

建構臺灣海象及氣象災防環境服務系統(3/4)

Construction of Taiwan Marine and Meteorology Disaster Prevention Information Service System (3/4)

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

中央氣象局「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) 強化衛星產品展示平臺功能。

本年度(108 年)為第 3 年工作，計畫期間完成(一)發展與建置 3 維浪潮偶合暴潮模式，引進颱風系集路徑暴潮預報技術，增加海象預報系統功能。(二)擴充西北太平洋海象資料庫，新增 16 項國際海域地理資訊圖資，促進海象資料在產、學、研應用，「臺灣海象災防環境資訊平臺」提供航行海象 SAFE SEE、海嘯監測分析、海岸長浪海溫、海難漂流預報與海洋熱含量變異等災防資訊服務，提升各機關海域災害防救效率。(三)完成衛星綠色植被指數、對流深度、熱帶氣旋強度輔助分析與預警性雷達監測等 4 項遙測應用產品，減少防災、緊急救援前置作業時間、新增高雄林園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，並強化即時預報產品顯示網頁。(五)完成對外服務衛星產品整合平臺與相關設備擴充，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 2019, we made several achievements, such as (1) build up a 3 dimensional wave, tide and storm surge coupled model, developing technology of ensemble forecasting of typhoon paths, and providing more marine forecasting products, (2) 16 type of geospatial information for northwest pacific marine database, and some application products about SAFE SEE platform, tsunami warning, swell and sea temperature on costal zone, drifter forecasting, and ocean heat content variances, etc. (3) Four remote sensing application products about Normalized Difference Vegetation Index and convective cloud thickness, Detective the strength of tropical storm ,warning radar products 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

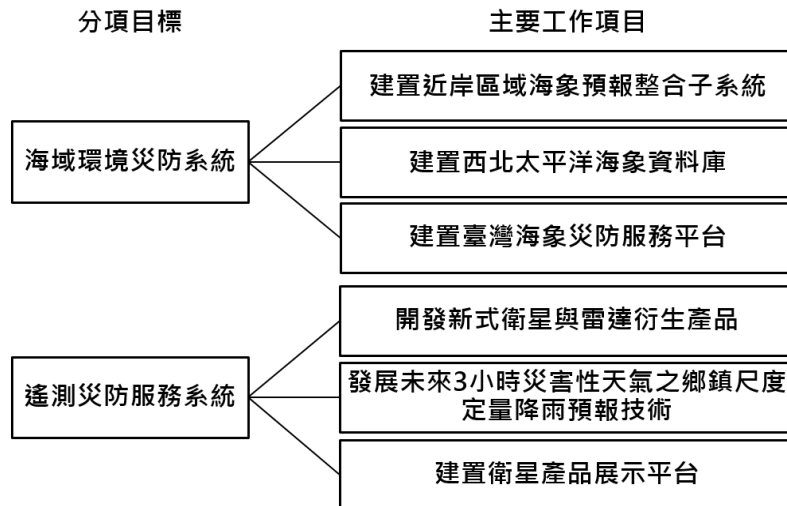
根據行政院國家災害防救科技中心2013年報統計指出，全球天然災害，共543件天然災害事件，有55%災害事件主要發生在亞洲地區，其中亞洲地區有46%屬於颱風之洪泛災害。世界氣象組織(WMO)副秘書長Jerry Lengoasa 於2013年的聯合國氣候變遷會議中表示，颱風造成的強風巨浪才是導致死傷的原因，他並引用IPCC的報告補充說：「現階段我們當然無法將單一颱風歸咎於氣候變遷，但可以確定的是，增高的海平面讓沿海居民完全暴露於颱風和隨之而來的狂風巨浪之中。」亞洲地區相較其他地區而言，不論颱風造成山洪暴發、暴潮溢淹，還是地震、乾旱等，仍是發生災害密集地區。2014年11月瑞士再保險公司(Swiss 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. 建置3維波潮耦合暴潮系統，引進與發展颱風系集路徑暴潮預報技術。
2. 發展區域海氣耦合預報技術，增加海象預報系統功能。

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. 強化臺灣海象災防環境資訊平臺。
3. 完成航行海象、海難漂流預報等9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. 新增高時空解析度衛星綠色植被指標、對流深度與熱帶氣旋強度輔助分析等增值應用產品。
3. 發展預警性雷達監測產品與改善定量降雨產品品質。

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，產生對流系統起始資訊（解析度將由目前3公里提高至2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 強化衛星產品展示平臺

強化展示平臺網頁與後臺管理等功能，以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 108 年)計畫工作內容

本年度(民國108年)為本計畫第3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. 持續發展波潮耦合技術，建置波潮耦合暴潮模式
2. 建置與發展颱風系集路徑暴潮預報技術
3. 建置暴潮系集預報模式
4. 強化海象預報作業與擴充監控功能。

3.2 建置西北太平洋海象資料庫與臺灣海象災防平臺

1. 擴增西北太平洋範圍海象預報、監測、遙測資料庫，新增地理資訊與開放資料服務。
2. 改善臺灣海象災防環境資訊平臺、區域海象災防行動版網站。
3. 建置臺灣海域之船級舒適度、漁業海溫預警、海難漂流預報、海嘯監測分析、海洋熱含量變異等作業技術。

3.3 開發新式衛星與雷達衍生產品

1. 完成綠色植被指標與熱帶氣旋強度輔助分析等增值應用產品2項衛星增值應用產品；並完成對流深度作業化產品。
2. 完成新增建高雄林園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. 發展預警性雷達監測產品及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，並強化即時預報產品顯示網頁。

3.5 強化衛星產品展示平臺

1. 完成強化衛星產品整合系統與後端管理等功能。
2. 建置展示平臺主機及資料儲存設備之備援系統。

四、本年度(民國 108 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

為提升暴潮預報能力，利用多個不同的系集成員預報，預測未來暴潮水位最有可能的分布情形，並彌補單一模式預報的不足。透過歷史颱風資料，將預報路徑誤差區分為「垂直路徑預報誤差(Cross Track Error)」及「平行預報路徑誤差(long Track Error, ATE)」做分析，並用機率密度分布函數擬合颱風預報路徑誤差(圖1)，其中紅色曲線為常態分佈、桃紅色表示羅吉斯分布(Logistic Distribution)、藍色線為T位置尺度分布(t Location-Scale Distribution)。完成系集颱風路徑預報暴潮(圖2)，為暴潮系集成員颱風路徑圖，可視為依據颱風警報單過往紀錄誤差修正後所得之路徑；為CWB WEPS系集成員路徑；其餘皆為透過誤差機率分布曲線及颱風警報單所產出之系集成員路徑，並以過去颱風個案進行測試完成。

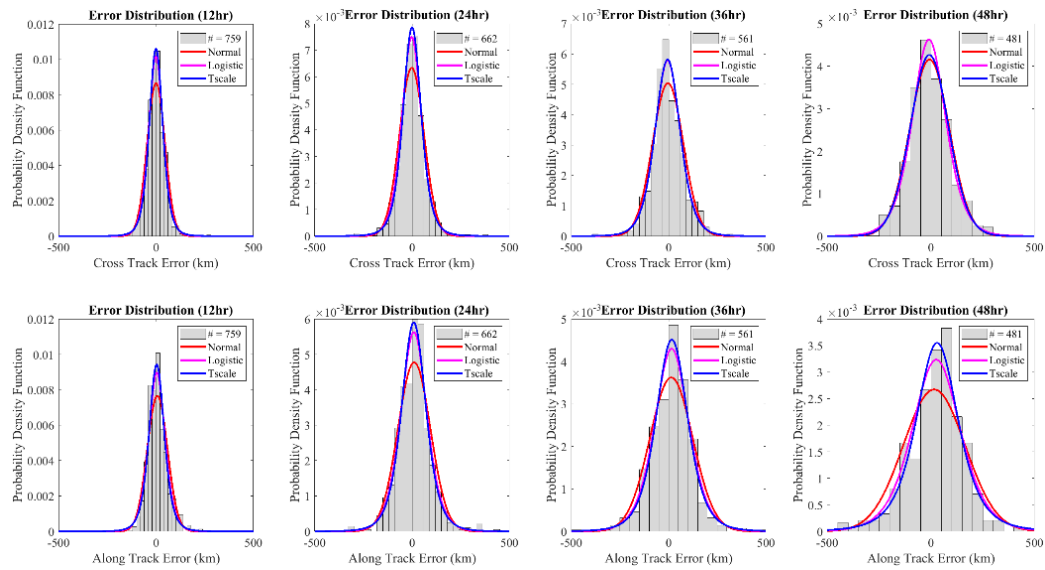


圖 1：颱風預報路徑誤差分布及機率密度函數擬合資料情形。

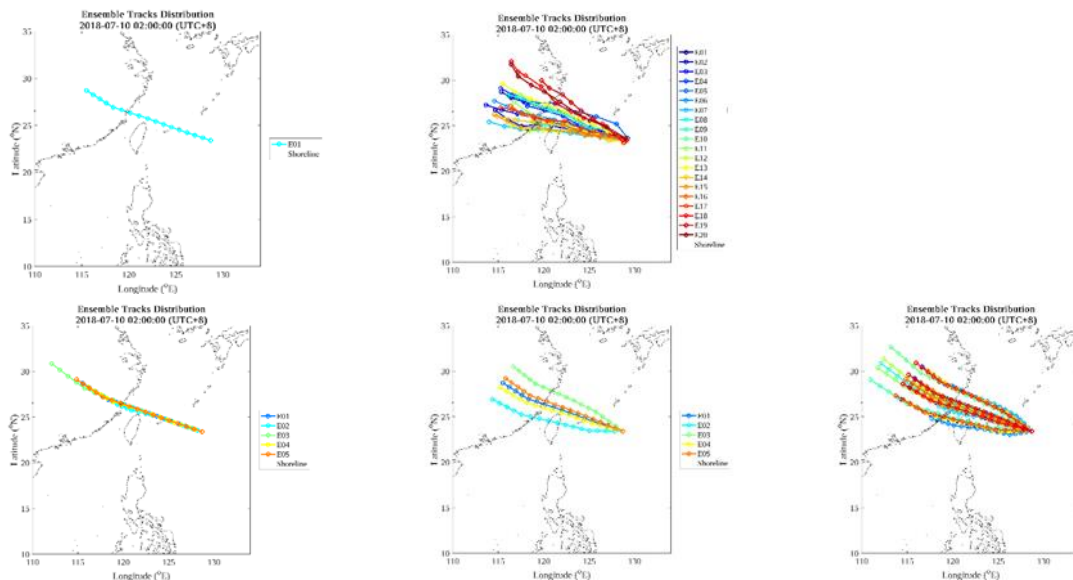


圖2：暴潮系集成員颱風路徑圖。(a)為決定性預報路徑，(b)為CWB WEPS系集成員路徑，(c)(d)(e)為透過誤差機率分布曲線及颱風警報單所產出之系集成員路徑。

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 海象災防環境資訊平臺網站服務

為了服務各項災防資訊產品，「臺灣海象災防環境資訊平臺」已完成基本架構，並推廣53個災防機關與產學團體上線使用。本平臺可為使用者提供客製化、個人化海域範圍與海氣象圖資，以及我的最愛、我的航線設定。一般民眾則提供查詢臺灣海象、西北太平洋海象、海岸潮線預報、海岸長浪海溫、海難漂流預報、颱風海象、區域波侯、分區海況播報、海象觀測站及官網版航行海象等網頁，如圖3所示。

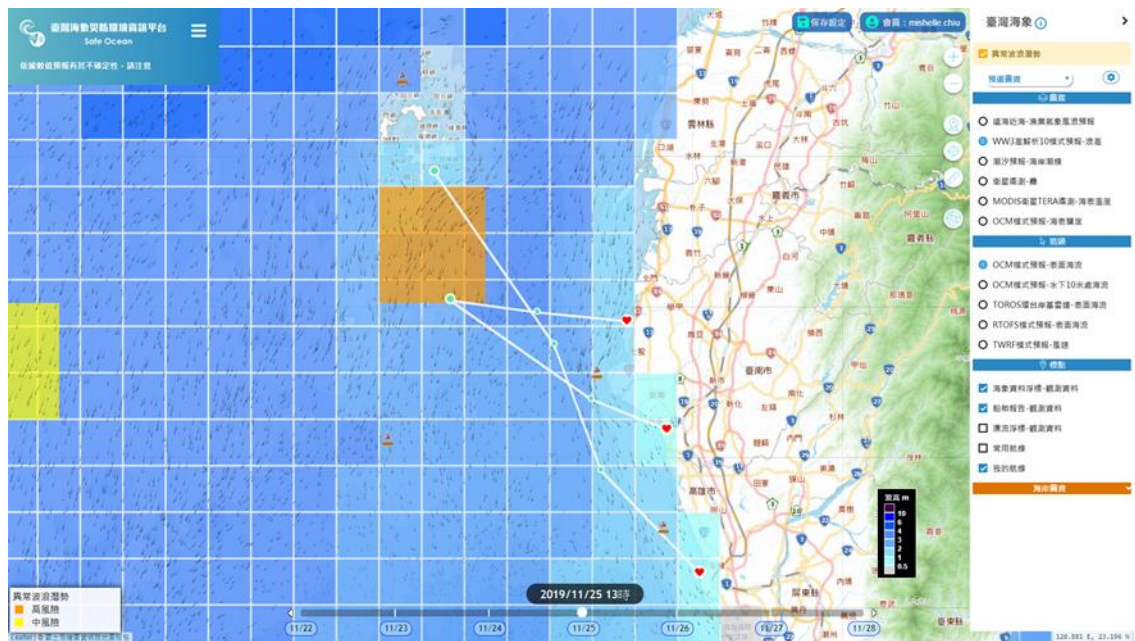


圖 3：臺灣海象災防環境資訊平臺首頁。

海岸長浪警示產品選取過去發生於近岸的49筆船難事件，使用雙變數常態分佈分析，結果顯示湧浪平均週期與風湧浪角度差，風湧浪頻率差與風湧浪角度差最為相關，亦即當海況符合3項條件時則可視為容易發生危險之海況，如圖4。

而海岸長浪海溫模組產品是提供臺灣沿海海岸提供長浪預報警示訊息，以提高水域遊憩活動安全。當長浪超過警戒值時，以不同的指標反映安全性，並於臺灣周圍海岸線描繪對應之指標顏色，於介面上則透過10個風景區來做快速引導，讓使用者可以切換到該風景區局部區域，如圖5。

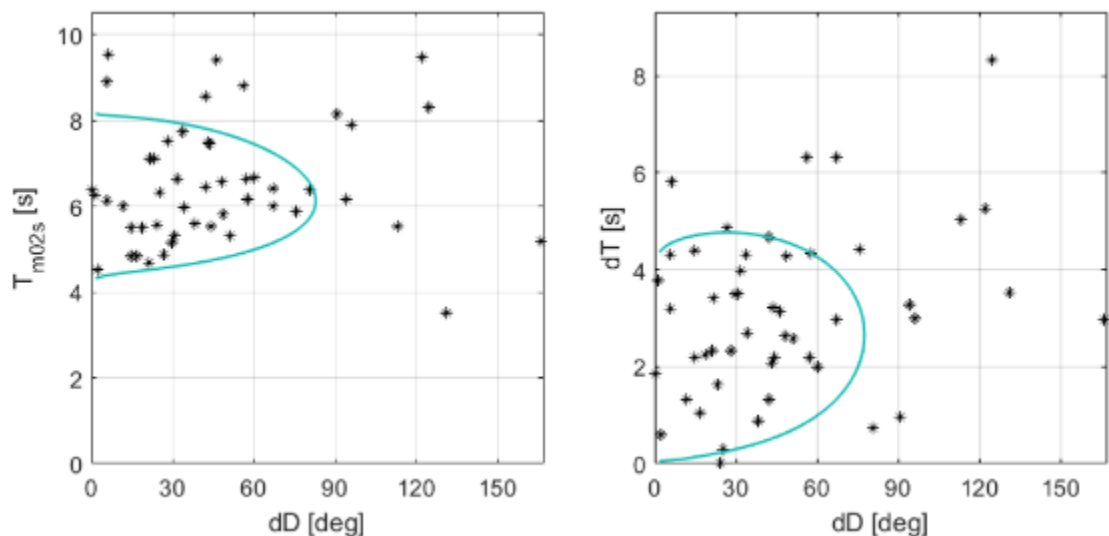


圖 4：湧浪平均週期與風湧浪角度差散布圖(左)及風湧浪頻率差與風湧浪角度差散布圖(右)，綠線為 60% 機率範圍。



圖 5：海岸長浪海溫模組介面。

海嘯即時分析作業技術上，完成「自動化海嘯波分析」和「歷史海嘯事件分析程序」之建立，前者包含「調和分析法」、「基準水位修正法」和「降低水位差值擾動法」，後者以帶通濾波之方式實現歷史事件分析之功能。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6所示。

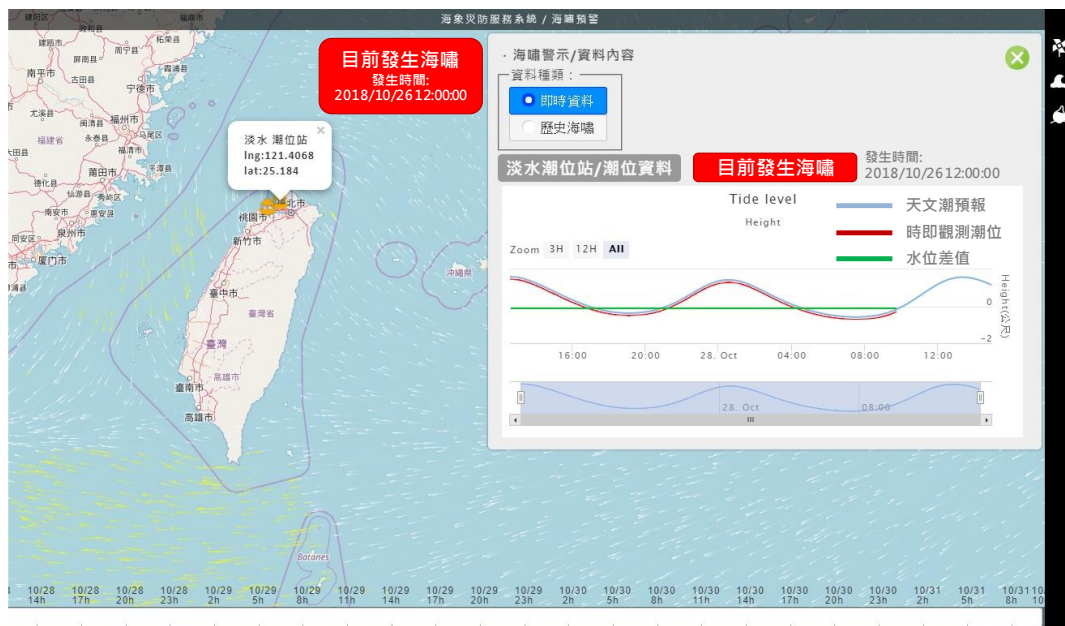


圖 6：海嘯即時分析之展示設計畫面。

4.2.2 航行海象 SAFE SEE 服務

為了打造優質航行環境的服務，特別建置「航行海象 SAFE SEE 服務」整合

航行需要的海氣象資訊，提供海上交通、漁撈、工作及遊憩等，選擇一條「安全回家的路」(圖 7)。首頁之主功能「船級作業指標」及「船級舒適度」，提供一般船隻及工作船隻的航行資訊查詢服務。「船級作業指標」透過去年度(107 年)已蒐集漁船、動力小船、海巡署船艦、遊艇等耐浪性資料，訂定出不同船隻海上之航行警示條件，均以工作的達成及人員安全為目標，如表 1(a)。而「船級舒適度」其應用領域的交通船及遊艇皆為遊憩取向，需考慮人員舒適度的問題，因此航行警示採用三個燈號，顯示不同船隻在海上之航行警示條件，如表 1(b)。

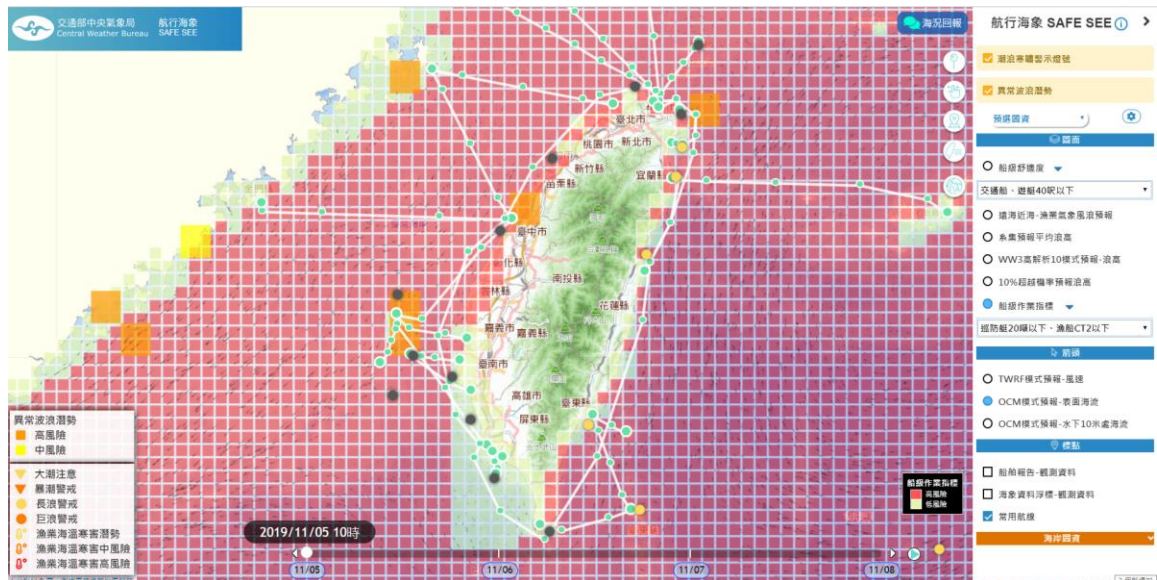


圖 7：航行海象 SAFE SEE 服務。

表 1(a)：船級作業指標

船級種類	顯示燈號	
	銀紅色	透明色
顯示訊息	高風險	低風險
巡防艇 20 噸以下、漁船 CT2 以下	≥5 級(2 m)	<5 級(2 m)
巡防艇 20~60 噸、漁船 CT3 以下	≥7 級(4 m)	<7 級(4 m)
巡防艇 60 噸以上、漁船 CT4~CT6 以下	≥8 級(6 m)	<8 級(6 m)
巡防艦、巡護船、漁船 CT7~CT8	≥9 級(7 m)	<9 級(7 m)
動力小船	≥4 級(1 m) 陣風(6 級)	<4 級(1 m) 陣風(6 級)

表 1(b)：船級舒適度指標

種類	船級	顯示燈號		
		銀紅色	粉紅色	透明色
顯示訊息		劇烈顛簸	顛簸	舒適
交通船、 遊艇	40 ft 以下	≥2.3 m	≥1 m	--
	40 至 80 ft	≥4.8 m	≥1 m	--

4.2.3 海難漂流預報技術

利用海面漂流浮標座標與海溫資料的即時品管技術，此技術主要用來剔除偶然大幅變化的浮標資料(occasional bad drifter locations)，之後以Lagrangian Method漂流軌跡演算法發展了臺灣周遭海域的漂流物軌跡追尋系統，彙整各單位海流相關資料，包含AVISO、TOROS、HYCOM、RTOFS、TCONFS、OCM3與drifter，並分析使不同海流資料所預報的漂流物軌跡與實際漂流案例的差異性分析，其中案例包含海巡署實際搜救案例、海氣象浮標漂流案例與漂流浮標軌跡等。

在108年度計畫中完成實際作業化並上線至「臺灣海象災防資訊平臺」。另一方面，過去發展經驗，發現目前的海流預報模式都無法解析出較小尺度的區域性海流特徵，以綠島周遭海域為例，前兩年所使用的海流模擬資料並無法解析出實際的島尾流現象，該現象相當常見，不論是在衛星觀測或是現場觀測資料都經常可解析出，此島尾流現象主控了島嶼附近的流場變化，將會進一步影響到我們推估漂流物軌跡的結果，造成預報海難漂流軌跡或是追溯油污漂流的困難，因此在108年度採用MIT gcm模式對臺灣東南海域發展高時空解析度的流場模擬，進一步解析島尾流現象，使其更貼近實際流場與溫度情況，提高模擬漂流物軌跡的真實性(圖8)。

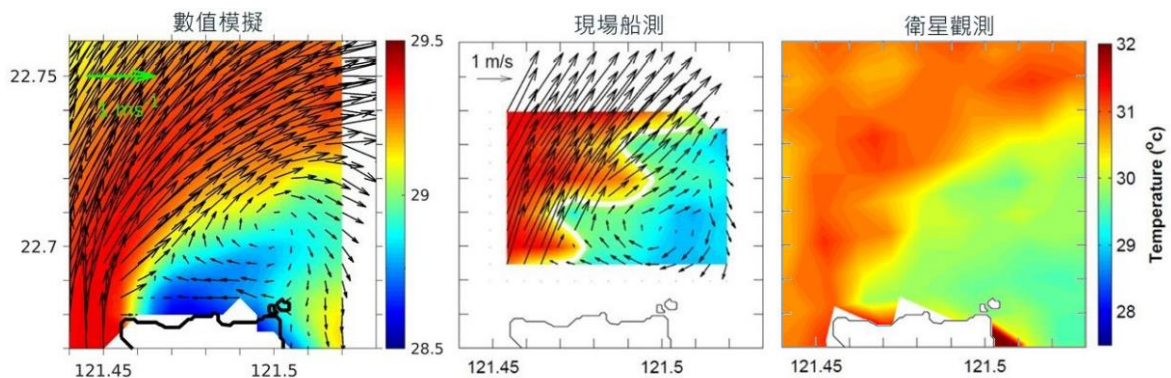


圖 8：模擬之 5 公尺海表面溫與 20 公尺流場、船測之 20 公尺海表溫與流場、Aqua 衛星搭載之 MODIS 所觀測的海表面溫度。

4.2.4 海洋熱含量變異分析技術

上層海洋是天然的巨大熱量儲存裝置，衡量此熱儲存功能的參數即為海洋熱含量(Ocean Heat Content, OHC)，近年來不少研究將海洋熱含量視為氣候變化的關鍵指標，然而在西北太平洋海域熱含量實際觀測資料稀少的緣故，為探討長時間的上層海洋熱

含量(Upper Ocean Heat Content, UOHC)變化時，選用了 Argo 浮標資料月平均產品與 NOAA 世界海洋統計圖集資料庫(World Ocean Atlas, WOA)之氣候平均資料(Climatology)來進行分析。

由於 Argo 屬於非定點觀測，為分析其在 UOHC 之可信度，因此選擇長時間且定點 TAO 浮標做比對，並計算相關係數作為參考，圖 9 將浮標和 Argo 計算出上層熱含量之時序圖比較。

另探討 ENSO 事件對臺灣周邊海域 UOHC 產生之變化，在本工作中，定義海洋聖嬰指數(Oceanic Niño Index, ONI)大於 0.5 時，代表聖嬰事件發生，而當指數小於 -0.5 時，代表反聖嬰事件發生。圖 10 為 UOHC 及 ONI 的比較，其中 ONI 為紅色的部分代表 $ONI > +0.5$ ，意即聖嬰的訊號較明顯之時，而藍色的部分則是 $ONI < -0.5$ 。

圖 11 為臺灣周邊海域之 UOHC 與 ONI 之關係，可從圖中看到臺灣西南部海域之 UOHC 距平值與 ONI 之相關係數較東部海域來的高，但相關性也未達顯著相關，合理推測無法由 ENSO 事件來判定臺灣周邊海域之 UOHC 變化。

而相關的研究分析，已經上線「臺灣海象災防環境資訊平臺」，供學界或是相關單位研究與參考(圖 12)。

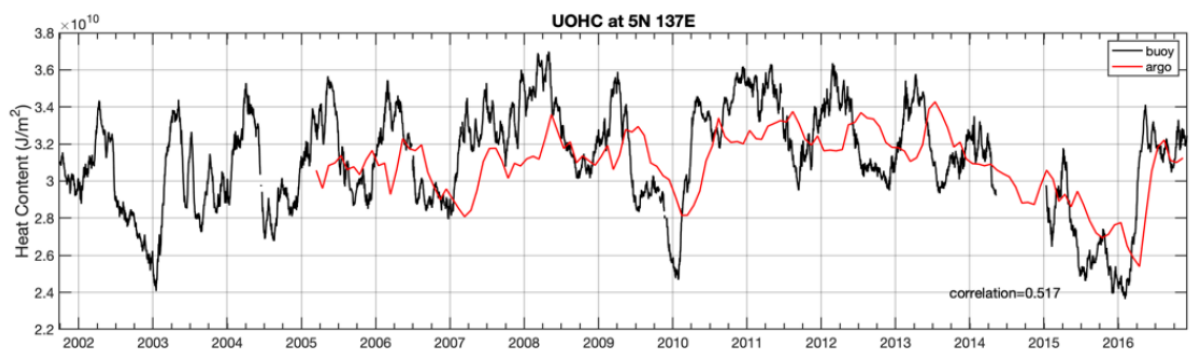


圖 9：Argo 和 TAO 浮標的 UOHC 比較圖。

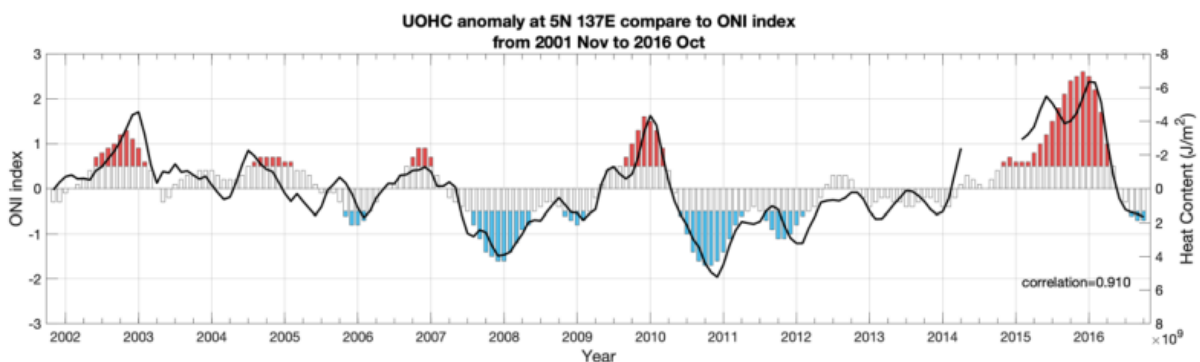


圖 10：TAO 浮標 UOHC 距平值與 ONI 比較圖。

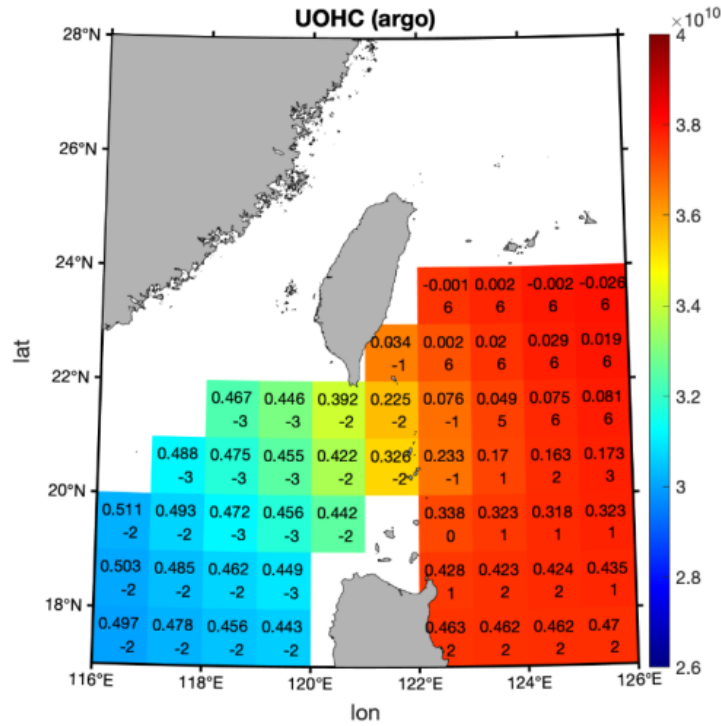


圖 11：台灣周邊海域之 UOHC 與 ONI 之關係。底圖為台灣周邊海域 UOHC 之年平均，上面的數值為各網格 UOHC 距平均值與 ONI 之相關係數。

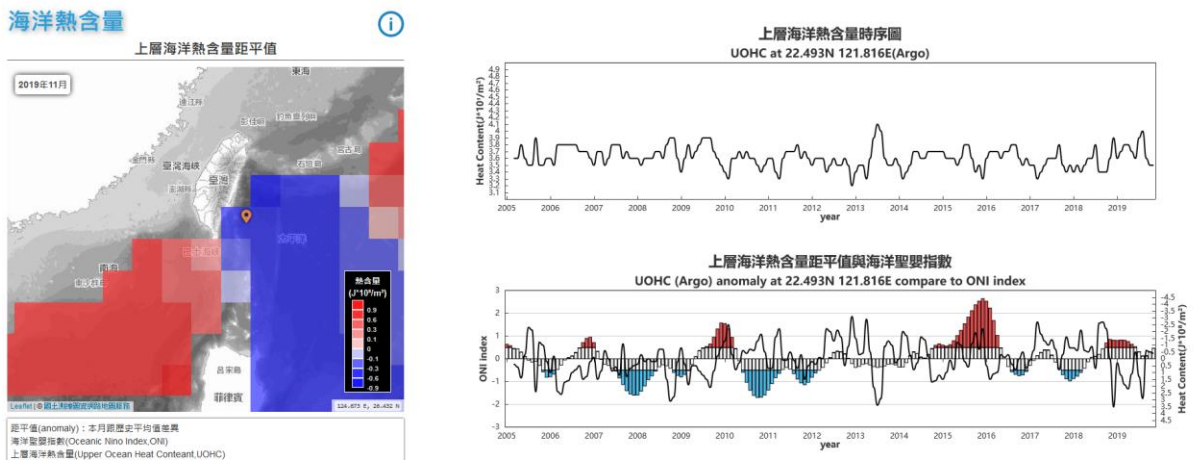


圖 12：臺灣海象災防環境資訊平臺的海洋熱含量變異網頁展示。

4.3 新式衛星與雷達衍生產品

4.3.1 衛星綠色植被指數產品

標準化差異植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)是植被指數中最用的環境因子，利用多光譜之衛星影像用來評估地表上的植生覆蓋情形，用以計算植物生長與生產力，另外也常被用來應用在崩塌地判釋或土壤沖蝕量估算或是土地利用變化之監測，經由長時間觀測可知植被改變的狀況，但植被的改變通常會受到氣

溫變化、植物型態、地表溫度及微氣候等影響；大規模的植生變化則與大氣變動是相關聯的，因此藉由 NDVI 的變化可有效掌握與瞭解植生或地貌變遷情形。

原理是植物體含有葉綠素，而葉綠素及植物的細胞對入射的太陽光都有特殊的光譜反應，其中，各顏色中波長最長的紅光介於 610-780nm，再往上到 1400nm 這個區段稱為「近紅外線 (Near Infra-red)」，這段 NIR 的紅色光我們人眼雖看不見，但植物卻會反射這段光譜；再者，當葉綠素含量多的植物，它們會吸收大部份的紅、藍光，再反射綠光及更多的近紅外光 NIR，如圖 13 所示。

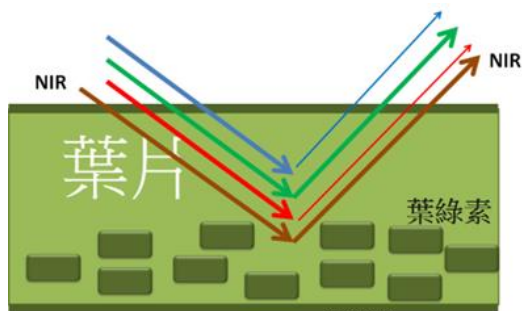


圖 13：植物體之光譜反射。

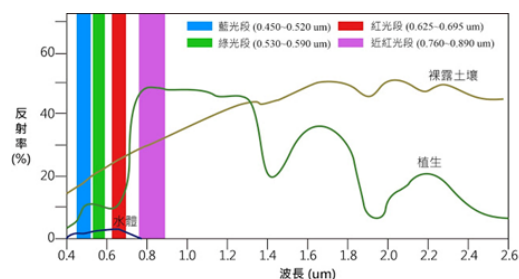


圖 14：土壤、水和植生的典型光譜反射曲線。

尤其在紅色及近紅外線波段差異表現最為突出，因此分析這兩個波段的反射率常可辨別植生的種類及生長狀況，因此遙感探測數據，利用植生在不同波段之反射率的差異，將此差異標準化，如圖 14 所示，植生(綠線)在近紅外光段反射率約 50%；而在紅光段的反射率卻只有 10%左右。利用上述之特性，NDVI 算式為：

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

其中 NIR 為光譜近紅外光段；RED 為光譜紅光段，計算的值範圍會在 -1 至 1 之間。負值一般為雲、雪、水體和其它非植被地區，正值則代表植被覆蓋的地表，且指數愈高，植被愈密集。有關標準化差異植生指數求法為：運用向日葵 8 號衛星觀測數據求取 NDVI，若不需要比較或合併不同區域或採集日期的數據，則可以直接使用原始觀測數據值計算(Digital Number, DN)。而在其他情況下，則需將 DN 的相對值轉變為絕對輻射值或反射率，例如使用相應輻射計的校準關係和大氣校正的光譜輻射率。因此，衛星影像是藉由衛星酬載感測器接收太陽光通過大氣層，經地面反射，再經過大氣層透射之地表訊息成像，因此，進行此產品開發前必須經過大氣校正、幾何校正、地面高度校正等程序，此前置處理假設已在威斯康辛大學發展的 CLACR-x 軟體中去除，利用其產出的雲遮與經過大氣修正的三個可見光波段(0.46 μ m, 0.51 μ m, 0.64 μ m)與一個近紅外線波段(0.86 μ m)的反射率資料，透過上述公式，例行性產製日間(早上 6 點至下午 6 點)台灣地區 2 公里解析度的 NDVI 產品。圖 15 是顯示 2019 年春分日(3 月 21 日)台灣地區 NDVI 的日變化。從時序圖可看出從 08:00 到 16:00 的變化，其中早上 9 點到下午 2 點 NDVI 值變化較和緩，而早上 NDVI 值也會比下午值高。

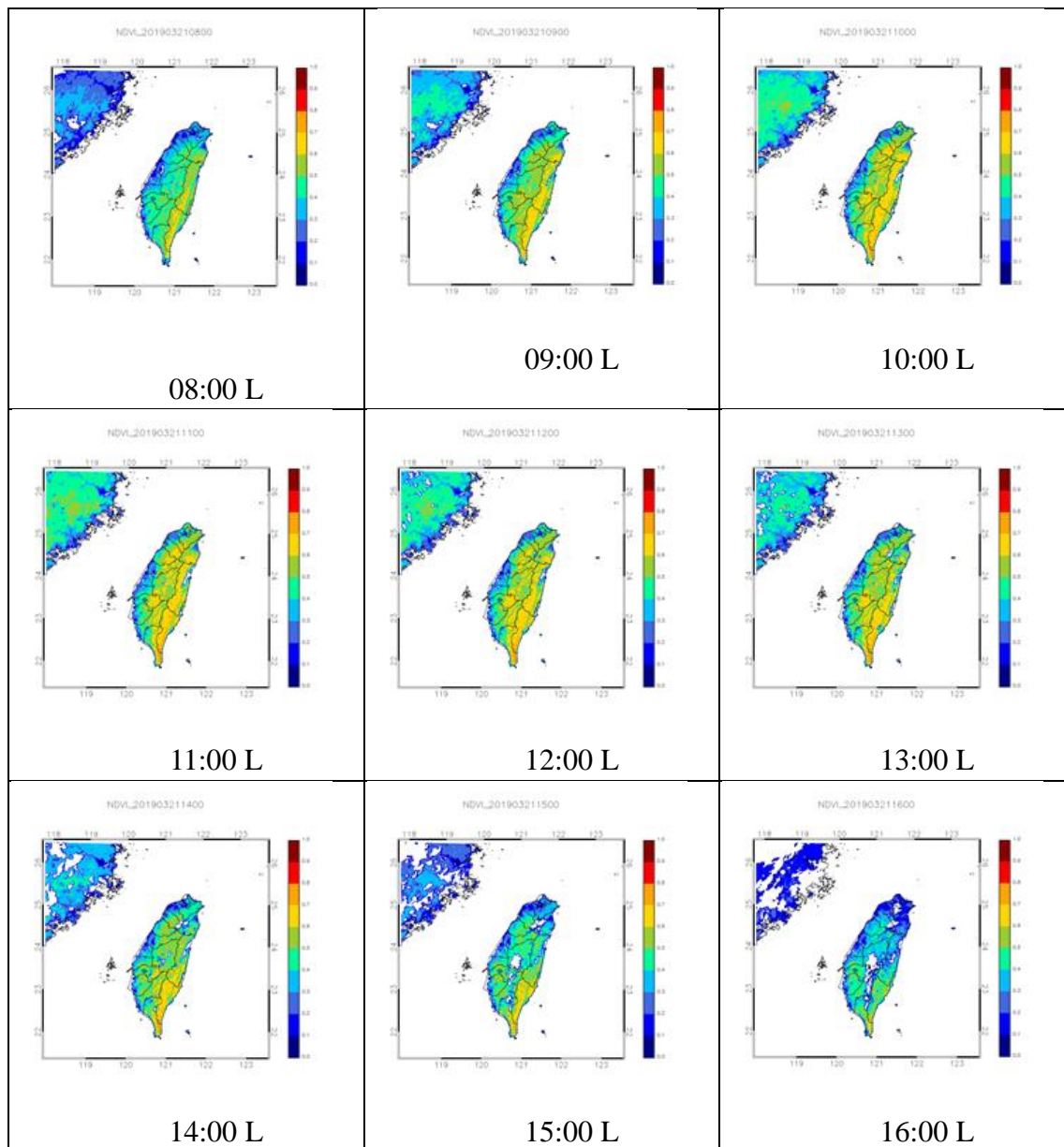


圖 15：2019 年 3 月 21 日 08 至 16 的 NDVI 變化情形。

4.3.2 熱帶氣旋強度輔助分析系統(ADT)

德沃夏克分析(DVORAK)是一測量颱風強度的標準方法，由於此法是由人為主觀研判，不同預報作業單位對同一颱風的判斷常有差異。為促進監測熱帶風暴之特性分析技術效能，衛星中心自 106 年起引進美國發展之「自動化進階德沃夏克颱風特性分析技術」，並於 108 年開始自動化產製颱風分析產品，其目的是提供一個客觀的颱風強度分析及中心定位指引，降低主觀判斷的差異。

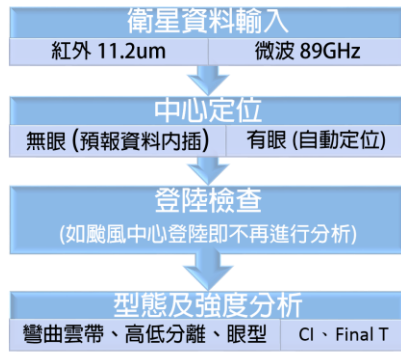


圖 16：ADT 演算法流程圖。

本中心建置之 ADT 版本為 8.2.1 版，適用整個颱風週期，從熱帶低氣壓開始至颱風消散，其演算法流程架構如圖 16。資料輸入後，ADT 演算法會先參考最後一次之颱風強度套用不同的中心定位方法(FCST、SPIRAL、COMBO)，根據得分選擇定位中心。由於颱風登陸時，其中心結構受到破壞，使中心位置難以預測，因此 ADT 在颱風登陸時會停止分析。確認颱風中心未登陸後，會用紅外線色調強化雲圖，根據亮溫分布的均勻性、對稱性，進行颱風形態分析(表 2)及強度計算，並整合微波頻道之亮溫資料(85-91GHz)，幫助判別冷雲覆蓋型的颱風強度。最後，將分析結果，包括颱風強度、中心氣壓、颱風型態、中心位置及定位方法等資訊輸入歷史資料中。相關產品項目計有：紅外線色調強化、微波影像、颱風路徑與颱風強度等資料(如圖 17 所示)。

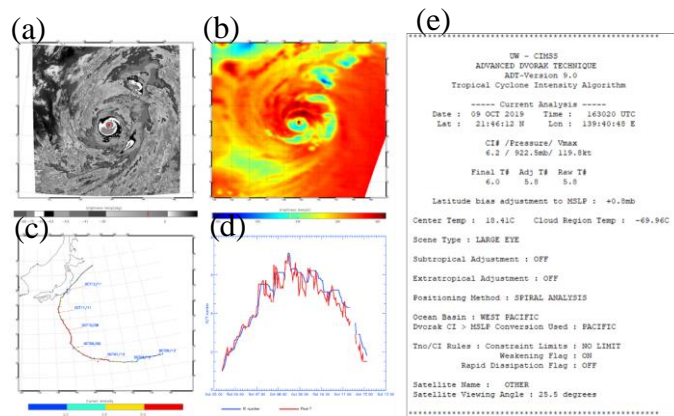


圖 17：ADT 之產品範例為 2019 年強烈颱風哈吉貝(HAGIBIS)，(a)為紅外線色調強化雲圖(BD Curve)，(b)為微波資料之衛星影像，(c)為颱風路徑圖，(d)為颱風強度圖，(e)為 ADT 之颱風即時分析文字說明。

表 2：ADT 各颱風型態描述。

颱風型態	ADT 代號	描述
風眼類型		
眼型	EYE	任何風眼 (清晰、參差不齊)
大眼型	EYE/L	清晰明確風眼，半徑大於 38 公里
針孔型	EYEP	非常小的風眼/顯著的溫暖圓點
雲團類型		
中心密雲型	UNIFRM	密雲區域溫度均勻
嵌入中心型	EMBC	弧形對流雲位於中心密雲區域內
不規則中心 密雲型	IRRCDO	雲團在熱帶氣旋中心上，但覆蓋範圍出現較大的遷移
彎曲雲帶型	CURVBND	弧形對流雲圍繞旋轉中心
高低分離型	SHEAR	對流雲遠離，露出低層旋轉中心

為測試 ADT 軟體之性能，挑選 2018 年 7-10 月西北太平洋之 7 個颱風個案，進行 ADT 分析並與颱風最佳路徑資料比對，評估 ADT 軟體在不同階段之颱風中心定位和強度估計的表現。初步結果顯示 ADT 颱風中心定位有平均 39 公里之定位誤差，在發展期/消散期(CLOUD SCENE)之定位誤差平均為 45 公里，在成熟期(EYE SCENE)之平均定位誤差為 28 公里(表 3)，與 Wimmers and Velden(2016)評估 ADT 利用 IRW 作颱風中心定位與實際人工觀測之誤差值接近。而颱風強度分析有平均 5.3 hpa 的正偏差及 11.3 hpa 的絕對誤差，在發展期/消散期有平均 9.7 hpa 的正偏差及 12.9 hpa 的絕對誤差，而在颱風成熟期有平均 0.7 hpa 的負偏差及 9.2 hpa 的絕對誤差(表 4)。綜上所述，ADT 是一具參考性之颱風特性分析工具，能提供颱風中心位置及強度分析之客觀指引，期未來能有效輔助颱風即時作業。

表 3.：ADT 颱風中心定位與中央氣象局(cwb)及日本氣象廳(jma)最佳路徑資料之誤差值，分為：(1)總誤差；(2)依定位法(FCST、SPIRAL、COMBO)；(3)依颱風型態(CLOUD、EYE SCENE)。

unit : km	ADT		DVORAK
	cwb	jma	jma
TOTAL	39.53	39.17	22.89
FCST	41.65	43.14	28.72
SPIRAL	38.93	36.77	16.39
COMBO	21.08	8.86	12.66
CLOUD SCENE	44.59	45.76	29.59
EYE SCENE	29.94	27.18	11.60

表 4：ADT 颱風強度估計最佳路徑資料之誤差值。

unit : hpa	CWB		JMA	
	BIAS	MAE	BIAS	MAE
TOTAL	5.35	11.31	2.75	10.07
CLOUD SCENE	9.72	12.86	6.35	10.97
EYE SCENE	-0.66	9.18	-2.19	8.83

4.3.3 對流深度(第 2 項對流起始偵測產品)

對流深度估算主要是利用向日葵 8 號衛星所搭載之 AHI(Advance Himawari Imager)儀器來反演雲光學厚度及雲有效粒徑長度。有了這些重要參數，就可反演出雲對流深度，此項產品可應用於衛星對流起始偵測、衛星雲底高估算，以作為大雷雨預警之參考。但對流深度在反演過程中有許多的假設與估計，故其正確性仍須進一步的校驗，方可得知此產品於何種環境條件下會比較準確。利用 CloudSat 衛星搭載雲剖面雷達 (cloud profiling radar, 簡稱 CPR)及 CALIPSO/CALIOP 衛星搭載光達，此兩種儀器可協助測得對流深度，以利進行對流深度的校驗。圖 18 為 2017 年 11 月 24 日 05:30 UTC 時衛星反演對流深度圖，圖中紅線為 LIDAR 掃描區域。圖 19 是衛星反演與觀測資料的驗證比較。

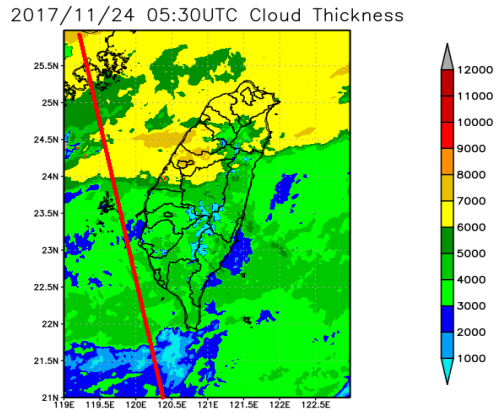


圖 18：2017 年 11 月 24 日 05:30 時衛星反演對流深度圖。

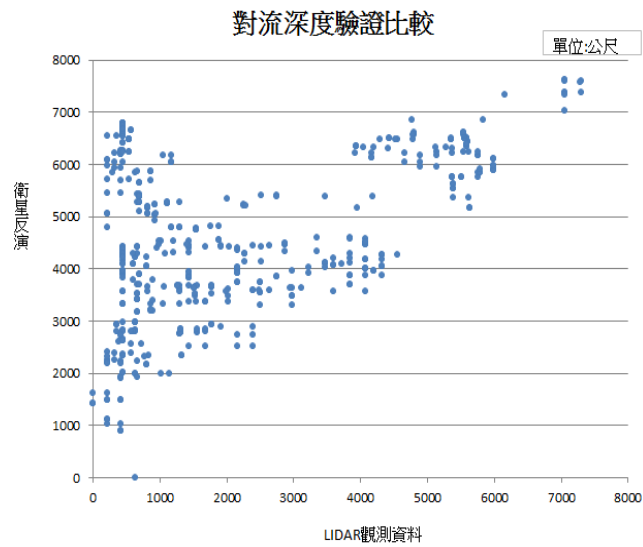


圖 19：衛星反演對流深度與 LIDAR 觀測資料的驗證比較

初步校驗結果，衛星對流深度平均略高於觀測值。目前該項產品已正常產製(如圖 20)，未來將持續收集更多的個案進行驗證，以提高產品使用的可靠性。

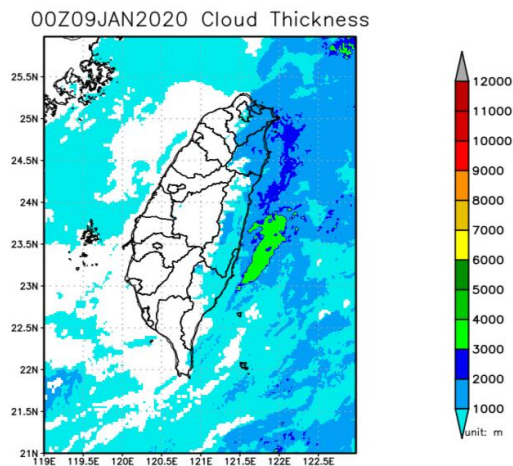


圖 20：2020 年 1 月 9 日 00UTC 對流深度。

4.3.4 新增建之降雨雷達資料顯示及回波與降水產品整合

隨著未來臺灣地區都會區及低窪易淹水地區 C 波段雙偏極化防災降雨雷達的陸續建置完成，氣象雷達觀測網密度逐漸提升。為因應短延時強降雨資訊之迫切需求，中央氣象局已針對已建置之高雄林園(RCLY)與臺中南屯(RCNT)等兩座區域防災降雨雷達，新制定仰角組合方式之觀測掃描策略，除可提供每 2 分鐘解析度達 250 公尺之高時空解析度之低空域降雨資訊外，亦能在 7.5 分鐘之內提供全空域之完整體積掃描觀測資料，以同時滿足氣象與水文領域之所需。除可增加近地面(觀測高度<1 公里)觀測之範圍(圖 21)，進而改善雷達定量降水估計(Quantitative Precipitation Estimation, QPE)品質外，更可提供台灣地區更為密集且完整的降雨觀測資訊，提升監測劇烈天氣效能。

目前氣象局屬四座 S 波段雷達之作業皆採用降水模式之標準掃描策略，執行掃描之方式為 0.5°、1.4°、2.4°之三層較低仰角且為監測範圍較廣(460km)之監測模式，接續為 0.5°、1.4°、2.4°、3.4°、4.3°、6.0°、9.9°、14.6°、19.5°等九層仰角而監測範圍較短(230km)之都卜勒(Doppler)模式。為達到高時空解析度降雨估計資料以符合水文作業單位之需要，並兼顧氣象作業之需求，中央氣象局參考現行作業，以及日本國土交通省及美國國家氣象局所屬雷達之操作，研擬接續式的降雨雷達掃描策略，如圖 22 示意圖所示。此掃描策略約每 2 分鐘提供最低 3 層之降雨觀測資料，另增加 24.5°與 29.9°兩個觀測仰角層，約每 7.5 分鐘亦可提供低層至高層的全空域掃描資料。除此之外，空間解析度提高為 0.0025 經緯度(約 250 公尺)。因此，此掃描策略除可提供高時空解析度之低層降雨資訊外，亦能提供對流性天氣系統在垂直方向的監測完整性。目前 RCLY(高雄林園)與 RCNT(臺中南屯)雷達之高時空解析度觀測資料亦已整併至目前每 10 分鐘、解析度為 0.0125 經緯度(約 1.3 公里)之原雷達觀測網中(圖 23a)。

降水估計產品部分，則是以每 2 分鐘 1 筆的最低 3 層觀測資料，利用雙偏極化參數進行資料之品質、回波修正及降雨率的估計。其中降雨估計使用之關係式為 $R = 36.92 KDP^{0.752}$ (Wang et al. 2016)，當降雨愈大於 13 mm hr⁻¹ 時，則使用 $Z = 32.5 R^{1.65}$ (Xin et al. 1997) 來進行降雨率的計算。並依 2 分鐘一筆之降雨率資料，進行 1 小時之雷達降雨估計(圖 23b)。經由較強降雨之個案評估，顯示能反應雨量站之降雨觀測外，更可在無雨量站處藉由雷達觀測，提供更細緻的格點化降雨資訊，特別是具高解度之 RCLY 及 RCNT 雷達之 QPE 產品。

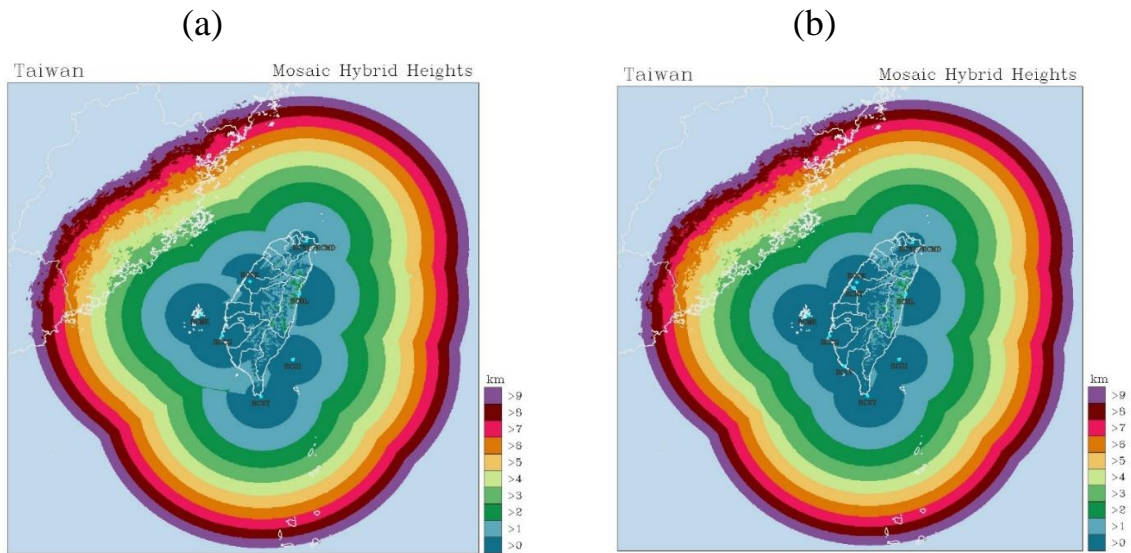


圖 21：(a)目前臺灣地區雷達整合之最低可用仰角高度；(b)整合 RCLY 與 RCNT 等兩座區域防災降雨雷達之最低可用仰角高度。

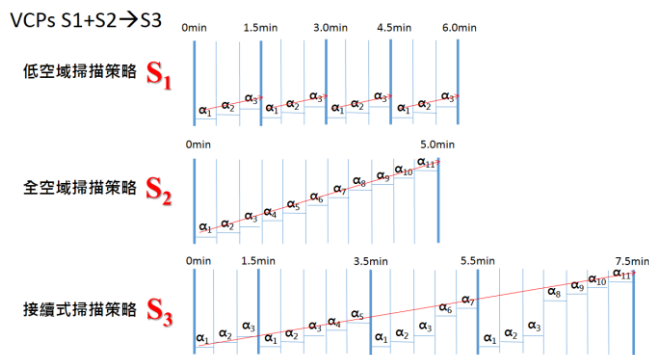


圖22: RCLY雷達之低空域、全空域與接續式掃描策略示意圖。

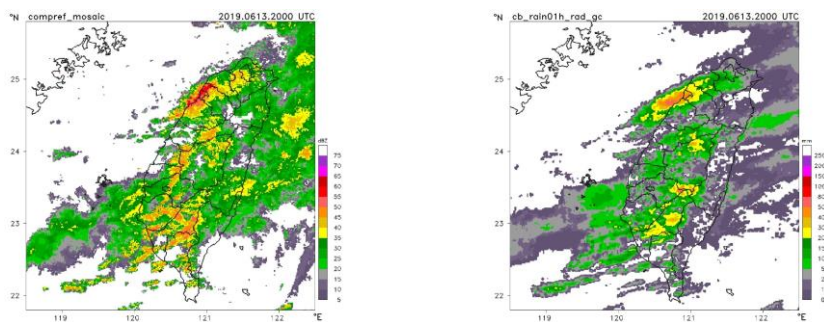


圖 23: 2019 年 6 月 13 日 2000UTC 之已整合 RCLY 與 RCNT 降雨雷達之(a)整合回波與 (b)一小時降雨估計。

4.3.5 發展發展預警性雷達監測產品

近年來，不只臺灣地區，甚至是全球各地，短延時、強降雨的發生頻率逐漸升高(Westra et al. 2013; Westra et al. 2014)，破紀錄降雨與劇烈降雨致災頻傳(吳等，2016)，這些災害主要發生原因，多是因「連續降雨過多」或「短延時雨量過強」，超過當地防洪設計或土地承受能力所致(龔等，2015)，使得防災工作面臨極大的挑戰。唯有強化降雨的監測，並利用相關研究成果且同時發展氣象資訊應用技術，逐一開發結合氣象與雷達產品，期使雷達資料可發揮提供診斷分析的最大效益，提高雷達在劇烈天氣監測的最大效用，進一步提升災害預警的能力。臺灣地區因強降雨而導致的災害天氣主要包括颱風、梅雨季中尺度對流系統以及夏季午後對流等，這些天氣現象經常伴隨短延時劇烈降雨的發生，是故加強雷達定量降雨預報(Quantitative Precipitation Forecast, QPF)於監測與預警產品之應用，以期達到提早防範以減少因短延時、強降水之天氣系統所導致之相關災害。

預警性雷達監測產品，主要結合劇烈天氣監測系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS)之客觀分析時雨量與 1 小時雷達 QPF 產品，提供全臺 368 鄉鎮區域之未來 1 小時鄉鎮預報產品，如圖 24 所示。圖 24(d)為 2019 年 1 月 20 日 0410UTC 之豪雨鄉鎮預報產品，顯示於未來 0410–0510UTC 一小時內，降雨可能達到豪雨(>100mm/3hrs)程度之鄉鎮區域(暗紅色，>100mm)。此產品結合 0410UTC 之前 2 小時(0210–0310UTC 與 0310–0410UTC)之觀測時雨量(圖 24a 與 24b)與未來 1 小時之雷達 QPF(圖 24c)，再轉換至鄉鎮區域雨量而得(圖 24d)，可輕易得知未來可能發生豪雨之鄉鎮區域。此產品可進一步應用於淹水潛勢預估及土壤可容的含水量預測，提供水利署、水保局、消防署、中央災害應變中心、國家災害防救科技中心及各縣市政府等防洪及救災業務相關單位，作為土石流、洪水預警及防救災決策等實際防災作業中，降低其所伴隨之極短時劇烈降水可能帶來的災害。

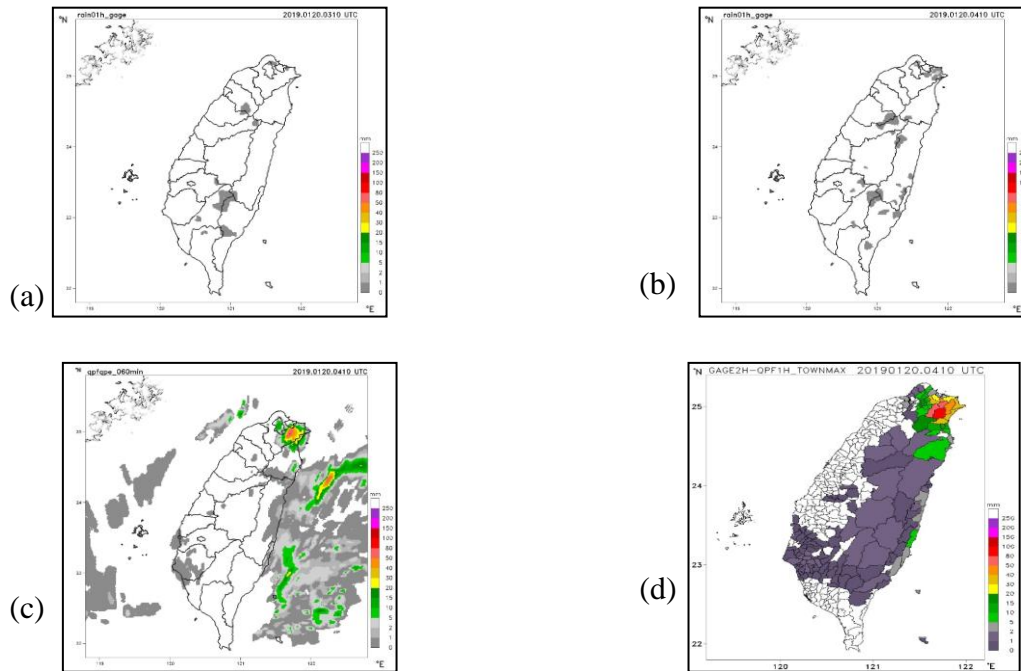


圖24: 2019年1月20日之(a)0210–0310UTC之客觀分析網格時雨量；(b) 0310–0410UTC之客觀分析網格時雨量；(c)雷達1小時QPF；(d) 0410UTC之鄉鎮預報雨量，若鄉鎮區域雨量為暗紅色(>100mm)，表示達豪雨標準(>100mm/3hrs)。

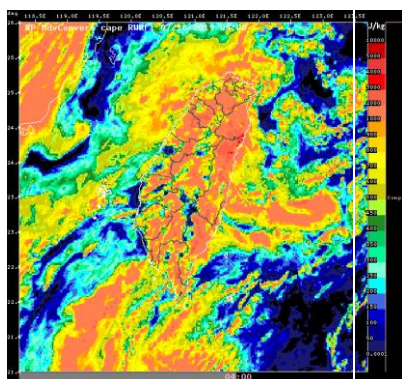
4.4 發展綜合天氣型態(mixed regime)系統 0-1 小時對流起始可能性預報及即時預報產品網頁強化

近幾年來極端降雨事件發生的頻率提高、降雨延時縮短且強度加劇，這種強對流性天氣系統具有隨著時空尺度變化迅速之特性，可能在短時間內生成、發展然後產生降雨等。目前氣象局具有數種客觀預報指引用以輔助即時預報作業，其中發展綜合天氣型態對流系統預報技術，做為即時預報系統至為重要。

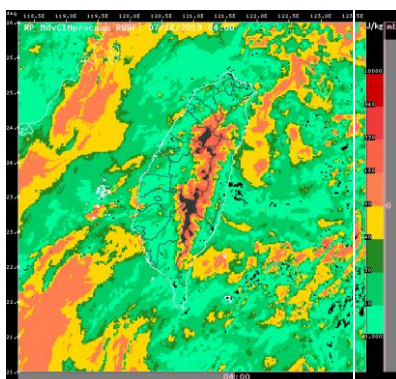
因此自美國氣象發展實驗室(NOAA/NWS/MDL)引進自動即時預報系統(Auto-NowCaster, ANC)，ANC除了提供了對流系統起始、成長及消散預報訊息，亦可以針對不同天氣系統與不同地理特性，利用選擇所需要的預報因子做不同的權重組合進行可能性對流系統預報。目前ANC模式資料採用RWF數值模式(解析度2公里，每小時更新一次)資料、同步衛星資料與觀測資料，進行綜合天氣型態(mixed regime)0-1小時對流生成之可能性(likelihood)及時預報作業。透過人為經驗之條件和模糊邏輯(fuzzy logic)等運算技術，可快速提供60分鐘對流系統生成與發展可能性(likelihood)之即時預報產品，此作法乃將導致對流系統發生之預報因子(predictor)其對於事件發生的變化情況，以隸屬函數(membership function)來描述，隸屬函數可以是人為主觀決定的，也可以是利用統計方式決定，在求得隸屬函數之後，每個資料點都可以得到相對應的隸屬度，然後再給定每個預報因子的權重值，將每個預報因子的隸屬度乘以權重，

最後相加得到的預報結果，即為對流生成的可能性。

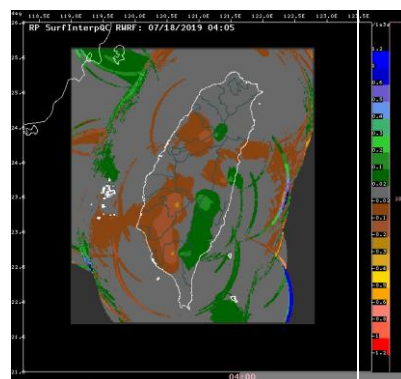
ANC 共有 11 項預報因子(圖 25，其中預報因子 9 與 10 相同)共同產製成對流生成之可能性預報，其中 6 項來自數值模式資料，3 項來自衛星資料，另 2 項來自數值模式資料與觀測資料結合而成。關於數值模式資料部分，採用 RWRF (解析度 2 公里，每小時更新一次)資料；衛星資料部分，導入日本向日葵 8 號(解析度 1~2 公里，每 10 分鐘更新一次)資料；觀測資料部分，包括地面觀測資料(人工觀測站與自動觀測站，每 10 分鐘更新一次)、高空觀測資料與雷達觀測資料等。



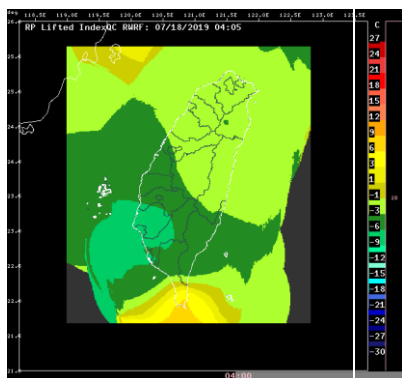
預報因子 1:CAPE



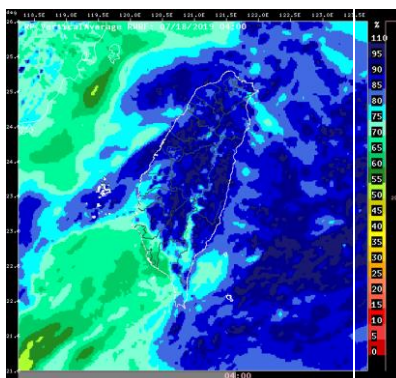
預報因子 2:CIN



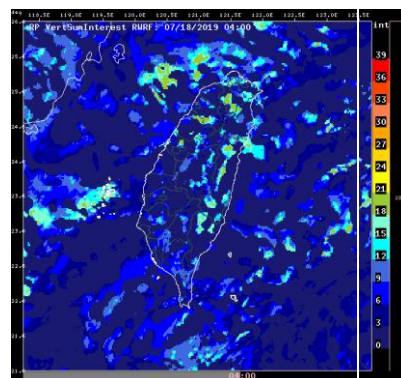
預報因子 3:地面輻合



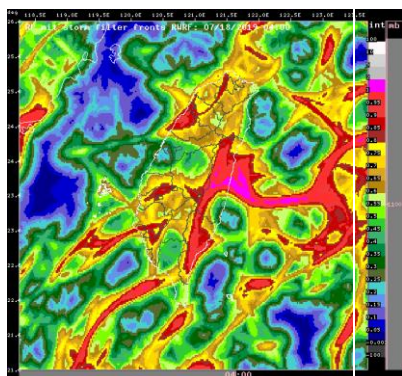
預報因子 4:LI



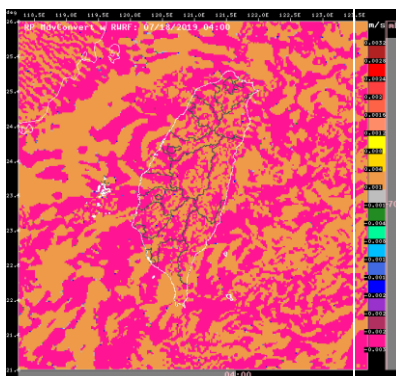
預報因子 5:RH



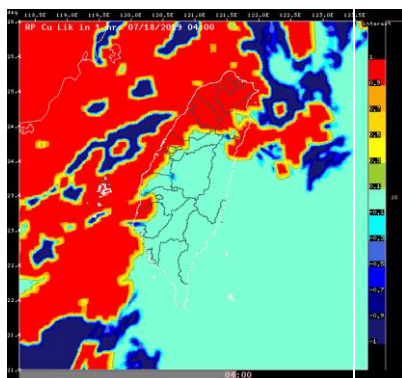
預報因子 6:VERTICAL



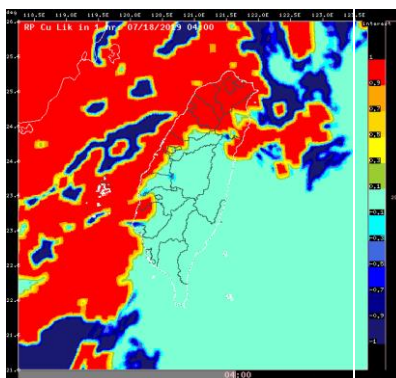
預報因子 7:FRONTS



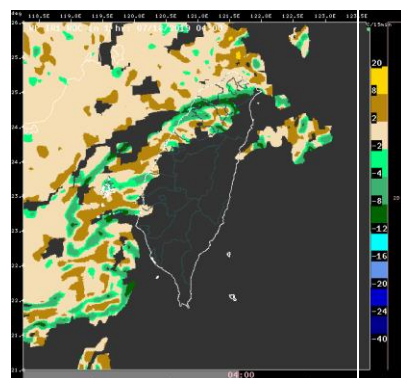
預報因子 8:W



預報因子 9: CLOUD



預報因子 10: CLOUD



預報因子 11:IR_ROC

圖 25: 2019 年 7 月 18 日 ANC mixed regime 預報因子

本年度已將 mixed regime 產品作業化，即可以自動化每 10 分鐘產製 0-1 小時對流系統生成與發展可能性(likelihood)之即時預報產品與校驗對比圖(如圖 26)。

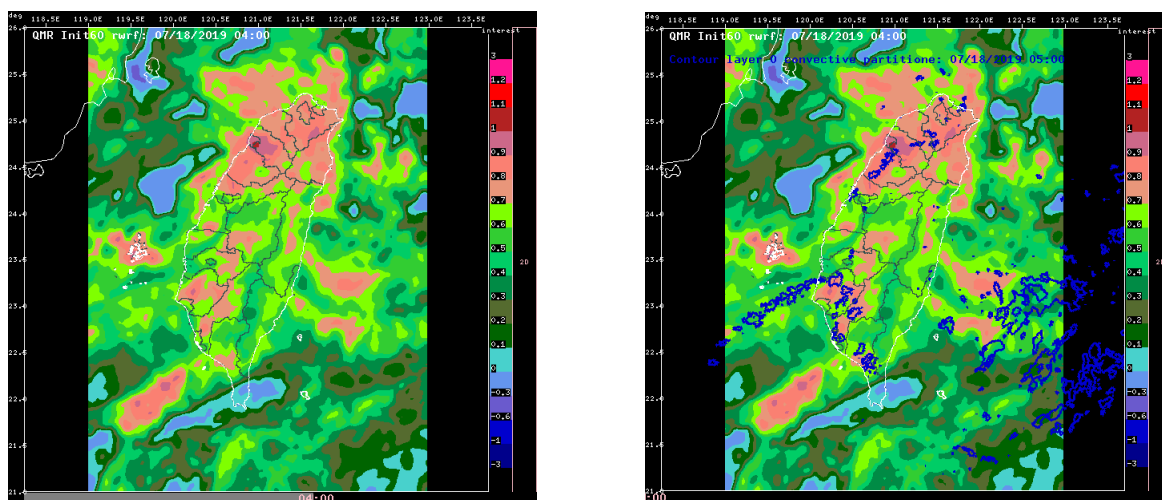


圖 26:(左) 2019 年 7 月 18 日 0-1 小時對流生成之可能性(likelihood)預報圖(右) likelihood 疊加 1 小時後雷達回波 30dbz(藍色輪廓線)對比圖。

在強化即時預報產品網頁方面，本年度新增午後對流機率預報、綜合天氣午後對流可能性預報、可能性預報趨勢及 2019 年 TANC 實驗等產品顯示(如圖 27 左邊紅色框列部分)。

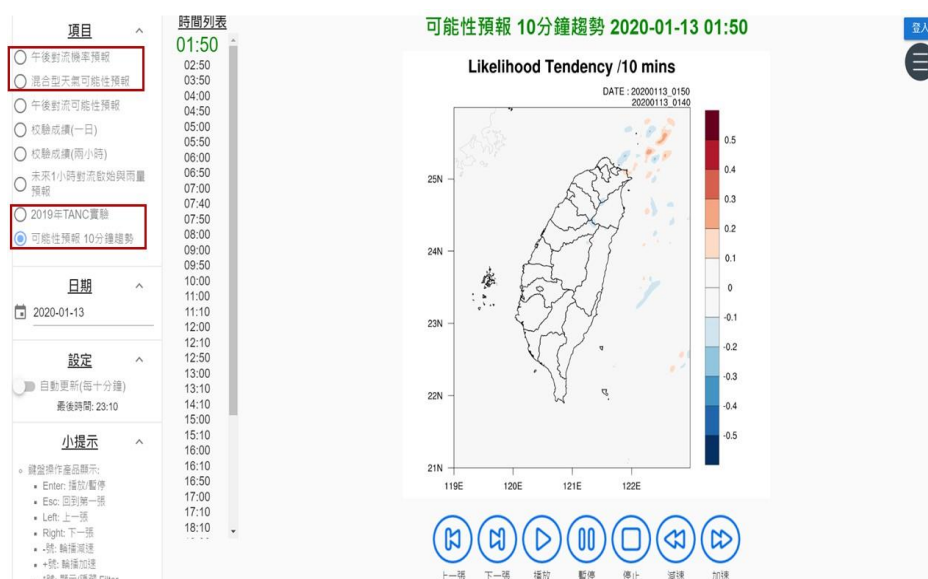


圖27: 即時預報產品網頁

在網頁管理部分，特針對不同使用者需求，進行權限設定之分類，與天氣現象分類之日期標示及顯示等功能進行強化。上述功能有助於網頁產品呈現及操作便利性，可提供技術發展人員更便利的診斷工具，與提供即時預報及校驗產品予預報作業參考。而這些被標註天氣現象的資料，也會自動進行備份，以利未來作為歷史個案分析之用。

4.5 強化衛星產品展示平臺

目前展示平臺採用最新資料儲存技術，可擴充大量資料儲存系統的最大儲存空間

至 50PB (現有容量約 5PB)，並強化資料存取效能與因應新世代衛星所劇加之高時間與高空間影像及數據資料儲存所需。本年度完成建置平臺主機與磁碟陣列的備援系統，維持展示平臺的穩定性與資料安全性，以提供 24 小時不間斷的服務。另，衛星產品整合顯示系統方面，也完成產品顯示網頁及系統管理介面等功能的強化，成果摘要如下：

4.5.1 產品顯示網頁

網頁功能強化項目，內容包含加入預報產品、網頁顯示畫面調整、放大功能強化及動態圖檔功能強化等，今年完成的工作包括：

(1) 顯示畫面升級

調整產品選單(圖 28)與圖片擺放位置，時間操作選單調整為滑鼠觸發移動式選單。

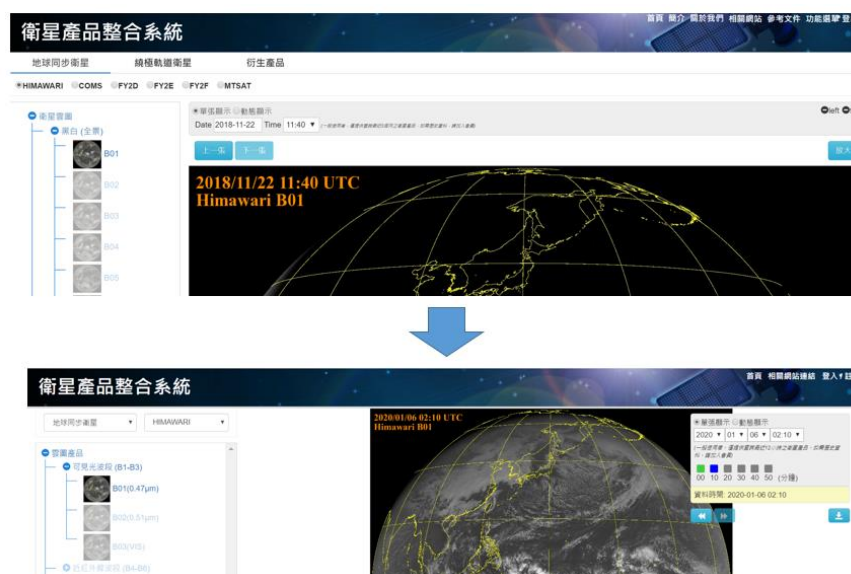


圖 28: 調整產品顯示畫面及時間操作選單。

(2) 動態圖片顯示功能強化

時間操作選單中加入時間間距開關按鈕。按鈕數值會依據該產品之產品時間間隔顯示(圖 29)。灰色代表產品不存在；藍色代表目前顯示產品的產品時間；綠色代表該類型之衛星產品存在資料庫之產品時間；紅色代表不顯示之時間間隔。於動態圖檔操作時，可以透過滑鼠點選進行開啟(綠色)或關閉(紅色)操作，若按鈕顏色紅色，動態圖片撥放時不顯示該時間間隔的图片。

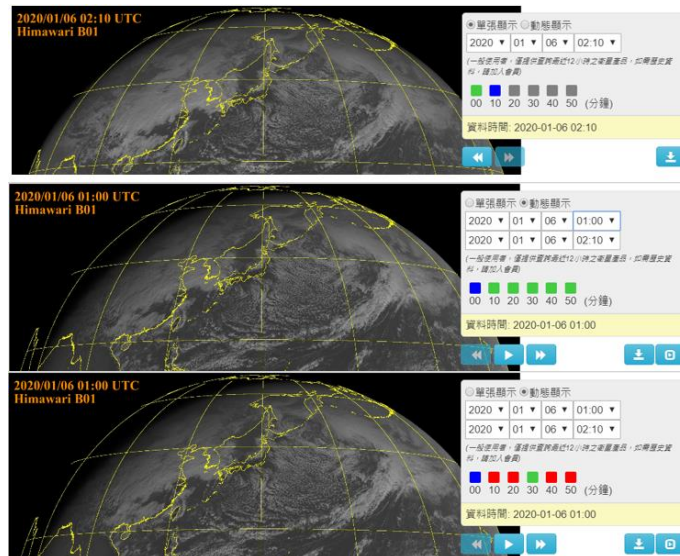


圖 29:強化動態圖片顯示功能

(3) 一般使用者查詢提供 zoom-in/zoom-out 功能(如圖 30)

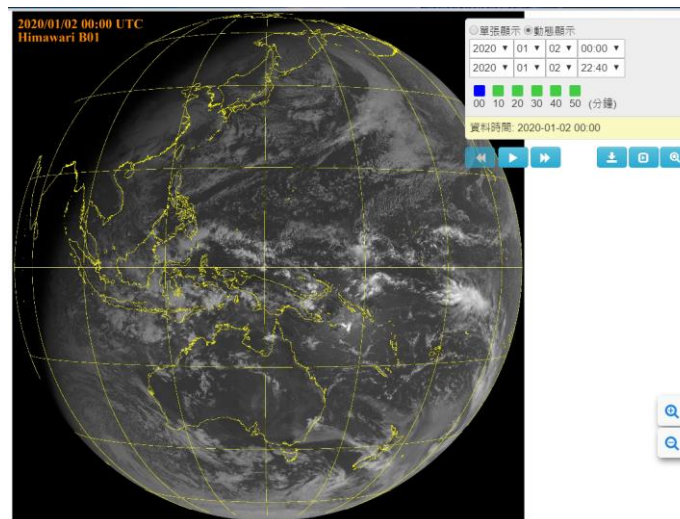


圖 30: 一般使用者查詢加入放大/縮小功能

(4) 新增衛星雲圖精選查詢功能

首頁中加入衛星雲圖精選查詢功能(圖 31)，首頁將顯示最新一筆衛星雲圖精選產品，可透過點選更多衛星雲圖精選按鈕查詢歷史資料。衛星雲圖精選歷史資料以年曆的方式呈現，內容包含真實色影像、日夜光頻道及同步氣象衛星雲圖 3 種分類，使用者可透過使用滑鼠點選進行分類篩選。點選產品後，將依照產品內容作不同方式的呈現

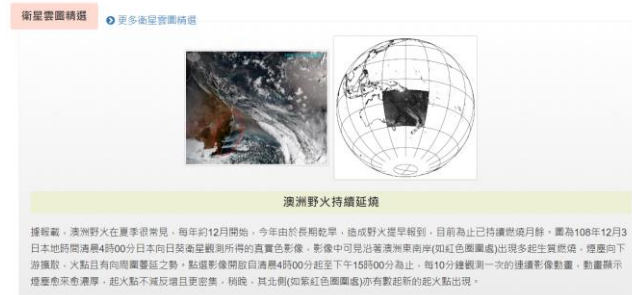


圖 31: 加入衛星雲圖精選查詢功能

(5) 會員放大功能強化(如圖 32)

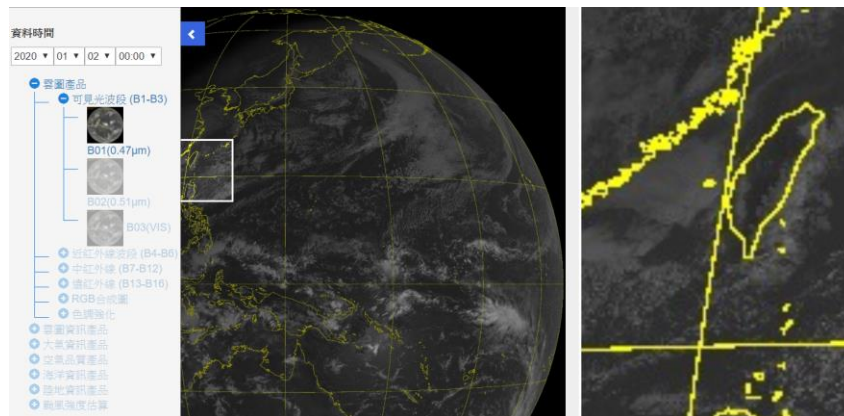


圖 32: 強化會員使用者放大功能。

(6) 上架產品

颱風強度估算產品(如圖 33)

加入 6 種產品供使用者查詢，內容包含即時動態、ADT 分析列表、颱風路徑圖、颱風強度估計圖、紅外線衛星雲圖及微波衛星雲圖。

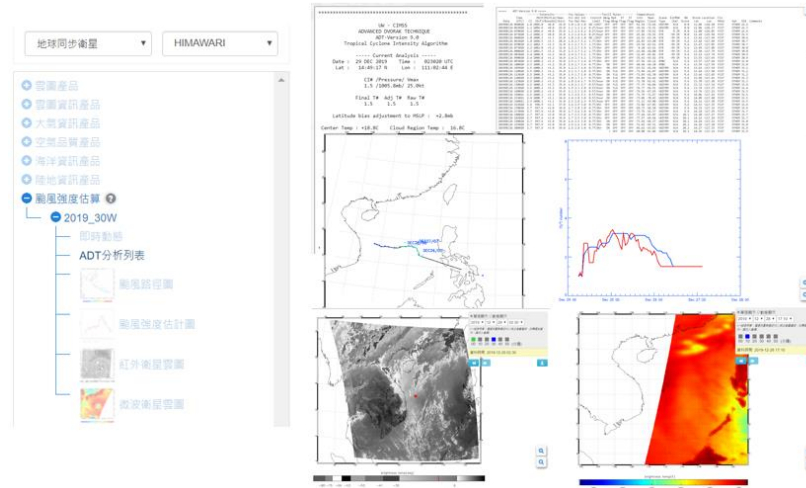


圖 33:上架颱風強度估計產品。

4.5.2 管理介面強化

(1) 設定衛星產品說明文件(如圖 34)

管理介面之產品變數頁籤，新增編輯產品說明文件欄位，可於後台上傳後，於管理介面進行設定。

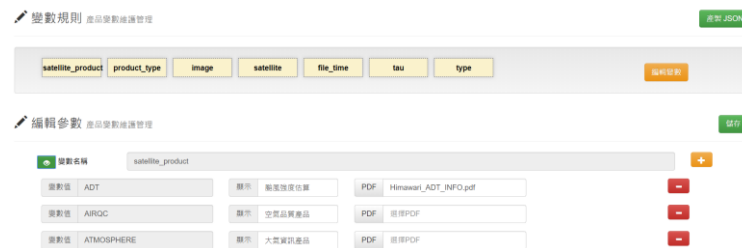


圖 34: 管理介面新增編輯產品說明文件。

(2) 調整圖片顯示比例(填滿螢幕高度/填滿螢幕寬度)

於管理介面之產品選單設定頁籤，中加入調整圖片顯示比例選單，以勾選的方式進行操作(如圖 35)。

於管理介面之產品選單設定頁籤，中加入調整圖片顯示比例選單，以勾選的方式進行操作。

產品選單



圖 35:管理介面新增調整圖片顯示比例選單。

(3) 設定網頁是否顯示小圖文字功能(如圖 36)

於管理介面之產品選單設定頁籤，中加入是否顯示圖片文字選單，以勾選的方式進行操作。

產品選單



圖 36:管理介面新增是否顯示圖片選單。

四、結論與建議

本計畫為四年計畫執行第三年，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. 吳宜昭、龔楚嫻、王安翔與于宜強，2016：臺灣地區短延時強降雨事件氣候特性分析。國家災害防救科技中心災害防救電子報，**132**，16頁。
2. 交通部中央氣象局氣象資訊中心軟體發展手冊(V2.1)。
3. Himawari-8/9 Himawari Standard Data User's Guide(V1.1), 2015, JMA.
4. Mecikalski, J. R., K. M. Bedka, 2006: Forecasting Convective Initiation by Monitoring the Evolution of Moving Cumulus in Daytime GOES Imagery. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 49–78.
5. Mecikalski, J. R., W. M. Mackenzie, M. König, and S. Muller, 2010: Use of Meteosat Second Generation Infrared Data in 0-1 hour Convective Initiation Nowcasting. Part 1. Infrared Fields. *J. Appl. Meteor. Climate.*, 49, 521-534.
6. Westra, S., L. V. Alexander, and F. W. Zwiers, 2013: Global Increasing Trends in Annual Maximum Daily Precipitation. *J. Climate*, **26**, 3904–3918.
7. S. Westra, H. J. Fowler, J. P. Evans, L. V. Alexander, P. Berg, F. Johnson, E. J. Kendon, G. Lenderink, and N. M. Roberts, 2014: Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, **52**, 522–555.
8. Wang, Y., J. Zhang, P. -L. Chang, C. Langston, B. Kaney, and L. Tang, 2016: Operational C-Band dual-polarization radar QPE for the subtropical complex terrain of Taiwan. *Advances in Meteorology*, **11**, 1–15.
9. Xin, L., G. Recuter, and B. Larochele, 1997: Reflectivity-rain rate relationship for convective rainshowers in Edmonton. *Atmos. Ocean*, **35**, 513–521.