

交通部中央氣象局

委託研究計畫(期末)成果報告修正版

波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置  
前期研究計畫

計畫類別：氣象    海象    地震

計畫編號：MOTC-CWB-109-0-01

執行期間：109年3月6日至109年12月31日

計畫主持人：張恆文

執行機構：社團法人台灣地球觀測學會

中華民國 109 年 12 月 4 日



## 政府研究計畫(期末)報告摘要資料表

|                 |  |        |                     |
|-----------------|--|--------|---------------------|
| 計畫中文名稱          | 波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置前期研究計畫   |        |                     |
| 計畫編號            | MOTC-CWB-109-0-01  |        |                     |
| 主管機關            | 交通部中央氣象局   |        |                     |
| 執行機構            | 社團法人台灣地球觀測學會   |        |                     |
| 年度              | 109  | 執行期間   | 109年3月6日至109年12月31日 |
| 本期經費<br>(單位：千元) | 2,460 千元   |        |                     |
| 執行進度            | 預定 (%)   | 實際 (%) | 比較 (%)              |
|                 | 90   | 90     | 0                   |
| 經費支用            | 預定(千元)   | 實際(千元) | 支用率 (%)             |
|                 | 2214   | 2214   | 0                   |
| 研究人員            | 計畫主持人  | 協同主持人  | 研究助理                |
|                 | 張恆文  | 顏厥正    | 林宛瑩                 |
|                 |  | 劉進金    | 胡哲魁                 |
|                 |  | 徐偉城    | 李科豎                 |
| 報告頁數            |  | 使用語言   | 中文                  |
| 中英文關鍵詞          | 中文：資料同化，波浪預報系統<br>英文：data assimilation，wave forecast system  |        |                     |
| 研究目的            | <p>整體計畫包括區域化資料同化平台移轉建置、菲律賓海域波浪模擬系統建置、藍色公路系統及系集預報系統之運維等。</p> <p>本年度擬引進 NOAA 之波浪資料同化技術並進行測試，包括衛星觀測資料的品管分析、向前因子的建立及 LETKF(Local Ensemble Transform Kalman Filter)同化方法的引進等，並擬定資料同化之系統架構</p> <p>在菲律賓海域波浪模擬系統建置部分，擬協助菲律賓建置三角網格之計算系統，並蒐集衛星資料進行驗證。</p> <p>在藍色公路系統及系集預報系統之運維方面，將持續運維系統的正常運作。</p>  |        |                     |
| 研究成果            | <p>1. 區域化資料同化平台移轉建置: 完成 NWW3 6.07 版之非結構網格測試，其提供顯式計算域切割法及傳統卡套法、隱式計算域切割法等，測試結果顯示隱式計算域切割法所耗的時間最長，而顯式的二種方法十分接近，然而當使用的網格過小時且網格數量太多時，則顯示法的時間間距將縮小，而隱式法可以使用較大的計算時間間距顯示其計算效率。以澎湖海域測試非結構網格的結果顯示，在東北季風期(2018/1)主要浪向來自於北方，澎湖測站並未受到任何遮蔽，使得有無非結構網格的計算差異不大，但三角網格可以解析的區域範圍較大，可以反應出複雜地形，也使得澎湖群島下風處遮蔽</p> |        |                     |

區的範圍較小；2018/8(西南浪向)期間，澎湖測站可能有受到部分遮蔽，使得三角網格的計算結果與規則網格比較之波高偏大、週期偏小，此可能與規則網格點包含島嶼的處理方式，導致波浪能量減少、不同頻率的能量轉換較偏向低頻有關。一如東北季風期，三角網格模擬下風處遮蔽區之範圍較小。然而三角網格的優勢在於解析更清楚的物理現象，尤其在遮蔽區或島嶼之間，但平均增加約 19% 的計算時間，這也是必須評估的地方。完成氣象局 Cluster 之硬體調查，顯示 06 及 12 之硬體資源可能稍微不足，但其會與計算網格之設計有關，目前問題不大。衛星資料部分，已從 CMES 透過 FTP server 逐時下載即時資料至氣象局 cluster，包括波高及風速。資料品管部分，目前資料已達 L3 等級，較先前原始 L2 資料高一級，擬透過研究團隊建立之品管程序進行控管。完成 UMD-LETKF 在 Centos 平台、使用 Intel compiler 之建置及測試。twin experiments 顯示觀測無誤差時，同化後系集平均等於觀測值，使得系集分歧等於 0，而觀測影響範圍約達半徑 1000 公里(2 倍局地影響半徑)左右，且隨緯度增加而減少。當觀測有誤差時，同化後系集平均已較遠離觀測值，系集分歧偏小幅度降低。而 UMD-LETKF 基本上不太佔硬體及記憶體資源。備份策略可以參考系集預報的方式逐月進行備份，而技術評估指標相同於決定性預報的評估指標，但使用系集平均來作為預報值。

2. 菲律賓海域波浪模擬系統建置：已完成建置 2 分之巢狀網格，並進行 ST4f 參數之測試。結果顯示在巴士海峽往西至南海北部、黃海及台灣北部均為正偏差，由於衛星在島嶼間之觀測資料較易受到陸地的影響可靠度較差，故菲律賓群島間的水域之計算結果偏小較多；北緯 30° 以北、北緯 10°、東經 130° 及北緯 20° 至朝鮮半島之 RMSE 較大，菲律賓群島間的水域亦偏大；NRMSE 亦有類似趨勢，但在蘇祿海亦同樣偏大。改善此一偏低情形，可以使用國內 10 公里風場，唯範圍僅及蘇祿海約一半的位置，因此若能延伸預報中心 10 公里風場的範圍，則偏低現象應該會減少。

3. 藍色公路系統及系集預報系統之運維：已開始啟用觀測課的 API，確保藍色公路海氣象預報系統、生活休閒海象預報系統及藍色公路端點校驗系統之正常運轉，且相關的作業化系統及備援系統皆已全數移轉完成。持續確保波浪系集預報展示系統的正常運作，並完成系統移轉到新的 VM 伺服器上，及完成建置英文網頁及增加中英文操作介面切換功能，與 Spread 及 RMSE 圖之自動讀取及展示功能。

|                   |   |
|-------------------|---|
| 具體落實應用情形          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 藍色公路海況系統在 99 年度建置完成並於 100 年 2 月 1 日納入海象 e 化服務系統一般版即時海況模組當中，開始對外服務社會大眾，至今超過 8 年，已有業者、漁民及經常登上研究船隻的學者反應，對該服務的詳細資訊與準確度給予肯定，該系統並準確預報出觀光船「百麗輪」遭遇大浪傷人事件時的海況，也有藍色公路客輪依據藍色公路海象資訊系統的預報來做停駛的決定。</li> <li>2. 在 100 年 11 月 10 日交通部第 1483 次部務會報對於氣象局所開發的藍色公路海象預報系統，在維護海上客輪之安全給予肯定，期勉氣象局要與時俱進，繼續努力。</li> <li>3. 配合中央氣象局於本島及離島間之旅客遊客中心推廣藍色公路電子看板的政策，於產出氣象局首頁藍色公路網頁資訊的同時亦輸出 XML 的資訊供電子看板使用，並於馬公、高雄、馬祖及布袋港旅客遊客中心建置藍色公路電子看板。</li> <li>4. 102 年 5 月中央氣象局與航港局、運研所、台灣港務公司簽訂合作意向書，已於 12 月 1 日起，氣象局全球資訊網提供 20 條國內和兩岸藍色公路海氣象預報，提供港口海域的海氣象觀測及預報查詢。</li> <li>5. 蒐集海峽兩岸客輪航線預報發布平台之 3 條海峽兩岸航線預報，並整合到藍色公路海象預報網頁，提供民眾查詢。</li> <li>6. 透過中央氣象局氣象資料開放平台，提供共 23 條藍色公路 opendata 供民眾下載，分享資料的使用。</li> <li>7. 已在氣象局網頁展示 10 公里網格輸出及大於 2m 波高之機率預報、1/10 超越機率之波高分布等成果，供大眾參考使用。並傳輸系集資料至 Safe see e 平台之系集平均波高展出及船級舒適度之查詢應用，同時提供系集波高及風速至離岸風機施工運維船舶派遣與追蹤決策支援系統，作為海上風力發電施工與運維之參考。</li> <li>8. 在生活氣象預報網頁提供大眾在海水浴場、休閒漁港、海釣及主要港口共 137 個地點逐三小時的海象預報。</li> <li>9. 提供國內外專家學者使用波浪系集預報展示系統中英文網頁，瞭解中央氣象局波浪系集預報的結果與表現。</li> </ol> |
| 計畫變更說明            | (若有)  |
| 落後原因              | (若有)  |
| 檢討與建議(變更或落後之因應對策) |   |

(以下接全文報告)

# 目 錄

|  |           |
|--|-----------|
| 目 錄.....                               | I         |
| 表目錄.....                               | III       |
| 圖目錄.....                               | IV        |
| <b>第一章、計畫概述 .....</b>                  | <b>1</b>  |
| 1-1 計畫背景與目的 .....                      | 1         |
| 1-1-1 計畫背景 .....                       | 1         |
| 1-1-2 計畫目的 .....                       | 2         |
| 1-1-3 計畫重要性 .....                      | 3         |
| 1-2 國內外有關本計畫之研究情況 .....                | 4         |
| 1-2-1 國內作業化預報系統概述 .....                | 4         |
| 1-2-2 國外波浪作業化預報系統概述 .....              | 7         |
| 1-2-3 國外海域資訊作業化系統概述 .....              | 12        |
| 1-2-4 國內海域資訊作業化系統概述 .....              | 14        |
| 1-3 計畫工作項目與內容 .....                    | 16        |
| 1-4 工作流程 .....                         | 19        |
| 1-5 工作時程 .....                         | 21        |
| 1-6 計畫產品名稱及驗收標準 .....                  | 23        |
| <b>第二章、區域化資料同化平台移轉建置 .....</b>         | <b>25</b> |
| 2-1 NWW3 6.07 版 .....                  | 25        |
| 2-1-1 非結構性網格 .....                     | 26        |
| 2-1-2 ww3_uprstr .....                 | 29        |
| 2-2 氣象局硬體資源 .....                      | 30        |
| 2-3 訂定觀測資料篩選機制及建置 .....                | 31        |
| 2-3-1 衛星 .....                         | 32        |
| 2-3-2 衛星資料品管 .....                     | 35        |
| 2-3-3 衛星資料下載 .....                     | 38        |
| 2-3-4 向前因子 .....                       | 40        |
| 2-4 同化方法 LETKF 測試 .....                | 41        |
| 2-4-1 UMD-LETKF .....                  | 41        |
| 2-4-2 向前因子測試 .....                     | 41        |
| 2-4-3 波浪資料同化之 twin experiment 測試 ..... | 41        |
| 2-5 擬定資料同化系統架構 .....                   | 50        |
| 2-6 澎湖海域三角網格計算 .....                   | 51        |
| <b>第三章、菲律賓海域波浪模擬建置 .....</b>           | <b>62</b> |
| 3-1 菲律賓海域規則網格及三角網格之比較分析測試 .....        | 62        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3-2 衛星資料驗證 .....                                  | 65        |
| 3-3 菲律賓波浪預報系統移置規畫 .....                           | 70        |
| <b>第四章、藍色公路與系集預報系統維護 .....</b>                    | <b>71</b> |
| 4-1 藍色公路預報系統維護 .....                              | 71        |
| 4-1-1 運維藍色公路海氣象預報系統 .....                         | 71        |
| 4-1-2 生活休閒旅遊海象預報系統 .....                          | 73        |
| 4-1-3 藍色公路端點校驗展示系統更新運維 .....                      | 76        |
| 4-1-4 透過資料課的 API 讀取浮標觀測資料 .....                   | 77        |
| 4-2 系集預報系統維護 .....                                | 79        |
| 4-2-1 運維系集預報展示系統 .....                            | 79        |
| 4-2-2 介面改善及增加英文網頁 .....                           | 80        |
| 4-2-3 每月更新 Spread 及 RMSE 圖 .....                  | 83        |
| 4-3 系統維護紀錄 .....                                  | 84        |
| <b>第五章、結論與建議 .....</b>                            | <b>86</b> |
| <b>參考文獻 .....</b>                                 | <b>89</b> |
| 附件一、波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置前期研究 109 年度會議<br>記錄 ..... | 96        |
| 附件二、期中審查意見回覆 .....                                | 106       |
| 附件三、期末審查意見回覆 .....                                | 109       |
| 附件四、藍色公路及波浪系集資訊系統維護記錄 .....                       | 112       |
| 附件五、109 年天氣分析與預報研討會_波浪預報偏差修正之研究 .....             | 126       |
| 附件六、政府科技計畫成果效益報告 .....                            | 133       |

## 表目錄

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 表 1、國外作業化系統概述表.....                  | 12 |
| 表 2、期末交付產品名稱及驗收標準.....               | 23 |
| 表 3、不同數值方法在非結構性網格計算之耗時統計.....        | 28 |
| 表 4、WW3_UPRSTR 測試案例.....             | 29 |
| 表 5、執行 LETKF 所需之記憶體資源及時間(觀測無誤差)..... | 42 |
| 表 6、執行 LETKF 所需之記憶體資源及時間(觀測有誤差)..... | 43 |
| 表 7、法國 AVISO 合成衛星資料說明.....           | 66 |
| 表 8、藍色公路與系集預報系統維護紀錄一覽表.....          | 84 |

## 圖目錄

|  |    |
|--|----|
| 圖 1、中央氣象局藍色公路海象資訊系統.....   | 2  |
| 圖 2、WEPS 1.4 範圍(3 層，解析度分別為 45、15 和 5 公里，垂直 45 層).....              | 5  |
| 圖 3、新版 WEPS 2.0 範圍(共 2 層，解析度分別為 15 公里和 3 公里，垂直 52 層).....          | 5  |
| 圖 4、作業化波浪系集預報系統多重網格計算範圍示意圖(二層).....                                | 6  |
| 圖 5、作業化波浪系集預報系統多重網格計算範圍示意圖(三層).....                                | 7  |
| 圖 6、作業化波浪系集預報展示系統(4 天後之驗證).....                                    | 7  |
| 圖 7、URMA 在阿拉斯加州(AK)之 DA 後波高輸出(左上:分析場 右上:背景場 左下:觀測增量 右下:觀測值).....   | 8  |
| 圖 8、URMA 在夏威夷州(HI)之 DA 後波高輸出(左上:分析場 右上:背景場 左下:觀測增量 右下:觀測值).....    | 9  |
| 圖 9、WAVE EPSGRAM 單點系集預報與單一決定性模式預報比較圖(北海,18 JULY 2011, 12 UTC)..... | 10 |
| 圖 10、JWA 波浪資料同化前後比較圖.....  | 11 |
| 圖 11、波浪資料同化的流程.....  | 16 |
| 圖 12、作業化多重網格系集同化預報系統規劃示意圖.....                                     | 18 |
| 圖 13、菲律賓群島.....  | 18 |
| 圖 14、菲律賓 PAGASA 發布 24 小時航行預測區域劃分圖.....                             | 19 |
| 圖 15、計畫之工作流程.....  | 20 |
| 圖 16、NWW3 發展歷史.....  | 26 |
| 圖 17、計算域切割法(左)、傳統卡套法(右).....                                       | 26 |
| 圖 18、SHINNECOCK INLET, NY 之網格分布.....                               | 27 |
| 圖 19、傳統顯式卡套法之波高分布(左:01:00，右:04:00).....                            | 27 |
| 圖 20、顯式計算域切割法之波高分布(左:01:00，右:04:00).....                           | 27 |
| 圖 21、隱式計算域切割法之波高分布(左:01:00，右:04:00).....                           | 28 |
| 圖 22、WW3_UPRSTR 的操作流程.....   | 30 |
| 圖 23、氣象局 CLUSTER 計算平台每日資源使用情形.....                                 | 31 |
| 圖 24、衛星之操作生命週期.....  | 32 |
| 圖 25、OSTM/JASON-3 衛星提供的資料總覽.....                                   | 32 |
| 圖 26、OSTM/JASON-2 衛星最後驗證階段提供的資料規格及準確度.....                         | 33 |
| 圖 27、JASON-3 即時資料下載.....   | 33 |
| 圖 28、SARAL/ALTIKA 即時資料下載.....                                      | 34 |
| 圖 29、SENTINEL-3A 及 SENTINEL-3B 之軌道繞行時間(CYCLE 即繞地球 1 圈).....        | 34 |
| 圖 30、SENTINEL-3A 資料下載(網頁).....                                     | 35 |
| 圖 31、SENTINEL-3A 資料下載(雲端).....                                     | 35 |
| 圖 32、NOAA 觀測資料篩選流程.....  | 36 |
| 圖 33、研究團隊之衛星觀測資料篩選流程.....  | 37 |
| 圖 34、2020/8/24 06 之衛星軌跡(黑:JASON3，灰:SRL，藍:SENTINEL-3A).....         | 37 |

|  |    |
|--|----|
| 圖 35、2020/8/24 06 之衛星波高分布(品管前).....  | 38 |
| 圖 36、2020/8/24 06 之衛星波高分布(品管後).....  | 38 |
| 圖 37、CMEMS 網頁 .....  | 39 |
| 圖 38、CMEMS 之衛星即時相關資料(上:波高、下:波譜).....   | 39 |
| 圖 39、CMEMS 之衛星波高即時相關資料 .....   | 40 |
| 圖 40、NWW3 網格編碼(ACTIVE POINTS)及儲存序列示意圖 .....  | 40 |
| 圖 41、背景場之系集平均(上)及系集分歧(下).....  | 44 |
| 圖 42、分析場之系集平均(上)及系集分歧(下)(無觀測誤差).....   | 45 |
| 圖 43、分析場之系集平均(上)及系集分歧(下)(觀測有誤差).....   | 46 |
| 圖 44、分析場系集平均減去背景場系集平均之波高分布(觀測有誤差).....   | 47 |
| 圖 45、背景場系集平均、觀測點(上)及系集分歧(下)之波高分布 .....   | 48 |
| 圖 46、分析場系集平均(上)及系集分歧(下)之波高分布 .....   | 49 |
| 圖 47、分析場系集平均減去背景場系集平均之波高分布.....  | 50 |
| 圖 48、資料同化系統架構.....   | 50 |
| 圖 49、NWW3 模擬小島嶼存在之能量阻隔及傳輸示意圖 .....   | 51 |
| 圖 50、澎湖海域非結構計算網格及水深分布圖.....  | 53 |
| 圖 51、澎湖浮標位置圖(左:GOOGLE MAP, 右:離非結構網格最近之節點 1819)..53   |    |
| 圖 52、波高比較圖(2018/01/28 18:00)(左:非結構性網格, 右:0.25 度結構性網格)<br>.....   | 54 |
| 圖 53、0.025 度波高比較圖(2018/01/28 18:00)(左上:含第四層非結構性網格, 右<br>上:含第四層非結構性網格放大圖, 左下:不含第四層非結構性網格, 右下:<br>不含第四層非結構性網格放大圖)..... | 55 |
| 圖 54、澎湖浮標測站之波高時序列分布圖(2018/1).....  | 55 |
| 圖 55、澎湖浮標測站之波高比較圖(2018/1).....   | 56 |
| 圖 56、澎湖浮標測站之週期時序列分布圖(2018/1)(模式輸出為平均週期, 測站<br>週期為 TM02).....   | 56 |
| 圖 57、澎湖浮標測站之週期比較圖(2018/1)(模式輸出為平均週期, 測站週期為<br>TM02).....   | 57 |
| 圖 58、波高比較圖(2018/08/31 18:00)(左:非結構性網格, 右:0.25 度結構性網格)<br>.....   | 57 |
| 圖 59、0.025 度波高比較圖(2018/08/31 18:00)(左上:含第四層非結構性網格, 右<br>上:含第四層非結構性網格放大圖, 左下:不含第四層非結構性網格, 右下:<br>不含第四層非結構性網格放大圖)..... | 58 |
| 圖 60、澎湖浮標測站之波高時序列分布圖(2018/8).....  | 59 |
| 圖 61、澎湖浮標測站之波高比較圖(2018/8).....   | 59 |
| 圖 62、澎湖浮標測站之波高比較圖(2018/8)(去除波向大於 270 度).....   | 60 |
| 圖 63、澎湖浮標測站之週期時序列分布圖(2018/8)(模式輸出為平均週期, 測站<br>週期為 TM02).....   | 60 |
| 圖 64、澎湖浮標測站之週期比較圖(2018/8)(模式輸出為平均週期, 測站週期為<br>TM02).....   | 61 |
| 圖 65、澎湖浮標測站之週期比較圖(2018/8)(模式輸出為平均週期, 測站週期為   |    |

|   |    |
|---|----|
| TM02)(去除波向大於 270 度) .....                                 | 61 |
| 圖 66、菲律賓海域初步三角網格分布圖.....                                  | 62 |
| 圖 67、菲律賓海域之水深分布圖.....                                     | 63 |
| 圖 68、X 方向之網格內小島嶼阻隔能量之比例分布圖.....                           | 63 |
| 圖 69、Y 方向之網格內小島嶼阻隔能量之比例分布圖.....                           | 63 |
| 圖 70、菲律賓海域之計算範圍示意圖.....                                   | 64 |
| 圖 71、0.5 度網格全球模式之波高分布(20180106 00UTC).....                | 64 |
| 圖 72、0.25 度網格西太平洋模式之波高分布(20180106 00UTC).....             | 64 |
| 圖 73、2 分網格菲律賓模式之波高分布(20180106 00UTC).....                 | 65 |
| 圖 74、台灣海域模式之全球計算網格示意圖.....                                | 66 |
| 圖 75、波高與衛星波高之 BIAS 分布(上圖為菲律賓海域全球模式，下圖為台灣<br>海域全球模式).....  | 67 |
| 圖 76、2 分網格菲律賓海域之波高 BIAS 分布 .....                          | 67 |
| 圖 77、波高與衛星波高之 RMSE 分布(上圖為菲律賓海域全球模式，下圖為台<br>灣海域全球模式).....  | 68 |
| 圖 78、2 分網格菲律賓海域之波高 RMSE 分布.....                           | 68 |
| 圖 79、波高與衛星波高之 NRMSE 分布(上圖為菲律賓海域全球模式，下圖為台<br>灣海域全球模式)..... | 69 |
| 圖 80、2 分網格菲律賓海域之波高 NRMSE 分布 .....                         | 69 |
| 圖 81、藍色公路海氣象預報系統最新作業化架構(11 月 21 日前).....                  | 72 |
| 圖 82、藍色公路海氣象預報系統現階段備援系統架構(11 月 21 日前).....                | 72 |
| 圖 83、海水浴場預報網頁下方的海象逐 3 小時預報.....                           | 74 |
| 圖 84、新增 8 處休閒漁港的海象預報點檔案格式.....                            | 74 |
| 圖 85、新增生活休閒預報點位執行流程.....                                  | 75 |
| 圖 86、新增與修改共 23 處主要港口與海釣的海象預報點檔案格式.....                    | 76 |
| 圖 87、藍色公路波浪預報校驗系統結果展示.....                                | 77 |
| 圖 88、觀測課 API 使用方式說明 .....                                 | 78 |
| 圖 89、系集預報展示系統顯示波向驗證.....                                  | 80 |
| 圖 90、波浪系集預報展示系統在右上角增加中英文網頁切換功能.....                       | 81 |
| 圖 91、波浪系集預報展示系統英文網頁.....                                  | 82 |
| 圖 92、單點圖波浪及風場圖例英文說明網頁.....                                | 82 |
| 圖 93、系集預報展示系統展示每月新增的 SPREAD 及 RMSE 圖 .....                | 83 |
| 圖 94、SPREAD 及 RMSE 圖檔尚未產生的訊息畫面 .....                      | 84 |

# 第一章、計畫概述

## 1-1 計畫背景與目的

### 1-1-1 計畫背景

我國海洋政策，其中之政策項目「順應氣候變化，預防海洋與海岸災害」，其內容提到「對於氣候變化可能產生之衝擊，應加強研究和國際交流，並整合海陸空偵防能力，研擬順應氣候變遷和因應海洋災害之體系，以減少民眾和自然資源之損失」。因此在交通部民國99至102年度中程施政計畫中有關於提升氣象服務水準，為了因應國內社會環境變遷及民眾對政府天然災害預警能力之要求日益提高等需求，有必要提供優質之氣象資訊項目；交通部中程施政計畫民國102至105年度強調優化預報技術能力，提供多元精緻氣象服務之重要；交通部中程施政計畫民國106至109年度，在第五、「郵電氣象與時俱進，貼近民眾生活需求」項目中，亦強調強化氣候變遷監測及短期氣候預測能力，提升地震速報、定量降雨與即時預報的作業能力、建立本土化災害性天氣量化指標；中華民國科學技術白皮書(民國100年至103年)第三章科學技術發展遠景與策略之第二節「策略五、整合災害防救科技，增進人民幸福安全」之內容亦提到，加強災害防救科技之研發，提升社會整體抗災救災能力，推動各類災害之預警系統計畫，藉由衛星觀測資料以及資通訊技術，整合氣象、海象、地質觀測資料，及早建立災害之預警系統。中華民國科學技術白皮書(民國104年至107年)，交通部的部門目標第7點，亦明定「強化海象觀測設施與預報技術，提升海象測報能力」。

故推動發展中央氣象局所研提之「發展鄉鎮逐時天氣預報系統」，以提高數值預報之時空精緻分區及逐時預報技術，其中在風浪預報方面，在2011年已建置完成臺灣四周海域10公里及2.5公里之多重網格(multi-grid)預報系統，提供藍色公路海象資訊系統之波浪資訊。

然而數值預報受到物理現象參數化、數值方法等的限制下，且在缺乏足夠的觀測資料情形下，數值波浪預報仍然存在著許多誤差，且這些誤差與預報時間成正比。資料同化為改善模式預報精度的方法之一，整合模式及觀測資料以得到最佳起始值的方式，已成了海象資訊預報作業單位所必須採用的方法。從Komen(1985)最早進行波浪資料同化的試驗開始，迄今已發展近35年，受限於觀測資料的取得不易，發展並不普遍，而使用的觀測資料從ERS-1之高度計(altimeter)、SAR (Synthetic Aperture radars)、HF radar、浮標等，同化的變數分為衍生變數(如示性波高)及波譜二種，而同化的方法主要以序列法(sequential)為主，使用的波浪模式包括NWW3(NOAA WAVEWATCH III)、SWAN(Simulating Wave Nearshore)、WAM(Wave prediction Model)等。

藍色公路預報功能自2011年2月1日對外服務以來已經屆滿9年，相關業者、漁民及經常登上研究船隻的學者反應，對該服務的詳細資訊與準確度給予肯定，該系統並準確預報出觀光船「百麗輪」遭遇大浪傷人事件時的海況，也有藍色公路客輪依據藍色公路海象資訊系統的預報來做停駛的決定。在2011年11月10日交通部第1483次部務會報，對於氣象局所開發的藍色公路海象預報系統，在維護海上客輪之安全給予肯定，期勉氣象局要與時俱進，繼續努力。氣象局與航港局、運研所、台灣港務公司簽訂合作意向書，在2013年12月1日起，氣象局全球資訊網已提供20條國內和兩岸藍色公路海氣象預報，並在運研所網站提供港口海域的海氣象觀測及預報，由此可知藍色公路海象預報的需求性高，更彰顯系統的持續與功能加強的必要性。透過海象測報中心及本工作團隊的努力，2015年藍色公路海氣象預報航線已增加到23條，並延長預報時間到48小時及增加波浪週期的預報，2016年再新增1條達到24條，2018年含大陸提供的兩岸航線達到33條，透過不斷的更新與改善，藍色公路海氣象資訊系統將會更為社會大眾所使用與依賴，在提升航安及推廣海域活動方面發揮功效。



圖 1、中央氣象局藍色公路海象資訊系統

### 1-1-2 計畫目的

為提高決定性波浪預報之準確度，擬結合即時的觀測資訊(例如浮標、衛星觀測等)，本計畫擬技術引進NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)架構於NWW3模式之波浪資料同化(Data Assimilation, DA)預報系統，使其可以有較佳之起始值，產出較準確之預報資訊，本期為先期計畫主要測試移轉NOAA的程式，使其可以在氣象局的計算平台上使用。NOAA主導之同化系統使用LETKF(Local Ensemble Transform Kalman Filter)法，配合同化技術

的開發，在新版NWW3 6.07版開發相關的程式，作為系集預報與不同系集成員連接之用，同時開發觀測資料的品管及篩選機制，與模式結合之向前因子等。

菲律賓大氣地球物理和天文服務管理局 (Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration, PAGASA)過去均與氣象局海象中心有交流合作，分別於2018年及2019年共5人次參加海象業務訓練課程，過去PAGASA之預報資訊來自於日本，本年度將首度為其建置菲律賓海域的預報模式，後續再依據其預報資源建立預報系統。

此外為因應藍色公路波浪預報、系集預報產品(波高大於2m之機率及1/10超越機率之波高分布)等的業務需求，現有海象測報中心的「波浪系集預報系統」、「藍色公路海象資訊系統」均需進行系統的維護及系統功能更新的工作。

### 1-1-3 計畫重要性

政府在解嚴之後，積極規劃開發沿海的遊憩設施，除了農委會積極規劃漁港的轉型外，交通部除了積極推動濱海公路的興築外，也責成觀光局陸續強化或新增各海岸風景區管理處的功能。其目的不外是配合海島型生活圈，培養及吸引人們從事海上或近岸的遊憩休閒，喚醒人們應有的親近海洋的本性。

而隨著相關觀光計畫之推動，有更多的民眾走向海洋、親近海洋，例如「2011大鵬灣國際帆船邀請賽」於6月4日開始舉辦大鵬灣橫渡小琉球賽事，各型風帆船艇超過2百艘以上，堪稱國內規模最大、參賽國家最多的國際帆船賽事，而當時即由氣象局提供航線上之預報波浪資訊。而藍色公路的發展、臺灣澎湖海底電纜的鋪設、航行船隻的管制出港及未來離岸風力發電的發展，都顯示出對於波浪預報資訊的殷切需求及重要性，例如在民國99年8月8日，臺中海洋拉拉號從馬公出發前往臺中港，船艙跳板遭浪浪嚴重破壞，所幸300名遊客均平安抵達臺中港，該事件後來在2011年3月8日遭監察院通過並公布委員提案，糾正交通部，認為交通部對航管與安檢有嚴重疏失，其中有關海況方面，指出已超過船隻航行安全卻仍予以放行出航，而民眾都更加關心在臺灣週遭海域波浪監測、預報及資訊傳遞方面的情況。2011年6月11日受到已轉為熱帶性低氣壓「莎莉佳」外圍環流的影響，海上風浪依舊很大，嘉義縣布袋港與澎湖縣馬公港間觀光船「百麗輪」，載著178名觀光客由布袋港出航後25分鐘，就遇到大浪，整艘船劇烈搖晃，不慎造成船上22名乘客受傷。根據氣象預報資料顯示，事發當時海上最大陣風10級、浪高最高12.5公尺，藍色公路預報顯示10時有2.3米的浪高（有義波高），準確預報出當時瞬間非常有可能有3米以上的大浪。船上旅客抱怨，百麗輪第一時間並沒有折返，而是選擇開到澎湖後才將受傷旅客送醫，處置失當。2017年4月22日，花嶼籍聯得利2號漁船非法載滿21位民眾，甫駛出花嶼港，因外海風浪過大，導致2名乘客落海後不治。

最近幾年的海上活動更是頻繁，2013年4月21日南灣長泳發生意外，鵝鑾鼻海域吹起8級陣風，海況瞬間改變，造成1死7送醫的悲劇，2019年「蘭陽海上長泳-迎向龜山」，不料卻因

突起南風及不熟悉海況發生意外，多名泳客因體力透支急需送醫，造成1人在外海昏厥後不治。其他類似活動例如2011年泳渡澎湖灣6000M海上長泳、2012年綠島海上長泳、2014年7月6日台東之美長泳嘉年華、2015年6月7日蘭陽海上長泳、2015年5月16日綠島D2長泳、2015年台灣國際衝浪公開賽在台東金樽盛大舉行、2015澎湖帆船賽等，許多活動都已變成每年固定舉辦的海上活動，例如2019年已經第七屆的澎湖島帆船週、2019臺灣國際衝浪公開賽舉辦邁入第9年、2019年第17屆金門海上長泳，都使得提供更準確的預報資訊變得更為重要。

然而面對這樣嚴厲的需求（牽涉到人民生命財產安全），提高單一模式的預報能力已經刻不容緩，因此推動資料同化及系集預報方面的研究以強化產品的可靠度，才能準確地預報臺灣四周海域之實際海氣象狀況，並將之作業化、強化通報系統才能隨時提供海域觀光遊憩、藍色公路、防救災及航行安全之應用，使海象資訊充分發揮功效。

## 1-2 國內外有關本計畫之研究情況

### 1-2-1 國內作業化預報系統概述

目前國內尚未有任何波浪資料同化之作業化預報系統，然而國內在波浪資料同化的研究，包括陳(2005)使用OI(Optimal Interpolation)法及SWAN模式同化浮標之示性波高及週期，范(2008)、范等(2014)則使用OI法及SWAN模式同化浮標之波譜等。

在系集波浪預報部分，目前氣象局已於2014年6月完成國內第一個作業化的波浪系集預報系統，同時於2015年完成展示系統的建置，該系統之風場驅動來自於氣象局的區域系集預報系統，以下就這二套中央氣象局的系集作業化預報系統的發展概述如后。

#### (1) 氣象局區域系集預報系統

中央氣象局於2011年建立了一套區域系集預報系統，此系統使用WRF(Weather Research and Forecasting)三維變分資料同化技術製造初始場擾動，再搭配邊界擾動和物理參數法擾動，藉由校驗系統產生有效且合理的系集預報成員(ensemble member)以及預報產品（如表1所示）。使用之WRF版本為WRF v3.1.1版；WPS(WRF preprocessing system)版本為WPS v3.2；WRF三維變分資料同化系統則使用WRFDA(WRF Data Assimilation)v3.2版。系統使用3層巢狀網格，計算範圍如圖2，水平解析度設定為45/15/5 km，垂直解析度設定為45層，模式頂層為30 hPa。此系統每12小時會產生20個系集預報成員，進行72小時預報（每3小時輸出一次）。而系集成員產生方式使用了初始擾動、邊界擾動和模式擾動，其中初始擾動採用NCEP(National Centers For Environmental Prediction)GFS(Global Forecast System)資料，透過WRF三維變分法加入隨機亂數，產生20

組擾動初始場；而邊界擾動則是由NCEP全球系集預報系統(Global Ensemble Forecast System)獲得擾動邊界條件；模式擾動是由不同之模式物理參數法之設定產生。

後續在2012年改成v3.3.1版，同時將此系統改為每6小時執行一次，此外在輸出部分，Domain 3改為逐時輸出。而初始擾動改採用CWB WRF決定性預報資料，另在102及104年分別更改模式的物理參數的設定。該系統在2016年4月之初始擾動改採用CWB EAKF產生的資料。2017年9月將原本3層巢狀網格改成2層巢狀網格，而水平解析度為15/3 km，如圖3所示。

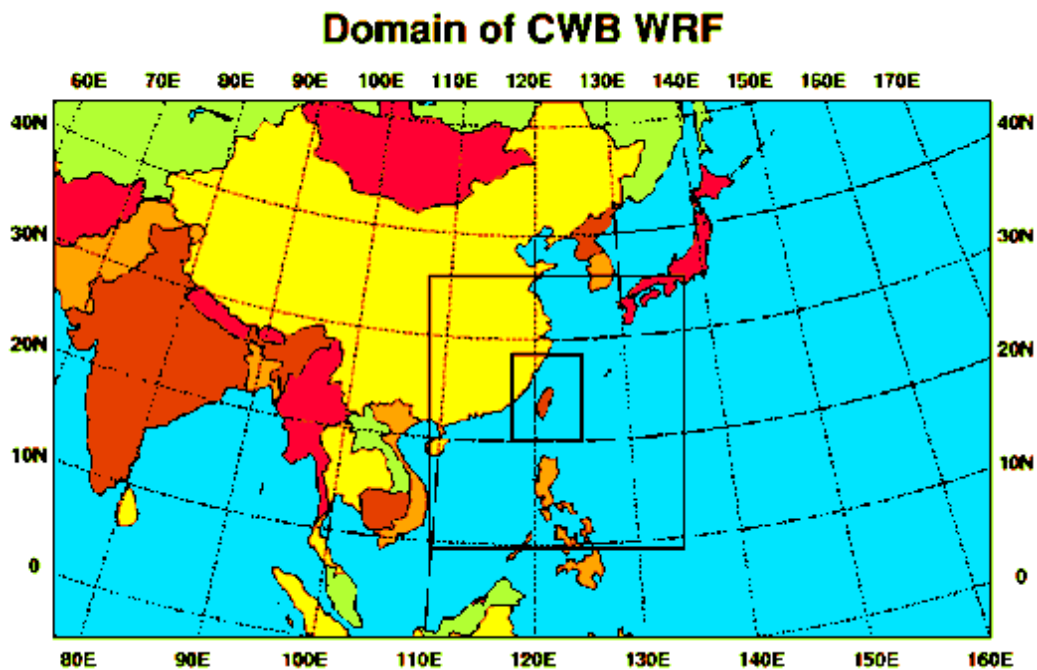


圖 2、WEPS 1.4 範圍(3 層，解析度分別為 45、15 和 5 公里，垂直 45 層)

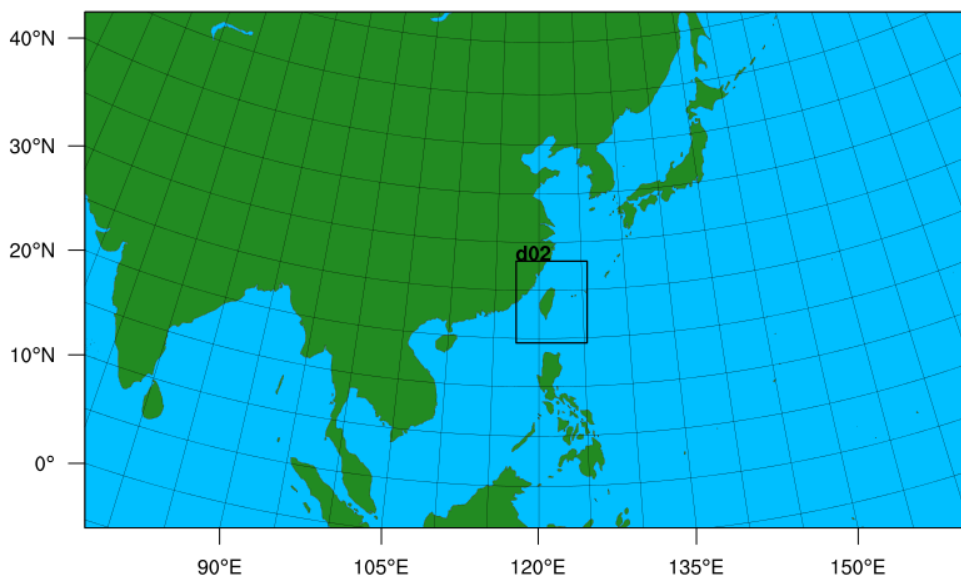


圖 3、新版 WEPS 2.0 範圍(共 2 層，解析度分別為 15 公里和 3 公里，垂直 52 層)

## (2) 氣象局波浪系集預報系統

中央氣象局於2014年建立了一套多重網格波浪系集預報系統，此系統使用NWW3模式v.3.14版建置，並利用多重網格技術，考量網格間的雙向交互作用，系統使用二層巢狀網格，水平解析度設定為0.25度及0.1度，其計算範圍如圖4所示，共有20個系集成員，其風場驅動來自於氣象局之系集預報風場，為了擴大系集分歧以便較能涵蓋模式預報的不確定性，一半系集成員採用WAM4之風場公式，另一半系集採用Tolman公式。此系統已經自2014年6月開始進行作業化預報，每天進行4次。

為方便預報員進行系集預報結果的判釋，同時於2015年建置完成系集預報結果展示系統。系集預報展示系統可以讓預報員透過網際網路即可輕易看到作業化系集預報的結果。該系集展示系統可以讓使用者檢視20張系集圖、機率圖、Spaghetti圖、1/10超越機率圖、系集分歧、系集平均圖及單點圖等。

2017年配合WEPS 2.0的修正，並因應近岸測站進行網格加密修正，從原二層網格(0.25°、0.1°)變為三層網格(0.25°、0.1°、0.025°)，如圖5所示，且系集成員亦由原20個增加為24個（增加使用NCEP及JMA風場），同時於3天後產生該的預報的驗證結果。2018年建置過程解決了衍生的問題，包括幾個測站的系集平均擾動、系集風場前6小時熱機時間的錯用、SPRD的低估等，2018年11月開始穩定運作。2019年並將預報延長時間至96小時，4天後的驗證包含波高、波向及週期（圖6）。

目前氣象局網站已輸出大於2m波高之機率分布圖；並提供氣象局網站safe see e平台之系集平均波高展出及船級舒適度之查詢應用；同時提供系集波高及風速至離岸風機施工運維船舶派遣與追蹤決策支援系統，作為海上風力發電施工與運維之參考。

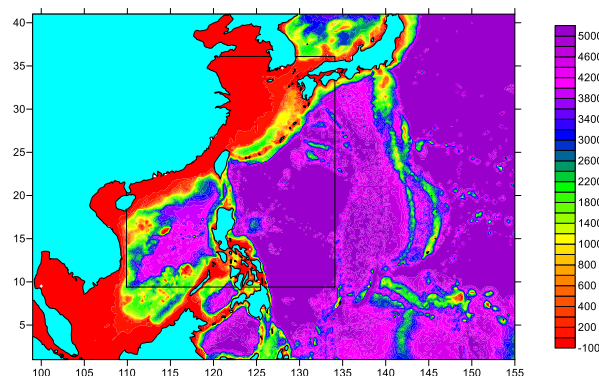


圖 4、作業化波浪系集預報系統多重網格計算範圍示意圖(二層)

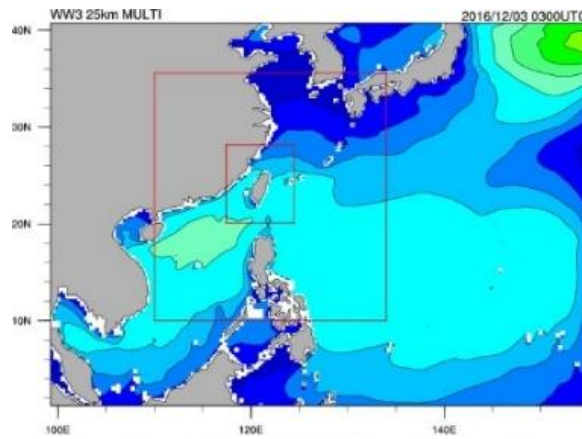


圖 5、作業化波浪系集預報系統多重網格計算範圍示意圖(三層)

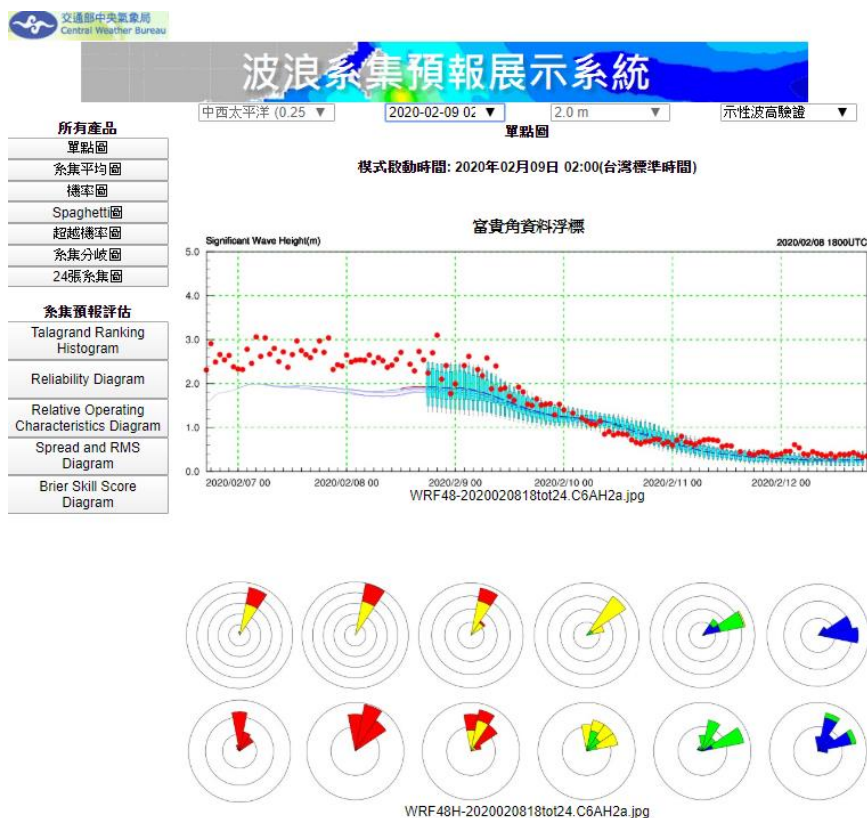


圖 6、作業化波浪系集預報展示系統(4 天後之驗證)

## 1-2-2 國外波浪作業化預報系統概述

### (1)NCEP (National Centers for Environmental Prediction)

NOAA 主導之 DA 計畫，其中在區域性應用的部分，主要是建置在 GSI (Grid point Statistical Interpolation) 作業化系統上，該系統原採用變分資料同化，主要被設計成為具有彈性、最先進的且可以在不同的平行化計算平台上有效率的運作，新版的 GSI(3.6 版) 已可以和系集同化結合成 hybrid 的資料同化系統，其觀測因子 (observation operators)，轉換模式變數至觀測變數，已經可以在 EnKF 或其他資料分析系統上使用。唯目前 GSI 的維護團隊已解散。

NCEP的即時中尺度分析系統(RTMA, Real Time Mesoscale Analysis)為NWS提供最高品質的網格化表面分析背景場，此背景場主要來自區域模式和觀測值的結合，由於時效性的原因，會有部分觀測資料無法及時被蒐集到，因此在6小時後執行無限制的中尺度分析(URMA, UnRestricted Mesoscale Analysis)，而URMA亦被選為NWS的分析真值且建構在GSI上，目前在網頁上亦可蒐集到示性波高等相關圖的資訊(自2017.12)，使用的觀測資料包括衛星(Jason-2, CryoSat-2, Saral/Altika等)、浮標及船舶等，圖7及圖8分別為阿拉斯加州海域及夏威夷海域，在同化前之背景場、觀測增量、觀測值及分析場，唯此資訊並非真正作業化，且未被NCEP所監管。

另外在全球模式的資料同化部分，採用LETKF法。此外為了達到”具有聯合(unified)統一資料同化系統的聯合統一模型(unified model)”的目標，JEDI(Joint Effort for Data assimilation Integration)正在開發中，其係整合包括大氣、海洋、冰、波浪等之聯合資料同化系統，其中NOAA負責海、冰耦合的波浪部分。由於現代DA系統太複雜，非一個人可以掌握，因此此系統的優點是可以減少重複開發、將所有地球的DA系統整合至單一系統、現代化軟體的開發，加速未來開發的時程、易於維護、增加可攜帶性及效率。

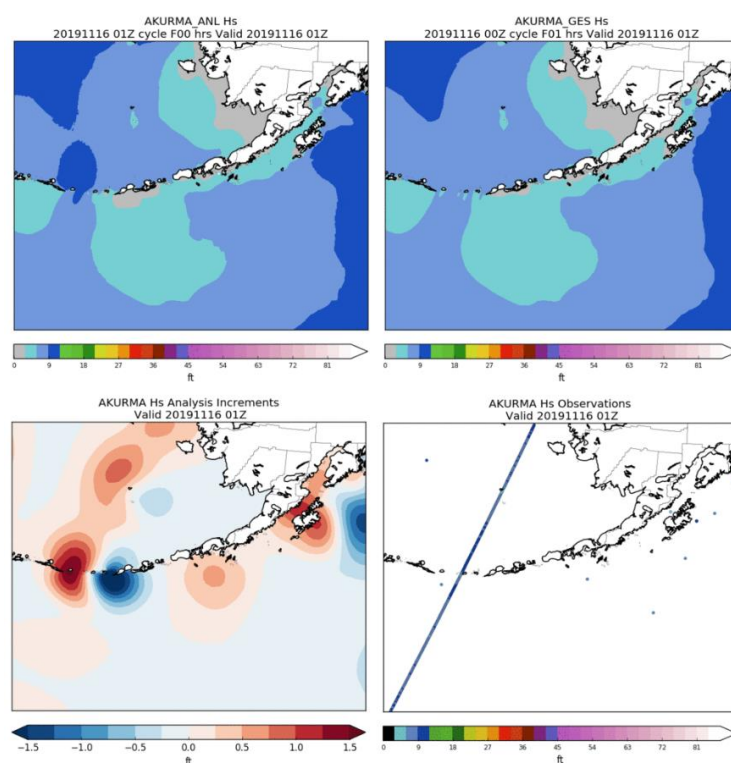


圖 7、URMA 在阿拉斯加州(AK)之 DA 後波高輸出(左上:分析場 右上:背景場 左下:觀測增量 右下:觀測值)

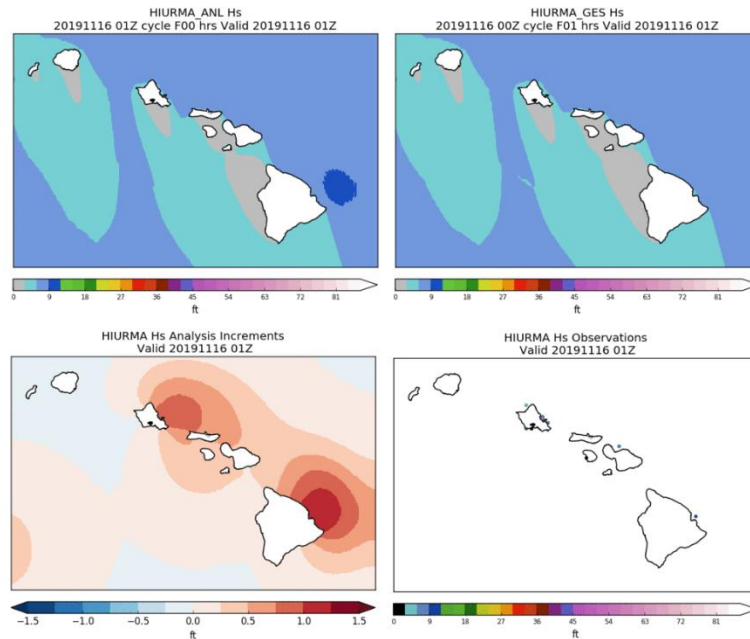


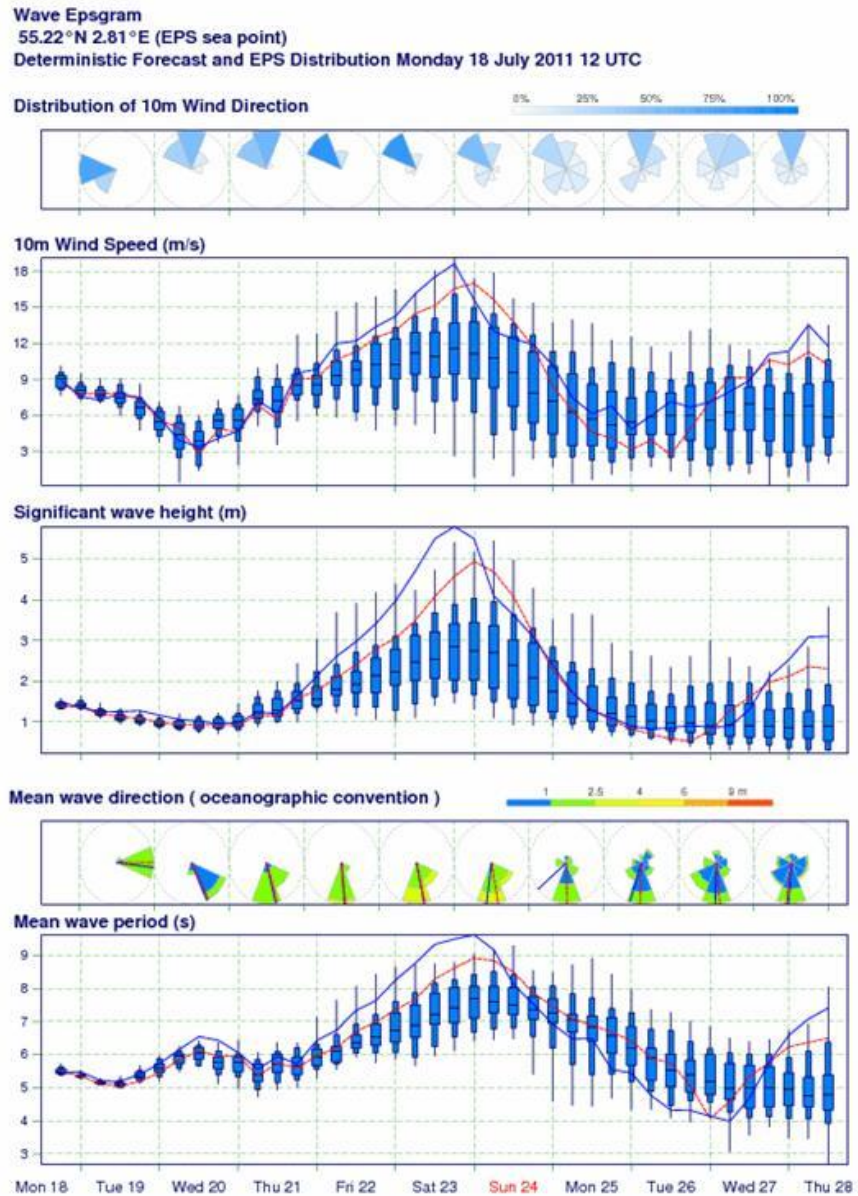
圖 8、URMA 在夏威夷州(HI)之 DA 後波高輸出(左上:分析場 右上:背景場 左下:觀測增量 右下:觀測值)

## (2)ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)

ECMWF在1992年開始即使用OI法及WAM模式建立資料同化之作業化系統，其同化波高資料（從ERS-1、到ERS-2、2003改為ENVISAT，2006年再加入JASON衛星），再分別rescaling不同的波浪屬性（風浪或湧浪）之波譜，同時修正風場。然而示性波高對於波浪的描述仍過於簡略，且rescaling的過程中無法對於同時存在不同波浪系統進行處理，因此在2006年後即針對ENVISAT ASAR的波譜資料進行同化。

1998年6月ECMWF已完成大氣模式和波浪模式的耦合模擬，ECMWF波浪系集預報系統Wave EPSgram（Wave Ensemble Prediction System meteogram）係使用WAM模式建構全球波譜預報，系統包含1組控制演算及50組系集預報，其中50組系集成員其風場是由初始大氣條件最不穩定向量平均擾動生成，浪場初始值是使用控制演算分析場作為初始條件，同時EPS全球波浪模式波譜解析度增至 24個方向和 30個頻率。2010年Wave EPSgram網格解析度已提升為 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ，每6小時預報一次，預報時間延長至10天，輸出參數包括10m風速、10m風向、示性波高、平均波向與週期等，產品的表示方式為盒鬚圖。圖9顯示單點10天單一數值預報與系集預報之比較，圖中顯示當風速增強時，風向由西逐漸轉向西北，形成較長平均週期的波浪，也形成南向較大波高的波浪分布（其中藍色線為單一確定性預報，紅色為控制演算預報）。

在衛星資料方面，其蒐集及監控包括ENVISAT、ERS-2、JASON-1及JASON-2等衛星近乎及時之示性波高資料，並使用其中ENVISAT及JASON-2的資料進行資料同化。此外其亦蒐集ENVISAT及ERS-2衛星的波浪波譜資料進行示性波高及湧浪的驗證工作。另其亦蒐集衛星散射風速及雷達高度風速資料進行風速方面的驗證。



資料來源：” User guide to ECMWF forecast products” , Oct 2011.

圖 9、Wave EPSgram 單點系集預報與單一決定性模式預報比較圖(北海,18 July 2011, 12 UTC)

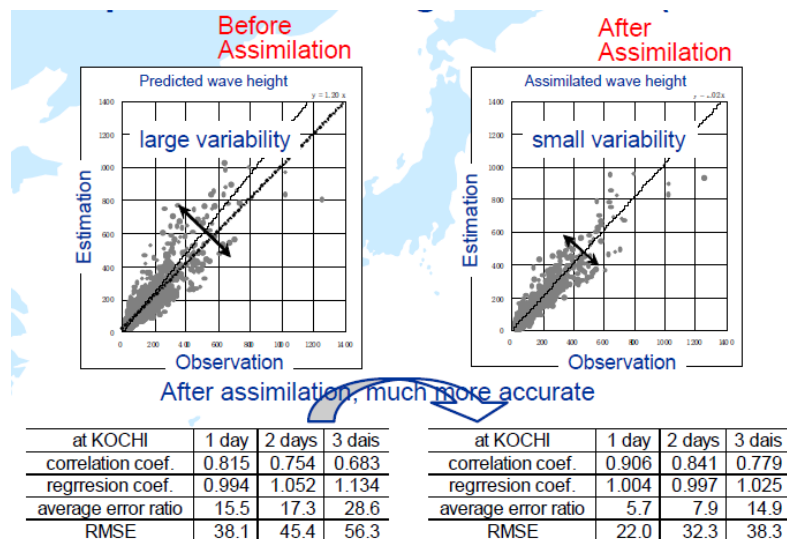
### (3)MFWAM (Metro France)

法國氣象局在2011年發展出使用第三代MFWAM模式之作業化同化系統，其同化資料來自於RA2、Jason-2之波高資料，及從ENVISAT衛星之ASAR level2波譜資料，而風場來自於ECMWF之IFS風場。其亦使用OI法來同化觀測資料，在其適用性驗證(validation)測試研究中指出，當使用包括波高及波譜資料時，波高之解析解RMSE可以降低10%，主頻週期可以降低25%，而第2天預測之波高其RMSE可以降低2%。其同時預見未來會有更多的衛星提供全球的觀測資料，包括波高(例如SARAL/Altika)及波譜資料(例如法國CFOSAT)，而在OI的部分，模式的預報誤差協方差矩陣不再是同向性，會需要進行修正，當然會有其他更卓越的同化方法會被開發出來，以便同化許多不同的觀測資料。

#### (4)JWA (Japan Weather Association)

日本氣象協會(JWA)在1950年成立，是日本第一個民營的氣象公司，也是第一個透過電視及收音機提供氣象服務的單位，2009年轉化為財團法人，屬於半民營的組織，其提供預報、環境預測諮詢服務、災害防制諮詢服務、天氣資訊系統等服務，員工大約532人(2013年)，其宣稱提供比日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)更詳細的天氣預報資訊，同時更著重在安全保險、經濟和效能的層面。

其提供的航行船隻的最佳路徑預測服務(Weather routing services, WRS)，包括節省能源航行(Energy-saving navigation, Eco-Navigation)及安全的航行等，決定最佳航行路徑需要海表面風、波浪、海流、霧等資訊，其中在氣象部分，其使用5km解析度之WRF模式，使用JMA MSM的風場，使用三維變分法同化GPS降水資訊及每小時使用OI法同化大氣分析場(atmospheric analysis)，波浪部分，其使用解析度為3.7km之WAM模式，並同化沿岸的觀測資料，流的部分，其使用1/36度解析度之POM模式，海流、潮流及風吹流的效應均包括在內。在波浪資料同化部分，其主張同化效果可以維持至約10小時。



資料來源：” WEATHER Forecasting and Routing”，Dec 2013.

圖 10、JWA 波浪資料同化前後比較圖

#### (5) KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute)

早期皇家荷蘭氣象局有許多研究進行波浪同化的研究，亦有使用WAM模式及OI的作業化波浪資料同化系統，後來因故停止。2018年研究顯示，其嘗試使用SWAN及OpenDA(Open Data Assimilation)平台，利用EnKF建立荷蘭海域作業化的波浪資料同化系統，此OpenDA為一商業平台，過去被許多研究使用，但從未被作業化使用過。

#### (6) CMS(Copernicus Marine Service)

CMS的作業化全球波浪資料同化系統，其使用MFWAM模式(2014)，主要同化Sentinel-1之Synthetic Aperture Radar (SAR)，主要之優勢在於對於超過波長200m以上之湧

浪可以準確掌握，尤其對於南半球超強低壓系統所衍生之湧浪。系統由法國氣象局 (Météo-France) 負責操作，2016年3月開始運作，2018年12月底對外公布，每日4次分析場，1次每隔3小時之5天預報(00UTC)。使用NOAA ETOP2地形，IFS-ECMWF風場驅動，模式包括24方位，30個頻率，亦同化Jason-3、Sentinel-3A、SARAL-Altika三顆衛星波高資料。

其宣稱有超過450個非常主動的使用者，其中超過40%的使用者每個月會下載至少3次，接近30%的使用者是與商業有關，高於其他產品平均約15%，且有50%的使用者不在歐洲。

彙整國外作業化系統如下表所示：

表 1、國外作業化系統概述表

| 單位           | 數值模式  | 同化方法        | 資料來源  | 解析度        |
|--------------|-------|-------------|-------|------------|
| NCEP(URMA)   | NWW3  | Variational | 衛星、浮標 | 1.25km~3km |
| NCEP(global) | NWW3  | LETKF       | 衛星、浮標 |            |
| ECMWF        | WAM   | OI          | 衛星    |            |
| MFWAM        | MFWAM | OI          | 衛星    |            |
| JWA          | WAM   | OI          | 浮標    | 3.7km      |
| CMS(global)  | MFWAM | OI          | 衛星波譜  | 1/12°(9km) |
| *KNMI        | SWAN  | EnKF        | 浮標    |            |

\*即將建置

### 1-2-3 國外海域資訊作業化系統概述

國外在海域資訊作業化系統方面，美國政府在海象預報系統之發展是由美國大氣暨海洋總署之海洋局 (National Ocean Service, NOS) 結合國家氣象局的環境模擬中心 (National Weather Service' s Environmental Modeling Center)、國家海洋局之海岸量測發展實驗室 (National Ocean Service' s Coast Survey Development Lab)、普林斯頓大學 (Princeton University)、及美國海軍 (U.S. Navy) 共同參與發展近岸海域預報系統 (Coastal Ocean Forecast System, COFS)。COFS自1993年8月開始每日在國家環境預報中心NCEP的Cray高速電腦上執行美國東部近岸海域的短期水理模擬 (Aikman et al., 1994; Aikman et al. 1996; Aikman and Rao, 1999)。COFS使用三維數值模式模擬美國東岸北緯30度到47度，西經50度範圍內的水溫、鹽度、水位及潮流。數值模式以普林斯頓大學大洋模式 (POM) 為主，其驅動條件為加在海水面之熱能、溼度、及動能通量等邊界條件。這些邊界條件是由國家環境預報中心NCEP的Eta-32中尺度大氣預報模式 (mesoscale atmospheric forecast model) (Black, 1994; Rogers et al., 1998; Rogers et al., 1999) 提供。潮汐亦為模式邊界驅動條件之一。模式網格的解析度在遠岸海域為

20公里，在近岸海域為10公里。垂直方向網格為18層之座標系統，其中至少九層網格是在100公尺水深內（NOAA Coastal Ocean Forecast System, 2000）。

NOAA作業化波浪模式主要為NCEP 的WaveWatchIII（NWW3）模式（Tolman, 1999）。NWW3波浪模式改進原有的WAM模式（The WAMDI Group, 1988），增加擴散項及重新探討能量的產生及消散項，且更改程式寫法為Massively Parallel Processing（MPP）平行計算方式，使其更有效率於模式計算，符合新一代電腦之架構。NWW3已於2000年3月開始作業化運轉。

COFS及NWW3皆於1999年夏天及2000年初春時以各兩個月的時間參與國家海洋合作計畫（National Oceanographic Partnership Program）所贊助的近岸海域示範計畫（Coastal Marine Demonstration Project, CMDP）（NOAA, 2000）。CMDP是一個兩年計畫，由海軍研究辦公室（Office of Naval Research）主導，於2000年7月結束，在計畫執行期間，整合了許多資源以便執行及監控，平常只作為科學研究之數值模式。這些模式經由系統之整合，在固定的時間及程序上執行模式預報，並產生結果，即時供應使用者經由網路及瀏覽器取得即時海象預報資料。COFS在CMDP計畫中提供近岸海域之水溫、潮流及鹽度預測，NWW3 波浪模式提供近岸海域之波浪預測，稱為CBWAVES的GLERL-Donelan波浪模式提供Chesapeake Bay區域之波浪預測。在示範執行期間，總共六個先進的數值模式在作業化環境下執行預報，每日產生超過5000個模式預報與即時監測資料結果圖，提供給四個NWS 預報辦公室及中心，及數十個各種階層之客戶經由網路及瀏覽器取得資料。

物理海洋即時系統（Physical Oceanographic Real-Time System，PORTS）為美國國家海洋服務局所發展，提供船公司及船長正確即時之海象資訊，作為航行安全之參考，以避免船隻擱淺及碰撞等事件發生，目前該系統是由CORMS（Continuous Operational Real-Time Monitoring System）統一負責系統之維護。此系統包括：中心式的資料擷取系統、資料傳播（dissemination）系統及數值現報與預報系統。其中資料傳播系統將所有港灣即時之水位、流及其他海象與氣象資料，轉換成符合需求之不同格式，藉由電話語音及網路系統即時傳輸至使用單位，而各港之管理單位及船公司，藉由電話語音所獲得之即時水位資料，能對船隻之總噸位、最大負載及限制穿越時間等，準確的作出正確之決定。

PORTS規劃提供即時與預報之流、水位、鹽度、溫度及風的資訊，主要以重要之河口及海灣為主，至2012年在Narragansett Bay、Los Angeles/Long Beach、New Haven, CT、San Francisco Bay、New York/New Jersey Harbor、Lower Columbia River、Delaware Bay and River、Tacoma, WA、Chesapeake Bay、Anchorage、Tampa Bay、Soo Locks, MI、Houston/Galveston、Mobile Bay、Cherry Point、Sabine Neches、Pascagoula、Gulfport等18個重要區域均設有此系統。而其中在New York/New Jersey Harbor與Chesapeake Bay分別結合NYOFS（New York and New Jersey Operational Forecast System）及CBOFS（Chesapeake Bay Operational Forecast System）系統，尚具有作業化數值模式之現報與預報功能，提供區域全面之水位、流速與風速資訊。物理海

洋即時系統對於環境保護亦提供重要的指標，若能減少意外船難的發生，相對亦減少船隻溢油、或有毒物質外洩的機會，亦更能保護環境生態。

整體來說在美國有關海象資訊的官方最主要網站即是NOAA海洋局（National Ocean Service Center for Operational Oceanographic Products and Services）的網站（<http://www.co-ops.nos.noaa.gov>），CO-OPS的主要任務就是對全國作業化海洋資料轉換成有意義的資訊。CO-OPS對國家基礎建設、科學領域、及科技專業提供監測、評估及實質資料，如潮汐、流場、水位及其他符合NOAA在環境管理及環境評估預測任務的海岸海域產品及服務。CO-OPS提供了作業化全面的海域觀測與監測能量，同時伴隨著作業化現報及預報數值模擬，提供全方位的海象資訊服務。

海象預報系統在歐洲方面極力發展及推動的是挪威Oceanor公司所發展的海域環境自動監測系統—SEAWATCH，包括海域自動監測浮標、資料傳輸系統、陸上資料處理中心、數值模擬系統及資料庫等(Oceanor, 2000)。其數值模擬方面使用荷蘭Delft水利實驗室(Delft Hydraulics Lab)研發的三維模式進行海象預報。SEAWATCH系統在歐洲及東南亞已建置數套，惟其使用情況多著重於海況及水質監測，模式之執行並非皆使用於作業化海象預報工作。國內環保署曾針對SEAWATCH系統做過可行性評估，惟此套系統造價高昂並不符合國內海洋環境研究經費配置，無法順利推動。

歐洲其他國家如荷蘭皇家氣象研究所(KNMI)之海象預報系統、比利時國家研究院海象預報系統、英國氣象局(Met Office)之海象預報系統等都已經發展出作業化之暴潮水位及風浪模式，其中英國氣象局已使用NWW3之SMC(spherical multi grid)網格建置波浪預報系統，其範圍已涵蓋北極圈海域。其他如澳洲氣象局(使用NWW3 4.18)、韓國氣象局亦同。

#### 1-2-4 國內海域資訊作業化系統概述

在國內研發計畫中，國家海洋科學中心執行的「臺灣海峽即時預報模式計畫(TSNOW)」。

該計畫自1998年起展開研究，旨在臺灣海峽內建立海峽兩岸海氣象觀測網以及一個能夠預測臺灣海峽海流、水位、溫、鹽度變化的三維數值模式。

2001年至2003年交通部科技顧問室推動「海象災害預警雛型系統建立」計畫，為滿足作業化系統功能之需求，該計畫於中央氣象局海象測報中心建置雛型系統，依據海象測報中心現有軟硬體設備之基礎，考慮即時傳輸、網際網路服務與未來擴充性等條件，規劃建置即時資料觀測站資料傳輸、海象數值模式預報、即時資料庫管理、即時資料查詢及海象災害預警資訊通報等子系統。

「海象災害預警雛型系統建立」，無論在系統整合、即時資料整合及通報、模式預測等方面，均已針對國內海象災害預警現況深入研究，其建立之系統雖屬於雛型系統，但系統結

構完整，因此自2003年6月至2005年5月間，交通部科技顧問室乃推動「沿海遊憩安全資訊與監測系統」計畫，使相關技術得以延續，並使之功能相互結合。「沿海遊憩安全資訊及監測系統」計畫分二年度執行，第一年度完成四個重點項目，包括（1）國外沿海遊憩觀光與安全資訊系統資料蒐集（2）行政配合與通報機制研擬（3）沿海即時海象預報技術之引進及開發（4）藍色公路航線上海況分析。第二年度完成五個重點項目，包括（1）航線上即時海象預報技術之引進與開發（2）資料同化技術的建立（3）沿海遊憩安全資訊系統之建立（4）藍色公路資料通報系統之建立（5）沿海遊憩安全資訊系統永續經營規劃及建議。

「海象資訊在近海觀光、防災救難及航行安全之應用研究」三年計畫，延續交通部科技顧問室推動之前述二計畫，主要在強化中央氣象局海象預報之作業能力、資訊可靠度及執行效率，使得相關資訊得以藉由維護完整的資訊系統廣為傳播，提供作為近海遊憩觀光、防災、搜救決策及航行安全之參考，並朝向近岸預報之目標邁進。其中的臺灣海域安全資訊系統已涵蓋北部海域及南部海域的範圍，可以展示北部海域14個站及南部海域7個站的水位、水溫、波高、波向、風速、風向及有關船行、游泳、操舟、風帆等安全與舒適資訊。

為延續上述前期研究成果，中央氣象局海象測報中心自2008年起至2011年進行「海象資訊e化服務系統之整合與應用研究」，以現有海域GIS資訊服務系統建置成果為基礎，整合規劃海象資訊e化服務系統，將系統功能持續更新，提供全方位海域相關服務，包括海象資訊e化服務系統整體規劃；歷史波浪、暴潮資料統計及復現期分析；臺灣近岸海域與離島藍色公路圖資之建置；近岸海域災害、防災技術資料庫之建立等工作項目。執行過程需整合其他防災科技研發模式，轉化成可落實應用於防災業務的技術，並結合政府相關部門，有系統地推動海象e化資訊服務系統，以提供相關單位執行救災業務之依據。現階段的中央氣象局網站中的「即時海況」、「藍色公路」、及「颱風暴潮預報圖」等網頁皆是上述研究的成果。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心也在2003年規劃五年發展建置「臺灣環島海象預報系統」—TaiCOMS (Taiwan Coastal Operational Modeling System)，包括數值預報模式之建立與驗證、觀測網的架設及資料庫整合，有關臺灣海域模式系統部分規劃涵蓋風場、波浪、水位、流場及擴散等模擬，風場預報則由中央氣象局提供即時預報資訊。該系統已於2003年建立臺灣海域風浪模式及區域性風浪模式，於2004年建立水位模式，2005年度建立三維全域水動力模式，2006年建立近岸港區污染物擴散數值模式，2007年達成即時模擬之目標。港灣技術研究中心在後續年度完成港灣環境資訊網 (<http://isohe.ihmt.gov.tw/>)，提供基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、臺中港、臺北港、安平港、澎湖、布袋港、金門及馬祖的海象觀測資訊、海象模擬資訊、港區影像資訊、港區地震資訊、海嘯模擬資訊及港埠基本資料等服務給一般民眾及專家學者。

港灣環境資訊網在2019/2/25改版，整合港灣技術研究中心海氣象即時觀測、數值模擬及港埠相關之資料收集、模擬與研究資訊，利用網頁結合Google地圖，整合空間與屬性資訊提供分析、展示、儲存、管理及之應用支援系統，以及進行多元化的資訊展示。

台灣海洋科技中心的「海洋環境資料庫」TOPS海象模擬及數值模式資料均有展示計算的西北太平洋及台灣海域之波高、週期、湧浪等資訊，還有台灣四周的海流資訊。

國內提供海象資訊的另一個單位是水利署，該單位委託成功大學近海水文中心製作海岸水情系統，提供即時的近海水文觀測網站資料，包括波高、風速、風向、氣壓、氣溫、水溫、及水位等資料。

### 1-3 計畫工作項目與內容

本計畫之工作內容敘述如下：

#### (1).區域化資料同化平台移轉建置

資料同化平台移轉建置擬與NOAA合作，引進使用 LETKF(Local Ensemble Transform Kalman Filter)(Hunt et al, 2007)同化法，資料同化的流程如圖 11，最重要的三個模組是觀測資料蒐集品管、forward operator、LETKF 等，而在分析場完成後，NWW3 restart 檔案之形成，NOAA 亦已建構完成，此與原始程式碼將 DA 放在 NWW3 中的一個設計不同。本年度首先將進行硬體規劃、引進三個重要模組及 NWW3 Ver. 6.07 restart 檔案產生程式進行測試，並對觀測資料蒐集通路進行規劃等。

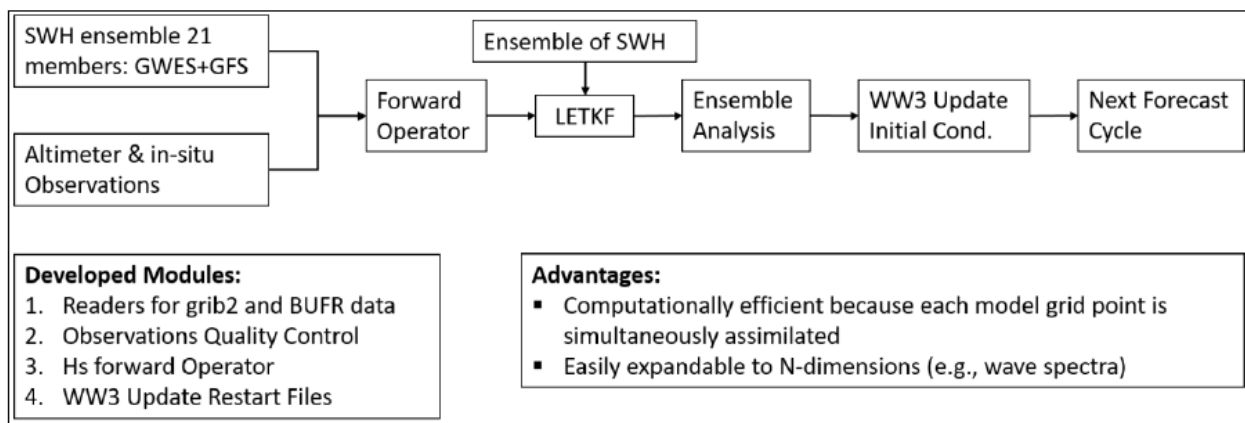


圖 11、波浪資料同化的流程

#### ■ 氣象局計算平台試驗與分析

LETKF同化方法、6.07版NWW3、觀測資料蒐集及品管處理、向前因子等都需要在cluster作業平台進行編譯測試。

觀測資料蒐集方面，包括氣象局浮標及衛星觀測，目前在WINS上有JASON-3的衛星觀測資料，由於資料同化需蒐集比較多的衛星資料，例如CryoSat-2、Saral/Altika、sentinel-3A等，如此每小時大約會有10000筆資料（全球）。

系集同化需要K個成員一起平行化計算才能發揮其功效，而在觀測資料的前置處理及觀測算符之演算亦需考量到計算資源，而同化過程需要進行分析場之計算，都需要消耗硬體的計算資源，目前氣象局cluster的硬體資源有60個節點、2160個CPU cores，有必要進行硬體的規劃。

#### ■ 訂定觀測資料篩選機制及建置

資料同化成功的另一個關鍵在於觀測資料的正確性，同化錯誤的觀測資料倒不如不同化。不同觀測有其特性及屬性，在進入同化系統之前須設定篩選及處理機制，以避免不當資料進入預報系統。目前氣象局所屬浮標均有進行即時的資料品管，衛星觀測部分，目前在WINS上有JASON-3的衛星觀測資料，僅對missing value進行排除，由於即時觀測資料的品管修正無法像後來官方版60天後的修正資料那麼齊全，因此衛星資料的即時品管會是一項重點，根據NCEP的經驗顯示，目前在海象部分其蒐集5種資料格式及20種海洋資料，透過level 1-4的品管，且不同資料來源會有不同的IO、詮釋資料(metadata)及QA/QC，顯示其複雜性，其未來擬透過標準化的方式統一格式，採API前置處理，逐步整合至其他的海洋系統。

#### ■ 波浪資料同化之twin experiment測試（含硬體需求、備份策略、資料需求、技術評估指標等）

資料同化程式建立後需先進行比對實驗，以確保程式之正確性。

#### ■ 擬定資料同化系統架構

資料同化建置在氣象局的cluster計算平台上，基於作業化系統的需求，因此整個資料同化系統架構需事先確立，許多環節需加以規畫，不管是硬體需求、環境架構等，同時還需要其他方面的配合，例如資料同化還需要觀測資料來配合，需建構與觀測系統的結合介面(含觀測資料中斷時之因應對策)。此外相關的評估指標亦須定義，以檢核資料同化之效益，規劃預報驗證方法、後處理及作業化之配套措施，作為資料同化預報系統建置之依據，如圖12所示。

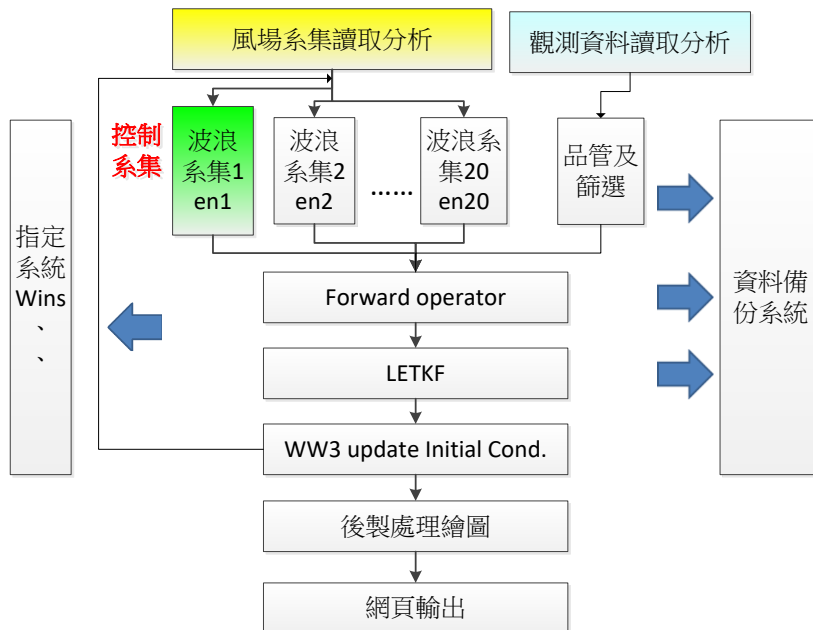


圖 12、作業化多重網格系集同化預報系統規劃示意圖

(2). 菲律賓海域波浪模擬建置

■ 菲律賓海域規則網格及三角網格之比較分析測試

菲律賓群島可分為三大群島：最北是呂宋島、最南是民答那峨島、中部是維薩亞群島，如圖13。PAGASA每日發布24小時航行預測區域劃分如圖14所示，共分14區，為了能夠涵蓋這個範圍及邊界條件取得的問題，最外層仍採用全球網格。為了考慮解析島嶼間的相關性，在菲律賓群島範圍考慮使用三角網格，唯三角網格計算相較規則網格更為耗時，因此在作業化預報之效能考量前提下，需評估適當的計算網格。NWW3 6.07版針對三角網格才有區域切割的功能，本計畫將同時測試以確保其可行。



圖 13、菲律賓群島

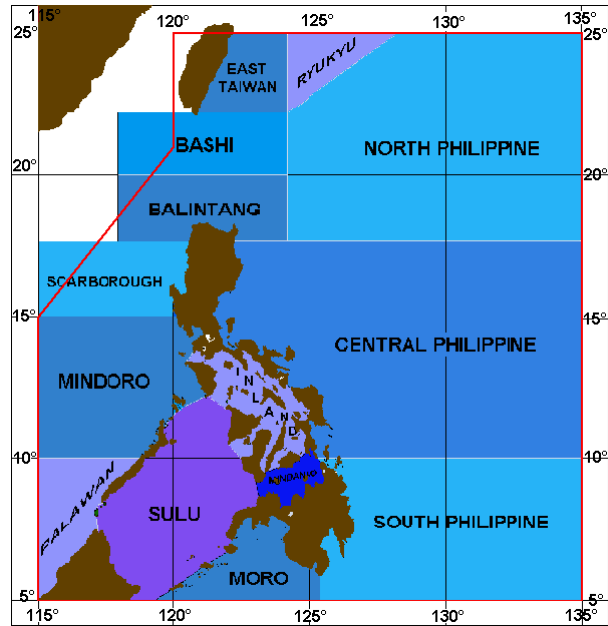


圖 14、菲律賓 PAGASA 發布 24 小時航行預測區域劃分圖

#### ■ 衛星資料驗證

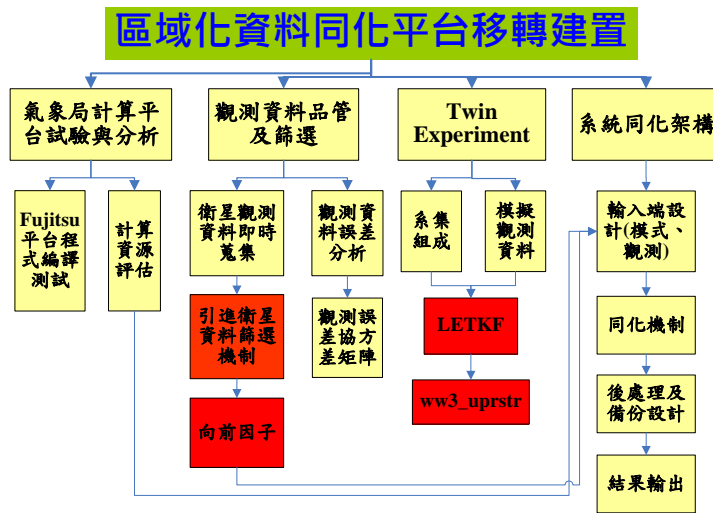
菲律賓海域缺乏浮標觀測資料，因此只能蒐集衛星資料進行驗證。

#### (3). 藍色公路與系集預報系統維護

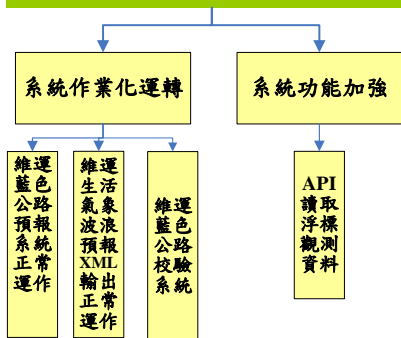
為延續先前年度所建立的藍色公路海氣象預報系統及波浪系集預報展示系統，109 年度將持續進行藍色公路海氣象預報系統的運維(O&M)及功能更新，以及波浪系集預報展示系統的運維及更新。在藍色公路海氣象預報系統方面將進行藍色公路航線 XML 檔案及 Opendata 檔案的作業化產生及傳輸、海水浴場、主要港口、及休閒漁港的 XML 檔案的作業化產生及傳輸、藍色公路端點校驗展示系統更新運維、及透過 API 建立浮標觀測資料的擷取功能。在波浪系集預報展示系統方面，將持續運維波浪系集預報展示系統，確保系統可以正常運作，並且每月更新 Spread 及 RMSE 圖。

## 1-4 工作流程

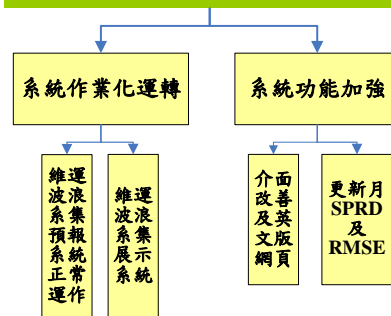
本計畫之工作流程圖如圖15所示。



### 藍色公路預報系統維護



### 波浪系集預報系統維護



### 菲律賓海域波浪模擬建置

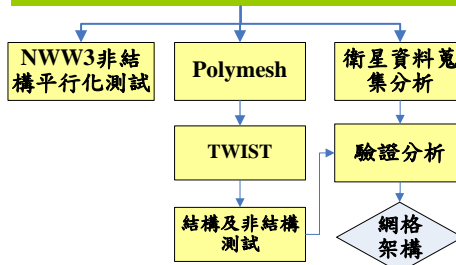


圖 15、計畫之工作流程

## 1-5 工作時程

| 工作項目                          | 月份  |    |    |    |    |    |    |    |     |     |              | 備註 |
|-------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|--------------|----|
|                               | 決標月   | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月<br>(期末月) |    |
| <b>1.區域化資料同化平台移轉建置</b>        |   |    |    |    |    |    |    |    |     |     |              |    |
| (1)氣象局計算平台試驗與分析               |   | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |     |     |              |    |
| (2)同化方法 LETKF 測試              |   | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |     |     |              |    |
| (3)向前因子測試                     |   | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |     |     |              |    |
| (4)訂定觀測資料篩選機制及建置              |   |    |    |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   | ■            |    |
| (5)波浪資料同化之 twin experiment 測試 |   |    |    |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   | ■            |    |
| (6)擬定資料同化系統架構                 |   |    |    |    |    |    | ■  | ■  | ■   | ■   | ■            |    |
| <b>2.菲律賓海域波浪模擬建置</b>          |   |    |    |    |    |    |    |    |     |     |              |    |
| (1)菲律賓海域規則網格及三角網格之比較分析測試      |   | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |     |     |              |    |
| (2)衛星資料驗證                     |   |    |    |    |    | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   | ■            |    |
| <b>3.藍色公路與系集預報系統維護</b>        |   |    |    |    |    |    |    |    |     |     |              |    |
| (1)藍色公路系統維護正常運作               |   | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   | ■            | ■  |
| (2)系集預報系統維護正常運作               |   | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   | ■            | ■  |
| (3)生活休閒海氣象預報系統更新運維            |   | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   | ■            | ■  |
| (4)藍色公路端點校驗系統更新運維             |   | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■   | ■   | ■            | ■  |
| <b>4.期中報告撰寫</b>               |   |    |    | ■  | ■  | ■  |    |    |     |     |              |    |
| <b>5.期末報告撰寫</b>               |   |    |    |    |    |    |    |    | ■   | ■   | ■            |    |
| 工作進度估計百分比<br>(累積數)            | 5   | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80  | 90  | 100          |    |
| 預定查核點                         | 第 1 季:完成藍色公路海氣象預報備援系統伺服器移轉、系集預報展示系統伺服器移轉<br>第 2 季:完成系集預報展示系統中英文網頁切換功能、氣象局計算平台試驗與分析、LETKF 測試、向前因子測試、期中報告撰寫<br>第 3 季:完成 Spread 及 RMSE 圖檔自動更新功能、菲律賓海域規則網格及三角網格之比較分析測試、波浪資料同化之 twin experiment 測試 |    |    |    |    |    |    |    |     |     |              |    |

|  |   |
|--|---|
|  | 第 4 季:完成藍色公路海氣象預報系統更新運維、系集預報展示系統更新運維、生活休閒海氣象預報系統更新運維、藍色公路端點校驗系統更新運維、菲律賓海域衛星資料驗證、資料同化系統架構、期末報告撰寫 |
|--|---|

**說明：(1) 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期。**

(2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：1.工作天數 2.經費之分配 3.工作量之比重 4.擬達成目標之具體數字。

(3) 每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明※號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。

## 1-6 計畫產品名稱及驗收標準

表 2、期末交付產品名稱及驗收標準

|                   | 交付項目                              | 初稿日期          | 完成日期           | 驗收標準   |
|-------------------|-----------------------------------|---------------|----------------|--|
|                   | 1. 依合約規定，至政府研究資訊 (GRB)系統完成相關填報工作。 |               | 決標次日起<br>3工作天內 | 依合約規定之工作時程上網登入政府研究資訊系統(GRB)，登錄本計畫相關資料。                         |
| 期中                | 2. 配合本局不定期之查訪                     | 109/07/06     | 109/7/31       | 本局將不定期對本計畫進行工作進度查訪，廠商至少應於 109 年 3 月、5 月各進行 1 次工作進度報告(簡報或會議型式)。 |
|                   | 3. 藍色公路與系集預報系統維護                  | 109/07/06     | 109/7/31       | 藍色公路與系集預報系統維護報告  |
|                   | 4. 菲律賓海域波浪模擬建置                    | 109/07/06     | 109/7/31       | 菲律賓海域網格建置分析測試  |
|                   | 5. 區域化資料同化平台移轉建置                  | 109/07/06     | 109/7/31       | 1.同化方法(LETKF)測試<br>2.訂定觀測資料篩選機制及建置<br>3.向前因子測試                 |
|                   | 6. 期中報告修正版                        | 109/07/06     | 109/7/31       | 繳交期中報告修正版  |
|                   | 期末                                | 7. 配合本局不定期之查訪 | 109/12/4       | 109/12/31  |
| 8. 藍色公路與系集預報系統維護  |                                   | 109/12/4      | 109/12/31      | 藍色公路與系集預報系統維護報告  |
| 9. 菲律賓海域波浪模擬系統建置  |                                   | 109/12/4      | 109/12/31      | 1.菲律賓海域波浪模擬模式驗證分析報告<br>2.菲律賓波浪預報系統移置規劃報告                       |
| 10. 區域化資料同化平台移轉建置 |                                   | 109/12/4      | 109/12/31      | 1.波浪資料同化 twin experiment 之規劃測試<br>2.資料同化系統架構規劃                 |

|  | 交付項目                  | 初稿日期     | 完成日期      | 驗收標準                 |
|--|-----------------------|----------|-----------|----------------------|
|  | 11. 廠商於期末報告需附上績效報告1份。 | 109/12/4 | 109/12/31 | 期末績效報告 1 份（依照科技部格式）。 |
|  | 12. 期末報告修正版           | 109/12/4 | 109/12/31 | 繳交期末報告修正版            |

## 第二章、區域化資料同化平台移轉建置

擬與NOAA合作移轉建置波浪資料同化平台，引進使用LETKF(Hunt et al, 2007)同化法之同化系統，系統包括三個模組，即觀測資料蒐集品管、forward operator、LETKF等，而在波高同化、產生分析場後，需轉成NWW3 restart檔案，此轉換程式已在NWW3 Ver. 6.07版建構完成。本年度將進行硬體規劃、引進三個重要模組及NWW3 Ver. 6.07 restart檔案產生程式進行測試，並對觀測資料蒐集通路進行規劃等。

原定在5月召開技術移轉會議，由於新冠肺炎的關係被迫延遲，因此在5/29工作會議中將此工作延至下半年。期中簡報過後於8/5去信Dr. Stylianos Flampouris，於8/14獲得回信，指Dr. Stylianos已由原EMC換單位至programmatic office(STI-Modeling)，但可擔任顧問角色，唯牽涉到NOAA原單位EMC與CWB之合約問題。主任於8/28工作會議裁決早日請VJ調派聯繫窗口，讓本年度合約可以順利進行。9/30收到主任通知詢問VJ可否讓Dr. Jili擔任CWB三個計畫之窗口，後回覆亦無法找到NOAA原單位之適合人選協助，且Dr. Jili之專業背景為大氣和海洋環流的颶風預測。但幸運的是，仍然得到已調離原單位之Dr. Stylianos Flampouris及資訊單位李晨光先生的協助，超過百封email的溝通，順利建構LETKF的平台環境。

### 2-1 NWW3 6.07 版

NWW3從2002年發表開始，2008年3.14版開始加入多重網格的功能，2013年4.18版開始有重大變革，聯合許多研究團隊開發不同的網格系統，包括非結構性網格、SMC(Spherical Multiple Cell)、曲線網格、旋轉網格等，並加入二種不同的風場公式；2016年5.16版主要改版的內容在更新物理機制的公式、加速MPI與OpenMP的結合、與其他預報系統(大氣、海洋)的耦合等；2019年6.07版，主要針對非結構性網格的計算域切割(domain decomposition)之MPI建構、不同波浪計算結果之波高重建restart檔案、分離Stokes漂流波譜計算、建置一個與其他數值模式耦合的全新介面(在NOAA與美國海軍都已在使用的)等。本計畫會用到非結構性網格的平行化計算與DA的重建restart檔，故將使用6.07版的NWW 3執行後述之計算(圖16)。

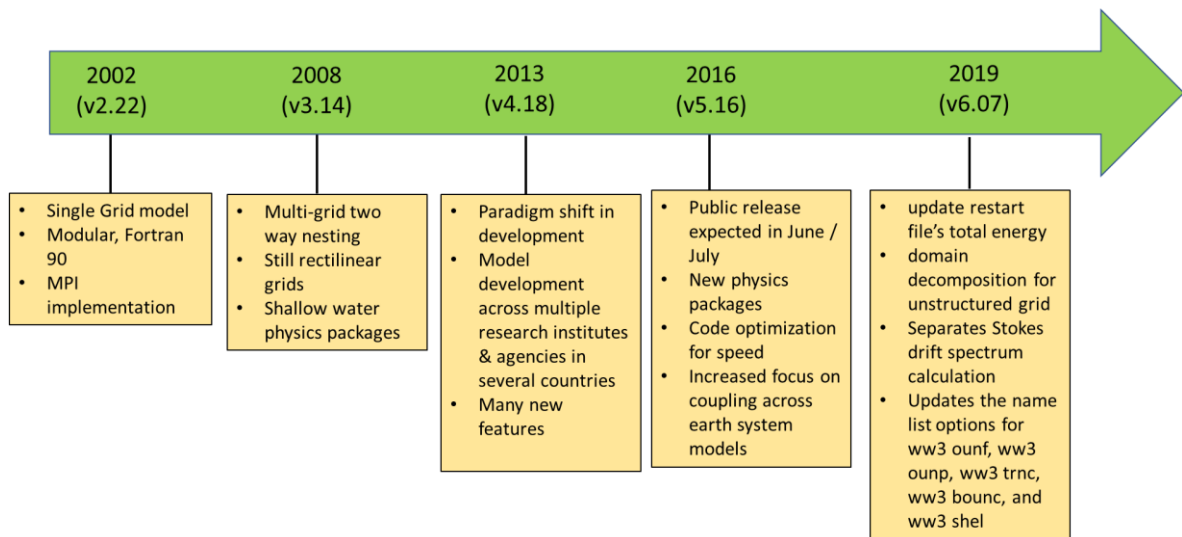


圖 16、NWW3 發展歷史

### 2-1-1 非結構性網格

6.07版NWW3針對非結構性網格計算的平行化MPI建構共有三種，包括顯式(explicit)的計算域切割法及傳統卡套(Card Deck)法(圖17)、隱式(implicit)的計算域切割法等，其中在計算域切割法使用到pammetis 4.0.3軟體需另外建置。圖18為紐約Shinnecock Inlet的測試案例網格分布，使用10個core進行計算，計算時間為4個小時。圖19至圖21為不同數值方法之不同時間之波高分布，其顯示無明顯差異，但使用的時間如表3所示，顯然隱式計算域切割法所耗的時間最長，而顯式的二種方法十分接近，然而當使用的網格過小時且網格數量太多時，則顯式法的時間間距將縮小，而隱式法可以使用較大的計算時間間距，因此將會顯示出其效率，故在使用時可以嘗試比較不同方法之結果及效率，以決定使用何種方法來計算。

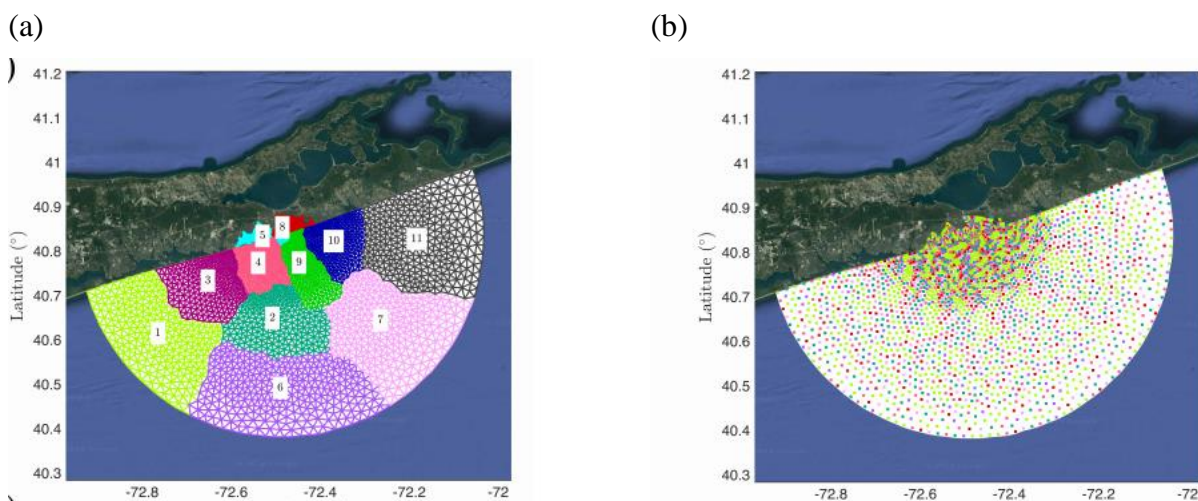


圖 17、計算域切割法(左)、傳統卡套法(右)

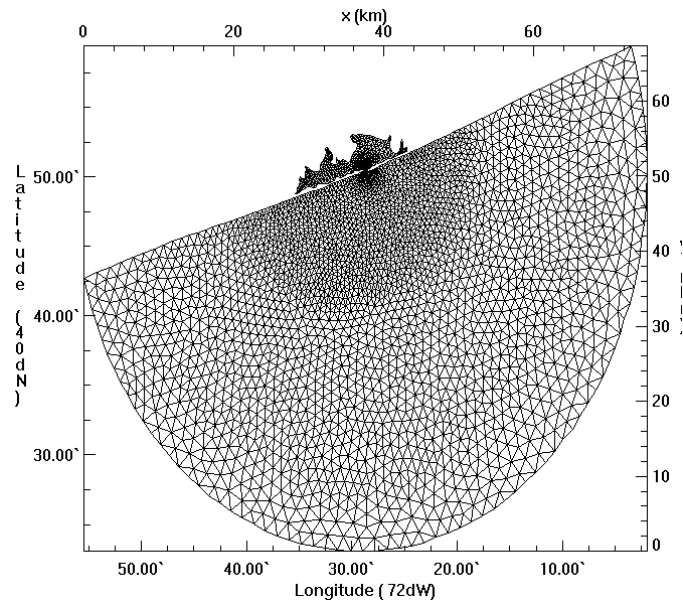


圖 18、Shinnecock Inlet, NY 之網格分布

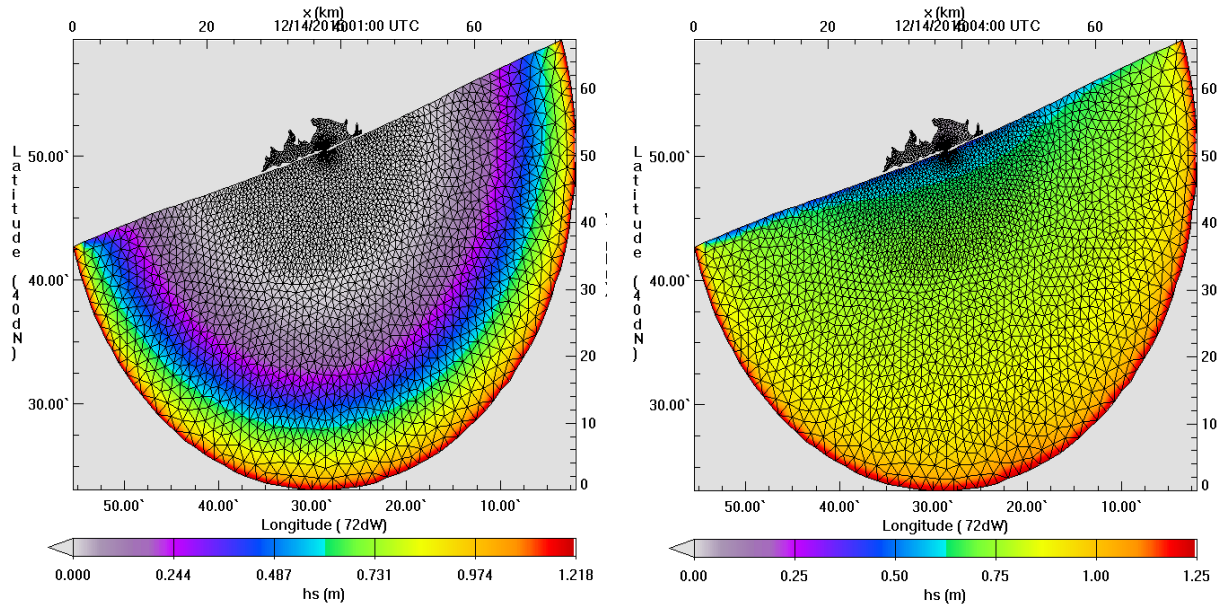


圖 19、傳統顯式卡套法之波高分布(左:01:00, 右:04:00)

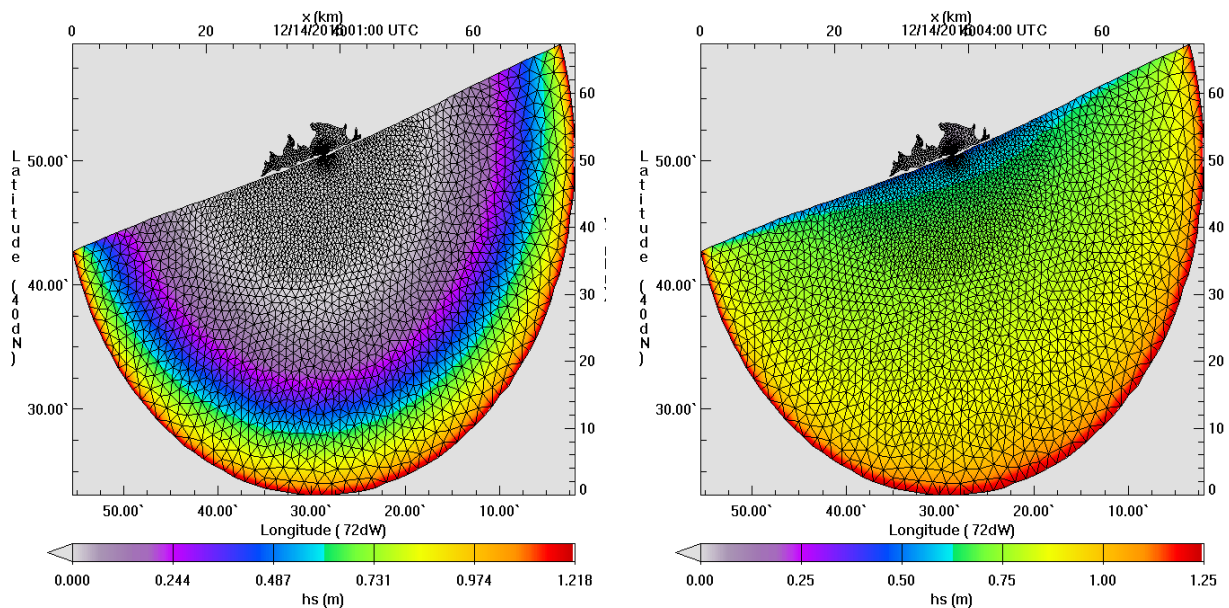


圖 20、顯式計算域切割法之波高分布(左:01:00, 右:04:00)

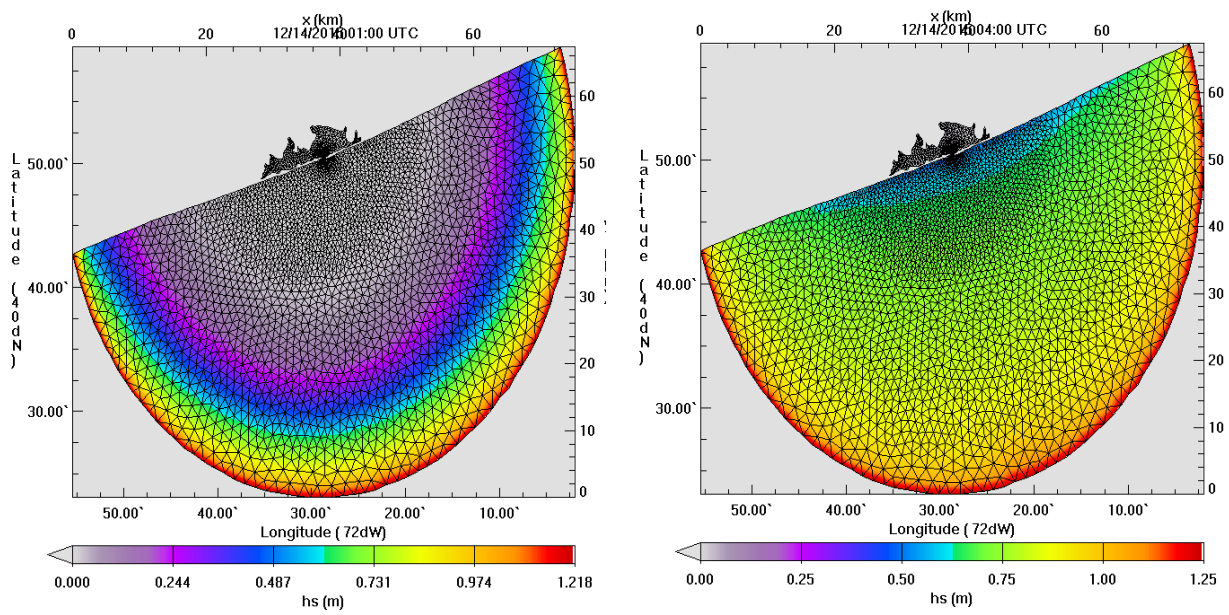


圖 21、隱式計算域切割法之波高分布(左:01:00，右:04:00)

表 3、不同數值方法在非結構性網格計算之耗時統計

| 數值方法     | 所耗時間(秒) |
|----------|---------|
| 顯式卡套法    | 21.44   |
| 顯式計算域切割法 | 39.64   |
| 隱式計算域切割法 | 292.76  |

## 2-1-2 ww3\_uprstr

波浪資料同化使用的衛星觀測資料，大部分為示性波高，此與模式計算的變數不同，因此在資料同化後得到之分析場，必須轉變成模式之計算變數，作為後續預報計算之用。新版提供ww3\_uprstr之處理程式，利用同化之前的restart.ww3與分析場(示性波高)，處理成restart001.ww3(圖22)。restart檔案內包含各個點位的方向波譜，依據分析場(grbtxt 格式)來轉換時，牽涉到能量的重新分佈，ww3\_uprstr提供三種修正的方式(UPD0F、UPD2、UPD3)，UPD0F針對所有網格點設定相同的修正係數，基本上這屬於簡單的測試功能，實際應用時不會用到；UPD2每個網格點之修正係數均不相同，依據分析場及背景場之波高比值來設定(分析波高/背景波高)，UPD3則根據背景場之波譜面積所佔比例計算。此外還設立一個修正的門檻值(PRCNTG\_CAP)，可以避免修正過頭，例如10m。表4為三種方法的測試案例，UPD0F設定修正係數0.6754，因此處理後的波高變為1.494m，其餘參數(波長、週期等)並未改變；UPD2藉由分析場波高與背景場之比例修正，因此修正後亦變為分析場波高，其餘參數亦未改變；UPD3根據背景場之波譜面積所佔比例修正波譜形狀，因此除了波高變為分析場外，其餘參數亦略為改變。理論上而言，波浪能譜積分的比值會等於波高平方的比值，假若能譜形狀不變，則其餘參數並不會改變。

表 4、ww3\_uprstr 測試案例

| 方法一           | UPD0F |       |      |      |      |       |        |       |       |
|---------------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|-------|-------|
|               |       | Hs    | L    | Tr   | Dir. | Spr.  | fp     | p_dir | p_spr |
| <b>Fac</b>    | 修正前   | 2.213 | 52.2 | 5.63 | 56.5 | 33.51 | 0.1655 | 57.6  | 27.27 |
| <b>0.6754</b> | 修正後   | 1.494 | 52.2 | 5.63 | 56.5 | 33.51 | 0.1655 | 57.6  | 27.27 |
| 方法二           | UPD2  |       |      |      |      |       |        |       |       |
|               |       | Hs    | L    | Tr   | Dir. | Spr.  | fp     | p_dir | p_spr |
| <b>分析場</b>    | 修正前   | 2.213 | 52.2 | 5.63 | 56.5 | 33.51 | 0.1655 | 57.6  | 27.27 |
| <b>1.123</b>  | 修正後   | 1.124 | 52.2 | 5.63 | 56.5 | 33.51 | 0.1655 | 57.6  | 27.27 |
| 方法三           | UPD3  |       |      |      |      |       |        |       |       |
|               |       | Hs    | L    | Tr   | Dir. | Spr.  | fp     | p_dir | p_spr |
| <b>分析場</b>    | 修正前   | 2.213 | 52.2 | 5.63 | 56.5 | 33.51 | 0.1655 | 57.6  | 27.27 |
| <b>1.123</b>  | 修正後   | 1.124 | 52.0 | 5.62 | 56.4 | 33.68 | 0.1654 | 57.7  | 27.55 |

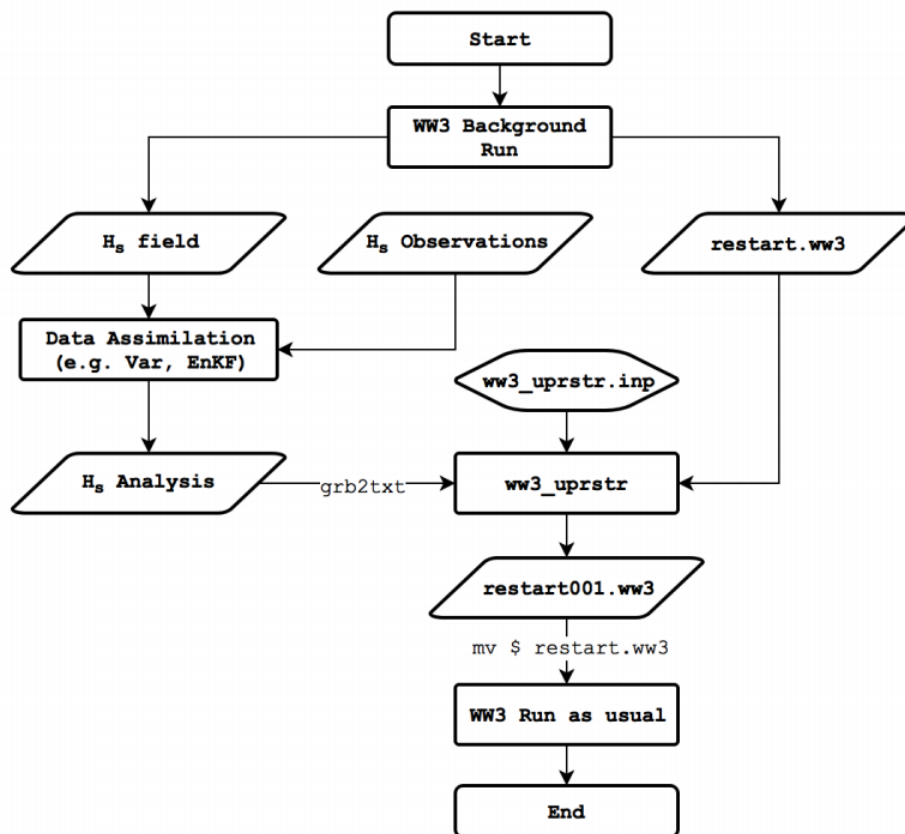


圖 22、ww3\_uprstr 的操作流程

## 2-2 氣象局硬體資源

目前系集預報系統係使用Fujitsu平台，每個系集成員計算使用32個CPU cores(2個節點)，單一節點使用32GB記憶體，現行作業執行每24小時預報所費時間約為22分，後處理包括繪圖約需30分鐘。若K=20(系集同化成員)，則同一時間需要20倍的計算資源，即40個節點、640個CPU cores。資料同化擬使用氣象局的Cluster系統，其硬體資源為2160個CPU cores (60個節點)，圖23為6/19資源耗費的狀況，可以發現一天二次之mmc海流模式所需的資源非常巨大，佔20個節點及約2.5小時，同化系統規劃可能必須去閃避使用的鋒期，因此這些都是系統規劃設計測試時需要考慮的部分。另外計算時間必須再進行測試，不同平台速度均不同，且與計算網格的設計有關，以目前藍色公路00run的計算結果而言，發布時間會在下午的16:30附近，資源似乎足夠(剩33個節點)，18run亦可，但其他06run(超過20:00剩16個節點)及12run(剩23個節點)預報，資源使用就比較不夠，這亦需要事先規劃閃避。

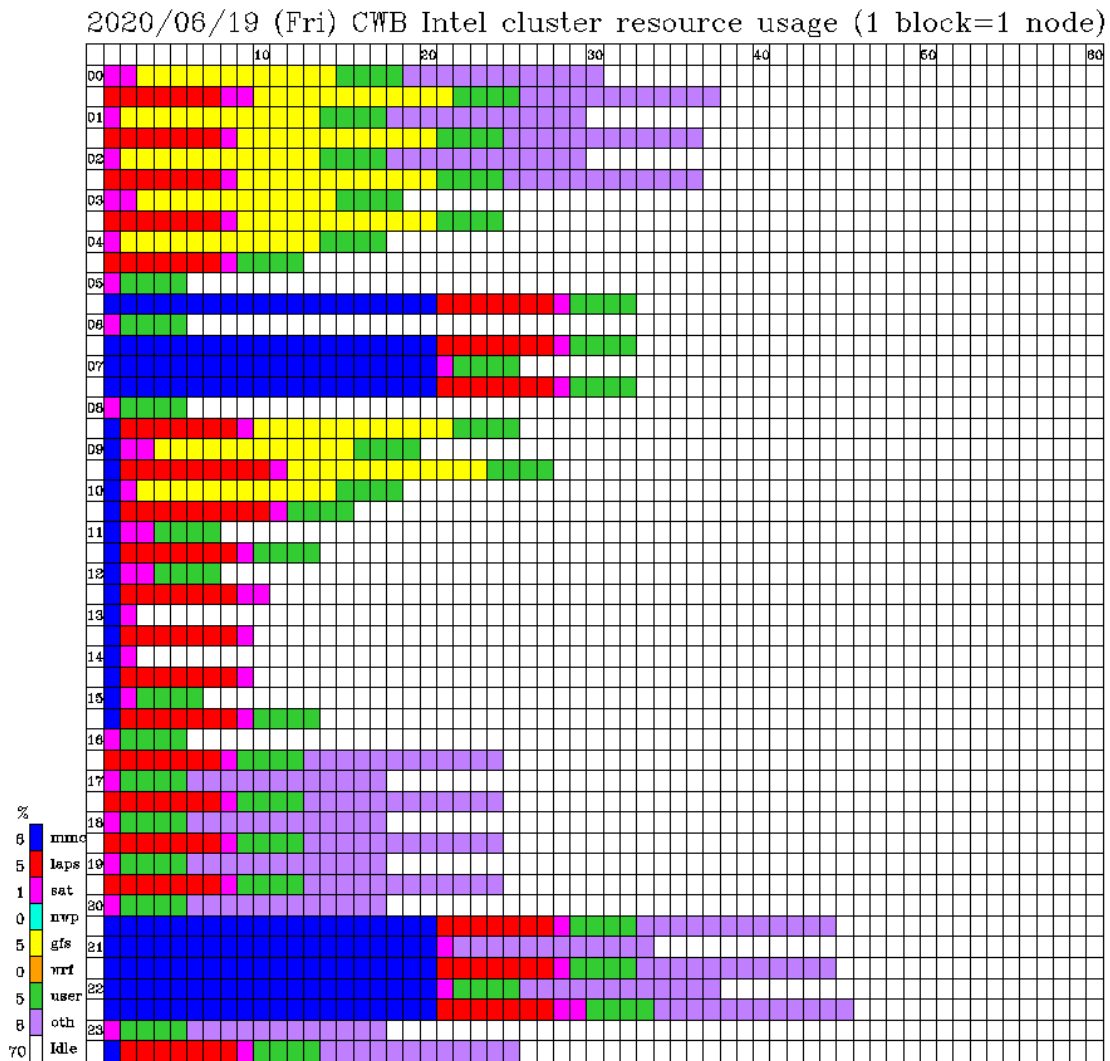
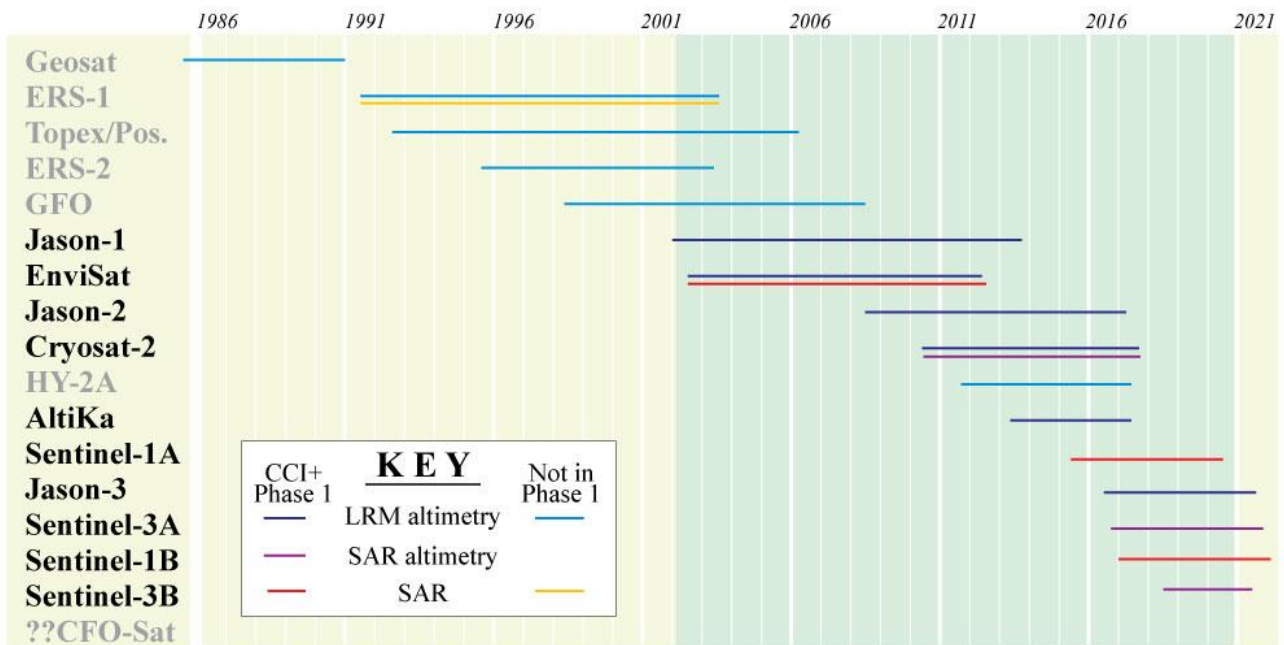


圖 23、氣象局 cluster 計算平台每日資源使用情形

## 2-3 訂定觀測資料篩選機制及建置

波浪資料同化使用的觀測資料包括浮標及衛星，目前氣象局所屬浮標均有進行即時的資料品管，而衛星觀測部分，由於即時觀測資料的品管修正無法像後來官方版60天後的修正資料那麼齊全，近即時(NRT, Near Real Time)波高觀測精度為10%FS或0.5m，風速為1.6m/s，因此衛星資料的即時品管會是一項重點，根據NCEP的經驗顯示，目前在海象部分其蒐集5種資料格式及20種海洋資料，透過level 1-4的品管，且不同資料來源會有不同的IO、詮釋資料(metadata)及QC，顯示其複雜性，其未來擬透過標準化的方式統一格式，採API前置處理，逐步整合至其他的海洋系統。而過去氣象局衛星中心曾對中國大陸的HY-2A衛星資料進行蒐集，不過目前已中斷，由於資料同化需要比較多的衛星資料，例如JASON-2、JASON-3、CryoSat-2、Saral/Altika、sentinel-3A、HY-2A等，如此每小時大約會有10000筆資料(全球)。其中CryoSat-2的任務是研究地球的極地冰蓋，測量並尋找冰厚度的變化。有關衛星之操作生命週期如圖24所示(CCI, Climate Change Initiative)。



資料來源：CCI Sea State project

圖 24、衛星之操作生命週期

## 2-3-1 衛星

### (1) JASON-3

Jason-3是由歐洲氣象衛星探測組織和國家航空航天局合作製造的衛星，是NOAA與國家海洋與大氣研究中心（Centre National d'Etudes Spatiales）合作的一項國際合作任務，主要延續Jason-2衛星的任務。衛星任務是為海平面上升、海面溫度、海洋溫度循環和氣候變化的科學、商業和實際應用提供數據。1/17/2016發射，12/15/2016開始蒐集資料，其提供的產品如圖25所示，每個產品均包括海水表面高度、海水表面風速、示性波高及所有修正的資訊，其所提供的資訊準確度如圖26。衛星軌跡掃過面積分別為11.2 km (Along) x 5.1 km (Across)，區域涵蓋±66°。資料格式為NetCDF，即時下載資料如圖27。

Jason-3 Level-2 Products

| JASON-3                | OGDR Family        | IGDR Family | GDR Family | Size & Complexity |
|------------------------|--------------------|-------------|------------|-------------------|
| Reduced 1Hz            | OGDR-SSHA          | IGDR-SSHA   | GDR-SSHA   |                   |
| 1Hz + 20Hz             | OGDR<br>OGDR-BUFR* | IGDR        | GDR        | ↓                 |
| 1Hz + 20Hz + Waveforms |                    | S-IGDR      | S-GDR      |                   |
| Latency:               | 3-5 Hours          | 1-2 Days    | ~ 60 Days  | ↓                 |

Latency Accuracy →

\* All files in NetCDF format except OGDR-BUFR, which contains no 20-Hz data

圖 25、OSTM/Jason-3 衛星提供的資料總覽

| Parameter                            | OGDR<br>3 hours   |                       | IGDR<br>1 to 1.5 days |                       | GDR<br>40 days |                          |                       |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|-----------------------|
|                                      | Requirement       | Actual                | Requirement           | Actual                | Requirement    | Goal                     | Actual                |
| Altimeter Noise <sup>1</sup>         | 1.7               | 1.8                   | 1.7                   | 1.8                   | 1.7            | 1.5                      | 1.8                   |
| Ionosphere <sup>2</sup>              | 1                 | 0.3                   | 0.5                   | 0.3                   | 0.5            | 0.5                      | 0.3                   |
| Sea State Bias <sup>3</sup>          | 3.5               | 2                     | 2                     | 2                     | 2              | 1                        | 2                     |
| Dry Troposphere                      | 1                 | 0.8                   | 0.7                   | 0.7                   | 0.7            | 0.7                      | 0.7                   |
| Wet Troposphere                      | 1.2               | 0.8                   | 1.2                   | 0.8                   | 1.2            | 1                        | 0.8                   |
| <b>Altimeter Range, RSS</b>          | <b>5</b>          | <b>2.9</b>            | <b>3</b>              | <b>2.9</b>            | <b>3</b>       | <b>2.25</b>              | <b>2.9</b>            |
| RMS Orbit (Radial Component)         | 10 <sup>(4)</sup> | 3.0 <sup>(4)</sup>    | 2.5                   | 1.5                   | 1.5            | 1.0                      | 1.0                   |
| <b>Total Sea Surface Height, RSS</b> | <b>11.2</b>       | <b>4.2</b>            | <b>3.9</b>            | <b>3.3</b>            | <b>3.4</b>     | <b>2.5</b>               | <b>3.1</b>            |
| Significant Wave Height <sup>5</sup> | 10% or 0.5 m      | TBD % or 0.12 m       | 10% or 0.4m           | TBD % or 0.12 m       | 10% or 0.4m    | 5% or 0.25m              | TBD % or 0.12 m       |
| Wind Speed                           | 1.6 m/s           | 0.9 m/s               | 1.5 m/s               | 0.9 m/s               | 1.5 m/s        | 1.5 m/s                  | 0.9 m/s               |
| Sigma Naught (absolute)              | 0.7 dB            | 0.1 <sup>(6)</sup> dB | 0.7 dB                | 0.1 <sup>(6)</sup> dB | 0.7 dB         | 0.5 dB                   | 0.1 <sup>(6)</sup> dB |
| System Drift                         |                   |                       |                       |                       |                | 1 mm/year <sup>(7)</sup> | TBD                   |

(1) – Ku-Band after ground retracking, averaged over 1 second, assuming 320 MHz C-Band bandwidth.  
(2) – Filtered over 100 km assuming 320 MHz bandwidth.  
(3) – Can also be expressed as 1% of SWH.  
(4) – Real-time DORIS onboard ephemeris.  
(5) – Whichever is greater.  
(6) – After calibration to Jason-1.  
(7) – On global mean sea level, after calibration.

圖 26、OSTM/Jason-2 衛星最後驗證階段提供的資料規格及準確度

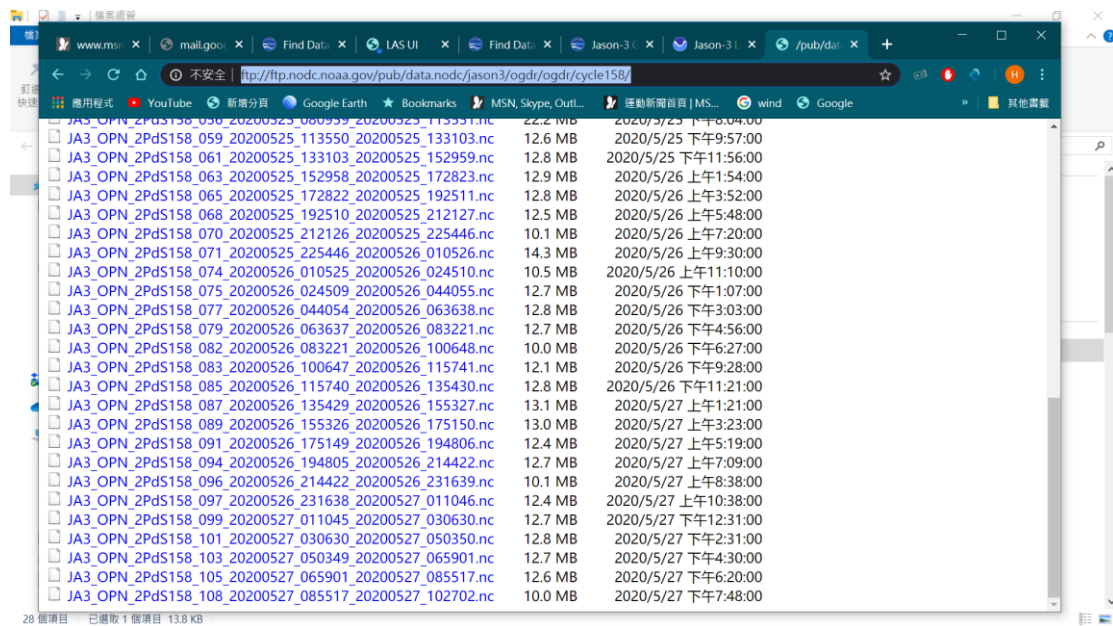


圖 27、Jason-3 即時資料下載

## (2) Saral/Altika

帶有ARGOS和ALtiKa的SARAL衛星是印度太空研究組織和CNES的合作高度計技術任務。SARAL執行高度測量，旨在研究海洋環流和海面高度。2/25/2013開始蒐集資料，衛星軌跡掃過面積分別為11km (Along) x 5 km (Across)。資料格式為NetCDF，即時下載資料如圖28。

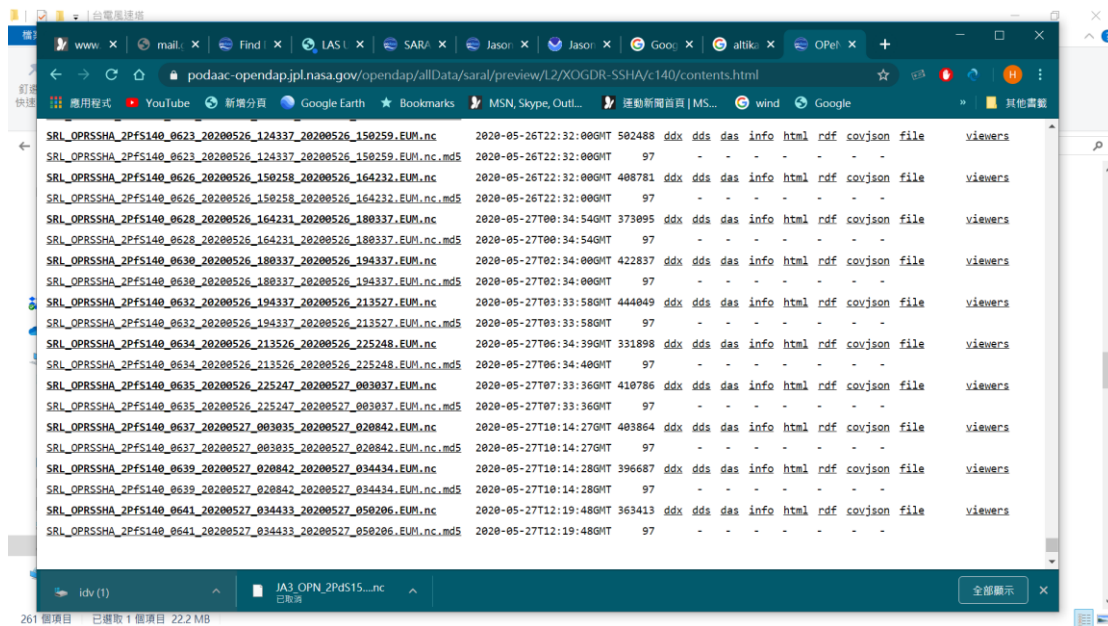


圖 28、Saral/Altika 即時資料下載

### (3) sentinel-3

Sentinel-3是由歐洲航太中心(Europen Space Agency)作為哥白尼計劃的一部分開發的地球觀測衛星星座。它目前由2顆衛星組成：Sentinel-3A和Sentinel-3B，其中Sentinel-3A產出海象相關的資料。另外兩顆衛星Sentinel-3C和Sentinel-3D正在訂購中。4/25/2018發射，繞地球一周約需27天，資料格式亦為NetCDF，軌道繞行時間如圖29，區域涵蓋 $\pm 81.5^\circ$ 。資料下載來源有二個，包括網頁和雲端(圖30、圖31)，但都需要互動式，並未如前面衛星的下載方式。

| S3-A Orbit Cycles - 2020 |          |         |                     |                     | S3-B Orbit Cycles - 2020 |          |         |                     |                     |
|--------------------------|----------|---------|---------------------|---------------------|--------------------------|----------|---------|---------------------|---------------------|
| Cycle                    | First AO | Last AO | start date          | end date            | Cycle                    | First AO | Last AO | start date          | end date            |
| 53                       | 19994    | 20378   | 19/12/2019-21:57:30 | 15/01/2020-21:57:30 | 33                       | 8358     | 8742    | 02/12/2019-21:59:22 | 29/12/2019-21:59:22 |
| 54                       | 20379    | 20763   | 15/01/2020-21:57:30 | 11/02/2020-21:57:30 | 34                       | 8743     | 9127    | 29/12/2019-21:59:22 | 25/01/2020-21:59:22 |
| 55                       | 20764    | 21148   | 11/02/2020-21:57:30 | 09/03/2020-21:57:30 | 35                       | 9128     | 9512    | 25/01/2020-21:59:22 | 21/02/2020-21:59:22 |
| 56                       | 21149    | 21533   | 09/03/2020-21:57:30 | 05/04/2020-21:57:30 | 36                       | 9513     | 9897    | 21/02/2020-21:59:22 | 19/03/2020-21:59:22 |
| 57                       | 21534    | 21918   | 05/04/2020-21:57:30 | 02/05/2020-21:57:30 | 37                       | 9898     | 10282   | 19/03/2020-21:59:22 | 15/04/2020-21:59:22 |
| 58                       | 21919    | 22303   | 02/05/2020-21:57:30 | 29/05/2020-21:57:30 | 38                       | 10283    | 10667   | 15/04/2020-21:59:22 | 12/05/2020-21:59:22 |
| 59                       | 22304    | 22688   | 29/05/2020-21:57:30 | 25/06/2020-21:57:30 | 39                       | 10668    | 11052   | 12/05/2020-21:59:22 | 08/06/2020-21:59:22 |
| 60                       | 22689    | 23073   | 25/06/2020-21:57:30 | 22/07/2020-21:57:30 | 40                       | 11053    | 11437   | 08/06/2020-21:59:22 | 05/07/2020-21:59:22 |
| 61                       | 23074    | 23458   | 22/07/2020-21:57:30 | 18/08/2020-21:57:30 | 41                       | 11438    | 11822   | 05/07/2020-21:59:22 | 01/08/2020-21:59:22 |
| 62                       | 23459    | 23843   | 18/08/2020-21:57:30 | 14/09/2020-21:57:30 | 42                       | 11823    | 12207   | 01/08/2020-21:59:22 | 28/08/2020-21:59:22 |
| 63                       | 23844    | 24228   | 14/09/2020-21:57:30 | 11/10/2020-21:57:30 | 43                       | 12208    | 12592   | 28/08/2020-21:59:22 | 24/09/2020-21:59:22 |
| 64                       | 24229    | 24613   | 11/10/2020-21:57:30 | 07/11/2020-21:57:30 | 44                       | 12593    | 12977   | 24/09/2020-21:59:22 | 21/10/2020-21:59:22 |
| 65                       | 24614    | 24998   | 07/11/2020-21:57:30 | 04/12/2020-21:57:30 | 45                       | 12978    | 13362   | 21/10/2020-21:59:22 | 17/11/2020-21:59:22 |
| 66                       | 24999    | 25383   | 04/12/2020-21:57:30 | 01/01/2021-21:57:30 | 46                       | 13363    | 13747   | 17/11/2020-21:59:22 | 14/12/2020-21:59:22 |

AO: Absolute Orbit

圖 29、Sentinel-3A 及 Sentinel-3B 之軌道繞行時間(Cycle 即繞地球 1 圈)



圖 30、Sentinel-3A 資料下載(網頁)

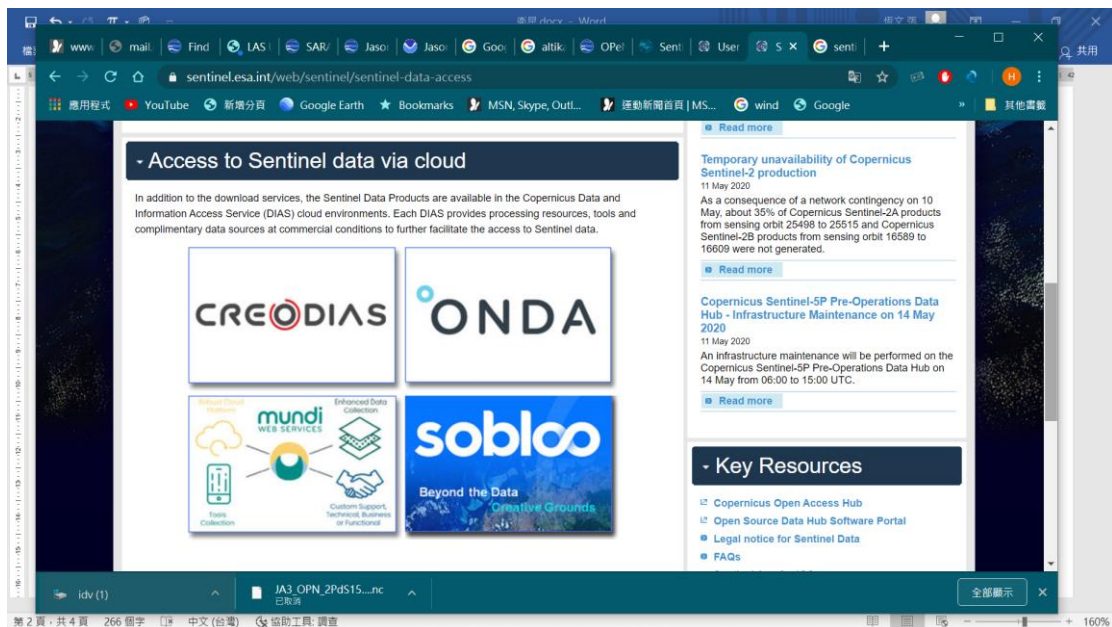


圖 31、Sentinel-3A 資料下載(雲端)

### 2-3-2 衛星資料品管

衛星資料品管的部分，擬透過NOAA的技術移轉，唯目前尚未進行，其透過4道手續篩選，約剔除掉20-30%的資料，篩選流程如圖32。研究團隊在100年的計畫，曾針對Jason-1及Jason-2衛星60天後的GDR(geophysical data record)資料，建立資料品管程序，其波高觀測精度為10%FS(Full Scale)或0.4m，風速為1.5m/s，精度略優於資料同化所採用的2-3小時延遲的即時觀測資料。

衛星資料幾乎都已統一為NetCDF資料格式，大都在網路的FTP Server上供人免費下載，部分已放到雲端。衛星繞行一周後屬於不同的CYCLE編碼，而在繞行地球經過不同的赤道位

置會有不同的PASS編碼。資料篩選的程序如后，首先篩選出驗證區域的資料，下載後利用NCL進行初步篩選，包括在NWW3模式同化資料的時間(每6小時1次，前後各30分鐘視為同一時間，NOAA則以前後各90分鐘視為同一時間)及二個頻率皆符合品管的資料，再轉換成ASCII的資料格式，所獲得的驗證資料格式包含時間、經緯度、波高及風速等資料，篩選的流程如圖33所示。經過時間的篩選之後，需對空間進行整理，由於NWW3模式之網格點資料輸出存在平均的意義，因此在其座標左右各半個網格內所通過的衛星資料應該都屬於該格點的涵蓋範圍，蒐集該範圍內的衛星資料進行平均，此外由於衛星可以觀測到包括湖泊在內水上的資訊，因此也必須配合NWW3的計算格點進行篩選。

經過以上的初步篩選後，還有其他的篩選步驟，包括網格點內變異係數(標準差對平均數之比值)不大於0.4(一個網格範圍的數值不應有太大差距)、風與浪的特性(濾掉大於8級風浪時之風速仍在6級以下條件的衛星資料)、網格網格內只有一個數值的情形等，以JASON-2衛星為例，剔除的比例約為14.2%。NOAA的衛星資料篩選機制包括level 1-4的品管機制，其剔除的比例約為20-30%，可能研究團隊訂定的篩選標準還太寬鬆，或者是其中存在有不同衛星的差異，還需要再進一步的修正。

圖34為Jason3、Saral/Altika (SRL)、Sentinel-3A在06:00±1.5小時範圍內之行動軌跡，其中紅色框線範圍為藍色公路三層預報之最外層，擬作為波浪資料同化之測試範圍。圖35則為軌跡上之波高分布，圖36則為依據前述研究團隊品管規則後之波高分布(限Jason3)，由於Saral/Altika及Sentinel-3A衛星在上述網址均無法完整下載其他參考資訊，且Saral/Altika L2的資料品管亦未消除陸上資料，所以僅針對時序列處理，無法從不合理值予以剔除。

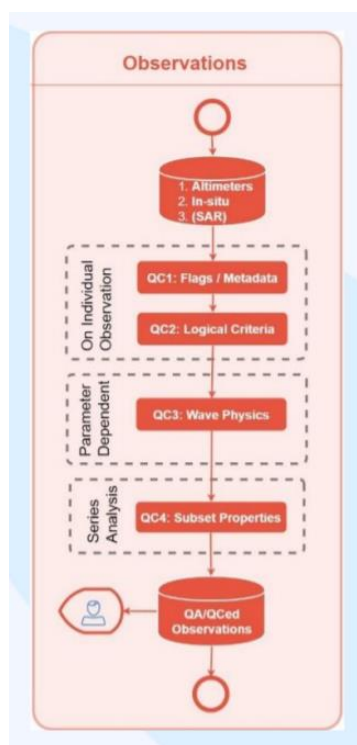


圖 32、NOAA 觀測資料篩選流程

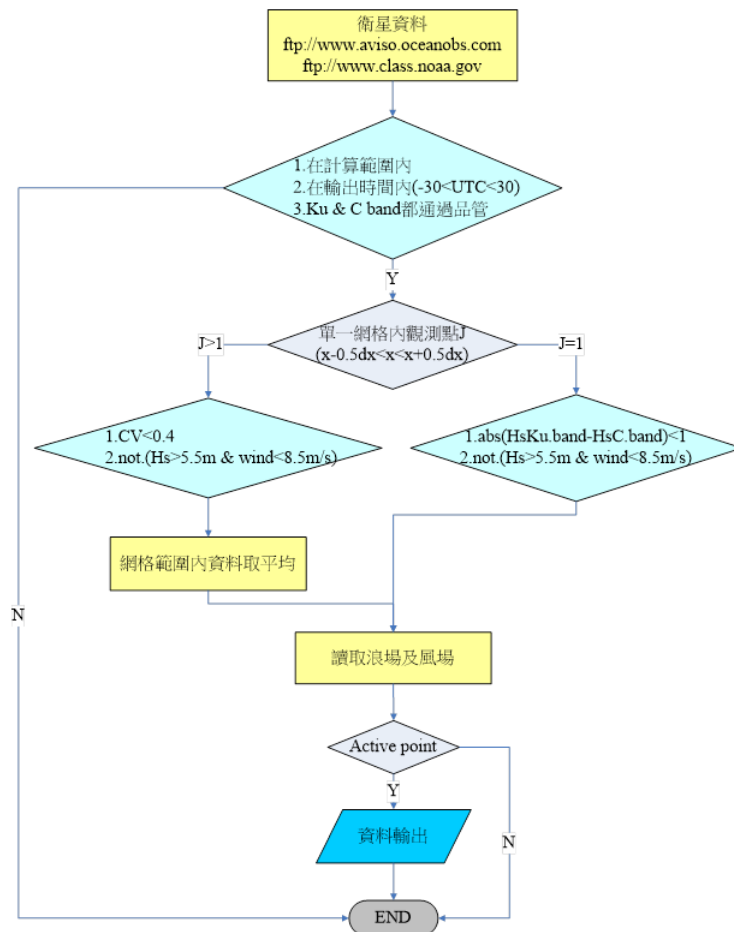


圖 33、研究團隊之衛星觀測資料篩選流程

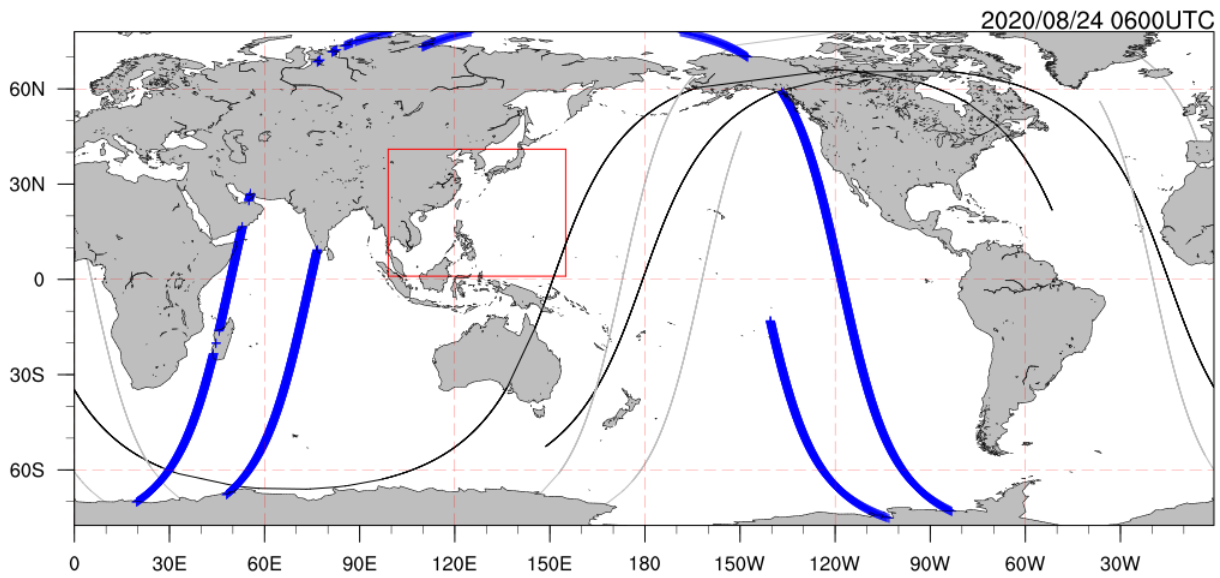


圖 34、2020/8/24 06 之衛星軌跡(黑:jason3，灰:SRL，藍: Sentinel-3A)

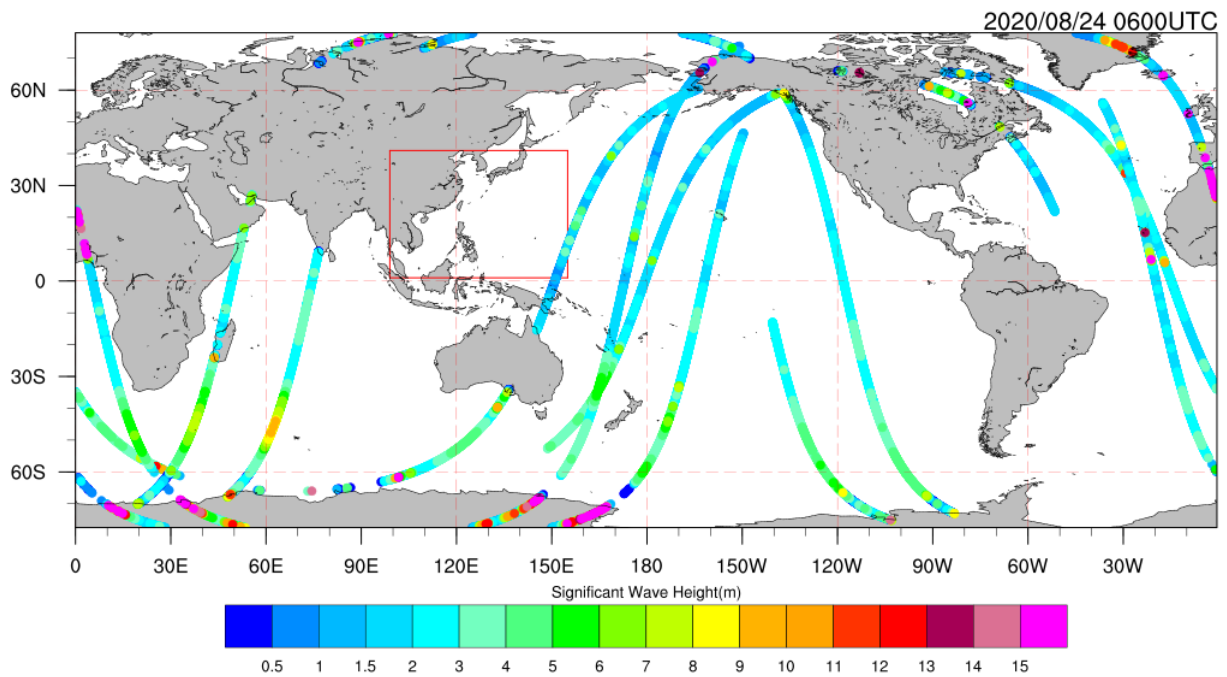


圖 35、2020/8/24 06 之衛星波高分布(品管前)

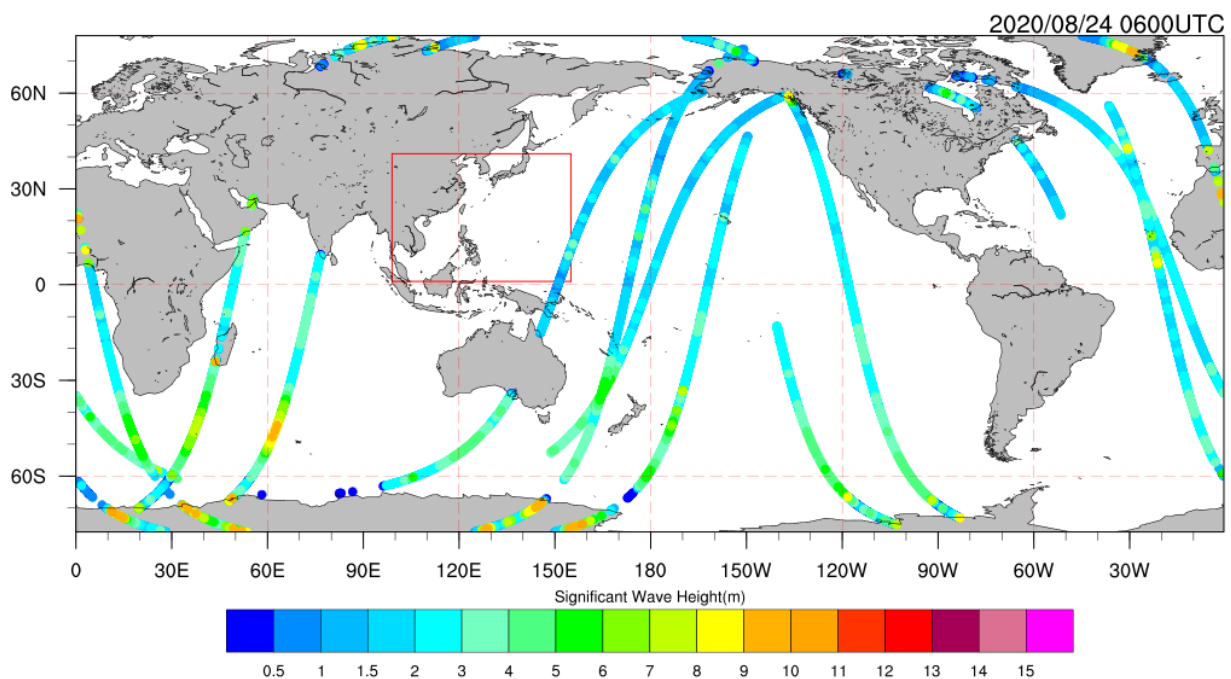



圖 36、2020/8/24 06 之衛星波高分布(品管後)

### 2-3-3 衛星資料下載

前節下載網址除JASON-3外，在每日作業化的時間限制下，都會有無法準時下載（即超過預報時間）及資訊不足（僅有單一頻率波高，只能視為時間序列處理QC）的問題，對於宣稱延遲3小時的OGDR而言似乎不合常理。因此請教Dr. Stylianos，其建議由CMEMS(Copernicus Marine Environment Monitoring Service)獲取即時相關資料(圖37)，包括L3衛星軌跡波高及波譜資料(圖38)，圖39為2020/10/5 06:00之衛星軌跡波高分布圖，包括JASON-3、CFO、Saral/Altika、

sentinel-3A、sentinel-3B、HY-2B，此L3等級資料又比前節L2資料高一級QC，不過也僅有波高及風速資料而已，亦只能當時序列的QC處理。後續將再請教NOAA有關於進階到L4部分之QC處理流程。氣象局的安管較嚴，ftp下載位址都會有所限制，目前相關位址連接正由海象中心測試中。

Implemented by [Mercator Ocean International](#) as part of the [Copernicus Programme](#)

[Home](#) [User Corner](#) [Contact Us](#)

[Access your ocean information](#)
[OCEAN PRODUCTS](#)
[OCEAN MONITORING INDICATORS](#)
[OCEAN STATE REPORT](#)

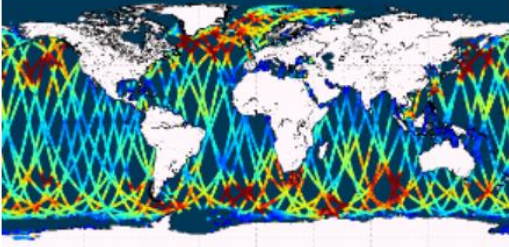


[My Account](#)

?

Found **174 ocean products** matching your criteria. [Export results](#)

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>REGIONAL DOMAIN</b><br><b>PARAMETERS</b><br><b>TEMPORAL COVERAGE</b><br>From <input type="text" value="1992-01-01"/> To <input type="text" value="2020-11-02"/><br><input type="checkbox"/> If checked, the search results will only show products containing the whole selected time range<br><b>PRODUCT WITH DEPTH LEVEL</b> <input type="checkbox"/><br><input type="button" value="Reset Search Filters"/> | <b>GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024</b><br><b>GLOBAL OCEAN 1/12° PHYSICS ANALYSIS AND FORECAST UPDATED DAILY</b><br>MODEL <span style="float: right;">● ● ● ●</span><br>T bottom T S SSH 3DUV MLD SIC SIT SIUV ⓘ<br>0.083 degree x 0.083 degree (50 depth levels)<br>From 2018-07-07 to Present<br>hourly-mean,daily-mean,monthly-mean,6-hourly-instantaneous<br>MORE INFO  ADD TO CART  WMS Sub-setting | GLO<br> |
|---|--|--|

圖 37、CMEMS 網頁

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>WAVE_GLO_WAV_L3_SWH_NRT_OBSERVATIONS_014_001</b>   |   |  |
| <b>GLOBAL OCEAN L3 SIGNIFICANT WAVE HEIGHT FROM NRT SATELLITE MEASUREMENTS</b>                |   |  |
| OBSERVATION   | L3  | GLO ARC BAL NWS IBI MED BS   |
| WIND SWH ⓘ  |   |  |
| 7 km x 7 km (Surface only)  |   |  |
| From 2020-01-01 to Present  |   |  |
| instantaneous   |   |  |
| MORE INFO  | ADD TO CART  | WMS <del>X</del> Sub-setting <del>X</del>  |

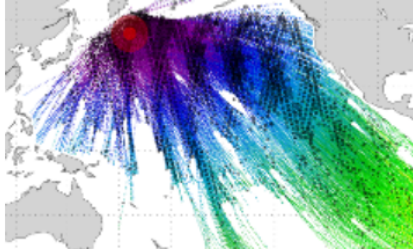


|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>WAVE_GLO_WAV_L3_SPC_NRT_OBSERVATIONS_014_002</b>   |   |  |
| <b>GLOBAL OCEAN L3 SPECTRAL PARAMETERS FROM NRT SATELLITE MEASUREMENTS</b>                    |   |  |
| OBSERVATION   | L3  | GLO ARC BAL NWS IBI MED BS   |
| SWH MWP VMDR ⓘ  |   |  |
| undefined undefined x undefined undefined (Surface only)                                      |   |  |
| From 2018-05-28 to Present  |   |  |
| 3-hourly-instantaneous  |   |  |
| MORE INFO  | ADD TO CART  | WMS <del>X</del> Sub-setting <del>X</del>  |

圖 38、CMEMS 之衛星即時相關資料(上:波高、下:波譜)

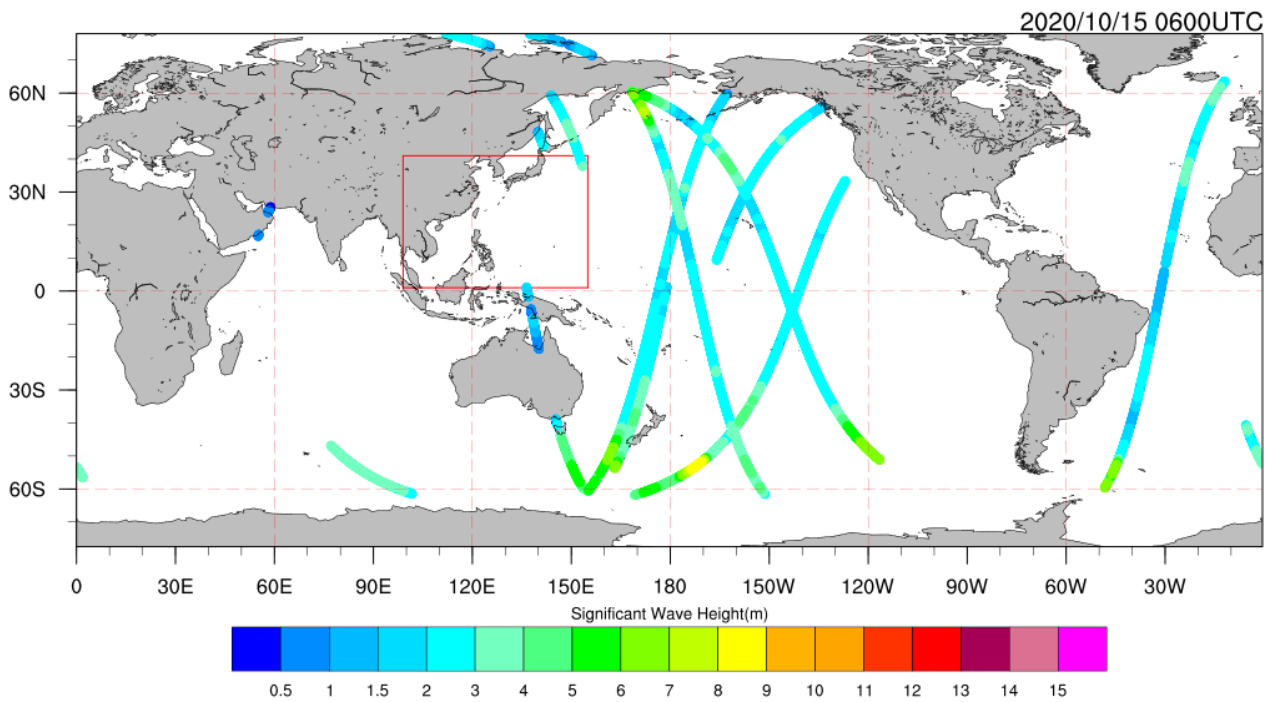


圖 39、CMEMS 之衛星波高即時相關資料

### 2-3-4 向前因子

向前因子(forward operator)即串聯觀測與模式之間的不對稱矩陣，以目前波浪資料同化的觀測值為波高，而模式使用衍生變數亦為波高，則向前因子僅為空間的轉換關係，例如觀測資料比數為10000筆，以全球模式 $0.5^\circ$ 而言，共152,402個有效網格，假設10000筆均分布在相同網格，則向前因子即為 $10,000 \times 152,402$ 的矩陣。此外，原NWW3的能譜變數應該是 $N(k, \theta, x, y)$ 矩陣，但為了計算效率，將空間 $(x, y)$ 改為一維矩陣儲存，因此從原四維矩陣降為三維矩陣，同時不考慮陸地點位，其編碼示意圖如圖40所示。當觀測點位為浮標時，因其位置固定，故向前因子並不會改變，顯然當使用衛星資料時，其位置是變動的，需額外處理以求得向前因子之矩陣分布。

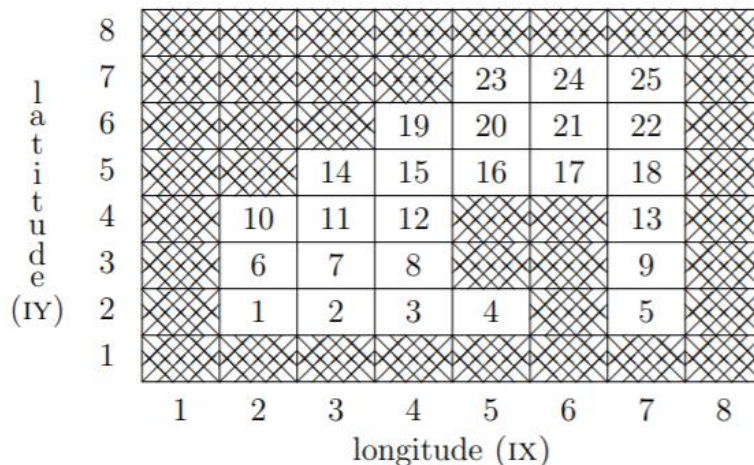


圖 40、NWW3 網格編碼(active points)及儲存序列示意圖

## 2-4 同化方法 LETKF 測試

### 2-4-1 UMD-LETKF

目前NOAA釋出的是UMD-LETKF(Universal Multi-Domain LETKF)，係改寫原始由Hunt(2007)發展、Miyoshi(2005)撰寫的程式碼，Steve Penny增加撰寫海洋的部分。其具有模式通用函式庫、物件導向設計、多重網格強烈耦合的特性，容易藉由獨立IO設計完成資料同化的計算，然而也因為使用變得簡單，模式建立時即需使用時下流行的軟體建置。除了原有的fortran編譯軟體(版本需求gfortran  $\geq$  5.0, Intel  $\geq$  16.0)、MPI、BLAS及LAPACK數值函式庫外，還包括Github(版本1.8.3.1)、CMake(版本3.18.2)、NetCDF4 w/API for Fortran、WGRIB2 API(版本2.07)、YAML、Python等。氣象局的cluster使用的gfortran為4.8.5版不符合需求，需要進行更新(新版本才具有處理字串動態設定的功能)，而Intel編譯器之版本雖然符合條件，但因license使用限制的問題，無法在上面進行建置測試，因此所有工作均在研究單位使用Intel編譯器之伺服器上進行建置，屆時再於cluster上安裝。而cluster升級gfortran，受到必須同步升級MPI的限制，截至目前為止仍在努力中。

### 2-4-2 向前因子測試

LETKF的觀測更新方程如式(1)所示，其中 $Z_k - M_k \bar{X}_k^f$ 稱為觀測增量， $Z_k$ 為觀測值， $M_k$ 向前因子， $\bar{X}_k^f$ 背景場或稱預報場平均值， $G_k$ 卡門增益(kalman gain)矩陣。式(2) $P_k^f$ 預報誤差協方差矩陣， $K$ 個有限隨機樣本(系集)。UMD-LETKF已經整合觀測向前因子 $M_k$ 在內，藉由觀測的座標與模式背景場的座標串聯起來，所需之輸入條件為模式系集背景場(NetCDF、GRIB2)、觀測資料及 $M_k \bar{X}_k^f$ (NetCDF、JEDI)，而輸出則為系集分析場(NetCDF)，另會產生DA前後之系集平均及系集分歧。

$$\bar{X}_k^a = \bar{X}_k^f + G_k [Z_k - M_k \bar{X}_k^f] \quad (1)$$

$$P_k^f \approx S_k^f (S_k^f)^T \quad (2)$$

$$\text{其中 } S_{i,k}^f = \frac{1}{\sqrt{K-1}} (X_{i,k}^f - \bar{X}_k^f) \quad \bar{X}_k^f = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K X_{i,k}^f$$

### 2-4-3 波浪資料同化之 twin experiment 測試

資料同化程式建立後需先進行比對實驗，以確保LETKF程式之正確性。UMD-LETKF設計利用觀測增量來測試LETKF，比較同化前後之合理變化，同時可考慮觀測值之誤差。本研究分為觀測值無誤差及有誤差二種情形進行測試。測試標的之設計包括使用全球模式( $1^\circ \times 1^\circ$ )當背景場、31個系集、每個系集為均值(即每個網格點的值均相同)、二個觀測點(圖41之紅點)、系集分歧在每個網格點均相同(等於1)，系集平均等於-0.01397等，觀測座標分別為(E175.5,

N21.5)、(E220.5, N4.0)，觀測增量分別為1m、15m(相當於觀測值等於0.08603m、14.08603m)，觀測誤差分別為0.2m及3m。局地(local)在LETKF即在於觀測值之局地影響半徑(等於高斯分布之標準差)，UMD-LETKF可以考慮水平及三維空間之局地變化，相同緯度的局地影響半徑均設為相同，因此可以設定不同緯度的局地影響半徑，中間再用線性差分方式決定。此測試案例設定在赤道為500公里、北緯90度為50公里。

(1) 觀測無誤差

圖42為分析場之系集平均及系集分歧，圖中顯示當觀測無誤差時，分析場即等於觀測值，而觀測影響範圍約達半徑1000公里(2倍局地影響半徑)左右，隨緯度增加而減少。而同化後每個系集成員在觀測點等於觀測值，使得系集分歧等於0，相較原有系集分歧等於1時下降很多，這也是系集同化的特性，因此為了避免系集小樣本低估了預報的不確性，及維持預測變數機率密度函數的演變，會在計算分析誤差協方差之前或之後乘於人工的變異數放大因子(variance inflation)。

表5為計算時所需之記憶體及速度，僅使用1個核心所花的處理時間非常短，而記憶體亦僅使用約0.06GB。而UMD-LETKF所需之硬體約3.5GB，還少於NWW3的4.8GB，基本上不太佔硬體及記憶體資源。備份策略可以參考系集預報的方式逐月進行備份，而技術評估指標相同於決定性預報的評估指標，但使用系集平均來作為預報值。

表 5、執行 LETKF 所需之記憶體資源及時間(觀測無誤差)

| Timing                              |      |            |      |      |
|-------------------------------------|------|------------|------|------|
| =====                               |      |            |      |      |
| calculating timer statistics across |      | 1 cores... |      |      |
|                                     | Ave  | min        | max  | std  |
| Total                               | 0.91 | 0.91       | 0.91 | 0.00 |
| pre-init                            | 0.00 | 0.00       | 0.00 | 0.00 |
| init                                | 0.08 | 0.08       | 0.08 | 0.00 |
| read_state_s                        | 0.00 | 0.00       | 0.00 | 0.00 |
| read_state                          | 0.05 | 0.05       | 0.05 | 0.00 |
| io_read                             | 0.04 | 0.04       | 0.04 | 0.00 |
| mpi_send                            | 0.02 | 0.02       | 0.02 | 0.00 |
| bkg_mean_spr                        | 0.01 | 0.01       | 0.01 | 0.00 |
| calc                                | 0.00 | 0.00       | 0.00 | 0.00 |
| write_mean                          | 0.01 | 0.01       | 0.01 | 0.00 |
| io_write                            | 0.01 | 0.01       | 0.01 | 0.00 |
| mpi_gath                            | 0.00 | 0.00       | 0.00 | 0.00 |
| read_obs                            | 0.00 | 0.00       | 0.00 | 0.00 |
| solver                              | 0.75 | 0.75       | 0.75 | 0.00 |
| obs_search                          | 0.34 | 0.34       | 0.34 | 0.00 |
| letkf_core                          | 0.05 | 0.05       | 0.05 | 0.00 |
| letkf_trans                         | 0.01 | 0.01       | 0.01 | 0.00 |
| output                              | 0.09 | 0.09       | 0.09 | 0.00 |
| diag_write                          | 0.00 | 0.00       | 0.00 | 0.00 |

|                                      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|------|------|------|------|
| write_meansp                         | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| io_write                             | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| mpi_gather                           | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| write_ens                            | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.00 |
| io_write                             | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.00 |
| mpi_gather                           | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Current Mem in GB (min/max/avg/tot): | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Maximum Mem in GB (min/max/avg/tot): | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |

## (2) 觀測有誤差

圖43為觀測有誤差時之分析場系集平均及系集分歧，圖中顯示當觀測存在誤差時，分析場不會等於觀測值，會離開觀測值，在(E220.5, N4.0)之觀測誤差為3m使得最大系集平均波高介於3-4m，另外一個點位之觀測誤差為0.2m，因此系集平均亦有縮小，但變化幅度較另一點位少很多。因局地影響範圍不變，但因波高變化梯度(gradient)縮小使得觀測點位影響範圍在相同的色階會稍為變小。而系集分歧降低的情形亦有改善，在觀測誤差較小時，系集分歧下降較多會需要乘於人工的變異數放大因子。圖44為分析場減去背景場之波高變化。

表6為執行LETKF所需之記憶體資源及時間，與觀測無誤差的條件差異不大，均十分迅速。

表 6、執行 LETKF 所需之記憶體資源及時間(觀測有誤差)

| Timing                              |      |      |          |      |
|-------------------------------------|------|------|----------|------|
| =====                               |      |      |          |      |
| calculating timer statistics across |      | 1    | cores... |      |
|                                     | Ave  | min  | max      | std  |
| Total                               | 0.92 | 0.92 | 0.92     | 0.00 |
| pre-init                            | 0.00 | 0.00 | 0.00     | 0.00 |
| init                                | 0.08 | 0.08 | 0.08     | 0.00 |
| read_state_s                        | 0.00 | 0.00 | 0.00     | 0.00 |
| read_state                          | 0.06 | 0.06 | 0.06     | 0.00 |
| io_read                             | 0.04 | 0.04 | 0.04     | 0.00 |
| mpi_send                            | 0.02 | 0.02 | 0.02     | 0.00 |
| bkg_mean_spr                        | 0.01 | 0.01 | 0.01     | 0.00 |
| calc                                | 0.00 | 0.00 | 0.00     | 0.00 |
| write_mean                          | 0.01 | 0.01 | 0.01     | 0.00 |
| io_write                            | 0.01 | 0.01 | 0.01     | 0.00 |
| mpi_gath                            | 0.00 | 0.00 | 0.00     | 0.00 |
| read_obs                            | 0.00 | 0.00 | 0.00     | 0.00 |
| solver                              | 0.75 | 0.75 | 0.75     | 0.00 |
| obs_search                          | 0.34 | 0.34 | 0.34     | 0.00 |
| letkf_core                          | 0.05 | 0.05 | 0.05     | 0.00 |
| letkf_trans                         | 0.01 | 0.01 | 0.01     | 0.00 |
| output                              | 0.09 | 0.09 | 0.09     | 0.00 |
| diag_write                          | 0.00 | 0.00 | 0.00     | 0.00 |
| write_meansp                        | 0.00 | 0.00 | 0.00     | 0.00 |
| io_write                            | 0.00 | 0.00 | 0.00     | 0.00 |

|                                      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|------|------|------|------|
| mpi_gather                           | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| write_ens                            | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.00 |
| io_write                             | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.00 |
| mpi_gather                           | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Current Mem in GB (min/max/avg/tot): | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Maximum Mem in GB (min/max/avg/tot): | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

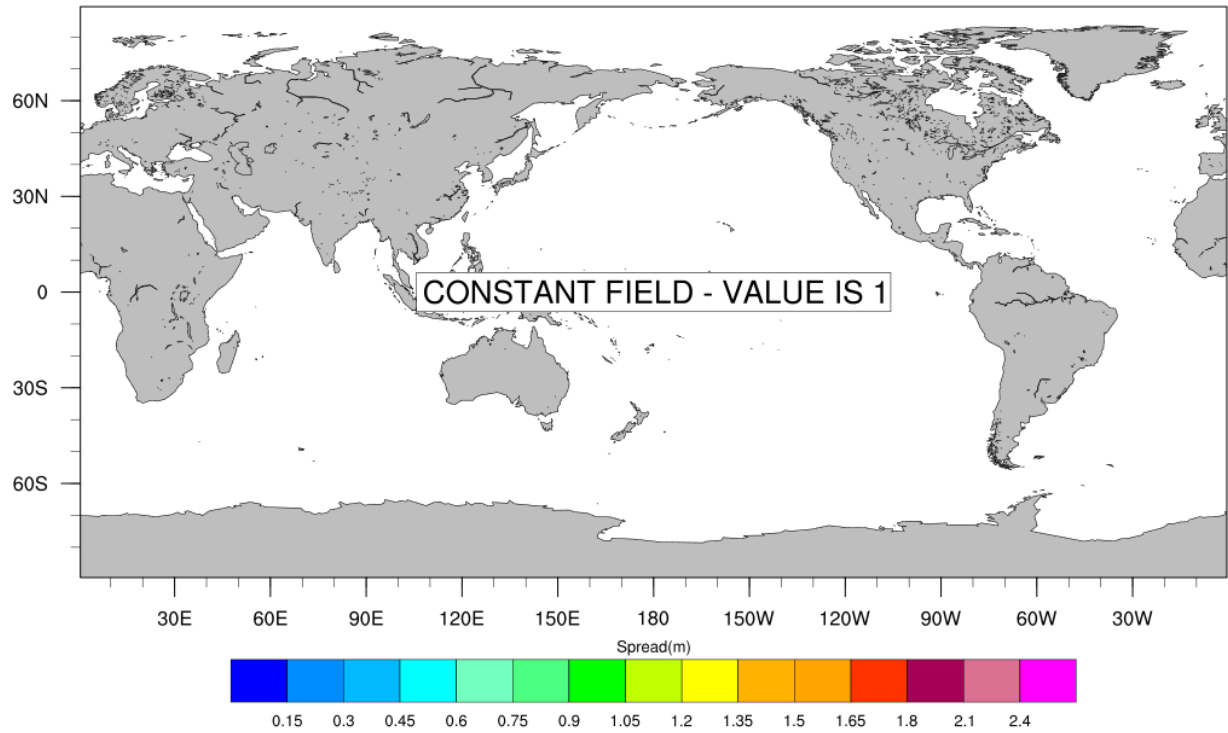
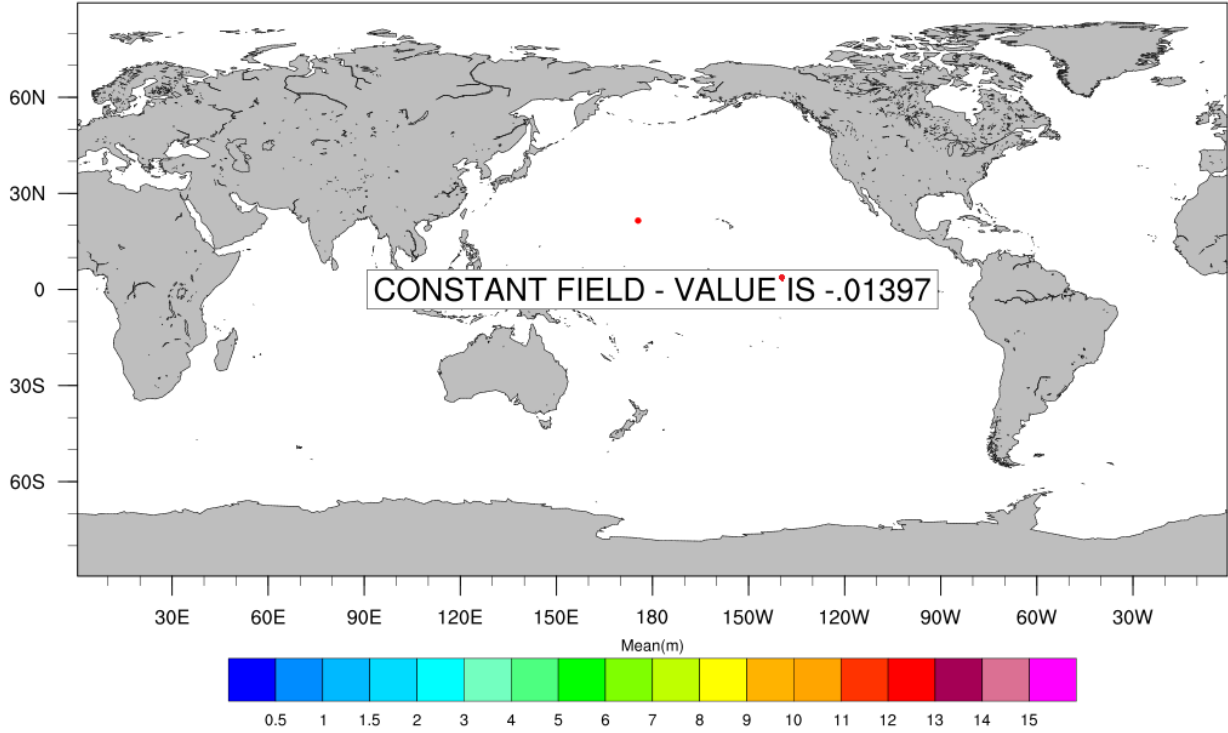


圖 41、背景場之系集平均(上)及系集分歧(下)

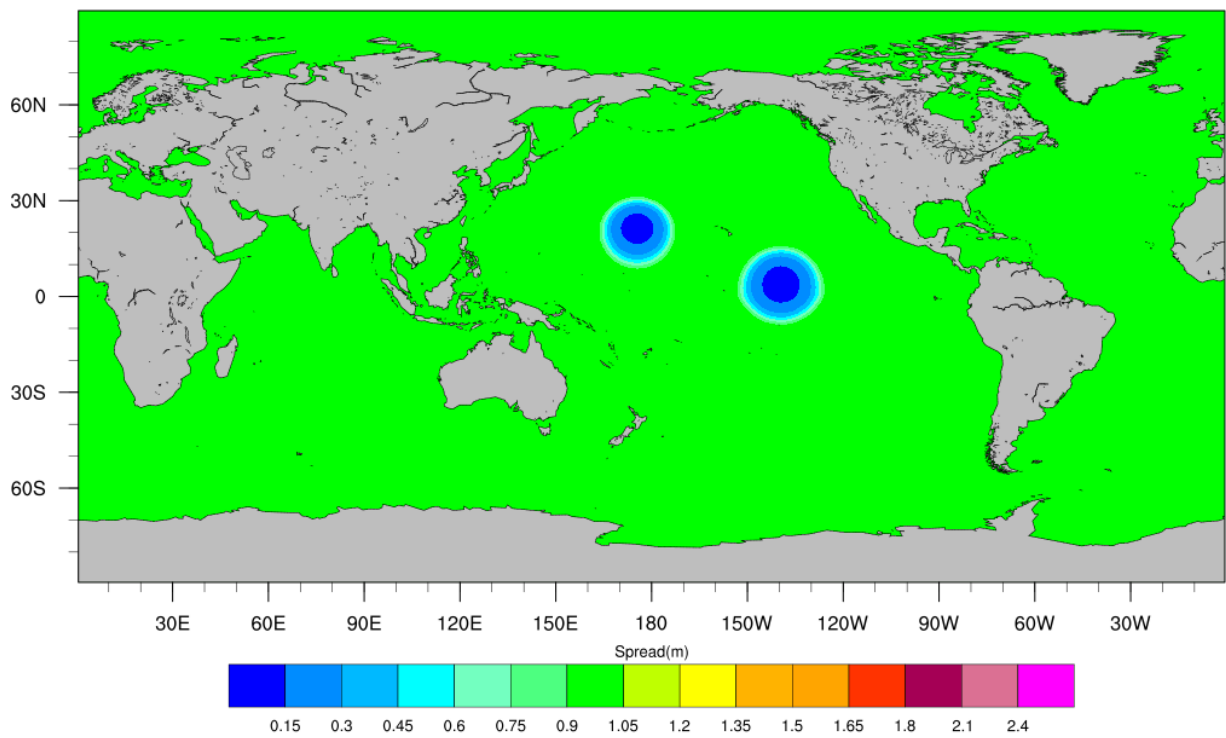
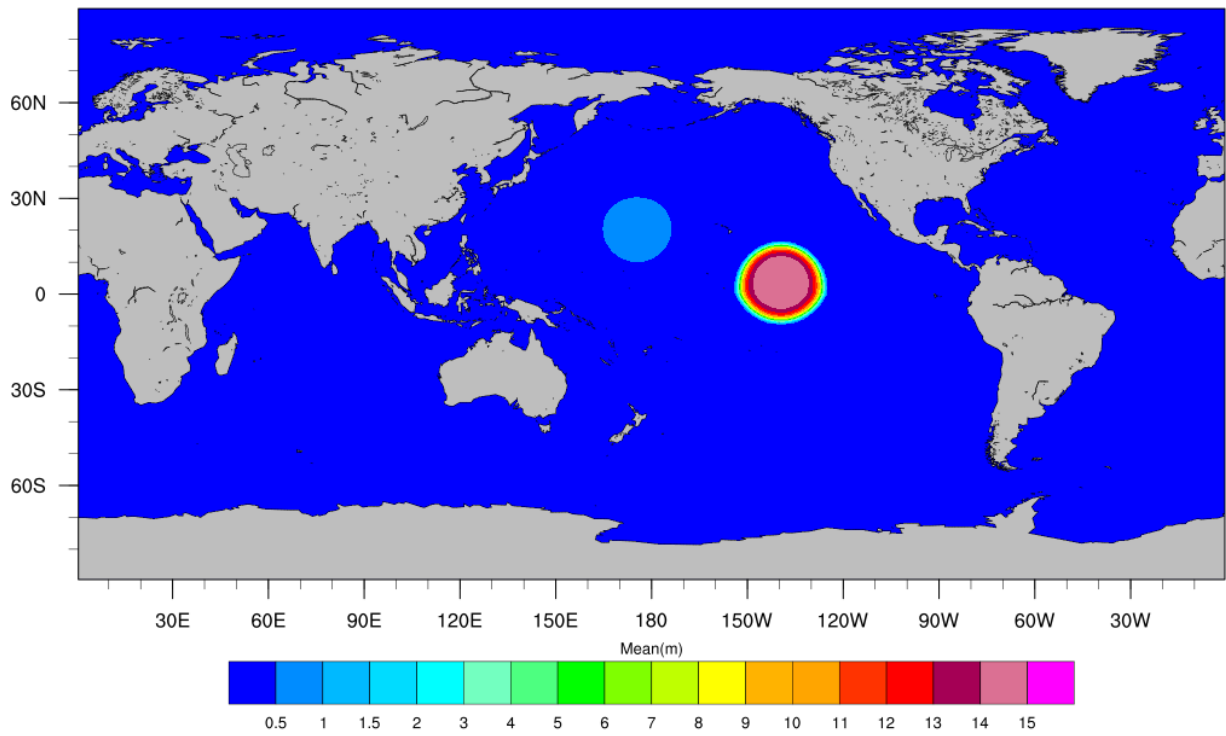


圖 42、分析場之系集平均(上)及系集分歧(下)(無觀測誤差)

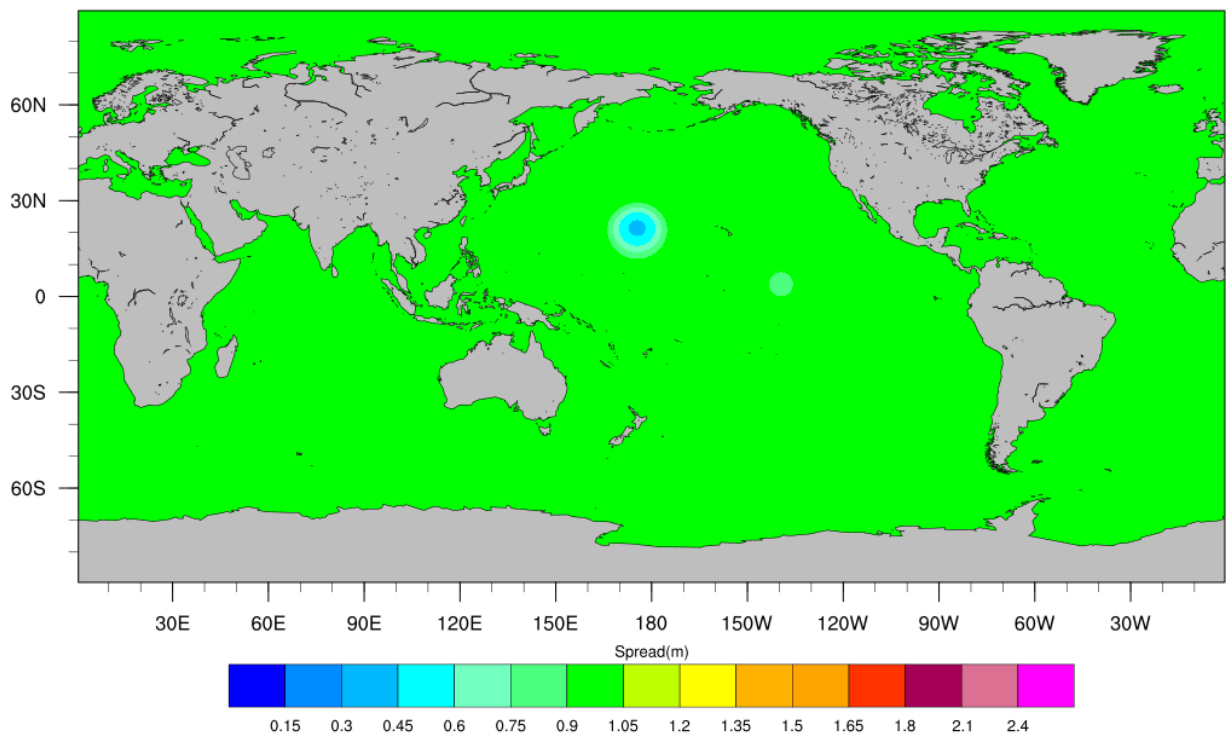
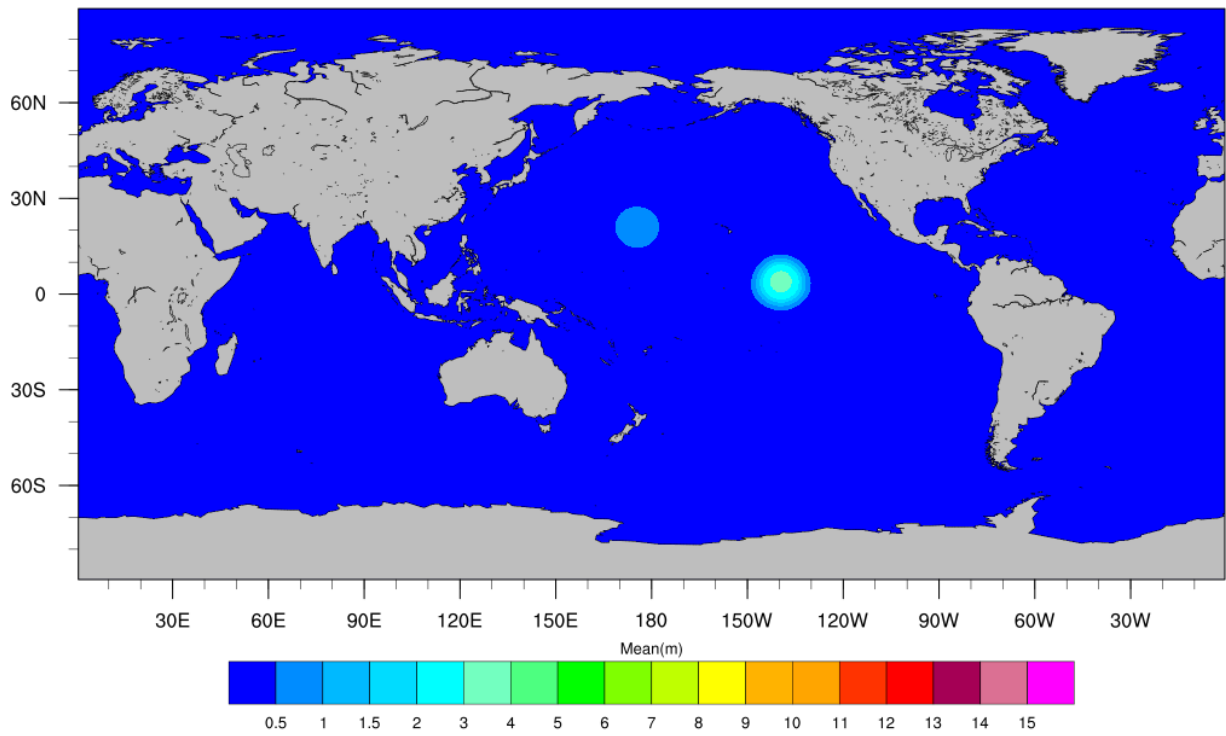


圖 43、分析場之系集平均(上)及系集分歧(下)(觀測有誤差)

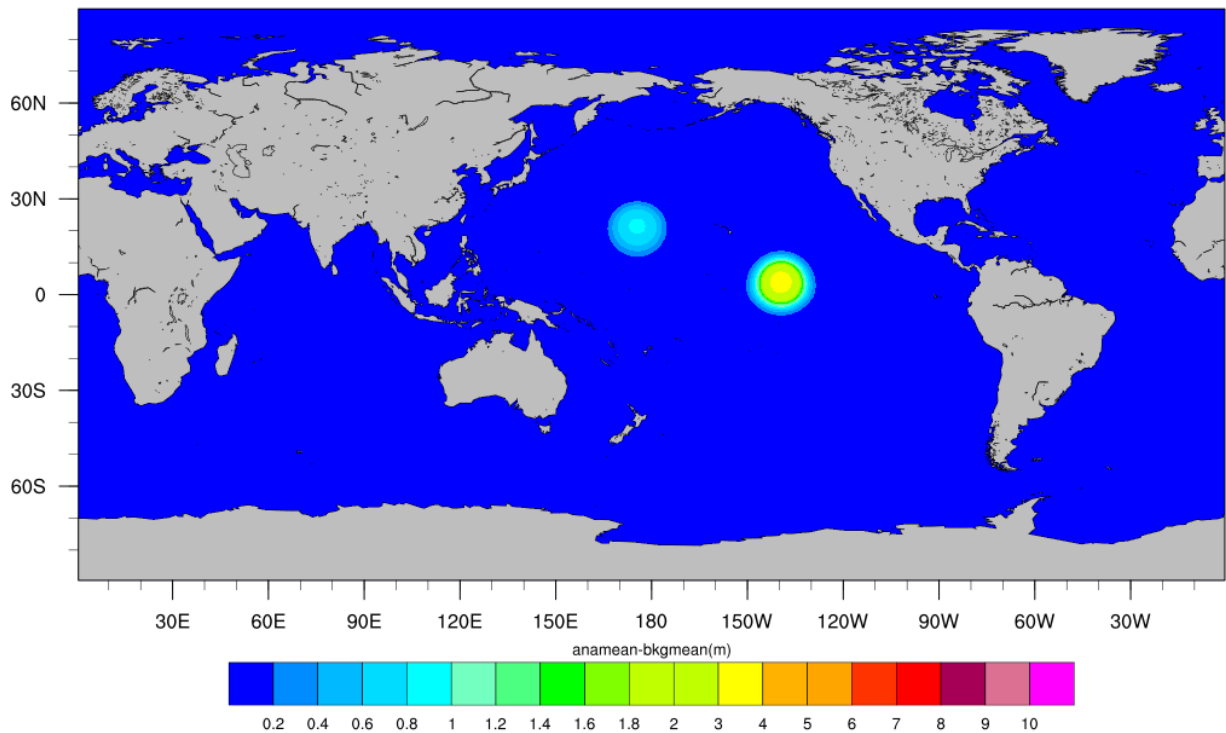


圖 44、分析場系集平均減去背景場系集平均之波高分布(觀測有誤差)

再測試全球模式( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ )當背景場、10個系集、二個觀測點(圖45之紅點)之案例，觀測點座標分別為(E210.5, N48.5)、(E185.5, N37.5)，觀測增量分別為1m、-1m，觀測誤差均為0.1m。局地影響半徑均設定為500公里。圖45為背景場之系集平均與分歧，觀測點(\*)位於北太平洋二個大波高中心附近，觀測誤差均甚小，因此同化會較偏向觀測值，而觀測增量為正代表觀測值大於背景值，反之則小於。圖46為分析場之系集平均與系集分歧，圖47為分析場平均減去背景場平均之波高分布，圖中顯示觀測增量為正，分析場會變大，反之則會變小，且因為局地影響半徑均設定為500公里，故影響範圍差異不大。系集分歧差異則較不明顯，但受同化影響後之系集分歧一定會變小，因為會偏往觀測值。

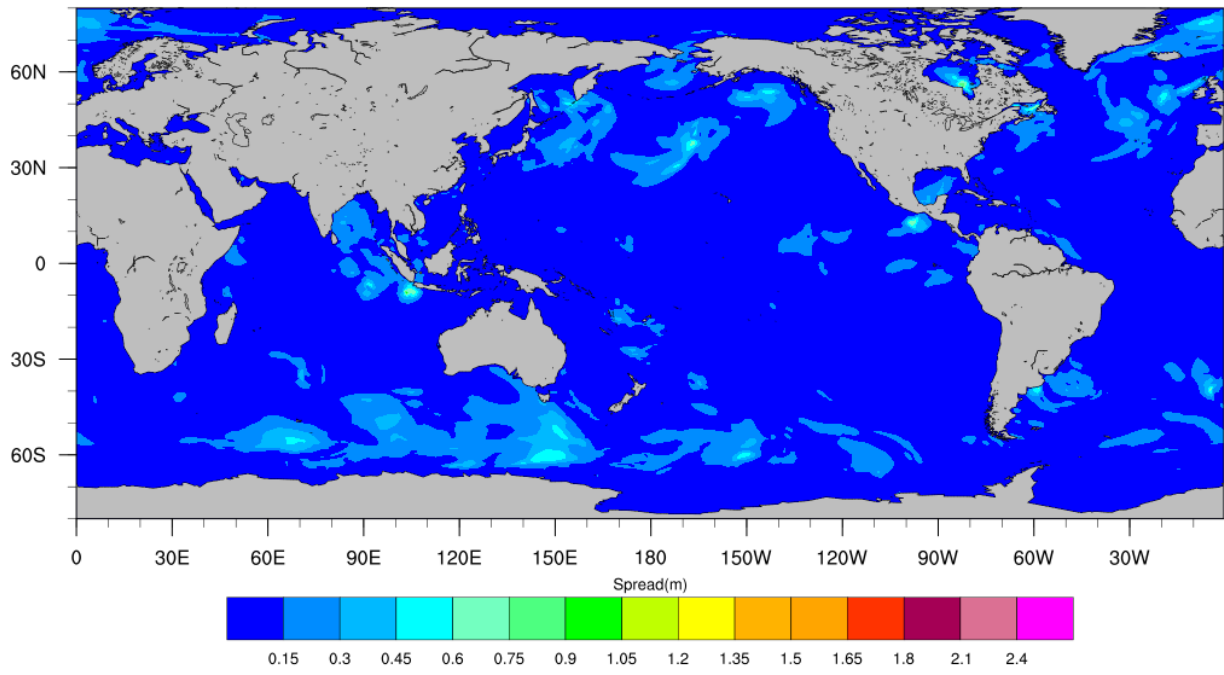
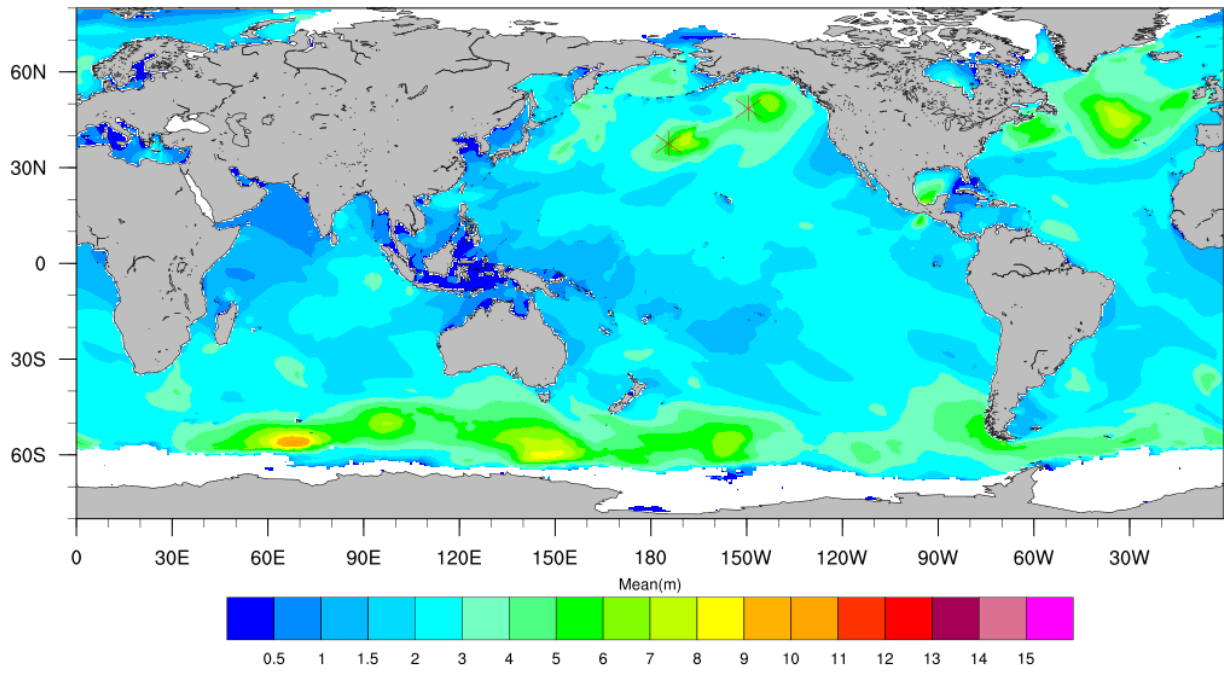


圖 45、背景場系集平均、觀測點(上)及系集分歧(下)之波高分布

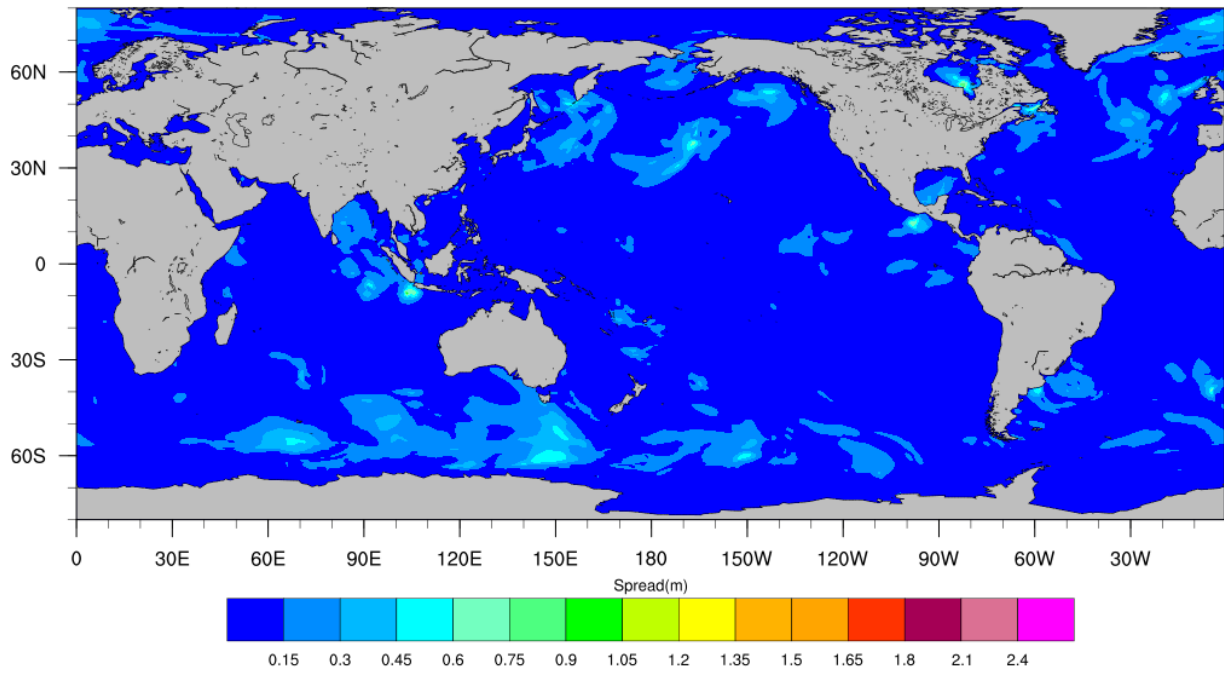
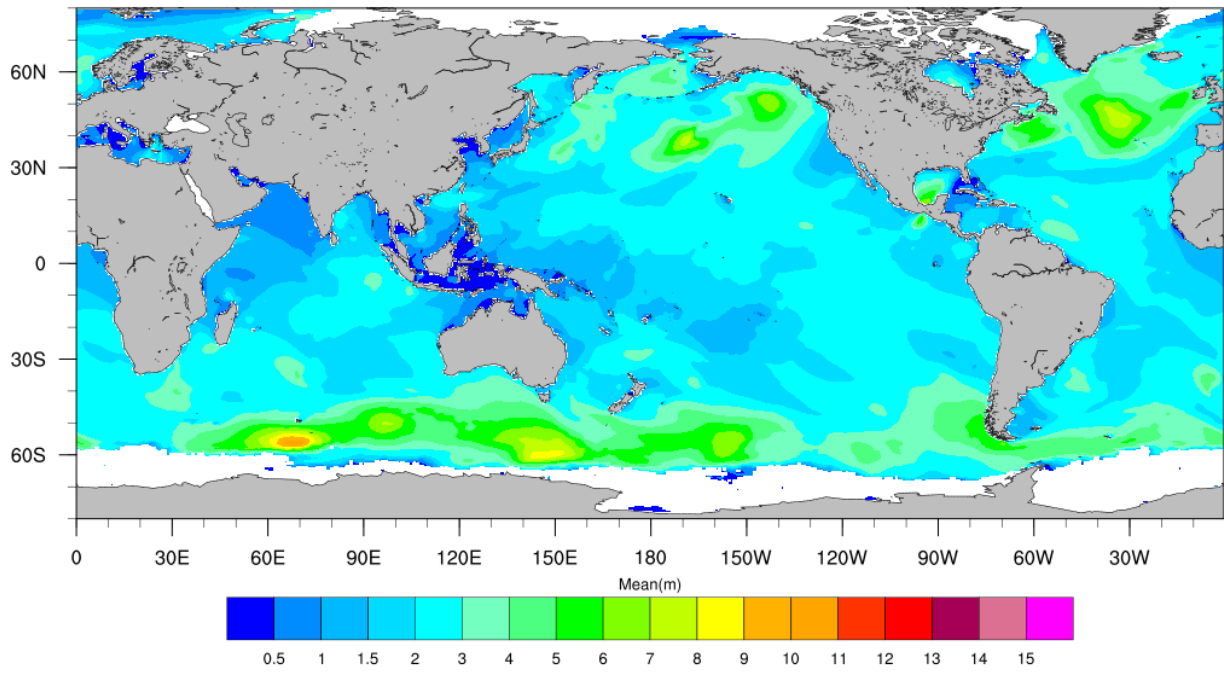


圖 46、分析場系集平均(上)及系集分歧(下)之波高分布

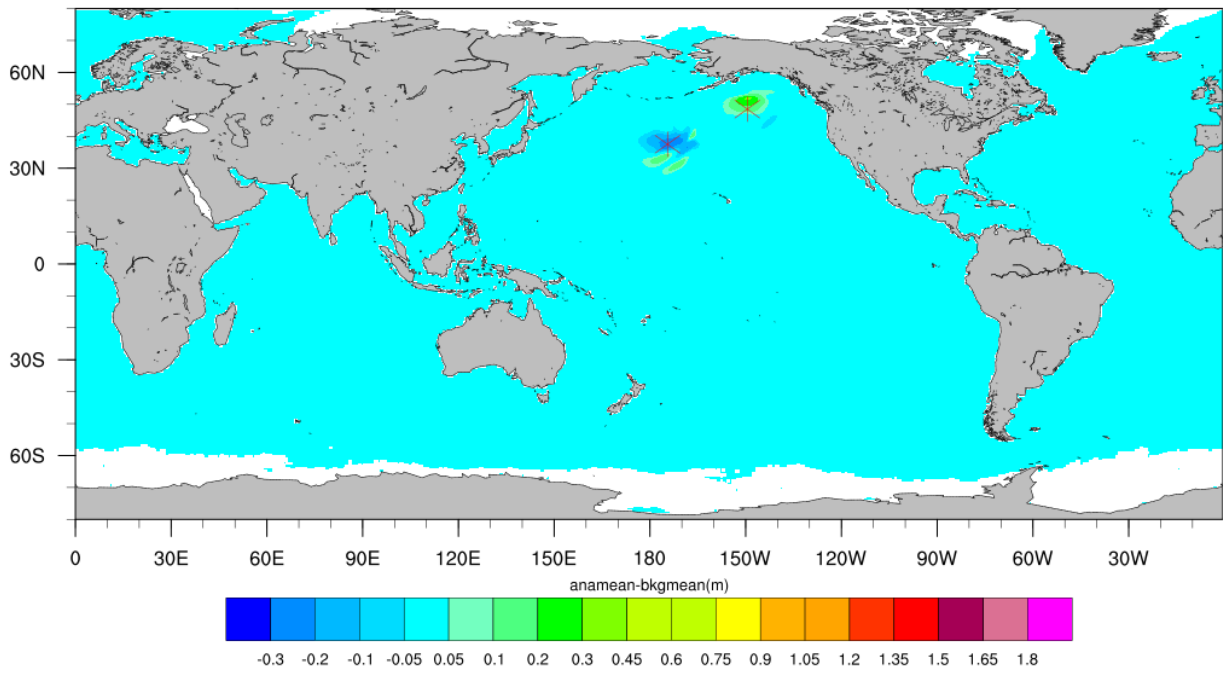


圖 47、分析場系集平均減去背景場系集平均之波高分布

## 2-5 擬定資料同化系統架構

預定架設的平台是在氣象局的Cluster，其軟體使用環境、compiler、submit job等與Fujitsu平台不同，而NWW3新版6.07與舊版的架構亦不相同，因此都需重新建置。參考WRF及NWW3系集預報的架構，及LETKF之操作環境，配合即時衛星資料的QC及重製，擬定之資料同化系統架構如圖48所示，輸出部分採用與決定性預報相同之檢核統計參數，備份面的統計輸出(分析場)，點的部分則可以沿用系集點輸出的方式建置。目前主要模組都已測試完成，仍有一些轉換細節需要建置測試，例如觀測值轉成NetCDF檔(從Fortran或Python)，觀測算符 $H(x)$ 轉成NetCDF檔、YAML檔等，而整體作業化串聯的控制亦需要重新建置。

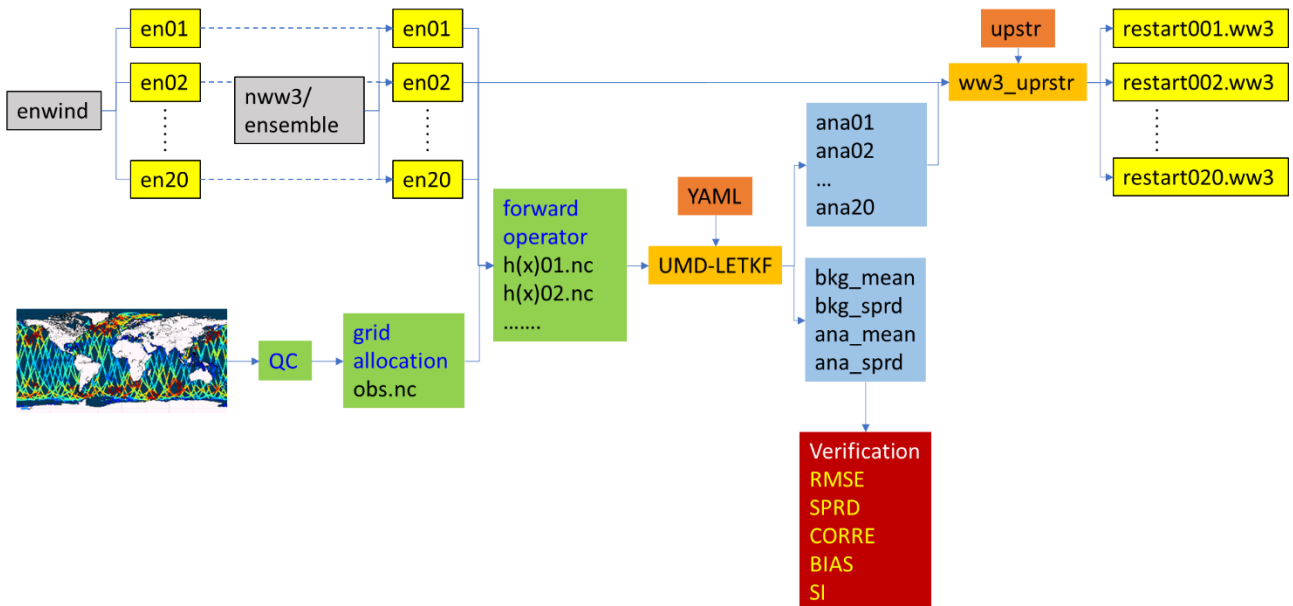


圖 48、資料同化系統架構

## 2-6 澎湖海域三角網格計算

依據3/30會議紀錄，改為建置澎湖海域之三角網格。使用三角網格的優點在於可以解析不規則的海岸線，讓海岸附近的波浪變化可以清楚的被解析出來，缺點在於網格數較多且會增加計算的負荷。而規則網格的缺點就在於對於變化複雜的海岸或島嶼附近的解析能力不足，當網格大小大於擬解析的島嶼時，就比較無法勝任，故NWW3提出與SWAN類似的次網格(sub-grid)的概念，利用遮蔽區(obstacle)阻擋能量的方式來近似模擬島嶼的效應，其主要是利用島嶼投影至網格邊界在經度方向(SX)及緯度方向(SY)所佔的比例來設定，故能量傳輸項在經度方向之差分可以表示為式(3)，模擬示意圖如圖49所示。

$$N_{i,j,l,m}^{n+1} = N_{i,j,l,m}^n + \frac{\Delta t}{\Delta \phi} [\alpha_{i,-} F_{i,-} - \alpha_{i,+} F_{i,+}] \quad (3)$$

其中 $N$ 為波動能量在經度( $i$ )、緯度( $j$ )、角度 $\theta$ ( $l$ )、波數 $k$ ( $m$ )之分布， $n$ 為時間， $\Delta t$ 時間間距， $\Delta \phi$ 經度間距， $\alpha_{i,-}$ 左邊邊界穿透率(0無法穿透，1完全穿透)， $\alpha_{i,+}$ 右邊邊界穿透率， $F_{i,-}$ 左邊界能量通量， $F_{i,+}$ 右邊界能量通量。

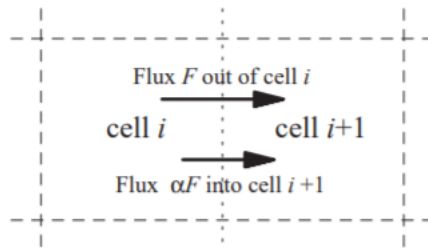


圖 49、NWW3 模擬小島嶼存在之能量阻隔及傳輸示意圖

澎湖海域三角網格建置的水深資料來源為海科中心200m規則網格水深資料，陸地邊界為WGS84座標之海岸線，陸地格點間距約在100~300m，建置之三角網格分布及水深如圖50所示，共含4719個節點、8596個網格，其四邊的開放邊界條件來自於規則網格2.5公里解析度之計算結果。計算範圍內僅有澎湖觀測浮標(46735A)，座標東經119.5519度、北緯23.7283度，位於姑婆嶼北北西方約1公里處，水深26.6m，如圖51所示，其中左圖為在google map之位置呈現，網格間距為2.5公里，網格線交接為NWW3之計算節點，浮標剛好位於計算節點(119.55°, 23.725°)附近，而計算節點之範圍如圖上之黑色矩形，已涵蓋姑婆嶼在內，如前所述，NWW3為了模擬小於網格大小之島嶼，使用相對於遮蔽網格大小之投影比例來設定能量之阻擋比例，因此設定該網格點之SX及SY分別為0.44及0.36；右圖標示為浮標在三角非結構性網格之最近節點編號1819，顯示離姑婆嶼中間還有4-5個網格。計算使用藍色公路三層網格，最內再加一層澎湖海域之非結構性三角網格，擬比較加入三角網格後在澎湖測站之差異。三層規則網格大小分別為0.25°、0.1°、0.025°(約2.5公里)，計算時間選擇2018/1東北季風期及2018/8西南季風期。

圖52為2018/1/28 18:00之波高分布圖，左為三角網格輸出，右為規則網格輸出。圖中顯示波高分布之趨勢一致，顯然三角網格可以解析的區域範圍較大，可以反應出複雜地形的變化，例如澎湖本島和西嶼之間的波浪特性，而2.5公里解析度是無法準確的模擬出來。圖53為第三層 $0.025^\circ$ 於2018/1/28 18:00之波高分布圖及放大澎湖海域之比較圖，圖中紅色框為三角網格的計算範圍，結果顯示東北季風時的主要的差異範圍在澎湖群島的南部下風處， $0.025^\circ$ 的網格近似陸地的影響範圍較大，故紅色框的影響已達望安鄉，但使用三角網格模擬陸地較為準確，故其下風處的影響範圍較小。對於澎湖測站而言，因其位於澎湖群島的北邊屬於上風處，故在東北季風期不受澎湖群島的影響，圖54為2018/1之澎湖浮標波高時序列比較圖，圖55為波高比較圖，圖中顯示二者差距不大，2018/1月之主要波向都來自於北向，如圖51左圖之上方箭頭，對於澎湖測站之上游端而言並無遮蔽，而網格2.5公里之計算節點上，在緯度方向利用SY的設定產生能量阻隔亦同樣發揮效果；圖56及圖57分別為2018/1週期時序列之比較圖及週期比較圖，由於新版之點輸出尚未修改程式加入Tm02(浮標輸出之平均週期)，故只有平均週期Tm輸出，比較結果僅作參考用(一般在週期3秒以上，Tm會比Tm02大)，但與波高呈現的趨勢一致，二者差距不大。

圖58為西南季風期2018/8/31 18:00之波高分布圖，左為三角網格輸出，右為規則網格輸出。圖中顯示波高分布之趨勢亦大略相同。圖59為第三層 $0.025^\circ$ 於2018/8/31 18:00之波高分布圖及放大澎湖海域之比較圖，圖中顯示西南季風的主要的差異範圍在澎湖群島的北部下風處， $0.025^\circ$ 的網格近似陸地的影響範圍較大，而使用三角網格模擬陸地較為準確，故其下風處的影響範圍較小。圖60為2018/8之澎湖浮標波高時序列比較圖，圖61為波高比較圖，圖中顯示在波高1m以上，模式大部分呈現偏高的趨勢，而加入三角網格之結果稍微變差，都較原2.5公里網格之計算結果略大，2018/8之主要波向都來自於西南向，但有部分時段波向為西北或北方，因此去除波向大於 $270^\circ$ 重新繪圖如圖62所示，平均之波向為 $238^\circ$ ，如圖51左圖之左下方箭頭，結果與整個8月的結果相似。西南方來的浪，規則網格使用SX及SY的設定，恰巧使得波高計算結果略優於三角網格，顯然該點的設定方式發揮功效。圖63及圖64分別為2018/8週期時序列比較圖及週期比較圖，圖65為去掉波向大於 $270^\circ$ 之週期比較圖，圖中顯示規則網格的計算週期偏大，可能與規則網格處理能量阻隔時，在短週期之能量消散較多有關係。

本研究案例比較之2.5公里網格點，恰巧包含島嶼在內，因此受到模式對於小於網格大小之島嶼、阻擋能量的處理方式，導致波浪能量減少、不同頻率的能量轉換，卻也讓其在西南季風時之波高計算結果較接近觀測值，週期高於三角網格之計算結果，顯示NWW3這樣的處理方式有其優點。然而三角網格的優勢在於解析更清楚的物理現象，尤其在遮蔽區或島嶼之間，但多了一層的計算網格，平均增加約19%的計算時間，這也是必須評估的地方，若有需要提供例如澎湖本島和西嶼之間的波浪資料，那就值得去加密或使用三角網格。而規則網格處理小島嶼的方式，似乎提供一種方式去調整能量的損耗(當預報過於偏大時)。

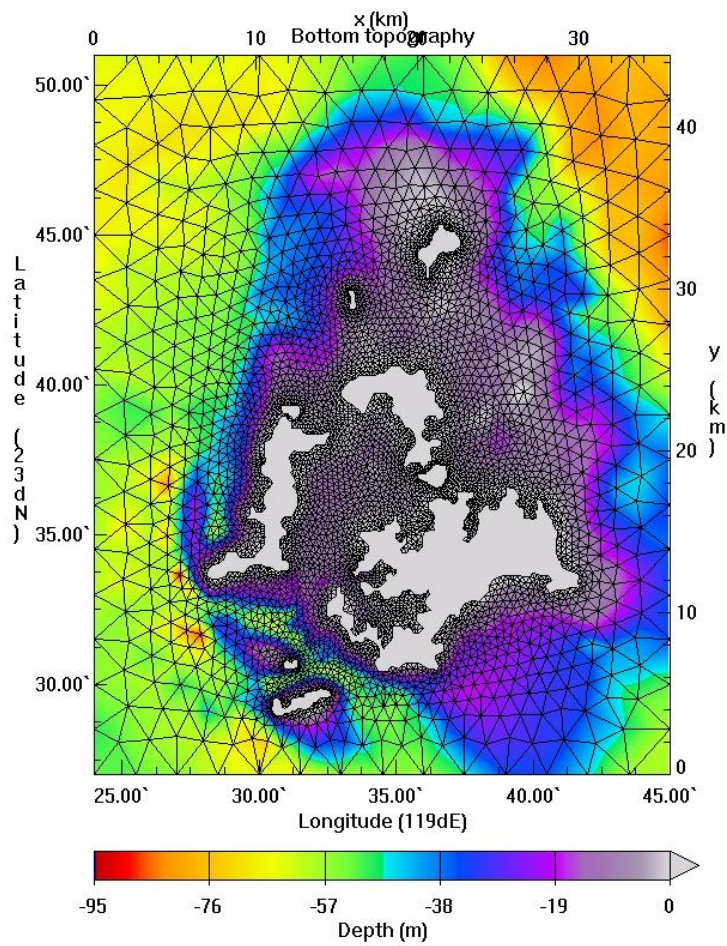


圖 50、澎湖海域非結構計算網格及水深分布圖

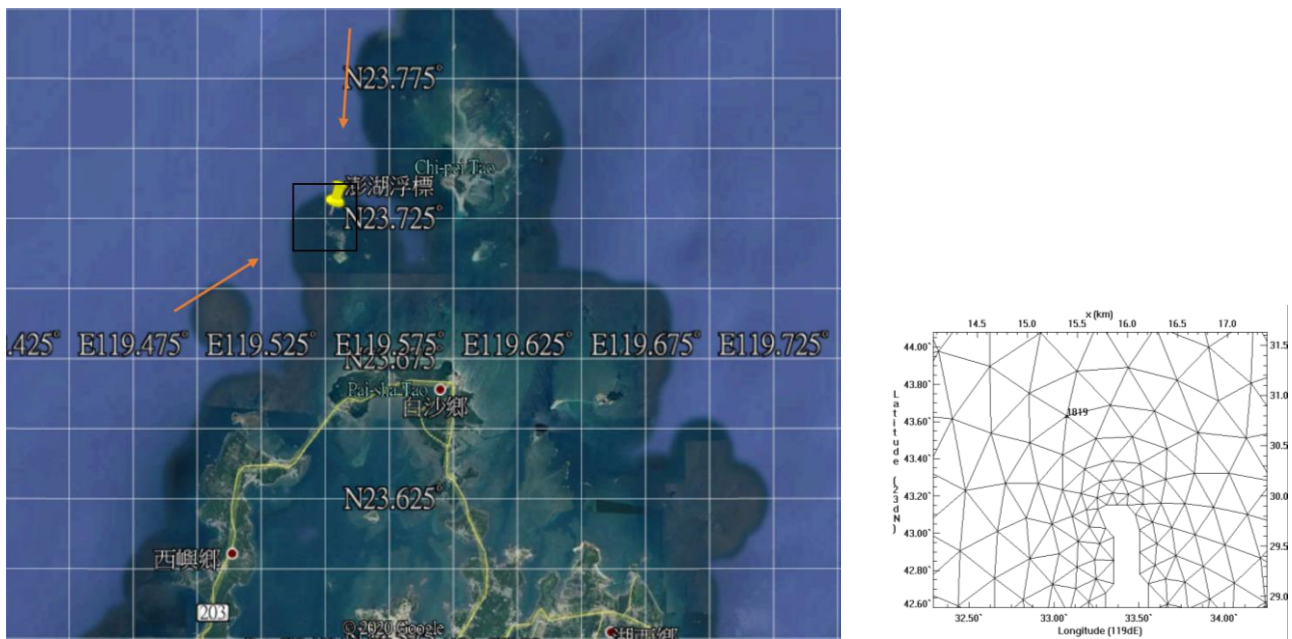


圖 51、澎湖浮標位置圖(左:google map，右:離非結構網格最近之節點 1819)

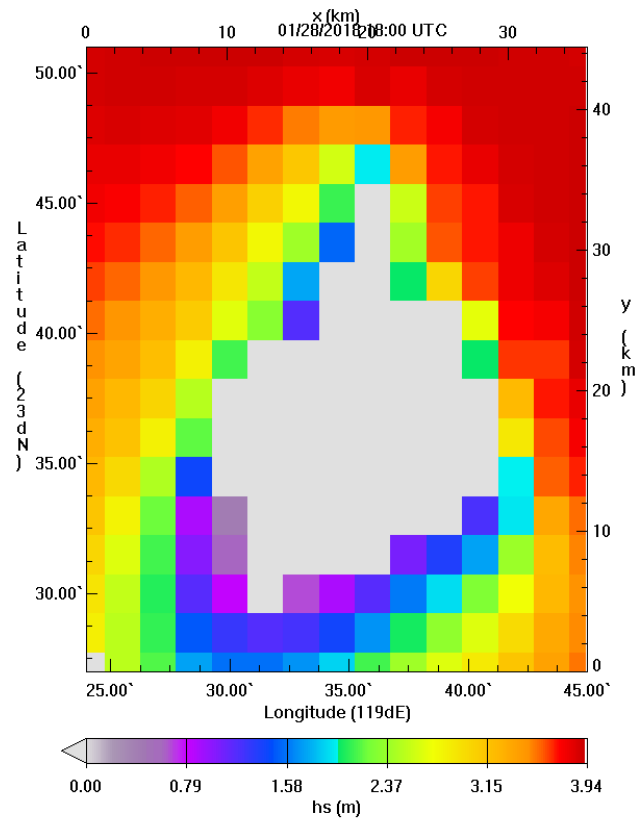
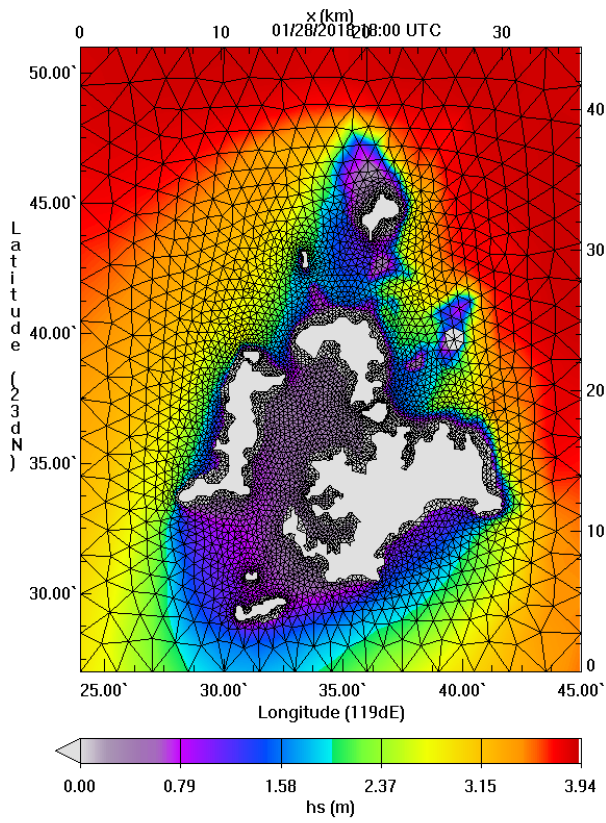
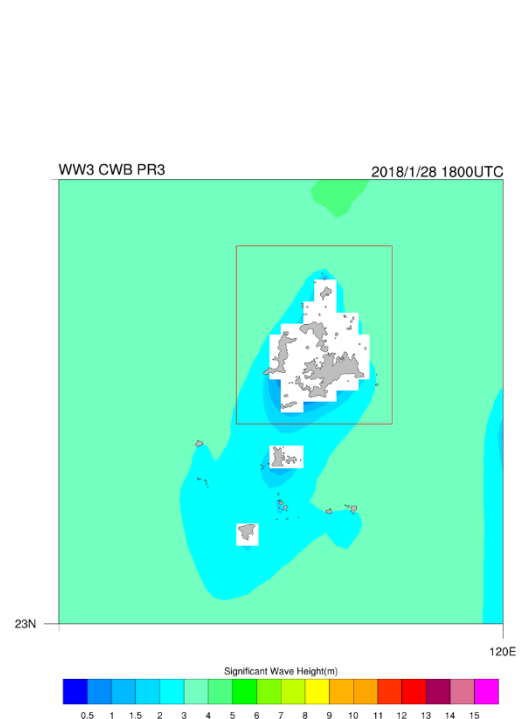
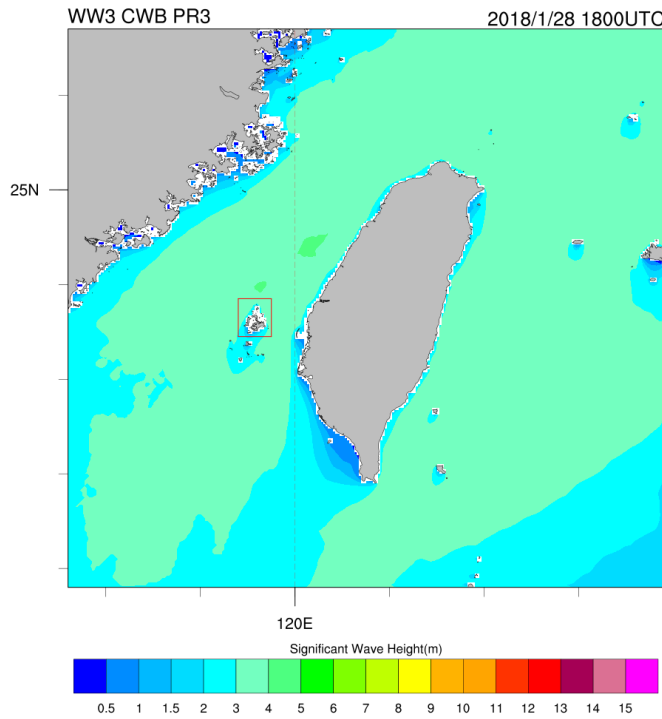


圖 52、波高比較圖(2018/01/28 18:00) (左:非結構性網格, 右:0.25 度結構性網格)



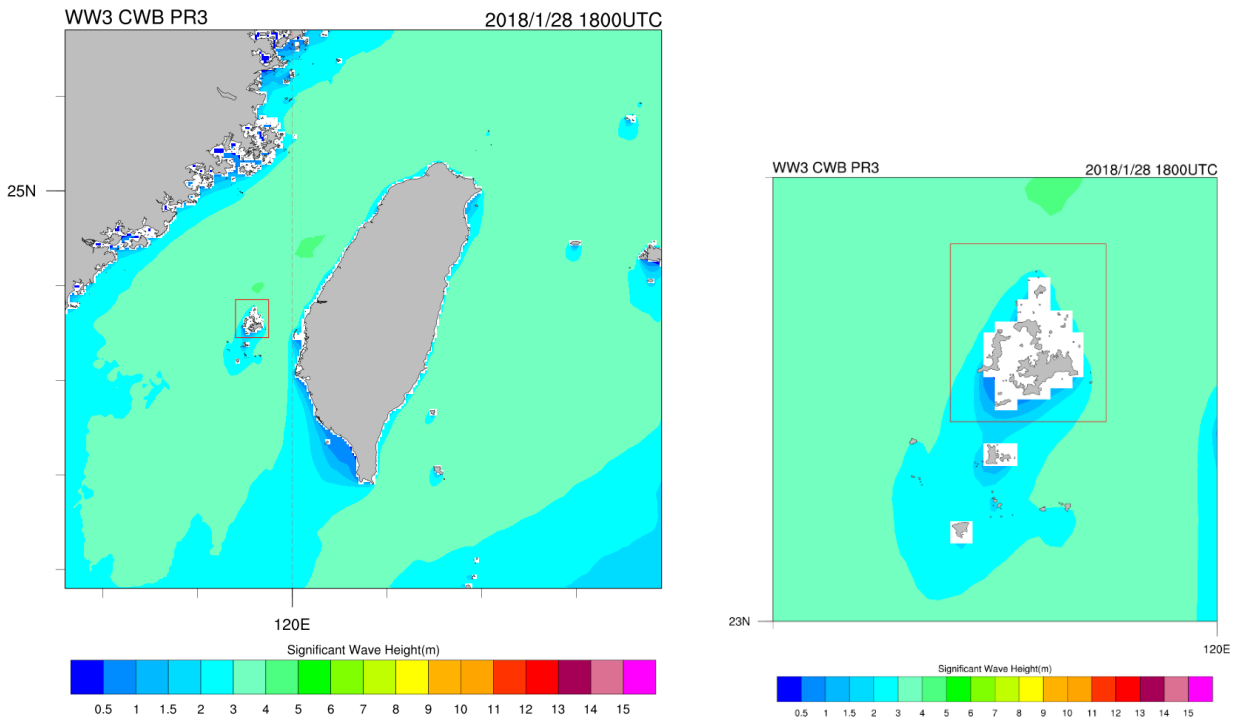


圖 53、0.025 度波高比較圖(2018/01/28 18:00) (左上:含第四層非結構性網格，右上:含第四層非結構性網格放大圖，左下:不含第四層非結構性網格，右下: 不含第四層非結構性網格放大圖)

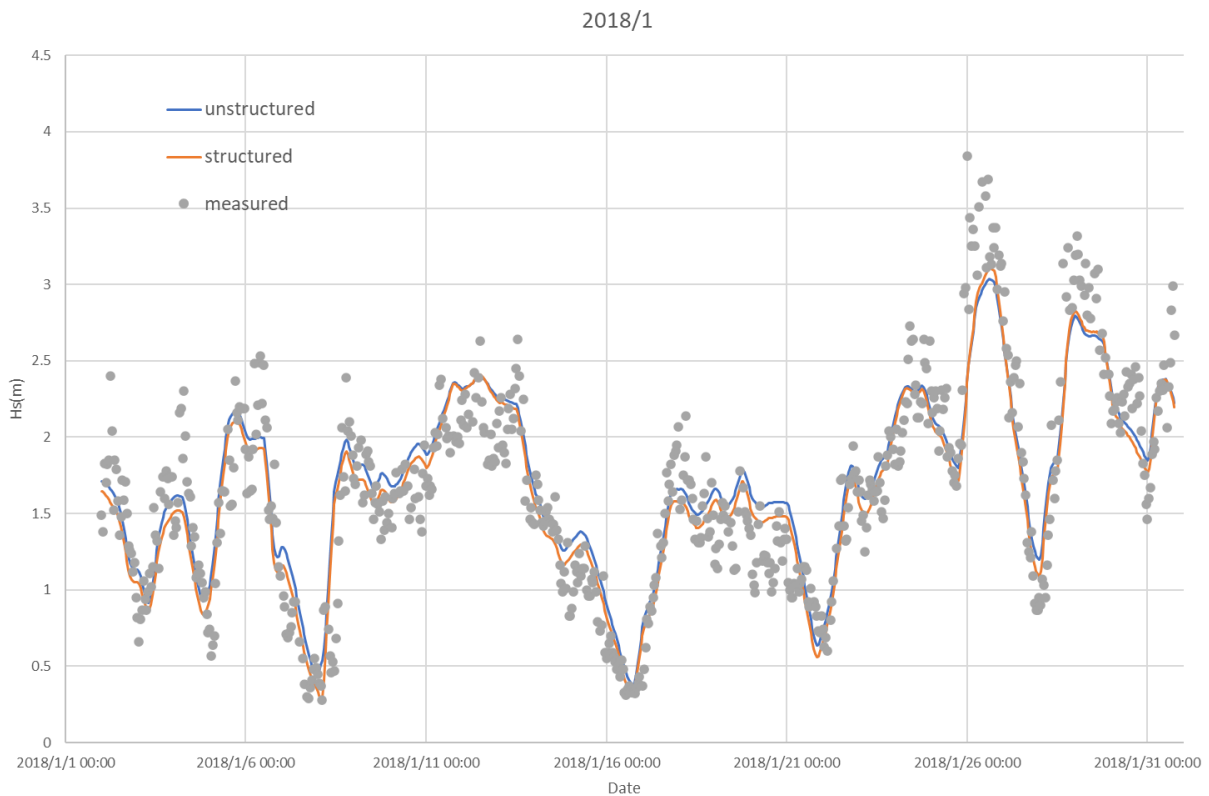


圖 54、澎湖浮標測站之波高時序列分布圖(2018/1)

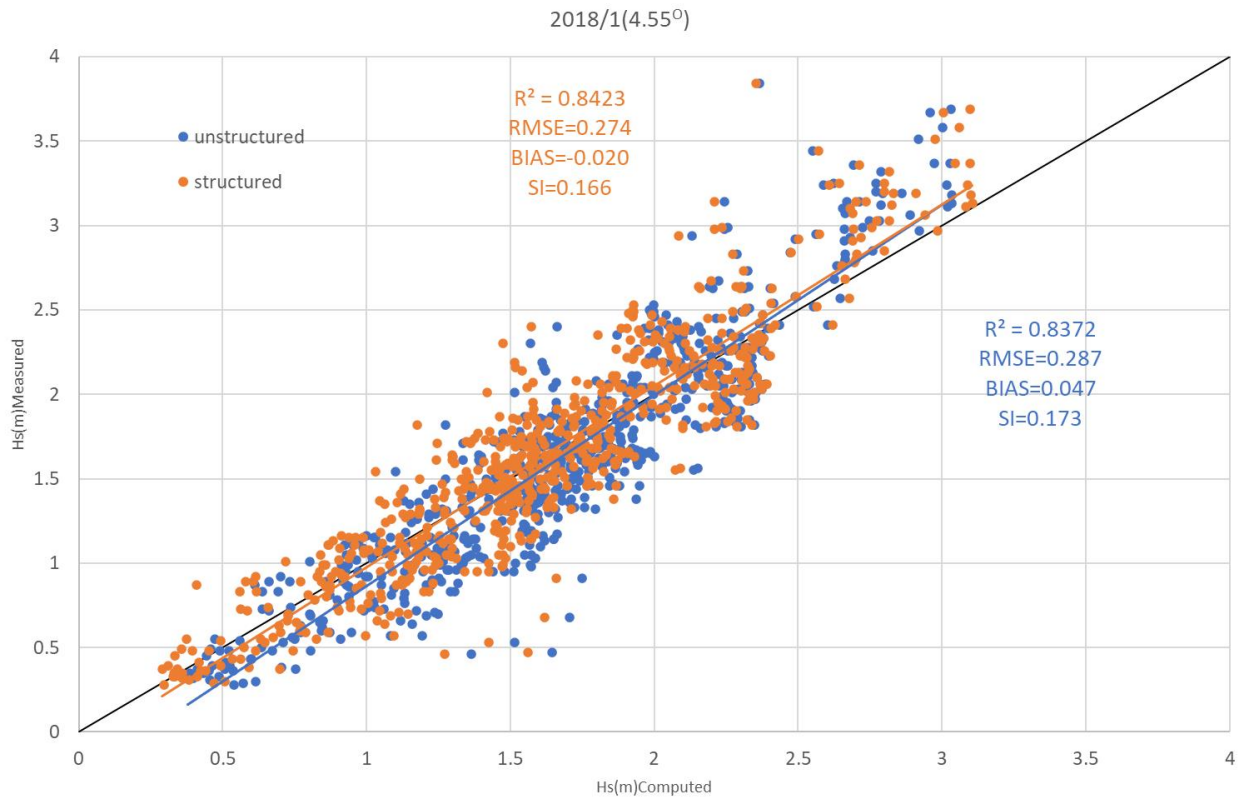


圖 55、澎湖浮標測站之波高比較圖(2018/1)

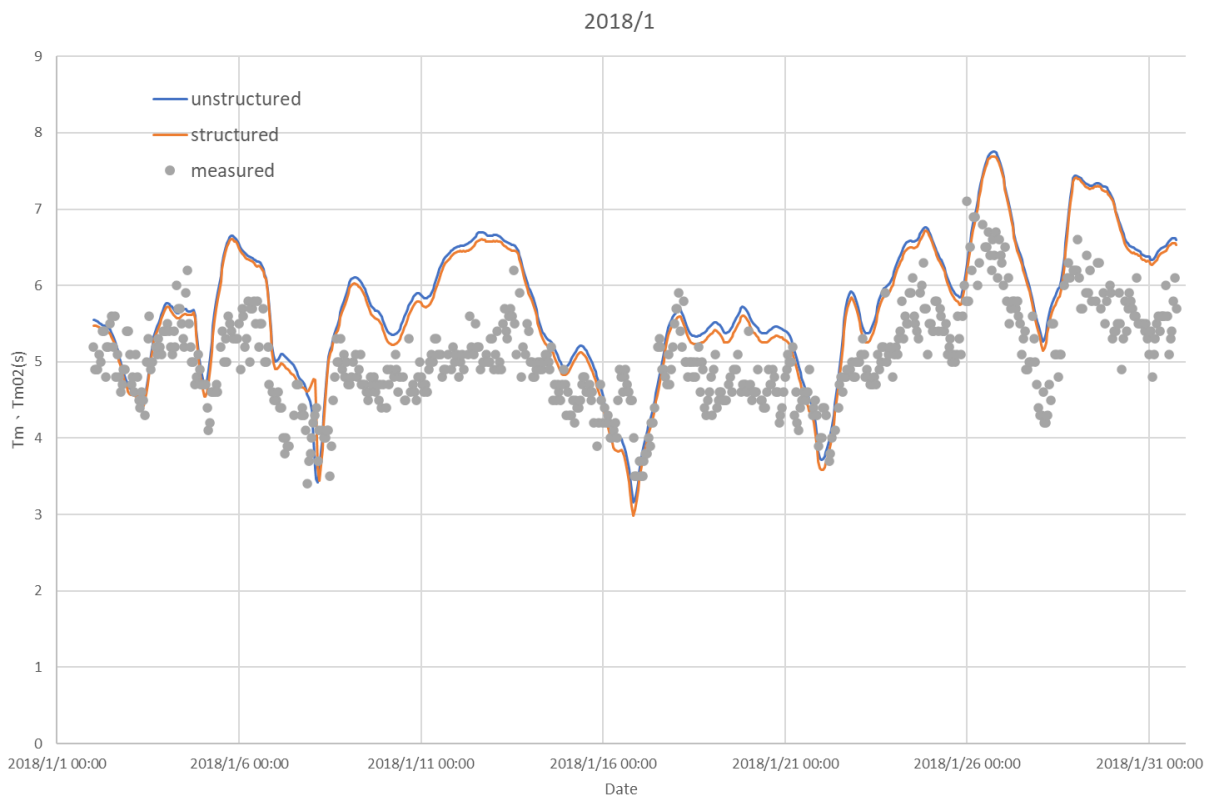


圖 56、澎湖浮標測站之週期時序列分布圖(2018/1)(模式輸出為平均週期，測站週期為 Tm02)

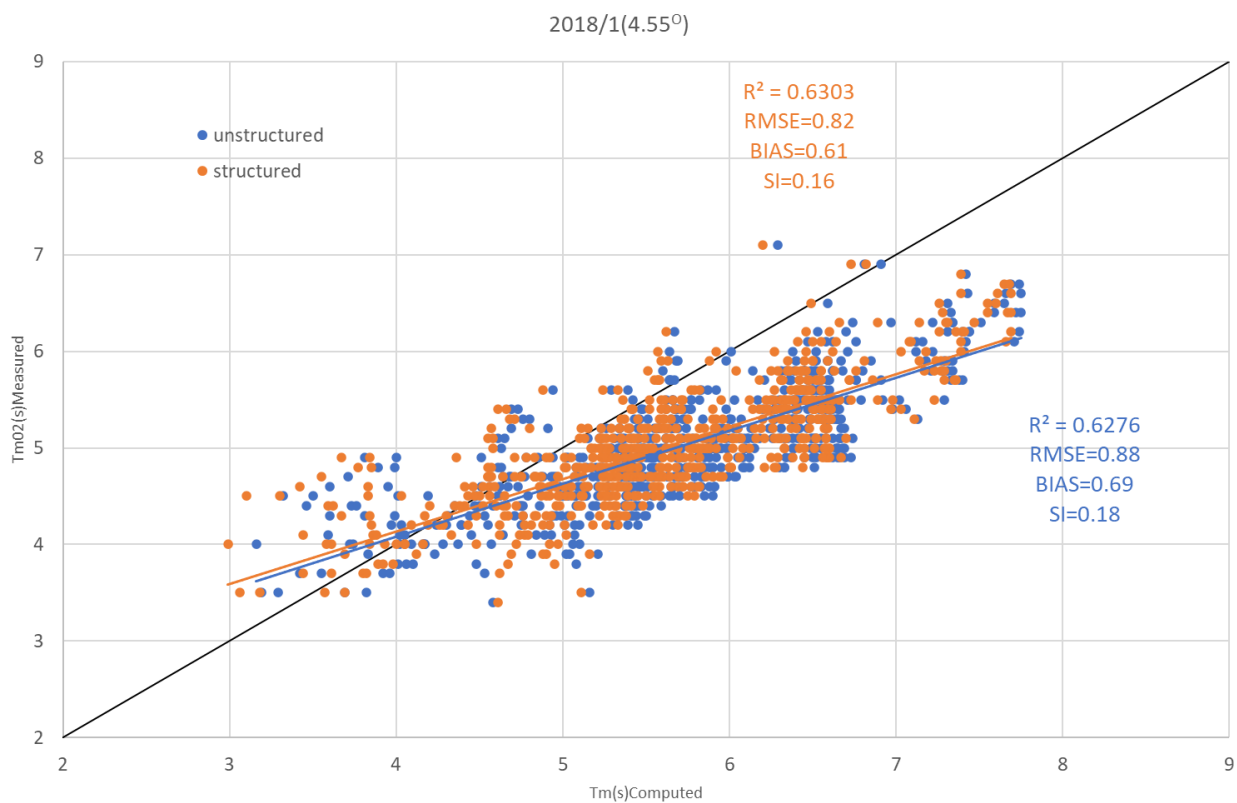


圖 57、澎湖浮標測站之週期比較圖(2018/1) (模式輸出為平均週期，測站週期為 Tm02)

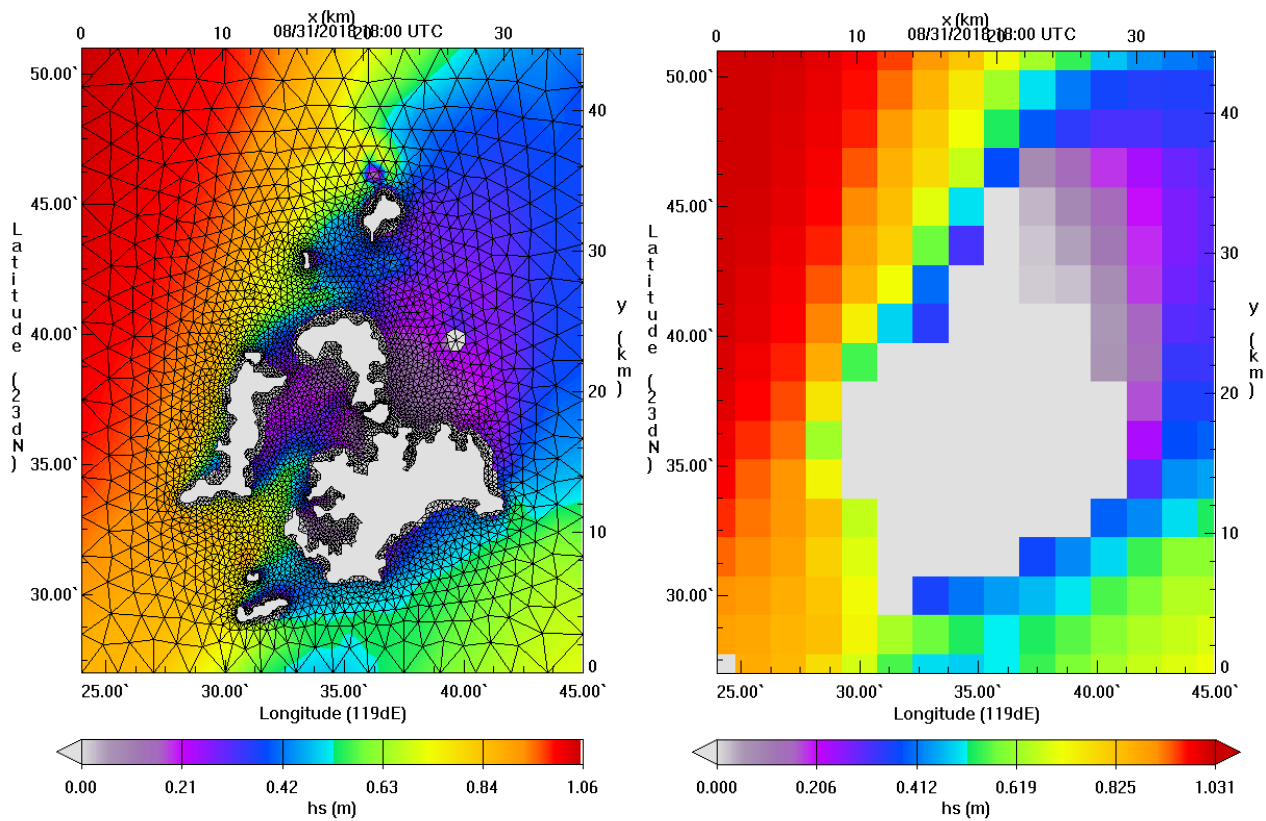


圖 58、波高比較圖(2018/08/31 18:00) (左:非結構性網格，右:0.25 度結構性網格)

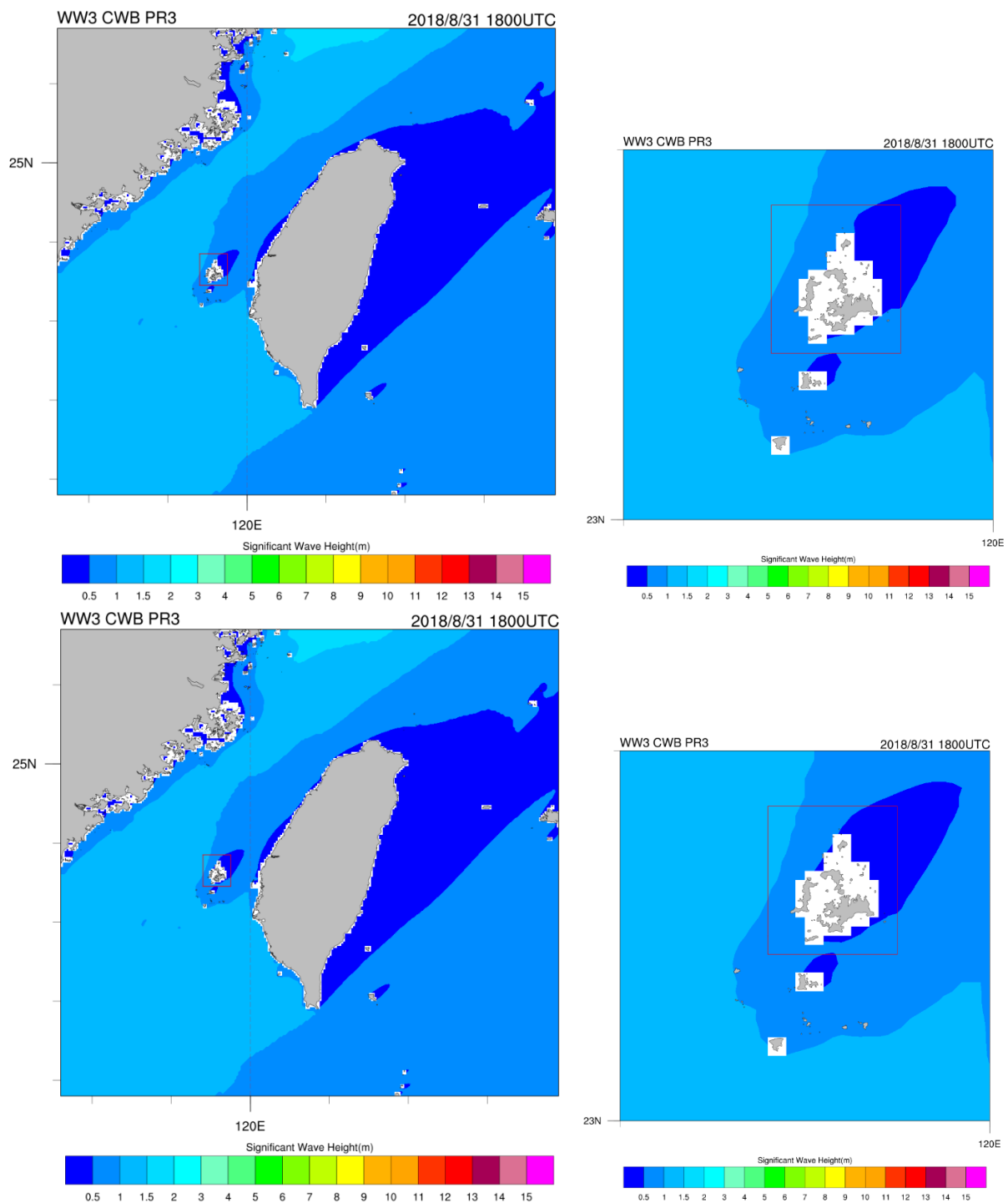


圖 59、0.025 度波高比較圖(2018/08/31 18:00) (左上:含第四層非結構性網格，右上:含第四層非結構性網格放大圖，左下:不含第四層非結構性網格，右下: 不含第四層非結構性網格放大圖)

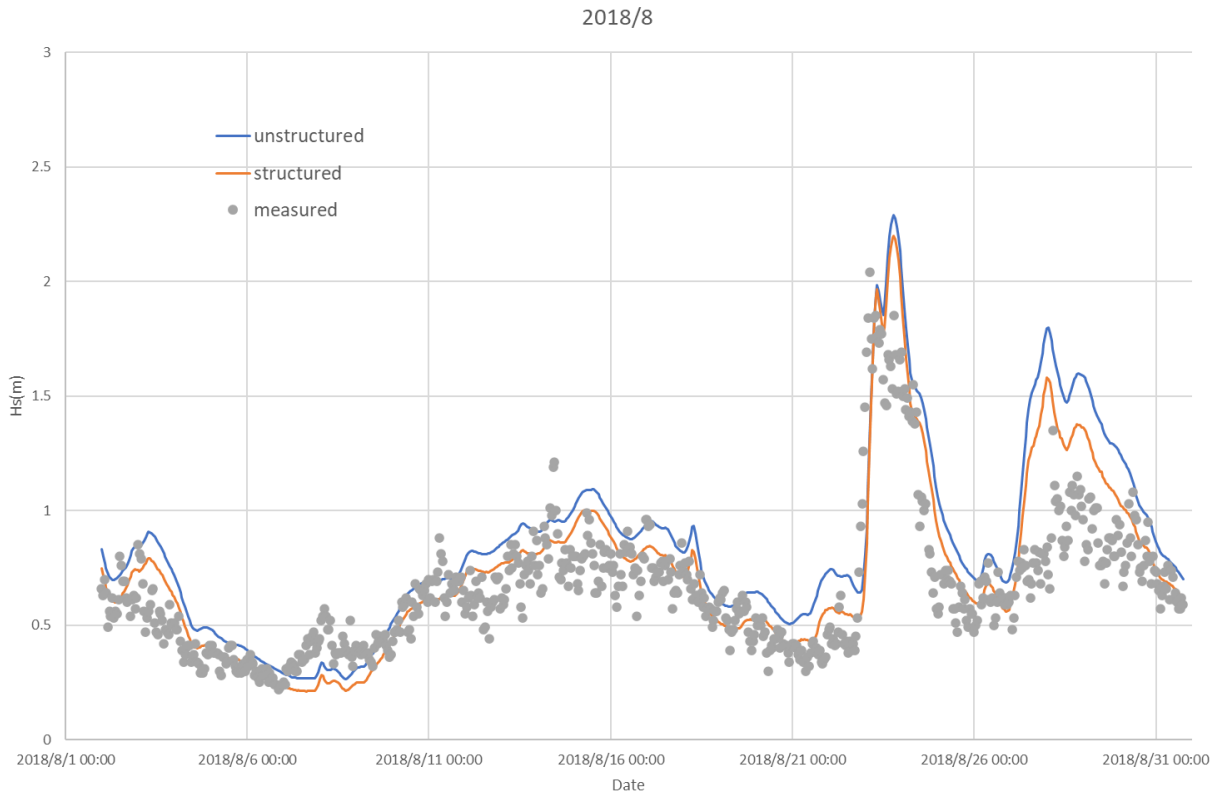


圖 60、澎湖浮標測站之波高時序列分布圖(2018/8)

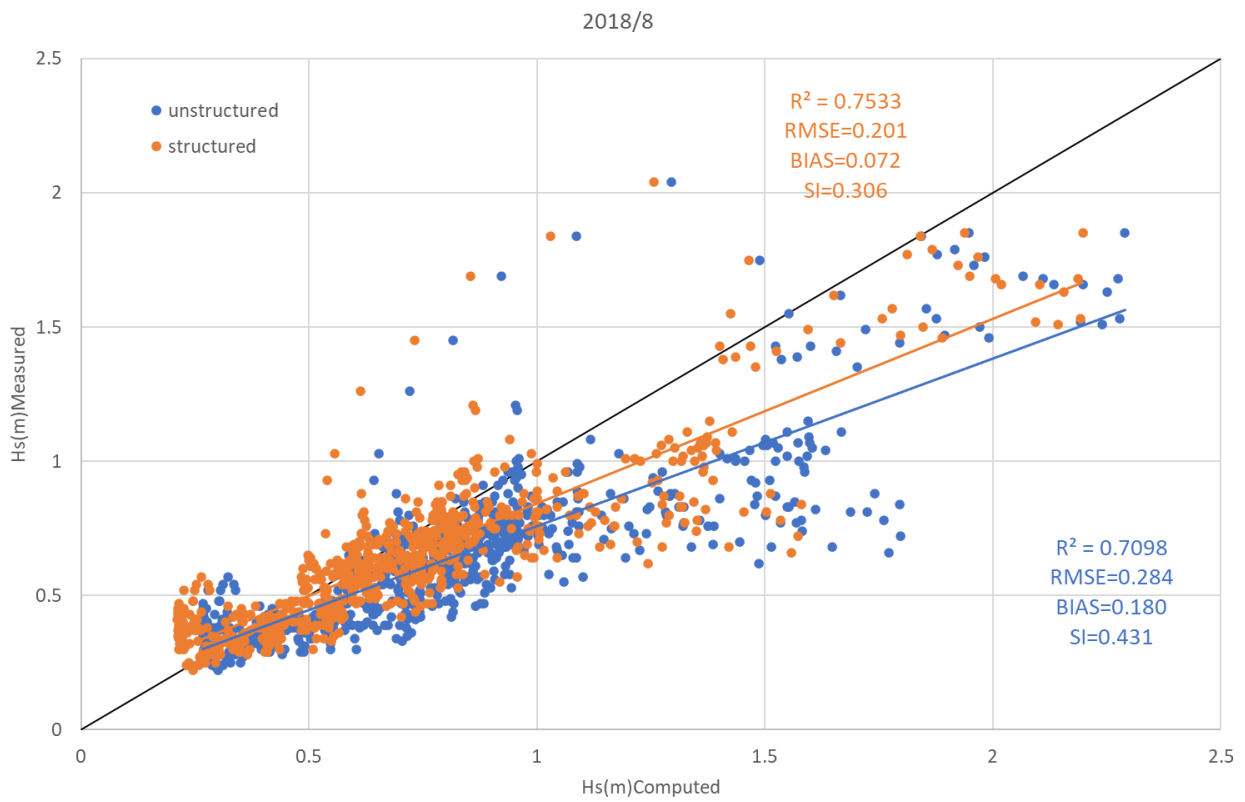


圖 61、澎湖浮標測站之波高比較圖(2018/8)

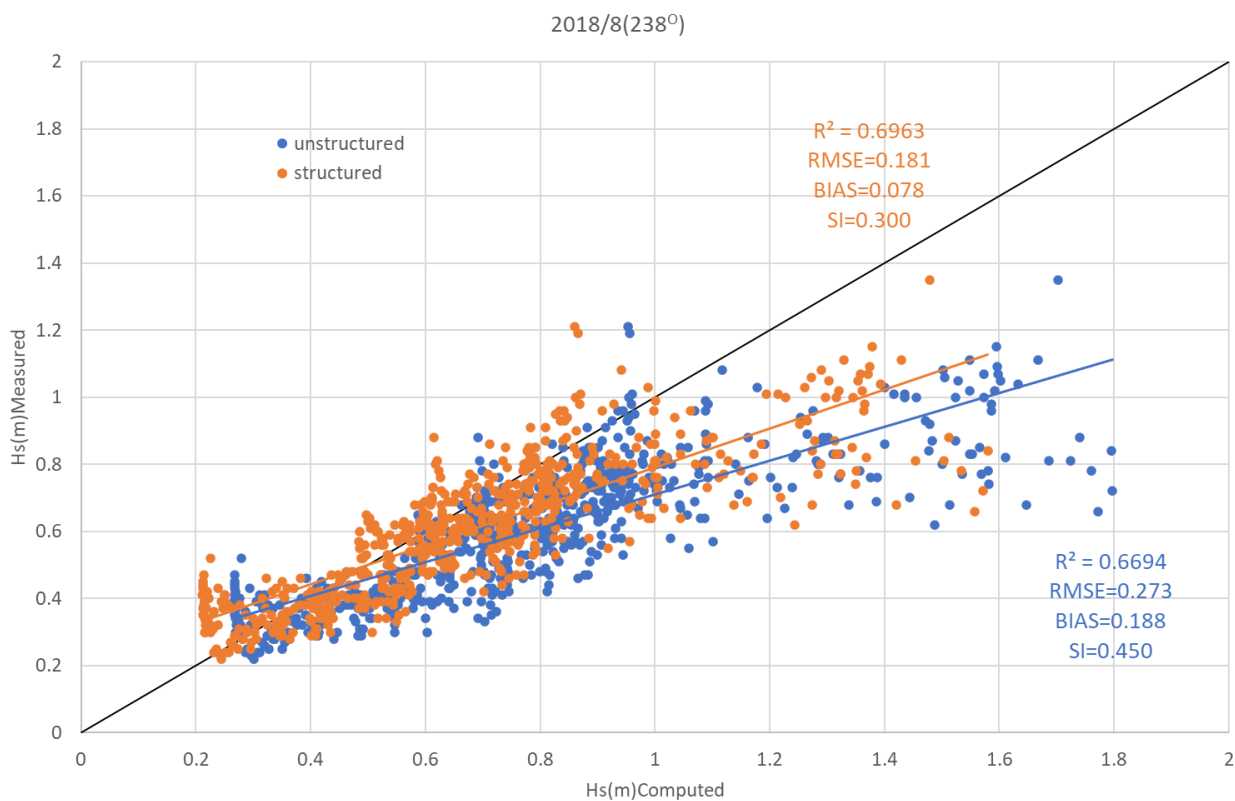


圖 62、澎湖浮標測站之波高比較圖(2018/8)(去除波向大於 270 度)

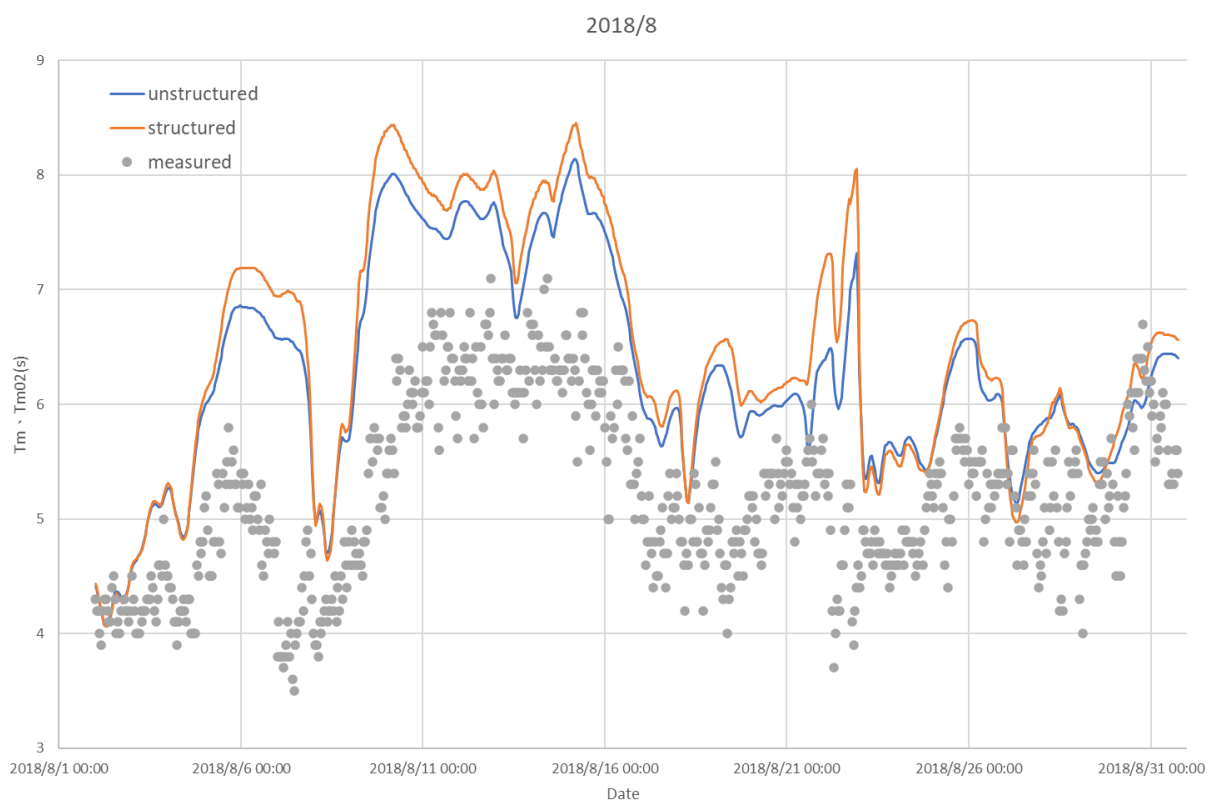


圖 63、澎湖浮標測站之週期時序列分布圖(2018/8)(模式輸出為平均週期，測站週期為 Tm02)

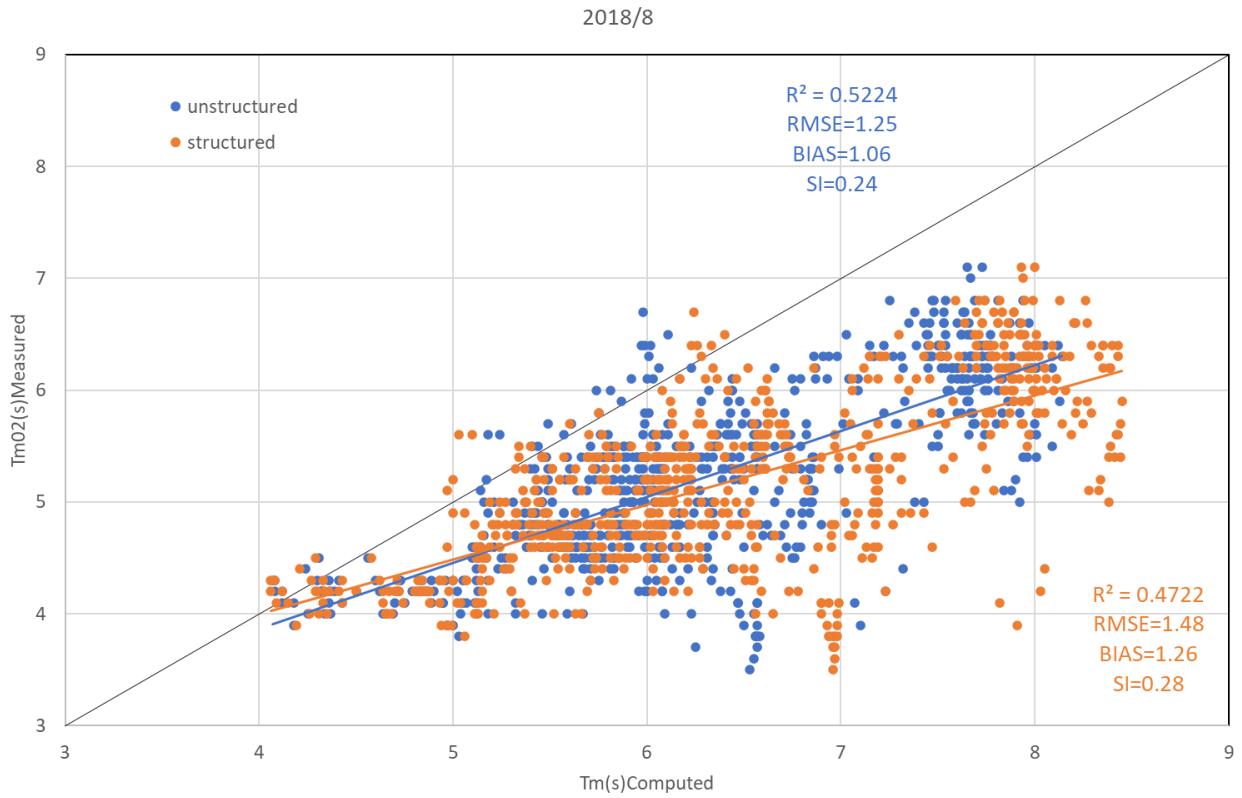


圖 64、澎湖浮標測站之週期比較圖(2018/8) (模式輸出為平均週期，測站週期為 Tm02)

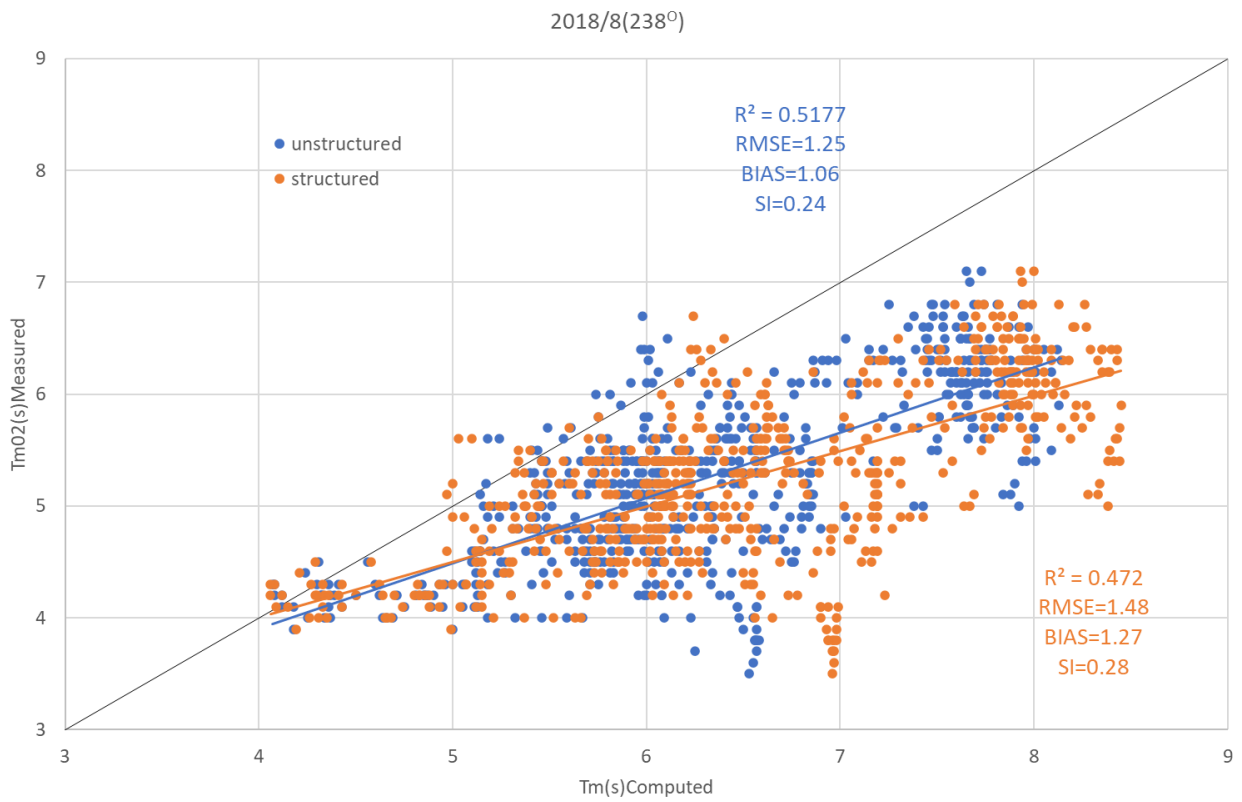


圖 65、澎湖浮標測站之週期比較圖(2018/8) (模式輸出為平均週期，測站週期為 Tm02) (去除波向大於 270 度)

## 第三章、菲律賓海域波浪模擬建置

### 3-1 菲律賓海域規則網格及三角網格之比較分析測試

考慮涵蓋菲律賓海域及邊界條件取得的問題，外層仍採用全球(0.5°)及西太平洋(0.25°)。因考慮解析島嶼間的複雜地形，擬在菲律賓群島範圍使用三角網格，初步之網格切割如圖66所示。唯3/30之工作會議決議更改三角網格之計算區域改為澎湖海域，因此重新設定菲律賓海域之計算網格為規則網格，網格大小為2分。圖67為菲律賓海域之水深分布圖，圖68及圖69分別為X及Y方向、網格內島嶼阻隔能量之比例分布圖。圖70為計算範圍示意圖。

為了測試菲律賓海域之準確度，選用2018年進行計算，模式輸入條件包括風場及冰濃度場，風場部分，使用NCEP(National Centers For Environmental Prediction)2018年CFSR 0.5°解析度之第6小時預報場。由於北太平洋的北部在冬天已有部分受到冰的影響，故需輸入冰濃度資料，資料來源為NCEP-NOAA CDAS I(Climat Data Assimilation System I)逐日分析資料。模式參數依據2019年之研究成果，採用ST4f，即與Rasclé and Ardhuin (2013)、BI Fan et al.(2015)之測試結果最佳相同的設定。圖71至圖73分別為0.5°、0.25°、2分的波高分布圖。

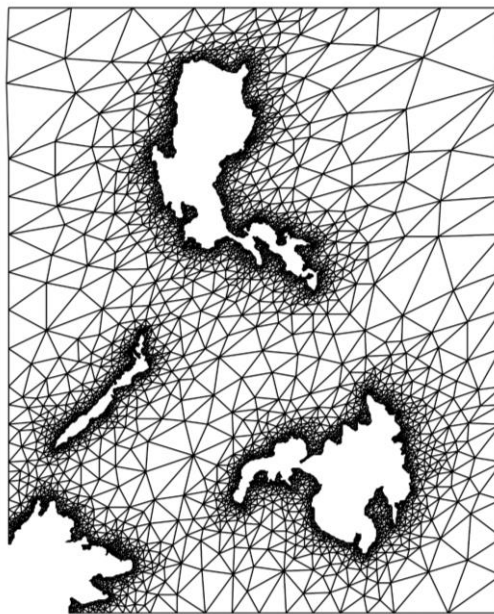


圖 66、菲律賓海域初步三角網格分布圖

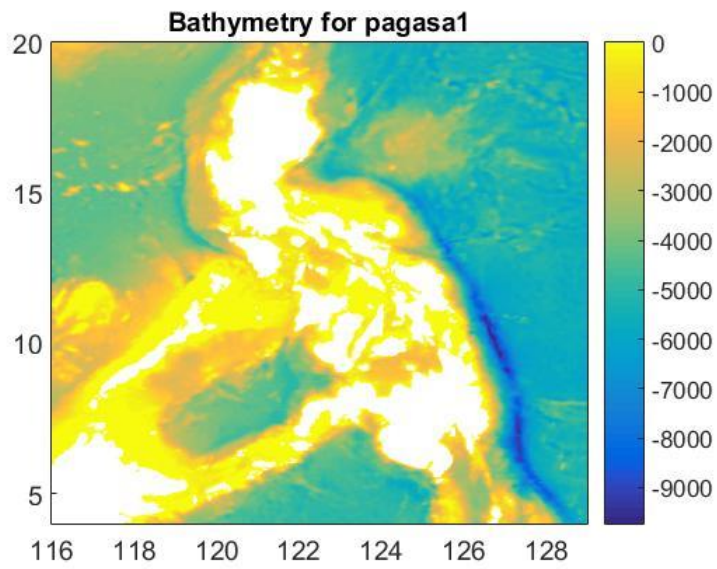


圖 67、菲律賓海域之水深分布圖

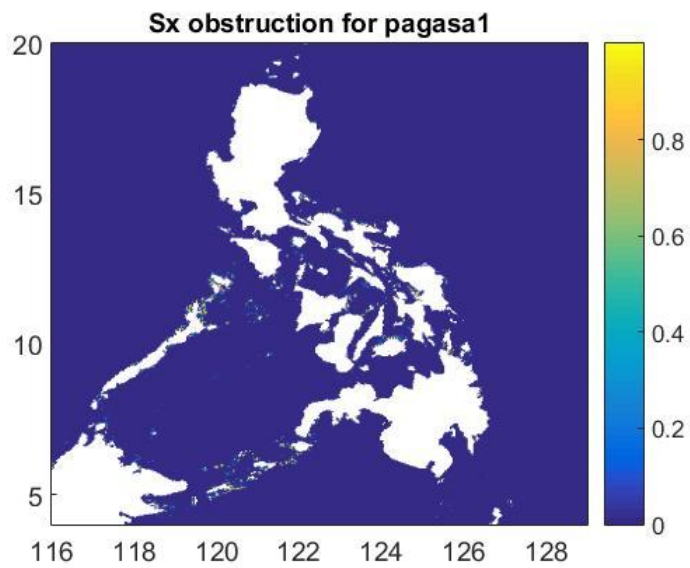


圖 68、X 方向之網格內小島嶼阻隔能量之比例分布圖

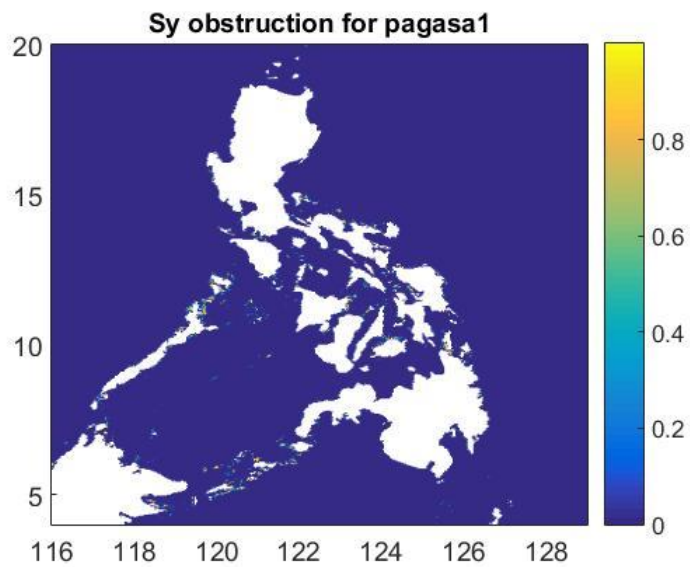


圖 69、Y 方向之網格內小島嶼阻隔能量之比例分布圖

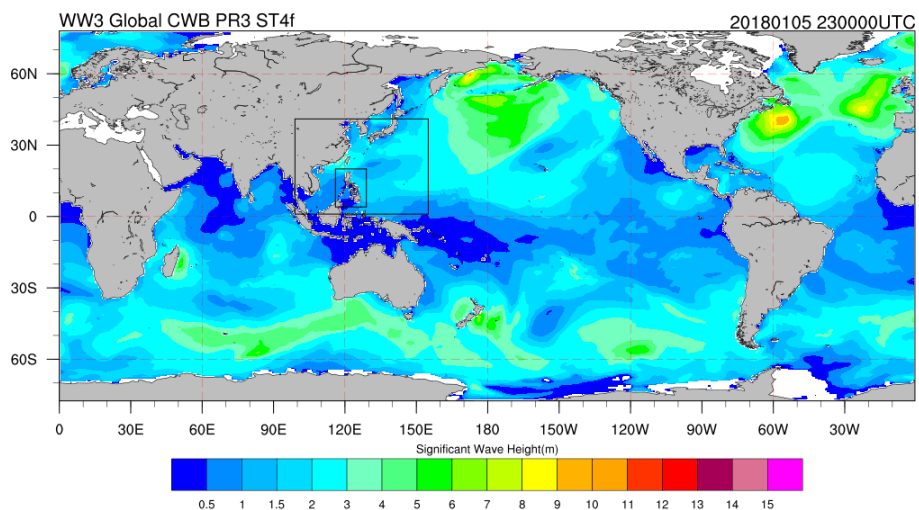


圖 70、菲律賓海域之計算範圍示意圖

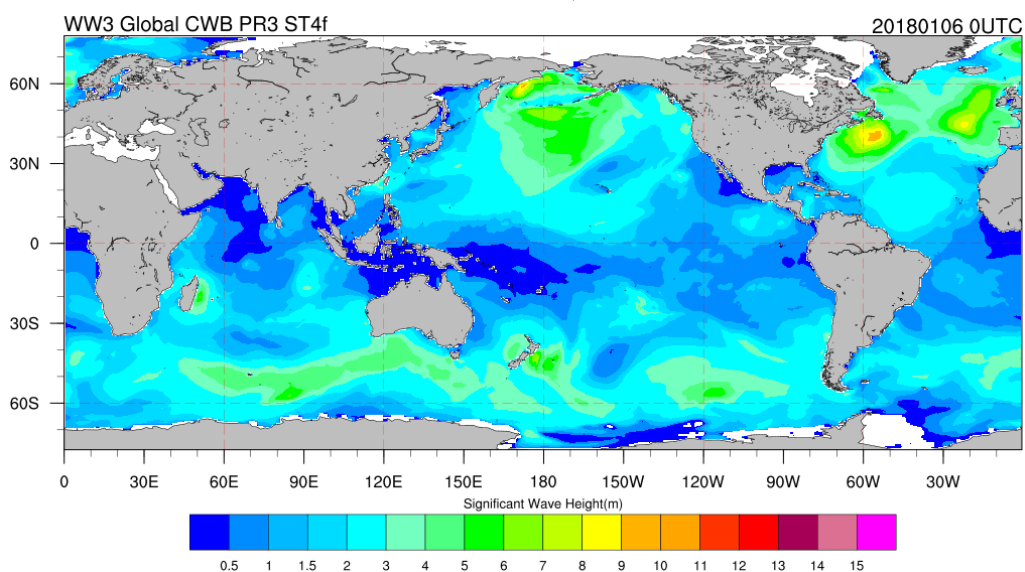


圖 71、0.5 度網格全球模式之波高分布(20180106 00UTC)

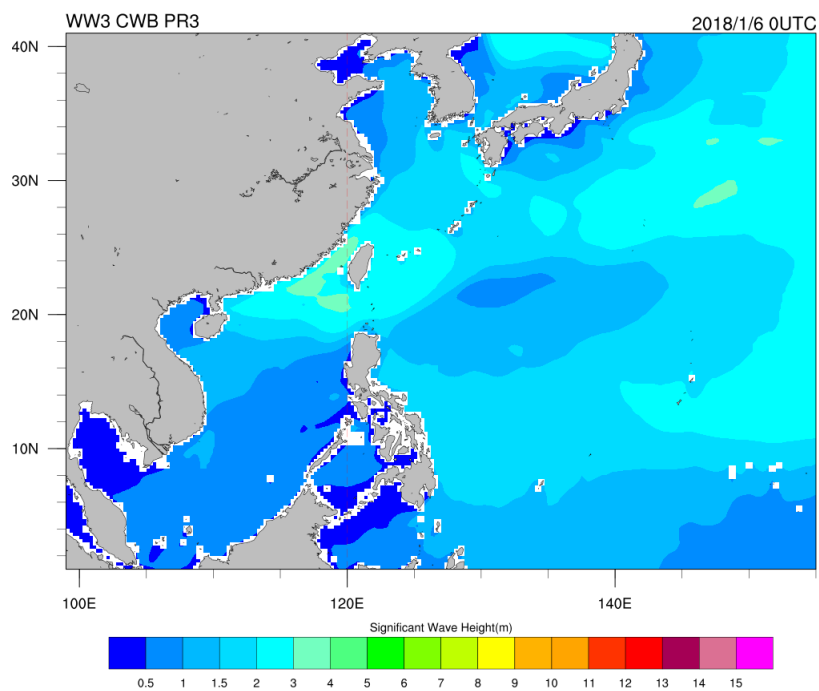


圖 72、0.25 度網格西太平洋模式之波高分布(20180106 00UTC)

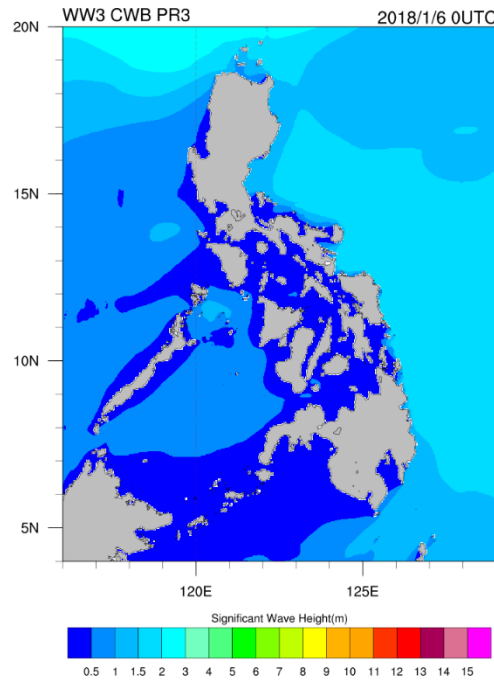


圖 73、2 分網格菲律賓模式之波高分布(20180106 00UTC)

### 3-2 衛星資料驗證

由於菲律賓海域缺乏浮標資料，因此僅能蒐集衛星資料進行模式驗證。本研究擬使用法國 AVISO 高度量測中心(Altimetry center)2018 年蒐集及處理過的網格衛星資料來驗證模式計算結果，解析度為  $1^\circ$ ，頻率為 1 天 1 筆。法國 AVISO 高度量測中心的主要任務為聯合處理美國 NASA 及法國太空中心 CNES 在衛星方面的資料，提供快速查看的產品以推廣 Topex/Poseidon 衛星系統，其主要透過高度計雷達反射訊號之形狀及強度來推算波高及海表面風速，目前其應用的領域包括季節性的變動、大西洋颶風、印度洋南向湧浪、瘋狗浪及帆船比賽之航跡追蹤等。其蒐集的衛星包括 Topex/Poseidon、Envisant、Saral、Jason-1、Jason-2、Jason-3 等，即時資料則以 Saral、Jason-2 及 Jason-3 等衛星為主，在觀測 2 小時後產製量測資料提供作為資料同化使用，同時其亦整合過去 2 天的衛星資料處理成  $1^\circ \times 1^\circ$  的網格資料，格式為 NetCDF，頻率為 1 天 1 筆(表 7)。

計算結果以數個統計參數包括 BIAS、RMSE、NRMSE(normalized RMSE)等加以分析之，其中  $P_i$  為模式計算值， $O_i$  為觀測值， $N$  資料個數。

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum (P_i - O_i) \quad (4)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum (P_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum O_i^2}} \quad (6)$$

研究結果與台灣海域之全球模式計算結果進行比較(2019)，巢狀計算範圍示意圖如圖 74 所示，比較範圍擷取北太平洋至南緯 9 度為止。圖 75 為波高與衛星資料比較之 BIAS 分布，圖 76

為菲律賓海域之BIAS分布，圖77為波高與衛星資料比較之RMSE分布，圖78為菲律賓海域之RMSE分布，圖79為波高與衛星資料比較之NRMSE分布，圖80為菲律賓海域之NRMSE分布。圖中顯示菲律賓海域模式在巴士海峽往西至南海北部、黃海及台灣北部均為正偏差，由於衛星在島嶼間之觀測資料較易受到陸地的影響可靠度較差，故菲律賓群島間的水域之計算結果偏小較多；北緯30°以北、北緯10°、東經130°及北緯20°至朝鮮半島之RMSE較大，菲律賓群島間的水域亦偏大；NRMSE亦有類似趨勢，但在蘇祿海(SULU sea)(圖13)亦同樣偏大。

與台灣海域之全球模式比較之主要差別在南海、巴士海峽及蘇祿海，此區在台灣海域全球模式係使用10km之風場驅動，而菲律賓海域全球模式則依然使用CFSR風場，造成使用菲律賓海域全球模式的計算結果偏小，尤其在蘇祿海偏低情形至為明顯，顯示10km風場的強度較CFSR風場大，因此若僅使用CFSR風場，會在菲律賓海域產生普遍偏低的情形。然而比較圖70及圖74發現10公里風場範圍僅及蘇祿海約一半的位置，因此若能延伸預報中心10公里風場的範圍，則偏低現象應該會減少。

表 7、法國 AVISO 合成衛星資料說明

| Satellite | Distribution media  | Frequency | Delivery delay | Data period              | Data used  | File weight     |  |  |  |  |
|-----------|---|-----------|----------------|--------------------------|--|-----------------|--|--|--|--|
| Merged    | <a href="#">FTP (wind)</a>  | each day  | variable       | September 2009 - ongoing | data are processed using the last 2 days of available IGDR data for each satellite, and dated from the last of these 2 days. | 140 KB (NetCDF) |  |  |  |  |
|           | <a href="#">FTP (wave)</a>  |           |                |                          |  | 550 KB (ps)     |  |  |  |  |
|           | <a href="#">Live Access Server</a> and <a href="#">Opendap</a> (authenticated*) |           |                |                          |  |                 |  |  |  |  |
|           | <a href="#">Temporal/geographic extraction</a> (authenticated*)                 |           |                |                          |  |                 |  |  |  |  |

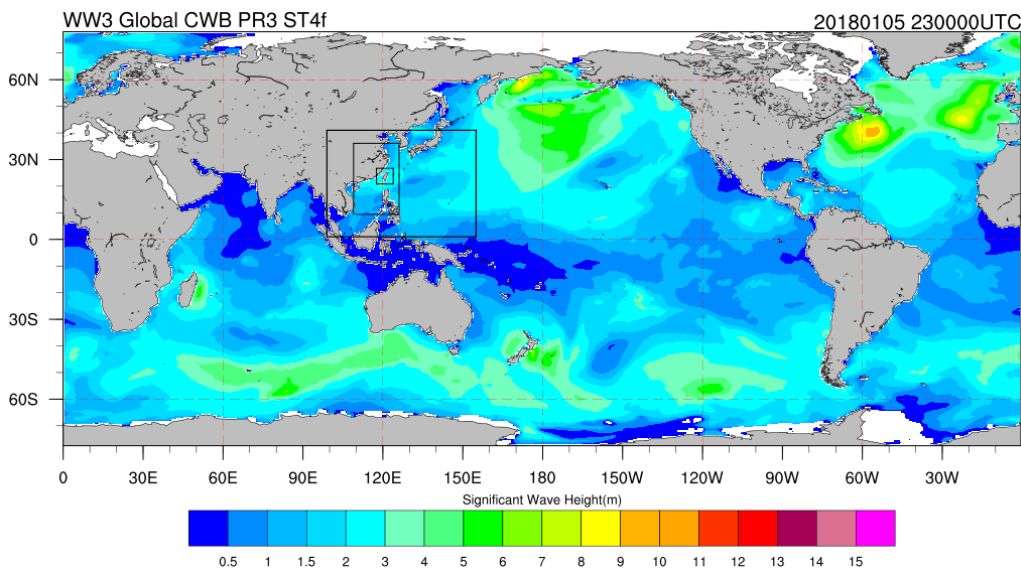


圖 74、台灣海域模式之全球計算網格示意圖

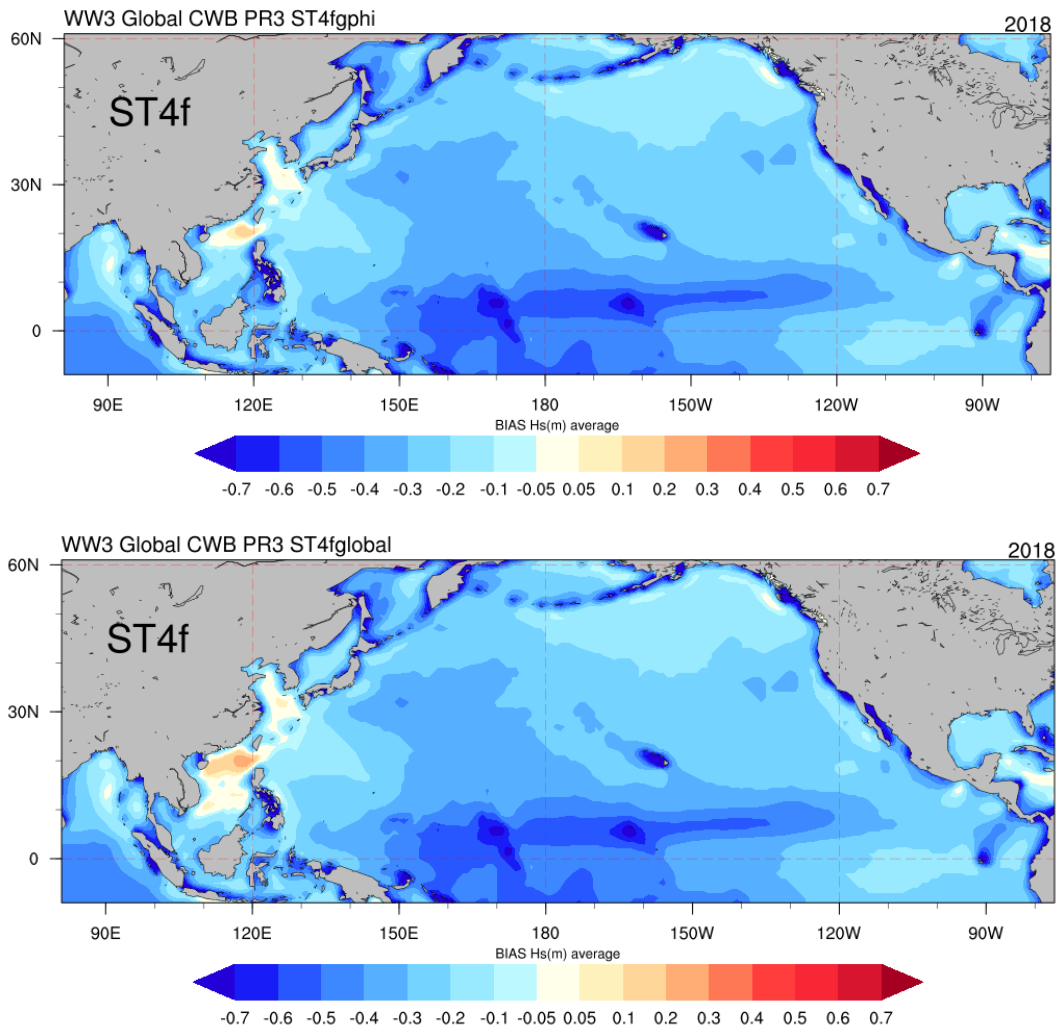


圖 75、波高與衛星波高之 BIAS 分布(上圖為菲律賓海域全球模式，下圖為台灣海域全球模式)

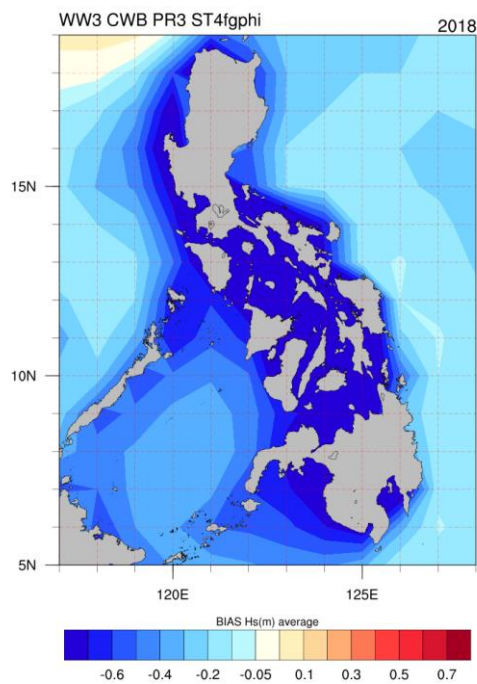


圖 76、2 分網格菲律賓海域之波高 BIAS 分布

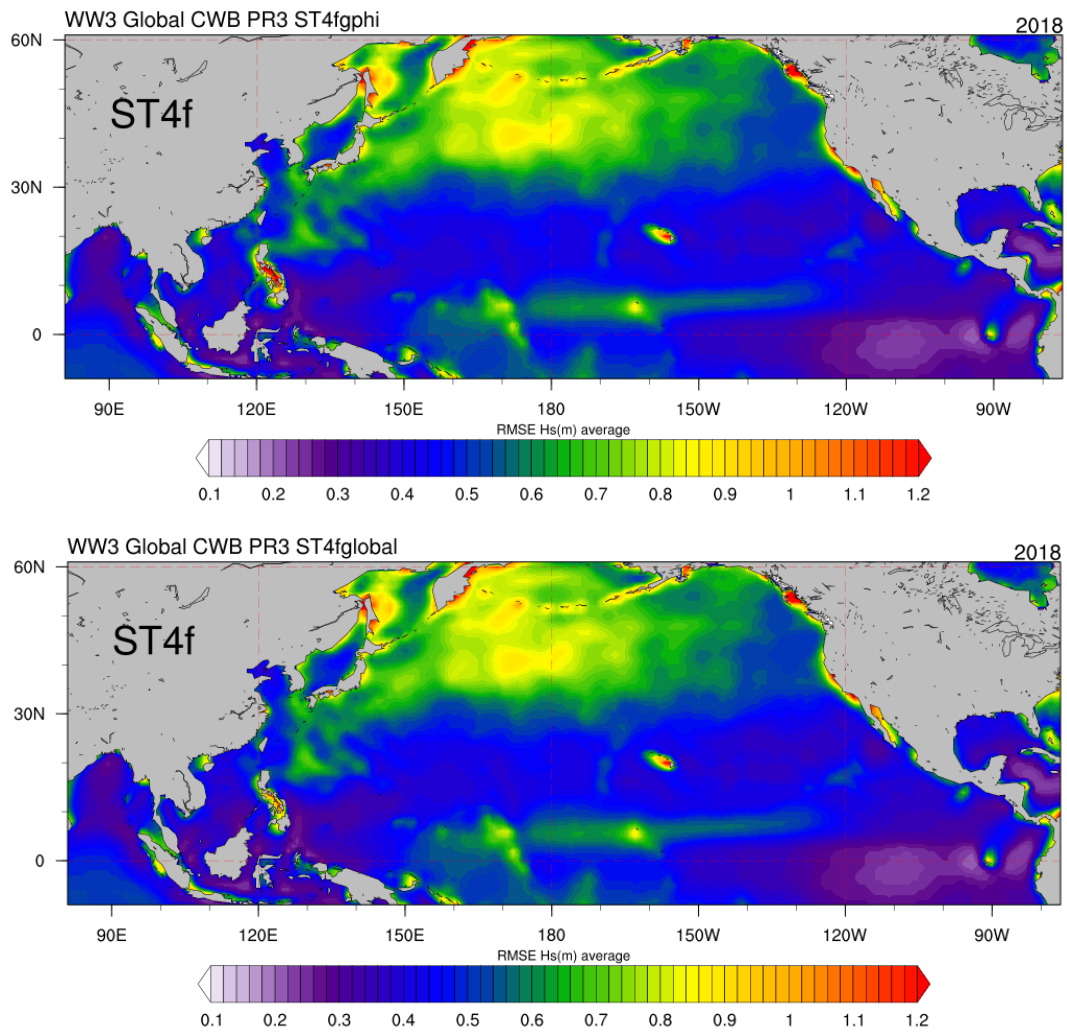


圖 77、波高與衛星波高之 RMSE 分布(上圖為菲律賓海域全球模式，下圖為台灣海域全球模式)

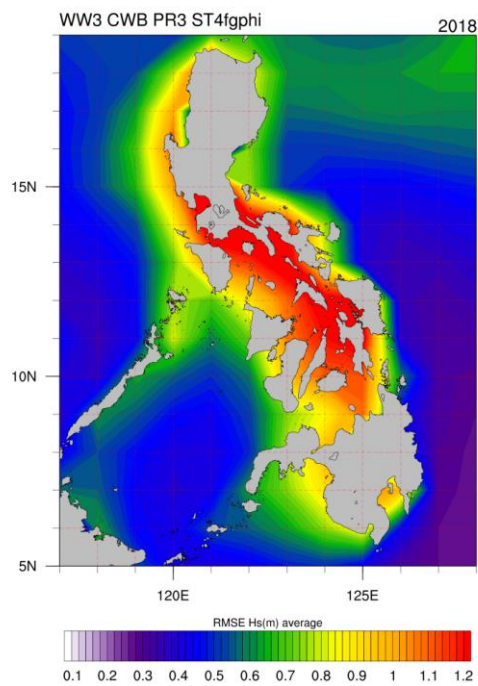


圖 78、2 分網格菲律賓海域之波高 RMSE 分布

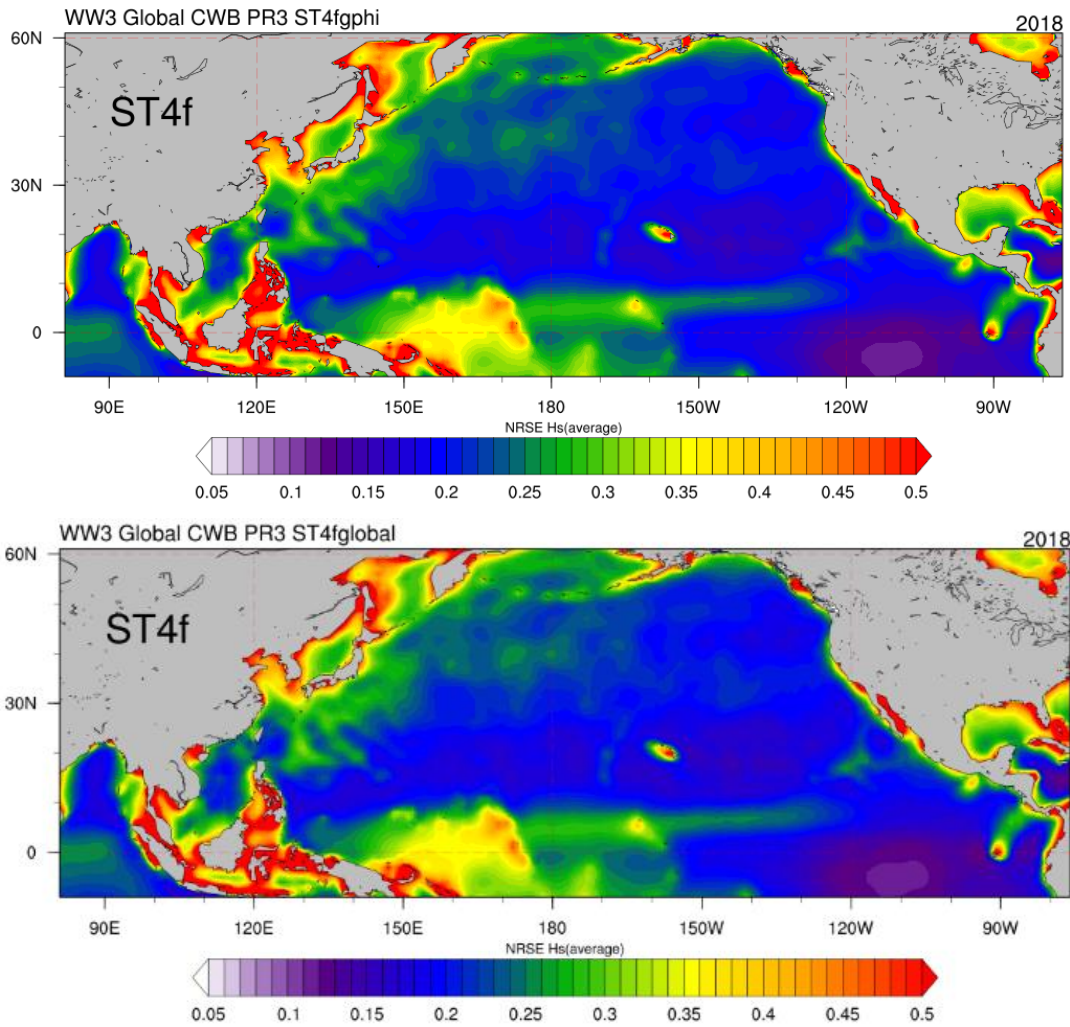


圖 79、波高與衛星波高之 NRMSE 分布(上圖為菲律賓海域全球模式，下圖為台灣海域全球模式)

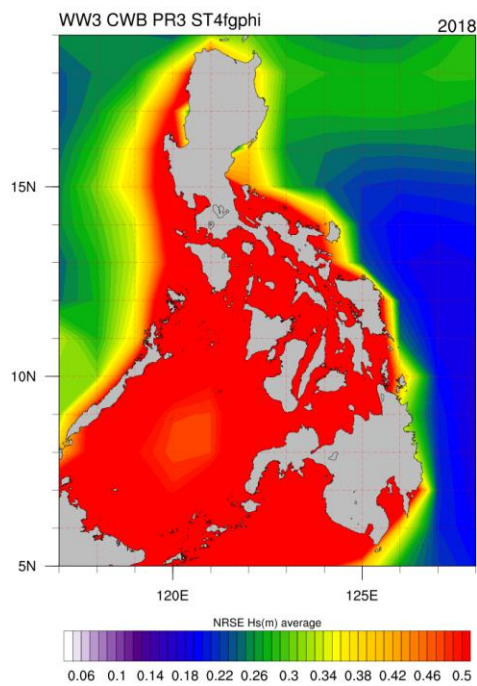


圖 80、2 分網格菲律賓海域之波高 NRMSE 分布

### 3-3 菲律賓波浪預報系統移置規畫

由於疫情的影響，對於預報系統的移置，規劃透過網路方式進行。移置規畫共分為五個部分，第一部分包括硬體及軟體環境的需求，此部分必須配合PAGASA的作業環境，若其無相關設備或設備老舊，則由我方提出採購建議，包括相關軟體及硬體。第二部分為模式軟體的安裝測試，此部分可以測試模式的編譯及作業化平行計算的實力，藉以準備後續的系統移置。第三部分為系統移置，將前述三層網格移置，並設計出適合的作業化控制軟體，並配合其輸出、網頁展示、資料備份等建置控制介面。第四部份為教育訓練，系統移置完成必須進行相關的教育訓練，相關的訓練手冊及操作手冊都必須完成。第五部分維系統維護，若後續系統維護仍交由我方處理，則相關硬體管理者及網路業者必須配合，若系統維護由對方處理，則建議扮演顧問角色，依需求協助辦理。

氣象局與PAGASA合作甚久，目前對於進一步的合作事宜及系統移置並未有任何指示，後續將配合辦理。

## 第四章、藍色公路與系集預報系統維護

### 4-1 藍色公路預報系統維護

#### 4-1-1 運維藍色公路海氣象預報系統

先前年度建立的藍色公路海氣象預報系統已經作業化正常運轉，現階段系統的架構如圖81所示，產生XML檔的主伺服器為新的135伺服器，而資料庫則是讀取IP為61.56.11.136的VM。而備份系統現階段的架構則如圖82所示。備援系統部分也完成移轉到新設的VM伺服器，主機的IP為61.56.11.156而資料庫在61.56.11.99 VM伺服器上。

但由於在11月21日(六)時衛星中心大部分VM伺服器當機，造成61.56.11.136伺服器上的資料庫無法連接，同時備援VM主機61.56.11.156也無法連接，因此備援系統無法立即上線作業化運轉，須將61.56.11.135作業化主機上的所有與藍色公路及生活休閒匯入資料庫程式與產生XML檔的程式全部更改成資料庫指向為61.56.11.99的備援資料庫，然後重新編譯後才能恢復藍色公路與生活休閒預報的作業化運轉。該事件後，海象測報中心指示作業化運轉的資料庫就改成61.56.11.99，不用再更改回原先在VM 61.56.11.136上的資料庫，而在後續當機的伺服器恢復後，VM 61.56.11.136上的資料庫就改成備援系統的資料庫。

109年度持續使用已建置的系統來進行維護與功能擴充，並與業務單位保持密切聯繫，隨時提報系統運作情形與編修現況。由於每次赴中央氣象局海象測報中心進行系統建置與維護相關作業時皆有填寫維護紀錄，並將維護紀錄分季合併成一覽表方便閱覽查詢，確保系統問題有確實解決而新建功能可以符合業務單位的需求。現在也可利用遠端特定IP的電腦，透過行動裝置上的MOTP(Mobile One Time Password)認證，連結到中央氣象局的VM，然後再透過遠端桌面連到藍色公路海氣象預報系統所在的伺服器，進行藍色公路相關程式的編修運維。

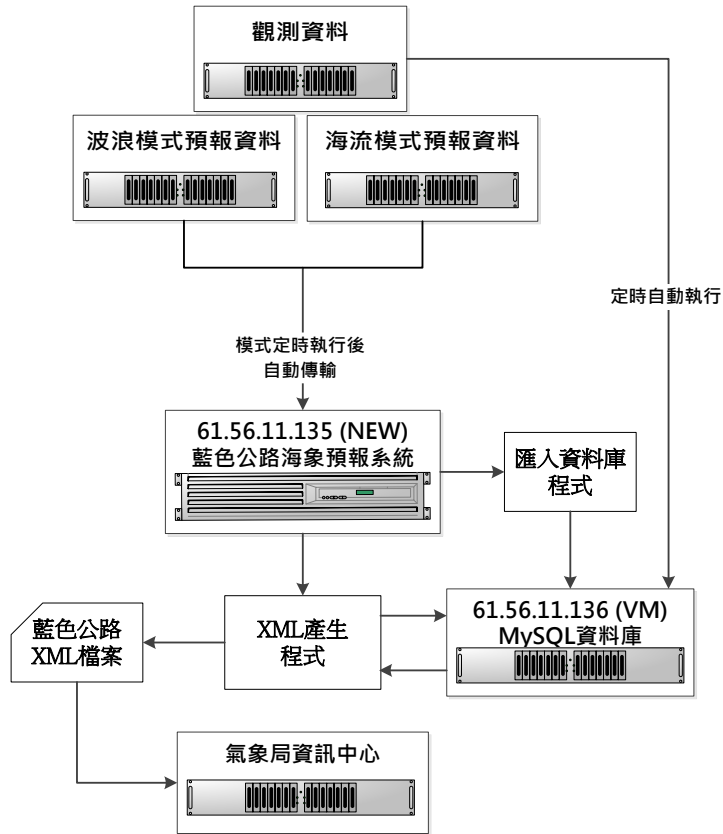


圖 81、藍色公路海氣象預報系統最新作業化架構(11月21日前)

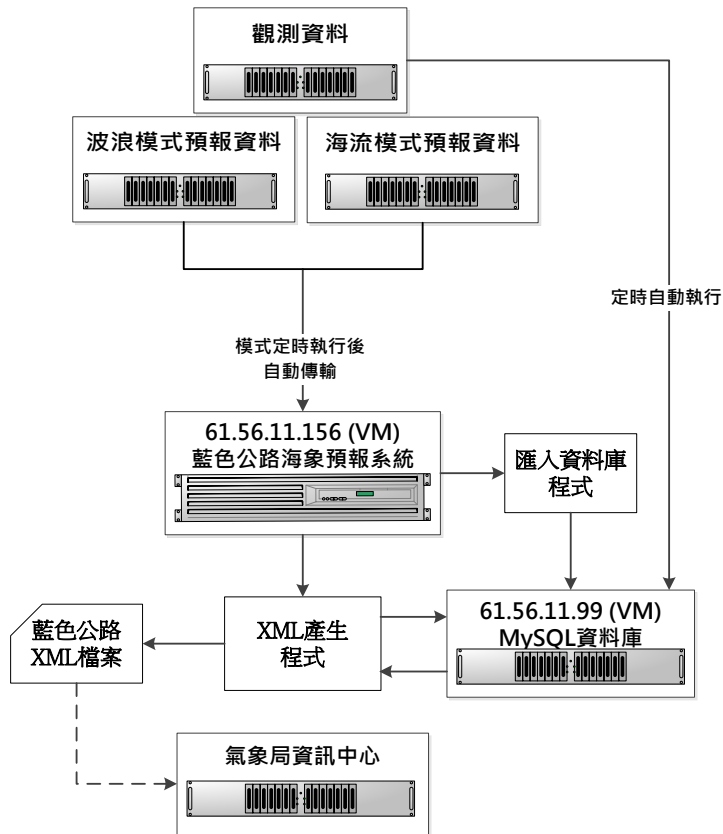


圖 82、藍色公路海氣象預報系統現階段備援系統架構(11月21日前)

#### 4-1-2 生活休閒旅遊海象預報系統

先前年度已經完成多重網格模式之109個海水域場、海釣場及漁港點位輸出建置，以及作業化輸出符合opendata格式的XML檔。由於波浪模式與海流模式皆要另外輸出模式結果檔案，因此在135伺服器上另外建置「wave\_rec」、「wave\_town」、「current\_rec」、「current\_town」目錄接收波浪模式與海流模式的輸出，再建置「modeltosqlwaverectown」及「modeltosqlcurrenttown」兩個VB.NET的程式，將模式的結果匯入「waverectown」及「currentrectown」兩個「pro」資料庫的資料表格中。

在產生休閒娛樂與沿海鄉鎮海氣象預報XML檔案方面，有根據opendata格式來建置輸出程式，每3小時輸出48小時的休閒娛樂海氣象預報XML檔，透過建置作業化排程將檔案傳到資訊中心的伺服器上，以顯示在中央氣象局網頁上(圖83)。

109年度的工作主要在運維生活氣象產製XML程式正常運作，包括自波浪與海流模式輸出的文字檔作業化匯入資料庫中，以及產製符合opendata格式的XML檔，並自動傳送到網頁小組的伺服器上，並建置錯誤的偵測，避免資料不齊或錯誤的XML檔傳送到網頁小組造成困擾。

期中前完成新增原先沒有規劃的8處休閒漁港海象預報點，包括竹圍、通霄、前鎮、永新、蚵仔寮、中芸、水利村、及東港鹽埔。新增的預報點位在波浪模式及海流模式皆完成新增點位的預報輸出後，方能開始進行XML輸出程式的修改。由於波浪模式的輸出檔案有預留150個輸出點位，現在自實際使用的109個點位增加到117個點位，而海流模式並未預留輸出點位在其模擬輸出檔案中，因此在將檔案匯入資料庫時，兩種程式的編修不盡相同。



圖 83、海水浴場預報網頁下方的海象逐 3 小時預報

|                                   |
|-----------------------------------|
| 魚港, 石梯, I06200, 23.50 , 121.53    |
| 魚港, 沙港東, I06300, 23.60 , 119.70   |
| 魚港, 菜園, I06400, 23.52 , 119.50    |
| 魚港, 前寮, I06500, 23.55 , 119.50    |
| 魚港, 鎮港, I06600, 23.65 , 119.68    |
| 魚港, 新湖, I06700, 24.42 , 118.40    |
| 魚港, 福澳, I06800, 26.15 , 119.97    |
| 魚港, 白沙, I06900, 26.20 , 119.95    |
| 魚港, 竹圍, I07000, 25.117, 121.241   |
| 魚港, 通霄, I07100, 24.497, 120.673   |
| 魚港, 前鎮, I07200, 22.570, 120.313   |
| 魚港, 永新, I07300, 22.820, 120.208   |
| 魚港, 蚵仔寮, I07400, 22.726, 120.254  |
| 魚港, 中芸, I07500, 22.484, 120.400   |
| 魚港, 水利村, I07600, 22.418, 120.513  |
| 魚港, 東港鹽埔, I07700, 22.472, 120.437 |

圖 84、新增 8 處休閒漁港的海象預報點檔案格式

另外在程式執行時所需要的點位資料也要進行編修，增加上述的8個點位(圖84)，還有在產上生活休閒預報的Opendata檔時，由於該檔案中有中文站名，因此需在執行時要讀取另一個以UTF-8格式儲存的檔案，才不會造成Opendata的XML檔中出現亂碼的現象。新增生活休閒預報點位執行流程如圖85所示。

在下半年度因應向海致敬與農業作物生產的需求，再次新增主要港口10個點位及海釣10個點位，並修改先前3個海釣點位(圖86)。生活休閒預報點位數量已自117個點位增加到137個點位，在生活休閒氣象預報在相關波浪與海流模擬部分修改輸出後，最終XML檔產生程式部分已於10月16日開始作業化運轉，產生新的生活休閒XML檔。

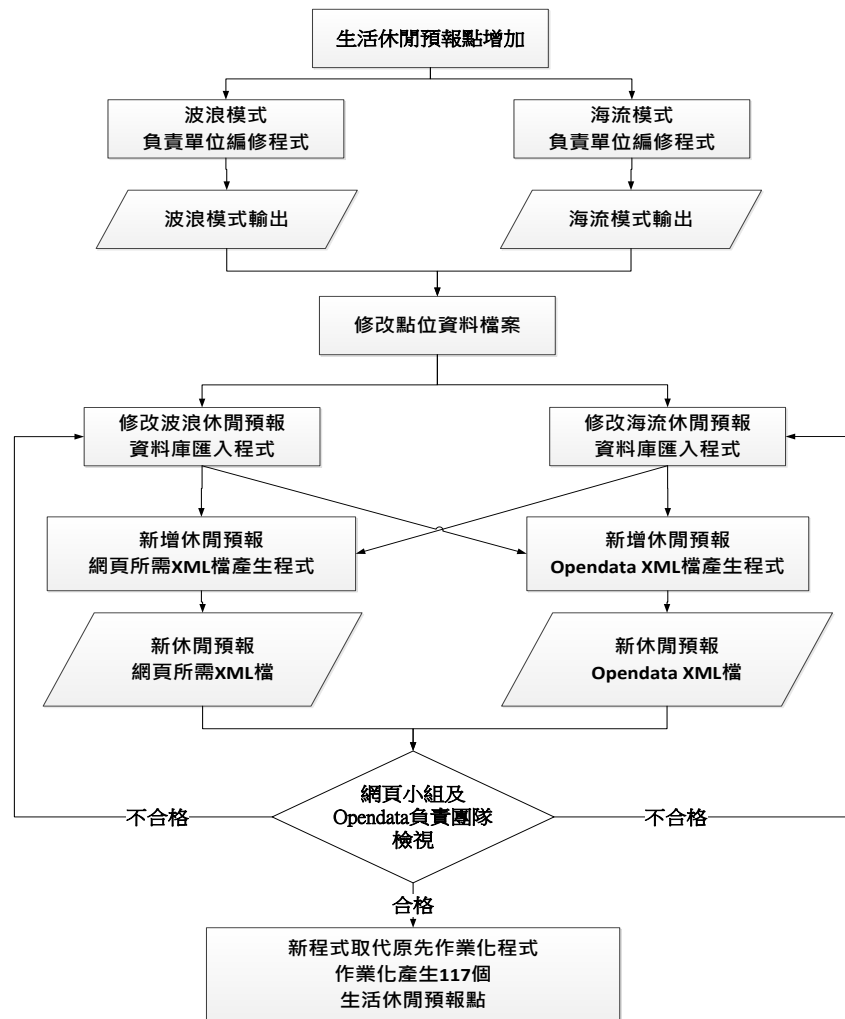


圖 85、新增生活休閒預報點位執行流程

|  |
|--|
| 海釣, 蘇澳港南防波堤靠內港側, B00100, 24.5893, 121.8777 |
| 海釣, 高雄港旗后山一港口護岸, B00800, 22.616, 120.2654  |
| 海釣, 臺中港100號碼頭, B01400, 24.2223, 120.4843   |
| 海釣, 臺北港北防波堤, B01900, 25.1574, 121.3637     |
| 海釣, 基隆港東岸防波堤, B02000, 25.1622, 121.7548    |
| 海釣, 臺中港北防波堤, B02100, 24.2964, 120.4947     |
| 海釣, 高雄港第10船渠, B02200, 22.5503, 120.3203    |
| 海釣, 布袋商港釣魚示範區, B02300, 23.3845, 120.1278   |
| 海釣, 安平港北防波堤, B02400, 22.9699, 120.1525     |
| 海釣, 安平港南防波堤, B02500, 22.9622, 120.1566     |
| 海釣, 澎湖港馬公碼頭區, B02600, 23.5615, 119.5646    |
| 海釣, 澎湖港龍門尖山碼頭區, B02700, 23.5595, 119.672   |
| 海釣, 花蓮港東堤垂釣區, B02800, 23.9767, 121.6325    |
| 主要港口, 臺北港, H00100, 25.154453, 121.377811   |
| 主要港口, 基隆港, H00200, 25.131773, 121.74323    |
| 主要港口, 臺中港, H00300, 24.255889, 120.523853   |
| 主要港口, 高雄港, H00400, 22.624372, 120.269804   |
| 主要港口, 花蓮港, H00500, 23.980316, 121.619556   |
| 主要港口, 蘇澳港, H00600, 24.596873, 121.857191   |
| 主要港口, 布袋港, H00700, 23.38, 120.14           |
| 主要港口, 安平港, H00800, 22.9674, 120.1731       |
| 主要港口, 澎湖港(馬公), H00900, 23.5599, 119.5598   |
| 主要港口, 澎湖港(龍門), H01000, 23.5564, 119.6722   |

圖 86、新增與修改共 23 處主要港口與海釣的海象預報點檔案格式

### 4-1-3 藍色公路端點校驗展示系統更新運維

先前年度已建置完成藍色公路校驗系統如圖87所示。使用者只要選擇(1)航線、(2)年、(3)月、(4)起迄點、(5)RUN、及(6)幾小時後的預報，然後按"開始校驗"即可展示該月的模式、公佈、及觀測的時序列圖。系統會判斷所要比較資料的存在與否，空出沒有資料的時間點，避免有錯移的現象發生，有效的對數即會自動計算相關的統計值展示在網頁上。若使用者選取無端點觀測資料的航段或是該月無任何觀測資料，則系統會顯示相關訊息提醒使用者。圖中可以看出2020年5月東港小琉球航線對外發布的波高預測經過小琉球浮標觀測資料的修正後，在相關係數、均方差、平均偏差方面都有改善。

在108年度伺服器及系統的移轉作業完成，已恢復藍色公路端點校驗系統的正常運作，並加入新增加的航線。109年度持續運維藍色公路端點校驗展示系統的正常運作，遇有更新及新增的端點觀測資料則會更改程式，加入系統中進行相關統計指標的計算與時序列圖的繪製。本年度現階段配合老舊伺服器的移轉淘汰，已經將藍色公路端點校驗展示系統遷移到新購買的伺服器上，並在VM備援系統上也複製一套藍色公路端點校驗展示系統，以備不時之需。

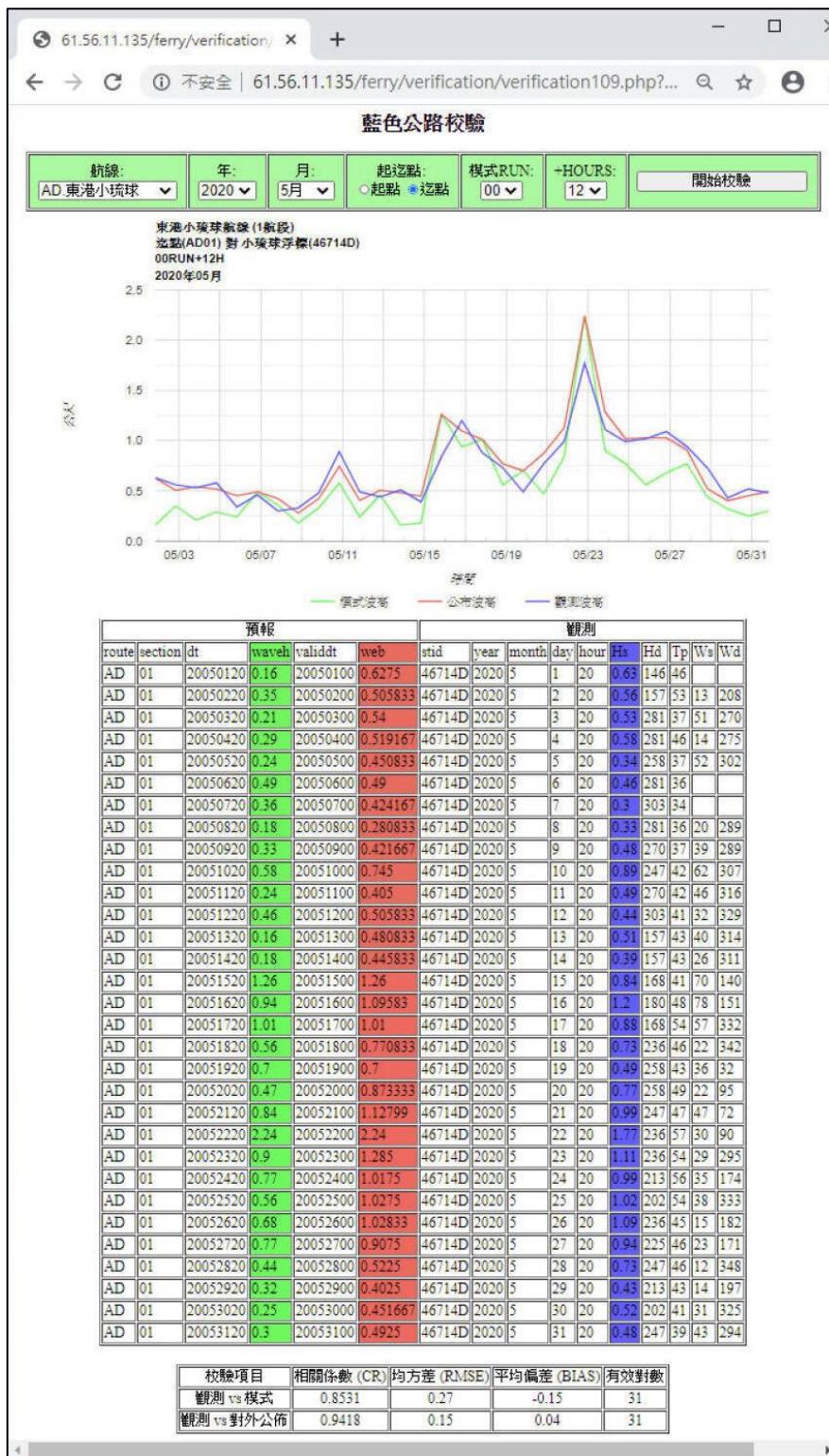


圖 87、藍色公路波浪預報校驗系統結果展示

#### 4-1-4 透過資料課的 API 讀取浮標觀測資料

藍色公路海氣象預報系統需要自資料庫讀取觀測資料，原先的預報課自行設立資料庫，由資料庫協助將資料複寫到預報課的資料庫中，自109年度起，為求資料的一致性及各減少資料重複使用電腦儲存資源，因此在109年度擬更新藍色公路系統取得浮標觀測資料的方式，直接

透過資料課的API讀取浮標觀測資料。此項工作需由資料課配合的廠商提供API的連接方式及範例，以利藍色公路海氣象預報系統及生活休閒海氣象預報系統的程式修改與測試，待測試完成穩定後，就會導入作業化系統中。

觀測課的API因為具備即時資料的讀取功能，將更能符合藍色公路海氣象預報XML檔產生的機制，因此決定使用觀測課的API來擷取即時觀測資料，由於觀測課的API的建置透過發包廠商承接建置，一直到9月才完成，可以初步開始測試，因此本項工作延遲執行到9月以後。拿到API使用方式後進行測試，現階段已經測試成功，可使用觀測課API讀取資料。但是發現使用與手冊說明不盡相同，只要使用帳號密碼即可讀取資料，不需要每週先取得Token才能用API讀取資料。

由API讀取觀測資料會對於原先藍色公路XML的產生方式產生很大的衝擊，預計有兩種方式進行API讀取資料方式，第一種方式是新增專門呼叫API然後匯入原先預報課marine資料庫下的buoy及current資料表中，如此則藍色公路XML產生程式完全不需要更改，第二種方式則直接修改XML產生程式，將API的部分嵌入程式中。經評估現在採用修改起來比較複雜的方式二(圖88)。好處是成功穩定後就不需要再維護預報課的marine資料庫下的buoy及current兩個資料表。

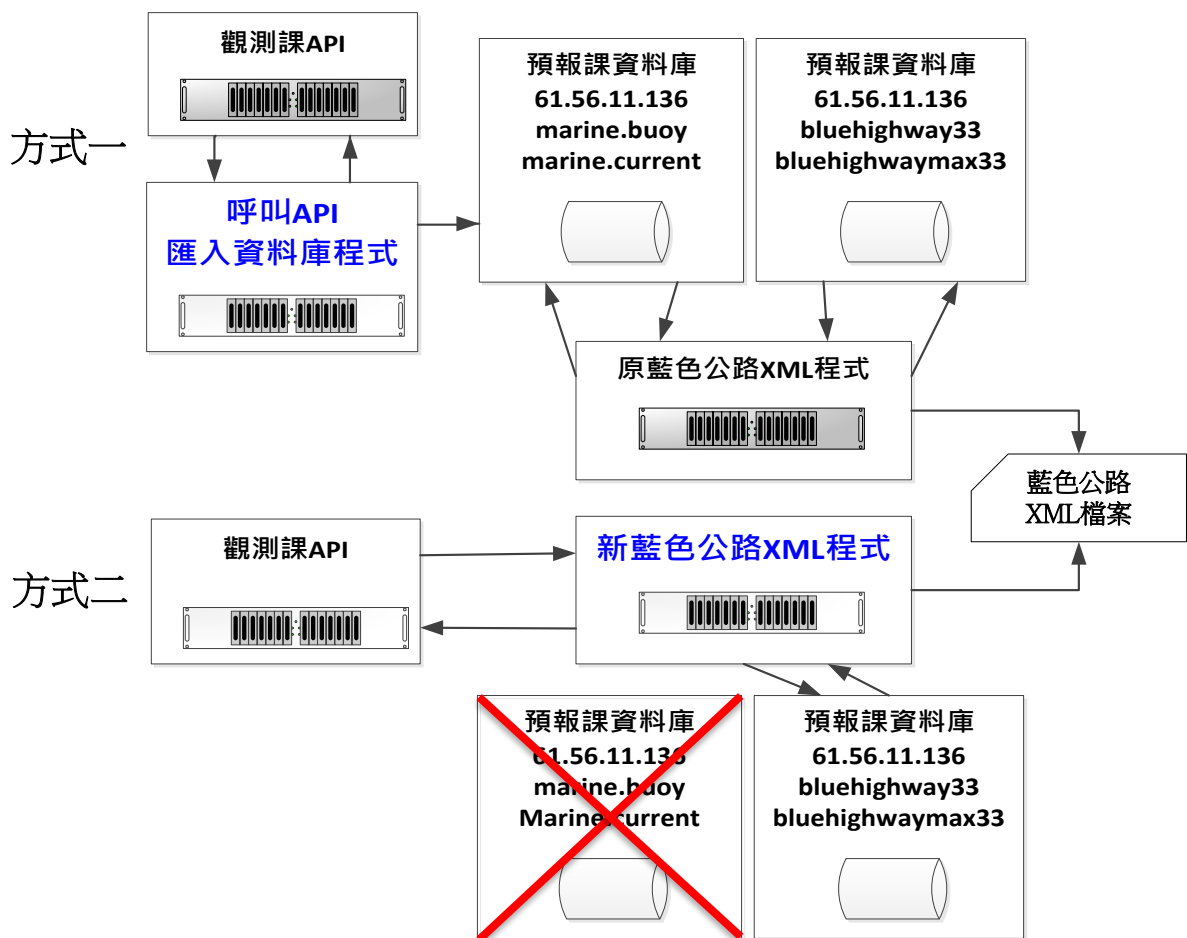


圖 88、觀測課 API 使用方式說明

程式修改的部分主要是使用HttpWebRequest去呼叫API，帶入station\_id然後擷取最新的三筆資料透過GetResponseStream傳回json格式的資料，再透過Newtonsoft.Json下的函數來解析出如平均風、風向、示性波高、平均週期、浪向、海流流速、及海流流向等觀測資料。

藍色公路XML檔產生程式已初步完成編修，為避免對於現階段作業化運轉產生不穩定的衝擊，現階段已開始在備援系統上使用API產生XML檔，並進行結果比對，待穩定後將在年底前替換原先的作業化藍色公路XML檔產生程式，透過API讀取觀測課的資料庫，後續年度就不需要另外維護一套在預報課的觀測資料庫。

## 4-2 系集預報系統維護

### 4-2-1 運維系集預報展示系統

波浪系集預報展示系統在103年6月後即開始作業化運作，同年建立雛形展示系統，104年完成建置波浪系集預報展示系統。105年度波浪系集預報展示系統新增加Talagrand Rank Histogram、Reliability Diagram、Relative Operating Characteristics Diagram、Spread and RMSE Diagram、及Brier Skill Score Diagram等之系集預報評估結果展示。106年度使用已建置的系統來進行維護與功能擴充，系統包括二層網格(viewernewd.htm)、三層網格(viewernew2.htm)及二層網格24個成員(viewernew3.htm)。107年度新增加三層網格24個成員的網頁，名稱為viewernew4.htm。108年度延長系集預報時間至96小時，已透過程式迴圈的增加完成展示系統程式的修改，並加入波向的驗證項目(圖89)。

109年度持續與業務單位保持密切聯繫，隨時提報系統運作情形現況。並與藍色公路海氣象預報系統一樣在每次赴中央氣象局海象測報中心進行系統建置與維護相關作業時，或是透過行動裝置上的MOTP認證，連結到中央氣象局的VM進行遠端維護，皆會填寫維護紀錄，並將維護紀錄分季合併成一覽表方便閱覽查詢，確保系統問題有確實解決而新建功能可以符合業務單位的需求。

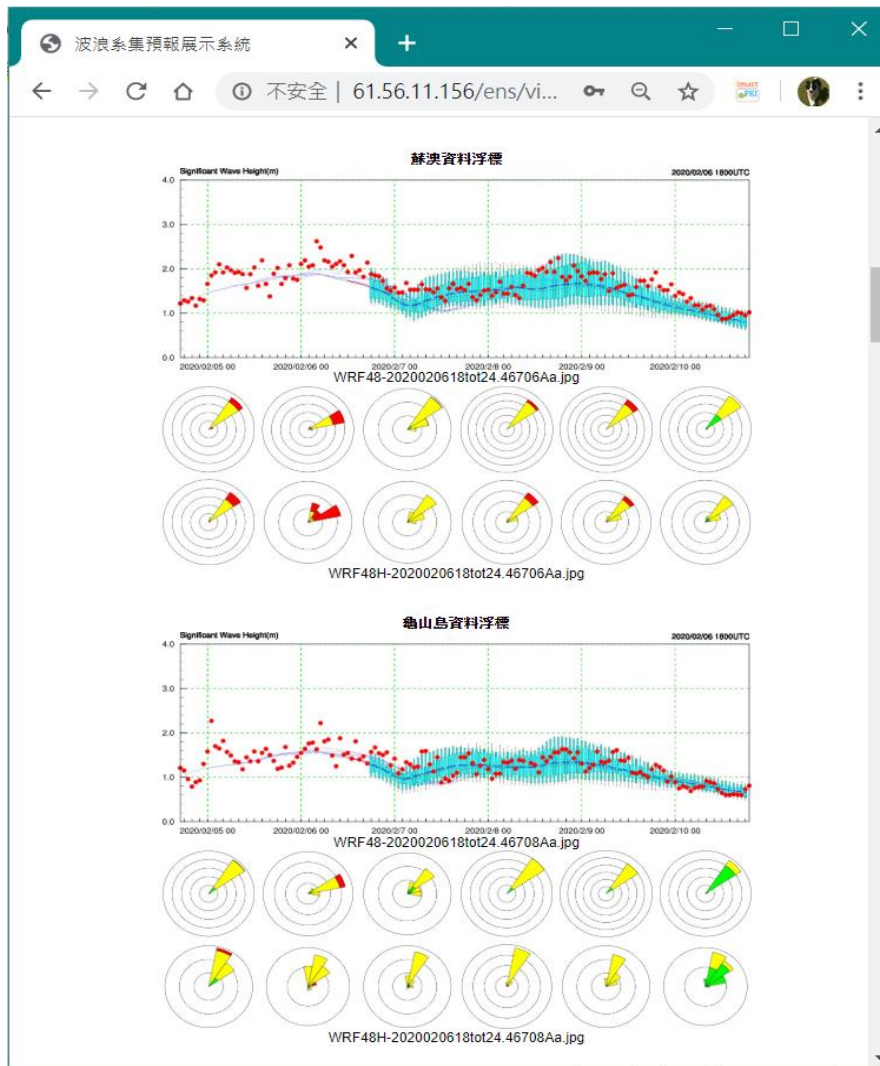


圖 89、系集預報展示系統顯示波向驗證

#### 4-2-2 介面改善及增加英文網頁

109年度已依業務單位的需求，對系集預報展示系統的介面進行改善，並建置中英文操作介面切換功能，包括標題、所有按鈕選單、以及所有圖例及說明。除此之外並進行系統內圖資的管理與刪除，確保系統可以正常運作。本年度也配合業務單位新建立的VM伺服器，將系統轉移到雲端伺服器在新的作業系統下運作。

現階段已完成系統轉移到雲端伺服器(VM)在新的作業系統下運作，透過臨時的IP設定給新的VM以及複製測試圖檔到新的VM伺服器後，開始進行相關程式移轉及測試，待系統可以正常運後，再將舊的156伺服器設定為另一個臨時IP，以避免IP的衝突，最後將新伺服器設定回61.56.11.156即可完成伺服器與系集預報展示系統的移轉。

現階段也完成英文網頁的建置，並於原本中文網頁中增加中英文網頁切換的功能按鍵如圖90所示，在英文網頁上也有相同的按鍵以利切換回中文網頁(圖91)。原先是中文的操作介面

皆在英文網頁上以英文展示，包括產品選單、三層網格選單、動畫控制按鈕、及所有測站名稱，另外包括單點圖的圖例說明也都有製作對應的英文網頁如圖92所示。

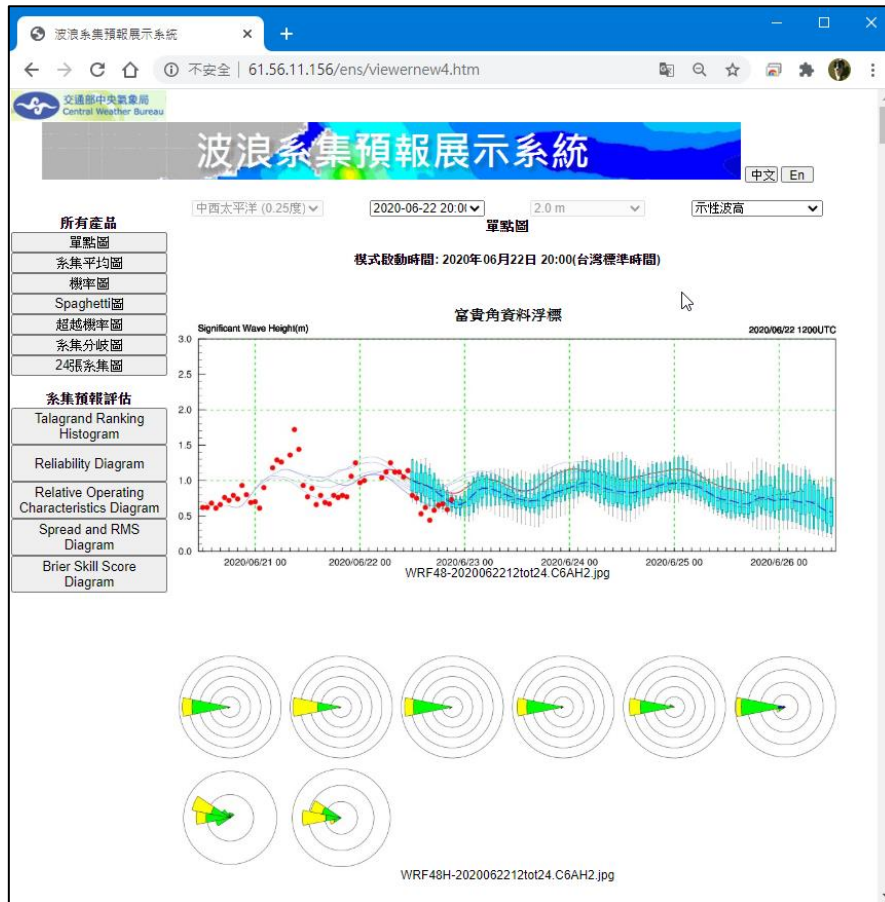


圖 90、波浪系集預報展示系統在右上角增加中英文網頁切換功能

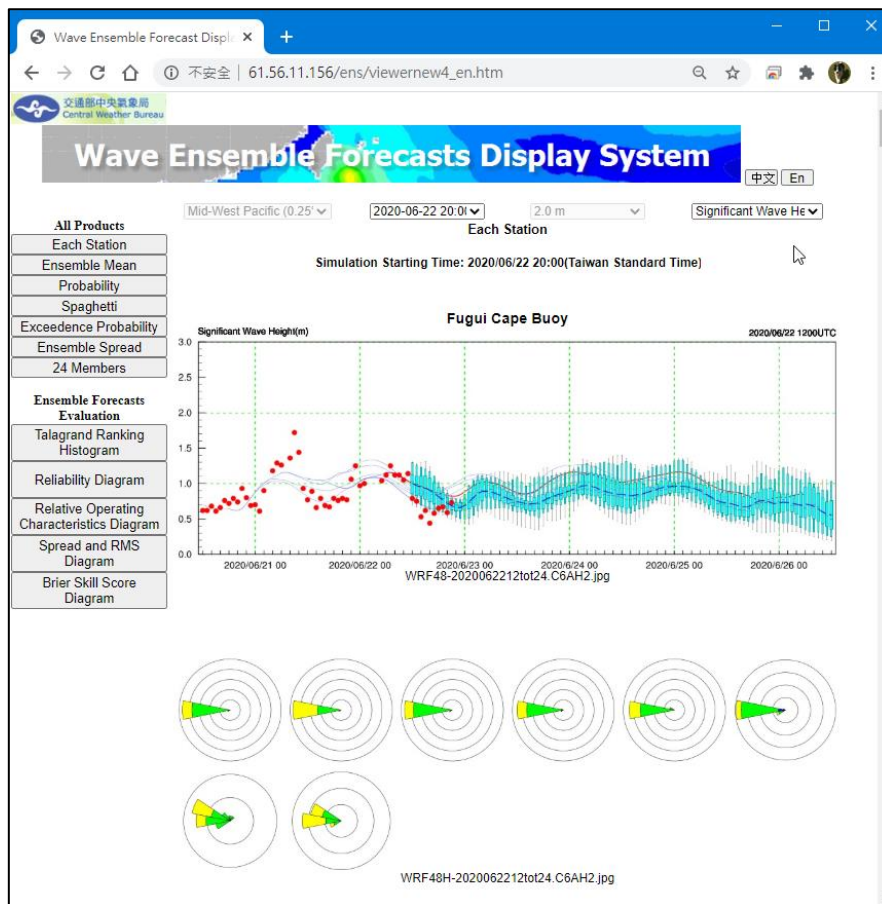


圖 91、波浪系集預報展示系統英文網頁

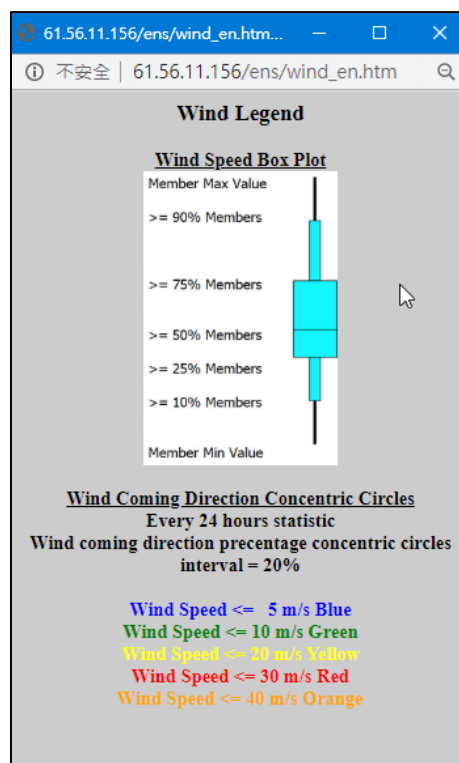
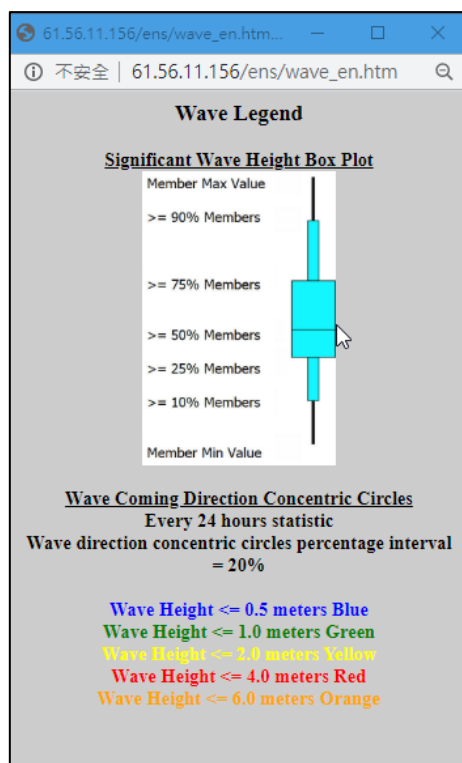


圖 92、單點圖波浪及風場圖例英文說明網頁

### 4-2-3 每月更新 Spread 及 RMSE 圖

系集預報展示系統每月會有新的 Spread 及 RMSE 圖產生，因此在 109 年度將修改程式，可以自動展示每月新增的 Spread 及 RMSE 圖，並方便使用者查詢先前月份所產生的圖檔如下所示。

本年度相關的下拉選單已經建置完成(圖 93)，只要有新月份的 Spread 及 RMSE 圖產生，放在固定的目錄下方，當使用者選擇該月份的 Spread 及 RMSE 圖時，系統即可讀取及展示 Spread 及 RMSE 圖。若使用者選取尚未產生 Spread 及 RMSE 圖的月份時，訊息圖檔如圖 94 所示，即會展示訊息說明圖檔尚未產生。

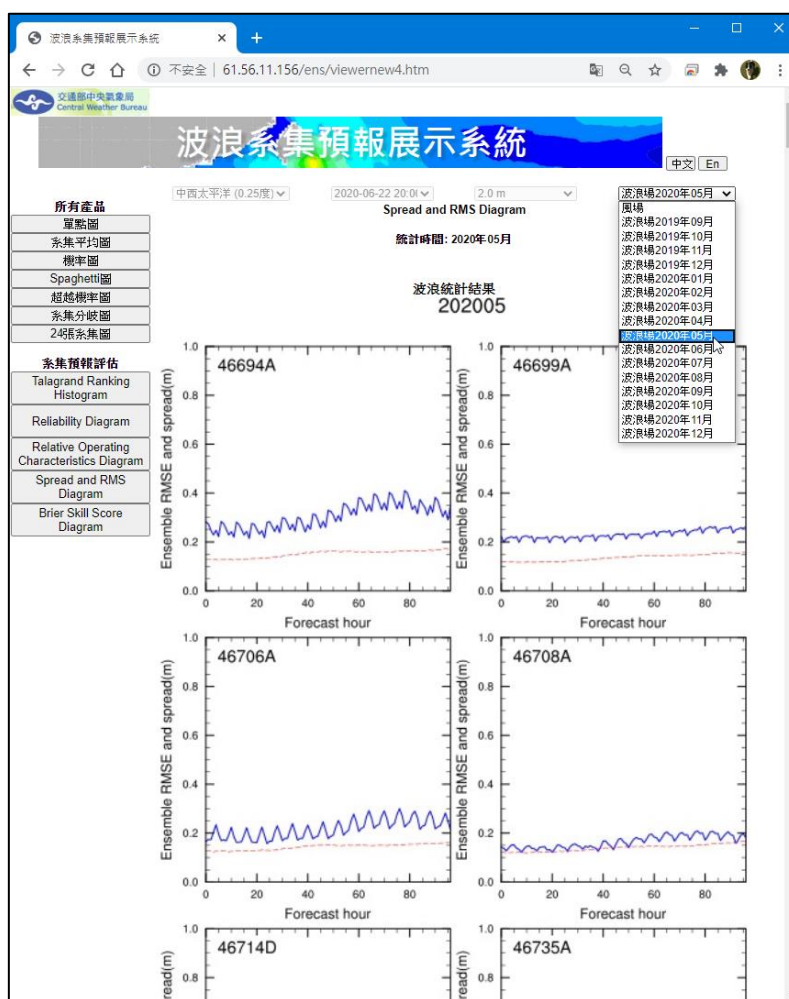


圖 93、系集預報展示系統展示每月新增的 Spread 及 RMSE 圖



圖 94、Spread 及 RMSE 圖檔尚未產生的訊息畫面

### 4-3 系統維護紀錄

本年度針藍色公路海象資訊系統、生活休閒海象資訊系統、及波浪系集預報展示系統共執行13次主要系統維護如表8所示，相關維護紀錄請見附件四的維護報告。

表 8、藍色公路與系集預報系統維護紀錄一覽表

| 季別  | 項次 | 日期        | 維護項目                               | 處理結果                                       |
|-----|----|-----------|------------------------------------|--|
| 第一季 | 1  | 109/01/17 | 設定新購置的伺服器所需環境                      | 完成測試與軟體安裝。                                 |
|     | 2  | 109/03/10 | 藍色公路網頁沒有更新                         | 網路連線重新申請。                                  |
| 第二季 | 3  | 109/04/15 | 停止傳送 Opendata 到特定 IP、海流資料沒有顯示      | 停止 ftp 到特定 IP、完成程式編修可擷取前一天的 RUN。           |
|     | 4  | 109/04/22 | 藍色公路網頁沒有更新                         | 新修改的程式有錯誤，已更正，網頁恢復正常。                      |
|     | 5  | 109/05/28 | 硬碟空間不足、準備原始碼弱掃                     | C 碟空間清出 12.6 GB、完成網頁程式碼打包準備接受弱掃。           |
|     | 6  | 109/05/29 | 新增休閒漁港預報點                          | 完成輸入檔更新及匯入資料庫的程式修改                         |
|     | 7  | 109/06/19 | 海流資料仍呈現「-」、XML 產生程式編修、系集預報展示系統英文網頁 | 修改程式使用 while loop 解決缺少海流資料問題、完成生活休閒 XML 檔產 |

|     |    |           |   |   |
|-----|----|-----------|---|---|
|     |    |           |   | 生程式 編修、完成英文網頁及切換功能建置。   |
| 第三季 | 8  | 109/07/20 | 兩岸航線資料沒有更新                                  | 連絡管道通知相關人士，恢復連線後，開始擷取與處理顯示兩岸這三條航線的預報資料。                                     |
|     | 9  | 109/08/21 | 藍色公路海象資訊系統簡訊發送問題                            | 從 CWB ftp 到 ITRI 卡住，導致在 ITRI 執行的發簡訊程式一直用舊檔案來判斷，已修正 ftp 連線問題，不會再亂發簡訊。        |
| 第四季 | 10 | 109/10/16 | 生活休閒海象預報點位增加                                | 完成輸入檔更新及相關程式的修改。  |
|     | 11 | 109/10/22 | 藍色公路網頁預報停在 10/21 23:00                      | 波浪模式皆有正常執行，中心發現是 Fujitsu 無法 ftp 到 W8 的原因，導致模擬資料無法傳到最後的 135 伺服器，經中心聯繫已經修復問題。 |
|     | 12 | 109/10/23 | 觀測課 API 測試                                  | 藍色公路 XML 檔產生程式初步完成編修，已開始測試產生 XML 檔，結果比對中。                                   |
|     | 13 | 109/11/21 | 藍色公路網頁沒有更新，部分 VM 當機，136 資料庫及備援主機 156 皆無法連接。 | 緊急修改藍色公路 XML 檔產生程式，將資料庫指向 99 伺服器，重新編輯後修復網頁的展示。                              |

## 第五章、結論與建議

受到新冠肺炎的影響，導致原定五月進行之國外技術移轉訓練課程無法進行(包括 LETKF、向前因子、衛星觀測資料篩選機制)等，且經過 CWB 交涉也無法找到 NOAA 適合人選協助，但幸運得到已調離原單位之 Dr. Stylianos Flampouris、資訊單位李晨光先生及工研院柯昱銘研究員的協助，超過百封 email 的溝通，順利建構 LETKF 的平台。也使得本計畫順利完成「區域化資料同化平台移轉建置」、「菲律賓海域波浪模擬建置」、「藍色公路與系集預報系統維護」等計畫工作項目，並在 109 年天氣分析與預報研討會發表論文，以及完成交辦事項，包括新高速計算平台 benchmark 之撰寫及系統代移植操作手冊，新增及修改景點(向海致敬與農業作物生產)之生活氣象預報等。已完成計畫工作內容之結論及建議如下：

### 一、結論：

#### 1. 區域化資料同化平台移轉建置：

- 完成 NWW3 6.07 版之非結構網格測試，其提供顯式計算域切割法及傳統卡套法、隱式計算域切割法等，測試結果顯示隱式計算域切割法所耗的時間最長，而顯式的二種方法十分接近，然而當使用的網格過小時且網格數量太多時，則顯示法的時間間距將縮小，而隱式法可以使用較大的計算時間間距，因此將會顯示出其效率。
- 以澎湖海域測試非結構網格的結果顯示，在東北季風期(2018/1)主要浪向來自於北方，澎湖測站並未受到任何遮蔽，使得有無非結構網格的計算差異不大，但三角網格可以解析的區域範圍較大，可以反應出複雜地形的變化，也使得澎湖群島下風處遮蔽區的範圍縮小，而規則網格使用能量阻隔的方式亦同樣在澎湖測站發揮效果，但因格點範圍較大，使得澎湖群島下風處遮蔽區的範圍偏大；2018/8(西南浪向)期間，澎湖測站可能有受到部分遮蔽，使得三角網格的計算結果與規則網格比較之波高偏大、週期偏小，此可能與規則網格在該點位的處理方式，導致波浪能量減少、不同頻率的能量轉換較偏向低頻有關。一如東北季風期，三角網格可以更確實模擬海岸的變化，故其下風處遮蔽區之範圍較小，且可解析的範圍較大。然而三角網格的優勢在於解析更清楚的物理現象，尤其在遮蔽區或島嶼之間，但多了一層的計算網格，平均增加約 19% 的計算時間，這也是必須評估的地方，若有需要提供例如澎湖本島和西嶼之間的波浪資料，那就值得去加密或使用三角網格。
- 完成氣象局 Cluster 之硬體調查，顯示 06 及 12 之硬體資源可能稍微不足，唯與計算網格設計有關，初期以單一網格測試(0.25 度)問題不大。衛星資料部分，已從 CMES 透過 FTP server 逐時下載即時資料至氣象局 cluster，包括波高及風速。資料品管部分，目

前資料已達 L3 等級，較先前原始 L2 資料高一級，擬透過研究團隊建立之品管程序進行控管。

- 完成 UMD-LETKF 在 Centos 平台、使用 Intel compiler 之建置及測試。twin experiments 顯示觀測無誤差時，同化後系集平均等於觀測值，使得系集分歧等於 0，而觀測影響範圍約達半徑 1000 公里(2 倍局地影響半徑)左右，且隨緯度增加而減少。當觀測有誤差時，同化後系集平均已較遠離觀測值，系集分歧偏小幅度降低。而 UMD-LETKF 所需之硬體約 3.5GB，還少於 NWW3 的 4.8GB，僅使用 1 個核心所花的處理時間非常短，而記憶體亦僅使用約 0.06G，基本上不太佔硬體及記憶體資源。備份策略可以參考系集預報的方式逐月進行備份，而技術評估指標相同於決定性預報的評估指標，但使用系集平均來作為預報值。

## 2. 菲律賓海域波浪模擬建置：

- 原定在菲律賓群島範圍使用三角網格以解析複雜的網格地形，後改為建置 2 分之菲律賓海域巢狀網格，外層仍採用全球(0.5°)及西太平洋(0.25°)二層網格分布，以 ST4f 參數設定進行測試，使用 CFSR 風場，並與衛星資料進行比較。計算結果顯示在巴士海峽往西至南海北部、黃海及台灣北部均為正偏差，由於衛星在島嶼間之觀測資料較易受到陸地的影響可靠度較差，故菲律賓群島間的水域之計算結果偏小較多；北緯 30° 以北、北緯 10°、東經 130° 及北緯 20° 至朝鮮半島之 RMSE 較大，菲律賓群島間的水域亦偏大；NRMSE 亦有類似趨勢，但在蘇祿海亦同樣偏大。
- 與台灣海域之全球模式比較之主要差別在南海、巴士海峽及蘇祿海，此區在台灣海域全球模式係使用 10km 之風場驅動，而菲律賓海域全球模式則依然使用 CFSR 風場，造成使用菲律賓海域全球模式的計算結果偏小，尤其在蘇祿海偏低情形至為明顯，顯示 10km 風場的強度較 CFSR 風場大，因此若僅使用 CFSR 風場，會在菲律賓海域產生普遍偏低的情形。然而 10 公里風場範圍僅及蘇祿海約一半的位置，因此若能延伸預報中心 10 公里風場的範圍，則偏低現象應該會減少。

## 3. 藍色公路與系集預報系統維護：

- 本年度在藍色公路預報系統方面持續確保藍色公路海氣象預報系統、生活休閒海象預報系統、及藍色公路端點校驗系統之正常運轉，且相關的作業化系統及備援系統皆已全數移轉完成。在 135 伺服器作業化主系統及 99 的資料庫正常運轉的情況下，156 備援系統及 136 資料庫仍同步運轉，保持 33 條航線 XML 檔案的產生，已備不時之需。

- 完成新增 8 個生活休閒漁港預報點位及修改 3 個海釣預報點位，另外新增 10 個海釣點位與 10 個主要港口點位的 XML 產生程式的編修。
- 在系集預報展示系統方面持續使用已建置的系統來進行維護與功能擴充，系統包括二層網格、二層網格 24 個成員、及三層網格 24 個成員共三種網頁，並與業務單位保持密切聯繫，隨時提報系統運作情形與編修現況。本年度完成系統移轉到新的 VM 伺服器上，並完成建置英文網頁包括標題、所有按鈕選單，及所有圖例及說明，並增加中英文操作介面切換功能按鈕於中英文網頁上。在 Spread 及 RMSE 圖展示功能方面，下拉選單已經建置完成，當使用者選擇某月份的 Spread 及 RMSE 圖時，系統即可讀取及展示相關圖檔於網頁上。
- 觀測課的 API 已經開始啟用，相關的藍色公路 XML 產生程式已經完成修改，待測試穩定後在本年度結束前會進行替換，如此在下年度就不需要再自資料庫作業化匯入觀測資料到預報課的 buoy 及 current 資料表中，這兩個資料表也不需要再進行維護。

## 二、建議:

### 1. 區域化資料同化平台移轉建置：

- NOAA 全球波浪資料同化系統是目前唯一使用 LETKF 的作業化系統，而適合台灣的多重網格模式同化系統並未有案例產生，依據 Dr. Stylianos 的說明，後續仍有許多次系統需要建立以符合台灣海域資料同化應用的需求，但由於 Dr. Stylianos 已經轉到 programmatic office(STI-Modeling)，並稱未來其可以繼續擔任顧問的角色，但需要氣象局與 NOAA 溝通合作方案，以適人適任方式協助系統的建立。

### 2. 菲律賓海域波浪模擬建置：

- 菲律賓方目前並無進一步消息，因此系統的移置規劃仍有賴雙方溝通。因為疫情關係無法直接溝通，因此透過視訊或 email 的方式是目前唯一可行的方式。

### 3. 藍色公路與系集預報系統維護：

- 將持續運維藍色公路海氣象與休閒娛樂 XML 檔的作業化程式，以持續產生 33 條航線的 XML 檔，除此之外持續觀察測試導入觀測課的 API，直接擷取即時觀測資料，來建構產生相關的 XML 檔。由於現行的 API 方式，在未正常運作的觀測站可能會產生錯誤的資料擷取結果，因此將在正式上線時增加檢視指標欄位，確定資料的可用性，不然就標示「-」以確保錯誤的資料不會被放入 XML 檔中。

## 參考文獻

1. 曾忠一，2006。大氣科學中的反問題，國立編譯館。
2. 江琇瑛、洪景山，2016。系集平均場置換在系集雷達資料同化之研究，105年天氣分析與預報研討會，A2-32。
3. 交通部中央氣象局，2019。發展波浪資料同化技術及強化波浪系集預報系統（4/4），社團法人台灣地球觀測學會，中華民國108年十二月。
4. 交通部中央氣象局，2018。發展波浪資料同化技術及強化波浪系集預報系統（3/4），社團法人台灣地球觀測學會，中華民國107年十二月。
5. 交通部中央氣象局，2017。發展波浪資料同化技術及強化波浪系集預報系統（2/4），社團法人台灣地球觀測學會，中華民國106年十二月。
6. 交通部中央氣象局，2016。發展波浪資料同化技術及強化波浪系集預報系統（1/4），社團法人台灣地球觀測學會，中華民國105年十二月。
7. 李至昕、洪景山、曹嘉宏，2012。區域系集預報系統設計之初步研究。
8. 李至昕、洪景山，2011。區域系集預報系統研究：物理參數化擾動。大氣科學，39，95-115。
9. 交通部中央氣象局，2015。建構波浪系集預報系統（4/4），工業技術研究院，中華民國104年十二月
10. 交通部中央氣象局，2014。建構波浪系集預報系統（3/4），工業技術研究院，中華民國103年十二月。
11. 交通部中央氣象局，2013。建構波浪系集預報系統（2/4），工業技術研究院，中華民國102年十二月。
12. 交通部中央氣象局，2012。建構波浪系集預報系統（1/4），工業技術研究院，中華民國101年十二月。
13. 交通部中央氣象局，2011。發展鄉鎮逐時天氣預報系統—高解析度波浪模式委外開發案，工業技術研究院，2011。中華民國一十年十二月。
14. 交通部中央氣象局，2011。整合與建置海象資訊e化服務系統（4/4），中華民國海洋及水下技術協會，中華民國一十年十二月。

15. 交通部中央氣象局，2010。發展鄉鎮逐時天氣預報系統-高解析度波浪模式網格分析與預報系統99年度軟體委外開發，工業技術研究院，中華民國九十九年十二月。
16. 交通部中央氣象局，2010。整合與建置海象資訊e化服務系統（3/4），中華民國海洋及水下技術協會，中華民國九十九年十二月。
17. 交通部中央氣象局，2009。整合與建置海象資訊e化服務系統（2/4），中華民國海洋及水下技術協會，中華民國九十八年十二月。
18. 交通部中央氣象局，2008。整合與建置海象資訊e化服務系統（1/4），中華民國海洋及水下技術協會，中華民國九十七年十二月。
19. 交通部中央氣象局，2007。海象資訊在近海觀光、防災救難及航行安全之應用研究(3/3)，工業技術研究院，中華民國九十六年十二月。
20. 交通部中央氣象局，2006。海象資訊在近海觀光、防災救難及航行安全之應用研究(2/3)，工業技術研究院，中華民國九十五年十二月。
21. 交通部中央氣象局，2005。海象資訊在近海觀光、防災救難及航行安全之應用研究(1/3)，工業技術研究院，中華民國九十四年十二月。
22. 交通部科技顧問室，2005。沿海遊憩安全資訊與監測系統之建立（2/2），工業技術研究院，中華民國九十四年八月。
23. 陳亞嵐，2004，近岸風浪推算資料同化之研究，成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
24. 邱永芳、蘇青和、李忠潘、陳陽益、于嘉順、許泰文、張憲國、劉景毅、王兆璋，2005。近岸數值模擬系統之建立，港灣技術研究中心研究成果輯要，第132頁至136頁，中華民國九十四年二月。
25. 交通部科技顧問室，2004。沿海遊憩安全資訊與監測系統之建立（1/2），工業技術研究院，中華民國九十三年三月。
26. 交通部科技顧問室，2003。海象災害預警雛型系統建置（II），中華民國九十二年四月。
27. 行政院，2003。挑戰2008：國家發展重點計畫（2002-2007），中華民國九十二年一月。
28. 交通部中央氣象局，2002。颱風期間海岸災害調查與展示系統建置，工業技術研究院，中華民國九十一年十二月。
29. 交通部科技顧問室，2002。海象災害預警雛型系統建置（I），中華民國九十一年四月。
30. 交通部，2002。交通政策白皮書:總論，第六章，中華民國九十一年一月。
31. 王國榮，2002。ASP.NET網頁製造教本，旗標出版社。

32. 林煌樟，2001。ASP.NET程式設計實務基礎篇，華彩軟體股份有限公司。
33. 交通部中央氣象局，2001。海岸地區海水倒灌調查與分析，工業技術研究院，中華民國九十年十二月。
34. 海科中心，2000。「臺灣海峽即時預報模式計畫（TSNOW）」網頁，  
"<http://duck2.oc.ntu.edu.tw/tsnow/new/>".
35. 行政院環境保護署，1996。國內建立SEAWATCH海洋環境自動監測系統可行性評估，中華民國八十五年六月。
36. 陳禹辰、歐陽崇榮，1991。決策支援與專家系統，全華科技圖書股份有限公司。
37. National Weather Service, 2016. WAVEWATCH III, <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch>.
38. National Centre for Space Studies, 2016. AVISO+ Products, <http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/products/index.html>
39. National Aeronautics and Space Administration, 2016. JASON-2 Data, <ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/jason2/gdr/gdr/>
40. National Centre for Space Studies, 2015. OSTM/Jason-2 Products Handbook, [http://www.aviso.altimetry.fr/fileadmin/documents/data/tools/hdbk\\_j2.pdf](http://www.aviso.altimetry.fr/fileadmin/documents/data/tools/hdbk_j2.pdf)
41. National Centre for Space Studies, 2015. SSALTO products specifications - Volume 1 : JASON-1 user products, [ftp://podaac.jpl.nasa.gov/allData/jason1/L2/gdr/docs/Jason1\\_user\\_products\\_v5\\_0\\_Sept2015.pdf](ftp://podaac.jpl.nasa.gov/allData/jason1/L2/gdr/docs/Jason1_user_products_v5_0_Sept2015.pdf).
42. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 2013. Wave Ensemble, [http://www.ecmwf.int/products/forecasts/guide/Wave\\_EPSgrams.html](http://www.ecmwf.int/products/forecasts/guide/Wave_EPSgrams.html)
43. National Aeronautics and Space Administration, 2012. JASON-1 Data, [ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/jason1/L2/sgdr\\_netcdf\\_c/](ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/jason1/L2/sgdr_netcdf_c/)
44. Cao, D., H. L. Tolman, H. S. Chen, A. Chawla, V. M. Gerald, 2009. Performance of the ocean wave ensemble forecast system at NCEP.
45. Chawla, A., H. L. Tolman, J. L. Hanson, E.-M. Devaliere, V. M. Gerald, 2009. Validation of a Multi-Grid WWATCH III™ Modeling system.
46. The SWAN team, 2009. SWAN Cycle III Version 40.72 User manual. Delft University of Technology.

47. Hunt, B. R., E. J. Kostelich and I. Szunyogh, 2007. Efficient Data Assimilation for Spatiotemporal Chaos: A Local Ensemble Transform Kalman Filter. *Physica D*, 230, 112-126. doi: 10.1016/j.physd.2006.11.008.
48. Harlim, J. and Hunt, B. R., 2005. Local Ensemble Transform Kalman Filter: An Efficient Scheme for Assimilating Atmospheric Data, preprint.
49. Miyoshi, T., 2005. Ensemble Kalman Filter Experiments with a Primitive-Equation Global Model. University of Maryland. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1903/3046>
50. Heemink, A. W., M. Verlaan, and A. J. Segers, 2001. Variance reduced ensemble Kalman filtering. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 1718–1728.
51. Tolman, H. L., 2009. User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III Version 3.14, NOAA/NWS/AVN/MMAB TN. 276, p. 194.
52. National Aeronautics and Space Administration, 2008. AVISO and PODAAC User Handbook, [ftp://podaac.jpl.nasa.gov/allData/jason1/L2/gdr\\_c/docs/Handbook\\_Jason\\_v4-1.pdf](ftp://podaac.jpl.nasa.gov/allData/jason1/L2/gdr_c/docs/Handbook_Jason_v4-1.pdf)
53. NOAA, 2006. Understanding Global Ecosystems to Support Informed Decision-Making -A 20-Year Research Vision, NOAA.
54. NOAA, 2005. Toward Understanding and Predicting Earth's Environment -A five-Year Plan: FY 2005-2009, NOAA.
55. Pendergrass, A. G. and K. L. Elmore, 2004. Ensemble Forecast Bias Correction, (consulted 09/10/04).
56. Oceanor Homepage, 2000. "<http://www.oceanor.no>".
57. NOAA Coastal Ocean Forecast System Homepage, 2000. "<http://polar.wwb.noaa.gov/cofs/>".
58. Aikman, F. A. III and D. B. Rao, 1999. A NOAA Perspective on a Coastal Ocean Forecast System, Coastal Ocean Prediction, Ed . C. Mooers, American Geophysical Union, pp. 467-499.
59. Booij, N., et al., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *J. Geoph. Research*, C4, 104, 7649-7666.
60. Rogers, E., D. Parrish and G. DiMego, 1999. Changes to the NCEP Operational Eta Analysis, NWS Technical Procedures Bulletin, National Weather Service, p. 5.

61. Rogers, R., M. Baldwin, T. Black, K. Brill, F. Chen, G. DiMego, J. Gerrity, G. Manikin, F. Mesinger, K. Mitchell, D. Parrish and Q. Zhao, 1998. Changes to the NCEP Operational 'Early' Eta Analysis/Forecast System, NWS Technical Procedures Bulletin ( Draft ) , p. 31.
62. Aikman, F. A. III, G. L. Mellor, D. Sheinin, P. Chen, L. Breaker, K. Bosley and D. B. Rao, 1996. Towards an Operational Nowcast/Forecast System for the U.S. East Coast, Modern Approaches to Data Assimilation in Ocean Modeling, 61, Ed. P. Malanotte-Rizzoli, Elsevier Publishers, pp. 347-376.
63. Aikman, F., G. L. Mellor, D. B. Rao and M. P. Waters, 1994. A Feasibility Study of a Coastal Nowcast/Forecast System, Abstracts, Spring Meeting of the American Geophysical Union ( AGU ) , Baltimore, MD, AGU, 197.
64. Yen, C.-C. J., J. G. W. Kelley and K. W. Bedford, 1994. Daily Procedure for GLFS Nowcasts, Proceedings of the 1994 National Conference on Hydraulic Engineering, August 1-5, 1994, Buffalo, N. Y., pp202-206.
65. Yen, C.-C. J., K. W. Bedford, and D. J. Schwab, 1992. Nowcast Protocol for the Great Lakes Forecasting System, Proceedings, 2nd International Conference on Estuarine and Coastal Modeling, Eds. M. L. Spaulding, K. Bedford, A. Blumberg, R. Cheng, and C. Swanson, Amer. Soc. Civil Eng., Somerset, NJ, pp. 140-148.
66. Bedford, K. W. and D. J. Schwab, 1991. The Great Lakes Forecasting System-Lake Erie Nowcasts/Forecasts, Proceedings, Marine Technology Society Annual Conference ( MTS '91 ) , Marine Technology Society, Washington, DC, pp 260-264.
67. Bedford, K. and D. Schwab, 1990. Preparation of Real-Time Great Lakes Forecasts, Cray Channels, Cray Res. Inc., MN, Summer issue, pp. 14-17.
68. Bedford, K., C.-C. Yen, J. Kempf, D. Schwab, R. Marshall and C. Kuan, 1990. A 3D-Stereo Graphics Interface for Operational Great Lakes Forecasts, Coastal and Estuarine Modeling, Ed. M. Spaulding, Amer. Soc. Of Civil Eng., New York, NY, pp. 248-257.
69. Yen, C.-C. J., K. Bedford, J. Kempf and R. Marshall, 1990. A Three-dimensional/Stereoscopic Display and Model Control System for Great Lakes Forecasts, Proc. Of IEEE Visualization '90, San Francisco, CA., Oct 23-26, 1990, ed. A. Kaufman, pp. 194-201.
70. Trenberth, K. E., J. G. Olson, and W. G. Large, 1989. A global ocean wind stress climatology based on ECMWF analyses, NCAR Tech. Note NCAR/TN-338+STR, 93 pp., Natl. Cent. for Atmos. Res., Boulder, Colo.

71. Blumberg, A. F. and G. L. Mellor, 1987. A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model, *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Vol. 4, Ed. N.Heaps, American Geophysical Union, Washington, DC, pp.1-16.
72. Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, and P. A. E. M. Janssen, 1994. *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, 532 pp., Cambridge Univ. Press, New York.
73. Lefevre J. M. and L. Aouf, 2012. Latest developments in Wave in Data Assimilation, in ECMWF workshop.
74. Lionello, P., H. G nther and P.A.E.M. Janssen, 1992. Assimilation of altimeter data in a global third-generation wave model. *J. Geophys. Res.* 97, 14453-14474.
75. Lionello, P., H. G nther and B. Hansen, 1995. A sequential assimilation scheme applied to global wave analysis and prediction. *J. Marine Syst.* 6, 87-107.
76. Mastenbroek, C., V. K. Makin, A. C. Voorrips and G. J. Komen, 1994. Validation of ERS-1 altimeter wave height measurements and assimilation in a north sea wave model. *The Glob. Atm. Oc. system*, Vol. 2. 143-161.
77. Shulman, I., C. -R. Wu, J. K. Lewis, J. D. Paduan, L. K. Rosenfeld and S. R. Ramp, 2001. High-frequency radar data assimilation in the Monterey Bay. 7th International conference on Estuarine and Coastal modeling, St. Pete Beach, Florida, AMS, 5-7 Nov.
78. The WAVEWATCH III® Development Group (WW3DG), 2019. User manual and system documentation of WAVEWATCH III® version 6.07. Tech. Note 333, NOAA/NWS/NCEP /MMAB, College Park, MD, USA, 465 pp. + Appendices.
79. Vested, H. J., J. W. Nielsen, H. R. Jensen and K. B. Kristensen, 1995. Skill assessment of an operational hydrodynamic forecast system for the North Sea and Danish Belts. *Quantative Skill Assessment for Coastal ocean models*, *Coastal and Estuarine Studies*, 47, 373-396, American Geophys. Union, Washington DC.
80. Voorrips, A. C. and C. de Valk, 1997. A comparison of two operatioanl wave assimilation methods. Preprint 97-06, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). Accepted for publication in *Global Atmos. Ocean Syst.*
81. Voorrips, A. C. and V. K. Hasselmann, 1997. Assimilation of wave spectrum from pitch-and-roll buoys in a North Sea wave model, *J. Geophys. Res. C* 102 (3) 5829-5849.

82. Voorrips, A. C., 1999. Spectral wave data assimilation for the prediction of waves in the North Sea. *Coastal Eng.*, 37, 455-469.
83. Waters J., L. R. Wyatt, J. Wolf, A. Hines, 2013. Data assimilation of partitioned HF radar wave data into Wavewatch III, *Ocean Modelling*. 72, 17–31.
84. Etala, P., and P. Echevarria, 2013. Ensemble Kalman filter based data assimilation in wave models. *Proc., 13th Wave Workshop* <http://waveworkshop.org/13thWaves/Papers/Etala.pdf>.
85. Caires S, Marseille GJ, Verlaan M, Stoffelen A, 2018. North Sea wave analysis using data assimilation and mesoscale model forcing winds. *J Waterw Port Coast Ocean Eng* 144 (4), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000439](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000439)
86. Guedes Soares C, Rusu L, Bernardino M, Pilar P. 2011. An operational wave forecasting system for the Portuguese continental coastal area. *J Oper Oceanogr*. 4(2):17–27. doi: 10.1080/1755876X.2011.11020124
87. Almeida, S., Rusu, L. & Guedes Soares, C., 2016. Data assimilation with the ensemble Kalman filter in a high-resolution wave forecasting model for coastal areas. *Journal of Operational Oceanography*. 9(2), pp. 103–114.

附件一、波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置前期  
研究 109 年度會議記錄

## 波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置

### 109 年度工作會議記錄

壹、時間：中華民國 109 年 3 月 30 日（星期一）下午 2 時 0 分

貳、地點：中央氣象局海象測報中心六樓

參、主持人：林芳如

林芳如

施景峯

肆、出席人員：張恆文、施景峯、朱啟豪、顏厥正

伍、記錄：張恆文

陸、會議結論：

一、3/12 系集預報工作檢討(洪景山、李志昕、張恆文)，結論如下：

- 風速偏低是否與差分時用到陸域風速有關？

此對於波浪模擬影響不大(因為近岸)，但對於風速部分，宜再檢視之

- 22 個風場系集中，包括大尺度 NCEP 及 JMA(解析度 0.5 度)，影響程度應該探討之

後續提供分析結果

- 系集應用 BIAS CORRECTION，效果應該不錯。

先應用至馬祖之決定性預報。

二、衛星資料蒐集與品管部分，儘管衛星中心已作業化下載 Jason-3 資料，後續在 DA 應用，由海象中心自行下載應用。

三、NWW3 6.07 安裝與測試部分，已完成 cluster mmcww351 pgf 的安裝與測試，同時安裝完 PDLIB (Parallel Domain Decomposition Library)，後續將進行龜山島海域非結構性網格之測試。亦已完成 NWW3 6.07 Intel compiler 之安裝與測試。

四、非結構性網格的應用，目前已開始建置菲律賓海域的網格，如附圖 1。唯依據決議先應用至臺灣，建議鵝鑾鼻、澎湖、成功、蘭嶼四擇一(位置如附圖 2)。

五、藍色公路及生活休閒作業化均正常執行(含備援)，分別在 IP135(資料庫 136)、156(資料庫 99)。系集展示系統亦位於 IP156。舊的 156(IP203)和 177(IP203)可下線或重新格式化他用。

六、本年度工作項目，去年結論為藍色公路系統直接透過資料課的

API 讀取浮標觀測資料，但不確定資料課的 API 是否可以有藍色公路需要的即時資料，而觀測課的 API 尚在發包作業中，可能要到第三季才可以建置完成提供使用，待 5 月時再看情形決議。

附院長，請主任裁示會議結論。  
四。

技士施景峯  
0408/1400

課長林芳如  
0408/0753

副主任林燕璋  
0408/1500

支應彭澎泊月三角域

主任滕春慈  
0408/1530

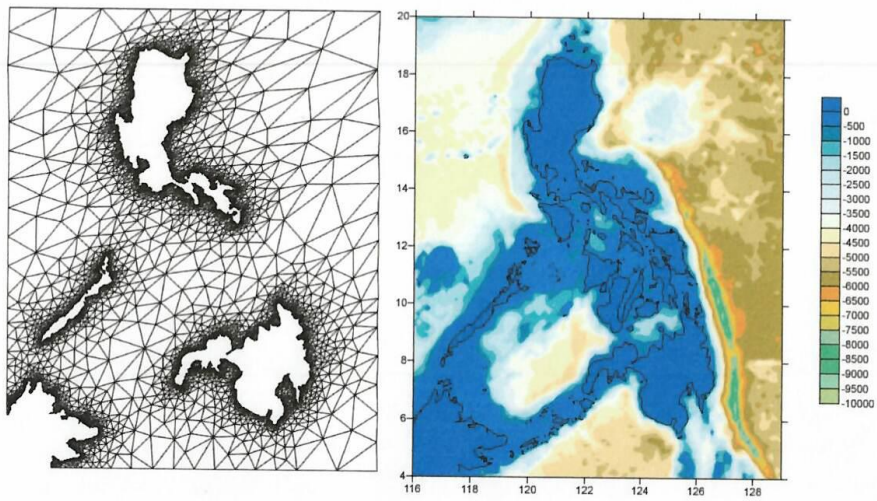


圖 1

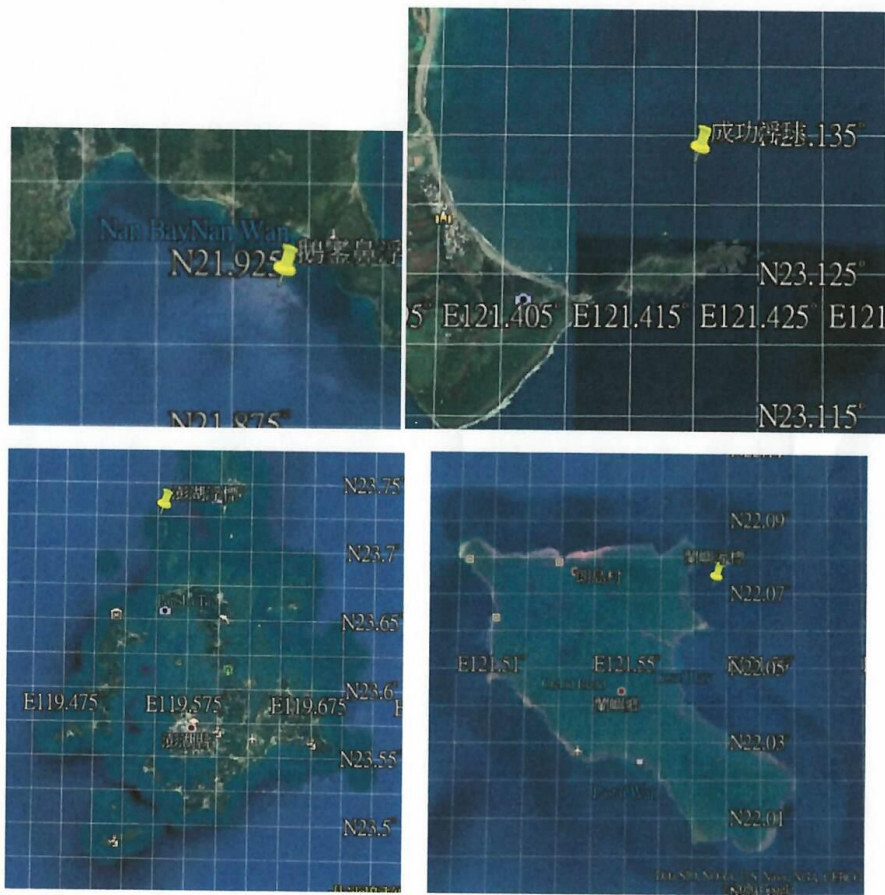


圖 2

## 波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置

### 109 年度工作會議記錄

壹、時間：中華民國 109 年 5 月 29 日（星期五）下午 2 時 0 分

貳、地點：中央氣象局海象測報中心六樓

參、主持人：林芳如

肆、出席人員：張恆文、施景峯、朱啟豪、顏厥正

伍、記錄：張恆文

陸、會議結論：

#### 一、進度報告

##### 區域化資料同化平台移轉建置

1. 衛星資料蒐集部分，目前蒐集包括 Jason-3、Saral/Altika、sentinel-3A，已將相關連結交與海象中心，請中心協助蒐集。HY-2A 似乎已未在運作中。
2. ww3\_uprstr 轉化示性波高之分析場至波譜，係依據背景波譜特性及幾個轉化型態。
3. NWW3 6.07 非結構性網格測試部分，已初步測試其中案例(如圖 1、2)，結果顯示二種方法耗時差異不大。後續將繼續測試其他案例。

##### 菲律賓海域波浪模擬建置

1. 菲律賓海域的網格已改為結構性網格，目前已建置 1/60 度之網格大小。
2. 澎湖海域非結構網格之建置，因原 GSHHS 海岸線資料在澎湖有明顯偏移，導致無法搭配水深差分，目前已將偏移修正完成。

##### 藍色公路與系集預報系統維護

1. 系集預報逐月之 RMSE&SPRD 產出，已修正至 96 小時預報，並回溯至 2019/10 月。
2. 藍色公路系統直接透過資料課的 API 讀取浮標觀測資料，上次會議決議至本次工作會議裁示，唯仍無法決議。

## 二、新增工作

1. 漁業氣象 APP 點位新增 8 個點位預計 6 月中完成上線。
2. 本年度配合 Benchmark 資料提供，至 5/20 已修改至第 12 版，且波浪模式測試已由系集模擬改為全球決定性預報。

## 三、擬請裁示

因受疫情影響，導致 NOAA 原定 5 月來台之 LETKF 相關技術移轉無法執行，建議將工作項目延後至下半年(LETKF 測試、向前因子測試)，而將菲律賓海域波浪模擬建置之相關工作提前。

Bottom topography

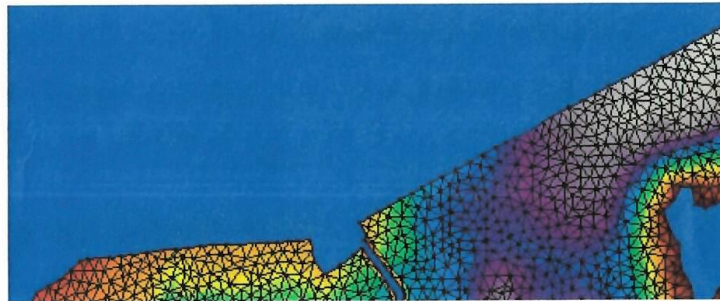


圖 1

陳院長

技士施景峯

0608/0930

課長林芳如

0611/0802

陳

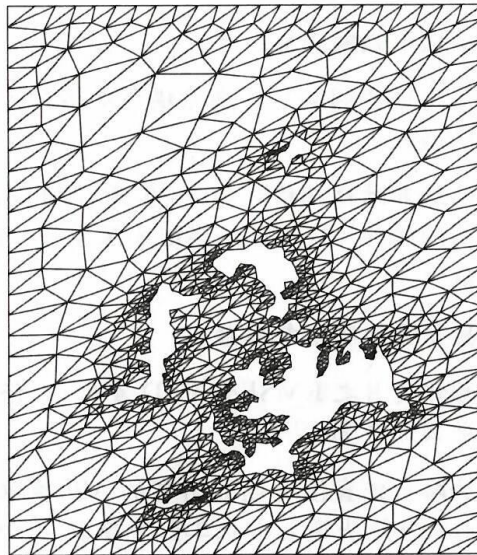


圖 2

主任滕春慈

0611/1345

## 波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置

### 109 年度工作會議記錄

壹、時間：中華民國 109 年 8 月 28 日（星期五）上午 11 時 10 分

貳、地點：中央氣象局海象測報中心六樓

參、主持人：滕春慈

肆、出席人員：張恆文、施景峯、顏厥正、林芳如

伍、記錄：張恆文

陸、會議結論：

#### 一、進度報告

##### 區域化資料同化平台移轉建置

1. 因受疫情影響，導致 NOAA 技術移轉延宕，8/5 去信，8/14 回信，指 Dr. Stylianos 已換單位，唯牽涉到原單位與 CWB 之合約問題，主任裁決早日請 VJ 調派聯繫窗口，讓本年度合約可以順利進行，也不會影響本計畫的進行。
2. 衛星資料蒐集部分，目前已完成作業化下載 Jason-3, CryoSat-2 and Saral/Altika NetCDF 檔案，至 cluster (61.56.15.78)，保留最近 5 天資料，唯仍有時效性及資料可用性的問題，資料可用需有其他資訊協助判讀，否則單一軌跡上之波高，甚難判斷是否可用。(如附圖)

##### 藍色公路與系集預報系統維護

1. 藍色公路系統直接透過資料課的 API 讀取浮標觀測資料，由於建置 API 計畫已開始執行，資訊廠商已將 API 建置完成，現在在中心內部進行測試。已取得相關的使用說明，預計在 9 月中旬待中心驗收過後即可開始使用。

#### 二、新增工作進度

1. Benchmark 測試，至 7/31 已正式完成。
2. 109 年天氣分析與預報研討會\_波浪預報偏差修正之研究

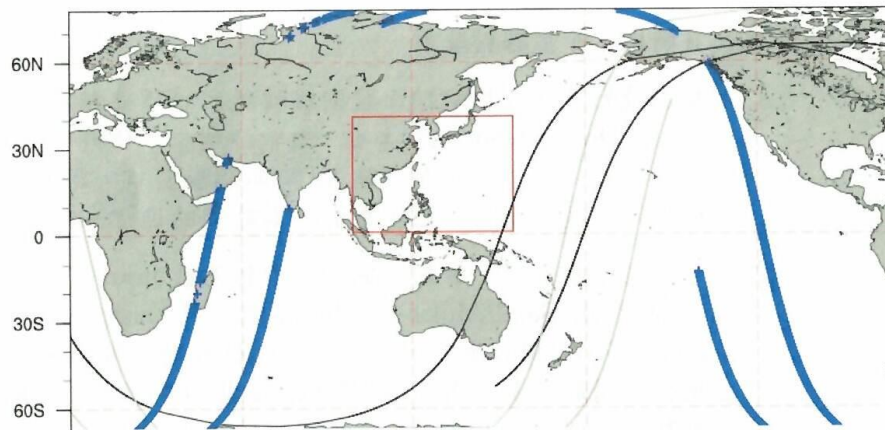
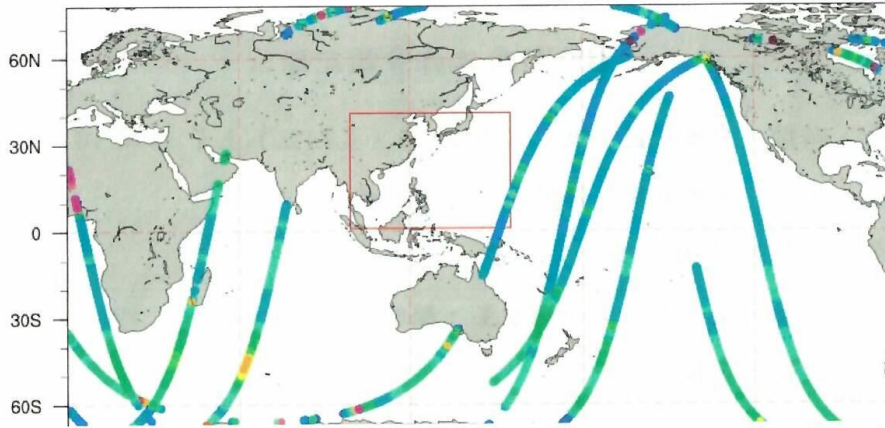


圖 2 衛星波高變化(上)及軌跡(下)

院長

技士施景峯

0902/1430

課長林芳如

0902/1441

主任

主任滕春慈

0902/1500

## 波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置

### 109 年度工作會議記錄

壹、時間：中華民國 109 年 10 月 23 日（星期五）下午 2 時 0 分

貳、地點：中央氣象局海象測報中心六樓

參、主持人：林芳如

肆、出席人員：張恆文、施景峯、顏厥正、

伍、記錄：張恆文

陸、會議結論：

#### 一、進度報告

##### 區域化資料同化平台移轉建置

1. 9/30 收到主任通知詢問可否讓 Dr. Jili 擔任 CWB 三個計畫之窗口；10/15 Dr. Stelios 透漏 Dr. Jili 主要著重於大氣和海洋環流的颶風預測。目前研究團隊仍與 Dr. Stelios 保持密切聯繫！現況是正努力排除測試程式之安裝(利用 Cmake 及 Yaml 串接)，其需要 CWB 系統工程師配合建立相關軟體及環境。
2. 衛星資料蒐集部分，因原完成作業化下載 Jason-3、CryoSat-2 and Saral/Altika NetCDF 檔案至 cluster 產生時效性及資料可用性的問題。Dr. Stelios 建議使用 CMEMS 蒐集的資料，並提供擷取檔案之 shell script file(如圖 1)，已請中心測試防火牆問題。

##### 澎湖海域非結構性網格

1. 已完成澎湖海域非結構性網格之建立及測試，後續將進行澎湖點位之比較。

##### 藍色公路與系集預報系統維護

1. 已可使用觀測課 API 使讀取資料。使用與手冊說明不盡相同，只要使用帳號密碼即可讀取資料，不需要先取得 Token。
2. 有兩種方式進行 API 讀取資料方式，現在採用修改起來比較複雜的方式二(圖 3)。好處是成功穩定後就不需要再維護預報課的 marine 資料庫下的 buoy 及 current 資料表。

P1

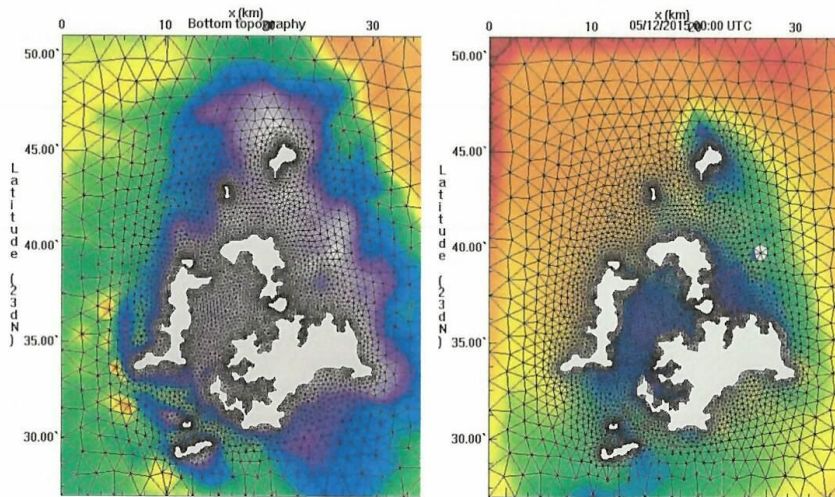


圖 2、澎湖海域非結構性網格之水深(左)及波高計算結果(右)

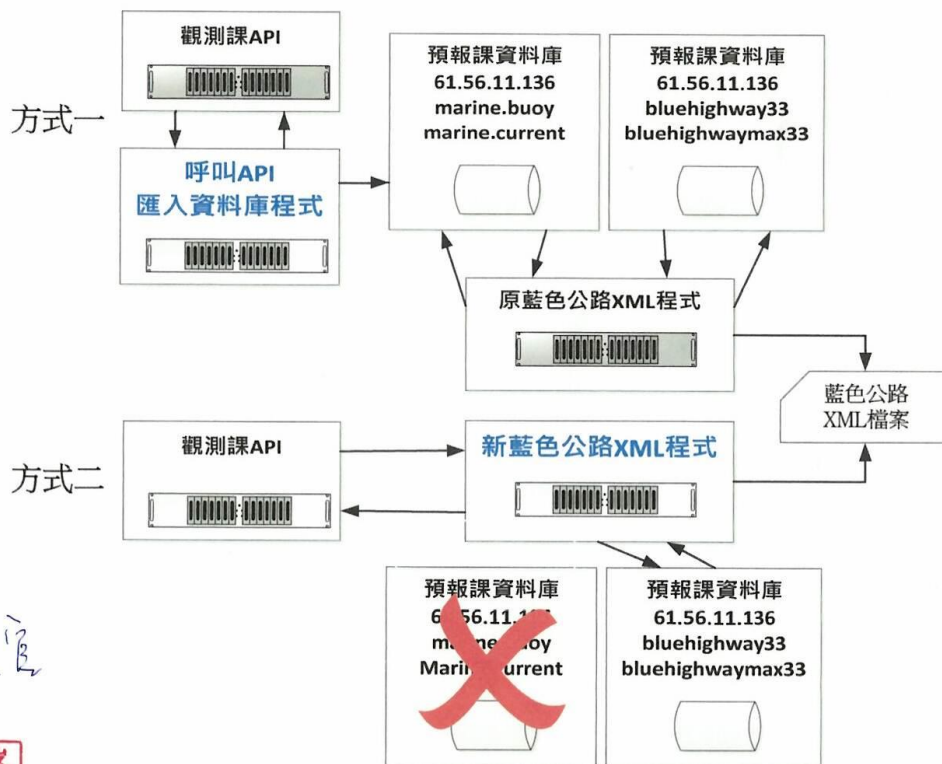


圖 3、觀測課 API 使用方式說明

陳國良

技士施景峯

1027/1030

課長林芳如

1027/1334

主任滕春慈

1027/1410

P3

## 附件二、期中審查意見回覆

|  |  |
|--|--|
| 江文山委員  |  |
| 1.報告內容的可閱讀性，相較以往有顯著提升。   | 1.感謝委員的肯定。   |
| 2.報告部分內容的進度敘述不清楚，可能與技術移轉會議延後有關，文中敘及技術會議移至下半年，若再次無法舉行，因應為何?               | 2.將補充說明。無法舉行的可能性甚高，原則上將以視訊會議方式進行。                    |
| 3.報告中 forword operator 相關名詞出現多次，但名詞不一致。                                  | 3.感謝委員指正，會統一 forword operator 的中文名詞為向前因子。            |
| 4.第二章資料同化的三個重要模組，其中 LETKF 內容敘述，觀測資料篩選在 P21 約略有提到浮標，但第二章的對應部分則只敘述衛星，請再確認。 | 4.第二章未提到浮標的部分，是因為海象中心的觀測資料已有品管，故已可以使用。               |
| 5. P30~31 相關的方程式，請考量是否有列出的必要，若是，請補充相關符號的定義。                              | 5.將斟酌辦理。   |
| 6.P24 流程圖建議分開說明  | 6.因為計畫主要分為四大項目，此區僅列出主要之工作細項及相關的關聯性與先後順序。後續會增加說明以利閱讀。 |
| 7.報告中的圖，請加註座標軸與圖例的說明   | 7.將檢視後依照委員意見辦理。                                      |
| 梁乃匡委員  |  |
| 1.已按預定進度(因疫情修改後)完成。  | 1.感謝委員。  |
| 2.如菲律賓波浪預採面積風域法(元素波模式)，而菲律賓無實測波浪資料，可先採用過去在臺灣的經驗係數，但本法是假設波浪已成熟，所以預報值為最大值。 | 2.謝謝委員指教。  |
| 滕春慈委員  |  |
| 1.有關 LETKF 程式集及教育技轉是否需要以視訊方式提早進行，以便提早進行相關工作的調整需要。                        | 1.是的。將盡早聯絡辦理。  |
| 2.報告是否可以增加未來澎湖海域的作業流程如何進行。   | 2.澎湖海域非結構型網格測試，本年度將著重在技術建立，至於作業化的考量，將會提出建議及進一步討論。    |
| 3.澎湖海域非結構網格邊界解析度較高   | 3.報告中的網格產生尚未定案，原則上會                                  |

|  |   |
|--|---|
| 的理由，請增加說明。   | 均勻改變至海岸線最小。   |
| 朱啟豪委員  |   |
| 1.P35 波高因 WW3_uprstr 而降低，是否影響預報值偏低。                      | 1. P35 為測試案例，不會造成預報值偏低。   |
| 2.P36 K=20，is the number of ensemble，請加上註解。              | 2.遵照辦理。   |
| 3.P43「NOAA 的衛星…進一步修正」語意不清楚期末修正。                          | 3.遵照辦理。   |
| 4.P52 衛星一天一筆，國外文獻是否以 model 00Z 做校驗，需確認。                  | 4.此為法國 AVISO 高度量測中心產生的衛星資料格式，其乃彙整諸多衛星觀測資料再處理後之資料，一天一筆。因此本研究採用該資料即使用一天平均的模式資料來作比較，而非僅使用 00Z 的時間。 |
| 呂理弘委員  |   |
| 1. P45 澎湖海域三角網格未來應用到何處？                                  | 1.原則是應用到藍色公路的預報，本年度將著重在技術建立，至於作業化的考量，將會提出建議。  |
| 2.P35 WW3uprstr 衛星資料只有波高無方向性同化過程？                        | 2.若僅使用衛星資料，WW3uprstr 也僅是轉化波譜能量的方式。故無資訊可以做方向性的同化。  |
| 3.P52 衛星資料驗證及 P48 比較分析測試二項尚無結果描述。                        | 3.將補充說明。  |
| 4.4.錯字及格式 P29L11 更新物理”公式”，P63 項次 5 接”受”弱掃及所有的”圖 xx”（字體）。 | 4.感謝委員指正，會更正錯誤處。  |

### 附件三、期末審查意見回覆

|  |   |
|--|---|
| 江文山委員  |   |
| 1.報告中有部分呈現中英文交互使用的情況，有些為專有名詞，有些未必是，請考量改為中文敘述。  | 1.遵照辦理。   |
| 2.摘要中研究成果 2，文字敘述不甚明確，建議再檢視。  | 2.將再補充說明。   |
| 3.P.35 的方法說明有些不清楚，請再補充說明   | 3.將再補充說明。   |
| 4. P.47 式(1)中的 GK 為定義  | 4. GK 為 kalman Gain。將補充說明。                                      |
| 5. P.60-65 相關圖的時間與內文敘述不一致  | 5.統一改為 2018。  |
| 6.摘要” HS>2m”，然 P.12” 波高>=2m” 應通一表示   | 6.大於 2m 波高機率。   |
| 7. P.58 的文字敘述說明條件的設定，似乎非結構網格較合理，然結果是結構網格較吻合，或是部分機制未掌握，建議文字略作補充說明                         | 7.將依新結果重新敘述。  |
| 8.模式中時間間距的設定影響計算效率甚為關鍵，模式中自動調整時間間距的技術是否可行?   | 8.在非結構性網格的計算，時間間隔會依數值穩定性自動調整。但在結構性網格因其為顯示法，必須在滿足數值穩定性的條件下事先設定之。 |
| 梁乃匡委員  |   |
| 1.本計畫引進 NOAAUMDLETKF 資料同化預報波浪在臺灣海域及菲律賓海域，實測資料採用衛星資料，均已完成預定目標。建議未來在受島嶼陸地影響海域多採用浮標或雷達觀測資料。 | 1.將遵照委員指示辦理。  |
| 滕春慈委員  |   |
| 1.每個實驗(作業)測試，可以完整描述，比如解析度使用風場，邊界等等   | 1.將再加強敘述。   |
| 2.資料同化的範圍說明  | 2.初步將依原藍色公路之最大預報範圍進行測試。   |
| 3.非均勻網格資料同化實驗請增加時間需求   | 3.已於 p.58 最後一段敘述，本實驗平均增加約 19%的計算時間。                             |
| 4.非均勻網格如何嫁接均勻網格  | 4.NWW3 可以使用規則網格與不規則網格互接的方式，不規則網格其邊界條件來                          |

|   |  |
|---|--|
|   | 自於規則網格。  |
| 5. 衛星軌跡可以有較長時間資料了解未來可用觀測資料量   | 5. 只要統計過去的歷史資料就可以了解每天 4 次、每次預報前後 1.5 小時的在測試範圍之觀測資料量。                   |
| 呂理弘委員   |  |
| 1. 圖 53 2.5m 以上預報波高偏小(冬季)，圖 58 預報波高過大(夏季)，P.58 最後一段阻擋能量的做法如何解決前述問題? | 1. 阻擋能量的做法不是在解決上面的問題，而是在解決當網格解析度不夠小時，如何可以解決島嶼存在、而導致能量受到部分阻擋，無法繼續傳遞的現象。 |
| 2. P.75 Line8 重新編輯指 txt file 或編譯。                                   | 2. 編譯。未來作業化將列為選項之一，避免重新編譯程式。   |
| 3. P.77 Line12 避免不齊?  | 3. 資料不齊，將修正。   |
| 4. 勘誤圖 52-圖 62 年份標示錯誤，P.77 倒數首行，檔案”會”入                              | 4. 將依委員指示辦理。   |
| 5. 結論與建議、成果與建議或結果   | 5. 還是使用結論與建議，成果也是結論的一部分。   |

## 附件四、藍色公路及波浪系集資訊系統維護記錄







# 工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

## 波浪系集預報展示系統、 藍色公路海象資訊系統、及生活休閒海象資訊系統 維護紀錄表

|   |         |                  |
|---|---------|------------------|
| 客戶：中央氣象局海象測報中心  | 連絡人：施景峯 | 電話：(02)2349-1198 |
| 地址：台北市公園路 64 號  |         | 日期：109年 4 月 15 日 |
| 維護內容：   |         |                  |
| 藍色公路海象資訊系統：   |         |                  |
| 1. 停止透過局內電腦傳送藍色公路 Opendata 給對岸  |         |                  |
| (1) 由於不需要再透過局內電腦傳送藍色公路 Opendata 給對岸，因此停止 ftp 藍色公路 Opendata 資料到 61.56.15.10。 |         |                  |
| 生活休閒海象資訊系統：   |         |                  |
| 1. 海流資料沒有顯示   |         |                  |
| (1) 生活氣象的海流資料有缺，預報長度應該夠用，但是官網沒有顯示   |         |                  |
| (2) 應該都有將 96 小時的海流資料塞進資料庫，而資料庫內同一時間的資料會並存，用 validdt 欄位區分不同的 RUN。            |         |                  |
| (3) 在下 SQL 指令時若無海流資料只會用前一天的資料，若仍然沒有就會顯示「-」。因此修改程式再加一個條件就是若仍沒有就再往前一天擷取資料。    |         |                  |
| 到達時間： 遠端維護  |         |                  |
| 離開時間：   |         |                  |

客戶簽名：

課長林芳如

維護人員簽名： 顏啟正





# 工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

## 波浪系集預報展示系統、 藍色公路海象資訊系統、及生活休閒海象資訊系統 維護紀錄表

|                                       |         |                  |
|---------------------------------------|---------|------------------|
| 客戶：中央氣象局海象測報中心                        | 連絡人：施景峯 | 電話：(02)2349-1198 |
| 地址：台北市公園路 64 號                        |         | 日期：109年 5 月 28 日 |
| 維護內容：                                 |         |                  |
| 藍色公路海象資訊系統：                           |         |                  |
| 1. 156 VM 伺服器出現磁碟空間不足訊息               |         |                  |
| (1)156VM 伺服器的 C 碟空間不足。                |         |                  |
| (2)遠端登入將 C 碟清出 12.6 GB，D 碟尚有 205 GB。  |         |                  |
| 波浪系集預報展示系統：                           |         |                  |
| 1. 156 網頁程式原始碼弱掃準備                    |         |                  |
| (1)提供波浪系集預報展示系統的原始碼打包放在 156 VM 伺服器桌面。 |         |                  |
| 到達時間： 遠端維護                            |         |                  |
| 離開時間：                                 |         |                  |

客戶簽名：

課長林芳如

維護人員簽名：

顏啟正



工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

波浪系集預報展示系統、  
藍色公路海象資訊系統、及生活休閒海象資訊系統  
維護紀錄表

|   |          |                   |
|---|----------|-------------------|
| 客戶: 中央氣象局海象測報中心   | 連絡人: 施景峯 | 電話: (02)2349-1198 |
| 地址: 台北市公園路 64 號   |          | 日期: 109年 5 月 29 日 |
| 維護內容:   |          |                   |
| 生活休閒海象資訊系統:   |          |                   |
| 1. 新增休閒漁港預報點  |          |                   |
| (1)新增休閒漁港海象預報點, 包括竹圍、通霄、前鎮、永新、蚵仔寮、中芸、水利村、及東港鹽埔共 8 個點位。  |          |                   |
| (2)增加預報點輸入檔案 rec_1060608_new.csv, 加入上述 8 個點位編號 107000~107700, 供產生網頁小組所需 XML 檔的程式使用。   |          |                   |
| (3)在產上生活休閒預報的 Opendata 檔時, 由於該檔案中有中文站名, 因此需在執行時要讀取另一個以 UTF-8 格式儲存的檔案, 才不會造成 Opendata 的 XML 檔中出現亂碼的現象, 因此同樣增加預報點輸入檔案 rec_1060608_UTF8_new.csv, 供產生 opendata 所需 XML 檔的程式使用。 |          |                   |
| (4)編修波浪資料庫匯入程式 modeltosqlwaverectown 及海流資料庫匯入程式 modeltosqlcurrentrectown 。  |          |                   |
| 到達時間: 09:15   |          |                   |
| 離開時間: 17:20   |          |                   |

客戶簽名: 

維護人員簽名: 顏 敏 正



工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

波浪系集預報展示系統、  
藍色公路海象資訊系統、及生活休閒海象資訊系統  
維護紀錄表

|   |          |                   |
|---|----------|-------------------|
| 客戶: 中央氣象局海象測報中心   | 連絡人: 施景峯 | 電話: (02)2349-1198 |
| 地址: 台北市公園路 64 號   |          | 日期: 109年 6 月 19 日 |
| 維護內容:   |          |                   |
| 藍色公路海象資訊系統:   |          |                   |
| 1. 藍色公路海流資料仍會產生「-」  |          |                   |
| (1)為確保在沒有海流資料時可以不斷回溯到先前預報的資料，因此修改藍色公路 XML 檔產生程式，使用 while loop 來處理沒有海流資料的時候會不斷尋找前一個 RUN 的資料。 |          |                   |
| 生活休閒海象資訊系統:   |          |                   |
| 1. 生活休閒海流資料仍會產生「-」  |          |                   |
| (1)修改生活休閒 XML 檔產生程式，使用 while loop 來處理沒有海流資料的時候會不斷尋找前一個 RUN 的資料。                             |          |                   |
| 2. XML 檔產生程式編修  |          |                   |
| (1)新增生活休閒預報點 XML 檔產生程式，讀入編修的預報點資料及波浪與海流新的模擬資料。產生新的 XML 檔提供網頁小組及資拓檢視。                        |          |                   |
| 波浪系集預報展示系統:   |          |                   |
| 1. 增加英文網頁及加入中英文網頁切換程式與介面按鈕  |          |                   |
| 到達時間:   | 09:20    |                   |
| 離開時間:   | 18:00    |                   |

客戶簽名:

課長林芳如

維護人員簽名:

顏 厥 正





工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

波浪系集預報展示系統、  
藍色公路海象資訊系統、及生活休閒海象資訊系統  
維護紀錄表

客戶: 中央氣象局海象測報中心      連絡人: 施景峯      電話: (02)2349-1198

地址: 台北市公園路 64 號      日期: 109 年 8 月 21 日

維護內容:

藍色公路海象資訊系統:

1. 簡訊發送問題

(1) 藍色公路網頁正常, 但是會收到模擬沒有執行的簡訊。

(2) 經檢查發現從 CWB ftp 到 ITRI 卡住, 沒有把新的 xml 檔傳到 ITRI, 導致在 ITRI 執行的發簡訊程式一直用舊檔案來判斷。

(3) 已修正 ftp 連線問題, 不會再亂發簡訊。

到達時間: 遠端維護

離開時間:

客戶簽名:

深長林芳如

維護人員簽名:

顏啟正







# 工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

## 波浪系集預報展示系統、 藍色公路海象資訊系統、及生活休閒海象資訊系統 維護紀錄表

客戶：中央氣象局海象測報中心      連絡人：施景峯      電話：(02)2349-1198

地址：台北市公園路 64 號      日期：109年10月23日

### 維護內容：

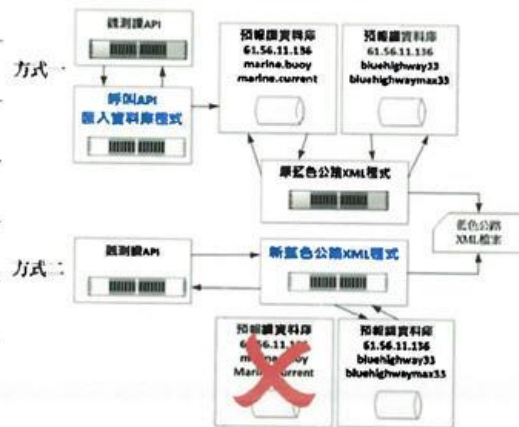
藍色公路海象資訊系統：

#### 1. 觀測課 API 測試

(1) 進行觀測課 API 測試，發現使用方式與手冊說明不盡相同，只要使用帳號密碼即可讀取資料，不需要先取得 Token。

(2) 有兩種方式進行 API 讀取資料方式，現在採用修改起來比較複雜的方式二。好處是成功穩定後就不需要再維護預報課的 marine 資料庫下的 buoy 及 current 資料表。

(3) 藍色公路 XML 檔產生程式初步完成編修，已開始測試產生 XML 檔，結果比對中。



到達時間： 09:15

離開時間： 18:00

客戶簽名：

課長林芳如

維護人員簽名：顏啟正



附件五、109 年天氣分析與預報研討會\_波浪預報偏差修正之研究

# 波浪預報偏差修正之研究

張恆文<sup>1</sup> 陳怡儒<sup>2</sup> 顏厥正<sup>3</sup> 施景峯<sup>2</sup> 林芳如<sup>2</sup> 朱啟豪<sup>2</sup>  
社團法人台灣地球觀測學會<sup>1</sup> 中央氣象局<sup>2</sup> 工業技術研究院<sup>3</sup>

## 摘要

波浪模式模擬與其他領域的模擬類似常會產生計算偏差(BIAS)，相關的偏差修正法已應用在其他領域甚久，因此可作為波浪模擬偏差修正(BIAS Correction, BC)的參考。本研究使用馬祖及新竹站之觀測波高，利用Decaying average法及QM(Quantile Mapping)法偏差修正NWW3波浪模式之預報波高，結果顯示，Decaying average法的部分，每個測站的最佳權重均會不同，而使用的觀測資料，最短可以僅使用分析當下前6小時的觀測資料，節省儲存的空間。QM法利用同年的觀測資料進行修正可以得到較佳的結果，唯需要比Decaying average更長時間的觀測資料及模式資料來組成累積機率分佈(CDF)及求反CDF，此外，前述方法除了可修正系統偏差外，還可改善模式精度提高預測能力。

關鍵字：波浪預報、偏差修正

## 一、前言

在氣候、水文模式的領域中，常因為受限的空間尺度、簡化的物理及熱動力機制、數值方法、並未完全了解的氣候變化過程等，非常容易導致系統偏差的出現，偏差的定義如式(1)所述，其中 $P_i$ 為模式計算值， $O_i$ 為觀測值， $N$ 資料個數；因此偏差修正正常使用在原始模式的輸出上，經由整合觀測資料進行修正，使其更加適合在後續的應用上，例如農業模式等，故完整的BC法在氣候、水文模式的領域已經發展的相當成熟，但鮮少應用在波浪模式的應用上。同樣的在波浪模擬也會產生系統性的誤差，例如模式裡固有的簡化、不完全了解的物理機制、解析度不夠、數值方法、邊界外力條件、缺乏足夠適當的驗證數據等。

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum (P_i - O_i) \quad (1)$$

BC的修正可以從模式方面著手或直接針對模式的輸出，在模式方面，可以藉由調整模式參數或資料同化著手，MOS(model output statistics)亦常在大氣領域之數值天氣預測中，用來消除系統性誤差，就波浪模擬而言，風場為很重要的輸入參數，使用無偏差(unbiased)的風場或已偏差修正的風場，至少消除主要的模擬偏差，但仍然會有系統偏差出現，原因在於波浪模式本身也會有產生系統偏差的因素，如前所述的因子；而單純從模式輸出方面則只針對模式的輸出進行偏差修正，此亦為本研究擬深入探討的地方。

概念上而言，BC法基本上是定義一個轉換函數將原有的模式數據轉換成另一組數據，而此轉換函

數必須涵蓋統計的偏差，故從簡單的加減(shift)平均值到複雜的去修正統計分布。前者如線性迴歸、常數因子，線性迴歸是假設模式輸出與實況有一定的線性關係；常數因子修正方法是假設模式輸出與實況之間存在一個常數因子(馬學文、李細明, 2010)；後者如分位映設法(QM)，其假設模式輸出的累積機率分佈(CDF)與實況的累積機率分佈存在簡單的分位數對應，且BIAS在過去及未來的時段是保持固定的(圖1)；近年來BC的發展已經由單變量(univariate)擴展到多變量(multivariate)，前者如推進法(nudging)(Hawkins et al., 2013)、Change Factor (CF)(Tabor & Williams, 2010)、Decaying average及QM法等；後者同時考慮到變數之間的相依性，例如裝箱法(bin method)、改組方法(shuffling method)(Parker and Hill, 2017)等，而波浪的產出變數(例如波高、週期、波向等)是十分相依的，或可考慮多變量的方法修正之。

偏差修正的時機可概分為對過去資料的偏差修正、即時預報的偏差修正及對未來預測的偏差修正，其中即時預報的偏差修正會有效性的問題，因其需用到即時的觀測資料，而對未來預測的偏差修正，例如欲考慮2040-2050之波高變化，則在未來時間並無觀測資料可供參考，必須基於某些假設條件。單變量或多變量的修正，取決於相關變數是否有相關，例如降雨與地表溫度。而單點及面(field)的修正亦與觀測資料的取得有關，例如地表溫度，通常氣象單位都會產生面的ground truth來當作真值，故觀測資料即可取得，否則只能作單點的修正。

本研究利用Decaying average法及QM法以馬祖及新竹測站之波高觀測資料，偏差修正NWW3波浪模式之預報結果。

## 二、研究方法

### (一) Decaying average法

Decaying average是一個簡單的數學方法(陳及洪, 2017), 用來計算模式系統性偏差修正的後處理方法, 由NWS開發, 使用decaying average方法計算模式系統性偏差時, 越靠近分析時間的模式預報誤差權重越大, 反之越遠則權重越小, 此一權重的分佈可經由一個參數調整, 此外decaying average只需讀取一個系統性偏差值, 即可涵蓋過去一段時間的模式預報誤差資訊, 可以有效節省資料儲存空間及運算效能。此法於2006年在NCEP全球系集預報系統及加拿大氣象中心(Canadian Meteorological Centre, CMC)之全球系集預報系統中正式上線使用, 並將偏差修正後的NCEP及CMC之系集預報組合成為北美系集預報系統。

decaying average修正的步驟如下:

- A. 計算預報誤差 $b_n^t$ : 模式預報場 $f_n^t$ 減去對應的分析場或真值 $a^t$

$$b_n^t = f_n^t - a^t \quad (2)$$

其中 $n=0, 1, 2, \dots, 72$ , 表示第0小時預報、第1小時預報至第72小時預報等。

- B. 計算系統性偏差 $B_n^t$ : 以權重係數 $\omega$ 控制前一個時間所算得的系統性偏差 $B_n^{t-1}$ 和預報誤差 $b_n^t$ 所占的比重

$$B_n^t = (1 - \omega)B_n^{t-1} + \omega b_n^t \quad (3)$$

- C. 偏差修正: 當下的模式預報場 $f_n^t$ 減去算出的系統性偏差 $B_n^t$ , 得到新的預報場 $F_n^t$

$$F_n^t = f_n^t - B_n^t \quad (4)$$

由式(4)可知在進行模式的預報偏差修正, 需先知道當下的系統性偏差 $B_n^t$ , 而計算系統性偏差需知道上次預報的系統性偏差 $B_n^{t-1}$ 及預報誤差 $b_n^{t-1}$ , 將式(3)展開之

$$B_n^t = (1 - \omega)^2 B_n^{t-2} + \omega(1 - \omega)b_n^{t-1} + \omega b_n^t \quad (5)$$

可推導至離現在 $k$ 個預報時段之預報誤差的相關性如下式:

$$B_n^t = \omega(1 - \omega)^k b_n^{t-k} \dots + \omega(1 - \omega)b_n^{t-1} + \omega b_n^t \quad (6)$$

由式(6)可知當下的系統性偏差與過去的預報誤差的關係, 也可知道各個時間之預報誤差所占的

比例, 即 $\omega(1 - \omega)^k, \dots, \omega(1 - \omega)^2, \omega(1 - \omega), \omega$ 等, 由此可知過去的預報誤差的權重並不一致, 且隨著權重 $\omega$ 不同而改變, 此與前述Nudging或FC的平均誤差的作法不同, 最接近與較遠離分析時間的預報誤差具有一樣的權重, 這是使用平均誤差不足之處。

然而式(3)在計算系統性偏差時, 預報誤差 $b_n^t$ 必須為已知, 但對於作業化之即時修正而言, 分析場或真值 $a^t$ 必然未知, 因此將式(3)改為式(7), 使用前一預報時間之預報誤差 $b_n^{t-1}$

$$B_n^t = (1 - \omega)B_n^{t-1} + \omega b_n^{t-1} \quad (7)$$

### (二)QM法

QM法主要將預報時序列所產生的CDF映射到觀測的CDF, 先求得預報值於CDF的位數, 映射到觀測值相同的位數, 再透過反CDF(inverse of the CDF)求得對應的觀測值, 如圖2所示。若擬修正另一時段例如2040-2050年, 則假設相同位數之觀測與模式的差距, 等於2040-2050年在同樣位數之差距, 因此可以修正2040-2050年之系統偏差, 如圖1所示。

QM法之重點在於有足夠的數據形成其累積機率分布, 若數據不夠容易產生不連續的現象及誤差, 此外當某些數據形成的CDF無法涵蓋所有的波浪條件時, 容易產生極值的問題, 勢必要用外插的方式處理, 然而若為了涵蓋所有波浪條件而累積過多的數據, 則易產生過多樣本的問題。

在反CDF的部分, 為了反推CDF求得對應的值, 一般會有二種方式, 一是採用原始夠多數據所形成的CDF曲線, 另一是使用經驗式, 後者乃利用原始數據先去迴歸出適當的分布, 例如Rayleigh、Weibull等, 則從不同分布即可知其CDF的分布。前者若採用原始數據可能有前述不連續或散亂的現象出現, 亦可用kernel smoothing function作處理, 此方法是將離散分佈之每個點代入核函數中, 再疊加每個點的核函數計算結果, 以達到平滑之目地, 在概念上與作統計直方圖類似, 如圖3所示。

就使用時機而言, QM法在過去資料與未來資料的處理, 只要足夠的資料即大致不會產生問題, 但若應用在即時預報上, 即需基於其與現在累積的CDF一致的假設條件上。

### (三)模式預報及觀測資料

模式預報資料為氣象局藍色公路作業化預報系統NWW3之測站預報, 而觀測資料為氣象局之馬祖、新竹浮標。

### (四)校驗指標

本研究另使用均方根誤差(RMSE)來評估誤差的變化:

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum (P_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

### 三、計算結果分析

本研究以馬祖、新竹測站為例，利用Decaying average及QM法針對波高進行偏差分析。蒐集2019/1~9月的72小時預報資料進行分析。圖4為馬祖、新竹測站之模式及觀測月平均比較圖，圖中顯示6月之平均波高最小，12月平均波高最大，各月呈現遞減及遞增的情形，除了11月份，其顯然較10月及12月份低；模式部分，新竹測站呈現全部偏小的趨勢，而馬祖測站模式在6-9月偏大、在1-5月偏小。

Decaying average法的權重 $\omega$ 大小會決定預報誤差的比率及其影響的時間，需進行敏感度分析，選取權重分別為0.01、0.05、0.1、0.2、0.3，計算系統偏差使用前24小時的0至23小時預報、前48小時的24-47小時預報、前72小時的48-72小時預報，故觀測數據只要分析資料當下的前24小時資料。QM法需要將足夠的時序列數據轉成CDF，不足的數據會造成反CDF時的偏差，圖5為新竹模式預報0小時、預報24小時、預報48小時、預報72小時、預報96小時及所有計算值之CDF比較圖，顯示差異並不顯著，但單一預報時數的數據較少，造成鋸齒的情形會稍微明顯。故在模式部分，因為無顯著差異，故採用所有包括預報值來形成CDF進行分析。圖6顯示馬祖及新竹測站模式及觀測值之CDF比較圖，其中觀測部分包括單獨2019/1~9月及2016~2019/9月，圖中顯示馬祖在高累積機率分布之波高偏小，小累積機率時之波高偏大，新竹則均偏小，與前述之月平均的比較趨勢一致；但累積較長觀測資料的CDF分布及與單獨2019年觀測資料的分佈有明顯差距，顯然會造成反CDF的結果不同。

以偏差及RMSE來檢視BC後的結果，圖7為馬祖測站之比較結果，圖中橫軸為預報時間0至72小時，結果顯示原模式在預報時數較短時為負偏差，即模式偏小，而後面的預報時段為正偏差，顯示模式偏大，Decaying average法不同權重的分析結果顯示，幾乎全為正偏差且較未修正前佳，並隨著權重數增加而趨於一致，QM法部分，單獨使用2019年觀測資料的結果顯示類似將原偏差平移，使得預報時數較短時有較大負偏差，而後面的預報時段有較小的正偏差，將所有預報時數的偏差平均，由原偏差0.019減少至0.006，而Decaying average則減少至0.007。若使用較長觀測值，顯示結果變差，顯示在使用QM時，過長的觀測資料會造成更大的誤差。當偏差修正後是否會對RMSE造成影響，將所有預報小時之RMSE平均得到如圖8所示，結果顯示權重在0.2以下會同步修正模式的誤差，而QM法使用相同時段的觀測值修正亦可改善誤差，綜合分析顯示在馬祖測站權重等於0.05可以得到較佳的結果。

在新竹測站，圖9為偏差的修正結果、圖10為RMSE的比較結果，圖中顯示，未修正前之計算結果均偏小，預報結果之平均偏差約在-0.3m，Decaying average法不同權重均顯著改善偏差，而在權重等於0.2以後約保持一致；QM法部分，單獨使用2019年觀測資料的結果甚佳，而使用較長時間觀測資料的CDF則造成較大正偏差。而是否同步修正模式結果，所有結果均顯示有改善，而權重在0.2已可以得到不錯的結果，QM法部分，使用相同時段的觀測資料一如馬祖站可以得到較佳結果。

### 四、結論與建議

本研究使用Decaying average法及QM法進行NWW3模式偏差修正(馬祖、新竹測站)，為求可以作業化執行偏差修正，在計算系統性偏差時，改採前一預報時間之預報誤差。

綜合結果顯示，使用Decaying average法及QM法除了可以修正系統偏差外，還可以改善模式精度提高預測能力。

Decaying average法為一簡單的數學方法，不同測站最佳的權重會有不同(馬祖測站權重0.05、新竹測站權重為0.2)，應與測站的特性有關，需要事先檢視。而使用的觀測資料長度部分，本研究使用過去24小時的觀測資料，最短可以僅使用分析當下前6小時的觀測資料，以節省資料儲存的空間。此外，Decaying average法原始開發是用來進行NCEP及CMC系集預報系統之偏差修正，因此氣象局之波浪系集預報系統之點輸出部分，應可以考慮用即時後處理的方式，將系集平均先進行修正。而藍色公路預報亦是同樣情形。

QM法利用同年的觀測資料進行修正可以得到較佳的結果，唯需要比Decaying average更長時間的觀測資料及模式資料來組成CDF及求反CDF。

### 謝誌

本論文係中央氣象局研究計畫「發展波浪資料同化技術及強化波浪系集預報系統(4/4)」(編號MOTC-CWB-108-0-01)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

- 1.交通部中央氣象局，2019: "發展波浪資料同化技術及強化波浪系集預報系統(4/4)"，財團法人台灣地球觀測學會，中華民國108年十二月。
- 2.陳怡儒、洪景山，2017: "應用decaying average方法進行地面溫度預報偏差修正之研究"，大氣科學第四十五期第一號，p25-41。

3.馬學文、李細明，2010：“比較統計降尺度方法與偏差修正方法在月預報的應用”，第二十四屆粵港澳氣象科技研討會，深圳，1月20-22日。

4.Hawkins, E., Osborne, T. M., Ho, C. K., & Challinor, A. J. (2013). Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: An idealised case study over Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170(0), 19–31.

<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.04.007>

5.Parker K. and D.F. Hill, 2017. Evaluation of bias correction methods for wave modeling output, *Ocean Modelling*, 10, 52-65.

6.Tabor, K., & Williams, J. W. (2010). Globally downscaled climate projections for assessing the conservation impacts of climate change. *Ecological Applications*, 20(2), 554–565. Retrieved from

<http://ccr.aos.wisc.edu/publications/pdfs/globaldownscale.pdf>

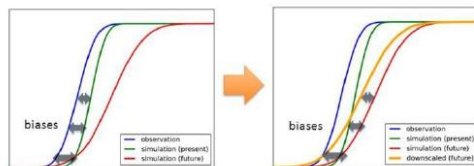


圖 1、分位映設法示意圖

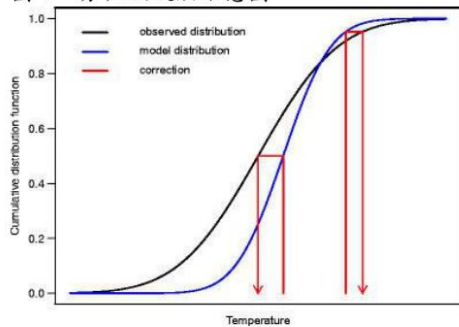


圖 2、CDF 位數及反CDF 示意圖

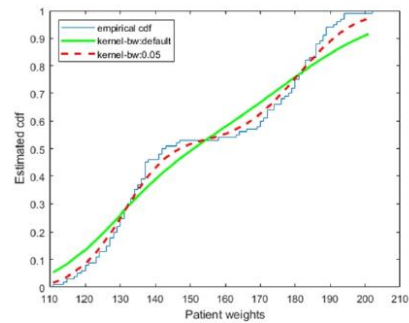


圖 3、kernel smoothing function 計算數列的累積機率密度函數(CDF)



圖 4、模式及觀測月平均波高比較圖(上圖為馬祖測站、下圖為新竹測站)，模式不包含預報值

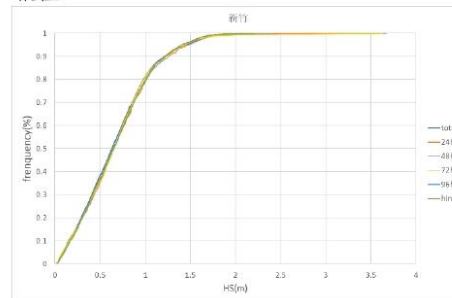


圖 5、模式預報 0 小時(hind)、預報 24 小時

(24h)、預報 48 小時(48h)、預報 72 小時(72h)、預報 96 小時(96h)及所有計算值(total)之 CDF 比較圖

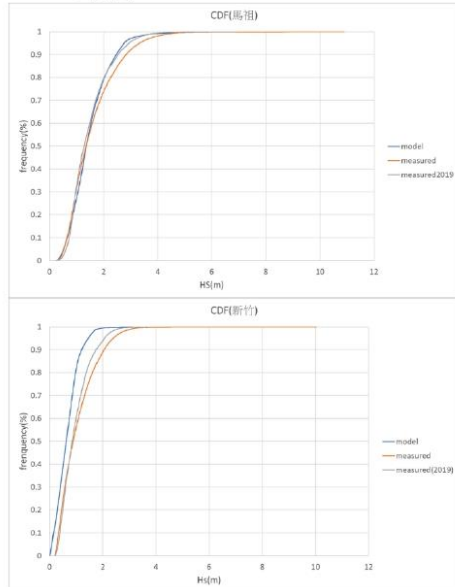


圖 6、模式及觀測值之 CDF 比較圖(上圖為馬祖測站、下圖為新竹測站); 觀測部分包括單獨 2019/1~9 月及 2016~2019/9 月

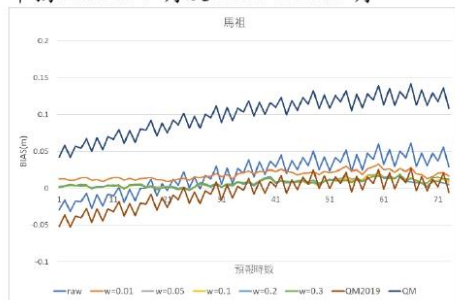


圖 7、馬祖測站之波高預報場、不同權重及使用 QM 法之偏差修正結果, 圖中橫軸為預報時間 0 至 72 小時

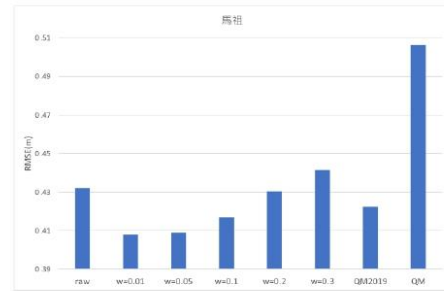


圖 8、馬祖測站之波高預報場、不同權重及使用 QM 法之偏差修正後, 平均 RMSE 的分布圖

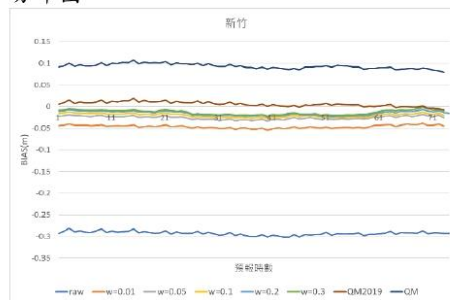


圖 9、新竹測站之波高預報場、不同權重及使用 QM 法之偏差修正結果, 圖中橫軸為預報時間 0 至 72 小時

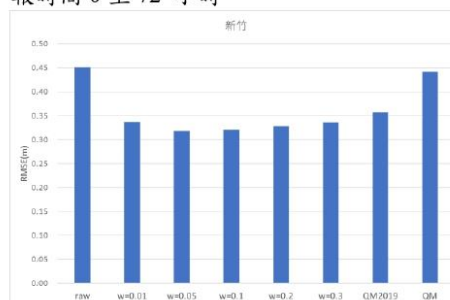


圖 10、新竹測站之波高預報場、不同權重及使用 QM 法之偏差修正後, 平均 RMSE 的分布圖

## Research on Bias Correction of Wave Forecast

Heng-Wen Chang<sup>1</sup> Yi-Ru Chen<sup>2</sup> Chieh-Cheng Yen<sup>3</sup> chin-Feng, Shih<sup>2</sup> Fan-Ju, Lin<sup>2</sup> Chi-Hao, Chu<sup>2</sup>  
Taiwan Group on Earth Observations<sup>1</sup> Central Weather Bureau<sup>2</sup> Industrial Technology Research  
Institute<sup>3</sup>

Wave model simulation is similar to simulations in other fields and often results in calculation bias (BIAS). The related bias correction (BC) method has been used in other fields for a long time, so it can be used as a reference for wave simulation BC. This study uses the observed wave heights at Matsu and Hsinchu stations, and uses the Decaying average method and the QM (Quantile Mapping) method to correct the predicted wave heights of the NWW3 wave model. The results show that, in the Decaying average method, the optimum weight of each station will be different, and the shortest observation data required for analysis can only be the first 6 hours observation data, in order to save the storage space. The QM method uses the observation data of the same year to get better results. It only requires observation data and model data longer than the Decaying average to compose the Cumulative Distribution Function (CDF) and inverse CDF. In addition, the aforementioned method can modify the system deviation, the accuracy of the model can also be improved to increase the forecast ability.

## 附件六、政府科技計畫成果效益報告

# 109 年度政府科技發展計畫 績效報告書 (D006)

計畫名稱：

波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置前期研究計畫

執行期間：

全程：自 109 年 3 月 6 日至 109 年 12 月 31 日止

本期：自 109 年 3 月 6 日至 109 年 12 月 31 日止

主管機關：交通部

執行單位：中央氣象局

中華民國 109 年 12 月 4 日

# 目 錄

|   |    |
|---|----|
| <u>【109 年度政府科技發展計畫 績效報告書 (D006)】</u> .....        | 1  |
| <u>【分年階段性目標達成情形與重要成果摘要表】</u> .....                | 3  |
| <u>第一部分</u> .....                                 | 5  |
| <u>壹、 目標與架構</u> .....                             | 6  |
| <u>一、 目標與效益</u> .....                             | 6  |
| <u>(一) 目標</u> .....                               | 6  |
| <u>(二) 效益</u> .....                               | 6  |
| <u>貳、 主要內容</u> .....                              | 8  |
| <u>一、 執行內容</u> .....                              | 8  |
| <u>二、 遭遇困難與因應對策</u> .....                         | 8  |
| <u>參、 已獲得之主要成果與重大突破(含量化 output) (E003)</u> .....  | 9  |
| <u>第二部分</u> .....                                 | 21 |
| <u>壹、 主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)</u> .....           | 22 |
| <u>一、 學術成就(科技基礎研究)</u> .....                      | 22 |
| <u>二、 技術創新(科技技術創新)</u> .....                      | 22 |
| <u>三、 經濟效益(經濟產業促進)</u> .....                      | 22 |
| <u>四、 社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)</u> .....               | 23 |
| <u>五、 其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等)</u> ..... | 23 |
| <u>貳、 檢討與展望</u> .....                             | 24 |
| <u>附表、佐證資料表-----務必填報</u> .....                    | 26 |

## 【分年階段性目標達成情形與重要成果摘要表】

| 年度  | 階段性目標達成情形<br>(每年度以 300 字為限)  | 重要成果摘要說明<br>(每年度以 600 字為限，過程性結果請免列)   |
|-----|--|---|
| 109 | <p>完成 NOAA 波浪資料同化平台之移轉建置及 Twin experiments 的測試。完成 CMES 衛星資料的下載測試及資料品管建置測試，與未來建置之系統架構規劃。</p> <p>完成 6.07 版 NWW3 模式之非結構三角網格測試，並以澎湖海域作為測試案例。</p> <p>完成菲律賓 2 分巢狀網格之建置，並與衛星資料進行驗證，提出適宜的改善建議方案。</p> <p>持續確保藍色公路海氣象系統、生活休閒海象預報系統及藍色公路端點校驗系統之正常運轉。同時亦保持波浪系集預報展示系統的正常運作。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 完成 NWW3 6.07 版之非結構網格測試，其提供顯式計算域切割法及傳統卡套法、隱式計算域切割法等，測試結果顯示隱式計算域切割法所耗的時間最長，而顯式的二種方法十分接近，然而當使用的網格過小時且網格數量太多時，則顯示法的時間間距將縮小，而隱式法可以使用較大的計算時間間距顯示其計算效率。以澎湖海域測試非結構網格的結果顯示，在東北季風期(2018/1)主要浪向來自於北方，澎湖測站未受到任何遮蔽，使得有無非結構網格的計算差異不大，但三角網格可以解析的區域範圍較大，可以反應出複雜地形的變化，也使得澎湖群島下風處遮蔽區的範圍縮小，而規則網格使用能量阻隔的方式亦同樣在澎湖測站發揮效果，但因格點範圍較大，使得澎湖群島下風處遮蔽區的範圍偏大；2018/8(西南浪向)期間，澎湖測站可能有受到部分遮蔽，使得三角網格的計算結果與規則網格比較之波高偏大、週期偏小，此可能與規則網格在該點位的處理方式，導致波浪能量減少、不同頻率的能量轉換較偏向低頻有關。一如東北季風期，三角網格其下風處遮蔽區之範圍較小，且可解析的範圍較大。完成氣象局 Cluster 之硬體調查，顯示 06 及 12 之硬體資源可能稍微不足，但其會與計算網格之設計有關，目前問題不大。衛星資料部分，已從 CMES 透過 FTP server 逐時下載即時資料至氣象局 cluster，包括波高及風速。資料品管部分，目前資料已達 L3 等級，較先前原始 L2 資料高一級，擬透過研究團隊建立之品管程序進行控管。完成 UMD-LETKF 在 Centos 平台、使用 Intel compiler 之建置及測試。twin experiments 顯示觀測無誤差時，同化後系集平均等於觀測值，使得系集分歧等於 0，而觀測影響範圍約達半徑 1000</li> </ul> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>公里(2 倍局地影響半徑)左右，且隨緯度增加而減少。當觀測有誤差時，同化後系集平均已較遠離觀測值，系集分歧偏小幅度降低。而 UMD-LETKF 基本上不太佔硬體及記憶體資源。備份策略可以參考系集預報的方式逐月進行備份，而技術評估指標相同於決定性預報的評估指標，但使用系集平均來作為預報值。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 已完成建置 2 分之巢狀網格，並進行 ST4f 參數之測試。結果顯示在巴士海峽往西至南海北部、黃海及台灣北部均為正偏差，由於衛星在島嶼間之觀測資料較易受到陸地的影響可靠度較差，故菲律賓群島間的水域之計算結果偏小較多；北緯 30° 以北、北緯 10°、東經 130° 及北緯 20° 至朝鮮半島之 RMSE 較大，菲律賓群島間的水域亦偏大；NRMSE 亦有類似趨勢，但在蘇祿海因觀測值較小亦同樣偏大。改善此一偏低情形，可以使用國內 10 公里風場，唯範圍僅及蘇祿海約一半的位置，因此若能延伸預報中心 10 公里風場的範圍，則偏低現象應該會減少。</li> <li>● 已開始啟用觀測課的 API，確保藍色公路海氣象預報系統、生活休閒海象預報系統及藍色公路端點校驗系統之正常運轉，且相關的作業化系統及備援系統皆已全數移轉完成。持續確保波浪系集預報展示系統的正常運作，並完成系統移轉到新的 VM 伺服器上，及完成建置英文網頁及增加中英文操作介面切換功能，與 Spread 及 RMSE 圖之自動讀取及展示功能。</li> </ul> |
|--|--|--|

# 第一部分

# 目標與架構

## 目標與效益

### 目標

整體計畫包括區域化資料同化平台移轉建置、菲律賓海域波浪模擬系統建置、藍色公路系統及系集預報系統之運維等。

本年度擬引進 NOAA 之波浪資料同化技術並進行測試，包括衛星觀測資料的品質分析、向前因子的建立及 LETKF(Local Ensemble Transform Kalman Filter)同化方法的引進等，並擬定資料同化之系統架構

在菲律賓海域波浪模擬系統建置部分，擬協助菲律賓建置三角網格之計算系統，並蒐集衛星資料進行驗證。

在藍色公路系統及系集預報系統之運維方面，將持續運維系統的正常運作。

### 效益

透過本計畫進行研究其預期成效可提升氣象局風浪同化模擬之研發能力，強化臺灣地區風浪預報指引資訊，提高氣象局官方發布之預報精確度。再經由同化預報技術的研發工作和學術論文的發表，以及與國內外研究單位交流，將可以提升我國在局地風浪預報地位。另外精緻化波浪資訊的產生，配合相關技術的落實與應用，可以廣泛優質化海洋資訊範疇的生活性產業，將可有效提升國內本土化產業的國際競爭力。完成菲律賓海域巢狀網格的建置及驗證，未來透過預報系統移轉後將可加強雙邊合作，也開啟國內在波浪模擬技術輸出之新頁。本計畫另藉由藍色公路各航線航段的海象預報功能及波浪系集預報，提供航線上小區域詳細的海象預報資訊，經由各種資訊傳播途徑，可以提升海域航行的安全，減少航行災難的發生。同時可以增進海域船隻調度彈性，降低離岸施工及營運風險。

#### ● 國際比較與分析

(如有計畫執行前後之國際比較，請列出，並以表格方式呈現為佳。)

| 比較項目或<br>計畫產出成果    | 計畫執行前 | 計畫執行後                    |
|--------------------|-------|--------------------------|
| LETKF 波浪同<br>化系統引進 | 無     | 與 NOAA 同步使用<br>UMD-LETKF |

# 主要內容

## 執行內容

1. 區域化 LETKF 資料同化平台移轉建置
2. 訂定衛星觀測資料篩選機制及建置
3. 波浪資料同化之 twin experiment 測試
4. 擬定資料同化系統架構
5. 新版 6.07 版 NWW3 模式之建置及測試
6. 菲律賓海域規則網格及三角網格之比較分析測試
7. 菲律賓海域波浪模式之衛星驗證分析
8. 藍色公路波浪預報系統之維護及功能更新
9. 波浪系集預報系統之維護及功能更新
10. 每月更新 Spread 及 RMSE 圖
11. 藍色公路航線 XML 檔案及 Opendata 檔案的作業化產生及傳輸
12. 海水浴場、主要港口、及休閒漁港的 XML 檔案的作業化產生及傳輸
13. 藍色公路端點校驗展示系統更新運維
14. 透過 API 建立浮標觀測資料的擷取功能。
15. 系集預報展示系統中英文切換及驗證圖檔自動展示功能。

## 遭遇困難與因應對策

| 類別   | 說明   | 因應措施與建議   |
|------|--|---|
| 執行困難 | 因為新冠肺炎的關係，導致NOAA人員移轉訓練無法成行，且原專業人員因職務關係已調離原工作崗位，致原合作單位無法調出適當人員協助訓練移轉。 | 透過 email 方式及熱心的原專業人員的協助，終於順利完成任務。唯仍需氣象局與原合作單位再溝通，讓經費獲取及責任、勞力可以一致。 |
| 執行落後 | 無  |   |

## 已獲得之主要成果與重大突破(含量化 output) (E003)

填寫說明：

1. 績效指標之「原訂目標值」應與原綱要計畫書一致，惟因 105 年度績效指標項目修正，部分績效項目整併或分列，機關得依績效項目之調整配合修正原訂指標項目與原訂目標值，惟整體而言，不得調降原訂目標值。
2. 得因計畫實際執行增列指標項目以呈現計畫成果。
3. 如該績效指標類別之各項績效指標項目之目標值、達成值均為 0，請刪除該績效指標類別，以利閱讀。
4. 如績效指標有填列實際達成情形，均須附佐證資料，佐證資料另以附表上傳。

| 屬性               | 績效指標類別            | 績效指標項目          |       | 109 年度 |       | 效益說明<br>(每項以 500 字為限)                | 重大突破                        |
|------------------|-------------------|-----------------|-------|--------|-------|--------------------------------------|-----------------------------|
|                  |                   |                 |       | 原訂目標值  | 實際達成值 |                                      |                             |
| 學術成就<br>(科技基礎研究) | A. 論文             | 期刊論文            | 國內(篇) |        | 0     | 發表 1 篇會議論文。                          | 在波浪預報加入偏差修正，可提升預報之準確度       |
|                  |                   |                 | 國外(篇) |        |       |                                      |                             |
|                  |                   | 研討會論文           | 國內(篇) | 1      | 1     |                                      |                             |
|                  |                   |                 | 國外(篇) |        |       |                                      |                             |
|                  |                   | 專書論文            | 國內(篇) |        |       |                                      |                             |
|                  |                   |                 | 國外(篇) |        |       |                                      |                             |
|                  | B. 合作團隊<br>(計畫)養成 | 機構內跨領域合作團隊(計畫)數 |       |        |       | 針對波浪系集預報、藍色公路預報之展示與校驗等，造就海象資訊專業顧問團隊。 | 台灣地球觀測學會、工業技術研究院、與中央氣象局密切合作 |
|                  |                   | 跨機構合作團隊(計畫)數    |       |        | 1     |                                      |                             |
| 跨國合作團隊(計畫)數      |                   |                 |       |        |       |                                      |                             |
| 簽訂合作協議數          |                   |                 |       |        |       |                                      |                             |

|                  |                  |                         |   |   |   |  |
|------------------|------------------|-------------------------|---|---|---|--|
| 學術成就<br>(科技基礎研究) |                  | 形成研究中心數                 |   |   |   |  |
|                  |                  | 形成實驗室數                  |   |   |   |  |
|                  | C. 培育及延攬人才       | 博士培育/訓人數                | 0 | 0 | 資料同化LETKF之平台引進                          |  |
|                  |                  | 碩士培育/訓人數                |   |   |   |  |
|                  |                  | 學士培育/訓人數                |   |   |   |  |
|                  |                  | 學程或課程培訓人數               | 1 | 1 |   |  |
|                  |                  | 延攬科研人才數                 |   |   |   |  |
|                  |                  | 國際學生/學者交換人數             |   |   |   |  |
|                  |                  | 培育/訓後取得證照人數             |   |   |   |  |
|                  | D1. 研究報告         | 研究報告篇數                  | 1 | 1 | 研究報告提送政府單位採行，提送各學術研究機關參考，並製作成光碟供各界查詢使用。 |  |
|                  | D2. 臨床試驗         | 新藥臨床試驗件數                |   |   |   |  |
|                  |                  | 醫療器材臨床試驗件數              |   |   |   |  |
|                  | E. 辦理學術活動        | <u>國內</u> 學術會議、研討會、論壇次數 |   |   |   |  |
|                  |                  | <u>國際</u> 學術會議、研討會、論壇次數 |   |   |   |  |
|                  |                  | <u>雙邊</u> 學術會議、研討會、論壇次數 |   |   |   |  |
|                  |                  | 出版論文集數量                 |   |   |   |  |
|                  | F. 形成課程/教材/手冊/軟體 | 形成課程件數                  |   |   | 效益說明可包含課程、教材、手冊、軟體被引用情形，或其他個人或團體之加值     |  |
| 製作教材件數           |                  |                         |   |   |   |  |
| 製作手冊件數           |                  |                         |   |   |   |  |

|  |    |              |  |  |        |  |
|--|----|--------------|--|--|--------|--|
|  |    | 自由軟體授權釋出教材件數 |  |  | 利用情形等。 |  |
|  | 其他 |              |  |  |        |  |

|                  |         |     |            |            |   |  |                         |
|------------------|---------|-----|------------|------------|---|--|-------------------------|
| 技術創新<br>(科技技術創新) | G. 智慧財產 | 申請中 | 國內         | 發明專利(件)    | 0 |  | 效益說明可包含智慧財產應用、引用、授權情形等。 |
|                  |         |     |            | 新型/設計專利(件) |   |  |                         |
|                  |         |     |            | 商標(件)      |   |  |                         |
|                  |         |     |            | 品種(件)      |   |  |                         |
|                  |         |     | 國外         | 發明專利(件)    |   |  |                         |
|                  |         |     |            | 新型/設計專利(件) |   |  |                         |
|                  |         |     |            | 商標(件)      |   |  |                         |
|                  |         |     |            | 品種(件)      |   |  |                         |
|                  | 已獲准     | 國內  | 發明專利(件)    | 0          |   |  |                         |
|                  |         |     | 新型/設計專利(件) |            |   |  |                         |
|                  |         |     | 商標(件)      |            |   |  |                         |
|                  |         |     | 品種(件)      |            |   |  |                         |
|                  |         | 國外  | 發明專利(件)    |            |   |  |                         |
|                  |         |     | 新型/設計專利(件) |            |   |  |                         |
|                  |         |     | 商標(件)      |            |   |  |                         |
|                  |         |     | 品種(件)      |            |   |  |                         |

|  |  |                |       |  |  |  |  |
|--|--|----------------|-------|--|--|--|--|
|  |  | 專書著作           | 國內(件) |  |  |  |  |
|  |  |                | 國外(件) |  |  |  |  |
|  |  | 與其他機構或廠商合作智財件數 |       |  |  |  |  |

|                  |              |                                   |                               |  |  |                                |                          |  |
|------------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|--|--|--------------------------------|--------------------------|--|
| 技術創新<br>(科技技術創新) | H. 技術報告及檢驗方法 | 新技術開發或技術升級開發之技術報告篇數               |                               |  |  | 效益說明可包含技術或檢驗方法獲得國際認證情形、授權情形等。  |                          |  |
|                  |              | 新檢驗方法數                            |                               |  |  |                                |                          |  |
|                  | I1. 辦理技術活動   | 辦理技術研討會場次                         |                               |  |  | 效益說明可包含技術活動參與人次、主辦國際重要技術活動場次等。 |                          |  |
|                  |              | 辦理技術說明會或推廣活動場次                    |                               |  |  |                                |                          |  |
|                  |              | 辦理競賽活動場次                          |                               |  |  |                                |                          |  |
|                  | I2. 參與技術活動   | 發表於國內外技術活動(包含技術研討會、技術說明會、競賽活動等)場次 |                               |  |  | 效益說明可包含於國際重要技術活動發表、競賽活動獲獎情形等   |                          |  |
|                  | J1. 技轉與智財授權  | 技轉或授權件數                           | 技術(含先期技術)移轉 <u>國內</u> 廠商或機構件數 |  |  |                                | 效益說明可包含技轉與智財授權情形、商品化情形等。 |  |
|                  |              |                                   | 技術(含先期技術)移轉 <u>國外</u> 廠商或機構件數 |  |  |                                |                          |  |
|                  |              |                                   | 專利授權 <u>國內</u> 廠商或機構件數        |  |  |                                |                          |  |
|                  |              |                                   | 專利授權 <u>國外</u> 廠商或機構件數        |  |  |                                |                          |  |

|  |  |  |          |  |  |  |  |
|--|--|--|----------|--|--|--|--|
|  |  |  | 自由軟體授權件數 |  |  |  |  |
|  |  |  | 其他授權件數   |  |  |  |  |

|                  |                         |         |  |  |  |                       |  |
|------------------|-------------------------|---------|--|--|--|-----------------------|--|
| 技術創新<br>(科技技術創新) |                         | 技轉或授權金額 | 技術(含先期技術)移轉 <u>國內</u> 廠商或機構之授權或權利金(千元) |  |  |                       |  |
|                  |                         |         | 技術(含先期技術)移轉 <u>國外</u> 廠商或機構之授權或權利金(千元) |  |  |                       |  |
|                  |                         |         | 專利授權 <u>國內</u> 廠商或機構之授權或權利金(千元)        |  |  |                       |  |
|                  |                         |         | 專利授權 <u>國外</u> 廠商或機構之授權或權利金(千元)        |  |  |                       |  |
|                  |                         |         | 其他授權或權利金(千元)                           |  |  |                       |  |
|                  | J2. 技術輸入                |         | 引進技術件數                                 |  |  | 效益說明可包含引進技術之應用情形。     |  |
|                  |                         |         | 引進技術經費(千元)                             |  |  |                       |  |
|                  | S1. 技術服務<br>(含委託案及工業服務) |         | 技術服務件數                                 |  |  | 效益說明可包含技術服務收入等。       |  |
|                  |                         |         | 技術服務家數                                 |  |  |                       |  |
|                  |                         |         | 技術服務金額(千元)                             |  |  |                       |  |
|                  | S2. 科研設施<br>建置及服務       |         | 設施建置項數                                 |  |  | 效益說明可科研設施服務收入、服務滿意度等。 |  |
|                  |                         |         | 設施運轉穩定度(%)                             |  |  |                       |  |
|                  |                         |         | 設施運轉效率(%)                              |  |  |                       |  |
|                  |                         |         | 設施服務項目數                                |  |  |                       |  |
|                  |                         |         | 設施使用人次                                 |  |  |                       |  |
|                  |                         | 設施服務件數  |  |  |  |                       |  |

|  |    |        |  |  |  |  |
|--|----|--------|--|--|--|--|
|  |    | 設施服務時數 |  |  |  |  |
|  |    | 設施服務收入 |  |  |  |  |
|  | 其他 |        |  |  |  |  |

|                        |                |                         |  |    |   |  |
|------------------------|----------------|-------------------------|--|----|---|--|
| 經濟效益<br>(經濟產業促進)       | L. 促成投資        | 促成廠商投資件數                |  | 3  | <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 結合藍色公路預報，帶動景點周邊觀光，提升民間投資意願，促進地方經濟。將多元化的藍色公路與海域遊憩活動於中央氣象局海象測報模組中完整呈現。</li> <li>2. 可促進船舶航運相關公司投資航線預報系統研發。</li> <li>3. 可促成民間公司進行加值服務，提供海事工程業參考。</li> </ul> |  |
|                        |                | 促成生產投資金額(千元)            |  |    |   |  |
|                        |                | 促成研發投資金額(千元)            |  |    |   |  |
|                        |                | 促成新創事業投資金額(千元)          |  |    |   |  |
|                        |                | 促成產值提升或新創事業所推出新產品產值(千元) |  |    |   |  |
|                        | M. 創新產業或模式建立   | 成立營運總部數                 |  |    | <p>效益說明可包含增加台灣產業運籌電子化擴散面積、衍生公司投資金額、創新模式衍生新產品產值、環境改善或體系建立等提高產品競爭力、促進產業發展效益。</p>  |  |
|                        |                | 衍生公司家數                  |  |    |   |  |
|                        |                | 建立產業發展環境、體系或營運模式件數      |  |    |   |  |
|                        |                | 參與產業發展環境、體系或營運模式之產業團體數  |  |    |   |  |
|                        |                | 促成企業聯盟家數                |  |    |   |  |
| 創新模式衍生新產品上市項數          |                |                         |  |    |   |  |
| 促成產值提升或創新模式衍生新產品產值(千元) |                |                         |  |    |   |  |
| 經濟                     | N. 協助提升我國產業全球地 | 建立國際品牌或排名提升             |  | 3項 | <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 透過整合性藍色公路預報資訊服務，提供不同語言解說，藉此宣傳我國海</li> </ul>   |  |
|                        |                | 相關產業產品產值世界排名提升          |  |    |   |  |

|                |                   |   |           |  |     |  |  |
|----------------|-------------------|---|-----------|--|-----|--|--|
| 效益<br>(經濟產業促進) | 位                 | 促成國際互惠合作件數  |           |  |     | 洋資源，提高國際能見度。<br>2. 確保我國於來往兩岸港口之海上航行安全，建立海上觀測資料與預報資料通報與交流管道。<br>3. 由單一決定性預報提升至機率性預報，提供風險概念產品。                             |  |
|                |                   | 促進國際廠商在台採購(千元)                                    |           |  |     |  |  |
|                | O. 共通/檢測技術服務及輔導   | 輔導廠商或產業團體技術或品質提升、技術標準認證、實驗室認證、申請與執行主導性新產品及關鍵性零組件等 | 件數        |  |     |  |  |
|                |                   |   | 廠商家數      |  |     |  |  |
|                |                   |   | 廠商配合款(千元) |  |     |  |  |
|                |                   | 技術、作業準則等教育訓練人次                                    |           |  |     |  |  |
|                |                   | 提供國家級校正服務件數                                       |           |  |     |  |  |
|                | P. 創業育成           | 新公司或衍生公司家數  |           |  |     |  |  |
|                | T. 促成與學界或產業團體合作研究 | 媒合與推廣活動辦理次數                                       |           |  |     | 1. 藍色公路預報服務系統推廣延續工研院與海下協會合作成果。<br>2. 波浪系集預報與工研院合作。<br>3. 提供邊界條件給港研中心進行港口附近波浪預報<br>4. 提供決定性預報、系集預報至 safe see 平台，促成多樣性平台服務 |  |
|                |                   | 促成合作研究件數  |           |  | 2 項 |  |  |
|                |                   | 廠商研究配合款金額(千元)                                     |           |  |     |  |  |
|                |                   | 合作研究產品上市項數  |           |  |     |  |  |
|                | U. 促成智財權資金融通      | 輔導診斷家數  |           |  |     |  |  |
|                |                   | 案源媒合家數  |           |  |     |  |  |
|                |                   | 協助廠商取得融資家數  |           |  |     |  |  |
| 協助廠商取得融資金額(千元) |                   |   |           |  |     |  |  |

|         |            |                      |  |         |    |  |
|---------|------------|----------------------|--|---------|----|--|
|         | AC. 減少災害損失 | 開發災害防治技術與產品數         |  |         |    |  |
|         |            | 建立示範區域或環境觀測平台數       |  |         |    |  |
|         |            | 建築或橋梁補強數             |  |         |    |  |
|         |            | 輔導廠商建立安全相關生產或驗證機制之件數 |  |         |    |  |
|         |            | 預估降低環境危害風險或成本(千元)    |  |         |    |  |
|         | 其他         |                      |  |         |    |  |
| 社會影響    | AB. 科技知識普及 | 科普知識推廣與宣導次數          |  |         |    |  |
|         |            | 科普知識推廣與宣導觸達人數        |  |         |    |  |
|         |            | 新聞刊登或媒體宣傳數量          |  |         |    |  |
|         | Q. 資訊服務    | 設立網站數                |  |         | 2  | 1. 建立 2 個系統<br>藍色公路海象預報與校驗系統<br>系集波浪預報系統<br>2. 藍色公路海氣象預報等之資訊擴散人數達到每年 220,000 人次以上<br>3. 建立 23 條藍色公路海氣象預報 Open Data<br>4. Safe see e 平台之系集產品展出及船級舒適度之查詢應用 |
|         |            | 提供客服件數               |  |         |    |  |
|         |            | 知識或資訊擴散(觸達)人次        |  | 220,000 |    |  |
|         |            | 開放資料(Open Data)項數    |  |         | 23 |  |
|         |            | 提供共用服務或應用服務項目數       |  |         |    |  |
|         |            | 線上申辦服務數              |  |         |    |  |
|         | 服務使用提升率    |                      |  |         |    |  |
| R. 增加就業 | 廠商增聘人數     |                      |  |         |    |  |

|        |        |                 |                    |  |  |   |  |  |
|--------|--------|-----------------|--------------------|--|--|---|--|--|
| 社會影響   | 社會福祉提升 | W. 提升公共服務       | 減少二氧化碳排放量(公噸)      |  |  | 2 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提供快速、清楚的藍色公路海象預報資訊，提升海域航行安全，減少海難發生的機率，減少社會因海難不幸事件所付出的成本。</li> <li>2. 建構波浪預報系集預報作業，提升波浪預報的可信度與準確性，可應用於未來風力發電海事工程之排程服務。</li> <li>3. 移轉資料同化系統，提升未來決定性預報之準確度。</li> </ol> |  |
|        |        |                 | 運輸耗能節省金額(千元)       |  |  |   |  |  |
|        |        |                 | 公共服務               |  |  |   |  |  |
|        |        | X. 提高人民或業者收入    | 受益人數               |  |  |   |  |  |
|        |        |                 | 增加收入(千元)           |  |  |   |  |  |
|        |        | XY. 人權及性別平等促進   | 人權、弱勢族群或性別平等促進活動場次 |  |  |   |  |  |
|        | 活動參與人數 |                 |                    |  |  |   |  |  |
|        | 其他     |                 |                    |  |  |   |  |  |
|        | 環境安全永續 | V. 提高能源利用率及綠能開發 | 技術或產品之能源效率提升百分比(%) |  |  |   |  |  |
|        |        |                 | 技術/產品達成綠色設計件數      |  |  |   |  |  |
|        |        |                 | 減少二氧化碳排放量(公噸)      |  |  |   |  |  |
|        |        |                 | 提升新能源及再生能源產出量      |  |  |   |  |  |
|        |        | Z. 調查成果         | 調查筆數               |  |  |   |  |  |
|        |        |                 | 調查圖幅數              |  |  |   |  |  |
| 調查面積   |        |                 |                    |  |  |   |  |  |
| 影像資料筆數 |        |                 |                    |  |  |   |  |  |
| 調查物種數  |        |                 |                    |  |  |   |  |  |

|                     |                    |                    |  |         |  |  |
|---------------------|--------------------|--------------------|--|---------|--|--|
|                     | 其他                 |                    |  |         |  |  |
| 其他效益<br>(科技政策管理及其他) | K. 規範/標準或政策/法規草案制訂 | 參與制訂政府或產業技術規範/標準件數 |  |         |  |  |
|                     |                    | 參與制訂之政策或法規草案件數     |  |         |  |  |
|                     |                    | 草案被採納或認可通過件數       |  |         |  |  |
|                     |                    | 草案公告實施或發表件數        |  |         |  |  |
|                     | Y. 資訊平台與資料庫        | 新建資訊平台或資料庫數        |  |         |  | Marine, pro 二個資料庫共 36 個資料表格。藍色公路海象預報每日增加 8040 筆，系集波浪預報每日增加 8040 筆。 |
|                     |                    | 更新資訊平台功能項目         |  | 2       |  |  |
|                     |                    | 更新或新增資料庫資料筆數       |  | 8040    |  |  |
|                     |                    | 資訊平台或資料庫使用人次       |  | 520,000 |  | 波浪模式匯入資料庫中，經過網頁產生程式的讀取，產生藍色公路海象預報網頁及波浪系集預報網頁服務社會大眾。                |
|                     | AA. 決策依據           | 新建或整合流程數           |  |         |  | ■102年5月中央氣象局與航港局、運研所、台灣港務公司簽訂合作意向書，目前網頁上已有33條航線資訊                  |
|                     |                    | 提供政策建議或重大統計訊息數     |  |         |  |  |
| 政策建議被採納數            |                    |                    |  |         |  |  |

|    |  |                  |  |  |  |  |
|----|--|------------------|--|--|--|--|
|    |  | 決策支援系統及反應加速時間(%) |  |  | <p>供參，氣象局全球資訊網提供33條國內和兩岸藍色公路海氣象預報。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■在100年11月10日交通部第1483次部務會報對於氣象局所開發的藍色公路海象預報系統，在維護海上客輪之安全給予肯定，期勉氣象局要與時俱進，繼續努力。</li> <li>■依據96年1月5日公佈行政院科技顧問會議結論：「加強延攬優秀科技人才從事科技研發工作及科技與人文並重，並鼓勵社會領域學者專家與使用者參與，以及借重民間智庫資源。」對海洋科技之推動、落實與發展，奠定良好基礎。</li> <li>■依據96年1月5日公佈之全國科學技術會議(國家科學技術發展計畫)結論：「規劃科技人力發展之中長程計畫目標、加強科技人才之培育及加強資訊及網路科技教育。」</li> <li>■90年3月政府公佈海洋政策白皮書，作為各相關機關研擬訂相關海洋事務發展之依據，明白指出應健全海域觀光遊憩系統。</li> </ul> |  |
| 其他 |  |                  |  |  |  |  |

**109 年度計畫績效指標實際達成與原訂目標差異說明：**

無差異

## 第二部分

註：第一部分及第二部分（不含佐證資料）合計頁數建議以不超過 200 頁為原則，相關有助審查之詳細資料宜以附件方式呈現。

# 壹、主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)

(請說明計畫所達成之主要成就與成果，以及其價值與貢獻度；若綱要計畫為多年期計畫，請填寫起始年累積至今之主要成就及成果之價值與貢獻度。)

## 學術成就(科技基礎研究)

1. 區域化資料同化平台移轉建置:本年度已完成 NOAA 之 UMD-LETKF 波浪同化平台之移轉及建置，並進行 twin experiments 測試，為國內首度引進相關之資料同化系統。同時完成 NWW3 6.07 版之非結構網格測試及以澎湖海域進行測試。同時針對 CMES 之即時衛星資料進行下載及品管建置。
2. 持續針對已建置的系集展示系統來進行維護與功能擴充，系統包括 3 層網格 20 個成員、3 層網格 20 個成員及 2 層網格 24 個成員共三種網頁，並增加 3 層網格 24 個成員網頁的英文版。同時完成逐月各站之 RMSE 和 SPRD 的繪圖功能建置。
3. 藍色公路海氣象預報系統更新:持續確保藍色公路海氣象預報系統、生活休閒海象預報系統、及藍色公路端點校驗系統之正常運轉，且相關的作業化系統及備援系統皆已全數移轉完成。在 135 伺服器作業化主系統及 99 的資料庫正常運轉的情況下，156 備援系統及 136 資料庫仍同步運轉，保持 33 條航線 XML 檔案的產生，已備不時之需。並完成新增 8 個生活休閒漁港預報點位及修改 3 個海釣預報點位，另外新增 10 個海釣點位與 10 個主要港口點位的 XML 產生程式的編修。並已啟用觀測課的 API 直接下載觀測資料。

## 技術創新(科技技術創新)

多重網格波浪模式作業化運轉  
多重網格系集波浪模式作業化運轉  
作業化海氣象機率性預報產品  
LETKF 資料同化平台引進測試

## 經濟效益(經濟產業促進)

1. 精緻化波浪資訊的產生，配合相關技術的落實與應用，可以廣泛優質化海洋資訊範疇的生活產業，將可有效提升國內本土化產業的國際競爭力。
2. 在資訊系統的輸出推廣下，可由網路、個人通訊、船舶通訊及景點展示等技術將預報海象資訊落實於一般大眾，以達到資訊推廣的目的，將使得社會大眾更易掌握即時與預報之最新資訊，可作為遊憩活動規劃之參考依據，大大提升國人使用海洋資訊的機會，當可促進海洋觀光產業的發展。
3. 系集預報系統可提供機率預報指引，對於工程應用將更為重要，國內離岸風電施工滯留海上時間拉長，若能針對需求提供風機輪殼高度(ex. 90m)之風速將會更有幫助，同時海面邊界層之研究，對於整個離岸風電之設計、施工及運維均很有幫助，氣象局為大氣及海洋預報之專責單位，建議應加強研發海氣象 coupling 及邊界層之研究。

## **社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)**

1. 提供快速、清楚的藍色公路海象預報資訊，提升海域航行安全，減少海難發生的機率，減少社會因海難不幸事件所付出的成本。
2. 建構波浪預報系集預報作業，提升波浪預報的可信度與準確性，可應用於未來風力發電海事工程之工作排程服務。

## **其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等)**

# 檢討與展望

檢討：

1. 區域化資料同化平台移轉建置:完成 NWW3 6.07 版之非結構網格測試，其提供顯式計算域切割法及傳統卡套法、隱式計算域切割法等，測試結果顯示隱式計算域切割法所耗的時間最長，而顯式的二種方法十分接近，然而當使用的網格過小時且網格數量太多時，則顯示法的時間間距將縮小，而隱式法可以使用較大的計算時間間距，因此將會顯示出其效率。以澎湖海域測試非結構網格的結果顯示，在東北季風期(2018/1)主要浪向來自於北方，澎湖測站並未受到任何遮蔽，使得有無非結構網格的計算差異不大，但三角網格可以解析的區域範圍較大，可以反應出複雜地形的變化，也使得澎湖群島下風處遮蔽區的範圍縮小，而規則網格使用能量阻隔的方式亦同樣在澎湖測站發揮效果，但因格點範圍較大，使得澎湖群島下風處遮蔽區的範圍偏大；2018/8(西南浪向)期間，澎湖測站可能有受到部分遮蔽，使得三角網格的計算結果與規則網格比較之波高偏大、週期偏小，此可能與規則網格在該點位的處理方式，導致波浪能量減少、不同頻率的能量轉換較偏向低頻有關。一如東北季風期，三角網格可以更確實模擬海岸的變化，故其下風處遮蔽區之範圍較小，且可解析的範圍較大。然而三角網格的優勢在於解析更清楚的物理現象，尤其在遮蔽區或島嶼之間，但多了一層的計算網格，平均增加約 19%的計算時間，這也是必須評估的地方，若有需要提供例如澎湖本島和西嶼之間的波浪資料，那就值得去加密或使用三角網格。完成氣象局 Cluster 之硬體調查，顯示 06 及 12 之硬體資源可能稍微不足，唯與計算網格設計有關，初期以單一網格測試(0.25 度)問題不大。衛星資料部分，已從 CMES 透過 FTP server 逐時下載即時資料至氣象局 cluster，包括波高及風速。資料品管部分，目前資料已達 L3 等級，較先前原始 L2 資料高一級，擬透過研究團隊建立之品管程序進行控管。完成 UMD-LETKF 在 Centos 平台、使用 Intel compiler 之建置及測試。twin experiments 顯示觀測無誤差時，同化後系集平均等於觀測值，使得系集分歧等於 0，而觀測影響範圍約達半徑 1000 公里(2 倍局地影響半徑)左右，且隨緯度增加而減少。當觀測有誤差時，同化後系集平均已較遠離觀測值，系集分歧偏小幅度降低。而 UMD-LETKF 所需之硬體約 3.5GB，還少於 NWW3 的 4.8GB，僅使用 1 個核心所花的處理時間非常短，而記憶體亦僅使用約 0.06G，基本上不太佔硬體及記憶體資源。備份策略可以參考系集預報的方式逐月進行備份，而技術評估指標相同於決定性預報的評估指標，但使用系集平均來作為預報值。
2. 菲律賓海域波浪模擬建置：原定在菲律賓群島範圍使用三角網格以解析複雜的網格地形，後改為建置 2 分之菲律賓海域巢狀網格，外層仍採用全球(0.5°)及西太平洋(0.25°)二層網格分布，以 ST4f 參數設定進行測試，使用 CFSR 風場，並與衛星資料進行比較。計算結

果顯示在巴士海峽往西至南海北部、黃海及台灣北部均為正偏差，由於衛星在島嶼間之觀測資料較易受到陸地的影響可靠度較差，故菲律賓群島間的水域之計算結果偏小較多；北緯 30° 以北、北緯 10°、東經 130° 及北緯 20° 至朝鮮半島之 RMSE 較大，菲律賓群島間的水域亦偏大；NRMSE 亦有類似趨勢，但在蘇祿海因觀測值較小亦同樣偏大。與台灣海域之全球模式比較之主要差別在南海、巴士海峽及蘇祿海，此區在台灣海域全球模式係使用 10km 之風場驅動，而菲律賓海域全球模式則依然使用 CFSR 風場，造成使用菲律賓海域全球模式的計算結果偏小，尤其在蘇祿海偏低情形至為明顯，顯示 10km 風場的強度較 CFSR 風場大，因此若僅使用 CFSR 風場，會在菲律賓海域產生普遍偏低的情形。然而 10 公里風場範圍僅及蘇祿海約一半的位置，因此若能延伸預報中心 10 公里風場的範圍，則偏低現象應該會減少。

3. 藍色公路與系集預報系統維護:持續確保藍色公路海氣象預報系統、生活休閒海象預報系統、及藍色公路端點校驗系統之正常運轉，且相關的作業化系統及備援系統皆已全數移轉完成。在 135 伺服器作業化主系統及 99 的資料庫正常運轉的情況下，156 備援系統及 136 資料庫仍同步運轉，保持 33 條航線 XML 檔案的產生，已備不時之需。完成新增 8 個生活休閒漁港預報點位及修改 3 個海釣預報點位，另外新增 10 個海釣點位與 10 個主要港口點位的 XML 產生程式的編修。持續進行系集預報系統之維護與功能擴充，系統包括二層網格、二層網格 24 個成員、及三層網格 24 個成員共三種網頁，並與業務單位保持密切聯繫，隨時提報系統運作情形與編修現況。本年度完成系統移轉到新的 VM 伺服器上，並完成建置英文網頁包括標題、所有按鈕選單，及所有圖例及說明，並增加中英文操作介面切換功能按鈕於中英文網頁上。在 Spread 及 RMSE 圖展示功能方面，下拉選單已經建置完成，當使用者選擇某月份的 Spread 及 RMSE 圖時，系統即可讀取及展示相關圖檔於網頁上。觀測課的 API 已經開始啟用，相關的藍色公路 XML 產生程式已經完成修改，待測試穩定後在本年度結束前會進行替換，如此在下年度就不需要再自資料庫作業化匯入觀測資料到預報課的 buoy 及 current 資料表中，這兩個資料表也不需要再進行維護。

展望:

1. NOAA 全球波浪資料同化系統是目前唯一使用 LETKF 的作業化系統，而適合台灣的多重網格模式同化系統並未有案例產生，依據 Dr. Stylianos 的說明，後續仍有許多次系統需要建立以符合台灣海域資料同化應用的需求，但由於 Dr. Stylianos 已經轉到 programmatic office(STI-Modeling)，並稱未來其可以繼續擔任顧問的角色，但需要氣象局與 NOAA 溝通合作方案，以適人適任方式協助系統的建立。

2. 菲律賓方目前並無進一步消息，因此系統的移置規劃仍有賴雙方溝通。因為疫情關係無法直接溝通，因此透過視訊或 email 的方式是目前唯一可行的方式。
3. 將持續運維藍色公路海氣象與休閒娛樂 XML 檔的作業化程式，以持續產生 33 條航線的 XML 檔，除此之外持續觀察測試導入觀測課的 API，直接擷取即時觀測資料，來建構產生相關的 XML 檔。由於現行的 API 方式，在未正常運作的觀測站可能會產生錯誤的資料擷取結果，因此將在正式上線時增加檢視指標欄位，確定資料的可用性，不然就標示「-」以確保錯誤的資料不會被放入 XML 檔中。

## 附表、佐證資料表

### 【A 論文表】

| 題 名         | 第一作者 | 發表年(西元年) | 文獻類別 |
|-------------|------|----------|------|
| 波浪預報偏差修正之研究 | 張恆文  | 2020     | E    |

註：文獻類別分成 A 國內一般期刊、B 國內重要期刊、C 國外一般期刊、D 國外重要期刊、E 國內研討會、F 國際研討會、G 國內專書論文、H 國際專書論文

### 【AA 決策依據表】

| 名稱              | 內容  | 類別 | 是否被採納 |
|-----------------|---|----|-------|
| 交通部第 1483 次部務會報 | 在 100 年 11 月 10 日交通部第 1483 次部務會報對於氣象局所開發的藍色公路海象預報系統，在維護海上客輪之安全給予肯定，期勉氣象局要與時俱進，繼續努力。 | B  | B     |

註：類別分成 A 新建或整合流程、B 重大統計訊息或政策建議報告；是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參

### 【B 合作團隊(計畫)養成表】

| 團隊(計畫)名稱 | 合作對象          | 合作模式  | 團隊(計畫)性質   | 成立時間(西元年) |
|----------|---------------|-------|------------|-----------|
| 海氣象預報    | 中央氣象局、工業技術研究院 | 簽署備忘錄 | 技術研究與作業化執行 | 2010      |

註：合作模式分成 A 機構內跨領域合作、B 跨機構合作、C 跨國合作；團隊(計畫)性質分成 A 形成合作團隊或合作計畫、B 形成研究中心、C 形成實驗室、D 簽訂協議

### 【D1 研究報告表】

| 報告名稱                       | 作者姓名                        | 出版年(西元年) | 是否被採納 |
|----------------------------|-----------------------------|----------|-------|
| 波浪資料同化系統與菲律賓波浪預報系統建置前期研究計畫 | 張恆文、顏厥正、劉進金、徐偉城、李科豎、胡哲魁、林宛瑩 | 2020     | B     |

註：**是否被採納**分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參

#### 【Q 資訊服務表】

| 網站或服務名稱         | 服務對象 | 服務人次/年  | 服務收入(千元) |
|-----------------|------|---------|----------|
| 中央氣象局網站(藍色公路預報) | 社會大眾 | 220,000 | 無        |
| 中央氣象局網站(生活休閒預報) | 社會大眾 | 300,000 | 無        |
| 系集波浪預報網站        | 社會大眾 | 20000   | 無        |

#### 【R 增加就業表】

| 廠商名稱    | 廠商統一編號   | 增加員工人數 | 增加之年度 |
|---------|----------|--------|-------|
| 工業技術研究院 | 02750963 |        |       |

#### 【S1 技術服務表】

| 技術服務名稱          | 服務對象類別                    | 服務對象名稱 | 服務收入(千元)            |
|-----------------|---------------------------|--------|---------------------|
| 中央氣象局網站內的藍色公路預報 | 藍色公路航運業者、船舶運輸業者           | a、b    | 避免可能發生之船難經額<br>無法估算 |
| 中央氣象局系集波浪預報     | 風力發電海上施工業者<br>船長<br>海上工作者 | a、b    | 無                   |

註：**服務對象類別**分成 A 國內廠商、B 國外廠商、C 其他(請序明)

#### 【Y 資訊平台資料庫表】

| 資訊平台/資料庫名稱    | 內容描述                               | 類別        | 資料筆數         |
|---------------|------------------------------------|-----------|--------------|
| 藍色公路預報資料庫     | 藍色公路波高、週期、波向、風速、風向、波高修正值、觀測值、流速、流向 | Numerical | 每日增加 8040 筆  |
| 系集機率預報資料庫     | 24 個系集波高、週期、波向、風速、風向、觀測值           | Numerical | 每日增加 8040 筆  |
| Safe see 資訊平台 | 決定性預報及系集波浪預報                       | Numerical | 每日增加 16080 筆 |

註：類別分成 Bibliography、Numerical、Factual、Multimedia、Text