

TCCIP期末成果發表會

氣候變遷對水資源的衝擊與不確定性探討

陳韻如、劉俊志、謝佳穎、童慶斌
國家災害防救科技中心

2011 / 12 / 08

- 前言
- TCCIP提供資料說明
- 應用統計降尺度資料於流量衝擊評估
- 不確定性探討
 - 不同情境
 - 挑選模式
 - 天氣繁衍模式

相關文獻與專家經驗建議氣候變遷衝擊影響分析原則：

- 使用多種氣候模式
- 使用多種降尺度方法
- 使用多種水文模式、多種參數推估法及多種操作應用
- 確實進行跨領域溝通
- 進行不同空間尺度之衝擊影響評估
- 進行模式資料之偏差較正

• TCCIP目前提供統計降尺度後資料

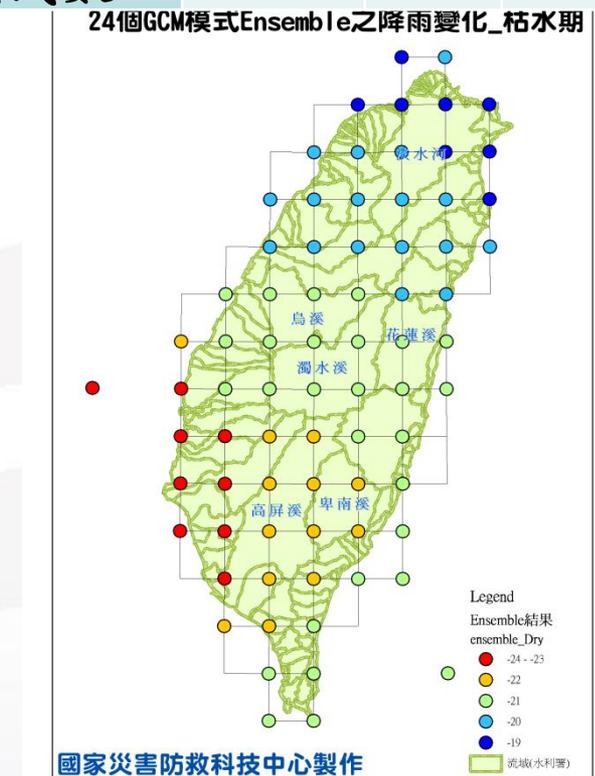
- 25km×25km空間屬性
- A1B、B1、A2三種氣候情境
- 各國不同GCM模式模擬的結果
- 月降雨量與月溫度

情境	A1B	B1	A2
GCM模式數	24	21	19

• 建議使用端分析

- 所有的GCM模式的產出
- 多重模式平均

(Multi-Model Ensemble)



前言(III)

- 氣候變遷對水文、水資源、農業衝擊等相關研究中，多需要應用大氣環流模式（GCM），模擬未來情境的資料，受限於
 - 解析度過低 → 統計降尺度改善空間解析度
 - 預測月平均變化 → 天氣合成模式產製日資料
 - 無法逐一分析所有模式 → 挑選GCM模式

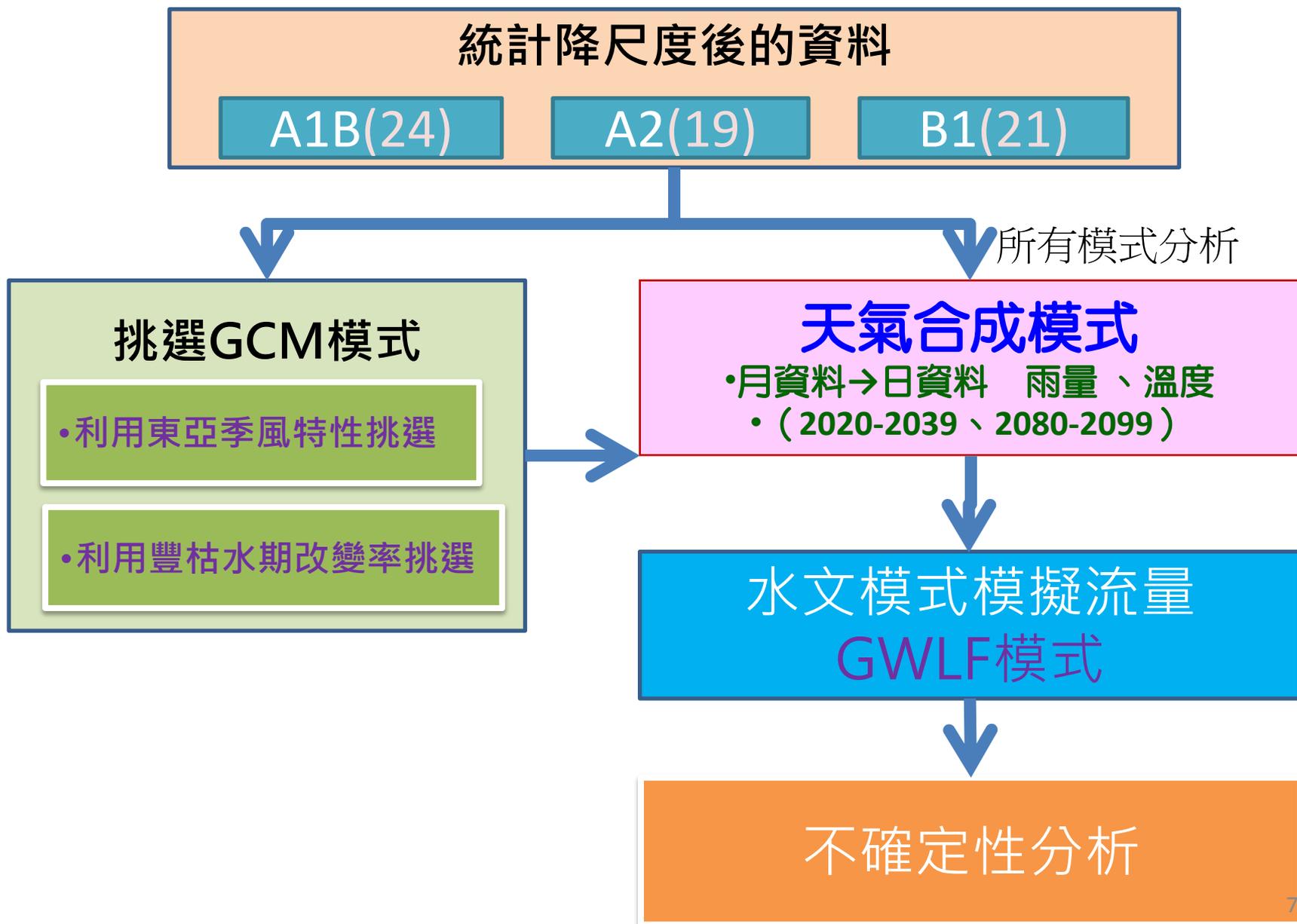
1. 所有GCM模式推估之月資料的結果

2. 多重模式平均 (Multi-Model Ensemble)

3. 假設最劣情境 (豐水期增加一倍標準差，枯水期減少一倍標準差)

4. 挑選模擬東亞季風較佳的GCM模式

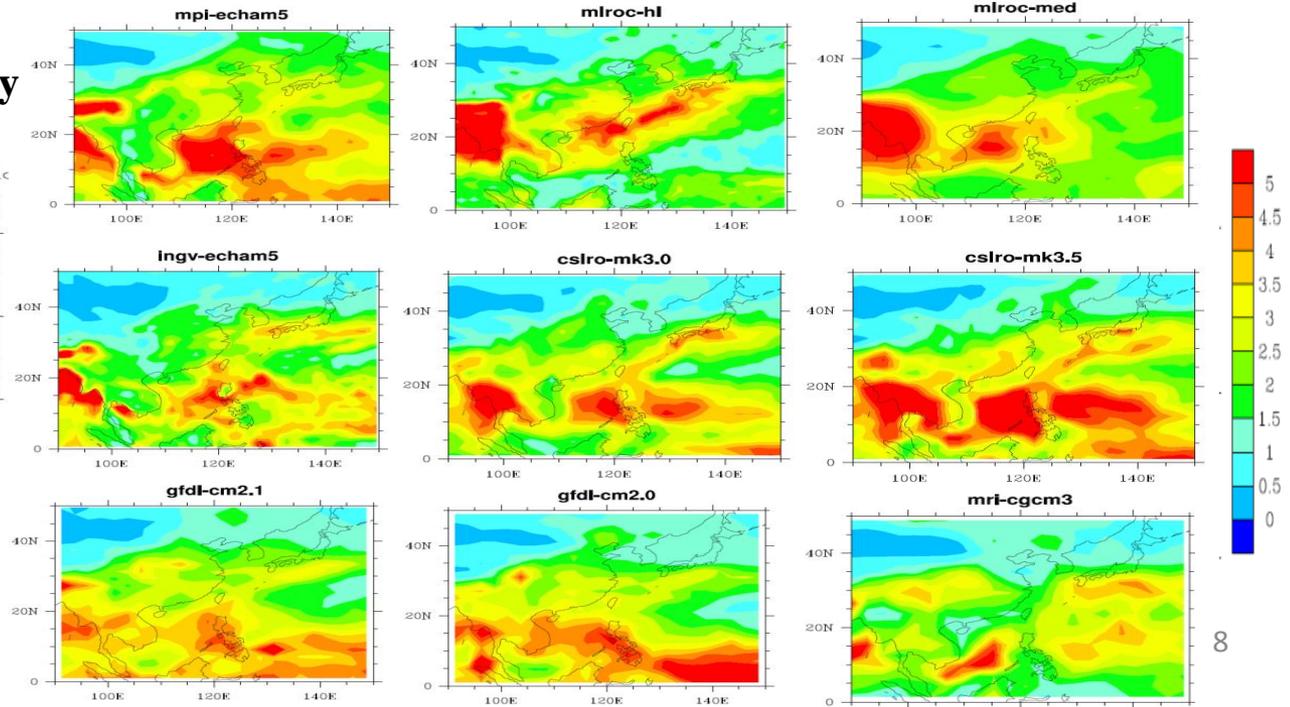
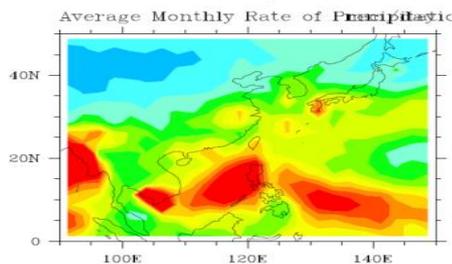
研究分析流程



方法I：依據東亞季風表現挑選GCM模式

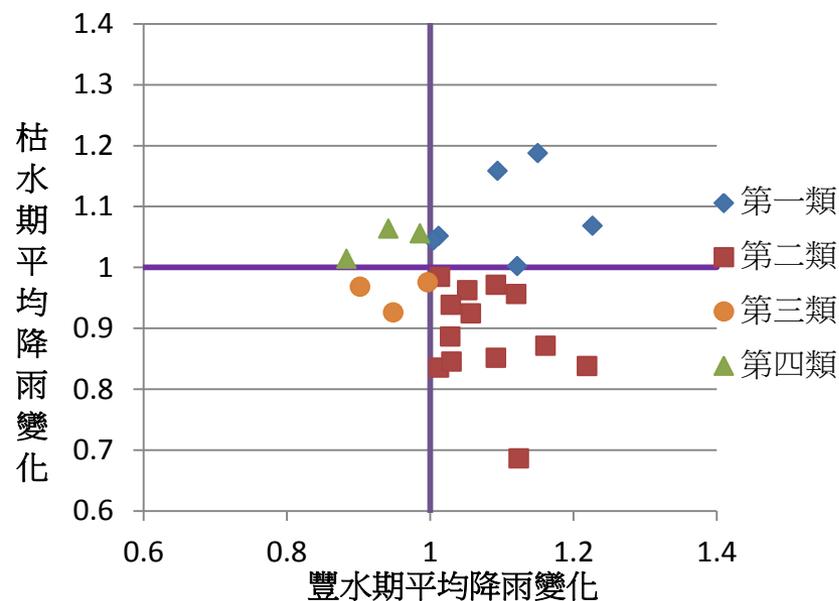
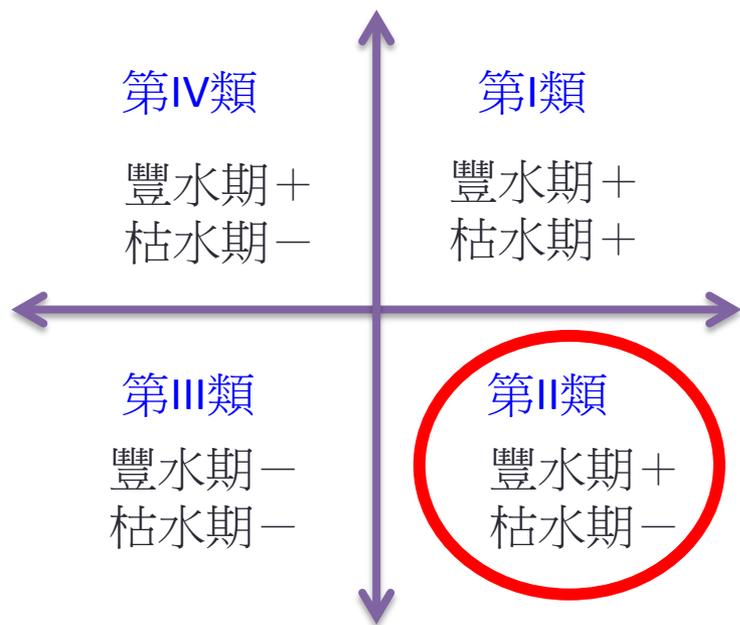
Mean precipitation of MJ	Mean temperature of JAS	Temperature Variability during MJ season
Mean temperature of MJ	Mean MSLP of JAS	Temperature Variability during JAS season
Mean MSLP of MJ	Precipitation Variability during MJ season	Monthly average rainfall distribution through latitude (25N-40N) averaged over (100-160E)
Mean precipitation of JAS	Precipitation Variability during JAS season	

Precipitation Variability during Mei-ju season



Most of them are of similar pattern like observation.

方法II：依據豐枯水期降雨變化挑選模式



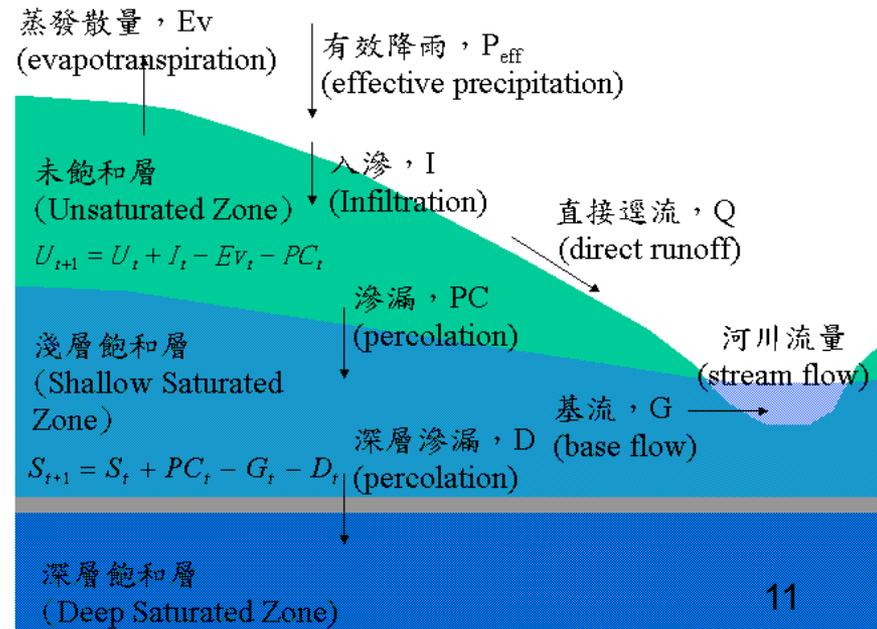
挑選結果：同屬於第二類的GCM模式(12個)

- | | | |
|---------------------|--------------------|-------------------|
| 1.cccma_cgcm3_1_t63 | 5. iap_fgoals1_0_g | 9. mri_cgcm2_3_2a |
| 2.csiro_mk3_5 | 6. inmcm3_0 | 10.ncar_ccsm3_0 |
| 3.giss_aom | 7. miroc3_2_hires | 11.ncar_pcm1 |
| 4.giss_model_e_r | 8. miub_echo_g | 12.ukmo_hadgem1 |

- 天氣合成模式 (Weather Generator) 推估月雨量到日雨量
 - (1) 利用乾濕日移轉機率決定降雨與否
 - 降雨發生過程 (判斷是乾天或是濕天) 利用一階馬可夫鏈模式 (Markov chain) 評估
 - (2) 利用機率分布決定濕日降雨量之多寡
 - 濕天的降雨總量，是利用一個適當的統計分佈隨機抽樣以獲得降雨總量，如指數分佈、韋伯分佈、伽瑪分佈等。

流量模式

- 採用GWLF模式 (Generalized Watershed Loading Functions, Haith and Shoemaker, 1987) 進行流量衝擊評估模擬。
- 考量影響流量之物理因素的水平衡收支模式
- 水文模式參數較少，適合應用於氣候變遷衝擊評估，降低參數不確定性。
- 可分別推求集水區降雨量、蒸發散量、地表逕流量、地下水出流量，由未飽和層至飽和層的滲漏量，以及深層滲漏量等。
- 上游集水區河川流量主要來源包括地表逕流與地下水排出形成之基流。



氣候變遷評估過程不確定性的來源

二氧化碳情境

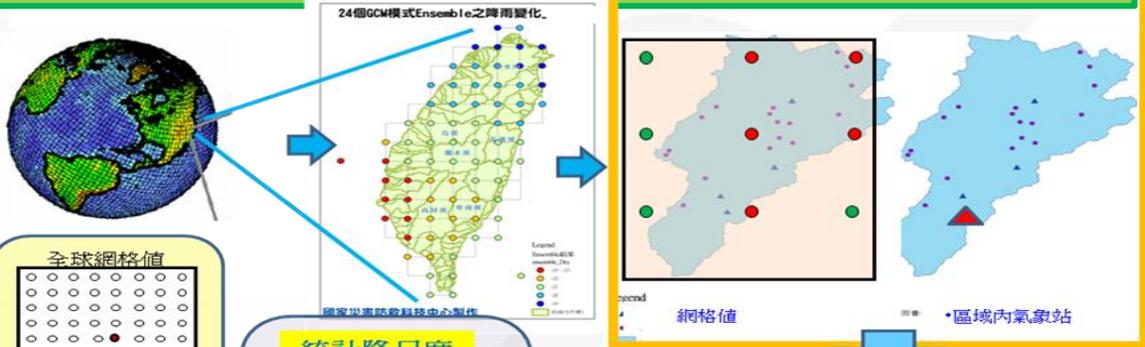
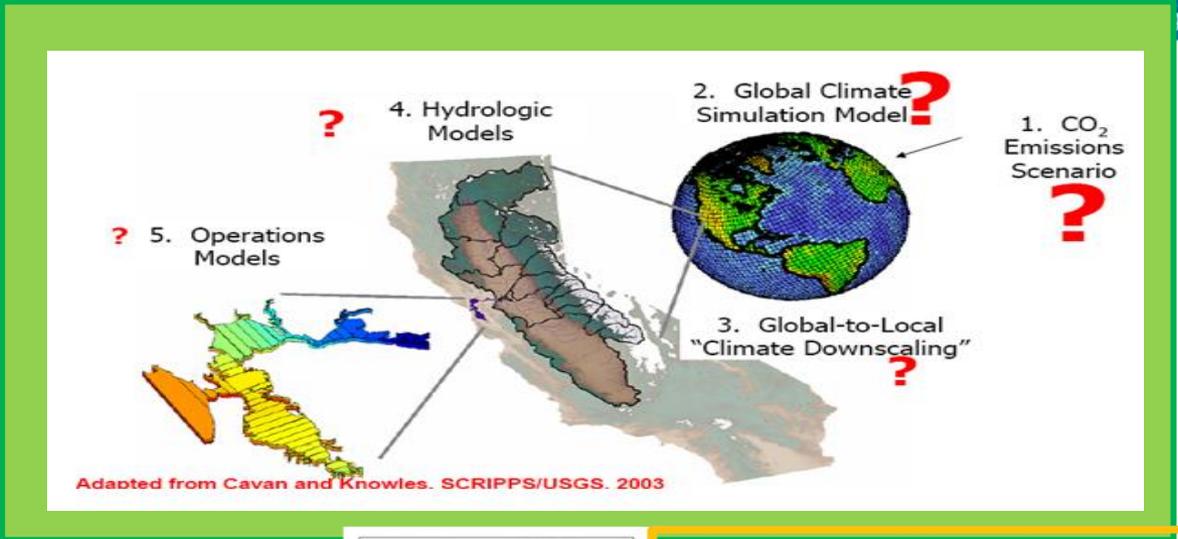
GCM大氣環流模式

氣候降尺度

水文模式

水文參數

操作模式



全球網格值

○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

IPCC提供之GCM模式輸出氣候資料

統計降尺度

網格值

區域內氣象站

月平均氣候變化

- 區域網格
- 氣象站

氣象資料繁衍 (weather generation) 繁衍成日氣象資料

氣象站日氣象資料

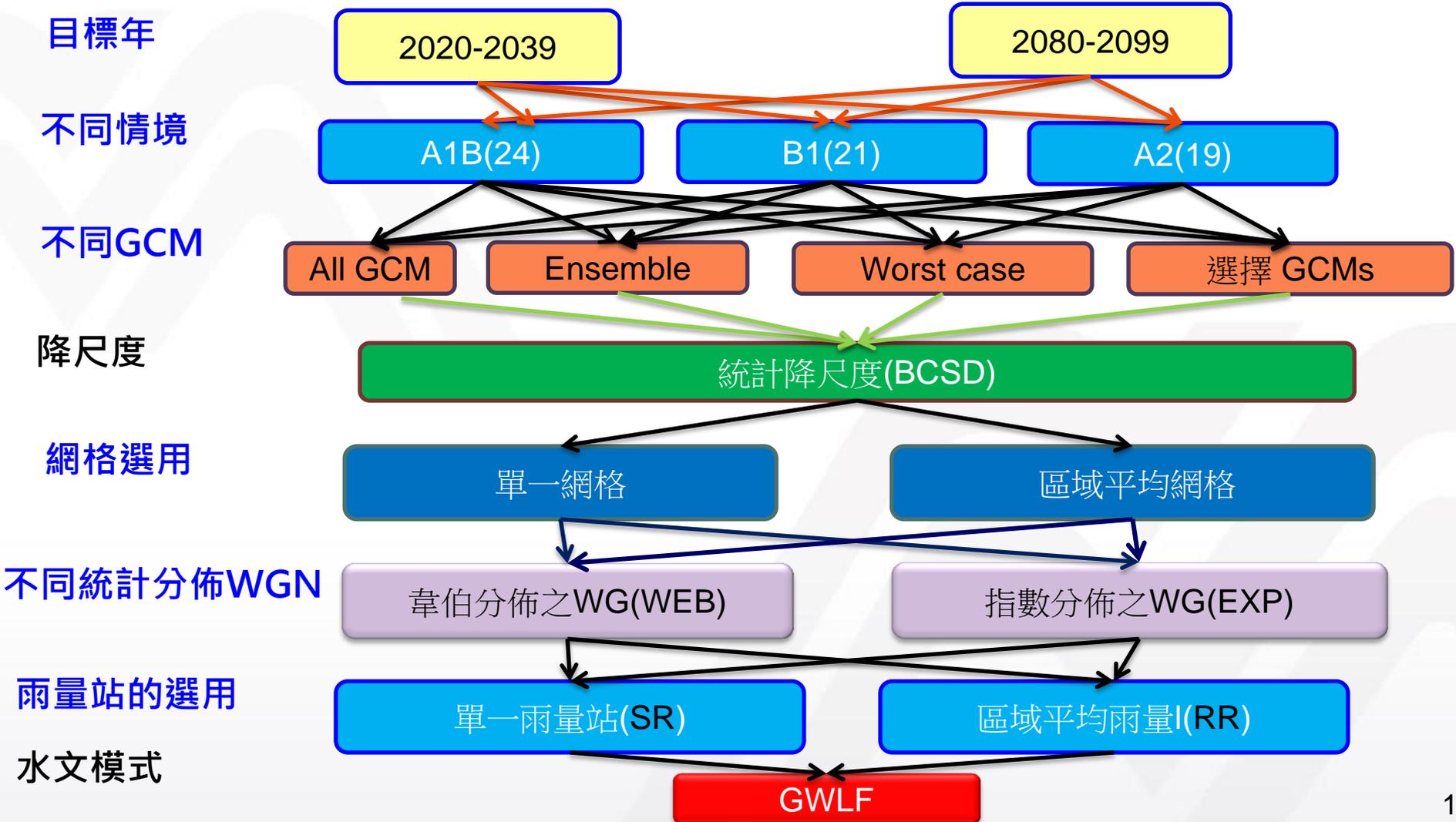
水文模式、水資源系統輸入檔

氣象站

流量站

不確定性分析

在氣候變遷衝擊下，不同變相組合對流量的衝擊不確定性探討
(2期間X3情境X24GCM X2Grid X2WG X2雨量站)



一.氣候變遷下降雨改變率之變化

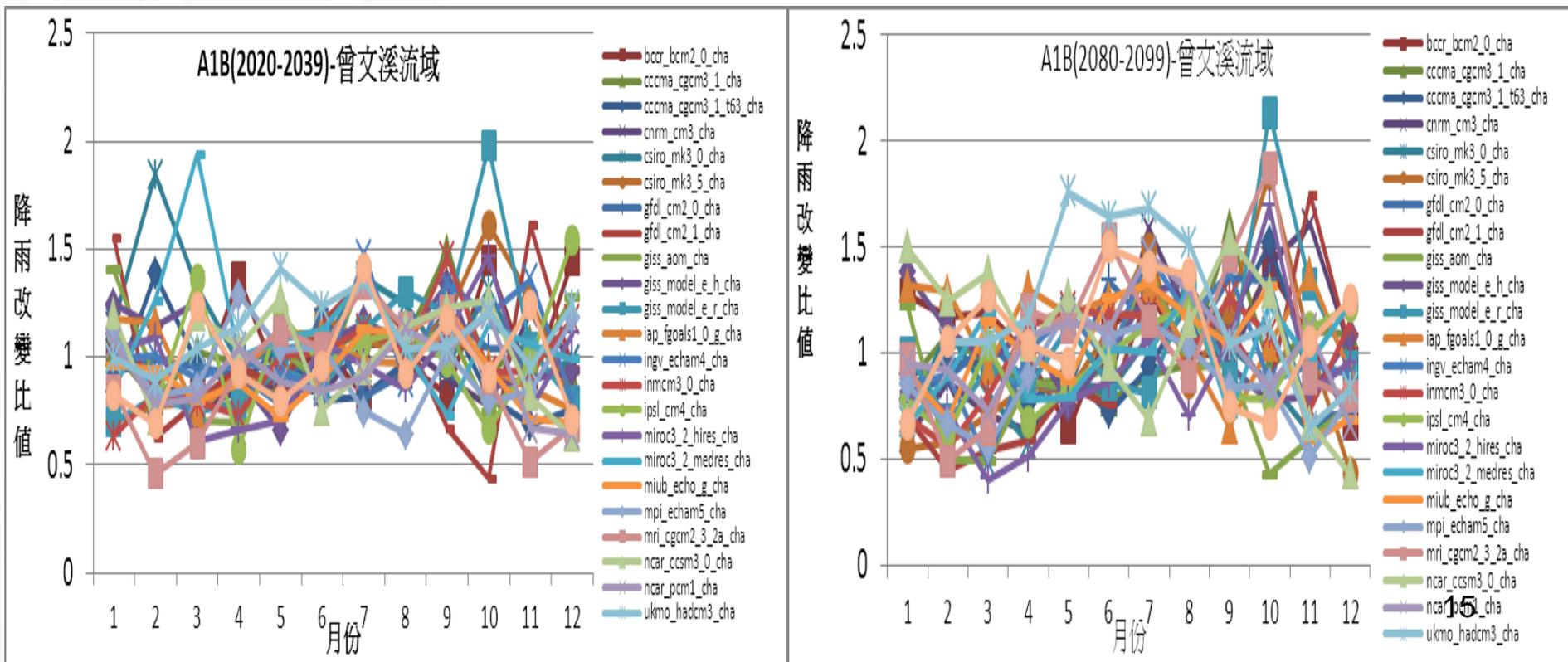
1. 所有GCM模式推估結果
2. 多重模式平均的降雨改變率
3. 假設最劣情境的降雨改變率空間分佈
4. 挑選GCM模式結果

二.氣候變遷對流量衝擊結果

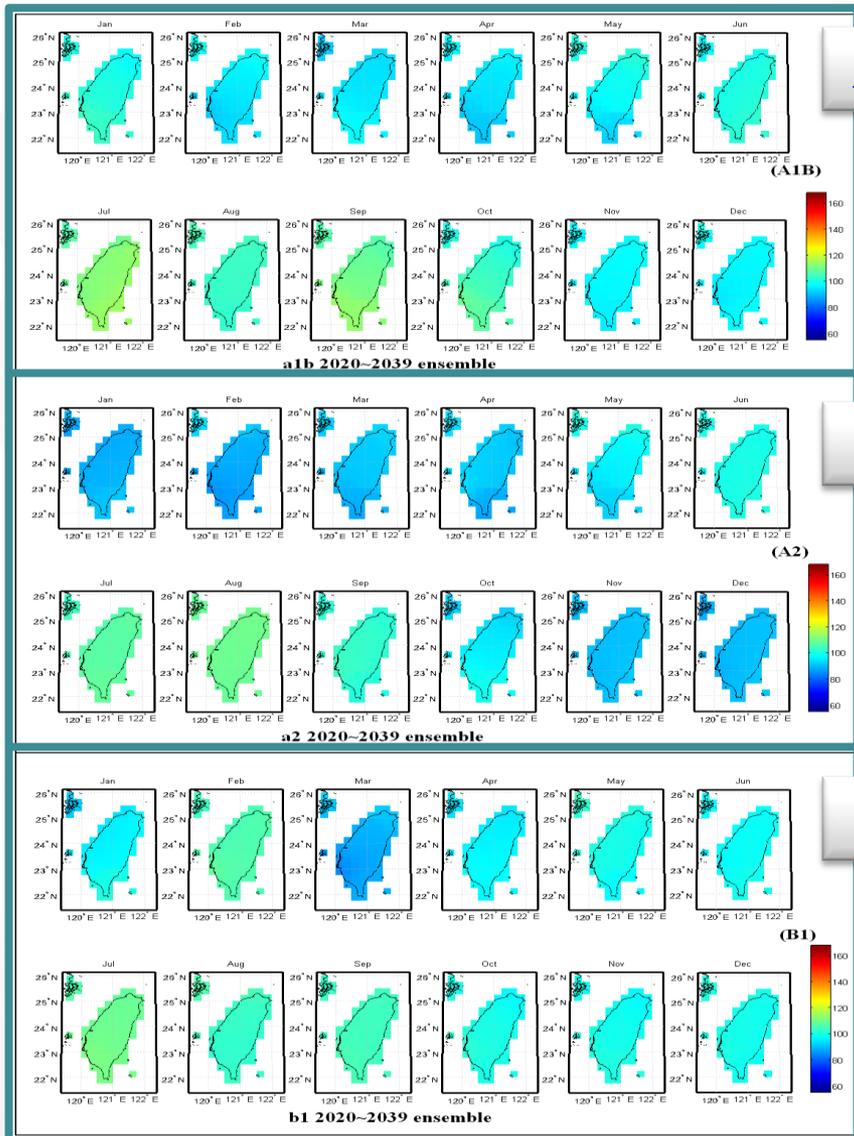
三.氣候變遷情境不確定性評估

所有GCM模式推估結果

- 以曾文溪為例，A1B情境
- 月降雨改變率最大改變率發生於10月份
- 最大月改變比值為2倍



多重模式平均的降雨改變率 (I)



A1B

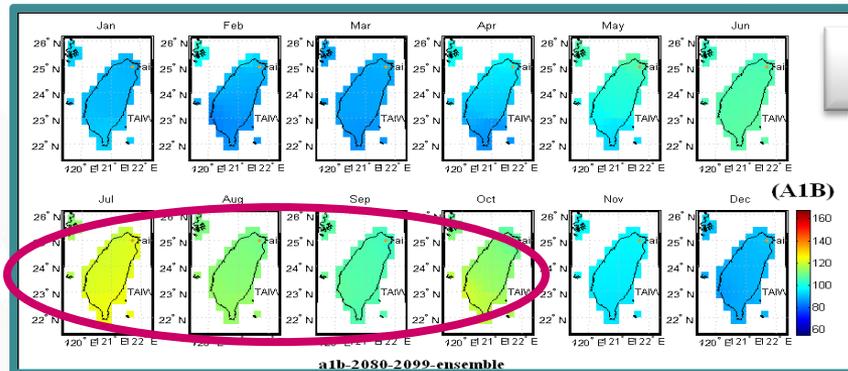
近未來 (2020~2039年)

- 三種情境之近未來降雨變化約在 $\pm 10\%$ 之間。
- 三種情境之全台降雨改變率在空間上具一致性
- 以A1B情境的降雨改變率較大。

A2

B1

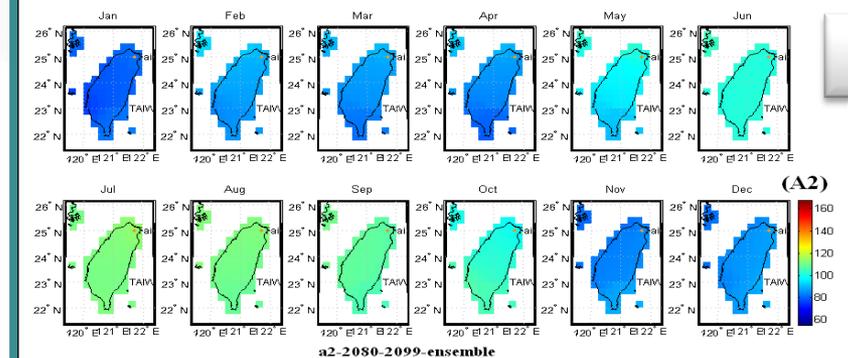
多重模式平均的降雨改變率 (II)



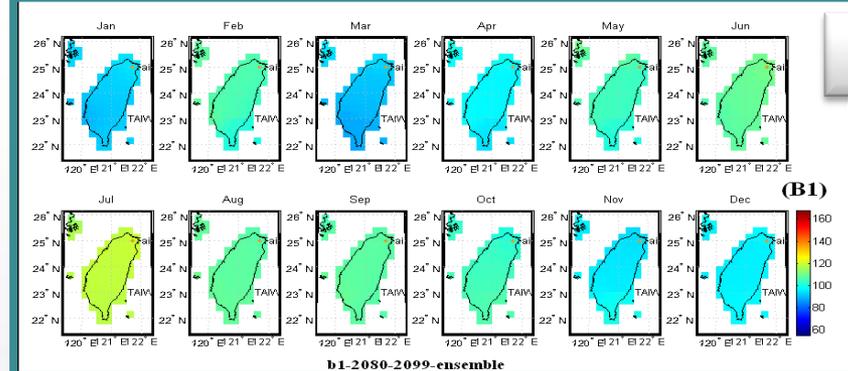
A1B

世紀末 (2080~2099年)

- 降雨變化約在 $\pm 15\%$ 。
- 在枯水期降雨改變率之空間變化較一致，
- 豐水期的月降雨改變率較有不同程度的空間差異



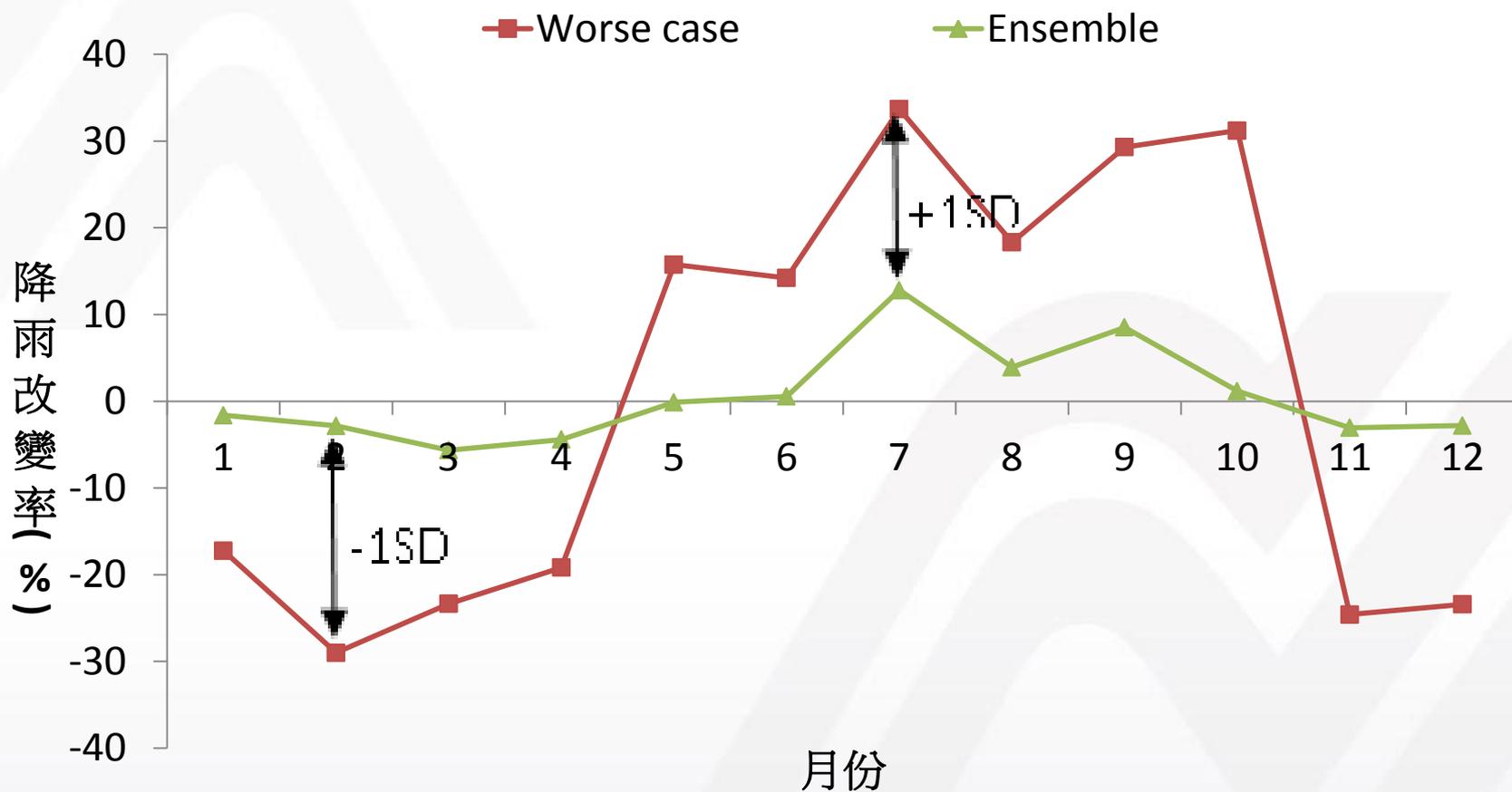
A2



B1

假設最劣情境

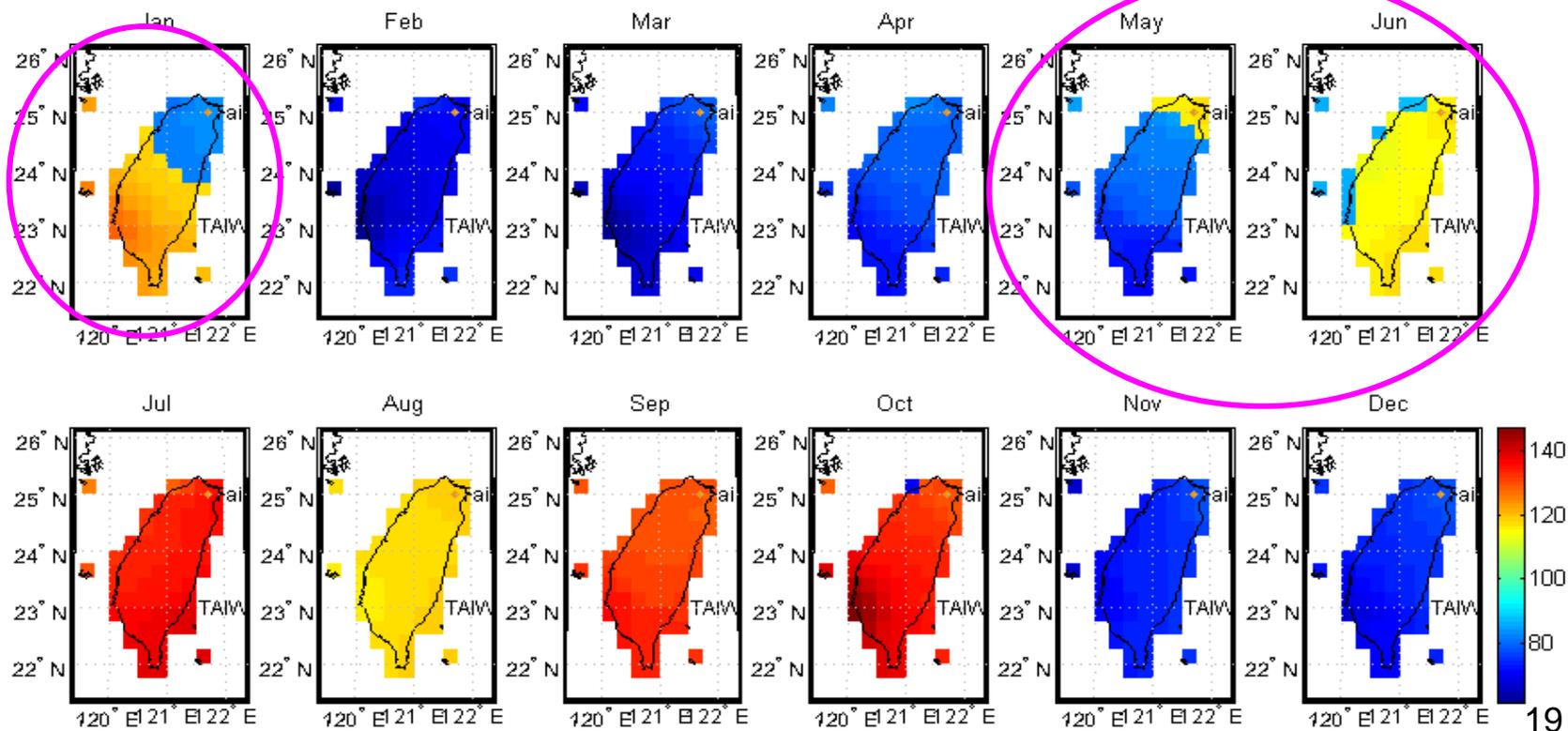
淡水河-網格191



以多模式平均正負值依據建立最劣情境

- 空間變異性大：1、5與6月的情境有較大的空間差異性。
 - 1月份變成北部降雨減少，而南部卻是降雨增加
 - 5月份變成東北角區域降雨減少，其他區域變成降雨減少
 - 6月份則是西部沿岸會有一些奇怪的變異點，變成降雨減少
- 建議不要採用此方式決定最劣情境。

A1B

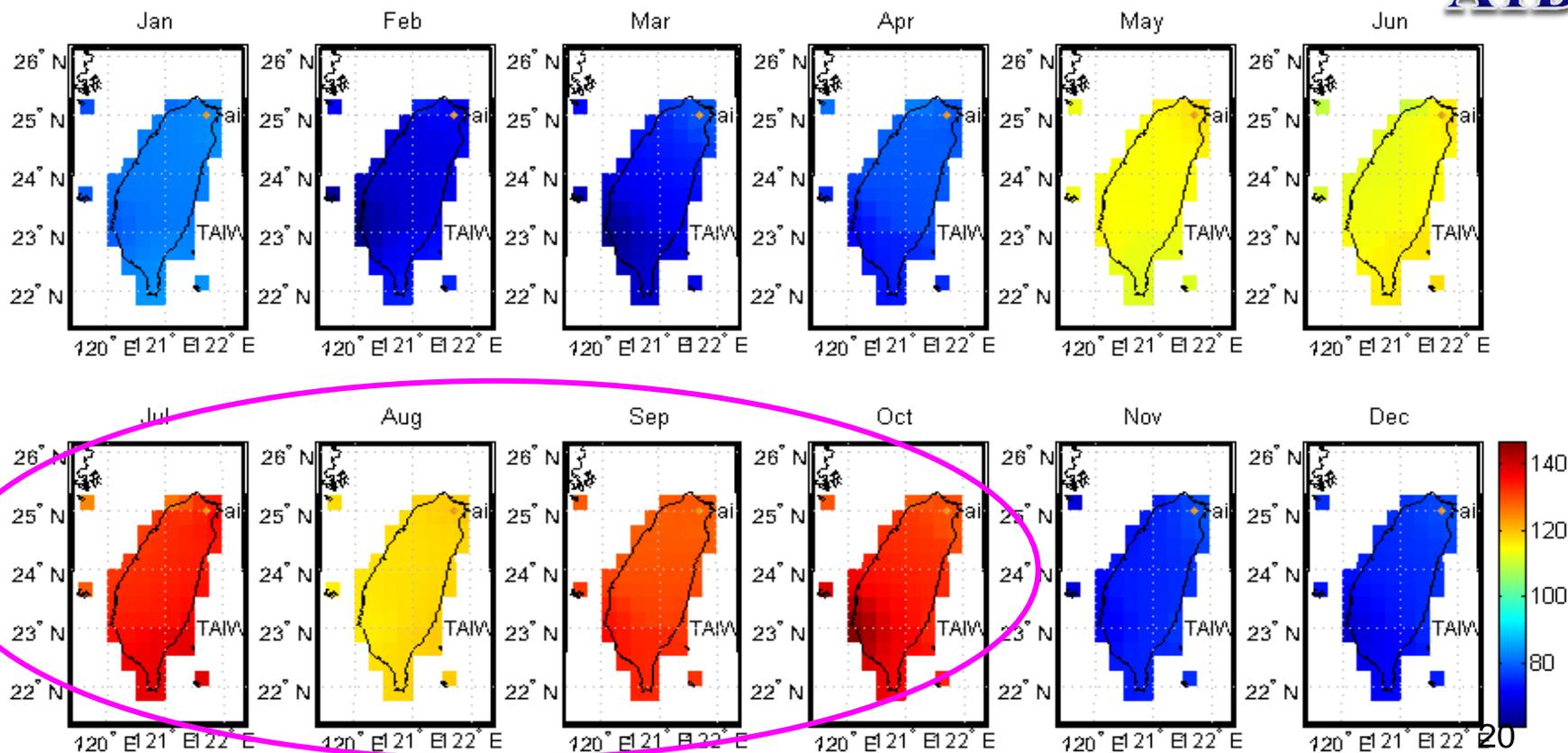


ensemble > 100 = plus ensemble < 100 = minus

以豐枯水期為依據建立最劣情境

- ▶ 較有空間一致性:以豐水期採用+1SD，枯水期採用-1SD，作為最劣情境。
 - 2~3與11~12月份降雨改變率減少較多
 - 7、9、10月份降雨增加率較為明顯
- ▶ 建議採用此方式決定最劣情境。

A1B



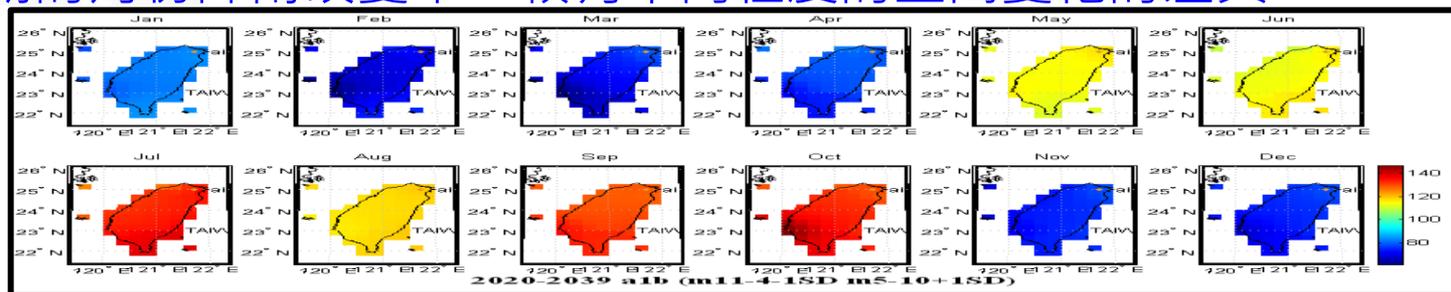
2020-2039 a1b (m11-4-1SD m5-10+1SD)

假設之最劣情境的降雨改變率-近未來

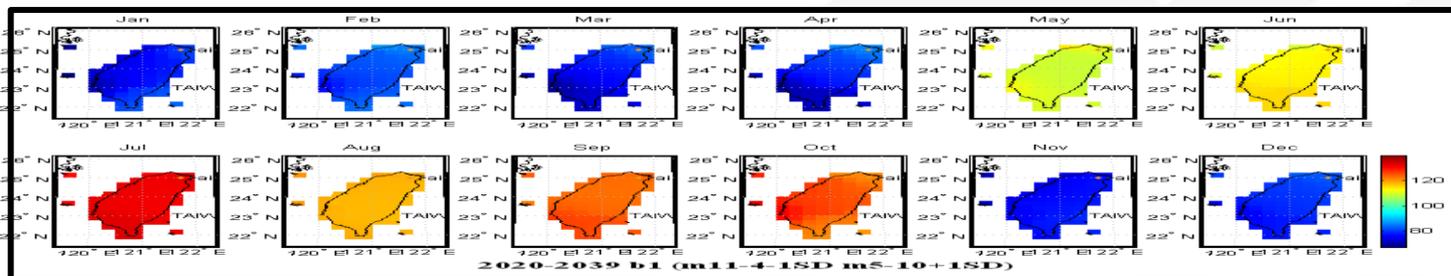
(2020~2039)

- 近未來的情境降雨改變比值介於0.6~1.4之間。
- 三種情境(A1B、B1、A2)空間變化差異不大。
- 枯水期降雨改變率，三個情境在空間變化較一致性
- 豐水期的月份降雨改變率，較有不同程度的空間變化的差異。

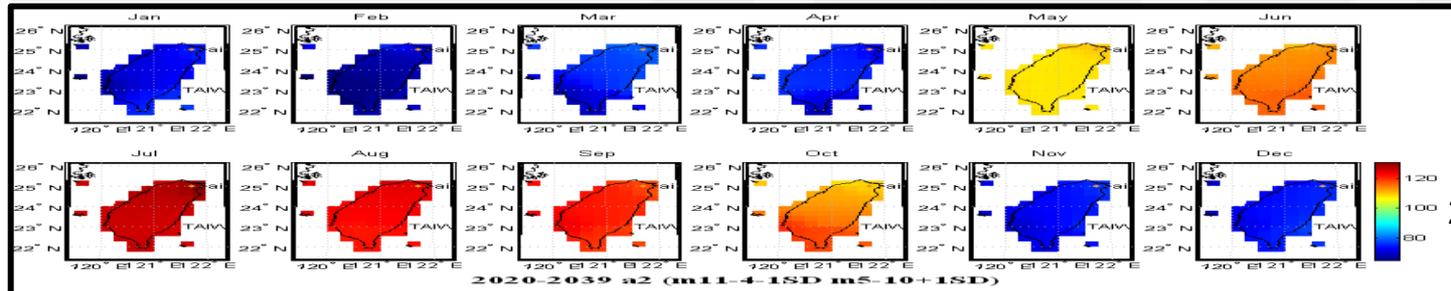
A1B



B1



A2

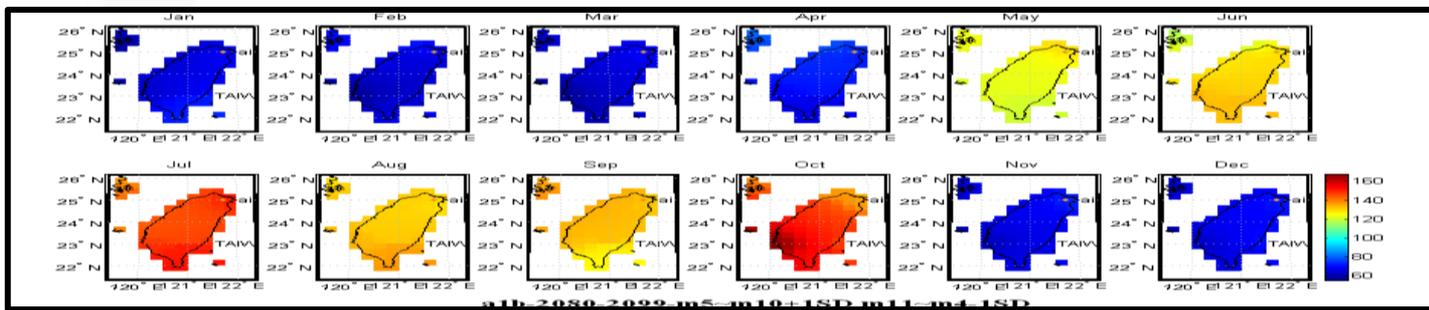


假設之最劣情境的降雨改變率-世紀末

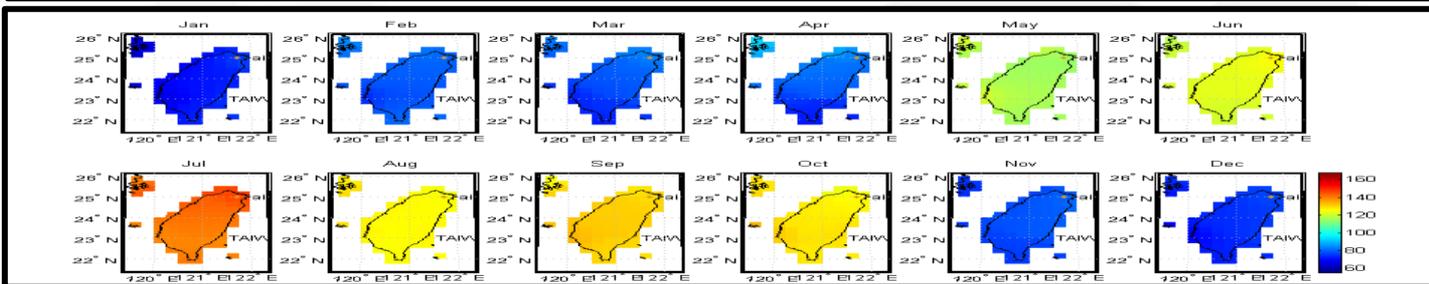
(2080~2099)

- ▶ 近未來的情境降雨改變比值介於0.6~1.6之間。
- ▶ 豐枯水期降雨改變率，三個情境在空間變化與近未來相似。

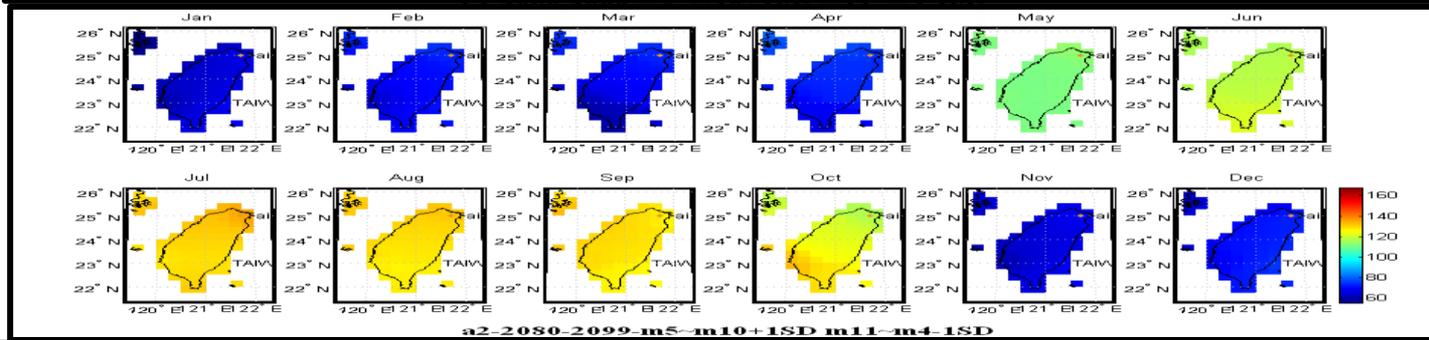
A1B



B1

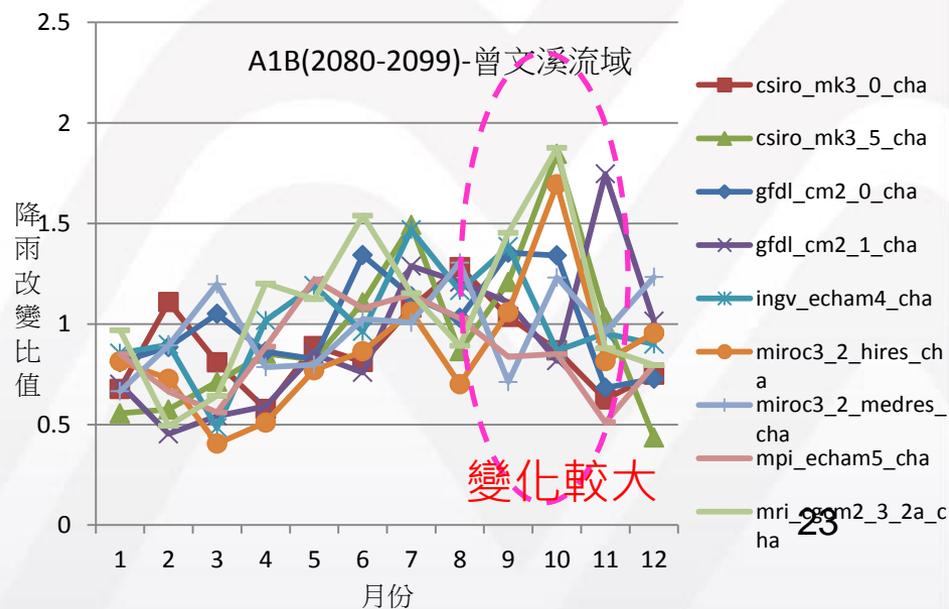
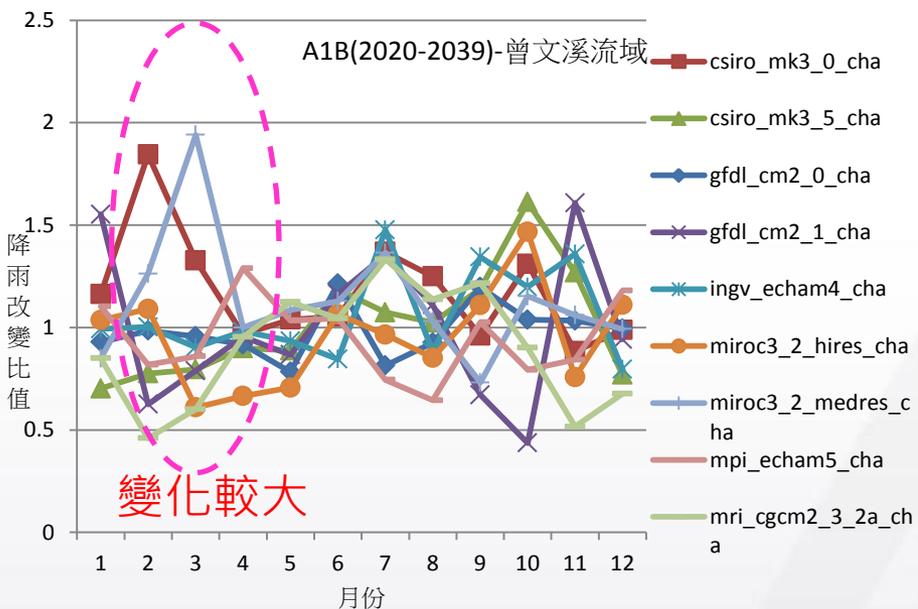


A2



挑選GCM模式結果 (I)

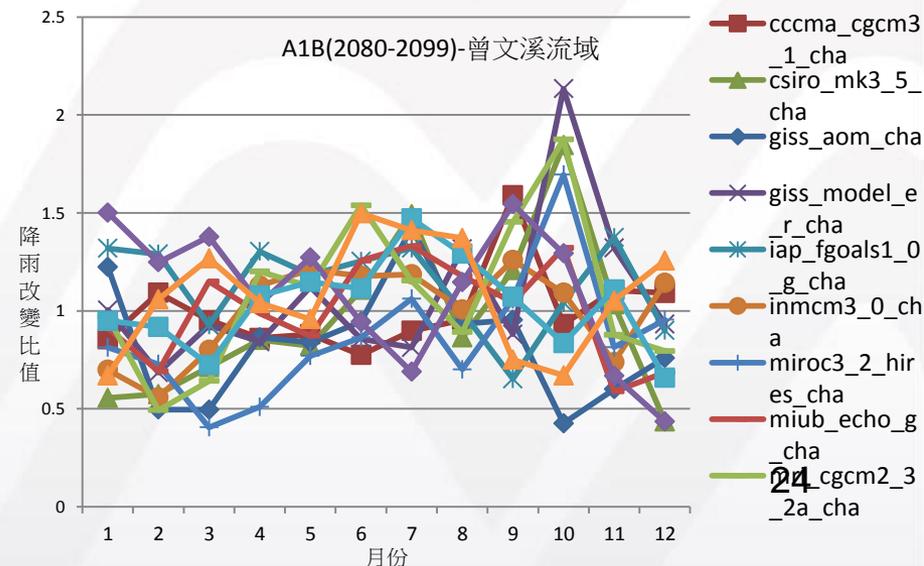
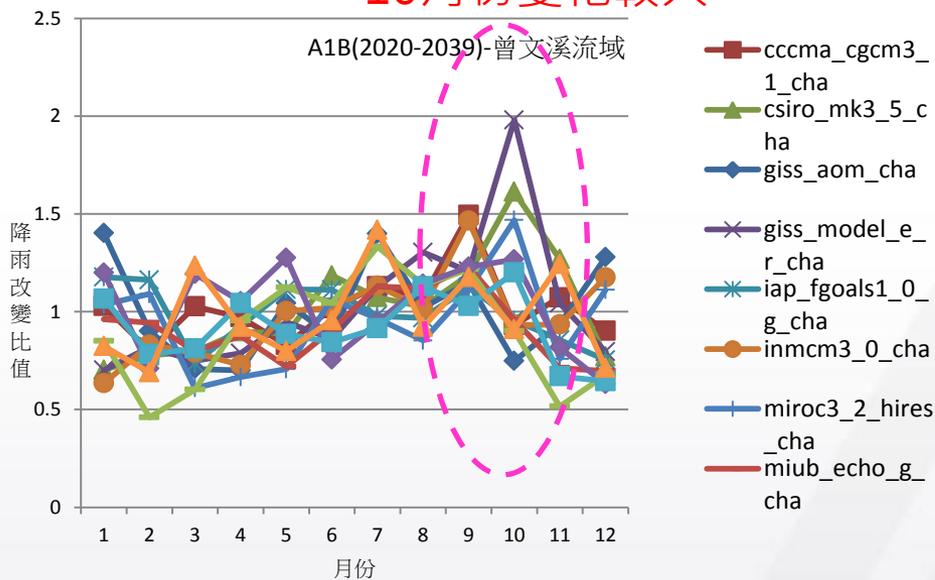
- 依據東亞季風特性，挑選9個GCM。
- 近未來與世紀末的各月降雨改變率的型態不盡相同。近未來降雨改變比值約落在0.5~1.9之間，世紀末約落在0.4~1.8之間，而是豐枯水期的變化較為明顯。



挑選GCM模式結果 (II)

- 依據豐枯水期平均特性，挑選出12個GCM模式。
- 近未來各月變化的趨勢與東亞季風挑選模式不同
- 近未來降雨改變率變化範圍較集中在0.75 ~ 1.5之間；而世紀末各月的變化較無一致性，故變異性較大，其月變化率約0.5 ~ 2.1之間。

10月份變化較大



二、氣候變遷對流量衝擊結果

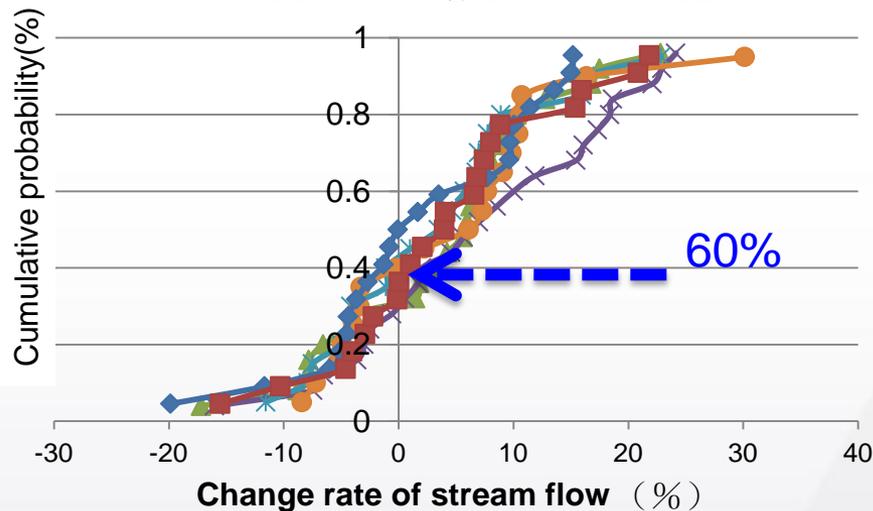
- 所有GCM模式對流量的衝擊
- 流量改變率範圍—曾文溪與大漢溪
- 最劣情境之流量衝擊評估
- 挑選模式流量改變率的差異

氣候變遷對流量的衝擊

- 所有GCM模式與排放情境顯示約有**60%機率**豐水期流量增加，而約有**80%的機率**枯水期呈現**減少**的趨勢。
- 流量改變率於豐水期的變化約**-20~30%**;枯水期的變化**-40~40%**。

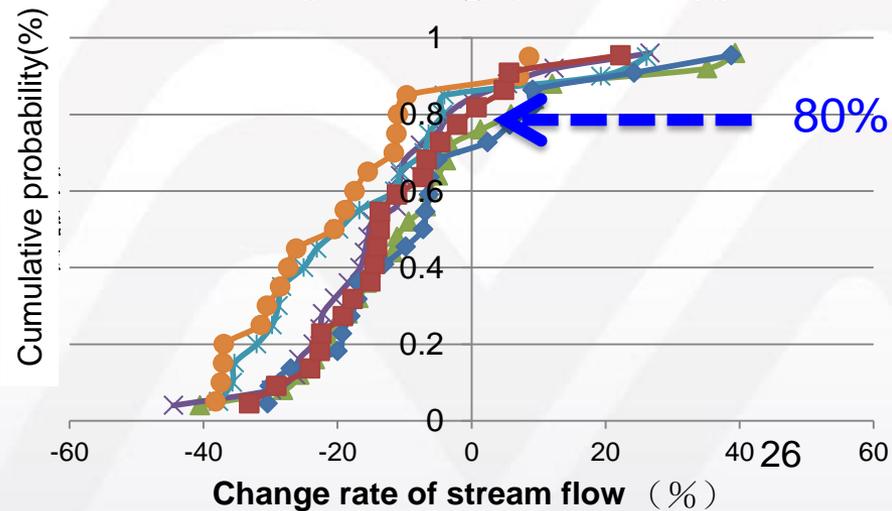
A1B-A2-B1_近未來_豐水期

▲ A1B-曾文溪 ✕ A1B-大漢溪 * A2-曾文溪
● A2-大漢溪 ◆ B1-曾文溪 ■ B1-大漢溪



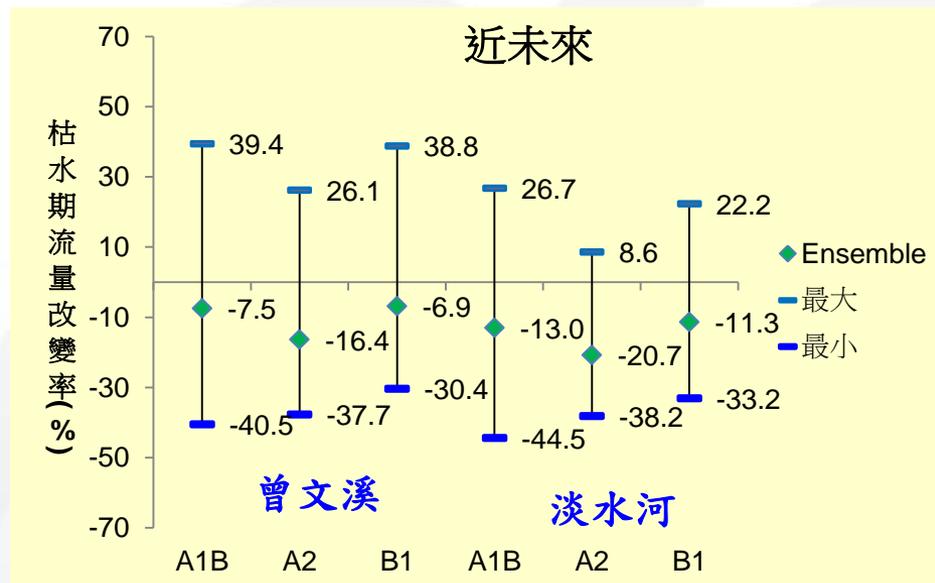
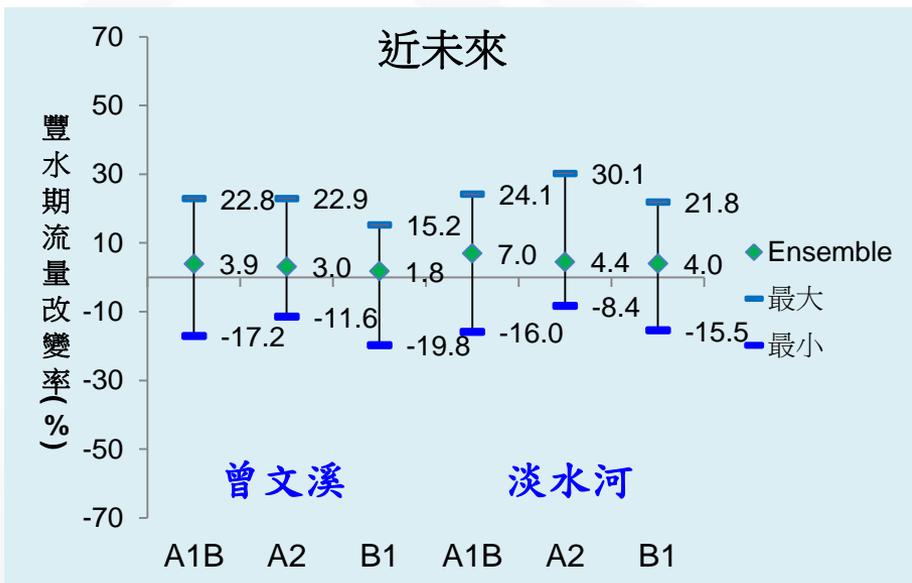
A1B-A2-B1_近未來_枯水期

▲ A1B-曾文溪 ✕ A1B-大漢溪 * A2-曾文溪
● A2-大漢溪 ◆ B1-曾文溪 ■ B1-大漢溪



流量改變率範圍—曾文溪與大漢溪

- 近未來Ensemble : 2% ~ 4%(豐水期);
-6% ~ -20%(枯水期)
- 流量改變率 : 枯水期 > 豐水期
- 枯水期流量改變率 : 曾文溪 > 淡水河
- 情境衝擊 : A1B > B1 > A2



最劣情境之流量衝擊評估

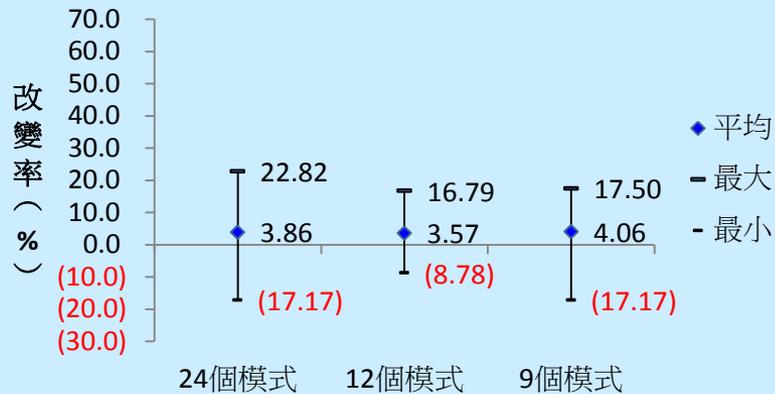
未來流量變化是呈現豐水期越豐，枯水期越枯，世紀末的最劣情境可達±40%，對台灣水資源調度是一大警訊。 以曾文溪為例

時段		情境	Ensemble	最大	最小	Worst Case
2020-2039	豐水期流量	A1B	4	23	-17	23
		B1	2	15	-20	21
		A2	3	23	-12	20
	枯水期流量	A1B	-8	39	-41	-33
		B1	-8	39	-30	-30
		A2	-3	26	-38	-37
2080-2099	豐水期流量	A1B	11	59	-17	37
		B1	10	28	-5	31
		A2	5	36	-16	26
	枯水期流量	A1B	-16	29	-51	-39
		B1	-7	26	-41	-28
		A2	-24	13	-46	-40

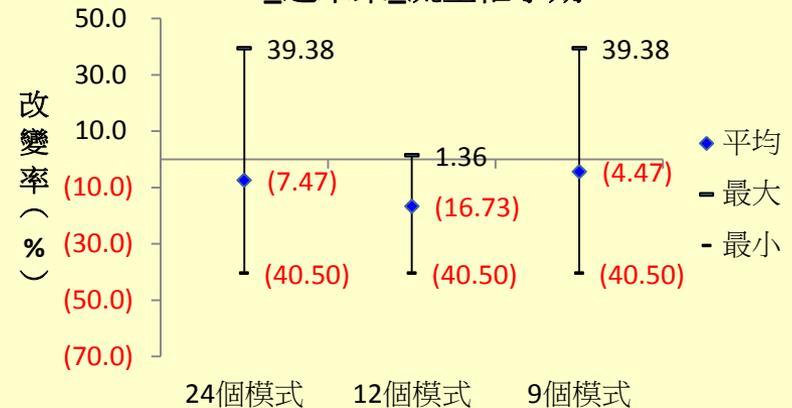
挑選模式流量改變率的差異

- 豐水期的改變率在挑選模式可降低多模式的變異性，以世紀末較顯著。枯水期的改變率在挑選模式上，則無明顯的改善情形。

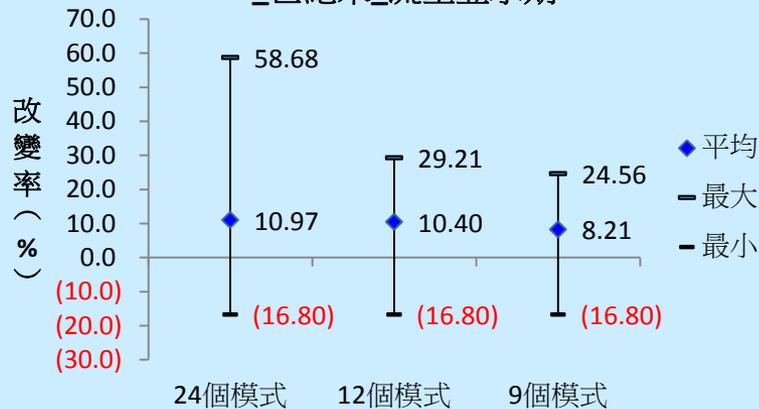
A1B_近未來_流量豐水期



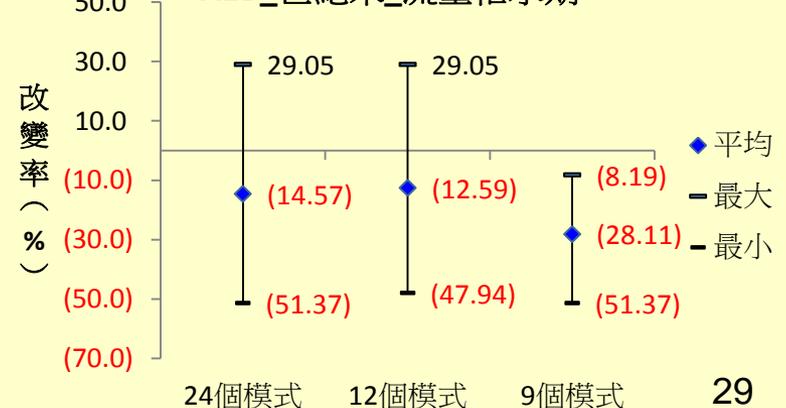
A1B_近未來_流量枯水期



A1B_世紀末_流量豐水期



A1B_世紀末_流量枯水期



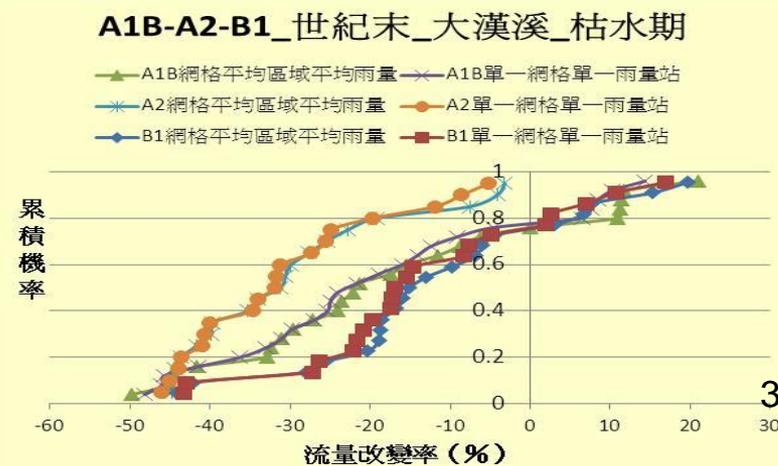
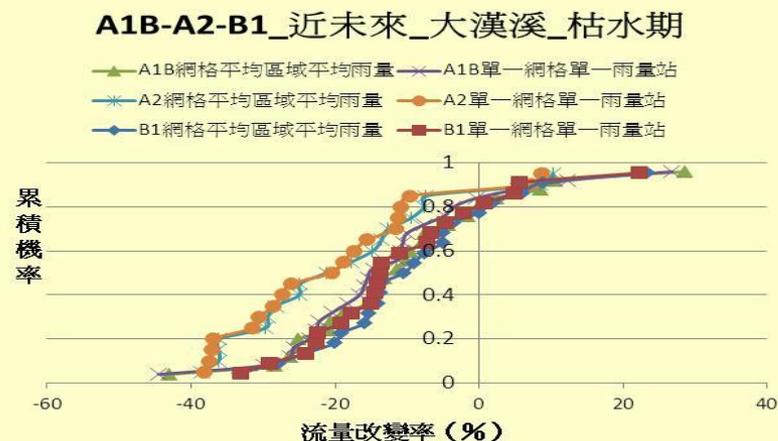
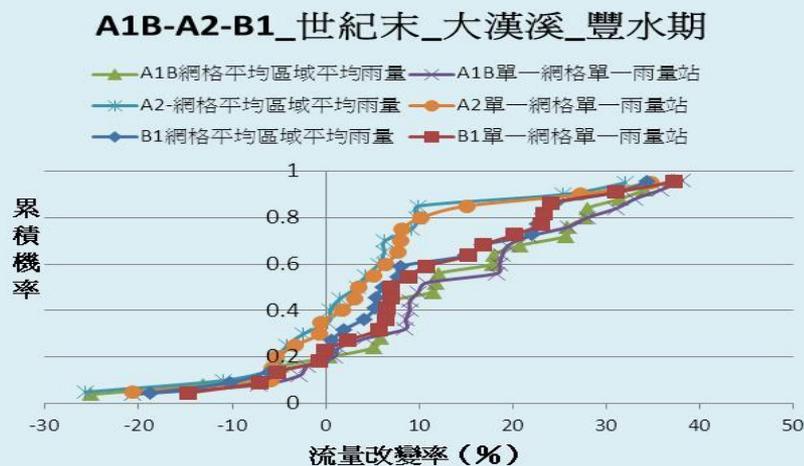
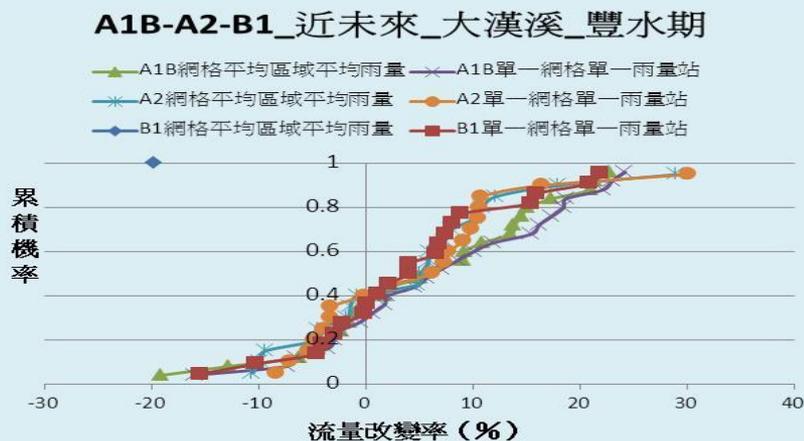
以A1B情境，曾文溪為例

三、氣候變遷情境不確定性評估

- 網格點與雨量站選擇之差異
- 自然變異與GCM不確定性比較
- 天氣繁衍模式差異

三情境下-網格點與雨量站選擇之差異

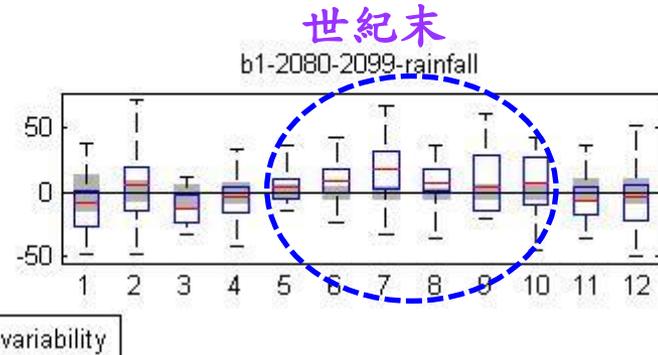
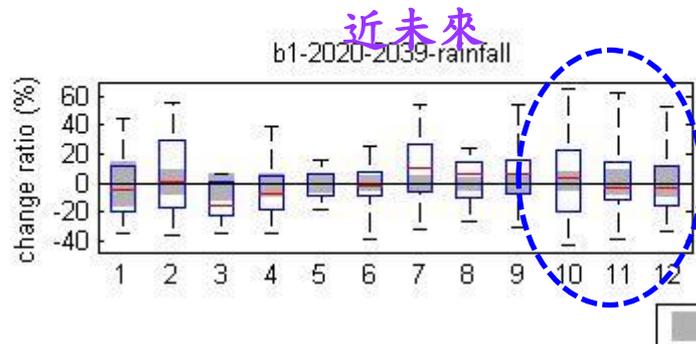
- 採用區域平均網格或單一網格以及區域平均網格與區域平均雨量對流量衝擊結果沒有明顯差異，其不確定性小於不同情境的差異。



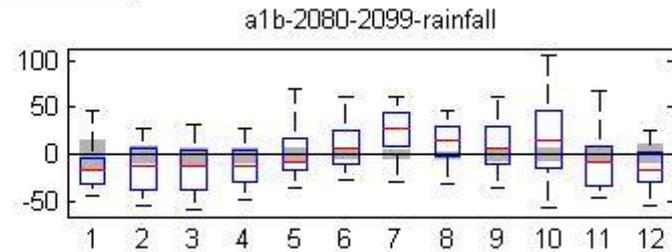
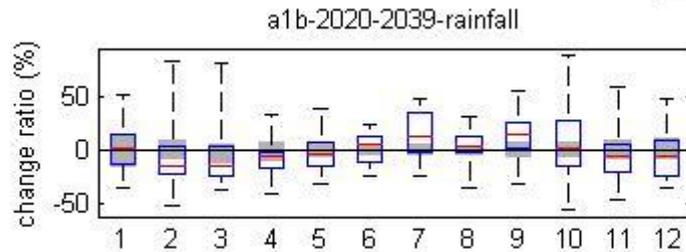
自然變異與GCM不確定性比較

- GCM模式降雨改變率之變異性 > 自然變異。
- 近未來冬季降雨變化的變異性較大。
- 世紀末的平均值變化，較符合預期豐水期增加與枯水期趨勢較一致。

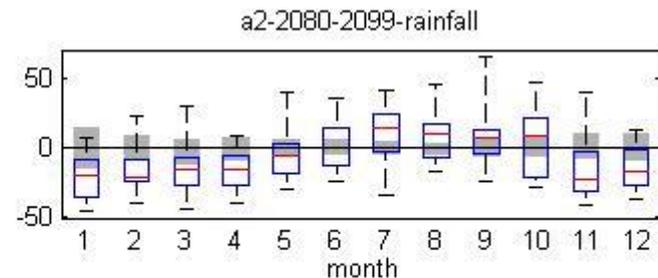
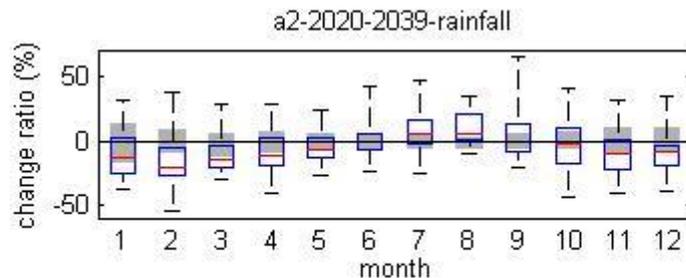
B1



A1B



A2

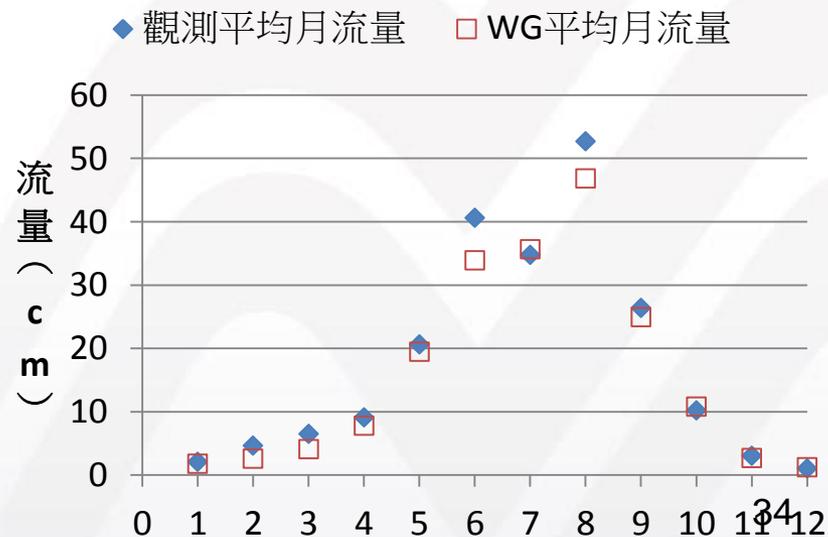
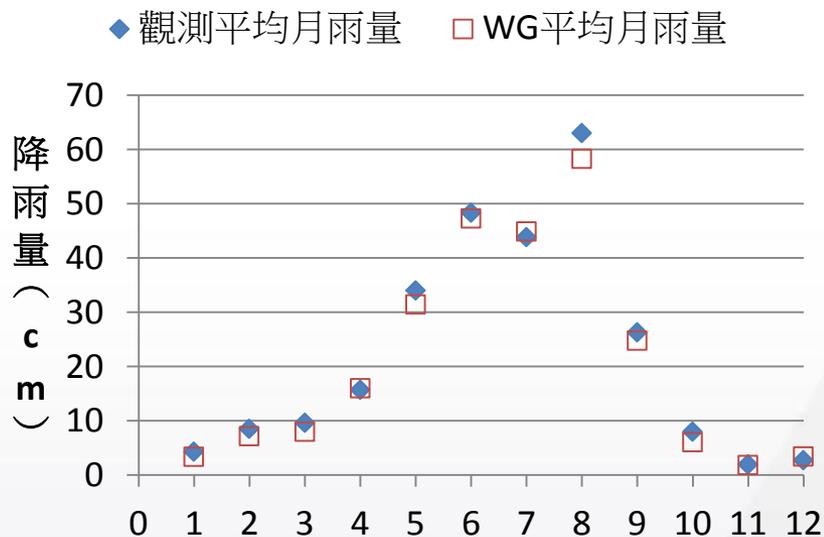


比較Weather Generation (WG) 前後



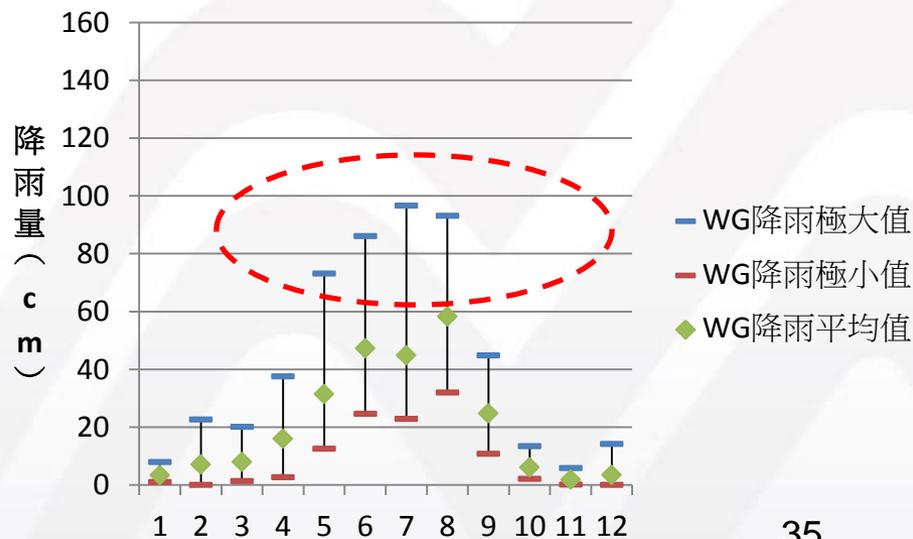
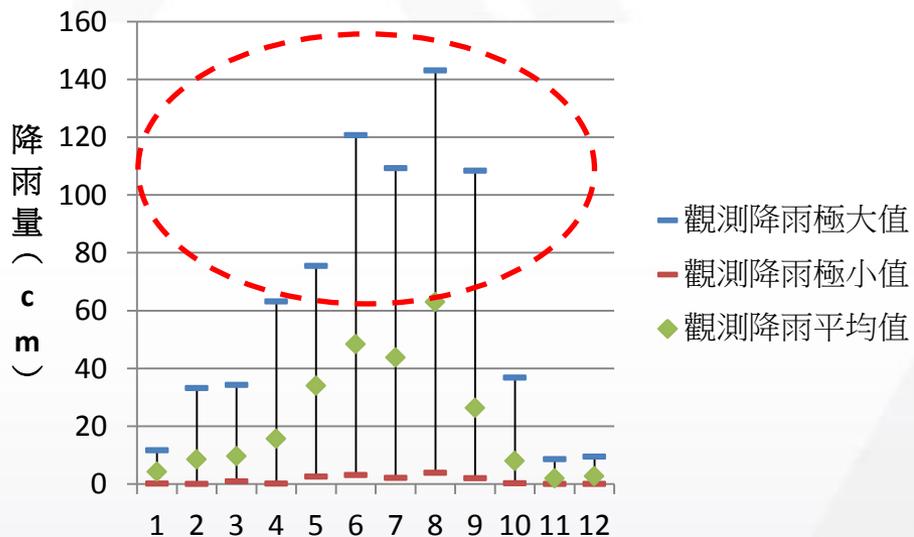
www.ncdr.nat.gov.tw

- 觀測的里佳雨量站20年降雨資料與氣候繁衍20年的降雨資料比較，大致上可反應各月份的平均降雨特性。
- 利用流量模式模擬降雨觀測資料與WG後的降雨資料之月平均流量，**WG後的月平均流量低估**。



比較Weather Generation (WG) 前後

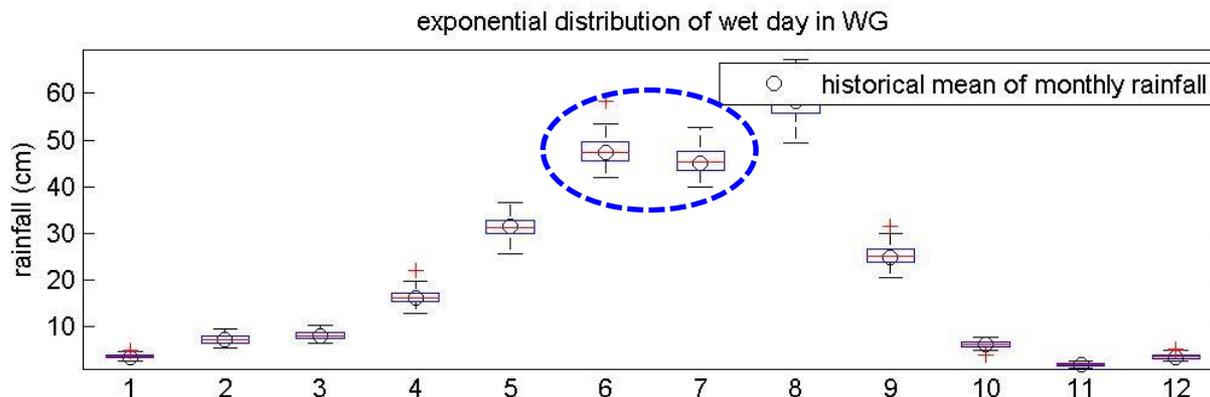
- 觀測的里佳雨量站20年降雨資料與氣候繁衍20年的降雨資料比較，WG後較無法反應月平均降雨量的極大極小值。
- WG較無法重現觀測資料的極大值，故WG後的資料可能無法應用於洪災或坡地災害極端事件評估。



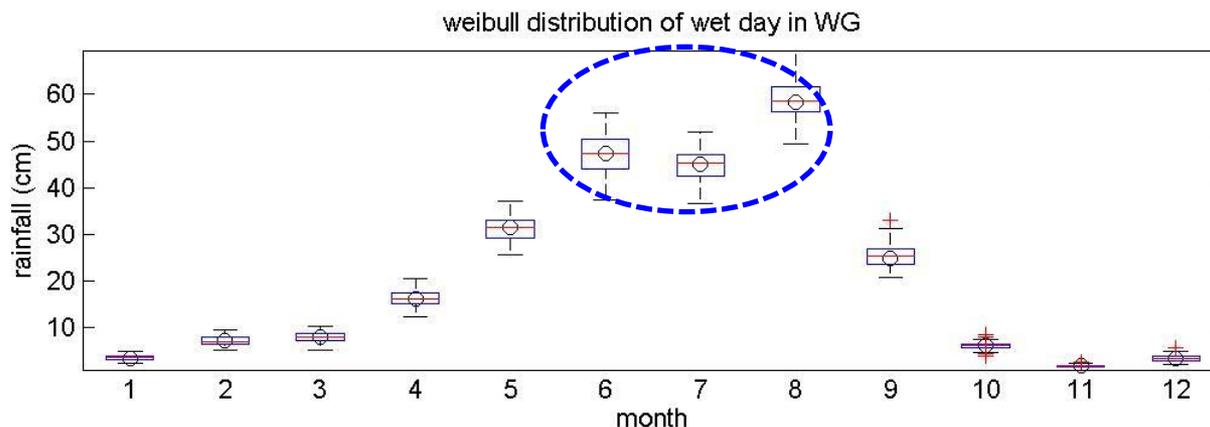
指數分佈與韋伯分佈的WG

- 指數分佈與韋伯分佈繁衍的月平均降雨量都反應出歷史月平均降雨特性。
- 韋伯分佈繁衍的月平均降雨量的變異較大。

指數分佈



韋伯分佈



結論與建議 (I)

1. 假設最劣情境建議採用豐枯水期增減一倍標準差，空間分佈較具一致性。
2. 所有GCM模式與排放情境顯示約有60%機率豐水期流量增加，而約有80%的機率枯水期呈現減少的趨勢。
3. 挑選模式可降低多模式的變異性，以豐水期與世紀末的結果較顯著。以豐枯水期特性挑選的12個GCM模式，其分析未來流量變異性相對較小。
4. 枯水期的不確定較豐水期大，且以A1B情境流量改變率變異性大，不確定性較高。
5. GCM模式降雨改變率之變異性大於自然變異。

6. 不同統計分佈繁衍的月平均降雨量都反應出**歷史月平均與豐枯水期**的降雨特性。但**韋伯分佈繁衍**的相對變異較大。WG後**無法重現觀測資料的極大值**，故WG後的資料可能無法應用於洪災或坡地災害極端事件評估。
7. **挑選網格點與雨量站**對豐枯水期流量變化，四種組合下差異不大，氣候變遷評估過程中此程序的不確定性相對較小。

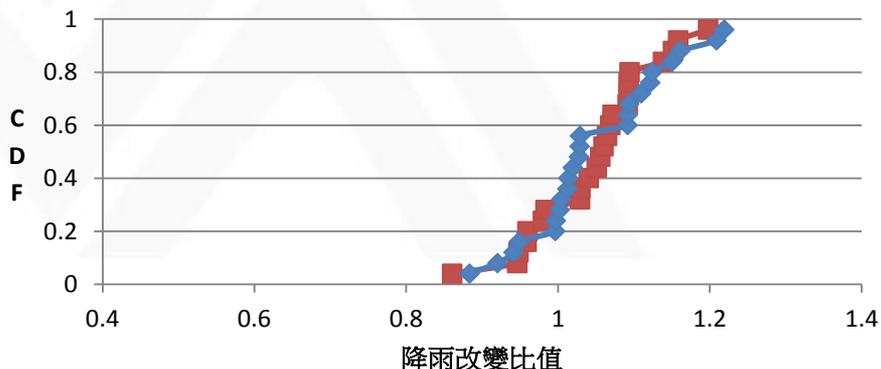
報告完畢，敬請指教

WG前後豐枯水期降雨改變率

- 豐枯水期降雨改變率，利用WG繁衍後，大致上都能反應出原有的降雨改變率的數值。

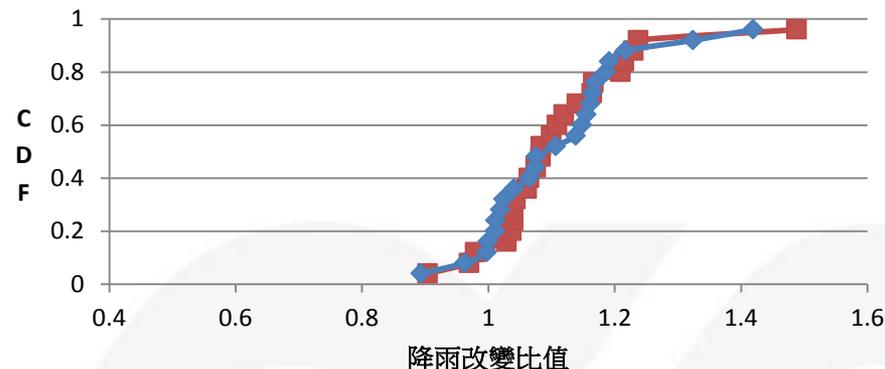
豐水期(2020-2039)

WG豐水期(A1B) A1B豐水期



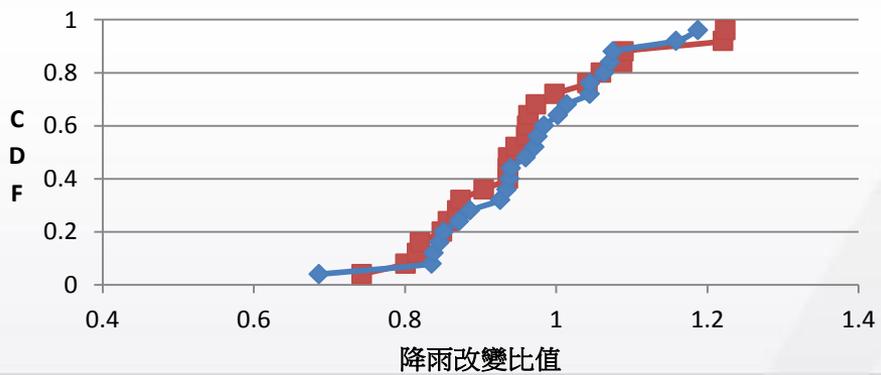
豐水期(2080-2099)

WG後豐水期(A1B) A1B豐水期



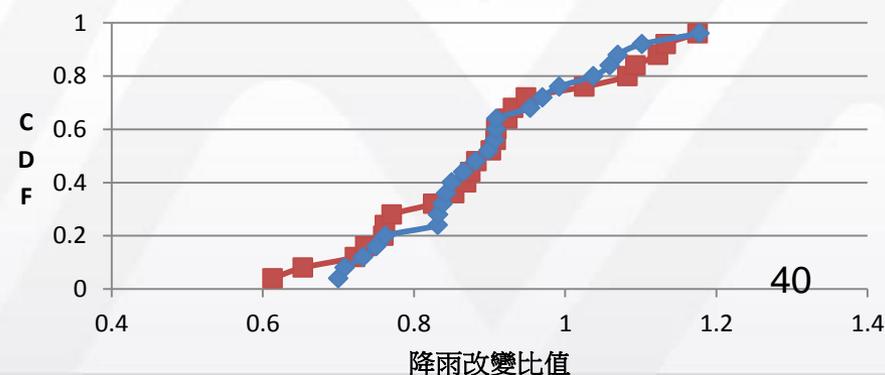
枯水期(2020-2039)

WG枯水期(A1B) A1B枯水期



枯水期(2080-2099)

WG後枯水期(A1B) A1B枯水期



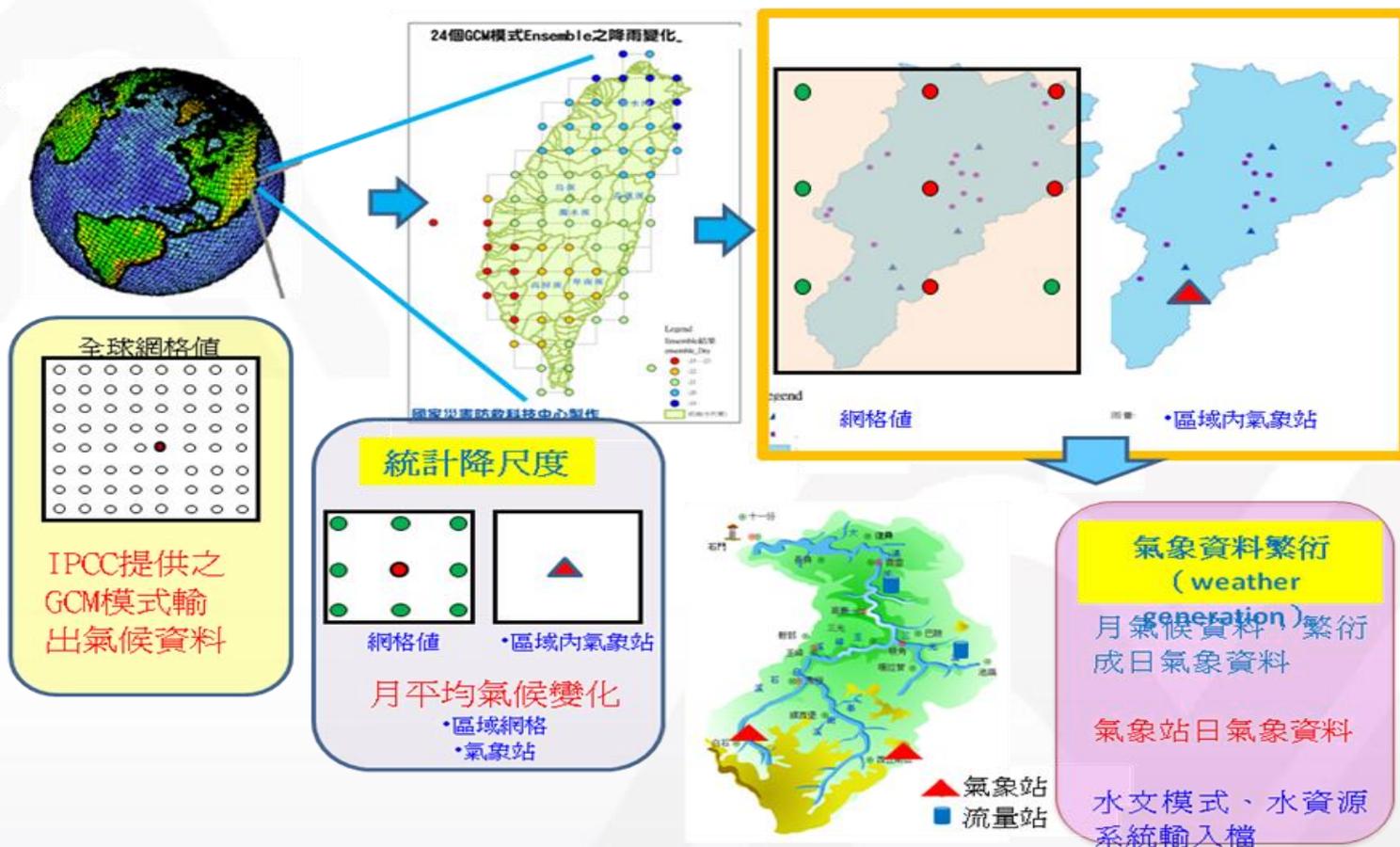
➤ 基期與推估年份設定

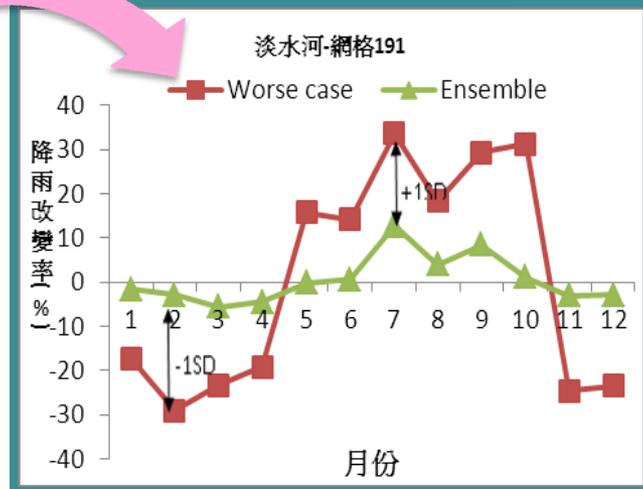
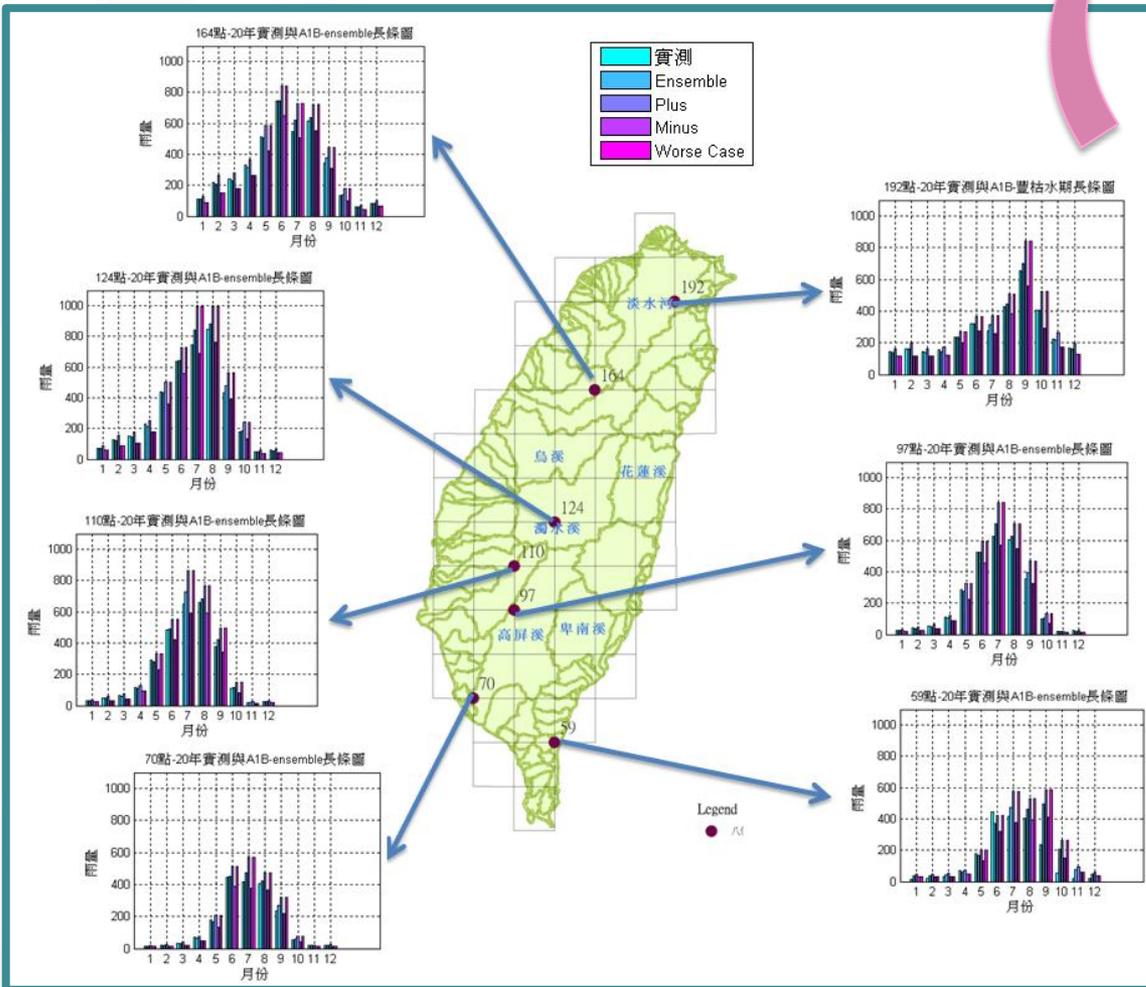
1. 基期為**1980~1999**。
2. 推估年份則是定義成**2020~2039**以及**2080~2099**兩區段。
3. 方便與AR4結果比較，亦能涵蓋MRI/JMA氣候模式所提供之推估年限。

單位	基期
AR4	多用1980-1999
WMO	1961-1990
日本環境省S-4第2回報告書(2009)	1981-2000
USGCRP	1961-1979
UKCP09	1961-1990
KNMI06	1976-2005
水利署99年「第一階段管理計畫」執行成果	1980-1999

(摘自環興氣候變遷管理計畫平台)

2 統計降尺度方法：台灣地區75個網格點之月平均氣候值



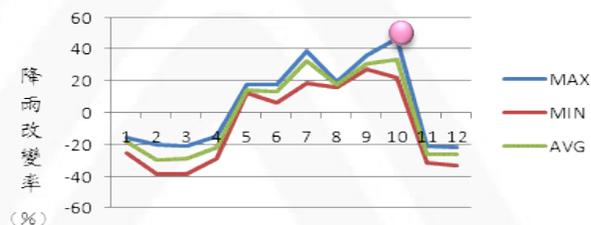


多重模式平均 (Ensemble mean) 24組GCM視為母群體，計算算數平均值。

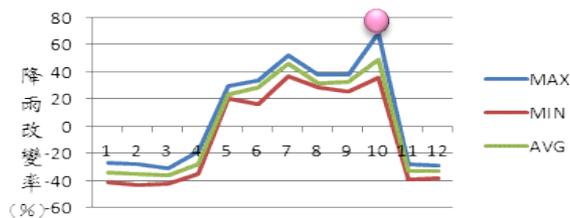
假設之最劣情況 (Worst case) 依據豐(5~10月)、枯水期(11~4月)增減一倍標準差。

三種情境下近未來與世紀末各月全台假設最劣 情境之降雨改變率折線圖

A1B-2020-2039-worsecase



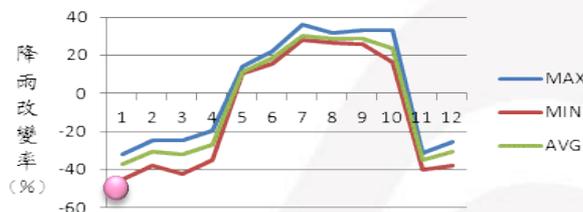
A1B-2080-2099-Worse case



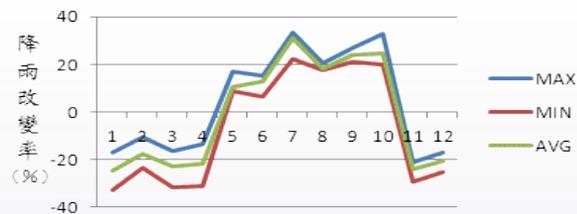
A2-2020-2039-Worse case



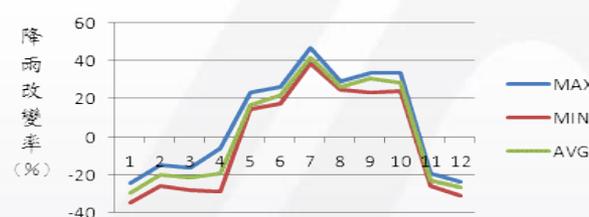
A2-2080-2099-Worse case



B1-2020-2039-Worse case



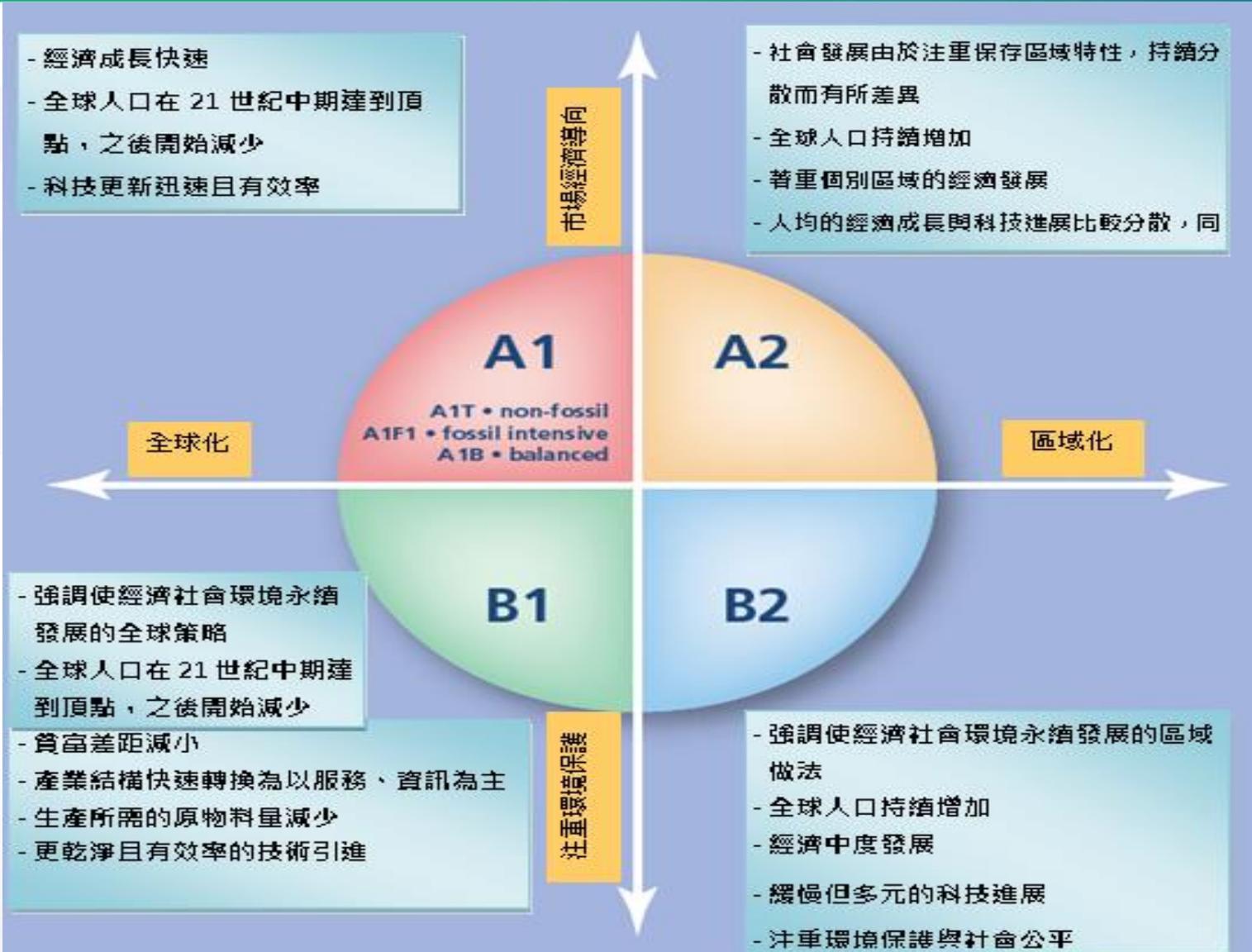
B1-2080-2099-Worse case



近未來介於
-40%~50%之間。

世紀末介於
-50%~70%之間。

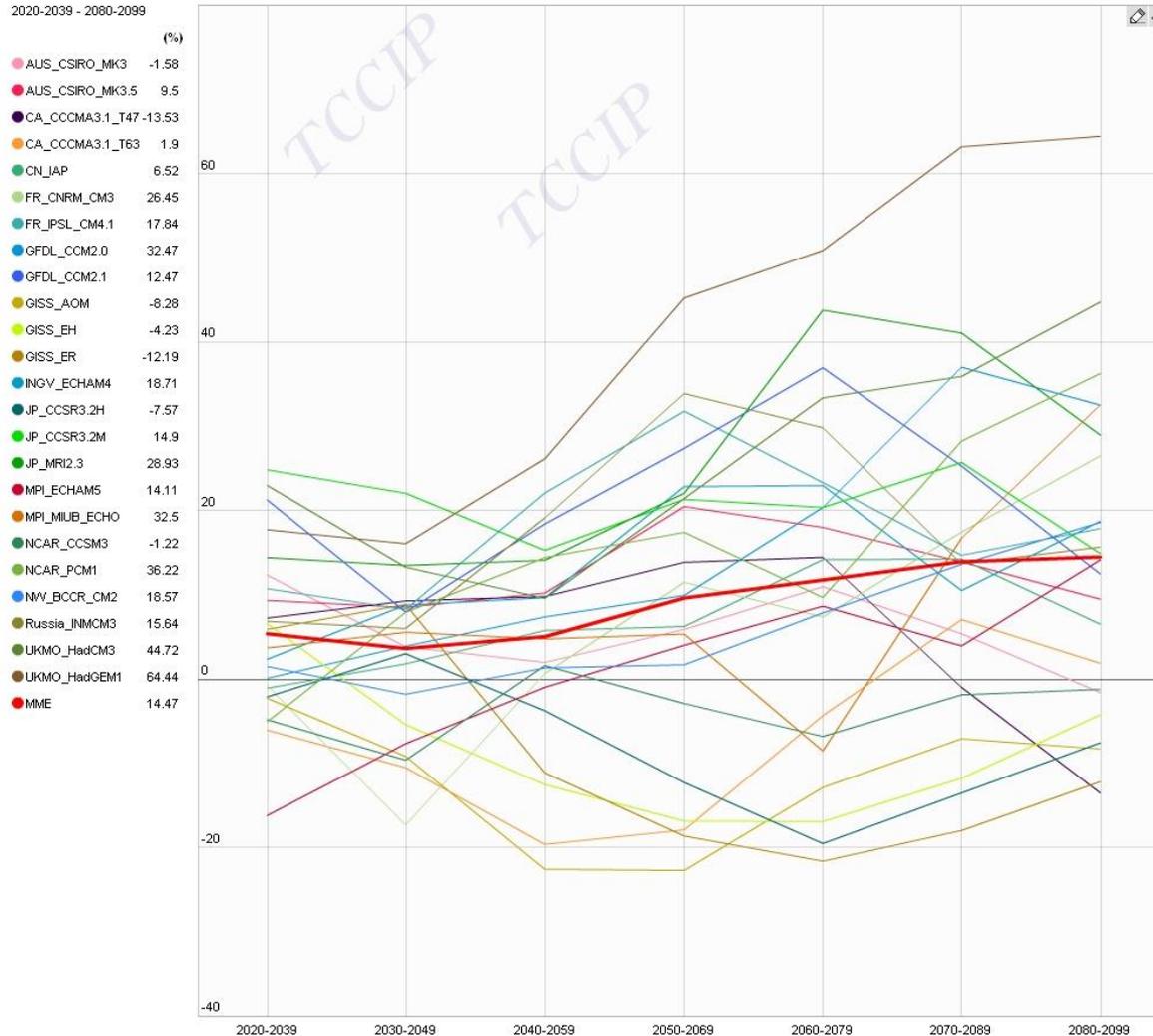
氣候變遷情境



24個模式推估結果時序圖--Sample

北區夏季雨量A1B情境推估模式改變量

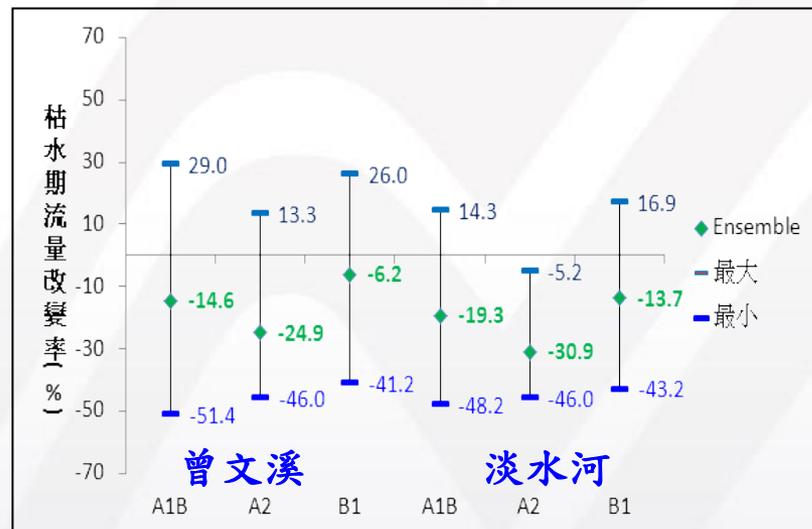
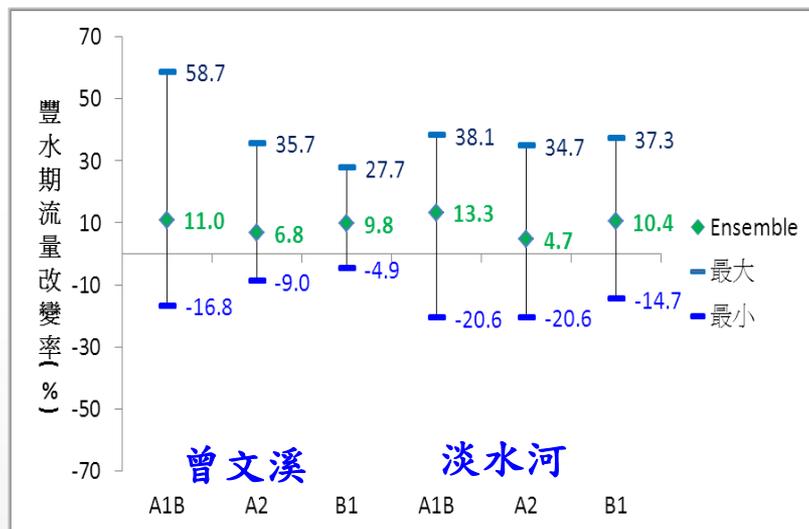
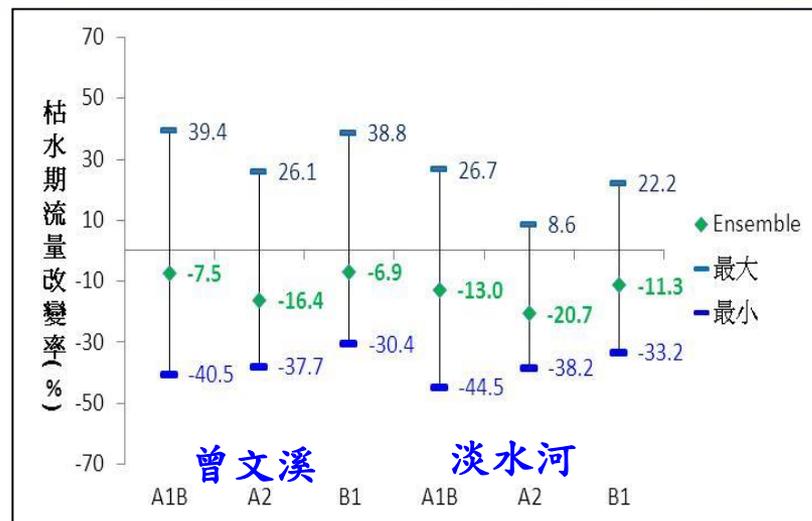
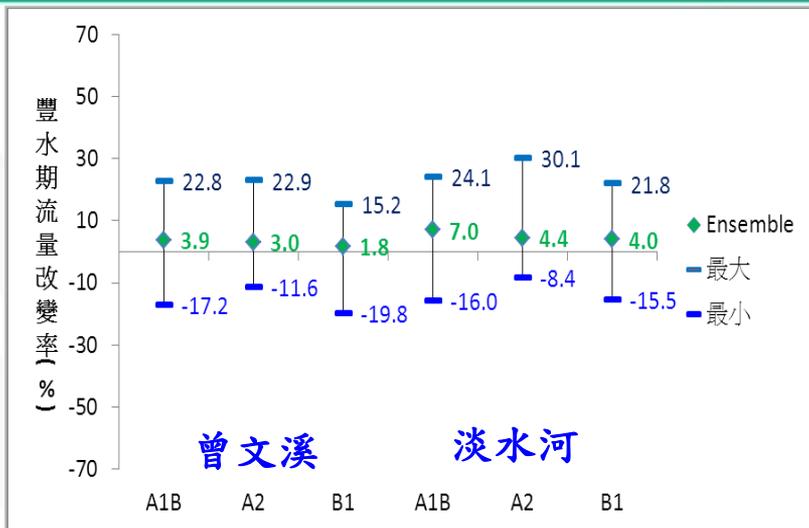
四大分區 北區A1B情境夏季雨量模式改變量



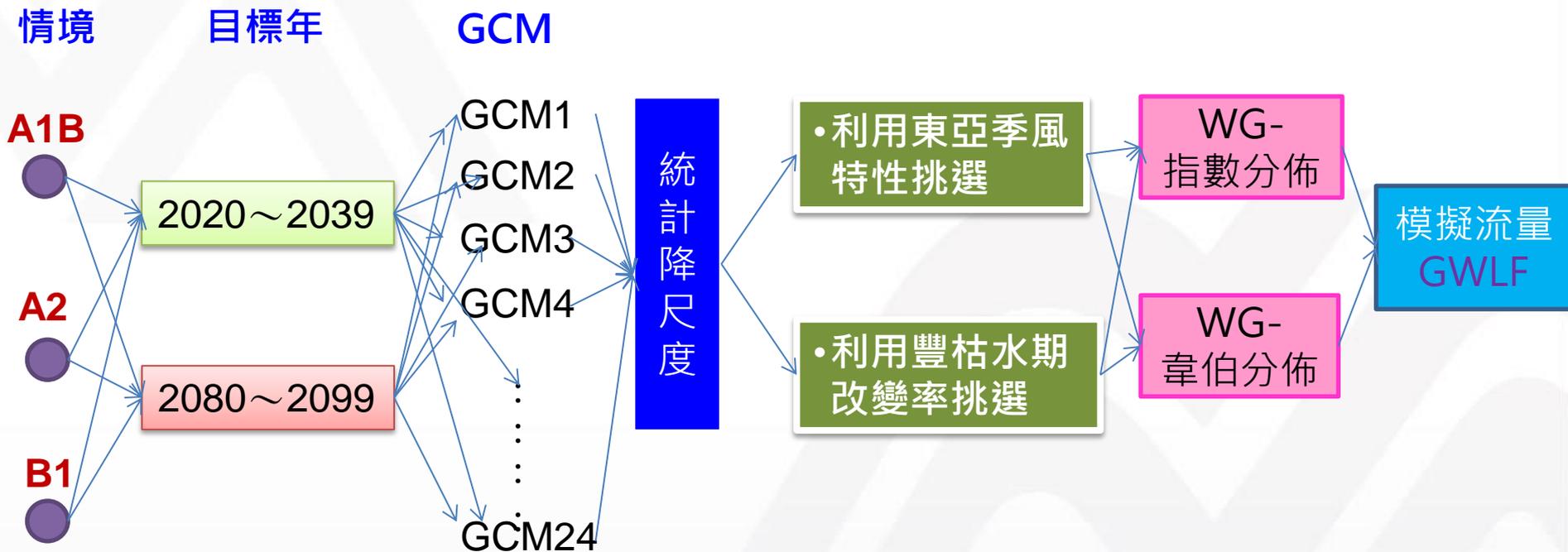
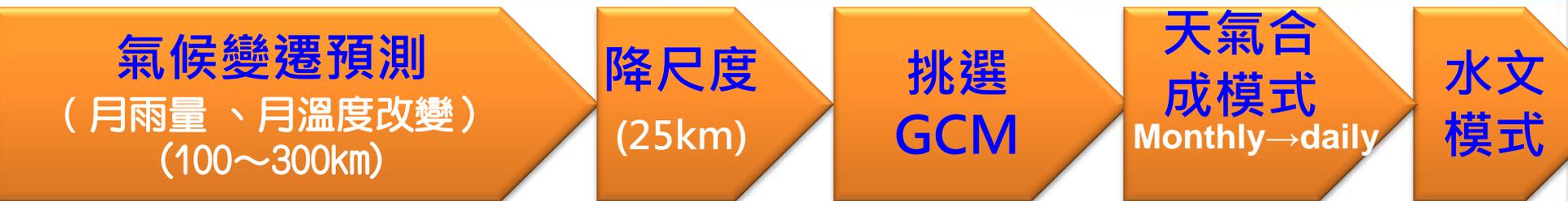
- 多重模式平均變化量相對較小，約介於0 ~ 10%之間

- 各模式間變化量差異大，最大區間從-15% ~ +65%

- 推估時期越接近世紀末，各模式間變化量差異越大



氣候變遷對水資源評估方法



前言

- 國科會推動三年期「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」（簡稱TCCIP），其中一項工作為產置未來氣候變遷推估資料，以提供各部門作為發展計畫與調適策略的參考。

