

南海地區熱帶氣旋生成環境之分析

劉振榮¹ 黃清順²

中央大學太遙中心¹ 中央大學大氣物理所²

摘要

熱帶氣旋生成過程中，常伴隨環境場的變化，不過由於海面上傳統觀測資料不足，很難有足夠空間、時間解析度的資訊進行分析，所以本研究利用 SSM/I 及 QuikSCAT 衛星資料，針對南海地區海面上熱帶氣旋生成的環境場變化作分析探討，本研究方法是應用 SSM/I 微波資料反演各種海氣參數(包括潛熱釋放量、海氣間的潛熱通量與可感熱通量)，並據以分析熱帶氣旋環境場的熱力條件，另由 QuikSCAT 衛星資料所反演出的近海面(~10m)風場資訊計算渦度場，以分析熱帶氣旋環境場的動力條件，再合併熱力於動力條件應用於 2000 年~2002 年南海地區熱帶氣旋季節環境場變化的分析。

研究結果顯示在分析 2000 年~2002 年南海地區共計 15 個熱帶氣旋生成時，在熱帶氣旋生成前 2~3 日，由 SSM/I 衛星所反演環境場之熱力客觀指數有明顯增加，顯示環境場有利於提供能量給熱帶氣旋，若僅以熱力指數分析，計有 Nakri 等 9 個熱帶氣旋個案可由此方式預測出來。若再加入 QuikSCAT 衛星資料反演的風場所計算的渦度資訊，則可部分在熱力客觀指數雖明顯增加，但因動力條件不足，使得熱帶氣旋未能形成的情況，因此前述 15 個熱帶氣旋若再配合動力環境條件的研判，則又計有 Durian 等 4 個熱帶氣旋的生成可以被預測出來。另外，由逐日統計該區域內熱力及動力客觀指數不穩定的發生頻率顯示，2002 和 2003 年南海地區環境的熱力及動力客觀指數越多區域不穩定，則越容易有熱帶氣旋的生成。

一、前言

熱帶氣旋所帶來的直接、間接災害或是其所造成經濟生產與民生活動的影響可說極大，但由於熱帶氣旋主要的生命期多半是處在廣大的洋面上，而這些地方都是最缺乏完整觀測資料的區域，此乃由於傳統觀測方法有其先天的限制，不易對海面上大範圍區域進行四維的觀測與分析，故利用傳統觀測資料研判天氣系統時，常有資訊不足的情形。因此衛星觀測資料在高時空解析度的特性下，其應用便顯得極為重要。由近五十年來西太平洋區域熱帶氣旋起源分佈，可以發現在太平洋上有三個熱帶氣旋生成較多的地區，而南海區域為其中之一。在熱帶氣旋生成的研究方面，Charney and Eliassen(1964)認為第二類條件不穩定(Conditional Instability of Second Kind, CISK)所引發的低層擾動及積雲對流二者相互支應，可以解釋熱帶氣旋的發展。但 Emanuel(1986)則認為熱帶氣旋的形成源於海洋，不僅受大氣不穩的條件影響，亦受廣大海洋提供能量的影響，再透過非線性的海氣交互作用而成長。Gray(1968)則提出六個有利於熱帶氣旋形成的環境條件，包含：海溫需高於 26°C、條件不穩定的大氣、高相對濕度的中對流層熱力條件，與低層較大的相對渦度、擾動中心附近較弱的垂直風切、科氏力需稍大等動力條件，在滿足這些熱力與動力條件下，熱帶氣旋較有可能形成。Hack and Schubert(1986)的研究結果則顯示，熱帶氣旋在渦度較大區域，若系統加熱效率

提高有利於熱帶氣旋的形成。此點可由 Ryan et al.(2002)以 QuikSCAT 衛星觀測區域渦度變化結果得到驗證。Liu et al.(2000)則應用 SSM/I 資料的研究顯示海氣交互作用對海上積雲對流有明顯的影響，證明海氣間的能量可提供熱帶氣旋生成通量所需的熱能。

針對 Mark et al.(2001)分析 1991-1999 年大西洋地區熱帶氣旋生成時之大氣穩定度、垂直風切及中層濕度變化顯示其為主要的影響機制，並以此合成『生成位能參數』。由分析熱帶氣旋生成位能參數顯示在熱帶氣旋季節之初，主要的影響機制為不穩定度變化及中層濕度變化，在熱帶氣旋季節之末，主要的影響機制則為垂直風切。但分析中發現仍有在位能參數較大時，未有熱帶氣旋的生成的現象，顯示此參數尚有部分因子未能考慮所致。Cheung(2004)則以 Gray(1968)的六個環境參數為基礎，分析 1990~2001 年間近 405 個熱帶氣旋的生成環境，建立適合熱帶氣旋生成的環境條件。由靈敏度測試顯示在緯向垂直風切及中低層濕度變化對其生成預報影響最大。研究中顯示在適合熱帶氣旋生成區域與實際熱帶氣旋生成區域兩者相符，但其在預報的區域範圍會較廣，且預報適合生成的時間在非熱帶氣旋生成季節亦會顯現等缺失。

由以上 Mark et al.(2001)及 Cheung(2004)的研究皆顯示海洋的環境場對熱帶氣旋的生成有明顯的影響，研究結果初步亦有預警熱帶氣旋生成的能力，不過在熱帶氣旋生成的時間分析上，僅用氣候上的時間尺度，如五日或月平均分析環境場的變化，無法實際掌

握熱帶氣旋生成的時間點，有效提供作業單位參考應用。

在本研究中，主要是利用 DMSP 衛星上 SSM/I 資料及 QUIKSCAT 衛星資料來分析 2000 年至 2002 年間 5 月~10 月熱帶氣旋季節期間，位於南海地區的海氣間能量通量變化之熱力條件及近海面渦度場逐日變化的動力條件，並探討其是否與熱帶氣旋生成有關，同時希望利用衛星資料能較完整地描述熱帶氣旋的生成環境條件。

二、資料及方法

本研究所使用的衛星資料包括國立中央大學太空及遙測研究中心氣象衛星實驗室所接收之 GMS-5 氣象衛星紅外窗區頻道資料以及裝載於美國國防氣象衛星計畫所發射衛星上的 SSM/I 微波輻射計觀測資料。另外海面風場資料則是以裝載於美國太空總署 (NASA) 的 QuikSCAT 衛星觀測為主。研究蒐集時間為 2000 年至 2002 年 5 月~9 月的衛星資料。

本研究南海地區環境場其範圍界定為 10N ~ 22.5N, 110E ~ 122.5E。而為了避免 SSM/I、QuikSCAT 微波資料受到陸地干擾所造成的影響，所以只針對熱帶氣旋位於海上的資料進行分析與探討。

本研究方法是使用 SSM/I、QuikSCAT 衛星資料來反演熱帶氣旋形成前的各種海氣參數，如降雨強度、熱帶氣旋生成發展的海氣間各參數及海面風場資訊，並據此分析探討熱帶氣旋的環境條件。

本研究中以熱帶氣旋降雨量來估算潛熱釋放量，根據 Alliss et al.(1992)、Rodgers et al.(1994)和 Rodgers and Pierce(1995)的研究，潛熱釋放量(LHR)計算所使用的式子為：

$$LHR = l\rho \int_A R da \quad (1)$$

其中， l 為蒸發潛熱($2.5 \times 10^6 J/Kg$)、 ρ 為雨水密度($1.0 \times 10^3 Kg/m^3$)、 R 為降雨量、 da 為面積增量、 A 為積分面積。

關於海氣參數中的可感熱通量(sensible heat flux; SHF) 和潛熱通量(latent heat flux; LHF)的估算，參考 Liu et al.(2002)所使用總體參數法求得，可寫為

$$SHF = -\rho c_p c_h (T_s - T_a) u \quad (2)$$

$$LHF = -l\rho c_e (q_s - q_a) u \quad (3)$$

其中， C_h 和 C_e 表示總體係數，下標 s 表示為海平面的量場值，下標 a 表示近海面 10 公尺參考層之量場值， u 則為近海面 10 公尺參考層之風速， T 表示溫度， q 為溼度， ρ 表示空氣的密度， l 表示蒸發潛熱， C_p 為定壓比熱。

本研究中熱帶氣旋的熱力客觀指數，的估算方法，是先將 2000 年~2002 年位於南海區域內有熱帶氣旋生成的個案，以其生成源地為中心，向外伸 2.5 個經緯度的區域範圍視為其生成環境區域，將潛熱通量及可感熱通量相加，以代表下墊面所提供之能量，同

時以水氣的凝結潛熱代表大氣中所提供之能量。整合下墊面所提供的能量及大氣中所提供的能量，並進行統計分析，計算出熱帶氣旋生成區域各種參數在 2000 年~2002 年 5 至 9 月間的各月氣候平均以及標準差值。另外為了能夠儘可能的涵蓋所有的觀測資料，將以平均值加上正負 3 個標準差值(Wilks,1995)，分別視為各參數的最大、最小值。最後將各參數正規化並映射至 0 至 1 的範圍(如圖 1)，可得到各參數之無因次正規化值，然後以統計權值結合各參數合成所謂熱力條件指數，此合成指數不但具有海氣參數的訊息，亦包含大氣潛熱釋放的資訊，足以代表整個熱帶氣旋生成前環境所能提供能量的變化。

至於熱帶氣旋生成前環境動能條件的分析，以上述同樣區域範圍，由 QuikSCAT 衛星所觀測反演的風場資料，其中包括風向和風速，以計算該區域渦度的逐日變化情形，亦同上述正規化方式，獲得該區域的動力客觀指數，藉以分析環境動能條件的變化。

三、結果與討論

一、個案分析

以 2002 年 7 月 8 日 18Z 生成在南海的 Nakri 熱帶氣旋為例，由 GMS-5 紅外衛星雲圖及 JTWC 的資料，顯示 Nakri 熱帶氣旋是在 22.6N, 118.5E 生成，並逐漸向東北方向移動到台灣海峽，於 10 日 5 時左右在臺灣中部登陸，在登陸後強度快速減弱為熱帶性低壓。針對生成區域綜觀環境分析，由 SSM/I 反演出來的環境熱力客觀指數時序分布如圖 2 所示，其在 7 月 5 日後有明顯的上升，並於熱帶氣旋生成的前 1 日，熱力客觀指數即大於 0.5 以上，此時為環境場在熱力條件上提供有利於熱帶氣旋生成的環境。

若以前述之客觀熱力指數分析，2000~2002 年間，發生於南海區域的另外 10 個熱帶氣旋，分別為 Kai-tak、Kaemi、Maria、Cimaron、Usagi、Fitow、Lekima、kammuri、Vongfong、Hagupit，皆顯示在生成熱帶氣旋的前 2~3 日，環境的客觀熱力指數即開始有逐漸增加的趨勢，因此透過客觀熱力指數的計算與追蹤，即可以有效監測南海地區熱帶氣旋的生成，而根據本研究的驗證其準確率約為 68.75%。

除了前述的十個熱帶氣旋外，在南海地區的另外 4 個熱帶氣旋，分別為 Durian、Wukong、Naguri 及 Mekkhala，其熱力客觀指數不僅在熱帶氣旋生成前 2~3 日即明顯有逐漸增加趨勢，同時在熱帶氣旋生成前 5~7 日，亦另有一波明顯上升的現象，但 JTWC 並未宣布有熱帶氣旋的生成，若由同步衛星雲圖分析可發現僅有中尺度對流系統生成，顯示熱帶氣旋的生成似乎另外還有影響因子。因此，再以 2001 年 6 月 30 日生成在南海的 Durian 熱帶氣旋深入分析，由 GMS-5 紅外衛星雲圖及 JTWC 的資料顯示，Durian 是在 17.1N、115.0E 附近生成為熱帶氣旋。由 6 月 24 日~6 月 30 日的衛星雲圖觀察在熱帶氣旋 Durian 生成的區域，可發現在此區域水氣充沛及受西南氣流影響，持續不斷有對流胞的生成與消散，在 6 月 24 日至 6 月

25 日期間，此區域有中尺度對流系統產生，並於 6 月 26 日後逐漸北移。而在 6 月 27 日後，又有另一波中尺度對流系統產生，強度並逐漸增強，而於 6 月 30 日後形成熱帶氣旋，並移向海南島後登陸。由客觀熱力指數分析可知在 6 月 24 日~6 月 25 日客觀熱力指數明顯逐漸增強，但在 6 月 26 日~6 月 29 日間客觀熱力指數有開始下降的趨勢，而於 6 月 29 日~7 月 01 日又再度回升。

但若由 QuikSCAT 衛星資料所反演的風場，針對熱帶氣旋生成區域計算的渦度場資訊分析，可知於 6 月 24 日~6 月 25 日間，渦度場均位於低值，亦即此時期環境動力場並不支持熱帶氣旋的生成，但於 6 月 28 日~7 月 1 日間渦度場值逐漸增強，在動力條件上形成有利於熱帶氣旋的生成。亦即大氣的動力條件由 6 月 28 日~6 月 30 日有逐漸上升趨勢，在與前述的熱力條件配合下於 6 月 30 日形成熱帶氣旋 Dorian。此點與 Hack and Schubert(1986)、Ryan et al.(2002)所發現綜觀環境的動力場有利於中尺度對流系統發展成熱帶氣旋的現象一致。此個案顯示在 6 月 24 日至 6 月 25 日期間雖然熱力客觀指數明顯增加，但在環境渦度場偏低，動力條件不佳的情況下，並無法促成熱帶氣旋的形成。所以熱帶氣旋的生成不僅需由環境提供熱力能量，尚須配合有利的動力環境條件。

因此若合併客觀熱力指數與動力條件判斷，則前述另 3 個熱帶氣旋，即 Wukong、Naguri 及 Mekkhala，亦可準確地預測出其是否形成熱帶氣旋。亦即透過原有的熱力客觀指數的計算與時序變化，再輔以動力客觀指數的分析，可以有效地預測熱帶氣旋的生成。據此分析 2000 年~2002 年南海地區共計 15 個熱帶氣旋的生成時，研究結果顯示其中 14 個在熱帶氣旋生成前 2~3 日，由 SSM/I 及 QuikSCAT 衛星資料所分析環境場之熱力條件及動力條件均有明顯的增加，顯示環境場有利於提供能量給熱帶氣旋，其準確率高達 93.33%。惟一例外為發生於 2001 年的 Yutu 颱風，在其生成前述時期內的熱力指數均明顯偏低，此個案有待未來進一步分析。

二、南海地區長期熱力及動力指數的監測

本研究利用 SSM/I 及 QuikSCAT 衛星資料來進行南海地區熱帶氣旋生成發展環境之監測。由衛星資料所反演的熱力及動力客觀指數，以 0.5°×0.5° 經緯度網格點分析在南海地區(10N~22.5N, 110E~122.5E)的熱力及動力客觀指數分布，逐日統計該區域內熱力及動力客觀指數大於 0.5 的發生頻率，以分析環境場的高指數發生頻率與熱帶氣旋生成之關係。圖 3 為 2002 年 5 月至 9 月颱風季期間逐日熱力及動力客觀指數大於 0.5 的發生頻率分析，以監測該區域有利於熱帶氣旋生成的程度，結果顯示在 7 月 08 日 18Z 在生成熱帶氣旋 Nakri 時，該區域的熱力及動力客觀指數於 7 月 1 日起即明顯上升並持續至 7 月 10 日。此現象意味著發生頻率越大的期間，代表環境場的熱力與動力條件，有利於熱帶氣旋的生成。此外，由於熱力及動力客觀指數是利用 2000~2002 年的資料庫所建立，因此本研究另

外以 2003 年南海地區熱帶氣旋的生成個案作分析，結果同樣顯示環境的熱力及動力客觀指數高於 0.5 區域的比率越大，則越容易有熱帶氣旋的生成。

四、結論與展望

本研究利用 SSM/I、QuikSCAT 等衛星資料反演綜觀環境的熱力及動力條件，以建立客觀偵測熱帶氣旋生成的方法，有別於以往僅由 GMS 衛星雲圖上雲形的結構及稀少的傳統海面測站資料，主觀判定熱帶氣旋生成的時間及強度。研究結果顯示分析 2000~2002 年南海地區環境之熱力客觀指數，若在熱帶氣旋生成前的 2~3 日會明顯增強，其次若再加入 QuikSCAT 衛星資料反演的風場所計算的渦度資訊，可進一步解釋部分在熱力客觀指數明顯增加，但動力條件不配合下，沒有熱帶氣旋形成的原因，有利於正確分析熱帶氣旋的生成。因此熱帶氣旋的生成不僅需由環境場提供適當熱力能量，尚須配合有利的動力環境條件，合併考慮熱力與動力條件分析熱帶氣旋的生成，其準確率高達 93.33%。

由逐日統計該區域內熱力及動力客觀指數大於 0.5 的發生頻率，由 2002 及 2003 年的資料分析顯示環境較高的熱力及動力客觀指數區域的比率愈大，則越容易有熱帶氣旋的生成。

雖然研究結果顯示此方法的準確度頗高，但本研究未來除了應增加更多的個案及針對不同區域進行定性分析外，同時也將定量地分析熱力、動力指數(>0.5)與熱帶氣旋生成之關係，期望能發展出一種判斷熱帶氣旋生成與發展的客觀指標，以為未來作業分析之應用。

參考文獻

- Alliss, R. F., S. Raman, and S. W. Chang, 1992: Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) observations of hurricane Hugo (1989). *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 2723-2737.
- Chiu, L. S., 1990: Rain estimation from satellite: Effect of finite field of view. *J. Geophys. Res.*, **120**, 2723-2737.
- Charney, J. G., and A. Eliassen, 1964: On the growth of the hurricane depression, *J. Atmos. Sci.*, **21**, 68-75.
- Cheung K. K. W., 2004: Large-Scale Environmental Parameters Associated with Tropical Cyclone Formations in the Western North Pacific. *J. Climate*, **17**, 466-484.
- Emanuel, K., A., 1986: An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part I: Steady state maintenance., *J. Atmos. Sci.*, **43**, 585-604.
- Gray, W. M., 1968: Global view of the origin of the tropical disturbances and storm. *Mon. Wea. Rev.*, **96**, 669-700.
- Hack, J. J., and W. H. Schubert, 1986: Nonlinear

responses of atmospheric vortices to heating by organized cumulus convection. *J. Atmos. Sci.*, 1559-1573.

Sharp, R. J., M. A. Bourassa, and J. J. O'Brien, 2002: Early detection of tropical cyclones using seawinds-derived

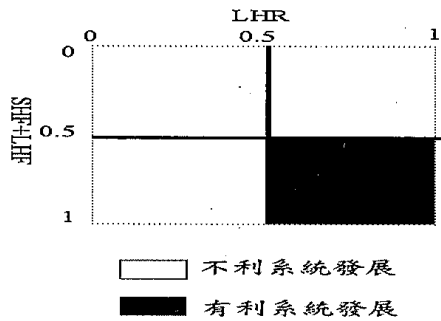


圖 1：熱力客觀指數正規化圖。LHR 代表水氣的凝結潛熱釋放量，SHF、LHF 分別代表可感熱通量、潛熱通量釋放量。

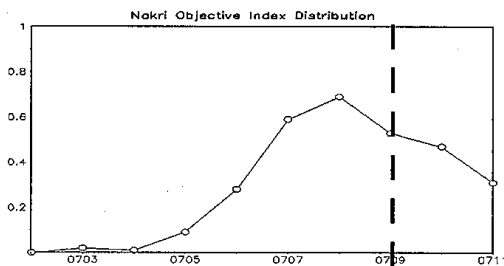


圖 2：2002 年熱帶氣旋 Nakri 生成前後期間，SSM/I 衛星資料之反演熱力客觀指數的逐日變化(黑色虛線為熱帶氣旋生成日期)

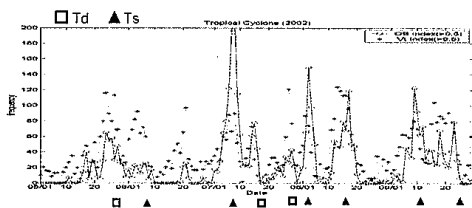


圖 3：2002 年 5 月~9 月颱風季南海地區(10N ~ 22.5N, 110E ~ 122.5E)熱力客觀指數及動力客觀指數高於 0.5 的發生頻率時序變化圖

vorticity. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 879-889.

Liu, G.R., C. C. Liu and T. H. Kuo, 2002: A Satellite-derived Objective Potential Index for MCS Development during the Mei-Yu Period. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 80, N0. 3, pp. 503-517.

Mark Demaria, John A. Knaff and Bernadette H. Connell, 2001: A Tropical Cyclone Genesis Parameter for the Tropical Atlantic. *Wea. Forecasting*, 16, 219-233.

Rodgers, E. B., S. W. Chang, and H. F. Pierce, 1994: A satellite-observational and numerical study of precipitation characteristics in Western North Atlantic tropical cyclones. *J. Appl. Meteor.*, 33, 129-139.

Rodgers, E. B., and H. F. Pierce, 1995: A satellite observational study of precipitation characteristics in Western North Pacific tropical cyclones. *J. Appl. Meteor.*, 34, 2587-2599.

Wilks D. S., 1995: Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press Inc., California, 467pp.