

氣象資料三維視覺化在防災的應用

吳佳純 林欣弘 王璿璋 林冠伶 李宗融 林忠義 廖信豪 朱容練 王安翔 黃紹欽 于宜強
國家災害防救科技中心

摘要

隨著三維（以下簡稱3D）影像軟硬體技術發展，近年來已能使用個人電腦將氣象資料進行3D繪圖，呈現天氣系統真實三度空間樣貌。然而不同以往採用剖面或投影方式繪製的二維平面層場圖、雷達圖，3D展示多了視角、透明度、立體層次、動態效果等考量，需依照天氣系統和資料特性進行視覺化開發與設計，因此國內使用3D繪圖的氣象相關研發和作業化系統非常少。本研發以災害天氣的三度空間結構與特徵為視覺化開發目標，使用多元的時空尺度和氣象參數開發3D視覺化展示產品，例如雷達觀測、WRF模式預報、雨量站歷線、全臺風場反演分析WISSDOM等資料，並且結合異質資料，設計多層次動態效果。除了白鹿颱風（2019）等強降兩個案結構分析，同時亦發展自動繪圖和地圖套疊等技術，完成每10分鐘自動化繪製含地形、地貌的雷達3D圖，提供線上觀看和下載，即時掌握最新動態。本研發也進一步將3D繪圖應用於科普知識轉譯，以科學資料為基礎加上視覺引導，繪製宜蘭冬季降雨等天氣概念示意圖，應用於「臺灣極端氣候與天氣事件回顧與分析」專書等推廣品，以提高民眾的自主防災意識。隨著5G/6G時代來臨，3D展示、擴增實境（AR）、虛擬實境（VR）、混合實境（MR）等視覺化技術在未來幾年的進展將會非常快速，以全新的視覺化產品來輔助防災決策以及科普推廣，將會是未來防災工作的重點之一。

關鍵字：三維3D視覺化、災害天氣、資料分析

一、前言

如何描述看不見的大氣狀態與難以捉摸的天氣發展，是氣象學家一直努力進行的工作。19世紀中葉，隨著電報機的發明與格林威治標準時間的建立，氣象學家開始手繪地面觀測天氣圖。20世紀進入大型電腦與網路時代後，數值模式層場分析圖和預報圖已經能由電腦自動定時分析繪製（圖1）。無論是最早的手繪地面觀測天氣圖或是電腦繪製的數值模式分析預報圖，都是以二維平面層場圖或剖面圖的方式展現，因此展現方式以等值線和色階為主。為了避免資訊混淆，辨別不易，二維的展示方式只能有單一層場的一或二個變數的資訊，缺少隨著高度的變化。然而氣流、天氣系統都是存在於三度空間中，如果能以三維（以下簡稱3D）的方式展示，應該能展現更貼近真實的立體空間分布；近年來，隨著3D影像軟硬體技術發展，氣象學家開始思考並嘗試使用3D影像來展示天氣系統。目前以氣象研究為主的3D繪圖軟體有VAPOR（The Visualization and Analysis Platform for Ocean, Atmosphere, and Solar Researchers）、NCL（The NCAR Command Language）、IDV（The Integrated Data Viewer）、MATLAB（MATrix LABoratory）、DioVISTA/Storm等。其中MATLAB、

DioVISTA/Storm所需成本較高，約數十萬元；NCL需熟習其程式語言，且受限於程式庫；IDV與VAPOR同屬視窗介面，但IDV的色階和透明度調整自由度較低。在考量成本、呈現方式、使用難易度後，本研發選擇美國國家大氣研究中心（National Center for Atmospheric Research, NCAR）研發的軟體VAPOR作為3D氣象繪圖的主要工具。

二、方法與資料

本研發中採用的3D繪圖主要軟體VAPOR，開發目的就是為了提升地球科學相關領域的分析和展示能力，設定地球科學的相關研究人員為主要使用者，希望將帶有地理相關資訊的大量專業數據進行視覺化分析（Li et. al, 2019）。相較於其他氣象研究使用的3D繪圖軟體，VAPOR在色彩的呈現上更容易自行調整解析度、色階，並能給予立體渲染色階多重透明度。這個繪圖軟體的另一個特點是可以使用內建Python，將現有變數運算出使用者自行定義的新變數，無須回到外部程式運算，一般非科學類3D繪圖軟體並沒有這項功能。

在我們使用的VAPOR 2.6.0版本中，主要互動式工具視窗（圖2），包含4項展示設定和8項繪圖功能：

- (1) 展示設定：Animation 製作動畫、View 視角控制、Region DVR繪圖範圍、Image(底圖)。
- (2) 繪圖功能：DVR三維立體渲染、Iso三維立體等值面、Probe三維變數的剖面圖、2D二維變數的等值圖(色階)、Contours二維等值線(曲線)、Barbs 向量、Flow氣流線、Model 3D模型。

在資料部分，VAPOR內建支援WRF-ARW、MOM4、CAM、MPAS等模式資料，使用者亦可自行將氣象雷達觀測等資料轉為專用的VAPOR Data Collection (VDC)格式。本研發目前已經使用過的資料有全臺雷達觀測資料、WRF模式預報資料、美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)的The Global Forecast System (GFS)全球資料、美國國家環境預報中心(NCEP)的Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)全球資料、全臺風場反演分析WISSDOM資料等。其中全臺雷達觀測資料有中央氣象局網格化的QPESUMS資料(水平解析度約為1公里)和國家災害防救科技中心整合的高解析雷達資料(水平解析度約為0.5公里)兩種。雷達資料和WISSDOM資料的特性是高時空解析度，也就是更新快速每10分鐘一筆、解析度小於1公里，適合中尺度現象分析。WRF模式預報資料包含固定範圍的系集雨量成員和不固定範圍的颱風初始化模式資料，適合颱風、梅雨等天氣系統分析。GFS、CFSR全球資料，則是適合副高、季風、鋒面等大環境綜觀分析。

除了3D繪圖軟體VAPOR，本研發依防災需求，為達到最佳視覺化效果，亦使用網頁程式語言及影像軟體進行後製，並結合雨量歷線等複合異質資料，設計多層次動態效果。以下將分別介紹雷達資料3D展示自動化系統、強降兩個案分析應用、科普知識推廣三個主題。

三、雷達資料3D展示自動化系統

為提供更多防災參考資訊，國家災害防救科技中心在2019年建置雷達資料3D展示自動化系統。此雷達資料3D展示，套疊衛星照片為底圖，具地形地貌，在2019年已經應用於白鹿颱風中央災害應變中心第5次、第6次情資研判會議暨工作會報中(圖3)。從圖3可看到白鹿颱風的颱風眼靠近臺東海岸，主要雨區集中於颱風南邊，影響臺東縣、屏東縣，而在花蓮縣有強降雨帶移入。這個展示系統由雷達資料模組、視覺化模組、服務模組三者組成，需要跨主機、跨系統進行大量資料交換，並且自動啟動。目前此系統每10分鐘自動繪製最新的全臺雷達3D圖，並上傳至國家災害防救科技中心的天氣與氣候監測網(WATCH)提供線上動畫觀看。

四、強降兩個案分析應用

2020年5月19-24日一道典型的梅雨鋒面影響臺灣地區，臺灣西半部苗栗以南有77個鄉鎮區共發生296處積淹水災情(陳淡容等，2020)。期間5月22日因西南氣流增強，降雨最多，造成南部沿海低窪地區多處淹水，高屏地區達到大豪雨等級，屏東縣三地門鄉時雨量超過100毫米。本研發以此個案為範例，針對綜觀分析、雷達回波與風場分析、雷達回波與測站雨量分析三種防災需求，開發有別於以往的3D視覺化展示方式，分述如下。

1. 綜觀分析

在天氣分析上，談到西南氣流的影響，常常會展示的是850hPa水氣通量(圖1)，這張圖提供了很多風場和水氣場的細節，但是如果不是具有氣象專業的使用者，不容易馬上接受到西南氣流的訊息。因此，我們利用3D繪圖的技術製作圖4，將GFS資料中雲水的相關參數轉化為3D立體雲圖，水氣通量分佈資料則為稍微鮮豔的彩色半透明層，底圖採用藍綠色系的東亞衛星地圖，可明顯區分海陸、國家位置。為了加強說明臺灣受到梅雨鋒面以及西南氣流的影響，另外後置加上相關示意符號和文字，讓使用者看圖就能理解鋒面和西南氣流造成強降雨影響臺灣。

2. 雷達回波與風場分析

目前作業化最常使用的雷達回波圖是取當地垂直方向最強回波合成二維水平圖(圖5)，每個回波值可能來自不同高度。因此雷達回波圖中的回波強度並不能告訴我們雲的高度、厚度和風場，若能進一步掌握這些資訊，將有助於判斷對流系統的消長和移動。一般雷達觀測只提供遠離、靠近雷達的徑向風速，而國家災害防救科技中心2020年完成作業化的全臺風場反演分析WISSDOM系統，能提供我們網格化的全臺風場資訊，不再限於徑向風速或是雙卜勒雷達共同觀測區。為了解5月22日下午高屏地區的降雨結構，整合WISSDOM風場資料與高解析雷達三維資料繪製圖6，從圖6可以看到水平合成圖的線狀回波結構其實是由不同發展高度的對流胞緊密連結而成，受地形影響，在前緣靠近山脈處有很強的上升氣流，有助於對流發展。

3. 雷達回波與測站雨量分析

雷達回波圖(圖5)能協助使用者了解強降雨的水平分佈，但是強回波區不等於強降雨區，而且單一時間雷達圖並無法提供累積雨量的資訊。為了提供防災決策更多雨量資訊，本研發結合雷達回波、雨量分佈、全臺測站降雨歷線等異質性資料，製作具有三度空間感和多層次動態效果的互動式操作系統，將平面的雷達回波圖和降雨分佈圖分成上下二層，並可選擇層場和想要顯示的雨量站歷線(圖7)，本系統目前已經自動作業化。

五、科普知識推廣

將科學數據資料轉化為一般民眾能了解且學習的科普資訊，能提高民眾的自主防災意識，增加對防災體系的支持與配合。本研發以2019年的宜蘭超大豪雨事件為例，進行科普產品開發，並應用於「2019臺灣極端氣候與天氣事件回顧與分析」專書。

宜蘭縣由雪山山脈、中央山脈環繞，為畚箕狀地形，因此東北季風是造成宜蘭地區豪雨的主要天氣型態，佔47%，2019年10月31日的超大豪雨事件即屬於強東北季風類型（黃紹欽等，2020）。當東北季風較強，東北風可達宜蘭縣南側山區，氣流受地形舉升產生凝結降雨，累積雨量最大值常出現在南澳鄉。

若是使用等高線加上雷達回波的二維平面圖，民眾不容易理解地形和降雨區域的關係；本研發使用國家災害防救科技中心整合的高解析雷達三維網格資料，採用面向宜蘭縣的角度，加上立體地形效果，設計3D視覺化科普產品（圖8），民眾從圖8可以很快理解宜蘭縣三面環山的獨特地形，以及迎風面地形舉升造成強降雨發生在迎風面的概念。

六、總結

氣象觀測與預報資料幾乎時時刻刻不停地產出，是一門擁有龐大資料量的應用科學，本研發目標為從中提取出防災需要的資訊，並且加以3D視覺化，應用在防災工作上。目前已使用了多元的時空尺度和氣象參數，加上多層次動態等視覺效果，進行強降雨個案結構分析，同時也完成每10分鐘自動化繪製含地形、地貌的雷達3D圖，提供線上觀看和下載，即時掌握最新動態。更進一步以科學資料為基礎，加上

視覺引導，將3D繪圖應用於科普知識轉譯，繪製宜蘭冬季強降雨等災害天氣概念示意圖。

3D繪圖比2D多了視角、透明度、立體層次、動態效果等考量，必須依照天氣系統和資料特性進行視覺化開發與設計，並不能如同水平層場圖或剖面圖，不同季節、天氣系統都使用單一標準設計格式。而視覺化產品開發設計的方向，要從使用者的需求和體驗為出發點，這與科學研究繪圖著重於細節、理論分析有些不同。因此，數位資料的視覺化與科學知識的轉譯應該進一步講求「信」、「達」、「雅」，「信」以科學資料為製作依據、「達」傳達的概念主軸須明確易懂、「雅」影像產品要美觀且具視覺效果，是一項非常具有挑戰性的工作。隨著電腦軟硬體的迅速發展，加上5G/6G時代來臨，3D展示、擴增實境（AR）、虛擬實境（VR）、混合實境（MR）在未來幾年的進展將會非常快速，以全新的視覺化產品來輔助防災決策以及科普推廣，將會是未來防災工作的重點之一。

參考文獻

Li, Shaomeng; Jaroszynski, Stanislaw; Pearse, Scott; Orf, Leigh; Clyne, John. 2019. "VAPOR: A Visualization Package Tailored to Analyze Simulation Data in Earth System Science." *Atmosphere* **10**, no. 9: 488.

陳淡容、廖信豪、吳宜昭與于宜強，2020：2020年5月19-24日梅雨鋒面豪雨事件氣象分析。《國家災害防救科技中心災害防救電子報》，180

黃紹欽、黃柏誠、王安翔、吳宜昭與于宜強，2020：2019臺灣極端氣候與天氣事件回顧與分析。《國家災害防救科技中心技術報告》，NCDR 109-X03

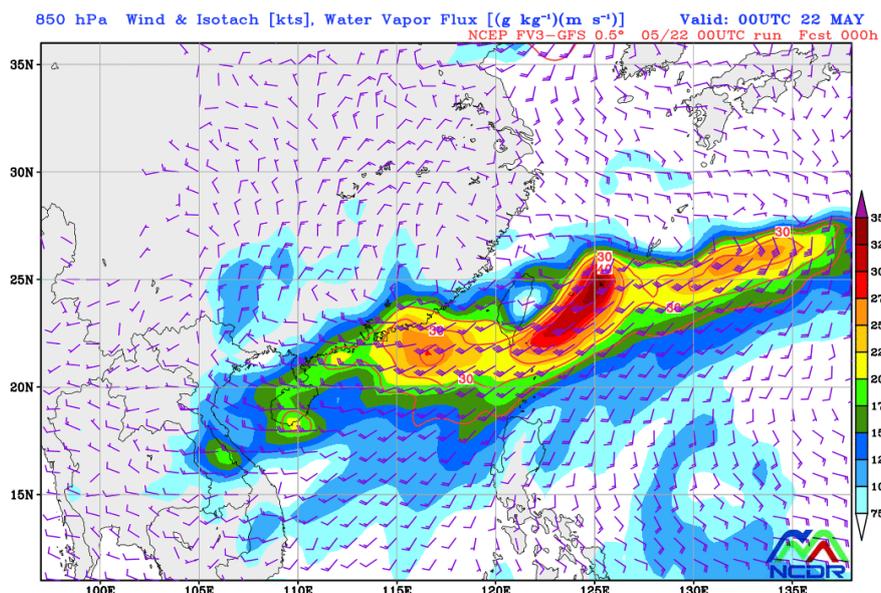


圖1. 大型電腦自動定時分析繪製的2020年5月22日850hPa水氣通量圖。

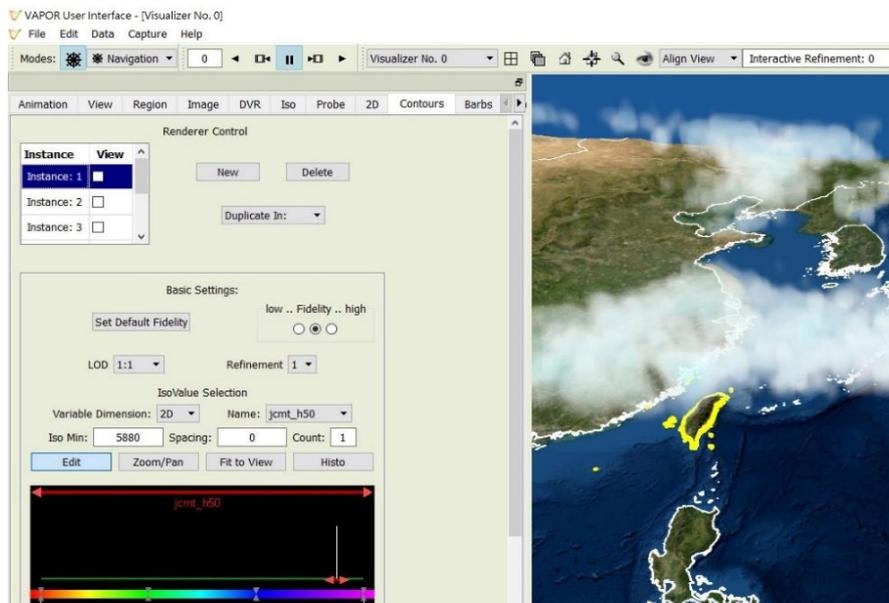


圖2. VAPOR視窗介面，互動式工具可製作三維立體渲染、立體等值面等。

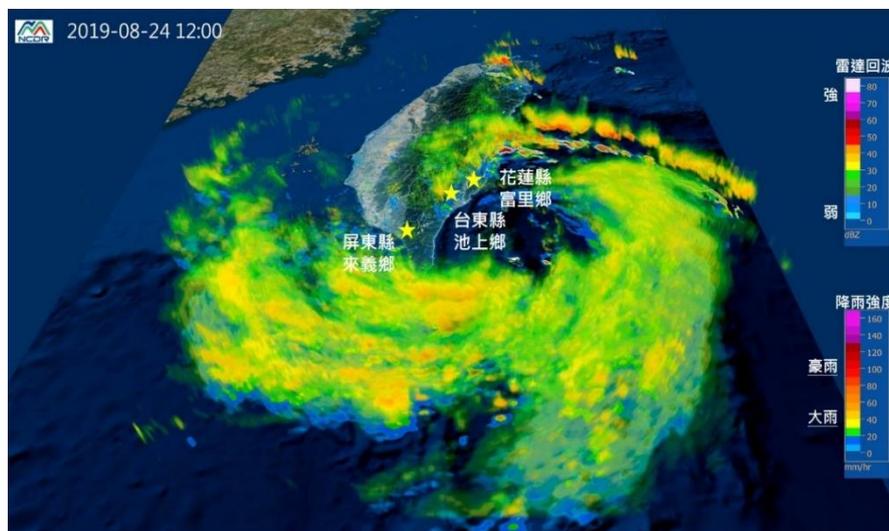


圖3. 白鹿颱風（2019）雷達3D圖，應用於中央災害應變中心第5次工作會報。

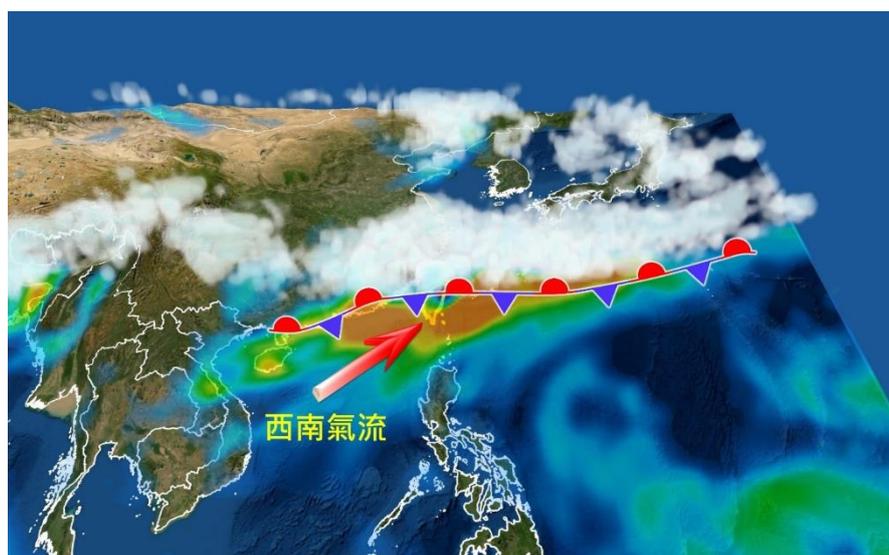


圖4. 2020年5月22日臺灣受梅雨鋒面和西南氣流影響的綜觀分析圖。

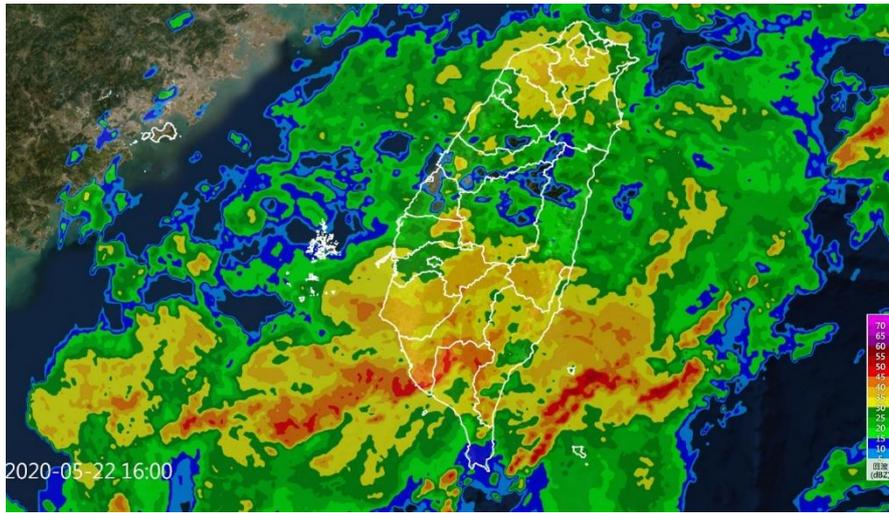


圖5. 2020年5月22日的傳統二維雷達回波圖，只提供回波強度單一資訊。

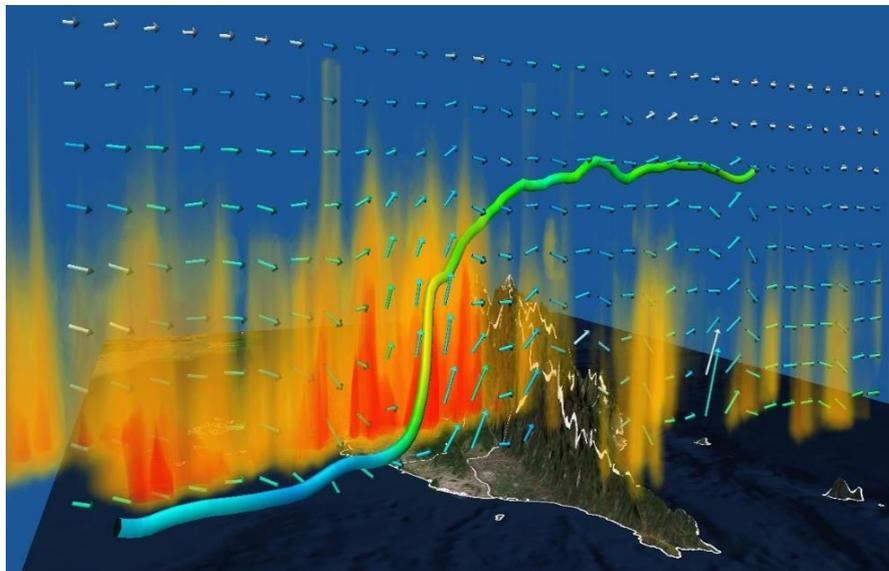


圖6. 以高屏地區2020年5月22日強降雨個案為例，使用3D繪圖分析WISSDOM風場資料與高解析雷達三維資料。

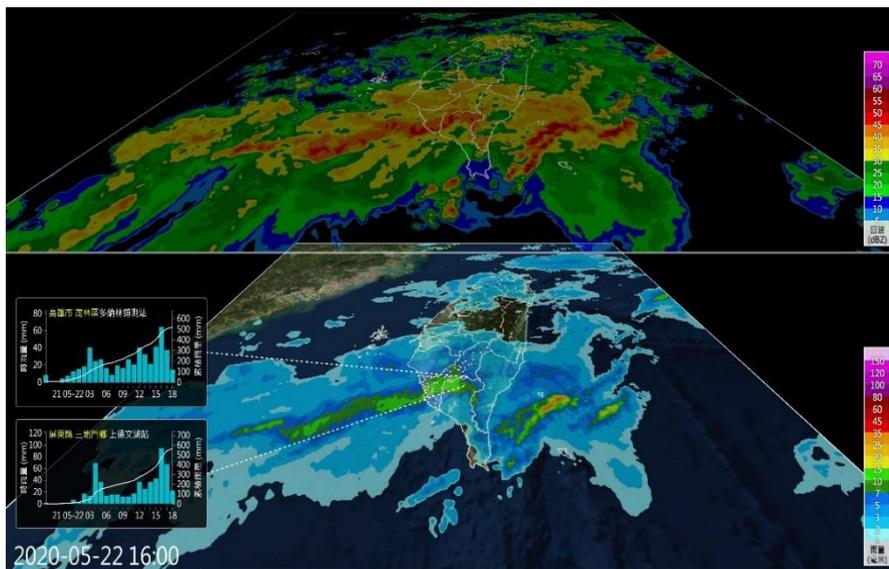


圖7. 結合異質資料和多層次動態效果的雷達回波與測站雨量分析系統。

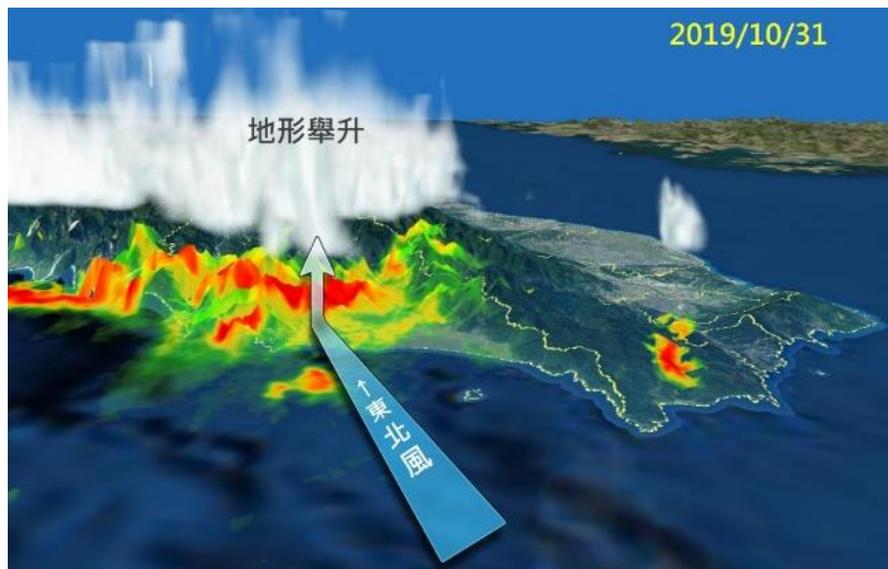


圖8. 使用國家災害防救科技中心整合的高解析雷達三維網格資料繪製2019年10月31日宜蘭超大豪雨事件科普示意圖。

Application of Meteorology Data 3-D Visualization in Disaster Prevention

**Chia-Chun Wu, Hsin-Hung Lin, Hsuan-Wei Wang, Kuan-Ling Lin, Tsung-Jung Lee, Chung-Yi Lin,
Hsin-Hao Liao, Jung-Lien Chu, An-Hsiang Wang, Shao-Chin Huang, Yi-Chiang Yu**

National Science and Technology Center for Disaster Reduction

Abstract

With the development of 3-D imaging software and hardware technology, it is possible to use personal computers to visualize 3-D meteorological data to present the authentic 3-D appearance of the weather system. However, unlike the traditional two-dimensional field diagrams and radar images drawn by cross-sections or projection methods, the 3-D display has more considerations such as viewing angles, transparency, 3-D hierarchies, and dynamical effects. It needs to be visualized through designs according to the weather system and data characteristics. Therefore, there are very few weather-related research and development and operational systems that use 3-D visualization. The goal of this research is to visualize the 3-D structure and characteristics of severe weather. It uses multiple temporal and spatial scales and meteorological parameters to develop visual display products, such as radar observations, WRF model forecasts, precipitation time series, and WISSDOM inversion analyses of the TAIWAN wind field data and combined with heterogeneous data, design multi-level dynamic effects. In addition to analyzing the structure of heavy rainfall cases such as Typhoon Bailu (2019), it has also developed automatic mapping and map overlay technologies to complete automatic drawing of radar 3-D pictures containing terrain and landforms every 10 minutes, providing online viewing and downloading. This research and development also further applied 3-D images to the popular science, based on scientific data and visual guidance, drawing schematic diagrams of conceptual weather models such as Yilan winter rainfall. We also documented this work in the book “Taiwan's extreme climate and weather event review and analysis” and other promotional products. To increase the public's awareness of disaster prevention and show our strong support for disaster prevention work. With the advent of the 5G/6G era, 3-D display, augmented reality (AR), virtual reality (VR), mixed reality (MR), and other visualization technologies will progress very rapidly in the next few years. Visualized products to assist in disaster prevention decision-making and popular science promotion will be one of the focuses of future disaster prevention work.

Key words: 3-D visualization, severe weather, data analysis