

NCDR 113-T15

# AR6氣候變遷降雨頻率分析

## AR6 Hydrological Rainfall Frequency Analysis Under Climate Change

---



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 114 年 01 月



NCDR 113-T15

# AR6氣候變遷降雨頻率分析

## AR6 Hydrological Rainfall Frequency Analysis Under Climate Change

---

劉俊志、童裕翔、曾宏偉



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 114 年 01 月



# 中文摘要

降雨頻率分析之重現期設計降雨，除了是水利與水土保持工程規劃設計依據之外，亦應用於淹水潛勢圖、降雨促崩潛勢圖與洪水和土石流損失風險量化分析等，應用範圍為廣且重要。鑒於氣候變遷對於極端降雨之有顯著影響，本研究進行 AR6 氣候變遷降雨頻率分析，量化未來設計降雨之改變，提供相關使用者進行氣候變遷衝擊與調適之參考。

初步成果顯示全台各縣市五公里代表網格之未來設計降雨改變，以百年重現期 2 日降雨延時之未來設計降雨改變率之系集模擬中位數結果來看，大致符合隨著全球暖化程度上升而未來降雨改變率亦增強，全球暖化程度 1.5、2、3、4°C 下全台縣市降雨改變率之平均值分別為 13%、20%、23%、35%。

關鍵字：氣候變遷、降雨頻率分析、設計降雨

## ABSTRACT

Based on rainfall frequency analysis, the designed rainfalls have been applied across numerous fields, including hydraulic and soil conservation engineering planning, flood and rainfall-induced landslide potential maps, and quantitative risk assessments of flood and debris flow. These applications are both extensive and essential. Given the significant impact of climate change on extreme rainfall, this study conducted an AR6 climate change rainfall frequency analysis to quantify projected changes of the design rainfalls and provide reference information to help users assess climate change impacts and develop adaptation strategies.

Preliminary results had shown that the average projected changes of the designed rainfalls for all counties in Taiwan, under global warming levels 1.5°C, 2°C, 3°C, and 4°C are approximately 13%, 20%, 23%, and 35%, respectively. In general, the average projected changes of the designed rainfalls increase with rising global warming levels.

**Keywords:** Climate Change, Rainfall Frequency Analysis, Designed Rainfall

# 目錄

第一章 前言.....	- 5 -
第二章 研究資料 .....	- 7 -
第三章 研究方法 .....	- 12 -
第四章 結果與討論 .....	- 15 -
4.1 百年重現期 2 日降雨延時之未來設計降雨改變率.....	- 15 -
4.2 百年重現期不同降雨延時(1~5 日)之未來設計降雨改變率..	- 16 -
4.3 不同重現期之未來設計降雨改變率.....	- 16 -
4.4 各縣市五公里代表網格之未來設計降雨之改變.....	- 17 -
第五章 結論.....	- 42 -
致謝.....	- 44 -

## 圖目錄

圖 1 A6 統計降尺度日雨量重現期雨量分析之流程圖 .....	14 -
圖 2 AR6 GWL1.5°C 百年重現期 2 日設計降雨之改變率(%).....	23 -
圖 3 AR6 GWL2.0°C 百年重現期 2 日設計降雨之改變率(%).....	28 -
圖 4 AR6 GWL3.0°C 百年重現期 2 日設計降雨之改變率(%).....	32 -
圖 5 AR6 GWL4.0°C 百年重現期 2 日設計降雨之改變率(%).....	34 -
圖 6 AR6 各 GWL 百年重現期 2 日設計降雨改變率(%)之系集模擬統計結果.....	35 -
圖 7 AR6 各 GWL 百年重現期 1~5 日降雨延時之設計降雨改變率(%)之系集模擬中位數結果(rx1 代表 1 日降雨延時).....	36 -
圖 8 GWL2.0°C 百年重現期 1~5 日降雨延時之設計降雨改變率(%)之系集模擬統計結果(rx1 代表 1 日降雨延時).....	37 -
圖 9 GWL2.0°C 6 種重現期 1~5 日降雨延時之設計降雨改變率(%)之系集模擬中位數結果(rx1 代表 1 日降雨延時；RP5yr 代表 5 年重現期).....	38 -
圖 10 各縣市未來降雨(百年重現期 2 日降雨延時)改變率之系集模擬中位數結果.....	39 -

圖 11 台北市與花蓮縣五公里代表網格未來降雨(2 日降雨延時)改變率之系集模擬之各百分位數(實線代表第 50 百分位數；深色區塊為第 25~75 百分位數；淺色區塊為第 5~95 百分位數)..... - 41 -



## 表目錄

表 1 TCCIP 產製 AR6 統計降尺度資料之 GCM 列表(資料出處:林李耀等人, 2023).....	- 8 -
表 2 AR6 之 GCM-SSP 到達全球暖化程度之年份(資料出處:林李耀等人, 2023).....	- 9 -
表 3 各縣市選用之 TCCIP 五公里代表網格之基本資料(資料出處:交通部中央氣象署, 2024).....	- 39 -
表 4 各縣市選用之 TCCIP 五公里代表網格之未來降雨(百年重現期 2 日降雨延時)改變率(%)之系集模擬中位數結果.....	- 40 -

## 第一章 前言

本文成果屬於外部計畫，為國科會計畫成果。降雨頻率分析可計算重現期設計降雨，為水利與水土保持工程設計之重要依據，例如淡水河堤防(經濟部，1973)、高鐵(交通部，2013)、捷運(交通部，2021)均採用 200 年重現期防洪標準，可抵擋 200 年重現期洪水或極端降雨；公路橋梁(交通部，2017)則採用 10~100 年以上重現期防洪標準；都市下水道(內政部營建署，2013)則採用 2~10 年重現期防洪標準。同時，地方政府水災保全計畫中廣泛使用的淹水潛勢圖(經濟部水利署水利規劃試驗所，2014)也是使用定量降雨或重現期降雨(例如 100 年重現期 1 日降雨)為淹水模擬之輸入。降雨促崩潛勢圖(經濟部中央地質調查所，2009)亦使用重現期降雨為崩塌潛勢模擬之輸入。由重現期可計算極端降雨的年發生/超越機率，配合洪災/土石流損失經驗公式，可進行洪災/土石流損失風險(蕭等人，2007；曹等人，2010)量化分析。綜合上述，顯見重現期設計降雨為國內重要防洪工程之基礎亦為淹水與坡地災害潛勢模擬、風險評估之重要影響因子，面對暖化逐漸嚴重的影響，未來設計降雨的變化值得關注，應持續進行相關研究。

TCCIP(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)網站已於 2022 年提供 AR5(The 5th Assessment Report)未來降雨改變率(林等人，2022a；林等人，2022b)，針對水利防洪與水土保持工程規劃常用的降雨強度-延時-頻率 (Intensity-Duration-Frequency，簡稱 IDF)提供未來氣候變遷下的設計暴雨變化趨勢圖表。

隨著國內 AR6(The 6th Assessment Report)未來推估統計降尺度日雨量資料的產製，為了解 AR6 最新資料下未來設計暴雨可能的改變趨勢，本研究使用 TCCIP 產製之 AR6 統計降尺度日資料，計算不同降雨延時的頻率分析，推估全球暖化程度(GWL，Global Warming Level)下未來設計暴雨改變率，提供相關使用者，進行水文設計或坡地崩塌研究使用。



## 第二章 研究資料

TCCIP 已產製全球氣候模式(Global Climate Model, 簡稱 GCM)之統計降尺度 5 公里網格日雨量資料(林等人, 2023), 其原始之 GCM 日雨量資料(如表 1)出自世界各氣候中心第六階段耦合模式對比計畫氣候模式(Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, 簡稱 CMIP6)進行未來氣候變遷的推估模擬產生。AR6 排放情境基本參照共享經濟路徑(Shared Socioeconomic Pathways, 簡稱 SSP)作為區分, 包括 SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0、SSP5-8.5, 如表 1 所示, 共有 31 個 GCM 模式, 其中, 由於並非所有 GCM 模式均有四種 SSP 之日雨量資料, 由表 1 最後一列可查出各 SSP 之 GCM 模式數為 27~29 個, 並以 SSP3-7.0 之 GCM 模式數為最少。參考 IPCC AR6 報告之基期設定, 本研究基期時段訂為 1995-2014 年。全球暖化程度則根據各 GCM-SSP(系集模擬)達到門檻溫度發生年份不同, 各 GCM-SSP 有其對應的發生年份範圍(詳見表 2), GWL2°C 共有 99 個系集模擬, 如表 2, 故而本研究分析 AR6 未來(GWL2°C)設計降雨改變率計有 99 種 GCM-SSP 結果。GWL1.5、3.0、4.0°C 分別各有 110、66、31 個系集模擬。

表 1 TCCIP 產製 AR6 統計降尺度資料之 GCM 列表(資料出處:林李耀等人, 2023)

項次	GCM 名稱	基期	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
1	ACCESS-CM2	V	V	V	V	V
2	ACCESS-ESM1-5	V	V	V	V	V
3	AWI-CM-1-1-MR	V	V	V	V	V
4	BCC-CSM2-MR	V	V	V	V	V
5	CanESM5	V	V	V	V	V
6	CESM2-WACCM	V	V	V	V	V
7	CMCC-CM2-SR5	V	V	V	V	V
8	CMCC-ESM2	V	V	V	V	V
9	EC-Earth3	V	V	V	V	V
10	EC-Earth3-AerChem	V			V	
11	EC-Earth3-CC	V		V		V
12	EC-Earth3-Veg	V	V	V	V	V
13	EC-Earth3-Veg-LR	V	V	V	V	V
14	FGOALS-g3	V	V	V	V	V
15	GFDL-CM4	V		V		V
16	GFDL-ESM4	V	V	V	V	V
17	IITM-ESM*	V	V	V	V	V
18	INM-CM4-8	V	V	V	V	V
19	INM-CM5-0	V	V	V	V	V
20	IPSL-CM5A2-INCA*	V	V		V	
21	IPSL-CM6A-LR	V	V	V	V	V
22	KACE-1-0-G	V	V	V	V	V
23	KIOST-ESM	V	V	V		V
24	MIROC6	V	V	V	V	V
25	MPI-ESM1-2-HR	V	V	V	V	V
26	MPI-ESM1-2-LR	V	V	V	V	V
27	MRI-ESM2-0	V	V	V	V	V
28	NESM3	V	V	V		V
29	NorESM2-LM	V	V	V	V	V
30	NorESM2-MM	V	V	V	V	V
31	TaiESM1	V	V	V	V	V
降雨資料之 GCM 總數		31	28	29	27	29

表 2 AR6 之 GCM-SSP 到達全球暖化程度之年份(資料出處:林李耀等人, 2023)

項次	GCM 名稱	排放情境	1.5°C	2°C	3°C	4°C
1	ACCESS-CM2	ssp126	2018~2037	2033~2052		
2	ACCESS-ESM1-5	ssp126	2021~2040	2064~2083		
3	AWI-CM-1-1-MR	ssp126	2013~2032	2041~2060		
4	BCC-CSM2-MR	ssp126	2032~2051			
5	CanESM5	ssp126	2004~2023	2017~2036		
6	CESM2-WACCM	ssp126	2012~2031	2029~2048		
7	CMCC-CM2-SR5	ssp126	2014~2033	2029~2048		
8	CMCC-ESM2	ssp126	2021~2040	2033~2052		
9	EC-Earth3	ssp126	2013~2032	2034~2053		
10	EC-Earth3-Veg	ssp126	2003~2022	2020~2039		
11	EC-Earth3-Veg-LR	ssp126	2021~2040			
12	FGOALS-g3	ssp126	2067~2086			
13	IITM-ESM	ssp126	2036~2055			
14	INM-CM4-8	ssp126	2041~2060			
15	INM-CM5-0	ssp126	2027~2046			
16	IPSL-CM5A2-INCA	ssp126	2004~2023	2021~2040		
17	IPSL-CM6A-LR	ssp126	2010~2029	2029~2048		
18	KACE-1-0-G	ssp126	2005~2024	2015~2034		
19	KIOST-ESM	ssp126	2011~2030			
20	MIROC6	ssp126	2054~2073			
21	MPI-ESM1-2-HR	ssp126	2032~2051			
22	MPI-ESM1-2-LR	ssp126	2033~2052			
23	MRI-ESM2-0	ssp126	2020~2039			
24	NESM3	ssp126	2012~2031	2040~2059		
25	TaiESM1	ssp126	2018~2037	2031~2050		
26	ACCESS-CM2	ssp245	2019~2038	2031~2050	2062~2081	
27	ACCESS-ESM1-5	ssp245	2020~2039	2036~2055		
28	AWI-CM-1-1-MR	ssp245	2011~2030	2030~2049		
29	BCC-CSM2-MR	ssp245	2026~2045	2048~2067		
30	CanESM5	ssp245	2004~2023	2015~2034	2040~2059	2074~2093
31	CESM2-WACCM	ssp245	2015~2034	2030~2049	2066~2085	
32	CMCC-CM2-SR5	ssp245	2016~2035	2029~2048	2057~2076	
33	CMCC-ESM2	ssp245	2021~2040	2031~2050	2056~2075	
34	EC-Earth3	ssp245	2013~2032	2035~2054	2076~2095	
35	EC-Earth3-CC	ssp245	1998~2017	2026~2045	2064~2083	
36	EC-Earth3-Veg	ssp245	2001~2020	2024~2043	2058~2077	

37	EC-Earth3-Veg-LR	ssp245	2017~2036	2040~2059	2081~2100	
38	FGOALS-g3	ssp245	2021~2040	2054~2073		
39	GFDL-CM4	ssp245	2022~2041	2040~2059		
40	GFDL-ESM4	ssp245	2037~2056	2064~2083		
41	IITM-ESM	ssp245	2027~2046	2052~2071		
42	INM-CM4-8	ssp245	2026~2045	2054~2073		
43	INM-CM5-0	ssp245	2028~2047	2063~2082		
44	IPSL-CM6A-LR	ssp245	2009~2028	2024~2043	2056~2075	
45	KACE-1-0-G	ssp245	2004~2023	2014~2033	2041~2060	
46	KIOST-ESM	ssp245	2012~2031	2031~2050		
47	MIROC6	ssp245	2037~2056	2064~2083		
48	MPI-ESM1-2-HR	ssp245	2028~2047	2054~2073		
49	MPI-ESM1-2-LR	ssp245	2027~2046	2048~2067		
50	MRI-ESM2-0	ssp245	2021~2040	2040~2059		
51	NESM3	ssp245	2015~2034	2034~2053		
52	NorESM2-LM	ssp245	2046~2065	2076~2095		
53	NorESM2-MM	ssp245	2037~2056	2069~2088		
54	TaiESM1	ssp245	2022~2041	2034~2053	2059~2078	
55	ACCESS-CM2	ssp370	2018~2037	2030~2049	2053~2072	2073~2092
56	ACCESS-ESM1-5	ssp370	2024~2043	2039~2058	2060~2079	
57	AWI-CM-1-1-MR	ssp370	2013~2032	2028~2047	2055~2074	
58	BCC-CSM2-MR	ssp370	2023~2042	2037~2056	2065~2084	
59	CanESM5	ssp370	2004~2023	2014~2033	2034~2053	2050~2069
60	CESM2-WACCM	ssp370	2019~2038	2032~2051	2054~2073	2076~2095
61	CMCC-CM2-SR5	ssp370	2016~2035	2030~2049	2054~2073	2078~2097
62	CMCC-ESM2	ssp370	2022~2041	2032~2051	2054~2073	2078~2097
63	EC-Earth3	ssp370	2013~2032	2029~2048	2054~2073	2075~2094
64	EC-Earth3-AerChem	ssp370	2023~2042	2038~2057	2057~2076	2074~2093
65	EC-Earth3-Veg	ssp370	2002~2021	2023~2042	2048~2067	2067~2086
66	EC-Earth3-Veg-LR	ssp370	2019~2038	2036~2055	2057~2076	2078~2097
67	FGOALS-g3	ssp370	2017~2036	2036~2055	2073~2092	
68	GFDL-ESM4	ssp370	2032~2051	2048~2067	2074~2093	
69	IITM-ESM	ssp370	2023~2042	2042~2061	2079~2098	
70	INM-CM4-8	ssp370	2026~2045	2043~2062	2074~2093	
71	INM-CM5-0	ssp370	2023~2042	2041~2060	2075~2094	
72	IPSL-CM5A2-INCA	ssp370	2002~2021	2021~2040	2049~2068	2070~2089
73	IPSL-CM6A-LR	ssp370	2010~2029	2025~2044	2046~2065	2067~2086
74	KACE-1-0-G	ssp370	2005~2024	2015~2034	2037~2056	2063~2082
75	MIROC6	ssp370	2034~2053	2050~2069		

76	MPI-ESM1-2-HR	ssp370	2025~2044	2041~2060	2072~2091	
77	MPI-ESM1-2-LR	ssp370	2026~2045	2043~2062	2069~2088	
78	MRI-ESM2-0	ssp370	2022~2041	2036~2055	2064~2083	
79	NorESM2-LM	ssp370	2042~2061	2060~2079		
80	NorESM2-MM	ssp370	2037~2056	2053~2072	2081~2100	
81	TaiESM1	ssp370	2024~2043	2034~2053	2052~2071	2072~2091
82	ACCESS-CM2	ssp585	2016~2035	2029~2048	2046~2065	2062~2081
83	ACCESS-ESM1-5	ssp585	2018~2037	2030~2049	2051~2070	2069~2088
84	AWI-CM-1-1-MR	ssp585	2010~2029	2027~2046	2050~2069	2070~2089
85	BCC-CSM2-MR	ssp585	2021~2040	2034~2053	2056~2075	
86	CanESM5	ssp585	2003~2022	2013~2032	2031~2050	2045~2064
87	CESM2-WACCM	ssp585	2011~2030	2024~2043	2044~2063	2059~2078
88	CMCC-CM2-SR5	ssp585	2012~2031	2024~2043	2043~2062	2060~2079
89	CMCC-ESM2	ssp585	2020~2039	2030~2049	2046~2065	2061~2080
90	EC-Earth3	ssp585	2015~2034	2026~2045	2048~2067	2064~2083
91	EC-Earth3-CC	ssp585	1998~2017	2027~2046	2047~2066	2062~2081
92	EC-Earth3-Veg	ssp585	2002~2021	2018~2037	2041~2060	2058~2077
93	EC-Earth3-Veg-LR	ssp585	2019~2038	2032~2051	2052~2071	2066~2085
94	FGOALS-g3	ssp585	2018~2037	2037~2056	2063~2082	
95	GFDL-CM4	ssp585	2020~2039	2032~2051	2050~2069	2070~2089
96	GFDL-ESM4	ssp585	2030~2049	2043~2062	2066~2085	
97	IITM-ESM	ssp585	2026~2045	2039~2058	2067~2086	
98	INM-CM4-8	ssp585	2021~2040	2037~2056	2060~2079	
99	INM-CM5-0	ssp585	2021~2040	2037~2056	2065~2084	
100	IPSL-CM6A-LR	ssp585	2009~2028	2025~2044	2041~2060	2057~2076
101	KACE-1-0-G	ssp585	2005~2024	2014~2033	2034~2053	2053~2072
102	KIOST-ESM	ssp585	2008~2027	2029~2048	2055~2074	
103	MIROC6	ssp585	2031~2050	2044~2063	2067~2086	
104	MPI-ESM1-2-HR	ssp585	2024~2043	2040~2059	2064~2083	
105	MPI-ESM1-2-LR	ssp585	2025~2044	2039~2058	2062~2081	
106	MRI-ESM2-0	ssp585	2017~2036	2029~2048	2055~2074	2074~2093
107	NESM3	ssp585	2012~2031	2025~2044	2045~2064	2063~2082
108	NorESM2-LM	ssp585	2033~2052	2047~2066	2068~2087	
109	NorESM2-MM	ssp585	2030~2049	2045~2064	2067~2086	
110	TaiESM1	ssp585	2019~2038	2027~2046	2043~2062	2058~2077
降雨資料之 GCM-SSP 總數			110	99	66	31

### 第三章 研究方法

本研究採用 AR6 全台 5 公里網格日資料進行未來設計暴雨改變率之計算，僅針對全台網格之日雨量，逐一網格進行相關分析，其他空間單元(流域、縣市)之平均日降雨則未進行相關計算。研究分析流程如圖 1 所示，概分為以下六個步驟：

#### 步驟一、計算年極大值雨量

使用 AR6 統計降尺度日雨量資料推估計算 1~5 日累積雨量，推求每年最大的極端值，作為極端降雨指標。

#### 步驟二、計算年極大值雨量皮爾遜第三型機率分布(Pearson Type III，簡稱 PT3)之參數

使用線性動差法計算極端降雨指標之平均值、標準差、偏態係數以及 PT3 之參數。根據 Hosking 與 Wallis(1997)以及劉等人(2007)之研究，線性動差法於參數推估上，近乎不偏推估，故本研究以線性動差法為基礎，估計 PT3 之尺度參數、形狀參數、位置參數。PT3 機率密度函數為  $f_X(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-\varepsilon}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-[(x-\varepsilon)/\alpha]}$ ， $\varepsilon \leq x < +\infty$ ，其中  $\alpha = \sigma/\sqrt{\beta}$ ， $\beta = (2/\gamma)^2$ ， $\varepsilon = \mu - \sigma\sqrt{\beta}$ ， $\mu$ 、 $\sigma$  及  $\gamma$  分別為  $x$  之平均值、標準偏差及偏態係數， $\alpha$ 、 $\beta$  及  $\varepsilon$  分別為尺度參數、形狀參數及位置參數。線性動差計算公式詳閱鄭與連(2015)以及 Hosking 與 Wallis(1997)。

### 步驟三、計算不同重現期之設計暴雨量

由推求出的 PT3 分布與參數，推估不同降雨延時(1 ~5 日)不同重現期設計暴雨量。重現期設定包括 5、10、25、50、100、200 年，共 6 種。

### 步驟四、計算未來設計暴雨量之改變率

基於步驟三計算而得的基期與未來之設計暴雨量，推估每個 GCM-SSP 未來(各種 GWL 下)相對基期的設計暴雨改變率(I, increase percentage)如下所示。

$$I = \left( \frac{R_{GWL\_GCM\_SSP}}{R_{Baseline\_GCM}} - 1 \right) \times 100\% \quad (1)$$

### 步驟五、計算未來(各 GWL)設計暴雨改變率之不確定性範圍

各 GWL 之多個系集模擬(GCM-SSP)完成設計暴雨改變率計算後，用於推估各網格點改變率之 5、25、50、75、95 百分位數(例如採用 GWL2.0°C99 個系集模擬之暴雨改變率，推估其各種百分位數)，呈現考量多系集模擬下未來暴雨改變率變動範圍。

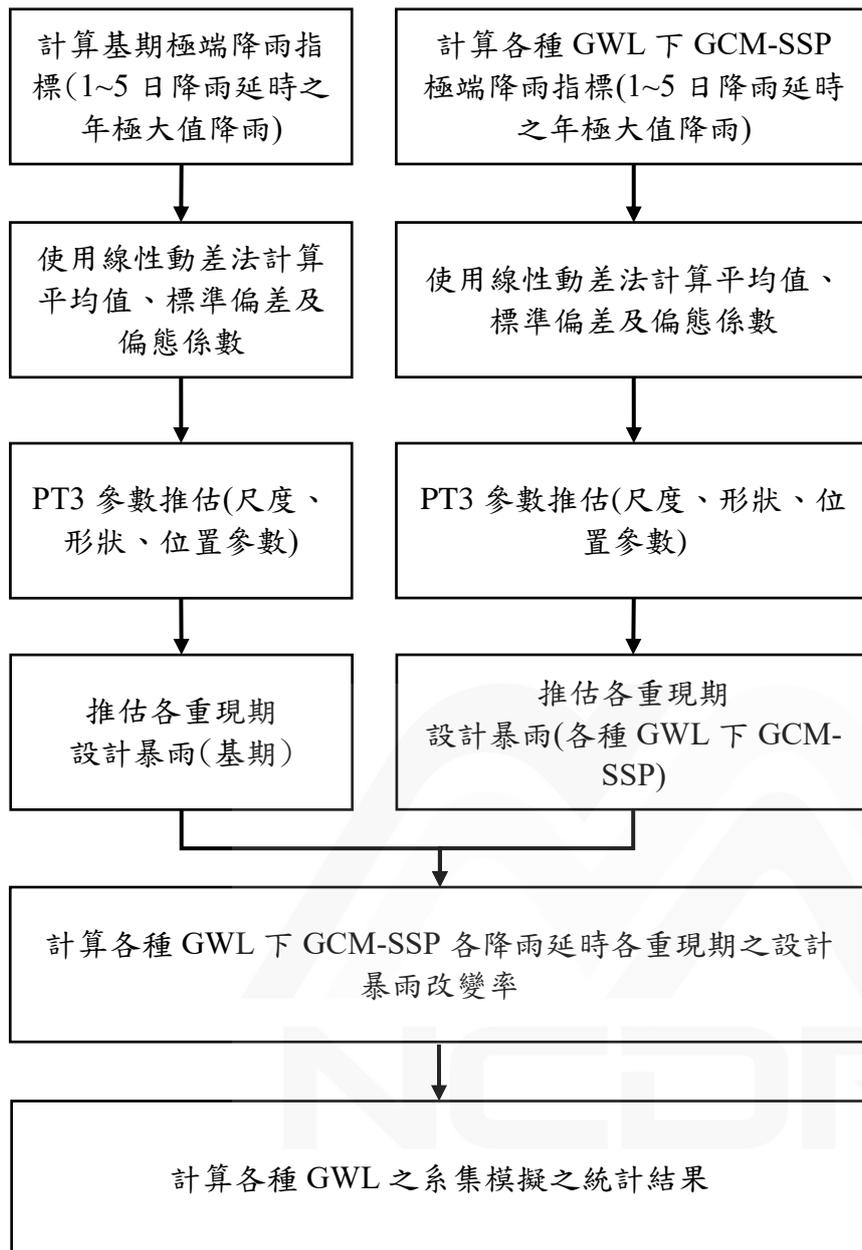


圖 1 A6 統計降尺度日雨量重現期雨量分析之流程圖

## 第四章 結果與討論

### 4.1 百年重現期 2 日降雨延時之未來設計降雨改變率

本研究已進行 6 種重現期(5、10、25、50、100、200 年)以及 5 種降雨延時(1~5 日)之未來設計降雨改變率。游與郭(2017)進行氣候變遷下五大河流域之防洪土砂分析，未來降雨量則採用五大流域各測站 100、200 年重現期之 1、2 日暴雨。顯見 100 年重現期 2 日降雨延時之未來設計降雨改變率，對於氣候變遷河川流域之防洪土砂分析而言，有其重要性，後續則以此為例進行討論。

以 100 年重現期 2 日降雨延時之未來設計降雨改變率為例(如圖 2~5 所示)，不同 GWL 下設計降雨改變率有增強亦有少部分為減小之趨勢，顯見各 GCM 結果之差異極大。另一方面，許多 GCM 之結果有存在明顯之空間差異，例如 GWL1.5°C ssp126-ACCESS-CM2(如圖 2(a)所示)之設計降雨改變率，顯示台灣北與中區為增強趨勢但南與東區卻為減小趨勢，而 GWL1.5°C ssp126-IPSL-CM6A-LR(如圖 2(a)所示)則為相反以北區為減小趨勢，南部區域則為增強趨勢。國際間一致建議，應進行多 GCM 之衝擊評估後，再將綜合評估其系集模擬結果，作為調適參考。

各 GWL 系集模擬之未來設計降雨改變率之統計結果如圖 6 所示，以系集模擬之中位數來看(改變率數值約為-10~+50%)，隨著 GWL 上升降雨改變率逐漸增強，空間分布上則以西部增強幅度大於東部。本研究採用系集模擬之第 5~95 百分位(即 90%機率)代表非常可能範圍，其改變率數值約為-50~+100%，顯見不確

定性極大。

## 4.2 百年重現期不同降雨延時(1~5 日)之未來設計降雨改變率

以百年重現期 1~5 日降雨延時之未來設計降雨改變率之系集模擬中位數結果來看(如圖 7 所示)，隨著 GWL 上升未來降雨改變率亦增強，不同降雨延時之結果大致維持全台未來降雨改變率增強(宜花東則相反)，2~5 日降雨延時之未來設計降雨改變率呈現相似之結果，1 日降雨延時之未來設計降雨改變率則比 2~5 日降雨延時之結果更為劇烈(增加的幅度更大，且減少的程度亦更小)。上述討論暫不考慮各 GWL 系集模擬數目不同(GWL1.5、2.0、3.0、4.0°C 分別各有 110、99、66、31 個系集模擬)所造成之影響。

系集模擬中位數結果如上所述，本研究亦好奇系集模擬之其他百分數之統計結果，故選定 GWL2.0°C 百年重現期設計降雨改變率之系集模擬統計結果(如圖 8 所示)，圖 8 顯示之結果與圖 7 相近，不同降雨延時之結果大致維持相似，尤以 1 日降雨延時之未來設計降雨改變率比其他(2~5 日)降雨延時之結果更為劇烈。

## 4.3 不同重現期之未來設計降雨改變率

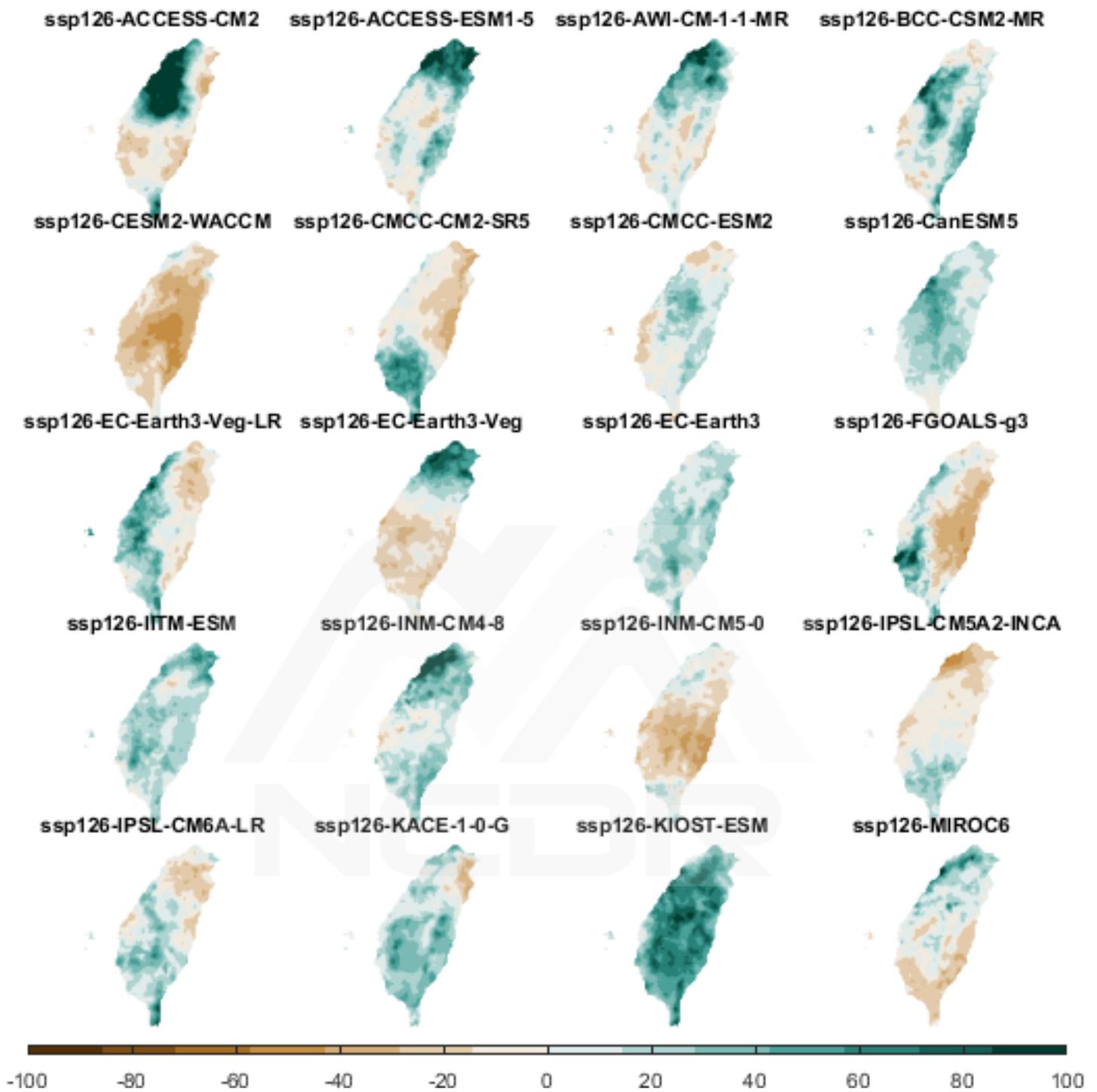
許等人(2024)研究指出，各 GWL 下 50 年重現期 1 日降雨延時之降雨改變率高於 10 年重現期之結果。本研究選定 GWL2.0°C 各降雨延時 6 種重現期之設計降雨改變率之系集模擬中位數結果(繪圖如圖 9 所示)，除了宜花少部分區域呈現未來設計降雨減少趨勢之外，全台大致為降雨增加趨勢，而且隨著重現期增加未來降雨改變率亦會加劇，同時，1 日降雨延時之未來降雨改變率明顯比 2~5 日

之結果更為劇烈。

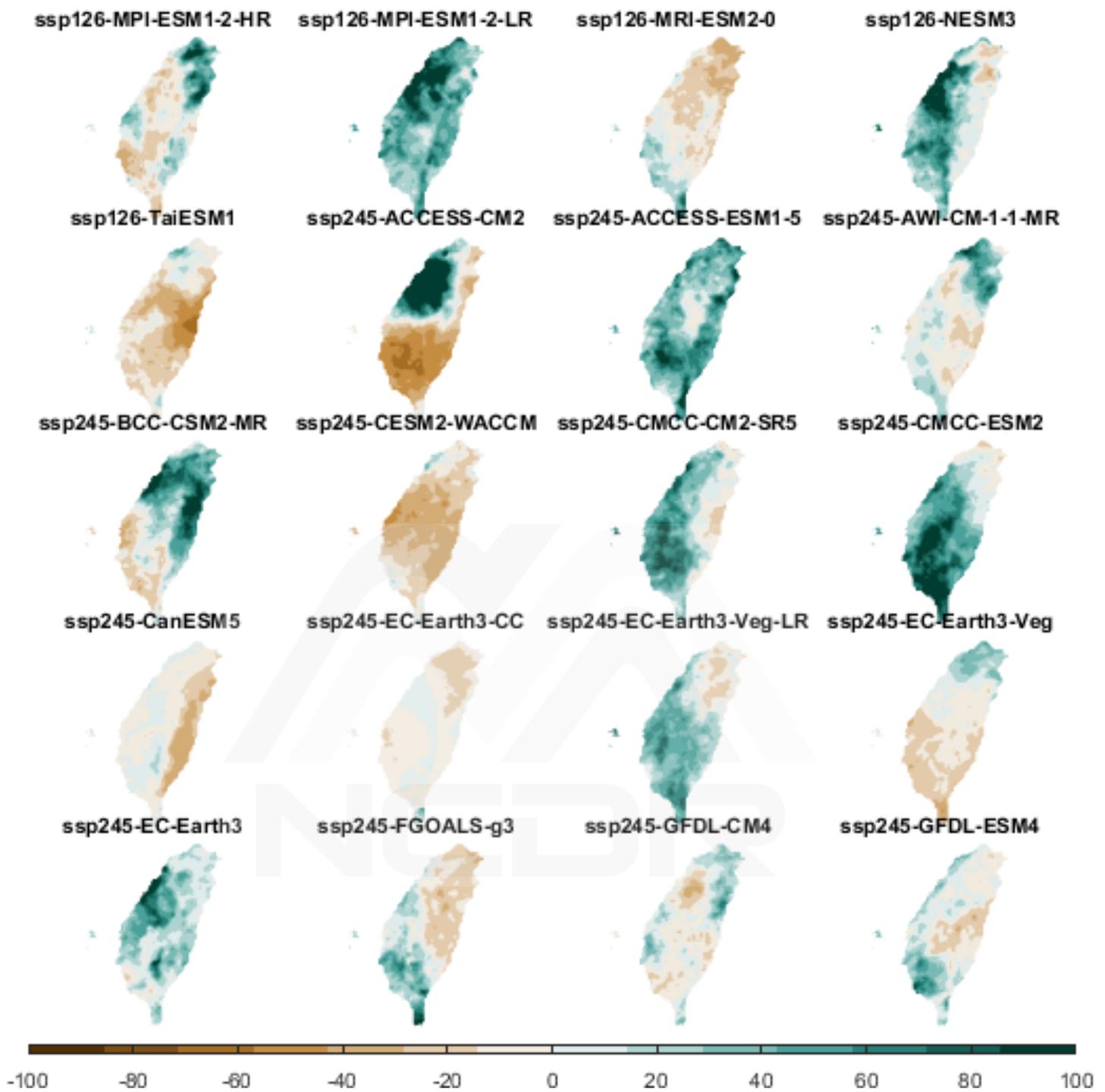
#### 4.4 各縣市五公里代表網格之未來設計降雨之改變

本研究探討各縣市五公里代表網格之未來設計降雨改變，以百年重現期 2 日降雨延時之未來設計降雨改變率之系集模擬中位數結果來看(如圖 10 與表 4 所示)，各縣市大致符合隨著 GWL 上升未來降雨改變率亦增強，GWL1.5、2、3、4°C 下全台縣市降雨改變率分別為-4~29%、-1~39%、1~44%、9~84%，全台平均值分別為 13%、20%、23%、35%。值得一提的是花蓮縣五公里代表網格之未來設計降雨改變率之系集模擬中位數分別於 GWL1.5、3、4°C 下為全台縣市中之最小值(四種 GWL 之平均亦為最小)，新竹縣五公里代表網格則於 GWL1.5、2、3°C 下為全台縣市中之最大值(四種 GWL 之平均亦為最大)，全台縣市中之最大未來降雨改變率為 GWL4°C 下桃園市之 84%，全台縣市中之最小未來降雨改變率為 GWL1.5°C 下花蓮縣之-4%。

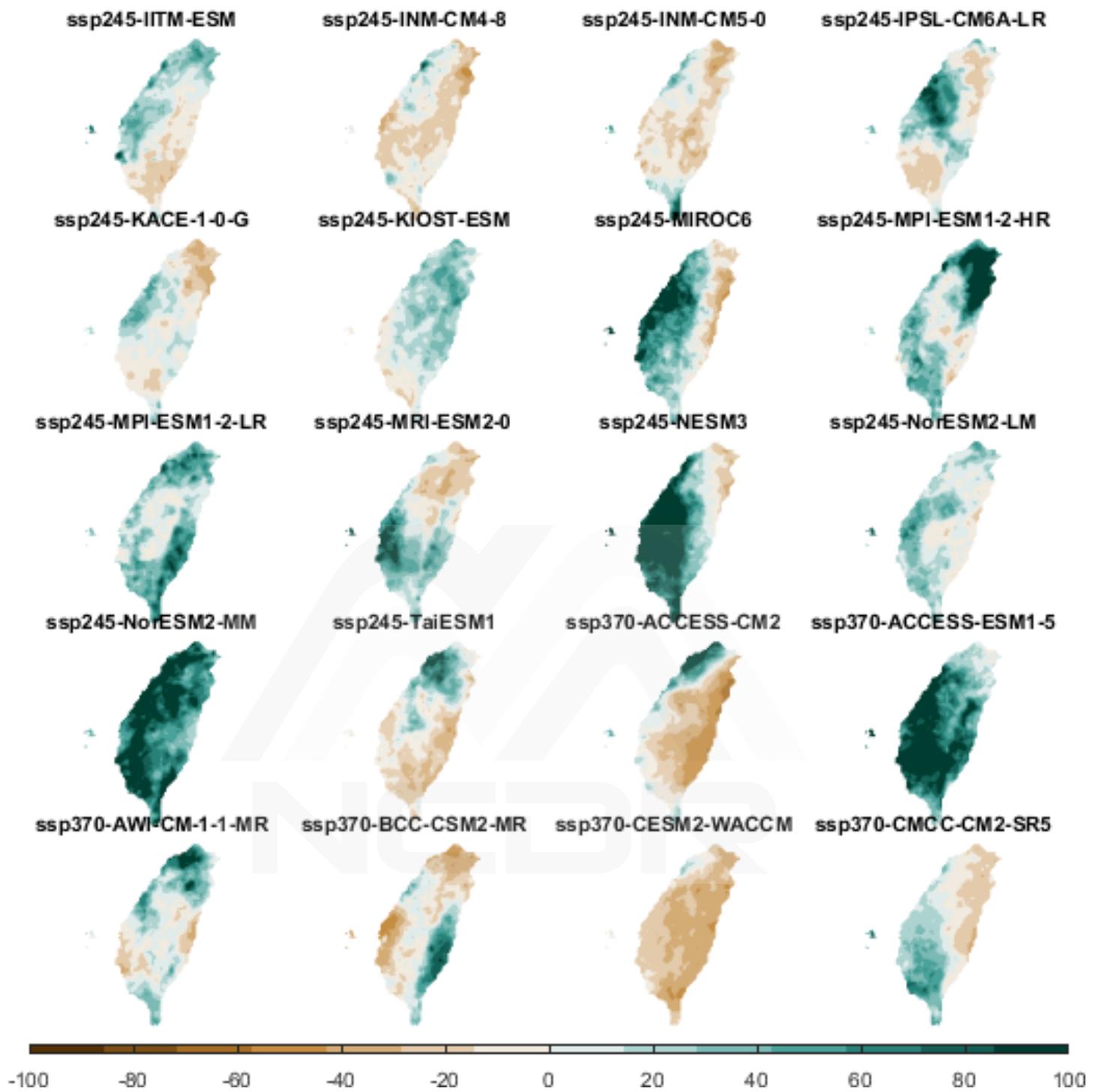
以台北市五公里代表網格為例，探討其未來設計降雨改變率之系集模擬之統計結果(如圖 11(a)所示)，各 GWL 下設計降雨改變率之系集模擬之中位數隨著重現期增加而變大，全台各縣市五公里代表網格之結果亦大致符合「設計降雨改變率之系集模擬之中位數隨著重現期增加而變大」，但花蓮縣代表網格則呈現相反趨勢(如圖 11(b)所示)。另一方面，未來設計降雨改變率之不確定性若以系集模擬之第 5~95 百分數代表(90%機率之非常可能範圍)，由圖 11 可看出不確定性範圍將隨著重現期增加而變大。

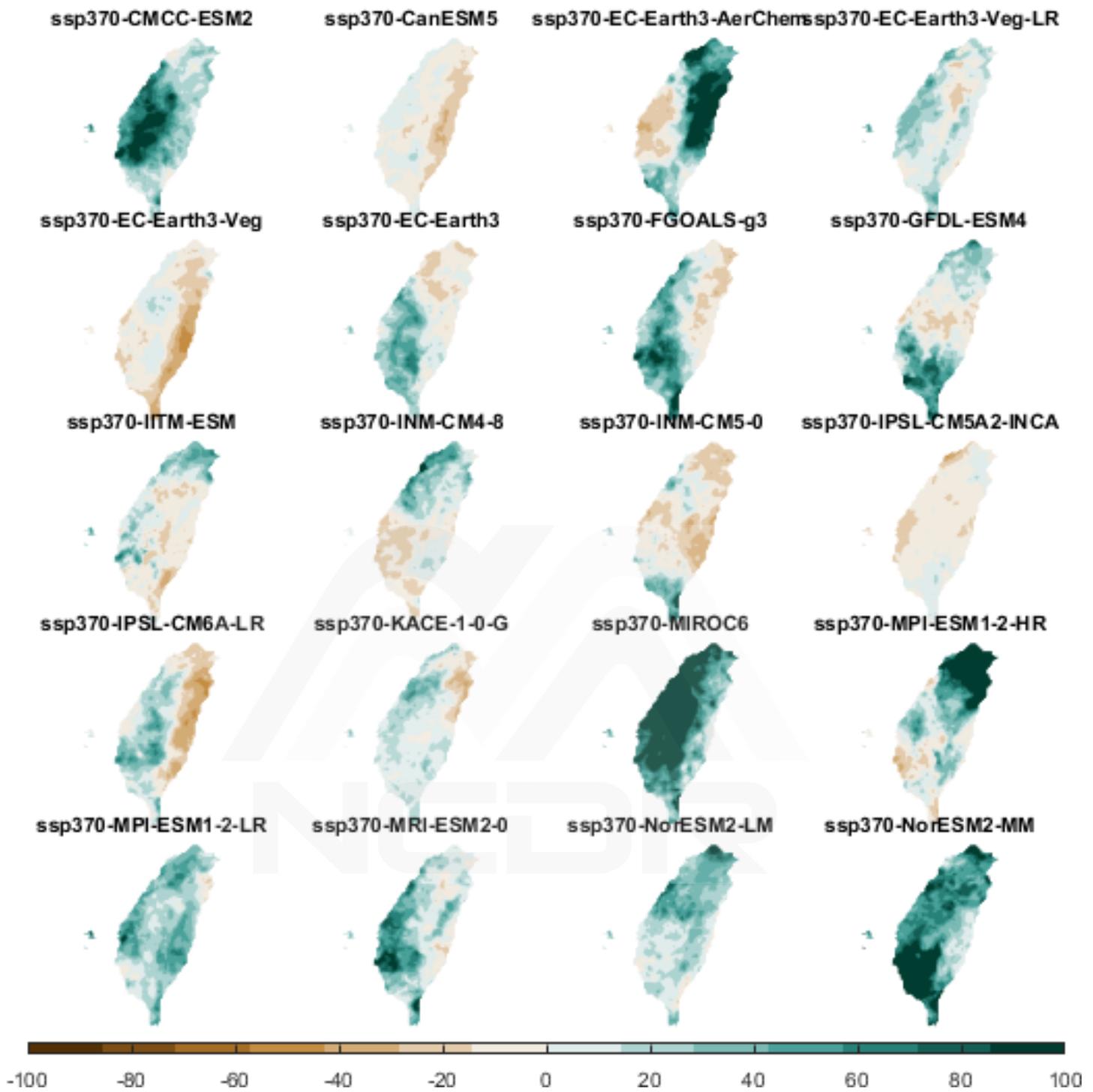


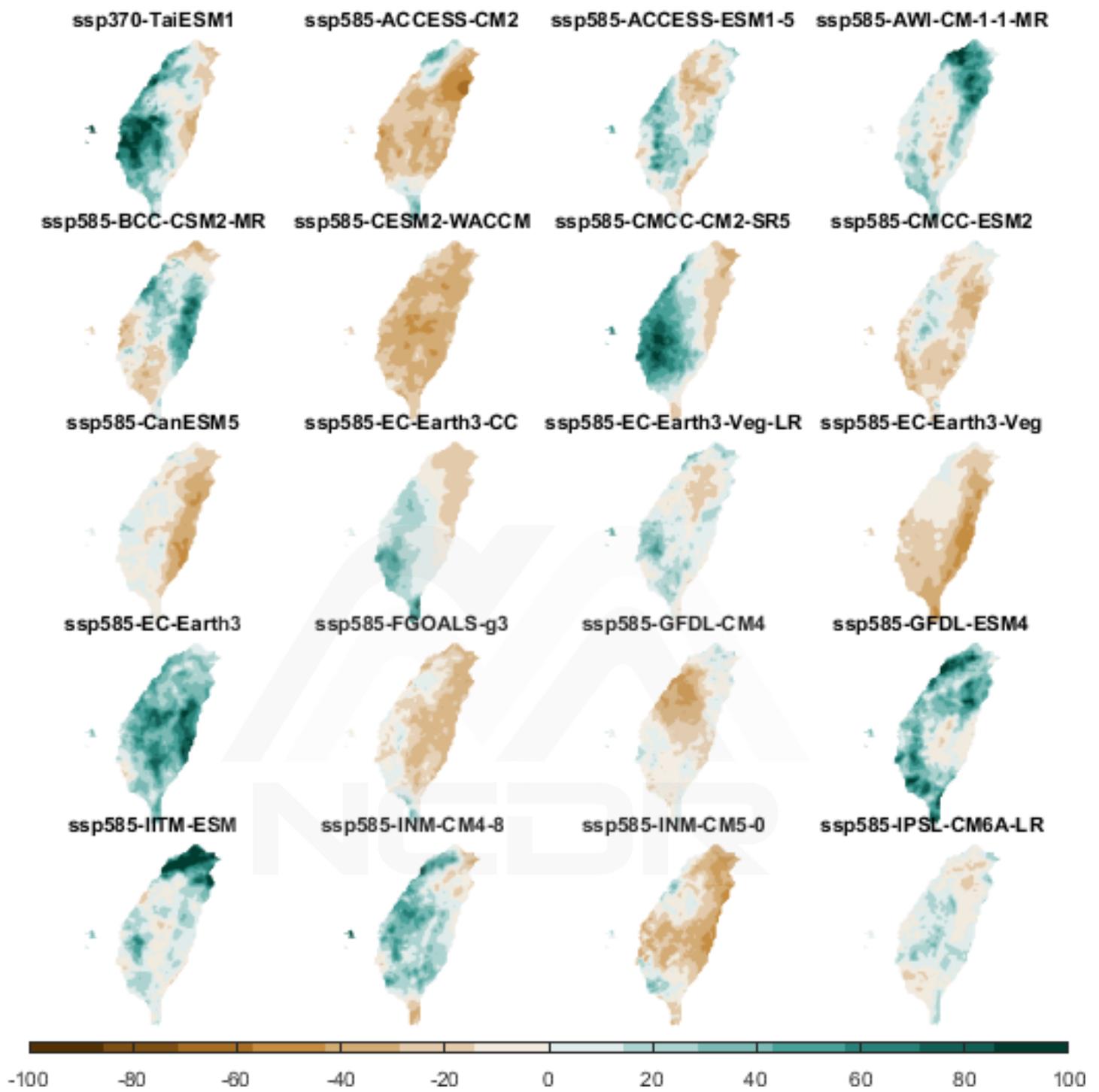
(a) 1st~20th GCM-SSP

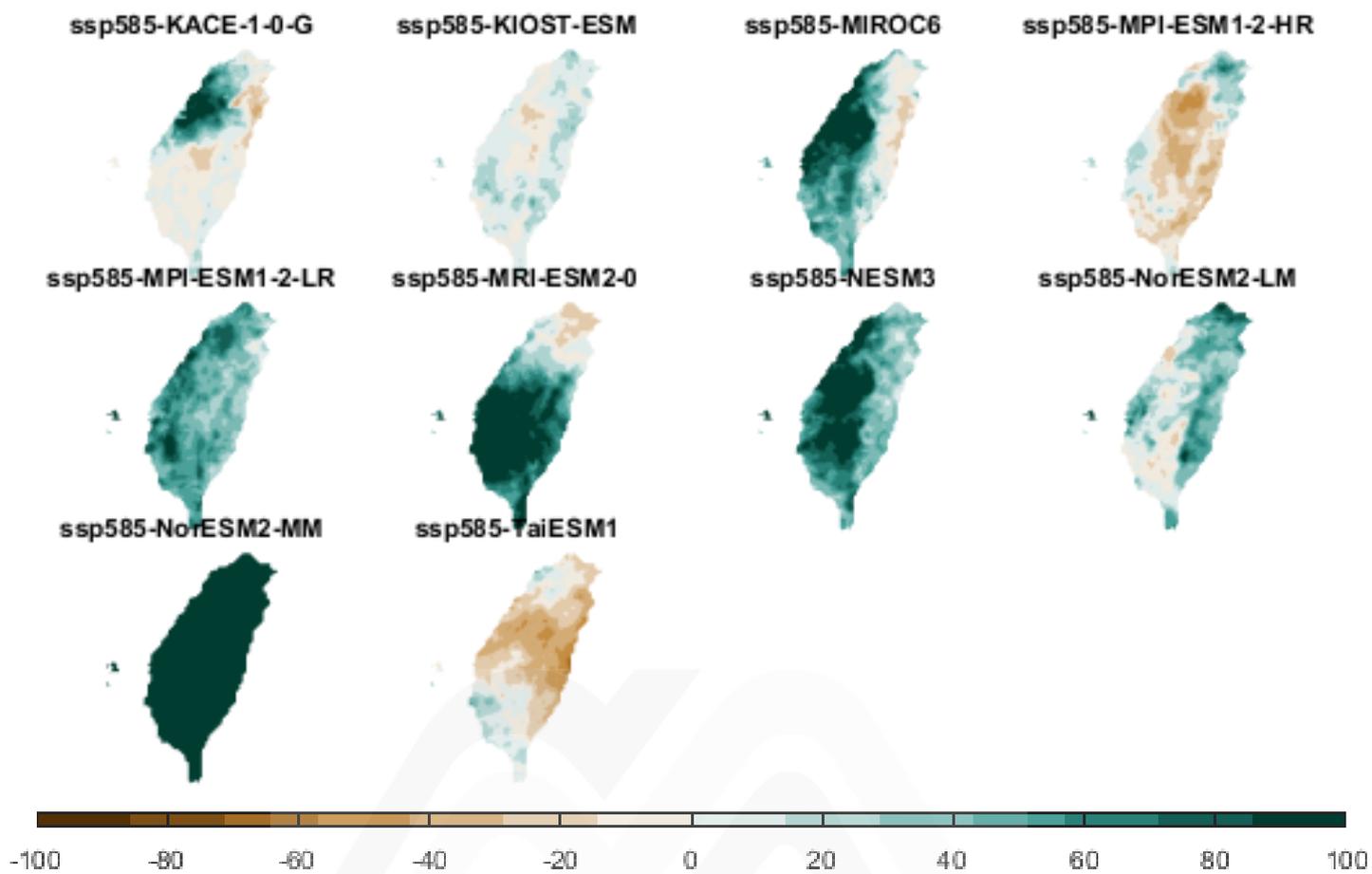


(b)21th~40th GCM-SSP



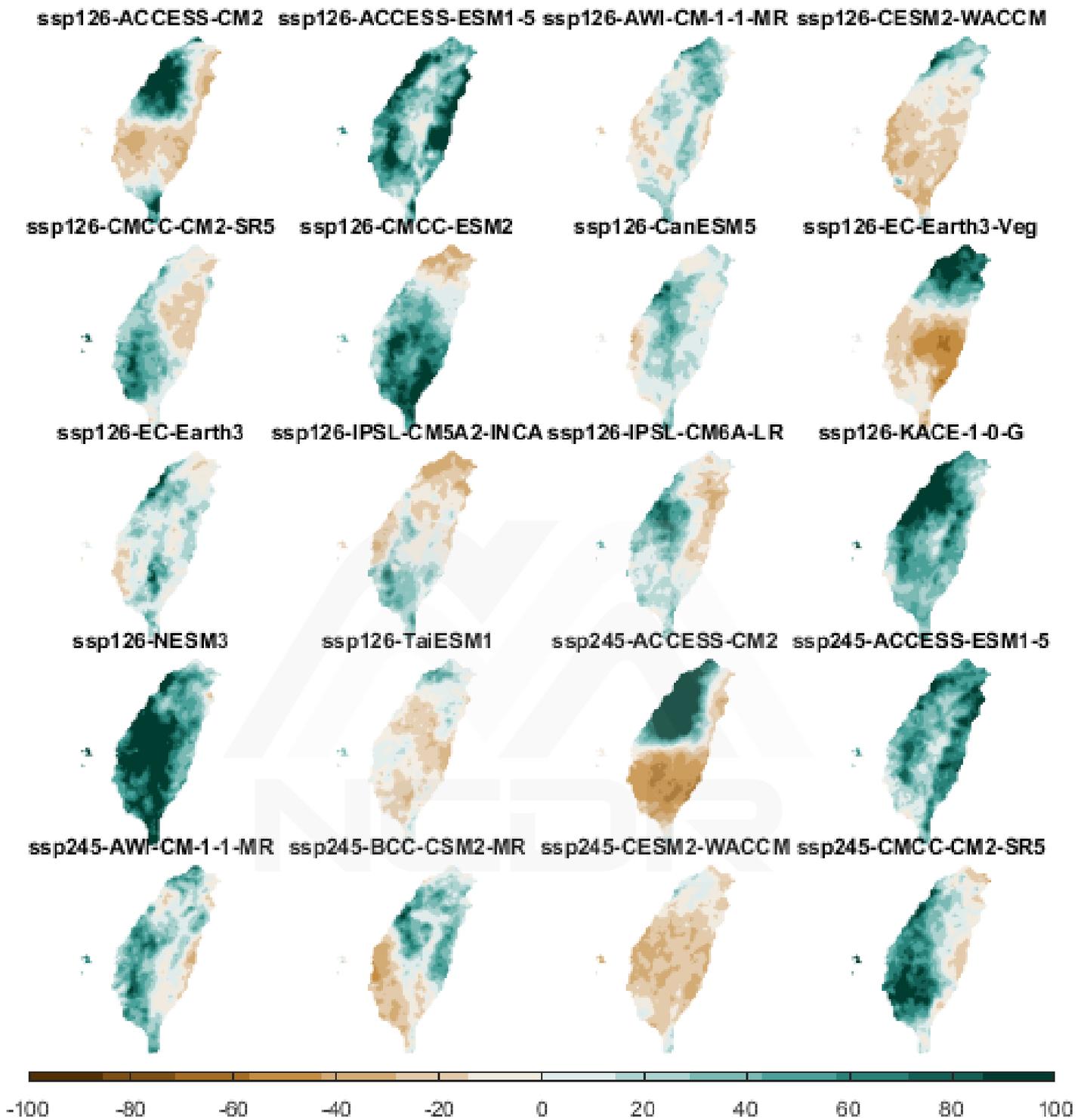




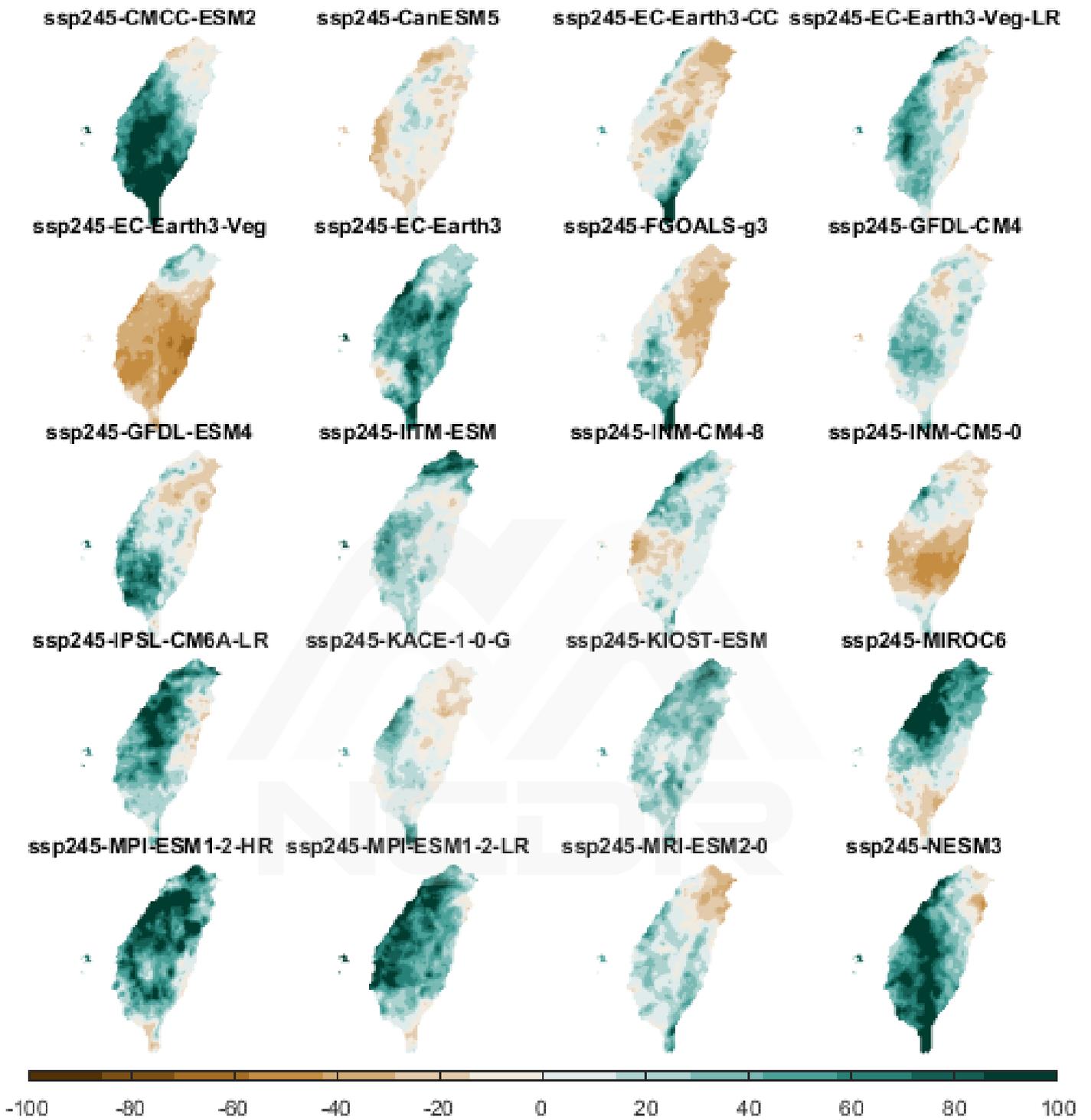


(f)101th~110th GCM-SSP

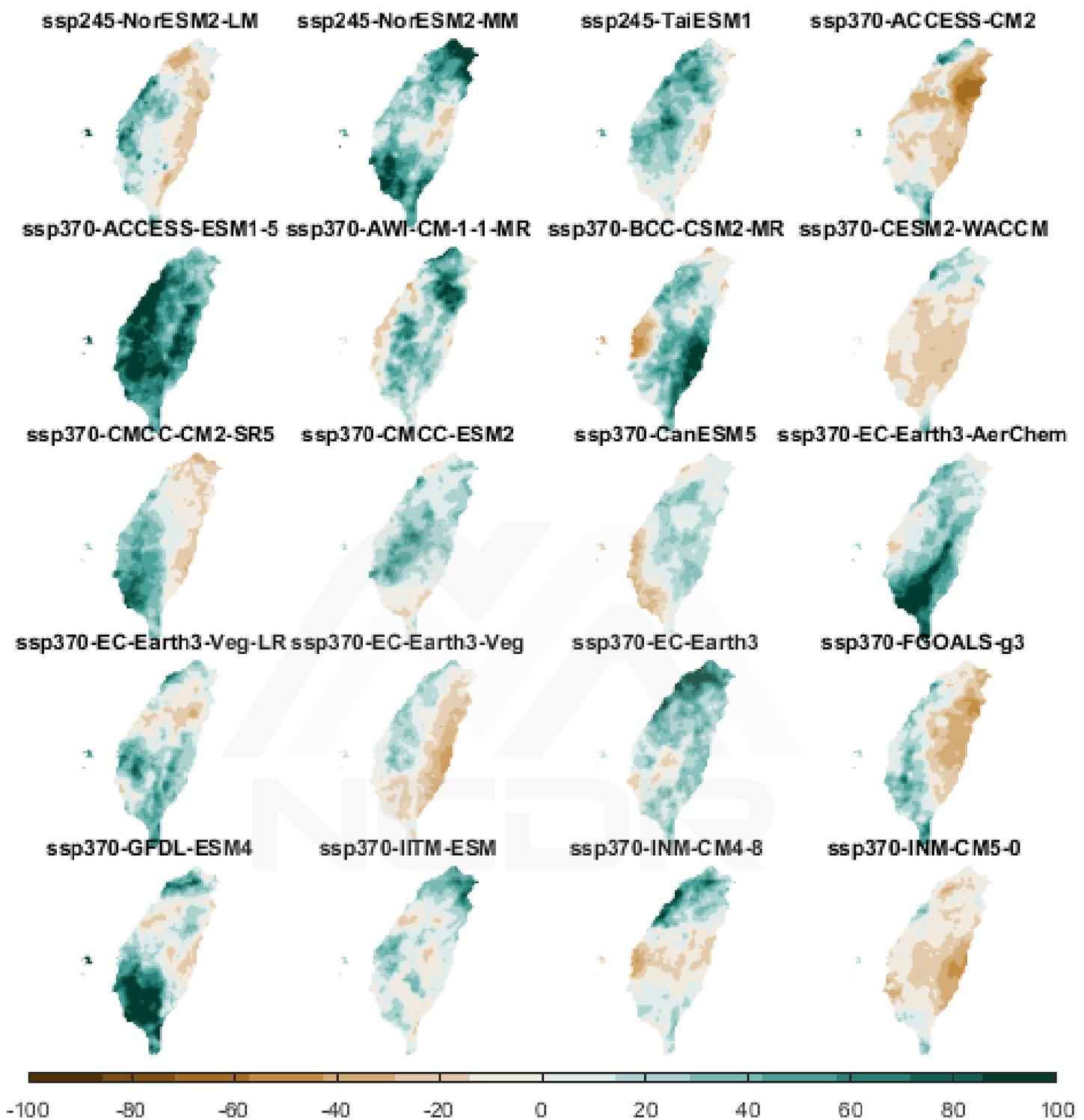
圖 2 AR6 GWL1.5°C百年重現期 2日設計降雨之改變率(%)



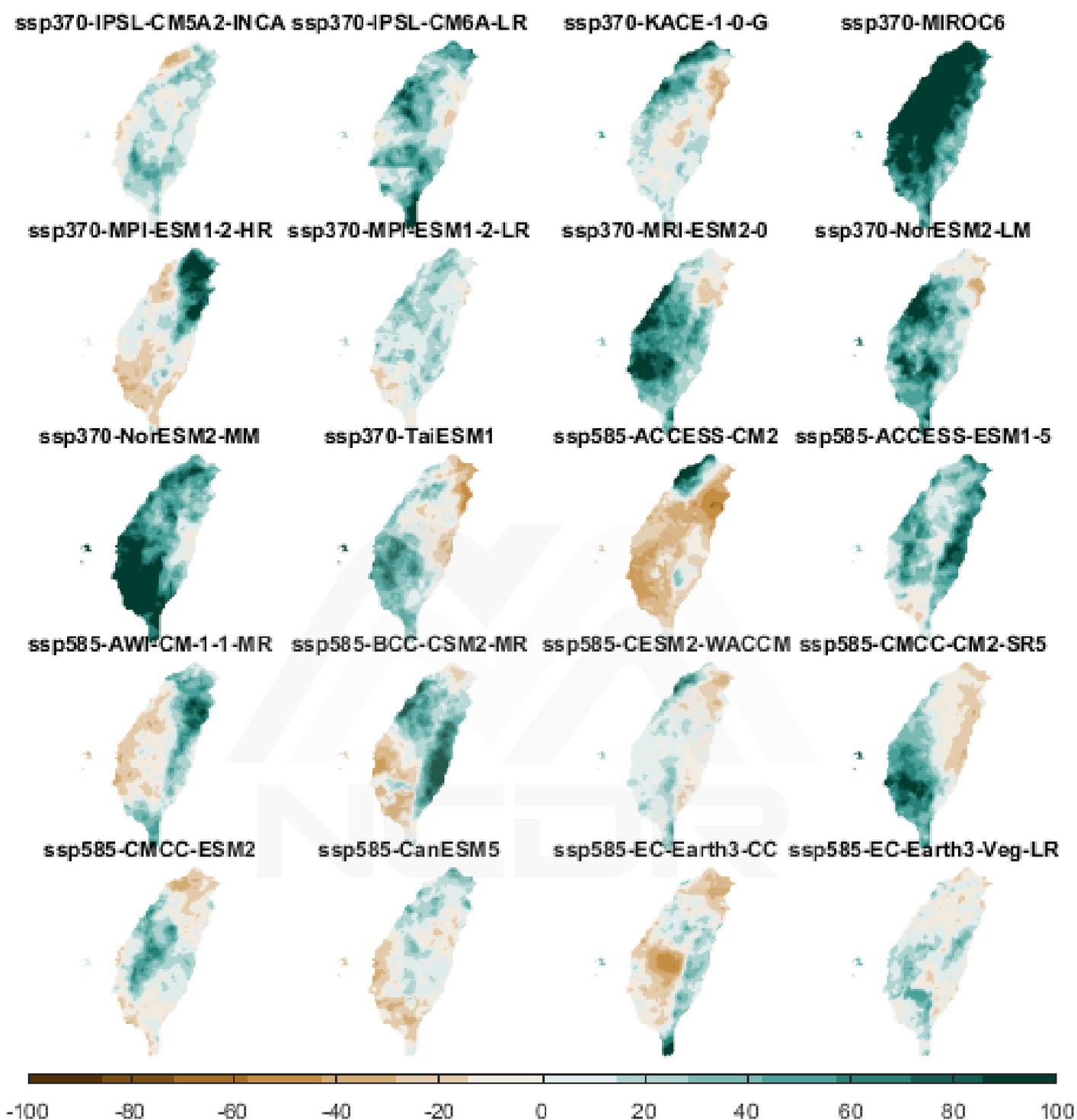
(a) 1st~20th GCM-SSP



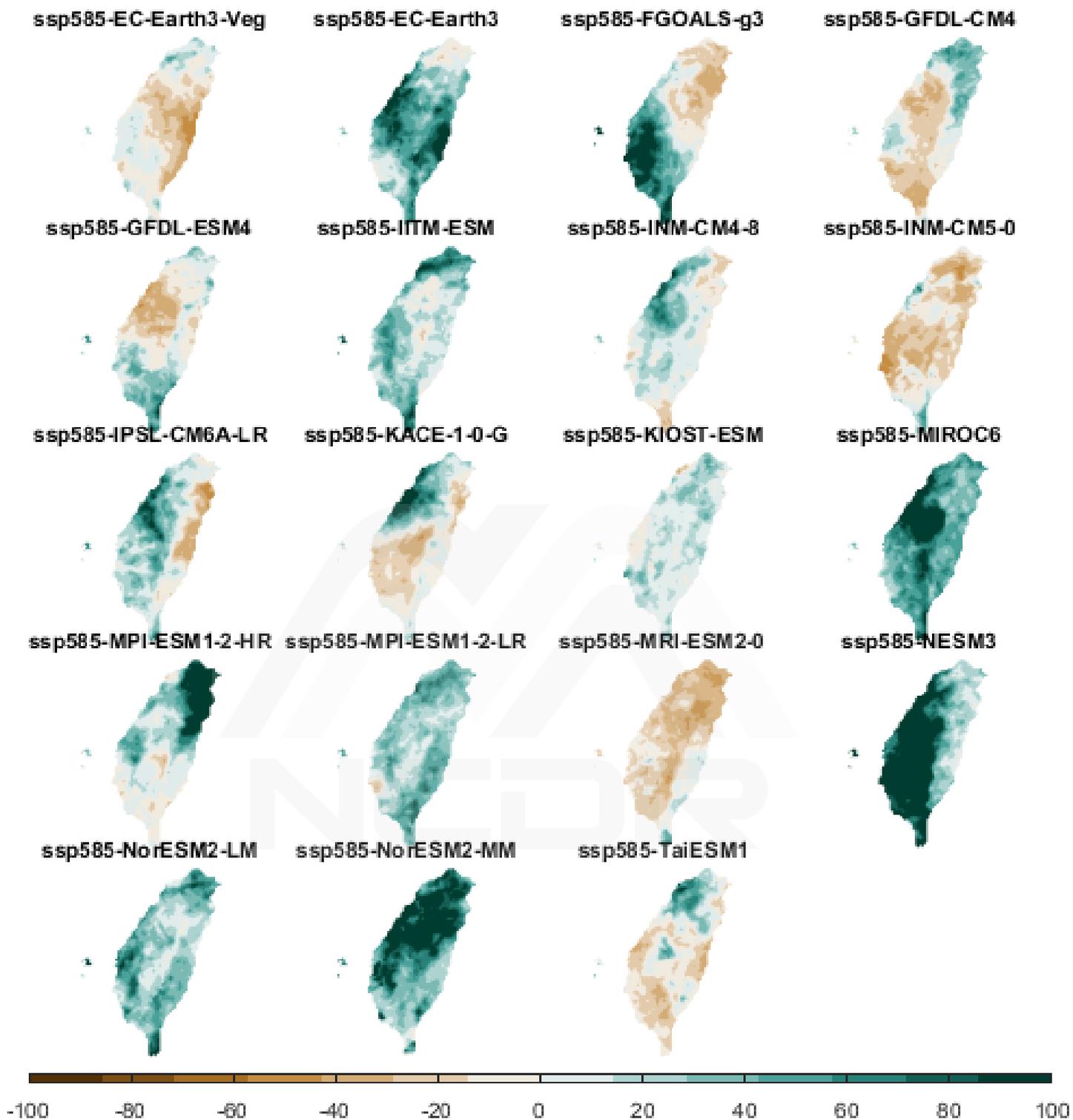
(b)21th~40th GCM-SSP



(c)41th~60th GCM-SSP

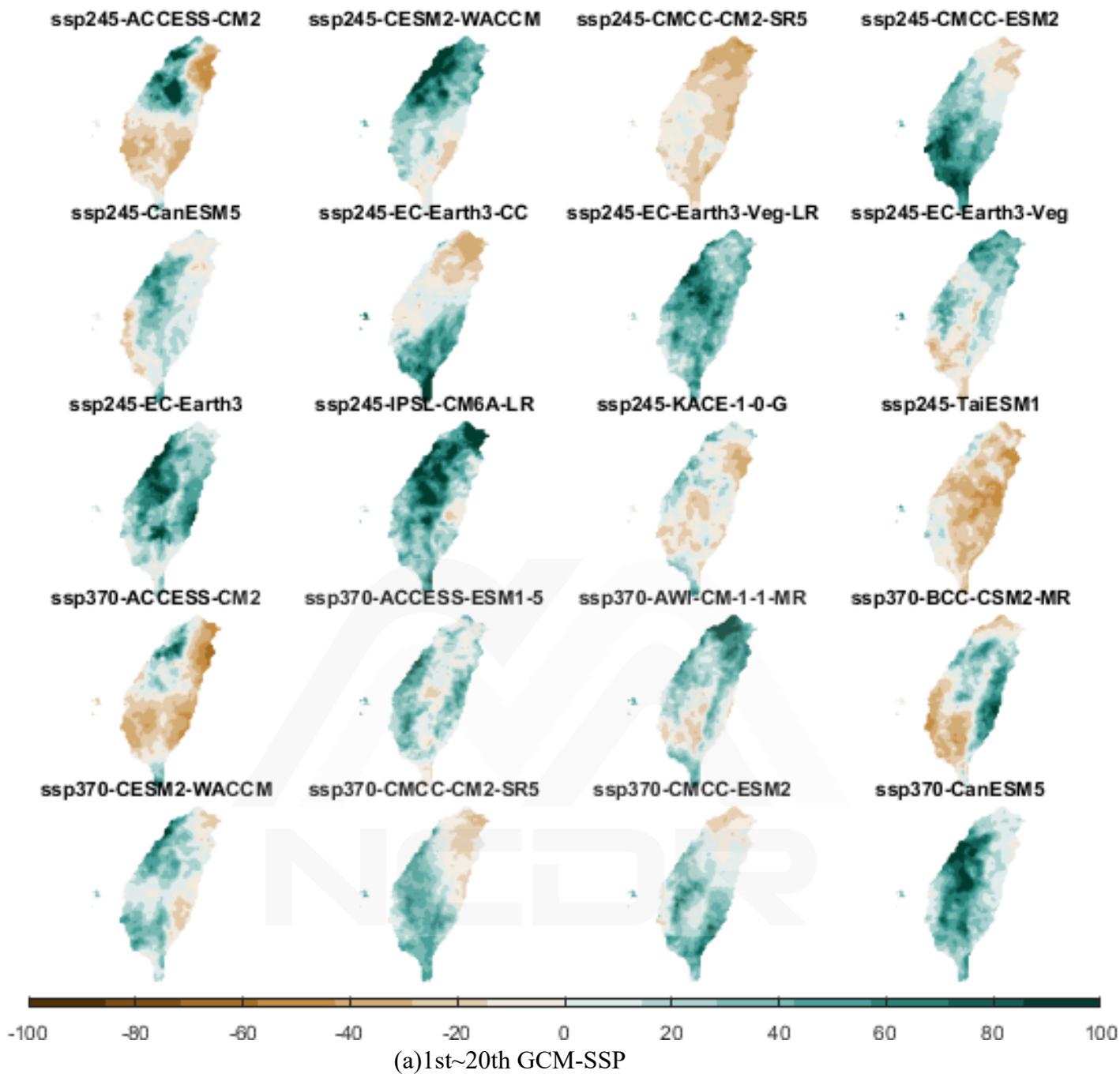


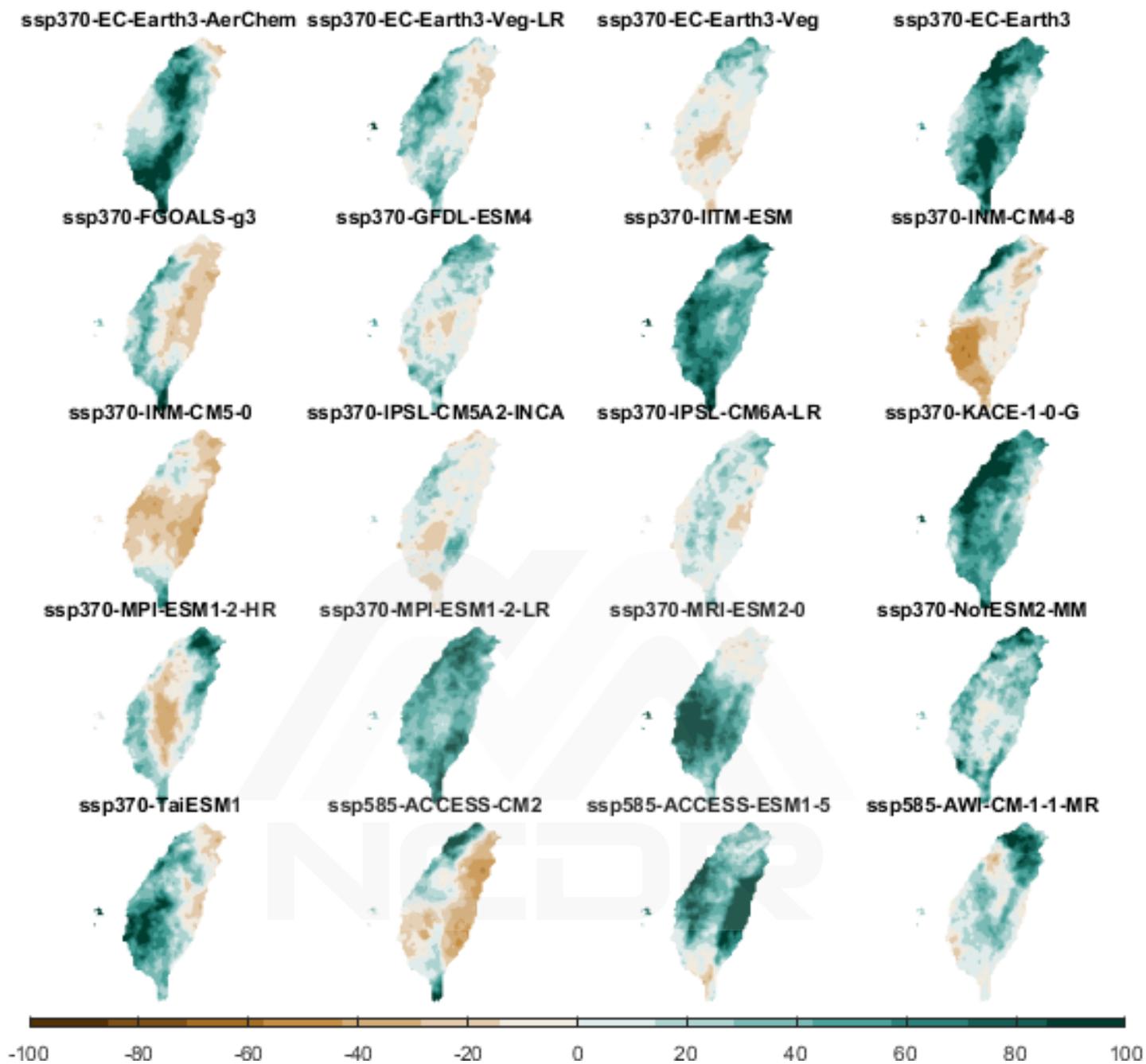
(d)61th~80th GCM-SSP



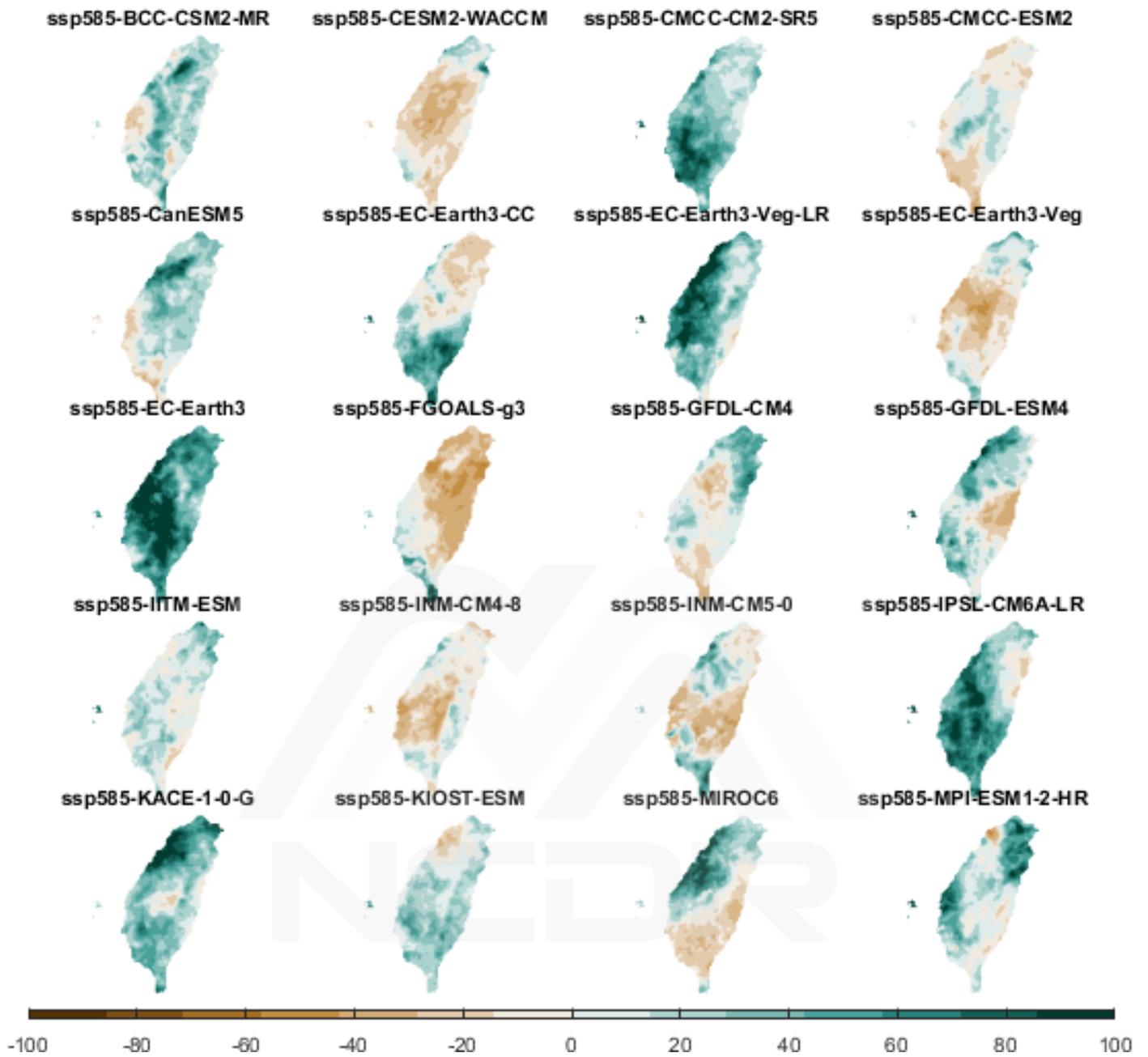
(e)81th~99th GCM-SSP

圖 3 AR6 GWL2.0°C百年重現期 2 日設計降雨之改變率(%)

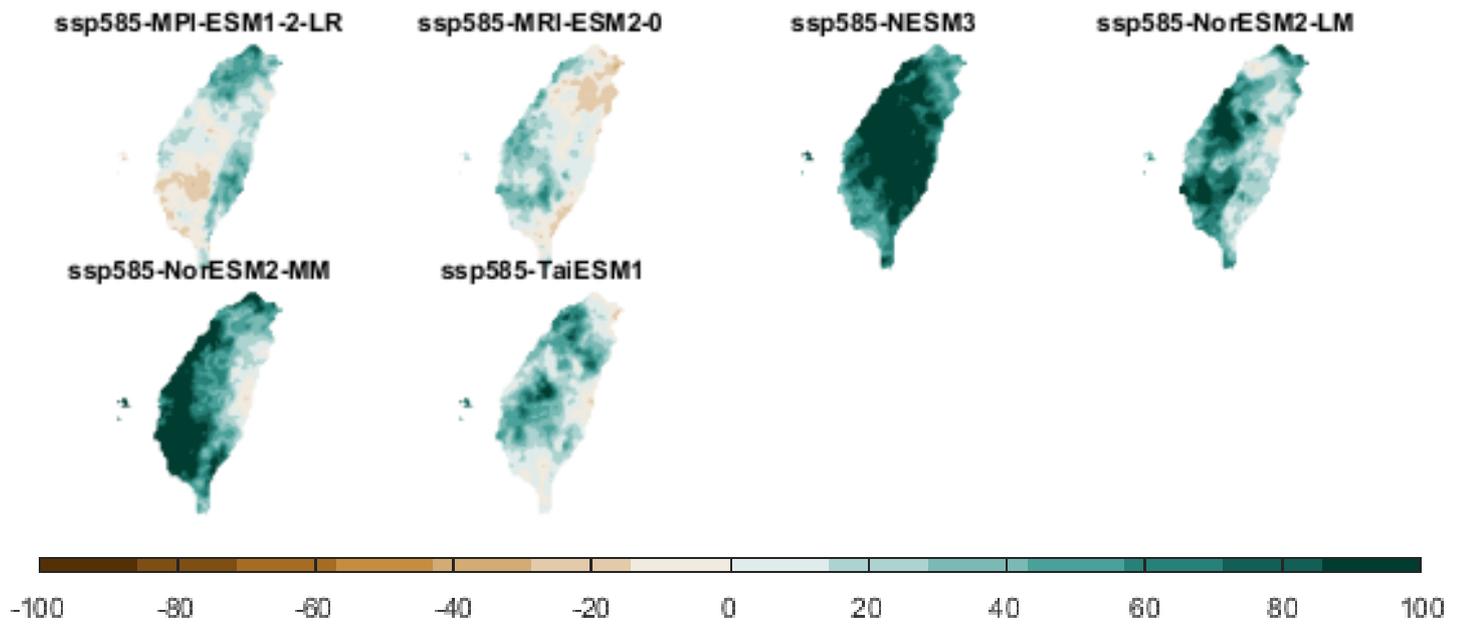




(b)21th~40th GCM-SSP

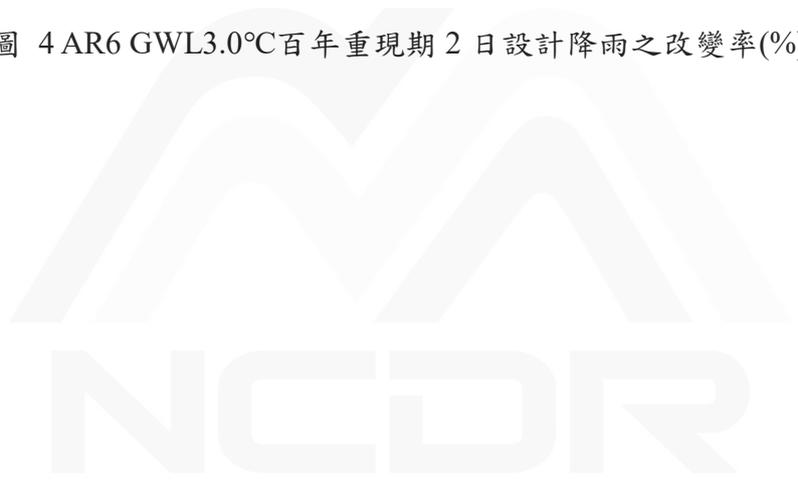


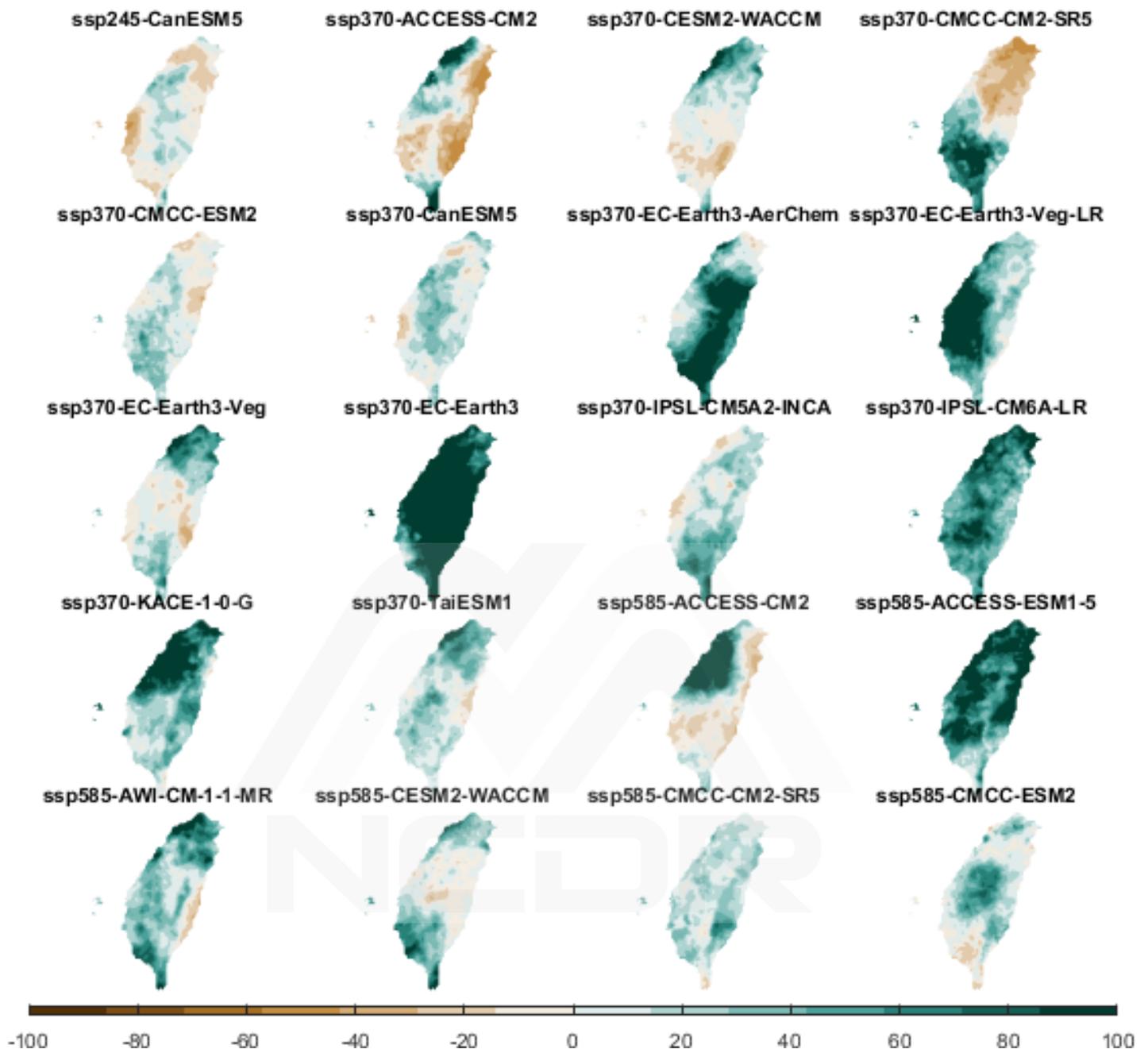
(c)41th~60th GCM-SSP



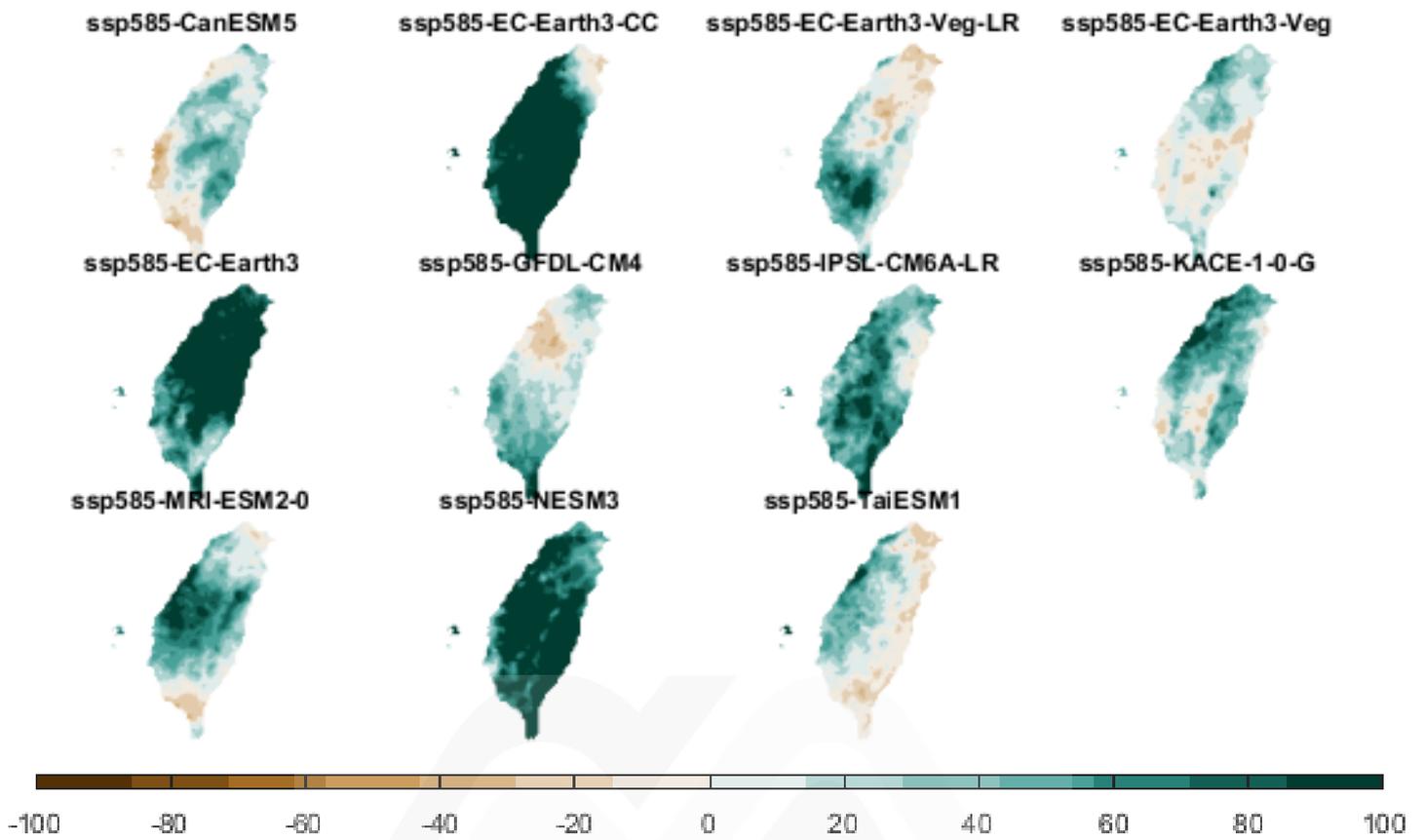
(d)61th~66th GCM-SSP

圖 4 AR6 GWL3.0°C百年重現期 2 日設計降雨之改變率(%)





(a) 1st~20th GCM-SSP



(b)21th~31th GCM-SSP

圖 5 AR6 GWL4.0°C百年重現期 2 日設計降雨之改變率(%)

NCDR

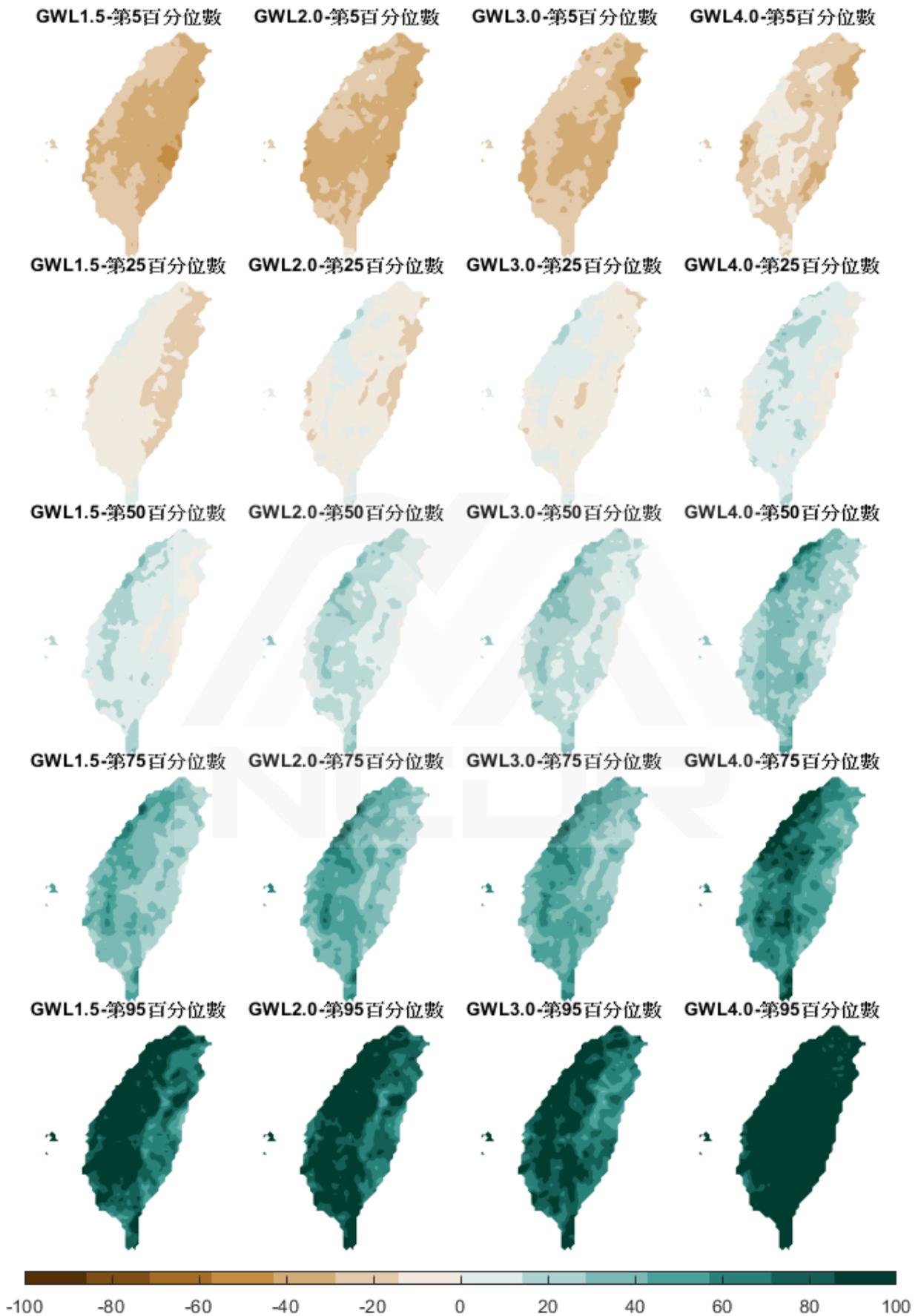


圖 6 AR6 各 GWL 百年重現期 2 日設計降雨改變率(%)之系集模擬統計結果

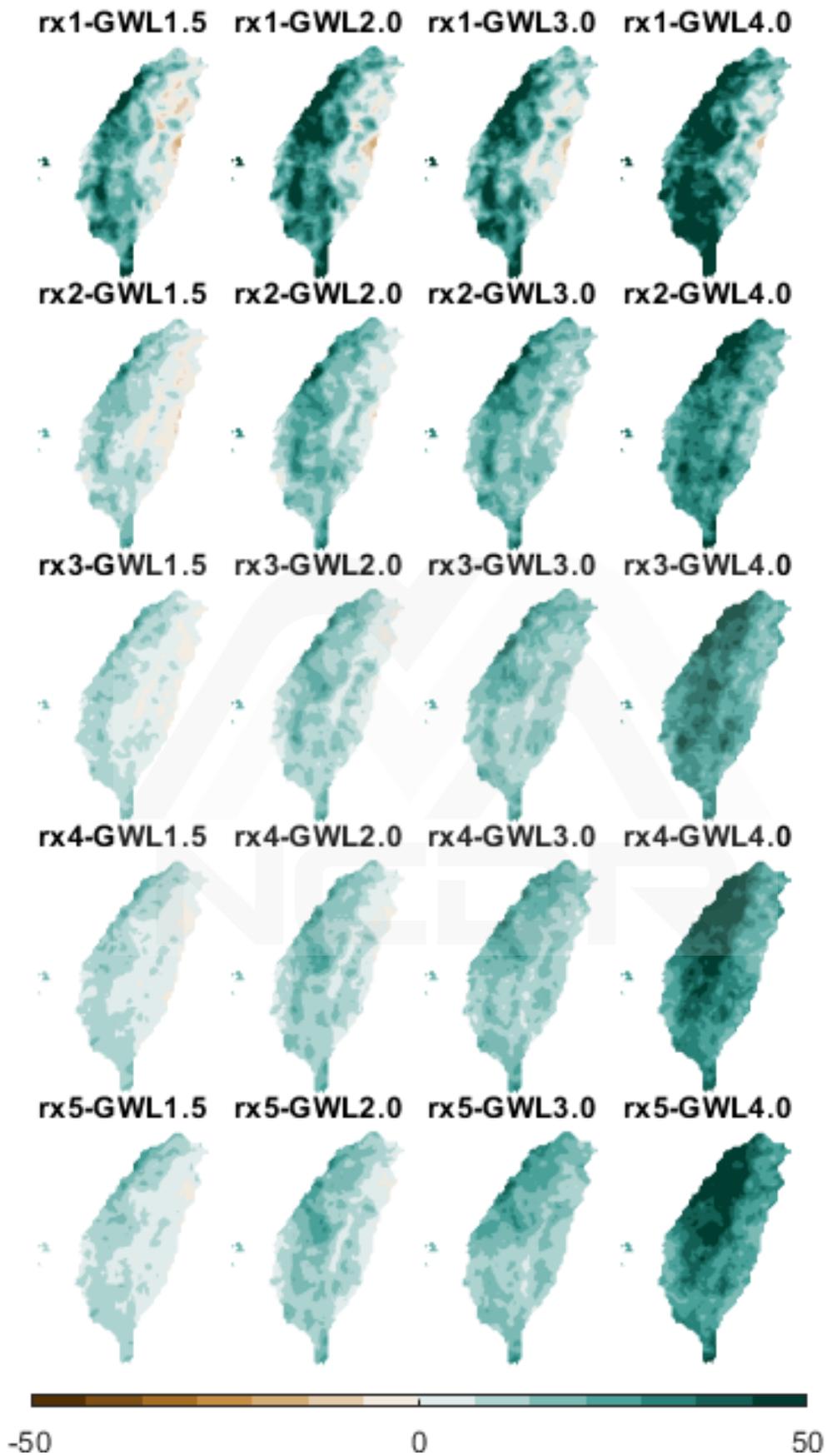


圖 7 AR6 各 GWL 百年重現期 1~5 日降雨延時之設計降雨改變率(%)之系集模擬中位數結果 (rx1 代表 1 日降雨延時)

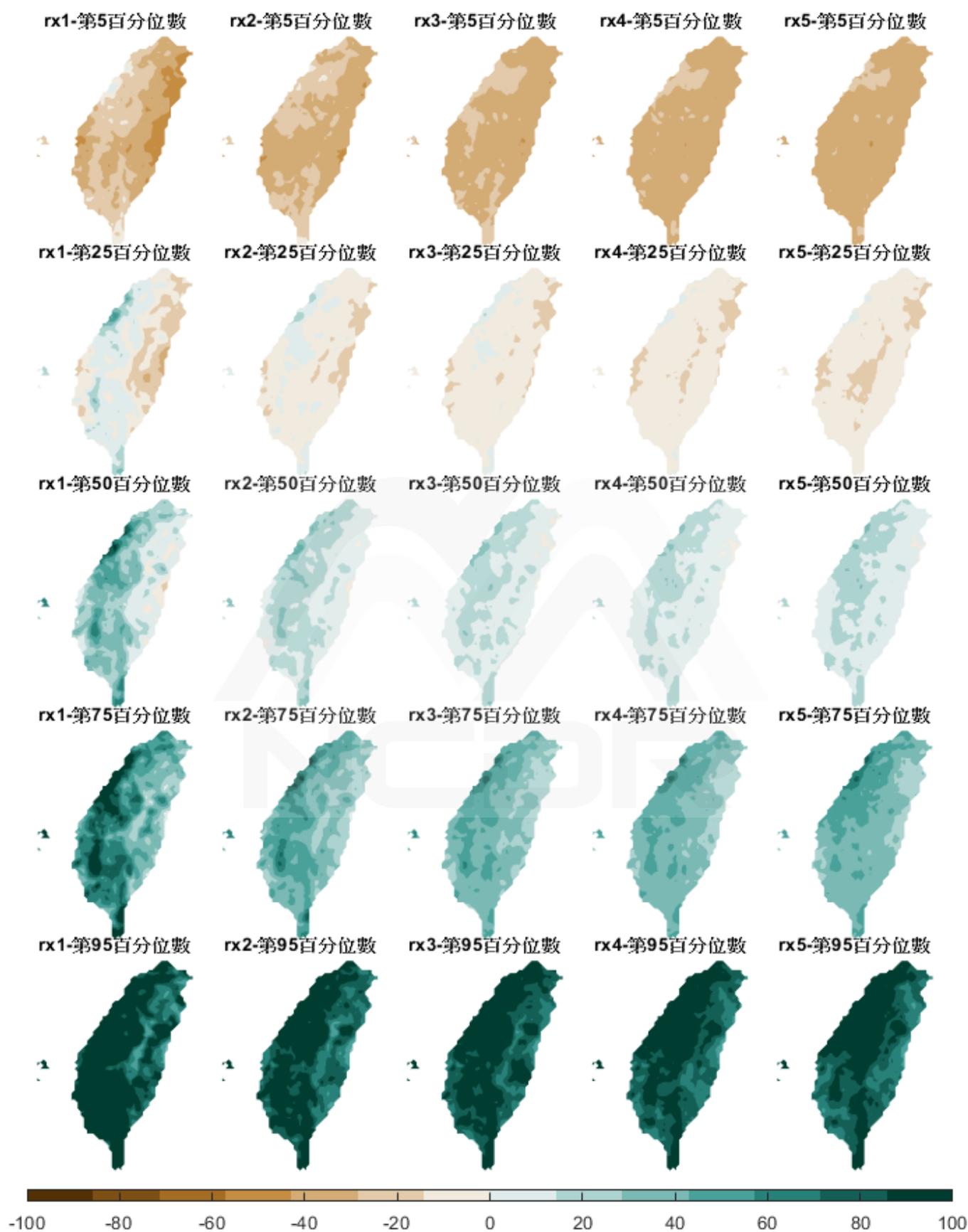


圖 8 GWL2.0°C百年重現期 1~5 日降雨延時之設計降雨改變率(%)之系集模擬統計結果(rx1 代表 1 日降雨延時)

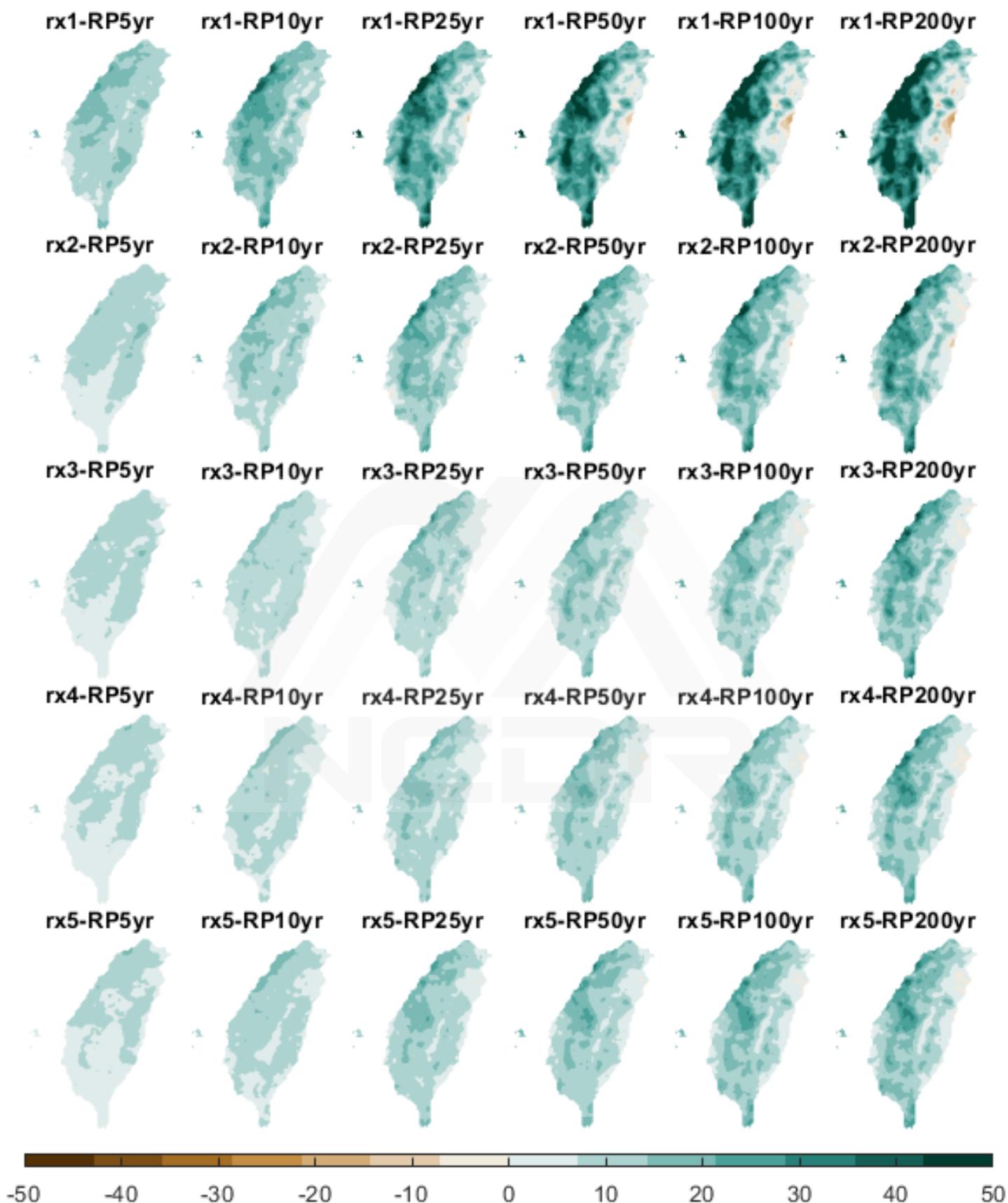


圖 9 GWL2.0°C6 種重現期 1~5 日降雨延時之設計降雨改變率(%)之系集模擬中位數結果(rx1 代表 1 日降雨延時；RP5yr 代表 5 年重現期)

表 3 各縣市選用之 TCCIP 五公里代表網格之基本資料(資料出處:交通部中央氣象署, 2024)

項次	縣市	氣象測站代碼	測站	經度	緯度	TCCIP 五公里網格經度	TCCIP 五公里網格緯度
1	新北市	466881	新北	121.52	24.9593	121.5	24.95
2	臺北市	466920	臺北	121.5149	25.03766	121.5	25.05
3	基隆市	466940	基隆	121.7405	25.13331	121.75	25.15
4	花蓮縣	466990	花蓮	121.6133	23.97513	121.6	24
5	桃園市	467050	新屋	121.0475	25.00674	121.05	25
6	宜蘭縣	467080	宜蘭	121.7565	24.76398	121.75	24.75
7	彰化縣	467270	田中	120.5813	23.8738	120.6	23.85
8	苗栗縣	467280	後龍	120.8318	24.64856	120.85	24.65
9	雲林縣	467290	古坑	120.5519	23.63364	120.55	23.65
10	澎湖縣	467350	澎湖	119.5631	23.5655	119.55	23.55
11	臺南市	467410	臺南	120.2048	22.99324	120.2	23
12	高雄市	467441	高雄	120.3125	22.7304	120.3	22.75
13	嘉義市	467480	嘉義	120.4329	23.49593	120.45	23.5
14	臺中市	467490	臺中	120.6841	24.14574	120.7	24.15
15	嘉義縣	467530	阿里山	120.8132	23.50821	120.8	23.5
16	新竹縣	467571	新竹	121.0142	24.82785	121	24.85
17	屏東縣	467590	恆春	120.7463	22.0039	120.75	22
18	南投縣	467650	日月潭	120.9081	23.88133	120.9	23.9
19	臺東縣	467660	臺東	121.1546	22.75221	121.15	22.75

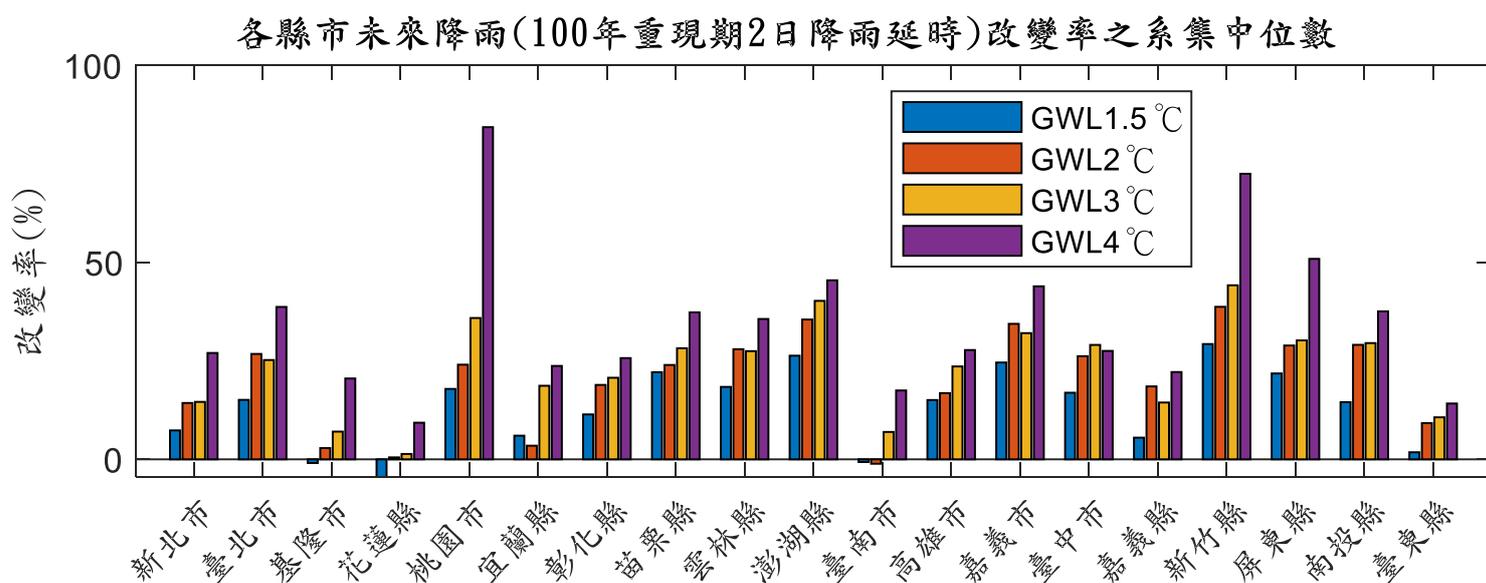
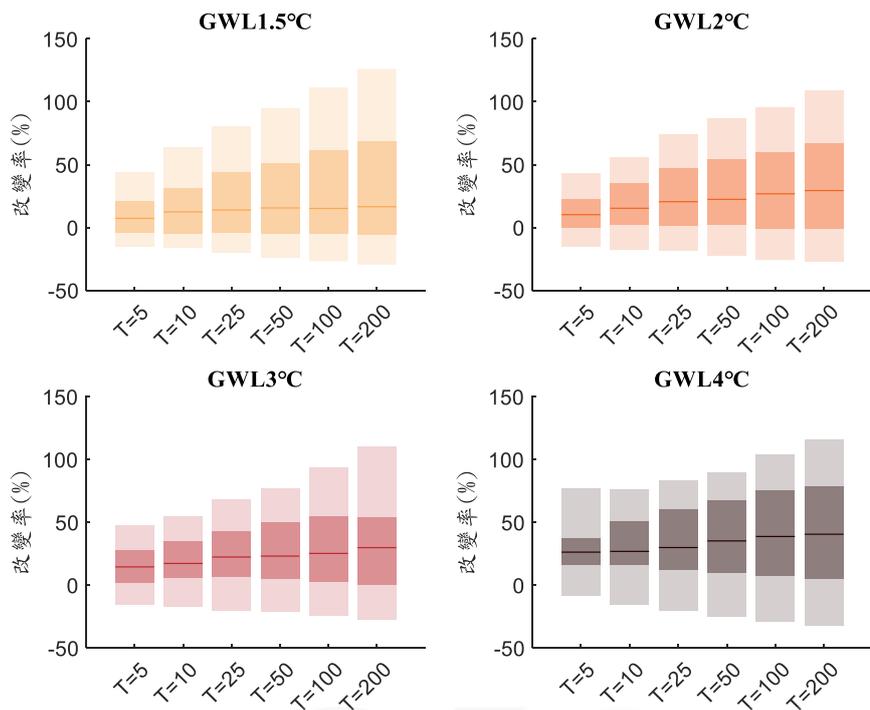


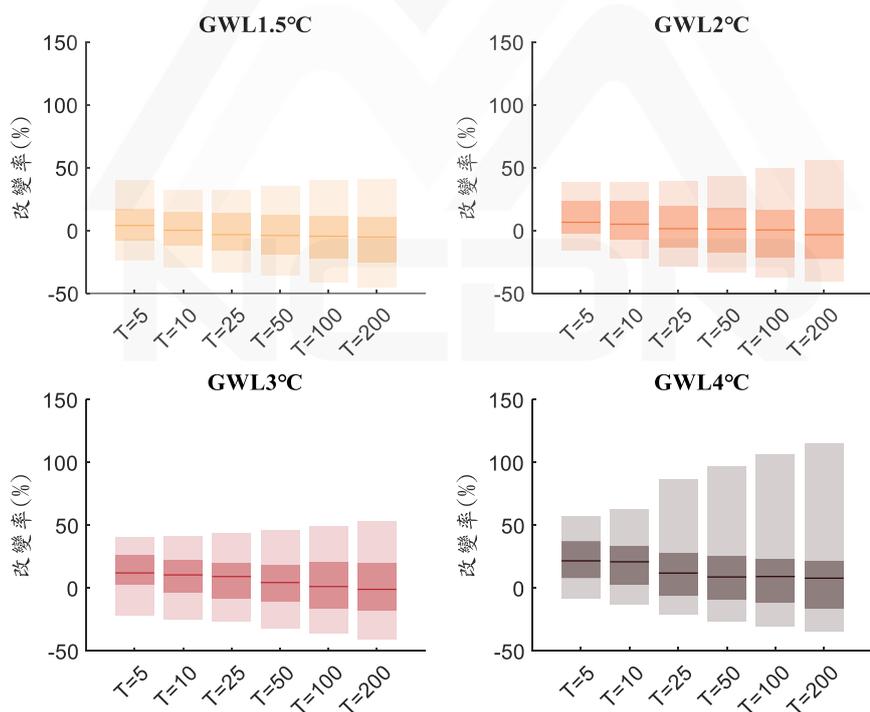
圖 10 各縣市未來降雨(百年重現期 2 日降雨延時)改變率之系集模擬中位數結果

表 4 各縣市選用之 TCCIP 五公里代表網格之未來降雨(百年重現期 2 日降雨延時)改變率(%)  
之系集模擬中位數結果

項次	縣市	TCCIP 五公里網格經度	TCCIP 五公里網格緯度	GWL1.5°C	GWL2.0°C	GWL3.0°C	GWL4.0°C
1	新北市	121.5	24.95	7.34	14.31	14.59	27.01
2	臺北市	121.5	25.05	15.10	26.76	25.22	38.70
3	基隆市	121.75	25.15	-0.93	2.85	7.04	20.53
4	花蓮縣	121.6	24	-4.49	0.50	1.36	9.30
5	桃園市	121.05	25	17.88	24.04	35.88	84.35
6	宜蘭縣	121.75	24.75	6.01	3.46	18.68	23.72
7	彰化縣	120.6	23.85	11.41	18.90	20.72	25.71
8	苗栗縣	120.85	24.65	22.14	23.96	28.21	37.32
9	雲林縣	120.55	23.65	18.39	27.96	27.47	35.64
10	澎湖縣	119.55	23.55	26.32	35.50	40.24	45.46
11	臺南市	120.2	23	-0.68	-1.12	6.95	17.49
12	高雄市	120.3	22.75	15.06	16.81	23.59	27.75
13	嘉義市	120.45	23.5	24.59	34.41	32.05	43.93
14	臺中市	120.7	24.15	16.91	26.19	29.05	27.53
15	嘉義縣	120.8	23.5	5.51	18.52	14.43	22.16
16	新竹縣	121	24.85	29.28	38.73	44.20	72.51
17	屏東縣	120.75	22	21.81	28.90	30.20	50.91
18	南投縣	120.9	23.9	14.52	29.08	29.52	37.57
19	臺東縣	121.15	22.75	1.80	9.20	10.67	14.18



(a)台北市五公里代表網格



(b)花蓮縣五公里代表網格

圖 11 台北市與花蓮縣五公里代表網格未來降雨(2日降雨延時)改變率之系集模擬之各百分位數(實線代表第 50 百分位數；深色區塊為第 25~75 百分位數；淺色區塊為第 5~95 百分位數)

## 第五章 結論

本研究使用 TCCIP 產製之 AR6 統計降尺度 5 公里網格日雨量資料，進行未來設計降雨改變率之計算。重要結論如下：

1. 不同 GWL 下各 GCM-SSP 間之設計降雨改變率有增強亦有少部分為減小之趨勢，顯見各 GCM-SSP 結果之差異極大，同時，許多 GCM-SSP 之結果存在明顯空間區與之差異，建議應進行多 GCM-SSP 之衝擊評估後，再將綜合評估其系集模擬結果，作為調適參考。
2. 各 GWL 系集模擬之中位數結果顯示，隨著 GWL 上升未來設計降雨改變率逐漸增強，空間分布上則以西部增強幅度大於東部。
3. 以百年重現期 2 日降雨延時之設計降雨改變率為例，各 GWL 下系集模擬之中位數為-10~+50%，系集模擬之第 5~95 百分位(即 90%機率)代表非常可能範圍，其改變率數值約為-50~+100%，顯見不確定性範圍極大。
4. 各 GWL 系集模擬中位數結果顯示，隨著 GWL 上升未來降雨改變率亦增強，不同降雨延時之結果大致維持全台未來降雨改變率增強(宜花東則相反)，同時，隨著重現期增加，未來降雨改變率之增強亦會加劇。1 日降雨延時之未來降雨改變率明顯比 2~5 日之結果更為劇烈。
5. 全台各縣市五公里代表網格之未來設計降雨改變，以百年重現期 2 日降雨延時之未來設計降雨改變率之系集模擬中位數結果來看，大致符合隨

著 GWL 上升未來降雨改變率亦增強，GWL1.5、2、3、4°C下全台縣市降雨改變率之平均值分別為 13%、20%、23%、35%。全台縣市降雨改變率以花蓮縣四種 GWL 之平均為最小，以新竹縣為最大。

6. 全台各縣市五公里代表網格之結果亦大致符合「各 GWL 下百年重現期 2 日降雨延時之設計降雨改變率之系集模擬之中位數隨著重現期增加而變大」，但花蓮縣代表網格則呈現相反趨勢。另一方面，未來設計降雨改變率之不確定性若以系集模擬之第 5~95 百分數代表(90%機率之非常可能範圍)，可看出不確定性範圍將隨著重現期增加而變大。



## 致謝

感謝國家科學及技術委員會提供相關研究經費(計畫編號：MOST 111-2119-M-865-002-)，以及審查委員給予之寶貴意見，讓本研究得以更加完善，在此一併感謝。



## 參考文獻

- Hosking, J. R. M. & Wallis, J. R. (1997). *Regional Frequency analysis—an approach based on L-moments*. Cambridge University Press.
- 內政部營建署 (2013)。下水道工程設計規範。
- 交通部 (2013)。高速鐵路建設技術標準規範。
- 交通部 (2017)。公路排水設計規範。
- 交通部 (2021)。捷運系統建設技術標準規範。
- 交通部中央氣象署 (2024)。測站資料。<https://e-service.cwa.gov.tw/wdps/obs/state.htm>。
- 林李耀等人 (2022a)。氣候變遷降雨頻率分析。[https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds\\_06.aspx](https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_06.aspx)。
- 林李耀等人 (2022b)。未來設計暴雨改變率資料生產履歷。  
[https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km\\_publish\\_data\\_profile\\_one.aspx?dp\\_id=20220119171523](https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_publish_data_profile_one.aspx?dp_id=20220119171523)。
- 林李耀等人 (2023)。AR6 統計降尺度雨量資料資料生產履歷。  
[https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/data\\_profile/20220718101540.pdf](https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/data_profile/20220718101540.pdf)。
- 經濟部 (1973)。臺北地區防洪計畫建議方案(草案)。
- 經濟部中央地質調查所 (2009)。依淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置—集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫(2/3)。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2014)。高雄市淹水潛勢圖第二次更新計畫。
- 許晃雄等人 (2024)。國家氣候變遷科學報告 2024。國科會與環境部聯合出版。
- 曹鼎志、許文科、賴承農、鄭錦桐、張玉彝、陳振宇、羅文俊 (2010)。土石流風險分析之建構與應用。中興工程季刊，109，41-52。
- 游保杉、郭振民 (2017)。氣候變遷降雨量情境差異對洪旱衝擊評估(2/2)。經濟部水利署委辦計畫。
- 鄭克聲、連琮勛 (2015)。具離群值資料之水文頻率分析。農業工程學報，61(3)，29-41。
- 劉俊志、吳宜珍、江介倫、鄭克聲 (2007)。線性動差比適合度檢定之檢定力測試。農業工程學報，53(4)，80-91。
- 蕭代基、黃星翔、洪銘堅、盧孟明、羅以倫 (2007)。淡水河流域洪災損失機率風險分析。臺

灣經濟預測與政策，37:3，31-53。



## AR6 氣候變遷降雨頻率分析

---

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 113 年 12 月

出版年月：中華民國 114 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： <https://www.ncdr.nat.gov.tw>