

NCDR 110-T23

全球暖化情境下不同路徑侵臺颱風 降雨強度的變化

Projection of Tropical Cyclones affecting Taiwan under
Global Warming Scenario



行政法人

國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 111 年 01 月

NCDR 110-T23

全球暖化情境下不同路徑侵臺颱風 降雨強度的變化

Projection of Tropical Cyclones affecting Taiwan under
Global Warming Scenario

鄭兆尊、姜欣妤、林秉毅、簡毓瑋、蘇世顯



國家災害防救科技中心
中華民國 111 年 01 月

中文摘要

颱風帶來的強降雨是世界各地致災的主因之一，全球暖化對颱風降雨強度以及災害衝擊的影響一直是國人關切的。颱風路徑走向主導了颱風降雨空間分布，但是氣候模式對颱風路徑推估的不確定性太大，不具意義的未來路徑變化會影響暖化對局部地區颱風降雨強度變化的計算。近年透過系集模擬增加可分析的颱風場次，可對氣候模式系集模擬的颱風做進一步的分類。本報告針對氣候模式所推估的颱風進行 9 大路徑分類，透過分析相似路徑的颱風，計算未來颱風降水的變化，以探討全球暖化對颱風降雨的影響。

本研究以卷積神經網路模式對大量的颱風做路徑分類可以得到不錯的結果。但是同分類的颱風路徑在空間上的分布仍可以有超過 300 公里的差距。這些路徑上的差異還是會對降水的多寡有所影響，進而影響對暖化效應的評估。需要再透過比對可以反映出颱風停留頻率的路徑密度，來篩選出暖化前後颱風路徑密度差異性小的路徑分類，來呈現風降雨強度改變的情形。結果顯示，在 RCP8.5 情境的 21 世紀末，颱風降雨強度的變化約為 20-40%。

關鍵字：颱風路徑分類、颱風降雨

ABSTRACT

Intense precipitation of typhoons is one of the major causes of nature disasters, the effect of global warming to the intensity of future typhoon precipitation has been a great concern in Taiwan. Unfortunately, the big uncertainty of simulated typhoon tracks makes it difficult to reveal the effect of global warming from the changes of local typhoon precipitation. With the aid of ensemble simulations, more typhoons were simulated, allowing us to classify typhoons into 9 different types for composite analysis. By analyzing typhoons with similar tracks, the changes of local typhoon precipitation might be able to show the effect of global warming.

The study employed Convolution Neural Network model to classify a large amount of typhoon tracks in to 9 types and got good results of track classification. However, typhoon tracks can spread over 300 km wide within the same track classification, and the track difference still affect the precipitation changes. Therefore, typhoon track density, which can represent the stay duration of typhoons, were used to evaluate the track difference of two comparing data. By selecting result with small track difference, it can be found that in the end of 21st century in RCP8.5 scenario, global warming can enhance local typhoon precipitation intensity by 20-40%.

Keywords: Typhoon track classifications, typhoon rainfall

目錄

第一章 前言.....	1
第二章 資料、模式與研究方法	4
2.1 觀測資料	4
2.2 模式推估資料	4
2.3 推估颱風路徑分類方法	5
2.4 分析、評估方法	7
第三章 模式推估的九大路徑颱風	10
3.1 西北太平洋颱風生成的評估	10
3.2 九大路徑颱風路徑密度	11
第四章 九大路徑各分類颱風降雨變遷	15
4.1 未來每年颱風總雨量的變化	15
4.2 世紀末颱風降雨強度的變化	16
4.3 未來颱風路徑的變化	17
4.4 颱風路徑密度差異性的評估	19
第五章 結果與討論	22

圖目錄

圖 1. 中央氣象局定義的侵臺颱風 9 大路徑分類 (資料來源：中央氣象局)	6
圖 2. 九大路徑分類的侵臺颱風在 1991-2015 的平均每場颱風的路徑密度。(單位：小時/颱風次數/單位面積)	8
圖 3. (a)觀測與 (b) ~ (e)模式推估的侵臺颱風生成頻率空間分布圖，(b)、(c)分別為 HiRAM 與 MRI 基期，(d)、(e) 為 HiRAM 與 MRI 世紀末，單位為個數/年	10
圖 4. HiRAM 與 MRI 所模擬的基期侵臺颱風，九大路徑分類的平均每場颱風的路徑密度。(單位：小時/颱風次數)	12
圖 5. HiRAM 與 MRI 基期的平均每年颱風總雨量(單位：mm/yr)、與 21 世紀末平均每年颱風總雨量改變率(單位：%)	15
圖 6. 觀測(左側 9 張圖)與 HiRAM 基期(右側 9 張圖)九大路徑各分類的平均每場颱風降雨強度 (單位：毫米/小時)	16
圖 7. HiRAM 與 MRI 所模擬的 21 世紀末各路徑分類的侵臺颱風降雨強度與基期的差異(單位：毫米/小時)	17
圖 8. HiRAM 與 MRI 所模擬的 21 世紀末各路徑分類的侵臺颱風路徑密度與基期的差異 (單位：小時/颱風次數)	18

表目錄

表 1. HiRAM 與 MRI 基期颱風路徑各分類辨識結果的空間分布準確率。.....	11
表 2. 觀測、HiRAM 與 MRI 基期颱風 9 大路徑分類各分類的颱風數目、每年的頻率(次數/年)與所占比例，最上列括號內為該資料的所有影響臺灣颱風數目。.....	13
表 3. HiRAM 與 MRI 基期颱風 9 大路徑分類各分類的颱風數目、每年的頻率(次數/年)與所占比例，最上列括號為該資料的所有影響臺灣颱風數目，比例括號內為相較基期增加(減少)的百分比。.....	13
表 4. HiRAM 的九大類颱風路徑密度在基期與世紀末前後兩期的空間相關係數，標準化後的區域均方根差異、平均每場颱風的時數比例以及各分類的颱風個數。.....	19
表 5. MRI 的九大類颱風路徑密度在基期與世紀末前後兩期的空間相關係數，標準化後的區域均方根差異、平均每場颱風的時數比例以及各分類的颱風個數。.....	19

第一章 前言

颱風是造成災害的主要原因之一，全球各地多有受到颱風影響所造成的巨大生命財產損失，像是 2018 年西北太平洋颱風-山竹，接連侵襲菲律賓、香港、澳門及中國廣州一帶，所到之處皆帶來嚴重災情。大西洋也同樣面臨颱風的威脅，2005 年卡崔納颶風襲擊美國，密西西比河破堤，對紐奧良造成了嚴重的破壞；2012 年珊迪颶風引起的風暴潮淹沒了紐約市的好幾條地鐵；2021 年艾達颶風襲捲美國路易斯安那州，再度帶來嚴重的災情。臺灣位於西北太平洋颱風主要的行經路徑上，除了颱風帶來的生命財產威脅之外，颱風同時也是臺灣重要的水資源來源之一。在 2020 年，夏季的幾個侵臺颱風離臺灣本島較遠，未能帶來顯著降水，到了秋季甚至一個侵臺颱風都沒有，缺乏颱風降雨的挹注，導致 2021 年春季臺灣面臨大缺水的窘境，氣候變遷對颱風活動的影響也再度成為熱門話題。

隨著全球暖化對極端天氣與氣候事件的影響逐漸受到重視，全球暖化對颱風的影響也備受各國學者關注。歸功於電腦計算能力的增強、全球氣候模式 (Global Climate Model, GCM) 解析度的提高，已有越來越多的學者利用氣候模式評估在全球暖化影響下，未來颱風活動的變化 (Bengtsson et al.1996;Sugi et al.1997;Walsh and Ryan 2000; Knutson et al.1998; IPCC 2013; Murakami et al.2015; Roberts et al.2015;

Wehner et al.2015; Walsh et al.2016)。但大多都是對大範圍洋面的颱風活動進行討論，鮮少討論到暖化對局部地區所受到颱風衝擊的影響。

臺灣因為面積狹小，整個西北太平洋的未來颱風推估並不足以代表未來侵臺颱風的變化，於是本研究便從全球大氣模式的西北太平洋颱風推估資料中篩選出會侵襲臺灣地區的颱風進行分析，來探討未來侵臺颱風的變遷。所使用的推估資料包括由日本氣象廳(Meteorology Research Institute, MRI)的模式 MRI-AGCM3.2S 以及美國地球物理流體力學研究中心發展的高解析度大氣模式(High Resolution Atmospheric Model version c384, HiRAM C384) 的模擬結果。有鑒於單一模式對颱風的推估不確定性甚高，科技部的 TCCIP 計畫在過去幾年也逐年增加了不同系集的模擬，以增加侵臺颱風分析的颱風樣本數。之前的分析雖已經有一些初步的結果，但是無法將颱風路徑改變導致區域降雨的變化與全球暖化導致的區域降雨的變化適度的區分出來。

由於颱風路徑的走法對臺灣颱風降雨的空間分布影響很大，若是拿現在偏臺灣北部走的颱風與未來偏台灣南部走的颱風來做比較討論暖化對未來颱風降雨變遷的影響，會造成很大的誤判。以目前預報 5 天後的的颱風路徑預報誤差超過 2 百公里的情況來看(交通部 109 年度交通年鑑第十一篇氣象)，只看臺灣附近小區域內部的的颱風路

徑模擬的不確定性很大，在目前模式對颱風路徑推估的不確定性高的前提下，並不適合討論暖化是否對侵臺颱風路徑的影響，比較適合拿前後期走相似路徑的颱風來做比較。為提供區域上更精細的颱風降雨變遷評估以及推論出全球暖化對颱風降雨的影響程度，本報告依據中央氣象局定義的臺灣颱風九大路徑與特殊路徑進行分類，並依照分類結果對不同路徑的颱風降雨進行分析。

本報告中所使用的觀測資料、模式與研究方法將在第二章說明。模式推估的九大颱風路徑分類結果將在第三章呈現。第四章將討論臺灣地區未來整體颱風降雨以及九大颱風路徑的颱風降雨變遷趨勢。第五章為結果與討論。

第二章 資料、模式與研究方法

2.1 觀測資料

本報告中使用的西北太平洋颱風觀測資料為世界氣象中心(The World Data Center Meteorology, WDC)產製的全球颱風最佳路徑分析資料 (International Best Track Archive for Climate Stewardship; IBTrACS, Knapp et al.2010)，使用的資料年份為 1979-2015 年。也使用了中央氣象局颱風資料庫所定義的歷史颱風路徑分類，1958-2015 年共 196 個侵臺颱風。

分析颱風降雨需要使用到時資料，使用的歷史颱風降雨觀測資料為氣象局劇烈天氣監測系統(QPESUMS)上提供的測站降雨內插至 5 公里解析度的網格降雨資料。氣象局的雨量站數目在 1990 年之前並不多，網格化之後的降雨空間分布容易失真，在 1991 之後才由 300 多個觀測站逐年增加。這裡使用颱風降雨資料的年份為 1991-2015 年，共 126 個侵臺颱風。

2.2 模式推估資料

本報告中使用的颱風推估資料為科技部臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(2021)計畫的動力降尺度產出。所使用資料包含了前述的兩個氣候推估模式，解析度 20 公里的 MRI-AGCM 3.2S 與解析度 25 公里的 HiRAM C384。HiRAM C384 的基期模擬在今年已由之

前的單一組模擬擴增為 3 組模擬的系集，模擬年份為 1979-2015 年。MRI-AGCM3.2S 的基期有兩組系集模擬，模擬年份為 1979-2003 年。兩個模式模擬的 21 世紀末推估資料皆為四組系集模擬，模擬年份為 2075-2099 年。

由於臺灣地形陡峭複雜，即使前述的 MRI-AGCM3.2S 與 HIRAM c384 有著 20 與 25 公里的解析度，對台灣面積狹小且起伏甚巨的地形，解析度仍嫌不足，不足以模擬出臺灣地形對颱風降雨的影響。所以在臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(2021)計畫中使用美國發展的區域模式(Weather Research and Forecasting Model, WRF) 做為區域氣候模式將全球模式的颱風降雨推估資料進行動力降尺度，以提高推估資料的解析度至 5 公里。

除了降尺度之外，也對模擬結果進行偏差修正，以改善模式模擬侵臺颱風降雨強度與空間分布。本報告中對侵臺颱風降雨進行偏差修正的方法為分位數映射法 (Quantile mapping, QM) (Ines and Hansen.2006; Lenderink et al.2007; Johnson and Sharma 2011)，並考慮了颱風氣候法，詳細偏差修正方法可參考姜等人在 2019 年業務報告。

2.3 推估颱風路徑分類方法

本報告中侵臺颱風定義參考李和盧 (2012)，由全球模式中篩選出颱風中心進入臺灣海岸線 300 公里範圍內的颱風，定為侵臺颱風。

由於臺灣地區颱風降雨受地形影響很大，為了探討對區域所造成的影響，需要針對上述侵臺颱風所走的路徑做更細部的分類。為此，本研究採用的是氣象局對侵臺颱風的 9 大路徑分類標準，如圖 1 所示，無法被分類的則歸類為特殊路徑。



圖 1. 中央氣象局定義的侵臺颱風 9 大路徑分類（資料來源：中央氣象局）

由於系集推估資料的颱風場次多，透過主觀的判識需花費很多時間，需要一套客觀的方法來處理大量的資料。本研究使用的路徑分類資料來自於臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(2021)計畫的研究成果，其中使用卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN) 模式，建構一套侵臺颱風 9 大路徑圖片影像判識方法。先以 1958-2015 的 196 場歷史颱風的颱風路徑軌跡圖與氣象局定義的颱風路徑分類結果訓練 CNN 模式，待模式訓練完成，再將模式推估的颱風路徑繪圖，放入 CNN 模式進行影像辨識，並加以分類。透過分析不同路徑

颱風再分別進行降雨合成，雖不能完全排除，但應能大幅減少路徑差異造成的影響。

2.4 分析、評估方法

本報告使用的分析方法，除了前述 CNN 影像判識之外，也使用統計上常見的合成分析、區域均方根差異與空間相關係數的計算。分析的變數有路徑密度以及不同延時的最大降雨量。本報告中，路徑密度是以颱風中心在每個經緯度所停留的時間計算平均的路徑密度 (1 度 × 1 度網格的單位面積內，平均每場颱風停留的時數)，目的是在呈現颱風路徑的空間分布狀況。降雨強度是以每場颱風累積總雨量除以侵臺的時間，單位是毫米/小時。

合成分析就僅是計算平均值將相同分類的颱風挑出來後，再去計算平均值來代表氣候平均值。區域均方根差異用來顯示 2 組資料的平均差異程度、空間相關係數則是呈現 2 組資料在空間分布上的相似程度。區域均方根差異以及空間相關係數的計算則是針對前述合成後的氣候平均值，分析區域的範圍如圖 2 所示。

圖 2 呈現的是以歷史觀測資料依據氣象局的分類結果所繪製的 1991-2015 的平均各分類的颱風路徑密度合成。比起只能呈現一條線的軌跡圖，路徑密度分布不僅可以呈現颱風行徑的軌跡，也同時呈現颱風停留的時間長短，其與降雨量累積也會有比較好的相關性。在第

2、3、4、8 路徑分類的圖可以看到幾個路徑密度的大值區，其中第 2、3 路徑的大值區出現在臺灣附近，這很可能是颱風行徑時受到地形影響而減速，延長了颱風在當地停留的時間，導致路徑密度增加。

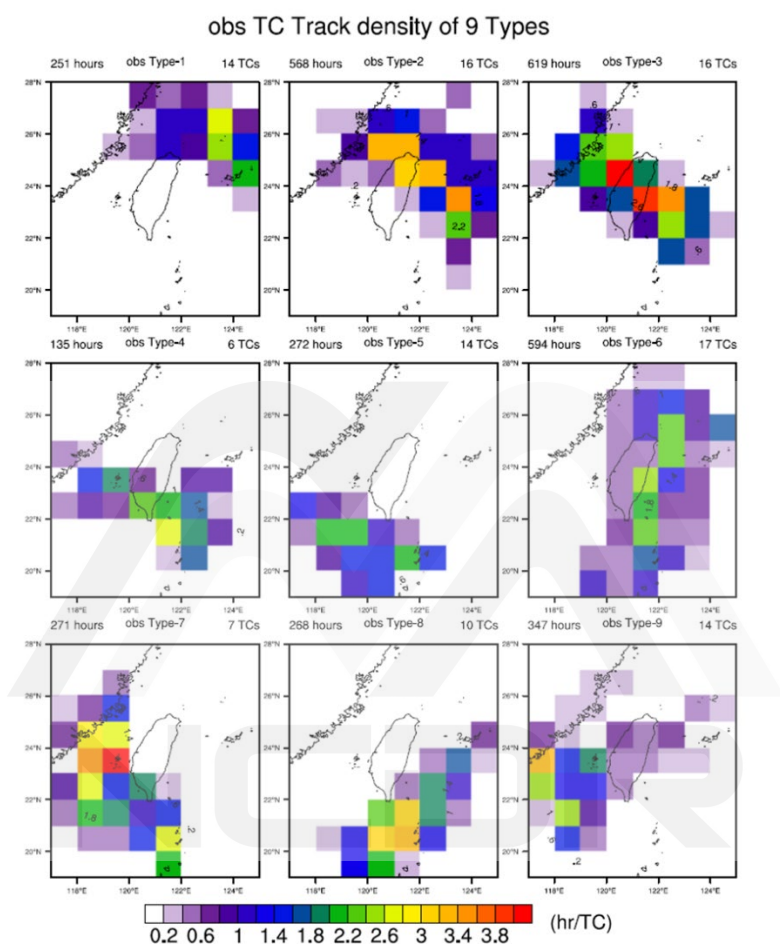


圖 2. 九大路徑分類的侵臺颱風在 1991-2015 的平均每場颱風的路徑密度。(單位：小時/颱風次數/單位面積)。

經過 9 大路徑分類後，在針對每個分類分析時，路徑資料出現在分析區域的面積比例只佔一小部份，若以全區的資料計算均方根差異的全區區域平均，會低估均方根差異。另外，因為路徑資料已事先做過分類，相似路徑資料的在全區域的空間相關係數本就是在高的，無法

反映我們想看到的細節上的相似度。基於上述兩點考量，本研究在進行區域均方根差異以及空間相關係數的計算時，只考慮部分區域，會先將路徑以外的區域給遮蓋住、不參與計算。遮蓋掉的區域是拿比較的 2 組資料中，路徑密度皆小於 0.2 小時的區域。若以圖 2 示意，就是只計算有顏色的區域，白色區域不予計算。

考慮到不同路徑分類的路徑密度絕對值的差異，在比較不同路徑分類的不同組資料間的均方根差異時，也會比較標準化均方根差異，也就是先做標準化後再來比較。標準化可以有不同種作法，在本報告中，標準化均方根差異的定義是將均方根差異除上兩組資料的區域平均值。

本報告除了以前述的部分區域空間相關來呈現 2 組資料細部的相似程度，也以空間上的準確率來呈現模式的結果與觀測資料大致的相似程度，用來評估以 CNN 影像判識進行路徑分類的成果。畢竟影像判識是以一條條的軌跡做判斷，無法呈現颱風行走快慢的訊息，以部分區域空間相關係數的好壞來評判它不算太公平。這裡空間分布準確率的計算是只要該 1 度 × 1 度網格中的路徑密度大於兩組資料分類颱風數的最小值時就算有颱風經過資料，計算時是以兩組資料中皆有颱風經過以及皆無颱風經過的格點數除上區域內所有網格數來代表之。

第三章 模式推估的九大路徑颱風

3.1 西北太平洋颱風生成的評估

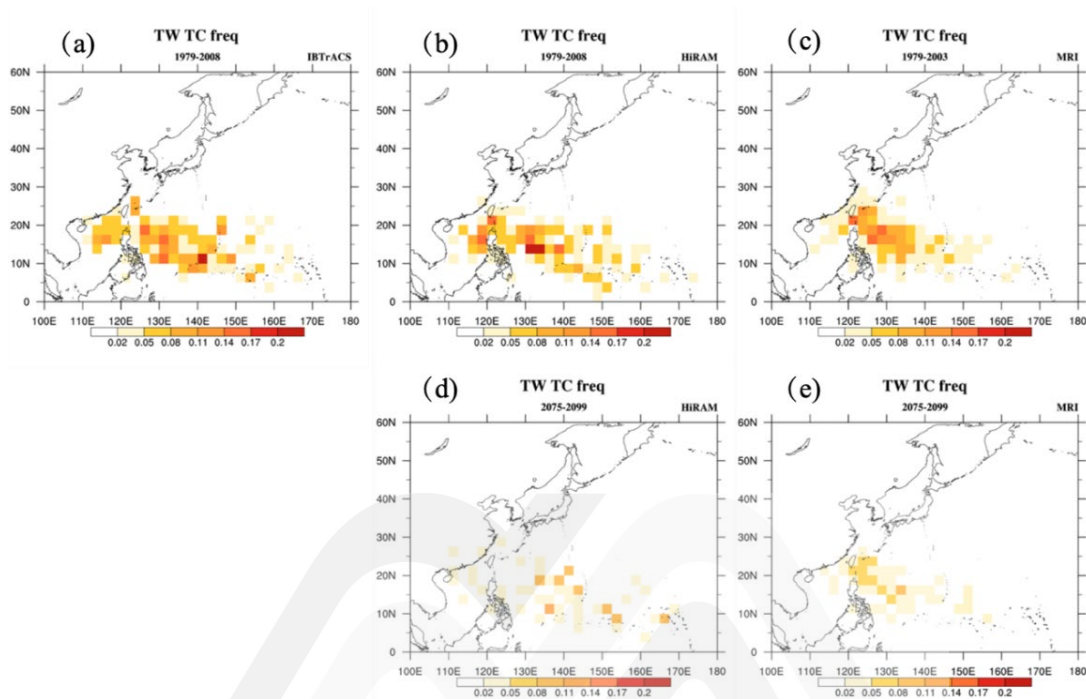


圖 3. (a)觀測與 (b) ~ (e)模式推估的侵臺颱風生成頻率空間分布圖，(b)、(c)分別為 HiRAM 與 MRI 基期，(d)、(e) 為 HiRAM 與 MRI 世紀末，單位為個數/年。

在探討氣候變遷對颱風活動的影響之中，最常被討論的就是颱風生成數目的變化。在我們過去的研究中(鄭等人 2017、姜等人 2018)發現 MRI-AGCM3.2S 與 HiRAM C384 這兩個高解析度全球模式對於西北太平洋颱風的生成、空間分布與強度發展的模擬都有一定的水準。HiRAM C384 模擬的侵臺颱風頻率與觀測的差不多，MRI-AGCM3.2S 則低估了約 1/3。HiRAM C384 模擬的侵臺颱風強度的統計值略低於觀測，MRI-AGCM3.2S 則是高估強度。在未來世紀末的推估研究顯示

西北太平洋的颱風數將大幅減少約 1/2。模式模擬的侵臺颱風生成頻率的空間分布圖如圖 3 所示。

3.2 九大路徑颱風路徑密度

圖 4 呈現的是以 CNN 模式進行影像判識，將模式推估颱風的路徑軌跡圖分成 9 大分類後，再繪製的路徑密度。與圖 1 的觀測相比較，以大致的分布狀況來看，分類的結果還不錯，能忠實呈現不同路徑的大致空間分布。這裡以歷史觀測兩模式基期的結果計算空間上的準確率來比較觀測與模式兩組資料大致的相似程度，結果如表 1 所示。可以看到針對各路徑分類的判識結果，兩個模式都差不多，準確率大多超過 7 成。特殊路徑也有計算，但並未呈現在本報告中。

表 1. HiRAM 與 MRI 基期颱風路徑各分類判識結果的空間分布準確率。

路徑分類	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HiRAM 基期	86%	72%	85%	89%	94%	86%	67%	86%	75%
MRI 基期	92%	85%	76%	83%	93%	90%	82%	88%	81%

雖然路徑分類可以區分出大致空間分布，不過若看的是更細部的路徑密度分布情況，可以看出相同路徑分類下的路徑密度空間分布還是有著差異性，譬如第 6 路徑，2 個模式的模擬更偏向外海、停留時間也比較短；MRI 的 3 號路徑的在台灣陸地停留的時間比觀測少。這些細部路徑密度的差異也會反映到颱風降水的累積。

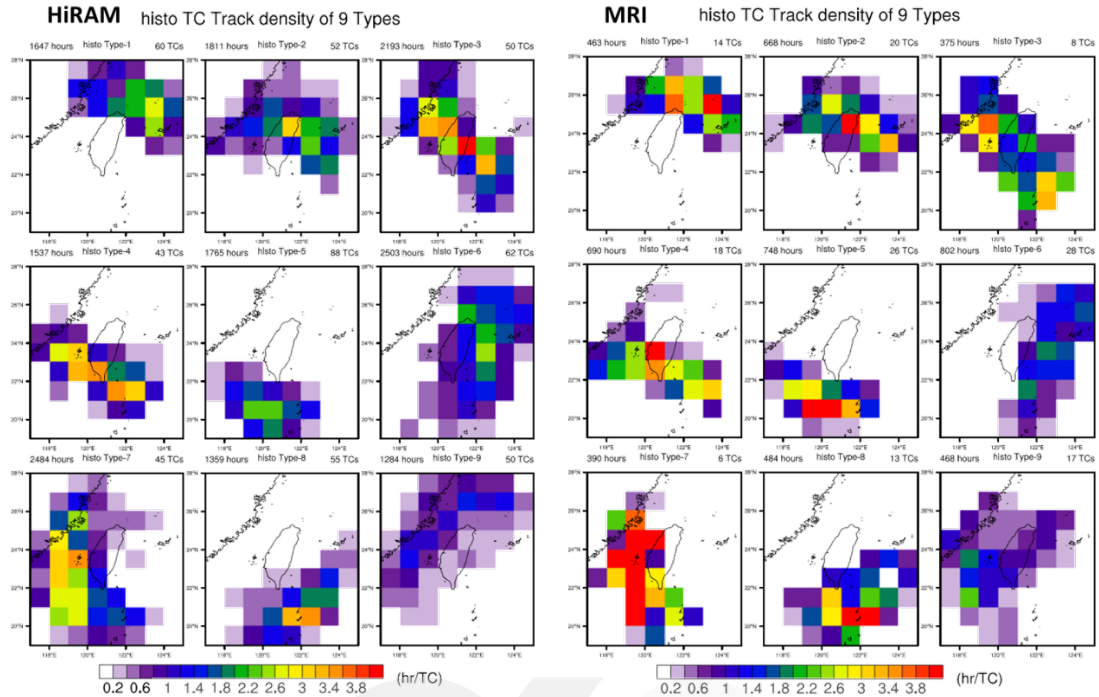


圖 4. HiRAM 與 MRI 所模擬的基期侵臺颱風，九大路徑分類的平均每場颱風的路徑密度。(單位：小時/颱風次數)。

觀測與基期的颱風路徑分類結果如表 2，觀測在 1991-2015 年間有 126 個侵臺颱風，平均每年 5.04 個，其中侵臺比例較高的是 2 號、3 號與 6 號路徑，皆佔所有路徑的 13%。MRI 在 1979-2003 的兩個系集模擬共模擬出 166 個侵臺颱風，平均每年約 3.32 個，模擬出的颱風路徑比例較高的分別是 6 號路徑 17%與 5 號路徑 16%。HiRAM 在 1979-2015 三個系集模擬共模擬出 542 個侵臺颱風，頻率為每年 4.88 個，以 5 號路徑模擬出 16%最多。由兩個模式基期颱風路徑分類的結果可見模式模擬的路徑與觀測有明顯差異。若只考慮颱風中心可能會登陸臺灣本島的第 2、3、4 路徑，觀測有 31%，MRI 與 HiRAM 各有 28%與 27%。

表 2. 觀測、HiRAM 與 MRI 基期颱風 9 大路徑分類各分類的颱風數目、每年的頻率(次數/年)與所占比例，最上列括號內為該資料的所有影響臺灣颱風數目。

基期颱風路徑分類	觀測 (126)			WH384 (542)			MRI (166)		
	個數	頻率	比例	個數	頻率	比例	個數	頻率	比例
1號路徑	14	0.56	11%	60	0.54	11%	14	0.28	8%
2號路徑	16	0.64	13%	52	0.47	10%	20	0.40	12%
3號路徑	16	0.64	13%	50	0.45	9%	8	0.16	5%
4號路徑	6	0.24	5%	43	0.39	8%	18	0.36	11%
5號路徑	14	0.56	11%	88	0.79	16%	26	0.52	16%
6號路徑	17	0.68	13%	62	0.56	11%	28	0.56	17%
7號路徑	7	0.28	5%	45	0.41	8%	6	0.12	4%
8號路徑	10	0.4	8%	55	0.50	10%	13	0.26	8%
9號路徑	14	0.56	11%	50	0.45	9%	17	0.34	10%
特殊路徑	14	0.48	10%	37	0.33	7%	14	0.32	10%

表 3. HiRAM 與 MRI 基期颱風 9 大路徑分類各分類的颱風數目、每年的頻率(次數/年)與所占比例，最上列括號為該資料的所有影響臺灣颱風數目，比例括號內為相較基期增加(減少)的百分比。

世紀末颱風路徑分類	WH384 (214)			MRI (169)		
	個數	頻率	比例	個數	頻率	比例
1號路徑	42	0.42	20% (+9%)	16	0.16	9% (+1%)
2號路徑	33	0.33	15% (+6%)	11	0.11	7% (-5%)
3號路徑	24	0.24	11% (+2%)	19	0.19	11% (+6%)
4號路徑	15	0.15	7% (-1%)	15	0.15	9% (-2%)
5號路徑	40	0.40	19% (+2%)	32	0.32	19% (+3%)
6號路徑	21	0.21	10% (-2%)	20	0.20	12% (-5%)
7號路徑	7	0.07	3% (-5%)	10	0.10	6% (+2%)
8號路徑	8	0.08	4% (-6%)	19	0.19	11% (+3%)
9號路徑	15	0.15	7% (-2%)	14	0.14	8% (-2%)
特殊路徑	42	0.09	4% (-3%)	16	0.13	8% (-2%)

至 21 世紀末，MRI 與 HiRAM 分別模擬出 169 與 214 個侵臺颱

風，兩個模式在 21 世紀末皆有 4 組系及 100 年的模擬，換算成發生頻率分別為每年 1.69 與 2.14 個。發生頻率最高的分類在 HiRAM 由基期的第 5 路徑到了 21 世紀末變成第 1 路徑，第 5 路徑次之；MRI 則由基期的第 5、6 路徑到了 21 世紀末變成第 5 路徑一枝獨秀。兩個模式在 9 個不同路徑分類比例的增減，在大部分的分類不是變化符號不一，就是比例變化的幅度比較小，難以歸納出具顯著且一致性的結果。這也說明模式模擬路徑的不確定性很大，其未來推估也是如此。



第四章 九大路徑各分類颱風降雨變遷

4.1 未來每年颱風總雨量的變化

在我們之前的研究(鄭等人 2017、姜等人 2018)可以看到 MRI、HiRAM 兩個模式模擬的颱風降雨，經由動力降尺度與偏差修正後，都做得不錯，如圖 5 所示，皆能呈現與觀測有相似的特徵，大值區集中在宜花地區與西南山區。因為 MRI 低估了颱風的頻率，所以也可看到 HiRAM 降水多於 MRI 的現象。受到 21 世紀末侵臺颱風數量減少的影響，未來每年的颱風降雨改變率皆呈現減少的趨勢，偏差修正後也維持相同趨勢。只是這樣的全臺全年所有颱風降雨趨勢變化反應的主要是颱風個數的減少，尚不足以某些領域進行衝擊評估，特定路徑的颱風強度變化對區域造成危害與產業衝擊是比較有用的訊息。本研究最主要的目的是將颱風路徑進行九大分類之後，針對特定路徑討論暖化對颱風降雨的影響，來減少路徑不同所造成的影響。

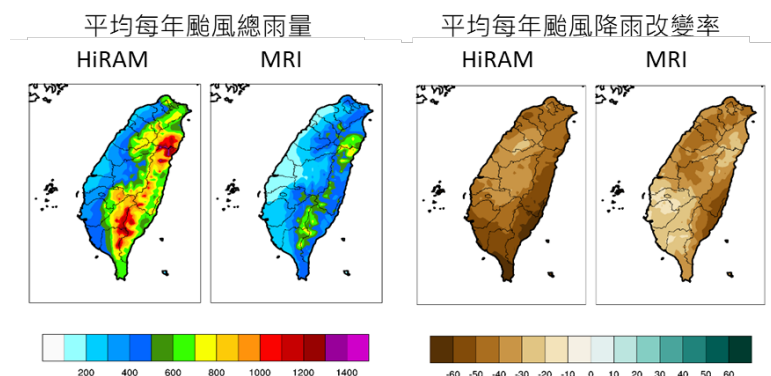


圖 5. HiRAM 與 MRI 基期的平均每年颱風總雨量(單位：mm/yr)、與 21 世紀末平均每年颱風總雨量改變率(單位：%)。

4.2 世紀末颱風降雨強度的變化

檢視模擬的九大路徑颱風降雨的合成分析，比較圖 6 的左圖觀測與右圖 HiRAM 模擬的颱風總雨量平均降雨強度，可以看到經由颱風路徑分類後，模式可以重現觀測相同的降雨空間分布特徵，第一路徑降雨集中在雪山山脈、第 2、3 路徑降雨集中在中央山脈的東北與西南山區、第 4、5 路徑降雨集中在中部山區、第 6 路徑則集中在東部、東北部山區。MRI 的模擬也可呈現相同的空間分布，只是高估與低估的程度和 HIRAM 略有不同。

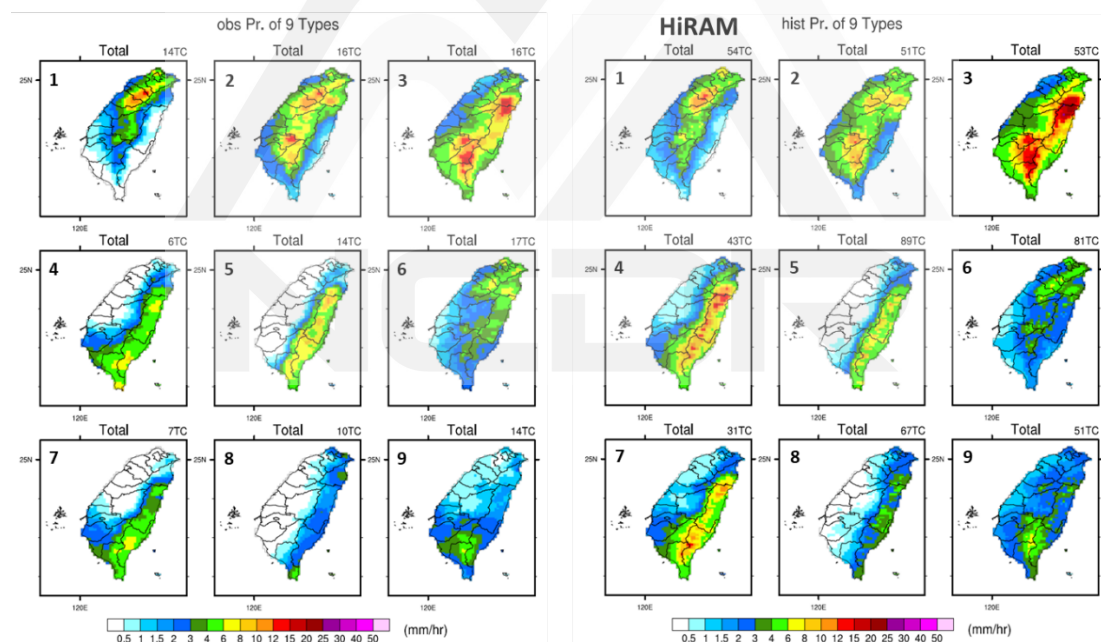


圖 6. 觀測(左側 9 張圖)與 HiRAM 基期(右側 9 張圖)九大路徑各分類的平均每場颱風降雨強度 (單位：毫米/小時)。

確定各路徑分類的颱風降雨空間分布是合理的之後，便可以進一步檢視其未來各路徑颱風降雨的強度變化。圖 7 呈現 HiRAM 與 MRI 這 2 個模式的各路徑颱風降雨強度在未來 21 世紀末的改變率，為顯

示主要降雨區的變化情形，平均時雨量小於 4 毫米區域以白色遮蔽，也就是圖 6 中的藍、白色區域不予考慮，灰色斜線覆蓋區則為未通過 10%信心區間的統計 t 檢定。大部分結果跟暖化會增強颱風降雨強度的預期相似，以 HiRAM 而言主要降雨區降雨強度的增加可達 40%，這與我們之前的研究結果相似(姜和鄭，2019)。部分區域如路徑 5、7 的部分西部地區，有降雨強度的改變超過 60%的狀況，但出現在非主要降雨區，計算改變率時的分子太小，故不予討論。MRI 路徑 2、3 的主要降雨區降雨強度的增加有許多超過 60%的，這點就值得做進一步分析討論。

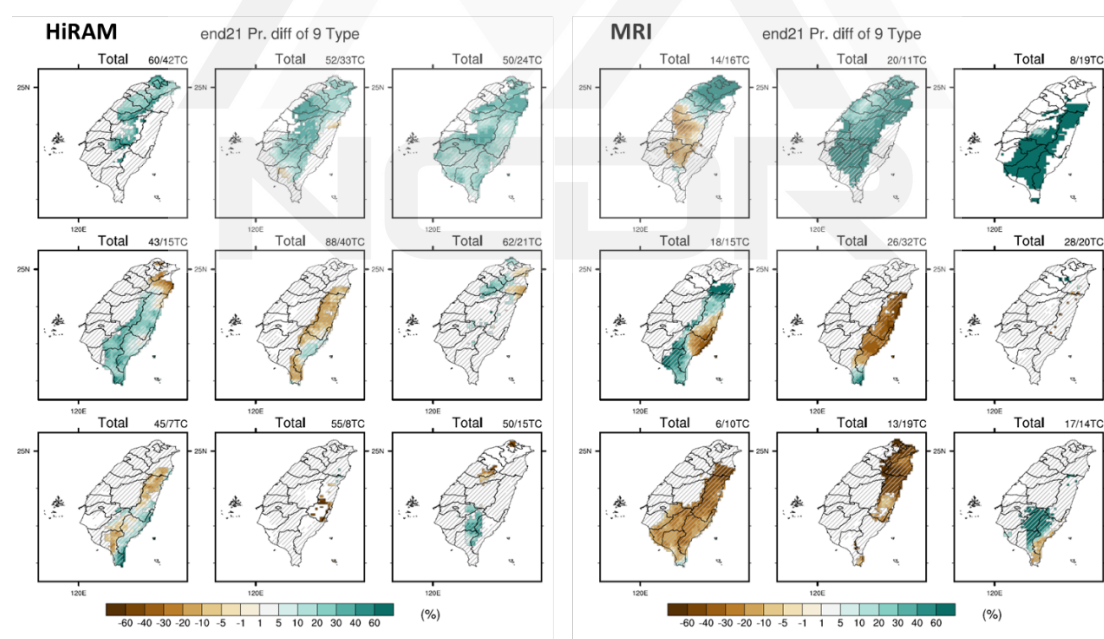


圖 7. HiRAM 與 MRI 所模擬的 21 世紀末各路徑分類的侵臺颱風降雨強度與基期的差異(單位：毫米/小時)。

4.3 未來颱風路徑的變化

雖然預期暖化會增加降雨強度，但仍有部分結果呈現降雨強度減

少。若只考慮主要降水區，呈現降雨強度減少的有 HIRAM 的路徑 5、7 以及 MRI 的路徑 1、4、5、7、8。為了探討降雨強度減少與降雨強度變化太大的原因，這裡一併檢視了 21 世紀末各路徑的路徑密度變化，如圖 8 所示。圖 8 可以看到部分路徑的路徑密度前後期差異不大，如 HiRAM 的路徑 1、2、3、5、9，其它則有較大的差異。HiRAM 的路徑 1、2、3、9 的降雨強度也一如預期地增加。

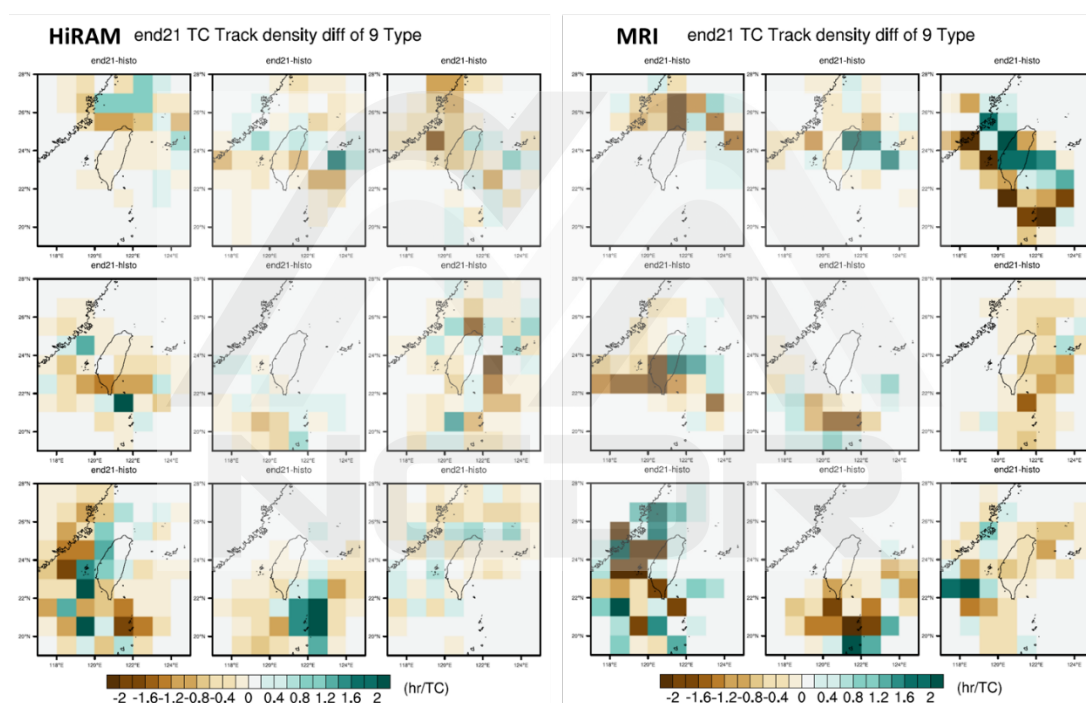


圖 8. HiRAM 與 MRI 所模擬的 21 世紀末各路徑分類的侵臺颱風路徑密度與基期的差異 (單位：小時/颱風次數)。

MRI 的路徑 2、3 在臺灣本島的路徑密度增加不少，颱風平均停留的時間增加，這可能是前述 MRI 路徑 2、3 的主要降雨區降雨強度的增加超過 60% 的主要原因之一。MRI 的路徑 4 路徑密度在花蓮附近增加與北邊的降雨增加有關。路徑 5 的路徑密度在巴士海峽的減少

以及路徑 6、8 路徑密度的全面減少，應該與東部降水的減少有關。

4.4 颱風路徑密度差異性的評估

表 4. HiRAM 的九大類颱風路徑密度在基期與世紀末前後兩期的空間相關係數，標準化後的區域均方根差異、平均每場颱風的時數比例以及各分類的颱風個數。

HiRAM 颱風路徑	空間相關係數	均方根差異	侵台時數比例	兩期颱風個數
1	0.78	0.61	1.02	60、42
2	0.86	0.67	0.97	52、33
3	0.89	0.55	0.83	50、24
4	0.85	0.65	0.91	43、15
5	0.78	0.52	1.04	88、40
6	0.51	0.83	0.89	62、21
7	0.72	1.01	0.87	45、7
8	0.83	1.28	1.28	55、8
9	0.58	0.79	0.97	50、15

表 5. MRI 的九大類颱風路徑密度在基期與世紀末前後兩期的空間相關係數，標準化後的區域均方根差異、平均每場颱風的時數比例以及各分類的颱風個數。

MRI 颱風路徑	空間相關係數	均方根差異	侵台時數比例	兩期颱風個數
1	0.72	0.80	0.74	14、16
2	0.91	0.83	1.14	20、11
3	0.40	1.12	0.87	8、19
4	0.53	1.09	0.74	18、15
5	0.86	0.66	0.98	26、32
6	0.77	0.83	0.63	28、20
7	0.62	1.05	1.01	6、10
8	0.46	1.19	0.70	13、19
9	0.48	1.08	0.86	17、14

由於各分類路徑密度的改變可以部份解釋颱風降雨強度的變化，本研究原來的目的想藉由颱風路徑分類減少路徑差異造成的影響並不成功，各分類中的路徑差異依舊會對降雨強度有影響，影響暖化效應的計算。不過部分的分類中，前後兩期資料路徑密度差異不大，仍可符合我們預期的成果，也就是說部分用來描述暖化效應的量化結果還是有參考價值的。

為了找出仍具有參考價值的資料，在此計算了幾個參數做為評估表準，將這些有價值的結果標示出來。這些參數包括前後兩期資料的：路徑密度空間相關係數、標準化後的均方根差異、颱風影響的時數比

例，侵臺以及颱風的個數，結果如表 4、5 所示。

由於希望兩組比較的資料能呈現出暖化造成的效應、並減少路徑差異造成的影響，所以表 4、5 所呈現的參數的空間相關係數越高越好、區域均方根差異越小越好、颱風影響的時數比例越接近 1 越好、颱風個數越多越好，統計結果較為可靠。HiRAM 模擬出來的颱風數目較多，在這四個列舉的參數都比 MRI 有較佳的結果，的確有助於其統計分析結果的應用。表 4、5 中紅字代表的是空間相關係數高於 0.8、區域均方根差異小於 1、颱風影響的時數比例差異小於 0.2、颱風個數大於 20 場。上述所有參數都拿到紅字的路徑分類（代表路徑密度差異性較小）只有 HIRAM 的路徑 2、3 與 MRI 的路徑 5。

在圖 7 可看到 HIRAM 的路徑 2、3 颱風降雨強度的變化率在空間上的一致性比較好，主要降雨區都呈現暖化後降雨強度增加的趨勢，改變率大多介於 20-40%之間。路徑 2、3 颱風降雨強度最大多發生在颱風中心登陸臺灣陸地時，檢視圖 8 的路徑密度的變化，可看到臺灣陸地上的路徑密度的差異並不是太大，有助於判斷前述降雨變化率應來自於暖化的影響。

與 HIRAM 的 2、3 路徑不同，MRI 的路徑 5 則是呈現暖化後降雨強度減少 20~40%的趨勢。路徑 5 的颱風穿越臺灣與菲律賓之間的

巴士海峽往西走，東部的降雨累積多來自颱風通過巴士海峽時。在圖 8 可以看到路徑 5 的路徑密度在巴士海峽有較顯著的減少，可能是降雨強度減少的主要原因，而看不出暖化的效應究竟為何。這裡也說明，僅靠表 4、5 的 4 項參數，還是不足以作為評估降雨強度的改變是來自於暖化，還是仍受路徑差異的影響的依據。



第五章 結果與討論

過去幾年來使用 MRI 與 HiRAM 高解析度全球模式的動力降尺度推估的研究結果，呈現颱風個數減少、強度增加、降雨強度變強的特徵。兩個模式對於 21 世紀末的侵臺颱風數目推估都減少將近一半，平均每年颱風降雨量銳減，對水資源的影響很大。相較於很清楚的颱風數目減少的訊號，與災害衝擊息息相關的局部地區的颱風降雨變化，就不容易計算出一個定量的結果。主要原因就是無法排除前後期推估資料的颱風路徑差異的影響。

本研究希望能夠透過將颱風進行 9 大路徑的精準分類，比較各分類中的颱風降雨變化率，以減少比較資料的颱風路徑差異性。執行系集模擬，能增加各分類的颱風樣本數目，得到較具統計意義的結果。儘管已經做了路徑分類，分析結果顯示，同類路徑的颱風降雨趨勢在不同局部地區，仍會出現不同的改變趨勢，還是不容易得到一致性的結果。這很有可能是同一分類的路徑寬度仍可大於經緯度 2-3 度，即使做了路徑分類，統計同分類的路徑密度仍呈現顯著差異，降水自然受到影響。另外颱風速度的快慢會影響停留時間的長短，也會反應在路徑密度差異上，這也是僅做路徑分類無法分辨處理的。

進一步評估各分類前後期資料路徑密度的差異，可以找出路徑颱

風的路徑密度差異性最小的分類，其降雨強度變遷在空間上就可以呈現一致的趨勢，介於 20-40%。20-40%的改變率與鄭等人(2016)所做莫拉克颱風擬暖化實驗結果類似，一樣是 RCP8.5、21 世紀末的情境，降雨變化率山區 20%、平地 40%。也與姜等人(2019)分析時雨量機率分布時，計算出極端降雨部分的改變率約為 40%相同。

本研究初步結果顯示，即使進行颱風路徑分類仍無法減少路徑差異對估計降雨變遷的影響。若能有更大的系集、更多的颱風樣本參與分析，是可以在各路徑分類中做進一步的篩選、分析。目前系集模擬的颱風數目有限的情況下，需要有另外的策略來討論全球暖化對區域颱風降雨強度的影響，譬如由線縮到點，只看颱風中心在某一特定位置時的降雨。

誌謝

本研究成果為科技部「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫(MOST 109-2621-M-865-001)的部分工作，感謝此科技部計畫提供必要的資源支持。也感謝文化大學蘇世顥教授提供颱風路徑分類影像辨識的工具與相關資訊的諮詢。



參考文獻

交通部 (2020)。109 年度交通年鑑。

<https://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=21&parentpath=0,7>

臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 (2021)。科技部補助專題研究計畫成果

報告 (編號: MOST 109-2621-M-865-001) 第三年成果報告。國家災害防救。

李清勝、盧孟明 (2012)。從氣候觀點探討影響臺灣颱風的定義問題。氣象學報。

48, 4, 25-37。

姜欣妤、鄭兆尊、林士堯、許晃雄、杜佳穎 (2018)。高解析度全球模式 HiRAM

所模擬的西北太平洋颱風推估。NCDR 106-A27。

姜欣妤、鄭兆尊 (2019)。不同颱風降雨偏差校正方法評估。NCDR 107-A27。

鄭兆尊、陳淡容、林宜穎、劉俊志、李欣輯 (2016)。擬全球暖化情境下的 2009

莫拉克颱風降水變遷推估。NCDR 104-T10。

鄭兆尊、林宜穎、陳淡容 (2017)。臺灣地區氣候變遷推估 - 多組 MRI-AGCM 氣

候推估的動力降尺度。NCDR 105-T29。

Bengtsson, L., M. Botzet and M. Esch (1996). Will greenhouse gas-induced warming over the next 50 years lead to higher frequency and greater intensity of hurricanes? *Tellus*, 48A, 57-73.

Ines, A.V.M. and Hansen, J.W. (2006). Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies, *Agr. Forest Meteorol.*, 138, 44-53.

IPCC (2013) *Climate change 2013: the physical science basis*. Stocker TF et al (eds) Cambridge University Press, Cambridge.

Johnson, F. and A. Sharma (2011). Accounting for interannual variability: A comparison of options for water resources climate change impact assessments. *Water Resour. Res.*, 47, W04508.

Knapp, K. R., M. C. Kruk, D. H. Levinson, H. J. Diamond, and C. J. Neumann (2010).

The International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS):
Unifying tropical cyclone best track data.

Knutson, T., R.E. Tuleya and Y. Kurihara (1998). Simulated increase of hurricane intensities in a CO₂-warmed climate. *Science*, 279, 1018–1020.

Lenderink, G., Buishand, A., and van Deursen, W. (2007). Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies :direct versus delta approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1145–1159.

Murakami, H., and Coauthors (2015). Simulation and prediction of category 4 and 5 hurricanes in the high-resolution GFDL HiFLOR coupled climate model. *J. Climate*, 28, 9058–9079.

Roberts, M. J., and Coauthors (2015). Tropical cyclones in the UPSCALE ensemble of high-resolution global climate models. *J. Climate*, 28, 574–596.

Sugi, M., A. Noda and N. Sato (1997). Influence of global warming on tropical cyclone climatology: An experiment with the JMA global model. WMO/TD-No. 792.

Walsh, K., B.F. Ryan (2000). Tropical cyclone intensity increase near Australia as a result of climate change. *J. Climate*, 13, 3029–3036.

Walsh, K. J.E., McBride, J. L., Klotzbach, P. J., Balachandran, S., Camargo, S. J., Holland, G., Knutson, T. R., Kossin, J. P., Lee, T.-c., Sobel, A. and Sugi, M. (2016). Tropical cyclones and climate change. *WIREs Clim Change*, 7, 65–89.

Wehner M, Prabhat Reed KA, Stone D, Collins WD, Bacmeister J (2015). Resolution dependence of future tropical cyclone projections of CAM5.1 in the U. S. CLIVAR Hurricane Working Group idealized configurations. *J Clim.* 28, 3905–3924.

全球暖化情境下不同路徑侵臺颱風降雨強度的變化

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

報告完成日期：中華民國 110 年 12 月

出版年月：中華民國 111 年 01 月

版 次：第一版

非賣品



地址：23143新北市新店區北新路三段200號9樓

電話：++886-2-8195-8600

傳真：++886-2-8912-7766

網址：<http://www.ncdr.nat.gov.tw>