳輸擴散粒子測試 6 月傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

表 3-17、排放後傳輸擴散模擬各區粒子統計及比例

第一批 排放	向東		向南		日本周圍海 域		臺灣周圍海 域		總 粒 子 數 (顆)
	數量	比例	數 量	比 例	數量	比例	數量	比例	
08/24 - 09/11	0	0%	0	0%	4,560	100%	0	0%	4,560
第二批 排放	向東		向南		日本周圍海 域		臺灣周圍海 域		總 粒 子 數 (顆)
	數量	比例	數 量	比 例	數量	比例	數量	比例	
10/5 - 10/23	0	0%	0	0%	14,400	100%	0	0%	14,400

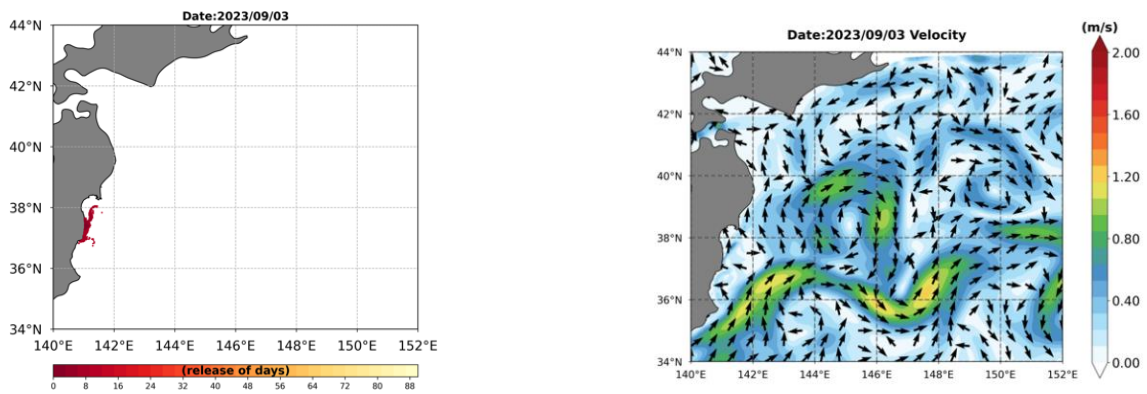


圖 3-77、實際排放後海洋傳輸擴散粒子模擬 10 日傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

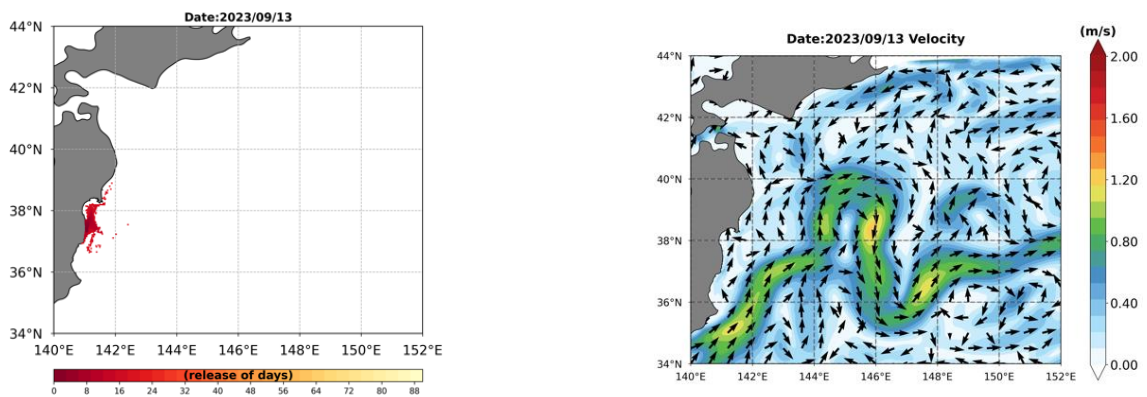


圖 3-78、實際排放後海洋傳輸擴散粒子模擬 20 日傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

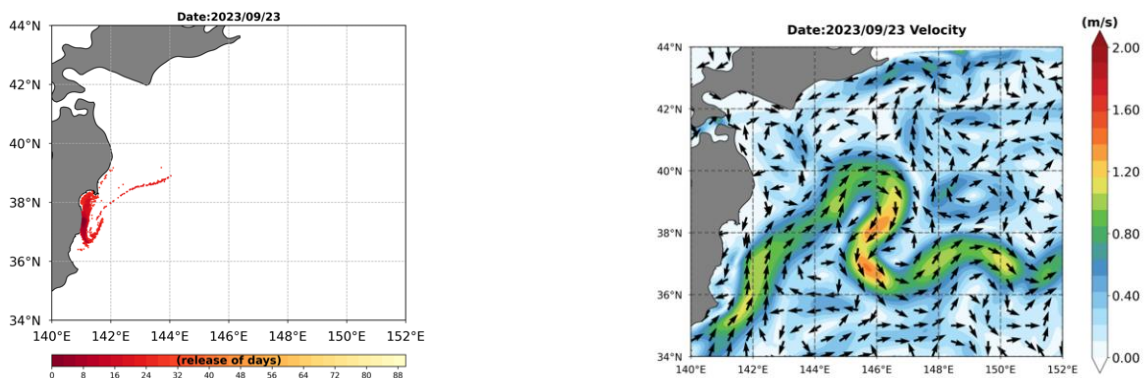


圖 3-79、實際排放後海洋傳輸擴散粒子模擬 30 日傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

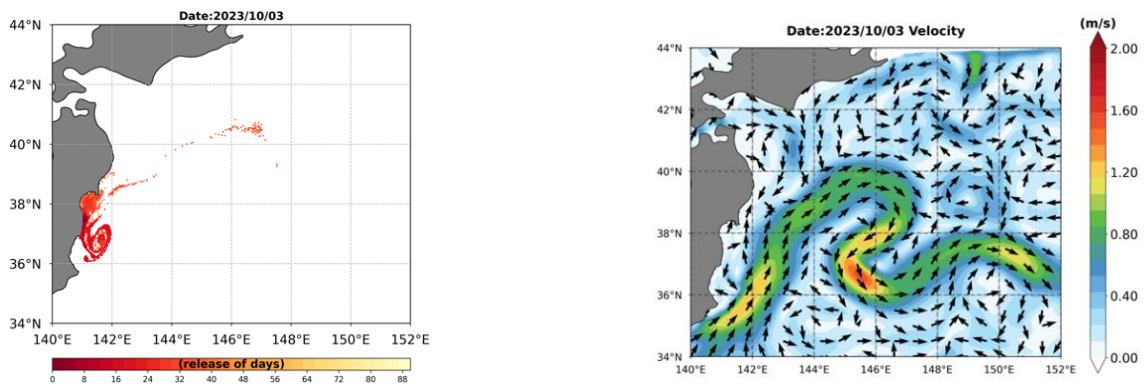


圖 3-80、實際排放後海洋傳輸擴散粒子模擬 40 日傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

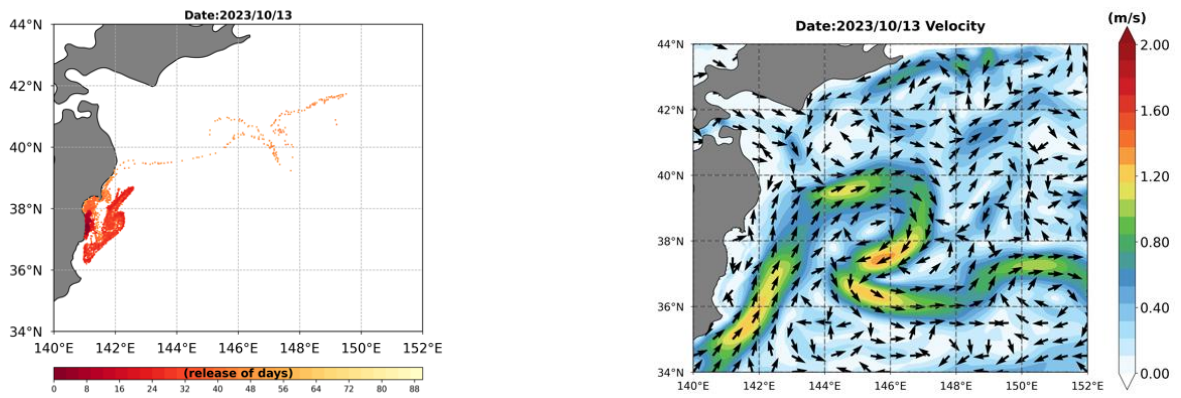


圖 3-81、實際排放後海洋傳輸擴散粒子模擬 50 日傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

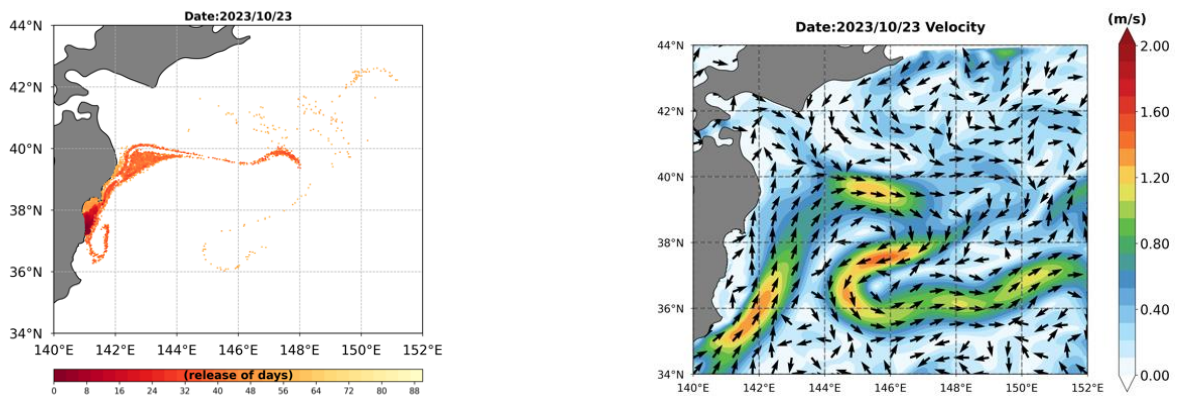


圖 3-82、實際排放後海洋傳輸擴散粒子模擬 60 日傳輸軌跡(左圖)及海流圖(右圖)

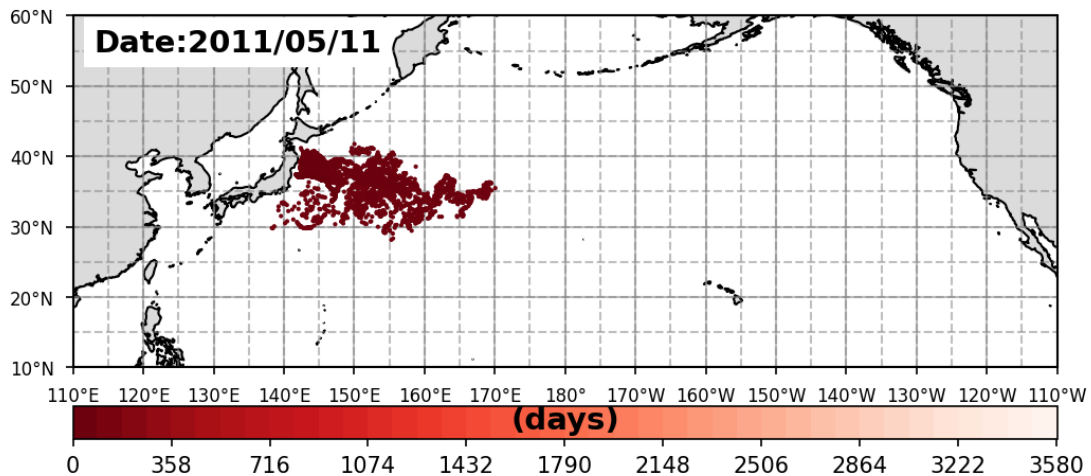


圖 3-83、使用 HYCOM 執行海洋傳輸擴散粒子模擬 60 日傳輸軌跡(311 歷史案例)

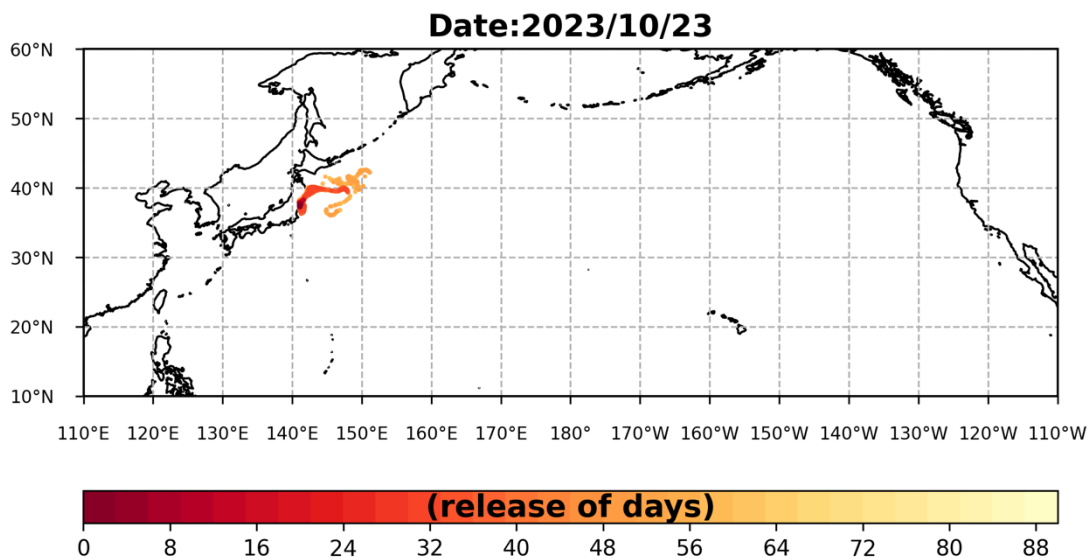


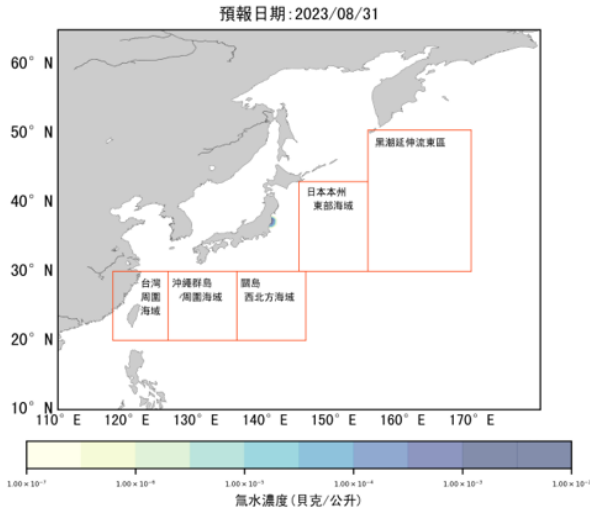
圖 3-84、使用 CWA-OCM-FH 執行海洋傳輸擴散粒子模擬 60 日傳輸軌跡  
正式排放後放擴散濃度趨勢分析

根據上一節描述在日本正式排放後，模式排放出之粒子受福島沿岸之潮汐影響，南北往復移動在沿岸地區徘徊時間長，往東北移動到黑潮延伸流區域後往東移速度加快，進入日本本州東部海域，粒子在此區域內朝多方向的蜿蜒擴散，以下由排放後的每月月底及月中之每日最大濃度分布圖來大致

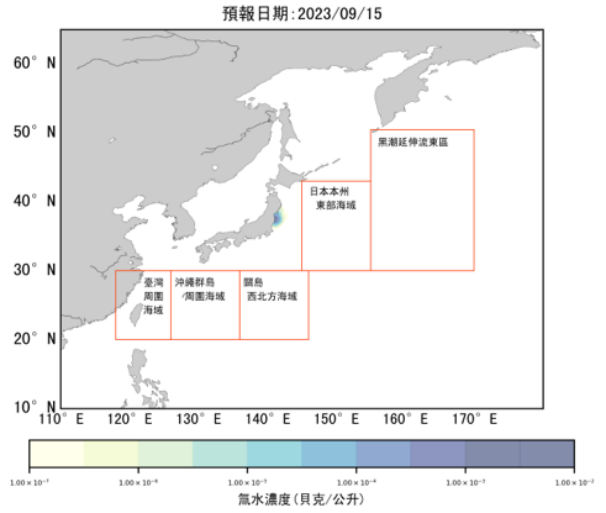
說明濃度變化，如圖中 a 和 b，在 9 月 15 日之前濃度線  $10^{-7}$  Bq/L 都尚未進入至日本本州東部海域區，福島沿岸之極大值大約在  $10^{-3}\sim 10^{-2}$  Bq/L 之間，在 9 月 30 日的濃度分布圖(圖 c)，前期排放出的氙廢水進入到黑潮延伸流區域，抵達日本本州東部海域，區域極值達  $10^{-5}$  Bq/L，後濃度達  $10^{-7}$  Bq/L 之氙廢水在往後的一個半月內大致在日本本州東方海域的範圍內擴散，至 11 月下旬， $10^{-7}$  Bq/L 之濃度線抵達黑潮延伸流東區。含氙廢水自排放以來，傳輸方向大致往東北為主，往南影響臺灣的程度並無太多變化， $10^{-7}$  Bq/L 之濃度線與臺灣的距離大致都在 2100 公里，對臺灣地區並無影響。



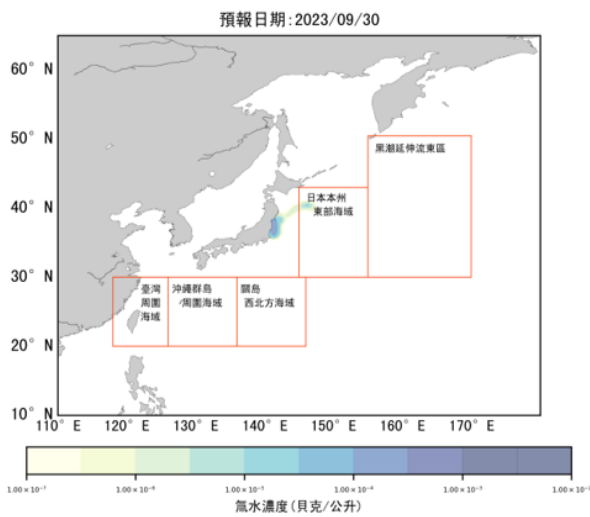
a. 含氚廢水擴散濃度預報分布圖



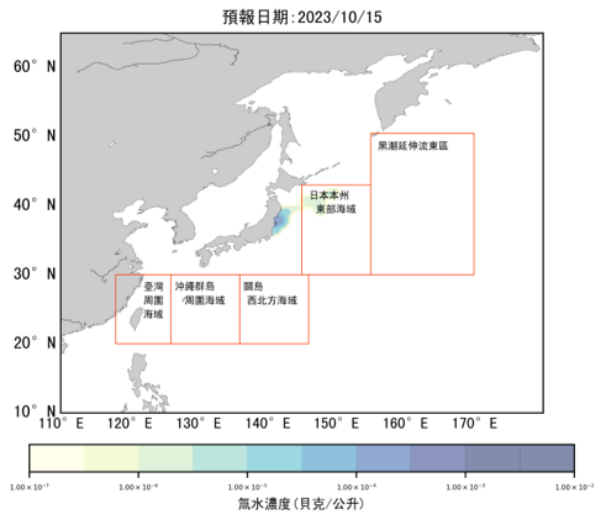
b. 含氚廢水擴散濃度預報分布圖



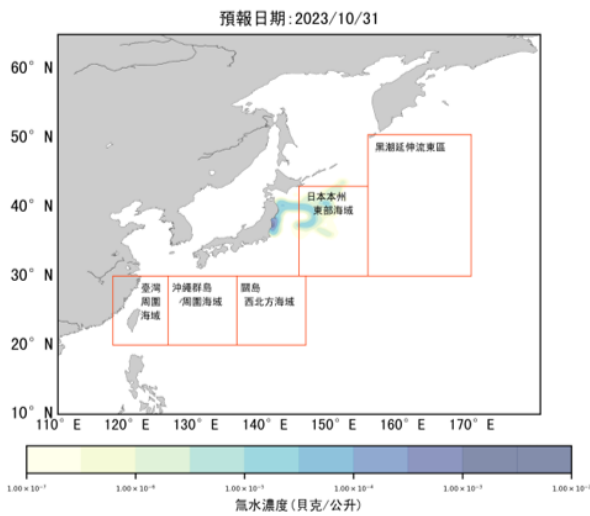
c. 含氚廢水擴散濃度預報分布圖



d. 含氚廢水擴散濃度預報分布圖



e. 含氚廢水擴散濃度預報分布圖



f. 含氚廢水擴散濃度預報分布圖

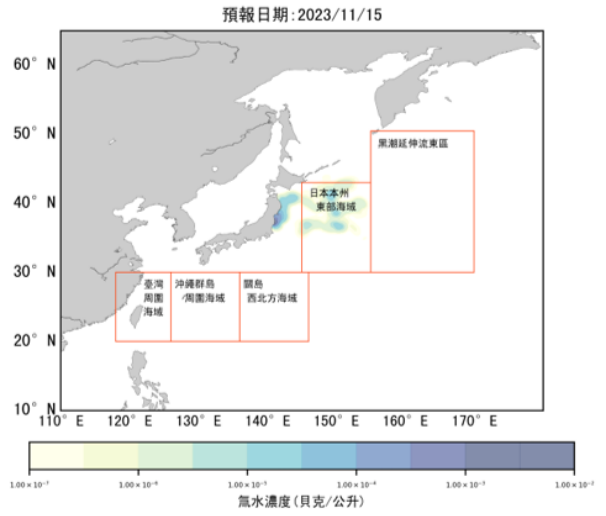


圖 3-85、放射性物質海域擴散系統自日本福島正式排放含氚廢水以來，每日最大濃度值分布圖，大致取 15 日間隔一張圖，由 a~f，日期依序為 2023 年 8 月 31 日、9 月 15 日、9 月 30 日、10 月 15 日、10 月 31 日、11 月 15 日。

## 資訊公開及數據轉譯

因應福島氙水排放事件衍伸之風評受害議題，將政府作為進行整合資訊轉譯為本計畫最重要的目標之一，為此，本計畫建置 TW-ORIS 台灣放射性物質海域擴散海洋資訊平台，並於 6 月 19 日上線精進版，提供民眾更清楚之資訊，如首頁燈號顯示及各圖示、海水檢測第二層增加至 107 點等內容，並持續滾動修正，更友善、更親民之操作介面，望透過各式主被動資訊傳遞、科普圖卡、Q&A 等內容，方便民眾取得資訊。另於 112 年 4 月 30 日至 5 月 1 日於花蓮縣立花崗國中舉辦「原子 go 探險趣」+「行動科教館」科普展，透過互動體驗的方式輕鬆了解原子能科技的知識與應用。

表 3-18 為平台改版的時間表，本平台於 111 年度由整備計畫建立，內容為偏向專業科學數據的電子地圖互動網站，為提供民眾更好的服務，於 112 年度 3 月 14 日新增「燈號」功能，並逐步改版至目前線上版本，現已可提供包含懶人包圖卡、常見問題等功能，且透過圖 3-86 可以看出，平台每次改版都新增強化民眾、社會功能之相關功能，並有效提升瀏覽人次之成長速率。

同時，於 3 月開始進行改版設計，由時任核安會副主委召開資訊平台進度及改善規劃會議，以此進行資訊公開方式之精進討論，共邀請資訊平台專案小組成員，針對資訊功能面、科普宣傳面、美術設計面進行討論，計有 11 次會議，如圖 3-87。



表 3-18 放射性物質海域擴散海洋資訊平台改版時程

改版日期	改版內容
112/8/24	日方於 8 月 24 日正式排放，平台新增未來 7 天擴散預報功能，可每日透過氣象署資料傳輸顯示預估未來一週的擴散結果燈號，讓民眾可查看未來 7 天的擴散結果。並於網站上方增加即時資訊 ICON：「跨部會整合監測儀表板」、「一週擴散預報」、「IAEA 即時監測資訊」，即時顯示最重要之資訊，方便民眾查找。
112/6/12	海水新增顯示為完整 107 點
112/5/19	試行版 2.0 網站上線，提供主題式功能區塊，包含海域監測燈號、歷史擴散動態圖、最新消息、常見問題、懶人包圖卡等項目，供民眾取得除專業監測資訊外的充足資訊。
112/3/14	試行版上線，開始提供海域監測燈號、擴散路徑說明等資訊，方便民眾以燈號查看海域安全性。

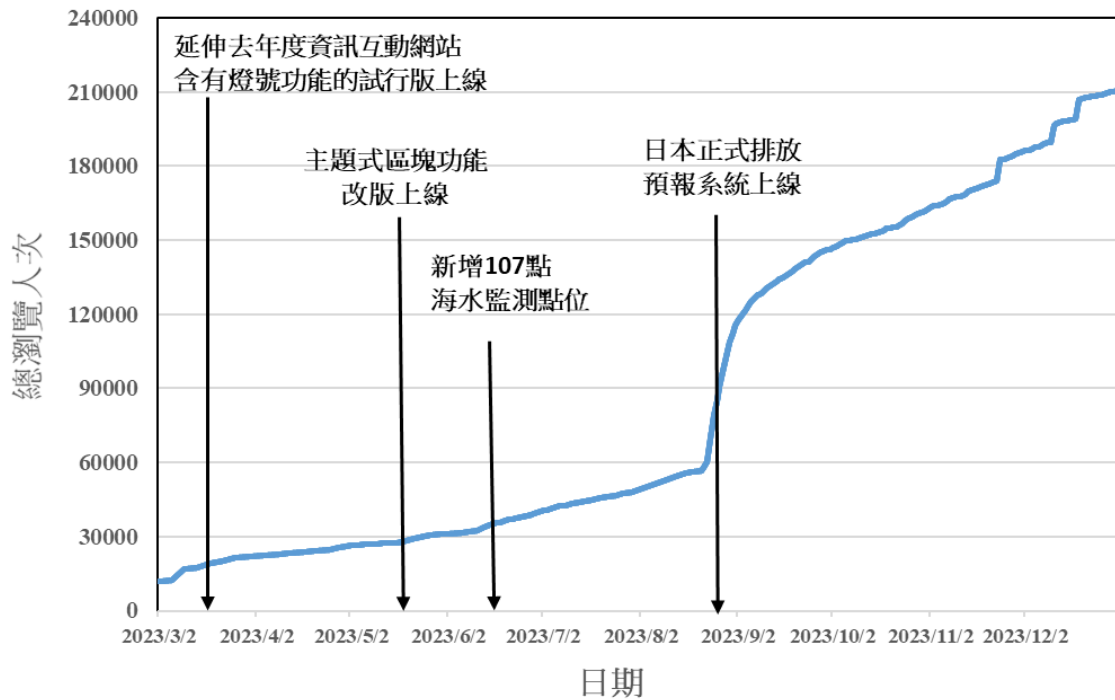


圖 3-86 放射性物質海域擴散海洋資訊平台瀏覽人次成長對照表

### 3. 分層內容展示

監測燈號及擴散預警燈號-切換操作部分共有三本版選擇，可在首頁切換監測及預警

(A) 主內容單一呈現，以頁面切換兩個主內容

(B) 兩個主內容同時呈現，以1:1大小呈現

(C) 兩個主內容同時呈現，以功能切換不同大小呈現

3

7

### 3. 分層內容展示

監測燈號及擴散預警燈號-擴散預警部分，設計歷史案例及例行話預報兩種版本，分別於排放前後顯示於首頁

#### 例行預報(排放後上架)

第一層-未來三天燈號預報+分區說明

第二層-三天後濃度分布+等值線數值說明

第三層-互動地圖(可操作時間軸)



為整合國原院與中央氣象署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，於福島含氚廢水排放前，以歷史案例模擬各種排放情境預測海洋污染傳輸擴散，將預報結果定期提供給跨部會平台。隨著日本排放在即，本網站隨時預備好將擴散模擬改為日本排放後之源頭排放資料納入模擬預報中，並配合日本排放當日將此試行版平台改為正式版平台而顯示出 7 天之預報示警結果。而透過協調各部會針對該潛勢預警之需求，提出其資訊呈現之調整，進而公開給社會大眾，以達到資訊公開透明化之目的。日本排放前及排放後的資訊平台首頁分別如圖 3-88、圖 3-89 所示。

目前已建立之放射性物質海域擴散海洋資訊平台 TW-ORIS (<https://tworis.nusc.gov.tw/RDOOP/>)，係於 2022 年 6 月 30 日正式上線，此試

行版平台具有持續滾動精進平台的各項功能，同時也整併舊有核安會(原稱核安會)官網氬水專區之相關資料。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，這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。



圖 3-88、放射性物質海域擴散海洋資訊平台之網站首頁(日本排放前)



一週擴散預報概述 | 跨部會輻射監測整合儀表板 | IAEA監測資訊即時看

**海水輻射監測與預報燈號**

西北海域 ● 海水  
東北海域 ● 海水  
西部海域 ● 海水  
東南海域 ● 海水  
西南海域 ● 海水  
臺灣周邊海域與北太平洋公海漁場 ● 海水

**福島含氚廢水之濃度貢獻預報燈號**

**海水輻射監測燈號**

- 安全・正常範圍・
- 安全・關注必要時加強監測・
- 調查評估・必要時進行干預・

跨部會合作 | 日本作業與IAEA監督 | 海水監測 | 漁產監測 | 日本進口食品 | 擴散預報

**最新消息與輿情說明**

2023-12-12 我國因應日本含氚廢水排放配置措施進度說明(第10輯)：核安會跨部會...  
2023-12-06 核安會辦理「國家海域放射性物質擴散預警及安全評估技術研討會」活...  
2023-11-30 補充說明核安會結合政府跨部會監控日本含氚廢水排放的監測作業 - 保...  
更多最新消息...

**QA 常見問題**

Q1：氚是什麼？氚有什麼特性？  
Q2：如何檢測海水中的氚含量？  
Q3：氚會累積在人體中嗎？氚對人體有什麼影響？  
其他常見問題...

**懶人包專區**

**圖卡專區**

**影音專區**

110年度輻射監測中心  
海上偵測與取樣

**日本監測數據**

**互動地圖**

**相關網站**

IAEA  
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

圖 3-89、放射性物質海域擴散海洋資訊平台之網站首頁(日本排放後)

## 海水輻射監測與預報燈號

本計畫結合國原院與中央氣象署之專業，發展放射性物質衝擊潛勢區域以及海水、海生物輻射採樣監測顯示功能，完成科學數據處理與資料視覺化與地圖化之技術開發，為強化與民眾溝通及資訊公開透明，故建置網頁式平台，提升科學數據圖像化功能，建立後台維護人員管理功能，也增加最新資訊發布的豐富度，以使平台於日本含氫廢水排放事件中，發揮資訊傳達即時化與正確性之功能，並協助政府相關機關因應措施之決策擬定。

本網站展示平台各項警示燈號說明，包含海水輻射監測與預報燈號第 1-2 層說明頁、歷史擴散分析第 1-2 層及福島含氫廢水之濃度貢獻預報燈號 1-2 層。日本福島核電廠含氫廢水排放前首頁顯示海水輻射監測與預報燈號及歷史擴散分析，排放後顯示海水輻射監測與預報燈號及福島含氫廢水之濃度貢獻預報燈號。另外因應作為專區包含跨部會合作、日本作業與國際監督、海水監測、漁產監測、擴散預報、其他計畫等，針對各項內容進行因應措施說明。資訊專區為主要公告專區，其內容包含最新消息與輿情說明、常見問題、澄清專區、懶人包圖卡專區、影音專區、日本監測數據、互動地圖、相關網站等。本報告將依序分別介紹本資訊平台之網頁內容，以讓海洋計畫相關研究人員及民眾了解本網站內容及政府之相關作為，確保民眾知的權利、進而可以「安心」、「放心」。

資訊平台首頁包括海水輻射監測與預報燈號、歷史擴散分析(針對日本排放前之分析)及福島含氫廢水之濃度貢獻預報燈號(針對日本排放後之分析)三部分，而每一部分包括有第一層、第二層的圖像顯示。海水輻射監測與預報燈號第一層如圖 3-90(日本排放前)至圖 3-91(日本排放後)，









並將臺灣周圍區分為西北海域、西部海域、西南海域、東北海域、東南海域五大區域，以及北太平洋公海漁場計六大區域之海水監測結果。而海水輻射監測與預報燈號第二層如圖 3-92，包括有區域內各採樣點之採樣執行單位、氡及銫核種之最新檢測結果與監測燈號。以西北海域之海水監測為例(圖 3-92)，




海水輻射監測說明方面：

- 海水輻射監測由核安會偵測中心(R01-R20)與農委會水試所(ST01-ST62)、海委會海巡署(C01-C07)、海保署(O01-O08)等跨部會合作進行海水取樣與檢測。
- 本頁面呈現臺灣周邊海域、沿岸漁港，北太平洋公海漁場各取樣點的最新檢測結果與監測燈號。若需查看更多監測結果等，可查看臺灣周邊海域海水最新檢測結果及北太平洋公海漁場檢測結果或進入互動地圖。
- 檢測結果以監測燈號顯示，並標註更新時間。

海水輻射監測燈號說明：

- 監測燈號標準： 單位：貝克/公升  
(Bq/L)

海水(氡)	 ≤100	 100 - 1000	 ≥1000
海水(銫)	 ≤0.1	 0.1 - 1	 ≥1

- 監測燈號說明：
  -  安全，正常範圍。
  -  安全，關注必要時加強監測。
  -  調查評估，必要時進行干預。
- 參考基準：

世界衛生組織(WHO)的國際飲用水安全標準，氚核種標準為 10,000 貝克/公升、銫-137 核種標準為 10 貝克/公升。

(1)海水(氚)紅燈設為該標準的十分之一以上，即為 1,000 貝克/公升；深綠燈設為該標準的百分之一以下，即為 100 貝克/公升；超過 100、未達 1,000 貝克/公升即為淺綠燈。

(2)海水(銫)紅燈設為該標準的十分之一以上，即為 1 貝克/公升；深綠燈設為該標準的百分之一以下，即為 0.1 貝克/公升；超過 0.1、未達 1 貝克/公升即為淺綠燈。

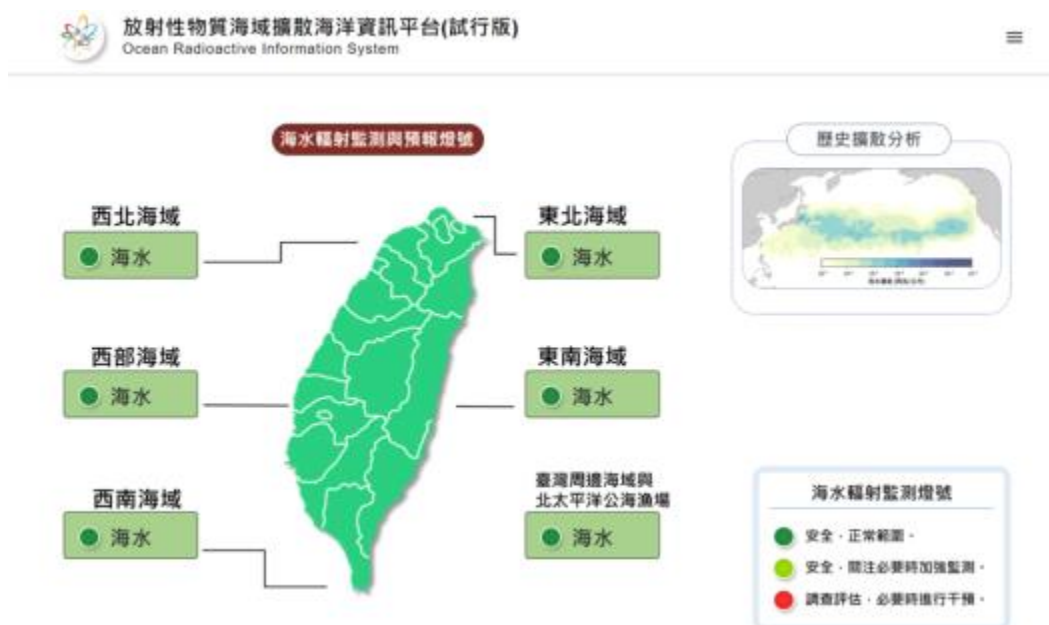


圖 3-90、資訊平台首頁(海水輻射監測與預報燈號，第一層，日本排放前)





一週擴散預報概述 | 跨部會輻射監測整合儀表板 | IAEA監測資訊即時看

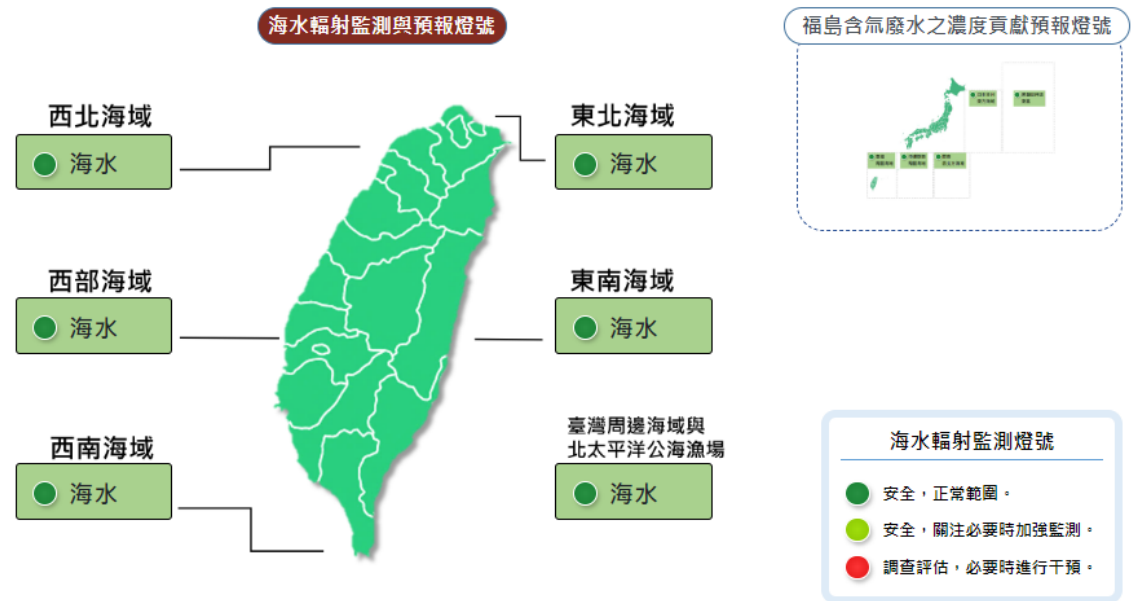
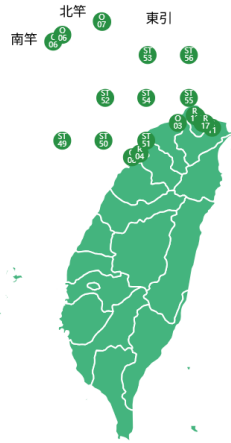


圖 3-91、資訊平台首頁(海水輻射監測與預報燈號，第一層，日本排放後)



西北海域海水檢測結果								
編號	核種	結果	編號	核種	結果	編號	核種	結果
C-05	氫	●	R-12	氫	●	ST-51	氫	●
	銻	●		銻	●		銻	●
C-06	氫	●	R-13	氫	●	ST-52	氫	●
	銻	●		銻	●		銻	●
O-03	氫	●	R-14	氫	●	ST-53	氫	●
O-06	氫	●	R-15	氫	●	ST-54	氫	●
	銻	●		銻	●		銻	●
O-07	氫	●	R-16	氫	●	ST-55	氫	●
O-08	氫	●	R-17	氫	●	ST-56	氫	●
	銻	●		銻	●		銻	●
R-04	氫	●	ST-49	氫	●			
	銻	●		銻	●			
R-11	氫	●	ST-50	氫	●			
	銻	●		銻	●			

#### 海水輻射監測說明：

- 最新海水監測結果
- 進一步看其他海水監測結果
- 海水輻射監測由核安會偵測中心(R01-R20)與農業部水試所(ST01-ST62)、海委會海巡署(C01-C07)、海保署(O01-O18)等跨部會合作進行海水取樣與檢測。
- 本頁面呈現臺灣周邊海域、沿岸漁港，北太平洋公海各取樣點的最新檢測結果與監測燈號。
- 檢測結果以監測燈號顯示，檢測結果更新時間為2024年1月22日。

圖 3-92、資訊平台首頁(海水輻射監測與預報燈號，第二層)

歷史擴散分析部分，圖 3-93 為日本排放前，含氫廢水排放歷史洋流模擬擴散時間動態分析圖，最終呈現距開始排放後約 3600 天止。動態分析顯示洋流會先由西往東流，再從東邊往南轉向西部流回。可點擊查看更多歷史擴散分析結果而查詢更多資訊(如圖 3-94)。

歷史擴散分析是利用 2011 年日本福島事故後 2011 年至 2020 年的歷史海流資料，以此次日本福島含氫廢水海洋排放的規劃，進行含氫廢水海域擴散的模擬分析，初步評估含氫廢水傳輸路徑及對臺灣的影響程度。

本分析依日本政府訂定之基本政策方針，以氫排放量每年 22 兆貝克進行評估設定，模擬含氫廢水以約 118 貝克/公升的濃度排放後隨時間的

分布與氚濃度的變化。其中若排放濃度以日本國家標準 1500 貝克/公升而言，模擬之濃度分布將約增加為 15 倍。

分析結果顯示，在 2011 年日本福島開始排出含氚廢水的假設下，含氚廢水主要會隨黑潮延伸流與北太平洋洋流往東太平洋及美國西岸傳輸，在濃度的分布上，除了日本本州近海海域一直有最大的濃度數值外，在 2017 年後於美西外海(西經 130~150 度，北緯 20~40 度之間)亦有區域的高值發生，其濃度達  $10^{-4}$  貝克/公升以上。

而福島排出的含氚廢水在隨著黑潮延伸流與北太平洋洋流向東的傳輸過程中，有一部分會進入中尺度渦流區而向南傳輸，再隨著北赤道洋流及黑潮而影響臺灣周遭海域，第一波較大濃度值(濃度大於  $10^{-7}$  貝克/公升)於 2012 年~2013 年(排放後 1~2 年)到達臺灣周遭海域，而影響臺灣周遭海域的最大值(濃度大於  $10^{-6}$  貝克/公升)則是出現在 2015 年春季(排放後 4 年)之後。

- 以排放時氚濃度為 118 貝克/公升之設定，和臺灣週遭海域第一波濃度達  $10^{-7}$  貝克/公升(註  $1.5 \times 10^{-6}$  貝克/公升)的時間點來看，約落在排放後 1~2 年(400 至 700 天)之間，此時含氚廢水濃度與日本外海排放時相較，稀釋達  $10^{-9}$  倍。
- 以排放時氚濃度為 118 貝克/公升之設定，和臺灣週遭海域濃度達最大濃度  $10^{-6}$  貝克/公升(註  $1.5 \times 10^{-5}$  貝克/公升)以上的時間點來看，約落在 2015 年春季(排放後約 1300 至 1500 天)，此時含氚廢水濃度與日本外海排放時相較，稀釋達  $10^{-8}$  倍。

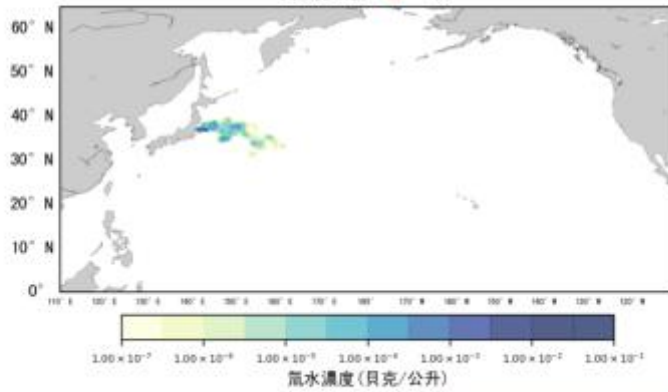
上述兩者均遠低於目前我國氚海水監測的最小可測值，而臺灣海域氚的背景濃度約為 0.5 貝克/公升，相較之下，日本含氚廢水排放對臺灣周遭海域造成之影響微乎其微。若需查看更多資訊，可進入互動地圖。



歷史擴散分析

含氚廢水排放歷史洋流模擬擴散時間動態分析圖

開始排放後 43 天



[點擊查看更多歷史擴散分析結果](#)

圖 3-93 資訊平台首頁(歷史擴散分析，第一層，日本排放前)

含氚廢水排放歷史洋流模擬擴散時間動態分析圖

距開始排放後 315 天

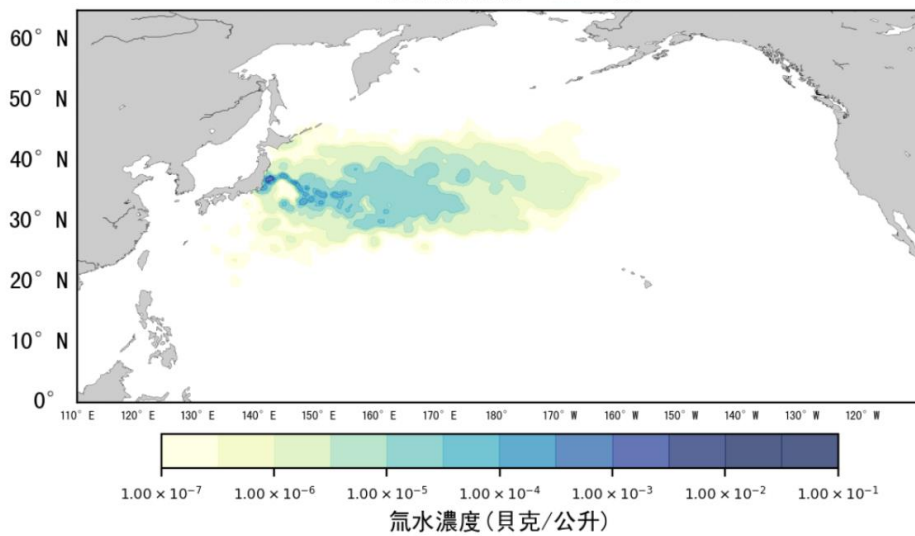




圖 3-94 資訊平台首頁(歷史擴散分析，第二層)

而針對日本排放含氚廢水之後，本資訊平台將進行福島含氚廢水之濃度貢獻預報燈號顯示，該部分之第一層如圖 3-95，第二層如圖 3-96，劃分整個模擬預報示警之區域，包括有日本本州東方海域、黑潮延伸流東區、關島西北方海域、沖繩群島周圍海域、臺灣周圍海域等。而該預報將顯示日本排放後每海域當日之 7 天預報中的最大濃度值，而預報燈號之顯示與前面之海水輻射監測燈號說明相同。

-  安全，正常範圍。
-  安全，關注必要時加強監測。
-  調查評估，必要時進行干預。



一週擴散預報概述

跨部會輻射監測整合儀表板

國際監測資訊即時看

海水輻射監測與預報燈號



福島含氚廢水之濃度貢獻預報燈號

排放初期擴散主要分布於日本福島鄰近海域，可點擊「日本本州東部海域」查看

查看歷史擴散分析

以歷史擴散分析預先掌握日本排放10年的整體影響

預報燈號說明

- 安全，正常範圍。
- 安全，關注必要時加強監測。
- 調查評估，必要時進行干預。

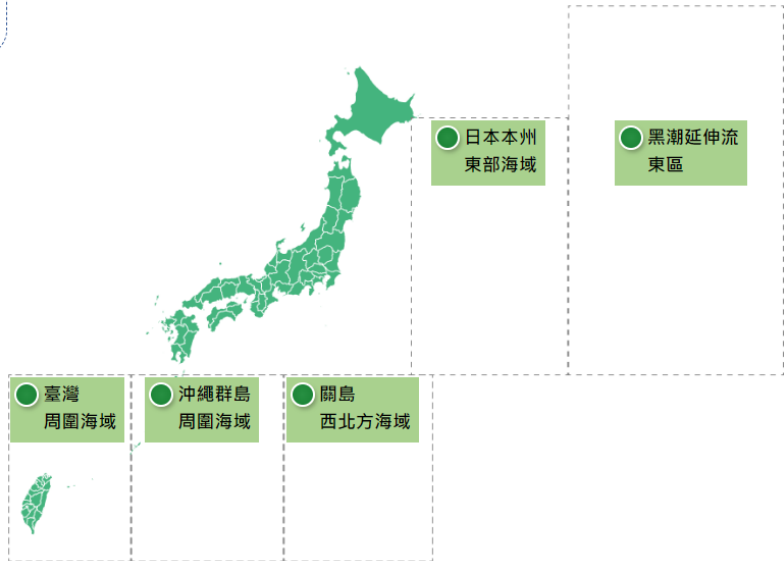
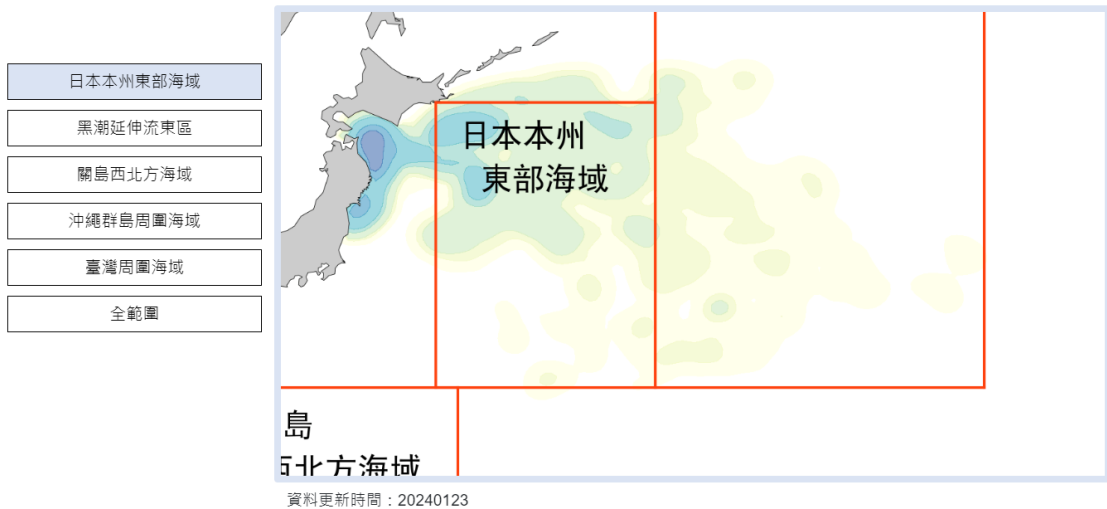


圖 3-95、資訊平台首頁(福島含氚廢水之濃度貢獻預報燈號，第一層)



資料更新時間：20240123

日本本州東部海域 一週預報

氚 一週最大濃度值： $2.7 \times 10^{-5}$  Bq/L

日期	01/23 星期二	01/24 星期三	01/25 星期四	01/26 星期五	01/27 星期六	01/28 星期日	01/29 星期一
燈號	●	●	●	●	●	●	●
最大濃度值	$2.7 \times 10^{-5}$ Bq/L	$2.6 \times 10^{-5}$ Bq/L	$2.5 \times 10^{-5}$ Bq/L	$2.4 \times 10^{-5}$ Bq/L	$2.3 \times 10^{-5}$ Bq/L	$2.3 \times 10^{-5}$ Bq/L	$2.3 \times 10^{-5}$ Bq/L

圖 3-96、資訊平台首頁(福島含氚廢水之濃度貢獻預報燈號，第二層)

## 資訊平台顯示之其他內容

### 六個 icon 資料顯示(政府應對作為)

有關資訊平台六個 icon 資料顯示如圖 3-97。包括有跨部會合作、日本作業與國際監督、海水監測、漁產監測、日本進口食品、擴散預報。本章節將依序加以說明其內容。



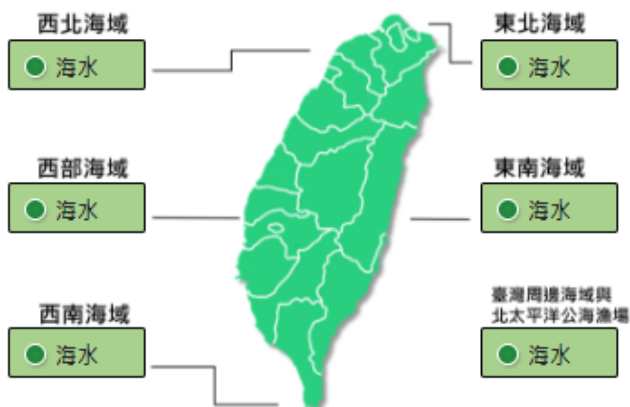


一週擴散預報概述

跨部會輻射監測整合儀表板

IAEA監測資訊即時看

海水輻射監測與預報燈號



福島含氚廢水之濃度貢獻預報燈號



海水輻射監測燈號

- 安全 - 正常範圍。
- 安全 - 關注必要時加強監測。
- 調查評估 - 必要時進行干預。



跨部會合作



日本作業與  
IAEA監管



海水監測



漁產監測



日本進口食品



擴散預報

最新消息與輿情說明

2023-12-12 我國回應日本含氚廢水排放配置措施進度說明(第10報)：核安會跨部會...  
2023-12-06 核安會辦理「國家海域放射性物質擴散預警及安全評估技術研討會」活...  
2023-11-30 補充說明核安會結合政府跨部會監控日本含氚廢水排放的監測作為 - 保...  
更多最新消息...

QA 常見問題

Q1：氚是什麼？氚有什麼特性？  
Q2：如何檢測海水中的氚含量？  
Q3：氚會累積在人體中嗎？氚對人體有什麼影響？  
其他常見問題...

懶人包專區



圖卡專區



影音專區



日本監測數據



互動地圖



相關網站



IAEA  
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

圖 3-97、資訊平台六個 icon 資料顯示圖

## 跨部會合作

考量日本含氚廢水排放議題涉及多個部會權責，政府已組成跨部會因應平台，合作研商與推動各項因應措施，守護我國海域環境與國人海產食品輻射安全、確保漁民權益。如圖 3-98。

跨部會因應平台相關作業彙整如下：

- 成員：包括核安會、外交部、交通部、衛福部、農委會、海委會、國科會等相關部會。
- 運作方式：透過 4 個工作小組，分別對所負責議題進行研析討論。跨部會因應平台並每季定期召開跨部會會議共同討論。
  - (1) 涉外事務小組：負責涉外事務協調聯繫，掌握日方排放狀況、協調台日雙方資訊交流事宜。
  - (2) 海域監測小組：負責海域樣品，如海水、漁產等取樣及分析。
  - (3) 海域計畫小組：負責國家海域計畫推動執行，精進海域監測技術、建立擴散預報機制、強化資訊公開。
  - (4) 漁民權益小組：負責研析我國漁業經濟影響與確保漁民權益。

該跨部會合作網頁除文字敘述外尚有顯示每季定期召開跨部會會議之圖卡，另其下一層資料尚包括有跨部會因應會議、我國專家觀察團及其他計畫三項。

跨部會因應會議：跨部會因應平台每季定期召開「日本福島第一核電廠核災含氚廢水排放跨部會因應會議」，共同研商討論相關議題與因應措施，至 112 年底已召開 16 次會議，該頁面彙整歷次會議資訊。如圖 3-99。



## 跨部會合作

[回首頁](#)

更新時間：2023-09-27

考量日本含氚廢水排放議題涉及多個部會權責，政府已於109年超前部署，組成跨部會因應平台，合作研商與推動各項因應措施，守護我國海域環境與國人海產食品輻射安全、確保漁民權益。

跨部會因應平台相關作業彙整如下：

1. 成員：包括核安會、外交部、交通部、衛福部、農業部、海委會、國科會等相關部會。
2. 運作方式：透過4個工作小組，分別對所負責議題進行研析討論；在日本2023年8月24日開始進行海洋排放前，跨部會因應平台並每季定期召開跨部會會議共同討論。
  - (1) 涉外事務小組：負責涉外事務協調聯繫，掌握日方排放狀況、協調臺日雙方資訊交流事宜。
  - (2) 海域監測小組：負責海域樣品，如海水、漁產等取樣及分析。
  - (3) 海域計畫小組：負責國家海域計畫推動執行，精進海域監測技術、建立擴散預報機制、強化資訊公開。
  - (4) 漁民權益小組：負責研析我國漁業經濟影響與確保漁民權益。

**政府對日本含氚廢水排放事件之跨部會因應平台如何運作？**

**1 涉外事務小組**  
掌握日方排放狀況、協調台日雙方資訊及技術交流 (實地掌握現況)

**2 海域監測小組**  
海域樣品取樣及分析

**3 海域計畫小組**  
精進海域監測技術、建立擴散預報機制、強化資訊公開

**4 漁民權益小組**  
研析我國漁業經濟影響與確保漁民權益

各組自行針對負責議題進行研析討論 **每季定期召開跨部會會議**

核能安全委員會 製圖

 <b>跨部會因應會議</b>	 <b>我國專家觀察團</b>	 <b>科技計畫</b>
---	---	--

圖 3-98、資訊平台之跨部會合作網頁

## 日本福島第一核電廠核災含氫廢水排放跨部會因應會議第16次會議

2023年11月17日 第16次會議 | 跨部會因應會議

一、開會時間：112年11月17日(星期五)上午10時整

二、開會地點：核安會二樓會議室(視訊會議)

三、主持人：王重德主任秘書

紀錄：核安會何璠

四、出席人員：核安會、核安會輻射偵測中心、外交部、衛福部食藥署、農業部漁業署、農業部水試所、海委會科技文教處、海委會海保署、海委會海巡署、國家海洋研究院、國科會、交通部氣象署、國原院

五、宣讀第15次日本福島第一核電廠核災含氫廢水排放跨部會因應會議之結論辦理情形：(略)

決議：洽悉。

圖 3-99、日本福島第一核電廠核災含氫廢水排放跨部會因應會議第 16 次會議

### 日本作業與 IAEA 監督

日本福島事故發生後，因受損反應爐餘熱移除作業與豐沛地下水湧入而產生放射性污水，雖經多核種去除設備(ALPS)過濾處理廢水中多數的放射性核種，但因氫核種無法去除，因此大量含氫廢水儲存於福島第一核電廠內，佔用廠內空間，影響除役作業的推展。日本政府在 2021 年 4 月 13 日宣布 2 年後將以海洋排放方式處置福島含氫廢水，預計將廢水稀釋後分批次排放。福島第一核電廠的設施經營者東京電力公司隨即展開排放準備及設施興建，日本政府並進行相關管制審查與海域監測。

另一方面，為確認含氫廢水排放作業符合國際安全標準，國際原子能總署(IAEA)成立專案小組，自 2021 年 9 月起對日本排放作業展開相關的

審查與驗證。經 ALPS 過濾處理，並經確認除氫以外核種均符合日本排放標準的含氫廢水，日本政府及 IAEA 稱之為 ALPS 處理水 (ALPS Treated Water)。該日本作業與國際監督網頁其下一層資料尚包括有日本作業、國際監督兩項如圖 3-100。

更新時間：2023-11-20

日本福島事故發生後，因受損反應爐餘熱移除作業與豐沛地下水湧入而產生放射性污水，雖經多核種去除設備(ALPS)過濾處理廢水中多數的放射性核種，但因氫核種無法去除，因此大量含氫廢水儲存於福島第一核電廠內，佔用廠內空間，影響除役作業的推展。

日本政府在2021年4月13日宣布2年後將以海洋排放方式處置福島含氫廢水，預計將廢水稀釋後分批次排放。福島第一核電廠的設施經營者東京電力公司隨即展開排放準備及設施興建，日本政府並進行相關管制審查與海域監測。

另一方面，為確認含氫廢水排放作業符合國際安全標準，國際原子能總署(IAEA)成立專案小組，自2021年9月起對日本排放作業展開相關的審查與驗證。

經ALPS過濾處理，並經確認除氫以外核種均符合日本排放標準的含氫廢水，日本政府及IAEA稱之為ALPS處理水(ALPS Treated Water)。東京電力公司於排放前再透過抽取海水，進一步稀釋ALPS處理水，使排放水中的氫濃度符合日本承諾的目標，小於每公升1,500貝克。

日本於2023年8月24日中午開始執行第一批次ALPS處理水海洋排放作業，並於9月11日結束第一批次排放。

日本於2023年10月5日中午開始執行第二批次ALPS處理水海洋排放作業，並於10月23日結束第二批次排放。

日本於2023年11月2日中午開始執行第三批次ALPS處理水海洋排放作業，並於11月20日結束第三批次排放。

排放期間核安會嚴密掌握日本與IAEA動態，並發布相關新聞或最新訊息說明。

2023年11月20日 核安會嚴密掌握日本第三批次排放動態及國際原子能總署(IAEA)監督狀況

2023年11月02日 核安會嚴密掌握日本第三批次排放動態及國際原子能總署(IAEA)監測數據

2023年10月25日 核安會嚴密掌握日本第二批次排放源頭資訊及國際原子能總署(IAEA)監督現況

2023年10月05日 嚴密掌握日本第二批次排放動態及國際原子能總署(IAEA)監測數據

2023年09月11日 日本第一批含氫廢水已排放完畢 政府嚴密監控 無輻射異常狀況

2023年08月24日 日本福島含氫廢水今日開始排放 政府啟動擴散預報並持續強化監測 確保民眾食品與海域環境輻射安全

2023年08月22日 我國政府對日本福島含氫廢水排放案已妥善因應作為



日本作業



IAEA監督

## I A E A 監督

更新時間：2023-11-20

國際原子能總署(IAEA)成立專案小組(Task Force)對日本含氫廢水排放作業進行監督，自2021年9月起對排放相關的安全評估、安全管制、以及取樣監測等面向展開審查與驗證，並邀集11國專家籌組調查團，赴日實地調查，確認含氫廢水排放作業符合國際安全標準。

IAEA監督作業彙整如下：

### 1. IAEA的調查重點：

- (1) 安全評估：主要針對含氫廢水海洋排放計畫的輻射安全與相關影響評估，調查對象為東京電力公司與經產省。

圖 3-100、日本作業與 IAEA 監督網頁

日本作業：自日本政府 2021 年 4 月 13 日宣布 2 年後將以海洋排放方式處置福島含氚廢水，東京電力公司隨即展開排放實施計畫規劃送審及興建工程，日本政府並依其訂定的 ALPS 處理水基本方針與相關管制標準進行審查管制，依綜合監測計畫(CRMP)進行日本海域監測。該網頁並附上引述日本之各方針、計畫內容簡介、報告說明及資訊連結。

日本相關作業彙整如下：

- (1)依照日本政府訂定的基本方針，排放的含氚廢水，氚核種濃度不超過日本管制標準的四十分之一，即小於每公升 1,500 貝克，一年總排放量限制在福島第一核電廠運轉時的每年 22 兆貝克以下。
- (2)排放實施計畫：東京電力公司依照日本政府訂定的基本方針與日本管制法規訂定排放實施計畫，並送日本核安管制單位原子力規制委員會(NRA)審查。  
東京電力公司的排放實施計畫於 2022 年 7 月 22 日獲 NRA 同意、8 月 4 日取得當地地方政府同意排放設施施工，即展開興建工程。2022 年 11 月，東京電力公司提送排放實施計畫更新申請予 NRA 審查，2023 年 5 月 10 日獲 NRA 同意。
- (3)排放作業現況：東京電力公司的排放設施已完成試運轉測試、確認整體排放設施完成排放前準備工作，並由 NRA 核發排放設施的檢查合格證明予東京電力公司以及 IAEA 發布就福島核災含氚廢水排放實施計畫所執行審查任務的總結報告，目前排放日期尚未決定。
- (4)海域監測現況：日本政府訂定綜合監測計畫(CRMP)，由東京電力公司、環境省、NRA、水產廳、福島縣政府等，共同辦理日本海域的海水、漁產等監測作業，監測結果彙整於環境省的福島含氚廢水

環境監測資訊平台「ALPS Treated Water Marine Monitoring Information」。

IAEA 監督：國際原子能總署(IAEA)成立專案小組(Task Force)對日本含氫廢水排放作業進行監督，自 2021 年 9 月起對排放相關的安全評估、安全管制、以及取樣監測等面向展開審查與驗證，並邀集 11 國專家籌組調查團，赴日實地調查，確認含氫廢水排放作業符合國際安全標準。而該網頁亦附上核安會掌握國際監督狀況所公布的即時資訊各檔案。

IAEA 監督作業彙整如下：

(1)IAEA 的調查重點：

- 安全評估：主要針對含氫廢水海洋排放計畫的輻射安全與相關影響評估，調查對象為東京電力公司與經產省。
- 安全管制：主要針對日本政府就排放計畫的安全審查與安全管制作為，調查對象為原子力規制委員會(NRA)。
- 分析驗證：獨立取樣分析，包括福島第一核電廠內儲存的 ALPS 處理水以及周圍海域樣本，由 IAEA 的放射性分析檢測實驗室進行第三方檢測分析。

(2)IAEA 專家調查團：調查團成員來自 IAEA 會員國，包括阿根廷、英國、美國、中國、法國、南韓、俄羅斯、越南、澳洲、馬紹爾群島、加拿大等 11 個國家。

## 海水監測

核安會自 2017 年起跨部會合作推動「臺灣海域輻射監測調查計畫」，以專案方式建立臺灣周邊海域輻射背景資料庫。因應日本福島含氫廢水海洋排放規劃，並擴大執行海水氫輻射監測，以完備海域氫背景資料庫。政



府持續透過跨部會因應平台及海域監測小組的運作，研商討論海域輻射監測議題，訂定相關監測計畫並據以施行，確保海域環境輻射安全。本網頁並附上相關計畫與報告檔案。

我國海水監測作業彙整如下：

- 監測核種：以多核種去除設備(ALPS)無法去除的「氚」核種，與輻射監測的第一指標「銫」核種為主。
- 監測範圍：包含漁港、臺灣及離島周邊海域、臺灣周圍漁場、北太平洋公海漁場等。
- 監測結果：2017 年至今，所測得之分析結果皆遠低於法規限值，無輻射異常狀況。

該海水監測網頁其下一層資料尚包括有監測點位置、海水中氚核種測量方法兩項。如圖 3-101。



## 海水監測

[回首頁](#)

更新時間：2024-01-22

日本於2023年8月24日中午開始執行ALPS處理水海洋排放作業，以批次排放方式進行。核安會與各相關部會合作強化海水監測，檢測結果並定期更新如下，目前均無輻射異常情形。

### 海水監測結果

- [01月22日](#)
- [01月15日](#)
- [01月08日](#)
- [01月02日](#)
- [12月25日](#)
- [12月18日](#)
- [12月11日](#)
- [12月04日](#)
- [11月27日](#)
- [11月20日](#)

日本排放前，核安會即透過2017年起跨部會合作推動之「台灣海域輻射監測調查計畫」，擴大執行海水氚輻射監測，建立我國海域海水氚背景資料庫。

我國海水監測作業彙整如下：

1. 監測核種：以多核種去除設備(ALPS)無法去除的「氚」核種，與輻射監測的第一指標「銫」核種為主。
2. 監測範圍：包含漁港、臺灣及離島周邊海域、臺灣周圍漁場、北太平洋公海漁場等。
3. 監測結果：2017年至今，所測得之分析結果皆遠低於法規限值，無輻射異常狀況。
4. 相關計畫與報告：

[台灣海陸域環境輻射調查計畫111年度執行報告](#)

[台灣海陸域環境輻射調查計畫110年度執行報告](#)

[台灣海陸域環境輻射調查計畫109年度執行報告](#)

[台灣海陸域環境輻射調查計畫108年度執行報告](#)

[台灣海域輻射監測調查方法研究先期工作計畫 107年度執行報告](#)

[台灣海域輻射監測調查計畫海水等環境樣品放射性核種分析期末報告\(106年度\)](#)

<< < 1 > >>

每頁顯示筆數: 10

目前記錄: 1至6, 總筆數: 6



監測點位置



海水中氚核種測量方法

圖 3-101、海水監測網頁

監測點位置：核安會輻射偵測中心與農委會水試所及海委會海巡署、海保署共同合作，於臺灣及離島周邊海域定期執行海水取樣與輻射監測，確保我國海域環境的輻射安全。

監測點位置說明如下：

- (1)位置選擇考量：以臺灣海域輻射背景資料庫為基礎，並綜合考量臺灣附近洋流流向、人員取樣作業安全、實驗室檢測量能等因素。
- (2)監測點位(如圖 3-102)：臺灣海域的海水氚監測點位目前共計 107 點，分佈如下。另外，110 年起，監測點位並擴及北太平洋公海漁場，約 10 點。
  - 輻射偵測中心取樣的沿岸漁港 9 點、臺灣南北核電廠周圍地區沿岸 11 點。
  - 水試所取樣的臺灣周圍漁場及黑潮海域共 62 點。
  - 海巡署取樣的離島沿岸 6 點及黑潮海域 1 點。
  - 海保署取樣的近海海域 18 點。



圖 3-102、臺灣海域海水氚監測點位分佈圖

海水中氙核種量測方法：氙核種釋放的輻射為低能量的貝他( $\beta$ )射線，穿透力弱，空氣中射程僅約 5 毫米(mm)，1 張白紙即可阻擋，無法直接檢測，因此海水取樣後須送至實驗室進行處理及分析。

海水樣品送到實驗室後，會透過加熱蒸餾等方法去除海水中的雜質，收集的蒸餾水與液態閃爍劑混合後，海水中的氙核種會讓液態閃爍劑產生螢光，藉由液態閃爍計數儀量測螢光光量，再換算成氙核種的活度。實驗室處理分析時間約需 1 至 2 個工作天，詳細說明如圖 3-103。

### 海水中氙核種量測方法

更新時間：2023-04-13 08:20

氙核種釋放的輻射為低能量的貝他( $\beta$ )射線，穿透力弱，空氣中射程僅約5毫米(mm)，1張白紙即可阻擋，無法直接檢測，因此海水取樣後須送至實驗室進行處理及分析。

海水樣品送到實驗室後，會透過加熱蒸餾等方法去除海水中的雜質，收集的蒸餾水與液態閃爍劑混合後，海水中的氙核種會讓液態閃爍劑產生螢光，藉由液態閃爍計數儀量測螢光光量，再換算成氙核種的活度。實驗室處理分析時間約需1至2個工作天。



圖 3-103、海水中氙核種量測方法網頁

### 漁產監測

有關漁產監測歸屬於漁業署之權責，故該網頁則直接連結於漁業署輻射專區

([https://wm.moa.gov.tw/preview\\_fa/list.php?theme=Radiation\\_zone&subtheme=](https://wm.moa.gov.tw/preview_fa/list.php?theme=Radiation_zone&subtheme=))。如圖 3-104。



輻射專區

標題	修改時間
台灣海域輻射調查(行政院原子能委員會提供)	112-08-09
112年4-6月農委會漁業署出近海漁業輻射抽驗檢測結果	112-08-08
112年1-4月農委會漁業署近太平洋漁業輻射抽驗檢測結果	112-05-18
112年1-4月農委會漁業署出近海漁業輻射抽驗檢測結果	112-05-18
111年度農委會漁業署出近海漁業及近太平洋漁業輻射抽驗檢測結果	112-01-20
111年8-12月農委會漁業署近太平洋漁業輻射抽驗檢測結果	112-01-19
111年11-12月農委會漁業署出近海漁業輻射抽驗檢測結果	112-01-19

圖 3-104、漁業署輻射專區網頁

日本進口食品

食品藥物管理署自 111 年 2 月 21 日起，日本本地限制流通產品品項，及福島、茨城、櫛木、群馬、千葉等 5 縣生產製造之野生鳥獸肉、菇類、澆油菜停止輸入查驗；九大類食品（生鮮冷藏蔬果、冷凍蔬果、活生鮮冷藏水產品、冷凍水產品、乳製品、嬰幼兒食品、礦泉水或飲水、海藻類、茶類）依風險調整查驗頻率，以加馬能譜分析碘-131、銫-134、銫-137 人工核種。並於「日本輸入食品輻射檢測專區」專頁更新各類食品監測最新數據，及公布被檢出含微量輻射，符合我國及日本標準之樣本。有關日本輸入食品歸屬於食藥署之權責，故該網頁直接連結於食藥署之食品輻射監測專區(<https://www.fda.gov.tw/tc/sitelist.aspx?sid=2356>)，如圖 3-105。



圖 3-105、食藥署最新食品輻射監測專區網頁

### 擴散預報

因應日本福島核電廠於 112 年 8 月起排放含氚廢水至海洋當中，為預警其對臺灣周遭海域與漁場的衝擊影響，並提供各相關單位及民眾進行應變措施參考，核安會與氣象署合作建置一套放射性物質海洋擴散模擬作業系統，於日本開始排放時同步進行預警作業，每日提供未來 7 天之含氚廢水的擴散分布及海域與漁場的衝擊預警。

而在日本正式開始排放前，亦利用 2011~2020 年的歷史海流資料(美國 HYCOM 資料)，以此套系統進行福島 10 年歷史海洋擴散情境模擬(排放口之初始濃度以年排放量 22 兆貝克之標準設計)，大致掌握日本福島排放含氚廢水可能的影響，包括含氚廢水的擴散時程與濃度大小等，如欲瞭解更多歷史海洋擴散情境模擬的細節可點選每日預報說明、擴散預報小知識兩連結。如圖 3-106。

每日預報說明：每日預報是利用氣象署作業化之海流模式(CWB-OCM)提供的西北太平洋三維海流預報資訊，進行福島地區含氙廢水的持續排放海洋擴散預報作業，每日產出未來七天每小時之氙水網格會活度濃度及海域與漁場的衝擊預警資訊。由於實際排放濃度無法事先得知，故預報時的排放濃度設定是以年排放量不得超過 22 兆貝克之標準而設計(排放口的排放濃度設定為 118.17 貝克/公升)，但當日方提供其量測的實際排放口排放濃度時，立即重新進行海流擴散預報作業，令氙水之濃度分布時時保持在最佳化的預測結果。此部分會依據日本開始排放日期，正式開始進行日本福島含氙廢水之海洋擴散預報作業。

擴散預報小知識：介紹北赤道流、黑潮、親潮及黑潮延伸流的科普知識。

- 北赤道流：為在約北緯 5~10 度的區域，向西流動，具較強流速的海流。
- 黑潮：(Kuroshio Current) 為北赤道流至菲律賓東部 沿著菲律賓東部向北部傳輸，流經呂宋海峽、臺灣東岸及東海陸棚，達日本東南岸的海流。
- 親潮(Oyashio Current)：又稱千島群島洋流，是一股自千島群島的西方向西南方流下，達到日本東岸的寒流
- 黑潮延伸流(Kuroshio Extension)：為黑潮在日本東南岸(約北緯 35 度、東經 140 度) 與從北方千島群島流下的親潮(Oyashio Current)匯合，離開日本東部海岸，向東流動的海流。日本福島排放的含氙廢水主要透過黑潮延伸流向東流動。





## 擴散預報

[回首頁](#)

更新時間：2023-09-27

日本於2023年8月24日進行福島核廢水排放作業，核安會與氣象署合作建置之放射性物質海洋擴散模擬作業系統亦同步進行模擬，每日產出未來7天之海洋含氚廢水的擴散濃度分布及海域與漁場的衝擊預警，提供各相關單位及民眾進行應變措施參考。

[查看七天預報分析](#)

而在日本正式開始排放前，亦利用2011~2020年的歷史海流資料(美國HYCOM資料)，以此套系統進行福島10年歷史海洋擴散情境模擬(排放口之初始濃度以年排放量22兆貝克之標準設計)，大致掌握日本福島排放含氚廢水可能的影響，包括含氚廢水的擴散時程與濃度大小等，如欲瞭解更多歷史海洋擴散情境模擬的細節可點選以下連結。

[查看歷史擴散分析](#)



## 每日預報說明

更新時間：2023-08-23

每日預報是利用氣象署作業化之海流模式(CWB-OCM)提供的西北太平洋三維海流預報資訊，進行福島地區含氚廢水的持續排放海洋擴散預報作業，每日產出未來七天每小時之氚水網格會活度濃度及海域與漁場的衝擊預警資訊。由於實際排放濃度無法事先得知，故預報時的排放濃度設定是以年排放量不得超過22兆貝克之標準而設計(排放口的排放濃度設定為118.17貝克/公升)，但當日方提供其量測的實際排放口排放濃度時，立即重新進行海流擴散預報作業，令氚水之濃度分布時時保持在最佳化的預測結果。

擴散預警為提供親民易懂且具象的訊息，在此資訊平台將海洋含氚廢水活度濃度預警區域分為5區，主要關注日本福島地區的海洋主流區域與我國重要海域之含氚廢水濃度變化，及可能影響台灣之海流傳輸路徑之含氚廢水濃度變化。首頁，呈現各區域在7日預報中之空間最大值對應之顯示燈號，燈號分為綠燈、淺綠燈、紅燈三種，其分類依據與海水監測一致，綠燈代表安全，淺綠燈代表安全但需加強監測，紅燈則是需評估並在必要時加以干預。點擊各區域後，可顯示各區域之每日活度濃度空間分布之變化，並呈現各區域每日之最大值與對應燈號。另外，於互動地圖中採用GIS電子地圖呈現每日更新之7日逐時預報活度濃度之網格資料，並保存過去每一日之分析場，供查詢自排放開始之海洋含氚廢水活度濃度分布變化趨勢。

圖 3-106、擴散預報網頁



## 平台之其餘專區顯示

有關資訊平台其餘專區包括有最新消息與輿情說明、常見問題、懶人包專區、圖卡專區、影音專區、日本監測數據、互動地圖及相關網站。本章節將依序加以截圖、說明其內容。

### 最新消息與輿情說明

本網頁提供最新消息與輿情說明，主要提供核安會針對海域計畫及各相關議題之最新消息與政策說明，故部分消息及說明通常直接連結至核能安全委員會官網；本網頁也提供下一層之部分說明資料並提供關鍵字之搜尋、查詢功能。最新消息內容包含日本福島第一核電廠核災含氚廢水排放跨部會因應會議第十五次會議紀錄、國際原子能總署(IAEA)調查團針對日本 ALPS 處理水排放總結報告摘要說明、放射性物質海域擴散資訊平台重要內容更新說明等。

### 常見問題

為解答民眾對日本福島第一核電廠儲存的含氚廢水海洋排放議題可能的疑問，核安會彙整相關之常見問題，希能增進大家對本議題的瞭解。常見問題內容將持續滾動更新。目前包括有氚的科普知識、日本的管制與排放進度、國際監督、我國政府的立場及因應、我國海域與漁產安全、我國海域輻射監測及海域輻射擴散預報，共七大類計 31 題的 Q&A。點擊每一問題後皆可進入下一層之詳細說明，例如點擊 Q4：氚是什麼？氚有什麼特性？則 Ans：1.氚( $^3\text{H}$ )是一種放射性物質，為氫的同位素，物

理半化期為 12.3 年。因其性質與氫(H)相似，故非常難以將氫單獨分離及去除。2.氫釋放出的輻射為低能量的貝他( $\beta$ )輻射，在空氣中約可行進 5 毫米(mm)的距離，一張白紙甚至皮膚就可以阻擋了。3.氫有自然存在的，也有人工產生的。自然界中的氫由宇宙射線與大氣分子相互作用而產生。環境中的氫除了天然存在的氫，還有人工產生的氫。人工氫主要來自核子核爆及核能發電等核設施運轉過程中產生。另同時有小知識解釋物理半化期，也稱為物理半衰期 (half-life)，為放射性物質的活度衰變到初始活度的一半所需要的時間，每種放射性物質都有自己特有的物理半化期。

### 懶人包專區

目前懶人包專區則提供我國政府因應作為及平台使用說明。

### 圖卡專區

本資訊平台希望透過圖卡專區，將科普知識利用簡易明瞭的圖卡來呈現並宣導政府相關因應措施。目前共計有七大類 27 張圖卡，分別是跨部會因應類別之 7 張、氫科普小百科類別之 8 張、監測資訊類別之 5 張、日本與國際資訊類別之 6 張、擴散預報類別 1 張，而其他類別則後續增加。

### 影音專區

目前該網頁包括有海上偵測與取樣、為什麼要建立生物氫檢測技術、什麼是氫三支影片。海上偵測與取樣為實際出海取樣之作業攝影，而生物氫檢測技術及什麼是氫，則採用動畫之方式來說明該檢測流程與氫同位素之產生與氫元素之差異。

## 日本監測數據

點擊日本監測數據，則直接連結至日本環境省的福島含氚廢水環境監測資訊平台「ALPS Treated Water Marine Monitoring Information」(<https://shorisui-monitoring.env.go.jp/en/>)[9]。該網頁之監測結果源自東京電力公司、環境省、NRA、水產廳、福島縣政府等之海水、漁產等監測結果。

## 互動地圖

互動地圖網頁，該網頁目前提供「模式擴散」、「輻射監測」等二個功能選項。「模式擴散」目前提供表面海流預報、海表溫度遙測、浪高預報三模式，選擇欲觀看的模式後，相關資訊將呈現於地圖上。表面海流預報-HYCOM 模式之 7 天預報。而日本排放後之互動地圖中的擴散預報。另「輻射監測」目前預設顯示所有置於地圖中的監測結果，點選地圖上欲觀看的點位，即可於打開詳細監測結果。亦可選擇核種與量測對象，進一步查詢。查詢之數值顯示包括資料來源是採樣地點之經緯度、屬於哪一研究計畫、取樣時間、樣本類別(海水、沉積物或是生物樣，核種是氚或是銫)、取樣單位、取樣深度、核種濃度等資訊。

## 相關網站

相關網站主要連結與日本排放含氚廢水該海域計畫相關之網站，包括國際資訊之 IAEA、日本臺灣交流協會、東京電力公司之處理水入口網站，也包括國內之關聯部會，如漁業署輻射專區、中央氣象署、海委會之海域遊憩一站式網站及國海院海洋資料庫共享平台。

## 舉辦「原子 go 探險趣」+「行動科教館」科普展

另配合核安會舉辦之科普展覽，於 112 年 4 月 30 日至 5 月 1 日於花蓮縣立花崗國中舉辦「原子 go 探險趣」+「行動科教館」科普展，透過互動體驗的方式輕鬆了解原子能科技的知識與應用，以氚偵螢現、氚流不息-資訊不漏接為主題，宣傳生物氚檢測技術及資訊平台，讓民眾有一個大眾化的管道接觸專業知識，並推廣資訊公開平台，圖 3-107 及圖 3-108 為科普展照片及宣傳海報。



圖 3-107、原子能科普展

不分性別、族群  
大家一起來!

112年原子能科普展覽

花蓮愛科學

IBSSD 2022  
IBSSD 2022  
TAIWAN

# 原子GO 探險趣 × 行動科教館

活動時間  
**4/30-5/1 09:00-16:00**

花蓮花崗國中籃球場

**歡迎同學們  
來參觀拿禮物喔!**

- 只要填寫以下問題，即可至**服務台**兌換小禮物乙份喔!  
請問在展覽現場哪一攤位中有出現過輻射示警標誌呢?  
(回答1個攤位就可以囉!)
- 4/30-5/1於科普心情留言板前使用FB拍照打卡@粉專，再送超商飲料1杯及紀念品乙份!(現萃茶提貨卡，每日限量250杯)
- 現場還有闖關抽獎好禮等著你!  
追蹤 原能會 服務小站 即時收到  
好康活動喔!

活動現場蓋章  
兌換小禮物乙份

學校: \_\_\_\_\_  
性別: 女 男 其他

以上活動皆以現場公告為主!

主辦單位/ 行政院原子能委員會、 國立臺灣科學教育館、 花蓮縣政府教育處、 花蓮縣立花崗國民中學

圖 3-108、花蓮原子能科普展宣傳海報

## 【研究計畫三：放射性物質排放之 CFD 沿岸放流模式建立】

### 大尺度 CFD 模式

本項目年度工作規劃為以 SCHISM 開發本院自有之海洋擴散評估模式，參考由國際原子能總署(IAEA)第 10 工作小組主導之多國計算驗證案例 MODARIA，驗證比對本院所開發之海洋擴散評估模式，同時透過參考國際文獻與 MODARIA 案例，取得沉降、生物代謝等核種傳輸參數，提供給氣象署以精進擴散預報系統。

MODARIA 案例是以 2011 年 3 月 11 日日本福島第一核電廠因為海嘯造成備用發電機組失效而無法冷卻燃料棒，導致反應爐爐心熔毀而釋放大量鈉-137 的核事故為案例，將此事故所釋放鈉-137 作為射源項，在模式計算時使用相同的海流條件與不同的擴散模式，以模擬鈉-137 在福島核災發生後三年(2011/03-2014/03)內於北太平洋海域之傳輸情況，並將各國團隊所模擬的結果及量測值相互比對，來驗證所選擇擴散模式之正確性。



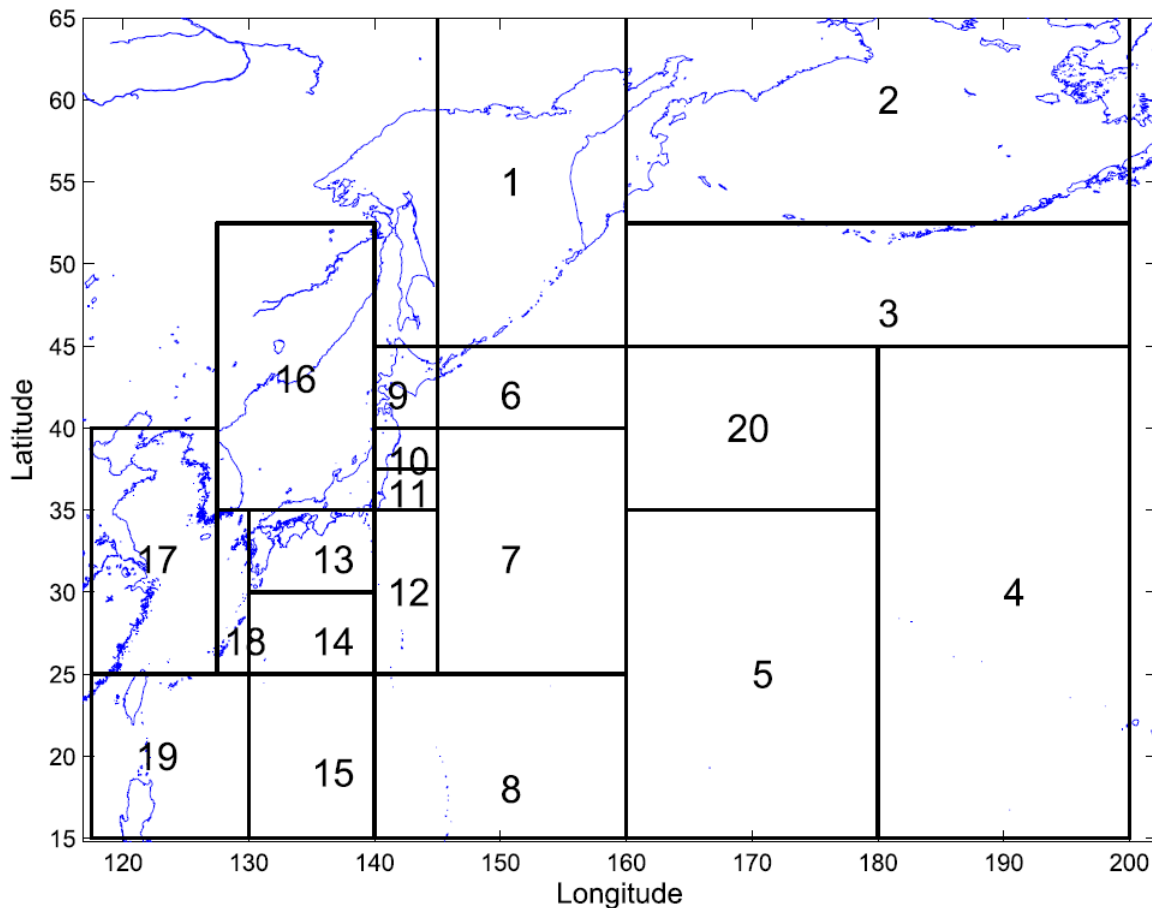


圖 3-109 MODARIA 案例的區域劃分

案例中模擬的區域涵蓋東經 117 度到西經 160 度，北緯 15 度到 65 度，並將此區域劃分為 20 個分區如圖 3-109[35,36]，而 MODARIA 案例中選擇的擴散模式有兩種模式，分別為尤拉(Euler)或拉格朗日(Lagrange)擴散模式，其中尤拉擴散模式是以濃度的角度來模擬放射性物質傳輸情況，而拉格朗日擴散模式是以顆粒擴散的角度來模擬放射性物質傳輸情況。

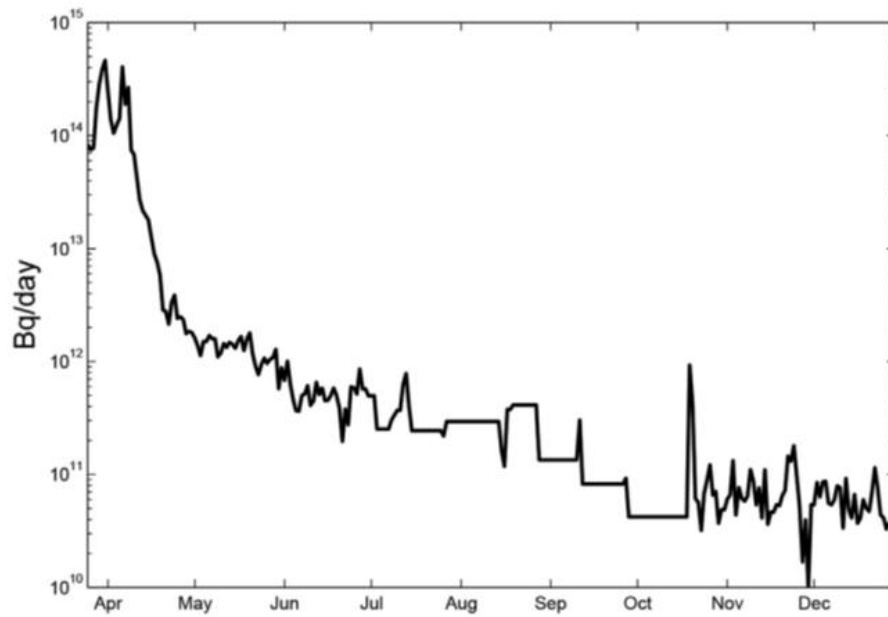
接著設定水平與垂直方向的擴散係數，以及考量不同生物攝取模型和吸附脫附相關參數，來模擬生物效應與沉積物吸脫附效應對鈉-137 濃度分布之影響。

而射源鈉-137 則由兩種方式釋放到北太平洋海域中，一種為直接釋放到北太平洋海域，另一種為藉由大氣沉降後釋放到北太平洋海域如圖 3-110[36]所示。

由各國團隊模式計算與實際量測結果比較，發現靠近福島第一核電廠的分區 10、11 在福島事故一開始所排放鈉-137 活度濃度最高，如圖 3-111 [36]所

示，濃度達到 10000 到 100000 Bq/m<sup>3</sup> 之間，推測原因為核電廠的鈉-137 直接排放與大氣沉降導致，而遠離核電廠的分區 6、7、9、12、13、14，在事故初期的鈉-137 活度濃度大約只有分區 10、11 的千分之一到萬分之一。

直接釋放



大氣沉降(2011年3月15日，單位Bq/m<sup>2</sup>，對數尺度)

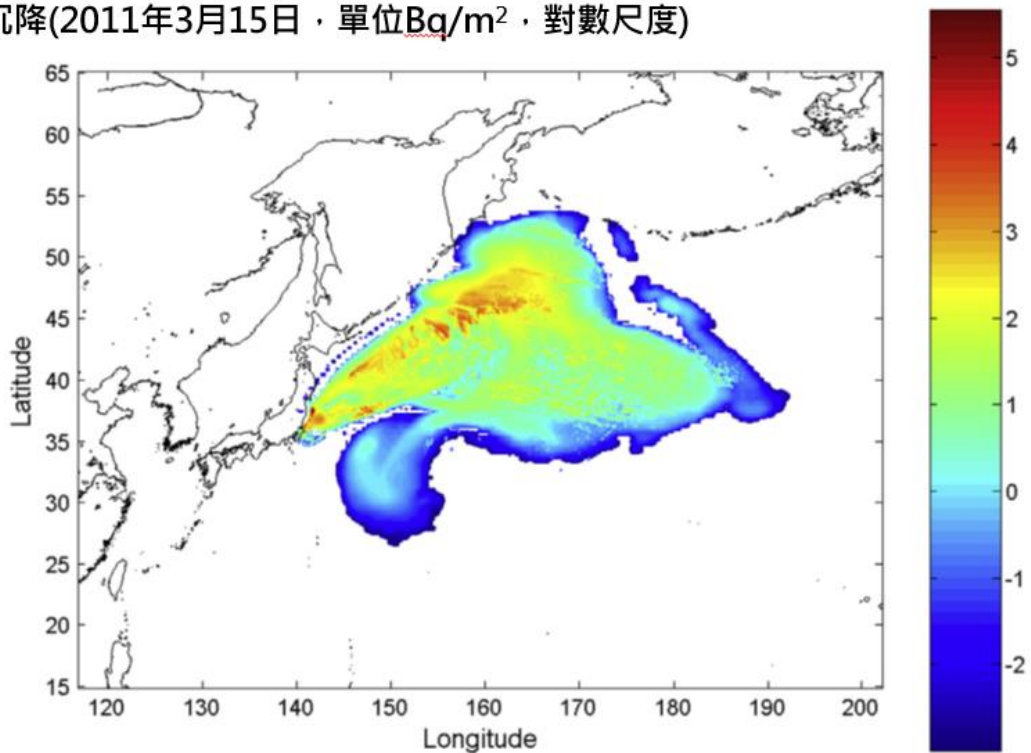


圖 3-110、射源鈉-137 的兩種釋放方式



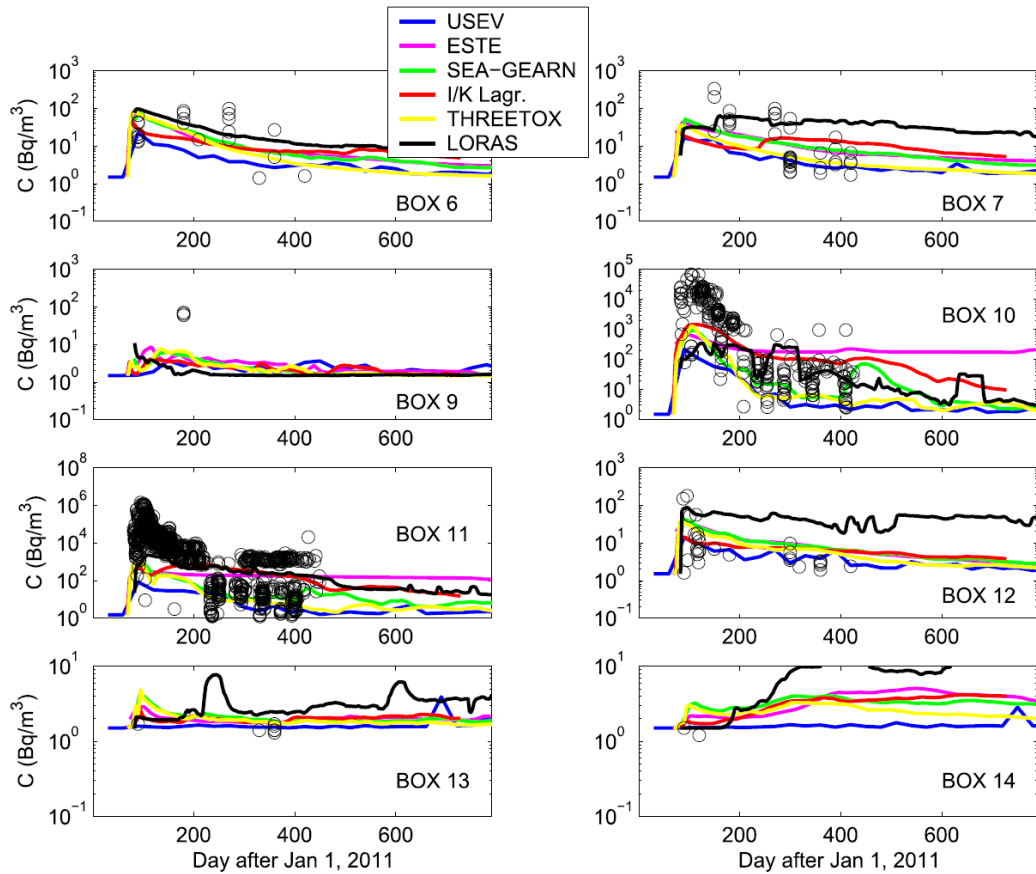


圖 3-111、海域各分區表層海水銫-137 活度濃度比較

為了與 MODARIA 案例相互驗證比對，本計畫劃分模擬區域之水平網格，選擇範圍為東經 105 度到 180 度，北緯 5 度到 65 度，其中涵蓋 MODARIA 案例中大部分分區，只有分區 4 沒有涵蓋與分區 2、分區 3 只涵蓋部分區域，因此在後續計算分區銫-137 平均濃度時會依照劃分區域修正其分區面積。

接著利用 SCHISM 使用非結構式網格的特性，調整不同區域的網格解析度，考量事故初期銫-137 主要洩漏區域之影響，將福島第一核電廠周圍海域解析度設定為 1 公里，而臺灣周圍海域的解析度為 5 到 10 公里，以及外部開放邊界解析度則為 30 公里。

並將 NOAA 資料庫中 ETOPO Global Relief Model 的解析度 1 公里海底深度地形資料 ETOPO 2022 Ice Surface (圖 3-112) [37] 匯入到水平網格後如圖 3-113 所示，其中網格包含了 406101 個節點與 804708 個元素。

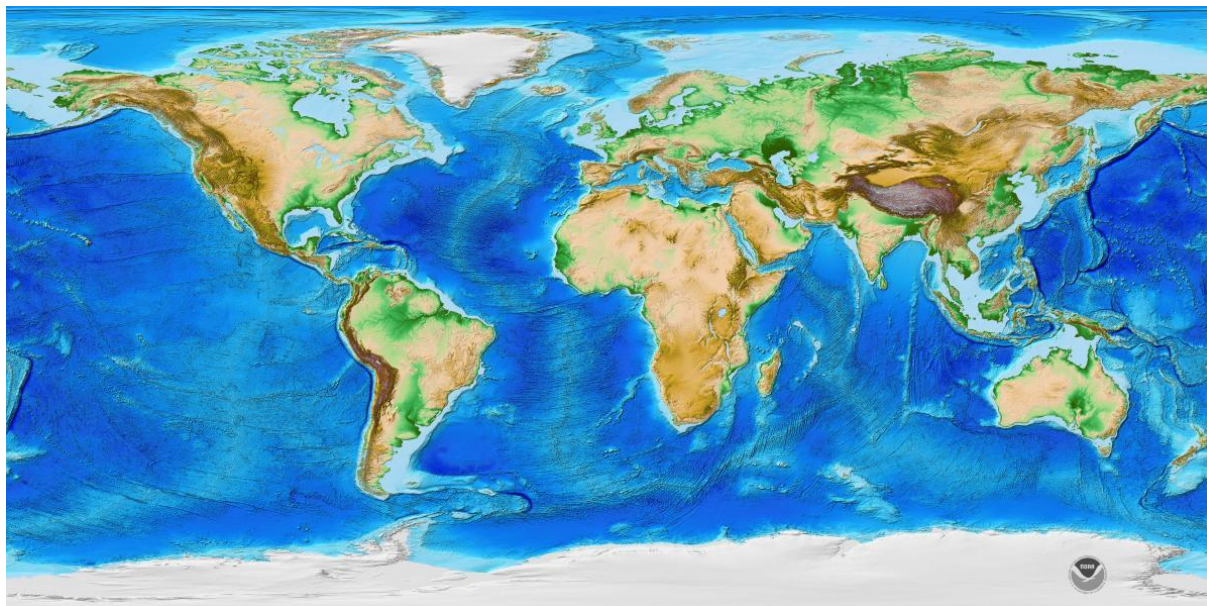


圖 3-112、ETOPO 2022 Ice Surface

垂直網格設定則使用LSC<sup>2</sup>[38]網格，將水深50公尺劃分5層，每層均為10公尺，而水深50公尺以下則依照垂直網格中各節點深度變化分割層數，總層數為37層，最大深度為10610公尺。

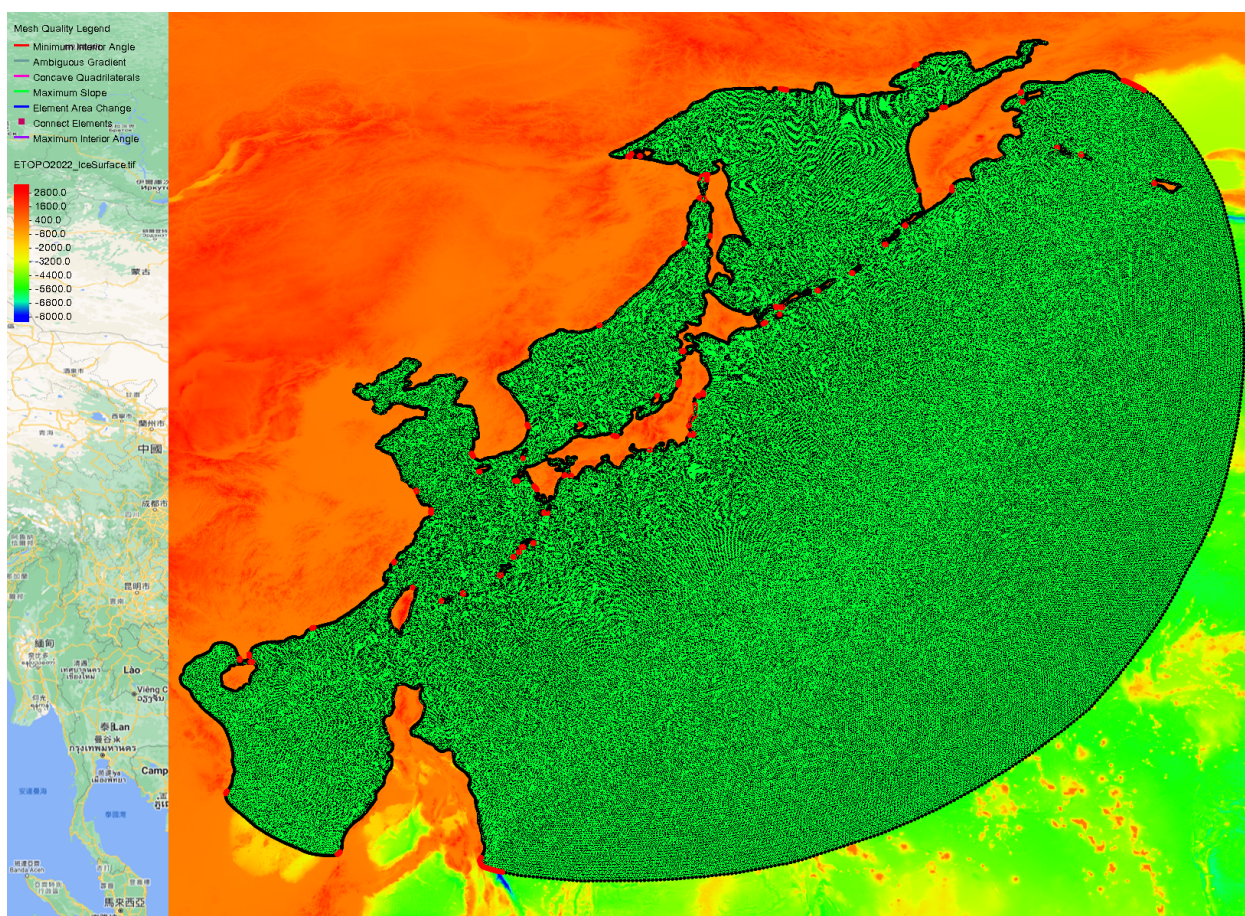


圖 3-113、模擬區域的水平網格(已匯入海底地形深度)



完成水平與垂直網格設定後，將潮汐場 FES2014 與 HYCOM 初始場匯入 SCHISM 中運跑，運跑時間設定為 2011 年 3 月 9 日開始，連續計算 12 天進行測試後，將海域表面高度、表面流速與表面海溫輸出以確認所匯入氣象場是否正常運作。

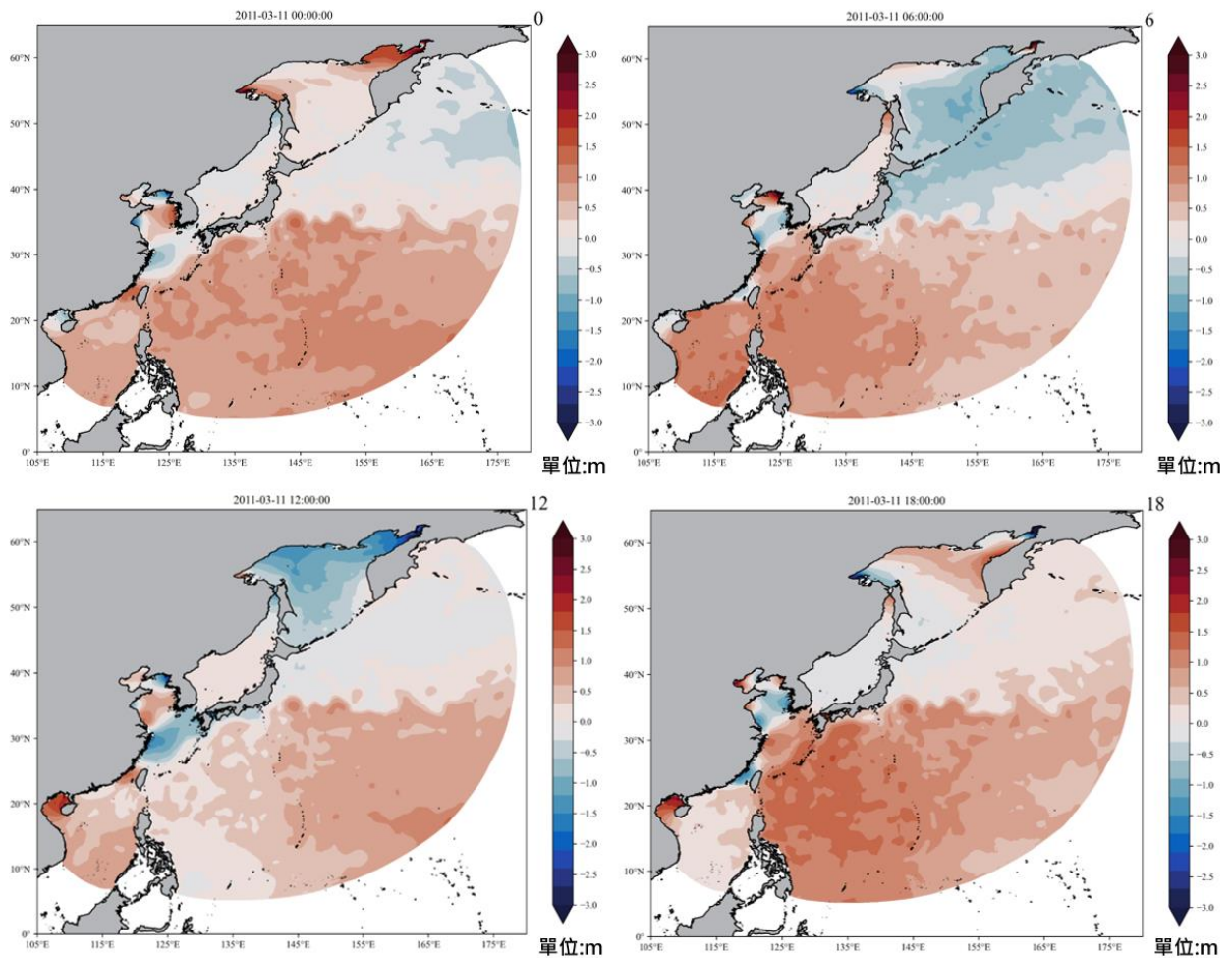


圖 3-114、3 月 11 日不同時間下的表面高度

其中運跑第 3 天的表面高度如圖 3-114，發現 2011 年 3 月 11 日每 6 小時的表面高度有週期性的變化，尤其在渤海灣、日本東岸與臺灣海峽的區域相當明顯，表示潮汐場 FES2014 確實匯入 SCHISM 中運作。

而第三天結果的表面流速如圖 3-115，在 2011 年 3 月 11 日每 6 小時的表面流速中發現大部分海域低於 0.6 m/s，但在臺灣東海岸和日本東海岸有流速比較快的洋流通過，其流速約為 1.5 m/s，而這流速較快的洋流則是由赤道往北流的黑潮，圖 3-7 中以箭頭來表示黑潮流動方向，說明黑潮是沿著

臺灣東岸、日本東岸向東流向太平洋海域。

黑潮實際流速一般介於 1 到 2m/s 之間，而 SCHISM 模擬計算出的表面流速與黑潮實際流速相當接近，表示 HYCOM 初始場也確實匯入 SCHISM 中運作。

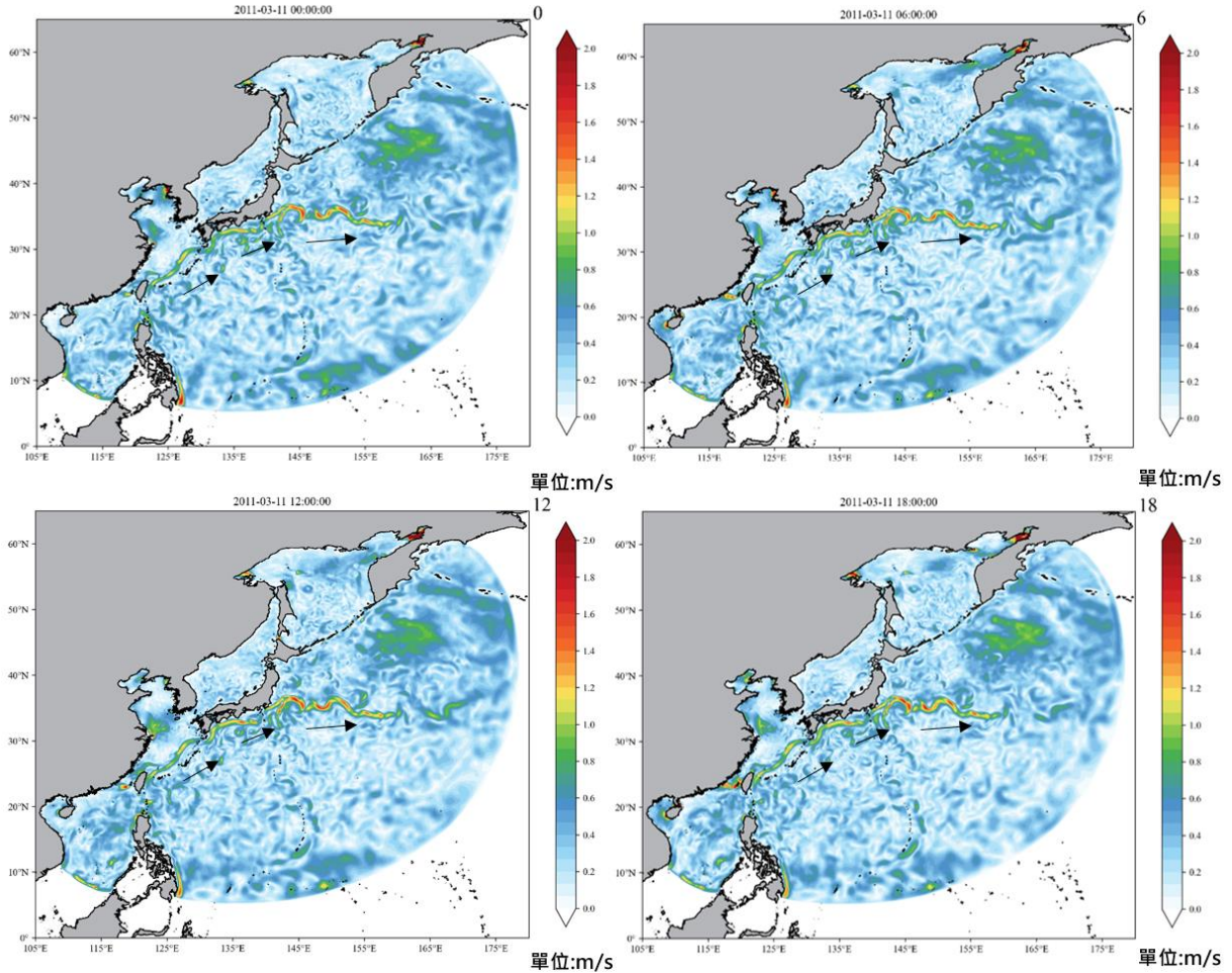
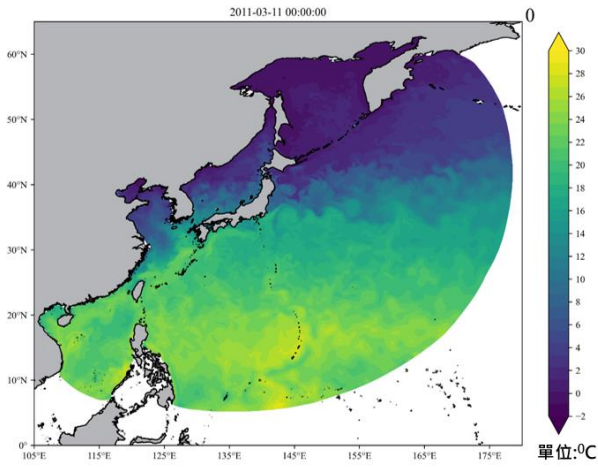


圖 3-115、3 月 11 日不同時間下的表面流速

除了表面高度與表面海流外，也將 SCHISM 計算後之表面海溫與 NOAA 資料庫的表面海溫 OISST 相互比較如圖 3-116，發現兩者的表面海溫在大部分海域都相當接近，初步確認 SCHISM 計算之正確性。

SCHISM



OISST

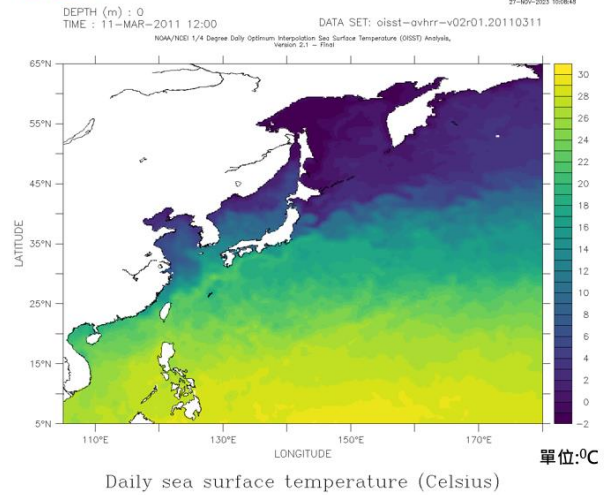


圖 3-116、表面海溫比較

初步完成 SCHISM 計算模式的測試後，接著將 2011 年 3 月到 2014 年 4 月之氣象場資料匯入 SCHISM 計算海流與海高，以及為了避免 SCHISM 運算之誤差隨時間變大而偏離實測值，將運跑之案例設計為間隔 60 天重新匯入新的氣象場資料來修正運算之誤差，設計方式如圖 3-117 所示。

若依照圖 3-117(a)的方式連續運跑 3 年，SCHISM 計算之誤差會隨時間持續變大，使結果偏離實測值，而以圖 3-117(b)的方式運跑，每隔 60 天運跑後重新匯入新的氣象場資料，降低 SCHISM 計算上的誤差。

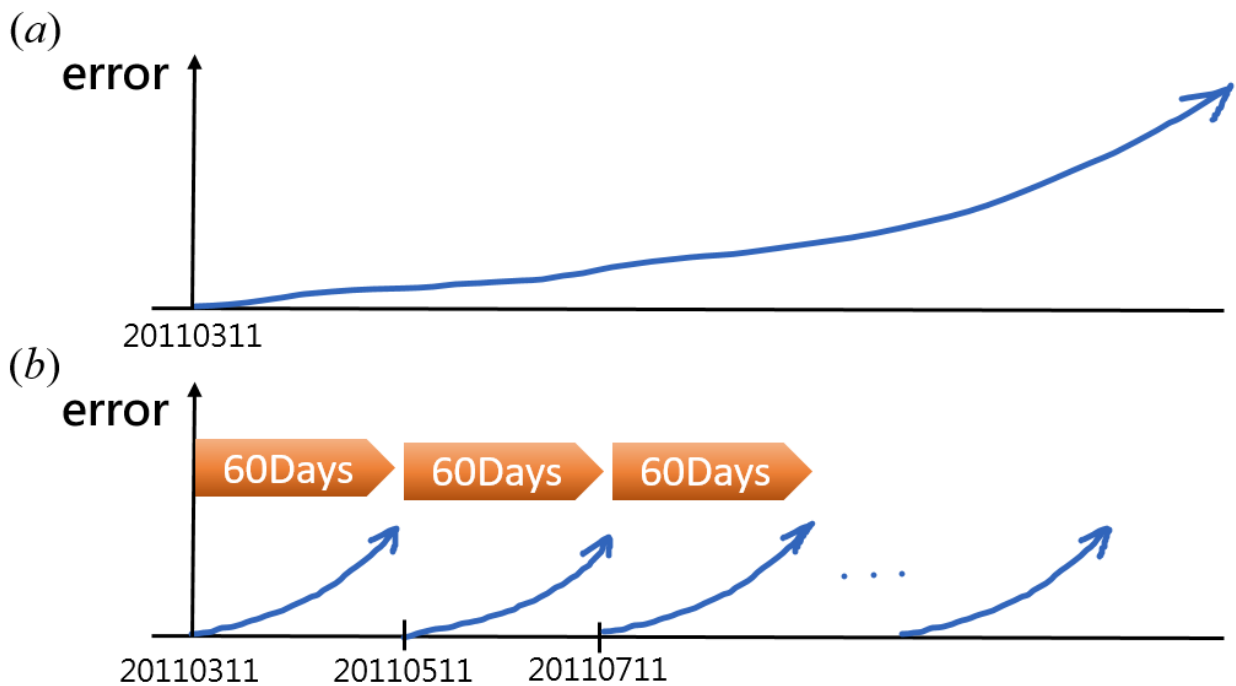


圖 3-117、案例運跑的設計方案



完成海流與海高的計算後，運跑顆粒軌跡追蹤模式時將投放點設定為福島第一核電廠的出水口，並以大氣沉降與直接排放海洋兩種方式投放顆粒，其中大氣沉降之鈾-137 濃度分布參考 MODARIA 案例，並調整經緯度解析度為 1 度如圖 3-118，沉降之活度為 14.9707 PBq[39]，於 2011 年 3 月 15 日 1 點一次投放，而直接排放海洋則參考津旨大輔教授團隊所發表文獻[40]，其中鈾-137 濃度變化如圖 3-119，以四個階段於 2011 年 3 月 26 日 1 點連續投放 341 天，排放至海洋活度為 3.5565 PBq，合計上述兩種方式總活度為 18.5272 PBq。

為了計算投放顆粒數目與每個顆粒所代表的活度值(Bq)，將每個顆粒的活度值(Bq)設定如下：

$$18.5272 \text{ PBq} = 1.85272 \times 10^{16} \text{ Bq} \div 185272 \text{ particle} = 10^{11} \text{ Bq/particle}$$

選擇投放顆粒數目為 185272 顆，每個顆粒的活度為  $10^{11}$  Bq，因此往後只要將分區內的顆粒數目乘上  $10^{11}$  Bq/particle，即可換算成活度值(Bq)。

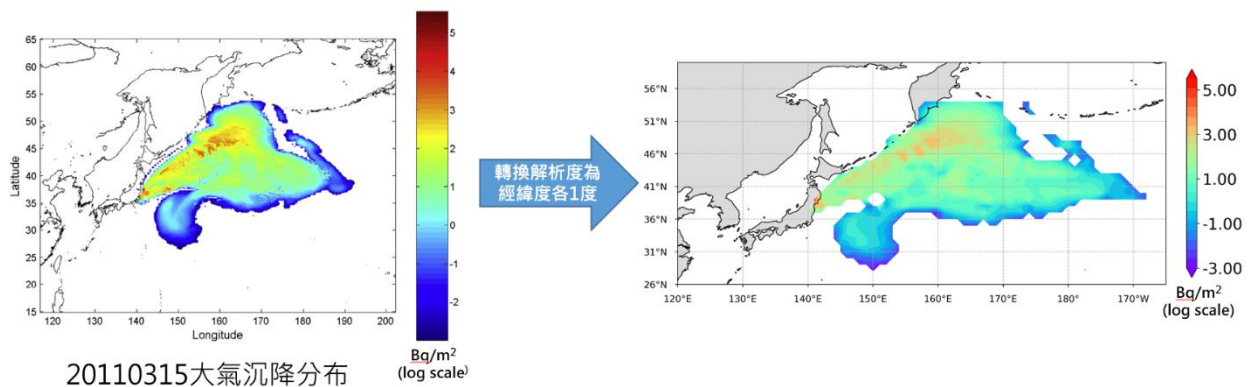


圖 3-118、大氣沉降至北太平洋之鈾-137 活度濃度分布

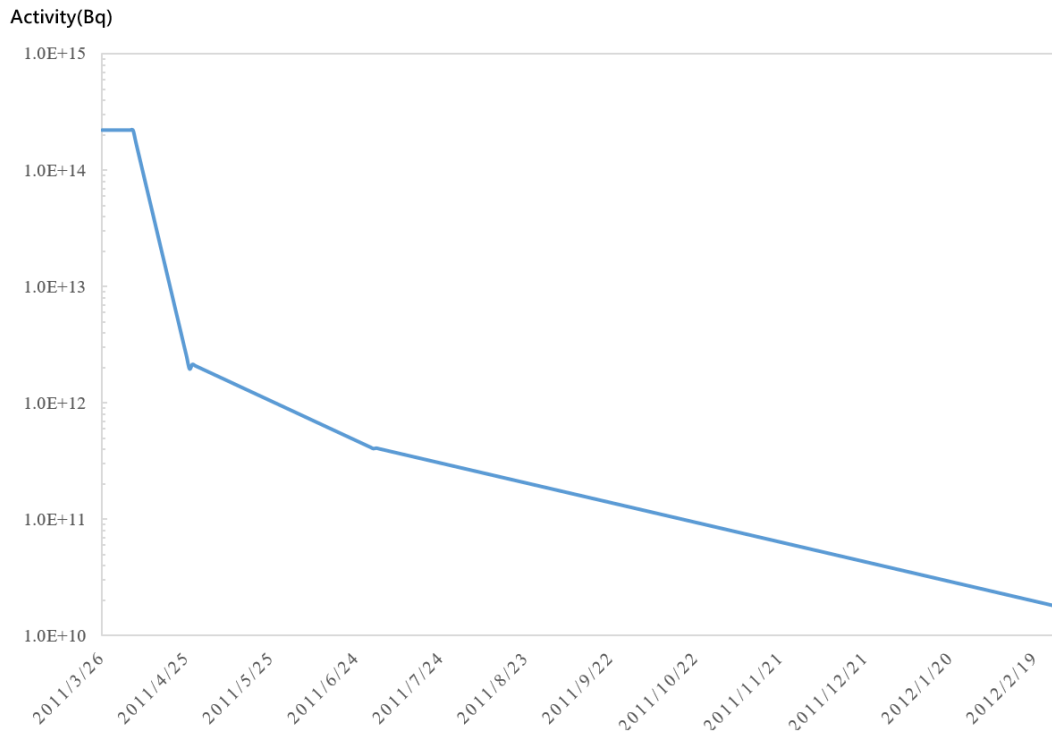


圖 3-119、排放至海洋之銫-137 活度濃度變化

運跑完顆粒軌跡追蹤模式後，利用定網格演算法來處理銫-137 活度濃度分布，透過設定網格解析度為經度與緯度各 0.5 度，深度為 2 公尺，將每個顆粒於不同時間下的位置在設定的網格中計算銫-137 平均活度濃度，其結果如圖 3-120 所示，在一開始大氣沉降後銫-137 會因為黑潮延伸流往東邊海域移動，之後再往整個北太平洋擴散。

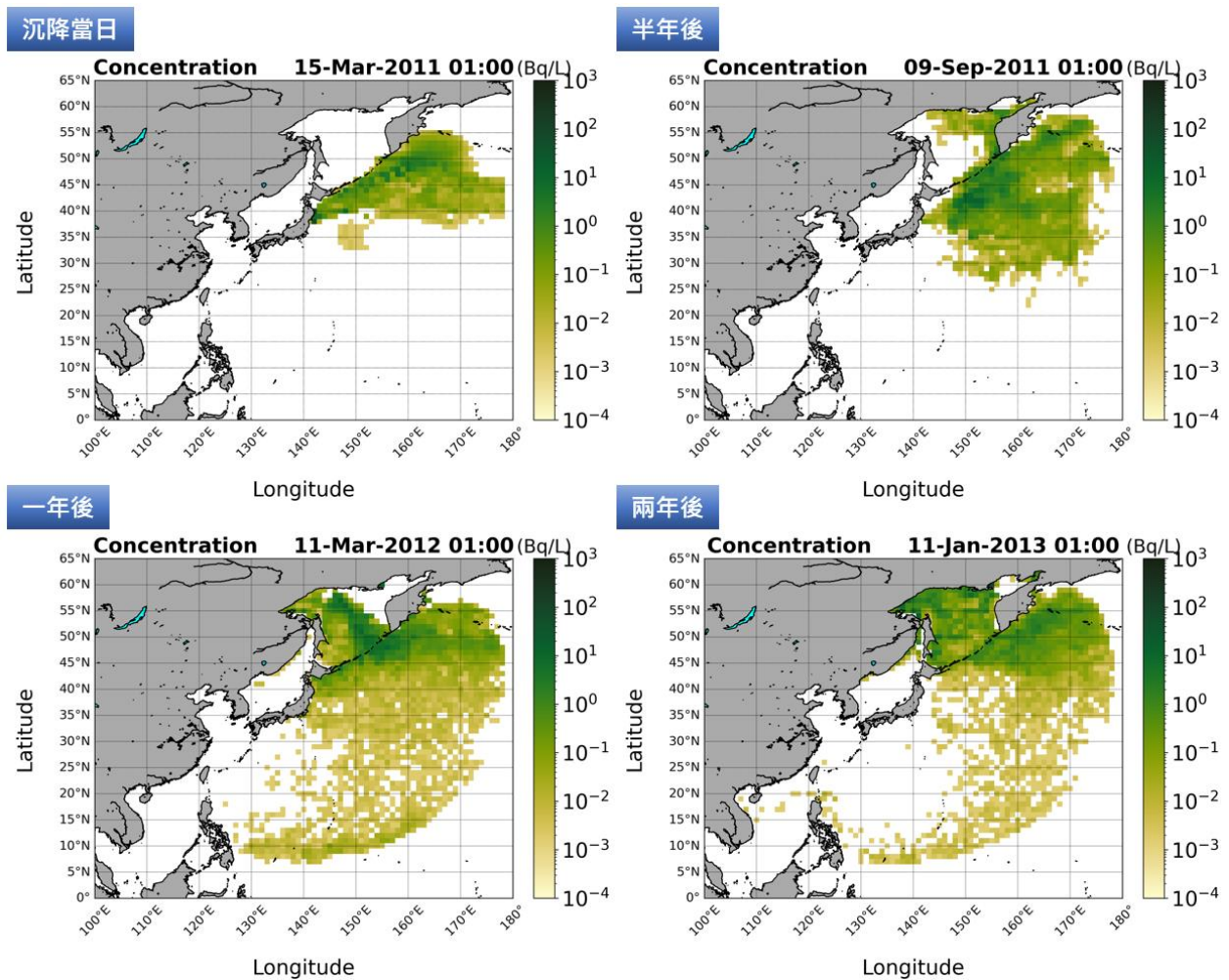


圖 3-120、定網格處理後銫-137 濃度變化

配合 MODARIA 案例作法，依時序分別統計海域不同區域的放射性物質濃度。為達此目的，需有效追蹤模擬完畢後各顆粒於不同時間點的位置資訊，以進行後續海域區域歸屬劃分，考量到要追蹤的顆粒數量眾多，故採用後處理程式來輔助進行海域分區的顆粒數統計分析。圖 3-109 為 MODARIA 案例範圍(黑色方框)及考慮本案例網格範圍後(圖 3-113)，所劃定的後處理程式統計範圍(圖 3-121 紅框)，除了分區 2、3、4 外，均與原先 MODARIA 案例劃分一致，而針對前述三區調整範圍後再計算濃度。



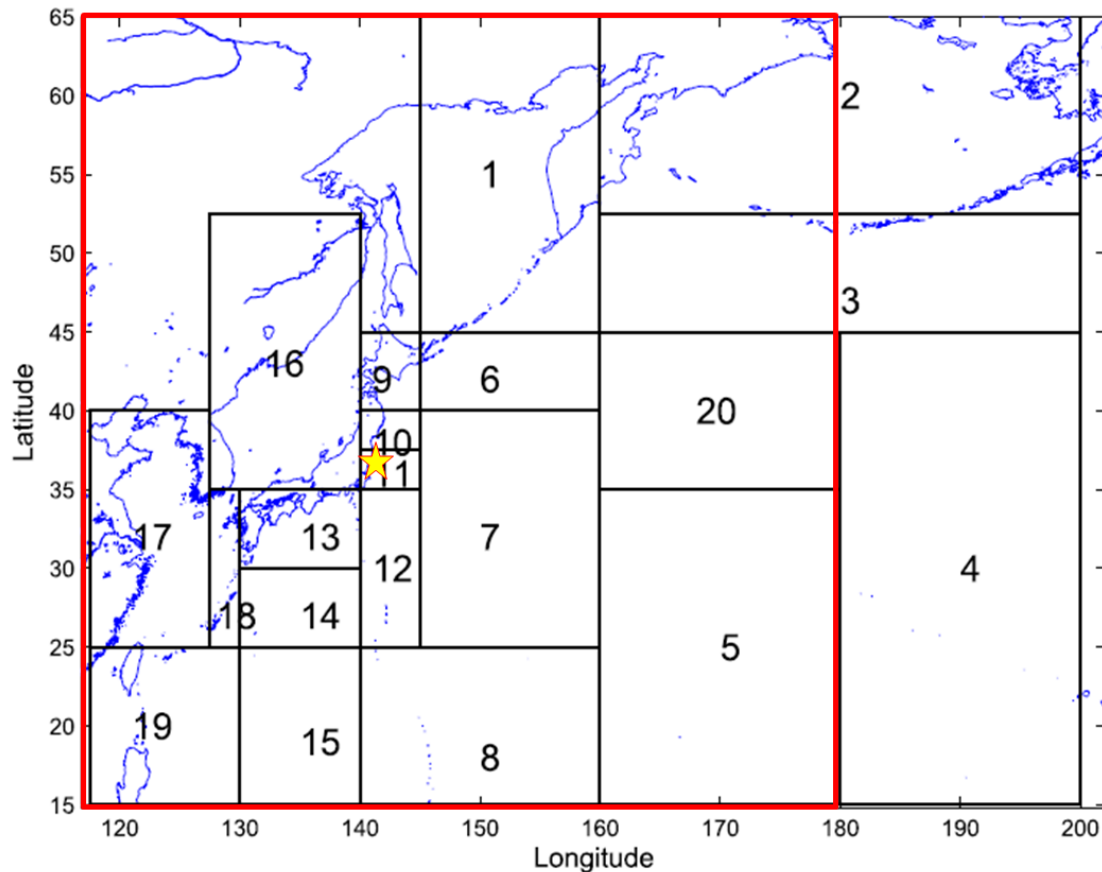


圖 3-121、MODARIA 案例海域分區及後處理程式計算範圍(紅框)

本後處理程式透過 Python 程式語言編寫，會根據顆粒軌跡追蹤計算後產生的 particle.pth 檔案資訊，以每小時為區間逐步統計各顆粒即時的所在區域，再進行計數加總，並輸出資料於 Excel 中彙整。圖 3-122 為後處理程式海域分區設定 Python 程式碼節錄，依據 MODARIA 案例依序畫分各區域的經緯度範圍，圖 3-123 為海域分區統計 Python 程式碼節錄，以判斷式來區分該顆粒在某特定時間點時所隸屬的海域分區。圖 3-124 為後處理程式執行時的視窗畫面，會以每小時為單位依據顯示各區域的顆粒數目統計，並輸出在 Excel 試算表中供後續計算使用。

```

with open(filename, 'r') as rf:
    rf.readline()
    tstep = int(rf.readline())
    j = 0

    ReleaseLat=37.42
    ReleaseLon=141.08

    Areal_E=160
    Areal_W=145
    Areal_N=65
    Areal_S=45

    #Area3_E=200
    Area2_E=180
    Area2_W=160
    Area2_N=65
    Area2_S=52.5

    #Area3_E=200
    Area3_E=180
    Area3_W=160
    Area3_N=52.5
    Area3_S=45

```

圖 3-122、海域分區設定 Python 程式碼(節錄)

```

n, x, xl, y, yl, d = re.findall(r"[+-]?\d+\.\d+|\d+", rf.readline())
lon.append(float(x)*10**int(xl))
lat.append(float(y)*10**int(yl))

if float(x)*10**int(xl) < Areal_E and float(x)*10**int(xl) > Areal_W and float(y)*10**int(yl) < Areal_N and float(y)*10**int(yl) > Areal_S:
    cnt1=1
else:
    cnt1=0
array1.append(cnt1)

if float(x)*10**int(xl) < Area2_E and float(x)*10**int(xl) > Area2_W and float(y)*10**int(yl) < Area2_N and float(y)*10**int(yl) > Area2_S:
    cnt2=1
else:
    cnt2=0
array2.append(cnt2)

if float(x)*10**int(xl) < Area3_E and float(x)*10**int(xl) > Area3_W and float(y)*10**int(yl) < Area3_N and float(y)*10**int(yl) > Area3_S:
    cnt3=1
else:
    cnt3=0
array3.append(cnt3)

```

圖 3-123、海域分區統計 Python 程式碼(節錄)

```

(base) D:\SCHISM\運跑結果\20230419_Modaria_FR_tide_hycom_CFSR_2+10>python tracer.py
2011-03-09 01:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 02:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 03:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 04:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 05:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 06:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 07:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 08:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 09:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 10:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 11:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 12:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 13:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26496 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 14:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 3 26493 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 15:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 4 26492 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 16:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 7 26489 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 17:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 11 26485 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 18:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 7 26489 0 0 0 0 0 0 0
2011-03-09 19:00:00 0 0 0 0 0 0 0 0 3 26493 0 0 0 0 0 0 0

```

圖 3-124、後處理程式執行畫面(節錄)

統計完每個分區顆粒數目後，乘上每個顆粒活度值  $10^{11}$  Bq，即可換算每個分區的活度值(Bq)，且顆粒軌跡追蹤模擬主要係針對表層海流的擴散計算為主，故在此我們以深度 2 公尺以內的淺部區域作為表層，並以 102 公里及 111 公里來大約換算 1 經度及 1 緯度之距離，藉此計算出海域各分區之表層海水體積( $m^3$ )，接著再與計算出來的活度值(Bq)相除，同時加入半化期濃度變化因子，計算出各分區銫-137 活度濃度變化情況( $Bq/m^3$ )。

本案例中選擇將銫-137 影響最為嚴重的分區 10 與分區 11，作為銫-137 活度濃度變化比對區域，其結果如圖 3-125 所示，圖中背景值為  $1.5 \text{ Bq/m}^3$ ，圓圈為實際量測值，可以發現藍線(本案例模擬結果)的趨勢與各國團隊所模擬結果趨勢一致，說明本院所建置海洋擴散計算模式與國際海洋模擬計算模式具有相同計算能力，亦能模擬大尺度範圍下放射性物質外釋擴散情況。

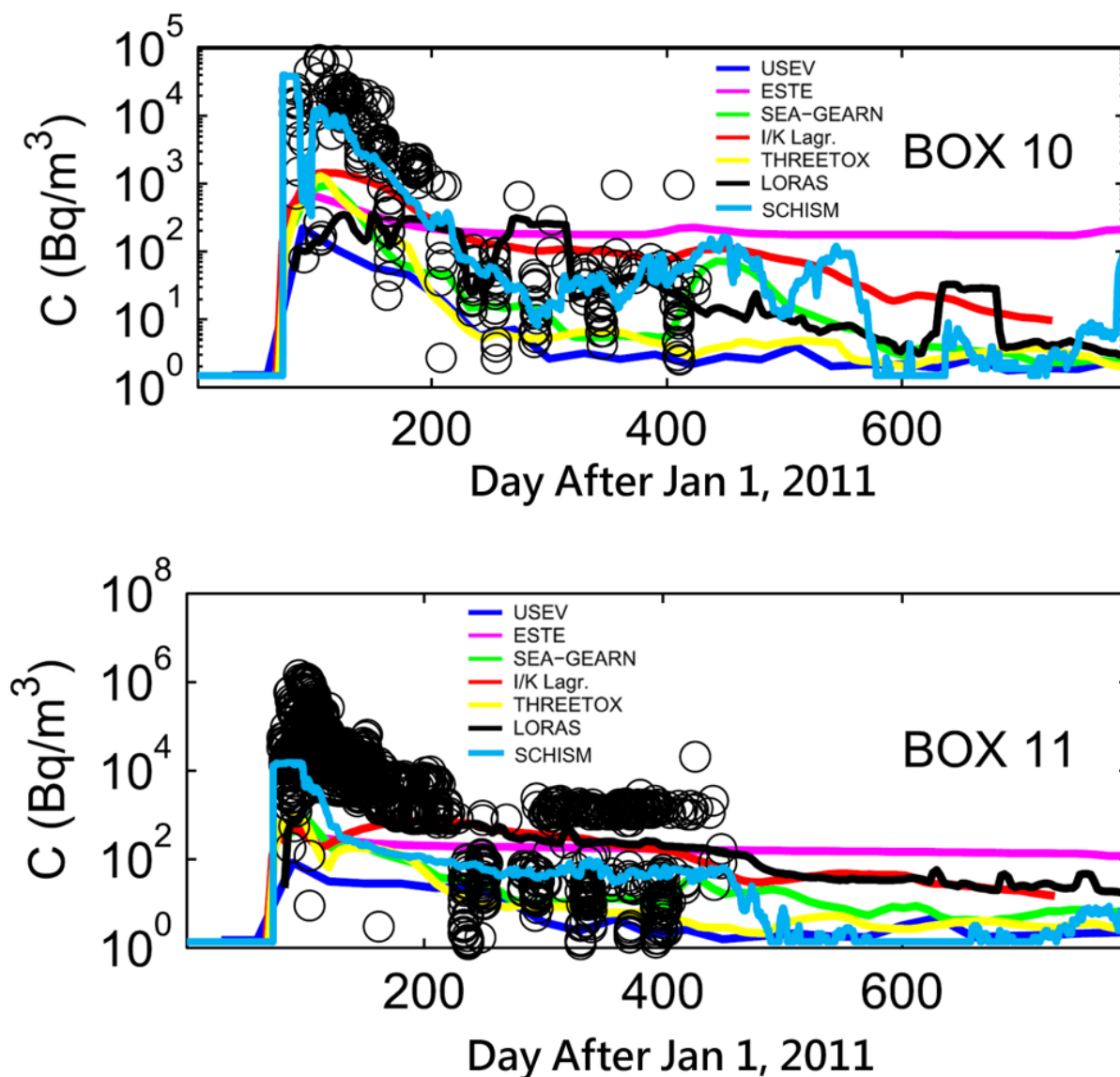


圖 3-125、分區 10 與分區 11 之表層海水銫-137 濃度變化情況

完成海洋擴散評估模式後需透過繁瑣的資料處理過程，才能將顆粒轉化成濃度並繪製相關趨勢圖表。為節省人力成本、避免處理過程之人為失誤風險，本團隊整合現有資料處理及繪圖後處理程式，開發了圖形使用者介面 (Graphical User Interface, GUI) 程式如圖 3-126，使用者可將 SCHISM 的

particle tracking 模組計算後產生之顆粒軌跡檔案 particle.pth 匯入，並選擇想要計算的核種並輸入初始活度(Bq)、表層深度(m)等條件，此程式會依條件計算分配係數、半化期等數值，並用定網格法將顆粒數轉化成活度濃度(Bq/m<sup>3</sup>)，並依據 particle.pth 內提供之各時段顆粒經緯度及深度位置，以 MODARIA 案例之分區(參考圖 3-121)進行各區域之顆粒數隨時間變化之數量統計，並轉化成活度濃度變化，使用者可在右側勾選想要呈現之海域分區，計算完畢後之結果將顯示在介面下方。

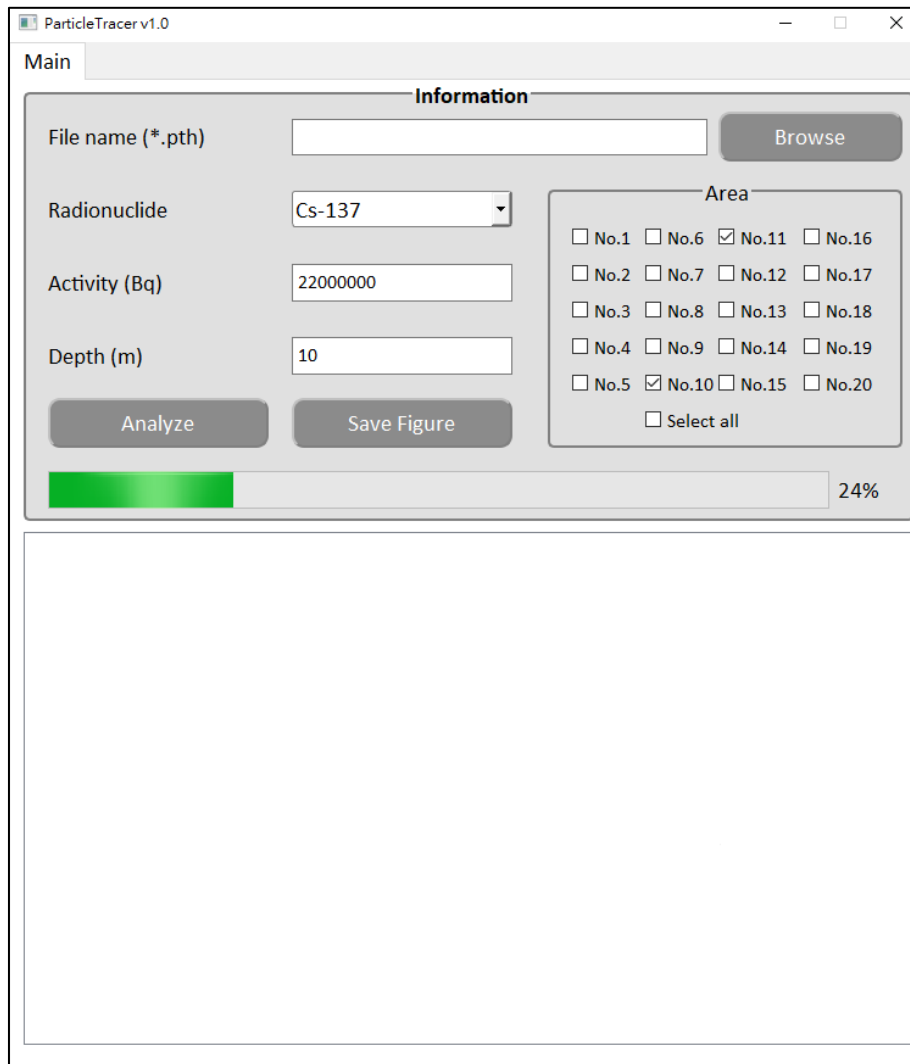


圖 3-126、圖形使用者介面

本計畫開發本院自有海洋擴散評估模式，從模擬區域水平網格與 LSC<sup>2</sup> 垂直網格劃分，到氣象場匯入與利用 SCHISM 所計算之表面高度、表面流速與表面海溫與實際情況比對初步檢驗 SCHISM 計算之正確性，以及運跑顆粒軌

跡追蹤模式時，利用大氣沉降與直接排放到海洋兩種射源作為投放顆粒來源，使用定網格演算法呈現銻-137 活度濃度於北太平洋海域之擴散情況。

同時開發海域分區後處理程式來統計投放顆粒的數量與所屬海域分區，假設投放顆粒之初始活度與加入半化期濃度因子來計算海域各分區的三年之平均活度濃度變化，將其結果與 MODARIAR 案例中各國團隊模擬結果比對，發現活度濃度變化趨勢一致，說明本院所建置海洋擴散計算模式與國際海洋模擬計算模式具有相同計算能力，亦能模擬大尺度範圍下放射性物質外釋擴散情況。

完成海洋擴散評估模式後，持續開發出結合各項放射性物質參數的視窗介面程式與更新海域分區後處理程式的功能讓使用者方便操作，完善海洋擴散評估模式之功能與使用上的方便性。

同時透過參考國際文獻與 MODARIA 案例，取得沉降、生物代謝等核種傳輸參數，整理成核種傳輸參數參考表一份提供給氣象署以精進擴散預報系統。

## 中小尺度 CFD 模式

本研究主要目的在於建立海洋污染物擴散評估數值模型，並以福島第一核電廠之 ALPS 處理水的排放問題做為分析對象，透過淺水波方程式解算沿岸區域的洋流變化，而污染物之擴散行為則是透過對流—擴散方程式描述，此外津旨大輔博士提供了本研究所需的數值地形、洋流以及海平面高度變化等資料。本文以氫水為例，執行了兩個相同排放條件但不同分析範圍的分析案例，研究結果顯示，在沿岸區域案例中，氫水的擴張範圍主要集中在沿岸區域附近，且分布範圍在南-北向之變化較東-西向來得劇烈，另外在監測區域內並未發現濃度累積的現象，其中濃度的三個高峰分別出現在第 65.51 天、第 244.2 天以及第 356.5 天，其值分別為 0.3363 Bq/L、0.3384 Bq/L 以及 0.3159 Bq/L，監測範圍內之年平均濃度計算結果為 0.1369 Bq/L，而津旨博士之分析結果則為

0.056 Bq/L，考量數值模式的差異，本研究與津旨博士皆認為此分析結果合理。另外在海港區域案例中，觀察海港內部氙水濃度變化發現海港具有在短時間內延緩氙水擴散的特性，由於海水皆經由外廓堤開口處進出，加上幾何效應以及海港內部海水對流效果不佳的影響，使得海水交換率受到影響，因此氙水在短時間內會在海港區域內累積，但隨時間的推移，污染物最終將在洋流的影響下被帶離海港；此案例在海港監測區域內計算所得之最大濃度出現在第 43.06 天，其值為 4.042 Bq/L，而年平均濃度計算結果則為 0.4450 Bq/L。

本研究使用 FLOW-3D 針對氙水排入海中之後的擴散行為以及其濃度變化過程進行了相關的評估工作，其中分析範圍內之洋流變化由淺水波方程式解算，而氙水於洋流中的對流以及擴散行為則透過對流—擴散方程式來描述，此外為驗證數值模型的合理性，津旨大輔博士提供了本研究所需的地形資料以及洋流和海平面高度邊界條件等資訊。

本研究執行了兩個案例分析工作，主要目的在於建立海洋污染物擴散評估數值模型，並驗證其合理性，其中沿岸區域案例之分析範圍介於  $37.344^{\circ}\text{N}$  至  $37.498^{\circ}\text{N}$  以及  $141.023^{\circ}\text{E}$  至  $141.177^{\circ}\text{E}$ ，網格尺寸為 55 m，此案例設置了一個  $10\text{ km} \times 10\text{ km}$  的污染物濃度監測區域，並藉此與津旨博士之計算結果進行驗證；另外海港區域案例之分析範圍則介於  $37.381^{\circ}\text{N}$  至  $37.479^{\circ}\text{N}$  以及  $141.023^{\circ}\text{E}$  至  $141.129^{\circ}\text{E}$ ，為探討海港外廓堤幾何對氙水擴散的影響，此案例重建了海港幾何數值檔案，與地形檔案一併進行分析，除此之外，為進一步了解氙水在分析範圍內各區域的濃度分布訊息，本案例包含海港區域，總共劃分了 26 個污染物濃度監測區域，並對污染物排放後濃度分布範圍、特定區域污染物之平均濃度以及特定位置之污染物濃度等計算結果進行了探討。

### 淺水波方程式

有別於經常應用於三維流場求解的納維爾-斯托克方程式(Navier-Stokes



equation)，淺水波方程式(shallow water equation)忽略了垂直方向的加速度，並透過靜水壓的假設將三維控制方程式降階成二維控制方程式求解，藉此近似三維流場並達到節省計算機資源之目的，因此，垂直方向之動量方程式可以假設其壓力為靜水壓力分佈來簡化，故包含自由液面之壓力表達式為

$$p = p_0 + \rho gH \quad \text{式(6)}$$

其中 $p_0$ 為自由表面的外部壓力， $\rho$ 為流體密度， $g$ 代表重力加速度，而 $H$ 則是網格底部到自由液面之間的高度。最後，淺水波模式之動量方程式寫為[3]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + \frac{\tau_{s,x} + \tau_{b,x}}{\rho d} + 2\Omega v \quad \text{式(7)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + \frac{\tau_{s,y} + \tau_{b,y}}{\rho d} - 2\Omega u \quad \text{式(8)}$$

上式中， $t$ 為時間， $\rho$ 為流體密度， $x$ 、 $y$ 代表空間座標，而 $V_F$ 、 $A_x$ 和 $A_y$ 分別為可以流動之流體的體積分比以及其在 $x$ 、 $y$ 方向之面積比， $u$ 、 $v$ 代表流體在 $x$ 、 $y$ 方向的深度平均速度， $p$ 為壓力場，而 $G_x$ 以及 $G_y$ 則為 $x$ 向以及 $y$ 向的體積力(body force)，另外式(7)以及式(8)忽略了水平面上的黏滯剪應力(viscous shear stress)，僅考慮垂直方向黏滯剪應力的深度平均(depth-averaged)效應， $\tau_{b,x}$ 以及 $\tau_{b,y}$ 為作用在流體底部之剪應力，而 $\tau_{s,x}$ 、 $\tau_{s,y}$ 則分別是在 $x$ 以及 $y$ 方向由風所引致的自由液面剪應力，最後 $d$ 則為水深，另外 $\Omega$ 則代表科氏力(Coriolis force)。其中 $\tau_{s,x}$ 、 $\tau_{s,y}$ 分別透過下式計算

$$\tau_{s,x} = \rho_a C'_D W_{10,x} \sqrt{W_{10,x}^2 + W_{10,y}^2} \quad \text{式(9)}$$

$$\tau_{s,y} = \rho_a C'_D W_{10,y} \sqrt{W_{10,x}^2 + W_{10,y}^2} \quad \text{式(10)}$$

式(9)以及式(10)假設風速的大小顯著地大於水流流動之速度，其中 $\rho_a$ 為空氣密度， $C'_D$ 代表風的阻力係數(drag coefficient)，一般而言為0.003，另外 $W_{10,x}$ 和 $W_{10,y}$ 則分別為自由液面上方10公尺處在 $x$ 方向和 $y$ 方向之風速。另外考慮紊流(turbulent flow)問題，由於解算淺水波方程式時並不會使用到紊流模型，因此作用在流體底部的剪應力透過下式表達

$$\tau_{b,x} = -\rho C_D u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \text{式(11)}$$

$$\tau_{b,y} = -\rho C_D v \sqrt{u^2 + v^2} \quad \text{式(12)}$$

其中 $C_D$ 為阻力係數，在 FLOW-3D 中，阻力係數可以使用預設值 0.0026 或透過下式定義

$$C_D = \left[ \frac{\kappa}{B + \ln(z_0/d)} \right]^2 \quad \text{式(13)}$$

上式中 $\kappa$ 為馮卡門(Von Karman)常數，其值為 0.4，B 為常數 0.71，而 $z_0$ 則定義為 $\kappa_s/30$ ，其中 $\kappa_s$ 為表面粗糙度(surface roughness)。除了紊流問題之外，對於層流(laminar flow)問題，底部剪應力改以下式計算

$$\tau_{b,x} = -k_\mu \mu \frac{u}{d/2} \quad \text{式(14)}$$

$$\tau_{b,y} = -k_\mu \mu \frac{v}{d/2} \quad \text{式(15)}$$

其中 $\mu$ 為動力黏滯係數(dynamic viscosity)，此外為了填補淺水波方程式之解算結果在垂直方向速度資料的不足，FLOW-3D 使用垂直黏度乘子 $k_\mu$ 描述垂直方向之速度剖面，對於穩態的剪力流，可以使用二次速度剖面描述，此時 $k_\mu$ 的理論值為 1.5。最後在式(7)以及式(8)中考慮到地球自轉的科氏力可以下式計算

$$\Omega = \Omega_e \sin\varphi \quad \text{式(16)}$$

其中 $\Omega_e$ 為地球角速度其值為 $7.29 \times 10^{-5}$  (rad/s)，而 $\varphi$ 則為計算域之平均緯度，當計算域位於北半球時其值為正，反之為負值。

## 擴散-對流方程式

對流-擴散方程式(advection-diffusion equation)根據流場的計算結果解算溶質在不同的時間及位置下之濃度變化，其中分別包含對流項以及擴散項，對流項描述溶劑分子的運動對溶質的影響，而擴散項用於描述溶質濃度梯度所引起的擴散現象。其控制方程式描述了上述現象的綜合效應，寫為[3]



$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( uA_x \frac{\partial C}{\partial x} + vA_y \frac{\partial C}{\partial y} + wA_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) = \frac{1}{V_F} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( A_x D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A_y D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( A_z D \frac{\partial C}{\partial z} \right) \right] + C_{SOR} \quad \text{式(17)}$$

上式等號左邊第二項稱為對流項，等號右邊則稱為擴散項，而式中 C 則代表濃度，其定義為每單位流體體積的質量，另外 D 以及 C<sub>SOR</sub> 分別為擴散係數(diffusion coefficient)和源項(source term)，在一般的案例中，溶質隨著溶劑流動的方向移動，並且根據擴散係數的大小來決定擴散程度，溶質本身並不會影響溶劑的流動，因此不需考慮混和後溶液的黏滯係數變化，在 FLOW-3D 中，擴散係數寫為

$$\rho D = \text{RMSC} \cdot \mu + \text{CMSC} \quad \text{式(18)}$$

其中 RMSC 為紊流擴散乘子，用於描述紊流引致的擴散，其值介於 0 到 1 之間，大於 1 則無物理意義，而 CMSC 則為分子擴散係數。但是有時溶質可能具有影響溶劑流動的特性，例如密度、黏度、彈性模數或降伏應力等，因此當溶質的加入可能影響原本流體的流動特性時，混合後的溶液其黏滯係數需透過質量平均來計算，其計算方式如下

$$\mu_{mix} = \frac{\rho\mu + \sum_i (C_i \mu_{c_i})}{\rho + \sum_i C_i} \quad \text{式(19)}$$

上式中  $\rho$  和  $\mu$  分別為溶劑的密度以及黏滯係數， $C_i$  和  $\mu_{c_i}$  則分別為第  $i$  個溶質的密度以及黏滯係數。

## 案例分析

### 邊界條件及參數

本研究使用淺水波方程式計算流場在不同位置與時間中的變化，而污染物的擴散及對流行為則透過擴散-對流方程式解算，另外邊界條件及相關參數將於本節說明，包括數值分析中使用之計算參數、數值地形資料、洋流以及海平面高度變化資料。其中計算參數說明了在東京電力公司使用的污染物排放限值條件下，污染物體積流率及其排放濃度的計算方式，並且列出了在案例分析中所使用的計算參數；而地形、洋流以及海平面高度資料則是由津旨大輔(Daisuke Tsumune)博士提供，其中洋流和海平面高度資料來自津旨博士透過 Regional Ocean Model System(ROMS)評估 ALPS 處理水排放後對環境之放射性影響研究成果 [1]，上述資料之時間區間從 2019 年 1 月到 12 月。

### 計算參數

根據東京電力公司響應日本政府政策所訂定的具體實施項目，氬水每年排放上限為 22 兆貝克，即  $2.2 \times 10^{13}$  Bq/yr，而排放活度上限則為 1500 Bq/L，此外，本研究透過氬的比活度(specific activity)對污染物活度進行換算，進而得到適用於 FLOW-3D 的污染物排放濃度設定，其中，氬的比活度為  $3.56 \times 10^{14}$  Bq/g，因此根據污染物活度以及排放率可以計算出對應的污染物體積流率

$$volume\ flow\ rate \left[ \frac{m^3}{s} \right] = \frac{697152 \left[ \frac{Bq}{s} \right]}{1500000 \left[ \frac{Bq}{m^3} \right]} = 0.465 \quad \text{式(20)}$$

另外排放濃度可依下式計算

$$concentration \left[ \frac{kg}{m^3} \right] = \frac{1500000 \left[ \frac{Bq}{m^3} \right]}{3.56 \times 10^{17} \left[ \frac{Bq}{kg} \right]} = 4.2 \times 10^{-12} \quad \text{式(21)}$$

故本研究使用排放口污染物之濃度以及體積流率(volume flow rate)分別為  $4.2 \times 10^{-12}$  kg/m<sup>3</sup> 以及 0.465 m<sup>3</sup>/s。除此之外，本研究所使用之其他計算

參數則列於表 3-20 之中。

表 3-20、分析案例計算參數表

參數	說明	值	單位
$V_f$	污染物體積流率	$4.2 \times 10^{-12}$	$\text{kg/m}^3$
$C$	排放濃度	0.465	$\text{m}^3/\text{s}$
$\rho_w$	海水密度	1030	$\text{kg/m}^3$
$\mu_w$	海水黏滯係數	$1.002 \times 10^{-3}$	$\text{kg/m-s}$
CMSC	污染物之分子擴散係數 (molecular diffusion coefficient)	100	$\text{kg/m-s}$
$\phi$	分析區域緯度	37.5	$^\circ$
$\Omega_e$	地球角速度	$7.29 \times 10^{-5}$	$\text{rad/s}$

## 地形資料

本研究執行了兩種不同分析範圍的案例，分別為沿岸區域案例以及海港區域案例，其中沿岸區域案例之地形資料在歐洲石油調查小組 (European Petroleum Survey Group, EPSG) 座標系統編號 4326 (EPSG 4326) 的描述下，分析範圍介於  $37.344^{\circ}\text{N}$  至  $37.498^{\circ}\text{N}$  以及  $141.023^{\circ}\text{E}$  至  $141.177^{\circ}\text{E}$  之間，但是為滿足分析軟體之卡式座標系統，本研究將原本藉由橢球坐標系統描述之地形資料轉換為平面座標系統 EPSG 3857，經過轉換，分析範圍 X 座標介於 15698596.181 m 至 15715767.203 m 之間，Y 座標則介於 4487135.811 m 至 4508750.767 m 之間；另外，在沿岸區域案例中的排放口以及污染物濃度監測範圍之角隅位置標記於圖 3-127 之中，其中排放口位置的 X、Y 座標分別為 15701204 m 以及 4499208 m，而 P1 和 P3 座標則分別為 (15699820 m, 4492327 m) 以及 (15710423 m, 4502336 m)，因此在沿岸區域案例中的污染物濃度監測範圍尺度為 10.6 km  $\times$  10.0 km；圖 3-128 則繪製了分析範圍內之海底地形等高線圖，其中 0 m 等高線代表陸地與海洋之邊界，整體而言海底地形之深度隨著離岸距離的增加而增加，但最大值出現在右下角附近，其值為 -65 m。

海港區域案例之地形資料在 EPSG 4326 座標系統下的範圍介於  $37.381^{\circ}\text{N}$  至  $37.479^{\circ}\text{N}$  以及  $141.023^{\circ}\text{E}$  至  $141.129^{\circ}\text{E}$  之間，如圖 3-129 所示，同樣經轉換後在 EPSG 3857 座標系統下之 X 座標介於 15698596.181 m 至 15710408.416 m 之間，Y 座標則介於 4492347.170 m 至 4506085.189 m 之間，同樣地，與之對應的海底地形等高線圖會於圖 3-130，分析範圍內的海底最大深度約為 35 m。

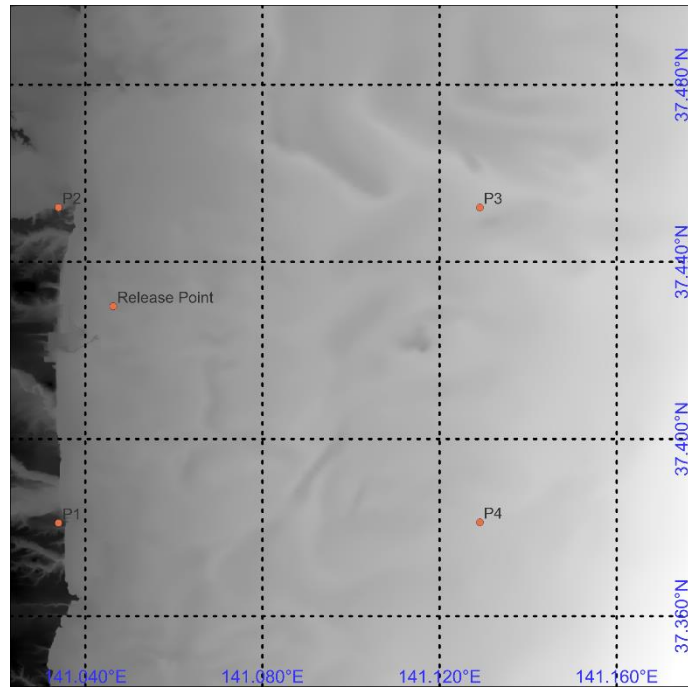


圖 3-127、沿岸區域案例之地形數值檔範圍及排放口位置

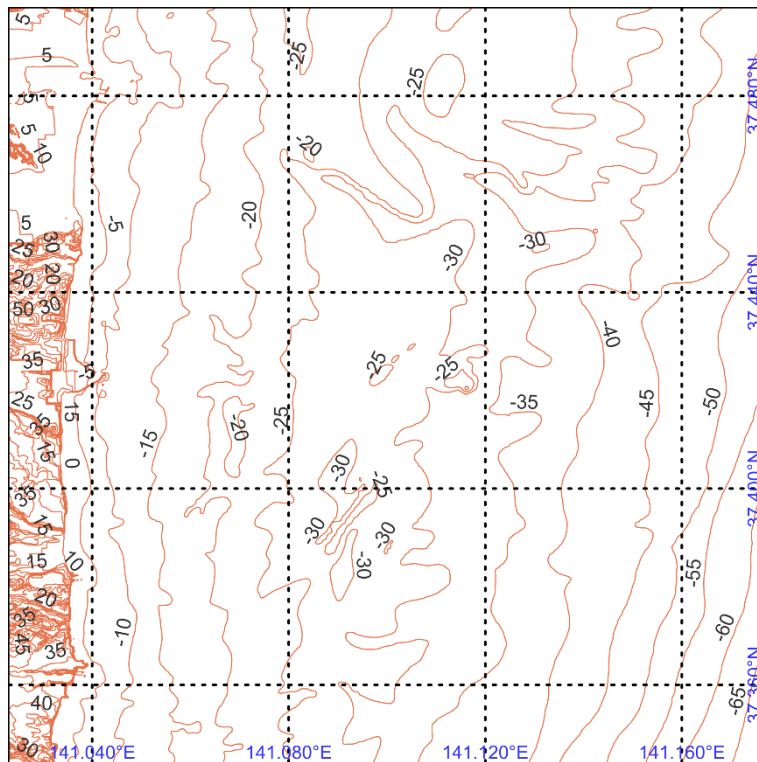


圖 3-128、沿岸區域案例地形等高線

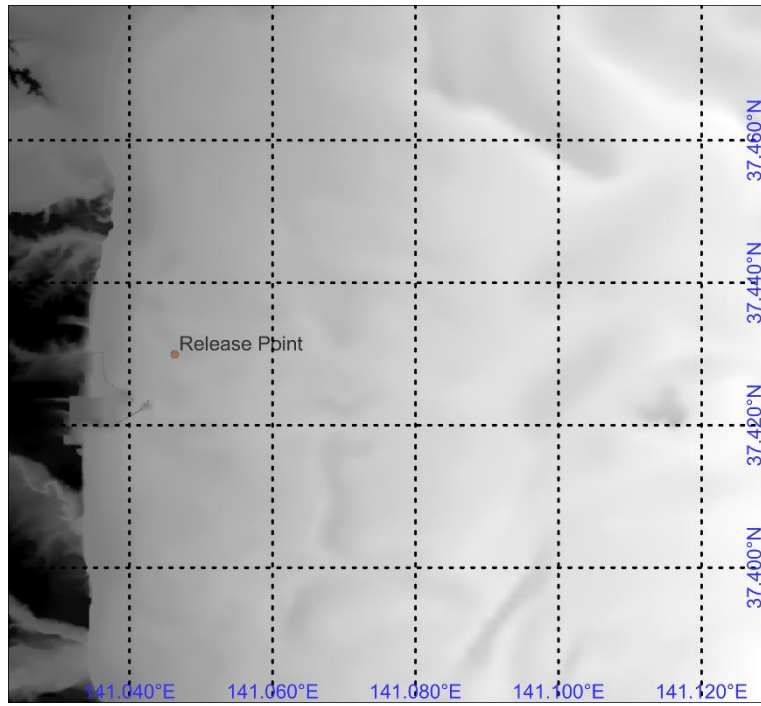


圖 3-129、海港區域案例之地形數值檔範圍及排放口位置

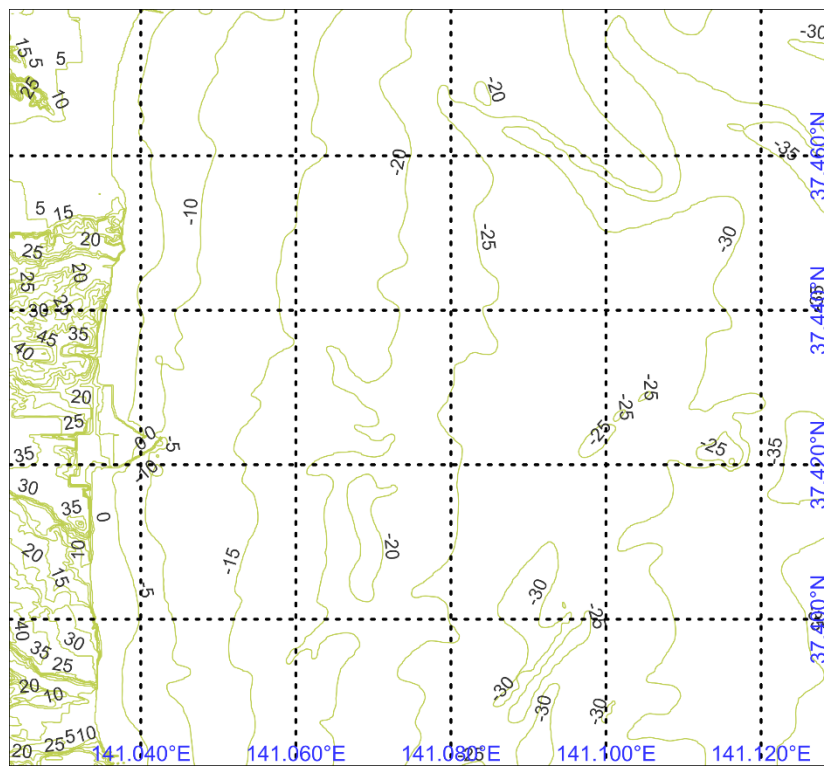


圖 3-130、海港區域案例地形等高線

### 4.2.1.3 洋流及海高

本研究東-西向洋流資料之範圍介於  $37.342^{\circ}\text{N}$  至  $37.508^{\circ}\text{N}$  以及  $141.013^{\circ}\text{E}$  至  $141.196^{\circ}\text{E}$  之間，而南-北向洋流資料則介於  $37.338^{\circ}\text{N}$  至  $37.513^{\circ}\text{N}$  以及  $141.017^{\circ}\text{E}$  至  $141.192^{\circ}\text{E}$  之間，洋流與地形資料疊合之結果分別如圖 3-131 以及圖 3-132 所示，其空間解析度皆為 1 km，從圖中可以發現計算域邊界並未與洋流資料點重合，因此本研究使用計算域邊界附近之洋流資料作為指定速度邊界條件之輸入。以圖 3-131 之北面洋流資料為例，在沿岸區域案例中使用格點編號 86、107、128、...、359、380 以及 401 之資料作為洋流邊界條件輸入，而海港區域案例則使用 47、68、89、...、257、278 以及 299 之資料作為輸入，其中各格點編號與經緯度關係詳列於表 3-21 之中；另外沿岸區域案例與海港區域案例在東面和南面所使用的東-西向洋流參數之格點編號以及經緯度關係則分別列於表 3-22 以及表 3-23 中。同樣地，南-北向洋流與地形資料疊合結果如圖 3-132 所示，而不同分析案例在北、東以及南面輸入之洋流資料格點編號及經緯度關係則列於表 3-24、表 3-25 以及表 3-26 之中。

圖 3-133 以及圖 3-134 分別為沿岸區域案例在北面的東-西向以及南-北向洋流歷時變化，從圖中可以發現南-北向洋流之流速大於東-西向洋流的 2 到 3 倍之間，比較其他位置的洋流歷時變化如圖 3-135 至圖 3-138 仍然可以發現相同現象，這表示整體而言洋流在南-北向的動量大於東-西向，因此可以預期污染物在南-北方向的變化將較東-西向來的劇烈。除了沿岸區域案例之外，在圖 3-139 到圖 3-144 的海港區域案例之洋流歷時變化同樣可以發現相同現象。



表 3-21、東-西向洋流資料於北面之格點編號與經緯度關係

東-西向洋流(北面)					
沿岸區域案例			海港區域案例		
格點編號	經度 lon	緯度 lat	格點編號	經度 lon	緯度 lat
86	141.0459	37.50007	47	141.0293	37.47508
107	141.0543	37.50007	68	141.0376	37.47508
128	141.0626	37.50007	89	141.0459	37.47508
149	141.0709	37.50007	110	141.0543	37.47508
170	141.0792	37.50007	131	141.0626	37.47508
191	141.0876	37.50007	152	141.0709	37.47508
212	141.0959	37.50007	173	141.0792	37.47508
233	141.1042	37.50007	194	141.0876	37.47508
254	141.1126	37.50007	215	141.0959	37.47508
275	141.1209	37.50007	236	141.1042	37.47508
296	141.1292	37.50007	257	141.1126	37.47508
317	141.1376	37.50007	278	141.1209	37.47508
338	141.1459	37.50007	299	141.1292	37.47508
359	141.1542	37.50007			
380	141.1625	37.50007			
401	141.1709	37.50007			

表 3-22、東-西向洋流資料於東面之格點編號與經緯度關係

東-西向洋流(東面)					
沿岸區域案例			海港區域案例		
格點編號	經度 lon	緯度 lat	格點編號	經度 lon	緯度 lat
423	141.1792	37.49174	310	141.1292	37.38345
424	141.1792	37.48341	309	141.1292	37.39178
425	141.1792	37.47508	308	141.1292	37.40011
426	141.1792	37.46675	307	141.1292	37.40844
427	141.1792	37.45842	306	141.1292	37.41677
428	141.1792	37.45009	305	141.1292	37.4251
429	141.1792	37.44176	304	141.1292	37.43343
430	141.1792	37.43343	303	141.1292	37.44176
431	141.1792	37.4251	302	141.1292	37.45009
432	141.1792	37.41677	301	141.1292	37.45842
433	141.1792	37.40844	300	141.1292	37.46675
434	141.1792	37.40011	299	141.1292	37.47508
435	141.1792	37.39178			
436	141.1792	37.38345			
437	141.1792	37.37512			
438	141.1792	37.36679			
439	141.1792	37.35846			
440	141.1792	37.35013			

表 3-23、東-西向洋流資料於南面之格點編號與經緯度關係

東-西向洋流(南面)					
沿岸區域案例			海港區域案例		
格點編號	經度 lon	緯度 lat	格點編號	經度 lon	緯度 lat
84	141.0376	37.3418	58	141.0293	37.38345
105	141.0459	37.3418	79	141.0376	37.38345
126	141.0543	37.3418	100	141.0459	37.38345
147	141.0626	37.3418	121	141.0543	37.38345
168	141.0709	37.3418	142	141.0626	37.38345
189	141.0792	37.3418	163	141.0709	37.38345
210	141.0876	37.3418	184	141.0792	37.38345
231	141.0959	37.3418	205	141.0876	37.38345
252	141.1042	37.3418	226	141.0959	37.38345
273	141.1126	37.3418	247	141.1042	37.38345
294	141.1209	37.3418	268	141.1126	37.38345
315	141.1292	37.3418	289	141.1209	37.38345
336	141.1376	37.3418	310	141.1292	37.38345
357	141.1459	37.3418			
378	141.1542	37.3418			
399	141.1625	37.3418			
420	141.1709	37.3418			

表 3-24、南-北向洋流資料於北面之格點編號與經緯度關係

南-北向洋流(北面)					
沿岸區域案例			海港區域案例		
格點編號	經度 lon	緯度 lat	格點編號	經度 lon	緯度 lat
69	141.0417	37.49584	27	141.025	37.47918
91	141.05	37.49584	49	141.0334	37.47918
113	141.0584	37.49584	71	141.0417	37.47918
135	141.0667	37.49584	93	141.05	37.47918
157	141.075	37.49584	115	141.0584	37.47918
179	141.0833	37.49584	137	141.0667	37.47918
201	141.0917	37.49584	159	141.075	37.47918
223	141.1	37.49584	181	141.0833	37.47918
245	141.1083	37.49584	203	141.0917	37.47918
267	141.1167	37.49584	225	141.1	37.47918
289	141.125	37.49584	247	141.1083	37.47918
311	141.1333	37.49584	269	141.1167	37.47918
333	141.1417	37.49584	291	141.125	37.47918
355	141.15	37.49584			
377	141.1583	37.49584			
399	141.1666	37.49584			

表 3-25、南-北向洋流資料於東面之格點編號與經緯度關係

南-北向洋流(東面)					
沿岸區域案例			海港區域案例		
格點編號	經度 lon	緯度 lat	格點編號	經度 lon	緯度 lat
422	141.175	37.48751	302	141.125	37.38755
423	141.175	37.47918	301	141.125	37.39588
424	141.175	37.47085	300	141.125	37.40421
425	141.175	37.46252	299	141.125	37.41254
426	141.175	37.45419	298	141.125	37.42087
427	141.175	37.44586	297	141.125	37.4292
428	141.175	37.43753	296	141.125	37.43753
429	141.175	37.4292	295	141.125	37.44586
430	141.175	37.42087	294	141.125	37.45419
431	141.175	37.41254	293	141.125	37.46252
432	141.175	37.40421	292	141.125	37.47085
433	141.175	37.39588	291	141.125	37.47918
434	141.175	37.38755			
435	141.175	37.37922			
436	141.175	37.37089			
437	141.175	37.36256			
438	141.175	37.35423			
439	141.175	37.3459			

表 3-26、南-北向洋流資料於南面之格點編號與經緯度關係

南-北向洋流(南面)					
沿岸區域案例			海港區域案例		
格點編號	經度 lon	緯度 lat	格點編號	經度 lon	緯度 lat
65	141.0334	37.3459	39	141.025	37.37922
87	141.0417	37.3459	61	141.0334	37.37922
109	141.05	37.3459	83	141.0417	37.37922
131	141.0584	37.3459	105	141.05	37.37922
153	141.0667	37.3459	127	141.0584	37.37922
175	141.075	37.3459	149	141.0667	37.37922
197	141.0833	37.3459	171	141.075	37.37922
219	141.0917	37.3459	193	141.0833	37.37922
241	141.1	37.3459	215	141.0917	37.37922
263	141.1083	37.3459	237	141.1	37.37922
285	141.1167	37.3459	259	141.1083	37.37922
307	141.125	37.3459	281	141.1167	37.37922
329	141.1333	37.3459	303	141.125	37.37922
351	141.1417	37.3459			
373	141.15	37.3459			
395	141.1583	37.3459			
417	141.1666	37.3459			

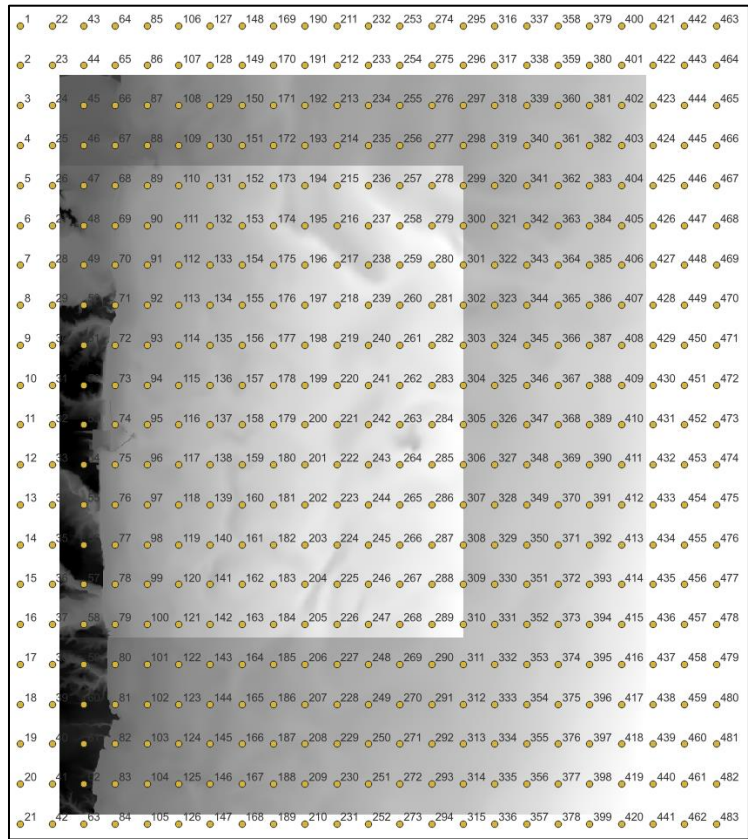


圖 3-131、地形資料與東-西向洋流資料疊合結果

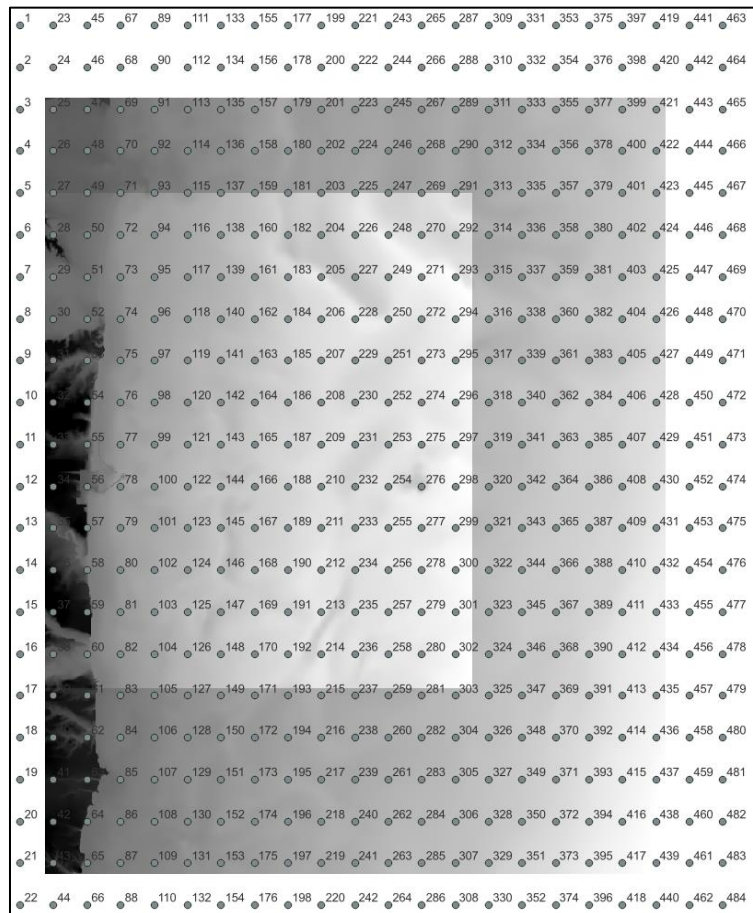


圖 3-132、地形資料與南-北向洋流資料疊合結果

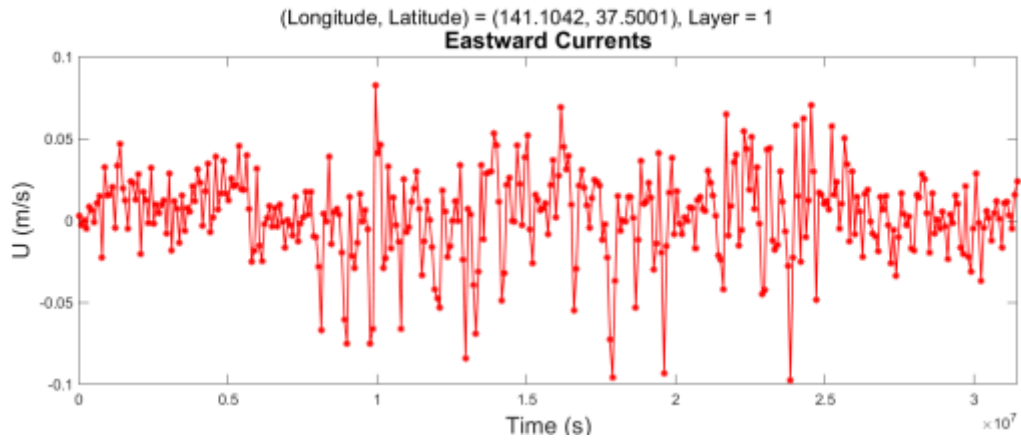


圖 3-133、沿岸區域案例北面東-西向洋流歷時變化(格點編號 233)

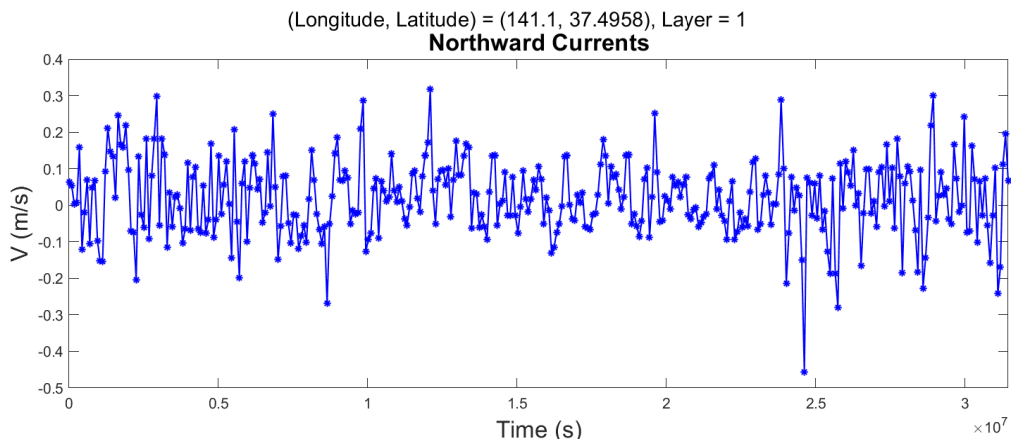


圖 3-134、沿岸區域案例北面南-北向洋流歷時變化(格點編號 223)

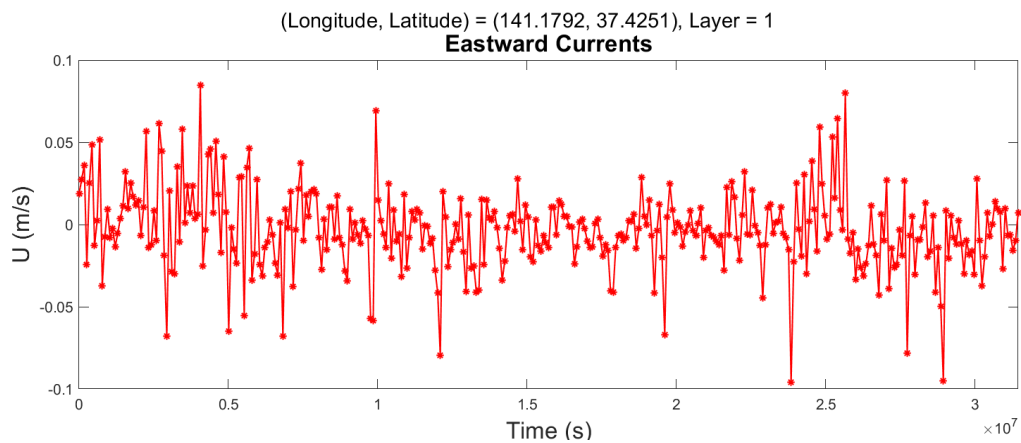


圖 3-135、沿岸區域案例東面東-西向洋流歷時變化(格點編號 431)

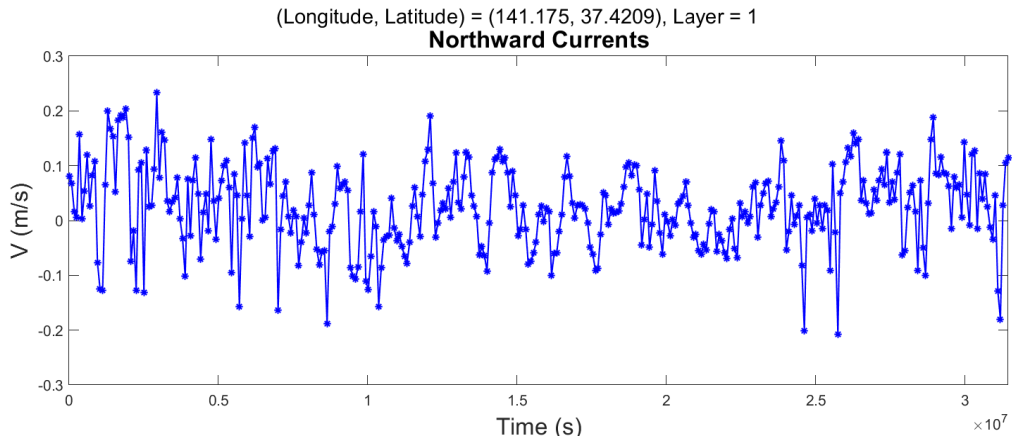


圖 3-136、沿岸區域案例東面東-西向洋流歷時變化(格點編號 430)

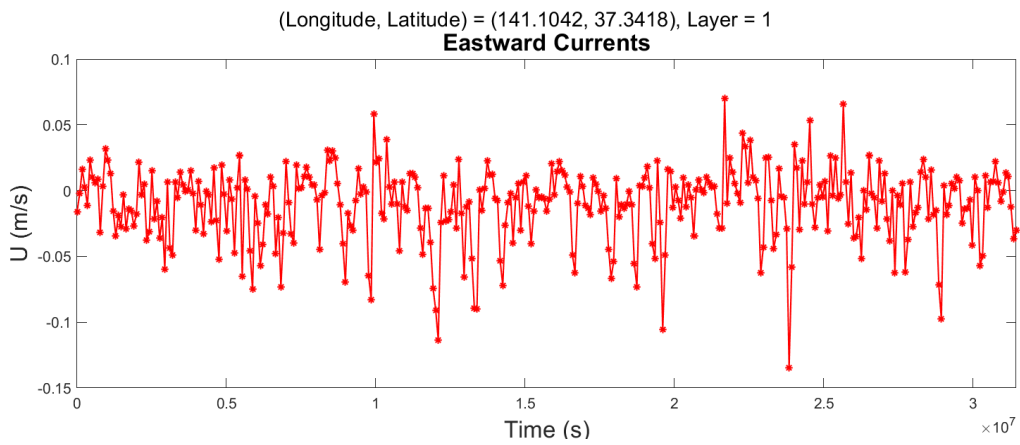


圖 3-137、沿岸區域案例南面東-西向洋流歷時變化(格點編號 252)

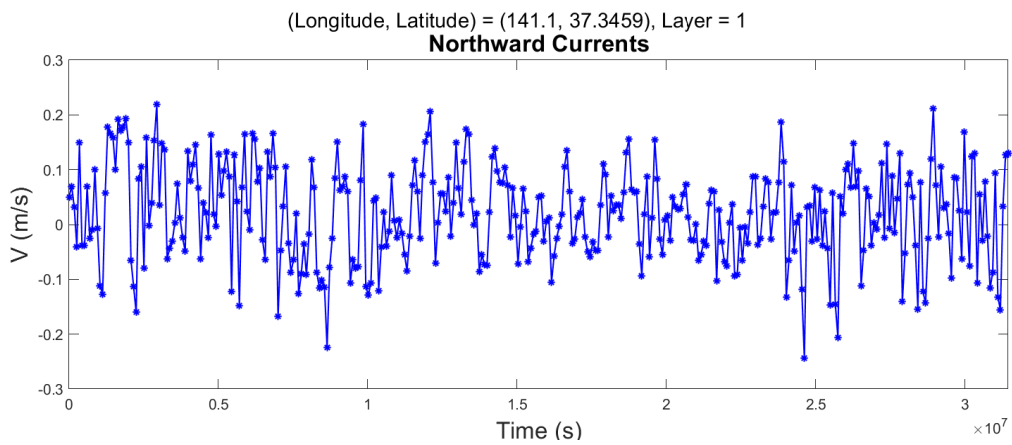


圖 3-138、沿岸區域案例南面南-北向洋流歷時變化(格點編號 241)

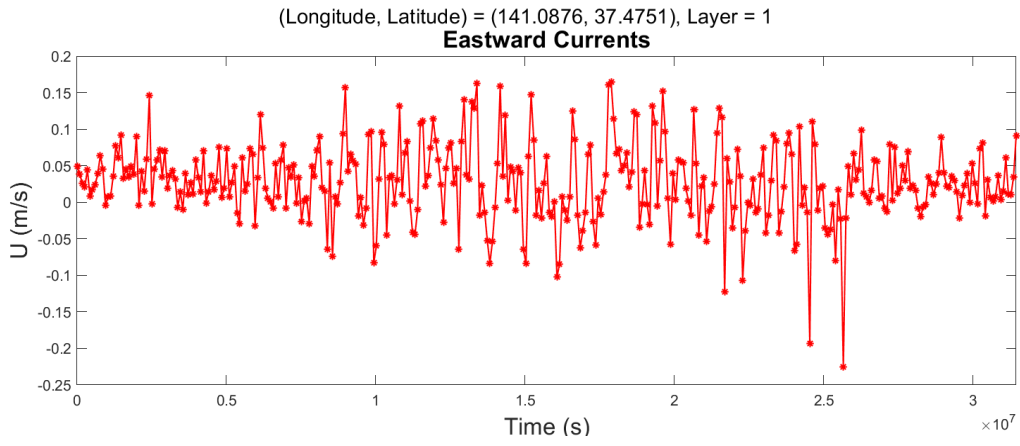


圖 3-139、海港區域案例北面東-西向洋流歷時變化(格點編號 194)

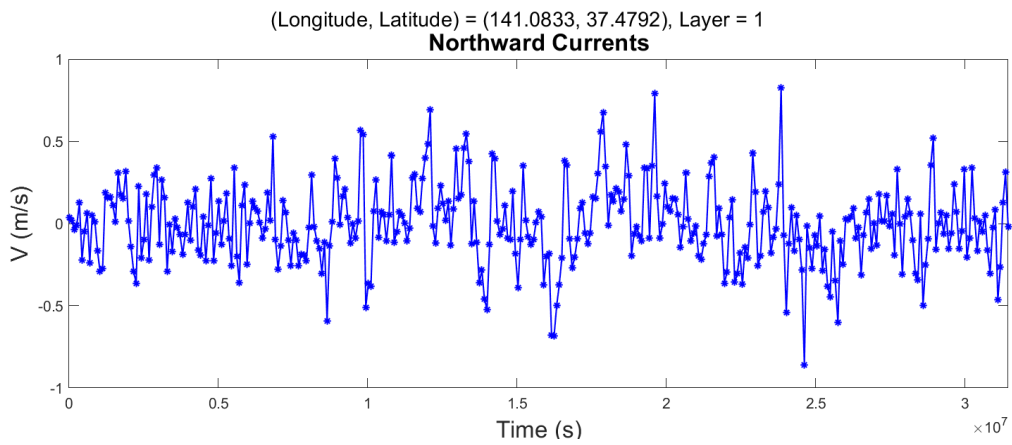


圖 3-140、海港區域案例北面南-北向洋流歷時變化(格點編號 181)

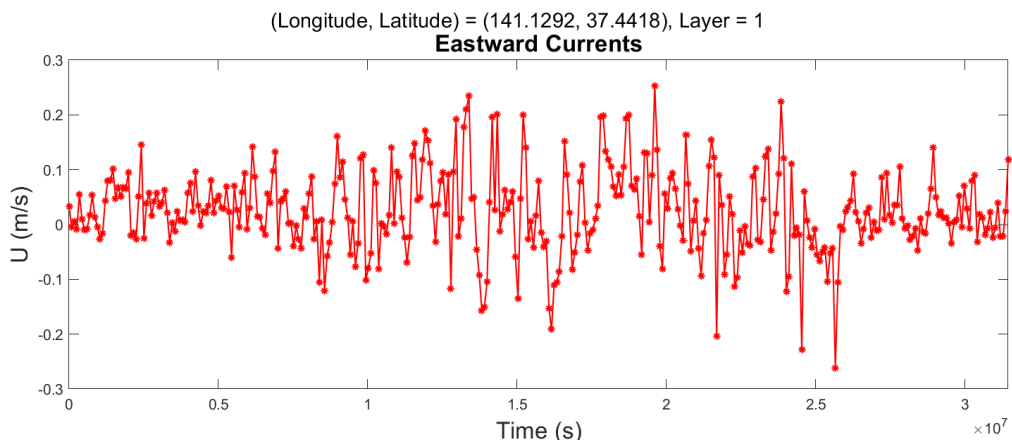


圖 3-141、海港區域案例東面東-西向洋流歷時變化(格點編號 303)



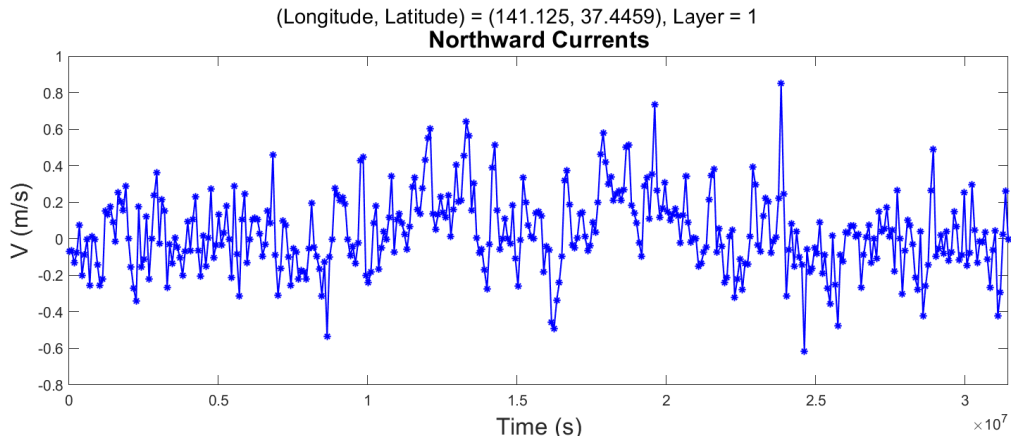


圖 3-142、海港區域案例東面東-西向洋流歷時變化(格點編號 295)

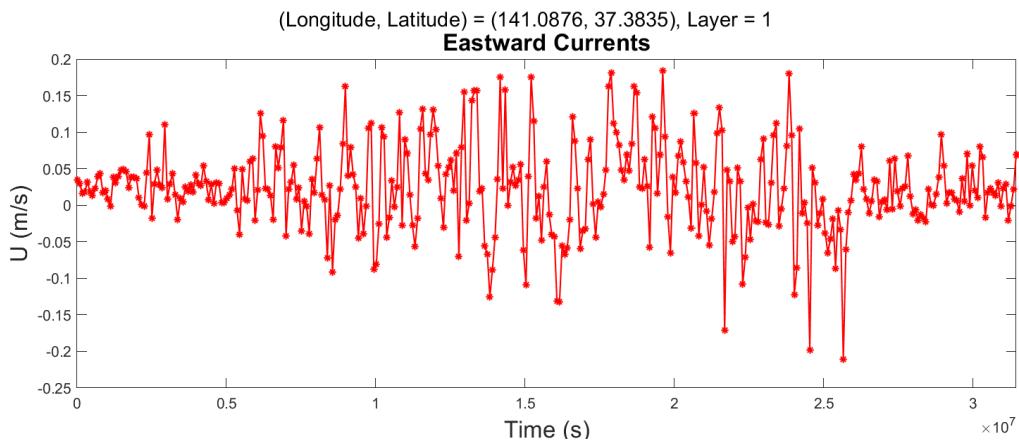


圖 3-143、海港區域案例南面東-西向洋流歷時變化(格點編號 205)

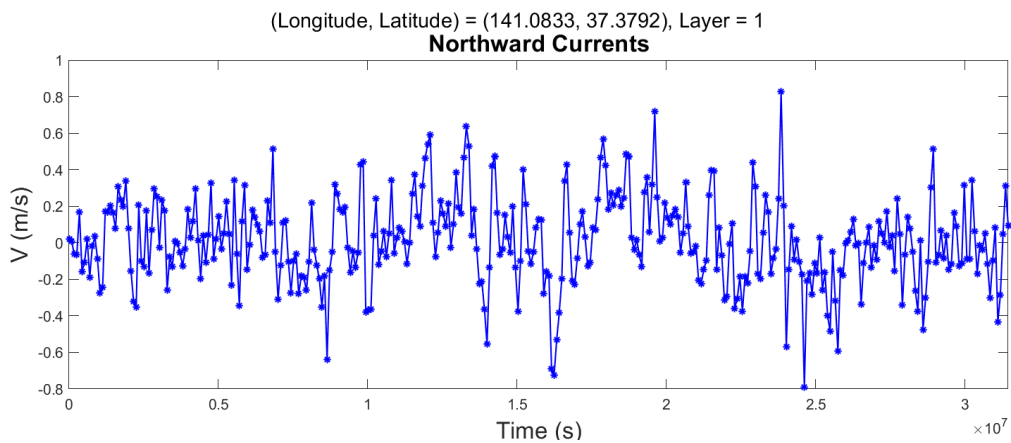


圖 3-144、海港區域案例南面南-北向洋流歷時變化(格點編號 193)

對於計算域邊界的海平面高度設定方式與洋流資料相同，其中海平面高度資料範圍介於  $37.342^{\circ}\text{N}$  至  $37.508^{\circ}\text{N}$  以及  $141.017^{\circ}\text{E}$  至  $141.192^{\circ}\text{E}$  之間，而海平面高度與地形資料之疊合結果如圖 3-145 所示，在沿岸



區域案例中，北面使用格點編號 65、86、107、...、338、359 以及 380 之海平面高度資料作為洋流邊界條件之輸入，而海港區域案例則使用 26、47、68、...、236、257 以及 278，其中各格點編號與經緯度關係詳列於表 3-27 之中；另外表 3-28 以及表 3-29 則列出了沿岸區域案例以及海港區域案例在東面以及南面的海平面高度資料之格點編號與經緯度關係。

最後圖 3-146 至圖 3-147 分別繪製了沿岸區域案例在北面(格點編號 212)、東面(格點編號 410)以及南面(格點編號 231)的海平面高度歷時變化，從圖中可以發現在計算域中不同位置的海高差異並不顯著，整體趨勢一致，但在相同的時間下，不同位置的海高僅有些微差異。這些特性同樣可以在海港區域案例中所使用的海高資料中發現，見圖 3-148 至圖 3-150。

表 3-27、海平面高度資料於北面之格點編號與經緯度關係

海平高度(北面)					
沿岸區域案例			海港區域案例		
格點編號	經度 lon	緯度 lat	格點編號	經度 lon	緯度 lat
65	141.0417	37.50007	26	141.025	37.47508
86	141.05	37.50007	47	141.0334	37.47508
107	141.0584	37.50007	68	141.0417	37.47508
128	141.0667	37.50007	89	141.05	37.47508
149	141.075	37.50007	110	141.0584	37.47508
170	141.0833	37.50007	131	141.0667	37.47508
191	141.0917	37.50007	152	141.075	37.47508
212	141.1	37.50007	173	141.0833	37.47508
233	141.1083	37.50007	194	141.0917	37.47508
254	141.1167	37.50007	215	141.1	37.47508
275	141.125	37.50007	236	141.1083	37.47508
296	141.1333	37.50007	257	141.1167	37.47508
317	141.1417	37.50007	278	141.125	37.47508
338	141.15	37.50007			
359	141.1583	37.50007			
380	141.1666	37.50007			

表 3-28、海平面高度資料於東面之格點編號與經緯度關係

海平高度(東面)					
沿岸區域案例			海港區域案例		
格點編號	經度 lon	緯度 lat	格點編號	經度 lon	緯度 lat
402	141.175	37.49174	289	141.125	37.38345
403	141.175	37.48341	288	141.125	37.39178
404	141.175	37.47508	287	141.125	37.40011
405	141.175	37.46675	286	141.125	37.40844
406	141.175	37.45842	285	141.125	37.41677
407	141.175	37.45009	284	141.125	37.4251
408	141.175	37.44176	283	141.125	37.43343
409	141.175	37.43343	282	141.125	37.44176
410	141.175	37.4251	281	141.125	37.45009
411	141.175	37.41677	280	141.125	37.45842
412	141.175	37.40844	279	141.125	37.46675
413	141.175	37.40011	278	141.125	37.47508
414	141.175	37.39178			
415	141.175	37.38345			
416	141.175	37.37512			
417	141.175	37.36679			
418	141.175	37.35846			
419	141.175	37.35013			

表 3-29、海平面高度資料於南面之格點編號與經緯度關係

海平高度(南面)					
沿岸區域案例			海港區域案例		
格點編號	經度 lon	緯度 lat	格點編號	經度 lon	緯度 lat
63	141.0334	37.3418	37	141.025	37.38345
84	141.0417	37.3418	58	141.0334	37.38345
105	141.05	37.3418	79	141.0417	37.38345
126	141.0584	37.3418	100	141.05	37.38345
147	141.0667	37.3418	121	141.0584	37.38345
168	141.075	37.3418	142	141.0667	37.38345
189	141.0833	37.3418	163	141.075	37.38345
210	141.0917	37.3418	184	141.0833	37.38345
231	141.1	37.3418	205	141.0917	37.38345
252	141.1083	37.3418	226	141.1	37.38345
273	141.1167	37.3418	247	141.1083	37.38345
294	141.125	37.3418	268	141.1167	37.38345
315	141.1333	37.3418	289	141.125	37.38345
336	141.1417	37.3418			
357	141.15	37.3418			
378	141.1583	37.3418			
399	141.1666	37.3418			

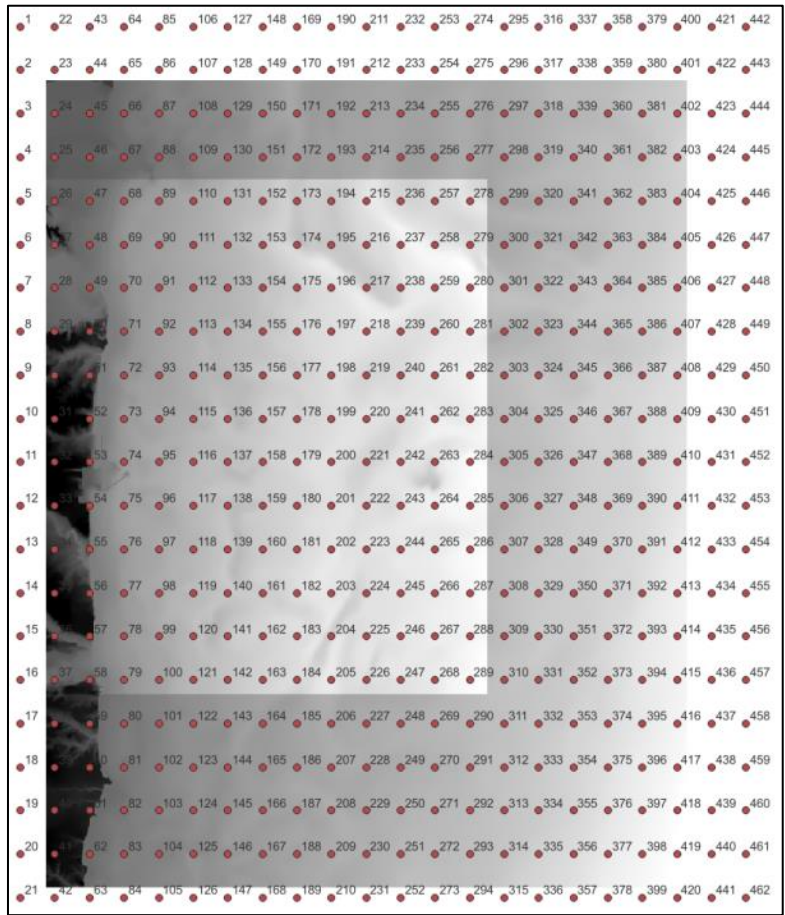


圖 3-145、地形資料與海高資料疊合結果

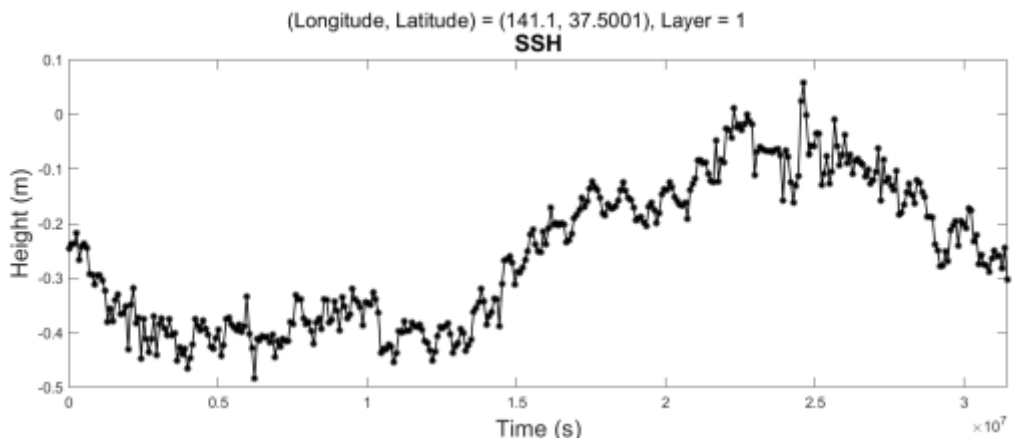


圖 3-146、沿岸區域案例北面海平面高度歷時變化(格點編號 212)

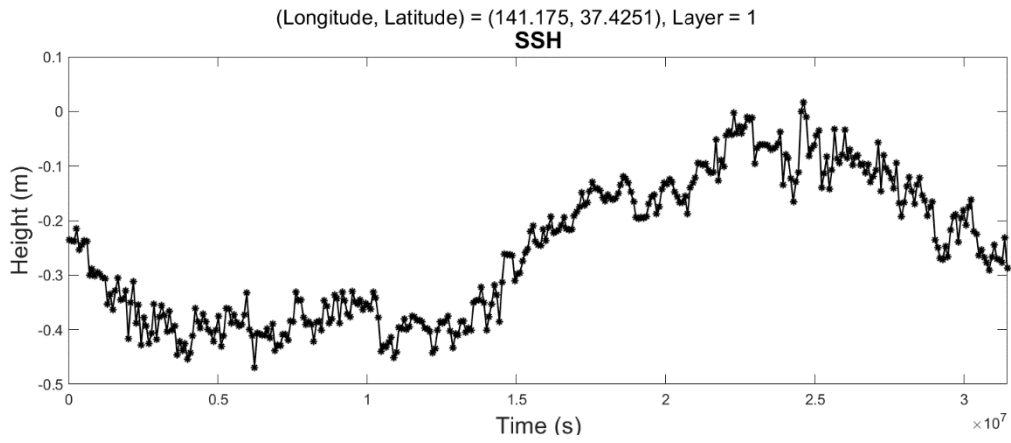


圖 3-147、沿岸區域案例東面海平面高度歷時變化(格點編號 410)

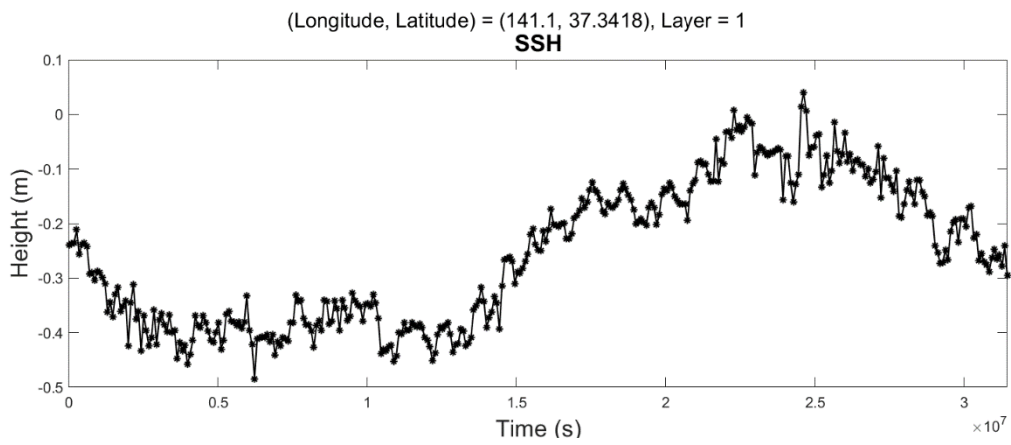


圖 3-148、沿岸區域案例南面海平面高度歷時變化(格點編號 231)

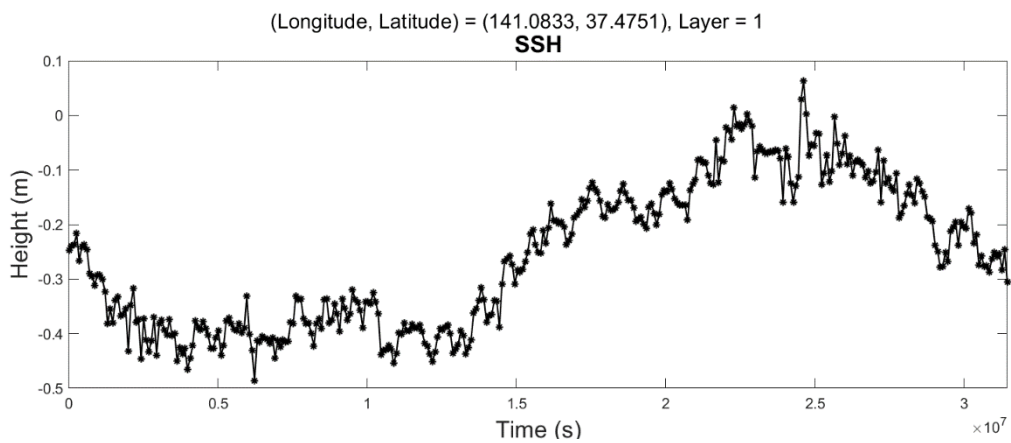


圖 3-149、海港區域案例北面海平面高度歷時變化(格點編號 173)

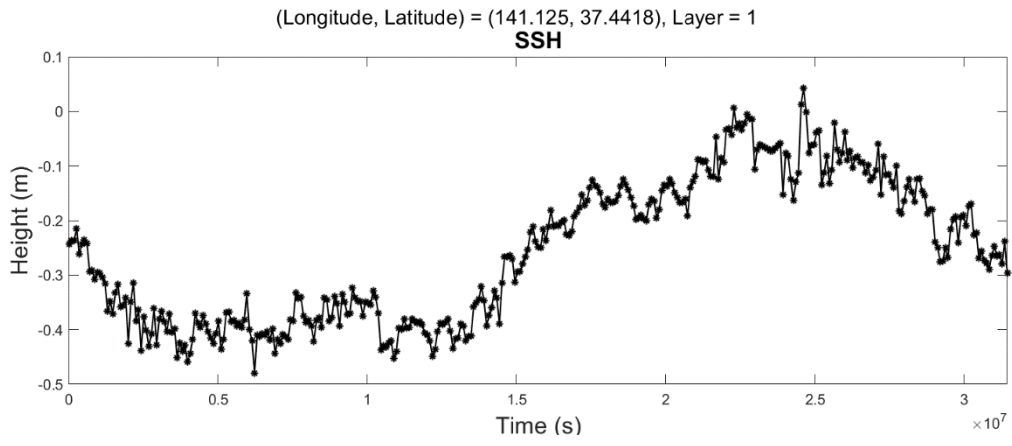


圖 3-150、海港區域案例東面海平面高度歷時變化(格點編號 282)

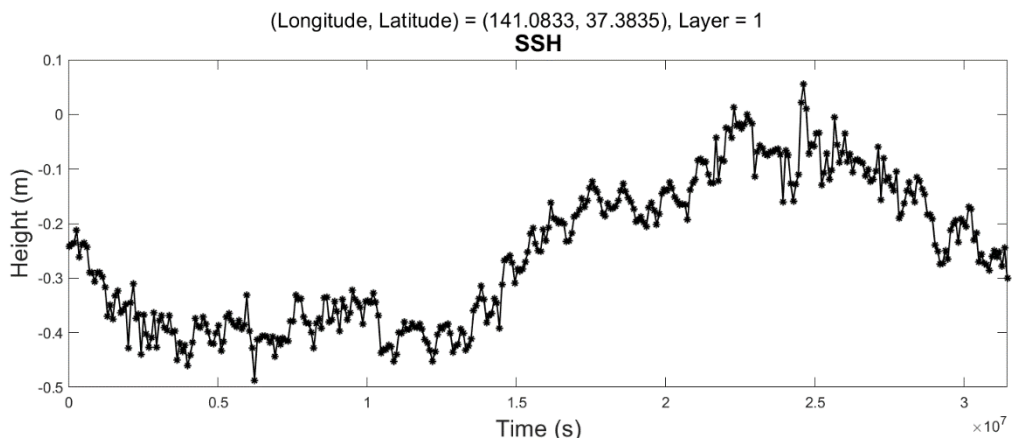


圖 3-151、海港區域案例南面海平面高度歷時變化(格點編號 184)

## 網格解析度

為描述海港幾何形狀，因此在海港區域案例中須在其周圍使用較小的網格尺寸以增加空間解析度，本研究分別在 Grid #1、Grid#2 以及 Grid #3 範圍內之使用了 5 公尺、10 公尺以及 30 公尺的網格，另外在計算域內的其它範圍則使用了 55 公尺的網格尺寸，不同範圍的區域劃分請見圖 3-152。

另外由於沿岸區域案例之計算範圍較大且並未考慮海港幾何對污染物擴散行為的影響，因此為了節省計算機資源，本研究在此案例中僅使用 55 公尺的網格進行案例分析。



圖 3-152、海港區域案例網格區域劃分

## 海港幾何

由於本研究使用的地形資料解析度不足以重現福島第一核電廠之海港幾何形狀，因此本研究針對海港的幾何進行了重建工作，此項工作

的目的是建構與海港相關設施的 STL 檔案，供 FLOW-3D 匯入並整合原有的地形資料使用。

首先本研究從日本國土地理院網站，如圖 3-153 所示，匯出在 EPSG 4326 座標系統下，海港幾何特徵之鎖孔標記語言(Keyhole Markup Language, KML)檔案，接著再轉換為 EPSG 3857 平面座標系統，以達與地形資料匹配之目的，最後根據此座標系統建構對應的三角網格以及 STL 檔案，其中三角網格和 STL 檔案之產製結果分別如圖 3-154 和圖 3-155 所示。



圖 3-153、福島第一核電廠海港幾何(資料來源：日本國土地理院[2])



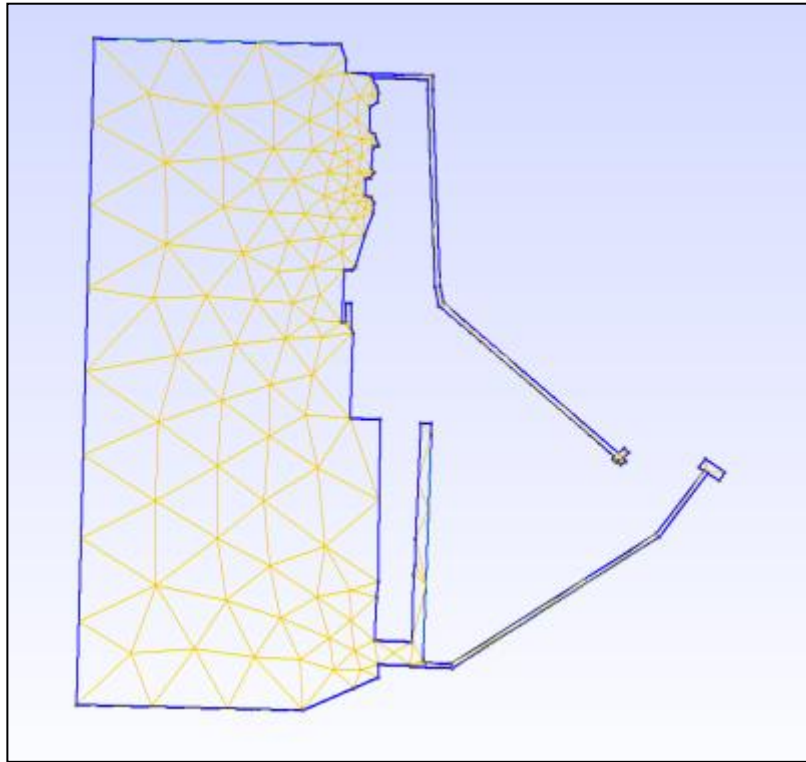


圖 3-154、三角網格建構之海港幾何



圖 3-155、海港幾何之 STL 檔案產製結果



## 沿岸區域案例

在沿岸區域案例中使用較大的計算範圍對污染物排放後的擴散行為進行研究，目的在探討特定區域以及洋流條件作用下對海洋污染物分布的影響，另外本案例為量化海洋污染物在特定區域內的濃度變化計算結果，設置了約  $10\text{km} \times 10\text{km}$  的區域作為污染物濃度之監測範圍，其角隅位置標記於圖 3-127 之中，從圖 3-156 可以看到污染物在 2019 年期間於此範圍內之濃度變化過程，其濃度大小隨著洋流的作用而上下振盪，並未發現濃度隨時間而累積的現象，透過排放口排入海中的污染物隨即在洋流的對流作用下被帶往它處，而分析期間出現濃度的三個峰值分別為第 65.51 天的  $0.3363 \text{ Bq/L}$ 、第 244.2 天的  $0.3384 \text{ Bq/L}$  以及第 356.5 天的  $0.3159 \text{ Bq/L}$ ，反之最低濃度分別出現在第 21.88 天的  $0.0109 \text{ Bq/L}$  以及第 36.46 天和 152.8 天的  $0.0174 \text{ Bq/L}$  與  $0.0201 \text{ Bq/L}$ ，此外監測範圍內之污染物年平均濃度計算結果為  $0.1369 \text{ Bq/L}$ 。

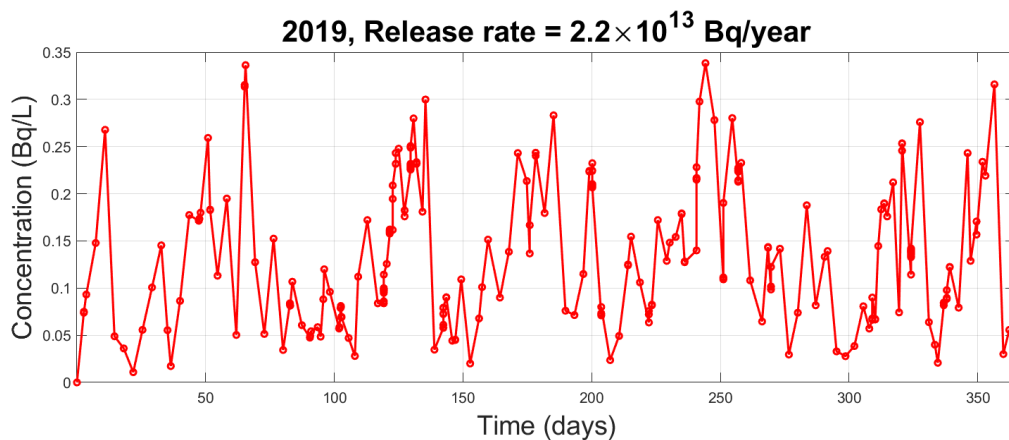


圖 3-156、 $10\text{km} \times 10\text{km}$  監測區域範圍內之污染物濃度變化

不同時期污染物在沿岸區域的濃度分布範圍計算結果分別如圖 3-157 至圖 3-167 所示，從圖中可以發現，隨著時間的推移，污染物的擴張範圍主要集中在沿岸區域附近，儘管出現往離岸方向擴張的現象，但隨即在洋流對流作用下又漸漸往近岸區域集中，整體而言，其分布範圍在南-北向之變化較東-西向來得劇烈，本研究認為這是洋流的動量在南-北向大於東-西向所

導致。

Time = 0.0000e+000

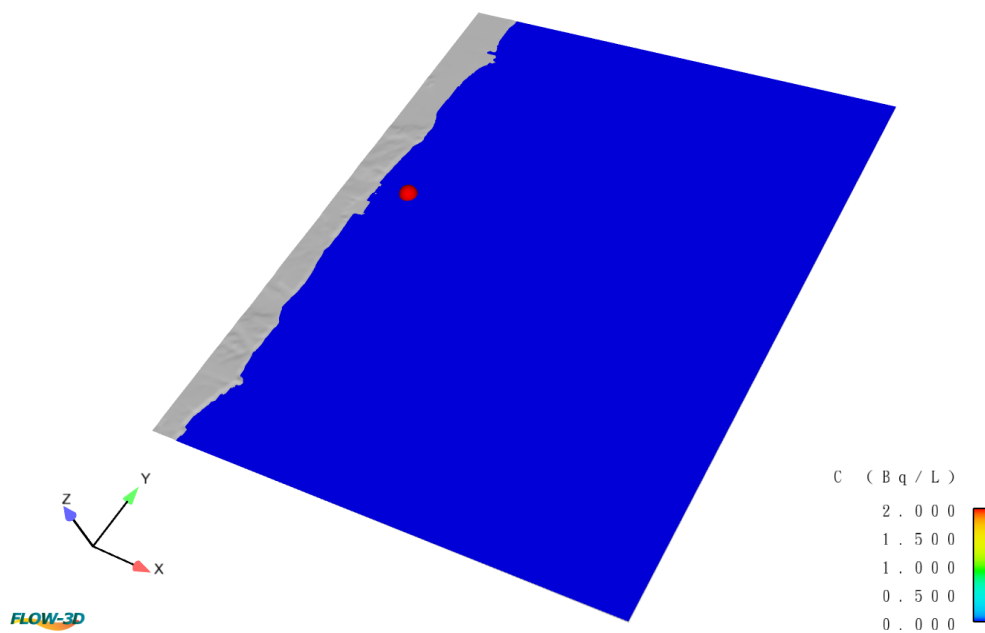


圖 3-157、第 0 天之污染物分布計算結果

Time = 3.1450e+006

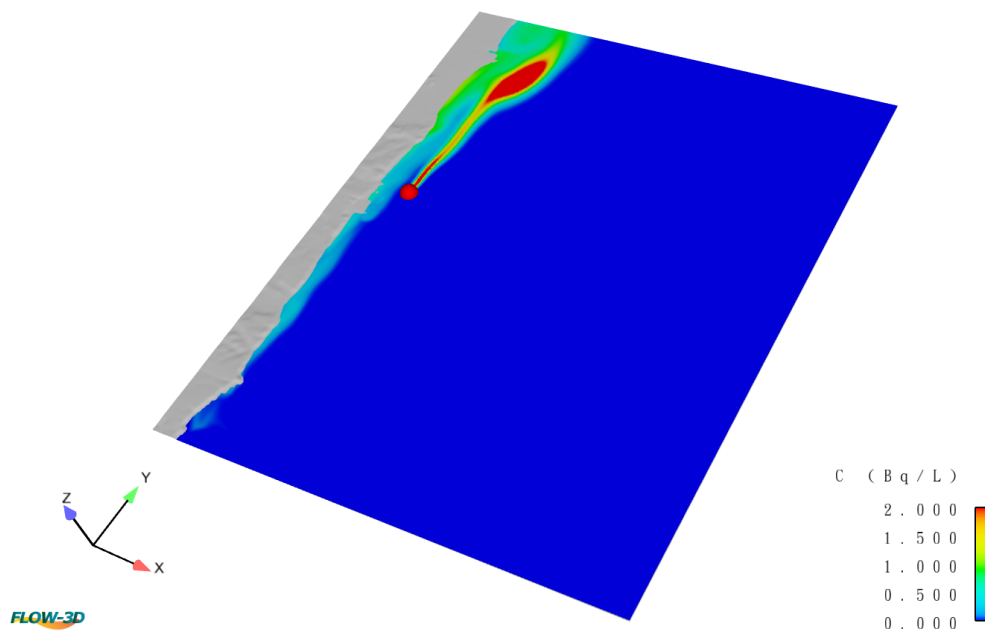


圖 3-158、第 36.4 天之污染物分布計算結果

Time = 6.2900e+006

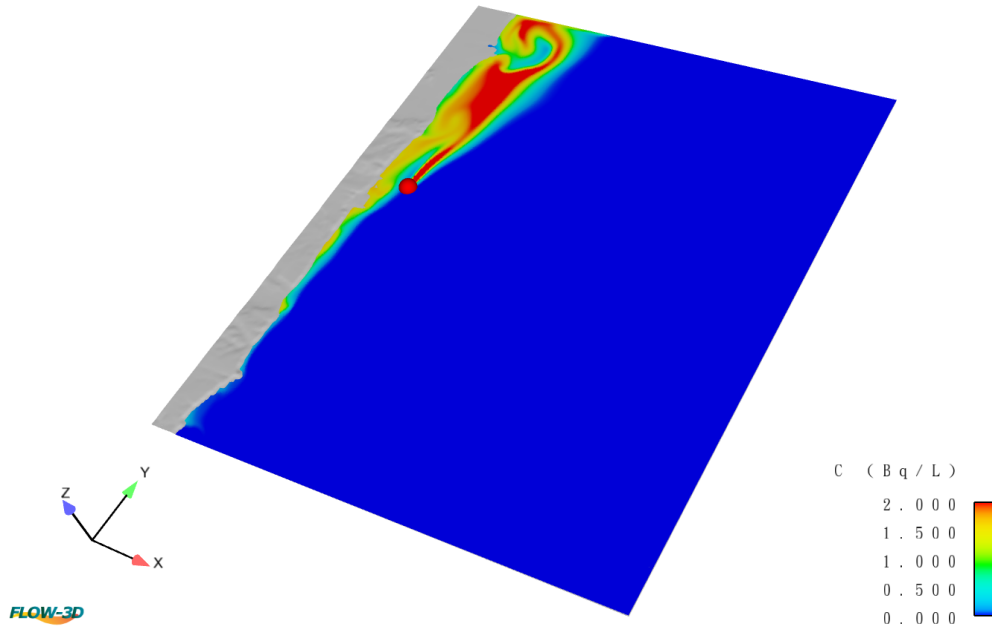


圖 3-159、第 72.8 天之污染物分布計算結果

Time = 9.4350e+006

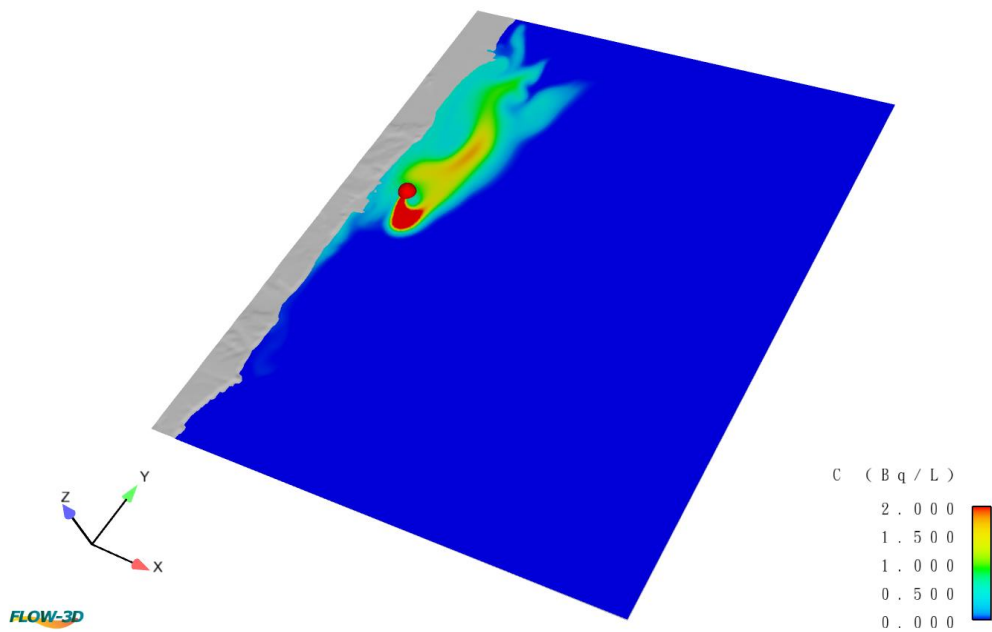


圖 3-160、第 109.2 天之污染物分布計算結果

Time = 1.2580e+007

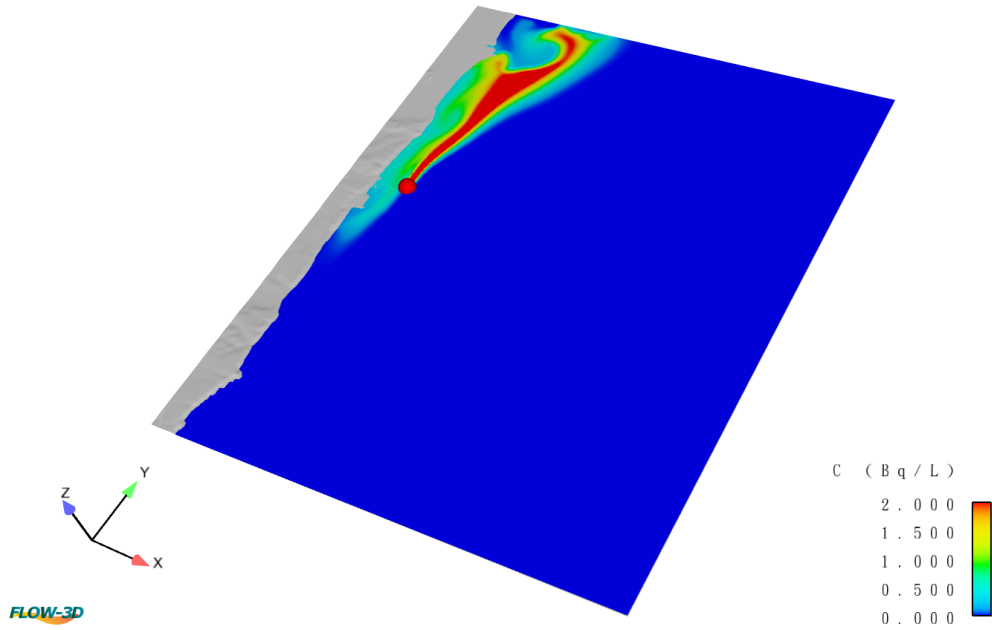


圖 3-161、第 145.6 天之污染物分布計算結果

Time = 1.5725e+007

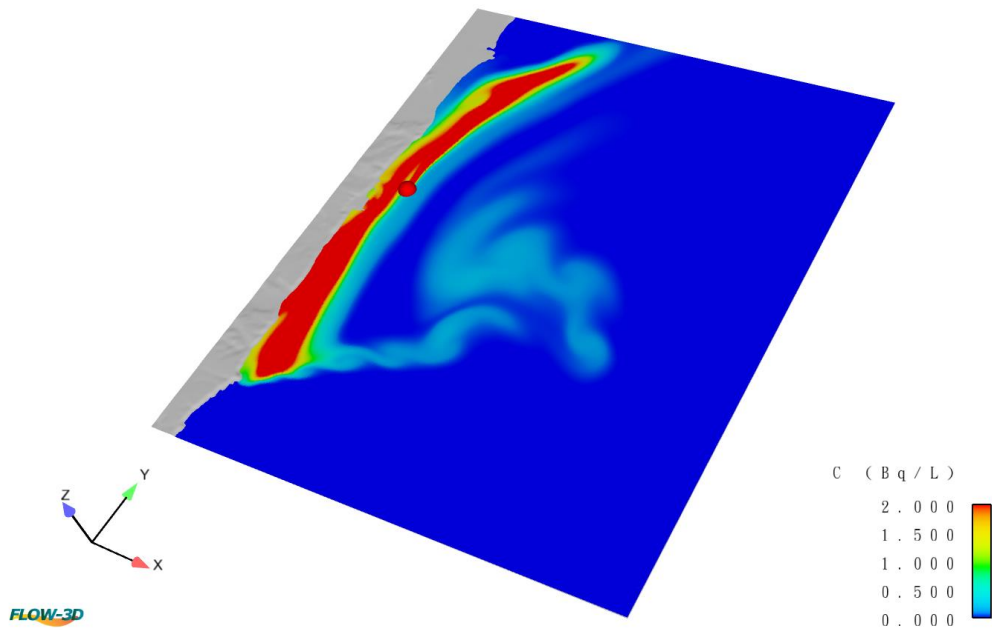


圖 3-162、第 182 天之污染物分布計算結果

Time = 1.8870e+007

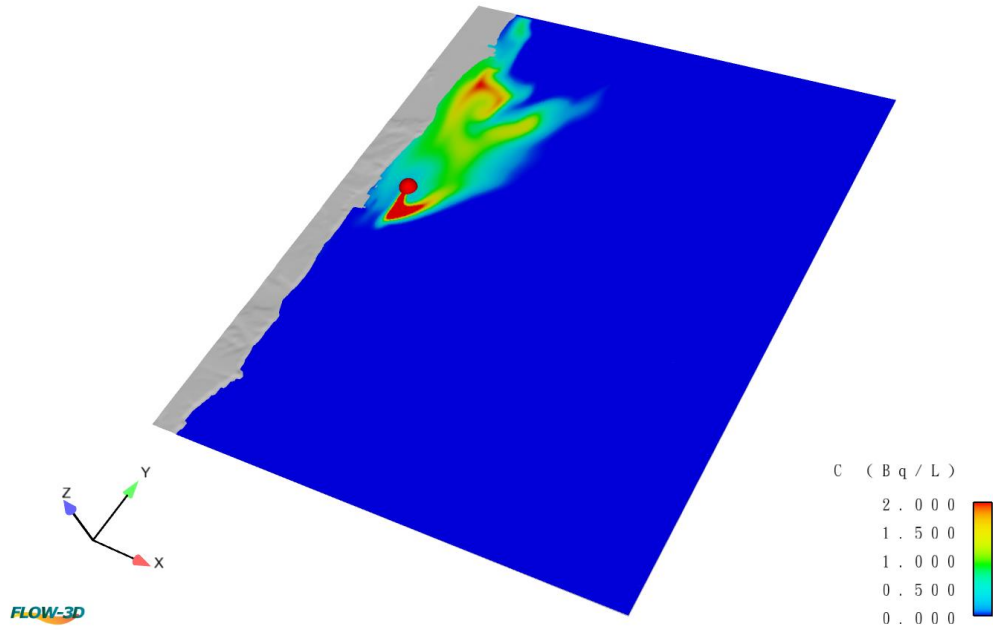


圖 3-163、第 218.4 天之污染物分布計算結果

Time = 2.2015e+007

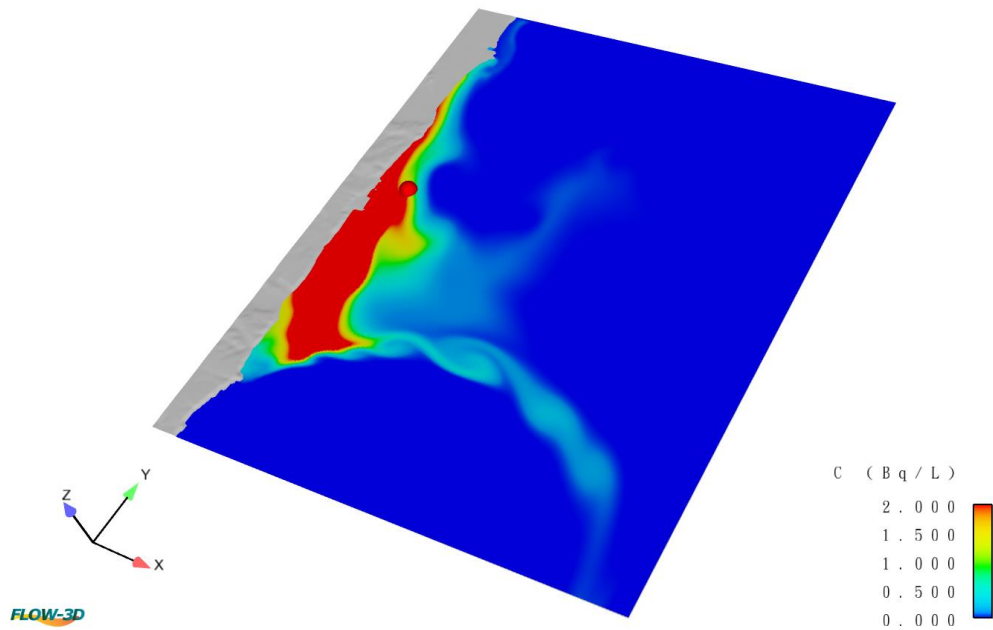


圖 3-164、第 254.8 天之污染物分布計算結果

Time = 2.5160e+007

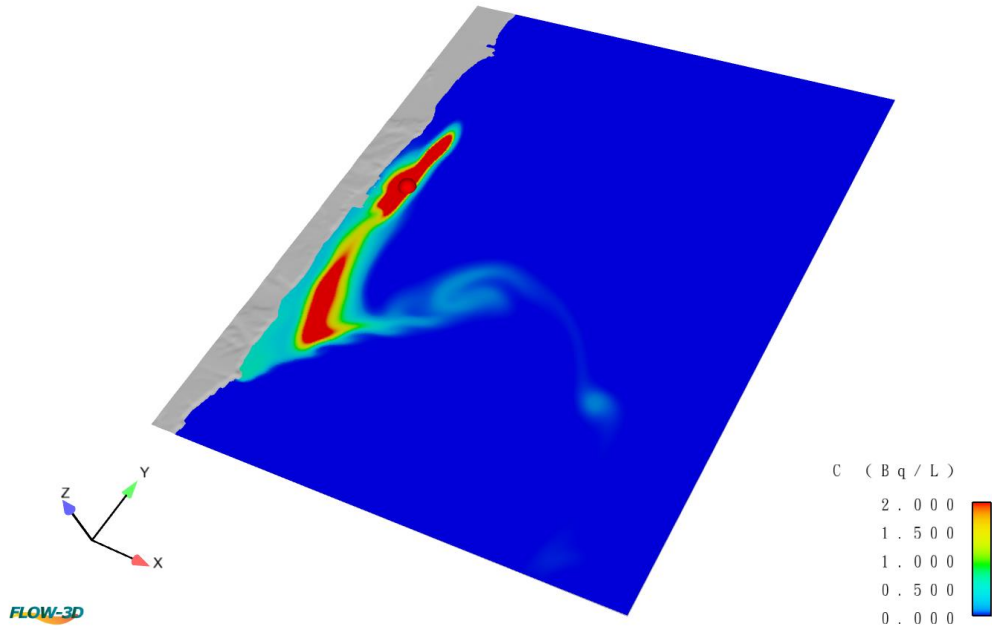


圖 3-165、第 291.2 天之污染物分布計算結果

Time = 2.8305e+007

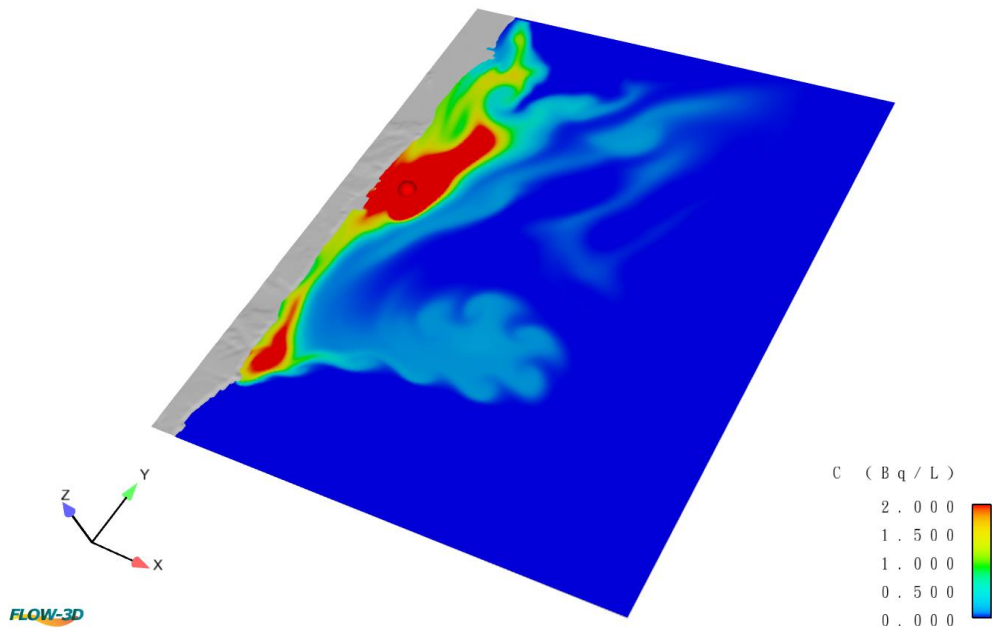


圖 3-166、第 327.6 天之污染物分布計算結果

Time = 3.1450e+007

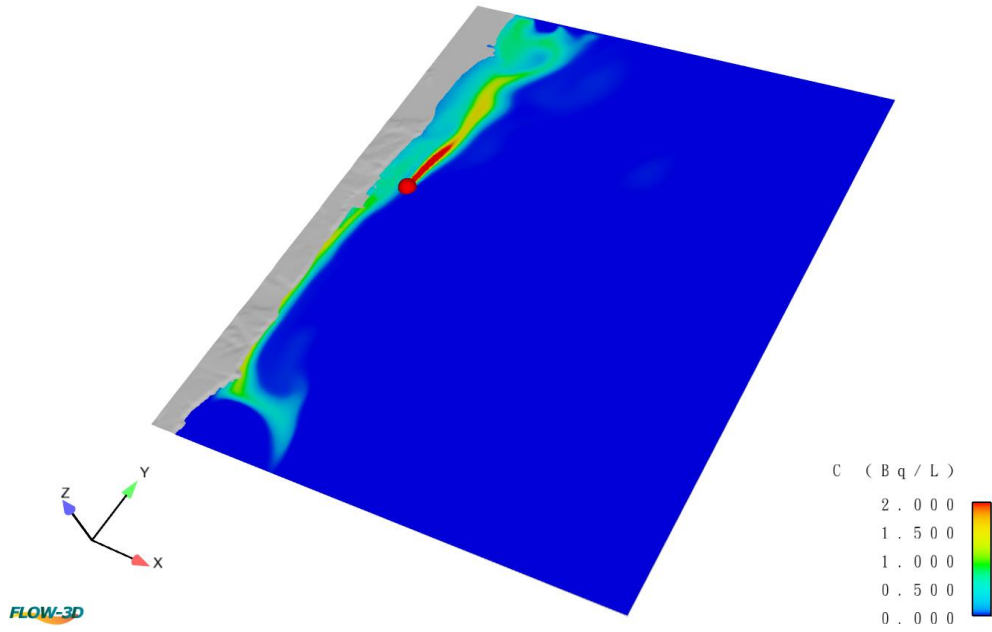


圖 3-167、第 364 天之污染物分布計算結果

## 海港區域案例

在海港區域案例中，為探討不同區域內污染物濃度之變化，本研究將海港區域案例之計算域劃分為 26 個不同的空間，其中亦包含針對海港幾何所建立的監測區域計算 45 天模擬污染物濃度擴散情況，各監測區域劃分結果如圖 3-168 所示。圖 3-169 繪製了此案例在分析初期，監測區域 1、6、11、16 以及 21 的污染物平均濃度變化過程，根據計算結果可以發現當污染物經排放口進入海洋後，首先進入涵蓋排放口之監測區域 11，隨即在洋流的作用下被帶往南方的監測區域 6，但此時抵達該區域之污染物並不多，在第 2 天時其平均濃度為 0.5 Bq/L，同時間大部分的污染物仍然停留在監測區域 11 內，緊接著在洋流的作用下，第 2.5 天至第 4 天期間，監測區域 11 以及 6 的濃度同時下降，反之監測區域 16 的濃度則呈現上升的現象，期間平均濃度峰值約為 1.6 Bq/L 左右，由此可知此時大部分的污染物在洋流的作用下被帶往北方，其中一部分亦抵達監測區域 21，平均濃度峰值約 0.8 Bq/L；接著觀察第 4 至 6 天的平均濃度變化可以發現洋流將污染物帶往南方，此時監測區域 21 內之平均濃度驟降，同時在監測區域 16、11 以及 6 中的濃度皆出現回升，最後在第 6 天時，監測區域 1 內的平均濃度則來到 0.5 Bq/L。

另外圖 3-170 則繪製了監測區域 1、6、11、16 以及 21 在整個分析其間的污染物平均濃度變化過程，在此期間出現的平均濃度峰值大小依序為監測區域 11 的 1.9940 Bq/L (第 42.72 天)、監測區域 6 的 1.6650 Bq/L (第 43.63 天)、監測區域 16 的 1.664 Bq/L (第 31.94 天)、監測區域 21 的 1.347 Bq/L (第 32.29 天)以及監測區域 1 的 0.7606 Bq/L (第 11.33 天)；而年平均濃度之大小依序為監測區域 11 的 0.5761 Bq/L、監測區域 16 的 0.3214 Bq/L、監測區域 6 的 0.3094 Bq/L、監測區域 21 之 0.1592 Bq/L 以及監測區域 1 之 0.1087 Bq/L，相關數據皆整理於表 3-30 中。除此之外，監測區域 2、7、12、17 以及 22 之污染物平均濃度變化則繪於圖 3-171 之中，比較圖 3-170 可以發現污染物之濃度隨著離岸距離的增加而減少，且在分析



期間計算所得最大污染物平均濃度峰值出現在監測區域 22，其值為 0.9392 Bq/L (第 29.98 天)，而年平均濃度大小則分別為監測區域 22、17、12、7 以及 2 的 0.0947 Bq/L、0.0807 Bq/L、0.0581 Bq/L、0.0566 Bq/L 以及 0.0355 Bq/L。除了上述區域外，圖 3-172 至圖 3-174 分別繪製了監測區域 3、8、13、18、23 以及 4、9、14、19、24 和 5、10、15、20、25 之污染物平均濃度變化，期間出現之濃度最大峰值分別為監測區域 8 的 0.1638 Bq/L (第 8.67 天)、監測區域 4 的 0.0942 Bq/L (第 8.67 天)和監測區域 5 的 0.0772 Bq/L (第 9 天)，其他區域之計算結果請參考表 3-30。

針對海港區域內(監測區域 26)之污染物平均濃度變化計算結果繪製於圖 3-175 之中，分析結果顯示港內污染物濃度隨時間的推移而呈現上下起伏之現象，隨著洋流進入同時亦伴隨著海水的流動而離開，在第 15 天至第 23 期間的污染物濃度幾乎為零，接著濃度又開始發生改變，在分析過程中並沒有觀察到污染物濃度隨時間累積的現象，這表示外廓堤的開口大小足以使海港區域內部海水與外部海水進行完整的對流作用，進而使污染物隨著海水的流動而進出海港區域，但本研究認為此現象仍須透過更長的分析時間以及更高解析度的網格來確認，另外在本研究分析期間計算所得之濃度最大峰值為 4.042 Bq/L，而年平均濃度則為 0.4450 Bq/L。

此外圖 3-176 繪製了 26 個監測區域與其污染物年平均濃度之關係，觀察監測區域 1 至 5、6 至 10、11 至 15、16 至 20 以及 21 至 25 可以發現污染物年平均濃度隨著離岸距離的增加而減少，這是由於污染物在洋流的作用下主要集中在沿岸區域所致；另外根據監測區域 1、6、11 以及 11、16、21 的年平均濃度計算結果顯示，當監測區域的位置越靠近排放口位置時，該區域內之污染物濃度較大，因此監測區域 26 之年平均濃度計算結果高於其它區域。

最後圖 3-177 至圖 3-187 分別為計算所得之第 0 天至第 42 天污染物分布情形，從分析結果可以發現海港區域案例之污染物分布情形與沿岸區域案例類似，在洋流的影響下，污染物主要集中在沿岸區域，且南-北向的

濃度變化較東-西向更加劇烈。

表 3-30、各監測區域內之污染物 45 天平均濃度及峰值

監控區域	年平均濃度(Bq/L)	峰值(Bq/L)	峰值出現時間(天)
Zone #1	0.1087	0.7606	11.33
Zone #2	0.0355	0.5387	11.00
Zone #3	0.0071	0.1489	43.63
Zone #4	0.0014	0.0942	8.67
Zone #5	0.0011	0.0772	9.00
Zone #6	0.3094	1.6650	43.63
Zone #7	0.0566	0.6910	10.67
Zone #8	0.0044	0.1638	8.67
Zone #9	0.0012	0.0627	8.67
Zone #10	0.0008	0.0578	9.00
Zone #11	0.5761	1.9940	42.72
Zone #12	0.0581	0.6724	10.34
Zone #13	0.0029	0.1334	9.00
Zone #14	0.0013	0.0788	9.00
Zone #15	0.0005	0.0299	9.33
Zone #16	0.3214	1.6640	31.94
Zone #17	0.0807	0.6223	10.00
Zone #18	0.0046	0.1581	9.33
Zone #19	0.0015	0.0725	9.33
Zone #20	0.0009	0.0478	32.64
Zone #21	0.1592	1.3470	32.29
Zone #22	0.0947	0.9392	29.98
Zone #23	0.0053	0.1201	10.00
Zone #24	0.0017	0.0604	9.664
Zone #25	0.0012	0.0435	9.66
Zone #26	0.4450	4.042	43.06



圖 3-168、海港區域案例之監測區域劃分

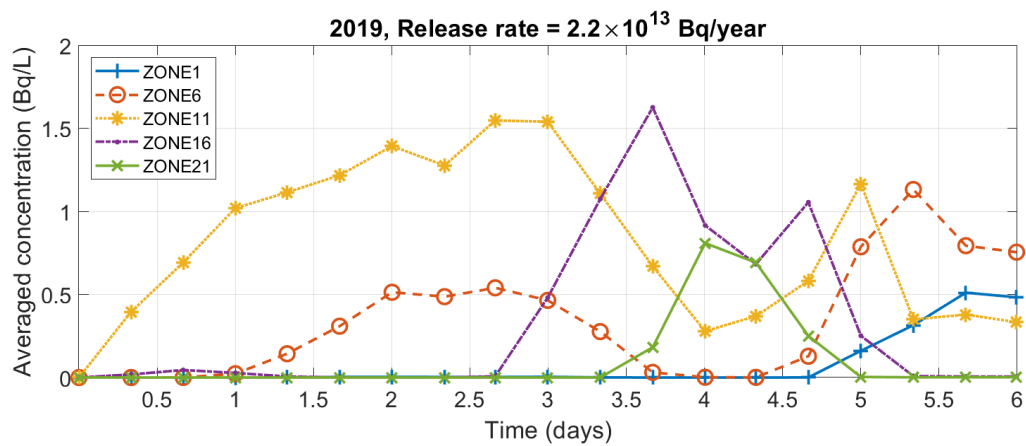


圖 3-169、0 至 6 天監測區域 1、6、11、16 以及 21 污染物平均濃度變化

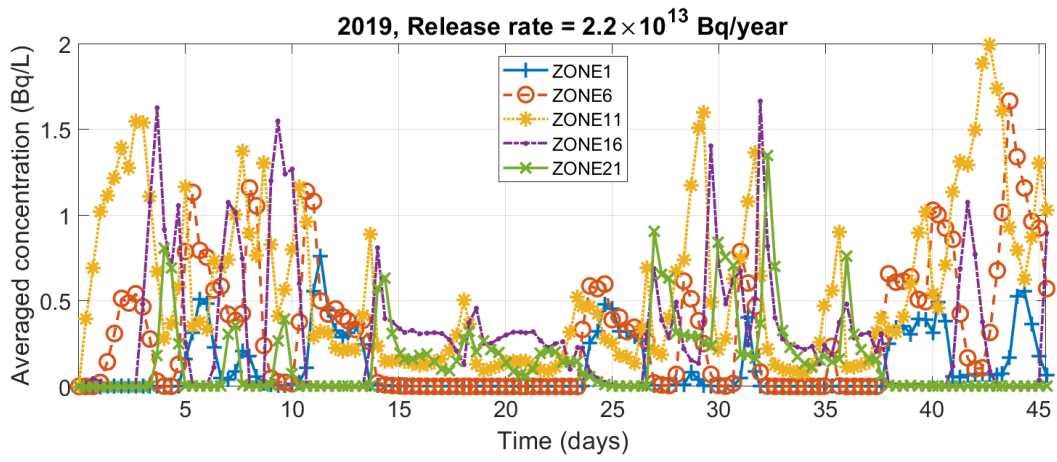


圖 3-170、監測區域 1、6、11、16 以及 21 污染物平均濃度變化

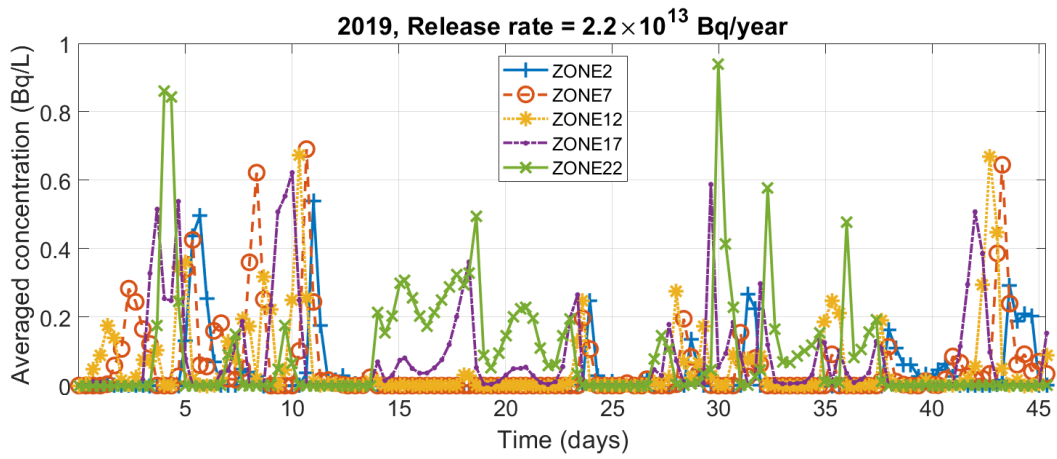


圖 3-171、監測區域 2、7、12、17 以及 22 污染物平均濃度變化

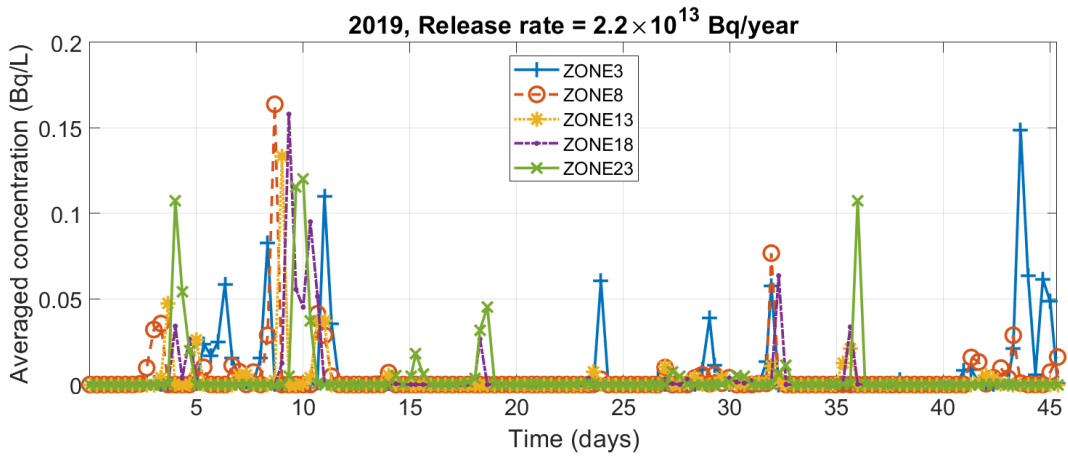


圖 3-172、監測區域 3、8、13、18 以及 23 污染物平均濃度變化

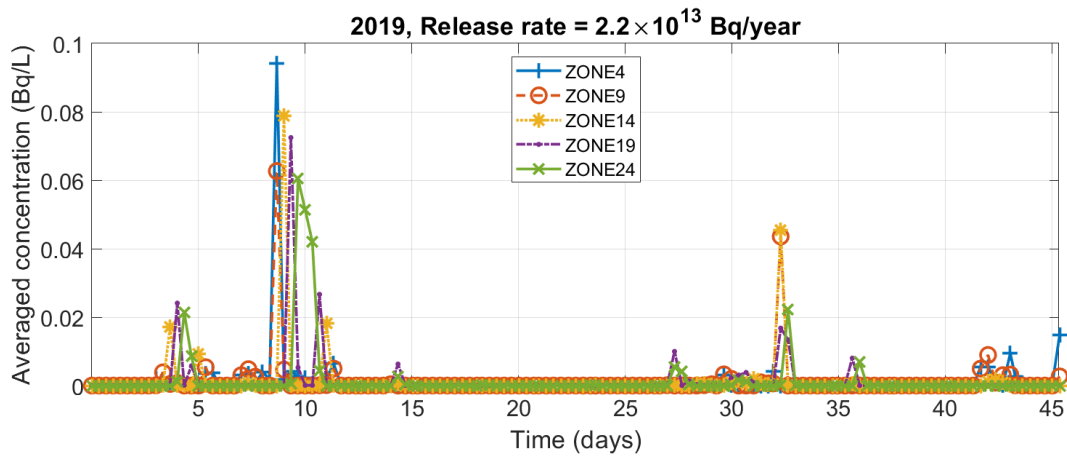


圖 3-173、監測區域 4、9、14、19 以及 24 污染物平均濃度變化

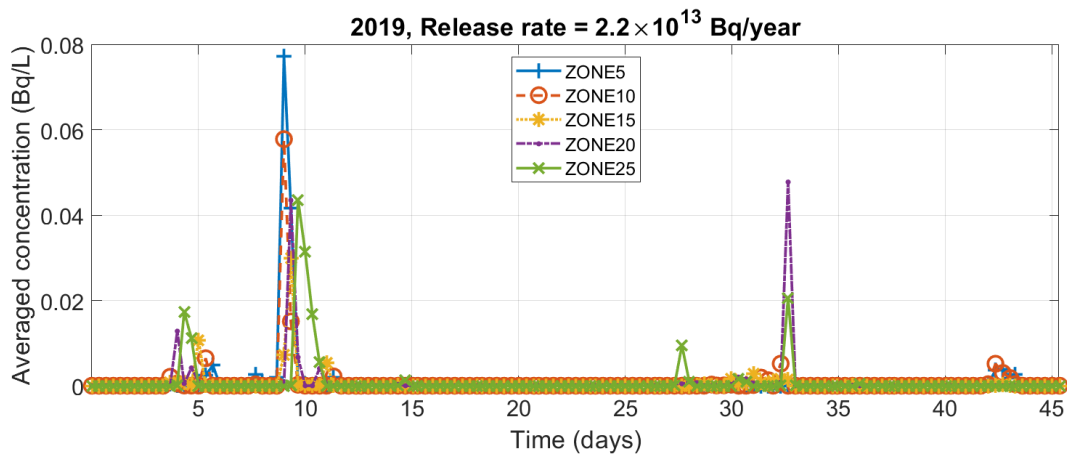


圖 3-174、監測區域 5、10、15、18 以及 23 污染物平均濃度變化

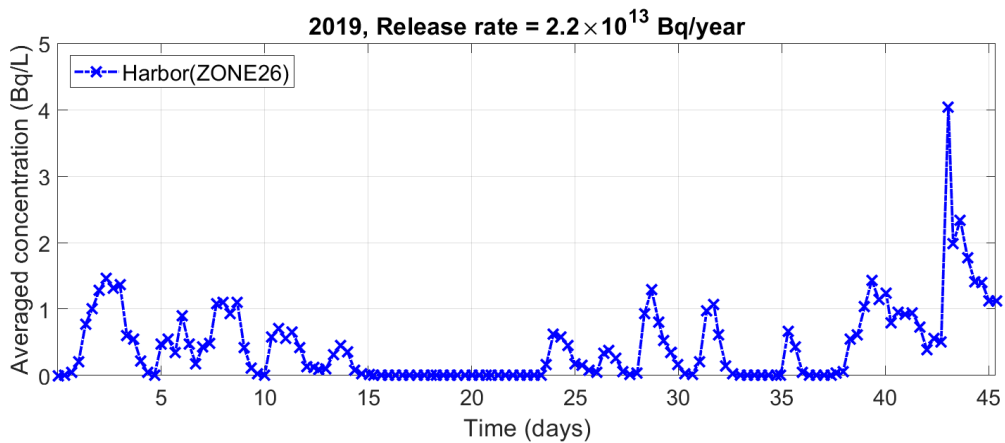


圖 3-175、海港(監測區域 26)區域內污染物平均濃度變化

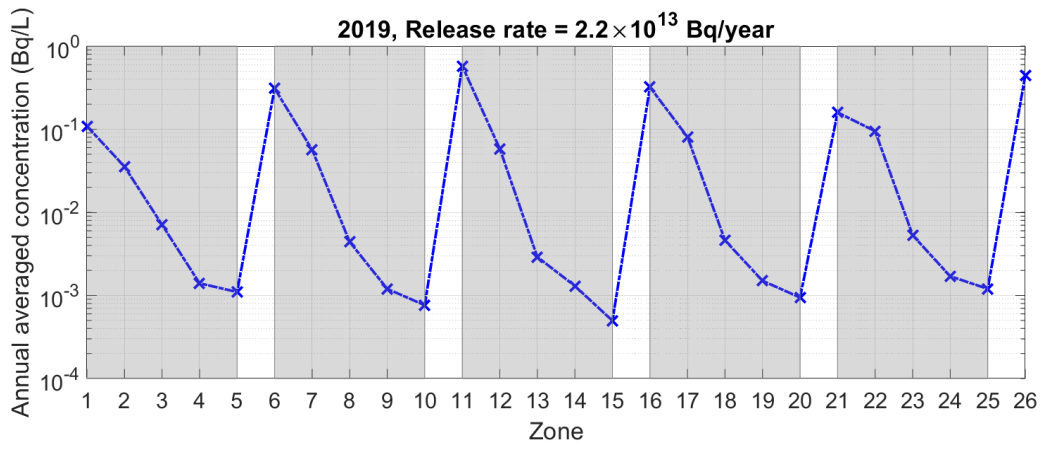


圖 3-176、各監測區域污染物年平均濃度

Time = 0.0000e+000

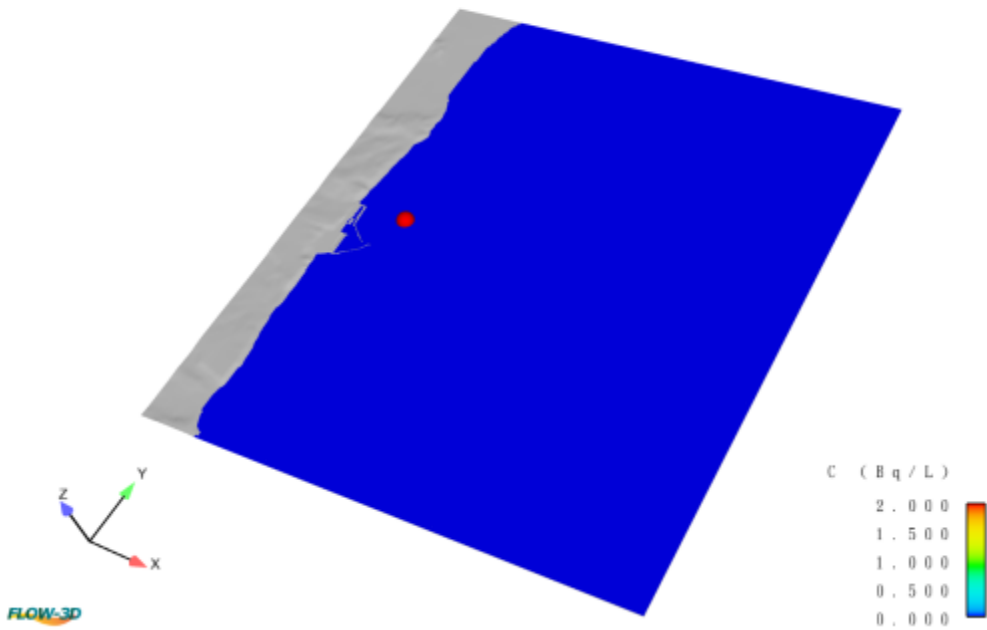


圖 3-177、第 0 天之污染物分布計算結果

Time = 3.6288e+005

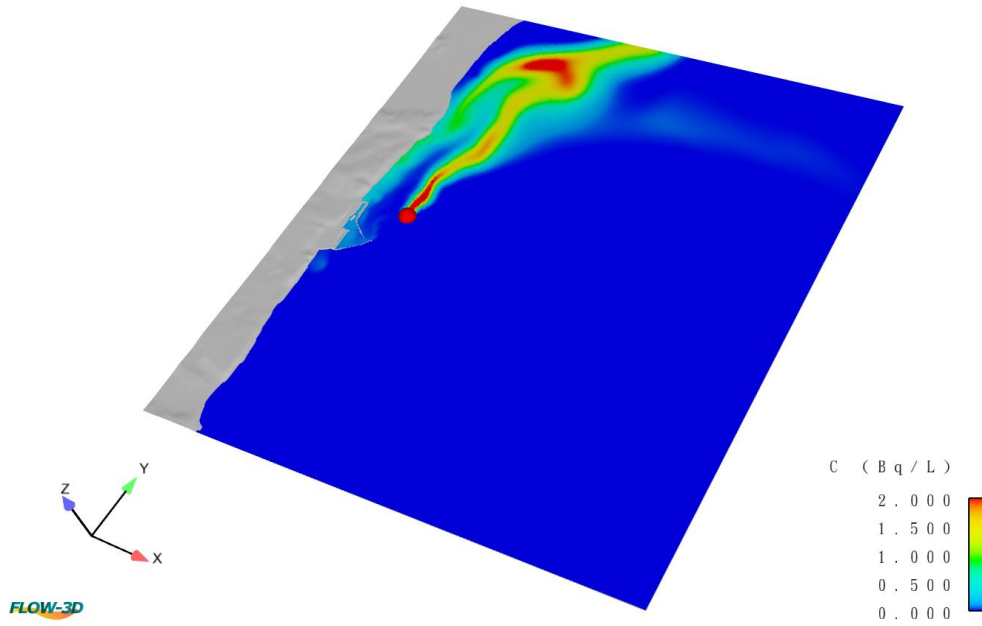


圖 3-178、第 4.2 天之污染物分布計算結果

Time = 7.2576e+005

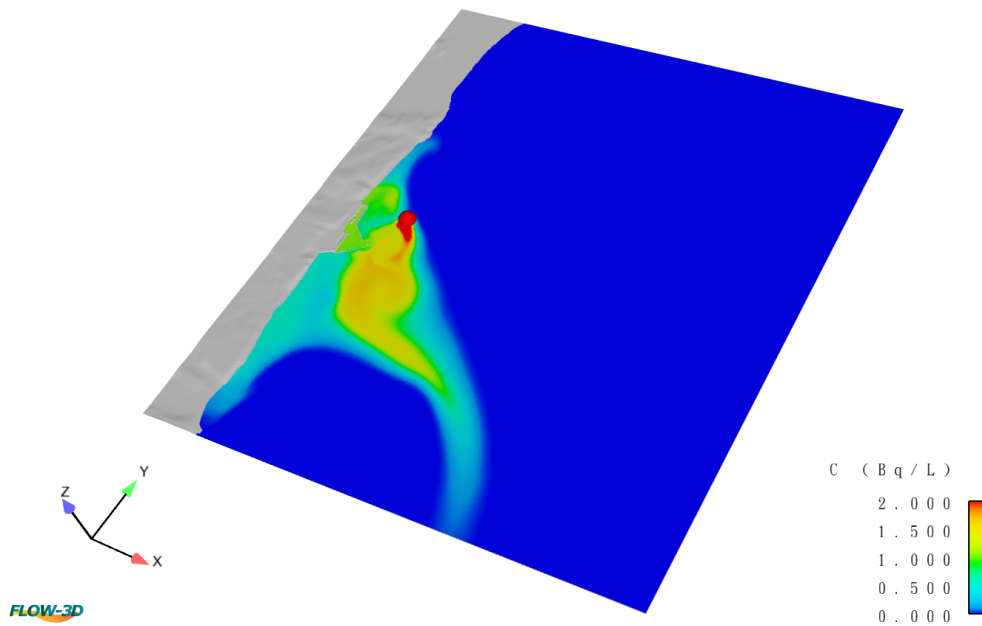


圖 3-179、第 8.4 天之污染物分布計算結果

Time = 1.0886e+006

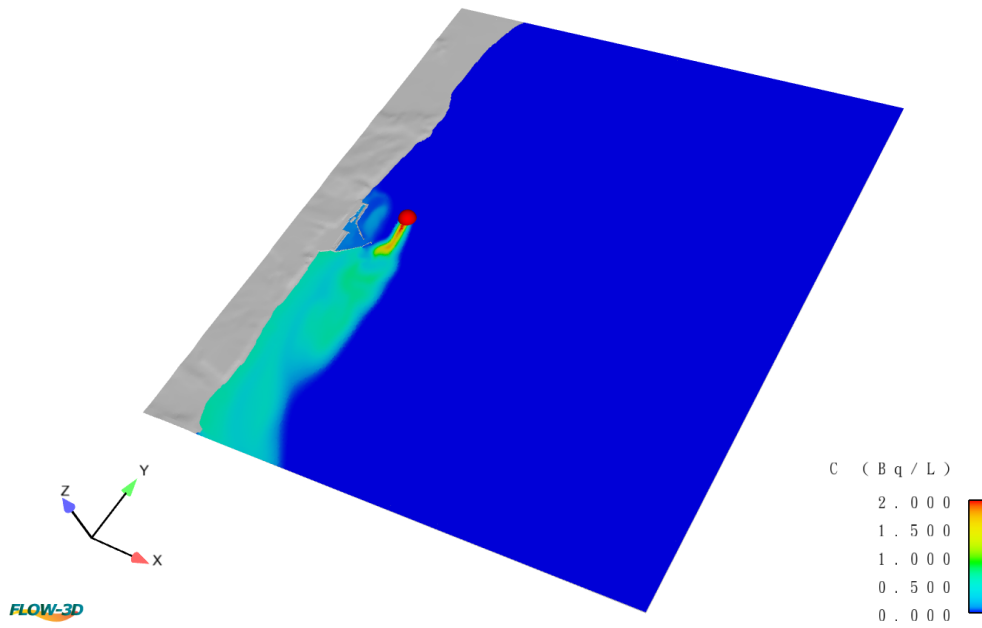


圖 3-180、第 12.6 天之污染物分布計算結果

Time = 1.4515e+006

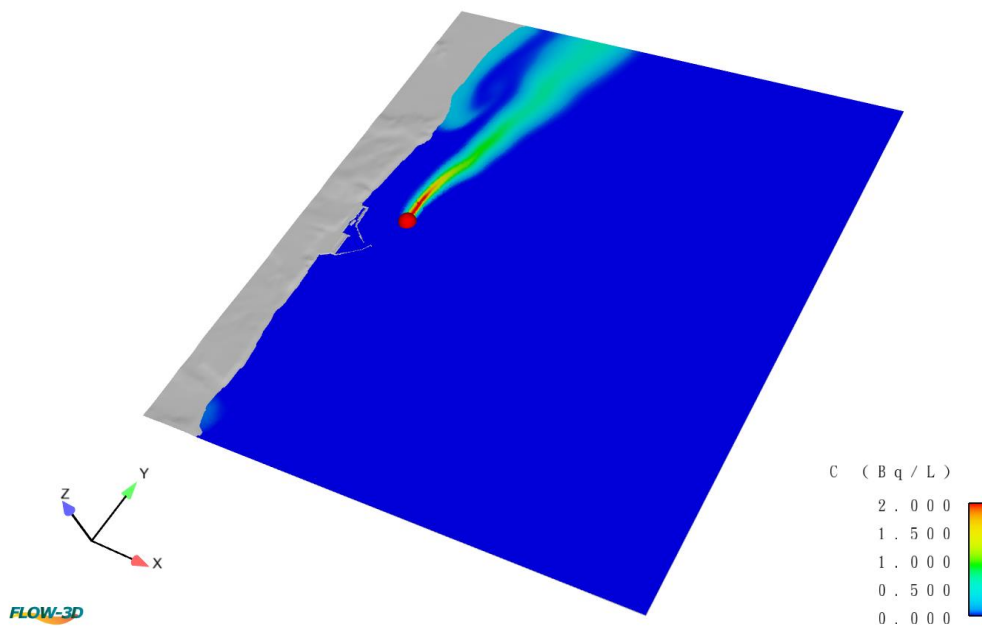


圖 3-181、第 16.8 天之污染物分布計算結果



Time = 1.8144e+006

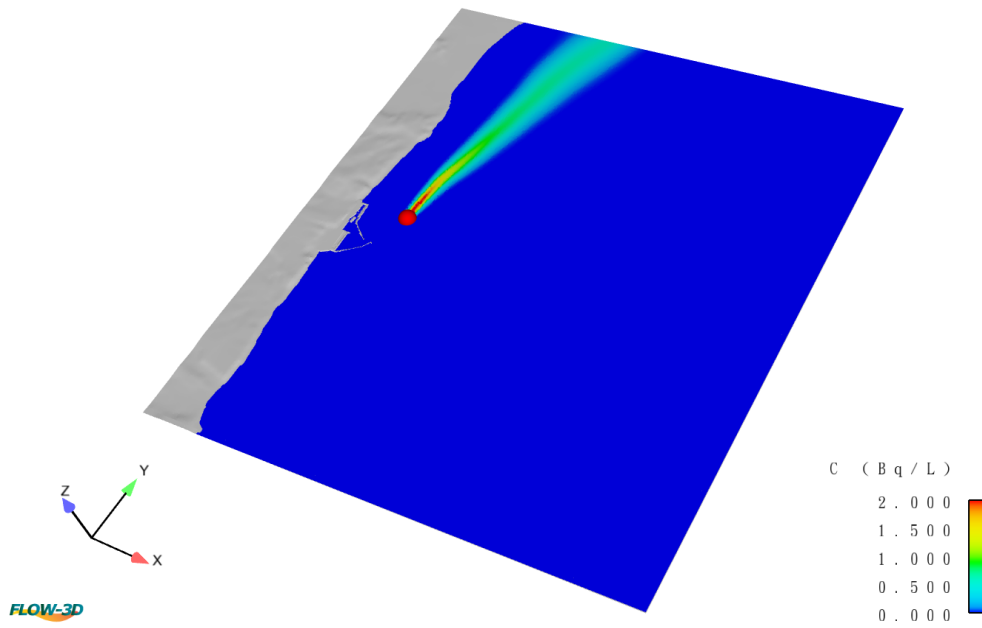


圖 3-182、第 21 天之污染物分布計算結果

Time = 2.1773e+006

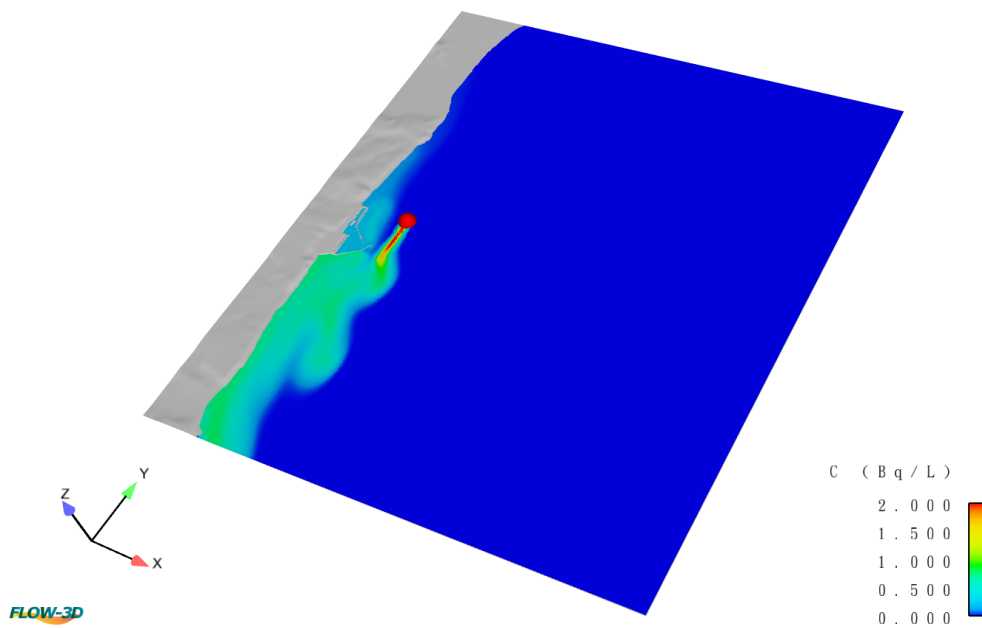


圖 3-183、第 25.2 天之污染物分布計算結果

Time = 2.5402e+006

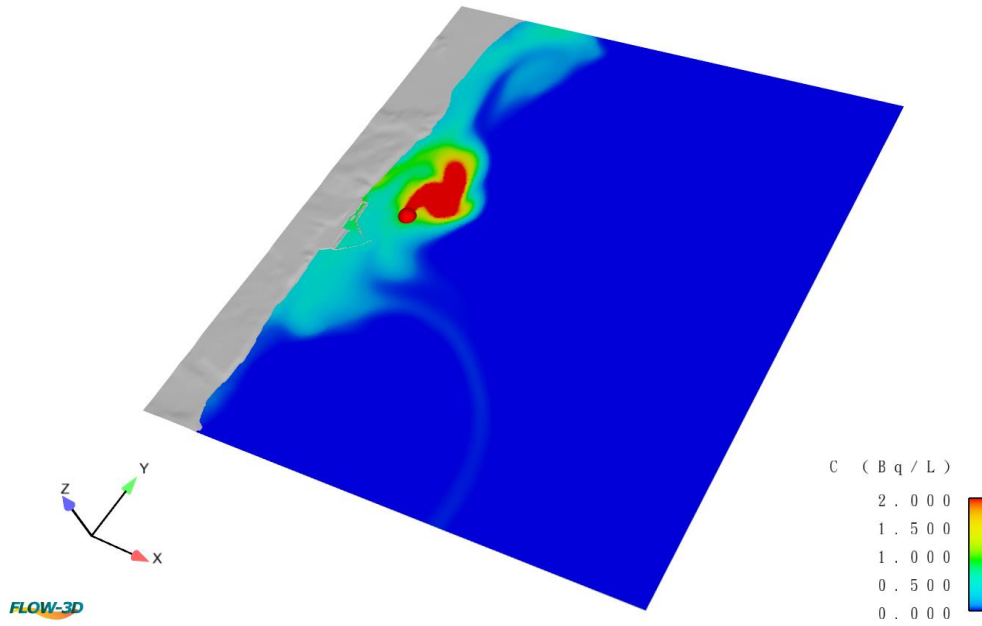


圖 3-184、第 29.4 天之污染物分布計算結果

Time = 2.9030e+006

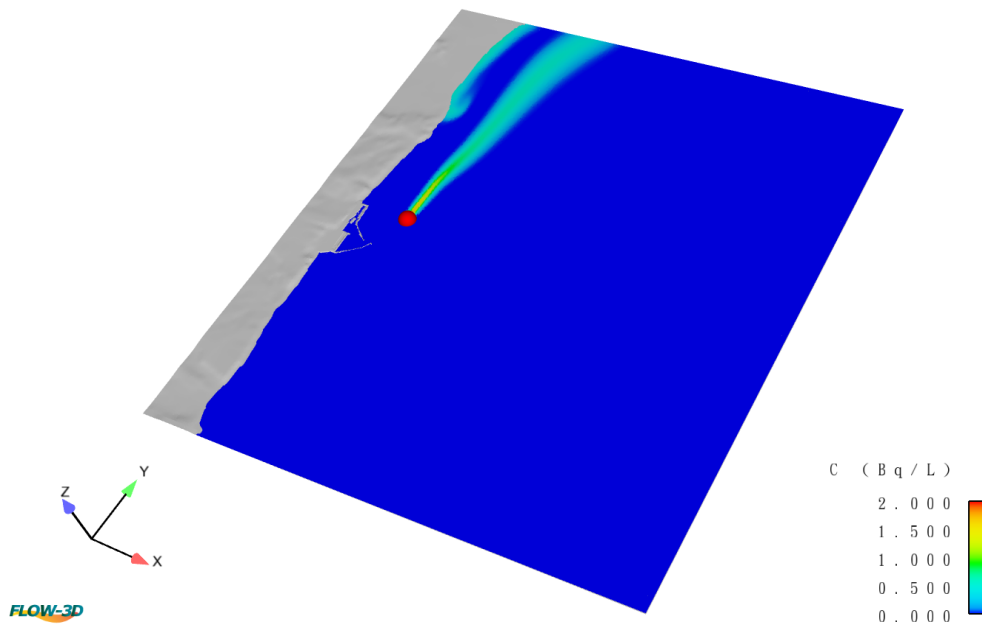


圖 3-185、第 33.6 天之污染物分布計算結果

Time = 3.2659e+006

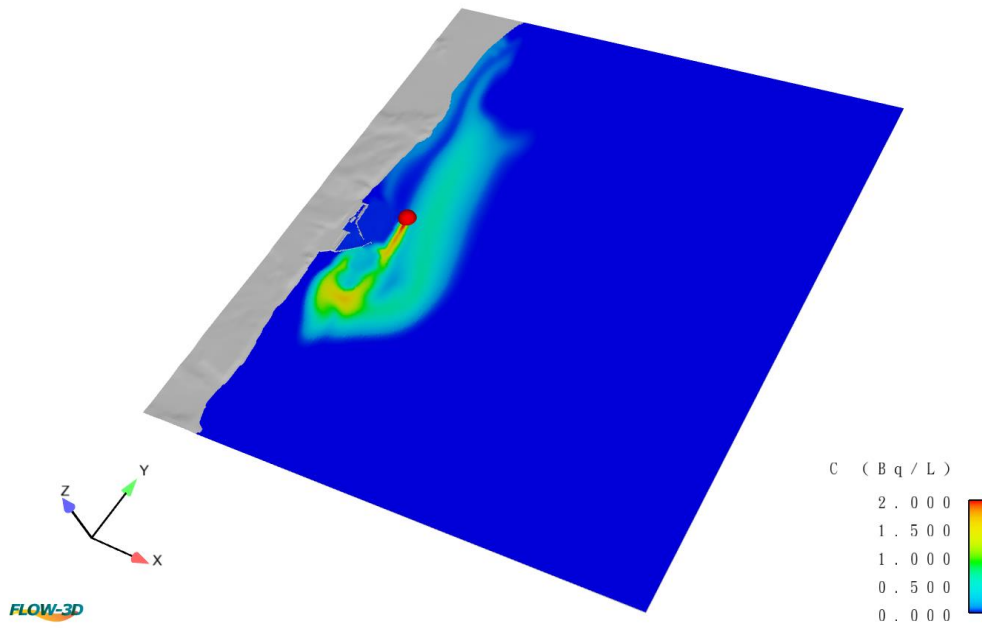


圖 3-186、第 37.8 天之污染物分布計算結果

Time = 3.6288e+006

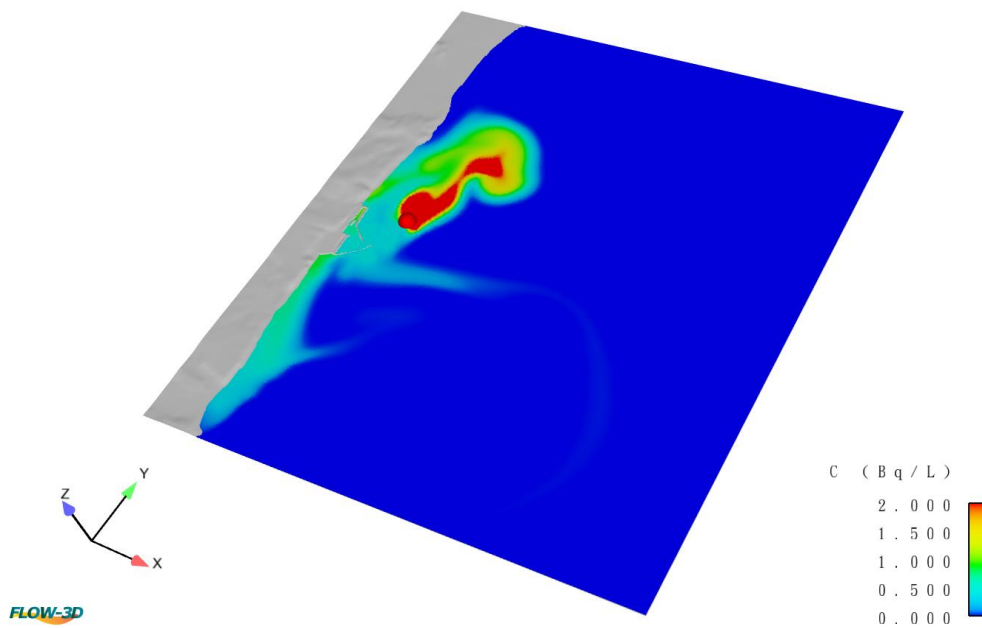


圖 3-187、第 42 天之污染物分布計算結果

本研究使用淺水波方程式以及擴散-對流方程式分別解算沿岸區域的流場變化以及污染物排放後在洋流作用下的擴張情形，並各自針對沿岸區域案例和海港區域案例，在監測區域範圍內之污染物平均濃度變化進行討論，其中地形與洋流資料皆由津旨大輔(Daisuke Tsumune)博士提供，洋流和海平面高度資料來自津旨博士透過 ROMS 針對 ALPS 處理水排放後對環境之放射性影響的研究成果，上述資料之時間區間從 2019 年 1 月到 12 月；此外在分析案例中設定之污染物年排放率以及活度分別為  $2.2 \times 10^{13}$  Bq/year 與 1500 Bq/L，換算為排放濃度和體積流率則分別為  $4.2 \times 10^{-12}$  kg/m<sup>3</sup> 以及 0.465 m<sup>3</sup>/s。

從沿岸區域案例之分析結果可以發現，監測區域內之污染物濃度大小隨著分析時間的推移而上下振盪，透過排放口排入海中的污染物隨即在洋流的對流作用下被帶往它處，因此並未發現監測範圍內污染物濃度累積之現象，其中濃度的三個高峰分別出現在第 65.51 天、第 244.2 天以及第 356.5 天，其值分別為 0.3363 Bq/L、0.3384 Bq/L 以及 0.3159 Bq/L，而濃度的最低值則分別為第 21.88 天的 0.0109 Bq/L、第 36.4 天的 0.0174 Bq/L 以及第 152.8 天的 0.0201 Bq/L，監測範圍內之污染物年平均濃度計算結果為 0.1369 Bq/L，而津旨博士透過 ROMS 分析之結果[1]顯示，監測範圍內整體海水之污染物年平均濃度為 0.056 Bq/L，由於津旨博士使用之 ROMS 能夠在垂直方向劃分計算網格，藉此描述洋流在垂直方向之變化，故污染物可能隨著洋流經由三個不同的方向逸散，但是本研究透過 FLOW-3D，以淺水波方程式對流場進行解算工作，不考慮海水在垂直方向的流動對污染物之影響，因此本研究分析所得結果較為保守，津旨博士亦認為本研究之分析成果合理。另外從污染物分布計算結果可以發現，污染物的擴張範圍主要集中在沿岸區域附近，儘管出現往離岸方向擴張的現象，但隨即在洋流對流作用下又漸漸地往近岸區域集中，整體而言，其分布範圍在南-北向之變化較東-西向來得劇烈，本研究認為這是洋流的動量在南-北向大於東-西向所導致。

另外在海港區域案例為探討不同區域內污染物濃度之變化，本研究將此案例劃分為 26 個監測區域，其中監測區域 1、6、11、16 以及 21 在分析期間

出現的平均濃度峰值大小依序為監測區域 11 的 1.9940 Bq/L (第 42.72 天)、監測區域 6 的 1.6650 Bq/L (第 43.63 天)、監測區域 16 的 1.664 Bq/L (第 31.94 天)、監測區域 21 的 1.347 Bq/L (第 32.29 天)以及監測區域 1 的 0.7606 Bq/L (第 11.33 天)；而年平均濃度之大小依序為監測區域 11 的 0.5761 Bq/L、監測區域 16 的 0.3214 Bq/L、監測區域 6 的 0.3094 Bq/L、監測區域 21 之 0.1592 Bq/L 以及監測區域 1 之 0.1087 Bq/L。除此之外，從監測區域 2、7、12、17 以及 22 之污染物平均濃度變化計算結果可以發現，污染物之濃度隨著離岸距離的增加而減少，其中污染物平均濃度峰值出現在監測區域 22，其值為 0.9392 Bq/L(第 29.98 天)，而年平均濃度大小則分別為監測區域 22、17、12、7 以及 2 的 0.0947 Bq/L、0.0807 Bq/L、0.0581 Bq/L、0.0566 Bq/L 以及 0.0355 Bq/L。除了上述區域外，監測區域 3、8、13、18、23 以及 4、9、14、19、24 和 5、10、15、20、25，在分析期間出現之最大濃度分別為監測區域 8 的 0.1638 Bq/L (第 8.67 天)、監測區域 4 的 0.0942 Bq/L (第 8.67 天)以及監測區域 5 的 0.0772 Bq/L (第 9 天)，其他區域之計算結果請參考表 3-30。

此外從海港區域案例之污染物濃度分布計算結果中發現，與沿岸區域案例類似，在洋流的影響下，污染物主要集中在沿岸區域，且南-北向的濃度變化較東-西向更加劇烈，這是因為兩個案例所使用的洋流條件相同所致。除此之外亦可觀察到在第 4.2 天、第 8.4 天以及第 12.6 天的分析結果可以看到在海港區域內部以及外部污染物濃度的梯度變化相當顯著，這表示海港具有延緩污染物擴散的特性，由於海水皆經由外廓堤開口處進出，加上幾何效應的影響，造成出口處附近產生渦流，以及海港內部海水對流效果不佳等現象，使得海水交換率受到影響，因此當污染物進入海港區域後並不會立刻在洋流的對流作用下而離開，而是在其內部停留一小段時間後，再經由外廓堤開口處流出海港區域，因此在較短的時間區間內，海港具有困住污染物的特性，換句話說污染物在短時間內會在海港區域內累積，但隨時間的推移，污染物最終將在洋流的影響下被帶離海港，此時其內部污染物之濃度將隨之下降，因此在較長的時間尺度下無法觀察到污染物隨時間累積的現象發生，但本研究認為此現象仍須

透過更長的分析時間以及更高解析度的網格來確認。

子項三重要儀器設備：

項次	儀器名稱	金額(千元)	辦理情形
1	海洋擴散 SCHISM 模式計算平台	2,100	完成計算平台硬體建置 完成計算平台軟體建置與環境建立

子項三重要委辦購案：

項次	購案名稱	金額(千元)	辦理情形
1	福島氙廢水海洋傳輸擴散系統優化建置案	3,325	已完成採購交貨。

#### 子項計畫四：海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查

細項項目 (執行單位)	目標	112 年度工作項目	達成情形(百分比)
<b>研究計畫一：海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查</b>			
沿岸生態系核污染採樣調查(國海院)	完成臺灣東部海域生物核污染採樣監測及分析，並完成生物背景值資料蒐集。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成臺灣東北部(石門、龍洞、大溪)、東部(花蓮)、東南部(成功)以及西南部(東港)海域等 3 個生態系及 3 個漁港調查採樣。</li> <li>2. 將樣本送國原院進行核種分析，得知各樣點生物背景值。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成共計 4 季次生物樣本採集，共完成 3 處漁港及 3 處沿岸生物採集。本次採集漁港魚類(以非經濟性為主)小型計 24 公斤、中型計 24 公斤及生態系生物，藻類計 24 公斤、甲殼類計 7.2 公斤、軟體動物計 7.2 公斤、魚類 7.2 公斤，後續由國原院進行分析，以收集氙水排放前生物體輻射背景基線資料。</li> <li>2. 沿岸生態系檢測結果均無輻射異常(包括有銫 137、自由水氙、有機鍵結氙)。</li> </ol> <p><b>(100%)</b></p>

#### 【研究計畫一：海洋輻射沿岸生態系核污染採樣調查】

本計畫延續 110 年第 4 季至 111 年第 4 季整備計畫對臺灣沿近岸生態系生物的採樣監控，於 112 年第 1 季日本尚未進行含氙廢水排放前，透過臺灣沿近岸生態系放射性調查，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 112 年 8 月 24 日中午，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採樣調查，範圍包含石門、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；日本排放含氙廢水前以建立代表性生物體內之基本背景值資料為主，並於 8 月 24 日日本開始排放後，持續進行前述六個海域生物放射性監測比對，確認我國沿近岸生態是否受日本福島含氙廢水的入侵影響及其對海域生態系的衝擊。

本計畫持續進行臺灣海域（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國原院進行分析及檢驗。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國原院進行分析。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。
- (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：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國原院進行分析及檢驗。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，送至國原院進行分析。本計畫採樣初步規劃於 2023 年第 1 季（01~03 月）開始，至 2023 年第 4 季（10~12 月）為止，每季完成 1 次採樣作業，共計 4 次，目前已完成第 4 次生物樣本採集（圖 4-1），並由國原院完成分析。本計畫採樣作業規劃如下：

(1) 採樣時間：於 2023 年第 1 季（01~03 月）開始，至 2023 年第 4 季（10~12 月）為止，每季完成 1 次採樣作業，共計 4 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 4-1. 臺灣沿近岸生態系生物樣本採集站點

於本年度應對計畫中，國海院已完成 4 季次臺灣沿近岸生態系生物樣本採樣工作，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 24 公斤、中型計 24 公斤及生態系生物，藻類計 24 公斤、甲殼類計 7.2 公斤、軟體動物計 7.2 公斤、魚類 7.2 公斤，後續由國原院進行分析，以持續收集氙水排放前生物體輻射背景基線資料，並與日本 8 月 24 日開始含氙廢水排放後之生物樣本進行比對，確認其對臺灣沿近岸生態系生物之影響。本年度生態系樣本採樣共計 96 組樣本（3 個樣點\*4 類\*2 種 \*4 季）；漁港樣本共計 48 組樣本（3 個樣點\*2 類\*2 種 \*4 季），詳如表 4-1 及附件三之樣本採樣紀錄。

表 4-1. 臺灣沿近岸生態系生物採樣及分析結果

		石門	龍洞	磯崎	大溪	成功	東港
112 年 第 1 季	採樣日期	112.02.24	112.03.24	112.02.09-10	112.02.10	112.02.15	112.02.14
	採樣數量	8	8	8	4	4	4
	送樣日期	112.03.14					
	銫-137	<MDA(0.34)~0.71 Bq/kg (均未超標)					
	自由水氚	<MDA(0.3)~0.61 Bq/kg (無異常)					
	有機鍵結氚	<MDA(0.03)~0.67 Bq/kg (無異常)					
112 年 第 2 季	採樣日期	112.05.02	112.05.08	112.04.19-20	112.05.05	112.05.10	112.05.09
	採樣數量	8	8	8	4	4	4
	送樣日期	112.06.15					
	銫-137	<MDA(0.34)~0.71 Bq/kg (均未超標)					
	自由水氚	<MDA(0.3)~0.61 Bq/kg (無異常)					
	有機鍵結氚	<MDA(0.03)~0.67 Bq/kg (無異常)					
112 年 第 3 季	採樣日期	112.07.19- 112.08.21	112.07.19- 112.08.21	112.07.17-21	112.07.21	112.08.09-10	112.08.08
	採樣數量	8	8	8	4	4	4
	送樣日期	112.09.12					
	銫-137	<MDA(0.34)~0.71 Bq/kg (均未超標)					
	自由水氚	<MDA(0.3)~0.61 Bq/kg (無異常)					
	有機鍵結氚	<MDA(0.03)~0.67 Bq/kg (無異常)					
112 年 第 4 季	採樣日期	112.10.3	112.10.3	112.10.11-14	112.10.13	112.10.17-18	112.10.16
	採樣數量	8	8	8	4	4	4
	送樣日期	112.11.07					
	銫-137	<MDA(0.34)~0.71 Bq/kg (均未超標)					
	自由水氚	<MDA(0.3)~0.61 Bq/kg (無異常)					
	有機鍵結氚	<MDA(0.03)~0.67 Bq/kg (無異常)					

\*MDA 為試樣之放射性分析及能譜分析，最小可測量值 (Minimum Detectable Amount, MDA)

\*生物氚包含組織自由水氚和有機鍵結氚。

\*目前我國尚無生物氚容許量標準，本計畫為進行生物氚含量背景基線調查研究，檢測結果係與先前蒐集背景基線數據進行比較，以判斷是否有無異常。

\*依據核安會「環境試樣放射性分析之預警措施基準」農漁產品之銫-137 之紀錄基準為 0.3 Bq/kg，調查基準為 74 Bq/kg。



## 伍、 結語

本計畫重點為因應日本氙水排放的第一年度，基於政府應對日本排放作業所採取的四配套措施，從源頭管制、強化監測、擴散預報、資訊公開等面向進行技術開發，其相關成果及應用討論之細節皆於前述章節提及，而其整體之成果如下：

**源頭管制：**由於排放源頭在日本，本計畫配合核安會運作的跨部會因應平台，結合所掌握的日本動態與 IAEA 的安全監督資訊，運用於本計畫執行技術開發精進，如：海水、漁獲監測計畫之擬定、檢驗方法與監測技術之開發、關鍵曝露途徑之研析、人工養殖場之規劃等。另福島含氙廢水 7 天擴散預報系統亦是依據日本排放源頭資訊，每日進行擴散模擬，令預報結果更貼合實際排出狀況。

**強化監測：**本計畫由核安會與衛福部、農業部、海委會的跨部會合作強化輻射監測作為，執行海水、漁產、環境生態樣品及日本進口食品之取樣檢測，迄今檢測結果均無輻射異常，未來亦將持續進行漁產及海水監測，並將監測結果與日本排放前建立的背景資料庫進行比對分析，據以滾動調整監測計畫。

**擴散預報：**為預先掌握日本福島含氙廢水排放對臺灣海域的影響，由核安會與氣象署合作開發 100 年日本福島事故後的十年歷史洋流資料，進行氙廢水擴散濃度動態模擬分析，結果顯示主要的含氙廢水，沿北太平洋洋流向東流向美國西岸，而部份則受北太平洋中尺度渦流影響，約在排放 1 至 2 年後到達臺灣附近海域，氙濃度約在排放 4 年後達到最大值，約在 100 萬分之 1 Bq/L 的範圍，遠低於臺灣海域的氙環境背景平均值 0.5Bq/L，以及氙的輻射儀器偵測極限 0.1 Bq/L，對臺灣附近海域輻射安全影響，已至可忽略的程度。2023 年 8 月 24 日日方正式排放後，系統依據實際排放情形進行擴散動態模擬評估，提供海洋氙濃度擴散預報，並於資訊平台首頁之一週擴散預報概述提供排放源濃度資訊、未來一週海流變化趨勢與含氙廢水擴散預報影響範圍，將系統產出之科學數據轉換成親民易懂之文字敘述，並重點點出外界最為關注之訊息，即目前含氙廢水的排放對臺灣海域地區的影響。另外，資訊平台在擴散預報結果

的呈現，以 10 年歷史擴散模擬的結果進行每日擴散預報之燈號顯示，在含氚廢水主要傳輸方向分為兩區，「日本本州東部海域」與「黑潮延伸流東區」，其中黑潮延伸流東區涵蓋了我國遠洋漁場，因此「日本本州東部海域」的擴散預報濃度變化可預知將在多久之後影響到「黑潮延伸流東區」，以目前之預報結果來看，含氚廢水  $10^{-7}$  Bq/L 濃度線於 9 月下旬進入到「日本本州東部海域」，約一個半月後，也就是 11 月中左右開始影響到「黑潮延伸流東區」，且由於擴散作用的影響，「日本本州東部海域」之最大值為「黑潮延伸流東區」的 10 倍，因此，依據上述兩區之濃度變化時程與濃度大小差異，可提供異常濃度發生時，提供相關單位預先增加採樣頻率的參考依據。除上述兩區外，另外三區為依照氚廢水可能影響臺灣周圍海域的途徑所劃分，因此「關島西北方海域」與「沖繩群島周圍海域」皆可做為「臺灣周圍海域」之”前哨觀察區”，但至 2023 年年底為止，尚未影響到這三區，故其之間的影响變化尚且未知，可做為後續擴散預報觀察之重點。

**資訊公開：**為強化民眾溝通及資訊公開，本計畫建置放射性物質海域擴散海洋資訊平台(網址：<https://tworis.nusc.gov.tw/RDOOP/>)，參照國際安全標準嚴格監測，將海水監測與擴散預報等科學專業數據，轉譯為淺顯易懂的燈號，以公開、透明、專業的立場，超前部署政府因應作為，確保我國海域與民眾輻射安全，讓民眾能安心放心。

此外，為使計畫執行單位與相關專家學者能有更多跨域合作，經驗交流分享的機會，本計畫於 112 年 12 月 6 日於集思台大會議中心辦理「國家海域放射性物質擴散預警及安全評估技術研討會」，研討議題涵蓋：放射性物質海域擴散分析、食品評估與風險溝通、漁獲物取樣規劃、臺灣沿岸生態系輻射監測、生物氚檢測技術、輻射劑量評估各不同面向。總計約 78 位與會者，共 16 個單位參與研討會，會議過程中，透過專家講座深入淺出的說明，與會者與專家學者進行熱烈討論。藉由舉辦本次研討會，不僅使參與者能對各項專業議題有更深入的認識，也達到學術交流與研究經驗分享之目的。

本計畫為 4 年期計畫的第一年，未來將持續配合四配套應對措施，提供

專業科學支持，守護我國海域與民眾輻射安全。





## 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 銫-137 formed by subduction in the North Pacific. *Geophysical Research Letters* 35, L01604.
5. Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities, IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. GSG (General Safety Guide)-10, 2018.
6. Radiological Impact Assessment Report Regarding the Discharge of ALPS Treated Water into the Sea (design stage), Tokyo Electric Power Company Holdings, Incorporated, November 2021.
7. Radiological Impact Assessment Report Regarding the Discharge of ALPS Treated Water into the Sea (design stage/Revised version), Tokyo Electric Power Company Holdings, Incorporated, April 2022.
8. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and The Optimization of Radiological Protection: Broadening the Process, ICRP PUBLICATION 101, September 2005.
9. [1] Tetsuya nakamura. (2021). Impact on Fisheries in Contaminated Water Discharged from Nuclear Power and Reprocessing Plants: The Cases of La Hague

Reprocessing Plant, Sellafield Nuclear Fuel Reprocessing Plant, and TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.  
<https://doi.org/10.20965/jdr.2021.p0840>

- 10.[2] Saiyue Lyu and Zhicong Lu. (2023). Exploring Temporal and Multilingual Dynamics of Post-Disaster Social Media Discourse: A Case of Fukushima Daiichi Nuclear Accident.
11. Brovchenko, I., Kim, K. O., Maderich, V., Jung, K. T., Bezhenar, R., Ryu, J. H., & Min, J. E. (2022). Sediment and Radioactivity Transport in the Bohai, Yellow, and East China Seas: A Modeling Study. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/jmse10050596>
12. Cummings, J. A. (2005). Operational multivariate ocean data assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 131(613), 3583-3604.
13. Cummings, J. A., & Smedstad, O. M. (2013). Variational data assimilation for the global ocean. *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II)*, 303-343.
14. Fox, D. N. (2002). The modular ocean data assimilation system. *Oceanography*, 15, 22-28.
15. 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.
16. Kamidaira, Y., Uchiyama, Y., Kawamura, H., Kobayashi, T., & Otosaka, S. (2021). A modeling study on the oceanic dispersion and sedimentation of radionuclides off the coast of Fukushima. *Journal of Environmental Radioactivity*, 238, 106724.

17. 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>
18. Kawamura, H., Kobayashi, T., Furuno, A., Usui, N., & Kamachi, M. (2014). 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, 64-75.
19. Lumpkin, R., & Pazos, M. (2007). Measuring surface currents with Surface Velocity Program drifters: the instrument, its data, and some recent results. *Lagrangian analysis and prediction of coastal and ocean dynamics*, 39, 67.
20. 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.
21. 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>
22. Nahum, A., & Seifert, A. (2006). Technique for backward particle tracking in a flow field. *Physical Review E*, 74(1), 016701.
23. Perianez, R. (2005). Modelling the transport of suspended particulate matter by the Rhone River plume (France). Implications for pollutant dispersion. *Environmental Pollution*, 133(2), 351-364.
24. Periañez, R., Brovchenko, I., Duffa, C., Jung, K. T., Kobayashi, T., Lamego, F., ... & Suh, K. S. (2015). A new comparison of marine dispersion model performances for Fukushima Dai-ichi releases in the frame of IAEA MODARIA program. *Journal of Environmental Radioactivity*, 150, 247-269.

25. Periañez, R., Bezhenar, R., Brovchenko, I., Jung, K. T., Kamidara, Y., Kim, K. O., ... & Suh, K. S. (2019). Fukushima 137Cs releases dispersion modelling over the Pacific Ocean. Comparisons of models with water, sediment and biota data. *Journal of environmental radioactivity*, 198, 50-63.
26. 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>
27. Smagorinsky, J., (1963). General circulation experiments with the primitive equations, I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, 91:99-164.
28. Steinhauser, G., Brandl, A., & Johnson, T. E. (2014). Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: a review of the environmental impacts. *Science of the total environment*, 470, 800-817.
29. Takemura, T., Nakamura, H., Takigawa, M., Kondo, H., Satomura, T., Miyasaka, T., & Nakajima, T. (2011). A numerical simulation of global transport of atmospheric particles emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Sola*, 7, 101-104.
30. Tokyo Electric Power Company (TEPCO). (2021) Application for approval to amend the Implementation Plan for Fukushima Daiichi Nuclear Power Station as Specified Nuclear Facility.
31. Tokyo Electric Power Company (TEPCO). (2021) Radiological Impact Assessment Report Regarding the Discharge of ALPS Treated Water into the Sea.
32. 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.
33. Zhang, Y. J., Ye, F., Stanev, E. V., & Grashorn, S. (2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM. *Ocean Modelling*, 102, 64-81.
34. 邱皓政 (2010), 量化研究與統計分析-SPSS(PASW)資料分析範例

35. IAEA, “Modelling of Marine Dispersion and Transfer of Radionuclides Accidentally Released from Land Based Facilities”, IAEA-TECDOC-1876, (2019).
36. R. Periañez et al., “Fukushima  $^{137}\text{Cs}$  releases dispersion modelling over the Pacific Ocean. Comparisons of models with water, sediment and biota data”, *J. Environ. Radioact.*, 50, 63, (2019).
37. “ETOPO Global Relief Model” <https://www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model>
38. Yinglong J. Zhang et al., “A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model”, *Ocean Model.*, 16, 31, (2015).
39. Michio Aoyama et al., “ $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the North Pacific Ocean derived from the March 2011 TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Japan. Part two: estimation of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  inventories in the North Pacific Ocean”, *J. Oceanogr.*, 67, 76, (2016).
40. D. Tsumune et al., “One-year, regional-scale simulation of  $^{137}\text{Cs}$  radioactivity in the ocean following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident”, *Biogeosciences*, 5601, 5617, (2013).
41. Raúl Perianez et al., “A new comparison of marine dispersion model performances for Fukushima Dai-ichi releases in the frame of IAEA MODARIA program”, *Journal of Environmental Radioactivity* 150 (2015) 247-269.
42. Kazuhiro Misumi et al., “Factors controlling the spatiotemporal variation of  $^{137}\text{Cs}$  in seabed sediment off the Fukushima coast: implications from numerical simulations”, *Journal of Environmental Radioactivity* 136 (2014) 218-228.
43. G. J. Hunt et al., “Enhancement of tritium concentrations on uptake by marine biota experience from UK coastal waters”, *J. Radiol. Prot.* 30 (2010) 73–83.



## 附件一、氣象署擴散模式方法及資料

### 研究資料

#### HYCOM(HYbrid Coordinate Ocean Model)

HYCOM是由美國NOPP(National Ocean Partnership Program)合作開發的混合垂直座標三維海洋模式，並具有資料同化功能。傳統的海洋模式使用單一化的垂直座標系統，會使模式計算受到垂直座標系統的限制，HYCOM的混合垂直座標系統可以有效的解決垂直座標的限制。HYCOM的垂直混和座標系統是混合了等密度分層(sigma-coordinate)與等深度分層(z-coordinate)，等深度分層可以有效的應用在近岸地區，提供良好的近岸深度解析度；等密度分層則應用於深度較深的海域，可以減少計算所花費的時間，達到良好的計算效率。HYCOM海洋模式計算的方式是由海流邊界驅動(包含水位、流場、海溫及鹽度)，但不納入潮汐對整體流場影響。

由於本計畫需分析長期(2011~2022年)海流資料，因此橫跨時間較長，HYCOM海洋模式在此時間內有進行版本更新，資料產出的時間間隔格式有兩種，其一為每日一筆(2018年以前)保留的分析場資料，另一為每三小時輸出一筆(2019年~現今)保留的預報場資料。水平解析度為1/12度，垂直分層分為40層，產出水位、水平流場、海溫及鹽度(Cummings, 2005; Cummings & Smedstad, 2013; Fox et al., 2002)<sup>[2][3][4]</sup>。

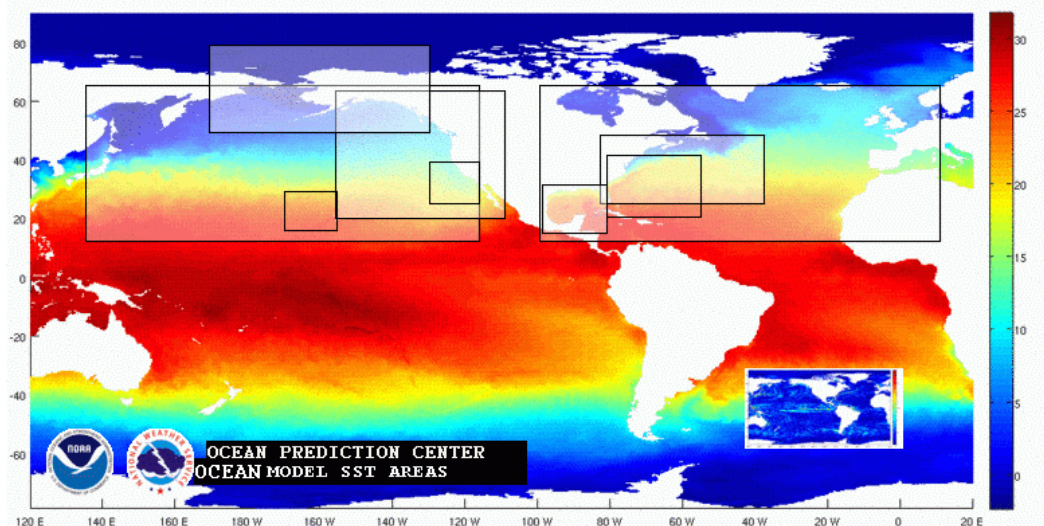


圖 1 HYCOM 全球海表溫分布圖(圖片來源: [https://ocean.weather.gov/SST\\_fcasts.php](https://ocean.weather.gov/SST_fcasts.php))

### 3.1.2 GDP(Global Drifter Program)

目前海洋研究中，常用之海流量測資料可由GDP(Global Drifter Program)網頁下載，該研究為一跨國性計畫，透過於全球海域布放漂流浮標，並由衛星定位浮標之漂流位置，可分析海洋表層流場之變化(Lumpkin and Pazos, 2006)<sup>[9]</sup>，同時，浮標上可配備不同微型感應器，如水溫、氣壓、風速、鹽度等，依據不同感應器之配置而有不同種類之浮標，一般最常見之浮標種類為SVP表面漂流浮標，為GDP 全球浮標計畫(Global Drifter Program)主導施放，美國國家海洋大氣總署(NOAA)負責資料品管與維護，利用水下拖曳傘維持觀測深度並由全球衛星定位系統(GPS)即時回報海表溫度和位置，由漂流位置的變化得以推算沿軌跡海流速度，其結構圖如圖3.所示。

這些資料常利用於海洋與大氣研究，可增加表層海流、海表溫鹽、海平面大氣壓力等的觀測資料密度，提供相關研究學者進行短期(季至年際之間)天氣預測、研究與監測之用，也是目前唯一實際能於海洋極端環境下持續實施觀測之儀器，浮標之電池壽命至少能維持2年以上。漂流浮標所蒐集之資料透過衛星傳輸系統送至GTS(Global Telecommunication System)網路，NOAA-AOML再蒐集處理這些資料，浮標隨著各地海流移動，動態之表層海象資料以衛星傳輸，自1979年至今已有約25國家約數千支浮標的觀測資料供下載。GDP回傳資料時間的間隔為每1小時一筆資料，但GDP管理組織公告於網路資訊的資料則為每6小時一筆資料，浮標最新布放狀況圖如圖2所示，透過長期觀測資料可進行長期海流、海溫等資料趨勢分析，如圖4所展示為1987年至2019年GDP浮標資料透過定網格方式，將30年浮標資料進行長期分析，藉此可分析想要研究的區域之海流特性。

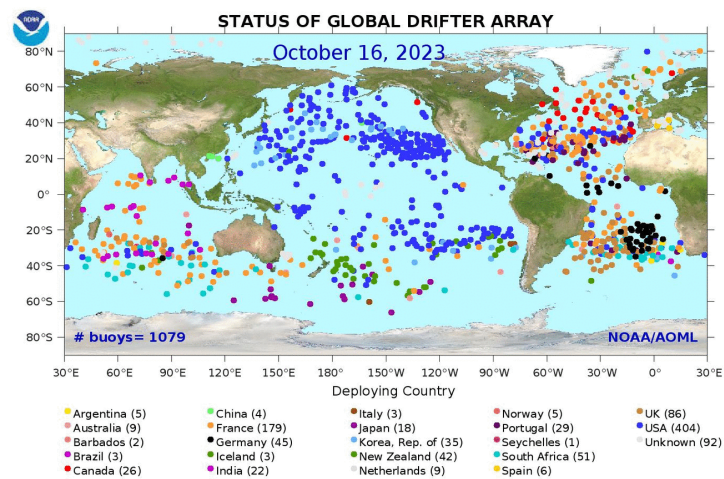


圖.2 GDP 觀測浮標位置分布示意圖(圖片來源: <https://www.aoml.noaa.gov/phod/gdp/index.php>)



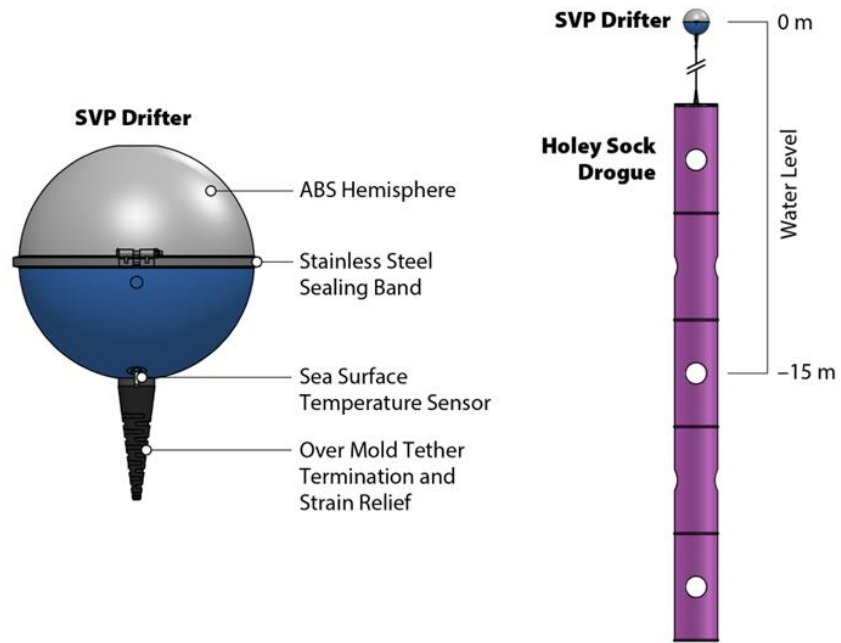


圖.3 GDP 浮標結構圖

(圖片來源: <https://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp.html>)

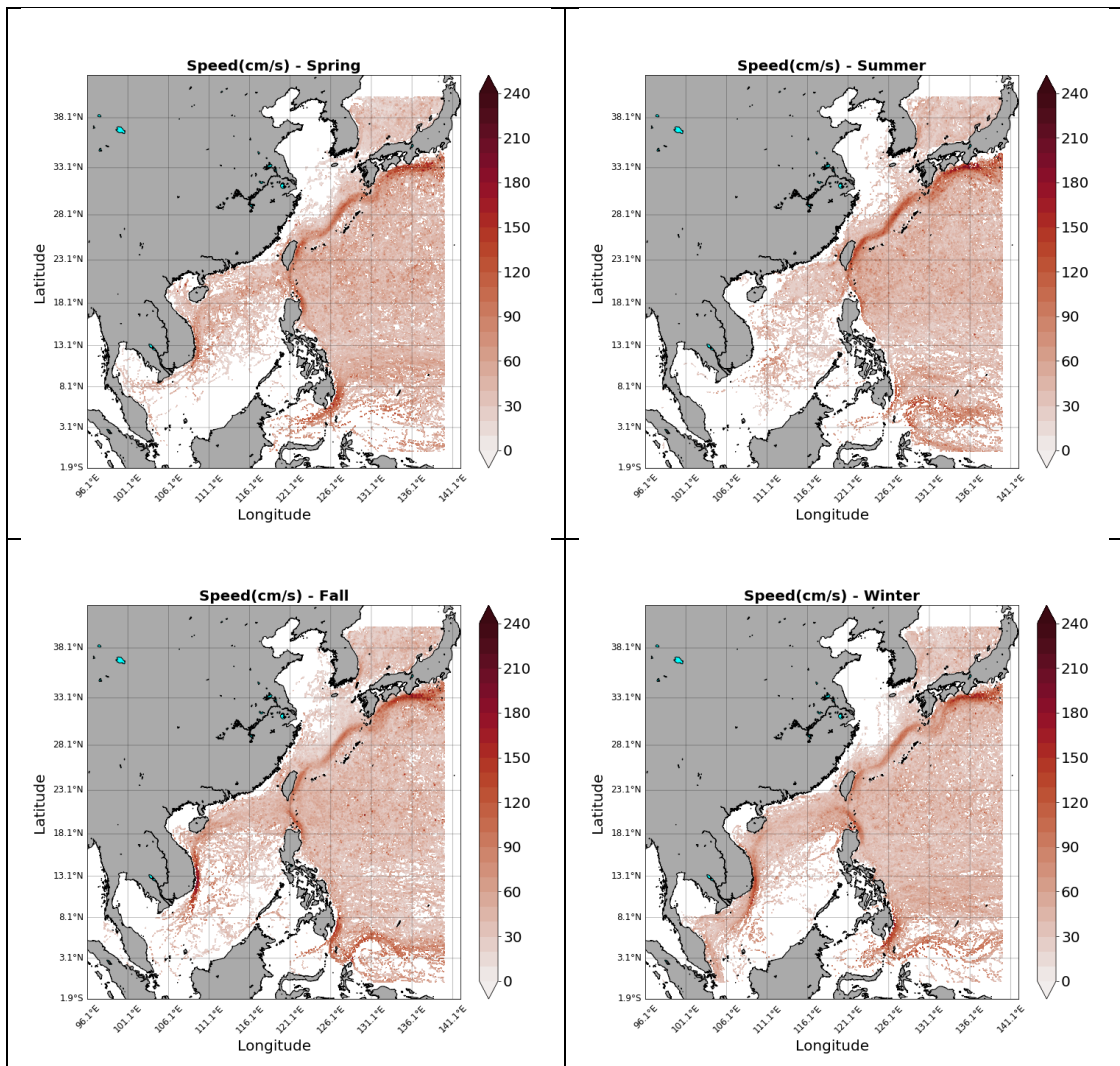


圖.4 1987~2019 年 GDP 觀測浮標季平均流速分布圖(本團隊分析繪製)

### 3.1.3 ARGO(Array for Real-Time Geostrophic Oceanography)

ARGO全球國際合作之觀測計畫為一使用氣象浮標於全球範圍海域進行布放，該系統藉由海流進行移動，並透過浮標內部氣閥調節來控制於海洋中深度，該浮標每10天會下潛至2000米深度並再度上浮，如圖5所示，其浮標作動流程為①沈入海底1000米(下降速度約每秒10公分)，②於水深1000米位置停留9天，③再下降至水深2000米(下降速度每秒10公分)，④上升至海表面(上升速度約每秒10公分)，此時浮標上所搭載的各式感測器記錄的深度、海溫、鹽度等資訊，將透過衛星傳輸各項資料，浮標會持續待在海面約20分鐘，然後又重新循環先前的各項程序，直至浮標電力耗盡為止，而目前全球最新的ARGO浮標分布圖如圖6所示。

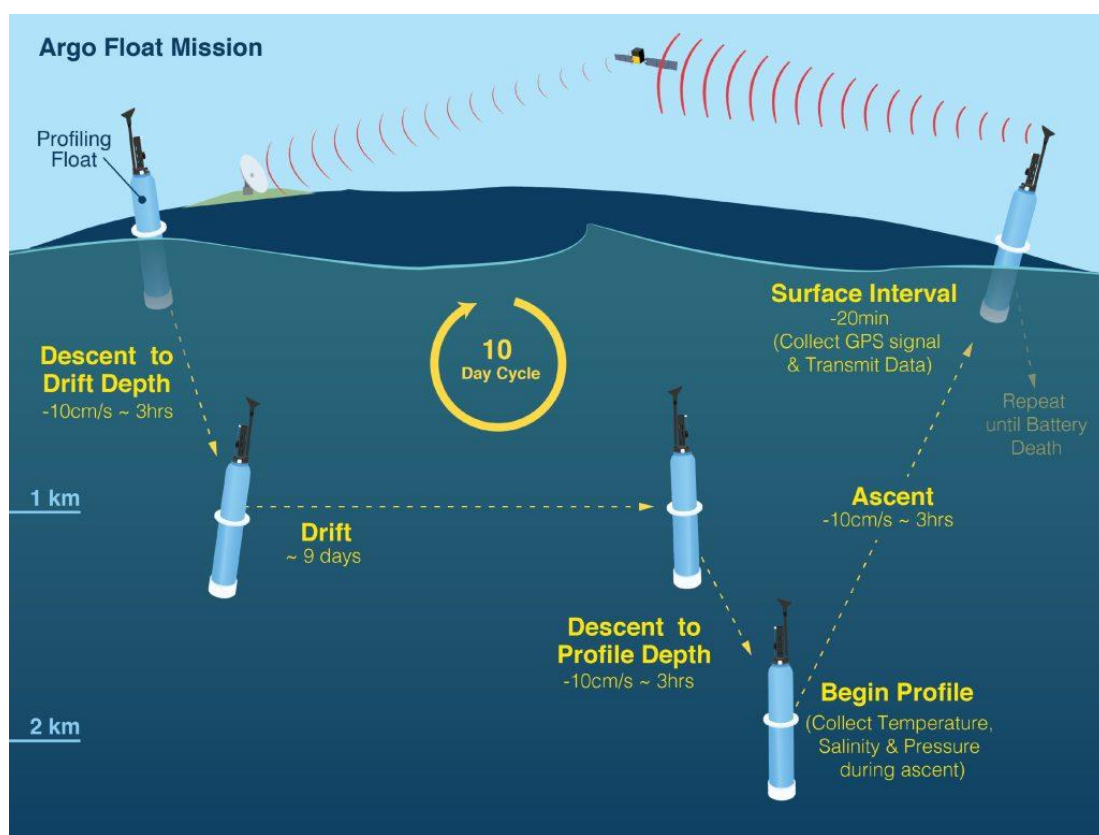


圖.5 ARGO 浮標量測流程示意圖(圖片來源: <https://globalocean.noaa.gov/research/argo-program/>)

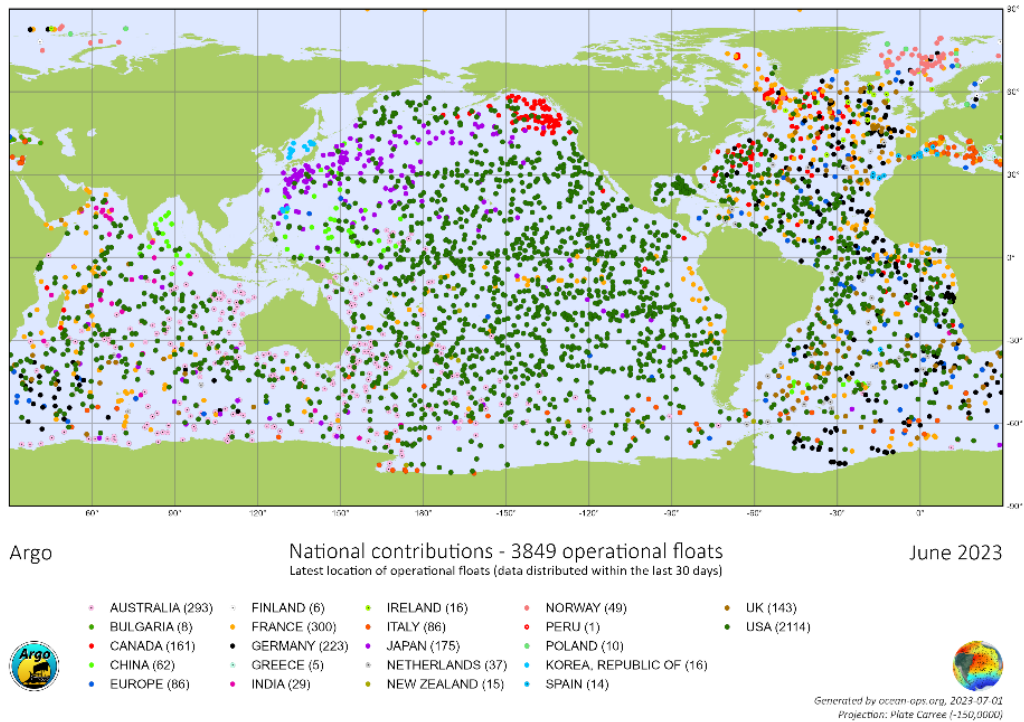


圖.6 ARGO 觀測浮標位置分布示意圖(圖片來源: <https://www.ocean-ops.org/board?t=argo>)

### 3.1.4 GHRSSST(Group for High Resolution Sea Surface Temperature)

高解析海面溫度小組(GHRSSST)為一使用衛星資料進行海面溫度解析之跨過團體，其原始資料源自美國國家海洋暨大氣總署 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)衛星資料，通過丹麥氣象研究所(DMI)使用全球0.05度網格，以最佳內插法(OI)計算出每日高解析度海表面溫度(GHRSSST)。該資料由多顆衛星所觀測夜間GHRSSST L2P表層海面溫度及海表層下溫度所計算而得，由於物體表面皆會對外產生不同波段之輻射能，稱為黑體輻射，由海面發射輻射波段大多表現於長波波段，故藉由量測紅外輻射能可轉換得出海溫；除了衛星資料外，也會納入船測、浮標與定點測站海溫資料進行內插，最後將提供無縫式海表溫度產品。其所提供資料包括全球短期、中期、長期之海表面溫度資料，並經由後續品管網格化後可得出全球海表溫分布圖，如圖.7所示。

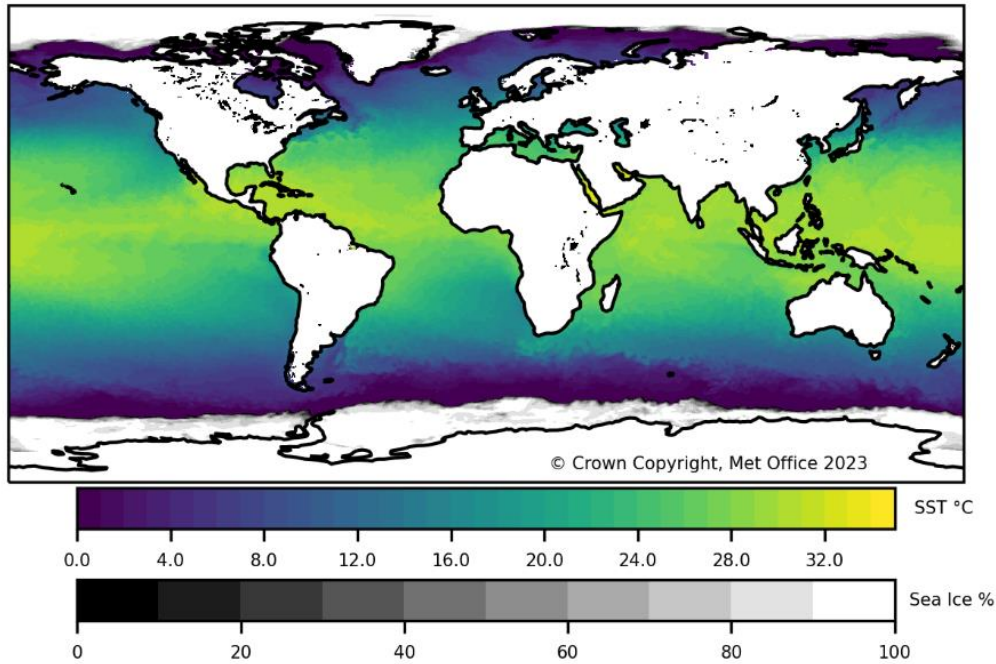


圖.7 GHRSSST 全球海域海溫分布(圖片來源:<https://www.ghrsst.org/latest-sst-map/>)

### 3.1.5 AVISO(Archiving, Validation and Interpretation of Satellites Oceanographic )

AVISO資料由歐洲Copernicus Marine and Environment Monitoring Service (CMEMS) 團隊所提供，該資料整合多種衛星資料的資料庫，結合Cryosat、CFOSAT、Saral、Jason-3、Sentinel-3A、Sentinel-3B、HY-2B、HY-2C、HY-2D、Sentinel-6MF、Swot等衛星資料，將各衛星資料進一步統整彙集後，進行資料交互比對修正，以降低誤差及提高資料完整性，其主要資料有涵蓋海平面異常高度(Sea Level Anomaly)及絕對動力高度(Absolute Dynamic Topography)，透過絕對動力高度可反演計算出絕對地轉流(Absolute geostrophic velocities)。本計畫採用AVISO中絕對地轉流資料，空間解析度為0.25度，時間解析度為每日一筆，其利用衛星在運行軌道上偵測海表面，將資料經轉換處理後得出海表面高度資料(如圖8)，由於其量測範圍涵蓋廣泛，且具有良好穩定性，適合用於較大範圍的物理現象定性分析如洋流變化等，其實際觀測重組後海高如圖.9所示，流場資料除AVISO衛星資料外，尚有船測資料或定點量測資料，但這兩種資料稀少且取得不易，因此目前選用此資料作為本計畫海流校驗的資料來源，但在校驗時AVISO地轉流雖可觀測長期海流資料，但會受限於其使用衛星進行遙測，如在遭遇短期大範圍氣象現象(如颱風或季風期)產生較厚的雲層時，過程中易受到雲層阻擋而無法獲得觀測資料，因此在校驗分析時也須特別留意相關現象所造成的差異。



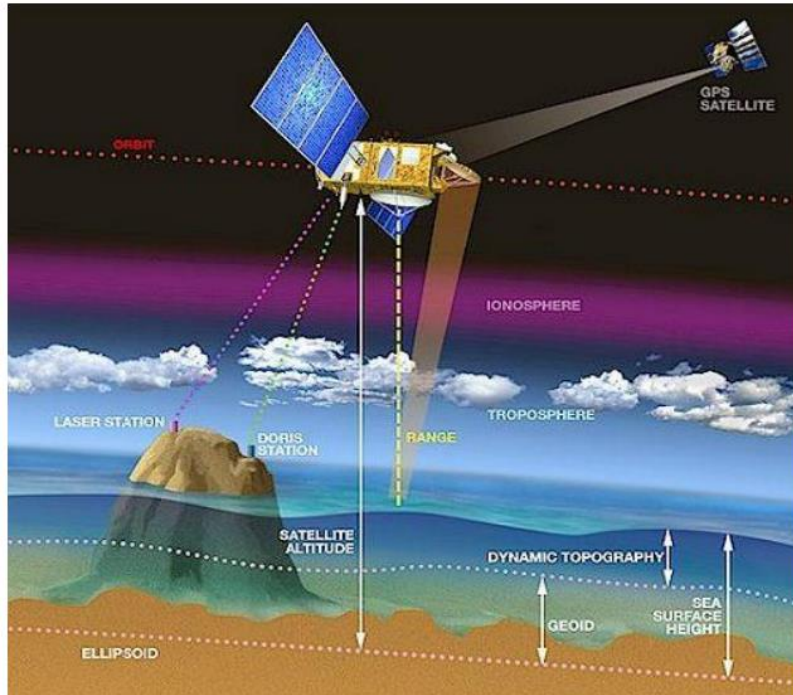


圖.8 AVISO 衛星量測示意圖

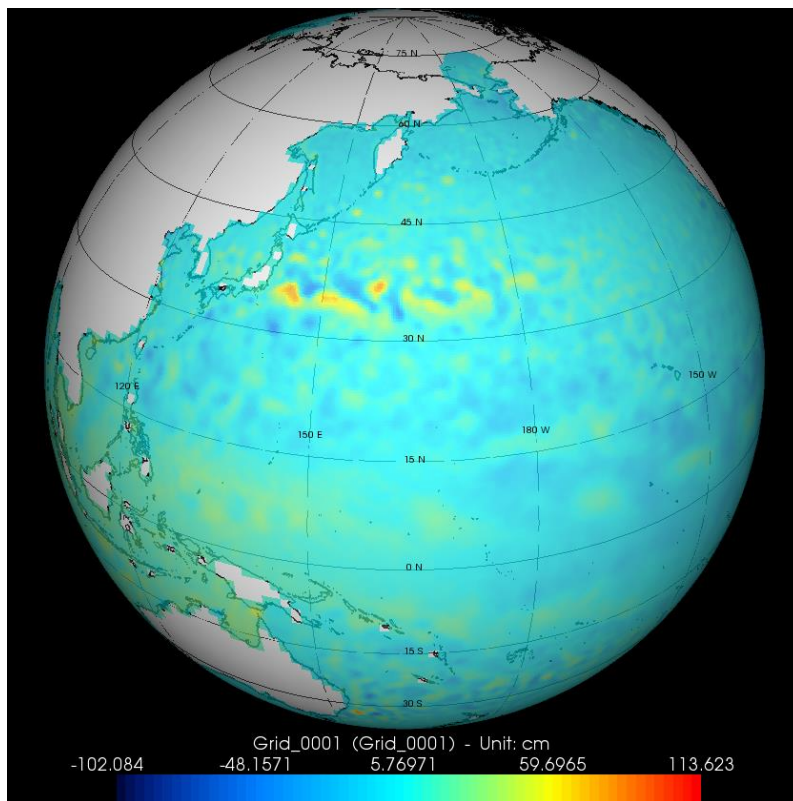


圖.9 AVISO 全球海域範圍主要洋流量測(圖片來源: <https://www.aviso.altimetry.fr>)

## 西北太平洋流況分析方式

本計畫為模擬及分析福島氙廢水在排放後之傳輸及運移狀態，蒐集前述文獻所述相關海域之海洋流場實測資料及模式資料供模擬及分析使用。本計畫蒐集實測資料(如GDP浮標資料、AVISO衛星資料)及模式資料(如HYCOM模式資料、CWA-OCM模式資料)，資料蒐集時間由2011年至2020年。透過長期資料分析西北太平洋洋流的長期流況及變化，除長期的平均現象，由於西北太平洋壟罩在亞洲季風系統內，整備計畫亦將納入季節性分析，探討西北太平洋的季節流況變化。

由於黑潮為西北太平洋之重要海流，流經臺灣以及日本海域，故西北太平洋的流況計畫重點在於分析黑潮的流動特性，尤其是黑潮在日本東南岸及東岸流動狀況較不穩定，會有擺動的現象，形成黑潮大蜿蜒(Kuroshio Large Meandering) (Kawabe, 2005<sup>[7]</sup>; Nagano et al., 2019<sup>[11]</sup>; Qiu, 2019<sup>[16]</sup>)。黑潮大蜿蜒的變化為年際變動的現象，意指其變化為年與年間的變動。這個變動影響區域海流的路徑，且接近福島海域，福島排放之輻射物質也可能因而洋流變動而影響臺灣海域。因此，本計畫透過GDP浮標資料以及AVISO衛星資料分析在大蜿蜒現象與無大蜿蜒現象的情況下與沿著日本東岸流動的情況下顆粒質點的漂流軌跡以及流動現象。

臺灣及日本位於北大西洋環流中，常年有黑潮流經臺灣以及日本的東部，如圖所示為西北太平洋洋流流況(Qiu, 2019<sup>[16]</sup>)。黑潮源自北赤道洋流(North Equatorial Current, NEC)，位於亞熱帶及熱帶地區之間(Hsin et al., 2008; Nan et al., 2015; Rudnick et al., 2011)。北赤道洋流在遇到西部邊界後，分為南向流動的民答那峨海流(Mindanao Current)及菲律賓海岸附近向北流動的黑潮(Kuroshio)，共組為NMK(full name)海流系統(128°E, 10°N)。隨後黑潮沿著菲律賓東岸向北流動，沿途流經呂宋海峽、臺灣東岸、東海陸棚以及日本東岸。並在140°E, 35°N處轉為東向，形成黑潮延伸流(Kuroshio extension) (Zhai & Hu, 2013)。

黑潮攜帶太平洋赤道水團沿著菲律賓東部海岸向北流動。流經呂宋海峽時，黑潮的一個分支主要通過巴林塘海峽(Balintang Channel)向西北流入南海(South China Sea) (Liang et al., 2008)。大部分黑潮進入南海後由巴士海峽(Bashi Channel)流出再回到太平洋，但少部分進入南海北部形成黑潮支流(圖) (Rudnick et al., 2011)。

黑潮入侵南海具有季節性的變化，冬季時可觀察到黑潮侵入南海(Jan et al., 2015)，甚至達到南海西北部區域(圖)。根據過去觀察結果及數值模式顯示黑潮在臺灣西南部有不同

的入侵路徑，可能在幾周內轉變(Nan et al., 2011)。常見的入侵形式有三種，支流形式(the leaking path)、套流形式(the looping path)及跳躍形式(the leaping path) (圖11)。根據過去HYCOM模式之模擬結果，統計三種形式的出現機率，支流形式是最常見為44.8%，跳躍形式的機率為39.5%，套流形式的機率為15.7%(Nan et al., 2011)。在春季及夏季黑潮傾向於套流路徑或是跳躍路徑；在冬季時會有大量的黑潮水團進入到南海及臺灣海峽，形成支流形式的路徑(Hsin et al., 2008)。

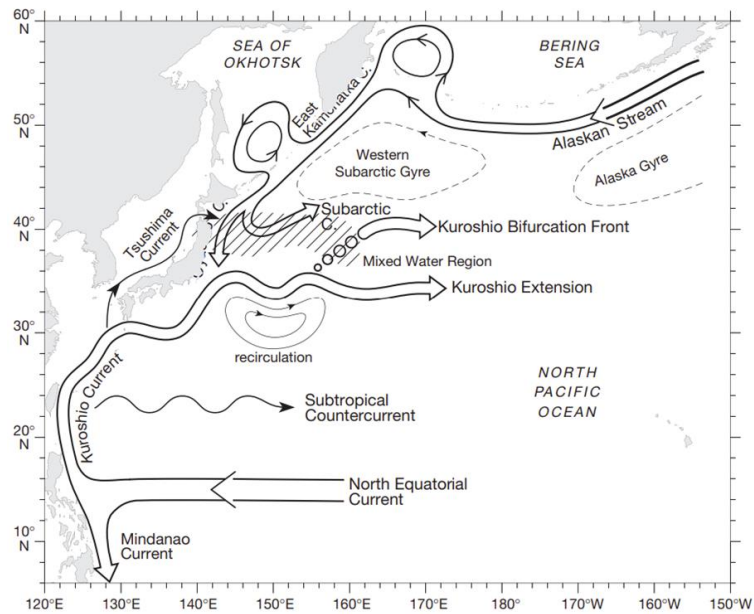


圖 10. 西北太平洋洋流流況分布圖(Qiu, 2019)

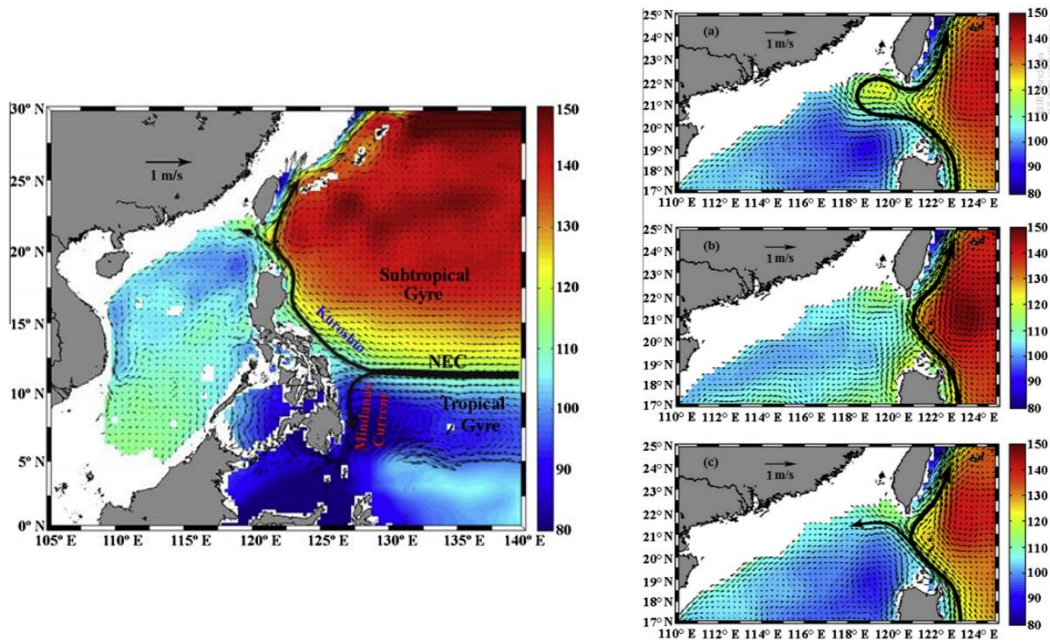


圖 11. 1993~2010 年衛星平均 Absolute Dynamic Topography (cm)及平均表面流場(ms-1)，黑色實線表示海流路徑(Nan et al., 2011)



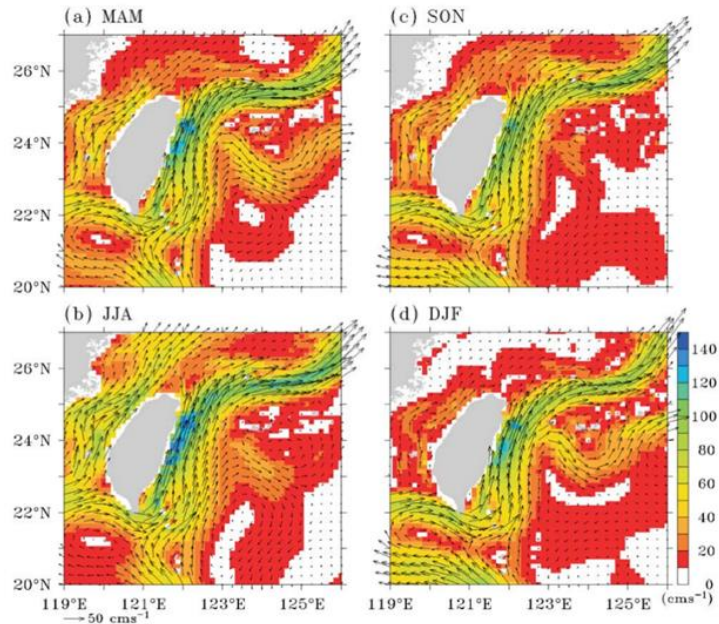


圖 12. POM 模式結果(1985~2005 年)表層(0~200m)流速分布，(a)春季(3~5 月)，(b)夏季(6~8 月)，(c)秋季(9~11 月)，(d)冬季(12~2 月) (Hsin et al., 2008)

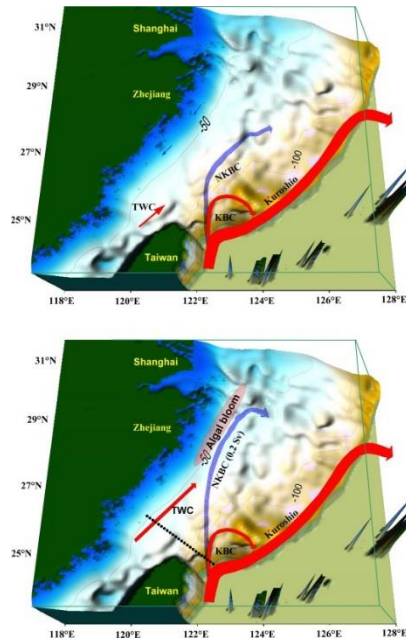


圖 13. 黑潮在東海陸棚產生入侵流，並在入侵流的上方以及下方形成渦流(Yang et al., 2011)

黑潮在流經呂宋海峽後，會進入臺灣東部海域。臺灣東部黑潮的變化受到臺灣東部海域的複雜地形、中尺度渦流、黑潮上游流域的變化及黑潮的不穩定性所影響(Hsin et al., 2008; Jan et al., 2019; Mensah et al., 2015)。此外，因為臺灣受到亞洲季風系統影響，季節風向略有不同，冬季為東北季風，夏季為西南季風。季風會影響黑潮在臺灣東部的位位置及流速大小。文獻根據模式研究結果，黑潮流速介於 $1.0\sim 1.5\text{ ms}^{-1}$  (Rudnick et al., 2011)，在夏季約 $1.4\text{ ms}^{-1}$ ，秋冬兩季的流速則較小(約 $1.2\text{ ms}^{-1}$ ) (Hsin et al., 2008)。在夏季，黑潮的流速中心偏離臺灣東部海岸，冬季則貼近臺灣東部海岸(圖12) (Chen et al., 2017)。



在進入臺灣東部後，在宜蘭外海受宜蘭海脊(I-Lan ridge)地形變化的影響，在海脊南方會形成中尺度渦流(Mesoscale Eddy)影響黑潮下游的強度(圖12)(Jan et al., 2019; Rudnick et al., 2011; Wu et al., 2017)。此外，形成琉球海流(Ryukyu Current)沿琉球島鏈(Ryukyu Islands)向東北方流動(Qiu, 2019)。黑潮在下游的穩定度與呂宋海峽的入侵模式相關，若在呂宋海峽的模式為套流或入侵流，則在臺灣東部的黑潮可能發展為強度較弱且蜿蜒的狀態(Mensah et al., 2020)。

黑潮主流離開臺灣東部會進入到東海，並沿著東海陸棚邊坡流向日本南端。文獻研究根據測量資料顯示，黑潮在東海海域的平均流量(PN Line)約為22.35 Sv (Liu et al., 2021)，但會因為季節不同而有流量的改變，分別在春季約為28.5 Sv、夏季約為28.3 Sv、秋季約為26.7 Sv以及冬季約為28.3 Sv。在東海區域的黑潮因為受到陸棚地形的限制，主流位置相對穩定，但此區域仍會出現蜿蜒(Meandering)現象(Qiu, 2019)。蜿蜒現象波長約為200~350 km，週期為10~20天；通常發生後，在圖克拉海峽(Tokara Strait)可觀察到約100 km的偏移(Qiu, 2019)。

黑潮在東海陸棚會有入侵流產生(Liu et al., 2021; Qiu, 2019; Wu et al., 2017)，入侵流主要發生在臺灣東北部以及日本九州島的南端(Liu et al., 2021)。在臺灣東北部的入侵流會因黑潮季節性偏移而有不同的現象(圖13)(Cheng et al., 2018; Liu et al., 2021)，冬季的入侵流較強，夏季入侵流較弱，但兩季節入侵的東海陸棚的模式又有些許不同，主要是受到黑潮主流離岸與近岸的影響。冬季入侵流流速較強，入侵後表層流會回到黑潮主流，底層(圖13A紫色部分)則持續向東北方入侵；夏季入侵流較弱，在進入東海陸棚後會與臺灣暖流匯流(Yang et al., 2011)，並進入到中國沿岸，在長江河口形成湧升現象(Lü et al., 2006)。黑潮在約30°N因為九州島而轉為東向流動進入圖克拉海峽，而在九州島的南端形成西向的入侵流。入侵流進入到東海陸棚後部分會進入到對馬海峽(Tsushima Strait)，進而影響日本海內的海流循環。

進入到圖克拉海峽後，黑潮的流量會增加到30 Sv。在圖克拉海峽的黑潮流量同樣會有季節性的變化，其變化與黑潮上游的變化類似，在春季或夏季會有最大流量出現，秋季流量最小。離開圖克拉海峽後，黑潮流量增加12 Sv為42 Sv，黑潮主流與在臺灣東部分流的琉球海流匯流(Nagano et al., 2019)。

在黑潮主流的路徑上，伊豆海脊(Izu Ridge)在約東經139°以南北縱向阻隔了黑潮的路徑(Qiu, 2019)。因此，在這個區域黑潮會有不同的路徑，而路徑的變化取決於黑潮在日本沿岸流量不同，而會有三種不同的路徑(圖14)，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)。黑潮的流量越大，形成大蜿蜒(B)的機會越大；反之，黑潮的流量越小，則會沿著日本沿岸傳輸(C)。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則不會形成大蜿蜒的現象(Nagano et al., 2019)。過去監測資料觀察黑潮大蜿蜒現象，從約1990年約2010年較少發生大蜿蜒現象，大部分的時間黑潮的觀測流量都小於23.5 Sv (Kawabe, 1995)。最近一次大蜿蜒發生的時間點則從2017年開始(圖15) (Nagano et al., 2019; Qiu, 2019)，在此之前就觀測到黑潮在東海陸棚的流量有超過25 Sv，因此黑潮逐漸發展為大蜿蜒的模式(Nagano et al., 2019)。

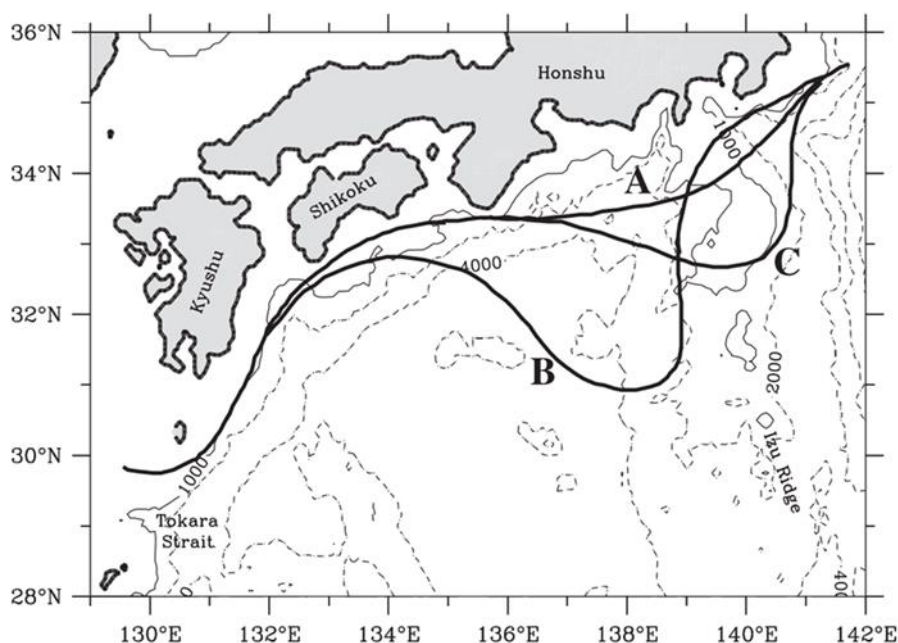


圖 14. 黑潮在日本東岸流動模式示意圖(Qiu, 2019)

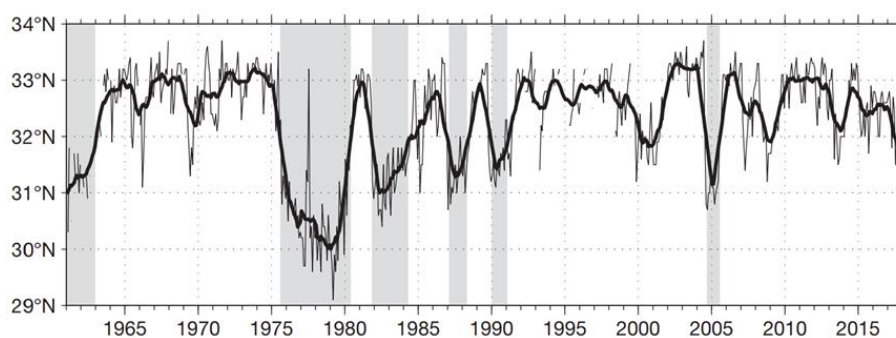


圖 15. 日本氣象廳收集之黑潮主流位置時間序列，黑色實線表示 13 個月移動平均(Qiu, 2019)

離開日本東南岸後，黑潮會在約 $140^{\circ}\text{E}$ ， $35^{\circ}\text{N}$ 離開日本東岸成為黑潮延伸流(Kuroshio Extension) (圖16)。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的型態及渦流，渦流的型態變化會影響延伸流的穩定性(Qiu, 2019)。過去有研究觀察黑潮延伸流與四種型態的大蜿蜒相

關性(圖17)，分別是典型大蜿蜒(The typical large meander, tLM)、近岸無蜿蜒(Nearshore nonlarge meander, nNLM)、離岸無蜿蜒(Offshore nonlarge meander, oNLM)以及其他無定義之型態(Others) (Sugimoto & Hanawa, 2012)。研究結果顯示，在典型大蜿蜒及近岸無蜿蜒型態中，下游的黑潮延伸流較穩定，如圖16.所示。在離岸無蜿蜒型態時，黑潮通過較淺(約1000m)的伊豆海脊使下游的黑潮延伸流形成較不明顯的灣流型態。此外，當黑潮在穩定狀態下，其緯度的傳輸位置會移動到較北方的區域(圖16)，且位於黑潮延伸流下方的渦流系統動能相較於非穩定狀態較弱(Qiu, 2019)。非穩定狀態的黑潮移動速度較快速，約為 $0.24 \text{ ms}^{-1}$ ，移動範圍約為220 km (Kouketsu & Yasoda, 2008)。

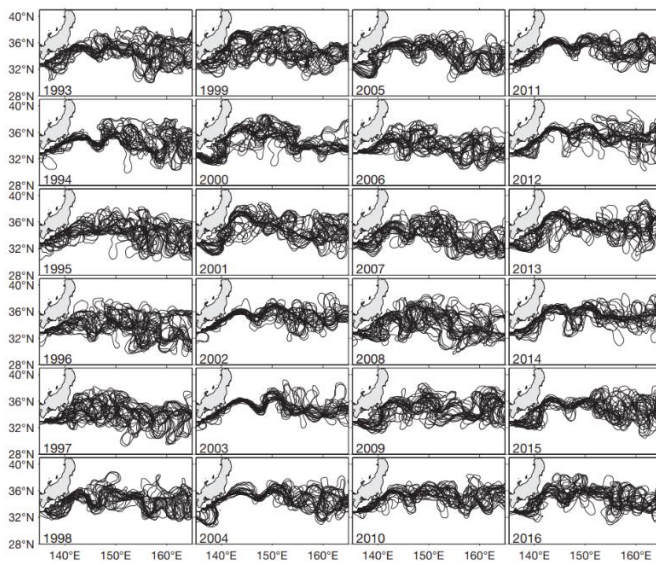


圖 16.1993~2016 年各年份衛星海洋高程觀測黑潮主流分布(Qiu, 2019)

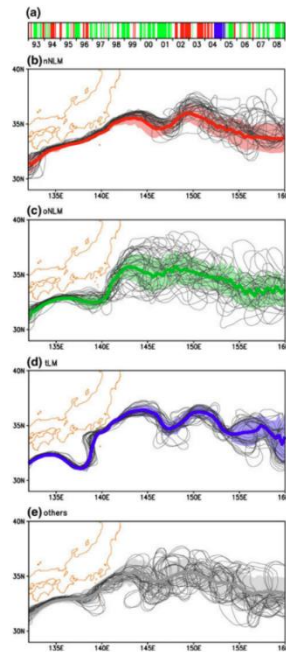


圖 17. 黑潮蜿蜒四種型態主流分布，分別為近岸無蜿蜒(b)、離岸無蜿蜒(c)、典型大蜿蜒(d)以及其他無定義之型態(e) (Sugimoto & Hanawa, 2012)

## 海流模式(Ocean Current Model)

本計畫採用SCHISM海流模式(Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model) (Zhang et al., 2016)<sup>[19]</sup>進行模擬，SCHISM除了納入洋流及渦流的影響，也考慮受潮汐作用，水平解析方法為非結構式網格。SCHISM的特點為利用地形與水深分布控制網格大小，適合用於解析近岸區域較為複雜之地形變化。透過網格加密(mesh refinement)機制，增加海岸線及海底地形的解析度，計算臺灣海域更精確的海流狀況。由於SCHISM水動力模組使用半隱式法求解，可以加大時間步長進行計算，有效加速計算，提升預報時效並縮減檔案大小。SCHISM系統模式除以水動力計算為系統核心，亦可以納入許多模組，如波浪(WWM-III)、沉積物(Sediment)及水質(Water Quality)等模組，供使用者利用，如圖18所示。

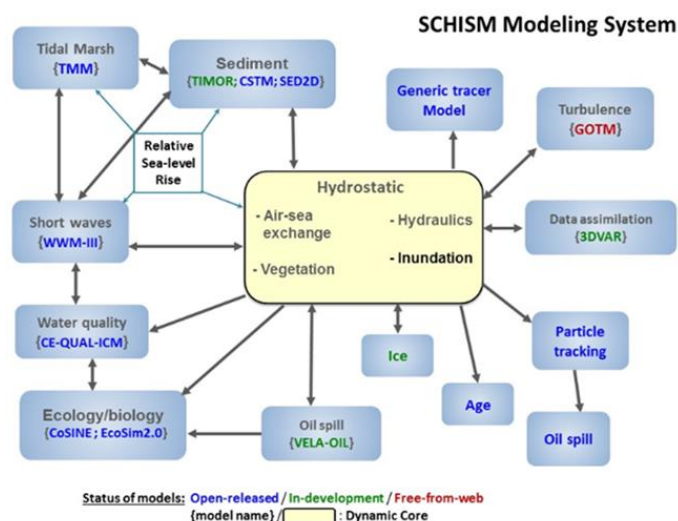


圖 18. SCHISM 模式應用模組示意圖(Zhang et al., 2016)

SCHISM模式包含了兩個假設的條件，一為布式近似 (Boussinesq approximation)，忽略水體內部的密度差異；另一為靜水壓近似 (hydrostatic approximation)，垂直壓力梯度力與浮力平衡，以傳輸方程式 (transport equations)計算鹽度與溫度。SCHISM主要變數包含三維速度、溫度、鹽度及自由液面高度，以卡氏座標表現方程式如下所述：

流體不可壓縮之性質之表示：

$$\nabla u + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{式 (2)}$$

透過連續方程式，可以求得水位高度如下：

$$\nabla u + \frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \int_{-h}^{\eta} u dz = 0 \quad \text{式 (3)}$$

藉由動量方程式，可以求得流速，式中  $\frac{\partial}{\partial z} \left( v \frac{\partial u}{\partial z} \right)$  為對流項：

$$\frac{Du}{Dt} = F - g\nabla\eta + \frac{\partial}{\partial z} \left( v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad \text{式 (4)}$$

藉由動量方程式，可以求得流速，式中  $\frac{\partial}{\partial z} \left( v \frac{\partial u}{\partial z} \right)$  為對流項：下式分別為計算鹽度及溫度之傳輸方程式，可選擇是否計算鹽度及溫度，會影響水位及流速，其他公式參數說明如表2：

$$F = -fk \times u + \alpha g \nabla \hat{\psi} - \frac{1}{\rho_0} \nabla P_A - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \rho d\zeta + \nabla \cdot (\mu \nabla u) \quad \text{式 (5)}$$

$$F = -fk \times u + \alpha g \nabla \hat{\psi} - \frac{1}{\rho_0} \nabla P_A - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \rho d\zeta + \nabla \cdot (\mu \nabla u) \quad \text{式 (6)}$$

有別於其他巢狀網格(Nesting approach)海流模式系統，需切分不同大小範圍的子系統進行計算，SCHISM採用單一跨尺度系統(Cross-scale approach)，受惠於單一系統之設計，在作業化上之維護與新增功能之開發較為容易，目前西灣海環團隊與SCHISM模式開發團隊(美國維吉尼亞威廉與瑪麗學院海洋科學研究所，Virginia Institute of Marine Science，VIMS)正進行發展資料同化功能，而世界上針對資料同化模組之開發，大部分採用結構式網格模式為發展平台，如ROMS、HYCOM、MOM等，僅有少部分應用非結構式網格進行開發(FESOM, Nerger et al., 2006)，目前已完成小區域(OCM3)海溫資料同化資料系統，今年也將完成大範圍(OCM2)海溫資料同化系統，同時並測試以海高衛星資料進行資料同化分析其同化後之成果。

表.2 SCHISM 模式參數說明表

變數名稱	變數說明	單位
$(x, y)$	水平卡氏座標	M
$z$	垂直座標向上為正	M
$\nabla$	$(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y})$	--
T	時間	s
$\eta(x, y, t)$	自由液面之水位高度	m
$h(x, y)$	水深深度	m
$u(x, y, z, t)$	水平速度，卡氏座標中分量為(u,v)	$ms^{-1}$
w	垂直速度，卡氏座標中分量為(w)	$ms^{-1}$
f	科氏力參數	$s^{-1}$
g	重力加速度	$ms^{-2}$
$\hat{\psi}(\phi, \lambda)$	地球潮汐位能	m
$\alpha$	有效地球彈力常數	--
$\rho(x, t)$	水密度，預設參考值 $\rho_0$ 為 $1025 \text{ kg/m}^3$	$kgm^{-3}$
$p_A(x, y, t)$	自由液面上之大氣壓力	$Nm^{-2}$
T, S	溫度及鹽度	$^{\circ}C$ , PSU
V	垂直向渦流黏滯係數	$m^2s^{-1}$
$\mu$	水平向渦流黏滯係數	$m^2s^{-1}$
$\kappa$	垂直向渦流擴散係數	$m^2s^{-1}$
$F_s, F_h$	水平擴散傳輸方程式	--
$\dot{Q}$	太陽輻射吸收率	$Wm^{-2}$
$C_p$	水之比熱	$Jkg^{-1}K^{-1}$



## 粒子軌跡模式(Particle Tracking Model)

為了模擬輻射粒子於海洋中傳輸的情境，一般可採用Eulerian傳輸模式或Lagrangian傳輸模式兩種方法。

Eulerian傳輸模式透過物理公式中的對流及擴散項的動力機制進行模擬，透過有限體積來計算每個切割後固定的網格體積中進入與傳出的物質質量或濃度，藉此計算想要觀察的項目於水體中的傳輸現象如水質模式等，其計算過程中會將水質相關參數代入傳輸公式進行模擬，因此本團隊於整備計畫中測試此傳輸模式方法的適用性，如圖19為利用氫水排放規劃中所確認的排放口，透過Eulerian傳輸模式定時將氫水排入海洋中，由圖可觀察到排入的氫水體積因遠低於周遭海水體積，故排出後迅速被稀釋消失，且未來排放的氫水都無法追蹤不同日期與批次的傳輸情境及影響範圍。

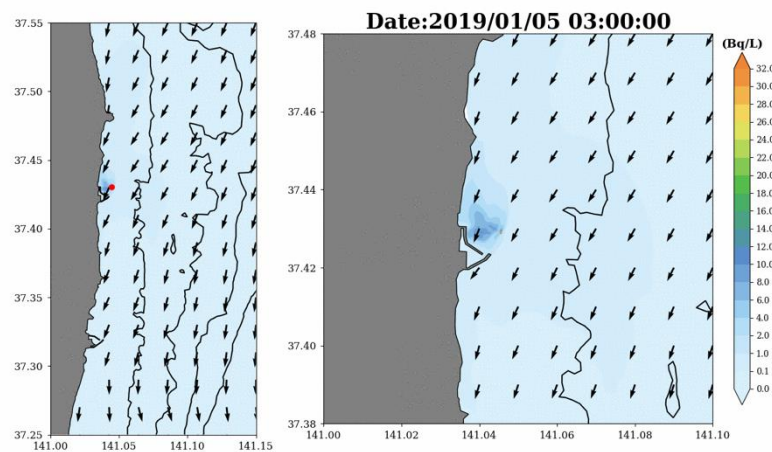


圖 19. Eulerian 傳輸模式初步模擬結果圖

Lagrangian傳輸模式則採粒子經由海流模式的流場資料進行傳輸，每個粒子都代表為可能傳輸路徑，粒子本身並無任何物理及化學特性，且因粒子本身代表一種可能機率，故無被大量水體稀釋而消失的問題，故在實際應用上可追蹤不同日期或批次排入海洋中的傳輸情境，也可透過蒐集文獻所提不同放射性核種的特性，進行其不同動力或交互作用的機制引入，如氫水為溶解態而銫137則可能與傳輸沉積物進行吸附或脫附之作用。

本計畫使用SCHISM中的 Lagrangian particle tracking 模組進行粒子軌跡追蹤模擬，由於放射性物質多會與顆粒物質結合，可以將本計畫目標物視為顆粒獨立標記追蹤，以各顆

粒質點位置描述於流場中之運動狀況，最後由流場運動狀況計算出下一個時間步顆粒位置，可應用於各種物質的傳輸擴散，如船難追蹤及洩油污擴散、海洋垃圾漂流及放射性物質等。顆粒軌跡追蹤模組除能以向前(Forward)預測顆粒未來的路徑，亦可以向後(Backward)回溯推算顆粒來源位置(Nahum & Seifert, 2006)。

顆粒軌跡追蹤模式計算需使用水位、水平及垂直流速等三維流場資料，選定顆粒投放位置，透過顆粒座標位置找出相對應之最近三個流場資料點計算權重，再由三角權重內插法計算得出顆粒位置之流場數據，計算顆粒的流場位移，同時採用隨機位移計算模式(Random Displacement Model, RDM)計算顆粒的擴散，合併模擬計算目標物於海中的漂移擴散軌跡，紀錄每時間步模擬結果的顆粒座標位置，可將結果結合岸線繪製出顆粒軌跡圖。

權重計算方程式如下：

$$u_{par} = u_{par} + (u \times arco) \quad \text{式 (7)}$$

$$v_{par} = v_{par} + (v \times arco) \quad \text{式 (8)}$$

$$w_{par} = w_{par} + (w \times arco) \quad \text{式 (9)}$$

$u_{par}$ 、 $v_{par}$ 、 $w_{par}$ 為加權後之流速； $u$ 、 $v$ 、 $w$ 為流速值； $arco$ 則為權重數；經權重內插計算取得該點之流速後，進行顆粒軌跡漂流計算，軌跡方程式表示如下：

$$X^{n+1} = X^n + (U + W_x + \frac{\partial K_x}{\partial x}) \Delta t + R\sqrt{6K_x\Delta t} \quad \text{式 (10)}$$

$$Y^{n+1} = Y^n + (V + W_y + \frac{\partial K_y}{\partial y}) \Delta t + R\sqrt{6K_y\Delta t} \quad \text{式 (11)}$$

$$Z^{n+1} = Z^n + (W + V_z + \frac{\partial K_z}{\partial z}) \Delta t + R\sqrt{6K_z\Delta t} \quad \text{式 (12)}$$

(U,V,W)是卡式座標中x,y,z方向加權後的流速；n為當前時間步，n+1為下一個時間步； $\Delta t$ 是時間步長的間距；R為-1至1之間的隨機數； $K_x$ 、 $K_y$ 及 $K_z$ 分別是x,y,z方向的紊流擴散係數； $W_x$ 及 $W_y$ 為x,y方向的風阻力速度(wind dragging speeds)，該公式如下：

$$W_i = C_d \times W_{vel_i}^{10} (i = x \text{ or } y) \quad \text{式 (13)}$$

上述公式中 $C_d$ 為風拖曳係數； $W_{vel_i}^{10}$ 為海平面上方10公尺高的風速。其中隨機數R及紊流擴散係數K為計算模擬標的(如洩油)之參數，本計畫亦可將上述參數省略計算，以純流速漂移傳輸作為主要參考因素。



故上述軌跡方程式可表示如下:

$$X^{n+1} = X^n + U \Delta t \quad \text{式 (14)}$$

$$Y^{n+1} = Y^n + V \Delta t \quad \text{式 (15)}$$

$$Z^{n+1} = Z^n + W \Delta t \quad \text{式 (16)}$$

水平擴散(Diffusion)對於顆粒軌跡模擬為重要影響因子。在SCHISM的顆粒軌跡模擬可納入擴散係數的影響，如在公式中的 $R\sqrt{6K_x\Delta t}$ ，其中K為擴散係數， $\Delta t$ 為時間步長，R為-1至1之間的隨機亂數。因此，本計畫透過測試水平擴散係數，進行參數化分析，調整適合在西北太平洋中使用之擴散係數及計算方式。

在粒子軌跡模擬之擴散係數計算可分為兩中，分別為：

#### 1. 定值水平擴散係數

計算方式為 $v_H = H_c * dt$ ，其中 $H_c$ 為水平擴散係數，參數建議範圍於0.1~10之間； $dt$ 為時間步長。透過給定之擴散係數進行計算。

#### 2. Smagorinsky水平擴散係數

計算方式為 $v_H = C_{m0} * (h_x * h_y) * D_T$ ，其中 $C_{m0}$ 代表Smagorinsky黏滯係數，通常介於0.1~0.2之間(Blasco et al., 2008)； $h_x$ 及 $h_y$ 分別為水平離散化的大小； $D_T$ 為應變張量速度的大小(the magnitude of the velocity of strain tensor)，表示為 $D_T = \sqrt{dudx^2 + dvdy^2 + 0.5 * (dudy + dvdx)^2}$

本計畫以這兩種計算方式進行測試，在定值水平擴散係數的測試中，隨著擴散係數增加，粒子散布距離越分散，亦表示離散程度越高(每一顆粒距離顆粒團中心之距離偏差為離散程度)。故可觀察到，當定值水平擴散係數為0時，可測試顆粒軌跡模擬是否異常，如結果圖20顯示，每一顆粒皆在同一點上，且離散程度為0。隨後當隨離散程度增加，顆粒分佈也越來越分散，離散程度亦增加。

相同現象出現在Smagorinsky水平擴散係數中，當 $C_{m0}$ (黏滯係數)增加時，顆粒表現越分散，如圖20所示。然而，因採用Smagorinsky之擴散程度超出對於粒子擴散之預期，故本計畫決定採用定值水平擴散係數2作為顆粒軌跡擴散之設定，其擴散分布比對如圖21至圖24所展示。

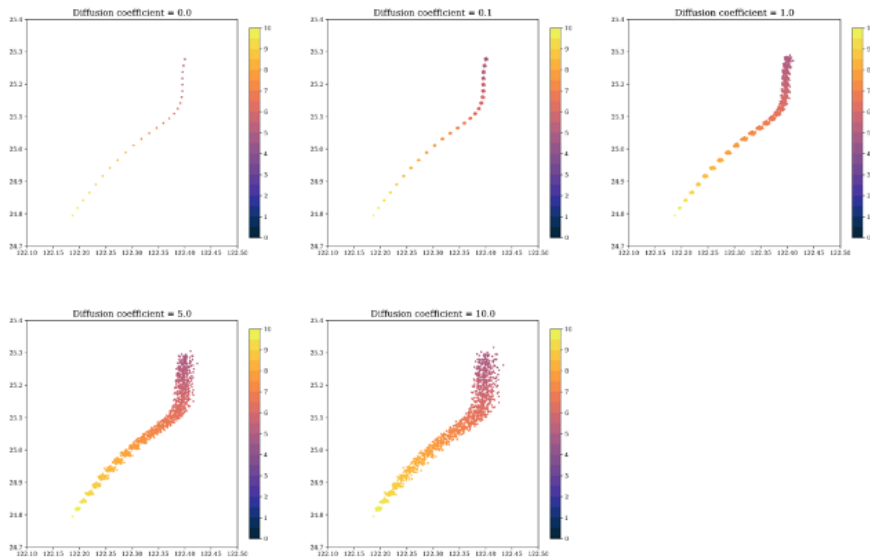


圖 20. 定值水平擴散係數模擬測試示意圖

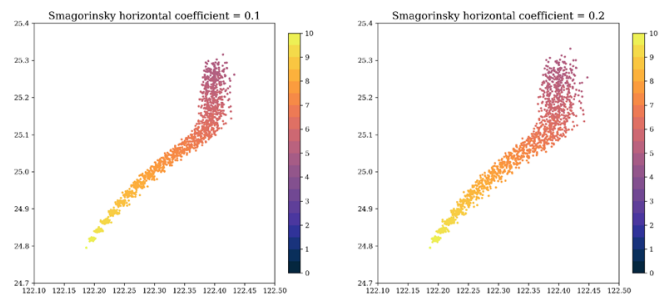


圖 21. Smagorinsky 水平擴散係數模擬測試示意圖

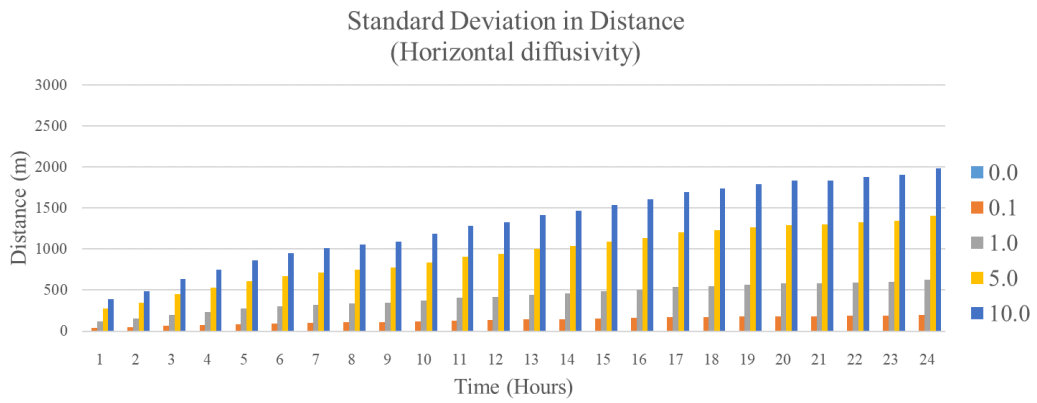


圖 22. 定值水平擴散係數模擬測試離散度分布圖

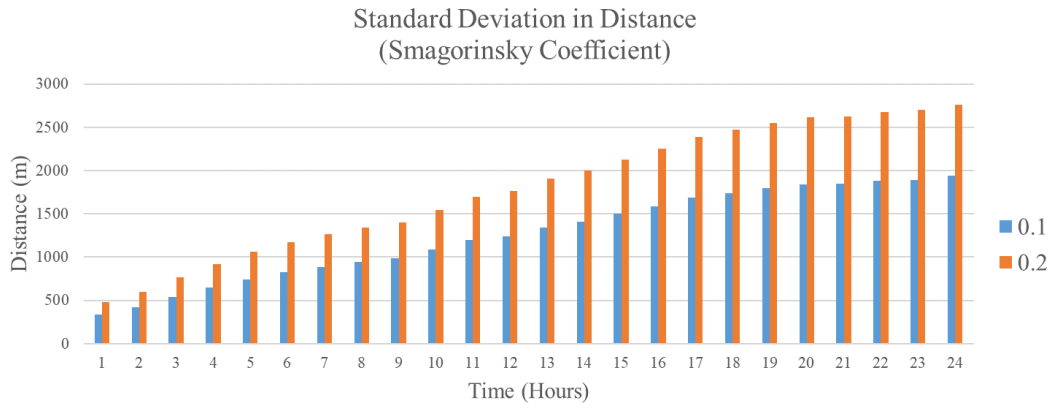


圖 23. Smagorinsky 水平擴散係數模擬測試離散度分布圖

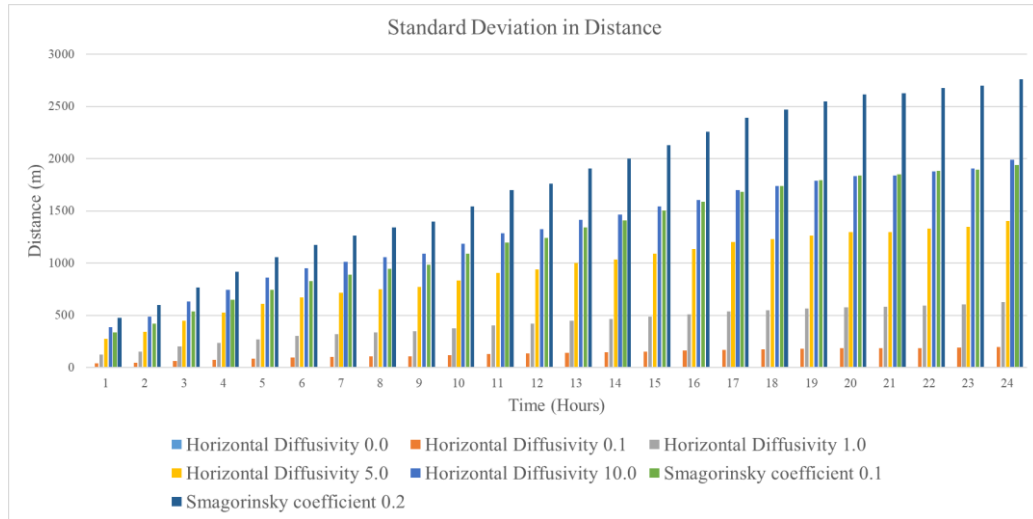


圖 24. 定值與 Smagorinsky 水平擴散係數模擬綜合測試離散度分布比較圖

## 網格化擴散模組

網格化活度濃度的計算，讀取顆粒軌跡模式之每個顆粒每個時間之位置資訊，將每一個顆粒視為一放射性物質水團的中心，以高斯分布(如下式)的方式計算其顆粒貢獻至周圍網格的值，其中亦考慮氙的半化期衰減，而每個網格點上的數值加總的結果即為整體的含氙核廢水的活度濃度分布，其計算流程如圖 25。

$$\chi(X, Y, Z) = \frac{Q\Delta t}{(2\pi)^{3/2}} \sum_{k=1}^N \frac{1}{\sigma_{x_k} \sigma_{y_k} \sigma_{z_k}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x_k - X)^2}{\sigma_{x_k}^2}\right) \\ \times \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(y_k - Y)^2}{\sigma_{y_k}^2}\right) \times \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z_k - Z)^2}{\sigma_{z_k}^2}\right)$$

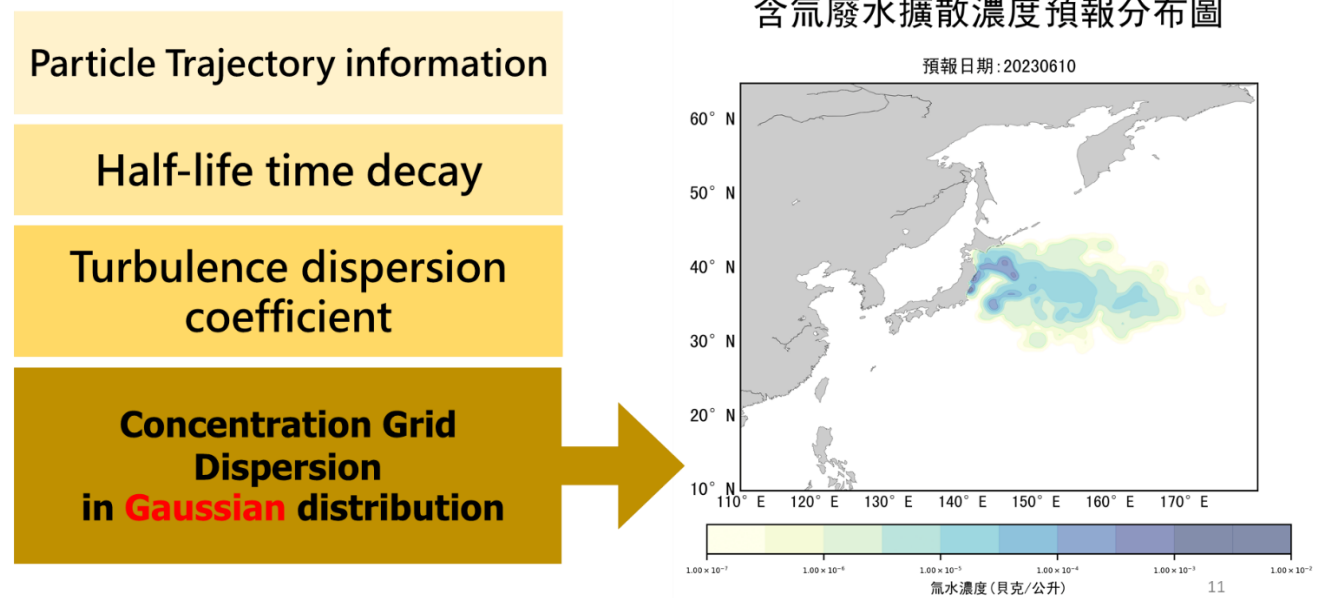


圖 25. 網格化擴散膜組之計算流程與每日最大活度濃度分布圖

## 放射性核種擴散機制

本計畫調查過去文獻模擬分析放射性核種傳輸方式，於311核災後，含有輻射的核種會透過多個管道向海洋傳輸，其中包含直接釋放至空氣中，隨著空氣飄流後沉降至海洋及用以冷卻高溫反應爐之海水，透過地表縫隙滲透，地下水受到污染後，隨著地下縫隙外洩至海洋中(Kobayashi et al., 2013)。其中經由大氣的傳輸速率最為迅速，僅需四天即可到達北美西岸海域(Takemura et al, 2011<sup>[19]</sup>)。

經由地下水洩漏至海洋的放射性核種，主要會受到海流帶動的影響，其中以黑潮及親潮的影響最為明顯。由於黑潮流速強勁，與親潮於福島外海交匯，進而產生渦流，是為黑潮大蜿蜒。由於這股洋流存在，使得從福島排放的污水雖於近岸時受潮汐影響會南北往復移動，但在進入外海後即被強勁海流帶往東北部，進入黑潮延伸流及至美西地區。並且根據過往研究指出，福島核災所造成放射性核種污染，在進入海洋後，由於中尺度渦流緣故，會在2.5年後於北太平洋海域被有效稀釋(Kawamura et al., 2014)<sup>[8]</sup>。

放射性核種擴散模擬分為兩部分進行計算，通過使用流體動力學計算海流動態如流速、流向，並藉由長期觀測資料對其進行校驗，以驗證其可靠性，往後使用擴散模組進行放射性核種擴散模擬，藉由模擬放射性核種與懸浮沉積物結合、沈降、放射性衰變等不受海流作用情況，評估其擴散效應。兩者結合計算後，即可模擬粒子於海洋中軌跡及分佈，並於後續分析後得到放射性核種對臺灣潛在影響評估。

Periñez R. et al., (2015)<sup>[14]</sup>等人透過不同海流模式的流場資料進行放射性核素擴散模擬結果差異比對，而海洋擴散模式分為兩部分，一者純粹為海流模式提供的流場資料，此部分因為各海流模式間除邊界驅動力及初始場稍有不同外，其實純粹以流場驅動後的結果差異並不大，而各模式都涵蓋了對流項及紊流的動力機制；為更進一步模擬真實核種擴散的實際狀況，作者模擬時透過兩種核種進行模擬，第一種核種為完全保守的放射性核種，不須考慮半化期及其他機制；第二種主要為銫 137 為福島核電廠事件中主要排放至自然水體的放射性核種，加入放射性衰變的機制，並將核種擴散時會與懸浮物及底床沉積物產生交互作用，如吸附及脫附等，本篇而也進行生物攝食行為對於核種的消去影響文獻的回顧。案例進行模擬時，主要模擬約 60 日的擴散情境，並與觀測資料進行比對，放射性核種源頭約每秒 1,000,000Bq，核種模擬時參數部分大部分固定，但因銫 137 有考慮到與懸浮沉積物及底床沉積物相互的機制，故其假設底床沉積物為均勻分布，沉積物顆粒以粒徑 10 $\mu$ m 尺寸為主，底床與水體交互作用的沉積物厚度為 10mm，其各項參數設定表如表 3、表 4 及

表 5 所示。銫 137 核種主要來源有二，一為福島事件中核電廠爆炸後核種經由大氣沉降機制進行模擬(採用 LADAS 及 WSPEEDI-II 兩種模式)，進入海洋的初始資料，另一種就是直接由核電廠排入海洋中，經由不同海流資料及機制進行模擬後，經比較後以 JCOPE2 模式所得的擴散模擬結果最佳，雖然模式間參數設定差異影響小，而銫 137 經擴散後會在沿海地區形成一個帶狀分布的區域如圖 26 所示，直接由核電廠污水排入海洋中的核種，會隨著親潮往南傳送，但遇黑潮後會直接由其往太平洋中央區域傳輸，而與沉積物交互的影響區域主要以近岸帶狀區域為主。

Periáñez R. et al., (2019)<sup>[15]</sup>等人延伸2015年文獻持續進行模擬探討福島事件對於海洋的影響，而此篇模擬時長由60日增加至2年，並加入由LADAS及WSPEEDI-II兩種模式計算後的大氣沉降機制進入海洋的初始場，其由模式計算後所得到2011年3月15日的初始場如圖27，另外也加入每立方公尺1.5貝克做為海洋輻射活度濃度背景場，而另一部分就是由福島事件發生後直接透過污水排入海洋，透過TEPCO觀測資料可知道事件後第一年直接排入海洋之輻射活度如圖28所示，因此使用此監測資料作為核電廠直接排入海洋的污水輻射活度濃度量；而在放射性核種的消去項則增加生物攝食模式(Biological Uptake Model, BUM)進行計算，其攝食模式系統主要考慮四種生物浮游植物(phytoplankton)、浮游動物(zooplankton)、非食魚性魚類(non-piscivorous fish)與食魚性魚類(piscivorous fish)，而比對項目將銫137模擬結果與三個不同水深(20公尺、20-460公尺與460公尺)、底床泥沙及生物部分進行比對(採樣點為如圖29所示)，為了避免與先前2015年時遇到的問題，將平面區域分成20個區域(如圖30所示)，而且採用區域平均進行比對，可避免單點觀測資料不足造成比對上差異大的問題；在水體污染程度部分，藉由分區討論其底層沉積物污染程度(如)，13至16區活度濃度保持背景值未受污染(以綠色代表)，1、3、5及20區則福島事件發生後就受到大氣中沉降的銫137影響其水體並且有上升趨勢(以黃色代表)，6、7與12區則為事件發生一年後銫137濃度上升兩倍(以橘色代表)，10與11區沉積物在事件發生初始濃度最高且有上升趨勢(以紅色代表)，但其污染程度並非與距離成反比，因為就採樣資料分析呈現距離核電廠小於100公里的污染程度反而較遠於100公里距離範圍較小。生物污染部分，浮游動物、非食魚類及食魚類採樣位置如圖32、圖33與圖34所展示區域，圖35呈現是銫137在水體中、非食魚類及食魚類中的活度濃度，浮游動物非零初始值是因為吸取水體中的環境背景值，而非食魚類與食魚類吸收銫137濃度與水體中濃度趨勢一致，但會有延遲的情形，如圖35中的黃線和藍線部分。

表 3. 各海流模式參數設定表

參數	建議設定值或計算方法	備註
Partition coefficient (PC)	$PC = \frac{1}{1 + k_d \cdot SPM}$	Fraction of radionuclides remaining dissolved under equilibrium conditions
Equilibrium distribution coefficient ( $k_d$ )	$2 \times 10^3$ (L/kg)	For open ocean water
Suspend matter concentration (SPM)	5 (mg/L)	For Cs-137
Particle diameter	1 ( $\mu\text{m}$ )	
Particle density	2600 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	
Settling velocity	From Stoke's law	
Critical deposition stress	0.5 ( $\text{N}/\text{m}^2$ )	
Horizontal diffusion coefficient ( $K_h$ )	10 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	
Vertical diffusion coefficient ( $K_v$ )	$1 \times 10^{-4}$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	

表 4. 銫 137 與沉積物交互作用參數設定表

參數	建議設定值或計算方法	備註
Kinetic coefficient for desorption from sediment ( $k_2$ )	$1.16 \times 10^{-5}$ ( $\text{s}^{-1}$ )	Rate describing release from bed sediment
Kinetic coefficient for adsorption onto sediment ( $k_1$ )	Derived from $k_2$ and $k_d$	Kinetic rate describing uptake Detailed description please refer to ref [3]
Porosity of bed	0.6	Uniform porosity
Thickness of sediment	5-10 (cm)	
Mean size of fine material from sediment	10 ( $\mu\text{m}$ )	Bed are composed entirely of fine material (clays)
Vertical diffusion coefficient ( $K_v$ )	$1 \times 10^{-4}$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	

表 5. 生物攝食模式參數設定表

參數	建議設定值或計算方法	備註
Concentration factor (CF)	$\frac{\text{Concentration of biota (Bq/kg)}}{\text{Dissolved concentration of ambient water (Bq/L)}}$	Equilibrium condition CF derived from experiment for H-3 please refer to ref [4]
Biological half-life ( $T_{1/2}$ )	$3.5 \times (1000 \times M)^{0.24} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	Cs for fish, Organism mass (M) in kg

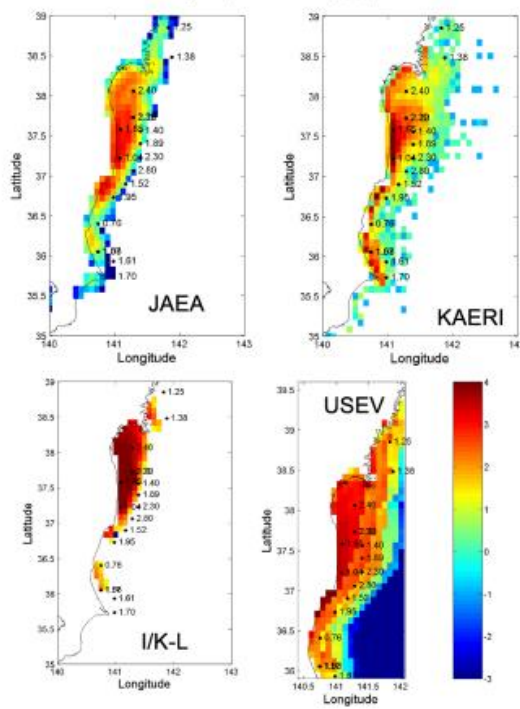


圖 26. 放射性核種擴散後於底床分布圖(濃度單位:Bq/kg, Periañez R. et al., 2015)



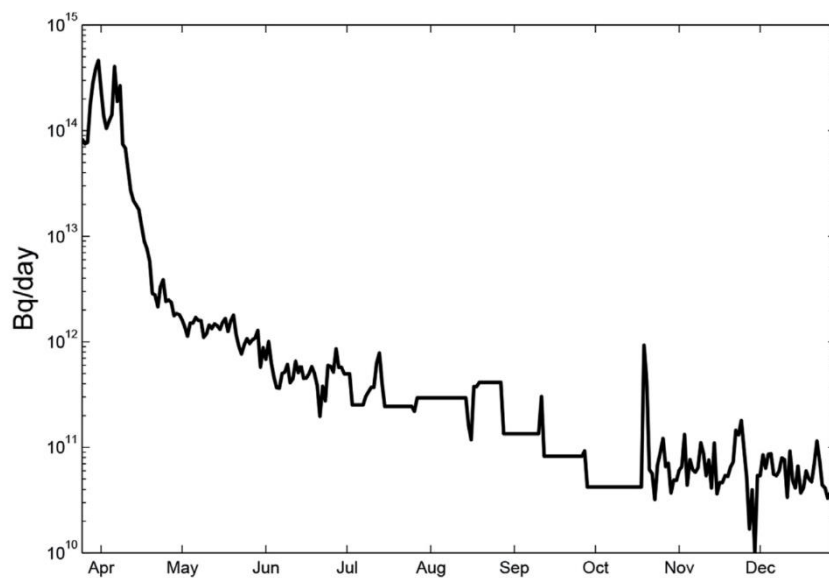


圖 27. 福島核電廠 311 事件最初第一年直接排入海洋輻射活度量(Kobayashi et al., 2013)

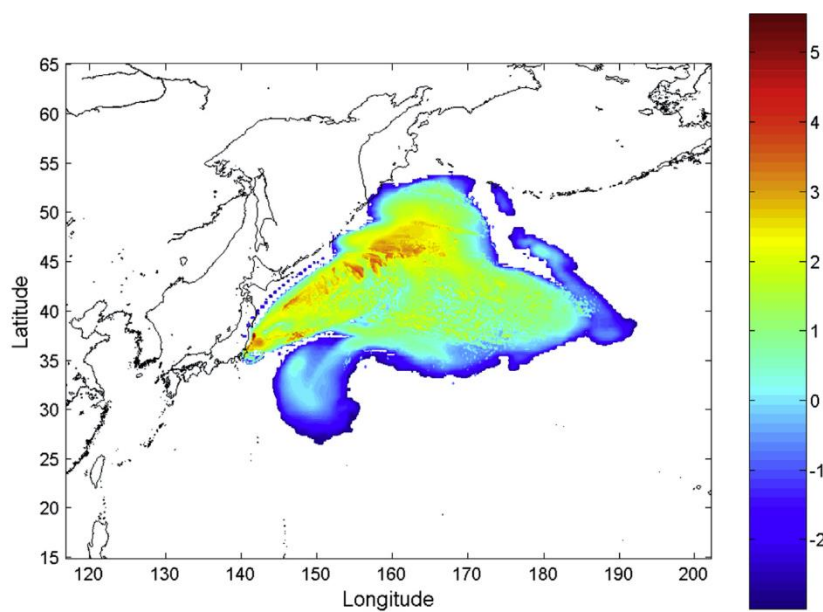


圖 28. 福島事件於 2011 年 3 月 15 日由模式計算大氣沉降至海洋之輻射活度量

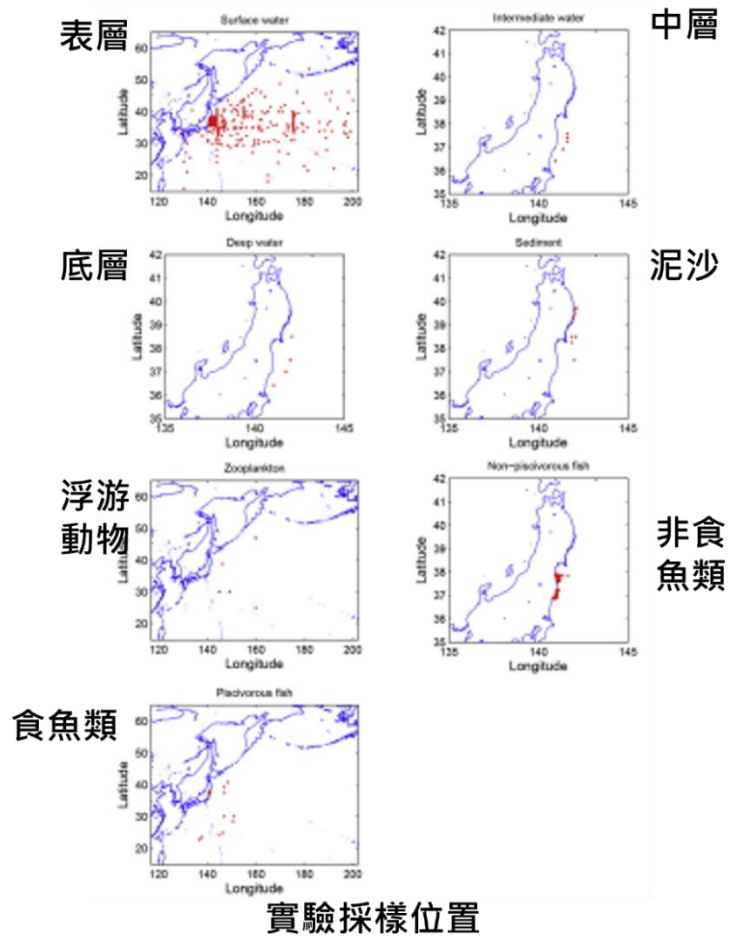


圖 29. 環境及生物採樣位置圖(Periáñez R. et al., 2019)

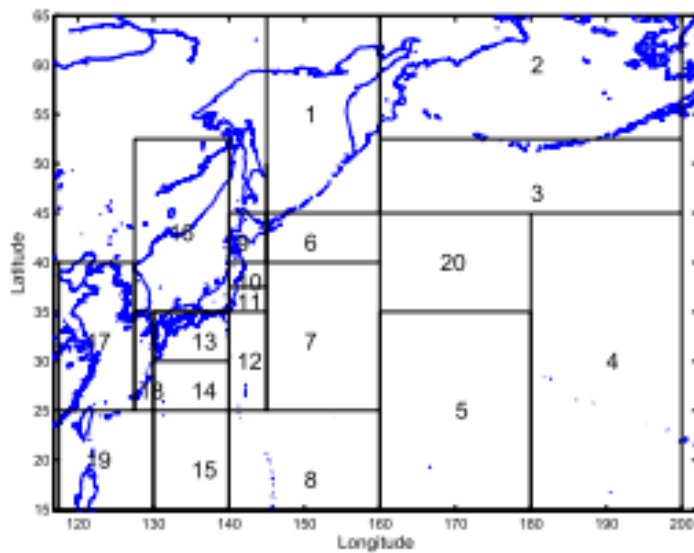


圖30. 銻137比對平面分區圖(Periáñez R. et al., 2019)

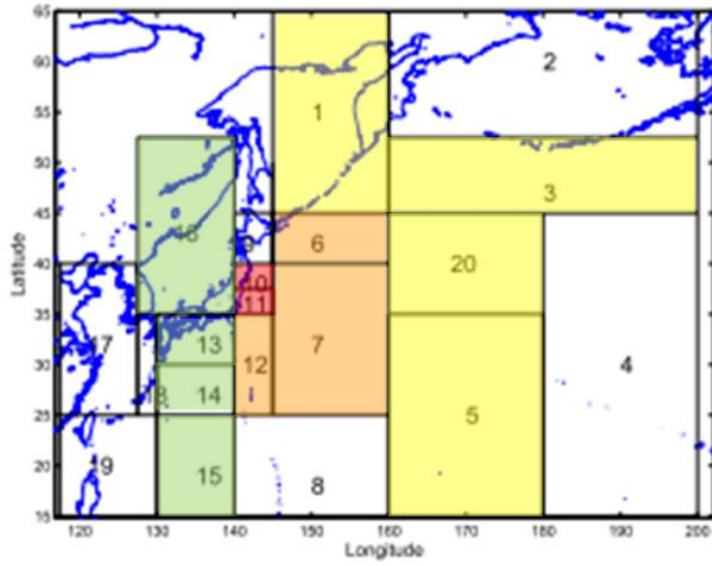


圖31. 銻137對於沉積物污染程度區域圖

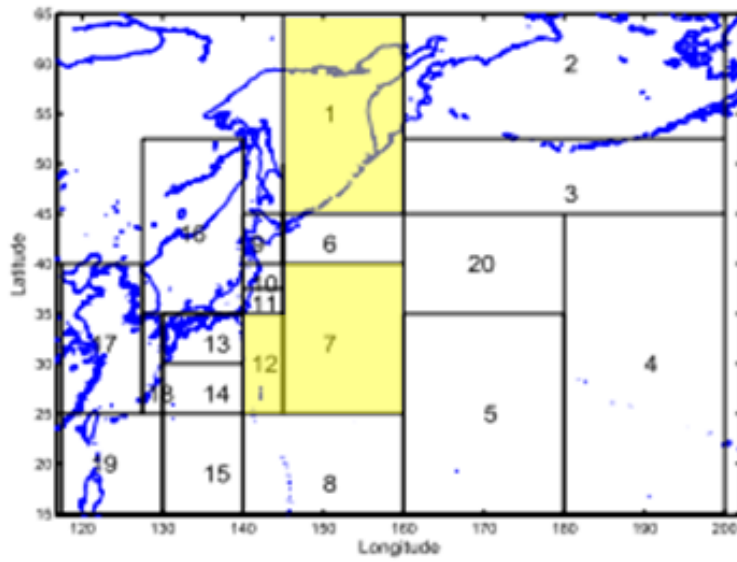


圖 32. 浮游動物採樣區域圖

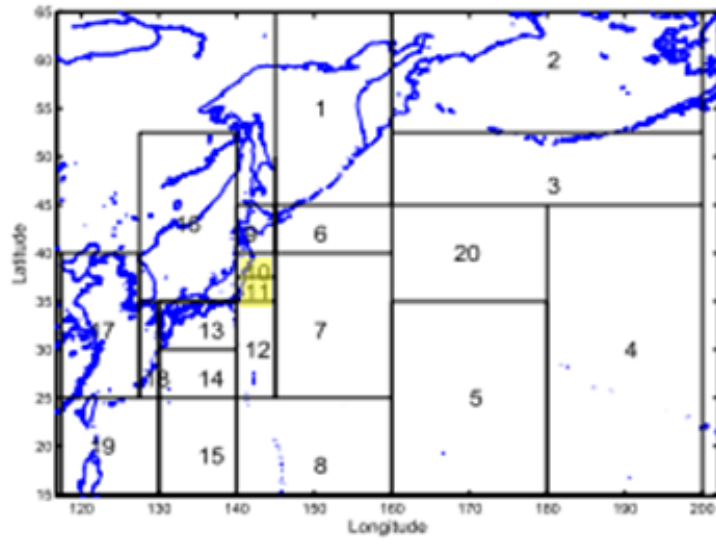


圖 33. 非食魚類採樣區域圖

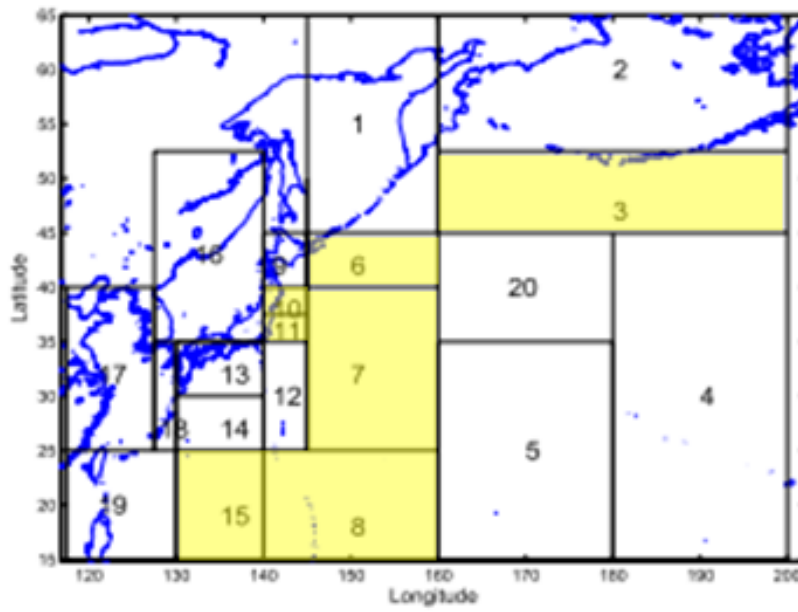


圖 34. 食魚類採樣區域圖

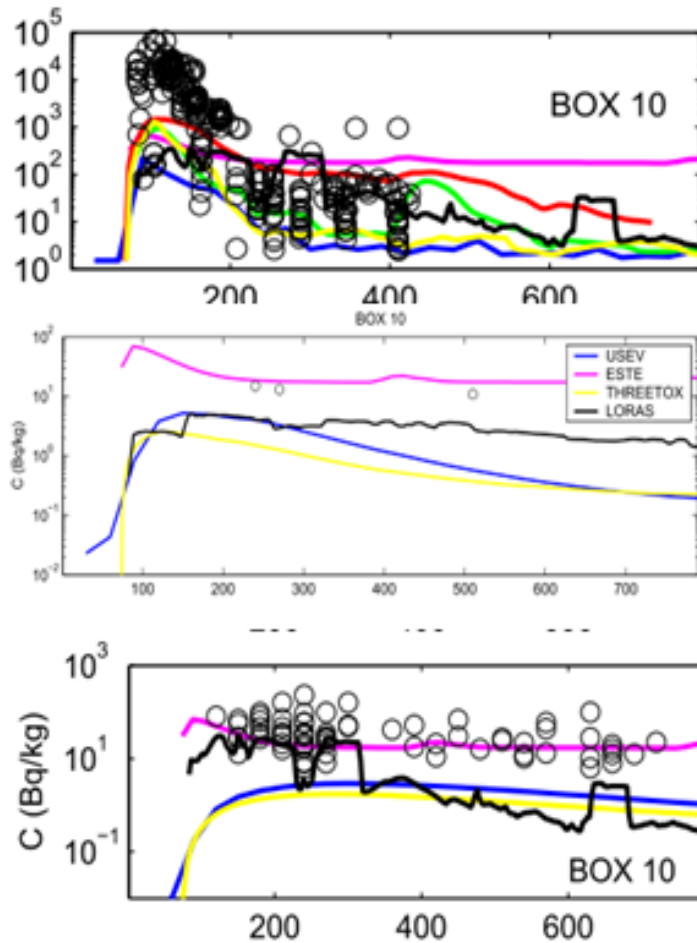


圖 35. 水體、非食魚類及食魚類活度濃度時序圖

Kamidaira et al., (2021)<sup>[6]</sup>利用 ROMS 模擬在 311 核災發生後的海流狀況，並利用擴散方程式模擬銻 137 放射性物質的擴散，該研究放射性核種傳輸方式如圖36，其擴散方程式如下：

$$\frac{\partial C_d}{\partial t} + \frac{\partial(u_i C_d)}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} (K_i \frac{\partial C_d}{\partial t}) = \sum_{j=1}^N (-k_{1,j}^m C_d + k_2 C_{s,j}) - \lambda C_d + S_d \quad \text{式 (17)}$$

其中  $C_d$  表示放射性核種濃度； $u_i$  為水平流速； $x_i$  為網格解析度； $K_i$  為渦流擴散係數； $k_1$ 、 $k_2$  為被沉積物吸收及釋放之動力係數； $C_{s,j}$  為不同顆粒大小(j)吸收之放射性核種濃度； $S_d$  為系統外部輸入或削減之量 ( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ )； $\lambda$  為核衰變常數 ( $\text{s}^{-1}$ ) (Hassanvand & Mirnejad, 2019<sup>[5]</sup>; Kamidaira et al., 2021<sup>[6]</sup>)。本計畫今年度會以此方式將放射性核種的傳輸方式納入海流模式中，模擬放射性核種在海洋中的擴散方式。

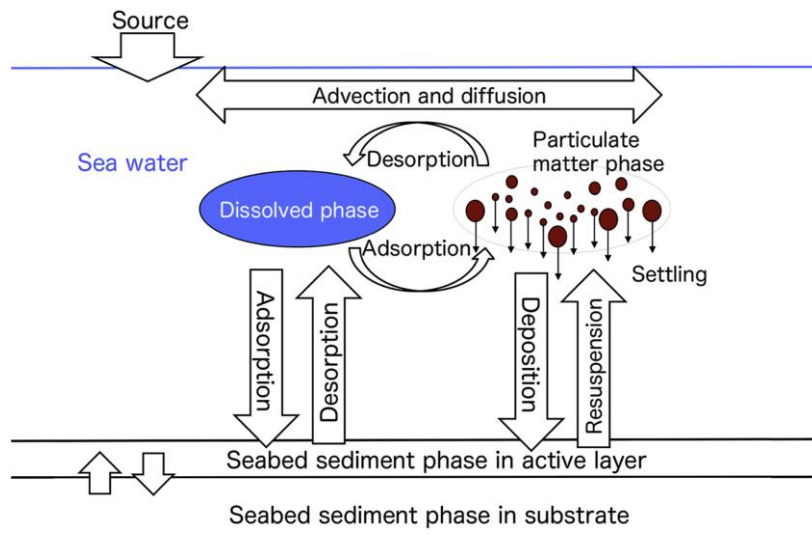


圖 36. 放射性核種傳輸方式示意圖(Kamidaira et al., 2021)

## 附件二、平台系統管理與資料維護

### 系統架構

放射性物質海域擴散海洋資訊平台網站包含了「放射性物質海域擴散海洋資訊平台建置」、「強化數據資料處理與視覺化呈現」及「系統維運及資安強化」三大工作項目。

下圖為資訊平台系統所建置涵蓋之各項功能示意圖。

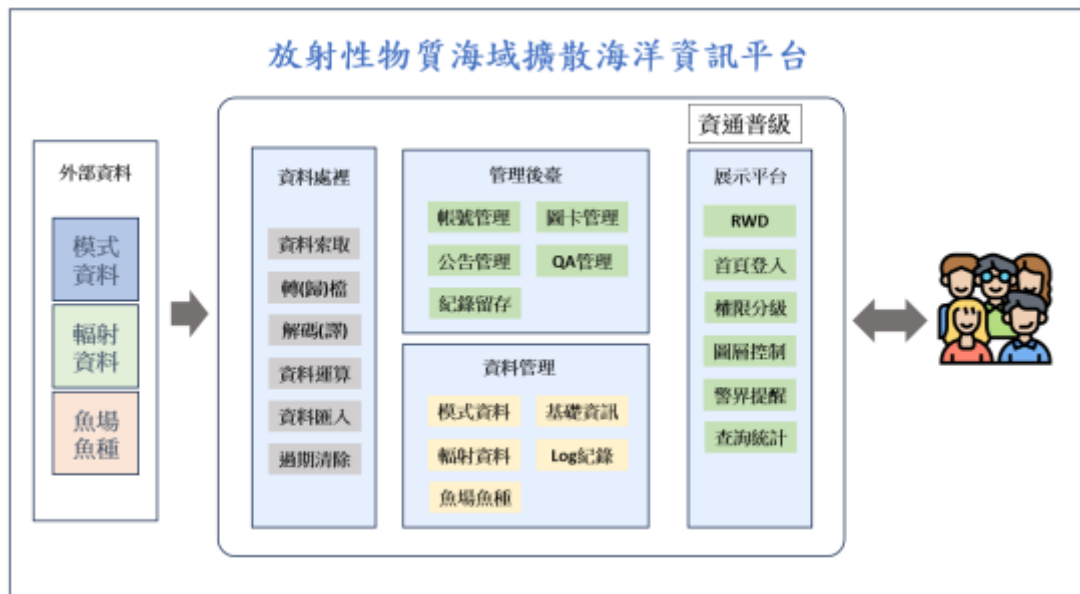


圖 5-1 資訊平台-整體功能架構圖

硬體架構方面，如圖 5-2。該資訊平台之作業主機置於中華電信機房，而有關擴散預報示警資料由氣象署提供、輻射監測資料則由國原院上傳。

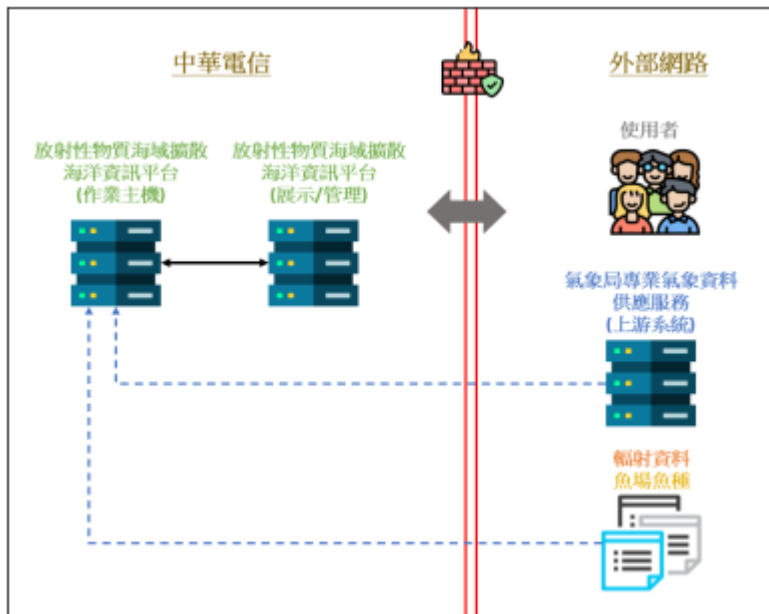


圖 5-2 資訊平台-硬體環境架構圖

而關於設備配置和規格的內容概述說明如下。

### 1. 架設區域：中華電信 hicloud

本區域建置對國原院和民眾的應用服務，包含網頁伺服器與應用程式主機。網頁伺服器主要負責對外的網頁服務，並透過 Web Application Firewall (WAF) 對外提供連線，過濾連線來源與阻擋惡意連線。應用程式主機為提供應用程式介面及應用服務，介面功能包含資料接收相關功能，應用服務功能包含資料索取與處理服務。

### 2. 硬體規格

(1) 作業主機為 1 台 VM，主要提供 API 和 AP 服務，網站主機也是安裝在 1 個 VM 中，主要是提供展示平台和管理後台所需之各項服務。

(2) 資訊平台系統所需之各式資料項會存放在中華電信提供之硬體設備，將資料以 disk array 的方式來進行儲存，現階段所運用的用途如下所列：

- [1] 海象模式模擬最近(新)幾筆資料的暫時存放。
- [2] 擴散模式資料檔的永久存放。
- [3] 原始輻射監測資料檔的永久存放。



- [4] 漁場魚種資料存放。
- [5] 儲存各類基礎資訊。
- [6] 存放系統 log 紀錄。
- [7] 海底地形解譯資料儲存。

## 系統功能

### 展示平台

網站開發採響應式網頁設計(Responsive Web Design, RWD)，讓使用者使用不同裝置瀏覽展示平台時都能取得最佳的視覺體驗。

平台首頁請參照第二章之圖 2-1、圖 2-2，說明如下：

- 1、提供展示平台各項警示燈號說明，包含海水輻射監測與預報燈號第 1-2 層說明頁、歷史擴散分析第 1-2 層及福島含氚廢水之濃度貢獻預報燈號 1-2 層。日本福島核電廠廢水排放前首頁顯示海水輻射監測與預報燈號及歷史擴散分析，排放後將顯示海水輻射監測與預報燈號及福島含氚廢水之濃度貢獻預報燈號。
- 2、因應作為專區包含跨部會合作、日本作業與國際監督、海水監測、漁產監測、擴散預報、其他計畫等，針對各項內容進行因應措施說明。
- 3、資訊專區為主要公告專區，其內容包含最新消息與輿情說明、常見問題、澄清專區、懶人包圖卡專區、影音專區、日本監測數據、互動地圖、相關網站等。

圖層控制方面，因為展示的資料會分模式格點的面化和非格點的單點監測不同種類的資料，因此規劃以透過電子地圖圖台進行資料的展示。而在顯示海流擴散時可動態呈現海流的資料以展現流速與流向資訊，同時為讓使用者能同時清楚檢視各種資料，因此會提供圖層套疊、調整透明度、圖層順序切換及針對特定數值進行遮罩顯示等控制操作功能來因應。本網

頁之警戒提醒功能方面，具有提供輻射監測與擴散預報資訊達警戒程度的檢核以及標示功能。

## 管理後台

帳號管理：

提供帳號管理機制，功能包括帳號新增、停用、刪除、修改、帳號權限設定與過期帳號狀態設定。

公告管理：

配合放射性物質海域擴散海洋資訊平台試行版本管理後台需求，保留原有的公告管理功能，包含影音專區、說明與輿情回應、跨部會因應會議、臺灣海域輻射調查等，並新增常見問題管理與圖卡管理功能。公告管理與圖卡管理包含編修功能和上下架機制，其中提供的狀態有【未上架】、【上架中】和【已下架】，且下架之公告是不允許再編修上架。新建置之常見問題管理除了提供文字、小知識編修之外並擴充圖片上傳功能。

以下提供部分後台管理功能頁面的展示，如圖 5-3~5-6。

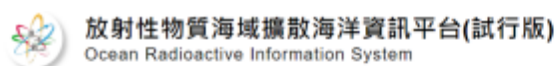


圖 5-3 資訊平台-管理後台(系統登入)

公告管理

搜尋條件 標題 查詢

新增公告

公告時間	標題	摘要	發布者	內附形式	上架狀態	編輯	刪除
Jul 07, 2023 08:54	國際原子能總署(IAEA)調查團針對日本ALPS處理水排放標準報告摘要說明	<a href="https://www.oec.gov.tw/newsdetail/headline/6795.html">https://www.oec.gov.tw/newsdetail/headline/6795.html</a>	ychiang	PDF	上架中	⊕	⊗
Jul 05, 2023 14:00	原能會擬訂日本電力公司福島核(NTA)計劃專家電力公司福島水質及環境放射線管理辦法草案	<a href="https://www.oec.gov.tw/newsdetail/headline/6794.html">https://www.oec.gov.tw/newsdetail/headline/6794.html</a>	yj'ai	PDF	上架中	⊕	⊗
Jul 04, 2023 18:12	原能會對國際原子能總署(IAEA)公布海空運送國際日本福島核污染水處理計畫專家團報告摘要說明	<a href="https://www.oec.gov.tw/newsdetail/headline/6793.html">https://www.oec.gov.tw/newsdetail/headline/6793.html</a>	ychiang	PDF	上架中	⊕	⊗
Jul 03, 2023 18:00	放射性物質與輻射資訊平台的建置內容更新說明	1. 本資訊平台參考世界衛生組織(WHO)的飲水安全標準，並根據國際標準與海陸空運輸規則，加強檢查國際水標準十分之一至百分之二範圍，為確保安全之標準，為國際標準所查驗了解，並使天下公眾的疑慮。	cw6	PDF	上架中	⊕	⊗

圖 5-4 資訊平台-管理後台(公告管理頁)

常見問題管理

搜尋條件 標題 查詢

新增常見問題

編修時間	標題	內文	分鐘	小知識	圖片	編輯	刪除
May 03, 2023 16:24	如何檢測海水中的氚含量？	1. 檢測海水中的氚含量，必須將採集海水樣本，透過實驗室技術進行分析，量測氚釋放出的低能β射線。 2. 由於海水中的雜質會影響檢測結果，因此海水樣品送到實驗室後，需先去除海水中的鹽。	1	⊕	⊗	⊕	⊗
May 17, 2023 16:07	為什麼不能連續自動監測海水中的氚？	1. 氚放射出的其他(β)輻射能量低、射線短、穿透力弱，容易將海水或生物體樣品本身吸收，就剩下對其他(β)輻射沒有吸收，也無法透過儀器連續偵測。另外，海水或生物體中的雜質也會影響檢測結果。因此	1	⊕	⊗	⊕	⊗
May 17, 2023 16:07	如何檢測生物體中的氚含量？	1. 檢測生物體中的氚含量，必須採集生物樣本，透過實驗室技術進行分析，量測氚釋放出的低能β射線。 2. 由於氚在生物體中會存在於水分子中，也會與碳元素結合成有機物質，因此生物	1	⊕	⊗	⊕	⊗

圖 5-5 資訊平台-管理後台(常見問題管理)

圖卡管理

搜尋條件 標題 查詢

新增圖卡

公告時間	標題	摘要	發布者	圖卡類別	上架狀態	編輯	強制下架
Jun 15, 2023 01:16	政府對日本含氚廢水排放作業之三原則與配置	三原則：1. 依據科學專業監督評估，2. 參照國際標準嚴格監管，3. 為國人安全與健康起見，預配套： 1. 持續掌握：掌握日本排放的運作狀況，確認符合國際安全標準，2. 強化監測：強化海巡	yj'ai	個人自	上架中	⊕	⊗
Jun 15, 2023 01:08	如何檢測生物體中的氚含量？	生物樣本經過冷凍乾燥，在極低、真空狀態下，將冷凍樣品結在生物體中的水分昇華為水蒸氣，再將其取出，以量測水中氚含量的方式，進一步以液態閃光計數儀(Liquid Scintillation Counter)	yj'ai	個人自	上架中	⊕	⊗
Jun 15, 2023 01:03	如何檢測海水中的氚含量？	檢測方法可分為兩大步驟，首先是去除雜質，為水樣品中加入化學劑而使雜質沉澱，再將其沉澱後將樣品置於液態閃光計數儀(Liquid Scintillation Counter)	ychiang	個人自	上架中	⊕	⊗

圖 5-6 資訊平台-管理後台(圖卡管理)

### 檢測數據傳遞與公開作業程序

為提供放射性物質海域擴散海洋資訊平台(TW-ORIS)網站確實且即時的資訊，迅速發布正確訊息及網頁內容，以更新及維護網頁，故訂定檢測數據傳遞與公開作業程序以為遵循。

放射性物質海域擴散海洋資訊平台(TW-ORIS)網站維護作業由國原院輻防所主辦，本會各單位(含核安會綜合規劃組、輻射防護組、保安應變組、輻射偵測中心)協辦，負責網站內容更新之資料準備、申請及陳核事宜。

### 檢測數據統計及傳遞：

本作業程序書主要為建立海域背景基線及比較日本排放含氫處理水前後之差異，針對海水、漁產、沉積物、生態樣本進行放射性銫 137 以及生物氫檢測(含有機氫及無機氫)。

每週一計作室統計上述之檢測數據(數量統計至上週五)，統一送核安會輻防組以掌握監測進度；另國原院按季於 TW-ORIS 資訊平台及政府資料開放平台公布「生態樣本」之關聯數據：臺灣海域放射性調查數據庫 <https://data.gov.tw/dataset/162602>。

而有關放射性銫 137 之各分析實驗室皆為 TAF 之認證實驗室，其報告、數據產出依相關品保規定辦理；生物氫檢測部分預計 113 年申請 TAF 增項認證，目前依生物氫實驗室的分析程序書進行相關品保檢核，並定期提供檢測結果予關聯部會。

每月檢測數據於 TW-ORIS 網站更新內容包含：1.首頁六大區域海水第二層資訊點位圖、報表產製及更新；2.互動地圖資料集「國家海域計畫擴大監測」、「臺灣海域基線調查」共計 2 份資料集上傳更新。上述兩項更新資料由國原院於每月第一週彙整「每週提報核安會輻防組」之監測數據累計四週(前月整月資料)，提取其中「海水監測」、「生態樣本」資料產製圖檔、數據資料集，發送輻射偵測中心、生物氫實驗室進行複核無誤後，

於每月 15 日前上傳 TW-ORIS。舉例：8 月第一週國原院產製資料，8 月第二週進行實驗室複核無誤，於 8 月 15 日上傳 7 月 1 日至 7 月 31 日之檢測數據至 TW-ORIS 平台。

### 檢測數據外之網頁資訊與維運：

TW-ORIS 平台架構包括海域輻射監測與預警燈號、歷史擴散分析兩大部分，而 icon 圖示資料顯示上有跨部會合作、日本作業與國際監督、海水監測、漁產監測、擴散預報、其他計畫，並有最新消息與輿情說明、常見問題、澄清專區、懶人包圖卡專區、影音專區、日本監測數據、互動地圖、相關網站。

網頁維運由核安會輻防組、國原院及資拓廠商共同負責，核安會輻防組主要負責跨部會合作、日本作業與國際監督、最新消息與輿情說明、澄清專區、懶人包圖卡專區等上架；國原院主要負責海水監測、漁產監測、擴散預報、其他計畫、日本監測數據、互動地圖、相關網站等上架；資拓廠商主要負責網站資安、程式修改等。

每月進行使用者意見收集、盤點，由核安會輻防組、國原院、資拓廠商共同舉行平台功能討論會議，並藉此滾動修訂平台內容。

### 網頁內容更新









網頁內容更新須填寫「海域資訊平台上下架、更新流程單」，包括申請時間、公告標題、公告時間、異動類型、公告內文、公告附件及海洋計作室上架前後之審核等項目。







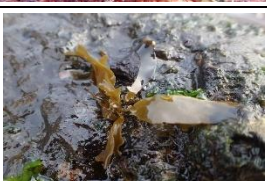


舉例，112 年 4 月 28 日公告 110~111 年北太平洋秋刀魚漁場環境輻射監測結果分析報告之上架流程單如下；由國原院輻防所海洋分組同仁分別負責上架、上架前後之審核、單位主管核定。




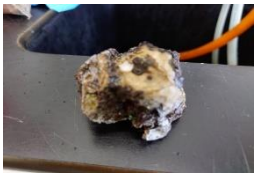







### 附件三、沿岸生態系採集紀錄



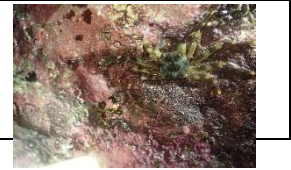
第 1 次 (112 年第一季) 生物樣本採樣列表

地點	名稱	總重量 (g)	照片
屏東東港	東方齒鱈 ( <i>Sarda orientalis</i> )	2229	
屏東東港	長尾濱鯛 ( <i>Etelis coruscans</i> )	1818	
屏東東港	大棘大眼鯛 ( <i>Priacanthus macracanthus</i> )	2118	
屏東東港	藍豬齒魚 ( <i>Choerodon azurio</i> )	3283	
台東成功	長鰭鯽 ( <i>Seriola rivoliana</i> )	2366	
台東成功	短角單棘魷屬 ( <i>Thamnaconus modestus</i> )	2151	
台東成功	藍鰭鱸 ( <i>Caranx melampygus</i> )	2150	
台東成功	寬帶副眶棘鱸 ( <i>Parascolopsis eriomma</i> )	2051	

宜蘭大溪	鱗馬鞭魚 ( <i>Fistularia petimba</i> )	2121	
宜蘭大溪	鯢仔 ( <i>Miichthys miiuy</i> )	2334	
宜蘭大溪	無斑圓鰺 ( <i>Decapterus kurroides</i> )	2480	
宜蘭大溪	紅虎魚 ( <i>Helicolenus hilgendorffii</i> )	1874	
藻類			
石門	石蓴 ( <i>Ulva lactuca</i> )	1000	
石門	優美石花菜 ( <i>Gelidium elegans</i> )	1000	
龍洞	小海帶 ( <i>Petalonia bingbamiaie</i> )	1000	
龍洞	小杉藻 ( <i>Chondracanthus intermedius</i> )	1000	
磯崎	寬珊藻 ( <i>Mastophora rosea</i> )	2300	




















磯崎	法囊藻 ( <i>Valonia aegagropila</i> )	2900	
軟體動物			
石門	葡萄牙牡蠣 ( <i>Crassostrea angulata</i> )	300	
石門	鐘螺 ( <i>Trochus Spp.</i> )	417	
龍洞	葡萄牙牡蠣 ( <i>Crassostrea angulata</i> )	1060	
龍洞	漁舟蜃螺 ( <i>Nerita albicilla</i> )	320	
磯崎	漁舟蜃螺 ( <i>Nerita albicilla</i> )	1608	
磯崎	日本花棘石鱉 ( <i>Liolophura japonica</i> )	411	
魚類			
石門	大鱗龜鯪 ( <i>Planiliza macrolepis</i> )	379	
石門	褐臭肚魚 ( <i>Siganus fuscescens</i> )	322	

龍洞	大鱗龜鯪 (Planiliza macrolepis)	308	
龍洞	暗紋蛙鰕 (Istiblennius edentulus)	340	
磯崎	黃邊鰭裸胸鯔 (Gymnothorax flavimarginatus)	352	
磯崎	邵氏裸胸鯔 (Gymnothorax shaoi)	600	
節肢動物			
石門	達氏短槳蟹 (Thalamita danae)	305	
石門	日本絨螯蟹 (Eriocheir japonica)	325	
龍洞	美麗笠藤壺 (Tetraclita formosana)	310	
龍洞	黑潮笠藤壺 (Tetraclita kuroshioensis)	305	
磯崎	勝利黎明蟹 (Matuta victor)	422	
磯崎	裸掌盾牌蟹 (Percnon	482	






	planissimum)		
--	--------------	--	--





第 2 次 (112 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	斯氏長鰭烏魴 ( <i>Taractichthys steindachneri</i> )	5452	
屏東東港	勒氏笛鯛 ( <i>Lutjanus russellii</i> )	2379	
屏東東港	烏鰮 ( <i>Parastromateus niger</i> )	2223	
屏東東港	伏氏眶棘鱸 ( <i>Scolopsis vosmeri</i> )	2348	
台東成功	牛眼鰹 ( <i>Scombrops boops</i> )	1781	
台東成功	日本腔吻鱈 ( <i>Coelorinchus japonicus</i> )	2857	
台東成功	軟體金眼鯛 ( <i>Beryx mollis</i> )	1765	
台東成功	貝氏鬚銀眼鯛 ( <i>Polymixia berndti</i> )	1902	
宜蘭大溪	鱧形叉尾鶴鱺	3301	

	( <i>Tylosurus crocodilus</i> )		
宜蘭大溪	白鰭鬚唇飛魚 ( <i>Cheilopogon unicolor</i> )	2990	
宜蘭大溪	五眼斑魮 ( <i>Pseudorhombus pentophthalmus</i> )	2513	
宜蘭大溪	星貂鯊 ( <i>Mustelus manazo</i> )	3516	
藻類			
石門	鹿角沙菜 ( <i>Hypnea asiatica</i> )	1000	
石門	石蓴 ( <i>Ulva lactuca</i> )	1000	
龍洞	小海帶 ( <i>Petalonia bingbamiaie</i> )	1000	
龍洞	滸苔 ( <i>Ulva prolifera</i> )	1000	
磯崎	布氏藻 ( <i>Boodlea composita</i> )	1600	










磯崎	硬葉馬尾藻 ( <i>Sargassum aquifolium</i> )	1600	
軟體動物			
石門	黑瘤海蜷 ( <i>Batillaria sordida</i> )	649	
石門	僧帽牡蠣 ( <i>Saccostrea cucullata</i> )	1117	
龍洞	漁舟蜑螺 ( <i>Nerita albicilla</i> )	465	
龍洞	僧帽牡蠣 ( <i>Saccostrea cucullata</i> )	634	
磯崎	漁舟蜑螺 ( <i>Nerita albicilla</i> )	1495	
磯崎	日本花棘石鱉 ( <i>Liolophura japonica</i> )	396	
魚類			
石門	大鱗龜鮫 ( <i>Planiliza macrolepis</i> )	379	

石門	雙帶鱗鰭烏尾鮗 ( <i>Pterocaesio digramma</i> )	317	
龍洞	大鱗龜鮫 ( <i>Planiliza macrolepis</i> )	346	
龍洞	暗紋蛙鰕 ( <i>Istiblennius edentulus</i> )	323	
磯崎	黃邊鰭裸胸鯔 ( <i>Gymnothorax flavimarginatus</i> )	560	
磯崎	細點裸胸鯔 ( <i>Gymnothorax pictus</i> )	820	
節肢動物			
石門	達氏短槳蟹 ( <i>Thalamita danae</i> )	305	
石門	兇猛酋婦蟹 ( <i>Eriphia ferox</i> )	310	
龍洞	美麗笠藤壺 ( <i>Tetraclita formosana</i> )	312	
龍洞	黑潮笠藤壺 ( <i>Tetraclita kuroshioensis</i> )	308	






磯崎	頑強黎明蟹 ( <i>Matuta victor</i> )	469	
磯崎	細紋方蟹 ( <i>Grapsus tenuicrustatus</i> )	761	








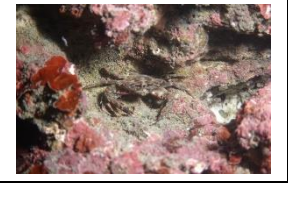
第 3 次 (112 年第三季) 生物樣本採樣列表

地點	名稱	總重量 (g)	照片
屏東東港	松鯛 ( <i>Lobotes surinamensis</i> )	2473	
屏東東港	銀紋笛鯛 ( <i>Lutjanus argentimaculatus</i> )	2800	
屏東東港	印度側帶小公魚 ( <i>Stolephorus indicus</i> )	1953	
屏東東港	黑魷 ( <i>Atrubucca nibe</i> )	2213	
台東成功	疊波蓋刺魚 ( <i>Pomacanthus semicirculatus</i> )	3483	
台東成功	大型海緋鯉 ( <i>Parupeneus spilurus</i> )	2374	
台東成功	三點阿波魚	2492	

	( <i>Apolemichthys trimaculatus</i> )		
台東成功	黑身荷包魚 ( <i>Chaetodontoplus melanosoma</i> )	2200	
宜蘭大溪	褐泥蛇鰻 ( <i>Ilyophis brunneus</i> )	2228	
宜蘭大溪	絲鰭姬鯛 ( <i>Pristipomoides filamentosus</i> )	2258	
宜蘭大溪	六指多指馬鮫 ( <i>Polydactylus sextarius</i> )	2089	
宜蘭大溪	黃背牙鯛 ( <i>Dentex hypselosomus</i> )	2090	
藻類			
石門	石蓴 ( <i>Ulva lactuca</i> )	1000	
石門	冬青葉馬尾藻 ( <i>Sargassum ilicifolium</i> )	1000	
龍洞	翼枝菜 ( <i>Pterocladia capillacea</i> )	1000	











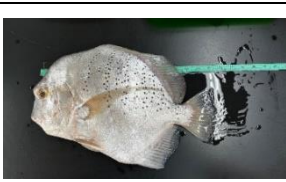



龍洞	剛毛藻 (Chladophora Spp.)	1076	
磯崎	腸澣苔 (Ulva intestinalis)	1600	
磯崎	大久保堅毛藻 (Lychee ohkuboana)	1200	
軟體動物			
石門	黑瘤海蝨 (Batillaria sordida)	429	
石門	黑齒牡蠣 (Saccostrea scyphophilla)	590	
龍洞	九孔 (Haliotis diversicolor)	320	
龍洞	鐘螺 (Trochus Spp.)	350	
磯崎	紅章 (Octopus luteus)	411	

磯崎	截尾海兔 ( <i>Dolabella auricularia</i> )	302	
魚類			
石門	大鱗龜鮫 ( <i>Planiliza macrolepis</i> )	353.6	
石門	褐臭肚 ( <i>Siganus fuscescens</i> )	359.5	
龍洞	大鱗龜鮫 ( <i>Planiliza macrolepis</i> )	317.8	
龍洞	暗紋蛙鰕 ( <i>Istiblennius edentulus</i> )	315.8	
磯崎	黃邊鰭裸胸鯔 ( <i>Gymnothorax flavimarginatus</i> )	399	
磯崎	細點裸胸鯔 ( <i>Gymnothorax pictus</i> )	318	
節肢動物			
石門	達氏短槳蟹 ( <i>Thalamita danae</i> )	303	





石門	兇猛酋婦蟹 ( <i>Eriphia ferox</i> )	305	
龍洞	美麗笠藤壺 ( <i>Tetraclita formosana</i> )	310	
龍洞	黑潮笠藤壺 ( <i>Tetraclita kuroshioensis</i> )	307	
磯崎	頑強黎明蟹 ( <i>Matuta victor</i> )	492	
磯崎	細紋方蟹 ( <i>Grapsus tenuicrustatus</i> )	785	

第 4 次 (112 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	雙帶鰱 ( <i>Elagatis bipinnulata</i> )	2224	
屏東東港	雙線舌鰷 ( <i>Cynoglossus bilineatus</i> )	2204	
屏東東港	金線魚 ( <i>Nemipterus virgatus</i> )	2064	

屏東東港	花斑蛇鯔 ( <i>Saurid undosquamis</i> )	2196	
台東成功	巴布亞鱈 ( <i>Caranx papuensis</i> )	2892	
台東成功	扁鶴織 ( <i>Ablennes hians</i> )	2264	
台東成功	軟體金眼鯛 ( <i>Beryx mollis</i> )	1833	
台東成功	烏尾鮫 ( <i>Caesio caerulaurea</i> )	2941	
宜蘭大溪	斑點雞籠鯧 ( <i>Drepane punctata</i> )	2880	
宜蘭大溪	東方齒鱈 ( <i>Sarda orientalis</i> )	2745	
宜蘭大溪	銀鯧 ( <i>Pampus argenteus</i> )	1923	
宜蘭大溪	白馬頭魚 ( <i>Branchiostegus albus</i> )	2098	
藻類			



石門	翼枝菜 ( <i>Pterocladia</i> <i>capillacea</i> )	1000	
石門	墊狀剛毛藻 ( <i>Cladophora</i> <i>patentiramea</i> )	1000	
龍洞	張氏龍鬚菜 ( <i>Gracilaria changii</i> )	1000	
龍洞	氣生硬毛藻 ( <i>Chaetomorpha</i> <i>aerea</i> )	1000	
磯崎	叉珊藻 ( <i>Jania</i> <i>rubens</i> )	1450	
磯崎	環節藻 ( <i>Champia</i> <i>parvula</i> )	1300	
軟體動物			
石門	黑齒牡蠣 ( <i>Saccostrea</i> <i>scyphophilla</i> )	1031	
石門	黑瘤海蜷 ( <i>Batillaria sordida</i> )	725	

龍洞	波紋玉黍螺 ( <i>Littoraria undulata</i> )	300	
龍洞	齒輪鐘螺 ( <i>Trochus sacellum</i> )	350	
磯崎	蜚螺 (( <i>Nerita</i> spp.))	1447	
磯崎	日本花棘石鱉 ( <i>Liolophura japonica</i> )	314	
魚類			
石門	大鱗龜鯨 ( <i>Planiliza macrolepis</i> )	305.4	
石門	褐臭肚 ( <i>Siganus fuscescens</i> )	370.9	
龍洞	星帶蝮鯨 ( <i>Echidna nebulosa</i> )	317.8	
龍洞	褐臭肚 ( <i>Siganus fuscescens</i> )	342.9	
磯崎	細點裸胸鯨 ( <i>Gymnothorax pictus</i> )	702	
磯崎	星帶蝮鯨 ( <i>Echidna nebulosa</i> )	317	

節肢動物			
石門	達氏短槳蟹 ( <i>Thalamita danae</i> )	306	
石門	兇猛酋婦蟹 ( <i>Eriphia ferox</i> )	302	
龍洞	美麗笠藤壺 ( <i>Tetraclita formosana</i> )	320	
龍洞	黑潮笠藤壺 ( <i>Tetraclita kuroshioensis</i> )	325	
磯崎	細紋方蟹 ( <i>Grapsus tenuicrustatus</i> )	465	
磯崎	錦繡龍蝦 ( <i>Panulirus ornatus</i> )	360	





## 國家海域放射性物質擴散預警 及安全評估技術研討會 議程

時間	講題	講師	座長
09:30-09:50	報到		
09:50-10:00	開幕致詞		
10:00-10:35	放射性物質海域擴散分析與例行化預報作業	氣象署 鄧仁星 研究員	氣象署 鄧仁星 研究員
10:35-11:10	因應福島核電廠氚水排放建置作業化三維海流數值預報模式	中山大學 于嘉順 教授	氣象署 鄧仁星 研究員
11:10-11:20	中場休息/大合照		
11:20-12:00	國際間核污染食品評估與風險溝通	臺大醫學院 姜至剛 教授	食藥署 鄭維智 副組長
12:00-13:00	中餐/意見交流		
13:00-13:20	沿近海魚種輻射採樣代表性建立基準	海洋大學 廖正信 教授	漁業署 鄭淑文 簡任技正
13:20-13:40	遠洋漁獲物輻射檢測採樣規劃	東華大學 黃文彬 教授	漁業署 鄭淑文 簡任技正
13:40-14:20	臺灣沿岸生態系輻射監測	國海院 洪斌燮 副研究員	國海院 張至維 主任秘書
14:20-14:40	中場休息		
14:40-15:20	生物氚檢測技術介紹	國原院 黃珩吉 副研究員	國原院 王正忠 所長
15:20-16:00	以輻射安全角度論日本含氚處理水排放事件之輻射劑量評估	國原院 陳章新 副研究員	國原院 王正忠 所長
16:00-	閉幕		

科學研究 妳我一起



核能安全委員會  
Nuclear Safety Commission



國家原子能科技研究院  
National Atomic Research Institute

圖 1、技術研討會議程



圖 2、國家海域放射性物質擴散預警及安全評估技術研討會：與會者合影



圖 3、主席致詞





圖 4、講題分享與互動：漁獲採樣代表性的討論



圖 5、講題分享與互動：風險評估與溝通





圖 6、海洋生態專家提問討論



圖 7、漁業與海洋專家相互討論





圖 8、環境生物學家提問討論

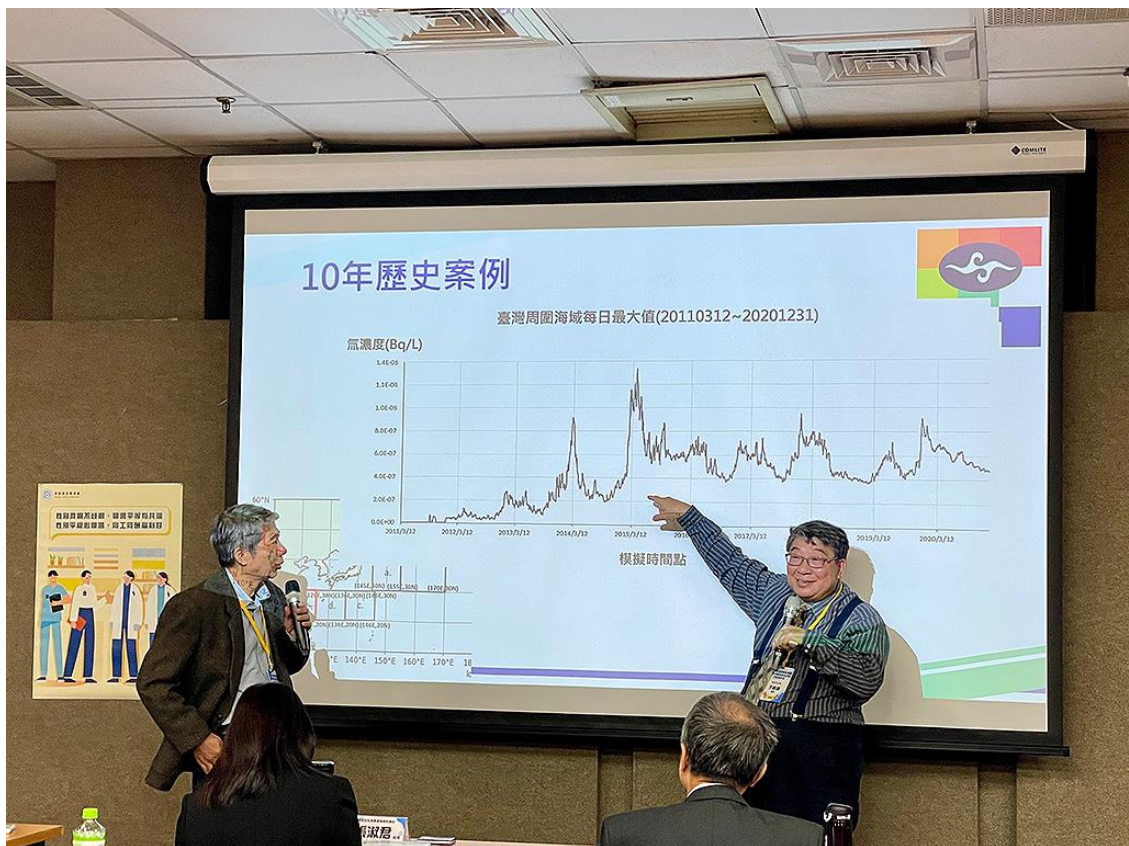


圖 9、講題分享與互動：海洋擴散模擬研究



## 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
日本福島核電廠放射性物質進入太平洋十年流布狀況模擬	王啓竑、王建堯、東佳穎、于嘉順、曾慧婷、鄧仁星	2023 年天氣分析與預報研討會(2023 年 9 月 5-7 日)	A-2-1		國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫
日本福島核電廠放射性物質作業化擴散模式開發與建置	王啓竑、顏辰宇、東佳穎、于嘉順、曾慧婷、鄧仁星	2023 年海洋工程研討會(2023 年 10 月 5-6 日)	A-2-1		國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫
日本福島排放含氚核廢水對太平洋地區的影響	鄧仁星、曾慧婷	2023 年深層海水國際研討會(2023 年 11 月 13 日)	A-2-1		國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫

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
福島氚廢水海洋散系統優化建	西灣海環科技股份有限公司	B	A	2023	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫

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)

王啓竑	中山大學海洋 環境及工程學 系博士候選人	西灣海環科技 股份有限公司	高雄市前金區七賢二路 322 號 4 樓之 3 07-2910566 wchihome@wbytech.com.tw
-----	----------------------------	------------------	--

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
氫水電解濃縮技術開發及性能測試	林士軒	2023	C	國家海域放射性物質擴散預警及安全評估應對計畫
核設施與活動對海洋環境影響評估研究報告	楊雍穆	2023	C	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫
國際間飲用水中氫核種參考標準研究報告	陳韋新、賴怡汝	2023	C	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫
日本 ALPS 處理水海洋排放民眾劑量評估方法研究報告	陳懿璿、陳韋新	2023	C	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫
日本 ALPS 處理水海洋環境保護劑量評估方法研究報告	陳懿璿	2023	C	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫
日本 ALPS 處理水海洋排放對臺灣之關鍵曝露途徑及代表人研析報告	陳懿璿、陳韋新	2023	C	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫



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	魚類有機氚/無機氚代謝研究
015F 館除役完成後利用於含氚海水養殖實驗之輻射影響評估	廖子權、蕭憲明	2023	C	魚類有機氚/無機氚代謝研究

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
國家海域放射性物質擴散預警及安全評估技術研討會」	國內	8	78	20231206	核安會	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫

**【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

**【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
福島氚廢水海洋傳輸擴散分析及預報系統教育訓練(一)	A	A	20231004	4	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫

福島氙廢水海洋傳輸擴散分析及預報系統教育訓練(二)	A	A	20231030	6	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫
---------------------------	---	---	----------	---	--------------------------

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

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
西灣海環科技股份有限公司	90687115	3	2023	國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估應對計畫

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


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
臺灣北部及東北部 岸際生態資源調查	沿近岸生態系 4 季的季節性 生物調查採樣，並將樣本送 國原院進行銫-137 和生物氫 檢測分析	完成臺灣沿近岸 6 個 點，4 季次共計 144 個生 物樣本採集送驗。	100%	國家海域放 射性物質擴 散預警及安 全評估應對 計畫
國際關注食品安全 議題之研析	蒐集國際間針對近期核污 染食品議題之最新評估研 究文獻	2 篇	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
輸入水產動物類及 藻類中放射性核種 氫檢測分析調查	針對輸入水產動物類及藻 類中放射性核種氫抽樣送 檢測分析	100 件	90% <sup>1</sup>	國家海域放 射性物質環 境輻射監測 及安全評估 整備計畫