

屏東機場利用剖風儀 3D 掃描 WINDCUBE 結合 WRF 預報模式模擬對局部環流邊界層之風場研究

陳益盛、張函

空軍第一天氣中心

摘要

本文藉由屏東機場建置之本軍軍機起降風速及側風限度標準，配合 3D 掃描 WINDCUBE®(3D Scanning WINDCUBE®)系列的雷射剖風儀(LIDAR)、自動氣象觀測系統(Automated Weather Observing System, AWOS)、屏東機場探空班 1 日 2 次(00Z 與 12Z)發送之探空氣球資料與劇烈天氣監測系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors, QPESUMS)等管道收集實際觀測資料，再以 WRF 氣象預報模式之邊界條件模擬屏東軍用機場高解析度的風場資料為目標，預測機場低空風場，並且於支援作戰演訓任務時，操作手將剖風儀徑向風場情資，提供跳傘任務人員空降場空域風場情資，顯示局部區域氣流的上升與沉降現象，而探討如何讓飛行員在低空域的航機避開尚未觸及地面之微爆氣流風險問題，本文章進行 2016 年 6 月 5 日風場模擬個案分析研究，並校驗模擬結果與實際觀測資料，以進一步探討臺灣軍用屏東機場風力潛能分布情形。

關鍵字：邊界層、低空風切

1. 前言

飛機於準備起飛及降落時通常減低滑翔速度，距離跑道高度較低，對於風速驟然的改變，飛行員之應變時間相對較短。飛機在起降時遭遇低空風切(low-level windshear)，若駕駛應變不及或處理不適當，輕者飛機重落地造成損傷或衝出跑道，重者則可能釀成飛機受毀人員傷亡的悲劇，在國內外飛機失事中，已有相當多案例，證實是低空風切所造成。

目前機場周遭實際觀測資料，為了得到特定區域之風能特性，本研究利用NCAR衛星風場資料與WRF中尺度模式進行屏東軍用機場高解析度數值模擬分析研究，預期透過Downscaling方式得到具代表性之風能特性，作為投資分析或風險評估之參考依據，所以為了提高臺灣地區風場資料的空間解析度，作為提供飛航安全之參考依據，本研究

利用中尺度數值模式 Weather Research and Forecasting Model System (以下簡稱WRF)作為模擬工具，以臺灣地區3km×3km高解析度的風場資料為目標，模擬真實個案的風場分佈情形，考量受地形影響會造成某些中小尺度現象，或近地表面因大氣輻射引發局部環流，透過數值模擬可分析模式模擬的水平解析度(尤其是模式解析地形能力對風場模擬之影響)和雲微物理過程等，進一步探討臺灣地區局部地區風場分佈狀況，以提升飛航安全，是為本研究的動機與目的。

2. 剖風儀儀器運用簡介與之 WRF 資料處理方法

2.1 軍用屏東機場之風場系統

臺灣軍用屏東機場(圖1)具備自動氣象觀測系統(Automated Weather Observing System, AWOS)在沿著南北機場跑道前中後段共設有3套氣象觀測園系統，將每一測風儀

所觀測的風場資料換算為跑道方向之分量，計算跑道兩端進場或離場航道方向之頂風（增風）或順風（減風）強度，以及一日2次（00Z與12Z）施放探空氣球獲取探空資料，以及與中央氣象署合作，將機場連線新一代劇烈天氣監測系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors, QPESUMS-PLUS)，形成一個風速與風向的測量網絡，以供應氣象資訊。

風切已被認為係造成航空器意外事故之原因或重要因素之一，在機場，除於當地例行或特別天氣報、METAR 及 SPECI 中附加補充資訊外，應協議提供所有的具體風切警報，警告應經由飛航服務單位並經由他們警告飛行員已發生或將發生之危害天氣。

氣象參數影響起飛性能之程度隨航空器種類而有所不同，但其效力（正或負）是相同的，頂風能在起飛時提供更大之升力，這是因為頂風使航空器在跑道上達到更高之空速，因此藉由空氣動力抬升更多重量。相反地，順風使得航空器空速較低，將減少最大許可起飛重量。

測風儀測得的量測數據傳至中央主站臺進行遞迴運算，求得任三測站所圍成三角形區域風場的輻散 (divergence)/ 輻合 (convergence)值，以及任兩相鄰測站量測數據所轉換成延跑道方向的風速增加/減少（風切）量，根據風切值決定是否發布風切或微爆氣流警告、發布警告中影響的區域及風切強度，並在圖形警報顯示器(Graphic Alarm Display, GAD)顯示圖形、文字資訊與聲音警告以供氣象人員做為是否發布大風標準的參考。

2.2 剖風儀簡介

3D 掃描 WINDCUBE(3D Scanning WINDCUBE)系列的雷射剖風儀(LIDAR)做為使用者活動的使用儀器（如圖 2），此雷射剖風儀是以確保使用者可以獲得一個可以信

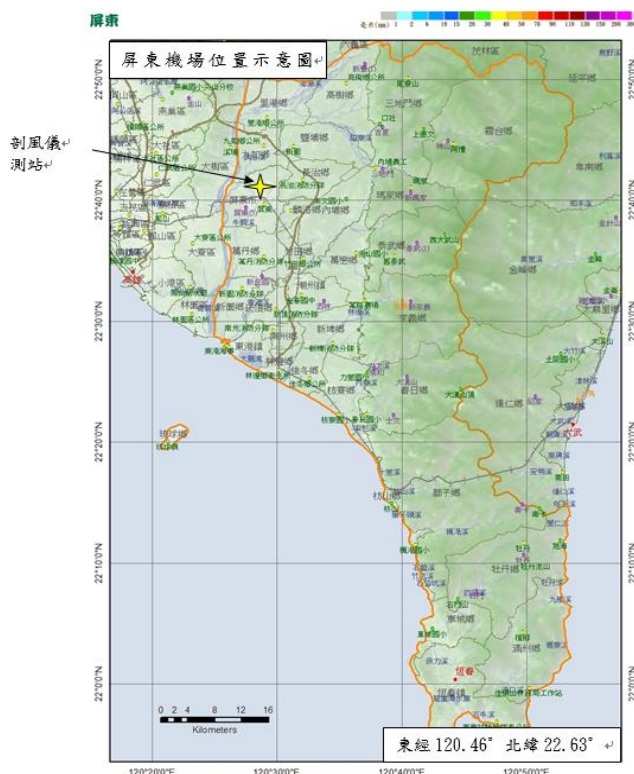


圖1 屏東機場地理位置

賴以及簡易的方法來獲得三維風場圖(3D wind mapping)為原則來設計的，該系列雷射剖風儀(LIDAR)的技術是與法國應用與理論光學部門 [Applied and Theoretical Optics Department (DOTA/SLS, ONERA, France)]共同研發出來的。根據LIDAR不同的型別，此系統提供高達320層(gates)一致性的測量，以及從25公尺到200公尺的直視式(line-of-sight)的物理解析度。可以即時(real time)產生風的剖團(wind profiles)，而且不需要使用者來計算或校正。

輸出雷射是 1M 級(class 1M)的，並根據下列標準來設計：

- (1) 最大功率: 5mW
- (2) 脈波寬度: 400ns 或 200ns 或 100ns
- (3) 波長: 1,543nm



圖2 剖風儀外觀

2.2.1 剖風儀的觀測方式與回波機制

3D 掃描 WINDCUBE 係根據光的偵測與測距技術 (Light Detection And Ranging technique) 的一種主動式遙測感應器。外差式光達(LIDAR)的原理係根據雷射光束在通過在空氣中的顆粒(灰塵,水滴,氣溶膠...)所產生的反向散射雷射輻射都普勒頻移(Doppler shift)的測量而來,一個雷射脈波被送入大氣中,蒐集其反向散射的光線,轉換成一種電子信號並送入電腦中。接著使用一種特定的信號處理演算法來決定散射信號的都普勒頻移量,然後算出沿著光束視線(along the line of sight)的風速。光束脈波旅行到目標物然後回到光達(LIDAR)的時間則用來決定目標物的距離(如圖3)。

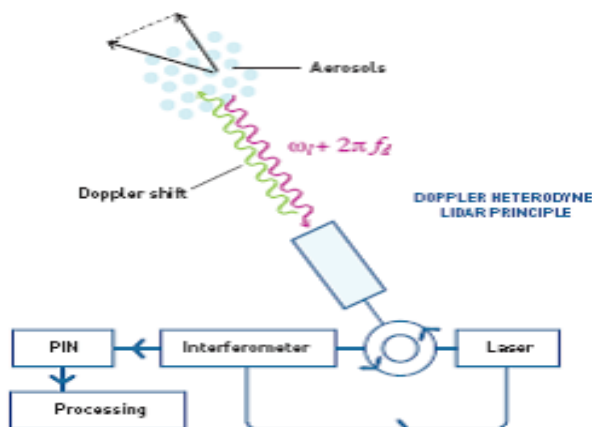


圖3 光達(LIDAR)的測量原理

2.3 預報模式 WRF 簡介

利用 3D 掃描 WINDCUBE®(3D Scanning WINDCUBE®)系統雷達資料,與天氣研究與預報模式(Weather Research and Forecasting Model, WRF)做結合,期望能藉由 WRF 的地理解析能力,提高風場及短期定量降水預報準確度。WRF 模式的基礎建立在可壓縮及非靜力的氣象中尺度數值模式上,此外水平座標為採用 Arakawa C 網格,而垂直座標則採用因地形變化 η 的座標,因此有分析地理的能力。

WRF 模式優點在於可以達到天氣的需要,操作者可以依據不同大氣環境條件及天氣尺度來選取適宜的參數化方法,使模式製造不同的物理參數來做模擬,包含微物理(Microphysics)過程、大氣輻射過程(Longwave and Shortwave Radiation)、積雲參數化、大氣邊界層處理(Boundary Layer Parameterization)、次網格紊流擴散(Subgrid eddy diffusion)過程等。最後模式再利用 NNCL、RIP4 或 Matlab 等繪圖軟體輸出氣象圖表,之後再進行分析。

WRF 數值模式是可壓縮、非靜力歐拉方程的動力積分解,方程式的變數具有動量守恆的特性(Ooyama,1990);WRF 模式的垂直座標是採用追隨地勢的座標(Laprise,1992),並且具有多重巢狀網格的功能,對於不同尺度間之交互作用可以有較好的解析及模擬;WRF 模式對於不同的大氣物理過程也提供許多不同的參數化選項,包括降水的物理過程、地表能量收支、地表邊界層的處理和大氣輻射過程。因此使用此模式時,對於不同的天氣現象可以採用適當之物理參數化過程加以探討;WRF 模式是由許多輔助系統所構成,其系統架構可以分為前處理系統(pre-processing,模式初始場之建立),系統模擬中心(WRF model),及後處理系統(past-processing,模式之輸出繪圖,診斷分析),其

中在前處理系統的部分，是由 gridded、grib_prep、hinterp 及 vinterp 四個主要獨立的方程所組成。

WRF 模式方程式中已知變數有乾空氣質量(μ)、速度(u 、 v 、 w)、位溫(potential temperature)、重力位(geopotential)，而非保守變數(例如溫度、氣壓、密度)由已知保守之變數來診斷。

2.4 2016 年 6 月 5 日降雨模擬個案分析

本篇文章引用中尺度模式 WRF3.4 版，模擬對流個案，模式初始場時間為 2016 年 6 月 4 日 1200UTC，採用水平網格三層，第一層網格 D01 70*70(27km)，第二層網格 D02 91*91(9km)，第三層網格 D03 61*61(3km)，模擬中尺度過程中尺度對流及梅雨鋒面發展機制。邊界層參數化用 Yonsei University(YSU)，於地表層用 Monin-Obukhov with Carlson-Boland 黏滯副層及標準的 similarity，土壤用 5 層土壤處理熱擴散 Single-Moment 5-class(WSM5)，雲物第一、二層雲滴、雨滴、冰晶、雪交互作用，第三層網格 Kessler scheme 暖雲過程。積雲參數化用 Kain-Fritsch (KF)，降水方面採用 KM 2D Smagor 模組，短波輻射採用 Dudhia，長波採用 RTIM。

2.5 2016 年 6 月 5 日綜觀環境場分析

由地面分析圖(如圖 4)顯示臺灣北部有滯留鋒面，且紅外線雲圖(圖 5 至圖 7)顯示大陸東南沿岸至臺灣本島北部地區有一帶狀雲系，此雲系由西南往東北移動，經過臺灣地區，2016 年梅雨季 6 月 5 日開始有零星降雨，但南部並無對流系統發生，6 月 5 日鋒面伴隨的對流系統已在大陸東南沿海向東北移動至臺灣海峽一帶，6 月 5 日鋒面已在臺灣北部，對流系統伴隨之降水，以東北部為主 6 月 5 日鋒面持續在大陸東南沿岸至臺灣北部一帶，對流系統主要對北部地區(新北、宜蘭)產生大雨，在彰化、嘉義及屏東產生零星降雨。分析邊界層資料，顯示 6 月

5 日屏東地區低層西南風較為明顯，鋒前正渦度有利於南部對流系統發展。

以 6 月 4 日 WRF 模式(圖 8 至圖 11)僅用傳統資料的同化模組，與衛星雲圖做定性比較，顯示模式亦模擬出對流系統逐漸往南移動，與觀測結果一致。

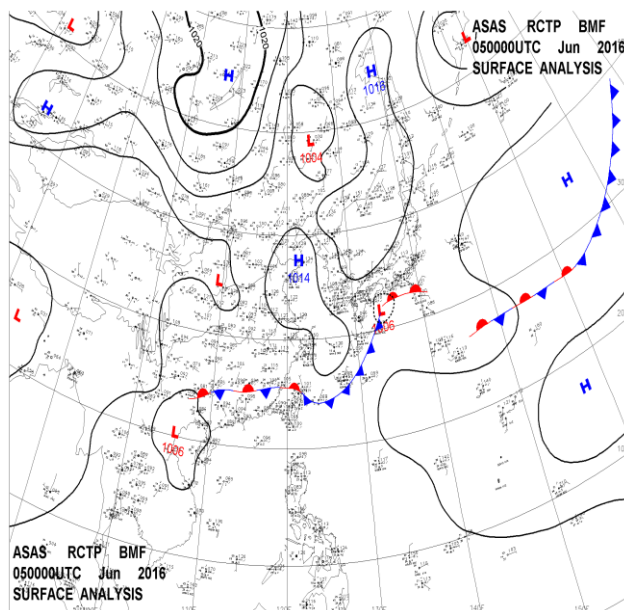


圖 4 2016 年 6 月 5 日 00UTC 地面天氣圖

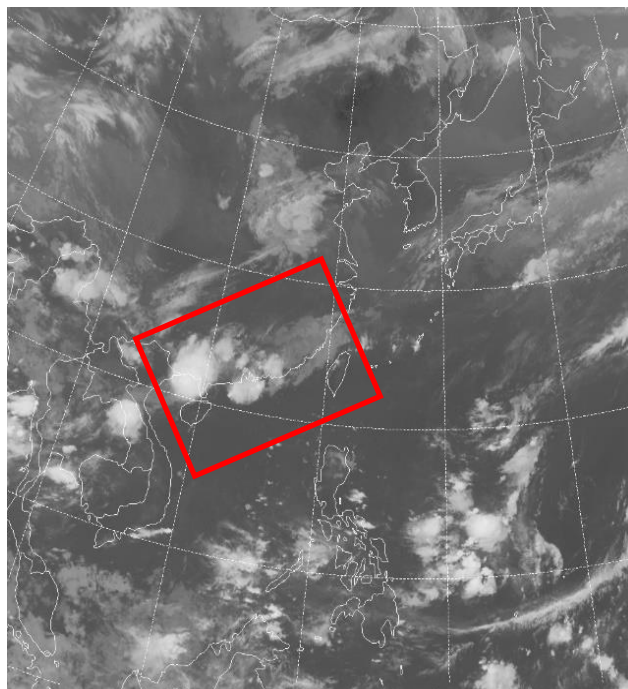


圖 5 2016 年 6 月 4 日紅外線雲圖

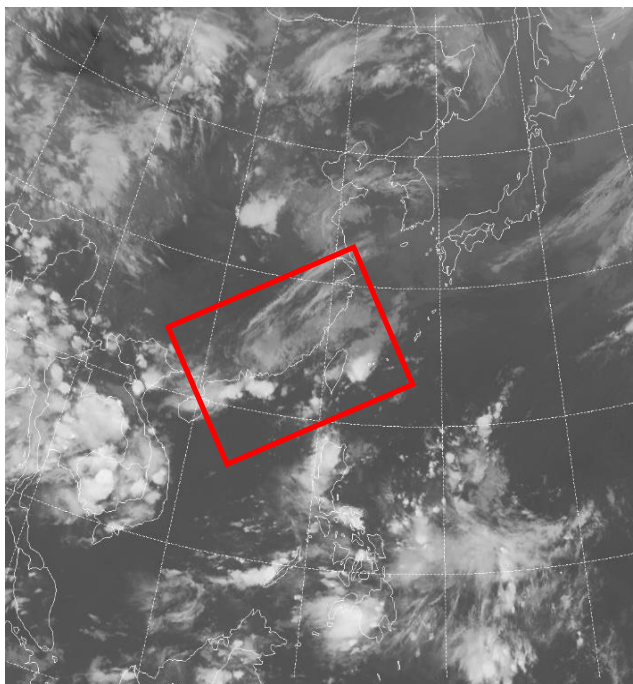


圖6 2016年6月4日紅外線雲圖

Dataset: WRFARW d01 RIP: precip w/out d01 201 Init: 0000 UTC Sat 04 Jun 16
 Fcst: 24.00 h Valid: 0000 UTC Sun 05 Jun 16 (1800 MDT Sat 04 Jun 16)
 Total precip. in past 3 h
 Total precip. in past 3 h sm= 4

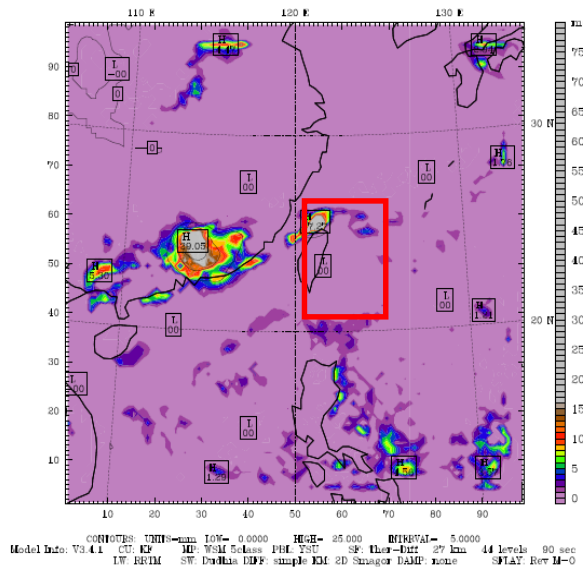


圖8 WRF可降水量同化之模擬於6月5日00Z對流分佈

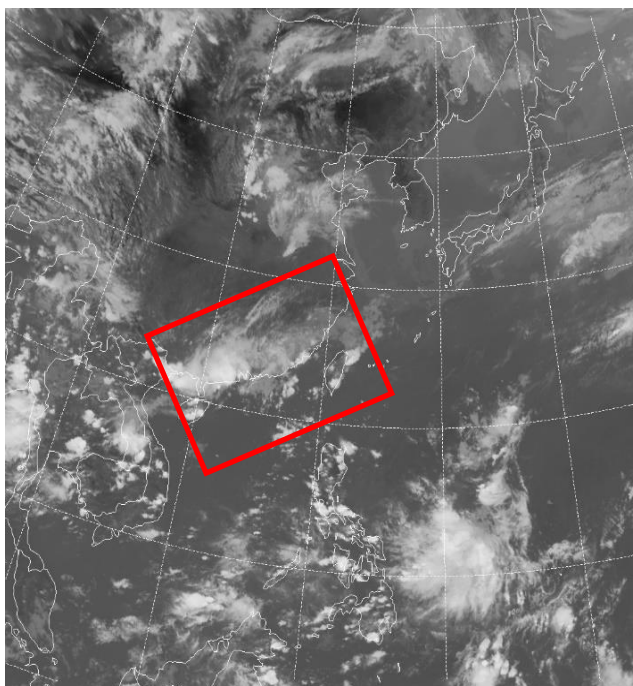


圖7 2016年6月4日紅外線雲圖

Dataset: WRFARW d01 RIP: precip w/out d01 201 Init: 0000 UTC Sat 04 Jun 16
 Fcst: 30.00 h Valid: 0600 UTC Sun 05 Jun 16 (0000 MDT Sun 05 Jun 16)
 Total precip. in past 3 h
 Total precip. in past 3 h sm= 4

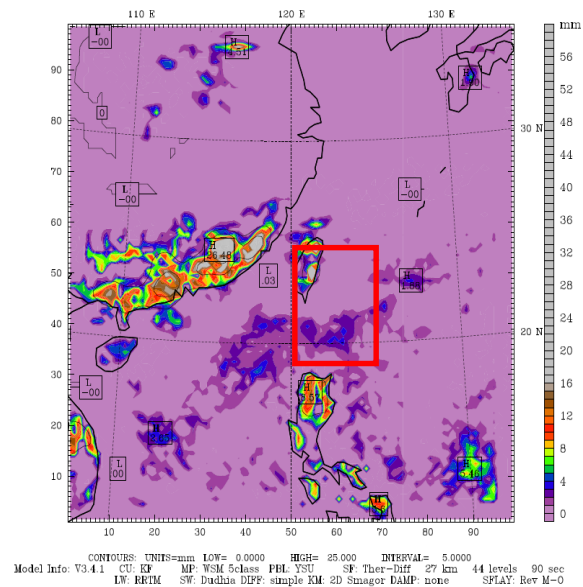
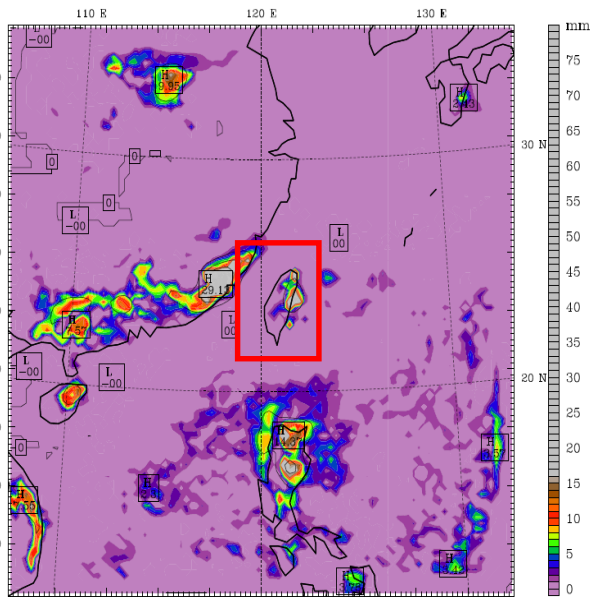


圖9 WRF可降水量同化之模擬於6月5日06Z對流分佈

Dataset: WRFAW d01 RIP: precip wrfout d01 201 Init: 0000 UTC Sat 04 Jun 16
 Fcst: 36.00 h Valid: 1200 UTC Sun 05 Jun 16 (0600 MDT Sun 05 Jun 16)
 Total precip. in past 3 h
 Total precip. in past 3 h
 sm= 4



Model Info: V3.4.1 CU: KF MP: WSM 5class PBL: YSU SF: Ther-Diff 27 km 44 levels 90 sec
 LW: RRIM SW: Dudhia DFF: simple KM 2D Smagor DAMP: none SFLAY: Rev M-0

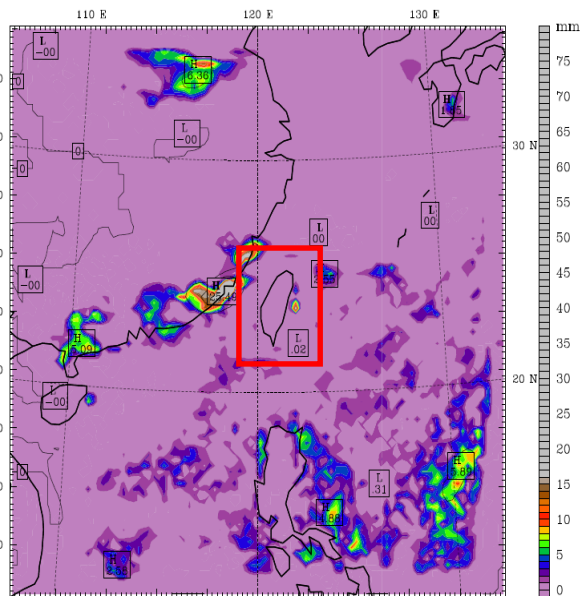
圖10 WRF可降水量同化之模擬於6月5日12Z對流分佈

2.6 2016 年 6 月 5 日風場模擬個案分析「垂直風場與下沉氣流之量化分析」

為了使WRF模式適用於本文章要求之時間/空間解析度而將測站資料處理與模式設定於上節說明，本節旨在說明模式模擬風場與地面實際風場之驗證，以證明WRF模式適合處理本案之時間/空間解析度條件。

驗證方法是將模擬風場對應於最接近地面測站資料的4個網格做雙線性內插法(bilinear interpolation)，內插之網格風向/風速資料與地面測站原始資料作比對與誤差分析。(圖12至圖16)

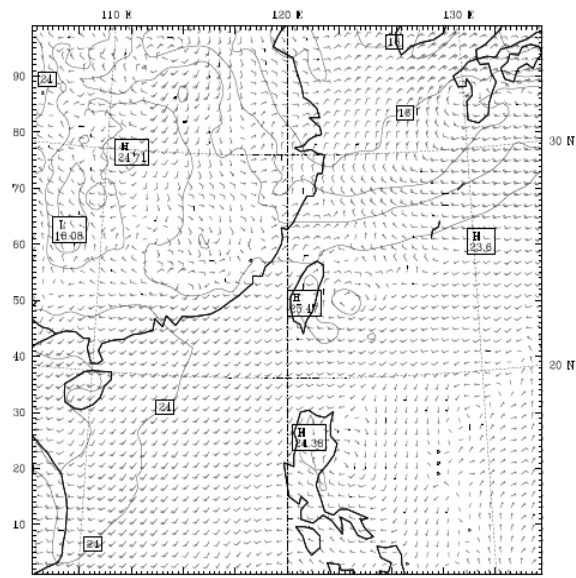
Dataset: WRFAW d01 RIP: precip wrfout d01 201 Init: 0000 UTC Sat 04 Jun 16
 Fcst: 42.00 h Valid: 1800 UTC Sun 05 Jun 16 (1200 MDT Sun 05 Jun 16)
 Total precip. in past 3 h
 Total precip. in past 3 h
 sm= 4



Model Info: V3.4.1 CU: KF MP: WSM 5class PBL: YSU SF: Ther-Diff 27 km 44 levels 90 sec
 LW: RRIM SW: Dudhia DFF: simple KM 2D Smagor DAMP: none SFLAY: Rev M-0

圖11 WRF可降水量同化之模擬於6月5日18Z對流分佈

Dataset: WRFAW d01 RIP: precip wrfout d01 201 Init: 0000 UTC Sat 04 Jun 16
 Fcst: 24.00 h Valid: 0000 UTC Sun 05 Jun 16 (1800 MDT Sat 04 Jun 16)
 Temperature at pressure = 925 hPa sm= 2
 Horizontal wind vectors at pressure = 925 hPa



Model Info: V3.4.1 CU: KF MP: WSM 5class PBL: YSU SF: Ther-Diff 27 km 44 levels 90 sec
 LW: RRIM SW: Dudhia DFF: simple KM 2D Smagor DAMP: none SFLAY: Rev M-0

圖12 WRF風場之模擬於6月5日0000UTC 氣流場

3. 結論

本軍具備之支援現地觀測機動式氣象裝備剖風儀，目的在於協助飛行航空器進場及離場接近降落時、陸軍特戰指揮部聯合空降（投）操演任務及國慶展演等重要任務戰演訓，探測即時且最新之垂直空層、大氣邊界層及風場結構變化，但由於理想的風場評估是以非常平均高度的地形或有些微斜坡的地區為主，近地形障礙物風場流動伴隨地形而產生變化，但是實際上在不平且複雜地形其風場流動的變化會受陡斜坡度的影響，氣流場可能會有繞山運動或是越山運動，若以近地表流場跟隨地形而變化為假設條件，位於靠近斜坡地區的流場與實際情況相比會有加速度的現象，因為流場受到陡峭斜坡阻隔時，流場強度實際上應該是逐漸減弱的，而非反而加速。

以本文 2016 年的時序列模擬為例，模式結果表現頗佳，可以評估出屏東機場的風能特性，但是仍無法代表此場域長時間的氣候特徵，只能作為風能特性分析。長期氣候特徵亦有具代表性，本研究未來朝向氣候統計結合高解析度之屏東探空氣球的高空風場結果，用來評估無觀測資料的空域風能。

4. 參考文獻

- 江天錚，汪庭安，蒲金標，楊正治，(1998)：松山機場低空風切類型及產生機制之研究，交通部民用航空局專題研究報告，第 93 頁。
- 何臺華，蒲金標，涂明聖，魏志憲，(2003)：臺灣屏東軍用與松山機場低空風切預警系統對飛行安全的維護，中華技術學院，中華民國九十二年航空安全研討會論文集，第 89-106 頁。
- 蒲金標，(2001)：臺灣北部和南部氣壓日變化之分析研究，大氣科學，(29)，第 191-202

頁。

- 蒲金標，(2003)：臺灣松山機場低空風切警告系統與低空風切診斷分析，大氣科學，31(2)，第 181-198 頁。
- 朱延祥，(1998)：MST 雷達回波機制的研究，博士論文，國立中央大學。
- 王作臺，黃志銘，胡志文，(1992)：乾濕梅雨季東亞環流特性之研究，大氣科學，(20)，第 267-294 頁。
- 林沛練，劉振榮，陳臺琦，(1994)：臺灣先進氣象觀測儀器與相關研究，大氣科學，(22)，第 479-522 頁。
- 林欣弘，(2001)：利用整合探空系統分析南海北部大氣邊界層特性之研究，國立中央大學碩士論文，第 117 頁。
- 錢映真，(2001)：利用 UHF 雷達進行降水粒子之辨識分類及垂直速度、粒徑大小之分析研究，國立中央大學碩士論文，第 94 頁。
- 張偉裕，(2002)：利用雨滴譜儀分析雨滴粒徑分布（納莉颱風個案），國立中央大學碩士論文，第 115 頁。
- 林位總，(2004)：利用二維雨滴譜儀研究雨滴譜特性，國立中央大學碩士論文，第 89 頁。
- 剖風儀中文軟體使用手冊。
- 陳美蘭、鄭孟寧，臺灣地區高解析度數值模擬風力潛能個案研究。

The Research of Pingtung Airport Simulation Boundary Layer of Wind Field by 3D Scanning WINDCUBE Instrument Combine WRF Forecast Model

I-Sheng Chen, Han Zhang

The 1st weather squadron of Winter Wing, R.O.C.A.F.

Abstract

This article by Pingtung airport establishment of this soldier military airplane decline wind velocity and beam wind limit standard, concert 3D scanning WINDCUBE®(3D Scanning WINDCUBE®) series of Laser Pou breeze instrument(LIDAR), auto meteorology prognosticate system(Automated Weather Observing System, AWOS), Pingtung airport explore empty class on the 1st 2 times(00Z with 12Z) send out it explore air ball data and violent the weather monitor system(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors, QPESUMS) wait for piping collections actual prognosticate data, again with WRF meteorology forecast mode of boundary condition imitate Pingtung military airfield high resolution of wind field data for target, estimate airport low altitude wind field, and in support battle play Xun task, operation hand Pou breeze instrument path windward field feeling property, provide bail out task personnel parachute field airspace wind field feeling property, show part district current of air of rising with sink decline phenomenon, and study how let pilot at low altitude area of flight keep away didn't touch yet tiny ground explode current of air risk problem, this article carry on 2016 year June 5 day wind field imitate individual case analysis research, and school check imitate result with actual prognosticate data, with further study Taiwan for use by the military Pingtung airport wind force potential distribute situation.

Keywords: Boundary layer, Low Altitude Wind Cut