

NCDR 107-T19

統計降尺度(日)資料評估與應用

Daily Statistics Downscaling for CMIP5 AGCM :

Validation and Application



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 108 年 01 月

NCDR 107-T19

統計降尺度(日)資料評估與應用
Daily Statistics Downscaling for CMIP5 AGCM :
Validation and Application

童裕翔、陳正達、劉俊志、陳永明



國家災害防救科技中心
中華民國 108 年 01 月

中文摘要

本報告評估臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(TCCIP)產製統計降尺度 5 公里網格資料，依發展進程時間解析度從過去舊版月時間尺度到新版日時間尺度，可應用範圍大幅提升，特別是極端氣候的未來推估。雖然未來推估日與月資料溫度與降水變化強度有些差異，但氣候上不同情境溫度上升趨勢一致，降雨則兩者都是呈現「乾愈乾、濕愈濕」。與基期觀測資料校驗，乾旱、暴雨、高/低溫各類型的極端氣候指標，發生頻率空間上的分布也都一致。即便如此，使用日資料的分析方法與步驟亦有很多技巧。以使用者常關心的氣候現象議題：極端降雨、熱浪與寒潮為標的挑選較佳的模式，同樣趨近系集平均變化並加速下游衝擊評估應用。同時舉例說明多模式極端指標分析結果，包括日資料計算流程與網格資料使用的限制。

關鍵字：日資料、未來推估、極端指標

ABSTRACT

The time scale of TCCIP (Taiwan Climate Change Projection and Information Platform) statistical downscaling data improved from monthly to daily in this face. However, the usage and interpretation of daily data extended wildly from climatology statues to extreme events. The insensitive of temperature and precipitation in future change between monthly and daily dataset are slightly distinction. The increasing trends of temperature are consistent, the wet and dry season precipitation change become extremely. The validations with observation in the extreme indices of dry, severe rainfall, heat and cold events are similar in spatial distribution of occurrent frequency. The methodology of daily multi-model is complex and skillful. Base on the impact assessments concerned about the phenomena issues are extreme rainfall, heat wave and cold serge. To select suitable model could reduce the validation processes and tend to ensemble mean. There are some extreme analysis samples to exam correct analysis processes and gridded data limitation.

Keywords: Daily downscaling, Future projection, Extreme indices

目錄

第一章 前言.....	1
第二章 資料來源與方法	4
2.1 使用分析資料	4
2.1.1 觀測網格資料.....	4
2.1.2 統計降尺度模式資料.....	5
2.1.3 天氣衍生資料.....	8
2.2 極端氣候指標	10
第三章 比較分析結果	12
3.1 推估未來氣候平均狀態	16
3.2 極端氣候指標分析	22
3.3 系集模式應用	30
3.4 實際應用範例	34
第四章 結論與討論	37

圖目錄

- 圖 1 觀測網格資料所使用的溫度(左)/雨量(右)測站點位分布..... 7
- 圖 2 將氣象資訊由全球模式解析度(右)，應用統計方法降尺度為
5kmx5km 網格、61x80 共計 4880 網格點位資料。圖上呈現為
21 世紀末(2081~2100)相對於現今氣候(1986~2005)的降雨變化率
[%]，溫度也依此類推。..... 8
- 圖 3 統計降尺度日資料 WGEN 與 BCSD 的產製流程。..... 9
- 圖 4 統計降尺度月與日資料比較表。比較項目包含模式個數、時間
解析度、產製方法與應用於偏差校正(Bias Correction, BC)所使
用網格化觀測資料。..... 13
- 圖 5 (a)統計降尺度月(黑線)/日(藍線)資料溫度[°C]年循環時序變化。
下圖分別為暖化情境 RCP4.5(左側)與 RCP8.5(右側)，21 世紀末
(2081-2100) (b)平均、(c)年最低溫度及(d)年最高溫度的變化值
[°C]。..... 15
- 圖 6 (a)統計降尺度月(黑線)/日(藍線)資料降雨量[mm]年循環時序變
化。下圖分別為暖化情境 RCP4.5(左側)與 RCP8.5(右側)，21 世
紀末(2081-2100) (b)平均、(c)年最大降雨及(d)雨日(降雨量 \geq
1mm 天數)持續天數的變化率[%]。..... 15

圖 7 月與日統計降尺度四種情境下，21 世紀末平均溫度相對於基期的變化[°C].....	17
圖 8 月與日統計降尺度四種情境下，21 世紀末全時期氣候平均降雨量相對於基期的變化率[%]	17
圖 9 月與日統計降尺度四種情境下，21 世紀末濕季(5~10 月)降雨量相對於基期的變化率[%]	18
圖 10 月與日統計降尺度四種情境下，21 世紀末乾季(11~4 月)降雨量相對於基期的變化率[%]	19
圖 11 應用降雨月/日兩組降尺度資料，比較每年濕季(5-10 月)21 年滑動平均值時序變化。不同顏色實線為不同情境的系集平均值，陰影區則代表該情境所有模式含蓋最大-最小值域範圍(綠色為 TCCIP 觀測網格平均值)、灰色為 Historical、紅色為 RCP8.5、橘色為 RCP6.0、藍色為 RCP4.5、紫色為 RCP2.6。右側盒鬚圖為 RCP8.5 世紀末(2081~2100)各模式間的差異，由上至下分別代表為最大、第 75、50、25 百分位以及最小值	20
圖 12 月與日資料 21 世紀末未來推估 4 種情境，各模式間的不確定性比較以盒鬚圖的方式呈現，由上至下分別代表為第 95、75、50、25、5 百分位值。a、b 為溫度[°C]；c、d 為降雨變化率	

[%]。各顏色代表情境為紅色-RCP8.5、橘色-RCP6.0、藍色-RCP4.5、紫色-RCP2.6。..... 22

圖 13 基期(1986-2005)降雨類型極端氣候指標結果比較。使用觀測網格(a, d)、BCSD(b, e)與 WGEN(c, f)產製的統計降尺度日資料分析。平均無雨日(CDD)a - c[日]與平均連續 3 天最大降雨(RX3day)(d - f)[mm]。..... 25

圖 14 類似圖 12，但本圖為溫度類型極端氣候指標結果比較。a - c 為連續 3 天溫度低於 10 度的平均發生天數(CWFI_T10D3) [天]，d - f 連續 3 天溫度高於 32 度的平均發生天數(HWFI_T32D3) [天]。..... 27

圖 15 比較 BCSD(左)與 WGEN(右)推估 21 世紀末(相對於現今氣候)，未來極端氣候指標變化率[%]。a、b 為無雨日(CDD)；c、d 為連續 3 天最大降雨(RX3day)；e、f 為連續 3 天低溫 10 度發生次數(CWFI_T10D3)；g、h 為連續 3 天高溫 32 度發生次數(HWFI_T32D3)。..... 29

圖 16 使用日資料分析所有模式系集(ALL)(a)，及依據表 2 挑選極端降雨表現較好的 5 個模式(SEL5)，計算 1986-2005 期間 RR1 的發生頻率。c 為盒鬚圖呈現 ALL 與 SEL5 模式間的不確定分析。..... 32

圖 17 類似圖 16 但使用日最高溫資料分析超過 35°C(SU35)的日數。	33
圖 18 類似圖 15 但使用日最低溫資料分析低於 14°C(CU14)的日數	33
圖 19 應用多模式日降雨資料分析(1961-2005)平均雨日(RR1)發生頻 率的空間分布情況，以不同的方法計算系集平均。a 圖為觀測 資料；b 為將多模式日資料先系集平均成 1 組後再計算指標；c 為先計算各模式的指標後再系集平均。	35
圖 20 不同網格資料解析度呈現的降雨強度差異。a 為相同的資料 組，從粗糙的解析度(50km)到細緻的解析度(1km)呈現出來的降 雨強度[mm/day]不同。b 為不同解析度資料組，位於臺北的逐 月總雨量，其中網格資料取最鄰近測站點位的網格。	36

表目錄

表 1 統計降尺度模式列表。月(舊)/日(新)資料的歷史氣候模擬(基期) (Historical)，與 4 組暖化情境(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5)模式清單	7
表 2 以模式表現評估量表(Performance Metrix)評估臺灣極端氣候現 象，挑選模擬表現較好的模式。	31



第一章 前言

政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於 2013 年精進全球氣候模擬技術，推出最新全球模式資料組 CMIP5(Coupled Model Intercomparison Project phase 5)，同時提出相對應的第五次評估報告 AR5。但現階段所推出的氣候變遷研究報告，還是多以較大空間範圍如全球或者五大洲區域(如美洲、歐洲、東亞…等)的角度，提供未來推估資訊。更小的各區域範圍若要進一步詳細推估資訊，需要以範圍內的國際合作計畫提供為主。以包含中國、日本、韓國、臺灣的東亞區域氣候變遷研究計畫 CORDEX-EA(Coordinated Regional climate Downscaling Experiment for East Asia)為例，將全球氣候模式做為上游環境場的資料，應用動力降尺度方法產製高時-空解析度(25km×25km)的網格資料，此類推估資訊才可以勉強使用於下游的衝擊與調適評估。以此做法不僅需要大量的運算資源且曠日費時，待推出初步的研究成果時，CMIP 又即將推出新版本情境資料。

就資料本身可解釋的現象而言，以降雨量的模擬為例，CMIP5 的全球模式資料其空間解析度平均為 250km，可解析的現象內容只能侷限臺灣附近較大的時-空間範圍，而下游應用領域如：水資源、農/漁業、公共衛生、生態…等，若要使用相關的氣候情境推估資料將難以

應用。在此背景下，科技部補助並由國家災防中心執行「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」(以下簡稱 TCCIP)(過去計畫名稱為「臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫」)，於第 1 期計畫(100-102 年)即開始整理並建立數位化測站資料庫；為建立長期且品質穩定的高解析度空間面化觀測資料，第 2 期(102-105 年)即開始研發並產製，而統計降尺度即以此臺灣歷史觀測網格化溫度/降雨資料為參考依據，將當時最先進的 CMIP5 全球模式暖化情境未來推估資料，使用統計的方法(臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫第 2 期期末報告，106)產製具有臺灣在地氣候特徵，空間解度 5km×5km、時間解析度為「月」的未來氣候推估資料組。期間為精進資料的正確性，依循觀測網格資料改版而更新資料，目的為準確修正模式的歷史氣候模擬，可以更接近於觀測資料；而在未來推估降尺度結果的部份，卻又可以保持每組氣候模式本身的特性。

本組月資料為使用 CMIP5 多個全球模式模擬結果做為上游資料、空間範圍含蓋臺灣本島、澎湖、蘭嶼，應用統計方法產製最多組模式且最完整的空間高析度資料組。而下游使用者從無到有，在過往毫無經驗的情況下，首次接觸氣候變遷推估資料時，將其做為評估應用模式的輸入資料，需要先將資料做前處理。舉坡地/淹水領域為例，為模擬未來氣候情境建立氣候變遷暖化情形下，為訂定環境變化衝擊

的調適作為之方向與政策依據，需要將降雨資料時間尺度從原本的月降尺度到小時，才能符合其崩塌/淹水模式的輸入資料。類似的未來推估應用模擬可能需要面對的誤差來源，從上至下游包括全球模式模擬、以統計方法處理空間、時間降尺度從月到時、還有模式本身的誤差…等。

為降低可能使模擬產生誤差的因子，於本期計畫(106-111 年)開始推出時間尺度為「日」的統計降尺度資料，讓使用者可以較容易的從日降尺度到時，同時亦保有長時間尺度的氣候特性。即使如此，以相同的時間長度而言，新的日資料相對於月資料時間解析度變高了，相對的資料儲存量亦倍數增加。面對新的氣候變遷大數據庫來臨，讓曾經使用過推估資料、或者未來想要使用新資料組的使用者，了解並比較與舊資料組的特性差異、或者新資料組的使用方法與限制…等，即為此文章撰寫目的。詳細介紹資料(包含新的日資料組與用於比較的對照組)、分析方法描述於第二章；而分析結果、可能應用的分析方法與注意事項則描述於第三章；第四章則是總結。

第二章 資料來源與方法

為使比較結果客觀，本研究先針對模式的歷史模擬與觀測資料做客觀比較後，再進行未來推估的變化率分析，在各組資料的產製方法介紹中，由不同降尺度資料組的產製方法，了解新版本日統計降尺度的資料特徵。

2.1 使用分析資料

2.1.1 觀測網格資料

本報告所使用的觀測網格資料產製的所需的來源資料，除蒐集國內所有單位有制度性、規則化觀測的測站點位資料做資料檢核與補遺外，另外也考量到測站資料的豐富度與密度，溫度取 1960~2014 年；降水則是取 1960~2015 年的每日觀測資料。除了檢核資料的正確性，同時對於沒有資料缺值的部份做補遺。經過第一階段的測站資料檢核/均一化後，再進行第二階段的資料網格化。溫度資料需考量海拔高度的溫度遞減效應；降水則考慮到臺灣地理分區季節降雨特性的分布(如：冬季臺灣基隆、宜蘭的東北季風降水)，應用統計方法將測站逐日的資料內插成 5 公里網格解析度。由於來源資料的豐富度與網格內差的方法都具有多方向性的考量，因而此觀測資料組不僅是月-季節-年際氣候變化特徵，進一步對於極端型的颱風/梅雨降雨事件，都可正確的反演出其空間分布特性(翁與楊，2018)。

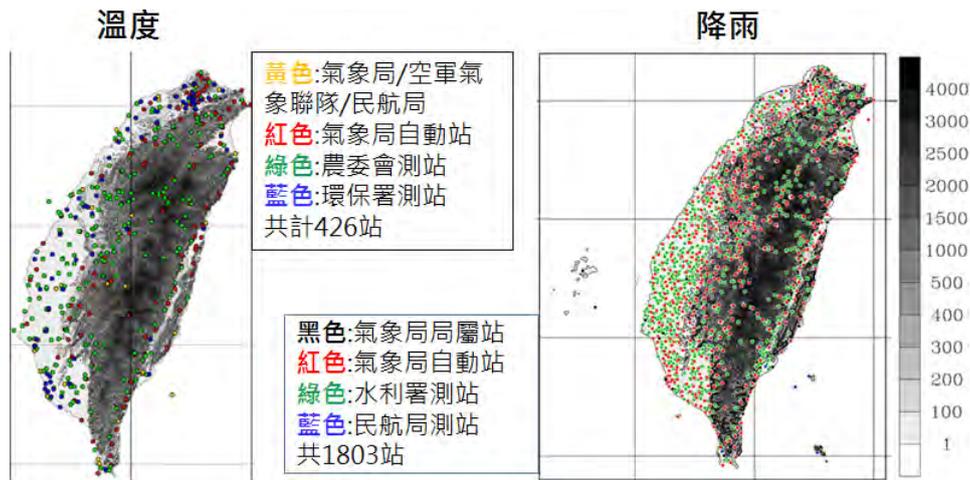


圖 1 觀測網格資料所使用的溫度(左)/雨量(右)測站點位分布。

2.1.2 統計降尺度模式資料

本報告的統計降尺度上游資料，根據 IPCC 於 2013 年發表五次全球氣候變遷評估報告 AR5，其未來推估結果來自於 CMIP5 所產製的目前最先進的全球模式(GCM)資料，模擬的內容涵蓋了更多的地球系統內部過程，包含海洋-大氣、地表-大氣交互作用、水循環、化學碳循環…等。暖化情境共計 4 個，包括 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 以及 RCP8.5，詳細暖化情境說明可參考最新版臺灣氣候變遷科學報告(臺灣氣候變遷科學報告，106)。各模式的產製單位考量自身的運算能量與資料品質下，被要求至少需提供現今氣候模擬 Historical，與未來推估暖化最劣情境 RCP8.5 的模擬資料，呈現全球最基本的月平均氣候狀態，因而此 2 情境具有最多資料組。模式日資料除了要符合長期的氣候特性外，更要適當的模擬如熱浪、寒潮、梅雨…等相關的極端天氣事件降水與溫度特性，日資料在資料品質水準要求較高的原則下，可提供分析的模式個數相對較少。

來自於 GCM 模式的資料平均網格解析度為 250km×250km，而臺灣面積窄小且地形複雜，圖 2 左呈現 GCM 網格含蓋臺灣地理面積資訊概況，若以 9 個格點描述臺灣氣候狀況太過粗糙。為增加此組珍貴資料的可應用範圍，應用統計降尺度將網格解析度的全球模式資料，降尺度為高解析度 5km×5km 網格(共計 4880 點)資料，能夠表現出臺灣地理特徵細緻化的溫度與降雨的空間分布情況。圖 2 為降尺度前/後模式推估降雨增加趨勢，GCM 呈臺灣整個西南部為增加 25%；但降尺度後則是臺南、高雄、屏東一帶為增加 20%，只有沿海地區增加 25%。此類空間資訊對於需要在地化縣/市或流域尺度的應用領域極為重要，使氣候變遷日資料未來推估相關資訊可用範圍變廣。

基於上述原因，表 1 為現今存放於地球系統網格資料聯盟(Earth System Grid Federation, ESGF)資料庫，可供下載的 CMIP5 月與日資料模式清單，統計降尺度將以此全球模式清單做為上游資料，並同時考量臺灣地理氣候特徵做降尺度 (降尺度方法可參考臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(I)期末報告，107)。本研究使用分析的資料包括：歷史氣候模擬(基期)Historical 為 1961~2005；四組暖化情境(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5)未來推估資料時段為 2006~2100。

表 1 統計降尺度模式列表。月(舊)/日(新)資料的歷史氣候模擬(基期)
(Historical)，與 4 組暖化情境(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5)模式清單。

模式名稱	產製單位	Historical		RCP26		RCP45		RCP60		RCP85	
		月	日	月	日	月	日	月	日	月	日
ACCESS1-0	CSIRO-BOM	√	√			√	√			√	√
ACCESS1-3		√	√			√	√			√	√
bcc-csm1-1	BCC	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
bcc-csm1-1m		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
BNU-ESM	BNU	√	√	√	√	√	√			√	√
CanESM2	CCCMA	√	√	√	√	√	√			√	√
CCSM4	NCAR	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
CESM1-BGC	NCAR	√	√			√	√			√	√
CESM1-CAM5		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
CESM1-CAM5-1-FV2		√				√				√	
CMCC-CESM	CMCC	√	√							√	√
CMCC-CM		√	√			√	√			√	√
CMCC-CMS		√	√			√	√			√	
CNRM-CM5	CNRM-CERFACS	√	√	√	√	√	√			√	√
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
EC-EARTH	ICHEC	√	√			√				√	√
FGOALS-g2	LASG-CESS	√	√	√	√	√	√			√	√
FIO-ESM	FIO	√		√		√		√		√	
GFDL-CM3	NOAA-GFDL	√	√	√	√	√		√	√	√	√
GFDL-ESM2G		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
GFDL-ESM2M		√	√			√	√	√	√	√	√
GISS-E2-H	NASA-GISS	√		√		√		√		√	
GISS-E2-H-CC		√				√				√	
GISS-E2-R		√		√		√		√		√	
GISS-E2-R-CC		√				√				√	
HadGEM2-AO	MOHC	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
HadGEM2-CC		√	√			√	√			√	√
HadGEM2_ES		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
inmcm4	INM	√	√			√	√			√	√
IPSL-CM5A-LR	IPSL	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
IPSL-CM5A-MR		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
IPSL-CM5B-LR		√	√			√	√			√	√
MIROC5	MIROC	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
MIROC-ESM		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
MIROC-ESM-CHEM		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
MPI-ESM-LR	MPI-M	√	√	√	√	√	√			√	√
MPI-ESM-MR		√	√	√	√	√	√			√	√
MRI-CGCM3	MRI	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
MRI-ESM1		√	√							√	√
NorESM1-M		NCC	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Total		40	34	25	22	37	30	20	17	40	33

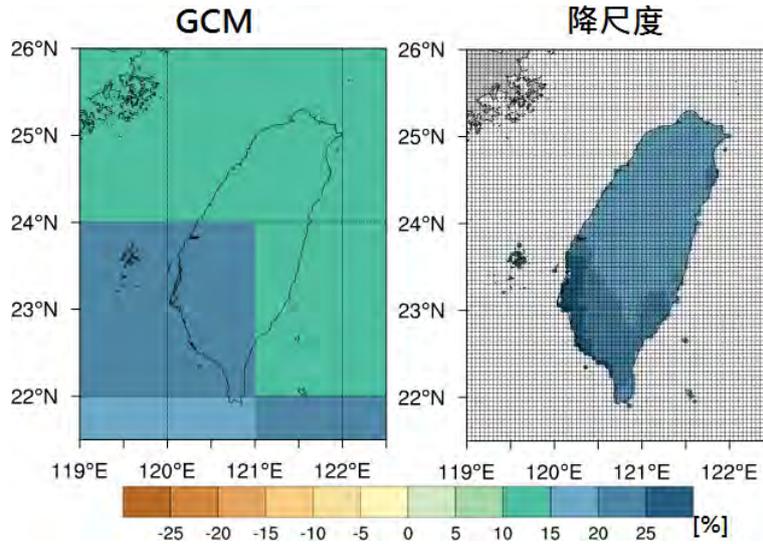


圖 2 將氣象資訊由全球模式解析度(右)，應用統計方法降尺度為 5kmx5km 網格、61x80 共計 4880 網格點位資料。圖上呈現為 21 世紀末(2081~2100)相對於現今氣候(1986~2005)的降雨變化率[%]，溫度也依此類推。

2.1.3 天氣衍生資料

天氣衍生資料產製為因應農業稻米產量模擬，以及水文/坡地領域模擬淹水/崩塌…等模式需求，在過去統計降尺度未來推估僅有月雨量資料時，使用天氣衍生器 LARS-WG，依據歷史觀測降雨資料的統計分布型態，以半經驗統計分布模擬日雨量與降雨乾/濕期長短，並同時考慮極端值的問題，適合應用於模擬未來極端氣候的推估(林以淳等人，103)。將上述統計降尺度月雨量做為上游輸入資料，產製符合各網格位置日降水雨型態的未來推估資訊。本研究目的為討論使用天氣衍生器產製的日資料，與新版本日統計降尺度 2 組資料的特性，因而僅使用天氣衍生器產製的 GFDL-CM3 日資料(WGEN)做極端降雨事件比較。其中基期使用 1986~2005，未來推估則是 RCP8.5 情境下，近未來(2016~2035)、世紀中(2046~2065)與世紀末(2081~2100)。

比較 2 組統計降尺度資料，同樣是應用日觀測網格資料降尺度，但使用的來源資料不同所具有資料特性也不同，圖 3 描述 2 組資料產製過程的差異。圖 3a 產製流程說明，WGEN 使用的上游模式資料為統計降尺度月資料，在每個格點上模式資料需要 1 對 1 對應至觀測資料，將觀測歷史資料時序上的統計特性擬合至模式資料，主要為時間(月→日)上的衍生，相對的空間上相關性較不顯著。圖 3b 流程則說明 BCSD 則是講求空間上的相關，依據上游 CMIP5 全球模式的降雨事件，按照各網格點位的觀測歷史降雨統計特性，修正模式的降雨強度，除保留上游 GCM 模式的降雨事件，空間降尺度後再偏差修正而得到更多細節，並可呈現多個模式的機率分布特徵。

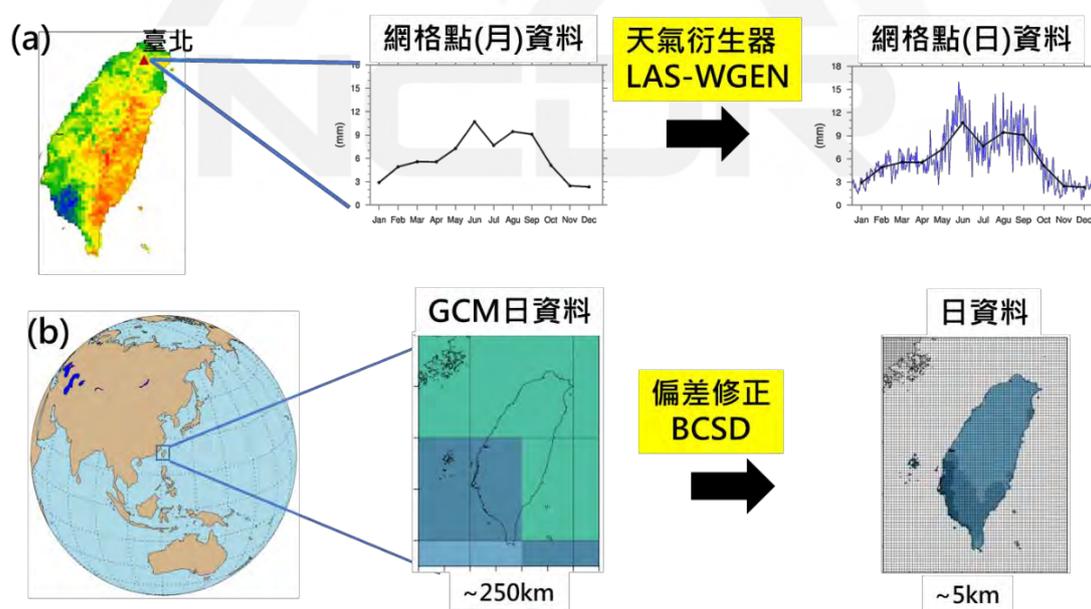


圖 3 統計降尺度日資料(a)WGEN 與(b)BCSD 的產製流程。

2.2 極端氣候指標

統計降尺度日資料的產製，主要的目的之一為提供極端氣候的未

來推估資訊。本報告評估所使用的極端指標，參考世界氣候組織 (CCI/CLIVAR/JCOMM)所製定的極端氣候指標(ETCCDI, Expert Team on Climate Change Detection and Indices)(Karl et. al., 1999 ; Peterson et. al., WMO report)，挑選並調整指標定義以適用於臺灣，分列描述如下：

- 連續不降雨日(CDD)
 - 日雨量小於 1mm 的最長連續日數
- 雨日(RR1)
 - 日雨量大於 1mm 的日數
- 年最大 3 日累積降雨(RX3day)
 - 計算連續 3 天累積最大降雨量
- 熱浪持續指標(HWFI_T32D3)
 - 連續 3 天日最高溫度超於 32°C 的平均發生次數
- 寒潮持續指標(CWFI_T10D3)
 - 連續 3 天日最低溫度低於 10°C 的發生次數
- 高溫日數(SU35)
 - 日最高溫度超過 35°C 的發生日數

- 低溫日數(CU14)

- 日最低溫度低於 14°C 的發生日數



第三章 比較分析結果

本計畫於第二期開始推出統計降尺度月資料，為第 1 組使用臺灣在地氣候特徵產製的未來推估資料，藉由資料申請平台提供無論民間、學術研究或者是政府單位相關的氣候變遷未來推估資訊。在推出新版本日資料以前，有必要與義務讓過去月資料使用者，了解新版日資料相對於舊版所呈現的暖化氣候狀態的描述。首先概述月與日的資料產製過程差異特徵。統計降尺度方法的資料產製資訊來自於上游 CMIP5 GCM，雖對於不同的氣象變數會有所限制，但同樣的優點則具有產製速度較快且模式個數數量多，對於類似臺灣這種地形複雜且人口密集度高的國家，資料產製的精準度至為重要。推出初期以較基礎月資料氣候值為主，至 2017 年才進階推出日資料版本。圖 4 為兩資料組的比較表，日資料組模式情境個數較少但時間解析度高。而降尺度方法因為月資料組具有氣候平均特性，以 2 階段先偏差校正後降尺度的方式處理；日資料組則需要另外考慮極端值的問題，使用觀測網格資料做參考值，與模式滑動氣候窗區資料做分位數映射法 (quantile mapping) 擬合做統計降尺度；另外 2 個資料組因目的不同且推出進程有先後次序，所以使用的參考觀測資料也有差異。

	月資料	日資料
降尺度資料組	historical(41) 、rcp26(22) 、rcp45(38) 、rcp60(21) 、rcp85(41)	historical(34) 、rcp26(22) 、rcp45(30) 、rcp60(17) 、rcp85(33)
時間解析度(每年)	1~12月平均	365天日平均
方法	兩階段降尺度 原始->25KM->5KM	一階段降尺度 原始->5KM
使用觀測資料	1961~2100 Aphrodite, V3版月觀測網格	1960~2100 V2版日觀測網格資料

圖 4 統計降尺度月與日資料比較表。比較項目包含模式個數、時間解析度、產製方法與應用於偏差校正(Bias Correction, BC)所使用網格化觀測資料。

兩組資料可解釋的氣候現象特徵也不同。若取臺灣區域年的月平均溫度資料來看(如圖 5a)，呈現平滑的平均溫度四季變化，在夏季(JJA)達到整年高溫 28-30°C，最高溫出現在 6 月；而冬季(DJF)則是低溫 17-19°C，最低溫出現在 1 月。日資料則可呈現極端的溫度值：夏季最高溫為 32°C、冬季最低溫為 11°C。而不同的暖化情境各地區推估增溫的情況亦有差異，圖 5b 為 21 世紀末平均溫度的變化，RCP8.5 增溫將至 2.8-3.2°C、RCP4.5 則增加 1.4-1.8°C。而 21 世紀末的年最低溫(圖 5c)與最高溫(圖 5d)也有相同的趨勢，但 RCP8.5 情境中部高溫則增加 3.6°C，低溫則增加 3.2°C，兩者增加幅度都比平均溫度明顯。

類似溫度月與日資料組每年時序的差異。圖 6a 臺灣降雨月平均

值氣候特徵，呈現 5、6 月梅雨季與 7-9 月颱風季雙峰的降雨型態；而 11-4 月則是臺灣降雨較少缺水的季節，日雨量資料則可呈現極端降雨，梅雨、颱風季降雨量變化情況最明顯。圖 6b 為 21 世紀末平均降雨變化率，呈現南部增加比北部明顯的趨勢；但年最大降雨(Rx1day)(圖 6c)則呈現全臺整體增加，且 RCP8.5 比 RCP4.5 更顯著；相對的雨日(RR1)(圖 6d)則是減少趨勢且北部最明顯。綜合平均降雨、Rx1day 及 RR1 的訊息說明 21 世紀末降雨分布情況趨於集中，即短延時強降雨的事件在增加。

從溫度/降雨的月與日資料應用結果發現 2 組資料的差異性，使用月平均資料僅能闡述未來推估資料平滑、緩慢、變動性小的改變趨勢，用來解釋未來氣候(如溫度季節性、降雨乾/濕季)的變化不僅安全且可信度高。但從過 IPCC 推出 AR4 到最新的 AR5 評估報告，全球關心氣候變遷相關議題的政府機關、學研、產業與民眾(GRIP)已經都初步了解平均的變化趨勢概況，而變動幅度不大的改變趨勢也都可以通過調適作為來面對。真正具有威脅的是會導致災害的極端事件變化。

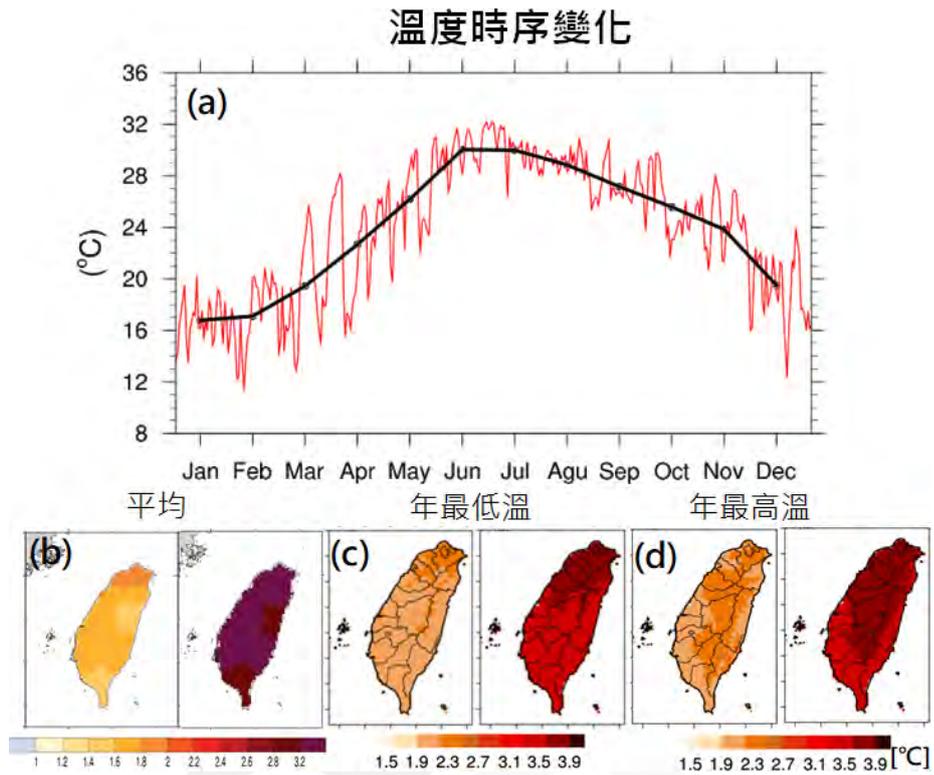


圖 5 (a)統計降尺度月(黑線)/日(藍線)資料溫度[$^{\circ}\text{C}$]年循環時序變化。下圖分別為暖化情境 RCP4.5(左側)與 RCP8.5(右側)，21 世紀末(2081-2100) (b)平均、(c)年最低溫度及(d)年最高溫度的變化值[$^{\circ}\text{C}$]。

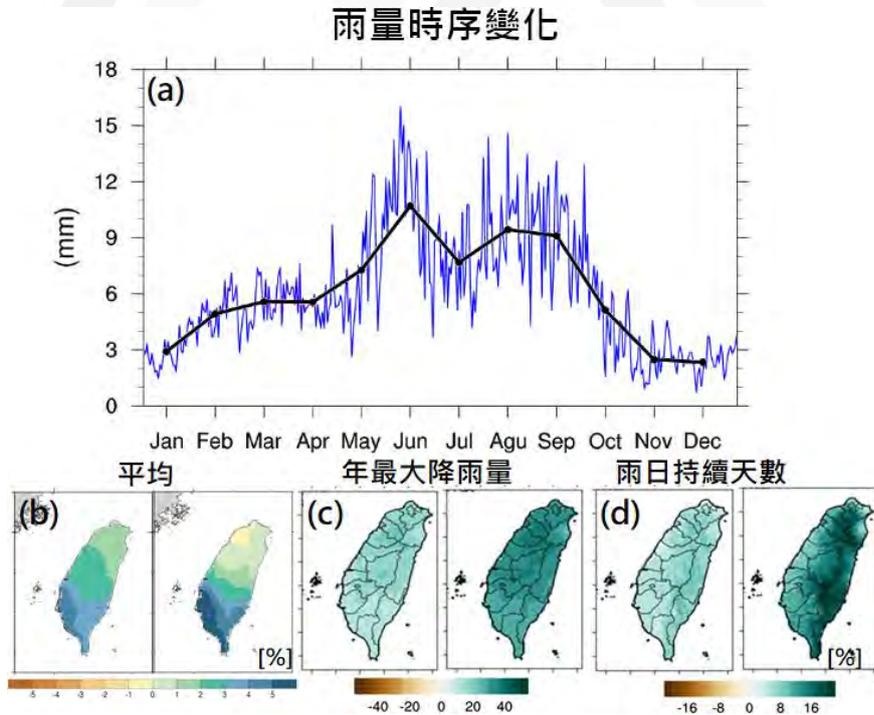


圖 6 (a)統計降尺度月(黑線)/日(藍線)資料降雨量[mm]年循環時序變化。下圖分別為暖化情境 RCP4.5(左側)與 RCP8.5(右側)，21 世紀末(2081-2100) (b)平均、(c)年最大降雨及(d)雨日(降雨量 $\geq 1\text{mm}$ 天數)持續天數的變化率[%]。

3.1 推估未來氣候平均狀態

首先分別比較溫度/降雨「月」與「日」2組資料，於21世紀末各種暖化情境下的改變。圖7為系集平均溫度空間上的改變率，2組呈現類似的趨勢即暖化愈嚴重全臺各地溫度上升更明顯。中等暖化程度RCP4.5月資料上升1.2-1.8°C且北部區域較嚴重；日資料則是1.8-2°C，RCP8.5情境2組資料則同樣增溫至2.8-3.2°C。溫度的部份2組資料的未來推估趨勢結果較一致，年平均降雨的變化量差異較明顯。圖8即顯示「月」相對於「日」資料在21世紀末暖化愈嚴重的情境下降雨變化較不明顯。以南部區域為例，RCP8.5情境下月資料組僅增加2~4%且北部偏乾；日資料則南部降雨量增加20%，北部則增加10~12%。由於日資料組產製過程是將每日降雨量取前後15天氣候窗區做降雨強度修正，因而隱含更多更強的極端降水事件導致降雨變化量增加，圖11未來推估時序變化亦呈現類似結果。

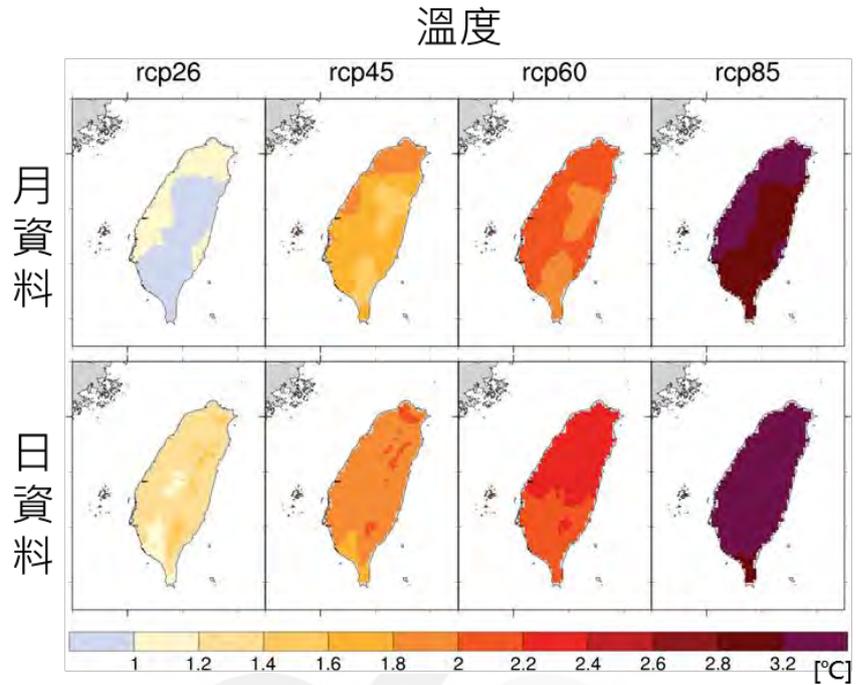


圖 7 月與日統計降尺度四種情境下，21 世紀末平均溫度相對於基期的變化 [°C]。

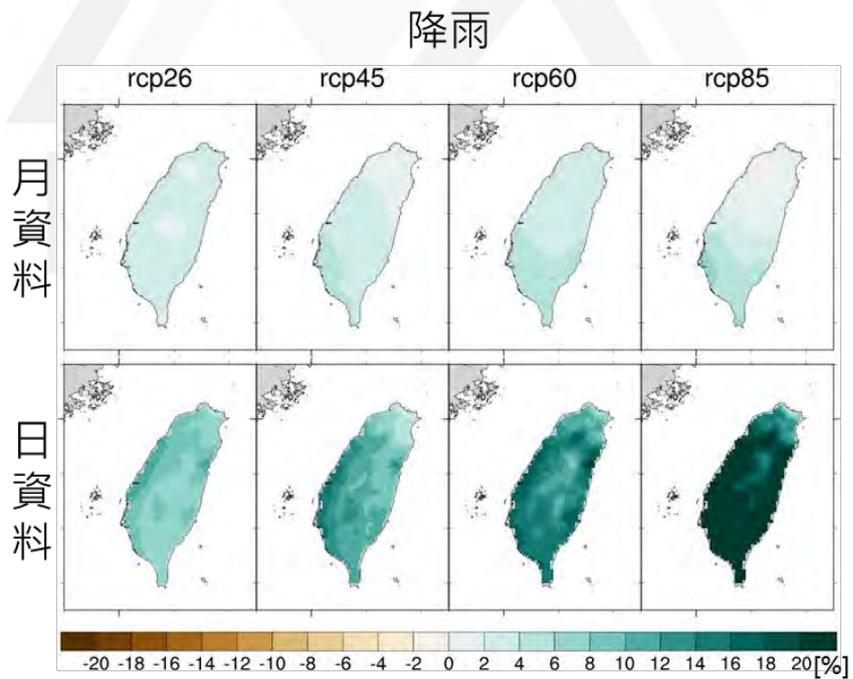


圖 8 月與日統計降尺度四種情境下，21 世紀末全時期氣候平均降雨量相對於基期的變化率 [%]。

若將乾/濕季分開以水文領域常用的枯/豐季觀點，濕季豐水期定

義為 5-10 月(參考圖 9)、乾季枯水期則是 11-4 月(參考圖 10)。比較 2 組資料 21 世紀末濕季各暖化情境空間上的降雨量改變率[%]，RCP2.6 與 4.5 改變率差異很小，但日資料的特徵為暖化愈嚴重者、降雨量增加率愈大，且 RCP8.5 降雨量日資料(28~36%)比月資料(8~20%)增加率最顯著，類似結果有利各領域應用於不同暖化情境的衝擊評估。圖 9 呈現 21 世紀末各情境的降雨量改變率，月資料 RCP2.6、4.5 情境變化不明顯，RCP4.5 情境日資料西南部甚至增加 10~15%；RCP8.5 情境西半部月資料則減少約 10~15%、日資料則是減少 7~12%，可見乾季的降雨變化率 2 組資料同樣是暖化愈嚴重降雨量愈少。總體而言，21 世紀末推估降水的季節變化趨勢 2 組資料同樣是「乾愈乾、濕愈濕」，只是日資料分析濕季更濕。

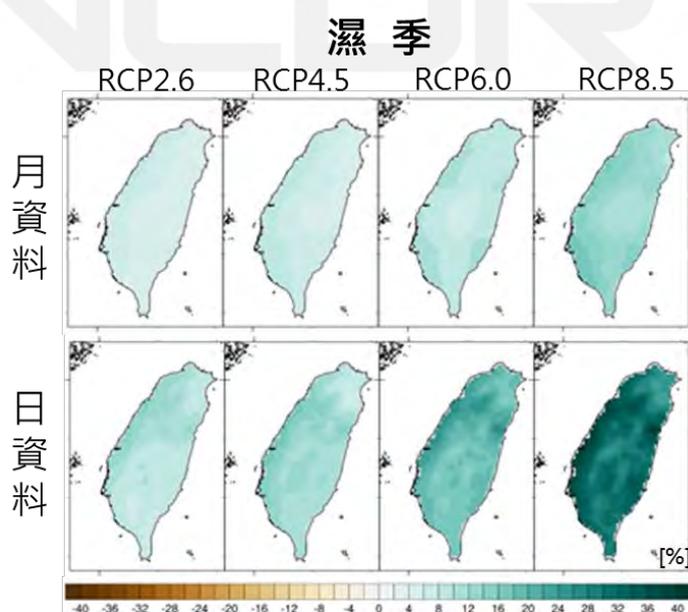


圖 9 月與日統計降尺度四種情境下，21 世紀末濕季(5~10 月)降雨量相對於基期的變化率[%]。

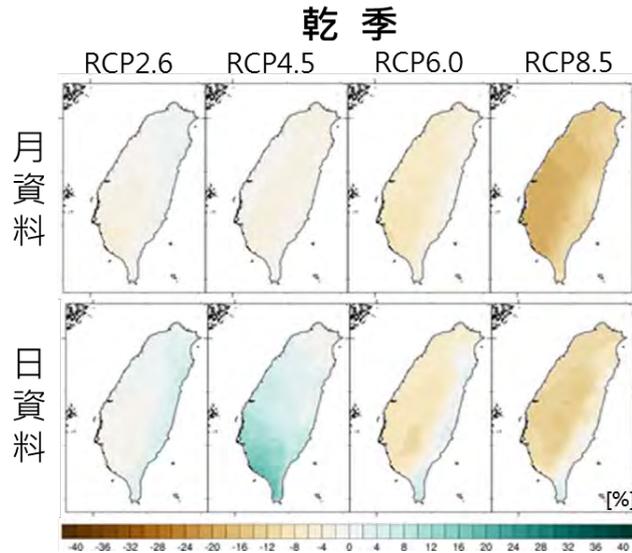


圖 10 月與日統計降尺度四種情境下，21 世紀末乾季(11~4 月)降雨量相對於基期的變化率[%]。

進一步分析臺灣不同的降雨季節逐年的變化。由資料的歷史模擬(Historical)串接到未來推估(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5)逐年平均變化值，以不同顏色呈現方式如圖 11 所示，可以讓有興趣者大致了解從觀測/模式歷史氣候到未來推估，在不同情境下、不同氣候時段所需面對的暖化趨勢。比較月/日資料取濕季(5-10 月)空間與時間平均值，逐年繪製出來的降雨量變化趨勢(圖 8)。即使用不同的產製方法，2 組降尺度資料歷史模擬(Historical)與觀測趨勢比較結果一致，但未來推估則是日資料比月資料模式間差異度較大，以盒鬚圖呈現 21 世紀末(2081-2100)RCP8.5 兩資料組模式間的推估結果不確定性。各模式間除了離群值(模式結果與系集平均值差異較大者)以外，我們更關心第 25-50-75 百分位，統計上在兩組資料的分布有些許差異(月資料為 1-2.5-3.5；日資料為 1.5-3.5-4.8[mm/day])，原因是日資料相對於

月資料在降尺度過程中，從觀測參考資料被帶入極端值機會較高，特別是濕季 5 至 10 月，因而模式間差異性較大，且暖化愈嚴重、降雨強度愈大，不確定性愈明顯。但整體系集平均亦呈現 21 世紀末日降雨增加量(3.6[mm/day])大於月(2.1[mm/day])資料。

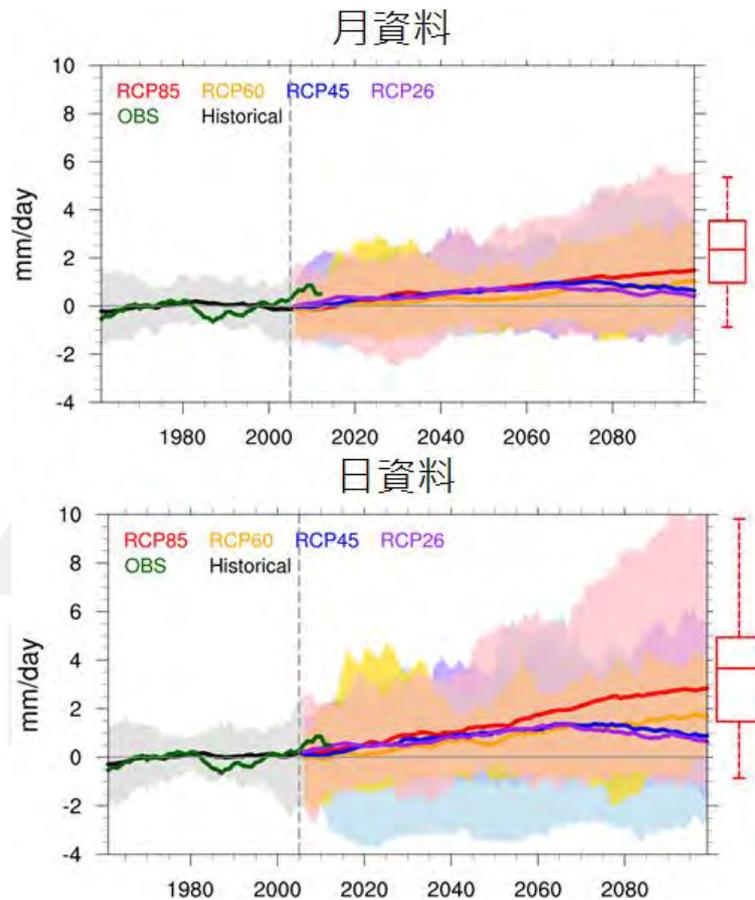


圖 11 應用降雨月/日兩組降尺度資料，比較每年濕季(5-10 月)21 年滑動平均值時序變化。不同顏色實線為不同情境的系集平均值，陰影區則代表該情境所有模式含蓋最大-最小值域範圍(綠色為 TCCIP 觀測網格平均值)、灰色為 Historical、紅色為 RCP8.5、橘色為 RCP6.0、藍色為 RCP4.5、紫色為 RCP2.6。右側盒鬚圖為 RCP8.5 世紀末(2081~2100)各模式間的差異，由上至下分別代表為最大、第 75、50、25 百分位以及最小值。

應用多模式統計降尺度資料可進一步分析降雨/溫度，在未來推估結果模式間的不確定性，如圖 12 以盒鬚圖呈現，並去除最大/最小

的極端值，分析月與日資料 21 世紀末平均溫度/降水量相對於現今氣候的改變量。先比較模式的個數差異，如表 1 所示 2 組資料在不同情境下總個數差異不明顯(日資料相對於月資料，各情境模式個數約少 3-4 個)，以類似的樣本數分析。溫度依暖化情境嚴重度，反映於 21 世紀末增溫情況(圖 12a, b)，2 組同樣呈現類似的溫度改變，相同情境下日資料相對於月資料中位數增加 0.2~0.3°C，但不論何種情境模式間的差異度不大。說明人為工業發展造成的溫室氣體排放，結果造成全球平均溫度上升趨勢確定，而臺灣也有類似的趨勢，甚至增溫相對於全球更加明顯，但降雨的變化以現今科技發展還是較難以推估。圖 12c, d 呈現 2 組資料 21 世紀末各模式的平均降雨改變率[%]，月資料多模式的中位數在不同情境下，明顯比日資料改變率小。而由於上述日資料帶入較多極端值的原因，因而模式間的不確定性相對較大，且暖化最嚴重的 RCP8.5 情境更加顯著。

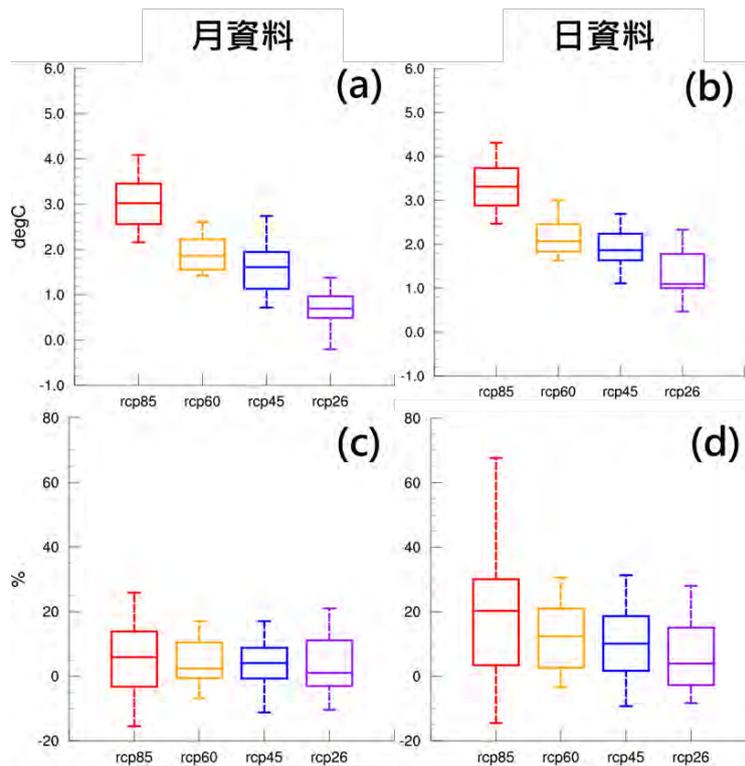


圖 12 月與日資料 21 世紀末未來推估 4 種情境，各模式間的不確定性比較以盒鬚圖的方式呈現，由上至下分別代表為第 95、75、50、25、5 百分位值。a、b 為溫度[$^{\circ}\text{C}$]；c、d 為降雨變化率[%]。各顏色代表情境為紅色-RCP8.5、橘色-RCP6.0、藍色-RCP4.5、紫色-RCP2.6。

3.2 極端氣候指標分析

本計畫於第 2 期執行期間 (TCCIP II)，即以統計降尺度月資料為上游基底，再使用 LARS-WG 的方法產製日資料提供給下游應用領域 (如：能源、農業、水利…等)，計算分析水文頻率年、極端溫度/降雨氣候指標，產製包括基期與未來推估 21 世紀中/末的氣候危險圖。而日統計降尺度資料(BCSD)則是本期計畫開始產製，從上游 GCM 全球模式，若於 CMIP5 資料庫中有提供模式輸出時間尺度為日的溫度與降雨 2 個變數，即降尺度為 5 公里網格解析度資料(參考 2.2 節)。

為了解上述 2 組不同日統計降尺度的資料特性，本報告將使用相同時段的觀測網格資料作為參考組，用相同的計算極端氣候指標的方式，分析 2 組日統計資料組各別的優勢。在歷史基期模擬比較部份，使用 1986~2005 的日資料；其中 LARS-WG(WGEN)資料組於規劃設計時，各別網格點為符合水文統計檢定需求，應用基期 1986~2005 年的月資料，以觀測日降雨量網格資料做為參考值，產製了 1000 年大量的日資料；而未來推估則是用 2018~2100 年期間產製 200 年的資料。為一致性比較 2 個資料組的差異，挑選相同的全球模式 GFDL-CM3 當作上游模式資料，用 2 個不同統計降尺度方法產製日資料後，再做極端氣候指標的分析。

除上述 3.1 節討論基期與未來推估氣候平均的結果外，2 組日統計降尺度資料在極端值方面的表現亦是本報告關心的重點。降雨使用無雨日(CDD)與連續 3 天最大降雨(RX3day)(圖 13)，前者用來評估資料應用於乾旱的發生強度，後者則是應用於極端降雨強度評估。將觀測網格加入比較，分析 1986~2005 基期的日降雨資料發現，歷史氣候上西半部濁水溪臺中以南至屏東的平地地區，每年平均不降雨的日數(日降雨量 $\leq 1\text{mm}$)多超過 2 個月(60 天)，且有些沿海區域(如：彰化、雲林)甚至有超過 3 個月(75 天)；而東北部、東部地區則是最不容易發生乾旱。就臺灣氣候降雨型態而言，中、南部的降水來源多來自於

5~10 月梅雨與颱風天氣系統，而東北、東部則在冬季有鋒面/東北季風降水來源，水資源較不匱乏(圖 13a)。而 2 種降尺度方法的資料分析後，都有 CDD 西部多、東部少類似的空間分布型態，但 BCSD 的空間分布與觀測較為一致但強度較大(圖 13b)；WGEN 則強度偏差較明顯，特別是在山區(圖 13c)。氣候上年最大 3 日累積雨量強度，發生較大降雨區域多在山區地形的迎風面，全臺最大值發生於臺南/高屏山區，平均年最大累積雨量超過 800mm，其次是蘇花公路的山區(累積雨量 750mm)(圖 13d)。BCSD 的分析結果降雨強度空間分布非常相似於觀測資料(圖 13e)；而 WGEN 的降雨強度則在西部平地顯著偏弱，而在蘇花山區則偏強(圖 13f)。

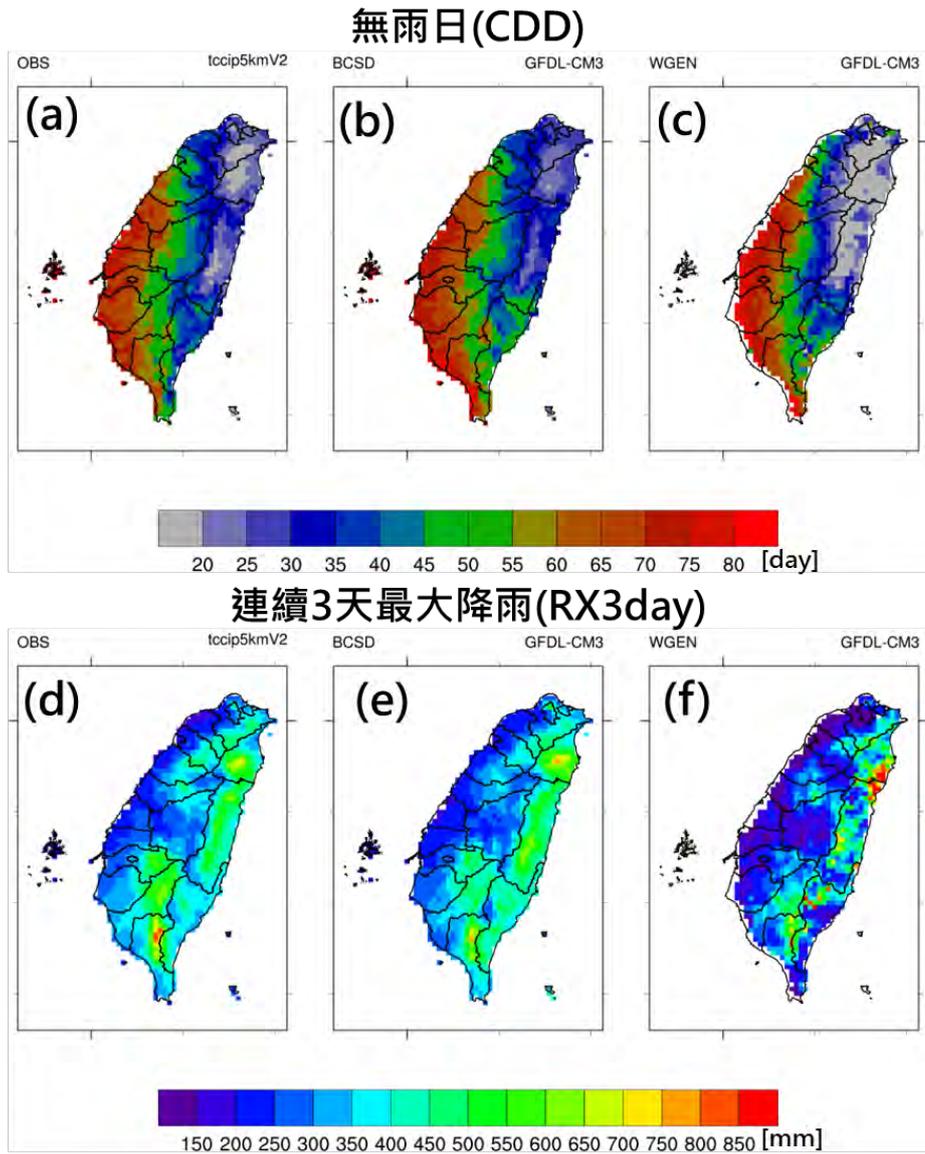


圖 13 基期(1986-2005)降雨類型極端氣候指標結果比較。使用觀測網格(a, d)、BCSD(b, e)與 WGEN(c, f)產製的統計降尺度日資料分析。平均無雨日(CDD)a – c[日]與平均連續 3 天最大降雨(RX3day)(d – f)[mm]。

溫度極端值特徵分析，則是挑選與低溫有關的連續 3 天溫度低於 10 度的平均發生天數(CWFI_T10D3)(圖 14a-c)，高溫則是挑選連續 3 天溫度高於 32 度的平均發生天數(HWFI_T32D3)(圖 14d-f)。溫度的分析結果先濾除山區，原因是超過 500m 的地形要另外考慮垂直溫度遞減率的因素，且山區測站資料缺乏不確定性較高，因而本報告僅考

慮經濟活動活躍的平地區域。氣候上因為南北緯度上的差異，北部平均發生極端低溫事件頻率(CWFI_T10D3) (每年發生 1.5~3 天)比南部高，且靠近山區地形的區域相對於平地更容易發生。特別是高屏地區平地幾乎不發生極端低溫(每年平均少於0.5天)(圖 14a)。氣候上 BCSD 的分析結果也相當一致(圖 14b)，但 WGEN 分析事件發生頻率則明顯較少(圖 14c)。高溫事件(HWFI_T32D3)的歷史發生頻率也是依南北向緯度差異有關，高屏內陸區域由於缺乏海水溫度調節，較容易發生持續高溫事件(每事件平均發生 11~13 天)。另外由於熱島效應，大都會區所在地也較容易發生高溫事件，如臺北、新北、臺中每事件平均發生為 7~10 天。BCSD 也有類似的空間分布，但高屏地區則強度較弱，且臺北的都市熱島效應則不明顯(圖 14e)。而臺南/高屏地區 WGEN 資料則呈現高溫事件指標強度偏強(圖 14f)。

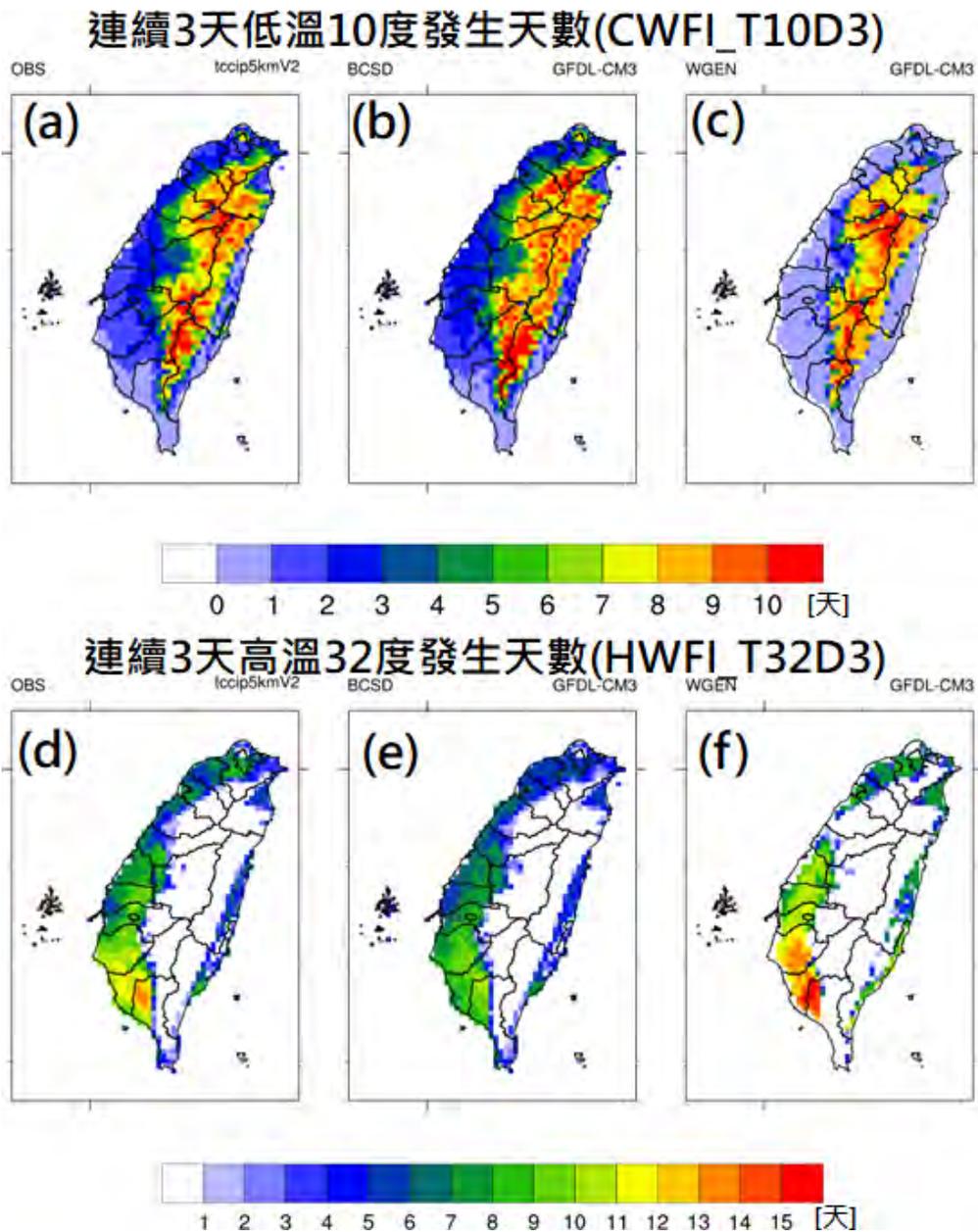


圖 14 類似圖 12，但本圖為溫度類型極端氣候指標結果比較。a-c 為連續 3 天溫度低於 10 度的平均發生天數(CWFI_T10D3) [天]，d-f 連續 3 天溫度高於 32 度的平均發生天數(HWFI_T32D3) [天]。

極端指標的未來 21 世紀末(2081~2100)推估結果，降雨相關的部份：未來無雨日(CDD)BCSD 推估西南部相對於基期增加 15%(即愈來愈乾)，北部、東北部則是減少 10%(圖 15a)；而 WGEN 則呈現隨機無一致的變化趨勢(圖 15b)。RX3day 的變化趨勢則相對於基期，臺中

以北增加 120%，即從 200mm 增加到 440mm；南部增加 80%，即從 360mm 增加到 648mm(圖 15c)。WGEN 的 21 世紀末推估也有類似的變化趨勢，但變化強度則較弱(圖 15d)。同上述月/日的系集平均降雨分析結果(圖 7、圖 8)，各別模式、不同區域有各別的差異。將 CDD 視為乾旱指標；RX3day 視為多雨指標，本節所使用的 BCSD 模式呈現臺灣西南部有較明顯的乾愈乾、濕愈濕變化趨勢(圖 15a、15c)；而 WGEN 則僅有 RX3day 西半部增加較明顯(圖 15d)。

有關溫度極端指標，由於 RCP8.5 世紀末暖化情境下低溫事件 CWFI_T10D3(圖 15e, f)的未來推估，BCSD 分析原本會發生低溫事件的北部區域未來減少約 40~50%，另外無論 BCSD、WGEN 則同樣是山區低溫事件發生頻率減少，但平地區域 WGEN 則是變化不明顯。高溫事件(HWFI_T32D3)未來推估 BCSD 則北部增加約 60~80%，南部增加約 160~180%，且內陸離海較遠區域增加更明顯。WGEN(圖 15g, h)亦有相似的變化勢且強度更大。

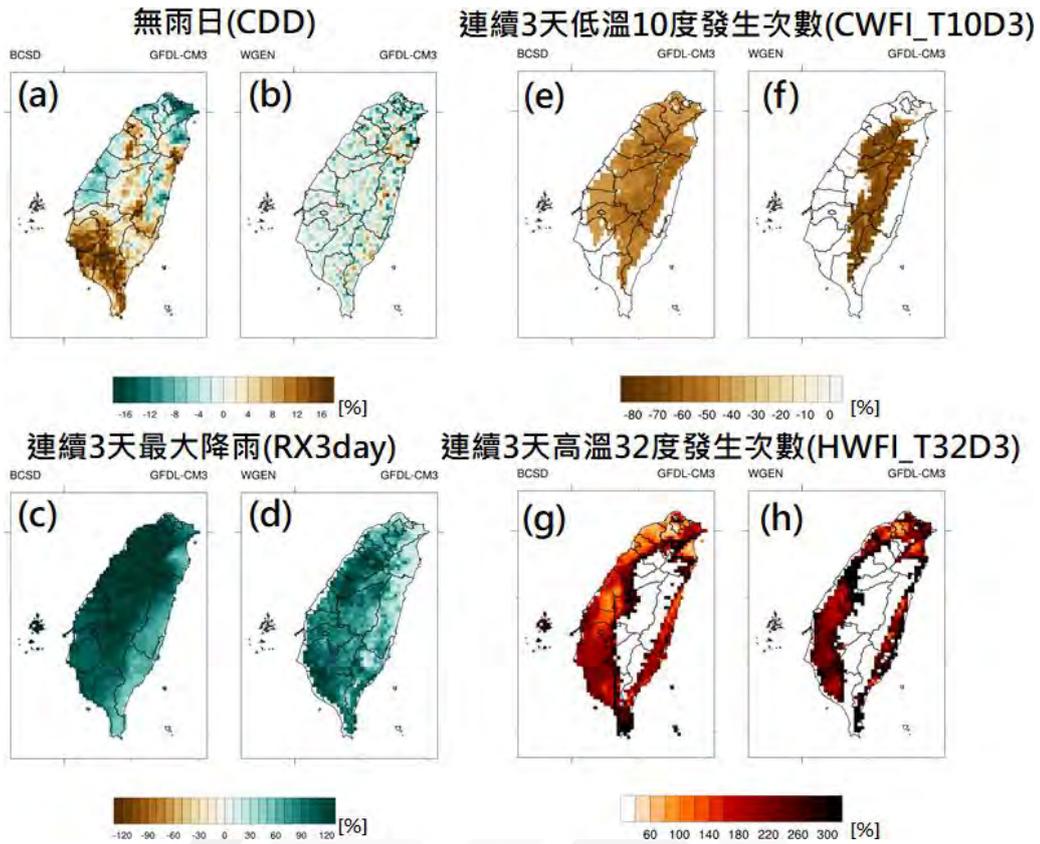


圖 15 比較 BCSD(左)與 WGEN(右)推估 21 世紀末(相對於現今氣候)，未來極端氣候指標變化率[%]。a、b 為無雨日(CDD)；c、d 為連續 3 天最大降雨(RX3day)；e、f 為連續 3 天低溫 10 度發生次數(CWFI_T10D3)；g、h 為連續 3 天高溫 32 度發生次數(HWFI_T32D3)。

就基期氣候模擬結果總體而言，BCSD 降尺度資料基期的極端指標分析，應用日降雨資料分析少雨事件的 CDD、極端降雨事件的 RX3day，應用日最低溫資料分析的 CWFI_T10D3、日最高溫度分析的 HWFI_T32D3，無論空間分布、指標強度都與歷史氣候觀測網格的分析結果一致。而 WGEN 為前一代降尺度產品，處理過程與 BCSD 不同，同時僅考慮單一網格點位的氣候雨型與強度，在空間上的關聯性較低。本節主要目的為比較 2 組日統計降尺度資料的特性，而所使用雨量、溫度的未來推估分析結果，都僅來自於單一 GFDL_CM3 模

式，解讀上需要小心使用。

3.3 系集模式應用

統計降尺度多模式(Multi-Models)日資料相對於月資料可操作應用層面大幅增加，特別是呈現極端值於防災方面的應用。為回應統計降尺度日資料下游應用者的需求，應用模式複雜且模擬耗時，而太多組模式資料無法一一模擬/分析，在無法同時有效的分析/模擬所有模式推估結果前提下，挑選於歷史氣候模擬較佳的模式，達到以最少研究能量，得到最佳的未來推估趨勢，幫助各領域調適應用加速推動，並適當呈現推估未來變化趨勢的不確定性則詳述於本章。TCCIP計畫於第2期執行期間即歸納各領域最關心的天氣/氣候現象，包括極端降雨、高溫(熱浪)與低溫(寒潮)，建立現象評估方法(Phenomena Metrix)挑選合適的氣象變數做依據，再應用模式表現評估方法(Model Performance Metrix)，將各別模式模擬的氣候現象以科學方法，可能影響的氣象變數數據客觀評分排名由高至低，挑選最佳前5名的模式資料組列表於表2。

表 2 以模式表現評估量表(Performance Metrix)評估臺灣極端氣候現象，挑選模擬表現較好的模式。

現象	模擬挑選使用氣象變數/依據	挑選模式
極端降雨	降水(pr)、850hPa 緯向風(ua)、經向風(va)、及 500hPa 重力位高度場(zg)	CanESM2
		CCSM4
		CESM1-CAM5
		CNRM-CM5
		MIROC5
高溫(熱浪)	850hpa 水平風場、重力位高度場、溫度場，以及 500hpa 垂直風場、重力位高度場	ACCESS1-3
		bcc-csm1-1-m
		CMCC-CM
		CNRM-CM5
		MPI-ESM-LR
低溫(寒潮)	東亞地區 (20°-50°N,100°-145°E)冬季 海平面氣壓(psl)、200hPa 緯向風(u200)、1000hPa 經向風(v1000)、500hPa 重力位高度(z500)	ACCESS1-0
		CMCC-CM
		CNRM-CM5
		HadGEM2-AO
		MPI-ESM-MR

而挑選較佳的模式是否比分析所有模式，更可以減少模擬與分析時間。本文設定的評量標準為挑選模式(SEL5)是否與所有模式(ALL)的系集平均結果一致，以及模式於歷史模擬期間結果離散程度是否一致甚至更小。依據表 2 氣候現象分析 1986-2005 期間相關聯的氣候指標，比較所有模式(ALL)都分析、與挑選 5 個模式(SEL5)分析。有關極端降雨現象以日降雨資料挑選 CanESM2、CCSM4、CESM1-CAM5、CNRM-CM5、MIROC5 分析氣候指標 RR1(圖 16)。比較 ALL(圖 15a)與 SEL5(圖 15b)發生頻率系集平均，2 組空間分布相似，即東北部出現最大值、西部沿海發生頻率最低。而模式間資料的不確定性則可由盒鬚圖呈現(圖 15c)，以第 75-25 百分位區間呈現模式大部份的資料

範圍，SEL5(25th-75th 百分位資料範圍是 91.5-93.5 之間；ensemble 值為 93[日/年])相對於 ALL(25th-75th 百分位資料範圍是 91.5-95 之間；ensemble 值為 93[日/年])不但可顯著的減少資料不確定性，且維持相近的 ensemble mean。

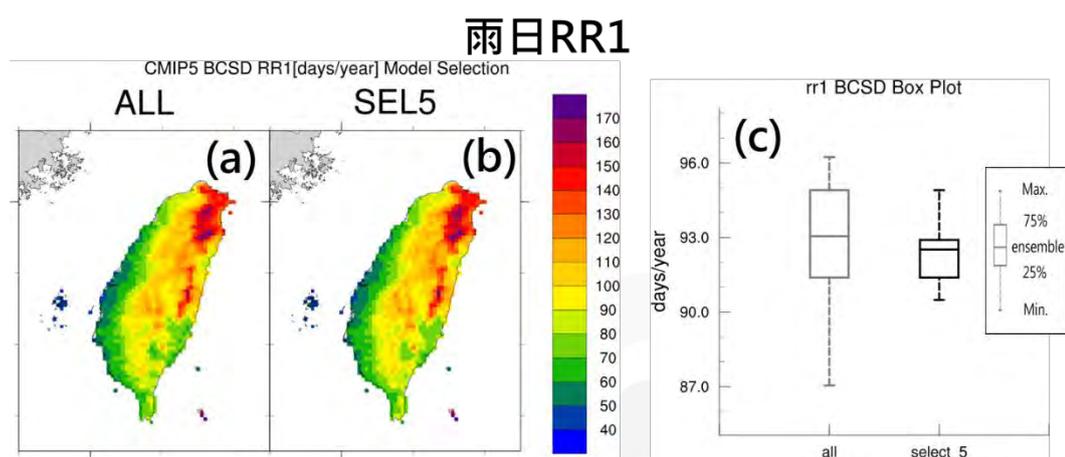


圖 16 使用日資料分析所有模式系集(ALL)(a)，及依據表 2 挑選極端降雨表現較好的 5 個模式(SEL5)，計算 1986-2005 期間 RR1 的發生頻率。c 為盒鬚圖呈現 ALL 與 SEL5 模式間的不確定分析。

同樣的分析方法應用於日最高溫資料，計算以高溫 35°C 當作超越門檻值分析平均每年發生頻率(SU35)。比較 ALL(圖 16a)與參考表 2 高溫議題所挑選的 SEL5(圖 16b)系集平均，2 者空間分布相似，即高溫事件發生頻率較高的都在臺北盆地、臺中與高雄靠近內陸的區域。至於不確定性分析(圖 16c)的資料區間，ALL(25th-75th 百分位資料範圍介於 1.1-1.4[日/年]；ensemble 值為 1.22[日/年])與 SEL5(25th-75th 百分位資料範圍介於 1.1-1.4[日/年]；ensemble 值為 1.2[日/年])也相近。應用於日最低溫資料，計算以低溫 14°C 當作門檻值分析平均每

年低於該溫度門檻的發生頻率(CU14)(圖 18)。ALL 與依據表 2 低溫議挑選的 5 個模式 SEL5，低溫發生頻率的空間分布 2 組也類似，即平地(高度低於 500m)發生頻率最高在北部海岸 1.2[日/年]，臺南以北平地則是 0.8[日/年]，高屏區域則是 0.4[日/年]。不確定性分析 ALL(25th-75th 百分位資料範圍介於 1.84-1.89 [日/年]; ensemble 值為 1.86[日/年])與 SEL5(25th-75th 百分位資料範圍介於 1.84-1.86[日/年]; ensemble 值為 1.85[日/年])(圖 18c)。

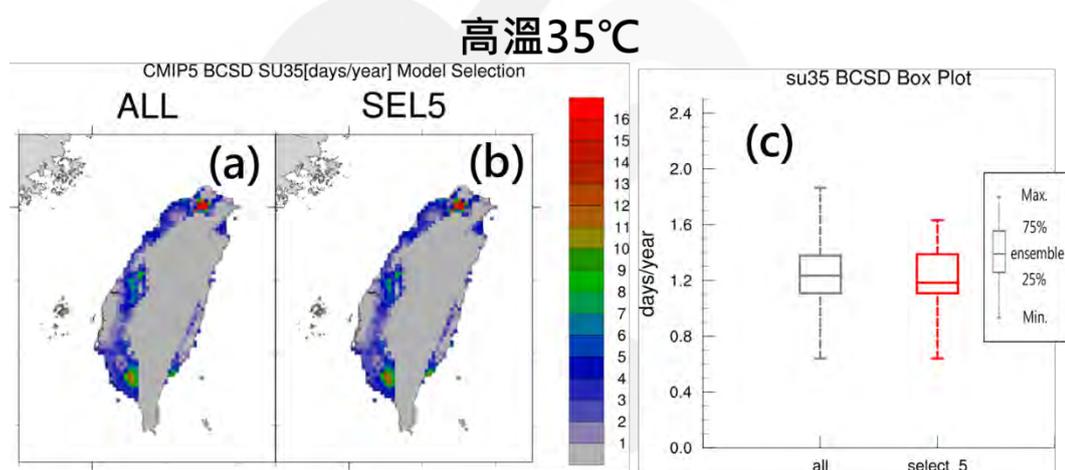


圖 17 類似圖 16 但使用日最高溫資料分析超過 35°C(SU35)的日數。

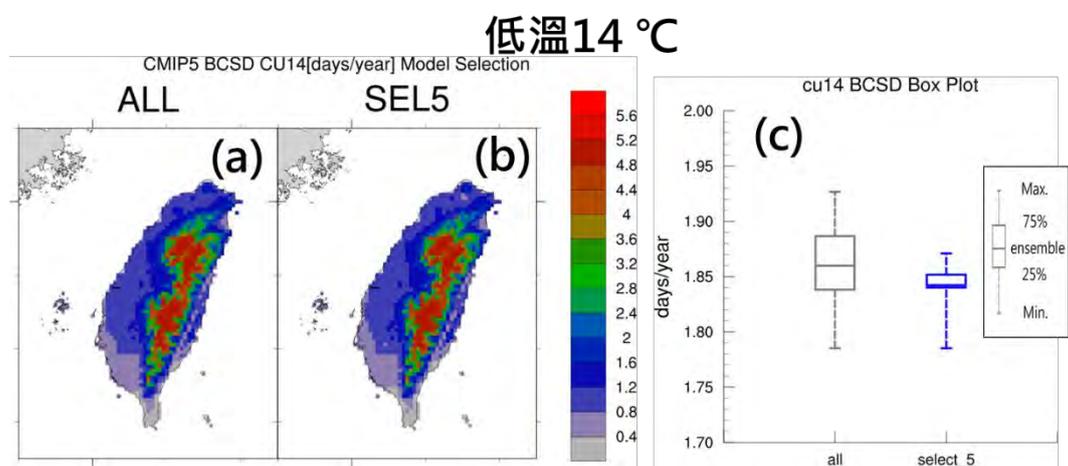


圖 18 類似圖 16 但使用日最低溫資料分析低於 14°C(CU14)的日數。

本章節內容描述為許多統計降尺度資料使用者常面對的問題，特別是針對使用多組系集資料分析，同時也提出相對應的解決方法，但未來推估還是可能發生例外情況，使用者若能力可及，建議還是以所有模式都分析為主要目標。按照不同的議題挑選模式雖然減低未來推估趨勢資料的不確定，但挑選的目的還是以趨近系集平均(ensemble mean)模式結果為主。若使用日資料的分析目的為衝擊、災害防護…等極端相關應用領域，建議是以所有模式評估，如此可以涵蓋所有極端事件的發生可能性。

3.4 實際應用範例

有別於過去使用者使用月資料的分析方式，往往把多模式未來推估資料平均為單一組系集(模式)再做後續的應用，例如：水資源領域的流量推估、生態領域的動/植物遷徙推估模擬…等，此方法應用於日時間尺度資料，分析極端氣候事件的推估則是要格外小心。

許多使用者認為應用系集平均值即可以呈現所有 AR5 模式未來推估趨勢。事實上此方法僅適用於呈現時間尺度為月/季/年之類，時間變化較為緩慢的氣候現象，若應用於具有氣候衝擊如：災害損失、極端事件…等特性的現象則會有很大問題。圖 19 使用 33 組歷史模擬日降雨資料，計算 RR1 於 1986-2005 平均發生頻率[day/year]的空間分布作為例子。圖 19a 是對照用的觀測資料分析結果；圖 19b 是先將

33 組模式日資料，逐日的系集平均為單一組後，再分析 RR1 平均發生頻率；而圖 19c 則是先各別模式先計算分析 RR1 後再系集平均；RR1 模式系集平均(圖 19c)與觀測資料(圖 19a)發生頻率的空間分布非常接近，大部份模式呈現類似結果，肇因於冬季東北季風的天氣系統貢獻，使臺灣東北部雨日發生頻率最高，平均為每年 160~180 日。圖 19b 的計算方式則是因為先系集平均後的日資料，混入各別模式降雨資訊，將無雨日的訊號給去除所呈現的結果。

雨日(RR1)為例：

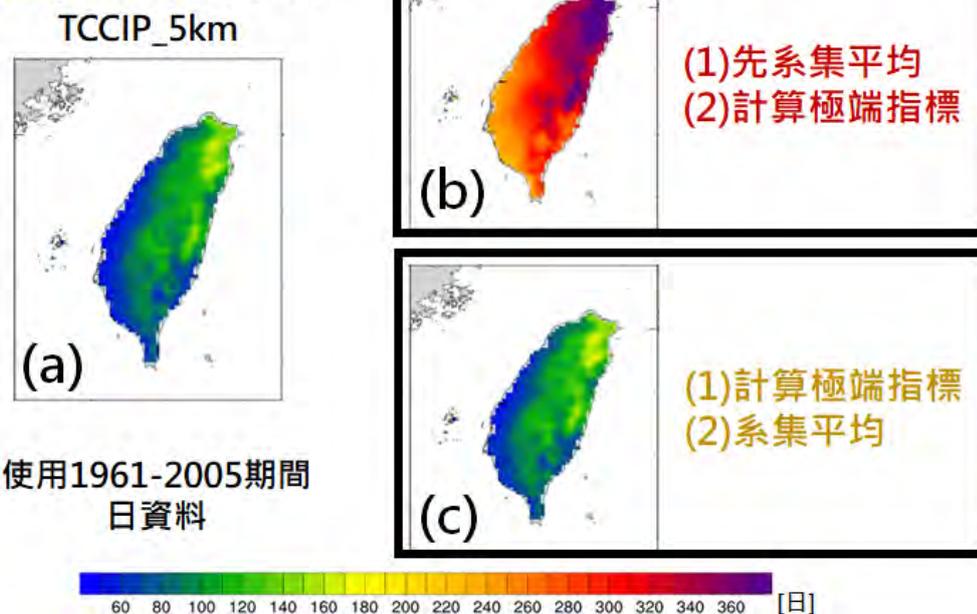


圖 19 應用多模式日降雨資料分析(1961-2005)平均雨日(RR1)發生頻率的空間分布情況，以不同的方法計算系集平均。a 圖為觀測資料；b 為將多模式日資料先系集平均成 1 組後再計算指標；c 為先計算各模式的指標後再系集平均。

另外一個例子則是測站與觀測/模式網格資料的分析結果比較。

雖然網格不等於測站資料，若將最接近測站降雨強度的 1km 高解析

度網格資料，使用雙線性插值(Bilinear interpolation)的客觀分析方法做 5km、25km 與 50km 解析度調整(圖 20a)，比較 2009 年降水強度平均[mm/day]後呈現解析度不同而強度上的差異。舉臺北測站為例計算每個月的總雨量(圖 20b)，測站的月總雨量最相似於取 1km 解析度網格資料最鄰近的格點，但 7-10 月還是有偏差(偏差 50[mm])，其次則是 5km 網格資料，但變化趨勢一致。而統計降尺度資料則是依據 5km 觀測資料修正降雨強度，相關分析結果可參考 3.2 節。上述內容說明網格不同於測站資料，雖可補足無測站點位的降雨資訊，但應用上不可過度解讀為實際觀測數值。

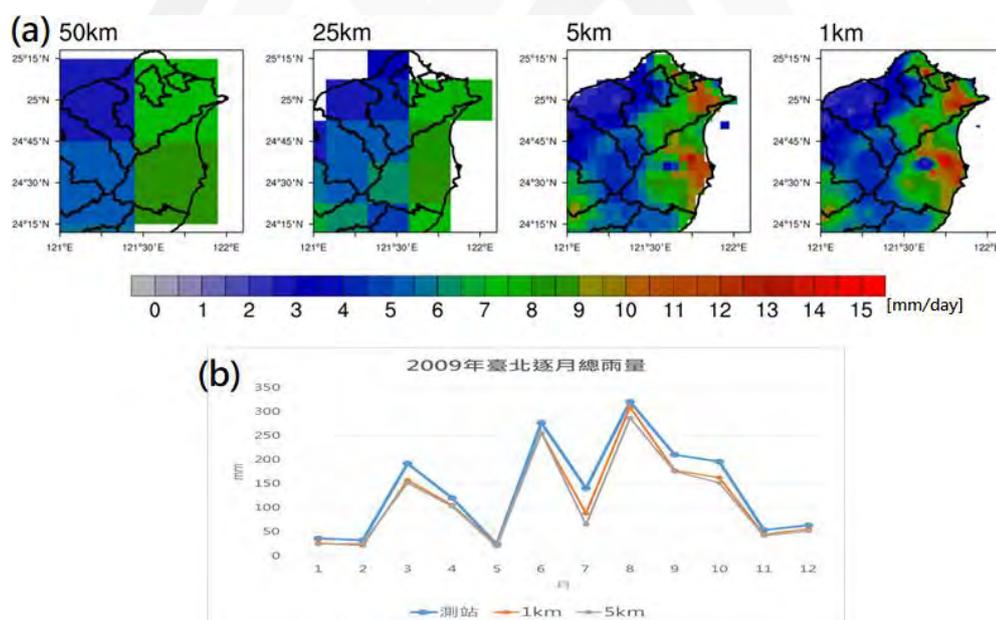


圖 20 不同網格資料解析度呈現的降雨強度差異。a 為相同的資料組，從粗糙的解析度(50km)到細緻的解析度(1km)呈現出來的降雨強度[mm/day]不同。b 為不同解析度資料組，位於臺北的逐月總雨量，其中網格資料取最鄰近測站點位的網格。

第四章 結論與討論

本報告內容的比較與分析，所使用的觀測網格、AR5 統計降尺度未來推估資料，均為執行計畫長期累積所得到的豐碩成果，本文除彙整相關結果並根據使用者回饋常問的問題，提供應用方法的建議與資料比對。

就長期氣候平均的結果來看，日與月資料呈現的趨勢特徵相同。溫度的變化是溫室氣體排放量愈嚴重的情境下、溫度上升愈快；降雨的變化也類似，即「乾愈乾、濕愈濕」，但日資料則濕季更濕，原因是降尺度方法過程中，從觀測參考日資料被帶入極端值機會較高，進而模式間差異度愈到世紀末愈大。而日資料應用於極端氣候分析部份，挑選溫度相關的指標包含熱浪與寒潮有關的高/低溫事件天數；降雨相關包含暴雨與乾旱相關的年最大 3 天累積雨量/少雨日，所有指標模式與觀測資料相校驗，在空間上得到相類似的發生頻率分布。

使用者在新版日資料如此巨量且多組模式的推估結果的背景下，依據研究目的大致分類為趨勢分析與極端事件的衝擊評估，國際上常用方法為挑選適當個數的模式分析，以資料的可信度範圍內，合理呈現推估結果的不確定性。本文根據各領域最為關心的 3 個極端氣候現象議題，各挑選 5 個模式分析證明，結果亦趨近於所有模式系集平

均、但又不會偏差太多。亦即未來使用者分析相關的議題時，挑選各相關的模式可減低大量研究成本。另外，因為日資料具有多模式系集模擬、同時可用來評估未來極端氣候事件的特徵，使用過程與步驟就需要格外小心，同時需注意網格資料使用上的限制。



參考文獻

- 林以淳、蘇元風、劉俊志、朱容練、鄭兆尊、陳永明(103)。氣候變遷情境下之日
氣象資料衍生與日輻射量資料初探。國家災害防救科技中心技術報告，
NCDR 104-T24，新北市。
- 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。
- 臺灣氣候變遷科學報告 2017-物理現象與機制(106)。國家災害防救科技中心，臺
北市。
- 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(I) (107)。科技部補助專題研究計畫
成果報告(編號：MOST 106-2621-M-865-001)。國家災害防救科技中心，新
北市。
- Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi, 1999: CLIVAR/GCOS/WMO workshop on
indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*,
42, 3-7.
- Peterson, T.C., and Coauthors: Report on the Activities of the Working Group on
Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. *WMO, Rep.*
WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143pp.

書名：統計降尺度(日)資料評估與應用

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 107 年 12 月

出版年月：中華民國 108 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>