

以波潮耦合模式颱風案例的 校驗分析

王啓竑¹ 于嘉順¹ 林芳如² 陳琬婷² 陳維翔²
西灣海環科技股份有限公司¹ 中央氣象署海象氣候組²

簡報人：陳維翔





目錄

C O N T E N T S

01

▶ 動機 & 文獻回顧

02

▶ 模式設定

03

▶ 2025年颱風校
驗成果

04

▶ 結論



研究動機 - 全球異常波浪好發區域

- ▶ 世界上各海域均曾有出現異常波浪之紀錄，如：北海海域、墨西哥灣、南非東岸、日本海域與台灣海峽附近，而當異常波浪出現時，往往會損壞海上船隻與沿岸結構物，甚至引發災難。
- ▶ **墨西哥灣流(Gulf Stream)** (右上圖)與其向北延伸之北大西洋暖流(**North Atlantic Drift**)為大西洋上重要的洋流，其表層流速通常可達到2.5m/s。歐洲太空總署ESA更曾利用衛星雷達拍下異常巨浪的畫面，顯示墨西哥灣流是一個異常巨浪潛在發生區域。
- ▶ **黑潮(Kuroshio Current)**(右下圖)為全球第二大的洋流，為太平洋洋流的一環，黑潮將熱帶溫暖的海水往北輸送，且同樣受到大洋環流西向強化的關係，流速約可達1~2m/s，當季風與風暴所形成的波浪遇到強勁的黑潮洋流時，波與流之間的交互作用會對波浪特性會有顯著的影響，尤其是波高會有明顯的增加，且可能會引發異常波浪。



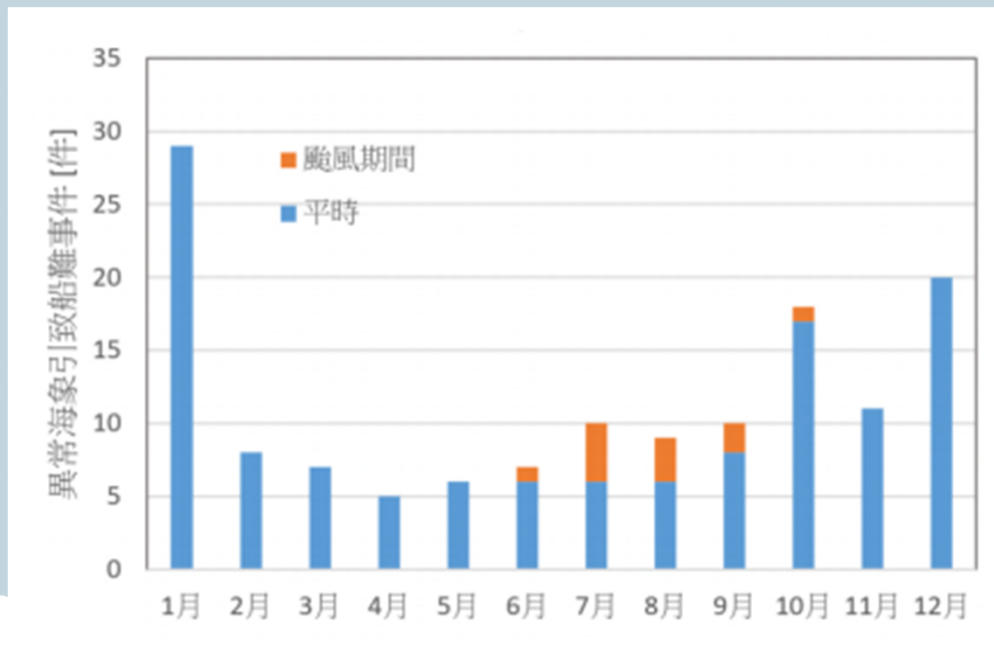
參考連結為<https://scijinks.gov/gulf-stream/>



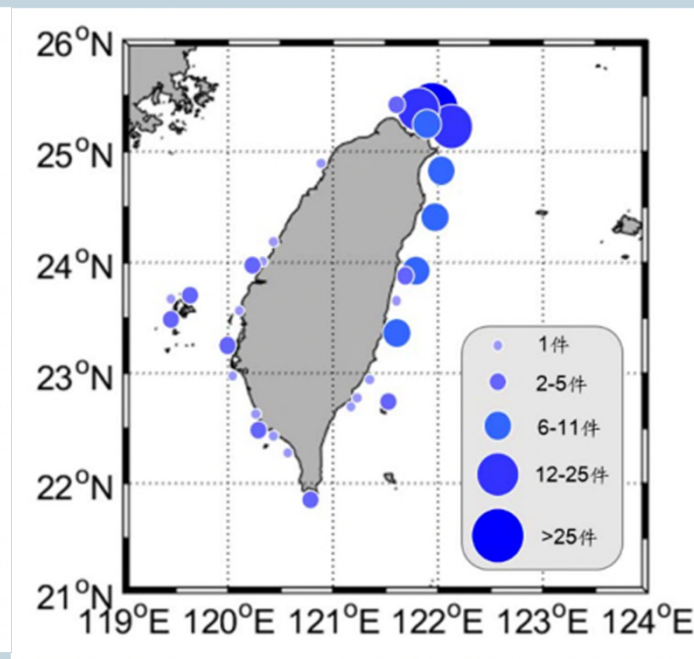
參考連結為<https://www.nippon.com/en/currents/d00329/>

臺灣異常波浪好發區域

- ▶ 臺灣每年冬季期間東部及東北部海岸在強烈東北季風吹拂下，海域波浪運動特性有很大的影響，經常出現異常波浪事件，甚至造成航行及海岸活動的災難
- ▶ 根據氣象署統計，89年至108年共發生360起異常波浪事件(中央氣象署, 2019)，75%集中在東北角區域



(臺灣海岸異常巨浪事件分布時序圖)



(臺灣海岸異常波浪事件分布圖)



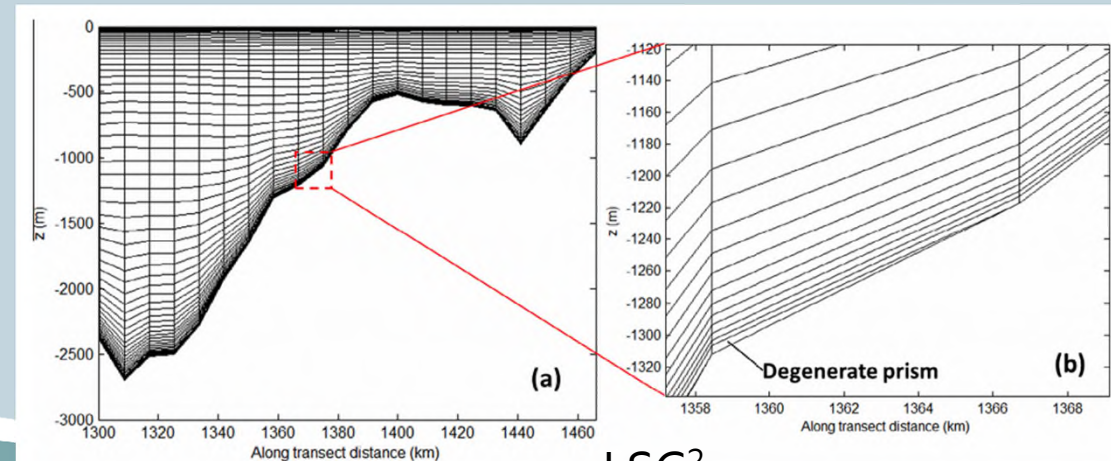
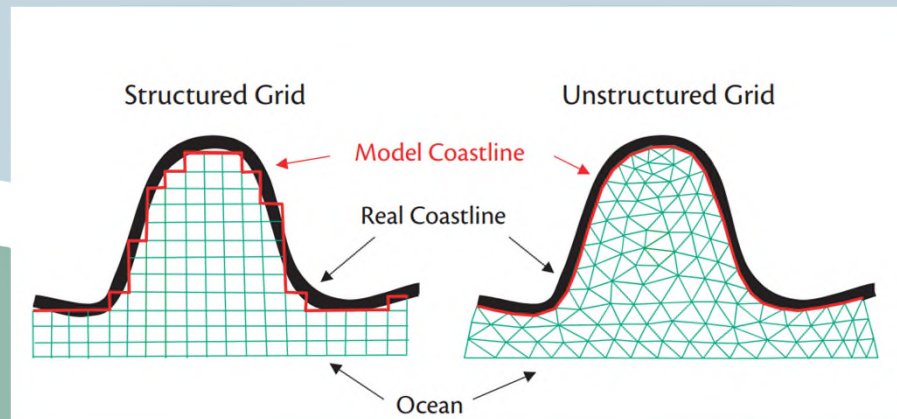
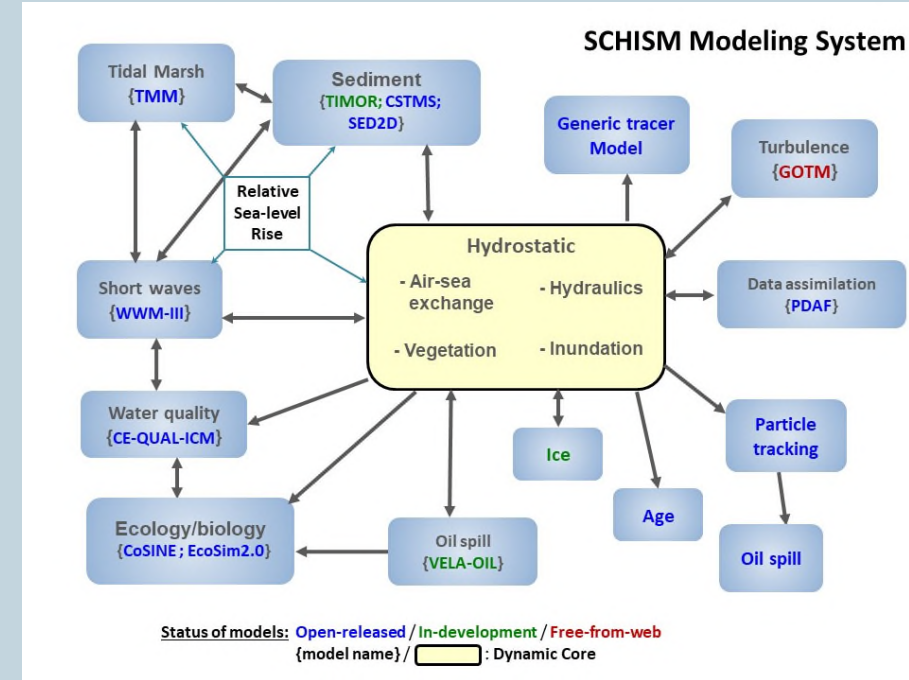
波流交互作用影響

- ▶ 波流交互作用影響-長週期海流與短週期波浪之間的非線性交互作用：
 - ▶ 波浪對流場的影響
 - ▶ 水位的改變-輻射應力(radiation stress)
 - ▶ 海流對波浪影響
 - ▶ 波速的改變
 - ▶ 波向的改變
 - ▶ 波頻的改變



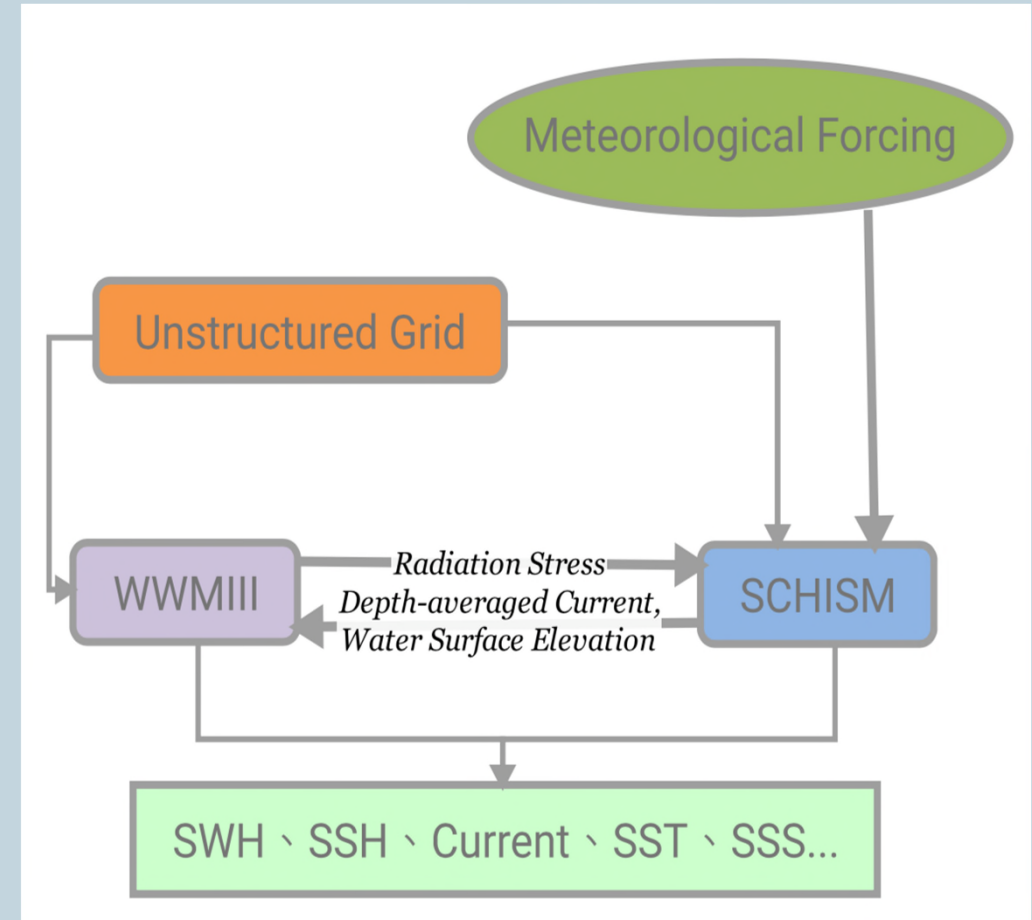
波潮耦合模式架構

- ▶ 海流動力模式為SCHISM
(Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model) (Zhang et al., 2016)
- ▶ 波浪模式為第三代WWM(Wind Wave Model, Roland et al., 2009)波浪模式
- ▶ 水動力及波浪模式**共用同一網格**
- ▶ 水平網格採用非結構三角網格，更能精確貼合近岸複雜岸線
- ▶ 以半隱式法解決時間步長限制(CFL條件較寬鬆)



SCHISM-WWMIII波流耦合模式流程

- ▶ 由前述可知波浪與海流耦合的數值模式計算流程如右圖
- ▶ 海流模式計算得到流場與水位
- ▶ 波浪模式計算得到輻射應力梯度
- ▶ 同一時間步進行資訊交換後，各自往下一時間步進行計算



模式驅動力、邊界與初始場設置

研究區域

- 臺灣海域
- 海流
- 波浪 (波向角5度，波譜36等分)

時間

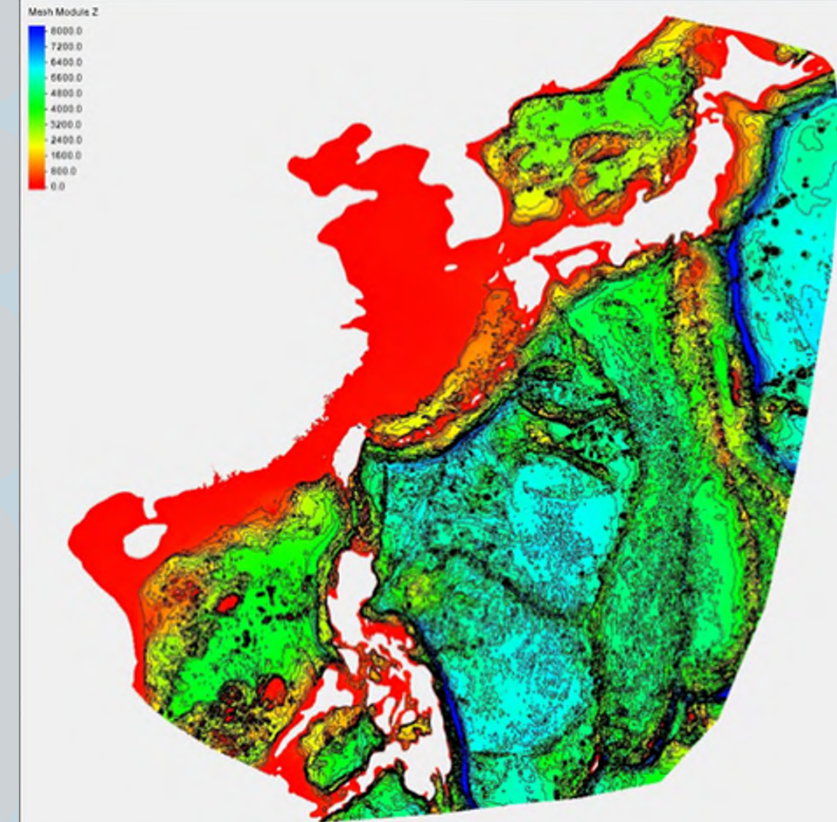
- 48小時分析場計算
- 96小時預報場計算

模式

- SCHISM三維水動力模式
- WWMIII波浪模式 波流雙向完全耦合

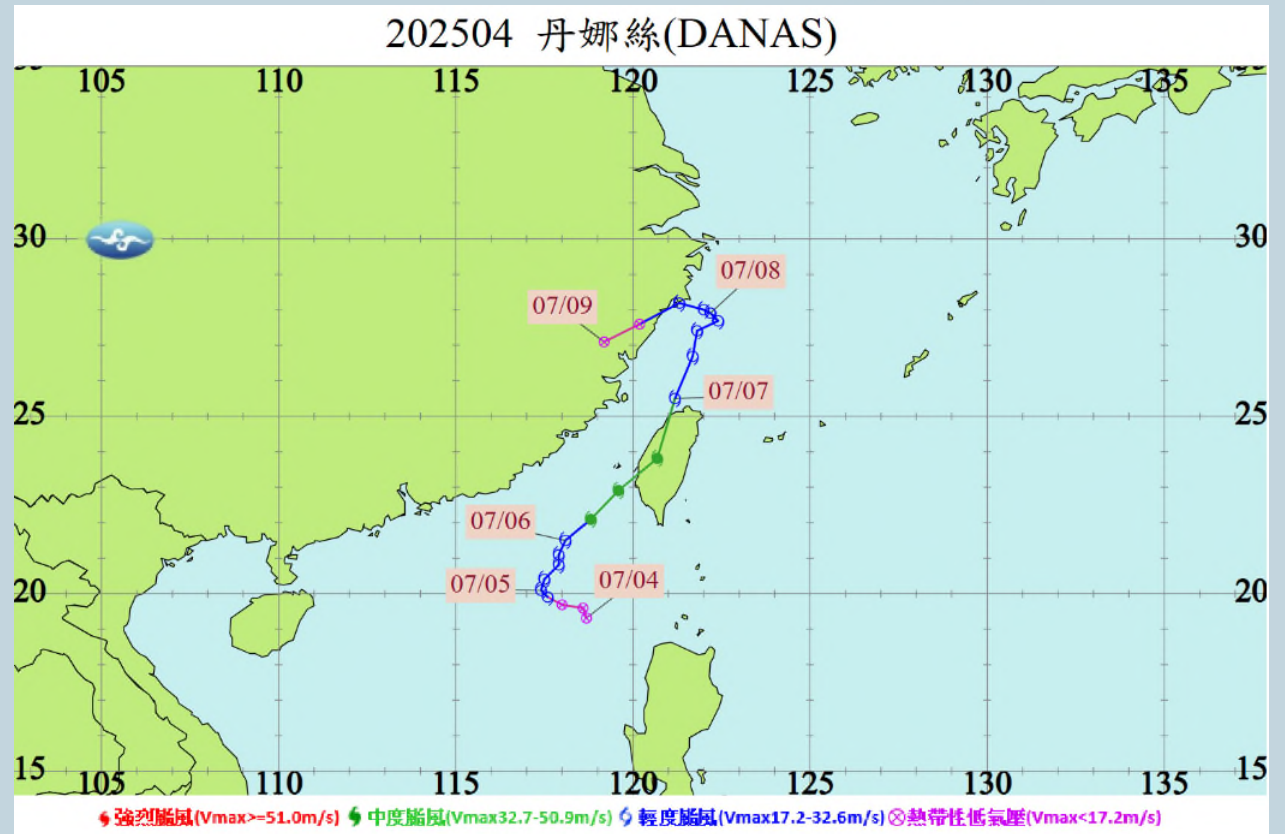
驅動力

- 中央氣象署氣象場
- TOPEX潮汐邊界K1,O1,P1,Q1,M2,S2,N2,K2
- 氣象署NWW3波浪模式作為邊界

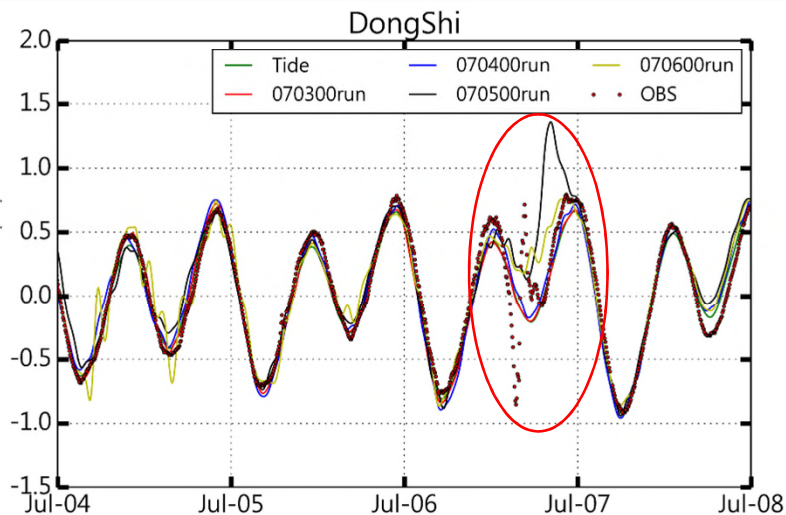
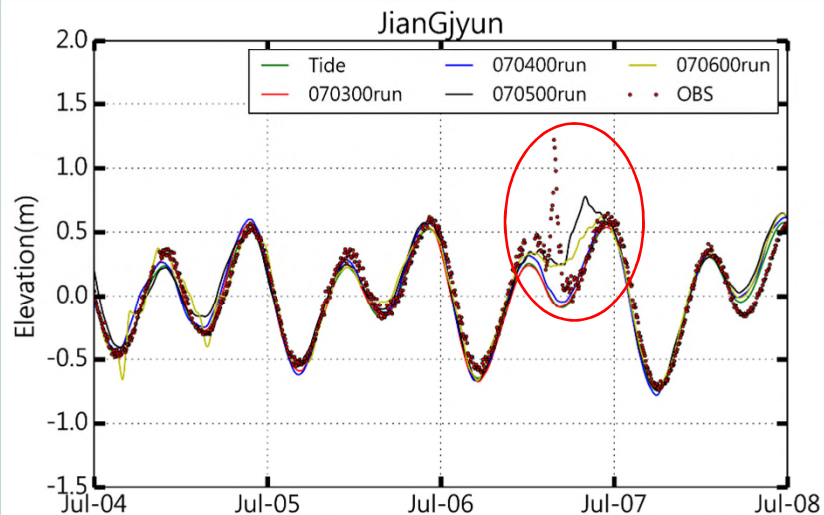


三維波潮耦合模式系統波高校驗－丹娜絲颱風

- 颱風形成期間為7/4-7/9，颱風中心從台南登陸，往北移動
- 颱風中心6日23時40分颱風中心登陸嘉義布袋，主要影響北台南至嘉義區域，多處因風強雨驟導致樹木與電線桿傾倒
- 比對資料：潮位觀測資料、波浪浮標觀測資料、CWA-OCM-WT波潮耦合模式
- 比對資料皆取24小時預報資料進行比對



三維波潮耦合作業化預報系統維護與分析-丹娜斯颱風水位預報

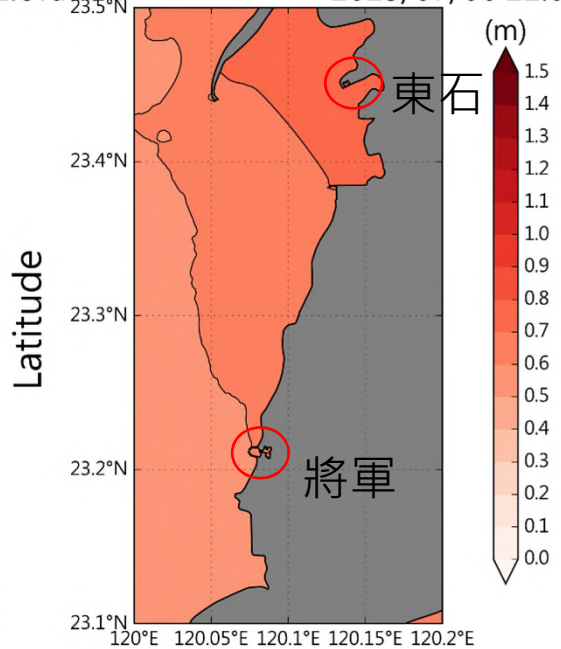


➤ 在丹娜斯颱風期間，不同的時間的水位預報結果呈現0706在東石與將軍都有明顯的水位上升結果

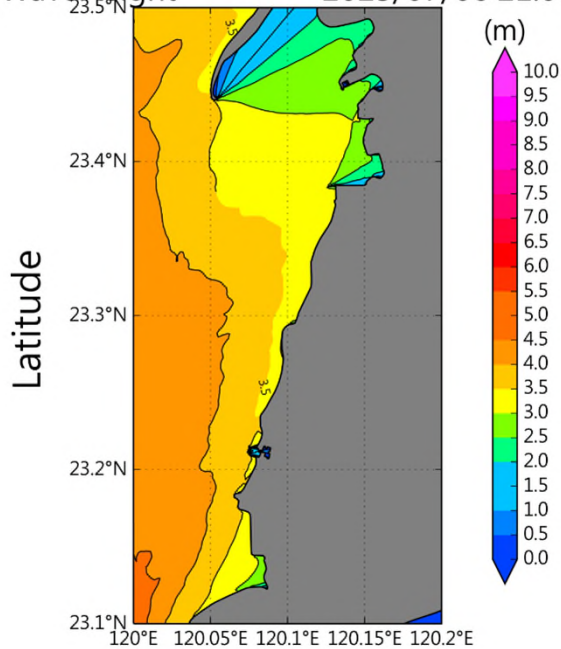
➤ 因丹納絲颱風於0705才逐漸轉強形成颱風，故070300run與070400run水位預報可能因路徑和強度預報差異導致沒有明顯抬升

➤ 當颱風引起的波高加上地形的綜合因素，導致近岸或港口水位堆積明顯抬升，因此模式應將波潮流等物理機制一併加入計算

Elevation 23.5°N 2025/07/06 22:00



WaveHeight 23.5°N 2025/07/06 21:00

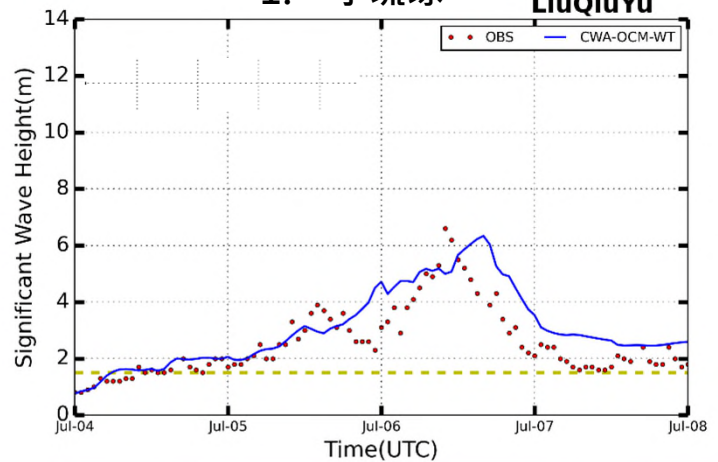


三維波潮耦合作業化預報系統維護與分析-丹娜絲颱風波高預報

波高超過1.5m，週期超過8s之波浪為長浪

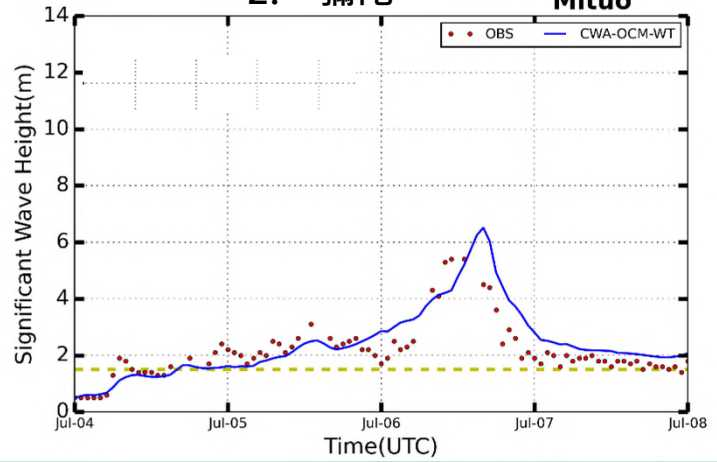
1. 小琉球

LiuQiuYu



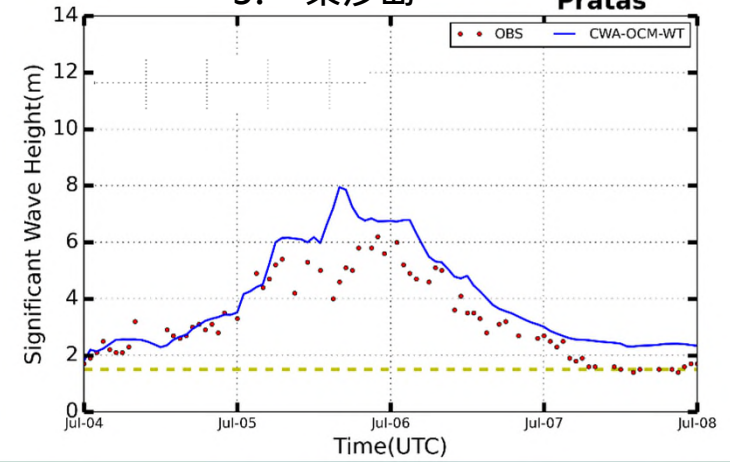
2. 彌陀

Mituo



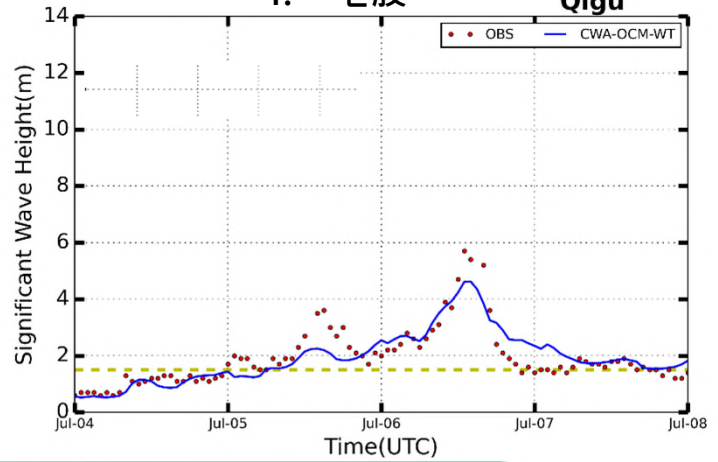
3. 東沙島

Pratas



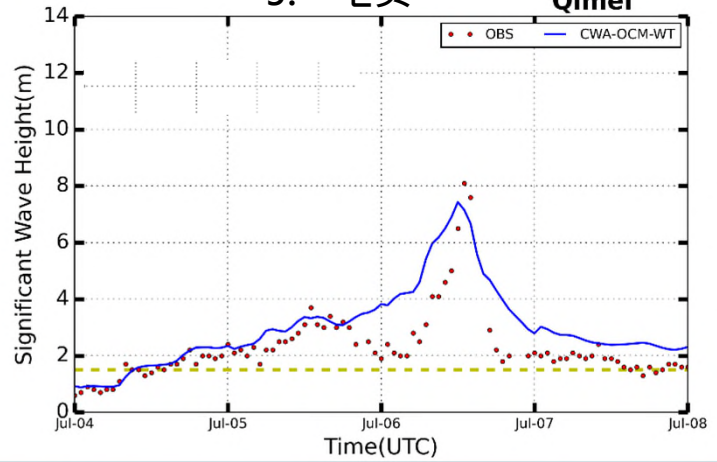
4. 七股

Qigu



5. 七美

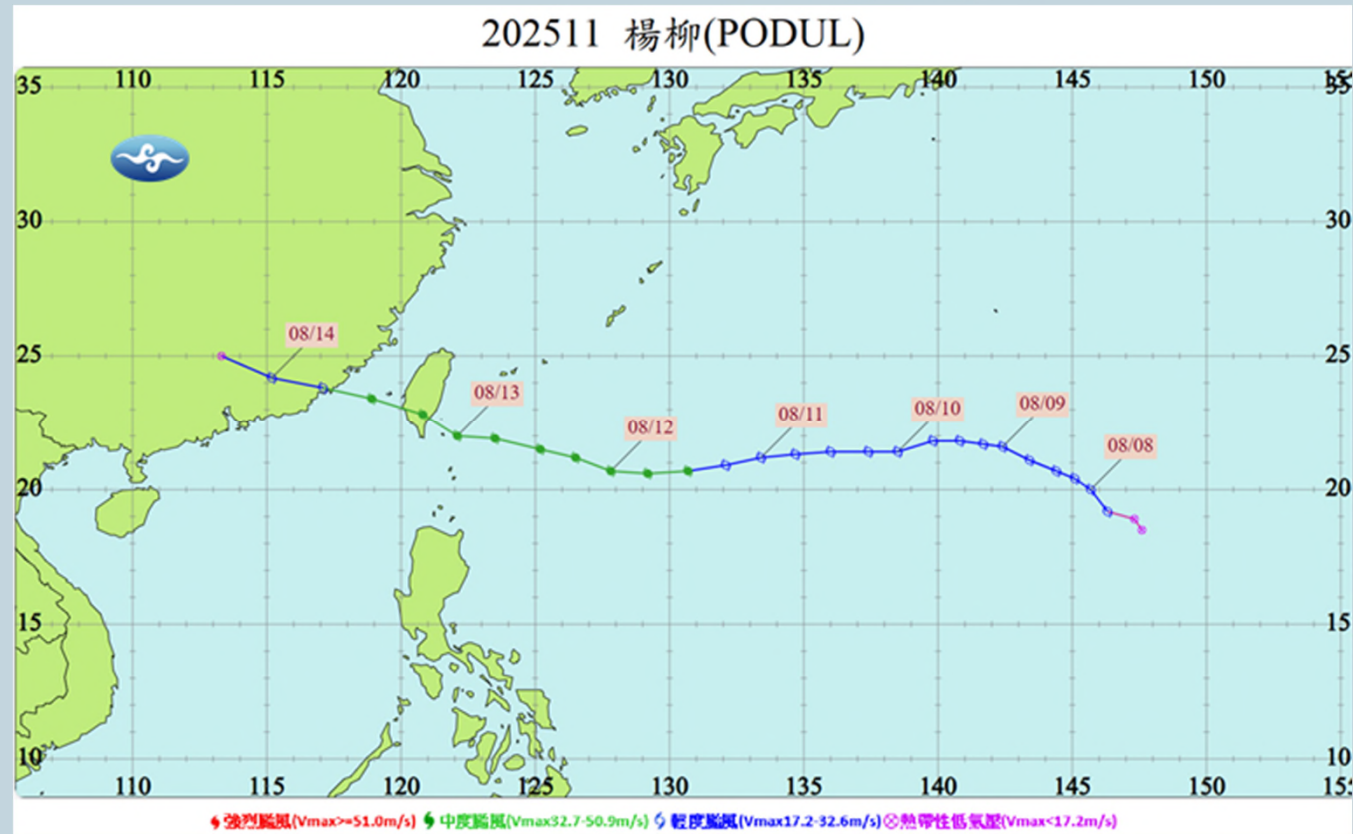
Qimei



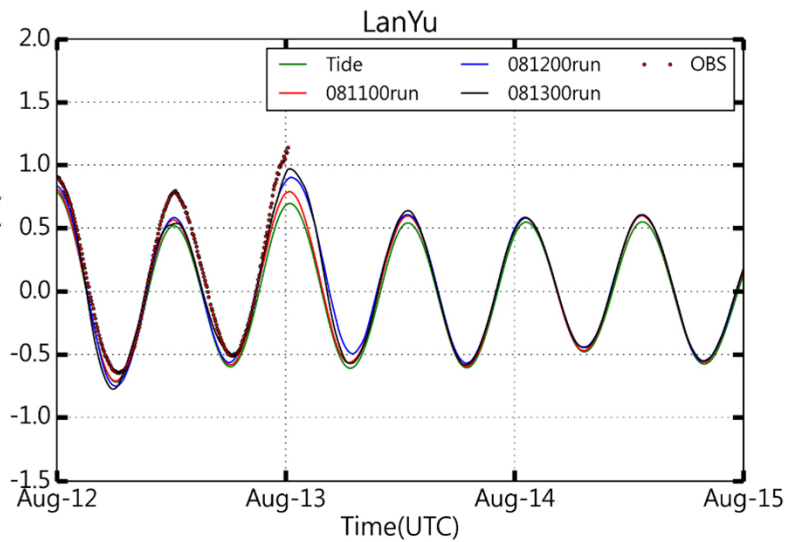
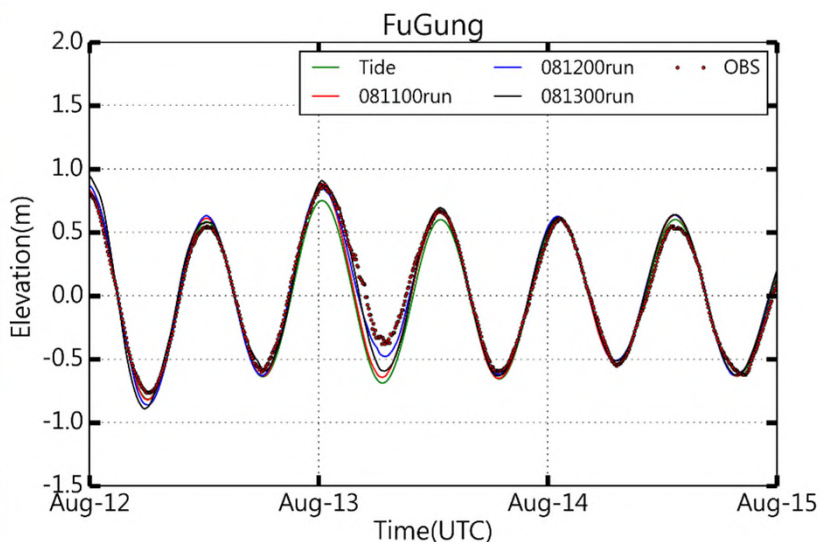
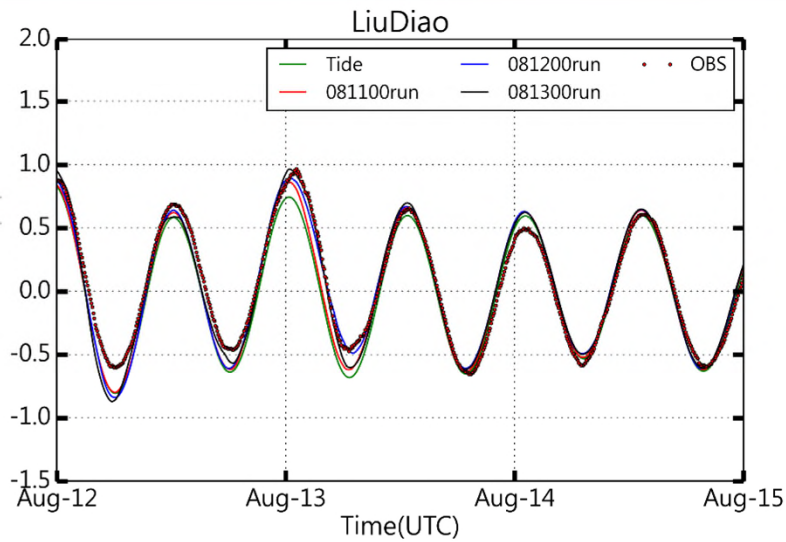
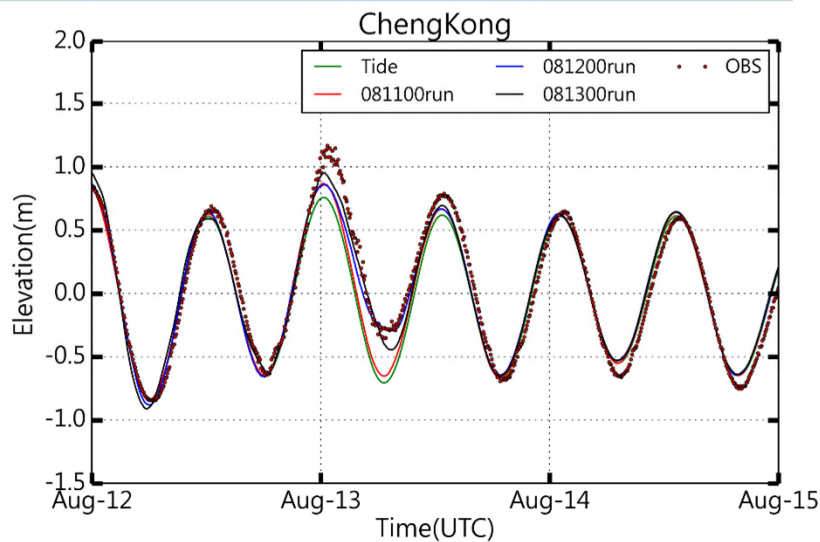
- 7/5清晨丹娜絲颱風於台灣西南方生成，預測路徑將沿北北東方向前進，並於7/6-7/7最靠近台灣本島。
- 根據 WT 模式預測顯示，由於颱風由南向北移動，西南角各測站皆受到不同程度的影響，波高約 6-7公尺，其中，七美測站最高。此外，東沙島受影響時間較其他測站早約1天(7/5-7/7)

三維波潮耦合模式系統波高校驗 – 楊柳颱風

- 颱風形成期間為8/8-8/14，颱風中心從台東登陸，快速穿過臺灣進入臺灣海峽
- 最接近臺灣時間為8/13
- 颱風中心由台東登陸，因為颱風移動速度快，主要影響東部海域區域
- 比對資料：潮位觀測資料、波浪浮標觀測資料、CWA-OCM-WT波潮耦合模式
- 比對資料皆取24小時預報資料進行比對



三維波潮耦合作業化預報系統維護與分析-楊柳颱風水位預報



➤ 在楊柳颱風期間，因為颱風行走速度快，水位並不像丹娜絲颱風時有明顯抬升。

➤ 位於颱風正面風面的成功與蘭嶼測站有較高的水位抬升，而當有較新氣象場所計算的預報，水位都有明顯往上提升的狀況

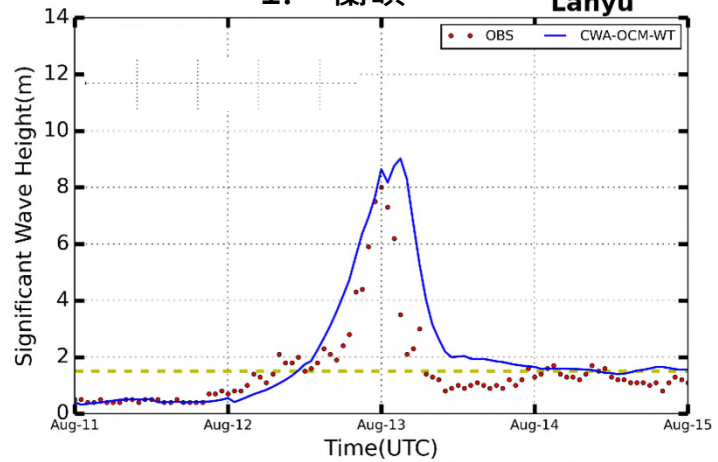
➤ 當颱風引起的波高加上地形的綜合因素，因東部地形變化大且較深，因此水位並無明顯抬升狀況

三維波潮耦合作業化預報系統維護與分析-楊柳颱風波高預報

波高超過**1.5m**，週期超過**8s**之波浪為長浪

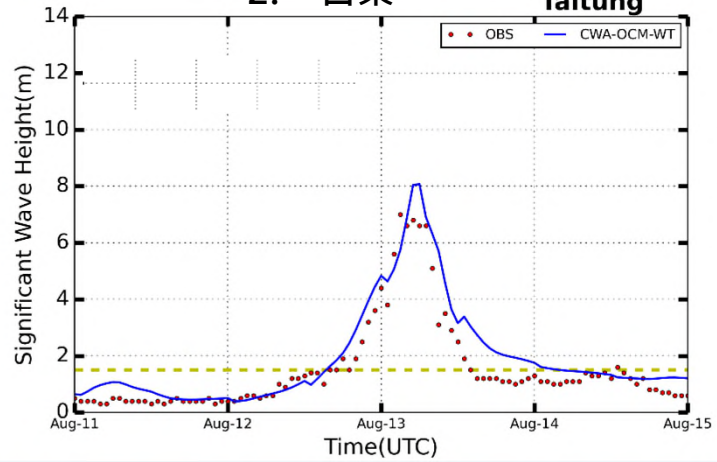
1. 蘭嶼

Lanyu



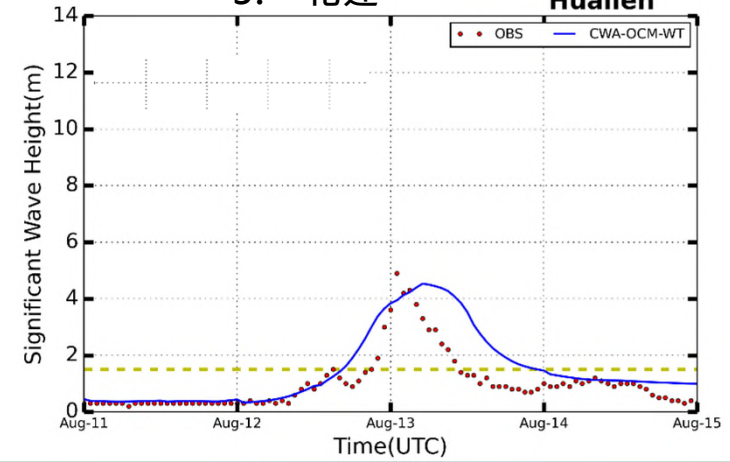
2. 台東

Taitung



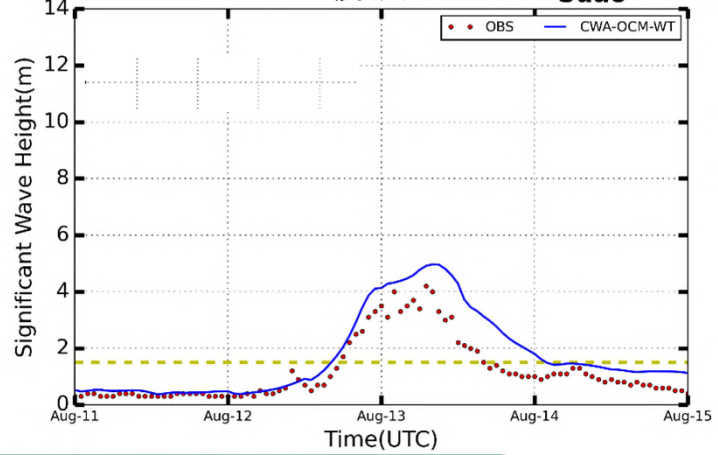
3. 花蓮

Hualien



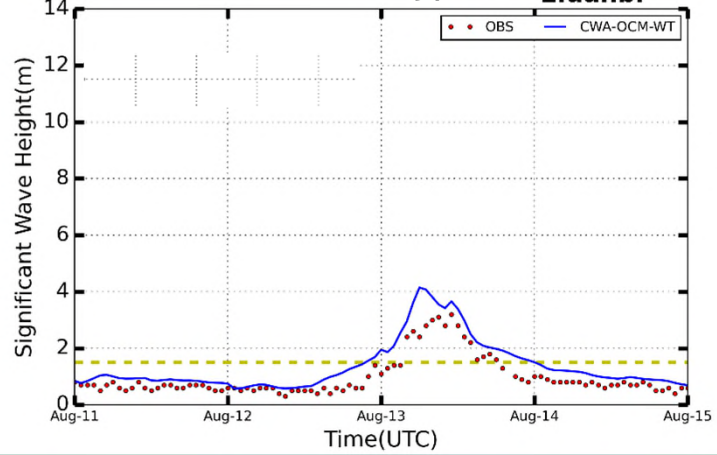
4. 蘇澳

Suao



5. 鵝鑾鼻

Eluanbi



- 8/8楊柳颱風於台灣東邊海域生成，預測路徑將沿西邊的方向前進，並於8/13最靠近台灣本島。
- 根據 WT 模式預測顯示，由於颱風由西向移動，東部各測站皆受到不同程度的影響，蘭嶼與台東波高約 7-8 公尺，其中，蘭嶼測站最高。



結論

- 由波高與水位校驗分析結果呈現，在丹娜絲颱風期間模式模擬的水位會因波浪的影響有明顯抬升，尤其是在東石與將軍位置，因為地形及位處颱風中心路徑上，導致水位抬升明顯，但發生的時間軸會因WRF氣象場的預報差異有所不同
- 楊柳颱風雖然也是中度颱風登陸台灣，但因為其移動較快且登陸地點為東部海域，水深較深且變化大，波浪造成的輻射應力對於東部測站並不明顯，但仍能在成功與蘭嶼測站觀察到因氣壓與風速造成水位的抬升現象
- 兩個颱風對於波浪的模擬極值和趨勢都與觀測相似，但因颱風屬於短期天氣現象，容易短時間內有大量變化，造成模擬上的延遲或差異
- 目前波潮耦合模式已作業化，未來仍持續進行系統的精進，加入海流與溫鹽等的斜壓項計算，更進一步精進模式預報的準確度與應用



簡報結束
謝謝聆聽

波流交互作用 – 波浪對海流影響

► 根據Battjes(1974)定義的不規則波譜，藉此

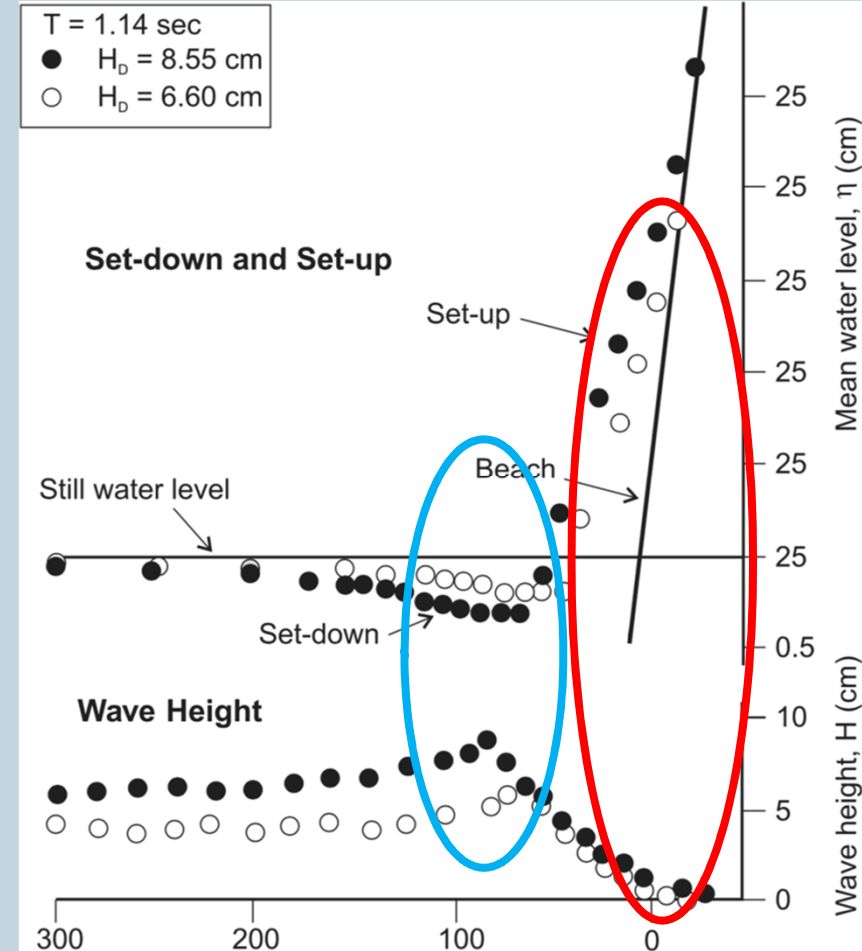
S_{xx} 、 S_{xy} 及 S_{yy} 做為輻射應力分量可表示為

$$S_{xy} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} N_{(\sigma, \theta)} \cdot \sigma \cdot \frac{C_g(\sigma)}{C_p(\sigma)} \sin(\theta) \cos(\theta) d\theta d\sigma$$

$$S_{xx} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} N_{(\sigma, \theta)} \cdot \sigma \cdot \left[\frac{C_g(\sigma)}{C_p(\sigma)} (\cos^2(\theta) + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma$$

$$S_{yy} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} N_{(\sigma, \theta)} \cdot \sigma \cdot \left[\frac{C_g(\sigma)}{C_p(\sigma)} (\sin^2(\theta) + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma$$

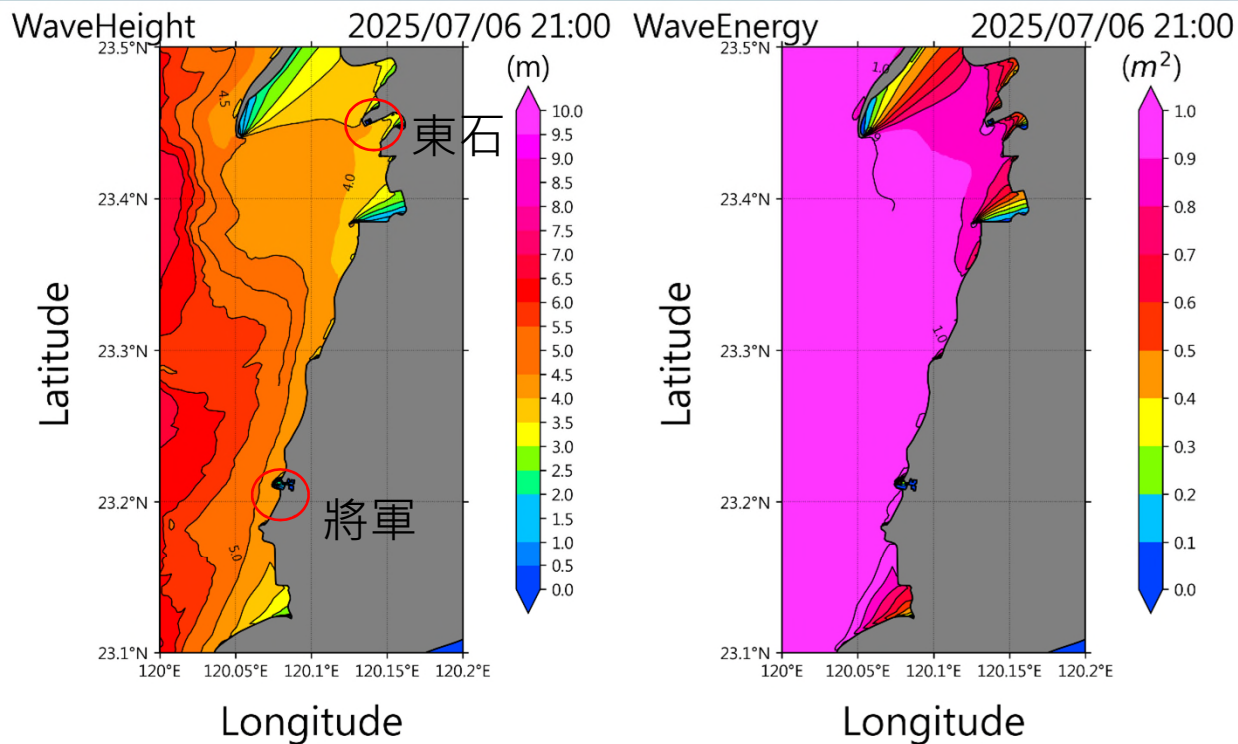
其中 c_g 和 c_p 是群波速度和相位速度



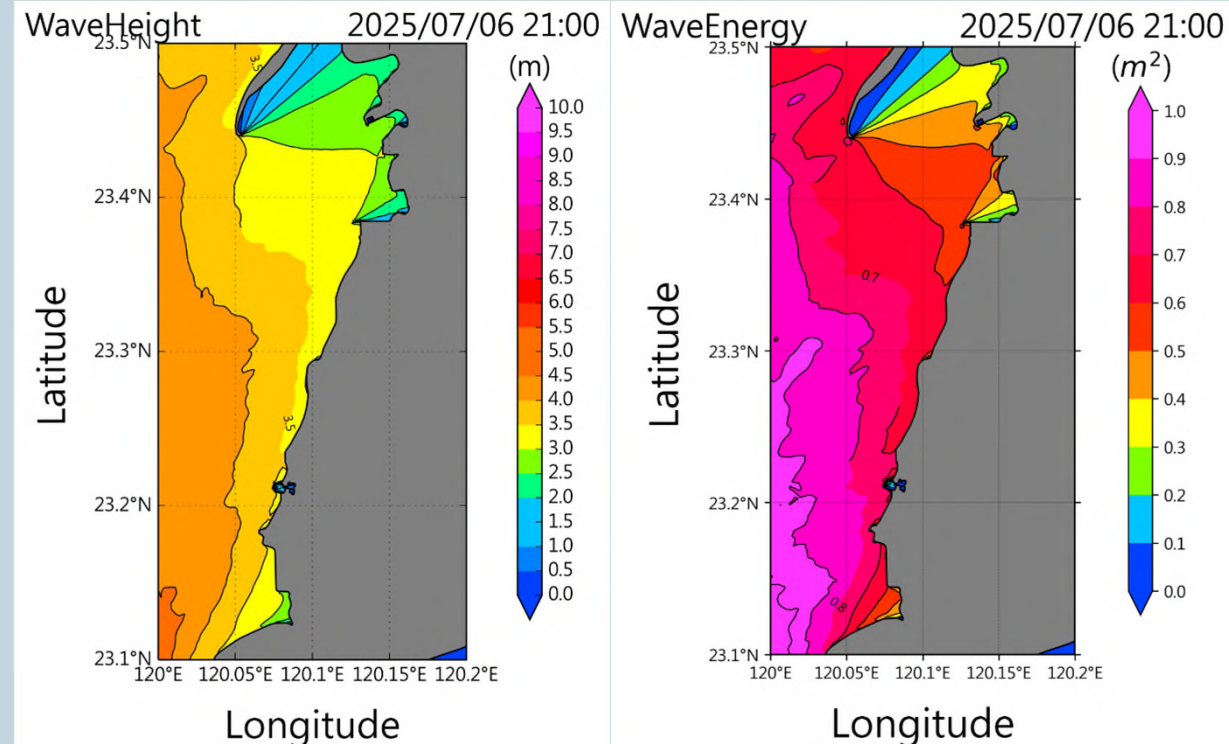
因波浪造成的波揚(wave setup)及波降(wave setdown)(Bowen et al., 1968)

三維波潮耦合作業化預報系統維護與分析-丹娜斯颱風波高變化

2025/07/05 run



2025/07/06 run



- 東石漁港附近有明顯的波浪能量因地形減弱的現象
- 而波浪在2025/07/05run的波高較高，且波浪能量是在港口或地形較淺區直接由 1m^2 以上降至0，故碎波後能量會轉換為水位造成wave setup
- 2025/07/06run則由外海逐漸向近岸遞減，故時序圖上的wave setup也較小