

# 台灣地區測風光達比較分析

林博雄<sup>1</sup> 張宇泓<sup>1</sup> 傅七寶<sup>1</sup> 江秀真<sup>1</sup> 戴璟景<sup>1</sup> 戴志輝<sup>1</sup> 王尹懋<sup>1</sup> 譚日軒<sup>1</sup> 蘇世穎<sup>2</sup> 楊菁華<sup>2</sup>  
陳韡鼎<sup>3</sup> 侯昭平<sup>4</sup> 蔡世樵<sup>4</sup> 鳳雷<sup>5</sup> 宋偉國<sup>6</sup> 蘇柏林<sup>7</sup> 詹景裕<sup>8</sup>

<sup>1</sup>國立臺灣大學 <sup>2</sup>私立文化大學 <sup>3</sup>中央研究院 <sup>4</sup>國防大學 <sup>5</sup>國家實驗研究院臺灣海洋科技中心 <sup>6</sup>  
空軍航空技術學院 <sup>7</sup>慧技科學有限公司 <sup>8</sup>國立臺南藝術大學

## 摘要:

本文說明民國 110 年 4 月 1~4 月 5 日於嘉南平原(台南藝術大學)台灣地區第一次四款測風光達(wind lidar)的同地同時比對結果，大氣溫度濕度和風速風向垂直剖面所建構的低層大氣邊界層由 96 小時連續台灣大學迷你探空儀(mini radiosonde; storm tracker) 的溫度濕度晶片量測和 GPS 風速風向觀測所建構。五種 PBL height 計量顯示五天四夜時間(4 月 2 日-4 月 5 日)序列，我們發現 4 月 4 日中午前各種計量定義的高度差異不大，並有日夜變化趨勢；4 月 4 日中午-4 月 5 日兩天受到東北季風增強影響，中低層大氣濕度增加而 PBL 高度增大。四種 windlidar 和 ST 的風速風向時間序列特徵，由於各廠牌發射功率不同，因此高度上限由地面~250 m, 1km, 3km 不等；整體而言，中研院 DLW-3 的風場偵測相對完整並和 ST 的吻合度最高，並且他對於低雲反應也和 CL31 雲幕儀類似。我們也分析討論 WRF 模式網格模擬邊界層高度和 Windlidar 以及 CL31 邊界層高度觀測的相關程度。

This study presented the characteristics of PBL through intensive (continuous 96 hours) atmospheric PBL observation at Jianan Plain of Taiwan (campus, Tainan National University of the Arts). The mini radiosonde (storm tracker, ST) was released hourly from April 4 to April 5 of 2021 provide the thermal/humidity and wind profiles and four types of wind Lidar (used in Taiwan) were operated on-site intercomparison. We found that five PBL calculations give similar diurnal variation patterns and PBL Height raised after April 4 due to moister air coming. Wind LIDAR (Amonics DLW-3 high power scanning lidar) From RCEC give good consistency with radiosonde measurement at all, and its cloud response is also similar to CL31 ceilometer. The WRF model simulation on PBL height is also compared to Windlidar and CL31 observation.

關鍵字: 測風光達, 無線電探空儀, 比對

KEY WORDS: Wind lidar, Radiosonde, Intercomparison

## 一、前言

經濟部鼓勵發展臺灣地區的離岸風力產業，由於海上邊界層風速剖面難以取得，因此氣象產業發展出測風光達(Wind Lidar)來取代陸地上測風鐵塔(wind tower)的量測。Wind Lidar 約自 1990 年代開始在歐洲風機場域(wind farm)被製造和現地量測與比對，台灣電力公司在 2006 年於彰濱

工業區建立風機測試場域以及一套 70m 高度測風塔，分別在離地 10m-30m-50m-70m 南北兩側設立風速計 林等(2016)曾受台電公司於當地進行委託計畫並向海科中心租賃一部法國 windcube v2 設備進行同地四季(每季七天)比對，當時我們發現其與測風塔風速計量測不盡吻合，成功大學能源科技與政策研究中心則採購加拿大 AXYS 公司所生產的 WindSentinel 系統浮動式光達(Floating LiDAR)以及 windcube v2 來進行台灣海峽離岸風場量測。

除了離岸風能議題之外，大氣學門對於 lidar 應用於大氣邊界層研究(如 aerosolmonitor 與 airport turbulence eddy)並不陌生，因此中央研究院環境變遷研究中心國防大學以及三重市慧技科學公司分別購入不同型態與廠牌的 wind lidar. 本系鴻基教授主持的宜蘭蘭陽平原夏季熱對流實驗(Yilan Experiment for Severe Rainfall (YESR))計畫曾於 2020 年借用中研院以及國防大學 Wind lidar 我們跟同地無線電探空儀(radiosonde)比較也懷疑其正確性，本文第一作者乃透過教學實作課程，於 2021 年台灣大學春假期間(4 月 1 日-4 月 5 日)安排一次連續性觀測實驗，向國內現有四款 wind lidar 單位商借匯集到嘉南平原臺南藝術大學(六甲區)草坪，透過修課學生四組成員輪班進行連續 5 天密集性的 mini radiosonde (又稱 storm tracker;以下簡稱 ST; 石等 2016; 黃等 2016 林與黃 2017, W.C. Huang et al.,2020)透過每一小時施放所蒐集的 low-altitude (0-9km)大氣濕度濕度風向風速剖面(profile)所構成的風場資訊，來做為 wind lidar 量測結果的比較參考。我們的預期目標包括(1)藉此了解嘉南平原在春季弱綜估天氣情境下的邊界層特性(2)探討國內現有四套雷射光達(Lidar)的同地同時觀測所量測的剖面風特徵的一致性程度，做為未來台灣大氣學門學者應用之參考。低層大氣剖面風場觀測由台大師生施放 1-hr time interval storm tracker (以下簡稱 ST; GPS derivrd)作為參考答案。

本文第二節機說明比對實驗場地與儀器特性，第三節總整觀測結果和討論，並感謝國立臺南藝術大學提供師生教學觀測場地電力與食住支援。

## 二、比對實驗設計

實驗場地:國立台南藝術大學(台南市六甲區)位於南平原緊鄰烏山頭水庫和山脈

距離海濱和山脈地形分別是 30 公里和 20 公里 (圖 1) 觀測草坪環境遮蔽度是  $11.3^\circ$  (圖 2)。

實驗設備說明:

- (A) 地面氣象站:本次實驗備有類型地面氣象觀測，一為 Vaisala WXT510 自動測站(台灣大學)觀測頻率為 1Hz，二為百葉箱/乾球溼球溫度計 (文化大學)，由學生在 ST 升空前進行人估操作紀錄。
- (B) 探空系統(RS41, ST, CL31): Vaisala Radiosonde family (RS41)與台灣現有氣象局與空軍常規探空作業同款，每六小時(00Z-06Z-12Z-18Z)施放一組，由 2000g 探空氣球攜帶升空，一組 ST 黏貼在 RS41 側面一併升空。地面接收主機(MW41)由中研院與台灣大學提供。台灣大學製作迷你探空儀(mini radiosonde; stork tracker)有溫度濕度氣壓晶片 以及 GPS 紀錄氣球經緯度和風速風向轉換() 他的研發細節和 RS41 radiosonde 比較一致性參見石等 2016; 黃等 2016 林與黃 2017, W.C. Huang et al.,2020)，學生依照施放程序每一小時充灌 30g pilot balloon 施放 ST；圖 3 顯示這 96 組 ST 水平飄移( $16.6\pm 8.3$  km)和垂直高度( $6.47\pm 2.04$  km)的概況。
- (C) Wind Lidar 系統

表 1 和 圖 4 整理國內現有四套雷射光達(Lidar)的型號規格與外觀。表 2 全體臺灣大學學

生 4 月 1 日-4 月 5 日夜分組操作的輪值概況，16 學生四組為了達成完整的 5 天 4 夜完整剖面時間序列圖(每組都包含兩次 co-launch)，我們竭力完成 96 小時不間斷的 ST 探空連續施放作業(圖 5)，其中包含 RS41/ST 一起施放(co-launch)的比對觀測。ST 共計 96 次 co-launch 則有 36 次。本文在 co-lunach 部分另有他文說明，僅集中在 ST 的探空資料分析診斷。

表 1: 國內現有四套雷射光達(Lidar)的型號規格

owner	圖 4 標註 manufacture	power	Maxi. height	Note L*W*H/W (ZENAGILE degree)
慧技	A 英國 ZEPHIR	69W	200m	ZX300 900,900,1001(mm), 55KG (30)
國防大 學	B 利得+工研院	350W	2000m	獵風 101 45,45,52 (cm),25KG
中研院	C 青島華航環境科技 有限責任公司 Amonics	2000W	4000m	DLW-3 800,640,1100mm, 45kg
TORI	D Leophere Windcube V2	45W	2000m	543,552,540MM, 150kg (28)

表 2: 4 月 2 日-4 月 5 日,2021 學生分組輪值作業表

LST	00-05 (*02,05)	06-11 (08,11)	13-17 (14,17)	18-23(20,23)
4/1	Taipei-Tainan		儀器安裝	開始觀測
4/2	觀測	觀測	觀測	觀測
4/3	觀測	觀測	觀測	觀測
4/4	觀測	觀測	觀測	觀測
4/5	觀測	觀測	結束觀測	討論
4/6	Tainan --Taipei			

\*紅字代表 co-launch 時刻。

### 三、結果與討論

圖 6 呈現 4 月 2 日-4 月 5 日 00Z, 2021 連續四天東亞地面天氣圖，顯示台灣地區是無降水系統的弱綜觀天氣型態;常見低層大氣邊界層(PBL)高度的方法包括:

1. surface  $\theta + 0.5$  K method
2. Maximum  $\theta$  gradient method ( find maximum  $\partial\theta/\partial z$  )
3. Minimum RH gradient method (find minimum  $\partial RH/\partial z$  )
4. 0.5 surface qv method
5. Richardson number = 0.25 method ( Definition : Richardson # =  $N^2 / (\partial u/\partial z)^2$  )

等五種計量。

圖 7 是這五種計量的 PBL height(PBLH)的五天四夜時間序列，我們發現 4 月 4 日中午前各種計量定義的高度差異不大，並有日夜變化趨勢; 4 月 4 日中午-4 月 5 日後面兩天受到東北季風增強影響，中低層大氣濕度增加而 PBL 高度增大。圖 8 探空資料與光達風速的分布，從上而下依序是光達、ST、Vaisala，隨時間的垂直剖面，光達在較高的風速有缺比較多的資料，不過有資料的地方與探空觀測到的風速大小與分布都相當接近。就整體 1-3km 來看，1-2km 處似乎是低速帶，而 1km 以下於每天下午發生風速最大值，不過 4 月 4 日與 4 月 5 日早上也有較強的風出現。圖 9 橫軸是汽球探空觀測到的風速，縱軸是光達觀測到的風速，橘紅色的探空是使用 ST，綠色的探空是使用 Vaisala。綠點相較於橘點偏左。又從高度分布來看，我們發現高度越高相關性越好。圖 10 是 1 km 高度相對溼度偏失偏乾(80%為界)的相關分析散布圖、濕度越低。圖 11 分別是四種 windlidar 和 ST 的風速風向時間序列特徵，由於各廠牌發射功率不同，因此高度上限由地面~250 m, 1km, 3km 不等;整體而言，中研院 DLW-3 的風場偵測相對完整並和 ST 的吻合度最高。中研院 DLW-3(上)和雲幕儀 CL31(下)在 4 月 2 日-4 月 5 日,2021 四天的時間序列圖(圖 12)顯示低雲訊號出現在 4 月 3 日、4 月 4 日凌晨至清晨時段(0-6)有低雲(高度 200-300 公尺)的產生，4 月 5 日 早上(6-12)有上空有高度約 700-800 公尺的雲產生，中研院 DLW-3 與 CL31 皆有雲的反射訊號。我們使用 Wavelet Covariance Transform (Ware et al. 2016)來診斷分析 WRF 模式網格資料的邊界層高度以及 Windlidar 以及 CL31 邊界層高度觀測的相關程度。圖 13 顯示 4 月 2 日~4 日 PBL 時間消長與 CL31 較一致 4 月 3 日 則有時序差異，早上變化較一致 圖 14 顯示實驗期間 WRF PBLH 與 CL31 PBLH 差異不大，早上及晚間(淺色點)模式及 CL31 PBLH 差異小於 100m CL31 和 ST 的 PBL 消長相若。整體而言，夜間 ST PBLH < WRF/CL31 PBLH，但是 ST PBLH 高值時間稍早於 WRF/CL31 (圖 15)。

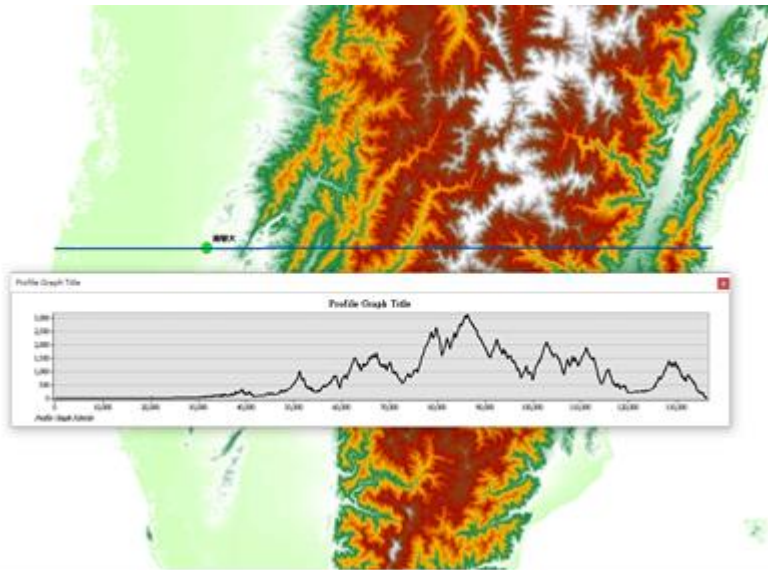


圖 1:實驗場地:國立台南藝術大學(台南市六甲區)位於南平原緊鄰烏山頭水庫和山脈距離海濱和山脈地形分別是 30 公里和 20 公里。

台南藝術大學 (23° 11' 09" N, 120° 22' 36" E) 平均遮蔽仰角 = 11.3°

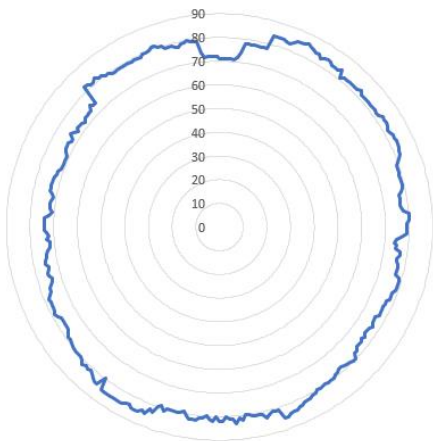


圖 2:觀測草坪環境遮蔽度是 11.3° 。

Terminal Location (TNNUA)  
Distance: Ave16.6km Std8.3km  
Height: Ave6.47km Std2.04km

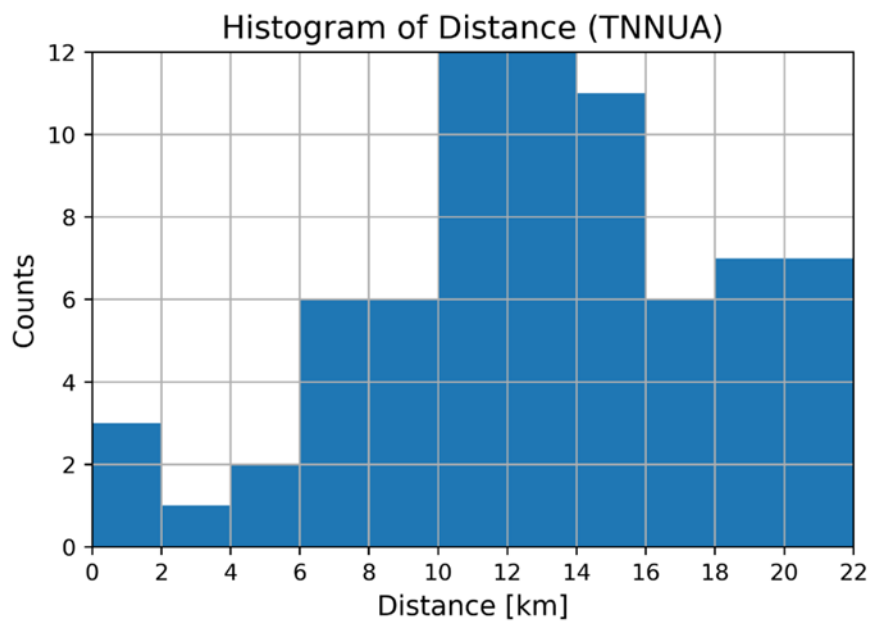
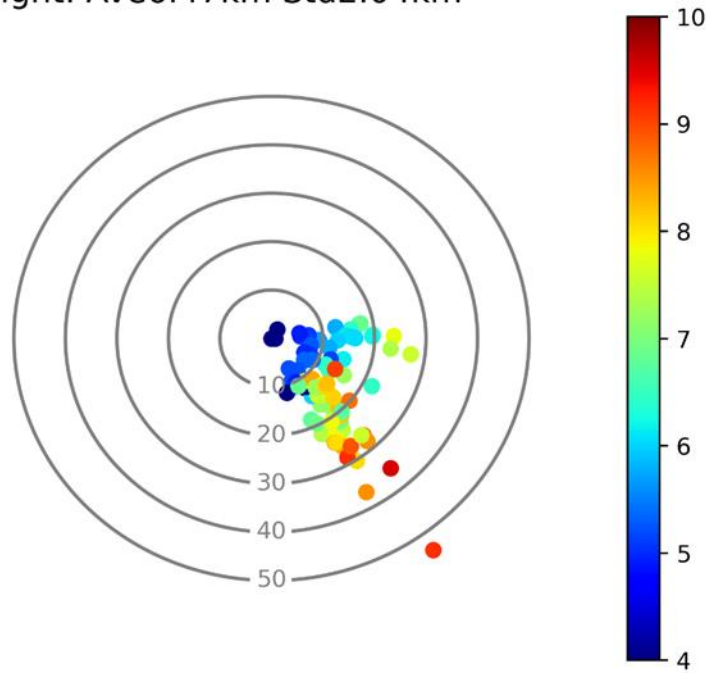


圖 3: 96 組 ST 水平飄移(上)和垂直高度(下)的概況。

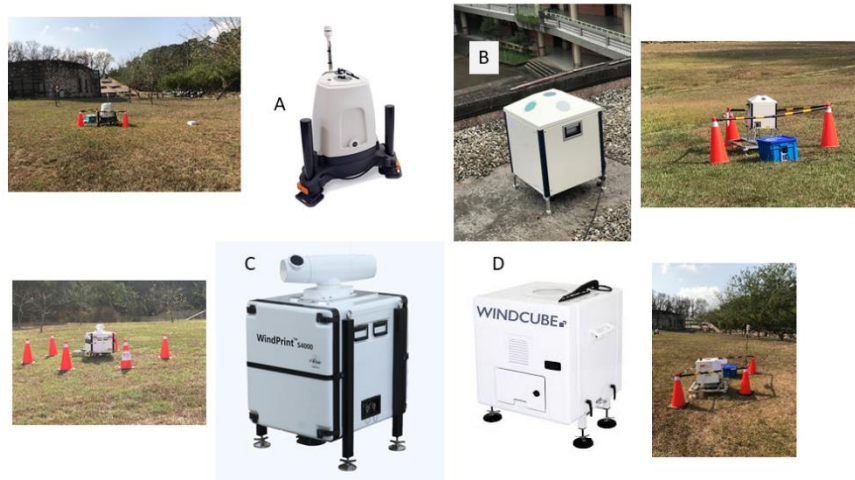


圖 4:國內現有四套雷射光達(Lidar)的外觀與台南藝大現場。

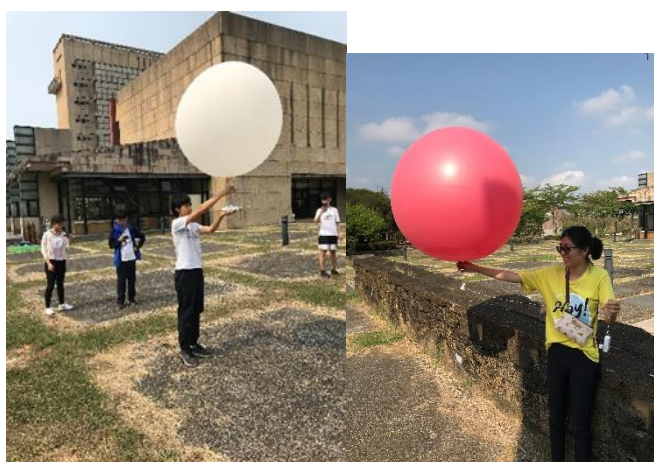


圖 5:台南藝大 RS41(左)與 ST(右)釋放現場。



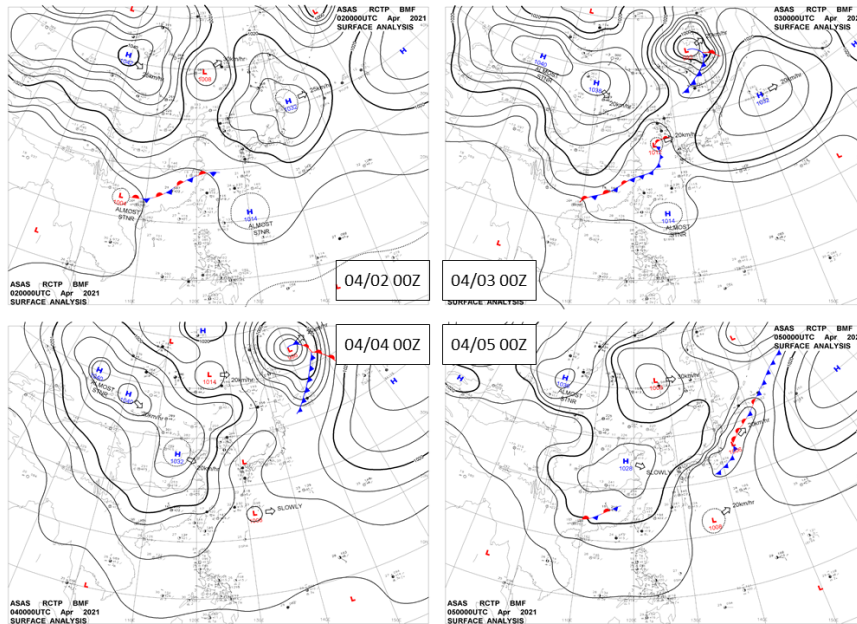


圖 6: 4/2-4/5 綜觀天氣特徵。

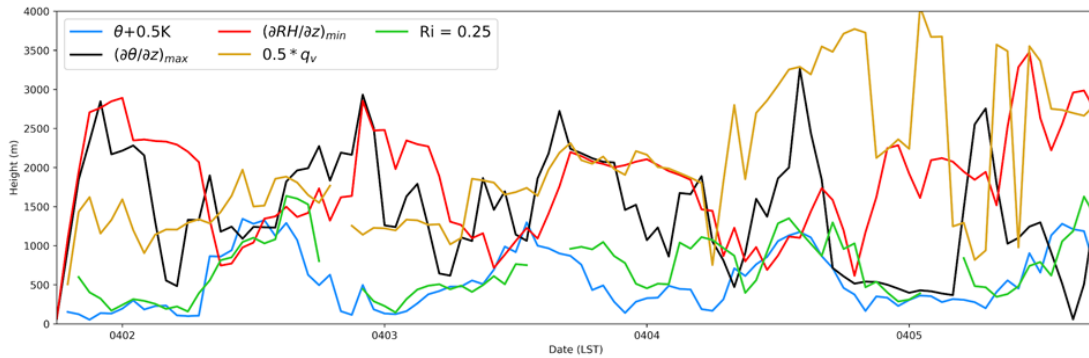


圖 7: 4月1日-4月5日五種大氣邊界層高度計量的時間演替圖。

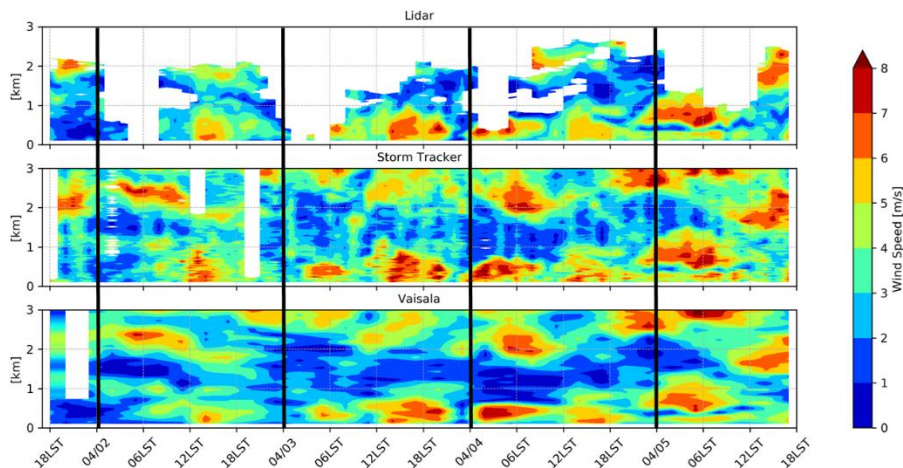


圖 8: 探空資料與光達風速的分布，從上而下依序是光達、ST、Vaisala，隨時間的垂直剖面，光達在較高的風速有缺比較多的資料，不過有資料的地方與探空觀測到的風速大小與分布都相當接近。就整體1-3km來看，1-2km處似乎是低速帶，而1km以下於每天下午發生風速最大值，不過4月4日與4月5日早上也有較強的風出現。

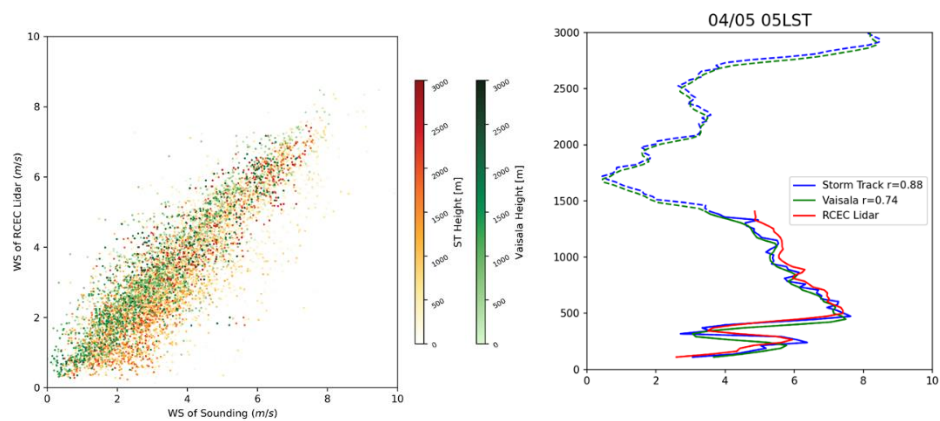


圖 9: (左)橫軸是汽球探空觀測到的風速，縱軸是光達觀測到的風速，橘紅色的探空是使用 ST，綠色的探空是使用 Vaisala。綠點相較於橘點偏左。(右)2021 年 4 月 5 日 05:00LST 風速，地面到 30km 高度剖面比較。

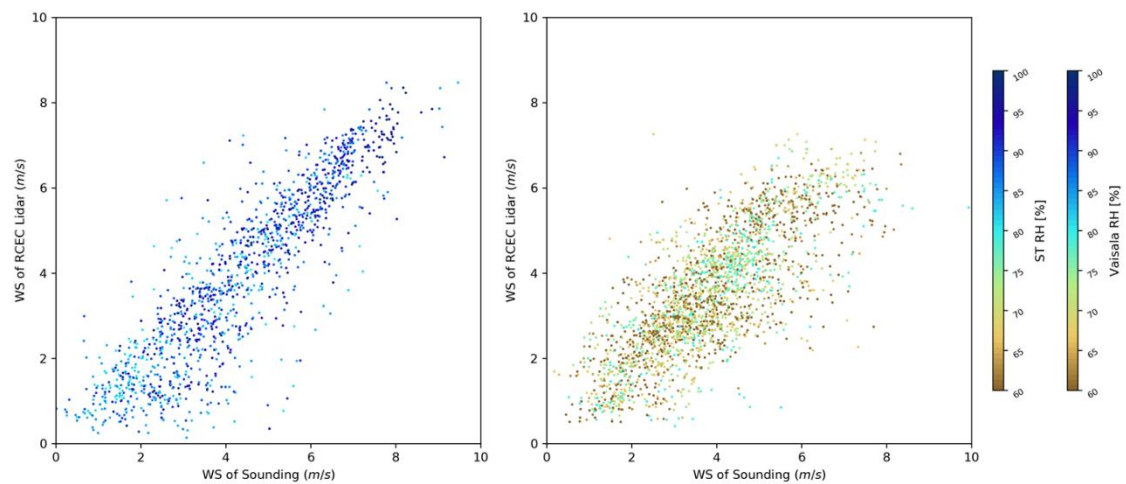
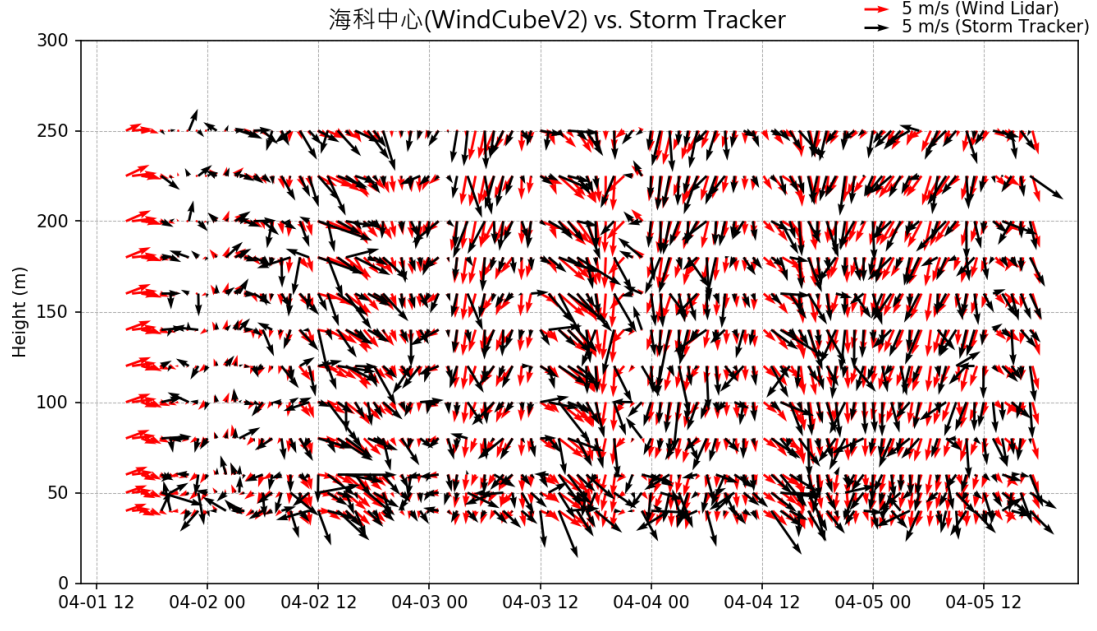
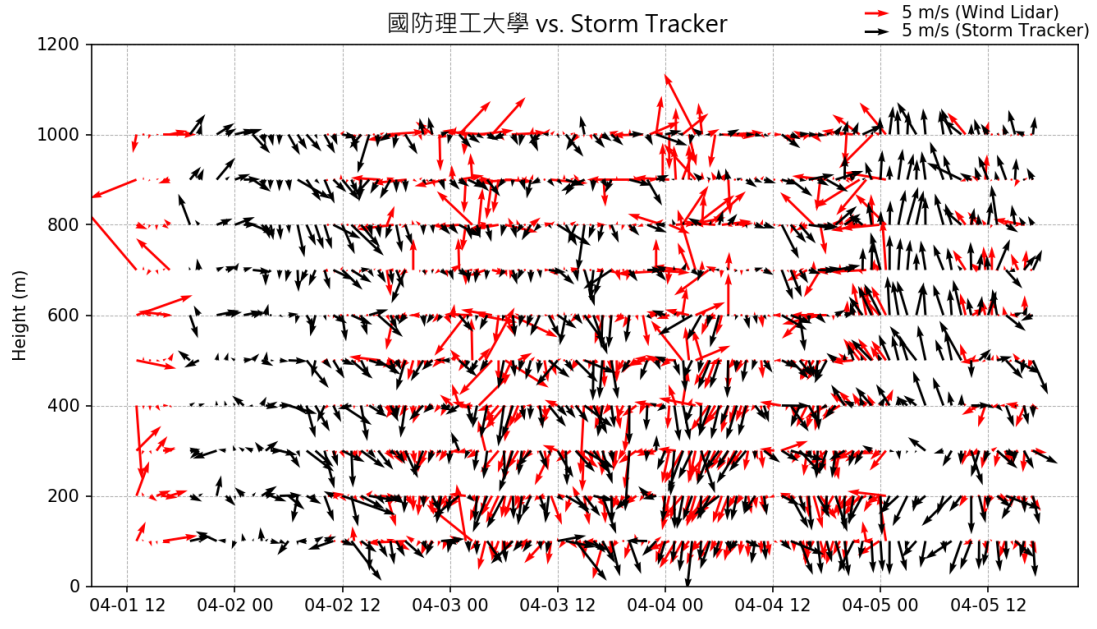
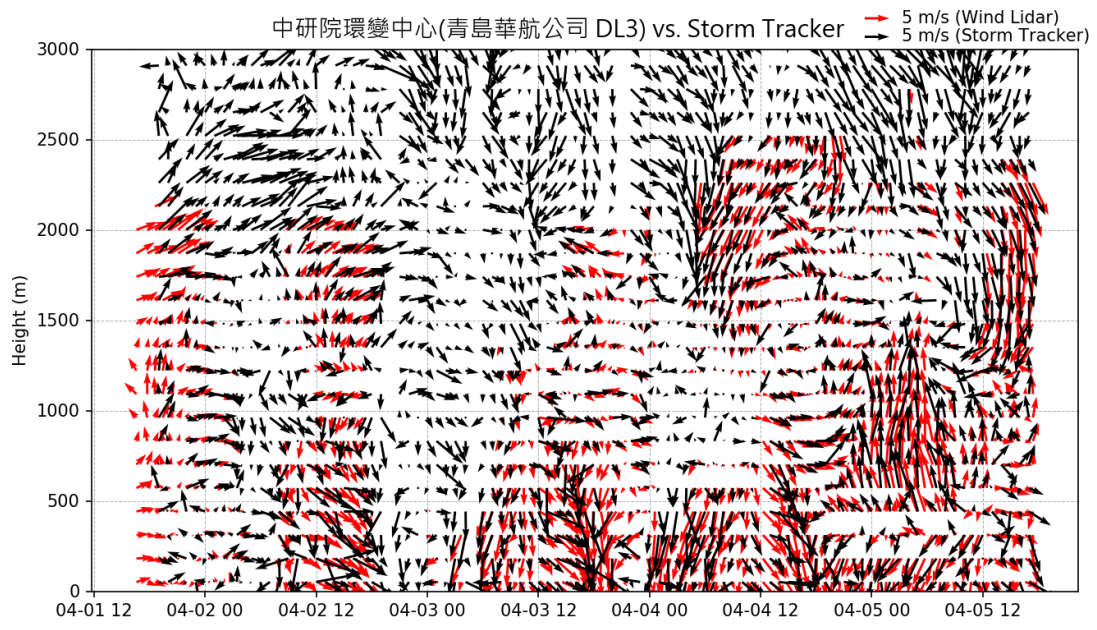


圖 10: 1 km 高度相對濕度 80%以上(左圖)以及 80%以下(右圖)相對溼度的圖 9 相關分析散布圖。



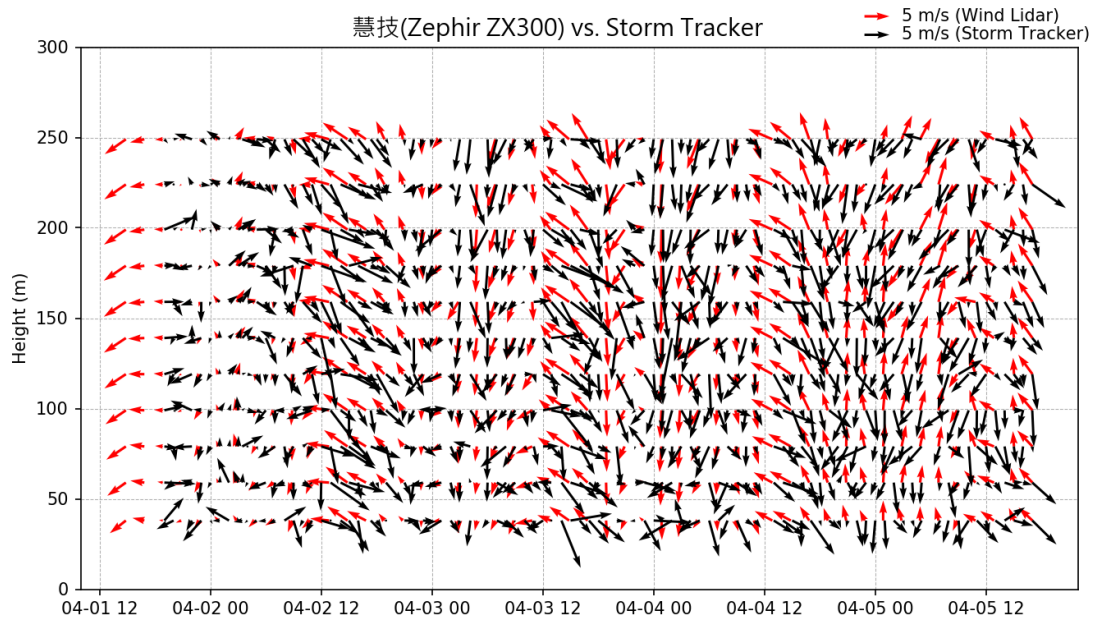


圖 11:分別是四種 windlidar (紅色向量、y 軸)和 ST(黑色向量、x 軸)的風速風向時間序列特徵，由於各廠牌發射功率不同，因此高度上限由地面~ 250 m, 1km, 3km 不等;整體而言，中研院 DLW-3 的風場偵測相對完整並和 ST 的吻合度最高。

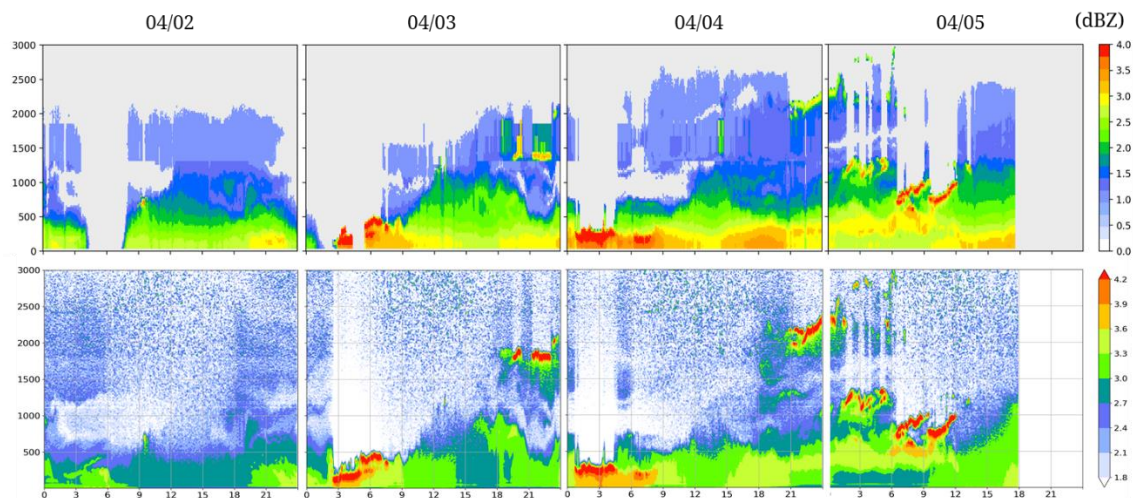


圖 12: 中研院 DLW-3 (上)和雲幕儀 CL31(下)在 4/2-4/5,2021 四天的時間序序。Y 軸為高度，Lidar 數值為取過 log 後的數值，單位為 dBZ。CL31 雲幕儀訊號再經 2.5 分鐘滑動平均。CL31 雲訊號出現在 4 月 3 日、4 月 4 日 凌晨至清晨時段 (0-6)有低雲(高度 200-300 公尺)的產生，4 月 5 日 早上(6-12)有上空有高度約 700-800 公尺的雲產生，中研院 DLW-3r 與 CL31 皆有雲的反射訊號。

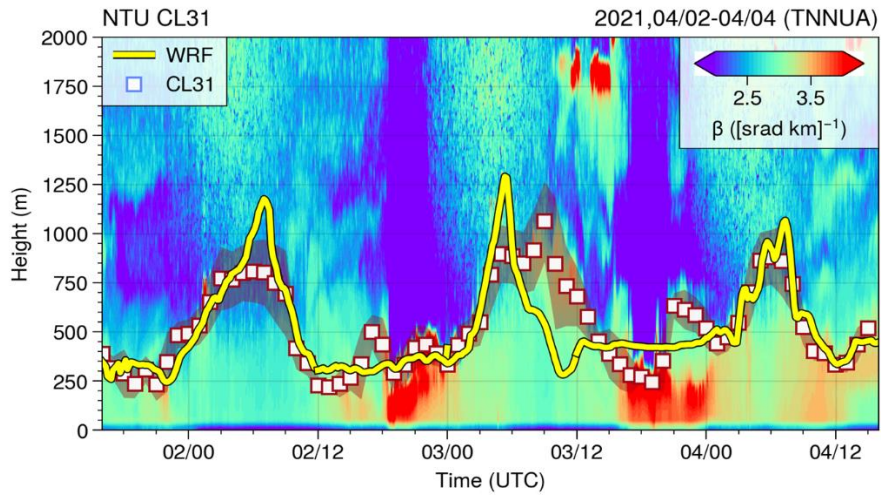


圖 13: 和雲幕儀 CL31 回波和 WRF 數值模擬演算的邊界層高度在 4/2-4/4,2021 三天的時間序序。Y 軸為高度(單位 m)，CL31 回波數值襯底(單位 dBz)。CL31 雲幕儀訊號演算的 PBL 高度用方格表示。

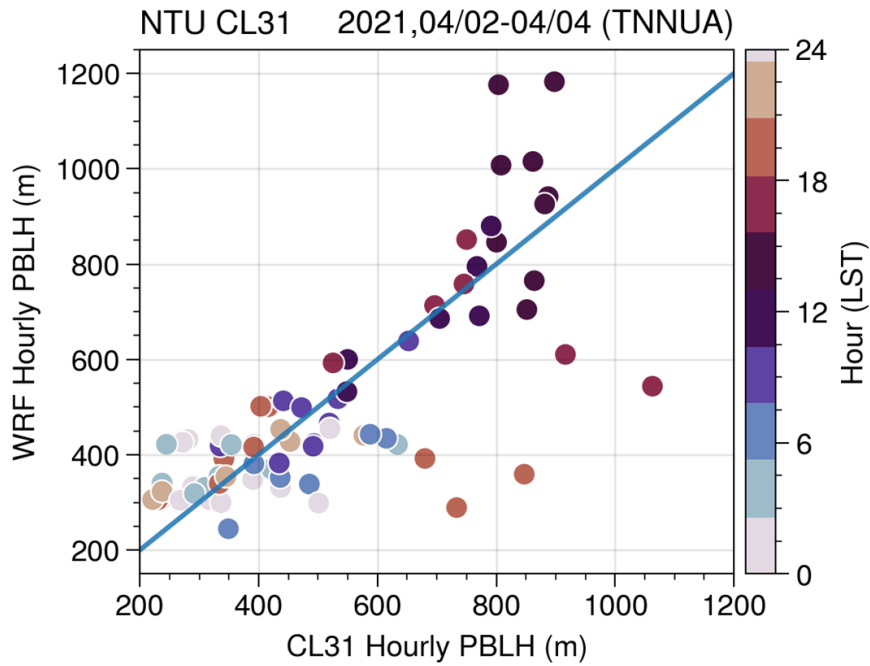


圖 14: 圖 13 雲幕儀 CL31 PBLH 和 WRF 數值模擬演算的 PBLH(單位 m)在 4/2-4/4,2021 三天不同時間序的高度相關性。

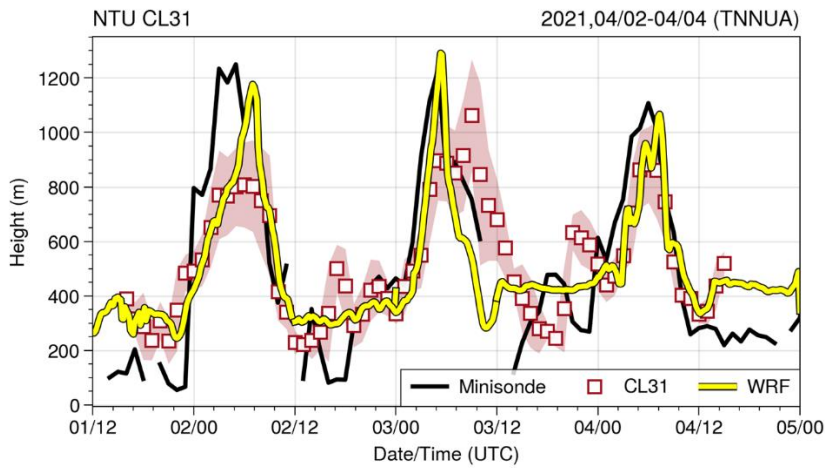


圖 15: 圖 13 雲幕儀 CL31 PBLH(方格)和 WRF 數值模擬演算(黃線)以及 ST 微型探空演算(黑線)的 PBLH(單位 m)在 4/2-4/4,2021 三天不同時間序。

#### 四、參考文獻

- 林博雄，周耿民，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。
- 蔡原祥、楊雅兆、張宛婷、楊文昌、林博雄、陳景林，2017：督卜勒光達麥德姆颱風風速剖面觀測。海洋工程學刊，17(1)，1-20。
- 石恩、黃偉峻、魏瑀潔、林博雄、周炫谷，2016: COS-MET 無線電探空儀與實測。第十屆全國大氣科學學術研討會，台北南港。
- 黃偉峻、林博雄、石恩，2016: 風暴氣流追蹤器之開發。第十屆全國大氣科學學術研討會，台北南港。
- 林博雄、黃偉峻，2017: 微型探空儀開發及其在氣流軌跡追蹤之應用。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，台北。
- W. C. Hwang, P.H. Lin and H. Yu: The development of the “Storm Tracker” and its application for atmospheric high-resolution upper-air observation. Atmospheric Measurement Technology, EGU, <https://doi.org/10.5194/amt-13-5395-2020> (impact factor 2019, 3.688).
- Ware, R.; Carpenter, R.; Güldner, J.; Liljegren, J.; Nehrkorn, T.; Solheim, F.; Vandenberghe, F. A multichannel radiometric profiler of temperature, humidity, and cloud liquid. Radio Sci. 2003, 44, 77–88.