

台灣西南海域海流特性分析

李柏霖^{1*} 黃清哲^{1,2} 饒國清² 施孟憲²

摘要

本研究利用國立成功大學近海水文中心於台灣海峽佈放之六座資料浮標(澎湖、七股、彌陀、曾文、小琉球及鵝鑾鼻)，分析各區域海流特性，將以潮流、風驅流及低頻流等為主要研究對象。本研究特色為，利用能同時呈現時間域及頻率域的小波轉換(Wavelet Transform)作為主要分析工具，相較於其他訊號分析方法，利用小波轉換更能關注於時間軸上頻率的變化，以及其有更好的局部分析彈性，更適用於非穩態訊號的處理，分析各種海流成份隨著時間頻率的變化，比較各地區小波頻譜之間的差異。小波轉換分析結果顯示，澎湖、七股及曾文海域潮流型態為半日潮為主，其餘皆為混合潮，而各區旋轉譜型態皆各有不同。風驅流以澎湖區域最為明顯，冬季時受東北季風影響，風速強勁且方向集中，有 86% 的風速資料吹向南南西，風速與風驅流流速，相關係數達 0.71 為高度相關。各區域低頻成份海流之週期皆為 15 日左右，澎湖全年皆有此成份低頻流通過，尤以冬季能量最強，台灣最南端之鵝鑾鼻測站，僅有冬季時有此成份低頻流通過，而七股、曾文及彌陀，則是於夏季能量最強。

Characteristics of Ocean Current in the Southwestern Taiwan Water

Buo-Lin Lee^{1*} Ching-Jer Huang² Mon-Shen Shi³ Kuo-Ching Jao⁴

ABSTRACT

This study presents the characteristics of tidal current, wind-induced current and long-term current in the southwestern Taiwan water based on the monitoring data obtained from six data buoy deployed in this region. The six data buoys are Chiku, Tzengwen, Mituo, Penghu, Siao Liouciou and Eluanbi, and are operated and maintained by the Coastal Ocean Monitoring Center (COMC), National Cheng Kung University. Wavelet transform was used in this study to reveal the characteristics of the non-stationary signals. Another benefit using this method is that it can transform the time-series data into the time-frequency domain. The results of wavelet rotary spectrum show that the tidal current at Penghu, Chiku and Mituo is semidiurnal tide, while that at other buoy stations is semidiurnal mixed tide. In the Penghu water during the winter, because of the northeast monsoon the wind speed is large and highly concentrated (86% of the wind directed towards SSW), the wind speed and the wind-induced current speed is highly correlated with a correlation coefficient of 0.71. The results reveal also that each region has a long-term current with a period of around 15 day. This long-term current exists throughout the year at Penghu and is strongest in the winter. At Eluanbi this current appears only in the winter, while at Chiku, Tzengwen and Mituo it is stronger in the summer.

一、緒論

台灣四面環海，海洋科學研究日益重視下，國立成功大學於民國 87 年成立近海水文中心 (Coastal Ocean Monitoring Center, COMC)，自行研發海洋環境監測資料浮標 (Data Buoy)；目前包含經濟部水利

署、交通部中央氣象局、觀光局等單位均委託近海水文中心從事海洋環境監測作業，24 小時監測台灣環島的波浪、潮流、海岸氣象等水文狀態，該資訊並已廣泛運用在海岸災害防治、海洋氣象預報、海難救助、海域活動安全資訊及漁撈養殖等方面。

¹ 國立成功大學 水利及海洋工程學系

² 國立成功大學 近海水文中心

台灣西部海域之海流，分別以潮流、風驅流(風吹流)及低頻流做討論。潮流部份因地形影響，各區差異明顯，西部地區越往南，潮差及潮流流速越小，中部潮差最明顯，而外島地區受地形影響小，潮流較不明顯。風驅流部份，季風或區域風場的強弱影響風驅流的強弱，而東北季風又比西南季風時期影響更大。本研究目的即為分離海流中主要影響成份，探討該地區各種海流角色的影響。因台灣近海受潮汐影響明顯，故先從潮流著手；首先利用調和分析(Harmonic Analysis)將潮流資料處理後得到不同週期的分潮，得出該區主要影響的分潮後繪製潮流橢圓，進而觀察其潮流組成成份；風驅流則以實際浮標測量流速流向資料，對應風速風向得出季節性風場的相關係數，對比各季節風流影響結果；最後則以小波轉換時頻譜(Wavelet Power Spectrum)觀察各區域浮標海流的低頻率海流隨時間變化的特性，再比較低頻率域與高頻率域的小波轉換全域頻譜(Wavelet Global Spectrum)比例，觀察各區高低頻率成份海流的組成成份。

二、理論分析

以往分析各種自然界中的訊號時，一般以傅立葉轉換最為常見，對於定常性(stationary)訊號有較佳的分析，但現實生活中的訊號往往為非定常性(nonstationary)的訊號，若只利用傅立葉轉換來分析，時序列中的非週期性或局部雜訊將無法看出，且對於隨著時間而改變其訊號特性的資料而言，無法藉由頻譜圖看出頻率的能量隨著時間改變的關係。小波分析(wavelet analysis)可同時獲得能量在時間域及頻率域上的分布情形，故選擇小波轉換為主要分析工具。

小波轉換為小波母函數(mother wavelet)經由平移(translation)和收縮或擴張(compress or dilation)後可得一組小波函數，如下式所示：

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

其中 a 為尺度參數(scale factor or scale parameter)， b 為平移參數(translate factor or translate parameter)。小波轉換視窗特性特點在於，視窗面積雖然固定，但形狀隨著尺度參數的改變，

進而影響各頻帶分析的結果。如圖 1 可知，兩不同尺度參數 $s < s_0$ ，尺度參數 s 時，具有較好的時間解析度和較差的頻率解析度，而尺度參數 s_0 時，具有較好的頻率解析度和較差的時間解析度。

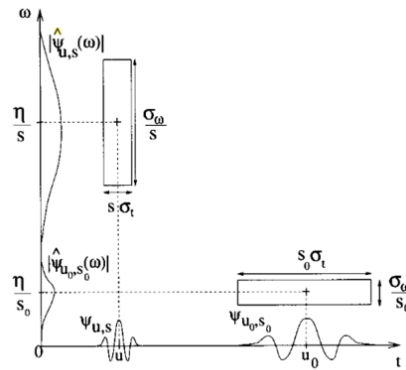


圖 1 小波轉換時頻盒示意圖

(摘自 Mallat, 1998)

小波母函數種類繁多，一般常見為 Haar 小波、Daubechies 小波、Meyer 小波、及 Mexican hat 小波，不同的選擇對於分析訊號的時頻視窗寬度皆會有所不同，本研究使用 Morlet 函數作為小波母函數，由 Morlet et al. (1982) 建立，其函數如下式：

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-0.25} e^{i\omega_0\eta} e^{-0.5\eta^2} \quad (2)$$

其中 η 為無因次時間參數(nondimensional time parameter)， ω_0 為無因次頻率(nondimensional frequency parameter)，此處 ω_0 取 6 以符合前式小波母函數均值需為零的條件(Farge, 1992)，頻率視窗為高斯分布曲線，對應頻率中心向兩側對稱衰減，即頻率視窗為一個對稱形狀，而頻率包含範圍亦為對稱，能量集中於中心點。

根據牛頓的平衡潮理論所述，潮汐運動乃因天體之間的相互引力，因此潮流隨著潮汐漲退起伏有所流動，具有旋轉波動的特性(Xia et al., 1995; 林等, 2000; 莊和張, 2012)。為求解潮流之旋轉特性，在此將流速向量轉換為兩旋轉分量，分別為順時鐘旋轉及逆時鐘旋轉 (Mooers, 1973; Gonella, 1972)，小波轉換後的流速向量 $\vec{X}(\omega, t)$ 可表示為順時鐘旋轉 U_- 及逆時鐘旋轉 U_+ 兩個分量，如下二式所示：

$$U_+(\omega, t) = |U_+(\omega, t)| \exp[-i\theta_+(\omega, t)] \quad (3)$$

$$U_-(\omega, t) = |U_-(\omega, t)| \exp[i\theta_-(\omega, t)] \quad (4)$$

其中 θ_+ 及 θ_- 分別為複數函數 U_+ 及 U_- 的相位，因此小波轉換在卡氏座標上的順時鐘時頻譜及逆時鐘時頻譜分別如下式所示：

$$|U_+(\omega, t)|^2 = [\tilde{u}_r(\omega, t) - \tilde{v}_i(\omega, t)]^2 + [\tilde{u}_i(\omega, t) + \tilde{v}_r(\omega, t)]^2 \quad (5)$$

$$|U_-(\omega, t)|^2 = [\tilde{u}_r(\omega, t) + \tilde{v}_i(\omega, t)]^2 + [\tilde{u}_i(\omega, t) - \tilde{v}_r(\omega, t)]^2 \quad (6)$$

藉由小波轉換旋轉譜分析，除了可以觀察原有小波轉換的時頻譜特性外，更能看出潮流在該時間域時，特定頻率域分量的運動行為。

三、資料彙集

3.1 浮標位置

本研究共採用六座浮標資料做為分析資料來源，浮標所在位置分別為：澎湖浮標(澎湖姑婆嶼外海北北東方約 1 公里)、七股浮標(台南七股頂頭額沙洲外海約 2.5 公里)、曾文浮標(台南七股頂頭額沙洲外海約 8 公里)、彌陀浮標(永安港西南外海)、小琉球浮標(屏東縣琉球鄉之小琉球海子口外海約 4 公里)、鵝鑾鼻浮標(墾丁香蕉灣南方 3 公里)，相對位置如下圖 2 所示。

3.2 觀測儀器

資料浮標型式為蝶型浮標，直徑為 2.5 m、高度為 5 m、重量為 1.3 ton、浮力為 3.3 ton，裝備有風速計、氣壓計、氣溫計、波浪感測器以及水溫計、剖面流速儀。流速大小量測範圍為 ± 10 m/s、解析度為 0.1 cm/s、準確度為 0.5 cm/s，流向角度量測範圍為 0~360 deg、解析度為 0.1 deg、準確度為 0.5 deg。資料浮標儀器相關位置圖如下圖 3 所示。



圖 2 各浮標相關位置圖



圖 3 資料浮標儀器相關位置圖

四、結果與討論

4.1 潮流分析

由圖 4 可知，七股冬季潮流方向為北北東至南南西，穩定且一致，主要分潮皆為 M2 及 S2 之半日潮所組成，潮流最大流速為 68.4 cm/s，主要漲退潮角度為 71.1°。觀察圖 5 及圖 6，由冬季右側小波全域譜可知，能量皆集中在週期 0.5 天左右，結合上述潮流橢圓可證明七股地區潮流主要以半日潮型態為主，其餘週期能量皆小於半日潮成分。再觀察冬季左側小波時頻譜可知，順時鐘能量譜及逆時鐘能量譜，能量變化皆十分明顯，結合上述潮流橢圓的主要潮流分量流動型態，皆以單一方向北北東至南南西流向為主，可知七股地區潮流以沿岸直線流動為主，較無法看出潮流以橢圓型態流動。

由圖 7 可知，曾文冬季潮流方向約以正北偏西至正南偏東，主要分潮為 M2 及 S2 之半日潮所組成，潮流最大流速為 61.2 cm/s，主要漲退潮角度為 99.3°。觀察圖 8 及 9，由冬季右側小波全域譜可知，能量集

中於週期 0.5 天左右，對比圖 4.1.4，冬季潮流呈現一直線來回運動，所以順時鐘旋轉譜與逆時鐘旋轉譜能量相當。

由圖 10 可知，彌陀冬季潮流方向約為正北至正南，主要分潮為 M2 及 S2 之半日潮所組成，潮流最大流速為 29.5 cm/s，主要漲退潮角度為 95.27°。觀察圖 11 及圖 12，由彌陀冬季右側小波全域譜可知，能量皆集中在週期 0.5 天和週期 1 天左右，結合上述潮流橢圓，潮流橢圓所顯示的最大兩分潮較小，可知彌陀地區潮流屬於混合潮型。再觀察冬季左側小波時頻譜可知，順時鐘能量譜變化皆明顯於逆時鐘能量譜，此顯示彌陀地區潮流流動型態為順時鐘運動。

由圖 13 可知，澎湖冬季潮流方向皆為約東北至西南，主要分潮為 M2 及 S2 之半日潮所組成，潮流最大流速為 21.0 cm/s，主要漲退潮角度為 46.9°。觀察圖 14 及圖 15，由澎湖冬季右側小波全域頻譜圖中可得知，能量皆集中於週期 0.5 天左右，其餘能量皆小於週期 0.5 天許多，可知澎湖區域潮流為半日潮為主導的潮流型態。再觀察冬季左側小波時頻譜可知，逆時鐘旋轉能譜能量皆高於順時鐘旋轉能譜，比對潮流橢圓圖可知，澎湖區域潮流主要以逆時鐘旋轉運動。

由圖 16 可知，小琉球冬季潮流流向約以東西向為主，主要分潮為 L2 及 ETA2 所組成，潮流最大流速為 10.4 cm/s，主要漲退潮角度為 8.25°。觀察圖 17 及圖 18，由小琉球冬季右側小波全域譜可知，能量皆集中於週期 0.5 天左右及 1 天左右兩頻帶，可知此區域潮流為混合潮型。再觀察左側小波時頻譜可知，順時鐘旋轉能譜能量皆大於逆時鐘旋轉能譜，對比潮流橢圓圖，潮流運動型態為順時鐘旋轉。

由圖 19 可知，鵝鑾鼻冬季潮流方向約以西北至東南，主要分潮為 M2 半日潮及 K1 全日潮所組成，潮流最大流速為 24.7 cm/s，主要漲退潮角度為 148°。觀察圖 20 及 21，由鵝鑾鼻冬季右側小波全域譜可知，能量於週期 0.5 天左右及週期 1 天左右最強，佐證潮流橢圓圖最大兩分潮 M2 及 K1 分潮，鵝鑾鼻區域潮流以混合潮型態。再觀察冬季左側小波時頻譜可知，順時鐘旋轉譜及逆時鐘旋轉譜能量相差不多，與七股地區相同的是，對照潮流橢圓型態幾乎呈直線流動，所以旋轉能譜較無法看出為順時鐘或逆時鐘旋

轉的型態為何。

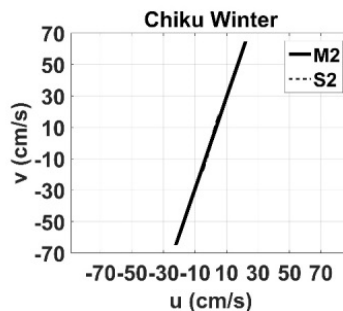


圖 4 七股冬季潮流橢圓

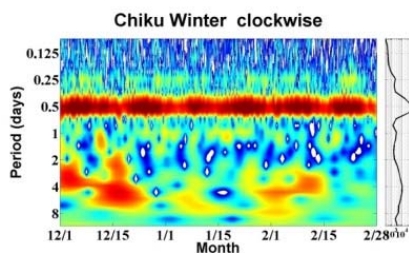


圖 5 七股冬季順時鐘時頻譜

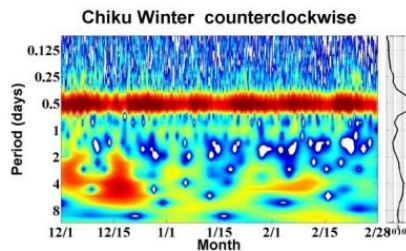


圖 6 七股冬季逆時鐘時頻譜

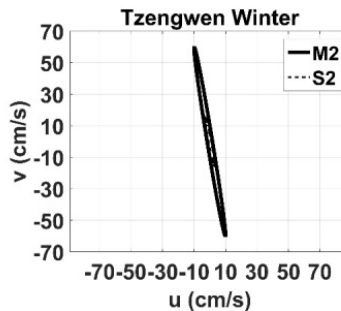


圖 7 曾文冬季潮流橢圓

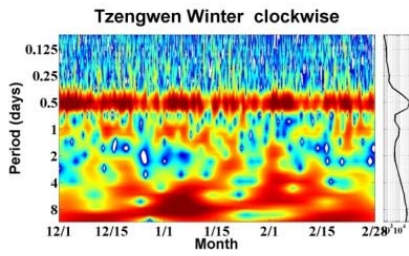


圖 8 曾文冬季順時鐘時頻譜

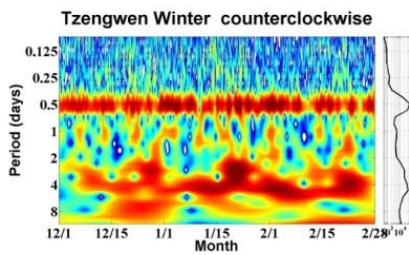


圖 9 曾文冬季逆時鐘時頻譜

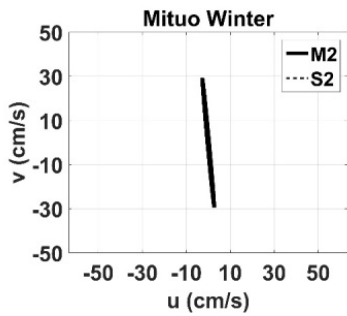


圖 10 彌陀冬季潮流橢圓

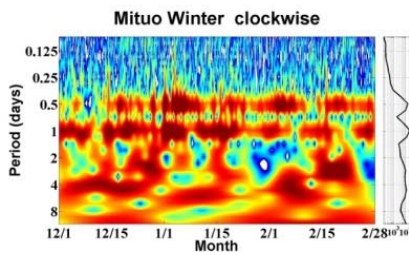


圖 11 彌陀冬季順時鐘時頻譜

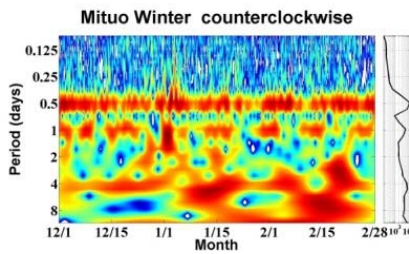


圖 12 彌陀冬季逆時鐘時頻譜

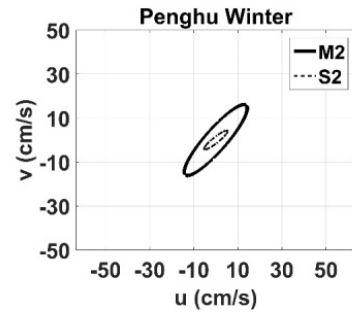


圖 13 澎湖冬季潮流橢圓

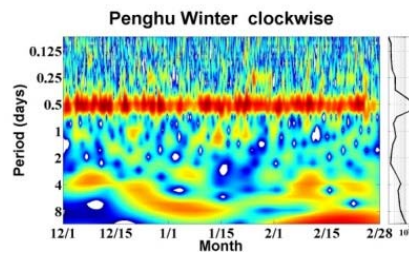


圖 14 澎湖冬季順時鐘時頻譜

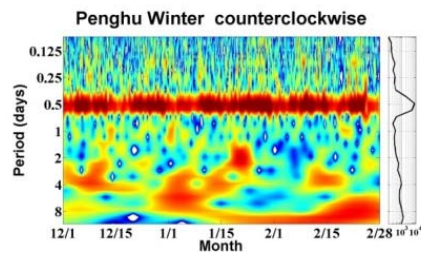


圖 15 澎湖冬季逆時鐘時頻譜

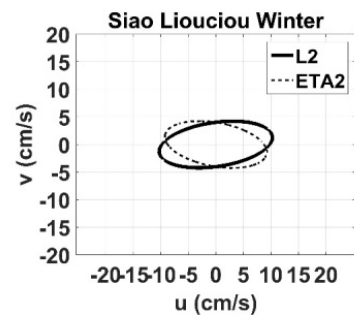


圖 16 小琉球冬季潮流橢圓

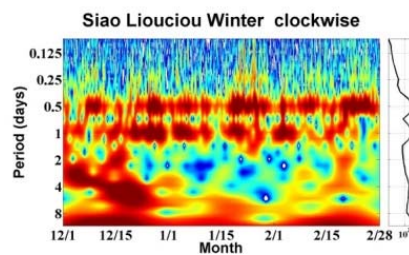


圖 17 小琉球冬季順時鐘時頻譜

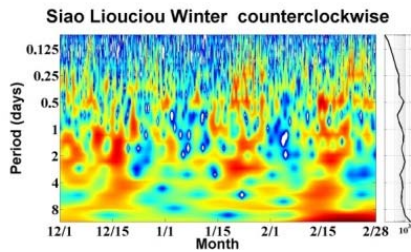


圖 18 小琉球冬季逆時鐘時頻譜

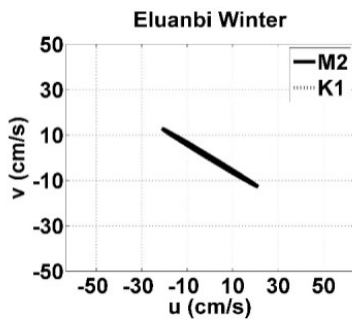


圖 19 鵝鑾鼻冬季潮流橢圓

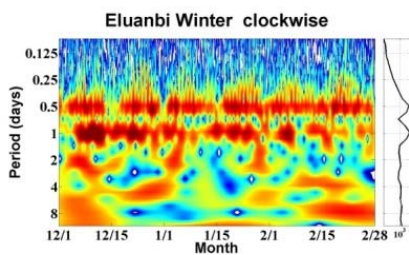


圖 20 鵝鑾鼻冬季順時鐘時頻譜

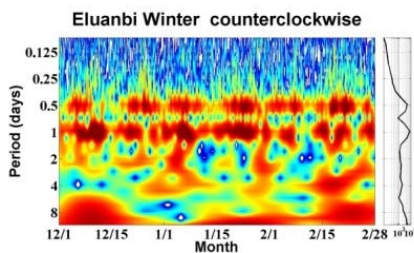


圖 21 鵝鑾鼻冬季逆時鐘時頻譜

4.2 風驅流分析

本節採用地區浮標資料之風速對比流速進行分析，因為五座浮標之風速資料中，皆為冬季風速之強度較強且為較集中，故本節取各地區之冬季做為深入探討資料來源，將風速簡化為四個主要方向，並統計該方向風速組成之百分比，觀察該方向的風速強度集中性。將資料做濾波處理後，探討高頻風

速與高頻流速彼此對應之延遲時間，再將每一次的對應延遲時間做相關係數分析。

七股地區冬季風速組成以 53.1% 為南南西向，超過 12m/s 風速共有 15.4%，而 38.9% 風速為南向，超過 12m/s 風速共有 14.6%，在南南西至南南東間的風速組成，約超過 30% 的風速大於 12m/s，在此區間的風速占總資料比例也超過 90%，所以七股冬季十分適合做風驅流相關影響的探討。利用相關係數分析後，七股冬季海流流速對應風場影響之延遲時間如圖 22 所示，最大值達 0.72 屬於高度相關性，但在延遲時間並未如理論所示，最大值為延遲第一小時，隨著延遲時間延續，相關係數值隨之下降。

彌陀地區冬季風速組成大小如表 4.3.2.a 所示，在南南西至南南東間的風速組成，約超過 7% 的風速大於 12m/s，而總資料筆數的 53% 集中在風速介於 6m/s 至 12m/s 之間，在南南西至南南東區間的風速占總資料比例約為 85%，與七股地區相比，風向同樣集中在此區間，但風速大小卻相差非常多。利用相關係數分析後，彌陀冬季海流流速對應風場影響之延遲時間如圖 23 所示，最大值達 0.36，屬於低度相關性，對照七股地區的相關性分析，最集中方向之大於 12m/s 風速，七股為 15.4% 而彌陀僅僅 5%，相差三倍之多，延遲時間也並無表現出該有的理論延遲時間，最大值停留在一小時後便緩緩下降。

澎湖冬季風速組成以 85.8% 為南南西向，約超過 62.5% 的風速大於 12m/s，與上述之值相比，僅僅多 1.5% 為非南南西向的風向，對比其他區域，澎湖地區有一半以上的風速資料都比大部分的區域最大風速還要強勁。利用相關係數分析如圖 24 所示，最大值約為 0.71，屬於高度相關性，而且延遲時間也符合理論值的假設，澎湖冬季流速對應風速，相關係數最大值落在延遲時間 4 小時，在 4 小時發生的前後曲線下降，表示澎湖地區在風場吹拂海面後，經過 4 小時的持續時間，經海面摩擦後開始推動海流。

小琉球冬季風速最主要的方向為北風所組成，大於 12 m/s 風速的資料僅占不到 7%，而小於 12 m/s 風速的資料占約 70%，算是相當集中，但是與其他區域比起，風速是相對較弱。利用相關係數分析後，小琉球冬季海流流速對應風場影響之延遲時間如圖

25 所示，最大值為延遲時間第一個小時，相關係數為負值，就理論而言，此分析結果是不符合正常流速對應流速延遲時間的正常情況的，因此分析此區域分析結果失敗的原因有三點；第一，此區域流速的組成，對比其他區域既不集中也不夠強烈，流速組成可能是主要原因之一。第二，小琉球資料浮標中，流速缺值過大，導致對應流速資料時會有不同時刻的資料發生。

鵝鑾鼻冬季的流速介於東北東至東南東資料筆數占冬季資料筆數共 69% 左右，算是相當集中，但就風速強度來說，鵝鑾鼻地區風速主要以介於 6 m/s 至 12 m/s 為主，占冬季總資料筆數 37.59%，此區域冬季時刻未有大於 18 m/s 的風速資料，風速還是屬於偏弱。利用相關係數分析後，鵝鑾鼻冬季海流流速對應風場影響之延遲時間如圖 26 所示，最大值在流速對應風速延遲第一個小時，相關係數不到 0.1，屬於低度相關性，由此可知，雖然此區域風速集中，但強度不夠推動海流，且受浮標所部放位置影響，鵝鑾鼻浮標位於恆春半島南方巴士海峽上，海流流動主要以，沿著海岸西北至東南流動，恰與風速組成之主要風速方向垂直，所以導致風場在鵝鑾鼻浮標所在位置的海流影響較低。

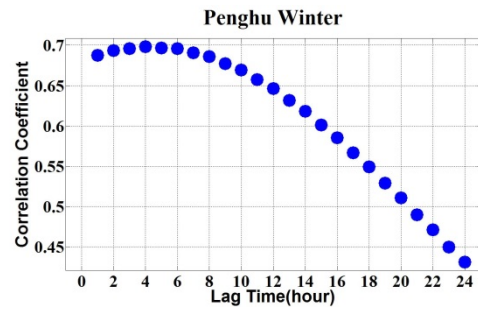


圖 24 澎湖冬季流速對應風速延遲時間圖

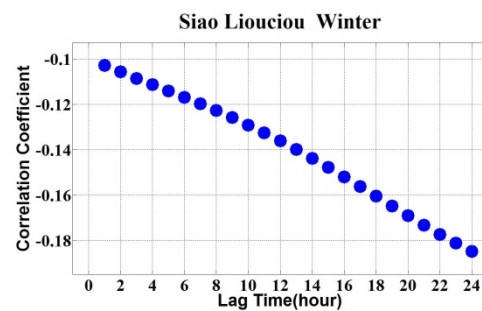


圖 25 小琉球冬季流速對應風速延遲時間圖

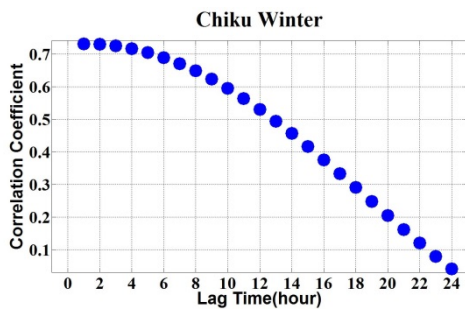


圖 22 七股冬季流速對應風速延遲時間圖

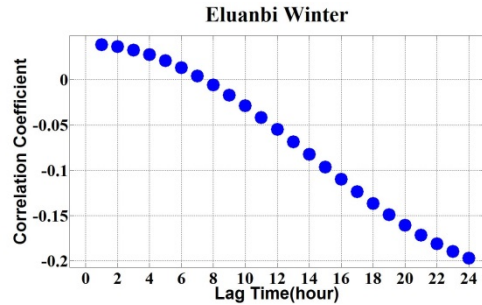


圖 26 鵝鑾鼻冬季流速對應風速延遲時間圖

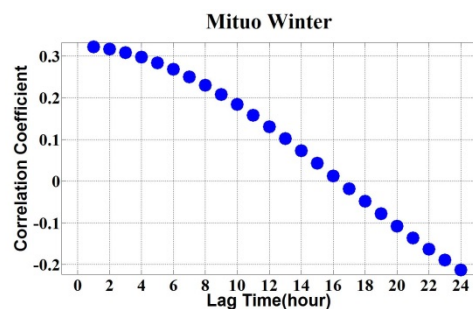


圖 23 彌陀冬季流速對應風速延遲時間圖

4.3 低頻流分析

由圖 27 所示，七股浮標觀測資料於五月至十一月初有週期約 16 日成份的海流出現，能量最強出現在五月底至九月初及十月至十一月初，此成份的低頻流在春季較不明顯，在秋末及冬季則有相對微弱的狀況出現。

由圖 28 所示，能量共有四部份較為明顯，分別為週期 16 日成份的海流時間位於九月至十月初、二月前後及七月至八月初，而週期 8 日成份的海流則在一月最為明顯；若以季節區分，夏秋兩季延續至

冬季末是週期 16 日成份的海流所在的時間，週期 8 日成份的海流在各季皆有斷斷續續的出現，在冬季在為明顯，而右側的小波全域頻譜則顯示，低頻成份的海流由兩部份的海流所主導，週期 16 日左右的能量與週期 8 日左右的能量相差約兩倍。

彌陀區域的低頻海流較為複雜且多變，由圖 29 可見，能量最強之週期 16 日成份海流於春末至夏初最明顯；次之為一長時間延續之海流成份，約為週期 40 日左右，自去年冬季延續至隔年夏季初，此週期成份之海流頻率代較窄、沿續時間較長，且相對於其他地區主要低頻成份海流頻率更低，除了地區水文環境影響外，與浮標放置的位置可能也有關係，此成份之海流所造成的原因尚待探討。

澎湖區域低頻流能量分布集中，由圖 30 所示，能量最強之週期流速位於 16 日左右，資料觀測時間全年度皆有週期 16 日左右高能量的低頻流，又以 11 月底開始更明顯，能量最強，由此推斷位於澎湖地區的低頻流，出現在秋末至隔年夏初，而 8 月起至 11 月的能量相較之下能量較不明顯；而右側的小波全域頻譜也顯示，澎湖地區的低頻海流能量集中在週期 16 日左右，表示澎湖地區只受此週期海流交會影響。

小琉球區域低頻流能量分布較為特殊，如圖 31 所示，並無任何特別明顯之頻帶在時域中有明顯特徵，週期 16 日成份之海流在全年中有出現，但能量不比其他測站明顯，而在春季有較強情況發生；小琉球流速資料在各時頻域中無明顯特徵，可能與浮標所在位置有關，需再做進一步探討。

鵝鑾鼻區域低頻流能量分布由圖 32 所示，周期約 16 日成份之海流，在秋末至冬末能量最強，而其他時間幾乎無此頻帶能量出現的情況；回顧前人研究，黑潮在台灣南端分為兩支，在冬季時，向西部流動的黑潮支流受東北季風影響，能量較弱，此現象對應鵝鑾鼻浮標資料，約十月起，周期 16 日成份之海流開始增強至冬季結束。另外由小波全域譜可看出，週期 16 日之能量與更低頻的能量約相等，而最低頻能量時間約略於夏季時期。

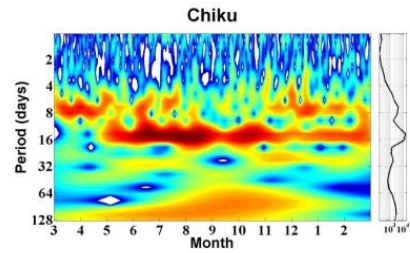


圖 27 七股低頻小波時頻譜

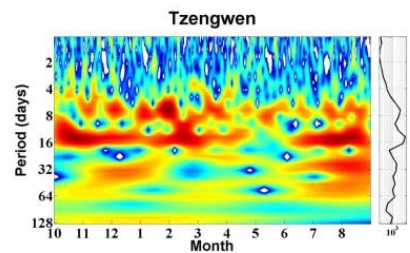


圖 28 曾文低頻小波時頻譜

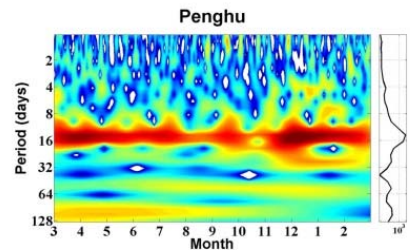


圖 29 彌陀低頻小波時頻譜

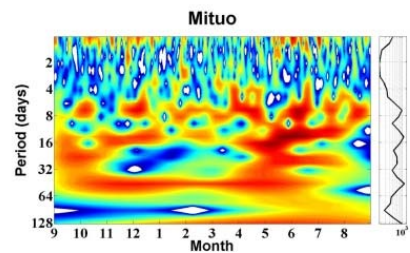


圖 30 澎湖低頻小波時頻譜

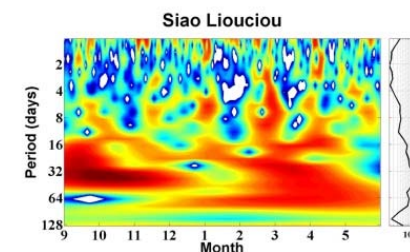


圖 31 小琉球低頻小波時頻譜

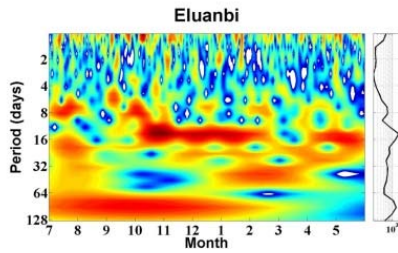


圖 32 鵝鑾鼻低頻小波時頻譜

五、結論

本研究以台灣西南沿岸設置之六座資料浮標所採集之資料作為研究來源，利用小波轉換為主要分析工具分析各式海流成份，分別探討潮流、風驅流、洋流及颱風過境時海流流況為分析目標，以本節做為結論之歸納與整理。

1. 利用調和分析及小波轉換時頻譜得知，將六座測站以地理位置分類，由北至南分別為澎湖、七股、曾文、彌陀、小琉球及鵝鑾鼻，偏北的三座浮標為澎湖、七股及曾文潮流型皆為半日潮，偏南三座浮標為彌陀、小琉球及鵝鑾鼻潮流型皆為混合潮，可推測為自曾文地區以南之潮流皆為混合潮。

2. 根據小波全域譜六座浮標分析結果顯示，潮流能量以七股最為集中，其次為澎湖及曾文，而小波全域譜中潮流能量最為分散的地區為小琉球。再比較潮流橢圓與小波旋轉譜，七股及鵝鑾鼻潮流主要以沿岸的直線方向來回運動，曾文以順時鐘旋轉運動為主，彌陀及小琉球皆為順時鐘旋轉為主，較特別的是澎湖以逆時鐘旋轉為潮流主要的運動模式。

3. 風驅流分析以澎湖及七股相關係數最高，而澎湖風驅流達理論延遲時間四小時，彌陀相關係數較低，小琉球分析結果顯示較為不合理，主要原因推測為資料缺值過多及浮標位置的問題；較為特別的分析結果為鵝鑾鼻地區，該區域風速結構理論上因該造成良好的分析結果，其相關係數極低主要原因為方向，因近岸海流流動主要以沿岸流動為主，而剛好沿岸方向與季風吹拂方向幾乎呈垂直狀態，故該地區風驅流分析結果不佳。

4. 各區皆有低頻流週期約 16 日的頻帶之能量出現，七股、曾文及彌陀因為位置相近，低頻流發生時刻皆在春末至秋初時刻發生，而曾文地

區有特殊頻帶能量出現，鵝鑾鼻及澎湖低頻流發生時刻皆在大約冬季時刻發生，小琉球低頻能流時頻譜較為混雜，而其餘頻帶特殊能量以及此週期 16 日之低頻流則需後續研究分析。

謝誌

感謝中央氣象局、水利署及成功大學近海水文中心提供各區資料浮標之觀測資料，使本研究得以順利完成。

參考文獻

1. 詹森，黃煌輝，張璠 (1997) “台西近海流況特性與海流推測模式之建立”，中華民國第十九屆海洋工程研討會論文集，423 頁 — 430 頁。
2. 郭一羽 (2001) 海岸工程學，中國土木水利工程學會。
3. 郭金棟 (2010) 海岸工程，中國土木水利工程學會。
4. 莊文傑，張憲國 (2012) “潮流橢圓所對應展現流速時變特性之探釋”，第 34 屆海洋工程研討會論文集，137 頁 — 142 頁
5. 饒國清，施孟憲，黃清哲，滕春慈 (2014) “台灣東部海洋颱風季節海流觀測資料的初步探討”，第 36 屆海洋工程研討會論文集，619 頁 — 624 頁。
6. Gonella, J. (1972). “A Rotary-component method for analyzing meteorological and oceanographic vector time series,” *Deep-Sea Res.*, Vol. 19, pp. 833-846.
7. Morlet, J., Arens, G., Fourgeau, I., and Giard, D. (1982). “Wave propagation and sampling theory,” *Geophysics*, Vol. 47, pp. 203-236.
8. Daubechies, I. (1990). “The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis,” *IEEE Trans Inform Theory*, Vol. 36, pp. 961-1005.
9. Farge, M. (1992). “Wavelet transform and their applications to turbulence,” *Annual Reviews of Fluid Mechanics*, Vol. 24, pp. 395-457.
10. Mooers, C.N.K. (1973). “A technique for the cross spectrum analysis of pairs of complex valued time series, with emphasis on properties of polarized components and rotational invariants,” *Deep Sea Res.*, Vol. 20, pp. 1129-1141.

11. Mallat, S.G. (1998). *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, San Diego.
12. Torrence, C. and Gilbert, P.C. (1998). "A practical guide to wavelet analysis," *Program in Atmospheric and Oceanic Science*, University of Colorado, Boulder, Colorado, Vol. 79, pp. 61-78.
13. Liu, P.C. and Gerald, S.M. (1996). "Wavelet transform and ocean current data analysis," *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 13, pp. 1090-1099.
14. Teague, W.J., Wikesequera, H.W., Jarosz, E., Lugo-Fernandez, A., and Hallock, Z.R. (2014). "Wavelet analysis of near-inertial currents at East Flower Garden Bank," *Journal of Continental Shelf Research*, pp. 47-60.