

2020 年 ISCST3 高斯法規模式之氣象資料說明文件

1. 資料來源與建置

2020 年氣象局及環保署測站共 107 個站收集完成後，利用由美國國家大氣研究中心（National Center for Atmospheric Research）研發之 WRF（Weather Research and Forecasting model，Skamarock 等 2008）3.8.1 版天氣數值模式與 WPS（WRF pre-processing system）4.1 版，模擬重建大氣穩定度與混合層高度等網格資料，再內插至中央氣象局觀測站所在位置。檔案格式與參數皆與 2017 年以前者相同。資料項目包括：風向（風之去向，單位為度度量之度）、風速（單位為 m s^{-1} ）、大氣穩定度以及混合層高度（單位為公尺）（表 1）。

表 1 ISCST3 模式之標準氣象資料格式

行數	列數	名稱	格式 ¹
1	1-5	地表氣象站代碼	I5
1	15-16	地表氣象站年份	I2
1	29-33	探空氣象站代碼	I5
1	43-44	探空氣象站年份	I2
第二行起	1-2	年(年份最後兩碼)	I2
第二行起	3-4	月	I2
第二行起	5-6	日	I2
第二行起	7-8	小時(1-24)	I2
第二行起	9-17	風向(deg)(風的去向)	F9.4
第二行起	18-26	風速(m/s)	F9.4
第二行起	27-32	溫度(K)	F6.1
第二行起	33-34	穩定度(A=1, B=2...F=6)	I2
第二行起	35-41	鄉村混合層高(m)	F7.1
第二行起	42-48	都市混合層高(m)	F7.1

1. 第一字元表示資料形態：「I」為整數，「F」為浮點數；
2. 第二字元表示資料長度(單位：字元)；
3. 「.」後之數字表示該資料小數點後所有位數。
4. 範例：「F7.1」表該資料形態為浮點數，長度 7 字元，且該資料有小數點後 1 位之資料。

採用美國海洋大氣管理中心（National Oceanic and Atmospheric Administration）轄下國家環境預測中心（National Centers for Environmental Prediction）提供之重分析（FNL）資料，做為 WRF 所需之初始與邊界資料。模擬策略概述於下：

- (1) 以臺灣為中心的 2 層網巢（水平解析度分別為 25 公里與 5 公里），其範圍如圖 1 所示；
- (2) 垂直解析 45 層，距地高 1 公里以下有 22 層，距地高約 100 公尺以下可解析 7 層，而模式頂設定為 50 hPa；
- (3) 自每日 1200 UTC 起模擬 36 小時，選取 0000~2300 UTC 之間 24 小時（即預報第 12~35 小時）資料；

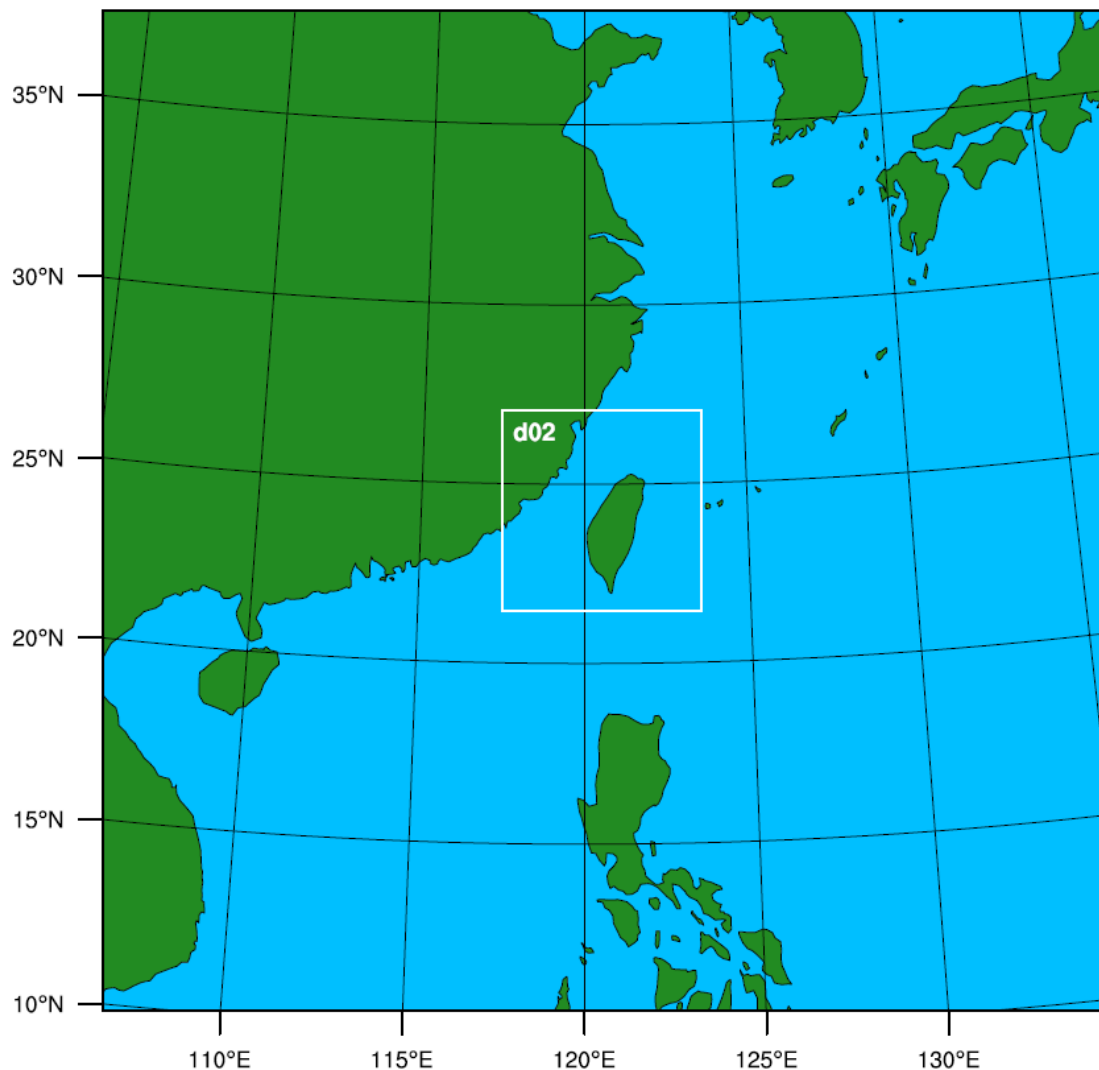


圖 1 WRF 模擬之 2 層網巢水平涵蓋範圍。

- (4) 雲微物理採用 NSSL 2-moment 法；
- (5) 長、短波輻射皆採用 Goddard 法；
- (6) 邊界層參數化法採用 MYNN 2.5 level TKE 法；
- (7) land surface 採用 Unified Noah land-surface model 法；
- (8) 僅第 1 層網巢使用 Grell-Freitas 積雲參數化法；
- (9) 開啟 two-way interaction 選項；
- (10) 時間步長（time step）為 75 秒；

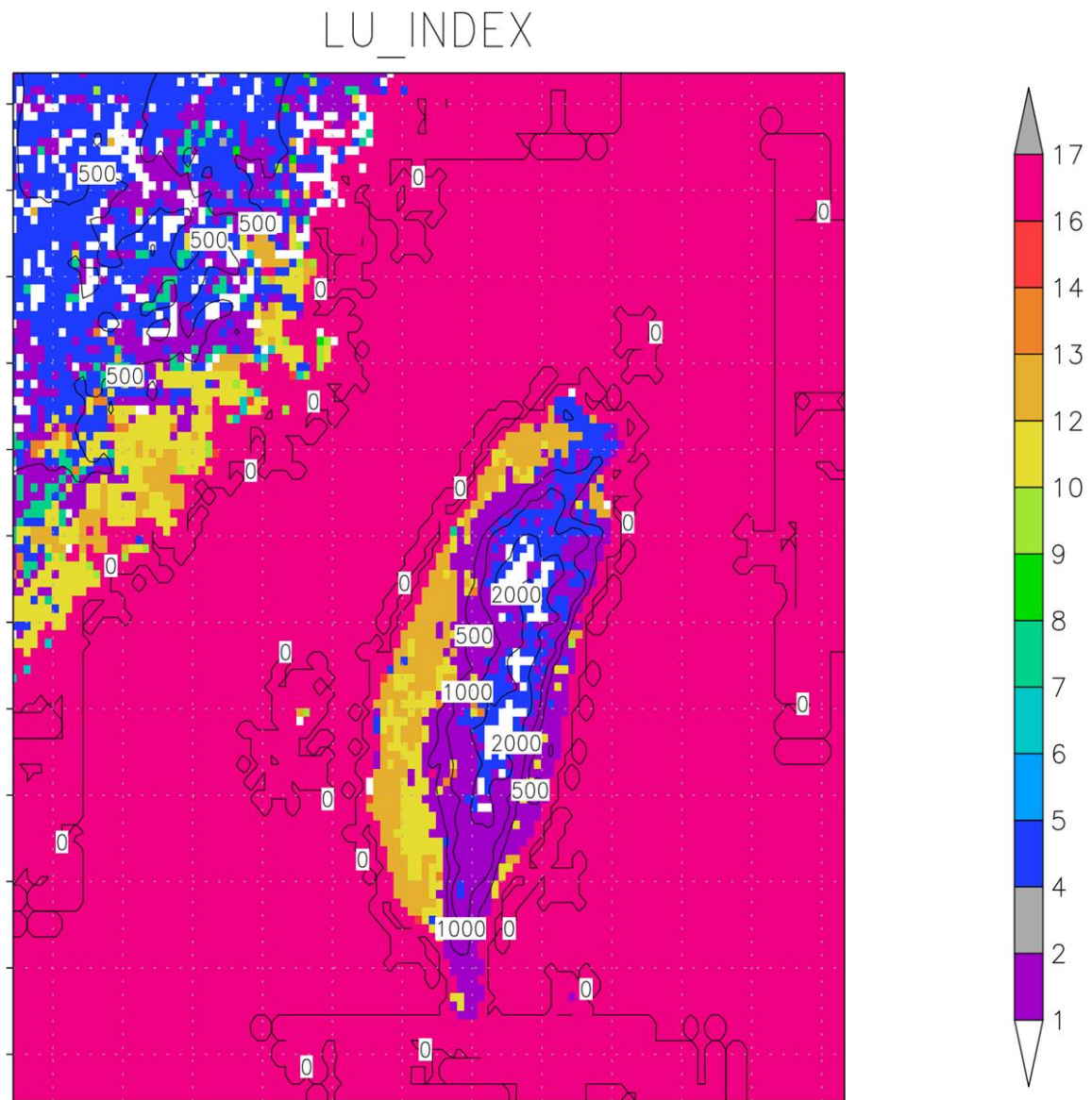


圖 2 建立 ISCST3 所需 WRF 天氣數值模式第 2 網巢範圍之土地使用。

(11) 地表使用 (landuse) 使用 WRF 提供之「modis_landuse_21class_30s」資料，模式範圍內 (共 14400 個網格) 使用到之地表使用有 14 種 (圖 2)。

由於 WRF 每天模擬 36 小時且選用模擬第 12~35 小時之預報時間資料，若直接將 D_{-1} 日第 35 小時連上次日 D_0 日第 12 小時資料，常會因此導致資料出現變化相當大之現象。為避免此因數值模式模擬策略導致之資料劇烈變化出現，亦考量天氣數值模式可預報度、數值模式積分初期物理不平衡等問題，將 D_{-1} 日第 24~36 小時與 D_0 日第 0~12 小時 WRF 模擬資料重疊期間，權重分別由 D_{-1} 日者自 100 % 降至 0 %、 D_0 日者自 0 % 升至 100 % 之方式，將此 12 小時重疊時間之資料，以此人為主觀平滑方式作為修正。

2. 風速、風向、溫度：

在 ISCST3 所需的氣象資料中，風速、風向及溫度等三種資料屬於常態監測之參數，主要為各地面觀測站之觀測數值，風向範圍介於 0~359 度，並以「風的去向」為風向之定義。

此三項觀測資料若有漏失，該站逐時資料之缺值，是以 WRF 資料加上該站偏差值補遺。該站偏差值由地面測站「有觀測資料時段」與同時段 WRF 資料計算而得。另外，WRF 資料（網格間距 5 公里）輸出位置通常不在測站點上，故測站資料係由鄰近格點之 WRF 網格資料內插而得。至於內插法是選擇「以測站與鄰近 4 網格點距離反比」、「距測站最近點」，抑或「排除土地使用（land use）為海洋之網格點距離反比」等 3 種不同方式，則依溫度有觀測資料之時段與 WRF 各不同內插法間最高相關係數者加上偏差值（bias），為缺漏資料補遺之方式。

以緊鄰海邊的高雄站（東經 120.3157 度，北緯 22.5659 度）為例（圖 3），WRF 網格於高雄站周圍 4 點之最近點（WRF 網格第 56、24 點）為西南側之網格點，該網格點土地使用為水（water），其餘周圍 3 點（WRF 網格第 57、24；56、25；57、25 點）之土地使用皆為都市（urban and built-up）。當資料需要補遺時，內差的方式採用最近點、周圍 4 點距離反比、及排除海水點之 3 點距離反比等，3 種不同方式之 WRF 模擬重建與觀測溫度間之相關係數，分別為 0.88、0.91、及 0.95。因此，高雄站之 WRF 資料內插方式為：排除土地使用為海水之網格點後，所剩下 3 點之距離反比。

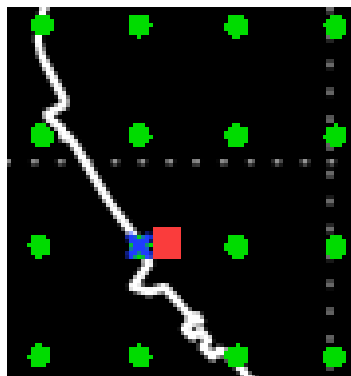


圖 3 WRF 第 2 網巢於經向（東西向）第 55~58 點與緯向（南北向）第 23~26 點（綠色點為 WRF 網格點）。紅色正方形為高雄測站之位置。綠色點上標藍色 X 表示該點為高雄站資料內插點且地表使用（landuse）為「水」。

3. 大氣穩定度

大氣穩定度的分類採 Pasquill 法，此法係依白天的日照強度（4 等級）、夜間的雲量（2 等級）對應於強弱不等（5 等級）之風速範圍，將大氣穩定度區分為 A~F 共 6 個等級（表 2）。在風速愈小的情況下，穩定度趨向於極穩定或極不穩定狀況；而風速愈大則趨向於中性。運用此方法時，日間計算大氣穩定度需要太陽短波輻射之資料，此值直接引用常態觀測資料；但若資料漏失或無觀測情況，則採用 WRF 模擬結果；夜間計算大氣穩定度所需之長波輻射，因無夜間無觀測資料可引用，故直接採用 WRF 模擬之向下短/長波通量變數（downward short/long wave flux at ground surface，單位： W m^{-2} ）。

表 2 Pasquill 穩定度等級分類表

風速(ws) (10 m 高) (m s^{-1})	白天 (太陽短波輻射, Rsd) (W m^{-2})				夜晚 (大氣長波輻射, Rld) (W m^{-2})	
	Rsd>700	525<Rsd≤700	350<Rsd≤525	Rsd ≤350	Rld >338	Rld ≤338
ws<2	A	A	B	B	E	F
2<ws≤3	A(ws≤2.5) B(ws>2.5)	B	B	C	E	F
3<ws≤5	B	B	C	C	D	E
5<ws≤6	C	C	D	D	D	D
6<ws	C	D	D	D	D	D

4. 混合層高度：

過去相關研究（例如：王等，2016；Bank *et al.* 2016；Milovac *et al.* 2016）指出，WRF 對於邊界層內的風場演變或混合（邊界）層高度變化，均具有一定之模擬重建能力；對於邊界層發展過程具有之局地差異（如沿海與內陸）與變動（如清晨與午後）之特徵，WRF 皆可有所掌握。

本計畫 WRF 垂直解析度設定為垂直 45 層（距地高度 1 公里以下解析 22 層），雖遠低於探空觀測資料者，但因 WRF 模擬所重建之氣象場，其時間為小時與空間解析度為水平間距 5 公里，皆遠高於探空站之 12 小時時間解析度與數百公里空間解析度。故本年度採用 WRF 模擬重建之混合層高度（PBLH），較可滿足 PBLH 隨不同區域與時間之變化特性。因此，ISCST3 之混合層高度即以 WRF 之 PBLH 代入。

由於混合層高度並無類似地面溫度、風向及風速等較高空間、時間解析度觀測資料可供校驗測試，因此，各測站位置之混合層高度，係由 WRF 網格點內插方式獲得，內插方式則仍採用溫度相關係數最高者（如前述）。

續以高雄站為例，圖 4 為 2018 年 1 月 1 日～2 月 9 日共計 41 日期間，WRF 模擬重建之高雄站 PBLH。最接近高雄站的 WRF 第 56、24 網格（東經 120.302 度、北緯 22.5646 度），其地表使用（landuse）為水（圖 3），故於第 56、24 網格點（圖 4 白色線）之模擬重建邊界層高度平均日夜變化，遠小於高雄站西北側（圖 4 紅色線）、東北側（圖 4 藍色線）及東南側（圖 4 綠色線）者。在高雄測站所在位置，若選用「距離反比權重內插」方式將模擬重建 PBLH 資料內插至高雄站，則因高雄西南側海上點（第 56、24 網格）權重遠大於其他 3 點（圖 3），勢將使得高雄站之 PBLH 呈現無明顯日夜變化之特性。

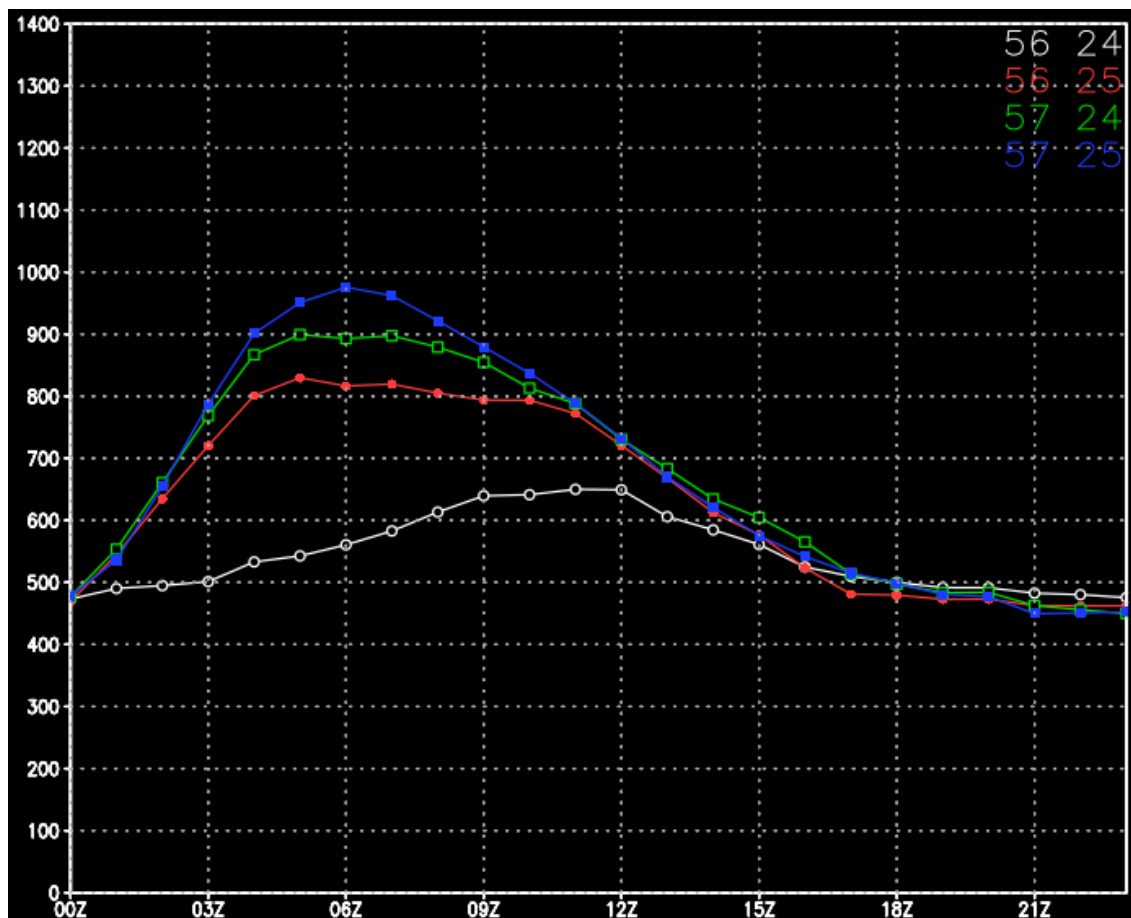


圖 4 WRF 第 2 網巢於高雄測站周圍 4 點（不同顏色表示不同網格點，如圖右上所示；各點位置可參閱圖 3）在 2018 年 1 月 1 日~2 月 9 日共 41 天資料之 PBLH 逐時變化。橫軸之時間為國際標準時 UTC。

5. 資料之 QA/QC 程序：

2020 年之 ISCST3 高斯法規模式氣象資料，藉由 WRF 模擬重建，以及包括 29 個中央氣象局氣象站地面資料與板橋探空資料，已整合建置於各測站所在位置。其中，WRF 模擬重建 PBLH，除具不同區域與不同時間有變化特性外，亦可與探空觀測所定之 PBLH 比對。

中央氣象局板橋探空站作業化探空以 12 小時間隔觀測，故 WRF 模擬重建之 PBLH 多半時間、位置並無其他探空資料可供校驗。2018 與 2019 年利用板橋站作業化探空與「雙北暴雨觀測實驗」不定時於 0300、0600 及 0900 UTC 加放之探空資料，經主觀（位溫及/或水氣量隨高度呈現均勻分布的氣層）與梯度法（呂等，2016）判定 PBLH，再與 WRF 模擬重建者比對，以檢驗 ISCST3 氣象檔之 PBLH 可信度，並據以修正 WRF 模擬重建 PBLH。

(1) 例行觀測驗證：

2018 年中央氣象局板橋探空於 0000 UTC 共有 364 次探空資料，其中可經由主觀判定 PBLH 者為 343 次，21 次無法判斷 PBLH；於 1200 UTC 共取得 365 次探空資料，可判定 PBLH 者為 353 次，12 次無法判斷 PBLH。圖 5 為可定出 PBLH 與 WRF 模擬者之不同日數滑動平均（running mean）計算之相關係數，顯示雖 0000 UTC 於 5 天之滑動平均有稍高（0.11）之相關係數，但滑動平均日數大於 26 日以及 1200 UTC 各種日數滑動平均者，與 WRF

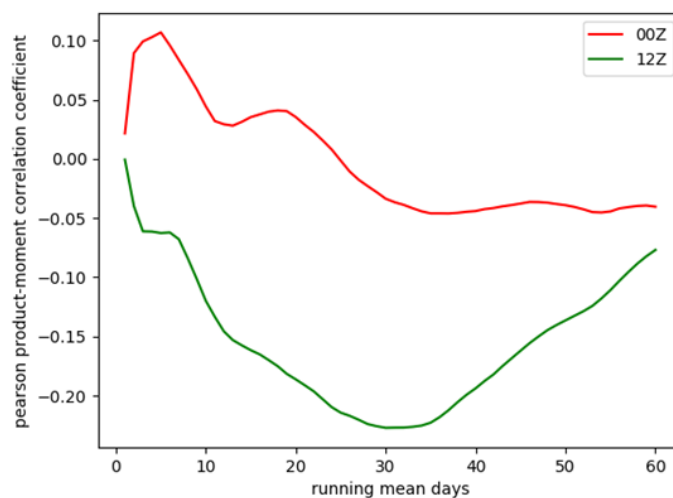


圖 5 板橋探空資料經主觀判斷之 PBLH 與 WRF 模擬者，以 0~60 天不同日數滑動平均於 2018 年 0000（紅色線）與 1200 UTC（綠色線）之相關係數。

模擬之相關係數皆低於 0。顯然，PBLH 所具有之日夜變化特徵，無法僅由作業化觀測時間解析。

再以所在地點為岸邊之高雄站為例，圖 6 為 2018 年全年 365 日平均 PBLH，不同顏色線分別為高雄站周圍 4 點 WRF 網格（紅、橘、土黃及黃色斷線）、周圍 4 點 WRF 網格距離反比權重（綠色），以及排除地表使用為海洋後之 3 點距離反比權重（藍色）。結果顯示，若僅考慮數學因素，應選用綠色線為高雄站之邊界層高度資料。但若考慮實際資料之應用可行性，確實可選擇「排除較不受太陽輻射影響之地表使用為海洋網格點後」，以其他 3 點之距離反比權重內插所得值，指定為高雄站之 PBLH 資料，除了作法合理之外，亦能持續保有混合層高度之日夜變化特徵。

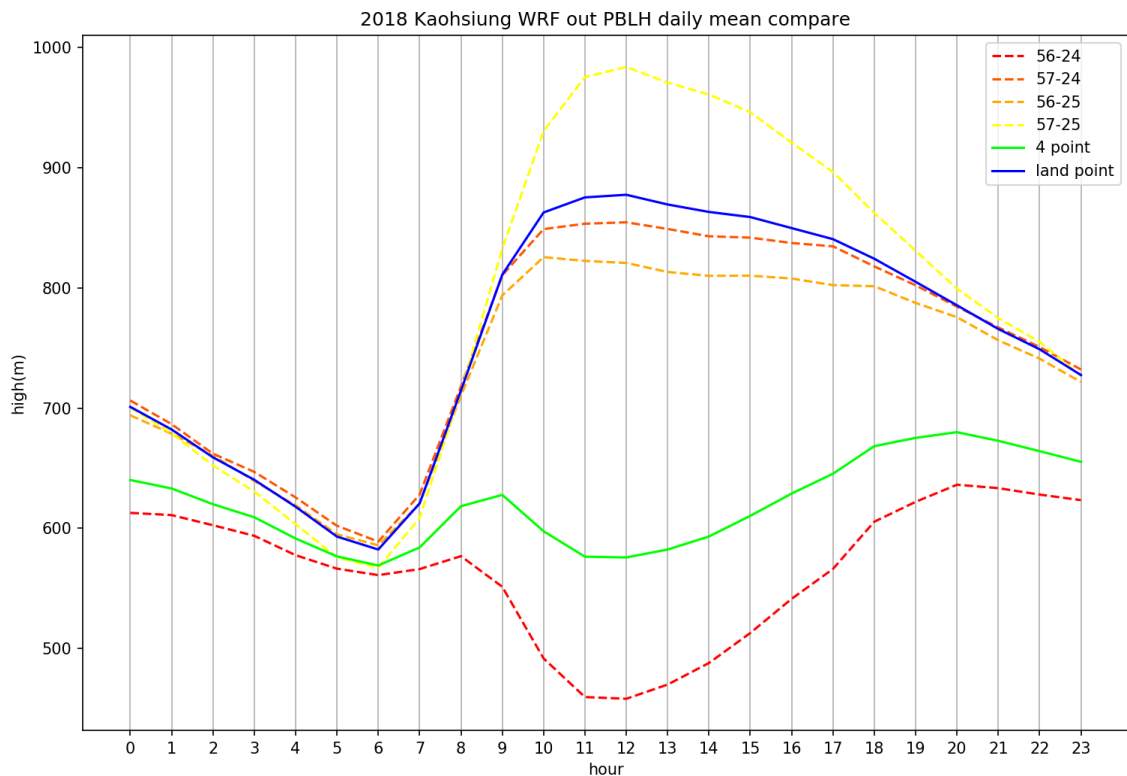


圖 6 2018 年共 365 日之 WRF 模擬 PBLH（單位：公尺）平均逐時（本地時）變化。圖示 X-Y 點位置可參考圖 3。綠、藍色線分別為高雄站周圍 4 點、排除地表使用為海洋之 3 點距離反比權重內插之 PBLH。

(2) 模擬重建 PBLH 之修正：

2018 與 2019 年「雙北暴雨觀測實驗」期間，不定期於板橋加放探空，總計可主觀分析出 PBLH 在 0300 UTC 有 40 次；0600 UTC 有 42 次；有加放探空日之作業化探空且可主觀分析出 PBLH 者在 0000 UTC 有 43 次與 1200 UTC 有 44 次。總共 169 筆探空觀測與 WRF 模擬 PBLH 之相關係數為 0.65。探空觀測訂定之 PBLH 與 WRF 模擬者相比（圖 7），顯示 WRF 模擬之 PBLH 常高於探空觀測者。

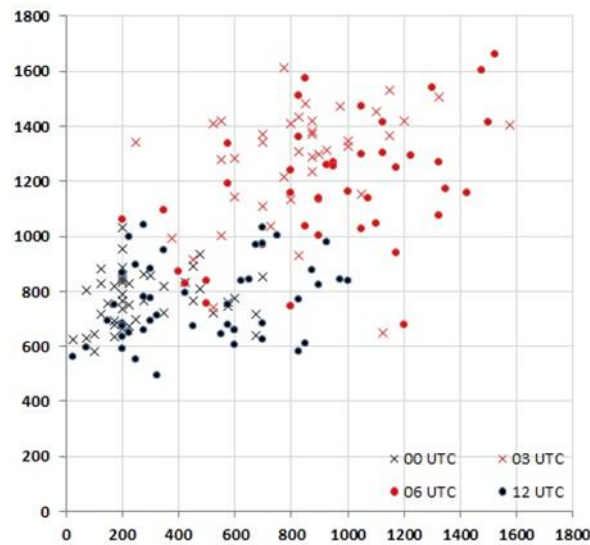


圖 7 2018 年雙北暴雨實驗有加放探空日時，各時間探空資料主觀判斷 PBLH（橫軸）與 WRF 模擬（縱軸）之 PBLH（單位：公尺）。

在 0000、0300、0600 及 1200 UTC 等四個時間點上，各自計算出平均比率，利用「三次樣條插值（cubic spline interpolation）」且指定為 24 小時之「週期性」變化，亦即將隔日 0000 UTC 之比值，設為等於初始 0000 UTC 之比值，即可獲得每小時主觀分析 PBLH 除以 PBLH 之比率（圖 8）。將此逐時修正比率，乘上各測站位置之逐時 WRF 模擬重建 PBLH，即為 2018 年 ISCST3 高斯法規模式之 PBLH 資料。

然而，類似之方法在 2019 年時，逐時修正比率曲線在 2300 LST（圖 9 第 16 筆資料點）～0900 LST（第 2 筆）這段時間內，2019 之修正比率小於 2018 者，尤其在 0400～0600 LST（第 21～23 筆）期間修正比率低於 0.1，這將導致深夜～凌晨 WRF 模擬之 PBLH 已較低之值再被修正為更低。

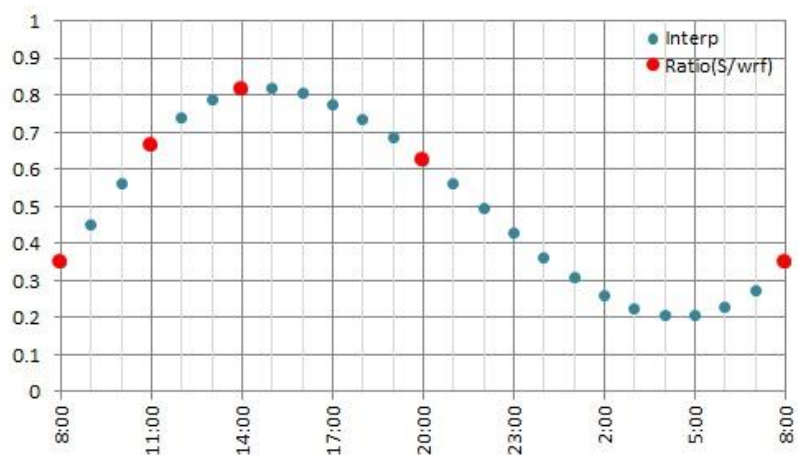


圖 8 利用「雙北暴雨觀測實驗」期間探空，以主觀分析所定之 PBLH 除以 WRF 模擬重建 PBLH 之平均比率（紅點）並設定週期為 24 小時，以 cubic spline 內插方式即可得每 1 小時之比值（藍點）。

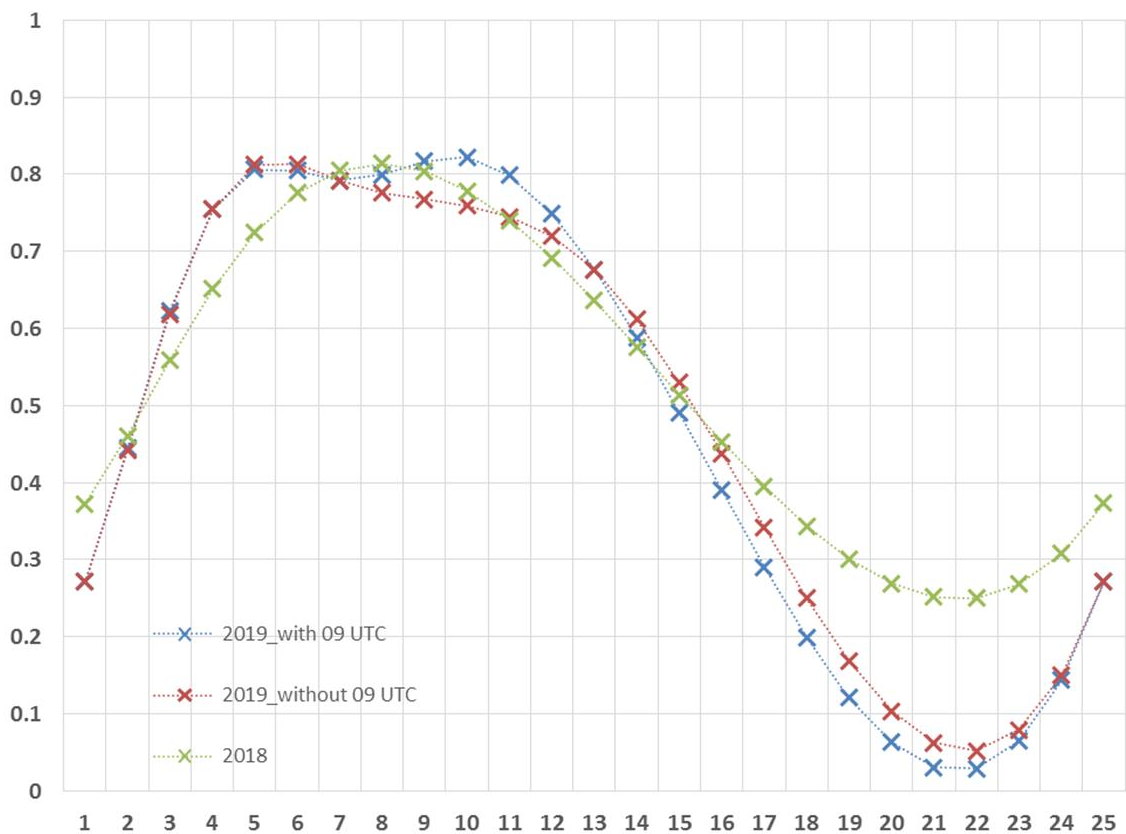


圖 9 類似圖 12 但為 2018（綠色）、2019 有 0900 UTC 資料（藍色）及 2019 無 0900 UTC 資料（紅色）計算之逐時修正比率。橫軸 1 表示第一筆資料為 0800 UTC。

圖 10 顯示，三次樣條插值雖然可由離散點（0000、0300、0600、1200 與 0000 UTC）獲得一較連續且平滑之曲線，但此三次函數之假設亦導致探空與 WRF 者（紅色與綠色）在 2000~0800 LST 期間向下彎曲，且彎曲程度大於各時間點皆為 WRF 模擬者（藍色）。在無其他資料校驗比較情況下，實難抉擇一較合理之修正曲線。

台大大氣系林博雄教授團隊於 2021 年 4 月 1~5 日期間至台南藝術大學觀測實驗，除有雲幕儀（Ceilometer，CL31 型）觀測散射值經 Haar 小波協方差（wavelet covariance）法（例如：Ware 等 2016）判斷 PBLH 之外，亦每小時施放台灣大學製作之 ST（storm tracker，又稱 mini radiosonde，有溫度、濕度、氣壓晶片及可紀錄 ST 經緯度之 GPS 晶片，Huang 等 2020）資料經主觀判定之 PBLH，結果如圖 15 所示。在四個夜間時段，WRF（黃色）與 CL31 及 / 或 ST 之 PBLH 雖有差異，但僅約 100~200 公尺左右，而不曾出現一個數量級左右之差異。

綜上所述之分析結果，2020 年 WRF 模擬之 PBLH 逐時資料比率修正曲線如圖 12 所示。相較於 2018 與 2019 年者，1900~0700 LST 之間經主觀修改後，自原先 WRF 模擬之 PBLH 調降量較大（例如 2019 年 0600 LST 比率為 0.06）改為調降量較小（2020 年 0600 LST 比率 0.4）。

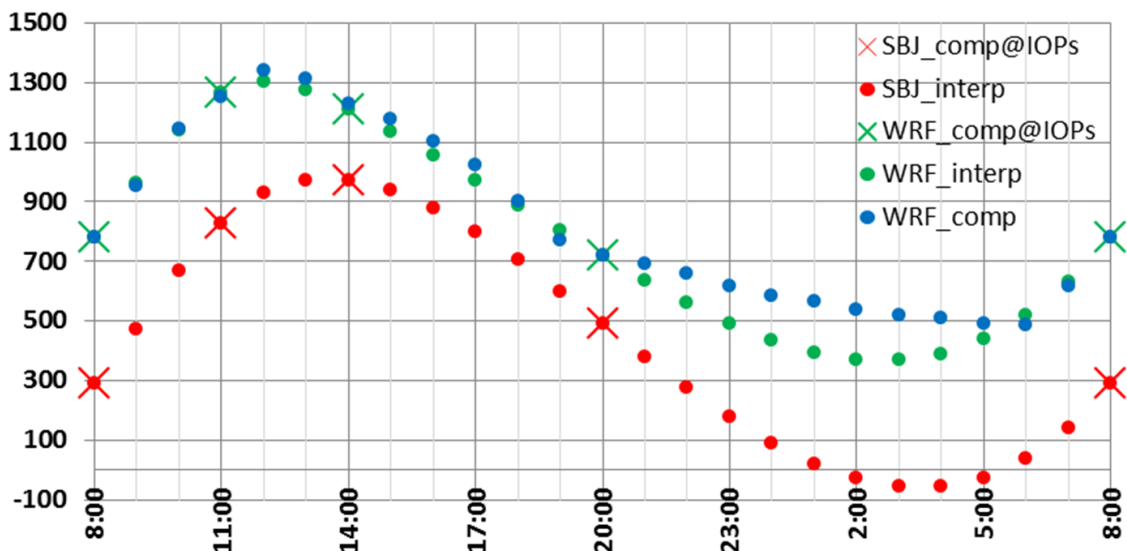


圖 10 2018 年雙北暴雨實驗期間，X 表示以探空觀測資料（紅色）主觀判斷、WRF 模擬（綠色）之 PBLH（單位：公尺），實心點為經三次樣條內插後之值。藍色則為有加放探空日 WRF 逐時平均。橫軸時間為地方時。

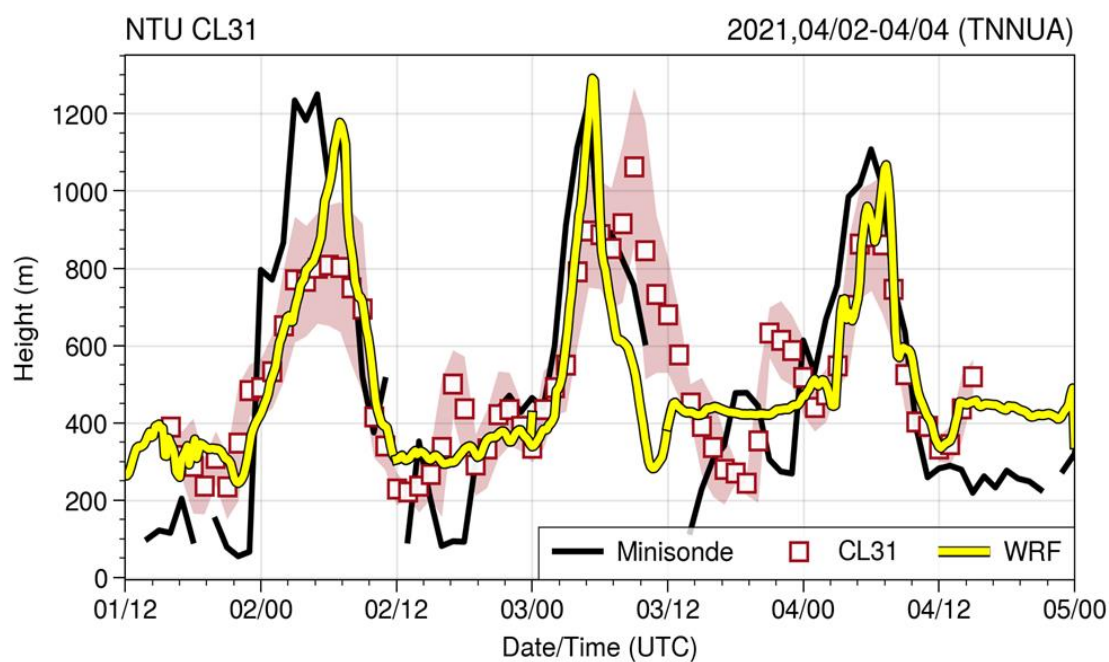


圖 11 2021 年 4 月 1~5 日於台南藝術大學由 CL31 觀測（紅色）、ST 觀測（黑色）及 WRF 模擬（黃色）之 PBLH（單位：公尺）。橫軸時間為世界時。

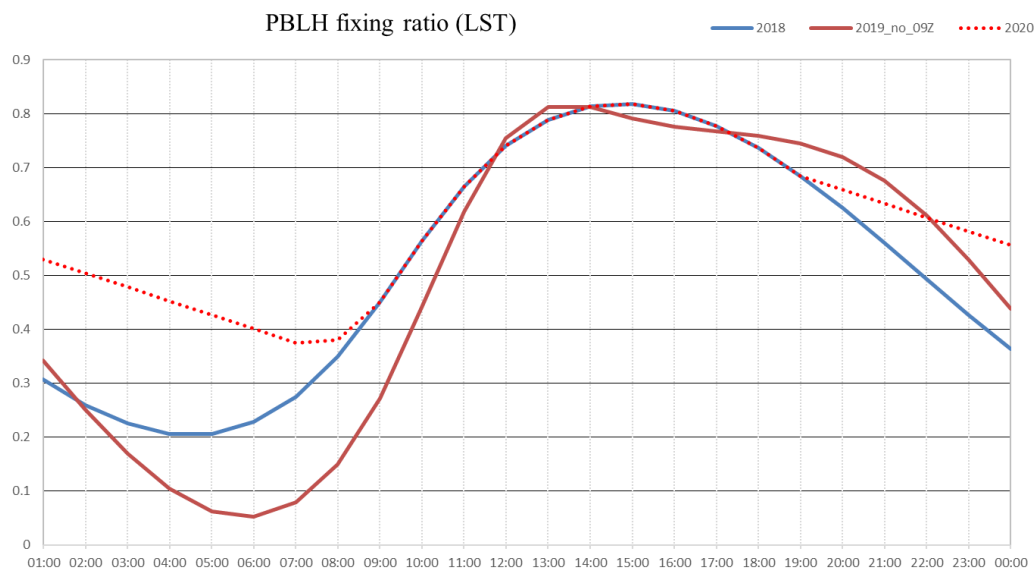


圖 12 WRF 模擬之 PBLH 逐時修正比率曲線分別於 2020 年（紅色點線）、2019 年（紅色實線）與 2018 年（藍色）。橫軸時間為地方時。

參考文獻

- Banks, R. F., J. Tiana-Alsina, J. M. Baldasano, F. Rocadenbosch, A. Papayannis, S. Solomos, and C. G. Tzanis, 2016: Sensitivity of boundary layer variables to PBL schemes in the WRF model based on surface meteorological observations, lidar, and radiosondes during the HygrA-CD campaign. *Atmos. Res.*, 176–177, 185–201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.024>
- Hwang, W. -C., P. -H. Lin, and H. Yu, 2020: The development of the “Storm Tracker” and its applications for atmospheric high-resolution upper-air observations. *Atmos. Meas. Tech.*, 13, 5395–5406. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-13-5395-2020>.
- Milovac, J., K. Warrach-Sagi, A. Behrendt, F. Späth, J. Ingwersen, and V. Wulfmeyer, 2016: Investigation of PBL schemes combining the WRF model simulations with scanning water vapor differential absorption lidar measurements, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 624–649, doi:10.1002/2015JD023927.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp. doi:10.5065/D68S4MVH.
- Ware, J., E. A. Kort, P. DeCola, and R. Duren, 2016: Aerosol lidar observations of atmospheric mixing in Los Angeles: Climatology and implications for greenhouse gas observations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 9862–9878, doi:10.1002/2016JD 024953.
- 王尹懋，戴志輝，林博雄，苗君易，李中宏，2016: 利用數值天氣模式重建風場資料庫。2016 臺灣風能協會學術研討會，B-2，臺灣基隆。
- 呂佳穎，林博雄，李育棋，游志淇，2016：雷射雲幕儀應用於台灣各種地貌之混合層高度量測。大氣科學，44(2)，149–171。
- 林博雄，周耿民，蔡原祥，陳景林，2016: 彰濱風機園區氣象塔之不同風速計觀測性能之比較與風機安全性能等級所需環境風場要素之推估。台電工程月刊，821，1–16。