

方向波浪譜於解析東部海域 颱風波浪特性之研究

李汴軍¹ 吳立中² 董東璟³ 滕春慈⁴ 陳肇成⁵

摘要

颱風為台灣海域最具威脅的天氣系統之一，東部海域因直接面對開闊之大洋海域，為颱風頻繁侵襲之區域。本文透過分析近三年於東部海岸登陸之颱風資料，探討該海域之波浪特徵，作為防災預警之基礎。分析結果顯示颱風期間之實測波浪譜形較常用之理論譜形更為尖銳，波浪之能量更集中於特定之波譜頻帶；主頻波浪之方向分佈特徵則有多峰形狀之特徵。現有之頻譜以及波向分佈函數雖能描述大部分之颱風波浪特徵，但欲完整掌握颱風波浪之特徵，海上實測數據仍有其不可取代之必要性。

一、前言

「氣候變遷」已成為自然科學界所最關注的議題之一。跨政府間氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於第四次評估報告(The Fourth Assessment Report, AR4)針對最新的全球氣候變遷趨勢提出了警告。報告中指出大部分大陸和海洋的觀測證據都顯示，許多自然系統正在受到區域氣候變化的影響。隨著全球大氣與海洋所引發之災害頻傳，近年來氣候變遷導致全球大氣與海洋災害頻傳之議題逐漸被廣泛重視。

海洋是全球生物的共同資產，面對全球環境變遷的議題時，不能將陸地與海洋視為互不相干的獨立系統，而必須同時考慮到兩者之間的交互作用。許多重要的天氣與氣候現象，諸如：颱風、暴風以及聖嬰現象等，都深受海洋之影響。掌握海洋特性的二大法門，一是數學模式；另一則是現場觀測。現場觀測不但直接提供海況資訊，同時亦是數學模式賴以運算的依據。透過輸入當下的現場環境參數，數學模式才能據以準確預測未來的變化。

海洋觀測之重要性可從應用角度的觀點來說明，在實務應用上，海洋工程規劃以及港灣結構物設計，為了要有安全的設計，必需分析現場實測資料以推求安全之設計條件；船隻在海上航行必需隨時掌握

海況資訊以規劃安全之航行路線；海洋或海岸工程的施工則需根據海象觀測結果，配合預報資料以作為是否可施工之依據。在學理研究上，海洋觀測數據可從事海洋物理特性分析，如風浪生成、淺化、折繞射、海氣交互作用以及波浪非線性交互作用等研究。分析長時間的海象資料，從巨觀的角度分析長期波候變化，則能有效強化對全球氣候變遷問題之瞭解。

颱風是西太平洋主要海洋災害之來源。根據統計，百年來臺灣平均每年遭到 3.5 次颱風侵襲，然而民國 92 至 96 年侵台颱風的平均次數已經遽增至每年 7.5 次，顯示颱風的威脅日益頻繁。台灣東海岸因直接面對開闊性之大洋海域，每年颱風所引發的巨浪，對於後續海岸防災以及海事工程的規劃與設計都是一大挑戰。未來如何用科學方法掌握瞬息萬變的海洋，即時對極端海況提出預警以達預警減災之目的，是學界所必須面對之課題。本文綜整近年來影響東部海域之颱風事件，挑選出直接登陸並影響台灣東海岸的颱風案例(如表 1 所示)，透過現場之波浪觀測資料探討颱風期間之波譜特性，期能歸納整理出東部海域颱風波浪之特徵，作為海岸防災預警之基礎。

表 1 本文所研究颱風事件之相關資料

名稱	警報期間	強度	中心最大風速(m/s)
柯羅莎(KROSA)	2007 年 10/04~10/07	強烈	51
辛樂克(SINLAKU)	2008 年 09/11~09/16	強烈	51

1 華梵大學環境與防災設計學系副教授
2 國立成功大學近海水文中心專案助理研究員
3 國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系助理教授
4 中央氣象局海象測報中心主任
5 水利署水文技術組組長

莫拉克 (MORAKOT)	2009 年 08/05~08/10	中度	40
---------------	-----------------------	----	----

二、分析資料說明

佔全球表面積七成之海洋水域是決定氣候變遷的要素，海洋環境的現場監測則是掌握海氣象特徵以及確保海上活動安全的關鍵。近岸地區因受地形之影響，其海氣象特性遠比大洋複雜多變。鄰近海域的海氣象特性可能會因為陸地邊界的影響而截然不同，需全盤掌握各海域的海象特性，方能有效達到減災之效益。為精準掌握海氣象之變化，台灣於民國 86 年開始建立以資料浮標所組成作業化海洋觀測網，監測台灣近海之颱風以及其它海氣象之特徵。這些觀測資料除作為行政單位進行近海管理規劃、防災預警與救災決策之用，也提供學術研究單位改進數值模式的資料來源。台灣環海目前已建立了超過 10 座的作業化海氣象資料浮標觀測站，用來觀測海象(波高、週期、波向、方向譜)與氣象(氣壓、氣溫、水溫、風速、風向)等資訊。本文選用位於東部海域的四座資料浮標系統所測得之颱風警報期間波浪資料作為分析對象。四座浮標相關資料如表 2 所示，其所在位置以及與颱風路徑之間的關係則如圖 1 所示。從圖 1 可知，本文所選取之颱風皆從浮標所在位置附近登陸，颱風警報期間所測得之現場觀測資料應能有效描述出颱風波浪之真實特性。圖 2~圖 10 為颱風警報期間浮標系統所測得之示性波高、尖峰週期以及主波向時序列。

圖 2 顯示了 2007 年 KROSA 颱風期間於台灣東北海岸的龜山島海域測得逾 20 米之巨浪 (Liu et al., 2008)，幾乎破了世界記錄。從圖 4、圖 7 以及圖 10 的颱風期間主波向時序列可看出，有多筆龜山到浮標所測得之主波向接近 0 度以及 180 度，亦即波浪是由南向北傳遞以及由北向南傳遞。由圖 11 可看出，龜山島資料浮標位於龜山島與台灣本島之間，颱風所引發之波浪傳遞至龜山島附近海域時，易因龜山島之影響造成波浪之折繞射現象，因此波浪繞過龜山島後由南邊以及北邊傳遞到資料浮標所在之海域，致使主波向接近南向以及北向。

表 2 本文所使用觀測站之相關資料

浮標名稱	座標位置
花蓮(Hualien)	24° 02' 04"N 121° 37' 51"E
龜山島(Guishandao)	24°50'43" N 121°55'34" E
蘇澳(Su-ao)	24°37'29" N

	121°52'33" E
龍洞(Longdong)	25°05'47" N 121°55'23" E

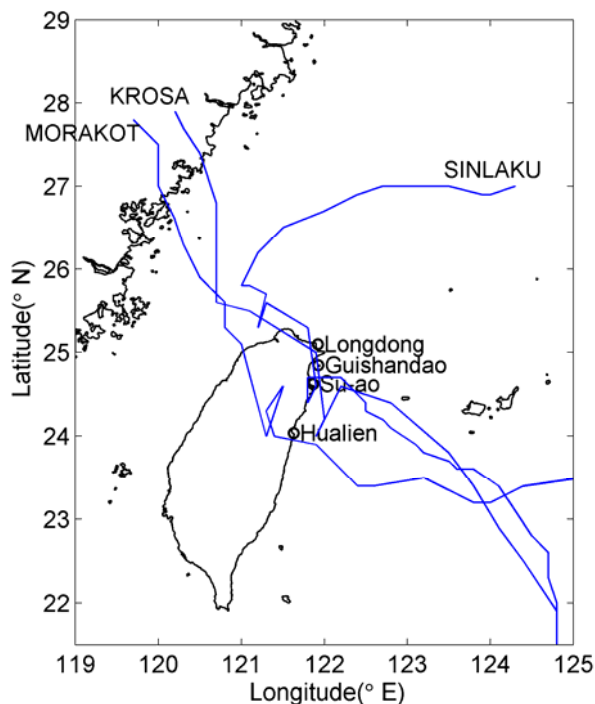


圖 1 台灣東部海域測站之位置以及颱風路徑

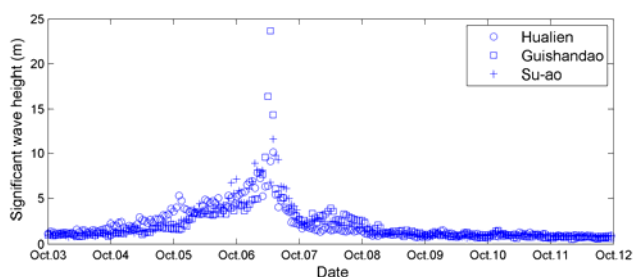


圖 2 2007 年 KROSA 颱風期間之示性波高

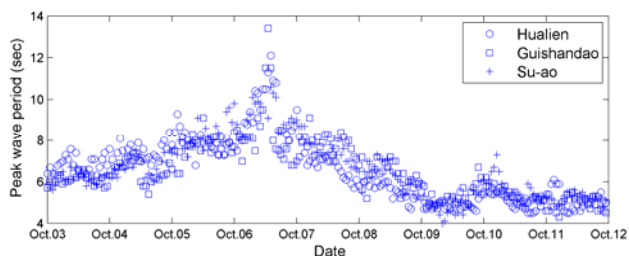


圖 3 2007 年 KROSA 颱風期間之尖峰週期

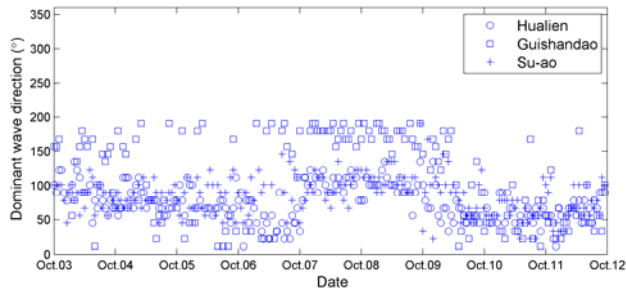


圖 4 2007 年 KROSA 颱風期間之主波向

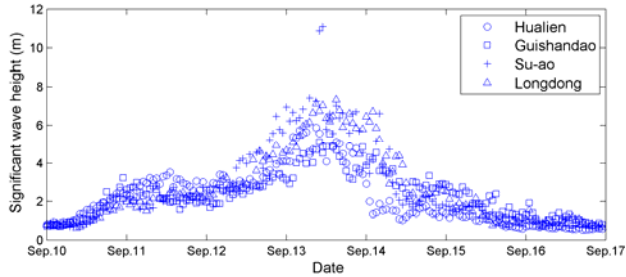


圖 5 2008 年 SINLAKU 颱風期間之示性波高

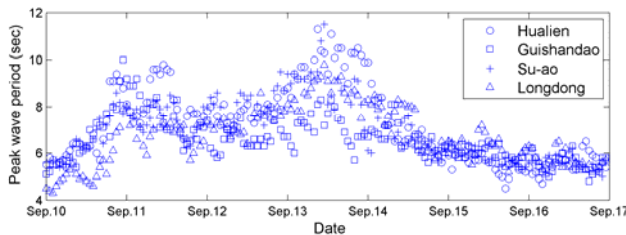


圖 6 2008 年 SINLAKU 颱風期間之尖峰週期

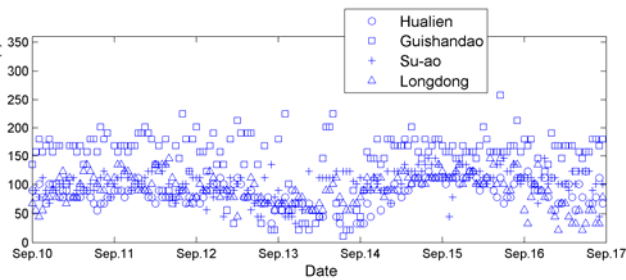


圖 7 2008 年 SINLAKU 颱風期間之主波向

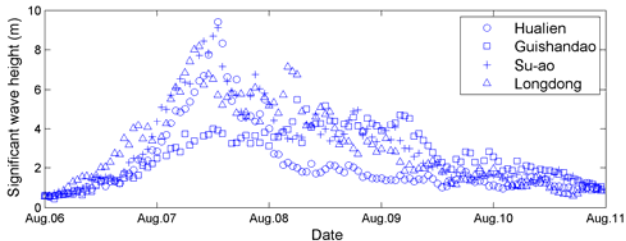


圖 8 2009 年 MORAKOT 颱風期間之示性波高

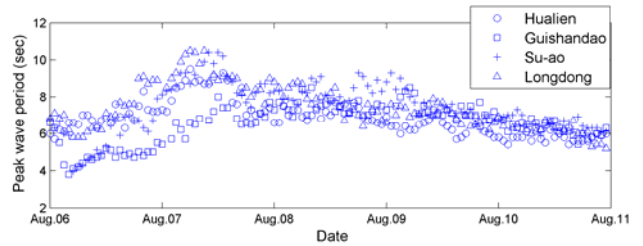


圖 9 2009 年 MORAKOT 颱風期間之尖峰週期

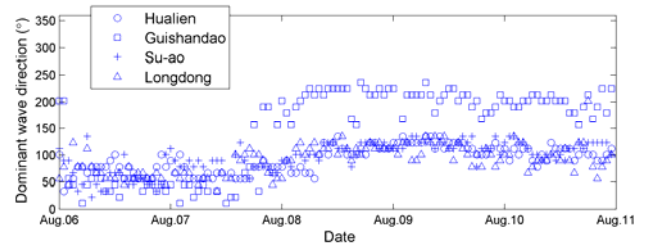


圖 10 2009 年 MORAKOT 颱風期間之主波向

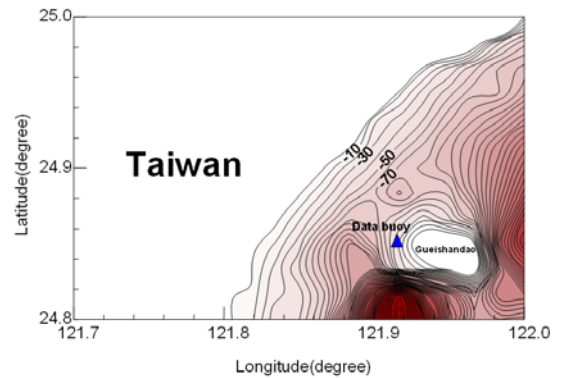


圖 11 龜山島海域之地理條件
(三角形標記為浮標所在位置)

三、東部海域颱風期間之波譜特性

海浪之波動錯綜複雜，看似無規律可循的波動現象，想要了解其特性並進而去描述現象實非易事。過去經由許多學者的努力，已相繼提出許多波動力學的基礎理論，但這些理論均奠基在一些簡化的假設上。後來由於統計理論的進步與發展，科學家嘗試將統計理論導入波浪領域中，將變化紛紜的波浪視為隨機過程進行統計之分析與探討，建立起隨機波浪的分析方法。現有之統計理論多從波浪的時間域考慮其特徵。其後，Pierson 提出一嶄新的想法，嘗試利用「譜」(Spectrum)描述不規則海面之波動情形，開創從頻率域分析波浪之先河。從此之後，利用「譜」來描述海浪特性的方法，成為了波浪研究的主要途徑之一。由於海面的波動起伏，可將其視為水位訊號隨時間的變動，經由數學的轉換關係，即可建立出波浪頻率和能

量之關係。

為瞭解東部海域颱風波譜特性，本文嘗試透過現有常用之波譜函數描述之。考慮到東部海域浮標設置地點之水深為 20m~40m 之間，對颱風期間之長波而言，屬於中間性水深，波浪傳遞時仍有可能受到海底床之影響，因此採用考慮到水深影響的 TMA 譜作為波譜函數。TMA 波譜(Chuang et al., 2008)之相關數學關係陳述如下：

$$E(f) = \phi(kh) \cdot E_j(f) \quad (1)$$

$$\phi(kd) = (\tanh^2 kd) / [1 + (2kd/\sinh(2kd))] \quad (2)$$

$$E_j(f) = \beta_j H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp[-1.25(T_p f)^{-4}] \times \gamma^{\exp(-(f/f_p - 1)^2 / 2\sigma^2)} \quad (3)$$

$$f_p = 1/T_p \quad (4)$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07 & f \leq f_p \\ 0.09 & f > f_p \end{cases} \quad (5)$$

$$\beta_j = \frac{0.0624}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1} \times [1.094 - 0.01915 \ln \gamma]} \quad (6)$$

式中 $E(f)$ 為 TMA 波譜波譜函數； f 為波浪頻率； k 為波數； d 為水深； T_p 為尖峰週期； f_p 為尖峰頻率； $H_{1/3}$ 為有義波高， γ 為 peak enhancement factor。從上述之數學關係可發現， γ 值決定之後，波譜之譜形即可被求取出。 γ 值愈大，其計算所得之波譜譜形則愈尖銳。Goda (1999) 提出 γ 值的範圍介於 1~20 之間，本文透過最小平方方法試圖找出不同颱風事件所對應之 γ 值，分析結果如圖 12~圖 14 所示。實測波譜與 TMA 譜之間的相關係數則如表 3 所示。分析結果發現，有部分波譜 γ 值的計算結果為 20，這暗示著 γ 值小於或等於 20 的條件下，其所模擬之 TMA 波譜譜形不一定能完全描述台灣海域東部海域之波譜特徵，且真實颱風期間之波浪譜形較常用之譜形更為尖銳，波浪之能量更集中於特定之波譜頻帶。從波浪學理論可得知，當波浪能量較集中時，有可能會產生群波現象，這對於海岸結構物之影響更為強烈。

表 3 實測波譜與 TMA 譜之相關係數

	Hualien	Guishandao	Su-ao	Longdong
KROSA	0.85	0.85	0.84	-

	0.91	0.86	0.90	0.86
MORAKOT	0.90	0.87	0.90	0.90

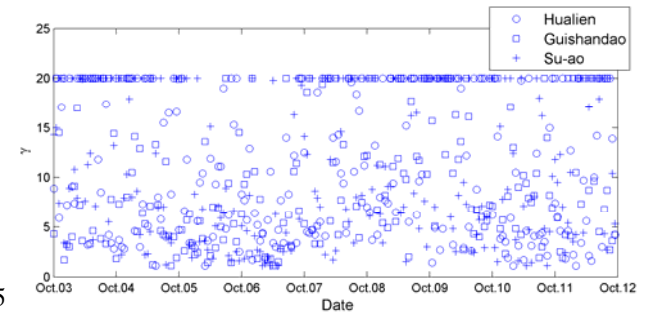


圖 12 KROSA 颱風期間 TMA 波譜之 γ 值

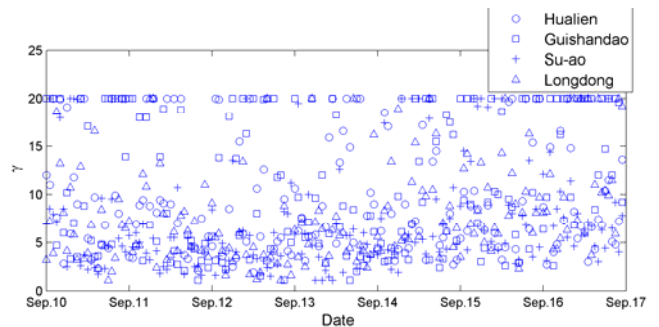


圖 13 SINLAKU 颱風期間 TMA 波譜之 γ 值

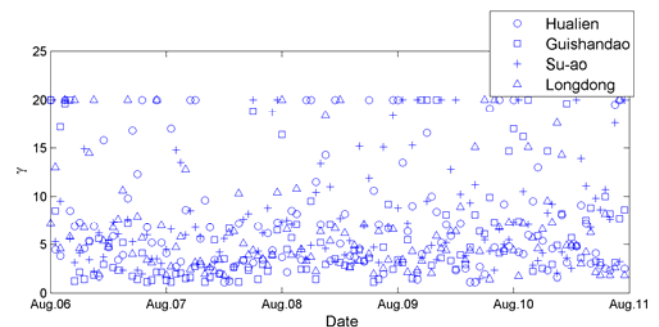


圖 14 MORAKOT 颱風期間 TMA 波譜之 γ 值

四、東部海域颱風期間之波向特性

瞭解各波浪週期能量分佈及總能量與波高統計參數之間的關係，的確解決了不少波浪領域所遭遇的議題。然而對海岸結構物的設計、船體的運動、海洋放流物漂移、海岸地形變遷探討及浮游物傳遞方式等研究中，仍需瞭解波浪能量在方向上的分佈。風浪預報模式中亦需取得各方向波浪能量的分佈狀況，提高預測的準確性。考慮波場方向性與否對於海岸結構物所受的力之設計造成明顯之誤差，波場能量分佈的方向對泥沙的沖淤也有明顯的影響。在進行波浪研究相關議題時，波浪的方向分析是不能被忽略的。

本文嘗試透過方向分佈函數 $G(f, \theta)$ 描述東部海

域颱風波浪之方向特徵。該函數之數學關係如下所示 (Goda, 1999; Donelan et al., 1985) :

$$E(f, \theta) = E(f) \cdot G(f, \theta) \tag{7}$$

$$G(f, \theta) = 0.5 \cdot \beta \cdot \operatorname{sech}^2(\beta\theta) \tag{8}$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} G(f, \theta) d\theta = 1 \tag{9}$$

上述數學式中， $E(f, \theta)$ 為方向波譜函數； β 值為方向分佈係數(spreading parameter)，其值將會隨波浪頻率改變。亦即不同頻帶之 β 值並不相同。為方便瞭解颱風波向分佈之主要特徵，本文僅討論波譜主頻所對應方向分佈特徵。圖 15~圖 17 為透過颱風期間東部海域波浪主頻之波向分佈特徵所計算出之方向分佈函數 β 值。表 4 則為實測與理論方向分佈函數之相關係數。分析結果顯示 β 值大多小於 1。本文於分析過程發現到，颱風期間之主頻方向分布並非完全集中於主波向，在一些實測方向分佈案例有雙峰甚至是多峰形狀的方向分佈特徵出現，如圖 18 所示。因此現有常用之單峰波向分佈理論並不一定能完整描述颱風期間之波向分佈。未來對於颱風波向分佈特徵之研究仍有需要持續進行之。

表 4 實測與理論方向分佈函數之相關係數

	Hualien	Guishandao	Su-ao	Longdong
KROSA	0.82	0.73	0.90	-
SINLAKU	0.84	0.94	0.85	0.80
MORAKOT	0.89	0.87	0.85	0.82

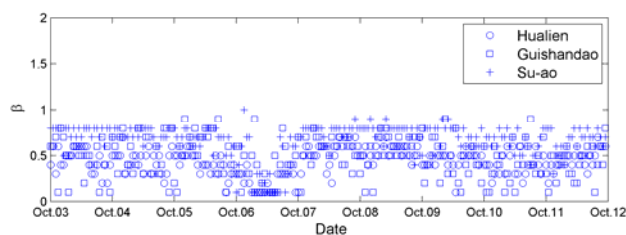


圖 15 KROSA 颱風期間方向分佈函數之 β 值

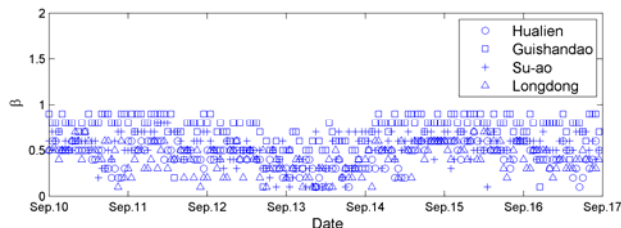


圖 16 SINLAKU 颱風期間方向分佈函數之 β 值

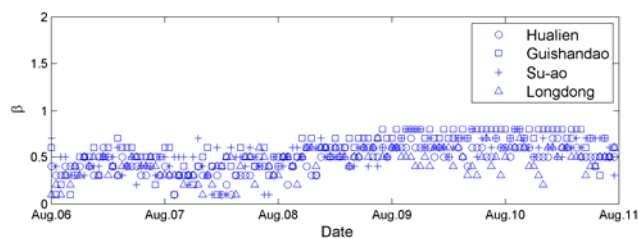


圖 17 MORAKOT 颱風期間方向分佈函數之 β 值

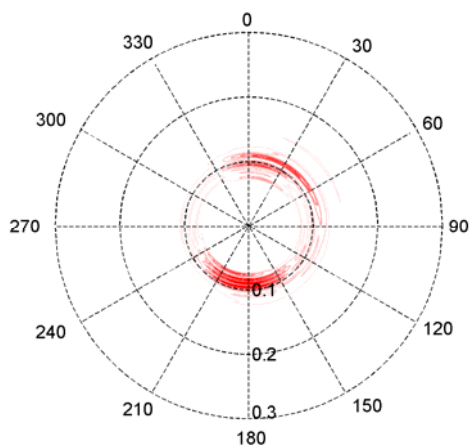


圖 18 2007 年 10 月 6 日 19:00(KROSA 颱風期間) 之龜山島浮標實測方向波譜

五、未來展望

颱風是西太平洋主要海洋外力之來源，也是引發台灣地區許多海岸災害之關鍵。為能深入瞭解颱風波浪的特性，本文透過分析颱風期間之波浪方向波譜，解析其頻譜之譜形以及方向分佈特徵。分析結果顯示透過現有之波譜函數以及方向分佈函數不一定能完整描述實測波浪之特徵。有部分的分析案例中顯示，真實颱風期間之波浪譜形較常用之譜形更為尖銳，一些實測方向分佈案例則有多峰的方向分佈特徵出現。欲完整掌握颱風波浪之特徵，海上實測數據仍是掌握真實颱風海況之關鍵。由於颱風從海上來襲，預測颱風之模式需要颱風還在海上時的確實參數，才能準確推算出到達陸地時的颱風結構。為能提前掌握外海颱風實況，取得颱風來襲前實測資料，提供預報應用，以達到防災與減災的目標，未來宜採用遠洋深海浮標作為颱風監測的前哨站，發展出可信賴的作業化海洋預報系統，做為海域環境與資源管理評估，乃至於災害防治的工具。

六、謝誌

承蒙中央氣象局、經濟部水利署以及交通部觀光局提供海氣象觀測資料，行政院國家科學委員會補助發展海洋環境監測技術，使本文得以順利完成，謹致感謝之意。

七、參考文獻

1. Chuang, L.Z.H., Wu, L.C., Kao, C.C., Doong, D.J. (2008) Two-dimensional Continuous Wavelet Transform of Simulated Spatial Images of Waves on a Slowly Varying Topography, *Ocean Engineering*, Vol. 35, pp.1039-1051.
2. Donelan, M.A., Hamilton, J., Hui, W.H. (1985)

Directional spectra of wind-gathered waves, *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, Vol. 315, pp. 509-562.

3. Goda, Y. (1999) A Comparative Review on the Functional Forms of Directional Wave Spectrum, *Coastal Engineering Journal*, Vol. 41, No. 1, pp. 1-20.
4. Liu, P.C., Chen, H.S., Doong, D.J., Kao, C.C., Hsu, Y.J.G. (2008) Monstrous Ocean Waves during Typhoon Krosa, *Annales Geophysicae*, Vol. 26, No. 6, pp. 1327-1329.