

NCDR 111-T09

CMIP6資料於水資源應用之細部探討
Discussion on the application of CMIP6 data
in water resources



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 112 年 01 月

NCDR 111-T09

CMIP6資料於水資源應用之細部探討

Discussion on the application of CMIP6 data
in water resources

劉子明、林祺恒



國家災害防救科技中心

中華民國 112 年 01 月

中文摘要

本研究使用最新的氣候變遷推估資料-耦合氣候模式對比計畫 (Coupled Model Intercomparison Project, CMIP) 第六階段資料 (後面簡稱 CMIP6)，由「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫 (Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, 簡稱 TCCIP) 將全球尺度資料降尺度至臺灣 5km 網格尺度的 CMIP6 統計降尺度日資料，研究中應用 TCCIP 計畫開發之氣候變遷衝擊評估工具，模擬全球暖化程度 1.5°C 情境下之水資源變化情形並進行資料細部探討，研究中以 IPCC AR6 報告中提到之未來氣候變遷情境「共享社會經濟路徑」(Shared Socioeconomic Pathways, 簡稱 SSPs) 與 AR5 輻射強迫力 (Representative Concentration Pathways, 簡稱 RCP) 的情境，探討不同排放路徑對水資源之衝擊程度以及考慮風險管理時之應用方式。結果顯示相同的升溫情境下，選擇單一排放路徑或者特定模式 (如只選模式表現前十名或單一模式)，亦會造成不同之結果，故若想要考慮全部可能性，可選擇全部排放路徑進行分析，反之亦可針對假設之情境選擇排放路徑，如永續情境時可選擇 SSP1-2.6 排放路徑，再選擇該路徑中模式 75% 百分位之結果以考慮較極端情況下之水資源狀況。

關鍵字：氣候變遷、水資源、CMIP6、TCCIP

ABSTRACT

The water cycle enhanced by global warming affects Taiwan's annual runoff or seasonal water resource changes, affecting the supply and demand of water resources. This study uses the latest climate change projection data used in the report- the sixth phase of Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) were downscaled to 5km grid and started to test by the "Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform (TCCIP)". Using the climate change impact assessment tool developed in the plan, the water resource changes under the scenario of global warming of 1.5°C are simulated and estimated. In the scenario setting of the study, the SSPs (Shared Socioeconomic Pathways) and RCPs (Representative Concentration Pathways) mentioned in the IPCC AR6 report are used as the application methods for exploring the impact of different discharge paths on water resources and risk management. It also discusses the impact of different emission paths on water resources under the same degree of warming and the application of risk management. The results show that under the same degree of global warming, if different scenarios are used, different results may be obtained. When selecting a mode, it is recommended to select a suitable situation according to the purpose. For example, in the sustainability (Taking the Green Road) scenario, the SSP1-2.6 emission path can be selected, and then the 75% percentile result of the model in this path can be selected to consider the water resource situation in more extreme situations.

Keywords: Climate Change, Water Resources, CMIP6, TCCIP

目錄

第一章 前言.....	1
第二章 資料說明	3
2.1 使用資料	3
2.1.1 未來暖化情境.....	3
2.1.2 採用之氣候模式資料.....	4
2.2 水資源相關集水區挑選	9
2.2.1 流域集水區及相關代表控制點.....	9
第三章 研究方法及步驟	11
3.1 氣候變遷水資源衝擊指標計算	11
3.1.1 氣候變遷水資源衝擊指標選定及計算方式.....	11
3.1.2 氣候變遷水文衝擊評估模式-HydroImpact	12
3.2 不同模式下之水資源衝擊指標應用方式	16
3.2.1 特定情境/排放路徑 GCM/ESM 模式結果計算方式	16
3.2.2 各項指標於不同百分位數下之變化率計算.....	19
第四章 全球暖化情境之細部探討	22
4.1 推估結果差異性探討	22
4.2 不同排放路徑於不同百分位數指標結果分析	26
4.2.1 百分位數 50%差異比較.....	26

4.2.2	百分位數 75%在不同排放路徑下之表現	28
4.3	挑選排序前十名模式分析	31
4.3.1	模式數量結果比較	31
4.3.2	前十名模式於各季節之差異	32
4.3.3	前十名模式於 50%百分位推估結果.....	32
4.3.4	前十名模式於 75%百分位推估結果.....	32
4.3.5	前十名模式中之一單一模式之結果.....	33
第五章	結果與討論	39



圖目錄

圖 1 共享社會經濟路徑說明	4
圖 2 全球暖化 1.5°C 時期示意圖	5
圖 3 分析採用之流域及其集水區控制點位置	10
圖 4 HydroImpact 啟動畫面	13
圖 5 HydroImpact 主要架構圖	14
圖 6 HydroImpact 可自訂情境設定、選擇 GCM 及集水區	14
圖 7 單一排放路徑及所有排放路徑結果示意圖	17
圖 8 模式結果排序示意圖	20
圖 9 水資源指標模式百分位計算結果示意圖	21
圖 10 全部模式於各季節之改變率	23
圖 11 春季流量於全部模式及不同路徑之改變率	24
圖 12 梅雨季流量於於全部模式及不同路徑之改變率	24
圖 13 冬季流量於於全部模式及不同路徑之改變率	25
圖 14 模式數值範圍結果比較-以南部地區春季為例	31
圖 15 前十名模式於各季節之改變率	34
圖 16 春季流量於前十大及全部模式之改變率	35
圖 17 梅雨季流量於前十大及全部模式之改變率	35
圖 18 冬季流量於前十大及全部模式之改變率	36

表目錄

表 1 排放路徑 SSP1-2.6 採用模式及對應年份	5
表 2 排放路徑 SSP2-4.5 採用模式及對應年份	6
表 3 排放路徑 SSP3-7.0 採用模式及對應年份	7
表 4 排放路徑 SSP5-8.5 採用模式及對應年份	8
表 5 供水區域相關之集水區及採用之控制點及測站	9
表 6 東亞地區模擬表現前十名模式	18
表 7 本研究採用全球暖化 1.5°C 模式對應之模擬表現前十名模式.	18
表 8 全球暖化情境 1.5 度下，不同路徑於百分位數 50% 之結果....	28
表 9 全球暖化情境 1.5 度下，不同路徑於百分位數 75% 之結果....	30
表 10 全球暖化程度 1.5 度下，使用前十名與全部模式於 50% 之結 果.....	36
表 11 全球暖化程度 1.5 度下，使用前十名與全部模式於 75% 之結 果.....	37
表 12 全球暖化程度 1.5 度下，TaiESM1 模式結果比較.....	37

第一章 前言

政府間氣候變遷委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於 2021 年發布第六次評估報告 (The 6th Assessment Report, 簡稱 AR6), 指出全球暖化將進一步增強全球的水循環, 其中包括水循環的變異度、全球季風降雨、乾濕事件的嚴重程度 (IPCC, 2021)。本研究應用 IPCC AR6 報告中所使用最新的氣候變遷推估資料-耦合氣候模式對比計畫 (Coupled Model Intercomparison Project, CMIP) 第六階段資料 (後面簡稱 CMIP6), 由「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫 (Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, 簡稱 TCCIP) 將全球尺度資料降尺度至臺灣 5km 網格尺度的 CMIP6 統計降尺度日資料, 並著手進行分析測試。

本研究以水資源應用之角度, 分析 CMIP6 資料進行氣候變遷衝擊評估時可能的資料處理方法, 如流域測站之挑選、全球暖化情境於水資源之應用方式、以 IPCC AR6 報告書中提到之不同排放路徑, 在相同暖化條件下之衝擊是否相同、多模式之結果如何應用於水資源風險評估及挑選部分模式或單一模式進行評估時結果為何, 上述結果對於台灣水資源之影響為何值得探討。有鑑於此, 研究中先建立 CMIP6 統計降尺度日資料與全台流域測站之關聯, 並決定模式之情境設定,

將以全球暖化程度 1.5°C 情境進行分析，利用 TCCIP 計畫劉子明博士開發之氣候變遷衝擊評估工具(HydroImpact)，將最新之 CMIP6 統計降尺度日資料模擬推估出全球暖化程度 1.5°C 情境下之水資源量變化情形，並進行資料之細部探討。第二章為未來暖化情境設定說明，包含採用之氣候模式及研究區域之集水區挑選等，第三章介紹研究方法與步驟，分別為氣候變遷流量推估水文模式介紹、氣候變遷指標計算方法及應用方式，第四章為 CMIP6 資料應用於水資源結果之細部探討，分別為模式推估結果差異分析、不同排放路徑於不同百分位之差異、模式選擇時之差異分析如排名前十名模式及單一模式之結果比較，最後第五章為結果與討論，希冀研究成果可作為相關從業人員參考採用。

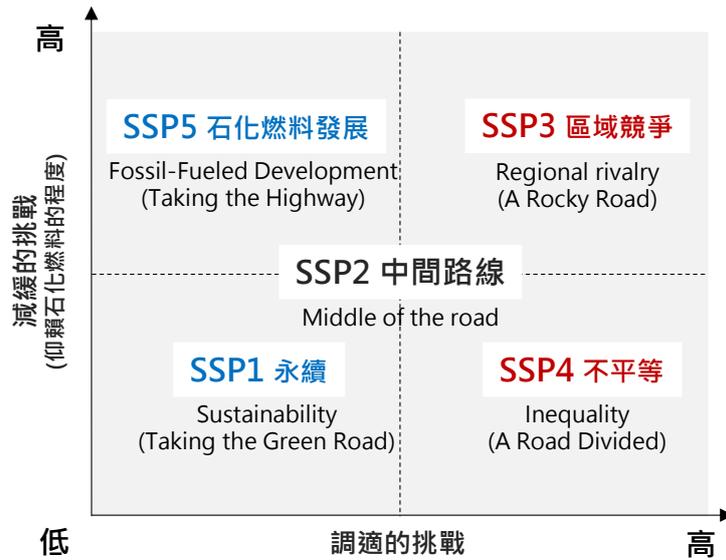
第二章資料說明

2.1 使用資料

2.1.1 未來暖化情境

在 2018 年 IPCC 公布全球暖化 1.5°C 特別報告(Special Report on Global Warming to 1.5°C，簡稱 SR15)中，有別於過去幾次的報告書以不同排放情境的方式來描述可能的氣候變化，而是提供另外一種氣候變遷情境的方式來評估全球或區域性的氣候衝擊及風險，單純以全球上升到特定溫度來評估全球暖化程度(Global Warming Levels，簡稱 GWLs)，故不同模式上升到特定溫度之期間將略有不同。

情境設定以 2021 年公布的 IPCC 第六次評估報告(6th Assessment Report, AR6)(IPCC, 2021)中提出之未來氣候變遷情境「共享社會經濟路徑」(Shared Socioeconomic Pathways, 簡稱 SSPs)與 AR5 輻射強迫力(Representative Concentration Pathways, 簡稱 RCP)的情境推估未來氣候，將上述兩者結合來呈現不同之排放路徑(SSP-RCP)，常用之情境為 SSP1-2.6(永續)、SSP2-4.5(中間路線)、SSP3-7.0(區域競爭)、SSP4-6.0(不平等發展)、SSP5-8.5(石化燃料發展)，如圖 1，但是報告書同時也指出不同排放路徑下超過 1.5°C 的可能性。

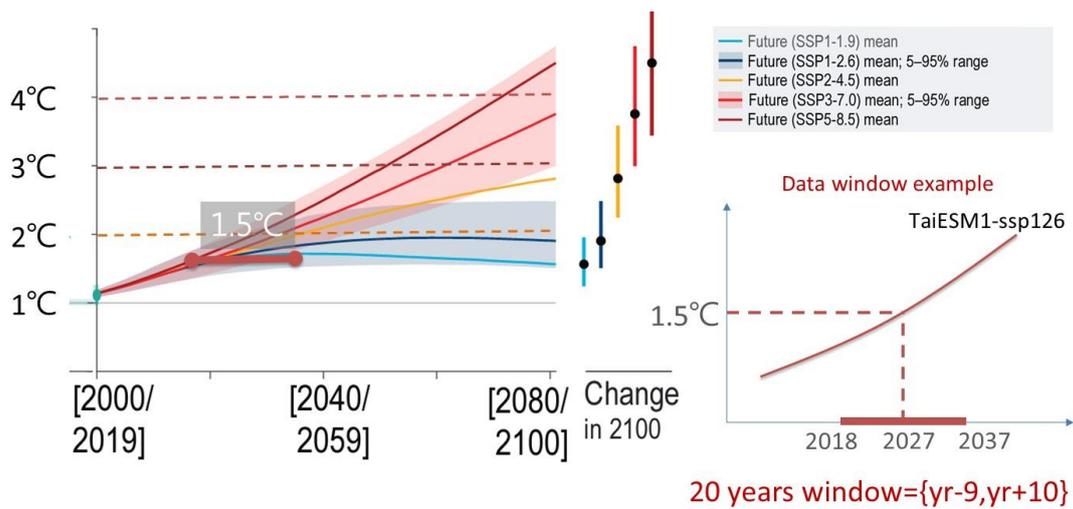


(改自 IPCC 評估報告的架構與簡介 https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/activity_agenda/20211118205605.pdf)

圖 1 共享社會經濟路徑說明

2.1.2 採用之氣候模式資料

水資源氣候變遷推估資料，使用 TCCIP 計畫所產製的統計降尺度日資料 (童裕翔等，2021)，參考歷史基期時段為 1995-2014 年，未來推估為全球暖化程度(GWLs) 1.5°C 時期前後二十年，示意如圖 2，本研究採用 SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0 及 SSP5-8.5 四種排放路徑，以模擬不同排放路徑於全球暖化程度 1.5°C 之情境，共計採用 97 個模式，採用之模式及各模式升溫 1.5°C 之時期詳表 1 至表 4 所示。



註：改自 IPCC AR6 WG1 SPM -, Figure SPM.8 (a)

圖 2 全球暖化 1.5°C 時期示意圖

表 1 排放路徑 SSP1-2.6 採用模式及對應年份

排放路徑	GCM/ESM	起始年	結束年
ssp1-2.6	ACCESS-CM2	2018	2037
	ACCESS-ESM1-5	2021	2040
	AWI-CM-1-1-MR	2013	2032
	BCC-CSM2-MR	2032	2051
	CanESM5	2004	2023
	CMCC-ESM2	2021	2040
	EC-Earth3	2013	2032
	EC-Earth3-Veg	2003	2022
	EC-Earth3-Veg-LR	2021	2040
	FGOALS-g3	2067	2086
	IITM-ESM	2036	2055
	INM-CM4-8	2041	2060
	INM-CM5-0	2027	2046
	IPSL-CM6A-LR	2010	2029
	KACE-1-0-G	2005	2024
	KIOST-ESM	2011	2030
	MIROC6	2054	2073
	MPI-ESM1-2-HR	2032	2051
	MPI-ESM1-2-LR	2033	2052
	MRI-ESM2-0	2020	2039
NESM3	2012	2031	
TaiESM1	2018	2037	

表 2 排放路徑 SSP2-4.5 採用模式及對應年份

排放路徑	GCM/ESM	起始年	結束年
ssp2-4.5	ACCESS-CM2	2019	2038
	ACCESS-ESM1-5	2020	2039
	AWI-CM-1-1-MR	2011	2030
	BCC-CSM2-MR	2026	2045
	CanESM5	2004	2023
	CMCC-ESM2	2021	2040
	EC-Earth3	2013	2032
	EC-Earth3-CC	1998	2017
	EC-Earth3-Veg	2001	2020
	EC-Earth3-Veg-LR	2017	2036
	FGOALS-g3	2021	2040
	GFDL-CM4	2022	2041
	GFDL-ESM4	2037	2056
	INM-CM4-8	2026	2045
	INM-CM5-0	2028	2047
	IPSL-CM6A-LR	2009	2028
	KACE-1-0-G	2004	2023
	KIOST-ESM	2012	2031
	MIROC6	2037	2056
	MPI-ESM1-2-HR	2028	2047
	MPI-ESM1-2-LR	2027	2046
	MRI-ESM2-0	2021	2040
	NESM3	2015	2034
	NorESM2-LM	2046	2065
NorESM2-MM	2037	2056	
TaiESM1	2022	2041	

表 3 排放路徑 SSP3-7.0 採用模式及對應年份

排放路徑	GCM/ESM	起始年	結束年
ssp3-7.0	ACCESS-CM2	2018	2037
	ACCESS-ESM1-5	2024	2043
	AWI-CM-1-1-MR	2013	2032
	BCC-CSM2-MR	2023	2042
	CanESM5	2004	2023
	CMCC-ESM2	2022	2041
	EC-Earth3	2013	2032
	EC-Earth3-AerChem	2023	2042
	EC-Earth3-Veg	2002	2021
	EC-Earth3-Veg-LR	2019	2038
	FGOALS-g3	2017	2036
	GFDL-ESM4	2032	2051
	INM-CM4-8	2026	2045
	INM-CM5-0	2023	2042
	IPSL-CM6A-LR	2010	2029
	KACE-1-0-G	2005	2024
	MIROC6	2034	2053
	MPI-ESM1-2-HR	2025	2044
	MPI-ESM1-2-LR	2026	2045
	MRI-ESM2-0	2022	2041
	NorESM2-LM	2042	2061
NorESM2-MM	2037	2056	
TaiESM1	2024	2043	

表 4 排放路徑 SSP5-8.5 採用模式及對應年份

排放路徑	GCM/ESM	起始年	結束年
ssp5-8.5	ACCESS-CM2	2016	2035
	ACCESS-ESM1-5	2018	2037
	AWI-CM-1-1-MR	2010	2029
	BCC-CSM2-MR	2021	2040
	CanESM5	2003	2022
	CMCC-ESM2	2020	2039
	EC-Earth3	2015	2034
	EC-Earth3-CC	1998	2017
	EC-Earth3-Veg	2002	2021
	EC-Earth3-Veg-LR	2019	2038
	FGOALS-g3	2018	2037
	GFDL-CM4	2020	2039
	GFDL-ESM4	2030	2049
	INM-CM4-8	2021	2040
	INM-CM5-0	2021	2040
	IPSL-CM6A-LR	2009	2028
	KACE-1-0-G	2005	2024
	KIOST-ESM	2008	2027
	MIROC6	2031	2050
	MPI-ESM1-2-HR	2024	2043
	MPI-ESM1-2-LR	2025	2044
	MRI-ESM2-0	2017	2036
	NESM3	2012	2031
	NorESM2-LM	2033	2052
	NorESM2-MM	2030	2049
	TaiESM1	2019	2038

2.2 水資源相關集水區挑選

2.2.1 流域集水區及相關代表控制點

本研究以經濟部水利署之台灣水資源分區分為北、中、南、東四區，集水區挑選與劃分方式，乃基於臺灣各地區主要水源取水設施或流量參考點作為控制點，並以地表高程劃分該控制點之集水區域。挑選供水相關共 20 個流域之集水區，以北區之淡水河流域為例，主要集水區分為基隆河、新店溪及大漢溪，再挑選各集水區與供水相關之代表控制點，分別為介壽橋、翡翠水庫及石門水庫，其餘集水區及控制點詳表 5 所示，分布圖如圖 3 所示。

表 5 供水區域相關之集水區及採用之控制點及測站

分區	流域	集水區	代表控制點
北	淡水河	基隆河	新山水庫(介壽橋)
		新店溪	翡翠水庫(含南勢溪)
		大漢溪	石門水庫
	頭前溪	油羅溪、上坪溪	上坪攔河堰
	蘭陽溪	羅東溪	羅東堰
	雙溪	雙溪	雙溪
中	中港溪	中港溪	田美攔河堰
	後龍溪	老田寮溪、後龍溪	明德水庫、打鹿坑堰
	大安溪	大安溪、雪山坑溪、景山溪	士林堰、鯉魚潭水庫...等
	大甲溪	大甲溪	石岡壩
	烏溪	大里溪、北港溪、南港溪、貓羅溪	溪南橋、南北通橋、觀音橋、南崗大橋
	濁水溪	濁水溪、清水溪	集集攔河堰、桶頭堰
南	曾文溪	曾文溪、後堀溪	曾文水庫、南化水庫
	四重溪	四重溪	牡丹水庫

	八掌溪	八掌溪	觸口
	高屏溪	高屏溪、旗山溪	高屏堰、阿其巴橋
東	和平溪	大濁水溪	南溪壩
	花蓮溪	馬鞍溪	馬鞍溪橋
	秀姑巒溪	豐坪溪、樂樂溪、富源溪	立山、卓樂橋、馬遠橋
	卑南溪	新武呂溪、卑南溪	台東大橋
	利嘉溪	利嘉溪	利嘉(2)
	知本溪	知本溪	知本(3)

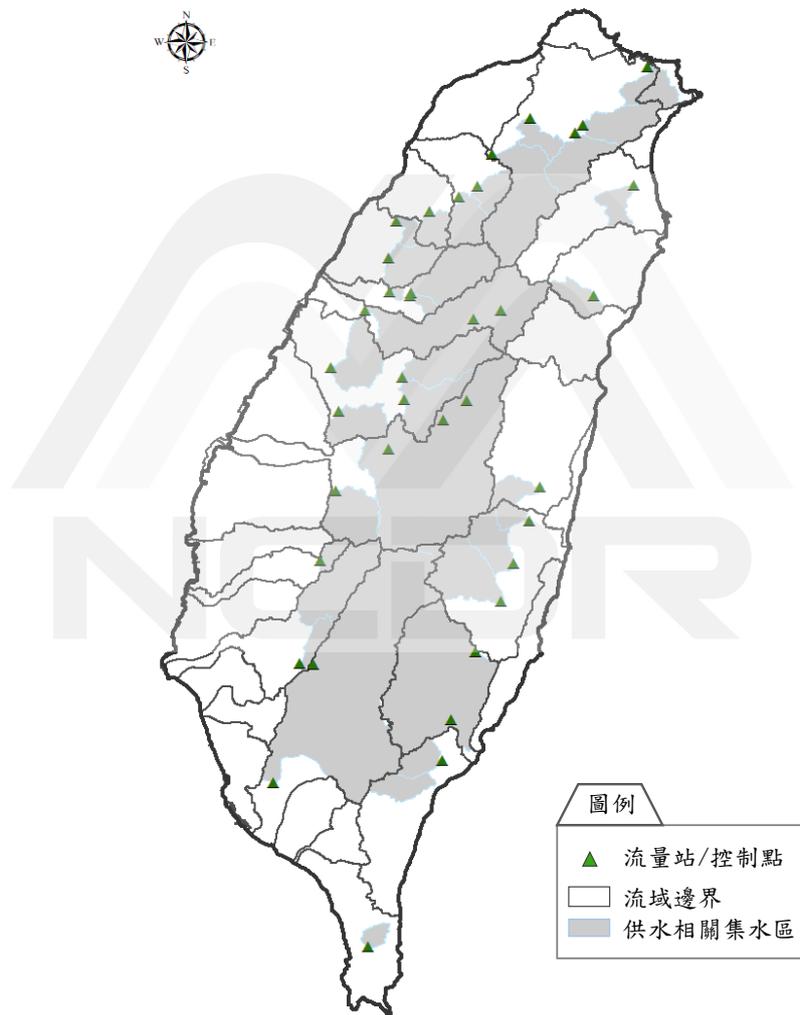


圖 3 分析採用之流域及其集水區控制點位置

第三章 研究方法及步驟

3.1 氣候變遷水資源衝擊指標計算

3.1.1 氣候變遷水資源衝擊指標選定及計算方式

台灣氣候受到季風影響有明顯之豐枯水期，為瞭解水資源面臨氣候變遷時全年流量及各季節之變化情形，選用集水區與河川流量相關之六項重要指標，如年平均流量用以評估集水區水源之水量總量變化及影響各月流量總量分配，及依自然季節劃分之流量如春季流量(2~4月)、梅雨季流量(5~6月)、颱風季流量(7~9月)、秋季流量(10~11月)及冬季流量(12~1月)等，藉以評估水源與區域水量在各時期之流量變異狀況，以提供相關使用者與實務工作者參考，各指標計算結果皆為變化率，計算方式如下：

1. 平均年流量：全年流量的總和

$$\text{平均年流量改變率(\%)} = \frac{\text{未來推估平均年流量(cms)}}{\text{基期平均年流量(cms)}} \quad (1)$$

2. 春季(2~4月)：由偏乾季節轉入梅雨季初期

$$\text{春季流量改變率(\%)} = \frac{\text{未來推估春季流量(cms)}}{\text{基期春季流量(cms)}} \quad (2)$$

3. 梅雨季(5~6月)：梅雨鋒面帶來全島性降雨

$$\text{梅雨季流量改變率(\%)} = \frac{\text{未來推估梅雨季流量(cms)}}{\text{基期梅雨季流量(cms)}} \quad (3)$$

4. 颱風季(7~9 月)：颱風雨與雷陣雨明顯增加，為主要獲取水資源的豐水期

$$\text{颱風季流量改變率(\%)} = \frac{\text{未來推估颱風季流量(cms)}}{\text{基期颱風季流量(cms)}} \quad (4)$$

5. 秋季(10~11 月)：夏季季風到冬季季風的轉換期

$$\text{秋季流量改變率(\%)} = \frac{\text{未來推估秋季流量(cms)}}{\text{基期秋季流量(cms)}} \quad (5)$$

6. 冬季(12~1 月)：降雨最少的季節

$$\text{冬季流量改變率(\%)} = \frac{\text{未來推估冬季流量(cms)}}{\text{基期冬季流量(cms)}} \quad (6)$$

3.1.2 氣候變遷水文衝擊評估模式-HydroImpact

本研究數據分析採用水文衝擊評估工具-HydroImpact(如圖 4)乃取 Hydrological Impact Assessment Tool to Climate Change 的代表性英文字母作為模式的名稱，亦即氣候變遷下之水文衝擊評估模式，由 TCCIP 計畫劉子明博士自行開發。主要特點包括：

1. 內建 GWLF 水文模式
2. 內涵全臺水資源相關數十個集水區 GWLF 參數
3. 可串接統計降尺度日資料
4. 可輸出氣候變遷下流量日資料

5. 可輸出氣候變遷水文評估指標

6. 可配合 IPCC 後續新增情境資料之更新(如 CMIP7)

主要架構如圖 5 所示，HydroImpact 主要目的在於大量模擬與計算氣候變遷情境下之水文模擬與輸出，可自訂 AR6 最新之排放路徑參數及情境(圖 6)，輸入時需先處理成水文模擬適合的資料，再利用 GWLF(General Watershed Loading Function) (Hath et al., 1992)水文模式進行模擬，輸出部分除了基本模擬結果如流量、蒸發散量等日資料之外，並輸出集水區的地下水長期補助量與變化，同時也輸出訂定之危害指標、衝擊指標，以利水資源衝擊模擬與後續加值應用。



圖 4 HydroImpact 啟動畫面

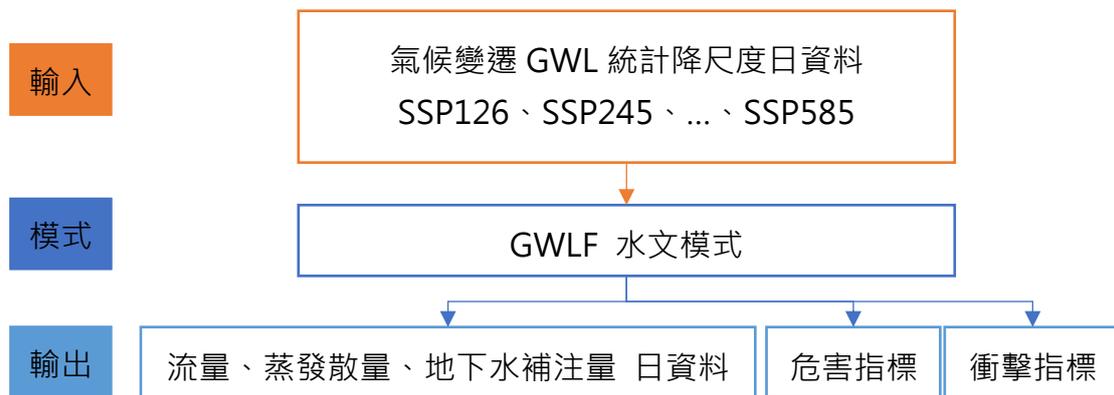


圖 5 HydroImpact 主要架構圖

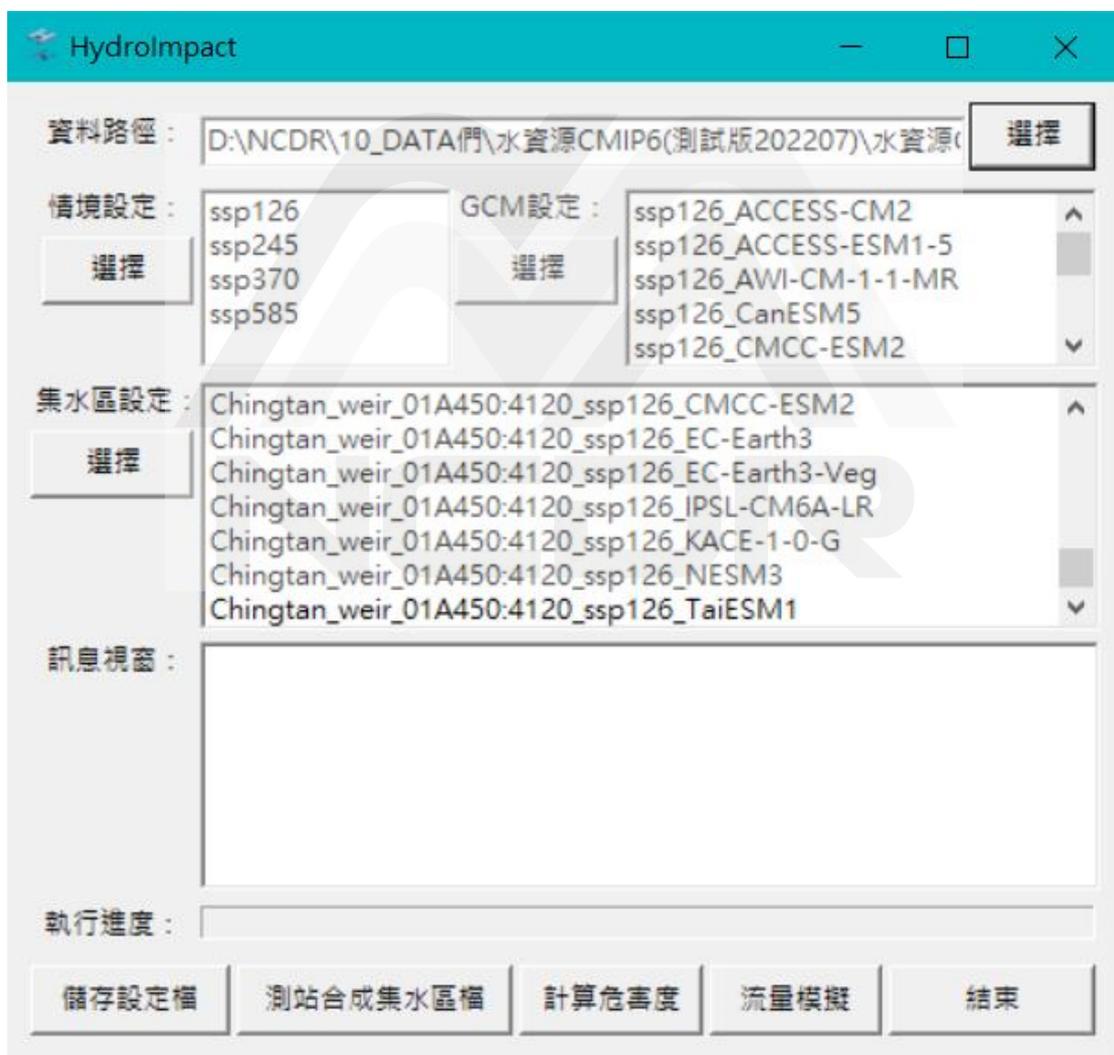


圖 6 HydroImpact 可自訂情境設定、選擇 GCM 及集水區

氣候變遷水文衝擊評估工具中採用之 GWLF 模式乃由康乃爾大學所發展之通用集水區傳輸模式(Hath et al., 1992),本研究利用 GWLF 模式中之流量子模式進行集水區流量模擬。該模式主要藉由集水區各水文項目及其平衡關係來模擬流量,河川流量在模式中考量為地表逕流與地下水排出之基流之和(劉子明, 2010)。GWLF 中的地表逕流與入滲之計算方式採用美國土壤保持局(Soil Conservation Service)的 SCS 計算方式(Chow et. al, 1988),將集水區視為一個集塊,不同的土壤與土地利用可查表推得集水區的 SCS Curve Number(簡稱 CN 值),為集水區的流量模擬主要物理性參數,無須透過檢定參數方式取得。由於所需參數少,主要參數反映地理特性,在氣候變遷評估過程中可降低參數的不確定性,因此非常適合於氣候變遷的衝擊評估與應用。HydroImpact 採用內建參數表的方式,全臺水資源相關集水區已內建於模式當中,後續增加集水區或修改參數只需修改內建參數表即可輕鬆完成,模擬過程會自動帶入已設定好的集水區參數表,集水區之水文地文參數模擬驗證詳附件一。

HydroImpact 輸出之資料,主要目的在於模擬氣候變遷所有情境下的水文變化,並分析危害指標以及衝擊指標,以利相關水資源評估與應用。資料輸出部分包括集水區流量、蒸發散、地下水補注量日資料,此部分可以作為應用端帶入水資源評估模式模擬或其他應用與分

析，但須注意模式雖然可以提供模擬結果日資料，但由於模式中的地下水變化乃每日的水平衡交換計算，與實際地下水變化有所差異，因此流量跟地下水日模擬結果可供後端模式輸入計算使用，評估上仍建議以旬或月的時間尺度進行評估。危害指標以及衝擊指標則以基期、未來推估時期等時間段進行輸出，危害指標包括年總降雨量、年平均最大不降雨日數、春雨季降雨量、梅雨季降雨量、颱風季降雨量、秋季降雨量及冬雨季降雨量等氣候相關指標；衝擊指標包括平均年流量、乾季流量、濕季流量、春雨季流量、梅雨季流量、颱風季流量、秋季流量及冬雨季流量、年蒸發散量及入滲量等水資源相關指標。

3.2 不同模式下之水資源衝擊指標應用方式

3.2.1 特定情境/排放路徑 GCM/ESM 模式結果計算方式

為探討不同排放路徑對水資源變化之影響，將不同排放路徑資料以 GWLF 模式模擬計算，以求得各項指標於全球暖化情境 1.5°C 下於不同排放路徑下之變化率，共分為四個方向探討分別為：

1. 單一排放路徑，考慮單一排放路徑下流量之改變情況，如 SSP1-2.6 所有模式於平均年流量或春季流量之結果，如圖 7(a)至圖 7(d)。
2. 綜合所有排放路徑，以考量所有排放路徑之不確定性圖 7(e)。
3. 綜合所有排放路徑，但只挑選模式表現排序前十名之模式(表 6)，以探討差異性，對應之模式如表 7。

4. 挑選單一模式的所有排放路徑，探討單一模式與全部模式推估差異性，將以 TaiEsm1 於不同排放路徑為例。

異性，將以 TaiEsm1 於不同排放路徑為例。

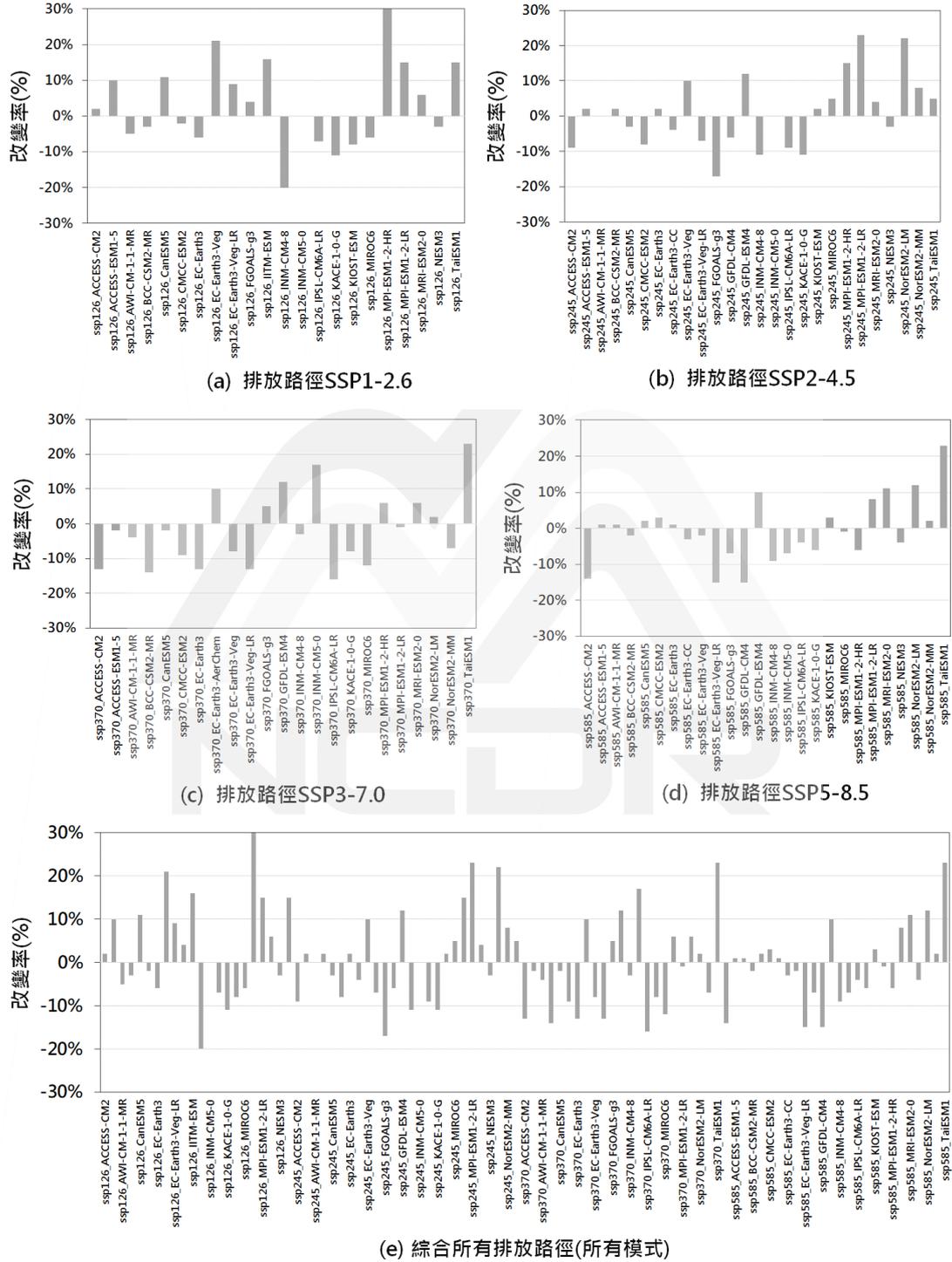


圖 7 單一排放路徑及所有排放路徑結果示意圖

表 6 東亞地區模擬表現前十名模式

排名	模式名稱
1	EC-Earth3-CC
2	EC-Earth3-AerChem
3	EC-Earth3-Veg-LR
4	HadGEM3-GC31-LL
5	UKESM1-0-LL
6	CNRM-ESM2-1
7	CMCC-ESM2
8	HadGEM3-GC31-MM
9	TaiESM1
10	HIRAM

表 7 本研究採用全球暖化 1.5°C 模式對應之模擬表現前十名模式

排放路徑	GCM/ESM
ssp126	CMCC-ESM2
ssp126	EC-Earth3-Veg-LR
ssp126	TaiESM1
ssp245	CMCC-ESM2
ssp245	EC-Earth3-CC
ssp245	EC-Earth3-Veg-LR
ssp245	TaiESM1
ssp370	CMCC-ESM2
ssp370	EC-Earth3-AerChem
ssp370	EC-Earth3-Veg-LR
ssp370	TaiESM1
ssp585	CMCC-ESM2
ssp585	EC-Earth3-CC
ssp585	EC-Earth3-Veg-LR
ssp585	TaiESM1

3.2.2 各項指標於不同百分位數下之變化率計算

本研究以盒鬚圖呈現眾多模式之結果，計算時先將模式結果排序如圖 8 再計算各分位數，分別為 5%、25%、50%、75%及 95%，如圖 9 所示，可作為水資源管理風險時之參考採用，如分析結果之 50% 百分位(中位數)為較可能之情況及 75%百分位為較為極端(枯旱)之情況，而可盒鬚圖之分布範圍可看出結果的散布情形，若範圍較小可表示模式結果較有一致性，反之則代表變動範圍較大，計算步驟如下，以平均年流量計算為例：

步驟一：分別計算 97 組之基期平均年流量及未來推估平均年流量

步驟二：將未來推估平均年流量除以基期平均年流量，可求得 97 個

模式計算之改變率

步驟三：選擇要計算的排放路徑

步驟四：將平均年流量改變率結果進行排序，示意圖如圖 8

步驟五：抽取全部模式或不同排放路徑之 50%及 75%百分位數值進

行情境探討，示意圖如圖 9

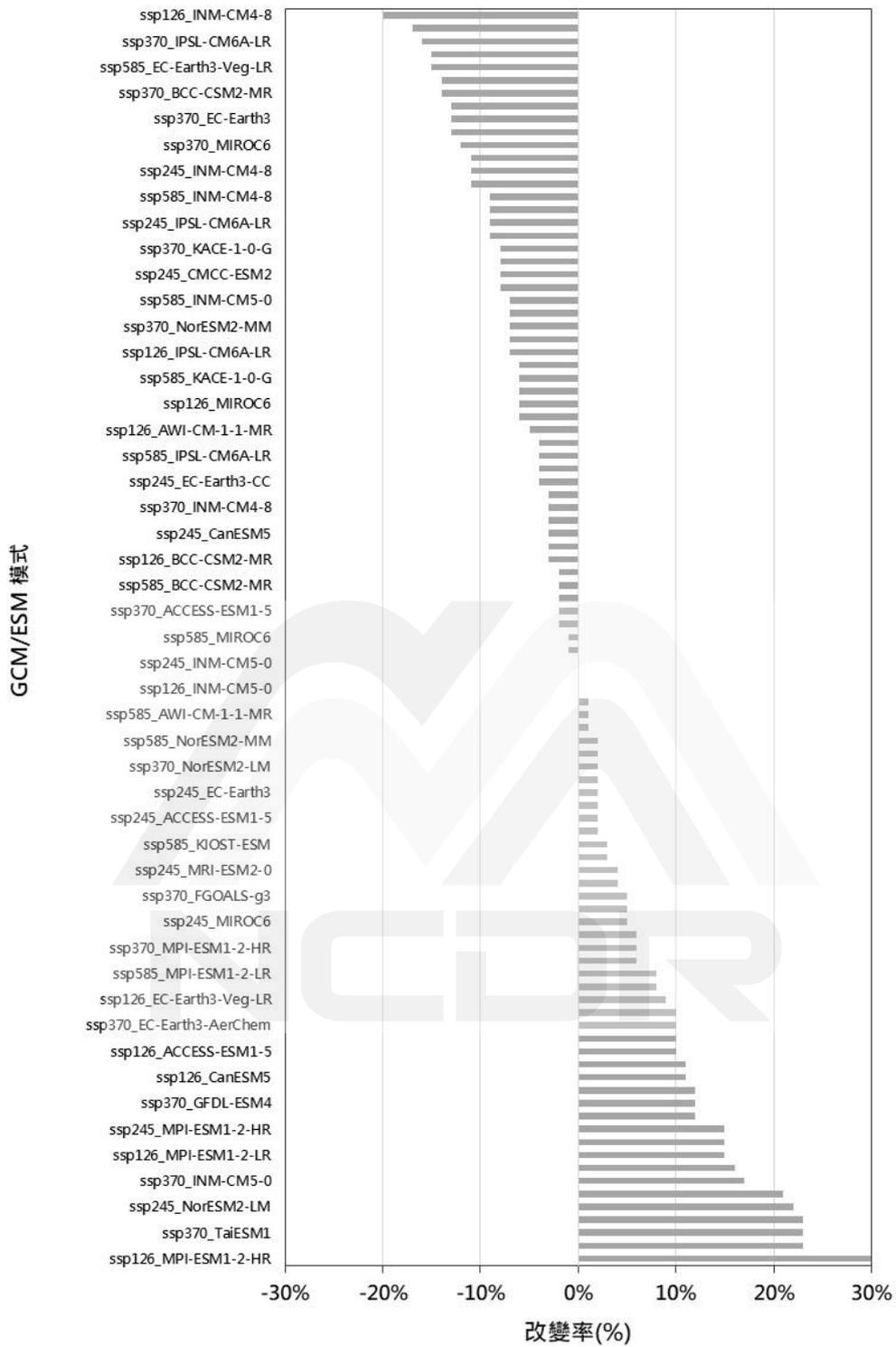


圖 8 模式結果排序示意圖

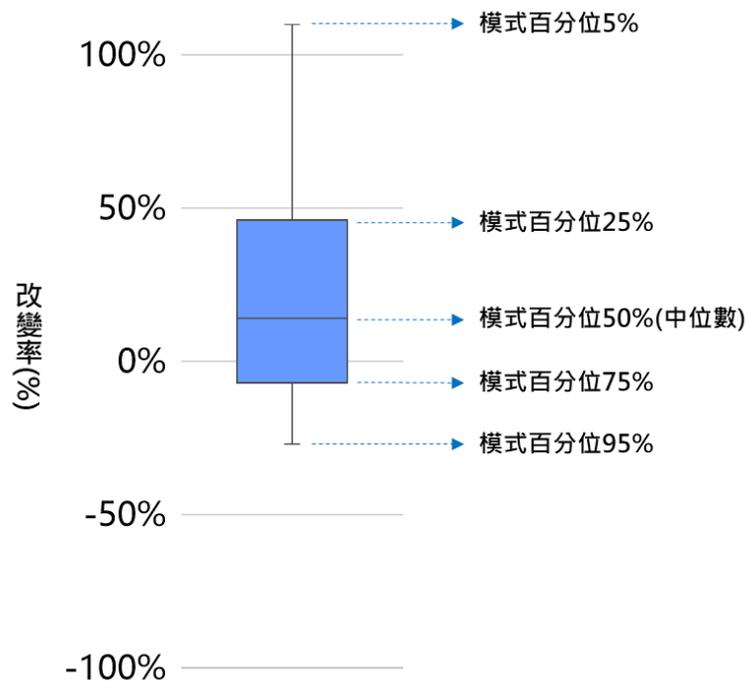


圖 9 水資源指標模式百分位計算結果示意圖



第四章 全球暖化情境之細部探討

4.1 推估結果差異性探討

本節主要分兩部分探討，先以年平均流量與各季流量來看各區之流量豐枯變化，此部分將全部排放路徑納入表示考慮所有可能性；再依據上述結果，以流量減少之季節流量，進一步探討不同排放路徑下之影響是否相同。結果顯示，各區平均年流量之變化率差異不明顯，若以各區於各季節之情況則不同，變動範圍以南部地區最大而北部地區最小，其中各區之春季及梅雨季出現下降趨勢，冬季則不相同，北部為下降趨勢而其他區域則不明顯，如圖 10 所示，而春季、梅雨季及冬季，探討不同排放路徑之結果說明如下：

1. 春季部分：北區及中區於各路徑之變動範圍較具有一致性，南部地區則不同路徑之變動範圍不同，以 SSP370 結果較不相同，東部地區則以 SSP126 結果較不相同，其他路徑結果則類似，如圖 11。
2. 梅雨季部分：各區之 SSP126 及 SSP245 分布範圍與全部模式結果類似，而 SSP370 及 SSP585 範圍較小且呈現減少之趨勢，如圖 12。
3. 冬季部分：北部及東部地區不同路徑之範圍小且相當類似，中部地區則以 SSP245 與 SSP370 與全部模式範圍類似而

SSP126 與 SSP585 較小，南部地區不同路徑之結果，除了 SSP585 之外，其餘路徑之變動範圍與全部模式累日，圖 13。

由上述結果可知，若以模式變動範圍而言，梅雨季北區中區南區較具一致性而東部則變化較大；春季及冬季，北部及中部地區具有一致性，而南部地區則範圍較大，下一小節以不同百分位數下之結果，說明考慮不同風險下之流量變化率情形。

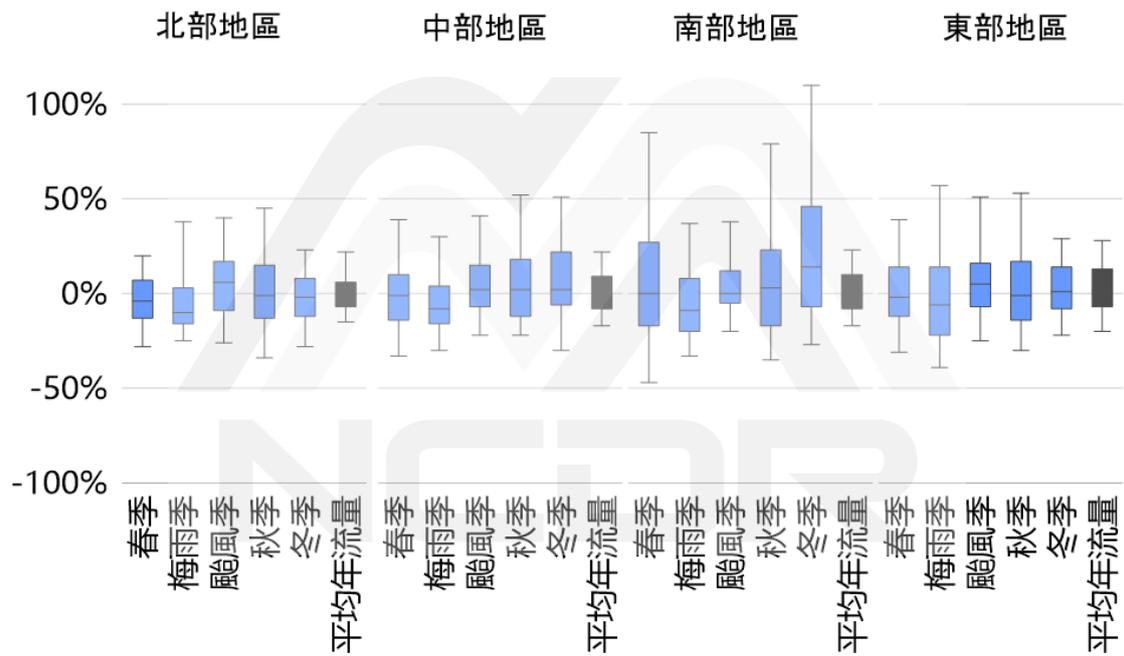


圖 10 全部模式於各季節之改變率

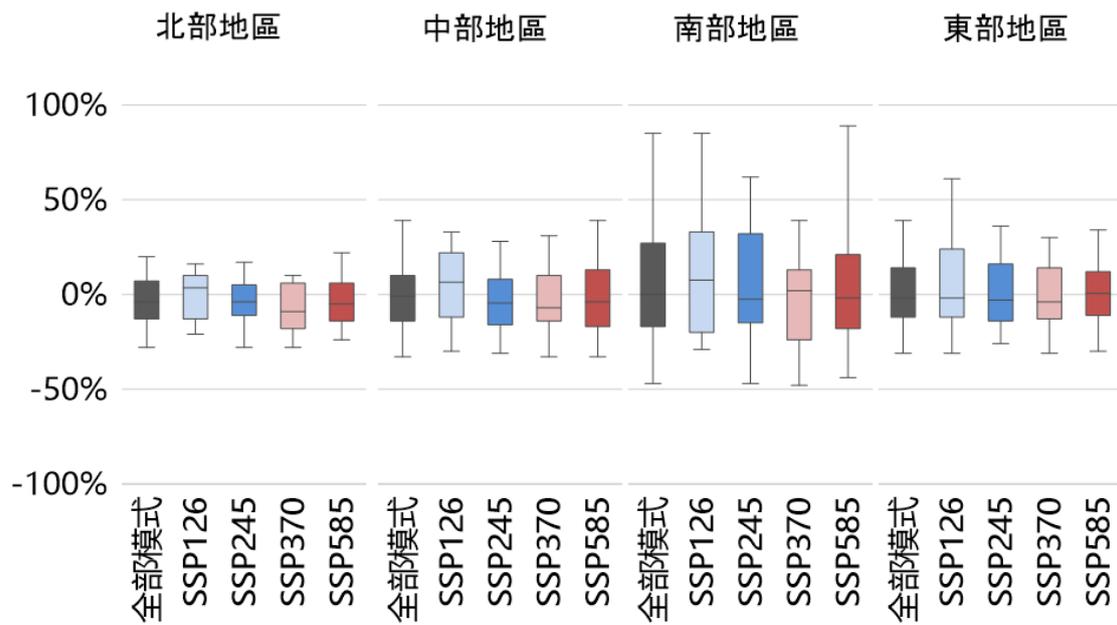


圖 11 春季流量於全部模式及不同路徑之改變率

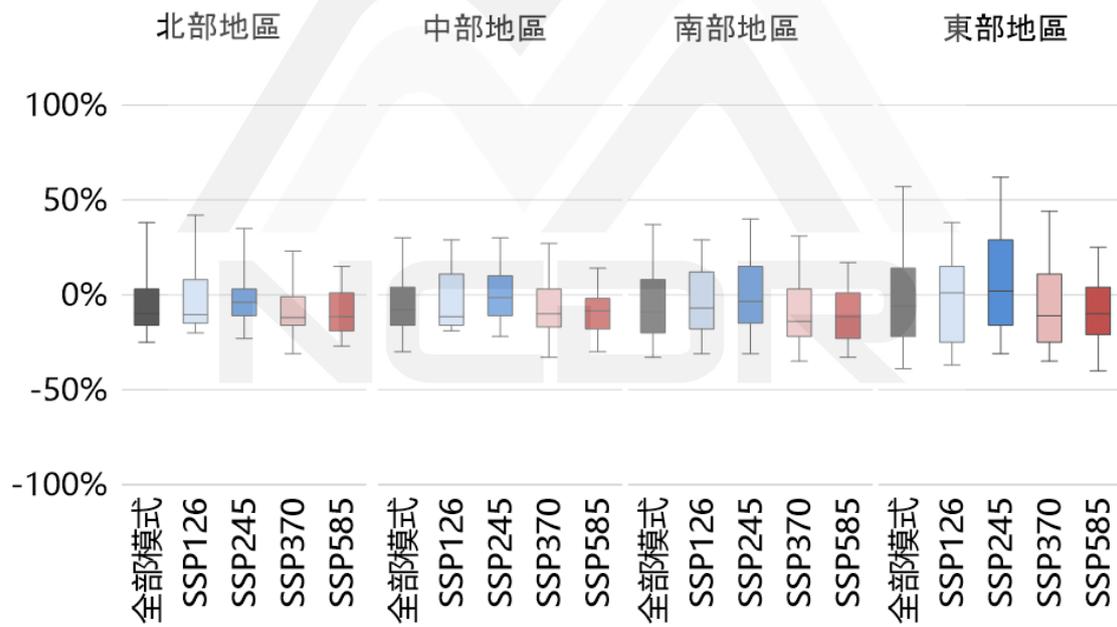


圖 12 梅雨季流量於於全部模式及不同路徑之改變率

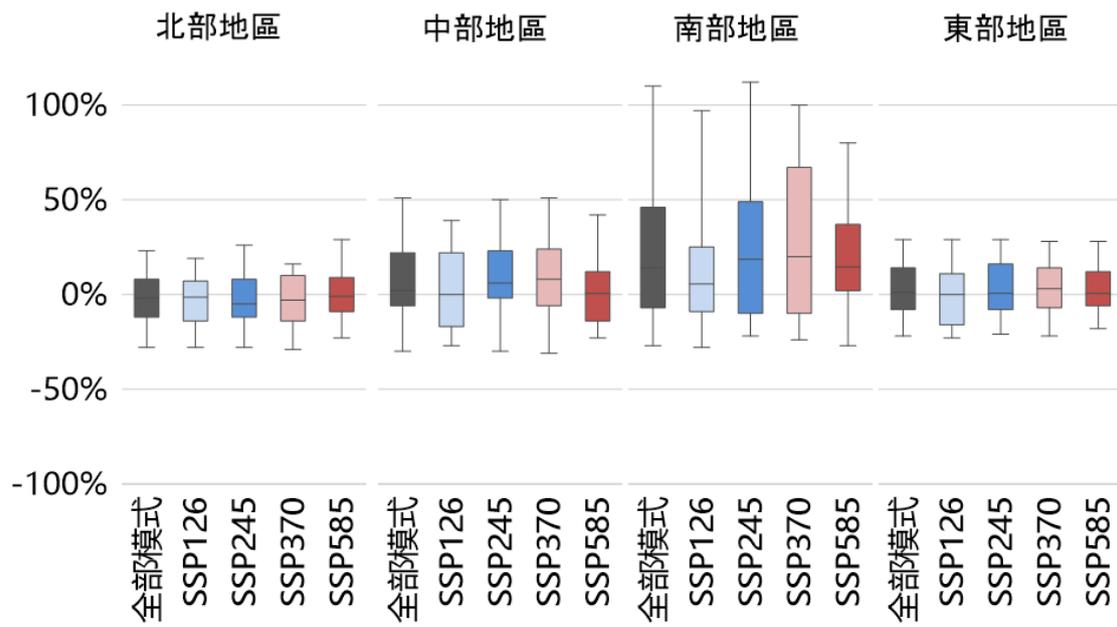


圖 13 冬季流量於於全部模式及不同路徑之改變率



4.2 不同排放路徑於不同百分位數指標結果分析

4.2.1 百分位數 50% 差異比較

以百分位數 50% 探討所有模式及不同排放路徑結果之中位數結果之差異，發現平均年流量之變化率不明顯，但是各季節則不同，普遍介於正負一成之間，而南部之冬季流量增加至兩成，各指標結果詳表 8，各項說明如下：

1. 平均年流量

平均年流量為-1%~+2%。以不同排放路徑則 SSP126 及 SSP245 於北中南東區為增加，其中東部增加趨勢更明顯；而 SSP370、SSP585 為減少，其中以中部及南部減少更明顯。

2. 春季流量

春季流量為-2%~-4%，全部模式顯示北中南東均為減少趨勢。但在不同排放路徑下，SSP126 於北、中及南部地區在為增加趨勢，SSP245、SSP370 及 SSP585 則減少的更明顯，東部地區差異不大。

3. 梅雨季

梅雨季流量變化率為-6%~-10%。不同排放路徑下，北、中及南部地區一致性減少，其中除了 SSP245 之外，其餘模式普遍減少幅度較全部模式更明顯。東部則有不同的結果，SSP126 及 SSP245 為增加，

SSP370 及 SSP585 減少更明顯。

4. 颱風季

颱風季流量變化率為 0%~6%。但不同排放路徑下各區之結果不同，北、中、南部呈現一致性的增加，其中 SSP126、SSP245 及 SSP370 增加幅度更明顯。南部地區結果則有正有負但不顯著。

5. 秋季

秋季流量變化率為 -1%~+3%。不同排放路徑之結果各區不相同，SSP126 結果為增加或持平。SSP245 及 SSP370 於北部及東部地區為減少而中部及南部則為增加。SSP585 則全部為增加。

6. 冬季

冬季流量變化率為-2%~14%，北區結果與其它三區不同，北區於不同排放路徑亦呈現一致性的減少，中南東部地區不同排放路徑則為一致性的增加，其中以南部地區除了 SSP126 增加較少之外，其餘情境增加非常顯著。

表 8 全球暖化情境 1.5 度下，不同路徑於百分位數 50%之結果

地區	排放路徑	平均 年流量	春季 流量 (2~4 月)	梅雨季 流量 (5~6 月)	颱風季 流量 (7~9 月)	秋季 流量 (10~11 月)	冬季 流量 (12~1 月)
北部	SSP126	1%	4%	-11%	9%	3%	-2%
	SSP245	1%	-4%	-4%	9%	-7%	-5%
	SSP370	-3%	-9%	-12%	7%	-5%	-3%
	SSP585	-2%	-5%	-12%	3%	5%	-1%
	全部模式	-1%	-4%	-10%	6%	-1%	-2%
中部	SSP126	0%	7%	-12%	5%	6%	0%
	SSP245	0%	-5%	-2%	0%	3%	6%
	SSP370	-4%	-7%	-10%	2%	2%	8%
	SSP585	-6%	-4%	-9%	1%	1%	1%
	全部模式	-2%	-1%	-8%	2%	2%	2%
南部	SSP126	1%	8%	-7%	-1%	4%	6%
	SSP245	1%	-3%	-4%	-1%	1%	19%
	SSP370	0%	2%	-14%	3%	1%	20%
	SSP585	-4%	-2%	-12%	-1%	4%	15%
	全部模式	-1%	0%	-9%	0%	3%	14%
東部	SSP126	2%	-2%	1%	2%	0%	0%
	SSP245	7%	-3%	2%	9%	-6%	1%
	SSP370	-1%	-4%	-11%	8%	-11%	3%
	SSP585	0%	1%	-10%	1%	8%	1%
	全部模式	1%	-2%	-6%	5%	-1%	1%

4.2.2 百分位數 75%在不同排放路徑下之表現

百分位數 75%即表示流量變化率有 25%的機會超過此數值，藉以探討較極端情況下各分區之變化情況。在以全部模式及分別以不同排放路徑，結果顯示平均年流量約減少一成左右，依照季節不同，流量可能減少達兩成五，而各分區於不同季節之減少幅度亦不相同，各指標結果詳表 9，說明如下：

1. 平均年流量

全部模式，普遍流量減少率為-7%~-9%。若以 SSP126 進行評估，北、中區差異不大，南東則較減少較少。SSP245 與全部模式之結果類似。SSP370 則北部減少較為明顯，其餘差異不大。SSP585 於南部及東部將減少更明顯。

2. 春季：

春季流量約為-13%~-17%，各排放路徑推估結果以北、中、南部，SSP126 與 SSP245 推估結果與全部模式類似，而 SSP370 與 SSP585 則較嚴重。東部地區於所有路徑之結果均類似。

3. 梅雨季

梅雨季流量約為-16%~-22%，各排放路徑推估結果中北部及中部相當類似，而南部及東部於 SSP370 及 SSP585 減少更嚴重。

4. 颱風季

颱風季流量變化率約為-5%~-9%，不同排放路徑推估結果中，SSP126、SSP245 及 SSP370 之結果北中南東四區與全部模式均非常類似，但 SSP585 推估結果則減少更多。

5. 秋季

秋季流量變化率約為-6%~-14%，各排放路徑推估結果不同。SSP126 各區之減少幅度均較少，而 SSP245 及 SSP370 結果北、中及南部地區與全部模式差異不明顯。SSP585 則不同，北部及南部減少較少，而中部及東部則差異明顯。

6. 冬季

冬季流量變化率約為-6%~-14%，各排放路徑推估結果不同，SP126 於北、中及東部流量減少更顯著，而 SSP245 及 SSP370 則北部減少更明顯，但其他地區則減少較不明顯，SSP585 北部減少較少，中部則減少更明顯，南部則轉為增加。

表 9 全球暖化情境 1.5 度下，不同路徑於百分位數 75%之結果

地區	排放路徑	平均 年流量	春季 流量 (2~4 月)	梅雨季 流量 (5~6 月)	颱風季 流量 (7~9 月)	秋季 流量 (10~11 月)	冬季 流量 (12~1 月)
北部	SSP126	-6%	-13%	-15%	-4%	-7%	-14%
	SSP245	-7%	-11%	-11%	-6%	-15%	-12%
	SSP370	-11%	-16%	-16%	-7%	-14%	-13%
	SSP585	-6%	-14%	-19%	-10%	-9%	-8%
	全部模式	-7%	-13%	-16%	-9%	-13%	-12%
中部	SSP126	-7%	-12%	-16%	-3%	-5%	-16%
	SSP245	-8%	-15%	-11%	-8%	-13%	-2%
	SSP370	-9%	-14%	-16%	-4%	-14%	-6%
	SSP585	-9%	-17%	-18%	-12%	-12%	-12%
	全部模式	-8%	-14%	-16%	-7%	-12%	-6%
南部	SSP126	-4%	-17%	-18%	-4%	-3%	-7%
	SSP245	-8%	-15%	-15%	-5%	-17%	-9%

地區	排放路徑	平均 年流量	春季 流量 (2~4 月)	梅雨季 流量 (5~6 月)	颱風季 流量 (7~9 月)	秋季 流量 (10~11 月)	冬季 流量 (12~1 月)
	SSP370	-9%	-20%	-22%	-4%	-26%	-8%
	SSP585	-11%	-18%	-23%	-9%	-13%	2%
	全部模式	-8%	-17%	-20%	-5%	-17%	-7%
東部	SSP126	-3%	-12%	-23%	-3%	-7%	-14%
	SSP245	-7%	-14%	-15%	-7%	-14%	-8%
	SSP370	-6%	-13%	-25%	-3%	-19%	-7%
	SSP585	-12%	-11%	-21%	-12%	-14%	-6%
	全部模式	-7%	-12%	-22%	-7%	-14%	-8%

4.3 挑選排序前十名模式分析

4.3.1 模式數量結果比較

本小節比較前十名模式採用之 15 個模式與全部 97 個模式之盒鬚圖範圍，5~95%範圍較全部模式之結果大(圖 14a)，發現前十名模式之變化率涵蓋全部模式中最大及最小之部分(圖 14b)。

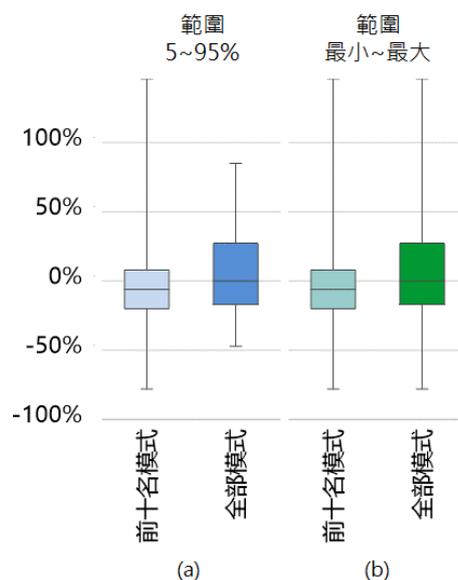


圖 14 模式數值範圍結果比較-以南部地區春季為例

4.3.2 前十名模式於各季節之差異

比較前十名模式平均年流量而言台灣四區之變化率，結果與全部模式之結果(圖 10)類似，並無明顯差異，但是將全年拆分為五季時變動範圍則不同，前十名模式之變動範圍明顯較大，其中以南部地區之範圍變得更大，詳圖 15。而各季節之流量範圍亦不同，比較春季、梅雨季及冬季三個季節之結果，春季之南部流量變為減少，其它三區則變化不明顯；梅雨季及冬季流量結果類似，變動範圍之幅度增加且轉增加，詳圖 16 至圖 18 所示。

綜合上述結果，若以前十名模式與全部模式推估不同季節之結果，南部地區之變動範圍將更大，而各季節結果以梅雨季及冬季之結果差異較大。

4.3.3 前十名模式於 50% 百分位推估結果

以前十大模式與全部模式結果進行比較；平均年流量部分四區無太大差異，春季流量南部結果減少的較為明顯，梅雨季減少幅度則減緩，颱風季之差異不大，秋季除了北部地區之外，其餘均下降更明顯，冬季部分則為轉為上升。綜合而言，以前十名模式進行評估時，冬季、春季及梅雨季之流量改變率較全部模式增加，結果詳表 10 所示。

4.3.4 前十名模式於 75% 百分位推估結果

前十大模式與全部模式結果進行比較；平均年流量推估結果無明

顯差異，春季、梅雨季、颱風季及秋季之流量結果亦相當相似，但冬季流量則不同，北、中及東部地區減少幅度減少而南部地區減少更明顯。綜合而言，因冬季結果的不同，以前十大模式進行評估時，北、中及東部冬季及春季連續兩季流量減少之風險較低，而南部則為增加，結果詳表 11 所示。

4.3.5 前十名模式中之單一模式之結果

以前十名模式中之 TaiESM1 模式，探討單一模式與全部模式於 50% 百分位(即中位數)之推估差異，比較六項水資源指標發現 TaiESM1 模式在平均年流量及梅雨季流量，於所有路徑之北中南東四區均呈現一致性增加，此部分與全部模式之結果差異最大。

比較不同排放路徑之差異比較，以春季及冬季流量進行比較，春季部分，SSP126 之北部、中部及東部並無明顯差異，而南部之春季流量結果則互有增減；SSP245 結果與全部模式類似，均為減少且較全部模式減少更明顯；SSP370 則出現相反之結果，TaiESM1 於北部及中部結果較全部模式增加，南部及東部則為減少，與全部模式結果相反；SSP585 則較全部模式增加，呈現一致性的增加。冬季部分，SSP126 並無明顯差異；SSP245 則出現相反的結果，其中以中部及南部最為明顯；SSP370 則有區域差異 TaiESM1 四區均為增加，但全部模式於北部為減少；SSP585 北部及東部地區為差異較大，中部及南

部則無明顯差異。

綜合上述結果，以改變率的變動範圍來看，單一模式推估時之變動範圍明顯較全部模式明顯。以六項指標結果來看，推估結果亦不同甚至呈現相反的結果，例如北部之冬季流量反而呈現增加之結果。若以排放路徑進行水資源規劃，TaiESM1 模式顯示 SSP370 或 SSP585 流量增加之季節最多，此結果與全部模式結果為 SSP126 或 SSP245 不同，結果詳表 12。

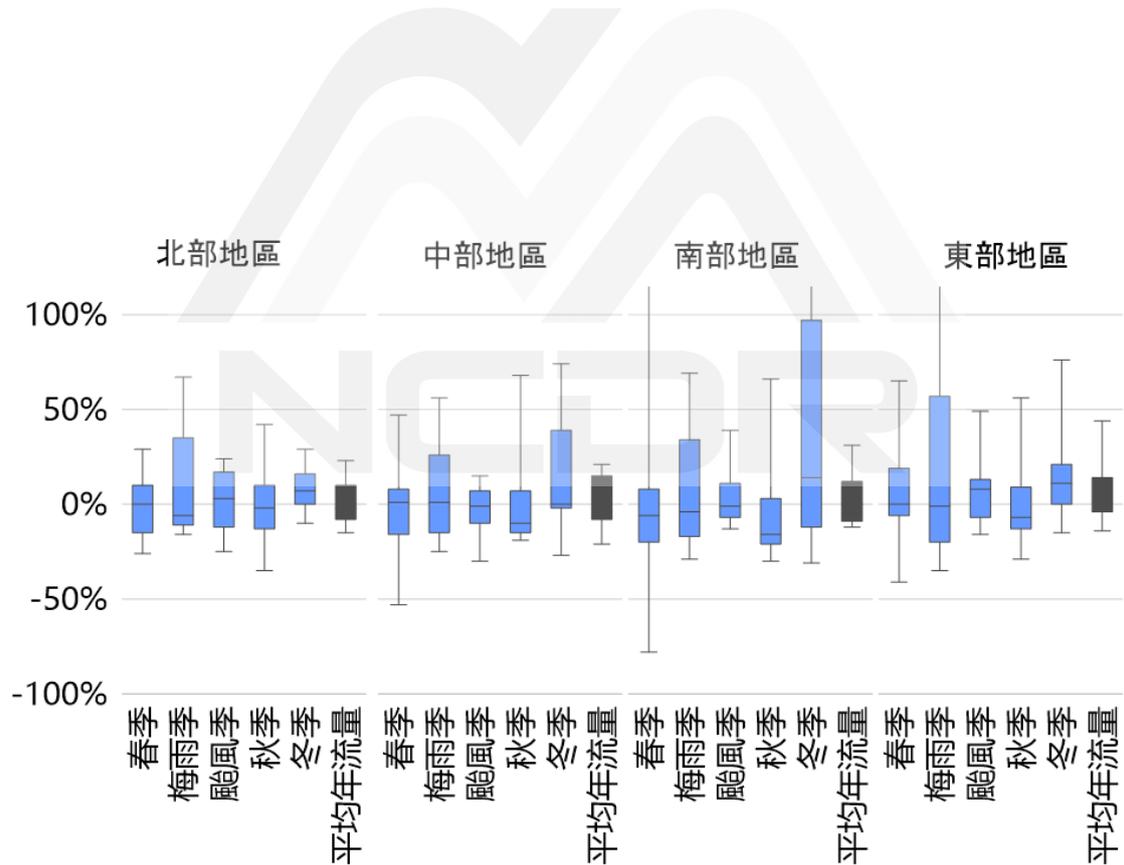


圖 15 前十名模式於各季節之改變率

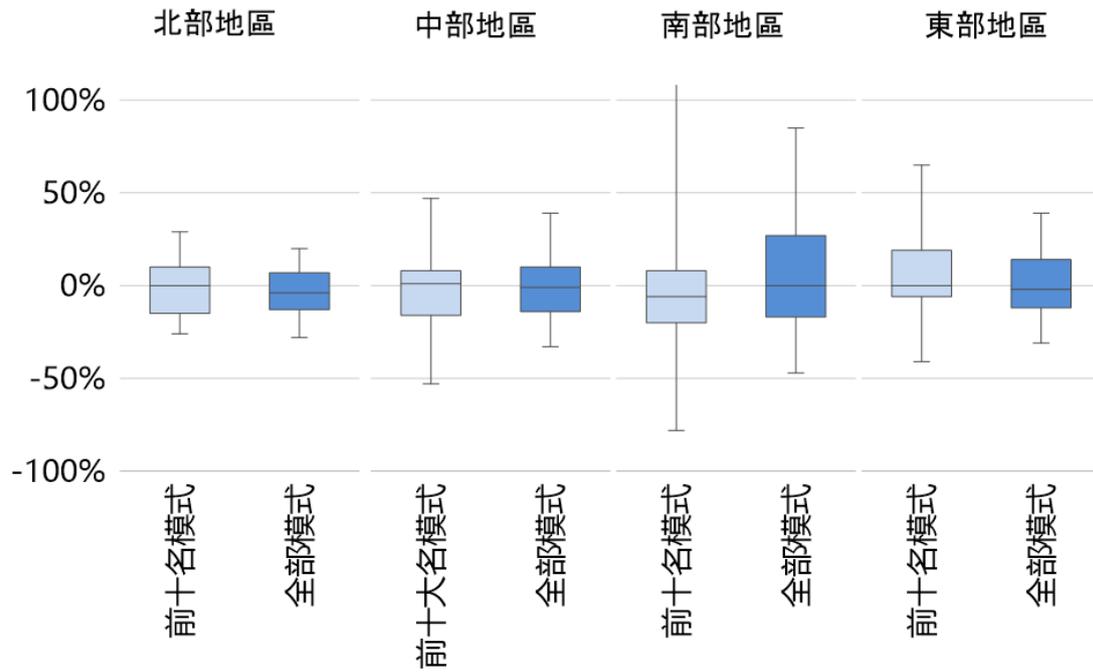


圖 16 春季流量於前十大及全部模式之改變率

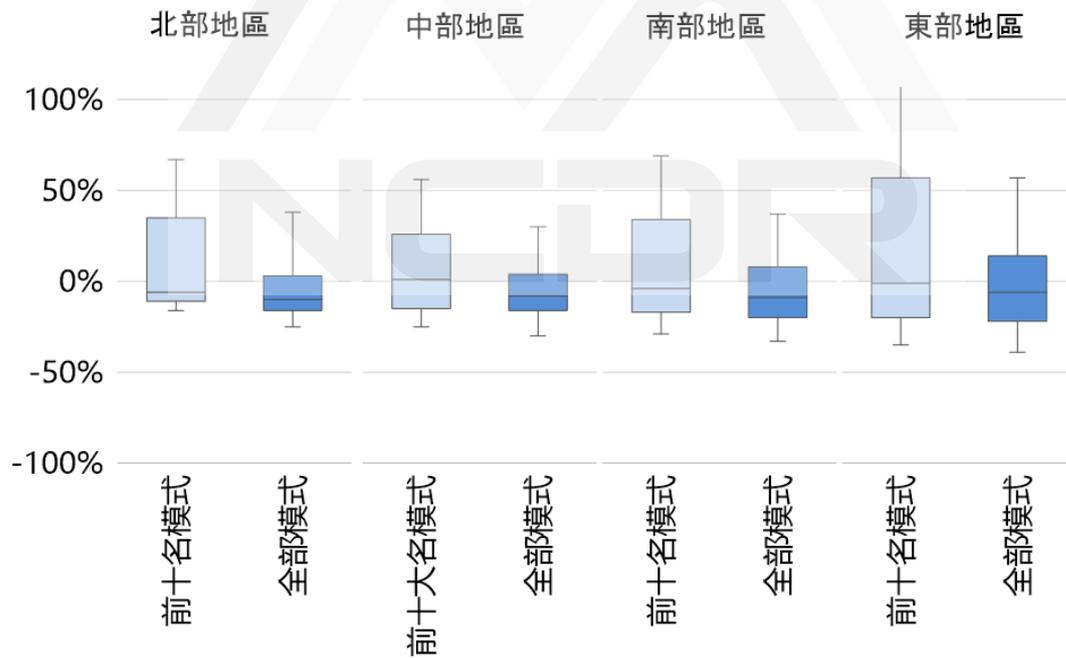


圖 17 梅雨季流量於前十大及全部模式之改變率

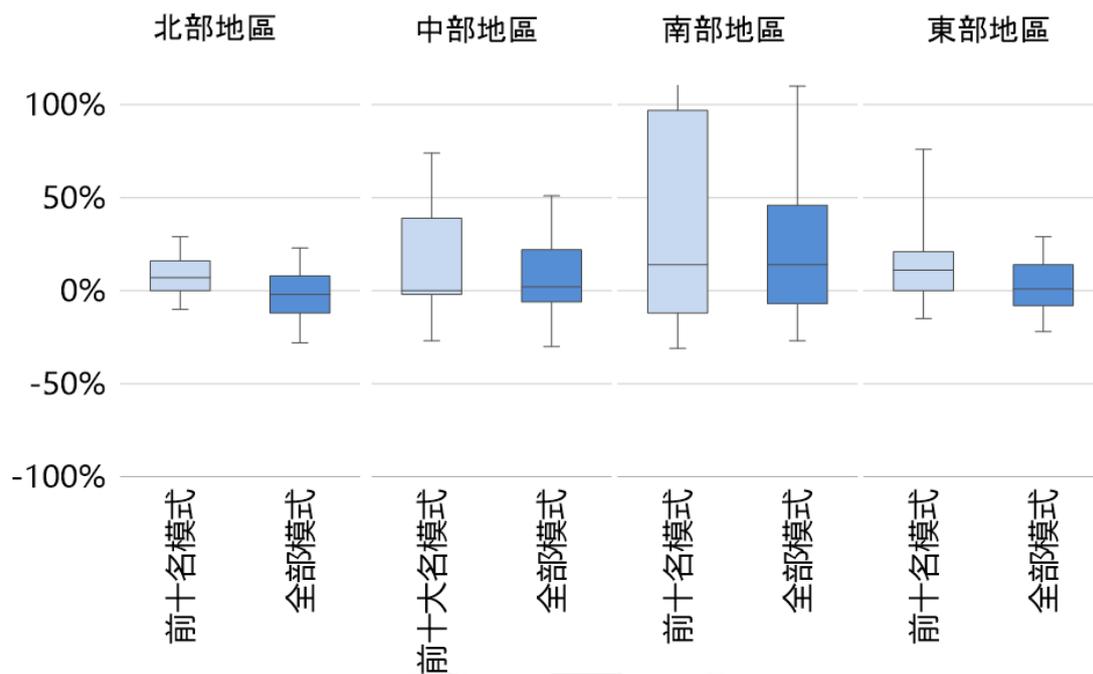


圖 18 冬季流量於前十大及全部模式之改變率

表 10 全球暖化程度 1.5 度下，使用前十名與全部模式於 50% 之結果

地區	採用模式	平均 年流量	春季 流量 (2~4 月)	梅雨季 流量 (5~6 月)	颱風季 流量 (7~9 月)	秋季 流量 (10~11 月)	冬季 流量 (12~1 月)
北部	前十大模式	-2%	0%	-6%	3%	-2%	7%
	全部模式	-1%	-4%	-10%	6%	-1%	-2%
中部	前十大模式	-6%	1%	1%	-1%	-10%	0%
	全部模式	-2%	-1%	-8%	2%	2%	2%
南部	前十大模式	0%	-6%	-4%	-1%	-16%	14%
	全部模式	-1%	0%	-9%	0%	3%	14%
東部	前十大模式	1%	0%	-1%	8%	-7%	11%
	全部模式	1%	-2%	-6%	5%	-1%	1%

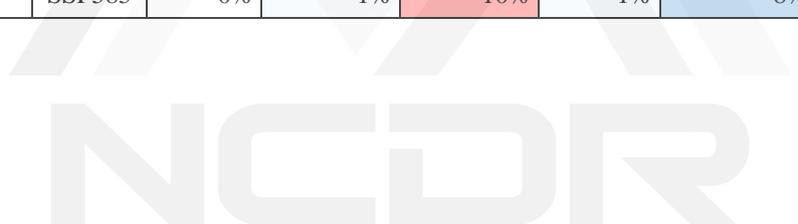
表 11 全球暖化程度 1.5 度下，使用前十名與全部模式於 75% 之結果

地區	採用模式	平均 年流量	春季 流量 (2~4 月)	梅雨季 流量 (5~6 月)	颱風季 流量 (7~9 月)	秋季 流量 (10~11 月)	冬季 流量 (12~1 月)
北部	前十大模式	-8%	-15%	-11%	-12%	-13%	0%
	全部模式	-7%	-13%	-16%	-9%	-13%	-12%
中部	前十大模式	-8%	-16%	-15%	-10%	-15%	-2%
	全部模式	-8%	-14%	-16%	-7%	-12%	-6%
南部	前十大模式	-9%	-20%	-17%	-7%	-21%	-12%
	全部模式	-8%	-17%	-20%	-5%	-17%	-7%
東部	前十大模式	-4%	-6%	-20%	-7%	-13%	0%
	全部模式	-7%	-12%	-22%	-7%	-14%	-8%

表 12 全球暖化程度 1.5 度下，TaiESM1 模式結果比較

地區	模式 選用	排放 路徑	平均 年流量	春季 流量 (2~4月)	梅雨季 流量 (5~6月)	颱風季 流量 (7~9月)	秋季 流量 (10~11月)	冬季 流量 (12~1月)
北部	TaiESM1	SSP126	15%	7%	60%	17%	-4%	-2%
		SSP245	5%	-15%	35%	13%	-13%	9%
		SSP370	23%	10%	59%	24%	8%	21%
		SSP585	23%	29%	67%	12%	3%	29%
	全部模式 於50% 百分位	SSP126	1%	4%	-11%	9%	3%	-2%
		SSP245	1%	-4%	-4%	9%	-7%	-5%
		SSP370	-3%	-9%	-12%	7%	-5%	-3%
		SSP585	-2%	-5%	-12%	3%	5%	-1%
中部	TaiESM1	SSP126	15%	8%	51%	-1%	6%	0%
		SSP245	1%	-13%	26%	-7%	-15%	-9%
		SSP370	21%	8%	42%	13%	7%	22%
		SSP585	19%	47%	56%	-4%	-9%	0%
	全部模式 於50% 百分位	SSP126	0%	7%	-12%	5%	6%	0%
		SSP245	0%	-5%	-2%	0%	3%	6%
		SSP370	-4%	-7%	-10%	2%	2%	8%
		SSP585	-6%	-4%	-9%	1%	1%	1%

地區	模式選用	排放路徑	平均年流量	春季流量 (2~4月)	梅雨季流量 (5~6月)	颱風季流量 (7~9月)	秋季流量 (10~11月)	冬季流量 (12~1月)
南部	TaiESM1	SSP126	12%	-7%	61%	-7%	5%	5%
		SSP245	1%	-20%	40%	-13%	-16%	-14%
		SSP370	10%	-24%	34%	3%	-17%	42%
		SSP585	12%	66%	69%	-9%	-30%	10%
	全部模式 於50% 百分位	SSP126	1%	8%	-7%	-1%	4%	6%
		SSP245	1%	-3%	-4%	-1%	1%	19%
		SSP370	0%	2%	-14%	3%	1%	20%
		SSP585	-4%	-2%	-12%	-1%	4%	15%
東部	TaiESM1	SSP126	14%	0%	112%	-2%	5%	2%
		SSP245	1%	-10%	73%	-7%	-14%	-4%
		SSP370	16%	10%	57%	15%	-7%	28%
		SSP585	13%	34%	135%	-8%	-11%	18%
	全部模式 於50% 百分位	SSP126	2%	-2%	1%	2%	0%	0%
		SSP245	7%	-3%	2%	9%	-6%	1%
		SSP370	-1%	-4%	-11%	8%	-11%	3%
		SSP585	0%	1%	-10%	1%	8%	1%



第五章 結果與討論

本研究將 CMIP6 全球暖化 1.5°C 情境之統計降尺度日資料應用於水資源分析，並以模式選擇方式之結果差異進行分析比較，研究中選擇平均年流量及五個自然季節共六項作為比較指標，再細分成四種不同排放路徑 SSP126、SSP245、SSP370 及 SSP585 之流量變化率進行探討。水資源風險評估則選擇百分位 50%(中位數)及百分位 75%(較極端)模擬模式於不同情況下之差異，以作為風險評估方式之初探。茲將重點結果分作幾個面向說明如下：

1. 整體結果訊號強度與不確定性：以全部模式及不同路徑進行探討，平均年流量分析結果差異均並不顯著，而細分為五季則出現季節差異，以南部地區之流量資料變動範圍程度最大而北部地區最小，進一步以台灣水資源應用較重視之春季、梅雨季及冬季來看路徑差異，發現南部地區變動範圍仍大，而北部仍然為最小，顯示北部推測結果不確定性可能較低。
2. 挑選模式數量對結果之差異：以全部模式、前十大及前十名模式中之 TaiESM1 之結果分析比較，與全部模式比較前十名模式之變動範圍更大，其中以南部地區之範圍變得更顯著。TaiESM1 評估各項指標則有更大的差異，以六項指標結果來看，推估結果亦不

同甚至呈現相反的結果，例如在平均年流量及梅雨季流量，於所有路徑之北中南東四區均呈現一致性增加較全部模式之結果，北部之冬季流量反而為增加。

3. 不同排放路徑結果之差異：整體而言在春季、梅雨季及冬季 SSP126 及 SSP245 結果流量減少較少，而 SSP370 及 SSP585 則減少較明顯；亦有例外情況，如 75%百分位 SSP126 反而較 SSP585 減少，或前十名模式中北部冬季流量風險減低而南部地區風險增加，與全部模式結果相反。
4. 水資源衝擊與風險：採用全部模式時，無論以模式百分位 50%或 75%，發現雖然各排放路徑結果雖然略有差異，但以水資源較重視之枯水期流量如春季及冬季流量，結果均顯示北部地區風險可能較高。前十名模式與全部模式差異性比較方面存在部分差異，綜合 50%百分位與 75%百分位於冬季、春季及梅雨季之流量結果，北、中及東部冬季及春季連續兩季流量減少之風險，而南部流量則為增加。若以單一模式之 TaiESM1 評估時，顯示 SSP370 或 SSP585 流量增加之季節最多，此結果與全部模式結果為 SSP126 或 SSP245 不同。

5. 水資源風險應用之建議：以本研究設定之全球暖化 1.5°C 情境，各水資源分區顯示出不同之模式不確定性，不同的排放路徑亦有可能得到不同之結果。研究過程中亦發現，因為模式散布範圍不同，風險評估時百分位 50% 結果可能相近，但是百分位 75% 則可能出現迥異之結果，而單一模式造成的差異可能更大。故在選擇模式時建議應以目的導向，先考慮模式不確定性或風險承受程度，再依設定之情境採用對應之排放路徑或模式選擇方式應該是較好的做法。



致謝

感謝國科會(計畫編號：MOST 111-2119-M-865-002)提供經費、設備等相關資源，使本研究得以順利完成相關研究成果。此外承蒙「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫 (Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, 簡稱 TCCIP) 計畫參與人員諸多建議與指導，特此感謝。



參考文獻

- Climate Change (2021). The Physical Science Basis, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- Haith, D. A., Mandel, R., & Wu, R. S., (1992). GWLF, generalized watershed loading functions, version 2.0, user's manual. Dept. of Agricultural & Biological Engineering, Cornell University, Ithaca, NY.
- IPCC 氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告，
https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/data_document/20210810135326.pdf
- IPCC 評估報告的架構與簡介 https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/activity_agenda/20211118205605.pdf
- 陳昭銘 (2008)。臺灣之自然季節，水利土木科技資訊季刊，42 期。
- Chow, V. T., David R. Maidment, Larry W. Mays(1988), Applied Hydrology, McGraw-Hill
- 劉子明 (2010)。氣候變遷對區域水資源衝擊評估整合系統之研究，國立台灣大學生物環境系統工程學系博士論文

附件一

GWLF 模式參數驗證成果



本研究採用之 GWLF 水文模式所需之地文參數包括集水區面積、集水區土地利用 (以 CN 值代表)、集水區退水係數等參數，參考「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」(TCCIP)第三期計畫成果。報告中蒐集相關報告 (2011、2012a、2012b、2012c) 以及國土測繪中心 2016 年之國土利用調查成果輔以地理資訊系統計算地文資料，退水係數則由觀測雨量與觀測流量計算取得。彙整臺灣北部、中部、南部、東部重要集水區控制點及相關雨量站，共蒐集全台控制點 58 區，其中北部地區 8 區 (介壽橋(1)站、翡翠水庫、南勢溪、石門水庫、三峽(2)站、內灣站、上坪站、羅東堰、雙溪站)；中部地區 13 區 (田美攔河堰、明德水庫、打鹿坑堰、士林堰、雪山坑溪、鯉魚潭水庫、石岡壩、溪南橋站、南北通橋站、觀音橋站、南崗大橋站、集集攔河堰、桶後堰)；南部地區 6 區 (觸口站、曾文水庫、南化水庫、牡丹水庫、高屏堰、阿其巴橋站)、東部地區 6 區 (南溪壩、馬鞍溪橋站、立山站、卓樂橋站、馬遠橋站、新武呂(4)站、臺東大橋站、利嘉(2)站、知本(3)站)。

模式集水區流量驗證部分，模擬流量之雨量資料來源為集水區內觀測測站資料，並利用徐昇氏多邊形法計算集水區平均雨量，集水區平均溫度則使用 TCCIP 觀測網格計算，模式集水區參數如上所述，觀測流量資料則透過水利署水規所合作取得，部分集水區尚未取得觀

測流量，驗證成果將陸續補齊。使用之基期時間為 1976~2005 年，故模式驗證亦採用相同時段。驗證成果使用皮爾森相關係數 (Pearson correlation coefficient, Pearson's r)、NASH 效率係數 (Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient, NSE) 以及均方根誤差 (root-mean-square error, RMSE) 代表。全台各分區集水區驗證成果分別如附圖 1 至附圖 4 所示。

集水區資訊			集水區參數			驗證成果				
區域	河川	控制點	面積(km ²)	CN值	退水係數	Pearsons' r	NSE	RMS	驗證年數	驗證時段
北部	基隆河	介壽橋(1)	94.40	73	0.076	0.62	0.59	204.40	25	1981-2005
	新店溪	翡翠水庫	303.00	71	0.050	0.85	0.82	103.47	28	1978-2005
		龜山	318.16	71	0.050	0.92	0.83	129.89	13	1993-2005
	大漢溪	石門水庫	763.40	71	0.031	0.87	0.83	74.78	30	1976-2005
		三峽(2)	125.34	76	0.108	0.82	0.81	75.24	30	1976-2005
	頭前溪	內灣	139.07	71	0.044	0.50	0.49	168.93	30	1976-2005
		上坪	221.73	71	0.036	0.65	0.57	168.16	29	1976-2004
	雙溪	雙溪	116.00	72	0.110	0.76	0.69	185.94	25	1981-2005
蘭陽溪	羅東堰	123.66	64	0.064	-	-	-	-	-	

附圖 1 集水區參數與模式驗證成果 (北部地區)

集水區資訊			集水區參數			驗證成果				
區域	河川	控制點	面積(km ²)	CN值	退水係數	Pearsons' r	NSE	RMS	驗證年數	驗證時段
中部	中港溪	田美攔河堰	143.12	72	0.040	-	-	-	-	-
	後龍溪	明德水庫	61.08	85	0.040	0.73	0.70	103.03	24	1981-2004
		打鹿坑堰	247.28	55	0.040	0.78	0.68	95.69	25	1980-2004
	大安溪	士林堰	450.00	72	0.040	0.72	0.67	120.70	26	1980-2005
		雪山坑溪	45.32	72	0.040	0.70	0.31	153.43	25	1980-2004
		鯉魚潭水庫	53.45	88	0.040	0.39	0.15	201.75	25	1980-2004
		石岡壩	1,061.00	80	0.080	-	-	-	-	-
	烏溪	溪南橋	269.40	80	0.029	-	-	-	-	-
		南北通橋	408.00	64	0.029	-	-	-	-	-
		觀音橋	338.00	65	0.001	-	-	-	-	-
		南崗大橋	253.58	75	0.003	0.74	0.31	172.29	26	1980-2005
	濁水溪	集集攔河堰	2,034.00	60	0.020	-	-	-	-	-
		桶後堰	259.20	81	0.040	0.88	0.87	87.39	26	1980-2005

附圖 2 集水區參數與模式驗證成果 (中部地區)

集水區資訊			集水區參數			驗證成果				
區域	河川	控制點	面積(km ²)	CN值	退水係數	Pearsons' r	NSE	RMS	驗證年數	驗證時段
南部	八掌溪	觸口	83.15	72	0.024	-	-	-	-	-
	曾文溪	曾文水庫	481.00	74	0.042	0.96	0.94	67.60	18	1988-2005
	曾文溪	南化水庫	104.00	74	0.121	0.82	0.81	123.55	18	1988-2005
	高屏溪	甲仙堰	407.89	72	0.062	0.54	0.46	211.63	18	1988-2005
		高屏堰	3,007.00	72	0.062	-	-	-	-	-
		阿其巴橋	403.90	75	0.045	-	-	-	-	-
	東港溪	潮州	175.30	79	0.045	0.89	0.83	116.78	13	1993-2005
	四重溪	牡丹水庫	69.20	79	0.024	0.94	0.92	64.28	18	1988-2005

附圖 3 集水區參數與模式驗證成果 (南部地區)

集水區資訊			集水區參數			驗證成果				
區域	河川	控制點	面積(km ²)	CN值	退水係數	Pearsons' r	NSE	RMS	驗證年數	驗證時段
東部	和平溪	南溪壩	158.00	75	0.020	-	-	-	-	-
	花蓮溪	馬鞍溪橋	136.46	75	0.040	-	-	-	-	-
		花蓮大橋	1,506.00	75	0.040	0.68	0.38	117.92	30	1976-2005
	秀姑巒溪	立山	249.40	70	0.015	-	-	-	-	-
		卓樂橋	456.32	60	0.010	-	-	-	-	-
		馬遠橋	85.94	60	0.015	-	-	-	-	-
		瑞穗大橋	1,538.81	70	0.015	0.82	0.64	110.84	30	1976-2005
	卑南溪	新武呂(4)	638.78	75	0.015	-	-	-	-	-
		台東大橋	1,584.29	78	0.020	0.74	0.67	101.97	30	1976-2005
	利嘉溪	利嘉(2)	148.62	85	0.025	-	-	-	-	-
知本溪	知本(3)	165.96	90	0.020	-	-	-	-	-	

附圖 4 集水區參數與模式驗證成果 (東部地區)

CMIP6 資料於水資源應用之細部探討

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 111 年 12 月

出版年月：中華民國 112 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>