

NCDR 109-T05

40年高解析度臺灣歷史氣候資料
The 40-year Taiwan Historical Climate Data



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 110 年 01 月

NCDR 109-T05

40年高解析度臺灣歷史氣候資料

The 40-year Taiwan Historical Climate Data

林秉毅、鄭兆尊、陳永明、簡毓瑭



國家災害防救科技中心

中華民國 110 年 01 月

中文摘要

觀測資料為瞭解當地天氣最直接的資訊，礙於測站分布不均且密度不足，並非每個區域都有氣象測站，因此過去僅能產製溫度和降雨的觀測網格資料。隨著使用者領域越來越廣，更多樣化的變數需求也隨之增加。本研究採取使用重分析資料(Reanalysis)替代觀測網格資料的概念，利用歐洲中期天氣預報中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)所產製的 ERA5 (ECMWF, 2017) 重分析資料進行動力降尺度，產製一組臺灣地區長時間高解析度歷史氣候資料，模擬時間為 1979 年至 2018 年，希望能藉此彌補測站分布不均的問題以及提供使用者更多樣化的變數，資料在本文中以 ERA5WRF 稱之。

臺灣近年來都市化發展迅速，土地利用型態也和過去大不相同，不同土地利用型態擁有不同的地表參數，而地表參數的不同會對模式模擬造成顯著的影響，尤其是在區域天氣方面。為了使模擬更加貼近現實狀況，模式中使用的土地利用資料會隨著模擬時間而更換，藉由更換土地利用資料使模擬較符合臺灣近年來土地利用型態的變化(Chen et al., 2019)，資料年份分別有 1982、1995、2000 以及 2015 年。

結果顯示各變數和測站資料的相似程度依序為氣壓、溫度、相對濕度、輻射、風速，最後則是降雨。各變數在數值上雖存在些許誤差，但是變化趨勢和測站資料大致相似，也能夠重現極端天氣事件，顯示 ERA5WRF 能夠重現過去的氣候變化趨勢。使用上如溫度及降雨等測站資料較充足的變數應當以臺灣氣候變遷推估與調適知識資訊平台計畫(TCCIP)中產製之觀測網格資料為主，其餘變數由於較缺乏充足的觀測資料，使用 ERA5WRF 可以彌補上述兩項問題。

關鍵字：動力降尺度、重分析資料

Abstract

Observation data is the most important and direct information to understand the local weather. In Taiwan, some region is lack of observation stations due to the non-uniform distribution and insufficient density. Therefore, only temperature and rainfall observation grid data could be produced base on the limited stations information. As the user's field has become wider and wider, the demand for more diverse variables also increased. This research adopts the concept of using reanalysis data (Reanalysis) instead of observation grid data, and uses the reanalysis data of ERA5 (ECMWF, 2017) which produced by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) to construct dynamic downscaling, producing the high-resolution historical climate data in Taiwan from 1979 to 2018, called ERA5WRF. It is expected to ameliorate the non-uniform distribution of observation stations and provide more diversified variables.

Under urbanization, land-use patterns are very different from the past. In the model simulation, different land-use parameter not only affects the land surface energy budget, but also impact the regional weather. In order to make the simulation close to the real status, the land-use data in the model are replaced chronologically. By replacing the land-use data, the simulation is more in line with the changes in Taiwan (Chen et al., 2019). The results of the performance ranking is surface pressure, temperature, relative humidity, radiation, wind speed, and rainfall. Although there are biases in each variables, the data trend is approximate to the observation, and extreme weather events can be reconstructed.

Keywords : dynamical downscaling, reanalysis data

目錄

1. 前言	1
2. 模式設定及資料簡介	3
2.1 使用資料	3
2.2 模式介紹與設定	6
2.3 模擬步驟	10
3. 模擬結果	11
3.1 溫度	11
3.2 降雨	17
3.3 氣壓	22
3.4 輻射	24
3.5 風場	27
3.6 相對濕度	30
4. 總結	33
誌謝	38
參考文獻	39

圖目錄

圖 1.1、模式中兩層朝狀網格範圍示意圖.....	7
圖 1.2、WRF 模式的地形高度資料(單位為 m)及氣象局局屬測站分布 位置.....	8
圖 1.3、圖 a 為 1982、1995、2000 以及 2015 土地利用分布圖，圖 b 為都市於該網格所占比例，圖 c 為農田於該網格所占比例，圖 d 為四組資料之土地利用分布比例變化(紅色為都市，黃色為農 田，綠色為森林，藍色為其他).....	9
圖 2.1、WRF 模擬流程示意.....	11
圖 3.1、ERA5WRF 高度修正後和測站資料的 40 年均溫差值(單位為 °C).....	13
圖 3.2、溫度四季相關係數 PDF.....	13
圖 3.3、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位 以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平 均值，上圖為各測站溫度相關係數，下圖為方均根誤差(單位為 °C).....	14
圖 3.4、ERA5WRF 和 TCCIP 觀測網格資料 40 年平均的差值(單位為 °C).....	15

圖 3.5、ERA5WRF、TCCIP 觀測網格資料及測站資料 1980 年至 2018 年日均溫、日高溫及日低溫年時間序列(單位為 $^{\circ}\text{C}$)	16
圖 3.6、上圖為測站資料 1980 年至 2018 年溫度距平，下圖則為 ERA5WRF，黑色實線為 5 年滑動平均(單位為 $^{\circ}\text{C}$).....	17
圖 4.1、降雨空間分布及氣象局局屬測站分布，CWB 為氣象局， CAA 為民航局，WRA 為水利署，TARI 為農試所，TERI 為林試 所，EPA 為環保署.....	18
圖 4.2、2009 年莫拉克颱風降水空間分布.....	19
圖 4.3、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位 以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平 均值，上圖為各測站降雨相關係數，下圖為方均根誤差(單位為 mm)	20
圖 4.4、降雨四季相關係數 PDF	20
圖 4.5、上圖為測站資料 1980 年至 2018 年降雨距平，下圖則為 ERA5WRF，黑色實線為 5 年滑動平均.....	21
圖 5.1、氣壓四季相關係數 PDF	22
圖 5.2、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位 以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平 均值，上圖為 ERA5WRF 和測站資料的氣壓相關係數，下圖為	

方均根誤差。	23
圖 5.3、2001 年 9 月臺北、臺中、大武及玉山氣壓時序列	24
圖 6.1、左圖為 2011 年至 2018 年 1、4、7 以及 10 月平均日累積輻射之空間分布圖(單位為 W/m^2)，右圖為 2016 年臺北、臺中、大武以及高雄的 1、4、7 以及 10 月輻射平均值(單位為 W/m^2)...	25
圖 6.2、輻射四季相關係數 PDF	26
圖 6.3、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平均值，上圖為 ERA5WRF 和各測站資料的相關係數，下圖為方均根誤差(單位為 W/m^2).....	27
圖 7.1、左圖為 1980-2018 年 1、4、7、10 月 ERA5WRF 和 ERA5 資料的平均風場差值(單位為 m/s)，右圖為 ERA5WRF 和 ERA5 資料的海陸分布，顏色代表該網格陸地所占比例	28
圖 7.2、風速四季相關係數 PDF	28
圖 7.3、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平均值，上圖為為 ERA5WRF 和各測站風速相關係數，下圖為方均根誤差	29

圖 7.4、2016 年 1、4、7、10 月風速時序列	30
圖 8.1、相對濕度四季相關係數 PDF	31
圖 8.2、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位 以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平 均值，上圖為為 ERA5WRF 和各測站相對濕度相關係數，下圖 為方均根誤差	32
圖 8.3、2016 年 1、4、7、10 月相對濕度時序列	32
圖 9.1、ERA5WRF 各變數表現泰勒圖	35



表目錄

表 1、USGS (U.S. Geological Survey)土地利用分類表	4
表 2、本研究中使用之氣象局局屬測站，其中 2、4、13、15、19 為 山區測站	5
表 3、選擇的測站及其高度修正前後比較.....	12
表 4、各測站相關係數平均(四捨五入至小數點第二位)	36
表 5、各測站方均根誤差平均(四捨五入至小數點第二位)	37



1. 前言

國家災害防救科技中心執行臺灣氣候變遷推估與調適知識資訊平台計畫(TCCIP)，提供網格化觀測資料為計畫的主要服務項目之一。觀測資料於研究中扮演重要的角色，因此計畫提供的網格化觀測資料受到廣大使用者的青睞，網格化觀測資料目前僅提供測站資料較充足的溫度及降雨，隨著使用者領域愈來愈廣泛，所需的變數也更加多樣化。然而網格化觀測資料的品質取決於測站資料的精準度以及密集度，且臺灣地形複雜，測站又以平地為主，山區資料的不確定性相對較大。不僅如此，測站由於儀器故障或更換所導致的缺值，也會影響當地的觀測資料，因此在部分地區難以呈現實際且較長時間的氣象資訊。

為了解決上述問題，開始出現使用重分析資料(Reanalysis)來替代觀測資料進行研究的概念，重分析資料也可稱作再分析資料。全球重分析資料運用資料同化技術，結合大氣環流模式(Global general circulation model, GCM)以及全球觀測資料，得到較符合真實大氣狀況的三維網格資料，對於了解大尺度環流場及全球大氣狀況，重分析資料是相當重要的工具。但是全球重分析資料受到運算資源的影響，解析度並不高。舉例來說，較常使用的重分析資料有美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的 CFSR(Saha et al.,2010)；歐洲中期天氣預報中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的 ERA5(ECMWF, 2009、2017)；日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)的 JRA55(Ebita et al.,2011)，其中解析度最高的 ERA5 解析度約 30 公里，而臺灣面積僅大約 3.6 萬平方公里，即使如此仍然不足以解析較局部區域的氣象資訊。若要解析較小區域尺度的氣象資訊，直接使用全球資料由於解析度不足，因此無法滿足需求，於是利用區域氣象模式(Regional climate model,

RCM)關注在想要解析的區域範圍進行動力降尺度，以解析小尺度的天氣現象。

許多國家也都使用動力降尺度模擬進行研究，Kayaba et al.(2016)使用日本氣象廳產製的重分析資料 JRA-55(Kobayashi,2015)進行長達 55 年的動力降尺度模擬，將其從原本的 55 公里解析度降尺度至 5 公里解析度，再比較降尺度後的結果和觀測資料後，發現降尺度的模擬對於重現過去的溫度及降雨以及歷史極端天氣事件有良好的表現

不同的土地利用型態對應到不同的地表參數，而地表參數對模式模擬會造成顯著的影響，不但會影響地表的能量收支，也會影響大氣和地表的交互作用，對於區域天氣有顯著的影響，而使用不同土地利用資料對於模式模擬結果也有顯著的影響(Lin et al.,2008； Cheng et al., 2013)。Chen et al.(2007)利用過去數十年的觀測資料發現，臺北在夏季有一年中的最大降雨量，其中主要的來源是午後雷陣雨。並且隨著都市化的發展，臺北的降雨有逐漸增多的趨勢。該研究將都市化發展和大尺度環境風場十年平均的變化做比較，大尺度環境風場每十年平均的變化並沒有和溫度變化呈現很大的相關性，因此認為都市化發展的影響比大尺度環境風場變化的影響顯著。過去數十年來，臺灣都市化發展相當迅速，受到人為活動、自然災害以及土地擴張甚至是產業轉型等等...現今的土地利用分布和過去數十年已相差甚遠，都市熱島效應也更加顯著，造成都市地區的溫度比周圍郊區來的高。模擬時使用固定同一組土地利用資料，在模擬上會無法模擬出土地利用的變化，會較不貼近臺灣真實狀況，因此使用中研院所提供之土地利用資料(Chen Yi-Ying，2019)，一共有 1982、1995、2000 以及 2015 年的土地利用分布，在模擬中隨著模擬時間的變化更換使用的土地利用資料，應當能夠模擬更接近臺灣現實狀況中的土地利用分布情形，使得模式模擬結果更符合真實狀況。

計畫(MOST 108-2621-M-865-001) 中利用 ERA5 再分析資料進行動力降尺

度，產製一組臺灣長時間高解析度歷史氣候資料，模擬時間為 1979~2018 年共 40 年，藉此滿足使用者更多樣化的變數需求，以及彌補測站分布不均及缺值的問題。

2. 模式設定及資料簡介

2.1 使用資料

1. ERA5:為 ECMWF 所產製之資料，重分析資料之水平解析度為 0.25 度(約 30 公里)，為逐時之資料。
2. RCEC 土地利用資料:由中研院所提供之土地利用資料(Chen et al., 2019 共有 1982、1995、2000 以及 2015 年 4 組資料，資料中土地利用分類依照 USGS (U.S. Geological Survey)的 24 種分類(表一)，隨著模擬時間不同切換土地利用資料。
3. 中央氣象局之局屬測站資料:中央氣象局之局屬測站資料，共使用 20 個測站 (表二)。
4. TCCIP 觀測網格資料: TCCIP 1 公里解析度溫度和降雨觀測網格資料(使用時間從 1979 年至 2018 年)
5. 衛星反演輻射資料: 使用向日葵八號衛星以及 MTSAT-2 衛星反演的輻射資料，時間範圍分別為 2015/07/07 06:00 至 2018/12/31 19:00 以及 2011/01/01 06:00 至 2015/07/31 19:00，水平解析度為 0.01 度(約 1 公里)。

表 1、USGS (U.S. Geological Survey) 土地利用分類表

Land use category	Land use description
1	Urban and Built-Up Land
2	Dryland Cropland and Pasture
3	Irrigated Cropland and Pasture
4	Mixed Dryland/Irrigated Cropland and Pasture
5	Cropland/Grassland Mosaic
6	Cropland/Woodland Mosaic
7	Grassland
8	Shrubland
9	Mixed Shrubland/Grassland
10	Savanna
11	Deciduous Broadleaf Forest
12	Deciduous Needleleaf Forest
13	Evergreen Broadleaf
14	Evergreen Needleleaf
15	Mixed Forest
16	Water Bodies
17	Herbaceous Wetland
18	Wooden Wetland
19	Barren or Sparsely Vegetated
20	Herbaceous Tundra
21	Wooded Tundra
22	Mixed Tundra
23	Bare Ground Tundra
24	Snow or Ice

表 2、本研究中使用之氣象局局屬測站，其中 2、4、13、15、19 為山區測站

編號	站名	海拔高度(m)	經度	緯度
1	淡水	19	121.4489	25.1649
2	鞍部	825.8	121.5297	25.1826
3	臺北	6.3	121.5149	25.0377
4	竹子湖	607.1	121.5445	25.1621
5	基隆	26.7	121.7405	25.1333
6	花蓮	16	121.6133	23.9751
7	宜蘭	7.2	121.7565	24.764
8	東吉島	43	119.6675	23.257
9	澎湖	10.7	119.5631	23.5655
10	臺南	40.8	120.2048	22.9932
11	高雄	2.3	120.3157	22.566
12	臺中	84	120.6841	24.1457
13	阿里山	2413.4	120.8132	23.5082
14	大武	8.1	120.9038	22.3557
15	玉山	3844.8	120.9595	23.4876
16	恆春	22.1	120.7463	22.0039
17	成功	33.5	121.3734	23.0975
18	蘭嶼	324	121.5583	22.037
19	日月潭	1017.5	120.9081	23.8813
20	臺東	9	121.1546	22.7522

2.2 模式介紹與設定

本研究進行動力降尺度所使用的氣象模式為 WRF(Weather Research Forecast)，WRF 模式為美國國家大氣研究中心(NCAR)與美國環境預報中心(NCEP)共同研發，經前一代中尺度數值模式(MM5)改良而來，WRF 模式可以模擬從數公尺至數千公里不同尺度之理想或實際之大氣狀態，主要用來進行天氣研究或實務預報，現今已被全球各單位廣泛使用。

在進行 WRF 模式模擬時，主要可以分成三個部分，資料前處理系統、WRF 核心系統以及資料後處理系統，資料前處理系統為 WPS(WRF Preprocessing System)，WPS 又可以分成 Geogrib、Ungrib 和 Metgrib 三個步驟，Geogrib 負責從全球地圖中，框選出模擬區域的範圍並且處理地形資訊，Ungrib 負責處理氣象場資料，依使用者指定的時段將資料做切割，Metgrib 負責將 Geogrib 和 Ungrib 處理後的資料合併並進行水平內插，Metgrib 產生的數據再提供給 WRF 模式進行模擬。接著 WRF 模式中的 Real 依據這份資料進行內插得到初始場資料及側邊界資料，接著進行積分的計算。除了動力過程之外，模式物理過程也在此步驟執行，主要的模式物理過程包含雲微物理、長波輻射、短波輻射、地表過程、邊界層過程與積雲對流等，最後，模式輸出檔可經由不同的繪圖軟體如 GRADS、NCL、Python 等繪製模擬結果。

本研究採用之 WRF 模式版本為 3.8.1，模式使用兩層巢狀網格(圖 2)，網格數設定為 250×250、220×280，水平解析度分別為 10 公里(Domain1)以及 2 公里(Domain2)，模擬垂直層共 52 層，模式每 3 個小時輸出一筆資料，而地面和降水資料則為每個小時輸出一次。

在物理參數化設定方面，使用的雲微物理方法為 Goddard microphysics

scheme，積雲參數化方使用 Kain-Fritsch scheme (Kain and Fritsch, 1990；Kain, 2004)，並且只在 Domain1 中開啟，邊界層參數化使用韓國延世大學 (Yonsei University)的 YSU scheme (Hong and Pan, 1996)，長波輻射和短波輻射參數化使用 RRTMG scheme (Lacono et al., 2008)，在地表方面，地面層參數化使用 Monin-Obukhov scheme(Monin and Obukhov, 1954)，地表參數化使用 Noah Land Surface Model(Chen and Dudhia, 2000)。

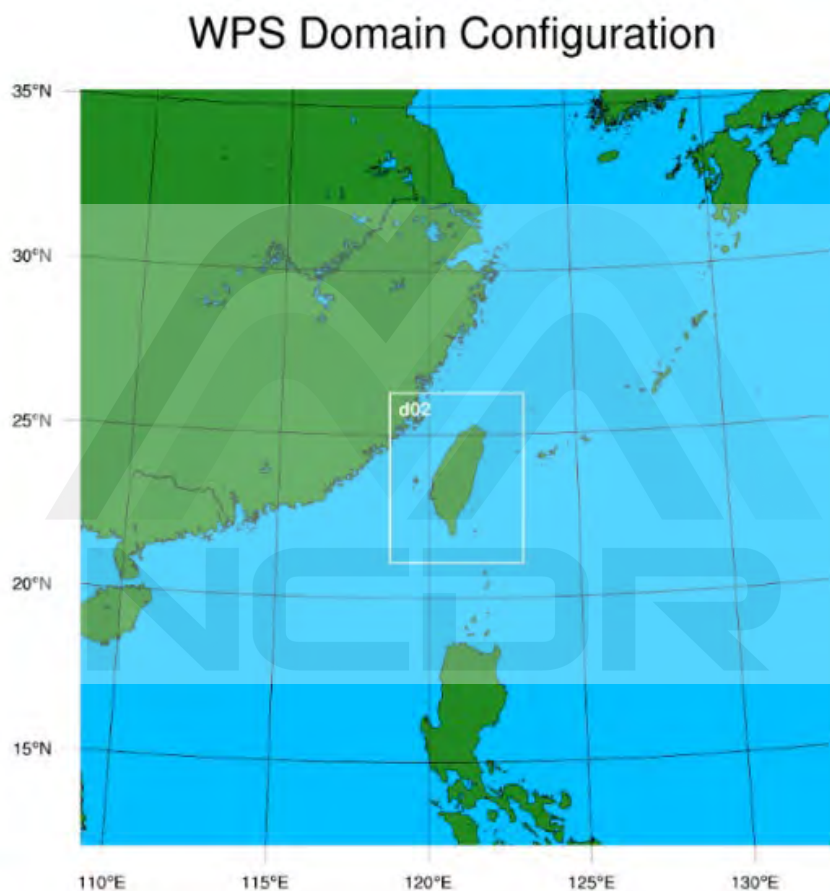


圖 1.1、模式中兩層朝狀網格範圍示意圖

模式中使用之地形資料為美國地質調查局(U.S. Geological Survey)與美國國家地理空間情報局(National Geospatial-Intelligence Agency)所研發的全球高解析度地形高度資料(global multi-resolution terrain elevation data)，其原始解析度約 1 公里左右，再將其處理到 2 公里網格上做使用，從模式中的地形高度分布圖可以看出不論是超過 3000 公尺的山脈、中央山脈、臺北盆地及花東縱谷等等...皆

可被解析出來(圖 1.2)。

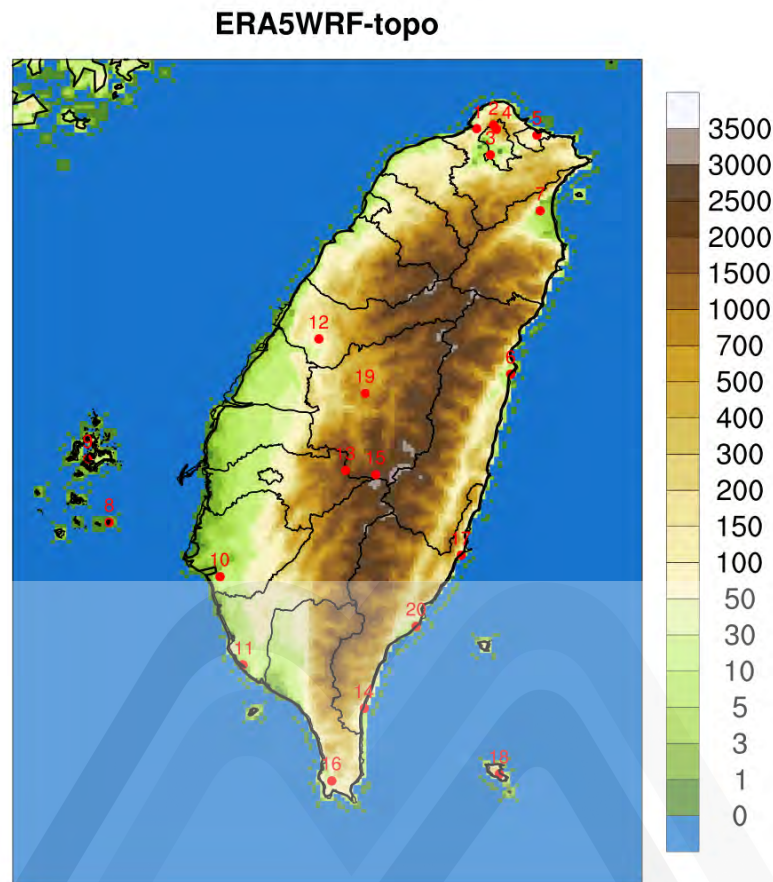


圖 1.2、WRF 模式的地形高度資料(單位為 m)及氣象局局屬測站分布位置

過去數十年來，臺灣在都市化的發展下，由於土地開發、人為活動以及自然災害等影響，土地利用型態有很大的改變，不同土地利用型態對應不同的地表參數，而不同的地表參數不但會影響地表的能量收支，也影響大氣和地表的交互作用。為了較符合真實情形，模擬時隨著模擬時間的變化使用相對應年份的土地利用資料，使用的土地利用資料為中研院提供(Chen et al.,2019)，原始解析度為 500 公尺，再將其處理到 2 公里網格上做使用。資料分為 1982、1995、2000 以及 2015 年四筆，四筆資料的土地利用分布隨時間的變化都有明顯的差異，都市部分以雙北桃園地區、新竹、嘉義及臺南高雄地區的增加幅度最顯著(圖 1.3)，而農田部分以蘭陽平原、西部以及西南部有較顯著的減少，其變化趨勢符合都市化發展的變化。

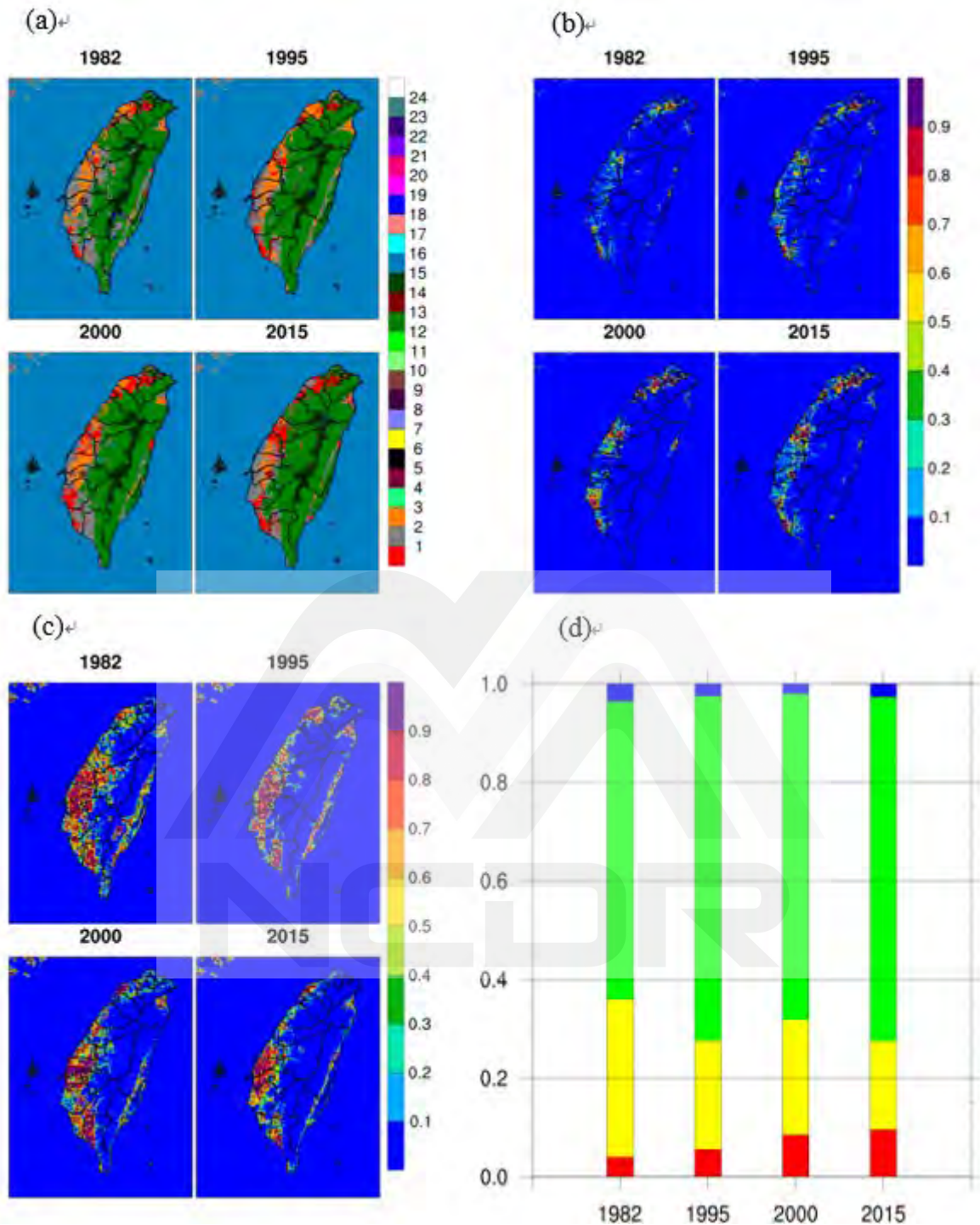


圖 1.3、圖 a 為 1982、1995、2000 以及 2015 土地利用分布圖，圖 b 為都市於該網格所占比例，圖 c 為農田於該網格所占比例，圖 d 為四組資料之土地利用分布比例變化(紅色為都市，黃色為農田，綠色為森林，藍色為其他)

本次模擬為 1979~2018 共四十年，在 1979~1989 年的模擬中採用 1982 年的土地利用資料，1990~1998 的模擬中採用 1995 年的資料，1999~2008 年的模擬中採用 2000 年的資料，而 2009~2018 年的模擬中則採用 2015 年的資料。

2.3 模擬步驟

進行長時間模擬得到的氣候值會與觀測值存在著一定的誤差，並且模式模擬的誤差會隨著模擬時間拉長而累積放大，因此須採用一些方法減少模擬造成的誤差。在本研究中採用 re-initialization(Kayaba et al.,2016)方式來減少其誤差，re-initialization 方式是以觀測值不斷重新進行短期模擬，再將短期模擬資料串接，由於不斷重新啟動短期模擬，並非一段長期模擬，因此其誤差累積自然較小，不過需要耗費更多計算資源在模式起轉(spin-up)上，導致需要花費更長的時間。

本研究之模擬流程配合 ERA5 之資料時間間隔，每 6 小時啟動一組新的模擬，並且將重分析資料與區域模式模擬結果利用 Yang(2005)所提出的 blending 方法混合兩者，結合重分析場的大尺度特徵，並保留模式解析出的小尺度結果，再將 blending 後的結果做為下一次模擬的初始場，類似氣象預報的更新循環概念，由於重分析資料本身已經過資料同化，因此在模擬時便不另外進行資料同化的動作。

由於模式在模擬初期會有不平衡的問題，使模擬初期的結果受到雜訊的干擾而導致模擬結果不佳，為減緩模擬初期的雜訊及不平衡問題，使用 Lynch and Huang (1992)提出的 digital filter initialization(df)方法進行濾波，並將每次模擬的前 6 小時作為模式起轉(spin up)時間，模擬結果僅採用第 7 到 12 小時之結果，再將每個模擬的第 7 到 12 小時串接成一組連續的資料(圖 2.1)。

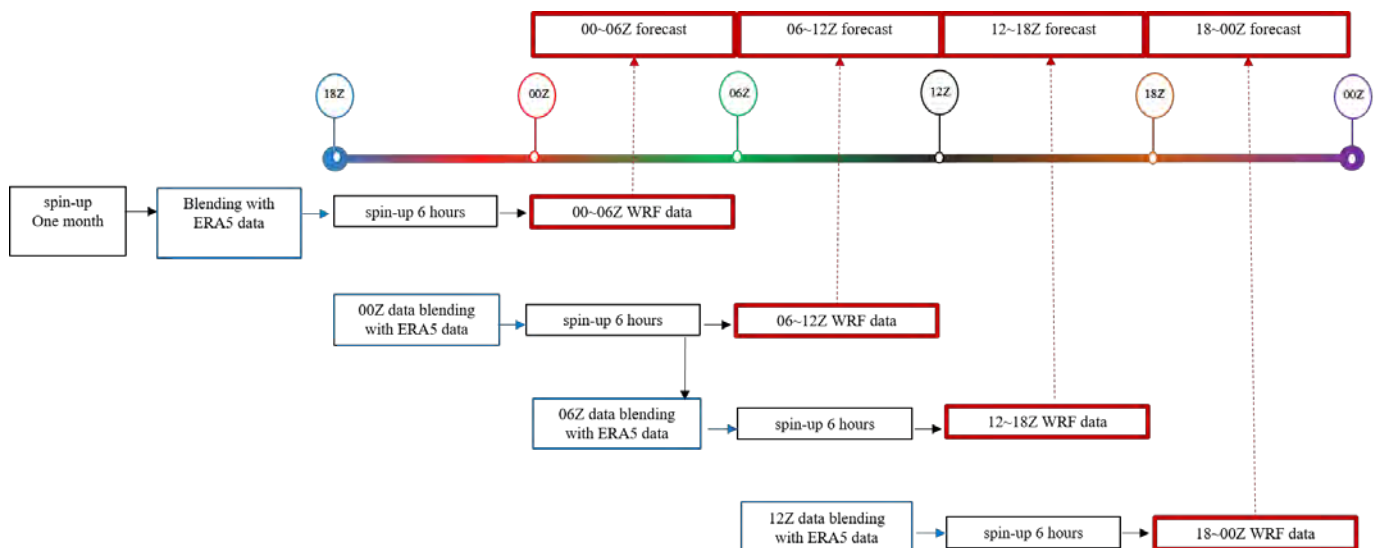


圖 2.1、WRF 模擬流程示意

3. 模擬結果

3.1 溫度

溫度為較廣泛使用的變數，並且觀測資料也較完整，因此在比較上有較多資料可以使用。溫度比較時使用 TCCIP 觀測網格資料以及測站資料，由於模擬時將 1979 年 1 月的資料作為 spin up，因此測站選擇的標準為時間長度能夠符合模擬時間中完整的年份(1980 年至 2018 年)，並且位在 TCCIP 觀測網格資料範圍內的測站，分別為淡水、鞍部、臺北、竹子湖、基隆、花蓮、宜蘭、東吉島、澎湖、臺南、阿里山、大武、玉山、恆春、成功、蘭嶼、日月潭以及臺東。測站高度與鄰近模式網格高度的差異會影響到對溫度的評估，因此在進行溫度比對時，必須考慮兩者的高度差異對模擬的溫度做修正，使 ERA5WRF 和測站資料位於同樣的基準點進行比較，修正部分採用每上升 100 公尺，氣溫下降 0.65°C 的遞減率(表三)。

表 3、選擇的測站及其高度修正前後比較

測站代碼	測站名稱	網格高度(m)	真實高度(m)
466900	淡水	16.1799	19
466910	鞍部	797.437	837.6
466920	臺北	13.9645	5.3
466930	竹子湖	744.702	607.1
466940	基隆	47.5101	26.7
466990	花蓮	14.3497	16.1
467080	宜蘭	7.28135	7.2
467300	東吉島	3.39598	43
467350	澎湖	7.67408	10.7
467410	臺南	15.6629	40.8
467440	高雄	4.08243	2.3
467490	臺中	95.1521	84.04
467530	阿里山	2193.81	2413.4
467540	大武	13.9752	8.1
467550	玉山	3328.11	3844.8
467590	恆春	35.7408	22.3
467610	成功	33.1839	33.5
467620	蘭嶼	128.427	324
467650	日月潭	721.796	1017.5
467660	臺東	9.74771	9

將 ERA5WRF 進行高度修正後，比較修正前後的差值，大多數測站的差異並不大。模式山區網格高度大多有低估的情形，因此將其修正至更高的高度後，溫度皆會下降，平地測站大多差異不大。日均溫 40 年平均和測站相差不大，整體平均低估約 0.09°C ，計算方式為選取最接近各測站的網格點將其平均後再和各測站的平均相減。結果顯示山區測站有較顯著的低估，臺北以及臺中等都市密集區則有較顯著的高估(圖 3.1)。

溫度相關係數整體表現不錯，平均約為 0.86，並且於時序列比較中也顯示出三者的年變化趨勢相當一致。計算方式為選取最接近各測站的網格點再將其進行統計分析，後續其餘變數皆以此方式計算。將相關係數以四季分別檢視，冬季為 0.95，春季為 0.92，夏季為 0.73，秋季為 0.86(圖 3.2)。相較於其他三季，夏

季的相關係數較其他三季低，推測為夏季較多小尺度對流系統，而模式模擬小尺度對流系統的強度和實際狀況有誤差所造成。各測站的相關係數除玉山以外皆無顯著地區性差異，大多都大於 0.8(圖 3.3)。方均根差則是大部分平地地區皆小於整體平均值，由於山區測站大多有低估的情形，都會密集區為高度，因此都會密集區及山區有較大的方均根誤差。

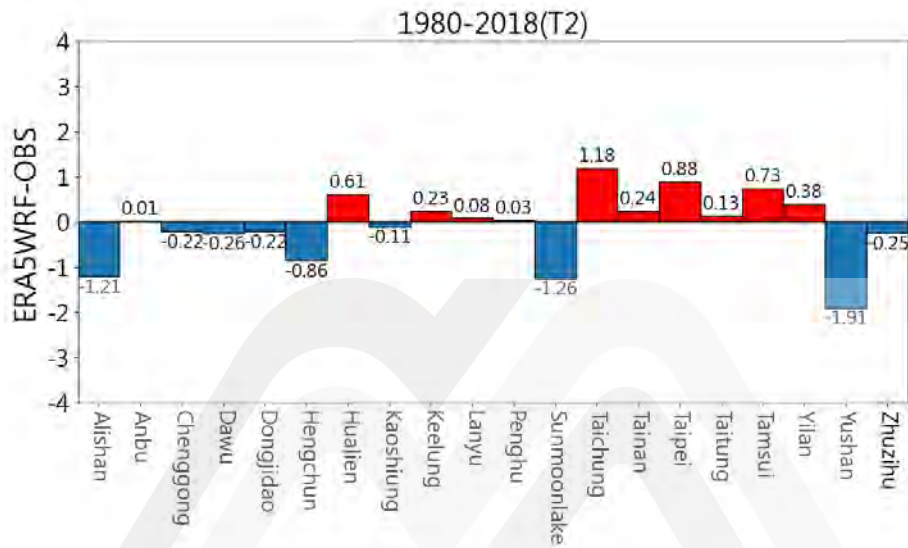


圖 3.1、ERA5WRF 高度修正後和測站資料的 40 年均溫差值(單位為°C)

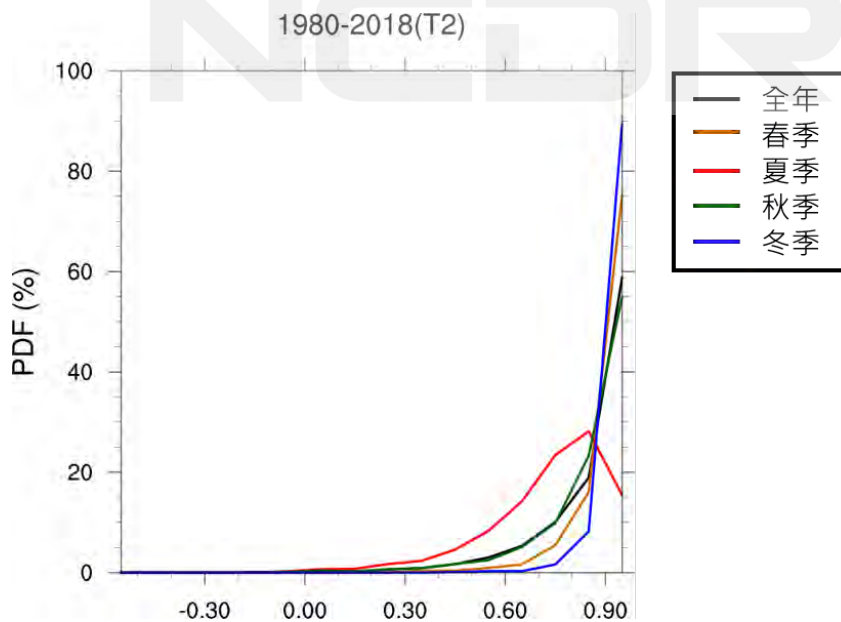


圖 3.2、溫度四季相關係數 PDF

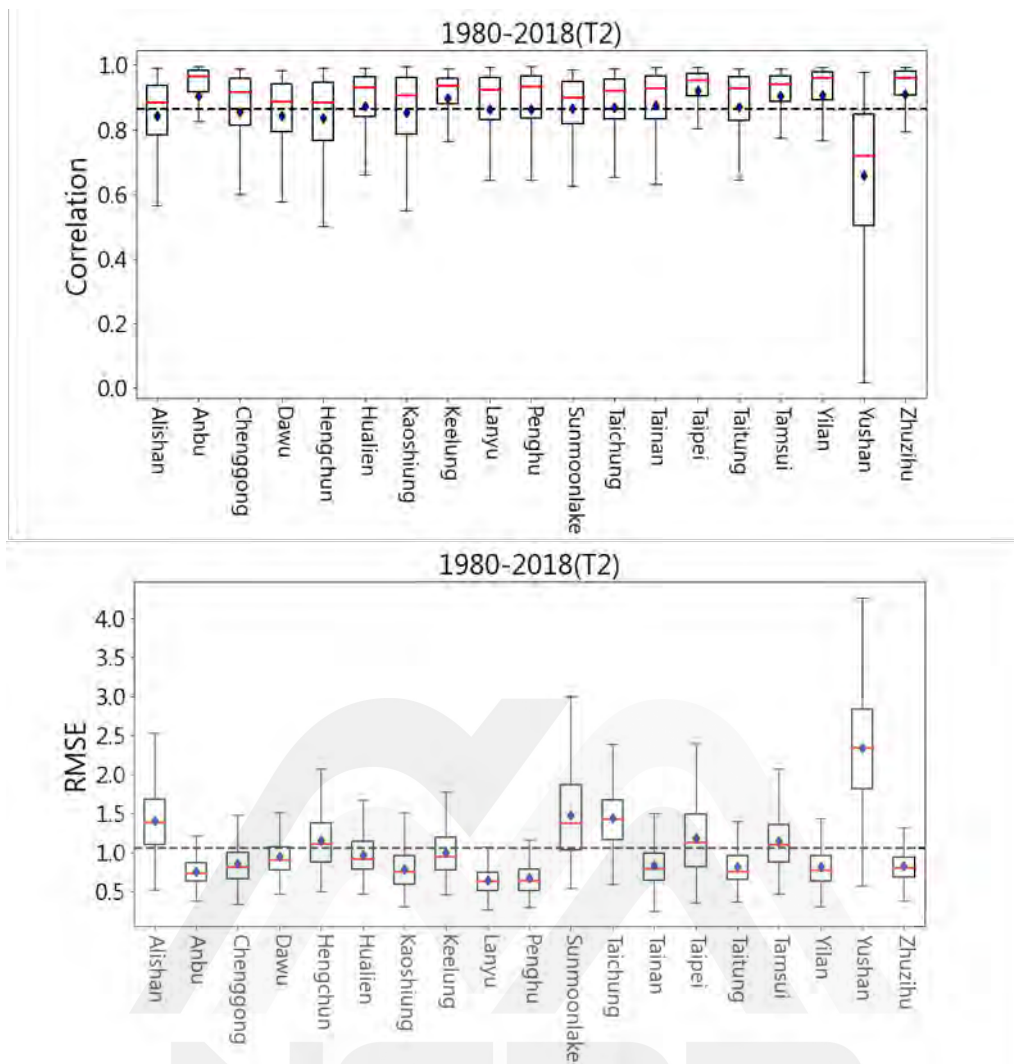


圖 3.3、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平均值，上圖為各測站溫度相關係數，下圖為方均根誤差(單位為 $^{\circ}\text{C}$)

使用 TCCIP 觀測網格資料和 ERA5WRF 比較空間分布上的差異(圖 3.4)。由於 TCCIP 觀測網格解析度為 1 公里，ERA5WRF 為 2 公里，因此僅在比較空間分布時會先將 ERA5WRF 重新內插至 1 公里網格，使兩者的網格能夠互相對應，再和 TCCIP 觀測網格資料做計算。將日均溫分為四季進行比較，ERA5WRF 在四季的山區皆有明顯的低估情形，其中以冬季最為顯著。而平地區域則以臺北、桃園、臺中以及嘉義等都市密集區在全年都有高估的情形，其中以春季最為顯著。

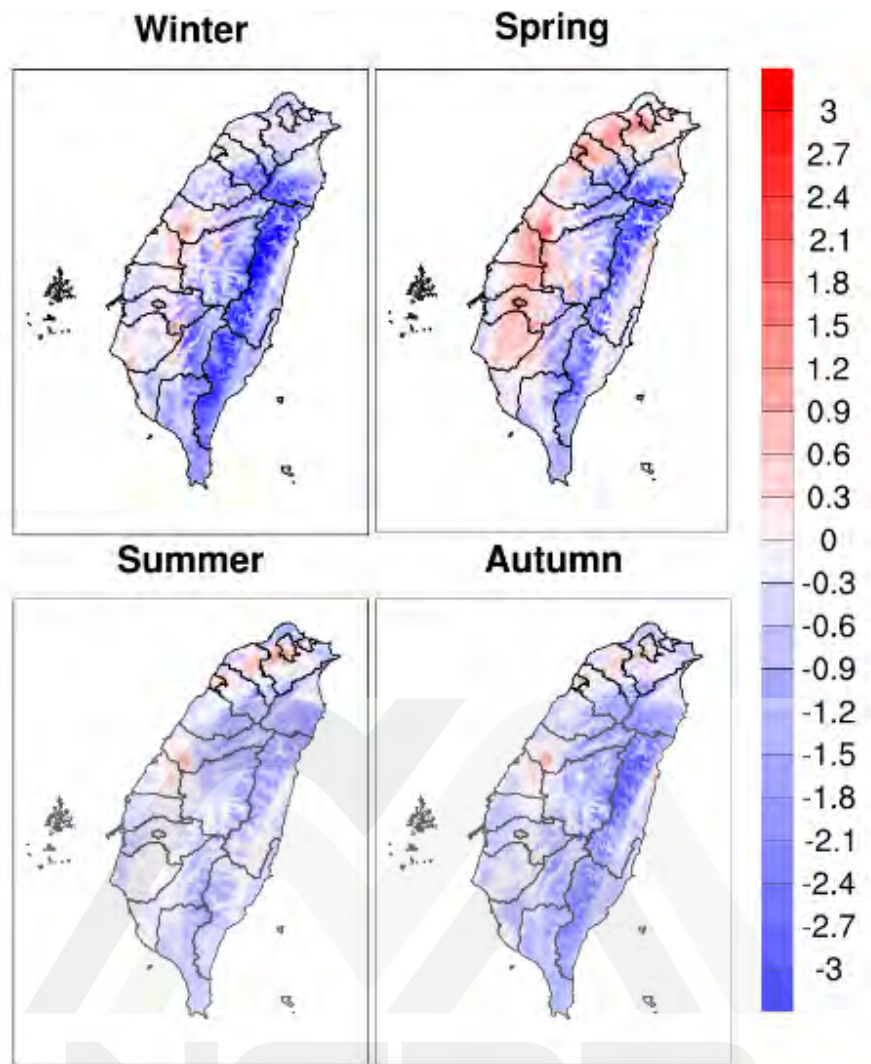


圖 3.4、ERA5WRF 和 TCCIP 觀測網格資料 40 年平均的差值(單位為 $^{\circ}\text{C}$)

本研究採用 1980 年至 2018 年溫度距平，比較三者的年溫時序列(圖 3.5)及距平變化(圖 3.6) 以檢視模式是否能夠模擬氣候變遷的狀況。時序列方面 ERA5WRF 於日均溫和測站資料較接近，日高溫呈現較低估的情形，而日低溫則略為高估，雖然 ERA5WRF 的日夜溫差較小，但是三者的變化趨勢皆相似。ERA5WRF 和測站資料的溫度距平變化相當一致，溫度於 1988 年以前較低，並於 1998 年後有較顯著的提升，同樣呈現逐漸增溫的趨勢，且溫度距平最大值與最小值皆發生於同樣的時間點，顯示模式能夠模擬出和測站資料相當一致的溫度變化趨勢。

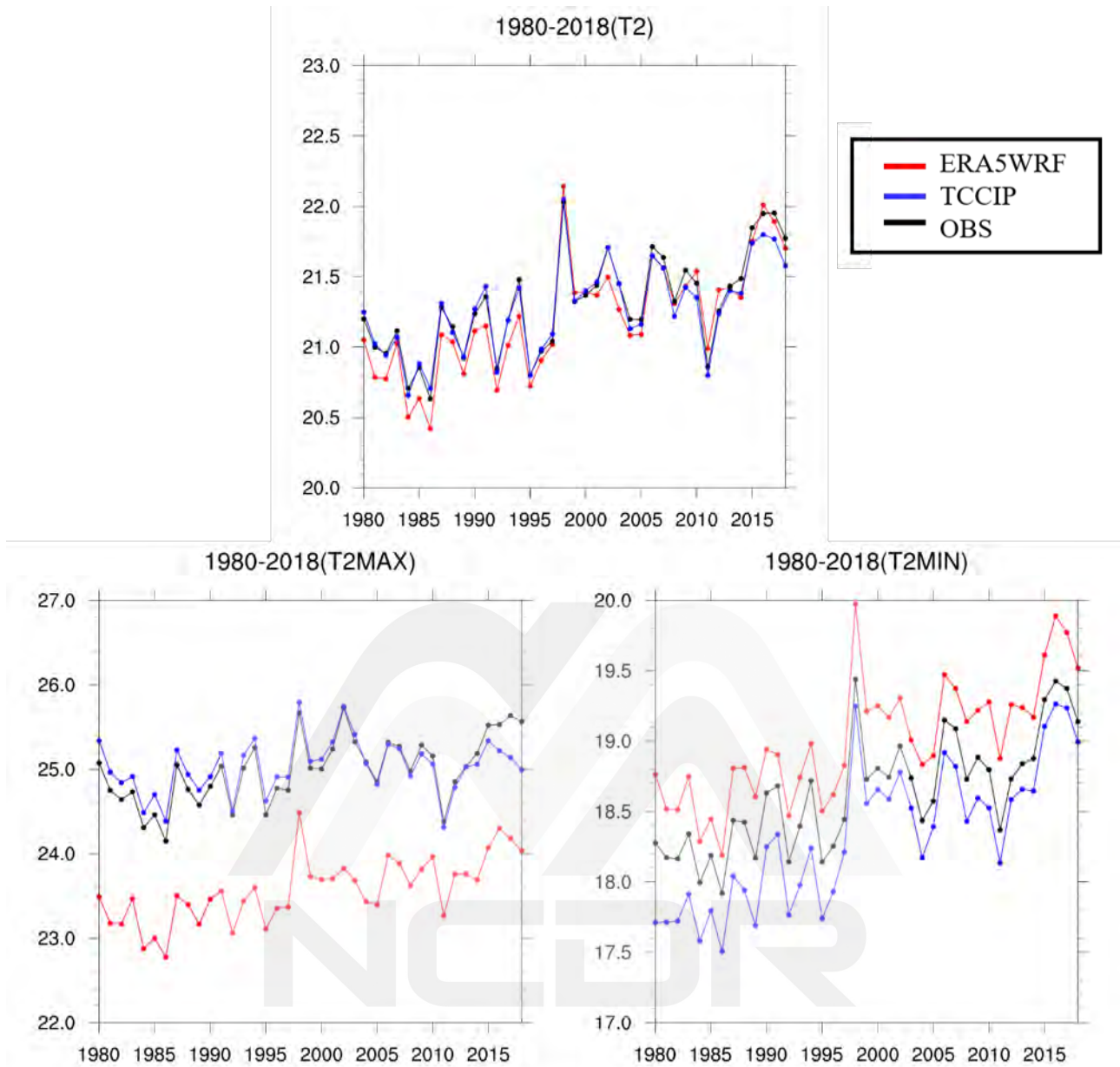


圖 3.5、ERA5WRF、TCCIP 觀測網格資料及測站資料 1980 年至 2018 年日均溫、日高溫及日低溫年時間序列(單位為 $^{\circ}\text{C}$)

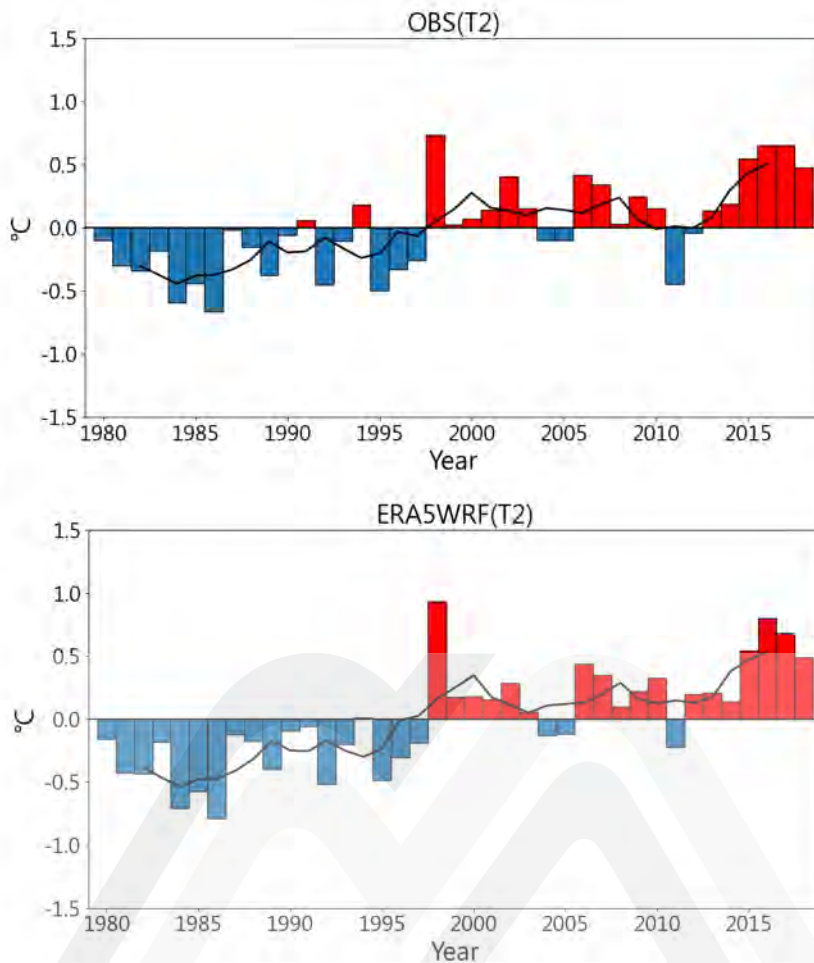


圖 3.6、上圖為測站資料 1980 年至 2018 年溫度距平，下圖則為 ERA5WRF，黑色實線為 5 年滑動平均(單位為 $^{\circ}\text{C}$)

3.2 降雨

降雨和溫度都是觀測資料較完整的變數，因此同樣具有網格化觀測資料，比較時使用 TCCIP 觀測網格資料以及測站資料，比較空間分布時將 ERA5WRF 重新內插至 1 公里網格。降雨在各季節的型態都有所不同，因此將四季分別做比較。ERA5WRF 和 TCCIP 觀測網格資料在四季的空間分布上皆相當一致(圖 4.1)，冬季降雨主要集中在東北部，春季降雨集中在北部以及山區，夏季降雨集中在高屏山區以及中央山脈，為四季中降雨最多的季節，而秋季則集中在東半部以及宜蘭。和 TCCIP 觀測網格資料相比之下，ERA5WRF 在高屏山區有較高估的情形，

並且中央山脈東側也有零星的高估情形，同樣在差異百分比明顯發現在各個季節的高屏山區以及中央山脈皆為高估。檢視 TCCIP 觀測網格資料中所使用到的測站位置，發現高屏山區以及中央山脈東側皆為測站分布較稀疏的地區，因此難以評斷是否為模式高估亦或者是測站分布密度不足缺乏資料所導致的結果，未來可透過遙測降水產品檢視該區域的降雨情形是否和模式相似。

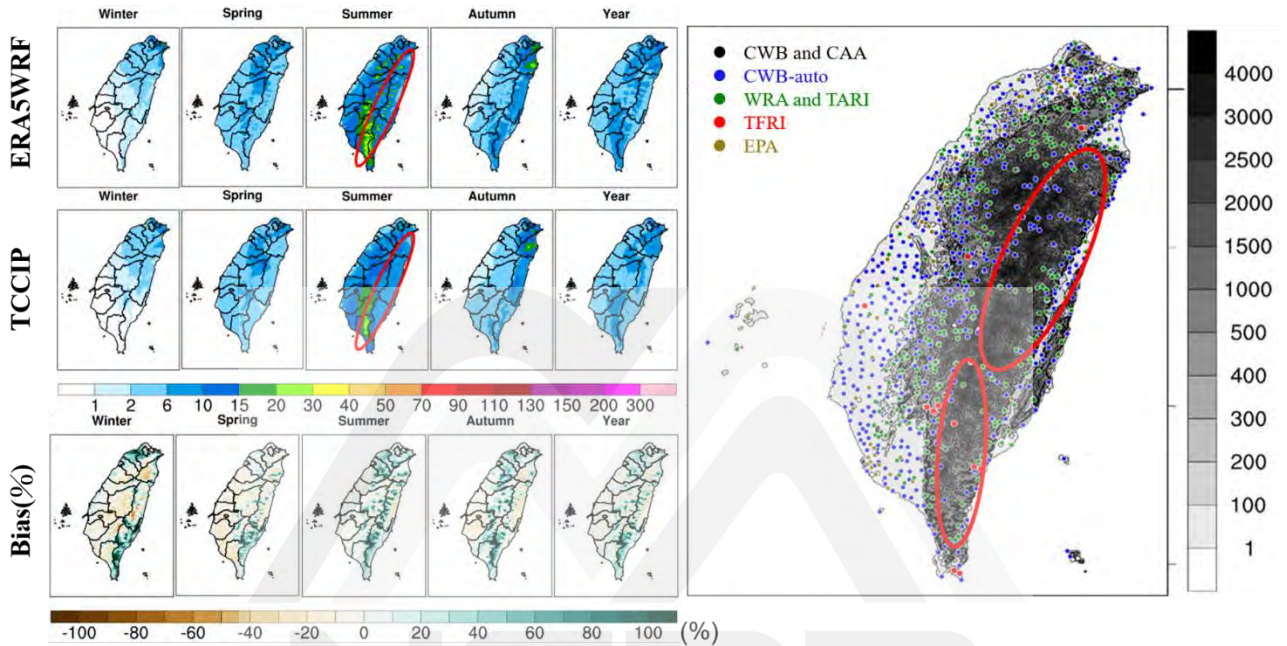


圖 4.1、降雨空間分布(單位為 mm)及氣象局局屬測站分布，CWB 為氣象局，CAA 為民航局，WRA 為水利署，TARI 為農試所，TERI 為林試所，EPA 為環保署

選取 2009 年莫拉克颱風個案作為範例(圖 4.2)。莫拉克颱風於東南部及中南部造成嚴重淹水災，為著名的「八八水災」，該事件於阿里山測站創下降雨新高。主要影響臺灣時間為 8 月 7 日至 10 日。兩組資料在空間分布的表現上，雖然雨量仍有些許的偏差，ERA5WR 資料在中部山區的降雨有低估的情形，但是兩者主要降雨時間及四日平均的空間分布大致相似，降雨皆集中在南部及高屏山區。

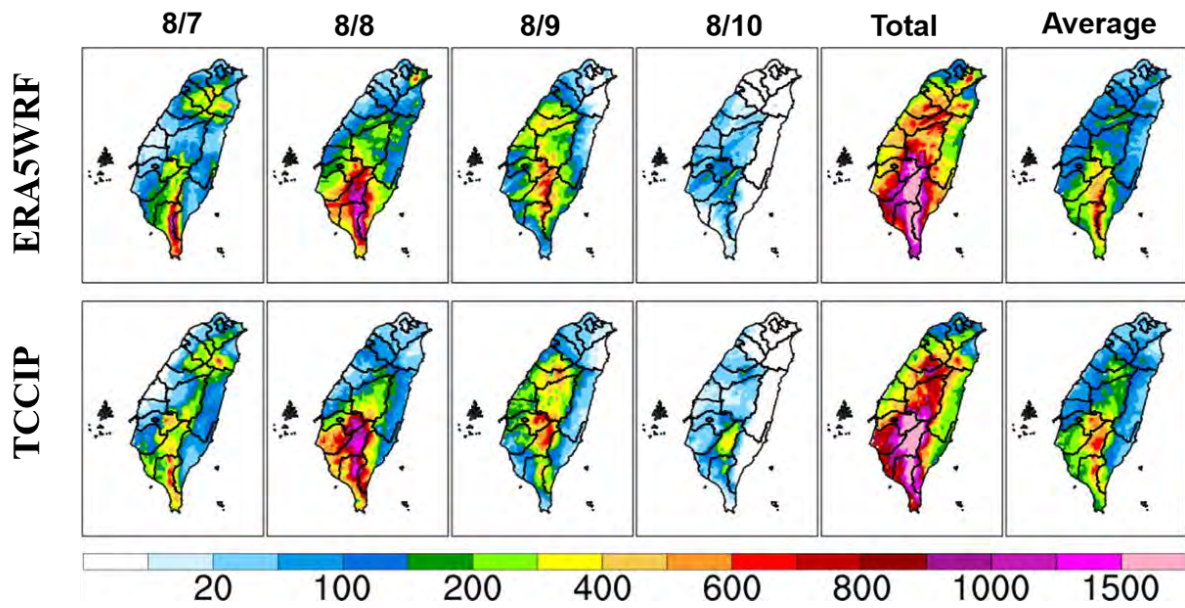
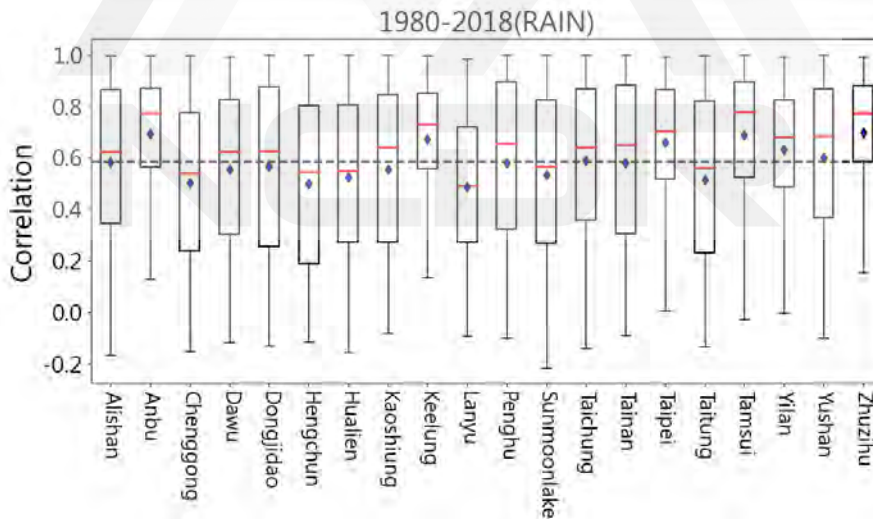


圖 4.2、2009 年莫拉克颱風降水空間分布(單位為 mm)

降雨相關係數無顯著地區性差異(圖 4.3)，平均約為 0.59。以四季分別檢視，冬季為 0.62，春季為 0.57，夏季為 0.57，秋季為 0.59。除冬季相關係數較高以外，其餘三季無顯著差異(圖 4.4)。



(註：續下頁)

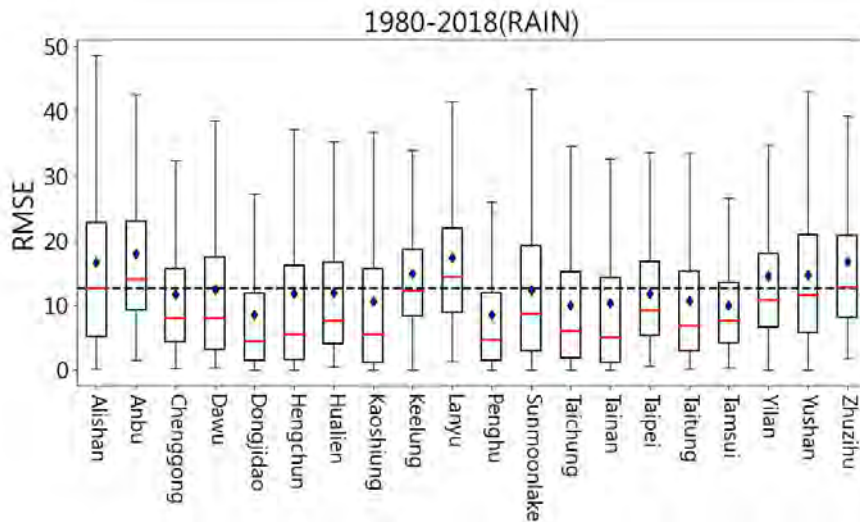


圖 4.3、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平均值，上圖為各測站降雨相關係數，下圖為方均根誤差(單位為 mm)

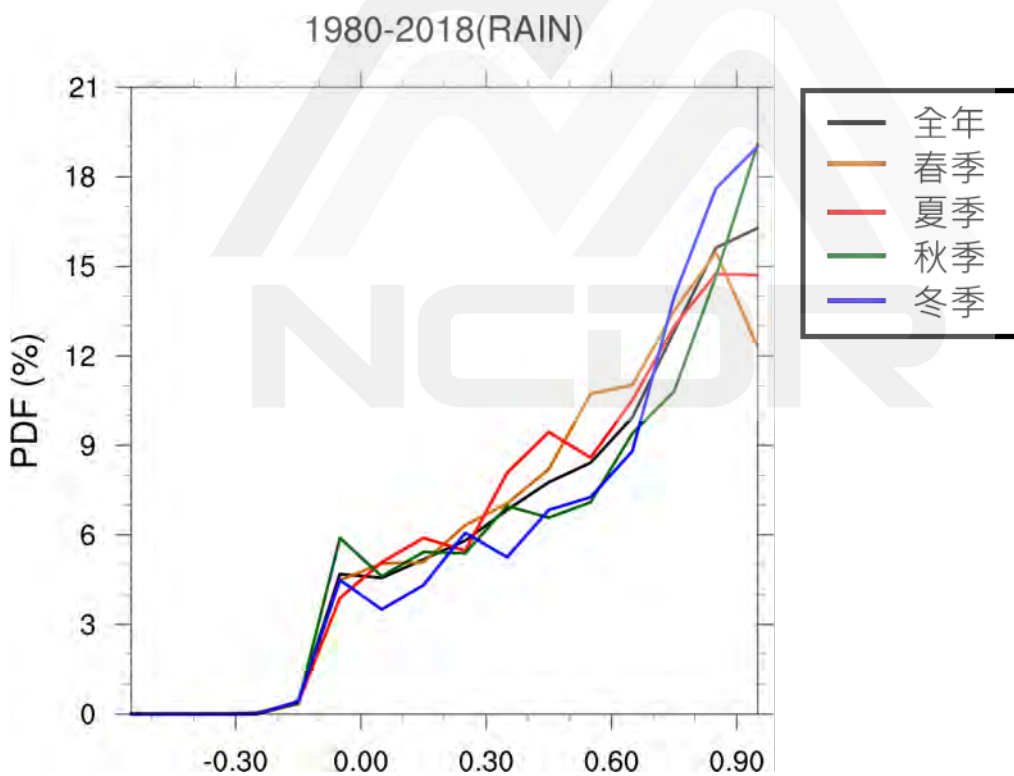


圖 4.4、降雨四季相關係數 PDF

檢視 1980 年至 2018 年的降雨距平(圖 4.5)比較降雨年際變化，ERA5WRF 於前 10 年降雨較少，且距平最大值及最小值發生時間和測站不盡相同。由於比較時選擇距離測站最接近的網格點進行比較，但是模式中發生強降雨或乾旱的

區域可能和實際上會有些許偏移，因此於降雨強度上會產生些許誤差，不過兩者的降雨距平變化趨勢仍大致相似，顯示模式能夠大致掌握降雨的年際變化。

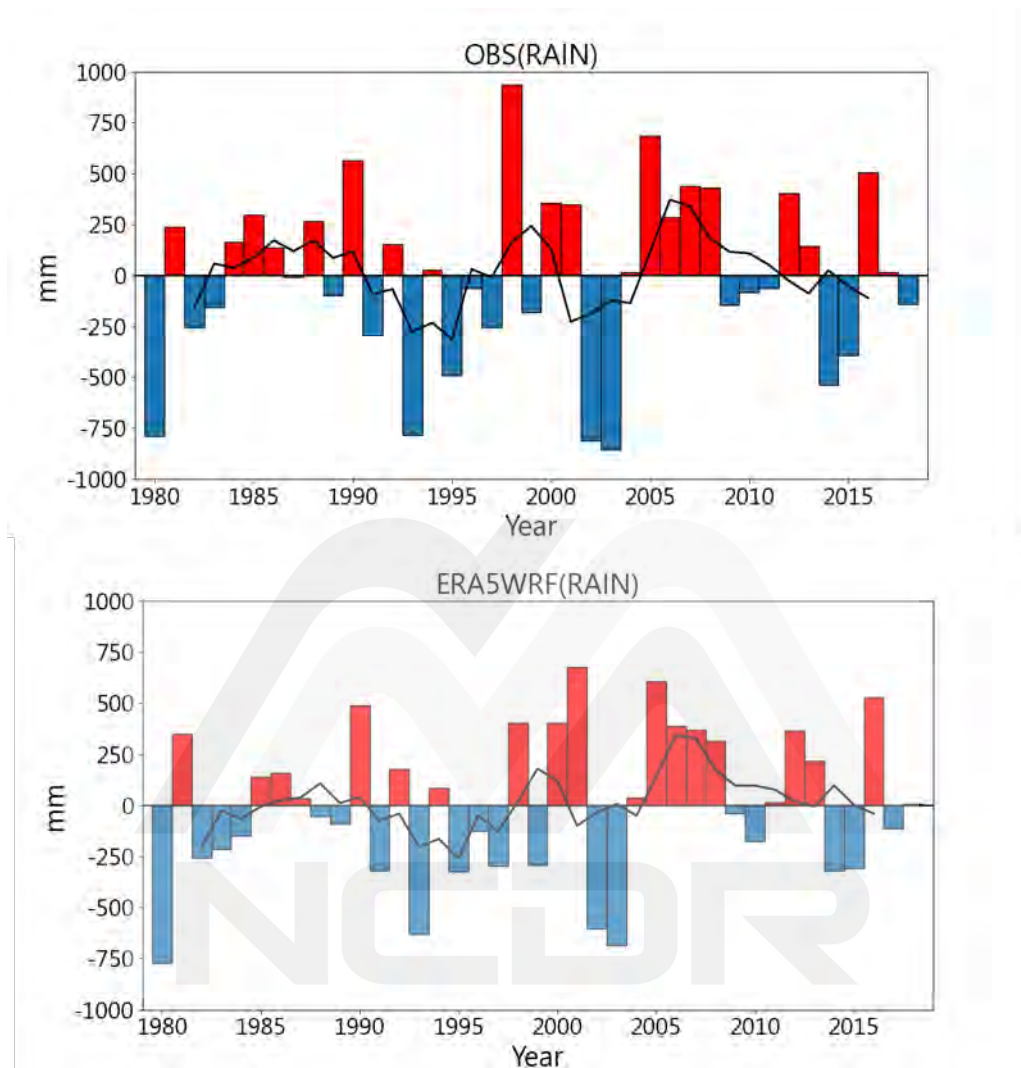


圖 4.5、上圖為測站資料 1980 年至 2018 年降雨距平，下圖則為 ERA5WRF，黑色實線為 5 年滑動平均

3.3 氣壓

氣壓受地形高度及天氣系統影響顯著，例如颱風經過時會對該區域的氣壓造成顯著的降低。臺灣地形複雜且位於颱風熱區，因此氣壓會有較顯著的地區性差異及極端天氣事件造成的影響。氣壓相關係數於模式中表現相當良好，平均為 0.99(圖 5.1)，呈現極高的相關性。山區測站相對較低，但仍然高達 0.97 以上，例如玉山、阿里山以及日月潭。由於模式網格高度和測站真實高度有誤差，因此即使進行高度修正後，高度誤差較大的地區其氣壓方均根誤差也較大(圖 5.2)。

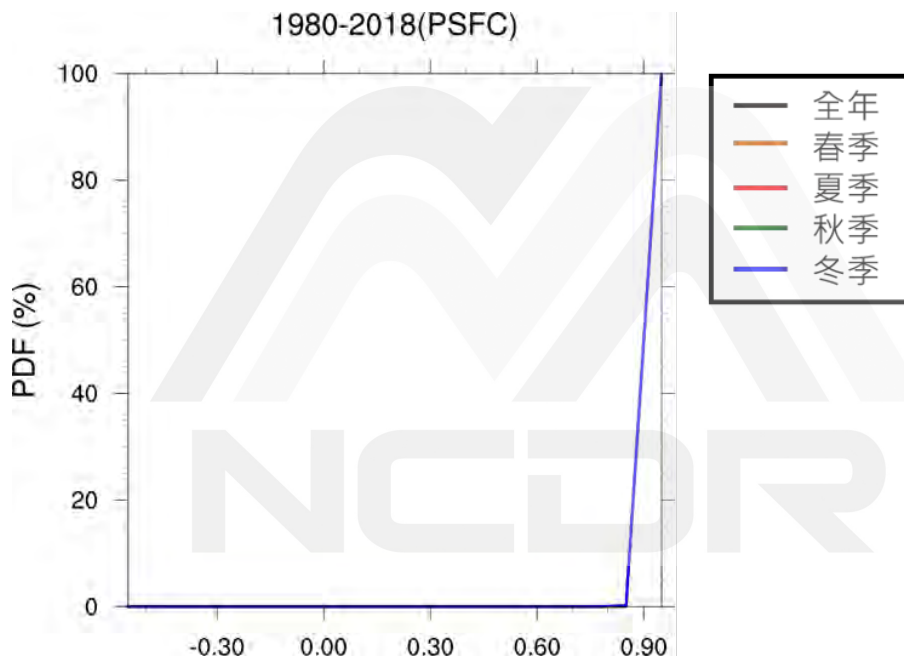


圖 5.1、氣壓四季相關係數 PDF

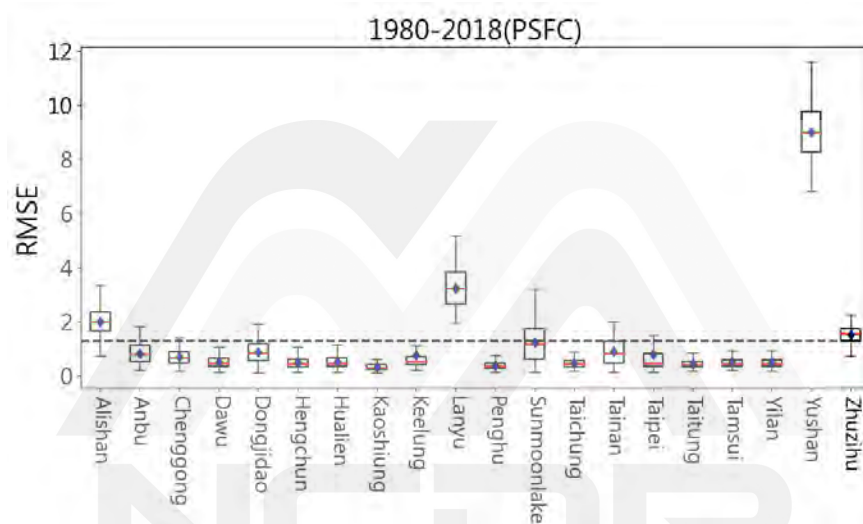
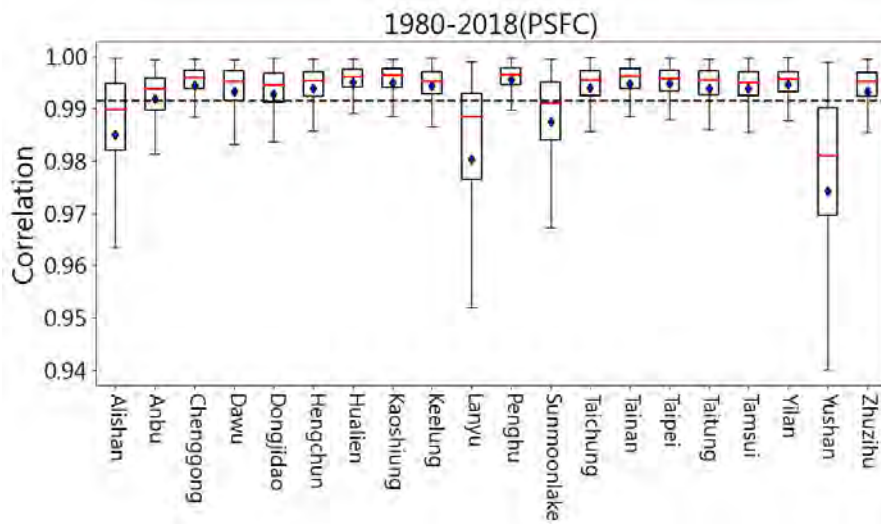


圖 5.2、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平均值，上圖為 ERA5WRF 和測站資料的氣壓相關係數，下圖為方均根誤差(單位為 hpa)

挑選 2001 年 9 月並選擇臺北、臺中、大武和玉山測站為範例(圖 5.3)。其中 9 月 16 日至 19 日為納莉颱風侵臺期間，而 9 月 26 日至 28 日則為利奇馬颱風侵臺期間，因此這兩段期間的氣壓有顯著的降低。四個測站的變化趨勢和測站皆相當一致，但是颱風侵臺期間的偏差有較大的情形，造成的原因可能是由於模式中颱風強度以及路徑和現實中有誤差，導致在颱風事件中有較大的偏差。而玉山為山區測站，網格高度和測站真實高度有較大的系統性誤差，因此在一般情況下仍然有較大的偏差。

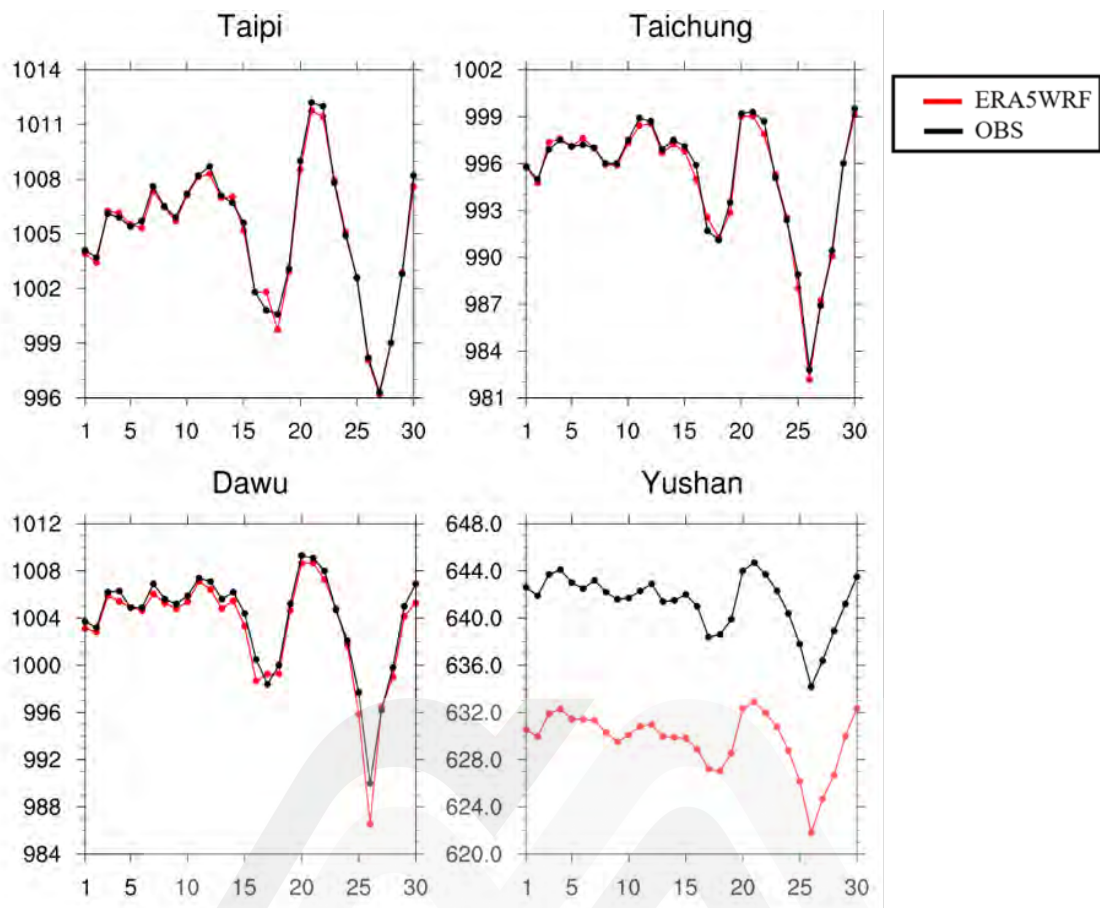


圖 5.3、2001 年 9 月臺北、臺中、大武及玉山氣壓時序列

3.4 輻射

輻射受雲量影響顯著，其中雲量又受到模式中極端天氣事件及天氣系統影響。使用 ERA5、衛星反演輻射資料以及測站資料比對，比較中使用日累積輻射 (w/m^2)，選擇 2016 的 1、4、7 以及 10 月代表四季，挑選臺北、臺中、大武及高雄為例，ERA5WRF 在一般情況下大多為高估，但是在極端天氣事件中會和測站資料較接近，例如 2016 年 7 月 7 日至 9 日為尼伯特颱風侵臺期間，由於模式能夠模擬出颱風事件，因此這段時間 ERA5WRF 和測站資料的誤差較小。除了時序列以外，再將 ERA5WRF 和衛星反演資料以及 ERA5 比對三者的空間分布，空間分布使用 2011 年至 2018 年的 1、4、7 以及 10 月的各月平均進行比較，從空間分布也可以明顯看出 ERA5WRF 有較高估的情形，不過由於解析度較高，

因此可以模擬出較細緻的地形分布，其空間分布和衛星反演資料較相似（圖 6.1），例如於花東縱谷可明顯看出其地形上的分布，而 ERA5 雖然高估情形較少，但是由於解析度較粗，因此無法模擬出地形上的分布，其空間分布和衛星反演資料差異較大。未來可以利用衛星反演輻射資料來進行偏差修正，藉此改善 ERA5WRF 高估較多的情形。

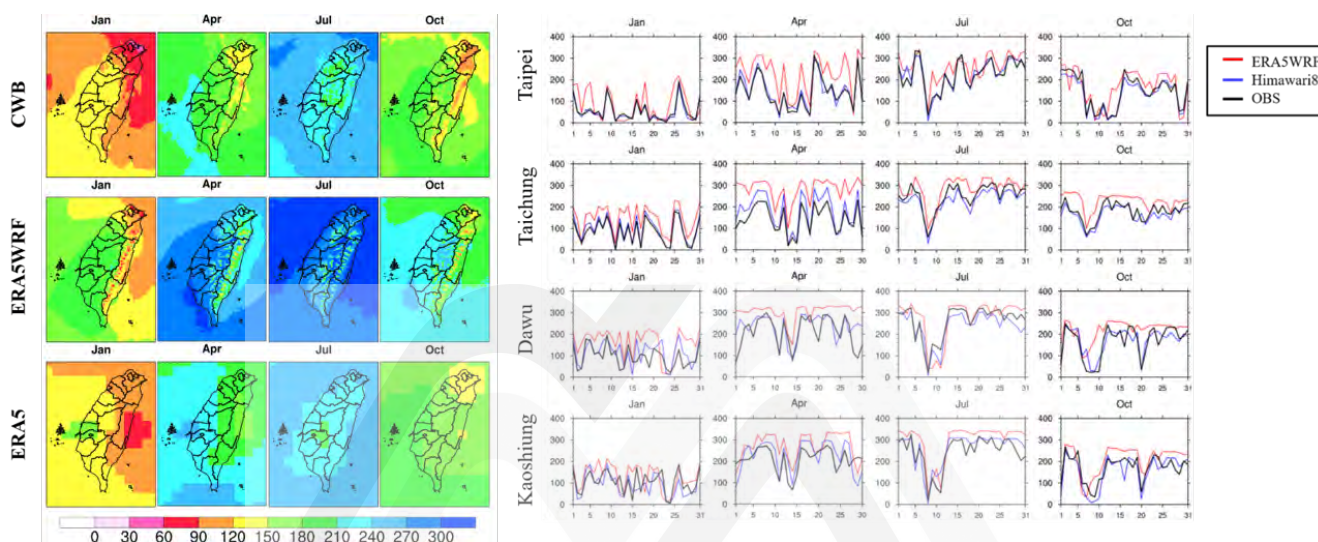


圖 6.1、左圖為 2011 年至 2018 年 1、4、7 以及 10 月平均日累積輻射之空間分布圖(單位為 W/m^2)，右圖為 2016 年臺北、臺中、大武以及高雄的 1、4、7 以及 10 月輻射平均值(單位為 W/m^2)

將相關係數分成四季檢視其表現，整體相關係數為 0.70，冬季為 0.70，春季為 0.71，夏季為 0.70，秋季為 0.68，輻射的相關係數在四季上並無顯著差異(圖 6.2)。由於輻射偏差值較大，將各個測站的方均根誤差比較之下，ERA5WRF 於大多數測站皆呈現較明顯的高估，而相關係數則無顯著地區性差異(圖 6.3)。

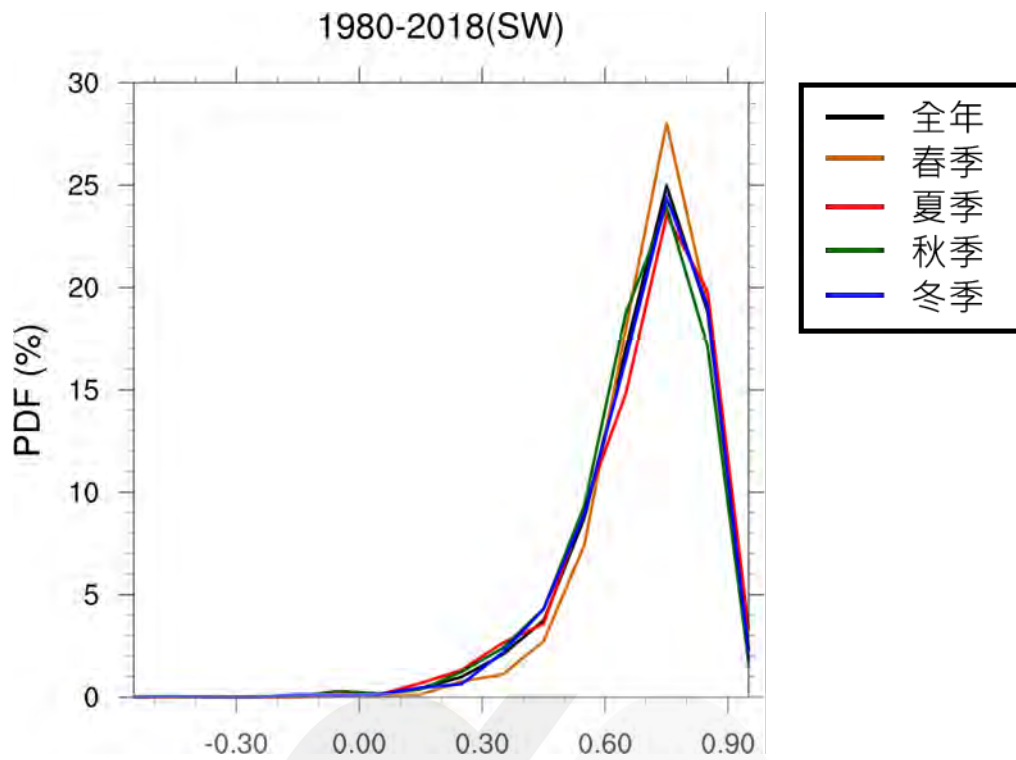
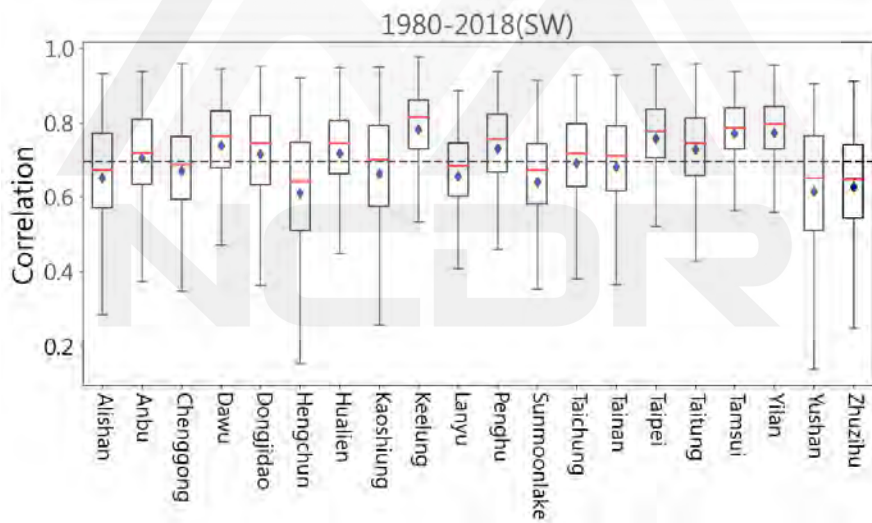


圖 6.2、輻射四季相關係數 PDF



(註：續下頁)

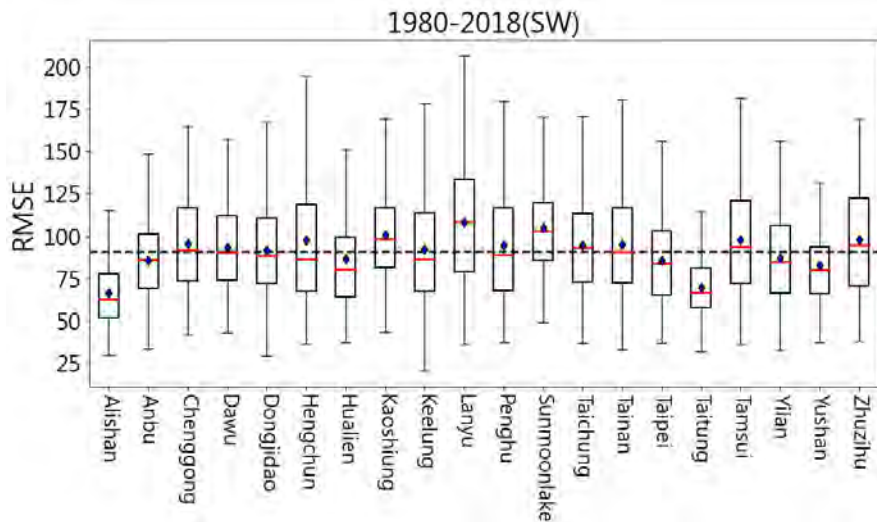


圖 6.3、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平均值，上圖為 ERA5WRF 和各測站資料的相關係數，下圖為方均根誤差(單位為 W/m^2)

3.5 風場

風速在模式中受到地表參數、海陸分布以及天氣系統影響顯著，由於風速缺乏網格化測站資料，因此使用 ERA5 以及測站資料做比對。ERA5WRF 和 ERA5 兩者和測站資料的相關係數差異並不大，兩者主要的差異在方均根誤差。由於 ERA5 解析度較粗，因此兩者在海陸分布上也有明顯的不同。海陸分布由於粗糙長度不同而對風速造成顯著的影響，由於 ERA5 在沿岸地區有較多網格為海洋，而海陸交界部分網格為陸地，相較之下 ERA5 的風速於沿岸地區有高估的情形，而海陸交界則有部分低估(圖 7.1)。

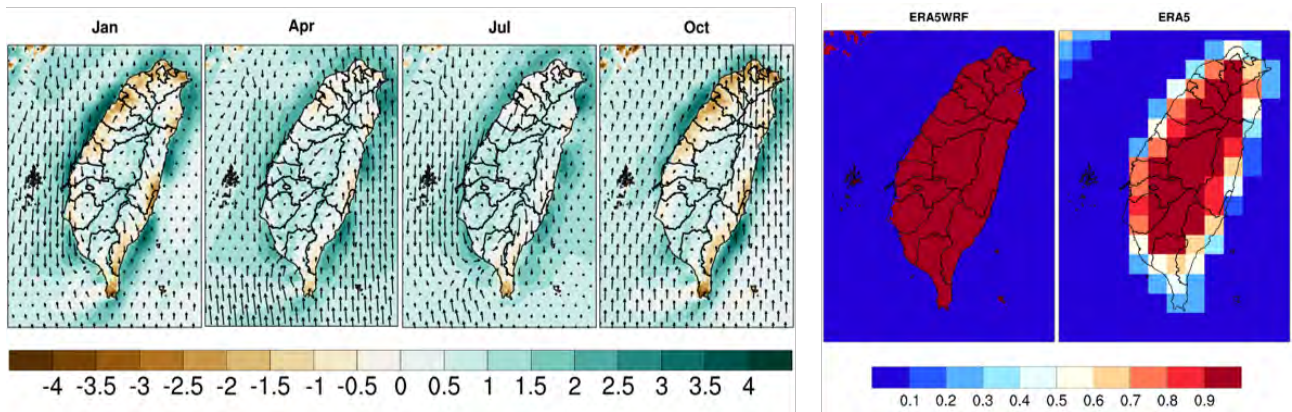


圖 7.1、左圖為 1980-2018 年 1、4、7、10 月 ERA5WRF 減去 ERA5 資料的平均風場差值(單位為 m/s)，右圖為 ERA5WRF 和 ERA5 資料的海陸分布，顏色代表該網格陸地所占比例

將相關係數分成四季檢視，冬季為 0.69，春季為 0.68，夏季為 0.70，秋季為 0.71，全年平均則為 0.69，在四季上並無顯著差異(圖 7.2)。臺灣地形複雜，而風速受地形影響顯著，因此在地區上有顯著的差異。山區測站相關係數較低，和其他測站相比有較顯著的差異，例如阿里山、日月潭以及玉山。方均根誤差則是離島測站和山區測站較大，其餘平地測站方均根誤差大多皆在平均值以下(圖 7.3)。

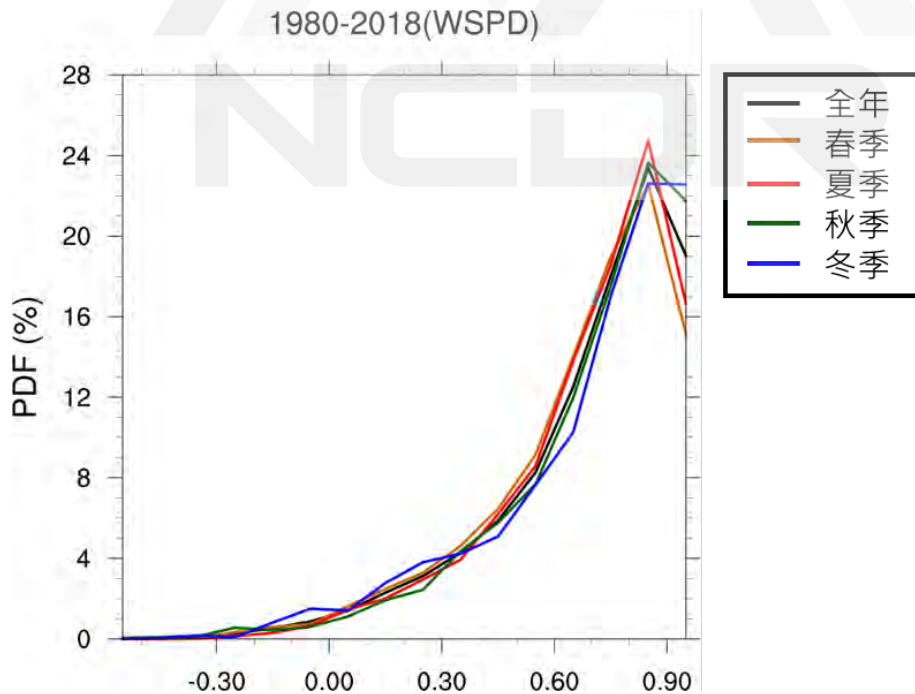


圖 7.2、風速四季相關係數 PDF

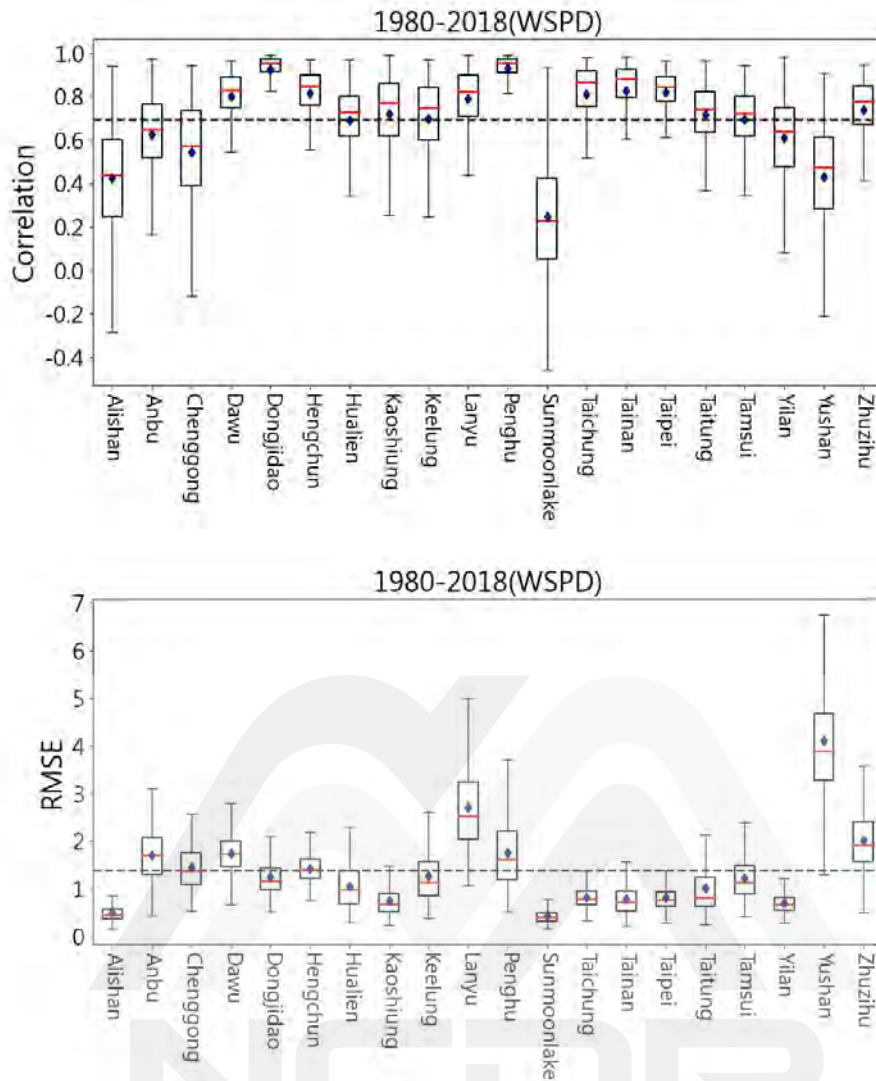


圖 7.3、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平均值，上圖為為 ERA5WRF 和各測站風速相關係數，下圖為方均根誤差

選取 2016 年的 1、4、7、10 月，這四個月分作為四季代表，並挑選臺北、臺中、大武及高雄為示範。由時序圖比較三者的時序變化(7.4)，在大多數狀況下，ERA5 資料有較高估的情形。ERA5WRF 則接近測站資料，且趨勢也較符合。由於大武及高雄測站位置較接近海邊，兩者之間海陸分布的差異便產生顯著的影響，使得 ERA5 資料在沿岸地區有更明顯的高估。其中 7 月 7 日至 9 日為尼伯特颱風侵臺期間，在此期間 ERA5WRF 和測站的偏差較大，導致的原因可能和模式中的颱風強度及路徑和現實有誤差有關。

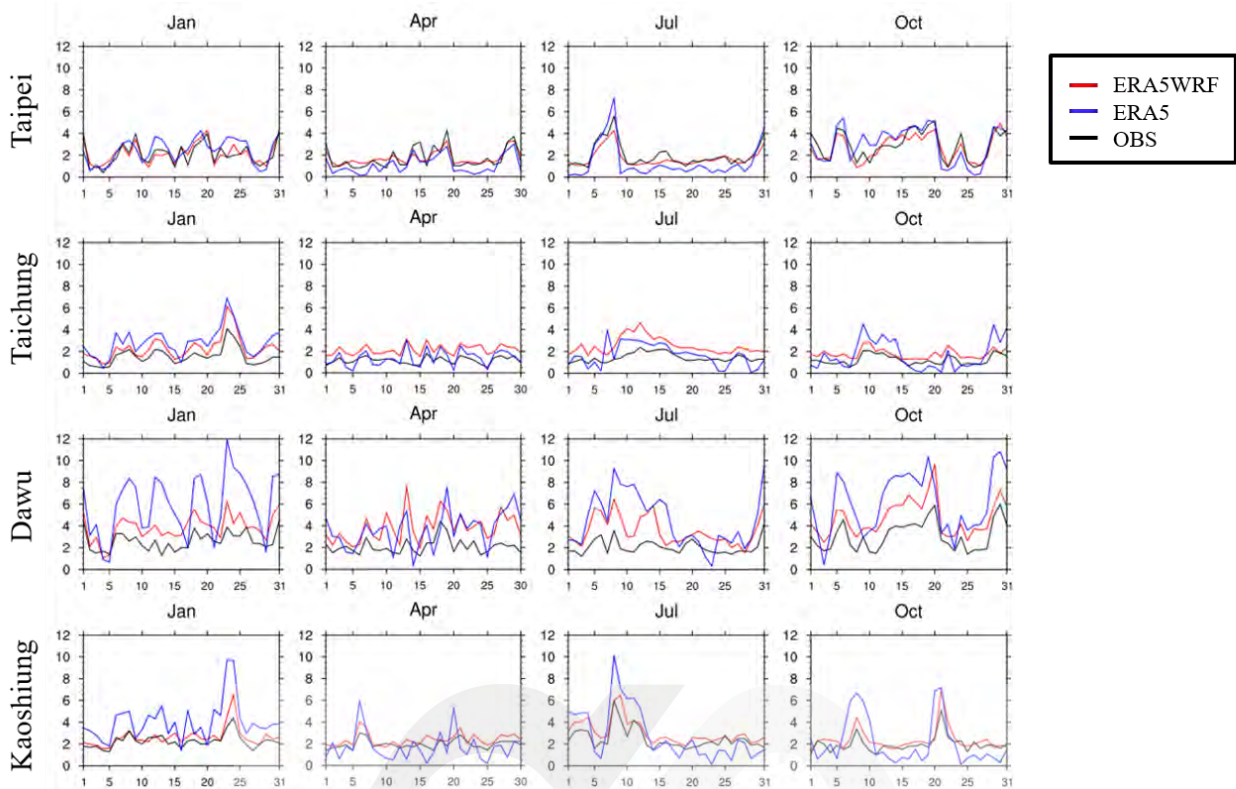


圖 7.4、2016 年 1、4、7、10 月風速時序列

3.6 相對濕度

相對濕度受到溫度及天氣系統影響顯著，由於相對濕度缺乏網格化測站資料，因此比較時 ERA5WRF 僅和測站資料做比對。將相關係數分成四季檢視其表現，整體相關係數為 0.73，冬季為 0.79，春季為 0.75，夏季為 0.62，秋季為 0.76。由於夏季溫度相關係數較低，且相對濕度受溫度影響顯著，因此導致相對濕度於夏季時相關係數較低(圖 8.1)。各測站之間除了台中及玉山測站以外，其餘相關係數差異不大，大多皆在平均值左右(圖 8.2)，而方均根誤差較大的測站大多其溫度方均根誤差也較大，例如花蓮、日月潭、臺中、臺北及玉山。顯示相對濕度在模式各表現中受溫度影響相當顯著。

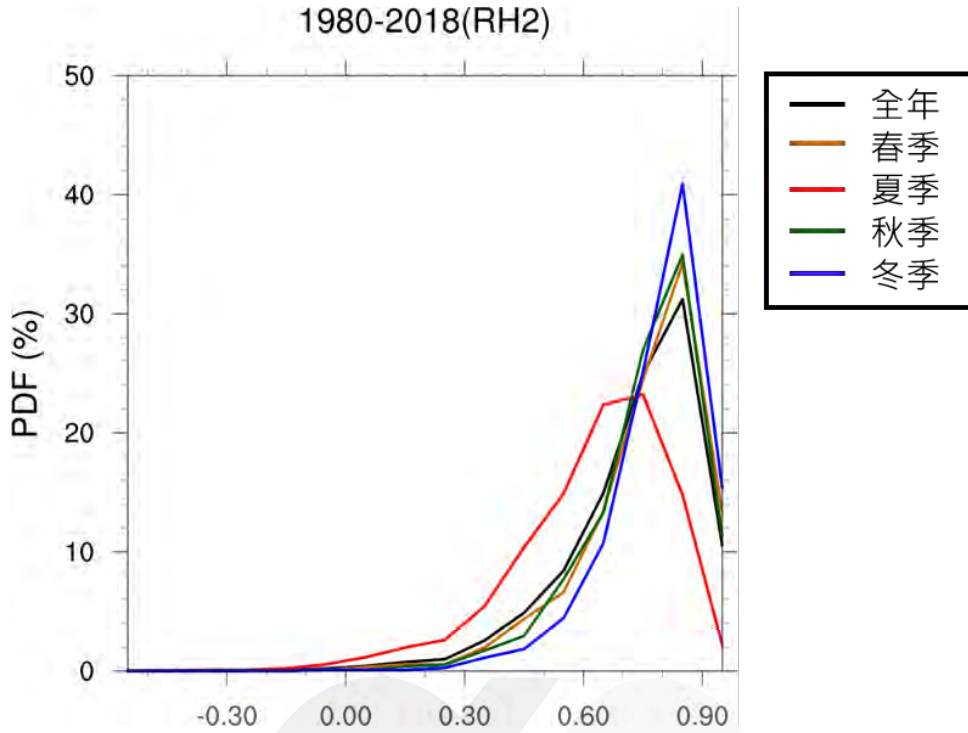
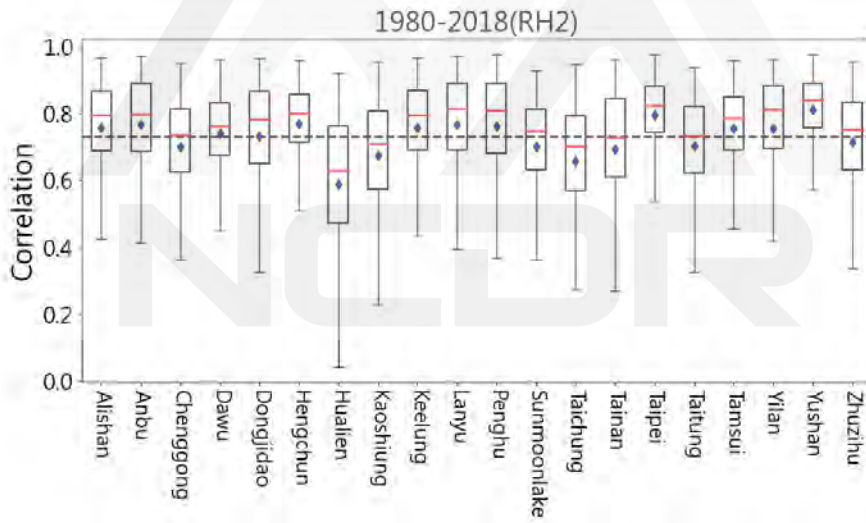


圖 8.1、相對濕度四季相關係數 PDF



(註：續下頁)

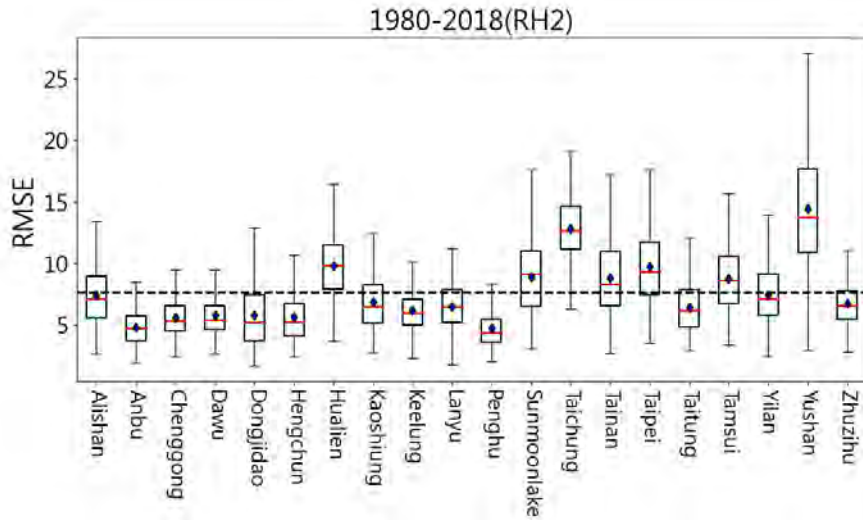


圖 8.2、黑線由下到上分別為最小值、二十五百分位、七十五百分位以及最大值，藍點為平均值，紅線為中位數，黑色虛線為整體平均值，上圖為為 ERA5WRF 和各測站相對濕度相關係數，下圖為方均根誤差

同樣選取 2016 年的 1、4、7、10 月，這四個月分作為四季代表，並選取臺北、臺中、大武及高雄為示範。由時序列變化可以看出 ERA5WRF 和測站資料雖然仍存在些許誤差，尤其是在臺北及臺中等溫度偏差較大的測站，但是兩者變化趨勢大致相似(圖 8.3)。

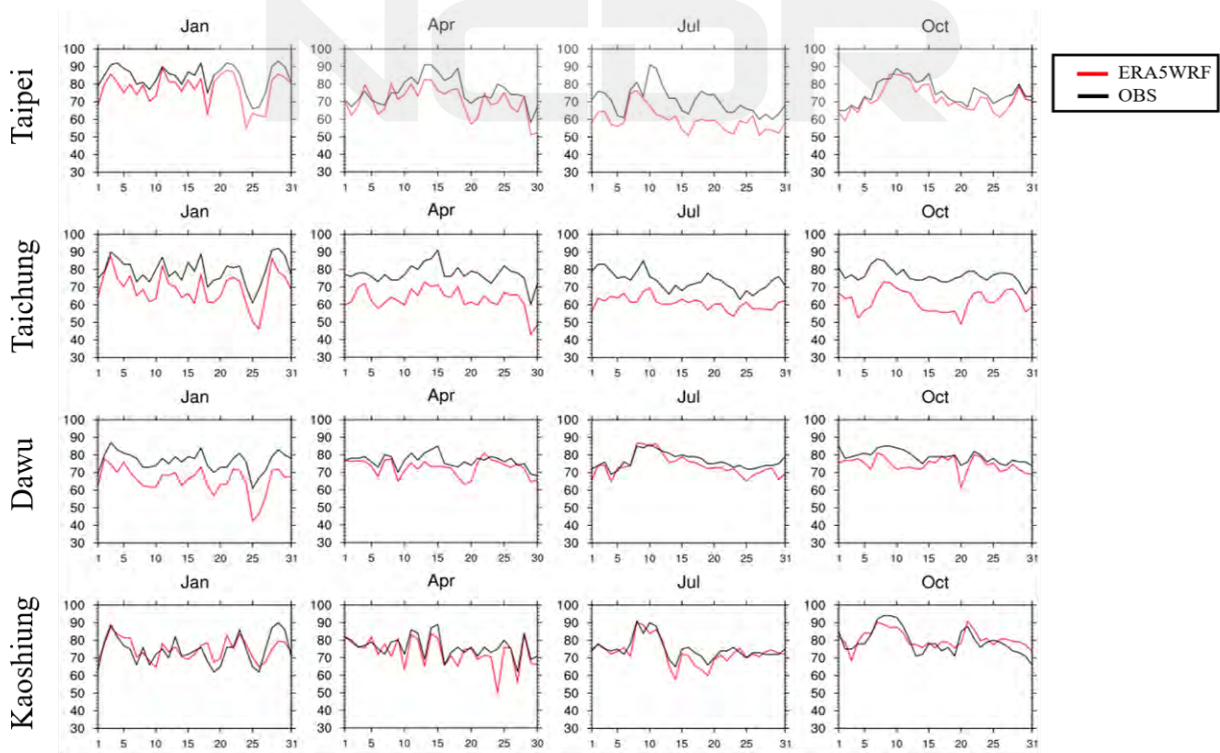


圖 8.3、2016 年 1、4、7、10 月相對濕度時序列

4. 總結

研究中使用 ERA5 再分析資料進行動力降尺度至 2 公里網格，產製一組 40 年高解析度臺灣歷史氣候資料。此資料目的在於彌補測站分布不均及缺資料的問題，和提供使用者更多樣化的變數，例如輻射、風速以及相對濕度等等...資料在各變數的表現上雖然仍存在些許誤差，但是部分變數和測站資料的誤差不大，且變化趨勢大多和測站資料相似，也能重現極端天氣事件。

在眾多變數中，表現較佳的為溫度和氣壓，而降雨及輻射則相對落後其他變數。各變數在季節上的表現無顯著差異，唯獨溫度及相對濕度的相關係數於夏季表現較不佳，造成的原因可能是模式在夏季小尺度對流系統的模擬強度和實際有務所導致，而相對濕度又受到溫度的影響，因此兩者同樣在夏季時相關係數較低。溫度於山區有較顯著的低估，都市密集區則有高估的情形，其年際變化趨勢和測站相當一致，皆呈現逐漸升溫的趨勢，距平極值也在同一年份發生，顯示模式對於溫度的年際變化掌握良好，由於相對濕度受溫度影響顯著，因此相對濕度的年際變化也表現良好。氣壓為眾變數中表現最好的，不論是相關係數亦或是方均根誤差皆表現相當良好，相關係數平均高達 0.99，且在颱風事件也能良好的反映其影響，只有在網格高度和測站高度相差較大的測站會有較大的誤差，但仍然呈現高度相關。

降雨雖然整體相關係數沒有其他變數來的高，但是其空間分布不論是全年亦或者是四季皆和 TCCIP 觀測網格資料相似。差異百分比較大的地方大多位於中央山脈東側及高屏山區，不過由於該區域較缺乏測站，因此難以評估是否為模式高估或者是缺乏測站資料所導致，未來或許可經由遙測降水產品來檢驗該區域的降雨。雖然颱風個案中的降雨分布和 TCCIP 觀測網格資料大致相似，但並非全部極端天氣事件都能夠精準呈現。例如午後熱對流豪雨事件以 2 公里解析

度的標準，仍然難以精確的模擬出，並且梅雨事件表現普遍誤差較大，以及少數颱風個案因為模擬的路徑或強度不同，導致降雨區域在空間上有些微的偏移。降雨在年際變化的比較上，由於選擇距離測站最接近的網格點進行比較，而模式中降雨區域可能和實際上會有些許偏移，因此降雨強度會產生誤差，但變化趨勢仍然和測站資料相當一致。輻射於模式中普遍呈現較高估的情形，可能是由於模式中的雲量較少所導致，但是在極端天氣事件時依然能夠呈現其變化，相較於 ERA5，ERA5WRF 的空間分布和衛星反演資料更加相似，由於解析度較高，因此能夠解析出山區等較細緻的地形，呈現輻射在地形上的差異，未來可以透過和衛星反演資料偏差修正來改善誤差。

臺灣地形複雜，而風速受地形影響相當顯著，因此在各測站的表現相當不一。相關係數於山區測站表現較不佳，而平地測站表現相對較好，方均根誤差方面則是離島及山區測站較大，平地測站則大多小於平均值。將 ERA5WRF 和 ERA5 比較兩者空間分布的差異，由於 ERA5 解析度較粗，因此兩者的海陸分布於沿岸地區相差甚大，海陸的粗糙長度不同，對於風速有顯著的影響，因此 ERA5 在沿岸風速有顯著地高估。

各變數的表現利用泰勒圖展示(圖 9)，縱軸為標準化過後的標準差，圓弧則是相關係數。距離 REF 越接近的點代表表現和測站資料越相近。ERA5WRF 中各變數和測站資料的相似程度為氣壓、溫度、相對濕度、風速，降雨和輻射兩者表現則差不多。各變數在數值上無可避免地存在些許誤差，但是其變化趨勢和測站資料大致相似，也能夠重現極端天氣事件，顯示 ERA5WRF 能夠重現過去的氣候變化趨勢。在資料的使用上，如溫度及降雨等測站資料較充足的變數仍應當以臺灣氣候變遷推估與調適知識資訊平台計畫(TCCIP)中產製之觀測網格資料為主，而其餘變數由於較缺乏充足的觀測資料，由於模式於山區也有模擬值，並

無缺值及分布不均的問題，因此使用 ERA5WRF 可以彌補上述兩項問題。

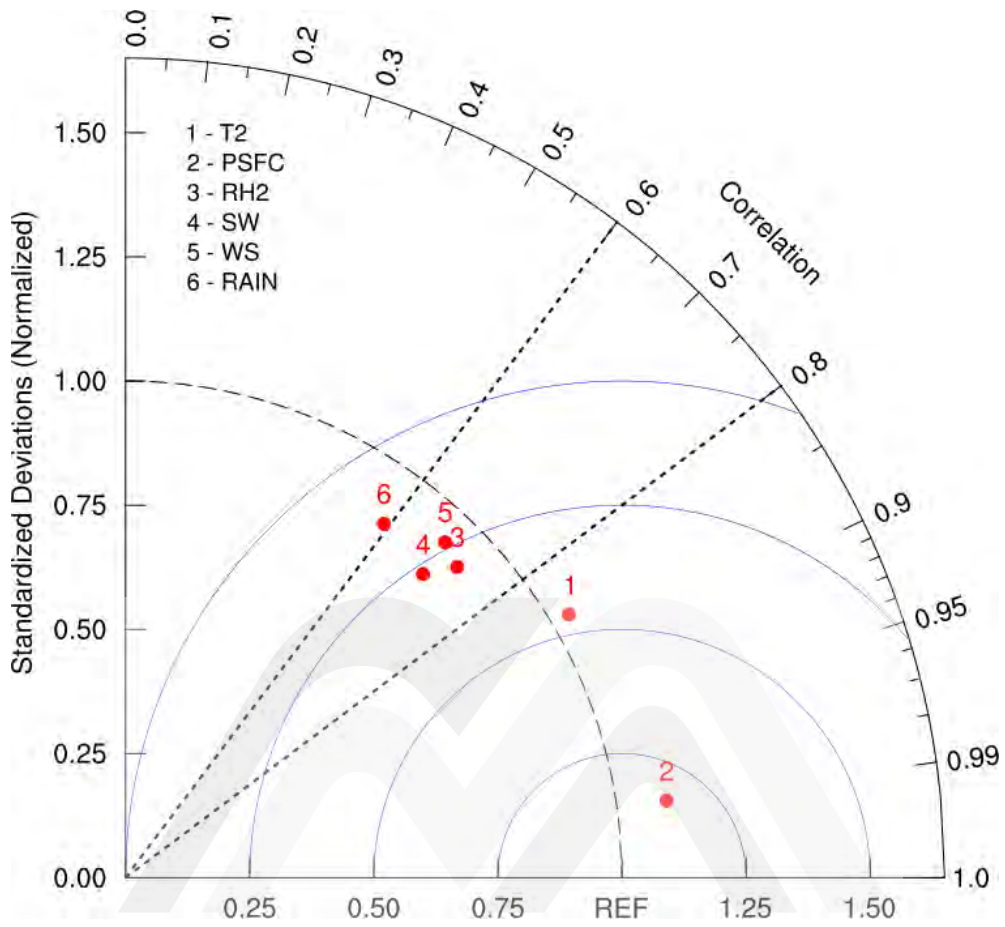


圖 9.1、ERA5WRF 各變數表現泰勒圖

表 4、各測站相關係數平均(四捨五入至小數點第二位)

	溫度	表面氣壓	降雨	風速	輻射	相對濕度
	相關係數					
淡水	0.9	0.99	0.69	0.69	0.77	0.75
鞍部	0.91	0.99	0.69	0.62	0.7	0.77
台北	0.92	0.99	0.66	0.82	0.76	0.79
竹子湖	0.91	0.99	0.7	0.74	0.63	0.72
基隆	0.9	0.99	0.67	0.7	0.78	0.76
花蓮	0.87	1	0.52	0.69	0.72	0.59
宜蘭	0.91	0.99	0.63	0.61	0.77	0.76
東吉島	0.86	0.99	0.57	0.93	0.72	0.73
澎湖	0.86	1	0.58	0.93	0.73	0.76
台南	0.88	0.99	0.58	0.83	0.68	0.69
高雄	0.85	0.99	0.55	0.72	0.66	0.67
台中	0.87	0.99	0.59	0.81	0.69	0.66
阿里山	0.84	0.99	0.58	0.42	0.65	0.76
大武	0.84	0.99	0.56	0.8	0.74	0.74
玉山	0.66	0.97	0.6	0.43	0.62	0.81
恆春	0.84	0.99	0.5	0.81	0.61	0.77
成功	0.86	0.99	0.5	0.54	0.67	0.7
蘭嶼	0.86	0.98	0.49	0.79	0.66	0.77
日月潭	0.87	0.99	0.53	0.25	0.64	0.7
台南	0.87	0.99	0.51	0.72	0.73	0.7

表 5、各測站方均根誤差平均(四捨五入至小數點第二位)

	溫度	表面氣壓	降雨	風速	輻射	相對濕度
	方均根誤差					
(單位)	°C	hpa	mm	m/s	W/m ²	%
淡水	1.15	0.51	10.07	1.23	97.97	8.77
鞍部	0.75	0.9	18.03	1.72	85.61	4.81
台北	1.19	0.79	11.8	0.83	85.56	9.71
竹子湖	0.82	1.26	16.77	2.03	97.89	6.75
基隆	1	0.74	14.88	1.27	92.36	6.15
花蓮	0.97	0.52	11.96	1.05	86.54	9.78
宜蘭	0.82	0.5	14.63	0.71	87.34	7.49
東吉島	0.68	0.82	8.48	1.25	91.61	5.8
澎湖	0.68	0.4	8.48	1.76	94.42	4.78
台南	0.83	0.94	10.36	0.79	95.01	8.82
高雄	0.78	0.33	10.6	0.76	100.76	6.88
台中	1.43	0.45	10.01	0.83	94.68	12.85
阿里山	1.41	2.43	16.67	0.5	66.36	7.41
大武	0.95	0.53	12.52	1.75	93.29	5.79
玉山	2.34	10.03	14.73	4.11	82.79	14.48
恆春	1.15	0.48	11.8	1.43	97.62	5.65
成功	0.86	0.71	11.71	1.45	95.75	5.56
蘭嶼	0.65	2.87	17.41	2.71	108.05	6.48
日月潭	1.48	0.84	12.38	0.44	105.08	8.9
台南	0.82	0.46	10.69	1.02	69.79	6.45

誌謝

本研究成果為科技部「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫(MOST 108-2621-M-865-001)的部分工作，感謝科技部計畫提供必要的資源支持。此外也感謝氣象局資訊中心提供氣象局區域預報模式設定及提供資料初始化中新舊模擬間的混合技術。



參考文獻

- Chen, T. C., S. Y. Wang, and M. C. Yen, 2007: Enhancement of afternoon thunderstorm activity by urbanization in a valley: Taipei. *J. Appl. Meteor.*, 46, 1324–1340, doi:10.1175/JAM2526
- Cheng, F.-Y., Y.-C. Hsu, P.-L. Lin, and T.-H. Lin, 2013: Investigation of the Effects of Different Land Use and Land Cover Patterns on Mesoscale Meteorological Simulations in the Taiwan Area. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, 570–587.
- Chen, Y. Y., Wei Huang, Wei-Hong Wang, Jehn-Yih Juang, Jing-Shan Hong, Tomomichi Kato, and Sebastiaan Luysaert, 2019. Reconstructing Taiwan's land cover changes between 1904 and 2015 from historical maps and satellite images. *Scientific reports*, 9(1):3643, 2019.
- Dudia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077-3107.
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. 2009, updated monthly. ERA-Interim Project. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. <https://doi.org/10.5065/D6CR5RD9>.
- Ebita, A., and co-authors, 2011: The Japanese 55-year reanalysis “JRA-55”: An interim report. *SOLA*, 7, 149-152, doi:10.2151/sola.2011-038.
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. 2017, updated monthly. ERA5 Reanalysis. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. <https://doi.org/10.5065/D6X34W69>
- Hong, S.-Y., and H. L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2322 – 2339.
- Hersbach, H., and D. Dee, 2016: ERA5 reanalysis is in production. ECMWF Newsletter, No.147, ECMWF, Reading, United Kingdom, <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production>. Google Scholar

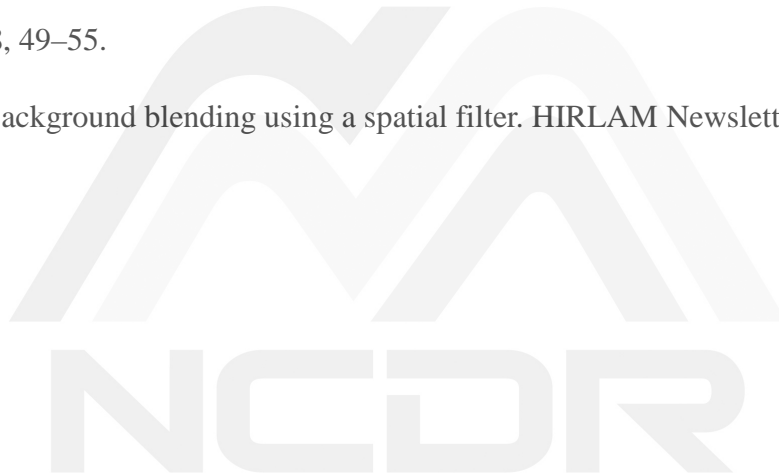
- Kain, J. S., and J.M. Fritsch, 1990: A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*, 47,2784-2802.
- Kanamaru, H., and M. Kanamitsu, 2007: Fifty-seven-year California reanalysis downscaling at 10 km (CaRD10). Part II: Comparison with North American regional reanalysis. *J. Clim.*, 20, 5572–5592
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *J. Met. Soc. Jap.*, 93 (1) , 5-48 (DOI: 10.2151/jmsj.2015-001) .
- Kayaba, N., T. Yamada, S. Hayashi, K. Onogi, S. Kobayashi, K. Yoshimoto, K. Kamiguchi, and K. Yamashita, 2016: Dynamical Regional Downscaling Using the JRA-55 Reanalysis (DSJRA-55) . *SOLA*, 12, 1-5.
- Lynch, P. and X.-Y. Huang, 1992: Initialization of the HIRLAM model using a Digital Filter. *Mon. Wea. Rev.* 120, 1019-1034.
- Lin, C.-Y., F. Chen, J. C. Huang, W.-C. Chen, Y. A. Liou, W. N. Chen, and S. C. Liu, 2008: Urban heat island effect and its impact on boundary layer development and land–sea circulation over northern Taiwan. *Atmos. Environ.*, 42, 5635–5649.
- Lim, K.-S. S., and S. Y. Hong, 2010: Development of an effective double-moment cloud microphysics scheme with prognostic cloud condensation nuclei (CCN) for weather and climate models. *Mon. Wea. Rev.*, 138, 1587–1612.
- Monin, A.S. and Obukhov, A.M. (1954) Basic Laws of Turbulent Mixing in the Surface Layer of the Atmosphere. *Contrib. Geophys. Inst. Acad. Sci. USSR*,24, 163-187.
- Mlawer, E.J., S.J. Taubman, P.D. Brown, M.J. Iacono, and S.A. Clough, 1996: Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave, *J.*

Geophys. Res.,submittd.

Saha S, Moorthi S, Pan H-L, Wu X, Wang J, Nadiga S, Tripp P, Kistler R, WoollenJ, BehringerD, LiuH,StokesD, GrumbineR, GaynoG, HouY-T ,ChuangH-Y, JuangH-MH,SelaJ, IredellM, TreadonR,Kleist D, van Delst P, Keyser D, Derber J, Ek M, Meng J, Wei H, Yang R, Lord S, van den Dool H, Kumar A, Wang W, Long C, Chelliah M,XueY,HuangB,SchemmJ-K,EbisuzakiW,LinR,XieP,ChenM,Zhou S, Higgins W, Zou C-Z, Liu Q, Chen Y, Han Y, Cucurull L,Reynolds RW, Rutledge G, Goldberg M. 2010. The NCEP ClimateForecast System Reanalysis. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 91: 1015–1057

Yang, X., 2005a: Analysis blending using a spatial filter in grid-point model coupling. HIRLAM Newsletter, 48, 49–55.

Yang, X., 2005b: Background blending using a spatial filter. HIRLAM Newsletter, 49, 3–11.



40 年高解析度臺灣歷史氣候資料

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 109 年 12 月

出版年月：中華民國 110 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>