

海氣象即時傳輸浮標發展及其對颱風觀測之應用

楊穎堅¹ 張宏毅¹ 張明暉¹ 詹森¹ 邱銘達¹ 何文華¹ 邱協棟¹

李文慧¹ 馬玉芳¹ 謝祥志¹ 連政佳¹ 洪韋廷¹ 魏慶琳¹

國立臺灣大學海洋研究所¹

摘要

颱風於大洋上的強度發展，除了與周遭的大氣環境有關外，亦與沿途的海洋環境有關，尤其是上層海洋的熱含量。當颱風經過溫暖的洋面或是暖渦旋時，其有可能從海洋獲取能量而成長茁壯；相反的，當颱風經過較冷的洋面或是冷渦旋時，海洋環境有可能抑制其發展。故要準確的能預報颱風，除了仰賴準確的大氣觀測數據外，也需要海洋的熱含量資料輸入颱風數值預報模式做為初始條件。而在颱風數值預報模式初始場所需的觀測數據中，海上上層熱含量數據可算是最難取得的。可行的解決之道之一就是在颱風行進路線熱區佈放海象、氣象觀測浮標，隨時將觀測資料經由通訊衛星傳回預報單位。本文乃介紹臺灣大學海洋研究所近期所開發的新一代的海氣象即時傳輸浮標，其功能除了有傳統的海面氣象觀測外，亦可觀測並即時傳輸海面下的水文(如溫度、鹽度等)數據。海面下的水文觀測儀器配備有感應傳導數據機(Inductive Modem)，它不需串接於電纜線上、只需掛載於鋼纜上便可進行傳輸數據。如此，除了可以避免因纜線破裂而造成資料無法傳輸之現象外，觀測單位亦可依當地海域特性調整儀器所在深度與掛載儀器之數量。此新開發的浮標之另一特性就是省電設計，不需要太陽能電池、只需少量的鋰電池，浮標就能在海上運作一年以上。由於該浮標系統完全為自行開發，除可依任務調整觀測參數外，也大幅降低外購及維修成本。本浮標的原型機已於2015年6月9日成功的施放於西太平洋海域，該浮標每半小時回傳一次海氣象觀測資料，直至目前，蓮花(Linfa)與昌鴻(Chan-Hom)颱風分別從浮標的南方與北方通過，浮標運作正常，觀測到最大的風速達20 m/sec。分析這段期間的觀測資料，發現該海域與颱風密切關連的表層暖水層($\geq 26^{\circ}\text{C}$)厚度約為50~130公尺、變化大且快，而如此的海洋變化條件會加深颱風預報的困難度。利用海氣象即時傳輸浮標可立即掌握現場海洋環境訊息，精進颱風預報準確度。

關鍵字：海氣象浮標、颱風

一、前言

臺灣附近平均每年有3.5個颱風經過，不談颱風直接侵襲臺灣在強風豪雨下造成的災害損失，錯放一天颱風假都可能造成上百億臺幣的工商損失，因此準確地預測颱風動態，有助減少傷亡降低災損。然而，欲提高颱風路徑和強度數值預報準確度，除了仰賴準確的大氣觀測數據，也取決於海洋上層100、200公尺厚的溫度垂直分布和相對應的熱含量資料輸入颱風數值預報模式做為初始條件。因為，颱風於大洋上的強度發展，除了與周遭的大氣環境有關外，亦與沿途的海洋環境有關，尤其是與海水溫度有關(Gray, 1968, Anthes, 1982)。當颱風經過溫暖的洋面或是暖渦旋時，其有可能從海洋獲取能量而成長茁壯；相反的，當颱風經過較冷的洋面或是冷渦旋時，其有可能喪失能量而減弱。然而，颱風能否從海洋獲得能量，也不全然取決於海表面溫

度，亦與表層暖水層($\geq 26^{\circ}\text{C}$)厚度有關。例如，雖然海表面溫度很高，但若表層暖水層較薄、斜溫層較淺、或是溫度垂直梯度較大，則颱風經過時有可能迅速將較冷的海水抽至表面、或是強烈的垂直混合而降低表面海水溫度，進而抑制颱風成長(Price et al., 1986; Huang et al., 2015)。

此外，西北太平洋富含熱量，除有黑潮將低緯度熱量往北傳送，北太平洋副熱帶反流(Subtropical Countercurrent, STCC)位於北太平洋中部，接近北太平洋副熱帶環流的西邊，因其不穩定而頻繁的生成渦旋(Qiu, 1999; Hwang et al., 2004)，渦旋可分為暖心與冷心，其生成後便往向西傳遞，會影響周圍的海洋熱量分布。Lin et al. (2005)觀察到梅米(Maemi)颱風在通過一個暖心渦旋後，在24小時內強度由原本的第4等級升為第5等級，暖心渦旋在颱風劇烈混合海洋時，可有效阻隔較深層的冷海水湧升至表層，並持續提供颱風熱能以維持其強度。

在颱風數值預報模式初始場所需的觀測數據中，海上上層溫度剖面資料可算是最難取得的。雖

然現今的衛星遙測技術已經可以快速提供大洋的海表面溫度與冷、暖渦漩的位置等資訊，但是仍無法提供海面下的水文結構訊息。而若想靠研究船在颱風來臨前到颱風可能經過的海域進行觀測是不可能的任務。可行的解決之道之一就是在颱風行進路線熱區布放海洋與大氣觀測浮標，隨時將觀測資料經由通訊衛星傳回研究及預報單位。即便如此，到大海中施放浮標並能隨時將觀測資料傳回陸地單位，聽起來是件簡單的事，卻不是一蹴可幾的工作。雖然目前有些科技較為進步的國家已於大洋上佈放一些海氣象觀測浮標觀測海面的氣象、海象參數，而這些浮標的功能大都只觀測海面的風速、風向、溫濕度、氣壓、雨量、日照、海表面溫度等，少有浮標觀測海面下的水文參數，即使有觀測海面下水文參數的浮標，也大都佈放於熱帶海洋用以觀測聖嬰(El Niño)現象為主(McPhaden, 1995)。迄今，西北太平洋颱風好發海域，仍沒有專為觀測颱風而佈放的海氣象即時傳輸浮標。探究其因，主要是因為尚有幾項關鍵技術有待突破：長期維持、電力供給、水下通訊、海上施放技術、造價、後勤補給等。而海氣象即時傳輸浮標的發展與佈放，可以精進現有的颱風觀測技術、以及提高預報準確度。

臺灣大學海洋研究所自1990年代起，陸續參加研究聖嬰現象的熱帶海洋-全球大氣(Tropical Ocean-Global Atmosphere, TOGA)、以及研究南海季風暴發現象的南海季風實驗(South China Sea Monsoon Experiment, SCSMEX)等國際合作計畫，並且與美國太平洋實驗室(Pacific Marine Environmental Laboratory/National Oceanic and Atmospheric Administration, PMEL/NOAA)合作，共同施放 Autonomous Temperature Line Acquisition System (ATLAS)浮標於赤道太平洋與南海等海域。在此期間，雖然是使用他人的浮標系統，但也學習了很多浮標操作施與放技巧。之後，我們曾陸續自行設計/施放過一些浮標於南海海域，但這些浮標均無即時傳輸功能。直至2008年，因參與臺美合作的颱風研究計畫(Impact of Typhoons of Pacific, ITOP)，遂開始著手設計可即時傳輸氣象資料的海氣象觀測浮標，並且在2008~2010年ITOP計畫期間，成功觀測到數個颱風。由於此系統具有精小、省電、穩定等優點，國家實驗研究院臺灣海洋研究中心亦曾向本所學習並申請6套系統，將其運用於臺灣周邊海域的海氣象觀測。

最近，本所再接再厲，克服了上述的一些問題，開發出一套低耗能、可長期進行觀測並即時傳輸海象、氣象資料的浮標，浮標原型機(prototype)於2015年6月上旬成功的施放於西太平洋海域，且安全渡過蓮花、昌鴻颱風的考驗，即時傳回海氣象觀測資料。本文即為介紹此自行開發的海氣象觀測浮標及其觀測結果。文章結構如下所述：第二節為浮標系統簡

介與特色，第三節介紹海上實驗工作，第四節為浮標觀測結果，最後是討論與結論。

二、浮標系統

現今市售的海氣象即時傳輸浮標大都只有觀測海面的風速、風向、氣溫、氣壓、濕度、海表面溫度、浪高、浪向，少有可長期觀測海面下水文參數並具有即時傳輸功能的浮標。再者，即使未具觀測海面下水文參數功能的浮標，其售價以及後續的保修費用等也是非常昂貴。基於上述的颱風觀測需求議題、以及市面現貨無法滿足作業單位需求的窘況，臺大海洋研究所乃著手開發適合觀測颱風需求、且具有可長期觀測、低耗能、低造價等特性的海氣象即時傳輸浮標。本節將就此浮標的浮體與錨碇系統、中控系統、氣象儀器、海象儀器等四部份分別介紹。

(一)、浮體與錨碇系統

浮標的浮體乃是採用玻璃纖維製作而成，玻璃纖維具有無磁特性，可以避免對磁羅經的干擾，進而提升風向、波向、流向等資料品質。此外，我國乃是使用玻璃纖維製造遊艇的大國，玻璃纖維加工業發達，未來可在國內自行生產浮體，降低浮標成本。由玻璃纖維製作而成的浮體外觀類似甜甜圈，故又稱為甜甜圈式浮標(doughnut buoy)。圖1是整組浮標示意圖。

浮體的上架是由304不鏽鋼材製作而成，上面安裝有中控系統、風速風向計、溫濕度計、氣壓計、日照儀、衛星傳輸天線、雷達反射器、及太陽能警示燈。雖然上架的材質為304不鏽鋼材可能會影響系統內的磁羅經，經測試得知影響並不大。但為了避免材質對於磁場的干擾，往後將改為無磁性的鋁合金材質。

浮體的下架是由316不鏽鋼材製作而成，下方連接有塑膠皮包覆的不鏽鋼纜，長度為500公尺，鋼纜直徑為10 mm。此鋼纜是要做為感應式傳導數據機(Inductive Modem, IM)的傳輸導體。此鋼纜是由國內工廠自行生產製造，品質不亞於國外產品，但價格相對較低廉。

鋼纜下方是連接尼龍繩，總長約5000公尺，尼龍繩直徑為3/4吋，最大承受拉力為17000磅。其在水中近乎無重量，可減少浮力需求。尼龍繩下方分別串接玻璃浮球、音響式釋放儀(acoustic release)與重錨。回收時，可藉由船上的音響式釋放儀命令器

(commander)，遙控釋放儀開關，讓錨碇串與重錨分離後上浮，最後再將整組系統上收至船上。

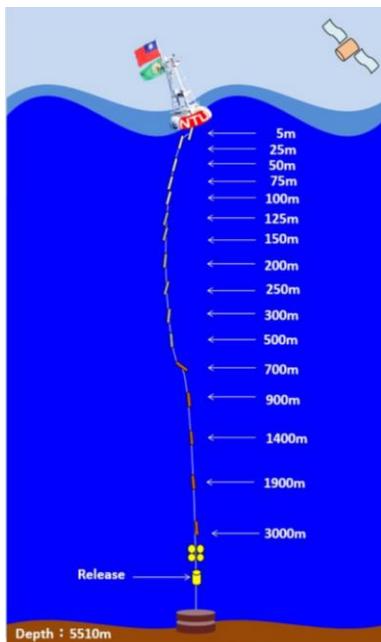


圖1 浮標系統示意圖。

(二)、中控系統

中控系統的電子電路，可分為四部份：铱衛星(Iridium)通訊數據機介面、氣象感應元件介面、氣象資料收集次系統、以及海象儀器資料收集與系統資料儲存次系統等。所有電路，除了Sea-Bird公司的Inductive Modem Module (IMM)外，均為自行設計與製作，如圖2所示。中控系統的電路設計均是為了能適合在海上執行長期的觀測任務，故所有電子零件均是採用具有低耗能特色的電子零件。經測試，整體電路運作下，其工作電流約為2.2 mA，在不運作的睡眠狀態下，其電流約為0.1 mA，極其省電。因此，整體中控系統只需40顆1號鋰電池即可連續運作一年以上。所以此浮標並不需太陽能電池，進而避免了因日照不足或是人為破壞的風險。

通訊是採用铱衛星通訊系統，因為其採用低軌道繞行地球，且有66顆衛星運行，具有低功率通訊、涵蓋面積廣，通訊死角小等優點。

中控系統內有全球定位系統(Global Positioning System, GPS)衛星訊號接收晶片，此晶片內置有星歷資料，可快速啟動定位，節省電力。再者，中控系統內亦有系統溫度與電壓監視與紀錄功能，而浮標位置、系統溫度與電壓等數據，均可經由铱衛星通訊系統將其傳回地面接收站。

此外，中控系統內也有通用序列匯流排(Universal Serial Bus, USB)介面，電腦可藉由USB介面連接中控系統進行設定與下載資料。系統所觀測

的資料以及系統狀態資料均儲存於極細小的安全數位記憶卡(Micro Secure Digital Memory Card, MicroSD)內，之後可將MicroSD卡直接置入電腦的插槽中，快速複製資料。

目前系統只接受電腦連線進行設定，未來將擴充為也可接受無線電或是衛星遙控。



圖2 由左而右分別為海象儀器資料收集與系統資料儲存次系統、氣象資料收集次系統、氣象感應元件介面、以及铱衛星通訊數據機介面等。

(三)、氣象觀測儀器

本次浮標裝有風速風向計、溫濕度計、氣壓計、日照儀等氣象觀測儀器。其廠牌與型號如表1所示。雖然，此次並未安裝雨量計，但氣象感應元件介面已經預留了一些通訊埠，隨時可以依需求加裝一些氣象儀器。目前這些氣象儀器均無自記功能，但中控系統可將測得的資料予以儲存與傳輸。

表1 氣象觀測儀器一覽表

儀器	廠牌	型號
風速計	R.M. Young	05106
溫濕度計	Vaisala	HMP 155
氣壓計	Keller	PAA-9
日照儀	EKO	MS-602

(四)、海象觀測儀器

與海面氣象有關連的是上層海洋的溫度結構，而降雨也會影響上層海洋的海水鹽度。故上層海洋100公尺以淺掛載了5組具有IM功能的溫鹽深儀(Conductive-Temperature-Depth, CTD)，而介於100~500公尺之間則掛載了6組具有IM功能的溫壓儀(Temperature-Pressure Recorder, TP)。這11組儀器均掛載於一條有塑膠包覆的鋼纜上，於水下分別觀測海水的溫鹽變化並將資料自行儲存於本身的記憶體內，同時也接受中控系統透過Inductive Cable Coupler (ICC)、鋼纜與IM傳輸過來的命令，將最近一筆的觀測資料回傳至中控系統，之後再經由铱衛星將資料

回傳至地面接收站。雖然，此次只安裝了11組具有IM功能的水下儀器，但本系統可接受同時掛載99組具有IM功能的水下儀器。

此浮標除了可應用於颱風的觀測與研究外，其所測得的資料亦可運用於海洋渦漩、內波與內潮等研究。故在500公尺以深，也掛載了5組只有自記功能的溫壓儀觀測深海的溫度變化。所有的海象觀測儀器之廠牌、型號與掛載深度如表2所示。

表2 海象觀測儀器一覽表

儀器	廠牌	型號	深度 (m)
溫鹽深儀	Sea-Bird	37 IMP	5, 25, 50, 75, 100
溫壓儀	Sea-Bird	39 IM	125, 150, 200, 250, 300, 500
溫壓儀	Sea-Bird	39	700, 900, 1400, 1900, 3000

三、海上施放

本海氣象即時傳輸浮標之原型機於2015年5月完成，隨即將中控系統、風速計、一組溫壓儀(39 IM)安裝於海研一號研究船上，隨船出海進行海上遠端遙控與傳輸等測試，共計兩航次，並於每一航次之後隨即進行問題修正。之後，安排於海研一號1109航次期間，將其施放到西太平洋進行三個月的實際海域測試。

由於測試期適逢颱風季節，而且今年也是聖嬰年，故分析了歷史颱風路徑資料，統計出聖嬰年期間的颱風途徑熱區，如圖2所示。再者，為了配合原本海研一號1109航次的科學任務與探測航線，故選擇在東經124度、北緯21度附近海域進行測試。

海研一號研究船於2015年6月8日到達預定海域後，隨即進行海底地形測量，尋找適合施放浮標的平坦海域。同時也進行CTD作業，蒐集垂直剖面水文資料，計算聲速隨深度之變化，供測深儀校正水深資料之用。當地海域平均水深約為5500公尺。

待預定施放位置選定之後，隨即進行船隻漂流實驗，以便擬訂施放航線與航向。最後，浮標於2015年6月9日14時成功的施放於預定海域，圖3即為浮標在海上的照片。從浮標的外觀可以得知整組中控系統體積很小，大大降低了風阻面積，也為往後測量波浪時所需的低風阻效應做準備。

此次浮標系統的觀測設定：海象觀測儀器是每1分鐘自行紀錄一筆資料，每6分鐘回傳一筆資料至中控系統，而氣象觀測儀器也是每6分鐘回傳一筆資料到中控系統。中控系統則是每30分鐘將所收得每6分鐘一筆的海氣象觀測資料、以及當時的位置、系統

電壓及溫度等資料經由銥衛星將其傳回陸地接收站。

由於衛星訊號的強弱是與當時之氣象環境與衛星角度有關，當中控系統無法順利與銥衛星建立通訊連線時，系統會暫時停止運作，等待6分鐘之後，再重新建立通訊連線。如此重複運作，直至完成資料傳送為止。

當浮標順利施放於海面後，工作團隊立即透過海研一號上的衛星網際網路，檢視銥衛星傳回陸地接收站的資料，確認一切無誤後才離開該海域，前往其它海域，繼續執行其它海上觀測任務。

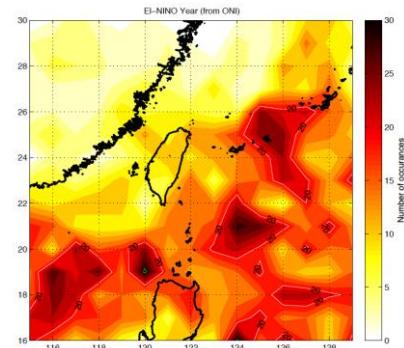


圖2 聖嬰年期間颱風途徑次數分布圖。



圖3 施放入海的海氣象即時傳輸浮標。

四、觀測資料

銥衛星近乎即時回傳的觀測資料經由Email寄至指定的帳號，而臺大海洋研究所的電腦伺服器，每30分鐘自動連結Email下載觀測資料，之後立即進行資料解碼、初步品質管控、載入資料庫、分析與繪圖、網頁展示。使用者可透過網頁瀏覽最新的觀測資料，網頁網址為<http://po.oc.ntu.edu.tw/buoy/>。本資料也同步提供中央氣象局運用。

回傳的氣象資料如圖4所示，觀測資料顯示氣溫高頻變化頻繁，除了有日夜變化外，亦明顯受日照

影響。此外，當相對濕度較高時，氣溫也會下降，這可能是因為降雨而造成降溫現象。此外，氣壓資料也有明顯的日夜變化。

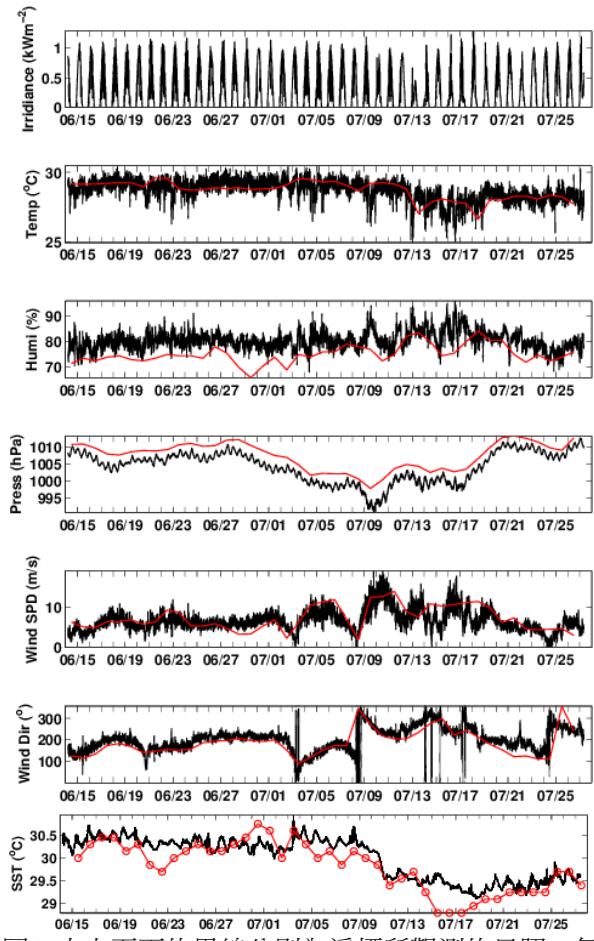


圖4 由上而下的黑線分別為浮標所觀測的日照、氣溫、相對溼度、氣壓、風速、風向、海面溫度之時間序列資料。而NCEP模式計算的氣溫、相對溼度、氣壓、風速、風向，以及由衛星觀測的海表面溫度等資料則是以紅線表示。



圖5 2015年7月9日18時的蓮花(Linfa)、昌鴻(Chan-Hom)、南卡(Nangka)颱風衛星雲圖及浮標所測得的風速、風向資料。

除了高頻變化外，氣壓資料也顯示在7月9日達到最低，約990 hPa，此時風速也達到最大，約為20 m/sec。這乃是因為昌鴻(Chan-Hom)颱風從浮標的北方通過，如圖5所示。

比對氣象觀測資料與NCEP模式的計算結果，發現兩者的低頻變化非常接近，尤其是氣壓與風向。而NCEP的相對濕度則是明顯的低估。相對於氣象資料，比對衛星遙測的海表面溫度與浮標的觀測結果，兩者的最大差異可達0.5°C以上。

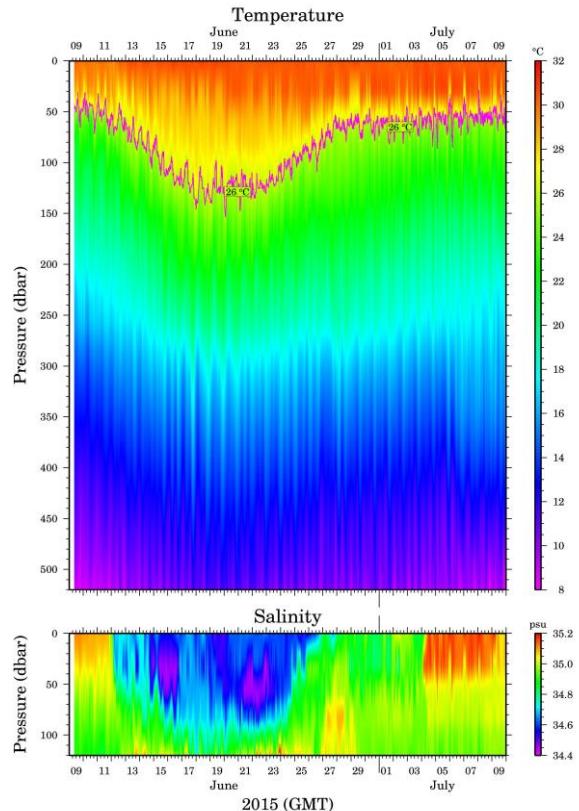


圖6 上圖與下圖分別為浮標所觀測的溫度與鹽度垂直剖面時間序列資料。上圖的粉紅色線為26°C等溫線。

浮標所觀測的水下溫度與鹽度資料如圖6所示。資料顯示此海域有明顯的全日內潮運動，以及潮汐週期以上(subtidal)的變動。在六月中旬，表層暖水層較厚且鹽度較淡；七月上旬時，則表層暖水層較薄且鹽度較高。研判這可能與海洋的渦漩有關：當六月中旬時，有一反氣旋式渦漩通過浮標所在海域，於是表層暖水層較厚，且高鹽的次表層海水也位在較深的海域。之後，此反氣旋式渦漩逐漸通過浮標所在海域，並接著是氣旋式渦漩的到來，於是表層暖水層逐漸變薄、高鹽的次表層海水也逐漸抬升至表層。在這過程中，26°C等溫線所在的深度從130公尺抬升至50公尺，變化達80公尺。這觀測結果

顯示上層海洋的厚度的變化大且快，此上層海洋的厚度變化量是無法藉由衛星遙測獲得，而這也正是目前觀測颱風的盲區之一。

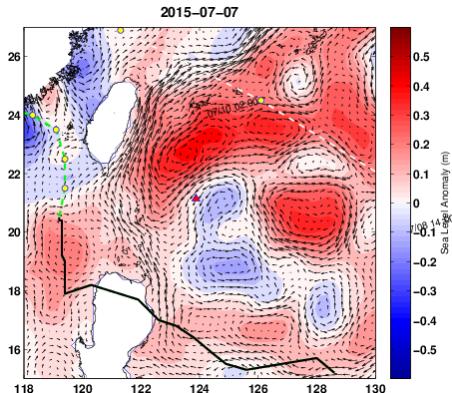


圖7 2015年7月7日海面高度異常值及地轉流場。三角形符號代表浮標位置，黑線與綠虛線分別代表蓮花颱風路徑與預報路徑，白色虛線代表昌鴻颱風預報路徑。

五、討論與結論

此次施放的浮標，成功的即時傳回海上現場的海氣象觀測資料，並且安全的渡過蓮花(Linfa)與昌鴻颱風前後分別從浮標的南邊、與北邊掃過，浮標所測得的最大風速達20 m/sec，遠大於數值模式的計算結果。此外，浮標所測得的水下溫度資料顯示表層暖水層的厚度變化大且快，而如此的海洋變化條件會加深颱風預報的困難度。利用海氣象即時傳輸浮標可即時掌握現場的海洋訊息，精進颱風預報準確度，提升預報品質。

本次浮標原型機的測試雖然成功，但也發現一些問題，之後將逐步改善。下一代的浮標，我們將增加無線電與衛星遙控功能、安裝傳統與聲學式雨量計、具IM功能的海流儀、加速度(波浪)計等，並且改善鋼纜傳輸接頭，捨去ICC介面而改以變壓器直接耦合，提升傳輸品質與介面壽命。

期望在不久的將來能完成上述目標，並將其施放於西太平洋觀測颱風，服務國人，貢獻社會。

致謝

本文感謝科技部與臺灣大學邁頂研究計畫於經費上的補助，同時也感謝海洋研究所同仁們的鼎力協助，在此致上誠摯的謝意。

參考文獻

- Anthes, R. A., 1982: *Tropical Cyclones: Their Evolution, Structure and Effects.* American Meteorological Society, 208pp.
- Gray, W. M., 1968: Global view of the origin of the tropical disturbances and storm. *Mon. Wea. Rev.*, **96**, 669-700.
- Hwang, C., C.-R. Wu, and R. Kao, 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, doi:10.1029/2003JC002026.
- Huang, P., I-I Lin, C. Chou, and R.-H. Huang, 2015: Change in Ocean Subsurface Environment to Suppress Tropical Cyclone Intensification under Global Warming, *Nature Communications*, accepted.
- Lin, I-I, C.-C. Wu, K., A. Emanuel, I-H. Lee, C.-R. Wu and I.-F. Pun, 2005: The interaction of supertyphoon Maemi (2003) with a warm ocean eddy. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 2635-2649.
- McPhaden, M.J., 1995: The Tropical Atmosphere Ocean Array is completed. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **76**, 739-741.
- Price, J. F., R. A. Weller, and R. Pinkel, 1986: Diurnal cycling: observations and models of the upper ocean response to diurnal heating, cooling, and wind mixing. *J. Geophys. Res.*, **91**, 8411-8427.
- Qiu, B., 1999: Seasonal eddy field modulation of the North Pacific subtropical countercurrent: TOPEX/Poseidon observation and theory. *J. Phys. Oceano.*, **29**, 2471-2486.