

耐惡劣環境之海氣象浮標儀器開發與測試

張宏毅¹ 馬玉芳¹ 謝佳穎¹ 吳佳璇¹ 楊穎堅¹
國立臺灣大學海洋研究所¹

摘要

臺灣附近平均每年有3.5個颱風經過，每當颱風經過臺灣附近海域、或是直接侵襲臺灣，其所帶來的強風豪雨，往往造成巨大的災害損失，因此準確地預測颱風動態及其可能帶來的劇烈氣象變化形態，可有助於災防單位的決策因應，減少傷亡與降低災損。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，也取決於表層暖水層($\geq 26^{\circ}\text{C}$)厚度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。然而，要獲得颱風暴風圈內的即時海氣象觀測數據，是非常最難取得的。必須藉由布放於大洋的海氣象觀測浮標蒐集資料，並藉由通訊衛星將資訊近即時傳回研究及預報單位。而安裝於海氣象浮標上的觀測儀器，必須要具有耐惡劣環境特性，例如儀器探針與外殼要能抵抗高溫日照、強烈紫外線、巨大海浪襲擊、抗鹽分腐蝕、與耐震；另外，儀器也要具有省電特性，因為此海氣象浮標是被設計來觀測颱風，必須捨去太陽能電板以降低風阻，在有限的電池電量供應下，儀器必須要有極佳的省電特性。而一般商售的儀器大都無法滿足上述需求。因此，有必要開發可耐惡劣環境、省電、低成本的海氣象觀測儀器供海氣象浮標使用，進而成功觀測到颱風暴風圈內的海氣象資訊。本文將介紹我們近年來所開發的海面氣溫計、氣壓計、相對溼度計、海表面溫度計之設計特性、回歸校正、海上測試、與觀測成果。

關鍵字：海氣象浮標、儀器開發

一、前言

西北太平洋為颱風生成的熱區，此海域的颱風較其他海域多且強，每年造成沿岸地區大量生命與財產的損失。颱風生命週期中，大多時間滯留於海面上，海氣交互作用因而顯著；除了當時的大氣環境會影響其生長，海洋狀態亦非常重要；上層海洋熱含量與颱風強度的改變息息相關，若能即時掌握上層海洋的改變，將有助於改善對颱風強度的預報。然而，要在海上測得颱風的相關海氣象數據，必須仰賴布放於大洋的海氣象觀測浮標蒐集資料，並藉由通訊衛星將資訊近即時傳回研究及預報單位(Jan et al., 2017)。而安裝於海氣象浮標上的觀測儀器，須具備有耐惡劣環境之特性，例如儀器探針與外殼要能抵抗高溫日照、強烈紫外線、巨大海浪襲擊、抗鹽分腐蝕、與耐震；另外，儀器也要具有省電特性，因為此海氣象浮標是被設計來觀測颱風，必須捨去太陽能電板以降低風阻，在有限的電池電量供應下，儀器必須要有極佳的省電特性。而一般商售的儀器大都無法滿足上述需求。因此，有必要針對海域特性，開發可耐惡劣環境、省電、低成本的海氣象觀測儀器供海氣象浮標使用，進而成功觀

測到颱風內的海氣象相關資料(Chang et al., 2017, Yang et al., 2018)。

本文將介紹臺大海洋研究所近年來所開發的海面溫濕度計、氣壓計、海表面溫度計之設計特性、回歸校正、海上測試、與觀測成果。

二、海表面溫濕度計

一般商售的氣溫計，大都是設計在陸地使用，即使是供海上使用的氣溫計，也大都是供船舶使用的，其外殼並不是非常強壯、防水能力也不是甚強。例如，我們曾經在2015年將Vaisala HUMICAP[®]公司所生產的HMP 155型溫濕度計(如圖1)安裝於海氣象浮標上進行觀測，歷經蘇迪勒(Soulter)與天鵝(Goni)兩個颱風，但是在天鵝颱風侵襲期間(2015/08/23~25)，其所測得的溫度與濕度資料品質不佳(如圖2所示)，研判此溫濕度計無法承受惡劣海況，因而故障。待海氣象浮標回收後，我們發現該溫濕度計外蓋變形，無法與溫濕度計密合，有浸水現象(Hsieh et al., 2017)。

新設計的溫濕度探針使採用Sensirion公司的SHT31晶片(Sensirion, 2018)，此溫濕度感應元件裝置放於電路板最前端，電路板外殼是用聚氯乙烯(PVC)

材質製作，耐壓達水深50公尺，可承受惡劣海況的侵襲，其外觀如圖3所示。而保護溫濕度計探針，是使用多孔隙的鐵氟龍(PTFE)材質(Vaisala, 2018)的外蓋(如圖3所示)，除了可防止海水滲入腐蝕探針外，也能讓溫濕度探針正確的量測到的氣溫與相對濕度值。製作完成的溫濕度計送至中央氣象局檢校中心進行校正，其結果如圖4所示，該結果顯示此溫濕度探針具有良好線性關係。

將新設計的溫濕度計裝置於海氣象浮標上，並於2016與2017年進行實海域測試，歷經尼伯特(Nepartak)、莫蘭蒂(Meranti)、馬勒卡(Malakas)、梅姬(Megi)、尼莎(Nest)、天鵝(Hato)與泰莉(Talim)等7個颱風吹襲，均安然度過，並測得寶貴的資料，2016年的觀測資料如圖5所示。



圖1：Vaisala HUMICAP® 公司所生產的HMP 155型溫濕度計圖片。

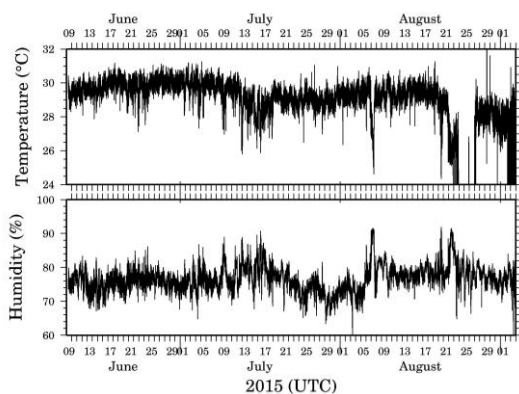


圖2：將Vaisala HUMICAP® 公司所生產的HMP 155型溫濕度計安裝於海氣象浮標所測得的海表面氣溫(上圖)與相對溼度(下圖)時間序列資料。



圖3：自製的溫濕度計，由上而下分別是溫濕度計電路板，溫濕度探針在電路板最左邊尖端處、多孔隙鐵氟龍外蓋、聚乙烯材質製作之外殼外觀。

三、氣壓計

一般商售的氣壓計均是適用於陸地，不適合海上使用。我們採購瑞士Keller公司生產的高解析度壓力探針(Piezoresistive OEM Pressure Transducer Series 10; Keller, 2018)，結合自行設計的電路與聚氯乙烯外殼，使其可承受50公尺的水壓，其外觀如圖6所示。製作完成的氣壓計與標準壓力計相互比對，求算轉換公式，其結果如圖7所示，這結果顯示此氣壓探針具有良好線性關係。

將此新設計的氣壓計裝置於海氣象浮標上，並於2015、2016與2017年進行實海域測試，共計歷經9個颱風的吹襲均能測得高品質的相對濕度資料，2015年的觀測資料如圖8所示，該圖除了顯示蘇迪勒(2015/08/07)與天鵝(2015/08/22)颱風侵襲期間的氣壓驟降外，亦清楚顯示每日變化的大氣潮現象。

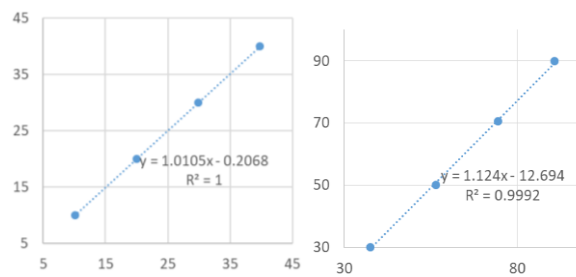


圖4：溫濕度計送至中央氣象局之校正結果，左圖：氣溫計，右圖：相對濕度計。

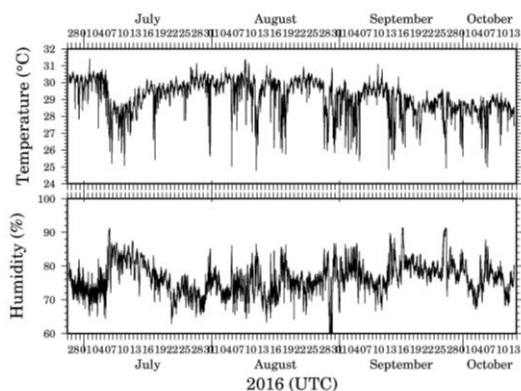


圖5：將新設計的氣溫與濕度計安裝於海氣象浮標所測得的海表面氣溫(上圖)與相對溼度(下圖)時間序列資料。



圖6：自製的氣壓計。

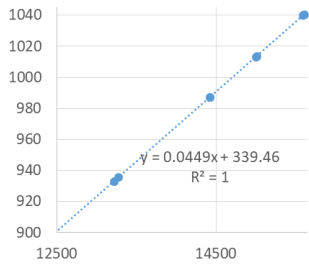


圖7：氣壓計與標準壓力計的比對結果。

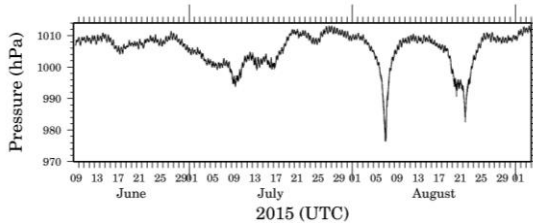


圖8：將新設計的氣壓計安裝於海氣象浮標所測得的海表面氣壓時間序列資料。

四、海表面溫度計

海表面溫度計是安裝於海氣象浮標的下架上，除了要防水外，亦要防止漁線的破壞。海表面溫度計使採用白金阻抗溫度元件 (platinum resistance thermometer)，其0°C時之電阻為1000Ω之PT-1000溫度感應元件，而元件是安裝於鈦合金內。電路板則外殼如同前述，是使用聚氯乙烯材質製作，可承受水深50公尺的壓力，其外觀如圖9所示。



圖9：自製的海表面溫度計。

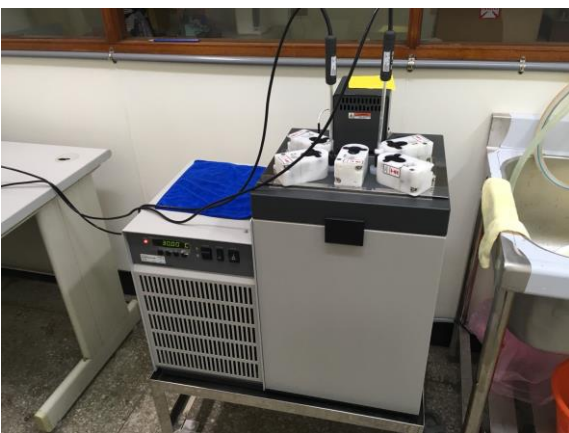


圖10：Fluke® 公司生產的7012型恆溫水槽、兩隻Fluke® 公司生產的5683型白金標準溫度計(位在水槽上方的黑色把手)、與5隻欲校正的溫度計。

海表面溫度計的校正與氣溫計的校正有所不同。水溫校正程序是將欲校正的溫度計放至Fluke® 公司生產的7012型恆溫水槽(如圖10所示; Fluke, 2018)，其穩定度可達 $\pm 0.0007\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，並且透過Fluke® 公司生產的兩隻5683型白金標準溫度計(Fluke, 2018)進行校正，而此二隻白金標準溫度計則是利用水的三相點進行校驗。海表面溫度計的校驗結果如圖11所示，這結果顯示此溫度探針具有良好線性關係。

將此新設計的氣壓計裝置於海氣象浮標上，並於2016與2017年進行實海域測試，共計歷經7個颱風的吹襲均能測得高品質的海表面溫度資料(如圖12所示)，而這寶貴資料可用來研究颱風期間的海氣熱通量交換與颱風冷尾跡之研究。

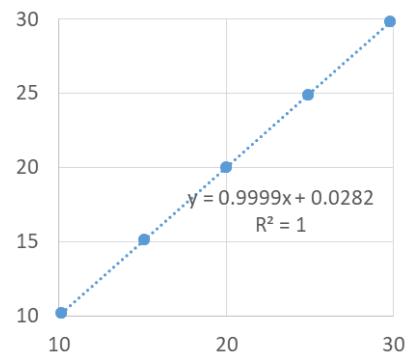


圖11：海表面溫度計回歸結果。

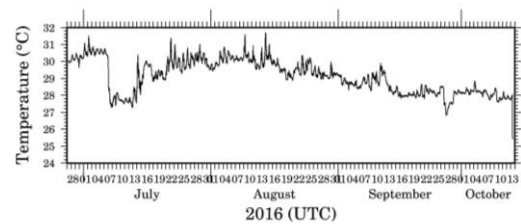


圖12：將新設計的海表面溫度計安裝於海氣象浮標下方所測得的海表面溫度時間序列資料。

六、觀測成果

將此一系列可耐惡劣環境的海氣象觀測儀器安裝於浮標上進行測試，在測試期間共計有9個颱風途經浮標附近海域。其中更有三個第五等級的強烈颱風經過浮標附近海域，分別是尼伯特、莫蘭蒂、與馬勒卡颱風。這些新設計的探針均能安然度過颱風的吹襲，測得寶貴的資料。其中尼伯特颱風在接近NTU2浮標期間曾經測得最低氣壓值911百帕，此時颱風中心離浮標約5.9公里。這證明了這些設計是有效的。

此外，在颱風暴風圈內的海氣熱通量變化，是研究颱風的重要數據。而海氣熱通量變化中的

可感熱通量(sensible heat flux)、潛熱通量(latent heat flux)與淨輻射通量等，需要氣溫、氣壓、相對濕度、海表面水溫、風速、長短波輻射等觀測數據進行計算。由於在颱風靠近浮標期間，這些觀測儀器均正常運作，於是計算海氣熱通量，研究颱風期間的海氣熱通量變化。

例如，圖13為尼伯特颱風期間NTU1浮標所測得的海氣熱通量變化，尼伯特颱風中心距離NTU1浮標的最近距離約為19.2公里。該圖顯示在平常白天期間的淨熱通量是以太陽的短波輻射(Q_{sw})為主，且是海洋獲得能量。到了颱風影響期間，則是潛熱通量(Q_{lat})為主，且是海洋提供能量給大氣。此外，在此期間因海水溫度高於氣溫，於是海洋也會提供可感熱通量(Q_{sen})給大氣，但遠小於潛熱通量。換句話說，此時海洋提供了能量給颱風，其最大能量通量可達 1600 W/m^2 以上(謝, 2017)。

而這些寶貴的觀測數據，可提供給數值模式運用，精進預報成果與降低預報誤差(Jan et al., 2017)。

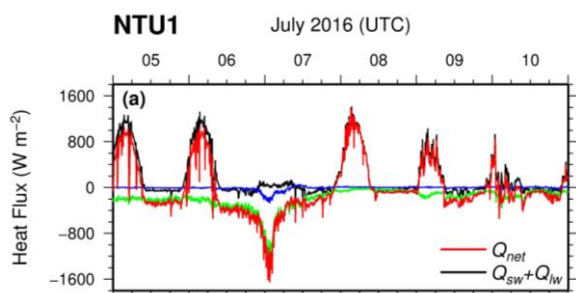


圖13：NTU1浮標於尼伯特颱風期間所測得的海氣熱通量變化，藍線為可感熱通量(Q_{sen})、綠線為潛熱通量(Q_{lat})、黑線為短波輻射(Q_{sw})與長波輻射(Q_{lw})之總和、紅線為淨熱通量(Q_{net})。

七、總結與未來發展

臺灣每年遭受颱風侵襲，其對於人民的生命與財產影響甚鉅。颱風的生命期大都是在海上，故持續改善海上觀測技術與增加海上觀測資料，除了可以及精進颱風與海洋之間交互作用的基礎科學研究、也可有效地提升颱風預報品質、提升災防效益。

參考文獻

- Chang, H.-I., Y.-F. Ma, W.-H. Her, Y. J. Yang, M.-H. Chang, S. Jan, and C.-L. Wei (2017): The NTU buoy for typhoon observation, part 1: system. *Oceans 2017, Aberdeen, UK*, 161202-008.
- Fluke (2018): <https://eu.flukecal.com/>

- Hsieh, C.-Y., Y.-F. Ma, S.-C. Shieh, W.-H. Her, H.-I. Chang, Y. J. Yang, M.-H. Chang, S. Jan, and C.-L. Wei (2017): The NTU buoy for typhoon observation, part 2: field tests. *Oceans 2017, Aberdeen, UK*, 161202-006.
- Jan, S., Y. J. Yang, H.-I. Chang, M.-H. Chang, and C.-L. Wei (2017): New data buoys watch typhoon within in the storm. *EOS*, 98, No. 7, 24-27.
- Keller (2018): <http://www.keller-druck.com/>
- Sensirion (2018): <http://www.Sensirion.com/>
- Vaisala (2018): <https://www.vaisala.com/>
- Yang, Y. J., H.-I. Chang, and C. Y. Hsieh (2018): The NTU Buoy for high-resolution typhoon observations. *Buoy Workshop 2018, Ann Arbor, MI, USA*, in press.
- 謝佳穎 (2017): 浮標觀測颱風中心附近海域的海氣象變化之研究. 國立臺灣大學海洋研究所碩士論文, pp. 85.