

利用浮球資料探討台灣海峽冬季流場

沈勇廷¹ 邵煥傑¹ 張育嘉² 曾若玄³ 陳維翔⁴ 朱啟豪⁴ 滕春慈⁴

¹國立中山大學海資系 ²國立成功大學水利及海洋工程系

³國立中山大學海科系 ⁴中央氣象局海象測報中心

摘要

本研究於 2017 年 2 月在基隆和馬祖航線中間佈放 8 個衛星追蹤的表層浮球，取樣間距為 15 分鐘，可解析台灣海峽(TS)北部海域的潮流與低頻洋流。研究結果顯示當東北季風增強時海流會緩慢朝南，但是經過一兩周之後浮球還是向東飄移至台灣北部近海，該海域的半日潮 M2 很顯著也有無潮點的存在，浮球有捲入台灣東北角的棉花峽谷冷渦，最終都匯入琉球島弧北部的黑潮進入日本南部外海。我們也分析 1989-2016 所有冬季歷史浮球資料，統計結果指出 TS 北端的 26 個浮球大都來自於黑潮入侵東海陸棚以及少數從浙閩大陸沿岸流南下，有近半數會向東漂流並進入黑潮，有 1/4 會在 TS 東側南下並攔淺於台灣西北海岸，其他的會從 TS 西側直接南下進入南海。至於 TS 南部海域的流場特性則包含台灣西南的反氣旋渦流，以及伴隨產生的套流由呂宋海峽進入黑潮、由澎湖水道北上但被風擋住的 blocked intrusion，還有直接往西南進入南海的 throughflow。

關鍵字:台灣海峽、SVP 浮球、東北季風、無潮點、流場特性

一、前言

台灣海峽(TS)是介於中國大陸和台灣之間的狹窄通道，它北接東海，南鄰南海，寬約 180 公里，長約 350 公里，平均水深約 60 米。TS 的流況主要是受到季風和地形(例如雲彰隆起(YCR)、澎湖水道(PHC)、呂宋海峽(LZS)、棉花峽谷等)的影響，瞭解 TS 的流場特性對於此區域的海洋科學研究十分重要，因為南海與北邊的東海、黃海、日本海之間水量、熱量和物質交換的主要通道便是 TS。

有關於 TS 流場的前人研究已有相當多，但是由於冬季時 TS 內經常風強浪高、海況不佳，研究船不易進行現場調查觀測，少數零星的一些實測結果，如 Jan and Chao (2003)在澎湖水道和 Wang et al. (2003)在 TS 以研究船 ADCP 量測海流，也是在東北季風減弱或短暫停歇時才能出海收集紀錄。至今為止比較完整的 TS 海流調查便是 Lin et al. (2005)，以四組底碇式 ADCP 佈放於烏坵到台中的 TS 橫跨側線，成功收集了 1999 年 9 月 28 日至 12 月 14 日的冬季資料，結果指出沿著 TS 的流量為 -5 ~ 2 Sv，平均流量為 0.12 Sv，

當東北季風減弱時 TS 中北部的海流會逆風北上並朝向台灣。Lin et al. (2005)的實測海流數據也經常被一些數值研究拿來做模式的校正比較，如 Wu et al. (2007)、Oey et al. (2014)以及 Ko et al. (2003)，Wu et al. (2007)的高解析度模式發現冬季時大陸沿岸流會沿著 TS 的西界順風南下，而且由於彰雲隆起的阻擋使得 TS 北部流場形成“U”的形狀。Oey et al. (2014)的研究則指出 TS 北部的冬季流況可以區分為三種 regime:當風速大於 upper bound 時海流朝南，小於 lower bound 時海流朝北，介於其間時海流轉為橫向並朝著台灣。除了船載式和底碇式 ADCP 觀測之外，衛星追蹤浮球(surface drifter)的漂流軌跡與推算海流也是另外一種無懼於惡劣海況而且費用相對較低廉的 Lagrangian 測流方法。Tseng and Shen (2003)分析兩個表面浮球(CODE type)於 1997 年 10-12 月從澎湖水道北上漂流至 TS 北部、捲入棉花峽谷冷渦最終進入黑潮的漂流過程與動力機制。Qiu et al. (2011)分析 TS 內 110 個冬季浮球(1989-2007)的資料，發現進入 TS 北部的浮球最終都會往南漂流，往北者幾乎沒有，TS 南部的流況則區分為三種型態: throughflow 型式是沿著大陸斜坡往西南

進入南海，loop 型式為於台灣西南方形成反氣旋環流後再流出呂宋海峽進入黑潮，blocked intrusion 型式則是沿著澎湖水道北上進入 TS，但是被風阻擋無法繼續北上轉而朝南流。

有鑑於 TS 內的海流觀測資料仍然不夠多，而且 Qiu et al. (2011) 的漂流統計調查結果與前人的數值研究結果對於 TS 北部的流況存有差異，因此本研究於 2017 年 2 月在 TS 北端佈放了 8 個浮球，另外也分析 1989-2016 年所有歷史浮球資料，對於 TS 冬季的流場提出了幾點結論，分別敘述如下。

二、資料來源與分析

2.1 SVP 浮球現場佈放

利用定期航行於基隆到馬祖(南竿)的台馬之星渡輪，分別於 2017 年 2 月 3 日和 15 日在 TS 北部各施放 4 個 SVP 浮球，定位的取樣間隔設定為 15 分鐘，自 3 月 25 日起再改為 3 小時。這些施放的 SVP 浮球是由 SIO(Scripps Institution of Oceanography)所製造，為銻衛星/GPS 形式，重量約為 25 kg，拖傘(drogue)深度為 15 公尺，定位的取樣間隔設定為 15 分鐘，並以近即時的方式傳送回數據供以分析流場狀況。本研究區域以浮球軌跡位置在所設定範圍內，並於特定的東北季風作用範圍為取用研究分析的對象。期望能廣泛收集到浮球經過這範圍內時，受到包括季風、海流等因素作用於這些浮球造成的結果軌跡。

2.2 SVP 浮球歷史資料

全球浮球計畫(Global Drifter Program)自 1979 年起已經在全球各海域佈放了許多 SVP 浮球，經過 NOAA/AOML 後處理程序後內插成 6 小時一筆的時間、經緯度、流速、流向、SST 等資料。本研究將主要收集在每年 10 月到翌年 3 月冬季東北季風作用時，通過台灣四周海域的 SVP 浮球資料，研判在不同時空和風場條件下的浮球飄流軌跡與海流分布狀況。

2.3 處理方法

將收集到的浮球軌跡資料整理後，擬定篩選條件利用電腦處理初步整理繪圖，再由人工篩選分門別類歸納與整理。

三、結果

3.1 現場佈放追蹤 SVP 浮球

除了 2017 年 2 月本研究自 TS 北部佈放的浮球 8 個，成功 7 個外，再加上 Chang et al.(2007)也在此區域冬季佈放 3 個相同浮球。運作時間最短約 1 個月，最久的目前還在運作中。觀察分析結果發現，這些的浮球軌跡在台灣東北海域因受到黑潮主軸擺盪推送下進入 TS 北部或是 ECS 陸棚後，浮球會繼續再往北或東北移動，甚至再次進入黑潮進入北太平洋的情形。若再加上浮球歷史資料再發現 3 個有相類似規軌跡共 13 個。此類型軌跡經分析發現，並不會如 Qiu et al. (2011)所指出冬季在北 TS 的浮球都會向南流穿越 TS 到 SCS，而是向北或東北移動的浮球軌跡，甚至再流回黑潮主軸續行。於是將此類型軌跡歸納為東北向順漂流 Northeastward drift flow(13)，相關討論會在後面進一步說明。如 Fig.1 為 2017 年 2 月佈放浮球在 TS 北部漂流的軌跡圖

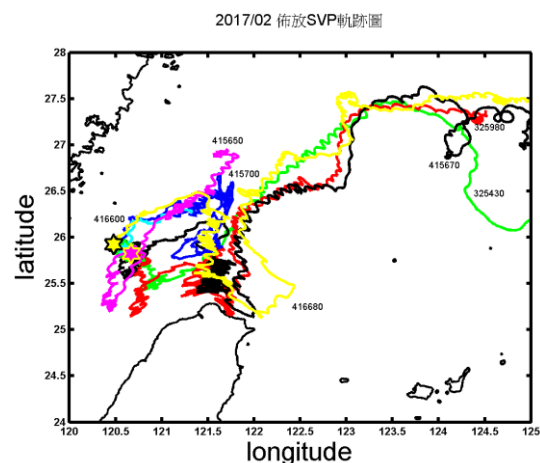


Fig.1 2017 年 2 月佈放浮球軌跡圖 星點代表投放點

另外由浮球歷史資料中我們根據所研究區域內、篩選出 220 個符合時間與其他條件的軌跡資料，資料量約為 Qiu et al. (2011)的兩倍，全部浮球的空間與時間分布分別如 Fig.2 和 Fig.3 所示。

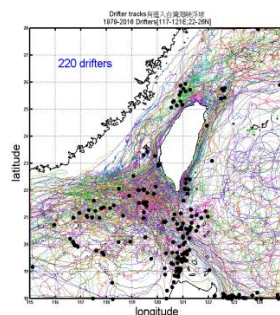


Fig.2 1979-2016 研究區域內浮球軌跡分佈圖

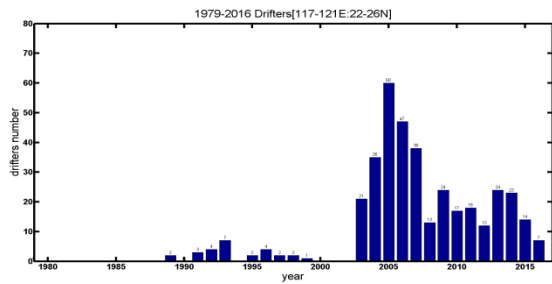


Fig.3 1979-2016 浮球軌跡資料數逐年分佈圖

從 LZS 東西兩側區域佈放或從太平洋漂流而來的各個浮球中，經過分析發現浮球軌跡在進入北 SCS 後，大部分浮球會西向沿著與 TS 南部交接的陸棚斜坡前進到北 SCS 西部；有部分則循台灣西南的順鐘向環流或套流繞過台灣南端回到黑潮主要路徑上；但有一部分則試圖經由 PHC 進入 TS 內向北流去，但都多無功而退。也發現此時冬季時間在台灣東側有不少浮球的軌跡沿著黑潮來到台灣東北角出現，甚至進入 ECS 陸棚後，因東北季風或是潮流影響下，進入 TS 北部向南漂去，或是順黑潮入侵分支向北或東北穿流而去。本研究參考 Qiu et al. (2011)將軌跡資料區分不同的移動模式如 Fig.3，嘗試說明造成各模式的原因與影響，以下逐一說明軌跡類型區分如下，括號內數字代表浮球個數

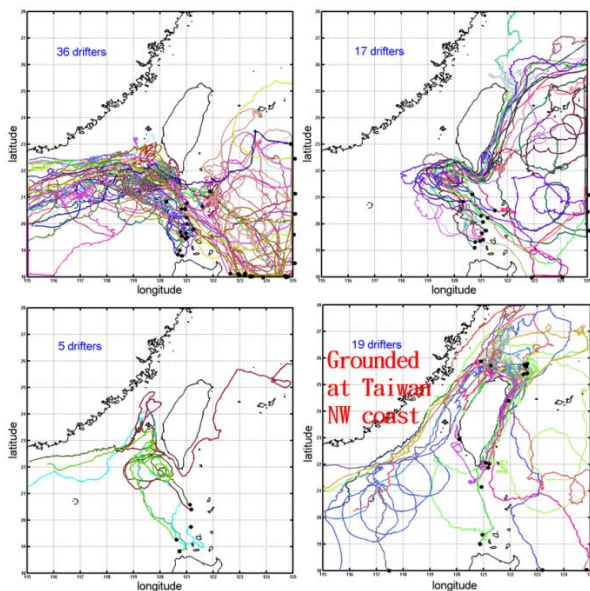


Fig.4 1979-2016 冬季台灣周圍的浮球軌跡資料流況分析類型

3.2 西向穿越流 Westward Through flow(36)

此類型(如 Fig.4 左上)占了最多比例 36。大部分在通過 LZS 北側的浮球多半會西向跨過深海區後，沿著

與 TS 南部交接的北 SCS 大陸棚等深線前進到 SCS 西部，穿越速度越往南越加快。也有部分浮球通過 LZS 南側時，因位置偏南，直接進入呂宋島西側的低壓逆鐘向環流。此類軌跡多沿陸棚等深線移動。浮球軌跡多折線型或是圓弧曲線端賴當時風場的風應力分布與變化有關。另外漂流過程會有出現一個或多個中小不一的環型，會有這樣軌跡多是因為浮球進入此區附近有明顯的順鐘向或逆鐘向環流出現所造成的結果。

3.3 黑潮套流 Loop flow(17)

浮球被黑潮分支流 KBC 推送通過 LZS 後流向西北進入北 SCS 後，沿著地形等深線循著台灣西南海域順鐘向環流，繞出台灣南端鵝鑾鼻，回歸到黑潮主軸，進入台灣東部，這類型被許多科學家發現指出只有在冬季東北季風 TS 風場由弱趨強時，LZS 北部才會出現此種黑潮入侵再回流現象(如 Fig.4 右上)。套流最遠可以向西延伸到 118°E，再循環回歸黑潮主軸順行，追蹤該批浮球軌跡發現，當來到台灣東北角時，有部分浮球隨黑潮水再次入侵 ECS 陸棚，其餘浮球多隨黑潮主軸而去。

3.4 阻擋流 Blocked intrusion flow(7)

浮球(如 Fig.4 左下)自 LZS 隨黑潮水進入後，來到高屏峽谷因海流強度變小而在 PHC 南端入口附近徘徊，偶有較強的黑潮入侵水試圖推送浮球越過 PHC，來到 YCR 後停止前進，或甚至因 TS 內轉強的東北季風吹襲之下而轉向 TS 中線順風漂流而南下，因為後二者是造成浮球被阻擋的主要原因。

3.5 南向順漂流 Southward drifting flow(16)

當浮球被黑潮水自台灣東側在東北角進入 TS 北部或是 ECS 時(如 Fig.4 右下)，可以發現到欲穿透 TS 南下的路線可以分 2 種狀況，其一是靠近台灣西側海岸導致擱淺於沿岸淺灘，此例有 7 個。另一觀察結果有 9 例是沿 TS 中線南下時，浮球在澎湖西側通過，再加上強烈東北季風引起順風滑動的漂流 Niiler and Paduan(1995)，可以快速穿越 TS 直達 SCS 北部。

四、討論

4.1 無潮點附近流場的現象

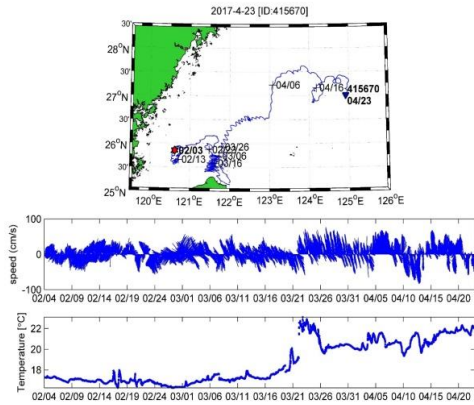


Fig.5 浮球 15670 從 2 月 3 日到 4 月 23 日之間的(a)漂流軌跡,(b)流矢和(c)表水溫時序變化

從 Fig.5 可知從 2 月 3 日到 13 日之間 415670 浮球往南漂移一小段距離，然後隨著東北季風的減弱(如 Fig.6)，此浮球轉而朝北漂移，從 2 月 23 日起大約持續一個月，此浮球幾乎都在台灣北部近海處徘徊，淨移動距離雖然很小，但是潮流往復運動卻很明顯。這個現象應該就是無潮點(amphidromic or no tide point)的特徵，Lee and Liu(2013)利用三維海洋環流模式加入潮流的作用以探討對於長江沖淡水的效應，在他們的模式中 also 指出台灣北部近海有出現一個半日潮 M₂ 的無潮點，如 Fig.7 所示，其位置與 Fig.5(a)的觀測出無潮點相當一致，因此本研究所佈放的浮球提供了一個很寶貴的測量資料來證實此一潮汐特徵的存在。

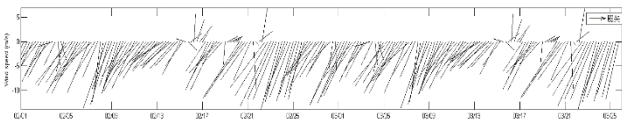


Fig.6 NCEP/NCAR 重分析風矢圖，2017 年 2~3 月位於台灣海峽北部

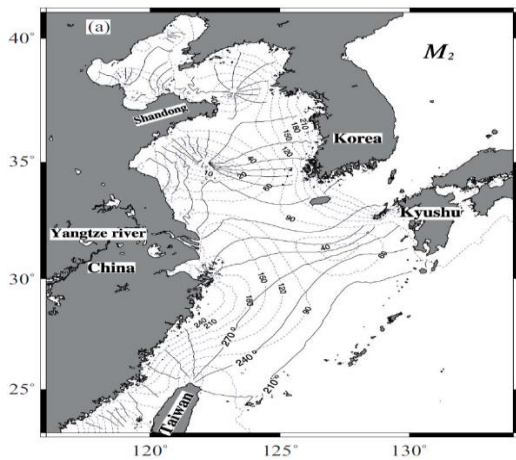


Fig.7 東海半日潮 M₂ 的等潮差線與等相位線之模式結果(取自 Lee and Liu,2013)

4.2 旋轉動能頻譜分析

為了進一步瞭解四個佈放於 TS 北端的冬季浮球如 Fig.8 所示，其漂流速度之主要週期，我們做了浮球的流速旋轉能譜分析如 Fig.9(右)。Fig.9(左)是浮球的 v 對 u 分量 scatter plot，其中 25980 浮球由於被卡住不動了一段時間，因此將其分成兩段時序個別做處理，由圖可知 u 的最大速度為±150 cm/s，v 則為±100 cm/s，這應該是受到黑潮往東北方向快速流動的影響。Fig.10 為流速的順鐘向(S+)和逆鐘向(S-)旋轉能譜 vs 頻率(cpd)圖，可知這四個浮球的流動均呈現出非常顯著的半日潮 M₂ 頻率，其次是慣性頻率 f，而且 M₂ 的能量佔了絕對主導的地位，這也指出台灣北部沿海區域是以 M₂ 為主。Fig.10 是以小波分析法得到的旋轉能譜對時間以及頻率作 contour 圖，可知在浮球下放之後約 40 天內，M₂ 是這段期間和海域的主要海流特性，40 天之外，也就是離開台灣東岸越遠，M₂ 的能量已大幅減弱，但是仍然為當地主要的海流特性。而當 25430 浮球進入到九州東方海域的黑潮主軸線時，似乎可以看出有較長周期的海流特徵出現 0.4~0.5cpd，短暫消失後，但是當進入 Kuroshio Extension 時，又再度出現這種更長周期特徵的旋轉能譜，與是否受太平洋海盆的 Rossby wave 還是與當時的大氣風應力影響有關，需要進一步分析資料。

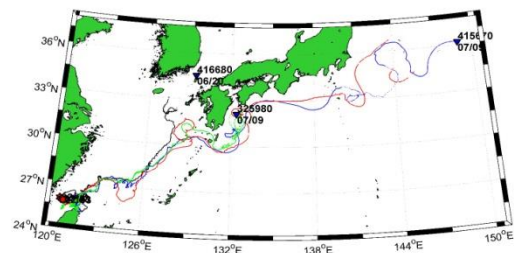


Fig.8 2017 年 2 月 3 日和 2 月 15 日佈放於台灣海峽北部的 4 個 SVP 浮球漂流軌跡圖

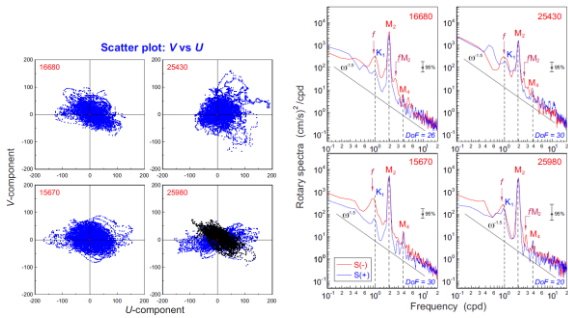


Fig.9 四個浮球(16680, 25430, 15670, 25980)的 v 對 u 分佈圖(左) 旋轉能譜對頻率圖(右)

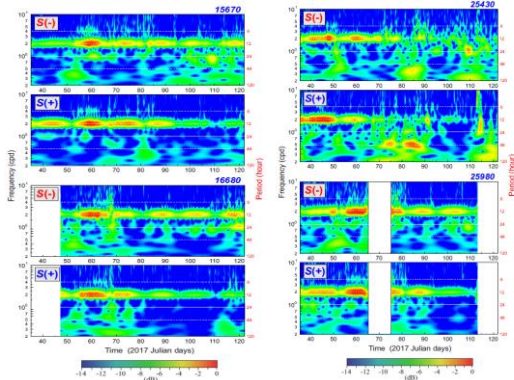


Fig.10 四個浮球(16680, 25430, 15670, 25980)的旋轉能譜對時間與頻率之分佈圖

4.3 進入 TS 北部的浮球動向與發現

本研究指出進入 TS 北部的浮球多會先往東流到台灣東北角外海，再併入黑潮流往東北方向。在今年(2017)所佈放的 8 個浮球以及 2007 年在相同地點所佈放的 3 個浮球，以及在 Tseng and Shen(2003)在 1997/10 從 PHC 南端的台南外海釋放的浮球沿著 TS 東側的海岸線向北流，當進入 TS 北部後也出現這樣的軌跡型態如 Fig.11 左，這指出當時冬天時 TS 北部的海水仍然會輸送到東海與黑潮。而同時也發現有多數的浮球會進入所謂台灣東北角棉花嶼的 cold eddy，然後再進入黑潮主軸。

4.4 台灣東北角冷窩

由前面提到佈放的浮標發現了在台灣東北角的冷渦大約的位置，位於 25.625°N, 122.125°E，直徑約為 100 公里(Fig.11 右)，此冷渦對於海洋生態與漁業有相當的重要性，但是它出現的季節則尚未有定論。我們分析歷史浮球資料，將所有偵測到台灣東北角冷渦的浮球資訊綜合整理成表 1，總計有 14 個 case，其中冬季有 8 個，夏季 4 個，秋季 2 個，夏季時出現的冷渦有較冬季更往東偏移的趨勢，這應該是和黑潮主軸

位置的季節性擺盪有密切的相關。

表 1 歷史浮球資料觀察到台灣東北角冷渦個案資訊

序號	1	2	3	4	5	6	7
年	92/	94/	97/	04/	06/	07/	08/
月	10	11-12	11	2-4	11-12	1	6-7
季節	秋	冬	冬	冬	冬	冬	夏
序號	8	9	10	11	12	13	14
年	09/	09/	09/	13/	17/	17/	17/
月	8	9	8	5-6	2	2	2
季節	夏	秋	夏	夏	冬	冬	冬

Northward drifting pattern

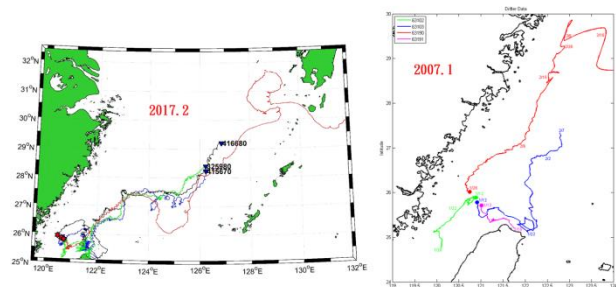


Fig.11 本研究提出的第五種冬季台灣海峽流況類型，左圖為 2017 年佈放的 4 個浮球軌跡，右圖為 2007 年佈放的 4 個浮球軌跡

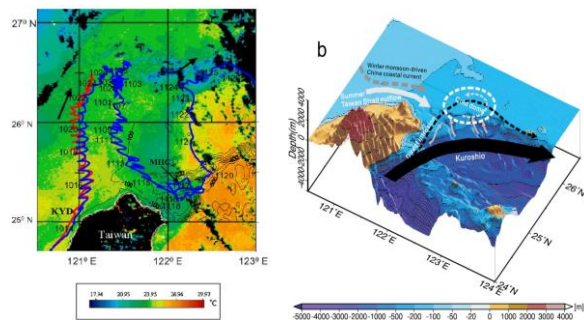


Fig.12 左圖為 Tseng and Shen 於 1997/10 佈放浮球軌跡繞過台灣東北角棉花嶼 Cold eddy 後再往東北流，右圖為台灣東北角外海的冷渦示意圖(取自 Jan et al.,2011)

4.5 穿越海峽強流之橫斷流

Qiu et al.(2011)在其研究中指出出現在 TS 北部的浮球都會在強烈東北季風的幫助下快速穿過 TS 往南漂流到北 SCS。但是從本研究卻有不同看法，我們所收集的資料發現除了前述穿越的現象外，還有一種結果是在通過澎湖前，浮球會因為遇到東向的橫斷流而

轉彎向東流，進而攔淺在台灣西部沿岸。原因是在冬天時，因位於大陸平潭外發現有此橫斷流 cross flow 存在，會將過往浮球推開，跨過中線流向台灣，致使有不少浮球因而流到岸邊而攔淺。

謝誌

本研究得已完成，要感謝中央氣象局海象中心的經費支持(106 年度計畫，氣象資訊之智慧應用服務提升海象預報技術)。感謝助理張永昇和余俊宏協助施放浮球與資料處理，高海科大陳昭銘教授提供重分析風資料

五、參考文獻

- Jan, S., J. Wang, C. S. Chern and S. Y. Chao , 2002: “Seasonal variation of the circulation in the Taiwan Strait”, *J. Mar. Syst.* 35, 249-268.
- Jan, S. and S. Y. Chao, 2003: “Seasonal variation of volume transport in the major inflow region of the Taiwan Strait: the Penghu Channel”, *Deep-Sea Res. II*, 50, 1117–1126.
- 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
- 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”, *J. Geophys. Res.*, 108(C11), Art. No. 3370.
- Lin, S. F., T. Y. Tang, S. Jan and C. J. Chen, 2005: “Taiwan Strait current in winter”, *Cont. Shelf Res.*, 25, 1023–1042.
- Niiler, Pearn P. and Jeffrey D. Paduan, 1995: “Wind-driven motion in the Northeast Pacific as Measured by Lagrangian Drifters ”, *J. of Phys. Oceanography*, 25, 2819-2839
- Oey, L.-Y., Chang, Y.-L., Lin, Y.-C., Chang, M.-C., Varlamov, S. and Miyazawa, Y., 2014: “Crossflows in the Taiwan Strait in winter”, *J. Phys. Oceanogr.*, 44, 801–817.
- Qiu, Y., Li, L., Chen, C.-T.A., Guo, X. and Jing, C., 2011: “Currents in the Taiwan Strait as observed by surface drifters”, *J. Oceanogr.*, 67, 395-404.
- Tseng, R., and Y. Shen, 2003: “Lagrangian observations of surface flow patterns in the vicinity of Taiwan”, *Deep Sea Research II*, 50, 1107–1115
- Wu, C. R., S. Y. Chao and C. Chun, 2007: “Transient, seasonal and interannual variability of the Taiwan Strait current”, *J. Oceanogr.*, 63, 821–833.
- Wang, Y. H., S. Jan and D. P. Wang, 2003: “Transports and tidal current estimates in the Taiwan Strait from shipboard ADCP observations (1999–2001) ”, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 57, 193–199