

# 雙都卜勒雷達風場分析在侵台颱風海面風力估計之研究

張保亮 唐玉霜  
中央氣象局

## 摘要

隨著未來臺灣地區都會區及低窪易淹之防災降雨雷達網陸續建置，雷達觀測網密度將愈趨密集，加上多樣性的雷達風場反演技術的發展技術成熟，運用都卜勒雷達觀測資料提供臺灣本島及鄰近海域高解析度的環流與風力資訊，已逐漸具有作業上的可行性。本研究希望藉由鄰近臺灣東北部地區之日本與那國島剖風儀資料，透過垂直風力的統計分析，建立侵臺颱風高空與地表風力的經驗公式，以進一步將雙都卜勒反演風場應用在颱風海面及地面風力的推估，以作為颱風侵臺時之風雨預報作業參考。

由分析顯示，利用雙都卜勒雷達反演之風場，可以提供颱風侵襲期間近中心與外圍兩帶的環流資訊，包括颱風環流中心、強度與暴風範圍的變化趨勢等，顯示現有網連雷達已具有提供大範圍颱風環流資訊的作業潛力。在垂直風力的分析方面，由侵臺颱風期間與那國島站剖風儀與地面資料的統計分析發現。利用複迴歸分析發現，不同高度觀測的風速與地面平均風與陣風風速有明顯的相關性，且隨高度有些變化存在，如以此關係將不同高度層調整至地面發現，不論平均風或陣風，均可得到較調整前接近地面的風速觀測值，對於地面平均風而言，其不同高度的均方根誤差由調整前的 8-12m/s 降低至調整後的 2-6m/s，而對於陣風而言，則是由 3-10m/s 降至 2-8m/s，均方差的減小的程度較為有限。此結果顯示，颱風風力在高度存在不錯的相關性，藉由線性迴歸分析所建立之關係式，可有助於將高空風力觀測或雷達反演之風力調整至地面與海面上，以提供作業上參考。整體而言，經雙都卜勒合成風場透過剖風儀統計分析的經驗公式調整至海面的風力值，對於近海面風力提供大範圍且高時間密度的參考資料來源，此外，此估計資料未來可應用於七級風及十級風暴風半徑的估計，以提供颱風風雨預報作業參考。

關鍵字：

## 一、雙都卜勒雷達整合分析

本研究利用中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)所屬之五分山(RCWF)、花蓮(RCHL)、七股(RCCG)、墾丁(RCKT)等四座 S-band 都卜勒氣象雷達，以及空軍於 2008 年底完成架設之清泉崗(RCCK)和馬公(RCMK)兩座 C-band 雙偏極化氣象雷達，進行作業上的研究應用。由於雙都卜勒合成風場及其整合過程計算量相當龐大，為確保風場反演的時效性，本研究使用之方法主要藉由幾何關係求出反演風場，並以變分法進一步進行風場的調整(Ray et al. 1978; Ray et al. 1980)。此方法的優點為計算快速、穩定，相當符合作業上需要，未來亦可嘗試使用結合模式資料之多都卜勒雷達風場反演技術(Liou and Chang 2009)來進行作業環境的測試，以進一步提供較為準確的垂直運動與熱動力場的反演分析資訊。

由於雙都卜勒雷達風場合成雖能夠提供三維的風場反演資料，但卻有最佳分析區域之限制，為充份利用雷達風場資料，且考量其兩座雷達距離過近會使最佳分析區域受限及過遠將影響資料品質等因素下，本研究進行之雙都卜勒雷達風場合成之雷達組為：RCWF-RCHL、RCWF-RCCK、RCCG-RCCK、RCCG-RCKT、RCCG-RCMK、RCCK-RCMK 及

RCKT-RCHL 等 7 組。由於雙都卜勒雷達風場合成最佳分析區域之限制，藉由整合各雙都卜勒雷達合成風場，可彌補當天氣系統位於任一組雙都卜勒雷達風場合成之最佳分析區域外之不足。整合風場時，由於各組雙都卜勒合成風場作業時間依各雷達掃描時間並非一致，為降低風場隨時間之變化量，整合雙都風場時間間距限定於 10 分鐘內始進行風場整合。若有兩組以上雙都合成風場對同一網格點皆有合成風速，將以較大合成風速為主。

由 2010 年颱風個案萊羅克(Lionrock)、莫蘭蒂(Meranti)、凡那比(Fanapi)、2011 年南瑪都(Nanmadol)，以及 2012 年蘇拉(Saola)與天秤等颱風的測試顯示(圖 1)，雙都卜勒風場合成整合分析，提供了颱風近中心、外圍兩帶區域的環流特性，亦可提供颱風位置、強度與暴風範圍的變化趨勢等值得參考的資訊。測試同時也發現，徑向速度場品質控管為雙都卜勒雷達合成風場作業化相當重要的程序之一，特別是當颱風風速超過都卜勒雷達折錯速度以上時，如反折錯程序可能處理失敗，將產生明顯不合理之風場分析。此部分，未來可將進一步將中心定位資訊與颱風都卜勒速度反折處理程序進行整合，配合 Rankine-vortex like 的基本假設，來提升都卜勒速度場

反折錯處理的成功率。

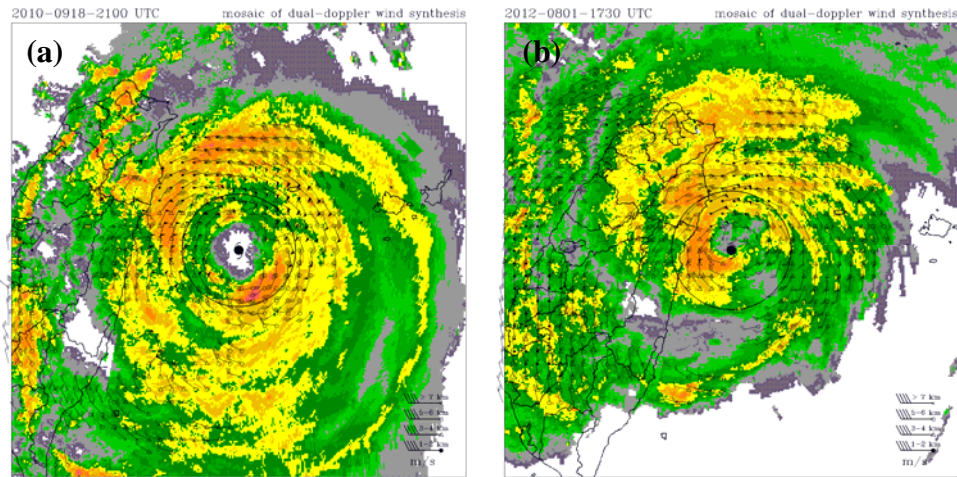


圖 1 (a)凡那比(2010)與(b)蘇拉(2012)登陸前之風場合成圖。圖中分析範圍為 400x400 km，並以颱風環流中心為顯示範圍中心。實心圓點代表雙都風場分析資料為 1-2 公里，三角符號為 3-4 公里，圓形符號為 5-6 公里，符號 x 則代表高度 7 公里以上。風標長桿為 10 m/s，短桿為 5 m/s。圖中颱風環流中心為利用自動定位方法所決定。

## 二、雷達反演風場與剖風儀比對分析

由於雙都卜勒風場合成是在部分物理條件假設下所進行，包含假設兩雷達觀測之都卜勒速度場為同時以及垂直速度場計算之相關設定等，因此所反演推估出的合成風場與其它觀測儀器可能有差異存在，為了解合成風場的與其他相關儀器的觀測特性，本研究主要使用剖風儀觀測資料來驗證雙都卜勒風場的正確性，並比較兩者間的觀測差異特性，使用之剖風儀資料為日本氣象廳所屬之與那國島站，該站位於東經 123.01°，北緯 24.47°，距離臺灣東部海岸約 125 公里，資料為每 10 分鐘觀測，觀測高度自高度 424 公尺至高度約 9000 公尺，層數共 30 層，垂直解析度約 300 公尺(圖 2)。雙都卜勒風場分析資料則是利用 RCWF-RCHL 等高面(1 至 10 公里，垂直解析度為 1

公里)合成分析風場結果來做進行比對。此外，由於雙都卜勒風場在該站位置之最低可分析高度已達 3 公里左右，因此比對之資料為高度 3-10 公里間。圖 2 為辛樂克(Sinlaku, 2008)、薔蜜(Jangmi, 2008)及莫拉克(Morakot, 2009)颱風於高度 3-10 公里間之雙都卜勒反演風速與與那國島剖風儀風速觀測散布圖。圖中顯示雷達反演風場與剖風儀在東西風分量與南北風分量均相當接近，其均方根誤差(RMSE)分別為 2.6 m/s 與 3.2 m/s(圖 3)。此結果與 Park and Lee (2009)相當類似，但本研究之 RMSE 明顯較低，可能原因應與 Park and Lee (2009)研究中空間與時間解析度不同有關，在 Park and Lee (2009)的研究中以 1 小時取平均，空間解析度 5 公里為比較基準，而本研究中則使用每 10 分鐘、空間解析度約 1.3 公里的資料，因此有較佳的比對結果。

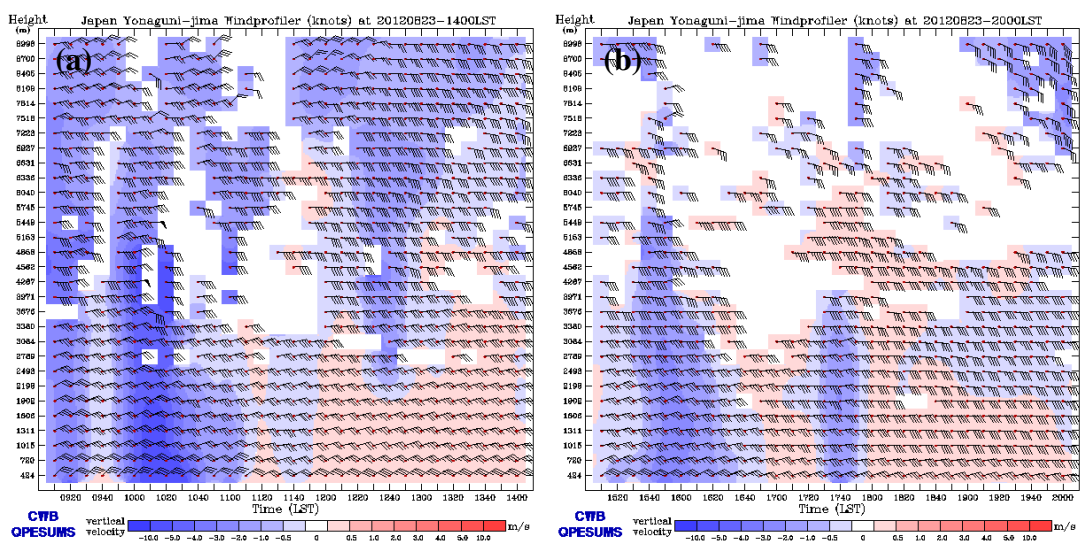


圖 2 2012 年天秤颱風(a) 8 月 23 日 0910 - 1400 LST 與(b) 1510 - 2200 LST 與那國島剖風儀之水平風與垂直運動速度觀測。

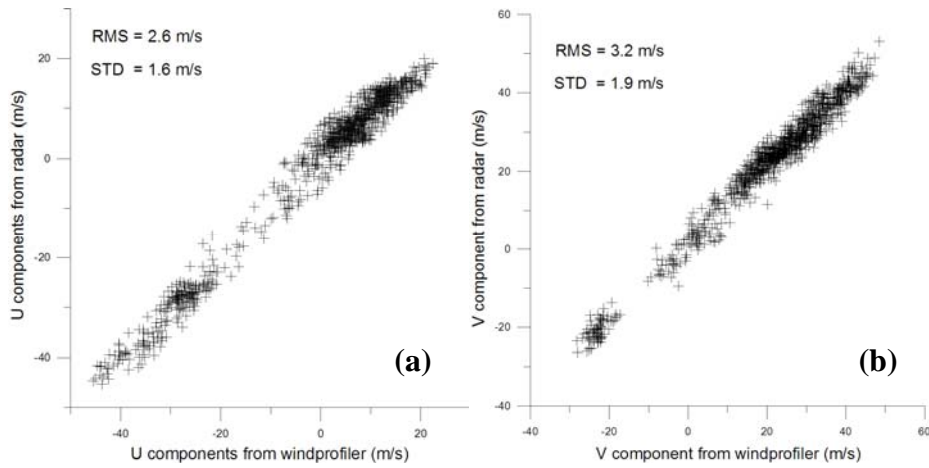


圖 3 辛樂克(2008)、蕃蜜(2008)及莫拉克(2009)颱風所有分析高度之雙都卜勒反演風速與與那國島剖風儀風速觀測散布圖，(a)為東西風分量，(b)為南北風分量。

### 三、颱風風力垂直剖面分析

由於雷達無法量測到近地面或海面風的都卜勒速度分量，因此，雙都風場反演結果並無法直接應用於近地面風力的推估，因此在實際作業中，近地面或海面的風力預估仍存在不確定性。近地表與海面風力的推估，最早始於利用飛機飛行高度資料來進行海面風力的估計，經由飛機飛行高度資料與海面測站之風力觀測的統計分析，即可推導出兩者間之相關，並可進一步應用於實際作業上(Powell et al. 1996)。

由於上述分析顯示，雙都卜勒反演風速與與那國島剖風儀風速觀測有很高的一致性，顯示如能透過剖

風儀單點的觀測資料建立垂直風力在高度上的相關分析，將可利用雙都卜勒反演的高空風場進一步應用於海面或地面風力的估計。本研究使用 2008 年到 2012 年 11 個颱風侵台期間之與那國島剖風儀每 10 分鐘一筆的觀測資料進行分析。此外，為了去除颱風移近台灣時，環流會受到地形破壞的影響，本研究使用颱風中心和與那國島間之距離必須小於颱風中心與台灣海岸線之最短距離作為門檻，僅針對未受地形影響之資料進行分析，有效資料筆數共 1989 筆。除了上述的與那國島站剖風儀資料外，收集資料也包括該站之地面平均風與陣風觀測資料，該站標高 30 m，風速計離地高度 14.3m。

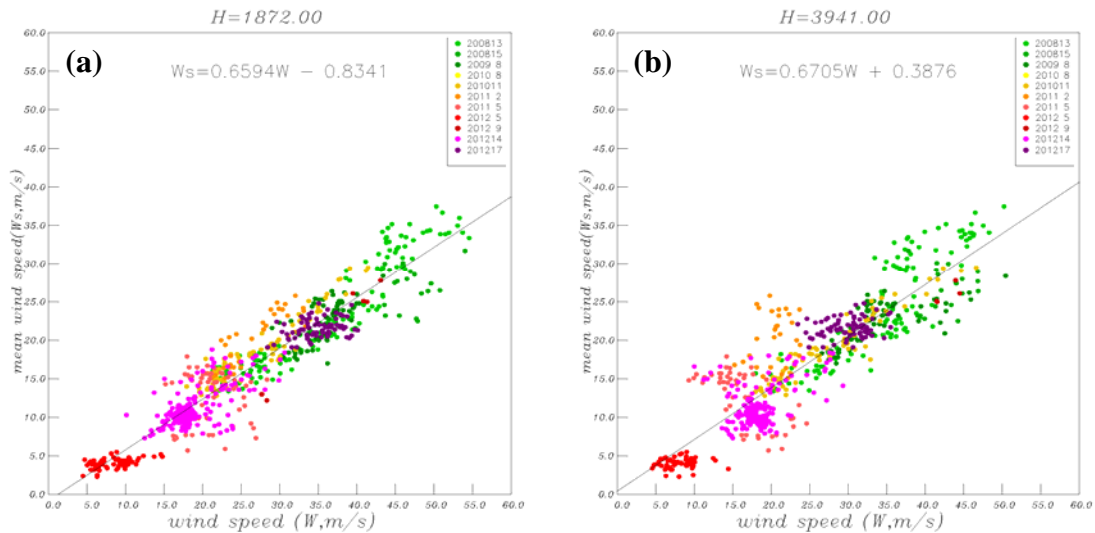


圖 4 不同高度層之風速(W)與當時地面觀測平均風速( $W_s$ )關係，圖上實線是使用最小平方方法所趨近的一階線性方程式。圖 a 高度為 1872 公尺，圖 b 高度為 3941 公尺。

圖 4 為高度 1.872 km 與 3.941 km 之風速與地面觀測平均風速散布圖。圖中可見兩者有不錯的相關性，且高空風速明顯較地面平均風速為高，其比值約

0.6-0.7 之間，而當高度增加時，比值有明顯減弱，但截距則有增加的情形(圖未示)，顯示地面平均風速不只與高度層風速大小相關，也與高度層風速所在高度有關。因此，本研究利用複迴歸分析方法，將不同高

度觀測的風速與地面平均風與陣風風速進行相關分析，嘗試建立多變數之經驗公式。以下方程為經複迴歸方式處理後，所得到之方程：

$$W_S = -0.2333 + 0.5407H + 0.6102W_H \quad (1)$$

其中， $W_S$ (m/s) 為地面平均風速， $W_H$ (m/s) 為高度層觀測風速， $H$ (km) 為高度。使用類似方法，同樣求取地面陣風風速  $W_G$ (m/s) 高度層風速，以及高度，也可獲得下列之方程：

$$W_G = -0.327 + 0.7377H + 0.8279W_H \quad (2)$$

由(1)(2)式可以看出，高空風速明顯主導與地面觀測的平均風及陣風風速的相關性，其所暫權重分別約為 0.61 與 0.83，而高度的權重則明顯較低，約為 0.54 及 0.74，且截距接近於零。此結果顯示，如利用高空的反演或觀測的風速值來推估地面的平均風或陣風，具有大致的比例，但會受到高度的影響，當兩者均考慮時，可以得到較接近於地面的風速觀測值。

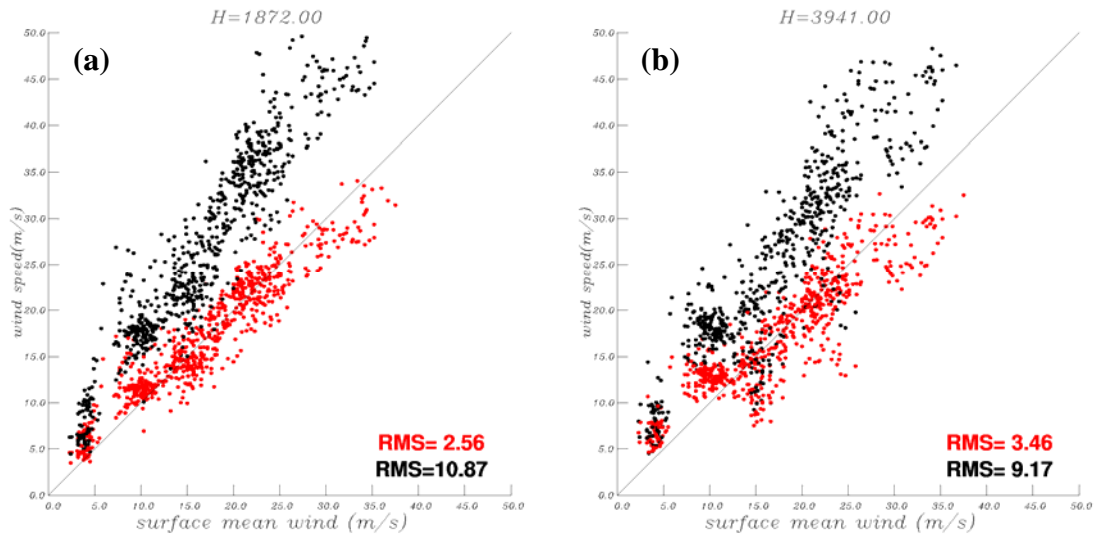


圖 5 不同高度層之平均風與地面風速之散布圖。橫軸為地面觀測到之平均風速，縱軸為風速圖中黑色圓點表示在不同高度層未經調整之風速值，紅色圓點則是將不同高度的風速值經過(1)式調整過的風速，圖 a 為高度 1872 公尺，圖 b 為高度 3941 公尺。

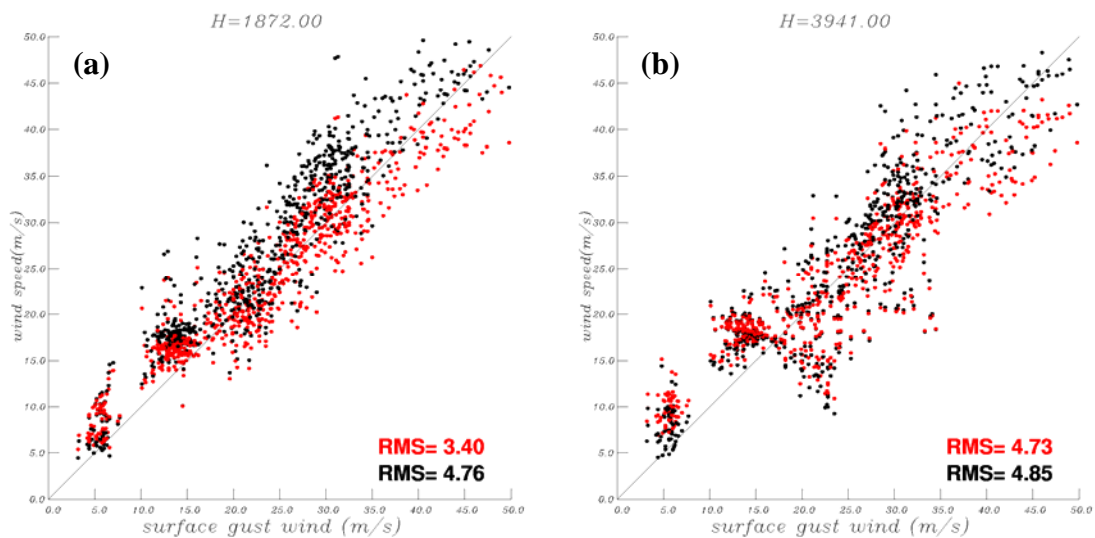


圖 6 如圖 5，但橫軸為地面觀測到之陣風風速。

圖 5 為不同高度調整前與調整後風速與地面平均

風速分布情形，黑色表示為調整前，紅色表示使用(1)



式調整後結果。從圖中可以發現經過調整後，均方根誤差明顯變小，所得到的風速較接近到地面觀測之平均風速。圖 6 則為不同高度調整前與使用(2)式調整後風速與地面陣風風速分布情形。比較全部高度層調整前後的均方根誤差(圖 7)，不管是平均風或陣風，使用地面觀測、高度層風和所在高度三者的關係式調整後，均方根誤差均顯示調整後之結果更接近真實的地

面觀測，尤其是高度層風經過(1)式調整後，正確性有顯著的提升，均方根誤差由調整前的 8-12m/s 降低至調整後的 2-6m/s。而對於陣風而言，在使用(2)式調整為地面陣風風速後，均方根誤差由 3-10m/s 降至 2-8m/s。顯示此一方法確實能有效調整高度層風，得到較接近真實地面的風速值。

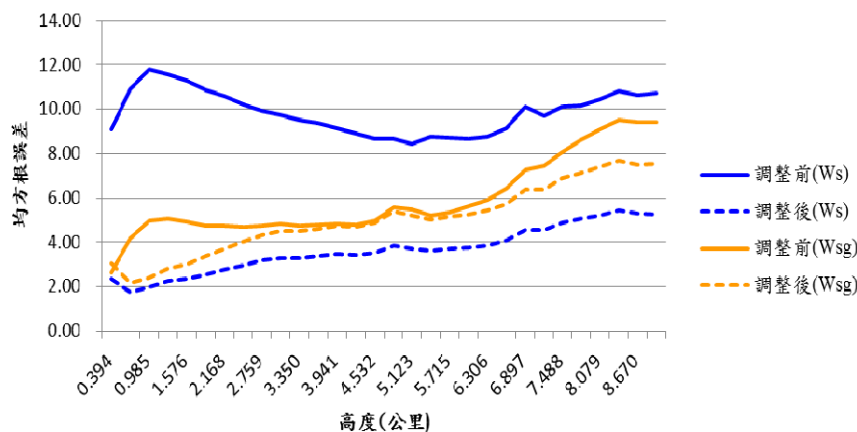


圖 7 各高度層風速調整前後的均方根誤差，Ws 表調整為地面平均風速，藍色實線和藍色虛線分別為調整前和使用(1)式調整後之均方根誤差。Wsg 表調整為地面陣風風速，橘色實線和橘色虛線分別為調整前和使用(2)式調整後之均方根誤差。

上述分析顯示，經雙都卜勒合成風場透過剖風儀統計分析的經驗公式調整至海面的風力值，對於近海面風力提供大範圍且高時間密度的參考資料來源，未來，本研究將利用此估計資料進一步求取七級風及十級風暴風半徑，以提供颱風風雨預報參考。

## 五、小結與未來工作

本研究利用中央氣象局都卜勒雷達與空軍雙偏極化雷達資料，透過雙都卜勒雷達合成方法進行颱風反演風場之應用分析。由分析結果發現，雙都卜勒合成風場對於颱風環流中心位置、颱風近中心強度與外圍雨帶區域的環流強度之變化趨勢等，均能提供預報作業值得參考的資訊。

此外，透過與那國島剖風儀的颱風風力垂直風力統計分析發現，不同高度觀測的風速與地面平均風與陣風風速有明顯的相關性，且隨高度有些微變化存在。利用複迴歸分析所得之線性關係將高空風力調整至地面發現，不論平均風或陣風，均可得到較調整前接近地面的風速觀測值，對於地面平均風而言，其在不同高度的均方根誤差由調整前的 8-12m/s 降低至調整後的 2-6m/s，而對於陣風而言，則是由 3-10m/s 降至 2-8m/s。此結果顯示，颱風風力在高度存在不錯的相關性，藉由線性迴歸分析所建立之關係式，可有助於將高空風力觀測或雷達反演之風力調整至地面與海面上，以提供作業上參考。未來，可利用此估計資料進一步求取七級風及十級風暴風半徑，以提供颱風風雨預報參考。

由於颱風環流中心的移動與環流強度的變化趨勢，並不易由大量資訊中快速且正確獲得環流變化的資訊。在未來工作方面，本研究將持續進行颱風環流中心之自動化定位技術的發展，並進行颱風個案之徑向與垂直風力剖面分析，希望能以預報使用者的角度，開發更實用且便利取得的颱風監測產品，以期更有效地提升對於侵臺颱風風雨分布的即時監測與預報。

## 參考文獻：

- Park, S. G., D. K. Lee, 2009: Retrieval of high-resolution wind fields over the southern Korean peninsula using the Doppler weather radar network. *Wea. Forecasting*, 24, 87-103.
- Powell, M. D., S. H. Houston, and T. A. Reinhold, 1996: Hurricane Andrew's landfall in south Florida. Part I: Standardizing measurements for documentation of surface wind fields. *Wea. Forecasting*, 11, 304-328.
- Ray, P. S., C. L. Ziegler, and W. Bumgarner, 1980: Single- and multiple-Doppler radar observations of tornadic storms. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1607-1625.
- , K. K. Wagner, K. W. Johnson, J. J. Stephens, W. C. Bumgarner, and E. A. Mueller, 1978: Triple-Doppler observation of a convective storm. *J. Appl. Meteor.*, 17, 1201-1212.