
**颱洪時期空間致災風險推論系統之建置
研究**

**A study on the establishment of risk
assessment method for debris flow disaster
during typhoon period
(成果報告書)**

執行單位：逢甲大學

執行期間：106 年 02 月 20 日至 106 年 12 月 31 日

主持人：陳昶憲 教授

研究人員：陳柏蒼 助理教授

吳婉甄 助理研究員

李彥德 助理研究員

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 106 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	IV
摘要.....	VII
Abstract.....	VIII
第一章 前言	1-1
第一節 研究動機.....	1-1
第二節 研究目的.....	1-1
第三節 研究架構.....	1-2
第二章 建置構想	2-1
第一節 文獻回顧.....	2-1
第二節 模式建置構想.....	2-5
第三章 颱風資料庫建置	3-1
第一節 颱風因子資料庫建置.....	3-1
第二節 颱風雨量資料庫建置.....	3-5
第四章 颱風相似度比對方法	4-1
第一節 方法建置.....	4-1
第二節 結果分析.....	4-4
第五章 颱風降雨量預測模式	5-1
第一節 模式建置.....	5-1
第二節 結果分析.....	5-10
第六章 模式應用-防災避難預警系統	6-1
第一節 防災避難預警系統燈號制定標準.....	6-1
第二節 實際案例.....	6-4
第七章 結論與建議	7-1
第一節 結論.....	7-1
第二節 建議.....	7-2

附錄.....	附-1
附錄一、期初報告審查意見及處理情形.....	附一-1
附錄二、期末報告審查意見及處理情形.....	附二-1
參考書目.....	參-1

表次

表 2-1	各類災害警戒顏色燈號意涵表	2-4
表 3-1	1990 年至 2016 年颱風警報單一覽表	3-4
表 3-2	臺中市境內雨量測站資訊表	3-6
表 4-1	相似颱風分析結果(氣象因子未標準化)	4-4
表 4-2	尼伯特颱風與蓮花颱風氣象因子比較	4-5
表 4-3	相似颱風分析結果(氣象因子標準化)	4-7
表 4-4	尼伯特颱風與海棠歷史相似颱風氣象因子比較	4-7
表 4-5	尼伯特颱風與聖帕歷史相似颱風氣象因子比較	4-7
表 4-6	尼伯特颱風與南瑪都歷史相似颱風氣象因子比較	4-8
表 4-7	第一階段以篩選不同數量颱風之最相似性颱風結果	4-10
表 4-8	梅姬颱風與杜鵑及薔密颱風氣象因子比較	4-11
表 5-1	深度神經網路模式參數設定表	5-10
表 5-2	遺傳規劃法模式參數設定表	5-10
表 5-3	檢定評鑑值彙整表(平地-颱風降雨預測模式)	5-11
表 5-4	檢定評鑑值彙整表(山區-颱風降雨預測模式)	5-11
表 5-5	驗證評鑑值彙整表(平地-颱風降雨預測模式)	5-15
表 5-6	驗證評鑑值彙整表(山區-颱風降雨預測模式)	5-15
表 6-1	中央氣象局颱風警報及豪雨特報警戒顏色燈號訂定標準 ..	6-1
表 6-2	行政院農業委員會水土保持局土石流警戒燈號訂定標準 ..	6-1
表 6-3	防災避難預警系統	6-2
表 6-4	臺中市行政區土石流潛勢溪警戒值	6-3
表 6-5	本模式預測值與中央氣象局降雨預報比較(臺中山區)	6-8

圖次

圖 1-1	本研究架構圖	1-2
圖 2-1	淺層神經網路與深度神經網路之結構	2-3
圖 2-2	深度神經網路颱風降雨預測模式示意圖	2-7
圖 2-3	遺傳規劃颱風降雨預測模式示意圖	2-7
圖 3-1	2016 年梅姬颱風海上陸上颱風警報單	3-2
圖 3-2	臺中市位置圖	3-5
圖 3-3	本計畫採用雨量測站分佈圖	3-7
圖 4-1	方位之量化圖	4-2
圖 4-2	颱風行進方向圖	4-2
圖 4-3	尼伯特颱風行進路線圖	4-6
圖 4-4	蓮花颱風行進路線圖	4-6
圖 4-5	2005 年海棠颱風行進路線圖	4-8
圖 4-6	2007 年聖帕颱風行進路線圖	4-9
圖 4-7	2011 年南瑪都颱風行進路線圖	4-9
圖 4-8	2016 年梅姬颱風行進路線圖	4-11
圖 4-9	2015 年杜鵑颱風行進路線圖	4-12
圖 4-10	2008 年薔密颱風行進路線圖	4-12
圖 5-1	典型類神經網路颱風降雨預測模式圖	5-2
圖 5-2	堆疊式自編碼器網路	5-3
圖 5-3	語法樹示意圖	5-5
圖 5-4	遺傳規劃交配法示意圖	5-6
圖 5-5	遺傳規劃突變示意圖	5-6
圖 5-6	遺傳規劃法流程圖(修改自 Koza,1992)	5-8
圖 5-7	檢定資料之檢定圖(平地-颱風降雨預測模式)	5-12
圖 5-8	檢定資料之檢定圖(山區-颱風降雨預測模式)	5-13

圖 5-9	鳳凰颱風驗證圖(平地-降雨預測模式).....	5-16
圖 5-10	鳳凰颱風驗證圖(山區-降雨預測模式).....	5-16
圖 5-11	蘇迪勒颱風降雨量驗證圖(平地-降雨預測模式).....	5-17
圖 5-12	蘇迪勒颱風降雨量驗證圖(山區-降雨預測模式).....	5-17
圖 5-13	杜鵑颱風降雨量驗證圖(平地-降雨預測模式).....	5-18
圖 5-14	杜鵑颱風降雨量驗證圖(山區-降雨預測模式).....	5-18
圖 5-15	尼伯特颱風驗證圖(平地-降雨預測模式).....	5-19
圖 5-16	尼伯特颱風驗證圖(山區-降雨預測模式).....	5-19
圖 5-17	莫蘭蒂颱風驗證圖(平地-降雨預測模式).....	5-20
圖 5-18	莫蘭蒂颱風驗證圖(山區-降雨預測模式).....	5-20
圖 5-19	梅姬颱風驗證圖(平地-降雨預測模式).....	5-21
圖 5-20	梅姬颱風驗證圖(山區-降雨預測模式).....	5-21
圖 6-1	颱風行徑路線圖(杜鵑颱風)	6-5
圖 6-2	最大 24 小時累積降雨分布圖(杜鵑颱風)	6-5
圖 6-3	相似歷史颱風行徑路線圖(泰利颱風)	6-6
圖 6-4	相似歷史颱風最大 24 小時累積降雨分布圖(泰利颱風)	6-6
圖 6-5	杜鵑颱風燈號(2015/9/28 09:00、15:00、21:00).....	6-7
圖 6-6	杜鵑颱風燈號(2015/9/29 09:00、15:00、21:00).....	6-7

摘要

臺灣位處置在平洋亞熱帶區，屬颱風活動頻仍範圍，如何有效預測颱風降雨以為災前整備的參考，為我國相當重視的防災課題之一。鑒於各類颱風路徑除因臺灣的地形分布，而對臺灣影響的方式有所差異外，降雨因子時變上的特性，更不易於降雨分布空間上的掌握，因此本計畫藉由颱風警報單建置颱風因子資料庫，利用各種數理統計方式所呈現的因子間距離尋找歷史發生之相似颱風，除可初步就目前所得的資訊，提供歷史災例供決策者參考外，續可再藉由颱風降雨觀測資料上的累積，透過日趨發展成熟的人工智慧(Artificial Intelligence, AI)方法，嘗試透過各類高度非線性演算法，找出各式氣象因子於累積數據間對降雨分布的詮釋方法。本研究選用之 AI 方法，除近年蓬勃發展採深度學習的深度神經網路(Deep Neural Network, DNN)外，亦選用可以自然型式的輸入與輸出建構其相關方程式之遺傳規劃法(Genetic Programing, GP)，藉以利用方程式的型式表現颱風氣象因子與降雨量間的關係，以就群策推論的方式，共同解讀數字可傳遞的預警訊息。藉由相似颱風之致災位置與未來可能發生之降雨量，提供災害防救單位預判空間是否存有致災風險，以期提早對預測的颱風降雨預做災前整備。

關鍵詞：相似度比對、颱風降雨預報、防災避難預警、深度神經網路、遺傳規劃法

Abstract

Taiwan is often attacked by typhoons due to its located at the subtropical region of Pacific Ocean. This island suffers from severe typhoon threats during summer and autumn in each year, and different typhoon paths may cause different disasters in Taiwan. Nonlinear variation in meteorological factors of typhoon's rainfall makes the factors causing rainfall more complex and hence increases the difficulty of predicting the amount of typhoon rainfall. For this reason, various artificial intelligence optimization model are evaluated to establish a suitable and well forecasting system for typhoon rainfall according to gauged meteorological factors in this study. The previous database construction and necessary evaluation of gauged rainfall and meteorological factors of typhoon would be performed in first. With the development of computing science and geospatial technology, a performed well mixed system of multi-AI model (Deep Neural Network, DNN; and Genetic Programing, GP)could be expected. The results of resilience assessment, disaster-risk evaluation, and disaster potential map would be integrated as a decision support system for disaster emergency operation organizations.

Keyword : Similarity Comparison , Typhoon Rainfall Forecasting , Disaster Warning , Deep Neural Network , Genetic Programing

第一章 前言

第一節 研究動機

臺灣的地理位置處於西北太平洋邊緣，且位於西北太平洋熱帶氣旋移動範圍內，依據中央氣象局統計，自 1958 年至今，於西北太平洋颱風場數計有 1,545 場，其中侵襲臺灣且發佈警報佔者有 281 場，平均每年侵臺颱風約 4 至 5 個，並以夏、秋兩季為最多。颱風為臺灣本島帶來豐沛的雨量，侵臺期間挾帶豪大雨暴雨及西南氣流影響，使各地大量降雨造成局部低窪地區發生積水或淹水情況，尤其近年在氣候條件造成水環境極大變化下，導致極端降雨事件頻率明顯增加，如 2008 年莫拉克風災均為臺灣本島帶來創紀錄的雨勢，導致嚴重水患造成近百人死亡與失蹤，農業及漁業帶來莫大的損失山地因豐沛雨量引發多起坡地土石災害；2016 年尼伯特、莫蘭蒂颱風強度皆侵襲著臺灣，尤其尼伯特颱風重創東臺灣，造成嚴重傷亡，對於民生生命及財產安全及經濟發展影響甚鉅。

第二節 研究目的

由於颱風所降下的雨水，易造成洪水或土石流等災害，如何適切下達防災避險等決策，為相關單位決策者所關切，為此本計畫同時提供兩類訊息供決策者颱風應變之參考：一是找尋過去相似歷史颱風致災之位置與特性，以過去的防災應變及災情紀錄作為輔助，研擬適當的災害應變決策；二是以既有資料推論未來 24 小時累積降雨量間高度非線性關係，藉提供未來 24 小時累積降雨量，進而與防災避難系統結合，同時以過去致災紀錄與既有科技可提供之推論結果作為決策制定之輔助參考。

第三節 研究架構

本研究架構如圖 1-1 所示，本計畫先蒐集中央氣象局歷史颱風警報資訊與各雨量測站逐時雨量資料，建立颱風警報單資料庫，以為後續颱風相似度比對方法及颱風降雨量預測模式建置之基礎。颱風相似度比對係利用統計距離上資料的相似性，羅列新發布之警報單內容與過去紀錄颱風中進行比對，尋找出相近歷史颱風下受災型態與區位，作為決策者參考的資料來源之一；此外，亦同時利用近來蓬勃發展的人工智慧模式，進行颱風時期未來 24 小時累積降雨量推論，作為決策者另一重要參考資訊的來源。

當新一場颱風警報單發布後，本計畫可提供相似路徑或氣候特徵之歷史颱風，以及預測平地與山區未來 24 小時累積降雨量，並配合現行氣象與土石流警戒方式，擬定之防災避難預警系統，提供防救單位參考使用。

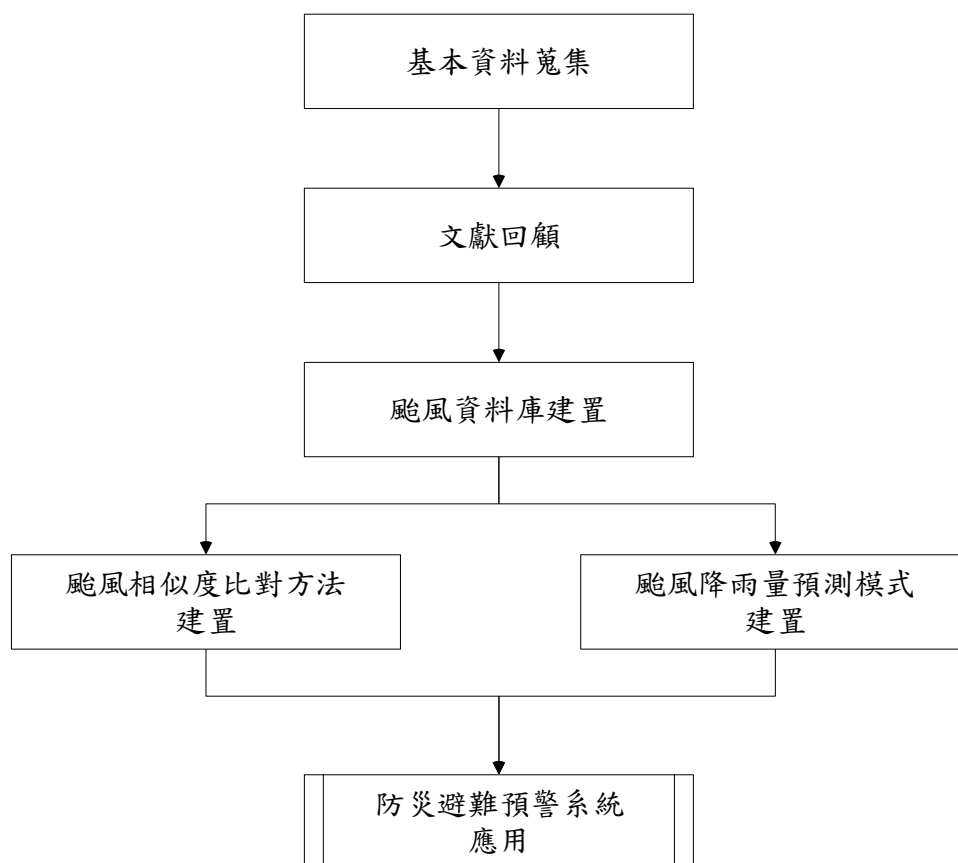


圖 1-1 本研究架構圖

第二章 建置構想

第一節 文獻回顧

本計畫針對颱風相似度比對、颱風降雨量預測與防災避難系統相關研究進行文獻回顧分述如下：

壹、颱風相似度比對方法與颱風降雨量預測模式

國內外學者探討影響颱風降雨量影響因子之研究眾多，降雨量的多寡也是現今學術研究與預報作業單位非常重視的問題；而目前在颱風-降雨量預測(Typhoon-rainfall forecasting)研究上曾以物理模式概念發展模型預測降雨量如王如意、謝龍生與王鵬瑞(1998)於八掌溪流域將颱風時雨量視為地形、颱風位置及移動路徑之函數；王時鼎、李浩天與張志琳(1998)於淡水河流域進行地點颱風降雨量預報之成果，發展颱風面積定量降雨氣候預報模式。然而物理模式對於大尺度、觀測資料有限的自然現象仍有詮釋不足的部分，因此亦有學者使用統計模式預測颱風降雨量，但統計模式仍對於降雨量長時間預報上精準度仍不如預期，如 Yeh (2002) 採用氣候平均法、差異持續法、迴歸法預測颱風累積降雨量，結果顯示簡單的統計法可提供六小時累積降雨量資訊。

20 世紀末，開始有學者專家運用人工智慧方式預測降雨量，透過演算法於大量歷史資料中學習規律，進一步對新的樣本作智慧識別或對未來預測，如周乃昉等(2000)在研究中以曾文水庫管理中心的曾文電傳雨量站為例，採雨量站多個連續時段的颱風中心位置、風速、氣壓、七級暴風半徑、特性參數等颱風特性資料及雨量站降雨量、風速、相對溼度、露點溫度及地形參數等資料，推估目標時段雨量站之降雨量，利用倒傳遞類神經網路模式來建立颱風降雨推估模式，藉由高度非線性方程式將颱風因子與降雨量之關係記憶在類神經網路架構內，進行颱風降雨量之推估。黃謙順、莊益誠(2000)利用類神經網路可處理大量、高維資料的歸類分析，透過學習，找出輸出、輸入資料間對應因果關係，利用此求得的關係，建立相關資料預測應用；傳統颱風降雨預測是依照一定的公式推導，難免有其適用上的限制，由於颱風因子和降雨量之間呈現高度的非線性關係，而傳統類神經網路的向後傳導計算模

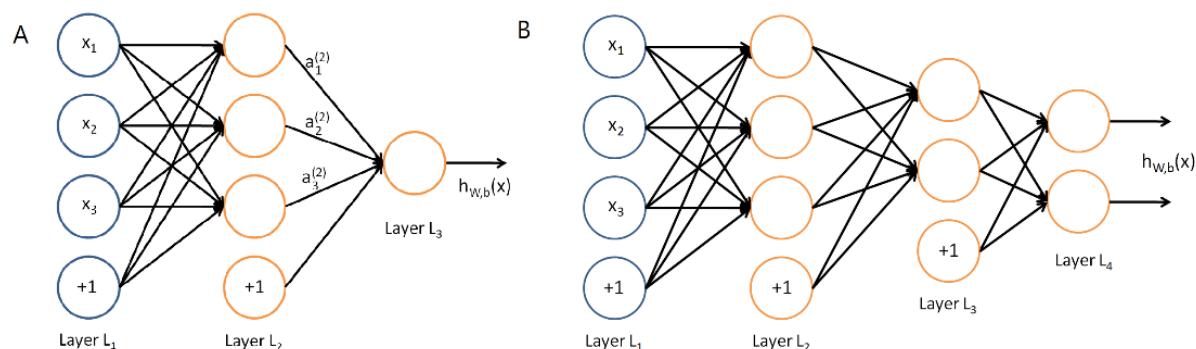
式對於複雜的非線性關係的推導能力有限，因此將傳統的向後傳導計算模式加上特定的函式，推導出一個新的模型，將 30 年颱風的龐大母體資料輸入至新的探勘模式中，並和傳統的公式預測模式作一比較，分析結果證明類神經網路模式能模擬出相近的降雨組體，其預估值也較傳統的公式模式精確許多。Lin and Chen (2005) 發展類神經網路模式預測颱風降水量，輸入項為颱風氣候因子，建構模式預測降雨量。陳昶憲(2005)等人採用 1953 至 2004 年 226 場颱風警報單共計 3,748 筆，建置颱風警報單資料庫，並研究土石流危險鄉鎮降雨預報機制，透過歐氏距離法(Euclidean Distance)與遺傳規劃法(Genetic Programing, GP)進行颱風早期相似度及降雨預測，以供土石流危險鄉鎮降雨之預報研判機制，其該研究參數皆以警報單上數值量化，但未考量名目尺度量化與歐氏距離計算結果之差異性。

從此可以看出類神經網路與遺傳規劃法的複雜數學結構可賦予模式優越學習能力，從大量訓練樣本中推論出數據間的相互關係，用以對未知事件進行推論或預測，其在各科學領域的應用都能突顯出其優於傳統數學、科學所能萃取的資料訊息，在電腦科技大躍進後，各式各樣的淺層學習(Shallow Learning)模型相繼被提出，並用於改良傳統人工智慧模式，例如結合自組織映射圖網路(Self-Organizing Map, SOM)、遺傳演算法(Genetic Algorithm, GA)、遺傳規劃法(Genetic Programming, GP)等，使模式上更能快速及準確預測降雨量，如 Lin and Wu (2009) 提出混合神經網路模型，結合自組織映射圖網路與多層感知機(Multilayer Perceptron Network, MLPN)提高小時颱風預報準確性。Sedki 等人(2009)利用倒傳遞神經網路，結合實數遺傳演算法建立降雨-逕流模式。此階段的類神經網路，雖然也被稱為多層感知機(Multi-layer Perceptron)，但實際上是一種只含有一層隱藏節點的淺層模型(如圖 2-1(A))，而多層前饋研究逐漸冷清。

近年，深度學習(Deep Learning)為機器學習(Machine Learning)中備受重視的一支，深度學習根源於類神經網路(Artificial Neural Network)模型。深度神經網路(Deep Neural Networks, DNN)和深度學習是由 Hinton(2006)教授和學生 Salakhutdinov 提出的概念，深度網路就字面上是指深層次的神經網路，而不沿用以前的術語「多層神經網路(多層感知機)」(如圖 2-1(B))，可能是為了與以前的神經網路區分(集智俱樂部，2016)，其 Hinton 主要傳達兩個主要

資訊：(1)很多隱層的類神經網路具有優異的特徵學習能力，學習獲得的特徵對資料有更本質的刻畫，進一步有利於視覺化或分類；(2)深度神經網路在訓練上的難度可以透過逐層初始化(Layer-wise Pre-training)來有效克服。Hinton 提出後，迅速引發深度學習研究熱潮，加拿大蒙特利爾大學的 Yoshua Bengio 教授、美國紐約大學的 Yann Leccun 教授、史丹佛大學 Andrew Ng 教授主管的團隊都成為深度學習研究的重鎮。2010 年美國國防部 DARPA 一次資助深度學習研究專案，2013 年成功舉辦第一屆專門研究深度學習的國際會議 ICRL(謝劍斌等人，2016)。

科技發展至大數據時代，資料庫預期將會越來越多元，為此本計畫提出颱風因子、雨量分布等，在數據多元、彼此間關係繁雜的情況下結合人工智慧模式應用，藉深度學習方式，發掘資料中隱藏之有用資訊，以組織更多對決策有價值的資訊，供決策者災前整備及災中應變之用。



A. 淺層神經網路。B.深度神經網路。(圖片來源: Stanford Deep Learning Lab)

圖 2-1 淺層神經網路與深度神經網路之結構

貳、防災避難預警





災害預警係於天然災害發生或加劇前，就事件風險資訊對可能受到影響的民眾或應變單位發出警報，以適時、適切地協助民眾採行應變作為，進而降低民眾生命財產的損失。天然災害預警的流程包括監測、警戒及應變三個階段，分別代表著預警的科技維度、制度維度和社會維度的作動。在監測階段，人們在科學的專業知識和先進技術的基礎上，進行觀察、評估和預報；在警戒階段，相關機構將預報轉化為警報，並通過適當的手段加以傳播，建議人們採取行動；在應變階段，警報被轉化為行動。

依據災害防救法第三條之規定，涉及風水災害管理權責之中央災害防救

業務主管機關分別為：(1)風災：內政部、(2)水災：經濟部、(3)土石流：行政院農業委員會。在風災部分，依據中央氣象局臺灣地區「颱風警報」發布之標準，作為風災警戒之依據；在水災部分，根據經濟部水利署「淹水警戒」及「河川警戒水位」資訊作為水災警戒之依據；在土石流部分，根據水土保持局發布之「土石流警戒資訊」作為土石流警戒之依據。在颱風事件當中，中央災害防救業務主管機關時常依據上述警戒標準發布警戒資訊，直轄市、縣市政府防救災人員於第一時間接收到多種資訊來源，導致防救災人員資訊混雜，無統整一致性之資訊可遵循，更不用說第一線之鄉鎮市(區)公所防救災人員，更是無所適從，乃下放至村里長及民眾更是不知所措，以至於大幅度減低警戒之效能。因此，行政院於101年3月27日院臺忠字第1010126718A號意函，規劃各類災害警戒等級之顏色及燈號所表示之意涵，訂定統一顏色燈號分類並定義其代表意義，如表2-1所示。然而，中央災害防救業務主管機關仍是依其管轄之災害屬性，各自發布屬於各類災害屬性之警戒顏色燈號，缺乏橫向溝通，而陳勝義、陳柏蒼、陳昶憲(2014)整合跨部門警戒資訊，綜整風水災害各單位之警戒資訊，建置屬於臺中市風水災害之統一警戒顏色燈號，供市府防災單位發布警戒參照使用，俾利防救災人員操作及民眾之宣導認知。

本計畫就行政院規範之各類災害警戒顏色燈號意涵，整合「氣象預警報」與「土石流警戒資訊」，前者為結合中央氣象局颱風警報發布與本計畫預測未來24小時雨量結果，後者為行政院農業委員會水土保持局制定標準，給予防救業務單位參考。

表 2-1 各類災害警戒顏色燈號意涵表

顏色燈號		危險等級	優先順序	管制方案	疏散撤離
紅色		高	第一優先	禁止、封閉、強制	強制撤離
橙色		中	第二優先	加強注意	加強勸告、撤離準備
黃色		低	第三優先	注意、警戒、通知、警告	勸告、加強宣導
綠色		一般狀況、平時、整備作業			

第二節 模式建置構想

依前節敘述綜整之文獻回顧，本研究擬建置颱風警報單資料庫，內容包含蒐集中央氣象局所發布之颱風警報單完整颱風動態資料(颱風行進方向、經度、緯度、行進方向、行進速度、風速、強度等)，與中央氣象局雨量測站逐時降雨資料，並統計歷史發布颱風警報單發布後之平地與山區未來 24 小時累積降雨量資料，以建置歷史颱風警報資料庫，作為颱風相似度比對方法與颱風降雨量預測模式之基礎資料。最後而應用人工智慧方法預測颱風降雨量之成果，應用於防災避難預警系統，而颱風相似度比對方法與颱風降雨量預測模式構想詳述如下：

壹、颱風相似度比對方法

中央氣象局發布颱風警報後，依據實際觀測之氣象因子與歷史颱風警報資料庫進行颱風相似度比對，以選取相似路徑與氣象特徵之颱風場次，颱風相似度比對係假設過去颱風可能重現情況，由歷史颱風警報單觀測之氣象因子。本計畫延續陳昶憲 2005 年之研究為基礎，因過去僅考量氣象因子為颱風中心位置、行徑方向、行進速度且未考量名目尺度轉換問題，為此增加 3 個氣象因子進行颱風相似度比對，包含颱風中心位置(經度、緯度)、颱風中心氣壓、颱風中心行進速度、颱風中心最大風速、颱風形成月份、七級暴風半徑、颱風行徑方向與颱風強度等 8 個參數進行相似度比對，其中屬於名目尺度具有颱風強度(強烈、中度、輕度颱風)、颱風行進方向(東、東北東等 16 個方位)，前者採用自然數量化，後者採用角度餘弦量化。相似性度量分析採用歐氏距離為之，其主要分為兩種方式進行比較，一是考量各颱風因子間尺度不同，對各因子實施未標化與標準化比較差異，二是全參數(8 個)比對與劃分兩階段氣象因子之時空參數(3 個)及氣象參數(5 個)比對，以尋求最佳颱風相似度最佳比對方法。

貳、颱風降雨量預測模式

以歷史颱風警報單資料庫為基礎，將歷史颱風動態資料、觀測站資料，應用人工智慧方法建置未來 24 小時累積降雨量推論模式，本計畫基於過去的研究文獻與經驗，使用深度神經網路與遺傳規劃法良好預測方法，藉以推論未來 24 小時累積降雨量，並以高程 500 公尺為界，分別進行平地與山區

平均之 24 小時累積降雨量推論，茲將深度神經網路與遺傳規劃法理論方法簡述如下：

一、深度神經網路模式

深度神經網路(Deep Neural Networks, DNN)係以類神經網路建構為基礎，重複進行多層隱藏層的處理方式，因為其具有學習(建模)及回想(推論)的功能，故可進行定率性模擬。深度神經網路模式之學習訓練為監督式學習網路，其係從所探討問題中取得訓練案例，利用最陡坡降法(The Gradient Steepest Descent Method)的觀念，將誤差函數予以最小化，以由學習案例中推求輸入變數與輸出變數的內在對應規則，之後可應用回想功能，確定的內在對應規則，進行新案例之輸出變數值推估。本計畫建置之深度神經網路颱風降雨量預測模式，模式輸入層之變量為重心與颱風中心距離、中心氣壓、預測行進速度、預測行進方位、七級暴風半徑、颱風強度、當下平均雨量，模式輸出項為該未來 24 小時累積降雨量，運用多層隱藏層進行運算，使深度學習得以導出可用的資訊與特徵，而藉由以多層神經網路架構(如圖 2-2 所示)，分別建置平地與山區颱風降雨量預測模式。

二、遺傳規劃颱風模式

以遺傳規劃法(Genetic Programing, GP)為主要推論模式，其概念為沿襲遺傳演算法而來，同樣具有染色體、適合度函數、複製、交配及突變等運作機制；而遺傳規劃法係以語法樹取代基因樣式。經由演化過程的物競天擇，搜尋出輸入因子與輸出項間之最佳函數式。本計畫建置之遺傳規劃颱風降雨量預測模式，係利用遺傳規劃法，其基因參數為重心與颱風中心距離、中心氣壓、預測行進速度、預測行進方位、七級暴風半徑、颱風強度、當下平均雨量，輸出值為未來 24 小時累積降雨量，藉由語法樹模式架構示意圖如圖 2-3 所示，分別建置平地與山區颱風降雨量預測模式。

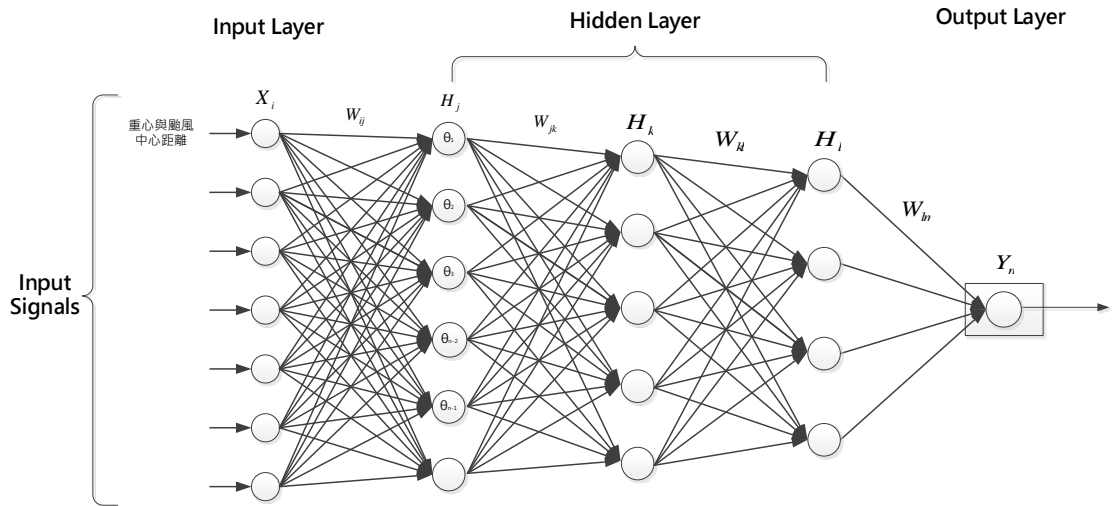


圖 2-2 深度神經網路颱風降雨預測模式示意圖

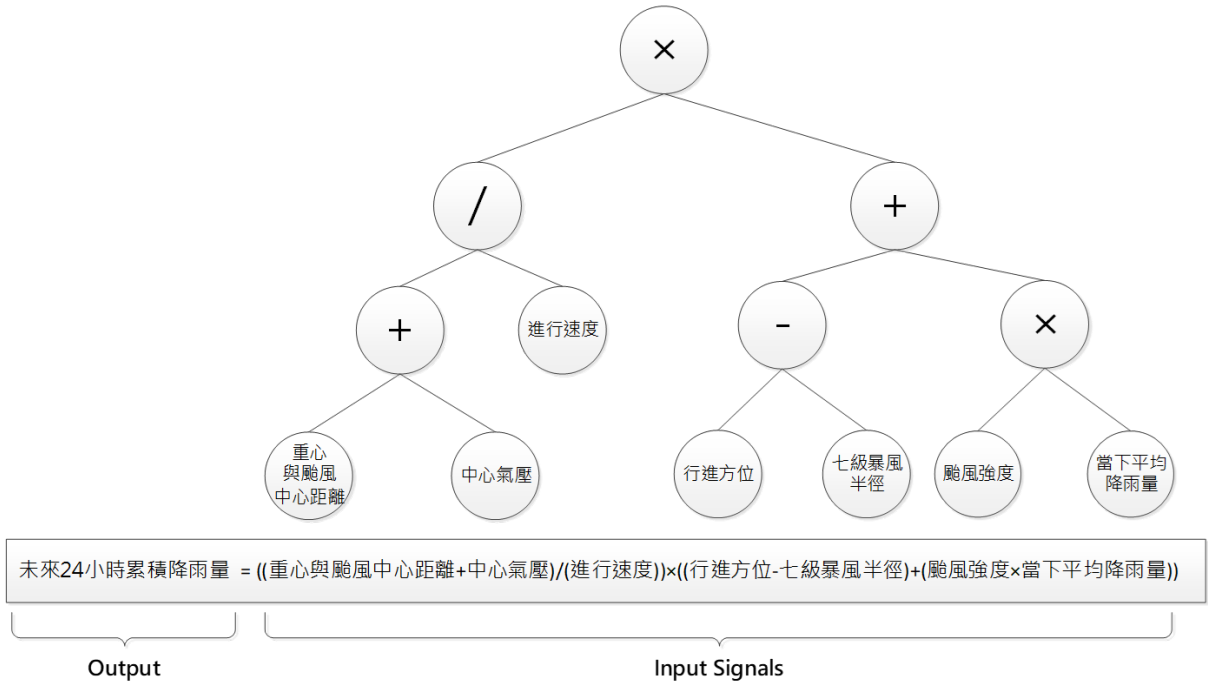


圖 2-3 遺傳規劃颱風降雨預測模式示意圖

第三章 颱風資料庫建置

第一節 颱風因子資料庫建置

本計畫建置颱風警報單資料庫，完整蒐集中央氣象局所發布之颱風警報單完整颱風動態資料，依據歷史颱風警報資料庫之氣象因子進行颱風相似度比對，以選取相似路徑與氣象特徵之颱風場次。颱風警報單種類與颱風氣象因子資料說明如下：

壹、颱風警報單種類

當颱風形成，往臺灣本島接近時，中央氣象局發佈海上颱風警報、海上陸上颱風警報，其兩種警報單差異說明如下：

一、海上颱風警報

為中央氣象局預測 24 小時後颱風的七級風暴風範圍可能侵襲臺灣本島或金門、馬祖 100 公里以內之海域，對該海域發佈海上颱風警報，之後每隔 3 小時發佈一次，必要時得追加發佈。

二、海上陸上颱風警報

為預測 18 小時後颱風的七級風暴風範圍可能侵襲臺灣本島或金門、馬祖陸上之地區，即對該區域發佈海上陸上颱風警報，之後每隔 3 小時發佈一次，必要時得追加發佈，近幾年改為每小時發佈一次，颱風警報單樣式以 2016 梅姬颱風為例如圖 3-1 所示。

海上陸上颱風警報

中央氣象局 民國 105 年編號第 17 號颱風警報 第 9-1 報 9 月 27 日 0 時 15 分發布

颱風強度及命名：中度颱風，國際命名：MEGI，中文譯名：梅姬。

中心氣壓：950百帕。

中心位置：27日0時的中心位置在北緯 22.1 度，東經 124.7 度，
即在花蓮的東南東方約 380 公里之海面上。

暴風半徑：7級風暴風半徑 250 公里，10級風暴風半徑 100 公里。

預測速度及方向：以每小時 21 公里速度，向西北西進行。

近中心最大風速：每秒 43 公尺(約每小時 155 公里)，相當於 14 級風。

瞬間之最大陣風：每秒 53 公尺(約每小時 191 公里)，相當於 16 級風。

預測位置：27日23時的中心位置在北緯 23.8 度，東經 120.3 度，
即在花蓮的西方約 130 公里之處。

颱風動態：根據最新氣象資料顯示，第 17 號颱風中心目前在花蓮東南東方海面，向西北西移動，其暴風圈正逐漸進入臺灣東半部近海，朝臺灣東半部陸地接近，對臺灣各地及澎湖將構成威脅。

警戒區域及事項：陸上：臺灣各地區(含蘭嶼、綠島)及澎湖應嚴加戒備，並防強風暴雨。

海上：臺灣附近各海面及巴士海峽、東沙島海面航行及作業船隻應嚴加戒備。

*臺灣各沿海地區(含蘭嶼、綠島)及澎湖、金門、馬祖有較強陣風，並有長浪發生，請避免前往海邊活動。適逢大潮期間，沿海低窪地區應防淹水及海水倒灌。

*颱風影響，室外懸掛物、招牌、圍籬及廣告等應加強固牢，陽臺之盆景等應妥善放置，排水溝渠應加強清理。

*暴雨特報：颱風及其外圍環流影響，今(27)日宜蘭山區及花蓮山區有局部大雨或超大暴雨；臺東、屏東、新北、桃園、新竹、苗栗、臺中、南投、高雄山區及宜蘭、花蓮平地有局部暴雨或大暴雨；臺北山區、嘉義山區、新北平地、臺東平地及蘭嶼、綠島有局部大雨或暴雨發生的機率；基隆、臺北平地、新竹以南至屏東平地及澎湖亦有局部大雨發生的機率，請注意坍方、落石、土石流，沿海低窪地區請慎防淹水，民眾應避免進入山區及河川活動。

超大暴雨：宜蘭縣、花蓮縣。

大暴雨：臺東縣、屏東縣、新北市、桃園市、新竹縣、苗栗縣、臺中市、南投縣、高雄市。

*自 9 月 26 日 0 時至 27 日 0 時較大陣風區域如下：蘭嶼 13 級，梧棲 10 級。

下去警報預定發布時間：9 月 27 日 2 時 30 分。

圖 3-1 2016 年梅姬颱風海上陸上颱風警報單

貳、颱風氣象因子資料

本研究考量 1989 年後才有颱風中心氣壓(hPa)之氣象參數，為此採用年份為 1990 年至 2016 年，並篩選計有海上颱風警報單與海上陸上警報單之颱風，共有 100 場歷史颱風(如表 3-1)，而警報單共計 3,884 筆，建立颱風氣象因子資料庫。資料庫包含颱風經緯度(位置)、颱風形成月份、中心最大風速、行進方向、行進速度、七級暴風半徑及颱風中心氣壓強度等資料，各颱風氣象因子敘述如下：

一、颱風中心位置

颱風中心位置(經度、緯度)，颱風中心位置隱含颱風距臺中之遠近距離及颱風路徑的資訊。

二、颱風形成月份

對於臺灣有較大影響的颱風多發生於夏秋兩季，分佈於 6~11 月，出現次數最為頻繁的月份為 8 月，其次是 7、9 月。5、6、7 月的颱風易發生西南氣流輻合效應，8、9、10、11 月的颱風易發生東北季風共伴效應。

三、颱風中心氣壓(hPa)

颱風強度通常以颱風中心氣壓來判斷，中心氣壓越低，颱風的威力就越大，所夾帶的水汽量可能越多，而颱風中心氣壓愈低，在颱風範圍內氣壓梯度愈大，所以風力自然也愈猛烈。

四、颱風行進方向

中央氣象局預測颱風未來行進方向可分為 16 種行進方位，當颱風朝向臺灣的方向前進時，受到颱風威脅的程度較大。

五、颱風行進速度(km/hr)

行進速度影響颱風在臺灣地區停留的時間，進而影響降雨延續的時間。

六、七級暴風半徑

颱風眼牆的邊緣是颱風風力最強的地方，然後愈向外風愈小，從颱風中心向外一直到七級風風速下限(平均風速每秒 14 公尺)，這距離稱為暴風半徑，在這暴風半徑以內的區域，即為暴風範圍。颱風暴風半徑平均為 200~300 公里，大者可達 400~500 公里。

七、颱風強度

颱風強度是以暴風中心附近最大平均風速為基準，劃分為 3 種強度，風速每秒 17.2 至 32.6 公尺為「輕度颱風」，風速每秒 32.7 至 50.9 公尺為「中度颱風」，風速每秒 51.0 公尺以上為「強度颱風」。

八、中心最大風速(m/s)

中心最大風速就是指颱風中心附近地帶的風速在一定時間之內所測得的平均風速。臺灣中央氣象局、香港天文臺與日本氣象廳採「十分鐘平均風速」。

表 3-1 1990 年至 2016 年颱風警報單一覽表

年份	颱風命名
1990	瑪麗安 MARIAM、歐菲利 OFFLIA、波西 PERCY、楊希 YANCY、亞伯 ABE、黛特 DOT
1991	艾美 AMY、愛麗 ELLIE、奈特 NAT、露絲 RUTH
1992	芭比 BOBBIE、寶莉 POLLY、歐馬 OMAR、泰德 TED
1994	提姆 TIM、凱特琳 CAITLIN、道格 DOUG、弗雷特 FRED、葛拉絲 GLADYS、席斯 SETH
1995	荻安娜 DEANNA、蓋瑞 GARY、肯特 KENT、賴恩 RYAN
1996	凱姆 CAM、葛樂禮 GLORIA、賀伯 HERB
1997	溫妮 WINNIE、安珀 AMBER、卡絲 CASS
1998	奧托 OTTO、楊妮 YANNI、瑞伯 ZEB、芭比絲 BABS
1999	瑪姬 MAGGIE、丹恩 DAN
2000	啟德 KAITAK、碧莉斯 BILIS、巴比倫 BPRAPIROON、寶發 POPHA、象神 XANGSANE
2001	西馬隆 CIMARON、奇比 CHEBI、潭美 TRAMI、桃芝 TORAJI、納莉 NARI、利奇馬 LEKIMA、海燕 HAIYAN
2002	娜克莉 NARKRI、辛樂克 SINLAKU
2003	莫拉克 MORAKOT、梵高 VAMCO、杜鵑 DUJAN
2004	敏督利 MINDULLE、蘭寧 RANANIM、艾利 AERE、海馬 HAIMA、納坦 NOCK-TEN、南瑪都 NANMADOL
2005	海棠 HAITANG、馬莎 MATSA、珊瑚 SANVU、泰利 TALIM、卡努 KHANUN、龍王 LONGWANG
2006	珍珠 CHANCHU、碧利斯 BILIS、凱米 KAEMI、寶發 BOPHA
2007	帕布 PABUK、聖帕 SEPAT、韋帕 WIPHA、柯羅莎 KROSA
2008	卡玫基 KALMAEGI、鳳凰 FUNG WONG、辛樂克 SINLAKU、薔蜜 JANGMI
2009	蓮花 LINFA、莫拉克 MORAKOT、芭瑪 PARMA
2010	萊羅克 LIONROCK、南修 NAMTHEUN、莫蘭蒂 MERANTI、凡那比 FANAPI
2011	南瑪都 NANMADOL
2012	泰利 TALIM、蘇拉 SAOLA、天秤 TEMBIN
2013	蘇力 SOULIK、潭美 TRAMI、康芮 KONG-REY、天兔 USAGI、菲特 FITOW
2014	鳳凰 FUNG-WONG
2015	蘇迪勒 SOUDELOR、杜鵑 DUJUAN
2016	尼伯特 NEPARTAK、莫蘭蒂 MERANTI、梅姬 MEGI

第二節 颱風雨量資料庫建置

壹、研究區域概述

臺中市位於臺灣中部，由東方中央山脈往西邊西部平原傾斜，其位置與地形分布概況如圖 3-2 所示。臺中市平地與山地面積約各佔一半，其中山區幾乎位於和平區內，該區站約占全市面積的 46%。東半部和和平區為雪山山脈南端與中央山脈西緣。人口稠密區皆位於臺中盆地之市區與丘陵地區之屯區，其因烏溪與大甲溪沖積扇堆積而成。西部海岸線濱台灣海峽，與盆地之間被台地阻隔，且中間亦有斷層線經過。海線地區以清水隆起海岸平原、大甲扇狀平原等平地為主。

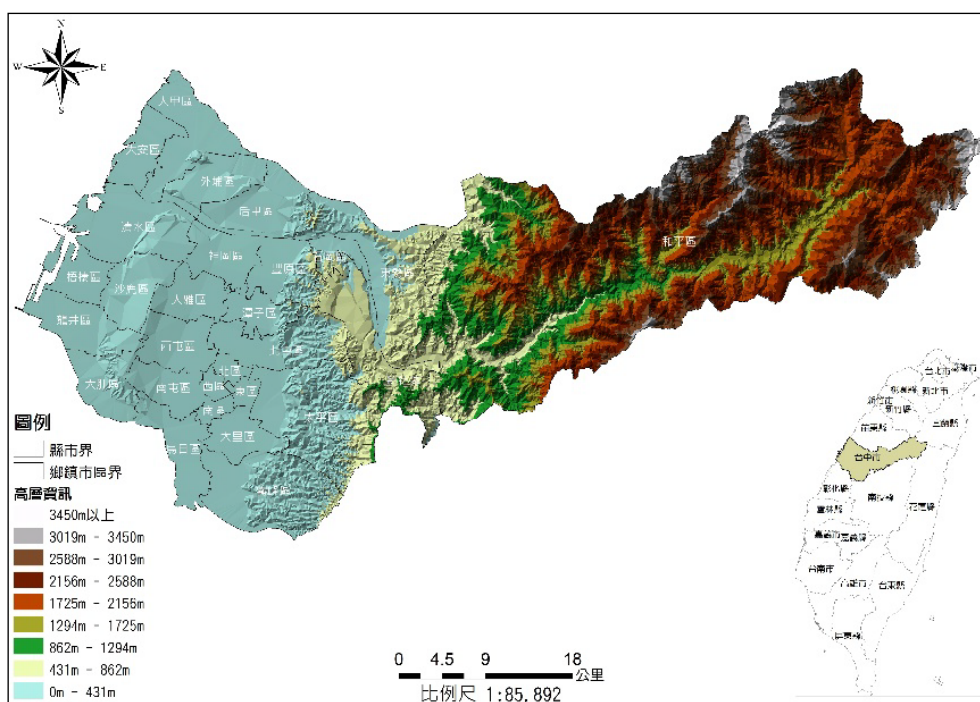


圖 3-2 臺中市位置圖

貳、雨量資料

雨量資料採用中央氣象局位於臺中市境內之地面氣象站與自動氣象雨量站，其資料年限選定 1992 年至 2016 年逐時雨量觀測站資料作為分析，排除資料年限不足或已淘汰之雨量觀測站，共計 11 個雨量測站。而本計畫考量臺中市行政區高程最高 3,880.8 公尺，若以 100 公尺為界，在高程高低差極大與空間降雨分布不均下，較為不符合實際需求，因此參考水土保持局土石流防災中心氣象資訊，於應變期間提供未來降雨時間與空間分布報告，

係採用 500 公尺為劃分平地與山區(周仲島, 2014), 另經濟部水利署 2015 年「淹水潛勢圖製作手冊」之名詞定義:「平地降水係指高程 500 公尺(含)以下區域之降水, 山區降水係指高程 500 公尺以上區域之降水」, 故本計畫以測站 500 公尺海拔高度劃分測站之屬性, 屬於平地雨量測站計有 7 站, 分別為梧棲(467770)、臺中(467490)、大甲(C0F930)、大坑(C0F970)、大肚(C0F000)、東勢(C0F850)、新伯公(C1F911); 屬於山區雨量測站計有 4 站, 分別為山谷關(C1F871)、稍來(C1F891)、梨山(C0F861)、雪嶺(C1F941), 雨量站資訊如表 3-2 所示, 雨量站分布位置如圖 3-3。

本計畫就平地雨量測站與山區雨量測站資料, 利用徐昇多邊形法(Thiessen's Polygon Method)計算逐時平地與山區平均降雨量, 進而計算 24 小時累積降雨量, 再依中央氣象局發布颱風警報單時刻, 對應時刻平均雨量值與未來 24 小時累積降雨量因子。另, 本計畫就臺中市行政區域分別計算平地與山區面積幾何重心, 再各別計算每場颱風發布警報單之颱風中心位置(經度、緯度)距離, 以描述颱風位置影響臺中行政區之雨量值關係。

表 3-2 臺中市境內雨量測站資訊表

站號	站名	海拔高度(m)	經度	緯度	資料起始日期	舊站號	屬性
467770	梧棲	31.7	120.5234	24.256	1976/11/1		平地
467490	臺中	84	120.6841	24.1457	1896/01/01		
C0F930	大甲	100	120.6404	24.3477	1990/7/21	C1F930	
C0F970	大坑	145	120.7223	24.1731	1992/5/1	C1F970	
C0F000	大肚	273	120.5721	24.153	1992/7/1	C1F000	
C0F850	東勢	379	120.833	24.2464	1990/7/21	C1F850	
C1F911	新伯公	417	120.8411	24.2214	1990/7/21	C1F910	
C1F871	上谷關	1000	121.0186	24.2035	1990/7/21	C1F870	山區
C1F891	稍來	2205	121.0056	24.2635	1990/7/21	C1F890	
C0F861	梨山	2215	121.2437	24.2475	1990/7/21	C0F860	
C1F941	雪嶺	2620	121.0266	24.2806	1990/7/21	C1F940	

資料來源：中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/V7/>。

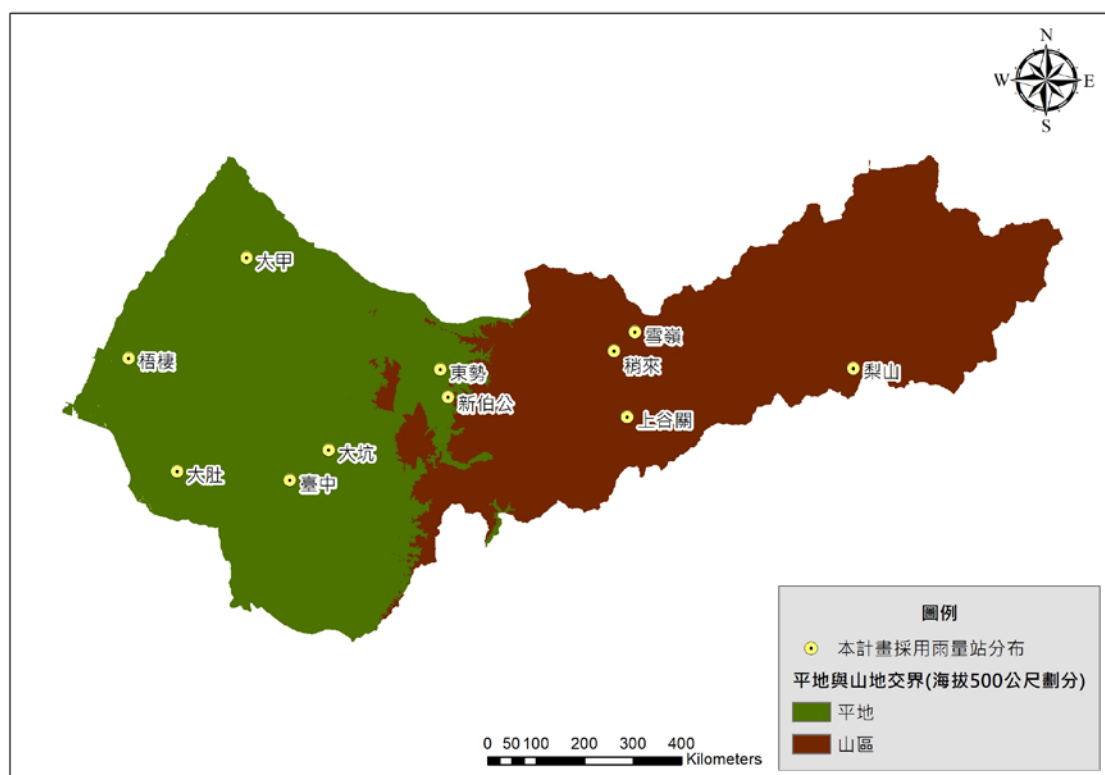


圖 3-3 本計畫採用雨量測站分佈圖

第四章 颱風相似度比對方法

第一節 方法建置

本計畫之颱風相似度比對，係以中央氣象局觀測資料為基礎，假設過去颱風可能重現情況，由歷史颱風警報單之氣象因子，颱風中心位置、颱風中心氣壓、颱風中心行進速度、颱風中心最大風速、颱風形成月份、七級暴風半徑、颱風行進方向與颱風強度等資料找出相似颱風場次，供防災應變參考使用。而颱風比對方式採統計距離上資料的相似性，尋找歷史發生之相似颱風，使決策者掌握過去颱風降雨影響臺灣致災位置點。颱風相似度比對說明如下：

壹、氣象因子

本計畫以颱風警報單之氣象因子，作為尋找相似颱風之依據，颱風警報單之氣象因子包含：「(1)颱風中心位置(經度、緯度)、(2)颱風中心氣壓、(3)颱風中心行進速度、(4)颱風中心最大風速、(5)颱風形成月份、(6)七級暴風半徑、(7)颱風行進方向與(8)颱風強度」之 8 個變數因子，而各變數(即其屬性)的衡量單位有所不同，颱風強度與行進方向單位為名目尺度，故在計算之前，需將其變數之尺度予以量化，方能進行公式的計算，說明如下：

一、颱風強度

強度資料分為強度資料分為輕度、中度及強烈三種資料格式，則將輕度颱風量化為 1、中度颱風量化為 2 及強烈颱風量化為 3 之自然數。

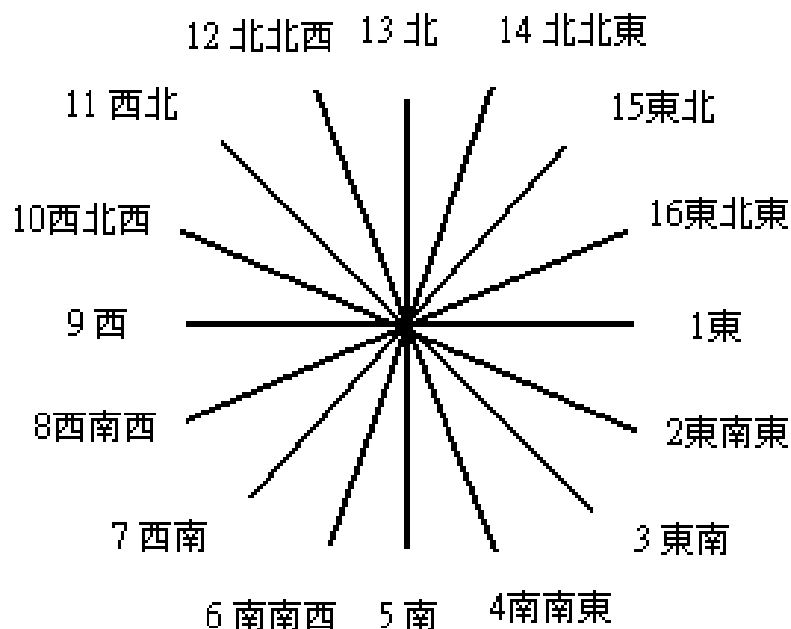
二、行進方向

行進方向依據中央氣象局預測颱風未來行進方向，可分為 16 種行進方位，由過去研究中提到將 16 種行進方向，考量颱風生成位置於臺灣東邊為多數，故由方位東起順時針至方位東北東，量化為 1 至 16 之自然數(如圖 4-1)，而行進方向東與東北東為鄰近方向，數值呈現是 1 與 16，卻有最大之數值差距，但考量少數颱風會往東方行徑之案例(如 2009 年芭瑪颱風、2012 年泰利颱風)，為避免結果上之差異，本研究提出將其方位均分為各個角度(如圖 4-2)，接著再以餘弦定理，就各角度做基礎轉換，使方向最大數值差異介於 0~1 之間，方向越接近，其數值差距越接近 0，而角

度起始位置以現況颱風行進方向為 0° 起點，當現況颱風行進方向改變，將重新定義 0° 位置，再以量化處理。處理量化公式如下：

$$(1 - \cos \theta) / 2 \quad (4.1)$$

θ ：各方位之角度



資料來源：陳昶憲，2005，颱風降雨早期推估於土石流防災之應用

圖 4-1 方位之量化圖

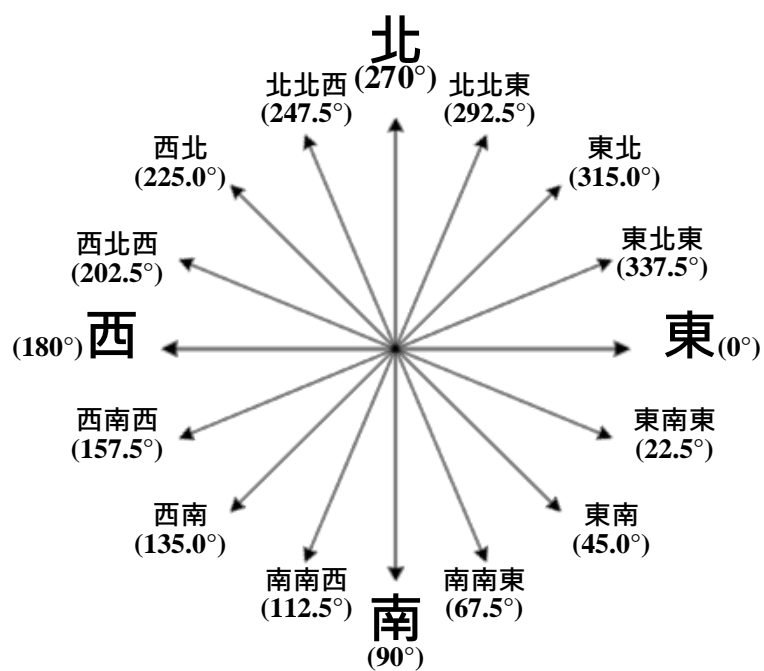


圖 4-2 颱風行進方向圖

貳、統計距離

本計畫颱風相似度，係利用欲預測颱風逐時每報的氣象因子與歷史颱風所有場次氣象因子，採統計距離上資料的相似性，尋找歷史發生之相似颱風。本計畫採歐式距離公式尋找與欲預測颱風相似的歷史颱風場次，計算兩者間距離之大小。比對氣象因子之颱風資料庫係以 1990 年至 2015 年 97 場颱風 3701 筆颱風警報單，作為模式檢定資料；2016 年 3 場颱風 183 筆颱風警報單，作為驗證資料。

歐氏距離(euclidean distance)常用於估算不同樣本間的相似性度量(similarity measurement)，將欲預測颱風之氣象因子與各歷史颱風之氣象因子，兩者氣象因子量化數值之差距(即直線距離)相加，當距離越小，表示與其歷史颱風越相似。歐氏距離公式如下所示：

$$D_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_j - x_{ij})^2}, (j=1,2,\dots,n) \quad (4.2)$$

n ：氣象因子個數

D_j ：目前發生颱風與歷史第 i 個歷史颱風警報單之歐式距離

X_j ：目前發生颱風第 j 個氣象因子

X_{ij} ：歷史第 i 個歷史颱風警報單第 j 個氣象因子

而因各氣象因子之測量尺度不同，各數值變化對結果的影響敏感度不同，為使各氣象因子有相同標準，就各數值進行標準化分析，使之數值對映到某個數值區間，對分析結果造成影響。標準化公式如下所示：

$$x^* = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4.3)$$

x ：標準化前的值

μ ：分量的平均值

σ ：分量的標準差

x^* ：標準化後的值

第二節 結果分析

本計畫以統計距離尋找相似之歷史颱風，當新一場颱風警報單發布後，提供相似路徑或氣候特徵之歷史颱風場次，作為災時應變之參考。

分析資料庫採 1990 年至 2015 年間歷史颱風，以 2016 年 3 場颱風作為預測颱風，以歐氏距離法尋找其相似歷史颱風，歐氏距離先初步以未標準化之氣象因子進行計算，分析結果以應變中心發布警報之時間點(9:00、15:00、21:00)前最接近一報之最相似颱風，供決策者判斷，分析結果如表 4-1 所示。

由分析結果發現，因氣象因子未標準化，導致部分氣象因子影響相似性分析結果的敏感度較低，以 2016 年第 63 報的尼伯特颱風為例，歐氏距離找出最相似颱風為 2009 年第 4 報的蓮花颱風，由兩者之氣象因子比對(如表 4-2 所示、圖 4-3 及圖 4-4 所示)，評估氣象因子大部分數值相似，如相同氣壓、風速及暴風半徑，但兩者行徑方向卻有極大不同，由量化數值方面評估，行進方向量化後之數值，極端差異僅為 1，故在統計距離上，相比其餘氣象因子，對於分析結果影響有限，造成雖行徑路線完全不同，卻有最小歐氏距離之情形。

表 4-1 相似颱風分析結果(氣象因子未標準化)

預測颱風			最相似颱風				第二相似颱風				第三相似颱風			
名稱	日期	時間	日期	名稱	報數	歐氏距離	日期	名稱	報數	歐氏距離	日期	名稱	報數	歐氏距離
尼伯特	2016/7/6	15:00	2005	龍王	2	15.94	2005	龍王	1	15.97	2005	龍王	3	16.12
尼伯特	2016/7/6	21:00	2005	龍王	10	21.58	2005	龍王	11	21.61	2005	龍王	12	21.63
尼伯特	2016/7/7	09:00	2005	龍王	25	16.19	2005	龍王	26	16.21	2005	龍王	27	16.27
尼伯特	2016/7/7	15:00	2005	龍王	25	16.72	2005	龍王	26	16.73	2005	龍王	27	16.76
尼伯特	2016/7/7	21:00	2005	龍王	25	16.39	2005	龍王	26	16.39	2005	龍王	27	16.41
尼伯特	2016/7/8	09:00	2015	杜鵑	1	7.16	2010	凡那比	32	7.41	2010	凡那比	31	7.46
尼伯特	2016/7/8	09:00	2005	龍王	33	6.74	2005	龍王	32	6.74	2005	龍王	31	6.76
尼伯特	2016/7/8	15:00	2015	杜鵑	43	4.86	2015	杜鵑	44	4.92	2015	杜鵑	45	5.02
尼伯特	2016/7/9	21:00	2009	蓮花	4	5.03	2009	蓮花	5	5.24	2009	蓮花	3	5.47
莫蘭蒂	2016/9/13	09:00	2005	龍王	9	21.43	2005	龍王	8	21.45	2005	龍王	10	21.46
莫蘭蒂	2016/9/13	15:00	2005	龍王	13	21.41	2005	龍王	15	21.41	2005	龍王	12	21.41
莫蘭蒂	2016/9/13	21:00	2015	杜鵑	9	26.82	2015	杜鵑	8	26.84	2015	杜鵑	6	26.86

預測颱風			最相似颱風				第二相似颱風				第三相似颱風			
名稱	日期	時間	日期	名稱	報數	歐氏距離	日期	名稱	報數	歐氏距離	日期	名稱	報數	歐氏距離
莫蘭蒂	2016/9/14	09:00	2015	杜鵑	32	21.43	2015	杜鵑	33	21.43	2015	杜鵑	31	21.47
莫蘭蒂	2016/9/14	09:00	2005	龍王	30	1.86	2005	龍王	29	2.18	2005	龍王	28	2.33
莫蘭蒂	2016/9/14	15:00	2005	龍王	30	6.31	2005	龍王	29	6.51	2005	龍王	28	6.59
莫蘭蒂	2016/9/15	21:00	1999	丹恩	41	6.03	2000	啟德	41	7.99	2000	啟德	30	8.00
梅姬	2016/9/26	09:00	2008	鳳凰	18	9.00	2008	鳳凰	19	9.05	2008	鳳凰	35	9.09
梅姬	2016/9/26	15:00	2003	杜鵑	22	4.69	2003	杜鵑	23	4.84	2003	杜鵑	24	5.02
梅姬	2016/9/26	21:00	2003	杜鵑	22	5.30	2003	杜鵑	23	5.37	2004	納坦	9	5.38
梅姬	2016/9/27	09:00	2013	天兔	43	4.57	2013	天兔	44	4.71	2013	天兔	45	4.89
梅姬	2016/9/27	15:00	2013	天兔	43	4.87	2013	天兔	44	4.91	2013	天兔	46	4.96

表 4-2 尼伯特颱風與蓮花颱風氣象因子比較

年份	颱風名稱	颱風強度	月份	中心氣壓(毫巴)	緯度	經度	預測進行速度(KM/HR)	方向	中心最大風速(m/s)	七級暴風半徑(KM)
2016	尼伯特	強烈	7	990	24.3	119.1	12	北北西	23	120
2009	蓮花	輕度	6	990	20.3	117.3	13	北北東	23	120

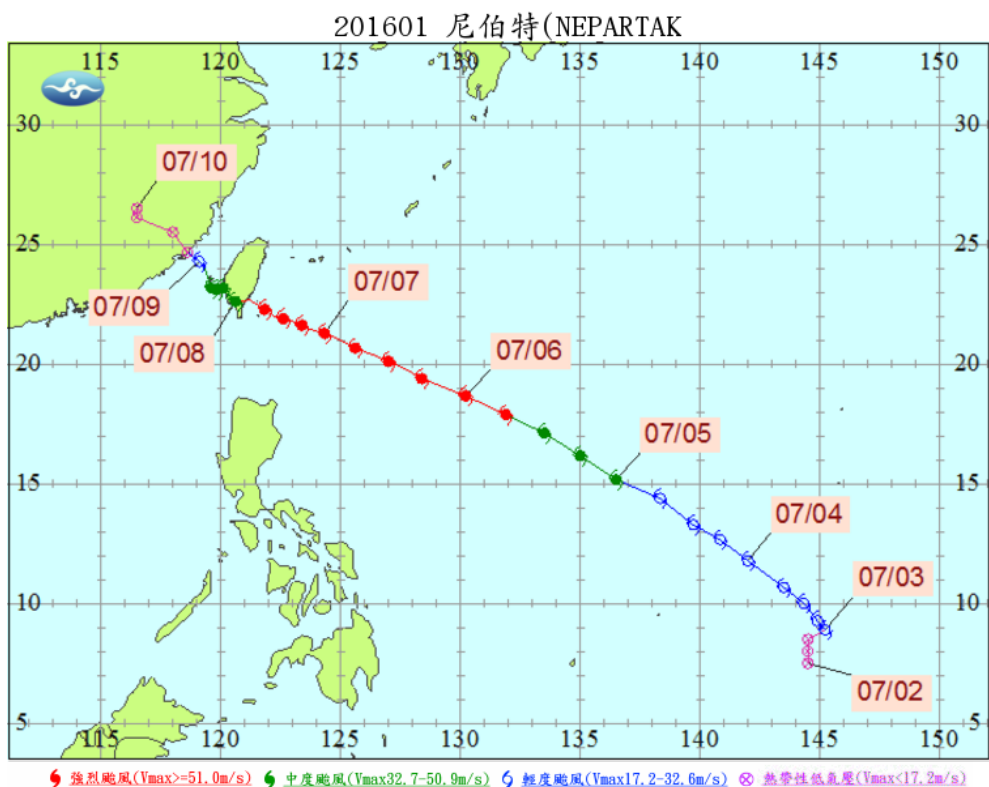


圖 4-3 尼伯特颱風行進路線圖

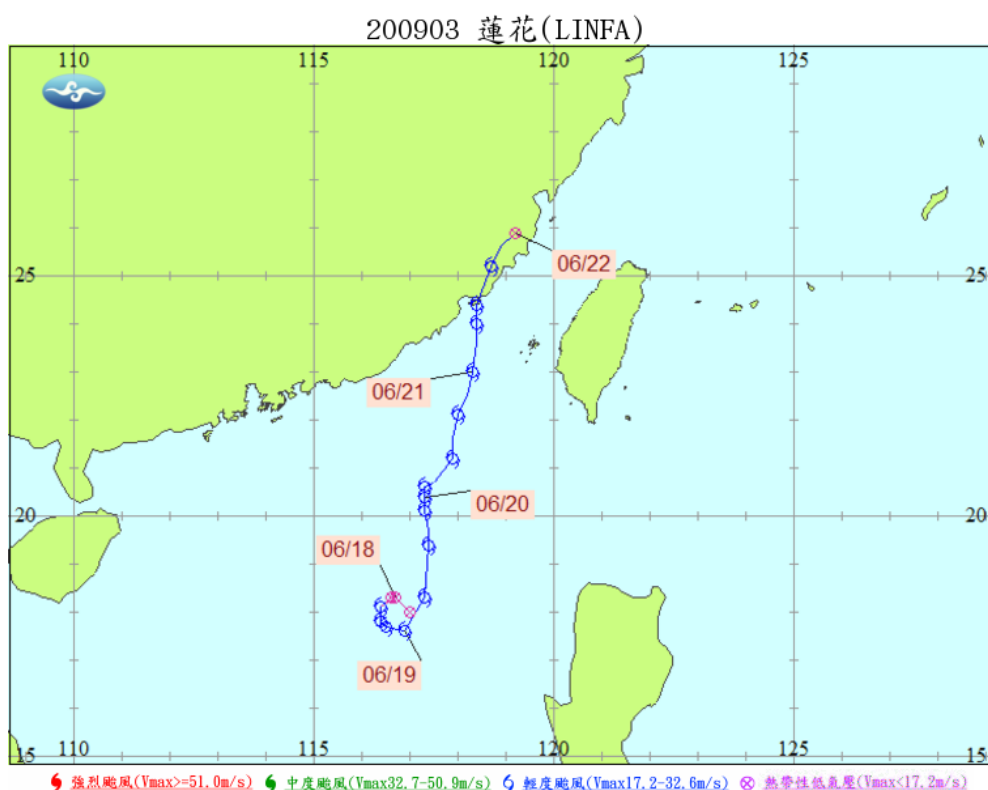


圖 4-4 蓮花颱風行進路線圖

因此本研究進行各氣象因子採標準化分析，透過統計方法將其數值對映到某個數值區間，使其因子有相同影響標準，再進行歐氏距離分析，其分析結果如表 4-3 所示。標準化後之分析結果，以尼伯特颱風為例，尼伯特颱風警報單各時段分析出來相似颱風為 2005 年海棠、2007 年聖帕颱風為主，其相似颱風氣象因子比較如表 4-4 至表 4-6 所示，路徑圖比較如圖 4-5、圖 4-6、圖 4-7，尼伯特颱風路徑與標準化後分析結果的相似性颱風有良好相似性，而莫蘭蒂颱風與梅姬颱風表現上亦有相當良好結果，故標準化能有效的修正氣象因子間尺度不同，對分析結果所造成影響。

表 4-3 相似颱風分析結果(氣象因子標準化)

預測颱風			最相似颱風				第二相似颱風				第三相似颱風			
名稱	日期	時間	日期	名稱	報數	歐氏距離	日期	名稱	報數	歐氏距離	日期	名稱	報數	歐氏距離
尼伯特	2016/7/6	15:00	2005	海棠	3	1.05	2005	海棠	1	1.21	2005	海棠	2	1.21
尼伯特	2016/7/6	21:00	2005	海棠	3	1.18	2005	海棠	7	1.33	2005	海棠	8	1.33
尼伯特	2016/7/7	09:00	2005	海棠	3	1.06	2005	海棠	2	1.23	2005	海棠	1	1.24
尼伯特	2016/7/7	15:00	2011	南瑪都	1	1.32	2005	海棠	3	1.33	2005	海棠	26	1.35
尼伯特	2016/7/7	21:00	2005	海棠	3	1.23	2011	南瑪都	1	1.27	2005	海棠	18	1.33
尼伯特	2016/7/8	09:00	2011	南瑪都	7	1.06	2011	南瑪都	8	1.06	2011	南瑪都	6	1.07
尼伯特	2016/7/8	09:00	2011	南瑪都	7	1.04	2011	南瑪都	8	1.04	2011	南瑪都	6	1.04
尼伯特	2016/7/8	15:00	2007	聖帕	43	1.15	2007	聖帕	42	1.16	2007	聖帕	41	1.16
尼伯特	2016/7/9	21:00	2005	海棠	76	0.64	2005	海棠	77	0.65	2005	海棠	78	0.65
莫蘭蒂	2016/9/13	09:00	2005	龍王	2	1.20	2005	龍王	1	1.21	2015	杜鵑	10	1.23
莫蘭蒂	2016/9/13	15:00	2015	杜鵑	12	1.21	2015	杜鵑	10	1.21	2015	杜鵑	14	1.21
莫蘭蒂	2016/9/13	21:00	2013	天兔	13	1.17	2013	天兔	12	1.17	2013	天兔	11	1.18
莫蘭蒂	2016/9/14	09:00	2013	天兔	21	1.05	2013	天兔	13	1.05	2013	天兔	20	1.05
莫蘭蒂	2016/9/14	09:00	2015	杜鵑	33	0.44	2015	杜鵑	32	0.45	2015	杜鵑	31	0.46
莫蘭蒂	2016/9/14	15:00	2015	杜鵑	33	0.72	2015	杜鵑	32	0.72	2015	杜鵑	31	0.73
莫蘭蒂	2016/9/15	21:00	2015	杜鵑	48	0.87	2015	杜鵑	47	0.87	2015	杜鵑	46	0.87
梅姬	2016/9/26	09:00	2007	韋帕	7	0.51	2007	韋帕	8	0.52	2007	韋帕	9	0.52
梅姬	2016/9/26	15:00	2003	杜鵑	22	0.64	2003	杜鵑	23	0.64	2003	杜鵑	24	0.65
梅姬	2016/9/26	21:00	2003	杜鵑	40	0.76	2003	杜鵑	41	0.77	2003	杜鵑	42	0.77
梅姬	2016/9/27	09:00	2010	凡那比	27	0.85	2010	凡那比	28	0.85	2010	凡那比	29	0.85
梅姬	2016/9/27	15:00	1997	安珀	6	0.87	1997	安珀	15	0.92	1997	安珀	14	0.92

表 4-4 尼伯特颱風與海棠歷史相似颱風氣象因子比較

年份	颱風名稱	颱風強度	月份	中心氣壓(毫巴)	緯度	經度	預測進行速度(KM/HR)	方向	中心最大風速(m/s)	七級暴風半徑(KM)
2016	尼伯特	強烈	7	910	21.6	123.4	13	西北西	55	200
2005	海棠	強烈	7	925	20.5	128.4	19	西北西	51	250

表 4-5 尼伯特颱風與聖帕歷史相似颱風氣象因子比較

年份	颱風名稱	颱風強度	月份	中心氣壓(毫巴)	緯度	經度	預測進行速度(KM/HR)	方向	中心最大風速(m/s)	七級暴風半徑(KM)
2016	尼伯特	強烈	7	940	22.6	120.6	13	西北	45	200
2007	聖帕	強烈	8	930	23.5	121.2	14	西北	48	250

表 4-6 尼伯特颱風與南瑪都歷史相似颱風氣象因子比較

年份	颱風名稱	颱風強度	月份	中心氣壓(毫巴)	緯度	經度	預測進行速度(KM/HR)	方向	中心最大風速(m/s)	七級暴風半徑(KM)
2016	尼伯特	強烈	7	940	22.6	120.6	13	西北	45	200
2011	南瑪都	強烈	7	940	19.3	121.6	9	北北西	45	180

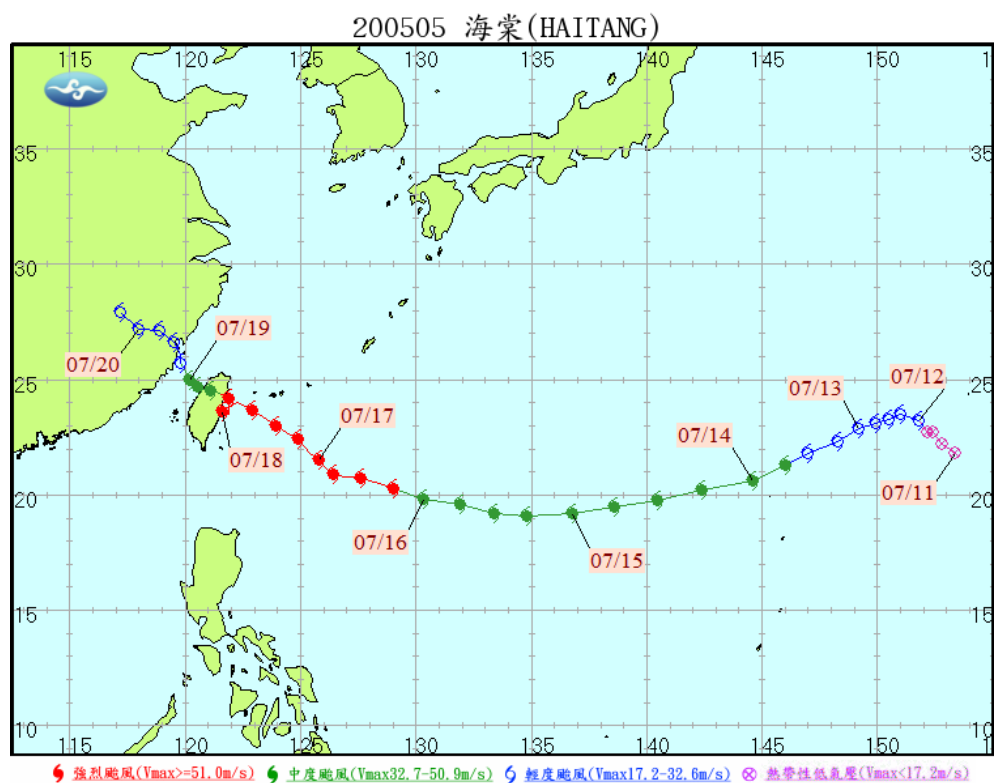


圖 4-5 2005 年海棠颱風行進路線圖

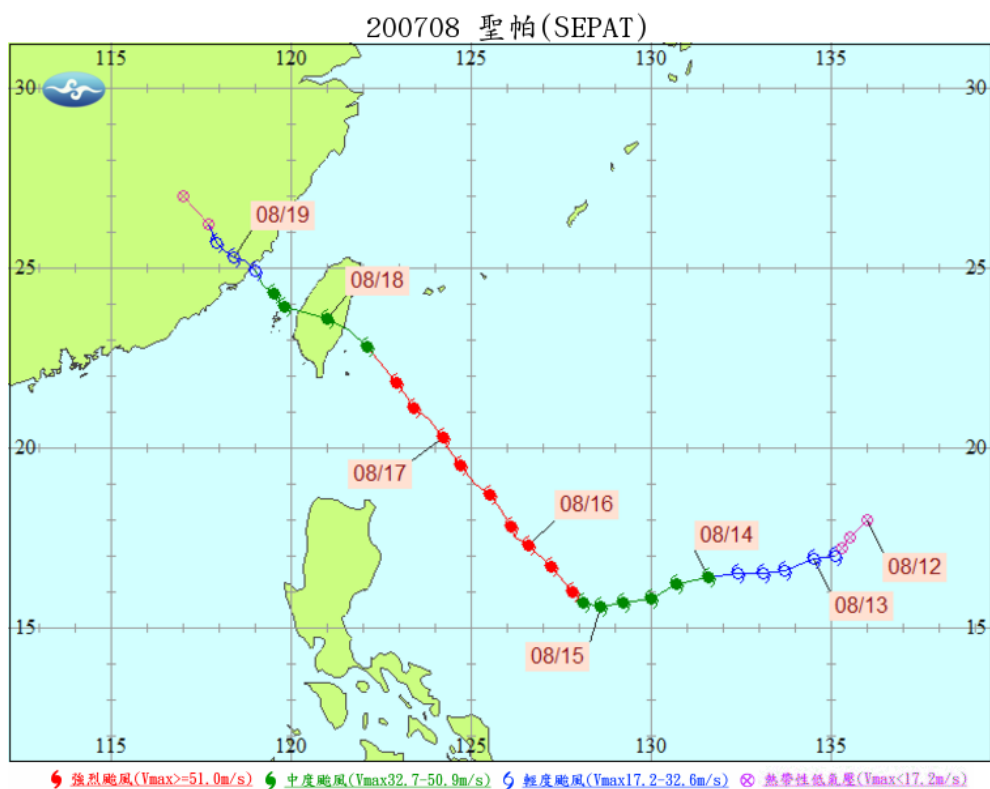


圖 4-6 2007 年聖帕颱風行進路線圖

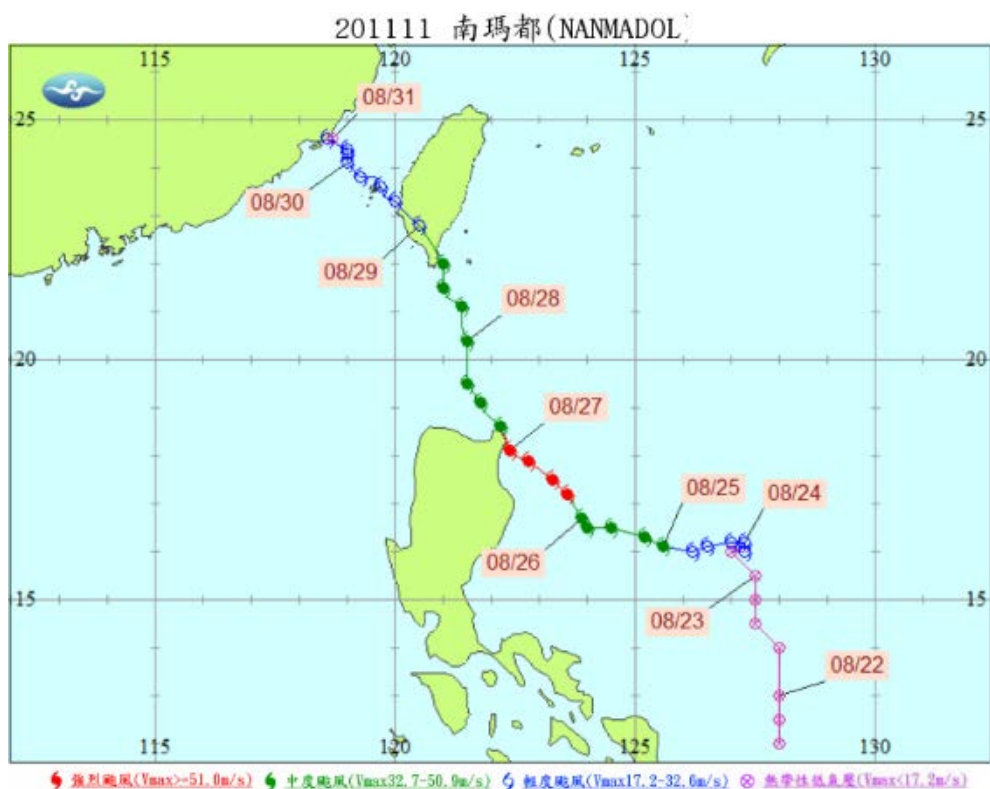


圖 4-7 2011 年南瑪都颱風行進路線圖

考量歐氏距離方法中各因子的權重相同，本研究將各颱風因子分為時空參數(中心位置、形成月份、行進方向)及氣象參數(中心氣壓、中心最大風速、七級暴風半徑、行進速度、強度)，其中形成月份以春冬颱風及夏秋颱風分類篩選，進行兩階段歐氏距離分析，第一階段先以時空參數篩選一定場次颱風數量，接著再以氣象參數將篩選出的颱風做相似性的排序。

以兩階段進行歐氏距離分析可提升相似性颱風之相似性，但第一階段篩選出的颱風需達到一定的數量場次，如表 4-7 所示，第一階段僅篩選 5 場颱風，其相似性颱風結果與篩選 10 場及 20 場不同，以 2016 年第 14 報的梅姬颱風為例，由氣象因子及路徑比對(如表 4-8 所示、圖 4-8、圖 4-9 及圖 4-10)顯示，第一階段篩選量僅 5 場颱風時，最相似颱風為 2008 年薔蜜颱風，而篩選量高於 10 場颱風時，最相似颱風為 2015 年杜鵑颱風，從兩者氣象因子及歷史路徑與現況颱風相互比較，顯示 2015 年杜鵑颱風與 2016 年梅姬颱風相似度較高，故當第一階段篩選量不足，其相似性颱風結果較差，而一篩初選量達一定數時，在篩選相似性颱風上，有相對較好的篩選結果。

表 4-7 第一階段以篩選不同數量颱風之最相似性颱風結果

現況颱風			篩選 5 場颱風			篩選 10 場颱風			篩選 20 場颱風		
年份	名稱	報數	年份	名稱	報數	年份	名稱	報數	年份	名稱	報數
2016	尼伯特	1	2005	海棠	1	2005	海棠	1	2005	海棠	1
2016	尼伯特	3	2005	海棠	2	2005	海棠	2	2005	海棠	2
2016	尼伯特	15	2008	鳳凰	12	2008	鳳凰	12	2008	鳳凰	12
2016	尼伯特	21	2008	鳳凰	18	2008	鳳凰	21	2008	鳳凰	21
2016	尼伯特	27	1994	提姆	6	1994	提姆	6	1994	提姆	6
2016	尼伯特	39	1996	葛樂禮	19	1996	葛樂禮	18	1996	葛樂禮	18
2016	尼伯特	45	2008	鳳凰	40	2008	鳳凰	36	2008	鳳凰	36
2016	尼伯特	51	1996	葛樂禮	19	2008	鳳凰	40	2008	鳳凰	40
2016	莫蘭蒂	4	2013	天兔	5	2013	天兔	5	2013	天兔	5
2016	莫蘭蒂	10	2013	天兔	15	2013	天兔	15	2013	天兔	15
2016	莫蘭蒂	17	2001	利奇馬	26	2001	利奇馬	26	2001	利奇馬	26
2016	莫蘭蒂	29	2001	利奇馬	52	2001	利奇馬	52	2001	利奇馬	52
2016	莫蘭蒂	35	2001	利奇馬	68	2001	利奇馬	63	2001	利奇馬	63
2016	莫蘭蒂	41	2001	利奇馬	81	2001	利奇馬	81	2001	利奇馬	81
2016	莫蘭蒂	53	2007	韋帕	38	2007	韋帕	36	2007	韋帕	36
2016	梅姬	4	2003	杜鵑	10	1990	楊希	2	1990	楊希	2
2016	梅姬	8	1990	楊希	2	1990	楊希	2	1990	楊希	2
2016	梅姬	14	2008	薔蜜	14	2015	杜鵑	10	2015	杜鵑	10

現況颱風			篩選 5 場颱風			篩選 10 場颱風			篩選 20 場颱風		
年份	名稱	報數	年份	名稱	報數	年份	名稱	報數	年份	名稱	報數
2016	梅姬	26	2015	杜鵑	21	2015	杜鵑	21	2015	杜鵑	21
2016	梅姬	33	2015	杜鵑	30	2015	杜鵑	30	2015	杜鵑	30
2016	梅姬	40	2015	杜鵑	36	2015	杜鵑	36	2015	杜鵑	36
2016	梅姬	52	1990	黛特	10	1990	黛特	10	1990	黛特	10
2016	梅姬	58	2015	杜鵑	48	2015	杜鵑	48	2015	杜鵑	48

表 4-8 梅姬颱風與杜鵑及薔蜜颱風氣象因子比較

年份	颱風名稱	颱風強度	月份	中心氣壓(毫巴)	緯度	經度	預測進行速度(KM/HR)	方向	中心最大風速(m/s)	七級暴風半徑(KM)
2016	梅姬	中度	9	950	21.8	125.3	21	西北西	43	250
2015	杜鵑	強烈	9	925	22.8	125.4	21	西北西	51	220
2008	薔蜜	強烈	9	925	21.2	124.9	17	西北西	53	280

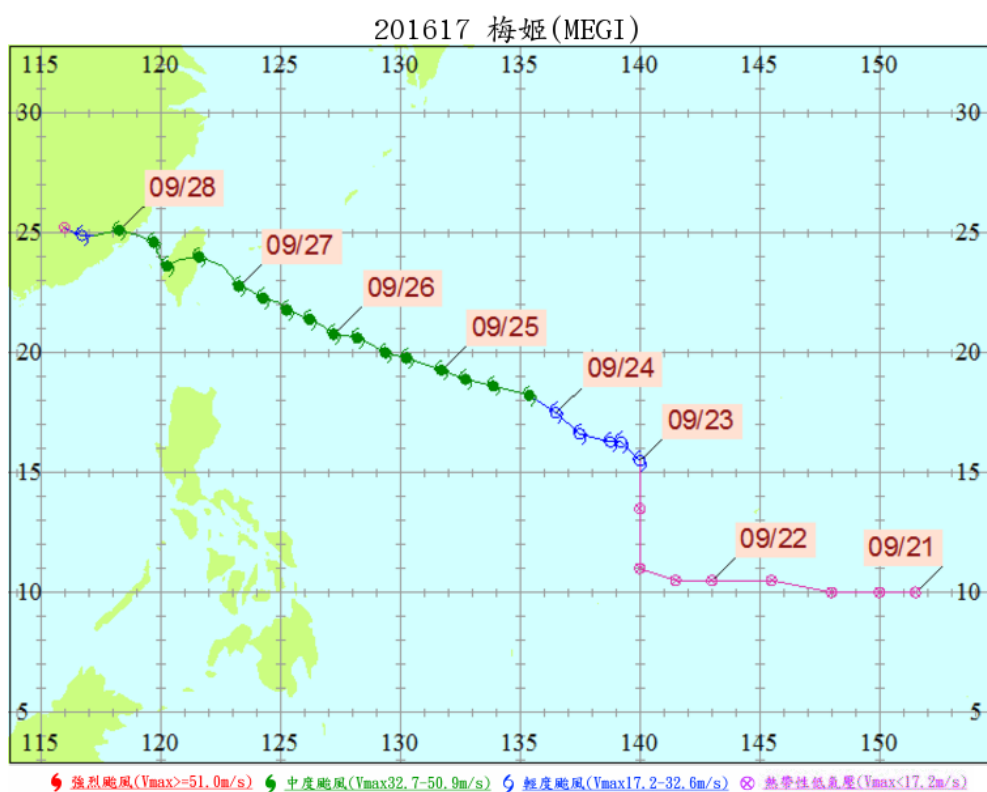


圖 4-8 2016 年梅姬颱風行進路線圖

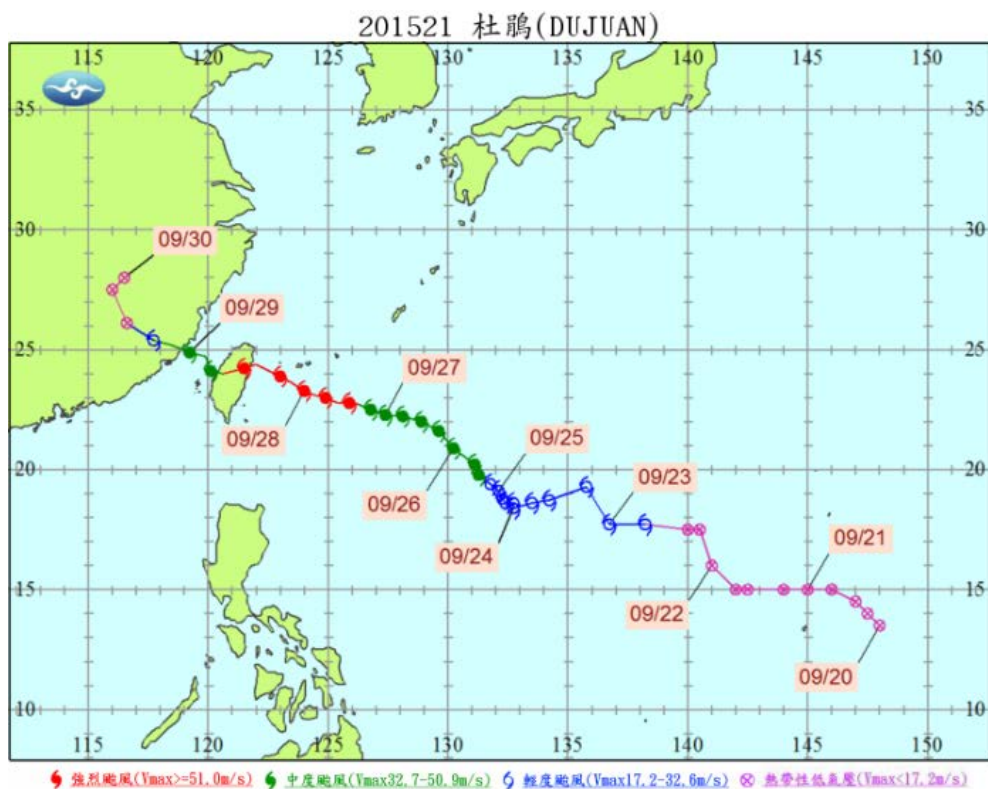


圖 4-9 2015 年杜鵑颱風行進路線圖

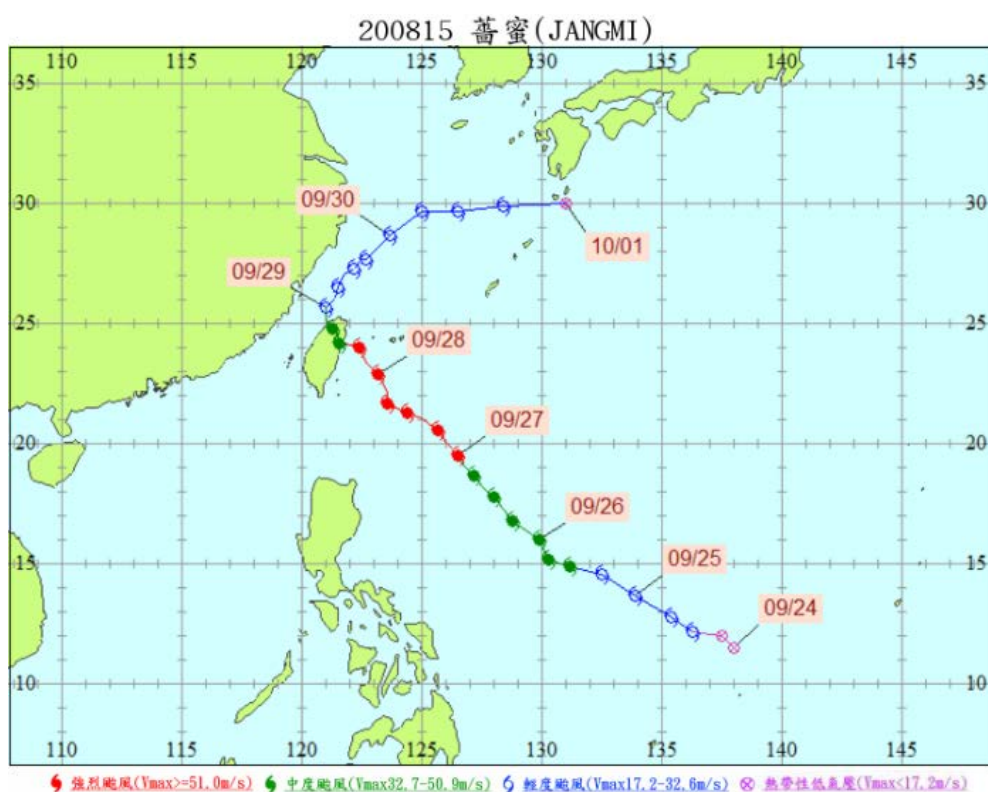


圖 4-10 2008 年薔蜜颱風行進路線圖

第五章 颱風降雨量預測模式

第一節 模式建置

本計畫應用人工智慧方法，分別建置平地與山區颱風降雨量預測模式，而目前蓬勃發展的人工智慧模式，考量方法與既有資料的特性，採用深度神經網路與遺傳規劃模式作為分析與比較。考量驗證結果呈現時於時間上一致性，平地與山區降雨量預測模式採用 2014 至 2016 年 6 場颱風為模式驗證資料；而建模資料考量其完整性，平地颱風降雨量預測模式以 1992 年至 2013 年作為建模資料、山區颱風降雨量預測模式以 1990 年至 2013 年作為建模資料。

壹、基本資料說明

本模式以本計畫颱風資料庫中的資料，取颱風中心距離與預測範圍的幾何重心、中心氣壓、預測進行速度、預測進行方位、暴風半徑(七級)、颱風強度、當下平均降雨量，共計 7 個因子為輸入因子，模式輸出項為該雨量測站未來 24 小時累積降雨量，本計畫分別針對臺中市平地與山區建置颱風降雨預測模式，考量中央氣象局發布海上颱風警報時，影響臺中市降雨較為低，故篩選海上陸上颱風警報單發布時間對映之輸入值、輸出值，透過深度神經網路與遺傳規劃法學習過去數據資料預測未來 24 小時累積降雨量。

貳、模式建置方法

本計畫採用深度神經網路模式與遺傳規劃模式作為降雨量模式建置，建置方法分別說明如下：

一、深度神經網路模式

深度神經網路颱風降雨量預測模式以資料庫之歷史颱風警報單與雨量值為基礎，並根據反向傳播(Back Propagation, BP)演算法進行訓練，並以每一輪反覆運算時更新參數減小損失，典型類神經網路架構如圖 5-1 所示，輸入層—用以接受外在環境的訊息；輸出層—用以輸出訊息給外在環境；隱藏層—將輸入與輸出層各處理單元間的相互關係充份地表現出來，而深度學習(Deep Learning)是以類神經網路架構為基礎，本計畫透過隱藏層的多層化，將數十乃至上百的多層化組織後，使用大量的資料進行機器

學習，使多層神經網路得以導出實務上可用的答案。

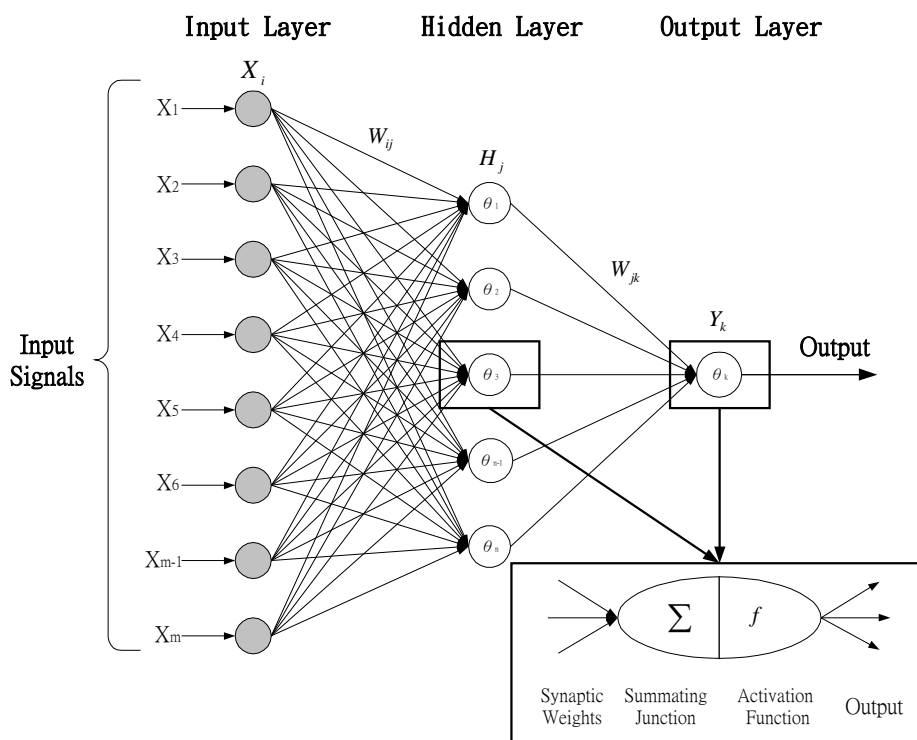


圖 5-1 典型類神經網路颱風降雨預測模式圖

而在過往傳統類神經網路式採用 BP 演算法訓練整個網路，隨機設置初始值，計算目前網路的輸出，然後根據目前輸出和訓練的標籤之間的差值改變前面各層的參數，以整體一個梯度下降法直到收斂，BP 演算法若以傳統訓練多層網路的典型演算法，存在著隨機初始化的值過大時容易陷入局部最優，當隨機初始化的值過小時訓練會比較困難(在反向傳播的時候梯度很快歸於零，錯誤訊息傳不到前面的層)，因此在多層神經網路並不理想。為了解決多層神經網路用傳統 BP 演算法難以訓練問題，Hinton(2006)教授在 Science 發表文章中，講解使用自編碼對資料進行降維方法，提出基於深度信念網路(Deep Belief Networks, DBN)，由多種波爾茲曼機(Restricted Boltzmann machine, RBM)所組成，以無監督的逐層預訓練，調整初始化參數。無監督的逐層訓練，概念和自編碼器(AutoEncoder)非常相似，以堆疊式自編碼器(Stacked Autoencoder)為例，此種網路由多個堆疊式結合的自編碼器組成，實際訓練過程說明如下：

- (一)使用自底向上(如圖 5-2 的左向右)非監督學習，從底層開始，一層一層往頂層訓練，採用無標定資料(有標定資料也可)分層訓練各層參數，這一

步可看作是無監督訓練過程，也可以看作是特徵學習過程，是和傳統神經網路區別最大的部分。透過 BP 方法利用所有資料對第一層自編碼器進行訓練($t=1$ ，圖中的綠色連結部分)，再訓練第二層自編碼器($t=2$ ，圖中紅色連結部分)，即 $t=2$ 的輸入是 $t=1$ 的輸出，此時可將 $t=1$ 看作特徵分析器，將原始資料轉為新的表示(即 $t=1$ 的隱藏層)後傳給 $t=2$ 層訓練， $t=2$ 層有加權仍然使用反向傳播的方法進行更新，對除最後一層以外的其他隱藏層用同樣的方法訓練。

(二)自頂向下(如圖 5-2 的右向左)的監督學習，就是透過帶標籤的資料更新所有層有加權，誤差自頂向下傳輸，對網路進行微調。

步驟(一)被稱為預訓練，會將網路裡的加權值初始化至一個合適的位置，於這一步並非隨機初始化，而是透過學習輸入資料的結構獲得，因此初始值更接近全域最佳，進而獲得更好的結果，但透過這訓練並無獲得一個輸入資料到輸出標記對映，故需透過步驟(二)以 BP 方法進行訓練，微調模式參數。

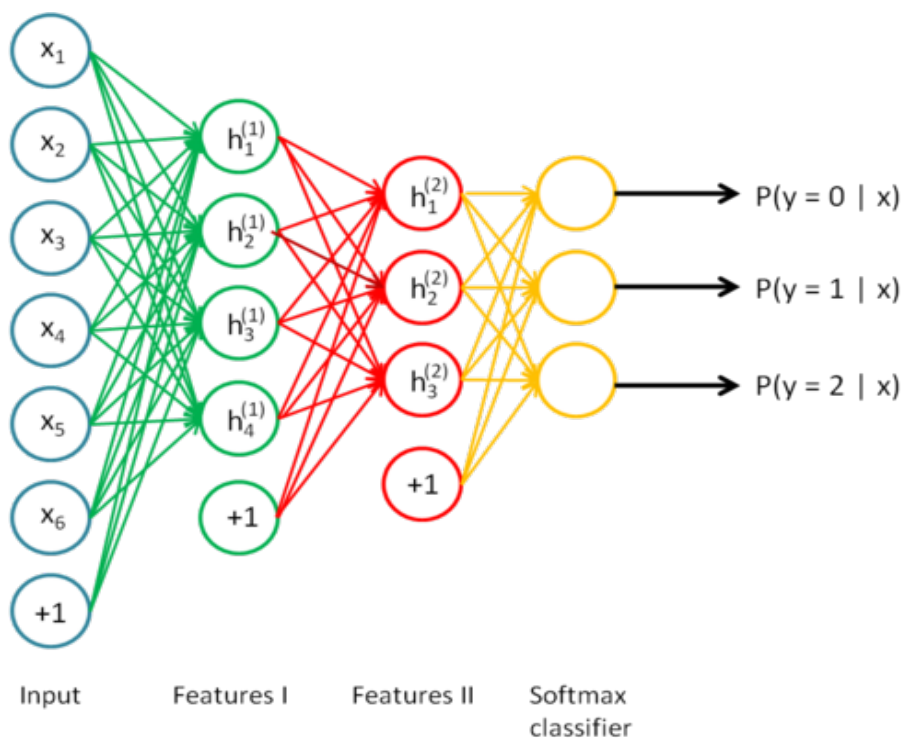


圖 5-2 堆疊式自編碼器網路

同理也可以將 RBM 建置深度學習網路，當學好一個 RBM 模型後，固定權重，然後上面累加一個新的隱藏層單元，原來 RBM 的隱藏層變成

它的輸入層，這樣就建置一個新的 RBM，同樣的方法學習它的權重，以此類推，可以疊加多個 RBM，組成深度網路，令 RBM 學習到的權重作為深度網路的初始權重，再用 BP 演算法進行學習。

二、遺傳規劃模式

遺傳規劃法(Genetic Programing, GP)由 1992 年美國史丹福大學 Koza 教授提出，靈感沿襲「達爾文」所發表生物繁衍演化歷程，生物不斷自然環境中尋求生存之道、調適環境挑戰、繁衍下一代，並有系統地評估、尋求最佳或近似最佳之方案。目的是希望電腦能在不提供它詳細程式指令下，自發學習解決問題。遺傳規劃的基本概念是沿襲遺傳演算法而來，同樣具有染色體、適合度函數、複製、交配及突變等運作機制；相異之處是，遺傳規劃進一步把所謂的基因樣式(0 與 1 的字串)，用語法樹取代之。因此，每一個在母體中的個體都代表了一組電腦程式，這些程式碼就如同基因一樣，經由演化過程的物競天擇，能尋求、生產出最佳的程式碼。

通常遺傳演算法(Genetic Algorithms, GA)以固定長度的二進位字串來表示染色體，而遺傳規劃則以大小、形狀和結構都具有高度變化的樹狀結構來表示染色體，如所示，分別代表不同的方程式。在建構模式結構方面，遺傳演算法是使用已知的結構來尋找最佳的模式參數，但遺傳規劃則是將模式結構連同模式參數同時建構完成。

(一)遺傳規劃法之基本結構

遺傳規劃的基本組成結構包括：

- 1.終端集合(Terminal Set)：是由輸入遺傳規劃程式中的值所組成之集合，可為常數或是變數，由於處於樹狀結構枝幹終端之葉片部分，因此被稱為終端集合，如圖 5-3 中 S_1 之 2、4、5 部分。
- 2.函數集合(Function Set)：函數集合可為算數運算函數(Arithmetic Operation)、邏輯函數(Logical Operation)或是使用者自行定義的函數等，如圖 5-3 中 S_1 之 1、3 部分。
- 3.適合度函數(Fitness Function)：為了計算並且評估染色體好壞所設計的方程式，染色體在經由適合度函數運算後會得到一個適合度值。適合度值

越接近我們希望的標準，表示被選取的機率越高。

4. 控制參數：包括族群的大小(Population Size)、交配的機率(Crossover Probability)及突變機率(Mutation Probability)等。

5. 中止條件：可設定為固定之世代數或是錯誤的容忍度。

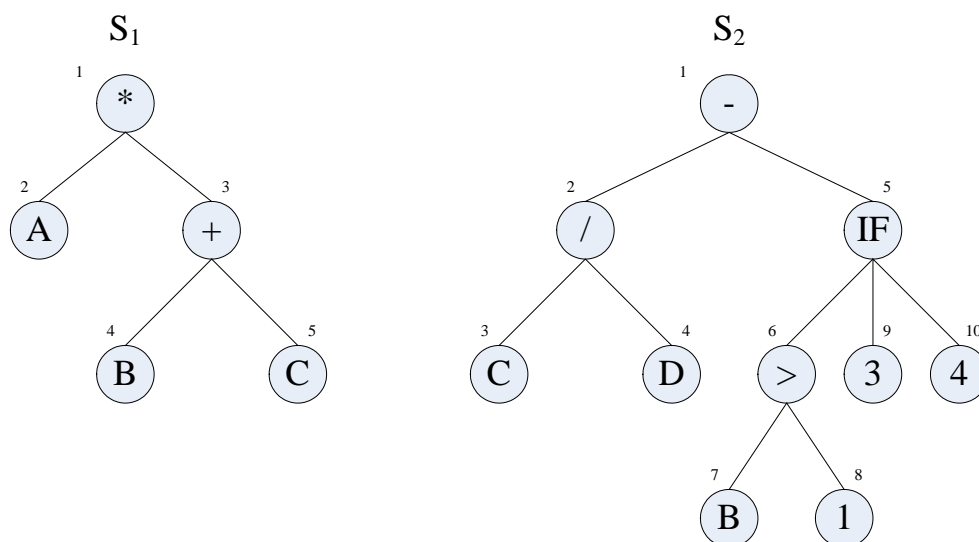


圖 5-3 語法樹示意圖

(二)遺傳規劃之主要運算子

1. 選擇(Selection)：選擇的機制是基於達爾文進化論之物競天擇、適者生存之理論，在進行交配與突變之前先行做一個選擇與淘汰的工作，常用的方法包括輪盤法 (Roulette Wheel Selection) 與競賽法 (Tournament Selection)。

2. 複製(Reproduction)：目的是希望優秀的染色體能夠完整的由母代複製到下一代。

3. 交配(Crossover)：目的是希望母代染色體中優秀的基因可以延續至下一代，運作方式為隨機選擇母代，並且隨機選擇節點為交配點，之後交換交配點以下之部分製造出兩個不同的子代。分別選擇 S_1 及 S_2 的交配點 5 和 2，產生出不同於母代之子代，如圖 5-4 所示。

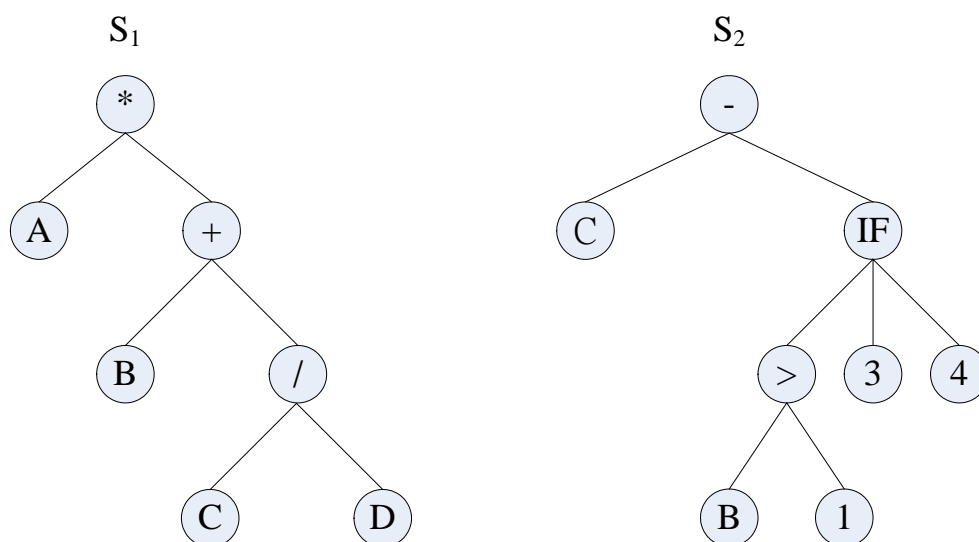


圖 5-4 遺傳規劃交配法示意圖

4.突變(Mutation)：目的是為了防止染色體掉入局部最佳解(Local Optimum)，或是避免染色體層數無限制的膨脹。一般運作方式為隨機選擇一個節點作為突變點，接下來運算子會從函數集合或終端集合中隨機選出來取代原本的基因。但在某些情況下染色體在世代不斷增加下會有成長的趨勢，為了避免樹層的膨脹，突變開始於隨機選擇樹中的基因，選擇的基因會被移去而用緊接其後的基因所取代，先前基因的所有參數將會被刪除，這種方法稱為收縮式突變，如圖 5-5 所示。

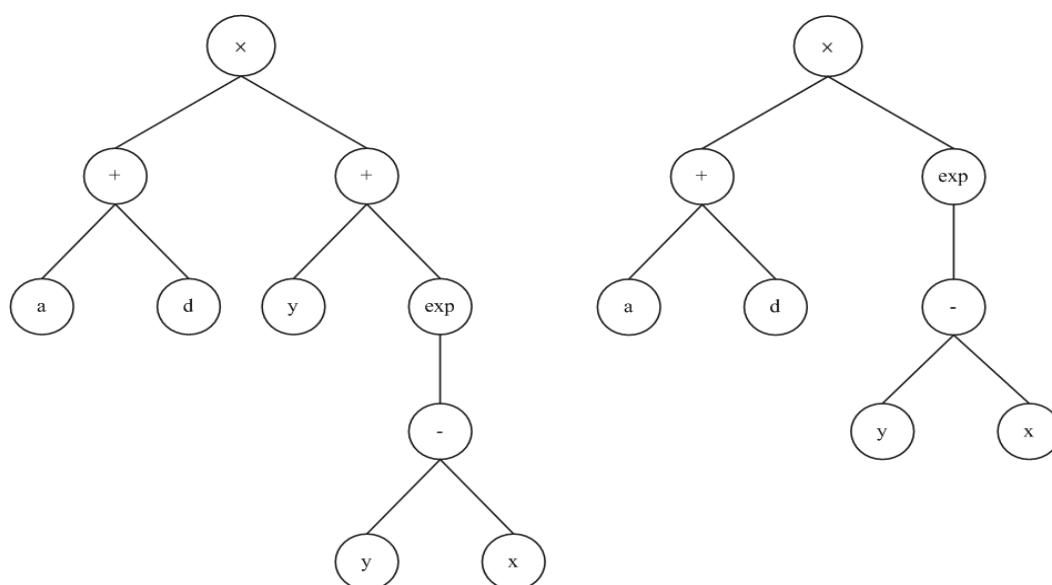


圖 5-5 遺傳規劃突變示意圖

(三)遺傳規劃法之特色

遺傳規劃法在決定函數集合與函數集合得組成之後，經過適合度之計算，在經由選擇、複製、交配與突變等機制，子代染色體取代了母體染色體，這個過程會一再重覆直到符合終止標準或是達到設定之世代數，遺傳規劃流程圖如圖 5-6 所示。對照 GA 及其他的技術，GP 有幾點重要的特色：

- 1.階級特性：電腦程式在以函數及接點方式結合成語法樹後就會有類似階級的結構。
- 2.動態變化：母代的大小及形狀經由進化過程改變，若大小及形狀事先固定會限制了系統解題的能力。這種特性使得 GP 可以適合解一些未知架構的問題。
- 3.資料表示：在 GP 中，資料通常以自然的型式輸入及輸出，資料的前處理或輸出的再處理是不太或是根本不需要的。
- 4.結果解釋：不像一些需要譯出結果的技術，GP 的結果是很容易的用來解決問題。此外，結果的程式架構在問題與參數之間可以有更好的洞察力。

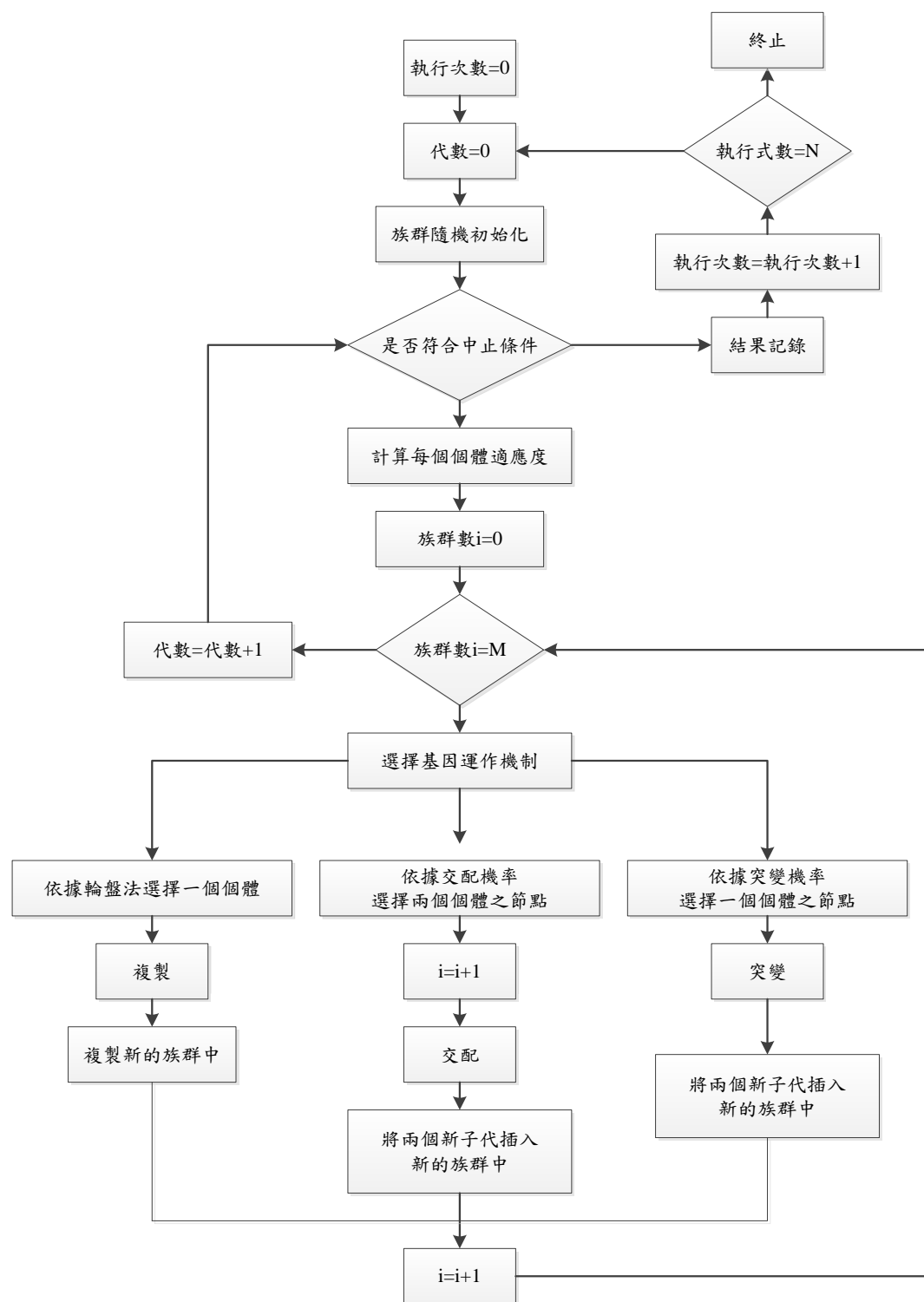


圖 5-6 遺傳規劃法流程圖(修改自 Koza,1992)

三、模式評鑑指標

本研究以下列評鑑指標用於評估雨量預測值與實際值之間的離散程度。
各項評鑑指標說明如下：

(一)效率係數(Coefficient of Efficiency, CE)

$$CE = 1 - \frac{\sum(R_{obs} - R_{est})^2}{\sum(R_{obs} - \bar{R}_{obs})^2} \quad (5.18)$$

式中 R_{obs} 為颱風警報單發佈時間後未來 24 小時累積降雨量(mm)觀測值， R_{est} 為模式推估之未來 24 小時累積降雨量(mm)， \bar{R}_{obs} 為觀測降雨量平均值(mm)，其值越接近 1 則是表示其誤差越小，代表該模式越佳。

(二)平均絕對值誤差(Mean Absolute Error, MAE)

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |R_{obs(i)} - R_{est(i)}| \quad (5.19)$$

式中 M 為資料數目， R_{obs} 為颱風警報單發佈時間後未來 24 小時累積降雨量(mm)觀測值， R_{est} 為模式推估之未來 24 小時累積降雨量(mm)，從 MAE 的大小，可以瞭解預測值與觀測值的離散程度。

(三)均方誤差(Mean Squared Error, MSE)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{obs(i)} - R_{est(i)})^2 \quad (5.20)$$

式中，n 為資料數目， R_{obs} 為颱風警報單發佈時間後未來 24 小時累積降雨量(mm)觀測值， R_{est} 為模式推估之未來 24 小時累積降雨量(mm)，從 MSE 的大小，可以瞭解預測值與觀測值的離散程度。

第二節 結果分析

本計畫分別以深度神經網路與遺傳規劃法建構臺中市颱風降雨預測模式，其深度神經網路模式選擇 Keras 作為程式編譯框架，以 Tensorflow 作為運算引擎；遺傳規劃法是以 Dominic Searson 用 Matlab 程式撰寫的基本框架為基礎；AI 模式的建置過程在參數設定上，仍然高度仰賴人的經驗，如神經網路架構中，網路層數、每層神經元個數、訓練演算法等超參數可能對最後結果有非常的影響。因此本計畫以檢定資料為基礎，利用試誤法方式選定最佳模式參數，深度神經網路模式參數如表 5-1 所示，遺傳規劃法模式參數如表 5-2 所示。最後再以不過度配適的(overfitting)最佳模式參數以驗證資料進行分析，檢定與驗證結果說明如下：

表 5-1 深度神經網路模式參數設定表

參數名稱	降雨量模式	
	平地	山區
訓練次數	1900	900
隱藏神經元個數	300	440
隱藏層數	3	
轉換函數	ReLU 函數	
損失速率	0.7	
批次數量	500	

表 5-2 遺傳規劃法模式參數設定表

參數名稱	降雨量模式	
	平地	山區
族群大小	2500	3000
世代數	3000	4500
基因參數	7	
最大樹高	10	
突變率	0.14	
交配率	0.84	
複製率	0.02	
基因突變機率(隨機選擇)	0.9、0.05、0.05、0、0、0	
運算函數	$\sqrt{\quad}$ 、 $\wedge 2$ 、sin、cos、+、-、×、÷	
生成常數節點機率	0.2	
常數範圍	-10 ~ 10	

壹、檢定結果分析

本計畫平地颱風降雨量預測模式以 1992 年至 2013 年作為檢定資料，共計 56 場颱風事件、2,321 筆輸入資料；山區颱風降雨量預測模式 1990 年至 2013 年作為檢定資料，共計 77 場颱風、2,857 筆輸入資料，經深度神經網路與遺傳規劃法訓練學習後，平地與山區颱風降雨模式檢定評鑑指標結果分別如表 5-3 與表 5-4 所列，檢定資料觀測值與預測值的數列繪製如圖 5-7 及圖 5-8 所示。檢定結果之評鑑指標顯示，以平地與山區颱風降雨預測模式中，CE 值、MAE 值與 MSE 值結果可看出深度神經網路模式比遺傳規劃法模式性能上表現較佳，而在深度神經網路模式評鑑指標結果於平地颱風降雨模式 CE 值為 0.92、MAE 為 13.72 mm、MSE 為 540.33 mm²；山區颱風降雨模式 CE 值為 0.95、MAE 值為 20.65 mm、MSE 值為 883.97 mm²，模式對未來 24 小時累積降雨的推論能力，以可用於建模的有限資訊而言，其於在平地與山區的推論堪稱優異。

表 5-3 檢定評鑑值彙整表(平地-颱風降雨預測模式)

模式類型	評鑑指標		
	CE	MAE	MSE
深度神經網路模式	0.92	13.72	540.33
遺傳規劃模式	0.45	39.61	3618.96

備註：MAE 單位為 mm；與 MSE 單位為 mm²。

表 5-4 檢定評鑑值彙整表(山區-颱風降雨預測模式)

模式類型	評鑑指標		
	CE	MAE	MSE
深度神經網路模式	0.95	20.65	883.97
遺傳規劃模式	0.53	60.93	7832.02

備註：MAE 單位為 mm；與 MSE 單位為 mm²。

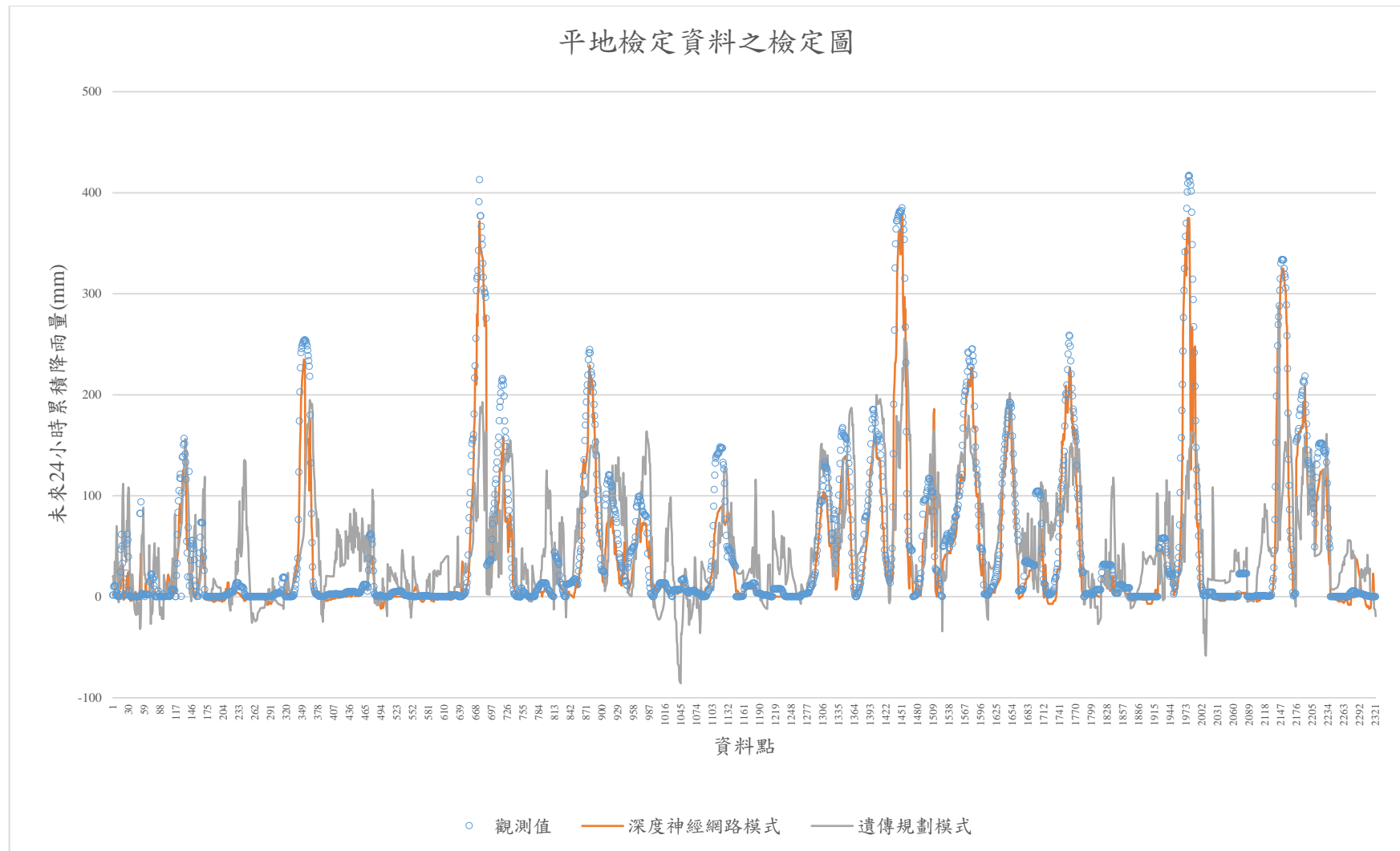


圖 5-7 檢定資料之檢定圖(平地-颱風降雨預測模式)

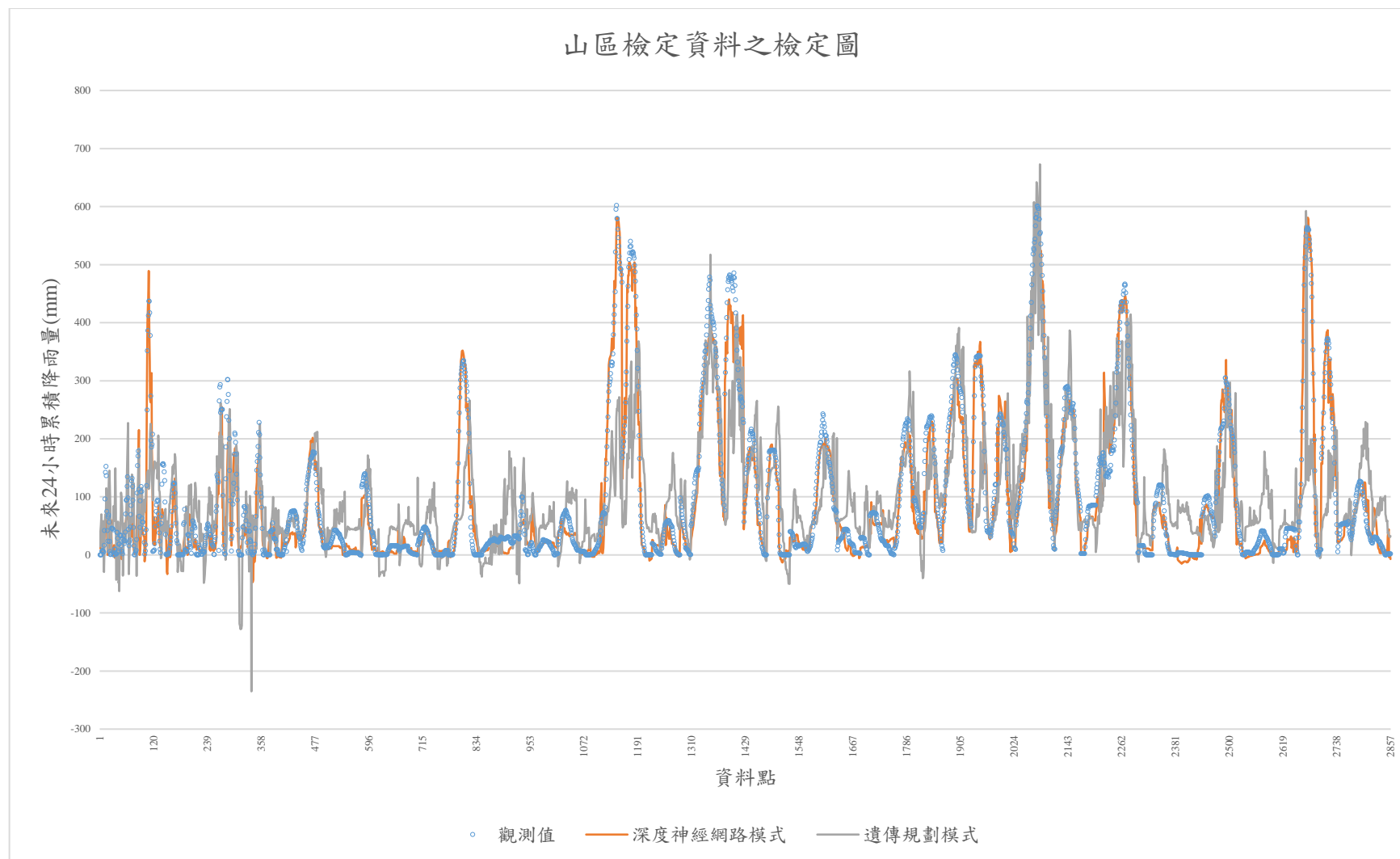


圖 5-8 檢定資料之檢定圖(山區-颱風降雨預測模式)

貳、驗證結果分析

本計畫選取 2014 年至 2016 年間鳳凰颱風、蘇迪勒颱風、杜鵑颱風、尼伯特颱風、莫蘭蒂颱風及梅姬颱風，共計 6 場颱風作為驗證，平地與山區颱風降雨模式驗證評鑑指標結果分別如表 5-5 與表 5-6 所列，各驗證颱風事件觀測值與預測值的數列繪製如圖 5-9~圖 5-20 所示。驗證結果之評鑑指標顯示，就模式的推論能力而言，在平地颱風降雨預測模式部分，深度神經網路模式於推估較佳的颱風事件為鳳凰與杜鵑，遺傳規劃模式推估較佳的颱風為蘇迪勒；就各事件的推論結果而言，本計畫所使用的兩個模式對尼伯特颱風皆不具推論能力，原因在於該事件實際在平地降雨甚少，迥異於建模過程歷史事件於模式中輸入與輸出間的關係；在山區颱風降雨預測方面，深度神經網路模式推估較佳事件為鳳凰颱風與杜鵑颱風，遺傳規劃法模式推估較佳事件為鳳凰颱風。

在模式整體性能比較上，於平地與山區颱風降雨預測模式中，深度神經網路模式與遺傳規劃法模式於山區模式皆優於平地模式，原因可能為在颱風期間，山區降雨情形較為明顯，加上颱風大氣環流場受限於地形影響，對於山區較有直接相關性，因此山區颱風降雨模式比平地颱風降雨模式表現較佳；於深度神經網路模式與遺傳規劃法模式中，平地颱風降雨模式在深度神經網路模式與遺傳規劃法模式結果較為相似，而山區颱風降雨模式在深度神經網路模式表現優於遺傳規劃模式，原因可能為模式在深度神經網路採用深度學習，利用隱藏層的多層化進行訓練，從原始訊息自然訊號中分析特徵，而遺傳規劃法模式得到之結果為一非線性之通式，為全域最佳化結果，其推論基礎未能具深度神經網路可容錯的能力，較難以詮釋氣象因子與未來 24 小時累積降雨量複雜過程。

深度神經網路模式與遺傳規劃模式並未能再每場颱風發揮至最好，主要原因於描述地球大氣環流場中是複雜的科學，以目前颱風氣象因子資料難以詮釋颱風期間所造成的降雨量情形，加上學習資料數據缺乏(僅 2,000 餘筆學習資料)，就深度學習架構確可提供一定詮釋能力推論模型。

表 5-5 驗證評鑑值彙整表(平地-颱風降雨預測模式)

颱風事件	深度神經網路模式			遺傳規劃模式		
	CE	MAE	MSE	CE	MAE	MSE
鳳凰	0.41	4.74	26.84	-0.06	5.19	48.47
蘇迪勒	-0.14	15.20	380.75	0.22	13.05	260.06
杜鵑	0.32	18.08	504.55	-0.29	26.08	940.45
尼伯特	-101.59	13.83	250.23	-60.35	11.34	149.64
莫蘭蒂	-14.54	13.82	269.67	-6.68	10.37	133.21
梅姬	0.20	16.39	527.16	-0.14	19.29	563.04

備註：MAE 單位為 mm；與 MSE 單位為 mm^2 。

表 5-6 驗證評鑑值彙整表(山區-颱風降雨預測模式)

颱風事件	深度神經網路模式			遺傳規劃模式		
	CE	MAE	MSE	CE	MAE	MSE
鳳凰	0.88	6.74	63.44	0.43	13.67	304.45
蘇迪勒	0.41	41.93	2749.36	0.04	55.15	4466.18
杜鵑	0.88	22.34	820.51	-0.13	74.78	7748.59
尼伯特	-5.21	38.12	2281.91	-3.64	36.65	1706.87
莫蘭蒂	-7.42	57.99	7391.70	-0.36	28.39	1196.79
梅姬	0.09	48.46	5590.56	-0.29	83.31	10453.56

備註：MAE 單位為 mm；與 MSE 單位為 mm^2 。

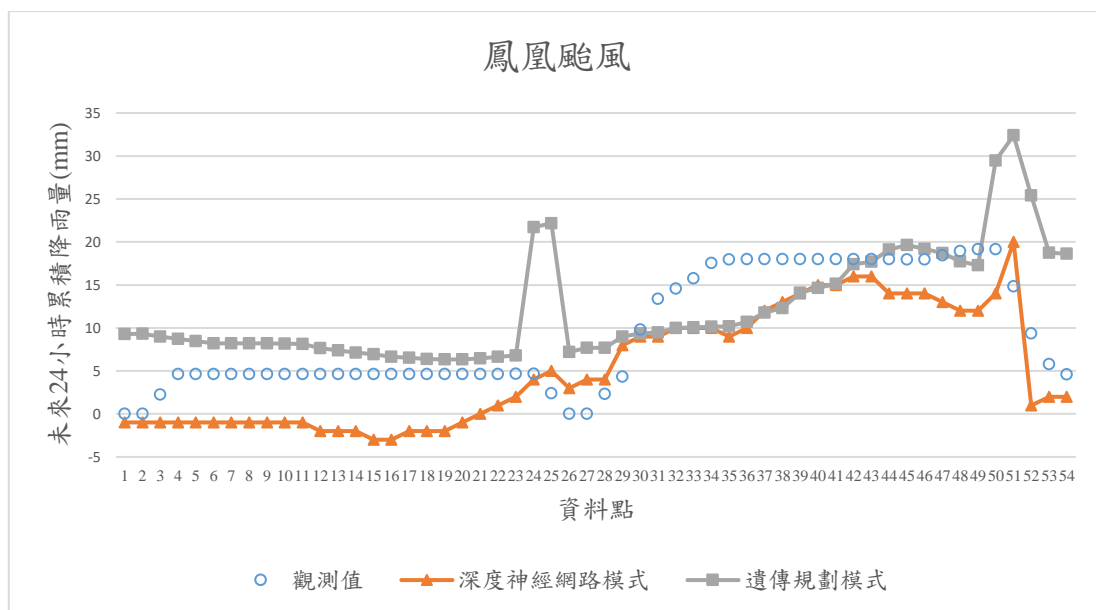


圖 5-9 鳳凰颱風驗證圖(平地-降雨預測模式)

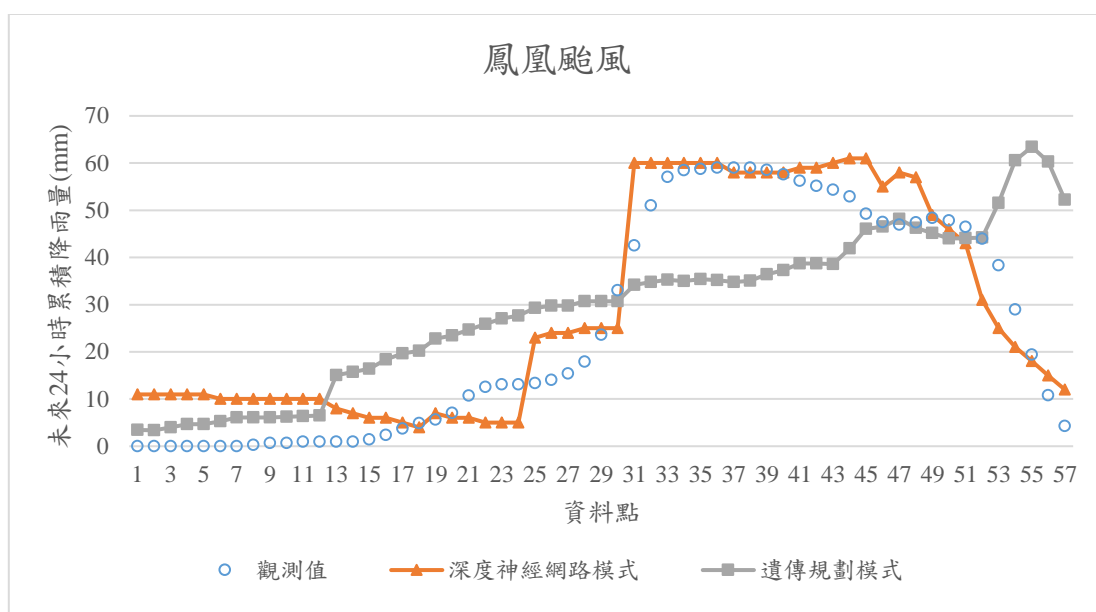


圖 5-10 鳳凰颱風驗證圖(山區-降雨預測模式)

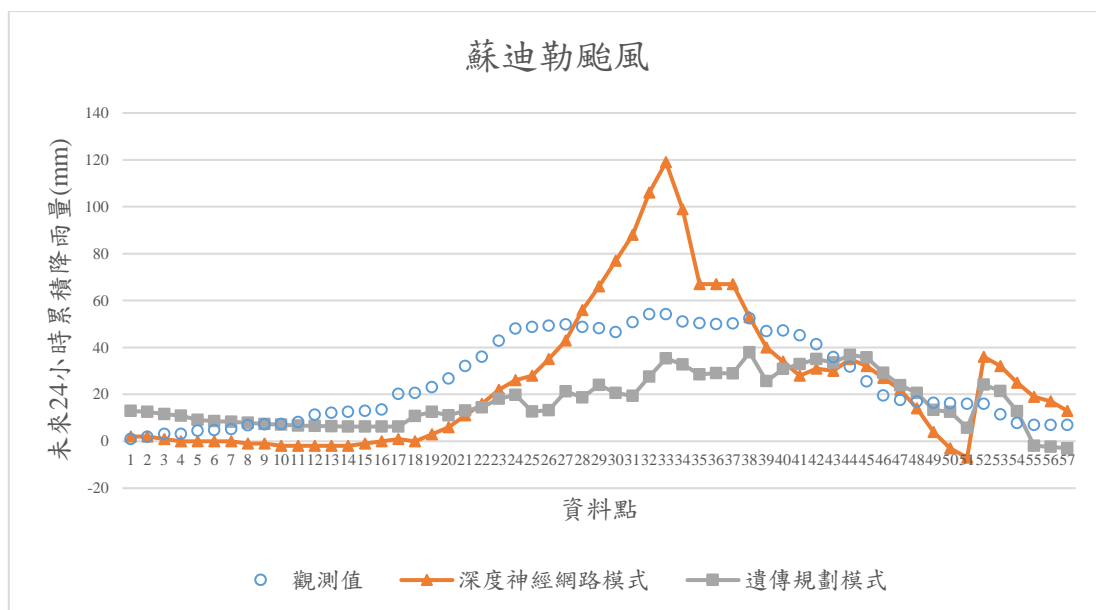


圖 5-11 蘇迪勒颱風降雨量驗證圖(平地-降雨預測模式)

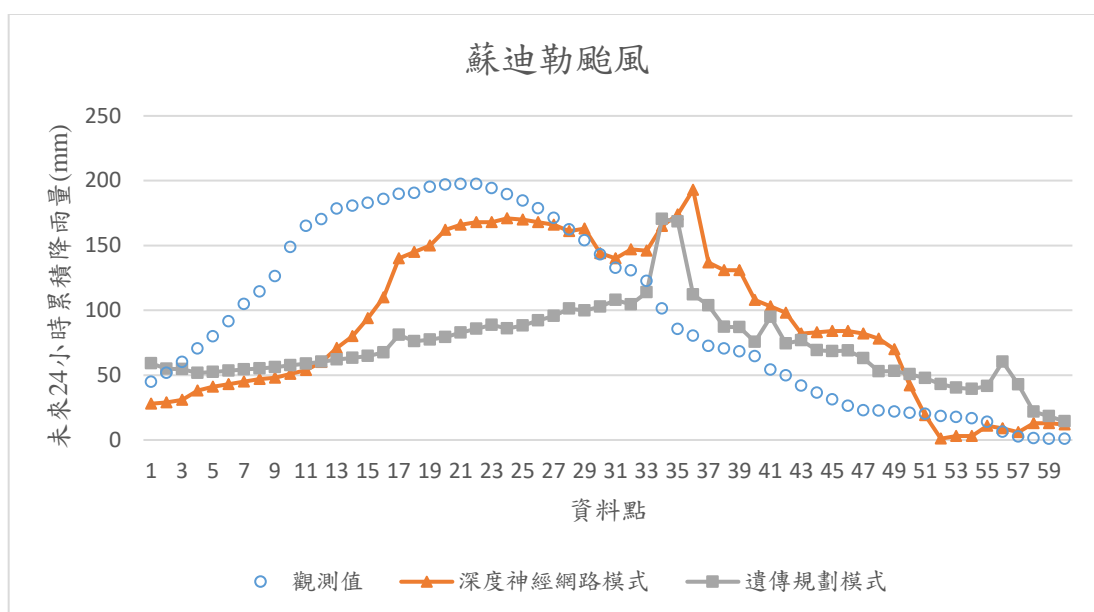


圖 5-12 蘇迪勒颱風降雨量驗證圖(山區-降雨預測模式)

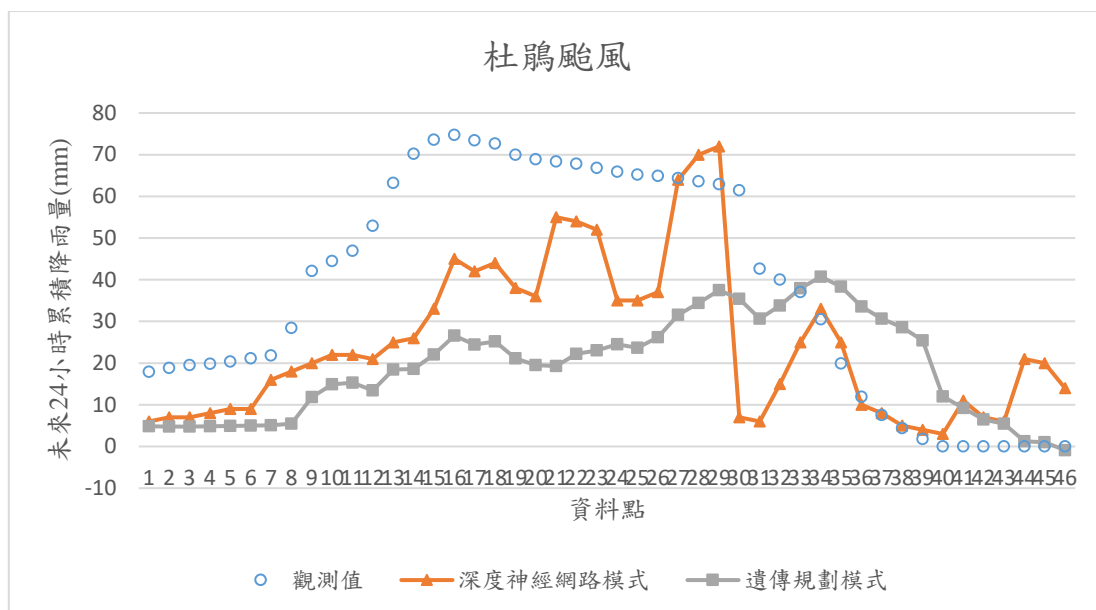


圖 5-13 杜鵑颱風降雨量驗證圖(平地-降雨預測模式)

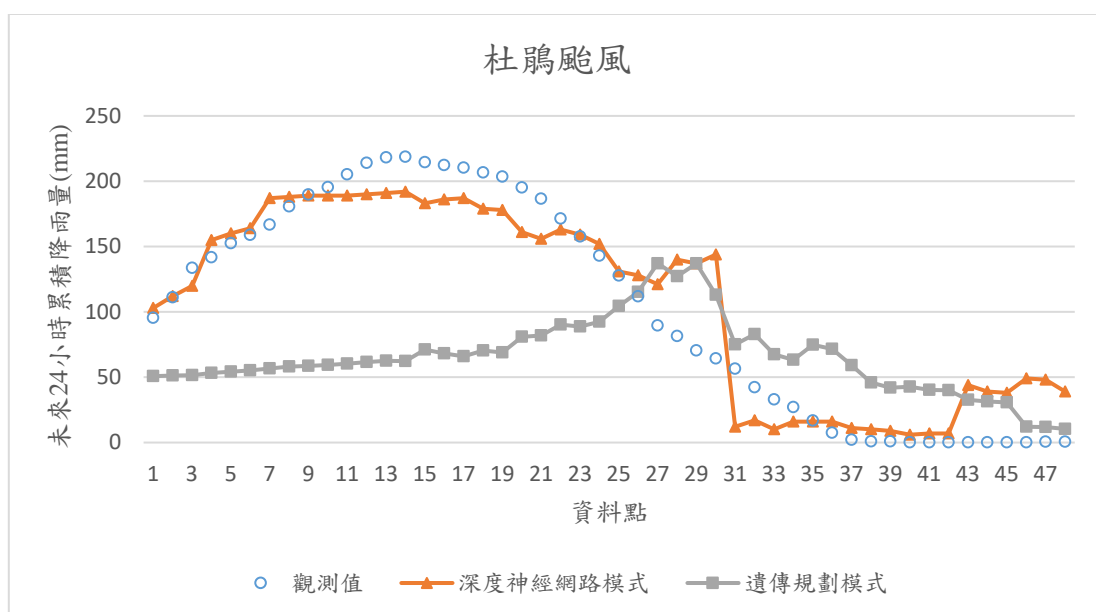


圖 5-14 杜鵑颱風降雨量驗證圖(山區-降雨預測模式)

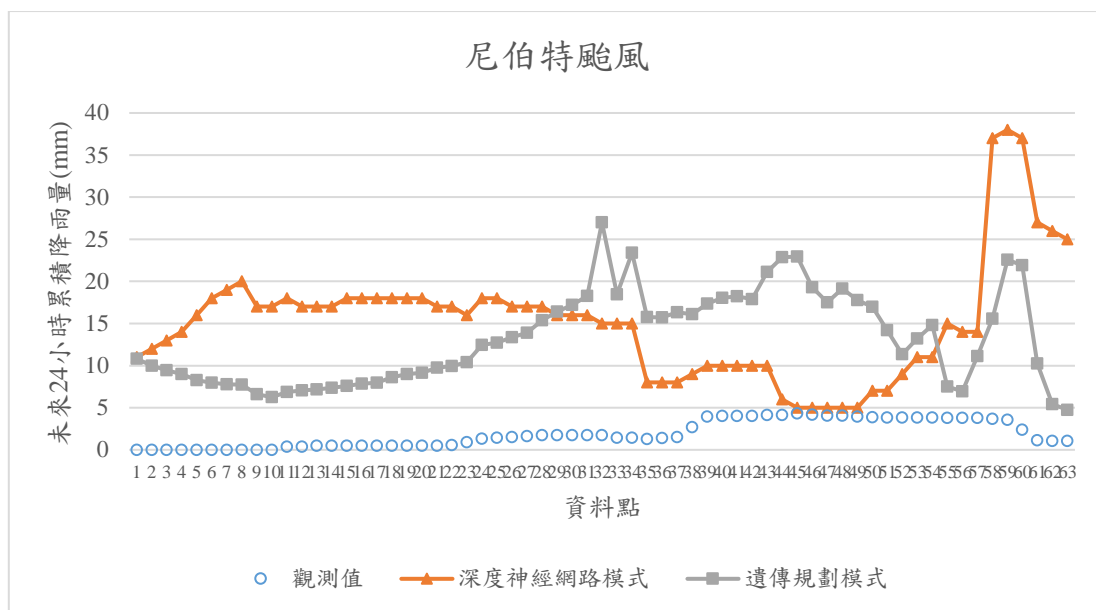


圖 5-15 尼伯特颱風驗證圖(平地-降雨預測模式)

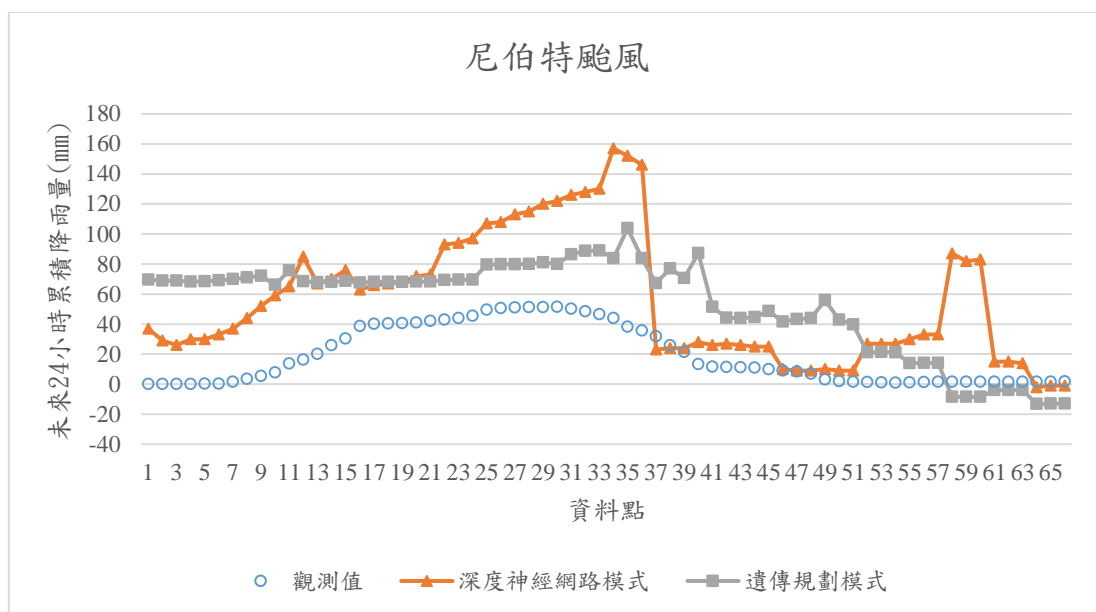


圖 5-16 尼伯特颱風驗證圖(山區-降雨預測模式)

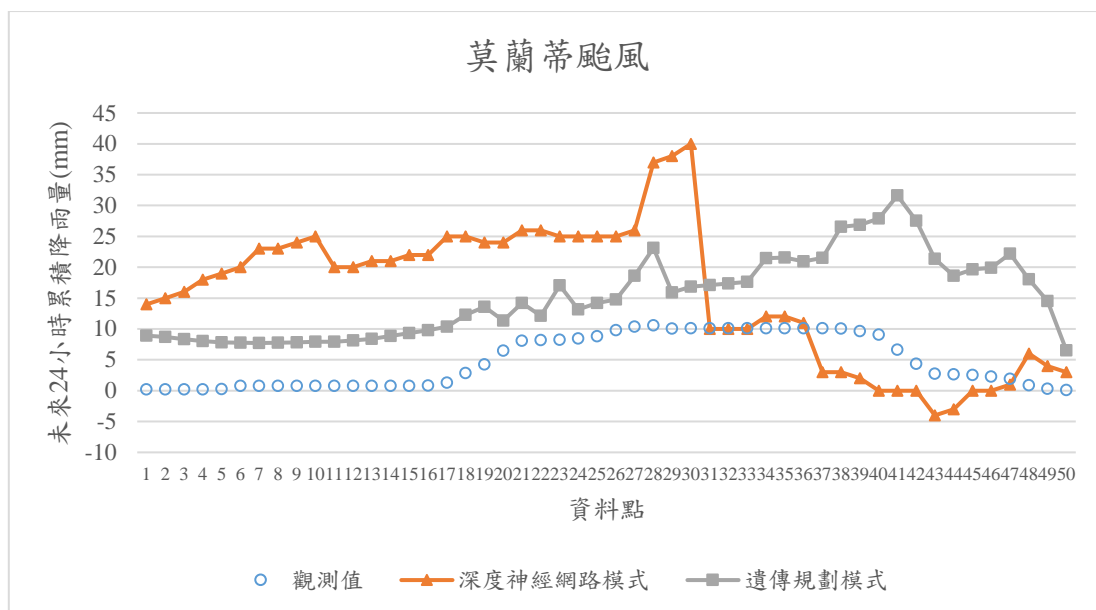


圖 5-17 莫蘭蒂颱風驗證圖(平地-降雨預測模式)

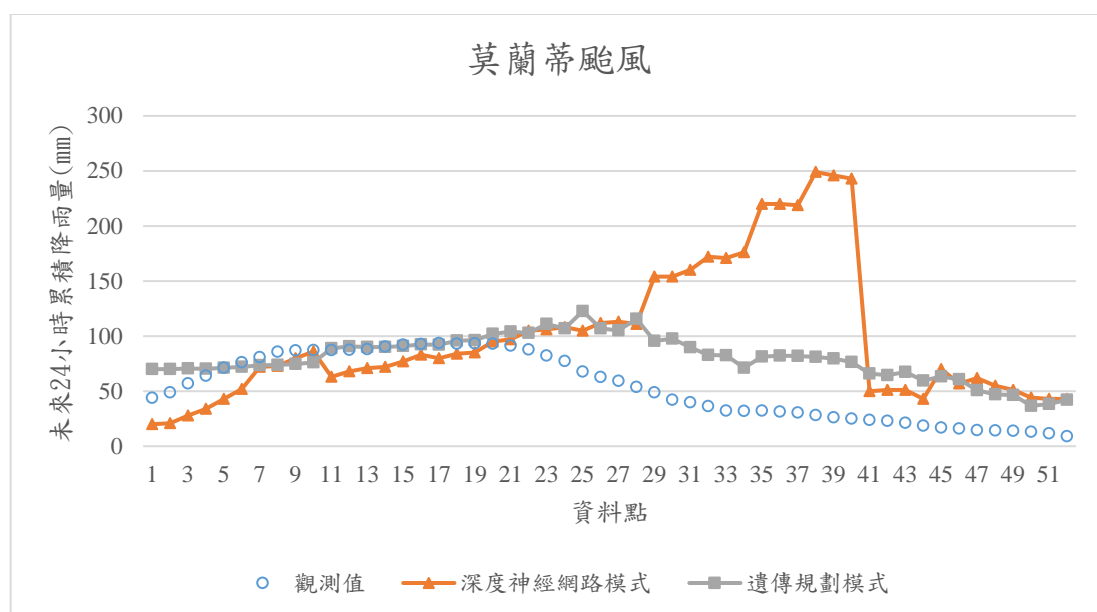


圖 5-18 莫蘭蒂颱風驗證圖(山區-降雨預測模式)

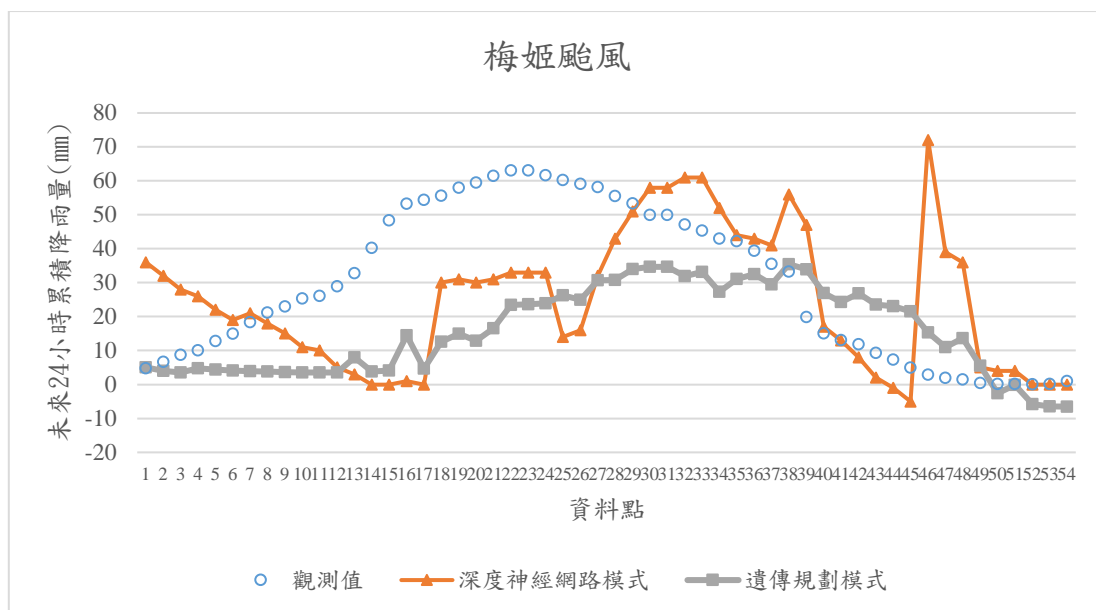


圖 5-19 梅姬颱風驗證圖(平地-降雨預測模式)

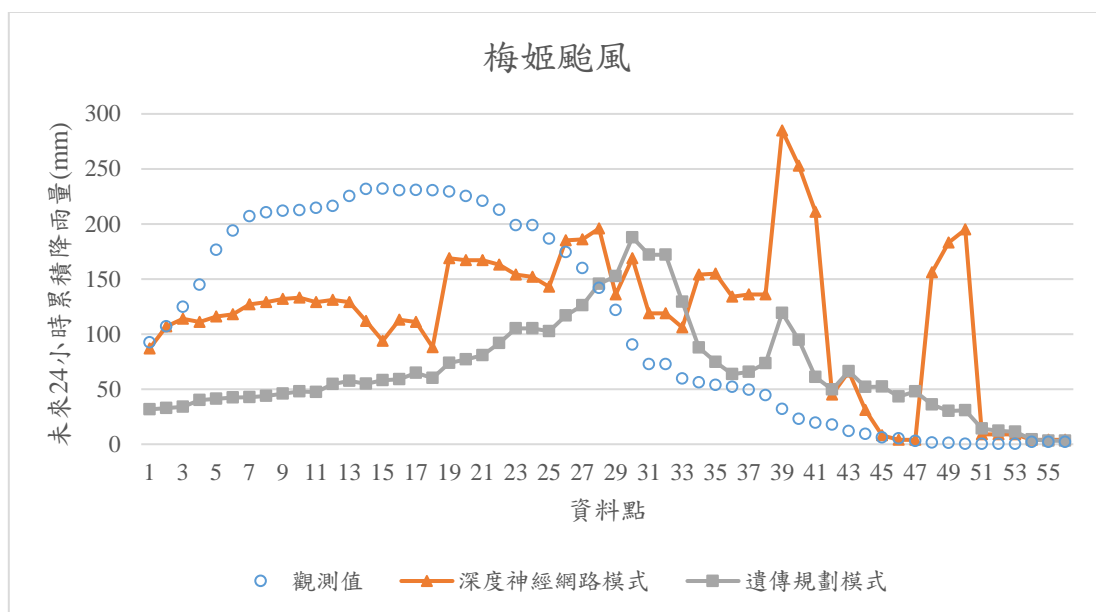


圖 5-20 梅姬颱風驗證圖(山區-降雨預測模式)

第六章 模式應用-防災避難預警系統

第一節 防災避難預警系統燈號制定標準

在發生颱風時，中央災害防救業務主管機關透過警戒標準發佈警訊，實施減災應變等作為，而本計畫依據行政院各類災害警戒顏色燈號意涵(中央災害防救會報第 21 次會議通過)，及中央各部會既有之相關災害警戒分級方式，建立水土保持局防災預警避難系統。中央各部會既有之相關災害警戒顏色燈號分級方式如下所示：(1)交通部中央氣象局：颱風警報、熱帶性低氣壓特報、豪雨特報及大雨特報警戒顏色燈號分級方式，如表 6-1 所示。(2)行政院農業委員會水土保持局：土石流黃色、紅色警戒顏色燈號，如表 6-2 所示。

表 6-1 中央氣象局颱風警報及豪雨特報警戒顏色燈號訂定標準

警特報種類		顏色	定義
颱風警報	海上陸上颱風警報	紅色	預測颱風之七級風暴風範圍可能侵襲臺灣本島、澎湖、金門或馬祖陸上之前十八小時。
	海上颱風警報	橙色	預測颱風之七級風暴風範圍可能侵襲臺灣本島、澎湖、金門或馬祖一百公里以內海域時之前二十四小時。
	解除警報	綠色	颱風之七級風暴風範圍離開臺灣本島、澎湖、金門及馬祖近海時，應即解除颱風警報；颱風轉向或消滅時，得直接解除颱風警報。
熱帶性低氣壓特報		黃色	熱帶性低氣壓有威脅台灣或鄰近海域，或有增強為輕度颱風之可能時。
豪雨特報	超大豪雨	紅色	若 24 小時累積雨量達 500 毫米以上之降雨現象。
	大豪雨		若 24 小時累積雨量達 350 毫米以上之降雨現象。
	豪雨	橙色	指 24 小時累積雨量達 200 毫米以上，或 3 小時累積雨量達 100 毫米以上之降雨現象。
大雨特報		黃色	指 24 小時累積雨量達 80 毫米以上，或時雨量達 40 毫米以上之降雨現象。

表 6-2 行政院農業委員會水土保持局土石流警戒燈號訂定標準

警戒種類	顏色	定義
土石流黃色警戒	黃色	該地區預測雨量大於土石流警戒基準值時，即發布該地區為二級(黃色警戒)土石流警戒區。 地方政府應進行疏散避難勸告。
土石流紅色警戒	紅色	該地區實際降雨大於土石流警戒基準值時，即發布該地區為一級(紅色警戒)土石流警戒區。 地方政府得依各地區當地雨量及實際狀況進行指示撤離強制疏散。

由於各權屬機關防救災人員需第一時間接受多種資訊來源，導致防救災人員資訊混雜，無統整一致性之資訊可遵循，以至於大幅度減低警戒之效能。因此，行政院於 101 年 3 月 27 日院臺忠字第 1010126718A 號意函，規劃各類災害警戒等級之顏色及燈號所表示之意涵，訂定統一顏色燈號分類並定義其代表意義，本計畫依上述中央各部會警戒顏色燈號訂定標準，分兩項資訊，包含「氣象預警報」、「土石流警戒資訊」，並依行政院制定之「各類災害警戒顏色燈號訂定原則」，將災害警戒依照危險等級分為綠、黃、橙、紅四個燈號，綠色為平時、黃色為注意、橙色代表加強注意、紅色代表強制，建置防災避難預警系統之架構如表 6-3 所示，供水土保持局防救災人員發布警戒參照使用。

表 6-3 防災避難預警系統

顏色 燈號	啟動時機		開設狀況
	氣象預警	土石流預警	
綠色	一般狀況、平時、整備作業		
黃色	1.中央氣象局發布熱帶性低氣壓特報(威脅臺灣或鄰近海域或增強為輕度颱風之可能)且大雨警報。 2.大雨警報發布且預測降雨模式推估未來 24 小時累積降雨量超過 80 毫米以上。	黃色土石流潛勢溪流警戒發布 預測未來 24 小時累積降雨量>警戒值	二級開設
橙色	1.中央氣象局發布海上颱風警報且豪雨等級。 2.豪雨警報發布且預測降雨模式推估未來 24 小時累積降雨量超過 200 毫米以上。	紅色土石流潛勢溪流警戒發布 實際值>警戒值	一級開設 整備階段
紅色	1.中央氣象局發布海上陸上颱風警報且大豪雨等級。 2.豪雨警報發布且預測降雨模式推估未來 24 小時累積降雨量超過 350 毫米以上。	紅色土石流潛勢溪流警戒發布 實際雨量>警戒值	一級開設 應變階段

備註：行政院 101 年 3 月 27 日願台忠字第 1010126718A 號意函，規劃各類災害警戒等級之顏色及燈號所表示之意涵，訂定統一顏色燈號分類並定義其代表意義。

防災避難預警系統主要應用於颱風侵襲期間，以供決策者於應變時期之參考，而水土保持局管轄多屬於山區，故採用本計畫山區降雨推估模式作為應用，臺中市土石流潛勢溪流警戒值範圍 300 至 600mm 間(如表 6-4)。

表 6-4 臺中市行政區土石流潛勢溪警戒值

鄉鎮	村里	潛勢溪流數	警戒值
太平區	光隆里	1	450
	黃竹里	1	
	興隆里	1	
	東汴里	3	
	頭汴里	1	
	大興里	2	
北屯區	民德里	3	450
外埔區	水美里	2	550
和平區	博愛里	4	300
	博愛里	3	
	天輪里	2	
	天輪里	3	
	南勢里	3	
	自由里	8	
	梨山里	3	
	平等里	2	
	博愛里	8	
	達觀里	6	
東勢區	明正里	1	350
	茂興里	1	
	上城里	1	
	慶東里	1	
	東新里	1	
	泰昌里	1	
	慶福里	8	
	隆興里	6	
清水區	埤頭里	1	600
	吳厝里	1	
	福興里	6	
	中和里	8	
	協成里	7	
	崑山里	1	
	聚興里	1	
	吉峰里	1	
	桐林里	2	
霧峰區	萊園里	1	500
	峰谷里	2	
	萬豐里	2	
	萬豐里	2	
	萬豐里	2	

資料來源：行政院農業委員會水土保持局，土石流防災資訊網
(<https://246.swcb.gov.tw/debrisInfo/Debris.aspx>)

第二節 實際案例

颱風時期，透過第四章兩階段歐氏距離比對方法可得知過去相似颱風因子情況下，瞭解致災的程度；透過第五章颱風降雨預測模式結果，預測未來 24 小時累積降雨量，並且應用於防災避難預警系統，給予決策者輔助之資訊。本節實際案例以 2015 年杜鵑颱風為例，其杜鵑颱風當時基本資訊之行徑路線與最大 24 小時累積降雨量分別如圖 6-1、圖 6-2 所示，本計畫以中央應變中心發布工作會報時間點 9:00、15:00、21:00 進行分析與討論，並與中央氣象局降雨預報(未來 24 小時預測降雨)進行比較，說明結果如下：

壹、颱風相似度比對方法

就第四章兩階段歐氏距離比對方法，尋找最相似颱風氣象因子，經比對最相似颱風皆為 2005 年泰利颱風，其颱風行徑路線與最大 24 小時累積降雨量分別如圖 6-3、圖 6-4，泰利颱風侵襲期間造成臺中 114.1 mm 累積降雨量，提供決策者藉由過去泰利颱風造成致災位置加以防範。

貳、颱風降雨量預測模式

就第五章颱風降雨量預測模式，採山區降雨模式未來 24 小時累積降雨量成果對映之防災避難預警系統，其結果預警燈號如圖 6-5 及圖 6-6 所示，杜鵑颱風降雨對於臺中市山區降雨量未達土石流警戒值標準，故無啟動土石流預警機制，而氣象預警方面，於 2015 年 9 月 28 日未來 24 小時累積降雨值超過 80 毫米，因此建議燈號為黃色，二級開設；2015 年 9 月 29 日未來 24 小時累積降雨量低於 80 毫米，因此建議燈號為綠色，一般狀況、平時、整備作業。

臺中山區之深度神經網路模式預報與中央氣象局預報結果比較方面(如表 6-5)，表中顯示中央氣象局於 9 月 28 日 9 時至 9 月 29 日 9 期間有高估情形，因中央氣象局颱風警報發布時間並非配合各地方政府應變工作會議時間，造成時間接合上一定程度的落差，而深度神經網路模式確可在應變期間提供一定詮釋能力之推論模型。

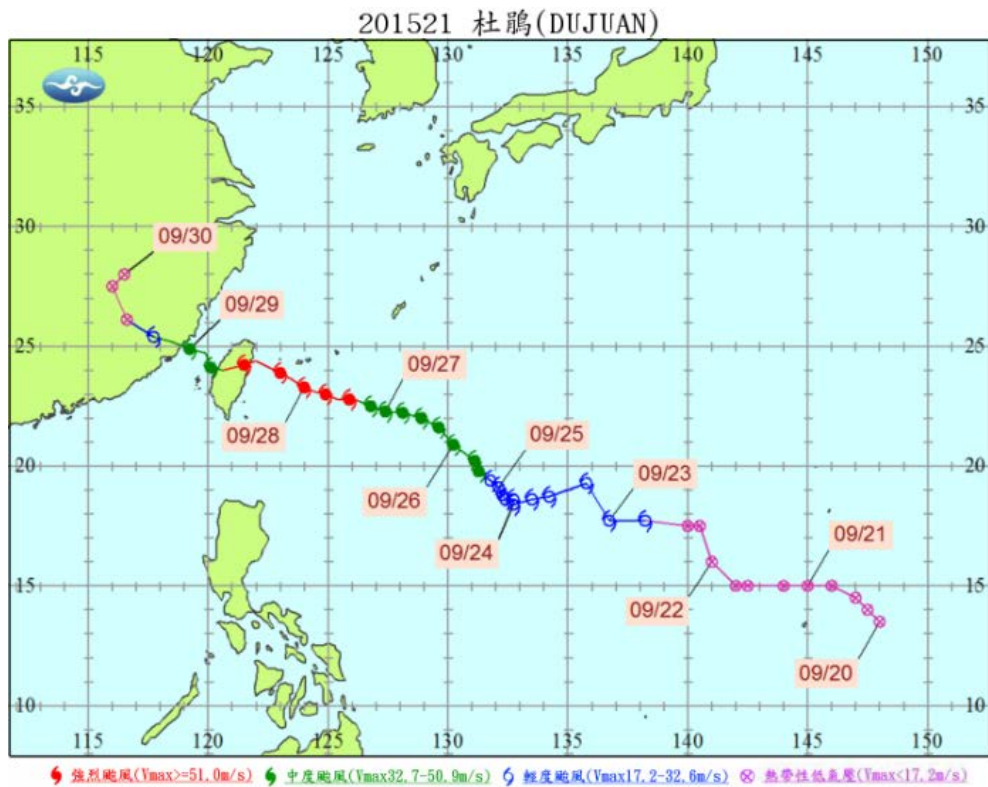


圖 6-1 颱風行徑路線圖(杜鵑颱風)

2015 09/27 08:00 到 09/29 17:00 DUJUAN 颱風侵臺期間各測站最大24小時累積雨量分布圖

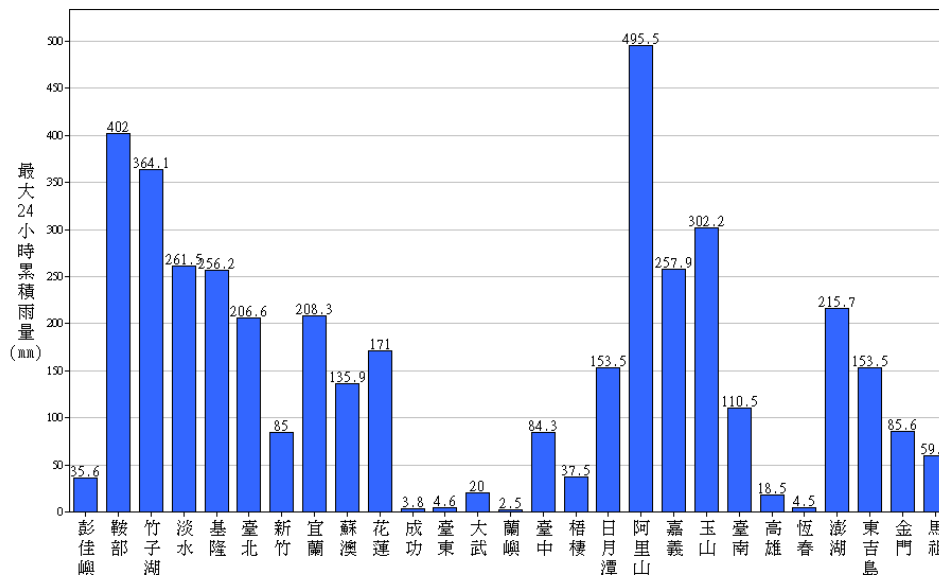


圖 6-2 最大 24 小時累積降雨分布圖(杜鵑颱風)

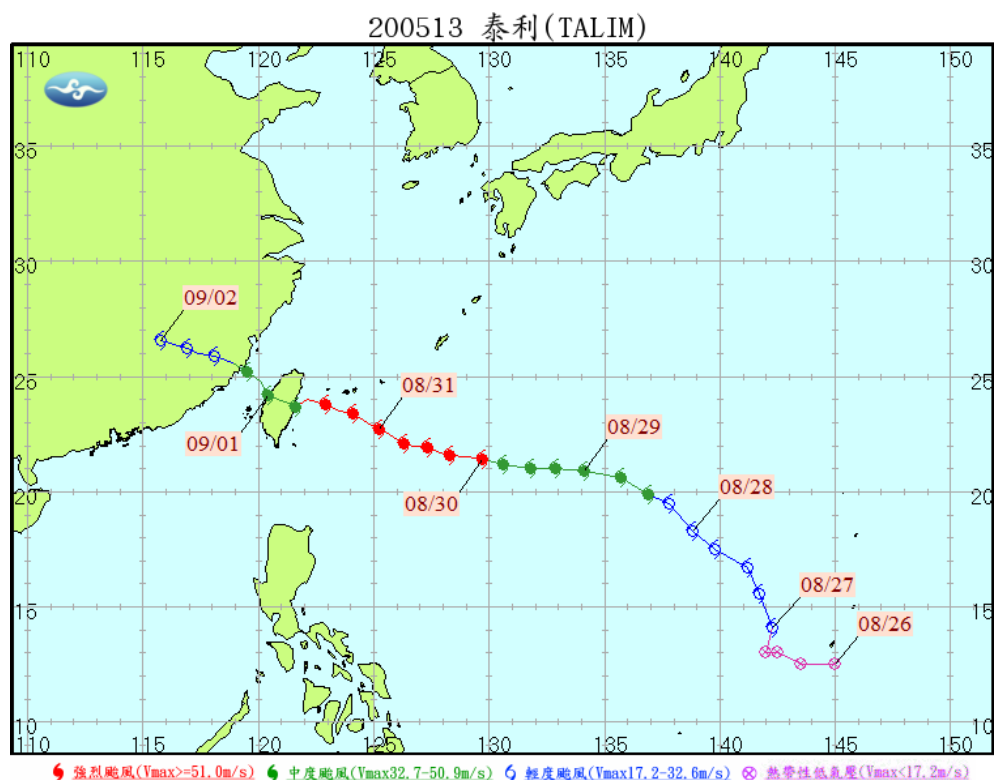


圖 6-3 相似歷史颱風行徑路線圖(泰利颱風)

2005 08/30 08:00 到 09/01 23:00 TALIM 颱風侵臺期間各測站最大24小時累積雨量分布圖

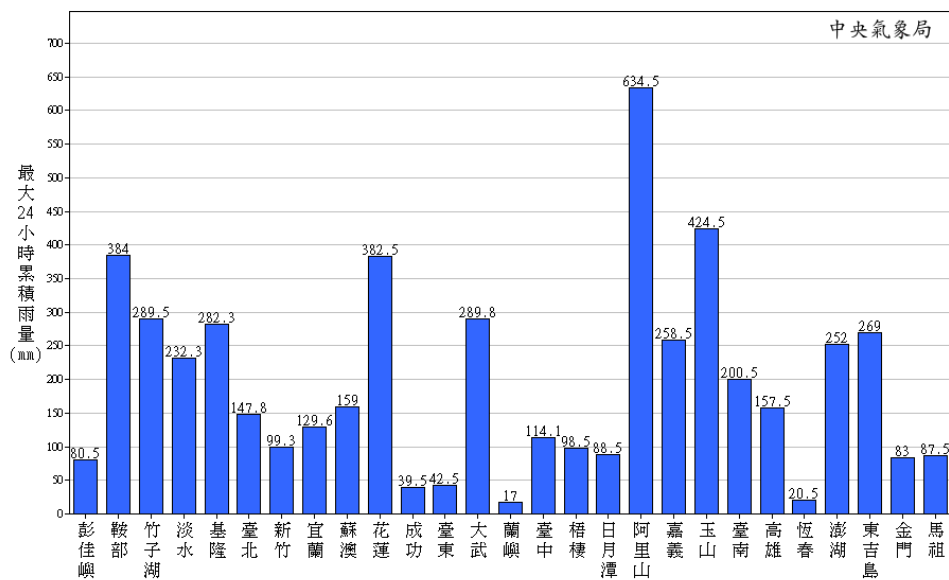


圖 6-4 相似歷史颱風最大 24 小時累積降雨分布圖(泰利颱風)

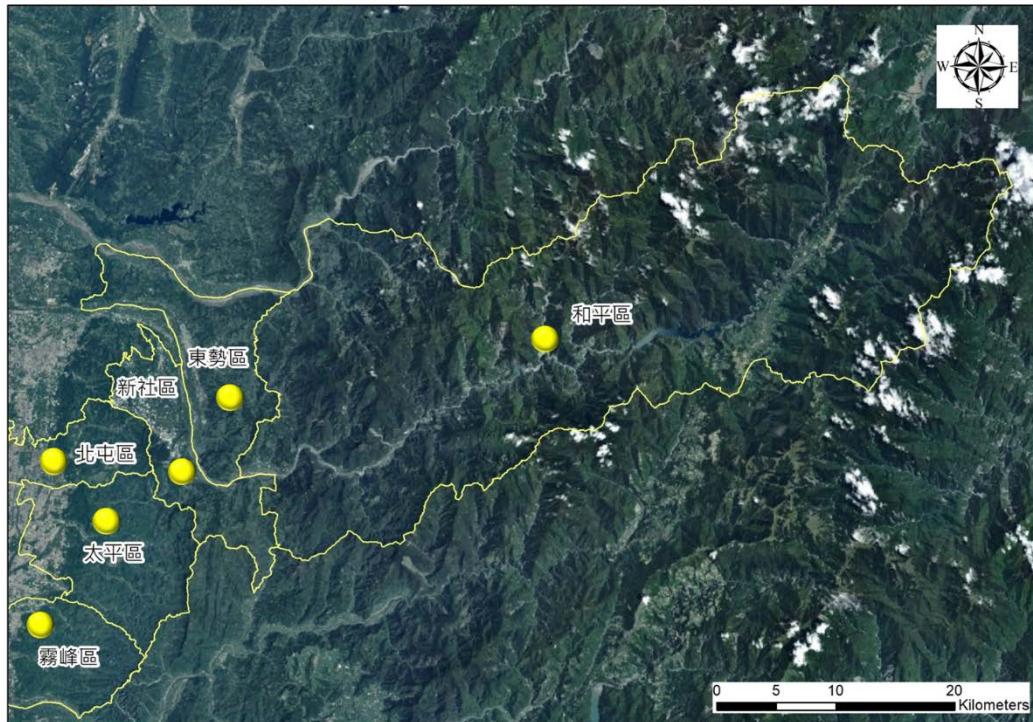


圖 6-5 杜鵑颱風燈號(2015/9/28 09:00、15:00、21:00)

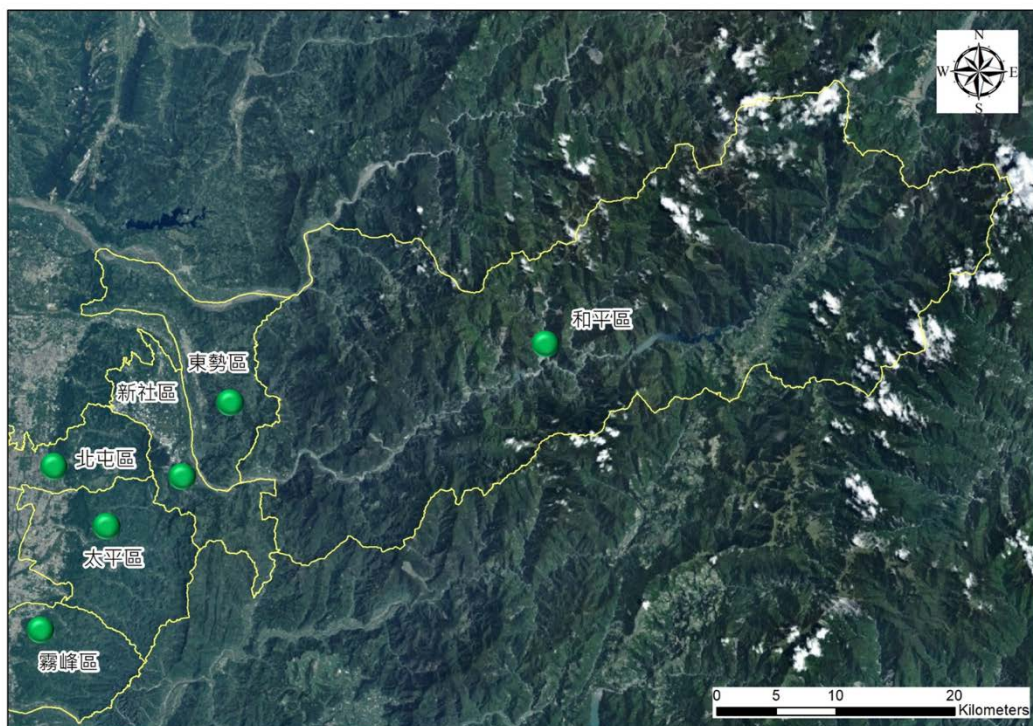


圖 6-6 杜鵑颱風燈號(2015/9/29 09:00、15:00、21:00)

表 6-5 本模式預測值與中央氣象局降雨預報比較(臺中山區)

月	日	時	實際值(毫米)	深度神經網路-預測值(毫米)	中央氣象局降雨預報(毫米)
9	28	9	189.74	189	400~600
9	28	15	214.48	183	400~600
9	28	21	186.58	156	300~500
9	29	9	42.26	17	90~150
9	29	15	0.91	10	—
9	29	21	0.00	7	—

備註：「—」為已解除應變中心開設。

第七章 結論與建議

第一節 結論

颱風期間，當中央氣象局發佈海上陸上颱風警報後，為提早做出適切因應，颱風對轄內可能影響程度及未來災害潛勢可能發生區域，皆為決策者關切之重點。在當前氣象變化未能為科技所盡訴的情況下，如何兼顧體恤人民與保障工商業的正常運作，實為決策者最難的決斷。本計畫整理自 1990 至 2016 年 100 場颱風警報單與 11 個雨量測站資料建立颱風資料庫，當發佈海上陸上颱風警報颱風警報單後，其警報單與資料庫中颱風警報單之氣象因子相互比對分析，透過本計畫建置相似度颱風比對方法，將同相關性質參數分類(時空參數、氣象參數)分類並進行標準化分析，以兩階段歐氏距離方式篩選資料庫中最相似之歷史颱風，經驗證其篩選結果良好。同步建置降雨量預測模式，以遺傳規劃法與深度神經網路模式比較，分別針對平地及山區未來 24 小時累積降雨量降雨預測模式分析比較，結果推論部分，深度神經網路模式遠優於遺傳規劃模式，原因為遺傳規劃法得到之結果為一非線性之通式，為全域最佳化結果；而多層神經網路採用深度學習，利用隱藏層的多層化進行訓練，可視為具分類推論能力，較能夠詮釋自然訊號中可取得之特徵。而山區推論優異於平地原因為颱風大氣環流場限於地形影響，當到達平地時，以受於地形之破壞，故於山區相關性較高，而地球大氣環流場解析為一複雜科學，以既可取得的颱風特徵因子及資料樣本，深度學習架構確可提供一定詮釋能力的推論模型。

基於本計畫所建立模式及方法以提供決策者可初步實際運用於颱風時期，透過相似度颱風比對方法，瞭解過去相似颱風累積降雨量與相關致災紀錄事件及利用降雨預測模式推估未來 24 小時累積降雨量，對映之防災避難預警系統，依據警戒標準給予決策者建議燈號，實施減災應變等作為。

第二節 建議

本計畫在颱風相似度比對方法方面，採用歐氏距離進行比對，建議可加入其他統計距離方法；人工智慧預測模式降雨方面，以深度學習之多層神經網路作為模式架構，但在颱風氣象因子及觀測站資訊未能完全詮釋未來 24 小時累積降雨量，可能原因有二：一是學習訓練資料量仍有限，建議可考慮在使用生成對抗網路（Generative Adversarial Network，GAN），以既有資料特徵大幅度生成深度學習所需之資料量；另一則是僅以颱風警報單氣象因子不足以描述整個大氣環流場，就目前現有氣象測站給予資訊與收集資料量仍有限，建議後續考慮氣象觀測因子，作為模式資料學習數據，以詮釋颱風期間所造成的降雨量情形。

本計畫颱風資料庫持續更新讓資料庫更加完善，未來可進一步將颱風資料庫、相似度比對方法與降雨預測模式介面化，將原本數字推論輸出結果轉譯為決策者可直覺判識之圖形化資料，以作為颱風因應變期間主管機關決策制定之參考基礎。

附錄

附錄一、期初報告審查意見及處理情形

項次	委員意見	辦理情形	頁碼
1	蒐集颱風資料預測降雨，應發揮大數據精神，蒐集範圍不只侷限於台中地區。	感謝委員建議。考量發揮大數據的精神，在全球大尺度的颱風空間行進不確定下，如何就可用資料詮釋颱風期間地表的降雨空間分布，以進一步作為防災預警之用為本計畫研究主題，為能針對本計畫議題進行方法論建置的探討，故先以臺中市地區作為研究示範區，待方法確立後，本計畫蒐集之資料與建立之方法將可作為其他地區發展同類模式參考之用。	—
2	僅使用颱風警報單作為人工智慧之判斷依據是否充足，是否能納入數值資料，提高判斷準確率。	感謝委員建議。空間數值資料確為第一手氣象資料，惟囿於其空間尺度問題，資料詮釋除有賴於大型電腦的計算能外，其對地表未來降雨分布推估的準確性，仍為世界各國致力的重點，故本研究嘗以中央氣象局颱風警報單資訊(含颱風中心位置、颱風中心速度、颱風形成月份、颱風行進方向、颱風中心氣壓、中心最大風速、七級暴風半徑、颱風強度)，就其與中央氣象局逐時雨量資料進行關聯性建置，以期在數值資料操作方式成熟前，作為初步的決策支援資訊來源。	—
3	建議計畫能於期末時將人工智慧成果進行準確率分析，以了解成效。	遵照辦理。	—

附錄二、期末報告審查意見及處理情形

開會地點：水土保持局第一會議室

開會時間：106 年 11 月 29 日下午 13 時 30 分

主持人：柯總工程司燦堂

項次	委員意見	辦理情形	頁碼
1	本案以高程 500 公尺為平地與山區之區隔，惟水保法山坡地是以高程 100 公尺為界限，其考量為何？	感謝委員意見。本計畫考量臺中市行政區高程最高 3,880.8 公尺，若以 100 公尺為界，在高程高低差極大與空間降雨分布不均下，較為不符合實際需求。另，就本計畫目前蒐集到降雨預報文獻，如行政院農業委員會水土保持局防災氣象分析、經濟部水利署淹水模擬手冊等，在關於降雨的空間分布研究中，大多仍採高程 500 公尺進行研究平地與山區的區分，因此，本計畫亦採用高程 500 公尺進行平地與山區的區分。	3-5、3-6
2	目前氣象局在平時及應變時均已提供未來 24 小時之預測雨量，是否可將此研究之結果與氣象局之結果作比較。	感謝委員意見。茲以臺中市颱風事件應變作為補充說明，2015 年杜鵑颱風事件應變期間，臺中市災害應變中心工作會報時間為 9:00、15:00、21:00，然中央氣象局颱風警報發布時間並非配合各地方政府應變工作會議時間而設，造成時間接合上有一定程度的落差，而深度神經網路模式確仍可提供一定程度之詮釋能力。	6-4
3	本研究是陳教授系統研究之一，建議在報告中凸顯在水保局本年度委託下的成果。	感謝委員意見，於結論部分增強補充說明本計畫成果。	7-1
4	本研究獲得山區優於平地颱風降雨預測模式，過去研究成果是否有類似的特性？	感謝委員意見。過去以人工智慧建置降雨模式，較少以颱風警報單氣象因子與雨量測站因子推估山區與平地未來 24 小時累積降雨量，尤其深度學習主要為近年發展之研究，文獻上並無資料可依循。	—
5	目前實際作法，即使找到最適合、最接近的颱風，最後的雨量差異	感謝委員意見。在地球科學物理尚未能以現有科技完全解讀的情	—

項次	委員意見	辦理情形	頁碼
	仍然很大，依目前研究如何看這樣的問題？	況下，決策者的任何決策行為在資訊不完整的情況下，某種程度是在與天對賭，但吾人期待的是，決策者的決策，能最大程度降低災害對人民的生命財產的損傷。因此，災防研究的專家學者無不戮力在不確定的條件下提供有利於決策的預報或推論，以回應民眾安全的需求，而這其中可能的落差就是風險。 本計畫以颱風因子空間統計距離尋找歷史相似颱風，以期由過去的相似受災經驗，提前為應變階段布局，但考量過去歷史颱風的影響方式，並非將完全重現，故續以未來 24 小時降雨模式進行推論，提供給決策者基於過去與未來資訊的推論結果，做為決策當下的輔助資訊，期由多元的資訊提供，降低決策擾民或傷民的風險。	
6	在山區我們希望空間解析度要提高，目前反而是用空間雨量代表，未能提高颱風作業的需求。	感謝委員意見。本計畫建置之模式，係在既成環境有限資料下發展完成，未來如有增設雨量測站或其他雨量監測技術的加入(例如低空氣象雷達)，相信能進一步增加模式空間解析度。	—
7	本研究屬應用型研究，本年度的研究成果似與研究目的中提供 24 小時降雨量的推估仍有待改進。	感謝委員意見。針對本研究所提供 24 小時降雨量係從氣象局未來 24 小時累積降雨值發布方式，本文描述也針對「24 小時降雨量」字詞，統一修正「未來 24 小時累積降雨值」，避免誤解本研究目的與成果不一。	—
8	無論持類神經網路模式、或遺傳規劃模式，對於 24 小時累積雨量的推估不佳，應提出討論。	感謝委員意見。本計畫於模式分析結果與結論部分加強補充推論不佳原因。	5-14 7-1
9	本風險推論系統之建置，有助於新技術的發展，對將來手冊的修訂亦能有所助益。	感謝委員肯定。	—
10	本案已有著作發表，有助於基礎科學發展，對學術研究發展有幫	感謝委員肯定。本案在今年度(2017)期中審查後，就兩階段歐氏	—

項次	委員意見	辦理情形	頁碼
	助。	距離相似颱風方法部分，投稿至研討會並已收錄，降雨預測後續將投稿至水土保持學報，以彰顯大局的補助對於學術研究的價值。	
11	本案的研究有助相關前瞻策略的擬定。	感謝委員肯定。	—
12	屬分析方法論之一種技術應用，惟實用性尚有待考驗。	感謝委員意見。本研究目前主就方法論可行性進行探討，未來持續發展與關注每場颱風動態，進行分析與評估，以論證本模式之實用價值。	—
13	學術價值較為薄弱。	感謝委員意見。目前電腦運算科學大幅度躍進，近年人工智慧已在各大領域中發揮極大突破(如廣為人知 AlphaGo、Facebook 等)，本研究首度以深層神經網路程式進行模擬，就過去淺層神經網路難以提高精度的窘境加以突破，而透過水土保持局創新研究計畫的支持，讓本研究研發能力持續不斷精進，未來將以學術文章投稿彰顯大局對本案補助的價值。	2-3
14	可提供學位論文之題材，值得肯定。	感謝委員肯定。	—
15	未涉法規、制度、行政計畫之需求。	感謝委員意見。	—
16	本計畫以幾何重心和颱風中心分析，惟所選取之雨量站是否足以代表其地區之雨量？亦或選其不同雨量站其分析結果之差異為何？	1. 本計畫採用臺中市行政界區域之幾何重心與颱風中心距離值(颱風警報單)是為了描述與雨量值的關係，並設定為降雨模式輸入之一，如颱風離研究區域愈遠代表該事件颱風影響研究區域雨量值較低，反之亦然。 2. 本計畫以 500 公尺劃分平地與山區雨量測站，分別計算平均雨量值，代表不同空間分布降雨情形。	3-6

參考書目

壹、圖書：

集智俱樂部(2016)。人腦電腦黃金交叉：人工智慧將統一世界。台北市，佳魁資訊。

謝劍斌、興軍亮等人(2016)。改變未來 20 年最重要的 20 個視覺機器學習理論深讀。台北市，佳魁資訊。

貳、研究報告：

周仲島(2014)。103 年防災氣象資訊分析研判及山區降雨監測系統建置評估。行政院農業委員會水土保持局(SWCB-103-112)。

陳昶憲(2005)。颱風降雨早期推估於土石流防災之應用。行政院農業委員會水土保持局(SWCB-97-142-11)。

參、期刊：

王如意、謝龍生、王鵬瑞(1998)。八掌河流域降雨-逕流預報模式串聯應用之研究，臺灣水利期刊，第 46 卷，第 1 期，p.12-31。

曹鎮、陳文福、徐義人(2006)。應用模糊理論於颱風降雨量之推估，水土保持學報，第 38 卷，第 1 期，p.21-30。

Lin,G. F., Chen L. H.(2005), “Application of an artificial neural network to typhoon rainfall forecasting”, Hydrological Processes, Vol.19, p.1825-1837.

Gwo-Fong Lin , Ming-Chang Wu (2009), “A hybrid neural network model for typhoon-rainfall forecasting” , Journal of Hydrology, Vol.375, p.450-458.

Hinton G E,Salakhutdinov R (2006), “Reducing the dimensionality of data with neural networks” , Science, 313(5786), 504-507.

Sedki, A., Ouazar, D., & El Mazoudi, E. (2009), “Evolving neural network using real coded genetic algorithm for daily rainfall–runoff forecasting”, Expert Systems with Applications, Vol. 36, Issue 3-1..

Yeh, T.-C.(2002), “Typhoon rainfall over Taiwan area: The empirical orthogonal function modes and their applications on the rainfall forecasting” ,TAO, Vol.13, No.4, p.449-468.

肆、會議論文：

李天浩、王時鼎、張志琳(1998b)。淡水河流域颱風面積定量降雨氣候預報模式研究，第九屆水利工程研討會。

周乃昉、鄭子璉、林柏承(2000)。應用類神經網路於颱風降雨量的推估，第十一屆水利工程研討會，臺北。

陳勝義、陳柏蒼、陳昶憲(2014)。風水災害警戒顏色燈號發布原則之研究，臺灣災害管理研討會，臺北。

伍、網路資源：

中央氣象局，中央氣象局網站，網址：<http://www.cwb.gov.tw>。

行政院農業委員會水土保持局，土石流防災資訊網，網址：<https://246.swcb.gov.tw/v2016/>。

臺灣颱風洪水研究中心，大氣研究資料庫，網址：<https://dbahr.narlabs.org.tw/>。

經濟部水利署，防災資訊服務網，網址：<http://fhy.wra.gov.tw/fhy/>。

陸、其它：

莊益誠(2000)。類神經網路模式的資料探勘以颱風降雨分佈為例。中國文化大學資訊管理研究所碩士論文。

許佳容(2001)。台灣地區颱風降雨量預測之統計方法探討及校驗。國立中央大學統計研究所碩士論文。