

NCDR 108-T21

氣候變遷之日雨量以及時雨量頻率分析
Stochastic Frequency Analysis of Daily and Hourly
Precipitation in Future Projection



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 109 年 01 月

NCDR 108-T21

氣候變遷之日雨量以及時雨量頻率分析
Stochastic Frequency Analysis of Daily and Hourly
Precipitation in Future Projection

童裕翔、劉俊志、鄭兆尊、陳正達、連琮勛



國家災害防救科技中心
中華民國 109 年 01 月

中文摘要

過往水文頻率分析常用測站歷史資料來評估工程防災設計，在全球氣候變異的情況下，需考量暖化因子可能造成的環境變化。本研究應用「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」(TCCIP)產製的動力降尺度時資料與統計降尺度日資料，截取基期(1981-2005)與 RCP8.5 暖化情境下世紀末(2075-2099)的不同延時年最大極端降雨量，再套用一般極端值分布(Generalized Extreme Value, GEV)做水文頻率分析。世紀末不同延時的極端降雨呈現增加情況，而設計降雨深度亦呈現類似結果，特別在夏季西南風與冬季東北風迎風面增加最顯著。以 IDF(Maximum Rainfall Intensity-Duration-Frequency)曲線呈現全臺空間網格平均值的最大降雨強度-延時-頻率關係圖來看，世紀末相同設計降雨深度相較於基期，呈現發生頻率增加的趨勢。應用日資料多模式的特性，則可得到世紀末設計降雨深度變化統計可信度範圍(95%區間值)，可提供決策者制定氣候變遷調適策略時更多選擇。

關鍵字：氣候變遷、頻率分析、動力降尺度、統計降尺度

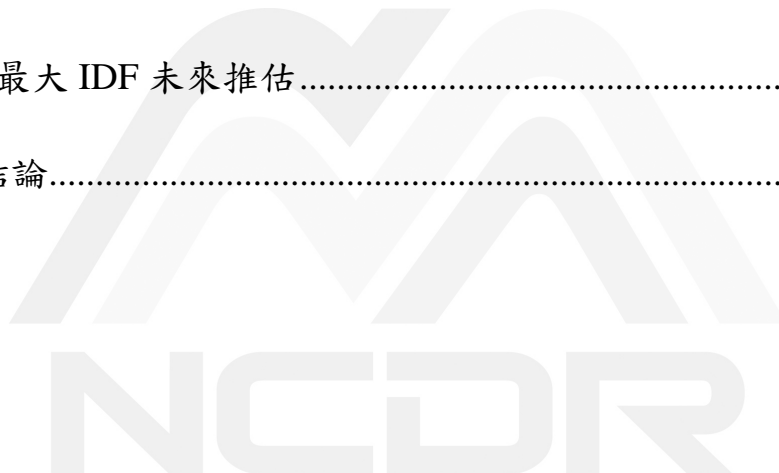
ABSTRACT

The results of stochastic frequency analysis has been used for the disaster reduction engineering facility design by rain gage records. In climate variable condition recently, it should be concerned that global warming factors induced environmental changes. The hourly and daily datasets of dynamical and statistical downscaling created by Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform (TCCIP) were used for historical base period (1981-2005) and late century of future projection (2075-2099) in RCP8.5 scenario. The annual maximum precipitation of multiple durations will be fitted Generalized Extreme Value (GEV) distribution to evaluate stochastic precipitation depths. The extreme precipitation will be enhanced in RCP8.5 scenario, however the associate stochastic precipitation depths will represent over the windward side of summer southwester and winter northeaster. The Maximum Rainfall Intensity-Duration-Frequency (IDF) relation curve come out by regional average of stochastic precipitation depths of variable return period, which shows same precipitation depth in present climate will recurrent frequently in future projection by 95% significant interval. These information provides decision makers plan comfortable policies of climate change adaptation.

Keywords: Climate Change, Stochastic frequency analysis, Dynamical downscaling, Statistical downscaling

目錄

第一章 前言.....	1
第二章 研究資料	3
第三章 研究方法	8
第四章 結果與討論	12
4.1 模式資料校驗與評估	12
4.2 頻率分析	20
4.3 年最大 IDF 未來推估.....	30
第五章 結論.....	35



圖目錄

圖 2.1 動力降尺度模擬流程示意圖	4
圖 2.2 統計降尺度資料產製流程	7
圖 4.1.1 應用 1991-2005 觀測資料(ncdr_grid)分析不同小時延時 2 小時(rx2hr)、24 小時(rx24hr)、48 小時(rx48hr)與 72 小時(rx72hr)年最大降雨量空間分布	13
圖 4.1.2 應用 1991-2005 模式資料(WRF_MRI)分析不同小時延時年最大降雨量與觀測資料的偏差值(bias)	14
圖 4.1.3 模式推估未來極端降雨的變化率[%]	16
圖 4.1.4 基期(1976-2005)年最大一日降雨量(rx1day)空間分布[單位：mm]。a 為觀測、b 為 33 個模式系集平均	17
圖 4.1.5 同圖 4.4 但為年最大二日降雨量(rx2day)	18
圖 4.1.6. 同圖 4.4 但為年最大三日降雨量(rx3day)	18
圖 4.1.7. 世紀末降雨變化率[%]	19
圖 4.2.1 應用動力降尺度小時雨量資料，計算基期 25 年重現期設計降雨深度(mm)(rv25)全台網格圖。a 為 2 小時降雨延時、b 為 24 小時 c 為 48 小、d 為 72 小時降雨延時	22
圖 4.2.2 同圖 4.2.1 但為世紀末未來推估值	23

圖 4.2.3 小時雨量資料計算基期 50 年重現期設計降雨深度(mm)全台 網格圖。a 為 2 小時降雨延時、b 為 24 小時 c 為 48 小、d 為 72 小時降雨延時	24
圖 4.2.4 同圖 4.2.3 但為世紀末推估結果	25
圖 4.2.5 年最大 2(rx2hr)(a)、24(rx24hr)(b)、48(rx48hr)(c)、 72(rx72hr)(d)小時極端降雨頻率分析。左、右分別代表 25(rv25) 與 50(rv50)頻率年，在世紀末降雨深度改變率[%]	26
圖 4.2.6 應用統計降尺度日雨量資料，計算基期 25 年重現期設計降 雨深度(mm)(rv25)全台網格圖。a-c 分別為基期 1 日、2 日、3 日降雨延時；d-f 為相對應的世紀末結果.....	28
圖 4.2.7 相似於 4.2.6 但為 50 年重現週期降雨深度	28
圖 4.2.8 世紀末 25 年重現期設計降雨深度之改變百分比。a 為 1 日 降雨延時、b 為 2 日降雨延時、c 為 3 日降雨延時	29
圖 4.2.9 相似於圖 4.2.8 但為 50 年重現期設計降雨深度之改變百分 比.....	29
圖 4.3.1 高解析度全球模式 MRI 動力降尺度海溫情境 c0，模擬小時 降雨量計算不同重現期設計降雨深度的全台網格算術平均值(紅 色實線為基期模擬；黑實線為 21 世紀末)。a 為 2 小時降雨延	

時、b 為 24 小時降雨延時、c 為 48 小時降雨延時、d 為 72 小時降雨延時。圖中 x 軸為降雨深度(mm)，y 軸為重現頻率年。31

圖 4.3.2 IDF 曲線圖應用日資料計算，重現期設計降雨深度之全台網格平均。a、b、c 分別為年最大 1 日、2 日、3 日最大降雨深度。紅色為基期、黑色為世紀末，實線為 33 組模式系集平均結果，陰影區為其設計降雨深度之 95%(第 2.5~97.5 百分位)信心區間..... 33



表目錄

表 2.1 TCCIP 統計降尺度日資料之 CMIP5 GCM 基本資料表.....	6
表 3.1. 國內各種防災保護工程設計降雨強度標準	8
表 4.3.1 藉由查表 IDF 曲線圖得到 50、100 頻率年設計降雨深度 (mm)。日資料呈現第 2.5 百分位-系集平均值(粗體字)-97.5 百分 位可信度範圍區間	34



第一章 前言

水利工程規劃設計時，需要利用雨量觀測資料來進行不同降雨延時之雨量頻率分析，以推導最大降雨強度-延時-頻率(Maximum Rainfall Intensity-Duration-Frequency，簡稱 IDF)曲線或公式，來推估不同降雨延時、不同重現期距之雨量強度，以計算設計洪水量，提供工程規劃設計之用(水土保持局，2017；水資源局，2001；水利署，2003；水利署，2017；余濬，2012)。

近年來陸續有較大暴雨出現，實有需加入最新雨量觀測資料，以提供較新之 IDF 關係，並進一步繪出不同延時與重現期距之降雨深度等值線圖，以及降雨強度-延時 Horner 公式分析，提供工程實務之參考(水資源局，2001；水利署，2003；水利署，2017)。

上述水利、水文，甚至許多其它相關基礎工程建設，使用設計年期限都至少需 10 年以上。過去的相關設施設計，多以極端降雨的歷史記錄分析為基礎，然而 21 世紀以來由於人為溫室氣體排放嚴重造成全球暖化，臺灣極端降雨事件發生頻率增加，總體降雨情況則是澇-旱加劇，導致水資源分配不均，水利防災工程使用年限縮短。由於氣候變遷下降雨的型態與過去大不同，僅使用歷史資料分析的工程計設方法難以符合未來需求。國發會「國家氣候變遷調適政策

綱領」即要求各部會於未來政策規劃上，需考量到氣候變遷的因子，「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」(以下簡稱 TCCIP)即提供了豐富的臺灣氣候推估資料可提供分析。而可應用於水文衝擊評估的推估資料條件為高時間-空間解析度降雨模擬。過去 TCCIP 僅有應用日本 MRI 20km 高解析度全球模式模擬結果，以 WRF 動力降尺度的方式模擬時雨量，而此方法所產製的推估資料需耗費大量的計算資源。2019 年所釋出的統計降尺度日資料，則可更快速的提供水文頻率所需求的相關資料，4 組不同暖化情境 (RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5)可提供不同的調適選項，同時多模式分析出來的結果可提供有別於過去為人垢病-單一模式決定性推估結果。

雖然統計降尺度日資料應用於水文領域相對於有長足的進展，但頻率分析過去則習慣應用小時雨量資料。本文將統計降尺度日雨量，比較動力降尺度小時雨量，就兩組資料水文頻率分析推估結果的特性與使用限制，做詳細的評估比較。第二章將詳細說明應用分析所使用的模式資料；第三章則是水文頻率分析所使用的方法論；第四章則是應用分析結果；第五章結論。

第二章 研究資料

由於水文頻率應用分析結果常用在各項基礎設施工程的防災設計，評估時需要可提供極端降雨資訊的高時間解析度降雨資料，一般常用的為小時或日資料。本文同時使用 2 組相對應的模式資料，詳述如下：

時雨量資料

動力降尺度是以物理模型模擬小時雨量，此資料可提供較趨近真實情況的極端事件型降雨，例如颱風、西南氣流、梅雨…等，由於中間物理過程複雜也因此模擬需要耗費大量的計算資源。模擬流程如下(參考圖 2.1)：以 CMIP5 全球模式在 RCP8.5 暖化情境，模擬出來的未來海溫變化，提供日本 MRI_AGCM 為下邊界場，做高空間解析度(20~30km)未來大氣氣候情況模擬。即使如此，MRI_AGCM 模擬結果的空間解析度對於水文頻率分析應用而言，細緻度與降雨強度亦不足。為模擬臺灣未來颱風災害型事件，再以區域模式 WRF 動力降尺度方式將 MRI_AGCM 的模擬結果，提高至 5km 空間解析度，擬真化模擬各式極端天氣事件災害，伴隨而來的短延時強降雨。即使如此，由於其核心使用物理方法模擬，需要 4D 的大氣環流場做為上游資料，與大量的高速電腦運算資源，因此計算模擬過程複雜且耗時。

動力降尺度模式的基期模擬定義為 1981-2005，未來推估 RCP8.5 暖化情境則 2075-2099。

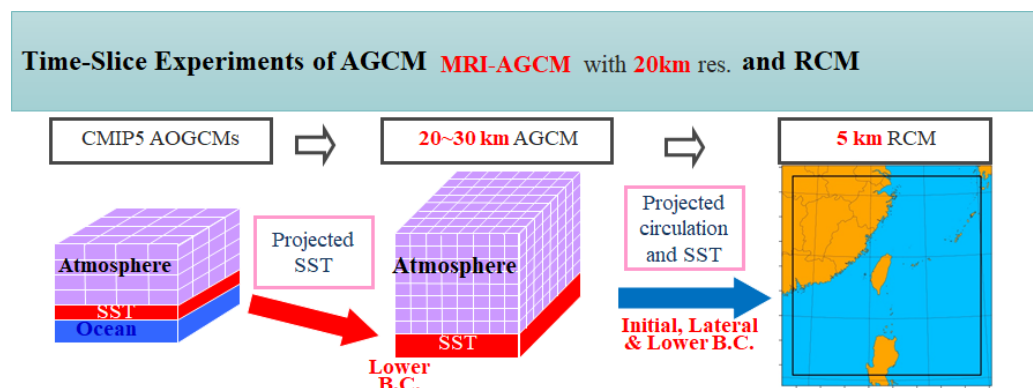


圖 2.1. 動力降尺度模擬流程示意圖。

日雨量資料

另一個可提供水文頻率分析所需要的極端降雨未來推估資訊，最佳的資料來源為 IPCC AR5 全球模式資料。由於其來自於全球不同的氣候中心組織，模式模擬的原始解析度也不盡相同(參考表 2.1)。

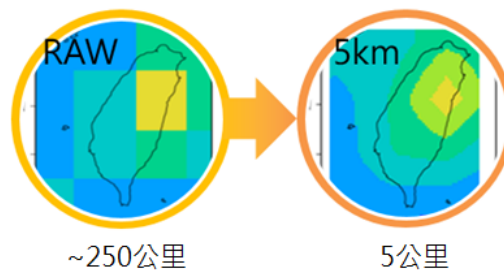
而本文使用 TCCIP 統計降尺度日資料，將臺灣陸域(含本島、綠島、蘭嶼與澎湖)高解析度 5km 網格觀測資料(翁與楊，2018)做為參考值，產製流程分為 2 步驟：1. 先將全球模式粗網格資料提高解析度；2. 針對每個相對應的網格資料，求得模式與觀測的 ECDF(empirical cumulative density functions)，再用百分位誤差修正法(quantile mapping)，修正模式模擬的偏差情況(童等人，2018)(參考圖 2.2)。由於產製過程使用的統計方法相對容易簡單，因此可快速

處理多模式-多情境的氣候推估資料。

表 2.1. TCCIP 統計降尺度日資料之 CMIP5 GCM 基本資料表。

模式名稱	氣候中心/組織	解析度
ACCESS1-0	CSIRO-BOM	192x145
ACCESS1-3		192x145
bcc-csm1-1	BCC	128x64
bcc-csm1-1m		320x160
BNU-ESM	BNU	128x64
CanESM2	CCCMA	128x64
CCSM4	NCAR	288x192
CESM1-BGC	NCAR	288x192
CESM1-CAM5		288x192
CMCC-CESM	CMCC	96x48
CMCC-CM		480x240
CNRM-CM5	CNRM-CERFACS	256x128
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE	192x96
EC-EARTH	ICHEC	320x160
FGOALS-g2	LASG-CESS	128x60
GFDL-CM3	NOAA-GFDL	144x90
GFDL-ESM2G		144x90
GFDL-ESM2M		144x90
HadGEM2-AO	MOHC	192x145
HadGEM2-CC		192x145
HadGEM2_ES		192x145
inmcm4	INM	180x120
IPSL-CM5A-LR	IPSL	96x96
IPSL-CM5A-MR		144x143
IPSL-CM5B-LR		96x96
MIROC5	MIROC	256x128
MIROC-ESM		128x64
MIROC-ESM-CHEM		128x64
MPI-ESM-LR	MPI-M	192x96
MPI-ESM-MR		192x96
MRI-CGCM3	MRI	320x160
MRI-ESM1		320x160
NorESM1-M	NCC	144x96

1. 全球模式資料提高解析度



2. 模式結果偏差修正

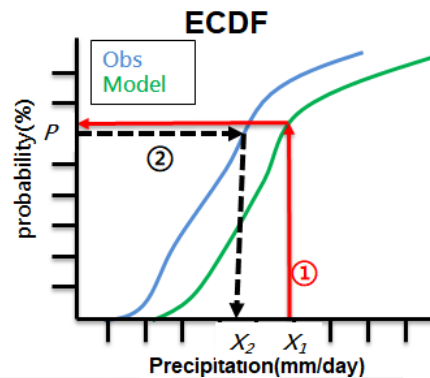


圖 2.2. 統計降尺度資料產製流程

為提供水文頻率分析使用者暖化最劣情境下的水文頻率分析結果，本研究使用溫室氣體高度排放暖化情境 RCP8.5。氣候時段使用基期(1981~2005)以及世紀末(2075-2099)，進行水文頻率分析與討論。統計降尺度日資料共計有 33 組模式資料，動力降尺度時雨量則使用 1 組。其中，基期與世紀末時期之設定與動力降尺度時雨量資料一致共計 25 年，兩組資料用相同資料長度進行同一時期時雨量與日雨量頻率分析之比較。

第三章 研究方法

以下將對雨量資料年最大值序列之擷取以及一般極端值機率分布進行說明。

年最大值序列擷取

近年來由於全球暖化造成平均溫度上升、大氣中水氣含量增加，當發生降雨機制啟動時(如午後熱對流、西南氣流、梅雨、颱風…等)，大氣中大量的水氣即容易導致極端降雨頻率增加。其中最容易造成災害當屬於短延時強降雨型態。彙整國內常用來評估各種防災保護工程標準(如表 3.1)。

表 3.1. 國內各種防災保護工程設計降雨強度標準

防災保護工程	內容
都市雨水下水道	台北市雨水下水道-5 年一次(降雨延時 2 小時之內)，降雨強度 78.8mm/hr
區域排水	降雨延時 24、48 與 72 小時，10 年重現期距計畫洪水位加上出水高度，或 25 年重現期距計畫洪水位不溢堤
河川河堤	降雨延時 24、48 與 72 小時，50、100、200 年之重現期距

考量上述應用需求與模式資料長度，基期與世紀末分別僅有為 25 年，以及後續水文應用分析結果可信度限制。僅取用年最大 2 小時(rx2hr)、24 小時(rx24hr)、48 小時(rx48hr)與 72 小時(rx72hr)極端降雨強度，做後續最長 50 年發生頻率年降雨深度推估分析。統計降

尺度日雨量資料對應到時雨量，可應用水文分析的模擬結果為年最大 1 日(rx1day)、2 日(rx1day)、3 日(rx1day)降雨。

本研究針對全臺 5km 高解析度網格資料，進行年最大值雨量序列之擷取。雨量資料之選取考慮為：

- (1) 基期(1981-2005)與世紀末(2075-2099)資料紀錄之年份均為 25 年。
- (2) 雨量資料序列為各延時年最大值，直接取自模式原始模擬網格資料。
- (3) 動力降尺度時雨量資料之降雨延時設定為 2、24、48、72 小時，而統計降尺度日雨量資料之降雨延時設定為 1、2、3 日。
- (4) 各時期各網格各延時歷年最大值序列，假設符合水文統計理論：不偏性、獨立性與均一性，視為代表各時期 25 年之氣候特性。

年最大值機率分布

各極端值機率分布各有優缺點，本研究則選用國際上常用的一般極端值(Generalized Extreme Value, GEV)分布(以下簡稱 GEV)，進行年最大值之機率分布進行頻率分析(Min et. al. 2014, Tung et. al.

2016, Chu et. al. 2018)。

一般極端值分布主要是依據形狀參數 k 值的特性來區分為三種型態(水資源局，2001)：

- (1) 當 k 等於 0 時，則為極端值一型分布(簡稱 EV1)
- (2) 當 k 為負值時則為極端值第二型分布(簡稱 EV2)
- (3) 當 k 為正值時則為極端值第三型分布(簡稱 EV3)。

形狀參數 k 值為樣本偏態係數的函數，以數學式表示如下：

$$C_s = \frac{\Gamma(1+3k) - 3\Gamma(1+2k)\Gamma(1+k) + 2\Gamma^3(1+2k)}{[\Gamma(1+2k) - \Gamma^2(1+2k)]^{3/2}} \quad (3-1)$$

其中 C_s ：偏態係數； $\Gamma(\cdot)$ ：Gamma 函數。可藉由樣本偏態係數來反推 k 值，並進而決定樣本為哪一型之極端值分布。

EV2 為 $k < 0$ ；EV3 為 $k > 0$ ，因此 EV2 與 EV3 具備相同之函數型態，如下所示：

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 - \frac{k(x-\mu)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}}\right\} \quad (3-2)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \frac{k(x-\mu)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}-1} \cdot \exp\left\{-\left[1 - \frac{k(x-\mu)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}}\right\} \quad (3-3)$$

將上二式之變量 x 予以標準化，得新變量 y 如下：

$$y = 1 - \left(\frac{x - \mu}{\alpha} \right)^k \quad (3-4)$$

簡化後之累積分布函數 $F(x)$ 與機率密度函數 $f(x)$ 如下

$$F(y) = \exp\left(-y^{\frac{1}{k}}\right) \quad (3-5)$$

$$f(y) = -\frac{1}{k} y^{\frac{1}{k}-1} \exp\left(-y^{\frac{1}{k}}\right) \quad (3-6)$$

應用 EV1 時，其與重現期距 T 之關係如下：

$$x_T = \mu + \frac{\alpha(1-y)}{k} \quad (3-7)$$

$$y = \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right) \right]^k \quad (3-8)$$

其中 T ：重現期距，單位為年； μ ：位置參數(Location

Parameter)， $\mu = \bar{x} - \alpha\gamma$ ， $\gamma = 0.5772157$ ； α ：尺度參數(Scale

Parameter)， $\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s$ 。待推求水文量與頻率因子 K_T 之關係如下：

$$x_T = \bar{x} + K_T s \quad (3-9)$$

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left(\gamma - \frac{1-y}{k} \right) \quad (3-10)$$

第四章 結果與討論

4.1 模式資料校驗與評估

動力降尺度時雨量與統計降尺度日雨量應用於水文頻率分析前，以氣候趨勢分析的角度，先進行各項年最大降雨量極端值評估。也就是模式的基期模擬先與觀測資料比較後，再進行後續未來推估。

(1) 動力降尺度時雨量模擬結果

用來校驗模式模擬小時雨量的觀測網格資料，為使用 NCDR 應用全臺氣象觀測小時雨量站，以克利金法內差至 5km 網格(以下稱 ncd_r_grid)，資料長度為 1991-2005。但由於中央山脈缺乏測站觀測，因而此區域的網格資料可信度較低。4 組不同延時年最大小時降雨量雖然各別僅有 25 筆資料，但足可呈現臺灣短延時極端降雨的相關氣候特性。

圖 4.1.1a 呈現 rx2hr 最大值發生位置在西南部山區迎風面，降雨強度為 110~120mm，其次是宜蘭與花蓮交界山區強度為 110mm，其它的則是出現在各地的迎風面。而在沿海地區出現較大值，則是夏季午後熱對流造成的強降雨為主(如：高雄、恆春…等)。相較於文後所使用的統計降尺度日雨量，年最大 24 小時降雨(rx24hr)可對應

到年最大 1 日降雨(rx1day)，但 rx24hr 較真實呈現極端事件的降雨歷程的結果，因而數值略高於 rx1day。rx48hr 之於 rx2day；rx72hr 之於 rx3day 也有類似情況。就氣候上而言常發生極端降雨的地區都一致，即西南部山區為夏季西南氣流，rx24hr 為 450~550mm(圖 4.1.1b)，隨著時間延長 rx48hr 可增加到 650~750mm(圖 4.1.1c)，rx72hr 則可到 800mm 或以上(圖 4.1.1d)。在桃、竹、苗山區可視為春雨、梅雨所引起降雨型態，rx24hr 為 400~500mm，rx48hr 為 600~700mm，rx72hr 則是 700~750mm。宜蘭-花蓮交界的太平山區，則是來自東北季風或颱風的降雨貢獻，rx24hr 為 600~700mm，rx48hr 則可到 650~750mm，rx72hr 就可到 750mm 以上。

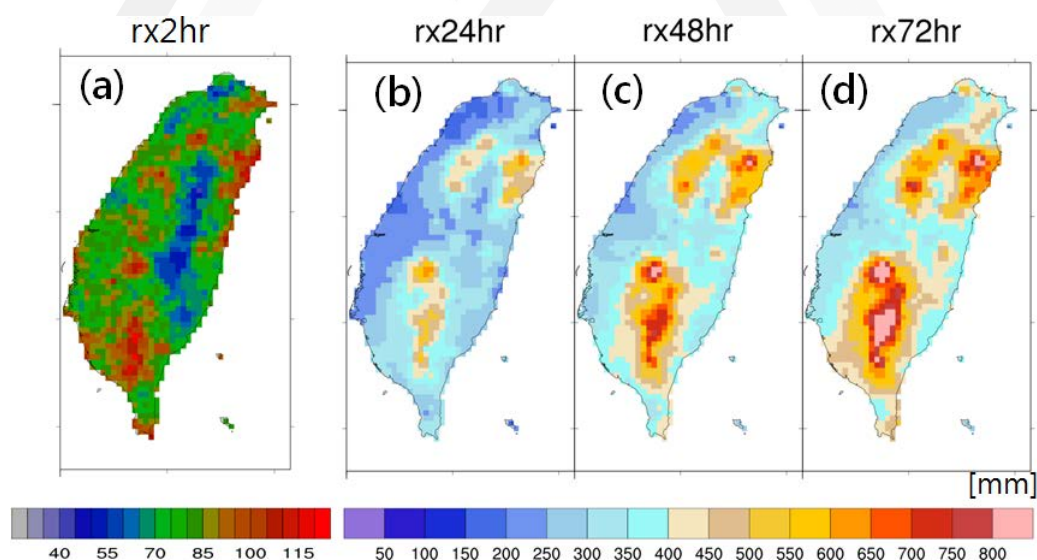


圖 4.1.1 應用 1991-2005 觀測資料(ncdr_grid)分析不同小時延時 2 小時(rx2hr)、24 小時(rx24hr)、48 小時(rx48hr)與 72 小時(rx72hr)年最大降雨量空間分布。

模式極端降雨的偏差值(bias)，來自於區域氣候模式動力降尺度

WRF_MRI 上游大氣環流資料來自於 MRI 全球模式(GCM)，雖然此 GCM 使用觀測海溫為下邊界，且為 20km 高解析度，造成極端降雨的天氣系統精確度較高。即使如此，MRI 模擬出來的極端天氣系統，並不等於真實歷史事件，即使颱風路徑模擬些微不同，亦可能造成極端降雨強度分布的偏差。rx2hr 模式在山區降雨偏多、平地偏少(圖 4.1.2a)。rx24hr 則是西南部降雨最顯著約為偏少 180mm(圖 4.1.2b)，且延時 48 小時(rx48hr)則會偏少至 200mm(圖 4.1.2c)，其它迎風面亦有類似情形(東北部山區、桃竹苗山區…等)；而延時 72 小時(rx72hr)則無迎風面降雨低估的情況，但山區則顯著的降雨量偏多(圖 4.1.2d)。若濾除中央山脈觀測資料缺乏的區域模式無從比較，其極端降雨的空間分布模擬效果不錯。

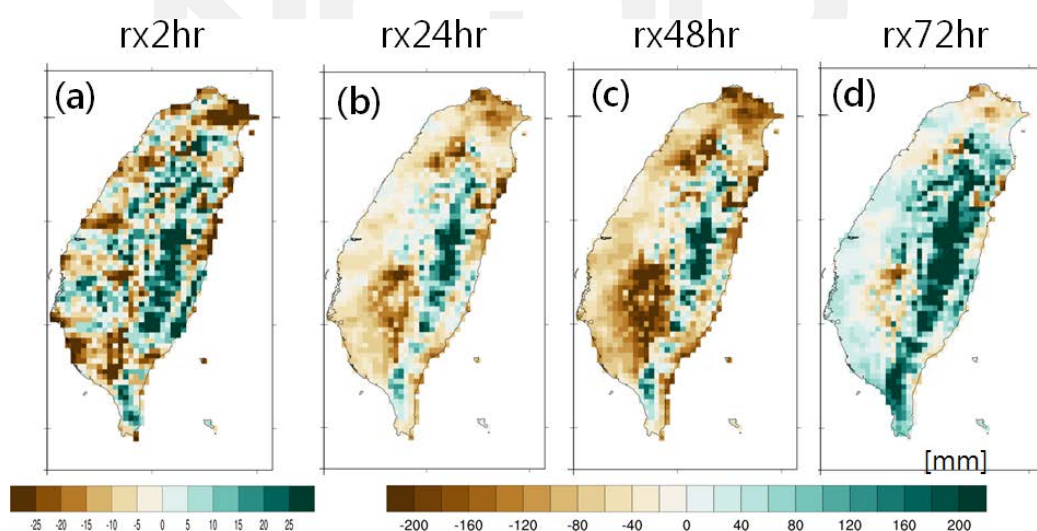


圖 4.1.2 應用 1991-2005 模式資料(WRF_MRI)分析不同小時延時年最大降雨量與觀測資料的偏差值(bias)。

即使模式模擬本自模擬結果與觀測資料比較存在著系統性偏

差，未來的推估結果則是模式本身反映暖化情境的降雨變化情況。將模式的未來推估模擬減去基期歷史模擬，就可以在不包含系統性偏差訊號的情形下，呈現未來降雨的變化，此變化情況取決於模式本身對氣候暖化環境的敏感度。本文計算極端降雨未來的變化率[%]統一定義為：

$$100 * [\text{世紀末}(2075-2099) - \text{基期}(1981-2005)] / \text{基期}$$

圖 4.1.3 為世紀末不同延時的極端降雨改變率。rx2hr(圖 4.1.3a)短延時降雨全臺均勻的增加，阿里山、雪山山脈區域增加顯著約 40%，而花東縱谷則有些微減少 10%。而 rx24hr、rx48hr、rx72hr(圖 4.1.3b, c, d)空間分布降雨變化率則一致，全臺雨量增加且山區最明顯，東部為減少趨勢且花東縱谷減少約 30%、恆春半島減少 10%，此結果與未來暖化情境下颱風個數減少與盛行路徑變化有關(鄭等人，2017)。

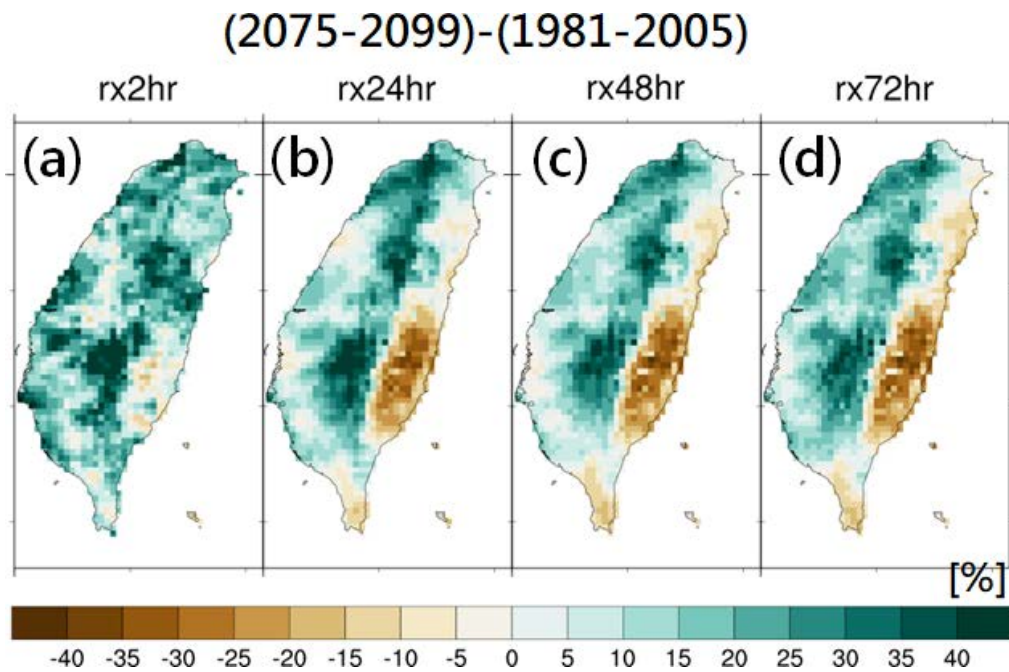


圖 4.1.3 模式推估未來極端降雨的變化率[%]。

(2) 統計降尺度日雨量

如時雨量的評估方式，用來校驗的歷史觀測資料，則是使用 TCCIP 於 2019 公開的 5km 解析度網格化降水日資料，其使用的測站資料來源包含氣象局、水利署、農委會、林試所…等，共計 2 千多個測站點資料(翁與楊，2018)。模式則使用表 1 所列 33 組統計降尺度日資料，先各別計算年最大降雨值 rx1day、rx2day、rx3day 後，再做系集平均(ensemble mean)提供模式整組的分析結果。基期 (1976-2005)模擬的結果可提供使用者校驗，同時了解全部模式的總體表現。由於 TCCIP 的 AR5 全球模式日資料在統計降尺度過程中有加入偏差修正步驟，因此模式與觀測資料組統計特性一致，極端

降雨的空間與數量級相似度很高(圖 4.1.4、4.1.5、4.1.6)。即使不同模式表現在些許差異，整體而言包括極端降雨熱區發生地理位置，降雨強度…等，模式與觀測都很接近。

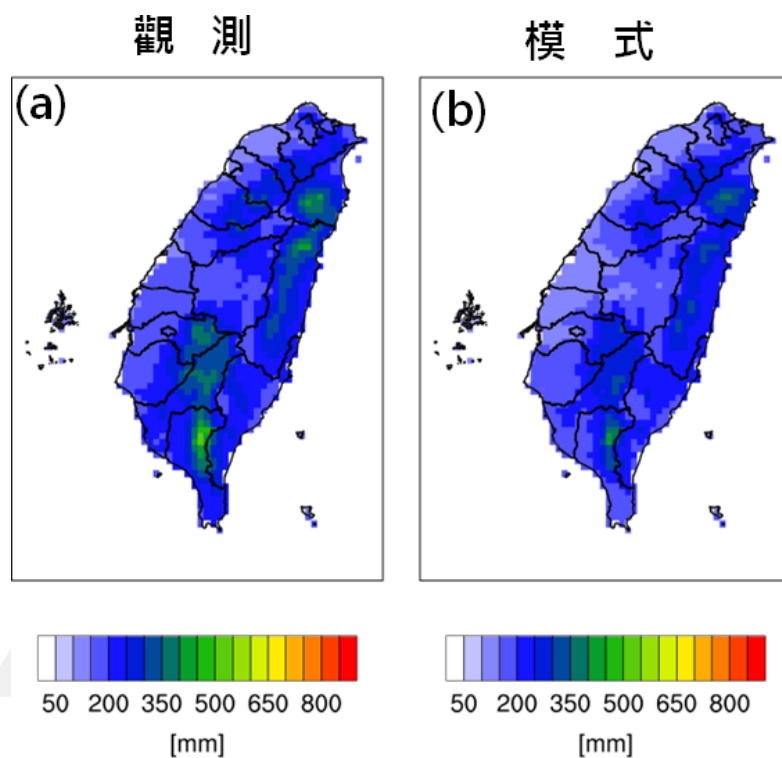


圖 4.1.4 基期(1976-2005)年最大一日降雨量(rx1day)空間分布[單位：mm]。a 為觀測、b 為 33 個模式系集平均。

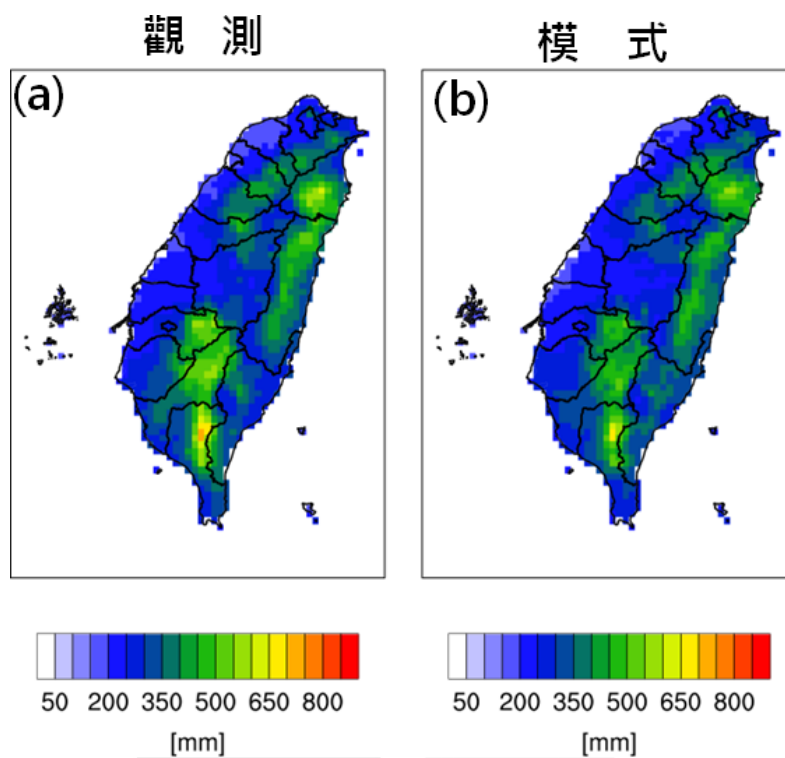


圖 4.1.5 同圖 4.4 但為年最大二日降雨量(rx2day)。

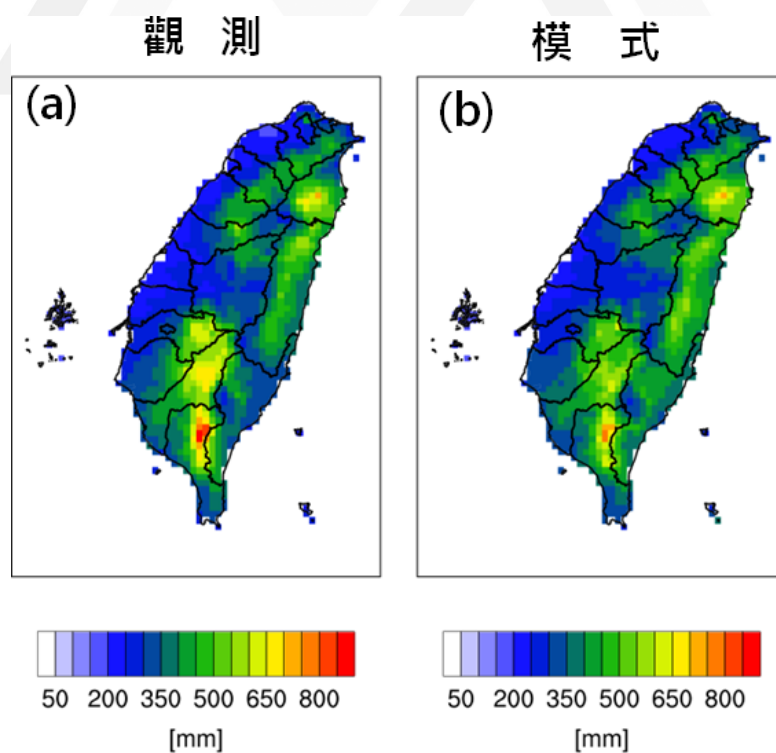


圖 4.1.6. 同圖 4.4 但為年最大三日降雨量(rx3day)。

整體而言，統計降尺度日資料經過偏差校正後，基期每項最大

小時降雨量，雖然每個模式有些許差異，但無論常發生極端降雨的位置(夏季西南部山區、冬季東北部宜蘭太平山…等)空間分布，或降雨的量值均非常一致，世紀末變化率全臺一致性呈現增加的趨勢。rx1day、rx2day 中部以北增加約 30%，但山區可增加至 40%(圖 4.1.7a, b)。rx3day 則增加情況較顯著，大部份平地區域增加 35%，山區可增至 40~45%(圖 4.1.7c)。rx3day 長延時降雨改變率增加較明顯，說明世紀末強降雨的持續時間在增加(延長)，相同強度的降雨原本在 1 日內就結束，到世紀末則延至 2 日甚至 3 日才結束。

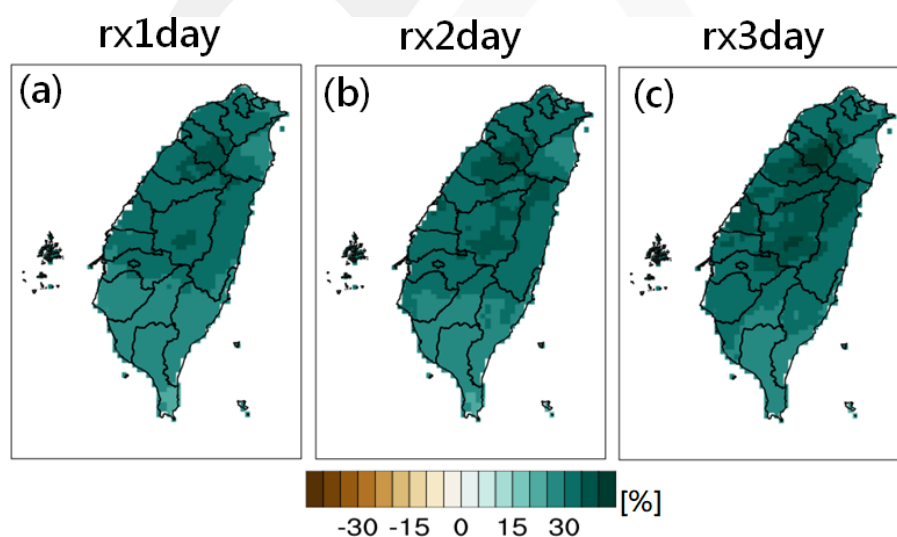


圖 4.1.7. 世紀末降雨變化率[%]。

時雨量與日雨量資料是否具有相同的特性也是我們所關心的問題。空間分布上，年最大日降雨量不同延時累積時間愈長、降雨深度愈大，特別的是降雨量最顯著的熱區都發生在相同位置，即西南部山區為夏季西南氣流，或春雨、梅雨所引起降雨型態在桃、竹、苗山區，宜蘭太平山區則是東北季風的降雨貢獻。此部份結果與小

時雨量的觀測分析一致。極端值的量級則是年最大時雨量略大於日雨量，rx1day 相較於 rx24hr，在桃竹苗山區低估約 50~80mm，其它大雨區域則數值差異不顯著。但隨著延時增加累積的差異愈大，特別的是阿里山區域 rx2day 相較 rx48hr 相差約 100~150mm；rx3day 相對於 rx72hr 更少了 100~200mm。上述結果為應用日資料評估極端降雨使用上的限制，但由於日資料的蒐集較為豐富且完整，多個模式都可提供推估結果，因而在頻率分析較長時間的降雨深度發生週期，訊號相對穩定且可信度較高。

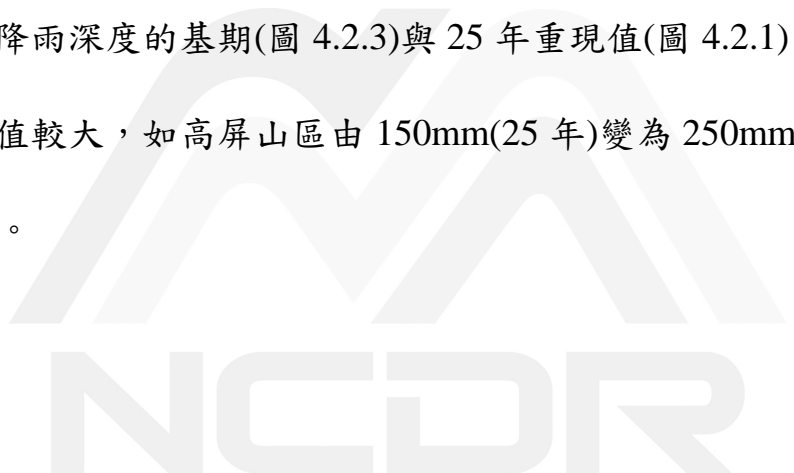
4.2 頻率分析

水文頻率分析所需要用的資料為年最大值，此取法將設定年最大降雨資料為不偏性、獨立性與均一性，再套用設計降雨機率分布得到不同頻率年的降雨深度。而資料愈豐富，長週期頻率年推估結果愈穩定，可信度愈高。本節將就「單一模式」的時資料與「多模式」日資料，基期與世紀末降雨不同延時發生頻率年結果做比較。

(1) 時資料

本資料組使用 25 年的年最大時雨量計算來看，以頻率分析的角度 rv25(25 years return value)即反映 25 筆中的最大值。圖 4.2.1 即應用基期(1981-2005)不同延時的分析結果，呈現延時愈長降雨深度愈大。以西南部迎風面強降雨區域(臺南、高雄、屏東山區)而言，

rx2hr 為 160-180mm， rx24hr 為 400-500mm， rx48hr 與 rx72hr 均為 600-700mm。而桃竹苗區域則是出現 rx2hr 為 200-210mm， rx24hr 為 900-1000mm， rx48hr 與 rx72hr 均為 1000-1100mm。東北部宜蘭太平山區則是 rx2hr 為 160-180mm， rx24hr 為 1000-1200mm， rx48hr 與 rx72hr 均為 1200-1300mm。而世紀末(圖 4.2.2)除了降雨深度增加，且容易發生極端降雨的空間範圍變大。在暖化情境大氣中水氣量增加的情況下，極端降雨將更容易發生。而 50 年週期重現降雨深度的基期(圖 4.2.3)與 25 年重現值(圖 4.2.1)空間分布相似但數值較大，如高屏山區由 150mm(25 年)變為 250mm(50 年)，增加 66%。



基期

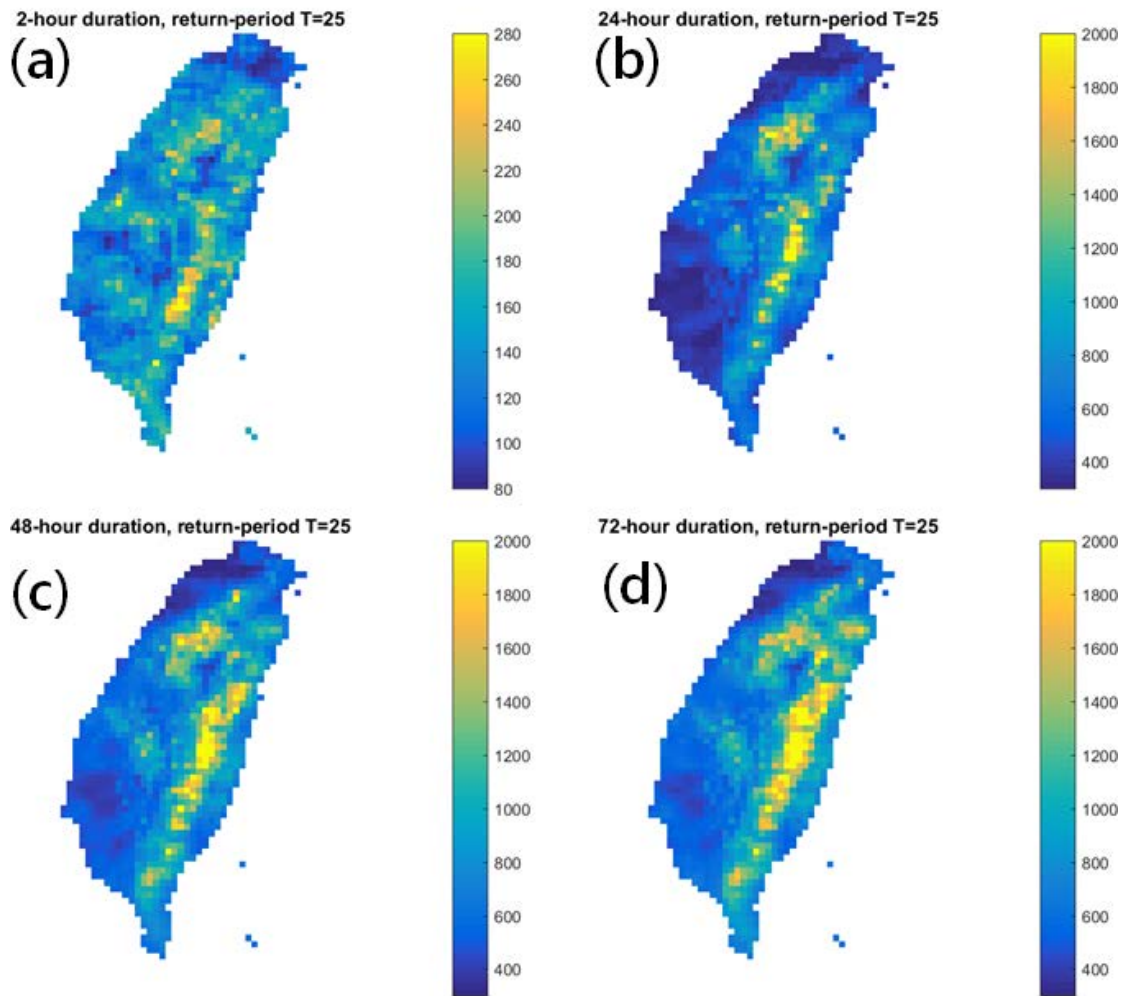


圖 4.2.1 應用動力降尺度小時雨量資料，計算基期 25 年重現期設計降雨深度 (mm)(rv25) 全台網格圖。a 為 2 小時降雨延時、b 為 24 小時 c 為 48 小、d 為 72 小時降雨延時。

世紀末

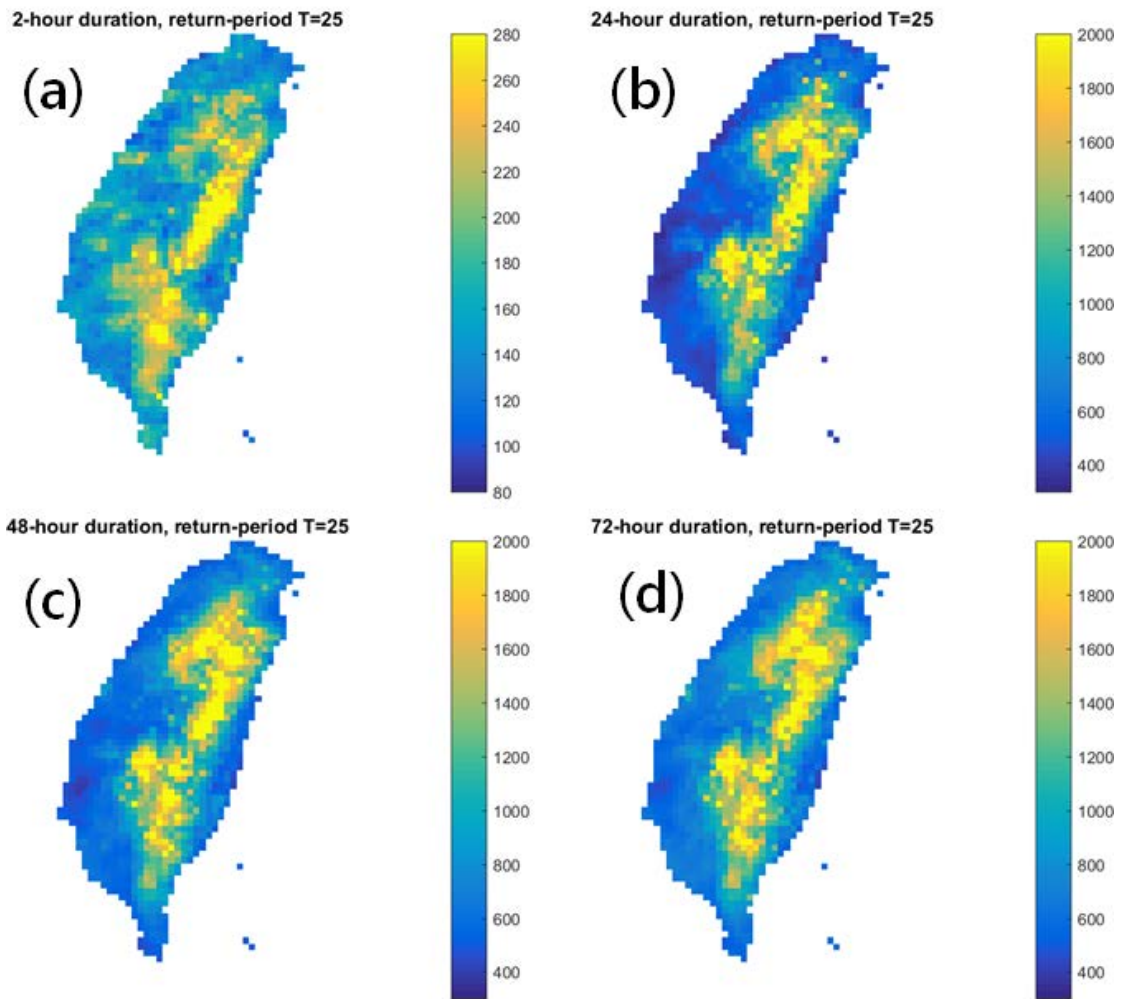


圖 4.2.2 同圖 4.2.1 但為世紀末未來推估值。

基期

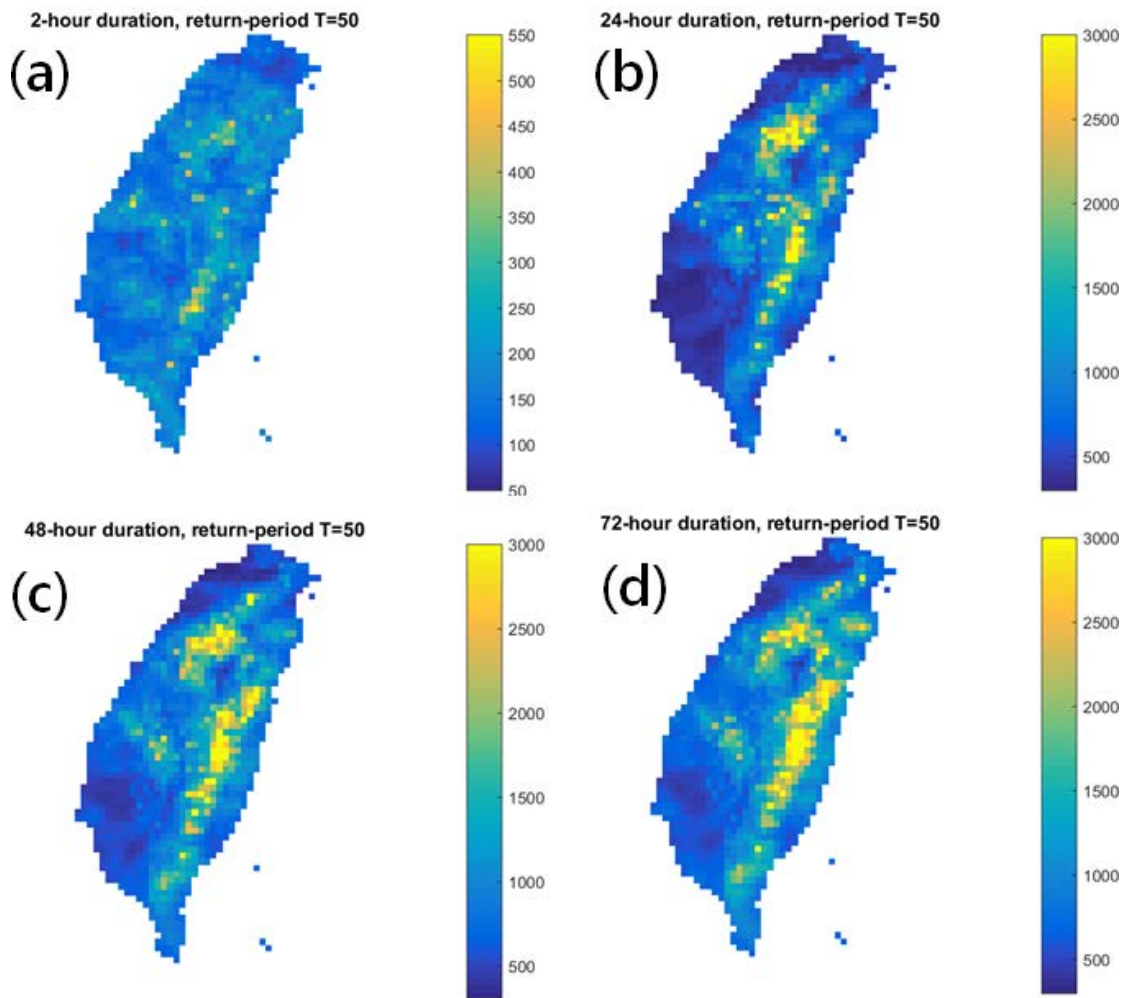


圖 4.2.3 小時雨量資料計算基期 50 年重現期設計降雨深度(mm)全台網格圖。a 為 2 小時降雨延時、b 為 24 小時 c 為 48 小、d 為 72 小時降雨延時。

世紀末

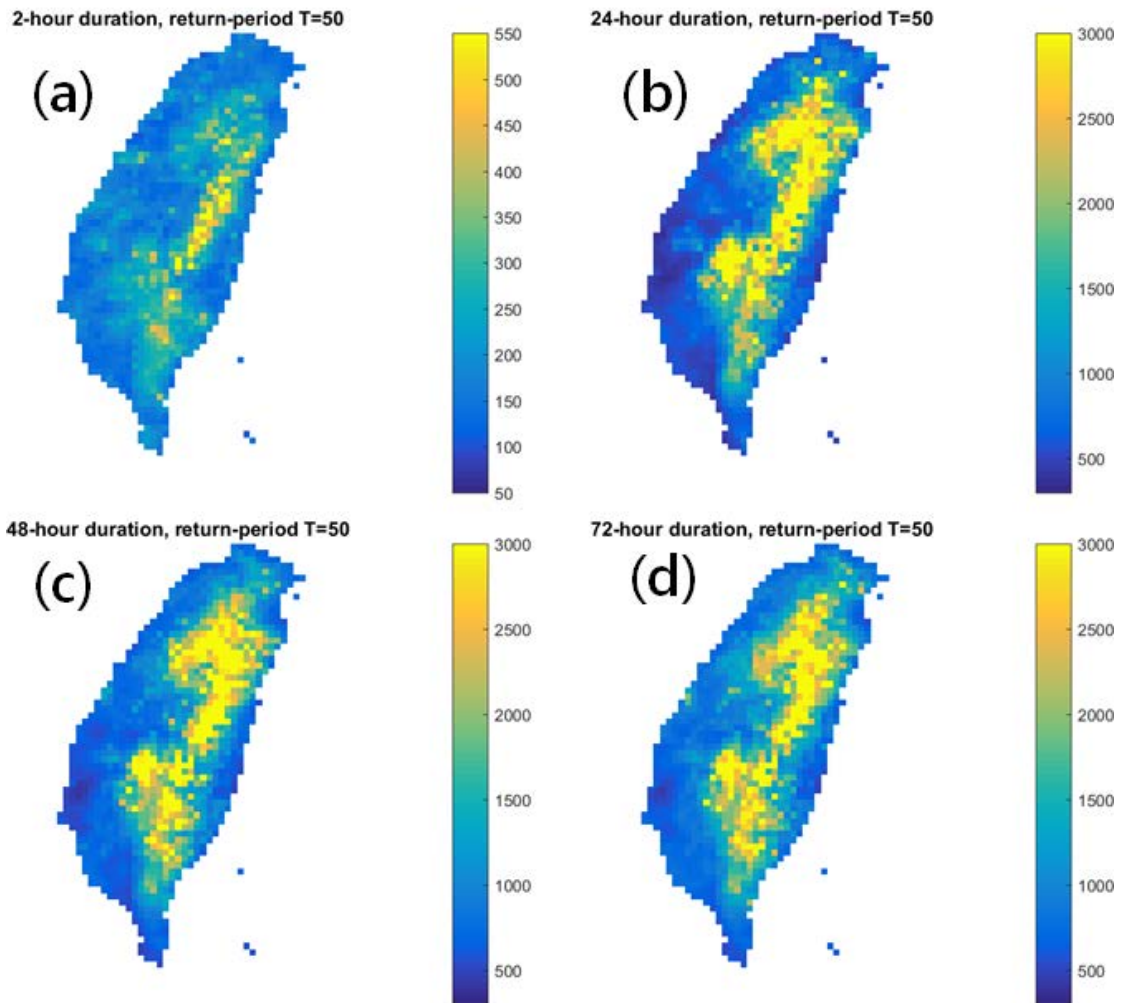


圖 4.2.4 同圖 4.2.3 但為世紀末推估結果。

圖 4.2.5 則呈現 rv25 與 rv50 世紀末不同延時降雨深度變化情況。比例上而言，短延時降雨(rx2hr)增加率略小於長延時(rx24hr, rx48hr, rx72hr)，但相同延時不同重現週期降雨深度增加率相似，由於使用相同的資料樣本做計算，此為合理的估計結果。就空間分布而言，Rx2hr 在臺南、高雄迎風面地區增加 30-40%，但在中部，屏東、臺東區域則是減少 10-15%；而 rx24hr、rx48hr 與 rx72hr 有類似的推估結果，即臺北、宜蘭花蓮、阿里山山區增加 90% 以上；但在

中部、東部地區則為減少 30%。類似的降雨深度變化，除了因為暖化情境下颱風降雨強度增加，空間分布結果反映世紀末颱風盛行路徑變化，以及臺灣特有地形分布所造成的降雨有關。

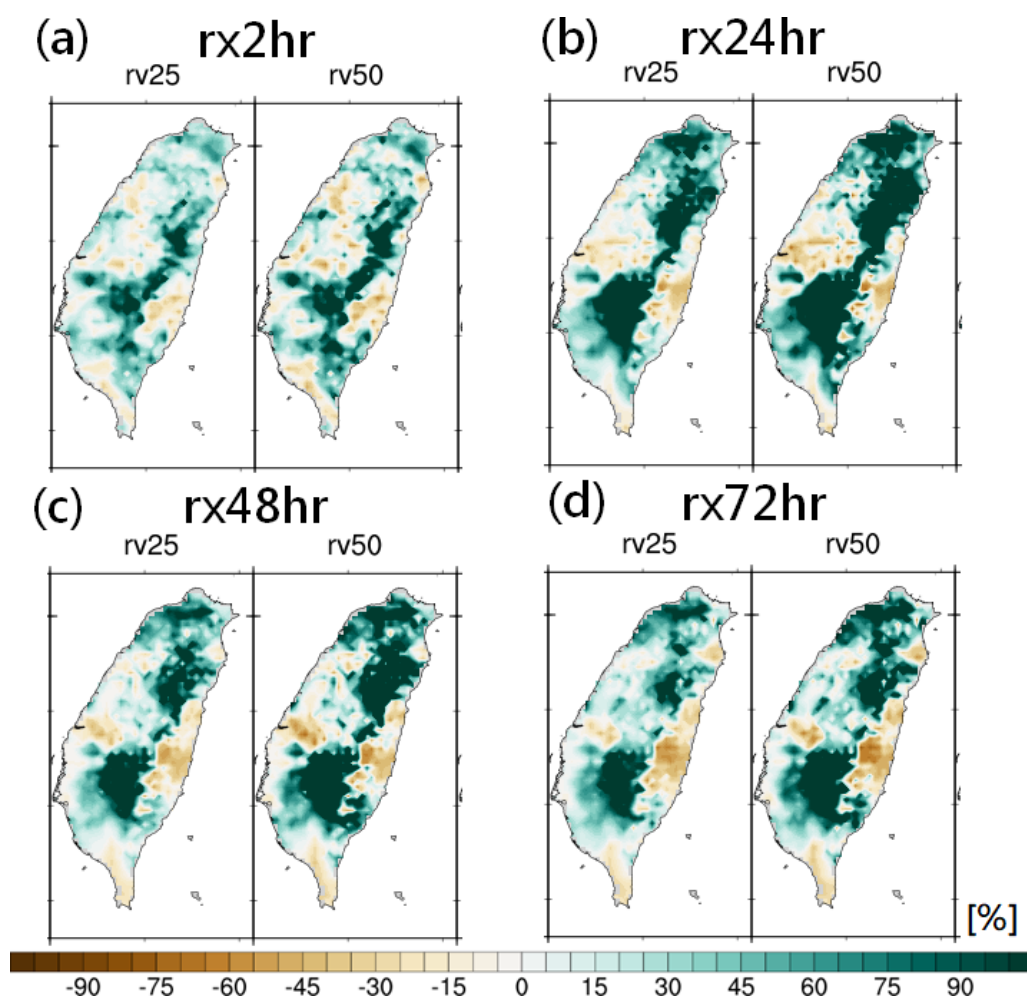


圖 4.2.5 年最大 2(rx2hr)(a)、24(rx24hr)(b)、48(rx48hr)(c)、72(rx72hr)(d)小時極端降雨頻率分析。左、右分別代表 25(rv25)與 50(rv50)頻率年，在世紀末降雨深度改變率[%]

(2) 日資料

為呈現氣候變遷世紀末設計降雨未來推估的不確定性，日資料的頻率分析應用基期與世紀末，共計 33 組全球模式 5km 降尺度網

格資料。由於模式個數多而分析結果分歧且複雜，加上經過偏差修正的過程後，基期各別模式差異不顯著。因此本章節內容對應動力降尺度時資料(MRI-WRF)，僅挑選一個全球模式(ACCESS1-0)描述統計降尺度日資料分析結果。而所有模式整合分析結果則呈現於 4.2.3 節。

全台設計降雨深度 25 年週期重現值比較可看出，日資料的基期(圖 4.2.6a-c)出現降雨深度大值區域與時資料數值與空間分布(圖 4.2.1b-d)一致，即桃竹苗山區、西南部、與東部花東縱谷迎風面地區。若假設以動力降尺度物理模型模擬地形特徵極端降雨為標準來看，日資料應用觀測網格偏差修正後，每網格的統計特性結果一致且分析結果的空間分布合理，同時相對於時資料極端值穩定，在山區的網格不容易在套用降雨機率分布後，出現超出實際降雨量過多的不合理值。世紀末之全台設計降雨深度 25 年週期重現值(圖 4.2.6)比較基期可看出，降雨延時 3 日數值增加最明顯，空間範圍擴張最大，整個西南部、東北部迎風面由 700-800mm 增至 1200-1300mm，其次為 2 日降雨延時。而重現期 50 年的情況(圖 4.2.7)亦相似。

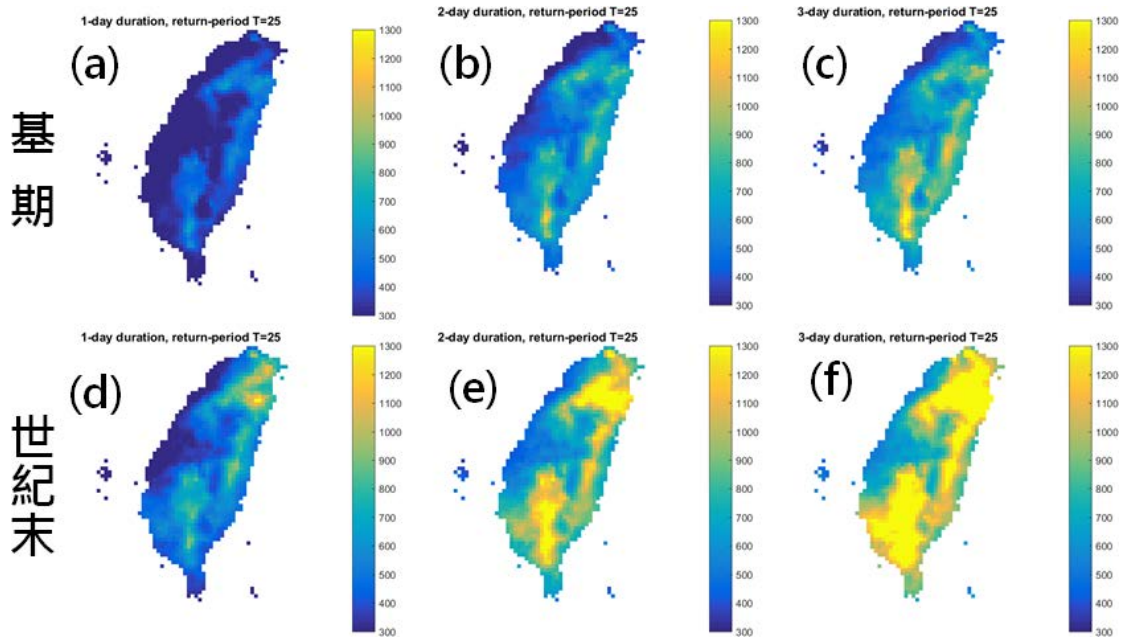


圖 4.2.6 應用統計降尺度日雨量資料，計算基期 25 年重現期設計降雨深度 (mm)(rv25) 全台網格圖。a-c 分別為基期 1 日、2 日、3 日降雨延時；d-f 為相對應的世紀末結果。

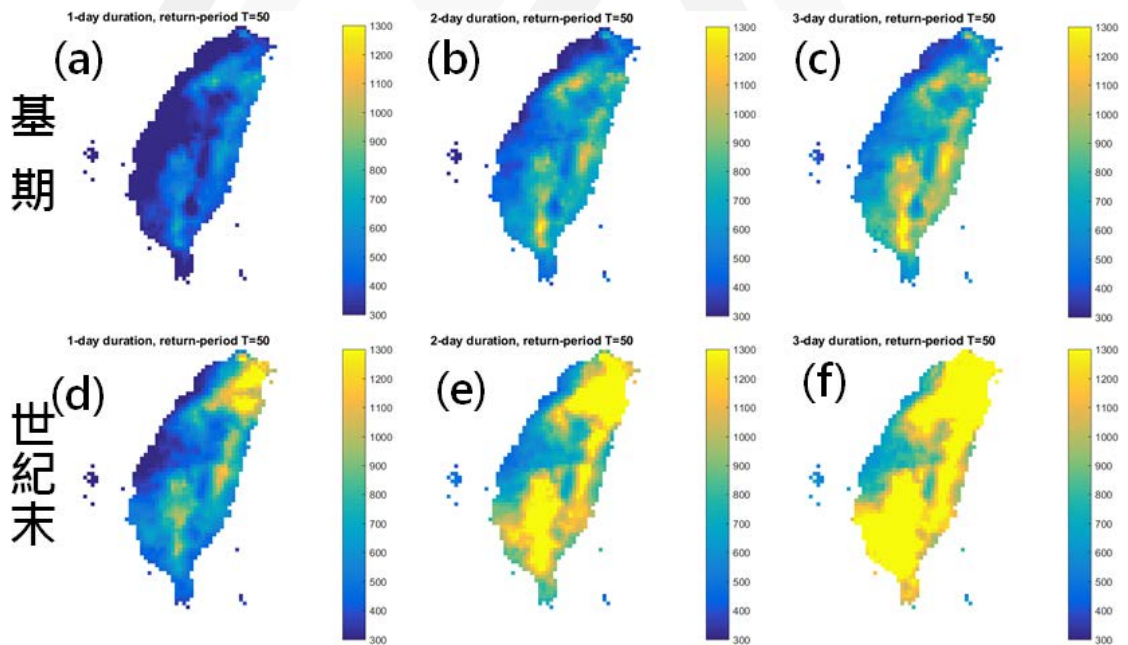


圖 4.2.7 相似於 4.2.6 但為 50 年重現週期降雨深度。

圖 4.2.8、4.2.9 為世紀末降雨深度改變量。全台網格設計降雨深度世紀末降雨深度明顯為增加趨勢，而空間分布並不是如平均氣候

狀況(圖 4.1.7)一致性的結果，局部區域有可能出現世紀末設計降雨深度明顯為漸少之趨勢。25 年重現期設計降雨深度之改變百分比(圖 4.2.8)，雖然設計降雨深度之最大增加百分比顯著高於減少百分比，局部區域明顯有呈現世紀末設計降雨深度明顯為漸少之趨勢，而外延的結果 50 年週期降雨重現值亦有類似的空間分布情形。

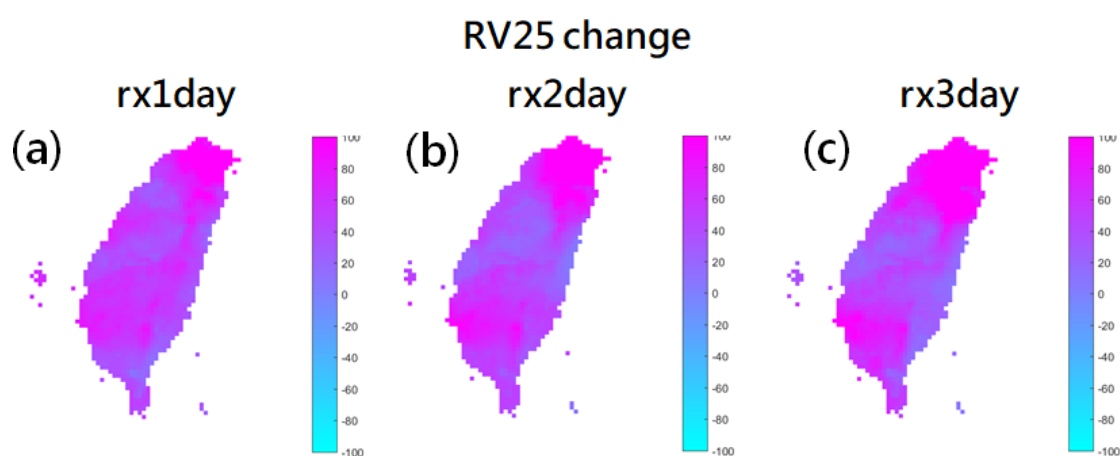


圖 4.2.8 世紀末 25 年重現期設計降雨深度之改變百分比。a 為 1 日降雨延時、b 為 2 日降雨延時、c 為 3 日降雨延時

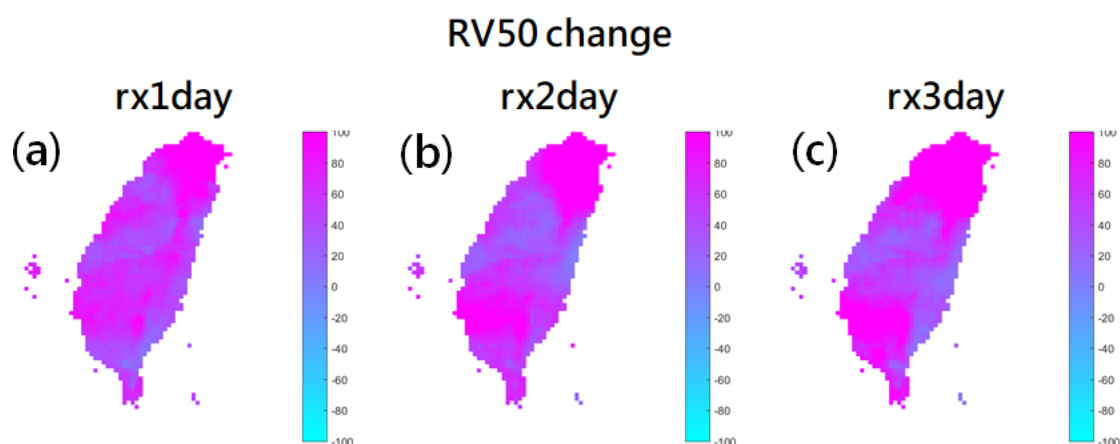


圖 4.2.9 相似於圖 4.2.8 但為 50 年重現期設計降雨深度之改變百分比

而 rx1day、rx2day、rx3day 與 rx24h、rx48hr、rx72hr 的世紀末

改變率(圖 4.2.5b-d)比較，增加-減少空間分布情況一致。說明世紀末暖化情境下，極端降雨量放大的趨勢下，最可能出現雨量增多的區域主要在天氣系統的迎風面，即夏季西南部以及冬季東北部地區。儘管世紀末全台降雨深度為增加趨勢仍有局部地區可能呈現降雨深度為減少趨勢，因此後續有關氣候變遷下世紀末局部地區降雨深度之改變，應同時考量全台以及局部地區降雨深度之變化趨勢，並綜整多個模式未來推估結果的不確定性。

4.3 年最大降雨 IDF 未來推估

最大降雨強度-延時-頻率(IDF)曲線可提供不同頻率年可能出現降雨深度，使用者用查表的方式由圖上 X 軸(降雨深度)或 Y 軸(重現周期)對應得到所需的資訊。為呈現臺灣整體的變化狀況，本文先計算全臺設計雨量重現值網格平均後，將相同降雨延時的基期與世紀末 IDF 曲線放在一起，呈現世紀末降雨強度的變化。以 100 年降雨深度重現值來看，rx2hr 基期為 210mm，世紀末增加至 275mm；rx24hr 則差異更大由 700mm 增加至 1400mm；rx48hr 則是由 900mm 增加至 1700mm；rx72hr 則由 1100mm 增至 1850mm。但就降雨深度改變率而言，rx48hr(圖 4.3.1c) 與 rx72hr(圖 4.3.1d)呈現一致的世紀末的 IDF 向右傾斜，說明世紀末極端降雨貢獻來自於全球暖化增溫，而整個氣候型態按照臺灣的海陸地理位置分布，於基期相同的

降雨深度在世紀末出現的次數將更頻繁。未來推估的趨勢結果需要
提供的是具有可信度資訊，雖然時資料優勢為可提供短延時強降雨
的相關資訊，但推估結論單一，無法呈現具有統計意義的資訊，而
多模式日資料則可提供相關的訊息。

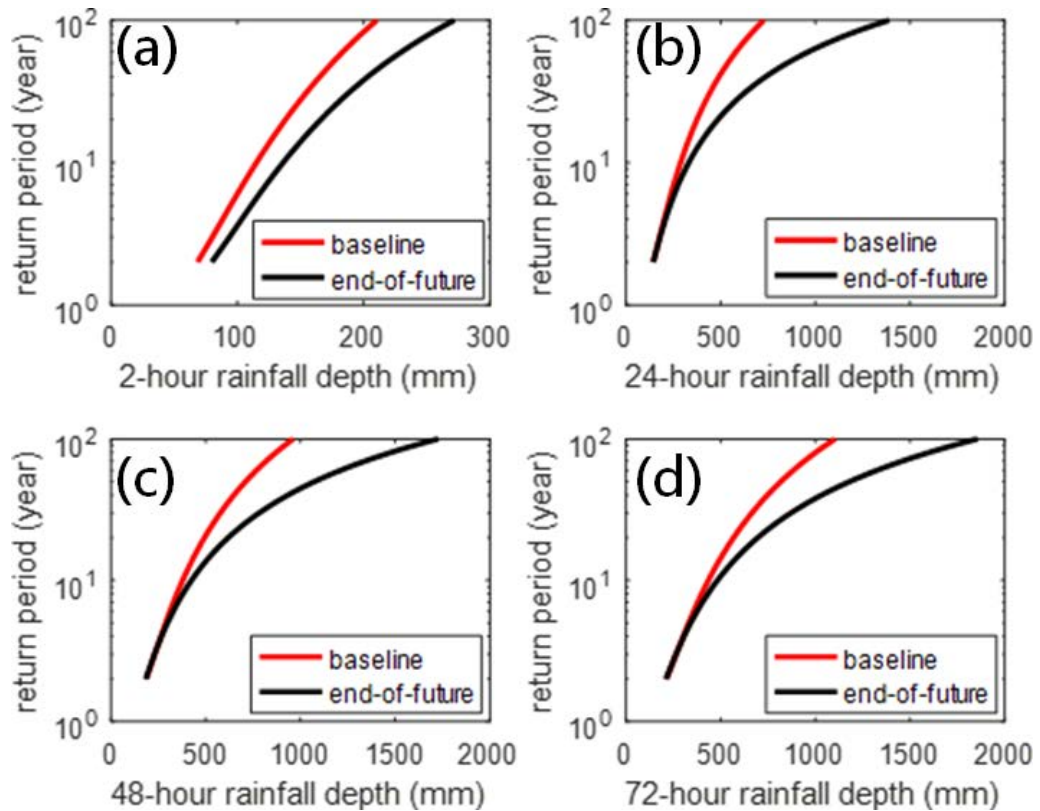
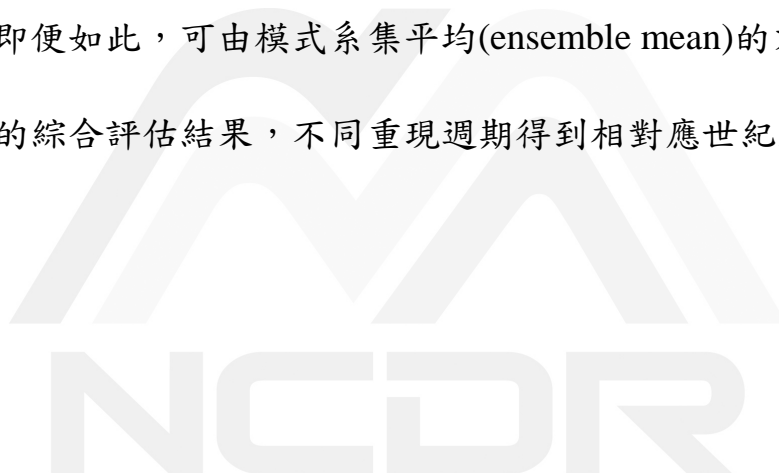


圖 4.3.1 高解析度全球模式 MRI 動力降尺度海溫情境 c0，模擬小時降雨量計算
不同重現期設計降雨深度的全台網格算術平均值(紅色實線為基期模擬；黑
實線為 21 世紀末)。a 為 2 小時降雨延時、b 為 24 小時降雨延時、c 為 48
小時降雨延時、d 為 72 小時降雨延時。圖中 x 軸為降雨深度(mm)，y 軸為
重現頻率年。

先將 33 組 GCM 基期與世紀末日資料個別做頻率分析計算後，
可呈現 95%信心區間範圍，得到全臺網格平均值的 IDF 曲線為設計
降雨深度與重現週期關係圖(如圖 4.3.2 所示)。其中實線代表
33GCM 系集平均結果，陰影區代表 33GCM 設計降雨深度之 95%信

心區間。使用者可從欲得知頻率年，藉由該圖可對應得到一組具有統計意義的設計降雨深度數值區間。短週期頻率年信任範圍區間較小不確定性較小，隨著週期變長信任範圍亦明顯增加、不確定性變大。而世紀末的模擬由於增加了暖化情境因子，加上個別模式對於增溫的反應不同，此兩因素加乘將使模擬表現差異更大，特別是長週期設計降雨深度(rx1day 百年週期降雨重現頻率值，可信度範圍為750-2400mm)。使用者應考量上述因子可能造成的未來推估結果不確定性。即便如此，可由模式系集平均(ensemble mean)的方式呈現所有模式的綜合評估結果，不同重現週期得到相對應世紀末的改變趨勢。



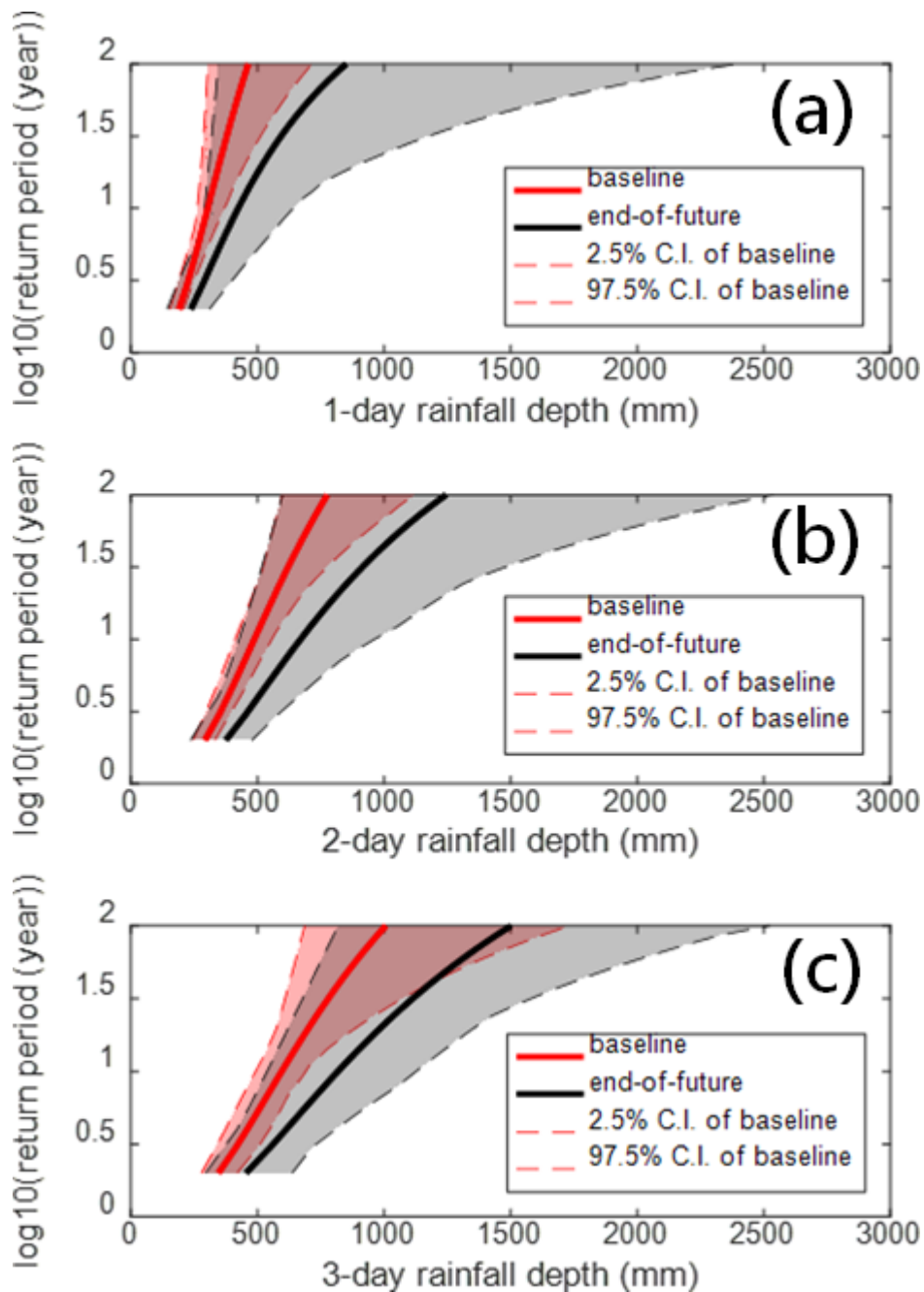


圖 4.3.2 IDF 曲線圖應用日資料計算，重現期設計降雨深度之全台網格平均。
 a、b、c 分別為年最大 1 日、2 日、3 日最大降雨深度。紅色為基期、黑色為世紀末，實線為 33 組模式系集平均結果，陰影區為其設計降雨深度之 95%(第 2.5~97.5 百分位)信心區間。

上述這種「第 2.5 百分位-系集平均值(ensemble mean)-第 97.5 百分位」95%信心區間未來推估結果的描述方式，被定義為”非常可能發生”的情況，於 IPCC AR5 早已廣泛應用。類似的做法使用者

可應用此 IDF 曲線，查表得到相對應需求的未來設計降雨深度，若以常用的 50、100 年重現值簡單彙整於表 4.3.1。從不同延時系集平均 100 年重現值降雨深度的世紀末未來推估結果來看，rx1day 基期從 495mm 增加至 850mm，rx2day 則是從 750mm 增加至 1000mm，rx3day 則是從 1000mm 增加至 1500mm，同時提供可信度數值範圍區間，讓使用者應用做未來氣候變遷調適作為時能有更多選擇。

表 4.3.1 藉由查表 IDF 曲線圖得到 50、100 頻率年設計降雨深度(mm)。日資料呈現第 2.5 百分位-系集平均值(粗體字)-97.5 百分位可信度範圍區間。

頻率年/ 降雨深度[mm]		基期		世紀末	
		50 年	100 年	50 年	100 年
時資料	Rx2hr	185	205	220	280
	Rx24hr	550	700	800	1400
	Rx48hr	750	950	1100	1750
	Rx72hr	800	1100	1200	1800
日資料	Rx1day	300, 400 ,620	310, 495 ,700	350, 700 ,1500	350, 850 ,2350
	Rx2day	550, 650 ,850	600, 750 ,1150	550, 1000 ,1750	600, 1250 ,2500
	Rx3day	700, 850 ,1250	750, 1000 ,1700	750, 1250 ,1760	800, 1500 ,2450

日資料的世紀末降雨深度為增加趨勢乃經由多數 GCM 總和評估，已考量模式不確定性之影響，相對於僅參考單一模式時資料分析結果而言，將更為可靠更適合作為調適策略之參考。圖 4.3.2 陰影區為凸顯 33GCM 之不確定性範圍，基期與世紀末 95%信心區間之重疊區可看出世紀末設計降雨深度為增加趨勢並非為 100%信心肯定，仍有未來推估之不確定性存在，制定調適策略時必須一併考量不能忽略未來的各種可能性以及推估的不確定性。

第五章 結論

本文以全球模式在暖化情境下氣候模擬，應用動力與統計降尺度至臺灣區域後，產製的 5 公里網格高時-空解析度降雨資料，提供加入氣候變遷因子的頻率分析結果，同時以「單一模式」與「多模式系集」模擬資料分析比較。從每年最大的極端降雨氣候平均值來看，雖然世紀末事件型的時雨量與氣候型的日雨量，改變可能來自於不同環境因素，但均呈現增加的趨勢。時資料(WRF-MRI)與日資料(ACCESS1-0)各挑選一個模式，分析世紀末 50 年重現期設計降雨深度之改變百分比，顯示儘管全台降雨深度為增加趨勢，仍有局部地區可能呈現降雨深度為減少，而兩者世紀末的 25 年與 50 年重現週期降雨深度，亦一致性的在冬季東北風與夏季西南風迎風面區域，呈現增加的趨勢。

以全臺網格點頻率分析後的空間平均值，應用 IDF 曲線呈現最大降雨強度-延時-頻率關係圖發現：

(1) 應用時資料(單一模式)與日資料(多模式)做 1~3 日降雨延時之頻率分析結果，世紀末設計降雨深度為增加趨勢。

(2) 世紀末相同設計降雨深度相較與基期，呈現發生頻率增加的趨勢(例如：基期 650mm 為 2 日降雨延時-50 年重現週期降雨深

度，世紀末則變成 15 年重現週期)。

(3) 日資料 33 個模式不確定性範圍，可由 95%信心區間表示之。世紀末設計降雨深度為增加趨勢並非為 100%信心肯定，仍有未來推估不確定性存在。

應用動力降尺度小時降雨量與統計降尺度日雨量各有其優缺點。本研究使用不同時間尺度資料，但應用相同的頻率分析方法所做出來的結果，可提供水文應用相關領域做參考。



參考文獻

- 行政院農業委員會水土保持局(2017)，水土保持手冊。
- 余濬(2012)，雨水下水道與河川重現期距差異之研究—以臺北市雨水下水道與景美溪為例，水利會訊，第5卷，第31-39頁。
- 翁叔平、楊承道，2018：臺灣地區日降雨網格化資料庫(1960~2015)之建置與驗證，水利期刊 66(4)P.33-52。
- 經濟部水資源局(2001)，水文設計應用手冊。
- 經濟部水利署(2003)，台灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式分析。
- 經濟部水利署(2017)，台灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式參數分析。
- 童裕翔、陳正達、劉俊志、陳永明(2018)。統計降尺度(日)資料評估與應用。國家災害防救科技中心技術報告，NCDR 107-T19，新北市。
- 鄭兆尊、林宜穎、陳淡容(2017)。臺灣地區氣候變遷推估 - 多組 MRI-AGCM 氣候推估的動力降尺度。國家災害防救科技中心技術報告，NCDR105-T29，新北市。
- Chu, P-S, Zhang, H, Chang, H-L, Chen, T-L, Tofte, K. Trends in return levels of 24-hr precipitation extremes during the typhoon season in Taiwan. *Int J Climatol*. 2018; 38: 5107– 5124. <https://doi.org/10.1002/joc.5715>
- Min, S.-K., X. Zhang, F. W. Zwiers, and G. C. Hegerl, 2011: Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, 470, 378–381, doi:10.1038/nature09763.
- Yu-Shiang Tung, Cheng-Ta Chen, Seung-Ki Min, and Lee-Yaw Lin (2016, Oct).Evaluating Extreme Rainfall Changes over Taiwan Using a Standardized Index. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO)*. doi:10.3319/TAO.2016.06.13.03

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

氣候變遷之日雨量以及時雨量頻率分析 / 童裕翔
等作. -- 第一版. -- 新北市：國家災害防救科技
中心, 民 109.01
面；公分
ISBN 978-986-5436-10-0(平裝)

1.雨量 2.氣候變遷

328.6533

109000413

氣候變遷之日雨量以及時雨量頻率分析

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 108 年 12 月

出版年月：中華民國 109 年 01 月

版次：第一版

ISBN 978-986-5436-10-0(平裝)

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>