

1997-2010 年浮標觀測颱風波浪分析

董東璟^[1] 蔡政翰^[1] 滕春慈^[2] 陳進益^[2] 尤心瑜^[2]

^[1]國立台灣海洋大學 ^[2]中央氣象局海象中心

摘 要

本文重新分析中央氣象局浮標原始資料，取得較高頻率解析度之方向波譜，進而計算颱風波浪統計參數。分析結果顯示，重新分析之波浪統計參數與原作業化系統計算之波浪統計參數差異低於 5%。根據本文所定義的颱風期間特徵波高(STWH)與大波延時(DLW)參數探討颱風期間波浪狀態，發現近二十來颱風期間的波高有逐漸增大、大波延時增長的趨勢，示性波高超過 10m 以上的波浪愈來愈常見，影響地時間也愈來愈長，此結果是否受全球暖化影響有待更多與更長期的資料驗證。

關鍵字：資料浮標、颱風波浪、方向波譜

一、研究背景

颱風是影響台灣最重要的天氣系統之一，對陸地或海岸、海洋帶來嚴重的災害事件。颱風災害預警首重資料，有完整且品質良好的現場數據，配合數值模式，可以正確地瞭解颱風可能引起之海洋與海岸災害。資料浮標(data buoy)是目前國際上用來從事海洋觀測的重要工具，中央氣象局於 1997 年開始第 1 個浮標的佈放，截至 2010 年為止，中央氣象局有花蓮、新竹、小琉球、大鵬灣、龍洞、龜山島(中央氣象局與觀光局共同維護)、台東外洋、東沙島與馬祖等九個浮標在台灣海域作業化運作中，如圖 1 所示，長期收集我國沿海海域的海洋氣象與水文資料，包含波浪、風、氣溫、氣壓與水溫等，其中，波浪觀測是具有方向性的觀測數據。中央氣象局自 1997 年至 2010 年這 14 年間共發佈了 84 個颱風警報，絕大部分平時與颱風期間，資料浮標觀測網都有完整地觀測數據，如圖 2，多年來在颱風造成之海岸災害預警上發揮了很大助益。

資料浮標在海上運作時，為了節省電力與儲存空間，波浪能譜以 41 個頻帶儲存，這節省不少的儲存空間，也節省大量的傳輸時間和費用，但它可能損失了部分的波浪訊息。重新分析(re-analysis)是一種很常用的作法，它利用最原始的觀測資料，再度重新分析觀測數據，獲得更有代表性，更完整的結果。中央氣象局海象中心蒐集颱風海象資料已十年有餘，本工作乃是重新分析與整理這些浮標觀測所得之颱風波浪資料，期待更能掌握颱風期間之波浪特性。

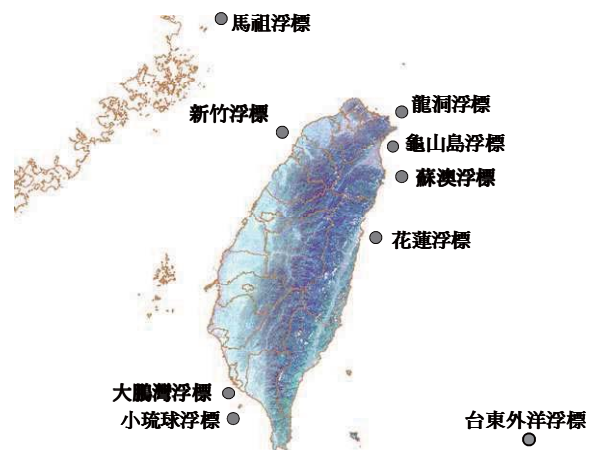


圖 1 中央氣象局作業化浮標觀測位置

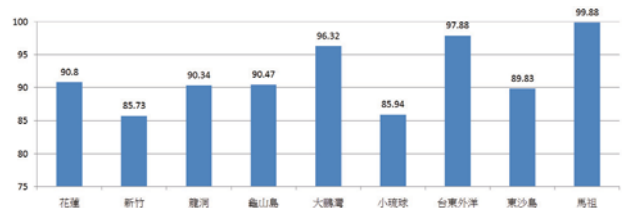


圖 2 資料浮標歷年平均觀測成功率

二、浮標資料再分析

中央氣象局在資料浮標系統上裝置了三合一電子式波浪儀，量測三軸加速度計、兩軸傾角及浮標體絕對方位，透過這些量測資料藉由前述的方向波譜理

論可以計算出方向波譜，獲得波向，並可以積分獲得一維波譜，繼續積分計算示性波高、平均週期以及尖峰週期等波浪參數。資料浮標在海上運作時，爲了節省電力與儲存空間，在儲存與傳輸上做了適度地簡化，譬如，波浪能譜以 41 個頻帶儲存，這節省不少的儲存空間，也節省大量的傳輸時間和費用，但它也可能損失了部分的波浪訊息。本文透過方向波譜(directional wave spectrum)理論重新分析資料浮標回傳之原始訊號。

方向波譜是用來描述波浪能量在頻率域及傳遞方向上之分佈的一種資料表現形式。它可以透過和交錯譜(cross spectrum)之間的關係計算獲得，如(1)式。

$$\Phi_{ij}(f) = \int \exp(-ik \cdot \bar{x}_{ij}) \cdot S(f, \theta) d\theta \quad (1)$$

式中 $\Phi_{ij}(f)$ 爲交錯譜， $S(f, \theta)$ 爲方向波譜。 k 是波數， x_{ij} 描述量測儀器間的幾何關係。至於交錯譜的定義則是任兩測點水位時序列資料的交錯相關函數之傅立葉轉換，如(2)式，式中式中 $R_{ij}(\tau)$ 爲 i, j 兩測點的交錯相關函數， η_i 、 η_j 爲 i, j 兩測點的水位， τ 爲時間稽延(time lag)， T 則爲取樣時間。

$$R_{ij}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \eta_i(t) \eta_j(t + \tau) dt \quad (2)$$

Isobe(1984)導出任意兩個波浪特性間的交錯譜與方向波譜之關係通式，即交錯譜等於波浪特性兩水位間之傳遞函數和方向波譜的乘積之傅立葉轉換，如下：

$$\Phi_{mn}(f) = \int_0^{2\pi} H_m(f, \theta) \overline{H_n(f, \theta)} \cdot \{\cos[k \cdot (x_{mn} \cos \theta + y_{mn} \sin \theta)] - i \sin[k \cdot (x_{mn} \cos \theta + y_{mn} \sin \theta)]\} \cdot S(f, \theta) d\theta \quad (3)$$

上式爲分析方向波譜的基本關係式。式中 $\Phi_{mn}(f)$ 爲交錯譜， $H_m(f, \theta)$ 爲傳遞函數， $\overline{H_n(f, \theta)}$ 爲傳遞函數之共軛函數，可由線性系統的脈衝響應法或頻率響應法計算得，其物理意義爲轉換量測得不同有關於水位的物理量， k 爲波數， x_{mn} 、 y_{mn} 分別爲第 n 至第 m 個儀器間 x 及 y 方向之距離，可由儀器陣列形狀量得。

上式在知道傳遞函數、儀器幾何佈置及觀測分析得之交錯譜後，僅剩方向波譜待求，方向波譜視爲是一維能譜與方向分佈函數之乘積，如下式。

$$S(f, \theta) = S(f) \cdot D(\theta|f) \quad (4)$$

其中，方向分佈函數 $D(\theta|f)$ 的推求方法則有傅立葉級數法(FSM)、最大概似法(MLM)、最大熵法(MEM)、貝氏推估法(BAM)等。根據前人的研究成果

(李，1993; 蕭，1994; 卓，1995; 錢，1996; 林，1997; 高等人，2003)，有限傅立葉法(FSM)分析過程中不需要疊代及大量的矩陣運算，節省計算時間及計算機容量，考量重新分析後的結果需與現行作業化浮標觀測結果比較，本研究的方向波譜計算採用快速傅立葉級數法。本研究在重新分析時，輸出 128 個頻帶以獲取較高解析度之能譜資訊。

三、研究成果

3-1 重新分析前後之比較

本節以龍洞浮標站爲例，比較重新分析所得波浪參數與先前由作業化系統回傳參數，包含示性波高和平均週期的比較，比對數據合計有 46417 筆。分析結果如圖 3 與圖 4 所示，從這兩個圖我們得知，重新分析後，示性波高平均增加了約 $5\% \pm 0.25m$ ，波高愈大，兩者差異愈小；而平均週期則約降低了 2% 左右，在小週期(約小於 5s)與大週期(約大於 9s)的部份，兩者差異較小，這結果顯示了重新分析所得之波浪參數與原作業化觀測系統回傳的結果並沒有顯著的差異。

圖 5 是重新分析前後一維波譜的比對案例，各圖中左圖是重新分析所得之高解析度波譜，右圖則是原來作業化浮標系統所回傳的 41 頻帶波譜。比較結果顯示，高解析度波譜因頻帶較多，波譜顯示較爲平滑，而原始的波譜則顯示較爲粗糙的圖形，但是兩個譜型的差異並不大，尖峰頻率並未偏移，這也是造成前述示性波高與平均週期差異不大的原因。

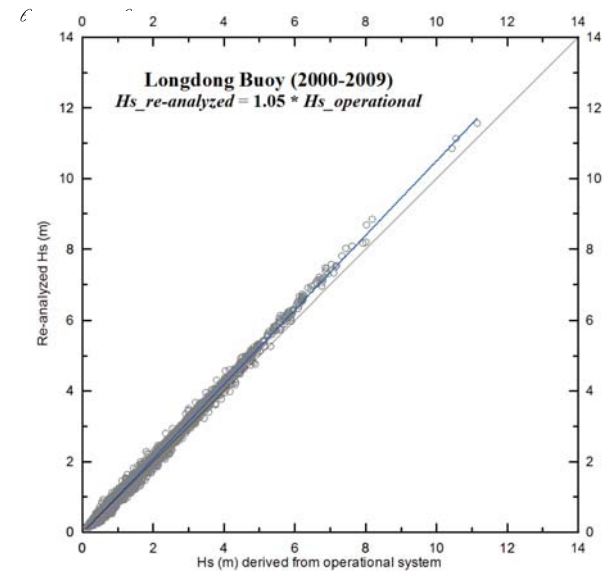


圖 3 再分析示性波高與原作業化示性波高比較

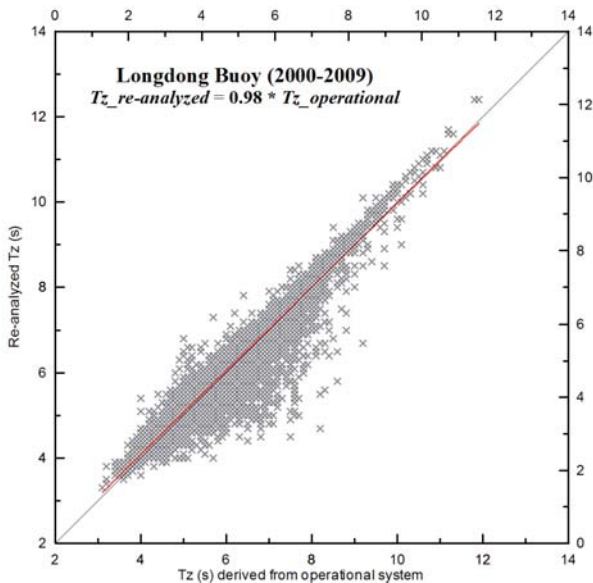


圖 4 再分析平均週期與原作業化平均週期比較

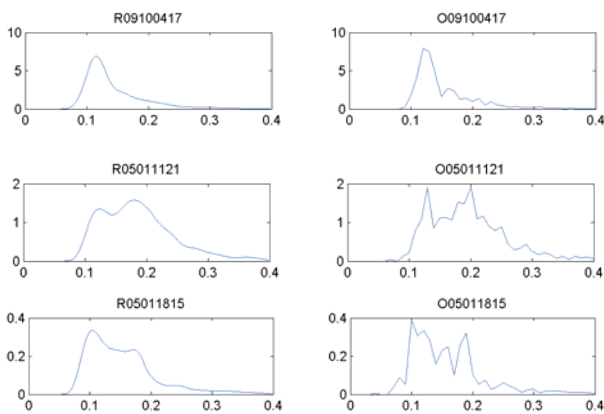


圖 5 一維波譜的比對 (上圖：波高介於 2~3m 間、中圖：波高介於 3~4m 間、下圖：波高介於 4~5m 間)

3-2 颱風波浪變化趨勢

全球暖化加劇，引發全球氣候變遷，如海平面上升、暴潮強度增加等，是否對於海洋波浪帶來衝擊是吾人亟欲知悉之事。擁有長期實測海象資料相當不容易，中央氣象局擁有近 15 年長期連續的海象觀測資料，與全球變遷的時間尺度比較，雖仍相當的短暫，但由於它是海面上最真實的資料，若能透過這 15 年資料略窺全球氣候變遷下，台灣鄰近海域的波浪變化情形為何？則具有相當重大的意義。

颱風通過台灣往往只有一天，若把颱風期間的波高進行平均來代表該颱風期間的波高並不是那麼地客觀，本文定義颱風代表波高(Significant Typhoon Wave Height, STWH)，它的定義是一個颱風期間所有波高觀測資料排序前 50%大的波高之平均值，本文認為利用

這個指標可以較客觀地描述一個颱風期間的波浪大小。圖 6 顯示了花蓮浮標和新竹浮標在過去十幾年來颱風代表波高的變化情形，我們可以看出，這指標從以前到現在逐步地往上增加，不管在台灣東部海域還是西岸的台灣海峽，從這結果中似乎看到了這一、二十年來，颱風期間波高有愈來愈大的趨勢。

本文定義另外一個參數為大波延時(Duration of Large Waves, DLW)，它是指颱風期間示性波高超過 5m 的總延時。除了中央氣象局的新竹、花蓮與龍洞浮標站，我們同時借用了水利署的蘇澳、鵝鑾鼻兩個長期測站資料進行分析，這幾個測站涵蓋了台灣東南西北環島海域，圖 7 為分析結果，圖 7 中的紅線為一年上述測站所有大波延時的總和，我們發現，總大波延時自 20 世紀末迄今急速增加，若看單一測站，如新竹浮標，也發現大波延時顯著成長的情形。

不論從颱風代表波高或颱風期間的大波延時，我們都發現了正在增長的趨勢，這在某個程度上說明颱風期間的海況有愈來愈險惡的趨勢。然而這僅是從短暫約 15 年現場資料所得，更有信心的資料需透過數值模式從事長期颱風波浪模擬來驗證。

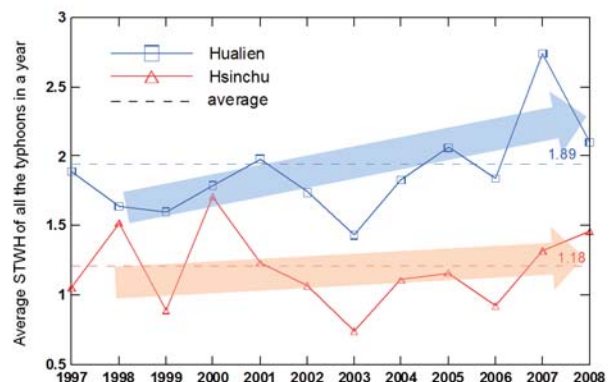


圖 6 近年來颱風代表波高變化趨勢

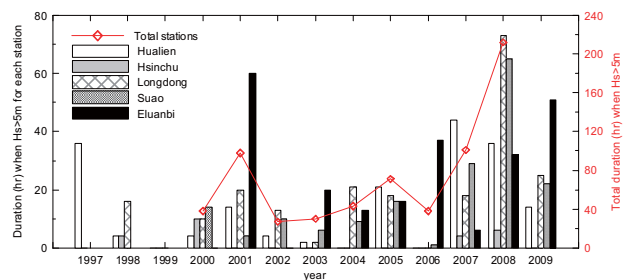


圖 7 近年來颱風大波延時變化趨勢

3-3 颱風期間最大波高與示性波高關係

在海面水位符合高斯分布，以及波高符合雷禮分布的假設下，可以推導出海面最大波高(H_{max})與示性波高(H_s)間存在下列關係，

$$\frac{H_{max}}{H_s} = \sqrt{\frac{1}{2} \ln N_0} \quad (5)$$

式中 N_0 為觀測的波浪數目。一般而言，波浪觀測 10-20 分鐘，量測的波浪數目約 80~240 個，代回上式可以得知，最大波高與示性波高比值約介於 1.48~1.66 之間。圖 8、圖 9 分別是龍洞浮標以及位處深海的台東外洋浮標之比值，這些比值均落於前述理論區間內，台東外洋為 1.48，龍洞浮標站為 1.52。這比值的運用是未來可以作為海面波高的機率預報應用，如同降雨機率一樣，提出未來有多少比率，波高會低於某值，若能從定率(determinate)到序率(stochastic)預報，相信能對一般民眾提供更大的便利。

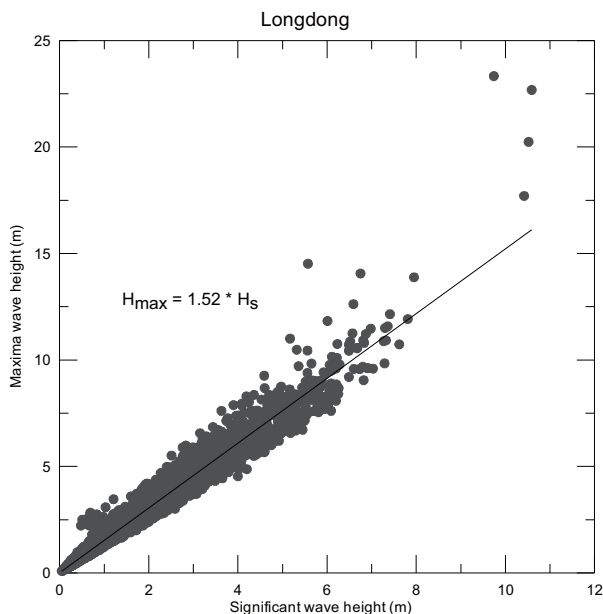


圖 8 龍洞浮標颱風期間 H_{max} 與 H_s 比值

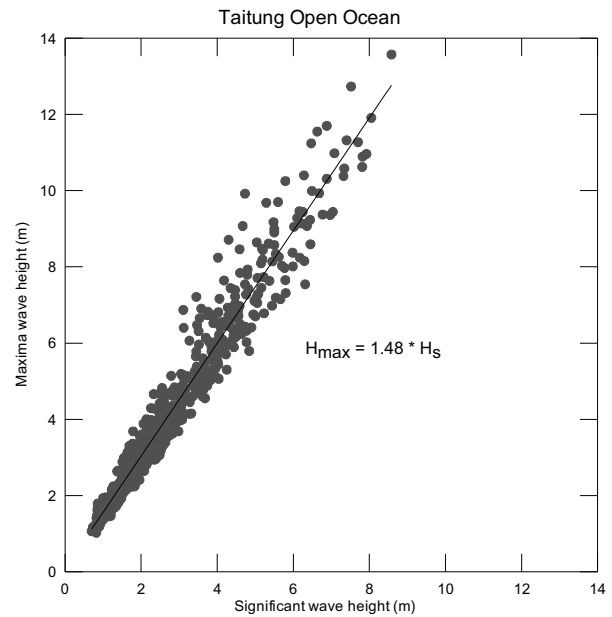


圖 9 台東外洋浮標颱風期間 H_{max} 與 H_s 比值

四、結論

中央氣象局在台灣環島海域設置作業化資料浮標觀測站已餘十年，已收集相當巨量的海象觀測資料，對於海岸與海洋防災、科學研究、工程應用、海洋活動等都已提供相當大的助益。本研究重新分析中央氣象局所屬九個資料浮標的資料，計算較多頻帶的方向波譜，繼而重新計算所對應之波浪參數，並比較重新分析前後的差異，與相關颱風波浪統計特性探討。

本研究分析 1997-2010 年共 84 個侵台颱風期間的浮標資料，比較再分析前後結果，整體來說，再分析前後的波高、週期與波譜等波浪特性與原作業化觀測系統回傳的結果並沒有顯著的差異，示性波高平均增加了約 $5\% \pm 0.25m$ ，波高愈大，兩者差異愈小；而平均週期則約降低了 2% 左右，在小週期(約小於 5s)與大週期(約大於 9s)的部份，兩者差異較小。

另外，本文也從短暫 15 年的現場資料中發現了颱風波浪變化的信號，現場資料分析結果顯示，颱風期間的海況愈來愈險峻，大波高出現的機率變大，颱風期間海面出現惡劣海況($>5m$)的延時增加，這結果有待日後透過數值模擬長期颱風資料來加以驗證。

致謝

感謝中央氣象局海象測報中心支持並提供研究經費。

成功大學近海水文中心協助下載浮標原始資料，在此一併感謝。

參考文獻

- [1] 李春明，1993，海洋方向波譜的觀測與分析，國立成功大學碩士論文。
- [2] 蕭勝文，1994，有限傅利葉級數法與最大概似法分析方向波譜之比較，國立成功大學碩士論文。
- [3] 卓訓杰，1995，貝氏推估法分析海洋方向波譜之研究，國立成功大學碩士論文。
- [4] 林學瑞，1997，貝氏參數推估法分析方向波譜之研究，國立成功大學碩士論文。
- [5] 高家俊、錢樺、邱銘達、莊士賢，2003，碟形浮標觀測方向波譜誤差分析及修正，海洋工程期刊，第 21 卷，第 1 期，第 24-33 頁。
- [6] Isobe M., K. Kondo and K. Horikawa, 1984. Extension of MLM for Estimating Directional Wave Spectrum. Prof. Symposium on Description and Modeling of Directional Seas, Paper No. A-6.