

# 應用氣壓及風速直接預報颱風暴潮之評估

莊文傑<sup>1</sup> 陳進益<sup>2</sup>

<sup>1</sup>交通部運輸研究所港灣技術研究中心

<sup>2</sup>中央氣象局海象測報中心

## 摘 要

在特定風暴影響期間，單純因氣壓高低及風力強弱變動之氣象因素影響而在海岸、河口、港灣內所造成的海面水位昇降變化，通稱為暴潮(storm surge)或稱為氣象潮(meteorological tide)。本研究以2019年8月曾發布海、陸上颱風警報之利奇馬(LEKIMA)颱風及白鹿(BAILU)颱風為例，配合颱風路徑，先檢選蘭嶼、富岡、後壁湖等驗潮站之實測潮位紀錄，並作天文潮之調和分析，接著，採用實測潮位扣除天文潮位之通常方式進行基準暴潮歷程之萃取，隨後，結合蘭嶼、台東、鵝鑾鼻等鄰近氣象站之氣壓與風力紀錄，依據綜合考量逆氣壓效應及風力推積效應之經驗公式，直接作颱風暴潮歷程之預報，最後，透過基準與預報暴潮歷程之對照比較，確認直接應用與海岸或港灣毗鄰氣象站之即時觀測或預報氣壓及風速，不僅可直接預報颱風暴潮發展歷程之昇降變化，更可準確地掌握暴潮歷程可能引發之最大暴潮位及其發生之時間，藉以迅速有效地提供暴潮相關之海岸防災資訊。

關鍵字：颱風暴潮預報、逆氣壓效應、風力推積效應、調和分析

## Evaluation of Applying Atmospheric Pressure and Wind Speed to Directly Forecast the Typhoon Storm Surges

Wen-Jye Juang<sup>1</sup>, Jin-Yi Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Center of Harbour and Marine Technology, Institute of Transportations, M.O.T.C.

<sup>2</sup> Marine Meteorology Center, Central Weather Bureau

### Abstract

During the typhoon invasion periods, the sea level changes caused by the meteorological effects on the coast or in the harbor is generally called the storm surge. In this study, the main purpose is aimed at evaluating the feasibility of applying atmospheric pressures and wind speeds to directly forecast the storm surges. Two typhoons of LEKIMA and BAILU, which both occurred in August 2019, were focused. For feasibility checking, the storm surges that generally extracted by subtracting the astronomical tides after harmonic analysis from measurements at stations of Lanyu, Fugang and Houbihu were based on. And the surges that forecasted by empirical formula with combining inverse barometric effects and wind pile-up effects at neighboring meteorological stations were compared. Throughout the validations, it is confirmed that not only the hydrograph of the storm surges can well be forecasted, but also the maximum surge level associated with its occurred time. Therefore, the forecasting scheme could be applied to quickly and effectively provide the disaster prevention information related to storm surges.

Key words: Typhoon Storm Surges Forecast, Inverse Barometric effect, Wind Pile-up Effect, Harmonic Analysis.

## 一、前言

在特定風暴影響期間，單純因氣壓高低及風力強弱變動之氣象因素影響而在海岸、河口、港灣內所造成的海面水位昇降變化，通稱為暴潮(storm surge)或稱為氣象潮(meteorological tide)。典型的發展歷程，除了風暴接近及侵襲期間所引發之暴潮外，尚包括侵襲前、後的前驅湧(forerunner)與餘湧(resurgence)兩部分(Horikawa, 1978)，如圖1所示。此外，由於暴潮係為常規天文潮位以外額外附加的水位變動量，所以，亦可稱為潮位偏差(sea level departure from normal)或異常潮(abnormal tide)。

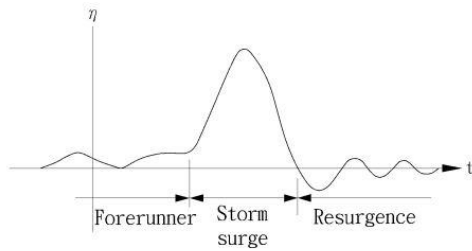


圖1 風暴侵襲期間之典型暴潮發展歷程

臺灣海域，在每年六到十一月之夏、秋季節裡，平均會受到3~4個颱風直接侵襲，而伴隨颱風侵襲期間所引發的大浪與暴潮，當與天文潮的滿潮期複合後，不僅會密切關聯海岸工程與港灣設施原始防潮禦浪功能的規劃、設計事項，尚經常會造成海岸沖蝕、海岸溢淹、港灣越波、海堤禦潮、河川防洪等海岸防護與海岸防災課題。

國內暴潮相關之研究，概略可區分為兩大類：其一為依據實際驗潮站的往昔實測潮位紀錄，考量天文潮、氣壓及風力等海氣象因素的影響，進行通常性的暴潮萃取與分析，藉以詳實瞭解並充分掌握暴潮之時、空演化變動特性(莊等, 2006~2008; 莊、曾, 2008; 張, 2008; 楊等, 2018; Pore, 1964); 其二為結合海岸地形水深、氣象與颱風波浪模式或資料庫，應用水動力數值模式，發展作業化之暴潮推算與預報，藉以提供實際防災預警應用(劉, 1990; 尤等, 2010; 于等, 2012; 廖等, 2014; 廖、陳, 2015; 林等, 2016; 吳等, 2018)。只是應用模式進行暴潮推算或預報，不僅必需整備及運用大量計算資源，耗費維運人力與經費，尚會受不同海氣象模式、資料庫與海岸地形水深之時、空解析度限制，而必需面對預報成果之準確性與有效性的調校課題。

在颱風侵襲期間，透過以往臺灣環島沿海實測暴潮歷程之分析及作業化模式預報成果之檢校，已可充分瞭解及掌握，與颱風侵襲路徑鄰近之驗潮站，通常會具有最顯著的暴潮現象，且其氣壓與風力的時、空變動，實際才是主控暴潮演化歷程的關鍵影響因素。為此，本研究將以接續發生於2019年8月之利奇馬

(LEKIMA)颱風及白鹿(BAILU)颱風為例，配合颱風路徑，檢選蘭嶼、富岡、後壁湖等驗潮站，單純考量逆氣壓效應(inverse barometric effects)及風力推積效應(wind pile-up effects)，應用經驗公式(empirical method)，直接作推算或預報颱風暴潮歷程之評估。

## 二、侵臺之颱風風暴

利奇馬(LEKIMA)颱風，編號201909，為發佈警報而無登陸之颱風，其在菲律賓東方海面生成後，即朝西北向台灣東北部海面前進，暴風圈掠過台灣北部及東北部陸地後，持續向北移動，並於浙江登陸，生命期間自2019年8月4日6時至8月12日18時，曾發布海、陸上警報，中心最低氣壓915(hPa)，中心最大風速65(m/s)，最大7級風及10級風之暴風半徑，分別為280(km)與100(km)，侵(近)臺日期在8月9日，最大強度達強烈等級，侵臺路徑歸屬第1分類，移動路徑與強度變化及臺灣近海之紅外線雲圖，如圖2所示，(中央氣象局颱風資料庫，[http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/public/typhoon\\_list/](http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/public/typhoon_list/))。

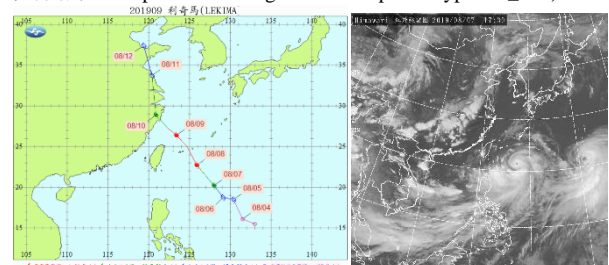


圖2 利奇馬(LEKIMA)颱風之移動路徑與強度變化(左)及臺灣近海之紅外線雲圖(右)

白鹿(BAILU)颱風，編號201911，為發佈海、陸上警報且登陸之颱風，其在菲律賓東方海面生成後，即朝西北向巴士海峽接近，並於2019年8月24日13時，於屏東滿州附近登陸，24日16時10分從高雄楠梓附近出海，中心最低氣壓975(hPa)，中心最大風速38(m/s)，最大7級風及10級風之暴風半徑，分別為150(km)與50(km)，侵(近)臺日期在8月24日，侵臺路徑歸屬第4分類，雖然最大強度僅有輕度等級，但受颱風影響，花蓮及屏東地區有超大豪雨發生，全臺災情，計有1人死亡，9人受傷，農損逾新臺幣1億6,794萬元，移動路徑與強度變化及臺灣近海之紅外線雲圖，如圖3所示，

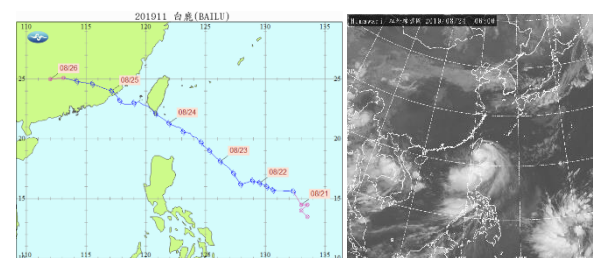


圖3 白鹿(BAILU)颱風之移動路徑與強度變化(左)及臺灣近海之紅外線雲圖(右)

### 三、暴潮歷程的萃取分析與比較

於2019年8月之利奇馬與白鹿颱風侵襲期間，檢選與颱風行進路徑鄰近之蘭嶼、富岡及後壁湖驗潮站每15秒一筆之實測逐時潮位紀錄，並進行調和分析，因而可得蘭嶼驗潮站實測潮位與調和分析後之天文潮位，如圖4所示。

依據暴潮之定義並採用實測潮位扣除天文潮位之通常性暴潮萃取分析方法，進而可得蘭嶼驗潮站全月及白鹿颱風侵襲期間之暴潮位與應用逐時移動平均處理後之暴潮歷程，如圖5所示。觀察圖5可見，在颱風侵襲期間，不僅暴潮歷程皆甚明顯，振盪波動亦甚可觀。至於在非颱風影響時期，具有半日週期性的微小波動，實際應係離散型潮位紀錄與連續型調和分析潮位間之自然差異所致。

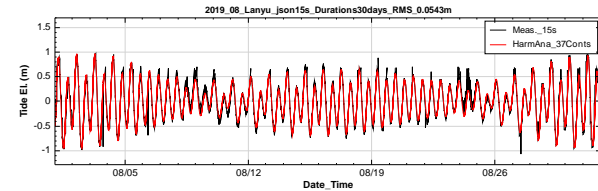


圖4 蘭嶼驗潮站2019年8月白鹿及利奇馬颱風侵襲期間之實測潮位(黑)與調和分析後之天文潮位(紅)

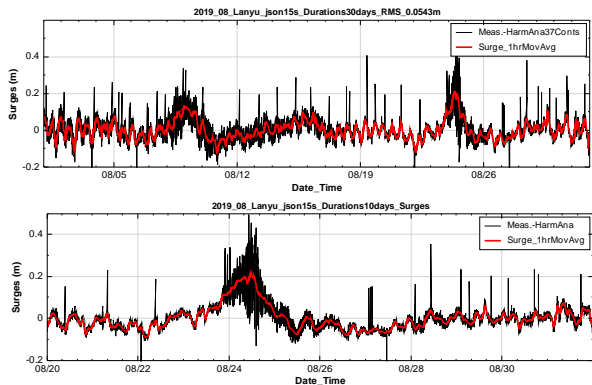


圖5 蘭嶼驗潮站2019年8月期間(上)與白鹿颱風侵襲期間(下)經以通常法萃取之暴潮位(黑)與其逐時移動平均後之暴潮歷程(紅)

另外，將通常性暴潮萃取分析結果(圖5)與直接採用移動平均法(莊等, 2007b)及應用EMD\_IMFs分析法(莊、曾, 2008)所得之暴潮歷程作相互對照比較，可見其彼此具有甚佳的一致性，如圖6所示，因此，本文後續討論，皆以通常性暴潮萃取分析結果(參見圖5)為基礎。

至於暴潮之區域性差異，於鄰近利奇馬與白鹿颱風行進路徑上，比對蘭嶼、富岡及後壁湖等驗潮站上之暴潮歷程，結果如圖7所示。觀察圖7可見，在可歸屬同一區域之不同驗潮站上，儘管彼此之地理位置、地形、風力及海象條件具差異性，但是基於顯著影響颱風暴潮特性之氣壓因素，普遍皆具有

大尺度之時、空變特性，以致暴潮歷程之區域性差異，實際甚為有限，尤其是暴潮之最大高度與其發生時間。

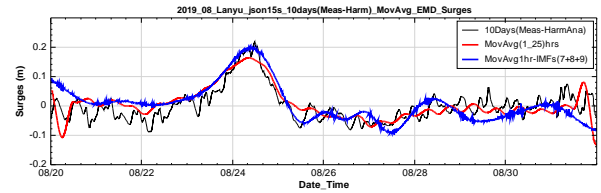


圖6 蘭嶼驗潮站在利奇馬颱風侵襲期間採用通常性暴潮萃取方法(黑)及應用移動平均法(紅)與EMD\_IMFs分析法(藍)所得暴潮歷程之相互對照比較

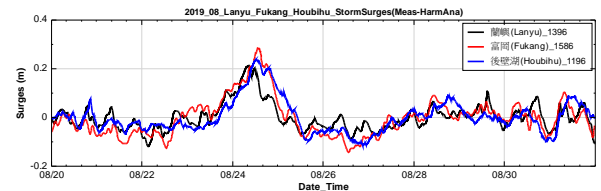
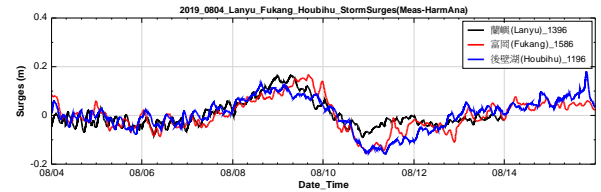


圖7 利奇馬颱風(上)與白鹿颱風(下)侵襲期間，於鄰近颱風行進路徑上，蘭嶼(黑)、富岡(紅)及後壁湖(藍)等區域性驗潮站上之暴潮歷程相互對照比較

### 四、區域性氣壓與風力之時變特性

颱風的氣象特性，除了行進路徑與速度外，最主要的，當屬氣壓與風力。在2019年8月利奇馬與白鹿颱風侵襲期間，於鄰近颱風行進路徑上，檢選分別與蘭嶼、富岡及後壁湖驗潮站毗鄰之蘭嶼、臺東及鵝鑾鼻資料浮標之氣壓與風力逐時紀錄，因而可就區域性差異，對照比較如圖8所示；其中，針對白鹿颱風侵襲期間之對照比較，則如圖9所示。

綜合觀察圖8與圖9可見，在同屬臺灣東南部海域之蘭嶼及鵝鑾鼻資料浮標上，雖然彼此的佈設區域位置不同，但就量測氣壓與風力時變特性而論，總體上仍甚具一致性，特別是其極值大小與其發生時間，實際上僅陳現出些微差異；至於臺東資料浮標之氣壓與風力，經與蘭嶼及鵝鑾鼻資料浮標之相關量測量作對照比較，則可見其有較大之偏差，主要原因，就颱風行進路徑、佈設海域位置及海象波動特性等層面之影響因素進行綜合檢討，研判、推測其可能係浮標自身配置特性所造成。

此外，將圖8與圖9中蘭嶼資料浮標之氣壓與風力變動歷程，分別再與圖5與圖7中蘭嶼驗潮站之暴潮歷程作相互對照比較，概略可見，氣壓與風力變動歷程，實際與暴潮歷程具有密切關聯性，其中，就白鹿颱風侵襲期間而論，參見圖7與圖9，單純氣壓與暴潮



變動歷程之相關係數，即可達-0.7439。這數據說明，在蘭嶼海域，逆氣壓效應(inverse barometric effects)，明確是主控區域性暴潮歷程之最重大影響因素。

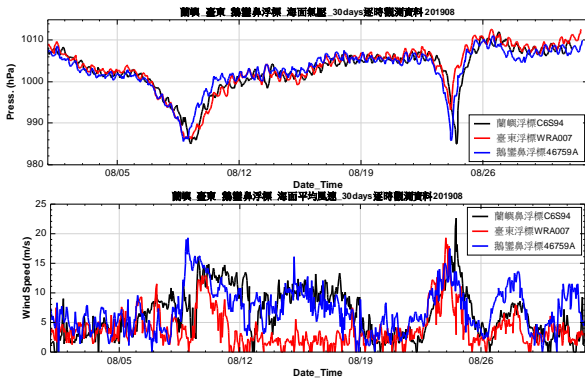


圖8 利奇馬與白鹿颱風侵襲期間，蘭嶼(黑)、臺東(紅)及鵝鑾鼻(藍)資料浮標之區域性氣壓與風力逐時紀錄對照比較

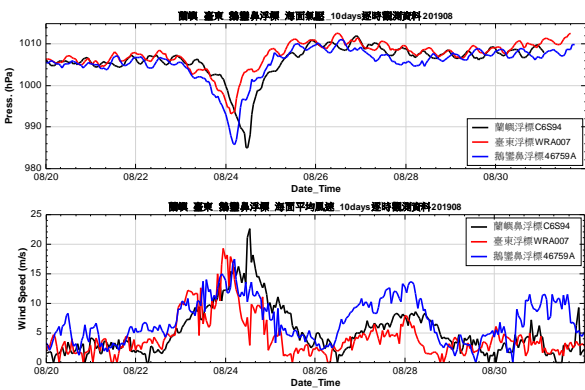


圖9 白鹿颱風侵襲期間，蘭嶼(黑)、臺東(紅)及鵝鑾鼻(藍)資料浮標之區域性氣壓與風力變動歷程比較

## 五、應用氣壓與風力進行暴潮推算

基於氣壓、風力與暴潮歷程的密切關聯性，如圖5及圖8及圖7與圖9，在鄰近颱風侵襲路徑之近岸海域，暴潮之推算，除了應用水動力模式外，尚可藉助下列考量逆氣壓效應(inverse barometric effects)及綜合風力推積效應(wind pile-up effects)之經驗公式(empirical method) (Horikawa, 1978；莊、曾，2008)：

$$\eta_{surge} = C_p \Delta p + C_w |\bar{w}| \quad (1)$$

式中， $\eta_{surge}$  為單純應用氣壓及風力進行推算之暴潮位(cm)； $\Delta p = p_{ref} - p$  為颱風侵襲期間之驗潮站氣壓 $p$ 與環境氣壓(ambient pressure)或參考氣壓 $p_{ref}$ 之氣壓差(hPa)； $|\bar{w}|$ 為風速大小(m/s)； $C_p$ 與 $C_w$ 分別為逆氣壓效應及風力推積效應轉換係數。

至於  $p_{ref}$ ，依據莊等(2007b)針對2001至2005年間蘇澳、花蓮及成功三氣象測候站之年逐時實測

氣壓紀錄進行綜合整理，可得臺灣東部海岸區域性氣壓之2160小時季移動平均變化，如圖10所示，進一步再以多項式進行迴歸分析，則  $p_{ref}$  即可以式(2)表示：

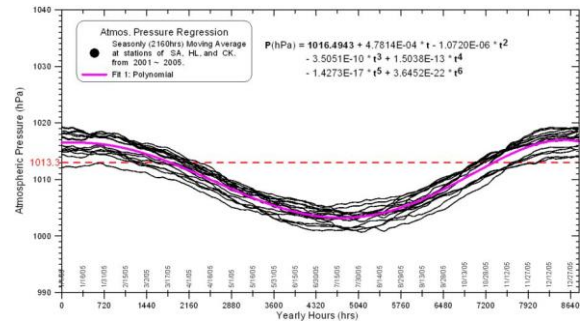


圖10 臺灣東部海岸2001至2005年間蘇澳、花蓮及成功等三氣象測候站區域性氣壓之2160小時季移動平均逐時變化

$$p_{ref} = 1016.4943 + 4.7814E-04 * t_i - 1.0720E-06 * t_i^2 - 3.5051E-10 * t_i^3 + 1.5038E-13 * t_i^4 - 1.4273E-17 * t_i^5 + 3.6452E-22 * t_i^6 \quad (2)$$

式中， $t_i$  為時間之年小時時序。以侵襲期間分別為2019年8月9日及8月24日之利奇馬與白鹿颱風為例，其  $p_{ref}$  經計算分別約為1003 hPa及1005 hPa。

在利奇馬與白鹿颱風侵襲期間，為應用式(1)並結合式(2)進行暴潮歷程推算，本研究以通常性暴潮歷程萃取結果(參見圖7)為比對基準，經往復校驗，最後，設定  $C_p \approx 0.991$ ； $C_w \approx 0.003$ 。

另外，單純應用圖8所示蘭嶼資料浮標之氣壓及綜合應用氣壓與風力，推算同區域蘭嶼驗潮站之暴潮，再與通常性萃取暴潮(參見圖7)相對照比較，可得校驗結果，如圖11所示；而綜合應用鵝鑾鼻資料浮標之氣壓與風力，推算不同區域蘭嶼驗潮站之暴潮，再與蘭嶼之推算暴潮及通常性萃取暴潮相互對照比較，則其校驗結果，可得如圖12所示。

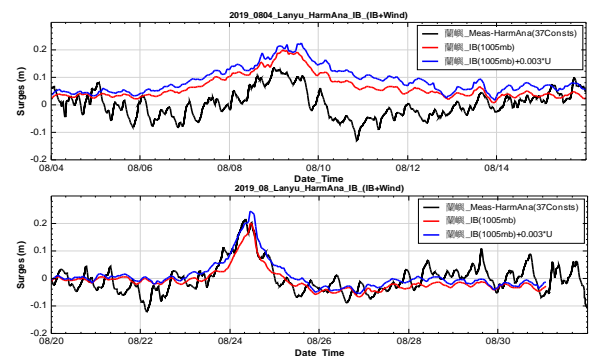


圖11 單純應用蘭嶼資料浮標之氣壓(紅)及綜合應用氣壓與風力(藍)，推算同區域蘭嶼驗潮站之暴潮，再與通常性暴潮萃取結果(黑)對照比較之校驗

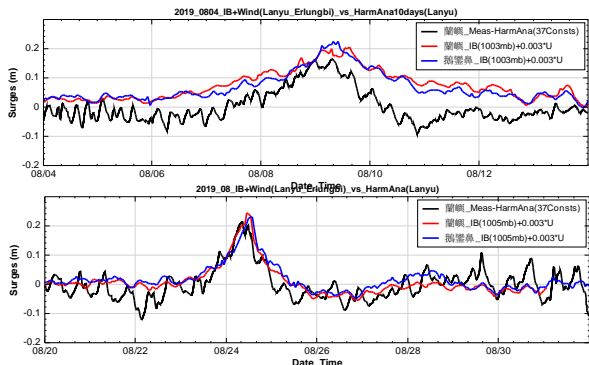


圖12 綜合應用鵝鑾鼻資料浮標之氣壓與風力(藍)，推算不同區域蘭嶼驗潮站之暴潮，再與蘭嶼之推算暴潮(紅)及通常性暴潮萃取結果(黑)對照比較之校驗

首先，由圖11之校驗結果觀察可見，在利奇馬與白鹿颱風侵襲期間，採取簡易的經驗公式，應用相同海域之氣壓與風力直接作暴潮推算，所得之暴潮歷程，不論是歷程發展、最大值與其發生時間，皆與實際(以通常性萃取方法代表)之發生歷程甚相近似，特別是在登陸的白鹿颱風侵襲期間，推算與實際暴潮歷程，更具一致性。這事實說明，只要綜合相同海域之逆氣壓效應及風力推積效應，即可充分準確地推算及預報颱風影響期間及侵襲期間之暴潮歷程，其中，又以逆氣壓效應的有效掌握最為重要。至於，風力推積效應，甚至是波浪引致之波揚(wave set-up)與波降(wave set-down)效應，對於海岸暴潮歷程的影響性，皆甚微弱，且屬次要，主要的原因，應係臺灣近岸具有較陡峻的海灘坡度，以及在颱風期間河口水流較急湍造成。

另外，由圖12之校驗結果觀察可見，在利奇馬颱風影響期間與白鹿颱風侵襲期間，即使應用相毗鄰海域之氣壓與風力，仍可直接作暴潮推算，所得之暴潮歷程，不論是歷程發展、最大值與其發生時間，亦皆可與實際(以通常性萃取方法代表)之發生歷程甚相近似，特別是在與颱風侵襲路徑鄰近之區域性海岸，推算與實際暴潮歷程，更具一致性。這事實說明，只要綜合毗鄰海岸之逆氣壓效應及風力推積效應，亦可準確有效地推算及預報颱風影響期間及侵襲期間之暴潮歷程。主要的原因，應係逆氣壓效應及風力推積效應，皆具有大尺度的時、空緩變特性所致。

## 六、颱風暴潮預報

基於逆氣壓效應與風力推積效應之大尺度時、空緩變特性，在颱風影響及侵襲期間，經以往暴潮案例之推算校驗，參見圖11及圖12，可確認在鄰近颱風侵襲路徑之海域上，只要結合氣象預報之氣壓

與風力資訊，即可應用式(1)所示之簡易經驗公式，直接進行相關海岸或特定驗潮站上之暴潮預報。

至於，進行暴潮預報之氣壓與風力資訊，可自中央氣象局WRF (Weather Research and Forecasting)作業模式運算後之數值天氣預報(Numerical weather prediction Products Display)之區域數值模式項目下，從台灣鄰近區域之3小時累積降水+海平面氣壓，如圖13所示，以及3小時500百帕風速風向，如圖14所示，分別取得。其中，3小時累積降水+海平面氣壓以及500百帕風速風向，皆是每日00Z、06Z、12Z及18Z各一報，但海平面氣壓每報預報長度為3、6、9、...、90、96、...120小時；而風速風向每報預報長度則為3、6、9、...120小時([https://npd.cwb.gov.tw/NPD/products\\_display/product?menu\\_index=1](https://npd.cwb.gov.tw/NPD/products_display/product?menu_index=1))。若需額外考量波浪影響，則其同樣可自中央氣象局數值天氣預報之海象數值模式項目下，從波浪模式取得示性波高預報資訊，其亦為每日6小時一報，每報之預報長度為3、6、9、...72小時([https://npd.cwb.gov.tw/NPD/products\\_display/product?menu\\_index=4](https://npd.cwb.gov.tw/NPD/products_display/product?menu_index=4))。

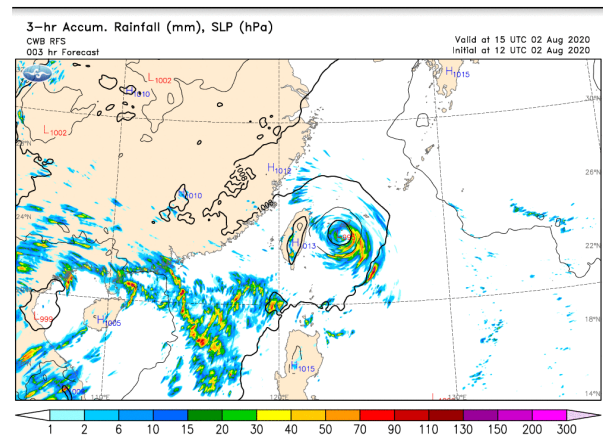


圖13 中央氣象局數值天氣預報\_區域數值模式\_台灣鄰近區域\_3hr間距之累積降水(色階)與海平面氣壓預報(黑等值線)

(資料來源：中央氣象局，[https://npd.cwb.gov.tw/NPD/products\\_display/product?menu\\_index=1](https://npd.cwb.gov.tw/NPD/products_display/product?menu_index=1))

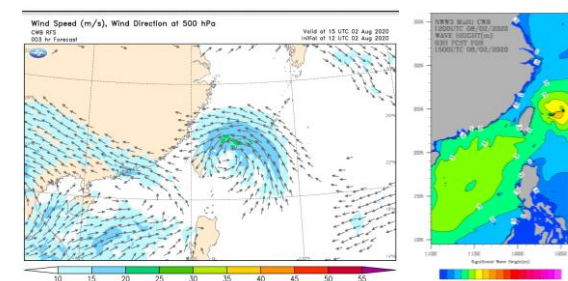


圖14 中央氣象局數值天氣預報\_區域數值模式\_台灣鄰近區域\_3hr 500百帕風速風向場(左)與波浪場之示性波高(右)預報

(資料來源：中央氣象局，[https://npd.cwb.gov.tw/NPD/products\\_display/product?menu\\_index=4](https://npd.cwb.gov.tw/NPD/products_display/product?menu_index=4))

在2019年8月期間，應用式(1)之簡易經驗公式，並依據蘭嶼海域之氣壓與風力，直接預報蘭嶼驗潮站全月之氣象潮與暴潮，如圖15所示，圖中，為評估其準確性，尚列入採用通常性萃取分析法所得之實際暴潮位與其逐時移動平均後之暴潮歷程供對照。檢視並比較圖15中之預報與實際暴潮全歷程可見，總體上，兩者具有一致性，特別是最大暴潮位與其發生時間，只是在利奇馬颱風影響期間，預報暴潮略微偏大，儘管如此，仍可確認，臺灣海岸的氣象潮與暴潮，主要係由逆氣壓效應及風力推積效應所主控，因此，充分掌握特定海岸之氣壓與風力，應用經驗公式，即可進行氣象潮與暴潮歷程的預報。

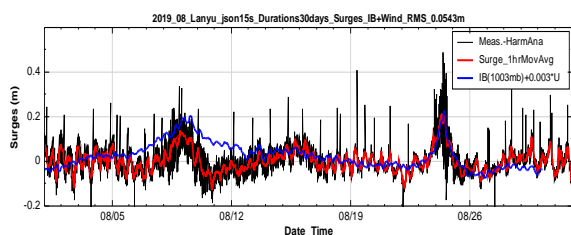


圖15 在2019年8月期間結合蘭嶼海域之氣壓與風力應用經驗公式直接預報蘭嶼驗潮站之暴潮歷程(藍)並與實測(黑)及其逐時平均(紅)之對照比較

## 七、結論

本研究以2019年8月期間曾發布海、陸上颱風警報之利奇馬(LEKIMA)颱風及白鹿(BAILU)颱風為例，經推算校驗，確認在颱風侵襲路徑之鄰近海域上，只要結合中央氣象局數值天氣預報之氣壓與風力資訊，再應用簡易之經驗公式，即可直接進行相關海岸之氣象潮與暴潮預報，特別是可詳實掌握全暴潮歷程發展之高低變動趨勢、最大暴潮位與其發生時間，藉以在颱風影響或侵襲期間，能迅速有效地提供暴潮相關之海岸防災資訊。

## 八、謝誌

承蒙中央氣象局海象測報中心慨允提供蘭嶼、台東、鵝鑾鼻資料浮標之氣壓與風力逐時紀錄及蘭嶼、富岡、後壁湖驗潮站每15秒一筆之高取樣率潮位監測紀錄供氣象潮分析與校驗應用，使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

- 劉尚孔，1990：“台灣海域颱風暴潮及氣象潮數值預報模式”，中央氣象局研究報告第374號。
- 莊文傑、曾相茂、江中權，2006：“潮汐資料之補遺及其在暴潮位萃取之應用”，第28屆海洋工程研討會論文集，第277-282頁。
- 莊文傑、林立青、張憲國，2007a：“年實測缺漏潮位內差補遺法之準確性評估”，第29屆海洋工程研討會論文集，第201-206頁。
- 莊文傑、林立青、張永欣，2007b：“氣象潮位的萃取及其在暴潮預報的應用”，第29屆海洋工程研討會論文集，第207-212頁。
- 莊文傑、林立青、張憲國，2008：“岸際氣壓對潮汐調和分析與預報之影響”，第30屆海洋工程研討會論文集，第613-618頁。
- 莊文傑、曾相茂，2008：“依據潮汐與氣壓實測紀錄進行氣象潮位之直接萃取”，第30屆海洋工程研討會論文集，第619-624頁。
- 張永欣，2008：考慮氣壓變化的暴潮偏差分析，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，共85頁。
- 尤皓正、江朕榮、白凱中、余杏儒、于嘉順，2010：“台灣海域風暴潮作業化模式之發展與應用”，第32屆海洋工程研討會論文集，第551-556頁。
- 于嘉順、尤皓正、陳琬婷、朱啟豪、滕春慈，2012：“應用WRF風場發展之台灣海域風暴潮作業化模式”，第34屆海洋工程研討會論文集，第511-516頁。
- 廖建明、陳思樺、蕭玲鳳、蔡金成、楊文昌、賴堅戊、吳季莊，2014：“暴潮模擬與預警系統之研究”，103年天氣分析與預報研討會，A8海象測報與應用，A8-03。
- 廖建明、陳思樺，2015：“近岸波揚對於暴潮水位推算之影響”，臺灣水利，第63卷，第1期，第83-92頁。
- 林燉瑛、邱銘達、柳文成、陳致穎、鄭皓元，2016：“颱風暴潮預報之不確定性分析”，臺灣水利，第64卷，第3期，第23-42頁。
- 楊博堯、董東璟、陳盈智，2018：“台灣海岸長期實測暴潮分析”，第40屆海洋工程研討會論文集，第100-105頁。
- 吳祚任、林君蔚、李奎模、莊美惠、蔡育霖、滕春慈、朱啟豪、葉天降，2018：“暴潮系集預報系統發展暨波浪與暴潮校驗系統建置”，107年天氣分析與預報研討會，A7海象測報與應用，A7-1。
- AnCAD, 2014: Visual Signal 1.5 Professional, 逸奇科技公司。
- Horikawa, K., 1978: Coastal Engineering—An Introduction to Ocean Engineering, John Wiley, New York.
- Pore, N.A., 1964:“The relation of wind and pressure to extratropical storm surges at Atlantic City”, *Journal of Applied Meteorology*, 3, 155-163.