

超級颱風引起海洋上層水溫陡降機制

國立臺灣大學海洋研究所

楊穎堅、張明輝、謝佳穎、張宏毅、詹森、魏慶琳

颱風年年侵襲東亞，威脅海岸地帶近 10 億人口。2009 年中颱「莫拉克」橫掃南臺，導致六百多人喪生、超過一千五百億臺幣財損[1]；2013 年史上最強超級颱風「海燕」貫穿菲律賓，奪走六千多條人命，造成約六百億臺幣損失[2]。如果當時能更準確預報颱風而及早採取適當防範及避難措施，必能全面減輕災損。

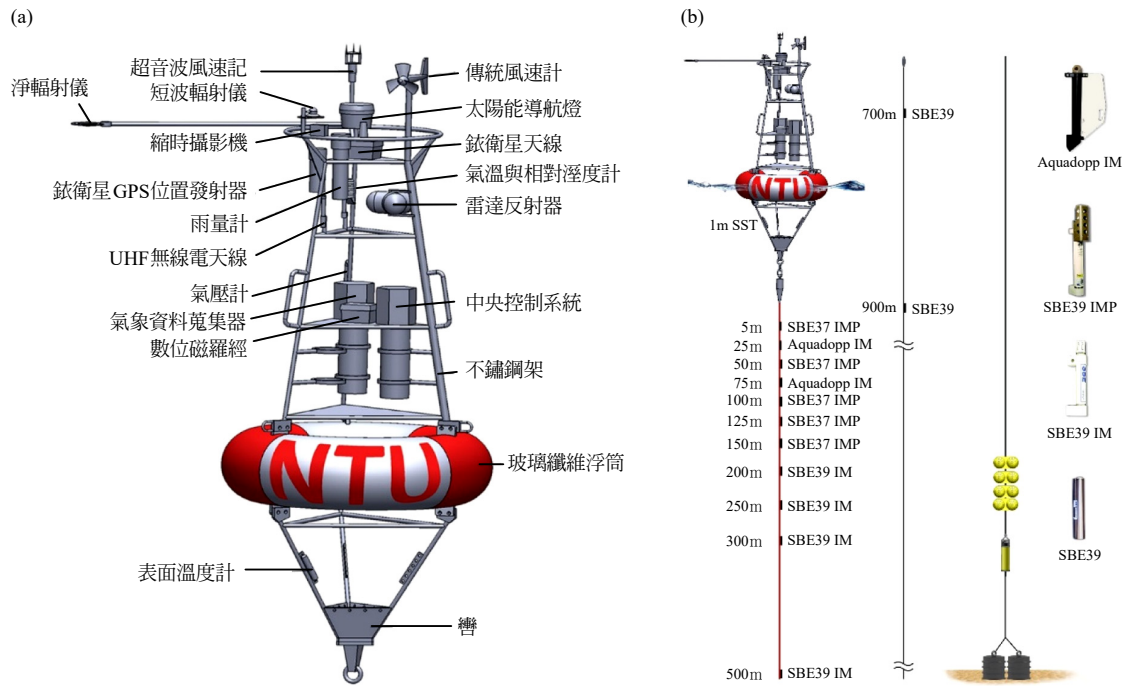
準確地預報颱風除了靠我們對海氣交互作用物理機制的認知，也要靠海洋現場關鍵的大氣和海洋觀測資料不斷地注入電腦數值模式，時時校驗、修正預報結果。現今科技加大量人造衛星遙測對颱風路徑預報已有長足進步，但因我們極缺乏對海洋與颱風互動的觀測，在颱風強度的預報上仍面臨很大的挑戰，尤其當颱風撲向臺灣前怎麼把握時機派研究船到海上「守株待兔」進行觀測或布放測量儀器，無異一群老鼠吵誰去貓脖子上掛鈴鐺一樣，幾乎是「不可能的任務」。但若能事先到選定的海域布放錨碇式的浮標去「堵」颱風，用各種先進的探測儀器自動量測關鍵大氣和海洋的性質，並以最快的速度傳回陸上的實驗室進行預報分析工作，既安全又有效。話雖如此，市面上買不到這種能一邊準確測量海氣性質、一邊又能快速回傳資料的商品化浮標，就算花大錢買得到這種浮標，也還得再準備一筆龐大經費請廠商布放、維護。

爲了挑戰這個艱難且近乎不可能的任務，臺大海洋所憑藉數十年養成的研究實力輔以海研一號貴儀中心精良的探測技術，2015 年（莫拉克 6 年後）由時任所長的魏慶琳教授領軍，集合海洋物理專長的教師和電子、機械、錨碇探測和資訊專長的技術人員組成浮標團隊，採「破壞式的創新」概念，善用有限的資源和人力，拆掉海氣象浮標上的舊品，突破技術瓶頸，換裝運用省電

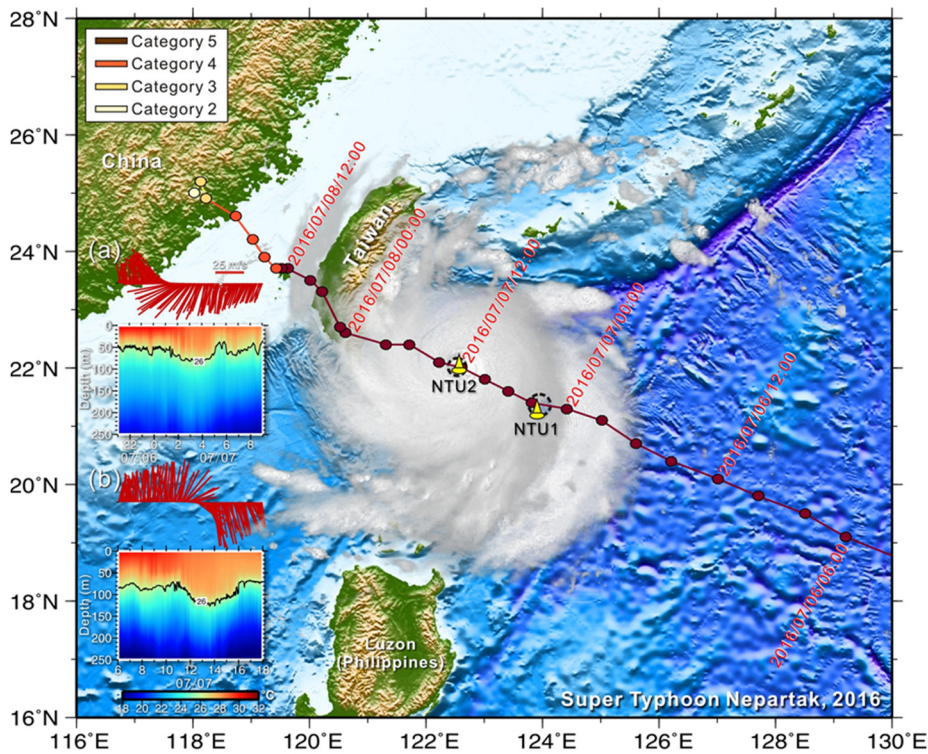
科技自力研發之中控系統與即時資料衛星傳輸、並可耐惡劣海況之進階版海氣象觀測浮標，其功能可觀測海表面之氣溫、氣壓、風速與風向、相對溼度、雨量、太陽輻射、波高與波向、海面下之溫度、鹽度、流速與流向等環境參數，且上層海洋 500 公尺的海洋環境資料及海表面氣象資料可藉由磁通量感應傳導數據機(Inductive Modem)與衛星通訊，近乎即時將資料傳送至臺大海洋所，之後再立即轉傳至中央氣象局供預報與防災單位單位運用。

自 2015 年起，臺大海氣象觀測浮標連年布放於颱風經過最頻繁，而現場觀測資料最缺乏的西北太平洋海域，期能捕捉颱風肆虐下的海氣象變化，研究狂風猛浪下的海氣交互作用。每年颱風季過後，將海氣象觀測浮標回收保養、並進行功能改善與提升。2016 年版的海氣象觀測浮標錨碇設計如圖一，將兩組此款之浮標於 6 月 26、27 日布放於臺灣東南外海的西北太平洋海域。5 天之後（7 月 2 日），西北太平洋史上最強的第一號颱風「尼伯特」於關島南方海域生成，7 月 7 日超級颱風「尼伯特」的颱風眼不偏不倚的通過兩組臺大海氣象觀測浮標所在的附近海域（如圖二）[3]，而這兩組浮標也成功地挺過颱風的肆虐摧殘，不負眾望地即時傳回現場精準的海氣象實測數據，幫忙我們解析瘋狂海象下，大氣與海洋互動的細膩過程，達成此艱鉅任務中的不可能任務，可謂以小搏大立大功。

這組史上第一回超級颱風中心沿路掃過兩個海洋浮標的觀測資料，幫大家釐清了一個三、四十年來的疑惑。大約在 1970、80 年代，科學家即已得知海洋上層的熱水可以孕育出颱風，颱風靠著不斷吸收海面上的熱氣茁壯，而暖水層不夠熱、熱能吸收的效益，則似乎取決於颱風眼



圖一 2016 年版海氣象觀測浮標。(a)海氣象浮標水面部分；(b)海氣象觀測浮標錨碇示意圖，水下掛載的儀器：Aquadopp IM 為具有磁通量感應傳導數據機之海流儀、SBE37 IMP 為具有磁通量感應傳導數據機之溫鹽深儀、SBE39 IM 與 SBE 39 分別為具有與不具有磁通量感應傳導數據機之溫深儀[4]。



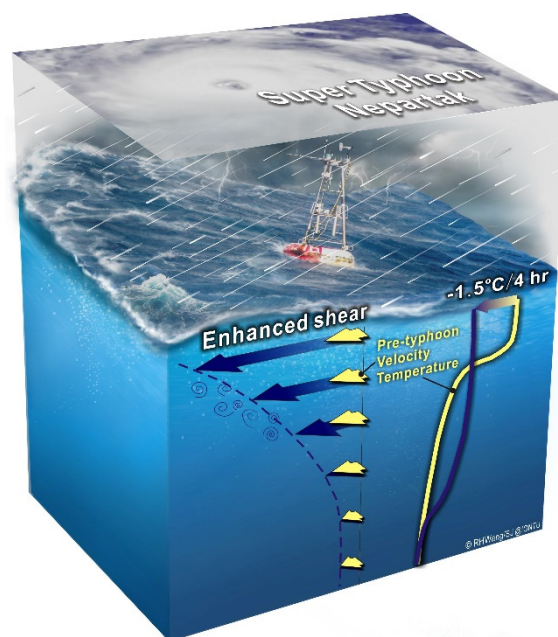
圖二 2016 年超級颱風「尼伯特」的颱風眼路徑，於 7 月 7 日不偏不倚地通過位於臺灣東南外海的兩組(NTU1 與 NTU2)海氣象觀測浮標所在的附近海域。NTU1 與 NTU2 兩組浮標所觀測到的海表面風場與上層海洋 250 公尺的溫度變化分別展示於圖(a)與圖(b) [3]。



圖三 裝置於 NTU2 浮標上的縮時攝影機於超級颱風「尼伯特」颱風眼靠近浮標之際所攝得的滔天巨浪。

經過當地海洋前後僅僅 10 小時內的關鍵期（稱為風直接影響期），但科學家始終苦於沒有海洋現場的高解析度觀測資料以解析個中道理，也不確定颱風過後溫暖的洋面如何變成冷水坑。這個謎團可說被兩組浮標一舉解密，揭露關鍵時刻大氣和海洋間互動的連續過程。兩組浮標資料顯示海水上層溫度於颱風眼到來之 4 小時內陡降 1.5°C （如圖二），然尼伯特的強度卻未增減，經詳細的數據分析與模式研究，發現了限制颱風成長的「吃快弄破碗」機制，原來表層水溫掉下去 1.5°C 的熱量，颱風只吃到一點點；從裝在浮標上的縮時攝影機拍到史無前例的超級颱風影像（如圖三）和海流儀資料來分析，此關鍵的 4 小時內海洋上層熱水雖被狂風、巨浪激起的水花散到颱風裡，但同時颱風自己又強迫表層海水快速向前衝，上層海流變快了，下層海流還姍姍來遲跟不上，上下層海水拖拉之間在水裡捲出無數大大小小的漩渦，底下冰冷的海水反而被迅速翻攪上了水面（如圖四），熱餐頓時成了冷飲，破壞了颱風繼續茁壯的機會，成了名符其實的「吃快弄破碗」。這項突破性的研究成果於 2019 年 4 月 9 日登在頂尖國際期刊 Nature Communications [4]，此一動力機制將用來改善颱風數值預報模式，朝準確預報颱風邁進一大步！

自 2015 年以來，浮標已記錄到 9 個颱風經



圖四 超級颱風引起海洋上層水溫陡降機制示意圖。在狂風吹襲下，近海表面的海流迅速被加速、但較深海域的海流則尚未感受到強風吹襲效應，形成流切不穩定進而產生眾多的小漩渦與強烈的垂直混和，造成表層海洋於 4 小時內，溫度陡降約 1.5°C 。

過時的海氣象變化，揭露本限制機制僅是其中一小部分的研究成果。這項「利他」行動的最終目標是要在 TOMATO (Towards Multiple Arrays for

Typhoon Observations)「多平台颱風觀測網」計畫下，建立西北太平洋海氣象浮標和水下滑翔機觀測陣列，捕風捉影守護臺灣，未來亦計畫跟菲律賓氣象單位及大學合作，擴大 TOMATO 防護網範圍。

這個重要的跨領域研究成果，不僅展現出基礎科學對於人類認識大自然的貢獻，也同時是另一個，關鍵的研究技術與儀器帶來突破性創新的例子，對於預警天然災害、減少國民生命財產損失，產生重要的貢獻。

參考文獻

- [1] 李維森，*莫拉克颱風之災情勘查與分析*。國家災害防救科技中心(2010)。
- [2] P. Shull, *Typhoon Haiyan Damage Summary*. Global Agricultural Information Network Report, USDA Foreign Agricultural Service (2013).
- [3] S. Jan, Y. J. Yang, H.-I Chang, M.-H. Chang and C.-L. Wei, New data buoys watch typhoon within in the storm. *EOS*, **98**, No. 7, 24-27 (2017).
- [4] Y. J. Yang, M.-H. Chang, C.-Y. Hsieh, H.-I Chang, S. Jan and C.-L. Wei, The role of enhanced velocity shears in rapid ocean cooling during Super Typhoon Nepartak 2016. *Nature Comm.*, **10**, 10.1038/s41467-019-09574-3 (2019).