



# 海洋異常波浪機率預警之校驗

陳盈智<sup>1</sup>

林芳如<sup>2</sup>

董東璟<sup>1</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>

# 海洋異常波浪

## 海上異常波浪



發生機制：

波浪調制不穩定現象 (Wave Modulation)

波流交互作用

波浪聚合現象 (Wave Focusing)

## 海岸瘋狗浪



發生機制：

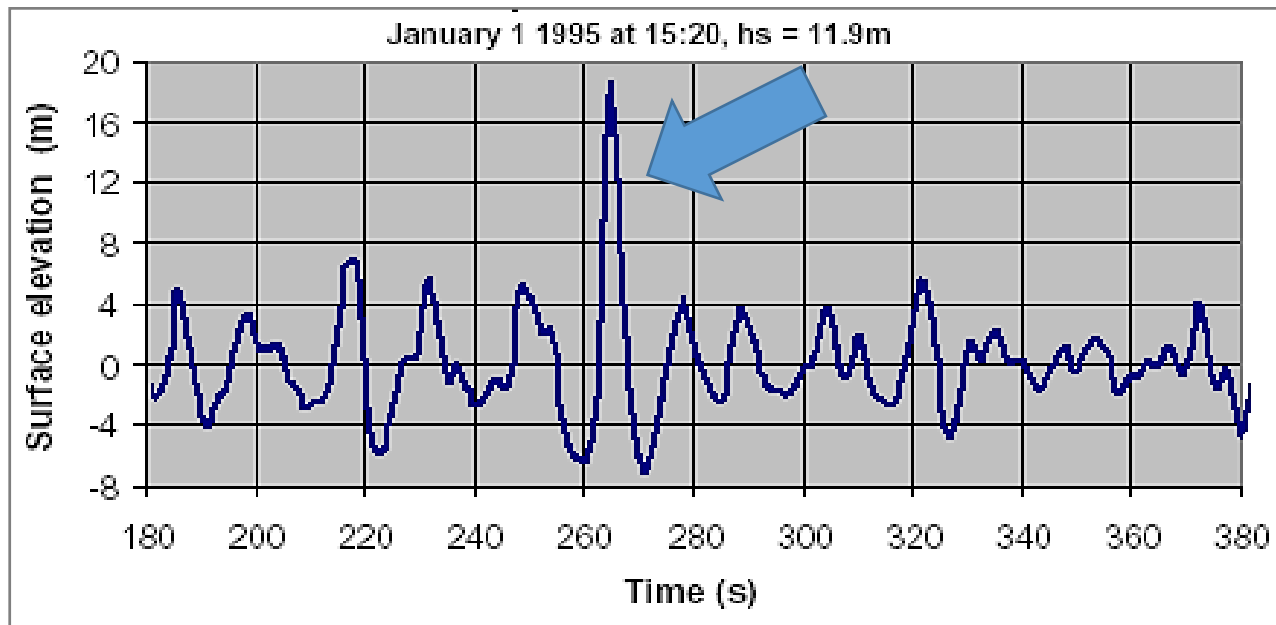
波浪淺化效應

波浪與結構物交互作用

# 海上異常波浪定義

$H / H_{1/3} \geq 2.0$ ,  $H$  is a freak wave

$H_{1/3} = 4.004\sqrt{m_0}$ , significant wave height



Data was observed at *Draupner platform* in North Sea (Harver, 2004) on 1995.01.01 15:20pm



# 海岸瘋狗浪定義

- 海岸瘋狗浪是由媒體提出，主要是描述海岸邊突然出現的大浪，將人衝擊入海，猶如瘋狗一般。
- 在波浪學中尚無針對這類現象有詳細的描述與定義。
- 本研究將以「海岸邊突然出現且可將人沖倒的浪花」作為瘋狗浪之定義。



2014/10/12 基隆海大海堤



2016/7/10 龍洞海岸

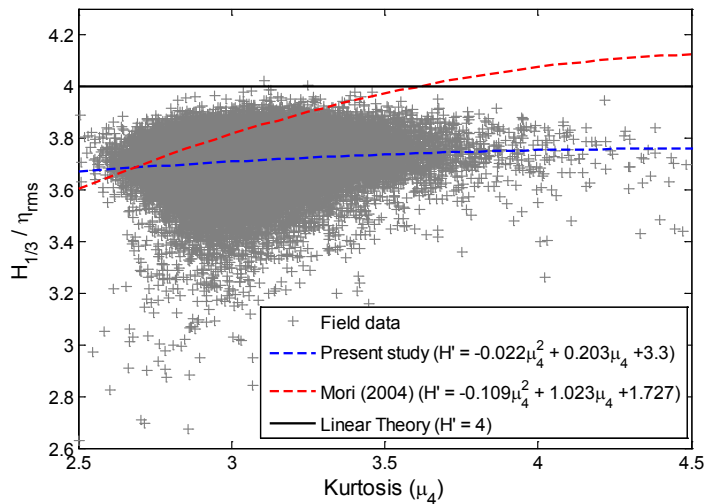
# 海上異常波浪機率預測理論

$$P'_{freak} = 1 - \exp\left\{-N e^{-\left(\frac{\alpha^2}{8}\right)} \left[1 + \frac{\kappa_{40}}{384} \alpha^2 (\alpha^2 - 16)\right]\right\}$$

$$\alpha = -0.045\mu_4^2 + 0.406\mu_4 + 6.608$$

N: number of waves

$\kappa_{40}$ : 4<sup>th</sup> order cumulant =  $\mu_4$ (kurtosis) - 3



Wave modelling  
中央氣象局作業化波浪模式



Spectrum 波浪能譜  
(各網格)



非線性參數 BFI



峰度累積量  $k_{40}$



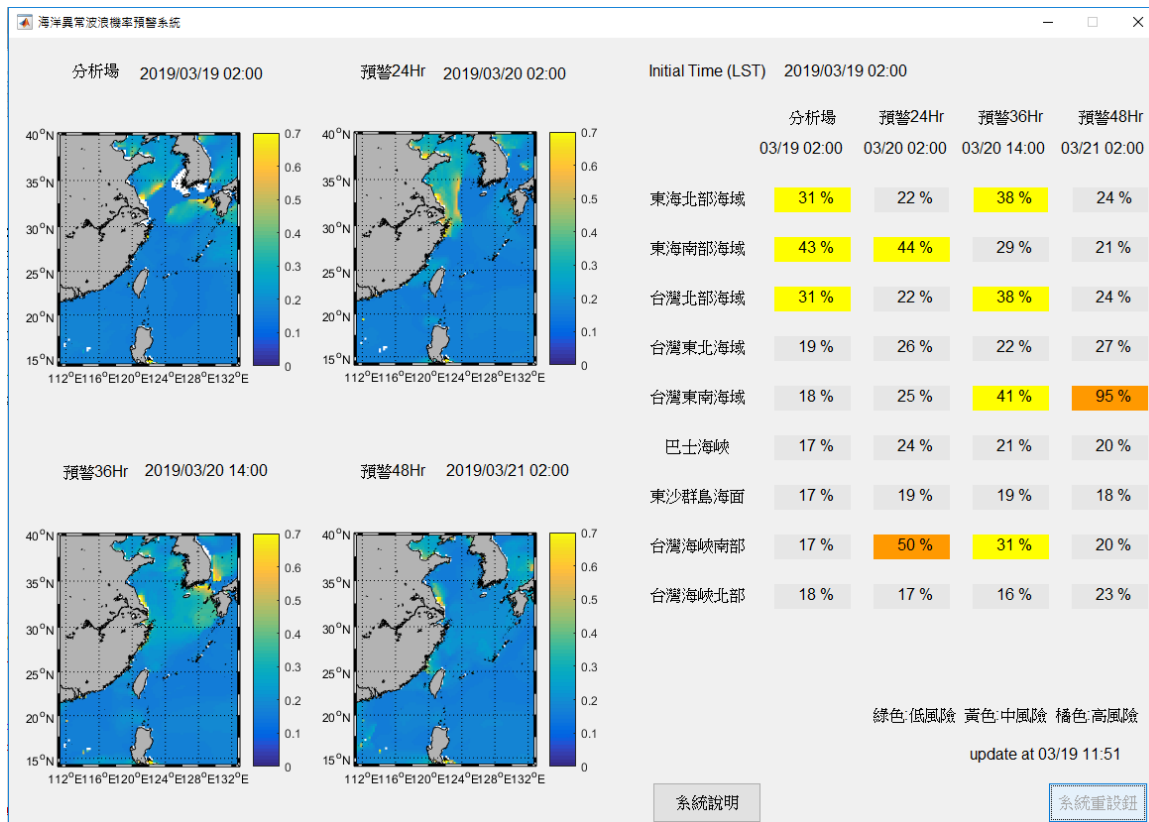
異常波浪發生機率  
(各網格)

均方根誤差由原18.3%下降至13.2% (中央氣象局, 2016)

# 海上異常波浪機率預警系統展示介面

分析場

24小時預測結果



高風險(橘) : >50%  
 中風險(黃) : 30-50%  
 低風險(灰) : <30%

台灣周遭海域(依漁業氣象海域分類)各預警時間異常波浪發生機率

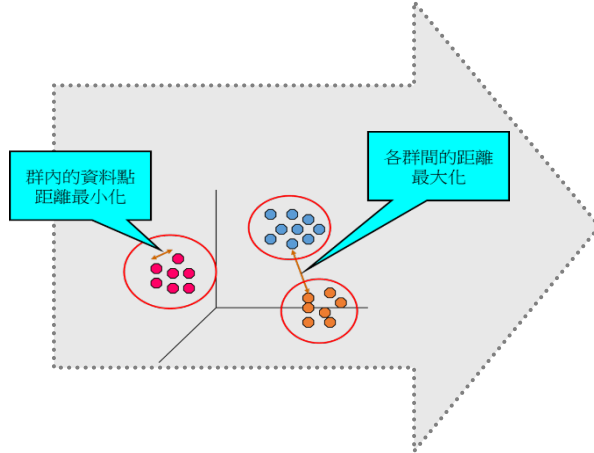
36小時預測結果

48小時預測結果

- 輸入資料：NWWIII 波譜
- 預警時間：未來48小時
- 每日運行4次 (UTC 00, 06, 12, 18)

# 海岸瘋狗浪機率預測理論

## ① 群集分析方法

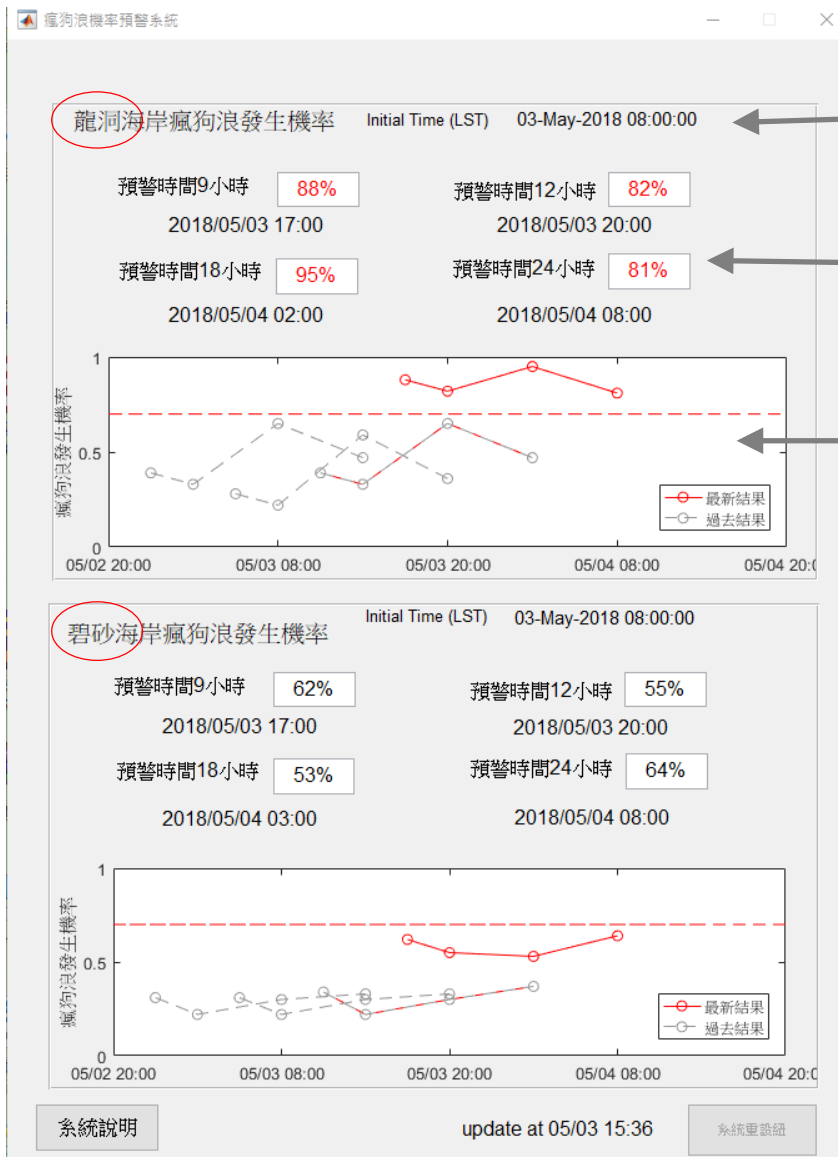


- 利用群聚特性，找出引發瘋狗浪的潛在因子
- 利用因子特性，建立各分時預警模式(12、18、24小時)
- 利用因子群的距離，判斷其危險(機率)程度

## ② 人工類神經方法

- 根據文獻，決定可能引發瘋狗浪的潛在因子
- 根據類神經學習特性建立分時預警模式(12、18、24小時)
- 利用轉換函數計算其發生機率

# 海岸瘋狗浪機率預警系統展示介面



initial time (local time)

瘋狗浪發生機率預報

過去24小時(4個run)  
瘋狗浪發生機率

- 輸入資料(因區域而異):
  - 資料浮標即時資料
  - 波浪模式
- 預警時間：未來12、18及24小時
- 每日運行4次 (UTC 00, 06, 12, 18)



# 瘋狗浪預警系統運作結果之驗證

**【正向驗證】** 實際發生事件時，預警系統是否預測準確？

- 根據氣象局長浪預警結果，檢視預警系統預測發生機率。

**【反向驗證】** 預警系統預測高發生機率時，實際是否有發生？

- 預警系統預測高機率時，根據現場影像分析，驗證是否有發生。

# 瘋狗浪預警系統運作結果驗證

## 正向驗證

2018年1-9月三種長浪資訊發布情形如下：

- 「天氣概況」計有12次發布「東北部沿海地區」易有長浪發生。
- 「一週天氣預報」計有6次發布「北部沿海地區」易有長浪發生。
- 「長浪即時訊息」計有32次針對「東北角海域」發布警訊。

編號	天氣概況發佈時間	湧浪警戒時間
A1	2018/5/21 05:00	2018/5/22
A2	2018/5/21 11:00	2018/5/22
A3	2018/5/21 17:00	2018/5/22
A4	2018/5/21 23:00	2018/5/22
A5	2018/5/22 05:00	2018/5/22
A6	2018/08/29 05:00	2018/8/30
A7	2018/08/29 11:00	2018/8/30
A8	2018/9/3 05:00	2018/9/3
A9	2018/9/3 11:00	2018/9/3
A10	2018/9/3 17:00	2018/9/3
A11	2018/9/3 23:00	2018/9/3
A12	2018/9/4 05:00	2018/9/4

編號	一週天氣預報發佈時間	湧浪警戒時間
C1	2018/3/4	2018/3/7-8
C2	2018/3/16	2018/3/17-18
C3	2018/3/20	2018/3/22-23
C4	2018/3/26	2018/3/27-31
C5	2018/3/31	2018/4/1-5
C6	2018/9/25	2018/9/26-10/1

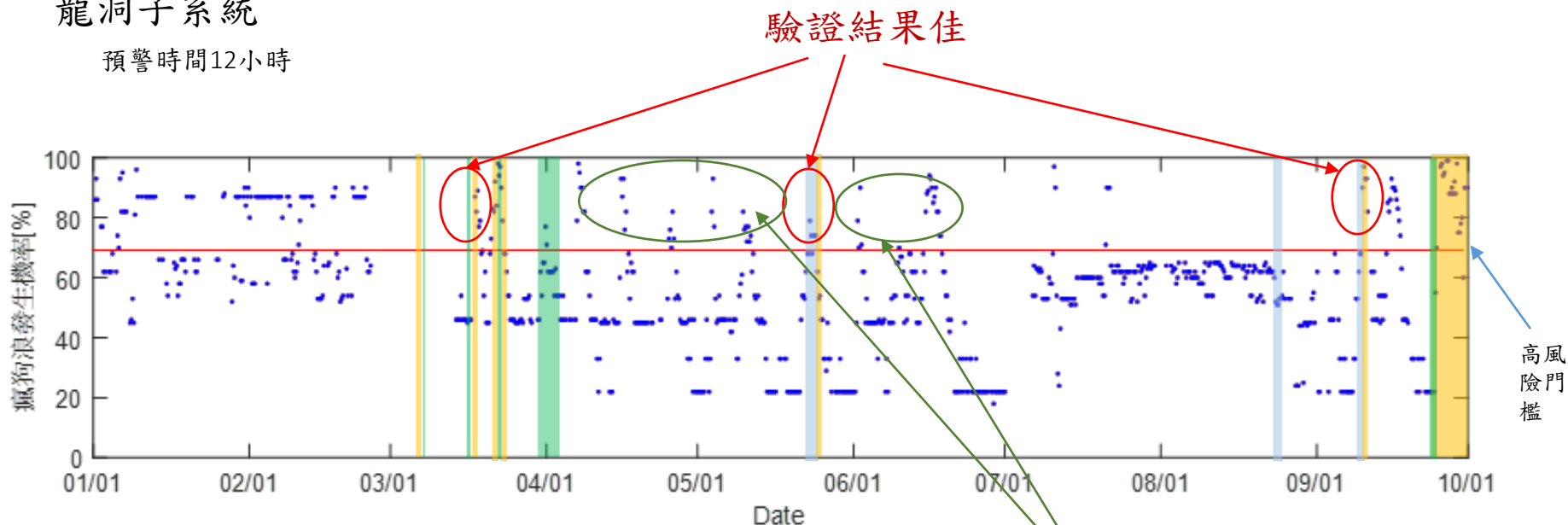
編號	長浪即時訊息發佈時間	湧浪警戒時間
B1	2018/3/7 08:00	2018/3/7 08:00
B2	2018/3/18 05:11	2018/3/18 05:11
B3	2018/3/22 08:40	2018/3/22 08:40
B4	2018/3/22 22:00	2018/3/22 22:00
B5	2018/3/22 23:57	2018/3/22 23:57
B6	2018/3/23 05:45	2018/3/23 05:45
B7	2018/5/22 18:54	2018/5/22 18:54
B8	2018/5/22 23:23	2018/5/22 23:23
B9	2018/09/04 01:30	2018/09/04 01:30
B10	2018/09/04 11:02	2018/09/04 11:02
B11-B32	2018/9/25 - 9/30	2018/9/25 - 9/30

- 三種長浪發布訊息基本上一致
- 2018年1-9月主要的長浪發生時段為(1)3/7 (2)3/18 (3)3/22-23 (4)3/27-4/5 (5)5/22 (6)9/3-4 (7)9/25-10/1
- 針對上述發布結果進行比較/驗證

# 長浪發布情形和瘋狗浪機率預警結果比較

龍洞子系統

預警時間12小時



長浪預警期間

(藍色: 天氣概況、綠色: 一周天氣概況、橘色: 長浪即時訊息)

並非只在長浪期間才有瘋狗浪

- 氣象局發布之長浪資訊與預警系統所得之瘋狗浪發生高機率結果相近
- 瘋狗浪之發生並非只與長浪有關。長浪出現時，瘋狗浪發生機率提高；瘋狗浪出現時，並不一定有長浪。

# 瘋狗浪預警系統運作結果驗證

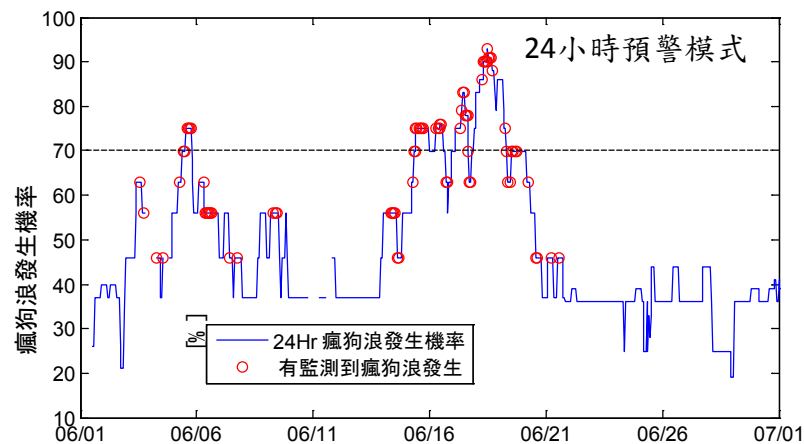
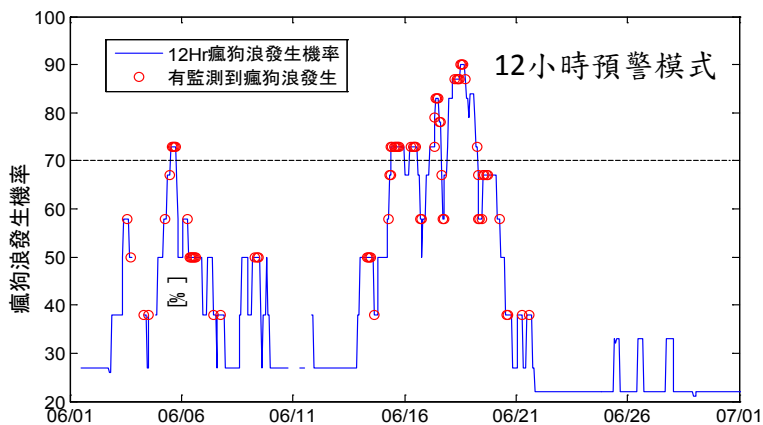
## 反向驗證

透過瘋狗浪觀測影像進行驗證

- 從預警系統預測有瘋狗浪發生高機率，驗證實際是否有瘋狗浪發生？
  - 過去要有真實(有人)落海事件才能知悉真有瘋狗浪發生
  - 無法掌握人的行為，因此反向驗證難以根據真實落海事件驗證之。
  - 改以瘋狗浪監測結果驗證。
- 
- 驗證時間：2017/5-2017/12
  - 驗證子系統：龍洞子系統(預警時間12、24小時)
- 
- 2017/5-2017/12 共約有9000筆瘋狗浪影像案例發生，可用於驗證系統發布高風險預警時，該時刻是否有發生瘋狗浪。

# 瘋狗浪預警系統運作結果驗證

- 2017/5-12月期間，12/18/24小時預警模式白天發布165/177/179次瘋狗浪高機率預警，其中有130/141/126次有被現場影像所記錄。
- 換言之12/18/24小時預警模式預警正確率達79/80/70%



2017/6 瘋狗浪預警系統運作結果與瘋狗浪監測結果比較



# 海上異常波浪預警系統運作結果之驗證

## 【正向驗證】實際發生事件時，預警系統是否預測準確？

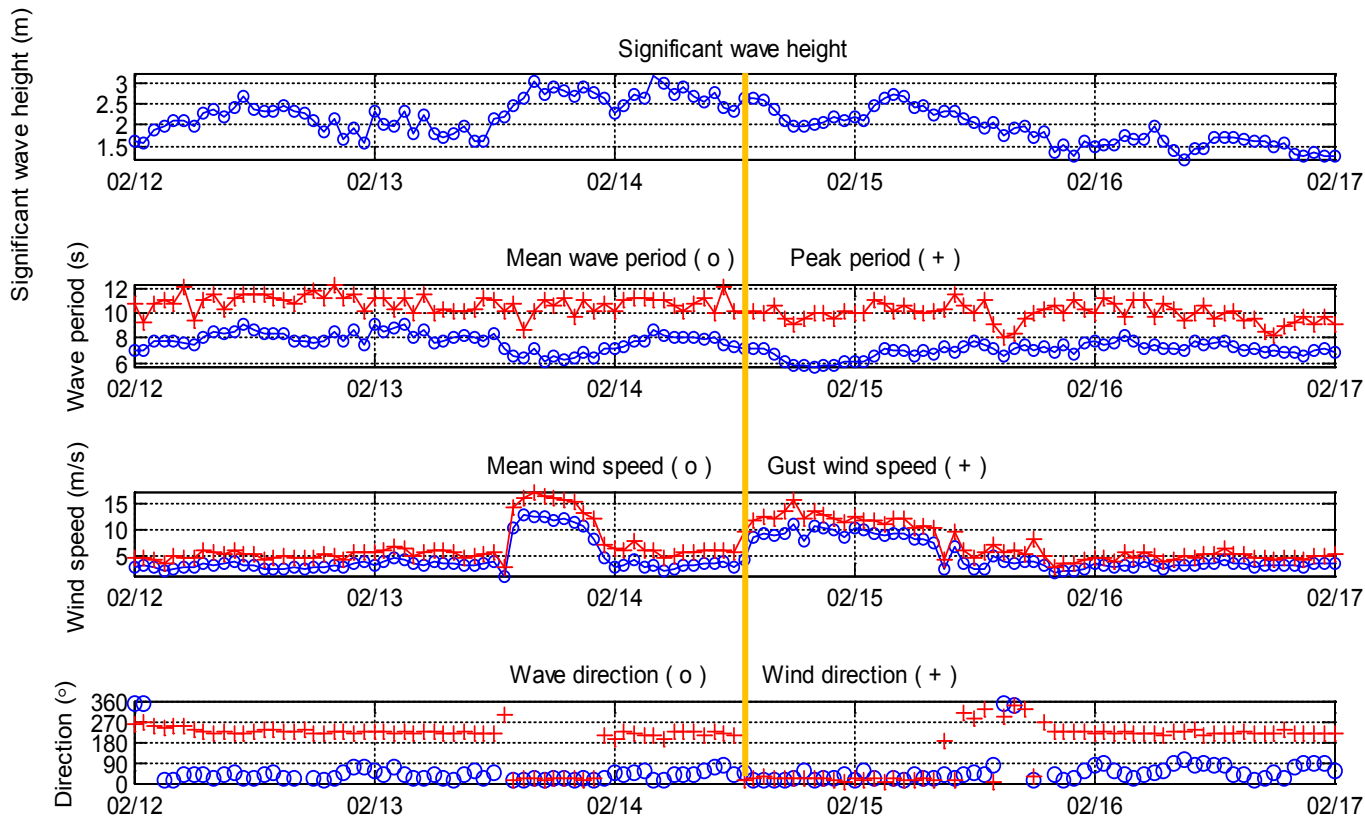
- 根據實際船難事件，檢視預警系統預測發生機率、波譜參數(顯示波浪能量集中程度)。

## 【反向驗證】預警系統預測高發生機率時，實際是否有發生？

- 預警系統預測高機率時，根據東吉島波浪觀測結果，驗證是否真有較高發生機率。

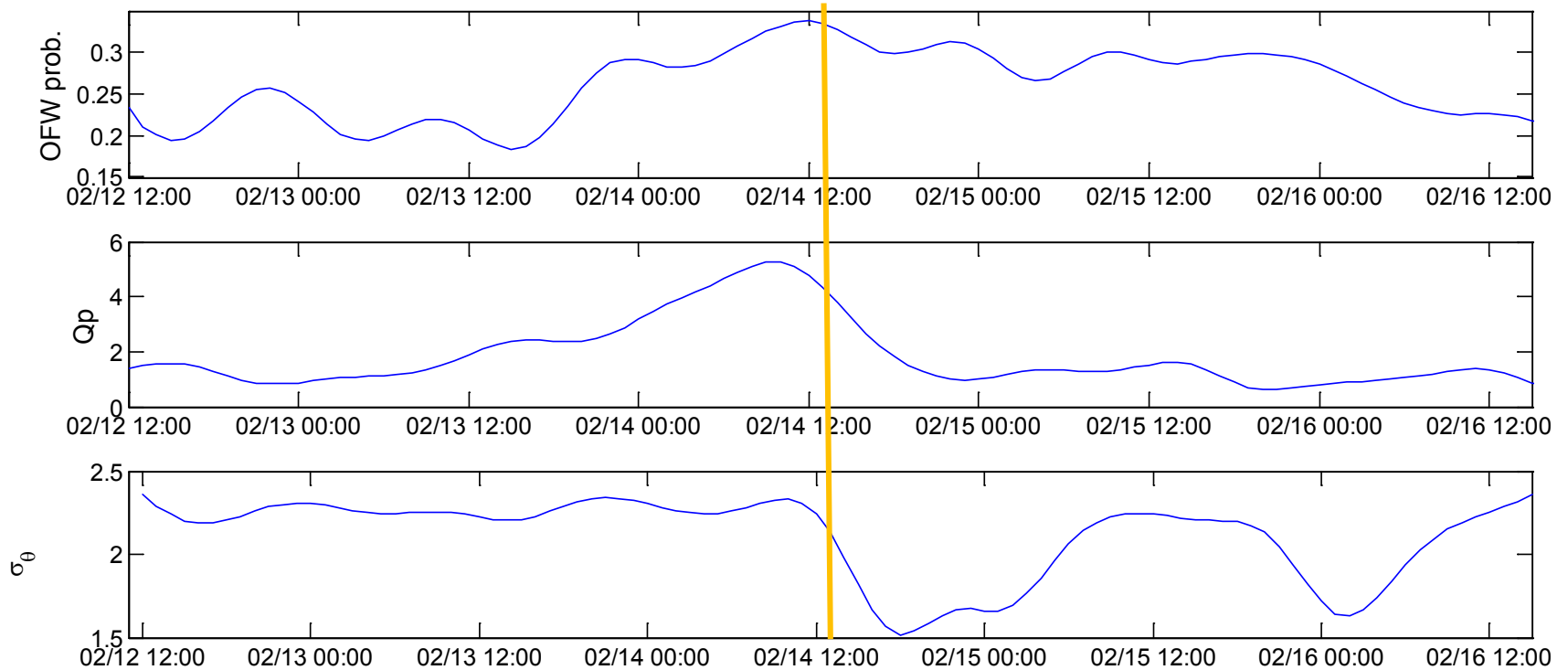
# 正向驗證 - 實際船難事件之比較

事件1 2014/2/14 13:00 花蓮環保公園外海棧板翻覆事件



$H_{m0} = 2.18\text{m}$   
 $U_{wind} = 9.8\text{ m/s}$

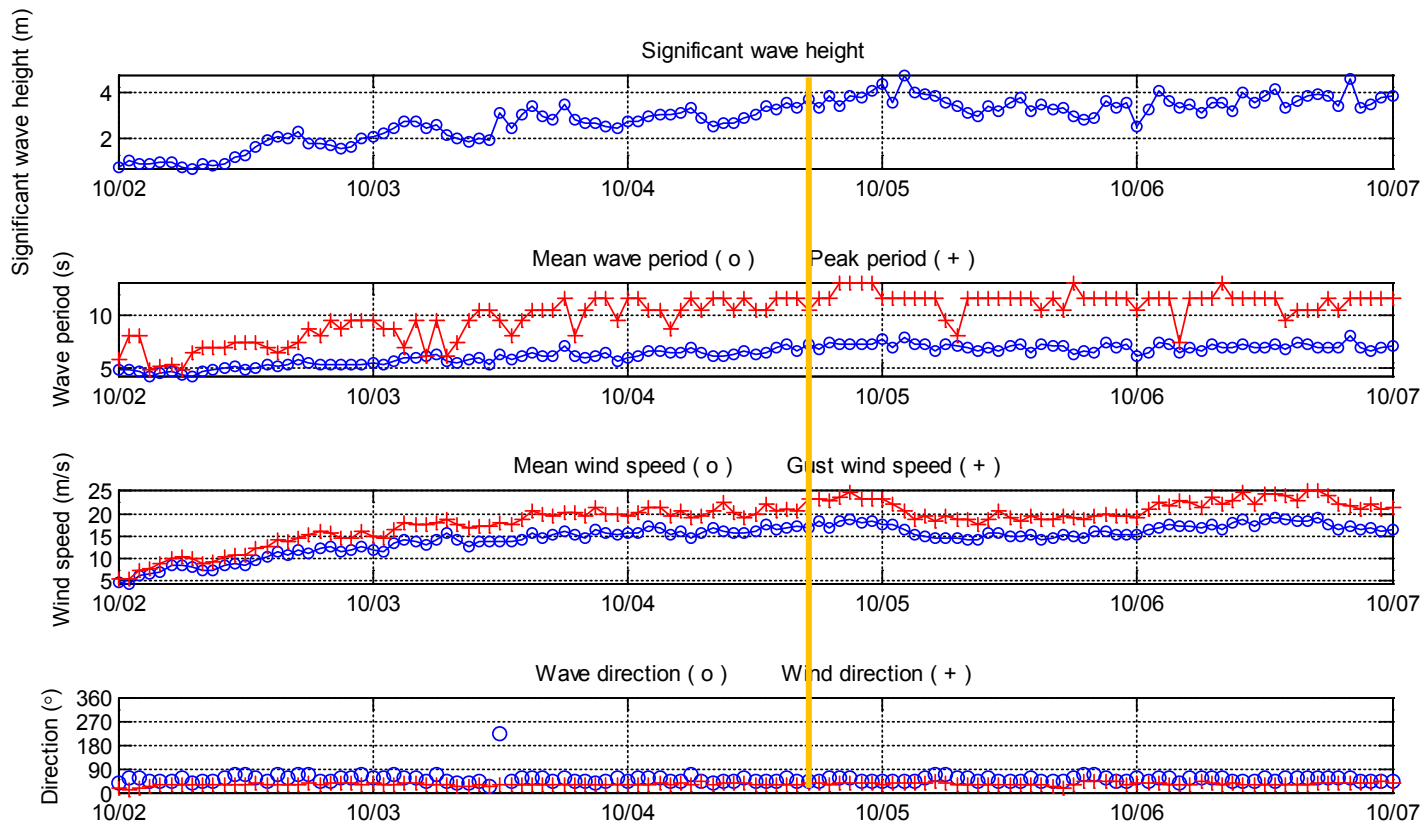
# 正向驗證 - 實際船難事件之比較



- 船難發生時異常波浪發生機率約為34%
- 事件發生時譜尖參數達到最大，且與方向寬度參數逐漸下降，顯示能量趨於集中。

# 正向驗證 - 實際船難事件之比較

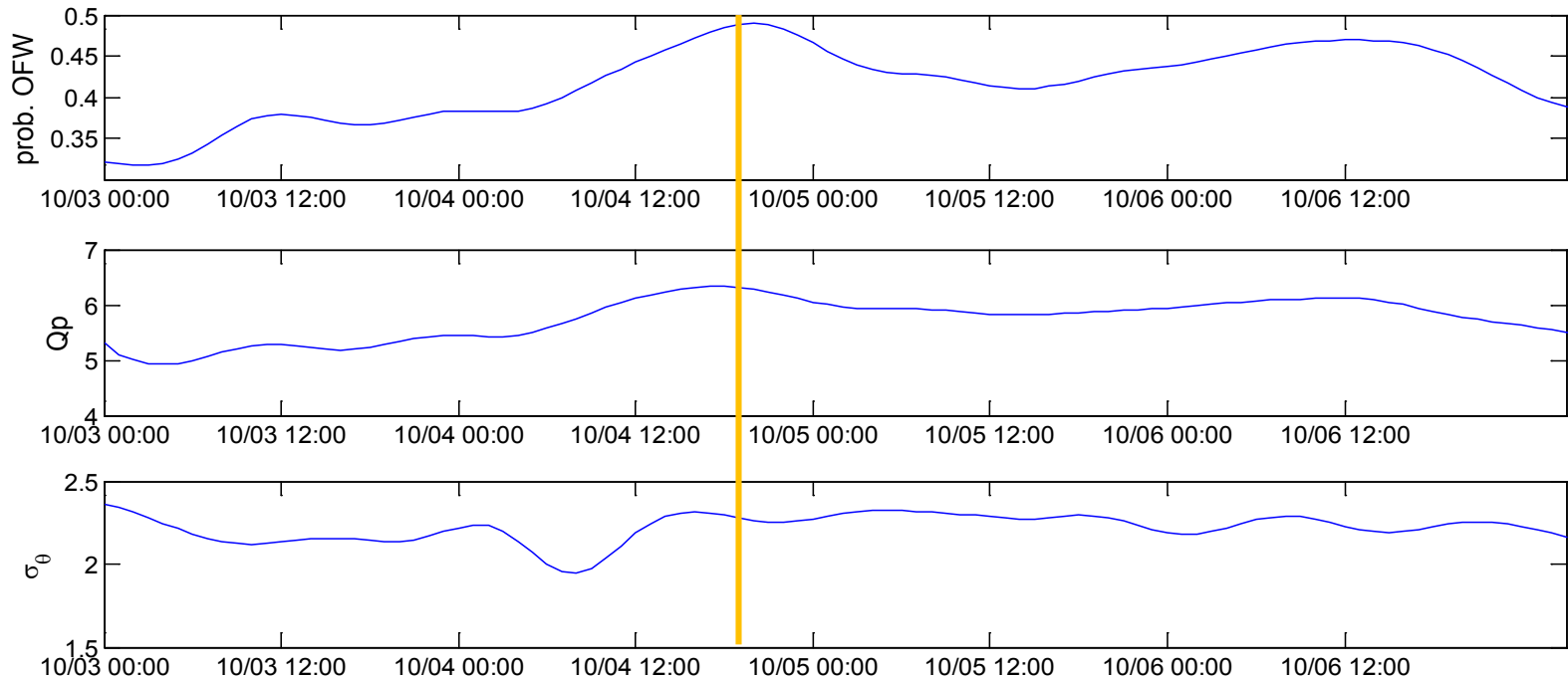
事件2 2009/10/4 17:40澎湖西鄉查某嶼貨輪翻覆事件



$H_{m0} = 3.89\text{m}$   
 $T_p = 10.7\text{ sec}$   
 $U_{\text{wind}} = 17.2\text{ m/s}$

芭瑪颱風影響期間

# 正向驗證 - 實際船難事件之比較



異常波浪發生機率有大幅上升的情況，最大達48.5%。

綜合上述分析結果，兩件船難發生時，異常波浪有高度發生機率發生。但仍需更多案例進行討論，目前尚難以有所定論。



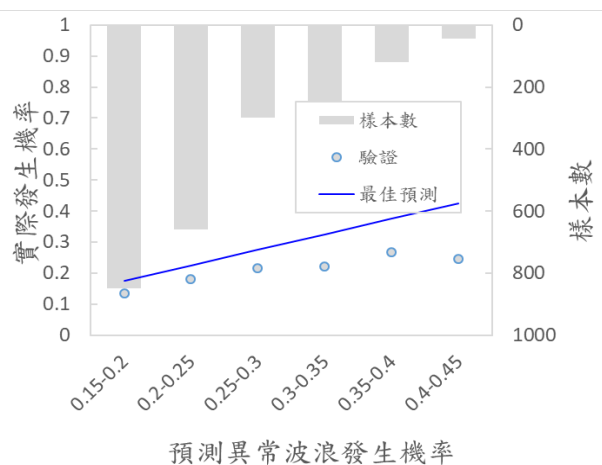
# 反向驗證 – 與東吉島觀測資料之比較

- 參考中央氣象局降雨機率預報驗證方式來驗證異常波浪發生機率。
- 將相同預測機率的事件進行歸類，並比較在此預測機率下，實際發生的機率為何，若實際發生的機率與預測的發生機率相同，則稱為最佳預測。

$$\text{機率預測誤差} = |1 - \text{實際發生機率值} / \text{機率預測值}|$$

- 驗證資料：東吉島波浪站 (2015/8-2018/8)

預警時間36小時驗證結果



預測機率區間 \ 預報資料時間點	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	加權平均誤差
分析場	15.6%	18.4%	24.1%	22.9%	26%	26%	17.2%
24小時	14.6%	25.7%	28.5%	27.5%	22.1%	29.4%	15.9%
36小時	13.5%	18.1%	21.6%	22.2%	26.6%	24.4%	22.9%
48小時	18.7%	16.6%	20%	24%	18.3%	22.2%	20.1%

加權誤差

$$E_{WA}(\%) = \sum \left( E_i \times \frac{N_i}{\sum N_i} \right)$$

$E_i$ : 第*i*組區間機率誤差  $\left| 1 - \frac{P_{observed}}{P_{predicted}} \right|$

$N_i$ : 第*i*組區間樣本數

# 結論

- 海岸瘋狗浪機率預警系統驗證

- 在長浪警戒發布時，與海岸瘋狗浪預警系統發布高機率警報時刻相當吻合；發現在長浪警戒外仍有高機率預警發生，顯示有其他因素引起瘋狗浪。
- 光學影像判釋獲得具危害性之瘋狗浪案例進行反向驗證，預警的正確率達70%以上。

- 海上異常波浪機率預警系統驗證

- 從過去顯著之船難事件發現，船難事發海域波譜能量在頻率域與方向上都有聚集的現象，屬於異常波浪好發條件。
- 使用東吉島波浪站資料進行反向驗證，加權誤差為15% - 22%。

- 顯示兩系統具有可信賴的預警能力