

颱風壯度與大小對台灣風雨之影響

周昆炫¹ 吳聖宇² 林書正¹

¹中國文化大學大氣科學系 ²中國文化大學地學研究所

(中華民國 107 年 7 月 05 日收稿，中華民國 107 年 11 月 14 日定稿)

摘 要

2015 年及 2016 年共有 4 個路徑、對流結構相似，但是不同強度的颱風登陸台灣，分別為 2015 年蘇迪勒颱風、杜鵑颱風，以及 2016 年尼伯特颱風、梅姬颱風。不過這四個颱風的風雨表現狀況並非跟颱風強度呈現正相關，因此讓我們想要探討除了強度之外的因素對台灣風雨的影響。

本研究利用 NCEP-GFS (The National Centers for Environmental Prediction Climate Forecast System Reanalysis - Global Forecast System) 全球模式的初始分析場資料及 CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) 的全球再分析資料分別計算颱風的壯度及大小，發現颱風壯度跟大小之間有良好的正相關性，颱風強度跟壯度、大小之間的相關性較差。颱風強度、壯度、大小這三個因素之間有不同的變化情況，包括三者變化一致、強度巔峰過後壯度跟大小仍持續增加以及颱風大小最大值出現在強度巔峰之前等三種類型。

過去研究發現颱風對台灣風雨的影響因素包括颱風路徑、結構、颱風移速及綜觀環境等，本研究則著重於探討颱風強度、壯度、大小以及颱風移速跟台灣風雨的關係。針對台灣整體風雨的分析結果發現颱風壯度及大小跟風雨指標之間的相關性最好，其次則是颱風移速跟風雨指標的相關性，強度跟風雨指標的相關性則較低。針對不同路徑的分析則發現，第二類路徑(自宜蘭到花蓮間登陸並向西穿越台灣陸地)颱風的強度、颱風移速跟風雨指標間的相關性較好。第三類路徑(自花蓮到台東間登陸並向西穿越台灣陸地)颱風的大小、颱風移速跟風雨指標間的相關性較好，雨量指標尤其明顯。針對不同測站在不同路徑下的分析結果發現，接近颱風內核區的測站風雨指標跟颱風強度的相關性較好，位於颱風外圍區域的測站其風雨指標跟颱風大小的相關性較好。

關鍵字：颱風壯度、颱風大小、颱風風雨預報

一、前言

2015 年及 2016 年間一共有 4 個不同強度的颱風先後登陸台灣，包括強烈颱風杜鵑、強烈颱風尼伯特以及中度颱風蘇迪勒、中度颱風梅姬等。這 4 個颱風均為西行路徑登陸台灣的颱風，4 個颱風侵台的時間點都分布在夏季的 7-9 月，而且沒有明顯的不對稱結構以及西南氣流、東北季風等外圍綜觀環境系統的伴隨，移動速度均為偏快，無滯留打轉現象。就颱風強度而言，杜鵑、尼伯特的強度較強(強烈颱風)，蘇迪勒、梅姬颱風的強度較弱(中度颱風)，但是從全台灣氣象觀測站實際觀測的風雨情況以及造成災害程度的角度而言，後兩者的影響程度似乎要大上許多，跟一般大眾傳統印象中，強度越強的颱風可能造成影響越大的情況不盡相同。因此，在其他條件沒有明顯差異的情況下，我們開始注意到除了颱風強度之外，其他可能影響風雨發生情況的因素，本研究之目的即在找出這些因素，並了解其影響風雨發生情況的程度。

西北太平洋是全球颱風最活躍的區域，西元 1987 年之前位於關島的美軍聯合颱風警報中心 (Joint Typhoon Warning Center, JTWC) 每日固定派出飛機對存在於西北太平洋面上的颱風進行直接觀測，因此有詳細的颱風實際環流大小、由外而內的風速變化、近中心風速強度和氣壓數值等觀測資料，可較為確實的掌握颱風內部環流狀況。Holland

and Merrill (1984) 利用飛機的實際觀測資料研究分析後認為描述一個颱風的變化可以由三個部分來表示：(1)強度(Intensity)，包括中心最大風速(V_{max})和中心最低海平面氣壓(MSLP)等；(2)壯度(Strength)，自中心向外 300 公里半徑範圍內的平均風速；(3)大小(Size)，自中心向外到某特定風速的半徑值(R_{34} , Radius of 34-knot wind)。Weatherford and Gray (1988a,b) 進一步定義颱風的結構及壯度的標準為：(1)距中心 0.0-1.0 度範圍稱為內核區(inner-core region)；(2)距中心 1.0-2.5 度範圍稱為外核區(outer-core region)；(3)在 outer-core region 內之切向風平均稱為 Outer-Core wind Strength (OCS)。

自 1987 年颱風飛機觀測停止後，關於颱風強度、壯度及大小的研究必須使用其他的資料(如衛星觀測資料)來進行，且集中在探討颱風強度或大小的相關變化為主。Liu and Chan (1999) 利用 ERS 衛星反演的風場資料研究西北太平洋及北大西洋的熱帶氣旋大小、強度及壯度，發現強度跟大小之間的相關性低，強度跟壯度之間的變化經常是各自獨立，互相不影響。Chan and Chan (2012) 使用 QuikSCAT 於 1999-2009 年的海面風場反演資料，統計分析西北太平洋與北大西洋之熱帶氣旋的強度、大小(R_{17})和 OCS 之間的相關性及氣候特徵，發現 R_{17} 與 OCS 的相關係數高達 0.9，反而強度分別與 R_{17} 和 OCS 的相關性並不高。Wu et al. (2015) 依據衛星觀測針對每個熱帶氣旋風場結構分析所建構的

MTCSWA (Multiplatform Tropical Cyclone Surface Winds Analysis, 多元熱帶氣旋海平面風場風析)資料, 透過 TC 強度及 R34 的分析發現, 強度與大小之間並非線性關係, 當中心強度達到 103 knots 時, R34 的大小達到極大值(約 2.5 個緯度)並且開始出現轉折, 當強度再上升時, TC 的大小反而減小。由上述的研究回顧中可發現, 熱帶氣旋的強度跟大小之間並非完全的線性相關, 強度增強的初始階段其大小可能隨之增大, 但可能在達到巔峰強度前就反轉開始縮小, 大小最大的時間點往往不是強度最強的時候, 又可知道颱風壯度跟大小有較為良好的相關性, 因此可推估即使颱風強度已經過了巔峰, 其壯度值仍可能維持甚至繼續隨大小增加而變大。

侵台颱風環流對台灣降雨、風速分布的影響過去有許多研究成果。在颱風的路徑跟降雨方面, 林及徐(1988)統計 1950 年到 1985 年共 119 個颱風個案, 包括氣象局及水利局在內共 949 個雨量測站的日雨量資料, 並且配合 8 種颱風路徑的分類進行分析, 結果顯示隨著颱風路徑的不同可能呈現完全不一樣的降雨分布狀況。李(1997)亦針對不同路徑之侵台颱風的降雨特性進行分析, 因為台灣地形特徵顯著, 就相近的颱風中心位置而言, 造成台灣陸地上的降雨分布多半有明顯的相似性。除了颱風的路徑之外, 颱風本身的結構對於風雨發生的情況影響也很大。周及李(2010)對莫拉克颱風的異常降雨做出分析, 莫拉克颱風具有明顯的不對稱結構, 由雷達觀

測資料可看出在莫拉克侵台期間, 中心南側環流中有多條明顯的兩帶先後發展, 並且跟地形交互作用而產生大量降雨。李(2015)利用中央氣象局的雷達回波合成圖, 分析 2005-2010 年間 13 個侵台颱風個案中心過山後, 南側兩帶重建的情況, 發現若是颱風侵台前強度仍在增強階段的颱風, 中心過山後南側兩帶重建的狀況較明顯, 並容易引發劇烈降水, 且兩帶重建的個案傾向出現在環境西南風較強或是具有較明顯環境垂直風切的情況下。颱風環流跟外圍季節性綜觀系統的伴隨情況也很重要, 許(2010)等人針對莫拉克颱風的環流特徵進行研究及討論, 發現莫拉克颱風及其左右兩側的柯尼、艾陶颱風同時位於一個大尺度的季風環流圈內, 其尺度已經超越正常的颱風尺度, 再搭配台灣南部的地形交互作用, 因此引發劇烈的降雨。李(2007)研究 1987 年琳恩颱風與東北季風共伴造成東北部劇烈降雨的個案, 結果顯示強降雨區和低層環流輻合區關係密切, 即低層颱風外圍環流與東北季風輻合, 當環境風場輻合作用和地形舉升作用一致時, 將導致持續性強降水。颱風的移動速度也是一個非常重要的關鍵, 例如 Hsu et al. (2011)統計 1960 年到 2010 年的侵台颱風移動速度跟降雨量的關係, 發現雨量較大的個案其中心在登陸期間的移動速度較慢(超過平均移速一個標準差), 並且有 80%以上登陸位置在北緯 23.5 度以北。颱風登陸期間累積雨量與移動速度的倒數以及在陸地的停留時間有良好的正相關, 移速越慢

之個案在台灣中南部山區降雨極值越明顯。

李(2005、2006)利用全台 28 個局屬測站及 104 個自動氣象站的平均風力觀測資料，分析 1989 年到 2005 年間，共計 83 個侵台颱風伴隨的風力分布特徵，配合這些颱風的路徑及強度的分析結果顯示，當有準確的颱風強度及路徑預測，對於颱風中心位置跟台灣地區出現強風的關係就可以大致掌握，不同路徑跟大小的颱風在各地出現強風的程度以及時間分布都有相當大的差異存在。為了有較一致的標準來評估颱風個案的風雨對台灣影響的程度，周(2009)使用中央氣象局局屬測站的觀測資料，並統計數個不同時間長度的延時降雨量作為指標來評估個案颱風對台灣降雨的影響程度，本研究也將參考使用相同的方式，定出數個延時降雨量跟風速的指標作為標準，用來評估個案颱風風雨影響台灣大小依據。

本文第二章將介紹使用資料之來源，並說明研究所需之颱風個案選取和相關參數指標的計算方式；第三章探討颱風強度、壯度和大小三者之間的關係；第四章針對 2015、2016 年四個侵台颱風的個案研究；第五章則是 1980 至 2016 年期間侵台颱風之歷史個案統計分析；第六章為結論。

二、資料來源與研究方法

2.1 資料介紹

自 2015 年 7 月起，美國國家環境預測中心(The National Centers for Environmental

Prediction Climate Forecast System Reanalysis, NCEP)開始提供水平空間解析度為 0.25 度的全球預報模式(Global Forecast System, GFS)資料，包括有初始分析場以及預報場兩部分，時間解析度為 6 小時一筆(0000, 0600, 1200, 1800 UTC)，本研究使用 NCEP-GFS 水平空間解析度 0.25 度，全球預報模式的初始分析場資料中所包含的海平面 10 米風場來進行 2015-2016 年個案颱風的壯度及大小的計算。為了計算更早期的颱風個案，本研究另外使用了同樣為 NCEP 所提供的氣候預測系統(Climat Forecast System Reanalysis, CFSR)的再分析資料，水平空間解析度為 0.5 度，垂直解析度有 37 層，時間解析度為 6 小時一筆(0000, 0600, 1200, 1800 UTC)，提供時間可追溯至 1979 年起，同樣利用其中所包含的海平面 10 米風場來計算 1980-2014 年個案颱風的大小以供研究進行。颱風強度則是直接引用 JTWC(美軍聯合颱風警報中心)所提供的 Best Track(最佳路徑)中之強度資料，此為美國海軍在每年颱風季節過後，根據各種實際觀測結果對每一個颱風進行重新評估所得出之颱風定位、大小、強度等等資訊。

為計算颱風侵台期間的移動速度，本研究取用中央氣象局所提供，颱風警報發布期間每 6 小時一筆之颱風中心定位資料，由此定位資料計算颱風警報發布期間颱風的移動速度以供研究進行。另外，選取中央氣象局包括台灣本島及澎湖、東吉島、蘭嶼在內共計 27 個局屬測站(不包括金門、馬祖及觀測

時間較短的新屋站)，在每一個案颱風警報發布期間所觀測到的逐時平均風、陣風及逐時降雨量等觀測資料，並且利用這些實際的觀測資料來計算相關風雨指標的數值。

2.2 研究方法

本研究將分析自 1980 年以來侵襲台灣的個案颱風之壯度、大小、強度與實際觀測風雨指標之間的相關性，為了達成研究所需，我們將根據以下幾個條件來進行個案篩選和分類：

(1) 颱風中心登陸台灣的颱風

因為颱風中心登陸與否對於台灣各地風雨發生的程度影響甚大，為求一致的標準，故所選取的個案均為颱風中心有登陸台灣的颱風。

(2) 西行路徑通過台灣

西行路徑(中央氣象局定義之第 2、3、4 類路徑)通過台灣的颱風對台灣風雨的影響程度大，而且個案數較多，故選擇此 3 種類路徑的颱風個案，共計 29 個颱風。第 2 類路徑為登陸宜蘭到花蓮間並且向西穿越台灣陸地的颱風，第 3 類路徑為登陸花蓮到台東間並且向西穿越台灣陸地的颱風，第 4 類路徑為登陸台東到恆春間並且向西穿越台灣陸地的颱風。

(3) 北行路徑通過台灣

為求分析的完整性，我們也同時考慮了北行路徑(中央氣象局定義之第 6、7 類路徑)而且中心有登陸台灣的颱風個案，不過個案

數較少，共計 3 個颱風。第 6 類路徑為通過台灣東部近海或陸地由南往北移動之颱風，第 7 類路徑為通過西部近海或陸地由南往北移動之颱風。

按照上述的條件設定進行個案篩選，選取的範圍為 1980 年至 2016 年間，一共選出了 32 個颱風個案。

雖然 NCEP-GFS 及 CFSR 資料的水平解析度不同，但兩者都是以海平面 10 米風場為基礎進行颱風壯度及大小的計算，計算的方式如下：

(4) 颱風壯度計算

自颱風中心往外以軸對稱方式每半徑 0.1 度計算一次平均風速，一直到半徑 10.0 度為止，利用這些資料可以畫出自颱風中心向外到距中心 10 個經緯度範圍內的平均風速變化剖面圖，再參考 Weatherford and Gray (1988)的定義，計算自半徑 1.0 至 2.5 度之間的平均風速，所得到的數值即為該颱風某一個時間點的壯度，最後再以颱風 R34 即將碰觸到陸地前的壯度值作為該個案颱風侵台的壯度。本研究的颱風中心以海表風場的環流中心作為依據，程式計算上為選取最靠近海平面氣壓中心最小的 10 米風速網格點位置。壯度計算包括個案為 2015-2016 年的 4 個西行路徑侵台颱風。

(5) 颱風大小計算

本研究颱風大小的定義是指秒速 17.2 公

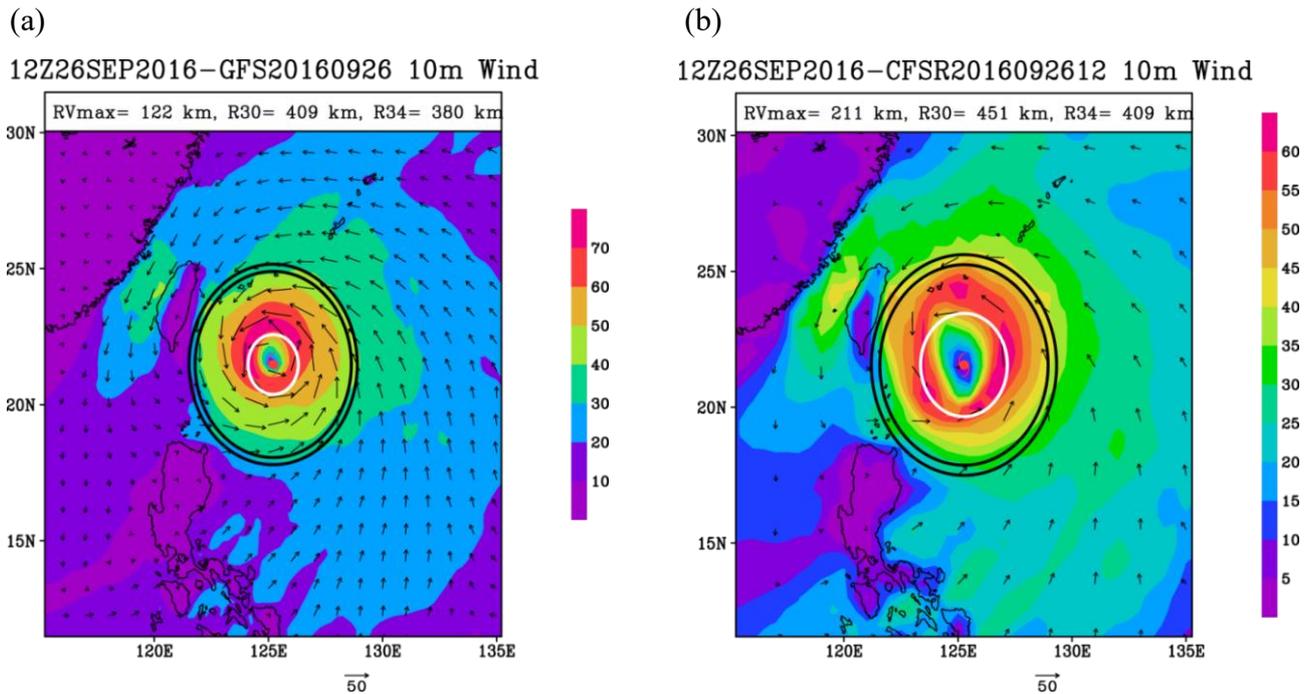


圖 1 2016 年 9 月 26 日 1200UTC 梅姬颱風海平面 10 米風場圖。(a) NCEP-GFS 水平解析度 0.25 度資料繪製之海平面 10 米風場圖。(b) CFSR 水平解析度 0.5 度資料繪製之海平面 10 米風場圖。

尺的軸對稱暴風半徑(R34)。CFSR 提供自 1979 年起，水平解析度為 0.5 度的全球再分析資料，由於解析度較差，因此對於颱風內部風場的模擬相對較差，計算壯度時較容易出現失真的狀況。由 2016 年 9 月侵襲台灣的梅姬颱風，取同一個時間點(2016 年 9 月 26 日 1200UTC)的海平面 10 米風場(圖 1)，左邊(圖 1a)是 NCEP-GFS 水平解析度 0.25 度資料所繪製出來的圖，右邊(圖 1b)是 CFSR 水平解析度 0.5 度資料所繪製的圖，可看出使用 CFSR 水平解析度 0.5 度資料所繪製的颱風風場分析結果較為粗糙，計算颱風壯度的時候可能出現失真的情況，導致颱風壯度偏小，但是颱風大小跟利用 NCEP-GFS 0.25 度資料所計算的結果差異不大。若將 2015-2016 年 4

個侵台颱風(蘇迪勒、杜鵑、尼伯特、梅姬)分別用這兩筆資料進行颱風壯度及大小的計算，再比較兩者所得數值相關性，可得到(圖 2)的結果，壯度的比較相關性較低，大小的比較則相關性較高。根據 Chan and Chan (2012)的研究結果，颱風的大小與壯度之間有良好的正相關性，大小越大的颱風，壯度也會越大，即使 CFSR 再分析資料無法直接用於計算颱風壯度，但仍可透過計算颱風的大小來代表壯度的變化。故本研究將利用此項資料計算個案颱風的大小，也就是 R34 的數值。同時，我們也利用 CFSR 資料計算所得的 R34 數值與 JTWC 所提供的 Best Track 之 R34 數值進行相關性比對，可得到(圖 3)的結果，發現兩筆資料呈現高度相關(相關係數為

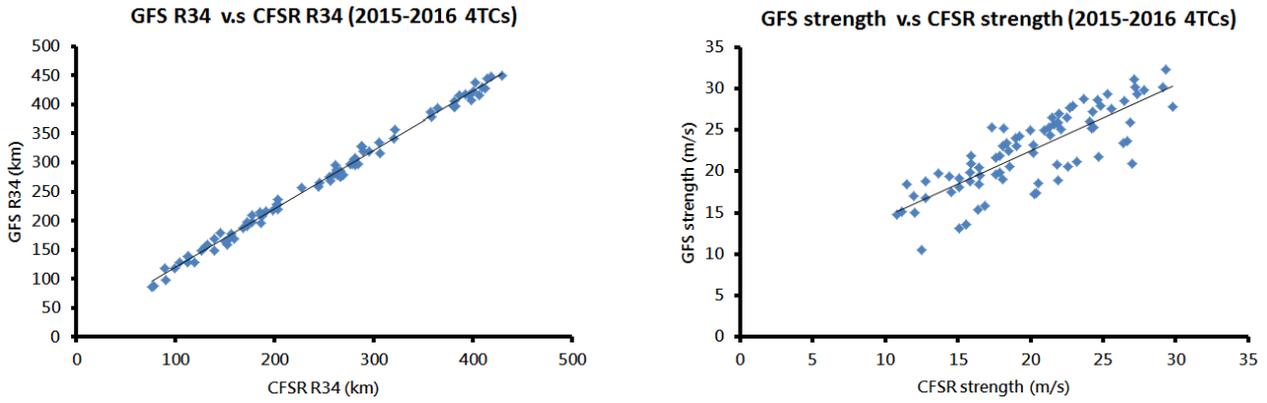


圖 2 NCEP-GFS 水平解析度 0.25 度資料與 CFSR 水平解析度 0.5 度資料計算之颱風壯度及大小之相關性。(a)颱風大小、(b)颱風壯度。個案數為 82 筆

0.77)，因此我們認為利用 CFSR 再分析資料計算之颱風大小具有一定的可信度。跟颱風壯度相同，我們同樣選取即將碰觸到陸地前之 R34 作為該個案颱風的大小，包括的個案為 1980-2016 年間共 32 個侵台颱風。

(6) 風雨指標計算

本研究選取中央氣象局共 27 個局屬測站在個案颱風警報發布期間所觀測到的每小

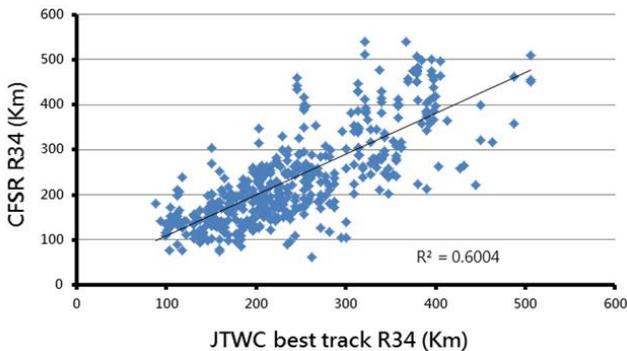


圖 3 JTWC Best Track R34 與 CFSR 水平解析度 0.5 度資料計算之 R34 之相關性。資料為 2015-2016 年 22 個颱風個案，個案數為 482。

時雨量值、每小時平均風速以及瞬間最大風速等資料，計算每一個測站包括最大時雨量、最大 6 小時累積雨量、最大 12 小時累積雨量、最大 24 小時累積雨量、總雨量、警報期間平均時雨量、時雨量 ≥ 10 mm 的小時數、最大平均風速、最大瞬間風速以及平均風速 ≥ 10 m/s 的小時數等共計 10 項風雨指標，再以這些風雨指標的數值跟個案颱風的壯度、大小、颱風移速等進行相關性比較。

(7) 颱風移速計算

本研究的颱風移動速度計算係利用中央氣象局提供之每 6 小時颱風中心定位，取個案颱風自海上颱風警報發布起到警報完全解除之間的部分，計算其總移動距離，再除以時間，換算成颱風警報期間的平均移動速度，單位為公尺/秒。

表 1 根據 NCEP-GFS 資料計算之 2015-2016 年西北太平洋颱風個案之壯度、大小與強度。

颱風名稱 (年份)	壯度(m/s)	大小(R34)(km)	強度(m/s)
閃電(ATSANI) (2015)	30.9	496	70.0
蘇迪勒(SOUDELOR) (2015)	29.8	412	77.5
昌鴻(CHAN-HOM) (2015)	29.3	409	60.0
天鵝(GONI) (2015)	27.9	330	57.5
南卡(NANGKA) (2015)	26.9	413	67.5
杜鵑(DUJUAN) (2015)	24.7	295	62.5
薔琵(CHAMPI) (2015)	23.1	282	65.0
巨爵(KOPPU) (2015)	21.7	262	65.0
烟花(IN-FA) (2015)	18.7	197	57.5
彩虹(MUJIGAE) (2015)	18.2	196	57.5
科羅旺(KROVANH) (2015)	18.2	192	52.5
茉莉(MELOR) (2015)	15.5	160	62.5
颱風名稱 (年份)	壯度(m/s)	大小(R34)(km)	強度(m/s)
梅姬(MEGI) (2016)	29.2	364	57.5
海馬(HAIMA) (2016)	27.2	305	72.5
莫蘭蒂(MERANTI) (2016)	25.3	264	82.5
獅子山(LIONROCK) (2016)	25.1	345	57.5
莎莉佳(SARIKA) (2016)	22.2	242	57.5
芙蓉(CHABA) (2016)	21.9	230	72.5
桑達(SONGDA) (2016)	20.5	200	65.0
馬勒卡(MALAKAS) (2016)	19.5	196	57.5
尼伯特(NEPARTAK) (2016)	19.2	187	75.0
南修(NAMTHEUN) (2016)	11.5	110	50.0

三、壯度、大小及強度變化之探討

本章節為計算自 2015 年 7 月到 2016 年 10 月間，西北太平洋上強度達到 Cat.3 的 22 個颱風個案之壯度與大小，強度則直接使用 JTWC 最佳路徑資料中所提供的數值。再針對這 22 個颱風生命過程之壯度、強度及大小三者之間的變化以及相關性進行分析及討論。

3.1 颱風壯度、強度及大小的相關性

將 22 個颱風利用軸對稱方式計算生命過程中之最大壯度，由大到小進行排列，並同時列出最大強度及大小的數值，可以得到表 1 的結果。由表 1 中可看出，2015 年西北太平洋上壯度及大小最大的颱風均為閃電颱風，雖然蘇迪勒颱風為 2015 年西北太平洋上強度最強的颱風，但是它的壯度跟大小均小於閃電颱風。2016 年西北太平洋上壯度和大小最大的颱風為梅姬颱風，至於當年強度最強的莫蘭蒂颱風以及強度次強的尼伯特颱風，在壯度和大小的部分反而排名於梅姬颱風之後。由上述所得的壯度、大小及強度之數值進行相關性比較，可得到壯度與大小(圖 4)、壯度與強度(圖 5)以及強度與大小(圖 6)的結果。壯度跟大小的相關性很好， R^2 達到 0.82，相對地壯度與強度以及強度與大小之間的相關性並不明顯，這樣的結果與 Chan and Chan

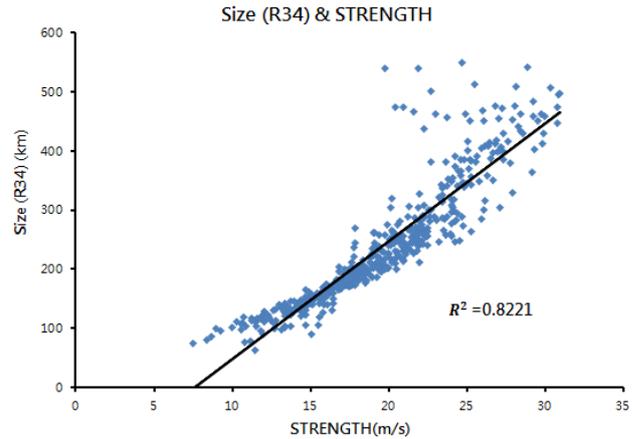


圖 4 根據 NCEP-GFS 資料計算之 2015-2016 年 22 個颱風個案之壯度與大小相關性分析，個案數為 503 筆。

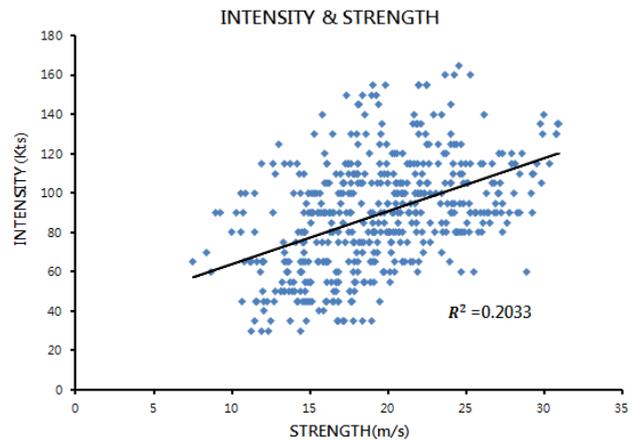


圖 5 同圖 4，但為颱風強度與壯度相關性分析。

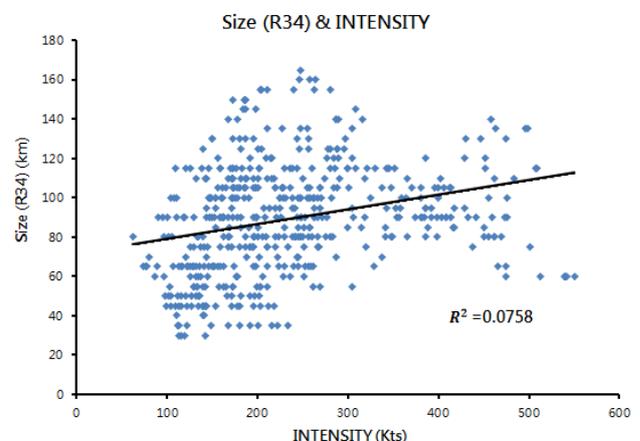


圖 6 同圖 5，但為颱風大小與強度相關性分析。

(2012)利用 QuikSCAT 衛星資料所得到的研究結果相同。因為颱風壯度跟大小之間的相關性很高，因此我們做出一個假設，也就是當資料的解析度較差，無法計算得到可信的颱風壯度數值時，可以計算颱風的大小來替代颱風的壯度進行歷史個案之研究

3.2 颱風壯度、強度及大小間的變化分析

強度、壯度及大小三者之間的變化情況大致可以分成三種類型：

第一類型為颱風的壯度、大小隨著颱風強度呈現正相關的變化，直到颱風中心登陸陸地，結構受到地形破壞而造成強度減弱。第一類型的颱風包括 2015 年的昌鴻、天鵝、杜鵑、茉莉以及 2016 年的尼伯特、南修、莫蘭蒂、馬勒卡及梅姬颱風等共計 9 個颱風。以 2016 年莫蘭蒂颱風為例(圖 7)，可看出其大小及壯度隨著強度增強而持續增加，直到 2016/09/15/0800UTC 颱風中心登陸福建後強度減弱，颱風的大小及壯度也跟著減小，三者的變化曲線大致相同。

第二類型為颱風強度達到顛峰之後開始逐漸衰弱，但是颱風的壯度跟大小並未隨著颱風強度下降而減小，可能維持不變甚至有稍微增大的趨勢。此類型的颱風強度減弱的主因多數是因為環境條件不利於颱風強度的維持而開始減弱，不過颱風中心仍在海面上，雖然颱風中心近岸時強度已經減弱，

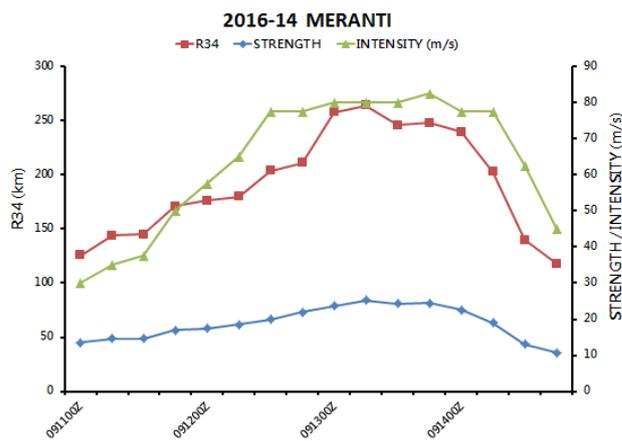


圖 7 2016 年莫蘭蒂颱風之壯度、強度以及大小變化曲線圖。R34 與 Strength 是根據 NCEP-GFS 資料之計算；Intensity 則是取自於 JTWC 最佳路徑資料。

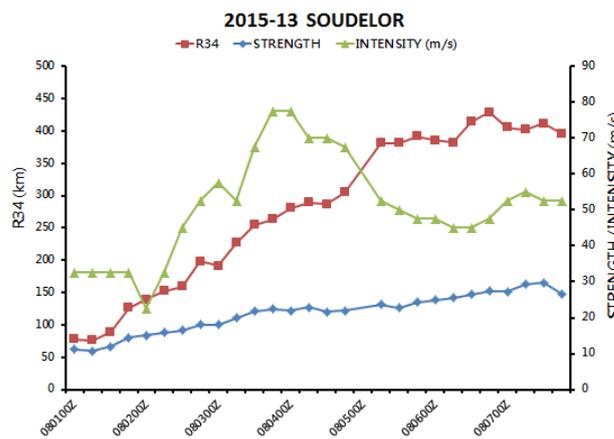


圖 8 同圖 7，但為 2015 年蘇迪勒颱風之壯度、強度以及大小變化曲線圖。

但是其壯度跟大小仍大，甚至持續增加，有可能對於被侵襲地點周圍廣泛區域都帶來明顯的風雨，是需要特別注意留意的颱風類型。第二類型的颱風包括 2015 年的南卡、蘇迪勒、閃電、柯羅旺、薔琵、烟花以及 2016 年的獅子山、芙蓉、桑達、莎莉佳及海馬颱風等共計 11 個颱風。以 2015 年侵台的蘇迪勒颱風(圖 8)為例，其生命過程中最大的強度在 2015/08/04/0000UTC 時發生，之後強度逐漸

減弱，但是大小及壯度卻反而呈現持續增大的狀況，直到 2015/08/07/1800UTC 颱風中心登陸台灣後才開始減小。雖然蘇迪勒颱風侵襲台灣時強度並非巔峰，但卻是壯度跟大小達到最大值的時候，因此蘇迪勒颱風對台灣陸地的威脅程度其實並未隨它的強度減弱而減小，事後的風雨觀測亦證實蘇迪勒颱風為台灣各地都帶來了相當明顯的風雨及災害。關於第二類型颱風在強度減弱下其大小卻增加的現象，Kilroy et al. (2016)透過理想化數值模式解釋其物理機制，指出此現象為邊界層所控制，當內核維持有效的非絕熱加熱效應，將持續驅動颱風次環流讓邊界層提供內傳的角動量，進而造成颱風外圍環流持續擴張。

第三類型為颱風大小的最大值出現在颱風強度達到巔峰之前，強度接近巔峰時颱風的大小反而逐漸減小。第三類型的颱風較少，包括了 2015 年的巨爵以及彩虹颱風等共計 2 個颱風。以 2015 年的巨爵颱風(圖 9)為例，颱風強度越大，大小反而縮小的原因可能跟颱風旋轉增強，環流往內收縮的機制有關，這種類型的颱風風雨可能相當集中於內核區，範圍小但是破壞力強，對於被中心直接侵襲的地點有很大的威脅性，也需要特別加以注意。

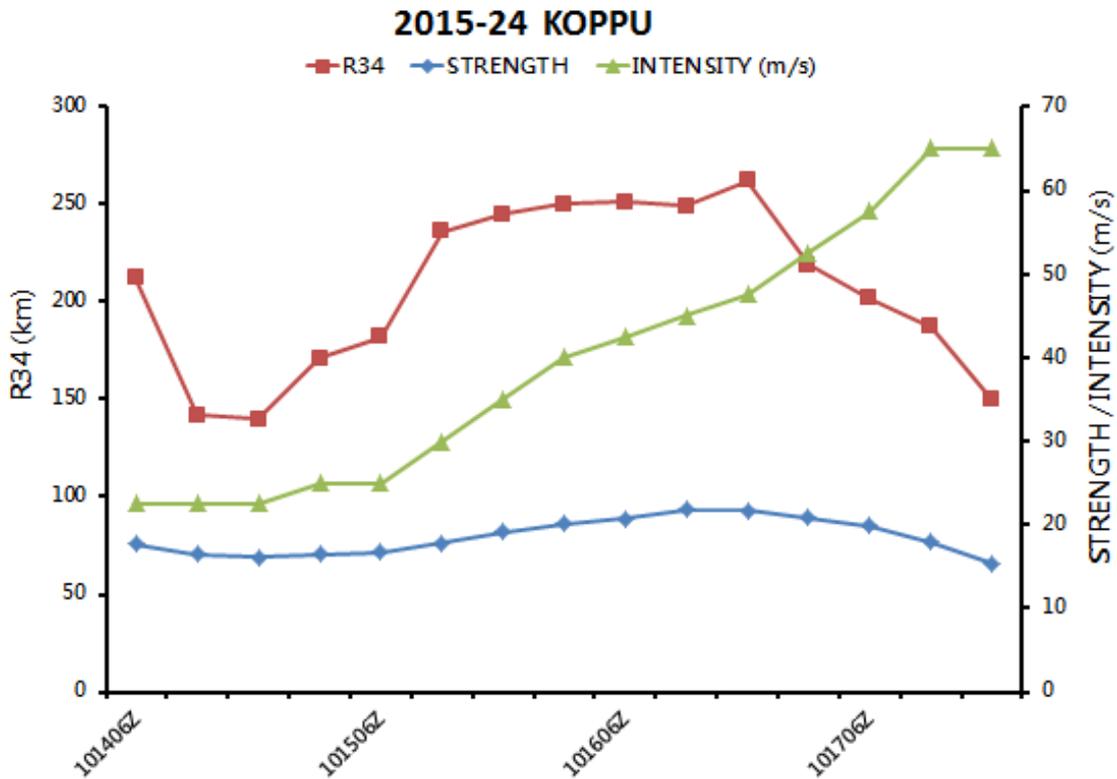


圖 9 同圖 8，但為 2015 年巨爵颱風之壯度、強度以及大小變化曲線圖。

四、2015-2016 年 4 個侵台颱風個案研究

本章節利用前述資料及方法計算蘇迪勒、杜鵑、尼伯特以及梅姬等 4 個颱風生命過程中每天 4 筆的壯度及大小(R34)，取 R34 即將碰觸到陸地之前一個時間點的壯度、大小作為該颱風侵台前的壯度值以及大小值。颱風強度則使用同一時間點的 JTWC 最佳路徑強度資料，計算所得的結果列於表 2，並同時展示對應的海平面 10 米風場圖(圖 10)。由此兩項分析可以看出，在這 4 個颱風中，壯度及大小最大者都是蘇迪勒颱風，梅姬颱風排名第二，兩者的壯度跟大小差異不大。尼伯特颱風雖然強度最強，但是颱風壯度及大小都是 4 個颱風之中最小者。

若將 R34 接觸陸地前的時間點，距中心向外分析半徑 5 度內的軸對稱平均風速剖面，可得到這 4 個颱風自中心向外的平均風速變化曲線圖(圖 11)。由此圖可看出，雖然尼伯特和杜鵑這兩個颱風近中心 1.0 度以內的平均風速值明顯大於蘇迪勒以及梅姬兩個颱風，但是超過半徑 1.0 度(約 110 公里)之後就呈現向外迅速遞減的趨勢，尼伯特颱風向外遞減的幅度又比杜鵑颱風更明顯，顯示尼伯特跟杜鵑這兩個颱風的強風區，非常集中在近中心 1.0 度以內的內核(inner core)區域。相對地蘇迪勒跟梅姬這兩個颱風平均風速最大的位置落在半徑 1.0 度到 1.5 度之間，而且往外遞減的幅度較小，平均風速 20 m/s 的範圍可以

從颱風中心往外一直延伸到半徑 3.0 度到 4.0 度之間，R34 的範圍可以延伸到距中心向外半徑 4.0 度到 5.0 度之間。雖然蘇迪勒跟梅姬颱風內核區的風速較弱，但是颱風的大小卻比尼伯特及杜鵑颱風要大上許多，颱風壯度也明顯比尼伯特及杜鵑颱風大。由強度、壯度跟大小的差異正好可以將這 4 個颱風分為強度較強但是壯度、大小較小(杜鵑颱風、尼伯特颱風)，以及強度較弱但是壯度、大小較大(蘇迪勒颱風、梅姬颱風)的兩個組別。

利用第二章所提到的風雨指標計算方式，分別計算這 4 個侵台颱風的 10 項風雨指標數值並列於表 3。這 10 項風雨指標不論是風力或是雨量的指標都是蘇迪勒颱風最大，之後依序為梅姬颱風、杜鵑颱風，最小者則為尼伯特颱風，10 項風雨指標的計算結果都呈現一致的排列情況。顯示蘇迪勒颱風、梅姬颱風為全台灣帶來了普遍、廣泛性的強風大雨現象，尼伯特颱風的風雨影響範圍相對較小。其中特別令人感到興趣的是從 4 個颱風的壯度來看，壯度最大的蘇迪勒颱風在 10 項風雨指標的表現也是最大的情況，相對地壯度最小的尼伯特颱風則在 10 項風雨指標中的排名均為最小。另一方面，侵台時強度最強者為尼伯特颱風(130 knots)，其次為杜鵑颱風(125 knots)，不過 10 項風雨指標計算的結果卻是強度較弱的蘇迪勒颱風(110 knots)及梅姬颱風(115 knots)比較大。再從颱風的大小跟 10 項風雨指標的相關性來看，也會呈現跟壯度相同的排列結果，即 10 項風雨指標的數

字以颱風大小最大的蘇迪勒颱風為最大。颱風移動速度的部分，因為這 4 個颱風侵台期間速度相近，因此較無法分別出特別的差異。

由 2015-2016 年 4 個侵台颱風的分析結果可以看出，相似路徑、結構的侵台颱風所帶來的風雨影響程度並不一定跟颱風強度呈現正相關，強度越強的颱風侵襲台灣時，並不見得會帶來較廣泛的強風大雨，反而是壯度或大小較大的颱風可能帶來相對較為廣泛的強風大雨現象，對於全台灣都可能造成明顯的影響。以往在防災單位以及一般民眾的觀念中，大多認為強度越強的颱風，帶來的

風雨影響就會越大，但是從上述的分析結果顯示似乎並非如此。不過對於颱風中心登陸點附近的區域而言，強度較強的颱風仍可能會造成特別突出的風雨極端值，為登陸點附近造成嚴重的災害。因此當我們要預先判斷一個侵台颱風可能造成的風雨影響程度時，除了颱風近中心的強度是一個很重要的因素，颱風的壯度以及大小也是需要列入評估的重要參數。就防災的角度而言，不能因為颱風中心強度較弱就掉以輕心，若颱風的壯度或大小較大，對全台灣都可能造成明顯的風雨，影響的程度不容小覷。

表 2 根據 NCEP-GFS 資料計算之 2015-2016 年 4 個侵台颱風侵襲台灣前之壯度、強度、大小與速度。

颱風名稱(年份)	路徑	壯度(m/s)	強度(m/s)	大小(km)	速度(m/s)
蘇迪勒 (2015)	3	29.8	52.5	429	5.8
杜鵑 (2015)	2	24.7	62.5	318	5.6
尼伯特 (2016)	4	19.2	65.0	222	5.0
梅姬 (2016)	3	29.2	57.5	409	5.8

表 3 根據氣象局局署測站計算之 2015-2016 年 4 個侵台颱風造成的 10 項風雨指標數值。A. 最大時雨量、B.最大 6 小時累積雨量、C.最大 12 小時累積雨量、D.最大 24 小時累積雨量、E.時雨量 ≥ 10 mm 的小時數、F.警報期間平均時雨量、G.總雨量、H.最大平均風速、I.最大瞬間風速以及 J.平均風速 ≥ 10 m/s 的小時數。

颱風名稱 (年份)	A	B	C	D	E
蘇迪勒 (2015)	33.7	109.4	158.5	191.6	7.9
梅姬 (2016)	30.2	98.7	139.9	176.6	6.3
杜鵑 (2015)	26.1	97.6	133.2	155.4	5.3
尼伯特 (2016)	24.4	64.6	82.6	105.1	3.3
颱風名稱 (年份)	F	G	H	I	J
蘇迪勒 (2015)	2.4	227.3	17.0	36.8	7.9
梅姬 (2016)	2.1	196.4	16.2	36.1	7.2
杜鵑 (2015)	2.4	170.3	15.2	32.4	5.6
尼伯特 (2016)	1.3	124.9	11.5	25.8	4.1

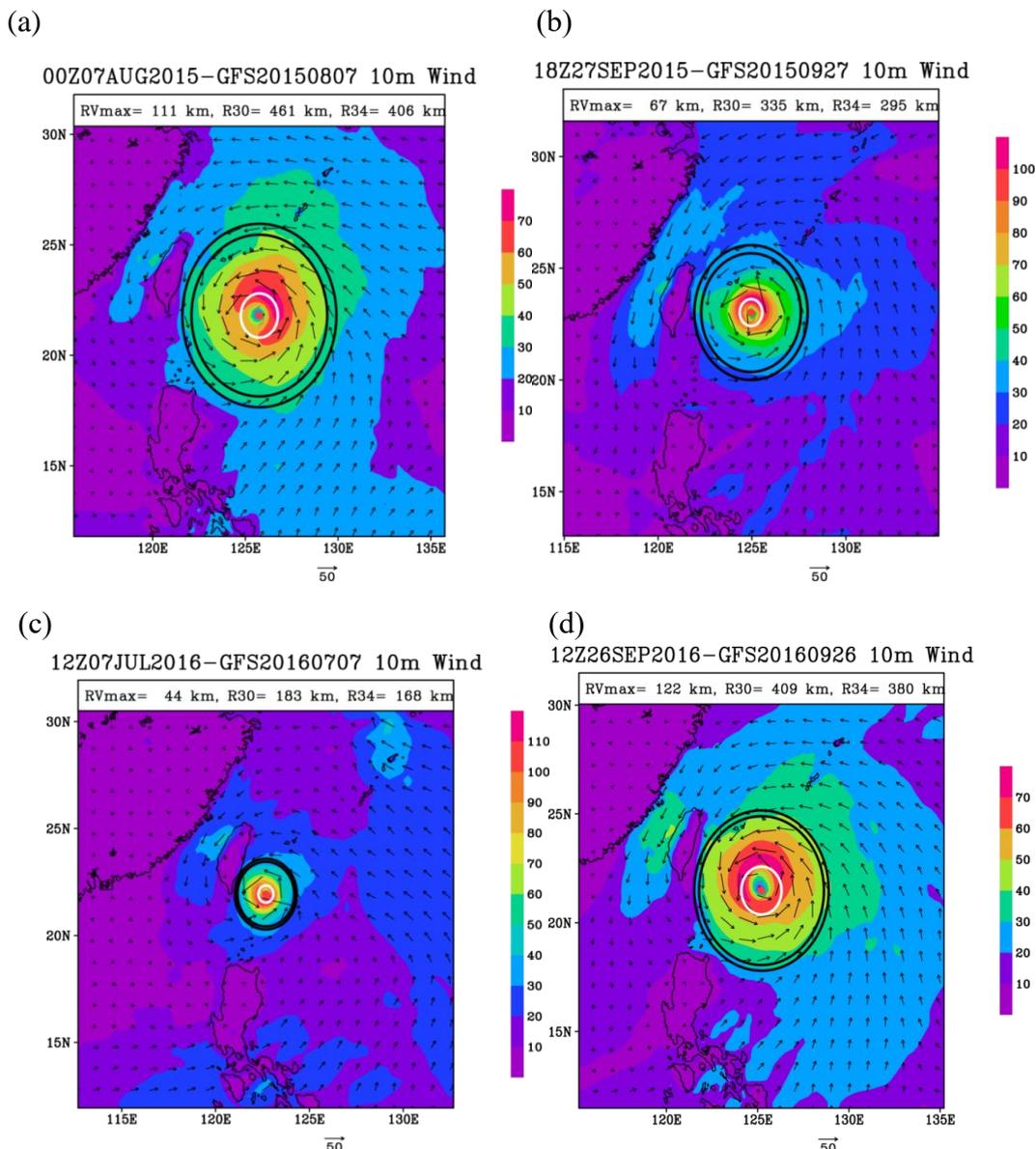


圖 10 根據 NCEP-GFS 資料計算之 2015-2016 年 4 個侵台颱風於侵台前的海平面 10 米風場圖。RVmax 為最大風速半徑、R30 為風速 30-knots 的風速半徑、R34 為風速 34-knots 的風速半徑。(a)蘇迪勒颱風(2015)、(b)杜鵑颱風(2016)、(c)尼伯特颱風(2016)、(d)梅姬颱風(2016)。

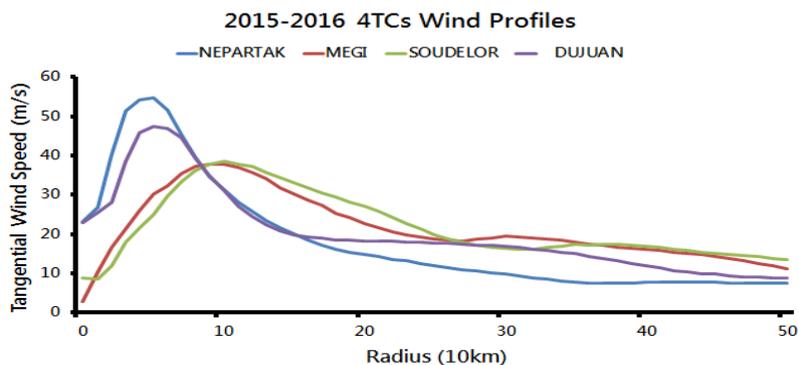


圖 11 根據 NCEP-GFS 資料計算之 2015-2016 年 4 個侵台颱風於 R34 接觸陸地前的平均風速剖面曲線圖。

五、1980-2016 年侵台颱風歷史個案研究

本章節所選取的個案颱風名稱、軸對稱計算所得到的颱風大小，定位資料所計算的

颱風移動速度，還有 JTWC 最佳路徑所得到的強度資料等列於表 4。每一個案颱風計算所獲得的 10 項風雨指標結果列於表 5。

表 4 根據 CFSR 資料計算之 1980-2016 年西北太平洋颱風個案之強度、大小、速度列表。

颱風名稱(年份)	路徑	強度(m/s)	大小(km)	速度(m/s)
諾瑞斯(NORRIS) (1980)	2	45.0	218	6.5
楊希(YANCY) (1990)	2	45.0	315	4.0
賀伯(HERB) (1996)	2	65.0	426	5.2
碧利斯(BILIS) (2006)	2	22.5	432	5.4
柯羅莎(KROSA) (2007)	2	62.5	422	4.1
辛樂克(SINLAKU)(2008)	2	50.0	265	2.9
薔蜜(JANGMI) (2008)	2	57.5	247	5.0
蘇拉(SAOLA) (2012)	2	42.5	326	3.3
蘇力(SOULIK) (2013)	2	42.5	243	6.6
杜鵑(DUJUAN) (2015)	2	62.5	318	5.6
艾貝(ABBY) (1986)	3	47.5	335	4.1
黛特(DOT) (1990)	3	35.0	359	6.4
歐馬(OMAR) (1992)	3	30.0	245	3.4
提姆(TIM) (1994)	3	62.5	272	5.9
安珀(AMBER) (1997)	3	47.5	281	5.1
碧利斯(BILIS) (2000)	3	70.0	278	6.6
海棠(HAITANG) (2005)	3	62.5	402	5.4
泰利(TALIM) (2005)	3	57.5	301	6.5
龍王(LONGWANG) (2005)	3	60.0	221	6.3
聖帕(SEPAT) (2007)	3	57.5	253	4.5
鳳凰(FUNG-WONG)(2008)	3	47.5	308	4.5
莫拉克(MORAKOT)(2009)	3	40.0	427	4.1
凡那比(FANAPI) (2010)	3	52.5	246	5.2
麥德姆(MATMO) (2014)	3	42.5	267	5.8
蘇迪勒(SOUDELOR)(2015)	3	52.5	429	5.8
梅姬(MEGI) (2016)	3	57.5	409	5.8
安迪(ANDY) (1982)	4	60.0	438	6.1
黛特(DOT) (1982)	4	30.0	154	5.4
尼伯特(NEPARTAK) (2016)	4	65.0	222	5.0
道格(DOUG) (1994)	6	62.5	327	6.1
納坦(NOCK-TEN) (2004)	6	45.0	200	7.8
葛樂禮(GLORIA) (1996)	7	45.0	208	4.6

表 5 根據氣象局觀測資料計算之 1980-2016 年 32 個侵台颱風造成的 10 項風雨指標數值。
 A. 最大時雨量、B. 最大 6 小時累積雨量、C. 最大 12 小時累積雨量、D. 最大 24 小時累積雨量、E. 時雨量 ≥ 10 mm 的小時數、F. 警報期間平均時雨量、G. 總雨量、H. 最大平均風速、I. 最大瞬間風速以及 J. 平均風速 ≥ 10 m/s 的小時數。

颱風名稱 (年份)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
諾瑞斯 (1980)	22.2	66.2	98.7	124.0	3.8	1.8	129.0	14.7	25.3	4.5
楊希 (1990)	32.6	100.0	139.0	180.0	6.6	2.4	234.0	13.5	30.9	6.6
賀伯 (1996)	38.7	146.0	228.0	315.0	10.6	3.8	367.0	16.1	36.0	7.8
碧利斯 (2006)	25.8	74.6	109.0	146.0	7.1	2.3	216.0	11.4	25.2	6.2
柯羅莎 (2007)	28.1	105.0	156.0	213.0	8.3	2.6	249.0	14.8	34.7	7.4
辛樂克 (2008)	33.1	112.0	168.0	242.0	14.9	3.0	431.0	12.5	28.0	7.4
薔蜜 (2008)	32.2	108.0	165.0	219.0	10.3	3.1	264.0	14.6	31.8	5.6
蘇拉 (2012)	32.1	124.0	194.0	250.0	10.2	2.8	333.0	12.2	22.5	5.7
蘇力 (2013)	24.0	86.5	126.0	155.0	4.9	2.1	153.0	13.5	30.0	3.3
杜鵬 (2015)	26.1	97.6	133.0	155.0	5.3	2.4	170.0	15.2	32.4	5.6
艾貝 (1986)	23.5	83.7	121.0	170.0	7.5	2.0	235.0	17.1	34.1	13.2
黛特 (1990)	22.4	62.9	87.1	115.0	3.6	2.0	145.0	13.5	28.6	6.5
歐馬 (1992)	20.4	66.6	88.9	113.0	3.1	1.7	123.0	12.7	26.5	4.9
提姆 (1994)	21.6	59.4	83.0	110.0	3.5	1.8	128.0	15.6	33.4	9.6
安珀 (1997)	22.6	61.0	85.4	112.0	3.6	1.7	122.0	13.4	30.6	4.2
碧利斯 (2000)	24.3	74.2	101.0	139.0	5.7	2.3	168.0	15.7	33.4	4.6
海棠 (2005)	39.6	119.0	181.0	271.0	14.9	3.5	421.0	15.6	31.2	8.7
泰利 (2005)	33.2	109.0	160.0	201.0	7.4	2.9	212.0	16.6	35.2	5.0
龍王 (2005)	18.4	50.2	61.4	66.7	2.1	0.7	71.0	13.8	27.8	3.7
聖帕 (2007)	26.9	77.7	111.0	148.0	6.5	2.2	213.0	13.6	29.0	5.9
鳳凰 (2008)	28.2	80.0	118.0	161.0	6.4	2.1	197.0	13.3	27.9	7.0
莫拉克 (2009)	41.2	138.0	214.0	342.0	18.2	4.1	587.0	16.1	33.6	10.4
凡那比 (2010)	24.2	77.5	108.0	137.0	5.0	1.6	151.0	14.8	31.7	5.1
麥德姆 (2014)	27.5	82.9	118.0	162.0	5.7	2.5	179.0	12.1	26.6	3.2
蘇迪勒 (2015)	33.7	109.0	159.0	192.0	7.9	2.4	227.0	17.0	36.8	7.9
梅姬 (2016)	30.2	98.7	140.0	177.0	6.3	2.1	196.0	16.2	36.1	7.2
安迪 (1982)	33.2	78.8	115.0	170.0	6.8	2.0	235.0	18.9	34.7	11.0
黛特 (1982)	15.9	45.7	56.5	66.8	2.0	1.0	73.3	12.3	22.2	3.5
尼伯特 (2016)	24.4	64.6	82.6	105.0	3.3	1.3	125.0	11.5	25.8	4.1
道格 (1994)	23.2	80.3	115.0	168.0	7.9	2.3	234.0	15.6	32.7	7.3
納坦 (2004)	17.1	53.7	68.5	78.3	2.6	0.8	25.3	14.0	28.9	7.2
葛樂禮 (1996)	17.1	41.7	61.8	89.3	3.6	1.4	134.0	13.2	27.0	5.6

5.1 颱風大小、強度及移動速度與風雨指標之相關性分析(全台平均)

利用表 4 跟表 5 所得到的結果，將颱風大小、颱風強度以及颱風移動速度跟 10 項風雨指標的全台平均值分別進行相關性比較(圖 12)。可看出颱風大小跟 10 項風雨指標之間都具有中等相關性並經過統計檢定具有良好的顯著性，其中相關性最好的是颱風大小跟最大時雨量，相關係數達到 0.7，整體的趨勢可以顯示出當颱風大小越大，全台灣所觀測到的風雨也會越大。同時亦可看出，颱風大小跟風雨指標的相關性優於跟強度的相關性，除了最大風速和最大陣風兩項指標，跟颱風強度的相關係數較高並具有良好的統計檢定顯著性外，其他 8 項指標都是跟颱風大小的相關係數較高，在雨量指標的部分尤其明顯，風力指標部分則是跟颱風強度、大小的相關性均佳。顯然颱風的大小跟降雨之間有較好的正相關，而颱風的大小與強度跟風

速之間兩者都有較好的正相關性。颱風的移動速度則是跟雨量指標之間有良好的負相關性，雨量延時越長，負相關性越明顯，亦即颱風移動速度越慢，總降雨量就會越多，時雨量達到 10 mm 的時數也越多。颱風移動速度跟風力指標則為弱正相關性，移動速度較快者，風力指標較大，但是相關性並不顯著。整體的比較結果顯示，颱風的風雨指標跟颱風大小的相關性最佳，並具有良好的統計檢定顯著性，特別是雨量指標部分，其次是跟颱風移動速度，至於跟颱風強度的相關性則相對較差。

會得到這樣的結果，推測其原因可能在於大小較大、移動速度較慢的颱風，環流影響台灣的過程時間相對較長，颱風環流跟台灣地形之間的交互作用持續較久，因此降雨量也會比較大，所以雨量指標跟颱風大小、速度之間呈現明顯的相關性及良好的統計檢定顯著性，

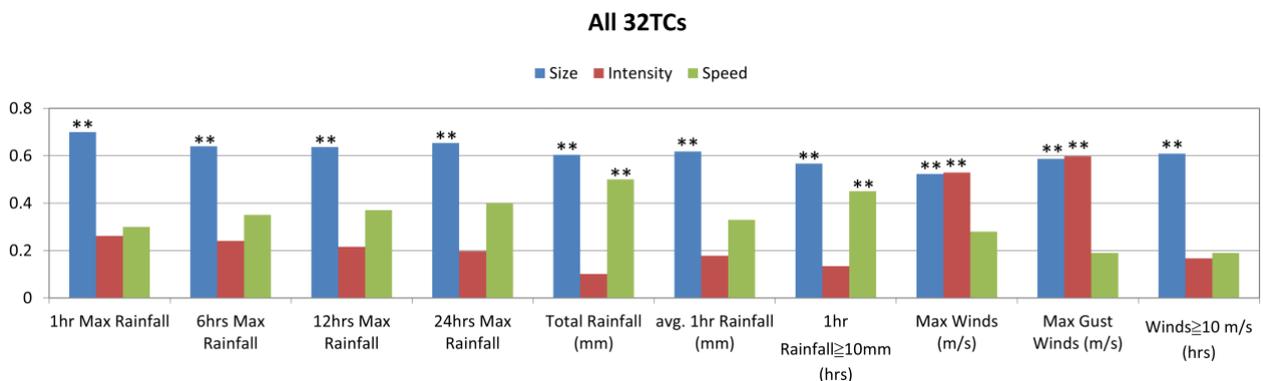


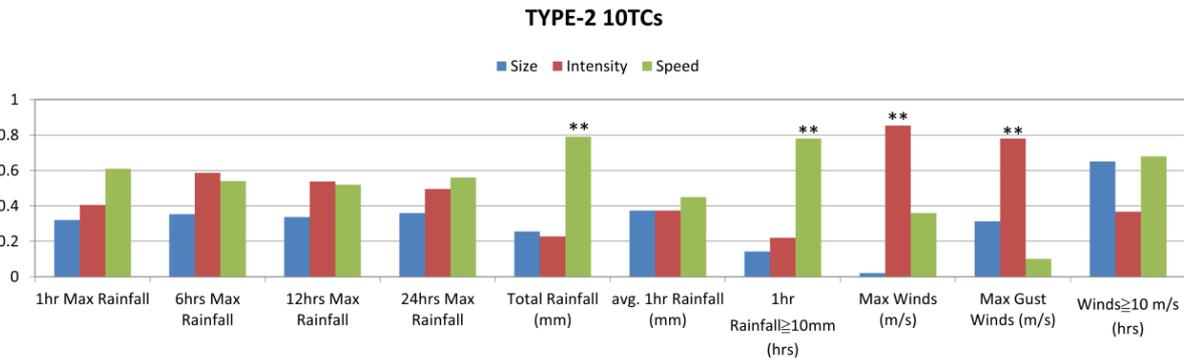
圖 12 1980-2016 年 32 個颱風個案之颱風大小(R34)、颱風強度、颱風移速與 10 項風雨指標的全台平均值之相關係數比較。大小的計算是根據 CFSR 之資料；颱風移速的計算是根據中央氣象局之颱風警報的中心定位；10 項風雨指標則是由測站資料的計算。標註(**)代表為相關係數達到統計顯著性($p < 0.01$)。

此結果跟 Hsu et al. (2012)的研究有相近之處。強度較強的颱風在颱風中心登陸點周圍可能出現風速的極端值，但是大小越大的颱風，強風發生的範圍區域也會越寬廣，因此風力的發生情況跟颱風強度以及颱風大小之間都有不錯的相關性，前者影響中心登陸點周圍的極端值風力，後者則影響強風發生的範圍。移動速度較快的颱風通常有環境駛流場之配合，容易在颱風行進方向右側的半圓，產生較大的風力，但台灣地形複雜，颱風風場結構靠近地形後常有局部弱風區的發生，因此颱風的速度與風力指標之間並沒有存在特別顯著的相關性。

接著我們分別將第 2 類路徑颱風個案(10

個颱風)跟第 3 類路徑颱風個案(16 個颱風)進行相關性比較(圖 13)。結果可看出，第 2 類路徑個案的 10 項風雨指標相關係數中，有 8 項跟颱風強度的相關係數較高，尤其是在風力指標(最大平均風、最大瞬間陣風)特別明顯並具有良好的統計檢定顯著性，僅有總雨量、平均風速 $\geq 10\text{m/s}$ 時數這兩項指標跟颱風大小的相關係數較高。雨量指標跟颱風移動速度呈現負相關，雨量延時越長相關性越好，總雨量以及時雨量超過 10 毫米的小時數相關性最佳，並具有良好的統計檢定顯著性，表示速度越慢者，累積雨量也越多。平均風速及最大風速兩項指標跟颱風移動速度呈現正相關，速度越快則風速越大，但是速度較

(a)



(b)

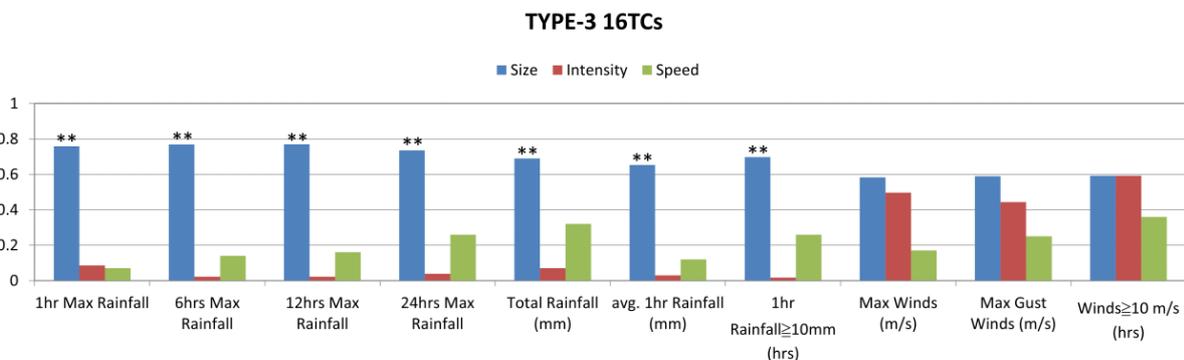


圖 13 同圖 12，但為不同分類路徑的相關係數比較。(a)第二類路徑(10 個颱風)、(b)第三類路徑(16 個颱風)。標註(**)代表為相關係數達到統計顯著性($p < 0.01$)。

慢的颱風強風出現的時數較多。雖然以第 2 類路徑的颱風個案而言，颱風強度跟風雨指標的相關性看似優於跟颱風大小的相關性，但是相關係數較高(大於 0.4)的指標僅有 5 項(3 個雨量指標跟 2 個風力指標)，只有風力指標的部分明確顯示跟颱風強度的相關性較好。相對的，第 3 類路徑的颱風個案呈現颱風大小跟風雨指標之間有明顯較好的相關性，10 項指標跟颱風大小的相關係數均高於跟颱風強度的相關係數，而且相關係數都大於 0.5 以上，並具有良好的統計檢定顯著性，但是颱風強度跟風力指標還是有較高的相關性存在。至於 10 項指標跟颱風移動速度的相關性與第二類路徑個案的結果相似。

上述的結果顯示，第 2 類路徑颱風個案的風雨指標跟颱風強度的相關性較好，強度越強的颱風可能帶來越明顯的風雨，風力指標的部分相關性明確，雨量指標的相關性稍低。第 3 類路徑颱風個案的風雨指標跟颱風大小的相關性較好，大小越大的颱風可能帶來越明顯的風雨，不論風力或降雨指標的相關性都十分明確。由於第 3 類路徑的颱風個案數有 16 個，已經佔總個案數 32 個的一半，對於所有 32 個颱風個案的總計情況具有較大的影響力，因此就整體而言，颱風大小跟風雨指標之間具有較佳的相關性，可達到中等相關的程度(相關係數 0.5-0.7 之間)並且有良好的統計檢定顯著性。同時，不論第 2 或第 3 類路徑颱風，雨量指標跟颱風移動速度

都呈現負相關，即颱風移動速度越慢則雨量越大，且降雨延時越長則負相關性也越高。平均風速及最大風速兩項指標則跟颱風移動速度呈現正相關，速度越快風力越大，但速度較慢者影響時間較長，出現強風的時數較多。

5.2 颱風大小、強度、移動速度及風雨指標之相關性分析(個別分站)

接下來我們將進一步針對不同路徑分類，個別分站的風雨指標跟颱風大小、強度、速度之間的相關性進行更細部的分析。颱風侵台累積雨量最大的時間集中在暴風圈通過陸地的 1 天左右，因此選擇 24 小時最大降雨量作為雨量指標。影響陣風的因素較多，因此選擇最大平均風速作為風力指標，進行後續的相關性的分析。首先在全台灣 27 個局屬測站中選出 11 個平地站，包括基隆、台北、新竹、台中、嘉義、台南、高雄、恆春、台東、花蓮、宜蘭等，選出 1 個山區測站即阿里山，以及 1 個外島測站即澎湖。接著統計這 13 個測站個別的雨量及風力指標，再分別跟第 2、第 3 類路徑颱風個案的颱風大小、強度、速度進行相關性分析(圖 14、圖 15)。

由第 2 類路徑颱風個案跟雨量指標的相關係數比較可看出，接近颱風中心經過區域的基隆、台北測站，當颱風強度越強，24 小時最大降雨量也越大，具有良好的統計顯著性。相對而言，遠離颱風中心的南部測

站，包括台中、高雄、恆春以及外島的澎湖測站等，則是颱風大小越大者，24 小時降雨量越大，具有良好的統計顯著性。由於第 2 類颱風的路徑直接穿越北台灣，靠近颱風中心的區域(基隆、台北)受到颱風內核區域的直接影響，颱風越強則降雨情況越明顯。相對的，遠離颱風中心的南部及外島(台南、高雄、恆春、澎湖)，則是受到颱風外核區域的環流影響，颱風大小越大者，環流影響的範圍越廣，降雨也就越多，具有顯著相關性。颱風的速度越慢者 24 小時累積降雨量越多，越接近颱風內核區範圍的測站，降雨量跟颱風移動速度之間的相關性越明顯。

第 2 類路徑颱風個案跟風力指標的相關係數比較可看出風力指標都是跟颱風強度之間的相關性較好，當颱風強度較強的時候，帶來的平均風會比較強。西半部的基隆、新竹、梧棲、台中、嘉義、高雄等測站尤其明顯，具有良好的統計顯著性。北部測站(基隆、新竹)可能跟直接受颱風內核區的影響有關，西半部的測站(梧棲、台中、嘉義、高雄)可能因為颱風強度越強，外核區所引發的氣流越明顯，因此出現較強的平均風速。颱風移動速度越快，帶來的風力呈現越強的情況，特別是颱風中心內核區經過的北部、東北部測站，相關性較好。

第 3 類路徑颱風個案跟降雨指標之相關係數比較可看出，颱風大小越大則降雨的相關性越高，西半部測站包括基隆、台北、新

竹、台中、嘉義、阿里山、台南等站尤其明顯，具有良好的統計顯著性。由於第 3 類路徑的颱風中心是從蘇澳以南到花蓮縣沿海一帶登陸，因此除了花蓮站較為靠近颱風中心，直接受颱風內核區的影響，所以颱風強度越強者，花蓮站的降雨越明顯，其他測站都位於颱風外核區域，受到颱風外圍環流雲雨帶的影響為主，當颱風大小越大，外圍環流雲雨帶跟地形之間的交互作用越明顯，影響的時間也越久，造成的降雨就會越大。颱風移動速度跟降雨的關係在 13 個測站中呈現正、負相關各半的有趣現象，大致來看，中、北、東部測站呈現正相關，即速度越快的颱風降雨越多，颱風越快登陸、過山，累積雨量會比較大，嘉義以南(包括阿里山)的測站則是呈現負相關，颱風過山後速度越慢，累積的雨量會越大。

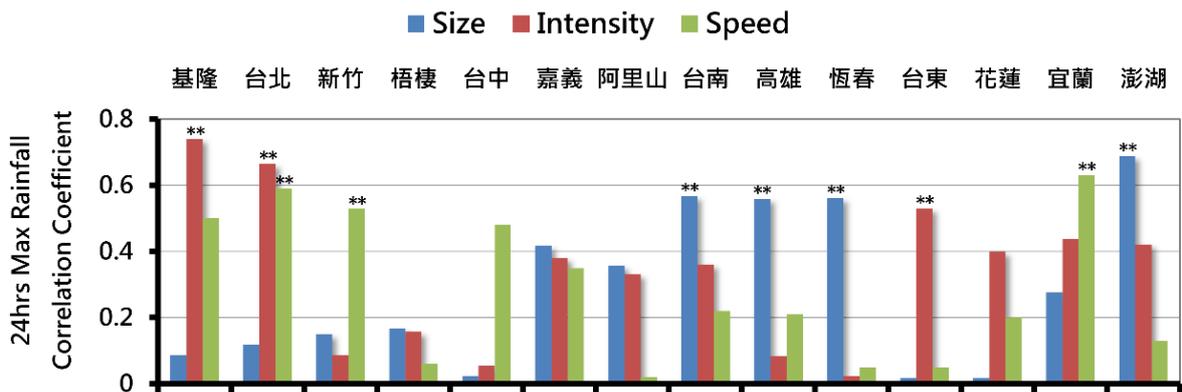
第 3 類路徑颱風個案跟風力指標的相關係數比較可看出，有 9 個測站跟颱風大小之間的相關係數較高，也就是當颱風大小越大時平均風速越強，基隆、嘉義、高雄、恆春、宜蘭、澎湖等測站的相關性尤其明顯，具有良好的統計顯著性。風力指標跟颱風移動速度之間同時存在正、負相關，北部、東部測站大致為正相關，即速度較快的颱風造成的風速較大，中部、南部的測站則是負相關，即過山後速度較慢，影響時間較長的颱風帶來的風力較強。

總和上述的討論結果，第 2 類路徑的颱風個案，風雨指標跟颱風強度之間的相關性

較高，靠近颱風中心的北台灣最為明顯，速度較慢的颱風會帶來較多的降雨，但移動速度較快的颱風造成的風力較強。第 3 類路徑的颱風個案則是風雨指標跟颱風大小之間的相關性較高，跟颱風移動速度之間的相關性呈現正、負相關同時存在的情況，北部、東部測站的風雨指標跟颱風移動速度大致為正相關，即速度較快的颱風會造成較大的風雨，中、南部測站的風雨指標跟颱風移動速

度大致為負相關，推測當颱風過山後，速度較慢的情況下，對中、南部測站會帶來較明顯的風雨。整體而言，不論第 2 或第 3 類路徑颱風，接近颱風中心的測站風雨指標跟颱風強度的相關性較好，離中心較遠的測站風雨指標則跟颱風大小的相關性較佳。跟颱風移動速度之間的相關性則有較明顯的地區性差異，尤其是第 3 類路徑颱風。

(a)



(b)

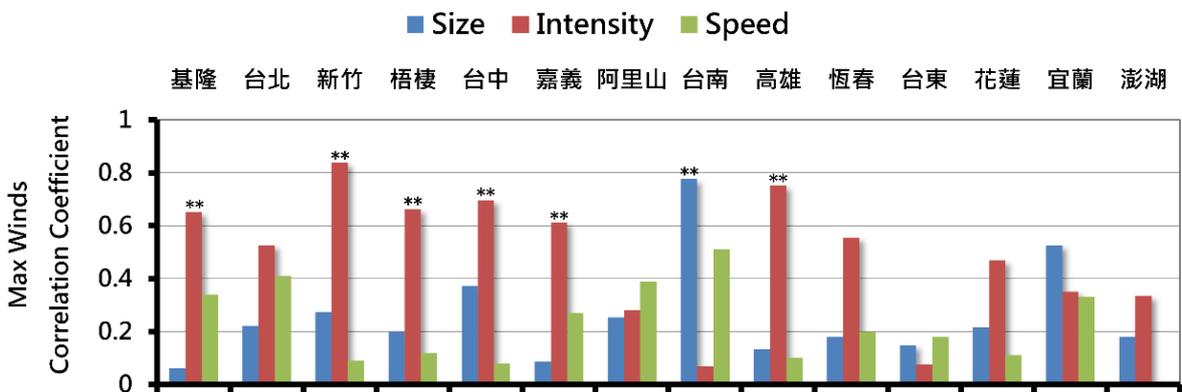


圖 14 第 2 類路徑個案的颱風大小、強度、速度跟 13 個測站的相關係數比較。(a)24 小時最大降雨量、(b)最大平均風之相關係數比較。大小的計算是根據 CFSR 之資料；颱風移動速的計算是根據中央氣象局之颱風警報的中心定位。標註(**)代表為相關係數達到統計顯著性(p<0.01)。

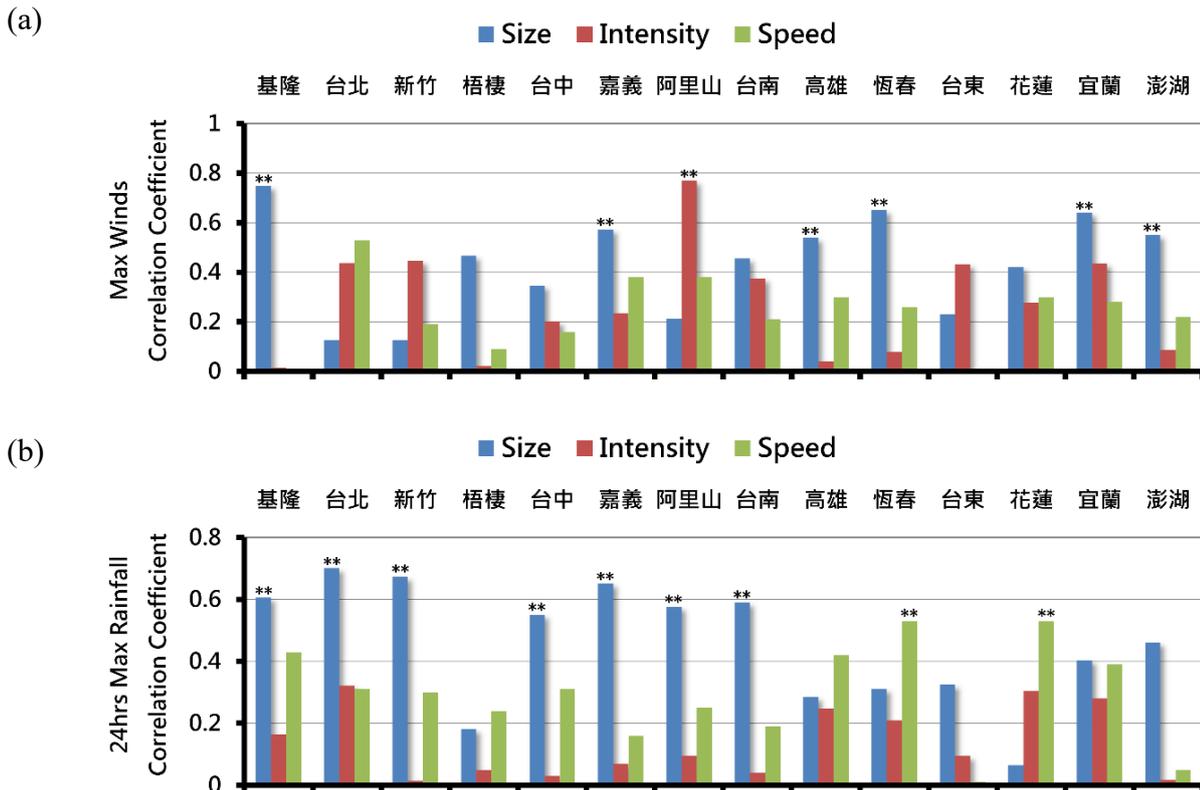


圖 15 同圖 14，但為第 3 類路徑個案的相關係數比較。(a)24 小時最大降雨量、(b)最大平均風之相關係數比較。標註(**)代表為相關係數達到統計顯著性(p<0.01)。

六、結論

綜和前述的討論，可簡單做出下面的幾點結論：

(1)本研究使用 NCEP-GFS 水平解析度 0.25 度全球模式初始分析場資料以及 CFSR 水平解析度 0.5 度全球再分析資料之海平面 10 米風場，以軸對稱方式進行颱風壯度、大小的計算，結果發現前者的水平解析度較高，可用於計算颱風的壯度及大小。進一步比較兩者計算出來的颱風大小，發現兩筆資料所算出的數值相關性頗高，因此利用 CFSR 水平解析度 0.5 度全球再分析資料所計算的颱風大小仍有較高的可信度。

(2)利用 NCEP-GFS 水平解析度 0.25 度全球模式初始分析場資料以軸對稱方式計算 2015 年到 2016 年間，西北太平洋上 22 個颱風個案的壯度、大小，再配合 JTWC 所提供的最佳路徑中的強度資料，進行三者之間的相關性比較，可發現壯度跟大小之間有很好的相關性，而壯度跟強度、大小跟強度之間的相關性偏低。因此假設當缺乏較好的資料計算颱風壯度時，可以用颱風的大小值來代替。22 個颱風個案的強度、壯度、大小三者之間的變化情況大致可以分成三類，第一類為強度、壯度、大小三者變化呈現正相關，第二類為颱風強度過了巔峰之後，颱風的壯度及大小仍繼續增加，可能為侵襲區域帶來大

範圍風雨，第三類為颱風大小在強度達顛峰之前來到最大，接近顛峰反而逐漸減小，風雨集中，對於登陸點威脅極大。

(3)由 2015 年跟 2016 年 4 個侵台颱風之統計分析結果顯示，壯度、大小越大的颱風跟風雨指標有良好的正相關性，風雨指標跟颱風強度之間的相關性較低，代表並非強度越強的颱風帶來的風雨越大，即使強度較弱的颱風，如果具有較大的壯度及大小時，仍可能為台灣帶來明顯且廣泛的風雨。

(4)1980 年到 2016 年共計 32 個侵台颱風之統計分析結果顯示，以全台灣測站平均的風雨指標而言，跟颱風的大小有較好的相關性，即颱風大小越大，造成的風雨越明顯，尤其是雨量指標的部分，相關性都可達到中度相關；風力指標的部分則是跟颱風大小及颱風強度都有一定的相關性，颱風強度可能造成極端值風速，颱風大小則影響強風發生的範圍。降雨指標跟颱風移動速度之間呈現負相關性，速度較慢的颱風可能帶來較明顯的降雨，降雨延時越長則負相關性越明顯。風力指標跟颱風移動速度之間為正相關性，速度快的颱風可能造成較大的風力，但慢速颱風造成的強風時數較多。第 2 類路徑個案的風雨指標跟颱風強度的相關性較佳，第 3 類路徑個案的風雨指標跟颱風大小的相關性較佳。

(5)若進一步將不同路徑、個別測站的風雨指標分開比較其相關性，第 2 類路徑的颱風個案，風雨指標跟颱風強度相關性較高的

測站佔多數，尤其是較為靠近颱風中心的北台灣測站，風力指標的部分又比雨量指標要來得明顯。第 3 類路徑的颱風個案，絕大部分測站的風雨指標都跟颱風大小的相關性較高，雨量指標的部分尤其明顯。整體而言，颱風強度對中心登陸點周圍的風雨指標有明顯正相關，颱風大小則對於外圍區域的風雨指標有較高的相關性。颱風移動速度在不同分類路徑上有不同的相關性呈現，第 2 類路徑颱風移動速度較慢者，雨量較多，速度較快者，風力較大。第 3 類路徑則有顯著的地區性差異，速度較快者在北、東部可能造成較明顯的風雨，速度較慢者在中、南部風雨較為明顯。

致謝

本研究大部份研究文稿是由吳聖宇之碩士論文編撰而成，並在科技部計畫 MOST 105-2111-M-034-002 及 MOST 106-2111-M-034-004 的支持下完成研究。另外，特別感謝 2 位審查委員之寶貴的建議與文圖修正，對於本論文之精進有很大的助益。

參考文獻

- 林雨我、徐晉淮，1988：侵襲台灣颱風之降雨分布研究，氣象學報，34-3，196-215 頁。
- 李清勝、鄭光浩、李清勝、張亦郎、翁進登、蔡得攸、許惠娟、李啟宏，1997：侵台颱風伴隨降水特性分析，中央氣象局委託

- 研究計畫期末報告(CWB-86-2M-03)，共 37 頁。
- 李清勝、郭鴻基、張麒偉，2005：颱風強度與定量降水機率預警作業化研究，中央氣象局委託計畫成果報告(MOTC-CWB-94-2M-06)，共 95 頁。
- 李清勝、郭鴻基、張麒偉，2006：颱風強度與定量降水機率預警作業化研究，中央氣象局委託計畫成果報告(MOTC-CWB-95-2M-02)，共 109 頁。
- 李清勝、羅英哲、張龍耀，2007：琳恩颱風(1987)與東北季風交互作用產生強降水之研究，*大氣科學*，35，13-33 頁。
- 周仲島，2009：台灣地區劇烈降雨與侵台颱風變異趨勢與辨識研究(I)，氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究計畫-子計畫一。
- 周仲島、李清勝，2010：莫拉克颱風綜觀環境及降雨特徵分析，*大氣科學*，38，21-38 頁。
- 許晃雄、李明營，2010：莫拉克颱風的多重尺度背景環流：*大氣科學*，38，1-20 頁。
- 李清勝、鄭光浩、陳柏孚、謝宜桓、鄧旭峰，2015：侵台颱風過山期間雨帶重建之初步研究，*大氣科學*，43，69-90 頁。
- Holland, G. J., and R. T. Merrill, 1984: On the dynamics of tropical cyclone structural changes, *Quart. J. R. Met. Soc.*, **110**, 723–745.
- Weatherford, C. L., and W. M. Gray, 1988a: Typhoon structure as revealed by aircraft reconnaissance. Part I: Data analysis and climatology. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 1032–1043.
- , and ———, 1988b: Typhoon structure as revealed by aircraft reconnaissance. Part 2: Structural variability, *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 1044–1056.
- Liu, K. S., and Johnny, C. L. Chan, 1999: Size of Tropical Cyclones as Inferred from ERS-1 and ERS-2 Data, *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 2992–3001.
- Hsu, L.-H., H.-C. Kuo, and R. G. Fovell, 2012: On the geographic asymmetry of typhoon translation speed across the mountainous island of Taiwan, *J. Atmos. Sci.*, **70**, 1006–1022.
- Chan, K. T. K., J. C. L. Chan, 2012: Size and strength of tropical cyclones as inferred from QuikSCAT data. *Mon. Wea. Rev.*, **140**, 811-824.
- Kilroy G., R.K. Smith, M. T. Montgomery, 2016: Why do model tropical cyclones grow progressively in size and decay in intensity after reaching maturity? *J. Atmos. Sci.*, **73**, 487-503.
- Wu, L., W. Tian, Q. Liu, J. Cao, and J. A. Knaff, 2015: Implications of the observed relationship between tropical cyclone size and intensity over the western North Pacific. *J. Climate*, **28**, 9501-9506.

The influence of typhoon strength and size on Taiwan's wind and rainfall

Kun-Hsuan Chou¹ Sheng-Yu Wu² Shu-Jeng Lin¹

¹ Department of Atmospheric Sciences, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan

² Graduate Institute of Earth Science, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan

(manuscript received 05 July 2018 ; in final form 14 November 2018)

Abstract

In 2015 and 2016, there were four typhoons with different intensities landed in Taiwan, including severe typhoon Dujan (2015) and Nepartak (2016) and moderate typhoon Soudelor (2015) and Megi (2016). Although the first two were stronger typhoons, the associated wind and rainfall impacts on the island were much less than the latter two storms. This situation didn't in line with the traditional impression that the stronger landfalling typhoon which could lead to more damages over the island. Not only the tropical cyclone (TC) intensity, this study also investigates the relationship between the others TC parameters and associated wind and rainfall distributions during landfall.

The NCEP-GFS and CFSR model analysis data are utilized to calculate TC strength and size. It is found that there is a good correlation between strength and size, while the correlations between the intensity and size, as well as intensity and strength, are not obvious. There are three different types of changes between the three factors, (1) change of three factors are the same; (2) intensity reaches the peak but strength and size continue to increase; and (3) the maximum TC size appears before the intensity reaches the peak.

In the past studies, the influence factors of TC on Taiwan's wind and rainfall were analyzed, including TC path, structure, speed, and environment. This study specially focuses on the relationship between the strength, size, speed, and Taiwan's wind and rainfall. According to the analysis of the overall wind and rainfall in Taiwan, it is found that the correlation between TC strength, size, speed and wind, rainfall indexes is better than TC intensity. According to the analysis of different types of path, it is found that the TC intensity, speed of the second type appears better correlations in wind and rainfall indexes. The correlation between the size, speed of the third type, and wind, rainfall indexes is better than intensity, especially the rainfall index is obvious. According to the analysis results of different stations under different paths, it is found that the wind and rainfall indexes of stations near the storm core area reveal a better correlation with the TC intensity, and the wind and rainfall indexes of stations over the outer-core area of storm appear a better relationship with the TC size.

Key word: typhoon strength, typhoon size, Taiwan's wind and rainfall.

doi: 10.3966/025400022018094603001