

應用 SSM/I 資料分析客觀潛力指數與颱風強度變化之關係

林昆緯¹ 劉振榮²

國立中央大學大氣物理研究所碩士班¹

國立中央大學太空及遙測研究中心²

摘要

颱風在海洋上面移動時，能量主要來自於海洋，了解海氣間的交互作用有助於我們掌握颱風強度的變化。

本研究使用 SSM/I 觀測資料求取客觀潛力指數(Objective Potential Index; OPI)，並用以分析 2004 年的熱帶氣旋，藉此了解海氣交互作用對於颱風強度變化的影響，以期找出一個有助於了解颱風強度變化的參考指標。

研究結果顯示：OPI 與颱風強度的時序分析上，顯示兩者之間具有明顯的相關性，若在考慮季節上的差異，結果顯示 2 月到 9 月的個案有較佳的相關性且不受颱風強度種類(Category) 的影響(相關係數約為 0.6)，隱含利用 OPI 於颱風強度的分析上有季節上使用的限制。造成這個結果的原因，除了 OPI 反演係數所造成的影響外，9 月以後颱風天氣型態的不同也有可能為原因之一。整體而言，本研究顯示 OPI 具有對颱風強度變化上的監測潛力，值得進一步地探討。

一、前言

颱風是影響台灣地區主要劇烈天氣系統之一，除了帶來豐沛的降雨外也帶來許多的災害，一直是大氣科學研究上的重要課題。

全球每年約有 80 個颱風生成，其中以西北太平洋生成的颱風個數最多，約有 26-27 個。颱風的行進方向，一般都受大範圍的氣流影響，在西北太平洋生成的颱風，主要受到太平洋副熱帶高壓環流所導引，隨著高氣壓的環流向西或是西北方向行進，而菲律賓、台灣、日本等地，因為地處颱風必經之路附近，所以常常受到颱風的侵襲而發生災害。根據氣象局統資料顯示，從 1897 年到 1992 年這 96 年內的資料，共有 335 個颱風侵襲台灣，平均每年有 3~4 個颱風侵襲台灣。

一般而言，颱風的生命期大半時間在海洋上，只能從少數的島嶼測站與船隻觀測得

到氣象資料，這些資訊往往不夠用於掌握颱風的動態與變化，所以過去經常利用偵察飛機進入颱風暴風圈進行實地觀測。自從有了氣象衛星後，又大大地增加海上觀測資料，並且隨著遙測技術的發展，能進一步求得到颱風的中心位置、強度、雲系的分布情況等資訊以更密切監測颱風的變動。但是自從 1987 年後西北太平洋停止偵察飛機觀測任務，應用衛星資料在海上颱風的監測上便幾乎扮演著全部的角色。

早期氣象衛星的觀測資料多為可見光以及紅外線頻道，利用衛星雲圖來判斷颱風的中心和強度，但是可見光以及紅外線頻道在使用上有明顯的缺點。可見光頻道於夜間無法獲得資料。紅外線頻道則易受雲層影響無法獲得雲下的海洋資訊。近二十幾年來，隨著儀器的進步以及遙測技術的成熟，兼具全

天候與透雲性的微波感測器逐漸成為了監測颱風的最佳選擇。

本研究的目的即在於運用衛星微波觀測了解海氣間交互作用與颱風強度的關係，在觀測資料缺乏的海洋上掌握颱風強度的變化。

颱風研究的課題大致上可以分成：颱風生成的研究、路徑的分析、強度的發展以及降水的估算。在研究強度的發展方面，Shay et al. (2000) 的研究顯示，當大西洋颶風 Opal 行經墨西哥灣上一處 warm core ring (WCR) 時，最大風速從 35 m/s 急遽增加到 60 m/s，最大風速半徑也由 40 km 縮小到 20 km，表示在這期間颶風 Opal 在強度上有明顯的增強。Lin et al. (2005) 針對 2003 年超級颱風 (Super Typhoon) Maemi 進行研究分析，提出位於太平洋上的 warm ocean eddies 可能是造成 Maemi 颱風在強度上急速增強的主因，除此之外 warm ocean eddies 在維持颱風強度上亦扮演了相當重要的角色。Wu et al. (2005) 利用模式模擬的結果顯示海氣交互作用在颱風的路徑及強度上的確會造成影響，特別是海表面溫度以及海水混合層的深度。項 (2002) 利用 SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) 衛星資料反演潛熱釋放量 (LHR)，分析 LHR 與 JTWC 所公布的中心最大風速之關係，結果顯示兩者之間相關性不錯，且有約 12 小時的時間延遲現象發生。徐 (2004) 利用 SSM/I 衛星資料反演 8 個海氣參數與颱風強度之間的相關性，結果顯示海氣參數的變化趨勢與颱風強度變化一致，但是無法明確地了解不同類型颱風個案之間海氣參數的差異。此外，發現海氣參數的變化與颱風強度之間存在著時間差 (Time Lag)，研究結果顯示未來 12 小時颱風到達的區域其海氣參數的變化與颱風強度有最好的相關性。

Liu et al. (2001) 利用 SSM/I 和 GMS-5

衛星建立一套反演近海面空氣溫度及溼度的方法及流程於研究海氣交互作用的研究上。Liu et al. (2002) 更進一步地提出一套方法將 SSM/I 所反演的各種海氣參數結合成一個可以描述整體海氣交互作用強弱程度與其變化趨勢的客觀潛力指數 (Objective Potential Index, OPI)，並且實際運用於中尺度對流 (mesoscale convective system, MCS) 發展的研究上，獲得不錯的成果。

綜觀前人的研究結果顯示海氣交互作用與颱風強度兩者之間有著顯著的關係。除此之外，前人的研究也表示未來可以應用客觀潛力指數於颱風的研究上。因此，本研究應用 Liu et al. (2002) 提出的方法，將 SSM/I 衛星資料反演得到的海氣參數以及這些海氣參數所估算的客觀潛力指數，分析 2004 年西北太平洋熱帶氣旋的強度變化。藉由分析客觀潛力指數與颱風強度之間的相關性，了解海交互作用對於颱風強度上的影響，希望可以提供一個有助於了解颱風強度變化的參考指標。

本文總共分成六個章節，第二章介紹本研究所使用的資料以及觀測儀器的介紹；第三章介紹研究方法與參數反演；第四章分析 2004 年西北太平洋上熱帶氣旋的個案，並探討其強度的變化與客觀潛力指數的關係；第五章為結論與未來展望。

二、資料來源與儀器介紹：

本研究所使用的資料包括了 SSM/I 衛星資料以及 JTWC 的最佳路徑資料。

(一) SSM/I 衛星資料

搭載於美國空軍 DMSP 系列衛星上的微波幅射儀 SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager)。由 NOAA 網站 (<http://www.class.noaa.gov/>) 所提供，總共有 F-13、14 和 15 三顆衛星的資料，研究中所使用的資料範圍為東經 100~180 度，北緯 0~30 度，選取時間為 2004

年整年。

SSM/I 總共有四個頻率七個頻道，四個頻率分別為 19.35GHz、22.235GHz、37.0GHz、85.5GHz（以下分別各簡稱為 19GHz、22GHz、37GHz、85GHz），除了 22GHz 只有垂直極化頻道外，另外三個頻率都有垂直極化與水平極化頻道。各個頻道的空間解析度，除了 85GHz 為 12.5 公里外，其餘三個頻率解析度為 25 公里。

雖然微波可以穿透雲層，但是仍然會受到降雨的影響，尤其是強降水。所以參考 Goodberlet et al. (1989, 1992) 利用 SSM/I 衛星資料依不同頻道的亮溫差來區分降水強度及其在反演海面風速時的誤差範圍。在本研究中只要濾除強降水對於微波資料的影響，因此參考降雨指標為 2，其濾除的門檻值為 $(T_b(37V) - T_b(37H)) < 30K$

(二) JTWC 最佳路徑資料

颱風的中心位置和最大風速的資料使用美國聯合颱風警報中心 (JTWC) 的最佳路徑資料，由 JTWC 網站 (<http://www.npmoc.navy.mil/jtwc.html>) 下載取得，使用時間與區域為 2004 年西北太平洋。JTWC 的最佳路徑資料包含每六小時熱帶氣旋的中心位置和最大風速資料。

三、研究方法與參數反演

(一) 海氣參數的反演

劉和劉 (2000) 及 Liu et al. (2001) 利用 SSM/I 衛星資料反演得到八個海氣參數，分別為：海表面溫度 (T_s)、近海面空氣溫度 (T_a)、近海面空氣濕度 (Q_a)、近海面風速 (W_s)、海氣間可感熱通量 (SHF)、海氣間潛熱通量 (LHF)、海氣間溫度差 ($T_s - T_a$) 與海氣間濕度差 ($Q_s - Q_a$)。

在海表面溫度 (T_s)、近海面空氣濕度 (Q_a) 和近海面風速 (W_s) 反演方法上，採用劉和劉 (2000) 方法，建立其最佳迴歸方程式。

$$T_s = 118.186 + 3.458T_b(19V) - 1.799T_b(19H) - 2.417T_b(37V) + 1.119T_b(37H) + 0.414T_b(85V) - 0.136T_b(85H)$$

$$Q_a = -101.398 + 0.547T_b(19V) - 0.677T_b(37V) + 0.078T_b(37H) + 0.765T_b(85V) - 0.254T_b(85H)$$

$$W_s = 96.015 + 0.162T_b(19V) - 0.228T_b(22V) - 0.701T_b(37V) + 0.527T_b(37H)$$

近海面空氣溫度 (T_a) 的反演則使用 Bowen ratio 代入通量垂直剖面分布的關係 (flux profile relationship) 及總體參數公式 (bulk formula) 所得到的可感熱通量 (sensible heat flux; SHF) 及潛熱通量 (latent heat flux; LHF) 推導得到：

$$T_a = T_s - \left\{ 0.2 \times (Q_s - Q_a) \frac{Q_s(T)}{Q_a} \left[\frac{1}{\frac{\partial Q_s}{\partial T}} \right]_{T=T_s} \right\}$$

其中， $Q_s(T)$ 代表溫度為 T 時的飽和濕度， Q_s 表示海面溫度 T_s 時的飽和濕度。至於海氣間可感熱通量 (SHF) 與海氣間潛熱通量 (LHF) 的估算，則使用總體參數法求得，方程式如下：

$$SHF = -\rho C_p C_h (T_s - T_a) u$$

$$LHF = -l \rho C_e (Q_s - Q_a) u$$

其中 C_h 及 C_e 分別表示可感熱及潛熱通量的總體係數 (bulk coefficients)，下標 s 表示位於海平面之量場值，下標 a 表示近海面 10 公尺參考層之量場值， u 表示近海面 10 公尺參考層的風速， T 表示溫度， Q 為濕度， ρ 表示空氣密度， l 表示蒸發潛熱， C_p 為定壓比熱。最後剩下海氣間溫度差 ($T_s - T_a$) 與海氣間濕度差 ($Q_s - Q_a$)，由上述反演方法求得的各個海氣參數，即可容易得到。如此一來，八個海氣參數就可以獲得。

(二) 客觀潛力指數的估算

本研究使用 Liu et al. (2002) 所提出的方法，將上述這些海氣參數合成了一個新的參考指標—客觀潛力指數。這個指標除了包含各種海氣參數數值的訊息外，也包含了該參數在時間序列上的變化趨勢。

Liu et al.(2002)收集了 SSM/I 與 GMS-5 的衛星資料，時間為 1997 年到 1999 年五、六月，範圍為東經 110 度到 125 度；北緯 15 度到 30 度。將 SSM/I 資料由上述方法反演成各個海氣參數，並且求取其平均值加減 3 倍標準差的值為最大值與最小值，使用線性內插的方法讓所有的海氣參數資料分布在 0~1 之間 (max.=1; min.=0)，表示為參數 (a)。將同樣的方法運用在海氣參數每日的變化量上，表示為參數 (b)。再將 (a)、(b) 兩參數相乘得到一個新的合成指數 I_x ($x=1\sim 8$; 表示其中一個海氣參數)，將合成指數與 GMS-5 亮度溫度兩者的相關係數定義為各個海氣參數合成指數的權重 (W_x)，最後得到客觀指數 OPI 的計算式為：

$$OPI = \sum_{x=1}^8 W_x \times I_x$$

當 OPI 數值越大時代表越有利於中尺度對流系統的生成與發展。

(三) 客觀潛力指數與颱風強度之匹配

圖 1 為客觀潛力指數與颱風強度匹配關係的示意圖，SSM/I 衛星資料反演後，可以得到一天一筆的各個海氣參數，然而在客觀潛力指數的計算上，需要當天與前一天的海氣參數，即為圖中 Day 0 與 Day 1 所示，由這兩天的海氣參數資料，就可以計算得到 Day 1 的客觀潛力指數，再由 JTWC 最佳路徑資料，根據下一天 (Day 2) 颱風的中心位置，取半徑 200 km (約兩個經緯度) 的圓形區域累加起，由於區域內所計算的點數都不相同，為了後面分析的方便，再除上累加的點數，表示當天 OPI 的平均值，然後再與 Day 2 的颱風強度比較，求得兩者之間的相關性。

四、分析與討論

(一) 定性分析

利用 SSM/I 衛星資料反演計算後得到每天一筆客觀潛力指數，將計算出來的 OPI 分

布圖套疊颱風路徑 (見圖 2)，圖中為個案納坦，時間是 2004 年 10 月 18 日，從 OPI 的分布圖可以明顯的看到，在颱風行進方向的前方區域，所計算出來的 OPI 數值都較其他區域來的高，最大數值約為 0.65，周圍數值大約為 0.4 到 0.6，根據 JTWC 所公布的最佳路徑資料，颱風會於 19 日時經過該區域，OPI 數值的大小表示了海氣交互作用的強弱，代表該區域有利於颱風的發展，而 18 日當時納坦颱風位於關島東南方的海域上，強度為 65 knots，19 日後強度增強到 90 knots，相當符合 OPI 所估算的結果。

再來比較圖 3 的結果，所選取的個案為妮達颱風，時間是 2004 年 05 月 18 日，在颱風形進方向的前方區域，整體的 OPI 數值比較偏低，大約為 0.3 上下，從 OPI 的分析來看，此區域的海氣交互作用較弱，不利於系統的發展，而此時妮達颱風行經菲律賓東方的海域上，路徑由 17 日的西北方轉向北方，18 日時轉向北北東前進，颱風強度為 125 knots，19 日後行徑上述海域，強度減弱為 90 knots，與 OPI 所估算的結果相當一致。

本研究總共分析的 2004 年 32 個個案，扣除因為觀測資料過少的兩個個案 (瑪瑙與馬勒卡)，剩餘 30 個個案中，OPI 數值的分布與颱風強度的變化大致上都相當符合。

(二) 歸納分析

本研究分析 2004 年總共 30 個個案，將每個個案逐日所計算的 OPI 平均值與颱風強度對照，可以明顯的看出兩者個趨勢都相當的符合 (見圖 4)。接著計算每個個案 OPI 平均值與颱風強度的相關係數，依照熱帶氣旋生成時間排列，結果如圖 5 所示。生成的時間由 2004 年的 2 月到 12 月，依照颱風強度的不同給予不同的圖示符號表示，例如：圓形所表示為第五級颱風 (依照 JTWC 所提出的颱風分級表)。從圖 4 可以看出，相關係數的大小與颱風強度較無顯著的關係，表示藉

由 OPI 數值的大小來判斷颱風強度的變化是可以適用於任何強度的熱帶氣旋，除此之外，亦可以明顯的看出，較高的相關係數集中在 2 月到 9 月的個案上，9 月、10 月以後兩者的相關性較低。這可能與 OPI 的計算方式有關係，由於 Liu et al. (2002) 所提出計算 OPI 的方法，當時是應用於梅雨季 MCS 的發展上，所選取用來建立反演與估算的資料為 5、6 月，所以在 5、6 月的結果較為理想，而 9 月以後的結果較差。

五、結論與未來展望

本研究使用 SSM/I 衛星資料求取客觀潛力指數，並且用以分析 2004 年熱帶氣旋的強度變化上，研究結果顯示客觀潛力指數與颱風強度的時序分析上，兩者有不錯的相關性。

若將所有個案計算之 OPI 與颱風強度的相關係數依季節分佈後，顯示利用 OPI 來判斷熱帶氣旋的發展是可行的，且使用上沒有強度上的限制，其中 OPI 與發生於 2 到 9 月的氣旋強度變化之相關性較佳（相關係數約為 0.6）。顯示藉由客觀潛力指數之數值的大小來判斷颱風強度的變化可以適用於任何強度的熱帶氣旋，不單單只適用於強度較強或是較弱的颱風，但是卻有季節上的使用限制，應用於 9 月以前的颱風會得到較好的結果而不適用於 9 月以後的颱風（即所謂的“秋颱”）。

除了可能因為秋颱常常有鋒面或是東北季風共伴效應的影響外，可能有其他的因素影響颱風強度的變化，降低海氣交互作用對颱風強度變化的影響。海氣環境能量的提供促使颱風成長外，降雨的潛熱釋放可能在颱風強度的變化也扮演了相當重要的角色。未來可以考慮將潛熱釋放的因素放入客觀潛力指數中，以增加對颱風強度變化的掌握。Liu et al. (2002) 發展出來利用 SSM/I 衛星資料反演海氣參數，並且加以計算得到客觀潛力

指數，該研究主要針對梅雨季時 MCS 的發展所設計，因此在海氣參數的反演以及客觀潛力指數的計算上，僅僅只有使用 1997 年到 1999 年的 5、6 月間的觀測資料。本研究應用此方法於颱風強度的研究上，由於颱風生成及發展的時間並非只有 5、6 月，因此可能需要使用更長時間的衛星資料來修正反演以及計算的參數值。此外，這亦有可能造成研究結果在 2 月到 9 月的表現較好而 9 月以後結果較差的原因之一。

除此之外，本研究並沒有如 Lin et al. (2005) 或 Shay et al. (2000) 的研究中，採取較長時間的平均值，而只有針對客觀潛力指數在 1 天時間上的變化與颱風強度進行探討，可能是因為 Liu et al. (2002) 之 OPI 的實驗設計所針對的是 MCS 的發展，而 MCS 時間尺度大多為半天到一天，不如颱風長達約為 5~7 天的時間尺度，所以在應用上也較與 Lin et al. (2005) 和 Shay et al. (2000) 的研究不同。

整體而言，本研究顯示 OPI 具有對颱風強度變化上的監測潛力，值得進一步地探討。

首先是改良海氣參數的反演與 OPI 的估算，在改良 OPI 計算方式部分，由於前人研究所發展 OPI 之計算方式為針對梅雨季節時的中尺度對流，在權重函數的計算方面只有考慮 1997 年到 1999 年的 5、6 月份，未來如果要應用 OPI 方法在颱風研究上，則建議使用整年的觀測資料來重新計算其加權函數。在其他海氣參數反演部份，本研究使用前人研究結果的反演方程式 (Liu et al., 2002)，在計算可感熱及潛熱通量方面，其總體係數為代入一常數計算之。然而總體係數會隨著風速大小改變，但是由於前人研究的目標為中尺度對流，風速上的改變量不大，因此代入常數計算仍算合理。本研究的探討目標為颱風，在其生命期間風速的變化量大，因此總體係數不適合代入常數計算，未來的研究則

可以改進此一缺點。

其次是本研究中並沒有針對 OPI 設定出一個閾值來判斷颱風強度是否增強或是減弱，僅有討論 OPI 數值的變化與颱風強度之間的關係。

最後為研究中所用的濾雨機制，本研究所使用 Goodberlet and Swift (1992) 所提出的降雨閾值，但是於研究中發現此閾值所濾除的區域過大，而且 Goodberlet 等人當時的研究為針對風速反演所設計的降雨指標，是否適用於 OPI 的演算法中？未來可以嘗試其他的降雨閾值或是方法以改善濾雨機制。

除此之外，在衛星資料的運用方面，本研究只有使用 SSM/I 的觀測資料，在研究結果中顯示，有時候會因為颱風位於衛星的掃描間隔內而造成資料的缺乏，進而影響研究的結果。未來可以加入其他衛星資料（例如：AMSU、TRMM-TMI）來彌補因使用單一衛星資料所造成資料缺乏的問題。

參考文獻

- 劉崇治與劉振榮，2000：應用衛星資料在梅雨季海上中尺度對流系統生成前兆之初步探討。《大氣科學》，第二十八期，第四號，317-341 頁。
- 徐敏章，2004：應用衛星資料分析海氣參數與颱風強度變化之關係。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，104 頁
- 項義華，2002：應用 SSM/I 衛星資料分析桃芝與納莉颱風之降宇及海氣參數的變化。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，92 頁
- 劉崇治，2001：衛星資料反演海氣參數及其在梅雨期海上中尺度對流系統生成發展之應用。國立中央大學大氣物理研究所博士論文，165 頁。
- Goodberlet, M. A., and C. T. Swift, 1992: Improved retrievals from DMSP wind

speed algorithm under adverse weather conditions. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **30**, 1076-1077.

- Lin, I-I, C.-C. Wu, Kerry 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.
- Liu, G.-R., C.-C. Liu, and T.-H. Kuo, 2001: A contrast and comparison of near-sea surface air temperature/humidity from GMS and SSM/I data with an improved algorithm. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **39**, 2148-2157.
- Liu, G.-R., C.-C. Liu, and T.-H. Kuo, 2002: A satellite-derived Objective Potential Index for MCS development during the Mei-Yu Preperiod. *J. Meteor. Soc. Japan.*, **80**, 503-517.
- Shay, L. K., G. J. Goni, and P. G. Black, 2000: Effects of warm oceanic feature on hurricane Opal. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1366-1383.
- Wu, L., B. Wang, and S. A. Braun, 2005: Impacts of air-sea interaction on tropical track and intensity. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 3299-3314.

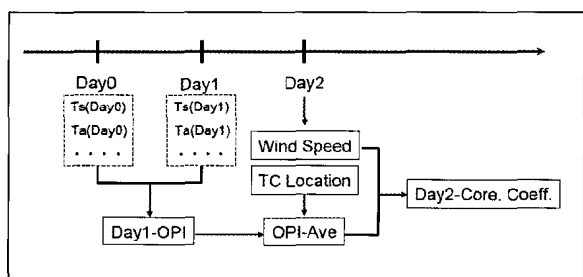


圖 1 客觀潛力指數與颱風強度匹配關係示意圖。

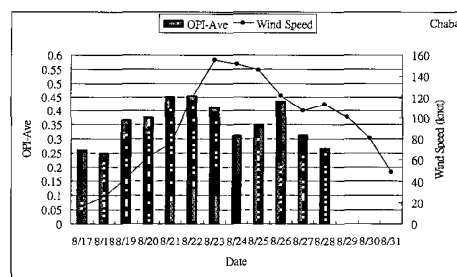


圖 4 OPI 平均值與颱風強度關係圖，橫軸為時間，左方縱軸表示 OPI 數值大小，右方縱軸表示颱風強度大小〈單位：knots〉，直方圖表示 OPI 平均值，紅線表示颱風強度。佳芭颱風個案。

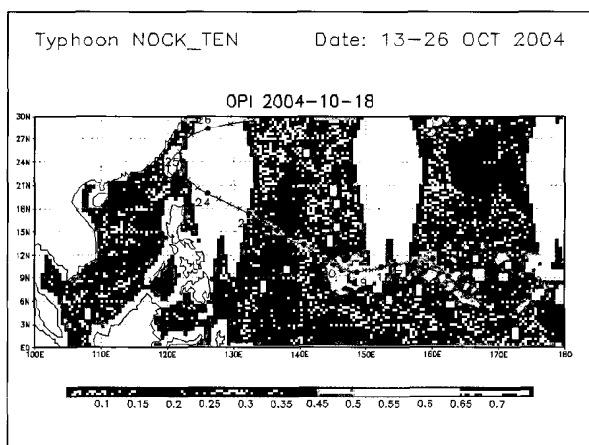


圖 2 OPI 數值套疊颱風路徑圖，2004 年 10 月 18 日，納坦颱風個案。彩色區塊表示 OPI 值的大小，黑色實線表示颱風路徑，黑色實心圓代表 00Z 時颱風中心的位置，旁邊的數字為日期。

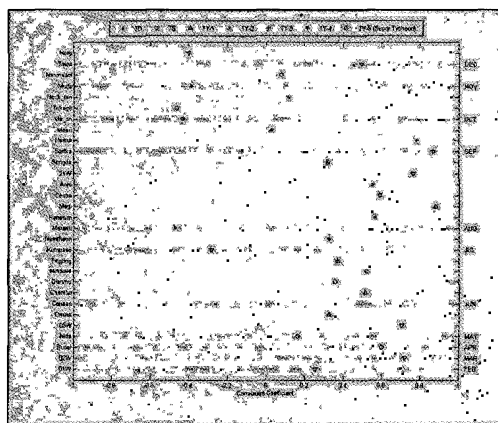


圖 5 2004 年所有熱帶氣旋個案，OPI 與颱風強度相關係數分布圖，橫軸為相關係數，左方縱軸為熱帶氣旋名稱，右方縱軸為氣旋生成時的月份，不同的圖示表示不同的颱風強度。

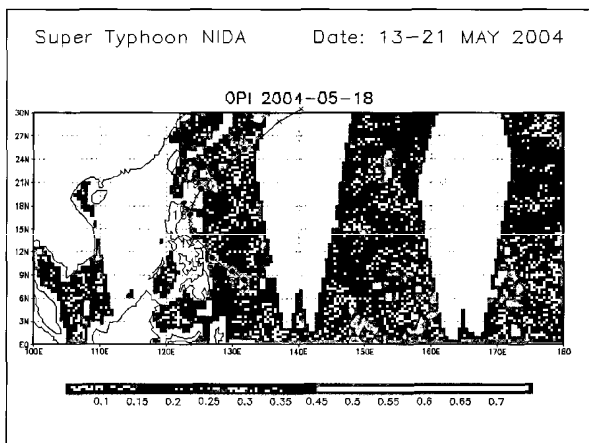


圖 3 同圖 1，但時間為 2004 年 05 月 18 日，妮達颱風個案。

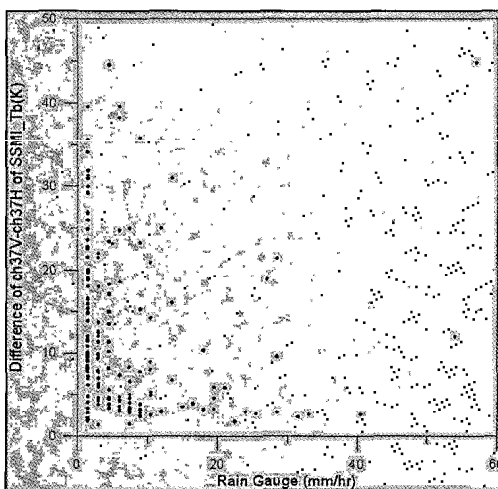


圖 6 SSM/I 衛星資料 37GHz 水平與垂直極化亮度溫度差值與降雨強度分布圖。

Using Object Potential Index from SSM/I Data to Analyze Typhoon Intensity Change

Kun-Wei Lin¹ Gin-Rong Liu²

¹ Institute of Atmospheric Physics, NCU

² Center for Space and Remote Sensing Research, NCU

ABSTRACT

Air-sea interactions play an important role in typhoon intensity changes. An investigation is presented to delineate the impacts of the air-sea interaction on the typhoon intensity changes via the Objective Potential Index (OPI). The index is derived from SSM/I data, where an analysis is conducted on the tropical cyclones that occurred in 2004.

A time series analysis was performed between the OPI and typhoon intensity, along with the plotting of distribution figures during the development of a typhoon. It can be seen that a better relationship seemed to exist between the OPI and typhoon intensity changes during February to September, regardless of the typhoon category (the correlation coefficient is about 0.6). This could imply that the application of an OPI analysis on typhoons may need further modifications due to the seasonal influence. Factors contributing to this phenomenon may be attributed to the calculation errors arising from the OPI weighting function, or the different inherent seasonal weather types of typhoons. Basically, this study demonstrates that the OPI index possesses potential in monitoring typhoon intensity changes.