



國立中山大學海洋科學系

碩士論文

Department of Oceanography

National Sun Yat-sen University

Master Thesis

颱風及冬季季風對於台灣沿岸海流之影響

Variations of Coastal Currents Around Taiwan in Response to  
Typhoon and Winter Monsoon

研究生：呂妍萱

Yan-Xuan Lu

指導教授：曾若玄 教授

Dr. Ruo-Shan Tseng

中華民國 111 年 2 月

February 2022

國立中山大學研究生學位論文審定書

本校海洋科學系碩士班

研究生呂妍萱 (學號：M085090007) 所提論文

颱風及冬季季風對於台灣沿岸海流之影響

**Variations of Coastal Currents Around Taiwan in Response  
to Typhoon and Winter Monsoon**

於中華民國 111 年 1 月 27 日經本委員會審查  
並舉行口試，符合碩士學位論文標準。

學位考試委員簽章：

召集人董東璟



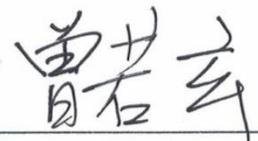
委員方盈智



委員曾若玄



指導教授曾若玄



## 誌謝

首先感謝曾若玄老師辛勤的教誨與細心的指導，也感謝口試委員董東璟老師與方盈智老師的教導與建議，還有特別感謝中央氣象局，讓我有這個機會使用這筆海流資料，以及成大近海水文中心提供了中央氣象局的海氣象浮標資料，將可貴、完善的海流資料供學生們研究、學習，也謝謝成大近海水文中心的施孟憲學長，很有耐心的解決我的疑問，熱心的提供許多幫助。

在研究、學習期間，感謝研究室的同學函霖、甯傑與維德學長平時對我的幫助、以及學習上的教導，還有永昇學長、勇廷學長的協助，也謝謝煥傑學長不厭其煩的指導我資料分析與解決程式上的問題，很感謝有大家互相支持著，也從大家身上學習到很多。

在學習中有許多磨練與壓力，很感謝家人們無條件的支持與鼓勵遠在他鄉求學的我，最後最感謝的是男友滿滿的支持與貼心。致最深的感謝。

## 摘要

本研究使用了中央氣象局海氣象浮標的風與海流資料，探討各測站的潮流特性以及冬季季風和颱風對於沿岸海流的影響。首先運用調和分析方法，瞭解各測站的潮流變化特徵以及潮型，馬祖、富貴角、龍洞、七美皆屬於半日潮，小琉球則屬於以半日潮為主的混合潮型。潮流在各區域海流中占了相當的比例，尤其在台灣北海岸、東北角及馬祖海域的冬季，潮流所佔比例最高，台灣西南沿岸的海域則為秋季潮流比例最高。

東北季風時期在馬祖、富貴角、龍洞及七美的風與彭佳嶼測站的風之相關性達到0.7以上，表示這四站受東北季風的影響大，而小琉球則沒有東北季風的特徵。將彭佳嶼風場當作東北季風指標，分析各地區的海流與彭佳嶼風場的相關性，結果顯示馬祖的風和流相關性密切達0.7，富貴角的風流相關性不到0.4，是由於該地海流流向為東西向，與東北季風向呈垂直，故相關性低；龍洞的相關性較差，表示東北季風不是影響龍洞海流變化的主要機制；七美在延遲14小時條件下相關係數達到峰值，推斷是七美距離較遠，東北季風對海流的影響需較長的時間反應，而且七美的風速比彭佳嶼及其他測站更大。

颱風對於海流的影響可分為最接近及逐漸遠離兩階段；颱風靠近測站為強襲階段，以強烈颱風瑪莉亞為例，颱風中心距離馬祖浮標最近僅5公里，使得海流由原先的45 cm/s朝北流快速的轉變為157 cm/s朝南流，且海流的變化由表層一直延伸到40米深，流向在風向的右方90度，與艾克曼動力一致。颱風逐漸遠離後為弛豫階段，在颱風過後約五天內常會誘發近慣性海流的產生，颱風的移動速度慢、暴風半徑大、浮標與颱風距離近、位於颱風路徑右側等因素，皆會使近慣性海流增強。

**關鍵詞：**海氣象浮標、潮流、冬季季風、颱風、近慣性運動

## ABSTRACT

Wind and ocean current data observed by the meteorological data buoys operated by the Central Weather Bureau were analyzed in this study to investigate the coastal current characteristics around Taiwan and their variations in response to typhoons. Harmonic analysis is applied to the current data to understand the tidal constituents and the form ratio. While Matsu, Fuguijiao, Longdong, and Cimei are classified as semi-diurnal tides, Xiaoliuqiu belongs to the mixed with predominantly semi-diurnal tides. Tidal current variances account for a significant portion of the total current variances, especially along the northern and northeastern coasts of Taiwan in winter. On the other hand, this portion is also high along the southwestern coast of Taiwan in fall.

Correlations between the buoy winds and Pengjiayu station winds during winter monsoon are high, while Xiaoliuqiu winds are not correlated. Take Pengjiayu station winds as the winter monsoon index, the correlations between currents and winds at various buoys are analyzed. Our results show that the Matus currents are well correlated (over 70%) with the Pengjiayu winds. This correlation is lower (about 40%) at Fuguijiao, probably because the predominant current direction is along the east-west, which is perpendicular to the winter monsoon direction. At Longdong, the currents are poorly correlated with the Pengjiayu winds, indicating that the currents there are not wind driven. The wind/current correlations are the highest at a 14-hr lag at Cimei buoy, due to its southern location in the Taiwan Strait. Cimei winds also are stronger than other buoys and stations in winter monsoon.

The response of ocean currents to typhoons behave differently at two stages prior to and post the typhoon influence. At the forced stage when typhoon is approaching,

take severe Typhoon Maria for instance, the closest distance between the Maria center and Matsu buoy was only 5 km. The observed ocean currents at Matsu increased rapidly from 30 cm/s northward to 157 cm/s southward, extending from the surface to 40 m depth. The currents flowed 90° to the right of the wind direction, in consistent with the Ekman dynamics. At the relaxation stage after typhoon is leaving, near-inertial currents often occur within a period of five days. This observed near-inertial currents become stronger with respect to several factors, i.e., slower-moving typhoon, larger storm diameter and maximum wind speed, the nearer distance away from the storm center, and at the right-hand side of the storm track.

**Keyword: data buoy, tidal current, winter monsoon, typhoon, near-inertial motion**

# 目 錄

論文審定書 .....	i
誌 謝 .....	ii
摘 要 .....	iii
ABSTRACT .....	iv
目 錄 .....	vi
圖 次 .....	ix
表 次 .....	xiii
第一章 前言 .....	1
1.1 前人研究 .....	1
1.1.1 台灣周圍海流變化之研究 .....	1
1.1.2 海流受颱風影響之研究 .....	3
1.2 研究動機與目的 .....	6
第二章 浮標資料介紹 .....	7
2.1 氣象浮標 .....	7
2.2 本研究使用的資料 .....	8
第三章 潮流 .....	11
3.1 潮流介紹 .....	11

3.2 調和分析 .....	11
3.3 潮型 .....	24
3.4 潮流佔總海流的比例 .....	25
第四章 東北季風 .....	40
4.1 東北季風介紹 .....	40
4.2 東北季風與當地風場的相關性 .....	44
4.3 東北季風對海流的影響 .....	48
第五章 颱風 .....	52
5.1 颱風資訊與分析方法 .....	52
5.2 颱風對海流的影響：概述 .....	57
5.2.1 杜鵑颱風 .....	57
5.2.2 莫蘭蒂颱風 .....	58
5.2.3 馬勒卡颱風 .....	59
5.2.4 梅姬颱風 .....	60
5.2.5 尼莎颱風 .....	62
5.2.6 瑪莉亞颱風 .....	63
5.2.7 利奇馬颱風 .....	66
5.2.8 白鹿颱風 .....	68
5.2.9 米塔颱風 .....	69

5.3 颱風強襲階段：Forced Stage .....	72
5.4 颱風弛豫階段：Relaxation Stage.....	74
5.4.1 小波分析.....	75
5.4.2 小波分析結果.....	75
5.5 影響近慣性海流的因素 .....	85
5.5.1 移動速度.....	85
5.5.2 暴風半徑.....	86
5.5.3 相似路徑但不同的颱風因素.....	86
5.5.4 於浮標左右側的颱風路徑之差異.....	86
第六章 結論.....	88
6.1 潮流結論.....	88
6.2 東北季風結論.....	88
6.3 颱風結論.....	89
參考文獻.....	91

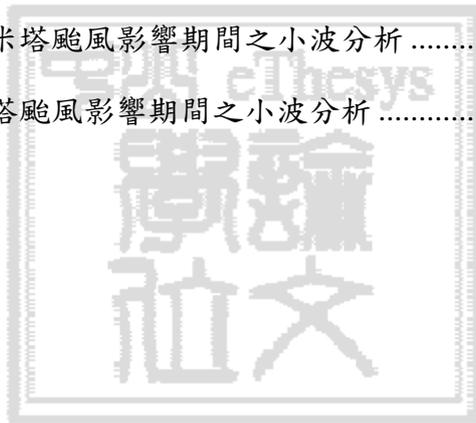
## 圖次

圖 1-1 近慣性流的動能以及測站附近的風速和風矢(Chen et al., 2014).....	5
圖 1-2 颱風路徑不同位置的風場示意圖(Chen et al., 2014).....	5
圖 2-1 浮標實際照片 .....	7
圖 2-2 各個浮標站之分布圖 .....	9
圖 2-3 各浮標獲取之資料的時間範圍 .....	10
圖 3-1 馬祖浮標在不同季節時的潮流橢圓 .....	14
圖 3-2 富貴角浮標在不同季節時的潮流橢圓 .....	15
圖 3-3 龍洞浮標在不同季節時的潮流橢圓 .....	16
圖 3-4 小琉球浮標在不同季節時的潮流橢圓 .....	17
圖 3-5 七美浮標在不同季節時的潮流橢圓 .....	18
圖 3-6 各浮標測站的潮型 .....	24
圖 3-7 馬祖浮標在冬季時之海流流速圖 .....	26
圖 3-8 馬祖浮標在春季時之海流流速圖 .....	27
圖 3-9 馬祖浮標在夏季時之海流流速圖 .....	28
圖 3-10 馬祖浮標在秋季時之海流流速圖 .....	28
圖 3-11 富貴角浮標在冬季時之海流流速圖 .....	29
圖 3-12 富貴角浮標在春季時之海流流速圖 .....	30
圖 3-13 富貴角浮標在夏季時之海流流速圖 .....	30
圖 3-14 富貴角浮標在秋季時之海流流速圖 .....	31
圖 3-15 龍洞浮標在冬季時之海流流速圖 .....	32
圖 3-16 龍洞浮標在春季時之海流流速圖 .....	32
圖 3-17 龍洞浮標在夏季時之海流流速圖 .....	33

圖 3-18 龍洞浮標在秋季時之海流流速圖 .....	34
圖 3-19 小琉球浮標在秋季時之海流流速圖 .....	34
圖 3-20 小琉球浮標在冬季時之海流流速圖 .....	35
圖 3-21 小琉球浮標在春季時之海流流速圖 .....	36
圖 3-22 小琉球浮標在夏季時之海流流速圖 .....	36
圖 3-23 七美浮標在冬季時之海流流速圖 .....	37
圖 3-24 七美浮標在春季時之海流流速圖 .....	38
圖 3-25 七美浮標在夏季時之海流流速圖 .....	38
圖 3-26 七美浮標在秋季時之海流流速圖 .....	39
圖 4-1 彭佳嶼站在 2018 年 12 月至 2019 年 2 月冬季期間的原始風矢 .....	40
圖 4-2 馬祖浮標在 2018 年 12 月至 2019 年 2 月冬季期間的原始流矢 .....	41
圖 4-3 富貴角浮標在 2018 年 12 月至 2019 年 2 月冬季期間的原始流矢 .....	41
圖 4-4 龍洞浮標在 2018 年 12 月至 2019 年 2 月冬季期間的原始流矢 .....	41
圖 4-5 七美浮標在 2016 年 12 月至 2017 年 2 月冬季期間的原始流矢 .....	41
圖 4-6 小琉球浮標在 2014 年 12 月至 2015 年 2 月冬季期間的原始流矢 .....	42
圖 4-7 有無轉向的示意圖 .....	43
圖 4-8 冬季時彭佳嶼風場和馬祖風場之風速圖 .....	45
圖 4-9 冬季時彭佳嶼風場和富貴角風場之風速圖 .....	46
圖 4-10 冬季時彭佳嶼風場和龍洞風場之風速圖 .....	46
圖 4-11 冬季時彭佳嶼風場和七美風場之風速圖 .....	47
圖 4-12 冬季時彭佳嶼風場和小琉球風場之風速圖 .....	47
圖 4-13 冬季時彭佳嶼風速和馬祖海流流速圖 .....	49
圖 4-14 冬季時彭佳嶼風速和富貴角海流流速圖 .....	51
圖 4-15 冬季時彭佳嶼風速和龍洞海流流速圖 .....	51
圖 4-16 冬季時彭佳嶼風速和七美海流流速圖 .....	51

圖 4-17 冬季時彭佳嶼風速和馬祖、富貴角、龍洞及七美海流之相關性 .....	51
圖 5-1 為 2015 年至 2019 年的颱風案例路徑，以及路徑分類圖 .....	54
圖 5-2 各颱風在不同時段的移動速度 .....	56
圖 5-3 在七美浮標受杜鵑颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	57
圖 5-4 在七美浮標受莫蘭蒂颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	58
圖 5-5 在龍洞浮標受馬勒卡颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	59
圖 5-6 在龍洞浮標受梅姬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	61
圖 5-7 在七美浮標受梅姬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	61
圖 5-8 在龍洞浮標受尼莎颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	62
圖 5-9 在龍洞浮標受瑪莉亞颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	64
圖 5-10 在富貴角浮標受瑪莉亞颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	64
圖 5-11 在馬祖浮標受瑪莉亞颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	65
圖 5-12 在龍洞浮標受利奇馬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	67
圖 5-13 在富貴角浮標受利奇馬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	67
圖 5-14 在馬祖浮標受利奇馬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	68
圖 5-15 在七美浮標受白鹿颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	69
圖 5-16 在龍洞浮標受米塔颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	71
圖 5-17 在富貴角浮標受米塔颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	71
圖 5-18 在馬祖浮標受米塔颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖 .....	71
圖 5-19 瑪莉亞颱風在馬祖浮標之海流剖面流況 .....	73
圖 5-20 米塔颱風在馬祖浮標之海流剖面流況 .....	73
圖 5-21 七美浮標在杜鵑颱風影響期間之小波分析 .....	77
圖 5-22 七美浮標在莫蘭蒂颱風影響期間之小波分析 .....	78
圖 5-23 龍洞浮標在馬勒卡颱風影響期間之小波分析 .....	78
圖 5-24 龍洞浮標在梅姬颱風影響期間之小波分析 .....	79

圖 5-25 七美浮標在梅姬颱風影響期間之小波分析 .....	79
圖 5-26 龍洞浮標在尼莎颱風影響期間之小波分析 .....	81
圖 5-27 龍洞浮標在瑪莉亞颱風影響期間之小波分析 .....	81
圖 5-28 富貴角浮標在瑪莉亞颱風影響期間之小波分析 .....	81
圖 5-29 馬祖浮標在瑪莉亞颱風影響期間之小波分析 .....	81
圖 5-30 龍洞浮標在利奇馬颱風影響期間之小波分析 .....	82
圖 5-31 富貴角浮標在利奇馬颱風影響期間之小波分析 .....	82
圖 5-32 馬祖浮標在利奇馬颱風影響期間之小波分析 .....	83
圖 5-33 七美浮標在白鹿颱風影響期間之小波分析 .....	83
圖 5-34 龍洞浮標在米塔颱風影響期間之小波分析 .....	84
圖 5-35 富貴角浮標在米塔颱風影響期間之小波分析 .....	84
圖 5-36 馬祖浮標在米塔颱風影響期間之小波分析 .....	85



## 表次

表 2-1 使用的海氣象浮標資訊 .....	10
表 3-1 馬祖浮標四季的四大主要分潮之資訊 .....	19
表 3-2 富貴角浮標四季的四大主要分潮之資訊 .....	20
表 3-3 龍洞浮標四季的四大主要分潮之資訊 .....	21
表 3-4 七美浮標四季的四大主要分潮之資訊 .....	22
表 3-5 小琉球浮標四季的四大主要分潮之資訊 .....	23
表 3-6 馬祖浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	27
表 3-7 馬祖浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	27
表 3-8 馬祖浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	28
表 3-9 馬祖浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	29
表 3-10 富貴角浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	29
表 3-11 富貴角浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	31
表 3-12 富貴角浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	31
表 3-13 富貴角浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	31
表 3-14 龍洞浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	32
表 3-15 龍洞浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	33
表 3-16 龍洞浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	33
表 3-17 龍洞浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	34
表 3-18 小琉球浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	35
表 3-19 小琉球浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	35
表 3-20 小琉球浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	36
表 3-21 小琉球浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	37

表 3-22 七美浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	37
表 3-23 七美浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	38
表 3-24 七美浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	39
表 3-25 七美浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊 .....	39
表 5-1 各個颱風之基本資訊 .....	53
表 5-2 颱風與各浮標距離及相對位置 .....	55
表 5-3 杜鵑颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速 .....	57
表 5-4 莫蘭蒂颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速 .....	58
表 5-5 馬勒卡颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速 .....	59
表 5-6 梅姬颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速 .....	62
表 5-7 尼莎颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速 .....	63
表 5-8 瑪莉亞颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速 .....	65
表 5-9 利奇馬颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速 .....	68
表 5-10 白鹿颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速 .....	69
表 5-11 米塔颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速 .....	72
表 5-12 各浮標的慣性週期表 .....	74
表 6-1 位於龍洞浮標之左側颱風與右側颱風比較表 .....	90

# 第一章 前言

## 1.1 前人研究

### 1.1.1 台灣周圍海流變化之研究

在台灣周圍有著豐富的海流變化，不論是漁業、海上休閒、航行安全、海岸工程及救災防災等，都與海流的變動有著極大的關係，然而在台灣沿岸的潮汐研究已有較多的資料，但是海流的研究相對較少以及較局部。

在海流的研究中，林等人(2005)利用一個二維潮流模式的模擬結果分析探討台灣北部沿海之潮流特性，結果指出，在蘇澳以北海域潮流為半日潮型，尤其是在三貂角以北海域半日潮潮流甚大於全日潮潮流；在蘇澳以南海域則以半日潮為主的混合潮型。

呂(2005)研究台南外海海流之特性分析，使用了港灣技術研究中心位於台南安平港外海的海流觀測站資料，以及成大水工所提供的位於台南市海域外海的測站海流資料，結論表明，台南外海潮流組成以 M2 分潮為主要成分。另外也指出，季風風場對於台南海域海流的影響，其中以沿岸方向的海流影響甚大。而颱風對海流的影響，則是與颱風強度及風向的持續性有關，強風的持續時間若不長，流速的影響變化幅度則不大。

邱(2007)則是以 1992 年至 2004 年間的潮位資料來分析台灣四周沿岸潮汐，共分析了 23 個潮位站，並利用調和分析得出各站的四大主要分潮振幅及遲角，以及每年各站的潮型。結論顯示，在台灣西部及金門地區的 M2 與 S2 潮的振幅較大，東北部及西南部則相對較小。在潮型因子方面，西部及金門地區為半日潮，而東北部及西南部則是全日潮成分較多的混合潮。

陳(2015)研究 2013 年 5、6 月施放在台灣海峽靠近馬祖海域的兩個 GPS 表面浮球，藉以研究馬祖海域的表面流場。利用調和分析及小波分析得出該海域之流

場以 M2 分潮最為顯著，且兩浮球在靠近陸地時皆有速度加快之情況。另外將海流濾潮後，配合風速資料做相關性分析，相關係數約 0.6 至 0.8。

王(2016)在澎湖的七美嶼東北方設置一海流測站，測量連續一年之水位及垂直剖面的海流，水深約 20 至 25 公尺。其中海流受潮汐影響有週期性的變化，在漲潮時東北向的流很強，在退潮時則是往南流，但往南的海流受到地形遮蔽影響減弱。最大潮流流速為 237cm/s，平均潮流流速 58.9cm/s。潮流主要呈北北東至南南西方向來回往復，主要以半日分潮 M2 為主，M2 分潮之振幅約 80 cm/s，且整層海水垂直變化一致，無分層現象。

李(2016)使用佈放於台灣海峽之六座 ADCP 浮標資料，分析台灣西南海域的海流特性，其中分析了潮流及風驅流。在潮流部分的結果表明，彌陀、小琉球、鵝鑾鼻的潮型皆為混合潮，曾文以北的潮型皆為半日潮，故推測從曾文地區以南的潮流為混合潮，而在風驅流分析的部分，鵝鑾鼻地區的相關係數極低，原因為近岸海流流動方向主要是以沿岸的方向為主，也就是東西向為主要流動方向，而流動方向與季風吹拂之方向呈垂直狀態，所以該地區的風驅流相關性分析結果顯示較不佳。另外，小琉球的風驅流相關性分析也較差，推斷原因為資料缺值過多和浮標位置的問題。

陳(2006)分析在烏坵附近海域佈放的底碇式 ADCP 的水文資料，以及中央氣象局在馬祖、新竹、東吉島的風場觀測資料。經調和分析後，此海域的潮流以 M2 為主。其中在東北風時期，經過低通濾波的馬祖風場平均速度為 2.5m/s，烏坵海域表層的流速平均為 56cm/s，分析以主軸(潮流橢圓主軸夾角約 44°)海流與馬祖風場的相關性，相關係數高達 0.91。

詹等人(2009)指出在龍洞地區低頻風速與流速相關性並不大，定性分析低頻海流並沒有如低頻風速一般有季節性變化。定量分析低頻流與風無論是時域上或頻域上的相關性均甚低，說明當地低頻風並非影響龍洞近岸海域低頻海流變化的主要機制。

吳和呂(2004)敘述在東北季風時期台灣海峽對強風的影響，有著地形效應，也就是當氣流通過台灣海峽時，受到兩側地形影響，在迎風面產生質量堆積，形成高壓脊，但是下游背風區域相對出現一低壓區，因此產生一指向下的氣壓梯度力，而有增強風力的效果。

### 1.1.2 海流受颱風影響之研究

Teague et al. (2007)分析墨西哥灣北邊的 14 個海流觀測點，在 2004 年 9 月 16 日，剛好有個颶風 Ivan 從中間通過，從沿大陸棚分量的垂直剖面流速可以觀察出，颶風增強了近慣性運動，且持續了約 10 天。另外將颶風的影響分成了兩個階段，強襲階段(forced stage)和弛豫階段(relaxation stage)，其中把強襲階段再劃分成三個階段，分別是颶風接近測站、眼牆通過測站、颶風完全通過測站。而在颶風逐漸遠離進入弛豫階段後，誘發近慣性運動的增強，並持續了約 10 天。

Shen et al. (2017)分析佈放於台灣海峽 3 個底碇式 ADCP，水深分別為 26 公尺、38 公尺、42 公尺，觀測 2006 年 7 月 10 日至 8 月 15 日之間的海流，期間觀測到了 5 個不同強度的颱風通過。颱風靠近時進入強襲階段，當強度強而且半徑大的颱風通過時，形成了地轉流，並主導了整個事件；而強度強但相對半徑較小以及強度弱的颱風主要導致埃克曼流的產生。颱風遠離，進入弛豫階段，誘發近慣性震盪增強，小波分析是可以將一時間序列分成不同週期之能量的分析，而從小波分析中，皆能明顯看出颱風在弛豫階段時間於近慣性周期的位置能量增強。

Guan et al. (2014)分析了在 2010 年 8 月至 2011 年 4 月在南海北部三個測站的海流資料，水深為 35 至 425 公尺、50 至 360 公尺及 50 至 450 公尺。其中 10 月 22 日有一梅姬颱風從兩測站中間通過，颱風靠近兩測站距離分別為 30 公里及 25 公里，當颱風靠近時，近慣性流開始增強。颱風通過後，近慣性的速度達到每秒 0.4 公尺，隨後再開始減弱。

Yang et al. (2015)分析在南海西北部三個颱風影響海流的反應。結論表明，較

淺海域的近慣性海流通常比大洋的近慣性海流弱，從案例中發現，在颱風經過後，較淺海之近慣性海流最大為 30cm/s，而大洋的近慣性海流通常超過 50cm/s，且在淺海中，更強的風並不一定會導致近慣性海流更加強。淺水區的近慣性海流反應與颱風強度、通過距離、移動速度等參數之間的關係需要進一步研究。

Sun et al. (2011)分析南海北側的三個底碇式 ADCP 觀測資料，在 2008 年 7 月風神颱風從三測站左側經過，並誘發出明顯的近慣性震盪，且觀測到近慣性震盪持續了約 15 天，從帶通濾波後的垂直海流剖面也能清楚顯示近慣性震盪的運動，以及海流的能量向下，相位向上。

Chen et al. (2014)分析南海北部的一底碇式 ADCP 觀測資料，水深 60 公尺，且在 2009 年的夏季觀測到兩個颱風依序從測站的左右兩側通過。結果發現，在颱風經過後所誘發的近慣性震盪，於颱風的左右兩側的強度會有所不同，測站在 Nangka 颱風路徑的右手邊，在 Linfa 颱風路徑的左手邊。因此，Nangka 颱風的通過驅動順時針旋轉的風場（圖 1-1-c）並產生強烈的近慣性事件。另一方面，Linfa 颱風通過產生逆時針的風場（圖 1-1-c），並沒有促使增強近慣性運動。

Price (1981) 指出，對於颱風經過測站左側，風隨時間順時針旋轉，而經過測站右側的風逆時針旋轉（解釋見圖 1-2）。在北半球，近慣性運動是順時針方向的，因此與逆時針風相反，順時針風可以推動近慣性運動。正是因為這個原因，在颱風路徑右手邊固定位置產生的近慣性運動更加強烈。

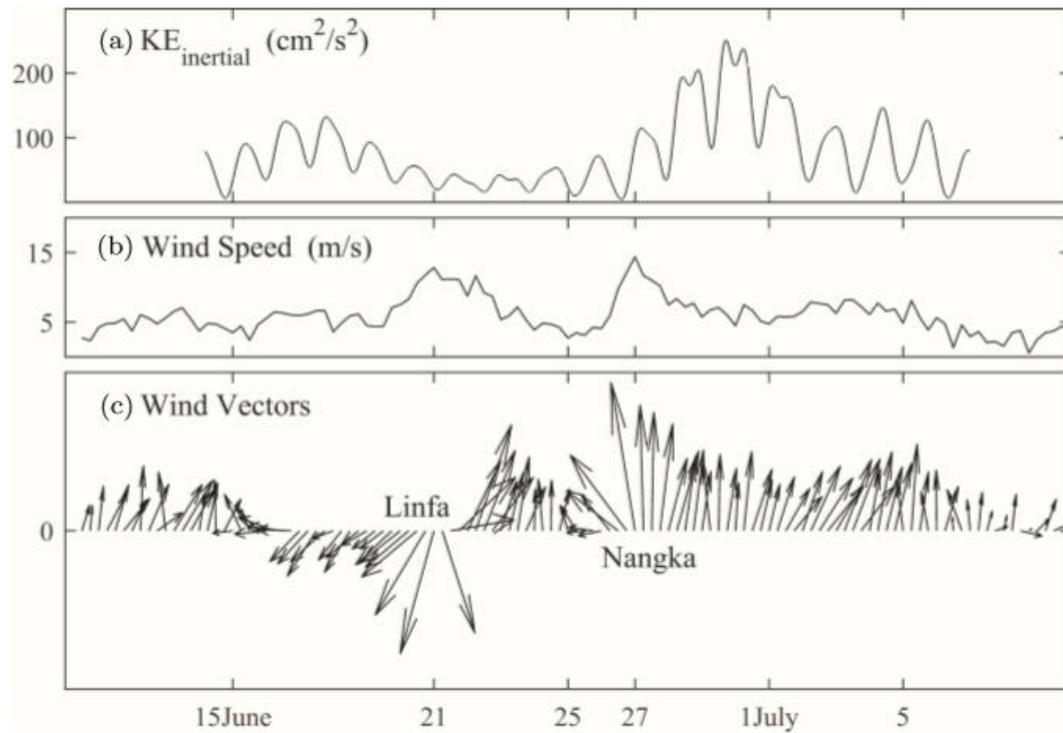


圖 1-1 近慣性流的動能(a)，以及測站附近的風速(b)和風矢(c)。(Chen et al., 2014)

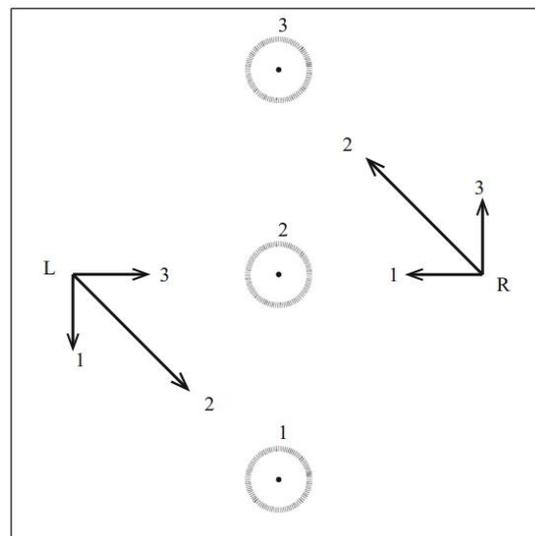


圖 1-2 颱風路徑不同位置的風場示意圖。中心點的圓圈代表氣旋從位置 1 向北移動到位置 3 時，相應的風在位置 R，即在右手邊，隨著時間從 1 到 3 順時針旋轉，位置 L（即左側）的風隨時間逆時針旋轉。(Chen et al., 2014)

## 1.2 研究動機與目的

台灣夏秋季時常受到颱風侵襲，導致不少災害損失，另外在海洋上也會因颱風的影響下，在短時間內發生劇烈的變化，較常有民眾活動的沿岸與近海範圍的海流變化，應當被更加重視。中央氣象局的環島海氣象浮標網主要目標是取得長期的海氣象資料，可以多使用於學術研究，因海氣象浮標資料擁有完善的系統，擁有定時觀測、即時傳輸等作業化優點，海氣象浮標位於台灣周圍淺海，觀測時間長且不易受天氣限制，其條件很適合用來做淺海海域海流的研究分析。

利用此浮標海流資料去分析與了解在強風的影響下，周圍淺海海域的流況變化，目標是將冬季與夏秋季時常發生的強風，也就是東北季風與颱風對於海流的影響去加以分析。東北季風的部分將以彭佳嶼風場做為東北季風指標，並與各浮標海流做相關性比較，若彭佳嶼風場與各地海流之相關性高，將能達到從彭佳嶼風場預測海流變化。

颱風部分則是以不同案例去比較颱風接近與遠離後的海流變化，以不同的變因，如颱風強度、暴風半徑、移動速度、路徑位置等，再分析颱風遠離後誘發出的近慣性海流增強時間、持續時間以及近慣性海流強弱，為海上救災或航行安全上達到貢獻。

## 第二章 浮標資料介紹

### 2.1 氣象浮標

中央氣象局為充實環台作業化海洋與氣象觀測，由成大近海水文中心協助在台灣近海佈放海氣象資料浮標，此作業化的浮標系統資料，常被拿來做氣象即時報導等使用，比較少被用來做學術研究。此浮標資料有個優點，因為浮標長時間在海上做紀錄，所以海況資料的紀錄時間很長，且有連續性，因此氣象浮標在學術研究上應是很好的資料來源。

本研究所使用的是氣象浮標的海流及風場觀測資料。浮標設備如圖 2-1(a)所示，資料浮標型式為碟型浮標，浮標直徑寬度約為 2.5 公尺，海面上高度 3.3 公尺，海面下 1.8 公尺，總重量 1250 公斤，浮標上設有剖面流速儀(ADCP)、水溫計、波浪儀、風向風速計、氣溫計、氣壓計等設備，資料透過衛星上傳，並由中央氣象局接收數據。其中 ADCP 頻率為 600kHz，海流資料為每 6 分鐘存取一筆海流資料，第一層資料深度為水下 3.5 公尺，資料解析度為每 1 公尺一層。圖 2-1(b)則是 ADCP 及因儀器長年在水下而生長出的海中生物，圖 2-1(c)是 ADCP 配備的音鼓，利用音鼓向下發射聲波，來觀測某一定點的海流流向及流速。

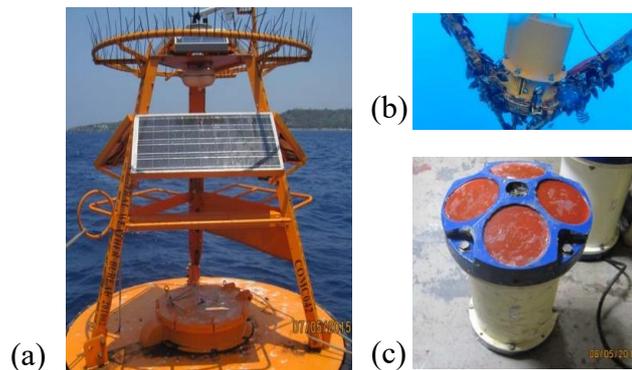


圖 2-1 浮標實際照片。(a)海氣象浮標的外觀，(b)是浮標下方的 ADCP 及因儀器長年在水下而生長出的海中生物，(c)是 ADCP 與音鼓的外觀。

## 2.2 本研究使用的資料

在台灣海象災防環境資訊平台的網站上(<https://ocean.cwb.gov.tw>)，擁有許多中央氣象局提供的即時海氣象資訊，例如漁業氣象預報、霧及低雲的衛星遙測、浪高浪向預報等。以及可以讓民眾使用的歷年氣象觀測資料，例如海流、海面風、海溫、氣壓、潮位等觀測資料能夠自由使用。

本研究使用了多個氣象浮標站的海流資料，如圖 2-2 所示共 5 個站，分別是馬祖站(Matsu)、富貴角站(Fuguijiao)、龍洞站(Longdong)、七美站(Cimei)、小琉球站(Xiaoliuqiu)，而彭佳嶼站之風場資料則是使用於分析東北季風的季風指標。由於各個浮標佈放時間不相同，所以在後續分析上的時間會因不同浮標而有所不同，如表 2-1 為各浮標測站資訊，馬祖浮標位於東引島東南方 3.5 公里處，實際水深約 50 公尺，本研究使用的時間是從 2018 年 4 月至 2019 年 12 月，資料完整性為 97%。富貴角浮標位於富貴角北方 0.7 公里處，實際水深約 31 公尺，使用的時間是從 2017 年 8 月至 2019 年 12 月，資料完整性為 98%。龍洞浮標位於龍洞遊艇港外海約 0.25 公里，實際水深約 27 公尺，使用的資料時間範圍為 2016 年 8 月至 2019 年 12 月，資料完整性為 81%。小琉球浮標位於海子口西南方 1.2 公里，實際水深約 99 公尺，使用時間是 2014 年 9 月至 2015 年 9 月，資料完整性為 98%。七美浮標位於東吉島南方 28 公里處，實際水深約 109 公尺，資料時間從 2015 年 9 月至 2019 年 9 月，期間資料較缺乏，資料完整性為 60%。其中在馬祖浮標，有使用剖面的海流資料，水深每層間隔一公尺紀錄一筆，資料實際使用到 43 層，第一層為水下 3.5 公尺，故有 46.5 公尺深的剖面海流資料，在第五章的 5.3 節用來觀察颱風影響時水下海流的變化。

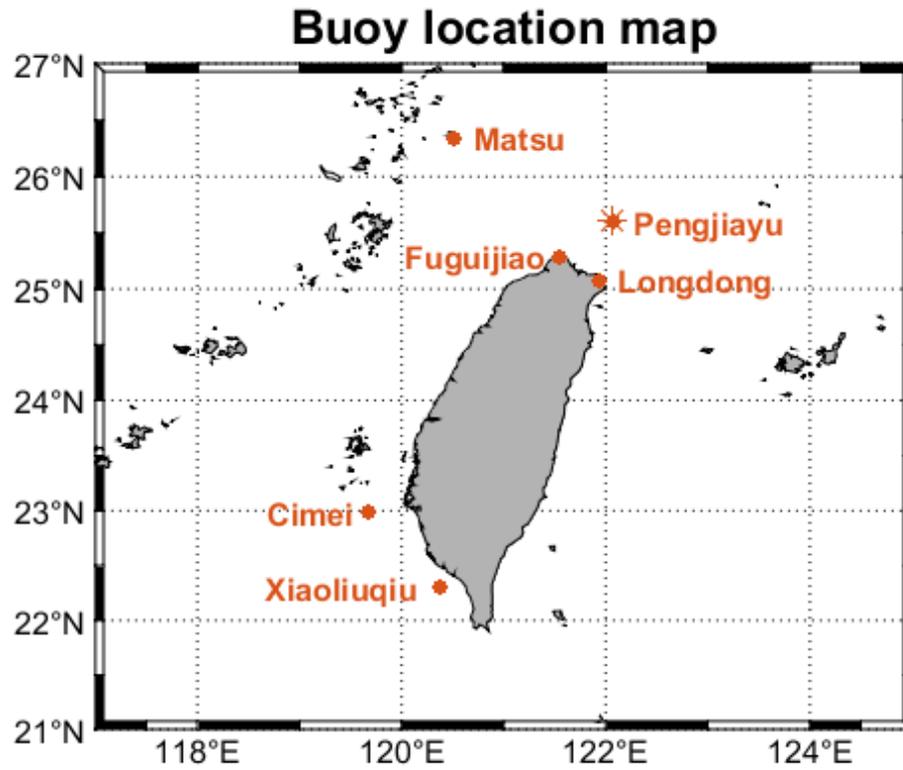


圖 2-2 各個浮標站之分布圖，分別是馬祖、富貴角、龍洞、七美、小琉球之海氣象浮標，而彭佳嶼測站之風場資料則是使用於分析東北季風的季風指標。

表 2-1 使用的海氣象浮標資訊

測站名與站碼	位置與水深	使用資料時間
馬祖浮標 (C6W08)	120.51°E, 26.35°N 東引島東南方 3.5 公里處， 實際水深約 50 公尺	2018/04~2019/12
富貴角浮標 (C6AH2)	121.53°E, 25.3°N 富貴角北方 0.7 公里處， 實際水深約 31 公尺	2017/08~2019/12
龍洞浮標 (46694A)	121.92°E, 25.09°N 龍洞遊艇港外海約 0.25 公里， 實際水深約 27 公尺	2016/08~2019/12
小琉球浮標 (46714D)	120.36°E, 22.31°N 海子口西南方 1.2 公里， 實際水深約 99 公尺	2014/09~2015/09
七美浮標 (C6W10)	119.67°E, 22.99°N 東吉島南方 28 公里處， 實際水深約 109 公尺	2015/09~2019/09 部分時段無觀測 資料

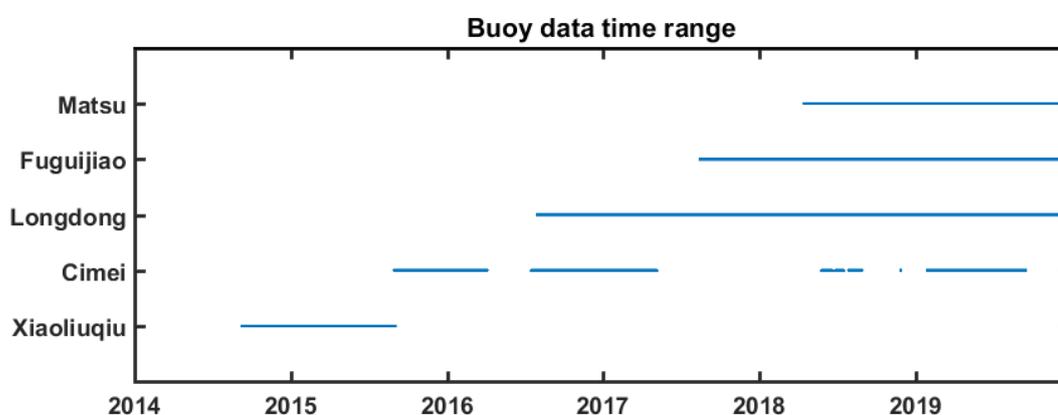


圖 2-3 各浮標獲取資料的時間範圍

## 第三章 潮流

### 3.1 潮流介紹

本研究分析了環台多個浮標測站資料，分別為富貴角、馬祖、龍洞、七美、小琉球，以這五個地方的浮標海流資料來探討不同地理位置的潮流特性。在台灣四周淺海有豐富的潮流變化，有的地區潮流方向呈東北至西南向，有的呈東南至西北向，有的地區潮流變化劇烈，有的變化和緩。由於潮流在近岸的海流佔了不小的比例，因此很難被忽略，所以要觀察一個地方的海流，先了解該地區的潮流是必要的。在分析中得出，台灣北部屬於半日潮，西南部為以半日潮為主的混合潮，東部則為以全日潮為主的混合潮。

### 3.2 調和分析

潮汐資料是一種週期函數，理論上可將其分解成多個不同振幅和週期的分潮，每一分潮為一簡單的時間調合函數，我們可分別去計算這些分潮後，再將這些分潮重新組合，此一過程是所謂的調和分析，用此方法我們就可以利用過去歷史資料預報未來的變化。調和分析主要計算方法是利用最小二乘法，讓實際潮位與調和潮位的誤差值達到最小，其中調和潮位是根據牛頓所提出的平衡潮理論為基礎，將各種天體運動所引發的潮汐現象視為許多正餘弦函數的疊加，每一個函數即為一個固定週期之分潮，常用的潮汐分潮為 K1、O1、M2、S2 等 37 個分潮。調和分析關係式為 (Thomson and Emery, 2014; 許, 2003)：

$$y(t) = A_0 + \sum_{p=1}^n (A_p \cos(\omega_p t) + B_p \sin(\omega_p t)) \quad (3-1)$$

$$\text{其中，} \quad \omega_p = 2\pi f_p \quad (3-2)$$

$$A_p = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos(\omega_p t) dt \quad (3-3)$$

$$B_p = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin(\omega_p t) dt \quad (3-4)$$

$A_0$ 為海流的全時間平均項， $t$ 為數據記錄的長度， $\omega_p$ 為選定潮流的頻率， $f_p$ 為第  $p$  個分潮相應的頻率， $A_p$ 為潮流頻率  $\cos$  分量振幅， $B_p$ 為潮流頻率  $\sin$  分量振幅，為了得到係數  $A_p$ ，只需將公式 3-1 乘以  $\cos(\omega_p t)$ ，然後在所有選定的頻率上進行積分，係數  $B_p$  也是通過乘以  $\sin(\omega_p t)$  的方式得到。

本研究使用 T-tide (Pawlowicz et al., 2002) 在 Matlab 中進行調和分析，可以得出各分潮的半長軸(semi-major axis)、半短軸(semi-minor axis)、傾角(inclination)、遲角(phase)等資訊，並利用公式 3-5 計算各分潮的扁率(ellipticity,  $\varepsilon_c$ )，如表 3-1 至表 3-5。 $\varepsilon_c$  為 0 時，潮流運動方向為直線，若為  $\pm 1$  時，潮流運動軌跡為圓形，若介於 0 至 1 之間，潮流為逆時針的方向流動，介於 -1 至 0 之間，潮流則為順時針方向流動。

$$\varepsilon_c = \frac{\text{半短軸}}{\text{半長軸}} \begin{cases} = 0 \text{ for } \textit{rectilinear} \\ = \pm 1 \text{ for } \textit{circular} \\ 0 < \varepsilon_c < 1 \text{ for } \textit{anticlockwise} \\ -1 < \varepsilon_c < 0 \text{ for } \textit{clockwise} \end{cases} \quad (3-5)$$

本研究也使用 U-tide(Codiga, 2011)來做長時間序列的潮流重建，海流資料中如有缺值，也適合以此方法做分析。

較常使用的分潮分別是 K1、O1、M2、S2，而後面分析也是用這四種分潮。日月合成日週潮(lunar solar diurnal tide, K1)，為太陽在黃道上之平均運動時，有關月球及太陽之相對位置所產生之潮汐，其週期為 23 小時 56 分。主太陰日週潮(lunar diurnal tide, O1)，月球在地球上之日週運動所產生潮汐，週期為 25 小時 40 分。主太陰半日週潮(lunar semidiurnal tide, M2)月球在地球上之日週運動所產生潮汐，週期為 12 小時 25 分。主太陽半日週潮(solar semidiurnal tide, S2)太陽在地球

上之日週運動所產生潮汐，週期為 12 小時。

圖 3-1 至圖 3-5 為各個氣象浮標在水下 3.5 公尺處，分別為冬季、春季、夏季、秋季時的潮流橢圓，潮流橢圓是潮流來回移動的路徑型態，分別是 K1、O1、M2、S2 分潮。馬祖站位處東引島東南方，在台灣海峽上，潮流橢圓的方向為東北至西南方向，形狀較橢圓，流速最大約 50cm/s，主要分潮為 M2。富貴角站位於台灣北端，潮流橢圓的方向為東西向，形狀較橢圓且扁，流速在冬夏季皆可達 100cm/s，是潮流極為明顯的地區，主要分潮為 M2。龍洞站位於台灣東北端，潮流橢圓的方向為北北東至南南西向，形狀極細長，在冬季流速最大，可達 25cm/s，主要分潮為 M2。小琉球站之潮流橢圓方向為東西向，春夏季偏向西北至東南方向，形狀較圓胖，流速最大約 25cm/s，四種分潮皆佔一定比例但 M2 最為明顯。七美站則因部分時段無觀測資料，故長時間分析的部分，較無法處理，但本研究後面的颱風案例時間較短仍能正常分析使用。小琉球和七美的潮流橢圓扁率較大且為負值，表示為順鐘向旋轉，馬祖、富貴角、龍洞的潮流橢圓扁率較小且大多為正值，表示為逆鐘向旋轉，特別是龍洞地區幾乎呈直線來回運動。

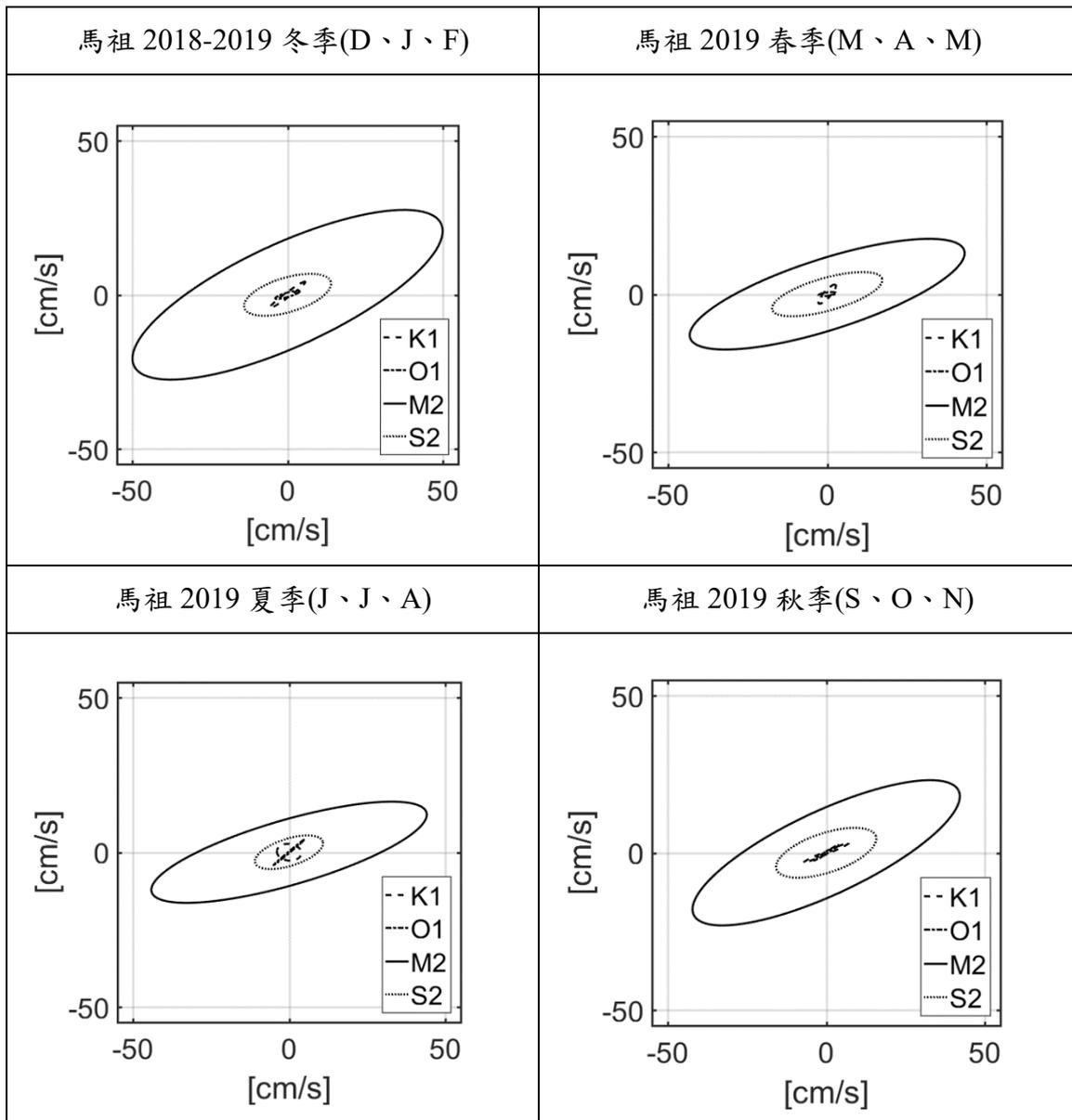


圖 3-1 馬祖浮標在不同季節時的潮流橢圓

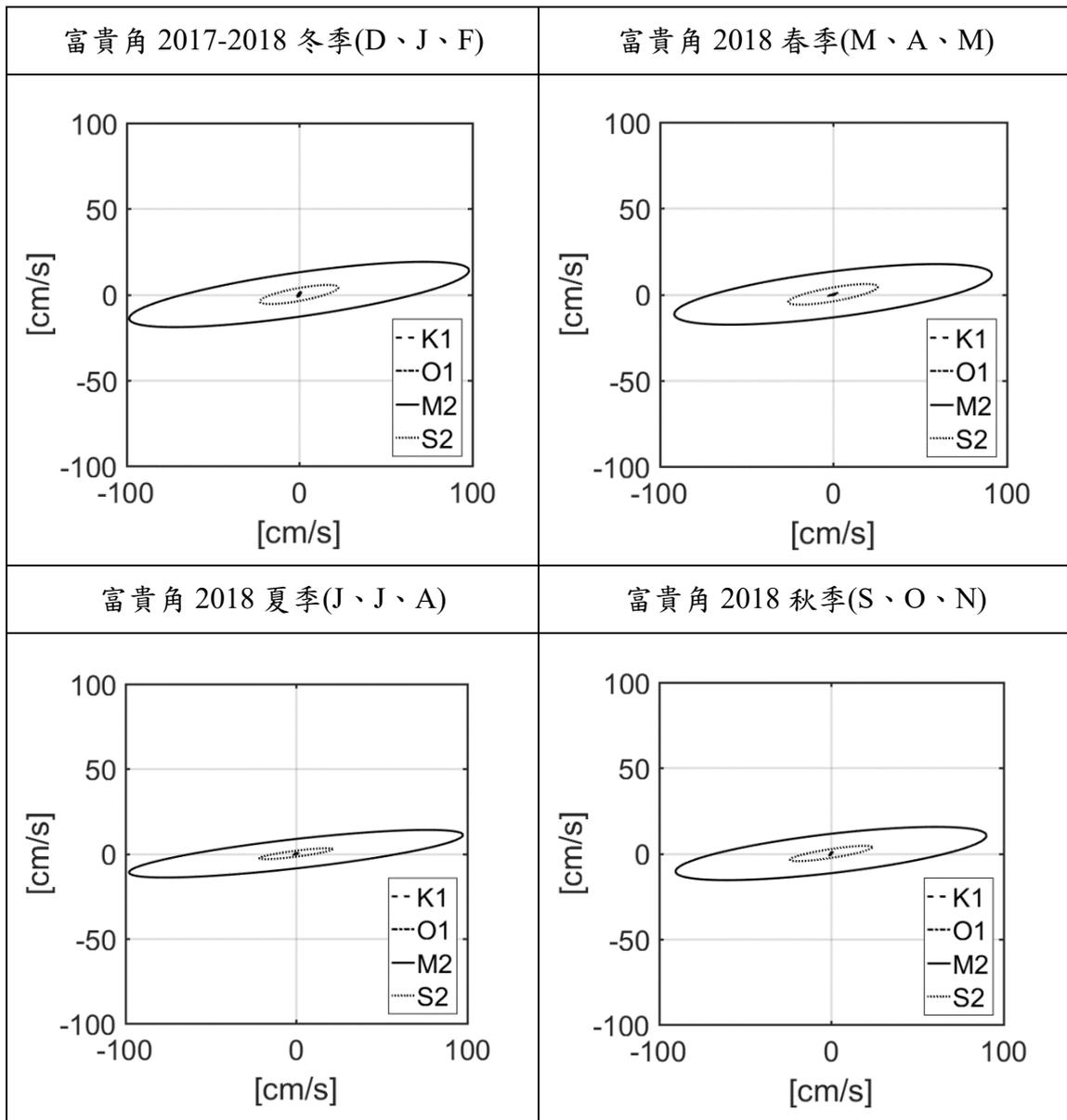


圖 3-2 富貴角浮標在不同季節時的潮流橢圓

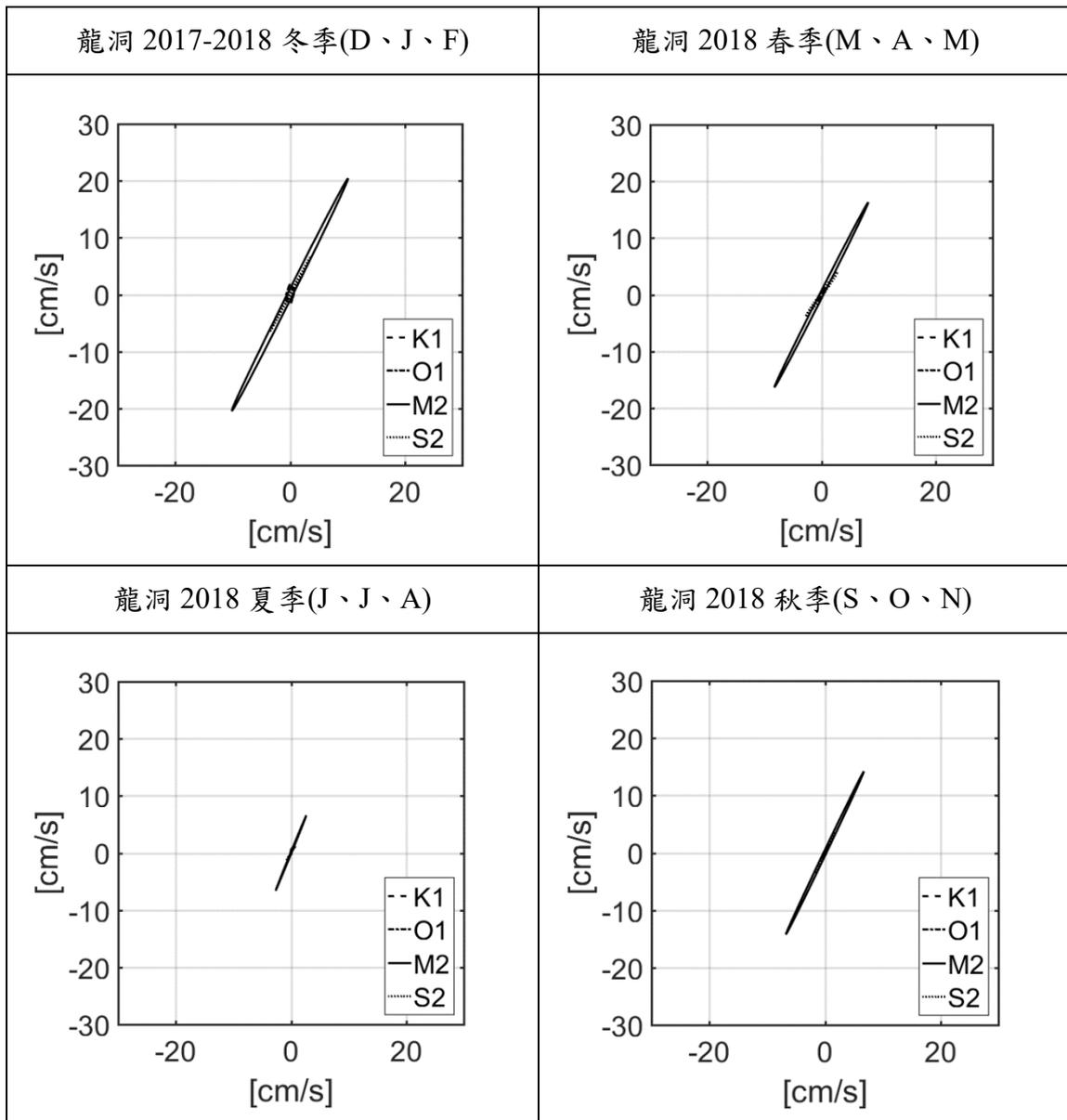


圖 3-3 龍洞浮標在不同季節時的潮流橢圓

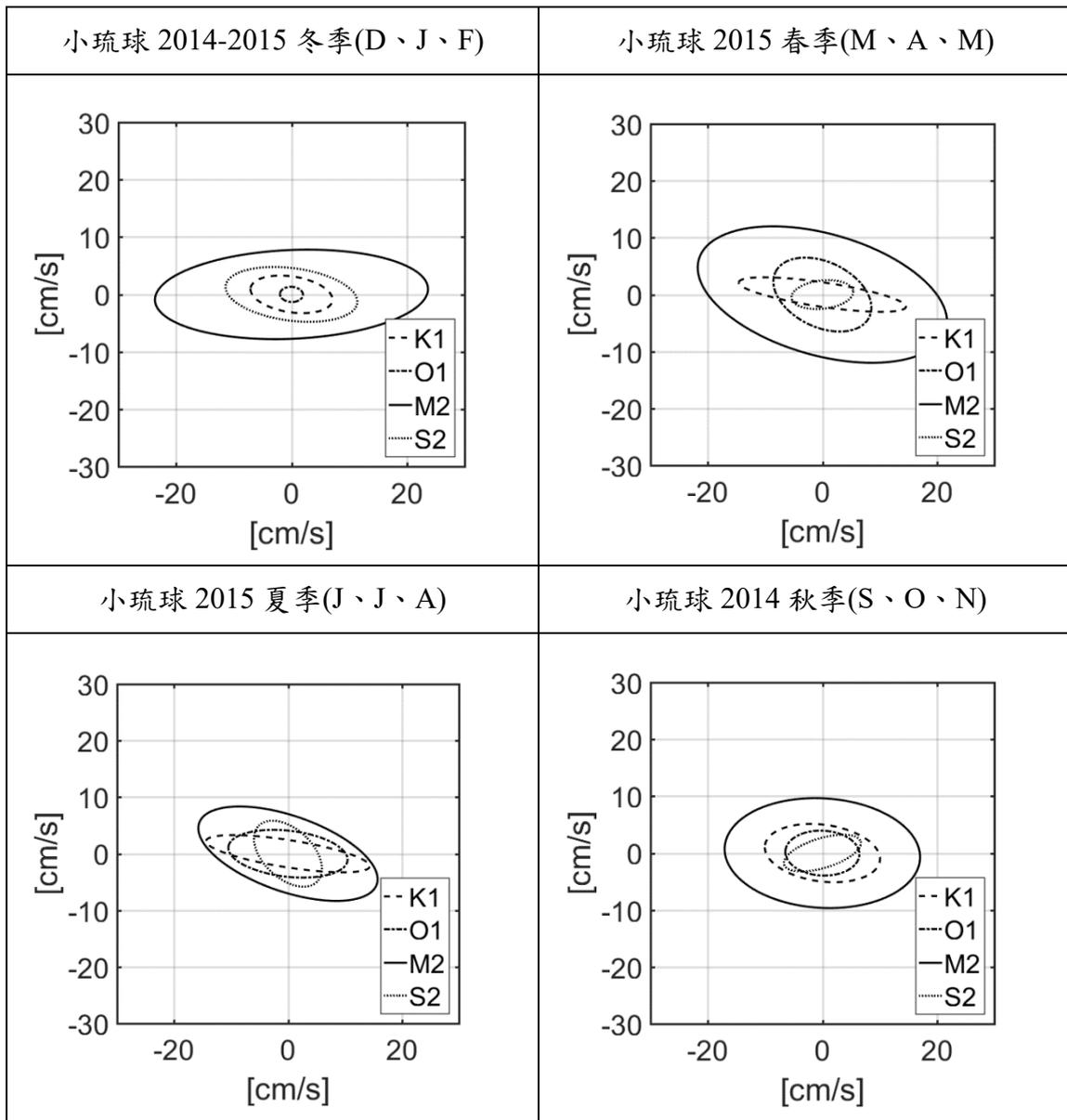


圖 3-4 小琉球浮標在不同季節時的潮流橢圓

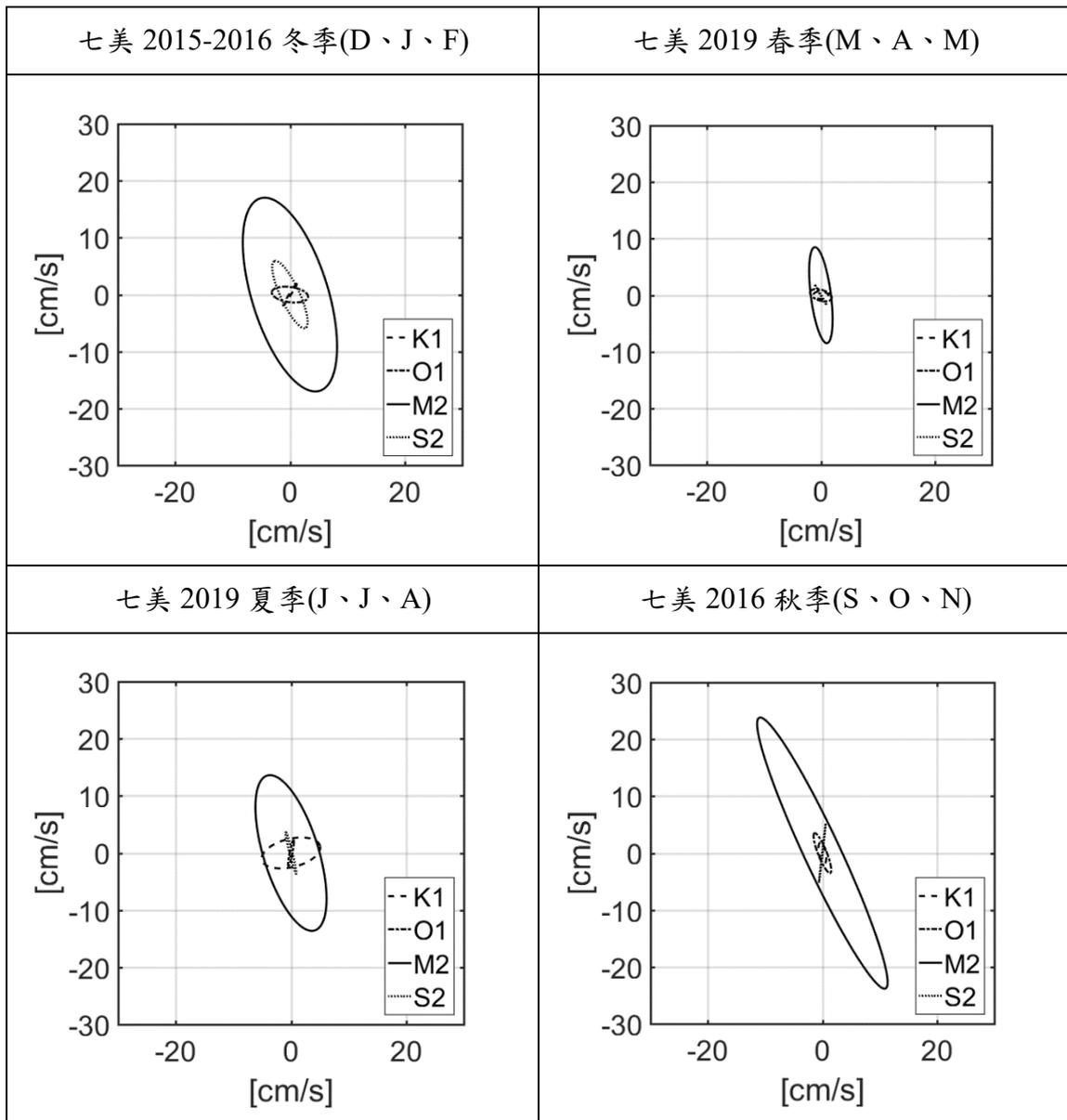


圖 3-5 七美浮標在不同季節時的潮流橢圓

表 3-1 馬祖浮標四季的四大主要分潮之資訊

馬祖浮標		半長軸 (cm/s)	半短軸 (cm/s)	傾角(度)	遲角(度)	扁率
冬季	K1	7.128	0.77	36.42	358.4	0.108
	O1	4.124	-0.708	16.65	177.14	-0.1717
	M2	54.612	16.662	24.99	277.66	0.3051
	S2	14.564	5.591	16.87	116.33	0.3839
春季	K1	3.962	1.075	48.43	138.01	0.2713
	O1	2.771	0.567	7.91	177.53	0.2046
	M2	45.302	11.267	17.88	337.22	0.2487
	S2	17.969	5.19	15.84	109.56	0.2888
夏季	K1	3.921	2.7	173.21	5.76	0.6886
	O1	6.491	0.211	39.95	214.98	0.0325
	M2	45.901	10.517	16.3	66.67	0.2291
	S2	11.375	4.399	17.76	132.67	0.3867
秋季	K1	7.835	-0.484	23.47	255.24	-0.0618
	O1	4.585	-0.354	32.15	125.34	-0.0772
	M2	46.267	13.277	25.31	138.62	0.287
	S2	16.57	6.27	18.58	109.14	0.3784

表 3-2 富貴角浮標四季的四大主要分潮之資訊

富貴角浮標		半長軸 (cm/s)	半短軸 (cm/s)	傾角(度)	遲角(度)	扁率
冬季	K1	1.711	-0.333	51.07	195.84	-0.1946
	O1	1.745	0.524	52.48	115.89	0.3003
	M2	99.339	-12.828	8.23	301.11	-0.1291
	S2	23.04	-3.729	10.45	24.64	-0.1618
春季	K1	1.471	-0.427	11.27	96.41	-0.2903
	O1	3.06	0.126	17.97	283.87	0.0412
	M2	92.245	-13.286	7.29	2.8	-0.144
	S2	26.176	-3.992	9.98	14.59	-0.1525
夏季	K1	0.778	-0.296	168.32	17.96	-0.3805
	O1	1.682	-0.19	21.53	185.05	-0.113
	M2	98.303	-8.636	6.49	254	-0.0879
	S2	21.602	-1.739	7.22	203.73	-0.0805
秋季	K1	0.884	-0.198	78.95	105.2	-0.224
	O1	1.487	0.222	46.92	114.76	0.1493
	M2	90.894	-11.442	6.72	173.78	-0.1259
	S2	24.073	-2.582	8.77	22.92	-0.1073

表 3-3 龍洞浮標四季的四大主要分潮之資訊

龍洞浮標		半長軸 (cm/s)	半短軸 (cm/s)	傾角(度)	遲角(度)	扁率
冬季	K1	1.818	0.482	86.75	53.1	0.2651
	O1	1.37	0.642	72.8	71.51	0.4686
	M2	22.799	0.449	63.64	147.21	0.0197
	S2	7.472	-0.09	61.77	188.01	-0.012
春季	K1	1.15	-0.212	62.26	351.02	0.1843
	O1	1.107	-0.187	65.9	276.02	0.1689
	M2	18.266	0.318	63.27	183.85	0.0174
	S2	4.755	0.254	54.91	163.46	0.0534
夏季	K1	0.82	0.105	80.44	153.42	0.128
	O1	0.835	0.06	67.82	314.84	0.0719
	M2	7.092	0.071	67.95	251.1	0.01
	S2	1.463	0.012	57.51	187	0.0082
秋季	K1	0.327	-0.129	109.42	345.46	-0.3945
	O1	1.549	0.11	58.33	337.37	0.071
	M2	15.653	0.234	64.7	326.11	0.0149
	S2	4.012	0.062	66.38	158.29	0.0155

表 3-4 七美浮標四季的四大主要分潮之資訊

七美浮標		半長軸 (cm/s)	半短軸 (cm/s)	傾角(度)	遲角(度)	扁率
冬季	K1	2.412	0.085	54.71	64.94	0.0352
	O1	2.973	-1.222	173.45	271.63	-0.411
	M2	16.517	-6.269	107.79	33.8	-0.3795
	S2	6.585	-1.325	112.76	320.33	-0.2012
春季	K1	2.023	-1.3	81.17	300.14	-0.6426
	O1	2.84	-0.858	3.19	284.67	-0.3021
	M2	9.423	-2.988	105.64	350.02	-0.3171
	S2	3.44	-0.944	89.22	118.63	-0.2744
夏季	K1	5.199	-2.474	13.77	44.04	-0.4759
	O1	2.284	-0.242	78.95	22.79	-0.106
	M2	14.17	-4.797	106.93	82.99	-0.3385
	S2	3.786	-0.243	103.95	197.18	-0.0642
秋季	K1	1.888	0.602	100.41	109.13	0.3189
	O1	3.748	0.757	111.49	292.97	0.202
	M2	26.227	3.167	114.85	56.01	0.1208
	S2	5.229	-0.045	83.55	66.49	-0.0086

表 3-5 小琉球浮標四季的四大主要分潮之資訊

小琉球浮標		半長軸 (cm/s)	半短軸 (cm/s)	傾角(度)	遲角(度)	扁率
冬季	K1	7.17	-3.118	171.05	244.44	-0.4349
	O1	1.991	-1.319	176.99	194.9	-0.6625
	M2	23.678	-7.743	2.53	197.36	-0.327
	S2	11.5	-4.579	172.44	188.01	-0.3982
春季	K1	14.745	-2.142	171.54	16.58	-0.1453
	O1	9.096	-5.722	154.18	172.19	-0.6291
	M2	22.442	-10.676	163.95	92.23	-0.4757
	S2	5.424	-2.481	6.33	33.63	-0.4574
夏季	K1	14.538	-2.415	171.04	129.29	-0.1661
	O1	10.528	-4.068	173.32	131.46	-0.3864
	M2	16.506	-6.699	160.72	147.97	-0.4059
	S2	7.125	-4.339	136.45	220.01	-0.609
秋季	K1	10.125	-4.987	172.27	329.01	-0.4925
	O1	6.467	-3.941	177.18	60.65	-0.6094
	M2	17.078	-9.627	176.51	316.06	-0.5637
	S2	6.981	-2.611	17.03	322.45	-0.374

### 3.3 潮型

為潮流型態的比值  $F$ ，將海流資料使用調和分析後，可以得出的各分潮之半長軸，利用 3-6 公式，可以判別出該地所屬於的潮型。馬祖站、富貴角站及龍洞站之潮型比值分別為 0.15、0.013、0.073 皆屬於半日潮型，七美與小琉球站之潮型比值為 0.2737、0.68 屬於以半日潮為主的混合潮型。圖 3-6 實心直條是各浮標的潮流之潮型比值，斜線直條是靠近浮標的潮位之潮型比值，潮位數據是參考邱(2007)的研究結果來比較潮流與潮位的差異，顯示出潮位的潮型比值皆比潮流的潮型比值高，以潮位的潮型來看，富貴角潮位的潮型較偏向於以半日潮為主的混合潮型，龍洞則是明顯的以半日潮為主的混合潮型，小琉球潮位的潮型與潮流的潮型相同，結果得出，海流比潮位的半日潮成分要來的多。

$$F = (K1 + O1)/(M2 + S2) \quad (3-6)$$

- $F < 0.25$  : 半日潮型
- $0.25 \leq F < 1.5$  : 以半日潮為主的混合潮型
- $1.5 \leq F < 3$  : 以全日潮為主的混合潮型
- $F \geq 3$  : 全日潮型

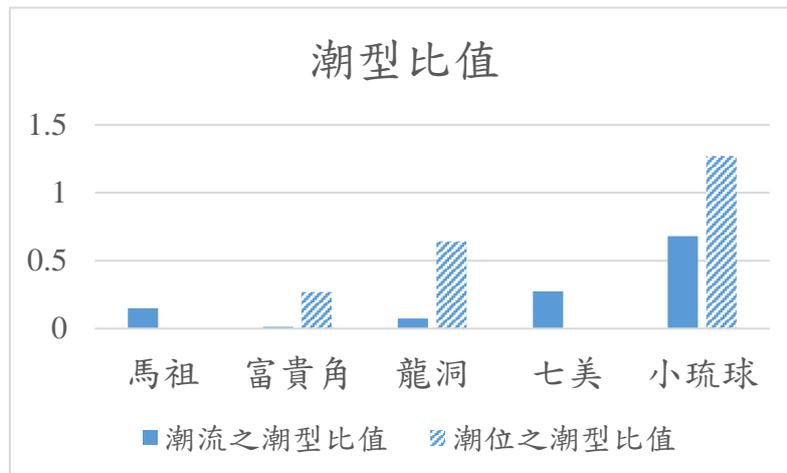


圖 3-6 各浮標測站的潮型，斜線為靠近浮標的潮位之潮型

### 3.4 潮流佔總海流的比例

了解各浮標區域之潮流大小、方向及潮型的不同後，潮流對於海流上的影響也不容忽視。由於不同地區的潮流方向皆不盡相同，所以先知道潮流來回運動的方向角度，是有助於後續的研究。將馬祖站、富貴角站、龍洞站、小琉球站及七美站分成四季，利用 U-tide(Codiga, 2011)之程式在 Matlab 中重建出當地的潮流大小，最後可計算出潮流對海流所佔的比例，比例越大表示潮流主導越多。

圖 3-7 為 2019 年冬季時馬祖浮標水下第一層(3.5 公尺處)，原始海流(紅色線)及重建潮流(藍色線)，上下分別為 u、v 分量的流速。從圖 3-1 的潮流橢圓得知，馬祖站潮流軌跡較橢圓。且流速達到 100cm/s，重建潮流流速可達 90cm/s，u 分量潮流所佔的海流比例為 80.47%，而 v 分量潮流流速顯得比較小，v 分量潮流所佔海流比例為 55.33%。從圖 3-7 上圖的海流趨勢也可以發現明顯的半日潮週期。

圖 3-8 至圖 3-10，則為馬祖站 2019 年春季、夏季、秋季，說明同圖 3-7。其中春、夏兩季，潮流流速約在+100cm/s 至-60cm/s 之間，表示潮流往實際東北東的方向較強，秋、冬季時則移動的較平均。潮流佔海流比例分別是 78.24%、69.94%、74.89%，在 2019 年時冬季潮流佔的比例較高，夏季較低。

圖 3-11 至圖 3-14，則為富貴角站 2018 年冬季、春季、夏季及秋季。其中夏、秋兩季，潮流流速將近 200cm/s，且潮流往實際的西方向較強，潮流佔海流比例分別是 95.83%、95.09%、94.94%以及 90.57%。

圖 3-15 至圖 3-18，則為龍洞站 2018 年冬季、春季、夏季及秋季。冬季時潮流流速約在+70cm/s 至-30cm/s 之間，在春、夏、秋季時潮流流速則明顯較小，表示潮流往實際的東北方向較強，尤其在冬季時。潮流佔海流比例分別是 75.12%、48.54%、43.88%以及 46.63%，龍洞在 2018 年時冬季潮流佔的比例較高。

圖 3-19 至圖 3-22，則為小琉球站 2014 年秋季及 2015 年冬季、春季、夏季，因為小琉球資料較短，故使用前一年秋季資料來分析。。小琉球的潮流在夏、秋季時潮流流速約在+55cm/s 至-48cm/s 之間，在冬、春季時潮流流速則在+42cm/s

至-44cm/s 之間，表示冬、春季時的漲退潮流速較平均。小琉球潮流佔海流比例分別是 46.84%、44.95%、50.59%以及 51.09%，小琉球在秋季潮流佔的比例較高，春季較低。

圖 3-23 至圖 3-26，則為七美站 2015 至 2016 年冬季、2019 年春季、夏季及 2016 年秋季，因為七美站部分時間無觀測資料，故選擇完整資料來分析。七美潮流佔海流比例分別是 80.08%、75.8%、73.18%以及 76.81%，七美在秋季潮流佔的比例較高。

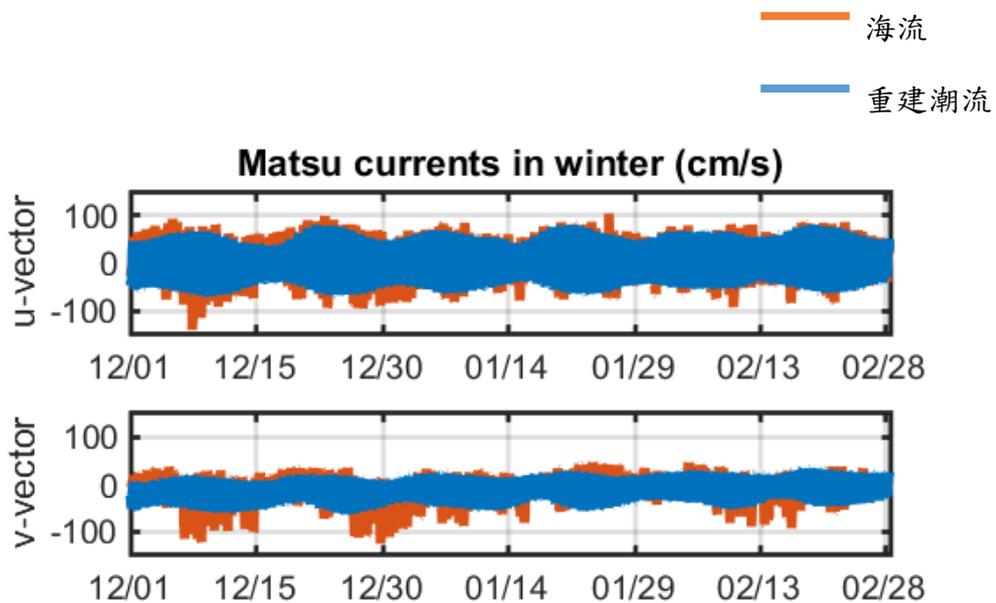


圖 3-7 馬祖浮標在冬季時之海流流速圖

表 3-6 馬祖浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

馬祖 2018-2019 冬季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1841.7	879.95
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1482	486.92
重建潮流/原始海流(%)	80.47	55.33

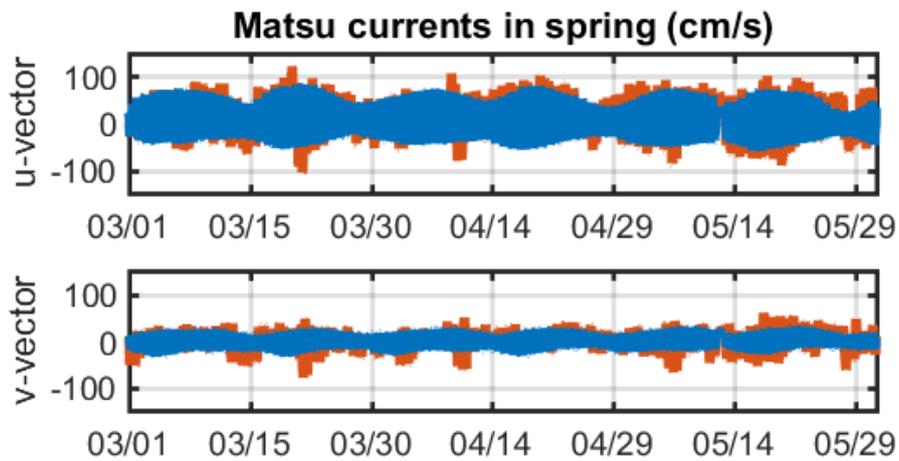


圖 3-8 馬祖浮標在春季時之海流流速圖

表 3-7 馬祖浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

馬祖 2019 春季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1554.6	413.91
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1216.2	224.48
重建潮流/原始海流(%)	78.24	54.23

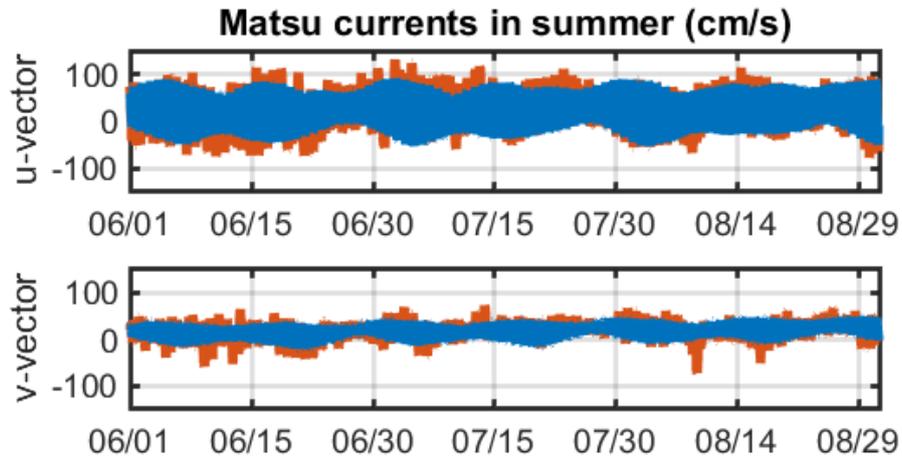


圖 3-9 馬祖浮標在夏季時之海流流速圖

表 3-8 馬祖浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

馬祖 2019 夏季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1669.8	372.69
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1167.8	210.43
重建潮流/原始海流(%)	69.94	56.46

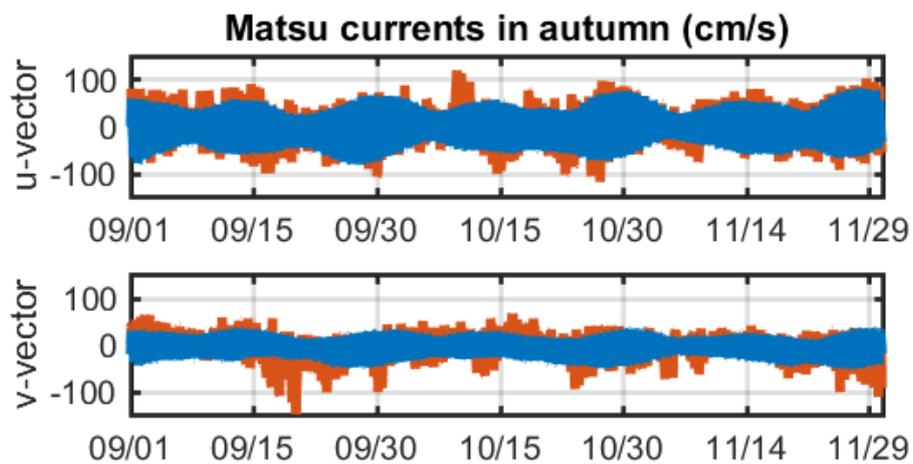


圖 3-10 馬祖浮標在秋季時之海流流速圖

表 3-9 馬祖浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

馬祖 2019 秋季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1591	881.38
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1191.5	409.38
重建潮流/原始海流(%)	74.89	46.45

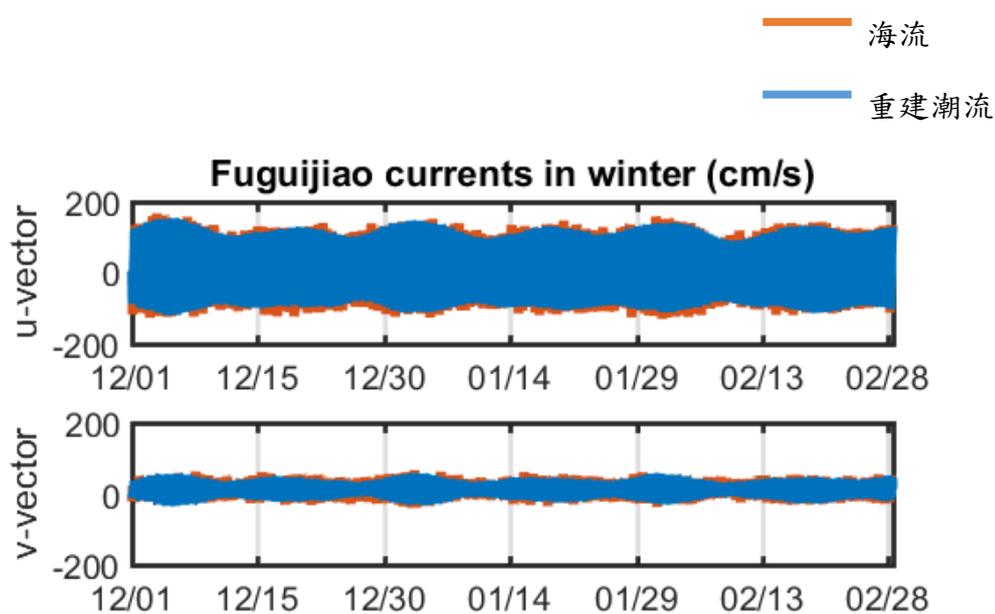


圖 3-11 富貴角浮標在冬季時之海流流速圖

表 3-10 富貴角浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

富貴角 2017-2018 冬季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	5858.6	410.67
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	5614.3	341.78
重建潮流/原始海流(%)	95.83	83.22

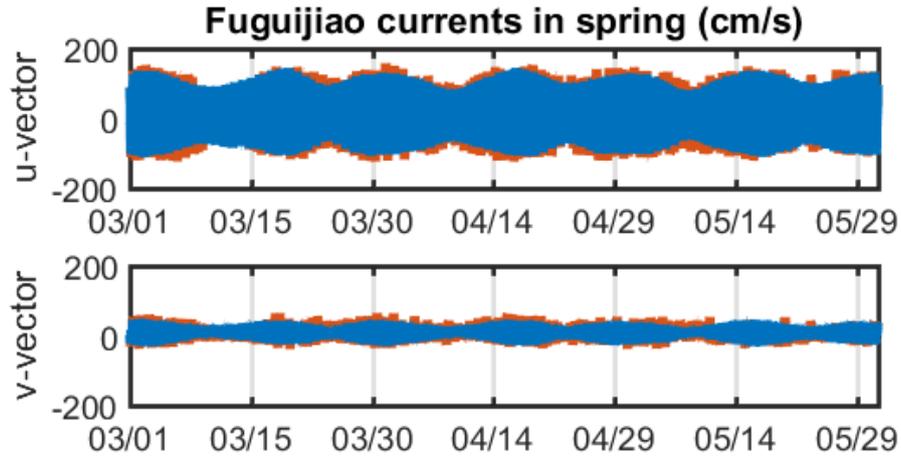


圖 3-12 富貴角浮標在春季時之海流流速圖

表 3-11 富貴角浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

富貴角 2018 春季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	5059.6	361.09
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	4811.2	263.73
重建潮流/原始海流(%)	95.09	73.04

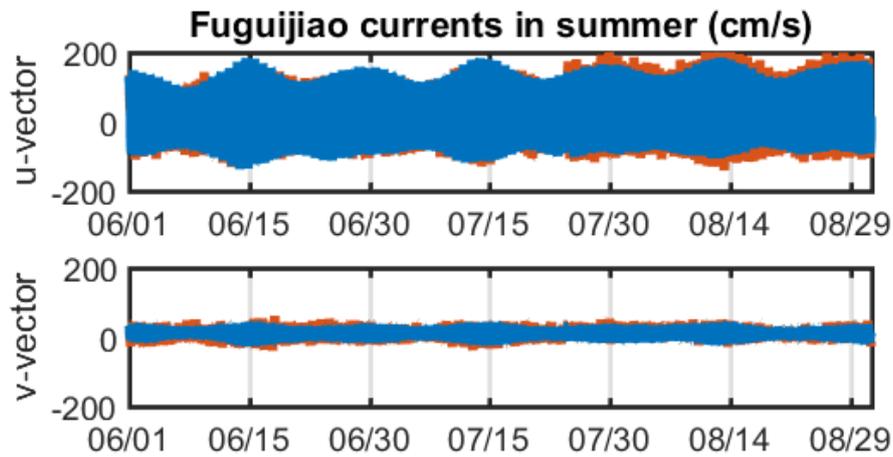


圖 3-13 富貴角浮標在夏季時之海流流速圖

表 3-12 富貴角浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

富貴角 2018 夏季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	6732.9	308.62
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	6391.9	217.92
重建潮流/原始海流(%)	94.94	70.61

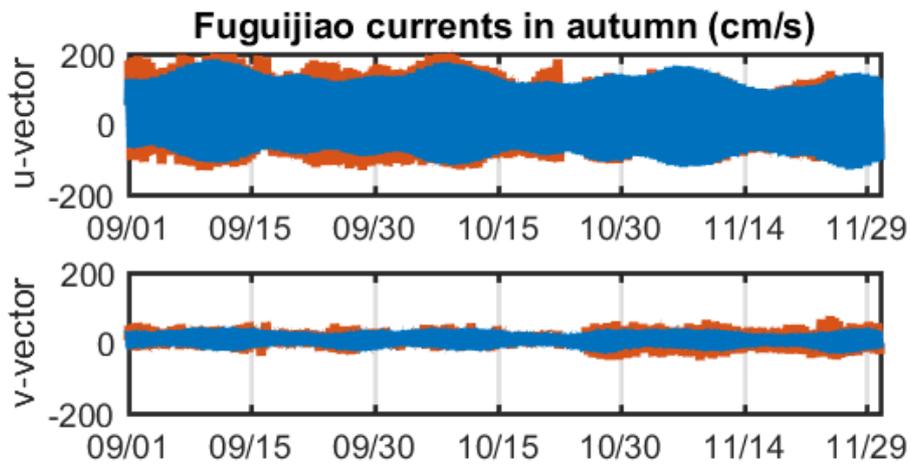


圖 3-14 富貴角浮標在秋季時之海流流速圖

表 3-13 富貴角浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

富貴角 2018 秋季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	7112.2	419.37
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	6441.6	276.83
重建潮流/原始海流(%)	90.57	66.01

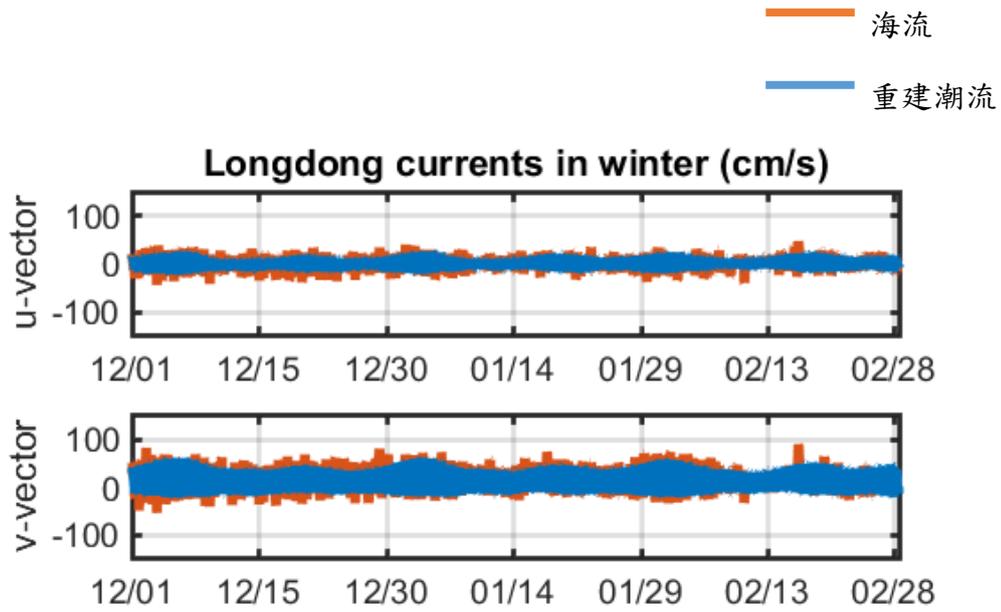


圖 3-15 龍洞浮標在冬季時之海流流速圖

表 3-14 龍洞浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

龍洞 2017-2018 冬季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	186.58	539.24
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	101.07	405.1
重建潮流/原始海流(%)	54.17	75.12

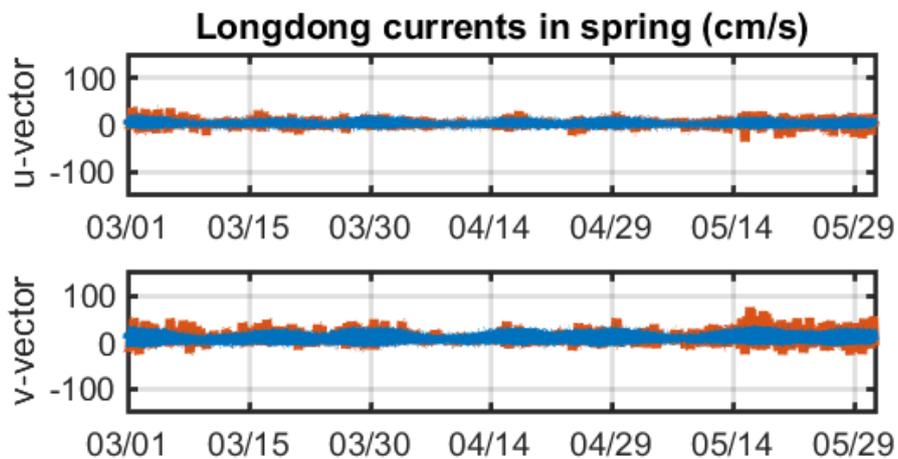


圖 3-16 龍洞浮標在春季時之海流流速圖

表 3-15 龍洞浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

龍洞 2018 春季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	73.2487	198.3183
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	34.6582	96.2551
重建潮流/原始海流(%)	47.32	48.54

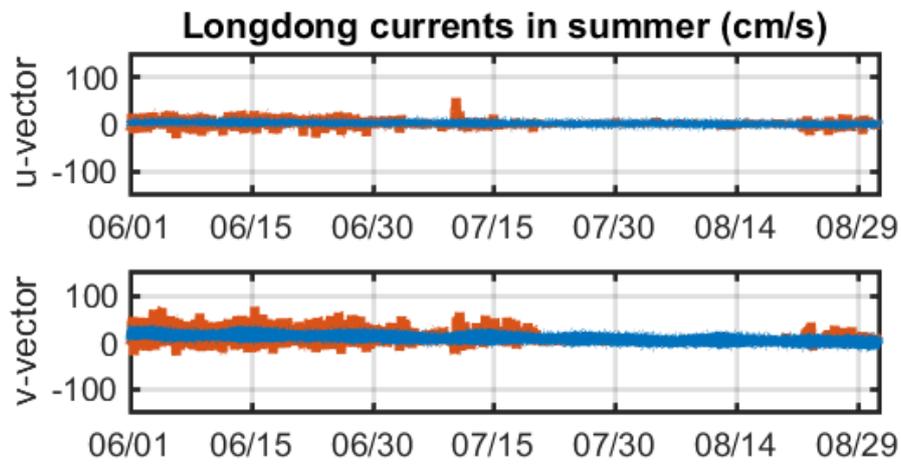


圖 3-17 龍洞浮標在夏季時之海流流速圖

表 3-16 龍洞浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

龍洞 2018 夏季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	60.7349	227.2137
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	16.1963	99.7078
重建潮流/原始海流(%)	26.67	43.88

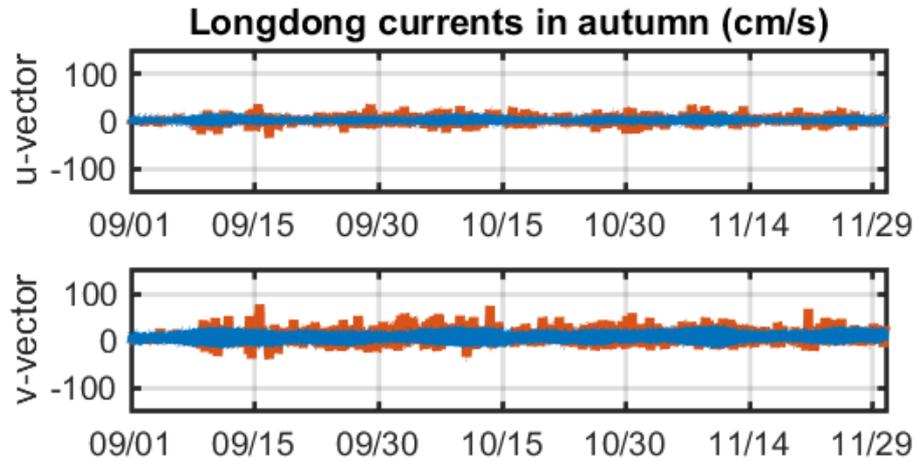


圖 3-18 龍洞浮標在秋季時之海流流速圖

表 3-17 龍洞浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

龍洞 2018 秋季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	72.7225	210.0843
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	22.1301	97.9678
重建潮流/原始海流(%)	30.43	46.63

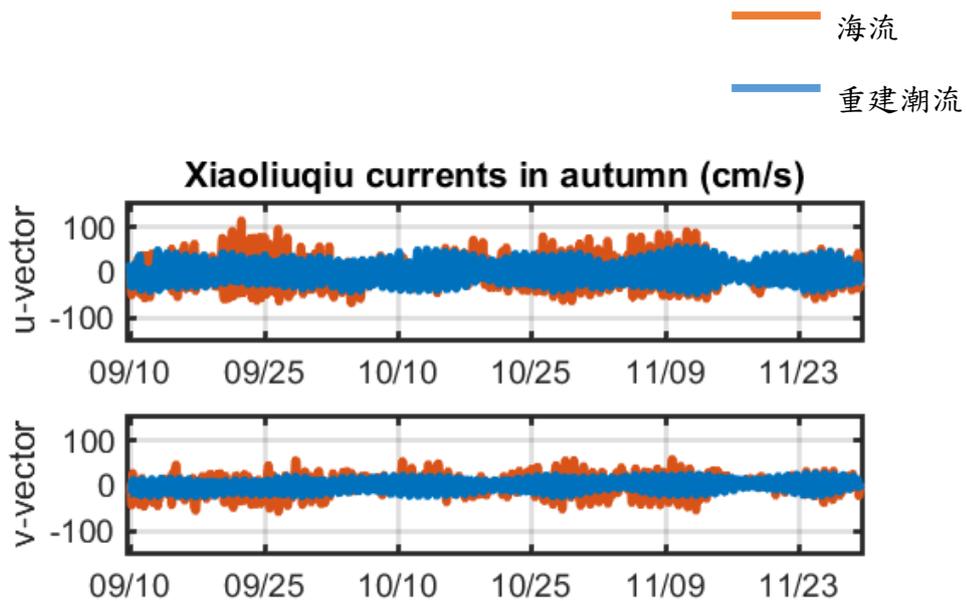


圖 3-19 小琉球浮標在秋季時之海流流速圖

表 3-18 小琉球浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

小琉球 2014 秋季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	733.46	301.76
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	343.51	113.44
重建潮流/原始海流(%)	46.84	37.59

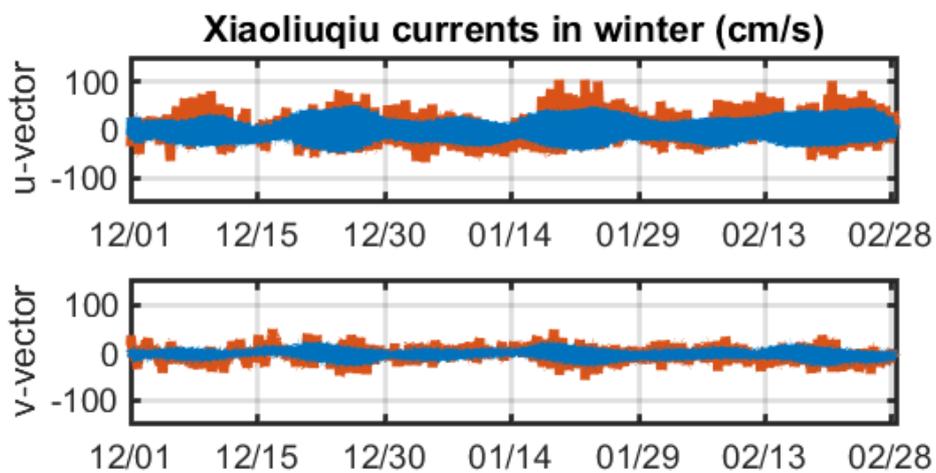


圖 3-20 小琉球浮標在冬季時之海流流速圖

表 3-19 小琉球浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

小琉球 2014-2015 冬季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	789.64	217.17
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	354.91	71.78
重建潮流/原始海流(%)	44.95	33.05

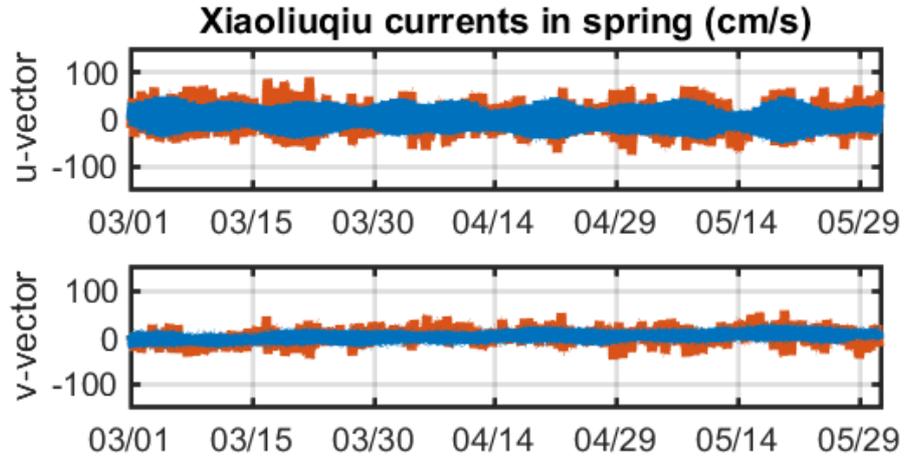


圖 3-21 小琉球浮標在春季時之海流流速圖

表 3-20 小琉球浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

小琉球 2015 春季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	815.2	250.94
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	412.37	103.49
重建潮流/原始海流(%)	50.59	41.24

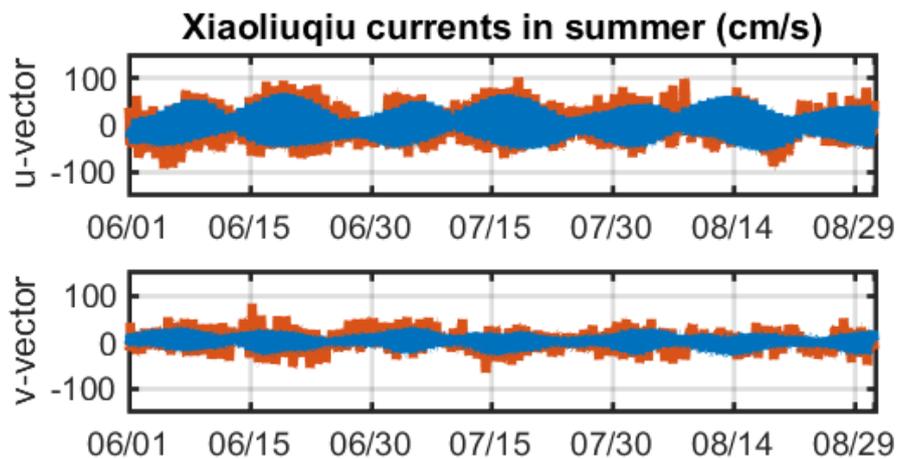


圖 3-22 小琉球浮標在夏季時之海流流速圖

表 3-21 小琉球浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

小琉球 2015 夏季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1046.5	329.25
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	534.69	120.68
重建潮流/原始海流(%)	51.09	36.65

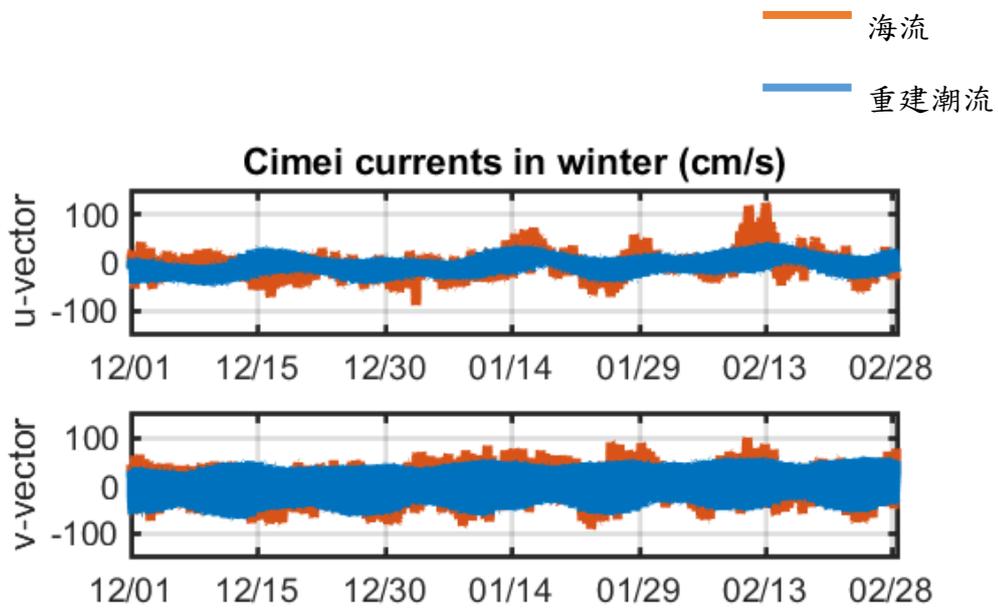


圖 3-23 七美浮標在冬季時之海流流速圖

表 3-22 七美浮標在冬季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

七美 2015-2016 冬季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	780.57	1434.3
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	328.11	1148.6
重建潮流/原始海流(%)	42.03	80.08

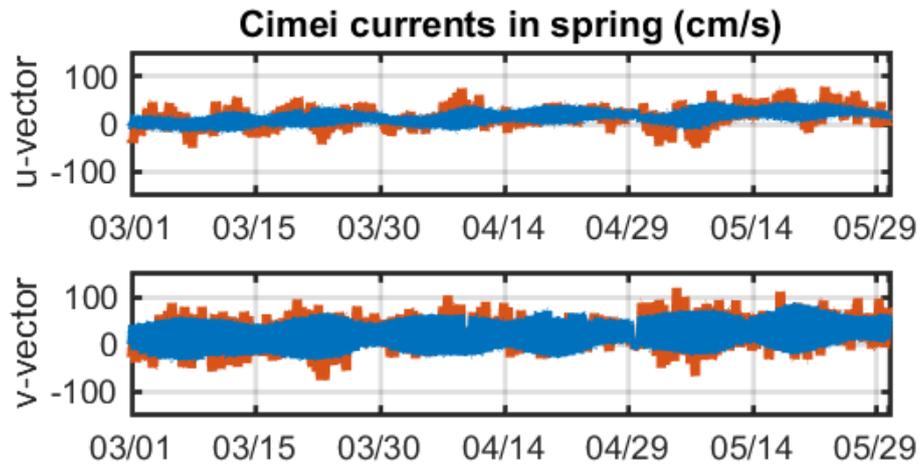


圖 3-24 七美浮標在春季時之海流流速圖

表 3-23 七美浮標在春季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

七美 2019 春季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	394.4	940.66
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	153.28	713.04
重建潮流/原始海流(%)	38.87	75.8

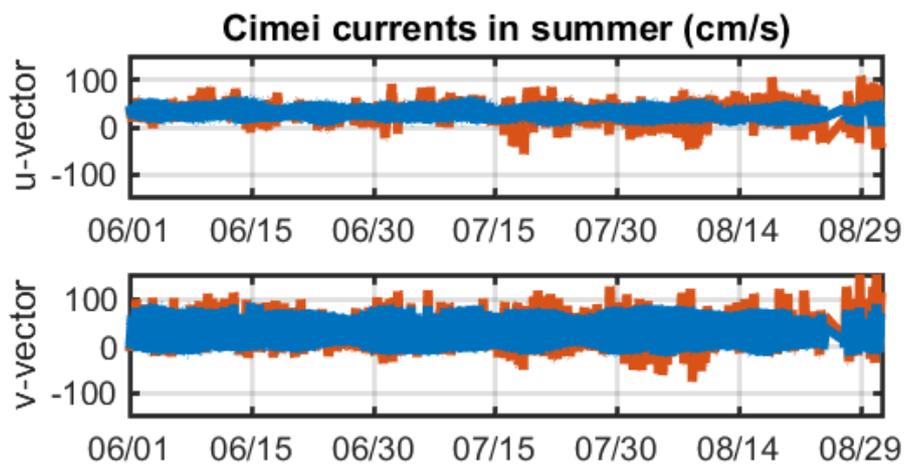


圖 3-25 七美浮標在夏季時之海流流速圖

表 3-24 七美浮標在夏季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

七美 2019 夏季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	531.12	1188.3
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	184.72	869.62
重建潮流/原始海流(%)	34.78	73.18

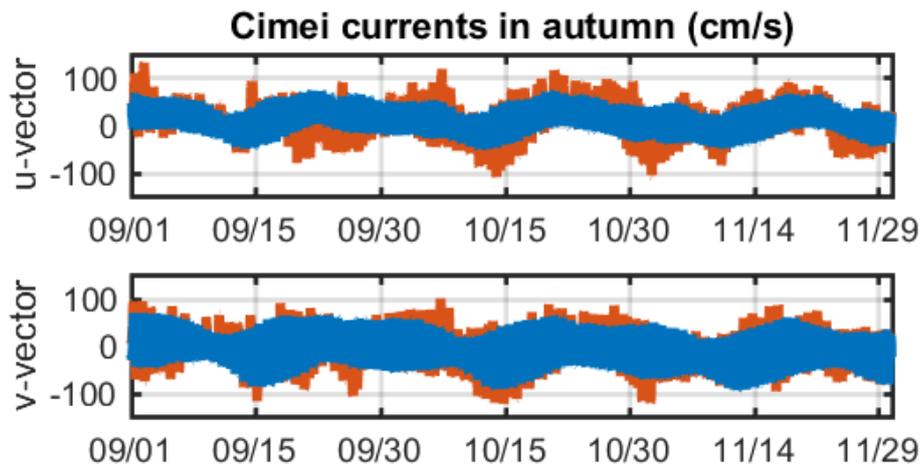


圖 3-26 七美浮標在秋季時之海流流速圖

表 3-25 七美浮標在秋季時主軸旋轉的角度及海流變異數資訊

七美 2016 秋季	U 分量	V 分量
原始海流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	1487.4	1810.4
重建潮流變異數( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )	728.64	1390.5
重建潮流/原始海流(%)	48.99	76.81

## 第四章 東北季風

### 4.1 東北季風介紹

本研究利用馬祖浮標、富貴角浮標、龍洞浮標、七美浮標、小琉球浮標的海流資料，來分析東北季風對各地海流之關係。而東北季風之風場主要使用彭佳嶼的風場資料，因為彭佳嶼的地理位置及四周皆無遮蔽物，再以彭佳嶼冬季風場來看(圖 4-1)，風向主要皆為東北風，且一個周期持續 4 到 6 天，可以很好的表現出東北季風的情形，因此彭佳嶼的風場適合當作台灣周圍的東北季風指標。彭佳嶼站位置如圖 2-2 所示。如要看某地的風場或海流是否容易受到東北季風的影響而改變，可由兩者之間的相關性來比較，如相關性高則受東北季風影響的成分高，相關性低則反之。

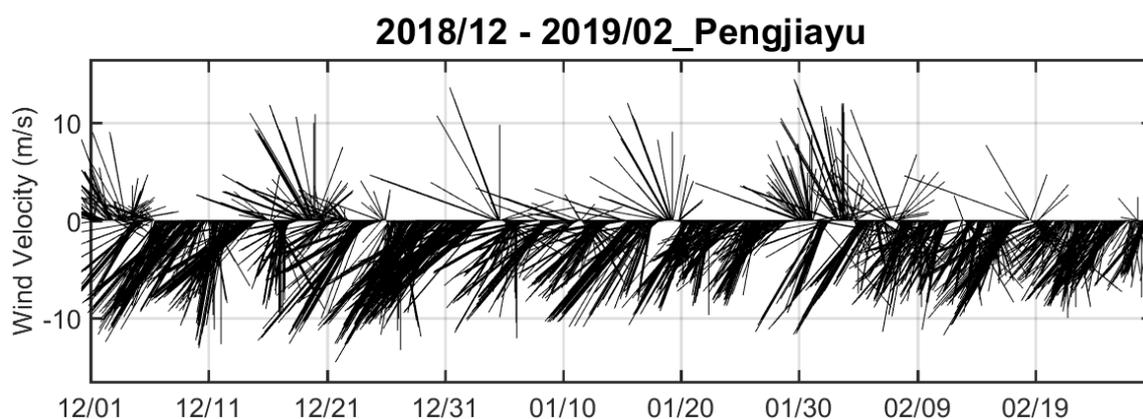


圖 4-1 彭佳嶼站在 2018 年 12 月至 2019 年 2 月冬季期間的原始風矢

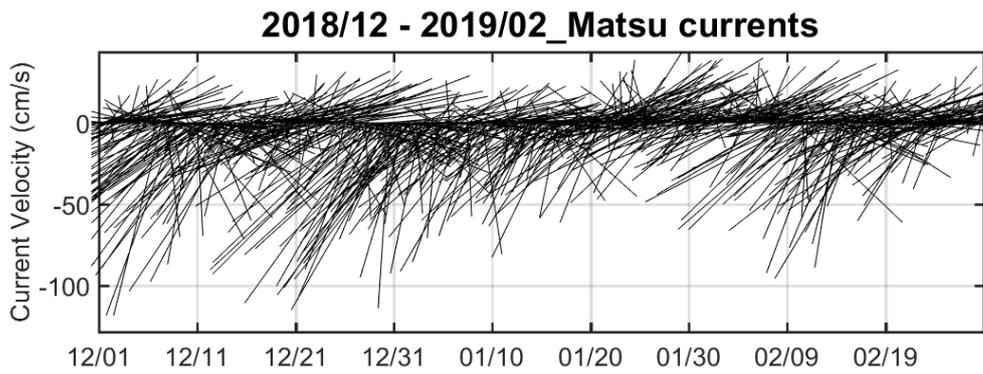


圖 4-2 馬祖浮標在 2018 年 12 月至 2019 年 2 月冬季期間的原始流矢

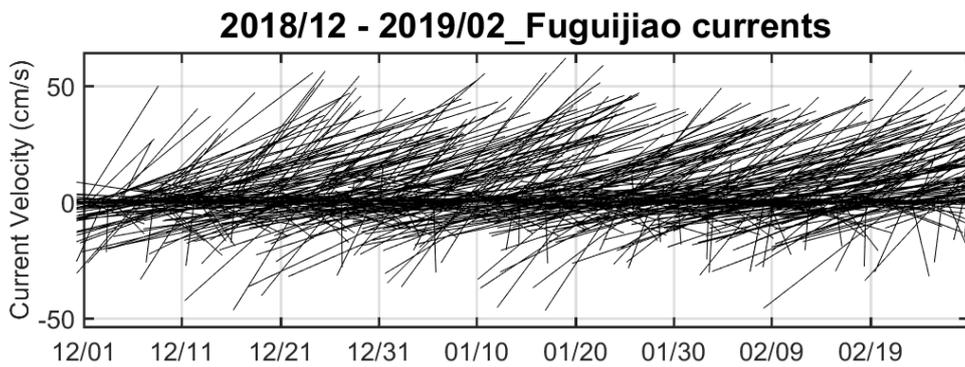


圖 4-3 富貴角浮標在 2018 年 12 月至 2019 年 2 月冬季期間的原始流矢

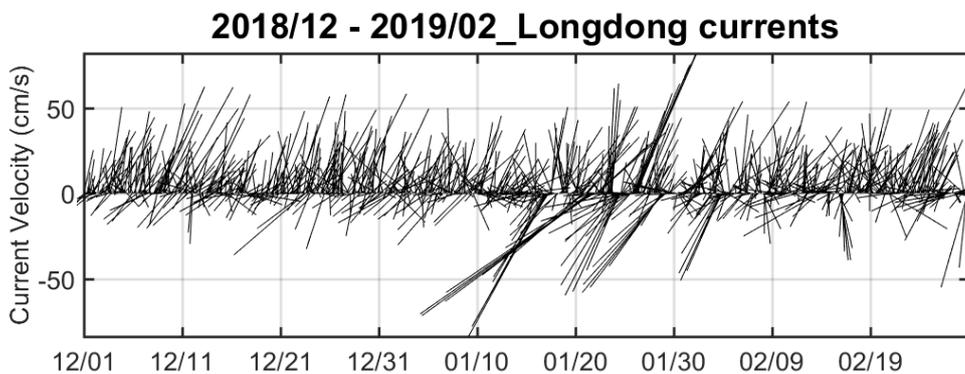


圖 4-4 龍洞浮標在 2018 年 12 月至 2019 年 2 月冬季期間的原始流矢

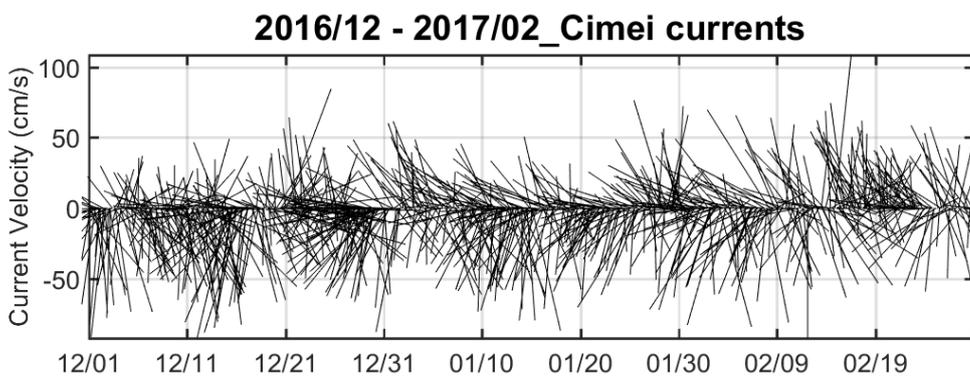


圖 4-5 七美浮標在 2016 年 12 月至 2017 年 2 月冬季期間的原始流矢

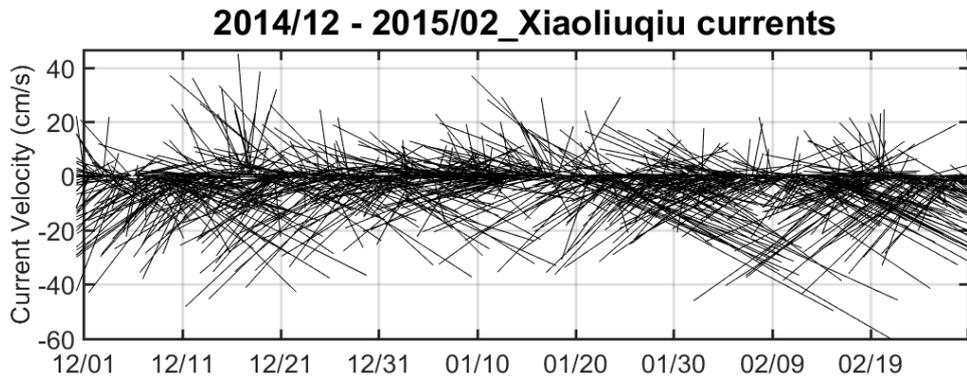


圖 4-6 小琉球浮標在 2014 年 12 月至 2015 年 2 月冬季期間的原始流矢

為了比較東北風與海流之間的相關性，分析資料時，先經過 36 小時低通濾波後，再將海流的  $u$ 、 $v$  軸轉向成東北風的方向，以東北至西南的方向為新的主軸，利用公式 4-1 及公式 4-2(Thomson and Emery, 2014)，可以將原本的主軸方向旋轉，得出旋轉後新的主軸方向與新的  $u'$ 、 $v'$  分量海流。 $\theta$  為旋轉的角度，正數是逆鐘向旋轉，負數則是順鐘向旋轉。得出以東北季風為主軸的  $u'$ 、 $v'$  分量海流或風場資料。東北季風主軸是利用彭佳嶼風場資料計算得出，為順時針方向旋轉 19.6 度，再將各地區的風場或流場資料依 19.6 度旋轉，使其主軸與東北季風主軸同向(示意圖見圖 4-7)，以便後續分析。

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{2\overline{uv}}{\overline{u^2} - \overline{v^2}} \right] \quad (4-1)$$

$$\begin{aligned} u' &= u \cos\theta + v \sin\theta \\ v' &= -u \sin\theta + v \cos\theta \end{aligned} \quad (4-2)$$

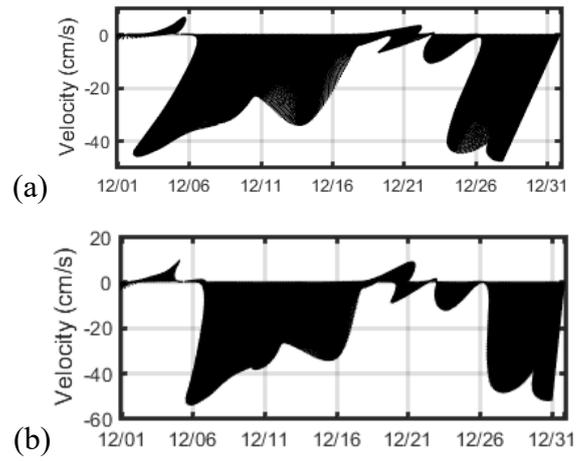


圖 4-7 有無轉向的示意圖。(a)是尚未轉向之海流流矢圖，(b)是已轉向後以東北季風為主軸之海流流矢圖。

## 4.2 東北季風與當地風場的相關性

為了證明彭佳嶼風場適合用來當作東北季風指標，將各地的風場與彭佳嶼風場做相關性分析，如果相關性高，表示彭佳嶼的風和各地的風是有關係的，彭佳嶼的風則適合作為東北季風指標。以下將馬祖、富貴角、龍洞、七美及小琉球的風場對彭佳嶼風場做風速的比較，並分析兩者之相關性。

首先，圖 4-8 為彭佳嶼風場和馬祖風場在冬季時的風速圖，分別為 2018 年 12 月、2019 年 1 月及 2 月，紅色線是彭佳嶼風速，藍色線是馬祖風速，黑色線為風速 0 的位置，大於 0 為吹東北風，小於 0 為吹西南風。從圖上的趨勢可以發現，當彭佳嶼的東北風增強，在馬祖的東北風也同樣增強，彭佳嶼東北風減弱馬祖風速也同樣減弱，趨勢很一致。在 12 月、1 月、2 月時兩者的相關係數分別為 0.9、0.67、0.71，其中相關係數範圍為 0 至  $\pm 1$  之間，係數為 0 表示兩者沒有關係，係數越高表示兩者越有關係，正值為正相關，負值則反之，在 0.7 以上表示相關性佳，而在彭佳嶼風場和馬祖風場之間的相關性較高。

圖 4-9 為彭佳嶼風場和富貴角風場在冬季時的風速圖，彭佳嶼風及富貴角風兩者的趨勢更相似，在彭佳嶼的東北風增強，富貴角東北風也增強，減弱也同樣減弱，且彭佳嶼風減弱至轉向為西南風時，富貴角風也同樣轉為西南風向。在 12 月、1 月、2 月時兩者的相關係數分別為 0.93、0.84、0.86，比馬祖站的相關性更佳。

圖 4-10、圖 4-11 分別為彭佳嶼對龍洞、七美之風速，龍洞與七美的風場趨勢如馬祖和富貴角一樣，隨之增強或減弱。但不同的是，七美的風速比其他測站還大，最大可達 19m/s，而且在連續三個月的時間內，七美的東北風也幾乎比彭佳嶼的東北風強，很可能是因為地形效應的關係，也就是在東北季風時期，氣流通過台灣海峽，受兩側地形阻擋，使得局部氣壓梯度改變，由於地形效應藉由改變局部地區氣壓梯度的方式，而增強部分海域近地層風速(吳，2004)。在彭佳嶼風和龍洞風相關係數分別是 0.86、0.71、0.79，在彭佳嶼風和七美風相關係數則分別是 0.95、0.87、0.74，同樣相關性佳。

但在小琉球的風場與彭佳嶼風場的相關性較不佳，兩者在 12 月、1 月、2 月時的相關係數分別為 0.31、0.4、0.5，從圖 4-12 的流速圖趨勢可以發現，小琉球的風速較無變化，較無受到東北季風影響。

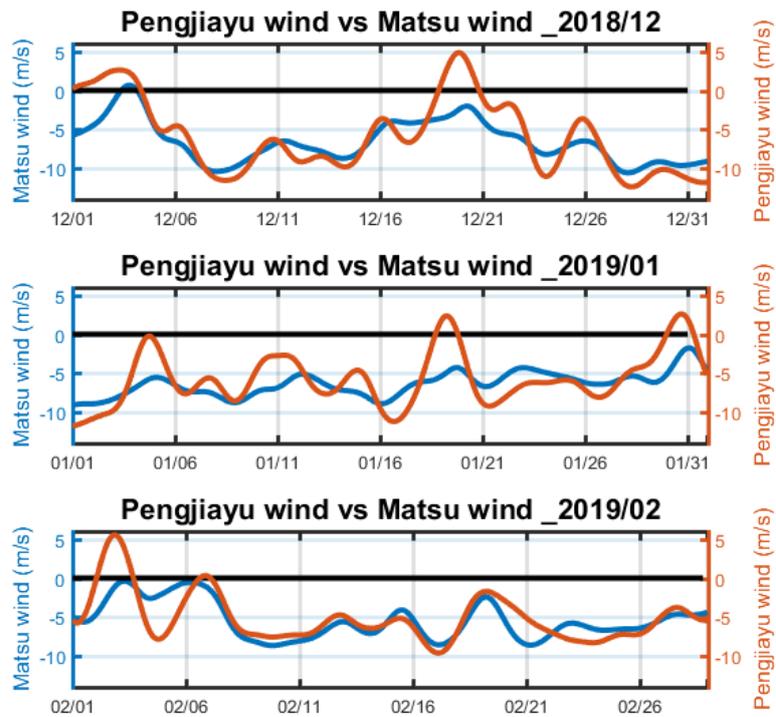


圖 4-8 冬季時彭佳嶼風場和馬祖風場之風速圖，紅色線是彭佳嶼風速，藍色線是馬祖風速，黑色線為速率零的位置。

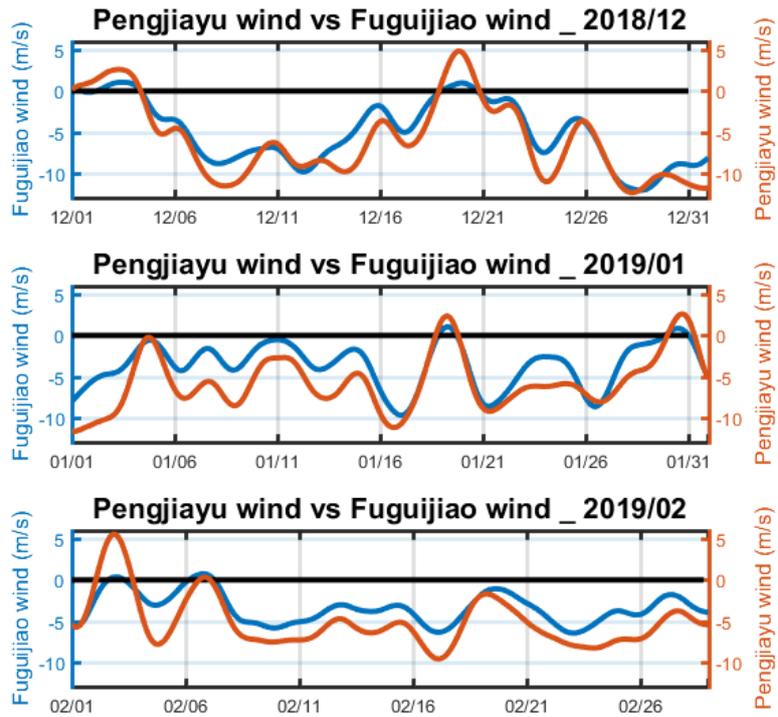


圖 4-9 冬季時彭佳嶼風場和富貴角風場之風速圖，說明同圖 4-7。

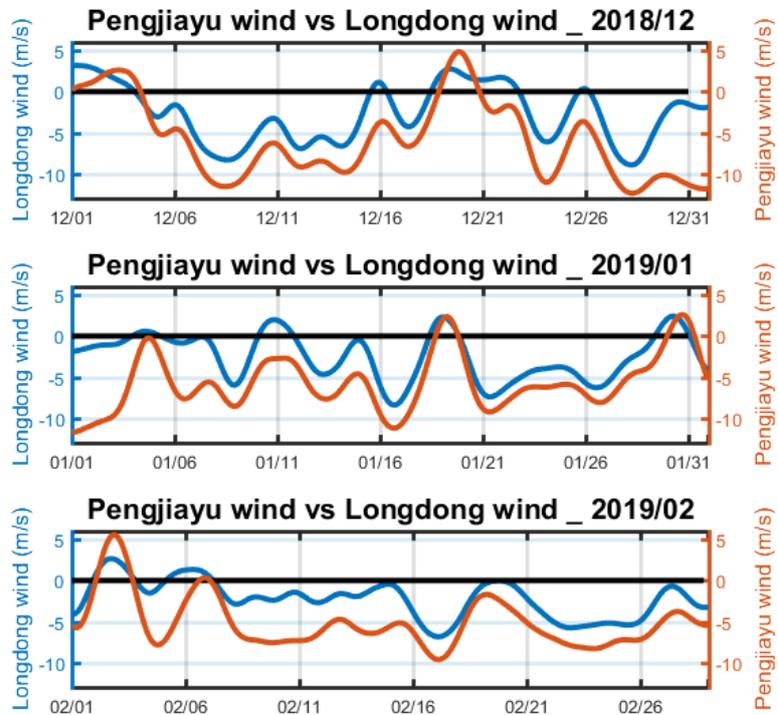


圖 4-10 冬季時彭佳嶼風場和龍洞風場之風速圖，說明同圖 4-7。

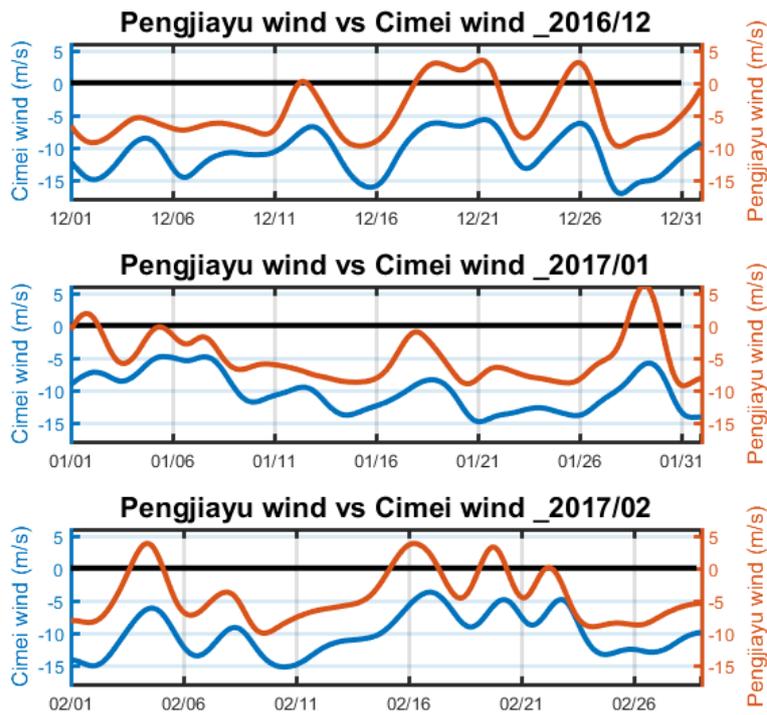


圖 4-11 冬季時彭佳嶼風場和七美風場之風速圖，說明同圖 4-7。

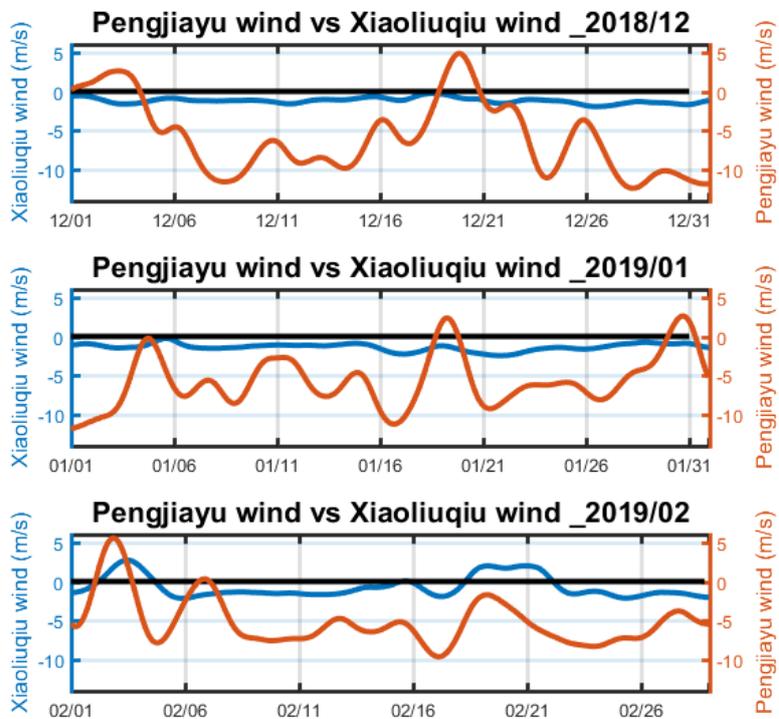


圖 4-12 冬季時彭佳嶼風場和小琉球風場之風速圖，說明同圖 4-7。

### 4.3 東北季風對海流的影響

如將彭佳嶼風場當作東北季風指標，可以利用彭佳嶼風場與各地區海流來分析其相關性，進而了解不同地區的海流受到東北季風影響的關聯程度。圖 4-13 為冬季時彭佳嶼風速和馬祖海流流速，分別為 2018 年 12 月、2019 年 1 月及 2 月，紅色線是彭佳嶼風速，藍色線是馬祖流速，圖上可以清楚看出風及海流的趨勢，當東北風增強時，海流由東北轉向西南的方向傳輸且流速增強，而當東北風減弱時，西南向的流速則減弱，甚至回復往東北向流。尤其在 12 月時，彭佳嶼風及馬祖海流之間的相關係數達到 0.81，1 月則是 0.53，2 月為 0.7。由此可知，在馬祖站冬季時的海流，有很大的程度是受東北季風的影響。

在富貴角站的海流則是較難受到東北季風明顯的驅動，12 月、1 月、2 月的相關係數分別是 0.45、0.41、0.21，相較馬祖站來的低很多，推測原因可能是因近岸海流流動主要以沿岸方向為主，而沿岸方向和東北季風吹拂的方向幾乎呈垂直狀態，故彭佳嶼風對富貴角海流的相關性分析結果較不佳。

而龍洞站的海流同樣較難受東北季風驅動，12 月、1 月、2 月的相關係數分別是 -0.18、0.21、-0.31，在彭佳嶼風對龍洞海流的相關性分析結果不佳。在詹(2009)的研究中提到，低頻風速與流速相關性並不大，定性分析低頻海流並沒有如低頻風速一般有季節性變化。定量分析低頻流與風無論是時域上或頻域上的相關性均甚低，說明當地低頻風並非影響龍洞近岸海域低頻海流變化的主要機制。故推測可能當地的東北季風不是影響龍洞海流變化的主要機制。

圖 4-16 為冬季 2016 年 12 月、2017 年 1 月及 2 月的彭佳嶼風速和七美海流流速，其相關係數分別為 0.57、0.78、0.40，雖然七美位於台灣海峽南端，距離東北季風影響範圍較遠，但在 1 月時的相關係數也有達到 0.78。

相關性高，可以達到從東北季風預報出各地區的風場及流場，像是馬祖、富貴角、龍洞、七美地區的風場，或是馬祖地區的流場，尤其是馬祖站在 12 月時的海流，可以達到 0.81 的相關性。

最後以延遲時間的相關性來分析，圖 4-17 分別是 4 個站的海流每延遲 1 小時至 24 小時對於彭佳嶼風的相關性，時間範圍為整個冬季包含了 12 月、1 月和 2 月。馬祖站(藍色)的相關係數最高，並隨著時間的延遲而下降；富貴角站(紅色)相關係數不高，研判是因近岸海流流動主要以沿岸方向為主，而沿岸方向和東北季風吹拂的方向幾乎呈垂直狀態，故彭佳嶼風對富貴角海流的相關性分析結果較不佳，但在延遲 3 小時的地方相關係數達峰值，隨後開始下降；龍洞站(黃色)的分析結果顯示較差，推測在龍洞的東北季風不是影響龍洞海流變化的主要機制；七美站(紫色)在延遲 14 小時的地方相關係數達峰值，推斷是七美距離較遠，故延遲時間需較久，東北季風對海流才有所影響。

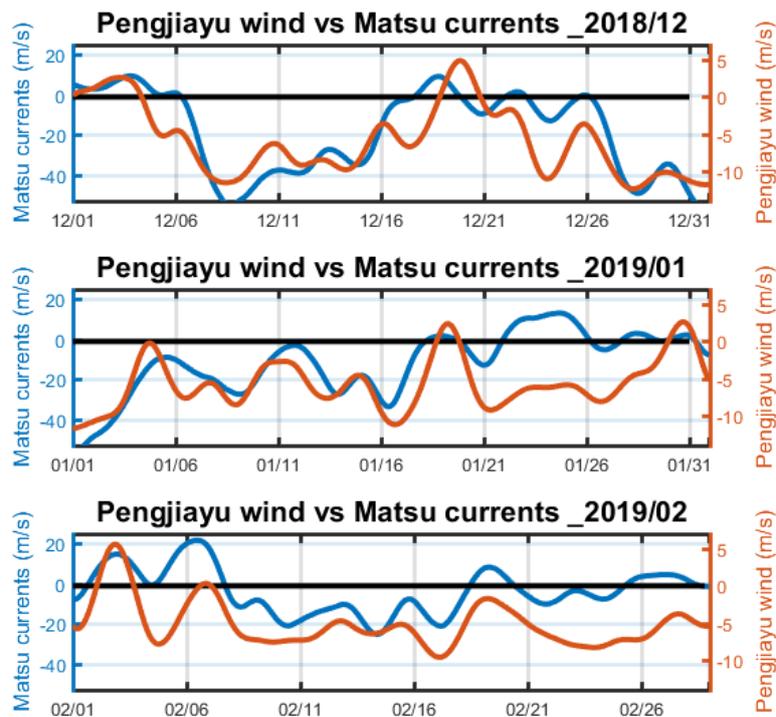


圖 4-13 冬季時彭佳嶼風速和馬祖海流流速圖，說明同圖 4-7。

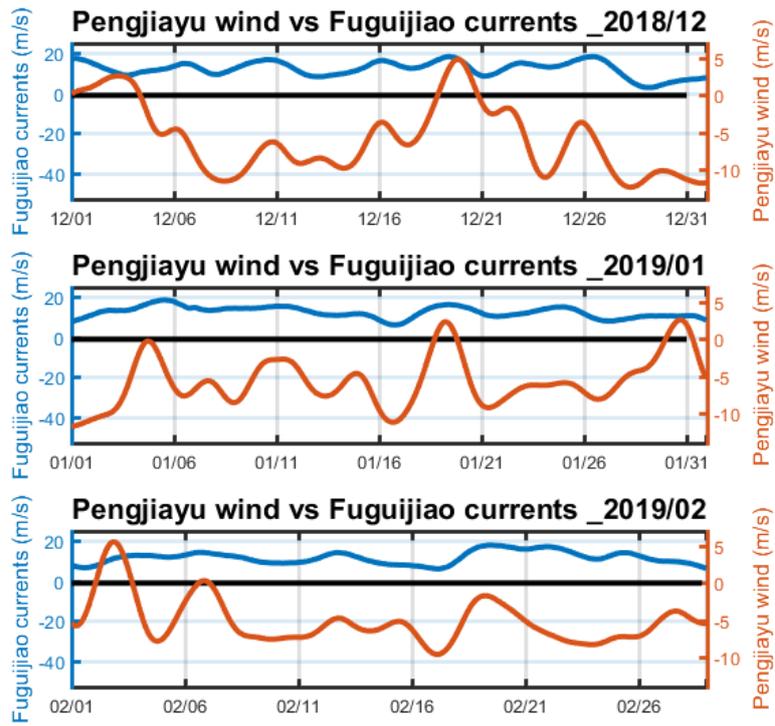


圖 4-14 冬季時彭佳嶼風速和富貴角海流流速圖，說明同圖 4-7。

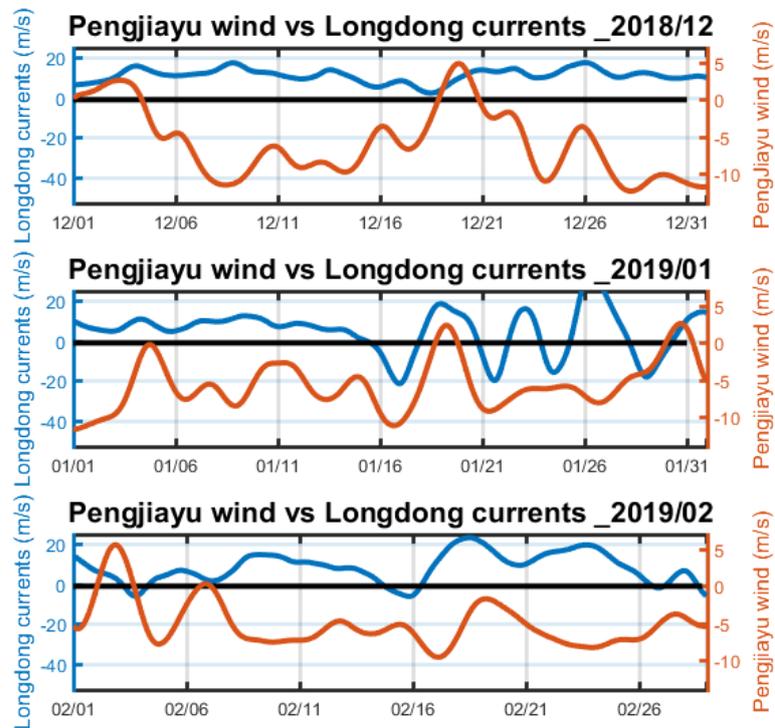


圖 4-15 冬季時彭佳嶼風速和龍洞海流流速圖，說明同圖 4-7。

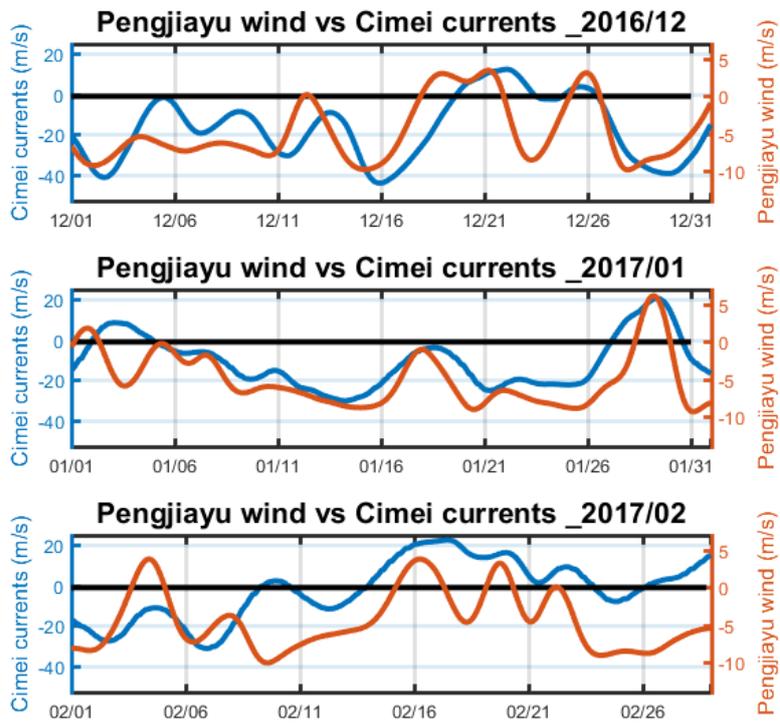


圖 4-16 冬季時彭佳嶼風速和七美海流流速圖，說明同圖 4-7。

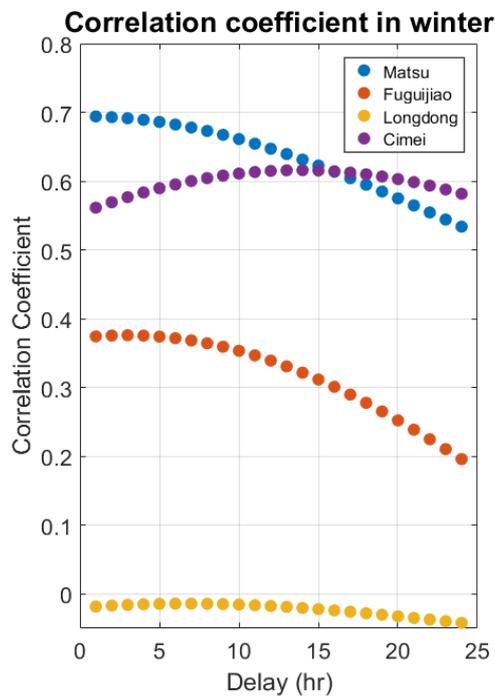


圖 4-17 冬季時彭佳嶼風速和馬祖、富貴角、龍洞及七美海流之相關性

## 第五章 颱風

在台灣，受颱風侵襲的機率高，當颱風通過，向海洋傳遞能量產生各種海洋反應，在颱風事件影響前後海水會有不同的改變，所以了解該海洋物理現象是必要的，對於未來預測海流的變化，也變得越來越重要。

### 5.1 颱風資訊與分析方法

本研究分析之颱風是在 2015 年至 2019 年之間挑選了 9 個颱風案例，分別是杜鵑、莫蘭蒂、馬勒卡、梅姬、尼莎、瑪麗亞、利奇馬、白鹿、米塔颱風，皆為距離靠近台灣，且從富貴角、馬祖、龍洞、七美浮標附近通過，影響海流甚大的颱風案例。

本章節主要討論海流受到颱風影響而開始增強或減弱的變化，颱風靠近測站海流流速及流向的改變；颱風遠離後，誘發近慣性海流的增強。其中將颱風的影響分成了兩個階段，颱風靠近的強襲階段(Forced stage)，以及颱風遠離的弛豫階段(Relaxation stage)，加以分析與探討，以不同的颱風案例來比較對於颱風強度、暴風半徑、移動速度、與浮標的距離，以及位於颱風路徑左右兩側等因素，分析近慣性海流強弱或是持續時間的差異。

表 5-1 各個颱風之基本資訊

颱風名稱	時間	強度	路徑	近台 7 級/10 級 暴風半徑(km)
杜鵑	2015/09/20 ~09/30	強烈	2	220/80
莫蘭蒂	2016/09/09 ~09/15	強烈	7	220/80
馬勒卡	2016/09/12 ~09/20	中度	--	180/60
梅姬	2016/09/21 ~09/28	中度	3	250/100
尼莎	2017/07/26 ~07/30	中度	2	180/60
瑪莉亞	2018/07/03 ~07/11	強烈	1	280/100
利奇馬	2019/08/04 ~08/12	強烈	1	280/100
白鹿	2019/08/20 ~08/26	輕度	4	150/50
米塔	2019/09/27 ~10/03	中度	6	180/60

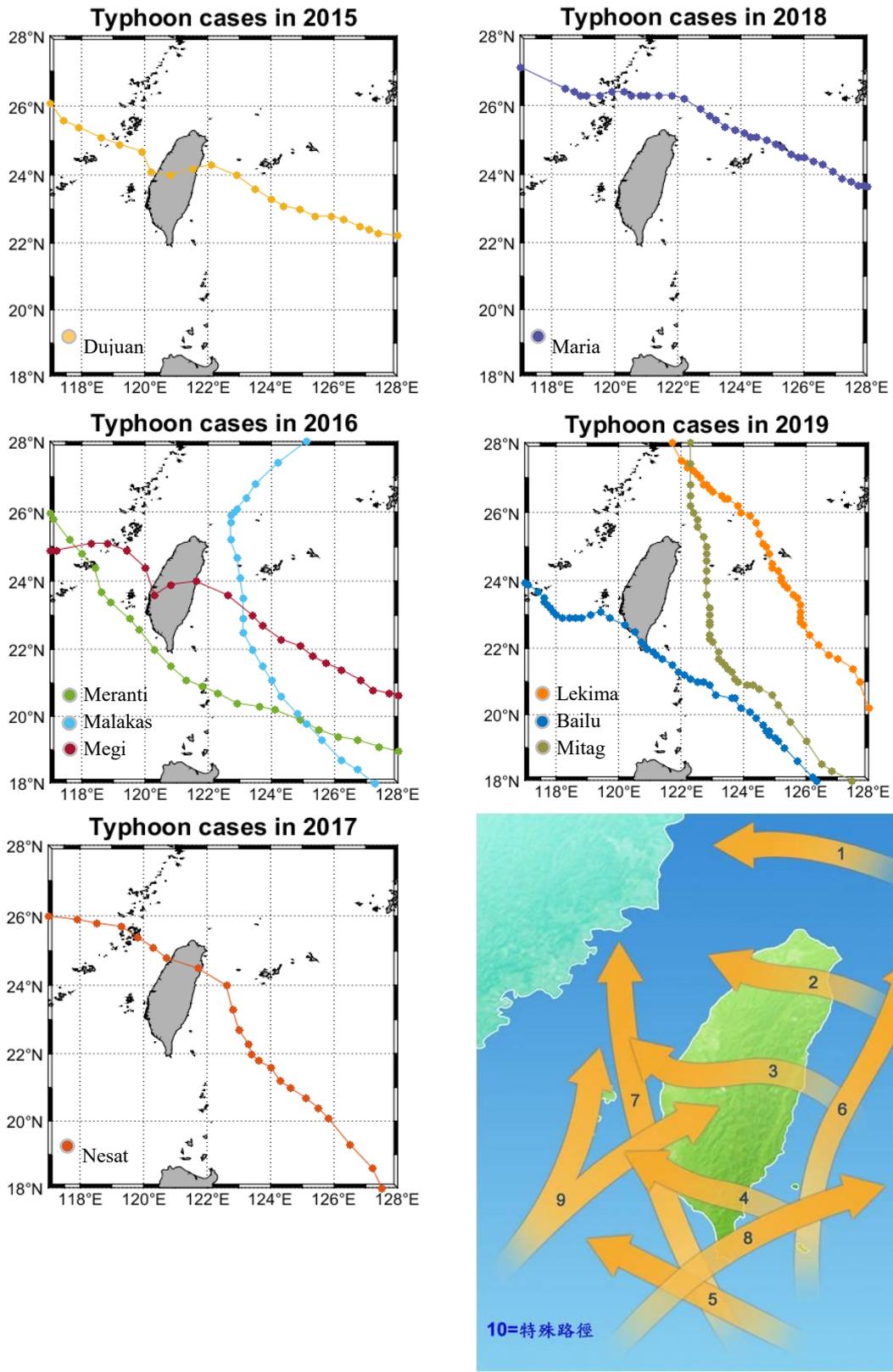


圖 5-1 為 2015 年至 2019 年的颱風案例路徑，以及路徑分類圖

表 5-2 颱風與各浮標距離及相對位置(--表示距離太遠，故無進一步分析)

	七美	龍洞	馬祖	富貴角
杜鵑	在颱風左側 123 公里	--	--	--
莫蘭蒂	在颱風右側 19 公里	--	--	--
馬勒卡	--	在颱風左側 78 公里	--	--
梅姬	在颱風左側 87 公里	在颱風右側 113 公里	--	--
尼莎	--	在颱風右側 62 公里	--	--
瑪莉亞	--	在颱風左側 112 公里	在颱風右側 5 公里	在颱風左側 100 公里
利奇馬	--	在颱風左側 227 公里	在颱風左側 190 公里	在颱風左側 187 公里
白鹿	在颱風右側 9 公里	--	--	--
米塔	--	在颱風左側 77 公里	在颱風左側 101 公里	在颱風左側 179 公里

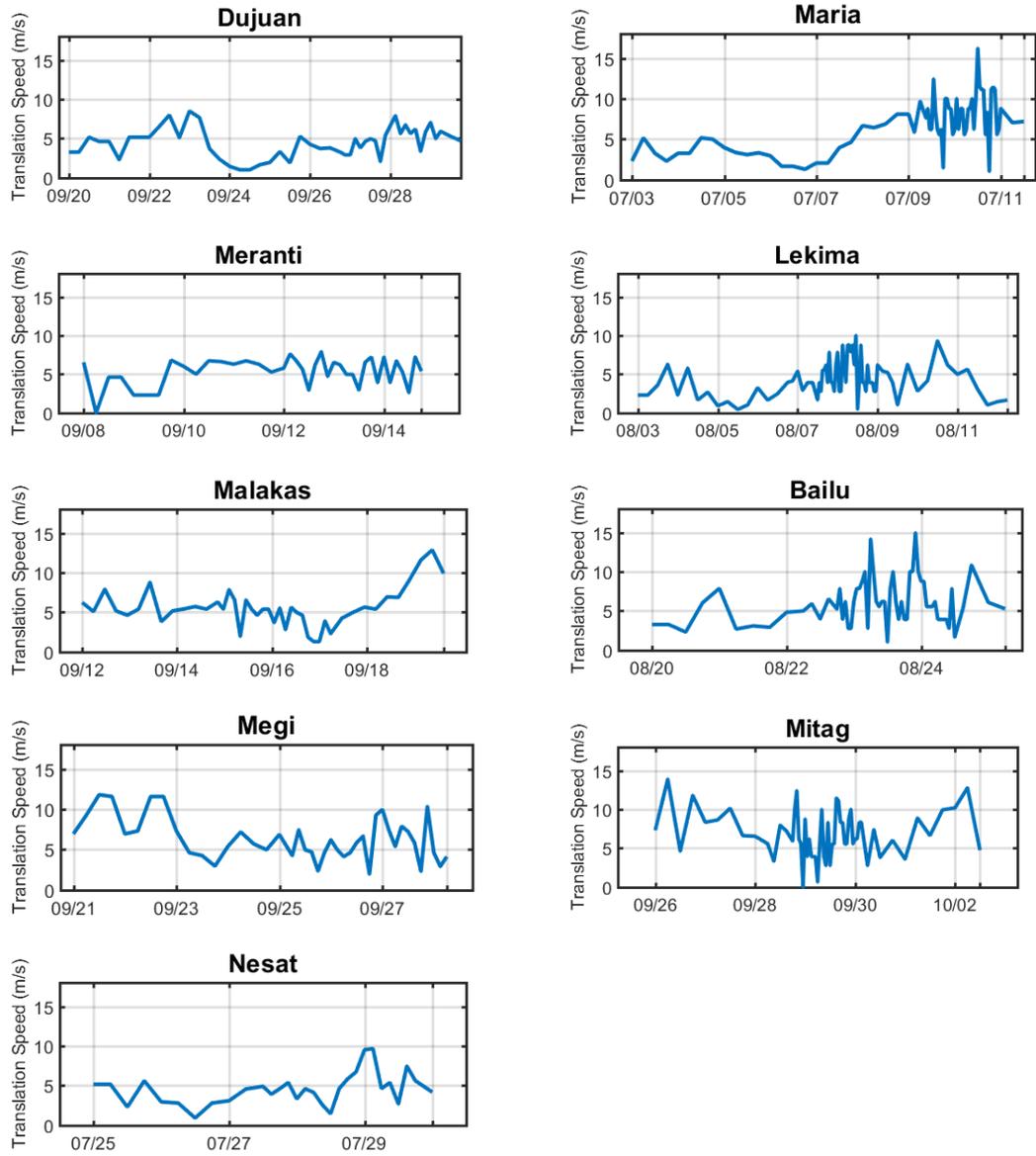


圖 5-2 各颱風在不同時段的移動速度

## 5.2 颱風對海流的影響：概述

### 5.2.1 杜鵑颱風

杜鵑颱風於 2015 年 9 月 20 日在北太平洋上生成，往西北西的方向移動，28 日於台灣北部登陸，18 時最靠近七美浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離七美浮標最靠近為 123 公里，颱風的移動速度約為 6.2m/s，颱風強度從強烈颱風轉為中度颱風，但在七美站的風速逐漸增強，最大風速可達 18m/s，此時風向為北風，流速最大為 125cm/s，流向向南流。當杜鵑颱風靠近，北風開始增強，當杜鵑颱風逐漸遠離，遠離後的逆時鐘方向風場，使風向由北風轉為西北風，然後轉為西南風，最後轉為南風。

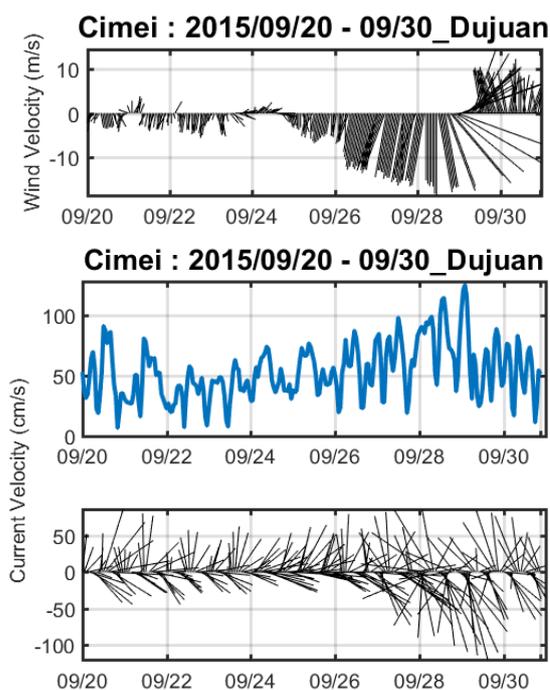


圖 5-3 在七美浮標受杜鵑颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

表 5-3 杜鵑颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速

	最靠近浮標時間	移動速度	最大風速	最大流速
七美浮標	9/28 18:00	6.2m/s	18m/s	125cm/s

## 5.2.2 莫蘭蒂颱風

莫蘭蒂颱風於 2016 年 9 月 9 日生成，往台灣西南方移動，14 日 6 時最靠近七美浮標，浮標位於颱風路徑右手邊，距離七美浮標最靠近為 19 公里，颱風的移動速度約為 3.9m/s，此時颱風強度為強烈颱風。最大風速可達 30m/s，流速最大為 125cm/s。當莫蘭蒂颱風靠近，北風開始增強，當莫蘭蒂颱風逐漸遠離，遠離後的逆時鐘方向風場，因位於浮標的左側，使風向由北風轉為東風，然後為東南風，最後轉為南風。

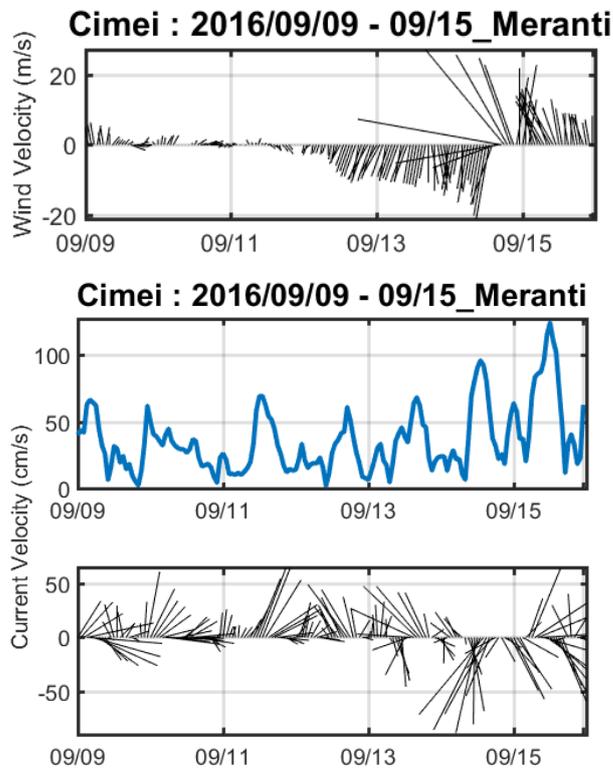


圖 5-4 在七美浮標受莫蘭蒂颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

表 5-4 莫蘭蒂颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速

	最靠近浮標時間	移動速度	最大風速	最大流速
七美浮標	9/14 06:00	3.9m/s	30m/s	125cm/s

### 5.2.3 馬勒卡颱風

馬勒卡颱風於 2016 年 9 月 12 日生成，與莫蘭蒂颱風連續侵襲。馬勒卡颱風逐漸往台灣東北角移動，17 日 6 時最靠近龍洞浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離龍洞浮標最靠近為 78 公里，颱風的移動速度約為 1.8m/s，此時颱風強度為中度颱風。在颱風靠近後，即 17 日後，風速最大為 10.5m/s，流速最大為 68cm/s。當馬勒卡颱風靠近，由原本的南風逐漸減弱且轉向為北風。

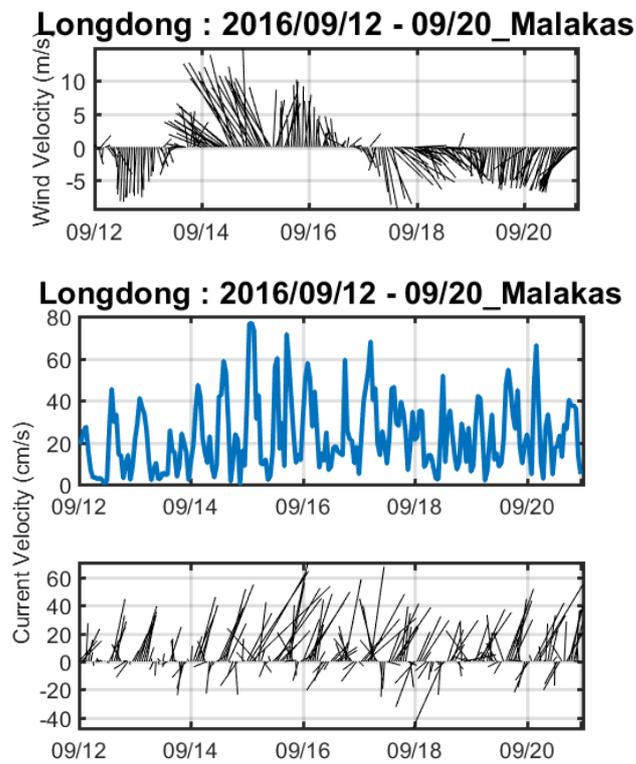


圖 5-5 在龍洞浮標受馬勒卡颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

表 5-5 馬勒卡颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速

	最靠近浮標時間	移動速度	最大風速	最大流速
龍洞浮標	9/17 06:00	1.8m/s	10.5m/s	68cm/s

#### 5.2.4 梅姬颱風

梅姬颱風於 2016 年 9 月 21 日生成，27 日於台灣中部登陸，6 時最靠近龍洞浮標，浮標位於颱風路徑右手邊，距離龍洞浮標最靠近為 113 公里，颱風的移動速度約為 5.3m/s，颱風強度為中度颱風。最大風速可達 18.4m/s，流速最大為 93.6cm/s。當梅姬颱風靠近，北風開始增強，當梅姬颱風逐漸遠離，因位於浮標的左側，使風向由北風轉為東北風，然後為東風，最後轉為南風。

27 日 12 時則是梅姬颱風最靠近七美浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離七美浮標最靠近為 87 公里，颱風的移動速度約為 7.9m/s，颱風強度為中度颱風。最大風速可達 32.7m/s，此時風向朝東北，流速最大為 107cm/s，海流向南流。當梅姬颱風靠近，北風開始增強，當梅姬颱風遠離，因位於浮標的右側，使風向由北風轉為西北風，然後為西南風，最後轉為南風。

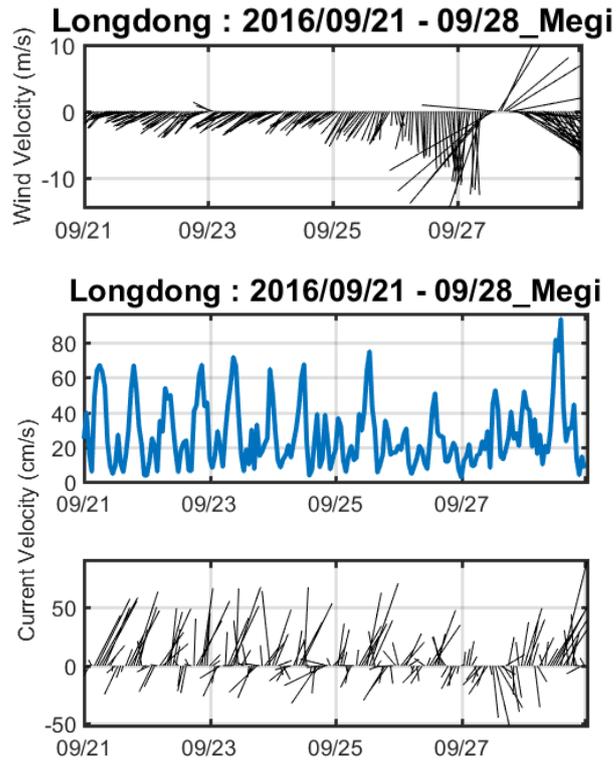


圖 5-6 在龍洞浮標受梅姬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

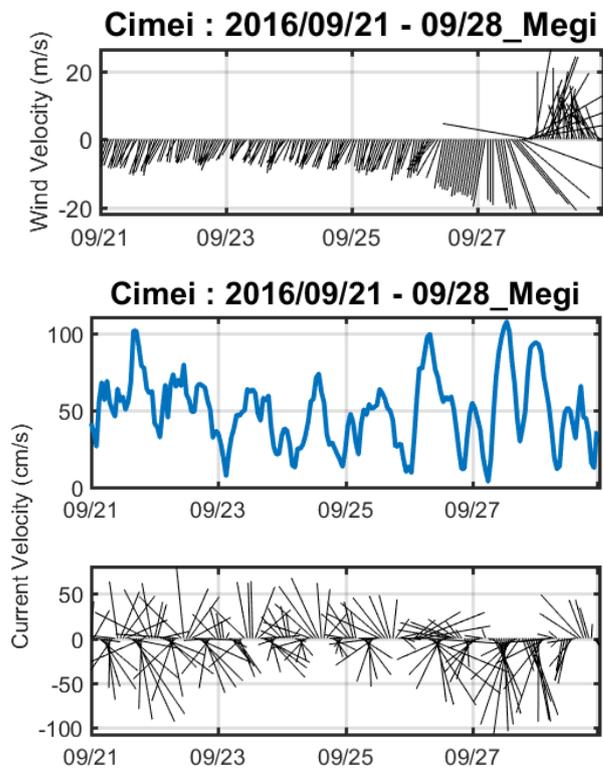


圖 5-7 在七美浮標受梅姬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

表 5-6 梅姬颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速

	最靠近浮標時間	移動速度	最大風速	最大流速
龍洞浮標	9/27 06:00	5.3m/s	18.4m/s	93.6cm/s
七美浮標	9/27 12:00	7.9m/s	32.7m/s	107cm/s

### 5.2.5 尼莎颱風

尼莎颱風於 2017 年 7 月 26 日生成，29 日於台灣北部登陸，12 時最靠近龍洞浮標，並從其左側經過，距離龍洞浮標最靠近為 62 公里，颱風的移動速度約為 4.6m/s，颱風強度為中度颱風。最大風速可達 20.6m/s，流速最大為 87.6cm/s。當尼莎颱風靠近，北風稍微增強，當尼莎颱風遠離，因位於浮標的左側，使風向由北風轉為東北風，最後轉為南風並由強轉弱。

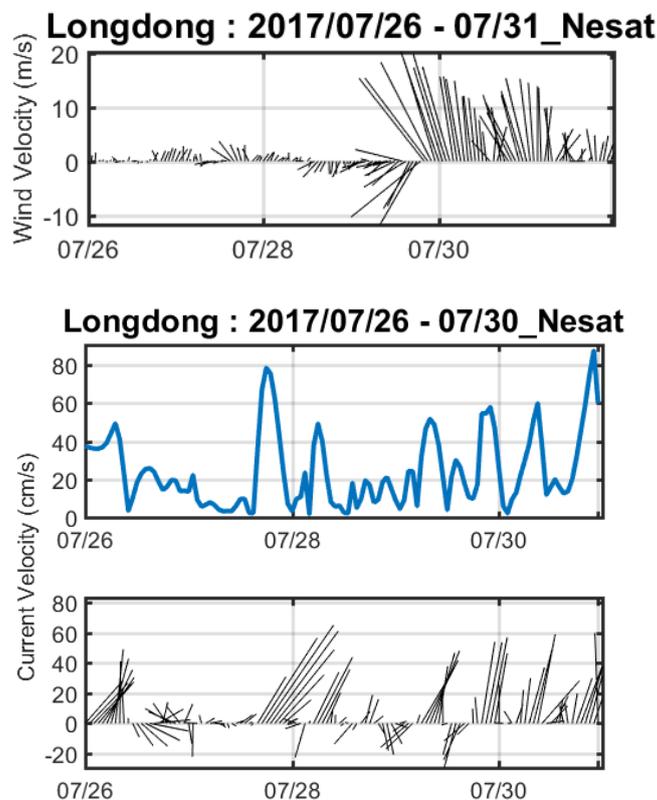


圖 5-8 在龍洞浮標受尼莎颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

表 5-7 尼莎颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速

	最靠近浮標時間	移動速度	最大風速	最大流速
龍洞浮標	7/29 12:00	4.6m/s	20.6m/s	87.6cm/s

## 5.2.6 瑪莉亞颱風

瑪莉亞颱風於 2018 年 7 月 3 日生成，10 日靠近龍洞浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離龍洞浮標最靠近為 112 公里，颱風的移動速度約為 8.7m/s，颱風強度為強烈颱風。最大風速可達 13.1m/s，流速最大為 67cm/s。當瑪莉亞颱風靠近，北風稍微增強，當瑪莉亞颱風遠離，使風向由北風轉為東北風，最後轉為南風並由強轉弱。

10 日遠離龍洞浮標後靠近富貴角浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離富貴角浮標最靠近為 100 公里，颱風的移動速度約為 8.7m/s，颱風強度轉為中度颱風。資料中最大風速可達 11.5m/s，流速最大為 173.7cm/s。

11 日 6 時則靠近馬祖浮標，浮標位於颱風路徑右手邊，距離馬祖浮標最靠近為 5 公里，颱風的移動速度約為 7m/s，颱風強度為中度颱風。最大風速可達 23.7m/s，流速最大為 157.1cm/s，海流方向為西南向。當瑪莉亞颱風靠近，北風增強，當瑪莉亞颱風經過，使風向由北風瞬間轉為南風，最後颱風遠離，風速逐漸減弱。

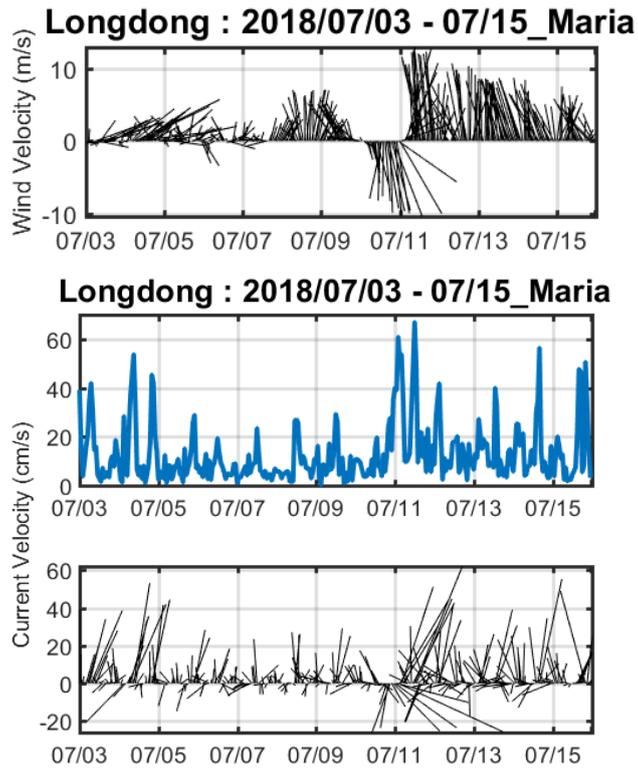


圖 5-9 在龍洞浮標受瑪莉亞颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

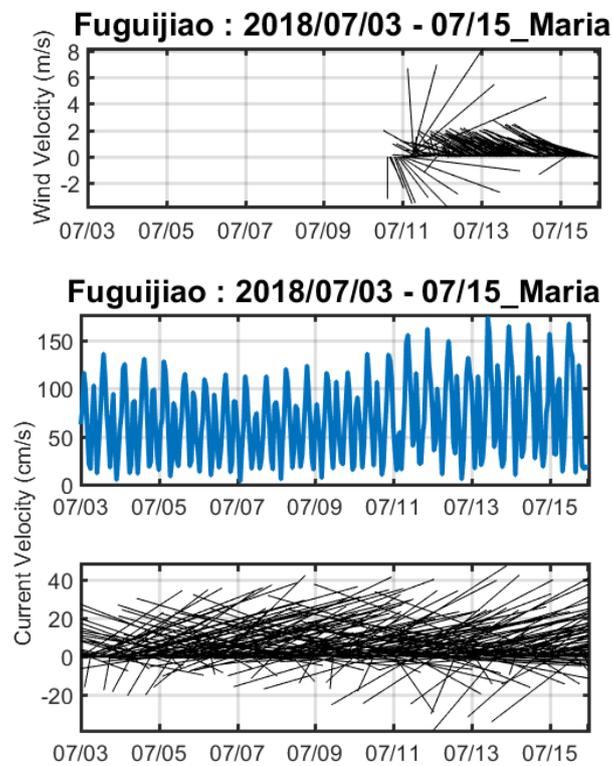


圖 5-10 在富貴角浮標受瑪莉亞颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

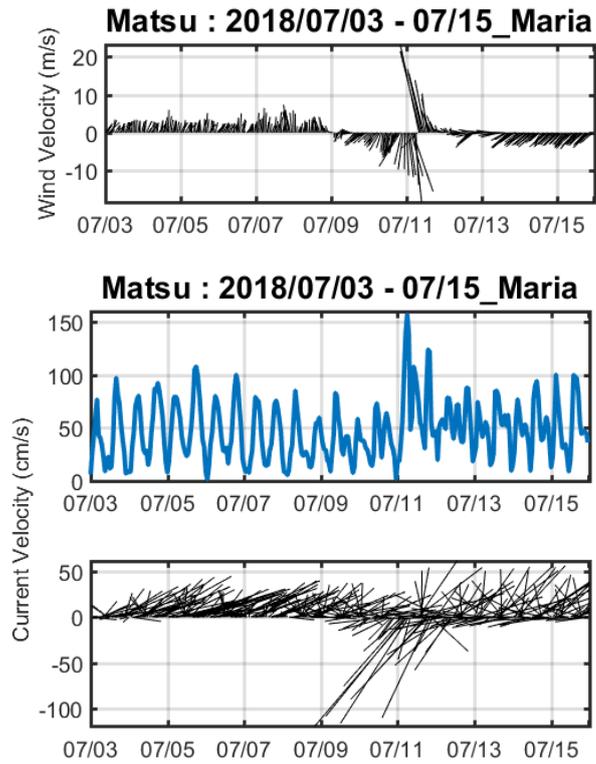


圖 5-11 在馬祖浮標受瑪莉亞颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

表 5-8 瑪莉亞颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速

	最靠近浮標時間	移動速度	最大風速	最大流速
龍洞浮標	7/10 12:00	8.7m/s	13.1m/s	67cm/s
富貴角浮標	7/10 15:00	8.7m/s	11.5m/s	173.7cm/s
馬祖浮標	7/11 06:00	7m/s	23.7m/s	157.1cm/s

## 5.2.7 利奇馬颱風

利奇馬颱風於 2019 年 8 月 4 日生成，9 日靠近龍洞浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離龍洞浮標最靠近為 185 公里，颱風的移動速度約為 8.7m/s，颱風強度為強烈颱風。最大風速可達 10.7m/s，流速最大為 55.1cm/s。當利奇馬颱風靠近，北風稍微增強，當利奇馬颱風遠離，使風向由北風轉為西北風，最後轉為南風。

遠離龍洞浮標後靠近富貴角浮標，也從其右方經過，距離富貴角浮標最靠近為 190 公里，颱風的移動速度約為 3.9m/s，颱風強度轉為中度颱風。最大風速可達 9.2m/s，流速最大為 173.9cm/s。

接著靠近馬祖浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離馬祖浮標最靠近為 187 公里，颱風的移動速度約為 3.9m/s，颱風強度為中度颱風。最大風速可達 9.6m/s，流速最大為 88.5cm/s，海流方向為西南向。當利奇馬颱風靠近，北風增強，當颱風遠離，因位於浮標的右側，使風向由北風轉為西北風，然後為西南風，最後轉為南風。

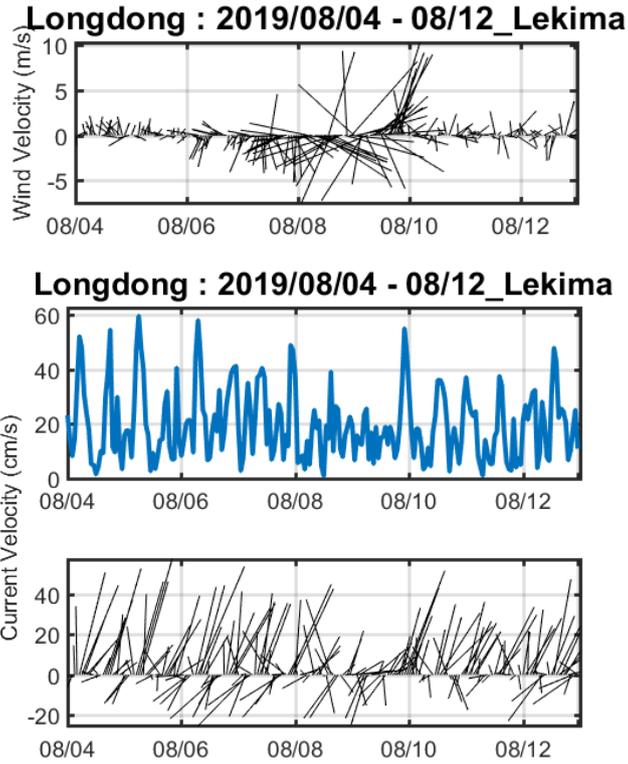


圖 5-12 在龍洞浮標受利奇馬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

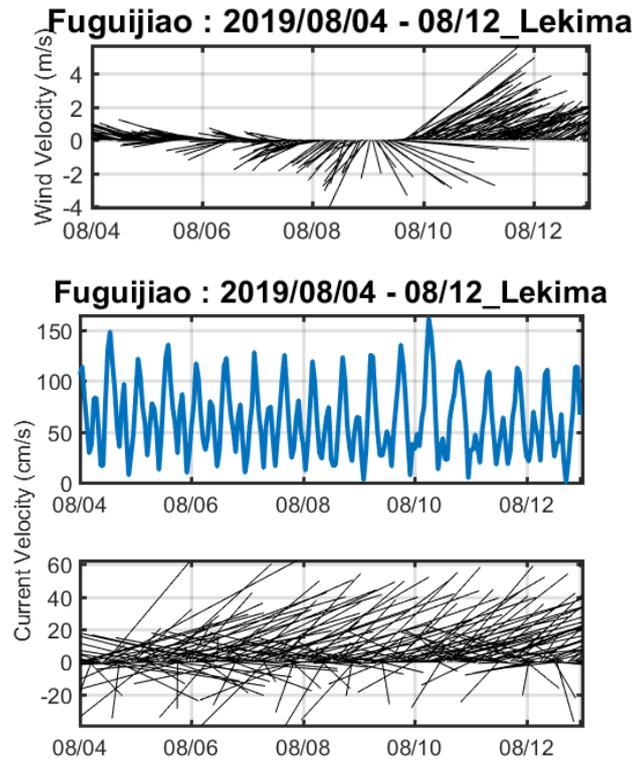


圖 5-13 在富貴角浮標受利奇馬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

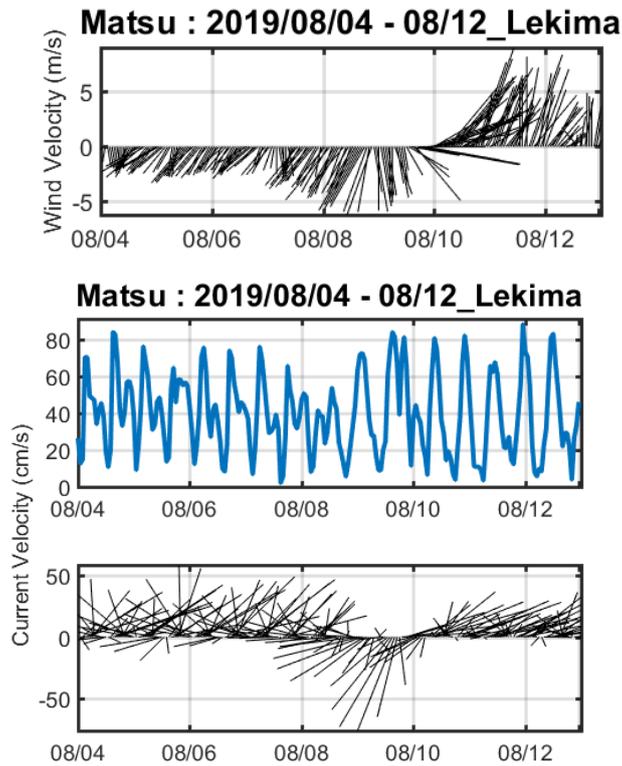


圖 5-14 在馬祖浮標受利奇馬颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

表 5-9 利奇馬颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速

	最靠近浮標時間	移動速度	最大風速	最大流速
龍洞浮標	8/8 18:00	8.7m/s	10.7m/s	55.1cm/s
富貴角浮標	8/9 06:00	3.9m/s	9.2m/s	173.9cm/s
馬祖浮標	8/9 18:00	3.9m/s	9.6m/s	88.5cm/s

### 5.2.8 白鹿颱風

白鹿颱風於 2019 年 8 月 21 日生成，24 日 10 時靠近七美浮標，並浮標位於颱風路徑右手邊，距離七美浮標最靠近為 9 公里，颱風的移動速度約為 8.7m/s，颱風強度為輕度颱風。最大風速可達 19.2m/s，流速最大為 119.5cm/s。當白鹿颱風靠近，北風稍微增強，白鹿颱風遠離，使風向由北風轉為西北風，最後轉為南風。

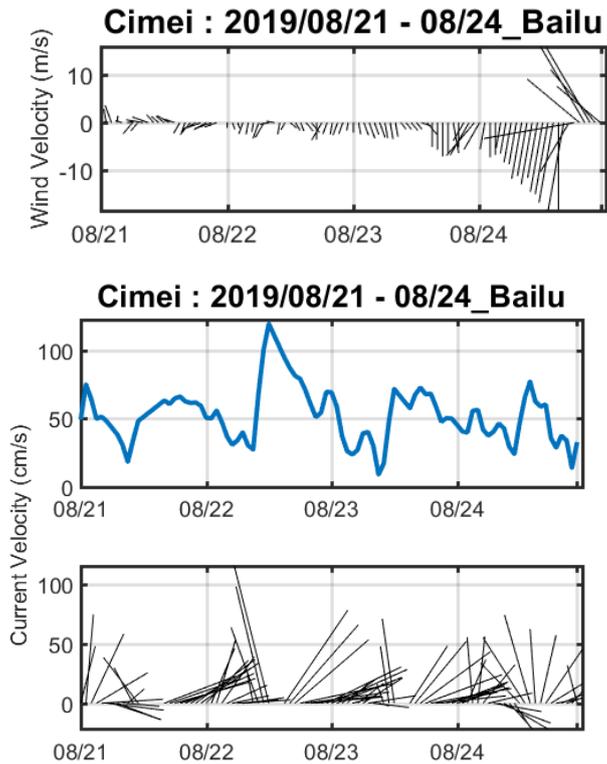


圖 5-15 在七美浮標受白鹿颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

表 5-10 白鹿颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速

	最靠近浮標時間	移動速度	最大風速	最大流速
七美浮標	8/24 10:00	8.7m/s	19.2m/s	119.5cm/s

### 5.2.9 米塔颱風

米塔颱風於 2019 年 9 月 27 日生成，30 日 12 時靠近龍洞浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離龍洞浮標最靠近為 77 公里，颱風的移動速度約為 5.5m/s，颱風強度為中度颱風。最大風速可達 18.3m/s，流速最大為 75.4cm/s。當米塔颱風靠近，北風稍微增強，當米塔颱風遠離，使風向由北風轉為西北風，最後轉為南風。

30 日 18 時靠近富貴角浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離富貴角浮標最靠

近為 101 公里，颱風的移動速度約為 5.5m/s，颱風強度轉為中度颱風。最大風速可達 7m/s，流速最大為 192.4cm/s。米塔颱風靠近，北風增強，颱風遠離後，由北風轉為西北風，最後轉為西南風。

接著颱風靠近馬祖浮標，浮標位於颱風路徑左手邊，距離馬祖浮標最靠近為 179 公里，颱風的移動速度約為 3.8m/s，颱風強度為中度颱風。最大風速可達 8.1m/s，流速最大為 122.8cm/s，海流方向為西南向。當米塔颱風靠近，北風增強，當颱風遠離，風向由北風轉為西北風，最後轉為西南風。

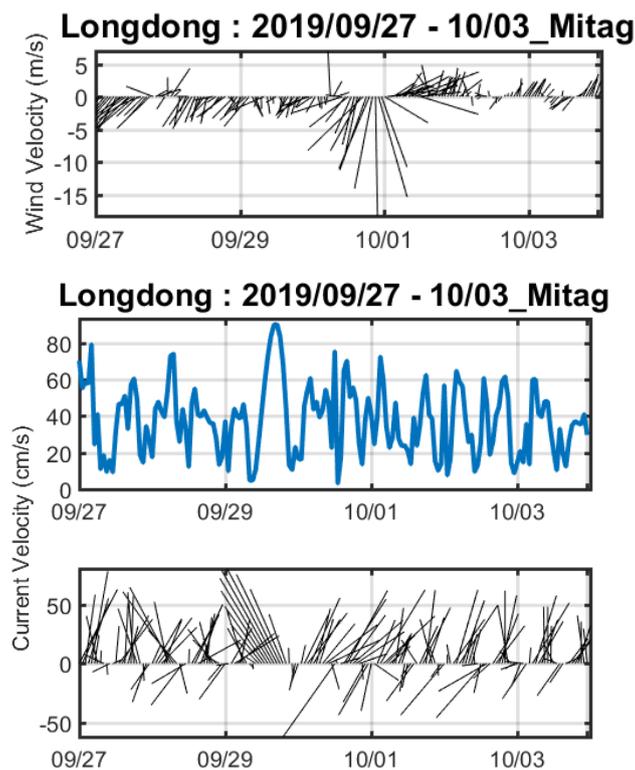


圖 5-16 在龍洞浮標受米塔颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

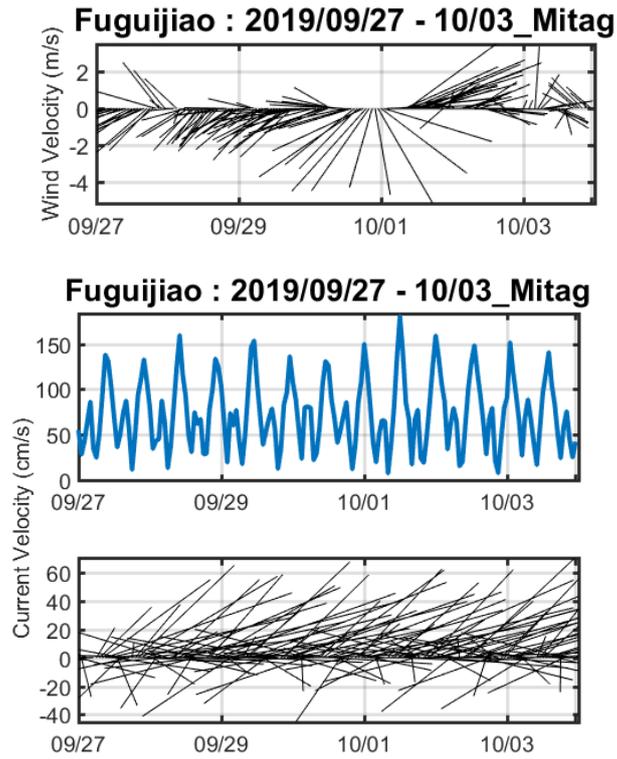


圖 5-17 在富貴角浮標受米塔颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

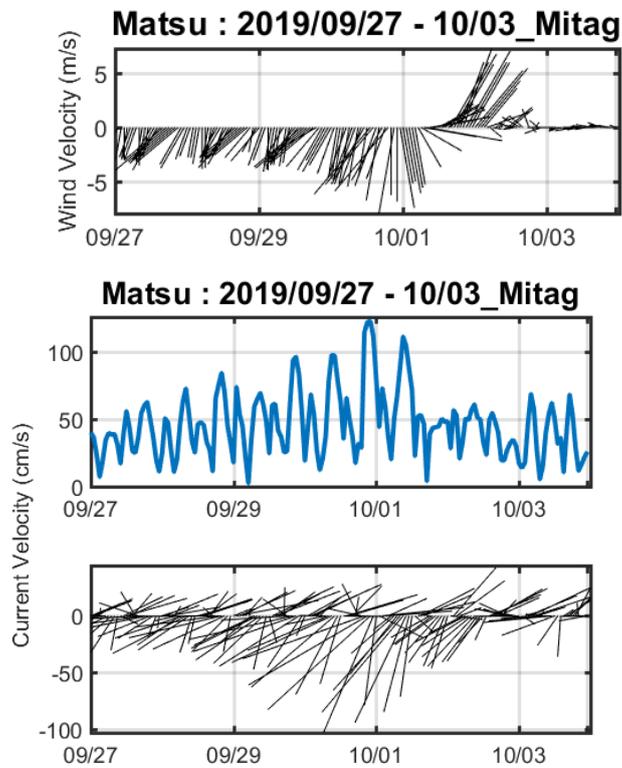


圖 5-18 在馬祖浮標受米塔颱風影響期間的風場、海流總流速及流矢圖

表 5-11 米塔颱風靠近的測站時間和移動速度，以及最大風速、流速

	最靠近浮標時間	移動速度	最大風速	最大流速
龍洞浮標	9/30 06:00	5.5m/s	18.3m/s	75.4cm/s
富貴角浮標	9/30 12:00	5.5m/s	7m/s	192.4cm/s
馬祖浮標	10/1 00:00	3.8m/s	8.1m/s	122.8cm/s

### 5.3 颱風強襲階段：Forced Stage

當颱風靠近測站，測站附近的海流逐漸受到颱風直接的影響，而開始變化，此時進入強襲階段。本小節僅分析馬祖浮標受兩颱風案例影響之水下海流變化，分別是強烈颱風瑪莉亞，其暴風半徑較大，馬祖浮標位於颱風路徑右手邊且距離較近；另外則是中度颱風米塔，其暴風半徑較瑪莉亞颱風小，馬祖浮標位於颱風路徑左手邊且距離較遠，為了觀察海流直接的變化，以及比較海流強弱的影響差異。馬祖實際水深為 50 公尺，會將較靠近海底的海流資料過濾掉，因為浮標下方安裝的音鼓向下發射聲波，聲波達海底會受海底不同的地形向不同方向反射聲波，因而影響接收訊息，所以較靠近海底的海流資料不會納入使用，保留的範圍通常是實際水深的 80%，故此使用深度範圍為 40 公尺以淺。由於潮流在總海流裡佔了不少的比例，為了能夠明顯觀察由風驅動海流的變化，先將原始海流經過濾潮的處理，即是將原始海流扣除重建潮流，即可觀察扣除潮流後的殘餘流變化。

圖 5-19 為瑪莉亞颱風在馬祖浮標水下的殘餘流變化，藍色線為海流流矢，黑色箭頭為風矢，黑色直線是颱風最靠近浮標時間。整體時間為浮標風場轉變的當天及前一天，也就是 2018 年 7 月 10 日及 11 日，時間間格為 1 小時，颱風影響前平時風場為南風，海流往東北(圖 5-11)。颱風越靠近，北風增強，受風場影響海流往西南方向流，並逐漸加深到 25 公尺，經過 3 小時受影響的海流加深到 40 公尺，此時整層海水都受到變化，瑪莉亞颱風最靠近馬祖浮標時，皆往西南方向。颱風遠離，風場快速轉變，流速瞬間轉弱。瑪莉亞颱風屬於強烈颱風，距離馬祖

浮標最近僅 5 公里遠，對於海流的影響較深，且整層水的變化較一致，水下 3.5 公尺處流速從約 45cm/s 增強至 157cm/s，海流流向隨著風向迅速改變，在颱風最靠近時為北風，海流往風向的右手邊流，即朝西南的方向。

米塔颱風在馬祖浮標的殘餘流變化如圖所示，時間為 2019 年 9 月 30 及 10 月 1 日，在颱風影響前平時風場為北風。颱風靠近，北風些微增強(圖 5-18)，米塔颱風風向轉變前，海流大多往西南方向，深度約達 35 公尺深，並未影響整層海水。風向轉變後，海流轉向且變得不穩定，最後颱風遠離南風增強。米塔颱風屬於中度颱風，距離馬祖浮標較遠，對於海流的影響相對沒那麼深，以及變化的速度沒那麼迅速跟一致。

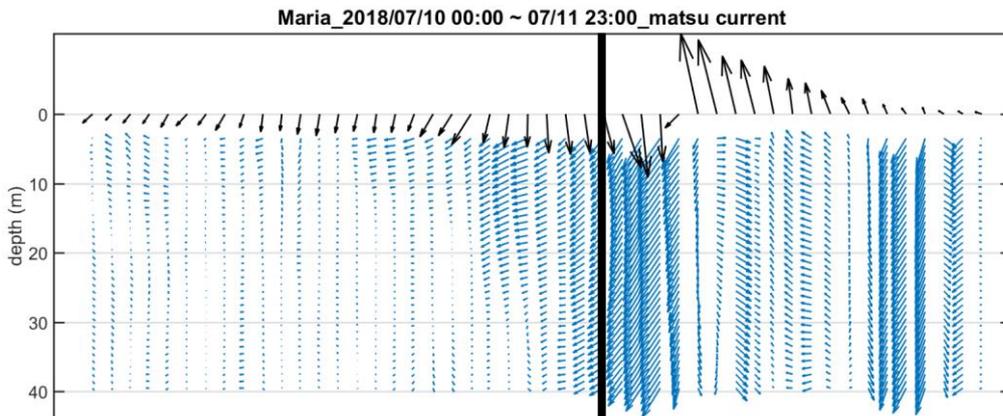


圖 5-19 瑪莉亞颱風在馬祖浮標之海流剖面流況，藍色箭頭為流矢，黑色箭頭為風矢，黑色線為颱風最靠近浮標之時間，整體時間是颱風最靠近浮標的當天及前一天，時間間隔為 1 小時。

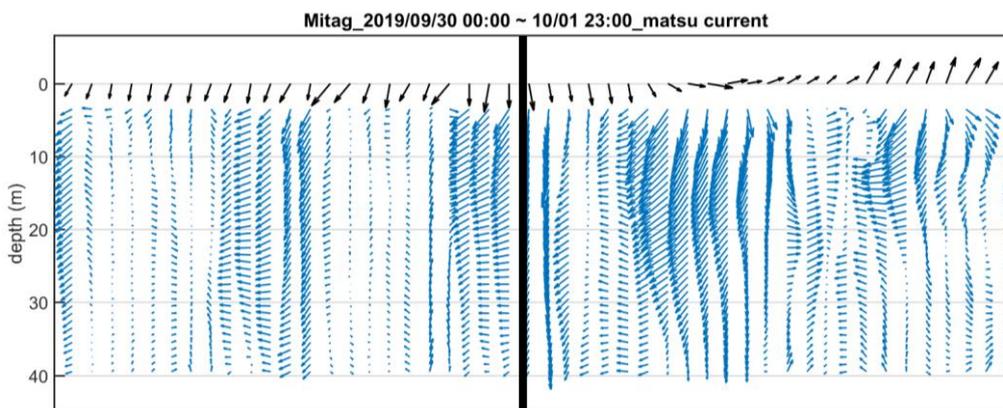


圖 5-20 米塔颱風在馬祖浮標之海流剖面流況，說明同圖 5-19。

## 5.4 颱風弛豫階段：Relaxation Stage

在颱風遠離後，會進入持續數天的弛豫階段(Price et al., 1994)，在這個階段，海流會受到近慣性震盪的影響 (Keen and Glenn, 1999; Sun et al., 2011)。由於颱風經過，海洋獲得了風應力，慣性與科氏力平衡後產生了慣性運動。由於科氏力在北半球會使流體運動向右偏轉，因此北半球的海流在進行慣性運動時會呈順時鐘方向旋轉。而近慣性(near-inertial)則是頻率接近當地慣性的頻率。

本節主要探討不同路徑之颱風侵襲過後，引起的近慣性海流變化、持續時間或其強弱。首先需要了解各地的慣性週期，因慣性週期會隨緯度的不同而改變，如 5-1 公式所示， $\Omega$ 為地球自轉的角速度，為  $7.29 \times 10^{-5}(1/s)$ ， $\phi$ 為當地緯度。龍洞浮標、富貴角浮標、馬祖浮標、七美浮標的緯度分別為  $25.09^{\circ}N$ 、 $25.3^{\circ}N$ 、 $26.35^{\circ}N$ 、 $22.99^{\circ}N$ ，由 5-1 公式可推算出各地的慣性週期，分別是 28.23 小時、28.03 小時、27.02 小時、30.69 小時，緯度越低，慣性的週期越大、頻率越低。

$$\text{Inertial period} = \frac{2\pi}{2\Omega\sin\phi} \quad (5-1)$$

表 5-12 各浮標的慣性週期與慣性頻率表

站名	馬祖	富貴角	龍洞	七美	小琉球
緯度	$26.35^{\circ}N$	$25.3^{\circ}N$	$25.09^{\circ}N$	$22.99^{\circ}N$	$22.31^{\circ}N$
慣性週期	27.02h	28.03h	28.23h	30.69h	31.58h

在 Kunze(1985)的研究中，定義近慣性頻率範圍為  $0.9f \sim 1.2f$ 。振盪的頻率不完全是當地的慣性頻率  $f$ ，大多數情況的頻率會略高於  $f$ ，稱為藍移(blue shift)，而少數情況的頻率略低於  $f$ ，即紅移(red shift) (Sun et al., 2011)。故在本研究也將近慣性範圍定義在  $0.9f \sim 1.2f$  之間。

### 5.4.1 小波分析

為了明顯看出不同周期的海流能量，使用小波分析(wavelet)是一個很好的方法，小波分析可以隨著時間序列的變化展示出不同周期的能量大小。小波分析提供可以調變的時頻窗口，或稱為母小波(mother wavelet)，母小波的寬度隨頻率而變化，當頻率增高，母小波的寬度就會變窄，來提高解析度，本研究使用 Morlet 為母小波。連續小波轉換式：

$$X_{\omega}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|b|}} \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \psi\left(\frac{t-a}{b}\right) dt \quad (5-2)$$

$X(t)$  為輸入訊號，要連續時間性質之數據， $X_{\omega}(a, b)$  為輸出函數， $\psi$  為母小波函數， $a$  為位移函數， $b$  為尺度函數。

### 5.4.2 小波分析結果

將原始海流資料做小波分析後，結果如下，圖 5-21 為七美浮標在杜鵑颱風影響期間之小波分析，深度為水下 3.5 公尺處。上圖為 u 分量海流，下圖為 v 分量海流，黑色直線為颱風最靠近浮標的時間，白色橫線為當地慣性週期，兩白色虛線為近慣性週期的範圍( $1/0.9f \sim 1/1.2f$ )，兩紅色線則分別為半日潮及全日潮週期。在 12 小時的地方可以看到很強的能量，即是半日潮，在 30.69 小時的白色實線，也就是在七美浮標的慣性週期，白色虛線範圍是在七美的近慣性週期範圍，黑色實線是杜鵑颱風最靠近七美浮標的時間，黑色實線後表示颱風開始遠離。杜鵑颱風路徑為由東向西且從台灣北部登陸，再由中部出海，在杜鵑颱風遠離後第 5 天，近慣性海流開始增強，且持續了 2 天後開始減弱，其中 u 分量的近慣性海流較強。

圖 5-22 為七美浮標在莫蘭蒂颱風影響期間之小波分析，同樣的在 12 小時有明顯的半日潮，莫蘭蒂颱風路徑是由東南向西北方向從台灣西南方經過，在莫蘭蒂

颱風遠離後第 5 天，即 9 月 20 日近慣性震盪逐漸增強，尤其在 u 分量的海流，遠離後第 9 天即 9 月 24 日，近慣性海流瞬間增強許多，共持續了 7 天。

圖 5-23 為龍洞浮標在馬勒卡颱風影響期間之小波分析，馬勒卡颱風路徑是由南向北從台灣東側經過後，並往東北方遠離，在馬勒卡颱風遠離後第 7 天，近慣性海流開始增強，且持續了 2 天後開始減弱，其中 u 分量近慣性海流較強。

接著，圖 5-24 為龍洞浮標在梅姬颱風影響期間之小波分析，梅姬颱風路徑是由東向西且從台灣中部登陸，再由中部出海，在梅姬颱風遠離後第 4 天，近慣性海流開始增強，且持續了 4 天後開始減弱，且 v 分量的近慣性海流較強。而在梅姬颱風遠離七美浮標後的第 5 天即 10 月 2 日，近慣性海流逐漸增強，遠離七美浮標後的第 10 天即 10 月 7 日，近慣性海流增強許多，共維持了 7 天。

圖 5-26 為龍洞浮標在尼莎颱風影響期間之小波分析，尼莎颱風路徑是由東向西且從台灣北部登陸，再由北部出海，在尼莎颱風遠離後第 3 天，近慣性海流開始增強，且持續了 2 天後開始減弱，其中 u 分量的近慣性海流較強。

圖 5-27 為龍洞浮標在瑪莉亞颱風影響期間之小波分析，瑪莉亞颱風路徑是由東向西且從台灣北部通過，在瑪莉亞颱風遠離後近慣性海流馬上增強，且持續了 2 天。在富貴角浮標則是明顯的半日潮，只在瑪莉亞颱風離開後第 6 天 v 分量的近慣性海流增強了 2 天。馬祖浮標跟龍洞浮標一樣，在瑪莉亞颱風離開後近慣性海流馬上增強。

圖 5-32 為馬祖浮標在利奇馬颱風影響期間之小波分析，利奇馬颱風路徑是由東南向西北從台灣東北部通過，在利奇馬颱風遠離馬祖浮標後第 6 天，近慣性海流開始增強，且持續了 2 天後開始減弱，其中 v 分量的近慣性海流較強。

圖 5-33 為七美浮標在白鹿颱風影響期間之小波分析，白鹿颱風路徑是由東南向西北方向從台灣南端登陸並出海，在白鹿颱風遠離七美浮標後第 10 天，近慣性海流增強許多，且持續了 4 天後開始減弱。

最後圖 5-34 為龍洞浮標在米塔颱風影響期間之小波分析，米塔颱風路徑是由

南向北從台灣東側經過，轉向東北方遠離，在米塔颱風遠離龍洞浮標後第 7 至 8 天，近慣性海流增強許多，且持續了 2 至 3 天後開始減弱。在富貴角浮標則是明顯的半日潮，只在颱風離開後第 5 天近慣性海流有些許的增強。在馬祖浮標，米塔颱風離開後近慣性海流增強，並維持了 9 天。

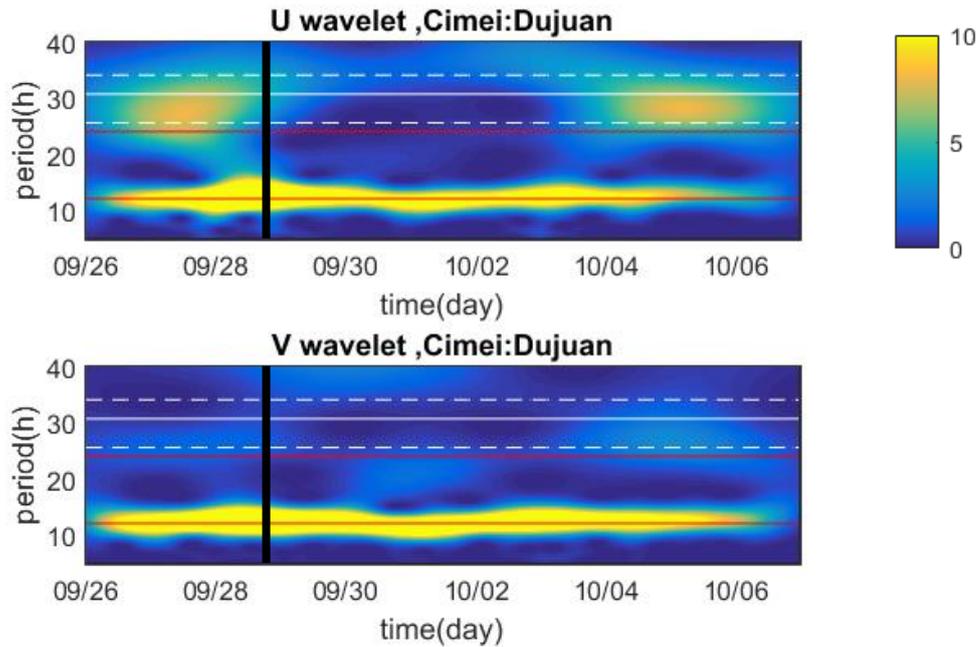


圖 5-21 七美浮標在杜鵑颱風影響期間之小波分析( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )，白色橫線為當地慣性周期，白色虛線為近慣性周期範圍，兩紅色線分別為半日潮與全日潮周期，黑色直線為颱風最靠近浮標的時間。

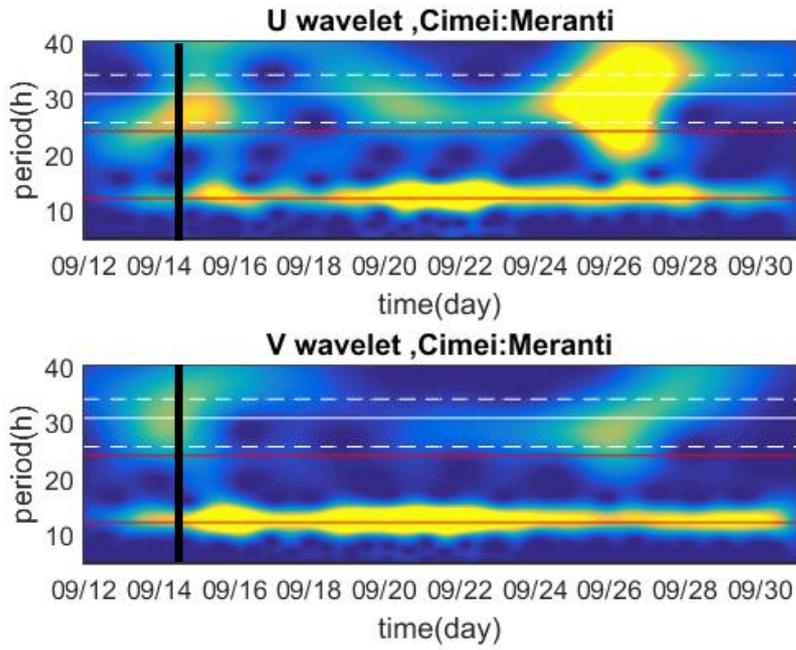


圖 5-22 七美浮標在莫蘭蒂颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

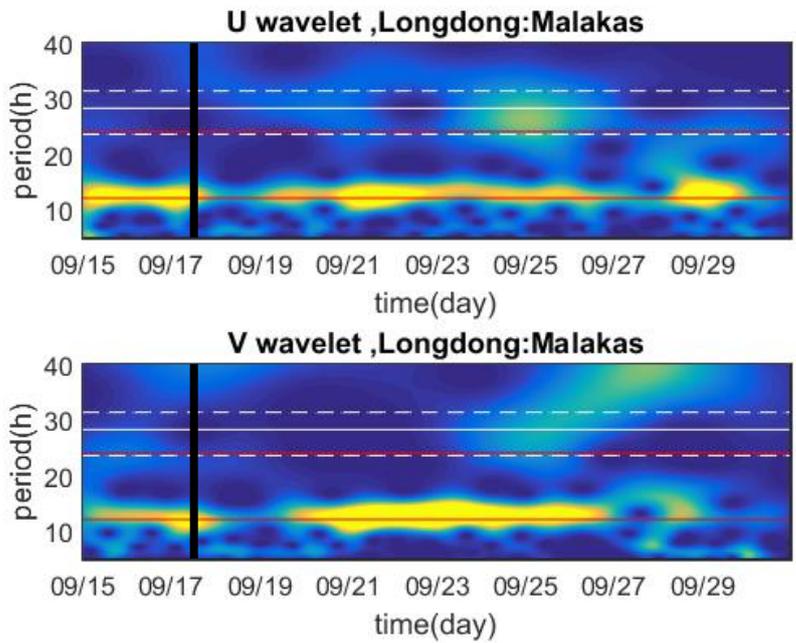


圖 5-23 龍洞浮標在馬勒卡颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

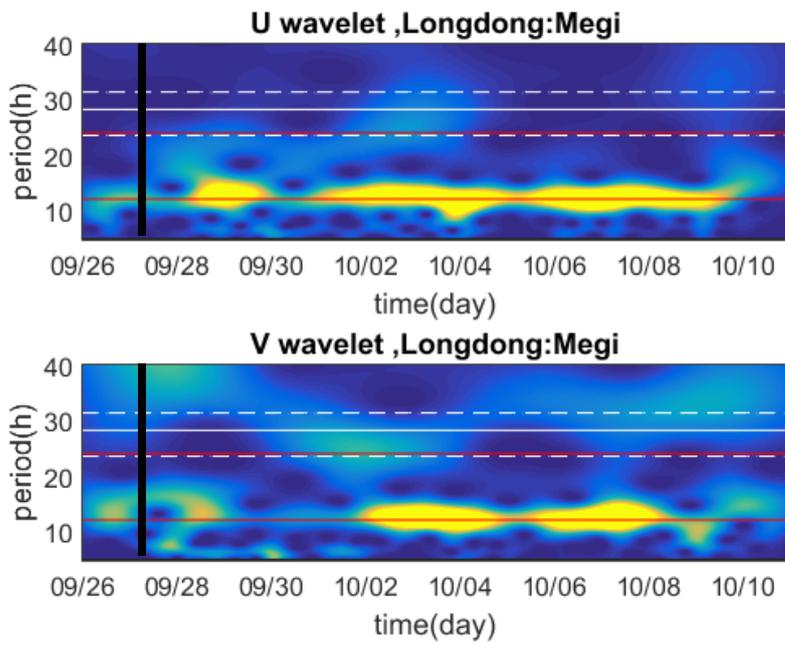


圖 5-24 龍洞浮標在梅姬颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

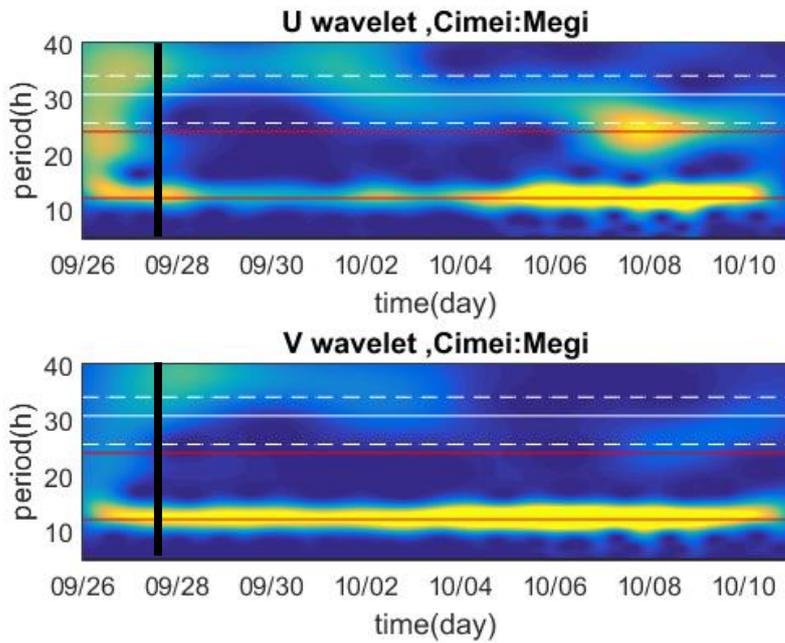


圖 5-25 七美浮標在梅姬颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

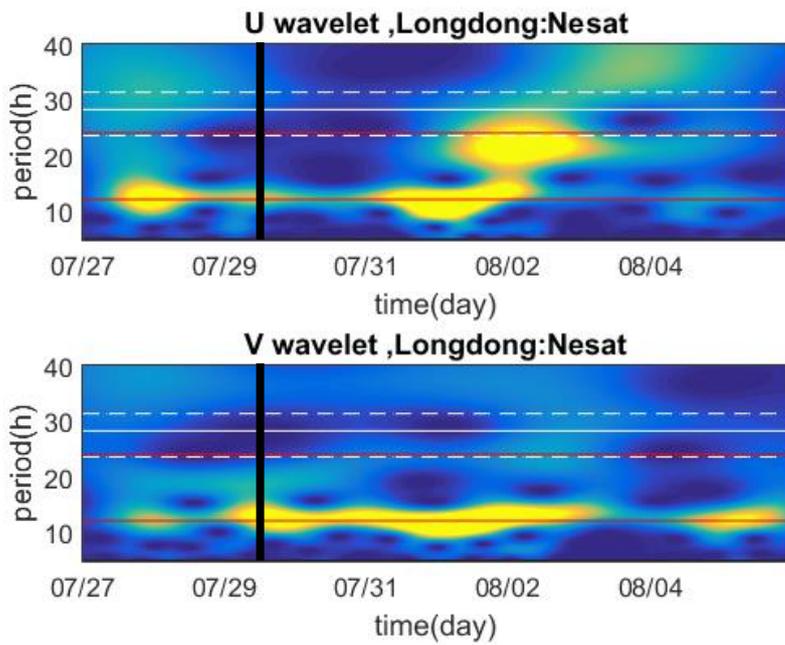


圖 5-26 龍洞浮標在尼莎颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

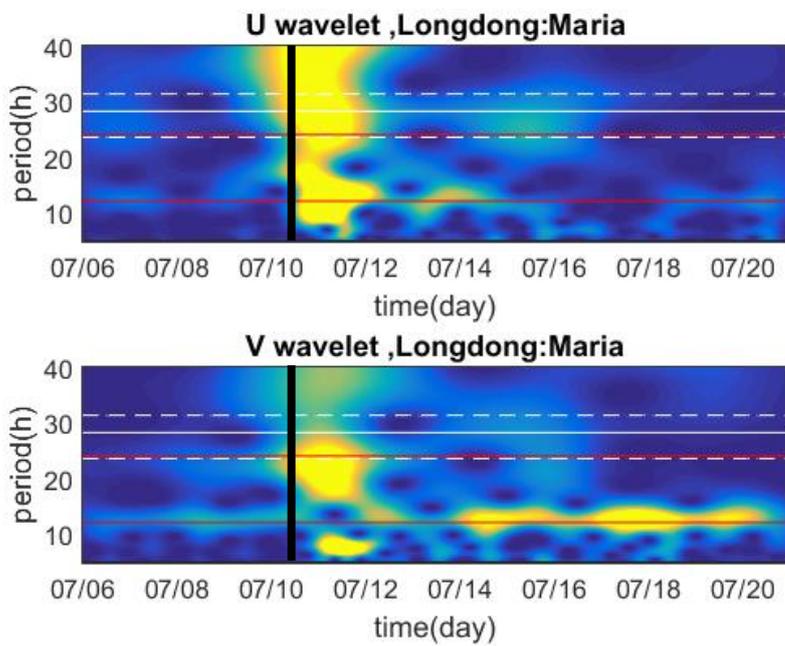


圖 5-27 龍洞浮標在瑪莉亞颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

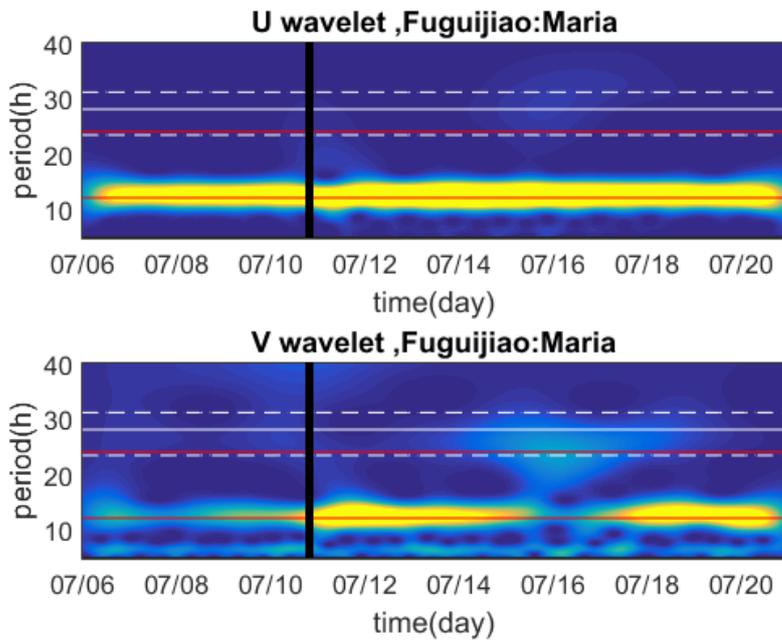


圖 5-28 富貴角浮標在瑪莉亞颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

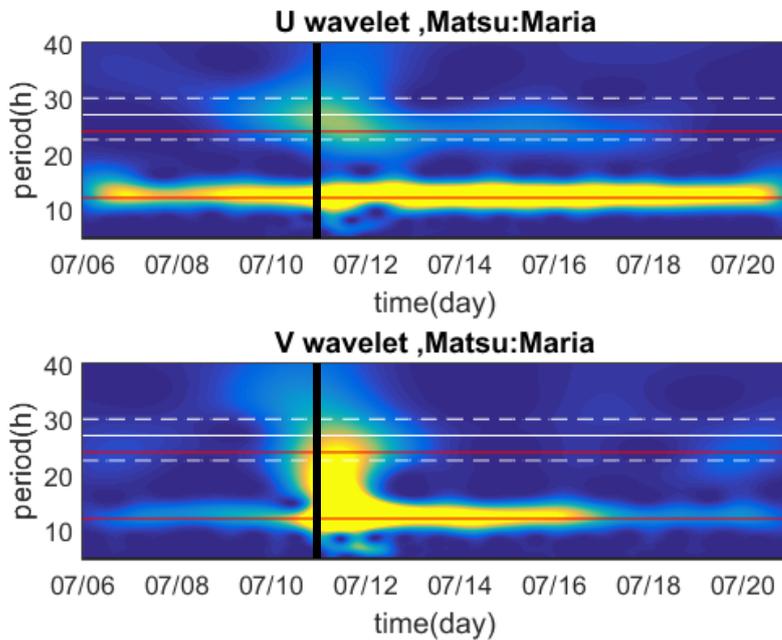


圖 5-29 馬祖浮標在瑪莉亞颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

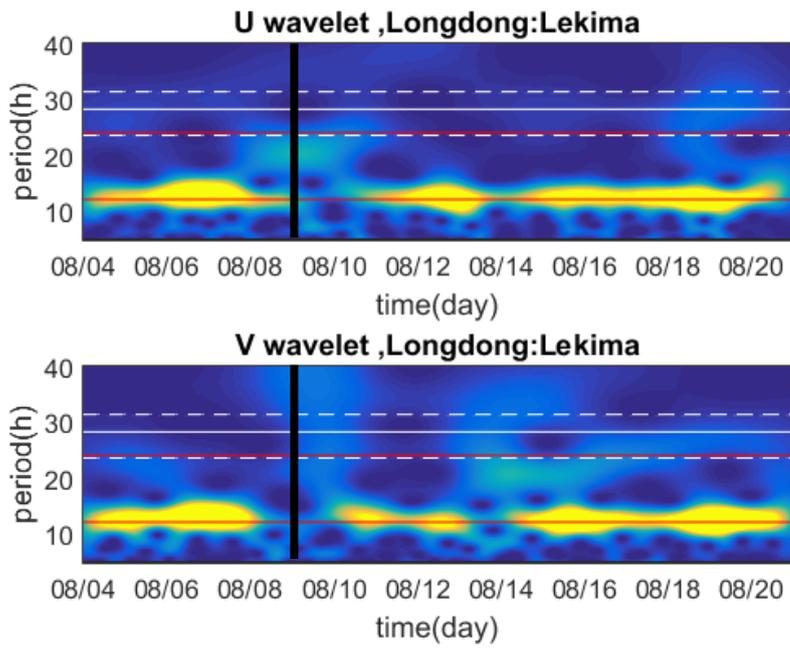


圖 5-30 龍洞浮標在利奇馬颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

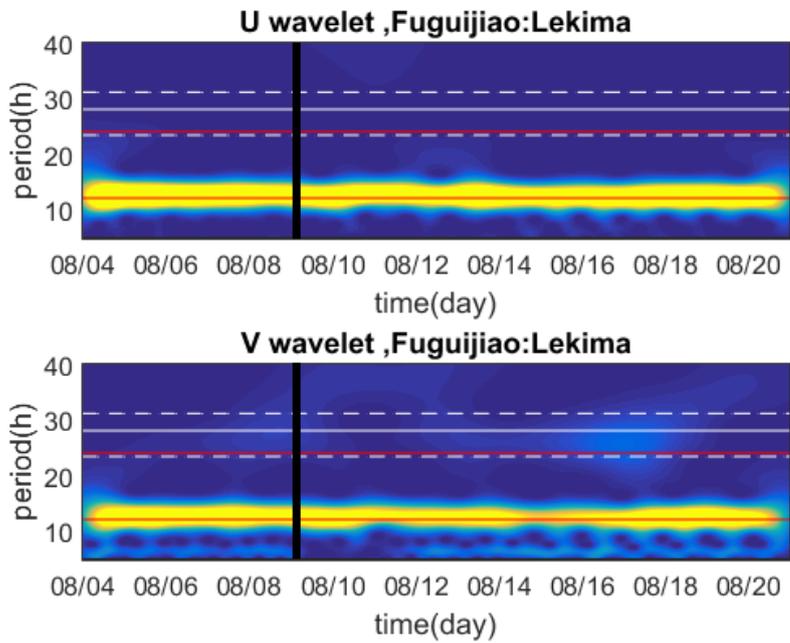


圖 5-31 富貴角浮標在利奇馬颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

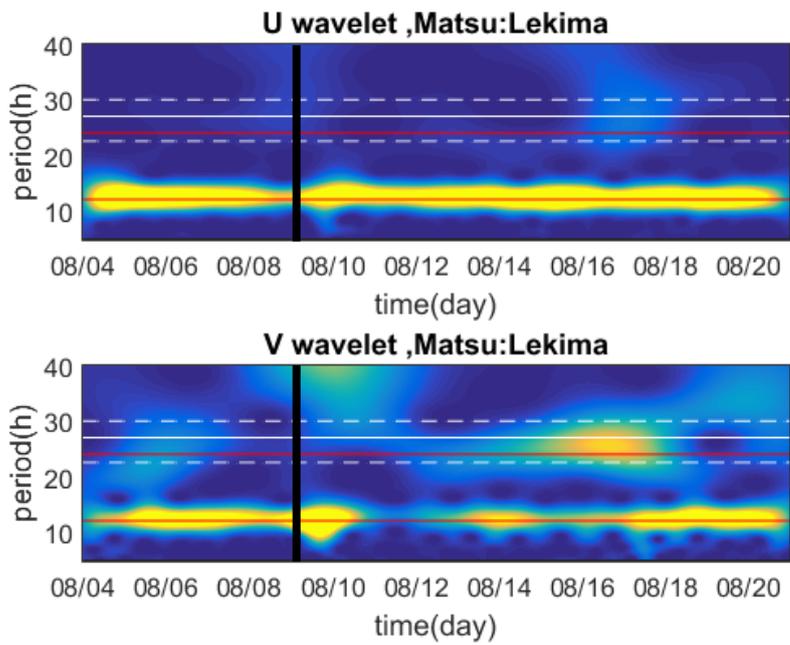


圖 5-32 馬祖浮標在利奇馬颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

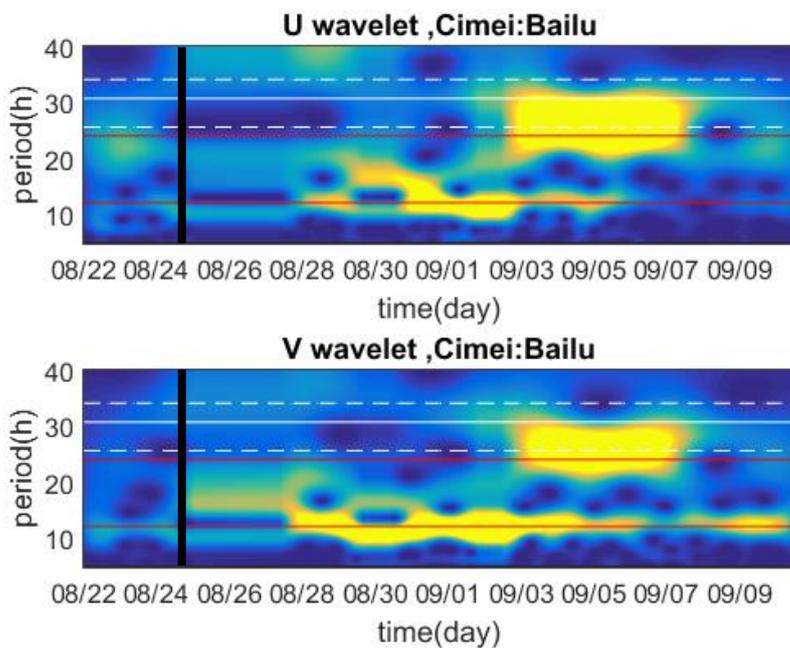


圖 5-33 七美浮標在白鹿颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

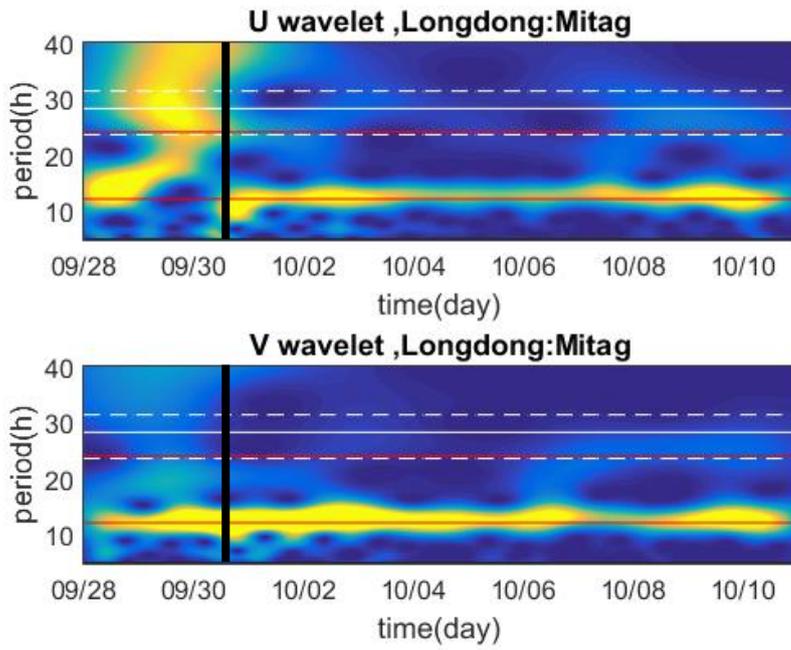


圖 5-34 龍洞浮標在米塔颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

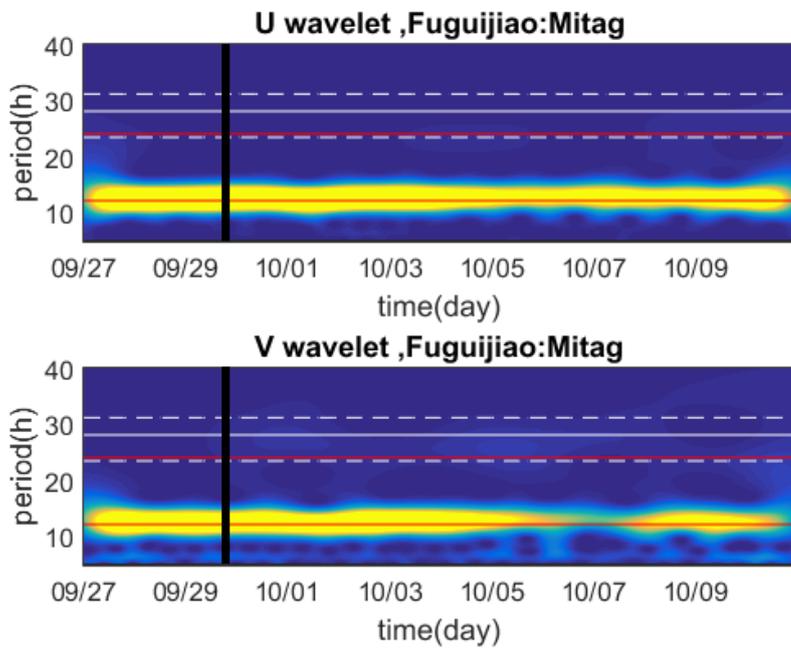


圖 5-35 富貴角浮標在米塔颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

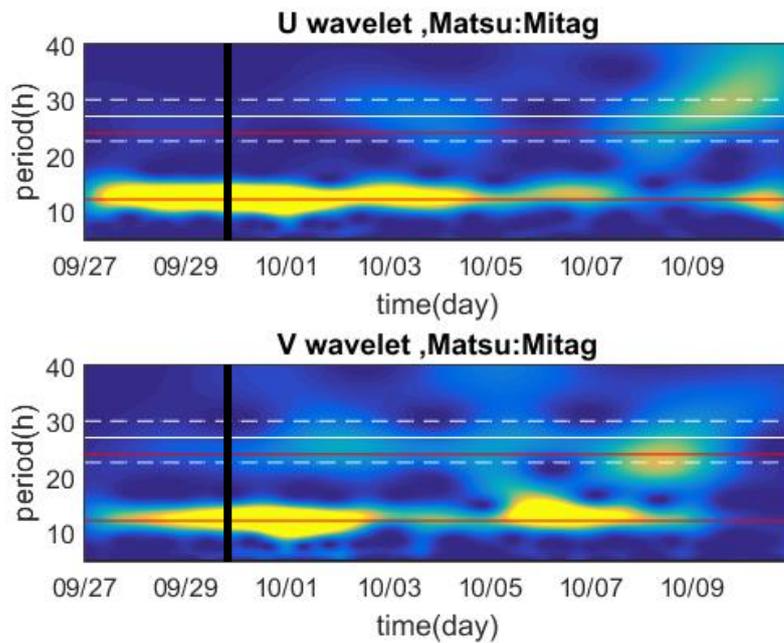


圖 5-36 馬祖浮標在米塔颱風影響期間之小波分析，說明同圖 5-21。

## 5.5 影響近慣性海流的因素

從 9 個颱風中，以相似的路徑案例挑選出來比較，第一組是馬勒卡颱風與米塔颱風，以龍洞資料來看；第二組是杜鵑颱風與梅姬颱風，以七美的資料來比；第三組是莫蘭蒂颱風與白鹿颱風，以七美的資料比較。這三組皆是路徑相似且兩颱風與浮標距離相差不多。以及分別從龍洞浮標左右兩側經過的颱風案例，從右側通過的尼莎颱風，和從左側通過的馬勒卡颱風及米塔颱風，目的是為了瞭解從不同側通過的颱風，是否會引起不同的近慣性海流反應。

### 5.5.1 移動速度

第一組以馬勒卡颱風(圖 5-23)與米塔颱風(圖 5-34)比較，從龍洞浮標來看。如表 5-2，米塔颱風最靠近龍洞浮標距離為 77 公里，馬勒卡颱風則是 78 公里，皆從

龍洞浮標右方通過，暴風半徑與颱風強度兩者也相同。在兩颱風遠離龍洞浮標後，近慣性海流皆在遠離後 7 天開始增強，並持續 2 至 3 天的時間，其中馬勒卡颱風引起的近慣性能量較米塔颱風大，推斷是馬勒卡颱風在經過龍洞浮標時移動速度較慢，低於 4m/s，因移動速度慢較能對海流造成較多的影響。

### 5.5.2 暴風半徑

第二組以杜鵑颱風(圖 5-21)與梅姬颱風(圖 5-25)比較，從七美浮標來看。杜鵑颱風最靠近七美浮標距離為 123 公里，梅姬颱風最靠近距離則是 87 公里，兩颱風皆是從七美浮標的右側通過，杜鵑為強烈颱風，梅姬為中度颱風但暴風半徑較杜鵑颱風大。在兩颱風遠離七美浮標後，近慣性海流皆在遠離後 5 天後開始增強，其中杜鵑颱風持續了 2 天，梅姬颱風維持了 7 天的時間，推斷可能是因為暴風半徑較大影響較久、距離較近，再加上在梅姬颱風前經過了莫蘭蒂及馬勒卡兩個颱風的因素。

### 5.5.3 相似路徑但不同的颱風因素

第三組以莫蘭蒂颱風(圖 5-22)與白鹿颱風(圖 5-33)比較，從七美浮標來看。莫蘭蒂颱風最靠近七美浮標距離為 19 公里，白鹿颱風最靠近距離則是 9 公里，兩颱風皆是從七美浮標的左側通過，莫蘭蒂颱風為強烈颱風，暴風半徑較大，白鹿颱風為輕度颱風暴風半徑較小。在莫蘭蒂颱風靠近後近慣性能量瞬間增強了，但白鹿颱風卻沒有明顯增強，而兩颱風遠離七美浮標後，近慣性海流約在遠離後 5 天後逐漸增強，且在遠離後第 9 天明顯增強許多。

### 5.5.4 於浮標左右側的颱風路徑之差異

馬勒卡颱風(圖 5-23)及米塔颱風(圖 5-34)皆是從龍洞浮標右側通過，而尼莎颱風

風(圖 5-26)則是從龍洞浮標左側通過，最靠近距離為 62 公里，尼莎颱風與兩颱風皆為中度颱風，且暴風半徑相同。在遠離龍洞浮標後第 3 天近慣性能量增強，相較兩颱風是第 7 天才增強，且位於浮標左側的尼莎颱風比右側的兩颱風的近慣性能量強，如 Price (1981)及 Chen et al. (2014)所述，位於不同側的近慣性強度會有所不同。測站在颱風路徑的右手邊，受颱風通過驅動順時針旋轉的風場並產生強烈的近慣性運動，在颱風路徑的左手邊，通過產生逆時針的風場，不會促使增強近慣性運動。

## 第六章 結論

本研究以中央氣象局的馬祖浮標、富貴角浮標、龍洞浮標、七美浮標、小琉球浮標分析台灣近海的潮流特徵，及受東北季風和颱風之強風影響下的關係及變化反應，本節做為結論之歸納與整理。

### 6.1 潮流結論

1. 在馬祖、富貴角、龍洞的地區，皆屬於半日潮的潮型，在小琉球則是以半日潮為主的混合潮型。與林等人(2005)研究結果相符，在蘇澳以北海域潮流為半日潮型，在蘇澳以南海域則以半日潮為主的混合潮型。
2. 在富貴角潮流橢圓呈東西向極狹長的橢圓，潮流與海流比佔了 90%以上，且重建出的潮流流速將近 200cm/s，從小波分析中也是顯示了很強的半日潮能量，故富貴角是半日潮非常強的地方。
3. 潮流在各區域海流中佔了不少的比例，尤其於台灣北部觀測之海流在冬季時，潮流所佔比例最高，於台灣南部觀測的海流則為秋季潮流比例最高。

### 6.2 東北季風結論

1. 本研究將彭佳嶼風場與各地的風場做相關性分析，結果顯示在馬祖站、富貴角站、龍洞站及七美站風場對彭佳嶼風場之相關係數皆為 0.7 以上，表示彭佳嶼的風和各地的風是有關聯的，故彭佳嶼因地理位置及四周皆無遮蔽物，再加上經過分析後，彭佳嶼的風場適合做為東北季風指標。
2. 在整個冬季時馬祖站海流對彭佳嶼風的相關係數最高可達 0.7，但與富貴角站相關係數不高，推測原因可能是因近岸海流流動主要以沿岸方向為主，而沿岸方向和東北季風吹拂的方向幾乎呈垂直狀態，故彭佳嶼風對富貴角海流的相關性分析

結果較不佳。

3. 龍洞站海流與彭佳嶼風的相關性較差，推測在龍洞的東北季風不是影響龍洞海流變化的主要機制，同詹(2009)的結果相似。

4. 七美站在延遲 14 小時的條件下，相關係數達峰值，推斷是七美距離較遠，故延遲時間需較久，東北季風對海流才有所影響。特別的是，七美的風速比其他測站的風速還大，最大可達 19m/s，而且也比彭佳嶼的東北風強，因為受到地形效應的關係。

### 6.3 颱風結論

1. 在 Forced stage，屬於強烈颱風的瑪莉亞颱風，距離馬祖浮標最近僅 5 公里遠，對於海流的影響較深，且整層海水的變化較一致，水下 3.5 公尺處流速從約 45cm/s 增強至 157cm/s，海流流向隨著風向迅速改變，在颱風最靠近時為北風，海流往風向的右手邊流，朝西南的方向。相較於中度颱風米塔，距離馬祖浮標較遠，對於海流的影響沒那麼深，以及變化的速度沒那麼迅速跟一致。

2. Relaxation stage 颱風遠離後會誘發近慣性震盪增強，從相似路徑中比較因不同颱風因素，如颱風強度、暴風半徑、移動速度等，而造成不同或相似的近慣性海流反應，近慣性震盪持續的天數，或是增強的程度。

2.1 馬勒卡及米塔颱風的暴風半徑、颱風強度、與龍洞浮標的距離等條件皆相似，但馬勒卡颱風誘發的近慣性海流較強，其移動速度較慢低於 4m/s，故近慣性海流的強弱可能受移動速度的快慢影響。

2.2 暴風半徑較大且距離七美浮標較近的梅姬颱風，與相對暴風半徑小與距離七美浮標遠的杜鵑颱風比，梅姬颱風誘發的近慣性海流持續時間較久，故暴風半徑大小及距離遠近，也是可能影響近慣性海流持續時間的因素。

2.3 位於颱風路徑左右兩側的近慣性強度會有所不同，馬勒卡颱風、米塔颱風，以及尼莎颱風，三颱風的強度、暴風半徑、與浮標距離皆相似，但位於尼莎颱

風右手邊的龍洞浮標觀測到的海流，颱風經過後所誘發的近慣性海流較強，在馬勒卡與米塔路徑左手邊觀測到的近慣性海流相對較弱，因為在颱風路徑的右手邊，受颱風通過驅動順時針旋轉的風場並產生強烈的近慣性運動，從颱風路徑的左手邊通過產生逆時針的風場，不會促使近慣性海流的增強。

表 6-1 位於龍洞浮標之左側颱風與右側颱風比較表

颱風名稱	位置	強度	暴風半徑	移動速度	近慣性海流
馬勒卡	龍洞浮標右側 77 公里	中度	180/60	1.8m/s	中
米塔	龍洞浮標右側 78 公里	中度	180/60	5.5m/s	較弱
尼莎	龍洞浮標左側 62 公里	中度	180/60	4.6m/s	較強

## 參考文獻

- [1] Byun, D. S., Hart, D. E., (2022), Tidal current classification insights for search, rescue and recovery operations in the yellow and east China seas and Korea Strait. *Continental Shelf Research*. 232, 104632. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104632>
- [2] Chang, Y. C., R. S. Tseng, and L. R. Centurioni (2010), Typhoon-induced strong surface flows in the Taiwan Strait and Pacific, *J. Oceanogr.*, 66(2), 175–182.
- [3] Chen, S. L., J. Y. Hu, Polton, J., (2014), Features of near-inertial motions observed on the northern South China Sea shelf during the passage of two typhoons, *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 34(1): 38-43. doi: 10.1007/s13131-015-0594-y
- [4] Chen, Y. R., Paduan, J. D., Cook, M. S., Chuang, L. Z. H., Chung, Y. J. (2021), Observations of surface currents and tidal variability off of northeastern Taiwan from shore-based high frequency radar. *Remote Sens.* 2021, 13, 3438. <https://doi.org/10.3390/rs13173438>
- [5] Chung, S., S. Jan, and K. Liu (2001), Nutrient fluxes through the Taiwan Strait in spring and summer 1999, *J. Oceanogr.*, 57(1), 47–53.
- [6] Codiga, D.L., (2011), Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions. Technical Report 2011-01. Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI. 59pp.
- [7] Guan, S., W. Zhao, J. Huthnance, J. Tian, and J. Wang (2014), Observed upper ocean response to typhoon Megi (2010) in the Northern South China Sea, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 3134–3157.
- [8] Jan, S., C. C. Chen, Y. L. Tsai, Y. J. Yang, J. Wang, C. S. Chern, G. Gawarkiewicz,

- R.-C. Lien, L. Centurioni, and J.-Y. Kuo (2011), Mean structure and variability of the cold dome northeast of Taiwan. *Oceanography*, 24,100–109.
- [9] Keen, T. R., and S. M. Glenn (1999), Shallow water currents during Hurricane Andrew, *J. Geophys. Res.*, 83(3), 457–471.
- [10] Kim, S. Y., A. L. Kurapov, and P. M. Kosro (2015), Influence of varying upper ocean stratification on coastal near-inertial current, *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 8504–8527, doi:10.1002/2015JC011153.
- [11] Ko, D. S., R. H. Preller, G. A. Jacobs, T. Y. Tang, and S. F. Lin (2003), Transport reversals at Taiwan strait during October and November 1999. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108, 1-13.
- [12] Kunze, E., (1985), Near-inertial wave propagation in geostrophic shear. *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 544–565.
- [13] Lin, S. F., T. Y. Tang, S. Jan, and C. J. Chen (2005), Taiwan Strait current in winter. *Continental Shelf Research*, 25, 1023-1042.
- [14] Mukherjee, A., et al. (2013), Near-inertial currents off the east coast of India, *Cont. Shelf Res.*, 55, 29–39.
- [15] Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. (2002), Classical tidal harmonic analysis including error estimates in matlab using t\_tide. *Computers & Geosciences*, 28(8), 929–937. [https://doi.org/10.1016/s0098-3004\(02\)00013-4](https://doi.org/10.1016/s0098-3004(02)00013-4)
- [16] Price, J. F. (1981), Upper ocean response to a hurricane, *J. Phys. Oceanogr.*, 11(2), 153–175.
- [17] Price, J. F., T. B. Sanford, and G. Z. Forristall (1994), Forced stage response to a moving hurricane, *J. Phys. Oceanogr.*, 24(2), 233–260.
- [18] Shen, J., Y. Qiu, S. Zhang, and F. Kuang (2017), Observation of Tropical Cyclone-Induced Shallow Water Currents in Taiwan Strait, *J. Geophys. Res.*

- Oceans*, 122, 5005–5021.
- [19] Sun, Z., J. Hu, Q. Zheng, and C. Li (2011), Strong near-inertial oscillations in geostrophic shear in the northern South China Sea, *J. Oceanogr.*, 67(4), 377–384.
- [20] Teague, W. J., E. Jarosz, D. W. Wang, and D. A. Mitchell (2007), Observed oceanic response over the upper continental slope and outer shelf during Hurricane Ivan, *J. Phys. Oceanogr.*, 37(9), 2181–2206.
- [21] Thomson, Richard E., and Emery, William J. (2014), *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*.
- [22] Webster F (1968), Observation of inertial period motions in the deep sea. *Rev Geophys* 6:473–490.
- [23] Wu, C. R., and, Y. C. Hsin (2005), Volume transport through the Taiwan Strait: a numerical study. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 16, 377–391.
- [24] Yang, B., Y. Hou, P. Hu, Z. Liu, and Y. Liu (2015), Shallow ocean response to tropical cyclones observed on the continental shelf of the northwestern South China Sea, *J. Geophys. Res. Oceans*, 83, 457–471, doi:10.1002/2015JC010783.
- [25] Zhang, W., H. Hong, S. Shang, X. Yan, and F. Chai (2009), Strong southward transport events due to typhoons in the Taiwan Strait, *J. Geophys. Res.*, 114, C11013, doi:10.1029/2009JC005372.
- [26] 王玉懷，2016，「澎湖海(潮)流調查」技術服務案，台電委託計畫期末報告。
- [27] 吳政忠、呂芳川，2003，東北季風時期台灣海峽強風預報個案之研究，波譜模式發展與應用研討會，桃園，第7頁。
- [28] 吳政忠、呂芳川，2004，東北季風時期台灣海峽鄰近地區風場預報之研究，國防大學中正理工學院應用物理研究所碩士論文。
- [29] 呂賜興，2005，台南海域海流特性之分析。國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。

- [30] 李柏霖，2016，台灣西南海域海流特性分析，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- [31] 林勝豐、楊穎堅、唐存勇，2005，北台灣沿海潮流特性分析，第 27 屆海洋工程研討會論文集。
- [32] 邱啟敏，2007，台灣四周沿岸潮汐特性探討及颱風暴潮迴歸分析之研究，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- [33] 陳少華，2006，烏坵海域夏季海流垂直結構受潮汐及風場影響之研究，國立中央大學水文科學所碩士論文。
- [34] 陳先文，2015，馬祖鄰近海域表層流場之初探，警大水上警察學報第 6 期，第 1-28 頁。
- [35] 許泰文，2003，近岸水動力學，中國土木水利工程學會。
- [36] 詹智丞、林勝豐、陳進益、唐存勇，2009，龍洞近岸海域之低頻海流特性分析，第 31 屆海洋工程研討會論文集。