

利用 WISSDOM 方法開發全台三維風場合成技術

林忠義

廖信豪

林欣弘

于宜強

氣象組

國家災害防救科技中心

摘要

多都卜勒雷達三維風場合成方法(WInd Synthesis System using DOppler Measurement, WISSDOM)為中央大學廖宇慶教授開發的技術，目的為將雷達觀測之都卜勒徑向風場，透過三維變分法反演出空間三維風場。本中心透過和中央大學廖宇慶教授合作，將廖老師團隊發展之 WISSDOM法做後續的應用與落實，於2017年利用五分山雷達、中央大學雷達及中正機場雷達建構台灣北部三維風場反演區域，2019年利用七股雷達、墾丁雷達、馬公雷達以及林園雷達建構南部三維風場反演區域。然而由於WISSDOM方法計算較耗時，為了保有雷達高空間解析度的觀測優勢，僅能就局部區域進行三維風場反演，進而限制了該法的使用範圍。

本研究利用分散式計算的概念，將台灣區域分割成6欄*8列共48個小區域，使用全台共9顆氣象雷達觀測資料，依據不同小區域會使用到的雷達觀測範圍，預先選定各區所屬的雷達觀測資料，同時對48個小區域進行三維風場反演的計算，得到48個小區域的風場反演結果後，再進行全台風場拼接的工作。結果顯示透過本研究的方法可在7分鐘內得到全台三維風場，若以相同範圍和解析度條件下，使用一次性反演全台三維風場則需要12個小時。透過以上成果，本研究發展一套風場展示系統，每30分鐘即時更新一次最新全台三維風場反演資訊並於網頁上做展示，提供後續相關研究參考。

關鍵字：都卜勒雷達、三維風場反演

一、前言

雷達觀測多年來被廣泛的使用在大氣科學領域，氣象雷達可以提供高時間、空間解析度的大氣觀測資料，其中雷達回波值和雨量之間具有高度相關性，可監測即時降雨系統的發展。除此之外，透過雷達資料同化系統，更可以將雷達回波以及徑向風觀測資料同化進數值天氣模式中，透過模式的計算可預報未來3到6小時的降雨情況。其中雷達觀測風速為都卜勒徑向風速度場，並非一般通用的三維風速(u,v,w)，因此需要透過風場反演的方法，將雷達觀測徑向風轉換成傳統的三維風場。

本研究使用國立中央大學大氣科學系廖宇慶教授研發的多都卜勒雷達風場合成方法(WInd Synthesis System using DOppler Measurement, 簡稱 WISSDOM) (Liou et al. 2009, 2012, 2014)，利用多個都卜勒雷達徑向風場觀測資料重建三維風場分布。相比於 Armijo(1969) 依幾何概念結合徑向風與連續方程式反演風場的傳統方法，本方法有以下幾項優點：(1)本方法可得到傳統方法中，無法反演之雷達基線(base line)附近的風場；(2)本方法使用過度方程式做為約束條件之一，Protat and Zawadzki(2000)的研究中顯示過度方程式的加入將消除使用傳統方法合成風場進行過度收支分析會出現的剩餘項，並

有助於增進熱力反演的正確性；(3)本法參考Tseng and Ferziger(2003)的沉浸邊界法(Immersed Boundary Method, 簡稱IBM法)，以地勢高度梯度計算邊界條件，可反演在複雜地形邊界的風場結構；(4)可使用不同背景場資料(例如：探空資料、數值模式預報等)，填補無雷達資料覆蓋地區之風場；(5)可使用任意數目的雷達觀測資料。

本中心於2017年開始與廖宇慶教授合作，使用五分山雷達、中央大學雷達與桃園機場雷達等3顆雷達觀測資料，透過多都卜勒雷達三維風場合成方法反演北部地區三維風場，如圖1上方方框，提供劇烈降雨監測資訊。而由於南部地區七股雷達站與墾丁雷達站的相對位置，使得高雄市與屏東地區有風場反演的死角。為因應國內防災需求，經濟部水利署與中央氣象局陸續於台灣西部地區增設防災降雨雷達，於2018年在高雄市林園地區完成C波段雙偏極化雷達的建置，提供南部地區高時空解析度之雷達觀測資訊，補足南部地區都卜勒風場反演的死角。本中心於2019年為強化南部地區劇烈天氣的監測能力，選擇臺南市、高雄市及屏東縣為示範區域，使用七股、馬公、墾丁以及高雄林園雷達共四顆雷達資料，透過WISSDOM多都卜勒雷達風場合成方法建構南部地區劇烈天氣監測系統，如圖1下方方框。然而由於WISSDOM方法計算較耗時，若要即時計算反

演的三維風場，又要保有雷達高空間解析度的觀測優勢，則僅能就局部小範圍進行三維風場反演，限制了該法的使用範圍。

本研究將利用分散式計算的概念，發展一套全台三維風場合成技術，先將台灣附近範圍分割為數十個小區域，同時針對各個小區域進行三維風場反演後，再將結果拼接成為一個大範圍的結果，結果顯示本法可以在不失去太多反演精確度的條件下，大幅縮短WISSDOM風場計算時間。為了方便展示反演結果，本研究開發一套即時風場展示系統，每30分鐘更新一次最新全台三維風場反演資訊並於本中心WATCH網頁上展示，提供後續相關研究參考。

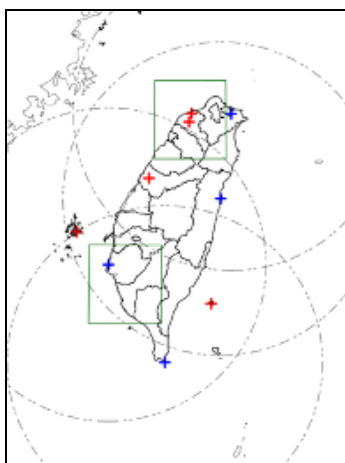


圖1 台灣北部及南部地區WISSDOM風場反演範圍

二、風場合成方法

本研究之分散式計算方式為將台灣區域分割成6欄*8列共48個小區域，每個區域大小為80公里乘以80公里，各個小區域的水平網格解析度為1公里，垂直解析度為500公尺，垂直共21層。每個小區域與上下左右的相鄰區域皆有20公里的重疊，如圖2所示。使用全台共9顆氣象雷達觀測資料，分別為五分山、花蓮、七股、墾丁、南屯、綠島、馬公、林園以及清泉崗雷達，依據不同小區域會使用到的雷達觀測範圍，預先選定劃分各區所屬的雷達觀測資料。

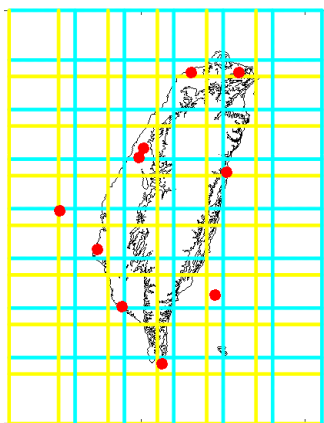


圖2 全台三維風場反演分區示意圖

各小區域範圍及所涵蓋的雷達範圍選定後，同時對48個小區域進行三維風場反演的計算，再將得到48個小區域的三維風場進行全台風場整合的工作。首先，透過每個小區域重疊的部份，利用雙線性內插法(bilinear interpolation)將每一水平列共6個小區域拼接成一長方形區域，如圖3所示，總共會得到8列水平長方形拼接風場範圍。同樣地，再使用雙線性內插法，將8列長方形區域拼成全台風場，如圖4所示。

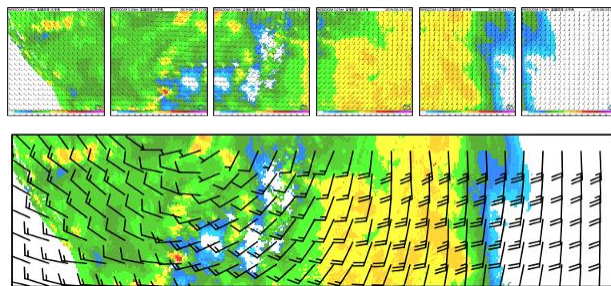


圖3 WISSDOM風場水平拼接示意圖

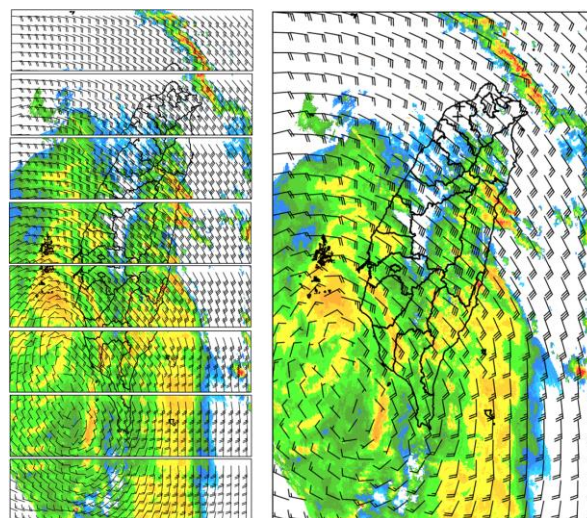


圖4 WISSDOM風場垂直拼接結果

為了比較此方法所得的三維風場與直接使用9顆雷達資料反演之全台三維風場的結果，本研究利用全台雷達觀測資料在相同個案時間的條件下，進行一次全台三維風場反演，圖5中左圖為利用拼接法得到的全台風場，右圖為使用全台區域進行完整的三維風場反演所得到的全台風場，由圖中可看出兩種方法得到的反演結果沒有明顯的差異，在計算效率上，使用平行計算後再拼接所需要的計算時間約僅需6~7分鐘，然而使用全台全區域進行三維風場反演同樣範圍則需要接近12個小時的計算時間。由上述結果可知，本研究之方法可以在不失去太多反演精確度的條件下，大幅縮短WISSDOM風場計算時間。

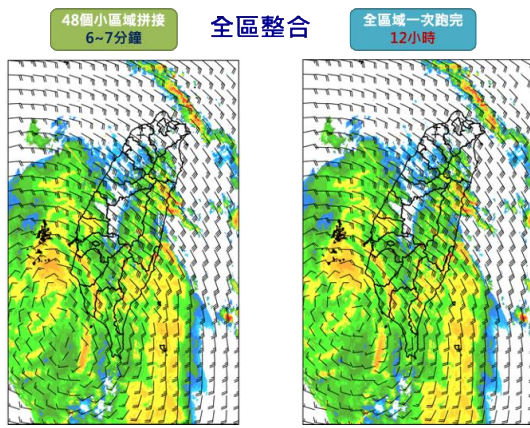


圖5 全台三維風場拼接圖與完整三維風場反演結果比較

三、系統建置與個案分析

本中心將上述研究成果，於WATCH網頁上設置一個「台灣風場反演」專頁將即時風場反演和即時回波資訊呈現在網頁上供使用者參考，考慮觀測資料接收以及處理時間，初步設定每30分鐘整合產出全台三維風場結果，同時承接本中心去年已完成之工作，每10分鐘提供全台三維雷達回波資料，將風場和回波場結合，垂直上每0.5公里繪製一張平面圖，並提供放大鏡功能讓使用者在網頁上可查看更細部的風速變化，結果如圖6所示。除了展示各垂直分層的水平風場和回波以外，另外將最大回波以及地面測站風的資訊也一併呈現在網頁上。

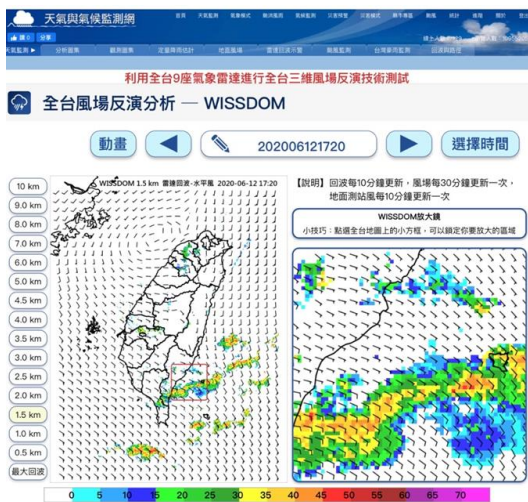


圖6 WATCH網頁上即時展示之全台三維風場資訊

透過上述開發之工具，本研究選取2019年南部颶線個案進行分析，2019年4月19日凌晨，在台灣海峽上有一弓狀回波，移入南部陸地後形成颶線系統，此系統在凌晨3時至7時之間，通過台南市、高雄市，最後於屏東地區減弱東移出海，在颶線通過期間為南部地區帶來短延時強降雨。因此，本研究彙整此

次南部颶線事件的雷達資料，利用已開發的WISSDOM多都卜勒雷達三維風場合成技術，對颶線系統的風場變化進行分析。結果如下圖7所示。圖中有顏色的部份為雷達觀測回波，底圖為經WISSDOM系統反演的水平風場，圖中顯示的平面高度為2公里，反演時間為4月19日清晨3點至5點半，時間間隔為30分鐘。由圖中可清楚看出颶線系統從海上移入到台灣陸地的發展過程，一開始在海上呈現弓狀回波，同時可看到在回波帶上反演出來的風向也由西南風轉南風，呈現一個弧狀的風向轉換，之後在靠近並登陸台灣時風速慢慢增強，強回波區的風向由西南風轉為西風逐漸移入台南地區(圖7c及圖7d)，在登陸後回波及風速皆減弱並且風向再轉為西南風(圖7e及圖7f)。

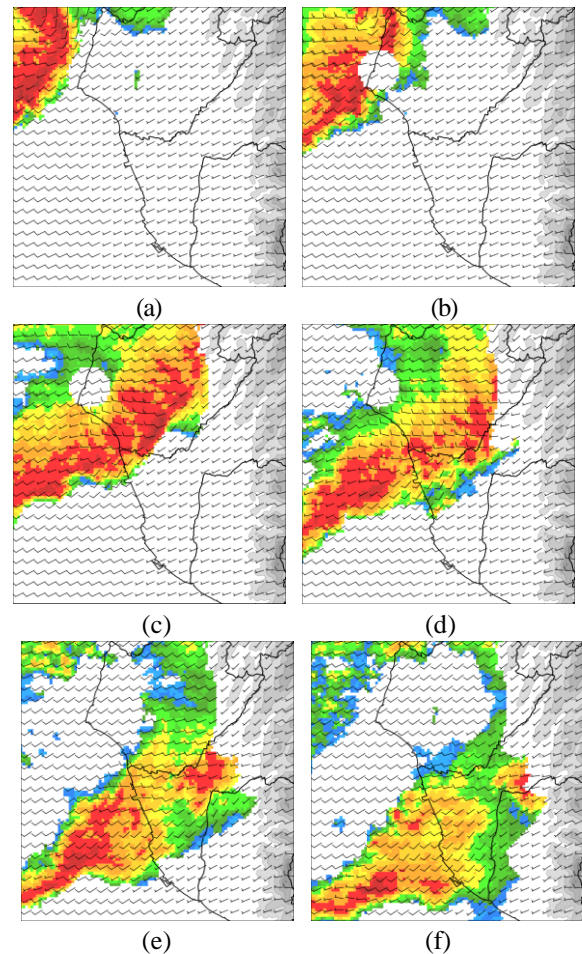


圖7 2019年4月19日颶線個案WISSDOM風場反演結果，圖(a)至(f)分別表示時間3點、3點半、4點、4點半、5點以及5點半

四、結論

本研究利用多都卜勒雷達三維風場合成方法，發展一套可以快速反演全台三維風場的技術，透過分散式計算的概念將全台灣切割成48個小區域，每個

區域依據事先選定好的雷達觀測資料，同時個別計算該區域的三維風場，得到48個小區域的反演結果後再進行整合，結果顯示整合後的全台三維風場和一次式的反演結果相近，但計算時間可以節省100倍，因此可彌補傳統WISSDOM法計算效能較低的缺點，有機會進行作業化全台三維風場的反演。

本中心將此研究的技術實際落實應用於WATCH網頁中，透過每30分鐘更新頻率，可將最新的三維風場資訊提供給學界或是防災相關單位參考。

參考文獻

1. Armijo, L., 1969: A theory for the determination of wind and precipitation velocities with Doppler radars. *J. Atmos. Sci.*, 26, 570–573.
2. Liou, Y.-C., and Y.-J. Chang, 2009: A variational multiple-Doppler radar three-dimensional wind synthesis method and its impacts on thermodynamic retrieval. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 3992–4010.
3. Liou, Y.-C., S.-F. Chang, and J. Sun, 2012: An application of the immersed boundary method for recovering the three-dimensional wind fields over complex terrain using multiple-Doppler radar data. *Mon. Wea. Rev.*, 142, 1603–1619.
4. Liou, Y.-C., J.-L. Chiou, W.-H. Chen, H.-Y. Yu, 2014: Improving the model convective storm quantitative precipitation nowcasting by assimilating state variables retrieved from multiple Doppler radar observations, *Mon. Wea. Rev.*, 142, 4017–4035.
5. Protat, A., and I. Zawadzki, 2000: Optimization of dynamic retrievals from a multiple-Doppler radar network. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 17, 753–760.
6. Tseng, Y., and J. Ferziger, 2003: A ghost-cell immersed boundary method for flow in complex geometry. *J. Comput. Phys.*, 192, 593–623.

Using WISSDOM Method to Develop Three-Dimensional Wind Field Composite Technique for Taiwan Area

Chung-Yi Lin, Hsin-Hao Liao, Hsin-Hung Lin, Yi-Chiang Yu
Meteorology Division
National Science and Technology Center for Disaster Reduction

Abstract

WISSDOM method is developed by Prof. Yu-Chiang Liou, National Central University. It uses three dimension variational method to retrieve 3D wind field from radial wind observed from Doppler weather radar. In recent years, NCDR cooperates with Prof. Liou and implements WISSDOM method into real-time cases. In 2018, we used Wufensha radar, NCU radar and radar in the Taoyuan airport to build northern Taiwan 3D wind field retrieval area. In 2019, we used Cigu radar, Kenting radar, Makong radar and Kaohsiung radar to build southern Taiwan area 3D wind field. However, the WISSDOM method cost lots of computation time. In order to retrieve high spatial resolution wind field, it can only be used in local region.

This research divides Taiwan into 48 sub-regions then using parallel computational concept to composite the whole Taiwan 3D wind field. The result shows that there is only 7 minutes to composite 48 sub-regions into all Taiwan area, compare to that uses original WISSDOM method retrieving all Taiwan area in one domain will cost 12 hours. Nevertheless, the retrieved 3D wind between both methods is much close to each other. This research also develop a 3D wind display system, it shows the latest 3D retrieving wind information on our website every 30 minutes. It can provide wind reference for further study.

Key word: Doppler radar, three-dimensional wind retrieval