

# 異常海象指標建立之研究

陳盈智<sup>1</sup> 吳柏緯<sup>1</sup> 董東環<sup>1</sup> 林芳如<sup>2</sup> 滕春慈<sup>2</sup>

國立成功大學 水利及海洋工程學系<sup>1</sup> 交通部中央氣象局 海象測報中心<sup>2</sup>

## 摘要

海洋中異常海象是引致船難事件發生的主要原因。本研究參考前人研究，歸納因海象造成之船難可能與波浪能量集中有關，其中波浪能量集中情形可以從波譜參數進行討論，包含譜尖參數( $Q_p$ )與方向分散參數( $\sigma_\theta$ )，它們分別代表波譜在頻率域以及方向域上能量的集中程度， $Q_p$ 愈大或 $\sigma_\theta$ 愈小都代表波浪能量愈集中。本研究從過去20年間挑選數件典型的船難事件搭配波浪模式輸出波譜，分析船難事件發生前後波譜參數，結果顯示在船難事件發生時，波浪能量有相對集中的情形，但事件發生後數小時，波浪能量又再回復船難前的海象特徵，此證實了船難發生時波能有顯著集中的趨勢。未來研究可以朝向波譜能量參數之變化率來訂定異常海象指標因子。

關鍵字：船難、海象、波譜、譜尖參數、方向分散參數

## The Study on the Index for Hazardous Sea State

Ying-Chih Chen \* Bo-Wei Wu Dong-Jing Doong Fan-Ru Lin Chuen-Teyr Terng

\* Doctoral student, Department of Hydraulics and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

## ABSTRACT

Shipwreck usually cause huge economic losses, human casualties and environmental pollution. However, the conditions of typical sea states that trigger shipping accidents are not well understood. Therefore, the main purpose of this study is to understand the cause of shipwreck by analyzed the wave data, and to find feature of spectrum for sea state warning in future which is helpful for safety. Using the trajectory in the  $Q_p$ - $\sigma_\theta$  diagram to graphically represent the temporal change of the directional spectrum during ship accidents. The higher  $Q_p$  and lower  $\sigma_\theta$  represent the more concentrated wave energy in frequency fetch and direction fetch, respectively. During ship accident, the diagram scatter plot between  $Q_p$  and  $\sigma_\theta$  move from upper left to lower right. This results showed the positive correlation between the shipwreck and seas with more concentrated wave energy. To conclude, occurring shipwrecks may link with freak wave, because the wave energy concentrated trend is similar to freak wave generation.

Keyword: Freak wave; Ship accident; Directional spectrum, peakness factor, directional spreading

## 一、前言

全世界有近九成的貨物是依靠船運送往世界各角落，隨著船隻活動日漸頻繁，船難的發生頻率也逐年提升。發生船難事件的原因有很多，經調查發現，超過 30% 的事故是由於天候不佳造成的(Faulkner et al., 2003)。船難的發生往往會造成人員傷亡以及鉅額的經濟損失，甚至引發海洋生態污染等問題。因此研究船難事件發生原因對於船隻航行安全及海洋生態是很重要的。

前人研究中，Waseda et al. (2014)分析發生於西北太平洋的船難事件，以波浪分散參數與譜尖參數畫二維平面圖分析船難前後波譜變化，發現船難大多發生在 $\sigma_\theta$ 較前後小且 $Q_p$ 較前後大的位置，代表當時波能相較前後集中可能與異常波浪有關；Trulsen et al. (2015)以不同的分布模擬分析西班牙西北外海貨輪船難當時的最大波峰高，結果顯示交錯海況下的非線性作用，對於峰度與最大波峰高影響較小。Cavaleri et al. (2012)分析地中海巡邏艦遭大浪襲擊之船難事件，發現此事件發生時為交錯海況，當兩成分波頻率與振幅相近且均有極窄的譜寬，交錯角與波峰振幅會呈正相

關性。Fedele et al. (2017)綜合波浪模式、高階譜法 (Higher Order Spectral, HOS)以及海況分布模式(Tayfun-Fedele model)分析巴哈馬外海在颱風期間發生的船難，以小範圍高解析度分析船難附近空間及時間上波峰高的變化。

前人研究中大多以個案進行分析，由水槽實驗或數值模擬的方式來還原船難當時之海況，探討船難事件時之海況是否為異常波浪或其他原因所引致。本研究則將從波浪能譜的角度著手，探討過去船難事件在發生前後的波浪能量變化(含方向)進行分析，嘗試還原船難發生時的海況，期望此研究成果有利於瞭解船難事件成因，對未來船難海況預警帶來助益。

## 二、研究資料

臺灣附近海域於 16 年間(2004 年至 2019 年) 因海象造成之船難事件合計有 120 件，這些案例來自於國際海事組織(IMO)14 起，以及新聞報導之船難事件 106 起。本節將以統計方式分析船難發生空間與時間上之特性。並再介紹本研究模擬船難之波浪模式及模式驗證。

### 2.1 船難事件統計

因海象造成之船難位置散布於台灣周遭海域，從近岸幾百公尺到離岸幾百公里的海域均有，水深自幾公尺到幾千公尺的地方均會發生，圖 1 顯示這些船難事件發生位置與其水深概況，圖中紅點代表國際海事組織(IMO)所記錄之 14 起船難，其餘為台灣本地所紀錄者。值得注意的是，東北角沿海發生船難事件密度最高。遠洋漁業活動海域如東海、南海及菲律賓海亦皆有因海象造成之船難紀錄，其中以南海及巴士海峽發生案例較多。綜觀所蒐集的資料，以漁船占比最高，達 42%，主要發生於近岸，而噸位較大的貨輪和遠洋漁船主要發生於外海。

由船難發生的月份分布(圖 2)顯示秋末冬初(10 月至 1 月)發生的船難比例最高，占總案例數 46%，接近一半比率；而夏季期間，海象平穩船難事件較少，6 月份僅發生 5 起與海象有關之船難，6-11 月遭受颱風影響，但是船難數量不及冬季期間，顯示近一二十年來，颱風預測與預警的準確，提高了航行之安全性。海象隨季節而變，因此由於海象原因造成之船難事件亦與季節有顯著關係。

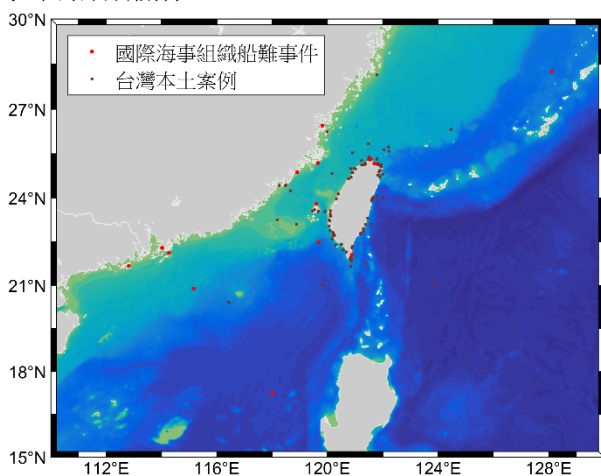


圖 1 臺灣鄰近海域因海象造成之船難事件位置圖

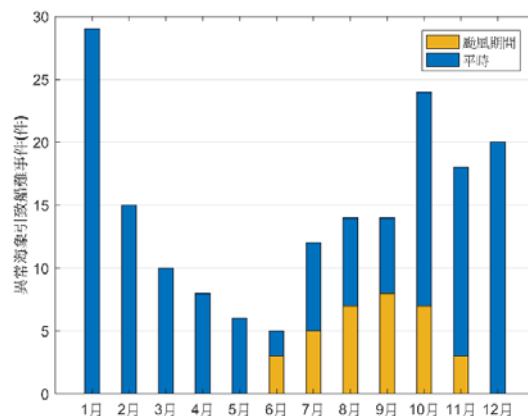


圖 2 船難事件月份分布圖

### 2.2 波浪資料

現場測站分布稀疏，船難附近較難有現場測站，加上船難本身的資料亦具有不確定性，因此，本文使用 WAVEWATCH III 數值模式來模擬船難海況，期望透過模式模擬，對於船難發生時之海象特徵有更進一步的瞭解。

波浪模式計算域之空間離散採用單向式巢狀網格，網格解析度分別為 0.25 及 0.15 度，內層網格範圍為東經 110 度~130 度，北緯 10 度~30 度。模式輸入風場採用中央氣象局 WRF 大氣模式。模式頻率域解析度由 0.04~0.4Hz 共分 40 個頻帶、方向解析度以 10 度為一單位，分 36 個方向傳遞。本文主要以模式輸出之示性波高、尖峰週期、方向波譜等參數進行船難海況分析。

本研究透過模擬 2016 年整年的波高來進行模式驗證，驗證期間包含了颱風、季風與平常時候的波況。選用台灣各海域的代表性測站來進行驗證，分別是北方海域的富貴角浮標、東部外海的台東外洋浮標、西南外海的東沙浮標、台灣海峽南端的七美浮標、以及台灣海峽北端的馬祖浮標，檢驗模式對於選定範圍內波浪的模擬結果。圖 3 為 WW3 模式模擬 2016 年的波高與浮標觀測結果比較散布圖，資料總數為 19561 筆。結果顯示 WW3 模擬波高的結果與資料浮標整體趨於一致，絕對誤差 0.3 公尺、相關係數達 0.92、無因次方均根誤差為 23.9%，但在波高較大的海況時，WW3 略有高估的趨勢。

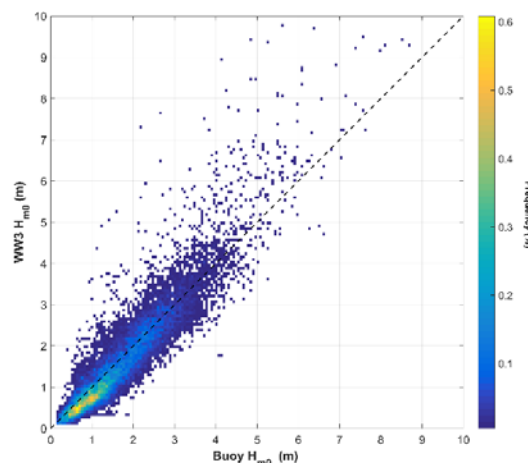


圖 3 模式與浮標  $H_{m0}$  驗證比較圖

### 三、研究方法

本研究以波譜參數來分析船難事件發生期間波浪能量的變化趨勢，採用之波譜參數分別為 Goda (1970) 提出以譜尖參數(peakedness parameter,  $Q_p$ )來代表波譜頻率域的特徵參數，Forristall and Ewans (1998)提出方向分散參數(directional spreading,  $\sigma_\theta$ )作為波譜在方向上的特徵參數。本章說明上述兩參數代表之物理意義以及不同海況下的參數特徵。

#### 3.1 譜尖參數(peakedness parameter, $Q_p$ )

譜尖參數代表頻譜峰值銳度以及能量集中程度，是一無因次參數且數值大於 1。 $Q_p$  在計算上使用較穩定的 0 次矩( $m_0$ )及一維頻譜( $S(f)$ )，與頻譜截斷頻率大小無關，且較不會受到高頻能量之影響(Prasada et al., 1988; Serio et al., 2005)。

$$Q_p = \frac{2}{m_0} \int df f S^2(f) \quad (1)$$

前人研究中對於譜尖參數與代表波浪非線性參數做了些探討，如 Serio et al. (2005)將  $Q_p$  應用於計算 BFI 值取代了原本的譜寬參數，使 BFI 值能更準確表示波浪非線性的程度。Waseda et al. (2009)依水槽實驗發現  $Q_p$  與水位峰度值正呈相關性，以水槽實驗角度驗證  $Q_p$  是能代表波浪非線性程度之參數。Prasada et al. (1988)分析海洋中不同海況下對  $Q_p$  值的影響，發現  $Q_p$  的變化不取決於窄譜(單峰)或寬譜(多峰)的海況，顯示  $Q_p$  對頻譜譜形的依賴性較小。

本研究以一年模式模擬結果分析  $Q_p$  在長時間下單峰與雙峰海況分布差異(圖 4)，在單雙峰海況下  $Q_p$  四分位數  $Q_1$ 、 $Q_3$  約為 1.8 與 2.2，顯示在單雙峰海況下對於  $Q_p$  數值上影響小，是適合代表波譜峰值能量集中程度之參數。

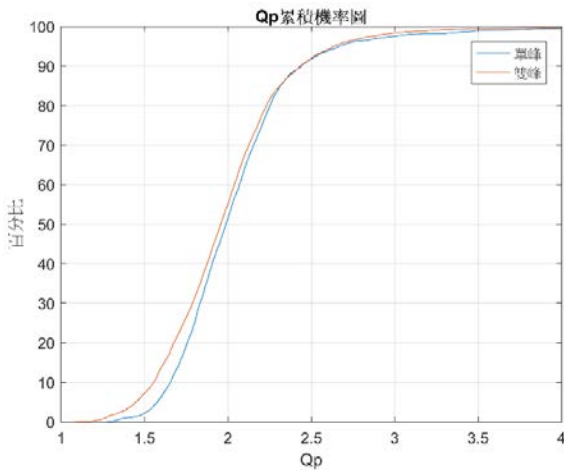


圖 4 波浪模式譜尖參數( $Q_p$ )單雙峰海況比較

#### 3.2 方向分散參數(directional spreading, $\sigma_\theta$ )

方向分散參數在波譜上代表波浪在空間中傳遞的寬度(式 2)，其數值介於 0 至  $\pi/2$  之間，單位為徑度，在本研究中則轉換為度表示。

$$\sigma_\theta = \left\{ 2 \left( 1 - \left( \frac{p^2 + q^2}{m_0^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中

$$p = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \cos(\theta) S(f, \theta) df d\theta \quad (3)$$

$$q = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \sin(\theta) S(f, \theta) df d\theta \quad (4)$$

Waseda et al. (2009)從實驗發現，方向分散參數愈大，水位峰度愈小，顯示波浪在空間中能量傳遞寬度越廣，則波浪非線性的程度越低。Luxmoore et al. (2019)比較交錯角與方向分散參數對於水位峰度及波高超越機率的相關性，結果發現方向分散參數比交錯角更適合代表交錯海況下非線性的程度。Mori et al. (2011)提出方向分散參數與水位峰度在交錯海況下的經驗關係式，量化了波浪方向分散程度與水位峰度之關聯性。

方向分散參數在不同海況或譜形下計算出的數值會有所差異，因此本研究分析在單峰及雙峰譜下方向分散參數的分布差異性，以長時間波浪模式結果進行分析，方向分散參數分布結果如(圖 5)，波浪模式在單峰及雙峰計算方向分散參數結果有明顯的差異性，在單峰海況下介於 28 度( $Q_1$ )至 35 度( $Q_4$ )間，而雙峰海況下  $\sigma_\theta$  則介於 34 度( $Q_1$ )至 47 度( $Q_4$ )間。以四分位數分析結果發現，在波浪模式中 35 度可以視為一單雙峰海況的閾值。

前人研究波浪在方向上能量分布大部分是以方向分散參數為主，因為此參數相較於交錯角更能表達在交錯海況下波浪非線性的程度。在波浪模式模擬結果在單雙峰海況下是有數值上差異，對於分析船難事件前後波譜在方向上能量變化是有很明確量值的差異性。

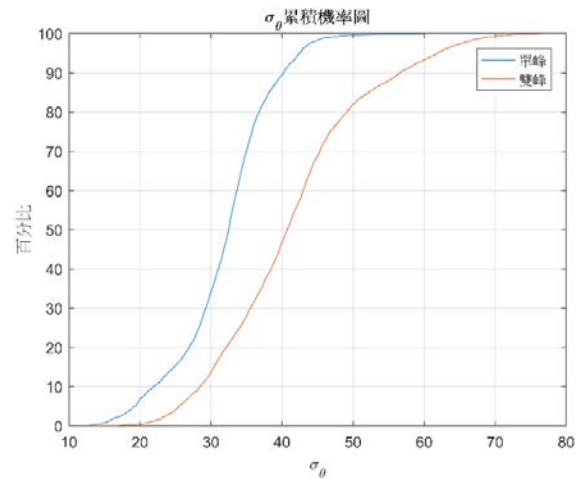


圖 5 波浪方向分散參數( $\sigma_\theta$ )單雙峰海況比較

### 四、案例討論

本研究挑選三件較典型的漁船船難事件進行案例說明，並以波浪模式模擬結果分析船難事件前後波高與波譜能量變化情形，對海氣象條件所造成之船難事件進行特性之歸納。船難當時模式模擬波浪參數龜裂於表 1。

表 1 船難資料與事件當時之波浪參數表

	Case1	Case2	Case3
船種	漁船	漁船	漁船
船噸位	34	44	14
時間	2006/1/5 05:00	2007/3/11 08:00	2016/2/1 14:00
$H_{m0}$	1.18	0.98	3.99
$T_p$	5.47	5.62	8.39
$Q_p$	2.44	2.64	2.18
$\sigma_\theta$	29.1	27.9	31.6

案例一：龍進興 26 號事件，東北季風期間

宜蘭頭城籍漁船龍進興 26 號於 2005 年 1 月 5 日 5 時許，在大溪漁港外約 500 公尺(圖 6)遭強風大浪襲擊翻覆沉沒。事件發生時台灣周遭海域正受強烈大陸冷氣團影響，東北部海面平均風力 7 至 8 級，最大陣風 10 級。模擬事件前後臺灣附近海域波高變化發現(圖 7)，在事件發生前波高明顯由北往南逐漸升高，在船難事件發生時，台灣海峽北部與宜蘭外海波高達 1 公尺以上。從船難地點的波譜演變(圖 8)也可發現，事件發生前 12 小時為兩個波浪成分從 30 度與 120 度傳來；在事件發時，可發現原本兩個成分波逐漸演化成單一波浪成分，波浪主要波向為 0 度，隨著東北季風逐漸影響，在船難發生前六小時，主要波浪能量也逐漸集中於低頻區域。波高及週期在船難事件發生前有略微下降的趨勢，在船難發生前六小時波高從 0.3 米到事件後 12 小時增長至 2 米成長幅度達六倍，船難發生時位於波高及風速快速成長的海況。 $Q_p - \sigma_\theta$  能譜參數二維變化圖(圖 9)結果顯示，船難發生時位於圖中右下角，顯示船難發生於能量最為集中的時刻。

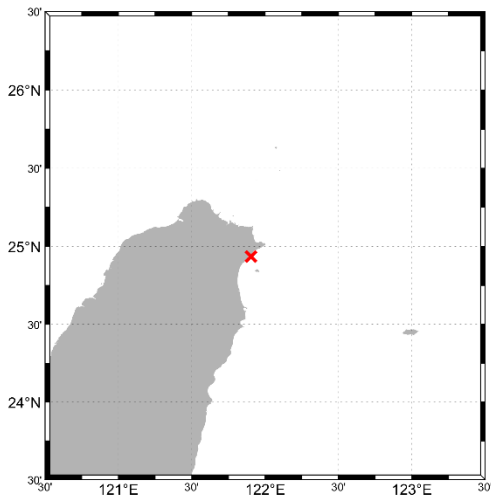


圖 6 龍進興 26 號船難發生位置圖

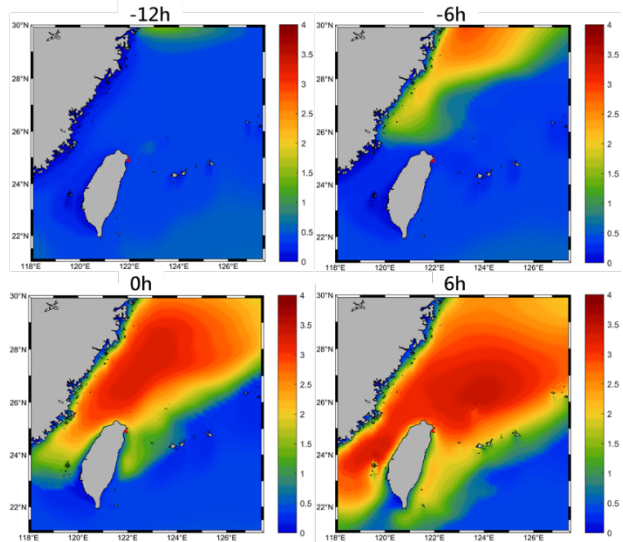


圖 7 龍進興 26 號船難發生前後之波高變化圖

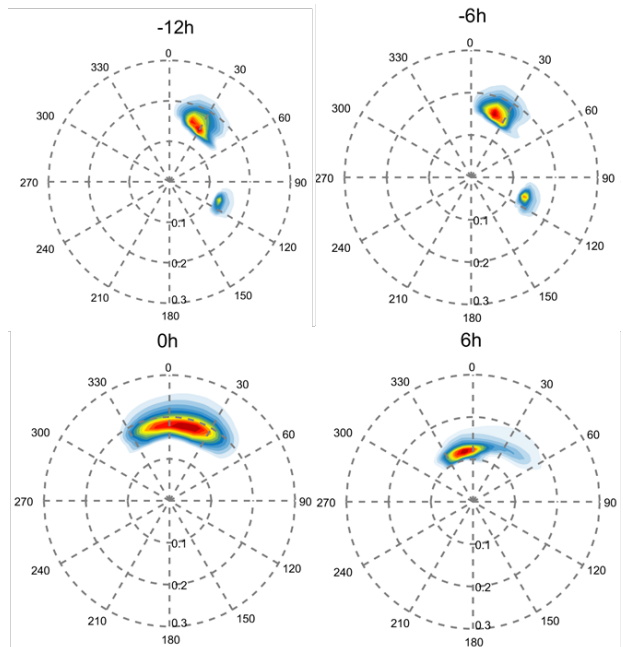


圖 8 龍進興 26 號發生船難前後方向波譜變化圖

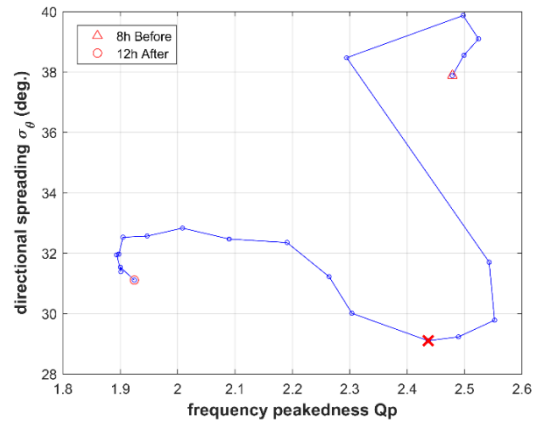


圖 9 龍進興 26 號船難在事件發生前後的  $Q_p - \sigma_\theta$  變化(X 表示船難發生時)

### 案例二：大順興號事件，東北季風期間

宜蘭頭城籍漁船大順興號於 2007 年 3 月 11 號 8 時，行經蘭陽溪外海 4 海里處翻覆(圖 10)，受鋒面通過及東北季風增強影響，東北部海面風力達 6 級，最大陣風 8 級。模擬事件前後臺灣附近海域波高變化發現(圖 11)，在事件發生前臺灣附近海域受鋒面及東北季風影響波高明顯由北往南逐漸升高。事件發生前 12 小時開始波浪能量逐漸集中，在事件發生時，波譜由前 6 小時的兩個成分波變為單成分波的海況(圖 11)。波高及週期在船難事件發生前有略微下降的趨勢，在船難發生前六小時波高從 0.2 米到事件後 6 小時增長至 1.2 米成長幅度達六倍，船難發生時位於波高及風速快速成長的海況。 $Q_p-\sigma_\theta$  能譜參數二維變化圖(圖 12)結果顯示，在船難事件發生前 8 小時海況為  $Q_p$  小、 $\sigma_\theta$  大，此海況代表波能在頻率及方向上分散，然而隨著船難即將發生， $Q_p$  逐漸變大、 $\sigma_\theta$  逐漸變小，代表波能慢慢地集中。

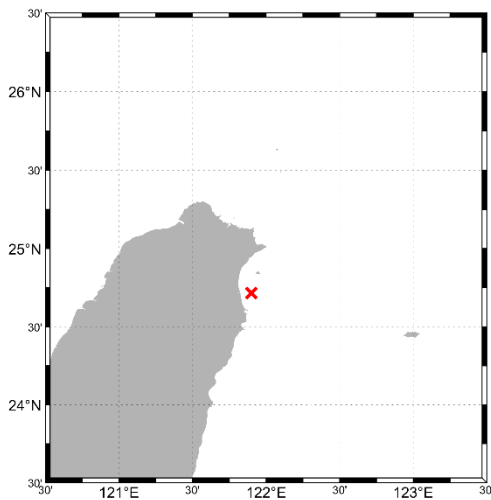


圖 10 大順興號船難發生位置圖

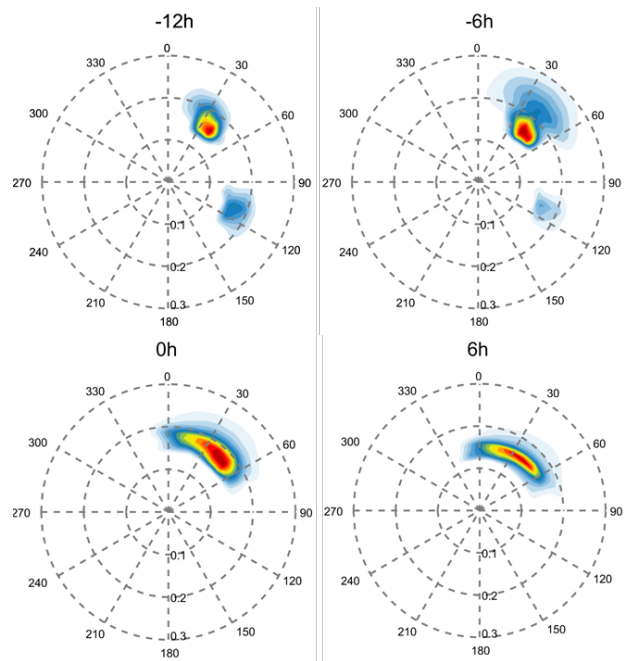


圖 11 大順興號發生船難前後方向波譜變化圖

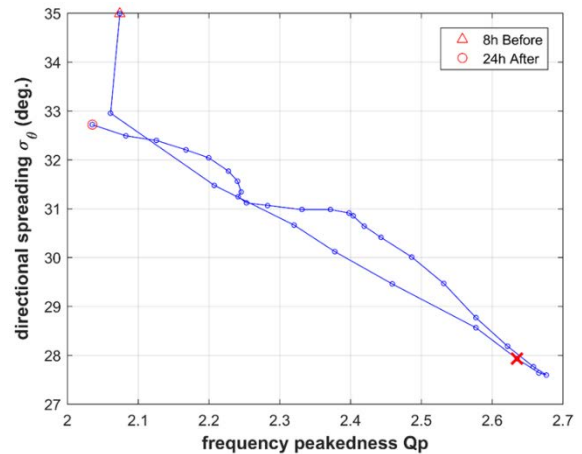


圖 12 大順興號船難事件在事件發生前後的  $Q_p-\sigma_\theta$  變化圖 (X 表示船難發生時)

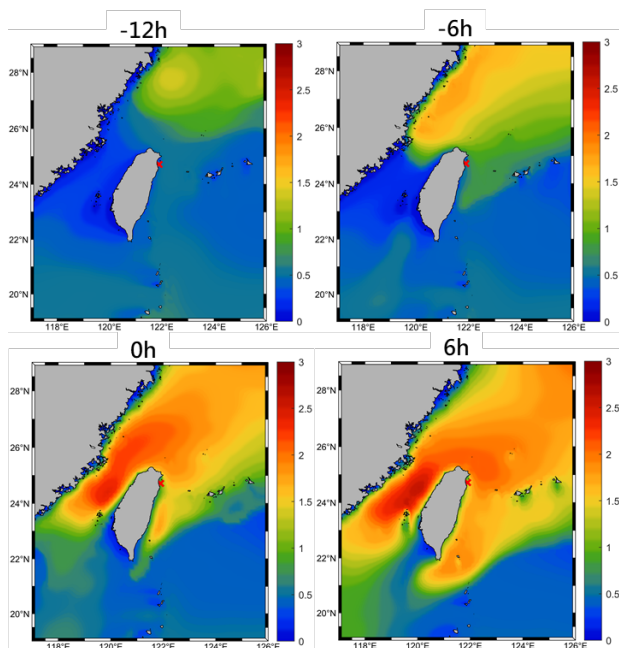


圖 10 大順興號船難發生前後之波高變化圖

### 案例三：嘉勝興號事件，東北季風期間

屏東縣東港籍漁船嘉勝興號 2016 年 2 月 1 號 14 時許，於墾丁龍坑外海約半海浬處(圖 13)，因海象不佳而翻覆造成一死一失蹤，推測可能是由大風浪所造成船隻翻覆事件。事件發生時台灣周遭海域正受強烈大陸冷氣團影響，模擬事件前後臺灣附近海域波高變化發現(圖 14)，在事件發生前臺灣附近海域受大陸冷氣團影響波高明顯由北往南逐漸升高。事件發生前 12 小時開始波浪能量逐漸集中，在事件發生時，波譜由前 6 小時的兩個成分波變為單峰的海況(圖 15)。波高及週期在船難事件發生前有略微下降的趨勢，在船難發生前六小時內波高從 2 米增長至 4 米成長幅度達兩倍。 $Q_p-\sigma_\theta$  能譜參數二維變化圖(圖 16)結果顯示，隨著波高由北往南逐漸升高，船難位置的波能也逐漸集中，船難發生於圖中的最右下角，顯示船難發生於能量較前後集中的海況下。

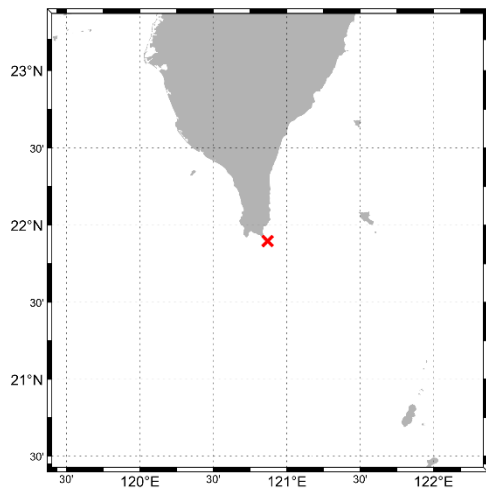


圖 13 嘉勝興號船難發生位置圖

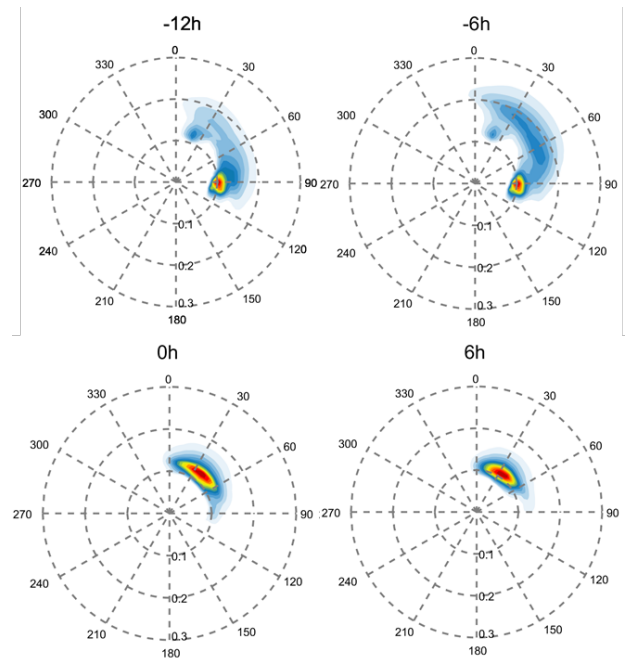


圖 15 嘉勝興號發生船難前後方向波譜變化圖

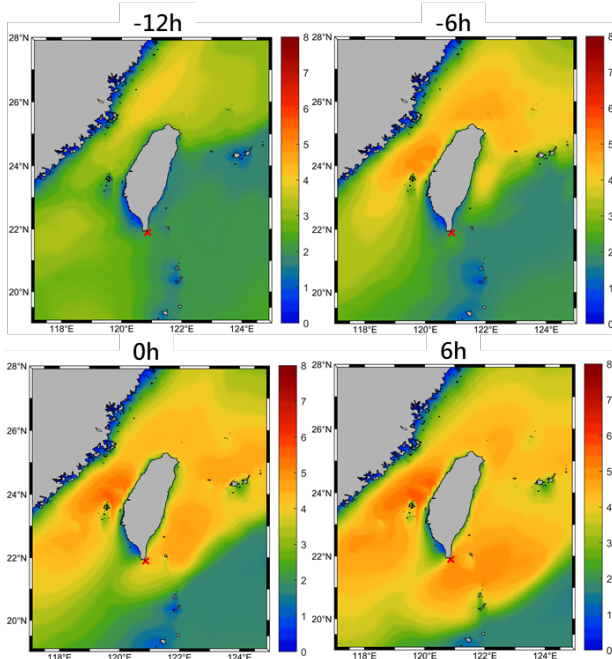


圖 14 嘉勝興號船難發生前後波高變化圖

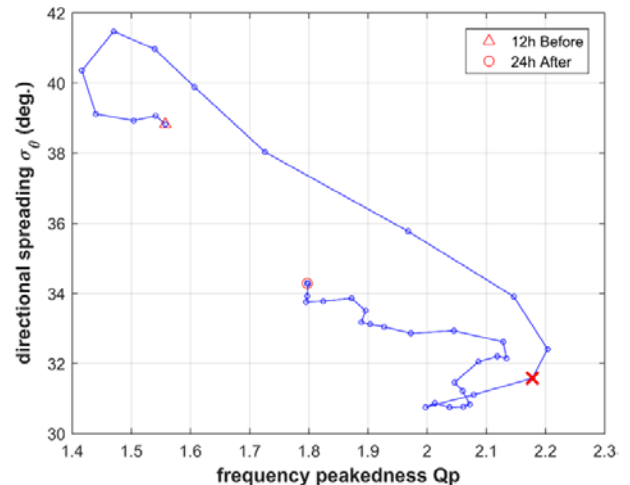


圖 16 嘉勝興號船難事件在事件發生前後的  $Q_p$ - $\sigma_\theta$  變化圖 (X 表示船難發生時)

## 五、結論

這些案例均屬於在大型天氣系統影響下發生的船難事件，天氣系統的影響也反映在波浪模式波高的模擬上，從時空分析船難事件前後海況變化能觀察出大型天氣系統移動趨勢，對於船難發生前後周遭海域變化情形更加了解。由方向波譜觀察發現這些案例的特性，在事件前均為雙峰譜，但是能量有逐漸集中的趨勢，在事件發生時能量集中變為單峰譜，此波譜變化特性與異常波浪發生的機制相似，這些案例發生原因可能與異常波浪有關。由波譜能量參數  $Q_p$ 、 $\sigma_\theta$  進行分析，都可以發現有顯著的趨勢存在，這些案例在圖中有左上右下之分布，在船難事件前後位於圖中左上角，表示波浪能量在方向域及頻率域較為分散，船難事件發生時波浪能量在方向域及頻率域較為集中，而

逐漸往右下角變化，顯示能量集中的海況下對於海面上行駛之船隻安全影響是顯著的，未來可以朝向波譜能量參數變化率來做為異常海象指標之因子。

## 謝誌

本論文係中央氣象局研究計畫「異常海象指標建立之研究」(編號 MOTC-CWB-109-O-02)之研究成果，承蒙中央氣象局經費之補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

- Cavaleri, L., Bertotti, L., Torrisi, L., Bitner-Gregersen, E., Serio, M., & Onorato, M. (2012). Rogue waves in crossing seas: The Louis Majesty accident. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C11).
- Fedele, F., Lugni, C., & Chawla, A. (2017). The sinking of the El Faro: predicting real world rogue waves during Hurricane Joaquin. *Scientific reports*, 7(1), 1-15.
- Faulkner, D. (2003). Shipping safety: a matter of concern. In *Proceedings-Institute of Marine Engineering Science and Technology Part B Journal of Marine Design and Operations* (pp. 37-56). IMAREST PUBLICATIONS.
- Forristall, G. Z., & Ewans, K. C. (1998). Worldwide measurements of directional wave spreading. *Journal of Atmospheric and oceanic technology*, 15(2), 440-469.
- Goda, Y. (1970). Numerical experiments on wave statistics with spectral simulation. *Report Port Harbour Res. Inst.*, 9, 3-57.
- Luxmoore, J. F., Ilic, S., & Mori, N. (2019). On kurtosis and extreme waves in crossing directional seas: a laboratory experiment. *Journal of Fluid Mechanics*, 876, 792-817.
- Mori, N., Onorato, M., & Janssen, P. A. (2011). On the estimation of the kurtosis in directional sea states for freak wave forecasting. *Journal of Physical Oceanography*, 41(8), 1484-1497.
- Prasada Rao, C. X. K. (1988). Spectral width parameter for wind-generated ocean waves. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Earth and Planetary Sciences*, 97, 173-181.
- Serio, M., Onorato, M., Osborne, A. R., & Janssen, P. A. E. M. (2005). On the computation of the Benjamin-Feir Index.
- Trulsen, K., Nieto Borge, J. C., Gramstad, O., Aouf, L., & Lefèvre, J. M. (2015). Crossing sea state and rogue wave probability during the P restige accident. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(10), 7113-7136.
- Waseda, T., Kinoshita, T., & Tamura, H. (2009). Evolution of a random directional wave and freak wave occurrence. *Journal of Physical Oceanography*, 39(3), 621-639.
- Waseda, T., Tamura, H., & Kinoshita, T. (2012). Freakish sea index and sea states during ship accidents. *Journal of marine science and technology*, 17(3), 305-314.