

東亞大氣河活躍度推估

陳英婷¹ 許晃雄¹
環境變遷研究中心¹
中央研究院

摘要

熱帶朝向極區傳送的水氣集中在數道狹窄水氣帶內，稱為大氣河。寬度約數百公里，長度卻可綿延數千公里，有時甚至橫跨整個大洋，將水氣自熱帶源源不斷的輸送到中高緯度。使用Wick et al.(2013)發展的大氣河偵測方法，篩選出水氣輸送量大且呈現帶狀的區域，定義為大氣河所在位置，並挑選出侵襲台灣的事件，以了解大氣河對台灣的影響。

台灣位處大氣河密集侵襲的區域，受水氣移入影響甚鉅，且在過去二十年間大氣河侵襲台灣的頻率呈現了上升的趨勢。當大氣河侵襲時，台灣常處於低壓的環境，西南風將水氣從熱帶輸送至台灣，配合低壓條件與較強的上升運動而產生顯著的降水。為了探討全球暖化下大氣河的改變，使用High Resolution Atmospheric Model (HiRAM)比較模式歷史與RCP8.5情境模擬差異。未來侵襲台灣的大氣河頻率將增長，且更強的大氣河變得頻繁發生。雖然暖化後增厚的高度場提供不利的環境，但透過豐沛的水氣條件使得大氣河活躍度增加，頻繁且強勁的大氣河將為未來的台灣帶來更加豐富的降水。

關鍵字：大氣河、水氣輸送

一、前言

熱帶朝向極區傳送的水氣中，平均約有 95%集中在數道狹窄水氣帶內。方向一般自西向東，呈現西南-東北走向橫跨數十個緯度地區，這些水氣帶稱為大氣河。寬度約數百公里，長度卻可綿延數千公里，有時甚至橫跨整個大洋。1861 年美國加州，受到大氣河(當地將之暱稱為「鳳梨特快車」)的影響，創下連續 43 天大雨的紀錄，加州中央谷地因此形成內陸海，首府沙加緬度的積水直到過了半年才完全退去，嚴重的洪水造成數千人喪生的災難。

東亞的梅雨鋒面常伴隨強勁的西風氣流侵襲台灣，西南氣流將水氣自熱帶輸送至台灣，呈現一條近似大氣河特性的水氣帶，大氣河供給鋒面系統水氣，整個系統為東亞帶來豐沛降水(Kamae et al., 2017)。本文針對侵襲台灣之大氣河特性進行分析，並透過模式模擬結果探討東亞大氣河未來變化。

二、資料與方法

1979-2016 年六小時環流場資料來源為 ECMWF

Re-Analysis Interim (Dee et al., 2006) , ERA-Interim 解析度為 0.75°, 共 37 個垂直氣壓層, 使用變數有: 比濕、水平風場與垂直運動場以及海平面氣壓場。降水資料較短, 始於 1997 年至 2015 年為止, 使用 Global Precipitation Climatology Project version 1.2 (Huffman et al., 2009), GPCP 為解析度 1°的資料。

模式資料為 High Resolution Atmospheric Model。HiRAM 為 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory 發展之高解析度模式 (Chen and Lin, 2011), 解析度約 23 公里。歷史模擬年份為 1979-2008 年, RCP8.5 實驗模擬年份為 2075-2100 年。

使用Wick等人發展的大氣河偵測方法(Wick et al., 2013), 計算垂直積分的水氣輸送量(Integrated vapor transport, IVT), 篩選出水氣輸送量大且呈現狹長帶狀的區域, 定義為大氣河所在位置, 偵測流程如下:

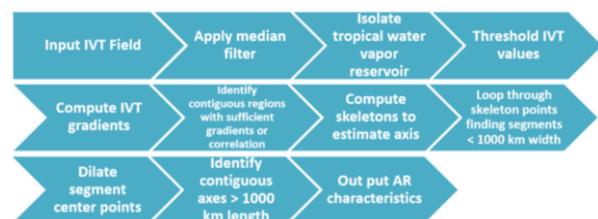


圖 2.1 大氣河偵測方法流程。

三、結果與討論

Kamae et al.(2017)分析西北太平洋大氣河分布的季節變化。隨著冬季進入春夏季，大氣河自日本南方往台灣與華南一帶延伸且擴展，西北太平洋地區大氣河好發在梅雨季與初夏。圖 3.1 為梅雨季大氣河偵測結果的例子，分別使用重分析資料與模式資料進行偵測。左圖為 2015 年 5 月 25 日的情形，當時背景場有旺盛的西南氣流再加上鋒面通過，全台均有顯著降水。大氣河從海南島一路往台灣輸送水氣，並繼續往日本南部海面延伸，形成一條狹長的大氣河水氣輸送帶。右圖則是模式模擬的另一個例子，該日大氣河從菲律賓海往東北方拉伸至日本，行經範圍南北超過 30 個緯度，東西方向亦橫跨了 30 個經度，大氣河輸送了大規模的水氣且輸送範圍相當遙遠。

篩選侵襲台灣之大氣河並計算其頻率，如圖 3.2(a)。梅雨季時大氣河頻率分布呈現西南東北向，帶狀的型態與梅雨鋒面相似，台灣北部與西北部海面以及海南島西側頻率最高。夏季最高頻率位置與梅雨季相似，但無梅雨季時的帶狀型態分布，發生位置散落在台灣周遭。

挑選侵襲台灣之大氣河事件進行合成，再分別扣除該季節氣候平均值以突顯大氣河發生時的環流配置，如圖 3.2(b)與圖 3.2(c)。當大氣河侵襲台灣時，台灣附近為低壓距平，台灣位於低壓中心西南側，低壓伴隨低層較強的西南風將熱帶水氣輸往台灣。大氣河所在位置垂直上升運動增強，並伴隨強降水。HiRAM 歷史模擬之發生頻率與環流場配置與 ERA-Interim 重分析資料結果相似，顯示 HIRAM 能夠掌握大氣河的發生與伴隨的環境條件。

計算 HIRAM 歷史模擬與 RCP8.5 實驗結果差異，並篩選侵襲台灣的大氣河事件，探討全球暖化下大氣河的變化。比較兩組實驗情境的大氣河頻率變化如圖 3.4(a)，梅雨季大氣河頻率呈現帶狀增加趨勢，且變化區域與大氣河歷史分布位置重疊(圖 3.2(a))，顯示大氣河分布範圍位移不多，但侵襲頻率明顯增加。夏季頻率變化趨勢則較不一致，南海與日本附近頻率增加，菲律賓海、華中與日本南部海域頻率減少，台灣一帶變化趨勢則不明朗。

探討兩組實驗合成距平場的差異變化，以了解大氣河頻率變化的成因，如圖 3.3。全球暖化下，海平

面氣壓場普遍呈現高壓趨勢，台灣一帶為高壓反氣旋式環流。對照大氣河發生時的環流配置(圖 3.2(b)與圖 3.2(c))，未來氣壓增強不利於低壓與大氣河生成。梅雨季，反氣旋式環流的南側與西南側東風增強，減弱了原先的西南風分量。夏季高壓增強的幅度更勝，但台灣南側西南風有顯著的增強。梅雨季時台灣北部與華南沿海一代上升運動增強、降水增加，夏季東亞上升運動與降水廣泛增加，熱帶地區下沉運動增強、降水減少。

雖然暖化下整體氣壓場環境不利於東亞大氣河生成，但熱力條件卻相當有利於大氣河生成維持。大氣河描述的是一長距離的水氣輸送現象，透過比較歷史模擬與未來暖化情境以了解水氣輸送量的變化，如圖 3.4(b)。東亞地區水氣輸送量普遍增加，以華南與日本增加最為明顯，減少的情形僅發生在菲律賓海一帶。透過量化水氣輸送量中的動力與熱力項，判斷何者貢獻佔據主導角色。將垂直積分水氣輸送量拆解成三個細項：動力項與熱力項以及瞬變渦流項(Payne and Magnusdottir, 2015)，其中動力項與熱力項佔據主導位置，瞬變渦流的量值相較之下較小，在此不多做討論。將熱力項貢獻減去動力項比較其貢獻，如圖 3.4(c)，正值表示熱力場貢獻大於動力場，熱力場佔據主導角色，負值則反之。梅雨季時，從南海、台灣至日本沿海一帶熱力場貢獻均大於動力場，在菲律賓東北方海面與中國沿海區域則是動力場貢獻較大。不同於動力條件不利於大氣河的狀況，受到水氣增加的幫助，熱力條件則是提供了有利於大氣河生成發展的環境。夏季時由於沿海西南風增強，動力場貢獻明顯，但台灣周遭訊號較不一致。

除了頻率的變化，未來大氣河的強度亦發生改變，圖 3.5 為 HIRAM 歷史模擬與 RCP8.5 情境下大氣河強度的機率密度函數，結果顯示未來較強的大氣河將更活躍。

大氣河從熱帶攜帶豐沛水氣至台灣，常伴隨大規模且連續的降雨事件發生。在不利的動力條件下，透過熱力作用亦能提供梅雨季有益大氣河活躍的環境。侵襲台灣的大氣河頻率與強度增長，大雨事件可能會更為頻繁的出現。之後將進一步對大氣河發生的年(代)際變化做更深入的分析研究，並探討與年代際震盪之間的關係與交互作用。

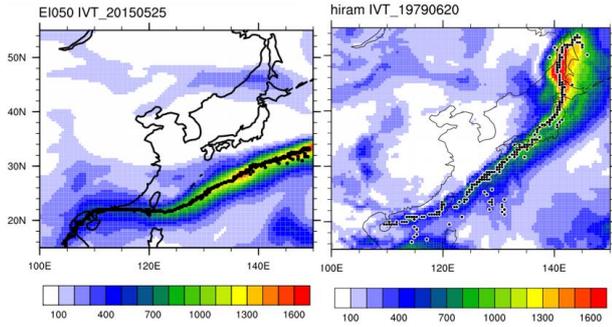


圖 3.1 大氣河偵測結果範例，分別使用 ERA-Interim 與 HiRAM historical 歷史模擬資料。黑點印為大氣河的位置。

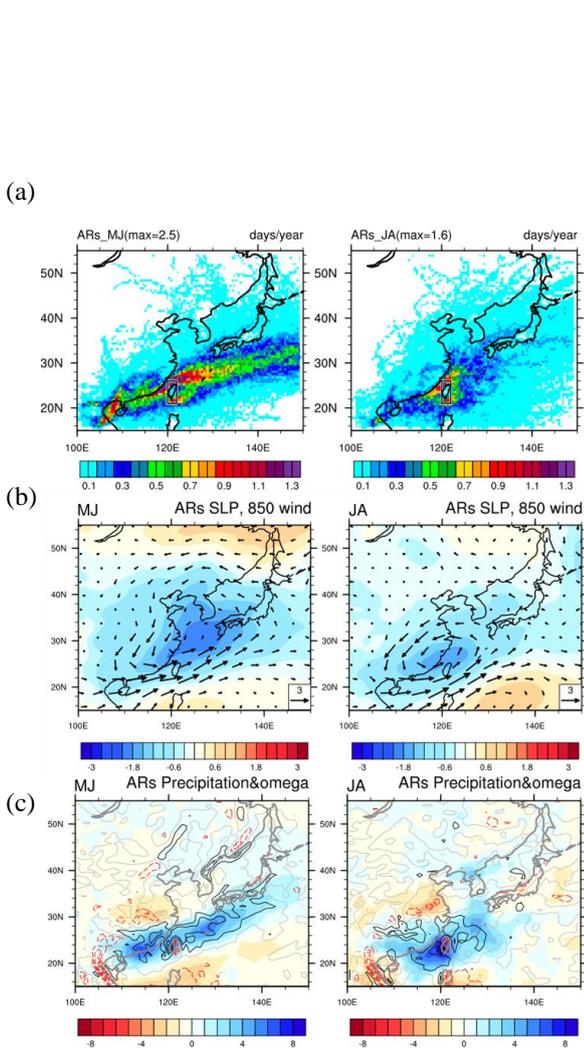


圖 3.2 (a)侵襲台灣之大氣河頻率。(b)與(c)為大氣河侵襲台灣事件之環流合成場距平，(b)為 850hPa 風場與海平面氣壓場。(c)色階為降水，等值線為垂直運動場，黑實線為上升運動距平，紅虛線為下沉運動距平。

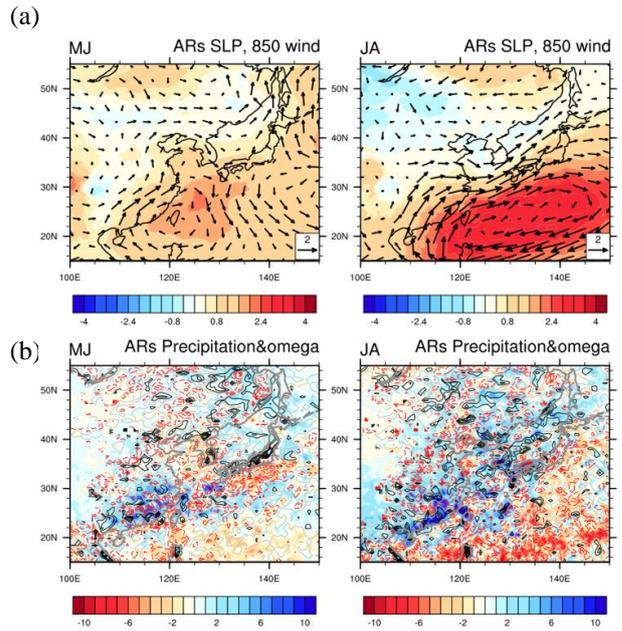


圖3.3 (a)大氣河侵襲台灣事件之環流合成場差異(RCP8.5減去historical)。色階為海平面氣壓，箭號為850hPa 風場。(b)色階為降水，等值線為垂直運動場，黑實線為上升運動，紅虛線為下沉運動。

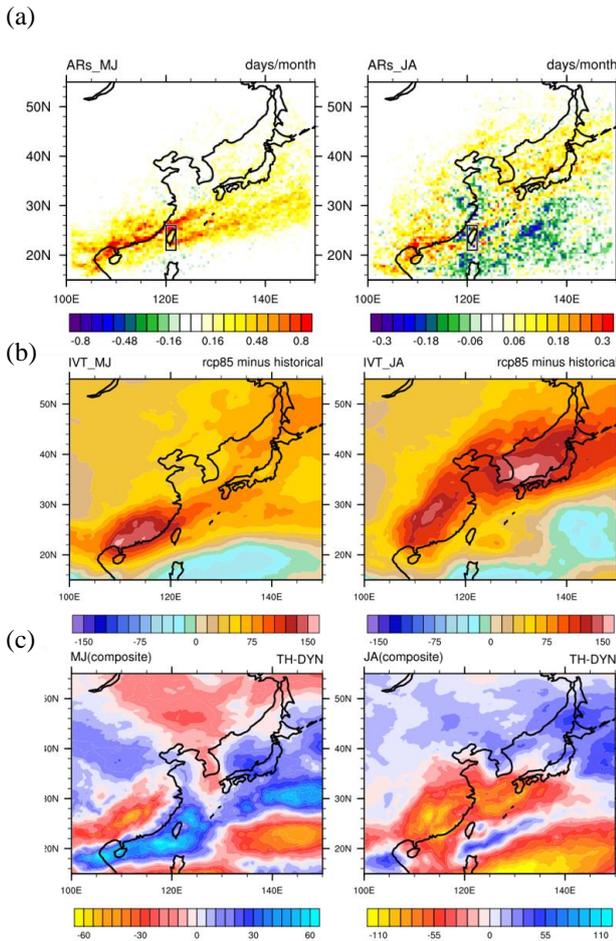


圖3.4 (a) HIRAM歷史模擬與RCP8.5情境下的大氣河頻率差異。(b)同(a)，但為垂直水氣輸送量差異。(c) 水氣通量分解後之動力場與熱力場差異(熱力場減去動力場)。

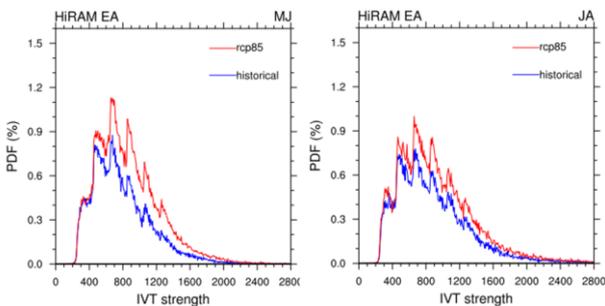


圖3.5 HIRAM歷史模擬(藍線)與RCP8.5(紅線)情境下的大氣河強度機率密度函數。橫軸為強度，縱軸為百分比。

四、參考文獻

- Chen, M., W. Shi, P. Xie, V. B. S. Silva, V. E. Kousky, R. Wayne Higgins, and J. E. Janowiak, 2008: "Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation", *J. Geophys. Res.*, 113, D04110.
- Chen, M., P. Xie, and Co-authors, 2008: "CPC Unified Gauge-based Analysis of Global Daily Precipitation", Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns, Australia, 29 July - 1 August, 2008.
- Dee D, Uppala S, Simmons A, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda M, Balsamo G, Bauer P, 2011: "The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137 (656), 553-597.
- Kamae, Y., W. Mei, S.-P. Xie, M. Naoi, and H. Ueda, 2017: "Atmospheric rivers over the Northwestern Pacific: Climatology and interannual variability". *J. Climate*, 30, 5605-5619
- Payne, A. E., and G. Magnusdottir, 2015: "An evaluation of atmospheric rivers over the North Pacific in CMIP5 and their response to warming under RCP 8.5." *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 11 173-11 190.
- Wick, G. A., P. J. Neiman, F. M. Ralph, and T. M. Hamill, 2013: "Evaluation of forecasts of the water vapor signature of atmospheric rivers in operational numerical weather prediction models". *Wea. Forecasting*, 28, 1337-1352.