

臺灣地區重分析資料動力降尺度模擬測試  
Test the Dynamical Downscaling of Taiwan Reanalysis

---



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center  
for Disaster Reduction



NCDR 107-T03

臺灣地區重分析資料動力降尺度模擬測試  
Test the Dynamical Downscaling of Taiwan Reanalysis

---

楊智閔、鄭兆尊



國家災害防救科技中心  
中華民國 108 年 01 月



## 中文摘要

本中心執行氣候變遷計畫提供網格化長期氣候觀測與推估資料的服務已有多年，考慮到測站空間分布密度不足，過去只能提供溫度與降雨網格觀測資料。隨著資料使用者的領域逐漸拓展，各類網格化資料需求也隨之增加，本研究採用氣象上使用重分析(Reanalysis)資料代表網格觀測資料的相同方法，使用區域模式進行動力降尺度來產製高時空解析度網格資料以滿足使用者對網格資料的需求。

本研究中以歐洲中期天氣預報中心所提供的ERA-interim 2016年的重分析資料為主要測試對象，藉由測試過程中的修正找出較為可行的設定，以做為執行過去40年(1980-2019)重分資料動力降尺度的基礎。測試內容包括檢視重啟動模擬策略的模擬表現、颱風渦漩植入測試以及模式起轉時間長短對土壤與地表模擬的影響測試。

關鍵字：氣候重分析、動力降尺度

## ABSTRACT

Due to the mission of Taiwan Climate Change and Information Platform project, NCDR has been provided long term gridded climate data, either observation or projection data, for years. However, considering the density of observation network, only gridded precipitation and temperature observation data were provided. To fulfill the increasing demand to other high-resolution gridded variables, dynamical downscaling on reanalysis data over Taiwan area to increase data resolution was tested in this study. The tested reanalysis data is from 2016 ERA-Interim reanalysis of ECMWF, which is usually treated as quality observation data to represent 4-dimension general circulation. Tested works include the setting of re-initialization downscaling strategy, the usage of tropical cyclone bogus scheme, and sensitivity of spin-up time to model performance. The test results can be good bases for the next long-term simulation of past 40 years, 1980-2019. Using high-resolution downscaled reanalysis data can be an alternative to fulfill user's needs for other variables.

**Keywords:** climate reanalysis, dynamical downscaling

# 目錄

1.	前言 .....	1
2.	模式與資料介紹 .....	4
2.1	分析與驅動資料 .....	4
2.2	模式 .....	7
2.2.1	區域模式介紹 .....	7
2.2.2	區域模式中的地形高度與土地利用 .....	8
2.2.3	區域模式中的海平面溫度 .....	10
2.3	模擬設計 .....	12
2.3.1	模擬流程 .....	12
2.3.2	颱風渦旋植入測試 .....	15
2.3.3	土壤起轉時間測試 .....	16
3.	結果 .....	18
3.1	不同季節之模擬表現 .....	18
3.2	颱風渦旋植入測試 .....	24
3.3	土壤起轉時間測試 .....	28
4.	小結與討論 .....	34
	誌謝 .....	36
	參考文獻 .....	37

## 圖目錄

- 圖 2.1. 本研究使用之兩層巢狀網格範圍。 ..... 8
- 圖 2.2. 由左而右分別為第二層網格的 (a) 地形高度與 (b) 最大宗的土地利用分類。 ..... 9
- 圖 2.3. ERA-interim 與 OISST v2 的海溫分佈圖。 ..... 11
- 圖 2.4. 海溫修正前 (a) 與海溫修正後 (b) 之比較。 ..... 12
- 圖 2.5. 模擬流程示意，初次模擬僅使用重分析資料作為初始場 .... 13
- 圖 2.6. 操作颱風渦旋植入於 WRF 模擬之流程示意圖，與一般模擬流程雷同，渦旋植入部分以褐色標示。 ..... 16
- 圖 3.1. 2016 年臺北測站觀測與模擬結果的日平均之比較，由左至右分別為 1 月、4 月、7 月及 10 月，由上到下分別為 (a) - (d) 地面氣壓、(e) - (h) 地表溫度、(i) - (l) 地面風速及 (m) - (p) 地面相對濕度。其中黑色點為觀測，紅色線則為模擬結果。 ..... 19
- 圖 3.2. 地面溫度月平均的日夜變化分佈比較，由左至右分別為 1 月、4 月、7 月及 10 月，由上到下分別為 (a) - (d) 臺北、(e) - (h) 高雄、(i) - (l) 大武及 (m) - (p) 蘇澳。其中黑色點為觀測，紅色線則為模擬結果。分別為 2016 年 (a) 1

月、(b) 4月、(c) 7月及 (d) 10月。其中黑色點為觀測，紅色線則為模擬結果。.....	21
圖 3.3 同圖 3.2，但為模擬結果誤差日夜變化的盒鬚圖。其中黑色點為平均值，其餘則別為四分位數及十分位數。.....	22
圖 3.4. 2016 年 1 月、4 月、7 月及 10 月，相同時間的模擬結果減去觀測值所得全月日均溫的盒鬚圖。其中圓點為平均值，實線為中位數，其餘則別為四分位數及十分位數。.....	23
圖 3.5. 中央氣象局發佈之 2016 年尼伯特颱風颱風路徑圖。.....	24
圖 3.6. 由左而右分別為 ERA-interim、ERA5、NCEP FNL 資料的海平面氣壓值。.....	25
圖 3.7. 於 07 月 06 日 08LST (左上) 植入虛擬渦旋後，不同時間初始場的海平面氣壓。.....	26
圖 3.8. 10m 風速和地面氣壓之觀測與模擬結果比較。黑色點為觀測，藍色線為 ERA-interim 資料不使用渦旋植入的結果，黃色線為 ERA-interim 使用渦旋植入颱風之結果，紅色、綠色線分別為使用 NCEP FNL 與 ERA5 做為初始場的模擬結果。.....	27
圖 3.9. 2016 年 07 月 08 日觀測日雨量與模擬之比較。.....	28
圖 3.10. 不同起轉時間的土壤溫度 (TSLB) 及土壤濕度 (SMOIS) 比較，(a) 為臺北站所在位置，(b) 為土地利用分類為草地的	

網格。選取之模式土壤層為第 1 層之結果，深度為 5cm。紅色 線為沒有 spin up，綠色線 spin up 時間為 15 天，黃色線 spin up 時間為 3 個月，藍色線 spin up 時間為 3 個月。.....	30
圖 3.11. 不同起轉時間的土壤溫度 (TSLB) 及土壤濕度 (SMOIS) 減去各組平均之結果，時間為 2016 年 01 月。.....	30
圖 3.12. 不同起轉時間的 2m 溫度 (T2) 及地表短波輻射 (SW) 減 去各組平均之結果，時間為 2016 年 01 月。.....	32
圖 3.13. 不同起轉時間的土壤溫度 (TSLB) 及土壤濕度 (SMOIS) 比較。選取之模式土壤層為第 3 層之結果，深度為 150cm。 32	
圖 3.14. 不同起轉時間的 2m 溫度 (T2) 比較，灰色線為 2016 年 01 月 01 日 00LST。.....	33

## 表目錄

表 1 本研究使用之中央氣象局局屬測站資料。 .....	6
表 2. 2016 年 01 月、04 月、07 月、10 月選用之 28 個測站的均方根 誤差值。 .....	23





# 1. 前言

本中心執行臺灣氣候變遷推估與調適知識資訊平台計畫多年，提供網格化的長期觀測資料與未來氣候推估資料是計畫的主要服務項目之一。然而過去觀測資料部分僅能提供溫度與降雨網格資料，主要原因是網格化資料的品質與觀測站的數量及其空間分佈的狀況息息相關，而其他變數觀測網的空間密度不足。隨著所提供的資料被廣泛使用，使用者應用資料的領域也逐漸拓展，溫度與降雨之外的資料需求也隨之增加，如何提供其他變數的網格觀測資料來滿足使用者的需求是一項很大的挑戰。

在大氣領域的研究中也常需要觀測的網格資料來探討天氣系統發展的三維空間結構，於是出現了以重分析資料 (Reanalysis) 資料來替代觀測資料的概念。除了翻譯為重分析，Reanalysis 也常被翻譯為再分析。重分析資料的產生與數值天氣預報有很大的關係，因為數值天氣預報的產品正是用來描述四維 (加上時間維度) 的大氣環流狀態。重分析則是運用了資料同化技術，匯入盡可能搜集到可以的觀測資料與數值天氣預報模式的產品結合，得到一組更貼近真實大氣狀況的四維網格資料。

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，但是受限於計算資源的影響，全球大氣環流模擬的解析度不高，常用的重分析資料為歐洲中期天氣預報中心的 ERA-Interim (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 2009) 解析度約 80 公里左右，美國國家預報中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 的 CFSR (Saha, et. al., 2010) 解析度約為 50 公里。隨著科技的發展近年全球模式解析度有所提升，歐洲中期天氣預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) 推出了解析度 30 公里的重分析資料 ERA5 (ECMWF, 2017)。然而這樣的解析度仍不足以滿足研究區域天氣與相關衝擊研究的需求，因此利用區域氣象模式針對研究關注的區域進行模擬來提高資料解析度，也就是進行動力降尺度，便成為很有用的方法。

在長期的動力降尺度模擬研究中，Kanamitsu 及 Kanamaru et al. (2007, I 與 II) 使用 NCEP 的重分析資料 (NCEP, 2000) 進行長達 57 年的降尺度模擬，其降尺度後解析度為 10 公里，研究中指出，對研究區域尺度的長期天氣變化，使用重分析降尺度，可以提供高品質的天氣資料；而 Kayaba et al. (2016) 則是使用日本氣象廳產製的日本 55 年重分析資料 JRA-55 (Kobayashi et al., 2015) 進行 55 年的

動力降尺度模擬，降尺度後最高解析度為 5 公里，在比較降尺度結果與觀測資料後發現，降尺度的模擬可以很好的重現過去的溫度及降雨情形，對於歷史極端天氣事件的了解也有很大的幫助。

本研究之目標為產製一組臺灣地區過去長時間較高時空解析度的動力降尺度模擬資料，為了提供更符合真實狀況的模擬結果，本階段工作內容為模擬策略測試以及模擬結果分析，希望能精進模擬之結果。第二章將描述本研究所使用的資料、模式與模擬實驗的設計，第三章分析實驗的測試結果，第四章則對實驗結果做的小結與討論。



## 2. 模式與資料介紹

### 2.1 分析與驅動資料

本研究進行模擬與分析，需要使用四維的全球重分析或分析場來驅動區域模式並進行驗證。所使用資料包含下列各項：

- ERA-interim：為歐洲中期天氣預報中心所提供之全球資料 (ECMWF, 2009)，水平解析度約 80 公里，垂直分層共 60 層，模式層頂為 0.1hPa，重分析資料的時間間隔為每 6 小時一筆，資料包含三維空間的氣象變數，其資料涵蓋時間由 1979 年至現今。
- ERA5：亦為為歐洲中期天氣預報中心所產製之資料 (ECMWF, 2017)，其時間、空間解析度皆高於 ERA-interim，水平解析度約為 30 公里，垂直則有 137 層，模式層頂為 0.01hPa，釋出的資料為逐時之資料，本研究使用每 6 小時的資料。資料涵蓋時間預計由 1980 年至今，資料目前尚未完善，僅釋出 2004 迄今的資料，預計 2019 年將完成全部資料提供。
- NCEP FNL：為美國環境預報中心所提供之全球分析場 (Global Final Analysis, FNL) 資料 (NCEP, 2000)，是每日常規天氣預報過程中的產品，其時間解析度為 6 小時，空間解析度為  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  (約 110 公里)，垂直層共 26 層，模式層頂為 10hPa。

- OISST：美國國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）提供之海溫資料（Optimum Interpolation Sea Surface Temperature version 2, OISST v2），其水平解析度為  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，資料為每日一筆。（National Climatic Data Center, 2007）
- 中央氣象局局屬測站觀測資料：中央氣象局之局屬測站資料，本研究中使用的測站共 28 個，詳細資料如表 2.1。

ERA5 重分析資料與 NCEP FNL 分析資料是用於颱風個案期間，與 ERA-interim 的模擬結果作比較。NCEP FNL 為分析場資料，資料是基於每日預報作業的初始場，預報作業為了改善模擬結果，會頻繁的進行模式改版、系統更新、引入新的方法以及錯誤修復等等，有時也會根據不同的天氣系統或是預報需求進行必要的調校，對長時間模擬而言，使用分析場資料有系統性不一致的情形。而重分析資料不是常規即時的預報的副產品，進行模擬的模式版本固定，因此資料同化可使用的觀測數據較分析場的資料多元，且同化所用之觀測資料有經過調校，以維持不同來源資料長期的一致性，較適合用於過去長期天氣的模擬。本研究測試的目的是為了建置一組長期的臺灣氣候四維網格資料，資料的一致性很重要，因此在本研究的模擬中還是聚焦在

ERA-interim 的重分析資料的降尺度結果。

表 1 本研究使用之中央氣象局局屬測站資料。

測站代碼	測站名稱	海拔高度 (m)	經度	緯度
466880	板橋	9.7	121.442	24.9976
466900	淡水	19	121.4489	25.1649
466910	鞍部	825.8	121.5297	25.1826
466920	臺北	6.3	121.5149	25.0377
466930	竹子湖	607.1	121.5445	25.1621
466940	基隆	26.7	121.7405	25.1333
466950	彭佳嶼	101.7	122.0797	25.628
466990	花蓮	16	121.6133	23.9751
467050	新屋	20.6	121.0475	25.0067
467060	蘇澳	24.9	121.8574	24.5967
467080	宜蘭	7.2	121.7565	24.764
467300	東吉島	43	119.6675	23.257
467350	澎湖	10.7	119.5631	23.5655
467410	臺南	40.8	120.2048	22.9932
467420	永康	8.1	120.2367	23.0384
467440	高雄	2.3	120.3157	22.566
467480	嘉義	26.9	120.4329	23.4959
467490	臺中	84	120.6841	24.1457
467530	阿里山	2413.4	120.8132	23.5082
467540	大武	8.1	120.9038	22.3557
467550	玉山	3844.8	120.9595	23.4876
467571	新竹	26.9	121.0142	24.8279
467590	恆春	22.1	120.7463	22.0039
467610	成功	33.5	121.3734	23.0975
467620	蘭嶼	324	121.5583	22.037
467650	日月潭	1017.5	120.9081	23.8813
467660	臺東	9	121.1546	22.7522
467770	梧棲	31.7	120.5234	24.256

## 2.2 模式

### 2.2.1 區域模式介紹

本研究採用美國國家大氣研究中心與美國環境預報中心所研發之天氣研究與預報模式系統（Weather Research and Forecasting modeling system，簡稱為 WRF 模式）來進行動力降尺度的模擬工作，該模式為一中尺度區域數值天氣預報模式，目前廣泛應用於氣象相關研究及實務預報。

本研究使用之 WRF 模式版本為 3.8.1，模擬設計採用兩層巢狀網格，模擬範圍如圖 2.1 所示，第一層網格包含東亞及西北太平洋部分地區，第二層則以臺灣附近為主。兩層的網格解析度分別是 10 公里及 2 公里，垂直層為  $\sigma$  地勢追隨座標，共 52 層，模式層頂之氣壓為 20 百帕。垂直解析度在邊界層內小於 100 公尺，低層大氣解析度約 100~200 公尺，中層約 300 公尺左右，高層約 100~200 公尺。垂直層與模式物理參數化等設定則參考自中央氣象局現行每日預報之設定（OP41 版本）。其中，雲微物理參數化選用 Goddard GCE scheme、邊界層參數化採用 YSU scheme、長波及短波輻射參數化皆使用 RRTMG scheme、地面層選用 Monin-Obukhov scheme，地表模型則是 Noah land-surface model、積雲參數化使用 Kain-Fritsch scheme。積雲參數化只在第一層網格中使用，高解析度的第二層則不使用積雲參數化。

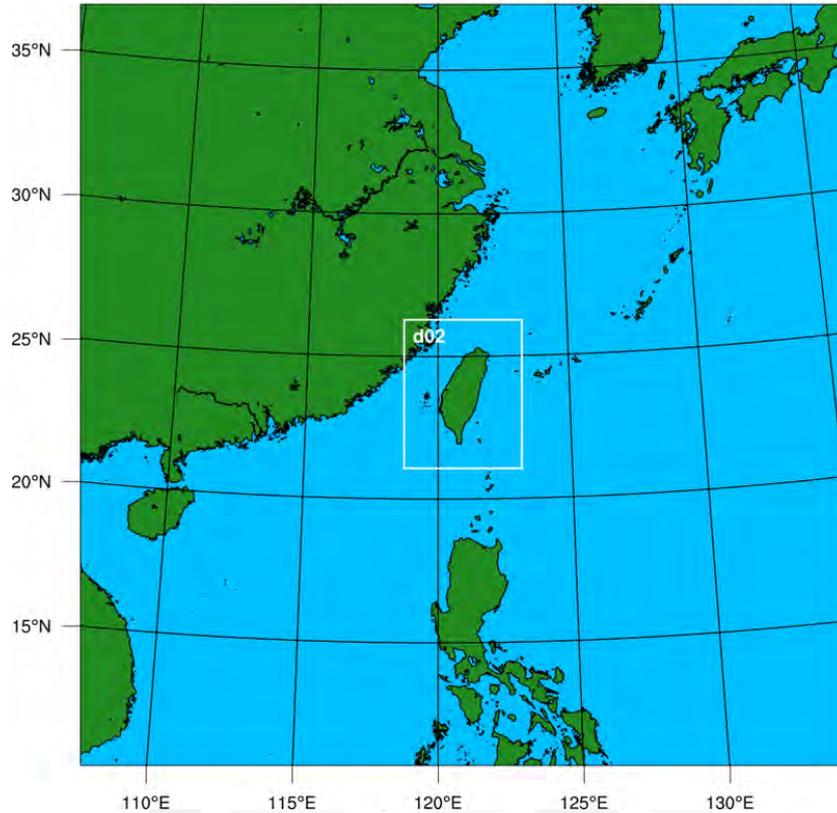


圖 2.1. 本研究使用之兩層巢狀網格範圍。

### 2.2.2 區域模式中的地形高度與土地利用

本研究區域模式所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）共同合作發展的 Global Multi-resolution Terrain Elevation 資料。由原解析度約 1 公里左右資料差分到模式的 2 公里網格。圖 2.2a 為模式中地形高度的分佈圖，可看到超過 3000 公尺以上的山脈，除了沿著縣市界的主要山脈，其他較大的溪谷與山脈也都可以被解析出來。

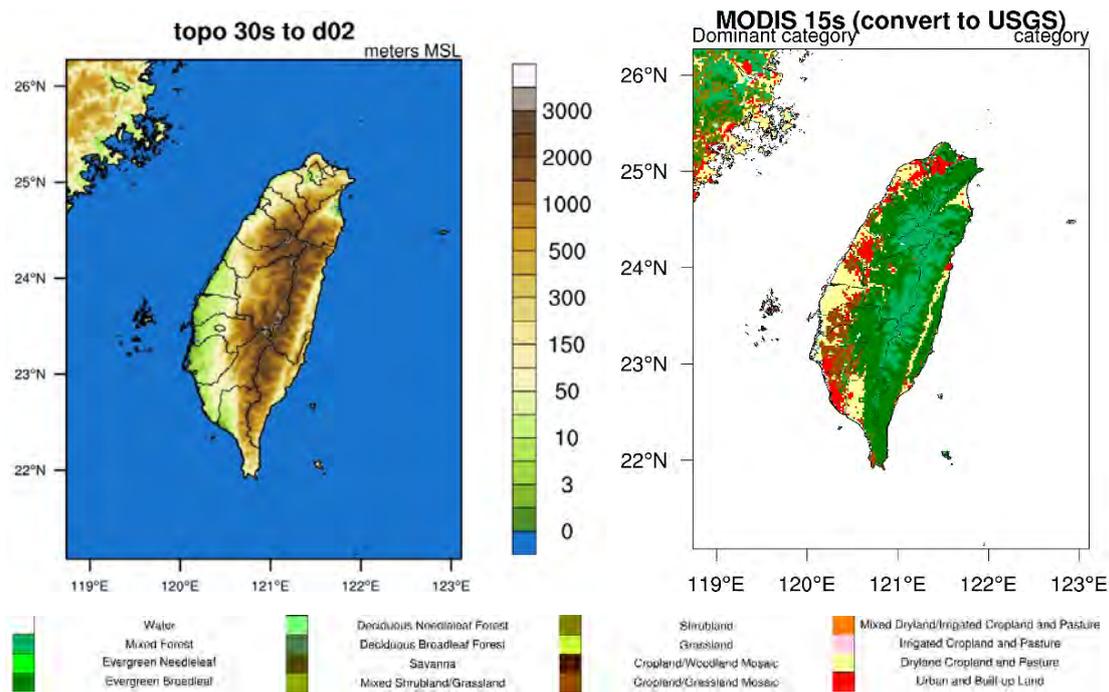


圖 2.2. 由左而右分別為第二層網格的 (a) 地形高度與 (b) 最大宗的土地利用分類。

土地利用 (Land use, LU) 是模式中一個重要的地表參數，地表與大氣之間的能量與水氣交換作用透過不同地表參數的設定會有不同結果，使用不同的土地利用會明顯影響模擬之結果 (Lin et al., 2008; Cheng et al., 2013)。本研究使用 WRF 內建的 MODIS 15s 資料 (Brontox et al, 2014)，資料是由 2000 年之後的衛星觀測反演出來的土地利用資料，原資料解析度為 0.5 公里，再處理到模式網格上各項土地分類的百分比。圖 2.2b 所示為模式第二層，各網格點上最大宗的土地利用分類情形。然而臺灣地區在過去數十年來，由於土地的擴張、人為活動及自然災害的破壞等影響，土地利用的型態有很大的改

變。當從事過去長期的重分析資料的降尺度時，若能使用符合當年年份的土地利用資料，例如不同內政部國測繪中心之國土利用調查成果資訊，所得到的結果應能更符合當時的真實情形。

### 2.2.3 區域模式中的海平面溫度

因為海表面風力的大小與溫度高低會直接影響海表面潛熱及可感熱通量的變化，對大氣與海洋之間的能量交換造成改變，海洋與大氣之交互作用對於天氣與氣候有相當的影響。由於海洋的變動比大氣來的慢，多數區域模式並沒有特別針對海溫進行模擬，海平面溫度（Sea surface temperature, SST）多是事先指定的，在短時間的模擬中通常固定不變。考慮到 ERA-interim 之解析度較粗，資料對臺灣海岸的解析較差，直接使用海溫初始場的內插值對模擬結果會有影響，模擬時選用解析度較高的 OISST v2 資料替換 ERA-interim 的原始海溫，ERA-interim 與 OISST v2 的海溫分佈示意如圖 2.3 所示（選取時間為 2016 年 07 月 15 日）。

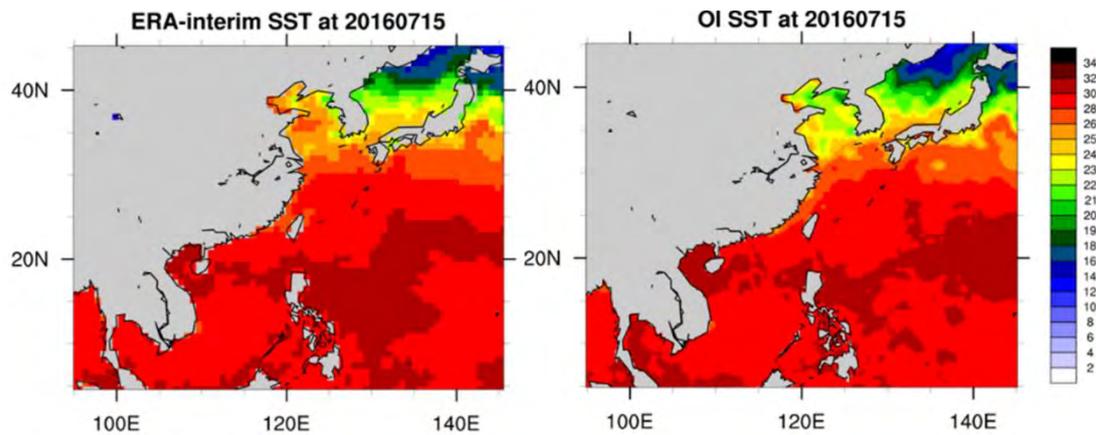


圖 2.3. ERA-interim 與 OISST v2 的海溫分佈圖。

在檢驗模擬的初始資料時，常發現模擬之溫度在海岸邊界常有異常不連續的情形，較嚴重的如圖 2.4a 中的花蓮沿岸，海溫不連續可以差到 4~5 度。檢查後發現海溫在岸邊的不連續源自於初始海陸分佈格點與模式網格不一致，因資料對臺灣海岸線的解析不足，部分海上之處被視為陸地而缺資料，而模式直接以地表面溫度（Surface skin temperature, TSK）替代海平面溫度來補上缺資料處。錯誤的海溫資料產生的影響，除了發現的溫度異常情形，也有可能造成沿海地區局部環流的改變或是影響可降水量等等。所以本研究在使用 OISST v2 的資料之前，先將資料做進一步處理，先以有資料點的數值簡單內插方法至無資料點，逐步向內陸進行資料內插後，解除了資料在海岸邊界的不連續情形，修正前後的對照圖如圖 2.4 所示。

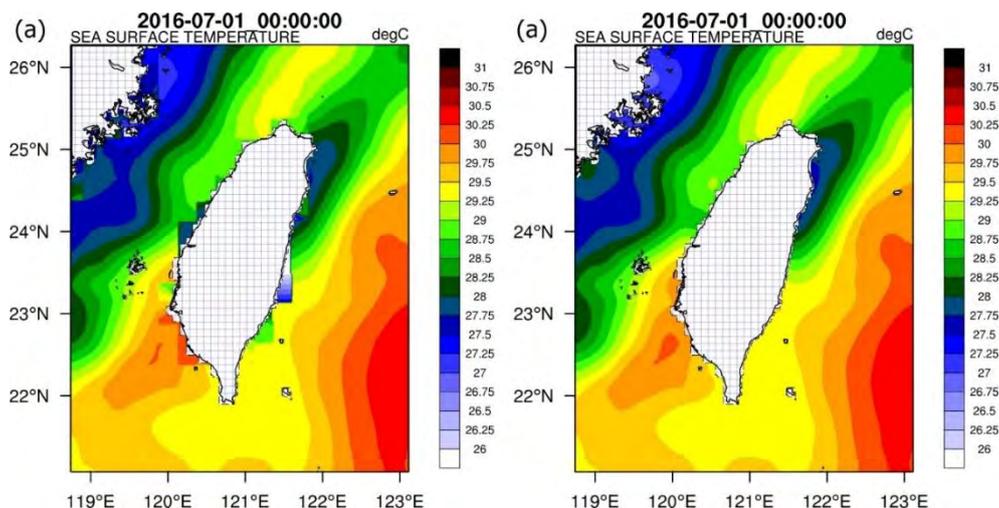


圖 2.4. 海溫修正前 (a) 與海溫修正後 (b) 之比較。

## 2.3 模擬設計

### 2.3.1 模擬流程

由於大氣模式要解的方程式是非線性方程的數值解，數值解的誤差會隨著模擬時間拉長而累積放大。進行長期模擬得到的氣候值與觀測相較會存在無可避免的差異，所以進行長時期動力降尺度過程中常採用一些方法來減少模擬造成的氣候偏差，在相信大尺度環流驅動資料的前提下，較常見的是採用 nudging 或是 re-initialization 的方式 (Kayaba et al., 2016)。採用 nudging 方式是持續在模擬過程中參考觀測值來加入修正值；採用 re-initialization 方式則是不斷的以觀測值重新進行短期模擬，再將短期模擬資料接續起來。後者持續以觀測資料來重新啟動短期模擬，自然是有較少的數值解誤差累積，不過需持續浪費許多計算時間在模式的 spin-up 上面，所需計算資源也增加許多。

Kayaba et al. (2016) 曾以 JRA-55 重分析資料做為驅動的大尺度環流場進行動力降尺度模擬，以獲得日本地區高解析度的重分析資料 (DSJRA-55) 其模擬的設計與本研究相似，同樣使用 2 層巢狀網格，每 6 小時進行一組動力降尺度模擬，第一層網格進行 12 小時的模擬，前 3 小時做為模式 spin up 時間，在第 3 個小時才開始啟動第 2 層網格之降尺度模擬，第 2 層網格模擬之時間僅 9 小時，第 2 層模擬的前 3 小時同樣做為模式 spin up 時間，僅截取最後 6 小時結果做為輸出。每組模擬之書出資料皆為逐時資料，其前 6 小時為 spin up 時間，最後將每次模擬之 7-12 小時結果組合成最後的資料產出。

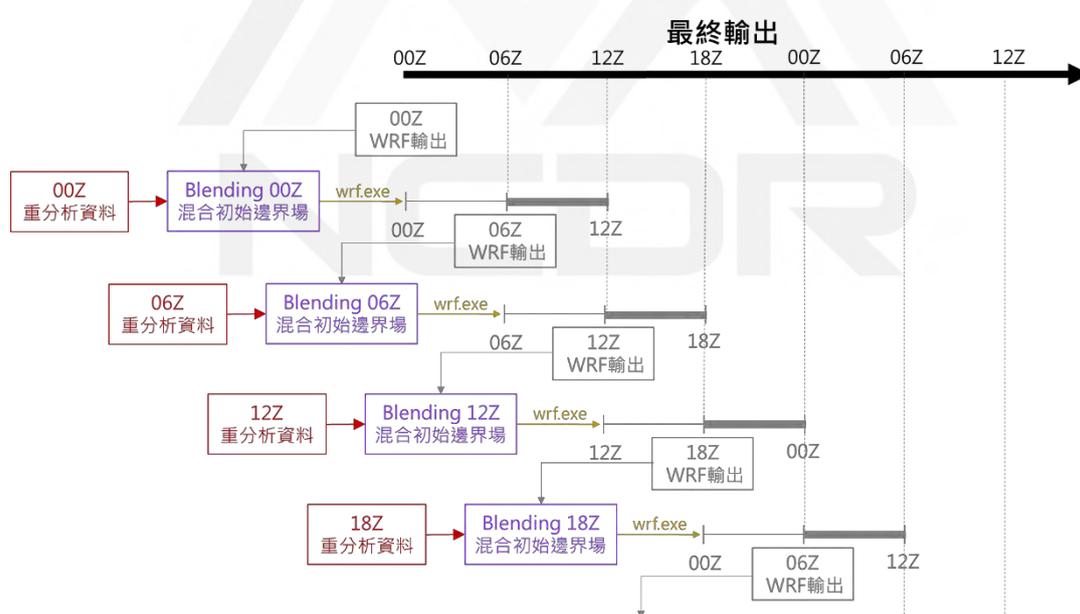


圖 2.5. 模擬流程示意，初次模擬僅使用重分析資料作為初始場

為了避開誤差累積的問題，本研究也採取 re-initialization 的方法進行動力降尺度，模擬流程與 DSJRA-55 相似，只是模擬的時間長度

稍有不同，並且對每次模擬的初始資料做了 Blending 與 Digital Filter Initialization (DFI) 的處理。配合 ERA-interim 之資料時間間隔，於每 6 小時啟動一組新的模擬，前 6 小時為模式起轉 (spin up) 時間，僅截取最後 6 小時結果做為輸出，將每次模擬之第 7-12 小時結果組合出最終的資料產出。

本研究在每次啟動 12 小時的模擬時，所採用的初始資料則參考氣象預報的更新循環概念。在天氣數值預報實務上，會結合全球模式資料與前一時間區域模式的預報結果，再同化新的觀測資料，做為下一個時間的初始場 (如 Benjamin et al., 2004; Vidal et al., 2010)。因為重分析資料的產製過程中已經歷經資料同化的過程，本研究中不需在度進行資料同化，僅將重分析資料與區域模式模擬結果混合，利用 Yang (2005, a 與 b) 所提出的 blending 方法，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。由於數值模式在模擬初期會有不平衡的問題，模擬初期之結果多受到雜訊的干擾，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，資料在經過 blending 之後，還使用了 Lynch and Huang (1992) 提出的 DFI 方法對初始資料進行高頻濾波，讓模擬更快達平衡狀態以減少模式起轉所需的時間。模擬流程可

參考圖 2.5。由於本研究還測試了 WRF 模式中的其他物理過程選項，在比較時上述的模式設定將設為控制實驗。

### 2.3.2 颱風渦旋植入測試

臺灣為與西北太平洋颱風活動頻繁的地區，每年都會受到颱風的影響。由於本研究使用 ERA-interim 資料中的颱風強度不足，且又以此資料來啟動每次的短期模擬，對強列颱風而言，模式第一層 10 公里解析度與 6 小時起轉時間並無法讓颱風發展到夠強的規模，再加上接續不同模擬結果時可能造成颱風路徑的不連續，對臺灣地區的氣象變數模擬結果產生顯著影響。為此，本研究也使用 WRF 模式內建的颱風渦旋植入 (tropical cyclone bogus) 方法進行測試，其中渦旋植入的位置及最大風速皆參考自中央氣象局的颱風資料。在颱風渦旋植入的測試中，選定一個颱風植入的時間，以前次的模擬結果做為初始場，將原始渦旋移除再根據觀測資料植入虛擬渦旋，並參考中央氣象局 typhoon WRF (TWRF) 使用 blending 方法 (Hsiao et al., 2015)，將植入渦旋後的結果與 ERA-interim 資料混合成新的初始場，便可模擬到較佳的颱風強度。由於 blending 會將較小尺度的颱風訊息帶到下次的初始場，渦旋植入只需操作一次，之後的模擬無需再使用颱風渦旋植入。颱風渦旋植入的模擬流程如圖 2.6 所示。

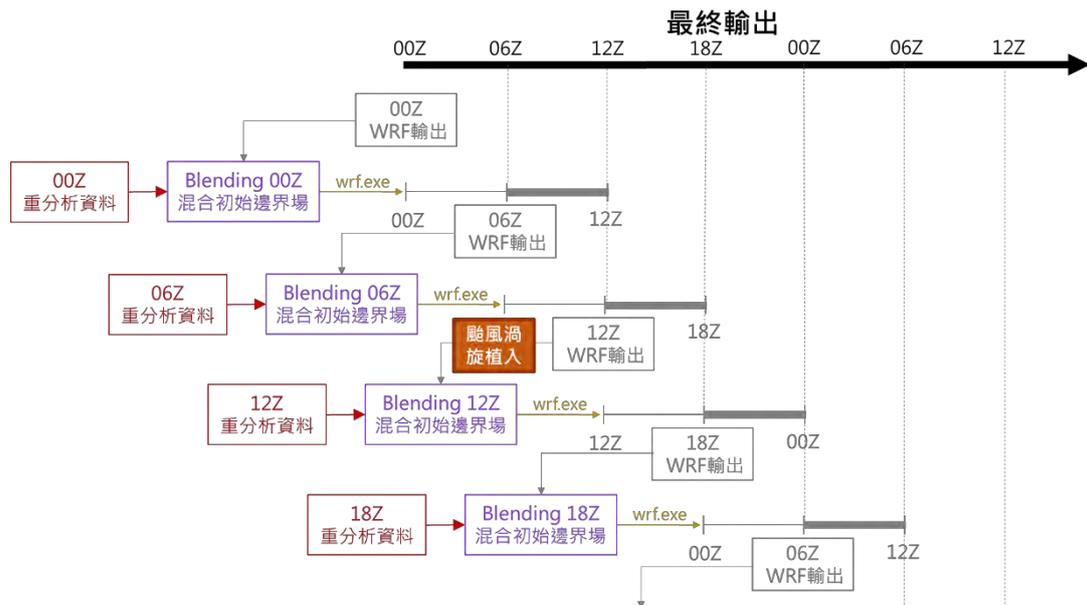


圖 2.6. 操作颱風渦旋植入於 WRF 模擬之流程示意圖，與一般模擬流程雷同，渦旋植入部分以褐色標示。

### 2.3.3 土壤起轉時間測試

數值模式因為輸入的初始資料多不是處於平衡狀態，在模擬初期因應模式設定的物理機制需要經過一段時間調整，才会有比較平衡的模擬結果，起轉時間就是指模式從模擬初期到平衡所需要的時間。一般來說，區域模式的氣象變數約需數小時的起轉時間，而土壤部分則需要較長的起轉時間讓模擬達到較穩定的狀態，在執行為期較長的氣候模擬時常常需要先執行為期 1 年以上的起轉時間。

為研究土壤起轉時間對於本研究採用的模擬流程下模擬結果的影響，這裡選用了不同的事前起轉時間，在正式模擬前的 3 個月、1 個月及 15 天開始進行模擬，正式模擬之後還是跟第 2.3.1 節的流程設

定一樣，每 12 小時模擬會捨棄前 6 小時起轉時間的模擬結果。為確保起轉期間局部地區經歷到的是相同的天氣系統，事前起轉期間開啟了 WRF 的 spectrum nudging 功能。經歷了事前起轉，便可得到 3 個不同的土壤溫、濕度作為不同的初始值，再進行為期一個月與 2.3.1 所述之流程相同的模擬。另外一組為經過事前起轉，僅以 ERA-interim 的土壤內插資料作為初始值的模擬作為控制組實驗。



### 3. 結果

#### 3.1 不同季節之模擬表現

為檢視不同季節之模擬表現，以 2016 年 1、4、7 及 10 月做為冬季、春季、夏季及秋季之代表，模式起始時間分別為 2015 年 12 月 31 日 06UTC、2016 年 03 月 31 日 06UTC、2016 年 06 月 30 日 06UTC 及 2016 年 09 月 30 日 06UTC，模擬包含一整個月，其中 2016 年 1 月有北部下雪的霸王級寒流事件，7 月則是尼伯特颱風由台東登陸穿越南臺灣。此節選取臺北站、高雄站、蘇澳站及大武站進行分析。臺北站及高雄站的土地利用型態為都市，意指模式在測站所在格點中，土地利用類型以都市為大宗，而蘇澳站、大武站所在的網格中土地利用則是以濕地為主。

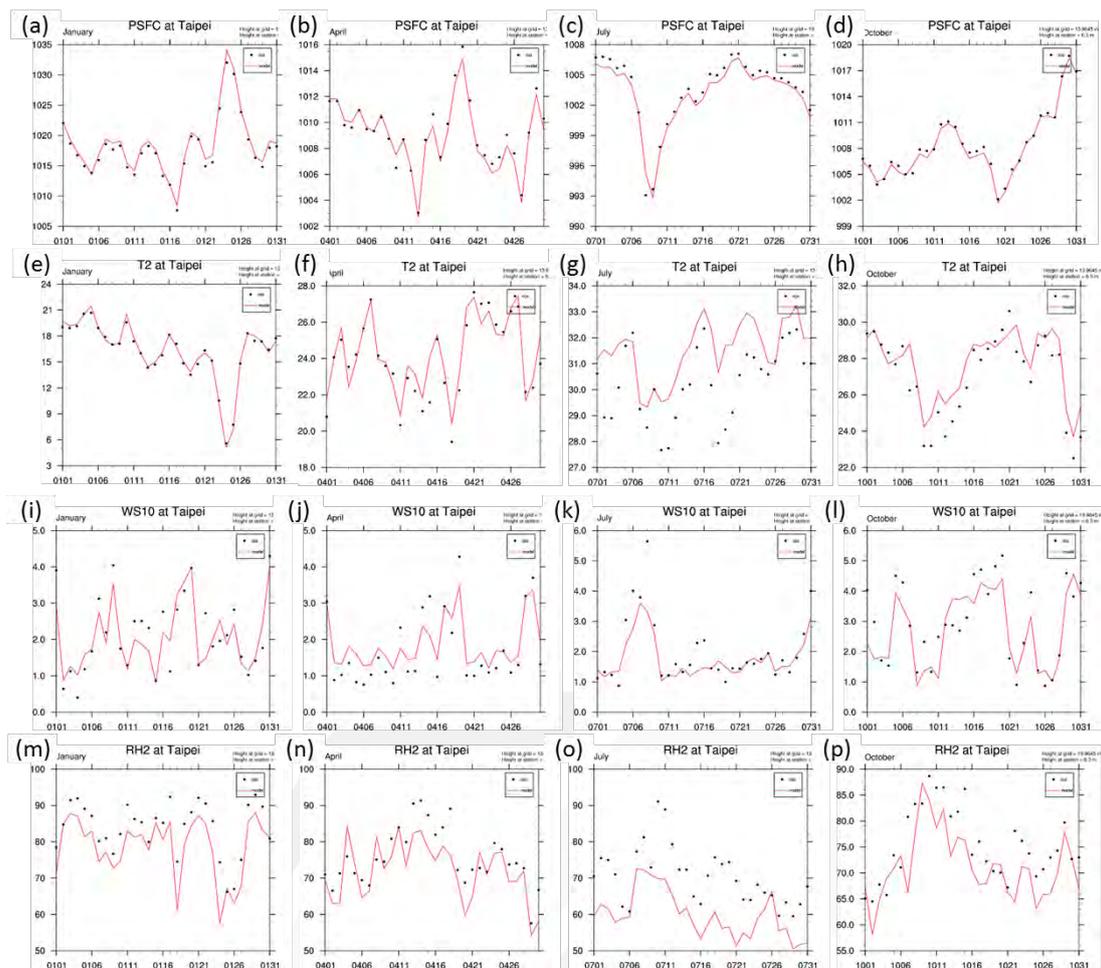


圖 3.1. 2016 年臺北測站觀測與模擬結果的日平均之比較，由左至右分別為 1 月、4 月、7 月及 10 月，由上到下分別為 (a) - (d) 地面氣壓、(e) - (h) 地表溫度、(i) - (l) 地面風速及 (m) - (p) 地面相對濕度。其中黑色點為觀測，紅色線則為模擬結果。

圖 3.1 為 1 月、4 月、7 月及 10 月臺北測站的觀測與模擬結果之日平均值比較，選取的測站有氣象變數使用地面氣壓 (PSFC)、離地 2 米高溫度 (T2)、離地 10 米高風速 (WS10) 及離地 2 米高相對濕度 (RH2) 作為比較，由於格點的地形高度與實際測站高度並不一致，溫度及氣壓之模擬結果在比較前進行了高度修正，其中溫度部份採用每上升 100 公尺，氣溫下降  $0.65^{\circ}$  的遞減率。氣壓在站點高度小於 1500

公尺時，每上升 9 公尺氣壓下降 1hPa。

比較臺北結果發現，模式在氣壓與溫度的模擬表現較好，而風速跟相對濕度則較差，氣壓的模擬在各月份都做得不錯，溫度的模擬除了在 7 月份多呈現高估的狀態，在其他月份模式對於溫度的模擬表現尚佳。風速與濕度誤差的變動較大，容易低估強風值，對夏季的風掌握的還不錯；相對濕度在夏季的低估反應了夏季溫度高估的間接影響，其他溫度模擬不錯的季節則是受到水氣模擬誤差的影響。但普遍而言，風速與濕度仍與觀測的變動趨勢一致，能反應一波波的天氣系統變化。對於夏季溫度的誤差，後面的章節設計了 UCM 模擬的測試來檢驗之。

在 7 月的颱風期間，高雄站及大武站的模擬結果普遍不佳（圖未呈現），壓力高估情形明顯，這與颱風強度以及颱風路徑模擬的誤差有關，也引發對 typhoon bogus 方法應用的需求，下一節會針對尼伯特颱風個案進行討論。

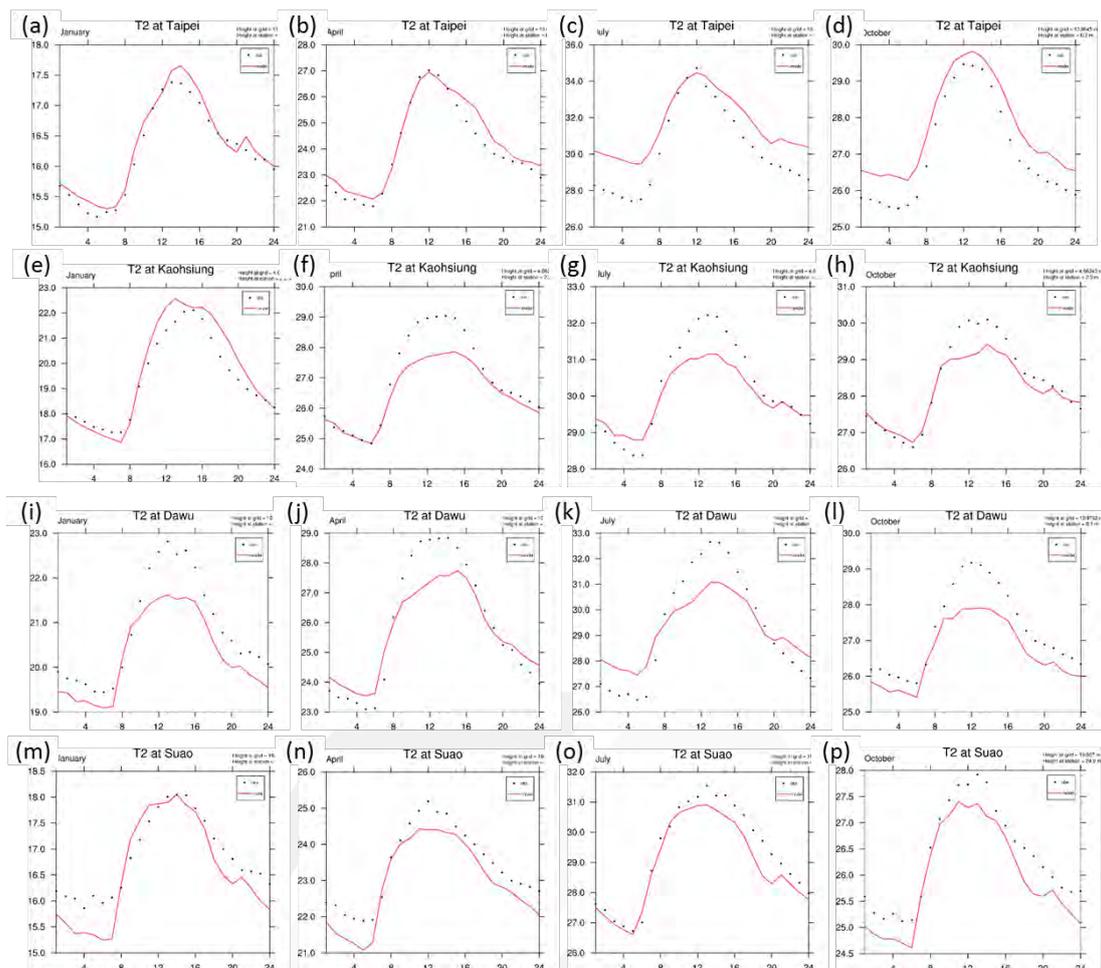


圖 3.2. 地面溫度月平均的日夜變化分佈比較，由左至右分別為 1 月、4 月、7 月及 10 月，由上到下分別為 (a) - (d) 臺北、(e) - (h) 高雄、(i) - (l) 大武及 (m) - (p) 蘇澳。其中黑色點為觀測，紅色線則為模擬結果。分別為 2016 年 (a) 1 月、(b) 4 月、(c) 7 月及 (d) 10 月。其中黑色點為觀測，紅色線則為模擬結果。

圖 3.1 中比較的是日平均的資料，無法顯示出資料對日夜變化的掌握程度，故在此將 1 月、4 月、7 月、10 月逐日的溫度 24 小時變化做平均，其分佈情形如圖 3.2，並將每個時間點的模擬結果減去觀測後繪製成盒鬚圖 (圖 3.3)，進一步比較不同月份模擬與觀測之日夜變化發現，1 不同測站的比較中，臺北站在 1 月的模擬結果與觀測最為接近，但在 7 月的模擬中，夜間溫度有很顯著的高估；高雄站一樣

在 1 月的模擬結果最好，但其他月份則都有高溫低估的問題；蘇澳站則是四個測站中模擬表現最好的；而在大武站的模擬結果中，不同月份的高溫都有低估的情形。

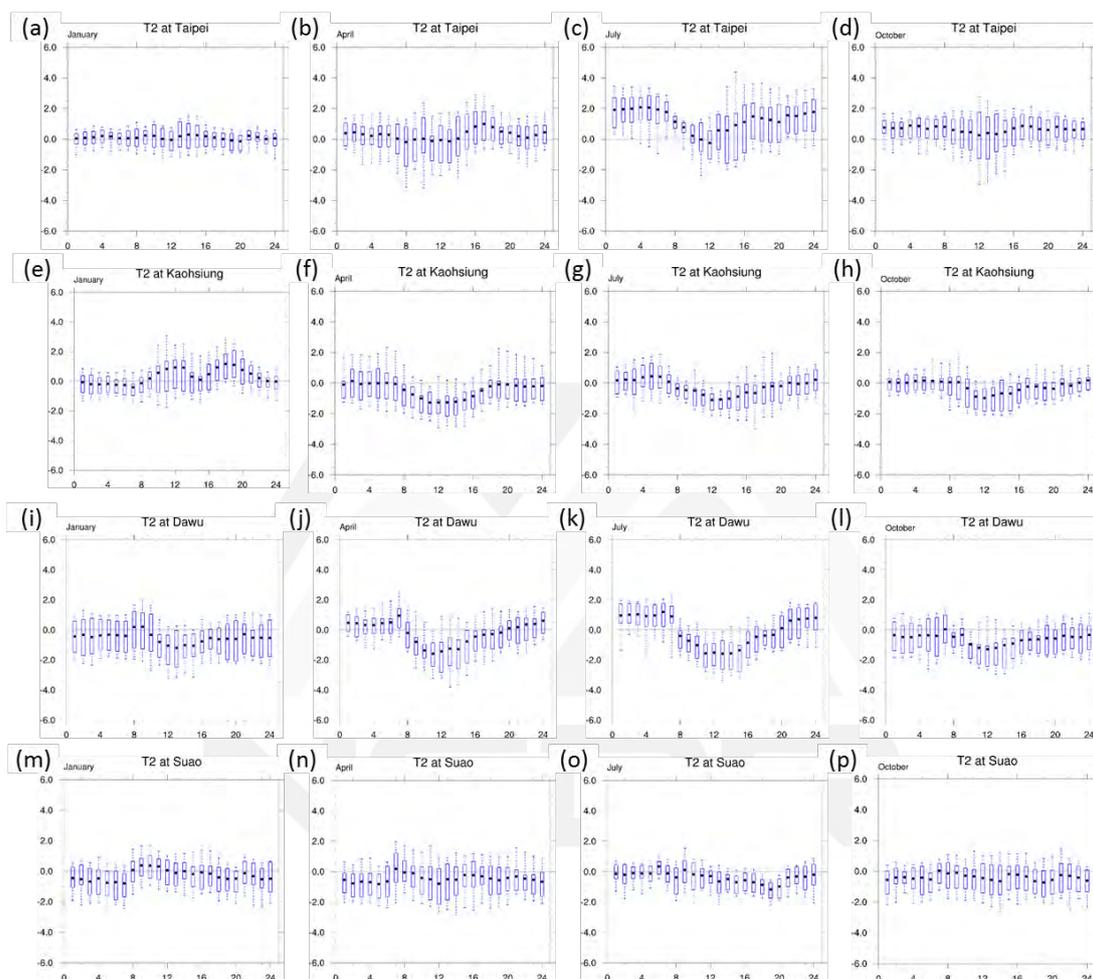


圖 3.3 同圖 3.2，但為模擬結果誤差日夜變化的盒鬚圖。其中黑色點為平均值，其餘則別為四分位數及十分位數。

將各別測站不同月份的溫度模擬結果逐一減去觀測值後，其盒鬚圖如圖 3.4 所示，可以發現，在四個測站中，1 月的模擬結果誤差範圍最小，臺北站的溫度平均偏差與正，夏季尤為明顯，其他測站的平均偏差則大多為正，各個季節皆有此情形。

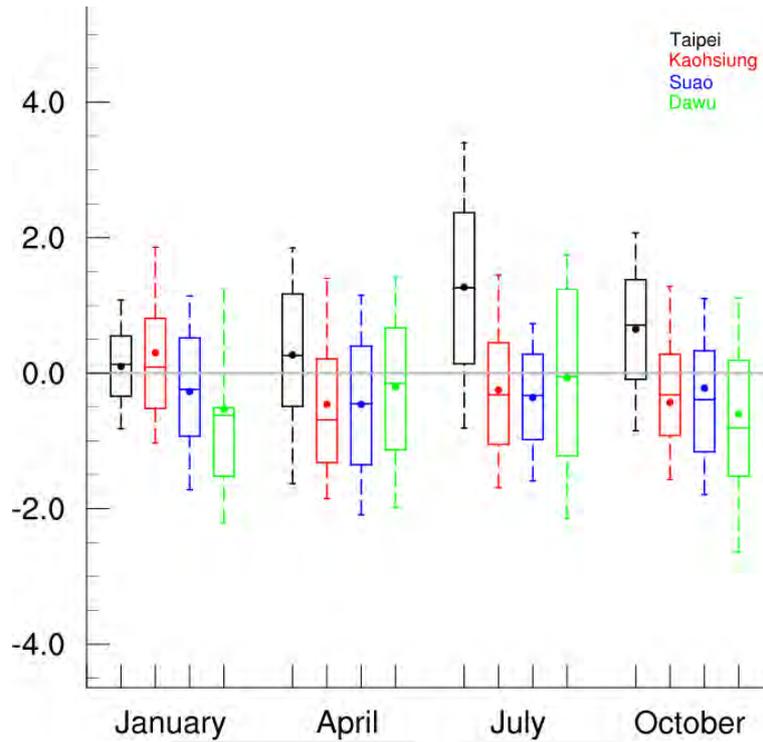


圖 3.4. 2016 年 1 月、4 月、7 月及 10 月，相同時間的模擬結果減去觀測值所得全月日均溫的盒鬚圖。其中圓點為平均值，實線為中位數，其餘則別為四分位數及十分位數。

表 2. 2016 年 01 月、04 月、07 月、10 月選用之 28 個測站的均方根誤差值。

月份	PSFC	T2	WS10	RH2
1 月	1.17	1.34	2.30	10.74
4 月	1.01	1.65	1.81	10.58
7 月	1.59	1.61	2.20	10.67
10 月	0.96	1.47	2.25	10.10

計算 28 個測站不同季節各個變數的均方根誤差發現，地面氣壓的模擬結果與觀測最相近，但在 7 月的模擬較不理想，應該是因為颱風期間模擬不佳造成；溫度模擬結果次之，其中以 1 月模擬最好；風速的模擬結果尚可，但是較難抓到極值，結果不如溫度與氣壓；而濕

度模擬最差。整體看起來，模式在綜觀系統較顯著狀況下的表現較好，弱綜觀環境下對於局地特徵的模擬能力較差。

### 3.2 颱風渦旋植入測試



圖 3.5. 中央氣象局發佈之 2016 年尼伯特颱風路徑圖。

檢驗 7 月之模擬結果發現，尼伯特颱風是強烈颱風，但是動力降尺度颱風強度的模擬不如預期，幾個可能的原因為：1. 初始場的颱風強度實在是太弱了，2. 颱風處於快速增強階段時，恰好位於模式的邊界緩衝區，模式無法充分運作，3. 模式第一層 10 公里解析度不夠高，不足以起轉出強颱風的強度。

2016 年 7 月初尼伯特颱風侵襲臺灣，尼伯特颱風之路徑如圖 3.5

所示，中央氣象局發佈之警報時間為 2016 年 07 月 06 日至 2016 年 07 月 09 日，颱風侵臺日期為 2016 年 07 月 08 日，登陸位置在臺東縣太麻里，初登陸時颱風最大強度到達強烈颱風等級。期間颱風強度最強時，觀測之颱風中心氣壓在當地時間 07 月 06 日 17 時至 07 月 07 日 04 時可以到達 905hPa，進到圖 2.1 的模擬範圍約在 07 月 05 日 20 時，當時中心氣壓約為 940hPa，且正處於快速加強階段，然而此時 ERA-interim 的颱風中心氣壓卻高於 1000hPa。

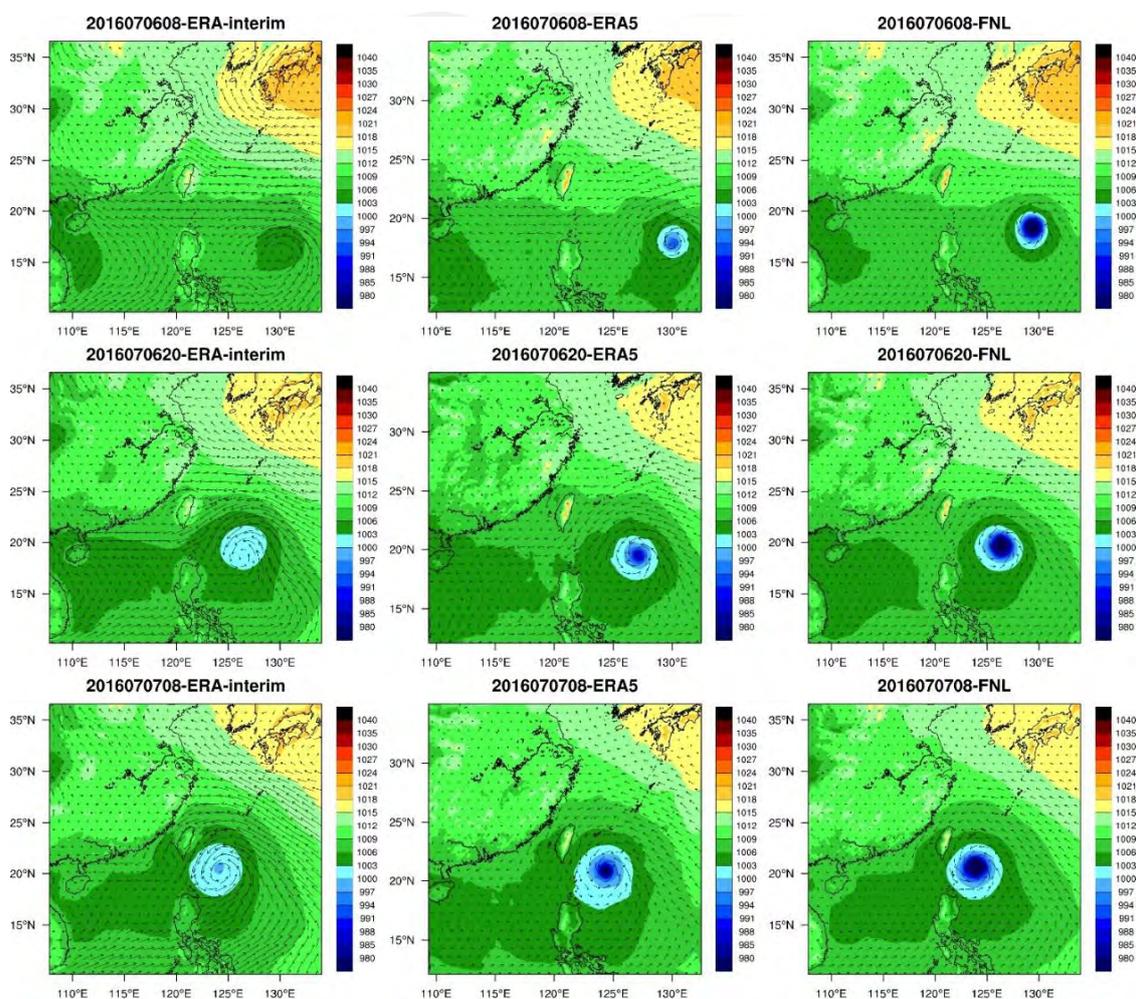


圖 3.6. 由左而右分別為 ERA-interim、ERA5、NCEP FNL 資料的海平面氣壓值。

將 ERA-interim 與 ERA5 和 NCEP-FNL 其他兩組解析度較高的重分析/分析資料相比 (如圖 3.6), 可清楚的看到 ERA-interim 資料的中心氣壓略高於 1003hPa, 颱風強度明顯較 ERA5 的 990hPa 與 NCEP-FNL 的低於 970hPa 弱上許多。為改善颱風強度不足的問題, 本研究中使用 WRF 模式內建的渦旋植入方法進行測試, 其中渦旋植入的位置及最大風速皆參考自中央氣象局之觀測資料。

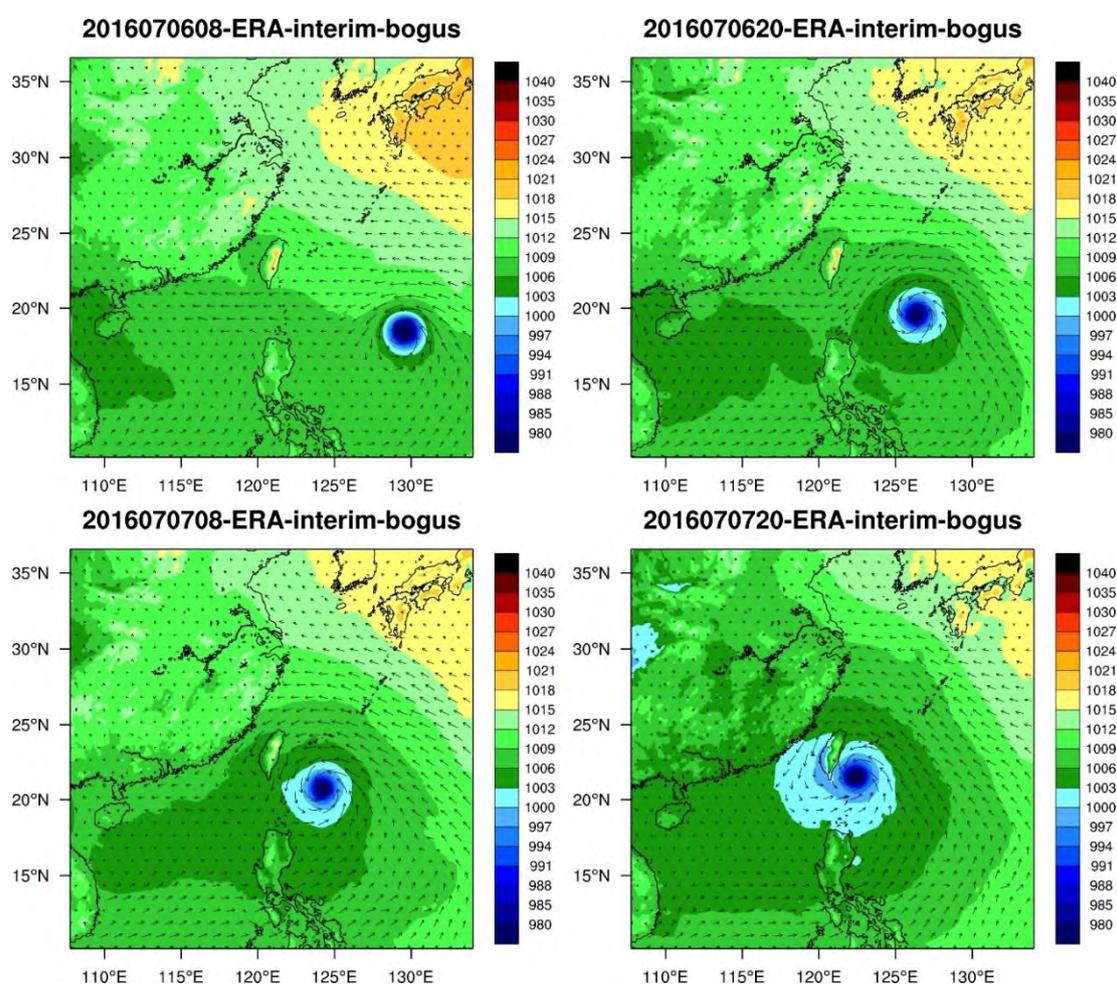


圖 3.7. 於 07 月 06 日 08LST (左上) 植入虛擬渦旋後, 不同時間初始場的海平面氣壓。

在本研究中，虛擬渦旋僅於 07 月 06 日 00UTC 植入，約為颱風中心進入模擬範圍的邊界後 12 小時，不同時間初始場的海平面氣壓（圖 3.7）中，可以看出，透過 blending 混合前一時間模擬，即使後續不再植入颱風渦旋，颱風強度仍可以良好維持，無需在每個時間植入新的渦旋。選取颱風中心經過其附近的高雄站做比較（圖 3.8），發現使用渦旋植入後，在氣壓與風速的模擬都較原本來的要好，雖然壓力仍些微高估的，但與使用其他資料的模擬結果相近。除了颱風強度的加強造成的風力與氣壓的改善，改善的原因也來自颱風路徑誤差減少，所模擬的颱風中心路徑較接近高雄站。

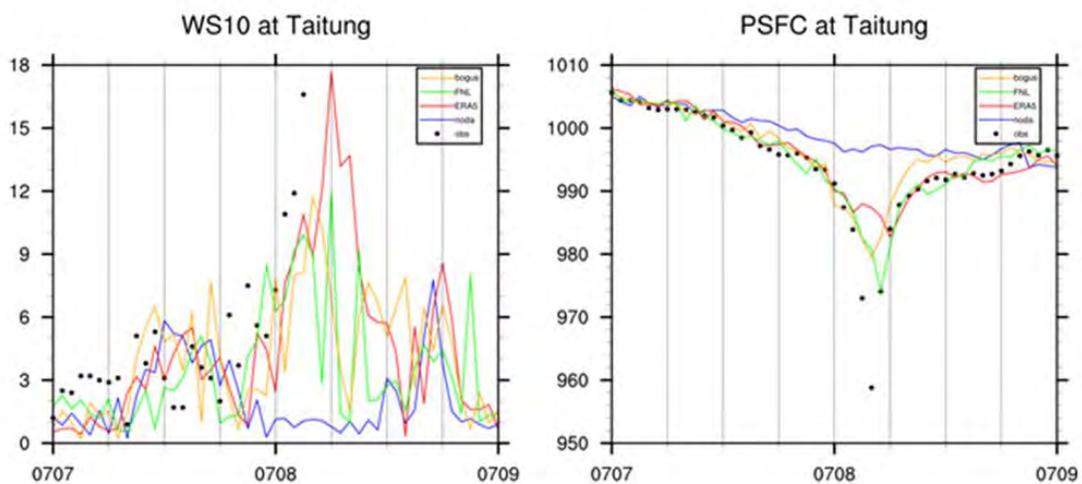


圖 3.8. 10m 風速和地面氣壓之觀測與模擬結果比較。黑色點為觀測，藍色線為 ERA-interim 資料不使用渦旋植入的結果，黃色線為 ERA-interim 使用渦旋植入颱風之結果，紅色、綠色線分別為使用 NCEP-FNL 與 ERA5 做為初始場的模擬結果。

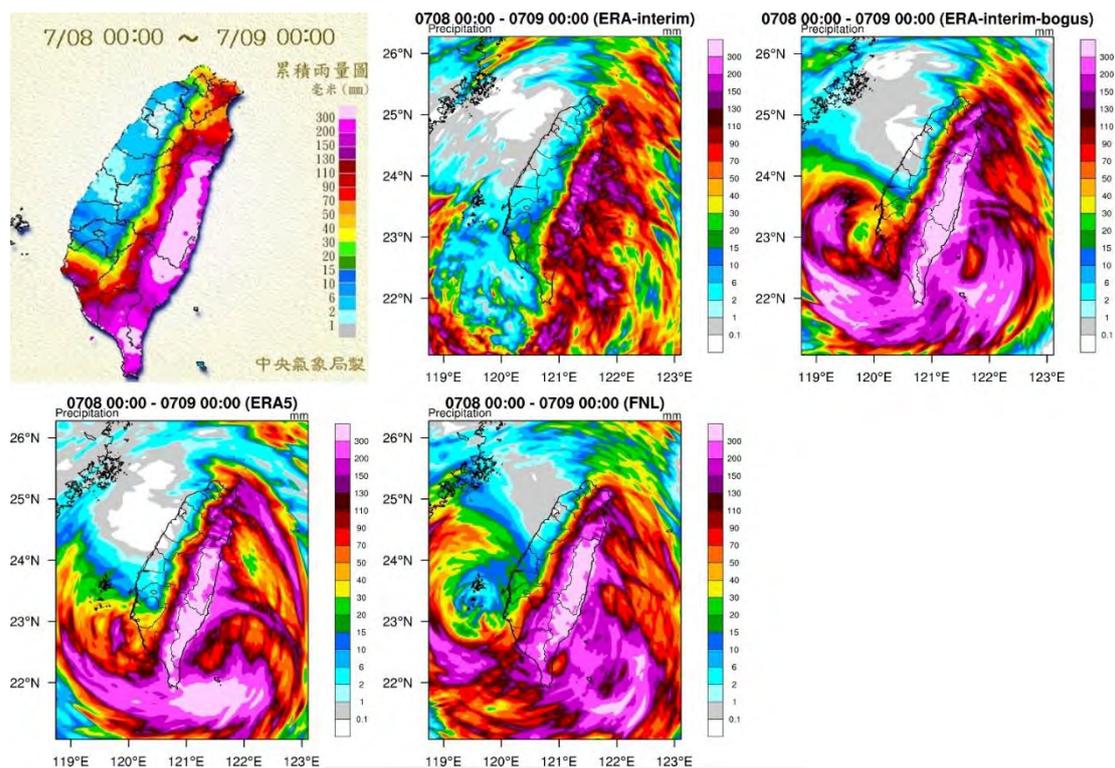


圖 3.9. 2016 年 07 月 08 日觀測日雨量與模擬之比較。

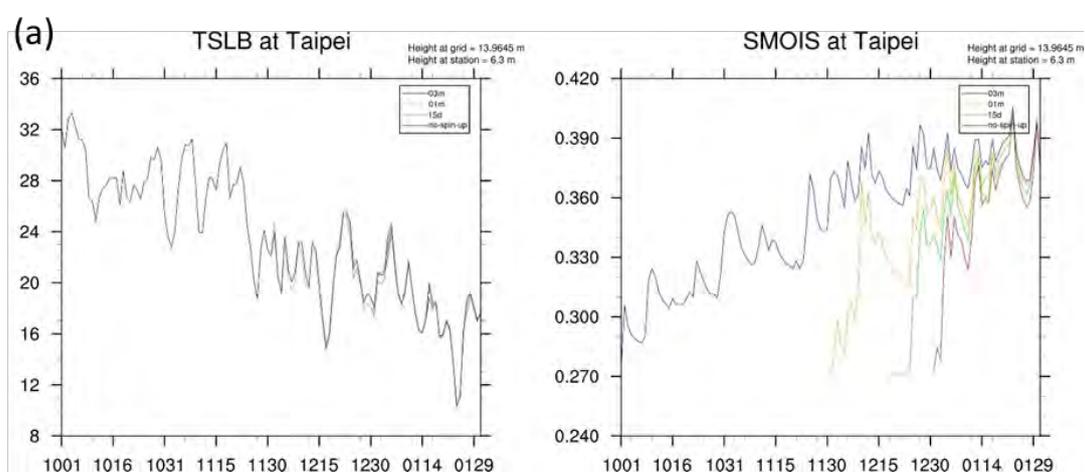
臺灣複雜高所的地形常主宰了降雨分布，颱風強度與中心路徑的改善對颱風降雨的模擬會有很大的影響。7 月 8 日尼伯特颱風穿越南臺灣期間，在全台降雨的模擬比較（圖 3.9）中，沒有使用渦旋植入、風力強度偏弱、中心路徑偏差大的情況下，臺灣東部與南部的降雨皆偏少，在使用渦旋植入之後，降雨明顯增多，與實際觀測雨量較為接近。

### 3.3 土壤起轉時間測試

為研究起轉時間長度對於模擬結果的影響，選用的分析期間為 2016 年 01 月，各組的模擬起始時間分別為 2015 年 09 月 30 日

1200UTC、2015 年 11 月 30 日 1200UTC 及 2015 年 12 月 16 日 1200UTC，連續模擬 3 個月、1 個月及 15 天。最後將各組於 2015 年 12 月 31 日 06UTC 的土壤模擬結果做為初始土壤資訊，進行為期一個月的模擬，再截取每次模擬的第 7 到 12 個小時做為最後分析比較之結果，並加入一組沒有經過事前起轉的模擬作為對照。

圖 3.10 中，選取土地利用分類為都市（臺北站所在網格）及鄰近臺北站附近土地利用以草地為大宗的格點（草地格點，經緯度位置為 121.03 22.87），比較各組自起轉到分析期間的土壤溫度與土壤濕度之差異。由圖中可以看到，不同起轉時間實驗之間，在近地表的土壤溫度差異並不顯著，主要反應在土壤濕度的變化，且土壤濕度的差異在起轉初期較為明顯，隨著幾波天氣系統帶來降水之後，土壤濕度差異逐漸減小，然後趨於一致；另外都市的土壤濕度差異較草地高出許多，差距可到一個數量級。



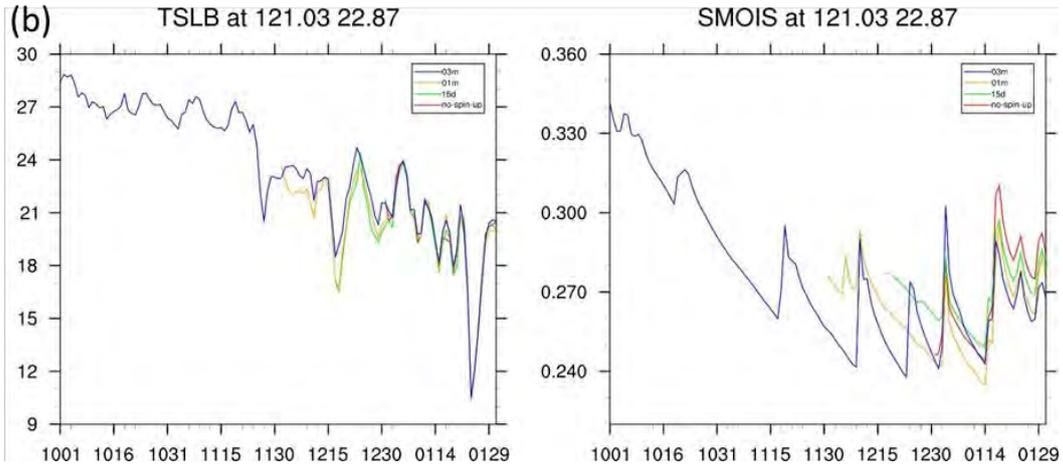


圖 3.10. 不同起轉時間的土壤溫度 (TSLB) 及土壤濕度 (SMOIS) 比較, (a) 為臺北站所在位置, (b) 為土地利用分類為草地的網格。選取之模式土壤層為第 1 層之結果, 深度為 5cm。紅色線為沒有 spin up, 綠色線 spin up 時間為 15 天, 黃色線 spin up 時間為 3 個月, 藍色線 spin up 時間為 3 個月。

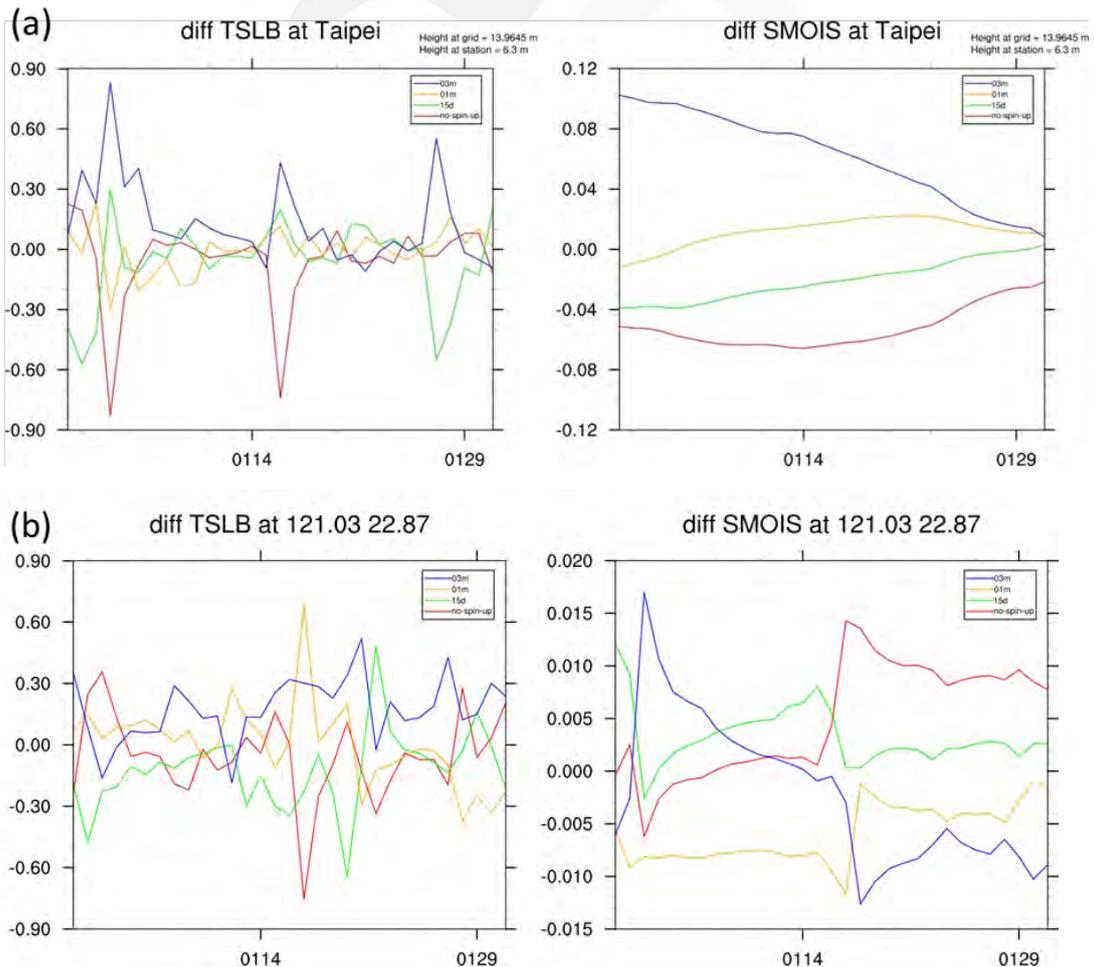
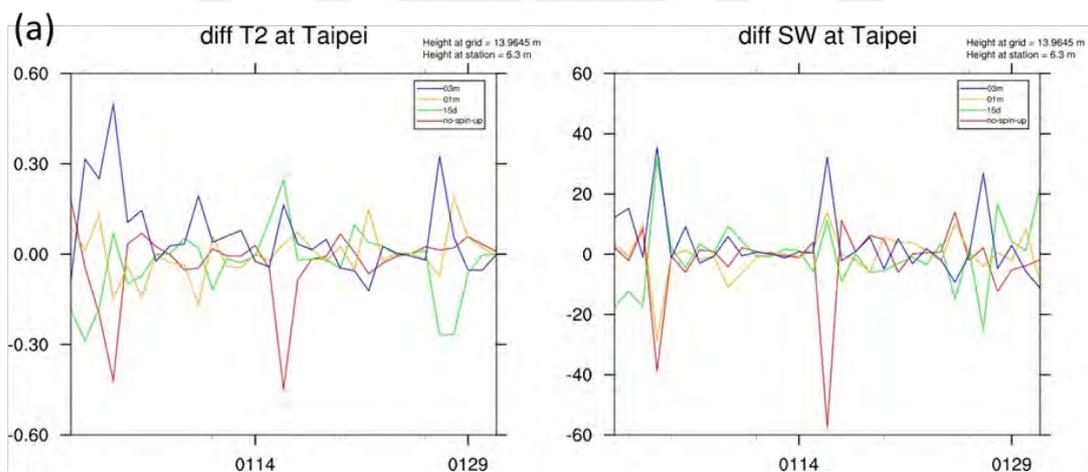


圖 3.11. 不同起轉時間的土壤溫度 (TSLB) 及土壤濕度 (SMOIS) 減去各組平均

之結果，時間為 2016 年 01 月。

由於 12 月 31 日之後的差異逐漸變小，時間序列呈現的多是天氣系統經過帶來的變動，圖 3.11 呈現的是個組模擬結果四組模擬平均值差異的土壤溫度及土壤濕度距平值；圖 3.12 與圖 3.11 類似，但為 2m 溫度與地表短波輻射的距平值。與圖 3.11 起轉時期的狀況相似，土壤濕度的差異較溫度的差異顯著，且土壤濕度的差異亦差異隨著模擬時間會逐漸縮小，一個月後逐漸趨於一致。由圖 3.12 中看到，淺層的土壤溫度與 2m 溫度的變化有極高的一致性，進一步檢視地表短波輻射，發現地表短波輻射與土溫、2m 溫度的變化也相當接近，顯示淺層土溫的變化主要與大氣的能量收支有關，深層土壤溫度之間的差異（如圖 3.13）較淺層明顯，且一樣隨著模擬時間慢慢趨於一致，與土壤濕度的模擬情況類似。



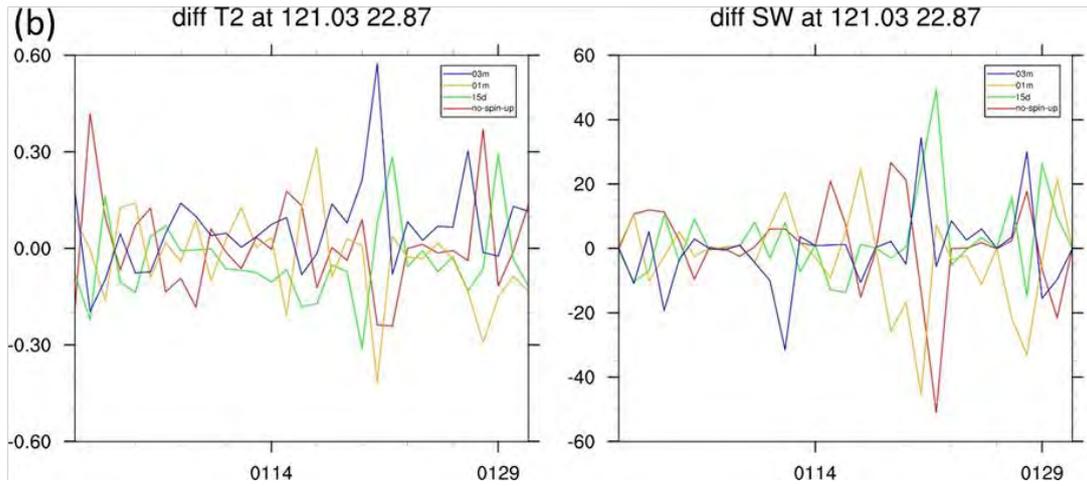


圖 3.12. 不同起轉時間的 2m 溫度 (T2) 及地表短波輻射 (SW) 減去各組平均之結果，時間為 2016 年 01 月。

圖 3.14 為不同起轉時間的 2m 溫度模擬結果比較，圖中，各組的溫度模擬差異在 1 月明顯較起轉期間來得小，推測可能與本研究在初始場的調校有關。對本研究的模擬設計而言，土壤起轉時間對大氣變數所造成的影響並不顯著，考慮到計算資源及所耗費的時間，後續將會考慮不進行事先起轉或是選擇較短的起轉時間。

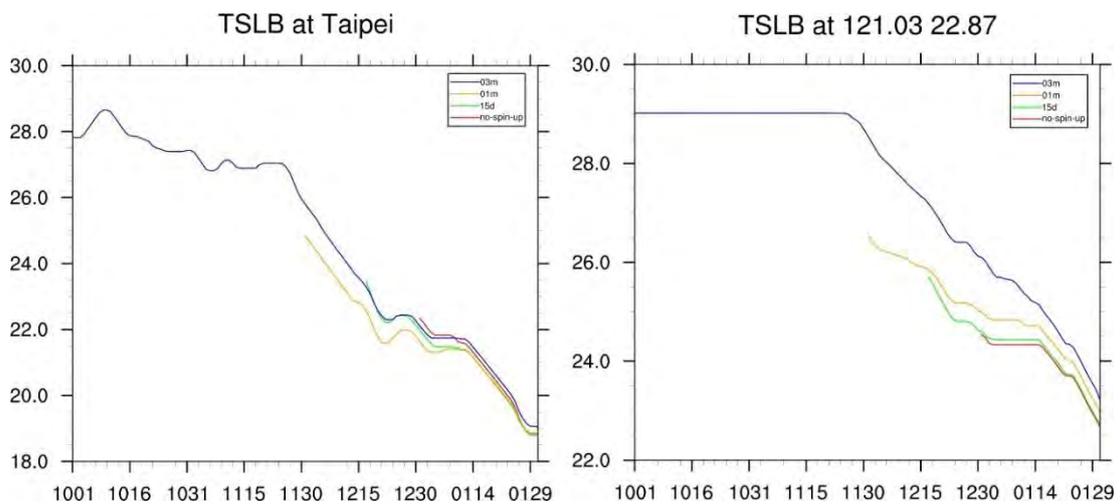


圖 3.13. 不同起轉時間的土壤溫度 (TSLB) 及土壤濕度 (SMOIS) 比較。選取之模式土壤層為第 3 層之結果，深度為 150cm。

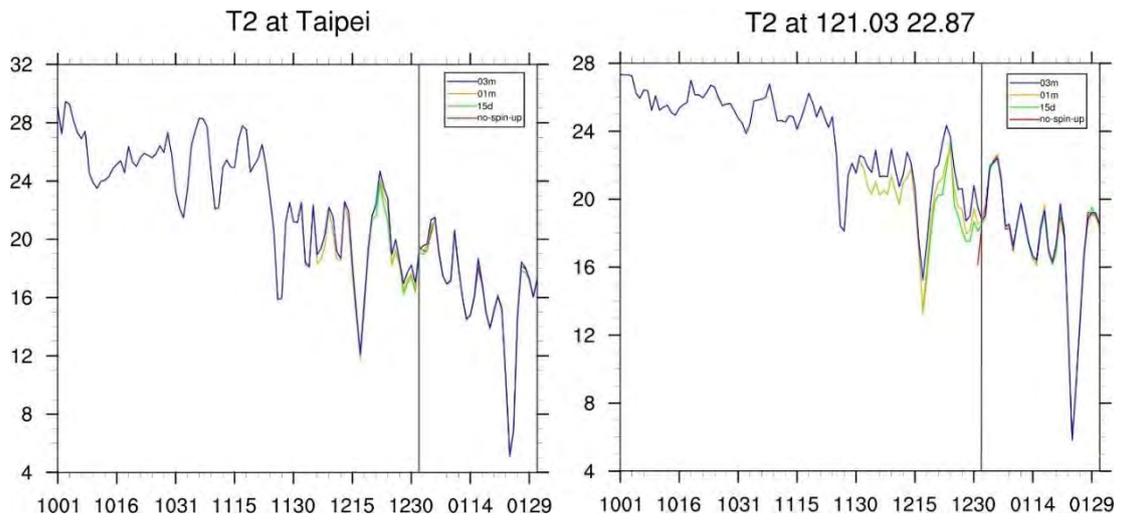


圖 3.14. 不同起轉時間的 2m 溫度 (T2) 比較，灰色線為 2016 年 01 月 01 日 00LST。



## 4. 小結與討論

本研究中對模式進行了許多測試，也將很多需要考慮的模擬問題加到模式當中，在模擬測試過程中更發現了許多一開始未曾考慮過的問題。目前模擬的結果雖然並非完美，但在與觀測的比較上還算不錯。幾個測試分析的結果歸納如下：

1. 模式對於氣壓及溫度的掌握較好，風速與相對濕度的結果較差；不同季節的比較上則是在綜觀系統較強的冬季表現較佳。整體而言，每日的變化都能反應天氣系統的變化，資料是有其參考價值。
2. 本研究雖未呈現降水分析的結果，除了已經有降水的網格資料在對外提供，理由之一是降水時雨量模擬結果並不太好。以 2 公里解析度的標準，模式對時雨量的模擬並無法和鄰近測站做一對一的比對，可能需要放寬對解析度的要求，才能得到較佳的比對結果。
3. 在動力降尺度流程中進行一次的渦旋植入，除了改善初始場颱風強度，對後續颱風強度、降雨與中心路徑都能得到較佳的模擬結果。尤其是對強烈颱風強度的模擬，區域模式解析度不足時（如本研究區域模式第一層的 10 公里），需要能對颱風強度有較佳呈現的初始場（以此觀點 ERA-interim 是不理想的資料），若無法在動

力降尺度流程中進行渦旋植入，就需要使用較高解析度（例如 ERA5）或是有做過颱風渦旋植入（例如 NCEP 的 CFSR 與 FNL）的初始資料。

4. 測試起轉時間對模擬影響的結果顯示，給了不同的土壤初始值，模擬結果的差異主要反應在土壤濕度上，對淺層土壤溫度與大氣變數則沒有很顯著的影響。模擬一個月後各組實驗的差異就不明顯了。

本中心將針對過去 40 年的重分析資料執行動力降尺度，所產製的網格資料將用來替代目前欠缺的觀測網格資料。在颱風渦旋植入的測試中，可看到使用今年 ECMWF 釋出的 ERA5 資料與使用 ERA-Interim 資料加渦旋植入一樣都能得到較好的模擬結果。未來工作可考慮使用 ERA5 取代 ERA-interim 來進行過去 40 年的重分析的動力降尺度。在事前起轉時間長度測試中，各組實驗結果差異不大，這應該與模擬策略的設定有關，估計小區域的模擬範圍加上每 6 小時更新的重分析資料，能很快地降低了土壤模擬對近地面大氣的影響，若不在意土壤濕度的模擬，未來的模擬工作可以縮短事前起轉的時間。

## 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」計畫的部分工作，感謝此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、相關問題的專業諮詢，並提供資料初始化中新舊模擬間的混合技術。



## 參考文獻

- Benjamin, S. G., G. A. Grell, J. M. Brown, and T. G. Smirnova, 2004: Mesoscale weather prediction with the RUC hybrid isentropic terrain-following coordinate model. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 473–494.
- Broxton, P. D., X. Zeng, D. Sulla-Menashe, and P. A. Troch, 2014: A global land cover climatology using MODIS data. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 53, 1593–1605, doi:<https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0270.1>.
- 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.
- 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>.
- 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>
- Hsiao L.-F., X.-Y. Huang, Y.-H. Kuo, D.-H. Chen, H. Wang, C.-C. Tsai, T.-C. Yeh, J.-S. Hong, C.-T. Fong and C.-S. Lee, 2015: Blending of Global and Regional Analyses with a Spatial Filter: Application to Typhoon Prediction over the Western North Pacific Ocean. *Wea. and Forecasting*, 30, 754-770.
- Kanamitsu, M., and H. Kanamaru, 2007: Fifty-Seven-Year California Reanalysis Downscaling at 10 km (CaRD10) . Part I: System Detail and Validation with Observations. *J. Climate*, 20, 5553-5571.
- Kanamaru, H., and M. Kanamitsu, 2007: Fifty-seven-year California Reanalysis Downscaling at 10km (CaRD10) . Part II: Comparison with North American regional reanalysis, *J. Climate*, 20, 5572–5592.
- 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.

- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, 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 ) .
- 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.
- Lynch, P. and X.-Y. Huang, 1992: Initialization of the HIRLAM model using a Digital Filter. *Mon. Wea. Rev.* 120, 1019-1034.
- National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2000. NCEP/DOE Reanalysis 2 ( R2 ). Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. <http://rda.ucar.edu/datasets/ds091.0/>.
- National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2007, updated monthly. NOAA Optimum Interpolation 1/4 Degree Daily Sea Surface Temperature Analysis, Version 2. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. <http://rda.ucar.edu/datasets/ds277.7/>.
- National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2000, updated daily. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. <https://doi.org/10.5065/D6M043C6>.
- Saha, Suranjana, et. al., 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91 ( 8 ) , 1015-1057 ( DOI: 10.1175/2010BAMS3001.1 ) .
- Vidal, J. P., Martin, E., Franchistéguy, L., Baillon, M., and Soubeyroux, J. M., 2010: A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system, *International Journal of Climatology*, 30, 1627–1644.
- 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.

書名：臺灣地區重分析資料動力降尺度模擬測試

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 107 年 12 月

出版年月：中華民國 108 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>