

應用空間統計分析颱風路徑與空間降雨強度

Application of GIS Spatial Analysis for the Assessment of Typhoon Tracks and Rainfall Intensity

王文清 Wang, Wen-Ching
國立臺東大學資訊管理學系教授

雷雅如 Lei, Ya-Ju
國立臺東大學環境經濟資訊管理
碩專班研究生

賴錦慧 Lai, Chin-Hui
國立臺東大學環境經濟資訊管理碩士

王怡茜 Wang, Yu-Chien
國立臺東大學防災科技資訊中心組長

摘要

本研究旨在分析颱風路徑與空間降雨強度之關連性，藉由臺灣 2006~2015 年為期 10 年、共計 36 起颱風降雨歷史資料進行統計分析，運用地理資訊系統（GIS）克利金法（Kriging）空間內插功能推估降雨分布，探討颱風移動路徑與各地區降雨強度變動趨向。結果顯示，颱風路徑與其移動速度、強度等因素關係密切，以 2016 年颱風降雨量進行驗證，發現研究範圍內之雨量站數量多寡著實影響資料準確度，且測站密度愈高，資料分析準確度愈為理想。

關鍵詞：颱風路徑、降雨強度、克利金法、空間內插、地理資訊系統

一、前言

知災，方能減災、避災，災害風險評估係為知災第一步。近年氣候變遷導致氣象異常，極端天候發生頻度與強度增劇，尤其降雨常成為致災主因，一旦超過地表或河川承載能量，則可能誘發一系列災害，包括地滑、崩塌、土石流、河川水位暴漲出現溢堤情形抑或內水積淹不退釀成淹水災害等。降水既為主因，亦是複合型災害誘因。臺灣位處於西北太平洋颱風之主要路徑，亦是全球颱風侵襲最為頻繁地區之一。歷年颱風災害對於臺灣人而言似乎是家常便飯又歷歷在目的記憶，無法抵抗又是無可避免的宿命；回顧臺灣颱風歷史重大水災事件，2001 年水淹北捷的納莉颱風，2008 年廬山溫泉摧毀殆盡的辛樂克颱風，2009 年大規模崩塌掩沒小林村的莫拉克，2010 年水漫高雄縣市的凡那比颱風，以上均是颱風豪雨導致的災情。面對天然災害的高易致災性，以及環境氣候變遷以致颱風數量、強度及降雨程度均有增長情況下，如何減低颱風致災風險，係為刻不容緩的挑戰。根據交通部中央氣象署（以下簡稱中央氣象署）統計顯示，平均每年有 3 至 4 個颱風對臺造成直接或間接影響，颱風引致的強降雨，經常導致洪水、土石流、山崩等衍生災害，造成社會與經濟重大災害損失。

雨量豐沛的臺灣，係受地形影響，山地雨量高於平地，又東岸多於西岸，且北部勝於南部。氣候變遷不僅影響全球氣候型態，亦改變臺灣颱風降雨特性；根據政府間氣候變化專門委員會（The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）第五次評估報告及第六次評估報告預測，隨著全球氣溫上升，颱風強度不斷增強，降雨愈趨劇烈，臺灣

常為颱風侵擾地區，其引致的極端降雨事件勢必更為普遍（Knutson et al., 2020; IPCC, 2021）。為準確預測颱風降雨空間分布，囿於颱風結構、移動路徑、移動速度及大氣環境狀態，該等因素不僅複雜且隨機發展性高，以致難以達到精準預測，唯可以確認的是降雨分布主要係受到颱風移動路徑影響（陳政安, 2011）；而地區強降雨係因颱風迎風面環流影響所致，即愈接近颱風中心位置區域，降雨量愈大。鑑此，本研究目的為蒐整中央氣象署 2006 年～2015 年期間颱風降雨資料，透過空間資料探勘（Spatial Data Mining），分析不同颱風移動路徑及強度與各區域降雨量之相關性，作為颱風來臨前防災預警之參考。颱風強降雨空間分布，與颱風移動路徑、強度及速度等密切相關。因地形效應影響，迎風面地形抬升造成該區域降雨明顯大於背風面，此現象在臺灣山區尤其顯著。此外，臺灣複雜的地形特徵，如中央山脈縱貫南北，地勢東高西低的相去懸殊等地理環境，造成颱風降雨落差加劇，特別是颱風來襲期間，某些區域降雨量可能遠高於其他區域。為瞭解颱風降雨空間分布變化及預測分析趨向，提升減災整備能力、災害應變效能，以及災害韌性調適策略研擬之依據。

二、臺灣地區降雨現象

（一）臺灣地區降雨分析

根據 IPCC 第五次評估報告（AR5），全球暖化將對熱帶氣旋（含颱風）強度與降雨模式造成顯著影響；同時指出，隨著氣溫升高，尤其是熱帶和亞熱帶地區颱風降雨強度愈趨劇烈，且雨量增幅達 7%～15% 不等（Knutson et al., 2010）。臺灣因地理位置關係為颱風好發區域，導致洪水和土石流事件頻增。Xu et al. (2024) 進一步提出，隨著海水溫度持續攀升下，颱風於其生命週期過程之總降雨量亦隨之提高，針對地區特性研擬災害防救韌性調適作為，為減緩極端降雨下之災害衝擊。IPCC 第六次評估報告（AR6），進一步強調氣候變遷對颱風影響至深。特別指出，氣候變遷導致熱帶氣旋（含颱風）雨量激增，因颱風移動速度趨緩，使得局部地區係受颱風滯留時間延長所致，推升極端降雨事件風險加劇（IPCC, 2021）。Liang et al. (2017) 研究表示，尤其是包括臺灣等位處西北太平洋颱風活動區域，未來颱風降雨強度估計提高 20% 以上，意指颱風期間，全臺山區及沿海地區勢必面臨更高強度降雨和洪患風險。此外，AR6 提及颱風路徑可能出現北抬或東移情勢，可視地區特性差異調整災防整備量能（IPCC, 2021），在傳統防災預測模型勢必因應氣候變遷影響，建構風險評估預測模式，為因應颱風行徑多變及極端降雨愈趨劇烈等狀態。

從歷史颱風紀錄中，研究者透過不同方法與模式分析臺東地區與降雨之關連性。曹鎮、陳文福、徐義人（2006）應用模糊理論建立颱風降雨分析模式，利用歷年颱風降雨資料比對結果發現，颱風路徑係為影響各地降雨最關鍵因素，然造成降雨不確定性因素頗多，如輕度颱風造成極端強降雨，抑或強烈颱風引致雨量稀少等情況。葉天降、吳石吉、謝信良（1999）提出颱風移動路徑不同，造成臺灣各地區降雨差距懸殊；颱風由東向西移動，一旦路徑偏北，降雨區域將集中在桃竹苗及中部等山區；若路徑偏南，雨區則下移至東南部地區；另，颱風走向由南至北，沿臺灣東方海面向北方行進，主要降雨

分布臺灣東部；若路徑係由臺灣西方海面朝北方前進，雨區則會集中在中部山區。陳政安（2011）研究指出，颱風影響臺灣各地區降雨分布係最關鍵主因，取決於是位於颱風路徑之迎風面抑或背風面；颱風侵臺期間的外圍環流與季節盛行風產生之共伴（夏季西南氣流及秋季東北季風）效應，易於迎風面地區引發強降雨。郭鴻基等人（2013）分析1960年～2011年期間84起侵臺颱風之總降雨量，其中9起颱風發生於2000年以後，且大多自臺灣北部登陸；另將全數51年資料分為前後各25年，前期僅1起颱風造成強降雨釀災，後期則達11起颱風致災，表示颱風強降雨依隨時間推移顯著提高，亦驗證氣候變遷導致氣候型態變化持續加劇中。

（二）颱風強度、降雨及地理位置之關連性

1. 颱風強度與降雨關係

颱風強度對於降雨多寡具有相當影響。臺灣在颱風分級上，係以其近中心最大風速劃分，通常颱風風力達到一定級數時，所攜帶水氣愈多、降雨強度愈高。Knaff et al. (2007) 研究表示，颱風強度大致取決於其中心氣壓、最大風速及風場結構；強烈颱風通常出現結構紮實且清晰的眼牆及劇烈環流，加速推升水分至高空，造成集中降雨情形。Holland (1997) 研究結果發現，颱風最大風速與降雨強度為正相關，風速愈高、降雨強度愈高；尤其是強烈颱風近中心風速達每秒45公尺時，降雨量增幅顯著。Yu et al. (2017) 研究指出，強烈颱風攜帶大量水氣於移動過程持續釋放下，通常集中在眼牆周圍發生大範圍強降雨情形；降雨範圍隨著颱風移動而逐漸擴大，但降雨強度則因颱風中心距離增大而減弱。Hsu et al. (2016) 研究顯示，颱風移動路徑與環境風場息息相關，造成強烈颱風的降雨呈現非對稱性分布，又以颱風右側降雨量居多。該降雨模式在強烈颱風等級更為顯著，且不同颱風路徑影響降雨空間分布，隨著氣候變遷，強颱頻率大幅增加，所引致的極端降雨事件亦隨之攀升（Lee et al., 2018）。

2. 地理位置對降雨分布的影響

臺灣地區地形高度差異顯著，颱風期間的降雨型態主要受到地形抬升作用影響。當颱風引進暖溼氣流跨越山脈時，氣流被迫上升，水氣凝結形成降雨，此過程稱為地形抬升作用（Orographic Lifting）。Chen et al. (2012) 研究指出，臺灣的中央山脈係颱風降雨的重要「分水嶺」，且迎風面降雨量顯著高於背風面。依據雨量站資料顯示，地處臺灣東部及中部的迎風面山區於颱風期間的降雨量經常超過500毫米以上，而相對平坦的西部地區降雨量則明顯偏少。颱風降雨特性不但受到地理位置影響外，亦因海拔高度與地勢高低起伏而改變，如臺灣花蓮、臺東及中部山區位處西太平洋颱風路經侵襲前緣，經常是颱風最先襲擊地區。當颱風引進強風及大量水氣越過山脈時爬升過程，形成持續且密集降雨，使得迎風面地區經常成為強降雨的「重災區」（Liang et al., 2017; Wang & Lin, 2021），短延時強降雨極可能導致山洪暴發及土石流災害等致災性；反之，位處背風面的西部地區如臺中及彰化等地區降雨強度小又雨量少，因地理因素造成降雨量差異頗大。根據 Lin et al. (2013) 研究，強烈颱風在臺灣沿海地區的降雨區間，大致距離颱風中心約100公里範圍內，一旦颱風靠近山區時，降雨強度明顯增高。地形對於降雨具有放大作用且與颱風強度結合下，使得臺灣部分地區於強颱期間

雨量遠超過平時。

3. 降雨分析與技術運用

臺灣地處西北太平洋颱風活動區域，降雨時間與空間分布極具變化性。長期以來，研究者特別針對颱風期間強降雨事件，應用不同方法分析降雨模式，如測站資料、遙測影像、地理資訊系統（GIS）及空間統計分析等方法，作為颱風降雨預測及災害應變參用。

(1) 應用 GIS 技術於颱風降雨分析

應用地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）技術，整合測站與遙測影像，產製高精度降雨分布圖，分析颱風降雨變化及趨勢（Dhulgude et al., 2019）；結合氣象數據與地理數據，繪製降雨分布作為數值預報模式參據，為利颱風災害風險溝通（Sharma et al., 2020）。

(2) 隨機降雨生成模型與降尺度模型

除傳統內插法，隨機降雨生成模型（Stochastic Rainfall Generation Models）及統計降尺度模型（Statistical Downscaling Models）亦是分析未來降雨模式之重要工具。將屬於全球尺度之大氣環流模式，透過該等模型輸出值轉換為區域尺度之降雨預測模型，探討不同情境下之降雨風險（Koutsoyiannis, 2003; Wilby et al., 2004）。Lin et al. (2013) 應用統計降尺度模型於臺灣地區颱風降雨預測，研究發現在氣候變遷下極端降雨事件頻增，且颱風季節降雨強度估計將明顯提升。

三、研究方法及分析結果

(一) 資料來源

本研究使用中央氣象署 2006~2015 年統計資料，篩選已發布陸上颱風警報之颱風資料為主（不含第十類特殊路徑及未被分類的颱風），合計 36 場颱風資料如表 1 所示。透過颱風移動路徑、降雨強度及測站觀測等原始資料處理，應用於不同颱風路徑對於各地區降雨分析之重要參據。

表 1 2006~2015 年颱風資料

年度	颱風名稱	強度	路徑	陸警發布時間			陸警解除時間		
				月	日	時	月	日	時
2006	珍珠	中颱	9	5	17	03	5	18	18
2006	碧利斯	輕颱	2	7	12	09	7	15	03
2006	凱米	中颱	3	7	23	24	7	26	03
2006	桑美	中颱	1	8	9	12	8	10	24
2006	寶發	輕颱	4	8	8	15	8	9	12
2007	帕布	輕颱	4	8	7	06	8	8	12
2007	梧提	輕颱	3	8	8	12	8	9	12
2007	聖帕	強颱	3	8	16	21	8	19	15
2007	韋帕	中颱	1	9	17	15	9	19	09

年度	颱風名稱	強度	路徑	陸警發布時間			陸警解除時間		
				月	日	時	月	日	時
2007	柯羅莎	強颱	2	10	5	06	10	7	21
2008	卡玫基	中颱	2	7	17	03	7	18	21
2008	鳳凰	中颱	3	7	27	03	7	29	12
2008	辛樂克	強颱	2	9	12	06	9	15	21
2008	哈格比	中颱	5	9	22	03	9	23	03
2008	薔薇	強颱	2	9	27	09	9	29	18
2009	蓮花	輕颱	9	6	20	24	6	22	09
2009	莫拉克	中颱	3	8	6	09	8	10	06
2010	萊羅克	輕颱	9	9	1	03	9	2	09
2010	南修	輕颱	1	8	30	23	8	31	21
2010	凡那比	中颱	4	9	18	06	9	20	15
2010	梅姬	中颱	9	10	21	18	10	23	24
2011	南瑪都	強颱	4	8	27	21	8	31	09
2012	泰利	輕颱	9	6	19	21	6	21	03
2012	蘇拉	中颱	2	7	31	21	8	3	15
2012	天秤	中颱	8	8	27	03	8	28	21
2013	蘇力	強颱	2	7	11	21	7	13	24
2013	潭美	輕颱	1	8	20	21	8	22	09
2013	康芮	輕颱	6	8	28	12	8	29	18
2013	天兔	強颱	5	9	20	09	9	22	09
2013	菲特	中颱	1	10	5	15	10	7	09
2014	麥德姆	中颱	3	7	22	03	7	23	24
2014	鳳凰	輕颱	6	9	19	21	9	22	06
2015	昌鴻	中颱	1	7	9	21	7	10	24
2015	蓮花	輕颱	5	7	7	03	7	7	15
2015	蘇迪勒	中颱	3	8	6	21	8	9	09
2015	杜鵑	強颱	2	9	27	18	9	29	18

(二) 應用地理資訊系統與克利金法

本研究應用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)功能中的克利金法，利用現有測站資料之空間局部插值推估降雨分布。首先，將降雨量資料依據颱風移動路徑進行分類，使用克利金法空間內插功能，補遺未觀測地區之降雨量，並且繪製降雨分布圖。最後，將推估模型結果與實際觀測數據進行比對，為驗模型準確性。

1. 空間統計 (Spatial Statistics)

空間統計顧名思義為空間資料統計分析的方法。空間資料以二部分為主，一是觀測值；二為該觀測值發生的位置，該位置可以是某個地點、XY 座標抑或由地理位置構成的範圍。空間統計係指空間中鄰近資料距離愈近、相似性愈高，而空間統計模型則是在不規則空間資料應用統計方法，梳理出空間變動(Spatial Variation)規則。空間統計分析與傳統統計分析差異有二，1. 空間資料彼此間並非獨立，不但在 n 維空間中具有相關性，且不同空間相關程度又有差異；2. 地球獨一無二，散亂於空間分布之空間問題僅有一組，並無重複觀測資料。囿於空間現象描述空間資料甚為複雜，傳統統計分析方法業已不敷使用。

2. 空間內插法 (Spatial Interpolation)

空間內插法係應用研究區域內已知數值推估未知數值之參據，常用於環境科學領域研究，特別是地質、大氣及水文領域，研究實需大尺度全域空間資料，礙於地形、人力或設備資源，無法全然架設測站下，空間內插法係為一推估方法。[鄭裕仁\(2000\)](#)、[高堅泰等人\(2001\)](#)指出，使用不同的空間內插法，其結果差異顯著，常用的空間推估方法計有 5 種，分別是徐昇多邊形法 (Thiessen's Polygon Method)、反距離權重法 (IDW)、曲線尺規法 (Spline)、克利金法 (Kriging) 及趨勢分析 (Trend)。此外，[林金樹、陳峰盛\(2004\)](#)指出，該些方法中，以一般克利金法 (Ordinary Kriging Method) 之空間雨量預測結果較為理想。

3. 克利金法 (Kriging Method)

克利金法係為線性內插係數的一種技術，主要取決於資料於空間分布統計特性 ([衛強等人，2011](#))。中央氣象署 2009 年「發展城鄉鎮逐時天氣預報」計畫，應用一般克利金法建立高解析度網格點雨量場進行遮蔽測站試驗 (Observation System Simulation Experiment)，研究結果顯示一般克利金法適用於內插雨量資料 ([中央氣象署預報中心，2011](#))。

克利金法具有最佳線性不偏估計量 (Best Linear Unbiased Estimator, BLUE) 特性，其理論方程式說明如下 ([衛強等人，2011](#))：

(1) 線性 (Linear)：估計值為區域內所有觀測值之線性組合，如式(1)

$$z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_{0i} z_i = 1 \quad (I=1,2,\dots,n) \quad \text{式(1)}$$

其中 z_i 為 n 個已知測站的測量值， z_0^* 為待測點的推估值，

z_0 為待測點的真值， λ_{0i} 為待測點對每個已知測站的權重。

(2) 不偏估 (Unbiased)：估計值之期望值等於區域化變數之期望值，如式(2)

$$E(z_0^*) = E(z_0) \quad \text{式(2)}$$

(3) 最佳化 (Best)：估計值與觀測值之間差的變異數為最小，如式(3)

$$\min\{Var(z^* - z_0)\} = E[(z_0 - z^*)^2] \quad \text{式(3)}$$

藉由式(1)與式(2)可得到 $\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} = 1$

經推導可得到一般克利金方程式及一般克利金變異數，如式(4)

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{1n} & 1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{2n} & 1 \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{10} \\ \lambda_{20} \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{10} \\ r_{20} \\ r_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{式(4)}$$

其中 $r_{ij} = r[|x_i - x_j|] = \frac{1}{2}E\{|z(x_i - x_j)|^2\}$

$z(x_i)$ 及 $z(x_j)$ 為不同位置上的隨機變數， r_{ij} 半變異元函數， μ 為運算子常數。

而一般克利金變異數為 $\sigma_{OK}^2 = Var[z_0^* - z_0] = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_{0i}\gamma(x_i - x_0)$

(三) 統計分析與結果

臺灣地區因颱風豪雨引致的颱洪災害，經常導致淹水、路基流失、堤防潰決、土石流及坡地災害等衍生災害，而致災關鍵往往取決於不同延時 (duration；持續時間) 強降雨抑或長時間連續性致災降雨量。鑑此，本研究取用 2006~2015 年間颱風陸警發布期間 24 小時累積降雨量及總雨量，分析不同颱風路徑及強度對於各地區降雨程度，為瞭解研究範圍於颱風期間之降雨變化及分布趨勢。

1. 資料處理

使用中央氣象署 2006~2015 年颱風陸警發布期間，全臺自動測站及人工測站逐時雨量資料，總資料數計 10,191,408 筆。資料前置處理過程 (Data Preprocessing)，發現特殊值，可視情況補正 (如欄位資料顯示-9998 雨跡，修改為 0.5mm)；若缺漏無法改正 (如-9991 儀器故障、-9996 資料累計於後、-9997 不明原因而無資料、-9999 未觀測而無資料)；或異常情況 (如 2012 年 8 月 28 日某測站時降雨量 666mm)，針對無法補正數據全數刪除，為避免影響統計與結果分析。最後將颱風降雨資料，依據颱風類似路徑、相同強度及同一雨量站等資料歸納分組，擷取各組連續 24 小時累積雨量及總雨量作為分析參據。

2. 降雨區域分布

臺灣地形陡峭，多處高山海拔超過 3,000 公尺以上，山脈大致呈現南北走向且長達 340 公里，位處颱風迎風面則易發生地形降雨，且雨勢往往相當劇烈。本研究為探討颱風對臺灣各個區域之降雨影響，參考中央氣象署預報作業區域範圍，分別是北區 (臺北市、大臺北、桃園市、新竹市及苗栗縣)、中區 (臺中市、南投縣、彰化縣、雲林縣及嘉義縣)、南區 (臺南市、北高雄、南高雄、屏東縣)、東區 (宜蘭縣、花蓮縣及臺東縣)，不含括外島 (澎湖縣、金門縣及連江縣)，探討 4 大區域降雨變化特性，如圖 2 所示。

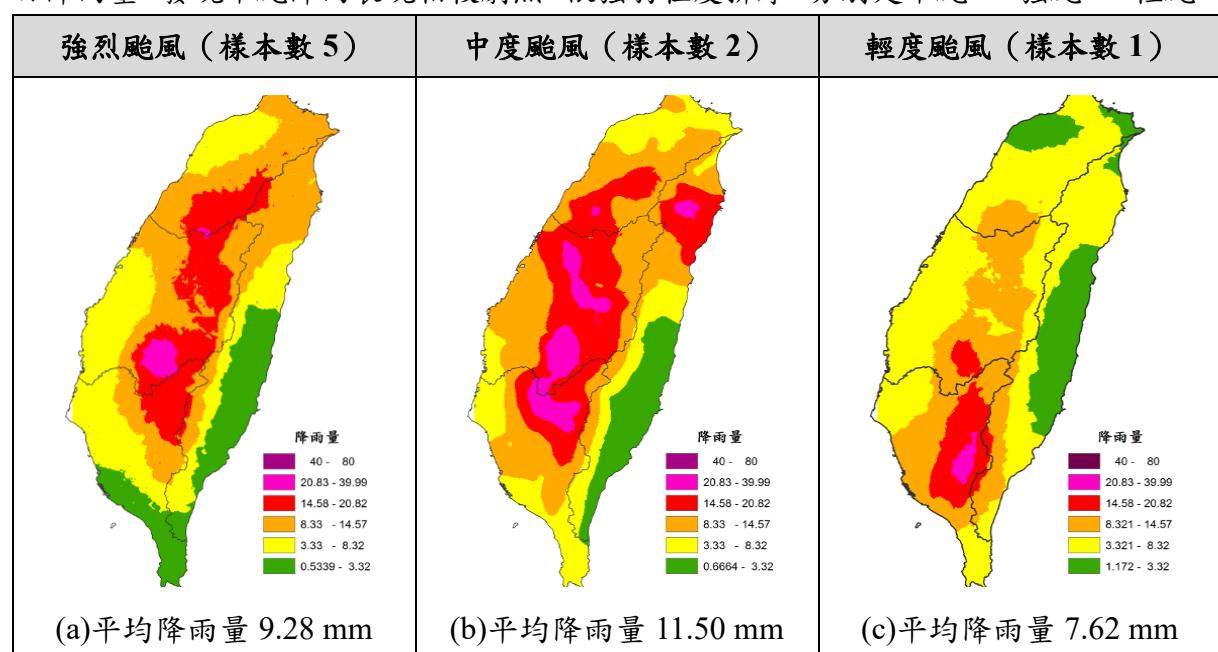


圖 2 臺灣分區圖（不含外島）

3. 颱風路徑對於降雨影響分析

(1) 颱風路徑與 24 小時降雨分布之關聯

路徑 2 為通過臺灣北部由東向西或西北進行者，圖 3 係為強烈颱風、中度颱風及輕度颱風之平均 24 小時及最大 24 小時降雨變化。在平均 24 小時雨量分布（圖 3(a)、(b)、(c)），強颱造成北、中及南區的山區一帶降雨達到大豪雨甚至超大豪雨等級，僅東區（花蓮及臺東）及南區（屏東）局部區域未達大雨等級，餘者均有強降雨影響；中颱降雨影響全臺且達到大豪雨等級以上，除東區（花蓮及臺東）沿海雨量略低外，整體雨區不但擴大且雨勢偏強；輕颱雨區集中南區且達大豪雨等級以上，餘者以豪雨為主。最大 24 小時雨量分布上（圖 3(d)、(e)、(f)），強颱與中颱降雨趨勢相近，尤其山區雨勢顯著且由南至北遞增，除東區及南區沿海地區雨量偏低外，餘者均屬大豪雨及超大豪雨等級；由於輕颱樣本數僅乙份，其結果與平均 24 小時降雨量一致。綜觀颱風強度、平均及最大單日降雨量，發現中颱降雨表現相較劇烈，依強弱程度排序，分別是中颱 > 強颱 > 輕颱。



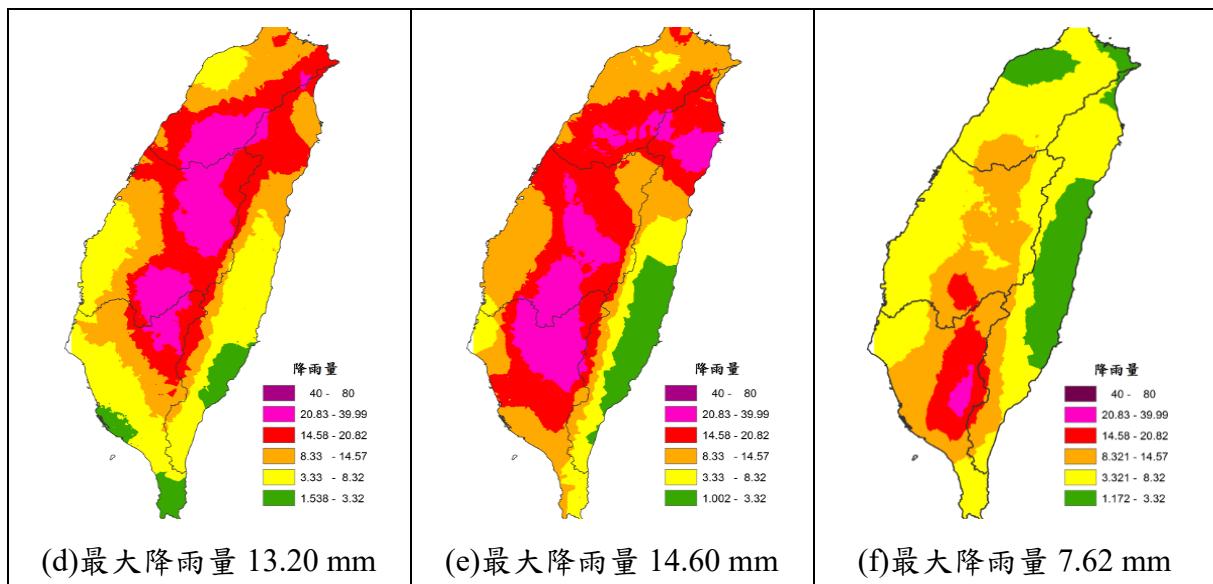
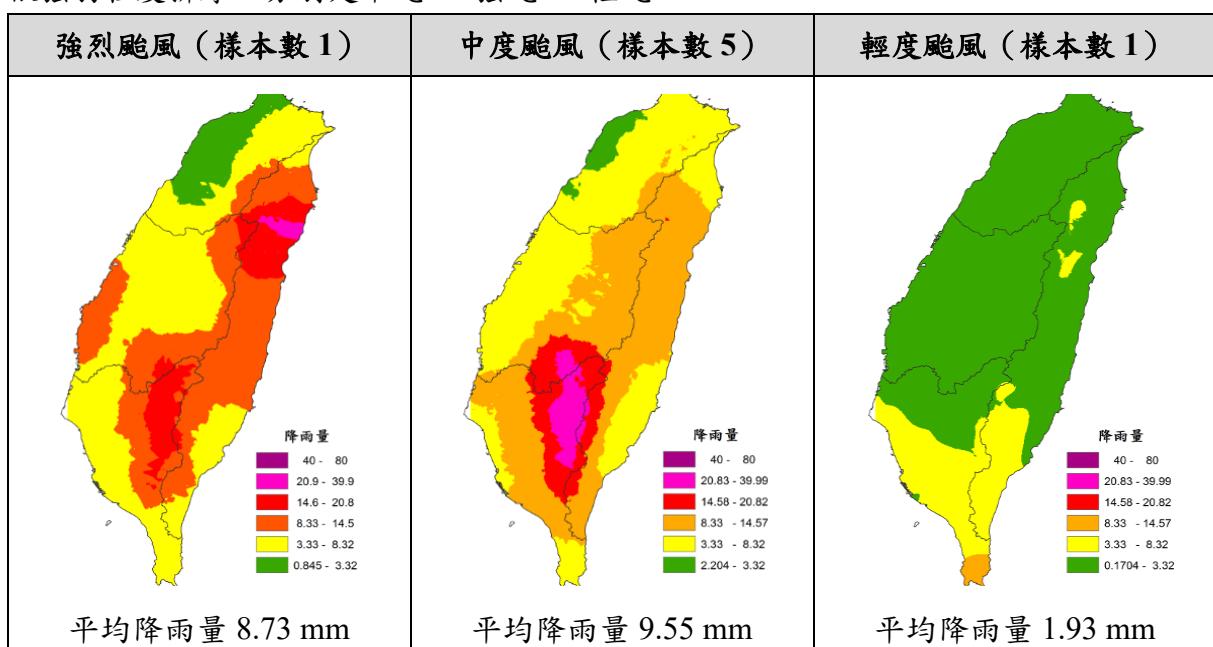


圖 3 路徑 2 全臺平均/最大 24 小時降雨分布

路徑 3 為通過臺灣中部由東向西或西北進行者，圖 4 顯示強烈颱風、中度颱風及輕度颱風之平均 24 小時及最大 24 小時降雨變化。在平均 24 小時降雨量分布（圖 4(a)、(b)、(c)），強颱雨區含括東區、南區及與其接壤區域，雨勢均達豪雨或大豪雨等級，除北區（新北、桃園及新竹）沿海雨量偏少，餘者維持在大雨標準；中颱造成南區（高雄市及屏東縣）山區降雨逾大豪雨等級以上，唯北區（桃園）局部區域雨勢趨弱，餘者均有大雨或豪雨等級；輕颱降雨分布鮮明，東區及南區達到大雨等級，餘者雨量普遍偏少。另就最大 24 小時雨量分布上（圖 4(d)、(e)、(f)），中颱出現大雨遍布全臺，尤其是中、南及東區交接處，強烈雨勢超過大豪雨等級；而強颱及輕颱樣本數各一，其結果與平均 24 小時降雨量相同。綜觀颱風強度、平均及最大單日降雨量，發現中颱降雨較為劇烈，依強弱程度排序，分別是中颱 > 強颱 > 輕颱。



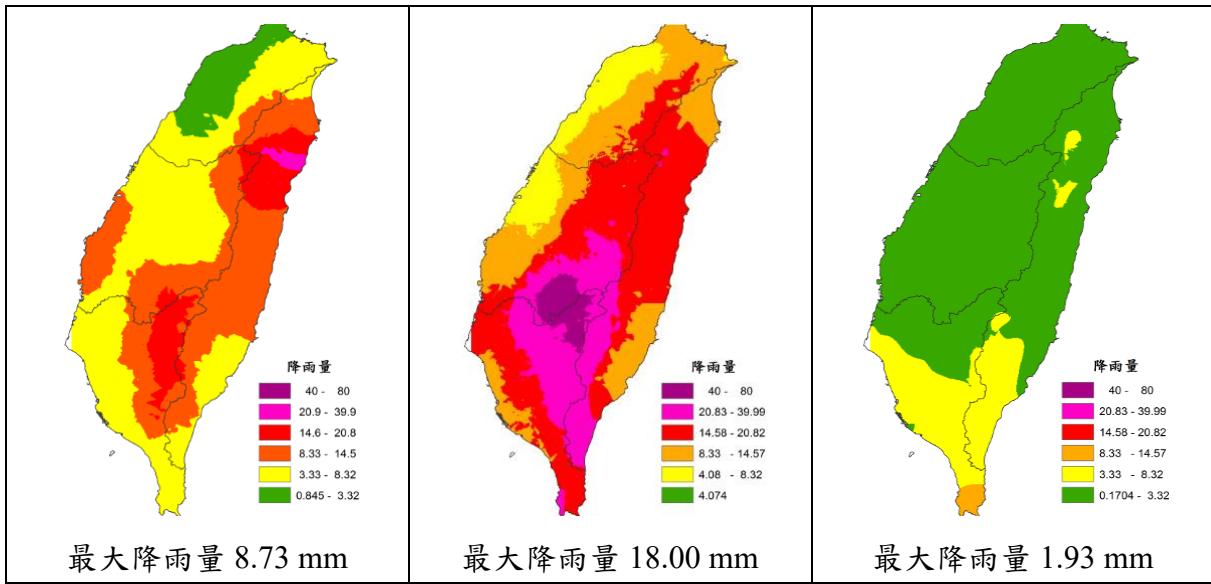
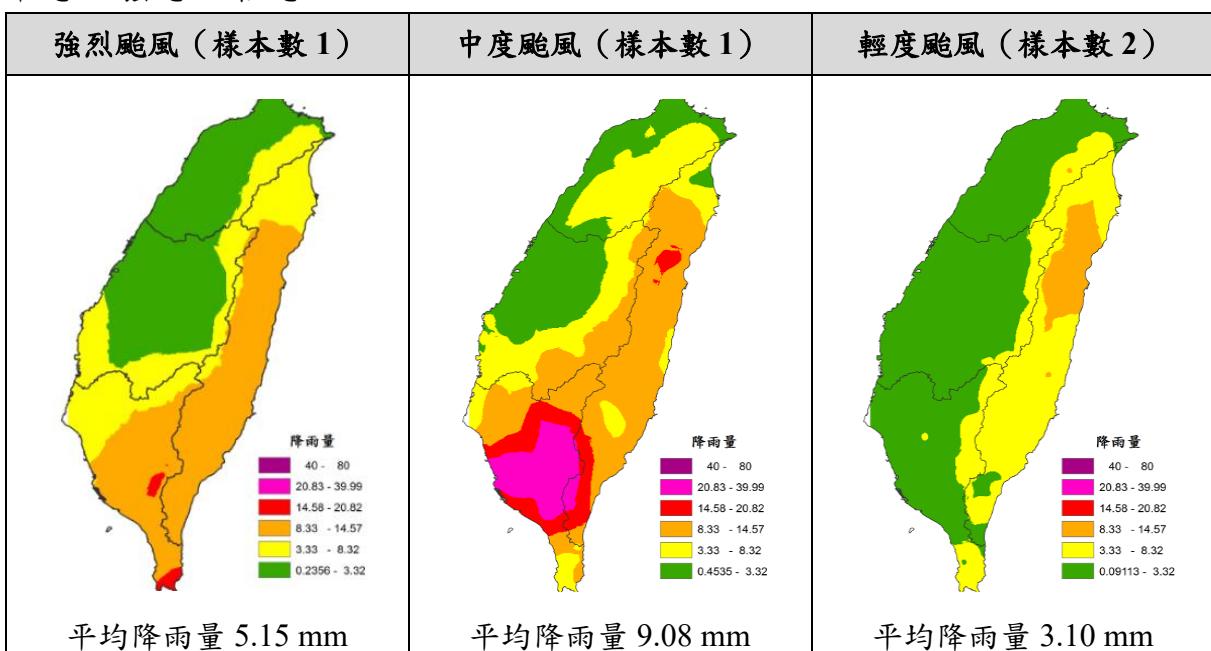


圖 4 路徑 3 全臺平均/最大 24 小時降雨分布

路徑 4 主要通過臺灣南部由東向西或西北進行者，圖 5 呈現強烈颱風、中度颱風及輕度颱風之平均 24 小時及最大 24 小時降雨變化。在平均 24 小時降雨量分布（圖 5(a)、(b)、(c)），強颱造成東區及南區降雨達到豪雨等級，北區及中區雨勢相對趨緩，餘者則有大雨等級；中颱與強颱雨區分布相近，唯劇烈降雨集中南區且高出超大豪雨標準，餘者介於豪雨至大豪雨區間；輕颱降雨分布兩極，左半部的北、中及南區雨勢偏弱，僅達大雨標準，而右半部的東區及交界地區，則出現豪雨或大豪雨等級雨勢。在最大 24 小時雨量分布（圖 5(d)、(e)、(f)），輕颱造成東區降雨不均且擴及至接壤地區，宜花局部範圍雨勢劇烈，而臺東地區相較趨緩，除北、中及南區降雨明顯偏少外，餘者均有大雨至大豪雨等級雨勢；另強颱及輕颱樣本數各一，其結果與平均 24 小時降雨量相同。綜觀颱風強度、平均及最大單日降雨量，發現中颱降雨較為劇烈，依強弱程度排序，分別是中颱 > 強颱 > 輕颱。



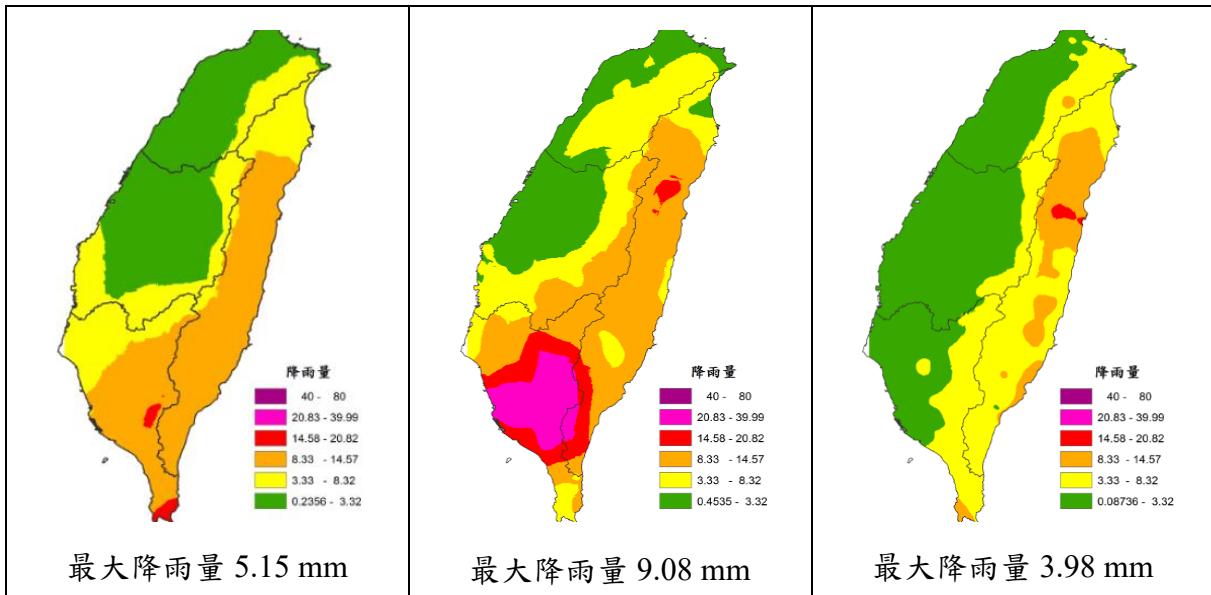


圖 5 路徑 4 全臺平均/最大 24 小時降雨分布

路徑 5 為通過臺灣南方海面由東向西或西北進行者，此路徑之颱風強度樣本數各一，表示颱風平均及最大 24 小時降雨分布一致。圖 6 顯示雨量分布，強颱雨區集中東區，距離交界地區愈近、雨勢漸緩，除北、中、南區局部地區及宜蘭一帶降雨維持大雨等級，餘者均有豪雨甚至大豪雨不等雨勢；中颱對於全颱影響，僅東區局部地區有大雨發生；輕颱則造成南區恆春半島及東區達仁局部地區出現強烈降雨。綜觀颱風強度及時雨量，發現強颱降雨較為劇烈，依強弱程度排序，分別是強颱 > 中颱 > 輕颱。

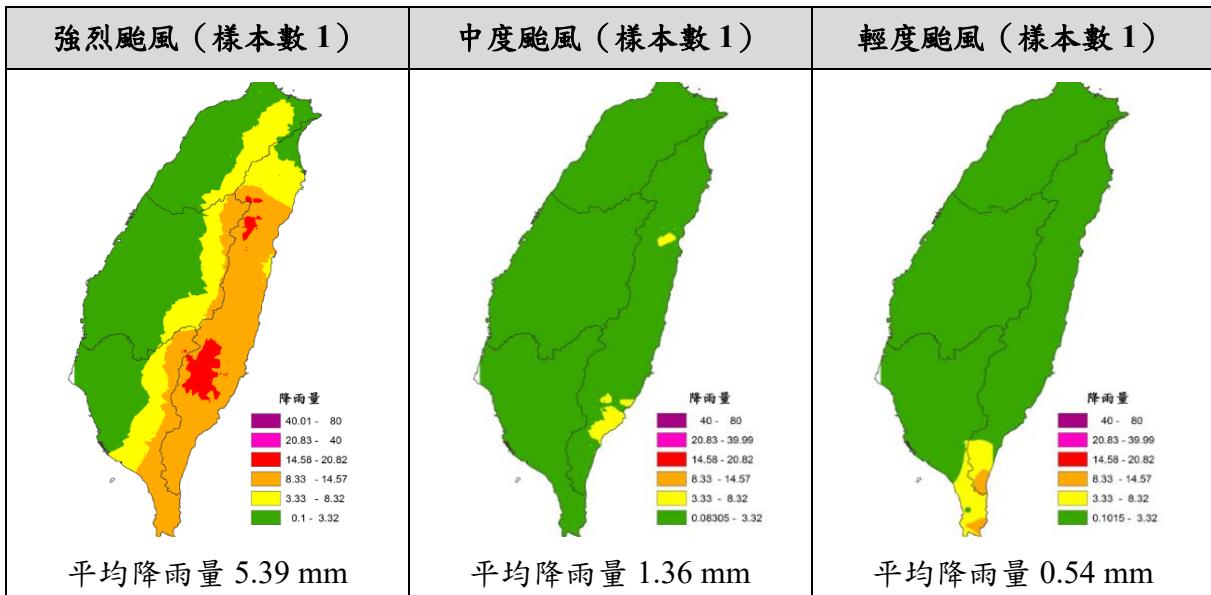


圖 6 路徑 5 全臺平均 24 小時降雨分布

(2) 颱風路徑與總雨量分布之關聯

路徑 2 為通過臺灣北部由東向西或西北進行者，圖 7 分別顯示強颱、中颱及輕颱之平均及最大總雨量分布。在平均總降雨量（圖 7(a)、(b)、(c)），強颱造成全臺幾乎被大雨籠罩，尤其是各區與鄰近接壤處之雨勢強烈達到豪雨等級；中颱雨區範圍更勝強颱，由北區及東區宜蘭一帶向下擴及至南區高雄，雨勢達大雨至豪雨不等；輕颱降雨分布與

強颱及中颱相反，雨區散布在東區及南區，又以恆春半島雨勢為最，局部地區出現大雨至大豪雨等級。在最大總降雨量（圖 7(d)、(e)、(f)），不論是強颱或中颱降雨趨勢與平均總雨量分布相近，唯雨勢劇烈且雨區較廣，尤其是山區易有豪雨甚至大豪雨發生；由於輕颱樣本數僅乙份，其結果與平均總雨量一致。綜觀颱風強度、平均及最大總降雨量，發現中颱降雨表現相較劇烈，依強弱程度排序，分別是中颱 > 強颱 > 輕颱。

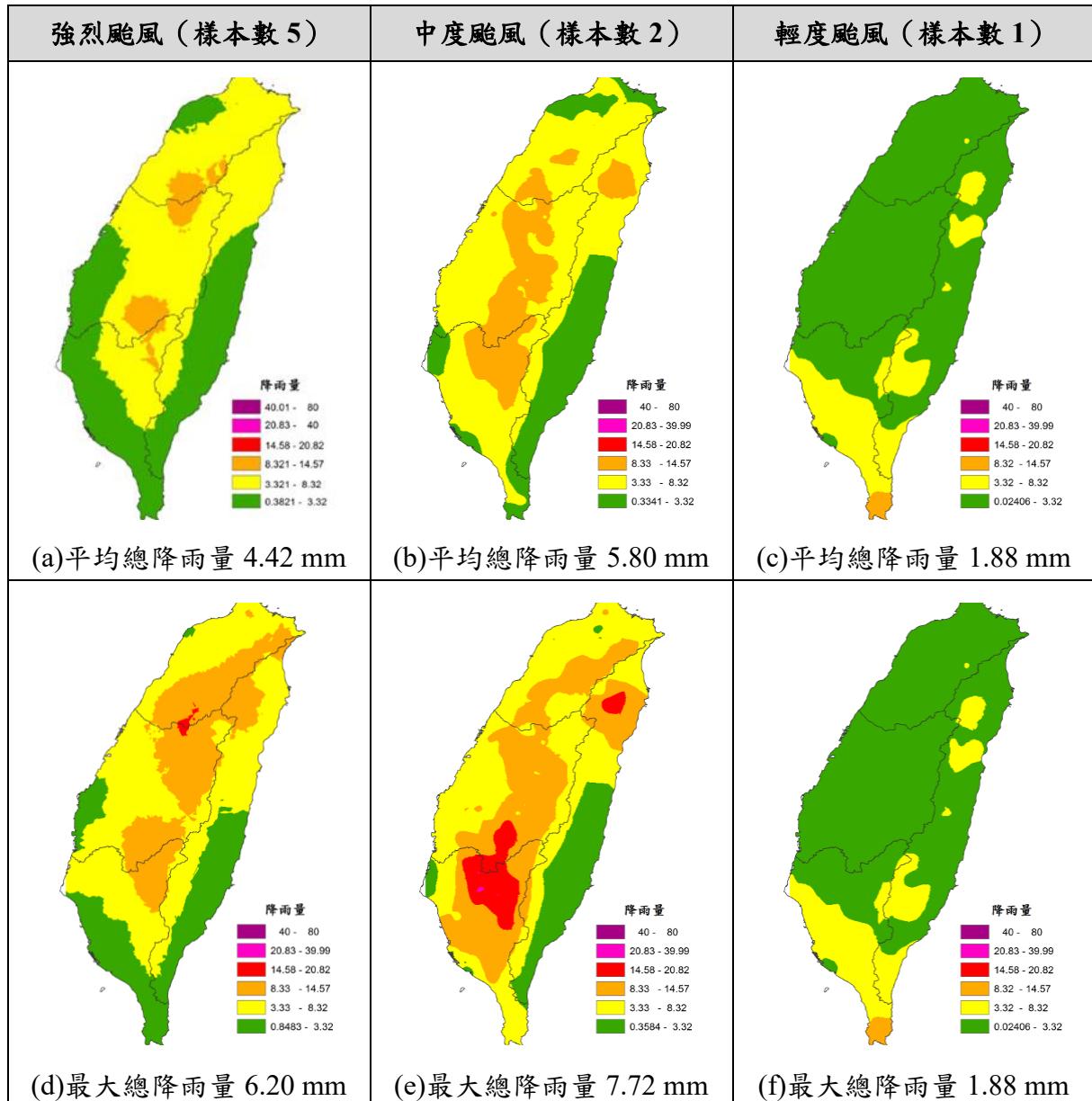


圖 7 路徑 2 全臺平均/最大總雨量分布

路徑 3 為通過臺灣中部由東向西或西北進行者，圖 8 呈現強颱、中颱及輕颱之平均及最大總雨量分布。在平均總降雨量（圖 8(a)、(b)、(c)），強颱造成東區及交界相鄰區域出現豪雨，餘者大多為大雨等級；中颱雨區分布全臺，尤其是南區高雄山區一帶有豪雨甚至大豪雨發生，而北區及東區沿海雨勢則有明顯趨緩；輕颱雨勢區分顯著，除恆春半島雨勢達豪雨等級，南區高雄及東區臺東以南則有大雨發生。在最大總降雨量（圖 8(d)、(e)、(f)），中颱雨區明顯分布於中、南及東區交界處，尤以山區雨勢為最，達到豪雨至

大豪雨標準，餘者多為大雨等級；另強颱及輕颱樣本數各一，其結果與平均總降雨量相同。綜觀颱風強度、平均及最大總降雨量，發現中颱降雨表現相較劇烈，依強弱程度排序，分別是中颱 > 強颱 > 輕颱。

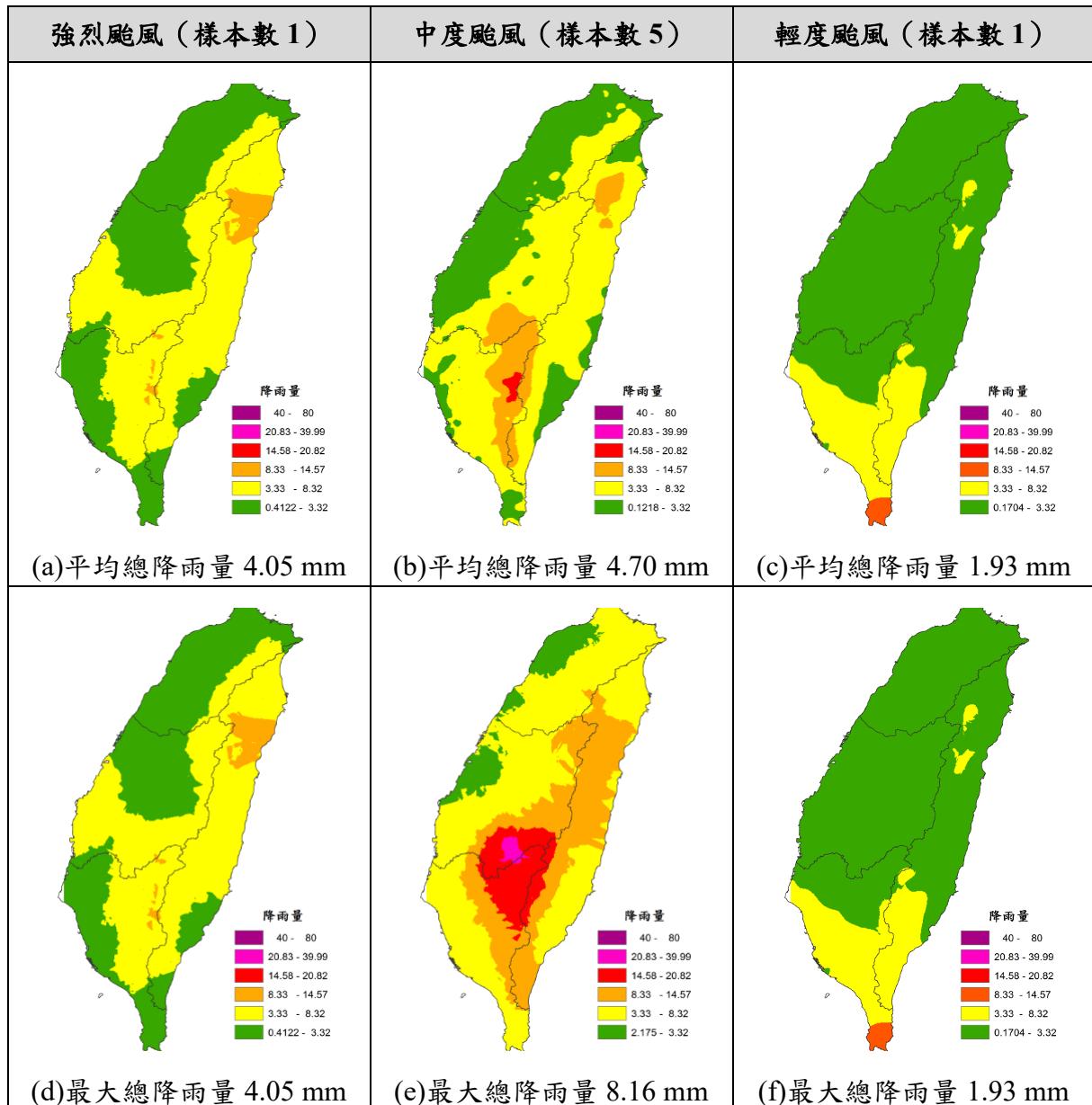


圖 8 路徑 3 全臺平均/最大總雨量分布

路徑 4 為通過臺灣南部由東向西或西北進行者，圖 9 係為強颱、中颱及輕颱之平均及最大總雨量分布。在平均總降雨量（圖 9(a)、(b)、(c)），強颱雨區分布兩極，東區的花蓮與臺東及南區的高雄和屏東等區域有豪雨發生，而恆春半島則有劇烈雨勢；中颱與強颱降雨分布相近，唯劇烈雨勢集中南區高屏之間，而恆春半島降雨較為趨緩；輕颱造成降雨集中東區，尤以宜花一帶有大雨至豪雨不等之劇烈雨勢。在最大總降雨量（圖 9(d)、(e)、(f)），輕颱雨勢偏重在東半部，以東區接壤北、中、南區接壤處為主，宜花局部地區及臺東市區一帶出現劇烈降雨達大雨至豪雨等級，西半部雨勢則相較趨緩；由於強颱及中颱樣本數各一，其結果與平均總降雨量相同。綜觀颱風強度、平均及最大總降雨量，

發現中颱降雨表現相較劇烈，依強弱程度排序，分別是中颱 > 強颱 > 輕颱。

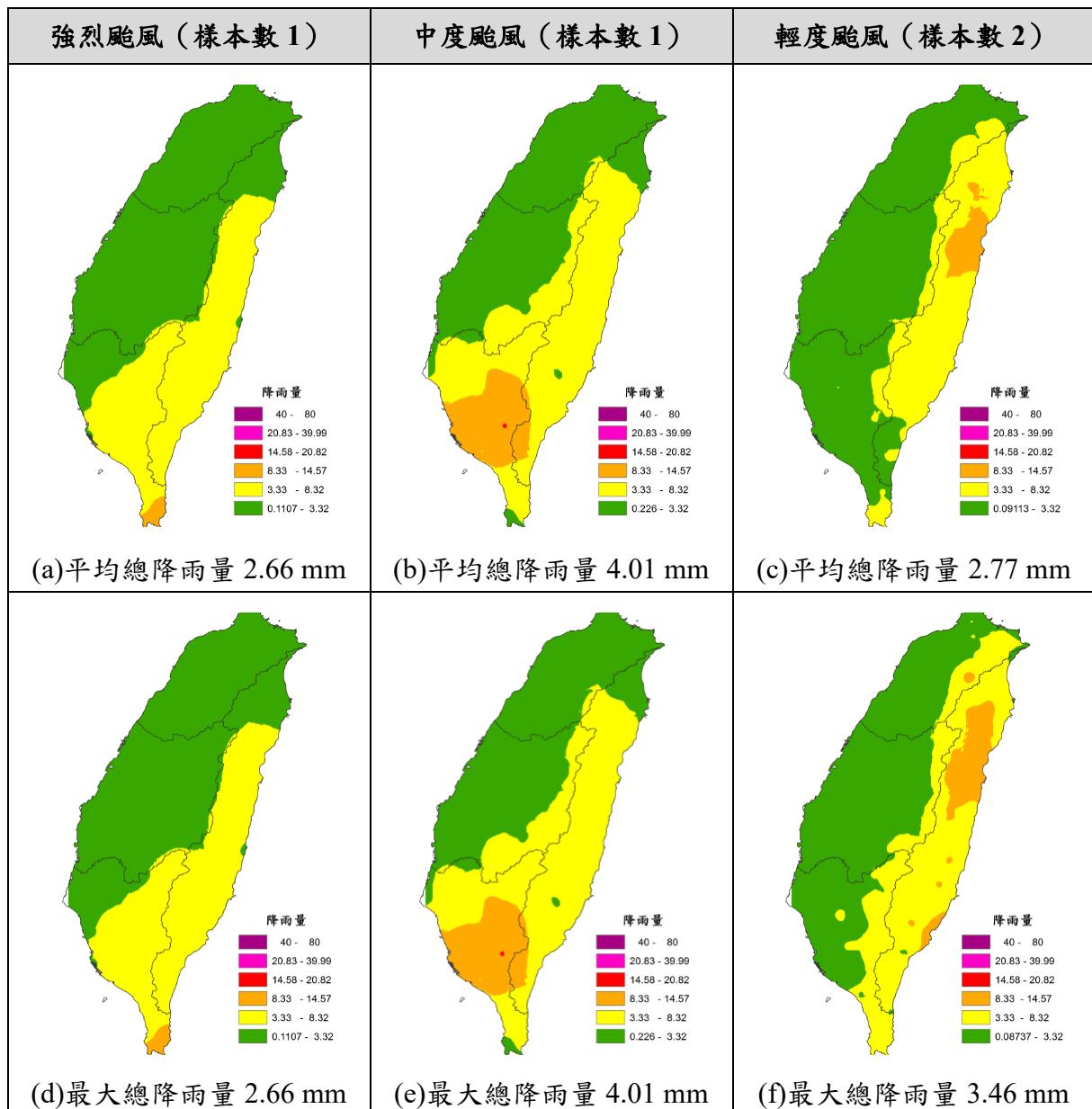


圖 9 路徑 4 全臺平均/最大總雨量分布

路徑 5 為通過臺灣南方海面由東向西或西北進行者，此路徑之颱風強度樣本數各一，表示颱風平均及最大總降雨分布相同。圖 10 顯示雨量分布，強颱雨區集中東區，出現大雨甚至豪雨不等雨勢，距離交界地區愈遠、雨勢漸緩；中颱僅造成東區有零星大雨發生；輕颱雨勢集中於東區達仁及南區恆春半島。綜觀颱風強度、平均及最大總降雨量，發現強颱降雨表現相較劇烈，依強弱程度排序，分別是強颱 > 中颱 > 輕颱。

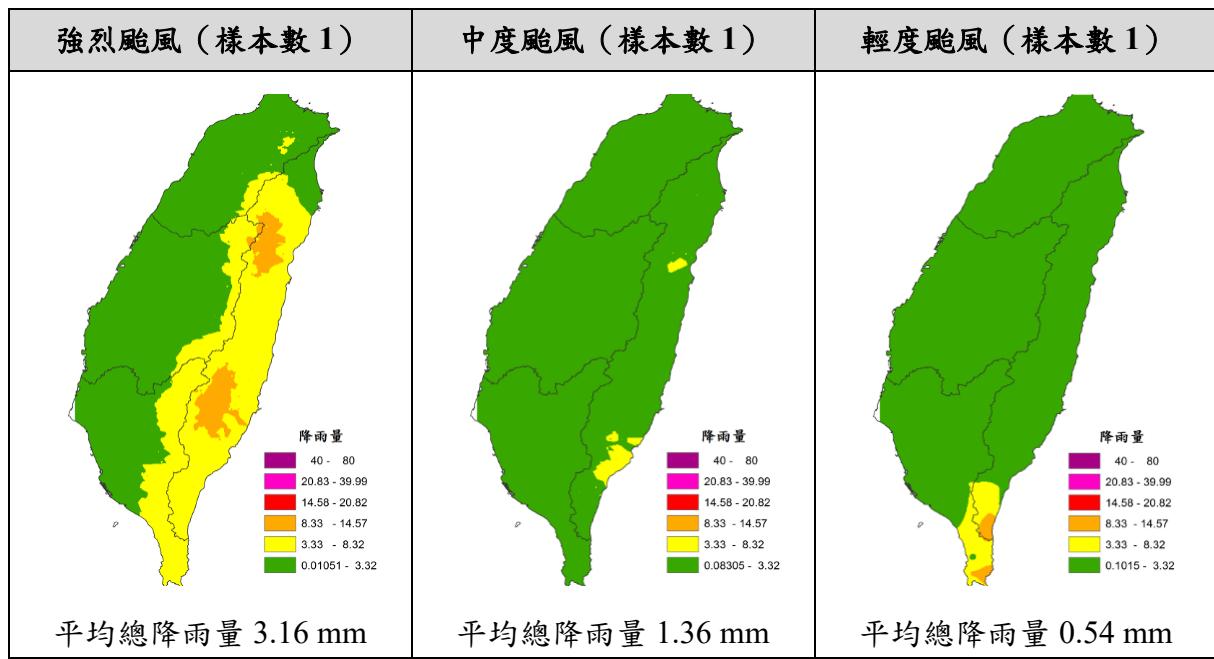


圖 10 路徑 5 全臺平均總雨量分布

四、結論

本研究應用克利金法技術及地理資訊系統 (GIS)，分析颱風路徑與空間降雨強度之關係。研究結果顯示，颱風強度與降雨強度無絕對關連，並非颱風強度愈強，降雨量愈大；降雨量的影響，主要受颱風路徑、地形及季節性氣流影響，雖然每個侵臺的颱風降雨量多寡差異甚大，但因臺灣地形影響，各種路徑的降雨分布有其特性，相同路徑於各個區域相對雨量有其趨勢與不同表現，其中以路徑 2、3、4 對臺灣影響最大，路徑 1、5、8 的影響最小；路徑 2、3、4 的颱風分別由臺灣北區、中區及南區通過由東向西行，臺灣東區位於颱風迎風面則降雨劇烈，而當颱風通過臺灣山脈後，不僅颱風中心所在區域有強烈降雨，臺灣西部持續受颱風逆時針環流影響，於中、南區區域產生劇烈降雨；而路徑 1、5、8 主要由北區或南區海域經過，未實際通過臺灣陸地，故帶來的降雨較低。而颱風路徑對臺東的影響，其中以路徑 3、4、5 造成縱谷區域、臺東市區及南迴區域大豪雨或超大豪雨，影響程度最大，其主要原因為颱風由東部登陸或臺灣南部海面通過，臺東位處迎風面首當其衝，故有相當大的累積降雨量；而路徑 2、6、8、9 影響程度次之，造成各區大雨或豪雨；而路徑 1 影響程度最低，僅縱谷區域有大雨。另外，颱風路徑與臺東各區的延時降雨量之關係，其中路徑 5、3、4 依序最易造成南迴區及縱谷區短延時強降雨；路徑 5、4、3 依序最易造成縱谷區、南迴區及臺東市區中延時強降雨；路徑 5、4、3 依序最易造成縱谷區、南迴區及臺東市區中延時強降雨。

致謝

本研究成果承蒙中華民國國家科學及技術委員會補助計畫（計畫編號：NSTC 113-2119-M-143-001）補助研究經費，謹致感謝。

參考文獻

- Chen, X., Wu, Y. and Lin, S., 2012. *Typhoon Route and Rainfall Distribution in Taiwan*. *Meteorological Research*, 40(2), 187-205.
- Dhulgude, A., Jadhav, V.M. and Shinde, P., 2023. *Spatial analysis of rainfall data using geospatial technology in Satara District, Maharashtra*. International Journal of Advance and Applied Research, 4(1), 29-38.
- Holland, G. J., 1997. *The Maximum Potential Intensity of Tropical Cyclones*. *Journal of Atmospheric Sciences*, 54(21), 2519-2541.
- Hsu, H. H., Lee, C. Y. and Chiu, H. C., 2016 . *Rainfall distribution in tropical cyclones: A case study of Typhoon Morakot (2009)*. *Natural Hazards*, 83(3), 1963-1980. doi:10.1007/s11069-016-2483-2
- Knaff, J. A. and Zehr, R., 2007. *The relationship between tropical cyclone intensity and rainfall*. *Journal of Climate*, 20(6), 1447-1457. doi:10.1175/JCLI4050.1
- Knutson, T. R., Camargo, S. J. and Chan, J. C. L., 2010 . *Tropical Cyclones and Climate Change Assessment: Part I*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(4), 529-544.
- Koutsoyiannis, D., 2003 . *Rainfall Disaggregation Methods: Theory and Applications*. *Water Resources Research*, 39(4), 1111-1122.
- Lee, C. Y., Wu, C. C. and Chen, S. H., 2018 . *Increasing extreme rainfall events associated with strong typhoons in Taiwan*. *Climate Dynamics*, 50(5), 1813-1830. doi:10.1007/s00382-017-3671-4
- Liang, A., Oey, L., Huang, S. and Chou, S., 2017. *Long-term trends of typhoon-induced rainfall over Taiwan: In situ evidence of poleward shift of typhoons in western North Pacific in recent decades*. *Nature Communications*, 122(5), 2750-2765.
- Lin, C., Hsu, K. and Gao, X., 2013. *Statistical Downscaling of Global Climate Models to Assess Future Rainfall Extremes in Taiwan*. *Journal of Climate*, 26(4), 1145-1163.
- Sharma, S. and Saha, S. K., 2020 . *Geospatial analysis of rainfall distribution during tropical cyclones in India*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 85, 102020. doi:10.1016/j.jag.2019.102020
- Wilby, R. L., Dawson, C. W. and Barrow, E. M., 2004. *SDSM—a Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts*. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145-157.
- Wang, M. and Lin, Y., 2021. *Kriging Method in Rainfall Estimation: A Comprehensive Study*. *Journal of Hydrology*, 59(4), 312-329.
- Xu, J., Zhao, P., Chan, J.C.L., Shi, M., Tang, C., Zhao, S., Xu, Y., Chen, J. Du, L., Wu, J., Ye, J., Xing, R., Wang, H. and Liu, L., 2024 . *"Increasing Frequency of Intense Tropical Cyclones in the Western North Pacific Over the Past 37 Years*. *Nature Communications*, 15(310).
- Yu, Z., Wang, Y., Xu, H., Davidson, N., Chen Y., Chen, Y. and Yu, H., 2017. *On the*

Relationship between Intensity and Rainfall Distribution in Tropical Cyclones Making Landfall over China. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 56(10), 2883-2901.
IPCC. 2021. *Sixth Assessment Report: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

葉天降、吳石吉、謝信良（1999）。*簡單統計方法於臺灣地區颱風降水預測之研究（一）預測方法與台北颱風降水之預測校驗*。大氣科學，第 27 期。

鄭裕仁（2000）。*以 GIS 空間分析克利金研析苗栗中港溪遊憩潛力與環境景觀之關連*，中華大學營建管理研究所碩士論文。

高堅泰、馮豐隆（2001）。*森林生育地因子之空間推估與生育地分類*。中華林學季刊，34(2)，165-182。

林金樹、陳峰盛（2004）。*鄰點數量與分布型態對一般克利金模式雨量估值誤差的影響之研究*。中華林學季刊，37(1)，61-75。

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，38(1)：21-30。

陳政安（2011），*侵台颱風路徑變化對臺灣降雨影響*，碩士論文，中國文化大學理學院地學研究所大氣科學組，台北市。

郭鴻基、陳郁涵、蘇世顥、徐理寰、楊憶婷（2013）。*台灣颱風雨不停*。農業世界雜誌，第 359 期。

衛強、魏聰輝、葉惠中、陳彥璋、江介倫（2011）。*利用地理統計及離散資訊熵進行雨量站觀測網設計之研究—以臺大實驗林轄區為例*。作物、環境與生物資訊，8，58-74。

中央氣象署預報中心（2011）。*發展鄉鎮逐時天氣預報系統 100 年度成果報告*。