

統計與動力降尺度方法

2021年5月14日 氣候變遷推估資訊與調適知 識 Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

Ē

	餯
_	

1.	前言.		1
2.	統計學	與動力降尺度特性說明	1
3.	統計降	奉尺度	2
	3.1	資料來源	3
	3.2	降尺度流程說明	6
	3.3	降尺度資料驗證	9
4.	動力隊	奉尺度	11
	4.1	模式情境	. 12
	4.2	降尺度模式 (WRF) 介紹	. 14
	4.3	颱風路徑分析	. 15
	4.4	偏差修正時雨量資料	. 17
五	、結請	<u> </u>	. 19
六	、參考	至文獻	. 19
t	、延伯	P閱讀	. 21
八	、名詞	司說明	. 23

圖表目錄

表 1.	統計與動力降尺度特性2
表 2.	觀測資料變數與資料長度列表4
表 3.	AR5 日資料模式名稱、產製單位、模式原始解析度以及情境模式清單5
表 4.	各種設定在四情境下全台灣 R 值平均值與名次9
圖 1.	參考觀測網格資料產製說明示意圖。4
圖 2.	日資料統計降尺度方法流程。6
圖 3.	AR5 全球模式原始解析度資料 · 以 Bilinear 線性內插方法提高至 5km 解析度。…7
圖 4.	模式 (提高解析度後) 與觀測的經驗累積分布 ECDF 函數關係建立後,將模式資 料依觀測 ECDF 的百分位進行修正。
圖 5.	日資料取樣示意圖。8
圖 6.	(a) 基期 (1986-2005) 各季節降雨[mm/day]的比較結果。(b) 21 世紀末 (2081- 2100) 在 RCP8.5 情境下相較於基期的改變率[%]。10
圖 7	(a) 基期 (1986-2005) 最大日降雨[mm/day]的比較結果。(b) 21 世紀末 (2081- 2100) 在 RCP8.5 情境下的最大日降雨和相較於基期的改變率[%]。11
圖 8、	(a) 動力降尺度模擬颱風路徑與環流示意圖。(b)、(c)、(d) 為觀測、模式、模式經 偏差修正的颱風總雨量示意圖。
圖 9、	動力降尺度模擬輻射示意圖。12
圖 10.	世紀中和世紀末四個系集的年平均海溫距平分佈。13
圖 11.	模式網格範圍示意圖14
圖 12.	本計畫區域模式中各網格最主要的地表使用。15
圖 13.	颱風降雨偏差校正流程圖18
圖 A.	四種 RCP 情境的輻射強迫力。

統計與動力降尺度方法

1. 前言

臺灣未來氣候變遷的推估主要是依據參與第 5 期耦合模式比對計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5)所規劃氣候變遷研究相關 數值實驗的全球氣候模式所做的推估模擬結果,由於參與 CMIP5 的氣候模式,空 間解析度 (模式水平網格大小)平均而言還是在 200 公里左右,儘管許多氣候模 式已經向建構更完整的地球系統模式方向發展,比過去的模式增加了更詳細、複雜 的物理過程,不過在空間分佈上,還是無法提供比其模式網格更小的區域氣候變遷 推估訊息。空間解析度不足,模式的地形與海陸分佈的精確度過低,無法準確估算 兩者對氣候的影響,因而可能造成模擬氣候的系統性偏差。受限於目前各國主要氣 候中心的全球氣候模式尚無法以高空間解析度 (如數十至數公里)完成耦合模式 比對計畫的各種長期氣候變遷模擬,其推估的未來氣候變遷的資料空間解析度無 法滿足需要局地氣候變遷模擬,其推估的未來氣候變遷的資料空間解析度無 法滿足需要局地氣候變遷有點的影響與調適研究。因此,在現階段全球氣候模式仍 無法提供足夠詳細的區域氣候變遷推估資訊時,必須透過科學的方法將上述 CMIP5 的粗解析度模擬結果區域化到更高的空間解析度、顯示更小空間尺度的特 徵,這種過程通常稱為降尺度 (downscaling),在氣候推估的研究中常見的降尺度 方法為統計降尺度及動力降尺度。

2. 統計與動力降尺度特性說明

兩種降尺度方式各有優缺點 (如表 1),資料使用者必須針對自身的研究需求 決定使用哪種資料。目前 TCCIP 計畫提供的統計降尺度的未來推估資料為 IPCC AR5 的 CMIP5 資料,有多組模式 (可計算多模式平均值)、多個暖化情境,日平均 溫度及雨量資料,亦已提高解析度至 5 公里的網格資料,因此,能夠進行的研究及 應用面都較廣。但是,若研究需求是不需要使用多組模式資料、不需要考慮多個排 放情境,但可能需要不同時間尺度 (例如:時雨量)、或極端的氣候數值 (颱風事件) 時,則可使用動力降尺度資料,目前 TCCIP 計畫提供的動力降尺度的未來推估資 料為 AR5 月平均溫度和颱風資料,兩組模式 (MRI 及 HiRAM)、RCP8.5 情境,亦 已提高解析度至 5 公里的網格資料。 統計與動力降尺度資料產製過程與應用層面不同,表1彙整兩組資料的特性。 統計降尺度可參考第3章;動力降尺度則為第4章。

表 1. 統計與動力降尺度特性

降尺度資料組	統計降尺度	WRF 動力降尺度				
使用全球模式	33 個 CMIP5 海氣耦合模式	MRI HIRAM AMIP				
(解析度)	(~250km)	(25~60km)				
		RCP8.5				
吸口归烷	KCF2.0 * KCF4.3 * KCF0.0 * KCF8.3	(只能模擬特定情境)				
	清德時間	時間區塊				
貝州交反		(只能模擬特定時段)				
時間解析度	日平均	小時				
		十 / / // / / / / / / / / / / / / / / /				
方法	統計力法	入飛初埕力法				
	(經驗累積機率分布函數)	(熱力與動力方程)				
產製時間	產製快速、方法簡單	耗時、需要大量運算資源				
變數	溫度、兩量	颱風雨量、風場、氣壓、輻射、相對溼度…				
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	整體氣候趨勢分析	極端事件分析及衝擊模擬				
應 僧 Ц 	以溫度雨量為主	其他變數應用·例如風場、濕度…				

3. 統計降尺度

統計降尺度是以歷史觀測網格資料為基底,結合模式過去同一時期的歷史模擬,建立長期且穩定之統計關係,並將此統計關係應用於未來的推估資料中。利用 氣候模式模擬資料及觀測資料的統計特性來修正模式的推估資料。觀測資料的時、 空間解析度決定了統計降尺度資料的解析度極限。解析度受限於可得的觀測資料, 除了資料解析度受限於觀測資料的時空密度之外,較難提供溫度、降雨之外的變數 也是其缺點之一。由於源頭是低解析度的資料,即使經過區域化後,對於呈現極端 事件的能力仍是有限。此方法的計算快速,可得到所有全球模式推估的降尺度資料, 以進一步評估變遷現象發生的可能性及不確定性是其一大優點。

氣候變遷推估統計降尺度所建立的統計模型·多數是以現今氣候特性所歸納 分析出的關係為基準·並假設這些關係在未來氣候變遷下還持續維持。此一假設是 否成立無法確認,但是目前可行且廣為採用的方式,這是後續應用時必須要留意的 問題。如果區域所在地點的氣候區帶與季節主要天氣系統形態無明顯改變,即使平 均溫度或降雨有一些變化,未必會大幅改變氣候資料在不同空間解析度間的關係, 因此氣候模式的模擬與觀測資料的系統性誤差與統計特性在未來氣候變遷下,也 可能會維持類似的關係,特別是這些統計關係能具體呈現有脈絡可循的物理過程 對氣候變數的影響。

統計降尺度所依據的原始資料來自相對低解析度的氣候模式。這些模式無法 精確模擬海陸分佈狀態、地形、海岸線、細部土壤與植被所可能產生的影響。儘管 CMIP5 全球氣候模式的解析度已經比過去提升,多數氣候模式的網格大小平均還 是在 200 公里左右。在有限的計算與資料儲存資源限制下,全球氣候模式所關注 的模擬重點是全球或大尺度的氣候特性,且已經有相當不錯的掌握能力 (Reichler and Kim, 2008)。但是這些模式仍無法掌握高解析度模式才能模擬的現象。當氣候 模式由於解析度不足,無法模擬地形作用,氣候模式便無法模擬出與觀測降雨類似 的結果。對於氣候模式無法模擬的區域尺度現象 (如前述的地形效應),即使以統 計降尺度方法將氣候變遷推估模擬區域化,也不能期待可以模擬出這類局部區域 氣候特徵的可能變遷。一般的統計降尺度方法著重的是氣候模式系統性誤差修正 與資料在水平空間上的細緻化,但是無法改變模式受限於本身解析度不足而無法 模擬相關現象的限制,除非能在統計模型中將這類已知影響區域氣候特徵的物理 過程包含在其中。

3.1 資料來源

使用 TCCIP 所產製的 5 公里網格化觀測日資料 (翁與楊 · 2018) (詳細資料使 用設定如表 2 所示) · 整合臺灣各地面測站資料 (含自動雨量站) 分析所得的高解 析度網格化降雨與溫度估計分佈資料庫。此資料庫的產製 · 蒐集了散置於不同單位、 時空分佈上不均勻的測站日降雨量暨日均溫、日最高溫與日最低溫資料 · 並利用測 站的地理資訊 · 對缺失資料進行補遺 · 先產生時間上完整的測站資料後 · 再利用空 間內插方法獲得長期的高解析度網格資料 · 以做為統計降尺度方法的觀測資料依 據 · 此觀測資料只有陸地資料 · 海洋上除有測站之離島外並無資料 (圖 1) · 然而測 站資料可視為當地真實氣象記錄 · 網格點資料則只能說明該區域 (5km*5km) 代表 (或平均) 資訊 · 但可彌補沒有測站佈點位置的氣象資訊 · 測站分布稀疏區域的網 格點位資料不確定性也較大 · 上述兩組資料具有本質上的差異 · 使用時需多加注意 ·



- 圖 1. 參考觀測網格資料產製說明示意圖。(註:本示意圖以降水為例。a 為測站點位資料分布,陰影代表地形高度[單位:m]。使用包含氣象局屬站(黑色)、氣象局自動站(紅色)、水利署(綠色)及民航局測站(藍色)。b 為 5km 空間解析度網格資料)
- 表 2. 觀測資料變數與資料長度列表

提供單位	變數	時間長度	空間範圍			
TCCIP	降雨	1961~2005 (共計 45 年)	臺灣 (119.2°~122.2°·21.5°~25.55°)			
	均溫、最高溫、最低溫		包含離島 (澎湖及附屬島嶼)			

3.1.2 模式資料

統計降尺度日資料使用的原始 AR5 GCM 模式資料,蒐集來自於地球系統網 格聯盟 (Earth System Grid Federation, ESGF: https://esgf-node.llnl.gov/projects/esgfllnl/) 的 CMIP5 (Couple Model Intercomparison Projects Phase-5) (Stocker et al. 2013) 資料庫 (詳細模式清單列於表 3)。為符合觀測網格資料,歷史基期模擬 (Historical) 使用 1960-2005 年,未來推估 4 組暖化情境 (RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5) 使用 2006-2100 年資料做降尺度。 表 3. AR5 日資料模式名稱、產製單位、模式原始解析度以及情境 (歷史氣候模擬 (Historical)·未來推估暖化情境 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5) 模式清單列 表 (✓: 有資料)。

模式名稱	產製單位	解析度	Historical	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
ACCESS1-0		192x145	\checkmark		\checkmark		\checkmark
ACCESS1-3	CSIRO-BOM, Australia	192x145	\checkmark		\checkmark		\checkmark
bcc-csm1-1		128x64	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
bcc-csm1-1m	BCC, China	320x160	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
BNU-ESM	BNU, China	128x64	\checkmark	\checkmark	\checkmark		\checkmark
CanESM2	CCCMA, Canada	128x64	\checkmark	\checkmark	\checkmark		\checkmark
CCSM4	NCAR, United States	288x192	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
CESM1-BGC	NICAD II. A CLASS	288x192	\checkmark		\checkmark		\checkmark
CESM1-CAM5	NCAK, United States	288x192	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
CMCC-CESM		96x48	\checkmark				\checkmark
CMCC-CM	CMCC, Italy	480x240	\checkmark		\checkmark		\checkmark
CMCC-CMS		192x96	\checkmark		\checkmark		
CNRM-CM5	CNRM-CERFACS, France	256x128	\checkmark	\checkmark	\checkmark		\checkmark
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE, Australia	192x96	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
EC-EARTH	ICHEC, Europe	320x160	\checkmark				\checkmark
FGOALS-g2	LASG-CESS, China	128x60	\checkmark	\checkmark	\checkmark		\checkmark
GFDL-CM3		144x90	\checkmark	\checkmark		\checkmark	\checkmark
GFDL-ESM2G	NOAA-GFDL, United States	144x90	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
GFDL-ESM2M		144x90	\checkmark		\checkmark	\checkmark	\checkmark
HadGEM2-AO		192x145	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
HadGEM2-CC	MOHC, United Kingdom	192x145	\checkmark		\checkmark		\checkmark
HadGEM2_ES		192x145	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
inmcm4	INM, Russia	180x120	\checkmark		\checkmark		\checkmark
IPSL-CM5A-LR	IPSL, France	96x96	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark

模式名稱	產製單位	解析度	Historical	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
IPSL-CM5A-MR		144x143	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
IPSL-CM5B-LR		96x96	\checkmark		\checkmark		\checkmark
MIROC5		256x128	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
MIROC-ESM	MIROC, Japan	128x64	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
MIROC-ESM- CHEM		128x64	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
MPI-ESM-LR		192x96	\checkmark	\checkmark	\checkmark		\checkmark
MPI-ESM-MR	MP1-M, Germany	192x96	\checkmark	\checkmark	\checkmark		\checkmark
MRI-CGCM3	MDI Janan	320x160	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
MRI-ESM1	MRI, Japan	320x160	\checkmark				\checkmark
NorESM1-M	NCC, Norway	144x96	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
	34	22	30	17	33		

3.2 降尺度流程說明

統計降尺度之方法分為兩步驟,第一步驟為內插 (Interpolation),第二步驟為 偏差校正 (Bias correction),流程圖如圖 2 所示。以下為各步驟詳說明:



圖 2. 日資料統計降尺度方法流程。左半部為第一階段空間內插至 5KM 網格,右半部為 第二階段強度偏差校正。

空 間 內 插 (Spacal Interpolate):由於每個模式 之解析度並不一致,首先將 模 式 資 料 利 用 線 性 內 插 (Bilinear interpolation)的方 法,將各個 GCM 日資料原 始解析度 (如表 2 所示),提 高至與觀測資料相同的 5 公 里空間解析度 (如圖 3)。



圖 3. AR5 全球模式原始解析度資料 (raw data) · 以
 Bilinear 線性內插方法提高至 5km 解析度 ∘

偏差校正法 (BC, bias correction) 主要是參考 Wood et al. (2002, 2004) 與 Maurer (2007) 所發展的方法,再加入時間採樣區間 (Time Window) 的技術,目的 是能夠增加資料的筆數,透過較多的資料樣本以獲得的經驗累積分布函數 ECDF (empirical cumulative distribution functions) (Gobiet et. al., 2015; Maurer, 2007; Wood et. al., 2002; 2004),模式與觀測兩者之間曲線才不至於型態差異過大。另外也使用 百分位分級制,這步驟特別能針對高百分位降雨的部份進行較佳的處理,由於增加 ECDF 函數樣本,則同時可能增加了觀測 ECDF 曲線高百分位降雨強度的變化性, 因此模式越高百分位進行偏差校正時,可能得到的偏差修正率過大而失當,故透過 百分位的分級方式,將偏差修正的係數成等級式地轉換。此步驟的流程重點為強度 偏差修正與資料取樣法。

首先說明強度偏差修正流 程。為修正基期模擬模式資料 的偏差值,使模式模擬降雨統 計分布特性與觀測相吻合,將 模式調整至與觀測相同的 ECDF。以圖4降雨修正為例, 模式原始降雨量 X1,依路徑① 對應模式累積機率值 P.以觀測 相同的累積機率值依路徑②, 得到對應的降雨量 X2 做為模 式的修正值。由於降雨未來推 估長期變化趨勢不顯著,因此 模式的未來氣候模擬資料則是



圖 4. 模式 (提高解析度後) 與觀測的經驗累積分
 布 ECDF (empirical cumulative distribution functions) 函數關係建立後,將模式資料依觀
 測 ECDF 的百分位進行修正 (X1 原始降雨量、
 P 對應 X1 累積機率值、X2 修正後降雨量)。

套用觀測的 ECDF,若超越歷史記錄的降雨強度則是以外延法修正模式資料。然而 溫度四組暖化情境的長期變化趨勢顯著,以歷史資料所建立的 ECDF 已無法符合 未來推估的自然變異因此需要特別處理。為掌握並維持各模式溫度未來推估的趨 勢特徵,以最小平方法線性迴歸方程先移除長期趨勢,待強度修正完成後再加回的 方式,保持累積機率分佈修正的有效性。亦即,資料機率密度分佈的修正是以年際 變化範圍為主,亦保持了原模式所推估長期的趨勢。雖然使用 1961-2005 年的資料 做偏差修正,但若選取不同 30 年氣候時段的統計特性,隨著不同模式推估中自然 變異發生的時間點不同就不可能完全一樣,這將會是不確定性的重要來源之一。

接著為資料取樣法說明。為保留日資料的極端值訊號,取樣方式是逐日的將觀 測與模式資料,每一年包含目標日的前後各 15 天合計 31 日曆天,全部 45 年共 1395 天做為樣本 (如圖 5)。此方法是由不同取樣時間窗區 (Window) 與不同的百 分位級距的組別個數 (Bin) 所組合出來之結果做敏感度測試,並參考 Reichler and Kim (2008) 的客觀評估方法找出最佳的降尺度組合。檢驗降尺度的結果分為兩個 方向,第一是在歷史資料方面降尺度後之結果要與觀測資料相近,越相近代表偏差 校正越成功;第二是在未來推估方面降尺度前後之未來變化率要相近,代表此降尺 度的方法不會因為偏差校正而改變其原本的趨勢。以下為測試 4 種時間窗區與 4 種 bin 共 16 組結果,分析可得到各網格點都會有一個評估指標 R,所有情境的結 果彙整在表 4。依照評估值 R 的比較結果,最後以 W31B15 為最佳的取樣方法; W31 代表取 31 天時間區間為窗區、B15 為 15 個百分位組別。



圖 5. 日資料取樣示意圖。取觀測與模式資料「目標日」每年的前、後各 15 天合計 31 個 曆天的氣候資料 (31 天*45 年=1395 筆)。

R	rcp2	6	rcp4	5	rcp60		rcp60 rcp85		MEAN	
w15b5	1.527	13	1.535	13	1.506	12	1.500	12	1.52	13
w15b10	1.499	11	1.512	12	1.477	10	1.481	11	1.49	11
w15b15	1.657	15	1.669	15	1.617	15	1.639	15	1.65	15
w15b20	1.910	16	1.918	16	1.855	16	1.890	16	1.89	16
w21b5	1.471	10	1.455	9	1.476	9	1.450	8	1.46	10
w21b10	1.395	5	1.395	6	1.395	4	1.385	5	1.39	5
w21b15	1.462	9	1.465	10	1.447	8	1.454	9	1.46	8
w21b20	1.601	14	1.601	14	1.569	14	1.592	14	1.59	14
w31b5	1.448	8	1.445	8	1.479	11	1.461	10	1.46	9
w31b10	1.362	2	1.365	1	1.377	2	1.369	2	1.37	2
w31b15	1.361	1	1.366	2	1.362	1	1.367	1	1.36	1
w31b20	1.417	6	1.423	7	1.405	6	1.420	6	1.42	6
w45b5	1.510	12	1.485	11	1.544	13	1.522	13	1.52	12
w45b10	1.418	7	1.394	5	1.443	7	1.423	7	1.42	7
w45b15	1.382	4	1.368	3	1.401	5	1.384	4	1.38	4
w45b20	1.380	3	1.375	4	1.394	3	1.383	3	1.38	3

表 4. 各種設定在四情境下全台灣 R 值平均值與名次

在此需特別強調,本研究的方法特性是將模式的機率密度函數分布修正為與 觀測的機率密度函數分布的統計性質相似,相似程度會隨著所選取的時段而有所 不同。與天氣預報結果不同,某個特定年份不定會發生資料所計算出來的極端事件, 而是呈現整個時段的氣候變化特性。依 WMO 建議是以 30 年以上的資料為氣候時 段分析才具有統計意義。

3.3 降尺度資料驗證

驗證全球模式資料經過統計降尺度到 5 公里網格後的結果,是否可以反映出 台灣區域的複雜地形對氣候的影響,並且修正模式模擬的溫度和降雨的強度,同時 又能保留模式原始的訊號與未來變遷趨勢。首先檢視單一模式 (MRI-CGCM3) 模 擬的降雨資料經過統計降尺度後的結果,模式原始資料在夏季和秋季模擬的降雨 強度相較於觀測都明顯低估,但經過空間內插與偏差校正後可以得到與觀測非常 相似的空間分布與降雨強度 (如圖 6a)。在未來降雨變遷推估方面,模式推估除了 夏季降雨為增加趨勢,其他季節皆為減少趨勢,而統計降尺度後的結果除了有更細 緻的空間分布,在夏季降雨的增加趨勢變得更加明顯,並且仍保留各季節模式原始 的未來變遷趨勢 (如圖 6b)。



圖 6. (a) 基期 (1986-2005) 各季節降雨[mm/day]的比較結果。使用模式 (MRI-CGCM3) 原始資料 (左)、TCCIP 5 公里網格觀測資料 (中) 和統計降尺度日資料(右)分析。 由上而下依序為春季 (3-5 月)、夏季 (6-8 月)、秋季 (9-11 月) 和冬季 (12-2 月)。 (b) 21 世紀末 (2081-2100) 在 RCP8.5 情境下相較於基期的改變率[%].使用原始模 式資料 (左) 和統計降尺度日資料 (右) 進行分析。改變率的計算方式為未來推估 值減去基期平均值,再除以基期平均值後乘上 100%。

極端值的驗證部份,我們挑選降雨極端氣候指標中的最大日降雨 (RX1DAY) 指標進行說明,由單一模式 (MPI-ESM-LR) 的結果可知,模式模擬與推估的最大 日降雨值在台灣鄰近區域皆落在同一區間,無法表現出區域差異且相較於觀測而 言強度明顯低估,經過統計降尺度後的結果可以得到與觀測相似的空間分布,同時 也修正了最大日降雨的強度 (如圖 7a)。未來推估在降尺度後也有相似的結果,得 到更細緻的空間特徵與很好的強度修正,且偏差校正的過程仍保留模式原始的變 化趨勢 (如圖 7b)。



圖 7 (a) 基期 (1986-2005) 最大日降雨[mm/day]的比較結果。使用模式 (MPI-ESM-LR)
 原始資料 (左)、TCCIP 5 公里網格觀測資料 (中) 和統計降尺度日資料 (右) 進行
 分析。(b) 21 世紀末 (2081-2100) 在 RCP8.5 情境下的最大日降雨 (左) 和相較於基期的改變率 [%](右),使用原始解析度資料和統計降尺度日資料分析。

4. 動力降尺度

雖然目的都是呈現高解析度的區域氣候狀態與極端事件,統計降尺度透過數 學方法高效能且快速的提高溫度與降雨的解析度,動力降尺度則是透過物理性的 動力模式模擬,也可以得到較多的高解析度氣象參數。不過統計降尺度的全球模式 解析度低 (約 250km),無法模擬解析出颱風、梅雨...等這樣的劇烈天氣系統,也就 無從了解直接從模式模擬估計這些極端天氣系統未來發生的頻率與強度變化。而 此正為臺灣防災領域面對氣候變遷下所需求的未來推估資訊。同時,來自使用者除 了溫度、降雨其它變數的需求 (如風速、輻射、溼度...等)。為彌補相關領域的資料 缺口,動力降尺度的上游 GCM 採用高解析度 (50~60 公里) 或超高解析度 (20~25 公里) 氣候模式的氣候推估資料。由於臺灣地形陡峭複雜,高解析度全球模式仍不 足以解析地形對颱風降雨分布的影響,故透過降尺度方法提高解析度為區域氣候 分析上常見的作法。因此以動力降尺度方法將高解析度大氣環流模式 MRI 以及 HiRAM 推估資料的空間解析度提高至 5 公里,採用的是美國大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research,NCAR) 發展區域模式 WRF 進行。動力 降尺度模擬相關成果可參考圖 8、圖 9。



圖 8、(a) 動力降尺度模擬颱風路徑與環流示意圖,紅線為颱風路徑。(b)、(c)、(d) 為觀測、 模式、模式經偏差修正的颱風總雨量示意圖 [mm/event]。



圖 9、動力降尺度模擬輻射示意圖[W/m²]。

以下將針對各項的資料產品進行說明:

4.1 模式情境

動力降尺度採用的兩個高解析度全球模式,分別為 MRI-AGCM3.2S (Mizuta et al., 2012) 以及 HiRAM (Chen and Lin, 2013)。MRI-AGCM 為日本氣象廳氣象研究所 (Meteorology Research Institute, MRI) 發展的高解析度全球大氣模式,3.2S 版本的解析度約為 20 公里,可以模擬出強的深對流以及颱風。美國普林斯頓大學地物流力動力實驗室 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL) 所發展的高解析 度全球大氣模式 HiRAM (High Resolution Atmospheric Model),為一雲解析模式, 模擬劇烈天氣系統的能力甚佳,使用的版本為水平解析度約 25 公里 (C384) 之非 靜力全球模式,垂直方向有 32 層 (模式最高為 1 hPa)。由於動力降尺度的模擬計 算需耗費大量的電腦運算資源,只能針對特別的時間區間進行計算,此動力降尺度 執行的時期為基期 1979-2003 (2005) 年及 RCP8.5 情境 21 世紀中 2039-2065 年、 世紀末 2075-2099 年。

MRI-AGCM 有兩組現今時期資料,代號 m00 為 AR4 時期所進行的基期模擬, 時間區間為 1979-2003。m01 為 AR5 資料釋出後所進行的模擬,時間區間為 1979-2005; HiRAM-AGCM 的現今氣候時期資料,時間區間為 1979-2005。

兩組高解析全球模式皆使用四種 (c0~c3) 不同海溫情境驅動 · 得到 RCP8.5 情 境下未來時期的推估結果 (圖 10) 。其中 · c0 來自 CMIP5 實驗 (Taylor et al., 2012) 中 28 組模式的平均 · c1、c2、c3 · 分別由 8、14、6 個模式海溫暖化推估計算得到 的平均 · 為 Mizuta et al. (2014) 利用 CMIP5 中 28 組海溫變化的空間分布進行群落 分析所得的結果。



圖 10. 世紀中和世紀末四個系集的年平均海溫距平分佈。第一列為 c0 海溫與基期 (1979-2005) 海溫的差異;第二至四列為 c1、c2 及 c3 與 c0 之差異。單位:℃。

4.2 降尺度模式 (WRF) 介紹

本計畫進行動力降尺度所使用的氣象模式為 WRF (Weather Research Forecast), WRF 模式為美國國家大氣研究中心 (NCAR) 與美國環境預報中心 (NCEP) 共同 研發,經前一代中尺度數值模式 (MM5) 改良而來,主要用來進行天氣研究或實務 預報,現今已被全球各單位廣泛使用。

主要的模式物理過程包含雲微物理、長波輻射、短波輻射、地表過程、邊界層 過程與積雲對流等。模式使用網格數設定為 380×400·模式模擬範圍如圖 11 所示。 模擬的時間解析度為 20~30 秒·水平解析度為 5 公里·模擬垂直層共 36 層·地面 資料 (包含溫度與降水等)每個小時輸出一次。在物理參數化設定方面·使用的雲 微物理方法為 WRF Single-Moment 5-class scheme (Hong, Dudhia and Chen, 2004)· 為了獲得較佳的降雨在日間的變化·因此在 5-8 月並未使用積雲參數化·邊界層參 數化使用韓國延世大學 (Yonsei University)的 YSU scheme (Hong and Pan, 1996)· 長波輻射和短波輻射參數化使用 CAM scheme (Collins et al, 2004)·在地表方面· 地面層參數化使用 Monin-Obukhov scheme (Monin and Obukhov, 1954)·地表參數 化使用 Noah Land Surface Model (Chen and Dudhia, 2001)。模擬也採用波譜調整 (spectral nudging)的方法·以減少大尺度環流的氣候偏移。在波譜空間中·針對低 頻波 (也就是較大尺度得波動)的振幅做調整。為了保留降尺度後得到細緻的局部 地區氣候特徵·本計畫僅對大尺度環流部分做調整·針對風場及重力位場做波譜調 整。



圖 11. 模式網格範圍示意圖

除了更高解析度的地形之外,模擬中 使用一組更貼近臺灣目前土地使用現況的 地表資料。此組資料採用了 USGS (簡稱 USGS 資料)、MODIS (簡稱 MODIS 資料) 及中鼎工程顧問公司的高解析度土地利用 資料 (簡稱 CTCI 資料) 合成得之。在臺灣 地區·USGS 的資料與實際的土地利用差異 頗大; MODIS 的土地利用較接近現實,不 過都市開發區域的範圍有高估的情形; CTCI的十地利用資料是由中鼎工程顧問公 司數位化內政部所出版的 1/25.000 地形圖 整理出臺灣地區都市、水田、混合林與旱田 的分佈。模式中的臺灣地區土地利用資料 以 CTCI 資料為主,並將其中大範圍的混合 林以 MODIS 的諸多林相資料替換,臺灣以 外的地區則以 MODIS 的資料為主 · 最後得 到的土地利用在臺灣附近誠如圖 12 所示。



圖 12. 本計畫區域模式中各網格最主要 的地表使用 · 其中數字代表為 USGS 的 24 種土地利用分類項 目 · 紅色代表都市 · 綠色代表森 林 ·

4.3 颱風路徑分析

由於颱風是臺灣地區重要的水資源來源之一,同時也是臺灣四大天然災害之 一,暖化下颱風的變遷資訊對我們至關重要。為了提供使用者颱風極端災害的變遷 應用資料,本計畫由可解析出劇烈天氣的高解析度全球模式中偵測出颱風,以利使 用者對颱風降雨變遷帶來的影響進行評估。

本計畫使用 (Murakami et al. 2012) 的颱風偵測與追蹤方法偵測 MRI-AGCM 所模擬的颱風,其標準如下:

1. 850hPa 的相對渦度最大值超過 2 x 10⁻⁴s⁻¹

- 300hPa, 500hPa 和 700hPa 溫度偏差之和超過 2K,每層的溫度偏差計算方 式為 850hPa 最大渦度位置的 10°X10°網格平均溫度減去最高溫度值
- 3. 850hPa的最大風速超過17m/s

- 4. 850hPa 的最大風速大於 300hPa 的最大風速
- 為了消除北印度洋的熱帶季風低壓,最大平均風速半徑必須小於偵測到的 颱風中心 100 公里,此條件僅限用於北印度洋
- 每個偵測到的颱風必須超過 36 小時·當單個颱風間歇性地滿足上述標準, 則被視為多個颱風事件,為防止單個颱風被重複計數,單個時間點未達標 準仍被視為同場颱風事件

HiRAM 所採用的颱風偵測標準與 Knutson et al. (2007) 類似,但做了一些修改,這個客觀方法包含颱風辨識與颱風追蹤兩個步驟,偵測與追蹤方法如下:

- 1. 850hPa 的局地相對渦度最大值超過 1.5x10-4s-1
- 2. 表面氣壓從風暴中心增加至少4hPa 且最小海平面氣壓定義為風暴中心
- 3. 最接近當地的最高平均氣溫位於 500 至 300hPa 之間,並被定義為暖心中心。它與風暴中心的距離必須在1°經度或緯度內,且暖心溫度至少要比周 圍溫度高2°C
- 4. 風暴中心的 10 米風速超過 17.5m/s
- 5. 對每個風暴檢查·在750公里的距離內接下來的6小時內是否有風暴
- 6. 為了修正模式之風暴軌跡,風暴軌跡必須至少持續3天

透過 MRI-AGCM 與 HiRAM 模擬出的颱風,本計畫由此篩選出影響臺灣的颱 風,我們將颱風生命期內颱風中心曾進入臺灣海岸線 300 公里範圍內的颱風定義 為影響臺灣颱風 (李、盧 2012)。透過這些篩選出的影響臺灣颱風進行動力降尺度 模擬,以獲得更高解析度的臺灣地區颱風降雨資料。

MRI 動力降尺度基期與世紀末分別有 2 個與 4 個系集模擬,基期時段為 1979-2003 年、21 世紀末為 2075-2099 年,這兩個時期各有 166 場與 169 場颱風降雨事件。HiRAM 執行的時期為基期 1979-2005 年、RCP8.5 情境世紀中 2040-2065 年及 21 世紀末 2075-2099 年,基期為單一模擬,21 世紀中與 21 世紀末各有 4 組系集模擬,三個時期的模擬分別有 134 場、450 場及 214 場颱風事件。進行颱風降雨評估與偏差校正時需使用觀測資料,採用 1992-2007 中央氣象局雨量站的時雨量資料, 內插成 5 公里網格資料。

4.4 偏差修正時雨量資料

搭配高解析度 GCM 資料,以動力降尺度方法可模擬出暖化情境下的劇烈天氣 系統,但模式亦因為現今科學界對於細微的大氣物理過程不了解,導致模擬結果會 有偏差,所以近一步利用偏差修正方法來修正降尺度後的推估資料。再利用分位數 映射法 (Quantile Mapping, QM)對模式輸出的溫度及颱風降雨進行偏差修正(Ines and Hansen, 2006; Lenderink et al, 2007; Johnson and Sharma, 2011; Su et al, 2016)。 由於此組資料可提供高時間解析度的氣象資訊,因此特別針對颱風期間的降雨進 行處理,以下針對不同氣候特徵進行偏差修正。

4.4.1 全年降雨

颱風侵襲臺灣以外的時間,用以下的方法進行偏差修正:

■ 步驟一、空間內插。

將 WRF 模式輸出的溫度日資料利用線性內插 (Bilinear interpolation) 的方法 內插至與觀測資料相同的 5 公里網格,此為本資料中的未修正版本 (V0)。

■ 步驟二、資料建立。

進一步對上述的未修正版本計算,獨立對各網格日資料前後 15 天 - 共 31 天 窗區 - 建立 25 年的經驗累積分布函數 (Empirical Cumulative Distribution Function, ECDF)。

■ 步驟三、偏差校正。

利用分位數映射法進行偏差校正,溫度以差值修正。日均溫 (Tavg)、日最高溫 (Tmax) 與日最低溫 (Tmin) 同時處理偏差校正,避免出現最低溫大於最高溫 之不合理狀況 (Dosio et al., 2012)。詳細流程說明如下:

- a. 為考量氣候變遷所影響之升溫變化,先利用 31 天窗區計算一平均值,再對 每年共 25 筆資料計算線性回歸得到趨勢值 (Ttrend)
- b. 對日均溫、日較差 (DTR · Diurnal Temperature Range · 最高溫與最低溫之差)、高低溫偏度 (TSK · Temperature Skewness · TSK=(Tavg Tmin)/DTR) 移除此趨勢後再進行偏差校正

- c. 將原趨勢加回修正後的資料,經計算得到日均溫 (Tavg = dTavg+Ttrend)、
 日最低溫 (Tmin = Tavg TSK*DTR) 以及日最高溫 (Tmax = Tmin + DTR)。
- d. 進行時間尺度轉換,將輸出的資料換算為月平均。
- 4.4.2 颱風期間降雨

颱風期間的降雨則是以下面的步驟進行修正:

步驟一、空間內插。 將 WRF 模式輸出的颱風期間降雨資料利用線性內插 (Bilinear interpolation) 的方式內插至與觀測資料相同的 5 公里網格,此為本計畫中颱風時雨量的未 修正版本。

■ 步驟二、偏差校正。

針對上述的未修正版本進一步進行偏差校正,考量了颱風中心的位置,對每個 網格上的所有颱風時雨量獨立計算出經驗累積分布函數 (Empirical Cumulative Distribution Function, ECDF),之後的修正方法與前述統計降尺度的 第二步驟相似。此校正方法不僅反映了颱風降雨的空間分布差異,亦考慮了颱 風路徑對降雨的影響,但缺點是能計算 ECDF 的統計樣本數較少,所以採用 格點鄰近 5X5 網格的資料計算該格點的 ECDF。修正未來 21 世紀末 (世紀中) 雨量時,設定校正值不超過當地颱風降雨觀測歷史最大值的 1.4 倍 (1.2 倍), 其中的 1.4、1.2 倍是根據模式推估兩時期的前 95%極端降雨改變率計算得之, 偏差修正相關流程參考圖 13。



圖 13. 颱風降雨偏差校正流程圖

5. 結語

本手冊的彙編主要說明 TCCIP 計畫統計降尺度、動力降尺度的資料產製方法, 目的是讓資料使用者了解 TCCIP 平台所提供的相關資料的產製依據,讓使用者能 夠了解資料的特性及在使用時需要注意的地方,無論在文章發表的引用或是資料 的解讀上能有所幫助。

TCCIP 計畫後續仍會持續更新或產製相關氣候資料,也會依據使用者意見回 饋、團隊的分析結果以及國際氣候研究的最新發展,進行資料產製方法必要的調整 修正,相關產製方式與結果產出的更新履歷、分析報告也會提供在平台上供使用者 參考,期待此平台提供的資料服務可以強化資料品質與應用價值,並能永續經營服 務。

6. 參考文獻

- 李清騰、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。
- 翁叔平·楊承道·2018:臺灣地區日降雨網格化資料庫 (1960~2015) 之建置與驗證·水利期刊 66 (4) P.33-52
- Chen, F., and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced land surface hydrology model with the Penn State – NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. Mon. Wea. Rev., 129, 569 – 585
- Chen, J.-H., and S.-J. Lin, 2013: Seasonal Predictions of Tropical Cyclones Using a 25km-Resolution General Circulation Model. J. Climate, 26, 380 – 398.
- Collins, W.D., et al., 2004: Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM3.0) . Technical Note TN-464+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 214 pp
- Dosio, A., Paruolo, P., Rojas, R., 2012: Bias correction of the ENSEMBLES high resolution climate change projections for use by impact models: analysis of the climate change signal. J. Geophys. Res. 117, D17110.
- Gobiet, A., Suklitsch, M., and Heinrich, G.: The effect of empirical-statistical correction of intensity-dependent model errors on the temperature climate change signal, Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 4055-4066, https://doi.org/10.5194/hess-19-4055-2015, 2015.

- Hong, S.-Y., and H. L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model.Mon. Wea. Rev., 124, 2322 2339.
- Hong, S-Y., J. Dudhia, and S-H. Chen, 2004: A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. Mon. Wea. Rev., 132, 103 120.
- 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.
- 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.
- Knutson, T. R., J. J. Sirutis, S. T. Garner, I. M. Held, and R.E. Tuleya, 2007: Simulation of the recent multidecadal increase of Atlantic hurricane activity using an 18-kmgrid regional model. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 88,1549-1565.
- 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.
- Maurer, E.P., 2007: Uncertainty in hydrologic impacts of climate change in the Sierra Nevada, California under two emissions scenarios, Climatic Change, 82, 10.1007/s10584-006-9180-9
- Mizuta, R., H. Yoshimura, H.Murakami, M. Matsueda, E. Hirokazu, O. 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.
- Mizuta, R., O. Arakawa, T. Ose, S. Kusunoki, H. Endo, and A. Kitoh, 2014: Classification of CMIP5 future climate responses by the tropical sea surface temperature changes. SOLA, 10, 167-171.
- Murakami H, Wang Y, Sugi M, Yoshimura H, Mizuta R, Shindo E, Adachi Y, Yukimoto S, Hosaka M, Kitoh A, Ose T, Kusunoki S (2012) Future changes in tropical cyclone activity projected by the new high-resolution MRI-AGCM. J Clim 25:3237 3260
- Monin, A.S. and Obukhov, A.M. (1954) Basic Laws of Turbulent Mixing in the Surface Layer of the Atmosphere. Contrib. Geophys. Inst. Acad. Sci. USSR,24, 163-187.
- Reichler, T. and J. Kim, 2008: How Well Do Coupled Models Simulate Today's Climate? Bull.Am. Met. Soc., 89, 303-311. doi:310.1175/BAMS-1189-1173-1303.
- Su, Y. F., C. T. Cheng, J. J. Liou, Y. M. Chen, and A. Kitoh, 2016: Bias correction of MRI-WRF dynamic downscaling datasets. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 27, 649-657.

- Stocker, T. F. et al. 2013. "Technical Summary." Pp. 33 115 in Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer, G. A. Meehl, 2012. An Overview of CMIP5 and the experiment design. Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 485-498.
- Wood, A. W., E. P. Maurer, A. Kumar, and D. P. Lettenmaier, 2002: Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. J. Geophysical Research-Atmospheres 107 (D20), 4429
- Wood, A. W., L. R. Leung, V. Sridhar, and D. P. Lettenmaier, 2004: Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. Clim. Change, 62, 189 – 216.
- 7. 延伸閱讀

■ 統計降尺度應用

- 黃亞雯、劉曉薇·2019:氣候變遷下雨量對葡萄之衝擊評估-以彰化縣為例·臺灣 氣候變遷推估資訊與調適知識平台電子報·32期。
- 林修立、朱吟晨、童裕翔,2019:TCCIP 2019 年統計降尺度日資料即將上線,臺 灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台電子報,28 期。
- 劉曉薇、朱吟晨·2019:臺灣氣候變遷關鍵指標圖集·臺灣氣候變遷推估資訊與調 適知識平台電子報·27期。
- 劉曉薇、林修立、陳正達、童裕翔、陳永明·2019:臺灣氣候變遷關鍵指標圖集, 災害防救電子報·167期。
- 鄭兆尊、朱吟晨、童裕翔、陳永明·2018:全球暖化下,臺灣只會越來越熱!災害 防救電子報,157期。
- 林以淳、蘇元風、朱容練、劉俊志·2016:氣候變遷情境下日輻射量資料之衍生。 農業工程學報·第 62 卷第 1 期·頁 29-40。

■ 動力降尺度應用

- Huang, W. R., Y. H. Chang, C. T. Cheng, H. H. Hsu, C. Y. Tu, and A. Kitoh, 2016a: Summer convective afternoon rainfall simulation and projection using WRF driven by global climate model. Part I: Over Taiwan. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 27, 659-671.
- Huang, W. R., Y. H. Chang, H. H. Hsu, C. T. Cheng, and C. Y. Tu, 2016b: Summer convective afternoon rainfall simulation and projection using WRF driven by global

climate model. Part II: Over South China and Luzon. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 27, 673-685.

- Huang, W. R., Huang, P. H., Chang, Y. H., Cheng, C. T., Hsu, H. H., Tu, C. Y., & Kitoh, A. (2019). Dynamical downscaling simulation and future projection of extreme precipitation activities in Taiwan during the Mei-Yu seasons. Journal of the Meteorological Society of Japan, 97(2), 481-499.
- Tsou, C. H., Huang, P. Y., Tu, C. Y., Chen, C. T., Tzeng, T. P., & Cheng, C. T. (2016). Present simulation and future typhoon activity projection over Western North Pacific and Taiwan/East coast of China in 20-km HiRAM climate model. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 27(5), 687-703.

■ 其他

- 朱吟晨·2018:過去與未來-破解契後時光機的秘密·科學研習月刊·57卷第2期 10-17。
- 侯清賢、陳玟妤、吳龍靜、藍揚麒、黃星翰·2019:臺灣西南海域鰻苗來游量與海 況變動探討之研究。鰻魚專刊。行政院農委會水產試驗所,頁 39-58。
- 孫天祥、黃柏誠·2018:只要有心·人人都可以成為氣候變遷資料達人·科學研習 月刊·57卷第2期 24-29。
- 翁叔平、楊承道·2018:臺灣地區日降雨網格化資料庫 (1960~2015) 之建置與驗 證·台灣水利。66(4)·33-52。
- 李昱祺、王嘉琪、翁叔平、陳正達、鄭兆尊·2019:臺灣氣象乾旱特性未來趨勢推 估·大氣科學·47期·頁 66-91。
- 林士堯,2018:用對資料、選對工具-談資料特性。TCCIP 電子報,第 21 期。
- 李惠玲,2018:正視臺灣的氣候變遷。TCCIP 電子報,第18期。

8. 名詞說明

代表濃度途徑 Representative Concentration Pathways (RCPs)

在 IPCC 第五次評估報告中,是以「代表濃度途徑」來定義四組未來變遷的 情境,並以輻射強迫力 (radiative forcing) 在 2100 年與 1750 年之間的差異量當 作指標性的數值來區分之。RCP2.6 情境代表在 2100 年的輻射強迫力增加了 2.6 瓦,而 RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5 則分別增加了 4.5、6.0 與 8.5 瓦。RCP2.6 是 個暖化減緩的情境 (輻射強迫力在 2100 年呈減少趨勢) ; RCP4.5 與 RCP6.0 是 屬於穩定的情境 (輻射強迫力的變化在 2100 年呈較為穩定狀態) ; RCP8.5 則是 個溫室氣體高度排放的情境 (輻射強迫力在 2100 年呈持續增加趨勢)。除了設定 逐年的溫室氣體濃度,根據整合評估模式、簡化氣候模式、大氣化學模式以及全 球碳循環模式的組合計算,每個 RCP 可以估算出人為溫室氣體排放量,並提供 土地利用變遷的空間分布以及各區域空氣汙染物的排放量。雖然這些 RCP 情境 已經涵蓋了相當廣的輻射強迫力範圍,但仍有其不足之處,特別是與氣溶膠相關 的部分。

多數的 CMIP5 模式與地球系統模式都使用各 RCP 情境所設定的溫室氣體 濃度變化來進行氣候推估的模擬。除了使用溫室氣體濃度之外,部分的地球系統 模式則在模擬中加入了預設的二氧化碳排放,對 RCP8.5 做了些額外的氣候推估 模擬。除此之外,亦使用了最新的大氣化學相關資料及耦合模式對四種 RCPs 做 額外的模擬。這些模擬可被用來研究碳循環造成的回饋以及大氣化學所導致的 不確定性。



參考文獻:

The Representative Concentration Pathways: An Overview. Climatic Change (2011) , 109, 5-31. DOI 10.1007/s10584-011-0148-z

AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project 大氣模式比較計畫)

此為全球大氣環流模式的標準實驗協議,該協議的架構使科學家能系統性 地分析大氣環流模式,且模式架構簡單,僅考慮大氣環流的效應,不考量氣候系 統中大氣與海洋的複雜反饋機制。

海氣耦合模式 (Coupled Ocean-Atmosphere Models)

實際大氣與海洋之間存在交互作用,為了更接近實際狀況而發展出耦合模式。溫度會受到大氣作用,海面的溫度也會反饋給大氣。大氣模式預報每一個積 分計算後將結果傳遞至海洋環流模式,海洋環流模式接著預報一時間步長並傳 回大氣模式,兩個模式彼此循環預報成為海氣耦合環流模式。

MRI-AGCM

此為日本氣象廳氣象研究所 (Meteorology Research Institute, MRI) 發展的高 解析度全球大氣模式(Kitoh et al.,2016)。TCCIP 向日本創生計畫 (SOUSEI program) 取得 3.2S 版本,水平解析度約為 20 公里,垂直方向有 64 層,可以模 擬出強的深對流以及颱風。

HiRAM-AGCM (High Resolution Atmospheric Model)

美國地球物理流體力學實驗室 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL)所發展的高解析度全球大氣模式(Chen and Lin 2013)。目前計畫使用的版本為 C384,水平解析度約 25 公里,垂直方向有 32 層,為一雲解析模式,模擬劇烈天氣系統的能力甚佳 (Chen and Lin, 2013),可應用於全球暖化和颱風的研究。

WRF (Weather Research Forecast)

WRF 模式為美國國家大氣研究中心(NCAR)與美國環境預報中心(NCEP)共同研發,經前一代中尺度數值模式(MM5)改良而來,WRF 模式可以模擬從數公 尺至數千公里不同尺度之理想或實際之大氣狀態,主要用來進行天氣研究或實務預報,現今已被全球各單位廣泛使用。 統計與動力降尺度方法