

## [ 研究新領域報導 ]

## 超級颱風、全球暖化與海洋暖渦

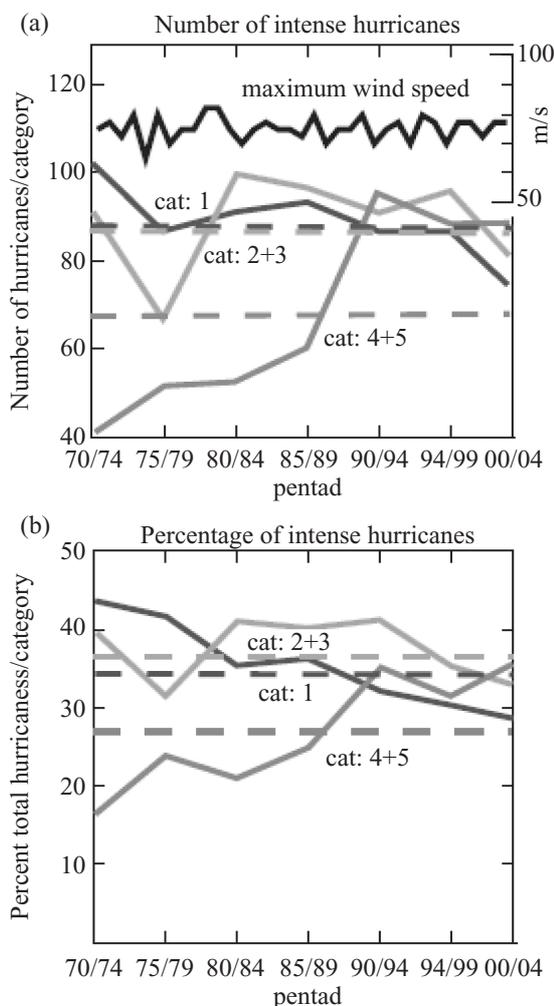
臺灣大學大氣科學系 吳俊傑、林依依

## 前言

2005 年破紀錄地有三個超級(最高的第 5 級)或接近超級的強烈颱風(海棠、泰利及龍王颱風),以完全不同的行徑自台灣東岸登陸侵襲台灣;同年,大西洋產生史無前例的 25 個熱帶風暴及颶風,其中三個達超級強度的 Katrina、Rita 及 Wilma 颶風接連侵襲美國紐奧良地區、德州及佛羅里達州,重創美國經濟民生。大家好奇要問的是:颱風(颶風)的發生頻率是否在增加?颱風(颶風)的強度是否在增強?而這些颱風活動的改變是否與所謂人為引起的全球增溫有關?值得注意的是,無論是太平洋或大西洋,都有許多超級颱風(颶風),如 2005 年太平洋上的超級颱風海棠及龍王,大西洋上的超級颶風 Katrina [1] 及 Rita 都被觀測到它們經過海洋的暖渦或暖洋流(warm eddies or loop current),也就在此時,這些颱風(颶風)的強度明顯迅速增強(rapid intensification),而到目前為止數值模式都無法成功地掌握這樣迅速增強的過程。本文即扼要介紹有關颱風與全球暖化之間可能的關係,及颱風與海洋暖渦(流)交互作用這兩項熱門的研究新領域。

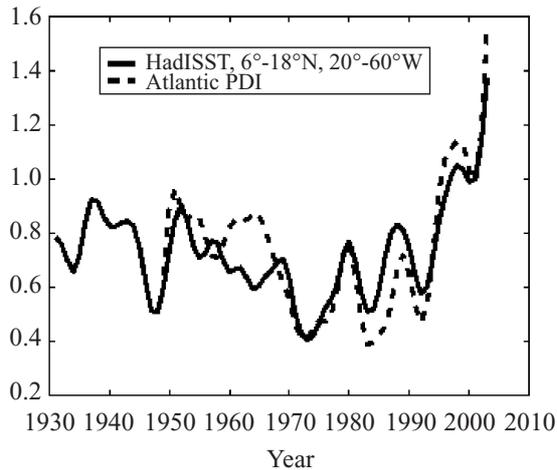
## 議題一：颱風正隨全球增溫起舞嗎？

過去理論與模式的研究皆指出,全球颱風的強度與颱風產生的降水現象會隨著全球增溫現象而增強[2]。2005 年九月美國喬治亞理工學院知名的 Peter Webster 教授及其研究團隊於科學(Science)期刊發表一篇研究成果,顯示過去三十年來全球颱風(颶風)強度也呈現與熱帶海洋表面溫度一致增加的趨勢,特別是強度最強的第四級及第五級颱風(颶風)個數,相對於較弱前三級颱風(颶風)個數的比例明顯增加(圖一)[3]。美國麻省理工學院著名學者 Kerry Emanuel 教授同年在 Nature 雜誌發表的論文則以風速的三次方定義颱風的威力耗散指數(PDI, Poulter dissipation



圖一 颱風強度以 Saffir-Simpson 尺度分為五級。(A)實線表示每五年間各級颱風總數量,虛線則表示 1970-2004 年間各級颱風的平均數量:第一級(藍線);第二、三級(綠線);第四、五級(紅線)。(B)同(A),表示各級颱風數量在颱風總數量中所占的百分比。(摘自 Webster et al. 2005 [3])

index),並發現這個指數從 1970 年後有明顯的增加 [4],文中指出 PDI 的趨勢來自於颱風生命週期的延長與颱風強度的增加。圖二顯示 PDI 和海平面溫度有高度的正相關,而海平面溫度又是一



圖二 年際總颱風能量的耗散指標(PDI)與九月份大西洋洋面的海溫隨時間變化的圖示。其中實線表示海表面溫度，虛線表示PDI的值。縱軸代表的PDI值已乘上 $2.1 \times 10^{-12}$ 的倍數。海溫資料是從哈德里中心海冰與海表面溫度資料(HadISST)取得。每年的總PDI值在過去30年來幾乎超過一倍。(摘自 Emanuel 2005 [4])

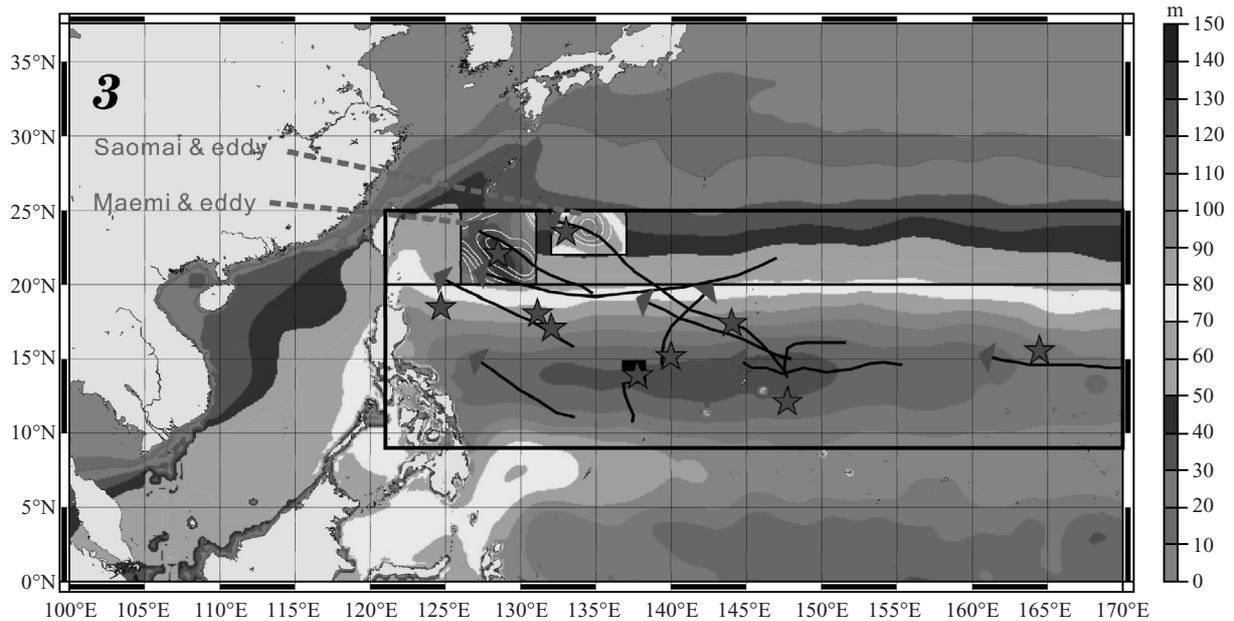
個相當好的氣候指標。因此 Emanuel 教授認為此FDI增加趨勢可能與全球暖化有關。

除了強度的變化外，”全球暖化是否有使颱風活動更加頻繁？”也是目前許多科學家熱中的議題。美國國家大氣研究中心氣候分析部的主持人 Dr. Trenberth 2005 年在科學(Science)雜誌中從物理觀點提出，當全球增溫而導致海表面溫度增加時，大氣對流的可用位能會因為海面水汽量及海面溫度的增加而增加，進而加強大氣對流發生的可能性，如此一來颱風的發生頻率就會增加 [2]。然而直到目前為止，颱風發生的頻率與全球暖化現象在氣候模式中並沒有相當高的一致性，也缺乏可以充分信賴的長期歷史資料。Webster 教授更指出，颱風發生頻率隨海表面溫度增加的趨勢只出現在北大西洋，其他海域即使海表面溫度也同樣隨著全球暖化而增加，卻並沒有這樣的情形。有許多學者指出，過去 30 年北大西洋熱帶風暴的增加，乃是北大西洋振盪的特徵。這是個約為 25 年的振盪週期，在 1970-1994 年間為颱風的不活躍期。預計 1995 年至 2020 年是北大西洋颱風的活躍期，這與目前的觀測相當一致，並非全然是全球暖化的反應。

當然氣候與颱風間的影響不應該是單向的，颱風活動也有可能影響到氣候的變化。Emanuel 教授在 2001 年的論文中提出，若海溫增加能使颱風活動更加活躍，則活躍的颱風活動所反饋引起的海洋混合作用可能會帶動海洋中的溫鹽環流，進而改變氣候動力系統，使熱帶大氣趨於穩定。如此一來，颱風的活動力有可能又會被抑制 [5]。然而，這個大膽提出的海洋反饋機制到目前為止仍無法被證實。無論如何，科學家認為瞭解颱風與氣候的關係不只能夠改進颱風發生頻率、強度與路徑的預報，也能進一步瞭解氣候系統的變化。而未來關於颱風與氣候的研究中，重點不單單在於不同氣候條件下颱風的發生頻率與強度是否增加或颱風的路徑是否受影響，也在於颱風又如何反饋影響海洋及氣候。

## 議題二：颱風和海洋暖渦、暖洋流的關係

如前言所述，除了上述關於全球暖化與颱風(颶)風之研究外，海洋中存在許許多多的擾動也對颶(颶)風強度造成明顯的影響。從近幾年的觀測研究中指出，許多超級或接近超級之強烈颱風，如 1995 年的超級強颶風 Opal、2003 年的超級颶風 Maemi，及最近的超級颶風海棠、龍王、超級颶風 Katrina 及 Rita 等都被觀測到當它們經過了海洋暖渦或暖洋流時強度快速增強 [1]。然而，這樣的快速增強過程到目前為止，是數值模式完全無法掌握的，更遑論預報。Hong 在 2000 年利用耦合模式針對 1995 年的 Opal 颶風與墨西哥灣流的角色進行模擬，發現 Opal 通過海洋中的海洋暖渦結構時，可透過海氣交互的過程迅速增強 Opal 的強度 [6]。近年來由於先進衛星觀測的使用，海洋暖渦能夠更清楚地被觀測到。2005 年我們利用 NASA 的 TOPEX/Poseidon 及 JASON 衛星測高儀等五種衛星之觀測及輸入到颶風海洋的耦合模式，發現超級強烈颶風和上層海洋溫度結構的重要關係 [7]，並針對超級強烈颶風 Maemi 與太平洋上暖渦間交互作用進行詳細的探討，進而提出一個新的物理詮釋，即海洋暖渦扮演海上阻絕颶風與深層冷海水交互作用的阻隔層(insulator)角色。由於深厚混合層的暖渦存在，使颶風在此區域造成的海表面溫度下降較小。雖然 Maemi 迅速增強的過程並不一定需要暖渦的存在才會發生，但數值實驗顯示有暖渦



圖三 過去 8 年(1998-2005)夏天西北太平洋上所有超級颱風皆為經過超級增強區而形成的。此超級增強區的北區(東經 120-170 度, 北緯 20-25 度)為西北太平洋暖渦最多區, 而南區(東經 120-170 度, 北緯 10-20 度)為西北太平洋的暖水層最厚處。(摘自 Lin et al. 2005b [8])

時 Maemi 的強度比沒有暖渦時增強一級。此一觀念在我們另一篇新論文中有更明確的討論 [8], 文中指出, 根據過去六十年的觀測資料顯示, 在西北太平洋上的超級颱風雖然路徑含蓋整個西北太平洋洋面, 但是主要的增強過程卻只侷限在東經 120-170 度, 北緯 10-25 度這個區域, 我們稱此海域為超級增強區(super intensification zone)。我們的研究顯示, 這塊區域的暖水(26 °C 以上的海水)較周遭海域深厚許多, 通常可深達 100-150 公尺, 而在此區外卻頂多達 50 公尺深, 這個超級增強區內深厚的暖水層就能扮演上述的阻隔層角色。為何此區域可以有如此深的暖水呢? 我們發現此區域可分為南北兩區, 南區位在東經 120-170 度、北緯 10-20 度, 正處在西北太平洋暖水層最厚之處, 而北區位在東經 120-170 度、北緯 20-25 度, 正是西北太平洋暖渦最多的區域(圖三)。

Cione and Uhlho 等人[9]在 2003 年的研究中指出, 颱風經過洋面的增強過程只有在颱風引起的中心海表面溫度冷卻作用小於 1.5 °C 才會發生。根據數值模式的估算, 在一般海域中當颱風強度達到第二級時, 颱風所引起的中心海表面溫度冷卻作用就已經達 1.2 度, 而四級颱風的風速更能引起高達 3.5 度強的海表面溫度冷卻作用。

然而在上述的超級增強區內, 即使颱風強度到達第四級, 由於暖水層足夠深厚, 海表面溫度的冷卻作用也僅有 0.9 度, 因此這些暖渦區及厚暖水層皆可視為西北太平洋的超級颱風推進器 (supertyphoon booster)。圖三顯示, 過去 8 年 (1998-2005) 夏天西北太平洋上所有 13 個超級颱風皆為經過這個推進器而迅速增強形成的。

除了暖渦外海洋中也有暖洋流的存在, 如墨西哥灣流與西北太平洋上的黑潮, 暖洋流與暖渦的最大差異就是暖洋流是有流速的, 而且比一般海面水流的流速大, 這點差異使颱風與暖洋流間的交互作用呈現與暖渦不同的反應。透過上述討論, 我們相信若能更進一步瞭解颱風與海洋暖渦或暖洋流間的交互作用, 並將這些海洋特性放入耦合模式中, 當能對於颱風強度的預報有所改進。我們也正在設計數值實驗以進一步回答此一重要的科學新問題。

## 結 語

從上述各項議題可以瞭解, 在未來的研究中具有挑戰性的科學議題有: 海洋暖渦及洋流與颱風間的交互作用、全球變遷(暖化)如何影響到颱風活動、颱風對於氣候的反饋, 及當考慮海洋回饋角色時, 颱風與氣候的新關係等。目前極度欠

缺的是更完備的颱風週遭即時大氣及海洋觀測資料、發展成熟的海氣耦合模式及更精準的氣候模式。近年國科會所支持的追風計畫[10]，乃針對改進颱風路徑預報及周遭結構分析的即時颱風飛機觀測，這項具前瞻性的進展已為台灣的颱風研究開啓新頁，並在國際間佔有一席之地。我們相信在國內颱風研究團隊的持續努力下，應能進一步對颱風與海洋及氣候交互作用的觀測、數值模擬及理論研究有更多突破。

#### 參考文獻

- [1] R. Scharroo, H.H. Cornish, W.H.F. Smith and J. L. Lillibridge, *EOS*, **86**, 366 (2005).
- [2] K. E. Trenberth, *Science*, **308**, 1753 (2005).
- [3] P. J. Webster, G. J. Holland, J. A. Curry and H.-R. Chang, *Science*, **309**, 1844 (2005).
- [4] K. A. Emanuel, *Nature*, **436**, 686 (2005).
- [5] K. A. Emanuel, *J. Geophys. Res.*, **106**, 14771-14782 (2001).
- [6] X. Hong and S. W. Chang, S. Raman, L. K. Shay and R. Hodur, *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1347-1465 (2000).
- [7] I-I Lin, C.-C. Wu, K. A. Emanuel, I.-H. Lee, C.-R. Wu and I.-F. Pun, *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 2635-2649 (2005).
- [8] I-I Lin, C.-C. Wu and I.-F. Pun, Submitted to *Bull. Ameri. Meteor. Soc.* (2005).
- [9] J.J. Cione and E. W. Uhlhorn, *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1783-1796 (2003).
- [10] C.-C. Wu et al., *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, 787-790 (2005).