

從台東外洋浮標觀測資料初步探討海流及渦流變化

施孟憲¹、饒國清¹、張維音²、藤春慈³、黃清哲¹

¹成功大學近海水文中心

²成功大學海洋科技與事務研究所

³中央氣象局海象測報中心

摘要

中央氣象局在2010年8月於台灣東部海域300公里外、水深約5600 m處（北緯21°40'36"、東經124°03'48"）設置一座深海資料浮標(台東外洋資料浮標)，並於2012年起新增一組剖面流速儀。本文利用此一深海資料浮標在2012年7月至2013年8月之間所觀測到海流資料，計算浮標海流資料之春夏秋冬四季的潮流橢圓，來探討該海域受天體影響的潮流分量，並分析夏季及冬季的潮流、風驅流及洋流成分變化，此外再藉由流速流向資料與浮標GPS移動軌跡，檢視海流是否有渦流現象存在。

根據海流資料所計算出四季潮流橢圓，顯示潮流佔海流比例約在8~20%。由浮標在夏季時觀測到海流資料，發現其主要成分中的全日潮明顯，並存在週期達8~15天的洋流，但區域性風驅流並不明顯。浮標冬季時觀測到海流資料，12月份浮標海域的風驅流很明顯，但在1月及2月較不明顯，反而是週期超過10天的洋流成分很明顯，整個冬季測到潮流佔海流成分皆偏小。

此外，本文分析2012年3個颱風期間浮標流速變化，發現當颱風最接近浮標時會測到最大流速；颱風通過時或是離開浮標一段時間後，浮標所在海域皆觀測到2個順時針海流渦流。這可能是因為颱風汲取海上的熱量後，造成水溫下降，並與鄰近較高溫度水團混合，而形成的海流渦流。但此海流渦流規模只有此海域中尺度渦流的1/10，這之間相關性與差異，未來仍需要更多資料來加以探討。

關鍵字：深海資料浮標、潮流橢圓、風驅流、海流渦流、中尺度渦流。

一、前言

台灣四周的海流型態不同，在夏季及冬季更是明顯，這是因為洋流、潮流及區域性風驅流在時空上的分佈差異，造成台灣東西部及南北端海域海流皆不相同。洋流在台灣四周的夏季期間主要有由南向北流黑潮及南海海流，其中，黑潮還分為台灣東岸黑潮主流及台灣西岸的黑潮支流。冬季時期洋流除了由南向北流的黑潮外，還有由北南下的中國沿岸流，南北洋流在澎湖以北海域交會。台灣四周潮流部分，與潮差大小有關。在台灣海峽中部，從東邊台中至西邊金門的海域的潮差最大，其潮流速度也最大，台灣東部潮差次之，台灣東北及西南部潮差最小，潮流也最小。至於季風或區域風場所造成風驅流與風場強弱有關，一般來說，颱風所造成風驅

流最大，東北季風的風驅流次之，西南季風期間風驅流最不明顯。

海域上海流特性是以現場調查為主要方法。台灣周遭海流調查大部分是採用底錠式海流儀方式，至於台灣外洋海流調查則是以船及漂流式浮標調查方式為主，但這種調查方式無法長期而完整蒐集外洋特定海域海流資料，以進一步討論海流分佈及特性。

台東外洋資料浮標則是氣象局為了提早掌握颱風特性，於2006年5月在台東外海約250公里處(加瓜海脊)布放。此資料浮標已於2006年珊珊颱風發布海上警報期間，提供了第一手觀測資料，氣象局因能掌握颱風的規模及強度(李汙軍等，2007)，並於2010年起加入氣象局作業化浮標觀測網之中，扮演東部海域海象重要觀測站，2012年起整合剖面流速

儀，可作為東部外洋長期海流觀測，期間歷經中度颱風天秤及強烈颱風杰拉華通過此海域，皆蒐集到完整海流資料。

在台灣東部海域海流相關研究中，Roemmich (2001)利用衛星資料之相關研究，發現緯度 22 度海域存在中尺度渦流(Meso-scale eddy)，是因為黑潮與暖水團交互作用區所造成海流旋轉現象，渦流直徑超過 100 公里，渦流環流速度在 10~30 cm/s。

本文希望透過蒐集台東外洋資料浮標在 2012~2013 年間海流及風速觀測資料，對於東部海域的洋流、潮流、風驅流與渦流現象做初步探討。

二、台東外洋資料浮標

2.1 位置與功能

台東外洋資料浮標位置的決定是根據近十年通過台灣附近的颱風路徑統計而定，且考量可提前 24 小時掌握這些颱風環流特性，因此 2009 年起將資料浮標位置確定於台東的東南邊約 300 公里處(圖 1)，水深達 5600 公尺，如此可協助預報員提早掌握颱風環流暴風半徑的大小，提昇颱風未來動向預報的能力。

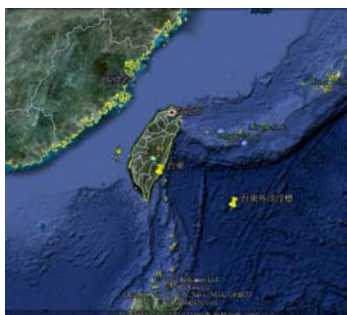


圖 1 台東外洋資料浮標位置圖

2.2 觀測系統

台東外洋資料浮標觀測項目包括兩組風速風向計、一組波浪儀、一組氣壓計、一組全球衛星定位系統、一組氣溫計及兩組水溫計。此外考量東部外洋為黑潮主要影響區域，所以 2012 年起亦新增一組剖面流速儀。

2.3 監控品管

為了確保資料品質與正確性，安裝在浮標系統的觀測儀器皆通過氣象局檢校中心的檢校合格，並與標準站於浮標出廠前進行 7 天以上資料比對合格。外洋浮標資料在整點 10 分時，透過衛星自動發報回傳至監控中心後，隨即由自動監控程式將資料自動品管與累積即時回傳近 24 小時的觀測成功率，並由專人定時執行人工品管，確認及過濾回傳資料的品質。

三、資料分析方法

3.1 風速分析方法

資料浮標風速觀測為整點前 10 分鐘記錄，取樣頻率為 2 Hz，平均風速為 1,200 點原始資料平均值，平均風向為 1,200 點原始風向資料以向量法相加後平均值，陣風為 1,200 點原始資料中每 3 秒之平均值，其平均最大值即為陣風值。

3.2 海流觀測及分析

ADCP 的觀測原理為利用音鼓發射出固定頻率之聲波，當此聲波在水中碰到隨著海流移動的微小顆粒或懸浮物體時，該聲波將產生反射並傳回儀器，該聲波會改變頻率，將可依都卜勒效應公式，計算出海流流速。觀測的流速剖面資料為每 6 分鐘平均 1 筆，每小時與資料浮標一起回傳共 10 筆資料，其中 6 分鐘平均 1 筆為每 2 秒觀測一次，每次自 0 秒開始每 2 秒 1 筆，直到 358 秒時平均為此 6 分鐘內平均之資料。每筆流速剖面資料為每 1m 一層，流速資料標準偏差為 0.5 cm/s。

四、海流及渦流變化探討

4.1 潮流四季變化

根據台東外洋資料浮標在 2012 年 7 月至 2013 年 8 月的海流資料，計算出的四季潮流橢圓。春季潮流橢圓由圖 2 可看出，漲退潮方向並不明顯，全日潮分量 K1 及 O1 所造成最大潮流流速約為 11.1 cm/s，而海流最大流速為 110.5 cm/s；夏季潮流橢圓由圖 3 可看出，漲退潮方向約為北北西及南南東，全日潮分量 K1 及 O1 所造成最大潮流流速 18.7 cm/s，而海流最大流速為 118.9 cm/s；秋季潮流橢圓由圖 4 可看出，K1 分潮漲退潮方向約為西北西及東南東，最大潮流流速 3.8 cm/s，M2 分潮漲退潮方向約為東北及西南，最大潮流流速 2.0 cm/s，而海流最大流速為 116.7 cm/s；冬季潮流橢圓由圖 5 可看出，K1 分潮漲退潮方向約為西北及東南，最大潮流流速 4.6 cm/s，O1 分潮漲退潮方向約為北北東及南南西，最大潮流流速 3.0 cm/s，而海流最大流速為 70.5 cm/s。

上述分析顯示全日潮潮流佔海流比例約在 20% 以內，可見此海域潮汐所造成潮流並非是海流之最主要成分，須再進一步去分析風驅流及洋流的影響成分。

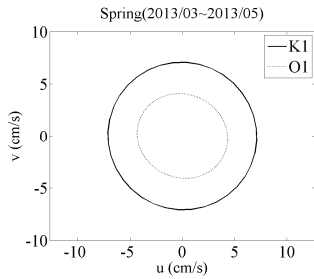


圖 2 台東外洋資料浮標春季潮流橢圓

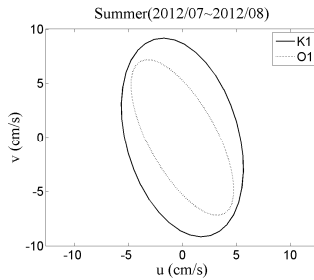


圖 3 台東外洋資料浮標夏季潮流橢圓

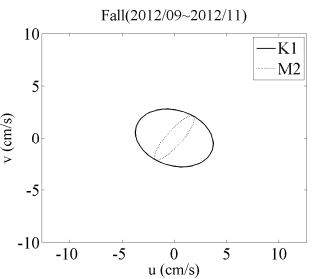


圖 4 台東外洋資料浮標秋季潮流橢圓

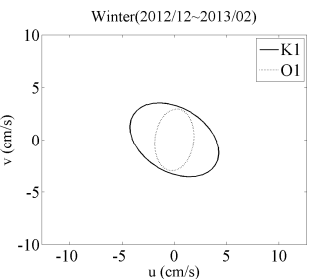


圖 5 台東外洋資料浮標冬季潮流橢圓

4.2 夏季海流變化及渦漩現象

本文挑選 2012 年 7 月 13 日至 8 月 31 日浮標的夏季海流及風速資料，包括海流流速、流向及風速、風向等變化，如圖 6 所示。依照圖 6 海流流速變化可得知，7 月海流變化幅度較大，且觀測期間夏季最大流速發生在 7 月 23 日 16 時達 118.7 cm/s，但當時風速只有 6.9 m/s，顯示當時區域風場不是海流主要成因。進一步比對觀測期間夏季海流及風速變化，發現兩者之間變化趨勢不盡相同，只有在颱風影響期間，才較有相關性。根據圖 6 海流流向及風速風向變化，瞭解到海流與風速變化方向沒有存在一定相關性，只有在 7 月底蘇拉颱風及 8 月 21 日天埤颱風期間，海流方向約為向西流，而同時風向為從東往西方向吹，兩者之間具相關性。此外，颱風期間海流亦存在 360 度的渦漩變化，其他時段則沒有明顯渦漩現象。

此外，從圖 7 夏季海流頻譜分析可得知，全日潮能量明顯，且另外存在週期達 8~15 天的洋流。這些分析都證實本海域夏季平日的區域性風驅流不明顯情形。

綜合上述比對分析，夏季海流以長週期洋流及全日潮流主導，颱風影響期間，區域性風場造成的風驅流則轉趨明顯，且存在海流渦漩變化。

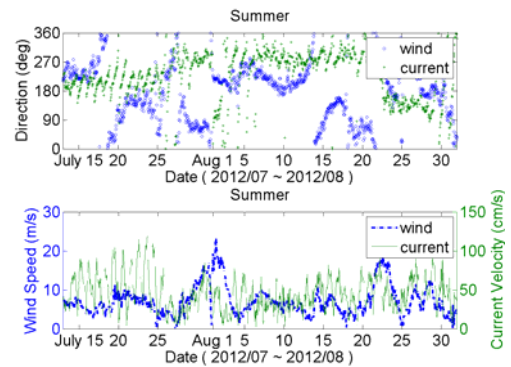


圖 6 台東外洋資料浮標夏季風速及海流變化

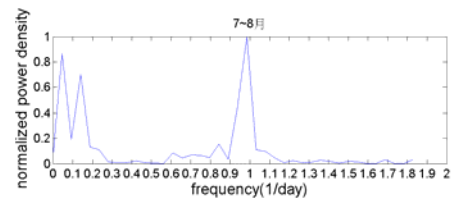


圖 7 台東外洋資料浮標夏季海流頻譜分析

4.3 冬季海流變化及渦漩現象

本文挑選 2012 年 12 月及 2013 年 1 月及 2 月浮標的冬季海流及風速資料，包括海流流速、流向及風速、風向等變化，如圖 8 所示。依照圖 8 海流流速變化可得知，12 月海流變化幅度較大，且分析期間冬季最大流速發生在 12 月 19 日 0 時達 70.8 cm/s，平均風速為 12.4 m/s，流向為往南南西方向流，風向則為從北北東吹過來，所以當時最大流速與風速相關性高，風驅流成分大。進一步檢視，發現 12 月風速超過 5m/s 的時段，風速變化趨勢與流速相同，其中風速在 5、9、19 及 24 日有相對極值，而流速在 6、8、19 及 24 日也有相對極值；風向部分，3~12 日時維持從北北東至東北向吹過來，同時段流維持向西南流。在 18~20 日及 23~25 日，風向維持從北至北北東向，流也轉至往南南西向。所以整個 12 月份浮

標海域的風驅流是很明顯。1月及2月份風速及流速變化趨勢不相同，流向不固定，與風速也沒有存在固定方位差。此外，冬季期間的風驅流並沒有明顯渦流現象。從圖9冬季的12月份海流頻譜分析可得知，多個週期超過1天能量，尖峰能量發生在週期的略小於1天處，這些可能都是風驅流所造成能量分布，與圖8分析結果相同。圖10及圖11分別為1月及2月海流頻譜顯示，週期超過10天的洋流成分明顯，其他能量則偏小。

綜合上述比對分析，冬季海流以長週期洋流主導，潮流不是很明顯，但12月份風驅流較明顯，可能與風速常常超過10 m/s 與風向穩定有很大相關性。

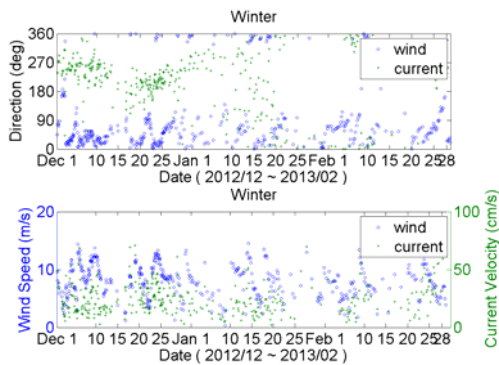


圖8 台東外洋資料浮標冬季風速及海流變化

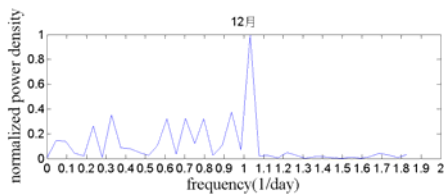


圖9 台東外洋資料浮標冬季(12月)海流頻譜分析

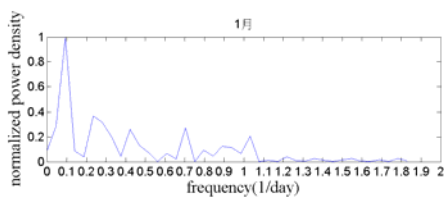


圖10 台東外洋資料浮標冬季(1月)海流頻譜分析

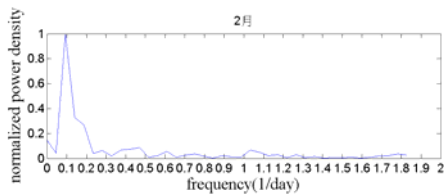


圖11 台東外洋資料浮標冬季(2月)海流頻譜分析

4.4 颱風時期海流變化及渦流現象

蘇拉颱風(國際命名: SAOLA)於2012年7月28日8時在菲律賓東方海面形成，於7月30日20時30分發布海上警報，7月31日接近台東外洋浮標海域，8月1日離開浮標海域，8月2日凌晨3時20分於花蓮秀林鄉附近登陸，之後成打轉現象，並於8月3日14時30分解除警報。

根據圖12 台東外洋浮標在蘇拉颱風期間的海流變化，瞭解在颱風最靠近浮標時(7月30日)觀測到最大海流流速為84.4 cm/s、流向286度(約西北西向)，且颱風在浮標附近時，流向保持為自西至西北西向。此外流速隨颱風離開而轉小，但8月3日~6日有幾個波段的大流速發生。

由圖13及圖14進一步檢視，8月2日至8月4日、8月4日至6日兩個時段發生2個較明顯的順時針海流渦流變化，這些渦流在浮標錨錠位置西南方向，渦流形狀類似水滴形，且較大流速皆是發生在浮標於渦流西邊的時刻。

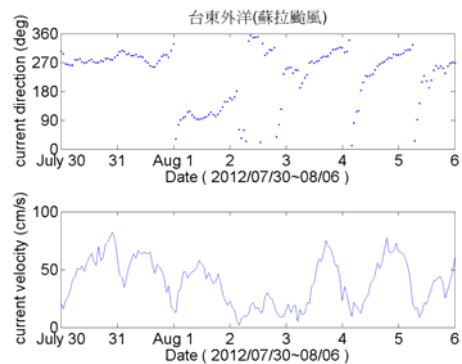


圖12 台東外洋資料浮標在蘇拉颱風期間(2012/07/30~2012/08/05)海流變化

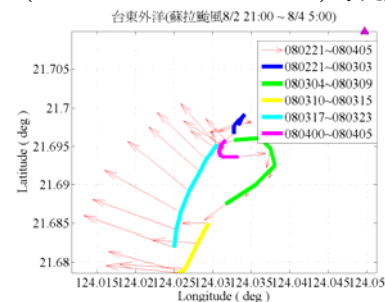


圖13 台東外洋資料浮標在蘇拉颱風期間(2012/08/02~2012/08/04)第一個渦流變化

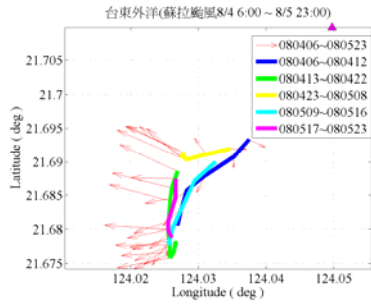


圖 14 台東外洋資料浮標在蘇拉颱風期間 (2012/08/04~2012/08/06)第二個渦流變化

天秤颱風(國際命名: TEMBIN)於 2012 年 8 月 19 日 8 時在菲律賓東方海面形成, 於 8 月 21 日 14 時 30 分發布海上警報, 8 月 22 日通過台東外洋浮標上方海域, 持續西偏南移動, 並於 8 月 24 日 7 時 30 分出海並減弱為輕度颱風往東沙島海域移動, 8 月 26 日再度增強為中度颱風, 並轉向朝臺灣近海接近, 並於 26 日 11 時二度發布警報, 8 月 27 日由鵝鑾鼻南方近海通過後, 先往東北方向後沿台灣東邊海域往北移動, 28 日 23 時 30 分解除海上警報, 8 月 30 日登陸日本。

根據圖 15 台東外洋浮標在天秤颱風期間的海流變化, 瞭解到颱風在浮標附近時流向為自西向轉為南向, 而颱風最靠近浮標時, 觀測到最大海流流速為 93.6 cm/s、流向 227 度(約西南向)。颱風在台灣及東沙島海域及通過台灣東部海域時, 浮標量測到流向保持東南東至南向, 且有幾個波段變化, 當颱風遠離台灣及浮標後, 於 29 日凌晨浮標時觀測到最大海流流速為 118.9 cm/s、流向 118 度(約東南東向)。

由圖 16 及圖 17 進一步檢視, 颱風在遠離台灣北部後, 發現 8 月 29 日至 8 月 30 日、8 月 30 日至 31 日兩個時段發生 2 個較明顯的順時針海流渦流變化, 這些渦流在浮標錨錠位置東南方向, 渦流形狀類似圓形及橢圓形。

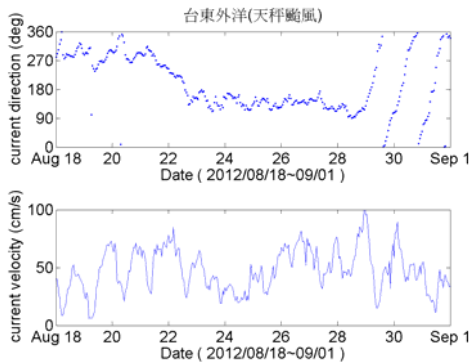


圖 15 台東外洋資料浮標在天秤颱風期間 (2012/08/18~2012/08/31)海流變化

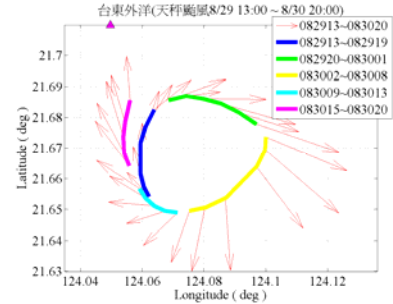


圖 16 台東外洋資料浮標在天秤颱風期間 (2012/08/29~2012/08/30) 第一個渦流變化

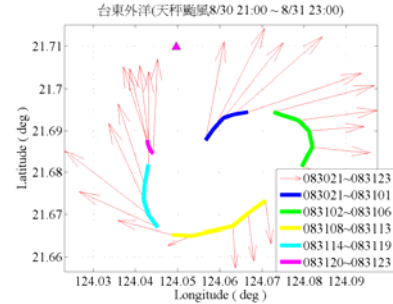


圖 17 台東外洋資料浮標在天秤颱風期間 (2012/08/30~2012/08/31) 第二個渦流變化

杰拉華颱風(國際命名: JELAWAT)於 9 月 21 日 2 時在馬尼拉東方 1150 公里之海面形成, 之後向北北西緩慢進行, 於 9 月 27 日 2 時 30 分發布海上警報, 28 日凌晨通過台東外洋浮標, 並於 9 月 28 日左右強度減弱為中度颱風而持續向東北移動, 於 9 月 28 日 20 時 30 分解除海上警報。

根據圖 18 台東外洋浮標在杰拉華颱風期間的海流變化, 瞭解到颱風最靠近浮標時, 觀測到最大海流流速為 116.7 cm/s、流向 338 度(約北北西向), 且颱風在浮標附近時就開始發生順時針渦流轉向, 發生渦流時間提早至颱風影響時段, 與蘇拉颱風及天秤颱風不同。此外流速隨颱風離開而轉小。進一步檢視, 發現颱風浮標附近開始, 由圖 19 及圖 20 所示, 發生 2 個較明顯的順時針海流渦流變化, 這些渦流在浮標錨錠位置南邊及西南方向, 渦流形狀類似圓形及橢圓形。

綜合以上 3 個颱風期間浮標量測到流速變化, 歸納出, 若颱風移動路徑很靠近浮標, 例如蘇拉颱風及杰拉華颱風, 則最大流速會發生在颱風於浮標附近時段。颱風靠近浮標時或通過後一段時間, 皆有發生 2 個順時針海流渦流, 這可能與颱風對當時海域的熱量變化有關, 因為颱風通過時會汲取海上的熱量, 造成受影響海域水溫偏低, 由圖 21 可看出台東外洋浮標在杰拉華颱風期間水溫確實發生下降。浮標所在處低溫水團再與鄰近海域溫度較高水團混

合，而形成海流渦流變化。

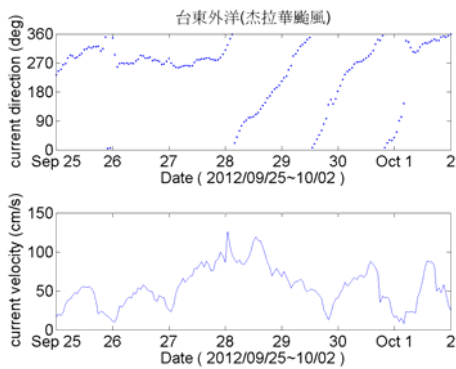


圖 18 台東外洋資料浮標在杰拉華颱風期間 (2012/09/25~2012/10/01)海流變化

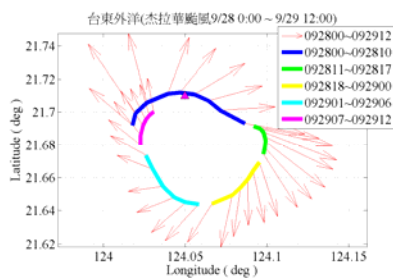


圖 19 台東外洋資料浮標在杰拉華颱風期間 (2012/09/28~2012/09/29) 第一個渦流變化

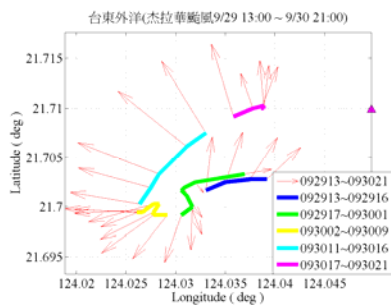


圖 20 台東外洋資料浮標在杰拉華颱風期間 (2012/09/29~2012/09/30) 第二個渦流變化

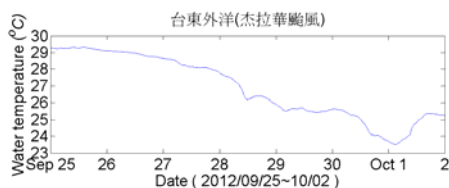


圖 21 台東外洋資料浮標在杰拉華颱風期間水溫變化

五、結論

本文選擇台灣東南邊 300 公里外之開闊海域台東外洋資料浮標，並以 2012 年 7 月至 2013 年 8 月之間的觀測資料，分析夏季及冬季的潮流、風驅流及洋流成分變化，並再加入浮標 GPS 及海流流向變

化，進一步對 2012 年 3 個颱風所影響浮標海域渦流變化加以探討。

根據浮標在夏季時觀測到的海流，其主要成分中的全日潮明顯，且存在週期達 8~15 天的洋流，然而平日的區域性風驅流並不明顯。浮標在冬季時觀測到海流之中，12 月份浮標海域的風驅流很明顯，但 1 月及 2 月就較不明顯，反而是週期超過 10 天的洋流成分很明顯，整個冬季期間潮流所佔海流成分偏小。此外，綜合本文對 3 個颱風期間浮標量測到的流速變化分析，發現在颱風很靠近浮標，例如蘇拉颱風及杰拉華颱風，會有最大流速發生。颱風通過時或是離開浮標一段時間後，皆發生 2 個順時針海流渦流，且這段時間發現水溫確實下降，這可能與颱風對當時海域的熱量變化有關，造成受颱風影響海域水溫偏低，加上與鄰近海域溫度較高水團混合，所造成海流渦流變化，這與此海域以往研究提到常發生中尺度渦流的形成機制雷同，但規模顯然小了很多。

謝誌

本文作者感謝中央氣象局提供台東外洋資料浮標之觀測資料，使本論文得以順利完成。

參考文獻

- Cheng, Y.H., Ho, C.R., Zheng, Q., and Kuo, N.J., 2014: Statistical characteristics of mesoscale eddies in the North Pacific derived from satellite altimetry. *Remote Sens.* 6:5164-5183.
- Hwang, C., Wu, C.R., and Kao, R., 2004: TOPEX/Poseidon observations of mesoscale eddies over the subtropical countercurrent: Kinematic characteristics of an anticyclonic eddy and a cyclonic eddy. *J. Geophys. Res.*, 109, C08013.
- Lee, I.H., Ko, D.S., Wang, Y.H., Centurioni, L., and Wang, D.P., 2013: The mesoscale eddies and Kuroshio transport in the western North Pacific east of Taiwan from 8-year (2003–2010) model reanalysis. *Ocean Dyn.* 63:1027-1040.
- Roemmich, D. and Gilson, J., 2001: Eddy transport of heat and thermocline waters in the North Pacific: A key to interannual/decadal climate variability? *J. Phys. Oceanogr.* 31:675-687.
- 李汴軍、徐月娟、高家俊、饒國清、施孟憲(2007)，「深海資料浮標作業能量建立」，*海洋及水下科技季刊*，第17卷第一期，第36-39頁。
- 鄧中柱(2003)，「深海浮標之可行性研究」，*中央氣象局研究計畫期末報告*。