

多源海氣象備援驅動之近岸油污漂移作業化預報

劉育甫 張君名 錢樺 林俊宏

中央大學地球科學前瞻應用研究中心

中央大學水文與海洋科學研究所

台灣中油股份有限公司煉製事業部桃園煉油廠

2021年高雄大林廠漏油事件

2 / 20

6.22凌晨 ▶ **大林煉油廠外海2號浮筒輸油蛇管破裂，約50公秉原油外洩。**

6月22日凌晨2點，賴比瑞亞籍NISSOS RHENIA油輪進行原油輸送時，海上風浪過大內串蛇管第7節破裂，發生原油溢漏。

6.22 ▶ **小琉球發現油污**

海保署成立緊急應變中心
海保署取得衛星影像，使用無人機，及協調空勤總隊有人直升機進行海上監測。

6.23 ▶ **衛星發現小琉球東南方出現約290平方公里油污**

Sentinel-1雷達衛星所發現的油污面積約290平方公里。

6.24 ▶ **衛星發現小琉球東南方出現約197平方公里油污**

Sentinel-2光學衛星所發現的油污面積約197平方公里。
(光學衛星部分油污範圍被雲所遮)

6.26 ▶ **衛星發現屏東車城海岸出現約200平方公里油污**

Sentinel-1雷達衛星所發現的油污面積約200平方公里，接觸到屏東縣車城鄉海岸。

6.27 ▶ **海保署依《海污法》裁罰150萬。**

中油除污船「麥寮海洋號」、「陶油9號」加入除污作業。

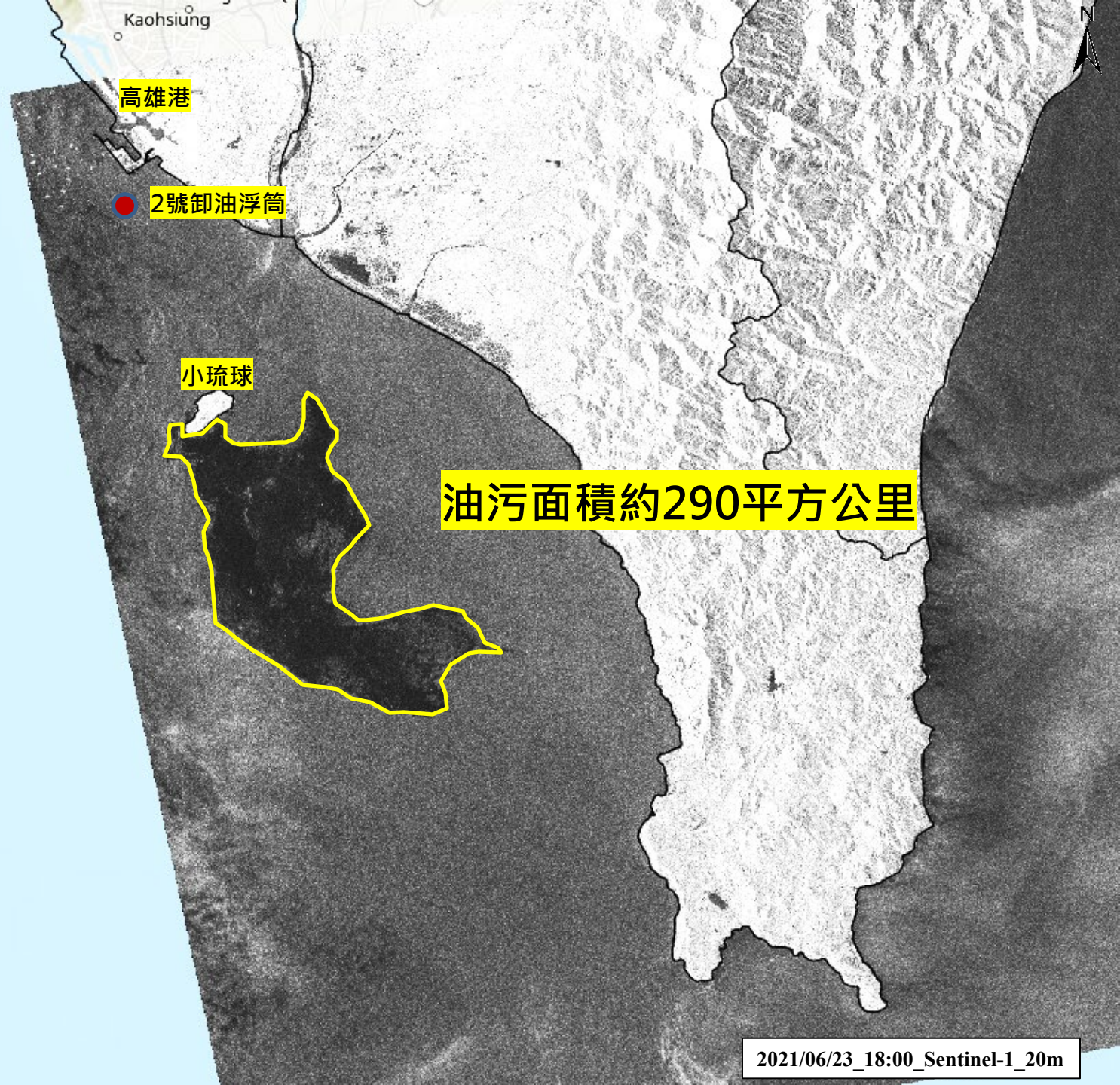
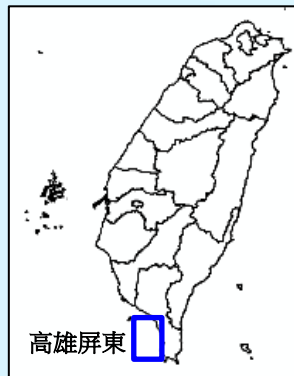
7.01 ▶ **屏東縣環保局依《海污法》裁罰300萬。**

本次事件，小琉球和恆春地區共清除含油污的除污資材和垃圾雜物、漂流物等廢棄物共157.59噸

7.06 ▶ **各單位完成現勘，海保署解除應變中心。**

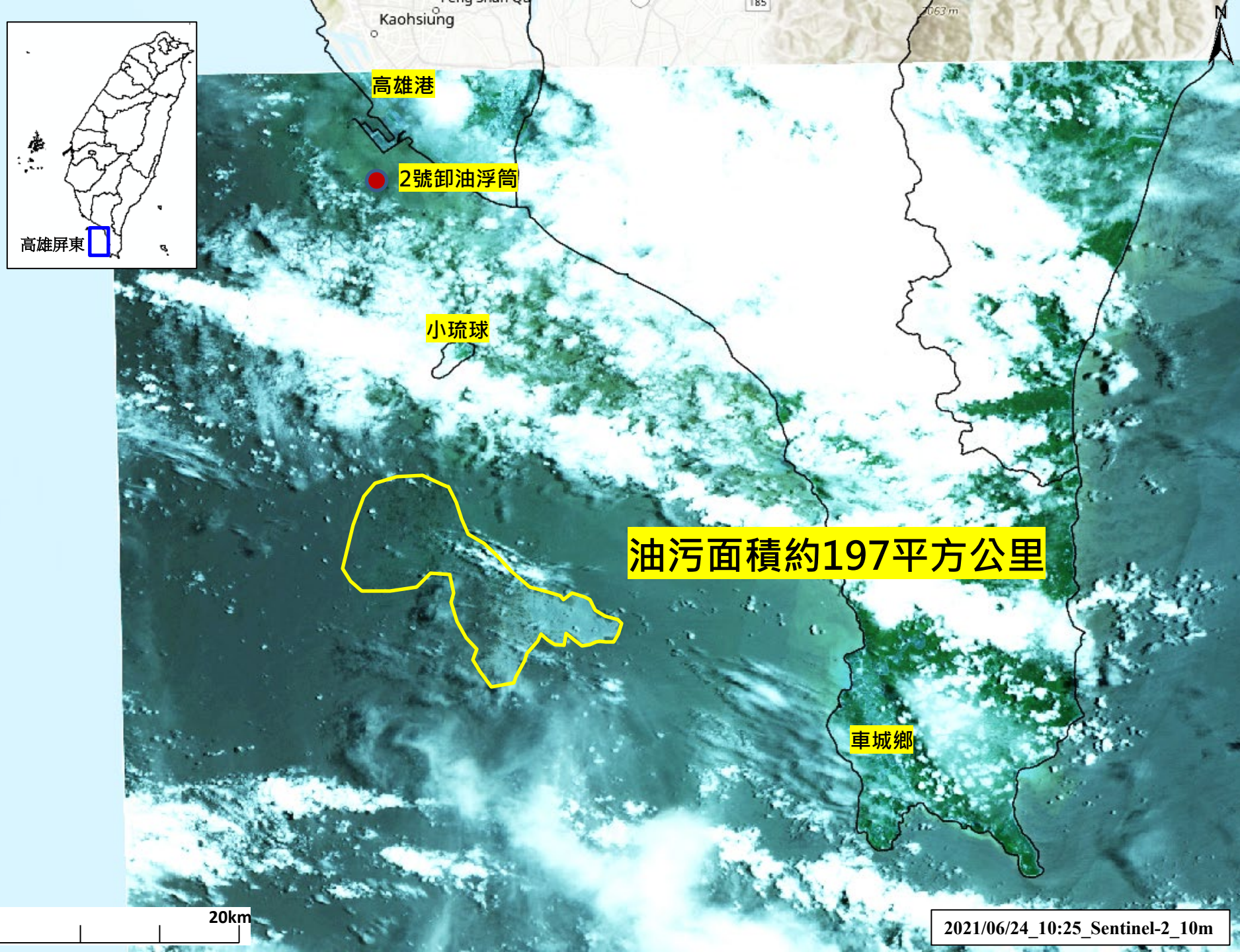
12.07 ▶ **賠償琉球區漁會的漁民逾7000萬元。**

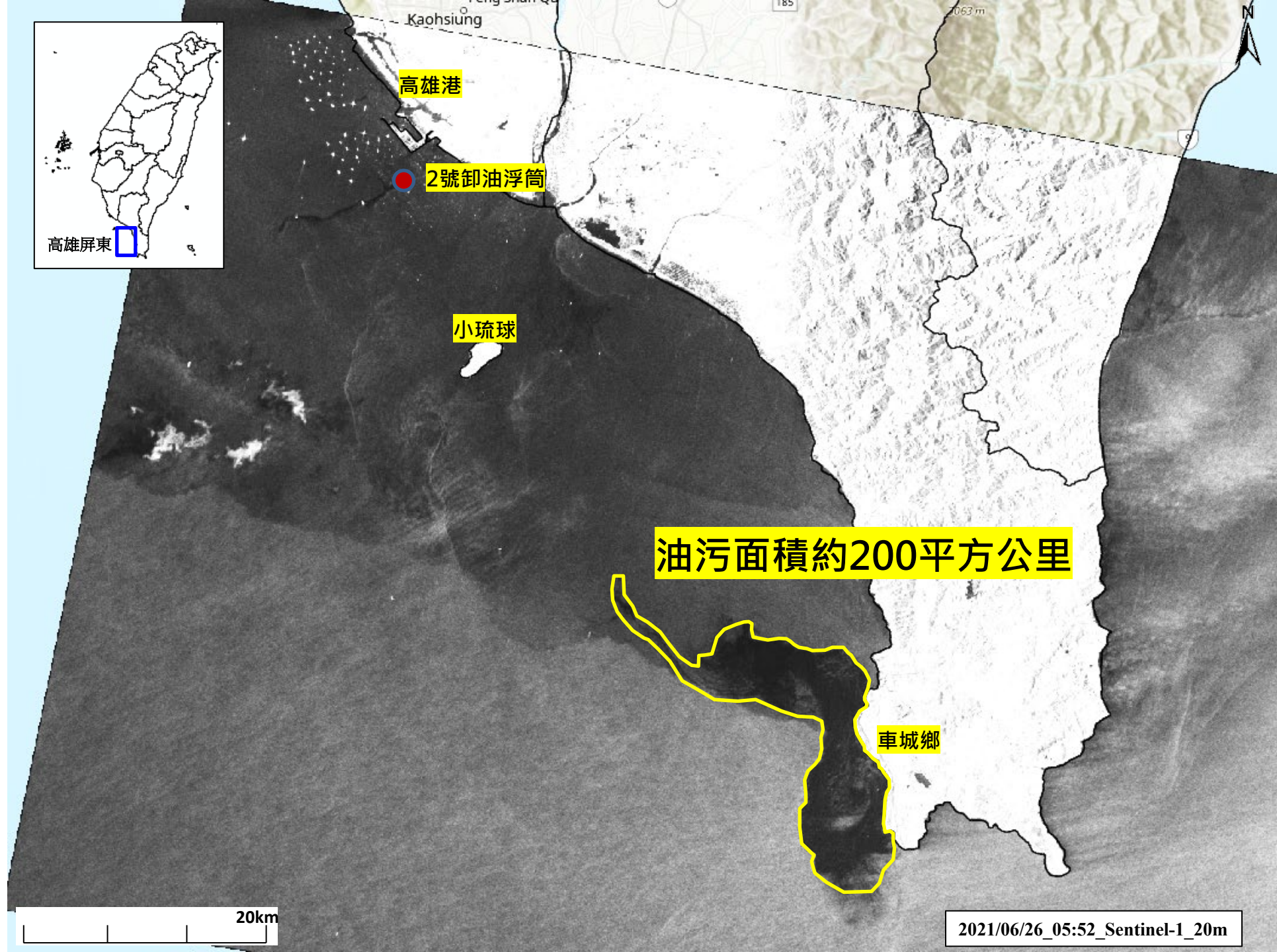




20km

2021/06/23_18:00_Sentinel-1_20m







小琉球中澳涼亭油污面積約
2,000平方公尺。

2021/6/23_12:30_UAV



小琉球中澳涼亭海岸污染清除。

2021/6/23_12:30_UAV



山海漁港

屏東山海漁港至紅柴坑漁港，
油污面積約18萬平方公尺

2021/6/28_14:00_UAV



屏東山海漁港至紅柴坑漁港，海岸污染清除

2021/6/28_14:00_UAV

- ✓ 風險熱點：桃園卸油浮筒是油輪卸油處，也是模擬的假想洩漏點；預報要立即可用，前提是驅動場可信。
- ✓ 驗證要靠實測：近岸缺乏現地實測，模式好壞無從檢驗；本研究於浮筒周邊佈放錨碇式微型資料浮標，建立獨立實測基準。
- ✓ 三步推動作業化：



海上佈放畫面（左）與錨碇式微型資料浮標（右）





波浪實測（微型資料浮標）

錨碇於卸油浮筒周邊（距假想洩漏點 4.8 km）

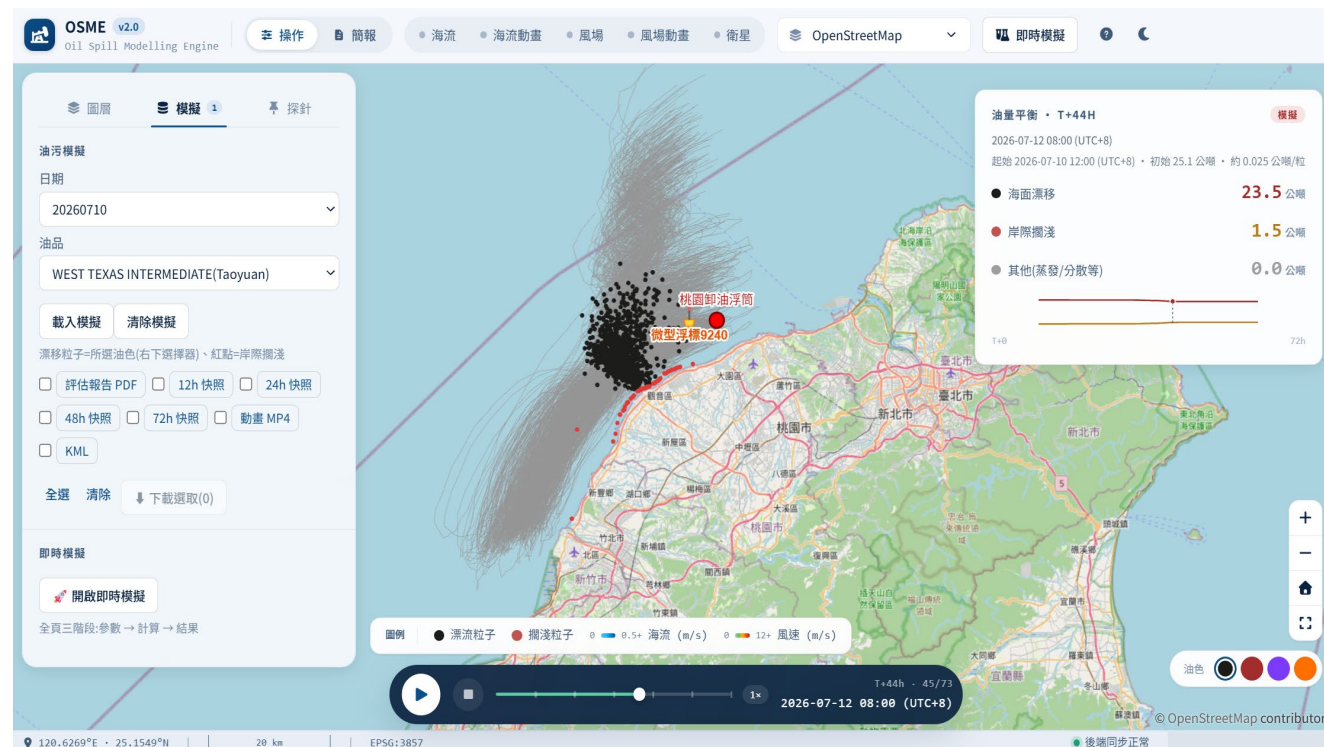
由浮球加速度解算示性波高（Hs），獨立於任何數值模式；品管後 1,029 筆，約每 30 分鐘一筆，實測波高 0.22–5.75 m。



風場實測（氣象署沿海測站）

富貴角浮標、新竹浮標與臺北港北 9 碼頭測站

三站均有真實風速計，合計 2,268 筆；比對期間 2026 年 7 月 1–14 日。



作業平台頁面：紅點為桃園卸油浮筒，旁為錨碇於其周邊的微型資料浮標



使用預報資訊

只用「作業當下可得」的預報版本：取發布時間早於觀測且前置最短之預報值。



防災分期評估

依官方海警時間分期，不自訂門檻：增浪段（海警發布至實測峰值）與峰後衰減段（峰值至警報解除），分別量化偏差。



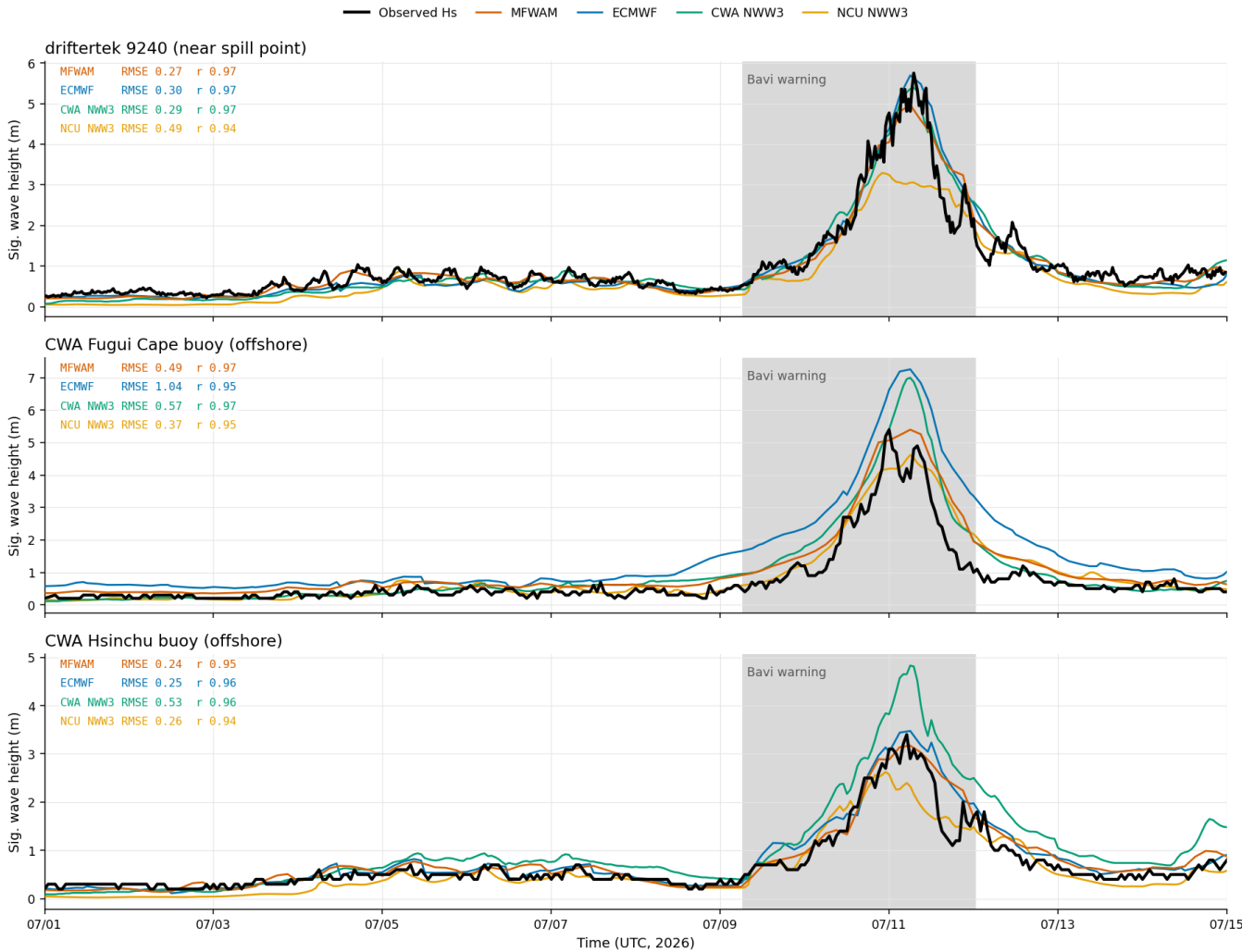
模擬實驗

海警後 5.5 小時起算，模擬 72 小時（25 公噸輕質原油、1,000 個粒子）；風場與海流完全固定，只換波浪來源。

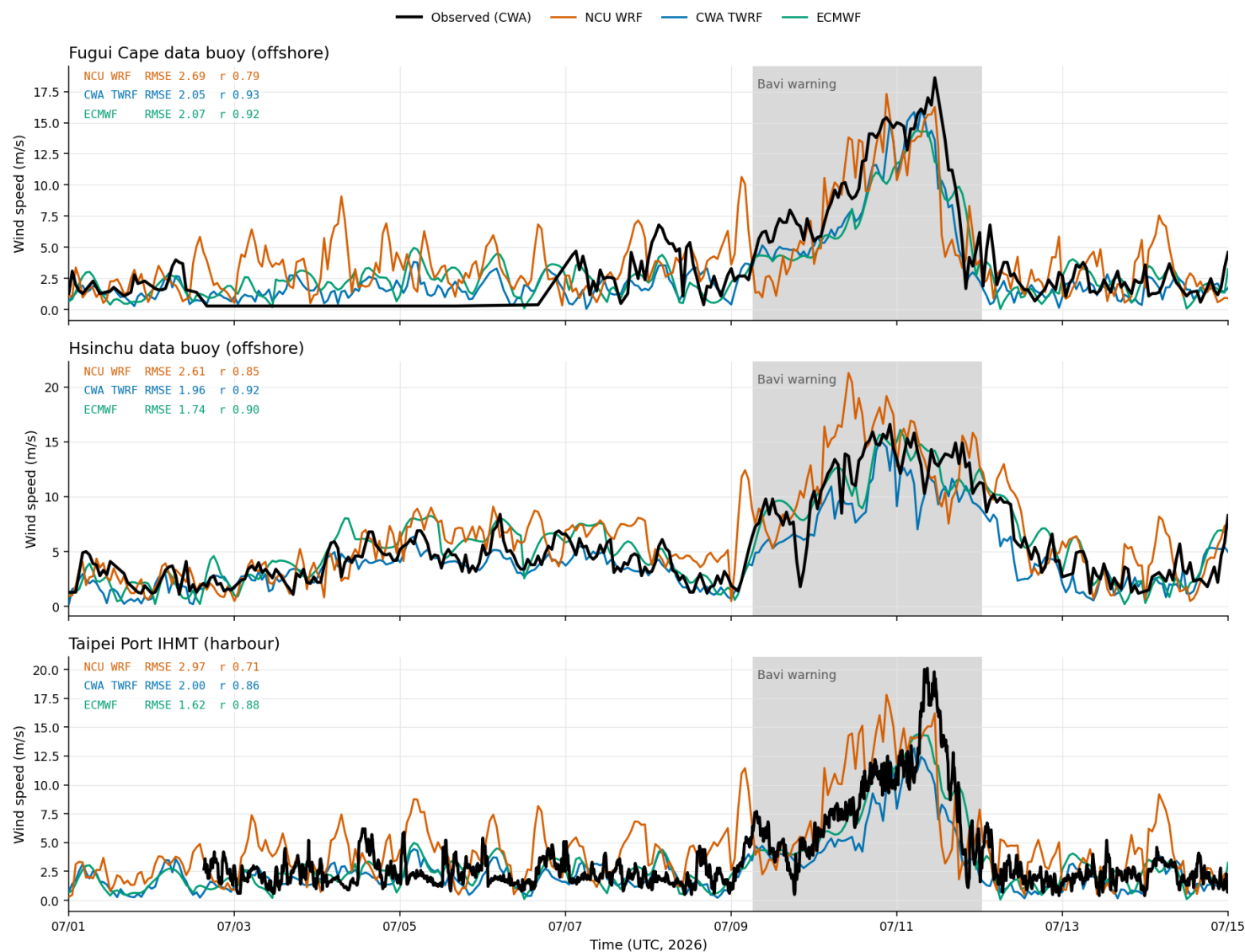
項目	設定
海上颱風警報	7 月 9 日 06:30 至 7 月 12 日 00:30 UTC
波浪實測	微型資料浮標 Hs，品管後 1,029 筆，距洩漏點 4.8 km
風場實測	富貴角、新竹浮標與臺北港北 9 碼頭，合計 2,268 筆
配對原則	發布早於觀測且前置最短，±90 分鐘
模擬實驗	海警後 5.5 小時起算，72 小時，25 公噸，1,000 粒子

波浪預報來源	平均偏差	RMSE	相關係數 r	模式峰值
MFWAM (Copernicus)	+0.03 m	0.52 m	0.941	4.97 m
ECMWF	+0.22 m	0.55 m	0.951	5.69 m
CWA NWW3	+0.12 m	0.49 m	0.951	5.39 m
自產 NWW3	-0.59 m	0.97 m	0.888	3.29 m

- ✓ 警報全期：MFWAM 平均偏差 +0.03 m，四源最小。
- ✓ 增浪段：ECMWF 峰值 5.69 m 最貼近實測 5.75 m。
- ✓ 自產 NWW3：本次峰值偏低（3.29 m），暫列末位備援，持續驗證與改進。

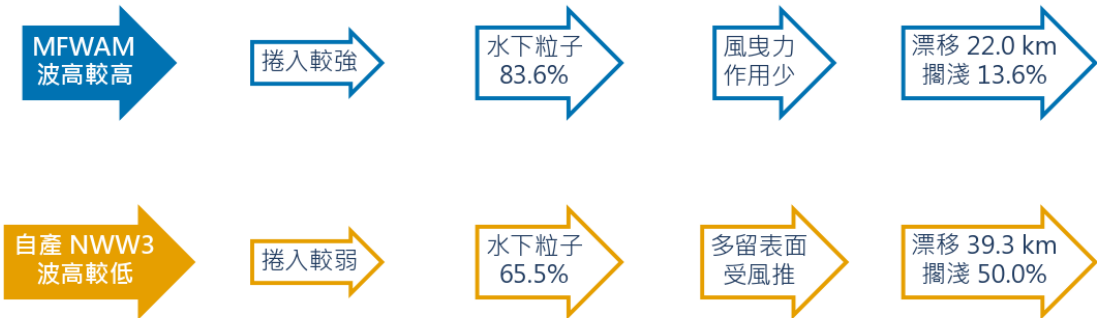


- ✓ 氣象署 TWRF 與 ECMWF 表現相當且穩定。
- ✓ 差異型態：各來源差在**時間相位與變異振幅**，且隨測站而變，無法用單一係數校正。
- ✓ **自產 WRF**：本次偏弱但未達離群，且風場對漂移影響較小，**順位暫不調整**持續驗證。



波浪來源	質心漂移	擱淺比例	水下粒子比例
MFWAM	22.0 km	13.6%	83.6%
ECMWF	36.8 km	47.9%	70.8%
CWA NWW3	24.6 km	25.0%	78.1%
自產 NWW3	39.3 km	50.0%	65.5%

垂直捲入與漂移傳遞路徑



- ✓ 機制：波高越高，破碎能量越強，捲入水下的油粒子越多。
- ✓ 風曳力：油粒子離開表面就不受風曳力，水平漂移反而短、擱淺反而少。
- ✓ 反直覺：「波高偏低＝預報保守」的直覺，經捲入過程會得出相反結論。

(四源中取擱淺最低與最高的兩源；72 小時、1,000 個粒子；僅波浪來源不同)

油滴粒徑參數化穩健性

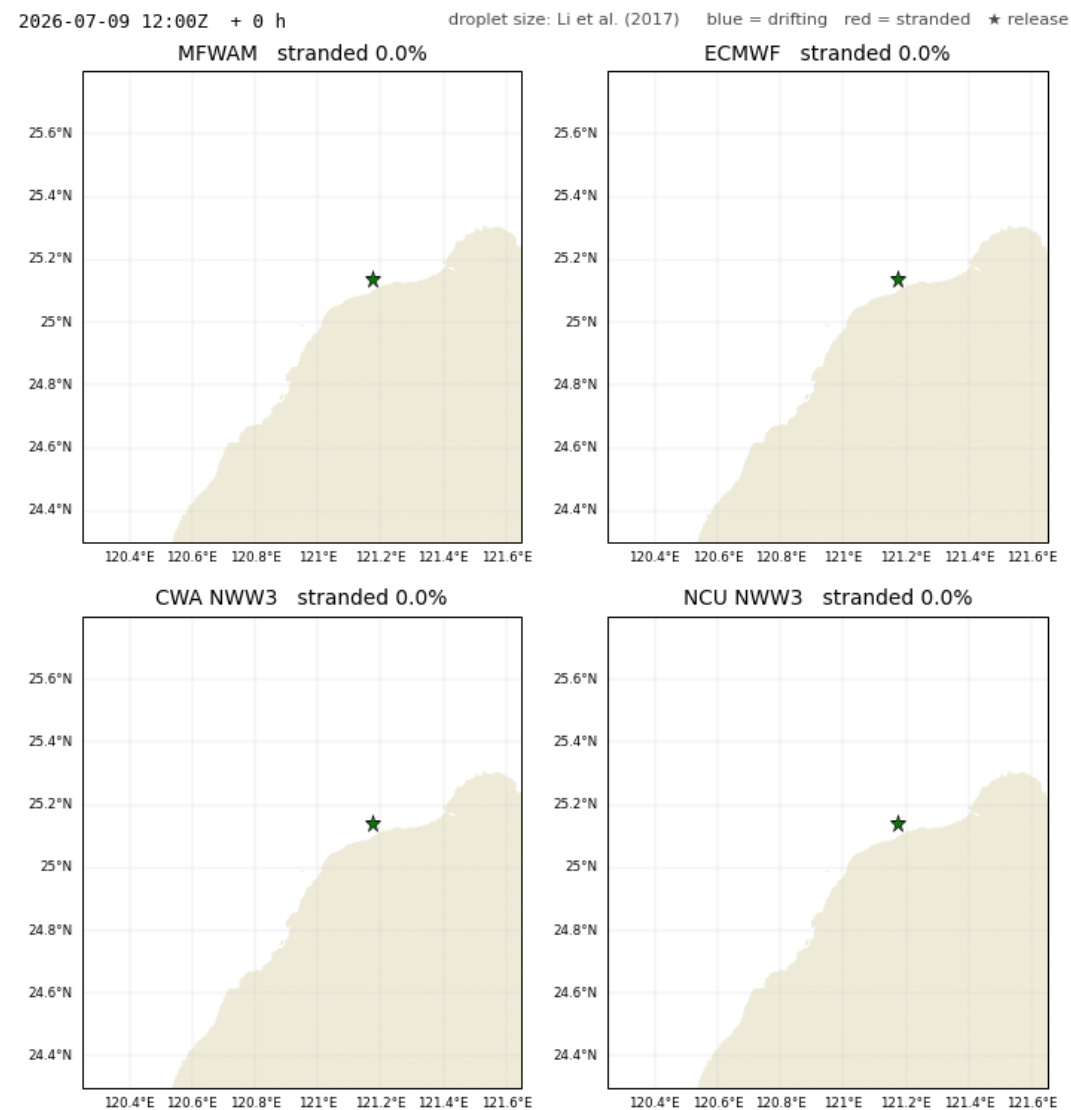
油滴粒徑分布由 Johansen et al. (2015) 換為 Li et al. (2017)，重跑四組波浪實驗：

- ✓ MFWAM：擱淺比例 18.5%（水下粒子 87.4%）
- ✓ ECMWF：擱淺比例 42.0%（水下粒子 78.0%）
- ✓ 自產 NWW3：擱淺比例 58.2%（水下粒子 67.8%）
- ✓ CWA NWW3：擱淺比例 33.0%（水下粒子 81.7%）

換公式後的結果（擱淺比例，%）

波浪來源	Johansen 2015	Li 2017	水下粒子比例
MFWAM	13.6	18.5	83.6 → 87.4
ECMWF	47.9	42.0	70.8 → 78.0
CWA NWW3	25.0	33.0	78.1 → 81.7
自產 NWW3	50.0	58.2	65.5 → 67.8

結論：擱淺排序不變。



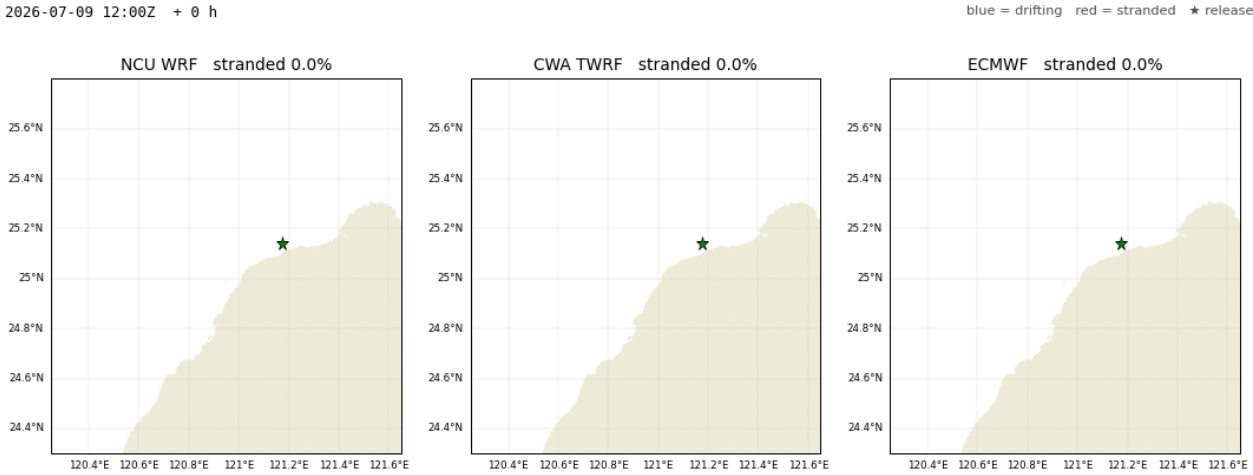
風場敏感度對照實驗

固定波浪場（MFWAM）與海流，僅更換三組風場（自產 WRF、TWRF、ECMWF）：

- ✓ 感受風速平均 11.8–22.2 m/s，差異大。
- ✓ 72 小時質心分離僅 1.2–2.7 km。
- ✓ 擱淺比例差距僅 4.4 個百分點。

風場來源	感受風速平均（m/s）	質心漂移距離（km）	擱淺比例（%）
自產 WRF	22.2	22.1	13.8
TWRF	13.2	21.1	11.9
ECMWF	11.8	21.8	16.3

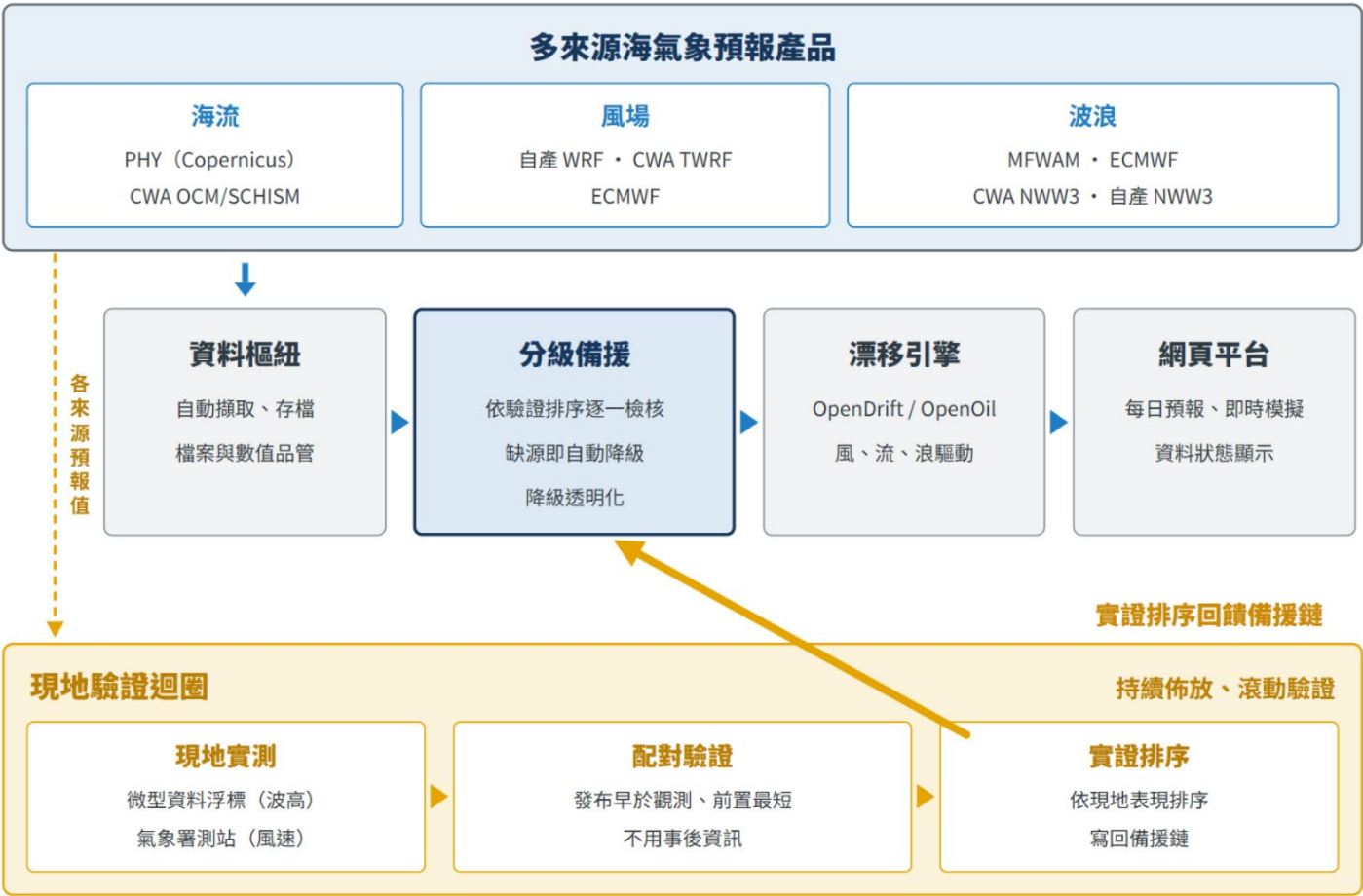
結論：MFWAM 波浪場下粒子多在水下，風場影響被壓縮；風浪誤差不宜分開看。



多源資料樞紐 (Data Hub)
自動擷取、存檔與品管，整合氣象署、Copernicus、ECMWF 與自產模式的風場、波浪產品。

自動分級備援
主要來源缺漏或未通過檢核即自動降到下一順位，順位即驗證結果；例行預報不因缺源停擺。

- 降級透明化三原則**
- 1. 必改狀態標示
 - 2. 必留稽核紀錄
 - 3. 降級不得回報正常狀態



≡ 備援鏈實證重排

波浪順位依驗證調整：
MFWAM → ECMWF → NWW3 → 自產 NWW3。

🌀 自產模式：最後保障

前置時間最短（中位 8 小時，國際來源 15 小時），國際來源中斷時的最後保障；驗證指出改進方向，順位可回升。

🔄 滾動式實測驗證

持續於浮筒周邊佈放錨碇式微型浮標，每場颱風後滾動驗證、更新順位。

變數場	候選來源與作業備援順位
海流 (Current)	Copernicus PHY → CWA OCM/SCHISM
風場 (Wind)	自產 WRF → CWA TWRF → ECMWF
波浪 (Wave)	Copernicus MFWAM → ECMWF → CWA NWW3 → 自產 NWW3