

西北太平洋雙眼牆特殊颱風個案-蘇力颱風(2013)之探討

楊憶婷¹

摘要

2013年蘇力颱風第1次雙眼牆結構生成時，強度為Saffir-Simpson hurricane wind scale的category 4，共維持25小時；第2次雙眼牆結構生成時，蘇利颱風強度為category 2，並且維持34小時。兩次雙眼牆結構生成期間，均出現大的moat(內外眼牆中間的弱對流區)和外眼牆，從第1次雙眼牆生成期間至第2次雙眼牆生成期間，內眼牆有明顯的內縮，但是颱風強度則是減弱。一般而言，颱風眼牆內縮伴隨颱風強度增強，蘇力颱風強度減弱可能原因是外在環境控制，颱風在向西北移動的過程中，遇到乾空氣逸入及海洋熱含量較低的區域導致颱風減弱。另透過T-Vmax diagram (T為亮度溫度，Vmax 颱風強度)分析結果發現，在雙眼牆期間，即便蘇力颱風強度減弱，對流活躍度仍在維持或增強。

一、前言

雙眼牆的生成及其伴隨的眼牆置換(eyewall replacement cycle, 以下簡稱ERC)過程對於颱風強度預報有很大的影響。ERC是指雙眼牆生成、眼牆內縮、隨後外眼牆取代內眼牆的過程。Willoughby et al. (1982) 及 Black and Willoughby (1992)利用飛機搭載雷達針對Hurricane Anita、David和Andrew雙眼牆結構及後續伴隨的ERC且強度減弱過程進行一系列的討

¹國立台灣大學數學研究中心

論。有關ERC過程的時間尺度方面，Terwey and Montgomery (2008)、Qiu et al. (2010)、Zhou and Wang (2009)和Ortt and Chen (2008)等人模擬研究約為6至18小時。Kuo et al. (2004)利用雷達觀測資料探討利奇馬颱風(2001)，以及Willoughby and Black (1996)利用機載雷達觀測Hurricane Andrew (1992)伴隨之ERC過程，其時間尺度均約為6小時。Sitkowski et al. (2011) 利用機載雷達觀測24個ERC過程並與維波衛星觀測資料比較發現，平均機載雷達觀測ERC過程約為36 小時，比起微波衛星觀測平均約17.5小時要長。

Maclay et al. (2008)利用機載雷達觀測資料研究ERC及其隨強度減弱過程，他們發現在此過程中也伴隨颱風動能及尺度增加，因此他們認為ERC過程是由颱風內在動力主宰。Sitkowski et al. (2011)也在研究中提到ERC過程中除了伴隨颱風動能及尺度增加外，ERC時間尺度、颱風強度變化及尺度變化都有很大的標準差。

Yang et al. (2013)利用衛星微波資料研究西北太平洋雙眼牆颱風的結構及強度變化，他們發現颱風雙眼牆結構形成後，並非所有個案都會發生ERC，他們發現共有3種結構變化的形式：(1)20小時內發生眼牆置換(ERC，53%)；(2)20小時內外眼牆消散或結構破壞(NRC，24%)；(3)雙眼牆結構維持20小時以上(CEM，23%)。其中CEM個案平均雙眼牆結構維持時間為31小時。Yang et al. (2013) 分析的70個雙眼牆個案維持時間資料發現，只有7個(10%)個案維持時間超過30小時(如圖1)。這些個案都有很大的moat(平均為67.5 km)和外眼牆(平均為70 km)。其中2個發生多次長生命雙眼牆生成的颱風為1997年Winnie及2004年Chaba，這類颱風多具有很大的外眼牆及moat (Yang et al. 2013)。很大的外眼牆及moat可能使颱風需要更多時間發生ERC及強度變化。

本文係作者於2013年蘇力颱風侵襲全台期間，在新北市災害應變中心開設期間分析蘇力颱風衛星影像，發現蘇力颱風在侵襲台灣陸地前，颱風眼牆結構有形成兩次雙眼牆結構，且具有長生命期，相似的特徵在雷達及 total precipitable water (TPW)觀測資料都可以發現。本研究將利用微波衛星雲圖、total precipitable water (TPW)雲圖探討2013年西北太平洋雙眼牆颱風-蘇力颱風2次長生命期雙眼牆結構及強度變化。本文研究成果已於2014年9月獲得美國氣象學會Monthly Weather Review刊載(Yang et al. 2014)。

二、研究資料及方法

我們使用2013年7月9日至12日 passive Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) 85-GHz及91-GHz微波衛星觀測資料、passive Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Microwave Imager (TMI)微波衛星觀測資料(Kummerow et al. 1998)及Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) 89-GHz微波衛星觀測資料。以上觀測資料均由可以在Naval Research Laboratory (Hawkins et al. 2001, 2006)網站下載。這些微波衛星雲圖解析度約為1至2公里，因此可以觀測到颱風眼牆等結構變化(Hawkins and Helveston 2004, 2008)。在本研究中我們也使用中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)、日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)宮古島雷達、及total precipitable water (TPW)雲圖(Wimmers and Velden 2011)進行研究。

本研究利用Yang et al. (2013)發展之客觀方法判斷2013年7月9日至13日蘇力颱風共28張微波衛星雲圖是否具有雙眼牆結構，此一客觀方法主要是判斷颱風中心徑向外8個方位的平均亮度溫度是否具有2個明顯的對

流，對流強度夠強且不是螺旋雨帶。研究結果發現共有19張衛星雲圖具有雙眼牆結構，並利用此方法進而判斷內眼牆半徑(r_0)、moat寬度(d_0)及外眼牆寬度(w_0)。

三、觀測及分析

2013年7月9日蘇力颱風原為Saffir-Simpson hurricane scale中Category 1的颱風(如圖2)，至7月10日的24小時內，快速增強為Category 4的颱風，並且隨著副熱帶高壓南支氣流向西移動。隨後減弱成一Category 1的颱風，並登陸台灣(7月12日18Z至7月13日00Z期間)。圖2(a)顯示蘇力颱風曾經過sea surface height anomaly (SSHA)較低，即冷渦的區域，另圖2(b)TPW顯示蘇力颱風亦有中層乾空氣逸入，這些不利的環境條件可能使蘇力颱風隨後減弱。

在蘇力颱風的生命期間，我們一共利用衛星微波雲圖判斷出兩個階段的雙眼牆結構出現：(1) Period-I：於7月9日0729Z至7月10日0832Z，維持25小時雙眼牆結構。(2) Period-II：於7月11日0630Z至7月12日1649Z，維持34小時雙眼牆結構，此結構亦可以在JMA(宮古島)和CWB(台灣)的雷達站及TPW圖上觀測到(如圖3)。其中，Period-II維持34小時雙眼牆結構比Yang et al. (2013)研究中提到的CEM個案平均雙眼牆結構維持時間(31小時)更長。

Yang et al. (2013)發現CEM個案通常強度相對較強、並具有較大的moat和外眼牆，這類個案維持20小時以上的雙眼牆結構。相較於蘇力颱風，圖4顯示蘇力颱風在Period-I和Period-II均具有較大moat和外眼牆寬度，這與CEM個案特徵相似。但在內眼牆的變化上，蘇力颱風在Period-I是Period-II

的兩倍，也就是說從Period I至Period II內眼牆半徑明顯縮小，但是伴隨颱風強度減弱。通常眼牆的內縮應伴隨颱風強度增強，蘇力颱風的內眼牆及強度變化可能來自於環境乾空氣逸入及進入海洋熱含量較低的區域。另外，在Period I時期的 r_0 、 d_0 和 w_0 標準差(分別為10.5公里、20.3公里和23.4公里)較Period II(分別為5.8公里、11.1公里和5.4公里)時期大，表示在Period II時期的大小較穩定。除此之外，蘇力颱風的moat寬度及外眼牆寬度在Period I和Period II沒有明顯的變化。

相較於蘇力颱風多次生成長生命雙眼牆個案，1997年的 Winnie颱風也有兩次長生命雙眼牆的結構生成，分別維持了20小時和46.5小時，46.5小時是目前西北太平洋衛星觀測紀錄維持最久的雙眼牆個案。其中，Winnie颱風於第1(2)次的 r_0 、 d_0 和 w_0 分別為17(55)公里、57(137)公里及40(137)公里。另一長生命雙眼牆颱風為2004年Chaba颱風，分別維持了24小時和35.5小時，於第1(2)次的 r_0 、 d_0 和 w_0 分別為27.1(50)公里、44.3(70)公里及24.2(85)公里。Winnie和Chaba颱風的 r_0 、 d_0 和 w_0 從第1次生成至第2次生成都有明顯變大。Sitkowski et al. (2011)研究中指出多次ERC過程可能導致熱帶氣旋動能及尺度增加，但蘇力颱風在觀測上沒有出現完整的ERC過程，因此多次生成長生命雙眼牆個案的動力機制值得後續探討。

Yang et al. (2013)曾將颱風強度及對流活躍度變化以T-Vmax圖表示。T-Vmax圖橫軸為颱風強度，縱軸為以颱風中心為中間點，取400公里X400公里範圍內背景亮度溫度(該範圍內前5%平均最高溫度)與平均亮度溫度差表示，代表此颱風的對流活躍度。本研究將相同方法利用在蘇力颱風個案中，圖5蘇力颱風的T-Vmax圖顯示在颱風生命期間對流活躍度曾有兩次增加，在Period I時颱風強度及對流活躍度均增加，隨後兩者均維持了約11小時。接下來6小時蘇力颱風的強度及對流活躍度都稍微減弱，並在Period

II之前，即便颱風強度正在減弱，颱風對流活躍度則在增加。最後在Period II階段，颱風強度維持約18小時，但對流活躍度仍在增加。蘇力颱風的T-Vmax圖顯示在雙眼牆發生期間，不論颱風強度是否在減弱，對流活躍度仍可以維持或增強。蘇力颱風的對流活躍度增加可能是因為深對流增強，也可能導致颱風動能增強。

四、結論

本研究利用微波衛星、TPW及雷達觀測資料，透過客觀判斷方法，研究2013年西北太平洋一多次生成長生命雙眼牆個案-蘇力颱風。其第1次至第2次生成雙眼牆期間，內眼牆內縮但卻伴隨颱風強度減弱，期間不論颱風強度變化為增強或減弱，對流活躍度卻仍維持或增強，這樣的多次生成長生命雙眼牆個案，其強度預報值得我們後續利用模式實驗探討其動力機制。

參考文獻

- Black, M. L., and H. E. Willoughby, 1992: The concentric eyewall cycle of Hurricane Gilbert. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 947–957.
- Hawkins, J. D., and M. Helveston, 2004: Tropical cyclone multiple eyewall characteristics. Preprints, *26th Conf. on Hurricane and Tropical Meteorology*, Miami, FL, Amer. Meteor. Soc., P1.7. [Available online at https://ams.confex.com/ams/26HURR/techprogram/paper_76084.htm.]
- , and —, 2008: Tropical cyclone multiple eyewall characteristics. Preprints, *28th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology*, Orlando, FL, Amer. Meteor. Soc., 14B.1. [Available online at https://ams.confex.com/ams/28Hurricanes/techprogram/paper_138300.htm.]
- , T. F. Lee, F. J. Turk, C. Sampson, J. Kent, and K. Richardson, 2001: Real-time Internet distribution of satellite products for tropical cyclone reconnaissance. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 567–578.
- , M. Helveston, T. F. Lee, F. J. Turk, K. Richardson, C. Sampson, J. Kent, and R. Wade, 2006: Tropical cyclone multiple eyewall characteristics. Preprints, *27th Conf. on Hurricane*

- and Tropical Meteorology*, Monterey, CA, Amer. Meteor. Soc., 6B.1. [Available online at http://ams.confex.com/ams/27Hurricanes/techprogram/paper_108864.htm.]
- Kuo, H.-C., L.-Y. Lin, C.-P. Chang, and R. T. Williams, 2004: The formation of concentric vorticity structures in typhoons. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 2722–2734.
- Kummerow, C., W. Barnes, T. Kozu, J. Shiue, and J. Simpson, 1998: The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **15**, 809–817.
- Maclay, K. S., M. DeMaria, and T. H. Vonder Haar, 2008: Tropical cyclone inner-core kinetic energy evolution. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 4882–4898.
- Ortt, D., and S. S. Chen, 2008: Effect of environmental moisture on rainbands in Hurricane Rita and Katrina (2005). *28th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, American Meteorological Society*, Miami, FL, Amer. Meteor. Soc., preprint 5C.5.
- Qiu, X., Z.-M. Tan, and Q. Xiao, 2010: The roles of vortex Rossby waves in hurricane secondary eyewall formation. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 2092–2109.
- Sitkowski, M., J. P. Kossin, and C. M. Rozoff, 2011: Intensity and structure changes during hurricane eyewall replacement cycles. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 3829–3847.
- Terwey, W. D., and M. T. Montgomery, 2008: Secondary eyewall formation in two idealized, full-physics modeled hurricanes. *J. Geophys. Res.*, **113**, D12112, doi:10.1029/2007JD008897.
- Willoughby, H. E. and P. G. Black, 1996: Hurricane Andrew in Florida: Dynamics of a disaster. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 543–549.
- , J. A. Clos, and M. G. Shoreibah, 1982: Concentric eye walls, secondary wind maxima, and the evolution of the hurricane vortex. *J. Atmos. Sci.*, **39**, 395–411.
- Wimmers, A. J., C. S. Velden, 2011: Seamless Advective Blending of Total Precipitable Water Retrievals from Polar-Orbiting Satellites. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **50**, 1024–1036. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2010JAMC2589.1>
- Yang, Y.-T., H.-C. Kuo, E. A. Hendricks, M. S. Peng, 2013: Structural and Intensity Changes of Concentric Eyewall Typhoons in the Western North Pacific Basin. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 2632–2648.
- , E. A. Hendricks, H.-C. Kuo, and M. S. Peng, 2014: Long-Lived Concentric Eyewalls in Typhoon Soulik (2013). *Mon. Wea. Rev.*, **142**, 3365–3371.
- Zhou, X., and B. Wang, 2009: From concentric eyewall to annular hurricane: A numerical study with the cloud-resolving WRF model. *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L03802, doi:10.1029/2008GL036854.

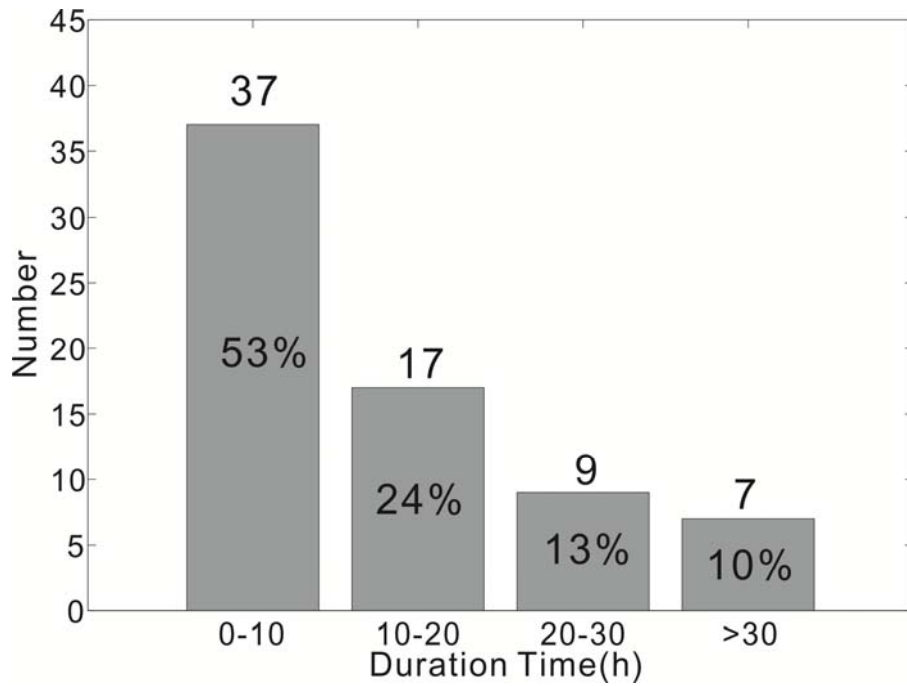


圖 1：1997 年至 2011 年雙眼牆颱風維持時間為 0-10 小時、10-20 小時、20-30 小時及 30 小時以上的個數及比例。資料來源為 Yang et al. (2013)。

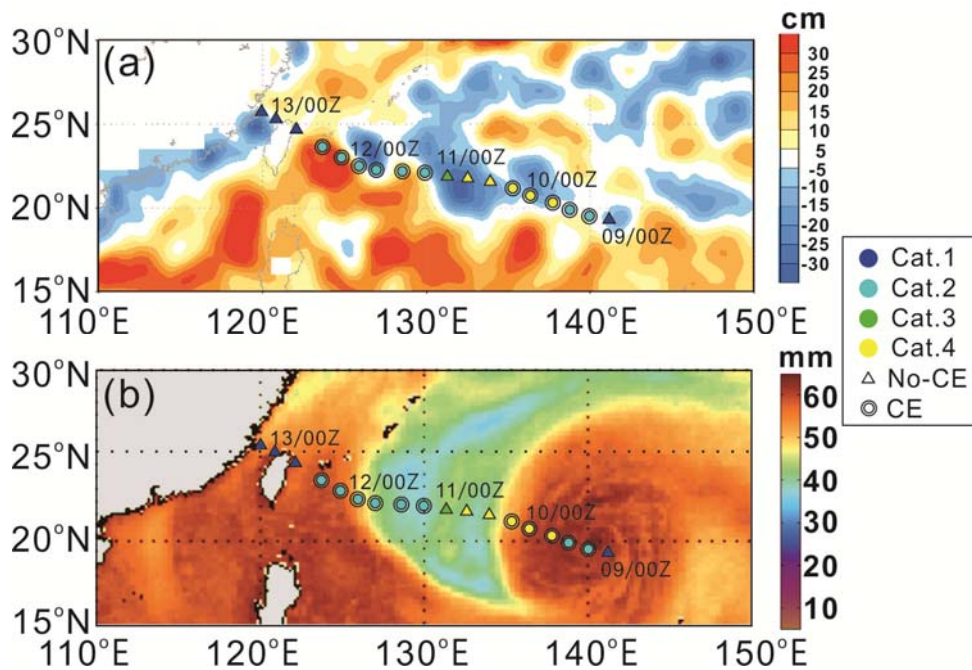


圖 2：(a) 蘇力颱風路徑及 2013 年 7 月 8 日 sea surface height anomaly (SSHA)，其中正和負 SSHA 分別表示暖及冷渦區；(b) 蘇力颱風路徑及 2013 年 7 月 9 日 total precipitable water 圖。顏色表示颱風強度，三角形及圓圈分別表示沒有及有雙眼牆結構。

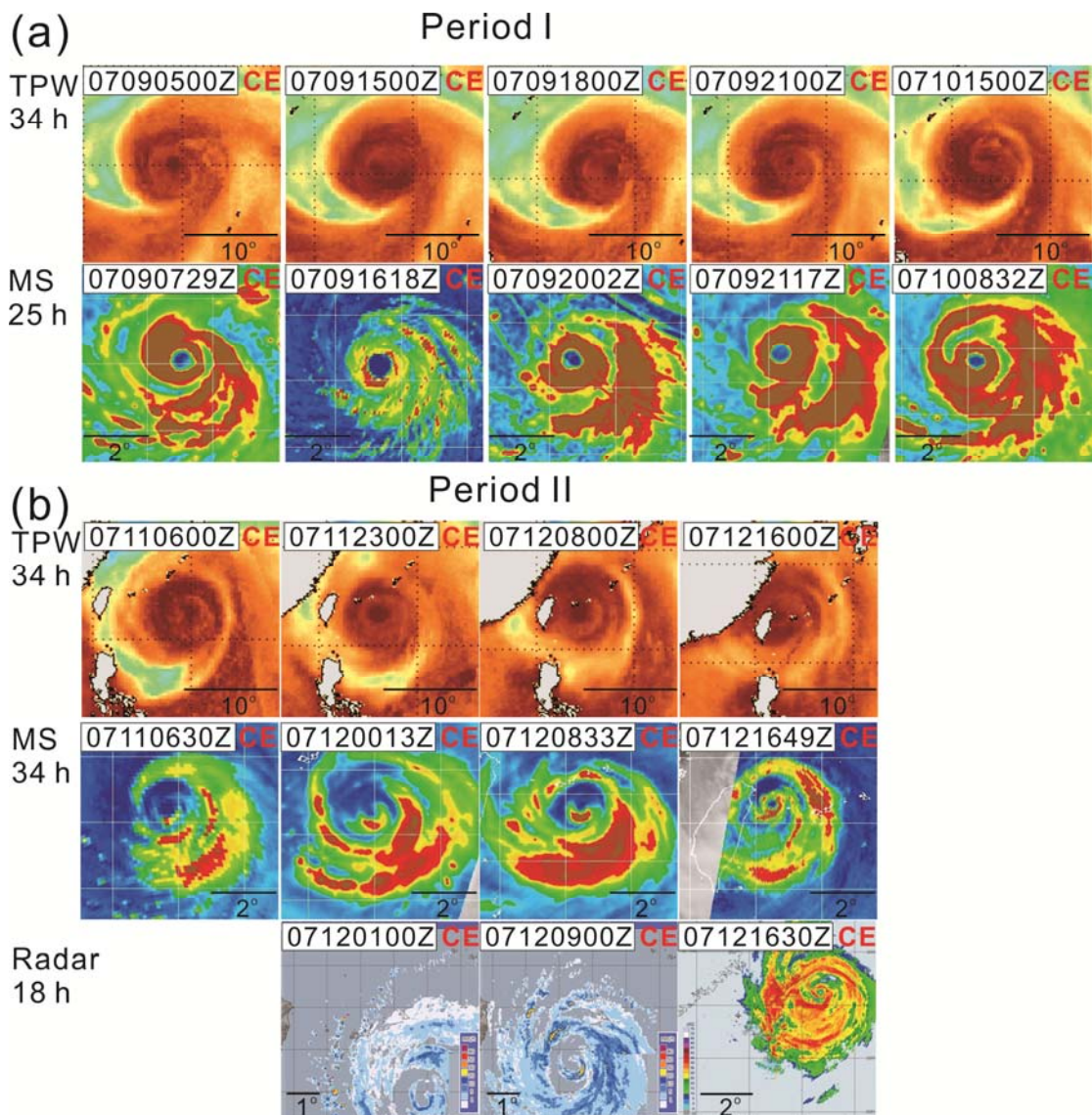


圖 3:(a)Period I(7 月 9 日 05Z 至 7 月 10 日 15Z)和(b)Period II(7 月 11 日 06Z 至 7 月 12 日 16Z)的 Total precipitable water (TPW)、微波衛星(MS)及雷達(Radar)圖。

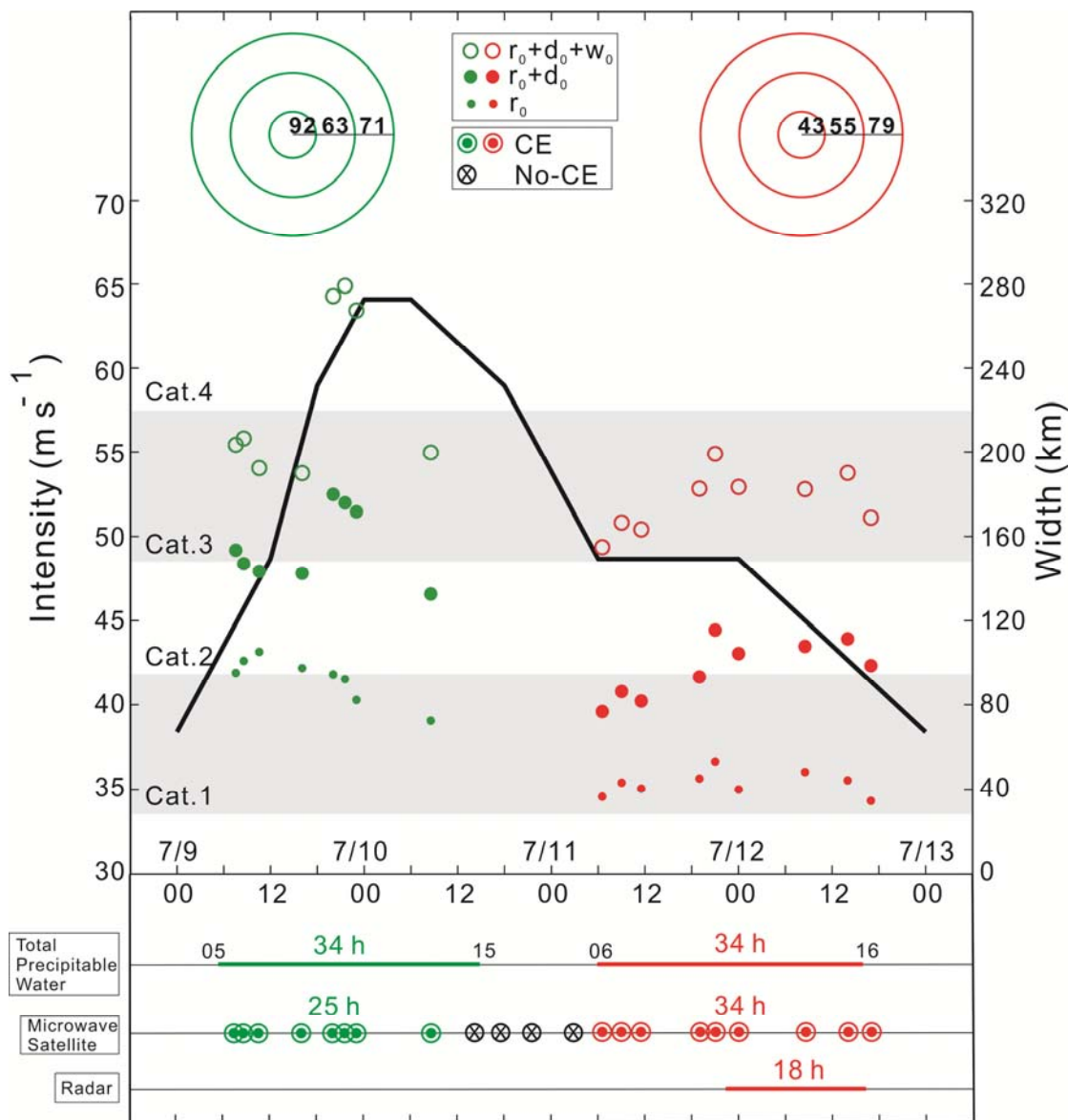


圖 4：蘇力颱風的強度及 total precipitable water、微波衛星及雷達判斷出雙眼牆的時間長度圖。下半部圖中，圓圈中有一點表示微波衛星雲圖判斷為雙眼牆、圓圈中有叉表示沒有雙眼牆結構。上半部圖中，實心小點、實心大點及空心圈分別表示 r_0 、 r_0+d_0 和 $r_0+d_0+w_0$ (r_0 為內眼牆半徑, d_0 表示 moat 寬度, w_0 表示外眼牆寬度)，黑色線表示颱風強度。圖最上方為 Period I 和 Period II 平均 r_0 、 d_0 和 w_0 寬度，單位為公里。綠色和紅色分別表示 Period I 和 Period II。

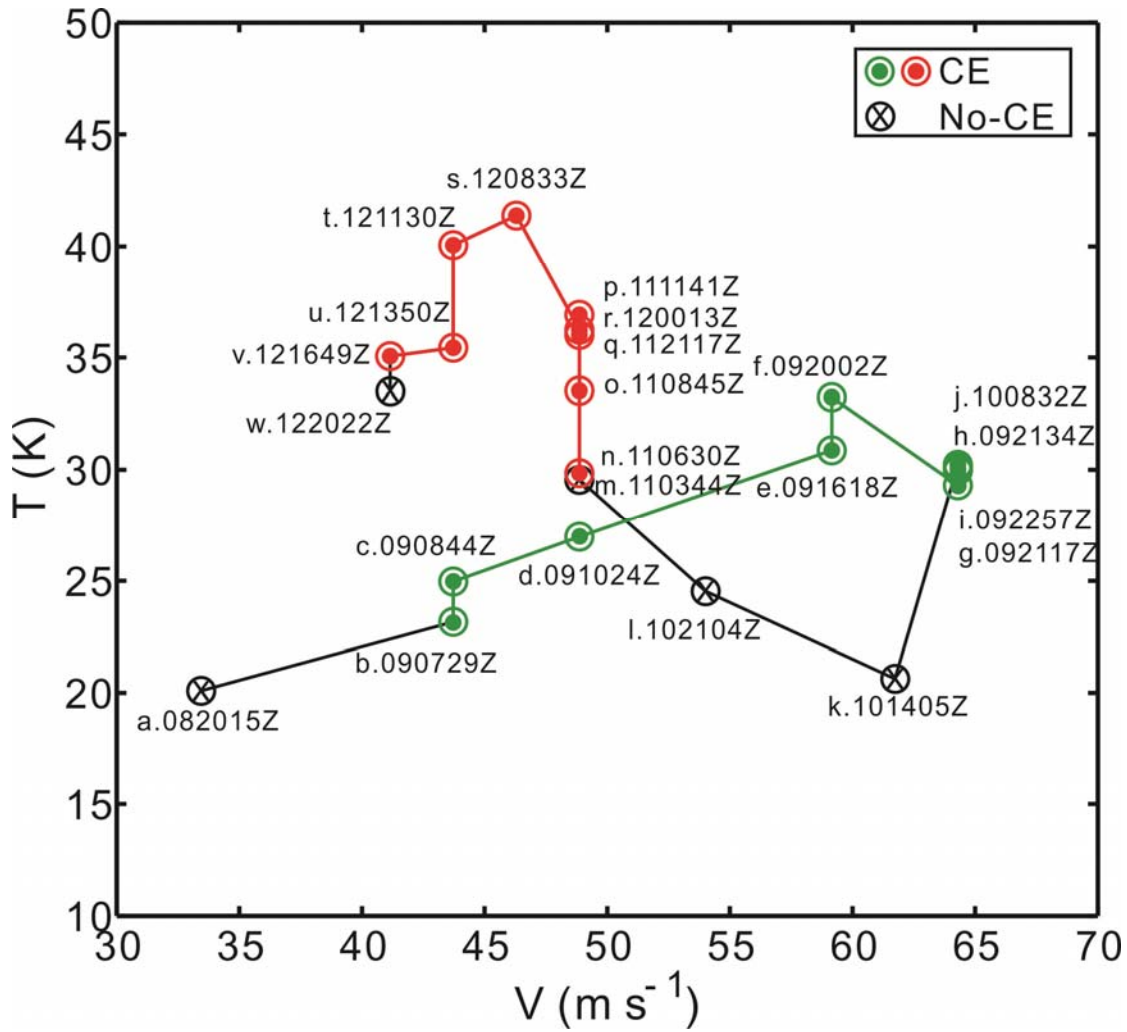


圖 5：蘇力颱風的 T-Vmax 圖。T 表示颱風中心 400 公里 X400 公里範圍內背景亮度溫度及平均亮度溫度差，綠色和紅色分別表示 Period I 和 Period II。圓圈中有一點表示微波衛星雲圖判斷為雙眼牆、圓圈中有叉表示沒有雙眼牆結構。