

高解析大氣環流模式中西北太平洋颱風的氣候變遷

林冠伶 吳宜昭 鄭兆尊 陳淡容
國家災害防救科技中心

摘 要

氣候變遷如何影響侵台颱風特性的變化，一直是國內氣候變遷研究受關切的議題之一。台灣氣候變遷推估與資訊平台(TCCIP)計畫近期研究發現未來影響台灣颱風個數減少、但強颱所佔比例增加。本文根據過去觀測與兩高解析度大氣氣候模式 HiRAM 與 MRI 中對現代模擬與未來推估，分析西北太平洋颱風、影響台灣颱風與西北太平洋夏季季風環流的變遷。比較 HiRAM 現代模擬和觀測，HiRAM 現代模擬中颱風個數的峰值提早至初夏(七月)，颱風季颱風個數略偏多(為觀測的 106%)，且多為弱颱。HiRAM 低層大氣季風槽過早發展且夏季早期即偏強，而西太平洋副熱帶高壓(以下簡稱副高)偏弱，此環流特性和颱風個數偏多、颱風生成提早於七月達最多一致。MRI 現代模擬中，颱風個數的峰值延後至秋季(十月)才出現，颱風季颱風個數偏少(為觀測的 51%)，強颱(Cat4-5)比例偏高，佔 49.1%。MRI 中層大氣副高的位置、強度和觀測相近，與觀測不同的是季風槽於九月達最強，這可能是 MRI 中颱風自七月至十月生成頻率漸增的原因之一。比較模式現代模擬與未來推估，世紀末 HiRAM 八至十月的颱風個數顯著減少，轉而於七月與十一月出現個數的峰值；MRI 颱風個數的季節性變異並無明顯變化。比較颱風季颱風總數的差異，兩模式均有未來颱風個數減少、強颱比例增加的變化。值得注意的是，從現代至世紀末，HiRAM 與 MRI 中影響台灣颱風個數的變遷特徵雖然都與各自模式中西北太平洋颱風個數減少的趨勢一致，但在 HiRAM 中，影響台灣颱風個數減少的比率(減少 2/3 左右)高於西北太平洋颱風個數減少的比率(減少 1/2 左右)；西北太平洋颱風出現頻率的變化亦呈現此特徵。未來模擬中兩模式的夏季季風槽強度皆較現代偏弱、位置偏南，隱含可能未來模式中的颱風較易於 20°N 以南、菲律賓鄰近海域活動，而台灣附近較不利颱風活動。

關鍵字：西北太平洋、颱風、氣候變遷、影響台灣颱風、HiRAM、MRI

一、前言

TCCIP 近期研究中 Cheng et al. (2015) 用高解析度 AGCM 對未來的推估分析影響台灣颱風的變遷，發現在未來 RCP8.5 情境下影響台灣颱風個數減少、但強颱所佔比例增加。本文分析 AGCM 中西北太平洋颱風變遷的特徵，和模式中影響台灣颱風的變遷做比較，並初步檢視模式中西北太平洋夏季季風環流特徵的變遷，嘗試釐清是那些背景環流場的改變造成這些變遷。

二、資料與方法

本研究初步分析與比較過去颱風觀測資料與三個高解析度 AGCM HiRAM、MRI、CAM5 中颱風的氣候特性，針對模式模擬的颱風將分析時期分成現代(1979-2003 年)與世紀末(2075-2099 年)，分析區域則分成西北太平洋地區(100-160°E, 10-50°N)與影響台灣颱風。影響台灣颱風之定義參照許等(臺灣氣候變遷科學報告 2011, 2011)。

颱風路徑觀測資料使用美國聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)之熱帶氣旋最佳路徑(best track)資料，每六小時一筆資料。現代環流資料使用 NCEP/NCAR reanalysis (Kalnay et al. 1996) 全球分析資料，資料為每日一筆，解析度為 2.5°x2.5°。

另使用三組高解析度 AGCM 進行西北太平洋颱風統計與環流特徵分析。在世紀末 RCP8.5 情境中使用 HiRAM 與 MRI 兩組資料進行討論。另為便於運算，計算颱風的出現頻率（frequency of occurrence），以 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 方形區域統計之。需要根據強度將颱風分類探討時，是根據 Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale，分成 Tropical Storm（TS）及強度的 Category 1 - 5 熱帶氣旋共六類。

三、 模式現代模擬與觀測的比較

統計與比較觀測和模式現代模擬中的颱風特徵。CAM5（圖 1b）西北太平洋海域的颱風出現頻率明顯偏低；HiRAM（圖 1c）的颱風出現頻率量值與觀測相近，但是極大值位置較觀測偏東；MRI（圖 1d）的颱風頻率出現鋒值在台灣及台灣東方海域。將模式中現代時期的全年颱風總數和觀測比較，HiRAM 高估颱風個數（為觀測的 123%）；MRI 低估颱風個數（為觀測的 65%）；CAM5 中的颱風個數明顯偏低（僅為觀測的 31%）。由於 CAM5 過於低估西北太平洋的颱風個數，後續討論與比較以 HiRAM 與 MRI 兩 AGCM 為主。

統計颱風個數與各分類所占百分比（圖 2）。觀測以 Tropical Storm 所占比例最多，其次為 Category 4 的颱風；HiRAM 亦以 Tropical Storm 所占比例最高，但隨著強度增加，所佔比例逐漸下降，Cat 4-5 所佔比例極低；MRI 以 Cat4 所占比例最多，Cat1 次之。HiRAM 中弱颱風比例偏高，MRI 中強颱風比例偏高。

在颱風個數的季節性變異（圖 3a），觀測的颱風生成個數主要集中在七到十月，八月為高峰期。HiRAM 與 MRI 皆模擬出夏季為主要颱風季節的特徵，但生成個數峰值的月份略有不同：HiRAM 颱風個數的峰值提早至初夏（七月），MRI 則延後至秋季（十月）。

四、 模式中現代模擬與未來推估的比較

將西北太平洋颱風未來與現代相比，在兩種模式中未來颱風皆有頻率明顯減少（圖 4），HiRAM 與 MRI 中未來颱風個數分別減為現代時期總數的 51.0%

與 53.7%（表 1b），而強颱風比例皆增加（圖 2b），分別增加 3.8% 與 10.5%。在颱風個數的季節變異上（圖 3b），世紀末 HiRAM 八至十月的個數顯著減少，轉而於七月與十一月出現個數的峰值，由於 HiRAM 颱風多為弱颱風，其颱風個數的季節變異主要由弱颱風（TS-Cat3）的變化造成；MRI 颱風個數的季節變異在未來並沒有明顯變化，不論是弱颱風或強颱風，未來各月份個數一致較現代各月份減少。

針對台灣附近海域，另外分析模式中影響台灣颱風從現代至未來的變遷。HiRAM 與 MRI 中影響台灣颱風個數的變遷特徵雖然都與各自模式中西北太平洋颱風個數減少的趨勢一致，但在 HiRAM 中，影響台灣颱風個數減少的比率（較現代減少 2/3 左右）高於西北太平洋颱風個數減少的比率（較現代減少 1/2 左右）（表 1a）。這背後原因可能很多元，包括未來颱風行進至台灣附近時路徑偏離、生命期減短以至於至台灣附近就消散，或是行進至台灣附近時加速遠離…等。須待後續進一步分析才能釐清。

五、 模式中侵台颱風特性變化與原因

由於颱風的移動受大尺度環流牽引，須比較觀測與模式中的大尺度環流特徵，以了解模式模擬颱風季大尺度環流的能力，有助於解釋成模式中颱風特徵與觀測差異背後的原因。以下使用 1979-2003 年月平均環流場，比較颱風季（七~九月）低層大氣（850hPa）與中層大氣（500hPa）觀測與 AGCM 之平均環流特徵。

首先討論西北太平洋海域低層大氣夏季季風槽與西太平洋副熱帶高壓的發展情形。觀測六月西太平洋副熱帶高壓脊線為略為東北-西南向（圖略），到了七月脊線轉變為東-西向，季風槽位於菲律賓東方海面，八月季風槽位置向北移、由台灣附近向東南延伸至熱帶海域，強度也增強，九月季風槽又向南移至 20°N 以南（圖 5a、b、c）。比較三組 AGCM 之季風槽與西太平洋副熱帶高壓在颱風季的變化，HiRAM 低層季風槽過早發展且偏強，六月季風槽就已形成，且槽線就

由原本北-西南向轉為東-西向（圖略），西太平洋副熱帶高壓提早於七月東退，季風槽位置也北移至 20°N 至 25°N 間，七至八月季風槽範圍都擴展至太北邊（約 25°N 以南），西太平洋副熱帶高壓則都偏弱，九月環流特徵與位置與觀測較為相近，但季風槽仍偏強。整個颱風季 HiRAM 的季風槽都較觀測偏強（圖 5d、e、f）。MRI 的颱風季季風槽與西太平洋副熱帶高壓的季節變化與觀測較近，但季風槽強度上偏強，尤其自七月至九月強度漸增，這是和觀測差異較明顯之處（圖 6g、h、i）。

討論中層大氣（500hPa）的西太平洋副熱帶高壓變化時，以重力位高度場的 5880m 等值線為代表西太平洋副熱帶高壓範圍之特徵線（圖略）。觀測場在七月西太平洋副熱帶高壓較為東西向，向西延伸至台灣東方海面；八月為西太平洋副熱帶高壓脊最北的月份，約在 30°N 左右，最西側約為 135°E ；九月進入秋季，中高緯度的西風增強，斜壓系統也增強，時有冷氣團南下影響較低緯地區，隨著西太平洋副熱帶高壓向南移，脊線也南移約 $3-4^{\circ}$ 。HiRAM 的西太平洋副熱帶高壓過強，且經向範圍過大，壟罩 30°N 以南區域，但在九月依舊有中高緯度地區西風增強、渦度增強，西太平洋副熱帶高壓向南移動的特徵，代表模式可模擬出夏季轉為秋季的特徵；MRI 雖整體重力位高度較觀測略為偏低，但西太平洋副熱帶高壓的位置、強度在各月變化特徵大致與觀測相近，為 AGCM 中最接近觀測的模式。

西北太平洋夏季大尺度環流的特徵由南邊的季風槽和北邊的西太平洋副熱帶高壓構成，而七月底至八月間季風槽發展、成熟北跳同時西太平洋副熱帶高壓向東與向北退，九月下半隨秋季到來季風槽和西太平洋副熱帶高壓再度南移，為颱風季期間西北太平洋季風環流最明顯的季節變異。由以上模式和觀測的比較，三個模式模擬現代西北太平洋颱風季環流特徵及其季節變異的能力總結如下：

HiRAM 低層季風槽過早發展及偏強、範圍擴展至太北邊，西太平洋副熱帶高壓則偏弱，且季風槽於夏季早期最強，這和 HiRAM 模擬中颱風個數偏多、且颱風生成頻率提早於七月達最高、隨後至九月間遞

減的現象一致；中層大氣的西太平洋副熱帶高壓過強，且經向範圍過大，可能抑制颱風強度，使得 HiRAM 颱風多為 Cat3 以下（包含 Cat3）的弱颱風。

MRI 是模擬和觀測較為接近的一個模式，其中層大氣西太平洋副熱帶高壓的位置、強度和觀測相近；而觀測中低層大氣的季風槽/西太平洋副熱帶高壓雙結構的位置及七月底至八月間的季節變異也都能模擬出來；和觀測差異較明顯之處為季風槽強度隨時序演進漸增、並於九月達最強，這也可能是 MRI 中的颱風自七月至九月生成頻率漸增的背景原因。

世紀末 850hPa 環流場，HiRAM（圖 5j、k、l）的季風槽強度與現代相比偏弱，七月雖有槽的存在，但強度偏弱、範圍縮小；八、九月季風槽被壓抑，原本季風槽的位置盛行東南風或東南東風。MRI 颱風季各月份（圖 5m、n、o）與現代相比，季風槽的強度與範圍亦皆減弱、縮小，且 MRI 中的季風槽位置向南偏移；現代 MRI 八月季風槽（圖 6h）自台灣東方海面向東南延伸，世紀末 MRI 八月季風槽（圖 6n）約在菲律賓東方海面，較現代約南移 $4-5^{\circ}$ 。由 HiRAM 與 MRI 世紀末季風槽南移的這個變化，可能隱含未來模式中的颱風較易於 20°N 以南、菲律賓鄰近海域活動，進而減少影響台灣颱風的個數。

世紀末 500hPa 環流場（圖略）的 5880m 特徵線已包含整個西北太平洋地區，與現代相比，暖化的情境下大氣層增厚，中層大氣重力位高度整體增高。低緯度地區，正渦度強度減弱且影響範圍縮小。

參考文獻

許晃雄等，2011:臺灣氣候變遷科學報告 2011。行政院國家科學委員會台灣氣候變遷推估與資訊建置計畫。

Cheng, C.-T., Y.-Y. Lin, D.-R. Chen, C.-T. Chen, H.-H. Hsu, and A. Kitoh, 2015: Dynamical Downscaling using High-Resolution AGCM Projection data over Taiwan area, Workshop on High-Resolution Climate Simulation, Project, and Application.

Kalnay, E., and Coauthors,1996:The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.

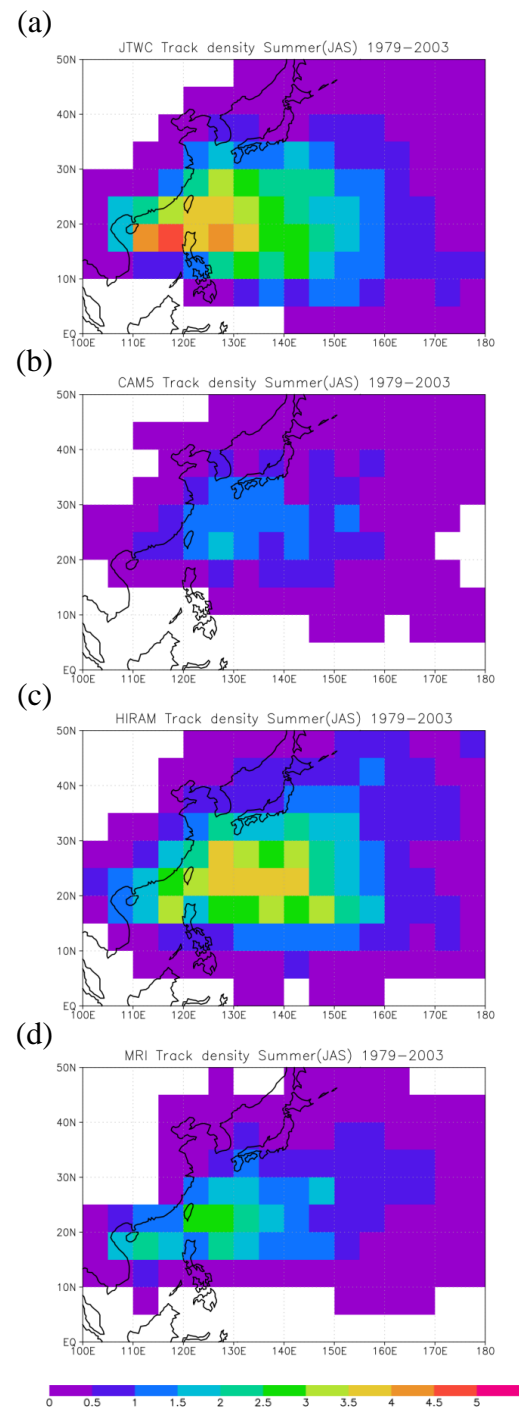


圖 1、西北太平洋現代（1979-2003 年）七~九月颱風出現頻率（occurrence frequency）。颱風於現代夏季平均每年經過颱風停留時間（單位:日）(a)JTWC (b)CAM5 (c)HiRAM (d)MRI

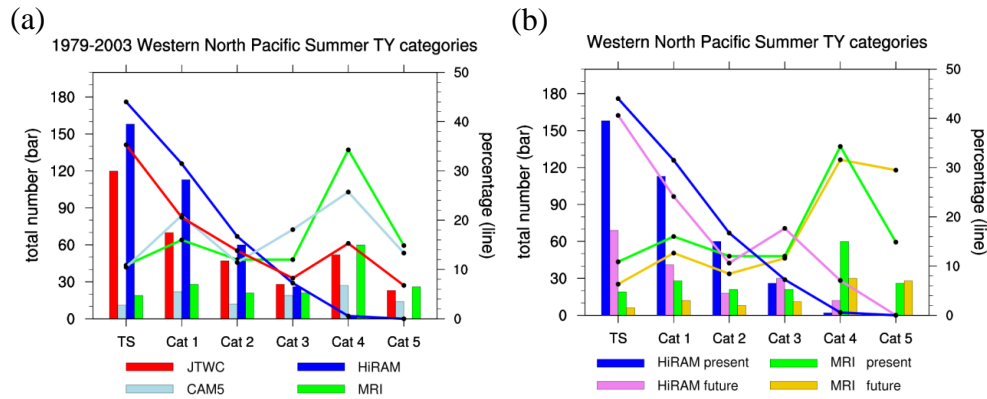


圖 2、西北太平洋颱風強度分類統計，包括觀測(JTWC best track)(紅)、CAM5(淺藍)、HiRAM 現代(藍)、MRI 現代(綠)、HiRAM 未來(粉紫)及 MRI 未來(黃褐)。(a) 現代:JTWC、CAM5、HiRAM、MRI (b) 現代與世紀末:HiRAM、MRI。現代為 1979-2003 年，世紀末為 2075-2099 年。左軸為總數(柱狀圖)，單位:個；右軸為所佔總數的百分比(折線圖)，單位:%。

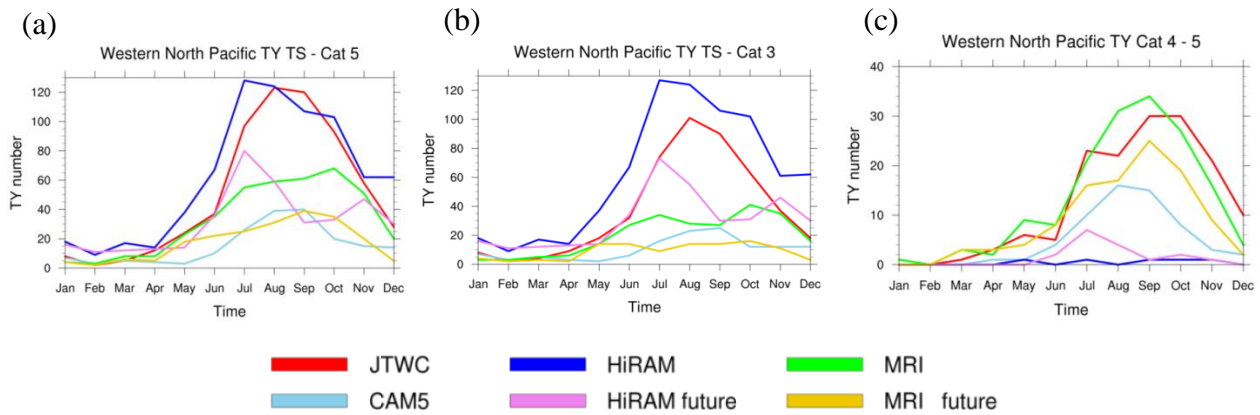


圖 3、現代與世紀末西北太平洋颱風個數逐月變化，包括觀測(JTWC best track)(紅)、CAM5(淺藍)、HiRAM 現代(藍)、MRI 現代(綠)、HiRAM 未來(粉紫)及 MRI 未來(黃褐)。(a)TS-Cat5 (b)TS-Cat3 (c)Cat4-5。

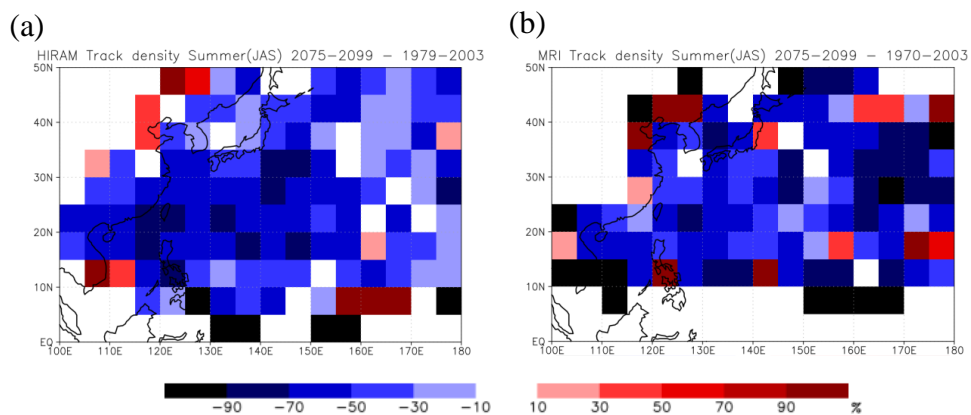


圖 4、西北太平洋夏季颱風出現頻率 (occurrence frequency) 變化百分比 (a) HiRAM (b) MRI，皆為未來出現頻率減去現代出現頻率再除以現代出現頻率，單位:%

表 1、未來颱風變化 (a) 西北太平洋 (b) 影響台灣。西北太平洋為 100-160°E，10-50°N，影響台灣颱風的定義為距離台灣海岸線 300 公里以內且停留 12 小時以上之颱風。皆為以世紀末個數除以現代個數，單位:%

(a)未來影響台灣颱風變化 (世紀末個數/現代個數)			(b)未來西北太平洋颱風變化 (世紀末個數/現代個數)		
	全年	夏季		全年	夏季
HiRAM	34.4%	33.3%	HiRAM	51.0%	47.4%
MRI	50.6%	52.1%	MRI	53.7%	54.3%

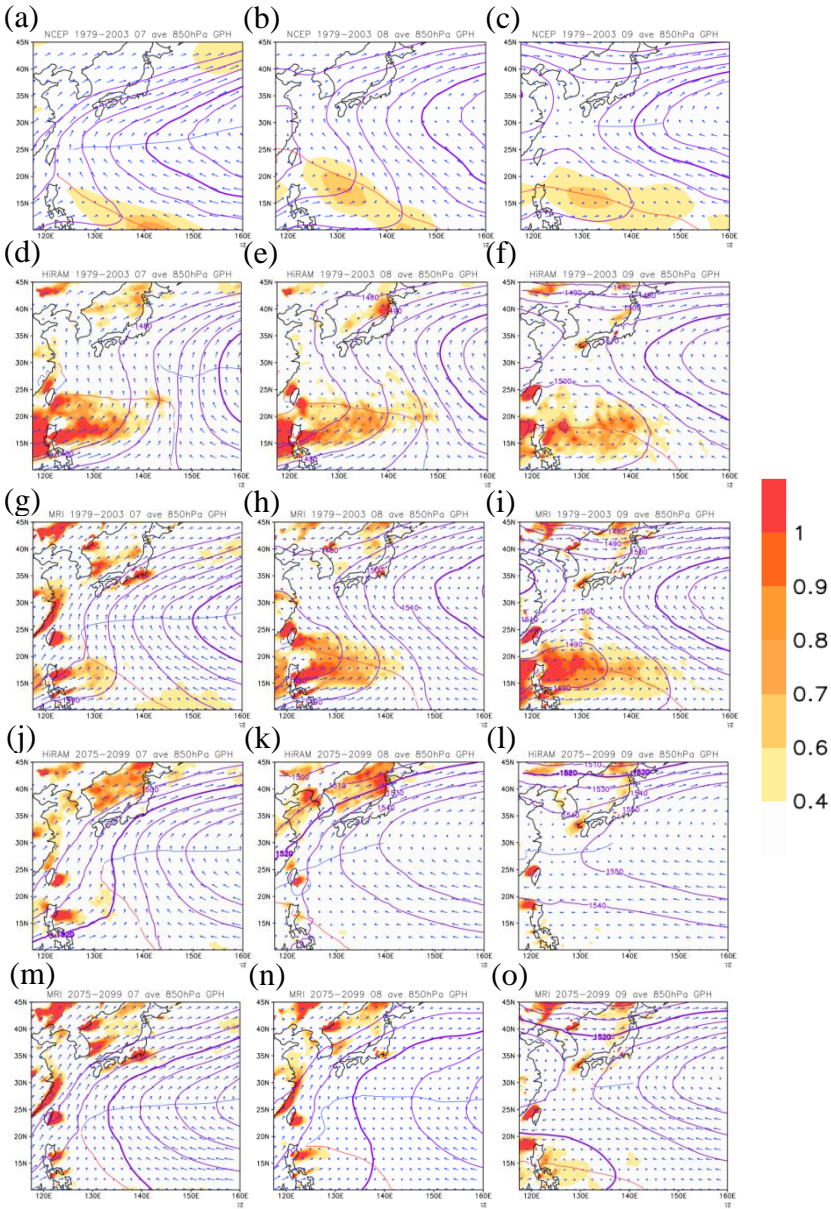


圖 5、七~九月每月平均 850hPa 環流場(a)(b)(c)現代觀測 (NCEP) (d)(e)(f)現代 HiRAM (g)(h)(i)現代 MRI (j)(k)(l)未來 HiRAM (m)(n)(o)未來 MRI，由左至右為七、八、九月。底色為相對渦度，單位: $10^{-5}s^{-1}$ 。藍色箭號為風向風速，單位 ms^{-1} 。紫色線段為重力位高度，粗線為 1520m，每線段間隔為 10，單位:m。藍線為脊線，紅線為槽線。