

暴潮分析與預警系統技術發展

楊文昌¹ 吳季莊¹

Yang, Wen-Chang Wu, Chi-Chuang

¹財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

摘要

為解析颱風暴潮發生之時機、條件與暴潮強度，本研究以實測潮位資料與調和分析資料分析 2011 年颱風期間之潮汐水位異常變化，配合颱風路徑、潮汐週期與颱風強度等因素，找出暴潮事件與這些因素的關係，以便分析暴潮發生之條件。

經過潮位資料與五個侵台颱風路徑的分析，初步歸納出引致暴潮的兩個主要條件為颱風路徑與潮汐週期。當颱風朝向台灣行進時，所造成的推移量較大，水位異常升高較為明顯。如適逢大潮，則可能發展成暴潮災害。

關鍵詞：暴潮、調和分析

Abstract

According to resolve the timing, strength and conditions of Storm surges, we compared the water level change between real tidal data and predicted tide data which produce by harmonic analysis method during typhoon season in 2011, to collocate with typhoon path, tidal cycle and typhoon strength, to figure out the connection between storm surge and those factors, to analyze conditions of storm surge.

After we analysis of five typhoon cases, we preliminary summarized two main conditions for storm surges caused by typhoons and tidal cycle path. It will be a large amount of passage when the typhoon travels front Taiwan, it caused the water level rises are more obvious, as the spring tide, it may develop into a storm surge disasters.

Keywords : Storm surge, Harmonic analysis method

一、前言

暴潮(storm surge) 為多種原因匯集，使得正常潮起潮落的海洋慣性，發生突然性的水位異常堆高現象。暴潮並非潮汐，而是因為海平面水位上升有如漲潮，故稱為暴潮。暴潮現象主要是由颱風引起，颱風中心的低氣壓會使海平面升高，且颱風往陸地推移的過程中，會將海浪吹往陸地方向，如遇上大潮和滿潮，則可能加重災情。台灣位於太平洋西側，位於北半球颱風熱門路徑上；而根據氣象局統計資料，一年平均有四個颱風侵襲，颱風侵台的路線圖大致可分為九種路線，如圖1-1所示。

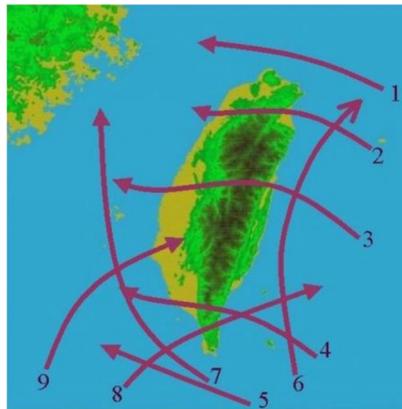


圖 1-1、台灣颱風路線分類圖。(中央氣象局，2004)

每當颱風發生，除了大量雨水可能造成洪氾災害外，沿海地區也可能因暴潮的侵襲而使民眾生命財產安全造成威脅。因此，本研究之主要目的為研究颱風暴潮發生的時機與條件，以探討引發暴潮之機制，以期後續對預測暴潮能有所助益。

二、暴潮分析

潮汐主要是由行星運行的引力所引致，也稱作天文潮，經過長年研究，已經可以透過調和分析(harmonic analysis method)進行精準的預測。由於天文潮呈現週期性變化，經由天文潮計算而得的預報潮僅能提供理想狀態的潮汐水位，無法預測颱風來臨或其他自然現象發生時的真實水位變化。因此當颱風過境或季風轉換時，真實測站所紀錄下的水位高度，時常會和天文潮預測水位有所差異，此差異稱為水位異常值或是潮位偏差 (ΔH)。

天文潮在理論上可藉由調和分析來解析各分潮的加權係數，並利用數值與同化的方法可模擬潮汐的變化，進而可精準達到預測的功效。調和分析係以牛頓所提出的平衡潮(equilibrium tide)理論為基礎，進行潮汐推算的一種方法。假設某地任一時間的潮汐水位 $Y(t)$ 為各分潮潮高 $y_i(t)$ 之總合，其數學式可表示如下

$$Y(t) = H_0 + \sum_{i=1}^M y_i(t) = H_0 + \sum_{i=1}^M f_i H_i \cos(\omega_i t + (V_0 + u)_i - k_i) \quad (2-1)$$

其中，Y 為潮汐高度， H_0 為觀測資料期間之平均海水面， y_i 為各分潮潮高，t 為時間，M 為分潮個數， f_i 為修正係數， ω 為各分潮角速度， $(V_0 + u)_i$ 為各分潮平衡引數(Equilibrium Argument)， k_i 為各分潮相位角(phase angle)。

在計算過程中，假設平均海水面為大地水準面，故 H_0 設為0，利用三角函數關係可轉換如下：

$$Y(t) = a_0 + \sum_{i=1}^M (a_i \cos \omega_i t - b_i \sin \omega_i t) \quad (2-2)$$

式中， a_i 、 b_i 為分潮之調和分量，其數學式可表示如下：

$$a_0 = H_0$$

$$a_i = f_i \cdot H_i \cdot \cos[(V_0 + u)_i - k_i]$$

$$b_i = f_i \cdot H_i \cdot \sin[(V_0 + u)_i - k_i]$$

利用前述之數學式，將長期觀測到的水位資料代入，即可解算得到各分潮之調和分量(a_i 、 b_i)，進而可藉由潮汐關係式而得到潮汐高度Y(t)，進而推算潮汐的時間序列變化。據此，本研究利用調和分析法，進行潮汐水位預測分析，並與潮位站實測資料進行比對，求得颱風期間的潮位偏差值(ΔH)，以利暴潮的判別。在暴潮的分析上，係以標準積分(ΔS)來判別暴潮的程度。其計算方式為：

$$\text{標準積分 } \Delta S = \text{暴潮偏差}(\Delta H - \Delta H_{\text{avg}}) / \text{標準差} \quad (2-3)$$

暴潮偏差通常假設其分布為常態分布做為基準來判別暴潮是否發生，依照此假設，在常態分析上，其標準計分在-3~3之間的觀測佔99.7%，在此範圍外即視為異常現象。故當 ΔS 大於3時，定義為暴潮， ΔS 大於2.5則定義為弱暴潮。

經由蒐集氣象局的颱風資料庫，我們整理了2009年至2012年所發布颱風警報的颱風事件，並歸納出每一年颱風侵襲台灣的時段、颱風強度與潮位狀況等資訊，但因本研究執行期間，2012年的潮汐資料僅提供至2012年3月，故本研究採用2011年的颱風侵台資料，如表2-1所示：

表 2-1、2011 年侵台颱風資料

2011 年侵台颱風資料(5/6-8/31)					
颱風名稱	日期	暴風圈接近台灣	近台規模	接近區域	潮汐
艾利	5/6-5/11	5/10	輕	台灣東部	平潮
桑達	5/20-5/29	5/27-5/28	強-中	台灣東部	平潮
米雷	6/21-6/27	6/24-6/25	輕	台灣東北	小潮
梅花	7/28-8/8	NAN	中	台灣東北	小潮
南瑪都	8/22-8/31	8/28-8/31	中-輕	台灣東南-西	大潮

表2-1中列出2011年共有五個颱風侵襲台灣，其發生的時間介於5/6至8/31，依發生時間順序分別為艾利、桑達、米雷、梅花與南瑪都颱風，對應之颱風路徑

如圖2-1所示；其中，南瑪都颱風是2011年唯一登陸台灣的颱風。

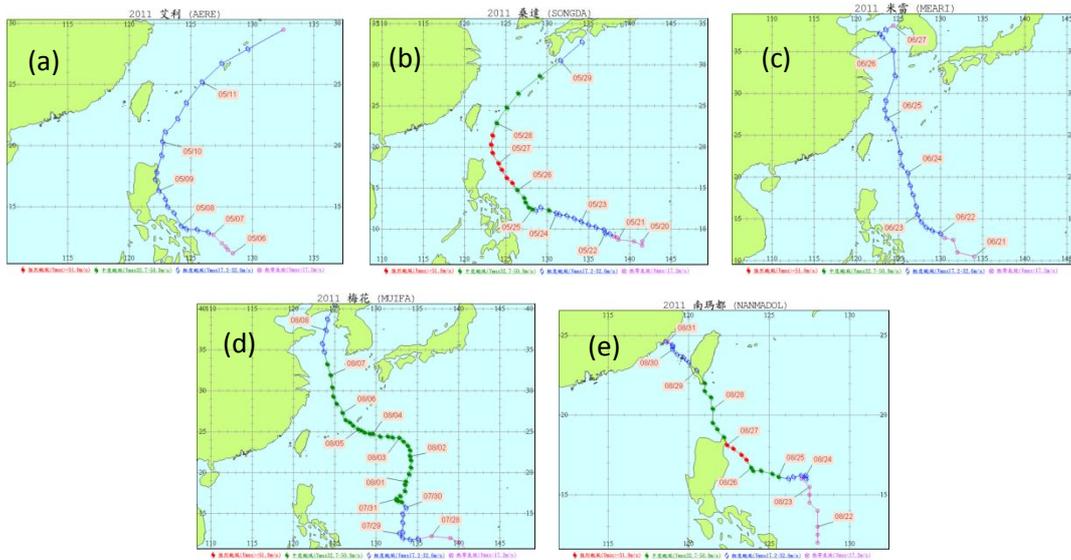


圖 2-1、2011 年侵台颱風路徑圖，(a)艾利 5/6-5/11，(b)桑達 5/20-5/29，(c)米雷 6/21-6/27，(d)梅花 7/28-8/8，(e)南瑪都 8/22-8/31。

由於潮位站受到各種外在因素影響，時常會有資料缺漏的情況發生。為了使調和分析結果趨近於真實情況，本研究針對投入計算的潮位站資料設定了篩選條件，將資料產出率在80%以上，且擁有2011年潮位資料的潮位站列入主要分析對象。氣象局34個潮位測站經過篩選後，共有13個測站符合條件，分別為淡水、基隆、龍洞、福隆、烏石、後壁湖、將軍、塹港、東石、蘭嶼、小琉球、澎湖、台北港等13個測站，其位置圖如圖2-2所示。

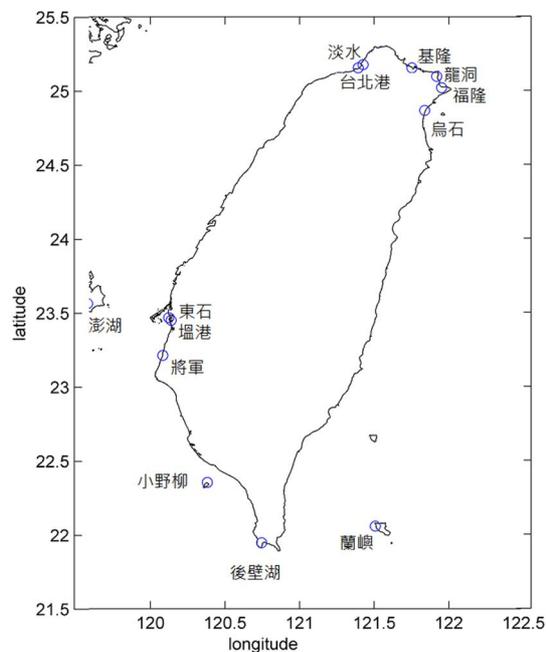


圖 2-2，調和分析所採用之潮位站位置圖。

實際潮位測站所測得之水位高度，與經由調和分析獲得之預報潮水位高度相減後，即可獲得潮位偏差 (ΔH)，經由式2-3計算，可得到每筆資料在該時間點的標準積分 ΔS ，此即為判斷暴潮是否發生與發生強度之重要數據。圖2-3至2-15即為該13個潮位站之標準積分(ΔS)之時間序列圖，每一圖中縱軸為 ΔS 值，橫軸為時間(日期)，黑色直線為颱風侵台期間之區隔，綠色橫線為 $\Delta S=0$ 之基準線，紅色橫線為 $\Delta S=2.5$ 之弱暴潮界線，紫色橫線為 $\Delta S=3$ 之暴潮界線。

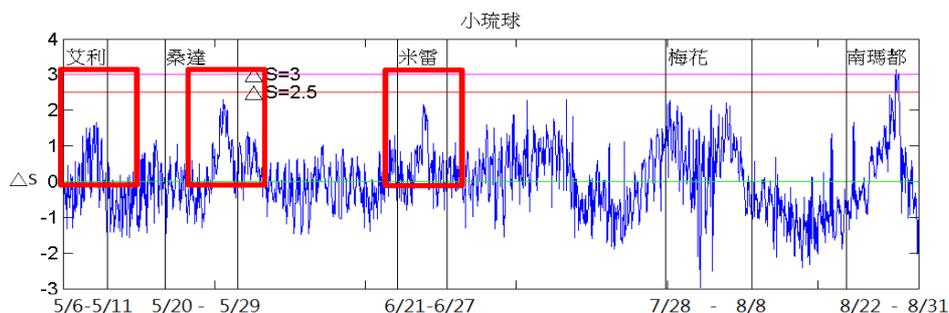


圖 2-3、小琉球測站標準積分(ΔS)時間序列圖

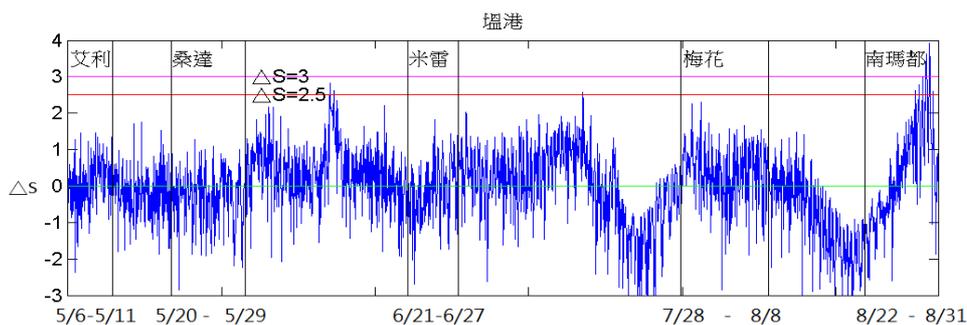


圖 2-4、塹港測站標準積分(ΔS)時間序列圖

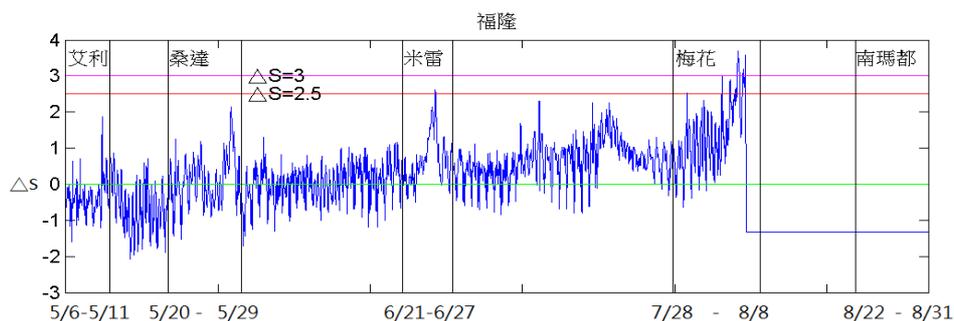


圖 2-5、福隆測站標準積分(ΔS)時間序列圖

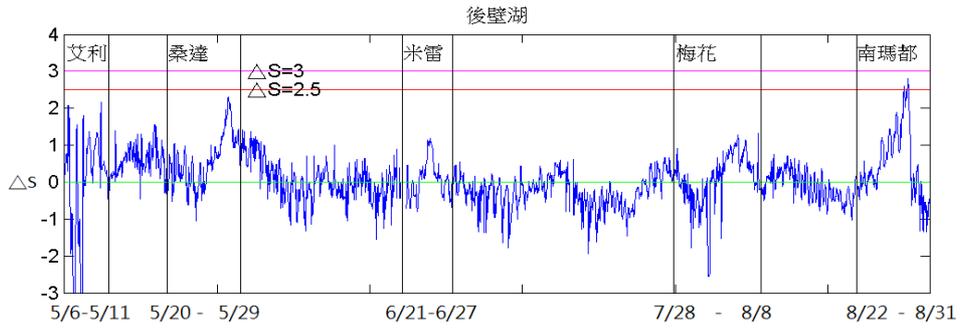


圖 2-6、後壁湖測站標準積分(ΔS)時間序列圖

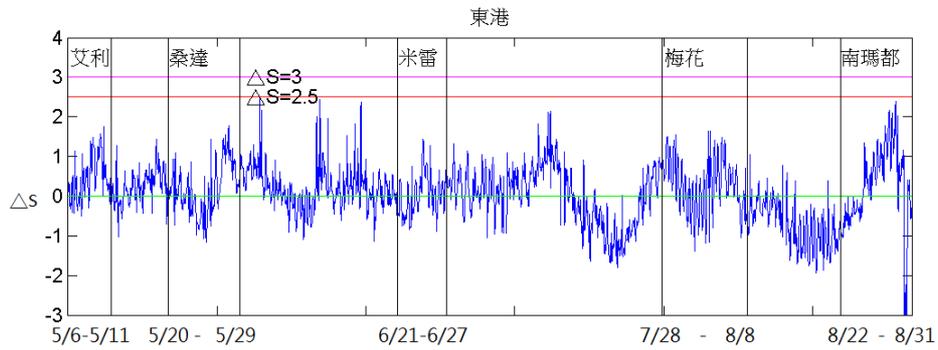


圖 2-7、東港測站標準積分(ΔS)時間序列圖

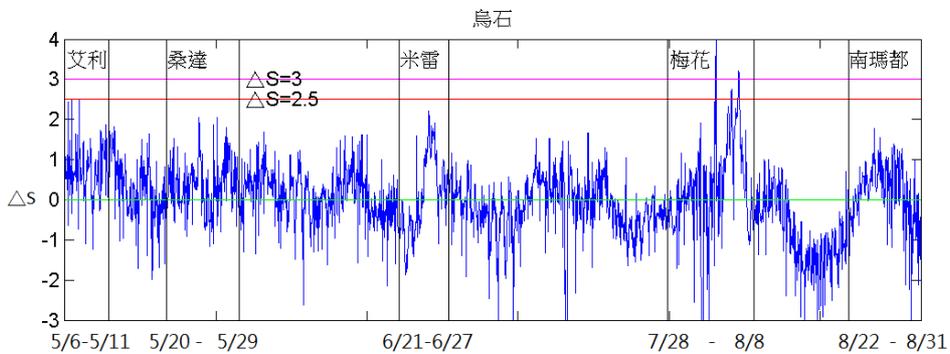


圖 2-8、東港測站標準積分(ΔS)時間序列圖

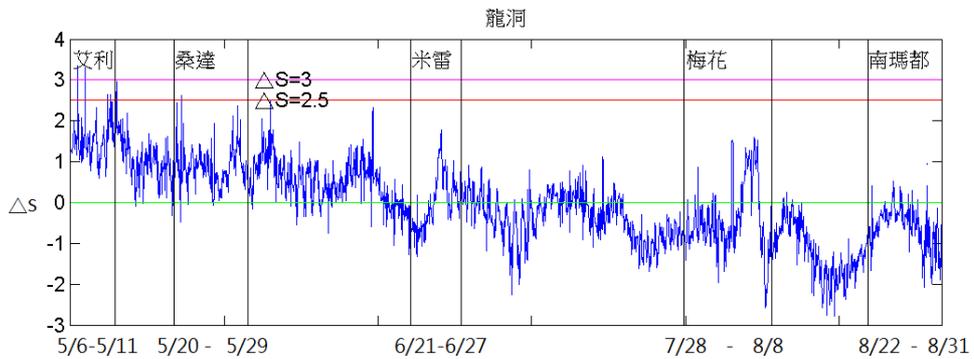


圖 2-9、龍洞測站標準積分(ΔS)時間序列圖

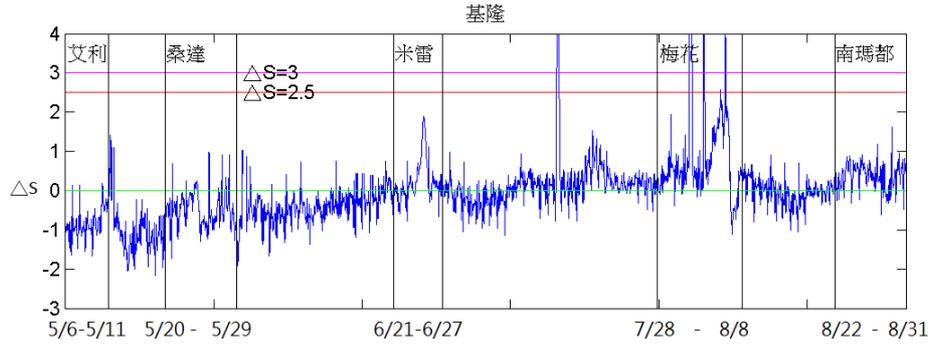


圖 2-10、基隆測站標準積分(ΔS)時間序列圖

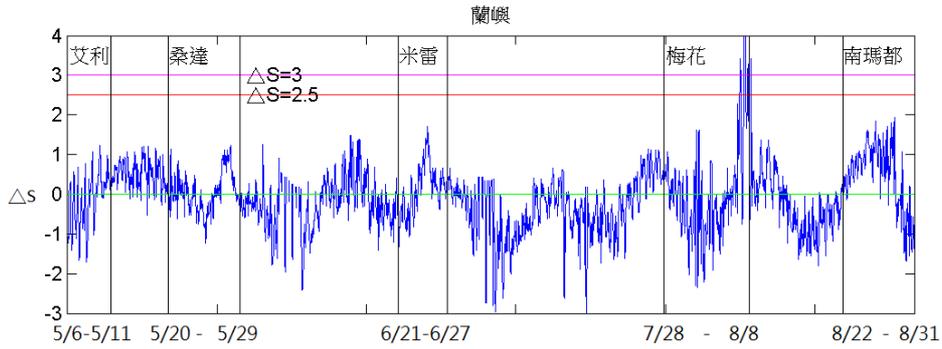


圖 2-11、蘭嶼測站標準積分(ΔS)時間序列圖

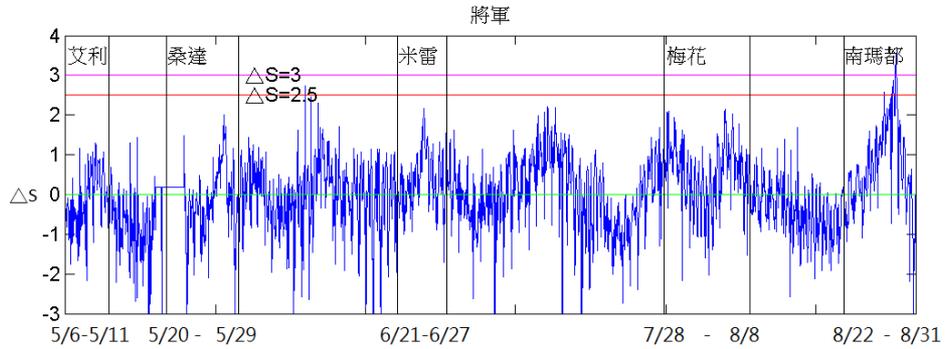


圖 2-12、將軍測站標準積分(ΔS)時間序列圖

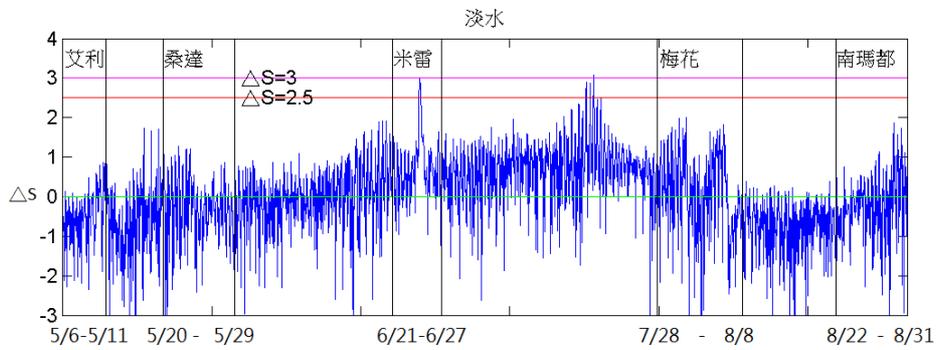


圖 2-13、淡水測站標準積分(ΔS)時間序列圖

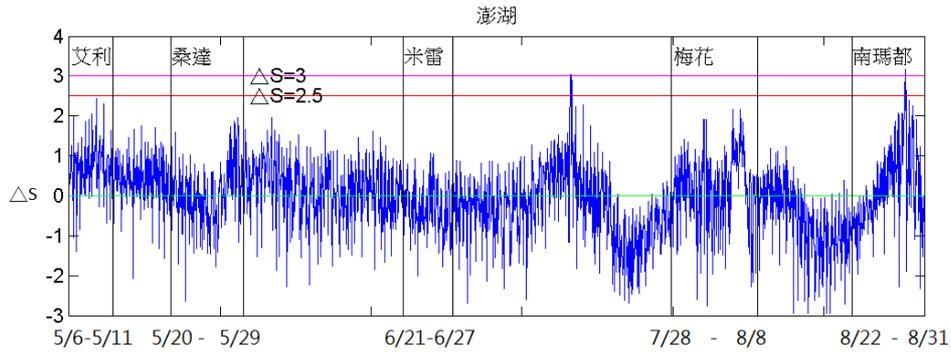


圖 2-14、澎湖測站標準積分(ΔS)時間序列圖

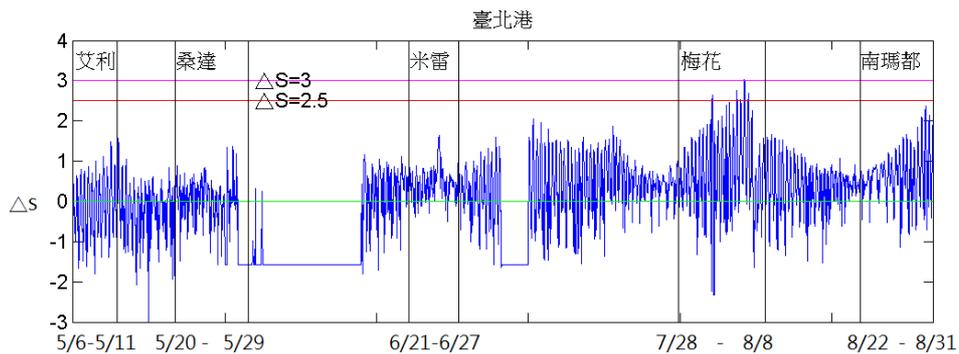


圖 2-15、台北港測站標準積分(ΔS)時間序列圖

根據圖2-6至圖2-15可見，在颱風期間，大多數測站的 ΔS 值均有向上攀升的趨勢，以小琉球測站為例，可見在艾利、米雷、桑達等颱風侵台期間， ΔS 值均出現一峰值(紅色框線框起處)，代表該時段的水位均出現異常增高的現象，但並未到達暴潮定義之標準($\Delta S=2.5$)，其因為艾利、桑達、米雷颱風的路徑均歸類為6號路線(圖1-1)，行進路線為自南往北前進，均從台灣東岸略過，由表2-1可見颱風發生時機均在小潮或平潮時期，故水位雖然有異常升高，但並未到達暴潮門檻，故可判定沒有暴潮現象發生。但米雷颱風過境期間，小琉球、後壁湖、烏石、基隆、蘭嶼、將軍、龍洞、淡水等測站均紀錄到明顯得水位異常升高現象，雖然未達暴潮標準，但水位的提升狀況卻比艾利颱風和桑達颱風過境時明顯。此一現象可從米雷颱風的路徑看出端倪。在離開影響台灣的範圍後，米雷颱風並非像艾利颱風與桑達颱風朝東北方向行進，而是朝正北行進，其前進路線所造成的海水推移量，較艾利颱風與桑達颱風要多，即使強度桑達颱風較小，但造成之影響卻較大。

在南瑪都颱風侵台期間，小琉球、塭港、將軍、後壁湖、澎湖等測站都出現 ΔS 值大於2.5的情況，甚至到達3以上，由表2-1可見南瑪都颱風侵台期間的潮汐週期適逢大潮，因此加劇了暴潮的現象，此外，南瑪都颱風的登台路徑為自台灣東南登陸，西南海出海的4號路線(圖1-1)，因此紀錄到明確暴潮現象的測站以台灣南部的測站為主，北部的龍洞、基隆、淡水、台北港等測站則無明顯暴潮現象。

梅花颱風的路徑為自台灣東部往西北部移動，靠近台灣時的路徑較1號路線

為相似(圖1-1)，因此福隆、烏石、龍洞、基隆與台北港等測站均紀錄到水位異常抬升的現象，但因颱風距離台灣較遠，且適逢小潮，因此大多數北部測站的 ΔS 值，都還在暴潮標準以下，唯獨龍洞測站出現 ΔS 大於3的暴潮現象，之後則因疑似潮位站故障而沒有後續資料。

三、 結論與建議

根據本研究所分析的五個颱風案例，可初步歸納出容易引發暴潮的條件如下：

(1) 颱風路徑，當颱風行進路徑為朝向台灣前來，即使颱風強度為輕颱，仍可造成弱暴潮(梅花)。

(2) 潮汐週期，當颱風侵台期間適逢大潮，則會加重暴潮之程度(南瑪都)。

以調和分析計算標準積分 ΔS 的暴潮判定法，能夠有效判別暴潮是否發生，配合颱風路徑與潮汐週期，即能匯集並整合暴潮發生之條件，對於往後的暴潮預測研究能夠提供重要幫助。

參考文獻

1. 郭裕農，2011，”應用 Hilbert-Huang Transform 分析颱風暴潮之研究”，交通部高雄港務局研究成果報告
2. 李芳君、許榮中，2011，“斜向颱風巨浪作用下海岸緩衝帶寬度的預估”，第33屆海洋工程研討會論文集
3. 邱銘達、高家俊、馮智源、江俊儒，2006，”颱風暴潮數值推算準確度提升之研究”，第28屆海洋工程研討會論文集
4. 張國棟、邱啟敏、張國強、董東璟、陳惠玲，”台灣暴潮與颱風的迴歸分析”台灣海洋工程學會
5. 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
6. Eastcoast, 2001, “A Tidal Constituent Database for Western North Atlantic, Gulf of Mexico, and Caribbean Sea”