

ASCAT 衛星風場於熱帶氣旋環境下之誤差特徵評估

林書正¹ 周昆炫²

¹中國文化大學地學研究所大氣科學組

²中國文化大學大氣科學系

摘要

過去一直為各界研究及作業單位廣泛使用的 Quick SCATterometer (QuikSCAT)已經於2009年11月停止運作，為了填補這部份資料的空缺，多數研究與作業單位積極地尋找替代工具，Advanced SCATterometer (ASCAT)便是其中可用的衛星散射儀。本研究旨在以投落送資料驗證 ASCAT 於熱帶氣旋環境場下的精準度，並探討不同條件下的誤差特徵與相關應用之評估。投落送觀測資料來自 DOTSTAR、T-PARC、ITOP 三個實驗計畫和 NOAA 所屬之颶風研究中心(HRD)例行性飛機觀測，並且將投落送觀測之 M40 (0-40 公尺之平均風速)和 U10 (10 公尺高度之風速)透過線性迴歸分析增加投落送海面風場的資料量。

根據投落送觀測資料做不同條件分類，分析 ASCAT 與投落送的比對結果，發現 ASCAT 在弱風區(小於 12 m/s)有較大的風向誤差，而強風區(大於 18 m/s)有較大的風速誤差，整體而言，ASCAT 風速值普遍低估，且風速越強低估程度越顯著。除此之外，乾燥條件下 ASCAT 風速誤差明顯小於潮濕條件，但風向誤差差異較小，不過乾燥條件下有明顯的系統誤差呈現。另外，發現中等風速區(12-18 m/s)風速風向的均方根誤差很接近衛星設計之誤差規範(± 2 m/s 和 20°)，且受乾、濕條件分類的影響很小，此一特點有利於 ASCAT 對於颶風 30-34 knots 風速半徑估計的應用。

在本研究中，ASCAT 所呈現的誤差明顯大於過去的衛星散射儀驗證之結果，原因是由於本次驗證使用的投落送，包含較高比例的近熱帶氣旋中心和風速區區的資料。根據 ASCAT 乾燥條件下的風速誤差之特徵，以線性迴歸的方式作風速調整，可以獲得一組比較接近實際觀測數據的參考風速值。我們預期這些分析工作將有助於了解衛星散射儀反演風場之特性，特別是對於熱帶氣旋的相關應用，可供預報員作預報分析之參考和改善數值模式預報之初始場。

關鍵字：ASCAT, 投落送, DOTSTAR, T-PARC, ITOP

一、前言

熱帶氣旋(TCs)的生命期，絕大部分時間都在海面上，而傳統來自於洋面的觀測資料卻非常稀少；後來，隨著飛機觀測的加入，增加不少熱帶氣旋內部結構相關資

料，但是礙於成本與其必要性，觀測的頻率和範圍很有限。近年來，衛星散射儀該項技術的發展與進步，其觀測網幾乎遍佈全球熱帶海洋，可提供高解析度的海面風場資料，為熱帶氣旋的相關研究與應用開啟了一盞明燈。

自1999年衛星散射儀 Quick SCATterometer (QuikSCAT) 啟用即為各界研究或作業單位廣泛使用，而 QuikSCAT 已經於2009年11月停止運作，2006年10月由歐洲發射的 Advanced Scatterometer (ASCAT) 正式接替 QuikSCAT 海面風場的觀測任務，一些國際作業單位陸續地將散射儀海面風場的需求轉由 ASCAT 來提供。然而，ASCAT 風場數據的精準度與相關應用等議題，仍尚需作進一步的驗證與分析。本研究主要目的是以 Dropsonde 資料來驗證 ASCAT 在 TC 環境下的精準度，並且探討不同條件下的誤差特徵與相關應用之評估。

二、資料與研究方法

2006年10月19日由歐洲太空總署發射升空的 ASCAT 掛載於 MetOp-A，屬於繞極軌道衛星，以 C-band 微波雷達(頻率 5.255 GHz)，執行海面風場觀測任務。荷蘭皇家氣象協會 (KNMI) 於2007年2月21日起開始提供相關的散射儀風場反演數據。儀器設計為兩組各三個垂直極化天線所構成，採雙扇形波束掃描(類似 NSCAT)，兩組掃描帶寬度各約 525 公里，兩者間隔約 700 公里，每日約可覆蓋全球 70% 的無冰海洋，提供海面上 10 公尺高的風場資料。本研究使用 25 km 解析度之風場資料作分析，2009年11月 KNMI 釋出 12.5 km 高解析度的風場資料與海岸風產品，有利於更小尺度的風場觀測(Stoffelen et al., 2010)。

Global Positioning System (GPS) Dropwindsonde 組成元件包含了氣壓、溫度、濕度之感測儀，數字微處理器電路系統，GPS 接收機，400 MHz 發報機。感測儀對於大氣資料的採樣速率為 2 Hz，而 Dropsonde 在近地表的落速約 11~12 m/s，也就是說在低對流層區，Dropsonde 約每 5 公尺會有一筆測量數據。由於 ASCAT 資料為 10 公尺高度的風場(U_{10})，而並非每個 Dropsonde 都恰好有 U_{10} 的數據，

為了增加可用資料，我們使用海拔 0 ~ 40 公尺間的平均風 (M_{40}) 來估算 U_{10} 的數據 (Chou et al., 2010)。圖 1 即為此次研究 Dropsonde 量測 U_{10} 與 M_{40} 間的相關性與回歸關係，透過圖上 U_{10-M40} 的回歸公式來計算 10 公尺高度的風場資料。

本研究使用了 DOTSTAR (2007 ~ 2009) 和 TPARC (2008) 兩個實驗計畫針對大太平洋熱帶氣旋所量測的 dropsondes，加上的美國國家大氣總署所屬颶風研究中心 (NOAA/HRD) 針對大西洋與東太平洋例行性飛機觀測之 dropsondes 進行分析。在 2007 ~ 2009 年間的 dropsondes 資料，經過 U_{10-M40} 處理後與 ASCAT 風場數據做比對，時間差在 1 小時以內，空間差小於 0.25 度。在 2386 個 dropsondes 樣本中，總共取得了 558 筆有效匹配樣本，本研究分析了其中風速值小於 50 m/s 的 551 個樣本，分類探討 ASCAT 反演風場之誤差特徵。

三、結果

1. ASCAT 誤差特徵探討

1.1 整體誤差

根據比對後的結果分析 0 ~ 50 m/s 的資料共取得 551 筆有效樣本。作 ASCAT 與 Dropsonde 兩者間的相關性分析 (圖未示)，發現風速誤差大於 15 m/s 之後，開始有低估的趨勢，而且明顯的隨風速增強，低估越明顯；有一些較大的風向幾乎呈現反向位的誤差。

另外，改以 ASCAT 與 Dropsonde 之風速差和風向差值作分析 (圖未示)；ASCAT 風速低估的現象更是顯而易見，在風速大於 30 m/s 的風速差值甚至超過了 -10 m/s；透過風向差值分析有更確切的風向誤差呈現，絕大部分的風向誤差是來自於弱風區。

1.2 不同風速區域的誤差討論

這裡簡單做了不同風速區域的分類：弱風區小於 12 m/s，中等風區是介於 12 ~ 18 m/s

之間，大於 18 m/s 則定義為強風區。我們將風速差和風向差以散佈圖的方式呈現，並且作不同風速區的顏色標記(圖 2a)；透過不同顏色點的分佈，可大略看出不同風速區在誤差上的貢獻；弱風區誤差主要為縱向分佈，而強風區誤差則為橫向的分佈也就是說前者有較大的風向誤差，後者則有較大的風速誤差；相較之下，中等風速區的誤差分佈集中，且差值也較小。

1.3 大氣濕度差異的影響

過去其他研究曾以衛星散射儀 rain flag 來區別雨區和非雨區資料，本研究則以 Dropsonde 所量測的相對濕度來做分類，定義一個參數 RHSDP (Accumulated depth of saturation)，飽和的定義為 RH 大於 99% 稱之。將 RHSDP 小於 50 公尺定義為乾燥條件(dry condition)，反之 RHSDP 大於 50 公尺定義為潮濕條件(wet condition)。同樣地，以誤差散佈圖作不同條件下的顏色差異呈現(圖 2b)，可大致看出乾燥條件的誤差分佈狀況比潮濕條件集中。

進一步地將潮濕與乾燥條件分別作誤差散佈圖，並加入不同風速區的顏色標記(圖 2c, 2d)。先看乾濕的差別，乾燥區誤差分佈是屬於縱向分佈(圖 2d)，誤差趨勢與弱風區的雷同，風向誤差較大；而潮濕區誤差分佈是比較雜亂無章(圖 2c)，可見在風速風向的誤差值都不小。若考慮不同風區在兩種條件下誤差的貢獻，乾燥條件下，弱風區主導了乾燥條件的誤差特徵，中等風與強風區在該條件下的誤差並不明顯；潮濕條件下，弱風與強風區的誤差分佈，皆對此條件下之精準度造成了明顯的影響，只有中等風區的誤差仍具有相當好的表現。

1.4 決定 TCs 結構的三種風力定義之分析

為了評估 ASCAT 在 TCs 應用的可行性，我們依據預報或警報作業單位常用以估計

TCs 強度或破壞程度的三種風力值(Gale Force Wind (GFW), Damaging Force Wind (DFW), Hurricane Force Wind (HFW))，各取± 2 m/s 的區間分析 ASCAT 的誤差特徵。以誤差散佈圖方式 (圖 3) 加上不同濕度條件的顏色標記呈現，三者風向的誤差都很小，而風速的誤差有共同一致性的低估，也再次呼應了之前隨風速增加，風速低估越明顯的結果；另外發現在這三個風速區域下，濕度條件的影響並不明顯。

2. ASCAT 風速調整與相關應用之評估

經過上述各項分析的結果，發現 ASCAT 在風速方面有一致性低估的特徵，尤其當風速達到 15 m/s 以上時，低估的現象更加明顯。為了有助於未來 ASCAT 資料在 TCs 環境下的使用，我們根據此次研究的誤差特徵，透過回歸分析來作風速調整。

首先分析乾燥條件下 Dropsonde 與 ASCAT 兩者間的線性回歸關係(圖 4a)，並計算出回歸公式，試著將 ASCAT 的觀測值透過回歸公式來反推實際風速。我們再以調整後的 ASCAT 與 Dropsonde 作風速差值分析(圖 4b)，相較於調整前原始的 ASCAT 與 Dropsonde 間之風速差值分析 (圖 4c)，在三項誤差 (偏差趨勢 BIAS, 平均絕對差 MAE, 均方根差 RMSE) 統計數值都有改善，尤其是在於強風區低估的狀況改善最為明顯。

為了評估此調整方式是否合於應用所需，我們分析 2010/09/17 00Z Fanapi 颱風個案，配合 ITOP Dropsonde 來做驗證的工作。將 ASCAT 的掃描帶風速值以 shaded 表示，圖 5a 是原始 ASCAT 掃描帶風速值，圖上的數字分別代表 ITOP Dropsonde 相對應的空間分佈。比較時間點最接近的 ITOP 於 01Z 之觀測風速為 55 knots，對應到的 ASCAT 原始風速值約 45 knots (00Z)；反觀調整後的 ASCAT 掃描帶風速值 (圖 5b)，所對應到同一個位置的

風速值，非常接近 ITOP 於 01Z 的觀測值 (約 55 knots)。

四、總結

ASCAT 於弱風區存在較大的風向誤差，強風區存在較大的風速誤差；整體而言，風速低估，且風速越強低估越明顯。如表一所示，在乾燥大氣條件下，ASCAT 的風速精準度較佳，RMSE 約 2.3 m/s；而在風向精準度方面，潮濕與乾燥條件下的表現均不理想，RMSE 約 40°。另一個重大發現，是中等風速區的精準度受大氣濕度影響很小，風速風向的最大 RMSE 分別約為 2.1 m/s 和 20.3°，可應用於 TCs 之 30 或 34 knots 的暴風半徑分析。

ASCAT 在 GFW、DFW、HFW 三種風力定義範圍的精準度表現，風向誤差都很小(約 10°)，而在風速方面有很明顯的低估。根據上述 ASCAT 的誤差特徵，經回歸分析來作簡單的風速調整，不僅可以提高 ASCAT 可應用的風速範圍，尤其是在強風區的調整結果，更有利於未來對於 TCs 風場結構之分析與應用。

五、參考資料

Chou, K.-H., C.-C. Wu, P.-H. Lin, and S. Majumdar (2010), Validation of QuikSCAT wind vectors by dropwindsonde data from Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance Near the Taiwan Region (DOTSTAR), *J. Geophys. Res.*, 115, D02109, doi:10.1029/2009JD012131.

OSI SAF/EARS, ASCAT Wind Product User Manual version 1.8 January 2010, SAF/OSI/CDOP/KNMI/TEC/MA/126.

Stoffelen, A. and A. Verhoef, Validation of ASCAT coastal winds version 1.1 June 2010, SAF/OSI/CDOP/KNMI/TEC/RP/17.

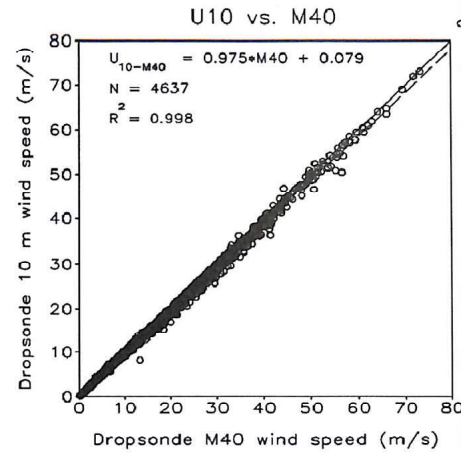
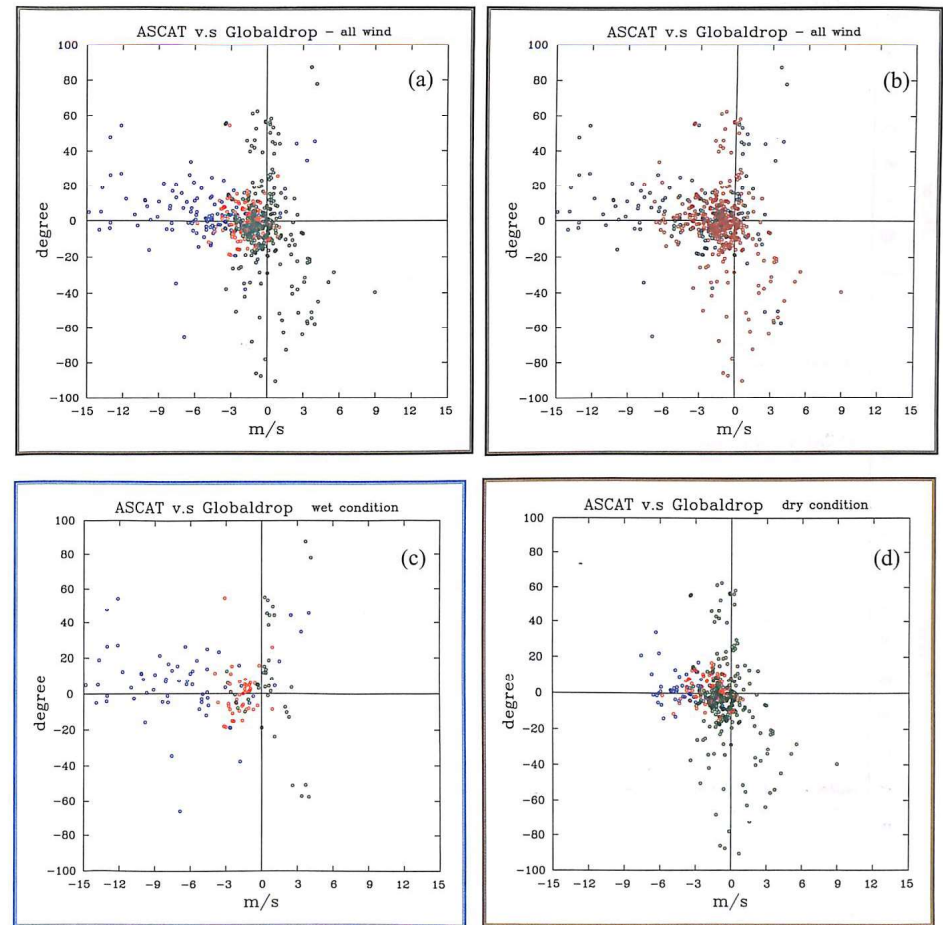


圖 1 Dropsonde 量測到 10 公尺高度之風速 (U₁₀)與 0~40 公尺高度間之平均風速 (M40)的回歸分析。



顏色註記：0：弱風，0：中等風，0：強風，0：潮濕，0：乾燥

圖 2 ASCAT 誤差散佈圖。(a)全部樣本之風速差異的分佈；(b)全部樣本之濕度條件差異的分佈；(c)潮濕條件樣本之風速差異的分佈；(d)乾燥條件樣本之風速差異的分佈。

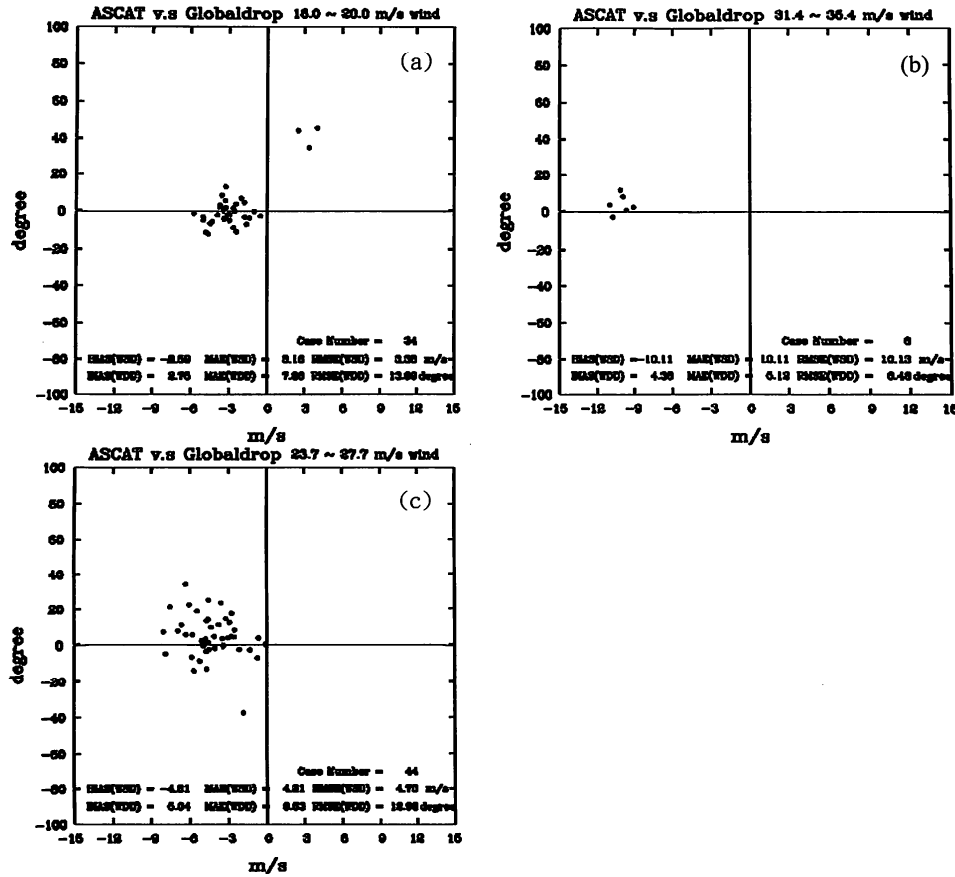


圖3 ASCAT在作業單位常用以決定TCs強度之三種風力範圍的誤差散佈圖。(a) GFW ± 2 m/s; (b) DFW ± 2 m/s; (c) HFW ± 2 m/s。

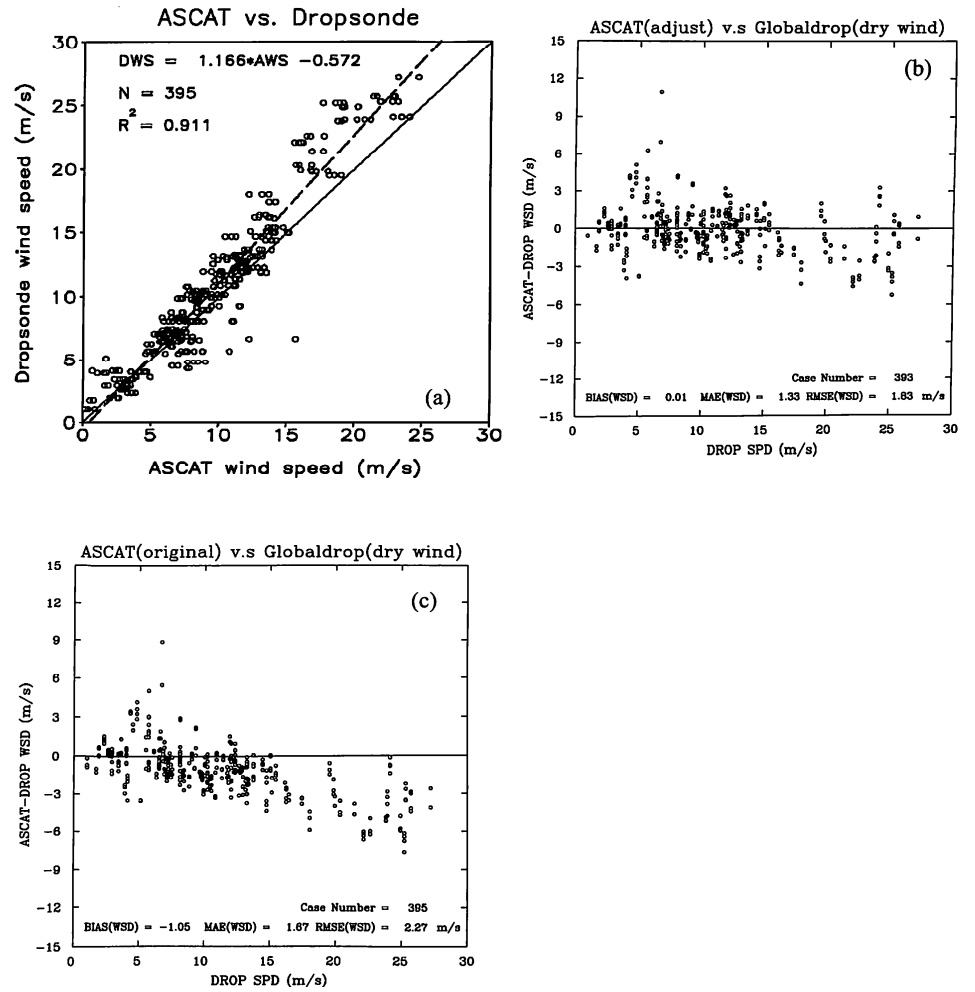


圖4 (a) 乾燥條件下ASCAT和Dropsonde的回歸分析 (b) 乾燥條件下調整後ASCAT風速與Dropsonde的風速差值分析 (c) 乾燥條件下原始ASCAT風速與Dropsonde的風速差值分析

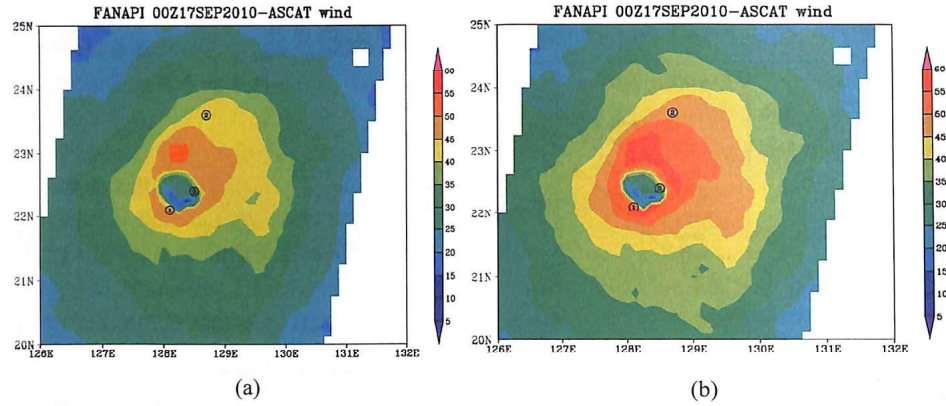


圖 5 2010年9月17日0000UTC Fanapi 颱風 ASCAT 掃描帶風速資料分析，(a)調整前(b)調整後。圖上 1~3 為 Dropsonde 觀測的位置，風速值(時間)分別為 55 knots (0100UTC)，65knots (0200UTC)，75 knots (0300UTC)。

表 1：ASCAT 誤差特徵統計

ASCAT wind	BIAS	MAE	RMSE	NUM
<i>All</i>				
All	-1.56 (-3.38)	2.45 (21.79)	3.86 (42.96)	551
Weak	0.06 (-8.23)	1.43 (31.35)	2.58 (55.22)	304
Middle	-1.65 (0.41)	1.73 (7.48)	2.09 (13.00)	128
High	-5.60 (4.92)	5.81 (12.79)	6.88 (23.96)	119
<i>Wet condition</i>				
All	-2.85 (-2.11)	4.42 (23.15)	6.29 (40.74)	156
Weak	1.90 (-14.36)	2.67 (40.71)	5.33 (61.46)	47
Middle	-1.64 (-2.02)	1.77 (11.15)	1.98 (20.29)	42
High	-6.93 (6.42)	7.31 (18.13)	8.36 (30.94)	67
<i>Dry condition</i>				
All	-1.05 (-3.89)	1.67 (21.26)	2.27 (43.80)	395
Weak	-0.28 (-7.11)	1.21 (29.63)	1.63 (50.00)	257
Middle	-1.66 (1.60)	1.72 (5.52)	2.14 (7.10)	86
High	-3.88 (2.98)	3.88 (5.90)	4.28 (8.94)	52

格式：風速差 (風向差)；單位：m/s (degree)

ASCAT wind error characteristic assessment around the tropical cyclone by the GPS dropwindsonde

Shu-Zheng Lin¹, Kun-Hsuan Chou²

1Graduate School of Earth Science, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan

2Department of Atmospheric Sciences, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan

Abstract

Since the Quick SCATterometer (QuikSCAT) has failed in operation in November 2009. There is still ocean surface vector wind data from the European Advanced SCATterometer (ASCAT) system which provides a partial mitigation for QuikSCAT. The ASCAT was launched in October 2006. This research will focus around the tropical cyclone of the accuracy the ASCAT wind vector by the dropwindsondes deployed by the DOTSTAR (Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the TAIwan Region), NOAA/HRD (National Oceanic and Atmospheric Administration, Hurricane Research Division) during 2007-2010, T-PARC (THORPEX Pacific Asian Regional Campaign) in 2008, and ITOP (Impact of Typhoons on the Ocean in the Pacific) in 2010. To maximize the database, the surface to 40-m wind speed in the dropwindsondes is averaged and interpolated to the 10-m wind speed by linear regression.

The results of ASCAT wind error characteristic are analyzed based on various regimes which identified by the dropwindsonde measurements. It is found that large wind direction differences occur for low wind regime (below 12 m/s), and large wind speed differences occur for higher wind regime (above 18 m/s). The negative wind speed bias becomes larger when wind speed increase. The accuracies of wind vector in weak and high wind regimes are significantly degraded in wet condition, however, those in middle wind regime (between 12 and 18 m/s) has much better quality which reach the satellite's design specification.

Because the ASCAT-dropwindsonde match samples are located around the tropical cyclone, i.e., high wind conditions, the overall error characteristics are larger than previous studies on the validation of the scatterometer wind. Nevertheless, we are able to conclude that ASCAT winds around the 12-18 m/s are accurate enough for the application to determine the critical wind radius of 34 knot (tropical storm force) wind. We anticipate that this work will provide a basic knowledge on the accuracy of satellite-derived wind products, especially in TCs, for use in forecaster analysis and for initializing numerical forecast models.

Keywords : ASCAT, dropwindsonde, DOTSTAR, T-PARC, ITOP