

應用線性判別分析法改善衛星資料估算颱風生成潛勢指標之研究

鄭宇凱 張文弘 黃建齊

空軍氣象聯隊氣象中心

摘要

颱風的生成發展機制目前尚未能完全被瞭解，因此本研究嘗試分析熱帶雲簇能否發展成為颱風的關鍵海氣環境條件。首先收集洋面上發展雲簇與非發展雲簇個案，應用統計學上的線性判別分析 (Linear Discriminant Analysis, LDA) 方法，以歸納此兩類雲簇間海氣環境條件的差異性，進而做為颱風生成潛勢之預報參考。再以發生於 2010 年至 2013 年間 83 個獨立颱風個案進行驗證，並將判別函數換算為颱風生成機率分佈圖。本研究結果顯示：若設定 60% 發展機率為門檻值，本方法預報發展個案命中率達 96.4%，且平均可早於 JTWC 發佈 TS 警報前 53.1 小時發佈颱風生成預警。

關鍵字：颱風生成、熱帶雲簇、海氣參數、線性判別分析

一、前言

颱風為中低緯度夏秋兩季常見的劇烈天氣系統，而臺灣位處於颱風生成頻繁的西北太平洋海域，颱風與臺灣的關係密不可分，且其所帶來的影響不容小覷。雖然颱風來襲時的強風及驟雨，對臺灣所造成的災害比率，但夏季臺灣地區的總降雨量中，有百分之六十來自於颱風的貢獻 (中央氣象局網站)，為臺灣夏秋兩季水資源主要的供應者，亦為決定臺灣地區當年是否有旱象之主要因子。

颱風的生成及發展過程大部分於洋面上進行，在廣大海洋上無法建立大量的氣象觀測站，氣象資料只有從分佈鬆散的島嶼測站及航行船隻觀測收集而得。然而，在分析與決策的過程只憑少許資訊是相當不可行的，因此應用衛星及模式資料以探究颱風實為可行之方法。自從西北太平洋地區停止偵察飛機常規實地觀測任務之後，衛星觀測已成為掌握颱風資訊的主要工具。

二、文獻回顧

颱風生成需要配合極佳的環境場才有可能發生的，Schumacher et al. (2009) 曾提及颱風生成這類的天氣現象是很罕見的，因此在小區域預報其生成機率是項挑戰。Palmen (1948) 最早提出海溫高於 26°C 為形成颱風的必要條件。此外，Gray (1968) 提出了六項有利於颱風生成的環境條件，可分為三個熱力條件及三個動力條件，動力條件為：正且大的低層渦度、弱的垂直風切及足夠的科氏力效應；熱力條件則為：海水溫度大於 26.5°C 之洋面上、強的條件不穩定度及相對溼度大於 70% 的中層大氣，McBride (1995) 亦證實此六個條件確實與颱風生成間具有良好的相關性。因此，熱帶擾動應同時符合以上所列之熱力與動力條件，才較有機會誘發颱風生成。實際上，颱風可以透過各種途徑生成，近年來也發現，當大氣狀況不完全滿足 Gray et al. (1975)；Gray (1979)。以上的研究說明了渦度、輻合與科氏力等動力條件對於颱風生成是不可或缺的。

熱力海氣參數亦對颱風生成具有很大的影響力。Cheung (2004) 探討 1990 年至 2001 年共 405 個西北太平洋颱風個案，統整出平均

颱風生成海溫約為 28.9°C ，另外Darc and McBride (2011) 亦探究1981年至2008年全球會出現颱風的海域共2217個颱風個案進行分析，指出有99.5%的颱風個案在其生成前48小時內，其生成海域海表面的溫度超過 25.5°C ，且所有個案的98%形成於超過 26.5°C 之洋面上，更有90.4%個案生成於 $27.5^{\circ}\text{C} \sim 30.5^{\circ}\text{C}$ 之洋面上。Lin et al. (2013) 更提出了不同見解，認為海面下暖水層厚度亦是影響颱風強度的重要因素之一，其文中以凡那比(2010)、馬勒卡(2010)與梅姬颱風(2010)為例，當時三個颱風中僅梅姬的最大維持風速達到 82 公尺/秒，而凡那比、馬勒卡颱風的最大維持風速僅分別達 54 公尺/秒與 46 公尺/秒。當時三個颱風的海表面溫度相當，然而不同的是海面至海面下 26°C 等溫線深度(簡稱T26)，梅姬颱風的T26比上凡那比和馬勒卡的T26深上許多。Black and Shay (1998) 發現當颶風或溫帶氣旋行經美國東岸沿海及墨西哥灣暖洋流區域時，暖海水提供之熱能明顯地使颶風強度增強。Shay et al. (2000) 的研究亦發現超級強烈颶風Opal (1995) 行經墨西哥灣暖洋流區域時，其強度迅速增強，經過分析發現當時的海溫與海面氣溫有 $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$ 的差異，且當時海域的可感熱通量(Sensible Heat Flux, SHF)及潛熱通量(Latent Heat Flux, LHF)也與Opal未經過時明顯不同，故推論熱通量為造成Opal增強之主因。另外，Kurihara and Tuleya (1974) 及Rosenthal (1978) 使用數值模擬發現颱風最大強度常發生在最大潛熱釋放量(Latent Heat Release, LHR)出現的24小時到72小時之後，可知降水引發的潛熱釋放與颱風發展也有很大相關性。Rodgers and Pierce (1995) 利用SSM/I衛星資料分析1987年至1992年間發生於西北太平洋之颱風個案，其結果顯示最大降雨率出現在颱風的內核區(inner-core)時，當時海溫多高於 29

$^{\circ}\text{C}$ ，且內核的潛熱釋放量變化與颱風之強度變化也顯著相關。Rodgers et al. (2000) 同樣使用SSM/I資料對颶風Paka (1997) 估算其生命期間之降雨率、潛熱釋放量及總降水量，發現伴隨降雨釋放的大量潛熱加深對流發展，眼牆內縮使得其結構更加對稱，顯示內核潛熱釋放量增加有助對流系統的發展。近年來亦發現濕潤的低對流層大氣環境也是適合颱風生成的Gray(1968); Emanuel(1993); Cheung(2004)，若大氣低層過於乾燥時，水氣的蒸發會加速空氣附近空氣塊溫度冷卻，並增強沉降運動。此外，乾燥的中低層大氣會藉由乾燥空氣塊的逸入作用(entrainment)而限制對流系統的發展。由此可知，海表面溫度、SSM/I反演之熱能與低層相對濕度等熱力條件對於颱風生成亦是相當重要的。

因此，在判斷颱風生成時需考慮不同參數的影響力。Perrone and Lowe (1986)、Schumacher et al. (2009) 與Kerns and Chen (2013) 使用線性判別分析(Linear Discriminant Analysis, LDA) 探究颱風生成時的特徵，更重要的是，LDA可自行給予選定參數間的影響權重，在計算時已考慮各個參數的影響能力。其中，Schumacher et al. (2009) 更由此開發出颱風生成監測系統，先剔除不可能形成颱風的區域後，再行LDA預報西北太平洋的颱風生成情形，發現僅有0.04%的低誤報率，並發現相對渦度是颱風生成中最重要的海氣參數之一，此結果與Fu et al. (2012) 的研究結果相符。

三、研究方法

本研究參考Schumacher et al (2009) 的LDA方法，分析發展(developing)與非發展(nondeveloping)兩類雲簇的差異。所謂發展雲簇為在其生命期中曾發展至TS強度以上之雲簇，而非發展雲簇則為其生存時間與相對渦度值超過設定標準，即判定為有潛力發

展，但後續並未發展至TS強度的雲簇。

四、結果分析與討論

本章分為四部分：第一部分討論發展與未發展雲簇間的環境參數異同，亦為上一章之LDA判別向量與七個海氣參數對本方法整體發展貢獻量之意義。第二部分則利用2010年至2013年四年間強度達TS級的颱風個案驗證第三章所找出的LDA判別係數進行驗證。在選定的研究範圍內，將四年間每日四筆的七項環境參數的判別函數合成值，可獲得每 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 網格的數值，並置換成颱風發展機率來呈現之，如下圖1。

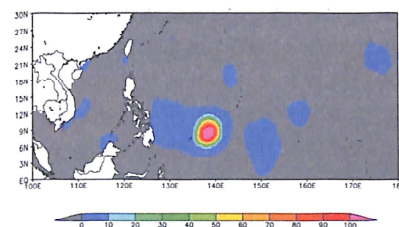


圖1 颱風發展機率示意圖。不同的顏色代表不同的發展機率，單位為%。

接著對2010年至2013年四年間的驗證個案進行LDA判別，搭配紅外線雲圖追蹤每個颱風達TS強度之前本方法隨時間變化出的發展機率。第三部分為對2010年至2013年四年間的發展個案之中，挑選出兩筆本研究方法反應成功的個案以檢視在其生命週期中發展機率的變化，再針對第一部分本研究方法未能在颱風達TS強度前監測到的個案進行深入剖析。最後，第四部分為探討本方法判定出60%以上的潛勢發展機率，但該個案並未記錄於JTWC官方的最佳路徑之中的誤報案例，並探討其原因。

4.1 颱風個案分析

4.1.1 個案 112011 梅花(Muifa)

JTWC於2011年7月27日00UTC發佈西北

太平洋第11號熱帶低壓(TD)生成警報，其於同年7月28日06UTC增強為熱帶風暴(TS)後命名為梅花(Muifa)，其影響地區為菲律賓群島、日本、中國大陸、臺灣和北韓，造成22人傷亡，並在大連港地區造成災情，總損失約4億8000萬美元。

本研究的LDA方法早在該熱帶雲簇達TD強度前108小時(7月23日12UTC)即發現該雲簇具有超過60%的潛勢發展機率，並在該雲簇達TS強度前102小時(7月24日00UTC)即達到100%(圖2)。在此個案之中，本方法不僅於颱風生成前約四日即發現其雲簇具有發展潛力的位置(圖3)。並顯示此颱風會持續增強的趨勢。參考2011年7月23日12UTC的LDA60%時的海氣參數判別函數分佈圖(圖4)，當下其渦度判別函數值已經達到9.32之多，除了緯度較低(北緯3度)不利於雲簇發展之外，其他參數也都給予了該雲簇可超越門檻的判別函數值，故LDA能提早判斷39該區域具60%的颱風發展潛勢。梅花於2011年8月6日12UTC離開研究範圍，因此未再繼續追蹤其發展機率。儘管當時梅花的雲簇不明顯，但預先存在的低層渦度、合成熱能、溼度和輻散度，都是能使LDA提早發現該雲簇具有發展成颱風潛力的因素。

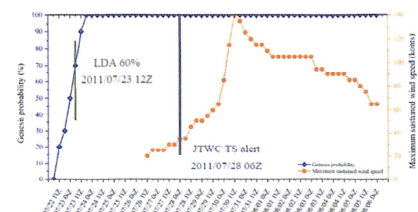


圖2 個案 112011 梅花颱風的最大維持風速(橘色)與潛勢發展機率(藍色)時序圖。

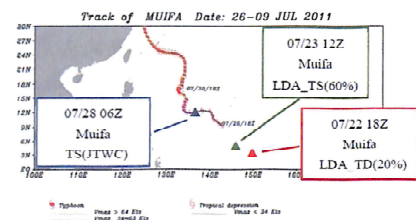


圖 3 個案 112011 梅花颱風的 JTWC 發佈 TS 及 LDA 60% 之位置圖。

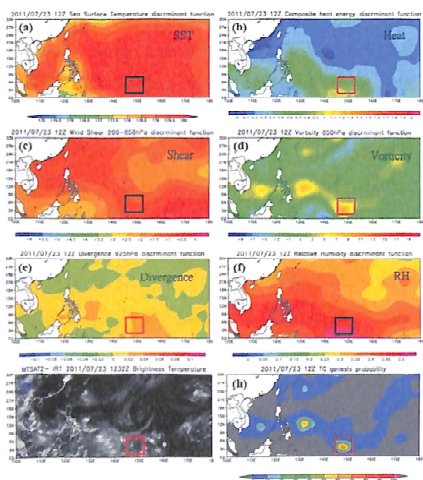


圖 4 個案 112011 梅花颱風於 2011 年 7 月 23 日 1200 UTC 的(a)-(f)各參數判別函數分佈圖、(g)IR1 雲圖、(h)潛勢機率分佈圖，方框代表當時梅花颱風的位置。

4.1.2 個案 012015 紅霞 (Noul)

本方法於紅霞颱風生成時間(圖5)判斷亦有提前趨勢，約提前JMA發布其強度達TS時29小時得知該熱帶低壓具有發展潛勢。

紅霞颱風在2015/05/04 05UTC由JMA發布為TS，然而LDA則於05/03 00UTC發現該雲簇具60%的發展機率，提前JMA發布為TS的時間約29小時；2015/05/02 00Z(圖6)開始有旋轉跡象，而LDA於05/03 00UTC發現該雲簇具60%的發展機率。

2015/05/04 05Z由JMA發布紅霞達TS強

度，從06Z的IR1雲圖來看可以發現雲簇集中，旋轉跡象更加明顯。

五、 結論

本研究使用NCEP FNL 再分析資料得到1) 850hPa相對渦度、2) 850hPa-200hPa垂直風切、3) 925hPa輻散值、4) 850hPa相對溼度；使用NOAAOISST得到5)海表面溫度；使用SSM/I衛星得到6) SSM/I反演之合成熱能。最後，從JTWC最佳路徑和TCC熱帶雲簇資料庫獲得7) 緯度。以上七個參數將用在建立2000年至2009年十年共801筆歷史資料的LDA判別標準，並使用2010年至2013年四年共83個強度達TS以上的颱風個案進行驗證。

從2000年至2009年共801筆歷史資料的LDA判別標準來探討參數的影響力，發現熱帶雲簇的渦度值，對颱風的生成是此七項參數中最高者。然而，緯度、海表面溫度分別佔有第二、第三多的貢獻量，可見利氏力和太平洋暖池的存在對於颱風生成的重要性也相當高，而排名第五的合成熱能則反映出海面上的能量通量以及因降雨而產生的潛熱釋放量。然而，大氣中層若是長期濕潤，該區熱帶擾動欲發展時更不需要去克服這項因素，反而可以更快發展。另外，輻散度與垂直風切兩個參數之貢獻量為負值，代表該參數的數值偏向愈小愈有利颱風生成。

驗證2010年至2013年共83個強度達TS以上颱風個案的結果中，設定以發展機率60%為閾值執行預報，發現僅有3筆個案未及早於JTWC發佈其強度達到TS前發現，其餘80筆颱風個案都提早於JTWC呈現之。而在成功預報的80筆個案中，平均提前於JTWC預報時間為53.1小時左右，命中率約為96.4%。

本研究使用LDA所建立之監測方法，能夠找出具有發展成颱風潛力的熱帶雲簇，但仍有部分個案無法提早偵測到。個案032010康森、個案052012谷超、個案172011庫拉三

個個案屬系統偏小的颱風，LDA無法在其出現更高的發展機率下判別出該雲簇，可能是因為在2000年至2009年的歷史個案參數計算中選用過大的面積去平均，需要做更多的測試以調校出更為適合的平均面積大小，將可能得以解決此問題。

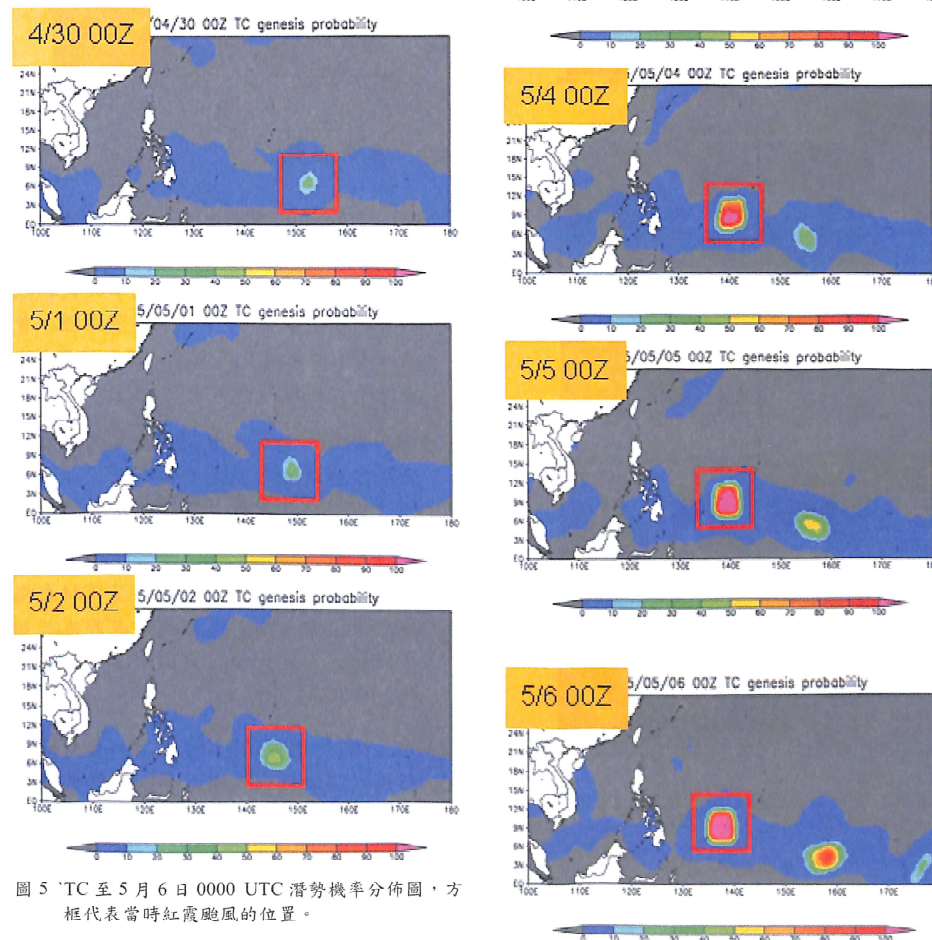
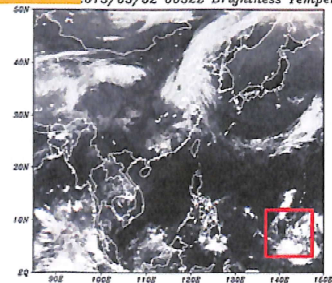


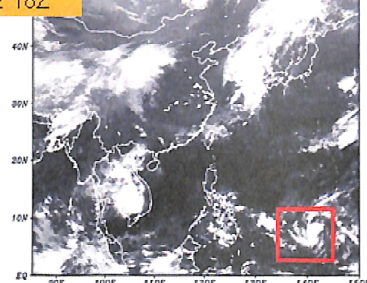
圖 5 TC 至 5 月 6 日 0000 UTC 潛勢機率分佈圖，方框代表當時紅霞颱風的位置。

圖 5 續。

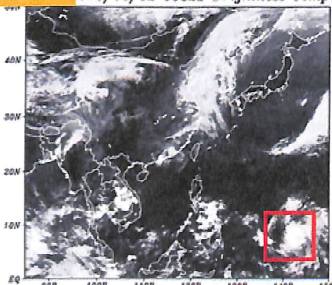
5/2 00Z 2015/05/02 0032Z Brightness Temperature



5/2 18Z 2015/05/02 1832Z Brightness Temperature



5/2 06Z 2015/05/02 0632Z Brightness Temperature



5/2 12Z 2015/05/02 1232Z Brightness Temperature

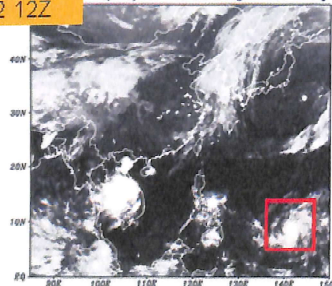


圖6 案012015紅霞颱風於2015年5月2日1200 UTC的IRI雲圖、方框代表當時紅霞颱風的位置。

圖6 續。

六、參考文獻

林欣怡，2008：應用衛星資料反演之海氣能量參數分析年際大氣環境差異對颱風生成條件之影響，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，108頁，臺灣中壢。曾忠一著，大氣衛星遙測學，國立編譯館，臺北市，民國七十七年，630頁。

曾千祐，2010：應用衛星資料估算之熱力與渦度參數建立西北太平洋颱風生成之指標，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，97頁，臺灣中壢。

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。

劉嘉騏，2007：應用SSM/I衛星資料分析颱風形成之激發機制，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，92頁，臺灣中壢。

賴勇瑜，2009：應用衛星資料反演之熱力及動力參數分析南海地區熱帶低壓之生成機制，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，96頁，臺灣中壢。

藍嘉偉，2006：利用HHT之EMD方法分析SSM/I資料估算之客觀指數與颱風強度

年際變化關係，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，114頁，臺灣中壢。

謝珮倫，2012：應用衛星資料估算之熱力參數與ECMWF再分析資料監測西北太平洋颱風生成，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，94頁，臺灣中壢。

(美)伊曼紐(Kerry Emanuel)著，颱風，吳俊傑與金棣譯，天下文化書坊，臺灣臺北，民國九十六年，357頁。

Improved Satellite Data Using Linear Discriminant Analysis Estimation of Potential Indicators of Typhoon

Yu-Kai Jheng Wun-Hong Zhang And Jian-Ji Huang

Weather Center Weather Wing of C.A.F., R.O.C

ABSTRACT

Up until now, the mechanisms behind tropical cyclogenesis is still not fully understood. Thus, this study seeks to find the primary air-sea environmental parameters of tropical cloud clusters (TCC) that may eventually lead to the development of a typhoon. First, this study collected data related to developing and nondeveloping TCCs, and applied the linear discriminant analysis (LDA) to analyze the air-sea parameters differences between developing and nondeveloping TCC sets. The thresholds from the differences can thus be used to establish the tropical cyclogenesis potential index (TCPI) for early typhoon formation detection.

LDA is usually used to classify unknown cases to different groups according to discriminant functions. In this study, the Western Pacific JTWC best tracks, global tropical cloud cluster dataset, and NCEP FNL Analyses data are collected and used to establish a comprehensive environmental LDA discriminant function with seven air-sea parameters: 1) 850hPa relative vorticity, 2) 850hPa-200hPa vertical wind shear, 3) 925hPa divergence, 4) latitude, 5) 850hPa relative humidity, 6) SSM/I composite heat energy, and 7) sea surface temperature. Eventually, we can apply the discriminant function established by the historical cases to classify future unknown cases. Meanwhile, the air-sea environmental thresholds for cyclone genesis from the LDA method are verified by 83 independent typhoon cases that occurred during 2010 to 2013. The discriminant functions are then converted into tropical cyclogenesis probability (TCP) maps. Results show that if the threshold for tropical cyclogenesis probability is set to 60%, the average hit rate of the method is 96.4%, and the average forecast time is roughly 53.1 hours ahead of JTWC's official tropical cyclone warning.

keyword: Tropical cyclogenesis, Tropical cloud cluster, Air-sea interactive parameter, Linear Discriminant analysis.