QuikSCAT 衛星風場數值模擬離岸風能分析研究

The Analysis Study of QuikSCAT Satellite Data and Numerical Simulation for Offshore Wind Resource

陳美蘭,李宜宸

Mei-Lan Chen, Yi-Chen Li

工業技術研究所

能源與環境研究所 新能源技術組

New Energy Technology Division, Energy & Environment Research Laboratories,

Industrial Technology Research Institute

摘要

台灣海峽因地理環境特殊,具有豐富的風力資源 可作為再生能源發展。然而海域風能雖佳,但是離岸 風電場開發之風險高於陸域,在尚未瞭解風場實際特 性之前,無法貿然投入開發,仍需進行細部的風能評 估,才能有效降低風險。目前台灣海峽缺乏實際觀測 資料,為了得到特定區域之風能特性,本研究利用 QuikSCAT 衛星風場資料與中尺度模式進行嘉義外傘頂 洲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。

關鍵字:風能特性、數值模擬、衛星風場

Abstract

Because of the special geographical environment in the Taiwan Straits, there are abundant wind power resources for the development of renewable energy. Despite of the sound wind energy source from the offshore area, the development and management risk of offshore wind farm is higher than that of onshore. It is not suggested to develop wind farm rashly without fully understanding the wind climate around the interested site. The detailed wind resource assessment can reduce the risk effectively. However, the current actual observed data in the Taiwan Straits is lacking. For the purpose of obtaining wind climate at local scale, this paper studies the high resolution wind filed at offshore wind mast site in Chiayi county, based on satellite QuikSCAT data and numerical simulation with meso-scale mode. The resulted representative wind climate from the Downscaling method can be served as the references for investment analysis or risk assessment.

Key words : Wind Climate Numerical Simulation Satellite Ocean Wind

I. 前言

海域風能開發的潛在優勢不外乎風能佳、景觀衝 擊低與土地競合少等,隨著陸域開發的成長,風能佳 的海域早已是大型風力電場的開發首選。目前大部分 的風能評估方式仍是實地觀測為主、數值模擬為輔, 應用場址大致上分別三種類型:陸域、海域以及複雜 地形,其中後者評估誤差是相對高許多,在應用上也 是有許多不確定因素;海域風場變化相對穩定,但是 缺乏觀測資料,不管是風能觀測站固定式觀測或者 SODAR、RASS、Radar、LIDAR 等移動式遙測,皆需 針對定點場址投入時間與成本才得以完成;若要得到 大範圍的長期氣象分析則需仰賴具有全球氣象網格資 料,此資料已將船舶、探空、地面觀測、遙測衛星與 雷達等資料同化為分析場,資料遍佈全球而且時間 長,唯一的缺點就是資料空間解析度不夠高,無法解 析到風力電場的規模大小。離岸風能研究仍著重在大 範圍風能分佈,主要方法是利用氣象模式模擬、海域 觀測、衛星影像或衛星反演風場進行多重比對分析, 得到大範圍風能資訊。衛星資料總類繁多,應用於風 能分析主要是以氣象海洋為主的衛星觀測,例如歐洲 太空總署 SAR (Synthetic Aperture Radar)、美國太空 總署海洋衛星等。其中又以美國太空總署的海洋觀測 資料種類多且豐富 (Jet Propulsion Laboratory),具有 遍佈全球高解析度的海平面風場資料,包含 SSM/I、 TMI、AMSR、QuikSCAT、MSU 等五種遙測衛星的氣 象資料,以及提供全球即時之熱帶氣旋情報供瀏覽, 除預測路徑外,亦有海水溫度、風場分佈和降雨強度 等分析。因此衛星海平面風場資料對於缺乏觀測資料 的海域有很大的幫助,歐洲北海 (Hasager et al., 2006)、日本 (Ohsawa et al., 2009)、巴西、中國、美 國等海域地區,各國政府或研究單位在開放離岸電場 開發前,皆已投入離岸風能評估研究,利用衛星資料 進行長期評估以找尋優良風能場址。

中國氣象局 (Chou et al., 2003)進行 QuikSCAT 散射計向量風場統計特徵及南海大風遙感分析,主要是利用 QuikSCAT 分析南海風速機率的月變化、空間分

佈特徵以及南海各月風場的空間分佈特徵,結果顯示 QuikSCAT 風場在南海具有可信度,南海主要盛行東北 季風與西南季風,東北季風最大中心在巴士海峽與台 灣海峽、南海中南部存在東北季風的次大中心和西南 季風的極大中心。2009 年歐洲離岸風能研討會在風能 評估研究項目裡,丹麥 DTU Risø 發表利用歐洲太空總 署衛星影像得到北海地區全區風能分佈圖(Hasager et al., 2009),且將 QuickSCAT 與離岸風能觀測站比對得 到很好的結果,進而針對風能特性進行局部地區計 算;此外英國 Garrad Hassan (Phillips et al., 2009)結合 衛星觀測資料、FINO-1 量測數據以及數值模擬沿海風 速變化,得到大範圍風能分佈資料並降低潛能的不確 定度。

工研院在 2005 年至 2007 年完成 The Weather Research and Forecasting Model (以下簡稱 WRF) 數值 模擬分佈研究,透過分析比對並推估不同高度的風場 數據,完成建置台灣地區陸域2km×2km風場模擬分 佈資料(曹等, 2007)。但既有風能觀測站所能提供之 資訊有限,加上模式無法真實反應小尺度地形地貌, 使得模擬值與實際值在校對上無法全面考量,只能侷 限在既有資料的陸域上。2007 年氣象局委託中鼎工程 數化 WRF 模式台灣地區土地利用類型(戴等, 2008),使用台灣地區高解析度(簡稱 CTCI 資料)的 土地利用資料,用以取代 WRF 模式中原始的 USGS 資 料,更新後的土地利用資料主要為修正台灣地區都 市、水田、混和林與旱田的分佈,較 USGS 資料更精 確反應出台灣地區土地利用的現況,可提供 WRF 模式 在一個合理的土地利用背景資料下進行更正確的預報 與模擬。

大部分的傳統觀測都是在陸域上,相對之下,海 域觀測資料更為匱乏,目前僅有的嘉義外傘頂洲風能 觀測站可提供資訊有限,尤其是近海地區連 QuikSCAT 衛星風場資料都無法解析。本研究目的是透過數值模 擬海域風能,定點得到高解析度資料,以具有風能觀 測站之嘉義外傘頂洲為模擬目標,利用 QuikSCAT 衛 星風場資料與數值模式,針對嘉義外傘頂洲進行時序 列數值模擬與定點量化分析,並探討其風能特性,以 期可應用至其它離岸場址之風能評估。

II.方法與資料

(1) 方法說明

本研究使用 WRF 3.0版(Skamarock et al., 2008) 數值模式的動力積分解模擬台灣海域嘉義外傘頂洲之 風能特性,模擬作法以 Cold start run 的方式進行 2008 年真實個案時序列模擬,每次模擬時間為 48 小時,每 隔 6 小時更新一次大尺度邊界條件,模式每小時有一 筆輸出。透過 Downscaling 方式以及加入 QuikSCAT 海 面風速資料,增加海域風場資料之空間與時間的解析 度,以得到嘉義外傘頂洲之風速機率分佈圖、風花圖 以及垂直剖面風速分佈。為了有效分析預測準確性, 利用嘉義外傘頂洲風能觀測站資料分別進行 WRF 模擬 輸出結果與 QuikSCAT 進行平均誤差與均方根誤差指 標量化分析(流程請參見圖1)。



圖1:研究流程圖

(2) 模式介紹

WRF 模式 (Wang et al, 2008) 是由許多輔助系統 所構成(參見圖2),其系統架構可以分為前處理系統 (WRF Pre-Processing Systam; 簡稱 WPS, 模式初始場 之建立),系統模擬中心(WRF ARW model),及後 處理系統 (Post-Processing & Visualization , 模式之輸 出繪圖與診斷分析)。WPS 作為模式初始化的前處理 系統,主要包含 geogrid、ungrib、metgrid 三個程式, 分別作為統計場與 domains 網巢設定、分析場與預報資 料的網格處理、氣象資料依照設定網格做水平內插 namelist.wps 檔是作為控制這三個程式的設定內容,主 要流程是先由處理模擬的地圖投影部份,並將地形與 地表之特徵建立且內插至模式之網格中,再引進低解 析度之全球觀測分析資料,利用修改 metgrid 程式與設 定,即可產生模式網格的初始場。前處理系統所產生 之初始場內差至 WRF 模式網格系統後,經積分運算所 獲得之結果透過後處理系統輸出處理,藉由繪圖軟體 將結果加以分析並進行風場之繪製。

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),通量形式歐拉方程表示如下:

- $\partial_t U + (\nabla \cdot V_u) \partial_x (p\phi_n) + \partial_x (p\phi_x) = F_U$ (1)式
- $\partial_{v}V + (\nabla \cdot V_{v}) \partial_{v}(p\phi_{n}) + \partial_{v}(p\phi_{v}) = F_{v}$ (2) I

$$\partial_t W + (\nabla \cdot V_w) - g(\partial_n p - \mu) = F_w \tag{3)}$$

$$\partial_t \Theta + (\nabla \cdot V\theta) = F_{\Theta} \tag{4}$$

$$\partial_{\mu}\mu + (\nabla \cdot V) = 0 \tag{5)}$$

$$\partial_t \phi + \mu^{-1} [(V \cdot \nabla \phi) - gW] = 0 \tag{6)}$$

$$\partial_n \phi = -\alpha \mu$$
 (7)式

$$p = p_0 \left(\frac{R_d \theta}{p_0 \alpha} \right)^{\gamma} \tag{8)}$$

通量形式變數:

 $V = \mu v = (U, V, W), \Omega = \mu \dot{\eta}, \Theta = \mu \theta$

協變速度:v = (u, v, w)

垂直速度: $\omega = \dot{\eta}$

位温: θ

控制方程非保守變數: $\phi = g_z$ (重力位), p(氣 壓), $\alpha = 1/\rho$ (密度)

WRF 模式的垂直座標是採用追隨地勢的座標 (Laprise, 1992),水平及垂直向可使用 2nd order~6th order 的平流選項作為空間離散化之選擇;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,適用的尺度範圍可小至百公尺 級;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(包含微物理、積雲參數化、地面物 理、行星邊界物理、大氣輻射物理),可作為降水的 物理過程、地表能量收支、地表邊界層的處理和大氣 輻射過程等現象模擬。另外,具有亂流混合與模式濾 波功能,可設定不同的初始條件及邊界條件,以及考 量地球自轉,所有的科氏力項皆須包括在內,地圖投 影的方式包括極座標投影法、藍伯特保角投影法及麥 卡托投影法。因此使用此模式時 , 對於不同的天氣現 象不同的地點可以採用適當之物理參數化過程加以探 討。



- 圖 2: Weather Research Forecast Modeling system (Wang et al, 2008)
- (3) 資料說明
 - (a) NCEP Final Analysis

由於台灣地區位於歐亞大陸與太平洋交界處, 具有豐富天氣變化,冬季受北方大陸冷氣團影響, 隨著冷氣團的強弱與東移,台灣地區明顯可以感受 到溫度的變化與東北季風的強弱;夏季時,太平洋 副熱帶高壓因海溫增高而增強,其外圍環流帶來暖 濕的西南氣流使台灣地區除了因水汽飽和容易下雨 外,東北季風明顯減弱變為具有南風分量,故需要 綜觀尺度之全球氣象觀測分析資料。為了概泛瞭解 台灣地區綜觀尺度風場分佈情形,將網格資料作為 分析場,使分析之風速分佈具長期風性之參考價 值,本研究中所使用資料為美國 NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses 網 格點資料,其水平空間解析度:1°×1°;垂直空間 解析度從 1000 mb 至 10 mb 共 26 層;時間解析度 6 小時;資料時間:2008/01/00Z-2008/12/18Z。

(b) QuikSCAT

QuikSCAT 衛星於 1999 年 6 月 19 日發射升 空,為一繞極軌道太陽同步衛星,QuikSCAT 極軌 衛星繞地球所掃瞄到的全球海平面風場資料,可判 定天氣系統的形成與其環流風速與風向分佈; QuikSCAT 每日掃瞄結果呈現的時間有兩次,約為 台灣時間清晨五點及下午五點。每繞地球一周約為 101 分鐘,雖然太陽同步衛星在約 12 小時後會經 過同一地區,但由於掃瞄的位置並不固定,因此極 有可能發生無法完全涵蓋到我們感興趣的地區上。 衛星上的 SeaWinds 儀器是一種特殊的微波雷達可 測量海面上約 10 m 的風速及風向,當風速小於 20 m/s 時,其量測到的風速誤差為 2 m/s,當風速介於 20-30 m/s 時,則有 12%的誤差,風向的誤差範圍 為 20°(JPL, 2006)。其空間解析度為 25 km × 25 km。

該資料經取得、處理後提供的時間與實際的觀 測時間約有 2 至 3 小時的延遲。目前資料庫擁有 1999~迄今,包含全球每天、3 天、每周及每月平 均的風速及風向資料。此資料可自 RSS (Remote Sensing Systems)與 PO.DAAC (The Physical Oceanography Distributed Active Archive Center)兩 個研究機構網站下載免費風場資料。RSS 是一家專 門研究、處理由美國太空總署發射衛星微波感測器 所蒐集到的微波資料之研究單位,PO.DAAC 則是 負責收集分發有關海洋自然狀態的資料庫中心,資 料庫中各種資料的獲得也來自於衛星載台感測器, 資料種類包含 QuickSCAT、SSM/I、AMSR_E、 NSCAT 及 SeaWind 等,依照不同的處理方式再分 類為不同的產品。本研究蒐集 2008 年每天風場資 料作為模式分析場以及綜觀比對之用。

(c) 嘉義外傘頂洲風能觀測站

風能觀測站位於東經 120.04°、北緯 23.45°, 具有 10 m、30 m、50 m、60 m 四個高度之長期風 速風向觀測資料,本研究蒐集 2008 年逐時觀測資 料,作為數值模擬結果比對分析之用。此風能觀測 站缺乏 2 月份的觀測,其資料可用率為 85%,在進 行分析時,已排除缺乏觀測資料之時間。

III. WRF 模式設計

模式設計分為初始條件、側邊界條件以及參數設 定三個部份進行說明:

第一步驟是初始化的部分,首先處理模擬的地圖 投影部份,在 WRF 模式中計算網格時,Δx 和Δy 是 固定的,所以隨著緯度的不同,網格大小應隨地球表 面的直徑而調整,考量台灣位於中緯度地區,故選用 藍伯特保角投影法<mark>(Haltiner, 1980)</mark>,投影地圖參數定 義如下:

$$m = \frac{(\Delta x, \Delta y)}{\text{distance on the earth}}$$
(9) \vec{z}

隨後將地形與地表之特徵建立且內差至模式之網 格中,本研究中所使用的網格地形資料主要是以東亞 地區為主,包含 USGS (The U.S. Geological Survey) 地形地貌資料(30-second)、16 種土壤分類資料、綠 色植被資料(0.15 degree)、地表年平均溫度(1 degree)、反射率(0.15 degree)以及斜率資料(1 degree),透過此資料的輸入,可以讓模式得以解析地 形地貌的差異。接著輸入美國 NCEP Final Analyses 以 及 QuikSCAT 之全球氣象觀測分析資料產生模式中網 格的初始場,最後將資料內差至模式所使用的 η 座標 系統上,如圖 3 所示。



圖 3:網格初始場 $\Delta x \subset \Delta y$ 與 $\Delta \eta$ 的定義

第二步驟是網巢設計,在水平方向使用三層巢狀 網格,內差方式採 Arakawa-C grid staggering (3:1 grid size ratio)。三層巢狀網格設計方式如表 1 所列,第一 層為涵跨東亞地區,網格間距是 18 km,x 方向有 120 個格點,y方向有 100 個格點;第二層為包含台灣地區 及海峽,網格間距是 6 km,x方向有 151 個格點,y方 向有 166 個格點;第三層為僅有台灣地區及部分離 岸,網格間距是 2 km,x方向有 196 個格點,y方向有 271 個格點,所以在 2 km 的解析度上,台灣地區及離 岸部分可有 53116 個格點。垂直空間解析度:採 η 座 標,由模式頂 (η =1.0)至模式底 (η =0)共 15 層 (1013 mb 至 100 mb),由於我們感興趣的是低邊界 層的風場變化,故在 1000 m 左右高度以下加密解析 度,而高層則較疏。

表1:多重網巢設計表

	Nx , Ny	Space	Ratio	LL,IJ	UR, IJ	PTS
Domain 1	120,100	18.0	1	1, 1	120,100	12000
Domain 2	151,166	6.0	3	35,15	85, 70	25066
Domain 3	196,271	2.0	3	40,60	105,150	53116

第三步驟是參數設定,時間積分採用積分時間分 割法(The time-split RK3 scheme; Wicker, 2002)、物 理過程中微物理採用 Purdue Lin scheme (Lin et al., 1983)、積雲參數選用 Lin et al. scheme、地面層採用 Monin-Obukhov scheme、Land-Surface 採用 Noah landsurface model、邊界層參數化選用 Yonsei University (YSU) PBL、大氣輻射中長波輻射選用 option-rrtm scheme、短波輻射選用 option-Dudhia scheme;邊界條 件採用特殊側邊界條件進行真實個案的模擬;多重網 巢採用 two-way,可將尺度較小的擾動回饋至粗網格 中。

IV. 模擬結果

分析採用模式 Domain $32 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 解析度輸出之 U 向量與 V 向量,以網格內差方式計算嘉義外傘頂洲 風能觀測站所在之網格點(U,V)風場大小,除了模式 原本輸出設定有 10 m 高(U10,V10)之風場外,還有 14 層 staggering(U,V)風場輸出。由於模式設計是採 隨地勢座標,每一層在不同時間點輸出的高度場皆不 盡相同,為了與風能觀測站 30 m、50 m 與 60 m 進行 比對,其模式輸出的風場需額外藉由內差方式求得 30 m、50 m 與 60 m 三個高度之風場。爾後利用嘉義外傘 頂洲風能觀測站逐時資料驗證本模式 10 m、30 m、50 m 與 60 m 逐時風場,估算平均絕對誤差(*ME*)與均 方根誤差(*RMSE*)指標來量化模擬結果的優劣,各指 標定義如下:

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (O_i - F_i)$$
(10) It

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (O_i - F_i)^2}$$
(11) It

其中o代表觀測值;F代表模擬值。

將觀測值與模擬值依照式(2)與式(3)進行計算,其 結果如表 2 所示, 各層高度之平均誤差大約介於-0.29 m/s~-0.93 m/s、均方根誤差介於 0.85 m/s~1.12 m/s, 模擬值均有高估之現象,且隨著高度增加,平均誤差 變小。從逐月平均來檢視模式結果,由圖 4(a)得知在 10m 高度的模擬值與觀測值月平均變化趨勢一致,而 且整體高估之現象明顯,差異為 0.93 m/s,其中又以 12 月 份 差 異 最 大 ; 另 外 , 將 嘉 義 外 傘 頂 洲 鄰 近 的 QuikSCAT 網格資料外差計算至嘉義外傘頂洲風能觀測 站上,與觀測值、模擬值進行比較,其月平均變化趨 勢雖類似但較模擬值差,而且平均誤差高達 2.47 m/s, 其中又以東北季風時期 12 月至 2 月份的平均誤差值最 大。此結果與 QuikSCAT 所提供的應用誤差一致,也 就是之前文中提到的當風速小於 20 m/s 時,其量測到 的風速誤差為 2 m/s, 當風速介於 20-30 m/s 時, 則有 12%的誤差,雖然嘉義外傘頂洲風速沒有超過20 m/s, 但亦從月平均分佈顯示,當風速越大時誤差越大之現 象。此說明在 QuikSCAT 風場應用風能評估時,應注 意風速變化,以掌握風能是否有高估之現象。圖 4(b)至 圖 4(b)分別為 30 m、50 m 與 60 m 高度的模擬值與觀測

值月平均變化趨勢,其誤差現象與 10 m 高差異不大, 唯 6 月份的誤差較 10 m 的高些。由於模式輸出的解析 度高,將模擬值與觀測值之逐時風場變化進行相關性 分析(參見圖 5),發現兩者的時序列相關性可達 0.76 (R²=0.65),此資料可用來瞭解特定時間的風場變 化,才能利用氣象變化加以解釋此差異現象,但模式 整體平均高估的現象,並不伴隨在每個時間,從圖 5 相關性圖可以看出,模擬值相對於觀測值小的時間點 也不少。在此我們可以得知模擬值的誤差隨著高度的 變化有越小之現象,可能是模式貼近海平面之黏滯性 或風能觀測站主體結構影響實際觀測值,但總體而 言,此研究結果之模擬值具有小於 1m/s 之平均誤差。

|--|

高度	月平均 ^{*1} (m/s)	ME (m/s)	RMSE (m/s)
10 m	5.38	-0.93	1.05
30 m	5.86	-0.91	1.12
50 m	6.31	-0.62	0.85
60 m	6.72	-0.29	1.06









V.風力潛能診斷分析

利用 2008 年每月平均 QuikSCAT 資料綜觀台灣地 區海域風場分布情況,如圖 6(a)所示台中外海是 10 m 高海平面風速最大值中心,年平均風速約 10 m/s~12 m/s,嘉義外海地區落在 8 m/s~10 m/s風速區間,考量 上一節 QuikSCAT 與觀測值之誤差,則海平面風速最 大值中心應落在 8 m/s~10 m/s風速區間,嘉義外海地 區應落在 6 m/s~8 m/s風速區間。利用與 2000-2008 年 平均之距平顯示 2008 年風速變化的差異,如圖 6(b)所 示距平值為 0.3 m/s,顯示與歷年平均的變化幅度僅有 2.5%,最大值中心仍是在台中外海地區,此分佈圖可 代表長期海域風場特徵,作為風能優劣排序之用。



基於上節可接受的誤差值,本研究將應用模擬結 果估算嘉義外傘頂洲的風能特性以及不同高度之風速 變化,以瞭解海域沙洲地區潛在風能與其垂直剖面的 變化。圖 7(a)為 2008 年 WRF 模擬 U10、V10 逐時風場 之機率分佈圖,以大型風力機啟動發電與額定發電的 風速大小作區分,風速 4~12 m/s 約有 55%的比例,大 於 12 m/s 的高風速也有將近 20% 左右的比例,小於 4 m/s 的低風速則佔有 25%, 年平均風速 6.88 m/s, 透過 此風速機率分佈可應用在風能評估時之年發電量計 算,也就是實際有效發電的風速大小應考量在風力機 啟動與關機區間內。此外,風向變化的穩定性也很重 要,在本文中並未針對風向進行誤差量化分析,一方 面是因為風向定量分析並無特別物理含意,一方面是 若考量時序列誤差變化,其在平均狀態下會被平衡 掉,風向差異的範圍可能超過90°;但是就定性的分 析,就可以看出此結果物理含意,透過風花圖(參見 圖 7) 顯示嘉義外傘頂洲整年的盛行風向是北北東風 (約佔 35%),而南風分量比例約佔 25%,其餘皆為 北風分量,對於風場風向的變化相對穩定,而這也是 台灣海峽地區風能最顯著的特性。圖 8 為 WRF 模式底 (約23m)至模式頂(約9000m)之逐月平均風速垂 直變化,圖中顯示在低邊界層,因季節的差異對於風 速大小的變化與垂直風剖變化成正比,對此有助於風 力機輪轂高度的風速變化,更加有效掌握風能大小。



2008 Monthly Wind Profile by WRF



圖 8:2008 年 WRF 模式輸出之月平均風速垂直變 化分佈圖

VI. 結論與討論

由於海上缺乏觀測加上風能觀測站建置成本很 高,本文預期利用 QuikSCAT 透過數值模擬方式得到 特定地區之高解析度風能資訊,在有效誤差範圍內, 進而分析長期風速機率分佈與風花圖,可作為年發電 量估算之參考依據。不管是在陸域或者海域風能評估 還是應以長期風力觀測為主,本研究雖可以真實模擬 大氣近地表面風場變化情形,提供高空間解析度以及 高時間解析度的網格資料,對於缺乏資料的海上確實 提供更豐富的資訊,但是模擬時間仍不具有代表性。 以本文 2008 年的時序列模擬為例,模式結果表現很 好,可以評估出嘉義外傘頂洲的年平均風能特性,但 是仍無法代表此場址長時間的氣候特徵,只能作為風 能特性分析。由於 QuikSCAT 有豐富的觀測資料 (1999 年迄今), 未來仍朝長期的 QuikSCAT 風場資 料進行年際變化分析,瞭解海域長期風能變化,畢竟 風力電場投資風險是攸關 20 年的運轉成效,長期氣候 特徵才有具代表性的,本研究未來朝氣候統計結合高 解析度的模擬結果,用來評估無觀測資料的海域風 能。

VII. 誌謝

本論文為經濟部能源局委辦「陸海域風力發電技術發展及整體推動計畫(1/2)」(契約編號:98-D0111)研究成果。

參考文獻

- Chou et. al., "The analysis on the statistical character of QuikSCAT scatterometer winds and strong wind frequency using remote sensor data from QuikSCAT", *Journal of Tropical Meteorology*, 2003,19,PP425.
- [2] Haltiner, G. J., and R. T. Williams, 1980: Numerical prediction and dynamic meteorology. John Wiley & Sons, Inc., 477pp.
- [3] Hasager, C. B., R. J. Barthelmie, M. B. Christiansen, M. Nielsen and S. C. Pryor,"Quantifying Offshore Wind Resources from Satellite Wind Maps:Study Area the North Sea.", *Wind Energ.* 2006; 9:63–74.
- [4] Hasager C. B., A. Mouche, M. Badger, M. Nielsen, and P. Astrup, "Wind statistics offshore based on satellite images", Proc. of EWEC 2009, Stockholm, Sweden, http://www.eow2009.info/
- [5] Laprise R., 1992: The Euler Equations of motion with hydrostatic pressure as as independent variable, Mon. Wea. Rev., 120, 197– 207.
- [6] Lin, Y.-L., R. D. Farley, and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. J. Climate Appl. Meteor., 22, 1065–1092.
- [7] NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses (ds083.2) : http://dss.ucar.edu/datazone/dsszone/ds083.2/
- [8] Ooyama K. V., 1990: A thermodynamic foundation for modeling the moist atmosphere, J.Atmos. Sci., 47, 2580–2593.
- [9] Ohsawa T., S., Shimada, N., Tsubouchi, and K., Kozai, "Offshore Wind Resource Assessment in Japanese Coastal Waters", Proc. of EWEC 2009, Stockholm, Sweden, http://www.eow2009.info/
- [10] Phillips, J., D. BACON, S. CRAWLEY, J. JACQUEMIN, and N. BALDOCK, 2009: A new wind map for the north sea – combining the strengths of earth observation data, mesoscale modeling and mast measurements. *Proc. of EWEC 2009*, Stockholm, Sweden, http://www.eow2009.info/
- [11] Skamarock W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X. Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers, "A Description of the Advanced Research WRF Version 3", NCAR Tech. Note TN-475+STR, 2008; 113p.
- [12] Wang W., D. Barker, C. Bruyère, M. Duda, J. Dudhia, D. Gill, J. Michalakes, and S. Rizvi, "WRF Version 3 Modelling System User's Guide", 2008; 214p.
- [13] Wicker, L. J. and W. C. Skamarock, 2002: Time splitting methods for elastic models using forward time schemes, *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2088–2097.
- [14] 曹芳海、呂威賢、陳美蘭等,中華民國九十七年五月,"風力 示範推廣計畫全程執行報告"。
- [15] 戴俐卉、洪景山、莊秉潔、蔡徵霖與倪佩貞,中華民國九十七 年三月,"WRF 模式台灣地區土地利用類型之更新與個案研究 ",大氣科學第三十六期第一號,43-62。