

颱風風場結構之分析：以艾利(Aere)颱風為例

黃紹欽¹ 劉清煌²

¹中國文化大學地學研究所

²中國文化大學大氣科學系

摘要

邊界層特性對於颱風強度及移動方向都有很大的影響，如：溼度場、風場，就現階段而言，卻往往無法確實掌握颱風之邊界層特性，尤其是在實際觀測資料較缺乏的洋面上，也使得颱風強度及路徑的預報會有相當大的困難。本研究利用 VAD(Velocity Azimuth Display)法來探討颱風低層風場的變化。在艾利颱風的個案中，從颱風徑向風場的時間序列來看，艾利在分析時間內，低層內流會先加強，而後再減弱，最後才又建立起來，而徑向風內流的增強與強雨帶的出現有很好的的一致性，本研究的結果將有助於更進一步了解颱風低邊界層之風場。

關鍵詞：VAD、艾利颱風、切線風、徑向風

一、前言

西北太平洋地區為全球颱風發生頻率最高之處，平均每年約有23.6個颱風在此生成，而台灣恰好位於颱風必經之路徑，每年約有3.6個颱風會侵襲台灣，為台灣帶來很大的災害及損失，因此，颱風的預報就成為一個很重要的議題。對於侵襲陸地之颱風而言，都卜勒雷達能提供高時間、空間解析度之實際觀測資料，也成為預報人員相當倚重之工具。想要得到更真實之三維水平風場必須利用雙都卜勒雷達的技術，然而，都卜勒雷達的造價十分昂貴且一般作業之雷達網每個雷達位置間的距離很大，再加上遇到地形之阻擋，使得有效之觀測區域縮小，因此，利用單都卜勒雷達之徑向風場來反演水平風場是極為重要的方法。Lhermittle and Atlas(1961)利用單都卜勒雷達以一固定仰角沿各方位角轉一圈，並選擇一固定之徑向距離，便可得到徑向風速和方位角的關係，而求出不同高度的水平風向、風速。Browning and Wexler(1968)進一步利用此種技術再對大範圍之風場特性作簡諧分析，進而求得輻散場和變形場，這就是VAD。近來，Lee et al.(2000)提出了GBVTD(Ground-Based VTD)之分析方法，乃是使用地面雷達站資料，利用颱風風場近似軸對稱的特性，使用幾何關係與傅利葉級數轉換，可獲得頗為合理的颱風結構，另外，Marks et al.(2000)針對1996年之Fran颶風，利用VAD分析水平風之垂直剖面，發現在1公里以下會有很強的風切，而在400公尺以下，風向的變化很小。李與廖(2005)更利用傳統的VAD，結合雷達回波保守方程，來估計VAD無法直接計算之渦度場。本文的結構如下：在第二節中將會介紹本研究所使用的資料種類、特性以及研究方法。在第三節中，將會針對艾利颱風作分析，以檢視颱風登陸時，邊界層風場結構之變化。第四節為本文所得到的結果與討論。

二、資料來源與研究方法

(一) VAD：

由於單都卜勒僅能測得徑向風分量，所以，必須利用單都卜勒徑向速度來反演水平風場，例如：VAD、GBVTD……等，本研究擬用 VAD 來反演大範圍的水平風場。所謂的 VAD 就是利用簡諧曲線來模擬都卜勒雷達徑向風速—方位分布的曲線，再進而求出大尺度的平均風速/風向/散度/雷達回波，本研究使用中央氣象局五分山雷達站觀測到的徑向風場資料，再利用 Browning and Wexler 在 1968 年提出的 VAD 法來求得雷達站附近在不同高度上的平均風場。

(二) 颱風切線風與徑向風：

求出 VAD 風場後，必須將此風場轉換成以颱風為中心的座標系統，找出颱風之徑向風(Radial Wind)與切線風(Tangential Wind)，由於五分山雷達每 6 分鐘就會完成一個 PPI 立體掃描，所以，如果颱風中心的定位使用時間解析度較低之資料，例如：每六小時一筆資料之 JTWC 最佳路徑(Joint Typhoon Warning Center Best-track)，在計算時會產生相當大之誤差，本研究所使用之颱風中心定位乃中央氣象局利用雷達定位得出，時間解析度為一小時，雷達中心定位主要是根據颱風中心之回波及雷達觀測之徑向風場綜合分析而得出，而每個立體掃描之颱風中心位置則由前後整點之雷達中心位置內差而得。

(三) 投落送(GPS Dropsondes)：

從 2003 年到目前，追風計畫已針對 19 個可能侵台之颱風進行 23 次的飛行。2003 年 11 月對杜鵑颱風進行的首航，共投擲 11 個投落送，結果發現在 6~30 小時之預報能改善 32%~81%，36 小時之預報也能改善將近 10%，在 2003 年及 2004 年，追風計畫共針對 10 個颱風進行 12 次飛行任務，吳俊傑教授等人指出：投落送的資料能改善 NCEP、AVN 之

12~72 小時路徑預報達 20% (Wu et al., 2005)。所以，藉由投落送直接觀測到之邊界層大氣環境資料對於颱風預報而言是極為重要的，在本文中，先將投落送的資料繪製成斜溫圖做初步的分析。

三、個案分析—艾利 (Aere)

艾利為 2004 年編號第 17 號的颱風，8 月 20 日在菲律賓東方海面上生成，形成之後向西北方行進，在 24 日、25 日由台灣北部海面通過，颱風中心距離雷達之最近距離約 50 公里，因此，相當適合利用 VAD 來作風場反演。在本文中，分析時間為 2004 年 8 月 24 日 1600UTC 至 25 日 0400UTC，圖 1 即為五分山雷達之雷達中心定位。

圖 2 為 GOES9 之 IR 衛星影像，可看出艾利剛生成時之結構相當鬆散，這也是艾利不易增強之原因，主要雲系集中在沿著颱風移動方向之左側，一般而言，颱風結構在沿著颱風移動方向之右側最為完整，艾利與之不同。直到成後的第三天，艾利之結構才組織起來，雲系較為完整，24 日 0000UTC 時，艾利之颱風眼相當明顯，但是，過大之颱風眼反不利於颱風之增強，在經過 12 小時後，眼牆處之對流雲卻發展得相當結實，可惜，因為受到地形的影響，衛星已不能看到清晰之颱風眼，眼牆處之對流雲可能是因為受到地形擠壓而被強迫出來，在這個時間，颱風之路徑開始向西偏移，並有減速之現象，也許是因為與後方之佳芭颱風(Chaba)產生藤原效應所導致(圖 2d 及 e)，25 日 0000UTC 時，藤原效應使艾利路徑偏南，導致颱風中心非常接近台灣北部陸地，使颱風環流受到地形之影響加大，再加上其結構原本就不算非常完整，因此，颱風強度衰減得很快(圖 2f)。

圖 3 為 8 月 24 日五分山雷達在 1.5°仰角下在不同時間之回波圖，圖 4 為雷達回波隨高度變化之時間序列。圖 3a 是 24 日 1159UTC 之雷達回波圖，可以看到颱風之雨帶已經移入台灣，且能看到颱風眼相當大，經過三小時後，較大之回波值出現在颱風眼右側，且其颱風眼已非正圓，最大回波值出現於颱風眼之尖角處(圖 3b)，另外，從 VAD 獲得之平均雷達回波時間序列也可以看出颱風慢慢接近陸地時，平均雷達回波分布相當均勻，直到 24 日 1838UTC，平均雷達回波值忽然增強(圖 4)，圖 3c 即為 1838UTC 之 PPI 立體掃描，五分山雷達站附近之雷達回波很大，由此可看出強回波出現在沿颱風路徑之左側，顯示出在此處有利於對流發展，此強回波經過後，亦能由圖 4 中能清楚地發現其平均雷達回波值也降至 25~35dBZ，也代表雨帶暫時移出，到了 24 日 2330UTC，平均雷達回波又突然提高，圖 3d 也顯示艾利之強回波區又抵達台灣北部陸地，而在這段時間後，隨著颱風中心遠離台灣，平

均雷達回波值也慢慢下降。另外，從圖 3b、c 及 d 可發現一共同點：若颱風眼為非正圓，最大回波常會分布在較尖銳處。

對於颱風而言，了解颱風之徑向風與切線風的變化情形是較重要的課題，圖 5 為徑向風場之時間序列。在 2 公里以上，除了 25 日 0300UTC~0400 UTC 為內流的情況，其餘皆為外流，而在 2 公里以下，從 24 日 1600UTC 開始，內流會先逐漸減弱，但 1800UTC 後，內流逐漸增強並向上發展，在 2000 UTC 達到最強，內流之區域亦可達到 2 公里處，之後，內流稍微減弱，到了 2300UTC，內流才又重新建立，但是在 25 日 0200UTC~0400UTC 之間的內流乃是由於颱風中心已經遠離，雷達觀測到外圍環流的部份。由徑向風之時間序列來看，徑向風的變化並無明顯的規律性，與雨帶的移入有較密切之關聯，對照圖 4，亦可發現較大之徑向風發生於較大回波周圍，此徑向風的增強顯然與強回波的出現有很好的的一致性。圖 6 為颱風切線風之時間序列。在 VAD 分析這段期間內，切線風皆為正值，且其垂直剖面與水平風速相似，最大切線風分佈在 1.5~2 公里間，1 公里以下之切線風會隨著颱風中心接近陸地而逐漸減弱，這是颱風環流受到地形摩擦後產生的減速，此外，最大切線風之高度亦會隨著颱風中心接近而提高，這也是受到地形的影響。隨著颱風中心遠離，颱風之切線風也逐漸減弱。

圖 7 為 GPS Dropsondes 在各層之風場，本圖是將不同投擲時間 dropsondes 平移到 1123UTC，由於在飛機飛行的這段時間內，颱風會不斷移動及旋轉，因此，必須對觀測資料作時間平移，將資料平移到相同的參考時間點上，作時間平移的過程中必須考慮颱風之移動速度、移動方向與旋轉速度，其移動方向與移動速度分別為 348.6°與每小時 14 公里，距中心 300 公里處之旋轉速度則為每小時旋轉 7.3°。圖中紅色風標為 GPS Dropsondes 作過 storm-relative 後之各層實際觀測風場，(a)圖中之黃色風標為 23 日 1200UTC 之地面觀測資料，(b)~(f)圖則是 1200UTC 之高空觀測資料。在低對流層(925hPa)，艾利颱風為氣旋式環流；中對流層(500hPa)及高對流層(300hPa)仍然維持著氣旋式環流，顯示出此颱風的結構相當完整。將 GPS Dropsondes 之大氣垂直剖面資料繪成斜溫圖(skewT-logP Diagram)來初步分析，如圖 8 所示：(a)為 23 日 1053UTC 投擲之 GPS Dropsondes，投擲位置如(b)上之綠色圓圈所示，900hPa 以下都還很潮濕，但是在 900hPa 以上卻有一個乾區存在並延伸到 450hPa 左右，代表低層雖有水氣的補充，但中高層之乾區抑制颱風繼續增強，而風速則是由低向高遞增，對大風速區大約位於 850hPa；(c)為 23 日 1345UTC 投擲之 GPS Dropsondes，投擲位置如(d)之綠色圓圈所示，由此圖中可看出此地的水氣相當充沛，對流在此處也較

容易發展，而由觀測之風場可看出最大風速區提高至 500hPa 左右。

四、討論與結論

本文選取的個案為 2004 年 8 月 24 日艾利颱風侵台時期，從過去的研究發現，颱風的風場分佈大致決定了颱風移動的方向(Holland, 1984;周等, 1994)，也決定其強度的大小，因此，透過 VAD 之分析能夠得到颱風風場之轉變，對於颱風強度及移動方向較容易掌握。進一步計算艾利之徑向風場(圖 5)及切線風場(圖 6)，最大切線風亦分佈在 1.5~2 公里間且隨著颱風中心接近台灣而提高，這很明顯是受到地形的影響，本研究得到之結果與 Shea and Gary(1973)相同；從徑向風來看，2 公里以下之內流會先加強，而後又逐漸減弱，持續一段時間後，內流才又重新建立起來，並逐漸加強、變厚，所以，當颱風環流受到地形的影響時，徑向風之變化與雨帶是否移入有較大之關聯，雨帶移入會使低層的內流減弱，而最大內流則多分布在較大回波值附近，Marks, Dodge, and Sandin(2000)曾對 1996 年的 Fran 颶風做 VAD 分析，亦發現強回波、切線風以及徑向風之間的關係：最大內流徑向風則是出現在強回波附近，此最大內流也暗示有較深厚之輻合在雨帶周圍發生，本文針對艾利颱風做 VAD 分析，所得之結果與其相同，顯示此方法對於了解颱風之低層風場結構有相當大的助益。由於颱風中心定位上之誤差，再加上不易獲得準確之颱風移動方向、移動速度，所以，在計算颱風之徑向風場及切線風場時會有其誤差存在，因此，期望能有更好之資料，來改善徑向風場及切線風場之誤差。

致謝

本研究在國家科學委員會計畫 NSC93-2111-M-034-004-API, NSC94-2111-M-034-004-API 及 NSC 95-2111-M-034-005-API 經費支助下完成，而研究中所使用之電腦設備由中國文化大學大氣科學系提供；所使用之雷達及衛星資料取自於中央氣象局，而雷達中心定位則由中央氣象局預報中心呂國臣課長提供，在此一併致謝。

參考文獻

- 李正紀與廖宇慶，2005：使用 VAD 方法及雷達回波資料估計大氣垂直渦度剖線。大氣科學，33，321-340。
- 周仲島，張保亮，李文兆，1994：都卜勒雷達在颱風環流中尺度結構分析的應用。大氣科學，22，

163-188。

- 楊健生，魏運寶，1991：單一都卜勒雷達鋒面之即時觀測-VAD 方法的應用。大氣科學，19，19-32。
- Browning, K. A. and R.Wexler, 1968: The Determination of Kinematic Properties of a Wind Field Using Doppler radar. *J. Appl. Meteor.*, 7, 105-113.
- Holland, R. G., 1984: Tropical Cyclone motion: A Comparison of Theory and Observation. *J. Atmos. Sci.*, 41, 68-75
- Lee, W.-C., B. J.-D. Jou, P.-L. Chang, and S. -M. Deng, 2000: Tropical Cyclone Kinematic Structure Retrieved from Single-Doppler Radar Observations. Part II: The GBVTD-Simplex Center Finding Algorithm. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1925-1936
- Lhermittle, R. M. and D. Atlas, 1961: Precipitation Motion by Pulse Doppler Radar. Preprints 9th Radar Meteor Conf. Amer. Meteor. Soci., Kansas City, 218-223.
- Marks, F. D. Jr., Peter Dodge, and Carl Sandin, 2000: WSR-88D Observations of Hurricane Atmospheric Boundary Layer Structure at Landfall. (Personal note)
- Wu Chun-Chieh, Po-Hsiung Lin, Sim Aberson, Tien-Chiang Yeh, Wei-Peng Huang, Kun-Hsuan Chou, Jing-Shan Hong, Guo-Chen Lu, Chin-Tzu Fong, Kuan-Chien Hsu, I-I Lin, Pay-Liam Lin and Ching-Hwang Liu. 2005: Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR): An Overview. *Bulletin of the American Meteorological Society*: Vol. 86, No. 6, pp. 787-790

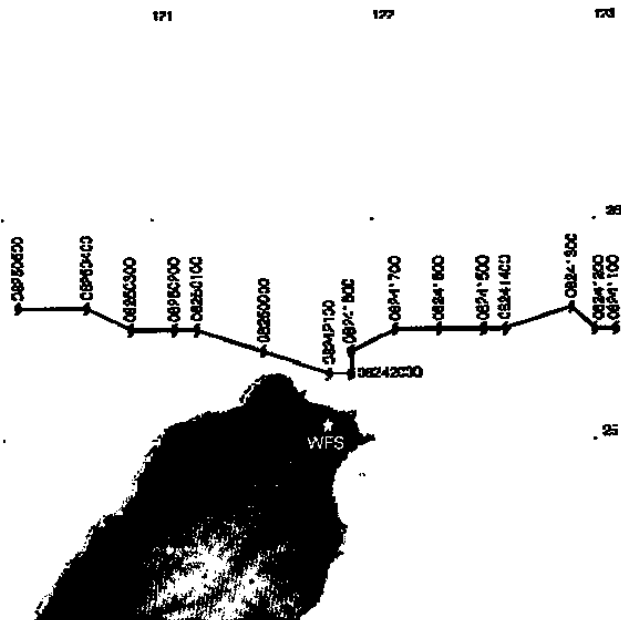


圖 1 五分山雷達每小時之艾利颱風中心定位。

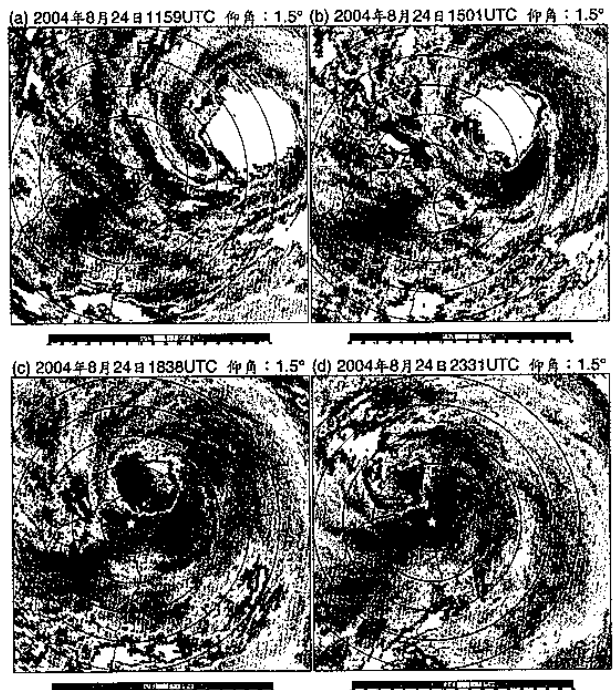


圖 3 1.5°仰角之五分山雷達回波圖，白色星號為五分山雷達站之位置，圈距分別為 30、60、90、120 及 150 公里。

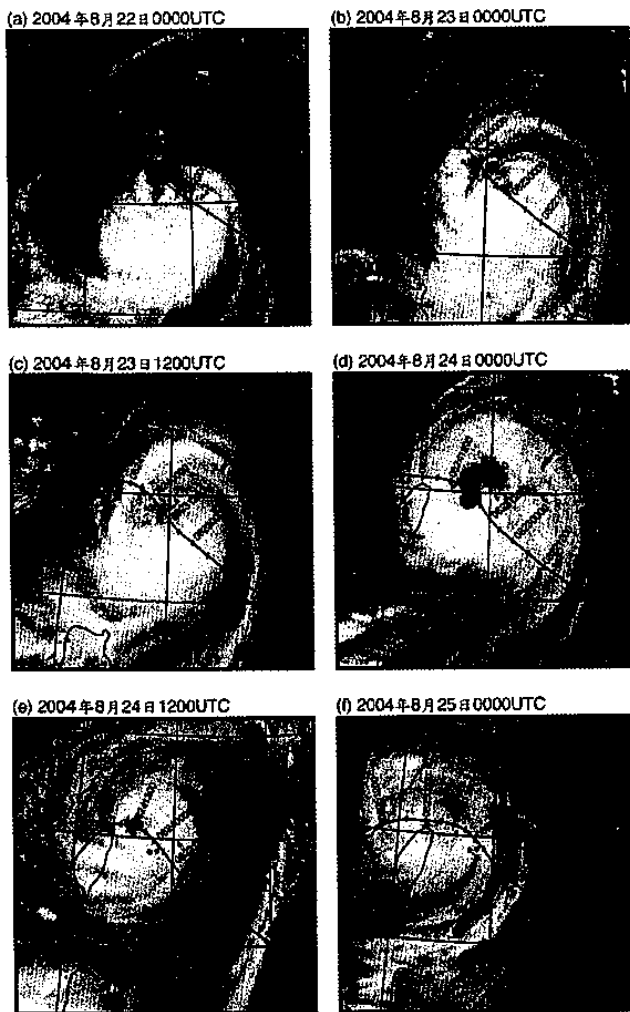


圖 2 GOES9 之紅外線(IR1)衛星影像，JTWC Best-track 以藍色實線表示。

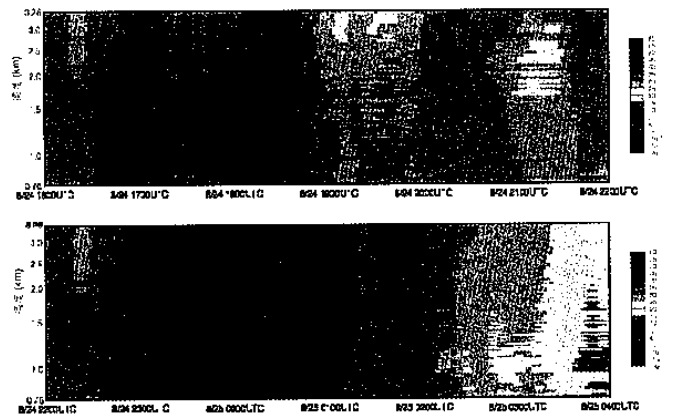


圖 4 艾利颱風之平均雷達回波隨高度變化之時間序列。

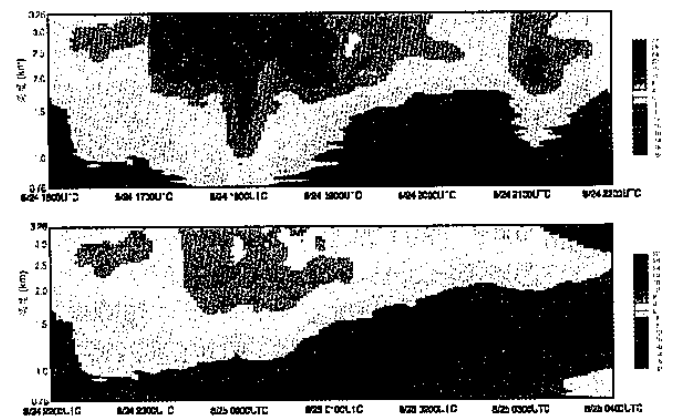


圖 5 艾利颱風之徑向風場隨高度變化之時間序列。

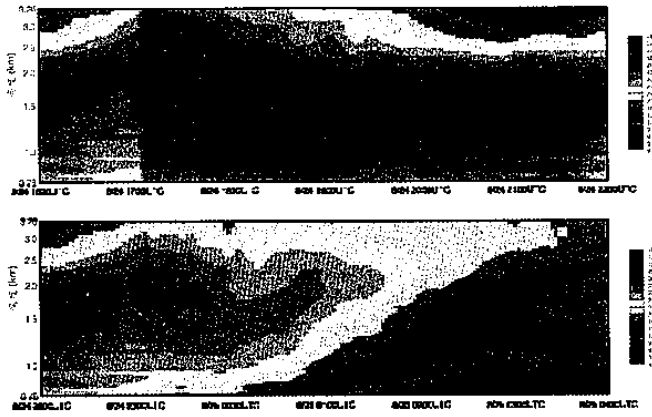


圖 6 艾利颱風之切線風場隨高度變化之時間序列。

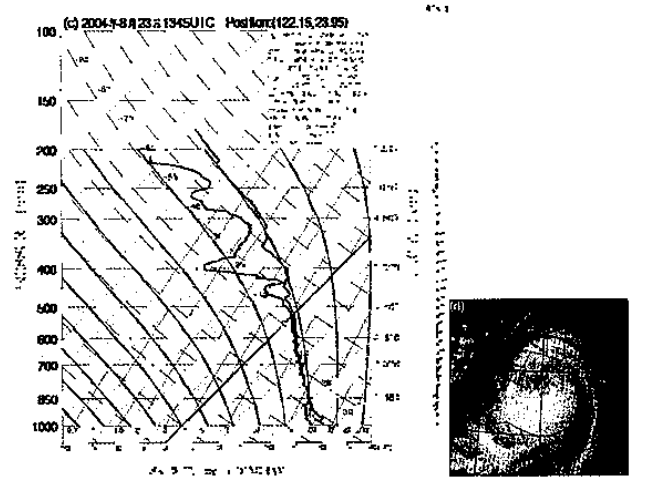
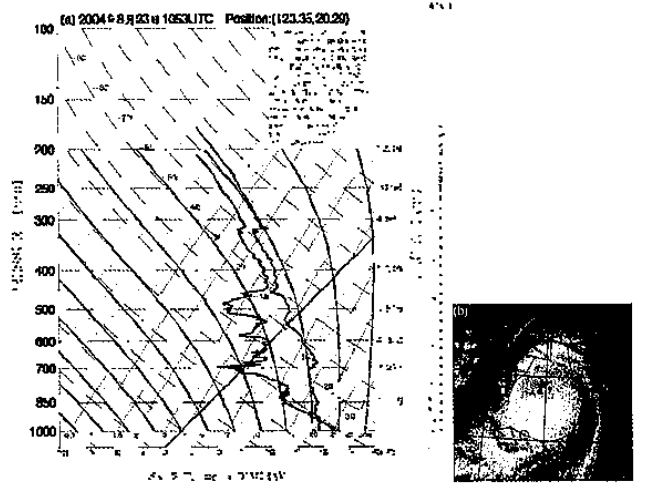


圖 8 艾利颱風之投落送斜溫圖，(a)為 1053UTC 之投落送(b)為其投落位置示意圖；(c)為 1345UTC 之投落送(d)為其投落位置示意圖。

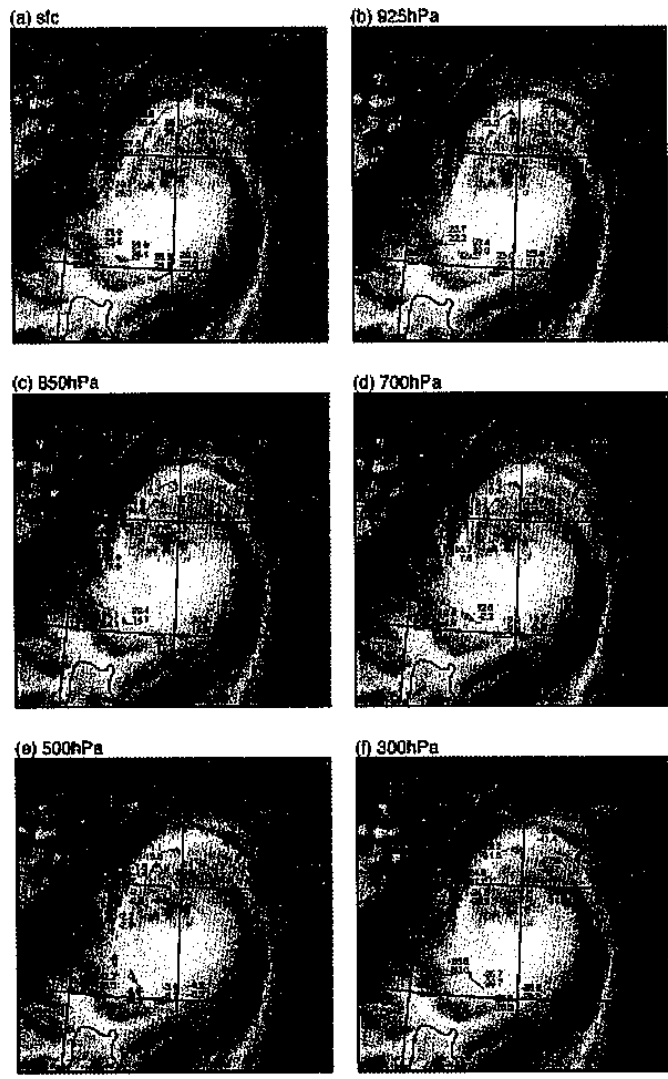


圖 7 2004 年 8 月 23 日 1123UTC 之 IR1 衛星影像。紅色風標為 dropsondes 之投落位置；黃色風標為 8 月 23 日 1200UTC 之地面及高空觀測資料，圖(a)為地面觀測資料，圖(b)至圖(f)則為高空觀測資料。