

台灣海域潮汐空間均勻特性之研究

李汴軍¹ 范揚洺² 董東璟³ 高家俊⁴

1. 副教授，華梵大學環境與防災設計學系，台北縣石碇鄉豐田村華梵路一號，電子郵件：beng@huafan.hfu.edu.tw；台灣海洋工程學會會員
2. 博士生，國立成功大學水利及海洋工程研究所，台南市 701 大學路 1 號，電子郵件：n8890112@ccmail.ncku.edu.tw
3. 博士後研究員，國立成功大學近海水文中心，台南市 701 大學路 1 號，電子郵件：doong@mail.ncku.edu.tw
4. 教授，國立成功大學水利及海洋工程研究所，台南市 701 大學路 1 號，電子郵件：kaoshih@mail.ncku.edu.tw；台灣海洋工程學會會員

摘要

台灣沿海潮汐特性因地而異，潮位觀測是瞭解潮汐特性之一個方式，通常潮位站之設置係考慮各建站單位業務的需求而定，較缺乏學理依據，本文利用統計學理論，針對台灣沿海潮汐特性進行分類研究，將潮汐特性一致者劃分成同一區，提供未來潮汐研究或潮位站設置之參考。由於以現場數據進行統計分析之資料仍嫌不足，本文以 POM 潮流數值模式對台灣沿海進行潮汐資料推算，得到 75 個模擬潮位站的潮汐資料，再以主成分分析及群集分析對海岸空間潮汐的均勻性進行學理上的探討。根據群集分析方法，西部海岸的潮汐均勻區域共可劃分為 10 區，而東部海岸的潮汐均勻區域則共可劃分為 5 區，其中蘇花東海岸的潮汐空間均勻特性甚為一致，分區結果顯示西部海岸的潮汐特性較東部海岸較不具空間均勻性。

關鍵詞：POM 潮流模式，主成分分析，群集分析。

A study on the homogeneity of tides around coasts of Taiwan

Beng-Chun Lee Yang-Ming Fan Dong-Jiing Doong Chia-Chuen Kao

Abstract

Tide phenomena are inequable due to complex topography and sea-state. Tide observation is one approach to understand tide. Generally, the location to establish the tide station is decided by requirements of the responsible agencies. Less reasons are referred from theoretical background. The purpose of this paper is to analyze the homogeneity of the tide over Taiwan water by using the principal component analysis and cluster analyses. The



similar homogeneity of tidal area is divided in the same category. Due to the detailed tidal data in space domain is need, this paper simulate the tidal data from POM model instead of field data. The results show that there are 10 tidal homogeneous zone in the western coast, and 5 tidal homogeneous zone in the eastern coast, especially the characteristic of tide in the coast of Suao, Hualien and Taitung is unanimous. The fact indicate that that the topography of sea floor in the western coast is more complex than in the eastern coast, causes there are more homogeneity in the western coast.

Keywords : POM model, Principal Component Analysis, Cluster Analysis.

一、緒論

潮汐是一種海水水位的週期性運動現象，和人類海上的活動息息相關。例如：船隻在停靠碼頭時，必需考慮潮差的變化，尤其是在潮差較大的港口，要隨時注意船隻繫纜的鬆緊度，以免造成船隻翻覆；在海岸工程方面，海堤或港口的設計，必須先蒐集完整的潮汐觀測資料，可見潮汐資訊的掌握相當重要。

目前國內政府單位如經濟部水利署與交通部中央氣象局等單位在全國各海岸均設有潮位測站，配合潮汐預報模式提供每日的潮汐預報，亦有學者爲了從事潮汐特性研究而設置的臨時潮位測站，回顧台灣四周海域潮汐特性相關研究，如吳（1986）收集西海岸 10 個測站的同時段潮汐實測資料，應用頻譜分析求各測站的主要分潮，結果顯示台灣西海岸的潮汐均由 M_2 分潮主宰。陳、黃（1990）收集台灣環島及澎湖 32 個測站的潮汐資料，利用頻譜分析及調和分析後，討論潮汐運動在台灣海域的特性，由四個主要分潮（ O_1 、 K_1 、 M_2 、 S_2 ）能量分布顯示台灣東岸變化幅度小，在西岸爲隨緯度變化，在台灣海峽中間，全日潮振幅增加 20%到 30%，而半日分潮可達兩端之 8 倍。

爲了能夠掌握全國海岸水域的潮位變化，以及有效設置潮位觀測站，潮汐空間的劃分是有必要的，故經濟部水利署於 2002 年執行「台灣沿海潮位站網分類評估與海岸災害決策系統建立」，利用現有潮位站資料進行潮位特性分類評估，然而以往台灣的實測潮位站之設站位置乃依據各建站單位業務的需求而建置，因此往往在同一地點有兩個或兩個以上不同單位的潮位站，或部分區域沒有設置潮位站，形成潮位站分布不均勻的情況。本研究以數值模式模擬未設潮位站處之潮汐變化情形，而數值模式之選用，經評估認爲 POM 三維海洋數值模式爲公開化之海洋計算模式，其已經過國內外學者的長期研究與探討，並確認該模式可穩定並合理的計算潮流，因此，本研究目的將利用 POM 海洋數值模式對台灣沿海進行潮汐資料模擬，再依照統計方法、學理的探討來區分台灣四周海岸潮汐的空間均勻性。



二、POM 海洋數值模式

2.1 潮汐模式介紹

有鑑於實測潮位站的分布不均勻，爲了探討潮汐空間的均勻性，本研究採用數值模擬的方式模擬各海岸的潮汐變化，以進行統計及相關分析使用。本研究採用美國普林斯頓大學發展的三維非線性海洋模式 Princeton Ocean Model (簡稱 POM) 來推算天文潮位的變化，此模式可模擬大尺度海洋、海岸等天文潮及氣象潮所引起的水位與流場變化，亦可計算小尺度河川、渠道等之水理運動，如溫度、鹽度等的改變。

POM 使用了兩個假設條件：第一爲假設流體本身的重量與壓力梯度力平衡，亦即爲靜力平衡 (hydrostatic assumption)，第二假設水體內部的密度差異可以忽略，除非這個差異是由重力所引起此條件的。POM 模式的基本水動力系統架構可表示如下：

$$\nabla \cdot \vec{V} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla U + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla V + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_y \quad (3)$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \theta + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla S + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_s \quad (6)$$

式中 \vec{V} 爲流速在水平方向之分量 (U, V)； f 爲柯氏力參數； g 爲重力加速度； P 爲壓力； ρ_0 爲水的參考密度 (reference density)； ρ 爲水的當地密度 (in situ density)； η 爲水面高程； K_M 爲垂直渦漩混合擴散係數 (vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent momentum mixing)； F_x 、 F_y 、 F_θ 及 F_s 爲水平混合程序 (horizontal mixing processes) 參數化後的產生項，用來處理流場中不能以模式格網解析的所謂次網格運動過程； θ 爲室溫，在淺水時爲現場溫度； S 爲鹽度； K_H 爲熱能和鹽度的垂直渦漩混合擴散係數 (vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent of heat and salt)。

2.1.1 模式計算區域

模式計算格網的選取應儘可能合理，爲了有效反應近岸的地形，且與實測資料比對時，模式產出資料的點常常偏離測站位置過遠，導致模式所推算出來的結果並不甚



理想，同時有相位偏離的現象。因此搜尋國內外的水深量測資料，以美國地球物理資訊中心（National Geophysical Data Center, NGDC）所釋出的全球 2 分高度資料（ETOPO2）提供模式使用。本研究選取計算區域範圍如圖 1 所示，介於東經 115 度到東經 125 度及北緯 20 度到北緯 30 度，網格間距為 1/8 度，約為 11 公里。

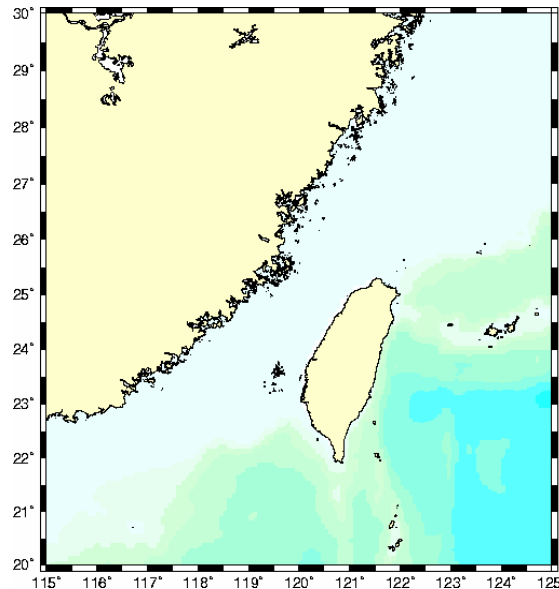


圖 1 採用的模式計算區域，網格間距 1/8 度

2.1.2 邊界水位設定

利用數值模式進行潮汐計算時，推動潮汐模式的主要動力為開邊界水位變化，目前應用數值模式計算潮汐的研究，其模式所需之邊界條件主要的來源有二：一個是在模式計算區域的邊界進行現場實際數據的收集；另一個則是擷取自另一個較大範圍模式的計算結果。然而取得水位變化資料最直接的方式為現場觀測，但是當開邊界地區位於大洋深海區時，便沒有實測水位資料可供應用。為了解決邊界水位取得的困難，以及模式邊界水位給定的問題，本研究利用全球潮汐模式的水位模擬結果作為邊界水位的輸入。目前全球潮汐模式於發展階段乃根據衛星測高計所得之海水水位高度資料進行資料同化（Data Assimilation）。而模式釋出後，使用者於使用時並不易取得新的海水水位高度資料來更新模式結果。因此，這些全球潮汐模式均會在釋出一段時間後進行更新。表 1 所列的為近五年以來，較多人使用，且屬於公開原始碼的全球潮汐模式。K. Matsumoto（2000）曾比較過實測潮位站的資料與CSR4.0, NAO Tide與FES模式的計算結果，此三種模式的簡介列於表 1 中，K. Matsumoto研究結果顯示NAO Tide

於 M_2 、 K_1 、 S_2 、 P_1 、 N_2 、 K_2 與 Q_1 的推算結果較CSR4.0 與 FES為佳。因此，本研究直接採用NAO Tide的輸出結果作為驅動POM模式進行天文潮推算所需的動力邊界條件。

根據詹(1999)的研究可知在此區域的潮波主要傳遞方向為由東往西向傳遞，因此以 NAO Tide 計算全球潮汐變化，擷取東經 125 度之輸出結果作為給定東邊的邊界水位。

表 1 公開程式碼之全球潮汐模式

模式名稱	作者	簡介
CSR 4.0	R. EANES	全球水動力模式的有限元素解(稱為 FES94.1)
FES 95.2	C. LeProvost, J.-M. Molines , Philippe Techine	FES94.1 加入衛星高度計同化而成的解
NAO Tide	K. Matsumoto	海洋潮汐模式與 TOPEX/POSEIDON 衛星高度計同化所輸出在某時某地之海洋潮汐預測高度

2.2 數值模擬結果與驗證

為了提供合理的潮位資料進行統計分析，對POM模式計算結果與實測值比較，利用試誤法修正模式計算結果，使POM模式可以合理描述台灣四周海域潮位資料。圖 2 所示為 2003 年 1 月中旬的時序列比較圖。其中，實心三角形為潮位站實測水位資料經調和分析之後再合成的天文潮；空心圓為POM模式所推算的天文潮，取鄰近潮位站的網格點作為驗證點，其名稱為“經度_緯度”，單位為度。由時序列比對圖中可以看出模式所推算的結果與實測資料除了在每日的高潮位與低潮位有相當程度的誤差外，潮汐變化的趨勢具有一致性，又每日的高潮位與低潮位發生時間相當接近。由於實測潮位與推算潮位的相位結果接近，因此依據COS函數的特性，實測水位與模式的預測水位的差異將於高潮潮位與低潮潮位的時間達到最大，而這些差異將反應在分潮的振幅上。進一步將模式結果進行調和分析，並與實測資料經調和分析的結果進行比對，其結果取四個主要分潮（ O_1 、 K_1 、 M_2 、 S_2 ）列於表 2 中，以相位比較資料來說，若潮汐相位相差 1 度，表示時間相差約 2 分鐘，表中相位相差最大為 5.6 度，約為 11 分鐘，顯示主要的分潮相位相當準確，而振幅的差異主要來自於高低潮位的誤差。



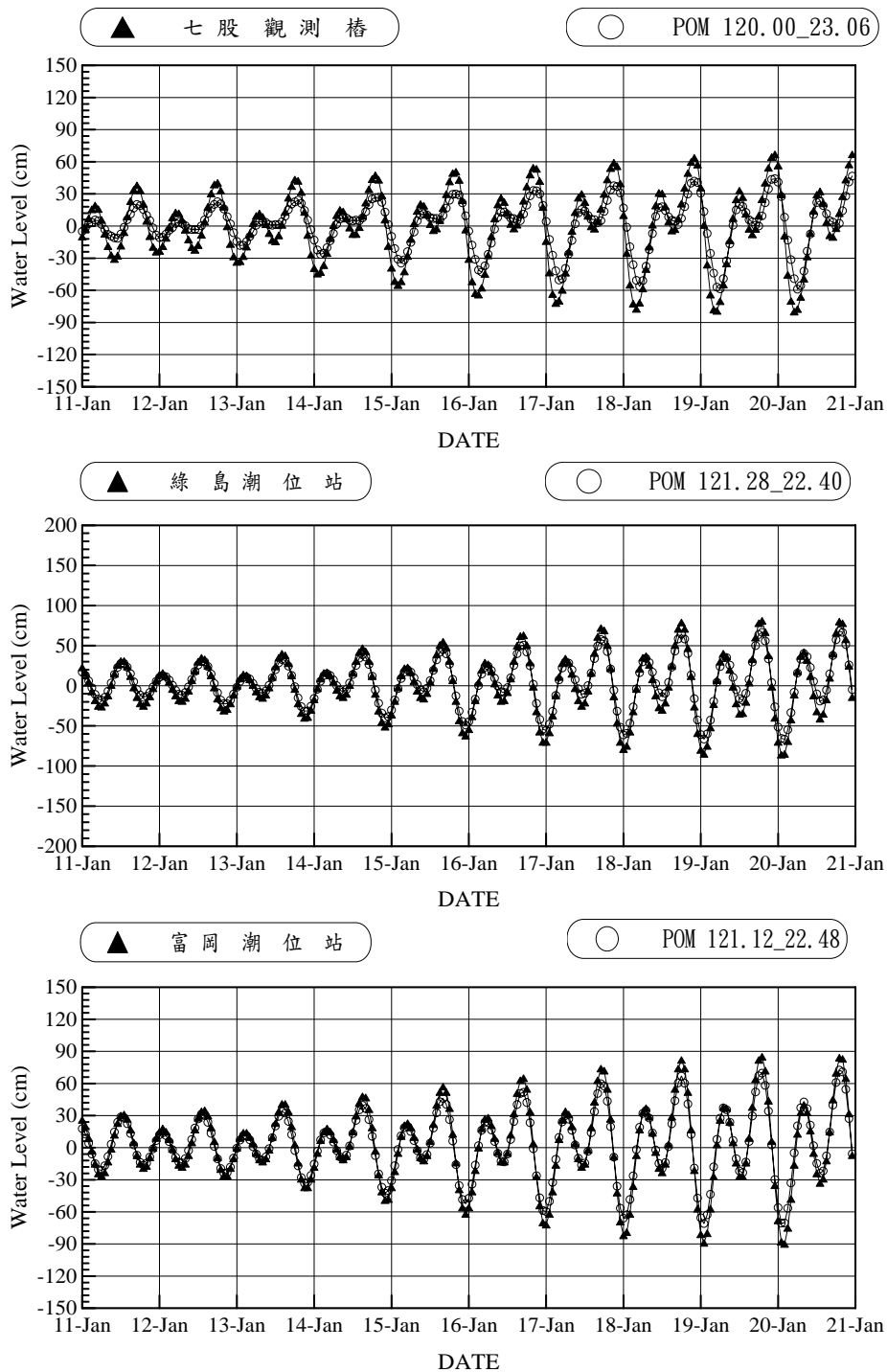


圖 2 2003 年 1 月中旬實測資料與模式之天文潮時序列比對圖

由於 POM 模式網格間距為 $1/8$ 度，故沿著台灣海岸線選取最靠近陸地的網格點，得到 75 個模擬的潮位站，以下利用此 75 個模擬潮位站的分潮資料進行統計分析，進而探討潮汐空間均勻性。



表 2 實測潮位資料與POM數值模式之 O_1 、 K_1 、 M_2 與 S_2 分潮差值比較

測站 分潮名		七股		綠島		富岡	
		振 幅 (cm)	相 位 (degree)	振 幅 (cm)	相 位 (degree)	振 幅 (cm)	相 位 (degree)
O_1	模擬值	11.3	181.8	11.2	268.2	10.9	266.3
	實測值	17.0	178.4	15.6	271.3	17.6	267.0
K_1	模擬值	15.2	241.0	13.8	222.5	13.7	221.5
	實測值	21.0	243.5	15.3	216.8	17.5	219.9
M_2	模擬值	20.4	197.5	34.0	230.3	36.5	238.8
	實測值	37.0	196.9	42.1	234.7	42.8	235.5
S_2	模擬值	10.7	250.1	17.1	185.2	18.5	185.0
	實測值	10.0	255.7	18.7	188.5	18.3	187.7

三、台灣環島海岸潮汐均勻性之分析

在不同的研究領域中，因工作性質或為求提高工作效率，常常將資料分成不同的型態。以往的分類，大多依據專業知識與經驗判斷，當遭遇到較多變數情況時，則增加了分類的困難度及準確性。在現實的情況下，若以統計方法處理問題時，常常是單一的應答，但是會有多個變量都顯示出極高重要性的例子，在這種情況下，這些變數應該一起處理，以利於得到關於這些變數之間的相關資訊。主成份分析可將多個變量化為少數幾個具有代表性的變量，再利用群集分析法提供一個客觀且快速之數值分類程序，得到有理可循且比較精確之結果。本研究為了明確劃分潮汐空間均勻性，利用潮流數值模式計算得到 75 個模擬潮位站之分潮常數，又影響潮汐變化的因子並非單一個，因此根據主成份分析與群集分析的特性潮汐特性之相似性探討。

3.1 分析方法介紹

3.1.1 主成分分析

主成份分析(PCA)是一個歷史悠久的多變數分析方法。目前較通用的方法則是於 1933 年由 Harold Hotelling 發表的論文裡面提出。但受限於較高的計算量，工程方面的應用一直到 70 年代末期計算機的出現，足以負擔大量的計算後，這類的多變數處理方法才能夠應用到工程上以得到更好的結果。



主成份分析觀念是把多個變量化為少數幾個綜合指標的一種統計的分析方法。在多變量的研究中，往往因為變量的個數太多，彼此之間可能存在相關性，使得反應的信息有所重疊，但由自由度分析的觀點來看，這些關係的存在會使得自由度降低，這意味著可以不需要那麼多的變數就可以決定系統的狀態，而主成份分析的目的就是要找到真正影響系統狀態的變數，使得問題的複雜程度大大的降低。

由於主成份分析有以上簡化問題複雜度的優點且不需要事先對於問題中所遇到的大量變數之間的關係加以瞭解即可進行分析，所以適用於大量變數或變數間關係不明的問題上。

主成份分析理論應用程序(考羅積玉，1980；Gnanadesik.an，1977；Dunteman，1984)簡述如後。

以本研究分析的對象為例，如果有 N 個模擬潮位站，每個模擬潮位站皆有 p 個變量 x_1, x_2, \dots, x_p ，經過主成份分析，將它們綜合成 p 個綜合變量，即

$$\begin{aligned} y_{1i} &= c_{11}x_{1i} + c_{12}x_{2i} + \dots + c_{1p}x_{pi} \\ y_{2i} &= c_{21}x_{1i} + c_{22}x_{2i} + \dots + c_{2p}x_{pi} \\ &\dots\dots\dots \\ y_{pi} &= c_{p1}x_{1i} + c_{p2}x_{2i} + \dots + c_{pp}x_{pi} \end{aligned} \quad i=1,2,\dots,N \quad (7)$$

且滿足 $c_{k1}^2 + c_{k2}^2 + \dots + c_{kp}^2 = 1$ ， $(k = 1, 2, \dots, p)$ 的關係。

其 C_{ij} 是由以下原則決定：(1) y_i 與 y_j ($i \neq j$; $i, j = 1, 2, \dots, p$)相互獨立；(2) y_1 是滿足主成份關係式中， x_1, x_2, \dots, x_p 一切的線性組合中方差最大者， y_2 次之，依次類推。

這樣決定的綜合指標因子 y_1, y_2, \dots, y_p 分別稱為原始變量的第一、第二、...、第 p 個主分量，它們的方差依次遞減。

主成份分析是一個於資料壓縮和資料萃取方面常用的方法，藉由分析代表變數間相關性的互變異矩陣，找到一組由原始變數經過線性組合而成的新變數，稱為主成份變數，且滿足以下性質：(1)每一主成份為原來變數的線性組合；(2)每一主成份必須能解釋最大的資料變異量；(3)第 K 個主成份必須解釋扣除第 $K-1$ 個主成份所剩餘的最大資料變異量；(4)此 K 個主成份彼此之間是不相關的。由以上的代數性質可以看出主成份分析的各座標軸相互正交，並且此主成份座標軸為唯一。

最後，為降低原始變量之維度，以達精簡資料之目的，可以選用較少之主成份因子替代原始大量的變量訊息，主成份之選取原則為假設前 P 個最大特徵值之主成份變異數總和之70%以上，即可選用。

3.1.2 群集分析

群集分析是一種採用一般邏輯程序，它能根據相似性及相異性，客觀地將相似者



歸集在同一群集內，使得每個群集內的個體差異小，而群集間的個體差異大。然而群集分析法並不曉得研究資料的群數，是一種僅根據資料中各個體之特徵是否相似而進行分群的方法。其分析步驟摘要如下(請參考羅積玉，1980；Romesburg，1984)：

(一)相似性(Similarity)的衡量：

相似性是一個相對的名詞，任何兩個物體對於其他物體而言，如果在各種變數上有相似之處，則這對物體可視為是相似的。

一般衡量成對物體相似性的方法，大致可分為：距離衡量(Distance measures)；關聯衡量(Association measures)；相關衡量(Correlatioanal measures)等三大類。

本研究採用的是距離衡量，它是將具有 m 個變量的樣本視為 m 維空間中的一個點，在這 m 維空間中定義其距離，距離較近的點歸為同一類。目前統計學家已設計了相當多的相似係數和相關距離的推算方法，其中歐氏距離(Euclidean distance)是較為廣泛應用來衡量樣本間的親疏程度，其表示為

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

其中 d_{ij} 表示第 i 個樣本和第 j 個樣本之間的距離； x_{ij} 表示第 i 個樣本的第 k 個變量； m ：變量數； n ：樣本數。

(二)階層群集法：

階層群集法是群集分析中應用最為廣泛的方法，凡具有數值特徵變量之樣本均可採用此法進行分類，其基本的想法是將 n 個樣本看成一類，先計算 $n(n-1)/2$ 個相似性尺度，並把兩個具有最小尺度之樣本之間先合併成一類，然後再該類和其餘 $(n-2)$ 個樣本之間的距離，如此反覆，在併類的過程中，須使每一併類的尺度在系統中保持最小，這樣每次減少一類，直至所有樣本都分類為止。

分類的方法有很多，而 Punj 和 Steward (1983) 曾歸納比較各種方法，發現華德法(Ward's method)為階層分群法中，效果較佳的方法。

Ward(1963)提出離差平方和法(squares sum of dispersion method)，亦稱華德法，它是基於方差分析概念：

若分類的得宜則同類樣本間之離差平方和應當較小，而類與類間之離差平方和應當較大。它假定已將具有 m 個變量的 n 個樣本分成 T 類， X_{ikt} 表第 t 類第 i 個樣本之第 k 個變量， n_t 表示第 t 類樣本之個數， \bar{X}_{kt} 代表第 t 類第 k 個變量的重心，則第 t 類中樣本的離差平方和為

$$S_t = \sum_{i=1}^{n_t} \sum_{k=1}^m (X_{ikt} - \bar{X}_{kt})^2 \quad (9)$$



$$\text{其中 } \bar{X}_{ikt} = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} (X_{ikt}) \quad (10)$$

T 個類的總類內離差平方和

$$S = \sum_{t=1}^T S_t = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{n_t} \sum_{k=1}^m (X_{ikt} - \bar{X}_{kt})^2 \quad (11)$$

Ward 提出先使 n 個樣本自成一類，此時 $S=0$ ，然後將其中某兩類合併成爲一類，使 S 增加最少，這時類的數目變爲 $(n-2)$ 個，隨後再合併其中兩類，使 S 增加最少，直到所有樣本都歸爲一類爲止。計算類與類間之距離後，可繪製群集譜係圖(hierarchical diagram)進行樣本之分類。

3.2 環島海岸潮汐均勻區域

本研究考慮天體間引潮力四個主要分潮，分別是 O_1 、 K_1 、 M_2 與 S_2 之振幅與相位作爲統計分析的變量，以統計方法配合模擬計算的潮汐資料進行環島海岸潮汐特性均勻性分析。經主成分分析後各個主成分之特徵值如表 3 所示。根據主成分分析對於成分保留的原則，特徵值之累積解釋變異百分比超過 70%的成分予以保留，故本研究選取第一個主成分。爲了進一步解釋第一個主成分代表的物理意義，利用變異數最大正旋轉(Varimax rotation)的方法，得到因子負荷矩陣(如表 4 所示)，因子負荷矩陣即代表第一主成分中，各個變量來解釋潮汐特性的權重，表 4 顯示第一個主成分在所有變數的權重大小接近，換句話說，上述 8 個變量(O_1 振幅、 O_1 相位、 K_1 振幅、 K_1 相位、 M_2 振幅、 M_2 相位、 S_2 振幅、 S_2 相位)皆爲影響台灣沿海潮汐特性之主要因素。

接著，以此 8 個變量進行群集分析，依據上述群集分析方法，距離較近的點歸爲同一類，距離較遠歸爲不同類，即可得到 75 個模擬潮位站之群集譜係圖如圖 3 所示，圖中橫軸爲歐氏距離，縱軸爲採用的模擬潮位站，圖中平行縱軸的粗虛線爲爲劃分依據，因此環島海岸潮汐均勻區域即可圈選出來，結果如圖 4 所示。以圖 4 中的 O 區域爲例說明如何圈選：圖 3 的縱軸爲 75 個模擬潮位站，由圖 3 的左上角顯示編號 1、2、3 及 4 四個模擬潮位站被圈選爲相同均勻區域，此四個模擬潮位站於圖 4 中定義爲 O 區域，同理，依序根據圖 3 的劃分結果，即可將台灣沿海潮汐特性分爲 15 個均勻區域，其中西部海岸的潮汐均勻區域共 10 區，如圖 4 之 A~J；東部海岸的潮汐均勻區域共 5 區，如圖 4 之 K~O。東岸的均勻區域較少代表東岸的潮汐特性不若西岸複雜，可能原因爲東岸爲開放海域，潮汐變化受到外在環境的影響較小。



表 3 主成分分析後各個主成分之特徵值

因素	特徵值	解釋變異百分比	累積解釋變異百分比
第一個主成分	6.0077	75.0973	75.09
第二個主成分	1.5114	18.8935	93.99
第三個主成分	0.2601	3.2520	97.24
第四個主成分	0.1238	1.5478	98.79
第五個主成分	0.0721	0.9013	99.69
第六個主成分	0.0188	0.2351	99.92
第七個主成分	0.0057	0.0712	99.99
第八個主成分	0.0001	0.0013	100.00

表 4 變異數最大正交旋轉法計算後，各主成分極化值後的因子負荷矩陣

變量	第一個主成分	第二個主成分	第三個主成分	第四個主成分	第五個主成分	第六個主成分	第七個主成分	第八個主成分
O ₁ 振幅	-0.9563	-0.2058	0.0025	0.1189	0.1474	0.0833	-0.0140	-0.0001
O ₁ 相位	-0.7730	-0.6124	-0.1017	-0.0498	-0.1087	-0.0125	-0.0488	-0.0004
K ₁ 振幅	-0.9686	-0.1644	0.0484	0.1090	0.0967	-0.1048	0.0061	-0.0001
K ₁ 相位	-0.7874	-0.6028	-0.0876	-0.0385	-0.0621	0.0212	0.0552	0.0004
M ₂ 振幅	-0.8860	0.4450	0.0586	0.0701	-0.0911	0.0098	0.0049	-0.0078
M ₂ 相位	-0.9059	0.1107	0.3496	-0.2107	0.0185	0.0063	-0.0020	0.0014
S ₂ 振幅	-0.8508	0.4977	-0.0085	0.1280	-0.1083	0.0078	-0.0008	0.0067
S ₂ 相位	0.7794	-0.4954	0.3376	0.1676	-0.0699	0.0080	0.0001	0.00004



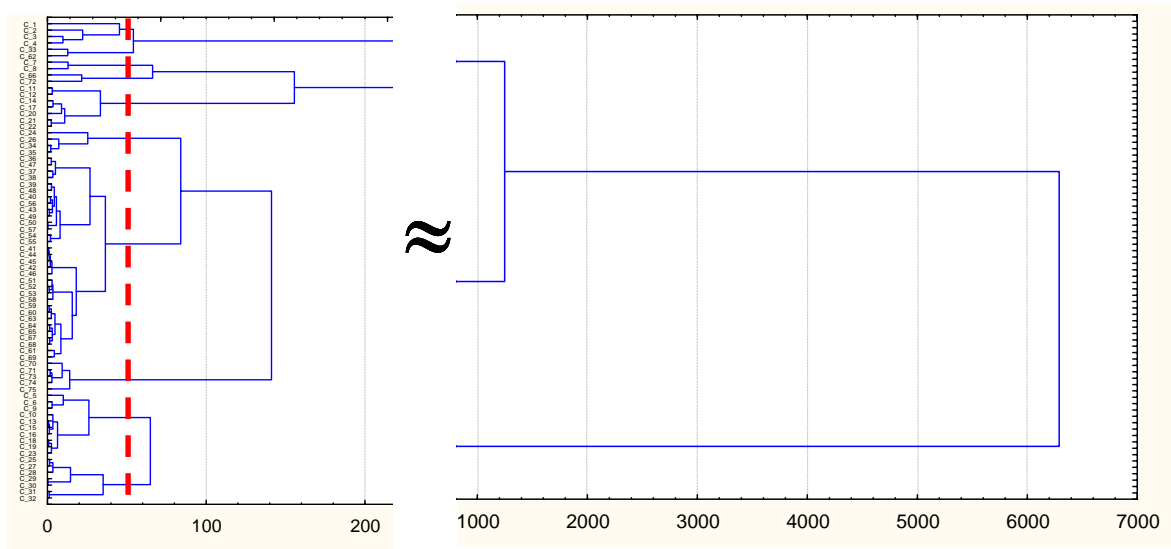


圖 3 台灣海域潮汐資料群集分析之譜係圖

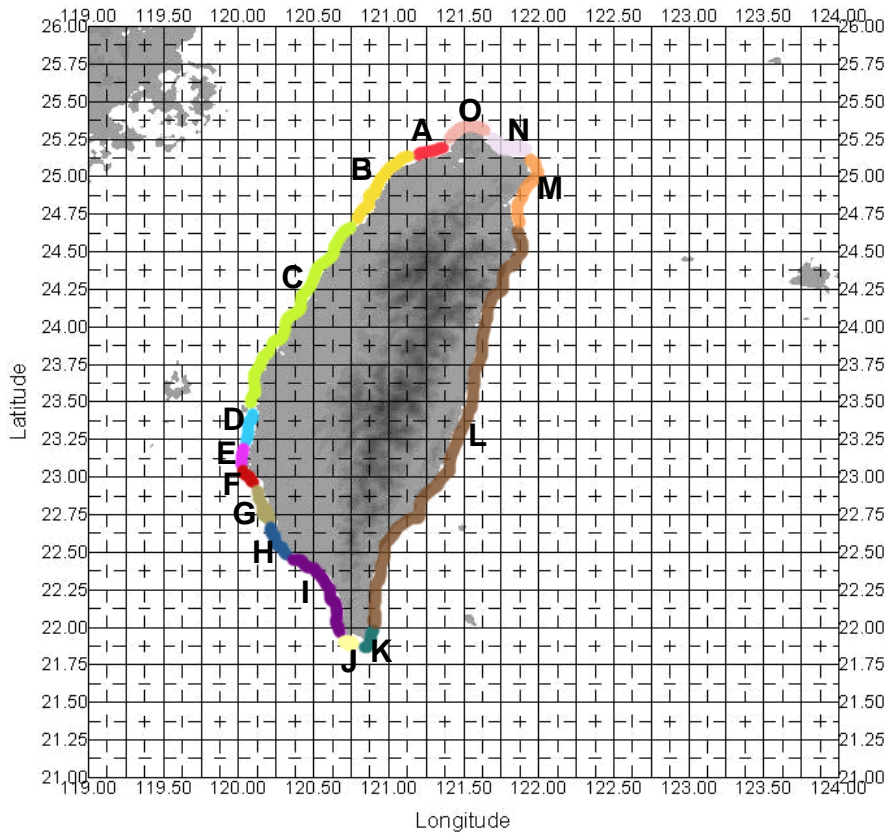


圖 4 台灣環島海域潮汐分區之空間分布圖



四、環島海岸潮汐均勻區域之驗證

本研究結合主成分分析與群集分析兩種統計方法，配合潮汐模式模擬台灣沿岸共 75 個模擬潮位站的潮位資料，得到台灣沿岸 15 個潮汐均勻區域。由於 POM 模式已經由實測值進行修正，其計算之潮汐資料具有一定的可信度，故以下就分別以東岸、西岸之四個主要分潮討論均勻區域的合理性。

以 O_1 、 K_1 、 M_2 與 S_2 四個主要分潮來討論西部海岸的潮汐特性，各個均勻區域之四個主要分潮的平均振幅與平均相位如下表 5 所示，表中A區域的 O_1 振幅為選取A區域內所有模擬潮位站潮汐資料的 O_1 振幅並取平均值，得到A區域的 O_1 平均振幅為 11.63 公分， O_1 相位為選取A區域內所有模擬潮位站的 O_1 相位並取平均值，得到A區域的 O_1 平均相位為 39.07 度，其他各區域的分潮之平均振幅與平均相位同理可求。

表 5 台灣西部海岸各均勻區域之平均振幅與平均相位

區域	O_1 振幅 (公分)	O_1 相位 (度)	K_1 振幅 (公分)	K_1 相位 (度)	M_2 振幅 (公分)	M_2 相位 (度)	S_2 振幅 (公分)	S_2 相位 (度)
A	11.63	39.07	14.96	254.40	96.71	126.37	30.03	1.84
B	12.72	45.00	17.02	261.43	142.88	132.30	46.45	11.41
C	13.68	50.61	19.02	268.10	143.44	133.00	47.00	15.41
D	12.53	50.37	17.39	268.05	64.06	116.46	19.21	355.47
E	12.08	50.55	16.68	267.99	45.91	105.55	13.29	339.77
F	11.69	51.06	16.10	268.07	34.64	93.15	10.16	320.55
G	11.15	52.45	15.23	268.24	25.16	69.71	8.53	288.87
H	11.00	55.36	14.43	270.13	20.45	56.32	7.91	272.09
I	12.38	56.54	15.38	276.79	19.83	47.17	8.28	262.67
J	12.81	43.16	16.72	259.60	25.23	35.80	10.78	253.82

比較各區域的分潮平均振幅，各分潮平均振幅變化如圖 5 所示，圖中顯示全日潮波(O_1 與 K_1) 平均振幅約介於 10~20 公分之間，全日潮波在台灣西岸變化不大，最大振幅與最小振幅的差值小於 5 公分；半日潮波(M_2 與 S_2)平均振幅的變化由北部往中部遞增，到了雲嘉海岸後，振幅開始遞減，最大振幅的發生處集中在海峽中段處，同時往南北兩端逐漸減小，振幅分佈近似駐波型態，半日潮波在台灣西岸變化大。此與過去國內學者(陳，黃，1990)的研究結果符合，可見本研究於西部海岸均勻區域的劃分結

果尚算明確。西部海岸之各均勻區域平均相位變化圖則如圖 6 所示，四個主要分潮的相位在各區均略有差異，以 O_1 分潮變異最小， S_2 分潮的變異最大。

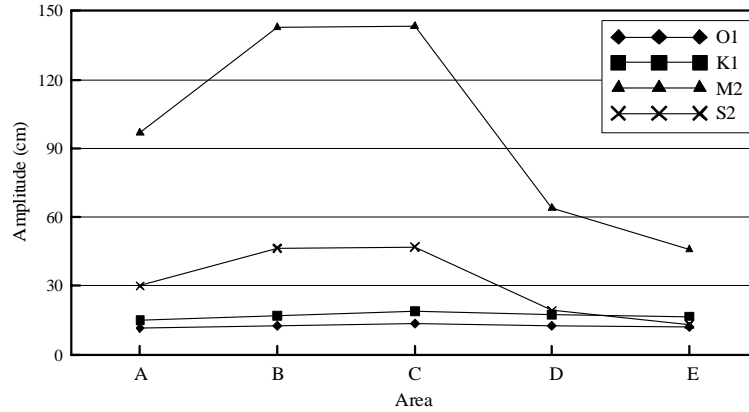


圖 5 台灣西部海岸各均勻區域之平均振幅變化圖

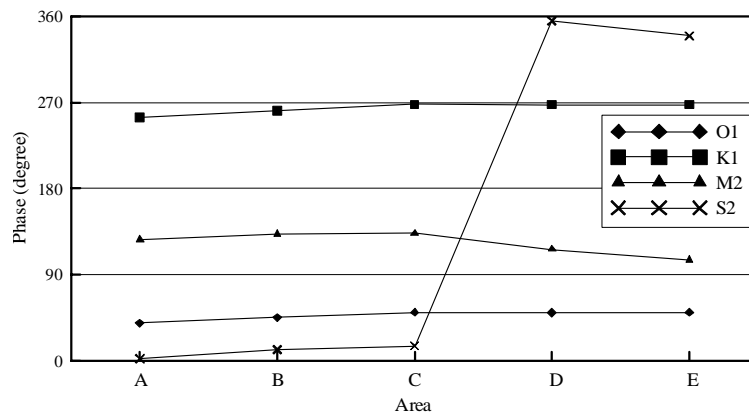


圖 6 台灣西部海岸各均勻區域之平均相位變化圖

東部海岸各個均勻區域之四個主要分潮的平均振幅與平均相位如表 6 所示，由表中結果顯示，台灣東部海岸各分潮的振幅與相位變化幅度小。若比較台灣東西海岸兩側振幅，顯示西岸的振幅略大於東岸。

又綜合比較各個均勻區域，顯示兩兩之間的平均振幅極為相近，但相位卻有明顯差距，因此被區分為不同的區域。以L區域與M區域為例，兩區域的振幅大小接近(如圖 7)，但 M_2 與 S_2 的相位有一定的程度誤差(如圖 8)，因此本研究將這兩個區域歸為不同類，其餘各區域也是經由 8 個變量彼此之間的相互比較，合理的判斷為不同的區域。

表 6 台灣東部海岸各均勻區域之平均振幅與平均相位

區域	O ₁ 振幅 (公分)	O ₁ 相位 (度)	K ₁ 振幅 (公分)	K ₁ 相位 (度)	M ₂ 振幅 (公分)	M ₂ 相位 (度)	S ₂ 振幅 (公分)	S ₂ 相位 (度)
K	10.77	36.38	13.62	249.69	32.19	24.98	13.76	245.17
L	9.73	27.058	12.10	237.32	34.15	28.01	14.67	243.64
M	10.16	25.74	12.38	235.93	30.39	45.38	12.50	255.37
N	10.27	27.26	12.69	239.16	31.98	76.35	10.50	285.17
O	10.70	28.56	12.77	240.95	34.34	89.96	10.17	301.79

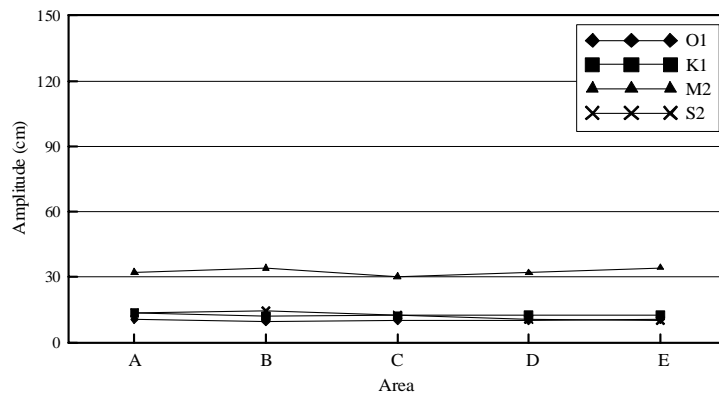


圖 7 台灣東部海岸各均勻區域之平均振幅變化圖

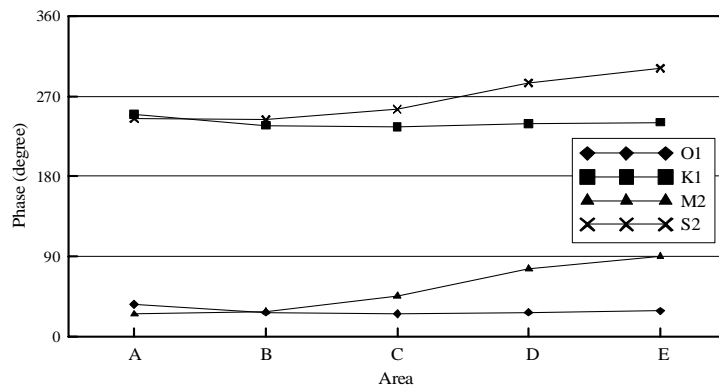
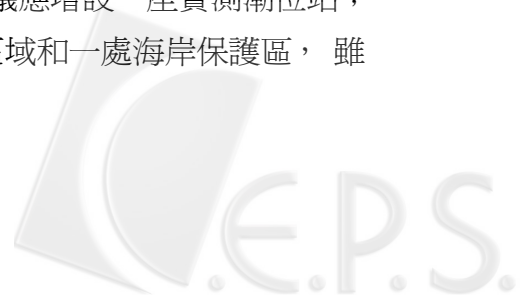


圖 8 台灣東部海岸各均勻區域之平均相位變化圖

依據本研究之成果相關東西海岸的分區量可提供政府相關單位作為新增置潮位測站的決策參考。舉例來說：F 區域(台南七股海岸)內含一條主要河川、一處海岸災害嚴重區域和一處濱海工業區，但沒有設置潮位站，故建議應增設一座實測潮位站；M 區域(蘭陽海岸)內含一條主要河川、一處海岸災害嚴重區域和一處海岸保護區，雖



然本區域設置有實測潮位站(梗枋潮位站)，但不具資料即時傳輸功能，故建議可引用同一分區內具有資料即時傳輸功能的替代測站，或增設新站。

五、結論與建議

本文利用POM潮流模式模擬台灣海域潮汐資料，再以主成分分析與群集分析統計方法對資料進行均勻區域的探討，以四大分潮 O_1 、 K_1 、 M_2 與 S_2 之振幅與相位為依據，從譜系圖與空間均勻性分佈圖中，顯示台灣海域的潮汐均勻區域可分為 15 個區域，其中西部沿海的潮汐均勻區域共 10 區，東部沿海的潮汐均勻區域共 5 區。

由四個主要分潮顯示台灣海域東西岸潮汐特性不同，西岸以半日潮為主，東岸則為混合潮，此結果與前人研究相似，證明了本文採用的研究方法可以合理的描述台灣海域潮汐特性。

檢視國內目前正在運作的實測潮位站，顯示本研究之 F、H、K 區域無實測潮位站，或分區內雖有實測潮位站，但資料無法即時傳輸，導致無法配合海岸地區淹水計算，進而滿足防災之需要。本研究以學理的方法進行潮汐空間均勻性分析，由分析結果顯示不同海域的分析結果有一定程度的差異，故不論從科學上、海洋工程觀點、淹水模式之使用、以及未來海岸遊憩區規劃設計等各方面需求，本研究成果應可提供政府相關單位在增設潮位測站的決策參考。

謝誌

本文承蒙經濟部水利署民國 91 至 94 年度專題計畫“台灣沿海潮位站網分類評估與海岸災害決策支援系統之建立”經費之補助，特此致謝。

參考文獻

1. 詹森、邱朝聰、連榮慧 (1999) 「TSNOW現場觀測資料報告，台灣海峽海況即時預報模式第二年—潮汐、潮流數值模擬結果之驗證」，台灣海峽海況即時預報模式計畫(TSNOW)研討會論文集，第22-33頁。
2. 陳怡發、黃煌輝 (1990) 「台灣沿海潮汐資料之整理及分析」，第五屆水利工程研討會論文集，第1050-1063頁。
3. 吳旭朕 (1986) 台灣西海岸潮汐變化特性分析，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
4. 羅積玉 (1980) 多元統計分析方法與應用，科技圖書股份有限公司。
5. Dunteman, G.H. (1984) *Introduction to Multivariate Analysis*, Sage Publications.



6. Gnanadesikan, R. (1977) *Methods for Statistical Data Analysis of Multivariate Observations*, John Wiley & Sons, Inc..
 7. Hotelling, H. (1933) "Analysis of a complex of statistical variables into principal components," *Journal of Educational Psychology*, Vol. 24, pp. 417-441.
 8. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M. (2000) "Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan," *Journal of Oceanography*, Vol. 56, pp. 567-581.
 9. Punj, G. and Steward, D.W. (1983) "Cluster analysis," *Journal of Marketing Research*, Vol. 20, pp. 134-148.
 10. Romesburg, H.C. (1984) *Cluster Analysis for Researchers*, LuLu Press..
 11. Ward, J. H. (1963) "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function," *Journal of the American Statistical Association* Vol. 58, pp. 236-244.
-

2005年3月9日收稿

2005年8月17日修改

2005年9月21日接受

