

建構臺灣海象及氣象災防環境服務系統(2/4)

Construction of Taiwan Marine and Meteorology Disaster Prevention Information Service System (2/4)

主管單位：交通部

滕春慈

陳嘉榮

Terng, Chuen-Teyr

Chen, Chia-Rong

交通部中央氣象局

摘要

「建構臺灣海象及氣象災防環境服務系統」計畫為四年期計畫，執行期間為民國 106 至 109 年，上承現代化海象暨氣象觀測，下接多元化氣象服務管道。計畫整合各種海洋、大氣與陸地觀測數據資料、預報及災防資訊，研發海象暨氣象相關應用技術與災防預警產品，以擴大海象暨氣象資訊之使用社群，強化海象暨氣象災防產品之服務與增值應用。計畫內容主要包含五大項目，(一) 建置近岸區域海象預報整合子系統、(二) 建置西北太平洋海象資料庫與臺灣海象災防服務平臺、(三) 開發新式衛星與雷達衍生產品、(四) 發展未來 3 小時災害性天氣之鄉鎮尺度定量降雨預報技術、(五) 強化中央氣象局衛星產品展示平臺。

本年度(107 年)為第 2 年工作，計畫期間完成(一)發展與建置 2 維波潮偶合暴潮模式，改進單一暴潮模式模擬誤差；完成波浪預報監控系統，提升預報作業效率。(二)擴充西北太平洋海象資料庫，提供 24 項國際海域地理資訊圖資與 9 項開放資料服務，促進海象資料在產、學、研應用，「臺灣海象災防環境資訊平臺」上線服務，提供海運區域波候、海岸潮線預報、海洋溢油漂流預報等地理資訊圖資服務，提升各機關海域災害防救效率。(三)完成衛星對流起始偵測、衛星飛機積冰警示、衛星雲頂相態等 3 項遙測應用產品，減少防災、緊急救援前置作業時間、新增臺中南屯防災降雨雷達資料導入。(四)改進雷達定量降雨估計方法，並完成午後雷陣雨與綜合天氣型態之 0-1 小時對流啟始可能性預報產品顯示，並開發即時預報產品顯示網頁。(五)完成本局對外服務衛星產品整合平台與遙測數據資料儲存系統暨其相關設備擴充，增進遙測資料之應用效能與服務。

本計畫強化預報能量與引進資料處理技術及開發災防增值應用產品，提供更為即時的災害預警資訊，增加了政府防災單位與大眾應用的效能，增進民生之福祉。

關鍵詞：氣象資料災防應用、暴潮預報、海象資料、西北太平洋、氣象衛星資料、對流降雨

Abstract

“Construction of Taiwan Marine and Meteorology Disaster Prevention Information Service System” is a four-year project since 2017, which aims for a modern marine and meteorology monitoring and diversified information service. In this project, we integrate various observation data from marine, atmosphere, and land, and assorted forecast and disaster preventing information in order to strengthen Central Weather Bureau (CWB) products, services and value-added applications.

The project is consisted of 5 main tasks. (1) is to construct a better inshore marine meteorology integrated forecasting technique, (2) is to build up a Northwest Pacific marine database and a marine disaster preventing system of Taiwan, (3) is to develop new Satellite and radar products, (4) is to deliver 3-hour Quantitative Precipitation Forecast product, and (5) is to strengthen CWB’s platform for Satellite products.

In 2018, we made several achievements, such as (1) Build up a 2 dimensional wave, tide and storm surge coupled model, and strengthen wave evaluation method to improve forecasting ability., (2) 24 type of geospatial information for northwest pacific marine database, 9 type of open data for public, and 3 application products about oil splitting technique, marine ocean wave statistics, a low and high tide boundaries along coastal, etc. (3) 2 satellite application products about aircraft Icing Threat and Cloud Phase, a Convective Initiation detection technology, etc. (4) Improve radar precipitation quantitative forecast technique, and 1 hour convective initiation technique on mixed type weather regime, and (5) the satellite products integration service platform for public and data storage system.

In order to strengthen the forecasting capabilities and providing a real-time early warning service on an extreme weather event, we integrated the various type of data and introduced advanced data processing technologies. Anticipatedly, we can improve the efficiency of government disaster preventing and the application value for the social public, and ultimately, increase the welfare and happiness of people.

Keywords : Meteorological Data Approach for Disaster Management, Surge Forecast, Marine Meteorological Data, Northwest Pacific, Meteorological Satellite Data, Convective Rainfall.

一、前言

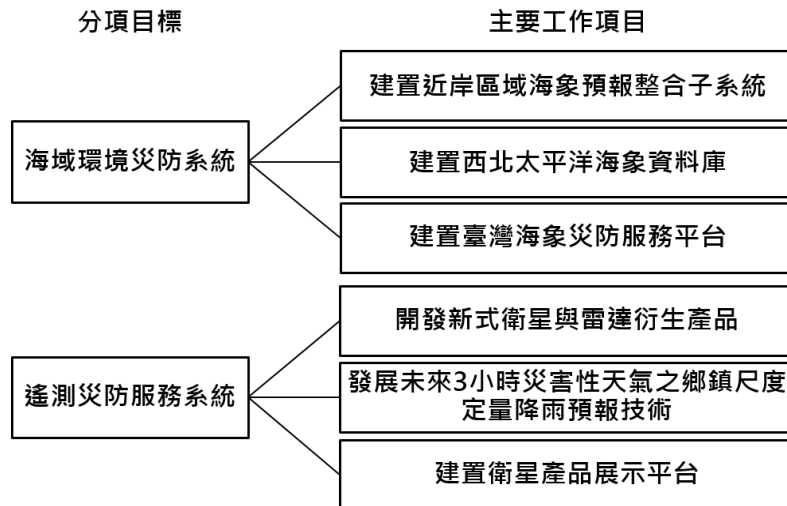
根據行政院國家災害防救科技中心2013年報統計指出，全球天然災害，共543件天然災害事件，有55%災害事件主要發生在亞洲地區，其中亞洲地區有46%屬於颱風之洪泛災害。世界氣象組織(WMO)副秘書長Jerry Lengoasa 於2013年的聯合國氣候變遷會議中表示，颱風造成的強風巨浪才是導致死傷的原因，他並引用IPCC的報告補充說：「現階段我們當然無法將單一颱風歸咎於氣候變遷，但可以確定的是，增高的海平面讓沿海居民完全暴露於颱風和隨之而來的狂風巨浪之中。」亞洲地區相較其他地區而言，不論颱風造成山洪暴發、暴潮溢淹，還是地震、乾旱等，仍是發生災害密集地區。2014年11月瑞士再保險公司(Swiss Re-insurance Company)針對天然災害對全球都會區的威脅排名調查結果顯示，全球最危險的都會區都集中於亞洲的「日本、大陸、臺灣和菲律賓」。近20年來因上述氣象災害所造成的直接財物損失年平均達新臺幣174億元，且有持續升高的趨勢，在經濟上的間接損失更是難以估計。隨著國家經濟的繁榮，氣象災害對社會、民生各層面影響程度則愈來愈為深廣。

同時，面對氣候變遷影響，所引起的劇烈天氣頻率增加，臺灣暴露於氣候變遷導致的諸多風險中，不僅高溫、暴雨等極端氣候事件加劇，來自海上的潮濕氣流或颱風所引起的暴雨、湧浪及暴潮等現象，亦將危及本島陸域及海域的安全，社會大眾與政府防救災權責單位對於各種即時的海象暨氣象資訊需求亦與日俱增。未來各種高時間與高空間解析度的衛星、雷達等遙測系統與浮標、剖風儀等多元海象暨氣象觀測資料源，可每日不間斷的接收海洋、大氣與陸地環境變化的訊息，並且提供即時且準確的海象及氣象環境監測資訊。因此，整合並提供即時的海象與氣象資訊服務，可增加政府執行各項災害性海象與氣象事件的預警與防災能力，方可有效降低各種災害之損失。

「建構臺灣海象及氣象災防環境服務系統」計畫整合各種海洋、大氣與陸地觀測數據資料、預報及災防資訊，研發海象暨氣象相關應用技術與災防預警產品，可增進對災害性氣象與海象狀況之即時監測及預報能力。另一方面，本計畫所建立之數據資料庫與災防產品，亦提供權責機關及學研界更為豐富多元的海象、氣象資訊，擴大海象暨氣象資訊之使用社群，強化其服務與加值應用。本計畫由先進海象暨氣象技術研發到創新之社會公眾服務，提升了海象及氣象災防資訊的應用價值與其服務效能。

二、計畫範圍

「建構臺灣海象及氣象災防環境服務系統」計畫，在加強「提供即時海象、氣象環境監測與預警資訊服務」的大目標之下，預定提升「海域環境災防服務」與「遙測災防服務」兩大分項目標，並由推展六項工作主軸落實整體計畫的執行，計畫範圍如下所示。



2.1 建置近岸區域海象預報整合子系統

1. 引進與發展波潮耦合技術，建置2維波潮耦合暴潮系統。
2. 發展百公尺解析度之近岸區域海象預報整合作業。

2.2 建置西北太平洋海象資料庫與臺灣海象災防服務平臺

1. 建立西北太平洋範圍國內外海象預報、監測、遙測資料庫，開發地理資訊與開放資料服務。
2. 開發臺灣海象災防環境資訊平臺。
3. 新增10項海象災防環境資訊服務。

2.3 開發新式衛星與雷達衍生產品

1. 引進新式衛星、雷達資料處理演算技術，發展大氣及海洋環境 等多元即時環境監測衍生產品與應用領域。
2. 新增高時空解析度日夜間霧區、飛機積冰警示、對流起始偵等大氣與海洋狀況之監測產品。
3. 發展雙偏極化雷達多觀測變數技術增進雷達風場及定量降雨產品品質。

2.4 發展未來 3 小時災害性天氣之鄉鎮尺度對流啟始可能性與定量降雨預報技術

運用各式觀測與數值模式資料，搭配模糊邏輯理論，產生對流系統啟始資訊（解析度將由目前5公里提高至3公里）及定量降雨預報產品，增加權責單位進行防災措施所需的前置作業時間。

2.5 建置衛星產品展示平臺

彙整各項衛星影像及衍生產品，將主動提供大氣及海洋環境監測人員所需之即時衛星產品，提升遙測資料的應用價值與服務效能。

三、本年度(民國 107 年)計畫工作內容

本年度(民國107年)為本計畫第二年執行，年度主要執行工作項目如下：

3.1 建置及增進近岸區域海象預報整合子系統

1. 引進與發展波潮耦合技術，建置2維波潮耦合暴潮系統。
2. 引進與發展颱風系集路徑暴潮預報技術。
3. 完成波浪預報作業監控系統及暴潮展示系統功能擴充。

3.2 建置西北太平洋海象資料庫與臺灣海象災防平臺

1. 發展西北太平洋海象資料庫、品質準則、區域特性，並開放數據供研究應用。
2. 發展西北太平洋海象地理資訊服務，並透過內政部全球感測網與地理資訊圖資雲平臺提供資料。
3. 發展臺灣海象災防環境資訊平臺與區域行資訊服務。
4. 發展海運區域波候、海岸潮線預報、颱風波浪，並改進海洋溢油漂流預報、漁業海溫預警等海象資訊災防應用產品。
5. 開發海流與海溫預報資料品質驗證資訊模組。

3.3 開發新式衛星與雷達衍生產品

1. 完成日間飛機積冰警示與雲頂相態2項衛星增值應用產品；並完成第1項對流起始偵測作業化產品。
2. 完成新增建臺中南屯防災降雨雷達即時觀測資料導入與顯示，及後續掃描測試及掃描策略參數研擬，相關工作有助於未來正式上線運作。
3. 運用S波段與C波段雙偏極化資料，進行雷達定量降雨估計方法改進。

3.4 發展未來 3 小時災害性天氣之鄉鎮尺度定量降雨預報技術

針對自美國氣象發展實驗室(NOAA/NWS/MDL)引進綜合天氣型態(mixed regime)的即時預報技術，持續進行臺灣之在地化資料導入，自動化產製對流生成之可能性(likelihood)預報產品，並開發即時預報產品顯示網頁。

3.5 建置衛星產品展示平臺

1. 進行並完成本局衛星產品整合之對外服務平台與地球同步衛星相關數據應用程式。
2. 進行遙測數據資料儲存系統暨其相關設備擴充。

四、本年度(民國 107 年)計畫工作成果

4.1 建置及增進近岸區域海象預報整合子系統

4.1.1 近岸區域海象預報整合子系統

開發與引進鏈結暴潮模式與颱風路徑系集模組技術，分析近年來本局颱風路徑預報誤差，包含橫向路徑(cross-track)和徑向路徑(along-track)的誤差，推算所得的機率分佈曲線且可選擇多個路徑來改善單一路徑預報的可行性，分析106年尼莎(NESAT)颱風個案結果，在橫向路徑(cross-track)方向使用9條路徑，加上徑向路徑(along-track)方向使用3條路徑，共測試27個成員，產製10%超越機率圖(圖 1.1)和超過1公尺暴潮機率圖(圖 1.2)。

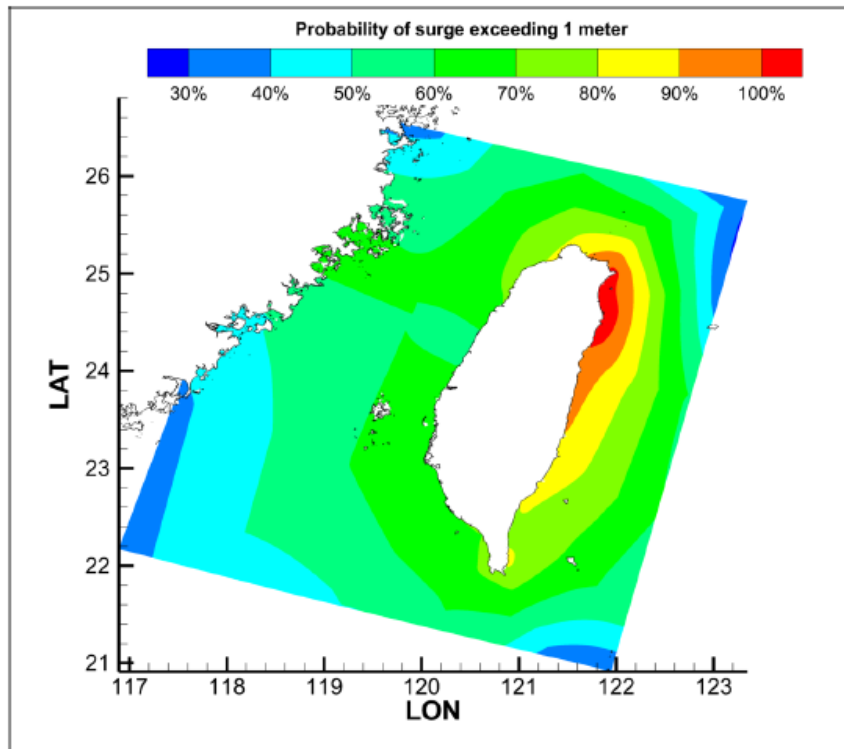


圖 1.1 90% Exceedance Surge 圖

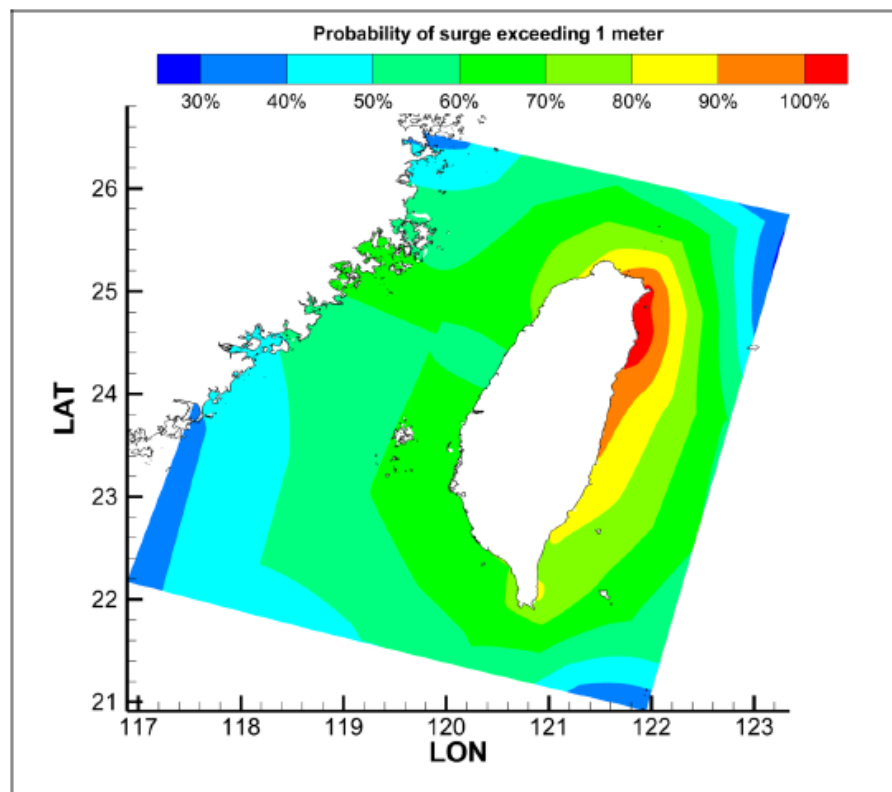


圖 1.2 超過 1 公尺暴潮機率圖

為強化本局海氣象資訊服務，在本局氣象資料開放平台新增海流網格產品，此外，為應立法委員要求，新增波浪數值模式「可視化(visualization)動態圖」，包含

示性波高及波向，資料來源為本局波浪決定性預報模式，臺灣近海解析度2.5公里，提供民眾逼真的即時動畫效果，更容易了解未來波浪的變化趨勢(圖 2)。

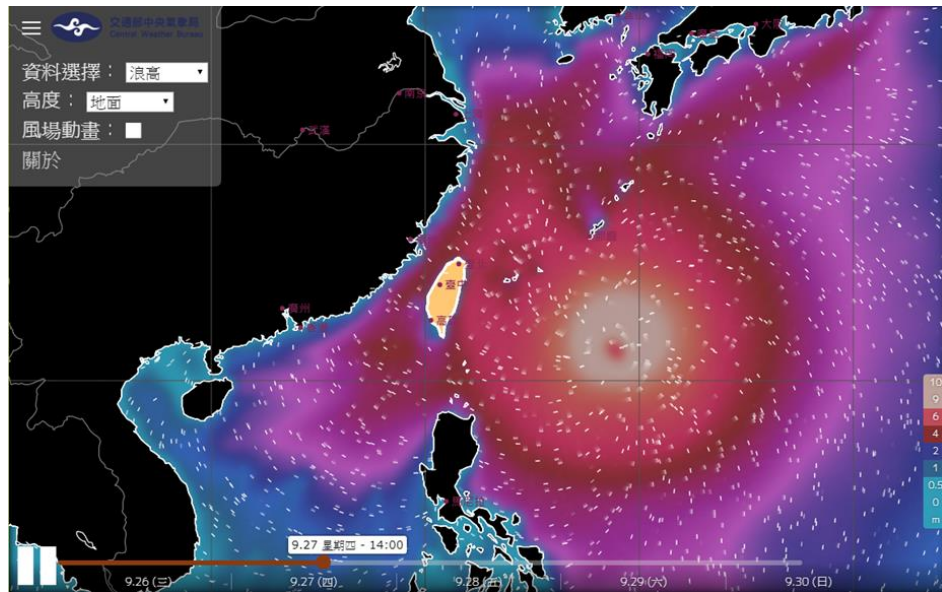


圖 2 三層範圍內插至0.05度解析度浪高與浪向動畫顯示

4.2 建置西北太平洋海象資料庫與臺灣海象災防平臺

4.2.1 海運區域波候

海運區域波候平台預載畫面，如圖 3 所示。其預載為波候-最大波高，以 1 月份為預載月份。畫面底下，則有滑動式圖鈕可進行時間軸之選擇，海運區域波候平台可以選擇全年每月份及全年統計的最大波高。

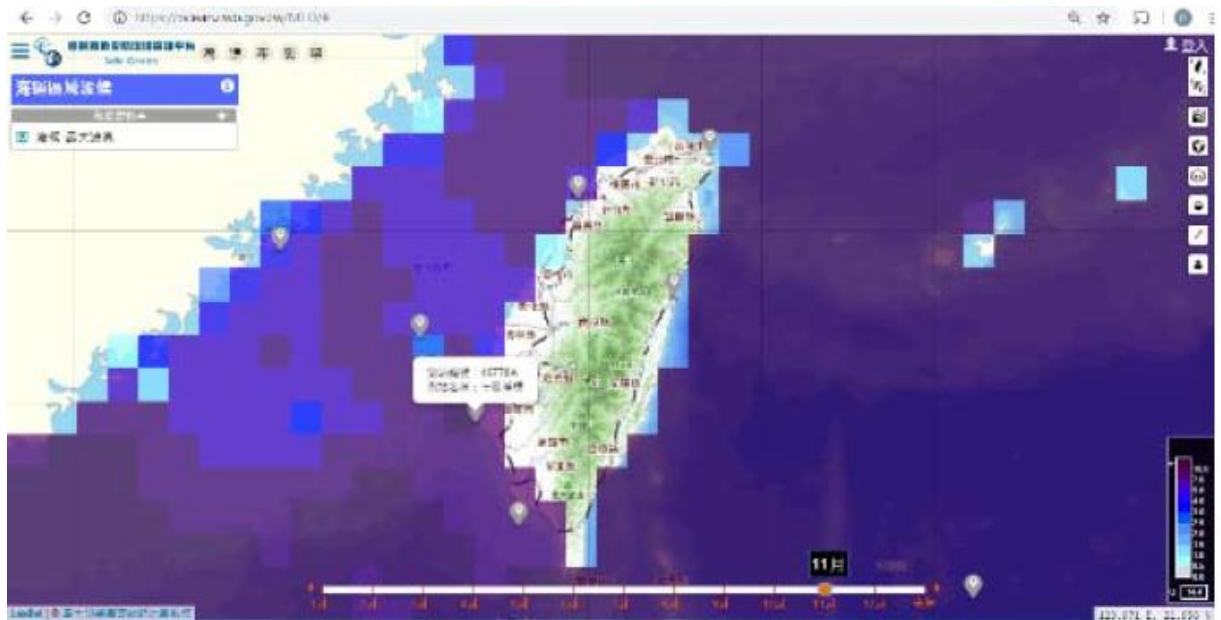


圖 3 海運區域波候平台預載畫面

此外可以點選圖中的指定站點，而畫面即刻顯示該站點該月份(預載畫面選擇之月份)的統計資料及波高的機率分布，如圖 4 所示。

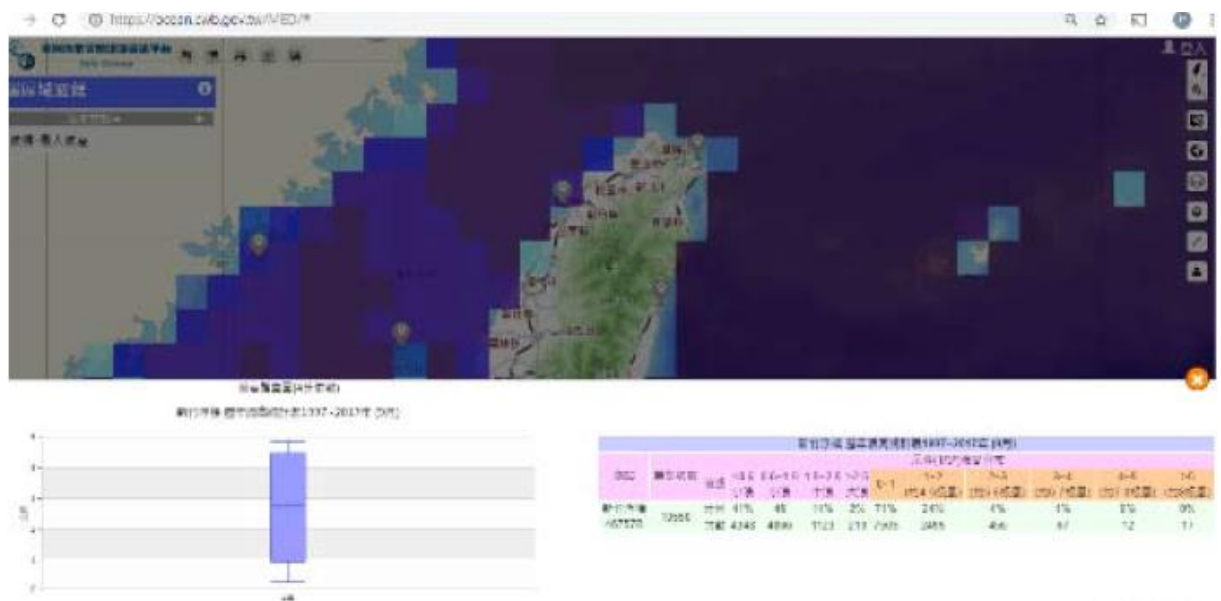


圖 4 海運區域波候平台預載畫

4.2.2 海象災防環境資訊平臺技術

船級舒適度產品蒐集海上不同船隻之耐浪級數，包括國內漁船、遊艇及動力小船、大型船舶等，即時分析中央氣象局作業化波浪預報資料，產製不同船隻之波浪警示分布圖，提供航運人員航線之規畫參考，降低海上意外事故的發生，如圖 1所示。

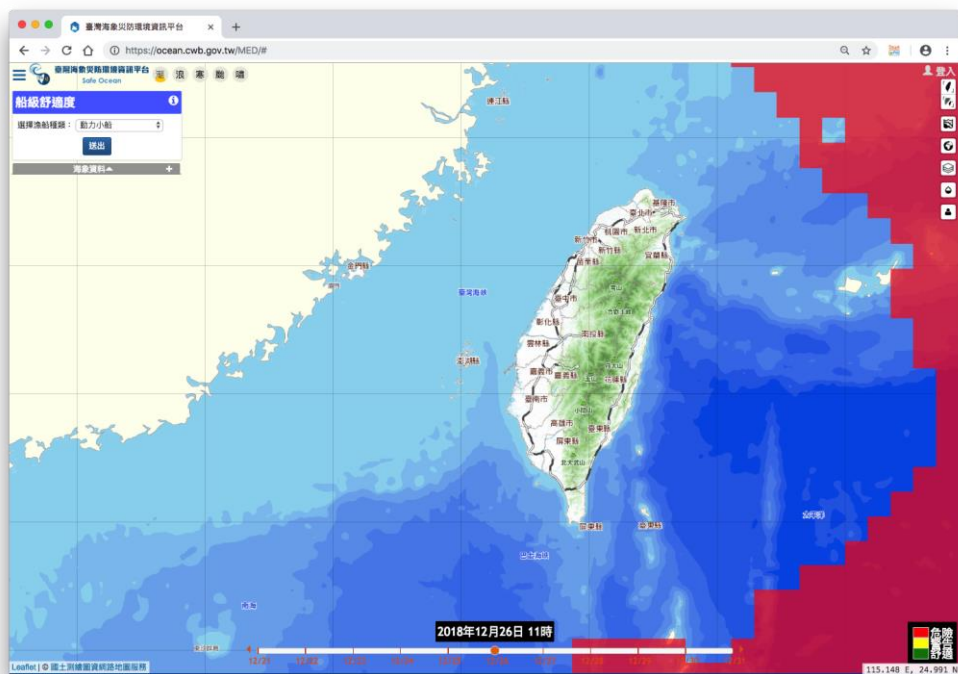


圖 1 船級舒適度之展示畫面

海岸長浪警示產品是提供臺灣沿海海岸的國家風景區安全警示，使近海作業的船隻與海岸遊憩民眾可獲取即時海象資訊，並透過警示分級直觀地顯示海象狀況，

主要提供對象為交通部觀光局，如圖 2所示。



圖 2 海岸長浪警示之展示設計畫面

海嘯即時分析產品利用既有的潮位站觀測資料，透過訊號分析萃取觀測訊號中海嘯波之資訊，建立估算各波次海嘯抵達時間、結束時間與海嘯波高之程序，並建構海嘯介面功能，提供即時警示與展示所用，如圖 3所示。

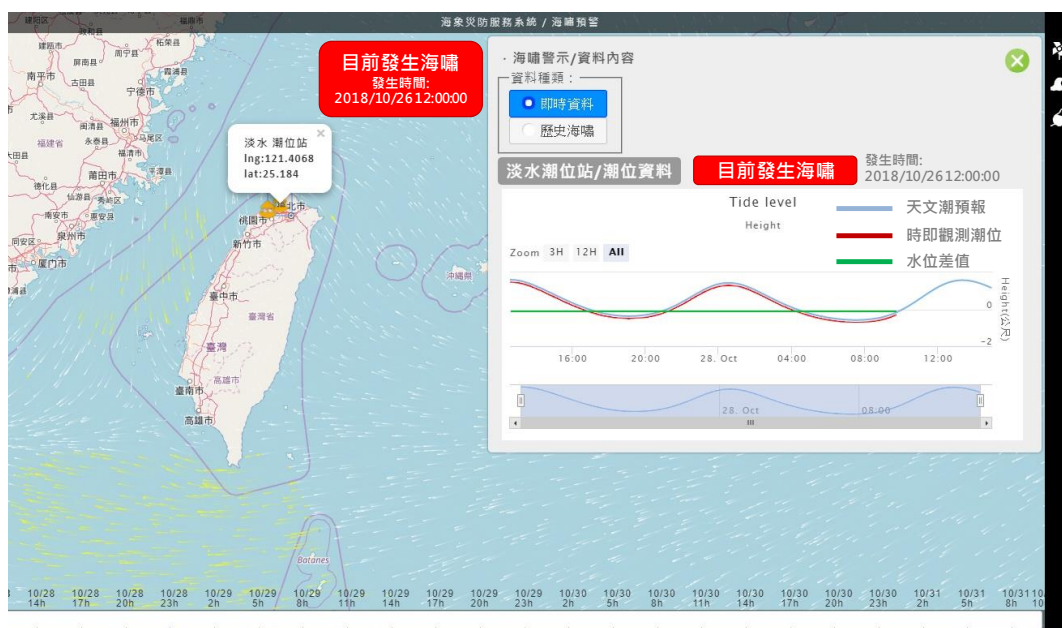


圖 3 海嘯即時分析之展示設計畫面

此外，為了展示各項災防產品，「臺灣海象災防環境資訊平臺」(圖 4)已完成基本架構，並提供災防機關上線使用。本平臺可管控資料使用對象及展示程度，災防機關登入後可使用我的最愛功能、海象資料下載、海難、溢油、寒害個案事件海象查詢及各項災防產品。而一般非災防機關使用者，僅能查詢臺灣海象、西北太平洋海象等展示資料。

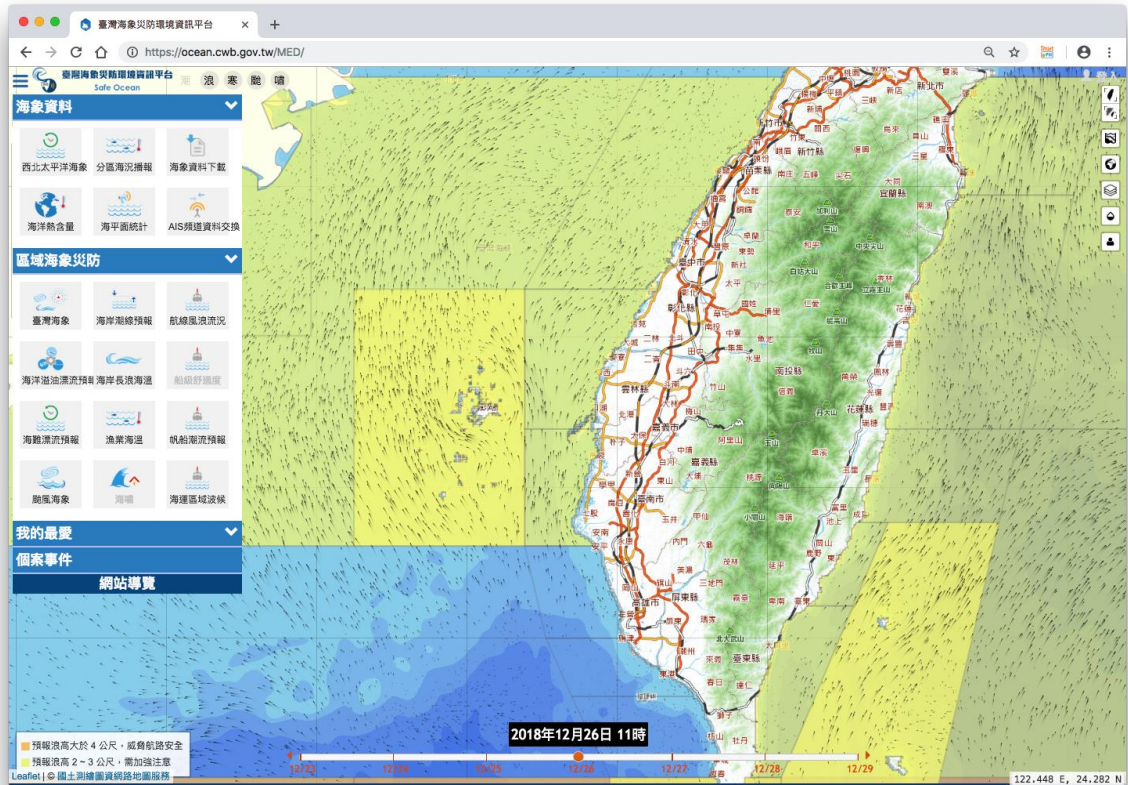


圖 4 臺灣海象災防環境資訊平臺首頁

4.2.3 海面漂流預報系統

海流資料使用漂流浮標實際觀測數值與各數值模式結果進行比對，海溫資料已完成對漂流浮標實際觀測海溫數值進行即時品管。

比對近即時漂流浮標(near real-time drifter)乃為幫助了解任一流場資料所推估的漂流軌跡與實際軌跡之差異，協助使用者判斷當前使用何種流場資料所推估的路徑可信度較高。為達此目的，本比對系統會根據使用者所選取的時間和地點，從資料庫撈取該區域最接近選取時間的drifter，並在與drifter相同位置處放置100枚浮子(tracer)，利用使用者所指定的流場資料，推估漂流軌跡路徑，再將此推估路徑與實際drifter軌跡進行比對，最後顯示2天後(預設)推估位置與實際位置間的差距。系統會根據使用者所選取的時間及地點，自動核對drifter資料庫，找出最接近條件的drifter。找到後利用該drifter的座標位置投放100枚tracers，利用所選取的流場資料庫，進行海面漂流物漂流軌跡後報(hindcast)，最後將推估路徑與實際路徑的距離差顯示在Tips欄位，如圖 5。

由於流場資料源特性的不同，我們將其分為Hindcast與Forecast兩個不同的漂流軌跡推估系統。在Hindcast系統裡，預計有AVISO、HYCOM與CODAR三種不同流場資料庫可以使用；Forecast系統部分，有HYCOM與RTOFS兩種資料庫可以使用。系統會根據使用者所選取的時間與長度，在選定的座標位置投放100枚tracers，利用所指定的流場資料庫，進行海面漂流物漂流軌跡後報(hindcast)，最後將推估路徑顯示在地圖上，如圖 6。系統會根據使用者所選取的時間與長度，在選定的座標位置

投放100枚tracers，利用所指定的流場資料庫，進行海面漂流物漂流軌跡預報 (forecast)，最後將推估路徑顯示在地圖上，如圖 11。Forecast系統右下角有提供Hold on功能，勾選此功能後，能夠保留前一個推估的漂流軌跡路徑，因此使用者可以選擇不同的資料庫來源，並進行比較，圖 12顯示HYCOM與RTOFS比較結果。

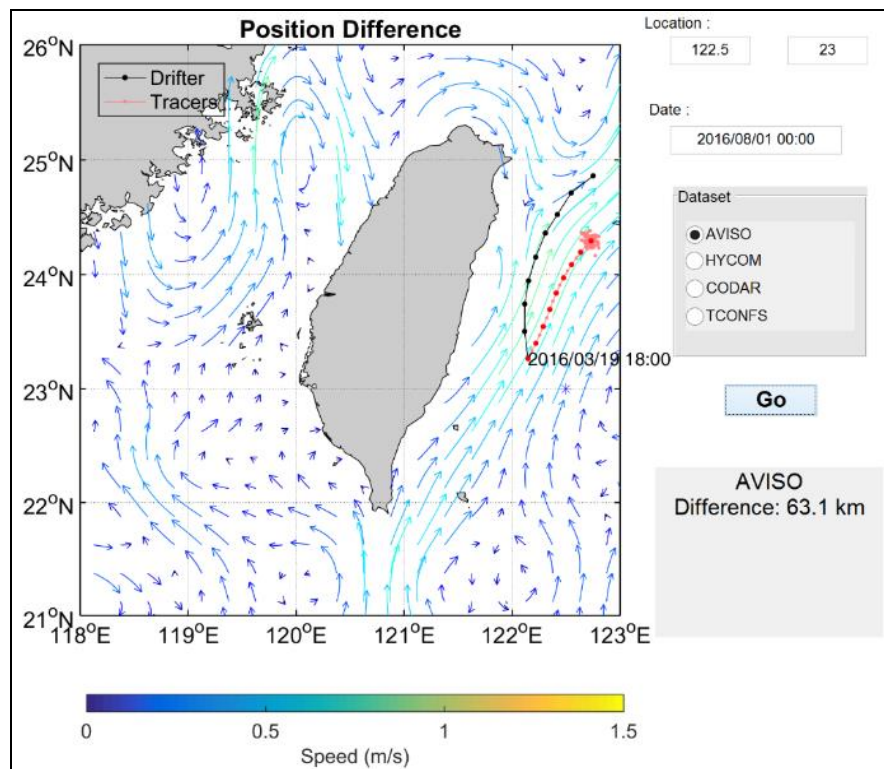


圖 5 顯示比對結果。粉紅色圓點為 100 枚 tracers，點線為平均路徑軸，紅色圓點為每 6 小時位置。

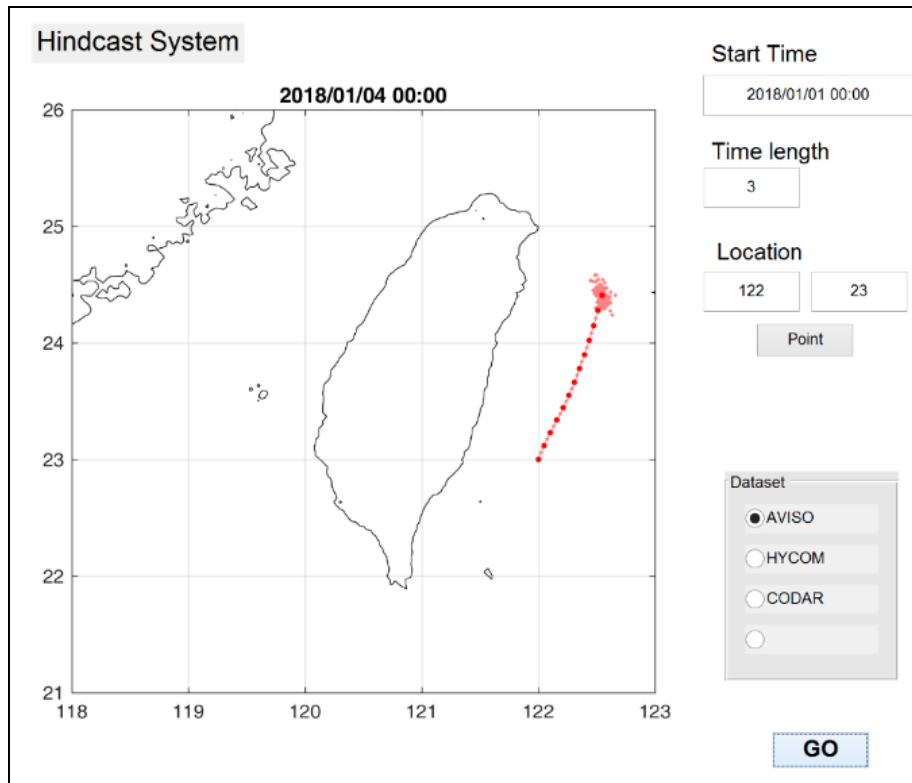


圖 6 顯示漂流路徑推估結果，粉紅色圓點為 100 枚 tracers，點線為平均路徑軸，紅色圓點為每 6 小時位置。

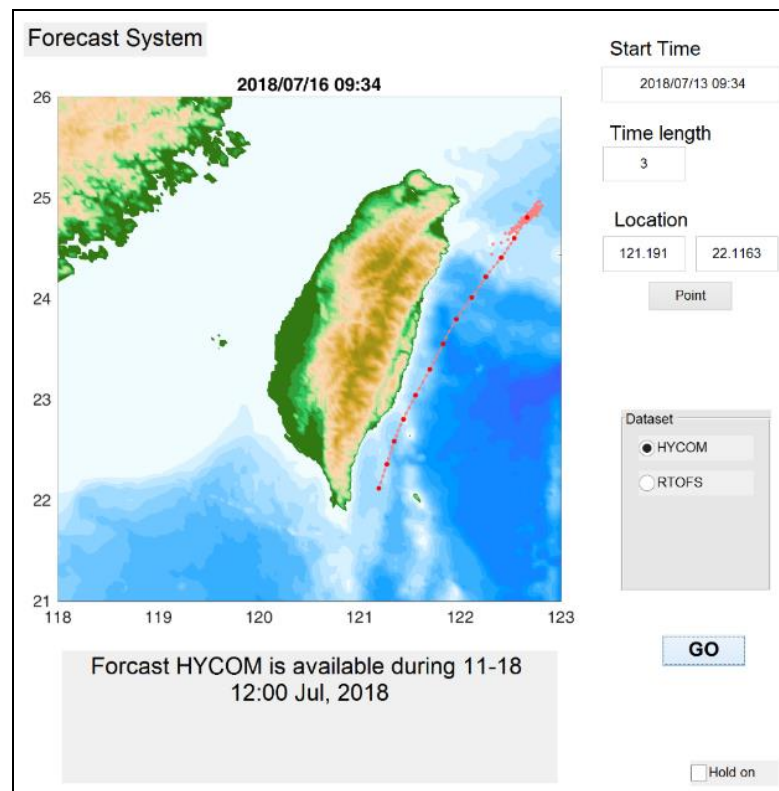


圖 7 顯示漂流路徑推估結果，粉紅色圓點為 100 枚 tracers，點線為平均路徑軸，紅色圓點為每 6 小時位置。

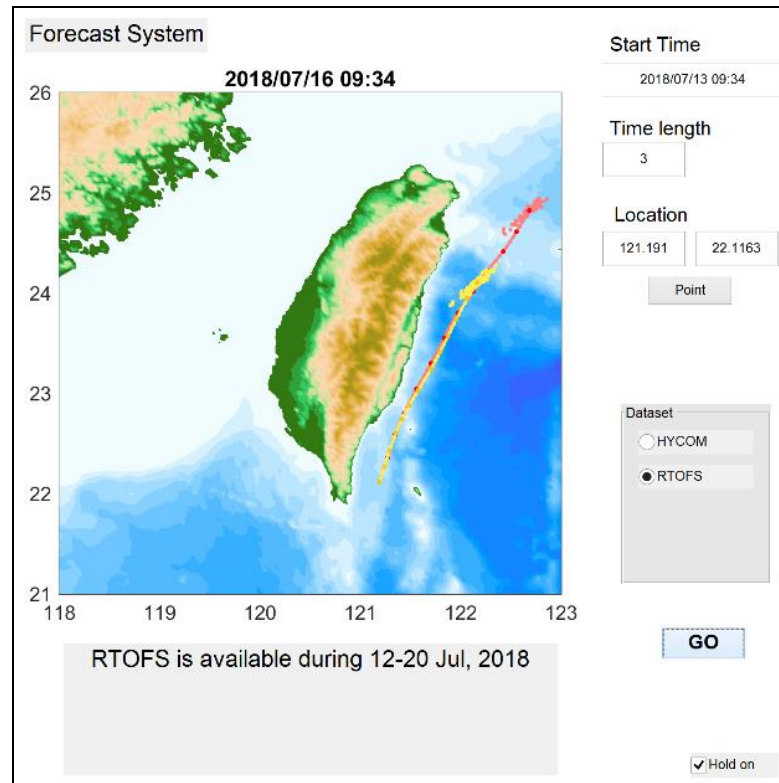


圖 8 不同流場資料庫所推估的漂流軌跡路徑疊加結果。紅色為HYCOM推估路徑，黃色為RTOFS推估路徑。

4.2.4 OpenAPI 規格之應用程式介面發展

本計畫之資料服務採取OpenAPI規格進行應用程式介面發展，透過Swagger發展工具，利用RESTful風格為主要基礎，訂定應用程式介面的呼叫方式、語法與介面規則，進而達到資料自動介接目標，同時遵循開放式應用程式介面規範(OpenAPI Specification，簡稱OAS)，藉由標記的統一資源定位位址(Uniform Resource Locator URL)：提供語意式的URL，查詢字符串僅運用於無順序的參數，並對不同資源分別建立不同URL，提供機器可讀、格式開放、介面索引的要件。

所發展的提供公開可取得的開放式應用程式介面，讓災防合作單位介接所需的海氣象資料，進行內容重整與加值，並整合與簡化所屬的資料與內容；相關資料並透過HTML5 Canvas技術，進行動態繪製點陣圖像，可展示災防所需的海氣象資料。

OpenAPI之資料流程規劃如圖 9，資料服務與Swagger之實踐如圖 10。

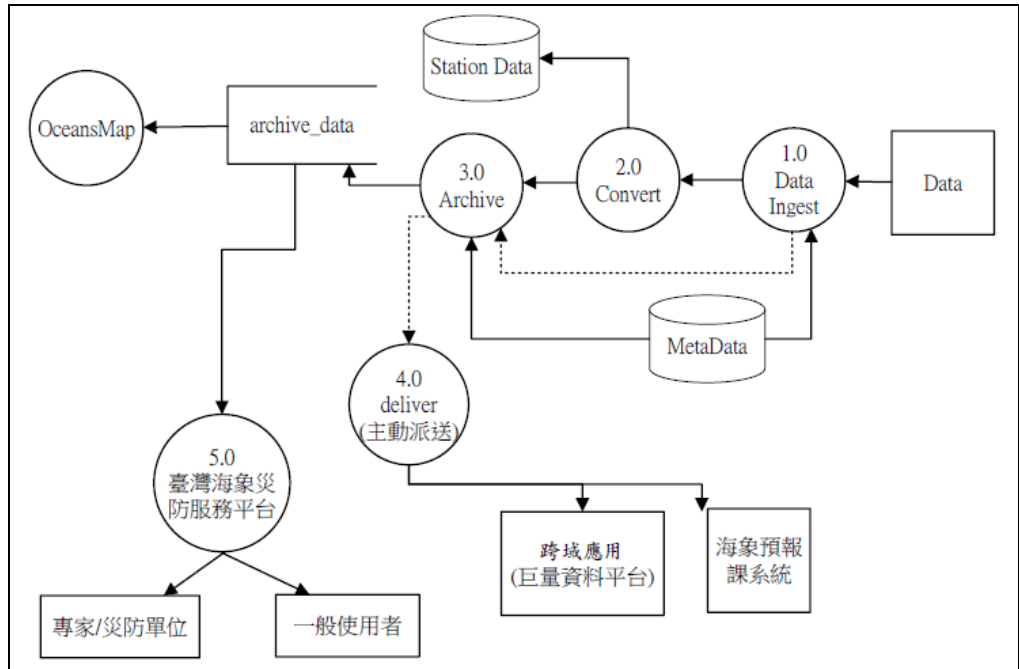


圖 9 OpenAPI 資料流程圖

POINT		Show/Hide	List Operations	Expand Operations
GET	/api/POINT/getForecast/			查詢單點預報資料
GET	/api/POINT/getSun			日出日落資料
SHIP		Show/Hide	List Operations	Expand Operations
GET	/api/SHIP/getData			
STATION		Show/Hide	List Operations	Expand Operations
GET	/api/STATION/getAnalysis			# 查詢測站預報資料介面 - 天文潮 (tide6Ha + tiderkp)
GET	/api/STATION/getAtte			# 查詢測站注意值介面
GET	/api/STATION/getDart			
GET	/api/STATION/getForecast/			查詢測站預報資料
Implementation Notes				
查詢測站預報資料 必要查詢參數：longname、initial_datetime(精確查詢:年月日時都要符合)。 選擇性查詢參數：stationID、model_flag、withmeta。				
Parameters				
Parameter	Value	Description	Parameter Type	Data Type
ticket	<input type="text"/>	ticket 認證。	query	string
longname	<input type="text"/>	資料名稱。	query	string
initial_datetime	<input type="text"/>		query	string
stationID	<input type="text"/>		query	string
model_flag	<input type="text"/>		query	string
var	<input type="text"/>	Multiple values may be separated by commas.	query	string
withmeta	<input type="text"/>		query	string

圖 10 OpenAPI資料服務系統畫面

4.3 開發新式衛星與雷達衍生產品

新一代地球同步衛星具有多頻道與高、時空解析度的觀測特性，最具代表性的為2015年7月7日正式廣播的日本Himawari-8地球同步氣象衛星，Himawari-8氣象衛星的先進輻射儀(Advanced Himawari Imager, AHI)具有16個頻道(3個可見光頻道、3個近紅外線頻道及10個紅外線頻道)。因此，導入新式衛星的多頻道演算技術，將可獲得更為多元之衛星應用產品，逐步拓展衛星產品應用領域。本年度所研發衛星各項衍生應用產品成果分述如下：

4.3.1 衛星日間飛機積冰警示產品

利用衛星資料偵測積冰，可透過衛星觀測反演的液態水含量LWP(Cloud Liquid Water Path)及雲滴有效半徑 Re (Cloud Effective Radius)與實際觀測飛機積冰之關係，建立反演積冰警示產品之演算法。衛星反演之積冰高度為整層氣柱之整體狀況，決定高度方法，主要是以衛星反演的雲頂高、雲底高度及數值模式之凝結高度來決定，並依此決定三維之積冰狀況分布。垂直剖面分布如圖 11所示，目前產品之積冰強度不隨高度變化。

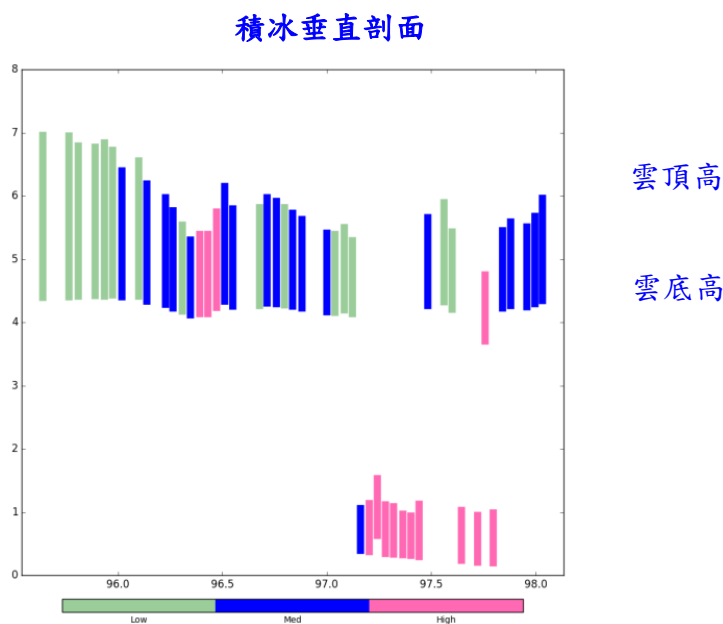


圖 11 積冰垂直剖面圖

圖 12為積冰警示產品只平面分布圖，FL為飛航空層高度 (Flight Level) 是由一標準大氣壓 (1013.25毫巴) 依飛行器所在處之壓力所推算出來的飛行高度再除於100，此高度不一定是航空器的真正的海拔高度。如飛航空層高度FL50相當於5000英尺高度。

積冰警示

FlighticingThreat 2018/11/28 10:00 FL050-210 (all level:

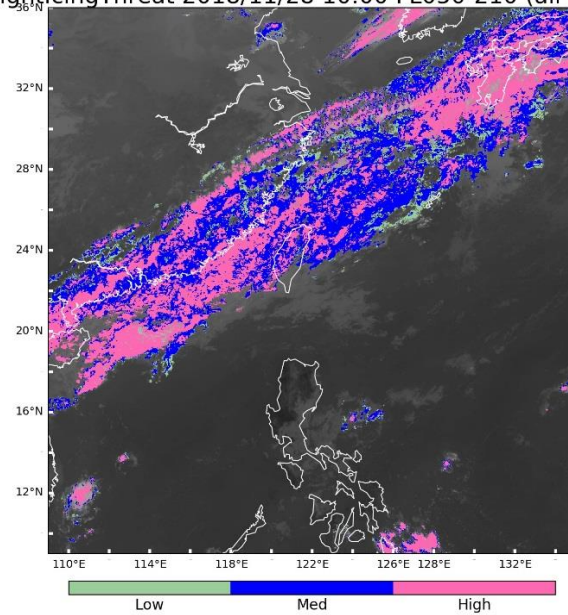


圖 12 積冰警示圖

並依據航路規畫需要，產製不同飛航空層高度之積冰警示產品，結果如圖 13。

各層積冰警示結果

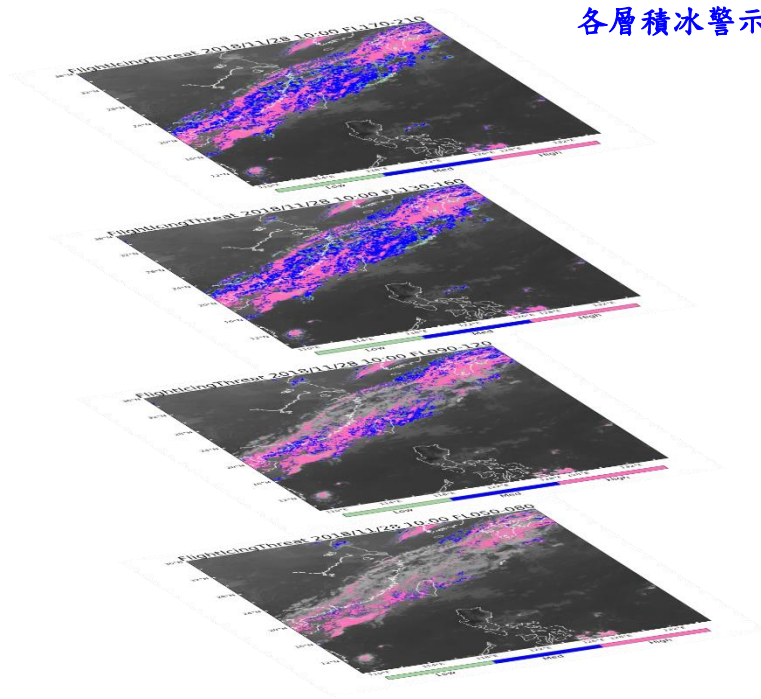


圖 13 各層積冰警示結果圖

目前積冰結果僅能用於日間，並且將於未來致力於發展夜間積冰偵測方法、垂直積冰分布變化之改善，以及雲底高度之反演結果的改善，以期提升產品實用性，便於航管人員與飛行員對航路規畫。

4.3.2 衛星對流起始偵測(Convective Initiation, CI)

衛星對流起始偵測技術，主要導入歐盟MSG地球同步衛星計算CI技術之方法(Mecikalski, 2010)，採用多頻道閾值法，即使用各種閾值作為各頻道之標準值。運用衛星數據資料之閾值分析法，目前有可見光或紅外線雲型分析、紅外線多頻道分析與紅外線時間趨勢分析法，監測不同之對流。本法採用了混合法監測不同之對流發展。

除利用閾值分析外，配合紅外線及可見光頻道數據資料分析對流雲區的對流雲遮方式，排除70%~90%的非對流區，加速電腦計算時間；另採用 $3.9\mu\text{m}$ 、 $6.2\mu\text{m}$ 、 $7.3\mu\text{m}$ 、 $8.6\mu\text{m}$ 、 $10.4\mu\text{m}$ 及 $12.3\mu\text{m}$ 等紅外線頻道亮度溫度差異，偵測日、夜間低雲與霧。因對流雲隨高空氣流移動，需另計算對流雲隨時間移動趨勢。雲的移動方向及速度計算方法類似於雲導風的方法，選取目標區中心為基準，往後10分鐘之衛星雲圖搜索比對衛星像素差異並計算交叉相關係數(cross-correlation coefficient)，找出最大值代表實際移動區域。

本方法首先利用主成分分析法找出與CI有高相關之頻道或頻道組合，挑選前10名做為CI預測因子，並統計與CI相關之預測因子以計算其閾值，再濾掉已發展成熟對流雲，並利用雲導風追蹤雲塊發展狀況，其結果若超過8個以上預測因子所設定的閾值則可視為有可能發展為CI區域。

目前CI預測誤報率偏高，本文採用模式計算之穩定指數排除發展機率較低的區域。例如對流可用位能(CAPE)及對流抑制能(CIN)，若最新模式預測CIN值大於60或CAPE值小於300，則將計算之CI值取消，此方法可降低約10%誤報率。

2018年8月1日午後對流分析個案顯示，臺灣地區低層風場微弱(圖 14)，適合午後對流發展。臺灣東北部山區在0410 UTC雷達回波(圖 15)已發展超過35dBZ，0540 UTC台灣東北部山區及花蓮山區回波回波持續發展，0630 UTC台灣北部山區及之花蓮山區一帶回波持續發展。

檢視2018年8月1日導入新式衛星CI偵測計算結果(圖 16)，顯示0340 UTC臺灣東北部山區及花蓮山區已出現對流起始(CI)之偵測結果(紅圈)，0410UTC臺灣東北部山區及花蓮山區仍有對流發展訊號，0420 UTC臺灣南部山區的亦有對流初始訊號出現。

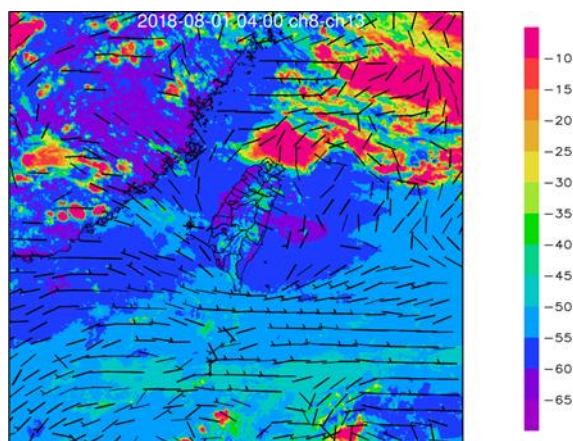


圖 14 2018 年 8 月 1 日 0400UTC 雲導風疊加(6.2-10.4 μm)亮度溫度雲圖。

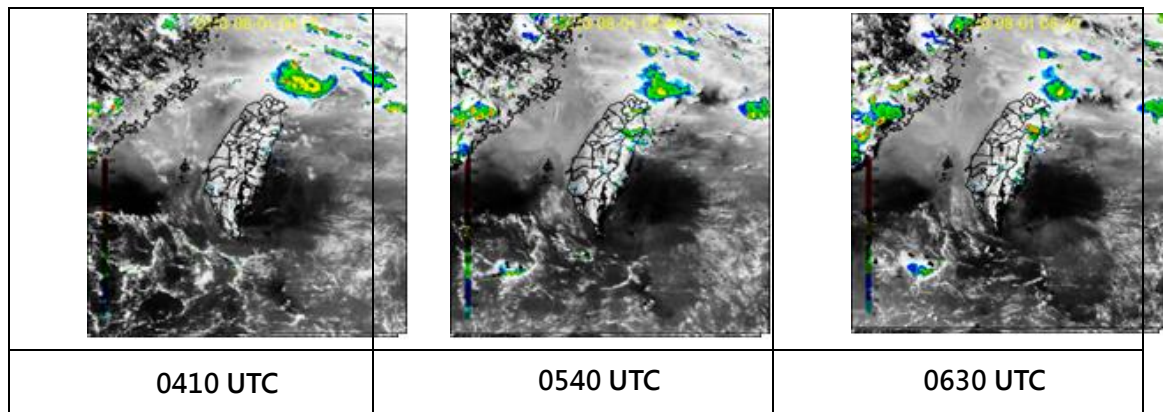


圖 15 2018 年 8 月 1 日雷達回波圖及強化可見光雲圖。

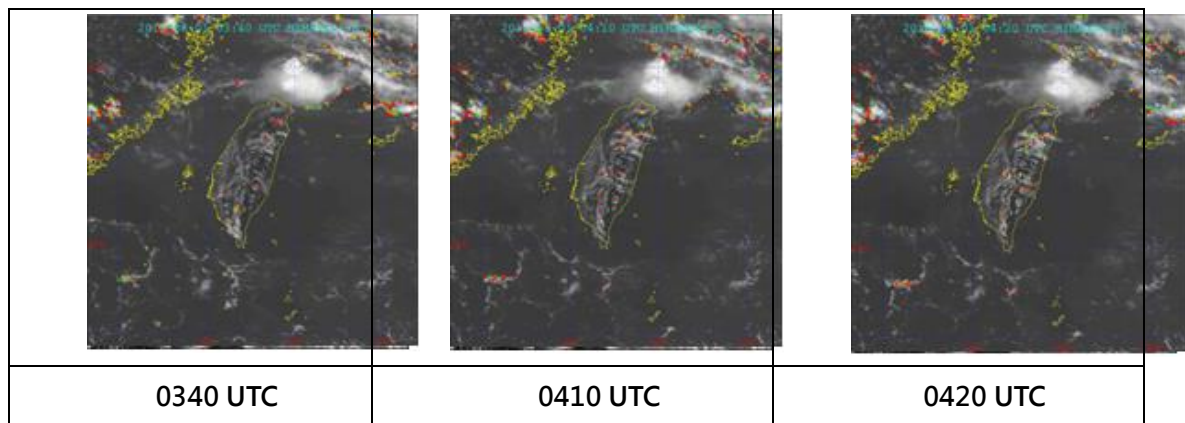


圖 16 2018 年 8 月 1 日衛星對流起始產品。

目前臺灣地區對流系統偵測主要依據雷達網觀測雷達回波偵測大於35 dBZ發生的時間。國內外研究發現，透過同步衛星雲圖之雲圖追蹤及各頻道亮度溫度分析，可以在半小時至45分鐘前預測對流雲之發展，亦即雷達資料尚未偵測降雨前即已進行對流發展之預警，以發揮衛星雲圖即時監測能力。本年完成之衛星對流起始偵測測試產品，預期能建立衛星對流起始偵測技術，提供天氣分析人員對於對流發展之分析與預報能力。

4.3.3 衛星雲頂相態產品

本年度所進行雲頂相態作業產品，主要植行下列工作：

4.3.3.1 進行計算系統更新：

雲頂相態演算法主要在辨識雲之水、汽與固體三態分布情形，因此透過衛星紅外線11 μm 頻道的亮度溫度及近紅外線3.75 μm 頻道反照率對於冰或水的差異反應特性，可辨識並分離雲中水、冰與過冷水。目前即時作業中的雲頂相態產品為氣象局與美國威斯康辛大學合作並進行本土化作業產品，其中針對氣象局的作業需求進行下列功能改進：

- 改善雲遮掩算技術

雲遮 (Cloud Mask) 為計算雲頂相態的重要輔助資料，首要精準區分晴空與雲區，方能正確的對雲頂相態進行分類，此次更新產製雲遮經驗參數，可增加對雲中相態屬性的分辨能力。表 1 統計了比較新舊版本差異，其中有 87.57% 是兩版本相同，新版本增加對雲的分辨能力佔 7.98%。

表 1 新舊版本 Cloud Mask 的比較

ID	新版	舊版	%	說明
1	● 增 clear	clear	87.57%	新舊版本相同
2	加 Prob. Clear	Prob. clear		
3	輸 Prob. Cloudy	Prob. cloudy		
4	入 Cloudy	Cloudy		
6	資 clear	Prob. clear	7.98%	雲遮分辨率有顯著改善
9	料 Cloudy	Prob. cloudy		
12	格 clear	Prob. cloudy		
13	式 Cloudy	Prob. clear		
5	前 Prob. clear	clear	2.35%	雲遮分辨率無顯有改善
10	一 Prob. cloudy	Cloudy		
11	版 Prob. cloudy	clear		
14	本 Prob. clear	Cloudy		
8	導 Prob. clear	Prob. cloudy	2.1%	表無法判斷是否改善
7	本 Prob. cloudy	Prob. clear		
15	導 Cloudy	clear		
16	入 clear	Cloudy		

本 H-8 衛星 HSD 格式資料進行雲頂相態的演算，但 HSD 的取得方式逕由網路連線取得，但因部分網路連線問題而無法即時取得資料。本版改寫原有程式，導入氣象局直接自天線接收 HrIT 格式的 H-8 衛星數據，做為網路備援資料。

● 固定輸出網格

修改原產品輸出程式，以獲得相同網格的資料輸入源與雲頂相態輸出產品，便於後續衛星資料產品疊合。

4.3.3.2 雲頂相態即時作業之分區產品

即時作業產品涵蓋範圍分為全景、亞洲及台灣等三類，由於全景範圍資料量多，運算速度緩慢。因此為配合其他衛星衍生產品導入雲頂相態資料需求，依照急迫程度與選擇區域不同，修改作業產品輸出流程。目前使用雲頂相態資料作為相關輔助參考的其他衛星衍生產品包括，亞洲範圍的飛機積冰警示，台灣範圍的對流起始偵測與地表日射量產品等(參圖 17)。

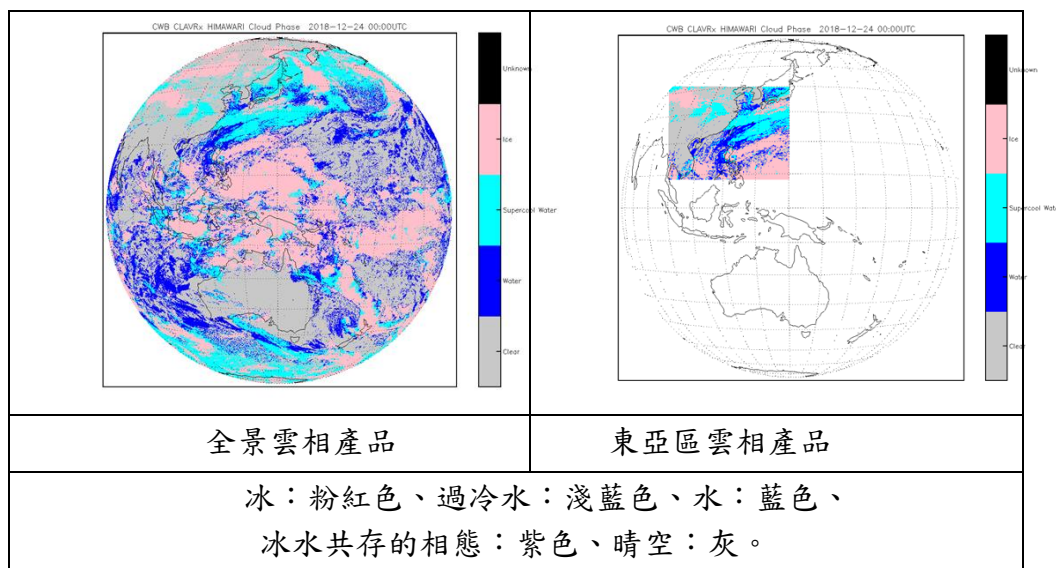


圖 17 全景雲相產品與東亞區雲相產品圖

4.4 發展未來 3 小時災害性天氣之鄉鎮尺度定量降雨預報技術

4.4.1 雷達定量降雨估計方法改進

臺灣作業雷達網同時擁有雙偏極化與單偏極化雷達，如何有效利用雷達資料，一直深具挑戰，本項工作選用2017年梅雨，以及四個颱風個案(如表 2)，以單一雷達進行雙偏極化雷達與單偏極化雷達定量降雨估計法的比較，分別為R(A)、R(Z)。

表 2 個案列表

個案期間	名稱
2017/6/1-2017/6/4	梅雨(06-01)
2017/6/11-2017/6/18	梅雨(06-02)
2014/7/22-2014/7/23	麥德姆颱風(TYMD)
2014/9/20-2014/9/22	鳳凰颱風(TYFH)
2015/8/7-2015/8/8	蘇迪勒颱風(TYSD)
2017/7/29-2017/7/30	海棠颱風(TYHT)

本研究單偏極化雷達定量降雨估計以 $Z=32.5R^{1.65}$ 計算，以下稱為R(Z)；雙偏極化參數部分則採用衰減量(A)估計降雨，以下稱為R(A)，公式如下：

$$R = \gamma A^\Lambda \text{ (Ryzhkov et al., 2014)}$$

$$A(r) = \frac{[Z_a(r)]^b C(b, PLA)}{I(r_1, r_2) + C(b, PLA)I(r, r_2)} \quad PLA(r_1, r_2) = \alpha[\Phi_{DP}(r_2) - \Phi_{DP}(r_1)] = \alpha\Delta\Phi_{DP}$$

$$\alpha = -0.75K + 0.04875$$

$$I(r_1, r_2) = 0.46b \int_{r_1}^{r_2} [Z_a(s)]^b ds \quad I(r, r_2) = 0.46b \int_r^{r_2} [Z_a(s)]^b ds$$

對S波段雷達而言， γ 和 Λ 為固定值， A 值則為沿距離變化的函數

圖 18為分別計算六個個案的校驗得分，除蘇迪勒颱風個案(TYSD)外，R(A)均方根誤差均是小於R(Z)，相關係數則是R(A)大於R(Z)，顯示R(A)較R(Z)表現佳。另分別比較大、小雨時，各方法的表現(圖 19)，在小雨時，R(Z)均方根誤差均大於R(A)，從偏差量則發現R(Z)大部分為高估。在大雨時，在梅雨個案之R(A)均優於R(Z)，颱風個案則不一定，從偏差量可以發現，R(Z)均為低估，R(A)則表現較為穩定，除蘇迪勒颱風個案，偏差均在20%以內。由於梅雨與颱風之降水型態不同，故以下分為兩類進行比較。

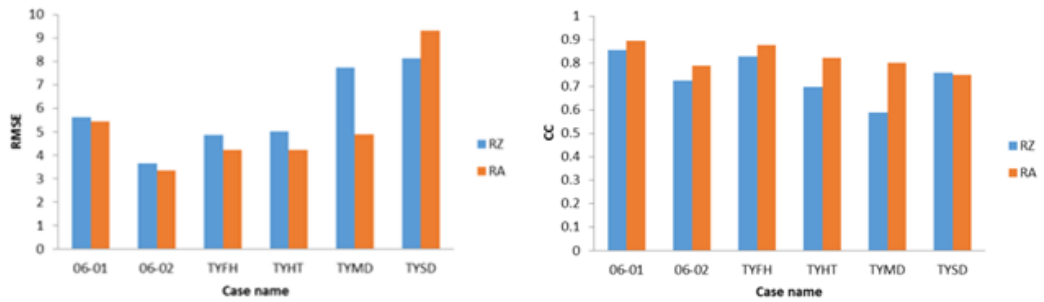


圖 18 各個案之觀測時雨量與定量降雨估計結果之校驗得分直方圖，其中藍色表 R(Z)、橘色為 R(A)。上圖為均方根誤差、下圖為相關係數。

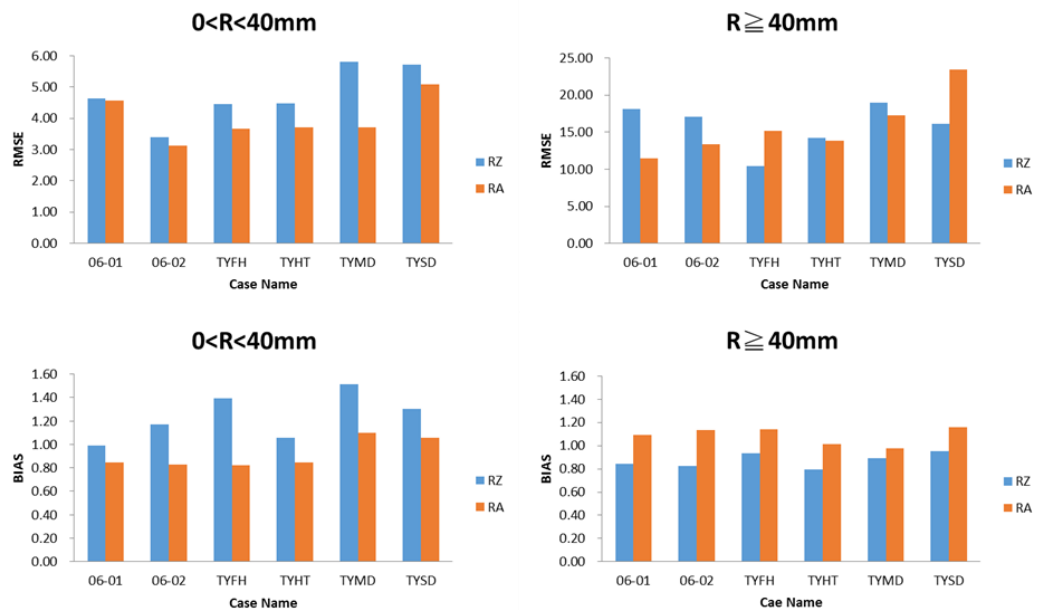


圖 19 各個案之觀測時雨量與定量降雨估計結果之校驗得分直方圖，其中藍色表 R(Z)、橘色為 R(A)。左欄為小雨時之校驗得分、右欄則為

大雨；上為均方根誤差、下圖為偏差。

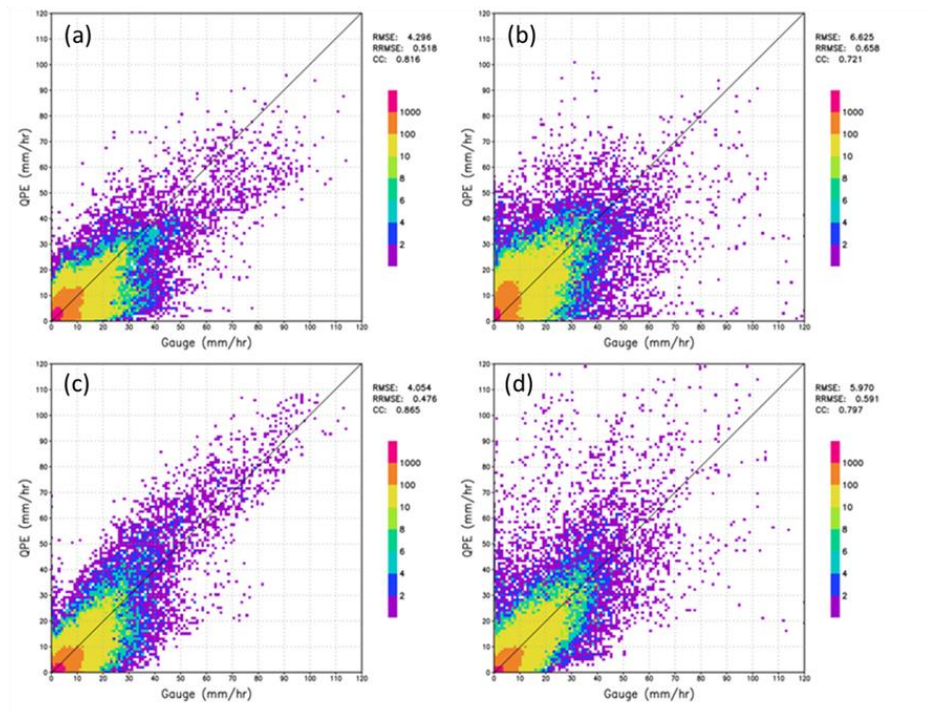


圖 20 圖(a)(c)為梅雨期間，圖(b)(d)為颱風期間之雷達定量降雨估計和雨量站的時雨量散佈圖。色階為資料個數，橫軸為雨量站量測之時雨量，縱軸則為定量降雨估計量，圖(a)(c)為 R(Z)，圖(b)(d)為 R(A)

梅雨期間，從雷達定量降雨估計和雨量站的時雨量散佈圖(圖 20)，R(Z)的資料點較為分散，但在小雨時，主要資料點仍集中在估計正確的參考線上，R(A)資料點較為集中參考線，特別是在大雨部分有較多的改善。颱風侵襲期間，不論R(A)或R(Z)資料點均較為分散，R(Z)在小雨時，主要資料點顯示有高估的情形，R(A)資料點則較為集中。

將不同降雨強度進行分類、分別計算得分，如圖 21。梅雨期間R(Z)的均方根誤差隨降雨強度變大而呈線性增加，在偏差量上，降雨量在10mm以下呈現高估，以上則呈現低估。R(A)算法在降雨量小於40mm時，均方根誤差呈現線性增加，而在降雨強度大於40mm時，均方根誤差開始降低，在偏差量上，R(Z)在20mm以下其值均大於1，顯示為高估，2mm高估三倍，20mm以上則略為低估，相較而言R(A)則較為穩定，2mm以下一樣為高估，但其偏差量較R(Z)小得多。而在颱風個案中，不論哪一種定量降雨估計方法，均方根誤差均隨著降雨量越大而增加，在10mm以下，R(Z)相較於其他R(A)算法均方根誤差較大，偏差量大於1.31，呈現明顯的高估，大於40mm則低估現象越趨明顯，大於80mm時，偏差量為0.32。R(A)在5mm以上，偏差均在10%以內。

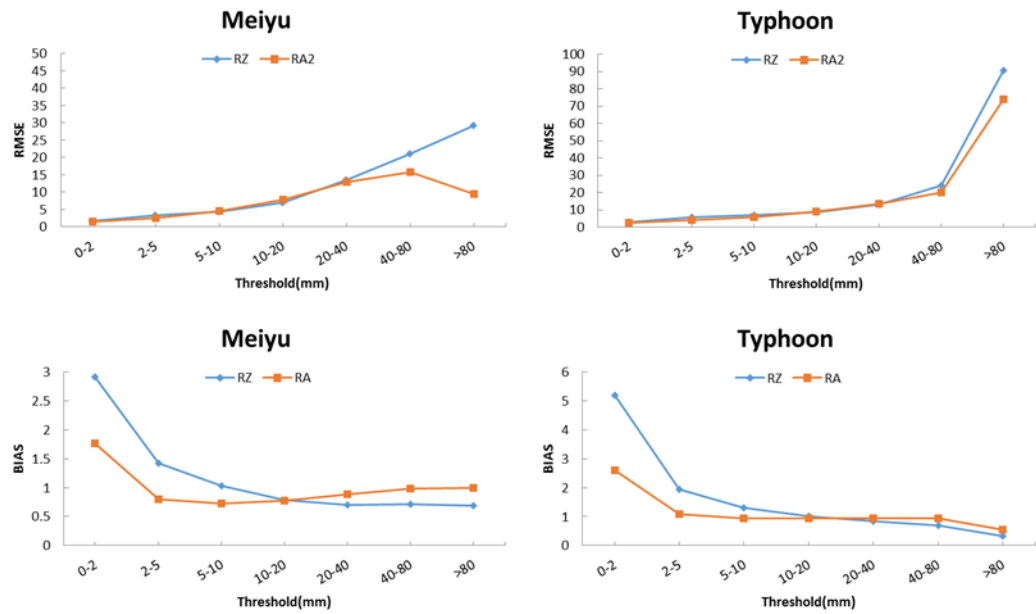


圖 21 不同降雨強度之校驗分數變化，橫軸為不同降雨強度門檻，左欄為梅雨期間，右欄為颱風期間，上列為均方根誤差、下列則為偏差量，藍線為 R(Z)、橘線為 R(A)。

綜上所述，在R(Z)的部分，當小時降雨強度越大時，其均方根誤差越大，且偏差值也顯示其雨量低估情形會越嚴重。R(A)具有不受能量衰減、部分遮蔽等影響，對於雨滴粒徑分布不敏感等優勢。不論颱風或梅雨個案，綜合各項校驗分數，R(A)均較R(Z)結果佳。特別在強降雨部份，利用雙偏極化參數進行R(A)的計算，其結果未來具有很好的發展性。

R(A)在研究上目前仍只適用於融化層以下，故覆蓋範圍受限，未來亦可考慮將較高仰角的R(A)資料進行垂直上的修正，或將R(Z)與R(A)結果相結合，有助於得到更全面的格點定量降雨估計，提供更好的防災應用產品。

4.4.2 綜合天氣型態(mixed regime)即時預報技術及即時預報產品顯示網頁發展

自美國氣象發展實驗室(NOAA/NWS/MDL)引進綜合天氣型態(mixed regime)的即時預報技術，其共有11項預報因子，其中3項來自衛星資料；6項來自數值模式資料；另2項來自數值模式資料及觀測資料(圖 22)。關於衛星資料部分，已將臺灣接收之日本向日葵8號(Himawarii-8)衛星導入，並即時自動化產出對應之可能性預報場(圖 23)；數值模式資料部分，已將本局CWB/STMAS-WRF(解析度3公里，每1小時更新一次)資料導入，另亦導入包含3公里解析度且每小時更新之CWB/STMAS-WRF，與2公里解析度且每小時更新之CWB/RWRF(具有雷達資料同化功能之WRF預報)，完成不同模式資料來源之平行測試，有助於預報結果的統計分析。並自動化產製對流生成之可能性(likelihood)預報，可提供本局即時預報作業參用。

Predictors		Weight	MDL Data Source	CWB Data Source
Satellite	Sat_clear in 1 hr	0.40	Goes-R	Himawari-8
	Sat_Cu in 1 hr	0.12		
	IR_ROC in 1 hr	0.10		
Numerical Model	CAPE	0.20	RAP model	STMAS-WRF
	CIN	0.12		
	Lik of front in 1 hr	0.22		
	vert_sum in 1 hr	0.12		
	W	0.08		
	Rh_avg	0.18		
Numerical Model + Observation	Conv in 1 hr	0.10	RAP model Sounding METAR data	STMAS-WRF Sounding Surface obs.
	LI in 1 hr	0.20		

圖 22 綜合天氣型態(mixed regime)的預報因子及其資料源。

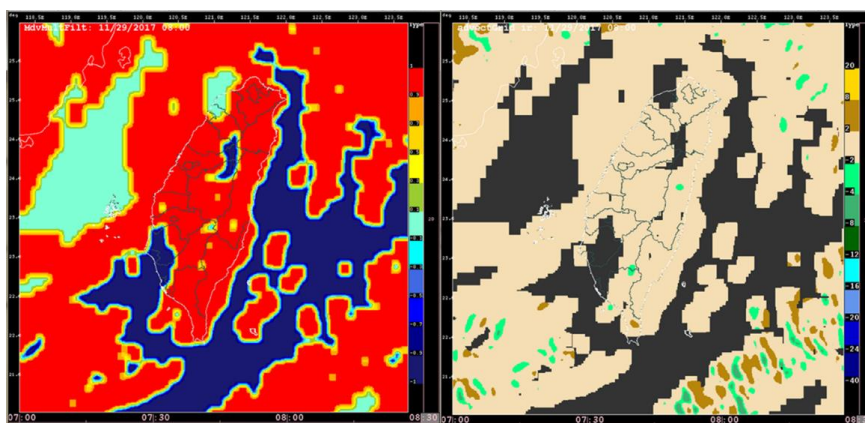


圖 23 衛星資料預報因子之可能性預報場。

在發展開發即時預報產品顯示網頁方面，已完成午後雷陣雨與綜合天氣型態之 0-1小時對流啟始可能性預報產品顯示，其中分別包含原始的可能性預報產品與包含時間與空間不確定性資訊之對流起始位置預報產品(圖 24)，以及即時校驗產品之呈現(圖 25)。

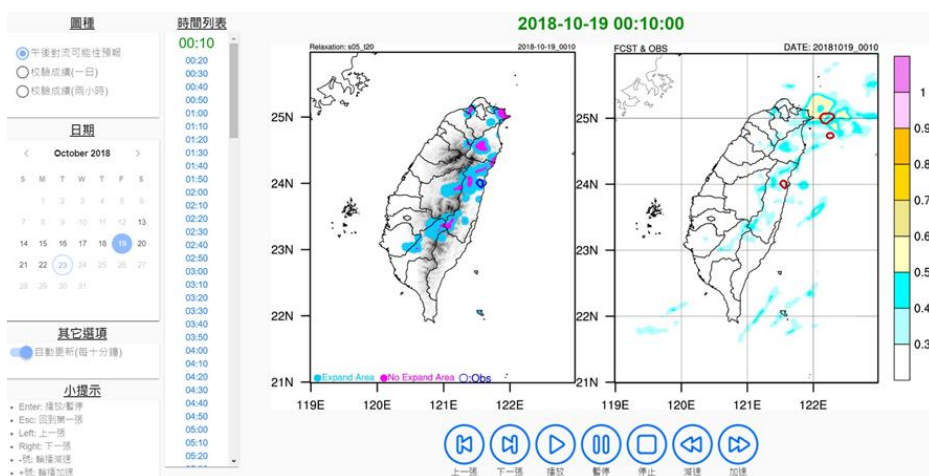


圖 24 可能性預報產品(左)與包含時間與空間不確定性資訊之對

流起始位置預報產品(右)。



圖 25 即時校驗產品(含偏差量(bias)、公正預兆得分(ETS)、誤報率(FAR)、Kuiper score(KS)、偵測機率(POD)、預兆得分(TS))。

4.5 建置衛星產品展示平臺

107年度衛星產品整合顯示系統，完成衛星產品資料庫、衛星產品瀏覽介面及系統管理進行強化等部份，其成果摘要如下：

4.5.1 衛星產品資料庫

資料庫系統接收到上游產品後，逐筆將產品資訊寫入資料庫。使用者在使用網頁介面時，會透過系統之API，取得產品路徑以及所需之資訊。今年完成的工作包括：

4.5.1.1 流量分析

資料庫中的產品流量經由計算後寫入紀錄檔，並統計每個月的流量數據。產品流量統計，主要用來查詢不同衛星或是同一衛星之不同影像產品點擊率及流量(圖 26)，管理員可瞭解使用者操作行為，提供後續維運參考。



圖 26 產品流量統計

4.5.1.2 紀錄產品點擊次數

紀錄不同類型衛星產品的點擊次數，作為後續維運參考。

4.5.2 衛星產品瀏覽介面

4.5.2.1 首頁

衛星產品整合顯示系統首頁，其內容包含「簡介」、「產品選單」、「聯絡我們」、「關於我們」及「登入」選單等。使用者可以從首頁產品選單，查詢系統簡介、關於我們等資訊，一般使用者可以從首頁選單或系統登入頁面，申請註冊成為會員。

4.5.2.2 帳號管理介面

衛星產品整合顯示系統登入頁面，分為一般使用者及會員。

一般使用者，不須登入，點選上方【衛星產品整合顯示系統】，即可進入衛星產品查詢網頁，並可以查詢3個月內的衛星影像產品。如上網註冊為會員者，可查詢所有時間之衛星影像產品，並可以使用圖檔放大查詢之進階功能，使用者可點選【加入會員】，進行填寫相關資訊後進行帳號註冊，已有會員帳號的使用者，可以在登入畫面填寫使用者名稱及密碼，並輸入左側驗證碼點選登入後，即可使用會員進階查詢功能。衛星產品顯示系統登入頁面提供忘記密碼查詢功能，使用者可以透過點選【忘記密碼】進入忘記密碼查詢畫面，填選註冊信箱即可重新設定密碼。

4.5.2.3 產品查詢顯示頁面

衛星產品整合顯示系統之產品顯示頁面

一般使用者操作說明：

(1) 產品查詢顯示

產品顯示網頁中，會依照各個產品註冊至產品管理系統的相關訊息與顯示之設定，產生對應的選單(如：衛星種類、產品類型、時間及其他參數等)，使用者可以在介面中查看所選擇的圖檔產品。網頁之功能著重於產品顯示頁面，為了便於描述個功能，頁面上各區塊之名稱，如圖 27 所示。操作選單中 left menu 及 main menu 可以對衛星產品區塊及操作區塊進行縮放功能操作。

當選擇 Menu 上的衛星種類後，會依據所選擇的項目，顯示對應的第二層選單及衛星產品區塊。產品顯示操作區塊會依照所選擇的衛星產品顯示不同內容。操作選單的部分除了起始時間及結束時間下拉式選單外，會依照產品類型的不同增加高度場、衛星頻道、升幕降幕等操作按鈕。一般使用者，僅能查詢 3 個月內的單張衛星產品顯示及衛星產品動態顯示。



圖 27 產品查詢頁面

(1) 圖檔動畫撥放功能

使用者選定衛星產品後若想進行產品動畫撥放，可以在產品顯示介面中操作選單的部分找到動態顯示的按鈕，點選後使用者可以選擇動態圖檔起始與結束時間，進行動態圖檔撥放。



圖 28 圖檔動態撥放

(2) 動畫圖檔下載功能

使用者可以選擇動態圖檔起始與結束時間進行動態圖檔撥放，使用者也可以點選圖片右上方的下載按鈕，將動態圖檔撥放產品下載成 gif 檔案(圖 29)。



圖 29 動畫圖檔下載

會員進階操作說明：

(1) 單一圖檔 zoom-in 功能

會員登入後選擇 Menu 上的衛星產品，會依據所選擇的項目，顯示對應的第二層選單及衛星產品區塊。產品顯示操作區塊會依照所選擇的衛星產品顯示不同內容。操作選單的部分除了起始時間及結束時間下拉式選單外，會依照產品類型的不同增加高度場、衛星頻道、升幕降幕等操作按鈕。會員能查詢所有時間衛星產品，包含低解析度單張衛星產品顯示及低解析度衛星產品動態顯示，並可以點選高解析度選項進行進階操作。

點選高解析度選項後，會另跳視窗顯示高解析度產品，其產品操作包含圖檔 ZOOM-IN 功能如圖 30 所示。(a)使用者可移動黑色方框選取區域，以滾動滑鼠滾輪的方式操作 ZOOM-IN 功能。(b)顯示黑色方框所選取區域對應的高解析度圖檔，其顯示的圖片範圍會隨著 ZOOM-IN 功能變動。

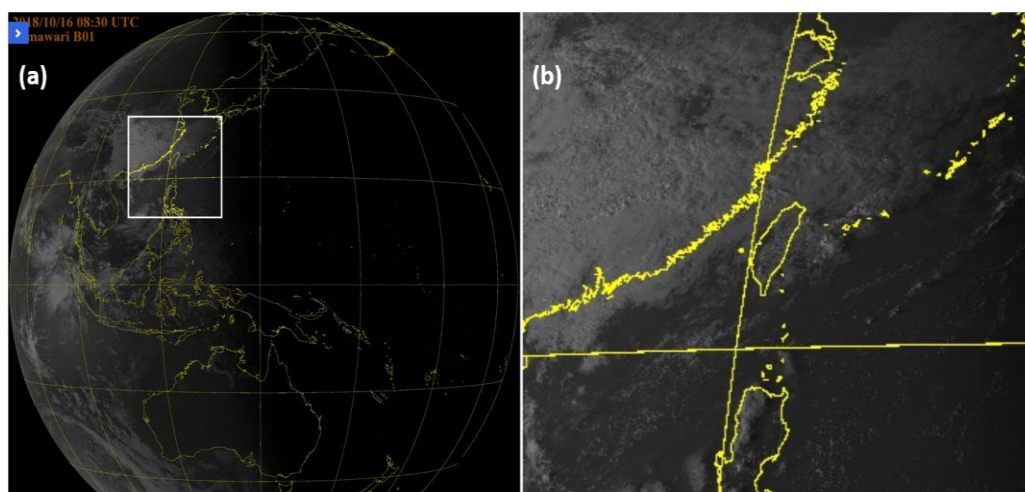


圖 30 衛星產品整合顯示系統高解析度產品顯示頁面。(a)選取 ZOOM-IN 區塊位置；(b)高解析度圖檔顯示。

(2) 鎖定圖檔放大區塊進階查詢功能此

項目針對高解析度圖檔放大功能進行強化。使用者可鎖定高解析度圖檔放大區塊，並針對鎖定區塊查詢不同時間及不同產品功能，此為會員才能使用的進階操作功能。以下針對此功能進行操作說明。

圖檔放大功能頁面，點選滑鼠左鍵使左側方框為虛線時，如圖 31。左側 (a) 為使用者選定進行放大查詢功能的衛星影像。右側 (b) 圖片為放大的衛星影像區域。使用者點選滑鼠左鍵，可將左側圖片上方的方框切換誠實線或虛線。當左 (a) 側圖片

上的方框為虛線時，代表使用者可以藉由移動滑鼠，查詢不同區域的放大影像，或利用滑鼠滾輪放大或縮小查詢區域範圍。

圖檔放大功能頁面，點選滑鼠左鍵使左側方框為實線。當左側圖片上的方框為實線時，代表使用者已選定放大查詢區域。鎖定放大查詢區域後可點選左上角藍色按鈕，進行其他衛星影像查詢。使用者點選左側藍色按鈕，此藍色按鈕為可縮放式選單。點選後會出現此產品於一般查詢頁面之左側產品選單，使用者可點選左測選單內容查詢同一區塊同一衛星之影像產品。

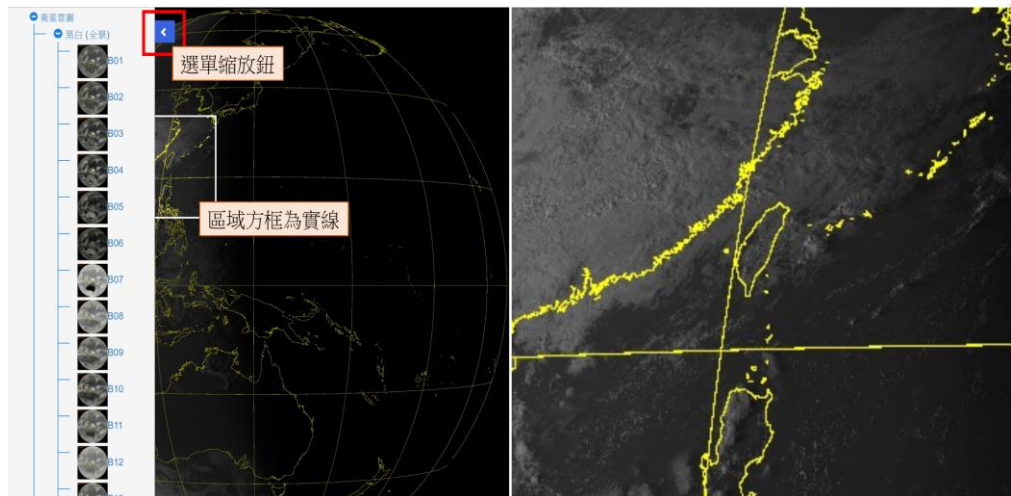


圖 31 圖檔放大功能畫面-產品選單與實線方框

4.5.3 系統管理進行強化

於系統管理介面中，增加檔案到位監控介面，管理員可以藉由此頁面追蹤不同衛星產品的到位情況。

衛星產品管理介面內容包含(1)審核人設定頁面。(2)會員管理頁面。(3)產品上下架。(4)產品流量統計。四個部分，依序說明如下：

4.5.3.1 審核人設定頁面

審核人設定頁面(圖 32)，主要用來設定會員申請流程之審核人明單，管理員可以設定會員申請流程需要經過幾個階層以及每個階層內之審核人名單。

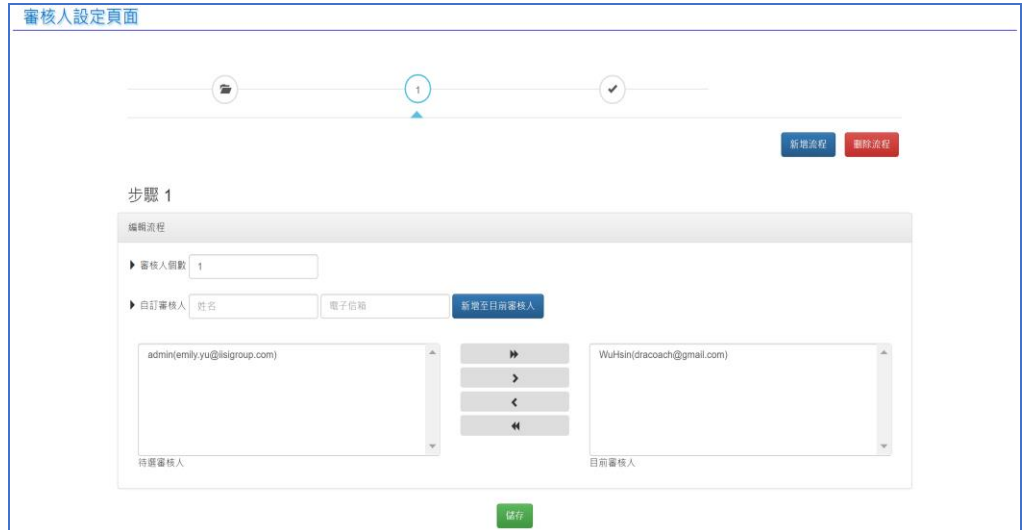


圖 32 審核人設定頁面-審核人設定

4.5.3.2 會員管理頁面

會員管理頁面(圖 33、圖 34)，主要用來進行會員管理，管理員可以對會員密碼以外之會員資料進行編輯。



圖 33 會員管理頁面



圖 34 會員管理頁面-編輯

4.5.3.3 產品上下架

產品上下架介面(圖 35至圖 39)內容包含產品名稱、產品規則、產品變數、產品選單設定及產品到位監控五個項目。

The screenshot shows the '產品名稱' (Product Name) management page. At the top, there are buttons for '新增產品' (Add Product), '上一個編輯中的記錄' (Previous Record), and '儲存' (Save). Below this, a table lists three products:

ID	產品 (Product)	顯示名稱 (Display Name)	操作
11	DataGeosynchronousSatellite	地球同步衛星	-
11	DataPolarOrbitingSatellite	繞極軌道衛星	-
11	DataExtendProduct	衍生產品	-

At the bottom, there is a footer with contact information and a copyright notice.

圖 35 產品上下架-產品名稱

The screenshot shows the '產品規則' (Product Rule) configuration page. It features a dropdown menu for '產品 Product' (Product) with '地球同步衛星' (Earth Synchronous Satellite) selected. Below this, there are sections for '規則全域設定' (Global Rule Settings) and '模式規則' (Mode Rules). The '模式規則' section includes a table for rule configuration:

*資料夾規則 (Folder Rule)	*產品名稱規則 (Product Name Rule)
GeoSat_Himawari_Image-Bands	@file_time-yyyy.mmdd.hhmmi@_GeoSat_@satellite-([A-Za-z0-9]+)_@_@satellite_product-([A-Za-z]+)_@_@

Additional fields include '規則名稱' (Rule Name), '名稱後綴' (Name Suffix), '保存天數' (Retention Days) set to 365, and '描述備註' (Description). There is also a checkbox for '開啟預報到位監控' (Enable Forecast Position Monitoring).

圖 36 產品上下架-產品規則設定

The screenshot shows the '產品變數' (Product Variable) configuration page. It features a dropdown menu for '產品 Product' (Product) with '地球同步衛星' (Earth Synchronous Satellite) selected. Below this, there are sections for '變數規則' (Variable Rules) and '編輯參數' (Edit Parameters). The '變數規則' section shows a list of variables: 'satellite_product', 'product_type', 'image', 'satellite', and 'file_time'. The '編輯參數' section includes a '儲存' (Save) button and a list of variables with their names and '+' icons for adding more:

- 變數名稱: satellite_product
- 變數名稱: product_type
- 變數名稱: image

圖 37 產品上下架-產品變數設定

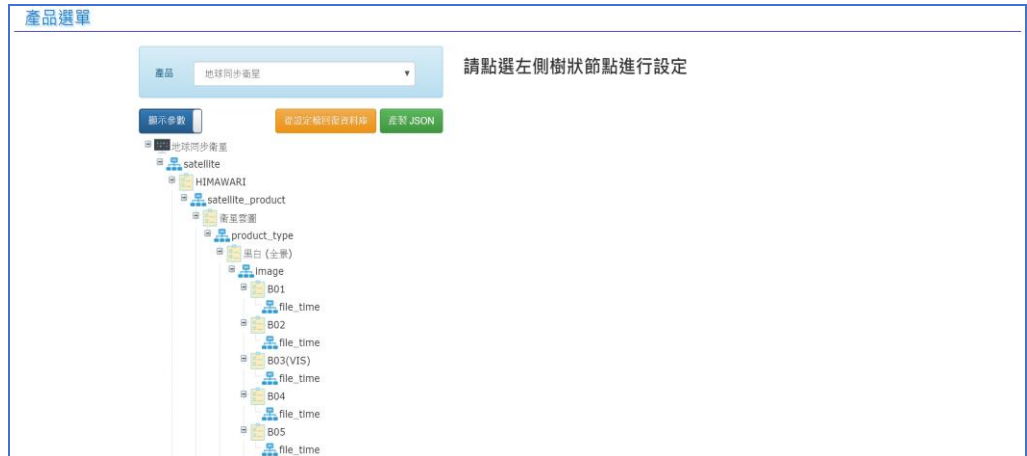


圖 38 產品上下架-產品選單設定

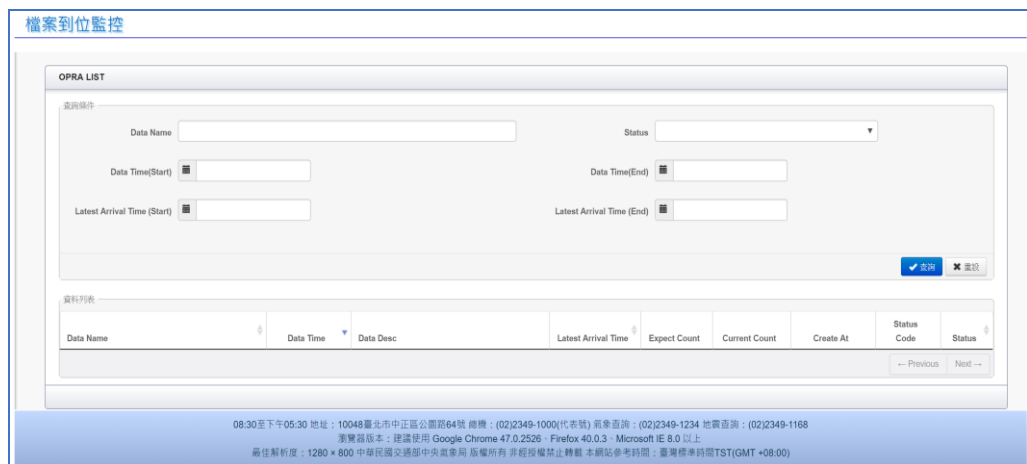


圖 39 產品上下架-檔案到位監控

四、結論與建議

本計畫為四年計畫執行第二年，在五大工作項目皆達到年度目標，除了科學基礎研究、技術創新上的貢獻，更為減少災害、增進社會福祉、維護環境安全上有具體的成效。未來本計畫將持續擴充海域環境災防及遙測災防服務系統，達成本計畫「提供即時海象、氣象環境監測與預警資訊服務」的總目標。

參考文獻

1. 尤皓正、于嘉順、陳維翔、陳琬婷、朱啟豪、滕春慈，2016：以海流浮標資料校驗台灣海域海流預報模式，第38屆海洋工程研討會論文集。
2. 林勝豐、張恆文 2010：POM 海洋模式在東部海域之應用研究，2010 年美華海洋大氣學會第五屆國際海洋大氣研討會。
3. 施孟憲、饒國清、滕春慈、黃清哲，2012：從資料浮標觀測資料探討七股澎湖海域水溫特殊變化，101 年天氣分析與預報研討會，第 448-449 頁。
4. 范揚洺、吳恩綺、高家俊、陳進益、滕春慈，2017：發展海象災防服務資訊系統，106 年天氣分析與預報研討會。
5. 唐玉霜、張保亮，2017，中央氣象局雨滴譜儀網作業現況與展望，106 年天氣分析與預報研討會。
6. 鄭宇昕、張明輝，2017，臺灣海峽異常海水溫降的可預測性與 ENSO 之關係，106 年天氣分析與預報研討會。
7. 饒國清、施孟憲、黃清哲、滕春慈，2015：東北角海岸颱風期間風湧浪與人員落海相關性之探討，第 22 屆水利工程研討會論文集。
8. 蔡婕媛、鄭宇昕、張明輝，2018，冬季澎湖海域異常低溫海水之形成機制探討，107 年天氣分析與預報研討會。
9. 謝佳穎、張宏毅、楊穎堅，2018，先進海氣象觀測浮標之開發與測試，海洋及水下科技季刊。
10. 張宏毅、馬玉芳、謝佳穎、吳佳璇、楊穎堅，2018，耐惡劣環境之海氣象浮標儀器開發與測試，107 年天氣分析與預報研討會。
11. Andrew J. Condon, Y. Peter Sheng, and Vladimir A. Paramygin, 2013: Toward high-resolution, rapid, probabilistic forecasting of the inundation threat from landfalling hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 1304–1323.
12. Chang, M. H., T. Y. Tang, C. R. Ho and S. Y. Chao, 2013: Kuroshio-induced wake in the lee of Green Island off Taiwan. *J Geophys. Res.* 118: 1508-1519, doi:10.1002/jgrc.20151.
13. Cheng, Y.-H., and M.-H. Chang (2018), Exceptionally cold water days in the southern Taiwan Strait: their predictability and relation to La Niña, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 1999-2010, doi:10.5194/nhess-18-1999-2018.
14. Yu-Hsin Cheng, Ming-Huei Chang, Sen Jan, Dong S. Ko, Yiing-Jang Yang, Ren-Chieh Lien, Magdalena Andres, Thomas Peacock, Luca Centurioni, and Jen-Hua Tai (2018), Submesoscale eddy formation in the Kuroshio front interacting with a cape south of Taiwan, AGU fall meeting.
15. Liang, W.-D., T. Y. Tang, Y. J. Yang, M. T. Ko and W.-S. Chuang, 2003: Upper-ocean currents around Taiwan. *Deep-Sea. Res. II* 50: 1085-1105.

16. Moon, I., 2005: Impact of a coupled ocean wave-tide-circulation system on coastal modeling. *Ocean Modelling*, 8:203-236.
17. Sheng, Y.P., V. Alymov, and V. Paramygin. 2018: Probabilistic Storm Surge Simulation for Taiwan Coast:
18. Sheng, Y.P., V. Alymov, and V. Paramygin. 2010a: Simulation of storm surge, wave, currents, and inundation in the Outer Banks and Chesapeake Bay during Hurricane Isabel in 2003: The importance of waves. *J. Geophys. Research Oceans*. doi:10.1029/2009JC005402.
19. Sheng, Y. P., Paramygin, V. A., Terng, C.T., and Chu, C.H., 2017: Forecasting of Storm Surge and Wave along Taiwan Coast. Paper presented at the proceedings of 2017 Conference on Weather Analysis and Forecasting, Taipei. Taipei: Central Weather Bureau.
20. Chieh-Yuan Tsai, Ming-Huei Chang, Yu-Hisn Cheng, Wan-Ting Hsieh, and Tzu-Hsuan Yang (2018), A Study on the Processes Driving the Formation of Abnormally Cold Water in Winter in the Southern Taiwan Strait, AGU fall meeting.