

氣候變遷情境下AGCM模擬之颱風特徵

陳淡容¹、鄭兆尊¹、許晃雄²、陳正達³

國家災害防救科技中心¹

中央研究院環境變遷研究中心²

國立臺灣師範大學地球科學系³

摘要

氣候變遷下極端天氣現象特徵的改變對於防災準備而言是個相當重要的課題。隨著計算能力大幅提升，許多全球氣候動力模式在解析度提升之後，已經可以對一些劇烈天氣現象做相當不錯的模擬。本研究使用兩組超高解析度AGCM所做的氣候推估資料，分析在氣候變遷情境下侵臺颱風的改變，此兩組AGCM分別為解析度約20公里的日本氣象廳氣象研究所之高解析度大氣環流模式(MRI-AGCM)及解析度約23公里的美國普林斯頓大學地物動力實驗室所發展的HiRAM。此兩組AGCM皆為可解析出颱風發展的氣候模式，可用來評估不同模式對未來颱風的變異。本研究將著重在兩組AGCM對西北太平洋颱風及侵臺颱風的統計分析和AGCM中颱風強度及降水的特徵。

關鍵字：氣候變遷、颱風變異

一、前言

伴隨著颱風的強降水常在臺灣引發嚴重的天然災害，譬如造成排水能力較差的地區淹水、土石坍塌、土石流、路基流失、堤防潰決等。另一方面，颱風帶來的降水卻又是重要的水資源來源之一，不足的颱風降水常使得隔年出現乾旱的機率大幅提高。颱風是防災工作及水資源管理所高度關切的對象之一，在氣候變遷對臺灣地區影響的研究中，颱風降水的推估是相當重要的一個課題。

Sugi et al. (2009) 分析高解析度氣候模式的結果指出全球暖化會導致本世紀末颱風發生頻率減少。Knutson et al. (2010) 的研究中指出，根據高解析度動力模式的模擬，世紀末全球颱風發生的頻率減少6-34%，但是強颱風頻率增加，颱風暴風半徑100 km內降雨強度增加約20%，然而這些變化在各海域的變動程度有著相當大的差異。對於臺灣地區而言，這些伴隨著全球暖化所產生的變化值得做進一步的探討。

隨著電腦計算能力迅速發展，近年來已有不少高解析度的全球/區域氣候模式發展，並能模擬出如颱風、暴雨、強對流系統等中尺度劇烈天氣現象。而這類高解析度氣候模式模擬之颱風發生頻率、生成位置、颱風強度與觀測結果相比具有相當高的掌握度(Knutson et al., 2008、Mizuta et al., 2011)。以高解析度模式進行氣候模擬將日趨增多，本研究將分析幾個高解析度氣候模式模擬之西北太平洋地區

風變異，並比較模式間模擬結果之差異。為了提供更高解析度以供區域衝擊研究所需，本研究也檢視了這些氣候模式資料經過5 km區域模式進行動力降尺度前後的差異。

二、模式及資料說明

本研究採用MRI及HiRAM兩個不同高解析度大氣環流模式(Atmospheric General Circulation Mode, AGCM)的氣候推估資料進行颱風分析。其中MRI AGCM3.2S (Mizuta et al. 2012)為日本氣象研究所(Meteorological Research Institute, MRI)發展之高解析度大氣環流模式，水平解析度約20 km。MRI對現在時期大氣環流的模擬掌握得相當不錯，未來暖化的情境採用CMIP5的洋溫暖化趨勢來設定未來海溫情境以驅動模式，HiRAM亦採類似方法來處理未來的海洋溫度。HiRAM為美國普林斯頓大學地物動力實驗室(GFDL)所發展的HiRAM2 (High-Resolution Atmospheric Model, version 2)，模擬劇烈天氣系統能力甚佳(Chen and Lin 2011)，網格架構為一有限體積的立方球體網格，而本研究使用C384版本在臺灣附近的網格水平解析度約23公里。本研究分為現在和世紀末二時期來探討氣候變遷情境下的颱風變異特徵，其中現在和世紀末時期分別為1979-2003年和2075-2099年，使用之暖化情境為RCP8.5。

為比較2組AGCM現在時期的模擬與觀測的差異，本文所使用之觀測路徑資料為日本氣象廳之颱風路徑，雨量資料則使用中央氣象局雨量站逐時觀測資料內差至網格點資料，時間範圍為1992-2010年。受限於雨量資料，在比較模擬與觀測之降雨分布時，目前僅以19年觀測(104場颱風)之平均氣候值進行比較，而探討路徑之差異時，則使用相同基期之1979-2003年資料。

三、西北太平洋颱風分析

此二組高解析度氣候模式皆可模擬出強的深對流及颱風，而在西北太平洋地區模式針對颱風近地面最大風速和最低海平面氣壓間的關係，其模擬結果與觀測之比較如圖1所示。HiRAM的模擬結果與觀測結果非常相似，MRI的模擬結果顯示當模擬之颱風強度(風速)較弱時，MRI模擬之風速和氣壓間的關係與觀測結果非常相似；約風速超過45 m/s時，相同近地面最大風速下所對應的最低海平面氣壓相較觀測則有偏高的情況，隨著強度增加，模式氣壓偏高的情形越顯著。

模式對於颱風頻率的季節變化與觀測結果相似，其中HiRAM與觀測相同，皆於7-9月有較高的颱風生成頻率，8月達最大值，但頻率有高估的情形；而MRI的颱風頻率季節變化則延遲一個月，於9月達最大值，且頻率有低估的情形。西北太平洋的颱風移動方向主要受副熱帶高壓影響，沿著副高邊緣移動，所以路徑多呈現西行向南海、中國大陸移動，或轉往北/東北方向朝韓國、日本移動，而此2組AGCM皆有模擬出西北太平洋颱風路徑的特徵(圖未示)。由近地面最大風速與最低海平面氣壓間的關係、颱風頻率季節變化的模擬及西北太平洋之颱風路徑模擬結果顯示AGCM能有效模擬出與觀測相似的結果。

觀測及各模式所模擬之西北太平洋颱風個數如表1所示，MRI模擬之颱風總數偏低，低估約39%，HiRAM模擬個數則偏高，高估約43%。觀測資料顯示輕、中度颱風占颱風總數的比率相當，能夠發展至強烈颱風者所占比率最少。HiRAM模擬的颱風中，能夠發展至強烈颱風者所占比率偏少，中度颱風所占比率相較於觀測為略高，輕度所占比率相似。MRI的颱風模擬強度則明顯偏強，能夠發展至強烈颱風者所占比率超過一半，輕颱所占比率最少。MRI和HiRAM模擬現在時期之颱風個數分別為394和918場，世紀末分別為214和537場，2組AGCM模擬皆顯示世紀末颱風個數有減少的趨勢，而能夠發展至強颱風的颱風所占比率皆有增加的趨勢，其中MRI

顯示輕、中度颱風所占比率皆減少，HiRAM則顯示輕颱比率有些微增加的情形，中颱則減少。

四、侵臺颱風分析

本研究定義颱風中心有進入到距海岸線300 km範圍內之颱風為侵臺颱風，據此定義，MRI於現在和世紀末時期的侵臺颱風個數分別為85和47場，HiRAM則為128及44場(表2)。侵臺颱風個數與觀測相比，MRI有低估的情形，HiRAM則與觀測相當。觀測資料顯示西北太平洋颱風中約有20%侵臺，MRI和HiRAM侵臺颱風的比率分別約為22%和14%，HiRAM的比率有偏低的情形。觀測侵臺颱風中，輕、中度和強烈颱風所占比例為36%、48%和15%，以中度颱風居多、強烈颱風最少。MRI模擬顯示侵臺颱風強度偏強，強烈颱風所占比例超過一半(53%)，輕度颱風最少(9%)。HiRAM的模擬與觀測類似，中度颱風侵臺居多、強烈颱風最少，但中度颱風的比例占63%，有顯著偏高的情形、強烈颱風偏少，僅7%。於世紀末時期，MRI顯示輕度颱風所占比率減少，中度颱風變化不明顯，強烈颱風有增加的趨勢。HiRAM顯示輕度和中度颱風所占比率減少，其中中度颱風減少趨勢較明顯，而強烈颱風所占比率則顯著增加，由7%增加至34%。分析平均每場颱風影響臺灣的時數顯示模式皆有低估的情形，造成低估的原因可能為模式中的颱風皆以較快的移動速度侵襲臺灣，或是侵襲路徑不同所致。

圖3所示為觀測、MRI和HiRAM颱風路徑密度分布圖，颱風路徑密度分布的計算方式為利用每6小時一筆的颱風中心位置，計算中心位置出現在 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 網格上的次數。觀測結果顯示於巴士海峽有較高的颱風路徑密度，臺灣陸地上於宜蘭和花蓮有較高的密度，顯示颱風多以第一和第二路徑(依中央氣象局颱風路徑分類)登陸。MRI模擬顯示同樣於巴士海峽有較高的路徑密度，但臺灣陸地上的密度則與觀測呈現相反的現象，於南部陸地上有較高的路徑密度。HiRAM的模擬顯示與觀測結果相似，於臺灣東北部有較高的路徑密度、西南部地區較低。MRI世紀末時期較高的路徑密度除分布在巴士海峽外，東北部外海和臺灣海峽處亦有較高的路徑密度；臺灣陸地上於北部和東部有較高的颱風路徑密度，顯示世紀末時期颱風以侵襲臺灣北部居多。HiRAM與MRI相似，臺灣陸地上的路徑密度於北部較高，最高的路徑密度則出現在東南部外海。

為了比較、分析觀測和各模式模擬之現在時期颱風降雨，因模式解析度較粗(20 km)，無法有效解析出因地形效應造成的強降雨，本研究使用經過5 km

WRF模式降尺度後的降雨資料分析，觀測資料亦差分至5 km網格與模式資料進行比較。圖4為觀測(1992-2010)和2組AGCM現在時期(1979-2003)的年平均颱風降雨，觀測資料顯示颱風降雨多集中在東半部地區，最大值出現在宜蘭地區，雪山山脈和阿里山山區亦有較大的降雨發生。MRI和HiRAM的模擬同樣顯示颱風降雨主要集中於東半部地區，但MRI除了局部山區降雨有高估的現象外，大多數地區皆低估，尤其是雪山山脈和東部沿海地區，造成低估的原因可能與MRI模擬之侵臺颱風個數偏少及登陸次數偏少有關。HiRAM的降雨與觀測相比則是有顯著高估的情形，僅西半部地區有些微低估的情形，造成東部和山區高估的原因可能與HiRAM模擬之侵臺颱風中有登陸的次數較多有關(圖3)。

由於世紀末時期的降尺度尚未完成，因此本文在進行世紀末降雨分析時先使用20 km氣候模式的降雨資料。MRI和HiRAM模擬現在、世紀末時期之年平均颱風降雨分布如圖5所示，MRI於現在時期之主要颱風降雨集中在東半部，世紀末時期年平均降雨有減少的趨勢，主要降雨發生在東北部地區，中部山區亦有較大降雨，但除了北部局部地區降雨有增加的趨勢外，幾乎全臺之年平均颱風降雨皆有減少的趨勢，東南部減少的程度最為顯著。HiRAM於現在時期之颱風降雨與MRI相似，主要集中在東半部地區，世紀末時期之主要降雨同樣發生在東部地區，但量值有顯著減少的趨勢，改變率顯示世紀末時期全臺颱風降雨皆呈現減少的趨勢，以北部與南部地區減少最為顯著。造成2組模式颱風降雨減少的原因可能與世紀末時期侵臺颱風大量減少有關。

進一步分析颱風期間之降雨強度變化，本文中所使用之降雨強度指標為SDII (Simple Daily Precipitation Intensity Index)，即日降雨 ≥ 1 mm的總累積雨量除上日降雨 ≥ 1 mm的總降雨日數(圖6)。MRI之降雨強度指標顯示現在時期東部降雨強度最強，部分北部及西部沿海地區較弱；世紀末時期中部以北和東部的降雨強度皆增強，東北部和中南部山區有較強的降雨強度；世紀末之降雨強度改變率除了恆春半島和東南部地區呈現減少的趨勢外，其餘地區皆顯示世紀末颱風降雨強度增加，尤其以北部和中部地區增強較為顯著。HiRAM模擬結果顯示現在時期於東部地區有較強的降雨強度，於北海岸和西南部地區的強度較弱；世紀末時期降雨強度普遍增強，降雨最強的地方出現在雪山山脈和中南部山區，降雨強度改變率顯示除了西南和東南部地區降雨強度有減弱的趨勢外，其餘地區皆呈現增強的趨勢，以中部地區增加最為顯著。

五、結論與討論

本研究使用日本氣象廳氣象研究所之高解析度大氣環流模式(MRI-AGCM)和美國普林斯頓大學地物流動力實驗室所發展的HiRAM模式所做之氣候推估來探討西北太平洋和臺灣地區世紀末颱風變遷，2組氣候模式均能有效地模擬出颱風。模擬結果顯示受氣候變遷影響下，西北太平洋和侵臺颱風個數均有遞減的趨勢，此現象與WMO依據模式推估未來在21世紀溫室氣體排放情境下的變化趨勢一致(Knutson et al., 2010)，皆顯示於世紀末時期侵臺颱風中輕度颱風比率會減少、強烈颱風則有增加的趨勢，在比A1B更強的RCP8.5暖化情境下，此變化趨勢更是明顯。

世紀末時期，隨著侵臺颱風個數顯著減少，臺灣地區颱風總降雨量亦呈現減少的趨勢，僅MRI顯示北部部分區域有些微增加。雖然世紀末時期颱風降雨減少，但在2組模式中，颱風侵臺期間的降雨強度卻是呈現增加的趨勢，僅部分南部和東南部地區有減弱的趨勢，增強最為顯著的區域為中部地區。

由歷史乾旱事件發現若夏季颱風降雨不足未將水庫蓄滿將會影響下一年度的用水調配(許等，2011)，而2組模式皆顯示世紀末颱風降雨大幅減少很可能會導致水資源的短缺、甚至增加乾旱事件發生頻率。另一方面，颱風期間的降雨強度變強則可能讓排水系統超過容量負擔或河川流量超過堤防之防護標準而造成淹水事件增加。然而將模式現在的颱風頻率分布與觀測相比較，發現模式所模擬之颱風路徑與實際觀測存在偏差，又因為颱風路徑顯著地影響著臺灣地區颱風降水的分布，因此模式在推估世紀末之降水變異時有可能也與實際情形存在偏差。

參考文獻

- Chen, J.-H., and S.-J. Lin, 2011: The remarkable predictability of inter-annual variability of Atlantic hurricanes during the past decade. *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L11804.
- Knutson, T. R., J. J. Sirutis, S. T. Garner, G. A. Vecchi, and I. M. Held, 2008: Simulated reduction in Atlantic hurricane frequency under twenty-first-century warming conditions. *Nature Geoscience*. 18 May 2008.
- Knutson, Thomas R., John L. Mc McBride, Johnny chan, Kerry emanuel, Greg Holland, Chris Landsea, Isaac Held, James P.

Kossin, A. K. Srivastava and Masato Sugi, 2010: Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience*, **3**, 157-163.

Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, H. Endo, T. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki, and A. Kitoh, 2012: Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 233-258.

Murakami, H., B. Wang and A. Kitoh, 2011: Future changes in the western North Pacific typhoons: Projection with a 20-km-mesh global atmospheric model. *J. Climate*, **24**, 1154-1169.

Sugi, M., H. Murakami, and J. Yoshimura, 2009: A Reduction in Global Tropical Cyclone Frequency due to Global Warming. *SOLA*, **5**, 164-167.

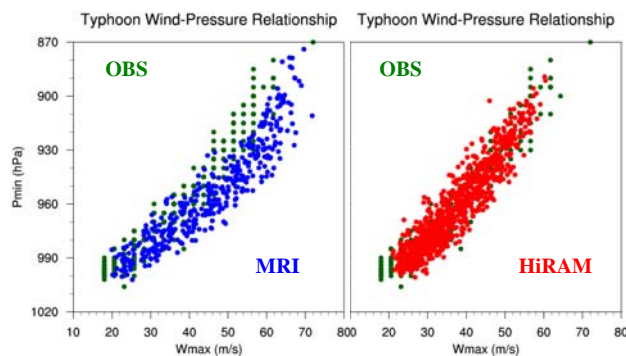


圖1 西北太平洋地區現在時期之近地面最大風速與最低海平面氣壓之關係，左、右分別為MRI與觀測及HiRAM與觀測之結果

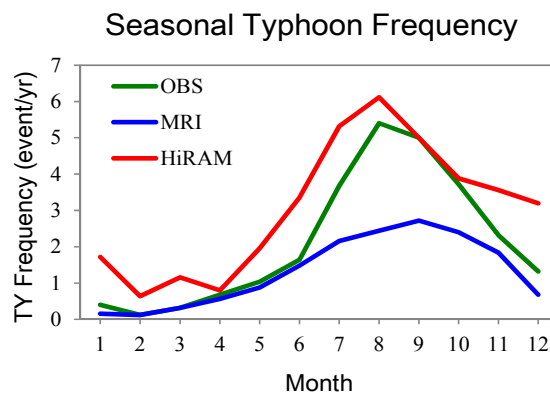


圖2 西北太平洋地區現在時期觀測、MRI和HiRAM 颱風頻率之季節變化

表1 西北太平洋地區各模式現在和世紀末時期及觀測之各強度颱風個數和所占比率

模式	時期	各強度之颱風個數				各強度之颱風比率 (%)		
		輕度	中度	強烈	總數	輕度	中度	強烈
MRI	1979-2003	44	132	218	394	11.17	33.5	55.33
	2075-2099	20	53	141	214	9.35	24.77	65.89
HiRAM	1979-2003	406	444	68	918	44.23	48.37	7.41
	2075-2099	254	212	71	537	47.3	39.48	13.22
OBS	1979-2003	276	279	86	641	43.06	43.53	13.42

表2 各模式現在和世紀末時期及觀測之各強度侵臺颱風個數和所占比率

模式	時期	各強度之颱風個數				各強度之颱風比率 (%)			時數 (hr/event)
		輕度	中度	強烈	總數	輕度	中度	強烈	
MRI	1979-2003	8	32	45	85	9.41	37.65	52.94	31
	2075-2099	2	18	27	47	4.26	38.3	57.45	34
HiRAM	1979-2003	39	80	9	128	30.47	62.5	7.03	34
	2075-2099	11	18	15	44	25	40.91	34.09	31
OBS	1979-2003	47	63	20	130	36.15	48.46	15.38	48

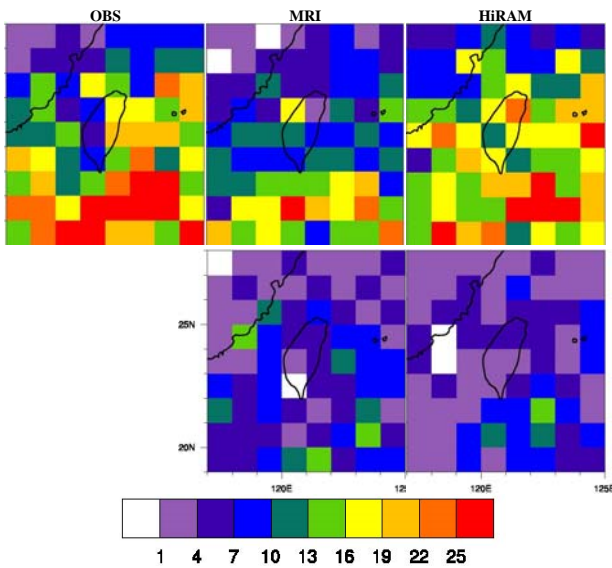


圖3 侵臺颱風路徑密度分布圖，上下排分別為現在和世紀末時期，由左至右分別為觀測、MRI和HiRAM(單位：次數)

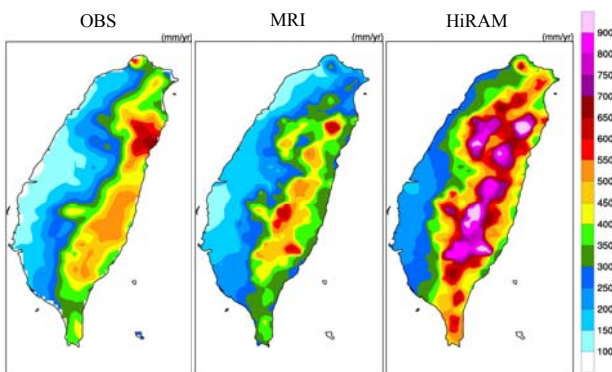


圖4 平均每年颱風降雨(mm/yr)，由左至右分別為觀測、MRI及HiRAM，其中MRI和HiRAM是經由5 km WRF降尺度過後的結果

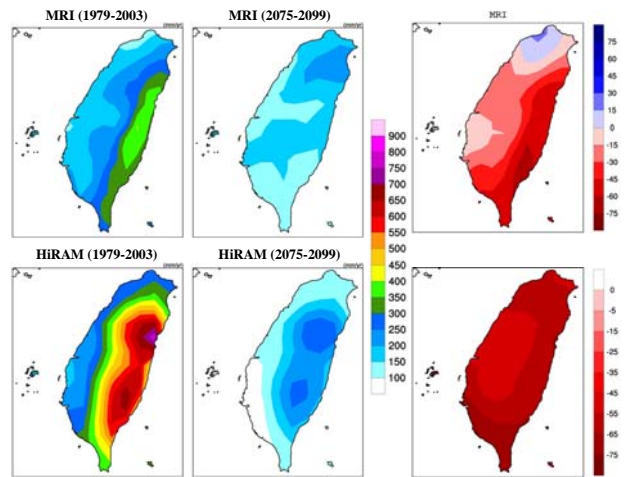


圖5 平均每年颱風降雨(mm/yr)及其改變率(%)分布圖，上下排分別為MRI和HiRAM，由左至右分別為現在時期、世紀末時期、世紀末之改變率

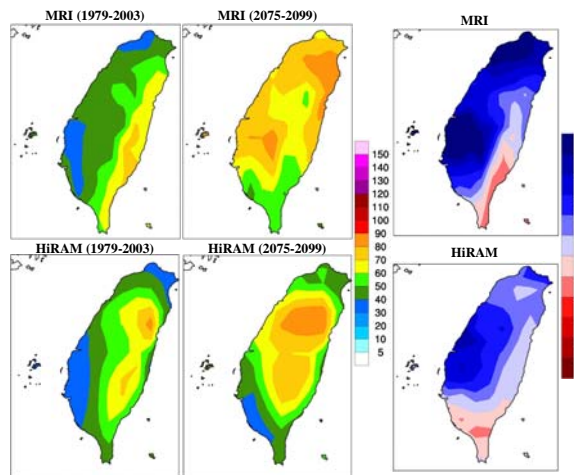


圖6 降雨強度指標(mm/day)及其改變率(%)，上下排分別為MRI和HiRAM，左至右分別為現在、世紀末時期及世紀末之改變率