

衛星探空反演在中尺度天氣系統之分析

冷心低壓個案之分析

陳萬金

馬屏龍

中正理工學院

應用物理系

摘要

NOAA 氣象衛星上的 TOVS 探空頻道資料能夠反演出三度空間的高度及溫濕剖面資訊，它的探空反演資料比傳統探空擁有更高的水平解析度，所以，TOVS 衛星探空資料是非常適合分析中尺度天氣系統；再加上 TOVS 衛星反演能夠提供陸地上及海洋上無法觀測到資料地區的探空資訊，因此，它也非常適合用來分析在海洋上生成的天氣系統。

本研究中，我們利用 TOVS 衛星探空反演的二個研究個案來分析冷心低壓系統的發生和結構，第一個個案是從 1998 年 5 月 4 日到 5 月 7 日發生在大陸東南地區，其移動方向是先向東移再轉向東北，其生命期為 4 天。第二個個案是從 1998 年 6 月 29 日到 7 月 4 日發生在西太平洋海域，其移動方向是先向西移再轉北移近台灣，當此冷心低壓移到台灣北部時，誘導了台灣北部雷雨及冰雹的發生。此外，本研究亦探討了冷心低壓的特徵及其對天氣系統的影響。

研究結果顯示，第一個個案為西風帶冷槽割離產生，其屬於 Palmen 冷心低壓，其最冷距平出現在 700Hpa，當其在發展初期時，在 1000Hpa 定壓層的中心為一暖心結構，但其四周仍被冷區所包圍。其氣旋式環流隨高度增強至 500Hpa 達最強。在濕度方面，冷心低壓的中心為一高濕度區，而其四周為乾燥區所包圍。冷心低壓的範圍大小約為 5 個緯度左右，生命期約為 4 天；第二個個案為副熱帶高壓南緣東風槽附近形成，其屬於 Palmer 乾型冷心低壓，具有乾燥的下沉冷心，中心無雲，其周圍為上升的濕空氣所包圍，其最冷距平出現在 300Hpa，其氣旋式環流隨高度增強至 200Hpa 達最強，濕度區主要集中在冷心低壓的北側及南側。冷心低壓的範圍大小約為 7 個緯度左右，生命期約為 6 天。

(關鍵字：垂直探空探測頻道、衛星探空反演、冷心低壓)

一、前言

每年的 5 月開始正逢北半球春末夏初之時，南方系統逐漸增強，而 6 月至 9 月為其全盛時期，在此段暖月期間台灣地區正處於梅雨、颱風及午後熱雷雨之中。此一時期的副熱帶對流層，並非僅有單純的副熱帶高壓脊，而是參雜著許多屬於冷心結構的低壓系統，一般稱為冷心低壓或冷渦，其強度自 200-300Hpa 向上及向下減弱時，其可分為二類：(一) Palmen 型 (Palmen, 1949) 為西風帶冷槽割離產生；(二) Palmer 型 (Palmer, 1953) 於副熱帶高壓南緣東風槽或鞍形場之中性點附近形成，並依水汽之差異分為濕型與乾型 (Ricks, 1959)，其中乾型為具有乾燥的下沉冷心，中心無雲，為上升的濕空氣所包圍，其最冷距平約在 300 Hpa，其氣旋式環流隨高度增強，約至 200Hpa 達最強，而濕型之中心雲系主要由對流雲組成。根據陳等人 (1980)、陳等人 (1988) 及陳等人 (1990)，

當其在台灣附近時，此環流系統之溫度結構及伴隨的垂直運動場，往往會提供產生對流之有利條件或引發對流之有利機制，來誘發中尺度系統對流加強，而造成台灣地區大量的降水，甚至造成災害性的豪(大)雨(包含冰雹)。

然而，這些造成對流加強的冷心低壓，大部分都是發生在西太平洋上，只有少數發生在亞洲大陸地區的高空，所以在分析海洋上的冷心低壓時，資料的取得往往是非常困難而且不易。然而現今主要的分析資料均以傳統的觀測資料為主，在空間上，這些觀測資料站的網格間距約 250 公里，只能觀測綜觀尺度的天氣現象而無法對中尺度現象有所瞭解；在時間上，天氣分析資料亦無法提供足夠的資訊，所以必須使用較密集的觀測資料來分析。

由於觀測資料的種類繁多，根據陳等人 (1988) 及陳等人 (1989) 的研究指出，衛星的觀測資料在定位及分析中尺度系統上較傳統探空資料和飛機觀測資料還來的寬廣及優良。以 1998 年 5 月 4 日及 7 月 2 日兩個冷心低壓的個案來說，在台灣地區(20

$^{\circ}$ N~ 30° N, 115° E~ 125° E), 傳統的探空站只有 15 個, 但以衛星反演值卻有 900 個以上, 約為傳統探空觀測資料的 60 倍, 而且 NOAA 氣象衛星一天有兩次對同一地區進行觀測, 以目前至少有兩顆氣象衛星同時作業的狀況下, 平均每 6 小時就有一筆觀測資料提供, 而且能保持經常性, 並且衛星資料又具有客觀性、水平解析度高、涵蓋範圍廣(約 2800Km), 對於系統的觀測、診斷及分析是有相當助益的。所以本研究除了利用傳統資料外, 同時使用 TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) 衛星的探測資料, 來透過反演法獲得三度空間的溫度、濕度及高度剖面資料, 來分析在 1998 年 5 月 4 日及 7 月 2 日二冷心低壓在台灣地區的影響, 以確定冷心低壓的位置、強度、垂直溫度、濕度及高度結構分佈, 以及與地面豪(大)雨之間的關係, 並與傳統分析資料作比較。

二、資料來源

本文研究之冷心低壓共分二個個案, 時間分別為 1998 年 5 月 4 日至 5 月 7 日及 6 月 29 日至 7 月 3 日。其研究所使用之 TOVS 衛星資料為中央大學太空及遙測中心氣象衛星實驗室所提供, 原始衛星資料已經過該實驗室做過定位及輻射校正處理, TOVS 衛星資料時間每日有 2 筆, 分別為 0933LST 及 2133LST; 傳統天氣觀測資料來源為中央氣象局, 其中包括地面天氣圖、地面累積雨量資料、高空圖。TOVS 衛星反演法為美國威斯康辛大學 CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies) 的 ITPP (International TOVS Processing Package) 程式套, 該程式套使用為同時物理反演法, 反演大氣之溫濕剖面。

三、反演方法

由於以往的疊代法只能在地表溫度及溫度垂直剖面已知時, 才可求出垂直溫度剖面, 或者在已知的地表溫度及濕度垂直剖面已知時, 才可求出垂直濕度剖面。由於 TOVS 反演中所使用的二氧化碳吸收頻道和水汽吸收頻道並不是一個理想的單一氣體吸收頻道, 所以很難透過疊代的演算法將溫度垂直剖面及濕度垂直剖面各別的決定出來。因此, 本研究所使用的反演方法乃採用 1985 年 Smith 等人所提出的同時物理反演法, 此反演法可同時反演出地表溫度和垂直溫濕剖面值, 使得原本疊代法所做的不合理假設而造成的困擾得到徹底解決。詳細的反演原理及反演步驟, 可參見陳與劉 (1996a, 1996b) 之文獻。

四、分析與討論

(一) 個案一: 五月四日至五月七日

1、綜觀天氣概況

(1) 地面天氣圖 (圖未示)

在這一段時期中, 太平洋高壓偏南且勢力較弱, 使得鋒面雲帶逐漸出海向東北移動, 東南沿海及台灣地區均受到它的影響而有降水發生。5 月 4 日 (0800LST) 地面圖顯示, 鋒面位於台灣海峽, 使得整個台灣地區都受到它的影響; 5 月 5 日及 5 月 6 日 (0800LST) 地面圖顯示, 鋒面逐漸向東移動再轉向東北至台灣東部, 台灣地區逐漸脫離它的影響; 5 月 7 日 (0800LST) 地面圖則顯示, 台灣地區完全脫離其掌控。

(2) 高空天氣圖 (圖未示)

5 月 4 日 (0800LST) 的 850Hpa、700Hpa 高空圖中, 在溫度線方面可以分析出在 50° N, 120° E 處有一暖舌逐漸向東北伸展, 在 37° N, 125° E 有一冷舌逐漸向西南延伸; 在 500Hpa 的高空圖中, 30° N, 112° E 處有冷空氣移入, 且在此處已有一槽線形成, 同時在 200Hpa 的高空圖中, 在台灣西側附近亦有一槽線。在 5 日 (0800LST) 的 700Hpa 高空圖中, 32° N, 112° E 處已有一冷心形成; 在 500Hpa 的高空圖中, 在 30° N, 116° E 處, 已有割離低壓形成。在 6 日 (0800LST) 的 500Hpa 高空圖中, 28° N, 120° E 處低壓已形成, 而在 200Hpa 的高空圖中, 亦可以分析出一割離低壓形成。到了 7 日 (0800LST) 的 500Hpa 高空圖中, 低壓已減弱成一槽線, 但在 200Hpa 的高空圖中, 亦可以分析出一割離低壓形成, 其可得知此高空低壓中心在減弱時期, 其隨高度增強。

2、衛星雲圖 (圖未示)

本研究收集了此段時間 NOAA 12 及 GMS 高解析雲圖資料, 來密切追蹤此個案冷心低壓的移動與發展。5 月 4 日 (0933LST) 紅外線及水汽雲圖, 可以看出在渦旋中心的西北方有冷空氣移入, 而在其東南方有一低壓鋒面雲系, 在此區域有暖空氣流入, 因而使得在 30° N, 115° E 的高層有一冷心的渦旋低壓中心產生; 在雲圖中, 不管是冷心低壓的發展期、強盛期及消散期, 在其東南方有發展非常強盛的對流雲, 而在冷心低壓的西北方則雲系較為淺薄, 此為高層卷雲; 5 月 7 日為此時期冷心低壓的消散階段, 在此階段的冷心低壓, 由於北方冷空氣已被其西北方鋒面所阻絕, 南方的暖空氣仍然不斷的供應, 使得其中心逐漸鬆散變暖。在此個案期間, 雲系的變化會隨著每日時間的不同而有所變化, 在午後 (1400-1700LST) 及深夜至清晨 (2300-0500LST) 這二時段的雲系對流發展為最強盛, 尤以午後最烈。

3、地面降水觀測

在此段時期，降水大都集中在北部，其中以 5 月 4 日的雨勢最大，雨量最多，其主要降水時間在 1400-2200LST，雨量仍以北部為主，主要集中在 1600-2000LST；5 月 7 日台灣地區受到鋒面尾端對流雲係及高空冷心低壓的影響，仍有降水發生，但強度以大為減弱。

4、衛星反演分析

由高度場分析來看，此低壓中心的移動，為向東移動再轉東北，而在 35° N 的地區為一高壓區，此為太平洋副熱帶高壓。高空渦旋中心的高度及溫度分佈位置隨著高度沒有任何的改變，由此可知此低壓系統為一正壓系統（如圖 1），其強度的分佈以低層的勢力強度較四周為強，此高層低壓系統的勢力在其強盛時期，最低層可以到達 850Hpa，高層可以到達 100Hpa。由溫度場分析來看，在此高空渦旋中心產生的初期，在地面 1000Hpa 的中心處為一高溫區，其周圍仍為冷區，其最主要在低層由於北方冷空氣的移入，而使得南方流入的暖空氣被包圍在其中所產生。當此冷心低壓在消散期時，在 1000Hpa 及 850Hpa 層的低溫區會逐漸的不明顯，而 700Hpa 層到 300Hpa 層其低溫區範圍較之前更為廣泛，而 200Hpa 定壓層以上，此區域則轉為高溫區。由濕度場分析來看，在冷心低壓產生初期，在 1000Hpa 到 300Hpa 整層的中心為一高濕度區，但在其中心周圍仍為一乾燥區，而且由分析資料得知，高濕度區位於乾燥區的東南象限，所以台灣地區都位於高濕度區，而有降水發生。（在此個案中，由於 5 月 5 日衛星掃描的軌跡在 120° E 以西，對於以西的地區則無法做反演分析。）

（二）個案二：六月二十九日至七月三日

1、綜觀天氣概況

（1）地面天氣圖（圖未示）

台灣地區 6 月 29 日、7 月 1 日及 7 月 3 日受太平洋高壓西伸影響，只有 6 月 30 日及 7 月 2 日太平洋高壓有些微東退，屬於炎熱午後有雷陣雨的天氣。

（2）高空天氣圖（圖未示）

天氣圖在高空冷心低壓形成初期（6 月 29 日及 6 月 30 日），從地面到 100Hpa 整層都無法分析出冷心低壓渦旋的存在，只有在冷心低壓發展到強盛期（7 月 1 日）及消散期（7 月 2 日及 7 月 3 日），才能在高層 300Hpa 及 200Hpa 分析出其低壓中心。

2、衛星雲圖（圖未示）

由衛星雲圖分析，可在 6 月 29 日分析出在 18° N、138° E 的東太平洋上有一渦旋中心，由衛星動態可分析其向西移動，到了 7 月 1 日

（2200LST）此低壓渦旋開始轉向西北偏北移動，7 月 2 日逐漸接近台灣東部，於 7 月 2 日（1700LST）通過台灣本島移入台灣海峽，然後轉向北移動，於 7 月 3 日併入鋒面雲帶。在 7 月 2 日（1400LST）時，由於此冷心低壓渦旋位於台東外海，其誘導低層輻和，而導致西南氣流旺盛，再加上夏季午後熱對流的影響，使得台灣北部地區發生雷雨，尤其在板橋地區還降下冰雹。在冷心低壓整個過程中，當其從發展期階段到移近台灣陸地時，雖然在海洋上有大量水汽的供應，但雲量還是非常稀疏且集中在冷心低壓渦旋的第一、四象限，當其接近台灣陸地後，其雲量則集中在第二、三象限，當其通過台灣本島後，雲量則集中在第四象限。

3、地面降水觀測

在此段時期，由於受到太平洋高壓東退的影響，使得台灣地區 6 月 30 日及 7 月 1 日，午後因熱對流而有熱雷雨的發生，就以新莊來說，6 月 30 日（1500LST-1800LST）就下了 111mm 的雨量；到了 7 月 2 日，除了熱對流的影響外，再加上高空冷心低壓的誘導，使得地面的對流加強，因而造成台灣北部降冰雹。在這個個案中，降水大部分集中在北部及中南部山區，時間為 1400LST-1800LST。

4、衛星反演分析

在這段期間，由高度場分析在 1000 Hpa 定壓層 30° N 以南為太平洋高壓所影響，850 Hpa 以上的各定壓層，除了冷心低壓所在位置為一較低高度區外，其餘為較高高度區，由此可得知冷心低壓的強度最低可到達 850 Hpa，而最高可到達 100 Hpa；當冷心低壓在消散階段時，只有在 300 Hpa 定壓層仍可清晰分析，而其他各層都變的比較平淺。由溫度場分析 1000 Hpa 到 200 Hpa 定壓層均可分析出此冷心低壓冷心所在的位置，但低溫區的位置在發展及強盛期會隨著高度有向南偏移，而到了消散期則有向東偏移的現象且冷心低壓的溫度場會變得比較平淺。冷心低壓不管在發展期、強盛期或消散期在高層 100 Hpa 定壓層均為一高溫區。由濕度場分析在冷心低壓發展期由於位於海洋上，有足夠的水汽供應，因而使得其低層 1000 Hpa 定壓層在 30° N 以南為一高濕度區，而高層由於太平洋高壓輻散的影響，使得在濕度場的乾濕區分佈得比較不明顯，當冷心低壓移進陸地時，與其西側的鋒面合併時，將會誘導地面環流加強，增加水汽的供應，使得濕度變大。（在此個案中，由於 6 月 30 日衛星掃描的軌跡在 120° E 以西，對於以東的地區則無法做反演分析。）

（三）個案比較：

第一個個案為西風帶冷槽割離產生，其屬於 Palmén 冷心低壓，其最冷距平出現在較低層，其中以 700Hpa 最顯著（如圖 2），並隨高度遞減，其

中在此冷心低壓發展期初期，在 1000Hpa 的高度，其中心為一暖區，其四周仍被冷區所包圍，其氣旋式環流隨高度增強至 500Hpa 達最強（如圖 3），在濕度方面，冷心低壓的中心為一濕度區，而其四周為乾燥區所包圍（如圖 4）。同時由於此冷心低壓伴隨著鋒面，加上誘導地面鋒面雲帶中對流雲的對流加強，並且促使地面環流的發展，使得水汽補充足夠，因而造成台灣地區大量的降水；第二個個案為副熱帶高壓南緣東風槽附近形成，其屬於 Palmer 乾型冷心低壓，具有乾燥的下沉冷心，中心無雲，為上升的濕空氣所包圍，其最冷距平出現在 300Hpa（如圖 5），其氣旋式環流隨高度增強至 200Hpa 達最強（如圖 6），濕度區主要集中在冷心低壓的北側及南側，但其中心為乾燥區，由於此型冷心低壓位於副熱帶高壓輻散區，以致於在濕度方面均屬於較為乾燥的區域（如圖 7）。當此冷心低壓在移進台灣本島北部時，由於其誘導地面熱對流的影響，因而造成北部降冰雹。由本文分析二個個案綜合顯示，高層冷心低壓伴隨的上升運動和高對流層輻散，可誘導低層輻合的加強而使得在不穩定的低對流層內產生積雲對流。而不管是西風槽割離所產生的冷心低壓或者是西太平洋副熱帶高壓南緣東風槽附近所形成的冷心低壓，其雲系發生都集中在冷心低壓的東南方，這表示在冷心低壓的東南方有較強的上升運動且比較不穩定；而西北方則雲量較少，此區屬下沉輻散區。其中東風槽附近形成的冷心低壓在未接近陸地時，由於太平洋副熱帶高壓輻散的影響，使其雲系非常少，由衛星雲圖來看幾乎只可看到渦旋存在。在空間上以西風槽割離而形成的冷心低壓範圍較東風槽附近所形成的冷心低壓小，其中西風槽割離所產生的冷心低壓範圍約為 5 個緯度左右，而東風槽附近所形成的冷心低壓則約為 7 個緯度，在時間上，以西風槽割離所生成的冷心低壓生命期最短約為 4 天，而太平洋副熱帶高壓邊緣東風槽附近生成之冷心低壓生命期最長，約為 6 天。其移動方向，西風槽割離產生之冷心低壓為先向東移至台灣附近再轉向東北移出，而西太平洋副熱帶邊緣東風槽附近生成的冷心低壓則先西移至台灣東南部外海附近，再轉向西北移動至台灣海峽北部，再轉向東北。

五、結論與展望

由 1998 年 5 月及 7 月的 TOVS 衛星探測資料分析冷心低壓個案顯示，衛星探空反演具有分析中尺度天氣現象的能力，而且分析範圍涵蓋整個台灣及華南及西太平洋地區，對於冷心低壓移行的監視與分析有良好的發展潛力，同時，並對其中心位置、強度及垂直結構都有明確的認識。由溫度場及重力位高度場垂直結構分佈情形更說明冷心低壓屬於正壓天氣系統，其發展高度在 850Hpa-200Hpa，此研

究顯示在中尺度天氣系統方面，衛星探空反演的獨特優越性遠勝過傳統的探空觀測分析，因此未來只有衛星才能提供如此高時間密度、高空間密度且不受地域影響的觀測資料。由同時傳統探空觀測分析即可看出無論在垂直溫濕度場結構或高度場結構皆無法偵測出冷心低壓系統的存在，在證實了傳統探空的侷限性及不適性。因此未來台灣、華南及西太平洋地區對於冷心低壓的研究，甚至中尺度對流系統和颱風的研究，衛星探空反演將扮演相當重要之角色。如今新一代的探測衛星在水平及垂直解析度大為提升，尤其是微波頻道大為增加頻道數，對於未來不管是冷心低壓的研究，甚至颱風、中尺度系統都有相當大的助益，因此如何應用及推廣衛星探空反演，實為當務之急。

六、參考文獻

1. 徐天佑，鍾榮興，吳福山，1990：“冷心低壓與颱風關係之研究”，氣象預報與分析，125 期，17-23。
2. 陳圭宏，1991：“民國七十九年颱風調查報告-侵台颱風歐菲莉（9005）”，氣象學報，37 卷，2 期，174-189。
3. 陳泰然，紀水上，1990：“暖月高空冷心低壓對台灣天氣之影響”，氣象學報，36 卷，4 期，315-326。
4. 陳泰然，紀水上，吳樹旺，苟潔予，1988：“高層冷心低壓之定位分析”，氣象學報，34 卷，3 期，175-187。
5. 陳泰然，紀水上，吳樹旺，苟潔予，鄒中惠，1989：“高層冷心低壓之綜觀氣候研究”，氣象學報，35 卷，1 期，31-42。
6. 陳泰然，陳來發，周芬蘭，1980：“伴隨雷雨天氣之高層冷心低壓研究”，氣象學報，36 卷，1 期，1-21。
7. 陳泰然，陳來發，周芬蘭，李育棋，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 卷，4 期，275-284。
8. 陳萬金，劉振榮，1996：“衛星探空反演應用 1995 年 5 月 12 日至 13 日梅雨鋒面豪雨個案之分析”，天氣分析與預報暨海象測報研討會論文集，觀測與天氣預報技術子題，2-10。
9. 陳萬金，劉振榮，1996：“衛星探空反演在 1995 年 5-6 月梅雨期豪雨個案之分析”，第五屆全國大氣科學學研討會論文集，氣象子題，1-6。
10. Palmen, E, 1949: Origin and structure of highlevel cyclones south of the maximum westerlies. *Tellus*, 1, 22-31.
11. Palmer, C, E, 1953: The impulsive generation of certain changes in the tropospheric circulation.

- J. Meteor., 10, 1-9.
12. Ricks, E. L. (1959): On the structure and maintenance of high tropospheric cold-core cyclones of the tropics. Master's thesis Dep. Geophy. Sci, University of Chicago.
13. Smith, W. L., M. Woolf, and A. J. Schreiner, 1985: Simultaneous retrieval of surface atmospheric parameters: A physical and analytical direct approach. In "Advances in Remote Sensing Retrieval Methods", edited by A. Deepark, H. E. Fleming, and M. T. Chahine, A. Deepark Publishing, Hampton, Virginia, North America, 221-232.

The application of TOVS retrievals ---- the analysis of cold core low

Wann-Jin Chen Ping-Lung Ma

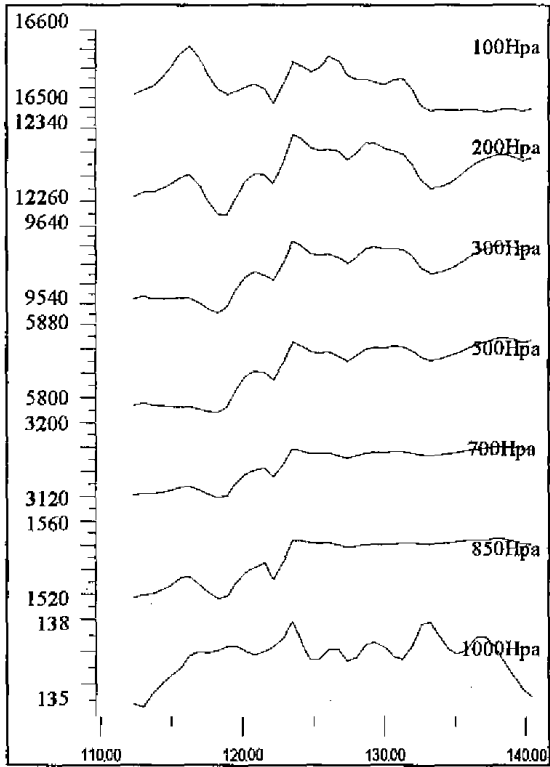
**Department of Applied physics, Chung Cheng Institute of Technology
TA-HSI, TAO-YUAN, TAIWAIN 33510**

ABSTRACT

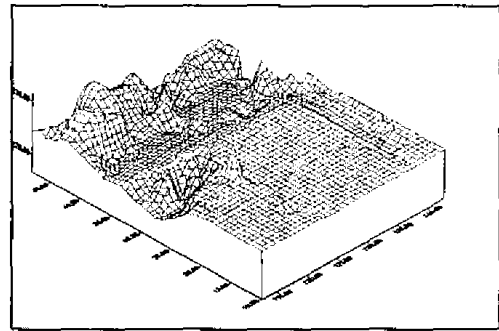
TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) onboard the NOAA satellite can retrieve a huge 3 dimensional sounding data. The retrieval sounding data are with more high resolution than that of conventional sounding. Therefore the TOVS retrieval data are suitable to analyze the mesoscale weather system. In addition the TOVS retrieval can provide sounding data both in land and ocean areas. It is also suitable to analyze the weather system occurred in ocean area.

In this study, TOVS retrievals are used to analyze the occurrence and structure of cold core low system. There are 2 case studies in this study. One is occurred in the southeast area of China from May 4 through May 7, 1998. After having generated, it first moved eastwards and then turned toward northeast for the life of 4-day period. The other is occurred in the western Pacific Ocean area near Taiwan from July 2 through July 4, 1998. It moved westward first and then turned toward north near Taiwan. When the cold core low system moved into Taiwan area, it induced thunderstorms and hails in the northern area of Taiwan. The characteristics of cold core low and its influence to weather system are also discussed in this study.

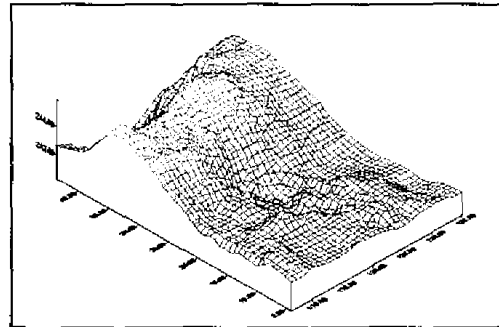
(Key word: TOVS, sounding retrieval and cold core low)



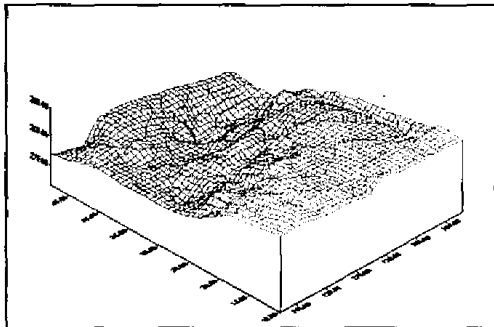
(圖 1) 5月4日 0933ST TOVS 衛星反演高度資料在經度 (29.599° N)剖面圖



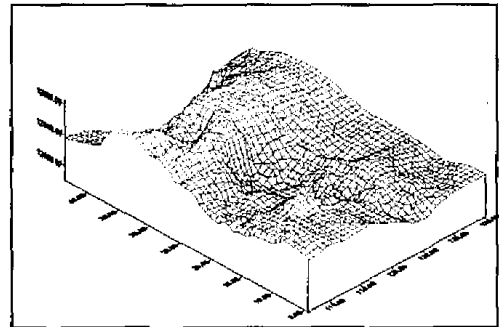
(圖 4) 5月4日 300Hpa 濕度場



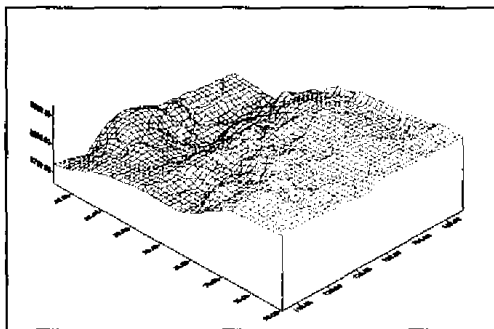
(圖 5) 7月2日 300Hpa 溫度場



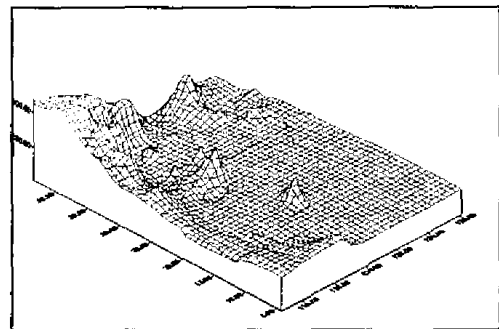
(圖 2) 5月4日 700Hpa 溫度場



(圖 6) 7月2日 200Hpa 高度場



(圖 3) 5月4日 500Hpa 高度場



(圖 7) 7月2日 850Hpa 濕度場