

伴隨雷雨天氣之高層冷心低壓研究

陳泰然

國立台灣大學大氣科學系

陳來發 · 周蘭芬 · 李育棋

中央氣象局預報中心

摘 要

本文選取暖季冷渦環流影響台灣地區之三個個案，利用探空、飛機與衛星風場資料，分析冷渦之生成、移動、消散、結構及其與台灣地區雷雨天氣之關連。其中 1985 年 9 月個案與 1986 年 8 月個案，冷渦中心皆登陸台灣，兩者中心最接近板橋探空站時，分別為 100 km 與 300 km。1987 年 7 月個案，中心通過巴士海峽，板橋距中心約 500 km，在其環流邊緣，此冷渦為一濕冷渦，且具濕低對流層與中低對流層潛在不穩度。

9 月個案之冷渦，為一乾冷渦具濕低對流層，8 月個案為一濕冷渦具乾低對流層。9 月個案冷渦比 8 月個案冷渦具較大之中低對流層潛在不穩度與較潮濕低對流層，因此有較大之降水量與較普遍發生之較強對流（包括冰雹）。冷渦過境時可因中高對流層溫度降低與低對流層水氣增加，而增加中低對流層之潛在不穩度。此種潛在不穩度，則可透過冷渦引發之低層東風波槽與暖平流所伴隨之上升運動而釋放，以產生對流降水與劇烈天氣。東風波槽可能係由冷渦所伴隨之噴流條動力強迫作用而來，發生在噴流條出區左側高層輻散區。

關鍵詞：冷渦，乾冷渦，濕冷渦，潛在不穩度，東風波槽，劇烈天氣

一、前 言

在暖季月份裏，不論太平洋或大西洋之高對流層氣流形式均非單純地僅為副熱帶高壓脊線之向上伸展，而是經常包含一些瞬變氣旋中心 (transient cyclonic center)。這些氣旋中心常可由所經測站探空資料分析出冷心結構，其強度自 200–300 mb 向上及向下減弱，此種具有冷心結構的高層氣旋式低壓環流，一般稱為高層冷心低壓 (cold core low) 或冷渦 (cold vortex)。此種環流系統，因其發生區及移經區域大都在海上，資料上之限制使得其形成、發展及消散等過程方面之診斷分析研究常感困難。但對暖季月份之區域性對流活動而言，此種環流系統之溫度結構及伴隨的垂直運動場，可能為提供產生對流之有利條件或提供引發對流之有利機制，故仔細分析以辨認冷渦為在暖季月份區域性天氣預報上之重要課題。

Erickson (1971) 分析 1966 年發生在 Bahama 島附近之高層冷渦個案，認為低平流層

的暖距平與對流層的冷距平是發生天氣的有利條件。林 (1972) 分析 1971 年 7 月 31 日高層冷渦移經台灣上空前後之綜觀條件與雷雨發生之關連，發現雷雨於 300 mb 冷渦外圍發生，而於中心附近則無。他認為冷渦前緣伴隨北風之冷平流及冷渦環流所伴隨之高層輻散，均有利於雷雨之發生與維持。吳 (1976) 以其多年分析與預報經驗，認為台灣地區之暖月雷雨若係由此種高層冷渦誘發，則可在 2–3 天前預測，唯其必須移經日本南方諸島及琉球 (300 mb 高度降至 9,660 公尺，溫度 $< -30^{\circ}\text{C}$) 且沿北方暖高壓南側規則西移。他詳細分析 1975 年 8 月 10–14 日發生於大陸之冷渦結構外，亦分析 1974–1975 年 6–10 月發生於 140°E 以西之高層冷渦，發現生命期在一天以上之冷渦，最大環流強度在 300 mb，其源區主要在 $25-35^{\circ}\text{N}$ 。這些冷渦在東亞地區平均約以每日四個緯度 ($\sim 5 \text{ ms}^{-1}$) 緩慢移動。王等 (1979) 分析 1963–1977 年 6–9 月東亞及西太平洋 300 mb 之高層冷渦氣候特徵，發現在 $100-155^{\circ}\text{E}$ 及 $15-40^{\circ}\text{N}$

範圍內生命史在一天以上之 163 個高層冷渦各月均有，8 月最多，7 月次之。他們對冷渦過境之天氣與成因作了兩個個案分析，認為高層冷平流可助長大氣之不穩定度，加上午後地面增溫，極易造成雷雨，且冷渦東南象限伴隨之暖平流，亦可產生上升運動引發雷雨。

Kelley and Mock (1982) 為求得具有代表性之西太平洋高層冷渦之結構並了解其動力，以威克島、中途島、莊斯頓島及關島等島嶼探空站資料及 ESSA 人造衛星觀測之雲量，合成分析於

1967-1971 年 6—10 月發生於西太平洋 10° — 30° N 及 130° E— 150° W 間的 117 個高層冷渦，結果發現最大環流強度出現在 200mb，最大冷距平則出現在冷渦北部之 300mb，最大暖距平位於冷渦之上的 125mb。冷渦西北象限為下沉區，雲量最少；東南象限為上升區，雲量最多，最大上升運動則出現在 300mb。溫度結構與垂直運動場分佈顯示 200mb 以下為熱力直接環流，以上則為間接環流。他們的合成雲量分佈與 Sadler (1967) 之太平洋副熱帶高層冷渦個案分析結果一致，Sadler 觀測到高層冷渦東側有逗點狀形式之雲，而西側則為雲量最少區。

陳等 (1988) 利用中央氣象局之 300mb 天氣圖及日本氣象廳 GMS 衛星雲圖與分析資料，分析 1985—1986 年 6—10 月西太平洋高層冷渦之氣候特徵、綜觀形勢及伴隨天氣。結果發現其移動方向，一般西進至 145° — 160° E 間後轉向西北西至西北移行。冷渦環流平均半徑 800 公里，相當於平均波長 3,200 公里，其平均生命期約 6 天，發生於 150° E 以東者之生命期為以西者之 1.8 倍。天氣現象顯示，冷渦環流內以東南象限之上升運動最強最不穩定，雲量最多，深淺對流亦最多；西北反是。此外，高低雲分佈亦顯示高層冷渦似可引發低層輻合及上升運動，使生對流。陳與紀等 (1989) 分別以傳統探空與飛機觀測資料 (T 法)、GMS 高層衛星風場 (S 法) 及結合上述三種資料 (C 法) 等三種方法，對 1985 及 1986 年發生於太平洋地區之八個高層冷心低壓個案進行定位與分析比較。結果顯示，T 法定位及 S 法定位結果具有軌跡的一致性，但位置均較 C 法者偏西，而 S 法定位稍優於 T 法定位。他們並利用 GMS 高層衛星風場分析

1981—1987 年發生於太平洋高空冷渦形成與消散之地理與季節分佈、生命期及移動過程等氣候特徵。結果顯示，高空冷渦之源地主要分佈於 15° — 25° N； 145° — 180° E，佔 54.3%；消散地區主要分佈於 20° — 30° N； 120° — 180° E，佔 61.7%。不論形成及消散，其最多頻率區在經度之變化均由 6 月向西偏移，8 月達最西後東退，而緯度則自 6 月起向北偏移，10 月分成南北兩支。向西至西南西移動者生命期最長 (∼6 天)，且移速最快 (∼4.2 緯度/天)。周 (1989) 利用 GMS 衛星風場、探空資料及飛機報告，研究 1982—1987 年 (1984 年缺)，6—10 月在 100° E— 170° W， 5° — 40° N 範圍內之 60 個冷渦，結果與陳等 (1988, 1989) 者相似，冷渦發生在 15° — 25° N， 160° — 180° E 之機率最大，在 30° N 以南 130° E 以東消散機率最大。發生之月份以 6 月最多，10 月最少，平均生命期 6.3 天。路徑走向多半偏西進行後轉向西北西或西北進行，平均速率 $4-5\text{ms}^{-1}$ 。此外並發現冷渦環流經常具有南北兩支強風軸，強風軸伴隨之輻散場引發之垂直運動在東南象限最強，該區對流發生機率亦最大。

上述有關西太平洋之高層冷渦研究，已使我們對冷渦之合成結構及動力 (Kelley and Mock, 1982；陳等, 1988)、個案之結構 (林, 1972；吳, 1976；王與羅, 1979；周, 1989)、綜觀氣候 (吳, 1976；王等, 1979；陳與紀等, 1989) 及其與劇烈天氣 (雷雨) 之關係 (林, 1972；吳, 1976；王與羅, 1979) 增加許多了解。鑑於暖季高層冷心低壓在局部天氣預報上之可能重要性，且冷心低壓與劇烈天氣現象間預報問題之掌握，目前仍困惑著預報員，同時因近年來海洋上高層民用飛機報告之增多及日本 GMS 衛星觀測次數之增多，使我們對於高層冷渦之辨認與定位增加信心 (陳與紀等, 1988)，因此，本文嘗試利用三個經過台灣地區之冷渦個案，分析冷渦結構、演變及其與天氣現象 (例如：對流性降水) 間之關連，希望結果對於改進暖季冷渦與伴隨天氣之預報有所幫助。

二、個案選取

本文目的在探討冷渦與台灣地區天氣之關連，

故先由近年來發生於西太平洋之冷渦資料檔案，辨認其環流影響台灣地區之個案，再選取其中資料較為完整之個案，做為分析研究之對象。在陳等（1988）所分析 1985—1986 年之 22 個個案裏，1985 年僅 9 月有兩個冷渦其中心通過台灣，本文選取之一個個案為路徑經過台灣中北部者，其環流在 9 月 9—12 日影響台灣地區。1986 年僅 8 月有一個冷渦中心通過台灣中南部地區，其環流在 8 月 13—14 日影響台灣地區。在周（1989）所分析 1982—1987 年之 60 個個案裏，1987 年雖無中心通過台灣之冷渦，但 7 月有一個案其中心經巴士海峽，環流於 7 月 3—5 日影響台灣地區。本文選取之這三個個案，7、8、9 月各有一個，其生命期、源地與消散地如表一所示。9 月之個案生命期最長為 12 天，7 月者最短僅 4.5 天，8 月者與平均生命期相近（陳等，1988；周，1989）為 6 天。9 月個案產生地 19°N ， 160°E 與消散地 30°N ， 117°E 皆與陳等（1988）之位置 20°N ， 160°E 與 30°N ， 118°E 稍有不同，此乃因陳等當時分析未使用衛星 cloud wind vector 資料所致。其餘兩個案之產生地與消散地，則與陳等（1988）及周（1989）之分析相同。此外，9 月之個案發生在氣候上主要發生區內，而在氣候上主要消散區以西消散（陳與紀等，1989；周，1989）。8 月與 7 月之個案，則皆在主要發生區以西發生，且在主要消散區以西消散。就冷渦發生時之綜觀環境而言，9 月個案發生於熱帶高對流層槽內（TUTT；Tropical Upper Tropospheric Trough），當時 TUTT 約與氣候平均之 TUTT 位置相近（Sadler, 1975）；8 月個案為中緯西風帶槽上之割離低壓；7 月個案則發生在高壓環流南側之東風槽內。

三、資料與分析

本文使用資料包括衛星風場、衛星雲圖、綜觀天氣圖、飛機報告與探空資料，每 12 小時觀測之探空測站如表二所示，其餘資料內容及使用情形如下：

1. GMS 衛星風場：使用每 12 小時一次之衛星風場，主要高度為 200mb。
2. GMS 衛星雲圖（包括紅外線與可見光）：每 3

小時一次觀測，用來輔助辨認冷渦之存在。

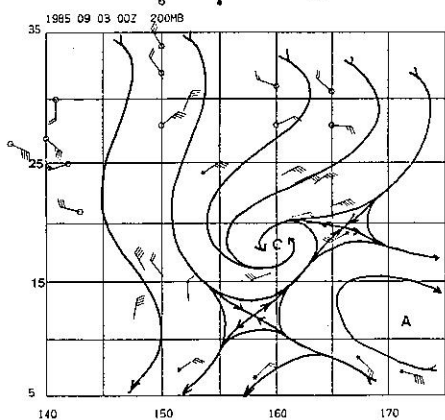
3. 綜觀天氣圖：分別為 0000UTC 及 1200UTC 之各層天氣圖，提供冷渦之辨別定位與發展厚度之研判。

4. 飛機報告（AIREP）：資料包括溫度、風向風速、飛行時間及飛行高度，由於冷渦一天內的中心位置變化不大，因此選用 0000UTC 及 1200UTC 前後 6 小時內之資料，作為較接近之綜觀時間資料。

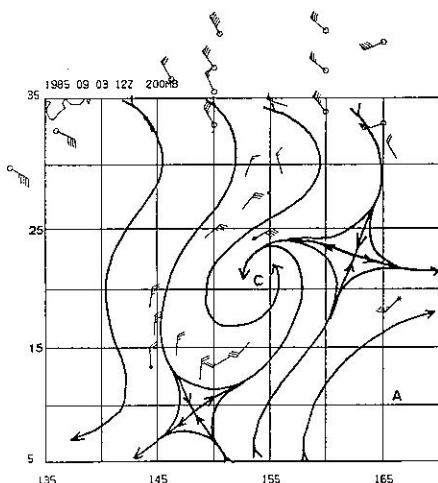
首先利用 GMS 衛星雲圖及 300mb 高空天氣圖，確認個案並粗略定位。辨認標準如下：在 300mb 天氣圖上有封閉氣旋式環流，且溫度分布可辨認係為冷心者（中心接近或靠近測站時溫度差為負值），其存在具有空間及時間上之連續性，生命期達 2.5 天以上者。其次將距離中心 15 緯度內之 cloud wind vector（200mb）、探空資料（200mb）及前後 6 小時之飛機資料（飛行高度自 37,000 至 41,000 英尺靠近 200mb 附近），在麥卡托投影圖內繪出低壓環流，求其空間結構。最後配合衛星雲圖，考慮空間及時間之連續性，分析氣流線，定出各時間較精確之中心位置。

四、1985 年 9 月 9 日-12 日個案

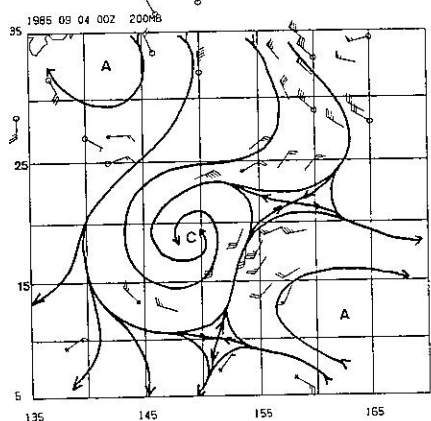
本個案之冷渦於 9 月 3 日 0000UTC 在 19°N ， 160°E 之 TUTT 上形成（圖 1a），12 小時後環流範圍擴大並在副熱帶高壓脊南側向西北移動（圖 1b）。副熱帶高壓脊於 4 日 0000UTC—5 日 0000UTC（圖 1c—1e），由日本九州附近之高壓中心向東南伸展並向南偏移，此段期間冷渦則在高壓脊南側轉向西南移動，高壓中心則向東移動。5 日 1200UTC 之後的 24 小時期間（圖 1f—1h），高壓中心繼續東移，冷渦則轉向西北移動。6 日 1200UTC 後，原在日本附近之西風槽，快速東移減弱，冷渦則向西緩慢移動（圖 1i—1k）。8 日 1200UTC 之後，冷渦繼續西移，向台灣地區移動，冷渦環流亦開始影響台灣地區，板橋探空由原東北風 35 kt（圖 1k）轉為東北東風 25 kt（圖 1l）。9 日 0000UTC（圖 1m）板橋仍維持東北東風 25 kt，12 小時後（圖 1n）轉為北風 15 kt，10 日 0000UTC（圖 1o）冷渦加速西移，板橋則轉為東北風並增強為 35 kt，1200



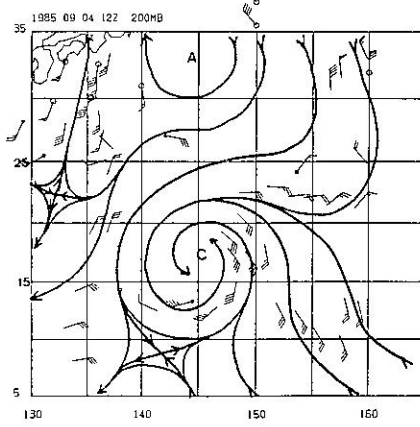
1 a



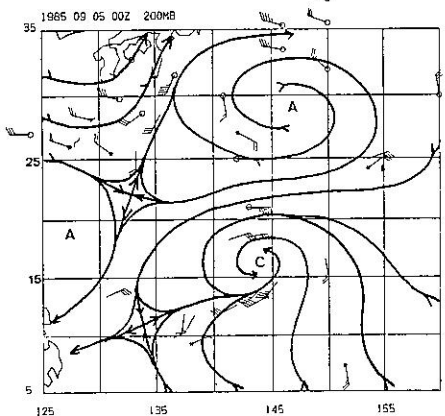
1 b



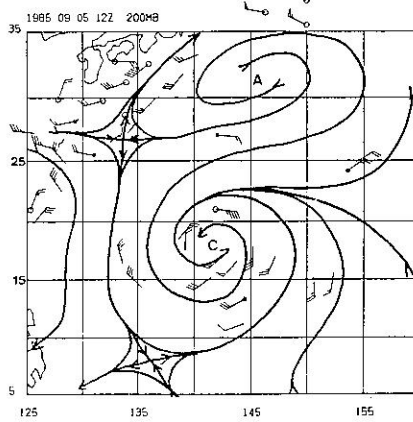
1 c



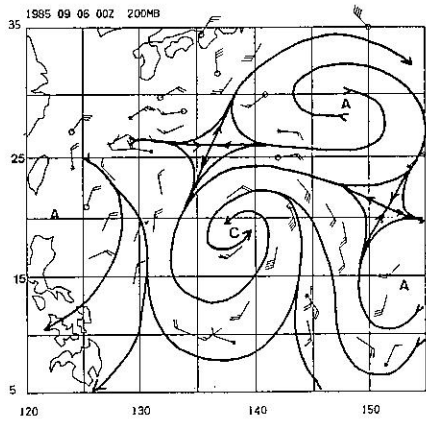
1 d



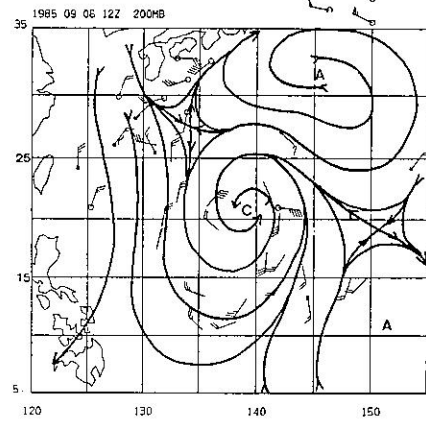
1 e



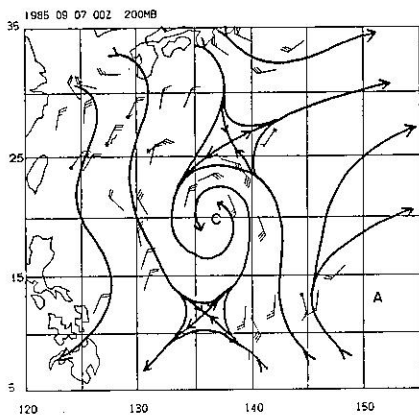
1 f



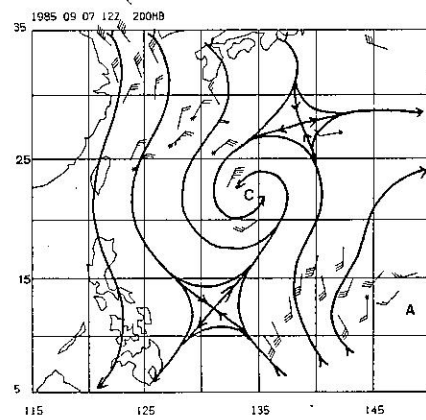
1 g



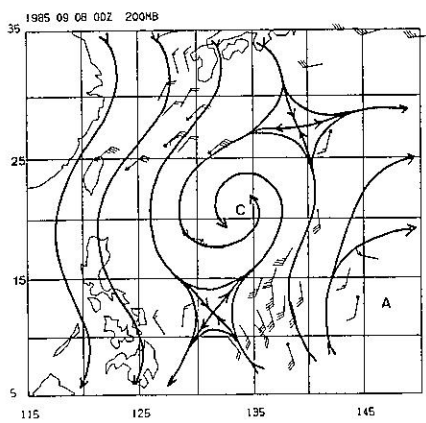
1 h



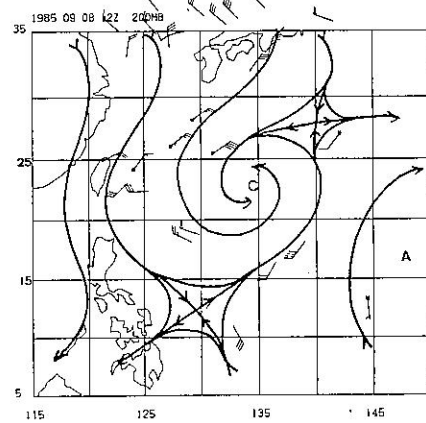
1 i



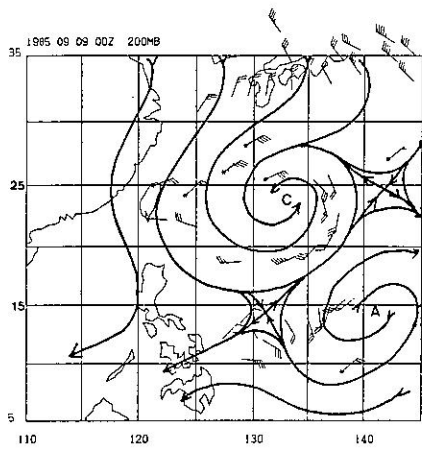
1 j



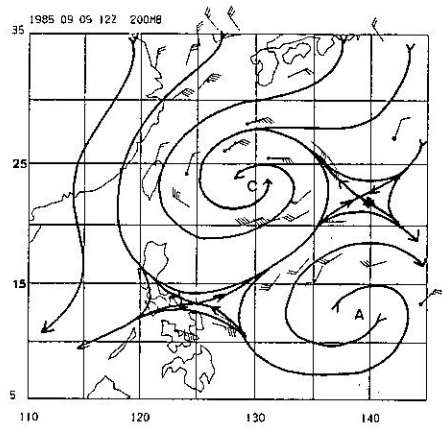
1 k



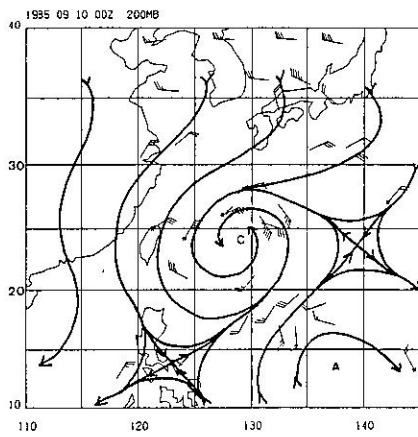
1 l



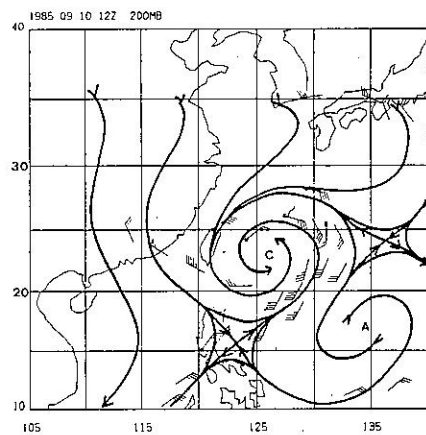
l m



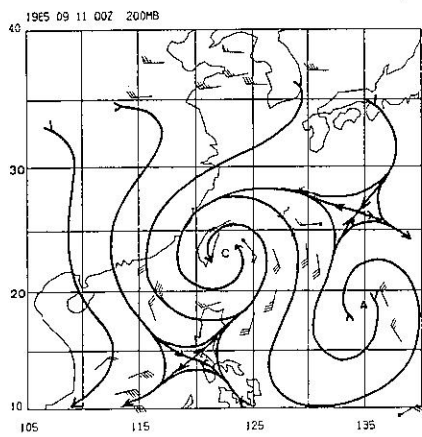
l n



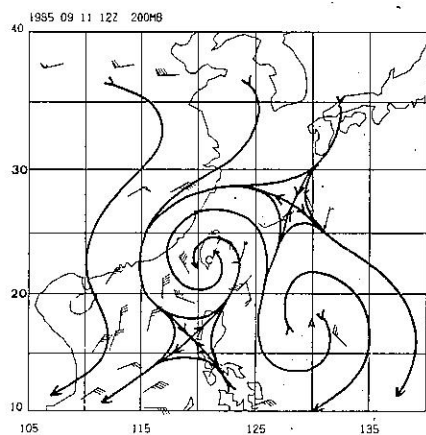
l o



l p



l q



l r

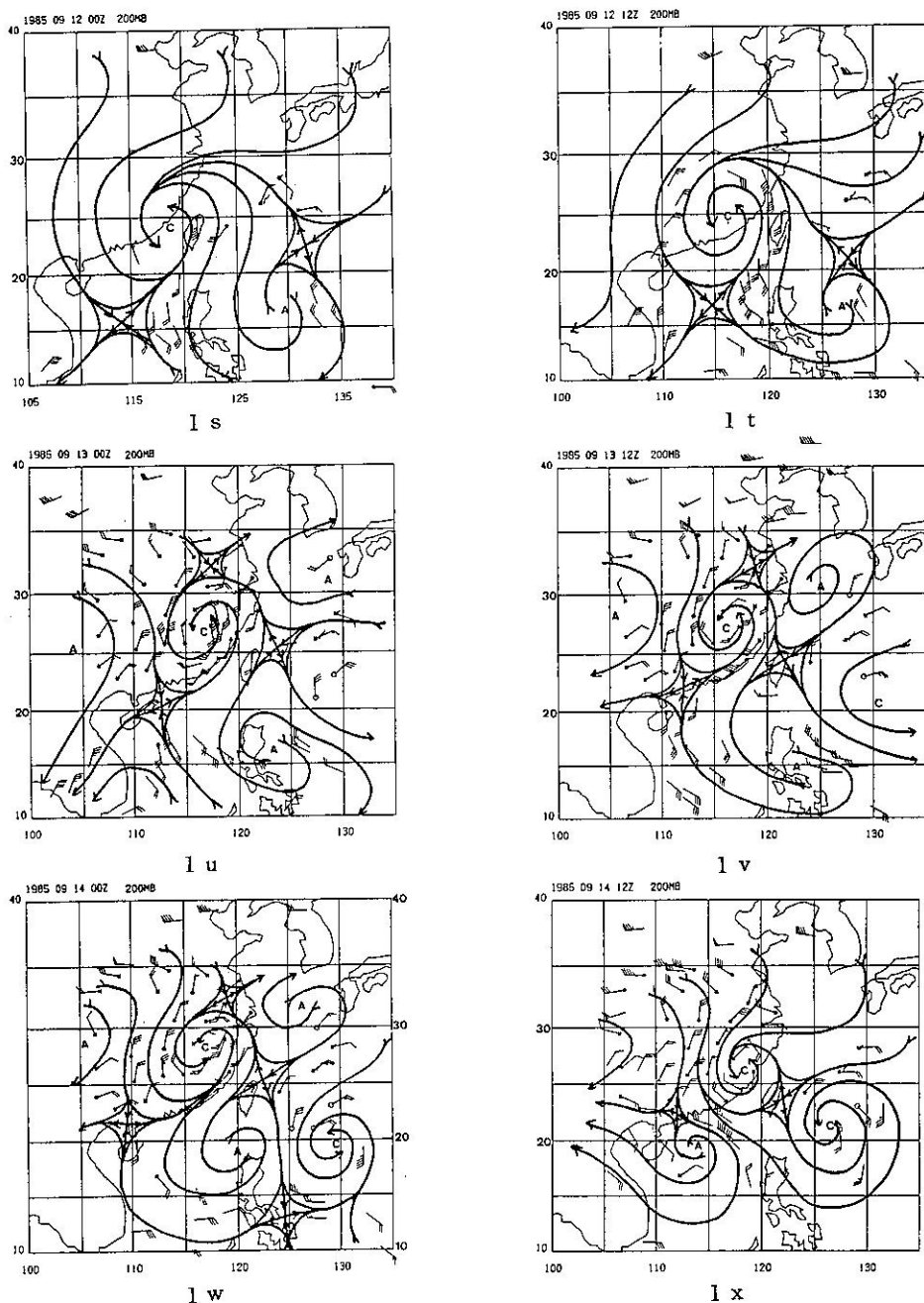


圖 1：1985 年 9 月 3 日 0000 UTC - 14 日 1200 UTC 200mb 氣流線分析。圖內風向風速資料，圓圈者為飛機報告，星號者為探空資料，其餘為衛星求得之風場。長桿為 10 kt，短桿 5 kt，三角旗 50 kt。

Fig. 1. Streamline analysis at 200mb for the period of September 3-14, 1985. The airport and rawinsonde data are indicated by circles and stars, respectively. And the winds without any symbols are GMS cloud winds. A full bar, a half bar, and a pennant represents the wind speed of 10 kt, 5 kt, and 50 kt, respectively.

UTC (1 p) 更增強為 45 kt。冷渦並於 11 日 0000–1200 UTC 間登陸台灣 (圖 1 q, 1 r) , 11 日 1200 UTC Ishigakijima (47918) 測得南南西風 55 kt (為該系統探空所測最大風速

)。冷渦於 12 日 0000 UTC 移入台灣海峽 (圖 1 s) , 此時板橋轉為南風 45 kt , 之後移入大陸後 , 板橋風速亦隨之轉弱 (圖 1 t – 1 x) , 冷渦於 14 日 1200 UTC 後進入西風帶內消散。

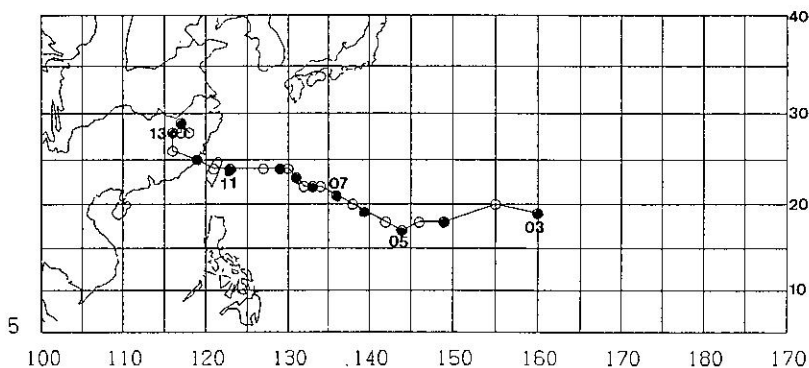


圖 2：1985 年 9 月 3 日 0000 UTC – 14 日 1200 UTC 200 mb 冷渦中心路徑，圓圈為每隔 12 小時之中心位置，實心為 0000 UTC 位置，空心為 1200 UTC 位置。

Fig. 2. The track of the cold vortex center for the period of September 3– 14, 1985. The solid circles and open circles indicate 0000 and 1200 UTC, respectively.

START TIME= 05090900 STATION= 16692

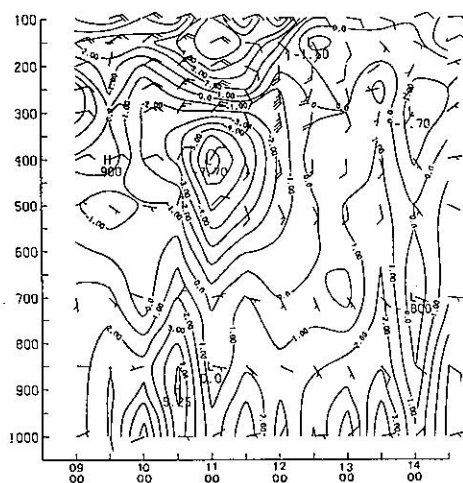
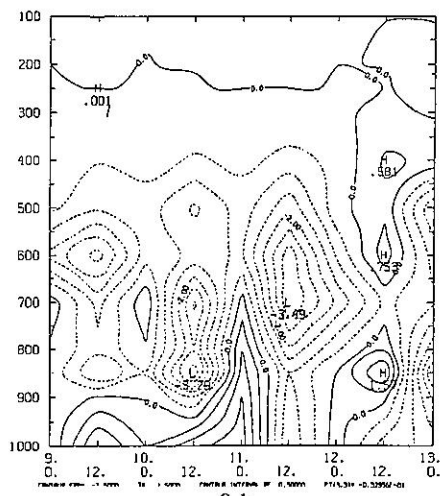


圖 3 a



3 b

圖 3：1985 年 9 月個案板橋探空資料之時間剖面分佈。(a)為 9 日 0000 UTC – 14 日 1200 UTC 之風向、風速與溫度距平，風速長桿為 10 m/s，短桿為 5 m/s，實線為溫度距平 (°C)，為當時溫度與該年 9 月平均之差。(b)為 9 日 0000 UTC – 13 日 0000 UTC 混合比 (g/kg) 距平 (實線為正，虛線為負)，為當時混合比與該年 9 月平均之差。

Fig. 3. Time cross section of the Panchiao rawinsondes for the case of September 1985. (a) The winds and temperature anomalies (isolds °C) in the period of 0000 UTC September 9 – 1200 UTC September 14. A full bar and a half bar represents 10 ms^{-1} and 5 ms^{-1} , respectively. (b) Mixing ratio anomalies (g kg^{-1} , solid is positive, dashed is negative) for the period of 0000 UTC September 9 – 0000 UTC September 13. Anomaly is the deviation of the observed value from the mean of September 1985.

圖2為此個案冷渦中心所經路徑，此冷渦在氣候上主要發生區內發生，而在主要消散區以西消散。生命期為12天，平均移速 5.3ms^{-1} ，環流範圍東西向大於南北向，東西向平均半徑約950 km，南北向約700 km，於9月9—12日期間影響台灣地區。此外，13日之後在台灣東方海面有另一冷渦環流向西移動（圖1u—1x），影響台灣地區，此冷渦中心西移亦經台灣，整個中心路徑較本文分析之個案偏南（參見陳等1988）。圖3a為9日0000UTC—14日1200UTC板橋風場與溫度距平之時間剖面分布，顯見此冷渦最大溫度負距平於11日0000UTC（此時中心距板橋僅100 km）出現在400mb，約為 -7.7°C ，最大正距平在150mb，約為 5°C ，均較Kelley and Mock（1982）之合成冷渦者為低（300mb與125mb），環流最強出現在250mb，亦較Kelley and Mock者稍低（200mb）。冷渦過境前後風向轉變，在500mb以上極為顯著，低對流層亦有顯著反應，且在時間上似較中高對流層為先。1000mb與850mb在10日0000—1200UTC由西南西風轉變為東/東南風，此種風向之順轉與低對流層冷渦前之顯著暖平流同時發生11日0000—1200UTC冷渦過境時，中高對流層風向轉變亦反應在低對流層之風向順轉，恰如東風波槽過境之情況，此時亦伴隨有較冷渦前稍弱之暖平流。圖3b為混合比距平，冷渦於11日0000UTC最接近板橋時（ $\sim 100\text{km}$ ），700mb以下水氣含量大增，至較平均值為高，700mb以上雖較前後時間潮濕，但仍為負距平。700mb以下之正距平與東風波槽過境及暖平流發生之時間一致。

圖4為冷渦過境期間（10日1200UTC—11日1200UTC）與前後一天之平均相當位溫剖面分布，顯見冷渦過境期間850—300mb因溫度降低使相當位溫降低，1000mb因水汽含量大增，使相當位溫增加，故中低對流層潛在不穩定度增加，600—400mb之穩定度亦大為減弱而成近乎中性穩定度，300mb以上則因溫度正距平而使相當位溫略增。冷渦過境後，潛在不穩定層僅局限於700mb以下，且不穩定度減小。圖5為冷渦環流影響期間（9日—12日）有降水測站之累積雨量與該地出現之最顯著天氣。中部與南部降水量較大，9日

1700LST至12日0200LST期間各地普遍發生雷雨，玉山莉楓、水南並在11日1400LST發生冰雹。

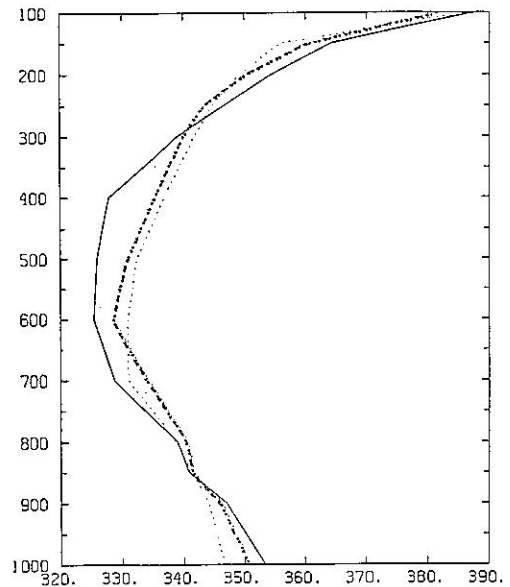


圖4：1985年9月個案，冷渦過境前（9日0000UTC—10日0000UTC；星號）、過境時（10日1200UTC—11日1200UTC；實線）與過境後（12日0000UTC—13日0000UTC；點線）之平均相當位溫分佈（X軸，K），Y軸為氣壓（mb）。

Fig. 4. Vertical profiles of the mean equivalent potential temperature (X axis, K) before (0000 UTC September 9—0000 UTC September 10, star), during (1200 UTC September 10—1200 UTC September 11, solid), and after (0000 UTC September 12—0000 UTC September 13, dotted) the cold vortex passage. Y axis is pressure in mb.

五、1986年8月13日—14日個案

本個案之冷渦於8月12日0000UTC在 29°N ， 128°E ，即在日本九州西南方海面上，由中緯度西風槽割離而成（圖6a），之後24小時向西南移動，於13日0000UTC移至台灣東方海面（圖6b，6c）。13日0000UTC後，青藏高原增強，並於1200UTC東伸經華中至日本地區（圖6d），14日0000UTC在華中形成割離高壓（圖6e），此高壓環流隨後向東移動（圖6f，

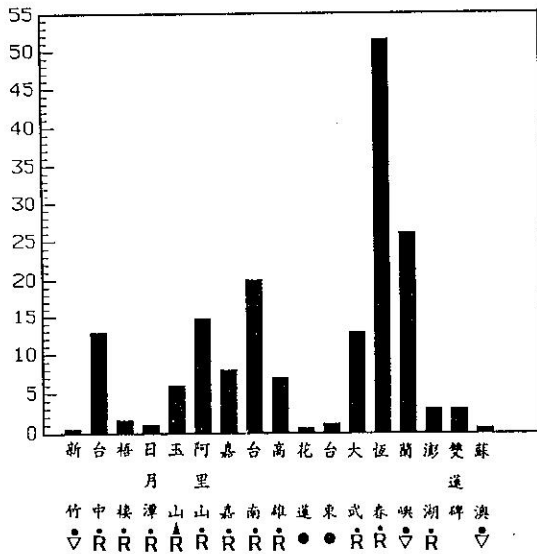


圖 5：1985 年 9 月 9－12 日冷渦環流影響台灣地區期間，各地累積雨量（Y 軸，公厘）及該地出現之最顯著天氣。

Fig. 5. The total rainfall (Y axis, mm) and the significant weather at each station for the period of September 9–12, 1985 when the circulation of cold vortex affected Taiwan area.

6 g)，於 15 日 1200UTC 移至東海（圖 6 h）。在 13 日 0000UTC－15 日 0000UTC 青藏高原增強東伸及剝離高壓東移期間，此冷渦在高壓環流南側穩定西移，於 14 日 0000－1200UTC 經過台灣南部進入台灣海峽，15 日 0000UTC 華中剝離高壓東移至約 115°E，冷渦亦西移至約同一經度（圖 6 g），之後，高壓東移至冷渦以東，冷渦在高壓環流西南象限轉向西北移動，高壓則向西南移動（圖 6 h－6 l）。冷渦於 17 日 1200UTC 後併入西風槽內，喪失封閉環流特徵。12 日 1200UTC－13 日 0000UTC 冷渦由台灣東北方海面移至東方海面，板橋探空由北北西風 40kt 轉為東北風 60 kt，板橋東北風於 13 日 1200UTC 達最強，為 70 kt（為該系統探空所測最大風速），14 日 1200UTC 冷渦進入台灣海峽時轉為南南東風 45 kt，冷渦進入大陸後，板橋風速減弱。

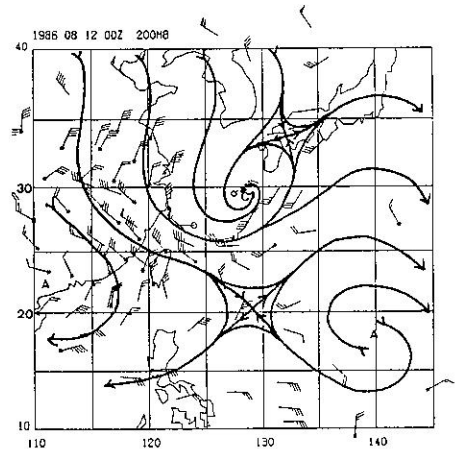
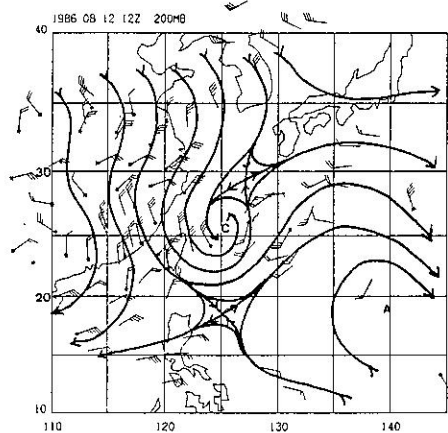
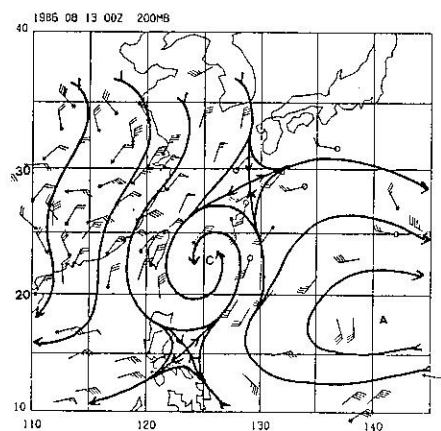


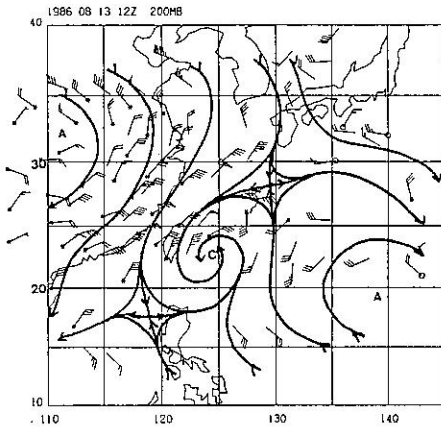
圖 6 a



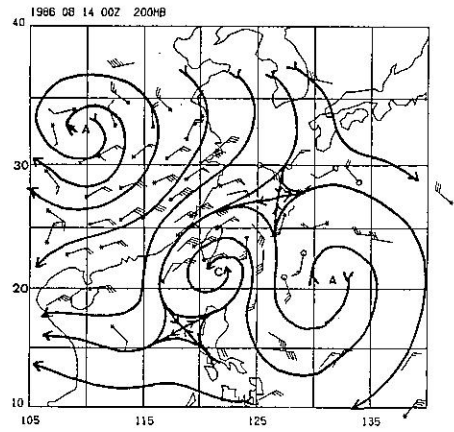
6 b



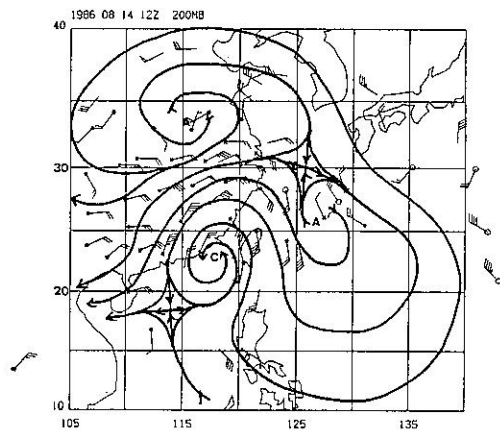
6 c



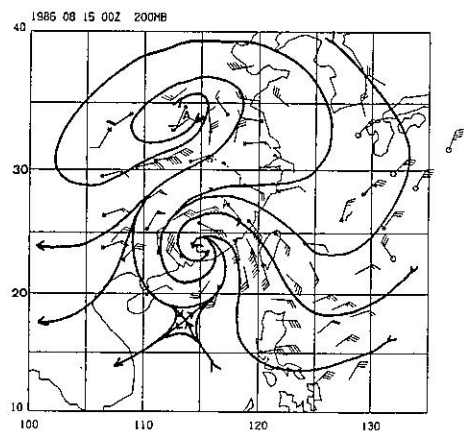
6 d



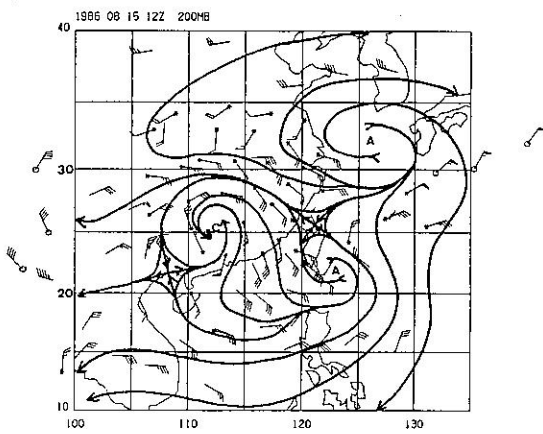
6 e



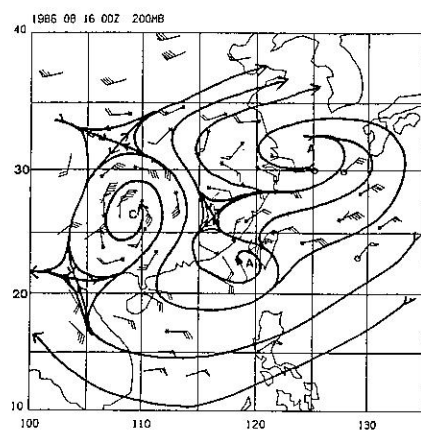
6 f



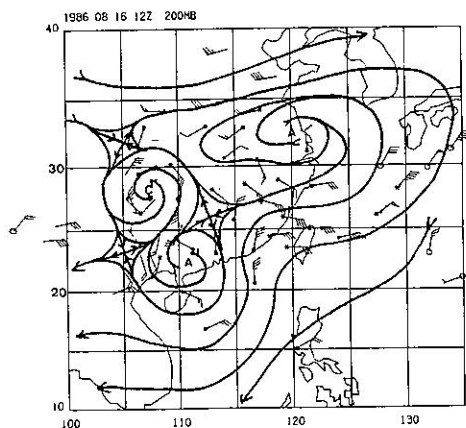
6 g



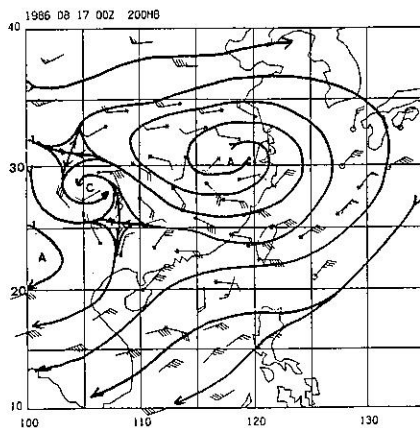
6 h



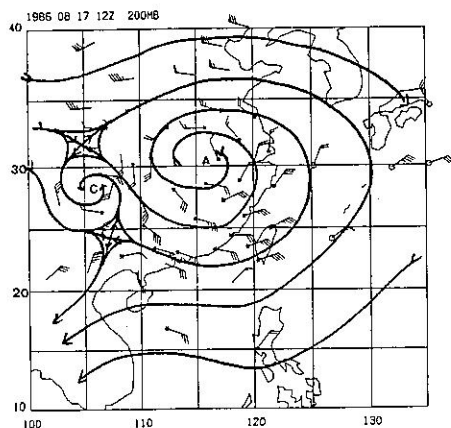
6 i



6 j



6 k



6 l

圖6：1986年8月12日0000UTC－17日1200 UTC 200mb氣流線分析，餘同圖1。

Fig. 6. Same as Fig. 1, except for the period of August 12－17, 1986.

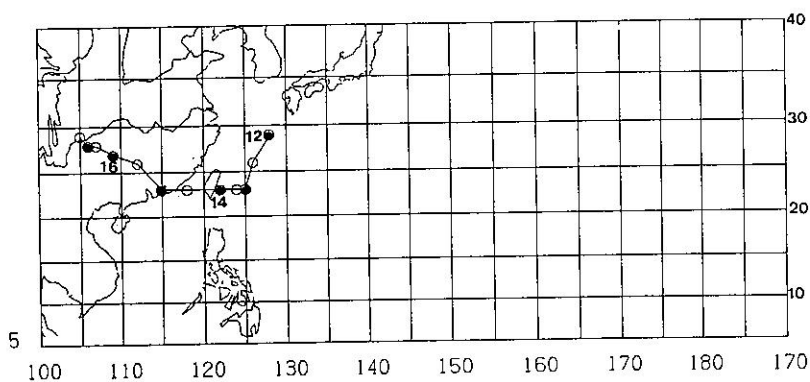


圖7：1986年8月12日0000UTC－17日1200UTC 200mb冷渦中心路徑，圓圈為每隔12小時之中心位置，實心為0000UTC位置，空心為1200UTC位置。

Fig. 7. Same as Fig. 2, except for the period of August 12－17, 1986.

圖7為此個案冷渦中心所經路徑，在氣候上主要發生區及消散區以西發生與消散。生命期6天，平均移速 5.8ms^{-1} ，環流範圍東西向大於南北向，東西向平均半徑約700 km，南北向約650 km，於8月13-14日期間影響台灣地區。圖8 a為12日0000UTC-16日1200UTC板橋風場與溫度距平之時間剖面分佈，顯見此冷渦最大溫度負距平於14日0000UTC（此時中心距板橋約300 km）出現在350mb附近，約為 -4.1°C ，最大正距平在125mb附近，與Kelley and Mock（1982）之合成結構者相近，環流最強出現在200mb，亦與Kelley and Mock者相近。冷渦過境前後（14日0000-1200UTC）中高對流層之顯著風向轉變，在24小時前之低對流層（1000-700mb）即已反應，風向由原北北東/東北風轉變為東/東南風，恰如東風波槽之過境，此時亦伴隨低對流層暖平流。圖8 b為混合比距平

分佈，冷渦於14日0000UTC最接近板橋時（ $\sim 300\text{km}$ ），300-400mb較為潮濕為正距平，850-1000mb雖水氣含量增加，但仍為負距平，中低對流層於12小時前最為乾燥為最大負距平。此種水氣垂直結構變化恰與9月個案相反，該個案為下層潮濕上層乾燥，本個案則為下層乾燥上層潮濕。圖9為冷渦過境期間（13日1200UTC-14日1200UTC）及前後一天之平均相當位溫分佈，過境期間700mb以下因水氣含量減少，故相當位溫減小，使潛在不穩度減小；過境之後各層之溫度與濕度均見增加，使相當位溫增加，700mb以下潛在不穩定度亦見增加。圖10為此冷渦環流影響期間（13-14日）有降水各測站累積雨量及此段期間最顯著天氣。對流現象主要發生在中北部及東部地區之14日0800-2000LST期間，發生地點不若9月個案普遍；雨量亦較9月個案為少。

START TIME= 850912 STATION= 46592

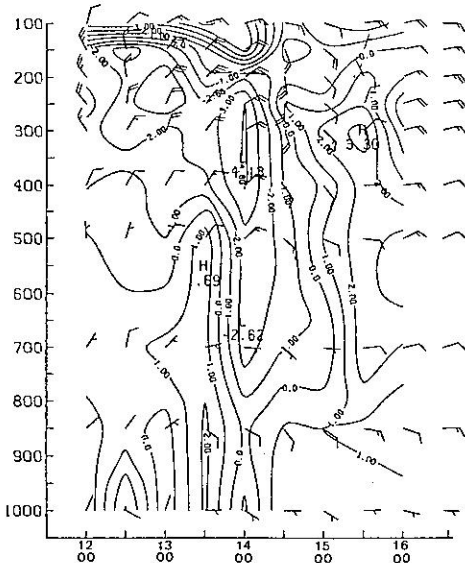
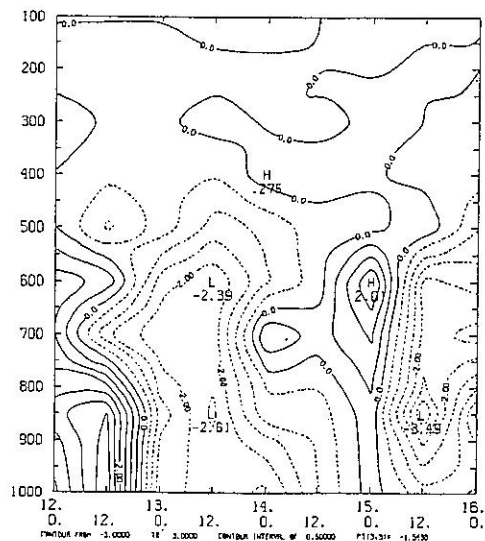


圖 8 a



8 b

圖 8：1986 年 8 月個案板橋探空資料之時間剖面分佈，(a)為 12 日 0000UTC-16 日 1200UTC 之風向、風速與溫度距平，(b)為 12 日 0000UTC-16 日 0000UTC 之混合比距平，餘同圖 3。

Fig. 8. Same as Fig. 3, except for the period of August 12 - 16, 1986.

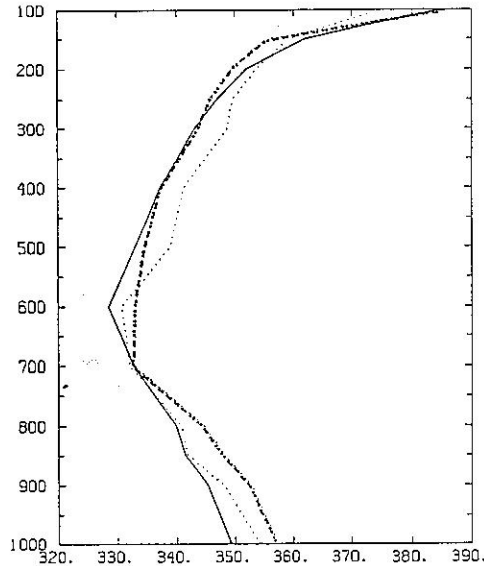


圖 9：1986 年 8 月個案，冷渦過境前（12 日 0000 UTC—13 日 0000 UTC；星號）、過境時（13 日 1200 UTC—14 日 1200 UTC；實線）與過境後（15 日 0000 UTC—16 日 0000 UTC；點線）之平均相當位溫分佈（X 軸，K），Y 軸為氣壓（mb）。

Fig. 9. Same as Fig. 4, except for the case of August 1986 before (0000 UTC August 12 – 0000 UTC August 13, star), during (1200 UTC August 13 – 1200 UTC August 14, solid), and after (0000 UTC August 15 – 0000 UTC August 16, dotted) the cold vortex passage.

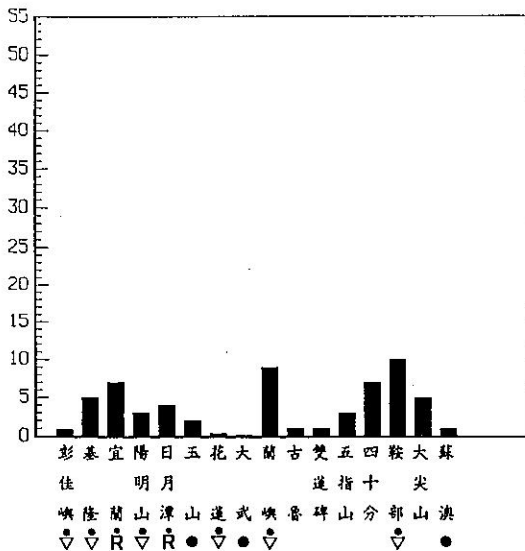


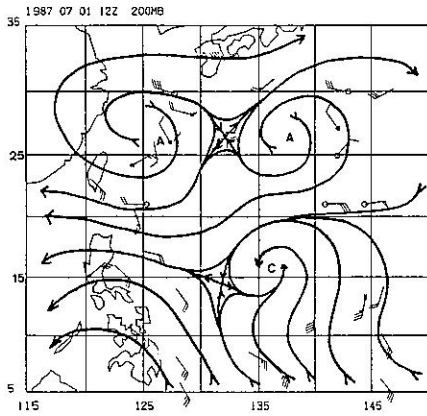
圖 10：1986 年 8 月 13–14 日冷渦環流影響台灣地區期間，各地累積雨量（Y 軸，公厘）及該地出現之最顯著天氣。

Fig. 10. Same as Fig. 5, except for the period of August 13 – 14, 1986.

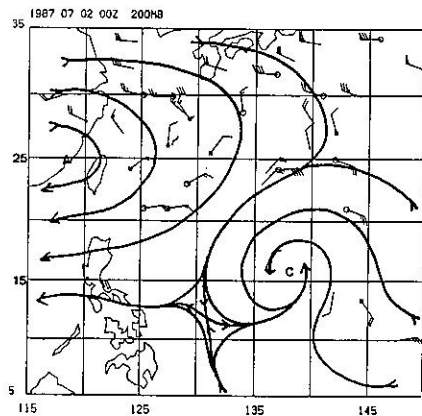
六、1987 年 7 月 3 日–5 日個案

本個案之冷渦於 1 日 1200 UTC 在 16°N ， 137°E 之東風槽內形成（圖 11 a），此時東海及日本南方海面分別出現分裂高壓環流。2 日 0000 UTC—3 日 0000 UTC（圖 11 b—11 d）分裂高壓合併為一顯著高壓脊並稍向北退，冷渦則在高壓脊南側向西北西移動。3 日 1200 UTC 後（圖 11 e）中心繼續西移但環流範圍縮小，於 4 日 0000—1200 UTC 經巴士海峽（圖 11 f，11 g）。5 日 0000 UTC（圖 11 h）移至南海北部，於 1200 UTC（圖 11 i）移至海南島附近時範圍及強度均減小，隨後移向強烈高壓區而消散。4 日 0000—1200 UTC 冷渦通過巴士海峽時，東港由東北東風 60 kt（為該系統探空所測最大風速）轉為東南東風 45 kt，綠島由東風 45 kt 轉為東南風 30 kt，板橋距離冷渦中心約 500 km，由東北風 35 kt 稍順轉為東北東風 40 kt。

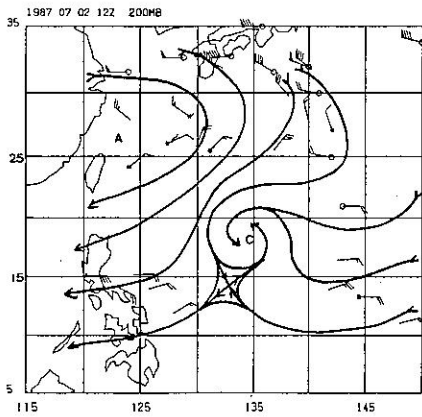
圖 12 為此個案冷渦中心所經路徑，在氣候上



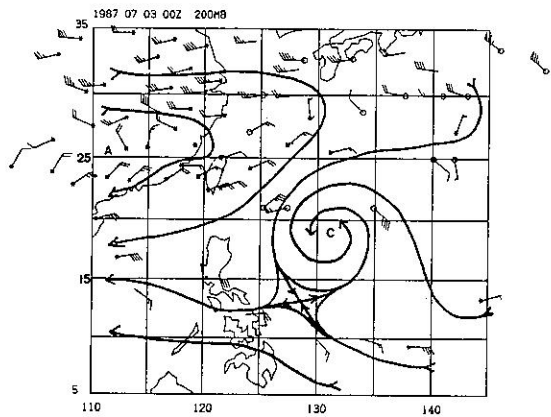
11 a



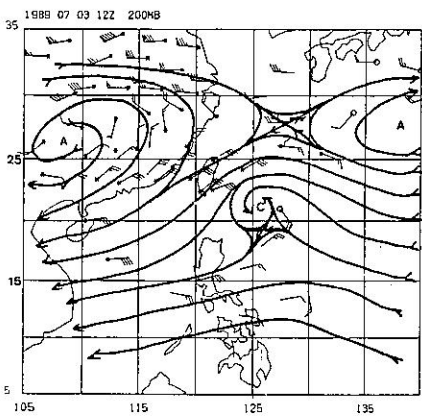
11 b



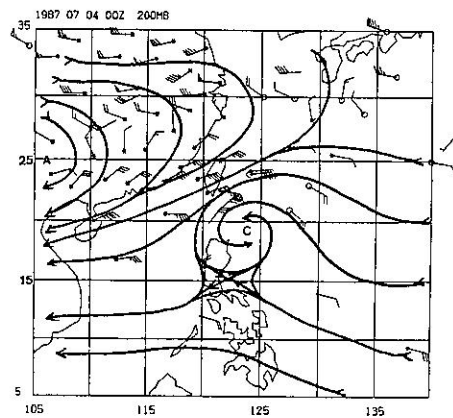
11 c



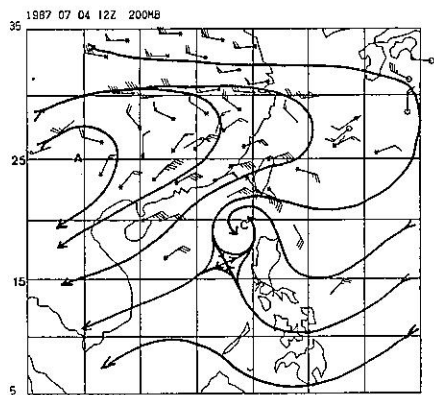
11 d



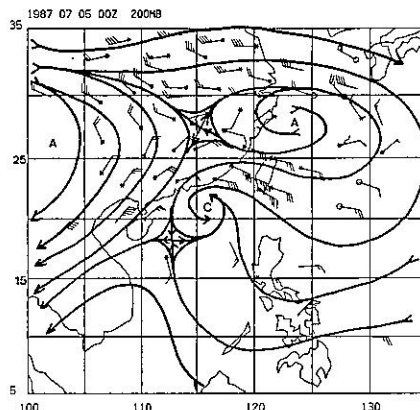
11 e



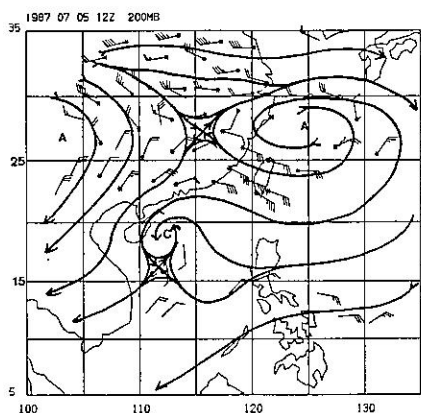
11 f



11 g



11 h



11 i

圖11: 1987年7月1日1200UTC-5日1200UTC
200mb 氣流線分析, 餘同圖1。

Fig. 11. Same as Fig. 1, except for the period
of July 1 - 5, 1987.

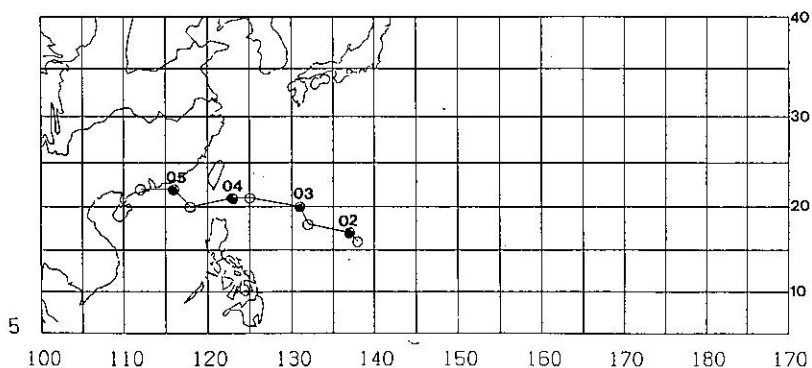


圖12: 1987年7月1日1200UTC-5日1200UTC 200mb 冷渦中心路徑, 圓圈為每隔12小時之中
心位置, 實心為0000UTC位置, 空心為1200UTC位置。

Fig. 12. Same as Fig. 2, except for the period of July 1 - 5, 1987.

START TIME= 87070200 STATION= 46592

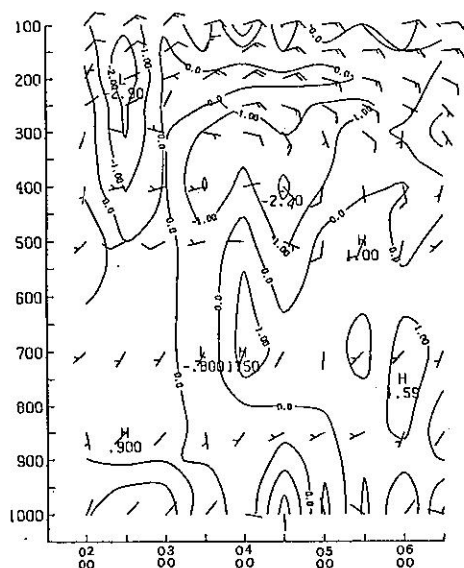
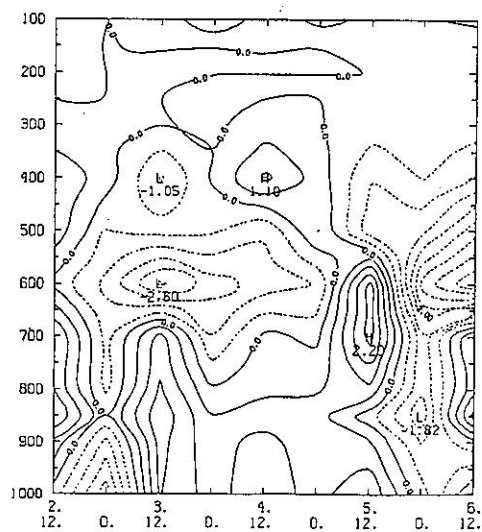


圖 13 a



13 b

圖 13: 1987 年 7 月個案板橋探空資料之時間剖面分佈, (a) 為 2 日 0000 UTC – 6 日 0000 UTC 風向、風速與溫度距平, (b) 為 2 日 1200 UTC – 6 日 1200 UTC 混合比距平, 餘同圖 3。

Fig. 13. Same as Fig. 3, except for the period of July 2 – 6, 1987.

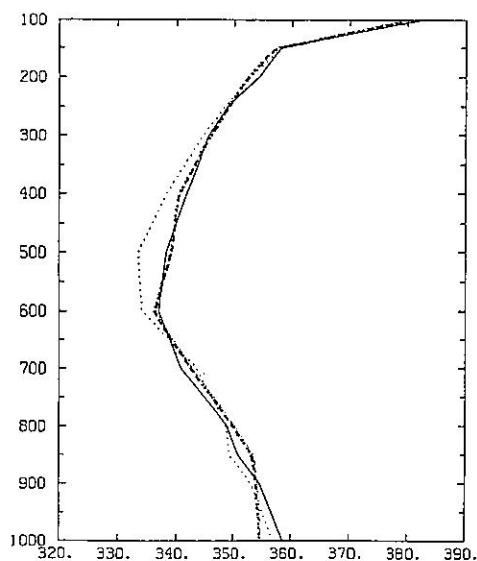


圖 14: 1987 年 7 月個案, 冷渦過境前 (2 日 1200 UTC – 3 日 1200 UTC; 星號)、過境時 (4 日 0000 UTC – 5 日 0000 UTC; 實線) 與過境後 (5 日 1200 UTC – 6 日 1200 UTC; 點線) 之平均相當位溫分佈 (X 軸, K), Y 軸為氣壓 (mb)。

Fig. 14. Same as Fig. 4, except for the case of July 1987 before (1200 UTC July 2–1200 UTC July 3, star), during (0000 UTC July 4–0000 UTC July 5, solid), and after (1200 UTC July 5 – 1200 July 6, dotted) cold vortex passage.

表二：本文所使用 5 – 30°N, 105 – 180°E 區域之探空測站位置
Table 2. Locations of rawinsonde stations used in the analysis over the area of 5–30°N, 105–180°E.

站 號	站 名	緯 度 (°N)	經 度 (°E)
46692	板橋	25.03	121.52
47909	Naze	28.23	129.30
47918	Ishigakijima	24.20	124.10
47936	Naha	26.14	127.41
47945	Minamidaitojima	25.50	131.14
47971	Chichijima	27.05	142.11
47991	Minamitorishima	24.18	153.58
91217	Guam	13.33	144.50
91245	Wake	19.17	166.39
91334	Truk	7.28	151.51
91348	Ponape	6.58	158.13
91366	Kwajalein	8.44	167.44
91376	Majuro	7.05	171.23
91413	Yap	9.29	138.05
98327	Clark	15.10	120.34

七、討論與總結

本文所選三個冷渦環流影響台灣地區個案，均伴隨有對流及雷雨天氣，9月與8月個案之冷渦中心均登陸台灣，板橋探空觀測可反應中心附近之結構變化。7月個案中心經巴士海峽，與板橋探空站相距最近時亦達 500 km，探空資料僅能反應其外圍環流（此個案平均半徑約 400 – 450 km），故本文對此個案不做進一步探討。唯板橋資料亦顯示此冷渦為一潮濕冷渦並具濕低對流層，1000–600 mb 具潛在不穩度，其大小約與8月個案相近，但較8月個案更為暖濕（ θ_e 較大）。

9月個案冷渦中心在板橋南方 100 km 內通過（圖 1，2），屬於乾冷渦，但具有濕低對流層（圖 3 a，b），中低對流層（1000 – 600 mb）潛在不穩度較8月個案為大（圖 4，9），具有較大量降水及較強對流（伴有冰雹）（圖 5，10）。此冷渦之冷心深厚，過境時在 850 – 300 mb 產生溫度負距平，使該層相當位溫下降，低對流層則因水氣增加而使相當位溫增加，故冷渦過境時中低對流

層潛在不穩度增大（圖 3，4）。冷渦過境前低對流層盛行暖平流，此時導引上升運動，過境時引發之低對流層東風波槽（圖 3 a），亦將伴隨低層之輻合與上升運動，此種舉升作用可能為冷渦環流影響下，引發對流以釋放大氣不穩度之可能機制。冷渦所引發之低對流層東風波槽，在本個案裡可能乃因冷渦東南象限所伴隨之噴流條而來。板橋在9月 11 日 1200 UTC（圖 1 r）時，位於噴流條出區左側，應為輻散及上升區，上升絕熱冷卻以維持冷心結構，高層輻散伴隨之低層輻合則產生東風波槽。

8月個案冷渦中心雖在板橋以南約 300 km 處通過（圖 6，7），但板橋探空資料仍可反應此冷渦之結構特徵（環流半徑 650 – 700 km）。本個案冷渦屬濕冷渦，但具有乾低對流層（圖 3 a，b），中低對流層潛在不穩度較9月個案為小，且因低對流層較乾，故降水量與對流強度亦不若9月個案強烈（圖 8，9，10）。溫度平流則恰似9月個案情況，在冷渦過境前之低對流層盛行暖平流，但與9月個案有一顯著差異，即冷渦伴隨之低對流層

東風波槽在冷渦過境前即已抵達(圖8 a)。此個案之東風波槽,可能類似9月個案亦由冷渦伴隨之噴流條(本個案為西北象限之東北噴流)所引發。板橋在8月13日0000-1200UTC期間位於噴流條出區左側(圖6 c, d),故高層輻散伴隨低層輻合所產生之東風波槽,在冷渦過境前抵達。

由8月個案與9月個案之分析,顯示冷渦過境之潛在不穩度增加,可能由冷渦伴隨之噴流條所引發之東風波槽及低對流層暖平流,透過其所產生之上升運動加以釋放,導致普遍之對流降水。顯然,暖季高對流層之冷渦環流結構分析,在劇烈天氣現象之預報上實為不可或缺之工作。

致 謝

感謝台大大氣系吳連育先生、宋偉國先生與氣象局預報中心李育祺先生協助資料收集,計算與繪圖以及初稿整理,本研究在氣象局專案計畫CW B 77-01-02支援下完成。

參考文獻

- 王時鼎與羅季康, 1979: 東亞及西太平洋夏季高空冷心低壓之氣候與天氣特徵分析。空軍氣象中心研究報告016號, 48頁。
- 王時鼎、羅季康與梁瑞禎等, 1979: 東亞及西太平洋夏季高空冷心低壓之氣候學。氣象預報與分析, 81, 12-32。
- 吳宗堯, 1976: 夏季高層冷心低壓之分析。大氣科學, 3, 1-11。
- 林鞠情, 1972: 由特例看高層輻散對雷雨的觸發作用。氣象學報, 18, 2, 27-39。
- 周蘭芬, 1989: 西太平洋高層冷心低壓之研究。台大大氣所碩士論文(陳泰然教授指導), 77頁。
- 陳泰然、紀水上、吳樹旺與苟潔予, 1988: 高層冷心低壓之定位與分析。氣象學報, 34, 3, 175-187。
- 陳泰然、紀水上、苟潔予、吳樹旺與鄭中惠, 1989: 高層冷心低壓之綜觀氣候研究。氣象學報, 35, 1, 31-42。
- 陳泰然、陳來發、周蘭芬與李育祺, 1988: 1985年與1986年暖季西太平洋高層冷心低壓之初步分析。氣象學報, 34, 4, 275-284。
- Erickson, C.O., 1971: Diagnostic study of a tropical disturbances. Mon. Wea. Rev., 99, 67。
- Kelley, W.E., and D.R. Mock, 1982: A diagnostic study of upper tropospheric cold lows over the Western North Pacific. Mon. Wea. Rev., 110, 471-480。
- Sadler, J.C., 1967: The tropical upper tropospheric trough as a secondary source of typhoons and a primary source of trade wind disturbances. Rep. No. 67-12, Hawaii Institute of Geophysics, Univ. of Hawaii, Honolulu, 44pp。
- Sadler, J.C., 1975: The upper tropospheric circulation over the global tropics. UHMET-75-05, Dept. of Meteor., Univ. of Hawaii, 35 pp。

A STUDY ON THE UPPER-TROPOSPHERIC COLD VORTICES -- CASES ACCOMPANYING THUNDERSTORMS

George Tai-Jen Chen

Department of Atmospheric Sciences
National Taiwan University

Lai-Fa Chen Lan-Fan Chou

Forecast Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

Three cases of upper-tropospheric cold vortices, which had circulations affecting Taiwan area, were selected in this study. Rawinsonde data, airplane reports and satellite cloud wind vectors were used to analyze the formation, movement, dissipation and structure of the vortices and to study the relationship between the thunderstorm weather over Taiwan and the vortices. Centers of vortices for the September 1985 case and the August 1986 case passed over Taiwan to the south of Panchiao rawinsonde station within 100 km and 300 km from Panchiao, respectively. The case in July 1987 passed over the Bashi Channel at about 500 km to the south of Panchiao. This cold vortex was moist in both the upper and the lower troposphere with a potentially unstable layer from the lower- to mid-troposphere.

The cold vortex for the September case was a dry one in the upper troposphere and was moist in the lower troposphere. The converse was true for the August case. The September case possessed a greater potential instability in the lower- to mid-troposphere and a wetter lower troposphere than the August case. Thus, the September case had greater rainfalls and stronger convections (such as hails) as would be expected. As the cold vortex moved over an area, the decrease of temperature in the mid- to upper-troposphere together with the increase of moisture in the lower troposphere caused the increase of potential instability in the lower- to mid-troposphere. The instability was released by upward motion which was caused presumably by the warm advection as well as the convergence associated with the easterly wave in the lower troposphere. The easterly wave was possibly induced by the jet streak of the cold vortex as the wave trough was located under the upper-tropospheric divergent area to the left hand side of the jet exit region.

Key words: Cold vortex, Dry cold vortex, Wet vortex, Potential instability, Easterly wave trough, Severe weather.