

ISSN 0255-5778

氣象學報

Meteorological Bulletin



交通部中央氣象局

CENTRAL WEATHER BUREAU

季刊
第58卷第1期
民國112年5月
Vol. 58 No.1 May 2023

氣象學報

季刊

第 58 卷 第 1 期

目次

研究論文

- 中央氣象局區域系集預報系統採「系集片段循環同化」新架構
之評估----- 連國淵 李志昕 (1)
鄧雯心
- 新臺鐵局地震速報系統之效能分析----- 蕭乃祺 邱俊達 (19)
劉允韜 王承韜
楊民
- 2019 年 11 月 7 日松山機場氣壓大波動與跑道風切之個案分析研
究----- 蒲金標 王重傑 (49)

報 告

- 民國 106 年北太平洋西部颱風概述----- 蔡甫甸 (63)

出版機關：交通部中央氣象局

100006 臺北市中正區公園路 64 號

發行人：鄭明典

聯絡電話：(02)2349-1083

編審小組：

主 編	洪 景 山					
委 員	呂 佩 玲	呂 國 臣				
	林 品 芳	林 淑 卿				
	秦 新 龍	陳 建 河				
	陳 國 昌	陳 嘉 榮				
	張 惠 玲	張 保 亮				
	滕 春 慈					
幹 事	曾 翊 涵	韓 素 蘭				

(按姓氏筆劃排列)

中央氣象局區域系集預報系統採「系集片段循環同化」新架構之評估

連國淵¹ 李志昕² 鄧雯心¹

¹中央氣象局氣象科技研究中心 ²中央氣象局氣象資訊中心

摘要

中央氣象局已發展具備全球與區域模式的決定性與系集預報系統，然而，氣象局全球與區域模式系統的發展與介接尚不夠緊密。本研究探討全球與區域系集預報系統的銜接策略，提出一套稱為「系集片段循環同化」的區域系集預報初始化新方法，建置於氣象局的作業環境上。個案實驗結果顯示，此新方法與現行基於EAKF系集資料同化系統做系集初始化的作業區域系集預報系統(WEPS)相比，在多數系集預報校驗指標上皆有所改善，得到更佳的系集離散度與平均誤差關係。藉由此新提出的區域系集初始化方法，將有機會促成氣象局區域系集預報系統銜接本局的全球系集預報系統，達成更自主的數值天氣預報發展。

關鍵詞：區域系集預報、系集初始化、數值天氣預報

一、前言

中央氣象局數值天氣預報經多年發展，已具備全球模式預報系統、區域模式預報系統、對流尺度快速更新預報系統等針對不同時空尺度的天氣預報系統。同時，對於全球與區域尺度，除提供決定性預報之外，亦皆發展系集預報，以提供機率預報指引與更多元的應用。全球模式與區域模式預報系統各有其不可取代的長處：全球模式提供綜觀尺度中期以上的預報，並且是唯一不需要依賴其他大氣模式資料的首要系統；區域模式則為關注的區域提供全球模式無法做到的高解析度短期預報，並通常會考慮較複雜、完整的物理過程，但區域模式無法獨立運作，其執行過程需依賴全球模式

提供多種上游資料，而其預報表現也與所依賴的全球模式資料準確度與使用方式有密切關聯。

區域模式銜接全球模式資料的方式可分為多種策略。首先，若全球模式與區域模式分別做各自獨立的連續分析—預報循環，則區域模式至少需使用到全球模式的分析與預報資料作為其側邊界條件(lateral boundary condition)。然而，若在區域模式系統中完全獨立進行循環資料同化，由於在區域網格中所能使用的觀測資料受限與區域模式長期積分可能導致的偏差累積等緣故(例：Schwartz et al. 2021)，經常不一定能得到優於全球模式資料同化系統的分析結果，因此，部分區域模式系統採取不運行連續分析—預報循環的策略，而

是每趟預報皆使用全球模式的分析場做初始化。此方式又包含多種做法，除最簡單的直接內插做冷啟動 (cold start) 之外，亦可執行所謂的「片段循環 (partial cycle) 同化」(Hsiao et al. 2012; Benjamin et al. 2016)，即每個預報週期的源頭都取自全球模式的分析場，再透過少數幾個資料同化循環起轉 (spin up) 區域模式預報並做較高解析度的分析，可得到與區域模式特性較一致的分析場，同時也可避免長期在區域模式中做連續循環可能產生的偏差累積。進一步考量到全球模式分析的長處在於大尺度資訊，而區域模式分析的長處在於小尺度資訊，前人亦提出以「blending」技術 (Yang 2005; Hsiao et al. 2015) 結合全球模式分析場的大尺度資訊與區域模式分析場的小尺度資訊，適當使用此方法可加強全球模式與區域模式的銜接應用。上述片段循環同化與 blending 的方法在氣象局現行的區域決定性與系集預報系統中皆有廣泛的使用，詳細運用方式與設定將於第二節中說明。

以上討論主要針對銜接全球與區域決定性預報的情境，但對於系集預報系統，除注重系集預報平均之準確度外，系集預報成員分布之品質，如系集離散度 (ensemble spread) 等，亦相當重要。一般而言，系集離散度與平均誤差的量值應越接近越好，代表此系集預報具可靠性 (reliability)。為得到良好的系集離散度，需在系集預報的多個環節引入擾動，包括初始條件擾動、邊界條件擾動與模式擾動等。在產製初始條件擾動方面，主要方法包括以奇異向量 (singular vector; Buizza and Palmer 1995; Barkmeijer et al. 1999) 方法由決定性分析場產製系集初始場、直接使用系集卡爾曼濾波器 (Ensemble Kalman Filter; EnKF; Evensen 1994、

2003) 之系集分析場、與由 Ensemble of Data Assimilation (EDA; Buizza et al. 2008; Isaksen et al. 2010) 方法產製等。其中後兩者 (EnKF 與 EDA) 與資料同化技術密切結合，為目前多數作業單位採用的方法。特別指出，EDA 方法為每個系集成員運行獨立的資料同化，目前主要使用在全球系集預報系統中 [如 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) 的全球系集預報系統]，具有多項優點，但就我們所知，此方法在區域系集預報系統上的應用不多 (Vié et al. 2011 為少數相關研究)。

在邊界條件擾動方面，要運作一個區域模式的系集系統，若僅有單一全球決定性分析與預報資料予以銜接，會導致許多缺點，例如區域系集在側邊界附近的系集離散度不足等 (Torn et al. 2006; Vié et al. 2011; Saito et al. 2012)，而與全球模式系集成員一對一的銜接即成為最自然的解決方式。Torn et al. (2006) 的實驗結果指出，在區域 EnKF 資料同化系統中，雖然亦存在不依賴全球模式系集的執行方法，如在側邊界添加各式隨機擾動等，但直接銜接全球模式系集可得到最好的區域 EnKF 分析結果。最後，模式擾動則在模式預報過程中加上隨機擾動，用以彌補因模式本身動力或物理過程的不完美，產生低估部份系集離散度的效應。

氣象局基於 Weather Research and Forecasting (WRF; Skamarock et al. 2008) 模式發展 WRF 區域系集預報系統 (WRF Ensemble Prediction System; WEPS; Li et al. 2020; 李與洪 2011、2014; 李等人 2015、2018、2022)，已獲得良好的成果與作業運用。本研究之目的為 WEPS 初始化方法之討論與改進，並

改善其利用全球模式分析與預報資料之策略。目前氣象局區域系集預報系統之初始條件擾動是由一套以 Ensemble Adjustment Kalman Filter (EAKF; Anderson 2001; 屬於 EnKF 的其中一種執行方案) 為核心, 運行連續分析—預報循環的系集同化系統 (以下稱為 EAKF) 提供, 但為了提升系集平均預報的準確度, 使用了 blending 技術, 將 EAKF 系集的小尺度資訊與本局區域決定性預報系統分析場的大尺度資訊結合; 而在邊界條件擾動方面, 使用美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction; NCEP) 的 Global Ensemble Forecast System (GEFS) 全球系集預報資料作為 WEPS 區域系集預報過程中的邊界條件, 更多關於 WEPS 初始化流程、方法與系集擾動方案的說明詳見第二、2 小節。

然而, 目前 WEPS 的初始化方法可能導致初始系集離散度不足的問題, 且依賴國外單位全球模式資料之設計, 長遠來看不利於氣象局自主之技術開發, 並會衍生全球模式資料時效性差的問題。考量目前作業架構的既有問題, 並綜合考量本局各尺度數值天氣預報發展之整體規畫、各系統之開發與維運難度, 在本研究中, 我們將提出一套適用於氣象局之由全球系集預報銜接區域系集預報的嶄新架構, 稱為「系集片段循環 (ensemble partial cycles) 同化」, 並於氣象局作業環境上進行過去個案的測試, 與現行作業區域系集預報系統之結果做比較。除測試以此新方法做 WEPS 區域系集初始化本身帶來的影響外, 也將測試在使用此新方法的條件下, 如目前使用美國 NCEP GEFS 全球系集預報資料, 與改使用本局開發之基於 NCEP FV3GFS 模式 (NGGPS Dynamical core Test Group 2016) 的新一代全球預報系統 (連

等人 2021; Lin et al. 2022) 之系集預報資料作為上游資料, 對 WEPS 區域系集預報表現的影響。

後文第二節將進一步介紹氣象局現行區域決定性與系集預報系統的架構, 著重於此二系統的初始化流程與方法, 與系集預報系統的系集擾動方案; 第三節將提出可應用於氣象局區域系集預報系統未來發展的「系集片段循環同化」新架構, 介紹其執行方法與理論基礎; 第四節將呈現此方法於氣象局 WEPS 區域系集預報系統上的個案實驗結果; 第五節為總結與未來展望。

二、現行區域決定性與系集預報系統架構

(一) 現行 WRF 決定性預報系統初始化流程與方法

氣象局對東亞大範圍與西北太平洋區域進行預報的 WRF 決定性預報系統 (WRF Deterministic prediction system; WRFD / CWB-WRF; 黃與洪 2020) 之模式網格範圍如圖 1a, 使用兩層巢狀網格, 解析度分別為 15 公里與 3 公里。初始場產製之策略為片段循環資料同化 (Hsiao et al. 2012; Benjamin et al. 2016), 如圖 2 所示, 由分析時間前 12 小時的 NCEP Global Forecast System (GFS) 全球模式分析場為起始, 進行 2 個片段循環共 3 次同化, 同化的資料除了傳統 (conventional) 觀測資料, 也同化福爾摩沙衛星 7 號無線電掩星 (radio occultation) 資料與地基式 GPS 天頂向總延遲 (zenith total delay) 資料。在 15 公里解析度母網格採用的資料同化的方法為混合三維系集—變分資料同化 (hybrid 3D-EnVar; Wang 2010), 其隨流場變化 (flow-dependent) 的系集背景誤

差協方差 (background error covariance) 來自於氣象局一套 EAKF 系集同化系統之 6 小時系集預報，此 EAKF 系統將於下一小節中介紹；而在 3 公里高解析度網格採用的資料同化方法目前為三維變分資料同化 (3DVar；預計近期將升級為與 15 公里網格相同之 hybrid 3DEnVar)。此外，並在每個同化步驟後，以「blending」技術擬合全球模式分析場中的大尺度氣象場與區域模式分析場中的小尺度氣象場資訊。自最末片段循環的分析場起，運行 126 小時的決定性預報。目前作為首次同化用的初始場、blending 用的大尺度分析場、與預報用的側邊界條件，皆來自於美國 NCEP GFS 全球模式的分析與預報資料。

氣象局系統中的「blending」技術 (Yang 2005；Hsiao et al. 2015) 採用空間濾波 (spatial filter) 的方式分離兩系統分析場各自的大尺度與小尺度資訊，再將一系統的大尺度資訊與另一系統的小尺度資訊結合：

$$X_{\text{bld}} = X_{\text{small}} + \overline{X_{\text{large}}^{\text{sf}}} - \overline{X_{\text{small}}^{\text{sf}}} \quad (1)$$

其中 X_{bld} 、 X_{small} 、 X_{large} 分別表示 blending 結果、欲保留小尺度資訊的模式場、欲保留大尺度資訊的模式場；頂線代表經低通 (low-pass) 空間濾波後的模式場，僅保留大於給定的截斷長度尺度 (cutoff length scale) 的資訊，濾波方法採用六階低通 Raymond 切線隱性濾波 (tangent implicit filter) 方法 (Raymond and Garder 1991)，振幅反應方程式如下：

$$H(L) = \left[1 + \varepsilon \tan^6 \left(\frac{\pi \delta x}{L} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

其中 L 為長度尺度，而 ε 可由下式計算：

$$\varepsilon = \tan^{-6} \left(\frac{\pi \delta x}{L_x} \right) \quad (3)$$

其中 δx 為模式網格間距， L_x 為截斷長度尺度。使用此方法，氣象局 WRFD 系統在每個片段循環資料同化之後，擬合 NCEP GFS 全球模式分析場的大尺度資訊與 WRFD 自身分析場的小尺度資訊 (如圖 2)，經實驗測試得到最佳的截斷長度尺度為 1200 公里，可得到比沒有做 blending 更好的預報結果 (Hsiao et al. 2015)。

(二) 現行 WRF 系集預報系統初始化流程、方法與系集擾動方案

氣象局亦針對與 WRF 決定性預報系統相同區域範圍發展一系集同化與預報系統，稱為 WRF 系集預報系統 (WEPS；圖 1b)，系集成員數為 20 個，提供每 6 小時循環的 108 小時區域系集預報。WEPS 的系集初始場來自於氣象局一套基於美國 University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) Data Assimilation Research Testbed (DART) 的 EAKF (Anderson 2001) 系集同化系統，但為了提升系集平均預報的準確度，在 WEPS 中亦使用了 blending 技術，將 EAKF 系統的系集資料與 WRFD 決定性分析場結合，其中大尺度資訊來自 WRFD 分析場，小尺度資訊來自 EAKF 各別系集成員的 6 小時預報場。區域系集預報之側邊界條件使用 NCEP GEFS 全球系集預報之 10 組系集成員，以每 2 個 WEPS 系集成員共用 1 個 GEFS 系集成員的方式串接，此設計非出於科學原因，而是受氣象局下載遠地 NCEP GEFS 系集預報資料的傳輸時間所限制，為因側邊界條件使用 NCEP GEFS 全球系集預報之 10 組系集成員，以每 2 個 WEPS 系集成員共

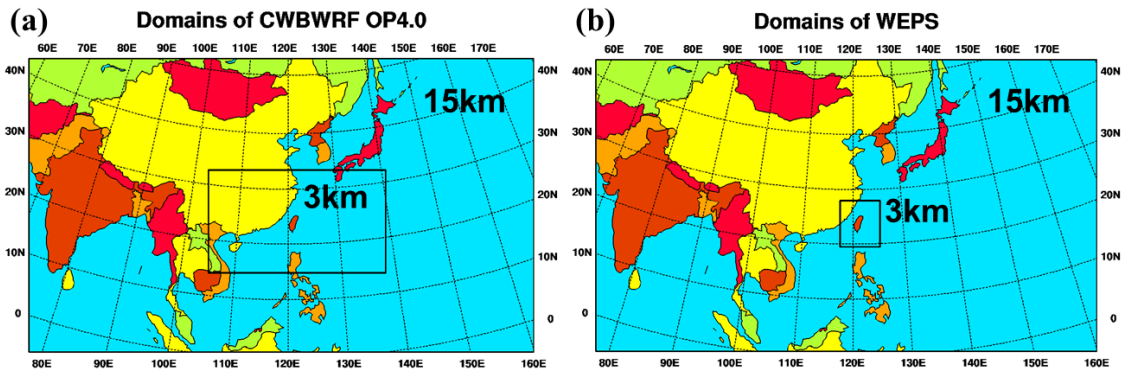


圖 1、(a) 氣象局 WRF 決定性預報系統 (WRFD) 之 15 公里與 3 公里解析度兩層模式網格範圍。
 (b) 氣象局 WRF 系集預報系統 (WEPS) 之兩層模式網格範圍。

Fig. 1. (a) The model domain coverage of the CWB WRF deterministic prediction system (WRFD) for its 15- and 3-km resolution domains. (b) The coverage of the two model domains of the CWB WRF ensemble prediction system (WEPS).

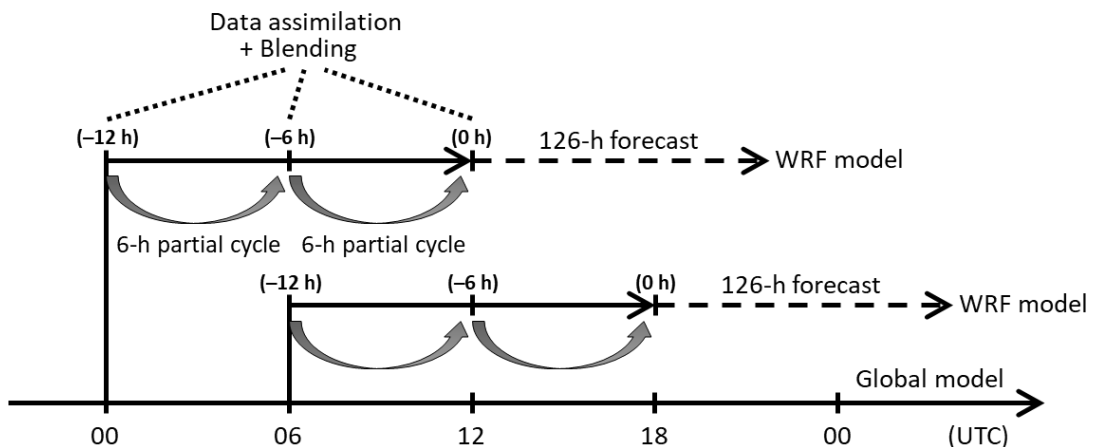


圖 2：氣象局 WRF 決定性預報系統之片段循環 (partial cycle) 資料同化架構。每個預報起始自分析時間前 12 小時的全球模式分析場，先進行 2 次每 6 小時循環之片段循環共同化 3 次區域範圍內的觀測資料，並以 blending 方法擬合全球模式的大尺度分析場與區域模式的小尺度分析場，之後進行 126 小時預報。

Fig. 2: The partial cycle data assimilation framework of the CWB WRF deterministic prediction system. Every regional forecast is initialized from the global model analysis 12 hours prior to its analysis time, followed by two 6-hourly partial cycles with a total of 3 assimilations of observational data within the regional domain. After each data assimilation, the blending method is used to merge the large-scale field in the global model analysis with the small-scale field in the regional model analysis. Finally, a 126-hour forecast is conducted after the last partial cycle and blending is completed.

用 1 個 GEFS 系集成員的方式串接，此設計非出於科學原因，而是受氣象局下載遠地 NCEP GEFS 系集預報資料的傳輸時間所限制，為因應僅來得及獲得 10 組系集預報資料所作之變通方法。在預報階段會以內插方式啟用 3 公里解析度的高解析度巢狀網格（圖 1b），受限於本局高速運算資源，此 3 公里網格的範圍較 WRFD 決定性預報中 3 公里網格的範圍小。此外，在預報階段亦會加上模式隨機擾動，目前 WEPS 採用合併多物理系集（multi-physics ensemble）、Stochastically Perturbed Physics Tendencies（SPPT；如 Palmer et al. 2009）與 Stochastic Kinetic Energy Backscatter（SKEB；如 Bowler et al. 2009）方案之複雜設計（Li et al. 2020），以獲得足夠之系集離散度。

前文所述之氣象局 EAKF 系統運行連續循環更新之系集資料同化，使用 15 公里解析度單一網格，與 WRF 和 WEPS 系統的外層母網格相同，以同化傳統觀測資料為主。為做分析系集的重新置中（re-centering），每個循環中會先以 blending 的方式結合 WRFD 的大尺度分析場與 EAKF 系集平均的小尺度分析場，再以此結果來重新置中各 EAKF 系集成員。此 EAKF 系統除提供 WEPS 的系集初始場之外，亦提供 WRFD 15 公里解析度網格 hybrid 3DEnVar 同化所需之系集背景誤差協方差。

三、「系集片段循環同化」新架構

檢視前一節所述之目前氣象局區域系集預報系統的初始化與邊界擾動方法，可發現有一些缺點，包括 (1) 使用同一個 WRFD 分析場的大尺度資訊產製系集成員之初始場，容易產生系集離散度不足的情況；(2) 需要依賴一套 EAKF 系集同化系統，但最終只取用系集成

員的小尺度資訊；(3) 側邊界條件依賴外單位（NCEP）全球系集預報系統的資料，除無法依自身需求主動開發外，更受限於資料傳輸速率的緣故，在作業時間限制內僅能取得有限成員數，無法完全一對一介接全球與區域模式系集成員；(4) 3 公里巢狀網格的初始場直接由 15 公里母網格資料在預報初始時間內插而來，可能有一定程度的起轉問題。基於以上缺點，本研究希望尋求其他產製系集初始與側邊界擾動的替代方式。

參考國際上各單位做區域系集預報時常採用的方法，我們認為以一對一的方式銜接全球模式與區域模式系集成員，提供系集初始條件與側邊界條件，是最直截了當又具成效的區域系集初始化方式。然而，在本研究中我們提出更進階的想法：在單純一對一銜接全球與區域系集方式的架構基礎之上，進一步對每一個區域系集成員，各自運行如同區域決定性預報系統的片段循環同化與 blending 流程（與各對應成員的全球系集模式資料做 blending），並在每個系集成員的片段循環同化中可考慮對同化的觀測資料依其觀測誤差加上隨機擾動；我們將此新方法稱為「系集片段循環同化」，其示意圖如圖 3。此方法之構想一方面啟發於氣象局過去在 WRFD 決定性預報系統使用片段循環同化與 blending 的成功經驗，我們認為既然此流程是適用於作業區域數值預報中得到良好區域決定預報表現的方法，那若運行此方法的系集版本，使每一個系集成員都經歷片段循環與 blending 做初始化，亦應可得到良好的區域系集預報表現；另一方面，此方法與目前國際上一些單位用於全球系集預報系統中成效良好的 EDA 方法在多方面有相似之處，更是讓我們對此一新方法抱持高度期望的另

一主因；附帶一提，此方法亦有利於在其片段循環中提早啟用（起轉）高解析度巢狀網格。我們認為此系集片段循環方法是可能結合片段循環與 EDA 兩者長處的區域系集預報初始化方法。如此以一對一銜接全球模式與區域模

式系集成員來建構區域系集預報系統的方式在德國的 COSMO-DE-EPS 上有被研究與實作過（Peralta et al. 2012；Kühnlein et al. 2014），但方法不完全一樣，並且在 COSMO-DE-EPS 上沒有進一步執行 EDA 的設計。

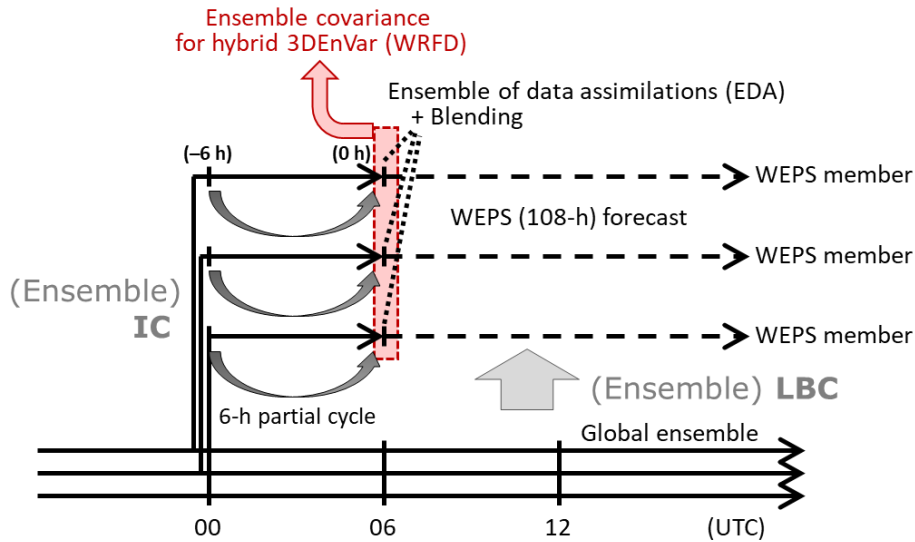


圖 3、以「系集片段循環（ensemble partial cycles）」方法初始化氣象局 WEPS 區域系集預報系統的執行流程：以一對一的方式銜接全球模式與區域模式系集成員，提供系集初始條件與側邊界條件，並以類似 EDA 方式分別為每個系集成員執行片段循環資料同化。此外，在系集片段循環中的短期系集預報可能作為系集背景誤差協方差，提供 WRFD 系統執行 hybrid 3DEnVar 同化。

Fig. 3. The workflow of the “ensemble partial cycle” method to initialize the CWB WEPS regional ensemble prediction system: The global ensemble members are connected with the regional ensemble members in a one-to-one manner to provide ensemble initial conditions and lateral boundary conditions, and partial cycle data assimilation is conducted separately for each ensemble member, which is similar to the idea of EDA. In addition, the short-term ensemble forecasts in the ensemble partial cycles can potentially be used as the ensemble background error covariance for the hybrid 3DEnVar data assimilation in WRFD.

四、實驗結果與討論

(一) 實驗設計

針對前一節提出之基於系集片段循環方

法的區域系集初始化新架構（圖 3），本研究在氣象局的作業系統上完成此新架構之初步建置開發，並測試其對 WEPS 系集預報表現的影響，包括對系集平均預報準確度與系集離散度的影響等。在此需要說明的是，本研究的實

驗設計中，此系集片段循環每一個成員的流程與 WRFD 系統的片段循環流程（圖 2）有幾個不同之處，包括在本研究之系集片段循環中僅運行 1 次片段循環與 blending，且同化觀測資料的方法為 3DVar，而非 WRFD 中使用的 hybrid 3DEnVar。此流程調整的主要考量是計算成本，由於運行多組系集成員的片段循環同化需要花費大量的計算，因此我們先對其計算方案進行簡化，此選擇是否適當仍待未來更多的探討。此外，本研究中尚未對系集片段循環中同化的觀測資料添加隨機擾動，亦即在這部份尚未完整仿照 EDA 方法。另一方面，我們也將測試在此系集片段循環新架構下，改介接本局新一代 FV3GFS 全球預報系統之系集預報資料作為上游資料，對此實驗區域系集預報表現的影響，以了解在此新架構下使用不同全球系集模式資料來源對結果的敏感性，並評估未來 WEPS 使用本局自主開發與維運之全球模

式資料的潛力。

我們選定 2021 年 7 月 19 日至 7 月 28 日作為個案實驗期間，每日 00 UTC 進行一次系集預報，共 10 個預報個案，此期間涵蓋烟花（In-Fa）、查帕卡（Cempaka）與尼伯特（Nepartak）3 個颱風，並進行 72 小時之預報實驗。所有實驗之設計如表 1，首先注意所有實驗的 WEPS 區域系集成員數皆為 20 個，但各實驗使用的全球系集成員數卻有所不同（10 或 20 個）；當僅使用 10 個全球系集成員時，全球系集成員以 1 對 2 的方式介接區域系集成員。其中 OP 為與氣象局 WEPS 作業相同的設定，以 EAKF 加上與 WRFD blending 的方法產製系集初始場，其使用的全球系集成員數為 10 個（見第二、2 小節）。其他 4 個實驗皆為以新提出的系集片段循環方法產製系集初始場之實驗：NCEP10 與 NCEP20 為與 OP 同樣使用 NCEP GEFS 作為全球系集資料來源的實驗，

表 1、實驗設定。所有實驗的 WEPS 區域系集成員數皆為 20 個（未列於表），但各實驗使用的全球系集成員數有所不同（10 或 20 個）；當僅使用 10 個全球系集成員時，全球系集成員以 1 對 2 的方式介接區域系集成員。

Table 1. Experimental design. Note that the number of WEPS regional ensemble members for all experiments is 20 (not shown in the table), but the numbers of global ensemble members used in each experiment are different (either 10 or 20); when only 10 global ensemble members are used, the global ensemble members are connected with the regional ensemble members in a one-to-two manner.

實驗名稱	系集初始化方法	系集邊界條件來源（全球系集預報資料）	使用的全球系集成員數
OP	氣象局 EAKF + WRFD blending	NCEP GEFS	10
NCEP10	系集片段循環	NCEP GEFS	10
NCEP20	系集片段循環	NCEP GEFS	20
CWB20	系集片段循環	氣象局 FV3GFS EPS	20
CWB20_new	系集片段循環	氣象局 FV3GFS EPS，新版	20

使用的 GEFS 系集成員數分別為 10 和 20 個（受限於氣象局下載 NCEP GEFS 系集預報資料的傳輸時間，NCEP20 的設定僅能用於事後研究）；CWB20 與 CWB20_new 為使用氣象局發展中的 FV3GFS 全球預報系統之系集預報（CWB FV3GFS EPS）作為全球系集資料來源的實驗，使用的系集成員數皆為 20 個（因使用氣象局自有的全球模式系集資料不會有時間延遲的問題），惟兩者使用的 CWB FV3GFS EPS 預報產品為不同版本，CWB20 使用較早期的版本，而 CWB20_new 使用較新版本，透過此二實驗，可了解全球系集預報資料差異對區域系集預報造成的影響。

為了公正評估實驗的預報表現，綜觀尺度天氣預報之校驗真值採用 ECMWF 之全球模式分析場資料（為較獨立之模式分析資料），解析度為 0.25 度，而近地面預報之校驗真值則使用臺灣區域地面測站資料（約 330 個地面測站）。

(二) 新系集初始化方法（系集片段循環） 對 WEPS 系集預報的影響

首先透過個案實驗期間平均之系集預報初始場離散度平面圖，來觀察兩種系集初始化方法所得之初始條件擾動特性的差異。圖 4 顯示 850 hPa 高度場之平均初始系集離散度，可明顯看出 OP 採用的 EAKF 加 WRFD blending 方法產生的系集初始場離散度過小（圖 4a），而採用新提出之系集片段循環方法則可大幅增加系集離散度（以 CWB20 實驗為例；圖 4b）；此系集離散度的整體差異在颱風區域以及颱風之外的環境皆然。更可發現，在靠近側邊界的位置，OP 初始場傾向有極小的系集離散度（如圖 4a 側邊界附近之灰色色階區域），應為作為來源資料的 EAKF 系統側邊界擾動處理不佳所致，而採用新方法的 CWB20 實驗初始場中則無此問題。我們認為此 OP 實驗中不合理小的系集初始場離散度，可能會在 WEPS 系集預報中帶來不良影響，而此問題在新方法中可獲得大幅改善。

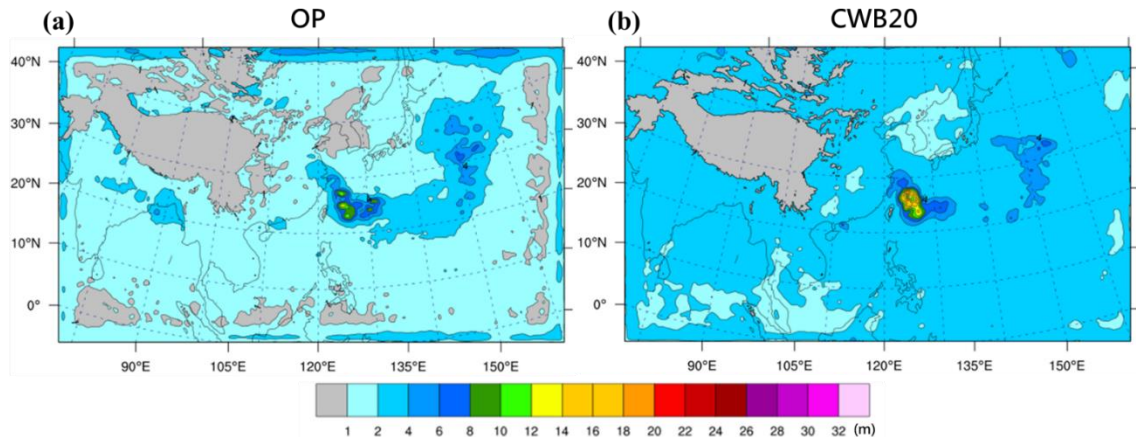


圖 4、WEPS 系集預報初始場之 850 hPa 重力位高度場系集離散度，為 2021 年 7 月 19 日至 7 月 28 日期間共 10 個初始時間之平均。(a) OP 實驗；(b) CWB20 實驗。

Fig. 4. Ensemble spreads of 850-hPa geopotential height in the initial conditions for WEPS forecasts, averaged for 10 initial times during the period from 19 to 28 July 2021. (a) Experiment OP; (b) Experiment CWB20.

圖 5 為各實驗外層網格的區域平均校驗結果，實線為系集平均方均根誤差（root-mean-square error；RMSE），虛線為系集離散度（ensemble spread），並分別顯示重力位高度、溫度、緯向風速在分析場（預報第 0 小時）、預報第 24 小時與 72 小時的校驗結果；方均根誤差越小越好，且系集離散度與方均根誤差的量值越接近越好，代表此系集預報具可靠性。可發現與 OP 相比，採用新提出之系集片段循環方法的各組實驗，因繼承自前述其較合理大小的系集初始條件擾動，在預報時間初期之系集離散度皆較大，系集離散度與平均誤差的關係亦較佳（實線與虛線較接近），此為系集片段循環方法所帶來的最大好處，彌補現行方法因將 EAKF 成員 blend 至 WRFD 決定性分析場所帶來的初始系集離散度不足之缺點；並且在多數實驗的多數校驗指標中，亦可帶來系集平均誤差的改善（RMSE 降低），亦即更準確的預報結果。另一方面，在 4 組系集片段循環實驗中，採用 NCEP GEFS 全球系集預報資料的實驗結果（NCEP10、NCEP20）大多比採用 CWB FV3GFS EPS 全球系集預報的實驗結果（CWB20、CWB20_new）好，特別是在系集平均 RMSE 上，採用 CWB FV3GFS EPS 全球系集預報的實驗結果普遍有較大誤差，此為預期之中的結果，顯示氣象局開發中的 CWB FV3GFS EPS 與成熟的 NCEP GEFS 相比仍有很大的改善空間，但好消息是採用新版 CWB FV3GFS EPS（CWB20_new）的結果與舊版（CWB20）相比，已有顯著改善（詳述於下一小節）。而使用完整 20 組全球系集成員與使用 10 組相比（NCEP20 vs. NCEP10），對初始時間的表現影響較不顯著，但在預報後期，使用 20 組全球系集成員的中上層溫度場預報誤差

有較大的改善。

圖 6 為各實驗 3 公里解析度內層網格對臺灣區域地面測站資料所作之地面觀測校驗。在地面校驗上，採用系集片段循環方法的 4 組實驗與 OP 實驗的差異亦主要呈現在預報時間 0 至 6 或 12 小時內的預報初期，各地面變數的系集平均 RMSE（實線）皆有明顯改善，特別是在 2 米高濕度上，OP 有初始誤差最大而預報後減小的不合理現象（圖 6b），應為模式起轉問題所致，可能與前述 3 公里網格初始場直接由 15 公里母網格內插而來的缺點有關；相比之下，採用系集片段循環做初始化的實驗則皆無此問題，推測主要受惠於其 3 公里網格在片段循環中已啟用，亦即（同母網格）在預報初始時間前已經歷了 6 小時的起轉調整。而在系集離散度上，新方法帶來的提升則僅在 2 米高溫度的預報初期較為顯著（圖 6a 虛線）。整體而言，新方法在預報初期各地面變數的系集離散度與誤差關係皆有改善，而對於 12 小時以上預報，各組實驗之平均誤差與系集離散度的變化不大（除 10 米風速的預報後期之外），推測是因為各實驗雖在系集初始化方法上有異，但在與地面變數預報最相關的下邊界條件擾動處理方式上皆相同所致。

進一步探討對颱風路徑預報的影響，圖 7 呈現 OP、NCEP10 及 CWB20 此 3 組實驗在兩個不同初始時間所做的系集颱風預報路徑。可以發現以新提出之系集片段循環方法對於烟花颱風（圖 7a-c）與尼伯特颱風之路徑轉彎（圖 7d-f）的掌握似乎比現行 WEPS 作業好，各系集成員之預報路徑分布較有參考價值。統計實驗期間所有個案，則其平均路徑預報誤差在 3 組實驗間的差異不大（圖未示）。需指出由於目前實驗的個案數太少，在颱風預報上尚未能

做出有統計意義的結論，未來需要做更多實驗探討。但理論上而言，以系集片段循環方法來產製系集預報初始場，受惠於每個系集成員的初始化過程都是獨立進行的，可避開如目前

WEPS 作業流程中因對系集成員做 **blending** 以及 EAKF 中的 **re-centering** 所導致的潛在問題，在颱風之系集預報上亦有機會顯現其優勢。

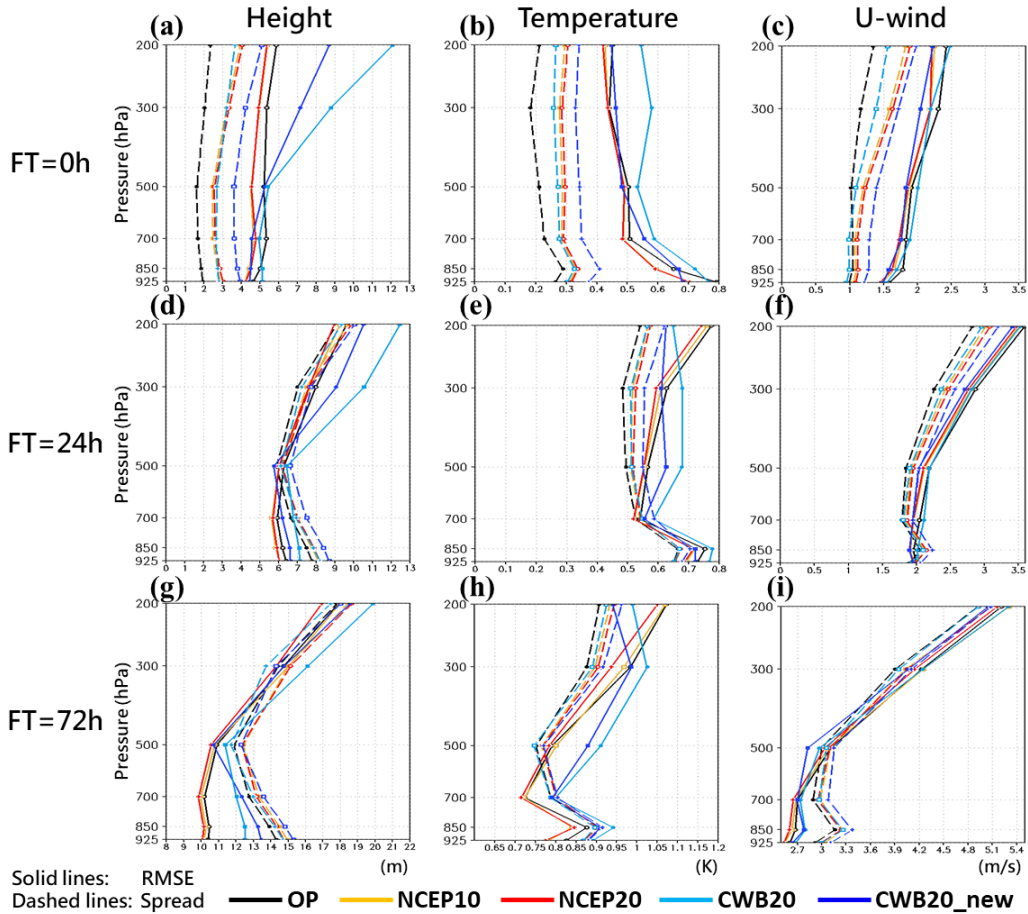


圖 5、各 WEPS 系集預報實驗在外層 (15 公里) 區域網格範圍內的系集平均方均根誤差 (RMSE；實線) 與系集離散度 (Spread；虛線)，分別呈現 (a)(d)(g) 重力位高度、(b)(e)(h) 溫度、(c)(f)(i) 緯向風場之 (a)–(c) 分析場、(d)–(f) 預報第 24 小時、(g)–(i) 預報第 72 小時的校驗結果。實驗包括 OP (黑線)、NCEP10 (橘線)、NCEP20 (紅線)、CWB20 (水藍線) 與 CWB20_new (藍線)。預報初始時間為 2021 年 7 月 19 日至 7 月 28 日每日 00 UTC 共 10 個個案，校驗真值選用 ECMWF 分析場。

Fig. 5. Root-mean-square errors (RMSEs) of the ensemble mean (solid lines) and ensemble spreads (dashed lines) in the outer (15-km) domain of WEPS in each experiment, shown separately for (a)–(c) analyses, (d)–(f) 24-hour forecasts, and (g)–(i) 72-hour forecasts of (a) (d) (g) geopotential height, (b) (e) (h) temperature, and (c) (f) (i) zonal wind fields. The experiments include OP (black lines), NCEP10 (orange lines), NCEP20 (red lines), CWB20 (cyan lines), and CWB20_new (blue lines). The forecast initial times of 10 cases range from 19 to 28 July 2021 (every 00 UTC). The verifying truth is the ECMWF analysis.

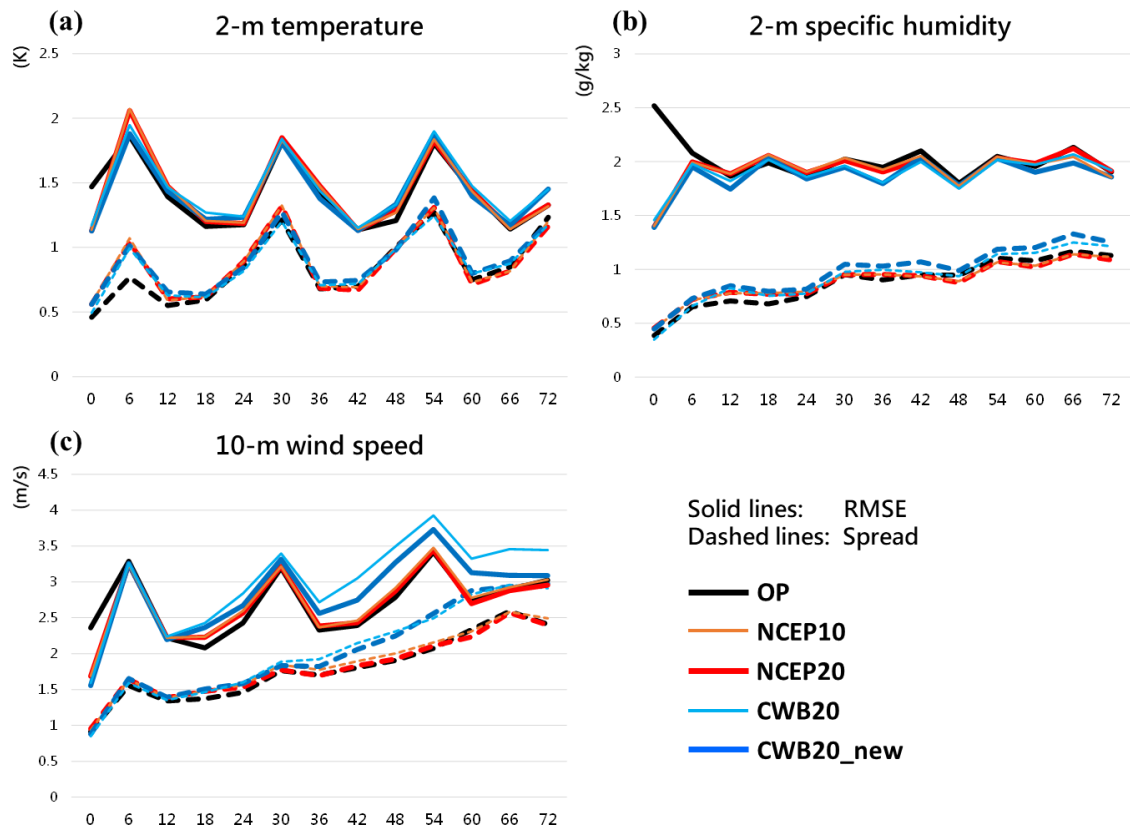


圖 6、同圖 5，但為 3 公里解析度內層網格對臺灣地面站點觀測之系集平均方均根誤差（RMSE；實線）與系集離散度（Spread；虛線）校驗，橫軸為預報時間（0 至 72 小時）。(a) 2 米高溫度；(b) 2 米高比濕；(c) 10 米高風速。

Fig. 6. Same as Fig. 5, but for the RMSEs of the ensemble mean (solid lines) and ensemble spreads (dashed lines) of the 3-km resolution inner domain verified against Taiwan-area surface station observations, with respect to forecast time (0 to 72 hours; x-axis). (a) 2-meter temperature; (b) 2-meter specific humidity; (c) 10-meter wind speed.

(三) 氣象局 FV3GFS 全球系集預報改進的影響

前述 CWB20 與 CWB20_new 實驗相比，後者有更好的 WEPS 系集預報表現。這兩個實驗的差異僅為所銜接的 CWB FV3GFS EPS 全球系集預報的版本：CWB20 使用開發過程中較早期的版本；而 CWB20_new 使用改進後的版本。對於兩個版本的全球系集預報，我們已

先在全球尺度上做系集預報校驗，證實新版在多方面有所改善，例如在高對流層高度場與溫度場之系集平均偏差與 RMSE 有明顯改善等（圖未示）。這些改善的來源，最主要來自全球模式中使用的 New SAS 積雲參數化之改進（Lin et al. 2022），以及新版全球系集在 EnKF 預報—同化循環中亦啟用隨機物理過程方案，改進系集背景場的離散度進而改善同化效果。

如前圖 5、6 所示，以此二版本 CWB FV3GFS EPS 全球系集預報資料透過系集片段循環方法銜接至 WEPS 區域系集預報的結果，採用新版資料的實驗 (CWB20_new) 與採用舊版資料的實驗 (CWB20) 相比，在大部份的校驗上皆有所改善，特別大的改善出現在高對流層的高度場與溫度場之系集平均 RMSE 上 (圖 5a、b、d、e、g、h；藍色 vs. 水藍色實線)，與前述在全球系集預報上的校驗結論相符；另外，

在臺灣區域 10 米高風速的系集平均 RMSE 上 (圖 6c 實線)，CWB20 實驗的預報後期結果明顯較其他銜接 NCEP GEFS 資料的實驗 (OP、NCEP10、NCEP20) 差，為使用氣象局全球系集預報之實驗特別劣勢的地方，但在採用新版 CWB FV3GFS EPS 的 CWB20_new 實驗中，已有明顯改善 (雖然還是不如使用 NCEP GEFS 資料的實驗)。

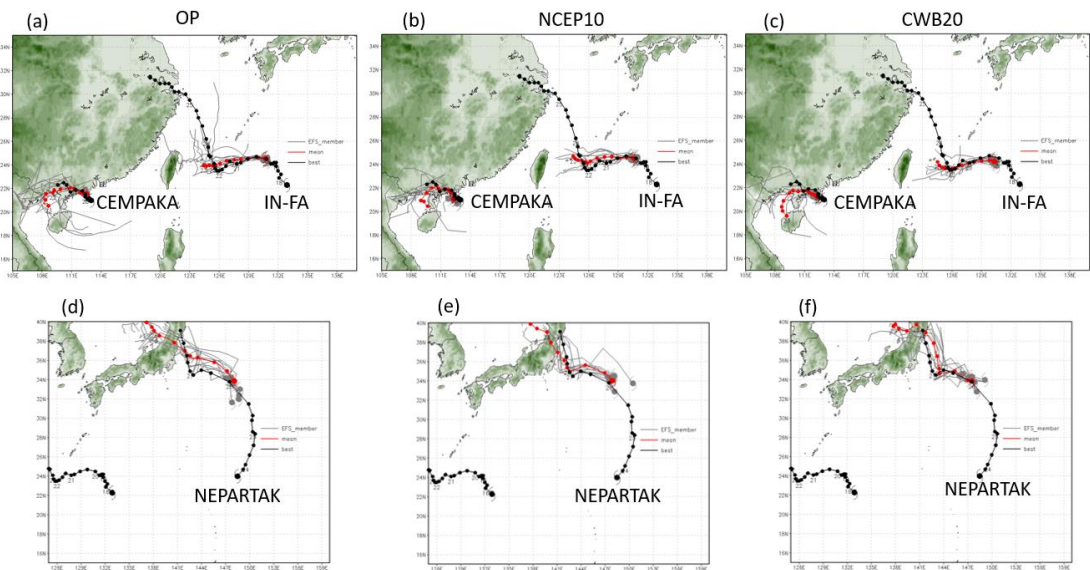


圖 7、(a) (d) OP、(b) (e) NCEP10、(c) (f) CWB20 實驗的系集颱風預報路徑，粗紅線為系集平均預報路徑，細灰線為各系集成員之預報路徑，粗黑線為觀測路徑。上、下列為不同初始時間之預報：(a)–(c) 2021 年 7 月 20 日 00 UTC 起始之預報；(d)–(f) 7 月 26 日 00 UTC 起始之預報。每 6 小時的系集平均預報與觀測之颱風中心位置分別以紅色與黑色點呈現。

Fig. 7. Ensemble typhoon track forecasts in experiments (a) (d) OP, (b) (e) NCEP10, and (c) (f) CWB20. The ensemble mean track forecasts, track forecasts of each ensemble members, and observed tracks are shown in thick red lines, thin gray lines, and thick black lines, respectively. (a)–(c) Forecasts initialized at 00 UTC 20 July 2021; (d)–(f) Forecasts initialized at 00 UTC 26 July 2021. The 6-hourly typhoon center locations in the ensemble mean forecast and in the observation are shown in red and black dots, respectively.

上述結果皆顯示氣象局的 CWB FV3GFS EPS 全球系集預報在開發過程中有所改善，且透過此新提出的系集片段循環方法，確實可能將全球模式系集預報中的改進傳遞至區域模式系集預報中。值得一提的是，在 CWB20_new 實驗所使用的 CWB FV3GFS EPS 版本之上，近期本局全球系集同化系統更新為 Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) 同化方法，以及其系集解析度由 50 公里提升至 25 公里等之規畫，皆有機會更為改善前述採用氣象局全球系集預報之實驗不足的地方。

基於以上觀察，往後若氣象局 WEPS 作業區域系集預報系統可改銜接使用本局開發之全球系集預報系統資料，則氣象局全球系集預報系統的改進，亦可望對本局區域高解析度系集預報系統的改進有所貢獻，藉此將更有機會提升全球模式系統成果於實務作業預報中的貢獻。

五、結論與未來展望

本研究針對氣象局 WRF 區域系集預報系統 (WEPS) 之系集初始化方法進行探討，提出一套銜接全球與區域系集模式以初始化區域系集預報的嶄新方法與架構，稱為「系集片段循環同化」，完成於氣象局作業系統上的初步建置開發，並進行個案實驗。實驗結果證實此新方法與現行基於 EAKF 系集成員與 WRFD blending 做系集初始化的作業 WEPS 系統相比，在多數系集預報校驗指標上皆有所改善，包括系集平均 RMSE 與系集離散度的改進，相應有最佳的系集離散度與平均誤差關係。在使用此系集片段循環方法的條件下，亦進行介接不同全球系集模式資料來源的測試，結果顯示改使用本局新一代 FV3GFS 全球預報系統之系集預

報資料作為上游資料，結果雖劣於使用 NCEP GEFS 系集預報資料，但新系集初始化架構的優勢在改用本局 FV3GFS 全球系集資料的實驗中仍可清楚顯示出來，且使用新、舊兩版本局 FV3GFS 全球系集預報資料的實驗可發現新版的結果有明顯改善。

綜合以上實驗結果，本研究新提出之系集片段循環架構確實可回應目前氣象局 WEPS 區域系集預報系統中的幾項關鍵問題：(1) 克服現行架構中因使用 WRFD 決定性分析場大尺度資訊做 blending 所產生的初始系集離散度不足的情況；(2) 不再需要 EAKF 系集同化系統提供初始條件擾動，移除 WEPS 對 EAKF 系統的依賴 (氣象局 EAKF 為一套未來可能維運不易的系統)；(3) 藉由此新架構，有相當大的潛力可以使 WEPS 系統改介接本局全球預報系統資料，移除對國外單位 (NCEP) 全球系集預報資料的依賴，達成更自主的開發；(4) 亦有助於改善系集預報中高解析度巢狀網格預報初期的起轉問題。因此，系集片段循環架構在氣象局的應用上大有前景，值得繼續深入研究與開發。

目前工作僅為此系集片段循環方法在 WEPS 上的初步個案實驗測試。欲更加了解此方法，並達成取代現行 WEPS 系集初始化方法而作業化的目標，仍需進行更多的實驗。在方法的層面上，本研究尚未對其中同化的觀測資料添加隨機擾動，亦即在這部份尚未完整仿照 EDA 方法；因而我們將執行更多實驗以深入探討在此架構上 (1) 僅單純由全球系集分析與預報資料初始化區域系集預報、(2) 加上系集片段循環、(3) 再加上 blending (本研究進行之實驗)、與 (4) 再加上觀測擾動 (最相近於 EDA 方法) 等各項構成要素分別對區域系集預報結

果的影響，以更加了解此新方法優勢的關鍵來由。在作業評估上，需要進行更多不同季節、天氣系統之個案測試，調校各項設定以優化預報結果。

而在 WEPS 系統之外，系集片段循環中的短期系集預報有機會可作為系集背景誤差協方差提供 WRFD 系統執行 hybrid 3D-EnVar 同化(如圖 3 之紅色部份)，若此進一步的構想能夠實現，則氣象局各預報系統可完全移除對 EAKF 系統的依賴，得以在未來停止維運此套系統。最後，本工作將與氣象局 FV3GFS 全球預報系統之發展息息相關，區域系集預報系統介接全球系集預報系統的實驗結果，將能回饋給全球預報系統開發團隊；而全球系集分析與預報之持續發展改進，亦將可透過介接至區域系集預報系統的實驗結果來作為驗證項目之一。綜上所述，本研究提出之 WEPS 新架構，對氣象局未來數年之數值天氣預報發展具有重大意義。

參考文獻

李志昕、洪景山，2011：區域系集預報系統研究：物理參數化擾動。*大氣科學*，**39**，95–116。

——、——，2014：區域系集預報系統研究：系集成員產生方式之評估。*大氣科學*，**42**，153–179。

——、——、江琇瑛，2015：區域系集預報系統強化研究：介接系集調整卡爾曼濾波分析場。*104 年天氣分析與預報研討會*，臺北，臺灣，A2-18。

——、——、江琇瑛，2018：區域系集預報系統之初始場擾動強化研究。*107 年天氣分析與預報研討會*，臺北，臺灣，A3-19。

——、蘇奕叡、洪景山、張保亮，2022：中央氣象局區域系集預報系統之模式擾動及模式物理過程強化研究。*氣象學報*，**57(1)**，1–20。

連國淵、鄧雯心、黃子茂、趙子瑩、林宗翰、張志謙、陳建河、楊舒芝，2021：FV3GFS 全球預報系統於氣象局之資料同化進展與作業化測試。*110 年天氣分析與預報研討會*，臺北，臺灣，A2-44。

黃小玲、洪景山，2020：地表粗糙度調整對模式大氣及預報效能之評估。*109 年天氣分析與預報研討會*，臺北，臺灣，A2-30。

Anderson, J. L., 2001: An ensemble adjustment Kalman filter for data assimilation. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2884–2903, [https://doi.org/10.1175/1520493\(2001\)129<2884:AEAKFF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520493(2001)129<2884:AEAKFF>2.0.CO;2).

Barkmeijer, J., R. Buizza, and T. N. Palmer, 1999: 3D-Var Hessian singular vectors and their potential use in the ECMWF ensemble prediction system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **125**, 2333–2351, <https://doi.org/10.1002/qj.49712555818>.

Benjamin, S. G., and Coauthors, 2016: A North American hourly assimilation and model forecast cycle: The Rapid Refresh. *Mon. Wea. Rev.*, **144**, 1669–1694, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0242.1>.

Bowler, N. E., A. Arribas, S. E. Beare, K. R. Mylne, and G. J. Shutts, 2009: The local ETKF and SKEB: Upgrades to the MOGREPS short-range ensemble prediction system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **135**, 767–776, <https://doi.org/10.1002/qj.394>.

- Buizza, R., and T. N. Palmer, 1995: The singular-vector structure of the atmospheric global circulation. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 1434–1456, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1995\)052<1434:Tsvsot>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1995)052<1434:Tsvsot>2.0.co;2).
- Buizza, R., M. Leutbecher, and L. Isaksen, 2008: Potential use of an ensemble of analyses in the ECMWF Ensemble Prediction System. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **134**, 2051–2066, <https://doi.org/10.1002/qj.346>.
- Evensen, G., 1994: Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics. *J. Geophys. Res.*, **99**, 10143–10162, <https://doi.org/199410.1029/94JC00572>.
- , 2003: The ensemble Kalman filter: Theoretical formulation and practical implementation. *Ocean Dyn.*, **53**, 343–367, <https://doi.org/10.1007/s10236-003-0036-9>.
- Hsiao, L.-F., D.-S. Chen, Y.-H. Kuo, Y.-R. Guo, T.-C. Yeh, J.-S. Hong, C.-T. Fong, and C.-S. Lee, 2012: Application of WRF 3DVAR to operational typhoon prediction in Taiwan: Impact of outer loop and partial cycling approaches. *Wea. Forecasting*, **27**, 1249–1263, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-11-00131.1>.
- , and Coauthors, 2015: Blending of global and regional analyses with a spatial filter: Application to typhoon prediction over the western North Pacific Ocean. *Wea. Forecasting*, **30**, 754–770, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-14-00047.1>.
- Isaksen, L., M. Bonavita, R. Buizza, M. Fisher, J. Haseler, M. Leutbecher, and L. Raynaud, 2010: Ensemble of data assimilations at ECMWF. ECMWF Technical Memoranda No. 636, 48 pp.
- Kühnlein, C., C. Keil, G. C. Craig, and C. Gebhardt, 2014: The impact of downscaled initial condition perturbations on convective-scale ensemble forecasts of precipitation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **140**, 1552–1562, <https://doi.org/10.1002/qj.2238>.
- Li, C.-H., J. Berner, J.-S. Hong, C.-T. Fong, and Y.-H. Kuo, 2020: The Taiwan WRF Ensemble Prediction System: Scientific description, model-error representation and performance results. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, **56**, 1–15, <https://doi.org/10.1007/s13143-019-00127-8>.
- Lin, C.-H., M.-J. Yang, L.-F. Hsiao, and J.-H. Chen, 2022: The impact of scale-aware parameterization on the next-generation global prediction system in Taiwan for front predictions. *Atmosphere*, **13**, 1063, <https://doi.org/10.3390/atmos13071063>.
- NGGPS Dynamical core Test Group, 2016: Dynamical core evaluation test report for NOAA’s Next Generation Global Prediction System (NGGPS). 93pp.
- Palmer, T. N., R. Buizza, F. Doblas-Reyes, T. Jung, M. Leutbecher, G. J. Shutts, M. Steinheimer, and A. Weisheimer, 2009: Stochastic parametrization and model uncertainty.

- ECMWF Technical Memoranda No. 598, 42 pp.
- Peralta, C., Z. B. Bouallègue, S. E. Theis, C. Gebhardt, and M. Buchhold, 2012: Accounting for initial condition uncertainties in COSMO-DE-EPS. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **117**, <https://doi.org/10.1029/2011JD016581>.
- Raymond, W. H., and A. Garder, 1991: A Review of Recursive and Implicit Filters. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 477–495, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1991\)119<0477:ARORAI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1991)119<0477:ARORAI>2.0.CO;2).
- Saito, K., H. Seko, M. Kunii, and T. Miyoshi, 2012: Effect of lateral boundary perturbations on the breeding method and the local ensemble transform Kalman filter for mesoscale ensemble prediction. *Tellus A*, **64**, <https://doi.org/10.3402/tellusa.v64i0.11594>.
- Schwartz, C. S., G. S. Romine, and D. C. Dowell, 2021: Toward unifying short-term and next-day convection-allowing ensemble forecast systems with a continuously cycling 3-km ensemble Kalman filter over the entire conterminous United States. *Wea. Forecasting*, **36**, 379–405, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0110.1>.
- Skamarock, C., and Coauthors, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (No. NCAR/TN-475+STR). Univ. Corp. Atmospheric Res., <https://doi.org/10.5065/D68S4MVH>.
- Torn, R. D., G. J. Hakim, and C. Snyder, 2006: Boundary conditions for limited-area ensemble Kalman filters. *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 2490–2502, <https://doi.org/10.1175/MWR3187.1>.
- Vié, B., O. Nuissier, and V. Ducrocq, 2011: Cloud-Resolving Ensemble Simulations of Mediterranean Heavy Precipitating Events: Uncertainty on Initial Conditions and Lateral Boundary Conditions. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 403–423, <https://doi.org/10.1175/2010MWR3487.1>.
- Wang, X., 2010: Incorporating ensemble covariance in the Gridpoint Statistical Interpolation variational minimization: A mathematical framework. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 2990–2995, <https://doi.org/10.1175/2010MWR3245.1>.
- Yang, X., 2005: Analysis blending using spatial filter in grid-point model coupling. HIRLAM Newsletter No. 48, 7 pp.

Evaluation of a new “ensemble partial cycle” framework for use in the regional ensemble prediction system at Central Weather Bureau

Guo-Yuan Lien¹, Chih-Hsin Li², Wen-Hsin Teng¹

Research and Development Center, Central Weather Bureau¹
Meteorological Information Center, Central Weather Bureau²

Abstract

Central Weather Bureau (CWB) has developed its global and regional numerical weather prediction systems, for both the deterministic and ensemble forecasts; however, the development in the global and regional model systems at CWB and the connection between the two systems have not yet been close enough. This study investigates the strategy for connecting global and regional ensemble forecast systems. A new regional ensemble initialization method named “ensemble partial cycle” is proposed and implemented in CWB’s operational environment. Case study results show that this new method is superior to the current operational WRF Ensemble Prediction System (WEPS) that is based on an Ensemble Adjustment Kalman Filter (EAKF) data assimilation system, in terms of a better ensemble spread-error relationship and improved ensemble forecast performance. With this newly proposed regional ensemble initialization method and encouraging results, it becomes possible to promote the change for CWB’s regional ensemble forecast system to connect to its own global ensemble forecast system, which will facilitate an environment that is more suitable for independent development of numerical weather prediction systems at CWB.

Key words: regional ensemble forecasting, ensemble initialization, numerical weather prediction

新臺鐵路地震速報系統之效能分析

蕭乃祺¹ 邱俊達¹ 劉允韜² 王承韜³ 楊民⁴

¹中央氣象局地震測報中心 ²臺灣鐵路管理局綜合調度所
³三聯科技股份有限公司 ⁴國立臺灣大學地質科學系

摘要

臺灣鐵路管理局與中央氣象局於 2019 年起合作優化臺灣鐵路管理局的地震速報系統，於鐵路沿線 44 處車站與 26 處變電站，安裝 54 部地表強震儀與 70 部地震警報器，並在 26 處變電站全部裝設輔助地震儀。臺北中心站架設伺服器安裝新開發的地震資料處理系統，接收強震儀即時資料，同時整合氣象局的地震速報資訊，在有感地震發生後接續啟動地震預警作業、現地告警作業、觸發通報作業、震度推播作業、地震報告作業，及時處理並快速反應地震影響的路段與程度，以據此實施地震應變。新系統於 2021 年開始運轉，本研究蒐集上線後 18 個月的運作情形進行效能分析。結果顯示，系統平均可以在地震發生後的 2 分半鐘，提供鐵路沿線的震度分布資訊。另外中大型有感地震發生後，車站、變電站的警報器隨著震源距離，以每秒約 5.7 公里的速度陸續觸發告警，在最大震波侵襲前及時提供警訊緊急應變。系統優化後新增地震預警功能，可在 1 秒內接收氣象局的強震即時警報啟動預警作業，其中預估震度 4 級以上的警訊已具有參考應用價值。另外結合氣象局的格點化震度資訊，可以針對沒有安裝強震儀的站址提供推估震度。新系統在 2022 年 9 月 18 日池上地震發生時，玉里變電站與關山變電站均達到自動斷電的門檻，而經由該地震造成軌道災害的實際案例，驗證變電站具備自動斷電功能的必要性。

關鍵詞：臺灣鐵路、地震速報系統、地震預警、地震告警、地震應變

一、前言

臺灣鐵路管理局（以下簡稱臺鐵路）為在有感地震發生後，迅速獲得鐵路沿線的震度資訊啟動應變行動，保障旅客的行車安全，於 2001 年與中央氣象局（以下簡稱氣象局）合作

開發臺鐵路地震速報系統（蕭乃祺等，2003）。建置期間歷經系統規劃、測站勘選、儀器採購、軟體撰寫以及系統測試等幾個階段，2003 年開始運作，提供臺灣鐵路運輸臨震應變重要的參考資訊。

當時建置的臺鐵路地震速報系統（以下簡

稱原系統) (圖 1)，在 43 個火車站、變電站安裝強震儀，透過臺鐵局既有電話線路即時將強震儀訊號連續傳輸至就近的電務分駐所，再藉由環島光纖網路傳回臺北車站綜合調度所的中心站。中心站架設電腦安裝地震資料接收處理系統，當發生有感地震後，系統會自動觸

發進行資料處理，並將處理後各車站、變電站的震度資訊，同步展示於行控室電腦的監控介面，提供調度員應變調度參考。強震儀訊號同時並接至車站與變電站的地震警報器，即時提供車站人員震度資訊，以及變電站電力設備自動斷電。

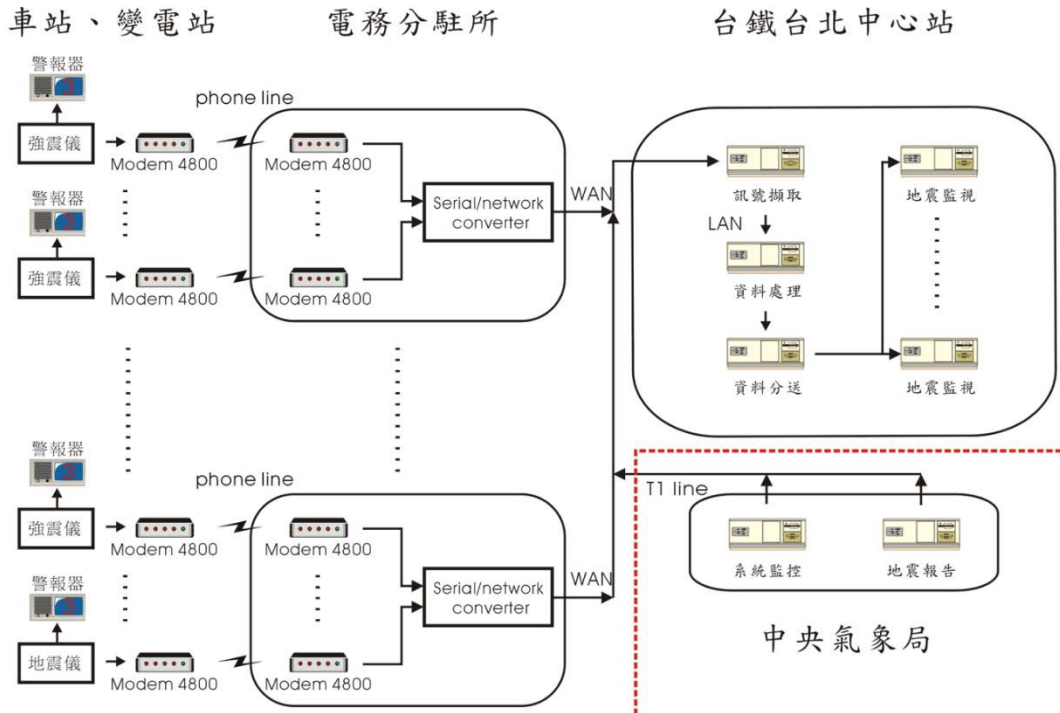


圖 1、原臺鐵局地震速報系統架構圖 (蕭乃祺等，2003)。

Fig. 1. System diagram of the original TRA earthquake rapid reporting system.

原系統使用迄今已逾 20 年，大部分設備老舊已達使用年限，原有的觀測站分布亦無法完整防護現今環島鐵路規模，另外近年來最新發展的地震監測與通報技術，受限於原系統儀器設備與傳輸架構而無法引進。因此臺鐵局為強化地震速報系統地震監測與資訊通報的能力，再次委託氣象局共同辦理「臺鐵局地震速報系統優化案」，主要的工作項目與預期效益

如下：

1. 配合臺東線電氣化及南迴鐵路臺東至潮州段電氣化工程，於新建的變電站、車站及指定車站增設強震儀及地震警報器，建立臺灣鐵路完備的地震防護網。
2. 原有地震警報器全面更換為新型多功能警報器，兼具地震預警與告警能力，並於變電站加接一組強震儀資料，避免單一儀器

誤訊號啟動電力設備斷電影響火車營運。

3. 研發新一代資料接收與處理作業流程與系統軟體，導入氣象局地震預警與速報資訊，開發具備預警、告警與速報完整功能的地震速報系統。
4. 配合臺鐵局地震應變作業規範與需求，設計友善的展示網站與方便的通報管道，能透過網際網路串接外部即時通訊軟體，強化臺灣鐵路地震應變效能。

臺鐵局與氣象局共同規劃設計新地震速報系統（以下簡稱新系統）的系統架構與作業流程，硬體安裝與軟體開發則是透過公開招標，委由三聯科技股份有限公司辦理。優化案採取新舊系統先建後拆、同步轉換方式，從 2019 年初開始執行，歷經 2 年開發建置，新系統於 2021 年開始運轉，並持續依實際上線的情形進行系統調校，目前已逐漸穩定運作，而原系統亦於 2021 年底正式退役。配合新系統上線以及氣象局實施新地震震度分級（中央氣象局，2019），臺鐵局同時調整該局的地震應變分級，將其概分為「震度 3 級」、「震度 4 級及 5 弱」、「震度 5 強以上」等 3 個分級，並據此規範值班站長、調度員、司機員、車長、工務與電務巡檢人員及相關單位人員，明確對應的處理程序（臺灣鐵路管理局，2020）。

為掌握新系統的作業效能，本研究蒐集系統上線後實際運作的成果進行分析，檢討各階段作業提供應變資訊的準確性與時效性，做為系統後續精進調整的方向。文中同時詳細介紹新系統的系統架構與作業流程，提供國內其他軌道運輸或重要公共設施參考。

二、系統架構

經過優化後，新系統總共包含 54 部地表強震儀與 70 部地震警報器，完整分布於環島鐵路的 44 處車站與 26 處變電站(表 1、圖 2)。新安裝儀器的地點主要為臺東線與南迴鐵路臺東至潮州段鐵路電氣化後的車站、變電站，以及臺北市區鐵路地下化後的南港車站與變電站。由於大規模地震瞬間即可能造成大範圍的災害，對於軌道系統而言，車站與變電站是第一線執行應變任務的據點，而強震儀所觀測的現地震度則是應變調度主要參考的依據。在應變功能的規劃，車站人員透過警報器明確的警示，可以立即通報行駛列車減速、路線巡檢與旅客資訊，變電站則是經系統評估或是強震儀觀測到強烈震動時，同樣可以透過警報器將電力設備自動斷電，迫使列車停駛降低災害。

表 1、新臺鐵局地震速報系統 54 部強震儀與 70 部警報器的安裝站址，以及其擔負的應變功能（以符號◎標示）。

Table 1. Installation sites of 54 strong-motion seismometers and 70 earthquake alarms of the optimized TRA earthquake rapid reporting system. The symbol “◎” indicates the functions for earthquake response at site.

安裝站址	安裝儀器		應變功能				備註
	強震儀	警報器	列車減速	路線巡檢	旅客資訊	區間斷電	
七堵站	◎	◎	◎	◎	◎		
南港變電站	◎	◎				◎	新設
南港站		◎	◎	◎	◎		新設，接收南港變電站強震儀訊號
臺北站	◎	◎	◎	◎	◎		
樹林變電站	◎	◎				◎	
樹林站		◎	◎	◎	◎		接收樹林變電站強震儀訊號
內壢變電站	◎	◎				◎	
桃園站		◎	◎	◎	◎		接收內壢變電站強震儀訊號
新竹變電站	◎	◎				◎	
新竹站	◎	◎	◎	◎	◎		
苗栗變電站	◎	◎				◎	
苗栗站	◎	◎	◎	◎	◎		
三義站	◎	◎	◎	◎	◎		
豐原變電站	◎	◎				◎	
豐原站		◎	◎	◎	◎		接收豐原變電站強震儀訊號
臺中站	◎	◎	◎	◎	◎		
後龍變電站	◎	◎				◎	
後龍站		◎	◎	◎	◎		接收後龍變電站強震儀訊號
大甲站	◎	◎	◎	◎	◎		
甲南變電站	◎	◎				◎	

臺中港站		◎	◎	◎	◎		接收甲南變電站強震儀訊號
彰化變電站	◎	◎				◎	
彰化站	◎	◎	◎	◎	◎		
二水站	◎	◎	◎	◎	◎		
石榴變電站	◎	◎				◎	
斗六站	◎	◎	◎	◎	◎		
嘉義變電站	◎	◎				◎	
嘉義站	◎	◎		◎	◎		
新營站	◎	◎	◎	◎	◎		
善化變電站	◎	◎				◎	
善化站		◎	◎	◎	◎		接收善化變電站強震儀訊號
臺南站	◎	◎	◎	◎	◎		
岡山變電站	◎	◎				◎	
岡山站		◎	◎	◎	◎		接收岡山變電站強震儀訊號
九曲堂變電站	◎	◎				◎	
九曲堂站		◎	◎	◎	◎		接收九曲堂變電站強震儀訊號
屏東站	◎	◎	◎	◎	◎		
潮州變電站	◎	◎				◎	新設
潮州基地		◎	◎	◎			新設，接收潮州變電站強震儀訊號
枋寮站	◎	◎	◎	◎	◎		
加祿站	◎	◎	◎	◎	◎		新設
內獅變電站	◎	◎				◎	新設
枋野站	◎	◎	◎	◎			新設
瑞芳站	◎	◎	◎	◎	◎		
雙溪變電站	◎	◎				◎	
雙溪站		◎	◎	◎	◎		接收雙溪變電站強震儀訊號

礁溪變電站	◎	◎				◎	
礁溪站		◎	◎	◎	◎		接收礁溪變電站強震儀訊號
宜蘭站	◎	◎	◎	◎	◎		
蘇澳變電站	◎	◎				◎	
蘇澳新站		◎	◎	◎	◎		接收蘇澳變電站強震儀訊號
南澳站	◎	◎	◎	◎	◎		
和平變電站	◎	◎				◎	
和平站		◎	◎	◎	◎		接收和平變電站強震儀訊號
花蓮變電站	◎	◎				◎	
花蓮站		◎	◎	◎	◎		接收花蓮變電站強震儀訊號
壽豐站		◎	◎	◎	◎		新設，接收氣象局網格震度資訊
光復站	◎	◎	◎	◎	◎		接收光復變電站強震儀訊號 (優化案時為新設站)
光復變電站	◎	◎				◎	新設
瑞穗站	◎	◎	◎	◎	◎		新設，接收氣象局網格震度資訊 (優化案時為新設站)
玉里站	◎	◎	◎	◎	◎		
玉里變電站	◎	◎				◎	新設
池上站	◎	◎	◎	◎	◎		新設
關山站	◎	◎	◎	◎	◎		接收關山變電站強震儀訊號 (優化案時為新設站)
關山變電站	◎	◎				◎	新設
臺東站	◎	◎	◎	◎	◎		接收臺東變電站強震儀訊號 (優化案時為新設站)
臺東變電站	◎	◎				◎	新設
太麻里站	◎	◎	◎	◎	◎		
大武站	◎	◎	◎	◎	◎		新設
大武變電站	◎	◎				◎	新設

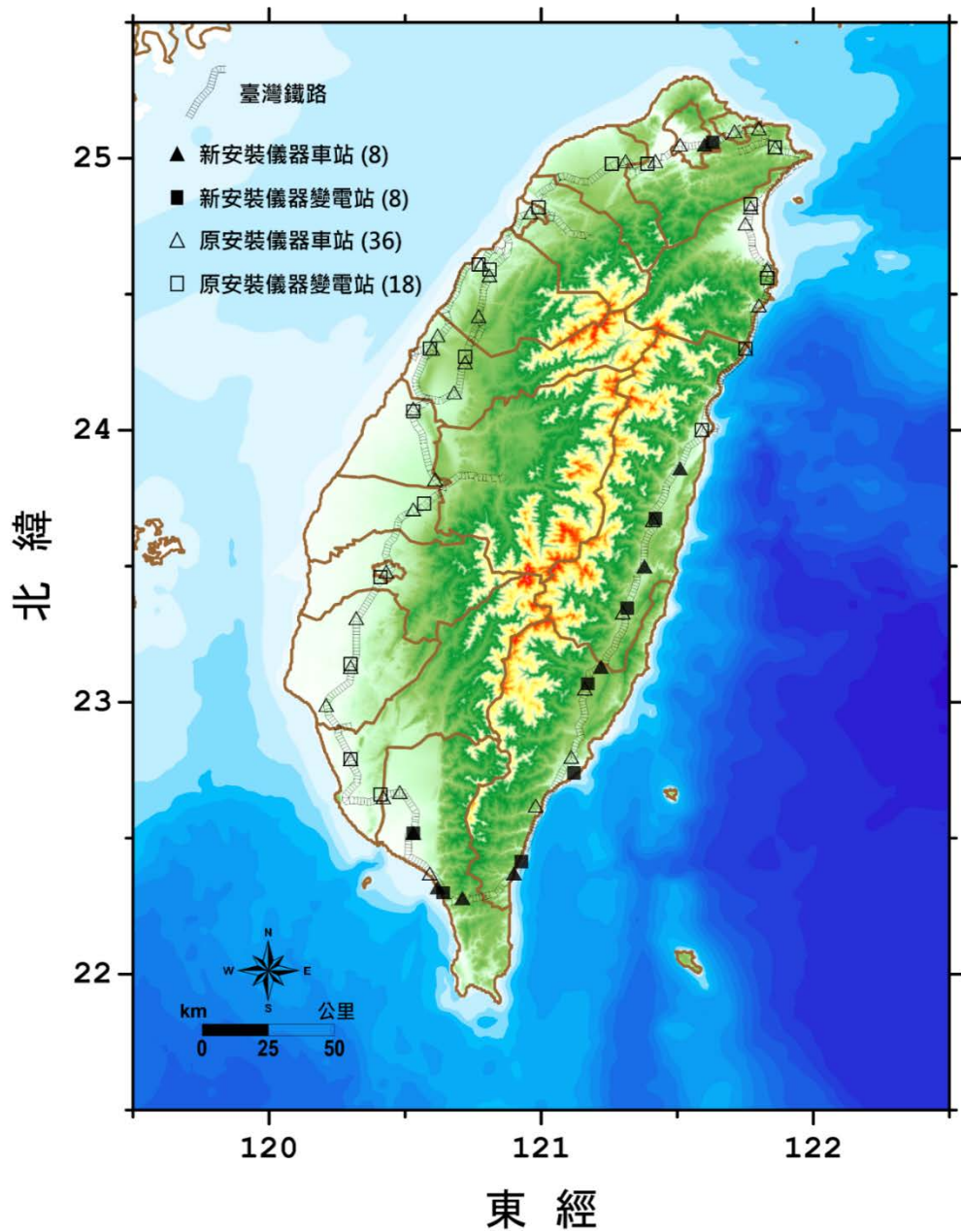


圖 2、新臺鐵路地震速報系統儀器安裝站址的分布圖，包括 44 處車站與 26 處變電站。

Fig. 2. Distribution map for instrument installation sites of the optimized TRA system, including 44 rail stations and 26 substations.

新系統的系統架構圖如圖 3，設備安裝的地點涵蓋車站、變電站等外站，以及位於臺北

車站綜合調度所的中心站，另外氣象局分階段所發布的地震速報資訊，亦會整合至系統中一

併應用與研判。外站與中心站資訊的相互傳遞係透過臺鐵局自建的環島光纖網路，氣象局提供的速報資訊則是透過網際網路接收。

所有變電站與大部分車站安裝地表強震儀，可以連續記錄當地的地動加速度，並將資料即時傳送至地震警報器，至於沒有安裝強震儀的車站，則會接收鄰近變電站的強震儀訊號或接收氣象局地震速報資訊。經評估可用性後，新系統仍沿用原系統使用的日本東京測震公司（Tokyo Sokushin）CV-574C、CV-575C 強震儀，該儀器採用三軸向力平衡式加速度 FBA（Force Balance Accelerometer）感應器，最大可以量測到 $\pm 2g$ 的地動加速度值。即時資料輸出則是採取 16 位元 RTD（Real-Time Data stream）格式，透過 RS-232 序列埠傳送至地震警報器。為提升變電站啟動自動、手動斷電功能的正確性，各變電站同時增設 1 部輔助地震儀，提供另外 1 組加速度震動資料進行相互驗證。使用的輔助地震儀為三聯公司開發的三軸向微機電（Micro Electro Mechanical Systems, MEMS）加速度計 pALERT，其解析度同樣為 16 位元，即時資料則改使用網路封包方式傳給警報器。由於變電站中的 pALERT 皆就近安裝於結構物的牆上，所以其量測的震動值因為結構物效應，一般會比地表強震儀稍大。

優化案中將現有與新增的車站、變電站全面安裝新型地震警報器，連線接收強震儀的地動加速度訊號，能夠即時計算氣象局新地震震度。該警報器同樣由三聯公司所製造（型號 PX-01 Cube），除了劇烈震動時能夠緊急告警外，並新增地震預警的功能，可以即時於面板顯示預估或觀測的地震震度。警報器觸發後會發出燈光與聲響提醒，其中震度未達 3 級將閃爍綠燈、3 級至 5 級弱閃爍綠黃燈、5 強以上則

閃爍綠黃紅燈。安裝於變電站的地震警報器，將同時接收強震儀與輔助地震儀的即時資料進行綜合判斷，當 2 部地震儀皆偵測到 5 強以上震度時，警報器可輸出訊號透過電力電驛組控制電力設備自動斷電，或供臺鐵局手動控制斷電。

強震儀與輔助地震儀連續的加速度震動紀錄，亦可透過地震警報器，經臺鐵局的環島光纖網路連續傳回中心站。中心站架設伺服器安裝新開發的地震資料接收處理系統，接收外站地震儀的即時資料，並可以整合氣象局所提供的地震速報資訊，當有感地震發生後，接續啟動不同階段的速報作業。不同於原系統僅能單向接收外站強震儀資料，新的資料接收處理系統內含資訊儲存與發送模組，除了可以儲存觸發地震訊號檔案，將各作業所產製的應變資訊寫入資料庫外，同時經由環島光纖網路，可將預估與觀測震度傳至車站與變電站的警報器，提供警示與斷電控制。

根據臺鐵地震應變需求，優化案另外委託廠商於中心站建置地震速報網站，使用電子地圖連結資料庫清楚展示震後車站、變電站的震度資訊，以及各鐵路區段的應變資訊（圖 4），方便應用於地震應變調度與系統運作情形評估。網頁資訊可以選取圖形或文字展示，內容包括所有地震儀每分鐘的波形紀錄、警報器觸發後的波形紀錄、氣象局地震通報後的波形紀錄、氣象局地震速報資訊等。相關資訊經過整合後同時可以產製臺鐵局的地震應變報告，內容整合地震參數、震度資訊與應變指引。網站資訊另外與臺鐵局既有的即時通訊軟體串接，以自動或手動的方式，將地震訊息透過網際網路發至指定群組，有效提升臺鐵局地震應變作業效能。



臺灣鐵路管理局

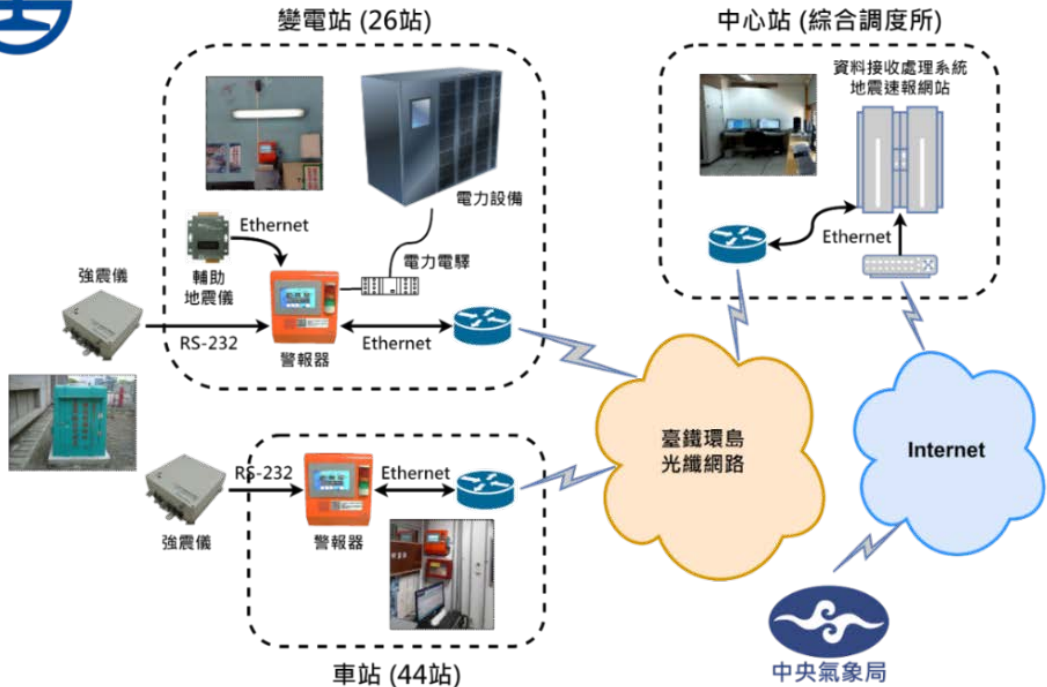


圖 3、新系統的系統架構圖，包括安裝於車站、變電站的強震儀與警報器，以及中心站的資料處理系統與速報網站。兩者間透過臺鐵環島光纖網路傳遞資料訊息，另外氣象局以網際網路提供地震速報資訊啟動作業。

Fig. 3. System diagram of the optimized TRA earthquake rapid reporting system. The equipment configuration mainly includes strong-motion seismometers and earthquake alarms installed at rail stations and substations, and a data processing and reporting system at Taipei headquarters.

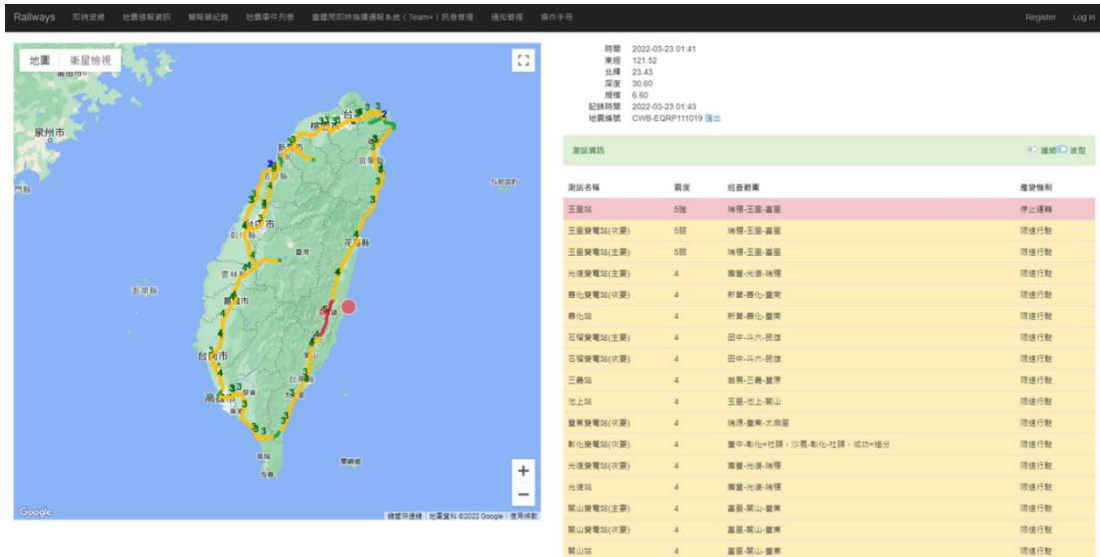


圖 4、臺鐵局地震速報網站展示 2022 年 3 月 23 日規模 6.7 東部海域地震發生時，環島鐵路震度分布與應變資訊頁面。

Fig. 4. Regarding the March 23, 2022 M6.7 off eastern Taiwan earthquake, the system website reveals information of the seismic intensities and related response actions along the Taiwan railway.

三、作業流程

優化後新系統的作業流程如圖 5，依據鐵路沿線強震儀的觸發紀錄，以及氣象局發布的地震速報資訊，在大地震發生後陸續啟動 5 套資料處理與通報作業，並依發布資訊的功用，區分為預警、告警與速報等 3 個階段。

地震預警係指強震後快速評估其影響的區域與程度，期望在強烈震波侵襲前提出警告，對於軌道運輸系統可以提供從業人員及乘客第一時間緊急防護減少傷亡，變電站電力設備亦可自動斷電迫使列車停駛，避免劇烈搖晃造

成出軌翻車。告警階段則是當強震儀偵測當地開始搖晃時，通報行駛列車採取限速行駛措施，同時透過自動斷電的方式，避免列車駛入可能遭受破壞的高風險路段。後續在地震發生後數十秒至數分鐘內的速報階段，其發布資訊包括鐵路沿線所有強震儀觀測的震度分布、氣象局產製的格點震度以及地震的震源參數，提供臺鐵局快速評估地震影響程度與路段，調度人員、物力實施路線巡檢、列車限速、旅客資訊提供等應變作為。

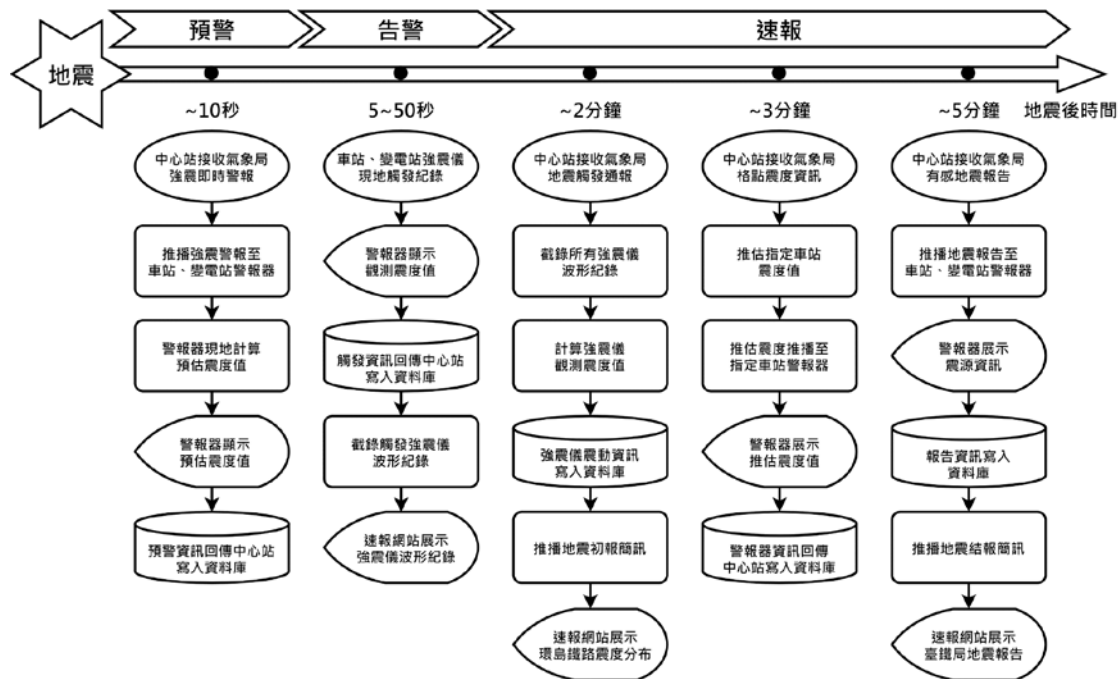


圖 5、優化後新系統的作業流程圖，依地震後啟用時序包括預警、告警、速報等 3 個階段，共 5 套地震資料接收、處理與通報作業。

Fig. 5. According to the stages of earthquake early warning, onsite alert, and rapid reporting, five operational processes are developed in the optimized TRA earthquake rapid reporting system respectively.

新系統作業包括地震預警作業、現地告警作業、觸發通報作業、震度推播作業以及地震報告作業，其中地震預警作業屬於預警階段，現地告警作業屬於告警階段，其餘 3 套作業則是屬於速報階段。有關各作業的啟動時機與作業流程說明如下：

地震預警作業

本作業為新開發功能，當系統接收到氣象局發布的強震即時警報即啟動本作業，目標針對距震央較遠的站點，可以提供預警時間採取緊急防護。氣象局於 2014 年開始啟用地震預警服務（蕭乃祺等，2014），當該局地震預警

系統偵測臺灣地區可能發生規模 4.5 以上地震，同時有縣市預估震度達 3 級以上時，會針對學校、公共設施、防救災單位發布強震即時警報。氣象局地震預警系統現階段針對島內或近海中大規模地震，可以在地震後 10 秒左右發布警報，外海或深層地震則是平均 20 秒左右（蕭乃祺，2020）。

本作業啟動後，首先會將警報訊息轉發至外站的警報器，然後再由警報器內建的處理模組預估該地的震度值，當達到應變標準則立即發布警示，提供站務人員第一時間緊急應變。另外安裝於變電站的警報器，如果預估震度值超過 5 強時，可輸出訊號透過電力電驛組控制

電力設備自動斷電。最後本作業產製的預警資訊，例如預估震度、警報時間、警報發布、變電站斷電等，會回傳至中心站的資料庫備查。

參考氣象局作法，本作業同樣採用蕭乃祺（2007）所提出的最大地動加速度 PGA（Peak Ground Acceleration）衰減式預估震度，雖然新的震度分級在震度 5 弱以上時會同時參考最大地動速度 PGV（Peak Ground Velocity）（中央氣象局，2019），但根據蕭乃祺（2021）研究指出，PGA、PGV 合併使用預估震度對於高震度會存在低估的狀況，因此目前仍維持使用 PGA 衰減公式預估震度。

現地告警作業

車站、變電站的警報器 24 小時持續接收強震儀地動加速度資料，當震動值超過預設門檻時，會觸發警報器計算與收錄該地的震度資訊，並依對應的應變分級顯示告警訊息。警報器告警資訊會同時回傳中心站，除寫入資料庫供查外，中心站資料處理軟體會截錄該外站的波形紀錄於網站展示。另外安裝於變電站的警報器，如果觀測震度值超過 5 強，亦可輸出訊號透過電力電驛組控制電力設備自動斷電。為確保電力設備不因單一強震儀故障而啟動斷電，新系統增加輔助地震儀，綜合判斷以提升斷電功能的正確性。

警報器地震觸發模式同時採用震波短時振幅 STA（Short Term Average）與長時振幅 LTA（Long Term Average）比值，以及 PGA 值等兩種方法，當其中 1 種方法達到預設的門檻時即會啟動本作業。目前 STA/LTA 的門檻值設為 3.5，而 PGA 值則設定達到臺鐵地震應變等級（震度 3 級以上）才觸發。

各外站啟動作業時間依據震央距離遠近不同，時間約於地震後 5 秒至 50 秒之間。

觸發通報作業

本作業為新開發功能，透過接收氣象局地震速報系統的自動定位報告，迅速產製環島鐵路沿線的觀測震度，為速報階段最重要的作業。氣象局的地震速報系統具備自動化資料處理功能，在正常運作下，一般可以在有感地震發生後 1 到 2 分鐘，自動解算地震發生時間、震央位置、震源深度與地震規模等資訊（蕭乃祺等，2005）。新系統接收該訊息後，將會觸發本作業，開始截錄所有外站強震儀的波形紀錄，並計算各車站、變電站的震度資訊。波形檔會依據震央位置設定紀錄的起始時間，同時地震規模越大，截錄的波形越長，以完整截錄地震 P 波、S 波的波形。

各外站觀測震度產製後，將串接臺鐵路局既有的即時通訊軟體發布簡訊給相關人員，速報網站亦會同步展示環島鐵路各外站震度分布，對於該局的地震應變提供重要資訊。新系統原本僅接收氣象局顯著有感地震的自動報告，為能獲得更完整地震資訊，2021 年 2 月起針對小規模的有感地震亦會通報。另外當氣象局地震速報系統因故沒有提供自動報告時，將會導致新系統無法產製環島鐵路各地的震度資訊。因此 2021 年 10 月起，如果新系統因故沒有收到自動報告時，氣象局所發布的正式地震報告亦會啟動本作業，以確保穩定提供各外站的震度資訊。

震度推播作業

本作業亦為新系統於速報階段新開發功能，針對現地無設置強震儀或沒有接收強震儀即時訊號的車站，可以透過本作業，接收氣象局的網格化震度資訊進行應變。氣象局為擴展震度資訊跨域整合與客製化服務的彈性，在該

局即時地震觀測網的架構下，發展格點震度的演算流程（蕭乃祺、戴一明，2022），並透過套疊的方式快速推估目標區的震度值。

氣象局產製格點震度的地震站約 170 站，格點精度為 1 公里，藉由此資訊推估震度的站點包括壽豐車站與瑞穗車站，推播時間約在地震後 3 分鐘左右。剛啟用時由於格點資料量過於龐大，導致新系統接收資料檔案不穩定，因此氣象局於 2021 年 8 月改僅提供臺鐵局所有車站、變電站周遭的格點震度，大幅調降檔案大小，因而本作業的穩定性亦已顯著提升。

地震報告作業

當系統收到氣象局最終發布的有感地震報告，將啟動本作業，時間平均在地震後 5 分鐘。作業過程除將發震時間、震央位置（以經緯度及當地縣市政府所在地相對位置文字敘述）、震源深度、地震規模等震源資訊，推播至各外站警報器供參外，最主要功能將產製臺鐵局針對地震事件的地震報告，內容提供應變相關人員明確的處理指引，包含各站點的觀測震度、應變機制與巡查範圍等。此報告同時串接臺鐵局既有的即時通訊軟體，發布文字簡訊給相關人員做為應變調度使用，亦會於地震速報網站同步展示。

本作業另透過震源資訊，將系統資料庫中各作業所提供的資訊進行比對與連結，以方便後續地震資料分析與系統效能評估。

四、效能分析

本研究蒐集 2021 年 1 月至 2022 年 6 月，新系統針對氣象局所發布 856 個有感地震的測報紀錄，評估其分別於速報、告警、預警各階段作業的表現。分析的地震主要分布於東部陸地與海域地區（圖 6），尤其集中在宜蘭南部山區到花東縱谷，另外嘉南地區地震亦較為頻繁，而且多為極淺層地震（淺於 15 公里），對於環島鐵路運輸造成影響。地震的規模從 2.5 到 6.7，其中規模 6 以上的地震有 12 個，最大為 2022 年 3 月 23 日凌晨 1 點 41 分的東部海域地震。

本研究完成 18 個月資料的分析後，2022 年 9 月 17 日與 18 日在臺東的關山與池上，又分別發生速報規模 6.4 與 6.8 的有感地震，並且造成花東鐵路嚴重受損，包括軌道挫屈、鐵路橋位移、橋台隆起等災害。因此本研究同時針對這 2 起災害地震，分析新系統的運作情形，以期研提後續改進措施。

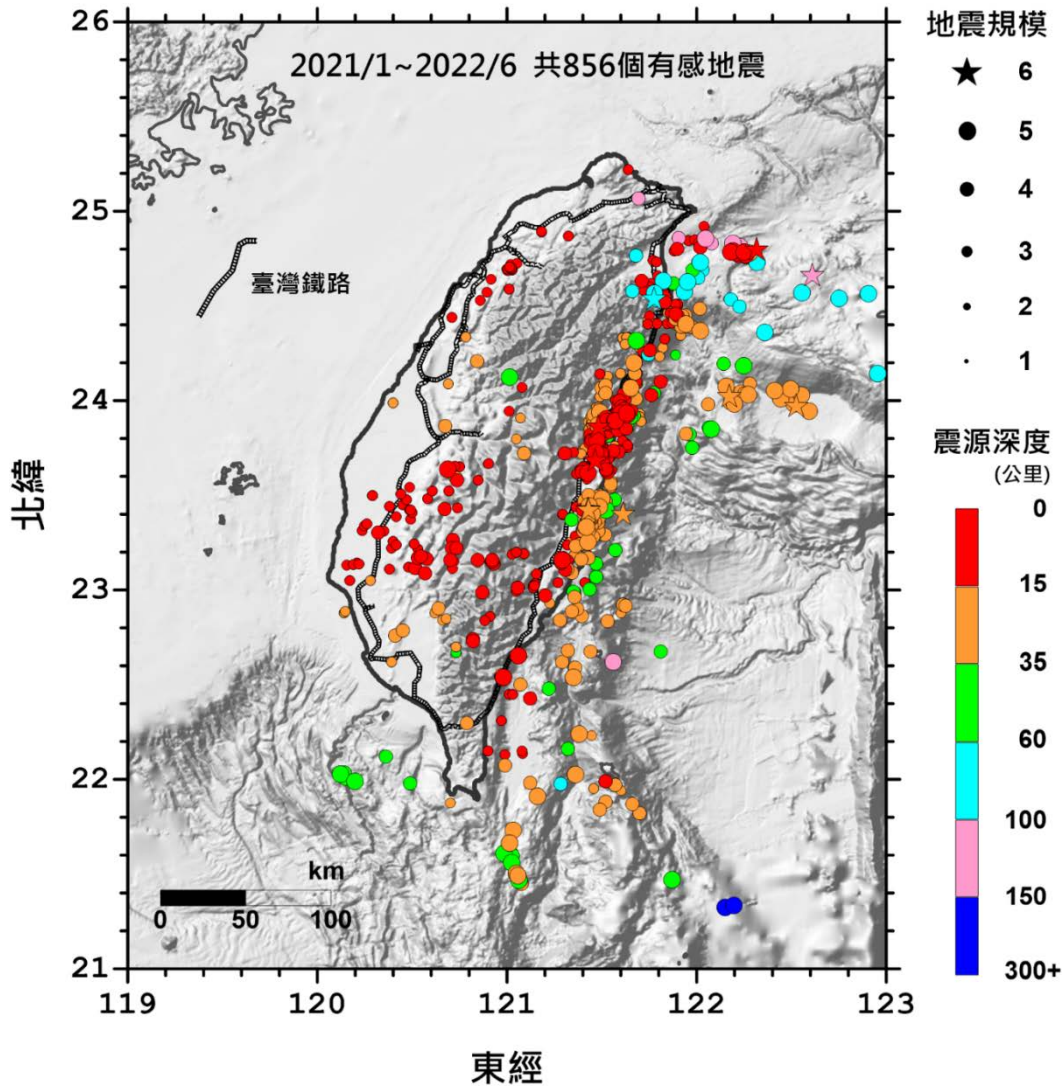


圖 6、本研究進行效能分析所參考 856 個有感地震的震央分布圖。

Fig. 6. Epicentral distribution map of 856 felt earthquakes collected and analyzed for the study.

(一) 速報作業表現

新系統針對 856 個有感地震，總共處理氣象局發布的 781 筆地震通報紀錄、479 筆格點震度紀錄、824 筆地震報告紀錄，接收率分別為 91.2 %、56.0 %、96.3 % (圖 7)，如統計 2021 年 2 月開始接收小規模地震資訊後，則地

震報告的接收率更高達 99.0 %。觸發通報作業由氣象局的地震通報紀錄啟動，據此產製地震後鐵路沿線的震度分布資訊，當 2021 年 10 月該作業的觸發機制增加地震報告後，成功接收率已經可以達到 98.2 %。進一步分析 8 起沒有地震通報紀錄的個案，皆是小規模地震，而缺

漏資料的原因初步判斷跟連續地震以及系統維修有關。另外針對沒有安裝地震儀車站的震度推播作業，2021 年 8 月以後因調降格點震度的檔案大小，目前系統每個月的接收率已經趨於穩定，平均值為 81.2 %。

統計系統接收氣象局資訊的時效(圖 7)，目前平均地震後 113.5±71.4 秒可以收到地震通報紀錄，105.4±20.7 秒收到格點震度紀錄，254.9±86.8 秒收到地震報告紀錄。其中接收地震通報與地震報告的時效，會與氣象局地震速報系統是否產生與發送自動報告有關，如因無自動結果而改由人工處理發布，則此兩種紀錄的接收時間將會明顯增加，也因此其平均接收時間的標準差比較大。至於格點震度紀錄方面，由於目前皆仍僅由自動報告啟動，並未設計地震報告補啟動的機制，所以平均接收的時間較短，但接收的比例也相對比較低。

地震後快速提供各外站觀測震度，以及對應的應變分級與行動，是速報階段最重要的任務。分析觸發通報作業發布震度情形(圖 8)，781 個啟動作業的有感地震中，配合臺鐵局的地震應變分級，最大震度 2 級以下的地震共 525 起，比率 67.2 %，「震度 3 級」地震 169 起，「震度 4 級及 5 弱」地震 86 起，「震度 5 強以上」的地震則有 1 起。臺鐵局目前以震度 3 級以上地震為應變的門檻，因此針對氣象局發布的有感地震，僅約 1/3 需要應變。另外有 5 起震度 0 級的地震，則是因為地震規模較小，且震央位置距離鐵路軌道較遠，因此所有臺鐵局的強震儀皆沒有觀測到地震震度。

觸發通報作業解算震度的時效方面(圖 8)，總平均處理時間為 147.0 秒，即約地震發生後

2 分半鐘中心站可以完整獲取各車站、變電站的震度資訊。進一步分析其分布情形，有 64 筆地震可以在地震發生後 90 秒內震度資訊，比例為 8.9 %，絕大部分是發生在島內的小規模地震(規模小於 4.0)，因為其震動時間短，所以可以較快獲得完整的震度資訊。大部分地震可以在 90 秒至 3 分鐘得到資訊，比例為 77.3 %，3 分鐘到 5 分鐘的地震比例 8.9 %，主要為規模較大或是外海地震，由於擷取紀錄需要較長時間，所以較晚得到震度的資訊。至於 5 分鐘以上的比例則是 4.6 %，皆是因為系統在第一時間沒有收到氣象局的自動報告資訊，而是透過正式地震報告才開始擷取波形紀錄進行震度演算，所以延遲許多時間。

新系統震度推播作業透過氣象局的格點震度，目前可以提供壽豐車站與瑞穗車站震度資訊。為瞭解其可行性，本研究蒐集所有外站實際觀測的震度資訊，與格點震度推估的結果比較，比對的紀錄超過 2 萬 3 千筆。準確性方面(圖 9)，推估應變分級「震度 4 級及 5 弱」的站數共有 87 筆，與實際觀測完全一致的比例為 60.9 %，如加上亦需應變的「震度 3 級」則可以達到 96.5 %。系統推估「震度 3 級」的結果則明顯高估，預估需應變但實際未達門檻的比例高達 45.3 %，如將震度推播作業門檻調整為震度 4 級，則準確率可達到 62.1 %。另外在未達門檻的推估方面，比對結果一致的站數共 22,441 筆，準確度高達 99.5 %，顯示該作業漏報的機會很低。

時效表現方面(圖 9)，約 94 % 的地震可以在 3 分鐘內將推估震度推播至外站，60 % 的地震甚至可於 2 分鐘內完成。

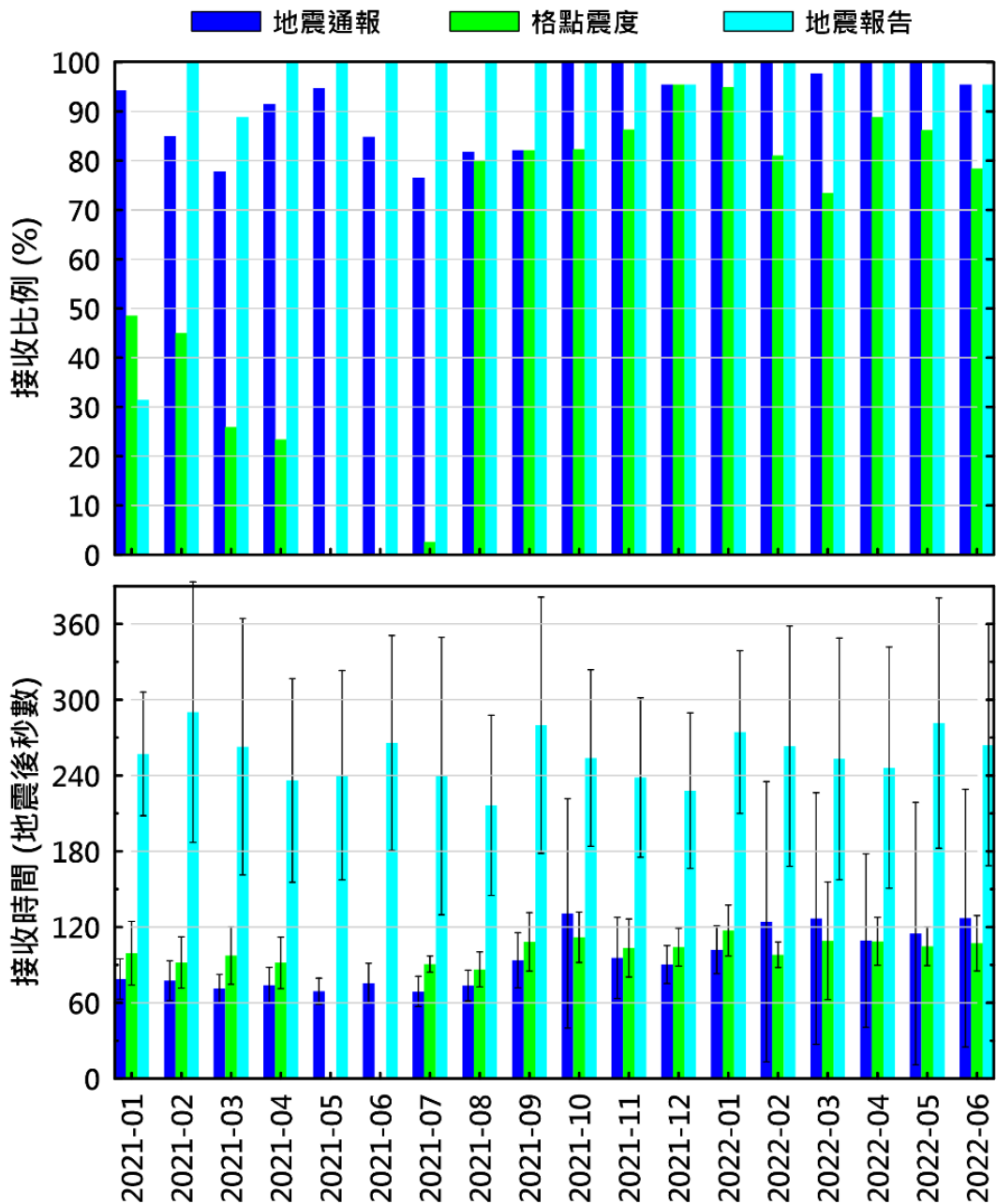


圖 7、2021 年 1 月至 2022 年 6 月共 18 個月，新系統每個月接收氣象局地震速報資訊情形，包括接收比例（上圖）與接收時間（下圖）的統計圖。

Fig. 7. Operational performances of the optimized system on receiving various CWB earthquake reports from January 2021 to June 2022, including the statistics of receive proportion (above) and receive time (below).

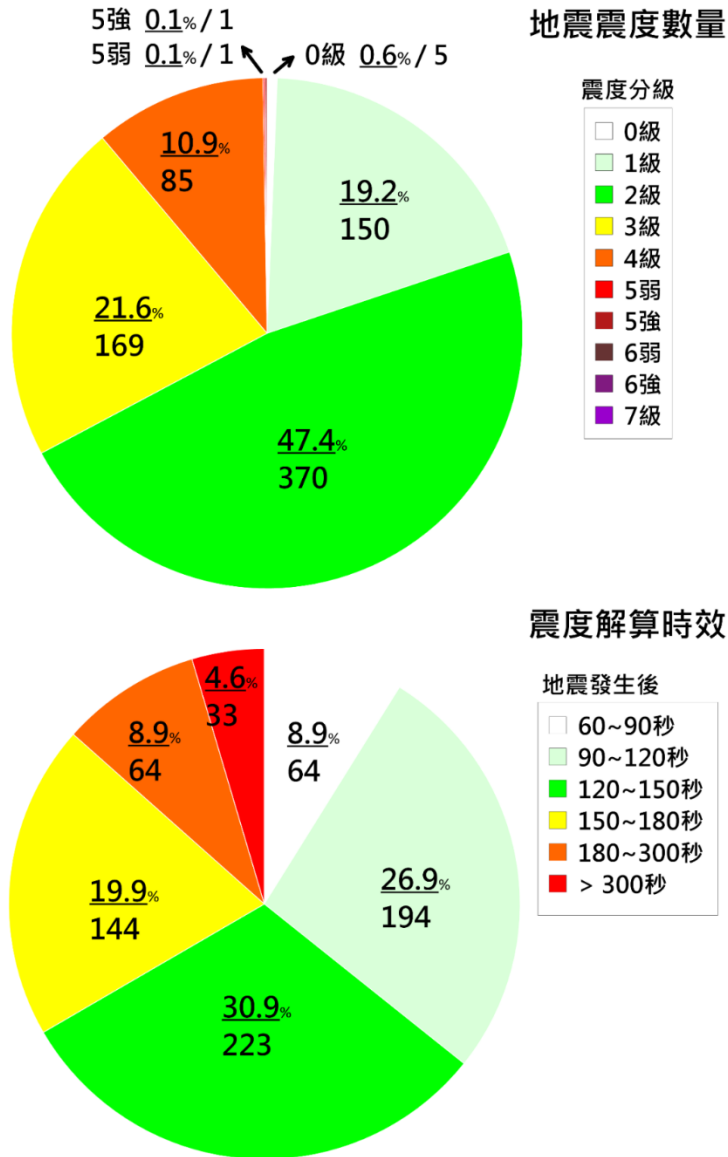


圖 8、新系統觸發通報作業發布震度資訊情形，包括地震震度的發布數量（上圖）與解算時間（下圖）的統計圖。

Fig. 8. Operational performances of the optimized system on earthquake trigger notification, including the statistics of numbers of the different seismic intensity level (above) and the statistics of calculation time (below).

應變分級比對

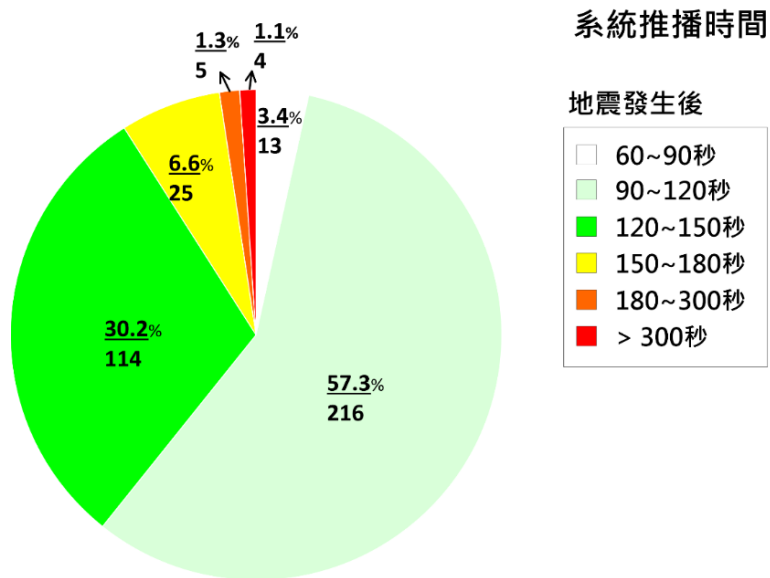
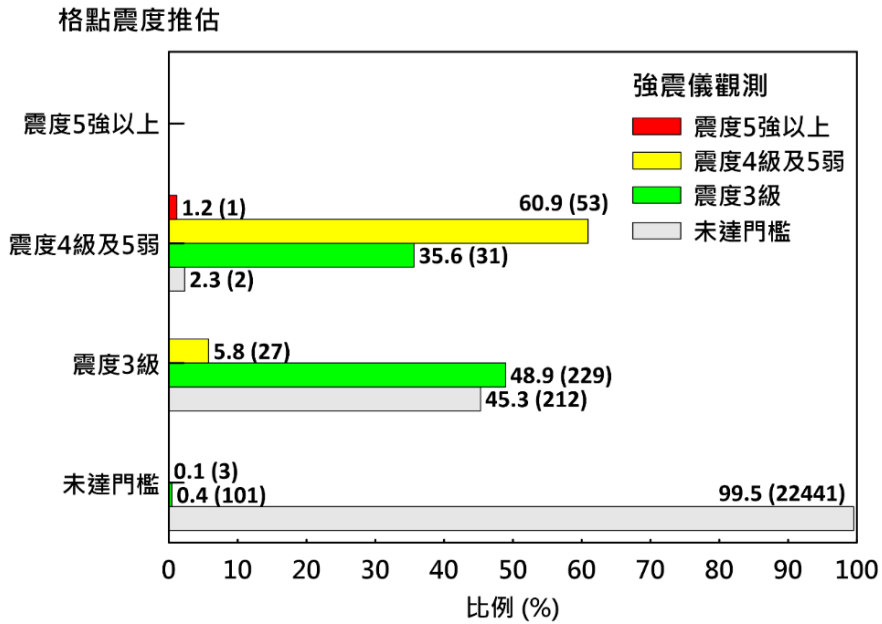


圖 9、新系統震度推播作業透過氣象局格點震度推播震度資訊情形，包括推估震度準確性（上圖）與推播時間（下圖）。

Fig. 9. Operational performances of the optimized system on seismic intensity estimation from CWB gridded seismic intensity data, including the accuracy of estimated seismic intensities (above) and the statistics of issuance time (below).

(二) 告警作業表現

臺灣鐵路沿線總共安裝 54 部地表強震儀，即時記錄地動加速度資料，當達觸發門檻即啟動告警作業，透過警報器提供震度資訊進行緊急應變。本研究蒐集 3 個規模 6 以上的淺層地震，包括 2021 年 4 月 18 日規模 6.2 花蓮壽豐地震、2022 年 3 月 23 日規模 6.7 東部海域地震、2022 年 6 月 20 日規模 6.0 花蓮光復地震，分析外站地震告警的表現。圖 10 顯示地震期間所有外站觸發時間隨震源距離分布的情形，圖中同時標示警示的應變等級，結果顯示此 3 起島內或近海地震，所有距離 40 公里以內的站點在地震後 10 秒內就啟動告警，應變分級

皆達到「震度 4 級及 5 弱」以上，在最大震波侵襲前提供及時可靠的資訊。

絕大部分的車站、變電站在地震後 40 秒內即可啟動觸發告警，且與震源距離呈現良好的線性關係，迴歸分析後的關係式如下：

$$Y = (0.175 \pm 0.004)X + (2.300 \pm 0.489)$$

上式中斜率的倒數約為 5.7 km/sec，與上部地殼 P 波的速度非常接近，顯示各外站的告警作業主要由地震的 P 波所觸發。另外約 5 % 外站的告警時間較慢，經分析部分外站為 P 波的訊噪比較小未達門檻，當較明顯震波到達時才觸發，另外則可能為儀器的問題。

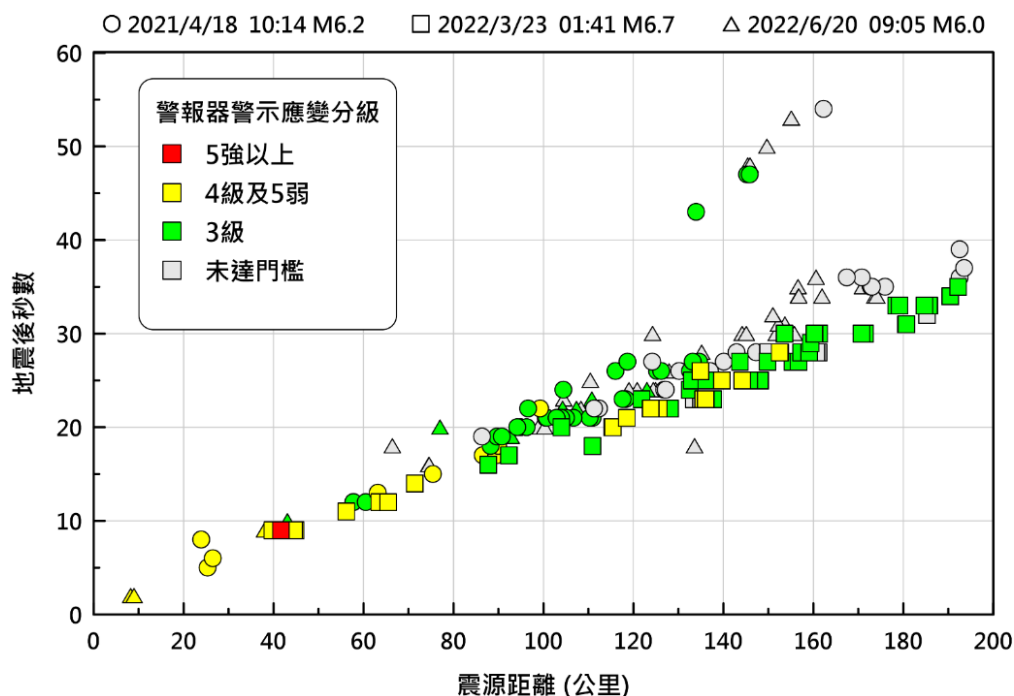


圖 10、2021 年 4 月 18 日規模 6.2 花蓮壽豐地震、2022 年 3 月 23 日規模 6.7 東部海域地震、2022 年 6 月 20 日規模 6.0 花蓮光復地震發生時，外站警報器觸發時間隨震源距離分布情形。

Fig. 10. Relationship on triggering time of the earthquake alarms in stations with hypocentral distances. The data are collected from the April 18, 2021 M6.2 Shoufeng earthquake, the March 23, 2022 M6.7 off eastern Taiwan earthquake, and the June 20, 2022 M6.0 Guangfu earthquake.

(三) 預警作業表現

新系統總共接收到 90 個有感地震、共 119 筆氣象局的強震即時警報，其中正常將預警訊息推播至外站警報器的地震個數有 54 個，其餘 36 個地震沒有推播。圖 11 為系統地震預警的成效，包括警報預估應變分級的準確性，以及警報作業的時效性。準確性方面，透過 3,061 筆預估震度與強震儀觀測震度的比對，預估「震度 5 強以上」的站數有 3 筆，1 筆確實符合，2 筆則是「震度 4 級及 5 弱」，雖然等級完全一致的比例僅有 33.3%，惟「震度 4 級及 5 弱」的震動亦可能致災，而地震預警主要功能為劇烈搖晃時，能夠透過警報讓旅客與站員第一時間採取行動保護自身的安全，因此發布「震度 5 強以上」亦可發揮效果，並沒有誤報的情形。警報預估「震度 4 級及 5 弱」等級，而實際亦達到應變等級的比例達到 93.7%，包括「震度 4 級及 5 弱」39.7%、「震度 3 級」54.0%，同樣可以提早獲知預警的功用。系統預估「震度 3 級」的準確性則是很低，高達 70.4% 的外站不需要應變。至於達到應變等級，但警報卻預估未達門檻的比例僅為 1.5%，漏報的情形非常少。

警報作業時效方面，當氣象局發布強震即時警報後，系統皆能不到 1 秒就收到訊息，最快可以在地震後 10 秒就啟動作業，對於少數的外海深震，則會需要較久時間才收到警報。另外分析預警訊息推播至外站警報器的時間，發現系統平均需要數十秒才將訊息推播到外站，顯然無法達到預警的效果。另外作業穩定性亦需改善，90 個有感地震正常將預警訊息推播至警報器的次數僅有 54 個。

(四) 2022 年 9 月關山、池上地震綜合表現

表 2、表 3 分別整理 9 月 17 日關山地震與

9 月 18 日池上地震發生時，新系統在告警、速報、預警 3 個階段，提供車站、變電站應變分級資訊的情形。首先評估強震儀所觀測震度的實用性，關山地震所觀測到最大震度是關山變電站 5 強，另外池上地震期間，玉里變電站的觀測震度更達到 6 強，池上站、關山變電站亦分別記錄到 6 弱與 5 強震度，而臺鐵局池上地區「玉里=富里段」確實發生鐵路橋樑受損、路線損壞、列車脫軌情形。關山變電站強震儀與輔助地震儀的觀測資料，在關山地震皆達到「震度 5 強以上」的應變等級，這是新系統運作以來，第 1 次變電站達到斷電的門檻。另外池上地震時玉里變電站、關山變電站亦達到啟動自動斷電的門檻，惟臺鐵局電力設備因地震影響即先行跳脫斷電。

反應時效方面，告警階段外站依據震源距離，透過警報器接續獲得當地應變分級資訊，時間約在震後 2 秒至 40 秒之間。靠近震央「震度 5 強以上」的站址皆在 5 秒內就完成觸發告警，例如玉里變電站在池上地震發生後 5 秒就觸發告警，比最大震波侵襲時間提早 10 秒以上，對於第一時間的緊急應變提供重要資訊。不過當時氣象局的地震速報系統並沒有順利發送 2 個地震的自動報告，因此速報階段整個環島鐵路完整的應變資訊，皆約在地震後 6 分鐘才在速報網頁上展示，通報簡訊亦在當時才串接發送。

預警功能的表現，新系統雖然在震後 10 秒左右就收到氣象局的強震即時警報（關山地震 9 秒、池上地震後 10 秒），並立即啟動強震預警作業，但由於系統推播外站不穩定的問題當時尚未解決，導致池上地震平均在地震後 21 秒才將警報送到外站，而關山地震更高達 46 秒，皆無法發揮地震預警提早反應的成效。

預估應變分級的實用性，關山地震的預估結果較為準確，預估「震度4級及5弱」的站點與實際觀測等級大部分吻合。反觀池上地震的預估則明顯低估，其原因為氣象局針對池上地震所發布的警報訊息，第1報預估的地震規模僅為6.2（實際規模6.8），導致低估各外站的震

度值。

另外儀器問題亦影響資訊提供的實用性，例如強震時部分訊號中斷、震幅值異常，或是感應器故障等，有關2個地震中，因為儀器問題導致應變資訊的情形請參考表2、表3的備註說明。

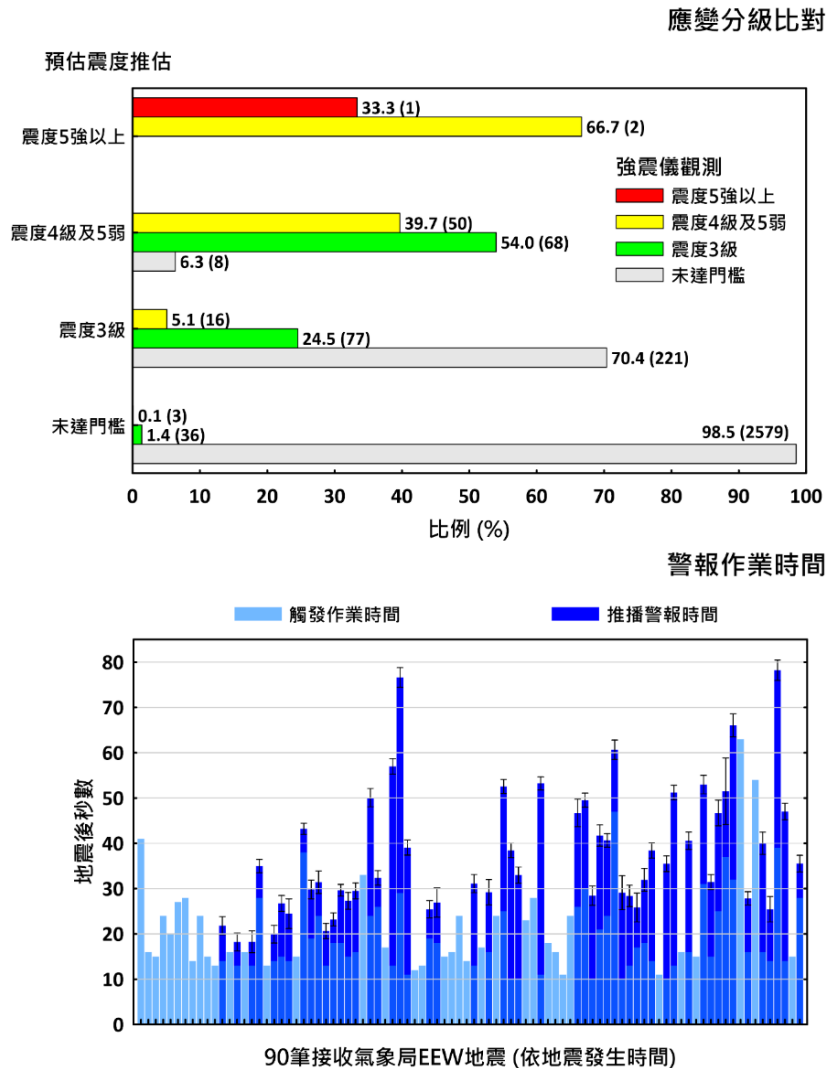


圖 11、新系統地震預警作業的運作成效，包括警報預估應變分級的準確性（上圖）與警報作業的時效性（下圖）。

Fig. 11. Operational performances of the optimized system on earthquake early warning, including the accuracy of predicted response levels (above) and the time efficiency (below).

表 2、2022 年 9 月 17 日關山地震新系統於告警、速報、預警階段所提供應變分級資訊情形。

Table 2. Operational performances of the optimized system on earthquake early warning, onsite alert, and rapid reporting during the September 17, 2022 M6.4 Guanshan earthquake.

地點	震源距離 (公里)	警報器 告警應變分級		告警 時間 (秒)	速報網頁 顯示應變分級		速報 時間 (秒)	強震警報 預估應變分級	預警 時間 (秒)	備註
		強震儀	輔助地震儀		強震儀	輔助地震儀				
關山變電站	8.7	5 強以上	5 強以上	2	5 強以上	5 強以上	371	5 強以上	45	達斷電門檻
關山站	9.2	5 強以上		2	5 強以上		371	5 強以上	47	
池上站	11.9	4 級及 5 弱		3	4 級及 5 弱		371	5 強以上	42	
玉里站	32.3	4 級及 5 弱		7	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	44	
臺東站	32.6	4 級及 5 弱		7	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	44	
玉里變電站	35.2	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	7	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	371	4 級及 5 弱	47	
臺東變電站	38.8	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	7	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	371	4 級及 5 弱	49	
太麻里站	54.9	4 級及 5 弱		10	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	46	
光復站	70.7	4 級及 5 弱		13	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	46	
光復變電站	72.1	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	13	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	371	4 級及 5 弱	47	
大武變電站	78.3	3 級	3 級	14	3 級	3 級	371	4 級及 5 弱	45	
大武站	83.5	3 級		15	3 級		371	4 級及 5 弱	54	
屏東站	83.7	4 級及 5 弱		-	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	42	強震儀校時失效
嘉義站	87.2	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		369	4 級及 5 弱	54	
嘉義變電站	87.9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	369	4 級及 5 弱	43	
善化變電站	88.8	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	20	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	371	4 級及 5 弱	42	
善化站	88.8	4 級及 5 弱		20	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	42	
潮州變電站	90.0	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	17	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	373	4 級及 5 弱	42	
潮州基地站	90.0	4 級及 5 弱		17	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	48	
九曲堂站	90.0	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	46	
新營站	90.1	3 級		20	3 級		371	4 級及 5 弱	46	強震儀垂直向與南北向感應器故障
九曲堂變電站	90.3	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	373	4 級及 5 弱	43	
岡山變電站	94.3	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	20	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	373	4 級及 5 弱	42	
岡山站	94.3	4 級及 5 弱		20	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	44	
石榴變電站	94.3	未達門檻	3 級	18	3 級	3 級	371	4 級及 5 弱	46	強震儀訊號部分中斷
斗六站	95.3	3 級		19	3 級		369	4 級及 5 弱	41	
臺南站	98.2	4 級及 5 弱		25	4 級及 5 弱		371	4 級及 5 弱	45	

枋寮站	98.4	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	44	
枋野站	100.3	未達門檻		17	未達門檻		373	4 級及 5 弱	45	強震儀訊號部分中斷
加祿站	101.2	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		373	4 級及 5 弱	47	
內獅變電站	101.9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	373	4 級及 5 弱	44	
花蓮變電站	111.3	3 級	3 級	22	3 級	3 級	371	4 級及 5 弱	48	
花蓮站	111.3	3 級		22	3 級		371	4 級及 5 弱	45	
彰化變電站	127.4	3 級	3 級	24	3 級	3 級	369	4 級及 5 弱	45	
臺中站	127.5	未達門檻		25	未達門檻		371	4 級及 5 弱	47	強震儀訊號部分中斷
彰化站	128.4	3 級		24	3 級		369	4 級及 5 弱	48	
豐原站	137.4	未達門檻		-	未達門檻		371	3 級	42	強震儀校時失效
豐原變電站	139.5	未達門檻	3 級	27	未達門檻	3 級	371	3 級	46	強震儀訊號部分中斷
臺中港站	146.9	5 強以上		27	5 強以上		371	3 級	51	強震儀震幅值異常
甲南變電站	147.3	5 強以上	3 級	27	5 強以上	3 級	369	3 級	43	強震儀震幅值異常
和平變電站	148.2	未達門檻	未達門檻	27	未達門檻	未達門檻	371	4 級及 5 弱	49	
和平站	148.2	未達門檻		27	未達門檻		371	3 級	41	
大甲站	151.3	3 級		28	3 級		371	4 級及 5 弱	44	
三義站	153.9	3 級		28	3 級		371	3 級	49	
南澳站	166.4	未達門檻		31	未達門檻		371	3 級	46	強震儀垂直向與東西向感應器故障
苗栗站	169.0	3 級		32	3 級		371	3 級	43	強震儀訊號部分中斷
苗栗變電站	171.2	3 級	3 級	31	3 級	3 級	371	3 級	44	
後龍站	174.0	3 級		31	3 級		371	3 級	49	
後龍變電站	174.3	3 級	3 級	31	3 級	3 級	371	3 級	45	
蘇澳變電站	177.8	未達門檻	未達門檻	33	未達門檻	未達門檻	373	3 級	51	強震儀校時失效
蘇澳新站	180.8	未達門檻		-	未達門檻		373	3 級	43	強震儀校時失效
新竹站	191.8	3 級		34	3 級		371	3 級	45	
新竹變電站	193.7	未達門檻	未達門檻	38	未達門檻	未達門檻	371	-	-	1.強震儀訊號部分中斷 2.查無預估震度資料
宜蘭站	195.7	3 級		35	3 級		371	3 級	46	
礁溪站	202.6	3 級		37	3 級		371	3 級	46	
礁溪變電站	203.7	3 級	3 級	37	3 級	3 級	371	3 級	44	
內壢變電站	210.9	未達門檻	未達門檻	39	未達門檻	未達門檻	373	3 級	45	
樹林變電站	211.9	-	3 級	51	3 級	3 級	373	3 級	42	查無警報器震度資料

桃園站	212.3	未達門檻		39	未達門檻		373	3 級	48	
樹林站	213.4	3 級		-	3 級		373	3 級	45	強震儀校時失效
臺北站	221.2	未達門檻		41	未達門檻		373	3 級	51	
南港站	222.9	未達門檻		39	3 級		371	3 級	46	
南港變電站	224.6	未達門檻	3 級	39	3 級	3 級	371	3 級	47	
雙溪變電站	228.6	未達門檻	未達門檻	42	未達門檻	未達門檻	373	3 級	43	
雙溪站	228.6	未達門檻		42	未達門檻		373	3 級	44	
七堵站	230.8	4 級及 5 弱		40	4 級及 5 弱		371	3 級	48	強震儀震幅值異常
瑞芳站	234.2	未達門檻		44	未達門檻		373	3 級	42	強震儀垂直向感應器故障

表 3、2022 年 9 月 18 日池上地震新系統於告警、速報、預警階段所提供應變分級資訊情形。

Table 3. Operational performances of the optimized system on earthquake early warning, onsite alert, and rapid reporting during the September 18, 2022 M6.8 Chishang earthquake.

地點	震源距離 (公里)	警報器 告警應變分級		告警 時間 (秒)	速報網頁 顯示應變分級		速報 時間 (秒)	強震警報 預估應變分級	預警 時間 (秒)	備註
		強震儀	輔助地震儀		強震儀	輔助地震儀				
池上站	8.1	5 強以上		2	5 強以上		353	5 強以上	18	
關山變電站	11.4	5 強以上	5 強以上	2	5 強以上	5 強以上	353	4 級及 5 弱	20	1. 達斷電門檻 2. 強震儀訊號部分中斷
關山站	13.3	5 強以上		2	5 強以上		353	4 級及 5 弱	24	強震儀訊號部分中斷
玉里站	24.7	4 級及 5 弱		5	4 級及 5 弱		355	-	-	1. 強震儀訊號部分中斷 2. 查無預估震度資料
玉里變電站	27.4	5 強以上	5 強以上	5	5 強以上	5 強以上	355	-	-	1. 達斷電門檻 2. 強震儀訊號部分中斷 3. 查無預估震度資料
臺東站	39.5	4 級及 5 弱		9	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	18	
臺東變電站	45.7	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	19	
太麻里站	62.3	3 級		11	3 級		355	4 級及 5 弱	22	
光復站	63.0	4 級及 5 弱		11	4 級及 5 弱		353	3 級	18	
光復變電站	64.4	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	11	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	26	
大武變電站	85.8	未達門檻	未達門檻	17	未達門檻	未達門檻	353	3 級	18	
嘉義站	87.6	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	23	
嘉義變電站	88.6	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	28	強震儀校時失效

屏東站	90.7	4 級及 5 弱		-	4 級及 5 弱		355	3 級	21	強震儀校時失效
大武站	91.0	未達門檻		17	未達門檻		353	3 級	24	
石榴變電站	92.1	未達門檻	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	21	強震儀訊號部分中斷
新營站	92.3	4 級及 5 弱		22	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	21	強震儀垂直向與南北向感應器故障
善化變電站	92.5	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	21	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	4 級及 5 弱	22	
善化站	92.5	4 級及 5 弱		21	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	22	
斗六站	93.4	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		353	4 級及 5 弱	20	
九曲堂站	97.0	4 級及 5 弱		21	4 級及 5 弱		355	3 級	17	
九曲堂變電站	97.2	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	21	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	3 級	17	
潮州變電站	97.5	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	18	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	3 級	22	
潮州基地站	97.5	4 級及 5 弱		18	4 級及 5 弱		355	3 級	21	
岡山變電站	100.4	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	-	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	3 級	19	強震儀校時失效
岡山站	100.4	4 級及 5 弱		-	4 級及 5 弱		355	3 級	24	強震儀校時失效
臺南站	103.1	4 級及 5 弱		25	4 級及 5 弱		353	3 級	21	
花蓮變電站	103.5	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	20	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	25	
花蓮站	103.5	4 級及 5 弱		20	4 級及 5 弱		353	3 級	24	
枋寮站	106.1	3 級		20	3 級		355	3 級	18	
枋野站	108.0	3 級		19	3 級		355	3 級	18	
加祿站	108.9	3 級		22	3 級		355	3 級	20	
內獅變電站	109.6	3 級	3 級	21	3 級	3 級	355	3 級	23	
臺中站	123.0	3 級		24	3 級		353	3 級	25	強震儀訊號部分中斷
彰化變電站	123.9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	23	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	21	
彰化站	124.8	4 級及 5 弱		23	4 級及 5 弱		353	3 級	20	
豐原站	132.5	未達門檻		24	4 級及 5 弱		353	3 級	20	強震儀訊號部分中斷
豐原變電站	134.6	未達門檻	4 級及 5 弱	24	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	18	強震儀訊號部分中斷
和平變電站	140.4	3 級	3 級	25	3 級	3 級	353	3 級	31	
和平站	140.4	3 級		25	3 級		353	未達門檻	19	
臺中港站	142.5	5 強以上		26	5 強以上		353	3 級	22	強震儀震幅值異常
甲南變電站	142.9	5 強以上	3 級	26	5 強以上	3 級	353	3 級	20	強震儀震幅值異常
大甲站	146.7	3 級		27	3 級		353	3 級	24	
三義站	148.6	4 級及 5 弱		27	4 級及 5 弱		353	3 級	21	
南澳站	158.7	3 級		30	3 級		353	3 級	24	強震儀垂直向與東西向感應器故障

苗栗站	163.5	4 級及 5 弱		25	4 級及 5 弱		353	3 級	23	強震儀訊號部分中斷
苗栗變電站	165.6	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	30	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	22	
後龍站	168.5	4 級及 5 弱		31	4 級及 5 弱		353	未達門檻	23	
後龍變電站	168.8	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	31	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	353	3 級	23	
蘇澳變電站	170.0	3 級	4 級及 5 弱	31	3 級	4 級及 5 弱	355	3 級	25	
蘇澳新站	173.1	3 級		31	3 級		355	未達門檻	23	
新竹站	185.6	4 級及 5 弱		33	4 級及 5 弱		355	3 級	18	
新竹變電站	187.5	5 強以上	3 級	37	5 強以上	3 級	355	3 級	24	1.強震儀震幅值異常 2.強震儀垂直向感應器故障
宜蘭站	188.1	4 級及 5 弱		34	4 級及 5 弱		355	未達門檻	19	
礁溪站	195.1	3 級		34	3 級		355	未達門檻	23	
礁溪變電站	196.1	3 級	3 級	34	3 級	3 級	355	未達門檻	23	
內壢變電站	204.0	未達門檻	3 級	37	3 級	3 級	355	未達門檻	17	
樹林變電站	204.9	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	42	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	未達門檻	24	
桃園站	205.4	未達門檻		37	3 級		355	未達門檻	17	
樹林站	206.3	4 級及 5 弱		42	4 級及 5 弱		355	未達門檻	19	
臺北站	214.0	3 級		38	3 級		355	未達門檻	20	
南港站	215.6	4 級及 5 弱		38	4 級及 5 弱		355	未達門檻	20	
南港變電站	217.2	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	38	4 級及 5 弱	4 級及 5 弱	355	未達門檻	22	
雙溪變電站	221.0	未達門檻	未達門檻	39	未達門檻	未達門檻	355	未達門檻	25	
雙溪站	221.0	未達門檻		39	未達門檻		355	未達門檻	17	
七堵站	223.3	5 強以上		39	5 強以上		355	未達門檻	24	強震儀震幅值異常
瑞芳站	226.7	未達門檻		41	未達門檻		355	未達門檻	20	強震儀垂直向感應器故障

五、綜合討論

根據本研究成果，臺鐵局著手調整系統程式與作業流程，例如預警資訊傳遞延遲的問題，已委請系統開發廠商三聯公司修改完畢，目標在 1 秒內將警報發送至所有外站的警報器。另外氣象局地震速報系統在關山地震、池上地震沒有發送自動報告的問題，該局亦已調整派送

流程，期望提升資訊提供的穩定性，進而強化鐵路沿線震度速報的時效性。有關調整後系統的運作成效，建議持續校驗追蹤。

透過氣象局的格點震度，可以在沒有安裝強震儀或沒有接收強震儀即時訊號的車站，提供震度資訊進行應變。根據分析，推估「震度 4 級及 5 弱」等級已具備參考價值，而「震度 3 級」的準確度則仍有待改進。氣象局於 2017

年建置行政區震度顯示系統(蕭乃祺、戴一明, 2022), 在全臺灣安裝 356 個即時強震站, 並逐年增加數量, 目標在 2024 年完成 600 站, 屆時將可提供更精確的格點資訊, 進一步提升車站推估震度的可用性。另外建議新系統增加補送格點震度的機制, 以提升車站推估震度的穩定性。

經由池上地震造成軌道災害的實際案例, 驗證變電站具備自動斷電功能的必要性, 可以防止火車駛入可能遭受破壞的高風險路段, 而軌道列車因自動斷電而減少災害的情形, 在日本亦曾發生。2004 年日本新潟縣規模 6.8 中越地震發生時, 新幹線的地震預警系統在偵測到 P 波後, 及時中斷電力減慢列車速度, 同時司機員在識別出警報後的 1.5 秒亦進行緊急剎車。最劇烈的震波則在動作後 1.2 秒開始抵達, 雖然當時沒有足夠時間將火車從每小時 204 公里的速度, 減速到安全的範圍, 而最終發生脫軌情況, 但由於最大震波侵襲前關鍵數秒的減速, 經評估確實有效降低災害的程度 (Nakamura, 2008)。另外地震預警資訊在日本 2011 年 311 大地震亦發揮具體成效, 當第一波震動侵襲離震央最近的仙台列車前 9~12 秒, 運行中的 33 部列車皆已收到警報自動緊急剎車, 而最劇烈的震動更在 1 分鐘後才抵達, 因此所有的乘客或工作人員皆沒有在地震中受傷 (Shimamura and Keyaki, 2013)。

強震儀承擔蒐集與提供鐵路沿線震動資訊的任務, 由於必須安裝於軌道附近, 因此勢必受到火車通過擾動的影響, 且實務上難以透過濾波的方式排除。圖 12 為臺鐵局各外站強震儀在 2022 年 5 月觸發的情形, 包括觸發次數以及達到應變等級(震度 3 級以上)的比例, 由於該月份的有感地震較少, 所以挑選該月份

進行分析。結果發現, 新系統每日平均觸發的總數高達 4,885 次, 亦即每分鐘就有 3 到 4 個強震儀被觸發, 同時許多站點 1 個月累積數量超過 3,000 次, 亦即每天約 100 次, 而由於西部幹線的班次較多, 因此觸發的次數也較東部頻繁。強震儀頻繁觸發, 容易在真正地震發生時, 無法完整記錄地震波形與忠實反應震動資訊, 同時會造成系統硬體沉重的運轉負擔, 因此針對強震儀的觸發模式或提高地震應變震度, 後續建議需要再評估與調整。

進一步分析所有的觸發紀錄, 達應變等級的比例僅有 0.5 %, 而且集中在少數外站, 可能的原因包括火車、公路車輛等環境因素與儀器問題。對於容易誤觸發造成無效應變的站址, 臺鐵局已經陸續進行改善, 包括更換替代強震儀、改接附近站點儀器的訊號或改接收氣象局地震速報資料等。此次優化案雖評估原有強震儀仍堪使用, 不過畢竟已經運轉超過 20 年, 原廠零件也已不生產, 因此未來如經費許可, 建議全面汰換現有強震儀, 除了確保資料品質外, 同時資料傳輸方式與儀器解析度亦升級為新一代架構與產品, 將可提升觀測儀器運作與維護能力。

六、結語

臺鐵局新地震速報系統整合自建強震儀的即時紀錄與氣象局的速報資訊, 具備地震預警、告警與速報功能, 堪稱目前國內公營/公共事業因應地震應變, 最完備的資料接收、處理與通報系統。本研究蒐集系統上線後實際運作的成果進行分析, 檢討各階段作業提供應變資訊的準確性與時效性, 做為系統後續精進的方向。綜整主要的分析結果與調整建議如下:

1. 臺鐵局自建強震儀提供現地震度資訊仍有

其必要性，透過氣象局的地震通報紀錄，新系統平均在地震發生後的 2 分半鐘可以產出鐵路沿線震度分布情形，供應變調度使用。如氣象局地震速報系統因故沒有傳送自動報告，則通報時間可能延遲至 5 分鐘以上。

2. 中大型有感地震發生後，車站、變電站的強震儀隨著震源距離，以每秒約 5.7 公里的速度依序觸發告警，可以在最大震波侵襲前提供及時的應變資訊。
3. 新系統可在 1 秒內接收氣象局的強震即時警報啟動預警作業，其中預估「震度 5 強以上」等級已具備應用價值，預估「震度 4 級及 5 弱」等級，而實際達到應變等級

的比例亦達到 93.7 %。研究中發現預警資訊傳遞延遲的問題已經修改完成，建議後續追蹤檢驗其調整結果。

4. 經由池上地震造成軌道災害的實際案例，驗證變電站具備自動斷電功能的必要性。關山變電站在關山地震時新系統第 1 次達到自動斷電的門檻，另外池上地震時玉里變電站、關山變電站亦達到斷電門檻。
5. 建議針對強震儀的觸發模式、觸發震度進行評估與調整，避免火車通過雜訊造成頻繁觸發，提升地震告警資訊的可靠性與穩定性，同時降低系統硬體的運轉負擔。

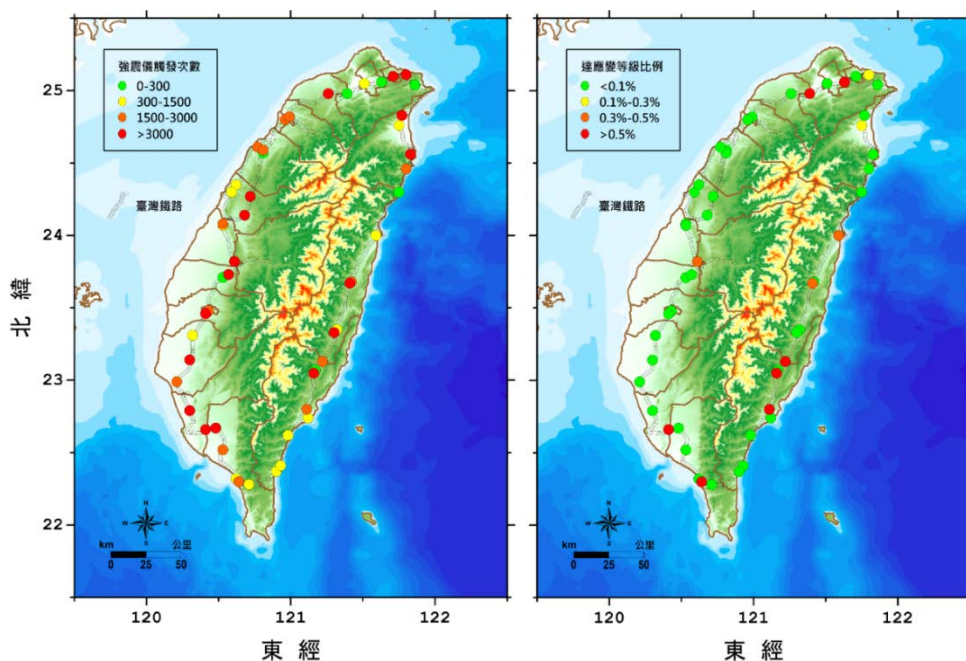


圖 12、2022 年 5 月份鐵路沿線強震儀的觸發情形，包括觸發次數（左圖）以及達到應變等級比例（右圖）。

Fig. 12. Triggering conditions of the strong-motion seismometers along the railway on May 2022. The left map shows the number of triggers, and the right one is the proportion reaching the earthquake response level.

參考文獻

中央氣象局，2019：交通部中央氣象局有感地震報告發布作業要點，共 4 頁。

臺灣鐵路管理局，2020：交通部臺灣鐵路管理局災害事故應變處理須知，共 30 頁。

蕭乃祺、吳健富、陳文淇、辛在勤、吳逸民，2003：台灣環島鐵路強地動觀測系統之建置，第十屆台灣地區地球物理研討會論文集，282-286 頁。

蕭乃祺、吳逸民、辛在勤，2005：台灣地區地震速報系統之發展，*氣象學報*，**第 45 卷第 4 期**，1-15 頁。

蕭乃祺，2007：台灣即時強地動觀測於地震預警之應用，中央大學地球物理研究所博士論文，共 178 頁。

蕭乃祺、蕭文啟、江嘉豪，2014：中央氣象局強震即時警報作業介紹，中央氣象局通訊，103 年 8 月號，1-6 頁。

蕭乃祺，2020：與地震波的競賽-地震速報預警，*天文日曆 2021*，157-166 頁。

蕭乃祺，2021：臺灣新地震震度分級制度之效益研究，*氣象學報*，**第 56 卷第 1 期**，55-81 頁。

蕭乃祺、戴一明，2022：精進行政區震度資訊實用性之研究，*氣象學報*，**第 57 卷第 3 期**，49-78 頁。

Nakamura, Y. (2008). First actual P-wave alarm systems and examples of disaster prevention by them, *14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 12–17 October 2008*.

Shimamura, M. and T. Keyaki (2013). How Japan's bullet trains survived the 2011

Great Tohoku earthquake, *Proc. Eastern Asia Soc. Transport. Stud.* 9, 49.

Performance analysis of the optimized TRA earthquake rapid reporting system

Nai-Chi Hsiao¹, Chun-Ta Chiu¹, Yun-Tau Liu²,
Cheng-Tao Wang³, and Benjamin Ming Yang⁴

Seismological Center, Central Weather Bureau, Taiwan, ROC¹
General Dispatch Office, Taiwan Railways Administration, Taiwan, ROC²
San Lien Technology Corp Ltd, Taiwan, ROC³
Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan, ROC⁴

Abstract

The Taiwan Railways Administration (TRA) and the Central Weather Bureau (CWB) have cooperated to optimize the TRA earthquake rapid reporting system since 2019. Totally 54 strong-motion seismometers and 70 earthquake alarms are installed at 44 rail stations and 26 substations respectively. Furthermore, in Taipei headquarters, a new data processing and reporting system is developed and operated. While a felt earthquake occurs, by receiving the real-time seismic data along Taiwan railway and related seismic reports from CWB, operations for generating earthquake early warning, onsite alert, trigger notification, seismic intensity, and earthquake report successively. Timely information of earthquake impacts are provided to the TRA for the purpose of earthquake response. The optimized system has been in operation since 2021. In order to understand the system performance, 18 monthly operational data are collected and analyzed in this study. The result shows that the distributions of observed seismic intensities along the railway could be obtained 2.5 minutes after earthquake happening averagely. In addition, while a significant earthquake occurs, earthquake alarms in stations are activated and give alert successively at a speed of 5.7 km/sec according to the hypocentral distances. Hence, timely message for emergency response is provided before the largest shaking wave arrives. The new function for earthquake early warning (EEW) is implemented, which could be activated within 1 second after receiving the CWB EEW message. Currently, the warnings with predicted seismic intensity 4 or above are effective for reference on emergent applications. In addition, by means of the CWB gridded seismic intensity data, it is possible to provide estimated intensities for sites without seismometer implementation. Thus the measures for earthquake response accordingly are capable of conducting at these stations as well. During the Chishang earthquake of September 18, 2022, both Yuli substation and Guanshan substation reached the threshold for automatic power-off. After the actual damages on railways caused by the earthquake, it is revealed that an automatic power-off function is crucial for the railway system.

Key words: Taiwan railway, earthquake rapid reporting system, earthquake early warning, earthquake onsite alert, earthquake response

2019 年 11 月 7 日松山機場氣壓大波動與跑道風切之個案分析研究

蒲金標¹ 王重傑²

¹財團法人中華氣象環境研究發展中心

²國立臺灣師範大學地球科學系

摘要

本文採用 2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 松山機場地面自動化天氣測報系統 (AWOS) 跑道兩頭 (R10 和 R28) 之氣壓和風向風速等資料, 分析氣壓大波動 (LPF) 和跑道風切 (RWS) 之次數與頻率分布, 再以氣壓大波動和跑道風切分析彼此關聯性。研究結果顯示松山機場氣壓大波動和跑道風切兩者發生時段尚稱集中。以氣壓大波動來偵測跑道風切, 兩者發生次數較多時, 其準確率甚高, 錯誤率和誤失率都低。未來我們將選擇一個離島機場, 從事氣壓大波動來監測 1600 UTC 跑道風切之實驗計畫, 實驗成功之後, 可以在台灣大小機場以氣壓大波動來開發跑道風切監測及警告系統, 期望這套系統對促進飛航效益和提升飛航安全, 將有莫大助益。

關鍵詞：地面自動化天氣測報系統、氣壓標準偏差、氣壓大波動、跑道風切、準確率、錯誤率和誤失率。

一、前言

風切在不同方向和/或速度的兩個風流之間產生亂流。風切可能與大氣中任何級別的風向或風速梯度有關。風切乃指大氣中單位距離內, 風速或風向或兩者同時發生之變化, 如以數學式表示, 則風切= $\Delta\vec{v} / \Delta\vec{s}$; 式中, $\Delta\vec{v}$ 及 $\Delta\vec{s}$ 分別代表風向量之變化及產生該變化之距離或時間差。

風切現象是非常複雜且很難預測的小尺度氣象現象, 順風和逆風可以瞬間地轉弱或轉

強。機場低空風切對飛行構成嚴重的威脅, 尤其飛機在離場或進場階段, 速度及距地面高度都接近安全的臨界值, 若突然遭遇風向量的變化使飛機改變飛行姿態, 而飛行員未即時修正, 則可能對生命及財產造成嚴重的損失。飛機在起飛或降落過程, 要經過頂風 (逆風)、順風和下降氣流的風場, 目前還沒有一個成熟的科學依據, 可提供精確地預報低空風切, 因此, 即時監測風切現象的發生, 須做為飛行員加強注意安全的重要項目。

飛機通常選擇機場跑道逆風起降, 如果順

風風速超過每小時 10 kt 則改由另一跑道頭跑道起降。但是，機場有時候受地形或天氣系統的影響，雖然選擇逆風起降，但是也會碰到逆風風切或順風風切，造成誤失進場而拉起重飛或提早降落墜毀。所謂逆風風切表示逆風分速之增加或順風分速之減少，使飛機之指示空速增加而提升及高度；順風風切表示順風分速之增加或逆風分速之減少，使飛機之指示空速減少而致其下沉。

國際民航組織文件低空風切手冊認為氣壓跳升 (Pressure Jump)，可偵測到陣風鋒面的時間 (ICAO, 2005)，雖然這種地面風場和氣壓的組合，尚未應用到機場低空風切警告系統 (Low-Level Windshear Alert System, LLWAS)，但在過去研究中認為氣壓跳升現象是發生風切時所具備相當重要的特徵，強烈雷暴活動會造成氣壓跳升的現象 (Shreffler et al. 1981)，而陣風鋒面經過時，亦常帶來氣壓變動 (Pressure fluctuation)，氣溫下降，風向突變以及風速突增的現象，進一步出現低空風切 (Wakimoto 1982)。其中氣壓變動在陸地和大氣的相互作用中扮演重要的角色，特別是在行星邊界層中 (Katul et al. 1996)，這種小尺度，短週期地面氣壓變動被認為是行星邊界層中的特徵之一 (Vianai et al. 2007)，其提供了亂流動能相當的貢獻 (Wei et al. 2021)。

近年來在台灣的研究中，蒲 (2003) 認為在松山機場引發低空風切之主因同樣為雷陣風、颱風強風、鋒面過境，和強烈東北季風。過去的研究中，分別針對低壓鋒面 (蒲等 2014)、2013 年的蘇力 (Soulik) 颱風 (蒲等 2015)、和菲特 (Fitow) 颱風 (蒲與徐 2016)、東北季風 (蒲與林 2021)、在松山機場進行了氣壓波動的相關分析，認為不同天氣系統下的資料計算

皆顯示，低空風切發生與風速、氣壓和氣壓梯度，以及氣壓變動超過一個標準差 (Standard deviation, σ) 有關連性。儘管地區的不同，在馬祖南竿機場的觀測資料中亦得出相同的結果 (蒲與林 2017a, 2018)。不僅個案分析，在 2010 至 2014 年較長時間之統計分析中也與過去研究一致 (蒲與林 2017b)。

二、資料來源與分析方法

本文採用 2019 年 11 月 7 日松山機場地面自動化天氣測報系統 (Automatic Weather Observation, AWOS) 資料，其中氣壓和風場採用每 10 秒 1 筆資料加以計算氣壓大波動和跑道兩頭 (R10 和 R28) 向量風切 (vector wind shear, VWS)。

常態曲線理論應用於氣象變化，通常在穩定大氣下，氣象要素如氣壓的變化量，其幅度依常態曲線分配比例，約 68.26 % 的變化量分布在 1σ 內。而當大氣在不穩定時，氣壓的變化量可能超出 1σ 。氣壓的變化量之 σ 計算方式如下：

計算氣壓的變化量絕對值 >0 ：

$$x_i = |y_i - y_{i-1}|$$

y_i 表示氣壓在這一秒之觀測值。 y_{i-1} 表示氣壓在前 10 秒之觀測值。 x_i 表示氣壓這一秒與前 10 秒之波動的絕對變化量。

以氣壓的變化量絕對值 >0 為資料樣本，計算觀測時間內之平均數與標準差：

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$$

N 表示觀測時間內氣壓變化量絕對值 >0 之資料個數。 μ 表示觀測時間內氣壓變化量絕對值 >0 資料之平均數。 σ 表示觀測時間內氣壓變化量絕對值 >0 資料之標準差。松山機場

2010~2014 五年平均標準偏差 (0.11 hPa) 為門檻 (蒲與林, 2017b), 此處氣壓標準偏差 ($\sigma \geq 0.11$ hPa) 稱之為氣壓大波動 (Large Pressure Fluctuation; LPF)。

兩地間氣壓梯度越大, 風速則越大; 兩個時間點間氣壓改變, 風場也會跟著改變。氣壓波動可反應氣壓梯度和氣壓在時間上的改變。藉著單一測站, 前後時間氣壓差, 去除多數氣壓差為零, 以所剩氣壓值大於零者, 來計算氣壓差之標準差, 再以大於一個標準差與跑道向量風切加以分析。機場地面自動化天氣測報系統使用的數位氣壓計紀錄為小數點一位, 藉由單一測站, 本身前後時間氣壓差, 可去除氣壓計精確度的問題。此處氣壓時間變差, 其差值取絕對值。因氣壓僅錄存資料至小數點第一位, 所以氣壓時間變動之標準偏差, 實質為大於或等於 0.2 hPa, 所以氣壓變動之標準偏差就以 ≥ 0.2 hPa 作為門檻。本文標準偏差門檻 (>0.11 hPa) 係採用 2010~2014 年總共 5 年, 每日松山機場地面 AWOS 資料求得。(蒲與林, 2017b)。

民航局飛航服務總台在松山機場跑道兩頭氣象觀測園區 (R10 和 R28) 設置風向風速計和氣壓計等觀測儀器, AWOS 系統將觀測天氣資料以光纖送到航空氣象台, 每秒即時顯示, 提供氣象人員編發地面天氣報告電碼參考。而機場跑道向量風切係跑道兩頭風向風速換算成跑道方向 ($100^\circ \sim 280^\circ$) 的向量風相加, 再採用絕對值。跑道向量風切 (Runway Vector Wind-Shear, RVWS) 是飛機起降實際面臨的風切。

當跑道向量風切 ≥ 12 kt 時稱為跑道風切 (Runway Wind-Shear, RWS)。跑道風切的計算考慮到順風和逆風風切對飛機起降重要, 所謂逆風風切表示逆風分速之增加或順風分速之減少, 使飛機之指示空速增加而提升及高度; 順風風切表示順風分速之增加或逆風分速之減少, 使飛機之指示空速減少而致其下沉。跑道風切的計算考慮到順風和逆風風切對飛機起降重要, 跑道風切值大時, 無論飛機從那個跑道起飛都可能碰到順風和逆風風切。跑道風切的分析是在分析逆風風切或順風風切的發生。機場氣象作業規定, 當風速大於 12 kt 或以上時, 飛機起降要換跑道, 在一定大風風速之內, 起降沒問題, 惟怕碰到跑道風切, 使得飛機提前降落或超過降落點, 造成飛機失事或衝出跑道的危險。

三、分析結果

(一) 地面天氣形勢

2019 年 11 月 7 日 0000 UTC 地面天氣圖, 如圖 1, 輕度颱風娜克莉 (Nakri) 中心氣壓 (990 hPa) 位在南海 13.4°N 、 117.1°E , 大陸冷高壓 (1034 hPa) 位在 44°N 、 110°E , 向東南移動, 台灣屬於颱風外圍的東北季風之天氣型態, 機場位在高壓和颱風外圍間, 氣壓梯度增加, 吹東北風, 於 0052 UTC 開始出現強烈東北至東風 (大於 20 kt), 於 1642 UTC 才結束, 持續約 16.2 小時, 其間機場出現強烈風速達 20-28 kt。

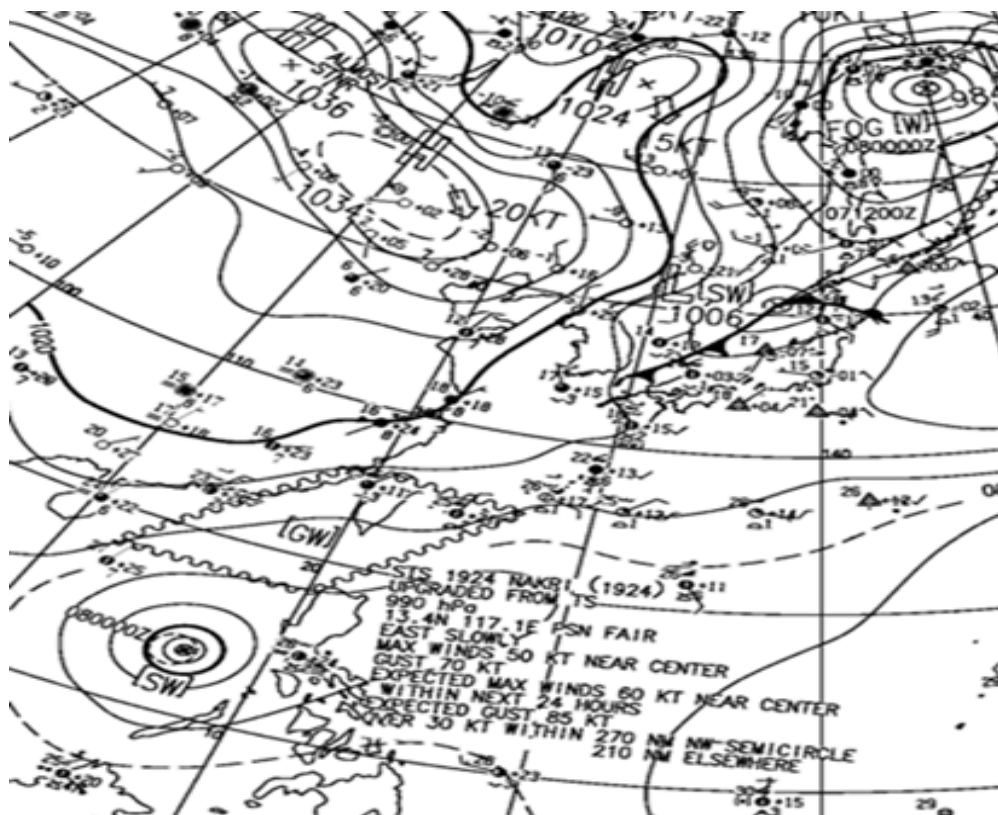


圖 1、2019 年 11 月 7 日 0000 UTC 地面天氣圖。

註：天氣圖擷取自民用航空局飛航服務總臺航空氣象服務網 (<https://aoaws.anws.gov.tw>)

Fig. 1. The surface weather chart at 0000 UTC on November 7, 2019.

Note: The surface weather chart is extracted from the aviation weather service network of the Air Navigation and Navigation Services of the Civil Aviation Administration (<https://aoaws.anws.gov.tw>)

(二) 地面風場

機場西跑道頭 R10 於 0125-1305 UTC 風速 ≥ 20 kt，風向 050° - 100° ；每小時在 10 次以上者，計有於 0200-0700 UTC 每小時達 11-50 次 (3.1%-13.9%)；於 0441-0535 UTC 風速 ≥ 25 kt，風向 055° - 090° ，其中 0535 UTC 最大風速為 $090^{\circ}/27$ kt。東跑道頭 R28 於 0052-1647 UTC 風速 ≥ 20 kt，風向 030° - 105° ；每小時在 10 次以上者，計有於 0100-0700 UTC 每小時達 17-

69 次 (4.7%-19.2%)；於 0315-0730 UTC 風速 ≥ 25 kt，其中於 0729 UTC 最大風速為 $080^{\circ}/28$ kt。如表 1 和圖 2 顯示 2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 機場吹強風 030° - $105^{\circ}/20$ -28 kt，東邊跑道 R28 風速大於西邊跑道 R10，且 R28 強風 20 kt 以上次數多於 R10 者，概因機場受地形影響，有時跑道兩頭風向和風速不同，造成跑道風現象，也是造成跑道風切的主要原因。

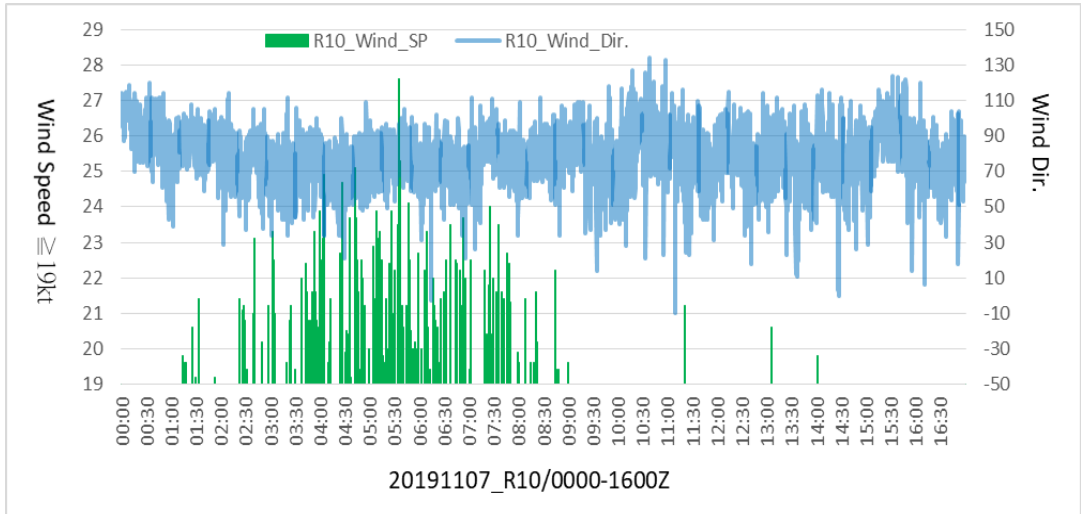
表 1、2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 松山機場西跑道頭 R10 和東跑道頭 R28 每小時強風 (≥ 20 kt) 出現次數和頻率。

Table 1. The number and the frequency of strong wind (≥ 20 kt) per hour at Songshan Airport west runway R10 and east runway R28 of November 7, 2019 0000-1600 UTC.

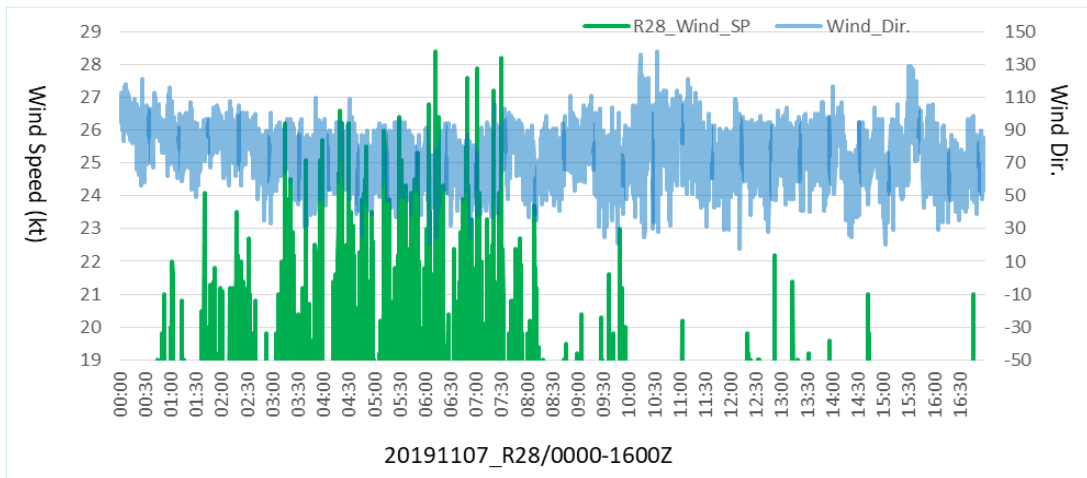
20191107 Time(UTC)	R10 wind speed (≥ 20 kt)		R28 wind speed (≥ 20 kt)	
	times	times/360	times	times/360
0000			1	0.3 %
0100	4	1.1 %	17	4.7 %
0200	11	3.1 %	34	9.4 %
0300	24	6.7 %	40	11.1 %
0400	32	8.9 %	69	19.2 %
0500	50	13.9 %	59	16.4 %
0600	35	9.7 %	54	15.0 %
0700	34	9.4 %	47	13.1 %
0800	4	1.1 %	4	1.1 %
0900			8	2.2 %
1000				
1100			1	0.3 %
1200			1	0.3 %
1300	1	0.3 %	1	0.3 %
1400			2	0.6 %
1500				
1600			1	0.3 %
TOTL	195	54.2 %	339	94.2 %

註：此處機場風向風速之計次係以 10 秒為 1 次，每小時計有 360 次。

Note: The counting times of wind speed and wind direction are based on 10 seconds as one time, and there are 360 times per hour.



(a)



(b)

圖 2、2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 松山機場跑道地面風速強風 (≥ 20 kt) 分布圖，其中綠色代表風速，藍色代表風向。(a) 西跑道頭 (R10) (b) 東跑道頭 (R28)

Fig. 2. Distribution of the strong wind (≥ 20 kt) at the runway of Songshan Airport from 0000 to 1600 UTC on November 7, 2019. where green represents wind speed and blue represents wind direction. (a) West Runway Head (R10) (b) East Runway Head (R28)

(三) 氣壓大波動和跑道風切

2019年11月7日0000-1600 UTC 松山機場強風期間，氣壓大波動（LPF）和跑道風切（RWS）發生分布，如圖3。LPF和RWS發生次數都是63次（17.5%）。就兩者發生次數和頻率加以比較，LPF發生頻率（>1.0%）分布，在0300-0900 UTC分別為1.4%、3.6%、3.6%、2.5%、1.4%和1.4%。而RWS發生頻率（>1.0%），在0200-0700 UTC分別為1.1%、

2.8%、3.3%、1.9%、2.5%和2.8%。前者比後者延後1小時發生，延後2小時結束，前者在0500 UTC達到最高峰13次（3.6%），而後者則在0400 UTC達到最高峰12次（3.3%），LPF集中分布於7小時發生，然而RWS集中在6小時發生，兩者最高發生頻率僅差1小時。如表2和圖4。顯示LPF和RWS主要發生時段尚稱集中。LPF和RWS發生，可了解區段天氣的不穩定。

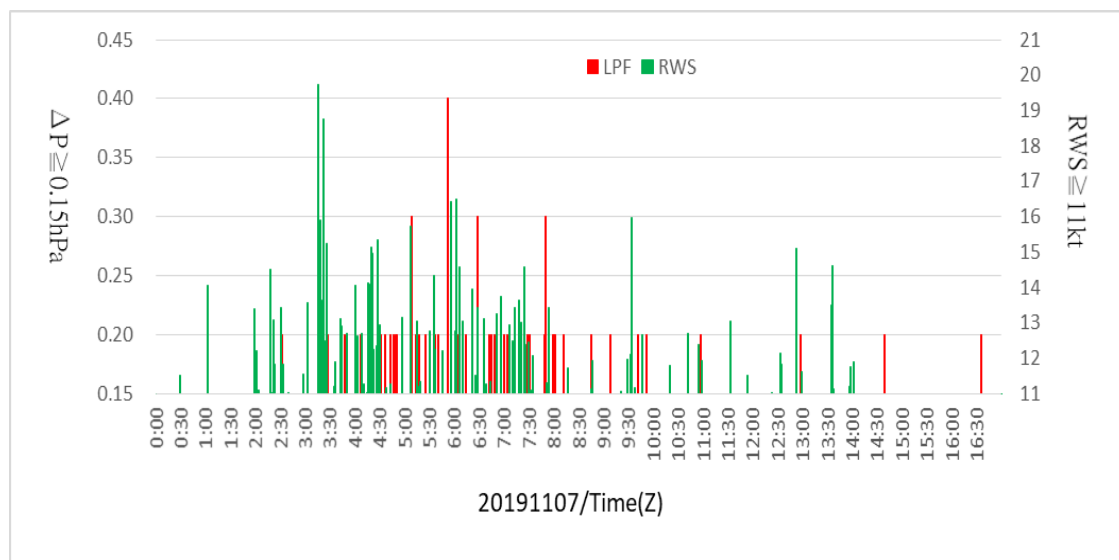


圖3、2019年11月7日0000-1600 UTC 松山機場氣壓大波動（LPF）與跑道風切（RWS）發生分布圖。

Fig. 3. Distribution of large pressure fluctuations (LPF) and runway wind shear (RWS) at Songshan Airport from 0000 to 1600 UTC on November 7, 2019.

表 2、2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 松山機場氣壓大波動 (LPF) 與跑道風切 (RWS) 逐時發生之次數和頻率。

註：此處 LPF 和 RWS 計次係以 10 秒為 1 次，每小時計有 360 次。

Table 2. The number and frequency of large pressure fluctuations (LPF) and runway wind shear (RWS) at Songshan Airport from 0000 to 1600 UTC on November 7, 2019.

Note: The counting times of LPF and RWS here are based on 10 seconds as one time, and there are 360 times per hour.

20191107	LPF		RWS	
Time(UTC)	times	times/360	times	times/360
0000		0.0 %		0.0 %
0100		0.0 %	2	0.6 %
0200	1	0.3 %	4	1.1 %
0300	5	1.4 %	10	2.8 %
0400	12	3.3 %	12	3.3 %
0500	13	3.6 %	7	1.9 %
0600	9	2.5 %	9	2.5 %
0700	9	2.5 %	10	2.8 %
0800	5	1.4 %		0.0 %
0900	4	1.1 %	3	0.8 %
1000	2	0.6 %	2	0.6 %
1100		0.0 %	1	0.3 %
1200	1	0.3 %	2	0.6 %
1300		0.0 %	1	0.3 %
1400	1	0.3 %		0.0 %
1500		0.0 %		0.0 %
1600	1	0.3 %		0.0 %
TOTL	63	17.5 %	63	17.5 %

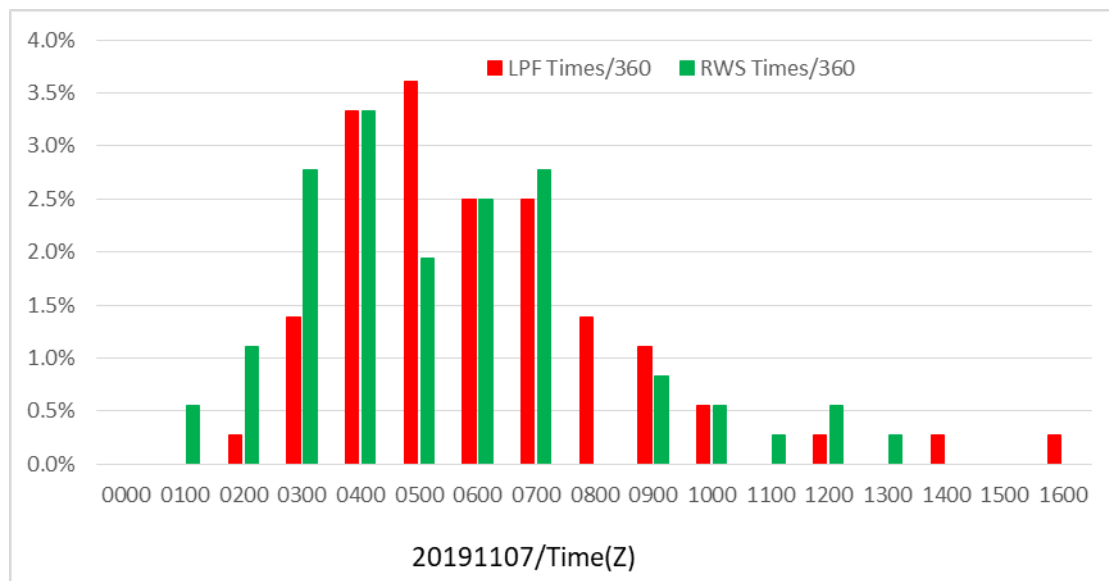


圖 4、2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 松山機場氣壓大波動 (LPF) 和跑道風切 (RWS) 逐時發生頻率。

註：此處 LPF 和 RWS 計次係以 10 秒為 1 次，每小時計有 360 次。

Fig. 4. Hourly frequency of large pressure fluctuations (LPF) and runway wind shear (RWS) at Songshan Airport from 0000 to 1600 UTC on November 7, 2019.

Note: The counting times of LPF and RWS here are based on 10 seconds as one time, and there are 360 times per hour.

2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 松山機場 LPF 與 RWS 列聯分析，當 LPF 和 RWS 每小時發生 ≥ 1 次時，其準確率較低 (64.7%)，錯誤率低 (17.6%) 和誤失率都偏高 (17.6%)。其中，準確率包括 LPF 與 RWS 都有發生和都沒發生合併計算，錯誤率係 LPF 發生而 RWS 並沒發生，誤失率係 LPF 沒有發生而 RWS 卻發生。然而當每小時發生 ≥ 5 次時，其準確率大幅提升至 (94.6%)，錯誤率低 (5.9%) 和誤失率 (0.0%) 也都大幅下降。當每小時發生 ≥ 10 次時，其準確率 (82.4%) 略有下降，錯誤率仍低 (5.9%)，但誤失率卻略微上升 (11.8%)，

如表 3 和圖 5。

顯示以 LPF 來偵測 RWS，除了兩者零星發生，其準確率較低，錯誤率和誤失率都較高，之外，發生次數較多者，其準確率甚高 (82.4%-94.1%)，錯誤率 (5.9%) 和誤失率都低 (0.0-11.8%)。LPF 和 RWS 兩者每小時發生次數在 10 次以上時，LPF 偵測 RWS 的誤失率略為提升至 11.8%，概因 RWS 於 0300 UTC、0600 UTC 和 0700 UTC 各發生 10 次、12 次和 10 次，而 LPF 於該等小時各僅發生 5 次、9 次和 9 次，未達 10 次以上所致。

表 3、2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 松山機場氣壓大波動 (LPF) 與跑道風切 (RWS) 列聯表。

Table 3. Contingency table of large pressure fluctuation (LPF) and runway wind shear (RWS) at Songshan Airport from 0000-1600 UTC on November 7, 2019.

2019 1107	Accuracy		LPF_yes+ RWS_yes		LPF_no+ RWS_no		LPF_yes+ RWS_no		RWS_yes+ LPF_no	
			times	times/17	times	times/17	times	times/17	times	times/17
									(false alarm)	(miss alarm)
≥ 1	11	64.7 %	9	52.9 %	2	11.8 %	3	17.6 %	3	17.6 %
≥ 5	16	94.1 %	5	29.4 %	11	64.7 %	1	5.9 %	0	0.0 %
≥ 10	14	82.4 %	1	5.9 %	13	76.5 %	1	5.9 %	2	11.8 %

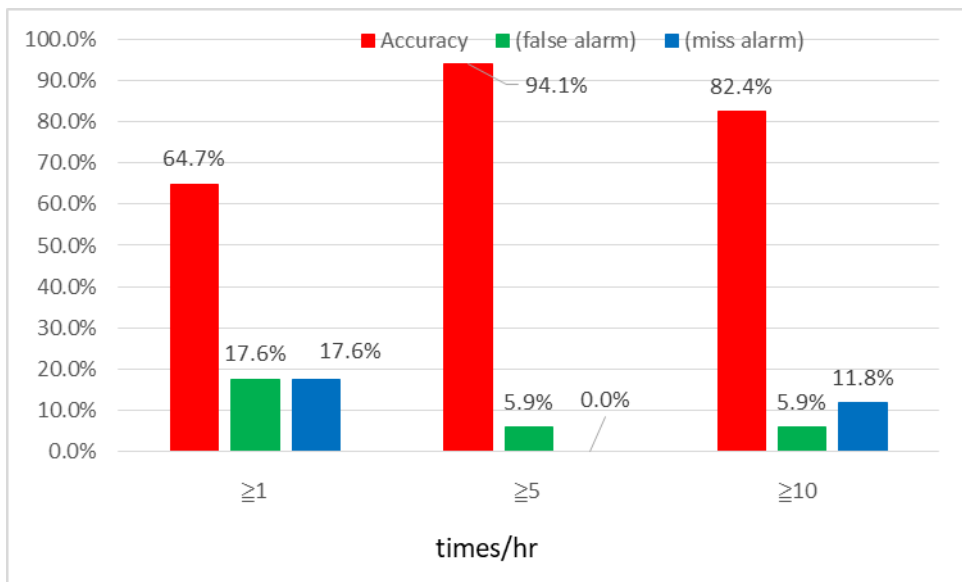


圖 5、2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 松山機場氣壓大波動 (LPF) 與跑道風切 (RWS) 按每日按不同次數 (≥ 1 次、 ≥ 5 次和 ≥ 10 次) 之列聯分布圖，其中紅色代表精確度，綠色代表錯誤率 and 藍色代表誤失率。

Fig. 5. Large pressure fluctuation (LPF) and runway wind shear (RWS) at Songshan Airport from 0000 to 1600 UTC on November 7, 2019 according to different times per day (≥ 1 time, ≥ 5 times and ≥ 10 times), where red represents accuracy, green represents error rate and blue represents error rate.

四、討論

蒲與林 (2021) 就 2013 年 2 月 24 日松山機場強勁東北季風跑道風切與氣壓大波動之分析，認為氣壓大波動與跑道風切發生起訖時間相當接近，本文進一步透過氣壓大波動與跑道風切列聯分析，了解兩者之相關性。顯示以 LPF 來偵測 RWS，除了兩者零星發生，其準確率較低，錯誤率和誤失率都較高，之外，發生次數較多時，其準確率甚高 (82.4 %-94.1 %)，錯誤率 (5.9 %) 和誤失率都低 (0.0-11.8 %)。LPF 和 RWS 兩者每小時發生次數在 10 次以上時，LPF 偵測 RWS 的誤失率略為提升至 11.8 %，概因 RWS 於 0300 UTC、0600 UTC 和 0700 UTC 各發生 10 次、12 次和 10 次，而 LPF 於該等小時各僅發生 5 次、9 次和 9 次，未達 10 次以上所致。LPF 延遲 RWS 約 1 小時後發生或延後 2 小時結束，時間上最大集中時間的不同是會影響結果，惟 LPF 和 RWS 發生，可了解區段天氣的不穩定。目前松山機場氣壓觀測僅至小數點一位，所以 LPF 門檻值實際上是 $\Delta P \geq 0.2 \text{ hPa}$ ，未來氣壓觀測增至小數點二位時，LPF 門檻值調整為 $\Delta P \geq 0.11 \text{ hPa}$ ，以 LPF 來偵測 RWS，其準確率可能再提高，錯誤率和誤失率可能再降低。是否考慮使用 LPF 預警的可行性，需等待未來從事氣壓大波動來監測跑道風切之實驗計畫加以應證。

我們都知道飛機通常選擇機場跑道逆風起降，如果順風風速超過每小時 10 kt 則改由另一跑道頭起降。但是，機場有時候受地形或天氣系統的影響，雖然選擇逆風起降，但是也會碰到逆風風切或順風風切，造成誤失進場而拉起重飛或提早降落墜毀。所謂逆風風切表示逆風分速之增加或順風分速之減少，使飛機之

指示空速增加而提升高度；順風風切表示順風分速之增加或逆風分速之減少，使飛機之指示空速減少而致下沉。RWS 係在計算逆風風切或順風風切，提供給飛行員起降參考，可確保飛航安全。

目前台灣大小機場多數跑道風切都是由起降飛機的飛行員遭遇風切時，提供機場航空氣象台，再由觀測員在機場天氣報告上加註風切對外發布。根據民航機場氣象作業規定 (ICAO, 2005)，機場氣象台收到低空風切警告系統 (LLWAS) 發出低空風切警告或飛行員有風切報告時，氣象觀測人員會在機場定時天氣報告 (METAR) 或特別天氣報告 (SPECI) 加註風切，當超過 30 分鐘不再接到低空風切警告或飛行員風切報告時，氣象觀測人員就取消 METAR 或 SPECI 天氣報告加註風切，所以氣壓大變動取代風切警告，時間差異在 30 分鐘之內是可接受，至少在還沒有裝設低空風切警告的機場或離島小機場，以氣壓變動當成額外的輔助系統對飛航安全的提升是有助益的。

五、結論與未來展望

本文採用 2019 年 11 月 7 日 0000-1600 UTC 松山機場天氣自動觀測系統 (AWOS) 跑道兩頭 (R10 和 R28) 之氣壓和風向風速等資料，分析氣壓大波動 (LPF) 和跑道風切 (RWS) 之次數與頻率分布，再以 LPF 和 RWS 分析彼此關聯性。研究顯示：

- (一) LPF 和 RWS 主要發生時段尚稱集中。
- (二) 以 LPF 來偵測 RWS，兩者發生次數較多時，其準確率甚高，錯誤率和誤失率都低。
- (三) 未來我們將選擇一個離島機場，從事氣壓大波動來監測跑道風切之實驗計畫，實驗成功之後，可以在台灣大小機場以氣壓大

波動來開發跑道風切監測及警告系統，期望這套系統對促進飛航效益和提升飛航安全，將有莫大助益。

六、致謝

感謝民用航空局飛航服務總台提供松山機場自動觀測和機場天氣報告等資料。感謝施蔡國瑛女士和陳琰亮先生贊助研發。

參考文獻

- 蒲金標，2003：臺灣松山機場低空風切系統與低空風切診斷分析，*大氣科學*，**31**，181-198。
- 與林清榮，2017a：馬祖南竿機場誤失進場風切與氣壓大波動分析。*航空安全及管理季刊*，**4**，65-78。
- 與林清榮，2017b：2010~2014年松山機場低空風切與氣壓大波動之日變化分析研究，*大氣科學*，**45**，261-280。
- 與林清榮，2018：2014-2016年馬祖南竿機場跑道氣壓大變動與逆風(順)風切分析研究。*航空安全及管理季刊*，**5**，42-55。
- 與林清榮，2021：松山機場強勁東北季風跑道向量風切與氣壓大波動之分析研究，*飛航天氣期刊*，**36**，19-30。
- 與徐茂林，2016：菲特(FITOW)颱風影響松山機場低空風切之觀測個案分析研究，*飛航天氣期刊*，**25**，30-50。
- 徐茂林及游志遠，2015：2013年7月12-13日蘇力颱風侵襲期間松山機場低空風切分析研究，*大氣科學*，**43**，27-46。
- 徐茂林、游志遠及劉珍雲，2014：臺灣低壓鋒面與松山機場低空風切個案研究，*航空安全及管理季刊*，**1**，227-243。
- ICAO(International Civil Aviation Organization),2014: Manual on Low-Level wind-Shear, May 3, 2014—First. Edition — 2005. Doc. 9817 -AN/449, 213 pp., <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2194.pdf>
- Katul, Gabriel G., J. D. Albertson, M. B. Parlange, Cheng-I. Hsieh, P. S. Conklin, John T. Sigmon, and Ken R. Knoerr, 1996 : The “Inactive” Eddy Motion and the Large-Scale Turbulent Pressure Fluctuations in the Dynamic Sublayer. *J. Atmos. Sci.*, **53**, p2512-2524.
- Shreffler, Jack H. and Francis S. Binkowski, 1981: Observations of Pressure Jump Lines in the Midwest, 10-12 August 1976. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1713-1725.
- UCAR(University Corporation for Atmospheric Research),2021 : Low Level Wind-shear Alert System (LLWAS-III), <https://ral.ucar.edu/solutions/products/low-level-wind-shear-alert-system-LLWAS-III>
- Vianai Samul, Carlos Yaguei, Gregorio Maqueda and Gema Morales, 2007: Study of the surface pressure fluctuations generated by waves and turbulence in the nocturnal boundary layer during SABLES2006 field campaign. *Física de la Tierra* , **19**, 55-71.
- Wakimoto, R. M., 1982: The Life Cycle of Thunderstorm Gust Fronts as Viewed with Doppler Radar and Rawinsonde Data. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1060-1082.
- Wei Z., H.Zhang, Y.Ren, Q.Li, X.Cai, Y.Song, L.Kang,2021:Study on the characteristics

of the pressure fluctuations and their contribution to turbulence kinetic energy. *Atmos. Res.*, **258**(2021), Article 105634.

A Case Study of Large Pressure Fluctuations and Runway Wind Shear at Songshan Airport on November 7, 2019

Chin-Piao Pu¹, Chung-Chieh Wang²

The Meteorological Environment Research and Development Center ¹
National Taiwan Normal University, Department of Earth Sciences ²

Abstract

This paper uses the pressure, wind direction and wind speed data at the two runway (R10 and R28) of Automatic Weather Observation System (AWOS) at Songshan Airport from 0000 to 1600 UTC on November 7, 2019, to analyze the times and frequency distribution of large pressure fluctuation (LPF) and runway wind shear (RWS), and then analyze the correlation with the large fluctuation of air pressure and the runway wind shear. The results of the study show that the periods of large pressure fluctuations and runway wind shear at Songshan Airport are still concentrated. The runway wind shear is detected by large fluctuations in air pressure. If the number of occurrences is large, the accuracy rate is very high, and the error rate and error rate are both low. In the future, we will choose an island airport to carry out the experimental project of monitoring runway wind shear with large pressure fluctuations. After the experiment is successful, we can develop a runway wind shear monitoring and alert system with large pressure fluctuations in airports in Taiwan. It will be of great help to promote aviation efficiency and enhance aviation safety.

Key words: Automatic Weather Observation System, Pressure Standard Deviation, Large Pressure Fluctuation, Runway Wind Shear, Accuracy Rate, Error Rate and Miss Rate.

民國 106 年北太平洋西部颱風概述

蔡甫甸

中央氣象局氣象預報中心

摘要

民國106(西元2017)年北太平洋西部海域總計有27個颱風生成,侵臺颱風數有2個;發展強度達強烈颱風者有2個,中度颱風9個,輕度颱風則有16個,其中本年強度最強的颱風為蘭恩(LAN, 1721),其近中心最大風速達到53 m/s之最大強度。颱風生成位置以經度而言,東經120度以東之北太平洋西部海域有18個颱風生成;東經120度以西之南海海域有9個颱風生成。

本年度之颱風特性有以下幾點:1、颱風發生總個數27個,接近氣候平均數26.3個,其中7月有8個颱風生成,為全年中最多颱風生成的月份。2、颱風生命期在2-3天者為最多(6個,占22.2%),生命期最長的是諾盧(NORU, 1705)颱風,共歷時450小時。3、本年27個颱風中,中央氣象局發布「海上」或「海上陸上」颱風警報者計有5個颱風,發布海上颱風警報者為谷超及泰利颱風;發布海上陸上颱風警報為尼莎、海棠及天鵝颱風,侵臺颱風計有2個為尼莎及海棠颱風,並為登陸臺灣之颱風。4、中央氣象局颱風路徑預報之誤差,24小時平均誤差為85公里,優於過去10年24小時之平均誤差92公里,其中以奈格及丹瑞颱風之誤差40公里為最小;48小時預報平均誤差為154公里,亦略優於過去10年之48小時平均誤差158公里,其中以啟德颱風誤差為73公里最小。

關鍵詞: 颱風、登陸、路徑預報誤差

一、前言

統計 1958~2016 年的颱風資料(表 1)顯示,北太平洋西部海域平均每年有 26.3 個颱風生成,其中有 3.3 個颱風侵襲臺灣;侵臺颱風之定義為該颱風中心登陸臺灣,或颱風中心雖未登陸,但造成臺灣陸地上有明顯災害者。本(民國 106、西元 2017)年北太平洋西部海域共有 27 個颱風生成,其中侵臺颱風計有 2 個;

各個颱風的編號、名稱、起訖生命期、生成地點、消失地點、最低中心氣壓、近中心最大風速、生命期間 7 級風與 10 級風之最大暴風半徑、路徑型式等基本資料詳見颱風概要表(表 2)。

就生成個數而言,本年颱風總數(27 個)接近過去 59 年(1958 年至 2016 年)來之氣候平均數 26.3 個;侵臺颱風數為 2 個,少於氣候平均數 3.3 個;第 1 個颱風梅花(MUIFA, 1701)

於 4 月 26 日生成，最後 1 個颱風天秤(TEMBIN, 1727) 於 12 月 21 日生成；颱風生命期內最大強度達強烈颱風者有 2 個，達中度颱風者有 9 個，達輕度颱風者則有 16 個。本年度中央氣象局共發布 5 次颱風警報，其中 3 次海上陸上颱風警報，分別為尼莎 (NESAT, 1709)、海棠 (HAITANG, 1710) 及天鴿 (HATO, 1713) 颱風；2 次海上颱風警報，分別為谷超 (GUCHOL, 1717) 及泰利 (TALIM, 1718) 颱風；其中 2 個侵臺颱風分別為尼莎及海棠颱風。本報告就本年度 27 個颱風，概述其發生位置、移動路徑、發生頻率、生命期、強度及綜觀天氣型態等特徵。

二、綜合概述

本節針對民國 106 (西元 2017) 年所生成之颱風發生頻率、強度、生成位置、生命期及警報發布概況、侵臺颱風災情及中央氣象局之颱風路徑預報誤差等分述如下：

(一) 發生頻率、強度、生成位置及生命期

就颱風發生頻率而言，本年度共生成 27 個颱風，接近氣候平均數 (1958~2016 計 59 年之平均) 26.3 個，各月份颱風生成個數如表 1 及圖 1 所示，主要集中在下半年，其中 7 月有 8 個颱風生成，超出該月平均數 4 個之多，為最多颱風生成的月份；4 月及 6 月各有 1 個颱風

生成，各占全年颱風總生成數的 3.7 %；12 月有 2 個颱風生成，占全年颱風總生成數的 7.4 %；10 月及 11 月各有 3 個颱風生成，各占全年颱風總生成數的 11.1 %；9 月有 4 個颱風生成，占全年颱風生成數的 14.8 %；8 月有 5 個颱風生成，占全年颱風生成數的 18.5 %；7 月有 8 個颱風生成，占全年颱風生成數的 29.6 %；其他月份則無颱風生成。與過去 59 年之平均發生數比較結果顯示 (圖 1)，本年 4 月、7 月、11 月及 12 月颱風生成數超過平均數，其他月份則少於平均數。

就颱風強度而言，本年度 27 個颱風中，屬於輕度颱風 (近中心最大風速 17.2 m/s 至 32.6 m/s) 者計有 16 個，占 59.3 %；中度颱風 (近中心最大風速 32.7 m/s 至 50.9 m/s) 者有 9 個，占 33.3 %；達強烈颱風者 (近中心最大風速 51.0 m/s 以上) 有 2 個，占 7.4 %，其中強度最強的颱風為蘭恩 (LAN, 1721)，颱風近中心最大風速達到 53 m/s 之最大風速。中度與強烈颱風合計有 11 個，少於氣候平均數 16.0 個 (詳如表 1 及表 2)。在颱風路徑類型方面，以直線型路徑為多數，共有 18 個，占 66.7 %；拋物線型有 7 個，占 25.9 %；較特殊路徑則有 2 個，占 7.4 %。其他有關颱風之編號、名稱、生成及消失地點、中心最低氣壓、近中心最大風速、生命期間最大 7 級風與 10 級風暴風半徑及起訖生命期等資料詳見表 2。

表 1. 1958 年以來北太平洋西部颶風生成次數統計表。

Table 1. Summary of tropical storms/typhoons occurrence in the Western North Pacific Ocean since 1958.

1958 年以來北太平洋西部颶風次數統計表																																							
年\月	一月			二月			三月			四月			五月			六月			七月			八月			九月			十月			十一月			十二月			全年		
Yr\Mo	Jan.			Feb.			March			Apr.			May			June			July			Aug.			Sep.			Oct.			Nov.			Dec.			Ann.		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1958	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	3	3	0	7	5	1	4	3	1	6	3	1	3	3	0	2	2	0	2	2	0	30	24	3
1959	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	6	4	2	4	3	1	4	3	1	2	2	1	2	2	0	23	16	6
1960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	3	3	1	3	2	1	12	8	3	2	0	0	4	4	0	1	1	0	1	1	0	28	21	5
1961	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3	2	1	3	1	0	5	3	1	3	3	2	7	5	2	4	3	0	1	1	0	1	1	0	29	20	6
1962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2	0	0	0	0	5	4	1	8	8	2	3	2	1	5	4	1	3	3	0	2	0	0	29	24	5
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	4	3	0	4	3	1	3	3	0	5	4	1	4	4	0	0	0	0	3	1	0	24	19	2
1964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	2	0	7	6	0	6	3	0	7	5	0	6	3	0	6	3	0	1	1	0	37	25	0
1965	2	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	2	2	0	3	2	1	5	4	1	7	4	1	6	3	0	2	2	0	2	1	0	0	0	0	33	18	3
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2	1	1	1	0	5	3	0	8	6	1	7	4	2	3	2	0	2	0	0	1	1	0	30	20	4
1967	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	6	5	1	8	4	1	7	4	0	4	3	1	3	3	1	1	0	0	35	22	4
1968	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	3	2	1	8	6	0	3	3	2	6	5	0	4	4	0	0	0	0	27	23	3
1969	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	4	3	1	3	3	1	3	3	1	2	1	0	1	0	0	19	15	4
1970	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	0	0	6	4	0	5	2	1	5	4	0	4	1	0	0	0	0	26	13	1
1971	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3	0	4	1	0	2	2	0	8	6	2	4	3	0	6	5	2	4	3	0	2	1	0	0	0	0	35	24	4
1972	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	1	0	5	5	0	5	3	1	5	4	0	5	4	0	2	2	0	3	2	0	30	23	1
1973	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	1	5	2	0	2	2	0	4	4	1	3	0	0	0	0	0	21	12	2
1974	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	3	1	0	5	2	1	5	2	0	5	3	1	4	4	1	4	2	0	2	0	0	32	15	3
1975	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	4	1	5	4	1	5	3	1	3	2	0	0	0	0	20	14	3
1976	1	1	0	1	0	0	0	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	4	2	0	4	1	1	5	4	0	1	1	0	1	1	0	2	0	0	25	16	1	
1977	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3	2	2	0	1	5	2	0	4	3	0	1	1	0	2	2	0	19	11	3
1978	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0	1	4	3	0	7	3	1	5	4	0	4	3	1	3	1	0	0	0	0	28	15	3
1979	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	4	2	1	2	2	1	6	3	0	3	2	0	2	1	0	2	1	0	23	14	2
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	2	0	1	0	0	4	3	1	2	2	1	6	4	1	4	2	0	1	1	0	1	0	0	24	14	3
1981	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	3	3	2	4	1	1	7	2	1	4	4	1	2	1	0	3	2	0	2	2	0	28	16	5
1982	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	1	1	0	3	1	0	4	2	1	5	5	2	5	3	0	3	3	0	1	1	0	1	1	0	26	19	3
1983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3	1	5	2	0	2	1	1	6	4	0	4	2	0	2	0	0	23	12	2
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	5	4	1	5	2	3	4	1	0	7	5	0	3	3	0	1	1	0	27	16	5
1985	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2	1	1	1	1	8	6	1	5	3	1	4	3	1	1	0	0	2	1	0	26	17	5
1986	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	2	1	1	3	2	1	3	3	1	2	2	1	5	3	0	4	2	0	3	2	0	26	18	4
1987	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	4	4	2	4	3	0	6	5	1	2	2	1	3	1	0	1	1	0	24	18	4
1988	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	1	2	1	0	5	2	0	8	2	0	4	4	0	2	2	0	1	0	0	26	14	1
1989	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2	0	2	1	0	7	2	0	5	3	0	5	2	1	5	5	0	3	3	0	1	1	0	32	20	1
1990	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	3	2	1	4	2	0	5	4	2	5	4	1	5	2	0	4	3	0	1	1	0	30	20	5
1991	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	4	4	1	5	2	1	6	4	1	3	3	0	6	3	0	0	0	0	29	20	3
1992	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	5	1	0	8	3	1	5	3	2	7	6	0	3	2	0	0	0	31	18	3	
1993	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	5	1	0	6	3	0	6	4	1	4	2	0	2	1	0	3	2	0	29	14	1
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2	0	0	7	2	1	7	5	3	8	4	1	6	5	1	0	0	0	2	1	0	34	19	6
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	2	1	1	6	2	1	5	3	1	6	3	0	2	0	0	1	0	0	25	9	4
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	7	4	2	7	3	0	6	5	0	3	2	0	2	1	0	2	0	0	30	16	3
1997	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	1	0	3	2	0	3	2	0	7	3	2	5	3	0	4	3	0	2	0	0	1	1	0	31	16	2
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	2	1	5	4	1	3	2	3	0	0	0	2	1	0	17	9	5
1999	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	1	1	1	2	1	0	5	1	0	6	1	0	2	1	1	2	0	0	0	0	23	6	2	
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	5	2	1	6	3	2	5	3	1	2	2	1	2	1	0	1	1	0	23	13	5
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	1	5	4	3	6	3	0	5	5	2	3	3	0	1	1	0	3	1	0	26	19	7
2002	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	2	0	5	3	1	6	4	0	4	1	1	2	0	0	2	2	0	1	1	0	26	15	2
2003	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	5	3	1	3	3	1	3	2	0	2	2	1	0	0	0	21	14	3
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	5	5	1	2	1	0	8	6	1	3	1	1	3	3	1									

表 2、民國 106（西元 2017）年北太平洋西部地區颱風概要表。

Table 2. Summary of the tropical storms/typhoons over the western North Pacific Ocean in 2017.

月份	當月次數	本年編號 (西元)	颱風名稱 (typhoon name)	起迄時間 (UTC)			生命期 (小時)	生成地點		消失地點		估計中心最低 氣壓 (hPa)	近中心 最大風 速 (m/s)	估計之最大 暴風半徑 (km)		強度 分類	中央 氣象局 警報 階段	路徑型式 (track types)	備註 (remarks)
				全部起迄 (life period)	中度以上 (≥64 knots)	強烈以上 (≥100 knots)		北緯 (度)	東經 (度)	北緯 (度)	東經 (度)			7 級 (30kts)	10 級 (50kts)				
4	1	1701	梅花 (MUIFA)	2600-2712	—	—	36	13.3	134.8	17.0	135.0	998	18	100	—	輕度	—	拋物線型	—
6	1	1702	莫柏(MERBOK)	1106-1300	—	—	42	17.1	116.7	24.0	115.0	990	23	80	—	輕度	—	直線型	—
7	1	1703	南瑪都 (NANMADOL)	0200-0500	—	—	72	20.9	126.8	36.0	146	985	25	120	—	輕度	—	拋物線型	—
7	2	1704	塔拉斯 (TALAS)	1506-1712	—	—	54	16.7	111.6	20.0	100.5	990	23	100	—	輕度	—	直線型	—
7	3	1705	諾盧 (NORU)	2100-0818	2400-2818	3118-3118	450	27.3	158.4	38.9	139.0	925	51	220	70	強烈	—	特殊型	—
7	4	1706	庫拉 (KULAP)	2106-2512	—	—	102	26.6	177.1	32.0	153.5	985	25	100	—	輕度	—	直線型	—
7	5	1707	洛克 (ROKE)	2206-2306	—	—	24	21.3	118.9	22.5	113.5	1002	18	80	—	輕度	—	直線型	—
7	6	1708	桑卡 (SONCA)	2306-2512	—	—	54	17.5	111.6	17.0	106.0	998	18	80	—	輕度	—	直線型	—
7	7	1709	尼莎 (NESAT)	2606-3012	2812-3002	—	102	16.2	128.2	26.0	117.0	955	40	180	60	中度	海上 陸上	直線型	侵臺 颱風
7	8	1710	海棠 (HAI TANG)	2909-3106	—	—	45	18.5	117.1	27.0	117.5	990	20	100	—	輕度	海上 陸上	拋物線型	侵臺 颱風
8	1	1711	奈格 (NALGAE)	0200-0600	—	—	96	25.6	165.2	39.9	159.2	992	23	100	—	輕度	—	直線型	—
8	2	1712	榕樹 (BANYAN)	1112-1706	1218—1612	—	138	17.3	168.0	42.5	177.4	960	38	150	50	中度	—	拋物線型	—
8	3	1713	天鴿 (HATO)	2006-2406	2209-2306	—	96	20.0	128.0	24.0	106.5	955	40	180	50	中度	海上 陸上	直線型	—
8	4	1714	帕卡 (PAKHAR)	2418-2718	—	—	72	15.3	124.8	24.5	108.0	975	30	150	—	輕度	—	直線型	—
8	5	1715	珊瑚 (SANVU)	2806-0312	3106-0212	—	150	19.7	147.0	45.0	154.5	960	38	250	100	中度	—	特殊型	—
9	1	1716	瑪娃 (MAWAR)	3118-0400	—	—	78	19.3	118.7	23.5	114.9	988	25	120	—	輕度	—	直線型	—
9	2	1717	谷超 (GUCHOL)	0600-0618	—	—	18	20.3	120.4	22.2	119.2	998	18	80	—	輕度	海上	直線型	—
9	3	1718	泰利 (TALIM)	0912-1812	1112-1618	—	216	15.2	143.1	46.7	142.4	935	48	250	80	中度	海上	拋物線型	—
9	4	1719	杜蘇芮 (DOKSURI)	1212-1600	1412-1506	—	84	14.0	119.0	18.5	101.5	955	40	180	60	中度	—	直線型	—
10	1	1720	卡努 (KHANUN)	1212-1606	1500-1512	—	90	18.5	123.5	20.5	109.0	952	40	180	50	中度	—	直線型	—
10	2	1721	蘭恩 (LAN)	1518-2306	1718-2218	2100-2200	180	9.9	136.2	41.0	146.0	920	53	330	100	強烈	—	拋物線型	—
10	3	1722	蘇拉 (SAOLA)	2406-2918	—	—	132	12.6	142.2	40.0	145.5	975	30	200	70	輕度	—	拋物線型	—
11	1	1723	丹瑞 (DAMREY)	0200-0412	0300-0400	—	60	12.5	117.5	12.5	106.5	965	35	150	50	中度	—	直線型	—
11	2	1724	海葵 (HAIKUI)	0912-1206	—	—	66	13.9	121.4	17.5	112.3	998	20	80	—	輕度	—	直線型	—
11	3	1725	鴻雁 (KIROGI)	1800-1818	—	—	18	11.3	114.8	11.0	111.5	998	18	80	—	輕度	—	直線型	—

12	1	1726	啟德 (KAI-TAK)	1400-2200	—	—	192	11.5	127.5	5.8	106.9	995	20	100	—	輕度	—	直線型	
12	2	1727	天秤 (TEMBIN)	2018-2600	2400-2500	—	126	8.6	130.0	8.5	105.0	970	33	150	50	中度	—	直線型	

統計本年度颱風之生成位置如圖 2，以緯度而言，生成於北緯 10 度至 20 度範圍內最多，計有 18 個，占全年颱風總數之 66.7 %；生成於北緯 20° 以北者有 7 個，占全年颱風總數之 25.9 %；生成於北緯 10° 以南者有 2 個颱風，占全年颱風總數之 7.4 %；以經度而言，120°E 以東之北太平洋西部海域有 18 個颱風生成，其中 9 個最大強度為輕度颱風，9 個發展強度達中度颱風以上；120°E 以西之南海海域有 9 個颱風生成，其中 7 個是輕度颱風，2 個達中度颱風強度。比較本年度颱風之生成位置及路徑與過去 3 年的差異（圖 2 及圖 3），颱風生成位置多少有些年際變化。其中 2017 年與 2015 年對比尤為強烈，本年度颱風主要生成在菲律賓周遭海域，共計超過 14 個颱風生成，且全年僅有兩個強烈颱風，與之同樣總數 27 個颱風生成的 2015 年，颱風生成位置在 150°E 以東有 14 個，全年共有 9 個強烈颱風。本年度颱風生成位置最東者為庫拉颱風 (KULAP, 1706)，生成位置於 26.6°N、177.1°E；最北者是諾盧颱

風 (NORU, 1705)，生成於 27.3°N、158.4°E；最西者是塔拉斯颱風 (TALAS, 1704) 及桑卡颱風 (SONCA, 1708)，分別生成於 16.7°N、111.6°E 及 17.5°N、111.6°E；最南者是生成於 8.6°N、130.0°E 的天秤颱風 (TEMBIN, 1727)。

統計本年颱風生命期如表 3 顯示，生命期介於 2–3 天者為最多有 6 個（占 22.2 %），其次為 3–4 天者有 5 個（占 18.5 %），0–1 天、1–2 天、5–6 天者各有 3 個（各占 11.1 %），4–5 天及 7–8 天者各有 2 個（占 7.4 %），6–7 天、8–9 天、18–19 天者各有 1 個（占 3.7 %），其中生命期最長的是諾盧颱風 (NORU, 1705)，從生成至消失歷時 450 小時，雖然也相當少見，但回顧歷史上長壽的颱風/颶風，根據聯合國世界氣象組織的紀錄，生命期最長的颱風是 1994 年的“John”颱風/颶風，8 月 10 日於東北太平洋生成，經過換日線到西北太平洋，之後再回到東北太平洋，9 月 10 日結束，生命期長達 31 天；生命期最短的是谷超 (GUCHOL, 1717) 及鴻雁 (KIROGI, 1725)，皆僅 18 小時。

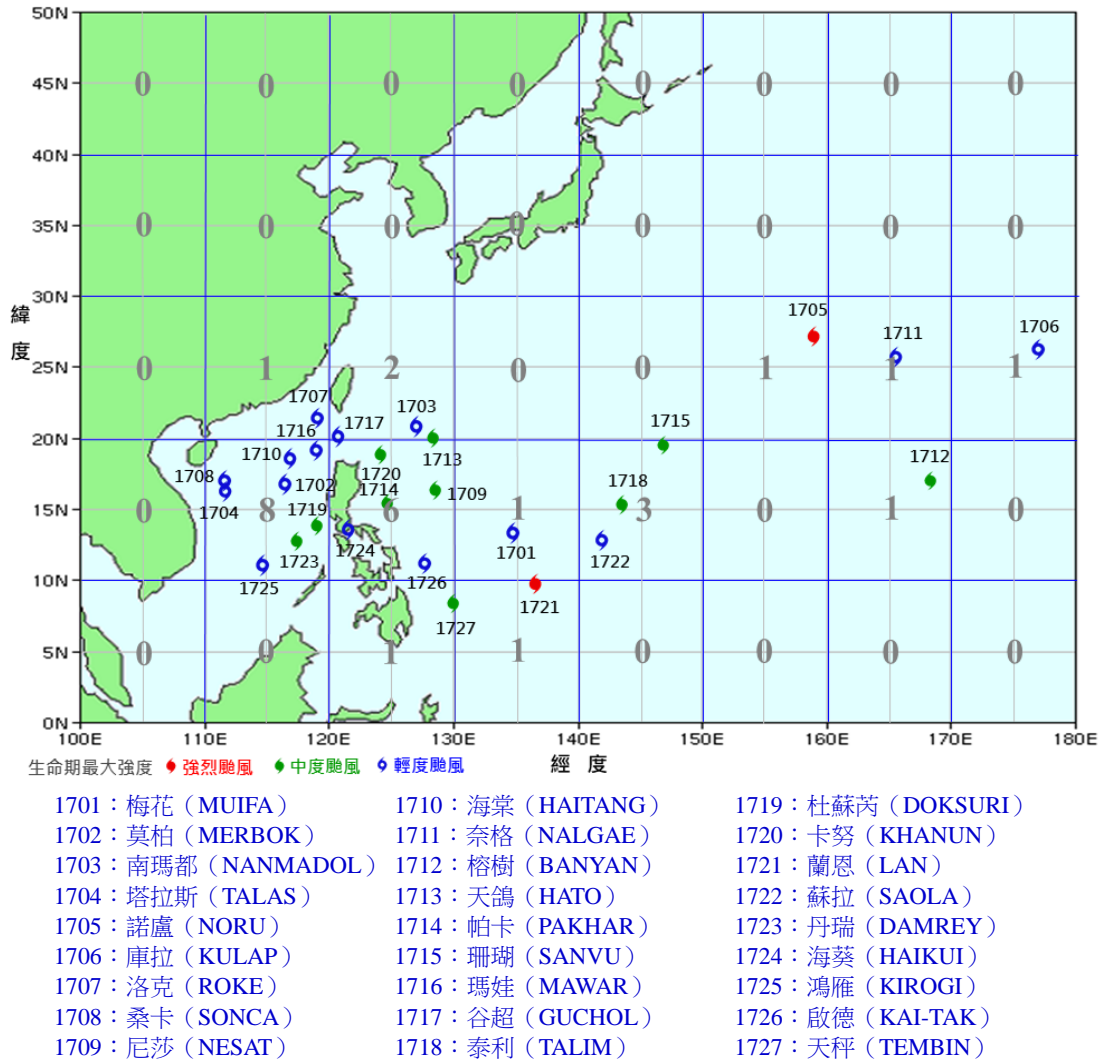


圖 2、民國 106 (西元 2017) 年颱風生成位置及分布統計。

Fig. 2. Annual tropical storms/typhoons genesis locations for 2017.

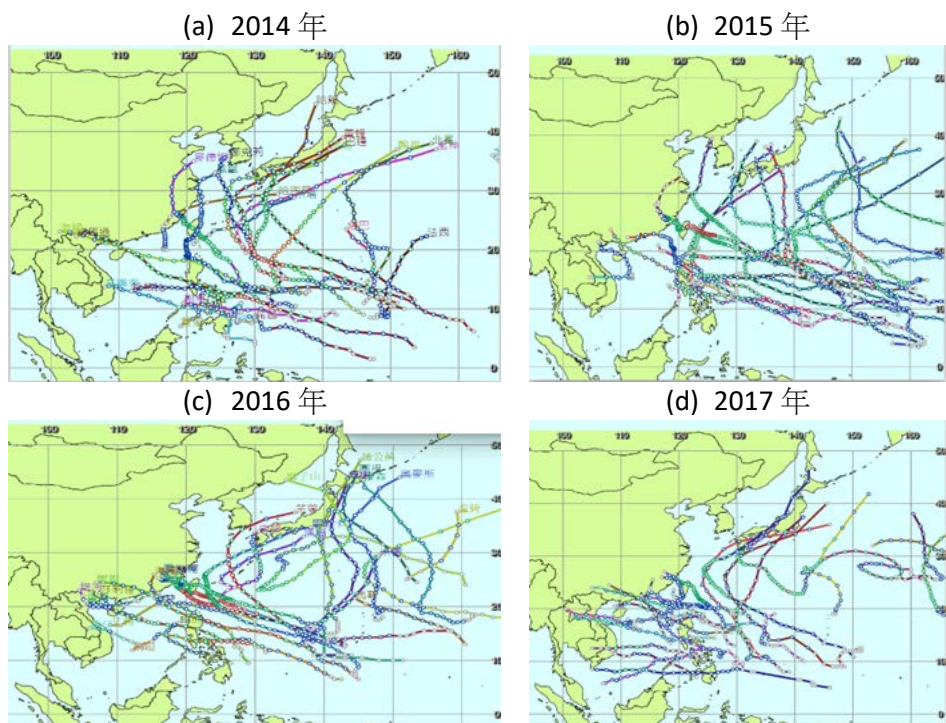


圖 3、2017 年與近 3 年颱風生成位置及路徑比較。(a) 2014 年 (b) 2015 年 (c) 2016 (d) 2017 年。

Fig. 3. Comparison between the 2017 tropical storms/typhoons and for the period 2014 through 2016 tropical storms/typhoons genesis locations & tracks. (a) 2014 (b) 2015 (c) 2016 (d) 2017.

(二) 警報發布概況

本年 27 個颱風中，中央氣象局研判可能侵襲臺灣鄰近海域或陸地而發布「海上」或「海上陸上」颱風警報者計有 5 個颱風（表 4），占民國 106（2017）年颱風生成總數之 18.5 %。發布海上颱風警報者為谷超（GUCHOL，1717）及泰利（TALIM，1718）颱風；發布海上陸上颱風警報者為尼莎（NESAT，1709）、海棠（HAITANG，1710）及天鴿（HATO，1713）颱風；侵臺颱風有 2 個，少於氣候平均數 3.3 個，為尼莎及海棠颱風，亦是登陸臺灣之颱風。本年中央氣象局颱風警報之發布概況，包括警報發布與解除時間、發布報數、颱風動態、移

動路徑及災情等資料詳見表 4。

(三) 颱風路徑預報誤差

中央氣象局對本年 27 個颱風之 24 小時及 48 小時路徑預報位置平均誤差如表 5 所示，本年 24 小時平均誤差為 85 公里，優於中央氣象局過去 10 年（2007 年至 2016 年）24 小時之平均誤差 92 公里；其中以奈格（NALGAE，1711）及丹瑞（DAMREY，1723）颱風之誤差為 40 公里最小，其次是瑪娃（MAWAR，1716）颱風之誤差為 59 公里，而誤差最大的是海棠（HAITANG，1710）颱風為 203 公里，其次是桑卡（SONCA，1708）颱風之誤差為 133 公里。48 小時預報平均誤差為 154 公里，表現亦

略優於過去 10 年之平均誤差 158 公里，其中以啟德 (KAI-TAK, 1726) 颱風之平均誤差 73 公里為最小，南瑪都 (NANMADOL, 1703) 颱風的平均誤差 301 公里為最大。若以發布警報的 5 個颱風而言，24 小時預報誤差最小的是尼莎 (NESAT, 1709) 颱風，其 24 小時預報平均誤差值為 79 公里；而預報平均誤差最大的是海棠 (HAITANG, 1710) 颱風，其 24 小時預報平均誤差值為 203 公里，另谷超

(GUCHOL, 1717) 颱風生命期少於 24 小時。

由圖 4 顯示，1997 至 2017 年中央氣象局颱風主觀預報之逐年平均誤差隨著作業技術的改善，預報誤差趨勢有逐年縮小，但因每年的颱風與大氣環境並不相同，預報難易度也不同，使得預報誤差仍有年際高低變化的現象，其中 2016 年及 2017 年較 2015 年預報誤差有略微增大。

表 3、民國 106(西元 2017)年北太平洋西部颱風生命期統計表。

Table 3. Statistics of tropical storms/typhoons life period in western North Pacific Ocean for 2017.

時數 (天)	個數	百分比 (%)
1-24 (1)	3	11.1
25-48 (2)	3	11.1
49-72 (3)	6	22.2
73-96 (4)	5	18.5
97-120 (5)	2	7.4
121-144 (6)	3	11.1
145-168 (7)	1	3.7
169-192 (8)	2	7.4
193-216 (9)	1	3.7
217-240 (10)	0	0.0
241-264 (11)	0	0.0
265-288 (12)	0	0.0
289-312 (13)	0	0.0
313-336 (14)	0	0.0
337-360 (15)	0	0.0
361-384 (16)	0	0.0
385-408 (17)	0	0.0
409-432 (18)	0	0.0
433-456 (19)	1	3.7
合計	27	100.0

表 4、民國 106 (西元 2017) 年中央氣象局颱風警報發布概況表。

Table 4. Summary of tropical storm/typhoon warnings issued by CWB in 2017.

中華民國 106 年(西元 2017 年)中央氣象局颱風警報發布概況表

號次	發 布 概 況 及 路 徑 圖	
1*	<p>編名 號:1709 稱:尼莎 (NESAT)</p> <p>生成地點:菲律賓東方海面</p> <p>發布報數:19</p> <p>發布時間:海上: 7 月 28 日 08 時 30 分 陸上: 7 月 28 日 14 時 30 分</p> <p>解除時間:海上: 7 月 30 日 14 時 30 分 陸上: 7 月 30 日 14 時 30 分</p> <p>最大強度:中度</p> <p>近中心最大風速:每秒 40 公尺 (13 級風)</p> <p>暴風半徑: 7 級風: 180 公里 10 級風: 60 公里</p> <p>侵(近)臺日期: 7 月 29 日</p> <p>登陸地段:宜蘭蘇澳</p> <p>歷程簡述:生成後往西北方向移動,28 日其中心在鵝鑾鼻東南東方海面,29 日 10 時暴風圈開始進入臺灣陸地,19 時 10 分左右於宜蘭蘇澳登陸,22 時 30 分由苗栗竹南附近出海,30 日 14 時中心在馬祖西方陸地向西北西方離去。</p> <p>災情摘要:受尼莎颱風及海棠颱風與西南氣流同時影響,中央災害應變中心統計至 7 月 30 日止,全臺計有 111 人受傷,農損逾新臺幣 2 億元。</p>	
2*	<p>編名 號:1710 稱:海棠 (HAITANG)</p> <p>生成地點:鵝鑾鼻西南方海面</p> <p>發布報數:14</p> <p>發布時間:海上: 7 月 29 日 17 時 30 分 陸上: 7 月 29 日 17 時 30 分</p> <p>解除時間:海上: 7 月 31 日 08 時 30 分 陸上: 7 月 31 日 08 時 30 分</p> <p>最大強度:輕度</p> <p>近中心最大風速:每秒 20 公尺 (8 級風)</p> <p>暴風半徑: 7 級風: 100 公里 10 級風: —</p> <p>侵(近)臺日期: 7 月 30 日</p> <p>登陸地段:屏東楓港</p> <p>歷程簡述:生成後往巴士海峽方向移動,30 日 16 時 40 分於屏東楓港附近登陸,31 日 0 時 30 分由彰化芳苑附近出海,8 時其位置在馬祖西方陸地,向西北轉北北西離去。</p> <p>災情摘要:受颱風及西南氣流影響,造成臺南、高雄及屏東部分地區淹水。中央災害應變中心統計至 7 月 30 日止,全臺計有 111 人受傷,農損逾新臺幣 2 億元。</p>	
3	<p>編名 號:1713 稱:天鴿 (HATO)</p> <p>生成地點:菲律賓東方海面</p> <p>發布報數:15</p> <p>發布時間:海上: 8 月 20 日 23 時 30 分 陸上: 8 月 21 日 14 時 30 分</p> <p>解除時間:海上: 8 月 22 日 17 時 30 分 陸上: 8 月 22 日 11 時 30 分</p> <p>最大強度:中度</p> <p>近中心最大風速:每秒 33 公尺 (12 級風)</p> <p>暴風半徑: 7 級風: 180 公里 10 級風: 50 公里</p> <p>侵(近)臺日期:(8 月 22 日)</p> <p>登陸地段:—</p> <p>歷程簡述:生成後向西轉西北北西方向移動並逐漸往巴士海峽靠近,接近臺灣。其中心於 22 日早上 8 時通過恆春南方近海,11 時恆春半島脫離暴風圈後持續往東沙島方向移動,17 時增強至中度颱風,臺灣各地及附近海面已脫離颱風暴風圈,颱風警報解除。</p> <p>災情摘要:未有重大災情發生。</p>	

註 1: “*”表示侵臺颱風。颱風最大強度、最大風速及暴風半徑取自警報發布至解除期間。
 註 2: 災情摘要節錄自內政部消防署各颱風災害應變處置報告結報及行政院農業委員會天然災害農業總損失速報(統計至 106 年 12 月 31 日)資料,詳細災情統計應以消防署及行政院農業委員會資料為準。
 註 3: 圖上標示月/日各點為各該日臺灣標準時間 8 時位置,2 個標示點之時間間隔為 6 小時。⊗ 為熱帶性低氣壓, ⊙ 為輕度颱風, ● 為中度颱風, ● 為強烈颱風。

表 4 (續)、民國 106 (西元 2017) 年中央氣象局颱風警報發布概況表。

Table 4(Continued). Summary of tropical storm/typhoon warnings issued by CWB in 2017.

中華民國 106 年(西元 2017 年)中央氣象局颱風警報發布概況表

號次	發布概況	及路徑圖
4	<p>編名 號:1717 稱:谷超 (GUCHOL) 生成地點:鵝鑾鼻南南西方海面 發布報數:7 發布時間:海上: 9 月 6 日 10 時 30 分 陸上: — 解除時間:海上: 9 月 7 日 2 時 30 分 陸上: — 最大強度:輕度 近中心最大風速:每秒 18 公尺 (8 級風) 暴風半徑: 7 級風: 80 公里 10 級風: — 侵(近)臺日期: (9 月 7 日) 登陸地段:— 歷程簡述:生成後向北北西方向移動, 7 日清晨 2 時於澎湖南南西方海面減弱為熱帶性低氣壓。 災情摘要:未有重大災情發生。</p>	
5	<p>編名 號:1718 稱:泰利 (TALIM) 生成地點:關島附近海面 發布報數:19 發布時間:海上: 9 月 12 日 14 時 30 分 陸上: — 解除時間:海上: 9 月 14 日 20 時 30 分 陸上: — 最大強度:中度 近中心最大風速:每秒 48 公尺 (15 級風) 暴風半徑: 7 級風: 250 公里 10 級風: 80 公里 侵(近)臺日期: (9 月 14 日) 登陸地段:— 歷程簡述:形成後往西北方向移動, 13 日 23 時中心在臺北東北方海面往北北西方向移動, 14 日 20 時中心在臺北東北方約 400 公里的海面上, 對臺灣北部海面威脅已解除, 颱風逐漸向北轉東北方遠離。 災情摘要:未有重大災情發生。</p>	

註 1: “*”表示侵臺颱風。颱風最大強度、最大風速及暴風半徑取自警報發布至解除期間。

註 2: 災情摘要節錄自內政部消防署各颱風災害變遷處置報告結報及行政院農業委員會天然災害農業總損失速報(統計至 106 年 12 月 31 日)資料, 詳細災情統計應以消防署及行政院農業委員會資料為準。

註 3: 圖上標示月/日各點為各該日臺灣標準時間 8 時位置, 2 個標示點之時間間隔為 6 小時。⊗ 為熱帶性低氣壓, ○ 為輕度颱風, ● 為中度颱風, ● 為強烈颱風。

表 5、民國 106（西元 2017）年中央氣象局主觀預報之颱風 24 小時及 48 小時預報誤差表。

Table 5. Mean forecast track errors (km) for western North Pacific tropical storms /typhoons in 2017.

颱風 編號	颱風名稱	24 小時預報		48 小時預報	
		個案數 (Cases)	平均誤差值 (km)	個案數 (Cases)	平均誤差值 (km)
1701	梅花 (MUIFA)	2	118	—	—
1702	莫柏 (MERBOK)	3	86	—	—
1703	南瑪都 (NANMADOL)	8	89	4	301
1704	塔拉斯 (TALAS)	5	86	1	224
1705	諾盧 (NORU)	71	65	67	121
1706	庫拉 (KULAP)	13	73	9	114
1707	洛克 (ROKE)	—	—	—	—
1708	桑卡 (SONCA)	5	133	1	204
1709	尼莎 (NESAT)	13	79	9	165
1710	海棠 (HAITANG)	3	203	—	—
1711	奈格 (NALGAE)	12	40	8	83
1712	榕樹 (BANYAN)	19	104	15	283
1713	天鴿 (HATO)	12	96	8	219
1714	帕卡 (PAKHAR)	8	85	4	196
1715	珊瑚 (SANVU)	21	112	17	240
1716	瑪娃 (MAWAR)	9	59	5	92
1717	谷超 (GUCHOL)	—	—	—	—
1718	泰利 (TALIM)	32	85	28	165
1719	杜蘇芮 (DOKSURI)	10	80	6	179
1720	卡努 (KHANUN)	11	123	7	210
1721	蘭恩 (LAN)	26	97	22	151
1722	蘇拉 (SAOLA)	18	93	14	214
1723	丹瑞 (DAMREY)	6	40	2	100
1724	海葵 (HAIKUI)	7	107	3	151
1725	鴻雁 (KIROGI)	—	—	—	—
1726	啟德 (KAI-TAK)	28	83	24	73
1727	天秤 (TEMBIN)	17	82	13	97

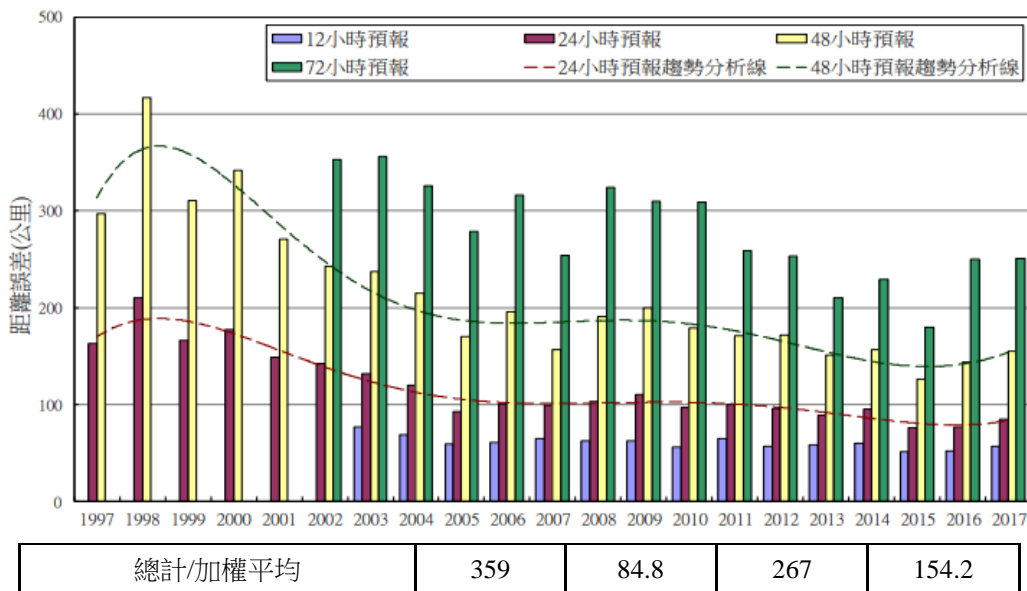


圖 4、1997 至 2017 年中央氣象局颱風主觀預報之逐年平均誤差。

Fig. 4. Mean forecast track errors (km) for Western North Pacific tropical storms /typhoons for the period 1997 through 2017.

三、各月颱風概述

本年北太平洋西部共生成 27 個颱風，其中 4 月及 6 月各有 1 個颱風生成，12 月有 2 個颱風生成，10 月及 11 月各有 3 個颱風生成，9 月有 4 個颱風生成，8 月有 5 個颱風生成，7 月有最多的 8 個颱風生成，其他月份則無颱風生成。茲就各月颱風活動情形分述如下：

(一) 四月

有 1 個颱風生成，為梅花 (MUIFA, 1701) 颱風 (圖 5)。

梅花颱風 (MUIFA, 1701)

4 月 26 日 8 時 (0000 UTC) 位於菲律賓東方海面的熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 MUIFA，中文譯名為梅花，是本年第 1 個生成的颱風。梅花颱風初生階段位於副熱帶高壓的南側，生成後逢副熱帶高壓逐漸減弱東退，其移向由

西北西漸轉向偏北移動，並逐漸進入西風帶，於 27 日 20 時 (1200 UTC) 在關島西北西方海面減弱為熱帶性低氣壓，生命期歷時 36 小時。

(二) 六月

有 1 個颱風生成，為莫柏 (MERBOK, 1702) 颱風 (圖 5)。

莫柏颱風 (MERBOK, 1702)

6 月 11 日 14 時 (0600 UTC) 位於中西沙島海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 MERBOK，中文譯名為莫柏。生成初期位處副熱帶高壓的西南側，向北北西移動，強度稍增強，12 日 1800 UTC 從香港附近進入中國大陸後逐漸減弱，於 13 日 0000 UTC 在香港北北東方約 220 公里處減弱為熱帶性低氣壓，生命期歷時 42 小時。

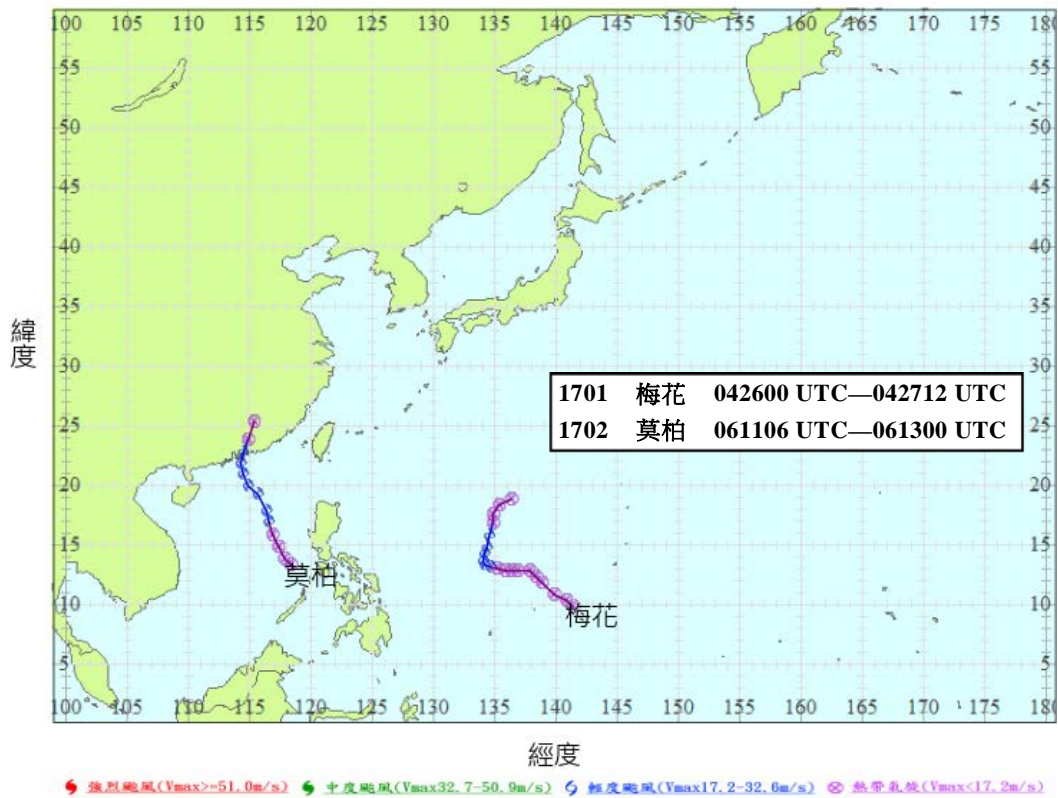


圖 5、民國 106（西元 2017）年 4 月及 6 月颱風路徑圖。

Fig. 5. Tropical storm/typhoon tracks for the period from April to June in 2017.

(三) 七月

計有南瑪都 (NANMADOL, 1703)、塔拉斯 (TALAS, 1704)、諾盧 (NORU, 1705)、庫拉 (KULAP, 1706)、洛克 (ROKE, 1707)、桑卡 (SONCA, 1708)、尼莎 (NESAT, 1709) 及海棠 (HAITANG, 1710) (圖 6) 等 8 個颱風生成。

1. 南瑪都颱風 (NANMADOL, 1703)

7 月 2 日 8 時 (0000 UTC) 位於琉球南方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 NANMADOL，中文譯名為南瑪都，生成初期位於副熱帶高壓西南側，生成後向西北轉北北西快速移動，強度亦

稍增強。3 日南瑪都逐漸進入副熱帶高壓之西北象限，其路徑通過北緯 25 度後出現迴轉，先轉北北東再轉東北移動，4 日起逐漸進入西風帶，強度亦逐漸減弱，於 5 日 0000 UTC 在日本東京東方約 560 公里之海面上變性為溫帶氣旋，生命期歷時 72 小時。

2. 塔拉斯颱風 (TALAS, 1704)

7 月 15 日 14 時 (0600 UTC) 位於中西沙島海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 TALAS，中文譯名為塔拉斯，也是本年度生成位置最西者之一。生成初期位處副熱帶高壓西南側，向西北西方向移動，強度亦稍增強，16 日 1800

UTC 塔拉斯由越南河內南方進入陸地，隨後於 17 日 1200 UTC 在河內西南西方約 560 公里處減弱為熱帶性低氣壓，生命期歷時 54 小時。

3. 諾盧颱風 (NORU, 1705)

7 月 21 日 8 時 (0000 UTC) 位於日本東方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 NORU，中文譯名為諾盧，為本年度生成位置最北者，同時是本年度生命期最長的颱風，從生成至消失長達 450 小時。諾盧生成後位處副熱帶高壓西南側，初期向西北西方向移動，由於生命期前期副熱帶高壓脊偏北，駛流不強，且西側另有一低氣壓接近，東側則有庫拉颱風 (KULAP, 1706) 生成，導致路徑多變化，23 日起諾盧與庫拉發生藤原效應，兩者互繞，自 21 日至 25 日間諾盧剛好繞了一大圈；25 日 1200 UTC 庫拉颱風強度減弱為一環流範圍廣泛之熱帶性低氣壓，而諾盧颱風仍處於此大低壓區的西側，26 日起開始向西北轉西北西移動，27 日至 30 日間受大低壓環流導引轉向西南再轉南南西移動，30 日起至 8 月 5 日間諾盧颱風北方高壓逐漸建立，受高壓環流導引，移向開始由西南西轉偏西北至西北西移動；8 月 6 日起受北方槽線導引，轉向東北移動。諾盧颱風強度也是一路變化，增強又減弱，再增強再減弱，24 日 0000 UTC 增強至中度颱風，31 日 1800 UTC 短暫增強至強烈颱風，近中心最大風速達 51 m/s 之最大強度，隨即減弱；8 月 7 日 1800 UTC 登陸日本並穿越本州，於 8 月 8 日 1800 UTC 在日本東京北北西方約 360 公里之近海變性為溫帶氣旋，生

命期長達 450 小時。

4. 庫拉颱風 (KULAP, 1706)

7 月 21 日 14 時 (0600 UTC) 位於中太平洋海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 KULAP，中文譯名為庫拉，為本年度生成位置最東者。初生階段受副熱帶高壓導引，移向由北北西轉偏西移動，23 日起庫拉與諾盧颱風發生藤原效應，兩者互繞，其移向略轉向西北西，再轉向偏西，強度亦稍增強，於 25 日 1200 UTC 在日本東方海面減弱為熱帶性低氣壓，生命期計 102 小時。

5. 洛克颱風 (ROKE, 1707)

7 月 22 日 14 時 (0600 UTC) 位於巴士海峽之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 ROKE，中文譯名為洛克，初生階段位處副熱帶高壓南側，向西北西移動，強度沒有太大變化，於 23 日 0600 UTC 在香港北北西方約 40 公里處減弱為熱帶性低氣壓，生命期僅 24 小時。

6. 桑卡颱風 (SONCA, 1708)

7 月 23 日 14 時 (0600 UTC) 位於中西沙島海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 SONCA，中文譯名為桑卡，為本年度另一生成位置最西者。生成位置處於副熱帶高壓南側，受高壓導引持續偏西移動，強度無太大變化，於 25 日 1200 UTC 進入越南後，即減弱為熱帶性低氣壓，生命期計 54 小時。

7. 尼莎颱風 (NESAT, 1709)

7 月 26 日 14 時 (0600 UTC) 位於菲律賓東方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 NESAT，中文譯名為尼莎，為本年度中央氣象局第一個發布海

上陸上颱風警報的颱風。生成後位處副熱帶高壓西側及季風低壓環流帶東側，向北轉西北移動，朝臺灣東部海面接近，28 日尼莎颱風中心移至鵝鑾鼻東南東方海面，中央氣象局研判此颱風將威脅臺灣近海及陸地，隨即於 28 日 0030 UTC 發布尼莎颱風海上颱風警報，並於 28 日 0630 UTC 發布海上陸上颱風警報，同日尼莎颱風強度也逐漸增強，於 28 日 1200 UTC 增強至中度颱風，29 日 0300 UTC 暴風圈逐漸進入臺灣東部陸地，颱風中心於 29 日 19 時 10 分（1110 UTC）左右由宜蘭蘇澳登陸，29 日 22 時 30 分（1430 UTC）左右自苗栗竹南附近出海，並於 30 日 6 時 20 分（29 日 2220 UTC）由馬祖西南方進入福建。尼莎颱風登陸福建後受地形影響，強度減弱為輕度颱風並持續減弱，約 13 小時後於 30 日 1200 UTC 減弱為熱帶性低氣壓，生命期歷時 102 小時。

災情摘要：受尼莎颱風、海棠颱風與西南氣流接連先後影響，由中央災害應變中心 106 年 7 月 31 日 19 時 0 分發布尼莎暨海棠颱風災害應變處置報告第 5 報（結報）顯示，海空交通部分班次取消及延誤，省道災情封閉 4 處，局部淹水 326 處，並造成人員 1 失蹤 131 傷、停電 670,651 戶、停水 45,877 戶、市話中斷 2,301 戶、基地台受損 3,095 座，另農林漁牧業及民間設施損失達新臺幣 23,845 萬元。

尼莎及海棠颱風先後影響臺灣期間，於 7 月 28 日至 30 日 14 時間造成屏東縣

佳冬累積雨量達 607 毫米，宜蘭縣太平山累積雨量亦達 478 毫米。此外，尼莎颱風登陸宜蘭蘇澳前後，氣象局附屬之蘇澳、宜蘭氣象站測得最大瞬間陣風為 16 級，基隆、臺北 14 級，彭佳嶼 13 級，花蓮、新屋測得 12 級。

8. 海棠颱風（HAITANG，1710）

7 月 29 日 17 時（0900 UTC）位於中西沙島海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 HAITANG，中文譯名為海棠，亦為本年度發布海上陸上颱風警報的颱風之一。生成後海棠與尼莎颱風同位於季風低壓環流內，並受環流較大之尼莎颱風導引，向東北轉偏北方向快速移動，朝巴士海峽接近，中央氣象局研判海棠颱風將威脅臺灣近海及陸地，隨即於 29 日 0930 UTC 發布海棠颱風海上陸上颱風警報，海棠颱風中心於 30 日 16 時 40 分（0840 UTC）於屏東東港附近登陸，隨後於 31 日 0 時 30 分（30 日 1630 UTC）由彰化芳苑附近出海，並由偏北轉向西北移動，31 日 5 時左右（30 日 2100 UTC）由馬祖西南方進入大陸福建。由於海棠颱風之移行路徑均較接近陸地，颱風強度發展較受限，只略為增強，進入福建後於 31 日 0600 UTC 減弱為熱帶性低氣壓，生命期計 45 小時。

由於尼莎颱風、海棠颱風與西南氣流接連先後影響臺灣，中央災害應變中心合併統計相關災情，災情摘要部分同尼莎颱風。

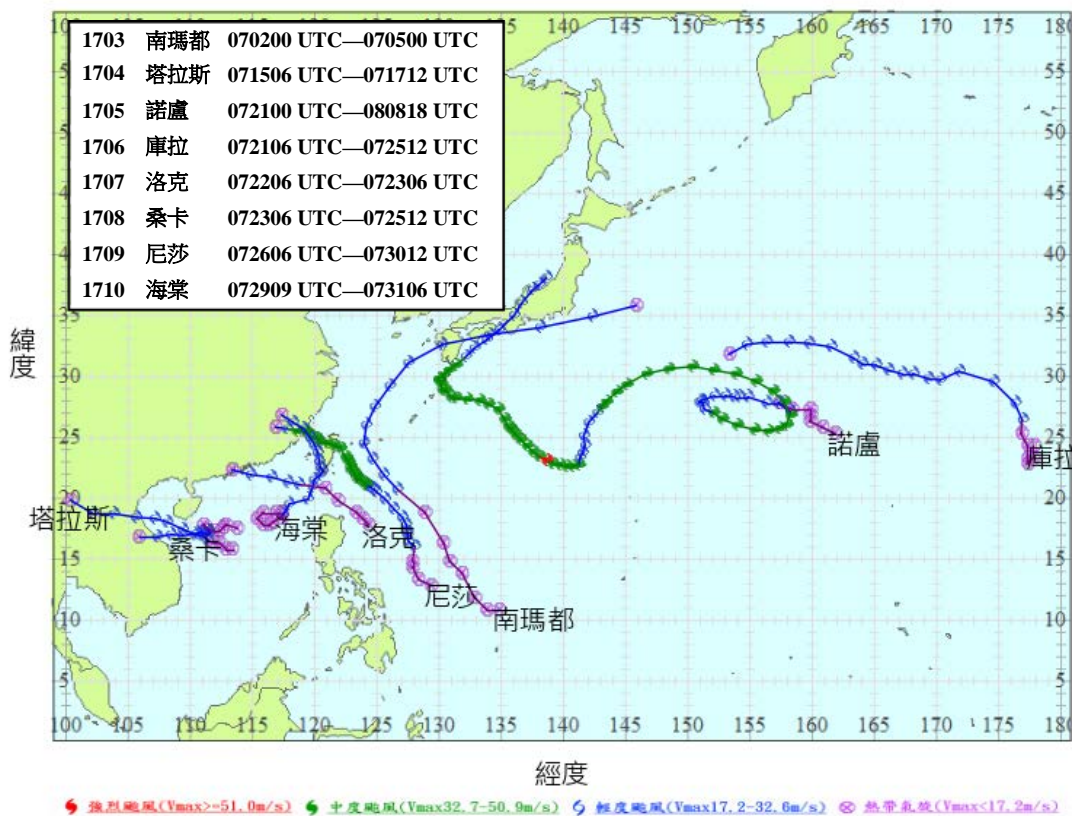


圖 6、民國 106（西元 2017）年 7 月颱風路徑圖。
Fig. 6. Tropical storm/typhoon tracks for July in 2017.

(四) 八月

共有 5 個颱風生成，分別為奈格（NALGAE，1711）、榕樹（BANYAN，1712）、天鴿（HATO，1713）、帕卡（PAKHAR，1714）及珊瑚（SANVU，1715）（圖 7）。

1. 奈格颱風（NALGAE，1711）

8 月 2 日 8 時（0000 UTC）位於關島東北方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 NALGAE，中文譯名為奈格。生成初期奈格位於大低壓區內，受低壓環流導引，向西北轉北移動，強度略為增強，6 日 0000 UTC 於日本東方海面

變性為溫帶氣旋，生命期歷時 96 小時。

2. 榕樹颱風（BANYAN，1712）

8 月 11 日 20 時（1200 UTC）位於威克島東南方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 BANYAN，中文譯名為榕樹。生成初期位處副熱帶高壓的西南側，受副熱帶高壓導引，向西北轉偏北移動，強度一路增強，12 日 1800 UTC 增強至中度颱風。15 日起榕樹颱風逐漸進入西風帶，移向由偏北轉向東北，強度並逐漸減弱；17 日 0600 UTC 於日本東方海面變性為溫帶氣旋，生命期歷時 138 小時。

3. 天鴿颱風 (HATO, 1713)

8月20日14時(0600 UTC)位於琉球南方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風,國際命名 HATO,中文譯名為天鴿,為本年度中央氣象局發布海上陸上颱風警報的颱風之一。生成初期位於副熱帶高壓的西南側,並逢副熱帶高壓向西伸展,颱風中心之移向主要以偏西緩慢移動,逐漸進入巴士海峽,並威脅臺灣南端陸地。中央氣象局隨即於20日1530 UTC 發布海上颱風警報,並於21日0630 UTC 發布海上陸上颱風警報。颱風中心於22日8時(0000 UTC)通過恆春南方近海,22日11時(0300 UTC)恆春半島脫離暴風圈後,天鴿颱風持續朝東沙島方向移動,22日0900 UTC 天鴿增強至中度颱風,同一時間臺灣近海脫離其暴風圈,中央氣象局於當日0930 UTC 解除颱風警報。23日0600 UTC 天鴿颱風中心由香港西側進入中國大陸廣東陸地,受地形影響,強度逐漸減弱,24日0600 UTC 於越南河內北北東方約340公里處減弱為熱帶性低氣壓,生命期歷時96小時。

災情摘要:未有重大災情發生。

4. 帕卡颱風 (PAKHAR, 1714)

8月25日2時(8月24日1800 UTC)位於菲律賓東方近海之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風,國際命名 PAKHAR,中文譯名為帕卡。生成初期位於副熱帶高壓的西南側,駛流導引向西轉西北西方向移動,25日颱風中心逐漸通過菲律賓呂宋島,26日0000 UTC 進入南海,持續向西北移動,其強度於通過南海期間一路稍增強;27日0600 UTC 颱風中心由香港西

方進入中國大陸廣東陸地,隨後受地形影響逐漸減弱;27日1800 UTC 於香港西北西方約670公里處減弱為熱帶性低氣壓,生命期歷時72小時。

5. 珊瑚颱風 (SANVU, 1715)

8月28日14時(0600 UTC)位於關島北北東方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風,國際命名 SANVU,中文譯名為珊瑚。初生階段位於大範圍低壓區之環流邊緣,受駛流導引,向北北東轉偏北再轉向西北移動;30日1200 UTC 起隨著北方槽線接近,珊瑚移速減慢並呈現打轉現象,其強度則逐漸增強;31日0600 UTC 增強為中度颱風。9月2日0000 UTC 開始受北方槽線導引,加速朝北北東移動,強度亦逐漸減弱;9月3日1200 UTC 於日本東方海面變性為溫帶氣旋;生命期歷時150小時。

(五) 九月

共有4個颱風生成,為瑪娃(MAWAR, 1716)、谷超(GUCHOL, 1717)、泰利(TALIM, 1718)及杜蘇芮(DOKSURI, 1719)(圖8)。

1. 瑪娃颱風 (MAWAR, 1716)

9月1日2時(8月31日1800 UTC)位於東沙島東南方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風,國際命名 MAWAR,中文譯名為瑪娃;初生階段位處大低壓區內,駛流不明顯,緩慢向北北西移動,9月1日1200 UTC 起先轉偏西再轉偏西北移動,強度稍增強,3日1800 UTC 颱風中心由香港東方進入中國大陸廣東陸地,強度受地形影響逐漸減弱,4日0000 UTC 減弱為熱帶性低氣壓,生命期歷時78小時。

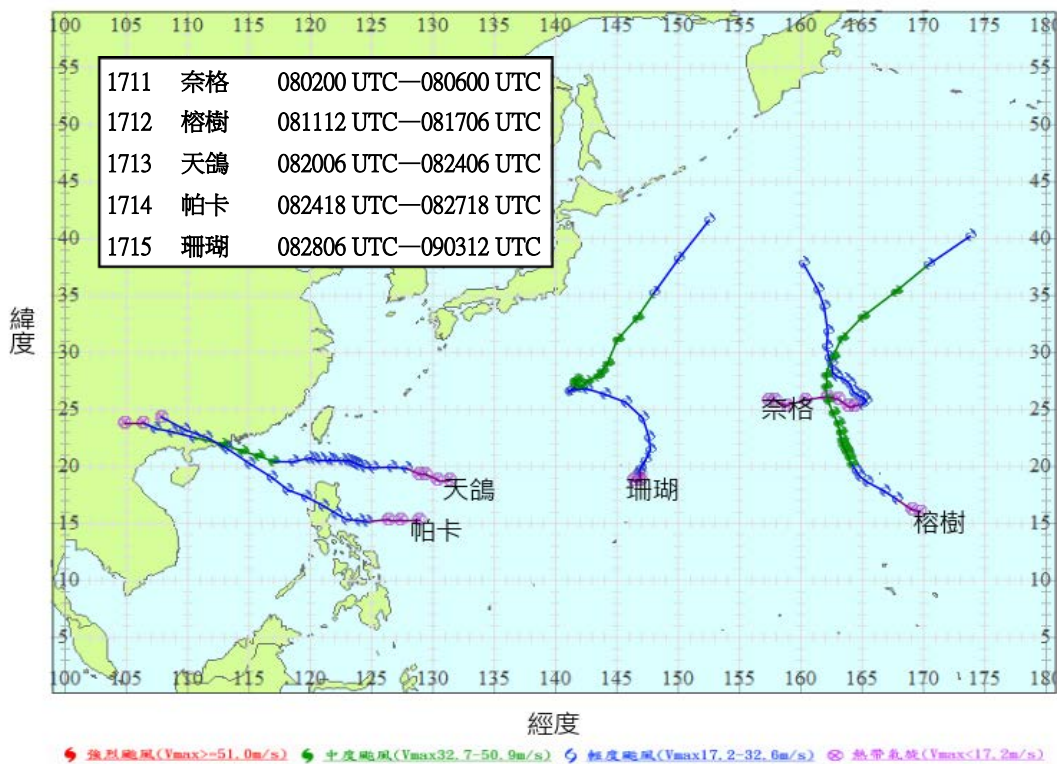


圖 7、民國 106 (西元 2017) 年 8 月颱風路徑圖。

Fig. 7. Tropical storm/typhoon tracks for August in 2017

2. 谷超颱風 (GUCHOL, 1717)

9 月 6 日 8 時 (0000 UTC) 位於巴士海峽之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 GUCHOL 中文譯名為谷超，為本年度發布海上颱風警報的颱風之一。生成初期位於副熱帶高壓的西南側，駛流導引向北北西移動，中央氣象局隨即於 6 日 0230 UTC 發布海上颱風警報，強度維持輕度颱風下限；7 日 2 時 (6 日 1800 UTC) 於澎湖南南西方海面減弱為熱帶性低氣壓，生命期僅歷時 18 小時。

災情摘要：未有重大災情發生。

3. 泰利颱風 (TALIM, 1718)

9 月 9 日 20 時 (1200 UTC) 位於關

島西方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 TALIM，中文譯名為泰利，也是本年度發布海上颱風警報的颱風之一。生成初期位於副熱帶高壓南側，駛流導引向西北移動，強度逐漸增強，暴風圈亦逐漸接近臺灣東部海面，中央氣象局即於 12 日 0630 UTC 發布海上颱風警報，隨後其強度於 11 日 1200 UTC 增強為中度颱風；13 日 23 時 (1500 UTC) 泰利颱風中心移至臺北東北方海面，移向略轉為偏北北西方向移動，暴風圈亦逐漸進入臺灣東北部近海；14 日 20 時 (1200 UTC) 其中心移至臺北東方約 400 公里的海面上，對臺灣北部海面之威脅解除，

中央氣象局即於 14 日 1230 UTC 解除颱風警報；此後泰利颱風逐漸轉向東北加速移動遠離，其強度並自 15 日起逐漸減弱。泰利颱風於 17 日 1200 UTC 至 1800 UTC 間穿越日本本州，於 18 日 1200 UTC 於日本北方海面變性為溫帶氣旋，生命期達 216 小時。

災情摘要：未有重大災情發生。

4. 杜蘇芮颱風 (DOKSURI, 1719)

9 月 12 日 20 時 (1200 UTC) 位於菲律賓西方近海之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 DOKSURI，中文譯名為杜蘇芮。生成初期杜蘇芮位於當時泰利颱風西南側之小型副熱帶高壓的南側，駛流導引向西北西移動，強度逐漸增強；14 日 1200 UTC 增強為中度颱風；15 日 0600 UTC 杜蘇芮颱風中心進入越南陸地，受地形影響強度逐漸減弱；16 日 0000 UTC 減弱為熱帶性低氣壓，生命期歷時 84 小時。

(六) 十月

有 3 個颱風生成，為卡努 (KHANUN, 1720)、蘭恩 (LAN, 1721) 及蘇拉 (SAOLA, 1722) (圖 9)。

1. 卡努颱風 (KHANUN, 1720)

10 月 12 日 20 時 (1200 UTC) 位於菲律賓東方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 KHANUN，中文譯

名為卡努。生成初期位於副熱帶高壓的南側，駛流導引偏西移動，13 日 0000 UTC 前後通過呂宋島北部，受地形影響，移向略往西南偏移，遠離呂宋島陸地進入南海後再繞回原先駛流導引方向，偏西北移動。卡努颱風進入南海後強度逐漸增強，15 日 0000 UTC 增強為至中度颱風。16 日颱風中心通過大陸雷州半島時強度減弱，16 日 0600 UTC 於海口西北西方約 150 公里之海面上減弱為熱帶性低氣壓，生命期歷時 90 小時。

2. 蘭恩颱風 (LAN, 1721)

10 月 16 日 2 時 (10 月 15 日 1800 UTC) 位於菲律賓東方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 LAN，中文譯名為蘭恩。初生成時位處減弱東退中之副熱帶高壓的南側，駛流導引緩慢向西北轉西北西移動，17 日 0000 UTC 至 1800 UTC 一度呈滯留打轉後，再開始朝北北西轉偏北移動，強度並一路增強，接近北緯 20 度時再轉北北東方向移動；17 日 1800 UTC 增強為中度颱風，21 日 0000 UTC 再增強為強烈颱風，當日 1800 UTC 其近中心最大風速達最大強度為 53 m/s，此後逐漸減弱。蘭恩颱風於 23 日 0000 UTC 前後通過日本本州東部，23 日 0600 UTC 於日本東北東方海面變性為溫帶氣旋，生命期歷時 180 小時。

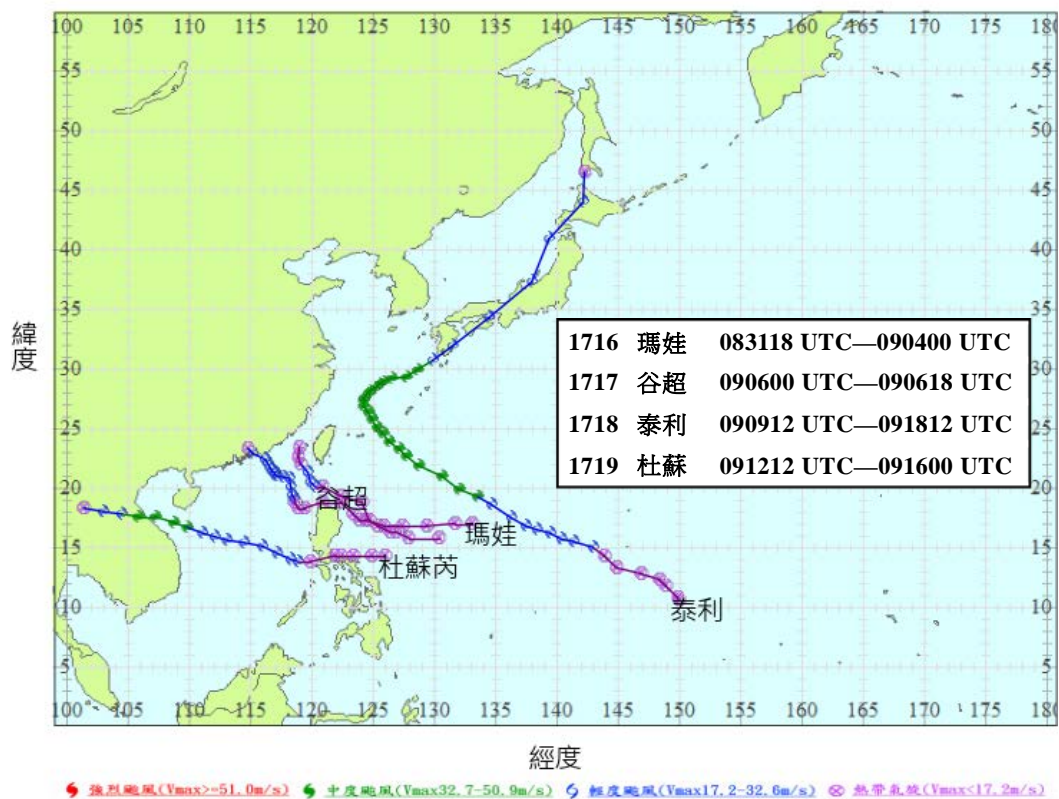


圖 8、民國 106（西元 2017）年 9 月颱風路徑圖。

Fig. 8. Tropical storm/typhoon tracks for September in 2017.

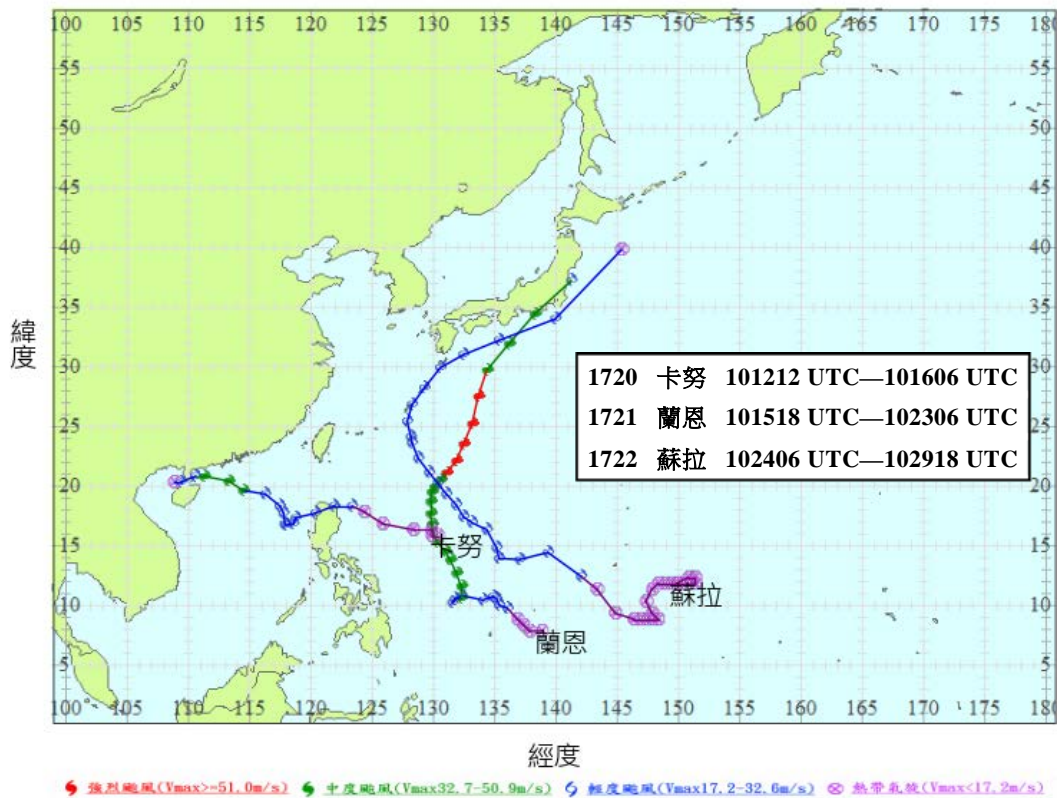


圖 9、民國 106 (西元 2017) 年 10 月颱風路徑圖。

Fig. 9. Tropical storm/typhoon tracks for October in 2017.

3. 蘇拉颱風 (SAOLA, 1722)

10 月 24 日 14 時 (0600 UTC) 位於關島南方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 SAOLA，中文譯名為蘇拉。生成初期位於副熱帶高壓的南側，由於當時北方有槽線通過，副熱帶高壓稍東退，駛流方向較不穩定，使蘇拉先偏西北轉偏西再轉偏北移動，隨後於 26 日起穩定受駛流導引向西北移動，在臺灣東方海面逐漸轉北再轉東北沿日本南方近海進行；蘇拉颱風生命期內強度增強有限，29 日 1800 UTC 於日本東方海面變性為溫帶氣旋，生命期歷時 132 小時。

(七) 十一月

有 3 個颱風生成，為丹瑞 (DAMREY, 1723)、海葵 (HAIKUI, 1724)、鴻雁 (KIROGI, 1725) (圖 10)。

1. 丹瑞颱風 (DAMREY, 1723)

11 月 2 日 8 時 (0000 UTC) 位於南沙島海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 DAMREY，中文譯名為丹瑞。丹瑞颱風生成初期位於副熱帶高壓的南側，駛流導引一路向西移動，強度逐漸增強；3 日 0000 UTC 增強為中度颱風；4 日 0000 UTC 前後進入越南，同日 1200 UTC 於越南胡志明市北方約 190 公里處減弱為熱帶性低氣壓，生命期歷時 60 小時。

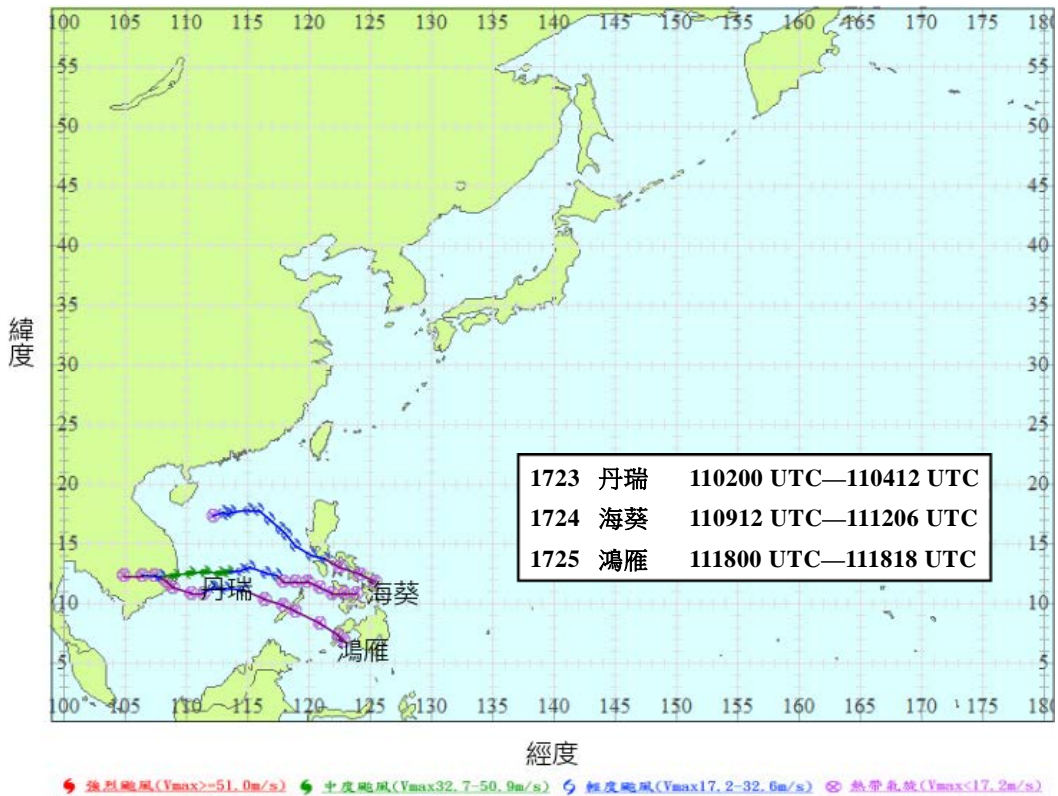


圖 10、民國 106 (西元 2017) 年 11 月颱風路徑圖。

Fig. 10. Tropical storm/typhoon tracks for the period for November in 2017.

2. 海葵颱風 (HAIKUI, 1724)

11 月 9 日 20 時 (1200 UTC) 位於菲律賓中部之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 HAIKUI，中文譯名為海葵。生成初期位處副熱帶高壓的西南側，駛流導引向西北移動，強度無明顯變化；11 日 0000 UTC 起脫離副熱帶高壓導引，駛流轉換為低層北方高壓導引，移向轉西南西移動，強度短暫稍增強後，於 11 日 1800 UTC 起垂直結構呈高低層分離；12 日 0600 UTC 於海口東南方約 340 公里之海面上減弱為熱帶性低氣壓，生命期歷時 66 小時。

3. 鴻雁颱風 (KIROGI, 1725)

11 月 18 日 8 時 (0000 UTC) 位於南沙島海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 KIROGI，中文譯名為鴻雁。生成初期位於副熱帶高壓的南側，駛流導引向西移動，強度無變化，18 日 1800 UTC 逢北方大陸高壓南下，颱風垂直結構發展受限，於越南東方近海減弱為熱帶性低氣壓，生命期僅歷時 18 小時。

(八) 十二月

有2個颱風生成，為啟德(KAI-TAK, 1726)與天秤(TEMBIN, 1727)(圖11)。

1. 啟德颱風 (KAI-TAK, 1726)

12月14日8時(0000 UTC)位於菲律賓東方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 KAI-TAK，中文譯名為啟德。生成初期位處赤道附近大低壓區環流範圍內，駛流不明顯，先向西南西移動並打轉；15日0000 UTC起低壓區環流逐漸東移，移向開始朝偏西移動。16日啟德颱風穿越菲律賓中部島嶼後，駛流導引轉向西南西再轉西南移動，穿越南海南部；22日0000 UTC於越南南方海面上減弱為熱帶性低氣壓。啟德颱風生命期內，

強度僅輕微變化，歷時192小時。

2. 天秤颱風 (TEMBIN, 1727)

12月21日2時(12月20日1800 UTC)位於菲律賓東南方海面之熱帶性低氣壓發展為輕度颱風，國際命名 TEMBIN，中文譯名為天秤，並為本年度生成位置最南者。生成初期位於副熱帶高壓的南側，駛流導引向西移動，22日逐漸穿越菲律賓南中部島嶼後進入南海，穩定向西移動，其強度並逐漸增強，24日0000 UTC增強為中度颱風；另於25日0600 UTC起接近中南半島南端陸地，受地形影響，強度逐漸減弱，並於26日0000 UTC於越南南方近海減弱為熱帶性低氣壓，生命期歷時126小時。

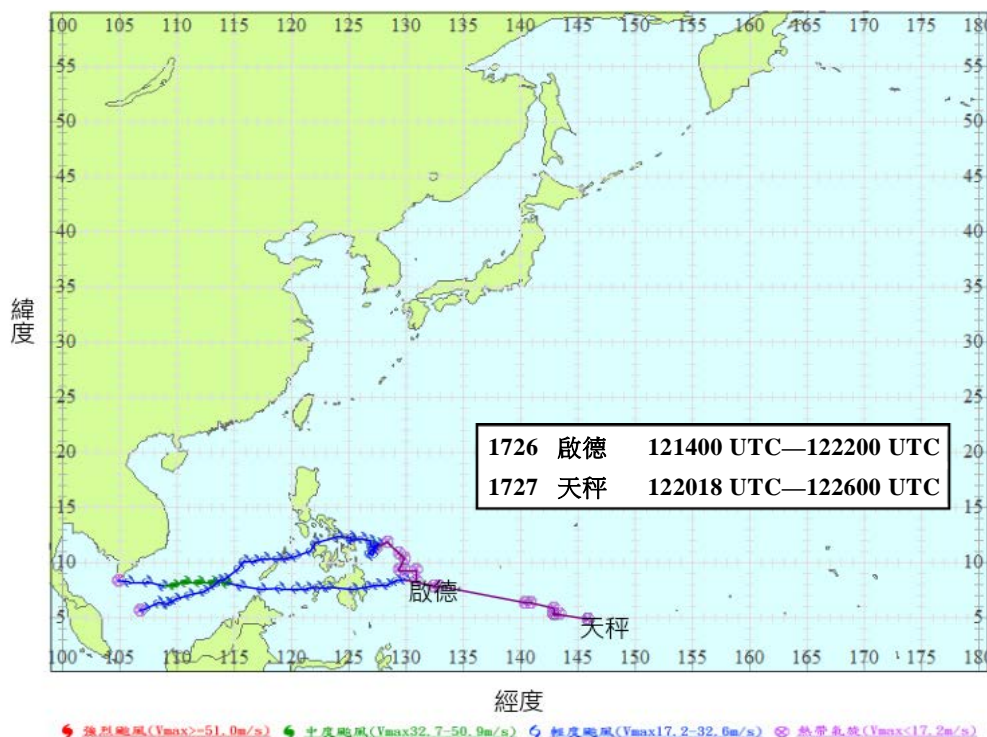


圖 11、民國 106 (西元 2017) 年 12 月颱風路徑圖。

Fig. 11. Tropical storm/typhoon tracks for the period for December in 2017.

四、結論

綜前所述，本年度之颱風特性可概括歸納為以下各點：

- (一) 就颱風發生個數而言，2017 年共有 27 個颱風生成，接近氣候平均數 26.3 個，主要集中在下半年，其中 7 月份有 8 個颱風生成，超出該月平均數 4 個，占全年颱風生成數的 29.6 %，為最多颱風生成的月份。
- (二) 就颱風強度而言，本年度 27 個颱風中，生命期內最大強度屬於輕度颱風者計有 16 個，占 59.3 %；中度颱風有 9 個，占 33.3 %；強烈颱風有 2 個，占 7.4 %；其中強度最強的颱風為蘭恩(LAN, 1721)，颱風近中心最大風速達 53 m/s 之最大風速。中度與強烈颱風合計有 11 個，少於氣候平均數 16.0 個。
- (三) 就本年度颱風之生成位置而言，以緯度區分，生成於 10N°至 20N°範圍內最多，計有 18 個，占全年颱風總數之 66.7 %；生成於 20°N 以北者有 7 個；生成於 10N°以南者有 2 個颱風。以經度區分，生成於 120°E 以東之北太平洋西部海域有 18 個颱風生成，其中 9 個是輕度颱風，9 個達中度颱風以上強度；120°E 以西之南海海域有 9 個颱風生成，其中 7 個是輕度颱風，2 個達中度颱風強度。颱風生成位置最東者為庫拉颱風 (KULAP, 1706)，最北者是諾盧颱風 (NORU, 1705)，最西者是塔拉斯颱風 (TALAS, 1704) 及桑卡颱風 (SONCA, 1708)，最南者為天秤颱風 (TEMBIN, 1727)。
- (四) 統計本年颱風生命期，生命期介於 2-3 天者為最多有 6 個 (占 22.2 %)，其中生命期最長的是諾盧颱風 (NORU, 1705)，歷時 450 小時；生命期最短的是谷超 (GUCHOL, 1717) 及鴻雁 (KIROGI, 1725)，皆僅 18 小時。
- (五) 就警報發布而言，本年 27 個颱風中，中央氣象局發布「海上」或「海上陸上」颱風警報者計有 5 個颱風，佔颱風發生總數之 18.5 %。發布海上颱風警報者為谷超 (GUCHOL, 1717) 及泰利 (TALIM, 1718) 颱風；發布海上陸上颱風警報者為尼莎 (NESAT, 1709)、海棠 (HAITANG, 1710) 及天鴿 (HATO, 1713) 颱風，其中侵臺颱風有 2 個，為尼莎及海棠颱風，並為登陸臺灣之颱風。
- (六) 就中央氣象局官方颱風路徑預報誤差而言，24 小時平均誤差為 85 公里，優於過去 10 年之 24 小時平均誤差 92 公里；其中以奈格及丹瑞颱風之誤差 40 公里為最小，而誤差最大的是海棠颱風之 203 公里；48 小時預報平均誤差為 154 公里，亦略優於過去 10 年之 48 小時平均誤差 158 公里，其中以啟德颱風之 73 公里誤差最小，南瑪都颱風的 301 公里為最大。若以發布警報的 5 個颱風而言，24 小時預報平均誤差最小的是尼莎颱風，誤差值為 79 公里；而誤差最大的是海棠颱風，誤差值為 203 公里。

2017 Western North Pacific Ocean Tropical Storm/Typhoon Annual Report

Fu-Tien Tsai
Central Weather Bureau

Abstract

There were a total of 27 tropical storms/typhoons over Western North Pacific Ocean in 2017, which included 16 tropical storms and 11 typhoons. The total number is similar to the 59 years average of 26.3 for 1958-2016. The Central Weather Bureau (CWB) issued sea warnings on tropical storm GUCHOL (1717) and typhoon TALIM (1718), and land warning on typhoon NESAT (1709), tropical storm HAITANG (1710) and typhoon HATO (1713) . The first tropical storms/typhoons occurred on 26 April, 2017. In terms of the life period of the tropical storms/typhoons, the longest life was the 450 hours of typhoon NORU (1705), on the other hand tropical storm GUCHOL (1717) and tropical storm KROGI (1725) both only existed for 18 hours. Typhoon LAN (1721) with maximum sustained wind 53 m/s near center was the strongest tropical storms/typhoons this year. There were five tropical storms/typhoons which were issued warnings by CWB, just typhoon NESAT (1709) and tropical storm HAITANG (1710) which's center landed Taiwan island. The annual average error of official track forecasts was 85 km for 24-hour which performance was better than the average error 92 km of the latest 10 years.

Key words: typhoon, land, track forecast error

氣象學報季刊

第 58 卷第 1 期

出版機關：交通部中央氣象局

地址：100006 臺北市中正區公園路 64 號

聯絡電話：(02)2349-1083

網址：<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/D/publication.html>

發行人：鄭明典

出版年月：中華民國 112 年 5 月

創刊年月：中華民國 44 年 3 月

刊期頻率：季刊

版次冊數：初版 180 冊

定價：新臺幣 200 元

印刷者：財團法人伊甸社會福利基金會附設數位資料處理庇護工場

電話：(02)2230-8002

展售地點：五南文化廣場及網路書店，400002 臺中市區中山路 6 號

電話：(04)2226-0330，網址：<https://www.wunanbooks.com.tw/>

國家書店及網路書店，104472 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電話：(02)2518-0207，網址：<http://www.govbooks.com.tw>

GPN:2004400001

ISSN:0255-5778

著作財產權屬交通部中央氣象局，著作人格權屬著作人。

本書保留所有權利。

欲利用本書全部或部分內容者，須徵求著作財產權人交通部中央氣象局同意或書面授權。

©All rights reserved. Any forms of using or quotation, part or all should be authorized by copyright holder Central Weather Bureau. Please contact with Central Weather Bureau. [Tel:(02)2349-1083]

Meteorological Bulletin

(Quarterly)



CONTENTS

Articles

- Evaluation of a new “ensemble partial cycle” framework Guo-Yuan Lien (1)
for use in the regional ensemble prediction system at
Central Weather Bureau Chih-Hsin Li
Wen-Hsin Teng
- Performance analysis of the Nai-Chi Hsiao (19)
optimized TRA earthquake rapid reporting system
Chun-Ta Chiu
Yun-Tau Liu
Cheng-Tao Wang
Benjamin Ming Yang
- A Case Study of Large Pressure Fluctuations and Chin-Piao Pu (49)
Runway Wind Shear at Songshan Airport on November 7, 2019 Chung-Chieh Wang

Reports

- 2017 Western North Pacific Ocean Tropical Storm/ Fu-Tien Tsai (63)
Typhoon Annual Report



CENTRAL WEATHER BUREAU
64 Gongyuan Road, Taipei 100006
Taiwan, ROC

ISSN 0255-5778



9 770255 577008

GPN : 2004400001
定價：新臺幣200元