

# 極端氣候情境下颱風災害預警技術研究

## The research of the typhoon early warning technology in the extreme climate scenario.

主管單位：國家災害防救科技中心

于宜強  
Yu, Yi-Chiang

朱容練  
Chu, Jung-Lien

林忠義  
Lin,

國家災害防救科技中心

### 摘要

在近年防災與應變的實務上發現，極端颱風災害事件的發生，常常造成相當大的社會衝擊，也導致政府遭受莫名的輿論壓力。分析其原因，主要是因為在全球暖化的極端氣候情境下，氣象災害不斷的打破歷史紀錄所導致。因此如何提升極端災害衝擊的評估能力，在災前做好風險溝通，降低民眾災害損失與傷害，才能減少政府輿論壓力。除了上述提及的 0823 熱帶低壓豪雨及 2017 年 0601 豪雨，在西南季風的環境下熱帶低壓與梅雨鋒面導致短延時強降雨是目前台灣水患相當大的威脅，以現行技術均無法準確針對時空進行災害預警，導致科技防災能力飽受質疑。本計畫將針對現行臺灣颱風災害預警技術進行評估，並進行先進技術盤點與引進，針對防災的熱區與易致災區進行災害預報能力的加強。目前有三個方向可以快速提升預警品質的方法，利用新建的降雨雷達網強化現行暴雨監測技術與產品開發，針對災害熱區與易致災區強化颱風災害的監測與風險判識；結合國內外優秀技術提升極端氣候情境下暴雨的預報能力；透過先進智能智慧方法強化大數據之運用，提升氣象預報與災害預警服務品質。

**關鍵詞：**颱風、洪水、降雨雷達，預警技術

## **Abstract**

In recent year, the occurrence of extreme disaster during typhoon often caused huge social impact and heavy pressure of public opinion. The main cause is that weather disaster continue to break the history recode during the global warming. In order to decrease the pressure of government on the public opinion, the government need enhance the capability of situation assessment and the communication for public to reduce the people's losses and injuries. Under the environment of southwest monsoon, the tropical depression and Mei-Yu induced the heavy rainfall in short-duration is larger threat for flooding disaster in Taiwan. None of the current technologies can accurately warning against disaster, causing the capabilities of the disaster prevention S&T to be questioned. The Taiwan current early warning technology of flooding disaster is evaluated in this plan. Also the advanced technologies of flooding early warning is make an inventory and conduct application. To be enhanced the flooding prediction capabilities at hot spots. There are currently three ways to quickly improve the quality of early warning, include 1) To strengthen monitoring and assessment for flooding using the new rainfall radar network. 2) To enhance the ability to forecast the heavy rainfall in extreme climate scenarios. To improve the weather forecast and disaster early warning services using the big data through advanced intelligent technologies.

**Keywords** : typhoon, flooding, rainfall radar, early warning technology.

## 一、前言

颱風組織更新與技術盤點之後，如何有效率提升颱風災害在極端氣候情境下的預警能力是現行首要工作。目前有三個方向可以快速提升預警品質的方法，1) 利用新建的降雨雷達網強化現行暴雨監測技術與產品開發，針對災害熱區與易致災區強化颱風災害的監測與風險判識；2) 結合國內外優秀技術提升極端氣候情境下暴雨的預報能力；3) 透過先進智慧方法強化大數據之運用，提升氣象預報與災害預警服務品質。本計畫分別以運用新建置防災降雨雷達強化短時間暴雨監測與預警能力；極端氣候情境下颱風災害模擬與預警技術開發；智慧化氣象大數據預警技術開發及提高防災氣象服務品質與介面開發等項目進行。

## 二、運用新建置防災降雨雷達強化短時間暴雨監測與預警能力

### 2.1 雷達技術資料介接與處理技術研發

台灣目前有10座作業式氣象雷達(圖1)，分屬於中央氣象局、民航局、空軍等單位，建構成台灣新一代的氣象雷達觀測網，可提供各式劇烈天氣系統(例如：颱風、鋒面、龍捲風及中尺度對流系統等)高時間、空間解析度之觀測。由於，這10座雷達分屬不同作業單位，雷達之波段、掃描策略及原始資料格式都有不同，將需要有效且穩定的進行資料處理(包含格式轉換與品質控制)。

LROSE(Lidar Radar Open Software Environment)為NCAR開發之雷達資料處理軟體。透過LRROE軟體，可因應我國雷達原始資料種類多元，而大幅提升資料格式及座標轉換之便利性與穩定性。本中心雷達資料處理與3維資料合成如圖2所示。經此流程，每10分鐘可獲得一筆整合全台10座雷達之3維雷達資料，水平解析度500米，範圍由東經118~123.5度；北緯20~27度，垂直解析度500米，範圍由海拔0.5~17公里。

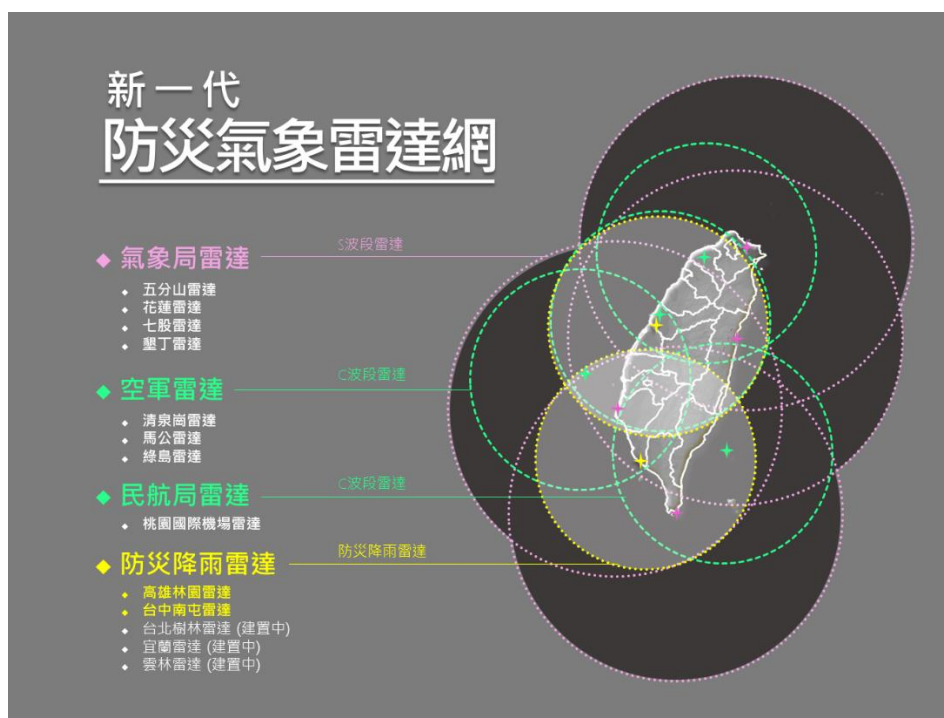


圖1. 台灣現階段作業用氣象雷達觀測範圍及其所屬單位與波段

## 調整後之雷達資料處理流程

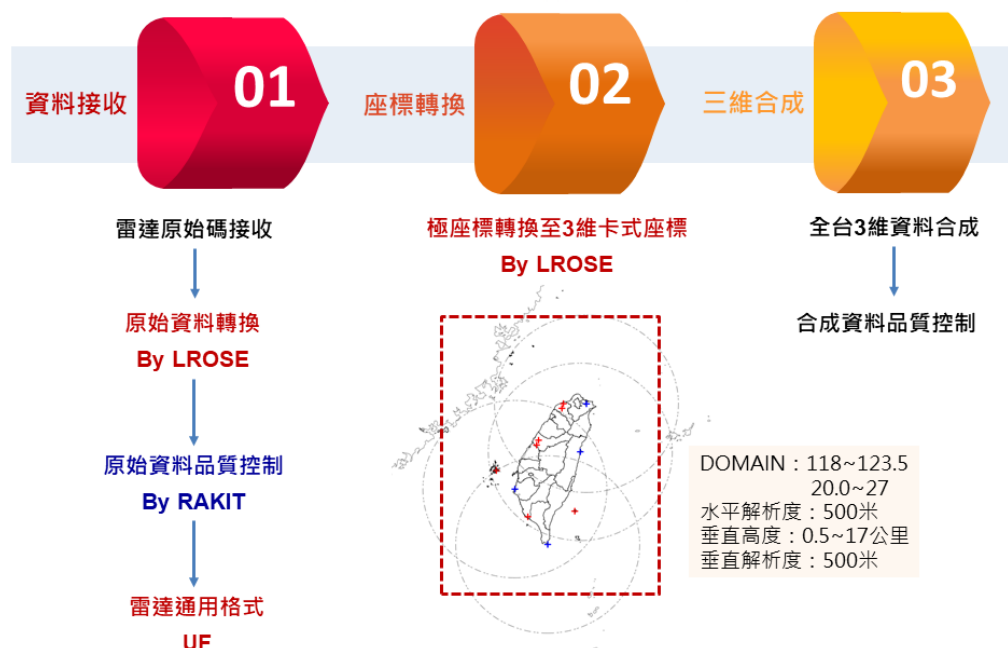


圖 2. 本組雷達資料處理與 3 維資料處理流程

### 2.2 WISSDOM 雷達三維風場反演技術落實與應用

去年本中心開始與中央大學廖宇慶老師合作，落實廖老師研究開發的多都卜勒雷達三維風場合成方法(WInd Synthesis System using DOppler Measurement, WISSDOM)，在台灣北部區域選定一塊示範區域利用三部雷達資料(五分山、桃園機場、中央大學)，即時反演出該區域的三維風場資訊。今年度為加強南部地區劇烈天氣系統之即時監測與預警效能，在台南高雄屏東等地區另外選定一塊示範區域，使用七股、馬公、墾丁以及最新建置完成的高雄林園雷達共四顆雷達資料，建置南部地區WISSDOM系統。選定區域範圍如圖3所示，圖中兩個方框分別代表北部及南部地區的示範區，區域大小為100公里×100公里，水平解析度為1公里，垂直解析度為500公尺，最大高度為10公里。

利用上述所興建的系統，針對4月19日南部颱風個案進行分析，結果如下圖4所示，圖中可清楚看出颱風系統從海上移入到台灣陸地的發展過程，一開始在海上呈現弓狀回波，同時可看到在回波帶上反演出來的風向也由西南風轉南風，呈現一個弧狀的風向轉換。

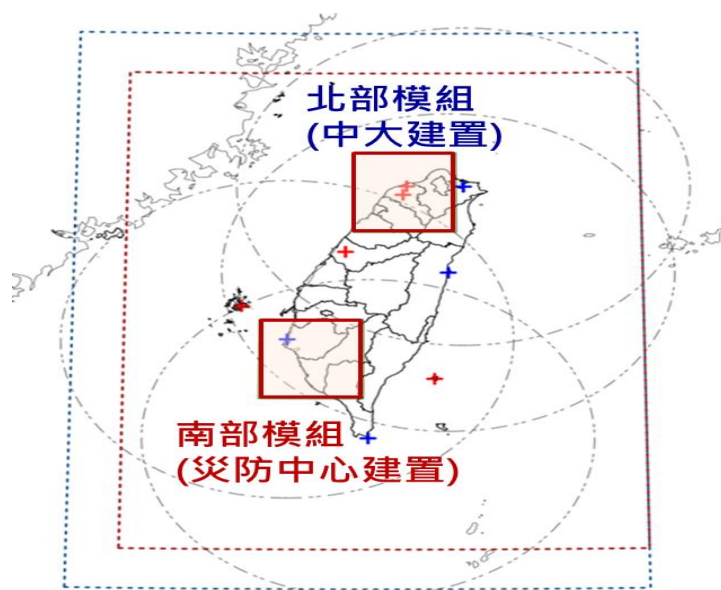


圖3. WISSDOM風場三維反演合成範圍示意圖

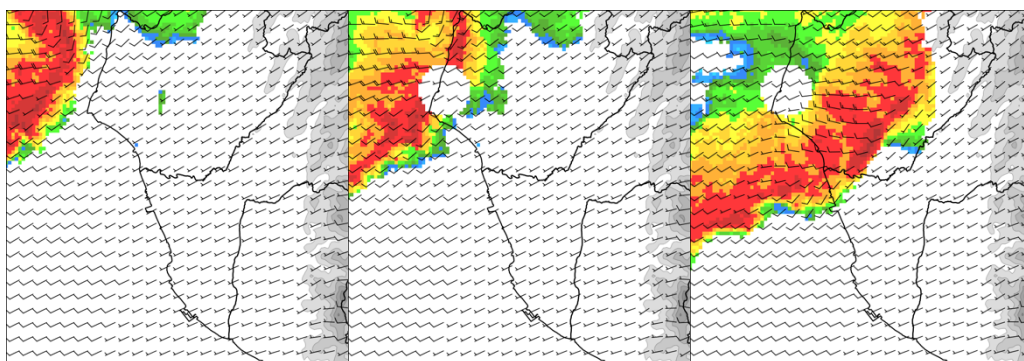


圖4. 2019年4月19日颶線個案WISSDOM風場反演結果，圖中可以清楚看見颶線結構與移動情形

### 2.3 強降雨監測技術開發

分析閃電資料發現，當劇烈降雨發生期間會有閃電躍升的現象。海上時期閃電多發生在降雨系統移動路徑的前方，當降雨系統移動或增強，閃電也隨著移動、數目變多，閃電數目增加的現象稱為「閃電躍升」，時間上會領先於地面劇烈降雨的發生。但當系統移動至陸地上時，閃電則發生在強回波區的後緣。利用這種特性，我們嘗試利用閃電與強回波研發短延時強降雨監測判識的方法。將回波與閃電資料的統計結果，應用在短延時強降雨預警作業上。選取10\*10公里的區域大小，計算閃電密度與平均回波值。以平均回波值40dBZ為門檻值，設定4個強降雨警戒指標(表1)，判斷結果如圖5所示。可見危險警戒區域和強降雨範圍頗為一致，表示此判斷方式是可行的，未來可以將進行自動化測試再依據校驗結果調整判斷的門檻值。



表 1：雷達/閃電 強降雨監測指標說明。

警戒程度	代表顏色	判斷條件
危險警戒	紫色	回波 $\geq 40\text{dBZ}$ 且閃電密度高
高度警戒	紅色	回波 $\geq 40\text{dBZ}$ 且閃電密度中
中度警戒	黃或橙色	回波 $\geq 40\text{dBZ}$ 且閃電密度低
低度警戒	綠色	回波 $\geq 40\text{dBZ}$

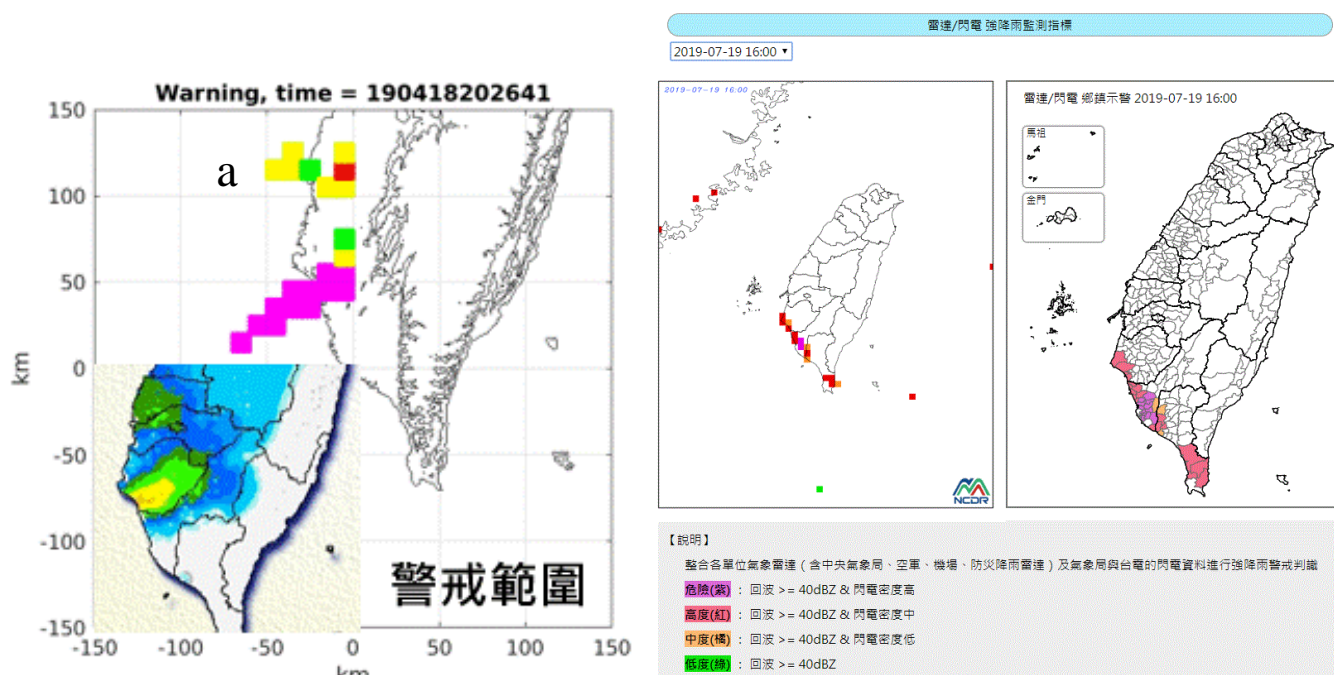


圖 5：(a)強降雨警戒判斷結果與強降雨區域的比較、(b)雷達/閃電 強降雨監測指標展示頁面。

#### 2.4 短延時強降雨預警系統建置規劃

本研究目的即在現有技術能力下，透過觀測及模式預報，建立一套短延時強降雨預警系統，希望能提前1~3小時的時間，提供未來可能發生短延時強降雨區域的預警。

首先針對現有短期觀測/預報技術進行盤點，如表2所示。

現有技術	時間解析度	空間解析度	特色
雷達資料同化預報	30分鐘更新，預報3小時	3公里	快速更新，大範圍，提前3小時預報
MAPLE 回波外延預報	10分鐘更新，預報3小時	1.3公里	快速更新，僅限回波觀測範圍，有效預報時間1小時
3D回波觀測	10分鐘	500公尺	高時間、空間解析度回波觀測
WISSDOM 風場反演	10分鐘	1公里	高解析度三維風場資訊
閃電觀測	~3公鐘	不規則	高解析度，可作為強對流生成的判斷參考
雨量觀測 (QPESUMS)	10分鐘	1.3公里	整合雷達和雨量站觀測，提供即時網格化降雨資訊

規劃選定的預警區域以全台鄉鎮為單位，為了達到這樣的目標，必須把上述觀測及預報結果內插至500公尺網格點上，再透過本中心已建立的500公尺網格與各鄉鎮位置對應表，逐一鄉鎮去判定是否會落在警戒範圍之中。

本研究預計以不同燈號的方式，來呈現短延時強降雨未來發生的強度和機率，燈號的設計說明如下：

黃燈：模式預報未來3小時後該區降雨會達到警戒值。

橘燈：模式預報未來1小時後該區降雨會達到警戒值，同時觀測回波及閃電資料顯示該區會有對流胞接近。

紅燈：該區實際觀測雨量已達到警戒值。

紫燈：模式預報及觀測資料皆顯示系統不斷持續增強中。

綠燈：模式預報及觀測資料皆顯示系統已逐漸消散。

透過以上的離形模式，本年度首先完成閃電資料和雷達回波觀測的整合系統，透過分析閃電資料和回波之間的關係，得知閃電觀測和強回波出現的位置有高度的吻合。因此利用這樣的統計結果，開發一套「雷達/閃電強降雨監測指標」，在台灣附近選取10公里乘10公里的網格，計算每個網格內的觀測閃電密度和平均回波值，再訂定一組強降雨警戒指標，將每個網格依該警戒指標區分為低度警戒、中度警戒、高度警戒以及危險警戒，最後將每個網格的警戒指標對應到與其對應的鄉鎮，即可得到鄉鎮等級的警戒燈號，未來將再利用WATCH測試平台進行作業測試。

### 三、極端氣候情境下颱風災害模擬與預警技術開發

#### 3.1 MPAS 全球模式作業化模組建置

全球暖化的極端氣候情境下，使用者對於不同尺度與類型的災害預警需求增加。MPAS全球模式即為強化長期預報的預警應用所引進的項目，Model for Prediction Across Scales (MPAS)高解析度全球模式由美國大氣科學中心(NCAR)發展，為非結構性的沃羅諾伊網格(Voronoi mesh)配置，能僅在特定區域提高解析度，且在網格解析

度改變時能平滑的轉換，減少因數值方法所產生的誤差，因此可以較少的計算資源，得到該區域詳細的預報結果。

模式全球網格解析度從60公里漸進至15公里，以北緯20度，東經140度為中心，15公里高解析度區域包含台灣及西北太平洋區域，雲物理模組使用WSM6參數法(Hong and Lim, 2006)，對流參數化方法使用New Tiedtke參數法(Zhang and Wang, 2016)，本系統(架構如圖6)作業化運作。

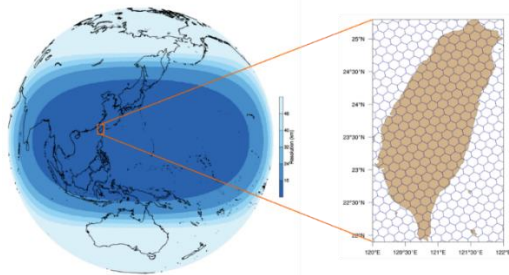


圖6.災防科技中心氣象組MPAS全球模式網格設定，網格中心為北緯20度，東經140度。

MPAS模式作業化模組建置完成後，亦將模式預報資料製作成不同的研判圖資，包含了未來15天內台灣地區每日降雨分布與全球及東亞地區不同氣壓層環流模擬結果；其中MPAS模擬之每日降雨分布圖已於本年度提供水利署作為雙週水資源評估之參考。同時，發展MPAS全球模式之颱風路徑追蹤方法，定位模式預報之颱風中心(圖7)，以掌握颱風未來可能的動向。

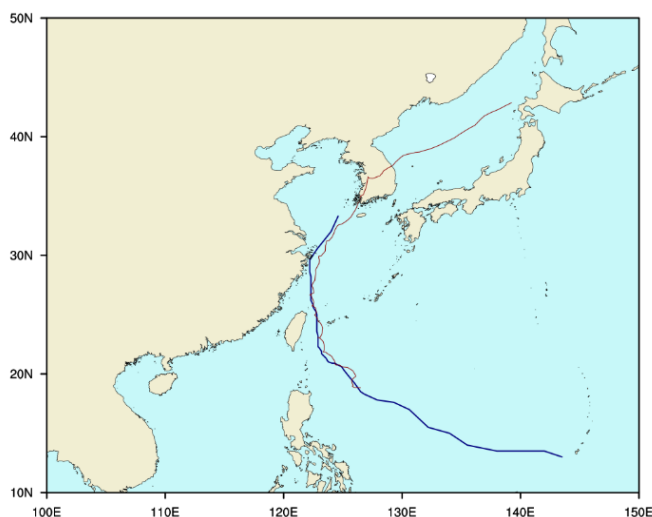


圖 7. 米塔颱風預報路徑圖之比較(紅色線為預報；藍色為觀測)。

### 3.2 雷達資料同化與預報作業化

透過雷達資料同化技術可將高解析度雷達觀測資訊加入模式中，並修正對流雨胞位置，可掌握較接近實際狀況的短時降雨預報。圖8為雷達資料同化前後與觀測回波比對，加入雷達觀測資訊後的回波初始場能更接近實際觀測。



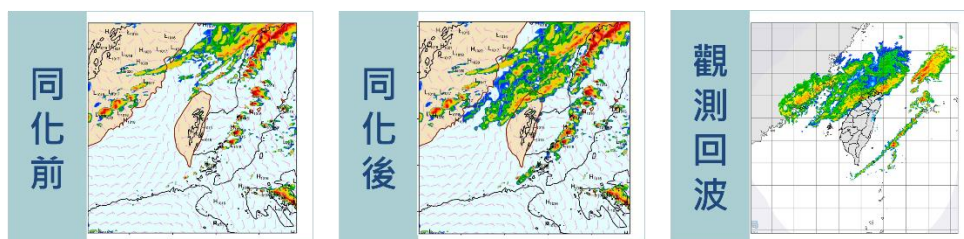


圖8.同化雷達回波前(左)、後(中)之模式分析場，右圖為觀測雷達回波

配合雷達高掃描頻率特性，透過WRF 3DVAR資料同化系統，同化雷達回波及徑向風觀測資料，水平解析度分別為15/3km，垂直層數有45層，進行高頻率模式預報（圖9）。針對短時預報策略，規劃每半小時進行三次間隔30分鐘之雷達觀測資料同化並更新預報一次，每次預報4小時並輸出每30分鐘之預報降雨與回波資訊，以提供短時預報的對流回波監測與短延時降雨估計(圖10)。



圖 9. 模式網格設計

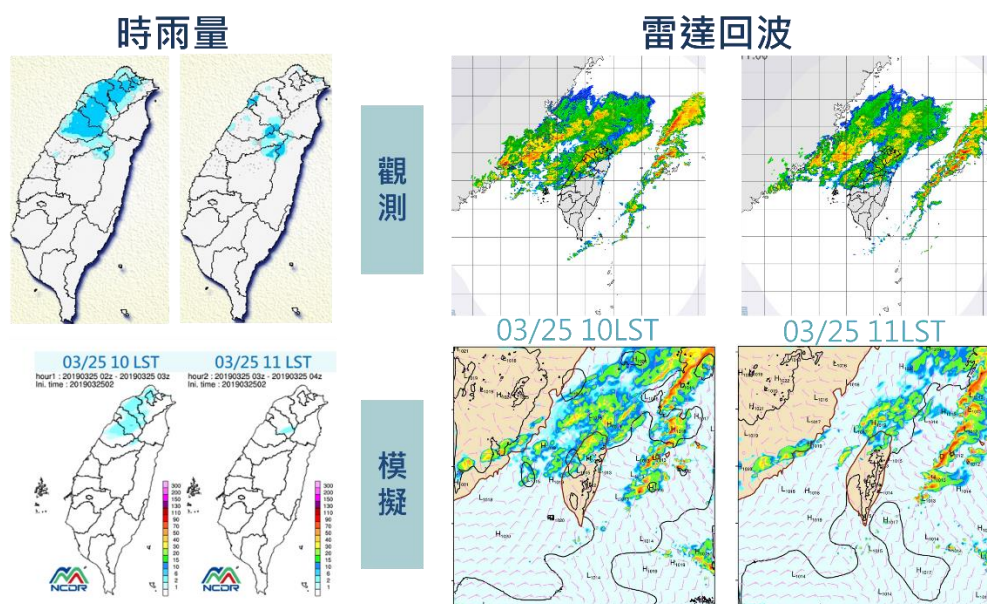


圖 10.雷達資料同化每半小時輸出之產品

### 3.2.1 模式雲微物理參數調整

2019年4月19日及21日台灣陸地之颱風系統的個案，此二降雨事件的原預報回波位置及強度、預報時雨量的極值都有掌握到，惟降雨分布範圍皆偏小且較破碎。因

此希望藉由模式中的雲微物理參數敏感度測試實驗，來找到修正此問題的方法。

在預報模式中調整雲微物理參數設定，無法改變低層輻合及水氣的位置，因此並不能修正強降雨的位置，但透過不同的雲微物理方法其各自的特性(如表3)，能模擬出不同的降雨特性，進而影響弱降雨區的分布範圍。

表 3 雲微物理參數列表

EXP.	mp_physics	特色
mp7 (原)	Goddard	3-ice · 全單矩量，模擬的雪易偏多而大雨滴易偏少
mp8	Thompson	3-ice · 部分雙矩量(雪、軟雹)
mp9	Milbrandt-Yau	4-ice · 全雙矩量，增加模擬一種冰相粒子易使雨滴偏少
mp10	Morrison	3-ice · 全雙矩量，弱降雨的空間連續性表現較佳

實驗結果如圖11，分別為各實驗組的時雨量圖及雷達回波圖。以4/19 0330LST個案來看，原本在中部地區的回波空隙較明顯，但mp10的模擬有弱回波填補，反應到時雨量的預報上，在彰化雲林一帶的弱雨量也較能模擬出來。本次實驗結果顯示，改用Morrison的雲微物理方法，能改善弱降雨區的分布範圍及連續性，修改上線版本的設定。

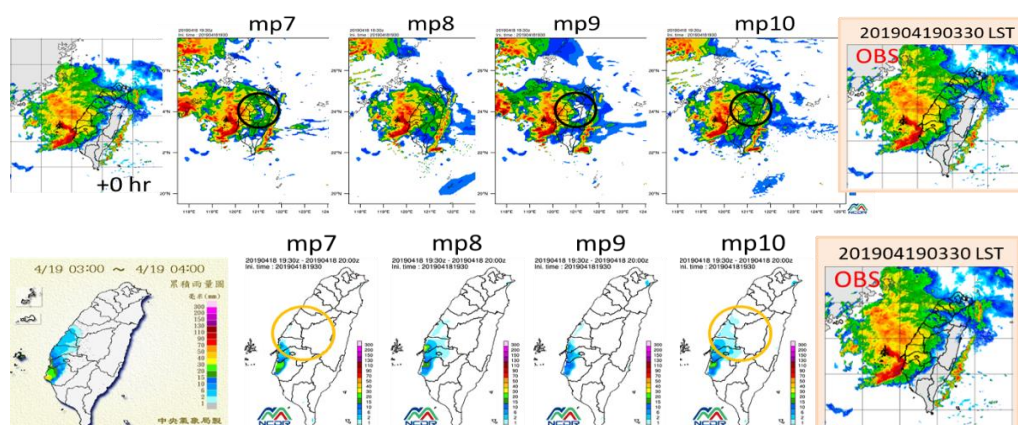


圖11. 2019年4月19日之觀測回波及模式預報回波如上圖，累積觀測雨量及模式預報累積雨量如下圖。

### 3.3 高解析模式測試

林園雷達於2017年9月12日開始啟動觀測，為首座防災降雨雷達，是一部C波段雙偏極化都卜勒氣象雷達，對於其所能提供高時空解析的觀測資料若能應用於水利防救災相關單位，預期能提升降雨預警之能力。依此於WRF V3.8.1下建立一高空間解析度之巢狀網格設計，其水平解析度分別為3公里、500公尺、250公尺，垂直層數為61層，最頂層為1000Pa，相關之物理參數法設定如圖12所示。

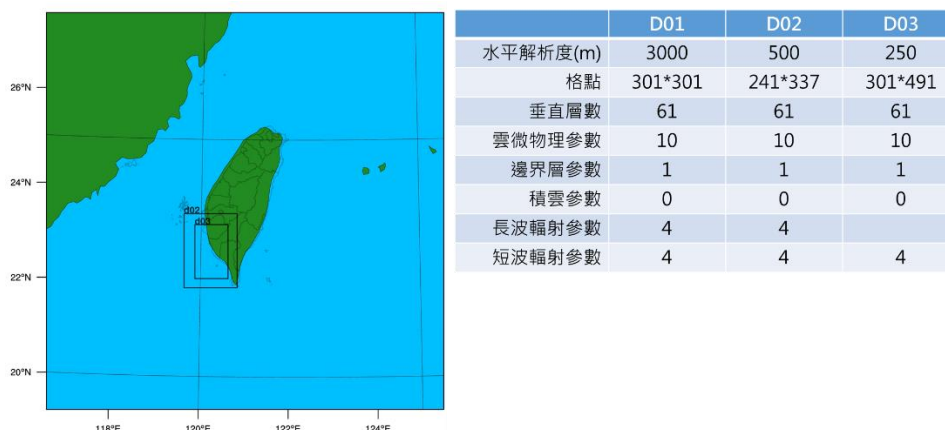


圖 12.高解析度網格設計

以此模式設計針對2019年07月19日07Z之降雨個案進行林園雷達資料同化及後續未來一小時之模擬。結果顯示，由於林園雷達每兩分鐘一筆之觀測資料其掃描高度較低，僅能得到較低層的資訊，同化後的模式初始場雖較原模式背景場接近雷達觀測，但其對流系統不易維持。未來除了以高時間頻率同化林園雷達觀測外，亦會考慮加入7.5分鐘一筆的整層觀測資料來進行相關測試。

### 3.4 颱風初始化模式移除地形模組更新與作業化

今年度颱風初始化模式更新工作，主要的原理是在於颱風初始化調整之前，先行移除地形地貌，皆更改為海洋。在洋面上將颱風強度調整至目標強度後，加回原始地形地貌再開始進行預報(圖13)。此設計可以減低颱風起始模擬位置受地形影響而造成颱風強度偏弱與位置偏差之缺點，並改善後續颱風強度與路徑預報。

颱風季前，颱風初始化模式的作業化系統已成功更新為移除地形版本，並更新為每6小時進行一次模擬。今年度影響共有4個影響台灣的颱風-丹娜絲、利奇馬、白鹿、米塔，自動化模擬時皆已更新為移除地形版本，亦針對颱風警報期間的預報路徑、雨量進行統計分析。移除地形版本在白鹿颱風個案發揮正面效益，在颱風中心結構與颱風強度皆能有效調整(圖14)，並影響後續預報路徑；另一米塔颱風則為颱風位於海面上個案，移除地形與否則對於預報結果較無影響。



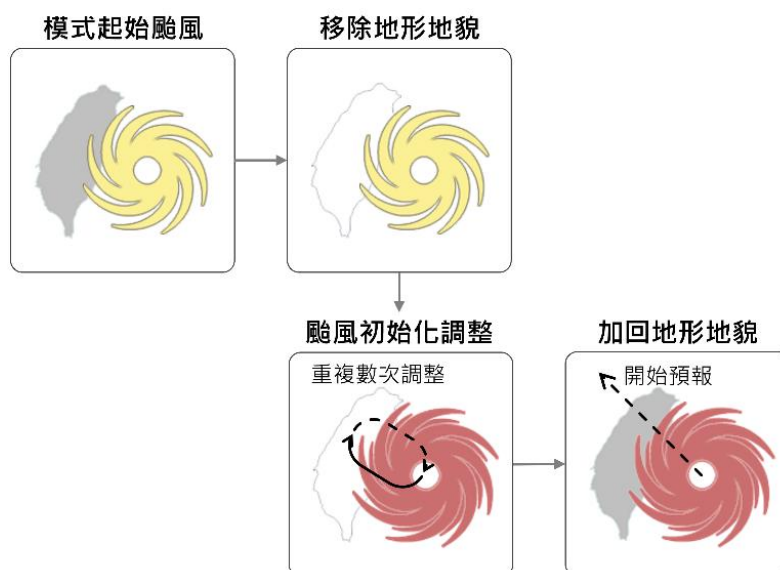


圖 13. 颱風初始化方法移除地形模組示意圖

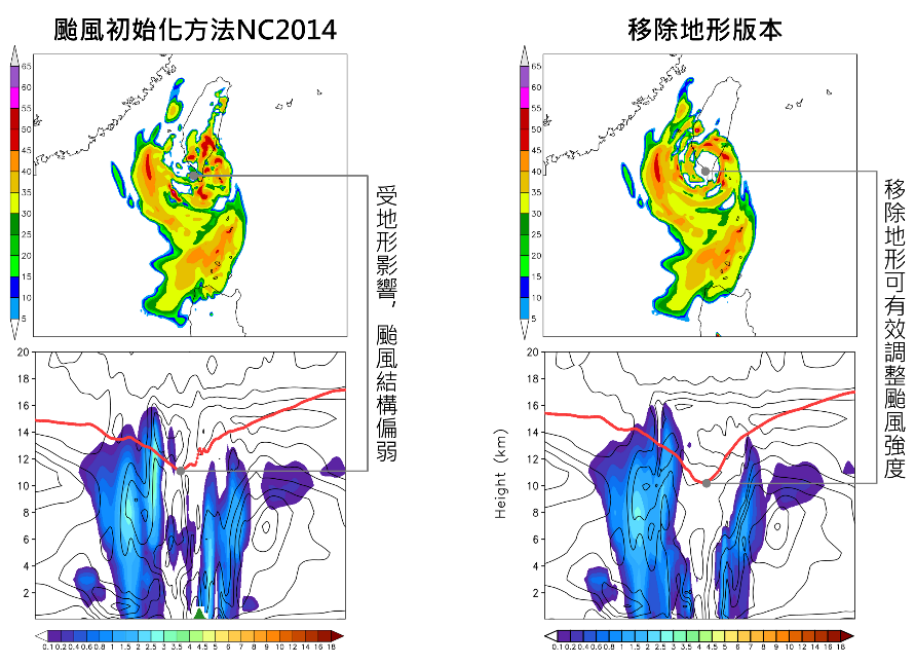


圖 14. 2019 年白鹿颱風以颱風初始化模式與移除地形版本進行實驗

#### 四、智慧化氣象大數據預警技術開發

本研究延續 Su et al., 2018 之 AI 技術研究方法，將此方法應用於宜蘭冬季降水之研究。本研究方法架構如圖 15 所示，利用全球氣候預報系統再分析資料 (Climate Forecast System Reanalysis, CFSR) 之各層氣象資料資料當做輸入值，再透過主成分分析方法將資料降維，輸入進機器學習模型，訓練後，得到訓練模型，並得到結果。



圖 15. 機器學習流程圖

本年度以宜蘭地區冬季降雨研究題目，進行AI模組建置與實驗。第一步驟，選取輸入資料之範圍，選取相對應之適合宜蘭冬季降雨之氣象因子範圍。第二步驟選取需要之氣象因子為輸入條件，根據陳和林(2000)研究宜蘭秋冬季降雨，容易受到大陸冷高壓、菲律賓低壓以及東北季風影響，故選擇Mslp、U1000、V1000、T925、RH925、H850、U850、V850、RH850、T850、RH700、H500，共12個變數。第三步驟將2維之氣象因子場量經過主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)降維，其目的除了做資料精簡外，亦能描述資料本身最大的變異量。第四步驟，AI技術之模型選擇，本研究選擇測試廣義線性模型(Generalized linear model, GLM)與支援向量機(Support Vector Machine, SVM)兩種方法。比較如何設計較適合宜蘭冬季降雨預測之方法。

#### 4.1 建置資料庫

為建立AI技術需要之變數，使用1989年至2017年，共30年，10月份至3月份之美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)之全球氣候預報系統再分析資料(Climat Forecast System Reanalysis, CFSR)與中央氣象局每日觀測資料。為測試步驟1不同範圍之CFSR資料，此資料庫蒐集並解析2種不同CFSR範圍，各12種各層變數(Mslp、U1000、V1000、T925、RH925、H850、U850、V850、RH850、T850、RH700、H500)，以供訓練使用。

#### 4.2 測試結果

本研究使用1989年至2017年，共30年之宜蘭降雨與全球氣象因子之資料庫進行訓練與測試，測試AI技術對於冬季宜蘭明顯降雨(10mm/day)之成效。本測試資料有無事件比為46:54(%)。

校驗方法使用交叉驗證(k-fold cross validation)，交叉驗證目的在為了避免依賴某一特定的訓練和測試資料產生偏差。將資料分為k組，使用不同的資料組合來驗證訓



練的模型，每次使用(k-1)組訓練，1組驗證，重複k次。本研究使用10組交叉驗證校驗(10 k-fold cross validation)。

校驗結果如圖16，其結果顯示，使用SVM模型均較GLM模型來得優，SVM結果正確率達到79%，有事件之命中率為43.5%，與原資料有事件比例46%，相當接近，失誤率8.8%，錯誤預報率12.2%。陽性預測值(Positive Predictive Value)為78%，陰性預測值(Negative Predictive Value)80.1%。

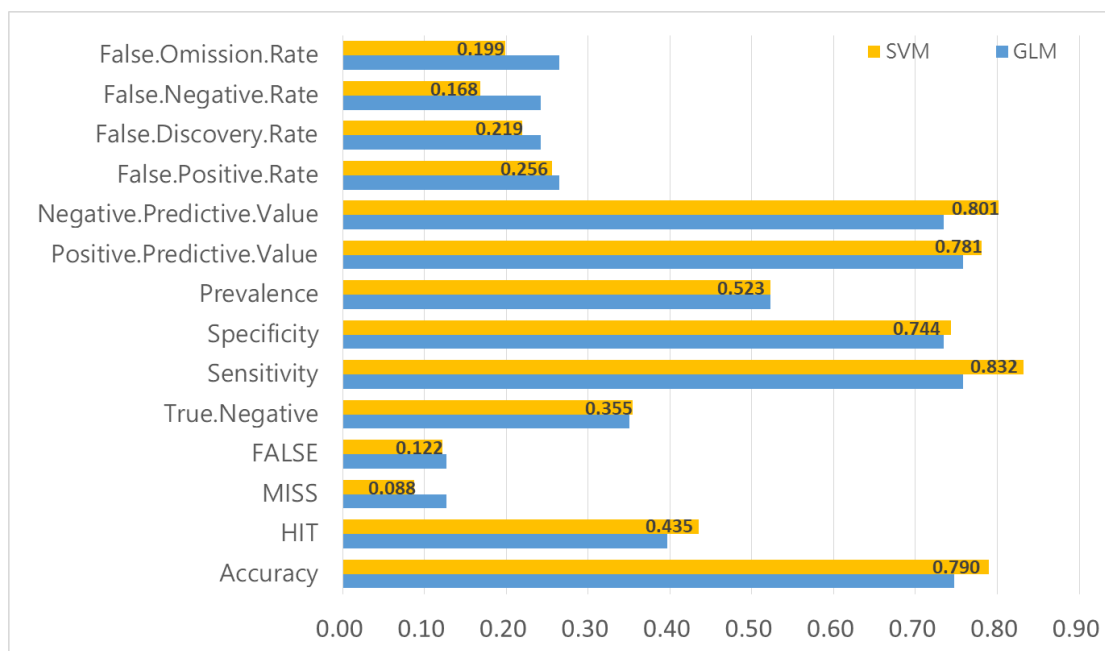


圖16.1989至2017冬季宜蘭降雨校驗結果

以AI技術落實並測試1989至2017冬季明顯降雨之結果，12個CFSR氣象因子，保留85%以上變異量進行SVM模型測試，有較好的結果，其結果顯示正確率近八成，陽性預測值為0.78。

#### 四、提高防災氣象服務品質與介面開發

##### 5.1 颱風個案 3D 視覺化分析與展示 (以 2018 瑪莉亞颱風為例)

使用美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 開發的軟體VAPOR，以颱風瑪莉亞 (2018) 為測試範例，將其WRF模式預報之主要參數做3D視覺化呈現。在3D分析圖中 (圖17)，可清楚看到颱風眼、螺旋雨帶、氣旋式風場等颱風特徵的三維結構，亦可快速了解風、雲、雨的分佈、高度、厚度、強度。

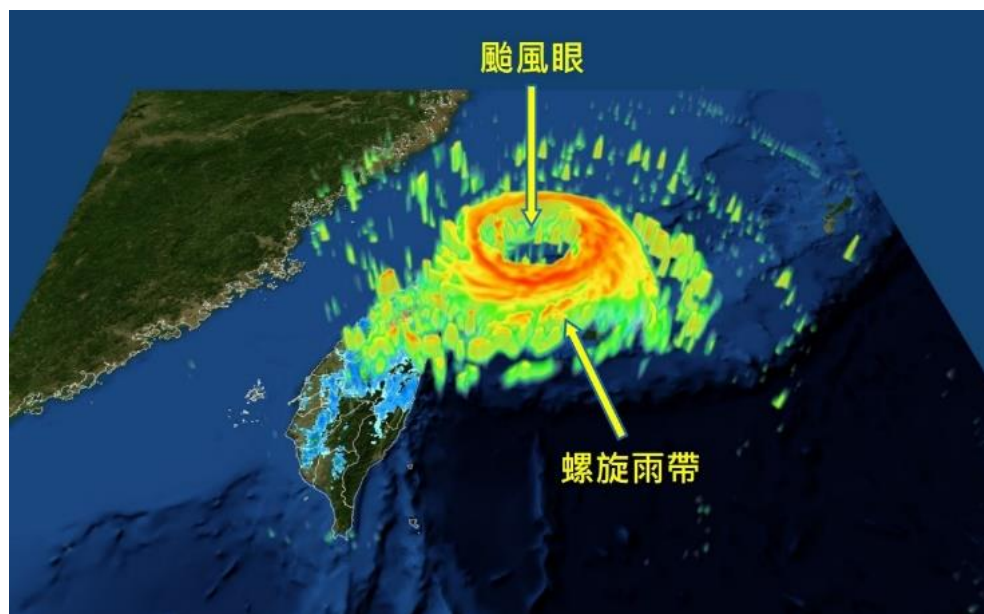


圖17. 2018瑪莉亞颱風3D分析圖，颱風眼、螺旋雨帶等特徵明顯。

## 5.2 雷達資料 3D 展示模組化

目前一般3D繪圖，包含美國NCAR的軟體VAPOR，僅能使用手動操作方式應用在個案分析上，無法在觀測後將資料馬上自動轉為3D圖。為加強防災效率，本中心利用WINDOWS批次語法等方式，建構自動繪圖模組圖，將雷達資料3D展示自動化。此雷達資料3D展示自動化模組（圖18）包含資料模組、視覺化模組、服務模組三大項。可選擇輸入災防中心合成的高解析雷達資料或是中央氣象局的QPESUMS雷達資料，亦可選擇繪製歷史個案或是最新資料。

## 5.3 颱洪應變期間雷達資料 3D 展示應用

為加強防災意識，如何將防災資訊轉化為更直覺、更能理解的方式是一項重要課題，今年汛期嘗試將雷達3D圖應用在颱風等強降雨個案。雖然颱風大多生成於臺灣東南方，然而路徑、強度不一樣，適合的視角、色階和透明度也不盡相同。為提高應變時期使用效率，採用預畫選單的方式，開發颱洪應變3D展示模組，在今年米塔颱風、利奇馬颱風和白鹿颱風侵臺期間，已開始提供應變使用（19）。

### NCDR雷達資料3D展示自動化模組

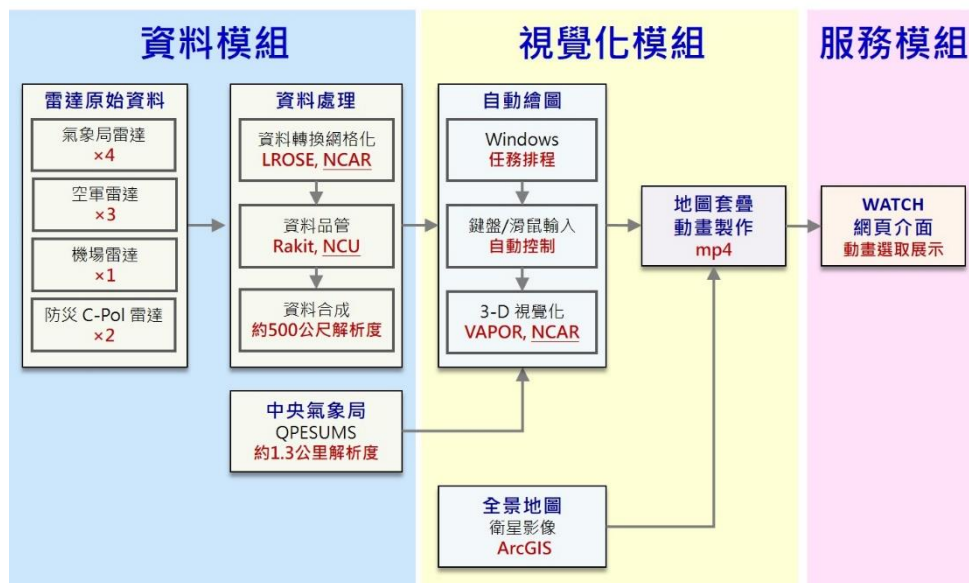


圖 18. 災防中心雷達資料 3D 展示自動化模組。

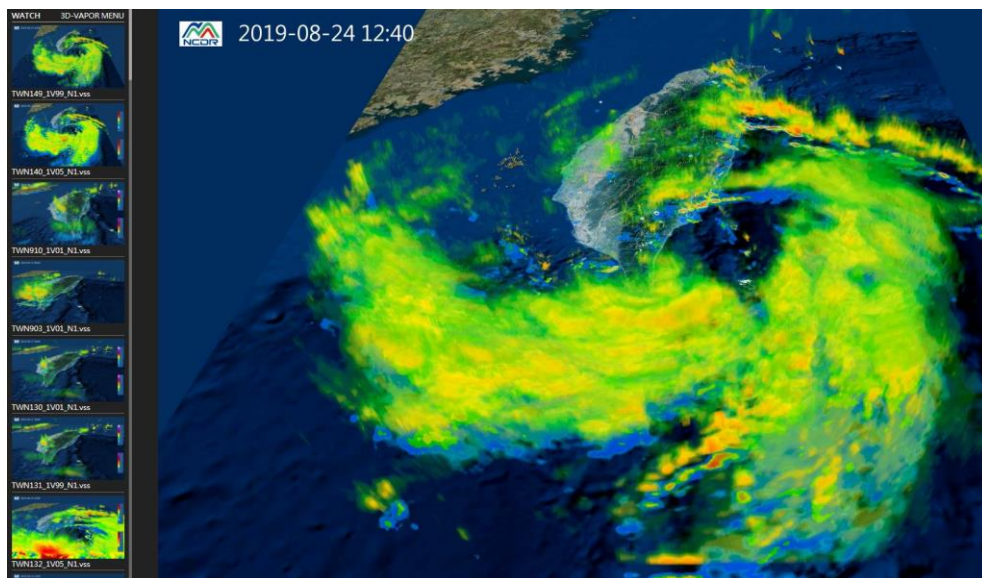


圖 19. 建立模組化介面