

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 地球科學科

第三名

040504

豈知潮無信—探討臺灣西南海域颱風暴潮關係

學校名稱：國立嘉義女子高級中學

作者： 高二 劉宛昕 高二 莊玉瑄	指導老師： 劉乃菁 劉宏二
-------------------------	---------------------

關鍵詞：暴潮、颱風、台灣西南海域

豈知潮無信－

探討台灣西南海域颱風暴潮關係

作品摘要

本研究選取兩種最易導致暴潮之颱風路徑（南北向及穿越型），共四個颱風時期的潮位及氣象資料進行分析，結果顯示暴潮有空間上的傳遞性及對氣壓反應的延遲性，以數學工具及物理原理建立網格模式探討流體的運動，再和觀測潮位比較。結論如下：

- 一、暴潮具有空間傳遞性，與颱風路徑、風場結構、地形有關。
- 二、暴潮亦具時間延遲性，且穿越型颱風易造成台灣西部沿岸潮流堆高。
- 三、建立的模式能簡化流體運動並探討因氣壓差導致的海面高度變化。
- 四、建立的模式可印證實際觀測到的潮位，穿越型颱風在水位未達平衡前颱風已移動，故各測站呈現明顯的延遲；南北向颱風水位平衡時颱風才移動故影響潮位的主要因素為氣壓，且切過邊緣的長水溝模式較符合觀測結果。

壹、研究動機

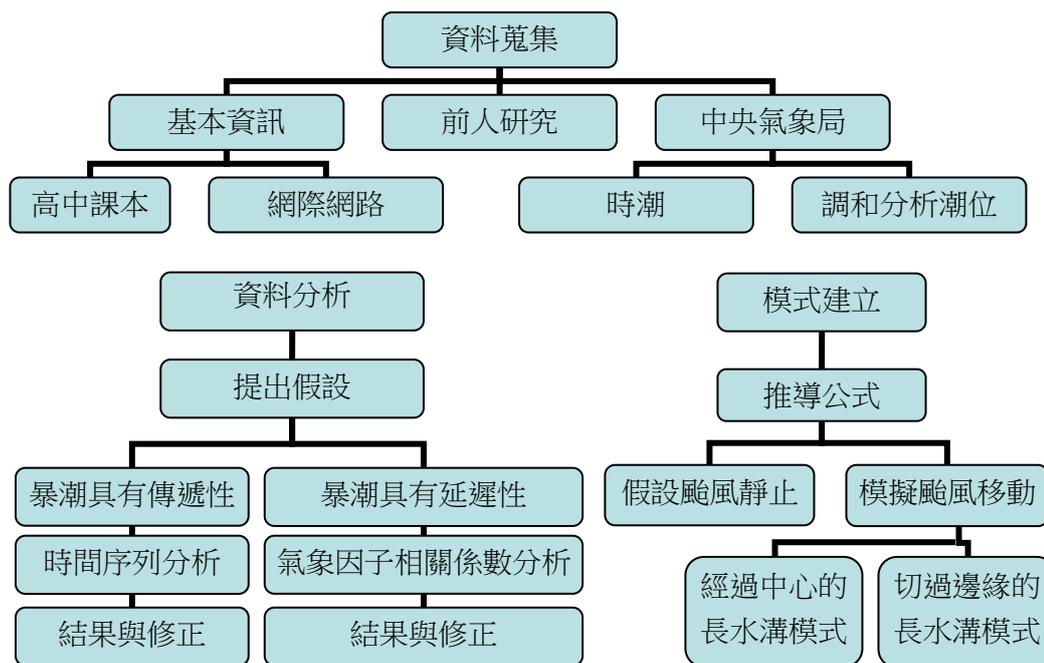
潮位的升降具有規律性，於是唐朝李益〈江南曲〉裡的名句：「早知潮有信，嫁與弄潮兒。」然而颱風過境期間卻經常出現「無信」的暴潮，短時間內潮位異常上升。此現象對海上航行的船隻和海岸邊活動的民眾都會造成潛在的危險，所以我們想藉由找出暴潮的特性，進而思考是否有較為平易的方法能預估暴潮來臨的時間範圍。有鑑於國內暴潮研究多為東部海岸，且已建立良好模式，西南海案的研究相當缺乏，西南部近海的地區受暴潮影響尤劇，我們決定從與我們切身相關的台灣西南海域著手進行研究。

貳、研究目的

- 一、文獻蒐集與探討。
- 二、暴潮特性分析。
- 三、分析潮位資料，了解暴潮發生的時間及強度並探討暴潮是否存在傳遞性。
- 四、探討氣象因子所引發的暴潮延遲性。
- 五、建立簡化之氣壓結構的颱風模式。
- 六、將建立之颱風模式修改颱風移動條件參數作逐時水位分析，與「研究目的三」、「研究目的四、」所得之趨勢相比較。

參、研究設備及器材

- 一、電腦及網際網路
- 二、統計分析軟體Microsoft Office Excel
- 三、中央氣象局颱風資料庫
- 四、中央氣象局海象中心台中港、麥寮港、箔仔寮港、東石港、將軍港、永安港（2008~2010）逐時潮位及調和分析潮位
- 五、中央氣象局氣象資料



一、文獻蒐集與探討：

(一) 名詞解釋

1. 潮汐現象

引起潮汐有諸多因素，包括天體引力、地球公轉及自轉、氣象變化等，但最主要的為太陰與太陽的引潮力，其中又以月球為最大。引潮力作用使海水產生週期性的升降，這種垂直向運動稱為潮汐。潮汐現象依其組成分潮之不同，可分為太陰潮、太陽潮、倍潮、複合潮及氣象潮等。若依週期來區分，則有全日潮、半日潮及混合潮等之別。

2. 颱風暴潮

颱風暴潮是由於颱風引起的氣壓與風場變化而產生水位異常變化的現象，包括因颱風中心之低氣壓所吸起的水位上升以及作用於水體表面之風剪應力所產生的水位上升。（圖1、2）

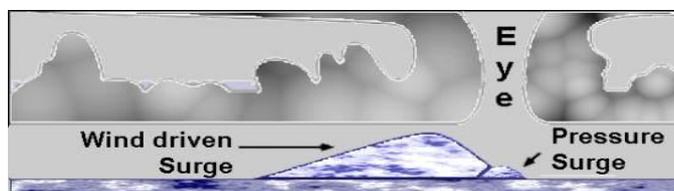


圖1：造成暴潮因素示意圖

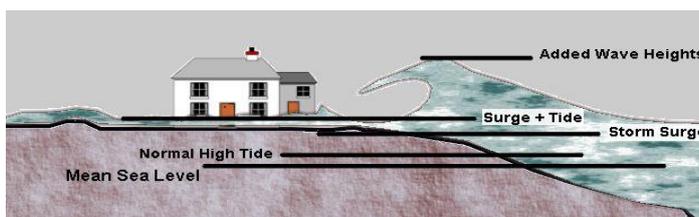


圖2：異常潮位示意圖

3.調和分析

調和分析認為潮位現象是由許多不同振幅和週期的分潮所組成，每一組分潮為簡單的時間調和函數，各由特定引力所造成，藉由帶入已有的觀測潮位資料，便可得到該地點的潮汐預測方程式。

(二) 前人研究

國內對暴潮的研究主要分為暴潮數值模擬及暴潮統計分析二類，在此以參考後者的相關研究為主。

1. 徐月娟(1998)從民國83年至86年侵台的颱風中，依據颱風生成位置及路徑，探討颱風對海水位升高的情形，指出暴潮水位高低受颱風本身的大小、強度、移動路徑及地形等因素影響。
2. 鄭允翔(2003)則以颱風特性為因子進行迴歸分析，得出暴潮偏差主要受颱風中心氣壓、風速、暴風半徑、測站與颱風距離的影響，但所提出的經驗模式，東部的適用較西南部為佳。
3. 吳誌翰(2004)著重探討氣壓與風剪應力二種驅動力對暴潮水位的效應，結果顯示依據中央氣象局對颱風侵襲台灣的路徑分類，第二、三、四路徑因氣壓效應，在颱風中心附近造成最大的暴潮偏差。
4. 在國內科展方面，第四十七屆的國中組作品風起「潮」湧，以東石測站為例探討颱風與暴潮的關係，得知該測站對路徑 3、4、7、9 的颱風反應最大，且當標準差 > 3 時可將其視為出現暴潮。

二、暴潮特性分析：

分析潮位資料，了解暴潮發生的時間及強度並探討暴潮的傳遞性

- (一) 在台灣西南部選定間隔距離較相近的六個潮位站，由南而北依次為永安港、將軍港、東石港、箔仔寮港、麥寮港與台中港。(圖 3)

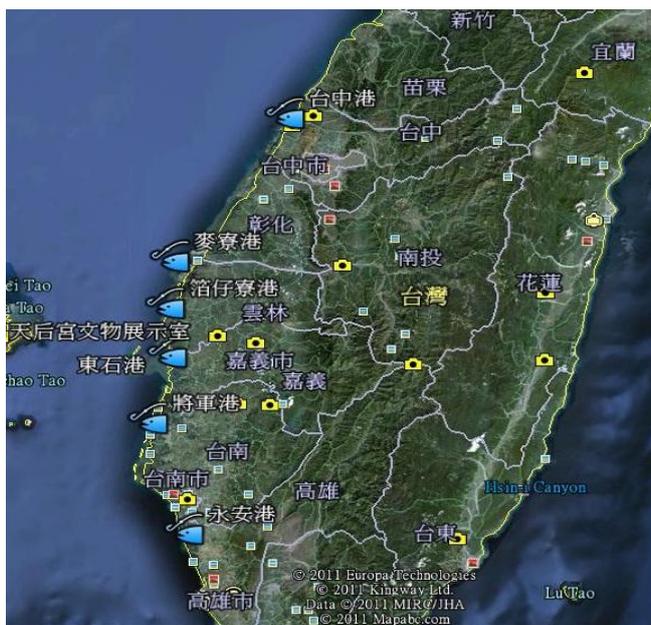
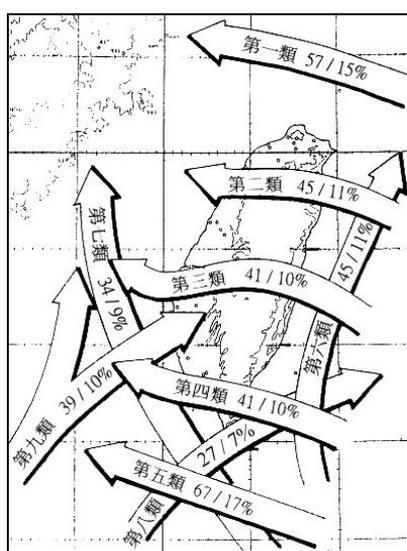


圖3：研究範圍

- (二) 在太陽、月球等星球引力作用下的天文潮潮位呈現週期性變化，所得潮位稱為調和分析潮位，但除了重力的影響外，強烈的大氣擾動及氣壓變化抑會造成水面異常的升降。這些其他因素所引發的異常水位（以下簡稱暴潮偏差 ΔH ），可由實際觀測潮位（ H ）扣除調和分析潮位（ H_0 ），即 $\Delta H = H - H_0$ 得到。
- (三) 整理由海象中心所提供的逐時潮位分析及調和分析潮位，求出暴潮偏差，並計算各個暴潮偏差的標準計分，定義為暴潮強度。其中標準計分 $\Delta S = (\text{暴潮偏差} \Delta H - \text{平均} \Delta H) / \text{標準差}$ 。
- (四) 將暴潮強度做13小時的移動平均後，視連續的正暴潮偏差為暴潮訊號。
- (五) 根據前人研究，路徑3、4、7、9之颱風發生暴潮機率較高，由於選定西南部測站為研究範圍，期待六站皆有暴潮反應，故以南往北型路徑7、9為優先考量，但受限中央氣象局的調和分析潮位資料保存期限，近五年符合條件者僅蓮花(2009)與梅姬颱風(2010)，於是又加入路徑分別為3、4的鳳凰(2008)與凡那比(2010)颱風作為對照組，限於人力與時間因素，且以這四次颱風來臨的月份進行潮位分析。（颱風路徑：參考圖4）



- 第1類：通過台灣北部海面向西或西北進行
- 第2類：通過台灣北部向西或西北進行
- 第3類：通過台灣中部向西或西北進行
- 第4類：通過台灣南部向西或西北進行
- 第5類：通過台灣南部海面向西或西北進行
- 第6類：沿台灣東岸或東部海面北上
- 第7類：沿台灣西岸或台灣海峽北上
- 第8類：通過台灣南部海面向東或東北進行
- 第9類：通過台灣南部向東或東北進行

圖4：颱風路徑分類圖

- (六) 以時間序列分析暴潮強度隨測站距離的變化，探討暴潮是否存在傳遞性
1. 擷取六站颱風警報發布到解除其間，暴潮強度資料時間序列分析。

表1：颱風基本資料

	鳳凰	蓮花	凡那比	梅姬
警報開始	2008072610	2009061920	2010091805	2010102024
警報解除	2008072912	2009062208	2010092014	2010102323
時數(hr)	75	61	58	72
基準站	台中站	永安站	將軍站	永安站

2. 以位於最南的永安港為基準，往北每隔一站向上平移 0.5 個強度單位，並以 0、0.5、1、1.5、2、2.5 個強度單位為六站之基準線，藉此標準化六站之南北相對位置。

3. 為探討暴潮傳遞性，以下列二種方法選取暴潮強度曲線上之對應點：

方法一：暴潮強度變化量最大點

由於暴潮來臨時海水大量流入，會造成單位時間暴潮強度變化量突增，又因資料皆是以一小時為單位，故以暴潮強度資料後一筆減去前一筆為斜率，取颱風警報期間內六站曲線之斜率最大點。

方法二：暴潮強度最高點

依時間作出暴潮強度折線圖，再分別取六站曲線之最高點。

三、探討氣象因子所引發的暴潮延遲性

(一) 為討論外在因子對潮位反應的影響，向中央氣象局申請所選取颱風的月份的氣象站資料。氣象站的選擇為與潮位站最接近之人工氣象站，由於沒有雲林、彰化地區的人工氣象站，故箔仔寮港和麥寮港以兩者到嘉義站與台中站之距離分別進行內插。根據前人的研究，氣壓和風場為重要影響因子，因此選取氣象資料中的氣壓、平均風速、最大風速以及陣風之數據進行分析，其中缺乏2008年度的陣風資料。

表2：海象測站與對應的氣象測站

	永安港	將軍港	東石港	箔仔寮港	麥寮港	台中港
對應測站	高雄	台南	嘉義	(內插)	(內插)	台中

(二) 由結果二所得的各站暴潮強度判讀最先達潮位最高點的測站，以此最高點對應的時間為中央點，前後各取36hr的暴潮強度。固定此暴潮強度，將氣壓取相同的時段，兩者進行散布相關性分析，定所得數值為延遲時間 0 小時的相關係數。再逐一平移氣壓的時段，得延遲 -36 至36小時的相關係數。另三個氣象因子也採同樣方法分析。

(三) 將平移時間所得的各個相關係數值做折線圖並判讀暴潮強度與氣象因素最大相關性的延遲時數。

(四) 分析折線圖的分布，加入其他因素作修正和解讀。

四、建立氣壓結構呈高斯分布的颱風模式

(一) 建立每個相距20km的49 × 49網格。設颱風的氣壓符合高斯分布，且氣壓低於 1000hpa 的範圍視為颱風的大小。以蓮花颱風的中心氣壓980hpa，和利用 7 級風暴風半徑 150km 所計算出的標準差 117，據以得到常態分配的機率密度函數，再建構出網格的氣壓差分布。

(二) 只考慮氣壓差值和流體的黏滯的情況下推導出公式，以求出上升的水位高度：

首先假設在一表面壓力為一大氣壓的靜止海平面上產生一低壓 P ，使水面升高 h 則

$$P_0 - P = \rho gh \dots\dots\dots (1)$$

其中 P_0 為一大氣壓 = 1013hpa

ρ 為海水密度 = $1.02\text{g/cm}^3 = 1020\text{kg/m}^3$

g 為重力加速度 = 9.8m/s^2

位能差造成海水流動，考慮一長寬皆為 d ，有效高度為 d' 之水體，壓力差造成的加速度為 a 則

$$(P - P_0) \times A = ma$$

$$a = \frac{\Delta P}{\rho d'}$$

$$(A = d^2, m = \rho d^2 d', \Delta P = P - P_0)$$

以因次分析求出流動速度 v 與加速度為 a 之間的關係式為

$$F = k \rho v^2 A \quad (\text{因次為 } \text{MLT}^{-2}, k \text{ 為黏滯係數})$$

$$a = \frac{k \rho v^2 A}{m}$$

結合上述兩步驟的加速度 a 可得流動速度與壓力差的關係式為

$$\frac{\Delta P}{\rho d'} = \frac{k \rho v^2 A}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{\Delta P}{k \rho}} \dots\dots\dots (2)$$

單位時間內流過單位面積（有效海水深度 d' × 水體底面積的邊長 d ）的水量使水位上升的高度 Δh 與流動速度 v 之關係式為

$$\Delta h \times A = v \times A' \times \Delta t \dots\dots\dots (3)$$

$$(A = d^2, A' = d' \times d)$$

再以水位上升 Δh 後新高度差 $h - \Delta h$ 代入關係式 (1) 得到新壓力差，再代入關係式 (2) 得到新速度後代入關係式 (3)，又得到下一個單位時間的高度差，以此類推。當高度差為 0 時代表已達平衡水位。（令有效海水深度 $d' = 1\text{km}$ ，水體底面積的邊長 $d = 20\text{km}$ ）

五、颱風的靜止及移動：將建立之颱風模式修改颱風移動條件參數作逐時水位分析，與一、二所得之趨勢相比較

(一) 首先探討颱風為靜止時，在氣壓沒有移動的情況下各網格的水位變化。接著在水位到達平衡後，考慮颱風的移動，在不考慮 k 值的情況下，尋

找颱風移動的時間尺度。以颱風移動速度（經計算平均約為10km/hr）將氣壓差分布內插進行調整，得到南北向颱風（路徑 7、9）移動時的逐時水位變化。

（二）最初利用切過氣壓差高斯分布對稱軸的數值做出經過中心的長水溝模式，但考慮到蓮花颱風的中心實際上並未經過我們所研究的測站，另計算颱風中心和測站的東西向距離，切下對應的氣壓差分布連線，以建立出切過邊緣的長水溝模式。

（三）將兩種模式與實際強度趨勢進行比較

伍、結果與討論

由前人研究顯示颱風之路徑及氣象因素和暴潮強度有關，但對於暴潮在一維空間的傳遞性和暴潮的延遲性並無進一步的探討，故針對暴潮特性分析的結果進行討論：

一、分析潮位資料，了解暴潮發生的時間及強度並探討暴潮的傳遞性：

（一）找出六站於颱風來臨期間與暴潮相關的數值

表3：各站暴潮資料概述

颱風名稱	路徑分類	總時數	發生暴潮時數		強度
鳳凰	3	36	永安港	0	中
			將軍港	6	
			東石港	8	
			箔仔寮港	9	
			麥寮港	4	
			台中港	9	
蓮花	9	47	永安港	11	輕
			將軍港	10	
			東石港	13	
			箔仔寮港	10	
			麥寮港	3	
			台中港	0	
凡那比	4	17	永安港	3	中
			將軍港	3	
			東石港	5	
			箔仔寮港	6	
			麥寮港	0	
			台中港	0	
梅姬	9	39	永安港	11	中
			將軍港	4	
			東石港	18	
			箔仔寮港	(無)	
			麥寮港	6	
			台中港	0	

暴潮時數隨颱風路徑及颱風強度而不同，但選取之颱風個案太少，無法針對這兩個因素對暴潮發生時數作相關分析。

(二) 整理本研究的潮位資料後，做出各個標準差之內的數目（表 4），繪製折線圖（圖 5），顯示分布近於常態分布。

表 4：暴潮強度統計分配表

暴潮強度	資料筆數	所佔比例(%)
$\Delta S \geq 3$	89	0.64
$3 > \Delta S \geq 2$	260	1.86
$2 > \Delta S \geq 1$	948	6.80
$1 > \Delta S \geq 0$	4584	32.87
$0 > \Delta S \geq -1$	7329	52.56
$-1 > \Delta S \geq -2$	691	4.96
$-2 > \Delta S \geq -3$	43	0.31
$-3 > \Delta S$	0	0
總和	13944	100

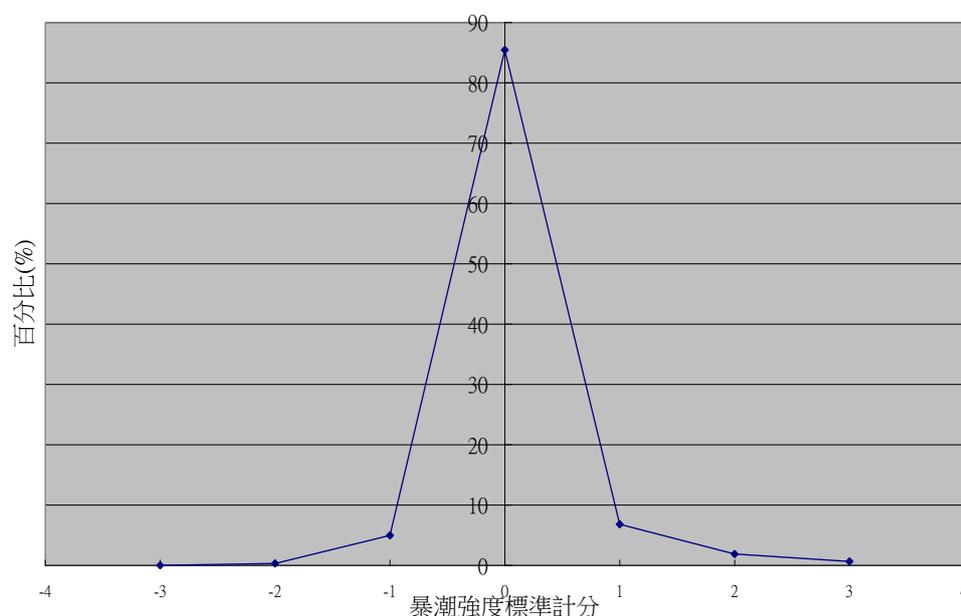


圖5：暴潮強度統計分布圖

移動平均後的暴潮強度其分布為常態分佈，在常態分佈上，標準計分在-3和3之間的值約佔 99.7%，在此範圍外的值可視為異常處理，故定大於三個標準差者為暴潮。但考慮到移動平均過後的暴潮強度有減弱的情況，無法反映實際的潮位數值以定義出暴潮，故將連續的正偏差也視為暴潮的發生。

(三) 各測站2008~2010年的潮位平均（表 5）及標準差（表 6）分析結果發現，每年調和分析潮位與實測潮位的基準點有變化，且南部二站永安、將軍測站在潮位平均及標準差上有低於北部測站的現象。

表 5：各測站 2008-2010 年平均暴潮偏差統計敘述

潮位測站	2008年平均 暴潮偏差(mm)	2009年平均 暴潮偏差(mm)	2010年平均 暴潮偏差(mm)
永安	355.59	359.35	329.76
將軍	356.39	368.59	400.63
東石	437.47	461.52	611.75
箔仔寮	455.87	479.97	529.70
麥寮	355.34	357.94	361.86
台中	70.37	91.04	217.63

表 6：各測站 2008-2010 年標準差統計敘述

潮位測站	08年標準差(mm)	09年標準差(mm)	10年標準差(mm)
永安	73.88	60.51	66.38
將軍	71.57	66.86	81.35
東石	135.96	110.20	117.39
箔仔寮	126.25	93.56	98.12
麥寮	129.10	100.44	124.48

為因應基準點的變化，以各站各年份為單位進行修正，求出不同年份的平均暴潮偏差及標準差，再進行暴潮偏差數值的調整。

將暴潮強度進行時間序列分析時，發現非颱風警報期間，麥寮港、箔仔寮港、台中港經計算後的暴潮強度皆出現不合理的震盪，根據參考文獻得知，中南部海域多為半日潮，為不影響判讀，將暴潮強度進行13小時移動平均處理。

(四) 將暴潮強度進行時間序列分析，探討各測站間暴潮是否存在傳遞性

◎鳳凰颱風(2008)：

1. 由暴潮強度變化量最大點進行探討

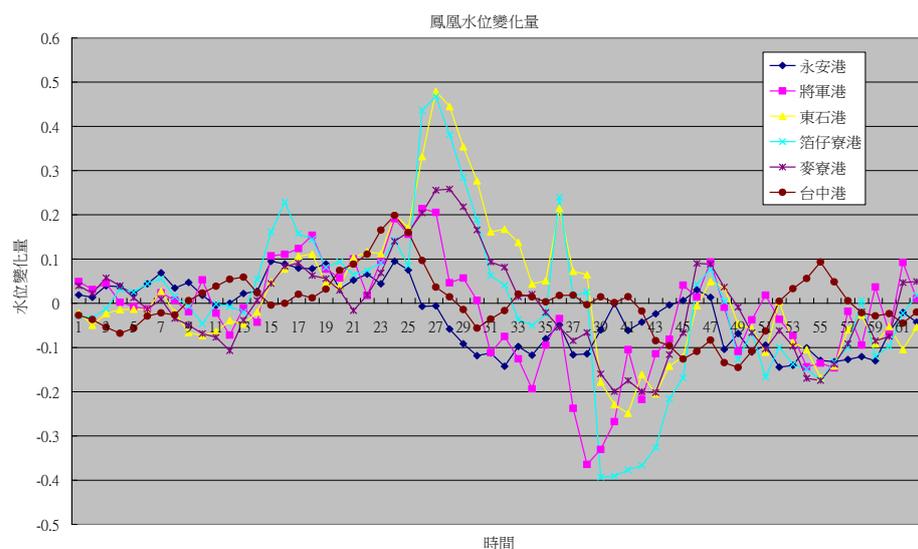


圖 6：鳳凰颱風警報期間六站暴潮強度變化量時間序列分析

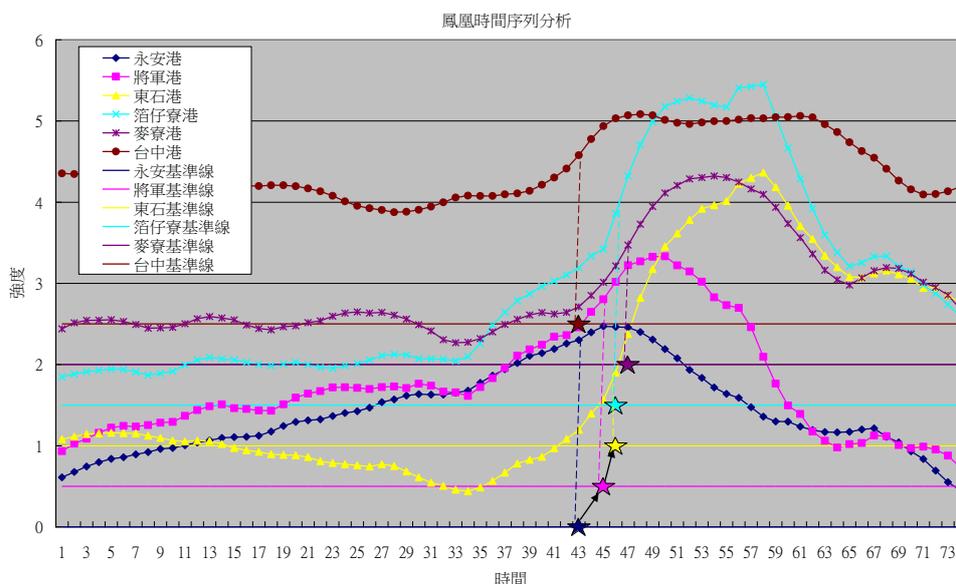


圖 7：鳳凰颱風警報期間六站暴潮強度時間序列分析
 (註：標記部分為暴潮強度變化量最大點)

鳳凰颱風的路徑分類屬於第3類，其基準站為台中港，由圖7可知，若以暴潮強度變化量最大點推斷暴潮起始時間，台中港與永安港最早發生反應之測站，由永安港開始往北至東石港有明顯的傳遞，而北部較不具傳遞趨勢。由暴潮強度變化量折線圖可觀察到東石港與箔仔寮港潮位有堆高的現象，與時間序列相對應，可推測海水在鳳凰颱風過境期間是由南北兩端往中部集中，故造成東石港與箔仔寮港相較於其他測站暴潮強度變化大且暴潮來臨時間晚。

2. 由暴潮強度最高點進行探討

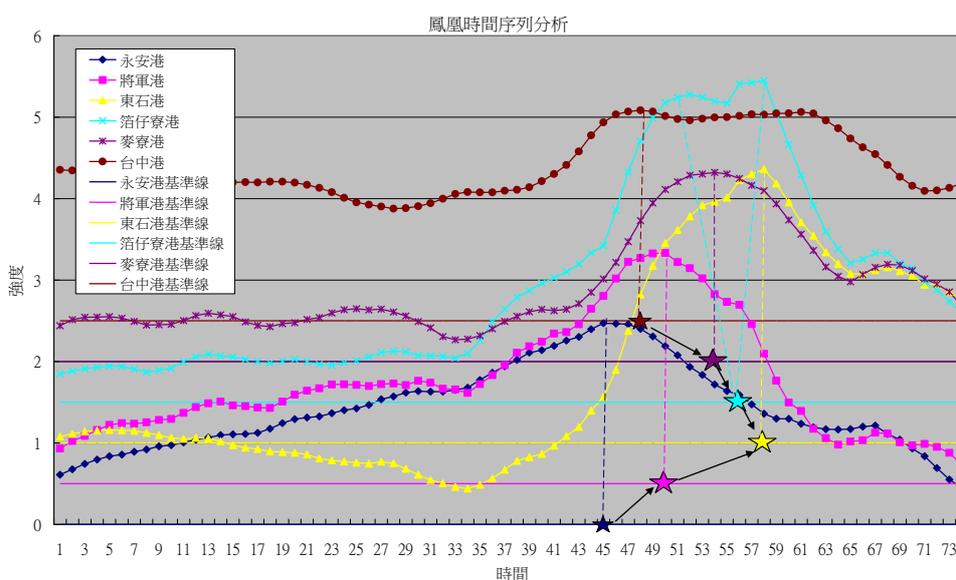


圖 8：鳳凰颱風警報期間六站暴潮強度時間序列分析
 (註：標記部分為暴潮強度最大點)

若以暴潮強度最高點比較暴潮來臨時間，可發現兩路明顯的傳遞，一為由北而南：台中港→麥寮港→箔仔寮港→東石港，一則由南而北：永安港→將軍港→東石港。海水由兩端往中間集中，最終會合於東石港，方法二所得結果與方法一之推論大致相符且更易看出其傳遞路線。

◎蓮花颱風（2009）：

1. 由暴潮強度變化量最大點進行探討

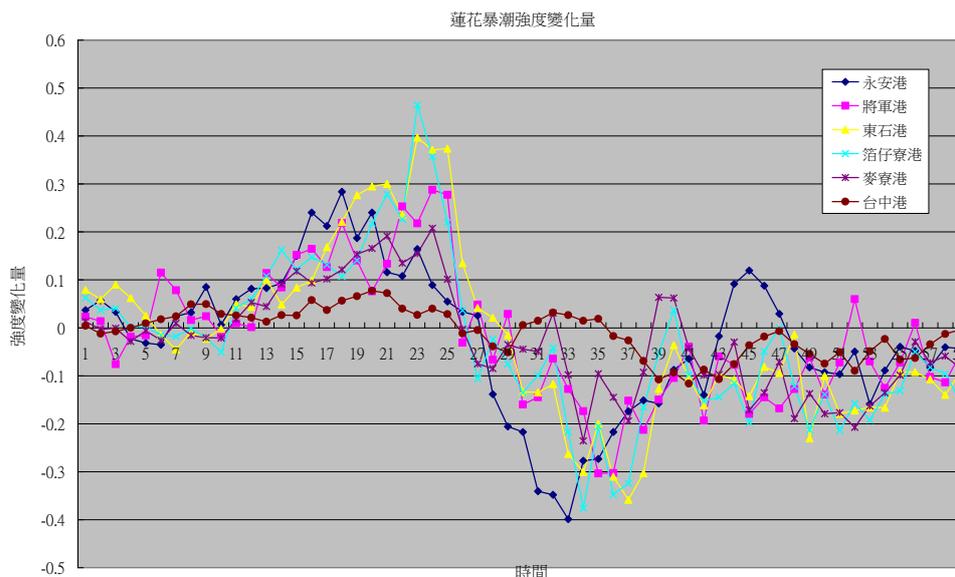


圖 9：蓮花颱風警報期間六站暴潮強度變化量時間序列分析

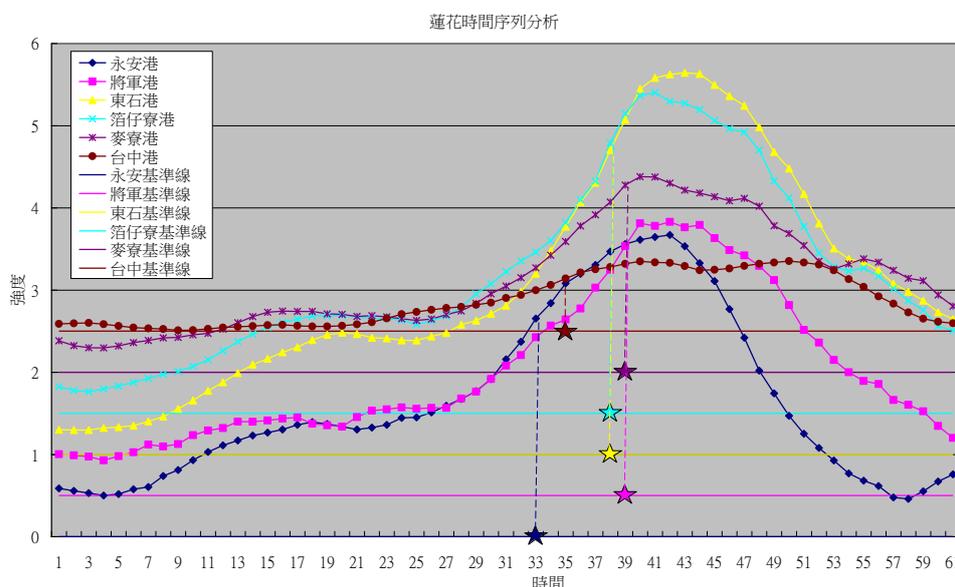


圖10：蓮花颱風警報期間六站暴潮強度時間序列分析
（註：標記部分為暴潮強度變化量最大點）

蓮花颱風的路徑分類屬於第9類，其基準站為永安港，由圖10可發現箔仔寮與東石暴潮強度變化量最大，以暴潮強度變化量最大點比

較，雖不見測站間有明顯時序關係，仍可看出永安港最先產生反應。

2. 由暴潮強度最高點進行探討

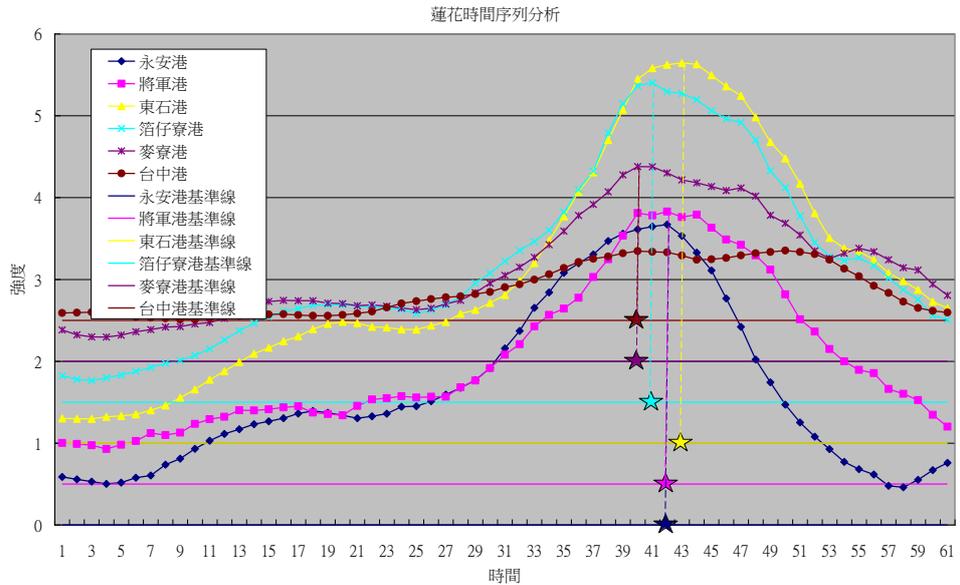


圖11：蓮花颱風警報期間六站暴潮強度時間序列分析
(註：標記部分為暴潮強度最大點)

台中港的暴潮強度對蓮花颱風並沒有顯著反應，若以暴潮強度最高點觀察，除了永安港與將軍港之間可見些微傳遞性，其餘測站的暴潮發生時間約略有一致性。另外，在暴潮發生前亦可觀察到一波水位上升的趨勢。

◎凡那比颱風（2010）：

分析凡那比颱風所得知結果，發現暴潮強度與強度變化皆有兩波明顯隆起，推論是颱風造成的風切流使測站先有第一次的暴潮反應，颱風接近測站後造成的氣壓降低使測站有第二次的暴潮反應。

1. 由暴潮強度變化量最大點進行探討

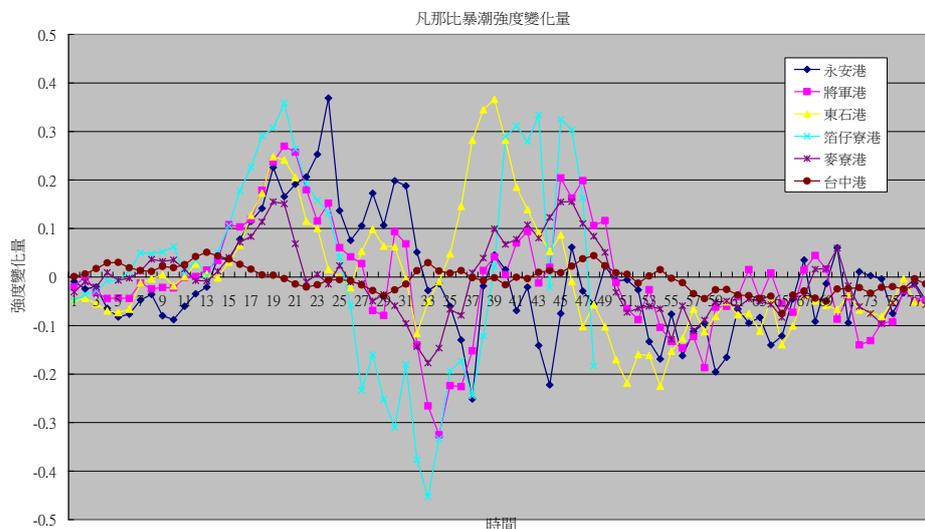


圖12：凡那比颱風警報期間六站暴潮強度變化量時間序列分析

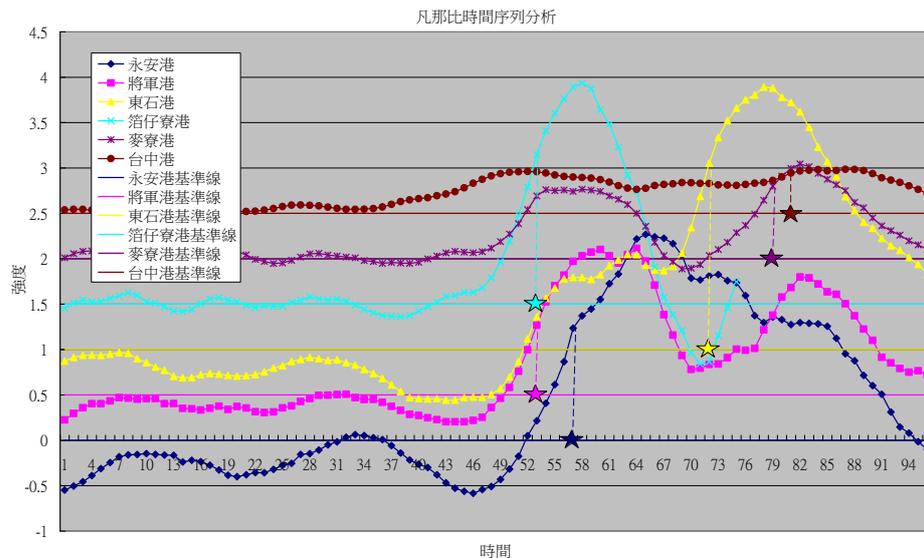


圖13：凡那比颱風警報期間六站暴潮強度時間序列分析

(註：標記部分為暴潮強度變化量最大點)

凡那比颱風的路徑分類屬於第4類，其基準站為將軍港，由圖12與圖13可發現除永安港外，其餘測站皆可觀察到兩次暴潮現象。雖箔仔寮港部分數據不完整，但仍可推斷有第二波暴潮存在。由暴潮強度變化量最大點比較，第一波大致呈現由北往南傳遞，將軍港與永安港間尤為明顯。第二波則以東石港為先驅，沒有明顯的傳遞方向。暴潮強度變化量圖同時也顯現兩波之間有一段水位驟降再陡升。

2. 由暴潮強度最高點進行探討

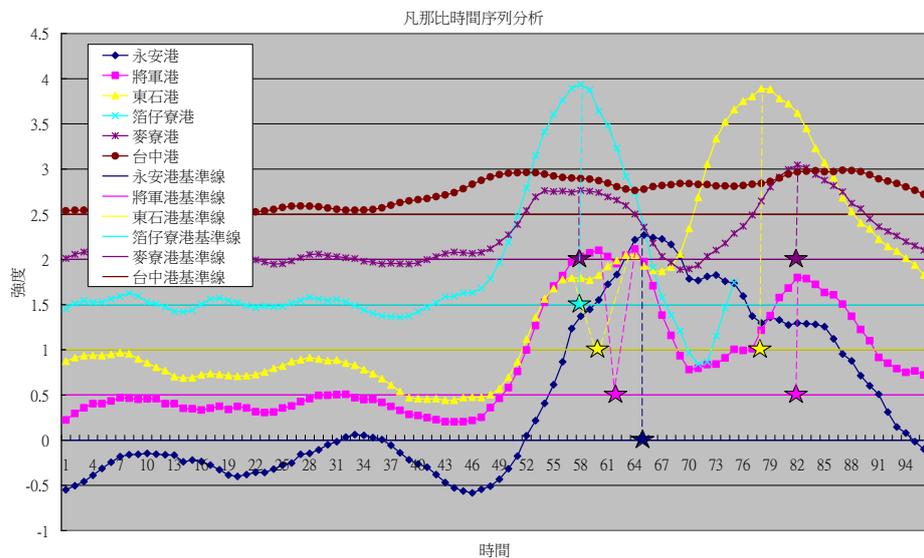


圖14：凡那比颱風警報期間六站暴潮強度時間序列分析

(註：標記部分為暴潮強度最大點)

由圖14可發現各測站大致有與方法一相符的現象，第一波由圖可見更為明顯的由北而南傳遞，台中港因反應較不明顯暫時將之忽略，可得時間順序：麥寮港(箔仔寮港) → 東石港 → 將軍港 → 永安港。第

二波亦由東石港開始，但暴潮產生時間順序無法推論其傳遞關係。

◎梅姬颱風（2010）：

1. 由暴潮強度變化量最大點進行探討

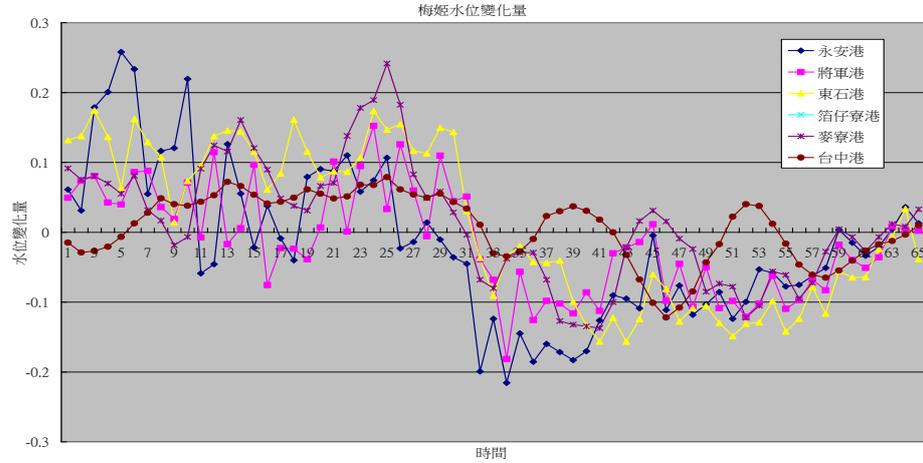


圖15：梅姬颱風警報期間六站暴潮強度變化量時間序列分析

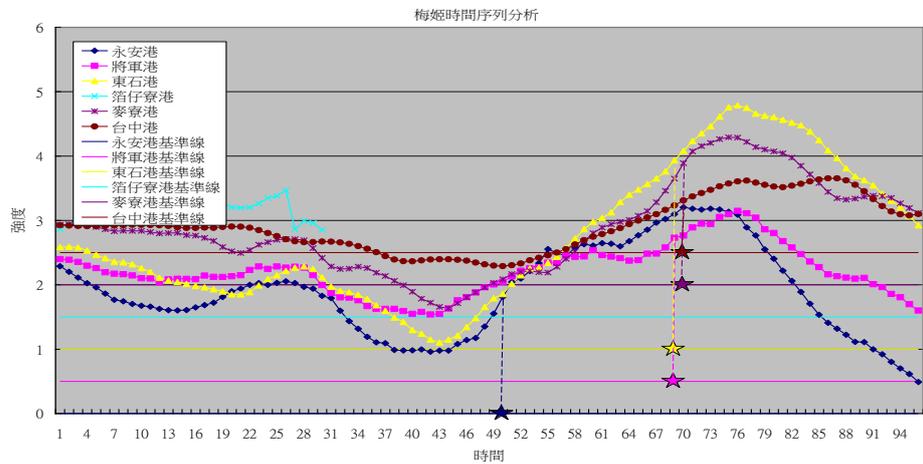


圖16：梅姬颱風警報期間六站暴潮強度時間序列分析
(註：標記部分為暴潮強度變化量最大點)

梅姬颱風的路徑分類屬於第9類，其基準站為永安港，因在颱風警報時期箔仔寮缺乏資料，故在此處不加以討論。以暴潮強度變化量最大者比較，發現暴潮發生時間有由南而北的傳遞趨勢。

2. 由暴潮強度最高點進行探討

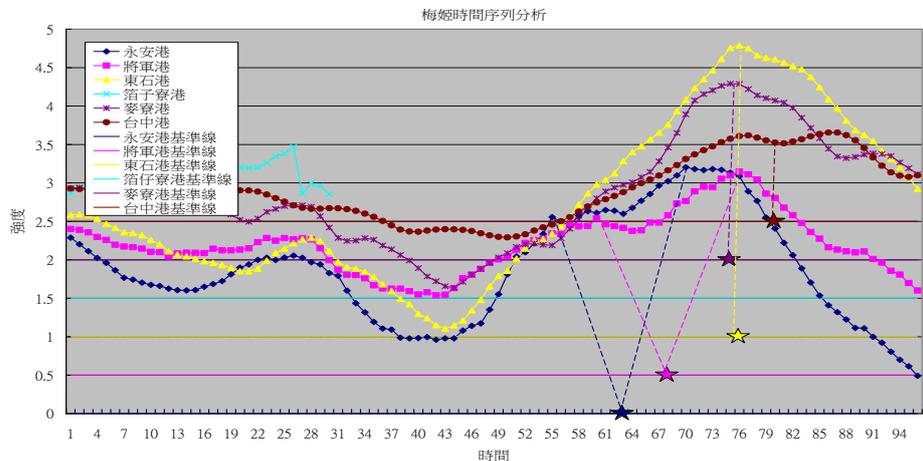


圖17：梅姬颱風警報期間六站暴潮強度時間序列分析
 (註：標記部分為暴潮強度最大點)

若是以暴潮強度最高點進行討論，除東石港延遲較久，其餘大致符合方法一所得之結果，呈現由南往北的傳遞現象。

- (五) 對照穿越型颱風之暴潮強度變化量分析圖與時間序分析圖，發現東石港與箔仔寮港最晚達最高點且其最高點大於其他測站許多，推論海水有兩路傳遞集中堆高的現象，與東石最晚達到暴潮強度高點的結果相符。
- (六) 穿越型颱風造成的延遲較由南向北型颱風明顯，可能是颱風由南往北傳遞時，風吹造成的潮流，和颱風氣壓結構造成之暴潮，因傳遞速度相近而互相干涉導致訊號雜亂看不出明顯的傳遞，若估計水深10公尺潮波的傳遞速度為36km/hr，則颱風中心移動速度和潮流在台灣海峽的傳播速度相近。當颱風路徑為由南向北型，此干涉效應較明顯；若颱風路徑為穿越型，干涉效應不明顯使暴潮的傳遞有往中間堆高的趨勢。為了進一步探討氣壓結構對暴潮的影響，故建立以氣壓結構為主的颱風模式，因氣壓差導致海面高度變化，驗證是否符合觀測(結果與討論三、四)。

二、探討氣象因子所引發的暴潮延遲性：

- (一) 根據前人研究得知潮位測站與颱風中心的距離和暴潮強度有高度的關連性，但受限於颱風的經緯度位置僅在颱風警報發布期間有資料，導致距離的因子無法像其他颱風因子一樣前後推移達36hr，故在此不討論。
- (二) 由於相關係數分析圖中的平均風速、最大風速級陣風的曲線沒有一定規律可循，故在此以討論氣壓的曲線為主。
- (三) 當氣壓與暴潮強度達最大負相關時，預期為最大暴潮強度對應最低氣壓值，因此將各站氣壓達最低時間加上延遲時數判斷傳遞現象。
- (四) 鳳凰颱風(2008) (橫軸為相關係數、縱軸為延遲時間)

1. 台中測站

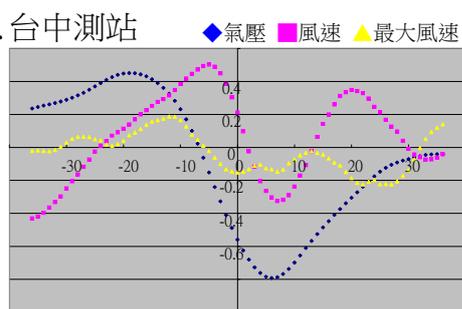


圖18：鳳凰颱風台中測站
 氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

2. 麥寮測站

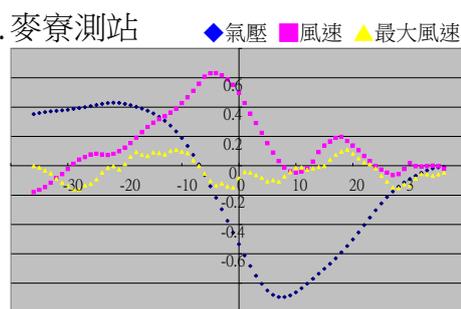


圖19：鳳凰颱風麥寮測站
 氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

3. 箔仔寮測站 ◆氣壓 ◆風速 ▲最大風速

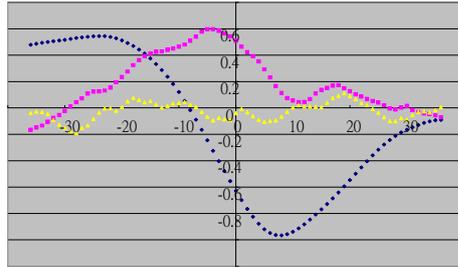


圖20：鳳凰颱風箔仔寮測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

4. 東石測站 ◆氣壓 ◆風速 ▲最大風速

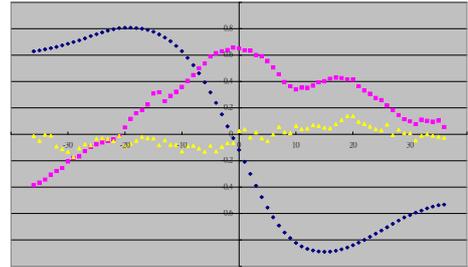


圖21：鳳凰颱風東石測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

5. 將軍測站 ◆氣壓 ◆風速 ▲最大風速

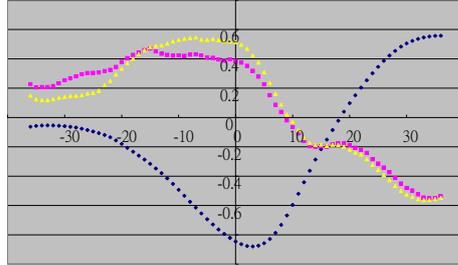


圖22：鳳凰颱風將軍測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

6. 永安測站 ◆氣壓 ◆風速 ▲最大風速

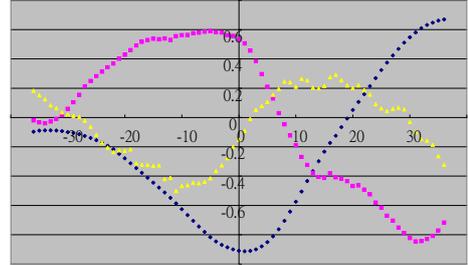


圖23：鳳凰颱風永安測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

表 7：鳳凰颱風各站氣壓最低時間比較

	永安	將軍	東石	箔子寮	麥寮	台中
氣壓最低時間(hr)	072805	072807	072808	072807	072807	072807

表 8：鳳凰颱風各站氣壓延遲時數比較

	永安	將軍	東石	箔子寮	麥寮	台中
延遲時數(hr)	1	4	13	8	8	6

各站達氣壓最低的時間約一致（表 7）。由永安、將軍、東石站依序往北，暴潮的延續時間漸增，箔子寮、麥寮的延遲時數相同，介於將軍及東石站之間，而台中站的延遲時間又略小於箔子寮、麥寮二站。整體而言，南部測站的延遲時數較短，再者為最北的台中站，以東石站的延遲最久，可解釋為分南北二條匯聚於東石站，符合時間序列分析所得結果。

(五) 蓮花颱風（2009）（橫軸為相關係數、縱軸為延遲時間）

1. 台中測站 ◆氣壓 ◆風速 ▲最大風速 ×陣風

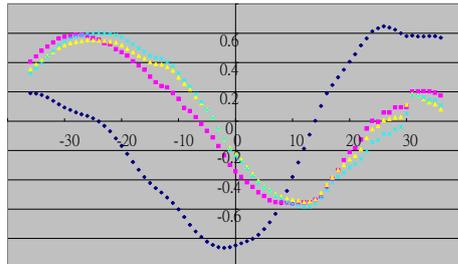


圖24：蓮花颱風台中測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

2. 麥寮測站 ◆氣壓 ◆風速 ▲最大風速 ×陣風

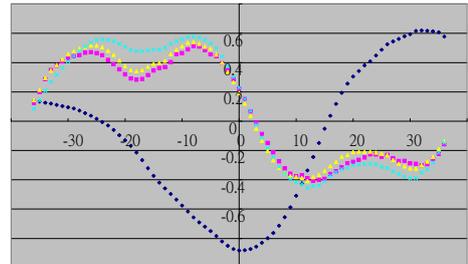


圖25：蓮花颱風麥寮測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

3. 箔仔寮測站

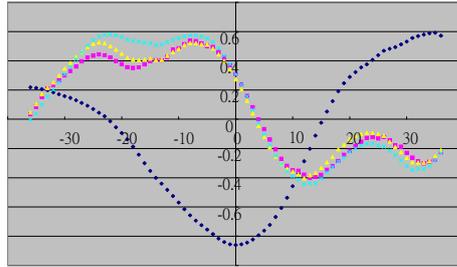


圖26：蓮花颱風箔仔寮測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

4. 東石測站

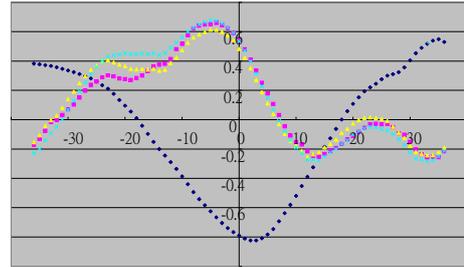


圖27：蓮花颱風東石測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

5. 將軍測站

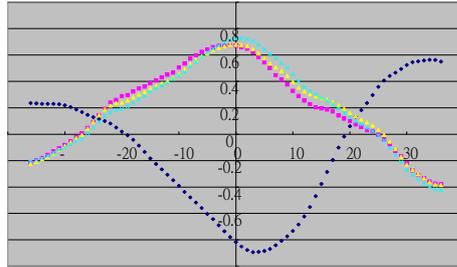


圖28：蓮花颱風將軍測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

6. 永安測站

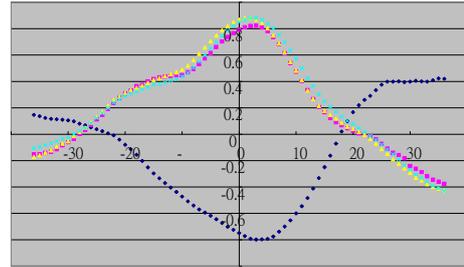


圖29：蓮花颱風永安測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

表 9：蓮花颱風各站氣壓最低時間比較

	永安	將軍	東石	箔子寮	麥寮	台中
氣壓最低時間(hr)	062104	062107	062119	062119	062119	062119

表10：蓮花颱風各站氣壓延遲時數比較

	永安	將軍	東石	箔子寮	麥寮	台中
延遲時數(hr)	3	3	2	0	0	-2

到達氣壓最低值的時間南部早於北部（表 9）。表10顯示台中港的暴潮對氣壓的反應有提早的現象，麥寮、箔子寮二港皆沒有延遲、提早的現象，而以南的三港的暴潮對氣壓的反應則有延遲的現象。可知暴潮傳遞分二路一先為永安往將軍，另一為台中往東石，不符合圖11時間序列分析所得。

（六）凡那比颱風（2010）（橫軸為相關係數、縱軸為延遲時間）

1. 台中測站

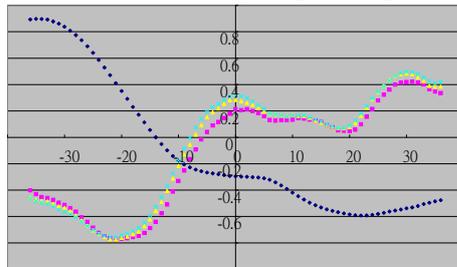


圖30：凡那比颱風台中測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

2. 麥寮測站

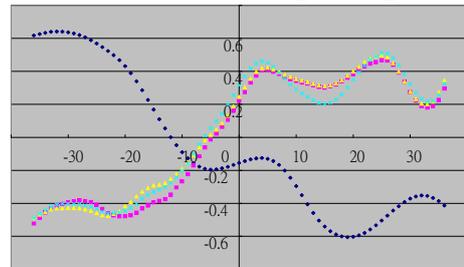


圖31：凡那比颱風麥寮測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

3. 箔仔寮測站

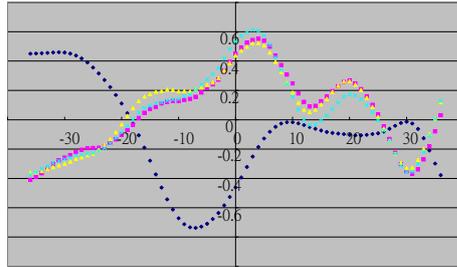


圖32：凡那比颱風箔仔寮測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

4. 東石測站

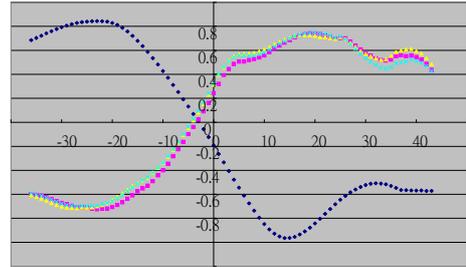


圖33：凡那比颱風東石測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

5. 將軍測站

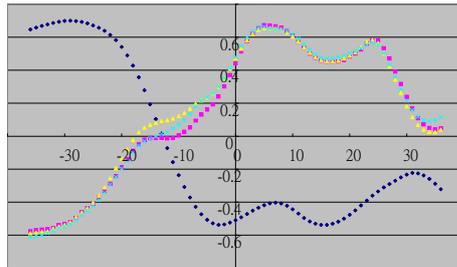


圖34：凡那比颱風將軍測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

6. 永安測站

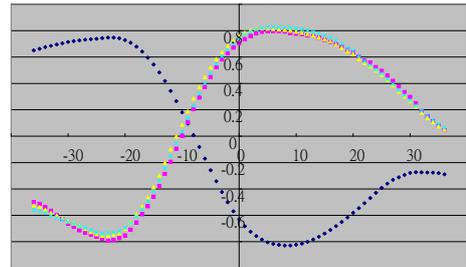


圖35：凡那比颱風永安測站
氣象因子與暴潮強度相關係數分析圖

表11：凡那比颱風各站氣壓最低時間比較

	永安	將軍	東石	箔子寮	麥寮	台中
第一波延遲時間(hr)	8	-3	□	-7	-5	□
第二波延遲時間(hr)	x	15	14	□	19	22

由圖31、34可看出部分測站如預期呈現二波暴潮的現象，所以分成兩次暴潮進行討論。第一波由箔仔寮始，依序往南傳至永安；第二波由東石分二路傳遞，南至將軍，北至台中。配合圖14的時間序列分析，發現趨勢大致吻合。

相關係數法不適用於探討路徑南北向颱風的傳遞。可能由於此種路徑颱風氣壓的差異不大，且因颱風的結構或行進速度造成各站達氣壓最低時有不同，而其他因素如外圍風場先對潮位產生影響，但此風多不為當地風，亦無法從風速陣風的相關係數曲線進行探討。

三、建立氣壓結構呈高斯分布的颱風模式，將氣壓差值加入颱風移動條件作逐時水位分析，與前面（三、四）所得之強度趨勢相比較：

（一）颱風氣壓差的高斯分布建立

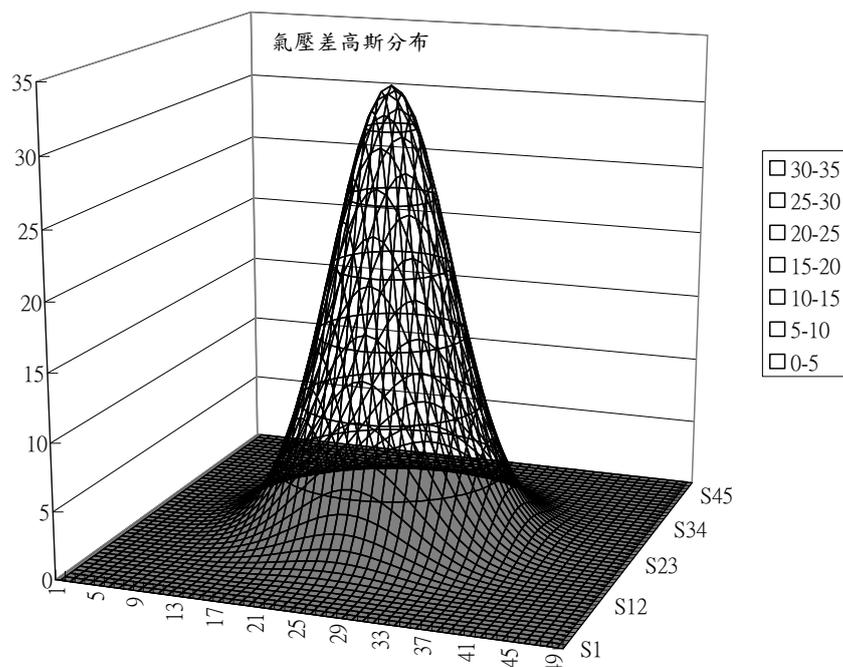


圖36：颱風氣壓差二維高斯分布示意圖

1. 假設颱風由中心到外圍氣壓呈高斯分布，海水面受氣壓影響形成暴潮初始形狀亦如高斯分布：颱風為一暖心結構，水氣往颱風中心輻合釋放的潛熱使得越靠近颱風中心上升氣流越強，氣壓梯度越大，隨著旋轉半徑縮小，離心力也越來越大，直到梯度力、科氏力、離心力三者達到平衡：
$$\frac{V^2}{R} + 2\omega \sin\phi V = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n}$$
， V 為平衡時颱風眼周圍風速， R 為颱風眼半徑。颱風眼外，旋轉半徑越小氣壓梯度（ $\frac{\partial P}{\partial n}$ ）越大；颱風眼內風速 V 極弱，則氣壓梯度（ $\frac{\partial P}{\partial n}$ ）幾乎為零，故由颱風外圍指向中心的氣壓隨距離的變化近似外側陡峭、內側平緩的高斯分布。由於自然界許多特性皆符合高斯分布，又以一般颱風的實際風場強度推估繪成的曲線發現其並非呈現線性，而與高斯分布較相近，故將氣壓差取高斯值處理之。
2. 網格 (h) 的取法：因選取的測站間格大致為20km，為方便比較單一颱風氣壓對整個研究範圍造成的影響，故以20km為一網格所涵蓋的距離。
3. 建立出的氣壓差高斯分布為二維，但為簡化及水流的進出難以二維的方式考量，我們建立一維對稱的模式，僅考慮水流的南北向進出。

四、颱風的靜止及移動：將建立之颱風模式修改颱風移動條件參數作逐時水位分析，與「研究目的三、」、「研究目的四、」所得之趨勢相比較

(一) 以蓮花颱風為例，靜止時的逐時水位變化

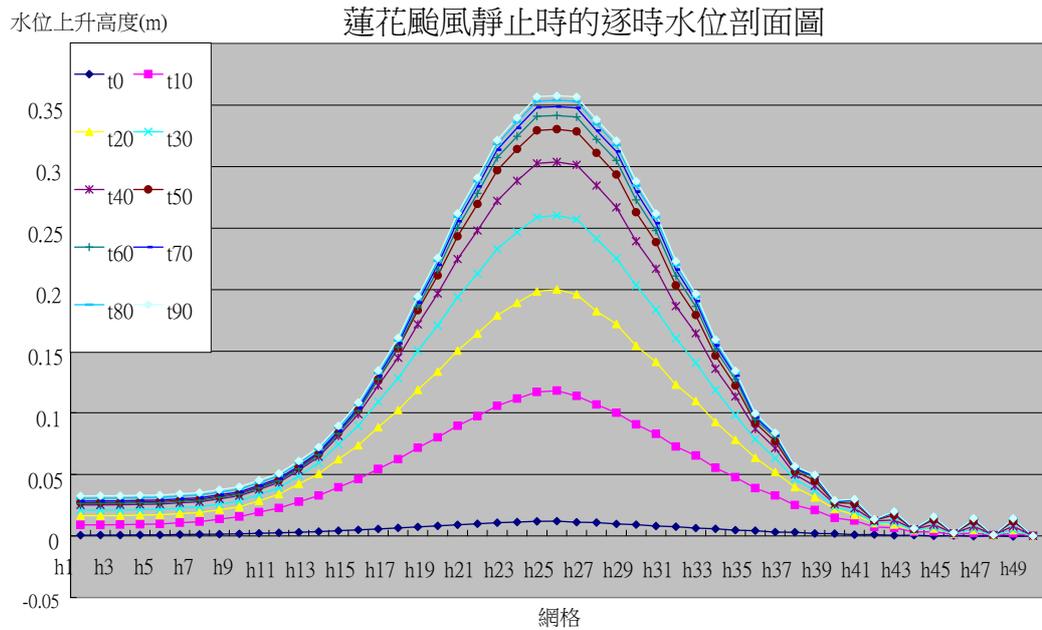


圖37：蓮花颱風靜止時的逐時水位剖面圖

水位高度大致呈鐘型分布，而在所取的單位時間內可看出水位的上升有減緩的趨勢，是由於水位已逐漸平衡。

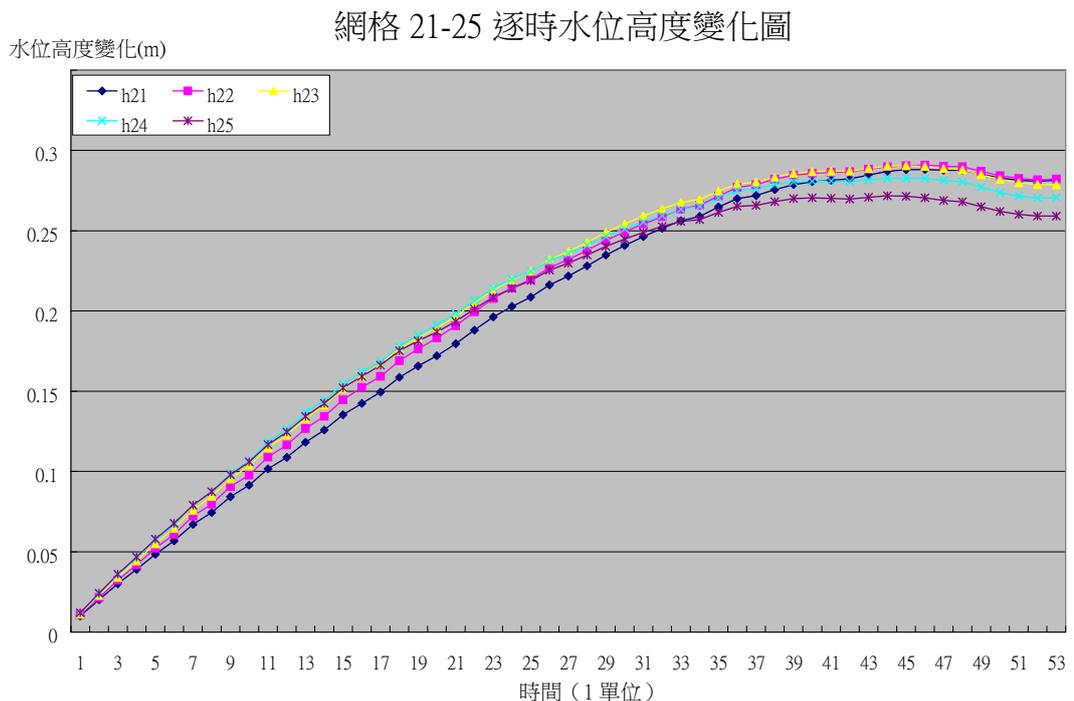


圖38：蓮花颱風往北移動時的水位高度變化圖（取網格21~25）

圖38呈現颱風在水位未平衡前即開始移動的水位變化圖，以模擬穿越型的颱風。當颱風橫跨台灣時，太平洋的海水水位可能已達平衡，但四百公里外的台灣海峽水位尚未平衡，所以進行以下模擬。颱風以1/12網格 / 單位時間的移動速度，由網格25往網格21的方向移動54單位時間，發現當颱風在t=12時移動到網格24，網格25的水位仍在上升，而t=24

時颱風移動到網格23時，網格24的水位也仍在上升，此 2 網格到達最高水位的時間點約在 $t=45$ 時，本模式藉此反應潮位的延遲性，說明穿越型較長的延遲時數。

15 網格逐時水位變化量圖

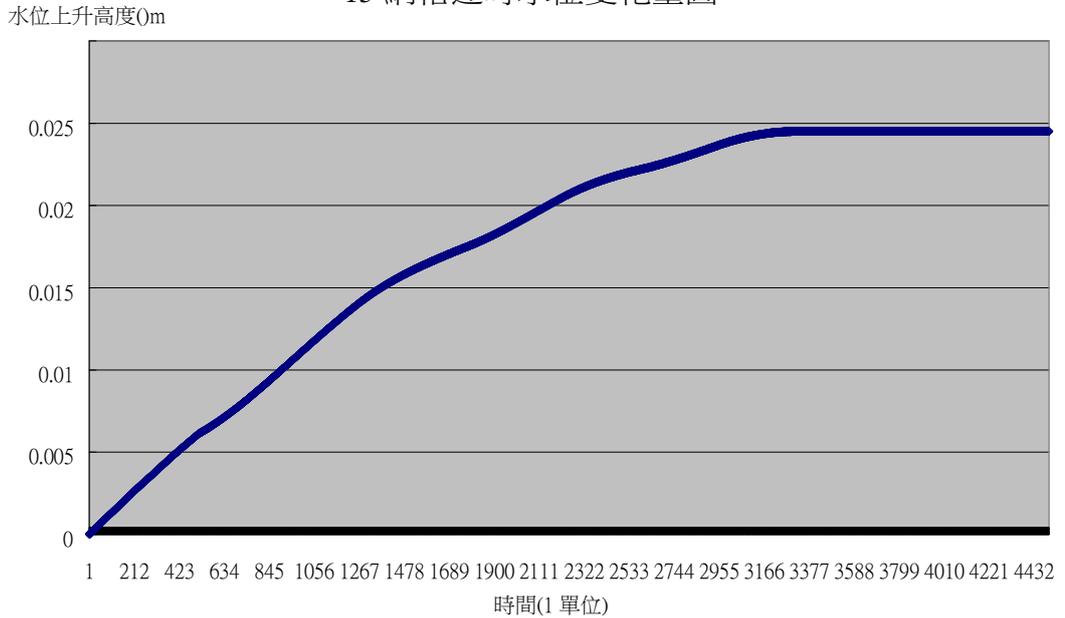


圖39：蓮花颱風往北移動時的水位高度變化圖（網格15）

第 25 網格逐時水位變化量圖

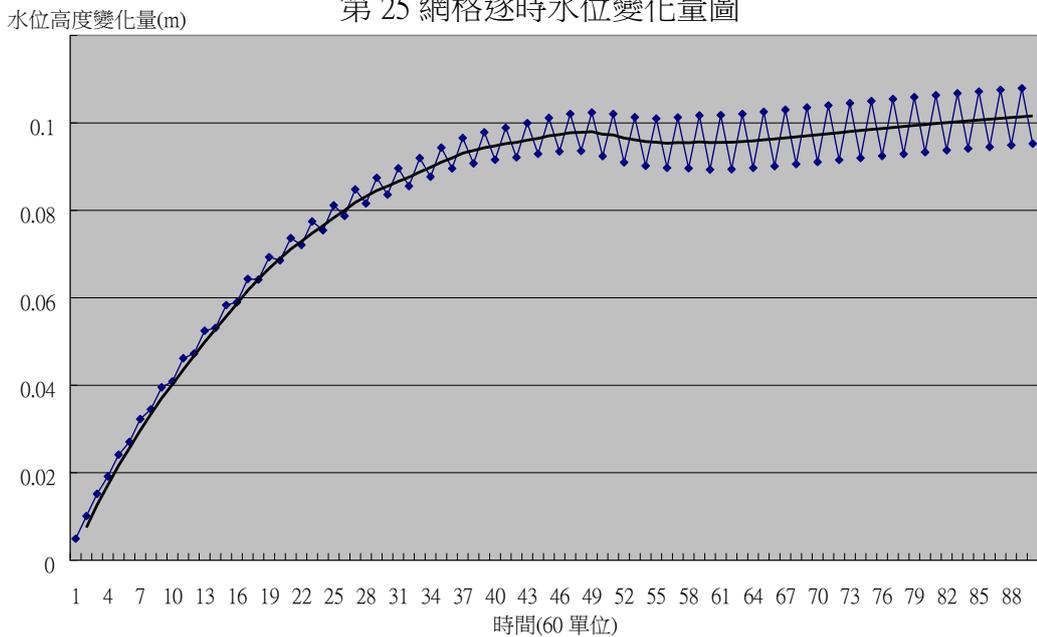


圖40：蓮花颱風往北移動時的水位高度變化圖（網格15）

由於 k 值大小、數量級未知，在此以 1 單位（圖39）與 60 單位（圖 40）的時間尺度探討單一網格的水位變化，發現得到相似的结果。利用 60 單位的尺度由於會高估流速，因而造成震盪及到達平衡的時間有差異的現象，但由於所建立的模式網格數眾多，且在此以求趨勢幅合為主要，故以下移動以 60 單位的尺度進行處理，並以移動平均消除震盪。

(二) 以蓮花颱風為例，往北移動時的逐時水位變化

1. 經過中心的長水溝模式

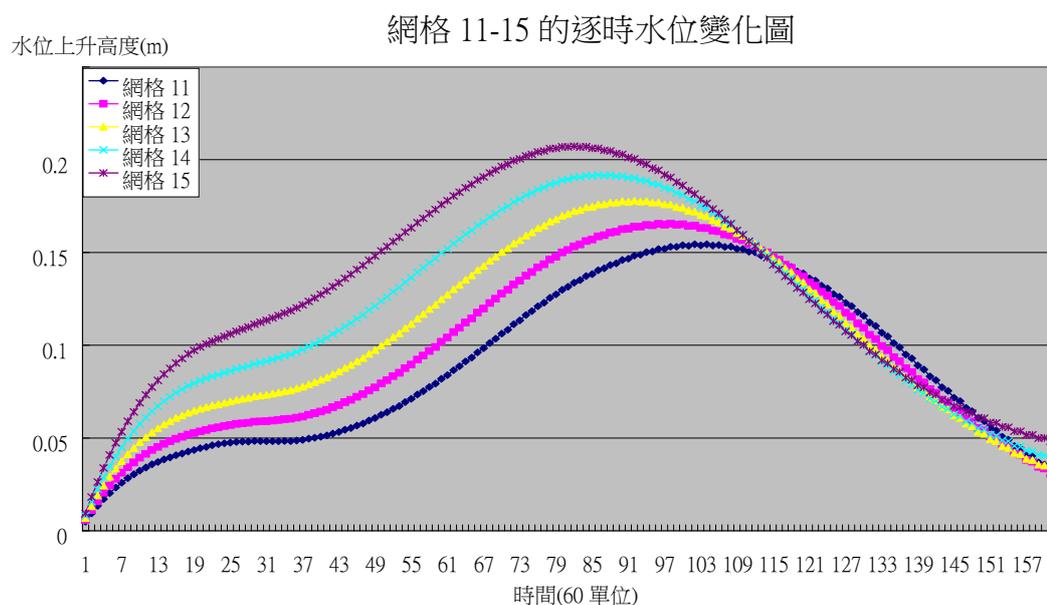


圖41：蓮花颱風往北移動時，以1/12格/單位時間的水位變化圖(取網格11-15)

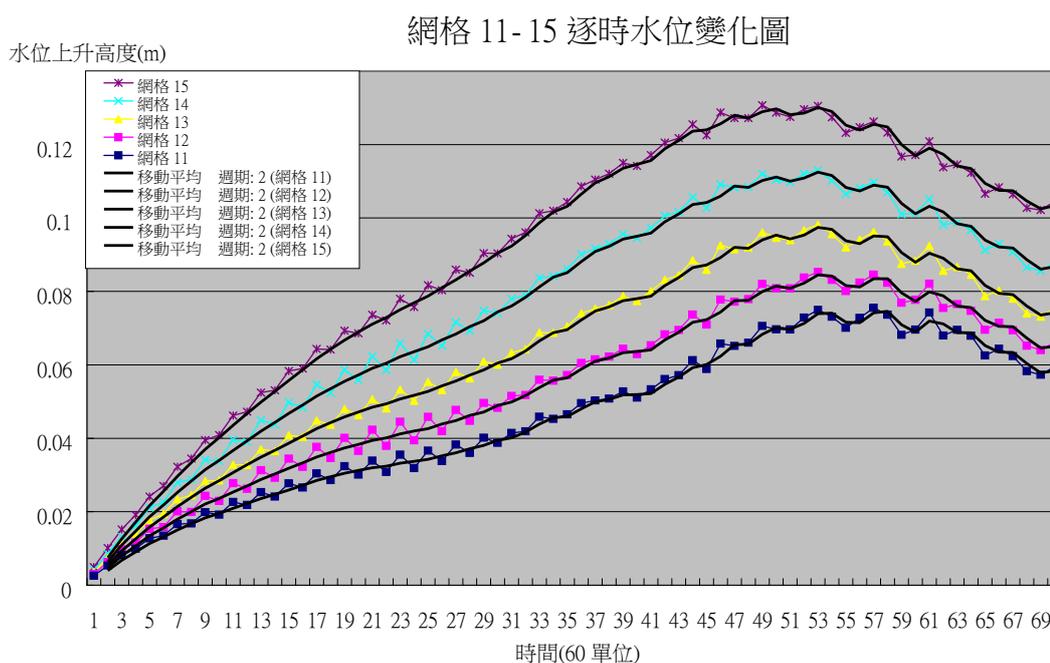


圖42：蓮花颱風往北移動時，以 2 格/單位時間的水位變化圖（取網格 11-15）

- (1) 因蓮花屬由南而北行進的颱風，颱風中心一直在海面上而影響潮位，因此我們在此以潮位到達平衡後再進行颱風的移動。並試以兩種不同的移動速度，找尋颱風移動的尺度（圖41圖42）。
- (2) 比較颱風不同的移動尺度，發現當颱風以較快的速度移動時（圖42）比起慢速移動時（圖41），較不易看出潮流的傳遞趨勢，甚至是第一、二波之間的分際變得模糊，但此較符合實際情況的略微由南

向北傳遞，所以便將颱風移動速度以 2 格/單位時間處理。

2. 切過邊緣的長水溝模式

水位上升高度(m) 長水溝模式網格 11-15 逐時水位變化量圖

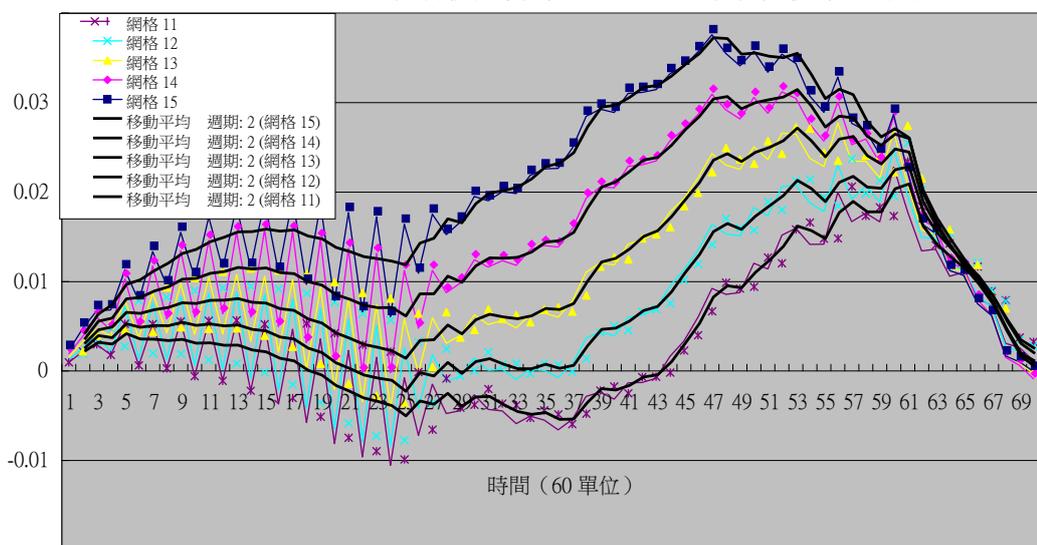


圖43：蓮花颱風往北移動時，以 2 格 / 單位時間的長水溝模式水位變化圖（取網格 11-15）

切過邊緣的長水溝模式（圖43）的網格氣壓差值的選擇以切下氣壓差高斯分布的對稱軸隔 9 行（視為颱風中心以東 200km），得測站氣壓值最低為 1003pha 和測站實際最低氣壓值 1000.4hpa 相近，說明與所切下氣壓差行別相符。和經過中心的長水溝模式（圖42）相比，後者網格間的氣壓差較大，是由於經歷完整的颱風由接近到遠離的過程，形成潮位累積的現象，水位緩慢下降。

（三）將兩種模式與實際強度趨勢進行比較

蓮花颱風時間序列圖

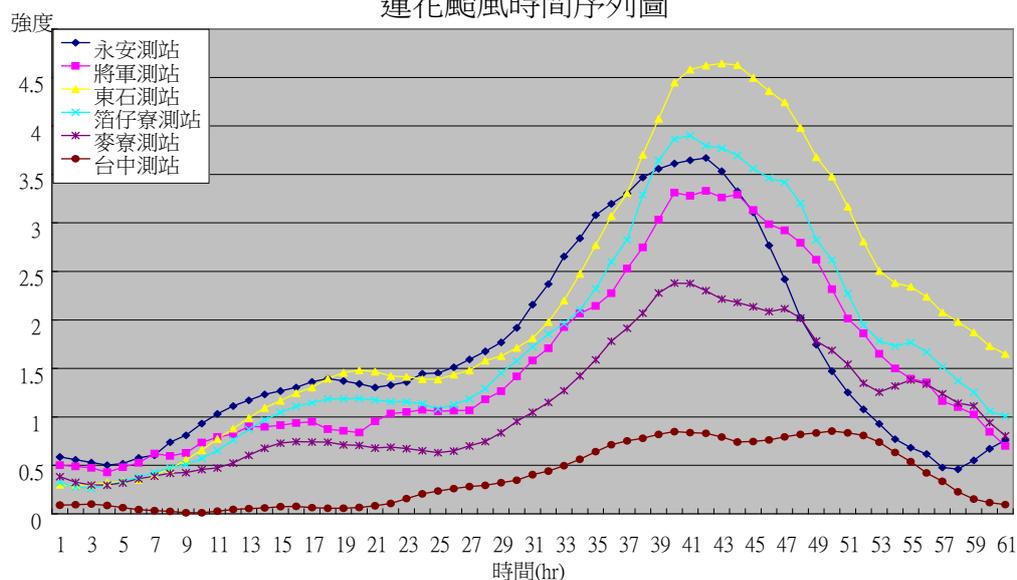


圖44：蓮花颱風警報期間六站暴潮強度時間序列分析圖

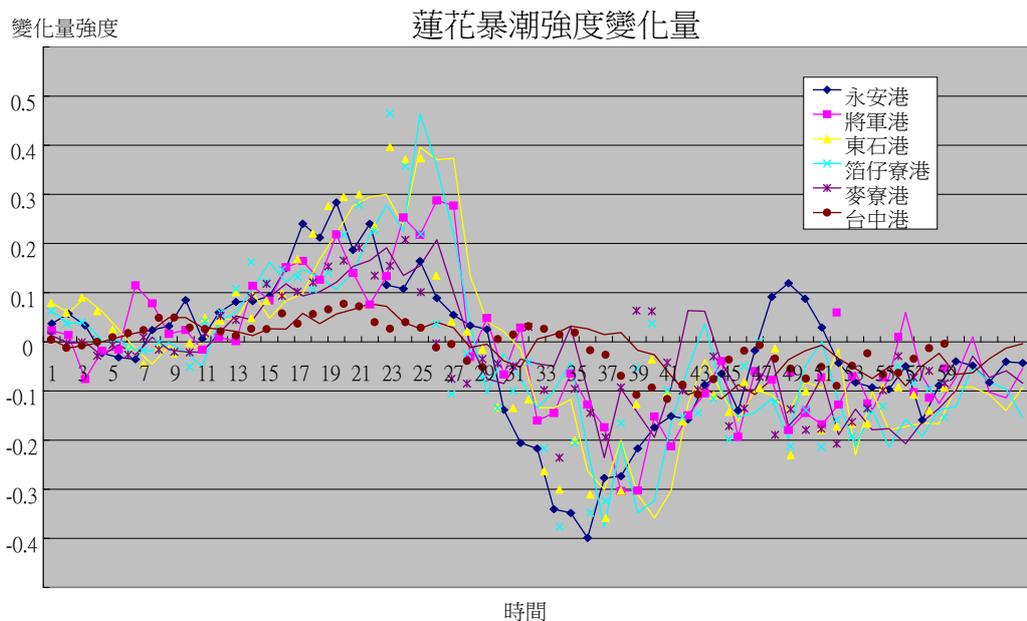


圖45：蓮花颱風警報期間六站暴潮強度變化量圖

1. 切過邊緣的長水溝模式（圖43）反應實際強度趨勢的兩波水位上升的情況且兩波的時間間隔和實際相近（圖44）；經過中心的長水溝模式（圖42）無法明顯看出，。
2. 切過邊緣的長水溝模式（圖43）的第一波次序與第二波的水位高度大小，和實際情況（圖44）的趨勢相符，而第二波水位上升的順序，在不考慮東石及箔仔寮二站的情況下，呈現由永安開始的些微南往北的趨勢，和圖45的趨勢比較相近，另經過中心的長水溝模式（圖42）呈現的是比實際更顯著的由南向北傳遞。
3. 由圖44、圖45可分別看出東石及箔仔寮測站有潮位累高及提前的現象，推測可能是受澎湖水道的影響，潮流在此幅合，又由於長水溝模式只考慮南北向的水位進出，故會形成如此差異。
4. 切過邊緣的長水溝模式（圖43）在僅探討氣壓對潮位影響的情況下即符合實際的趨勢，說明蓮花颱風所引發的潮位上升現象主因為氣壓的表現，而非風場等其他因素。

陸、結論

- 一、暴潮具有空間傳遞性，其傳遞性與颱風路徑、風場結構、地形有關。
- 二、暴潮的傳遞性、強風持續輸入能量使暴潮亦具時間延遲性，且穿越型颱風易造成台灣西部沿岸由南往北及由北往南的潮流，這兩股潮流在東石港、箔仔寮港相遇導致潮位堆高，故當此類颱風來襲時，雲林、彰化地區民眾應當心水位變化，以防生命財產的損失。
- 三、利用物理概念建立的網格模式能簡化複雜的流體並探討因氣壓差而造成的海面高度變化。
- 四、由建立的各種模式可印證我們實際觀測到的潮位趨勢和其延遲性，而且不同颱風的移動速度、路徑與單位時間會呈現的趨勢相異：穿越型颱風在水位未

達平衡前颱風已經移動，故各測站呈現較明顯的延遲；所模擬的南北向蓮花颱風水位平衡時颱風才移動故影響潮位的主要因素為氣壓，且切過邊緣的長水溝模式較符合觀測結果。

柒、參考資料及其他

- 一、王執民（民90）。高級中學基礎地球科學【全】（第七章海洋、第八章天氣與天氣觀測p.89~p.103）。台北縣：龍騰文化。
- 二、黃宇晟、林恩丞（民95）。全國中小學科展第四十七屆的國中組作品風起「潮」湧，以東石測站為例探討颱風與暴潮的關係，未出版，嘉義市。
- 三、徐月娟、曾淑芬、陳進義、蔡恆雄（民87）台灣地區八十三年至八十六年颱風暴潮特性之初步研究。交通部氣象局氣象學報42卷第三期，p.230-247。
- 四、鄭允翔（民92）。颱風暴潮與颱風特性關係之研究。國立成功大學水利海洋研究所論文，未出版，臺南市。
- 五、高誌翰（民93）颱風暴潮特性分析。國立成功大學水利海洋研究所論文，未出版，臺南市。
- 六、邱啟敏（民96）台灣四周沿岸潮汐特性探討及颱風暴潮迴歸分析之研究。國立成功大學水利海洋研究所論文，未出版，臺南市。
- 七、中央氣象局。歷史颱風資料庫，2011年1月。<http://www.cwb.gov.tw>
- 八、外國網站。The Weather Doctor Almanac（圖片來源）2010年10月
<http://www.islandnet.com>

【評語】 040504

暴潮分析方式詳盡，且有空間性的分布關係，但若能有系統性地呈現資料，並將研究重點聚焦會更好。研究颱風與台灣西南海域暴潮強度變化傳遞性，具鄉土性。若能歸納出颱風路徑（位置）與暴潮傳遞方向之關聯，可增加本研究的應用價值。