

TAMEX 期間高低層噴流的耦合情形

蔡清彥

中央氣象局

(中華民國八十年六月二十日收稿；中華民國八十年九月二十一日定稿)

摘 要

本文選擇 1987 年 TAMEX 期間 IOP₂、IOP₃ 及 IOP₈ 三個梅雨個案，分析高層噴流與低層噴流的耦合情形，並討論所伴隨之垂直環流情形，以及整體環流對台灣地區降雨的影響。

綜合 Tsay and Kau(1989) 及本文的研究，我們發現在台灣地區的梅雨期間有兩類整體環流可能發生。第一類整體環流包括高層噴流，位於高層噴流(Upper-Level Jet, 簡稱 ULJ) 入區南方，並平行之低層噴流(Low-Level Jet, 簡稱 LLJ)，位於兩噴流間之上升運動及伴隨之兩胞環流。當此類整體環流東移，LLJ 抵達台灣北端時將造成台灣地區之降雨。

第二類整體環流則有兩支高層噴流，南支 ULJ 與 LLJ 成 X 形相交，在交點北方則有上升運動並伴隨熱力間接環流。當此類整體環流東移後，南支 ULJ 將與北支 ULJ 合併，此類整體環流就將演變為第一類整體環流。若能在抵達台灣地區前演變成爲完整之第一類整體環流系統，則仍可帶給台灣地區大雨，否則將成爲少雨的梅雨個案。

關鍵詞：高層噴流、低層噴流、TAMEX、梅雨

一、前 言

由氣候上的統計資料顯示，每年的五月中旬至六月中旬是台灣地區降雨的高峰。這段降雨期稱爲梅雨期。梅雨期的豪雨常給台灣地區帶來過量的雨水而造成災害及財務上的巨大損失。所以梅雨和颱風、寒潮、乾旱並稱爲台灣地區的四大氣象災害。許多的研究結果指出梅雨期的豪雨和低層噴流(Low-Level Jet, 簡稱 LLJ) 有極大的關係，陳正改(1979) 發現梅雨期發生在台灣北部的 25 個豪雨個案中有 23 個伴隨低層噴流出現。Chen and Yu (1988) 分析 1965-84 二十年間的 35 個豪雨個案(測站日雨量超過 100mm)。他們發現 84% 的豪雨個案伴隨有 700mb 的低層噴流(風速超過 12.5m/s)。蔡清彥與鄭寶鳳(1987) 亦發

現豪雨往往伴隨低層噴流的出現。

蔡清彥與鄭寶鳳(1987) 研究低層噴流的結構及低層噴流和豪雨之間的關係發現在低層噴流及其北方的風切線常會伴隨著低壓槽往東移動。當低層噴流移至台灣附近時風速達到最大，且暖濕舌加深。低層噴流軸心移至台灣北方時豪雨開始發生。蔡清彥與陳靜洵(1988) 進一步研究低層噴流的能量收支，發現穿越等壓線的非地轉風(ageostrophic wind) 是維持低層噴流能量的主要來源。

和台灣同處於東亞梅雨帶中的日本及中國大陸均對梅雨間豪雨與低層噴流的關係做了相當多的研究，日本方面 Matsumoto and Ninomiya (1971), Akiyama(1973)，中國大陸有 Ding (1980) 等他們均發現豪雨往往伴隨低層噴流，且發生在低層噴

流軸的左前方。

對於低層噴流形成的物理機制亦有 Matsumoto (1973), Uccellini and Johnson (1979) 及 Chen (1982) 等研究。Matsumoto (1973) 研究指出, 水平動量下傳達成低層噴流中的非地轉風。但由於地轉調節將很快地減小非地轉風, 使大氣趨向平衡狀態, 理論顯然無法解釋低層噴流能持續好幾天的實際情形。

Uccellini and Johnson (1979) 發現在美國豪雨發生時, 低層噴流位於高層噴流出區的下方並和高層噴流 (Upper-Level Jet, 簡稱 ULJ) 相交。低層噴流屬高層噴流出區間接環流下層的一部分, 低層噴流的發生是因為高層噴流出區質量調節時增強間接環流和非地轉風所造成。這顯然和以往研究的東亞梅雨期中豪雨發生時高低層噴流相關位置不同。東亞梅雨期豪雨發生時低層噴流位於高層噴流入區南方, 並和高層噴流平行。而豪雨通常發生在高層噴流和低層噴流之間。

Chen (1982) 研究高層噴流入區直接垂直環流的不穩定度時發現, 高層噴流入區和出區的垂直環流是因沿噴流方向氣流的平流作用所造成的熱力風不平衡, 再由調節過程中強迫所形成, 於入區形成直接環流, 出區形成間接環流。在條件不穩定和近於飽和的大氣中, 若垂直環流的水平尺度夠小的話, 就會產生慣性重力波的不穩定, 此乃由於垂直環流和非熱力風之間的正回饋作用所造成。若高層噴流入區滿足不穩定條件時高層噴流下方將出現強的熱力直接環流發展, 在高層噴流以南 $\frac{1}{4}$ 波長處有旺盛的上升區和低層水平輻合切變線, 在最大上升區南方 $\frac{1}{4}$ 波長處產生低層噴流, 強降水區在兩支噴流軸之間, 而低層噴流也對慣性重力波有激發作用, 此時低層噴流最大風速的分佈則較噴流本身重要。

Tsay and Kau (1989) 合成分析 1979 年台灣梅雨個案發現低層噴流在大雨發生前 24 小時形成於高層噴流入區南方, 強烈對流發生於兩噴流之間, 高層噴流有較強的南北溫度梯度, 此種伴隨梅雨系統包括高、低層噴流, 上升氣流及溫度分佈, 均與 Chen (1982) 所描述之不穩定系統一致。

在本文中, 我們分析 1987 年 TAMEX 期間的資料研究台灣梅雨期降雨發生時高、低層噴流耦合的情形。

二、資料來源與個案選取

在資料分析方法方面, 我們以 1987 年美國國家氣象中心 (NMC) 的網格資料為初始估計值, 採用 Barnes 權重對美國國家大氣中心 (NCAR) 的探空資料作客觀分析。計算範圍則採藍伯特 (Lambert) 投影, 取 100°E 至 130°E , 15°N 至 45°N 為研究範圍, 網格點距離則為 95.25 公里。

直接分析的量有東西及南北風速, u 及 v ; 等壓面高度場, Z ; 溫度, T ; 比濕, q ; 而間接計算的量則有非地轉風之南北分量, v_a ; 風速值, $\sqrt{u^2 + v^2}$; 輻散量, $\nabla \cdot \vec{V}$; 速度位, χ ; 及垂直速度, ω ; 速度位 χ , 為解 $\nabla^2 \chi = -\nabla \cdot V$ 所得之值, 正速度位中心代表輻散中心。垂直速度, ω 乃利用運動學法解連續方程式所得; 而溫度距平則定義為溫度值減去緯度圈平均溫度值。

表一所列的是台灣西部六個測站 (台北、新竹、台中、嘉義、台南、高雄) 自 5 月 16 日至 6 月 30 日逐日的雨量資料, 依據記錄顯示, 1987 年梅雨期的雨量與往年比較顯然偏低。我們選取 5 月 17-18 日 (IOP_2) 及 6 月 8 日 (IOP_3) 兩個多雨個案, 這兩個個案均有測站日雨量超過 50mm 者, 達到中央氣象局大雨的定義標準。我們探討大雨期中其高層噴流 (ULJ), 低層噴流 (LLJ) 及其伴隨的垂直環流之間的關係。因為此年梅雨期雨量較少, 我們亦選擇一個少雨個案 5 月 21-22 日 (IOP_{3a}) 作相同的分析與探討。

在分析 200mb 高層噴流時, 將風速從 30m/s 以上每 5m/s 繪等值線, 而定義最大風速軸線為高層噴流軸。而分析 700mb 低層噴流時, 則將風速從 10m/s 以上每 2.5m/s 繪等值線, 而定義最大風速軸線為低層噴流軸。另外我們定義最接近降雨發生時的綜觀時間 (Synoptic Time) 為 0hr。

三、個案分析與檢討

3.1 個案 1: 5 月 17-18 日 (IOP_2)

從表 1 可知 IOP_2 為多雨個案。此個案之梅雨鋒面系統於 17 日清晨通過台灣北部, 並緩慢南移, 於 18 日清晨抵達巴士海峽。鋒面過境時有明顯之風向變化及雷雨發生。台北、新竹、台中、台南、高雄測站日雨量均超過 50mm, 達到中

央氣象局大雨之定義標準。圖1及2分別是200mb及700mb從5月15日00Z至5月17日12Z的風場及等風速線。圖3及4則是同期間所伴隨500mb的

垂直速度及200mb的速度位。此個案降雨發生的綜觀時間為5月17日00Z。

a. 暴雨發生前之高、低層噴流與垂直速度

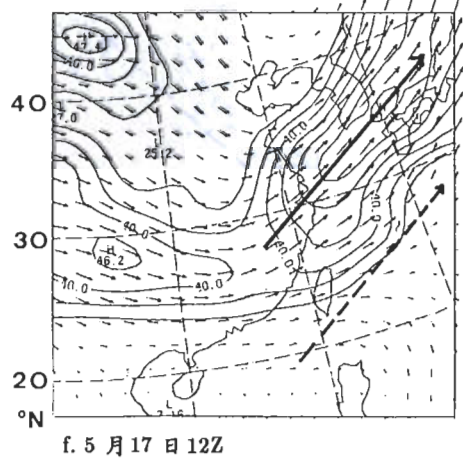
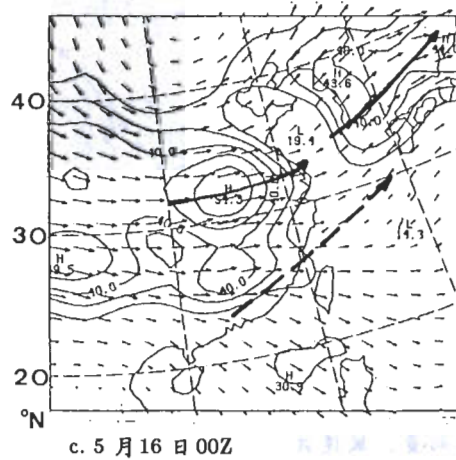
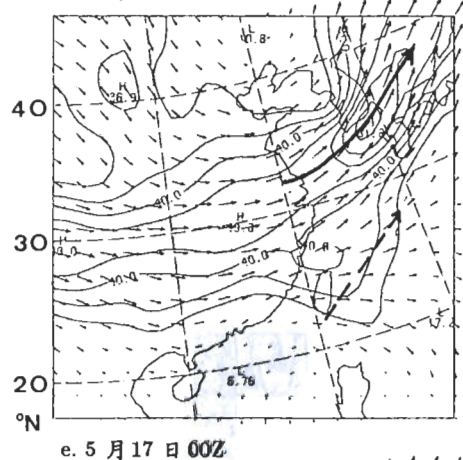
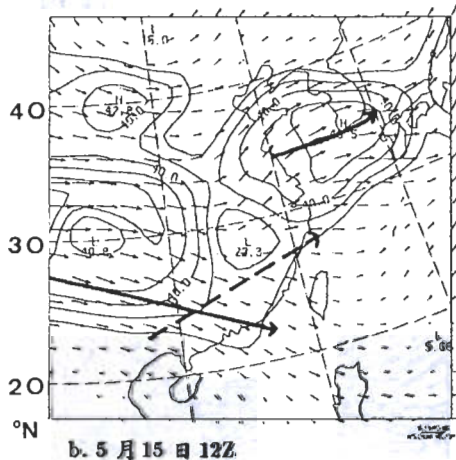
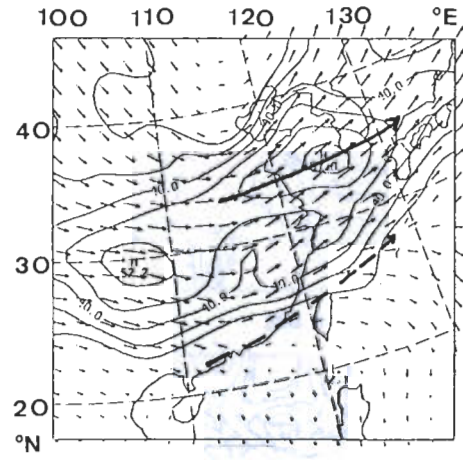
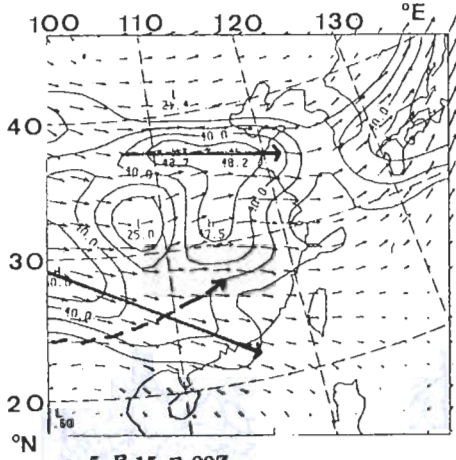
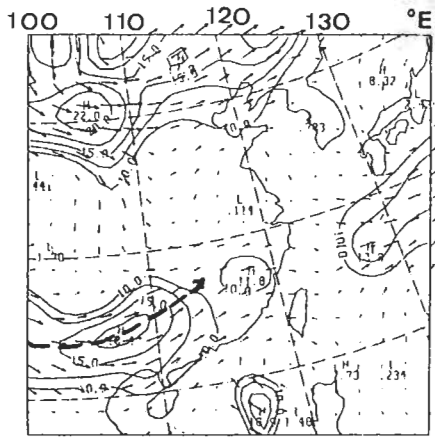
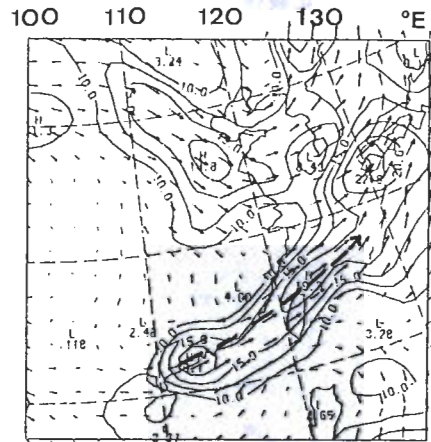


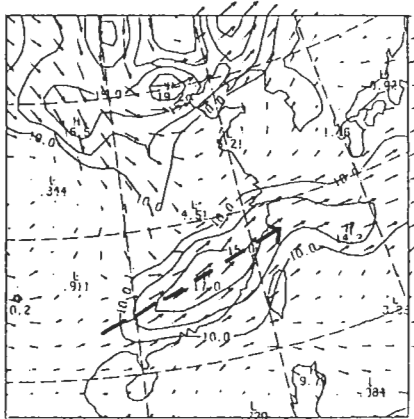
圖1 IOP₂之200mb風場分佈，箭頭代表風的向量，風速從30m/s以上每5m/s繪一等值線。粗實線代表ULJ軸，粗虛線代表LLJ軸。



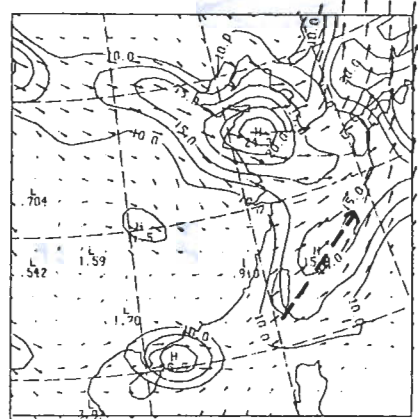
a. 5月15日00Z



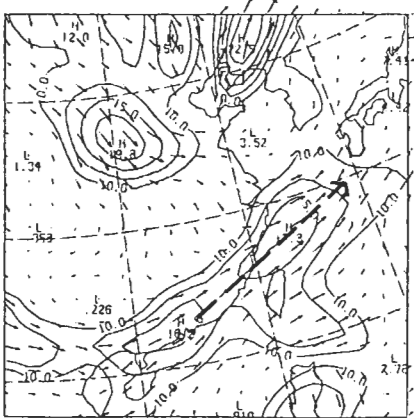
d. 5月16日12Z



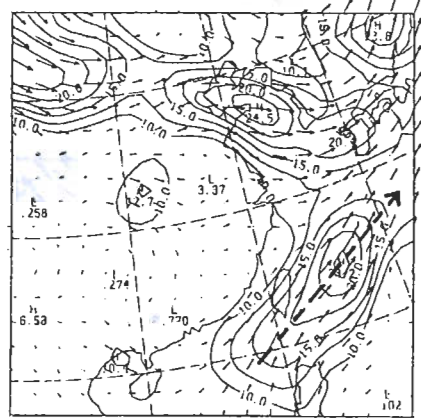
b. 5月15日12Z



e. 5月17日00Z

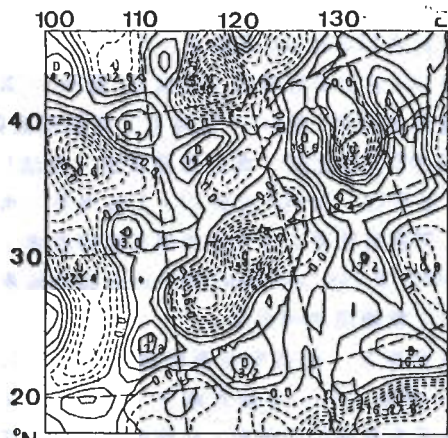


c. 5月16日00Z

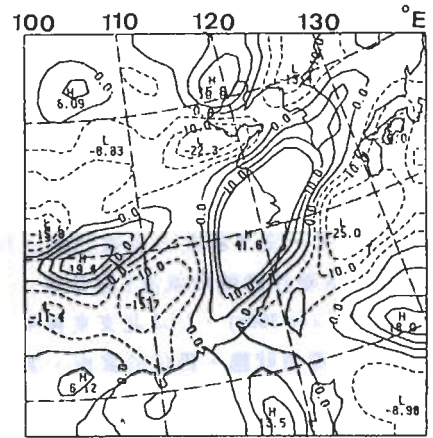


f. 5月17日12Z

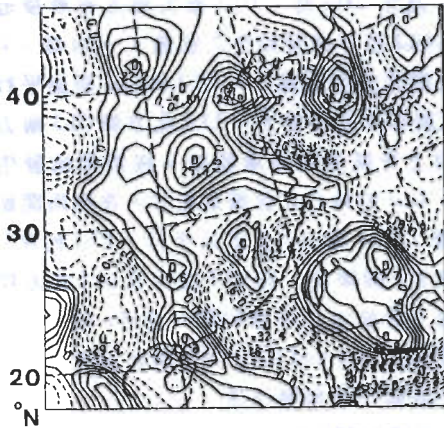
圖2 IOP₂之700mb風場分佈，箭頭代表風的向量，風速從10m/s以上每2.5m/s繪一等值線。粗實線代表LLJ軸。



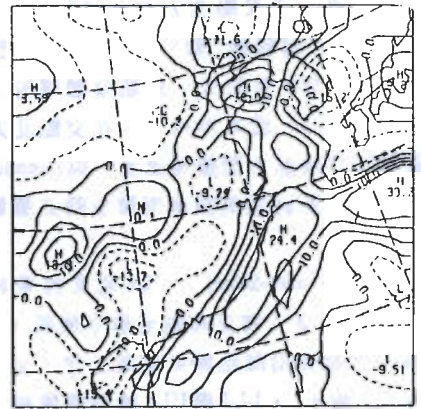
a. 5月15日12Z



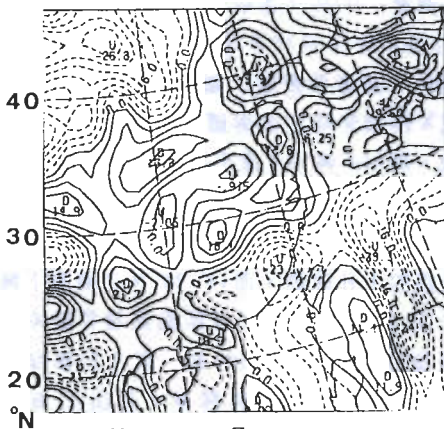
a. 5月15日12Z



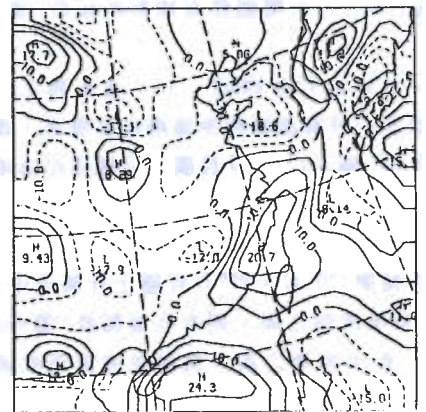
b. 5月16日12Z



b. 5月16日12Z



c. 5月17日12Z



c. 5月17日12Z

圖3 IOP_2 之500mb垂直P速度等值線間隔為5mb/hr，負值代表上升，正值代表下降運動

圖4 IOP_2 之200mb速度位，等值線間隔為 $5 \cdot 10^4 m^2/s$ ，負值代表輻合，正值代表輻散。

分佈情形

5月15日00Z(-48hr), ULJ有兩支, 北支位於華北地區, 南支從西藏高原東南側延伸至珠江三角洲, 呈西北西—東南東走向(圖1a); LLJ則自滇西縱谷延伸至嶺南丘陵一帶, 呈西南西—東北東走向(圖2a), LLJ與ULJ的南支約在(110°E, 24°N)交叉, 交叉點北方有強烈的上升運動(圖省略), 高層伴隨輻散氣流(圖省略)。

5月15日12Z(-36hr), ULJ北支東移至黃海上空, 南支則呈滯留狀態, 仍位於雲南、廣西至廣東一帶, 仍呈西北西—東南東走向(圖1b), LLJ東移後, 自嶺南丘陵延伸至東南丘陵, 呈西南—東北走向(圖2b), LLJ與ULJ的南支約在(112°E, 24°N)交叉, 交叉點北方有旺盛的上升氣流(圖3a), 高層伴隨輻散(圖4a)。此時刻之整體環流與5月15日00Z者相似。此類整體環流, 包括南支ULJ與LLJ成X形相交, 在交點北方則有上升運動並伴隨熱力間接環流者, 與Uccellini and Johnson(1979)所討論美國暴雨發生時之整體環流相近似。

5月16日00Z(-24hr), ULJ北支再東移至韓國與日本海上空, 南支移動至華中地區, LLJ再東移後, 自福建沿海延伸至東海上空, 呈西南—東北走向(圖2c), LLJ與ULJ無明顯地相交或平行, 但在LLJ北方及ULJ南支南方間仍有上升氣流(圖省略), 高層則伴有相對的輻散(圖省略)。

5月16日12Z(-12hr), ULJ南支與北支合併, 自華北, 經黃海延伸至韓國南方海面, 幾乎呈東西走向(圖1d), LLJ自廣東、福建沿海地區, 東北東延伸經台灣北端, 至東海上空(圖2d), 兩噴流軸近似呈平行, LLJ位於ULJ入區南方, 兩噴流軸間120°E, 27°N伴隨上升氣流中心(圖3b)與兩噴流軸之間, 則有高層輻散(圖4b)。

b. 暴雨期間之高、低層噴流與垂直速度分佈情形

5月17日00Z(0hr), ULJ自長江口附近往東北延伸至日本海上空(圖1e), LLJ則位於台灣東方海面上空, 呈西南—東北走向。(圖2e), 兩噴流軸呈平行, 在ULJ南方, LLJ北方有旺盛上升氣流(圖省略)及高層輻散(圖省略)。

5月17日12Z(+12hr), ULJ與LLJ均往東南

移動, 兩噴流幾乎成平行, 呈西南—東北走向, ULJ約在LLJ北方8個緯度上空。在ULJ入區南方及LLJ北方有旺盛的上升氣流(圖3c), 其間並伴隨高層輻散(圖4c)。此時刻之整體環流與5月17日00Z者相近似。此類整體環流, 包括ULJ與LLJ呈平行, 而LLJ位於ULJ入區南方; 兩噴流軸之間則有明顯之上升氣流與高層輻散者; 與Chen(1982)及Tsay and Kau(1989)所討論梅雨暴雨發生時之整體環流相近似。

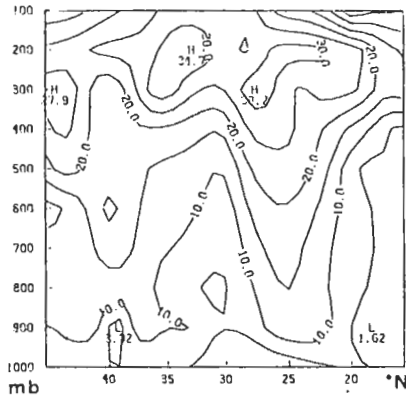
綜合而言, 此個案在暴雨開始發生時前, -48hr、-36hr, ULJ有南北兩支, LLJ在ULJ南支出區下方並與ULJ相交, 在交點北方伴隨旺盛的上升氣流及高層輻散, 我們稱之為第二類整體環流。而在-24hr時, ULJ南方兩支逐漸接近, ULJ與LLJ已不再呈相交之狀態。-12hr時, ULJ的南支與北支合而為一, ULJ與LLJ則呈平行, LLJ位於ULJ入區南方, LLJ北方與ULJ南方有明顯的上升氣流及高層輻散。降雨開始發生時(0hr), LLJ的軸心在台灣東北方, 在降雨開始後12小時, ULJ與LLJ大至呈平行, LLJ約在ULJ入區南方8個緯度, 在ULJ南方及LLJ北方伴隨強烈的上升氣流及高層輻散。在0hr與12hr時之整體環流與Tsay and Kau(1989)所討論者十分相似, 稱之為第一類整體環流。

c. 垂直剖面分析

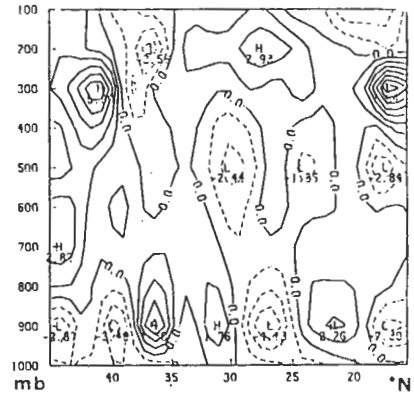
在個案—IOP₃中選取5月15日12Z沿經度116°E(圖5)及2月17日12Z沿121°E(圖6)的剖面為探討對象, 前者代表第二類整體環流, 即LLJ與ULJ成X形相交時之剖面圖, 後者代表第一類整體環流, 即LLJ與ULJ成平行走向時之剖面圖。

從圖5中, 由(a)知700mb在25°N, 200mb在22.5°N為風速最大區, 由(c)知, 在25°-30°N之間有旺盛的上升運動, 而18°-23°N之間有下降運動。由(b)及(e)知, 在上升區的高層伴隨有輻散, 而低層則有輻合。由(d)知, 在上升區溫度距平為正, 500mb以上尤其顯著, 且由(f)知上升區中水汽較多。綜合而言, 在這個時刻, LLJ位於ULJ出區下方, 且與ULJ相交, 而在相交處北方有上升氣流, 南方有下降氣流, 形成單胞熱力間接環流。此類環流與Uccellini and Johnson(1979)所討論者十分相似。

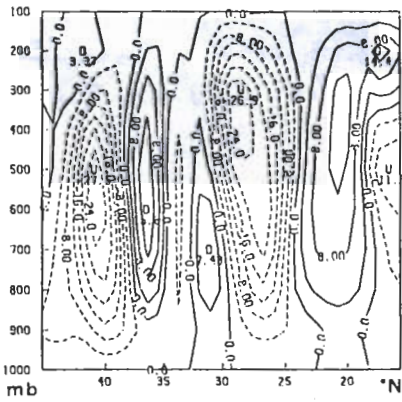
從圖6中, 由(a)知, 700mb噴流軸軸心在



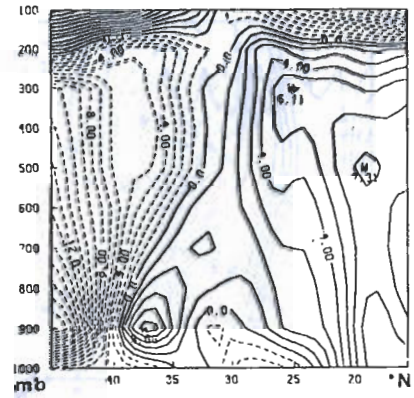
a. 風速 (m/s)



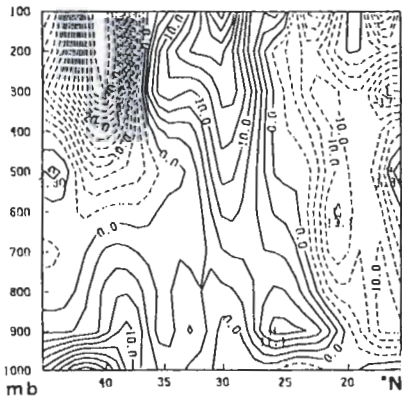
b. 輻散量 ($10^{-5}s^{-1}$)



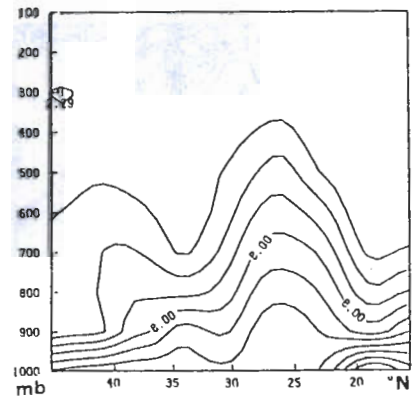
c. 垂直速度 (mb/hr)



d. 溫度距平 ($^{\circ}C$)

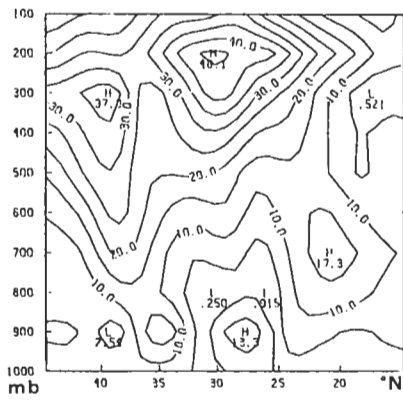


e. 非地轉風之南北分量 (m/s)

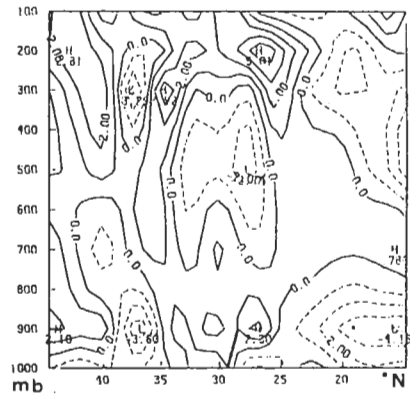


f. 比濕 (g/kg)

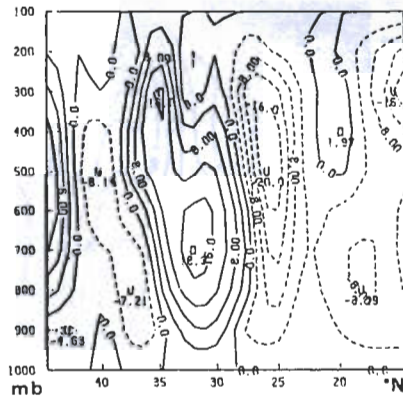
圖5 5月15日12Z, 沿116°E經度之垂直剖面圖



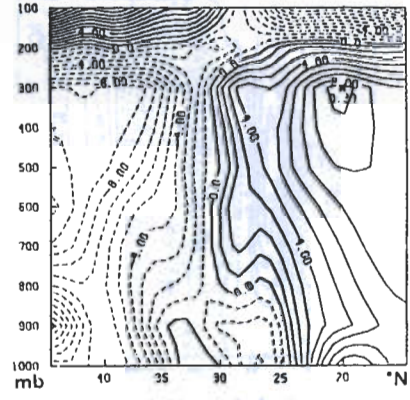
a. 風速 (m/s)



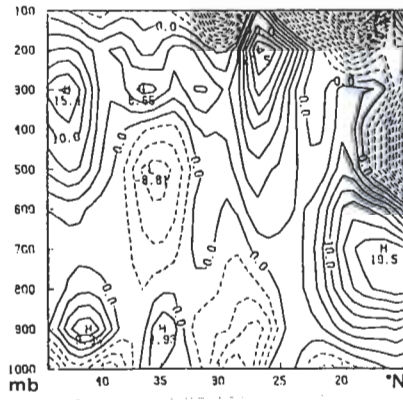
b. 輻散量 ($10^{-5} s^{-1}$)



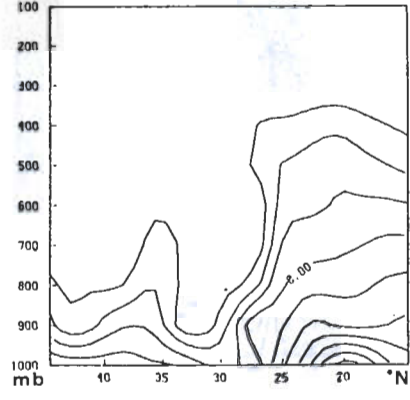
c. 垂直速度 (mb/hr)



d. 溫度距平 ($^{\circ}C$)

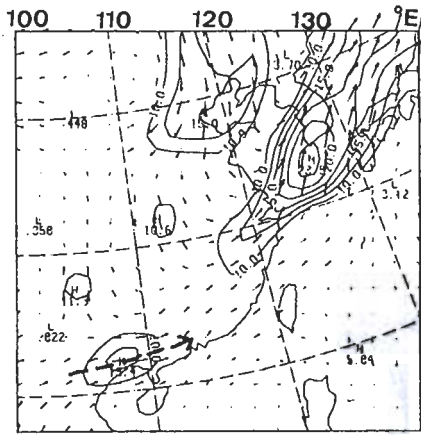


e. 非地轉風之南北分量 (m/s)

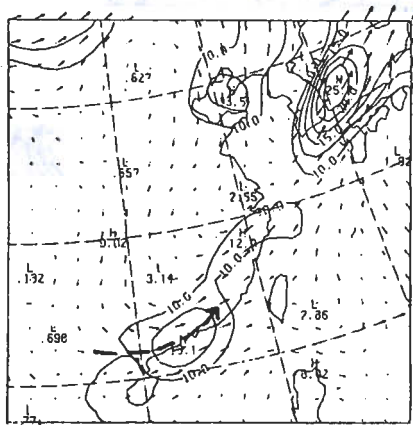


f. 比濕 (g/kg)

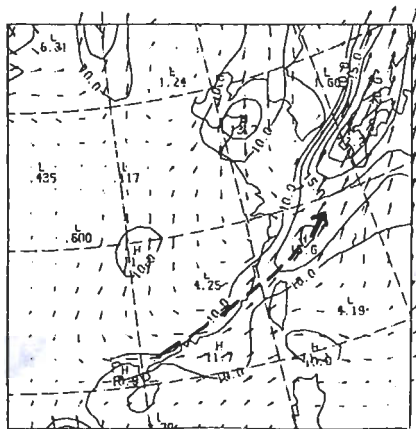
圖6 5月17日12Z, 沿121°E經度之垂直剖面圖



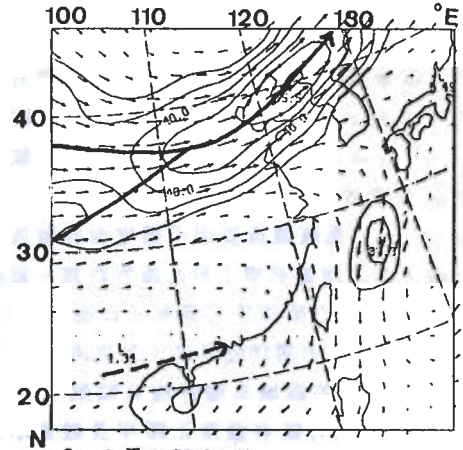
a. 6月7日00Z



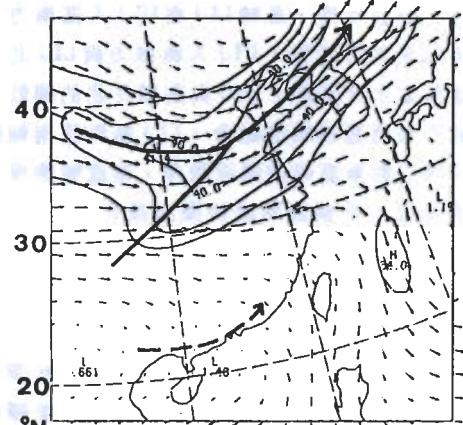
b. 6月7日12Z



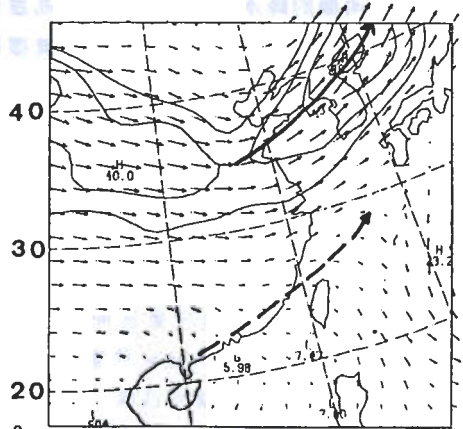
c. 6月8日00Z



a. 6月7日00Z



b. 6月7日12Z



c. 6月8日00Z

圖7 IOP₈之200mb風場分佈，箭頭代表風的向量，風速從30m/s以上每5m/s繪一等值線。粗實線代表ULJ軸

圖8 IOP₈之700mb風場分佈，箭頭代表風的向量，風速從10m/s以上每2.5m/s繪一等值線。粗虛線代表ULJ軸

21° N, 200mb 噴流軸則約在 30° N。從圖 1(f) 與 2(f) 得知, 兩噴流軸間之距離約為緯度 7-8 度。在 ULJ 入區垂直環流的不穩定度條件就是要有足夠小的南北向水平尺度 (Chen, 1982)。在北緯 25°, $\gamma - \gamma_m = 0.05^\circ \text{C}67$ (γ 及 γ_m 分別為實際大氣及濕絕熱溫度遞減率) 的條件下, 兩噴流間的臨界距離為 880 km。垂直環流要因不穩定而能發展的話, 兩噴流間之距離必須小於此臨界距離。觀測資料顯示此不穩定度條件已滿足。由圖 (c) 知, LLJ 北方與 ULJ 南方間伴隨旺盛上升氣流。由 (b) 知, 具上升氣流的區域高層伴隨有輻散。由 (d)、(f) 知, 氣流上升區有溫度正距平及較多水汽。由 (b) 知, 高層具南北方的輻散而低層有明顯的輻合。綜合可得, 此時 LLJ 在 ULJ 入區南方, 兩噴流軸呈平行走勢, ULJ 入區南方與 LLJ 北方間伴隨旺盛上升氣流。ULJ 與高層往北的輻散氣流構成的垂直直接環流結合, LLJ 則與往南輻散氣流所構成的垂直間接環流結合, 形成雙胞環流。一般而言, 此垂直環流特徵也符合 Chen(1982) 所討論不穩定度發生時之特徵。

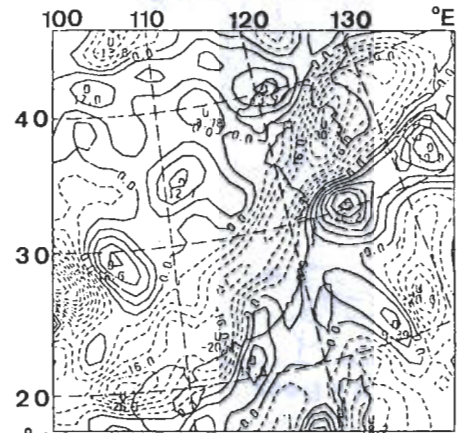
3.2 個案 2: 6 月 8 日 (IOP₈)

從表一可知, 此個案亦為多雨個案。此個案之梅雨鋒面系統於 8 日晨通過台灣北部, 並緩慢南移, 於 9 日抵達巴士海峽。於鋒面過境期間, 台灣各地均有明顯的降水。新竹、台南、高雄測站在 6 月 8 日之日雨量也都達到大雨之定義標準。圖 7 及圖 8 為 200mb 及 700mb 從 6 月 7 日 00Z 至 6 月 8 日 00Z 的風場及等風速線, 圖 9 及 10 為同一時刻所伴隨 500mb 的垂直速度及 200mb 速度位。

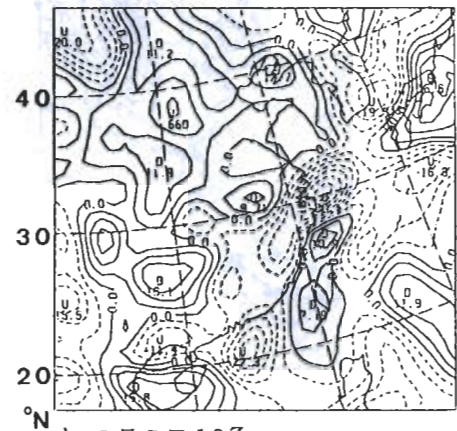
a. 豪雨發生前之高、低層噴流與垂直速度分佈情形

6 月 7 日 00Z(-24hr), ULJ 有兩支, 一支自 (100° E, 37° N) 呈東西走向往東延伸, 一支自 (100° E, 31° N) 呈西南—東北走向往東北延伸, 兩支於 (114° E, 37° N) 合併後呈西南—東北走向延伸至 (130° E, 43° N) (圖 7a), LLJ 自 (105° E, 22° N) 延伸至 (113° E, 23° N), 呈西南西—東北東走向 (圖 8a), ULJ 南支入區南方及 LLJ 軸附近伴隨強烈上升氣流 (圖 9a) 與高層輻散 (圖 10a)。6 月 7 日 12Z(-12hr), ULJ 兩支均往南移, 北支近呈東西走向, 南支仍呈西南—東北走向, 兩支

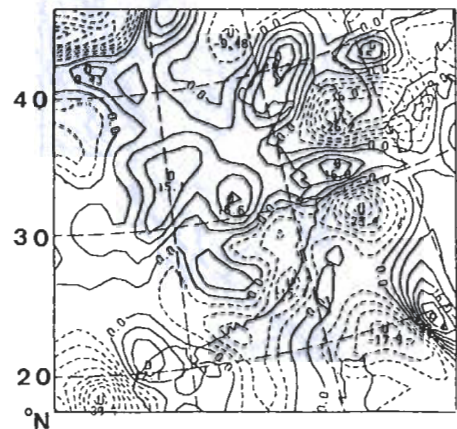
於 (117° E, 36° N) 匯合後往東北延伸 (圖 7b), LLJ 軸心東移後, 位於廣東沿海地區, 呈西南—



a. 6 月 7 日 00Z



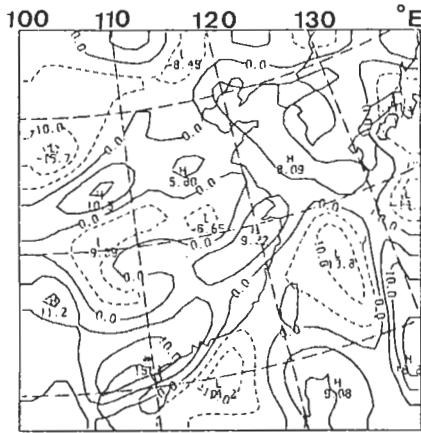
b. 6 月 7 日 12Z



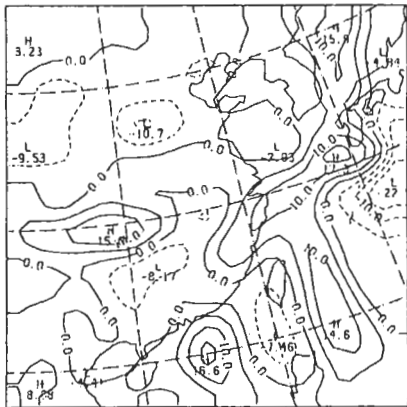
c. 6 月 8 日 00Z

圖 9 IOP₈ 之 500mb 垂直 P 速度等值線間隔為 5mb/hr, 負值代表上升, 正值代表下降運動

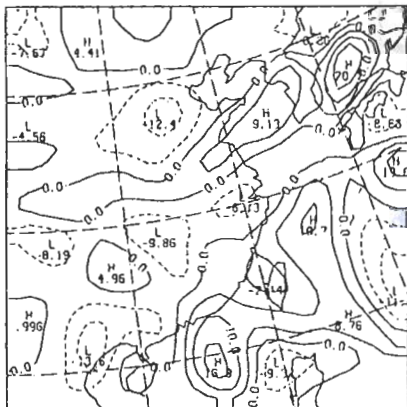
東北走向(圖8b), ULJ入區南方及LLJ軸附近伴隨上升氣流(圖9b)及高層輻散(圖10b)。



a. 6月7日00Z



b. 6月7日12Z



c. 6月8日00Z

圖10 IOP₃之200mb速度位, 等值線間隔為 $5 \times 10^4 m^2/s$, 負值代表輻合, 正值代表輻散。

b. 豪雨期間之高、低層噴流與垂直速度分佈情形

6月8日00Z(0hr), ULJ已合併成一支, 自山東半島經黃海、韓國延伸至日本海, 呈西南—東北走向(圖7c), LLJ自廣東沿海、台灣北端往東北延伸至東海上空(圖8c), ULJ入區南方及LLJ軸之間伴隨旺盛的上升氣流(圖9c)及高層輻散(圖10c)。此個案, 在豪雨發生前後的兩個階段, LLJ均位於ULJ入區南方, 與ULJ均幾乎成平行走向, 並在兩噴流軸間伴隨有強烈的上升氣流及高層輻散。兩噴流軸的距離約為9個緯度。

c. 垂直剖面圖分析

在個案二 IOP₃ 中, 6月8日00Z沿經度120°E剖面(圖11)為探討對象。

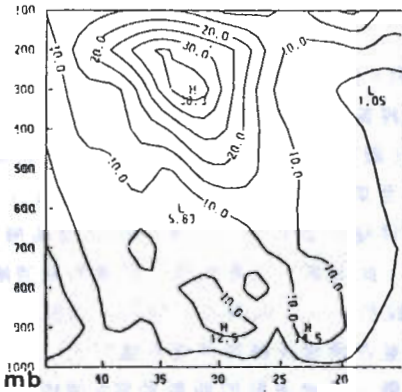
從圖11中, 由(a)知, 700mb噴流軸軸心在25°N, 200mb則約在34°N, 由(b), (c)及(e)得知, LLJ北方至ULJ軸以南地區伴隨強烈上升氣流, 高層伴隨輻散氣流, ULJ北方與LLJ南方均有下降運動, 構成雙胞環流, 而由(d)及(f)知, 在上升氣流區有溫度的正距平和較多的水汽。綜合而言, LLJ位於ULJ入區南方, LLJ與ULJ成平行走勢。兩噴流軸間之距離約為9個緯度, 此值也接近並小於不穩定度發生之臨界距離。而在兩噴流軸間之上升氣流與雙胞環流等均與Tsay and Kau(1989)所分析1979 FGGE年之梅雨結構相似。

3.3 個案3: 5月21-22日(IOP_{3a})

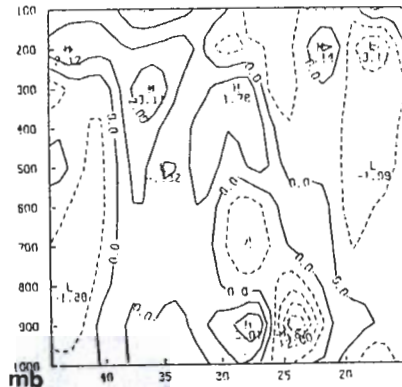
從表1可知, 此個案為少雨個案。此個案之梅雨鋒面系統於21日移至台灣北部海面, 由於鋒面後之高壓並不顯著, 鋒面受南方偏南氣流影響, 於22日北移至華南地區。圖12及13為200mb及700mb從5月19日00Z至5月22日00Z之風場及等風速線, 圖14及15為同一期間之500mb垂直速度及200mb速度位。

a. 降雨前之高、低層噴流與垂直速度分佈情形

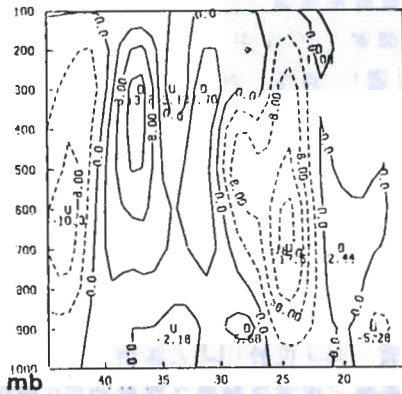
5月19日00Z(-48hr), ULJ有兩支, 北支位於華北與黃海上空, 呈東西走向, 南支位置與個案1之5月15日00Z及12Z者相近似, 呈西北西—東南東走向(圖12a), LLJ則位於雲南、廣西上空, 幾乎成東西走向(圖13a), LLJ與ULJ南



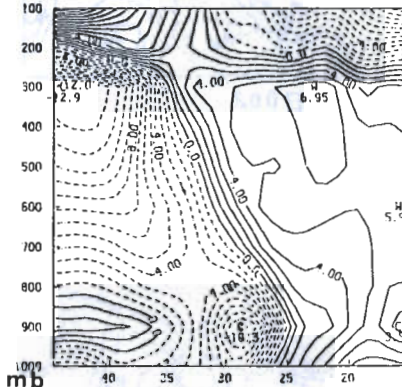
a. 風速 (m/s)



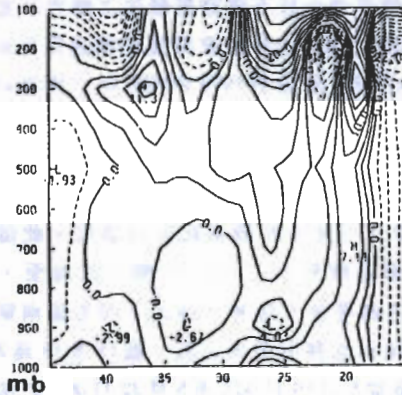
b. 輻散量 ($10^{-5}s^{-1}$)



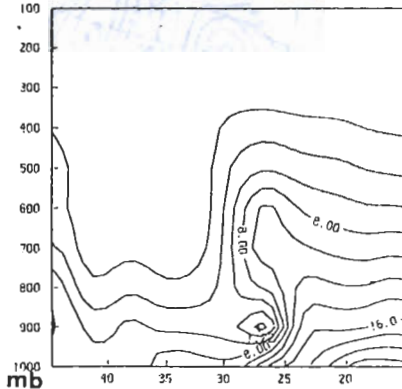
c. 垂直速度 (mb/hr)



d. 溫度距平 ($^{\circ}C$)



e. 非地轉風之南北分量 (m/s)



f. 比濕 (g/kg)

圖 11. 6月8日00Z, 沿120°E經度之垂直剖面圖

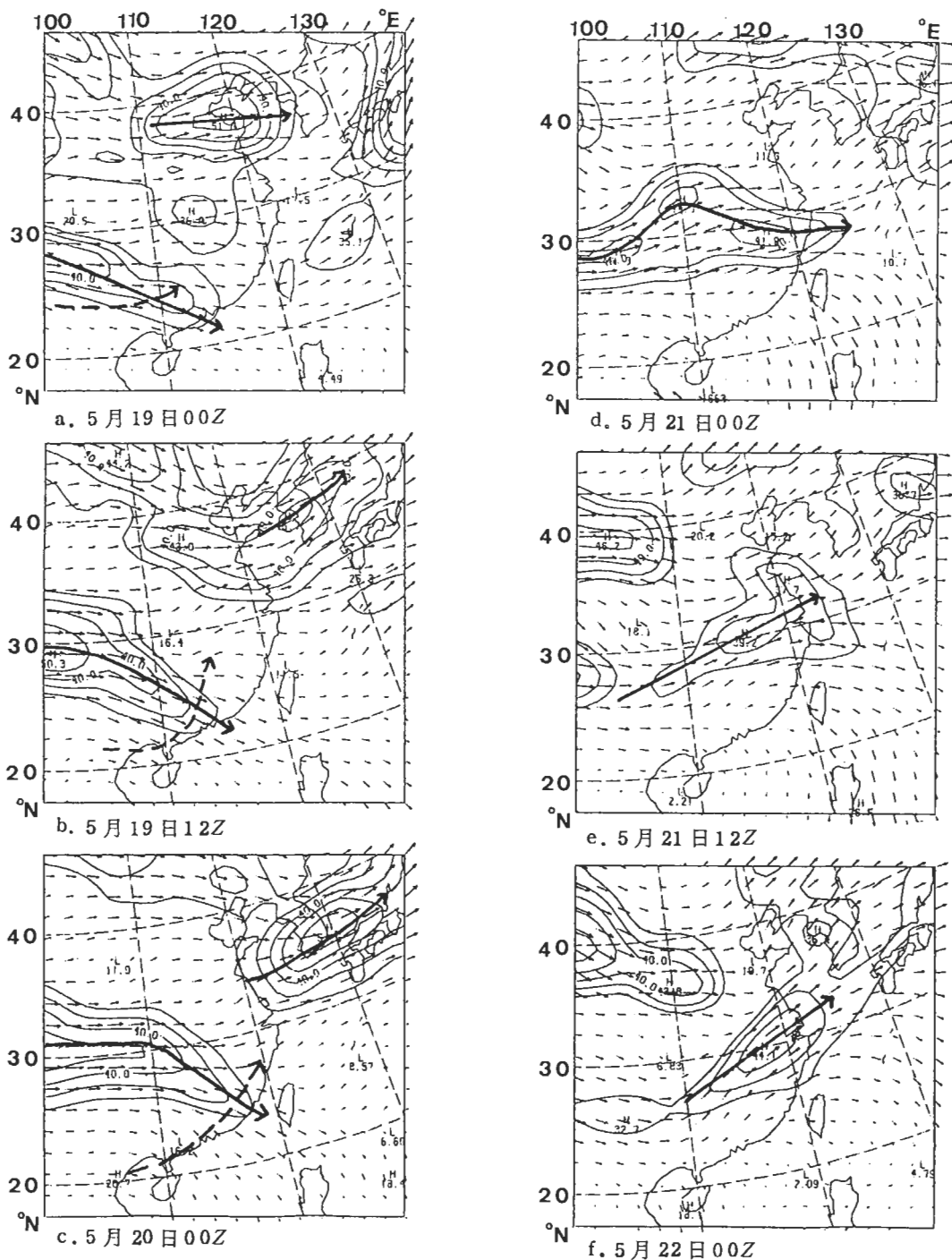


圖12 IOP_{3a}之200mb風場分佈，箭頭代表風的向量，風速從30m/s以上每5m/s繪一等值線。粗實線代表ULJ軸，粗虛線代表LLJ軸

表一 台灣西部六個測站1987年5月16日至6月30日逐日雨量資料(單位為mm)

MAY	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
台北	5.	77.	22.	11.	18.	10.	3.	.4	2.	40.	17.	2.	0.	4.	3.	.1
新竹	.5	91.	34.	.4	31.	0.	15.	.5	0.	0.	0.	0.	0.	12.	.6	0.
台中	0.	58.	43.	19.	4.	0.	13.	1.	3.	0.	.1	0.	0.	12.	.7	0.
嘉義	0.	43.	39.	0.	0.	0.	3.	8.	2.	0.	.7	0.	0.	6.	0.	0.
台南	0.	33.	89.	15.	.5	0.	3.	.1	.3	14.	0.	0.	0.	.2	0.	0.
高雄	0.	21.	57.	20.	0.	0.	4.	26.	0.	0.	0.	0.	0.	3.	0.	0.
JUNE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
台北	0.	11.	0.	13.	.2	5.	14.	10.	5.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
新竹	0.	17.	0.	0.	5.	4.	0.	65.	2.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
台中	0.	13.	0.	0.	0.	.2	.3	46.	.6	0.	0.	0.	0.	0.	.7	
嘉義	0.	0.	0.	0.	0.	0.	7.	45.	.9	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
台南	0.	.5	0.	0.	0.	.1	.9	57.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
高雄	0.	0.	0.	0.	.2	0.	.5	96.	5.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	

支相交，交點北方伴隨旺盛的上升氣流(圖省略)和高層輻散(圖省略)。

5月19日12Z(-36hr)，ULJ北支東移，自黃海往東北延伸經韓國至日本海上空，南支則稍微北移，仍呈西北—東南走向(圖12b)，LLJ自廣西延伸至江西上空，呈西南—東北走向(圖13b)，LLJ位於ULJ南支出區下方且相交，相交處北方伴隨旺盛上升氣流(圖省略)及高層輻散(圖省略)。

5月20日00Z(-24hr)，ULJ北支往東南移動，自黃海經韓國南端延伸至日本海，呈西南西—東北東走向，南支則往東移動，自(100°E, 30°N)往東延伸至(110°E, 30°N)，再往東南延伸至(119°E, 23°N)(圖12c)，LLJ則沿廣東、福建沿海，呈西南—東北走向(圖13c)，LLJ位於ULJ南支出區下方，且與ULJ南支相交，相交處北方仍有強烈上升氣流(圖14a)及高層輻散(圖15a)。

上述-48，-36及-24hr三個時間之整體環流，包括南支ULJ與LLJ成X形相交，在交點北方有上升運動並伴隨熱力間接環流者，與 IOP_2 之-48及-36hr者相近似，但 IOP_2 在-24hr時，ULJ與LLJ已不再成X形相交，開始轉變為另一型之環流形態。

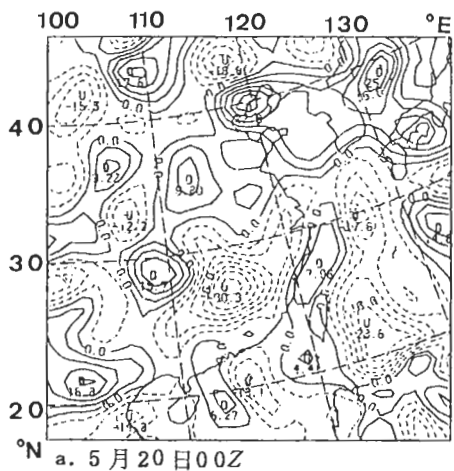
5月21日00Z(0hr)，ULJ只剩一支，位於華中地區自四川延伸至長江口附近(圖12d)，LLJ位於雲南、廣西、廣東、福建至台灣一帶上空(圖13d)，ULJ與LLJ並無明顯的相交，而上升氣流則位於LLJ北方及ULJ出區附近(圖14b)。

b. 降雨期間之高、低層噴流與垂直速度分佈情形

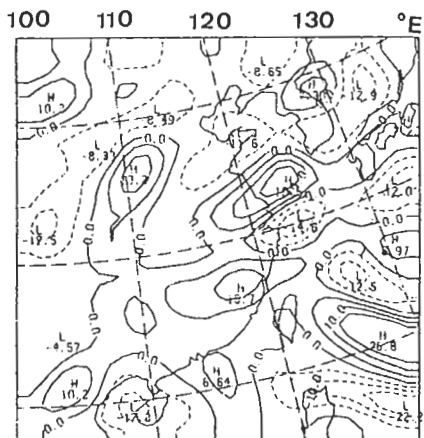
5月21日12Z(+12hr)，ULJ仍然位於華中地區，但呈西南西—東北東走向(圖12e)，LLJ仍位於華南地區，呈西南西—東北東走向(圖13e)，ULJ約在LLJ北方6個緯度上空，兩噴流軸成平行走向，ULJ南方與LLJ北方間伴隨強烈上升氣流(圖14c)及高層輻散(圖15c)。

5月22日00Z(+24hr)，ULJ稍往東移，仍位於華中地區，呈西南西—東北東走向(圖12f)，LLJ則稍往東南移動至廣東、福建沿海一帶，呈西南西—東北東走向(圖13f)，LLJ約在ULJ南方相距仍約6個緯度，ULJ南方與LLJ北方間伴隨強烈上升氣流及高層輻散。上述+12及+24hr兩個時間已調整為ULJ與LLJ平行之整體環流。12小時時LLJ在ULJ入區南方約6個緯度，24小時時則只有5個緯度了。

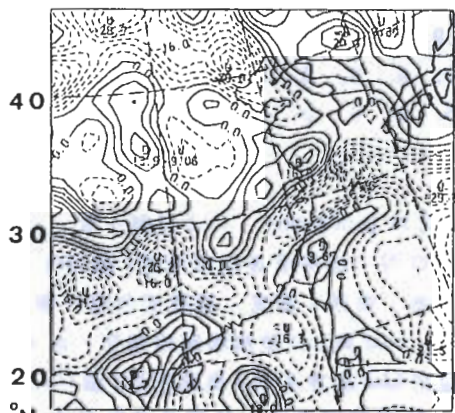
此個案在降雨發生前48小時、36小時及24小時，LLJ均在ULJ南支出區下方，並與ULJ相



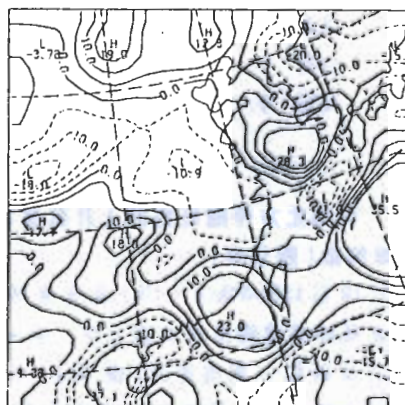
a. 5月20日00Z



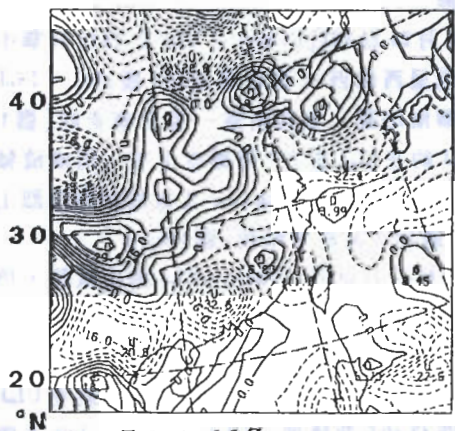
a. 5月20日00Z



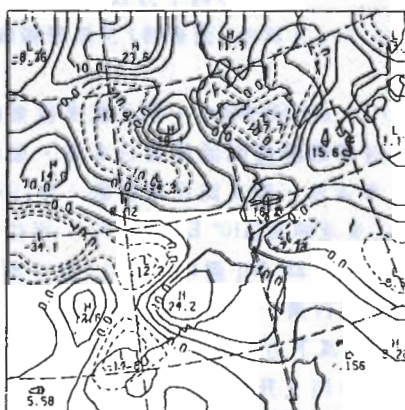
b. 5月21日00Z



b. 5月21日00Z



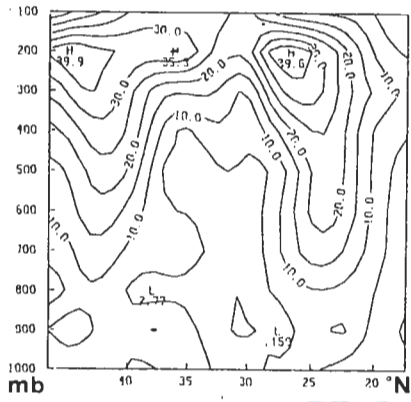
c. 5月21日12Z



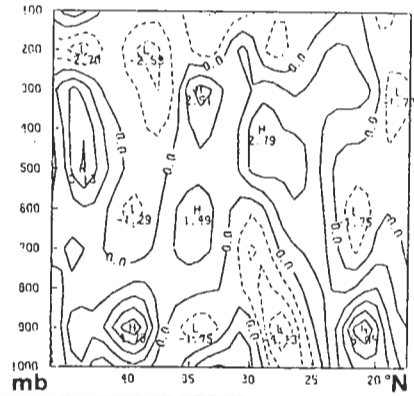
c. 5月21日12Z

圖14 IOP_{3a} 之500mb垂直P速度等值線間隔為5mb/hr，負值代表上升，正值代表下降運動。

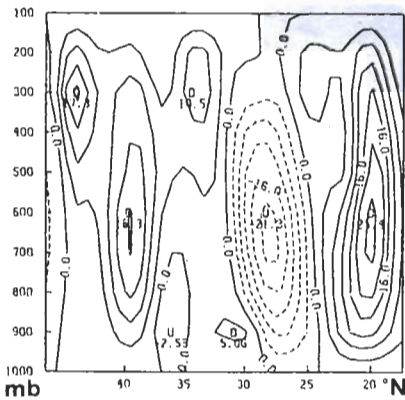
圖15 IOP_{3a} 之200mb速度位，等值線間隔為 $5 \times 10^6 m^2/s$ ，負值代表輻合，正值代表輻散。



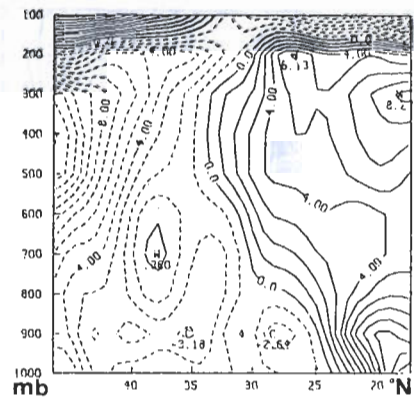
a. 風速 (m/s)



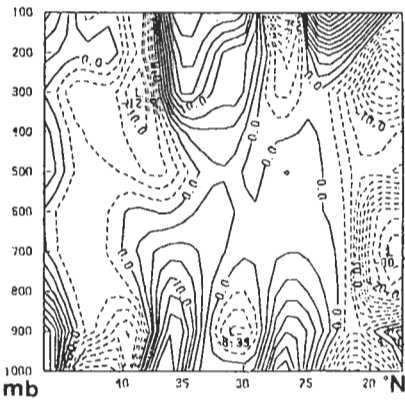
b. 輻散量 ($10^{-5} s^{-1}$)



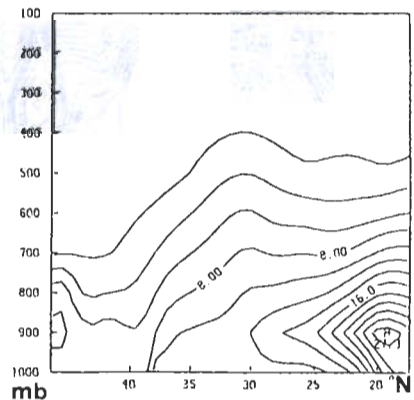
c. 垂直速度 (mb/hr)



d. 溫度距平 ($^{\circ}C$)



e. 非地轉風之南北分量 (m/s)



f. 比濕 (g/kg)

圖16 5月19日00Z, 沿107°E經度之垂直剖面圖。

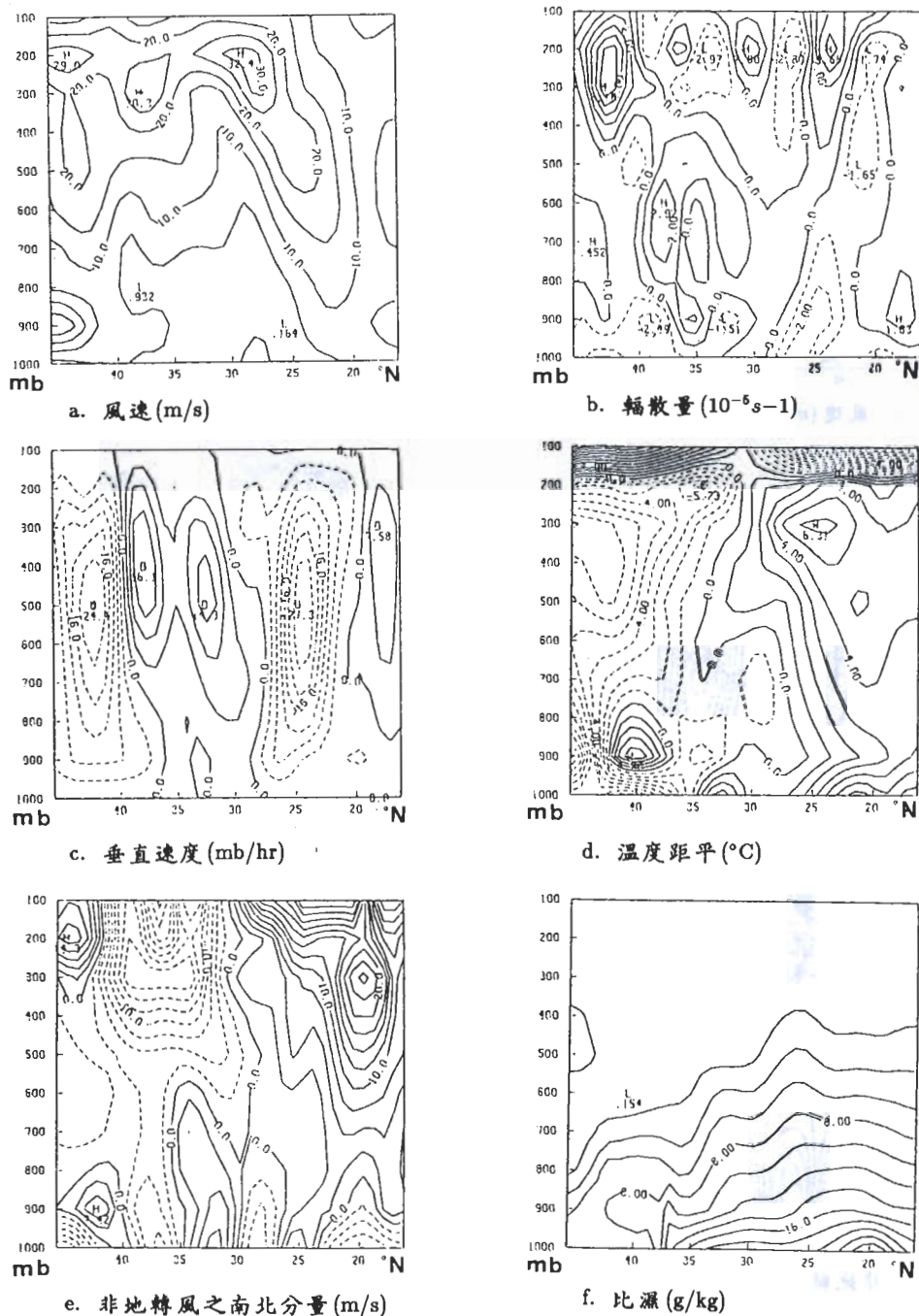


圖17 5月21日12Z, 沿113°E經度之垂直剖面圖。

交，前36小時及24小時此狀況尤為顯著，交點北方具有旺盛上方氣流，高層伴隨輻散氣流。降雨發生時，LLJ與ULJ則無明顯的相交成平行現象，但在降雨開始發生後12及24小時才調整為ULJ與LLJ成平行的走勢。此個案ULJ與LLJ形態從X形相交調整為平行走向之過程與 IOP_2 者相似，但是 IOP_2 之形態在-24hr開始轉變，而在-12hr時已轉為ULJ與LLJ成平行走向的形態。形態轉變較晚是 IOP_{3a} 與 IOP_2 個案最主要的不同。

c. 垂直剖面圖分析

在個案三中 IOP_{3a} ，取5月19日00Z，沿經度 $107^\circ E$ (圖16)及5月20日12Z沿經度 $113^\circ E$ (圖17)的剖面為探討對象。兩圖均為沿最大垂直速度的經度剖面圖。前者為ULJ與LLJ成X形相交的情形，後者則為兩噴流成平行走向的情形。

從圖16中，由(a)知，700mb噴流軸軸心在 $25^\circ N$ ，200mb噴流軸則約在 $27^\circ N$ 。由(b)、(c)及(e)知，在ULJ北方有旺盛上升氣流及伴隨高層輻散，而在噴流軸南方則有下降運動，因此垂直環流為單胞熱力間接環流。由(d)、(f)知，具上升氣流的區域則有溫度的正距平和較多的水汽。綜合而言，LLJ在ULJ出區與ULJ相交，在相交處北方有上升氣流，南方有下降氣流，構成單胞熱力間接環流。此類環流Uccellini and Johnson(1979)所討論者相似。

從圖17中，由(a)知，700mb噴流軸軸心在 $23^\circ N$ ，200mb噴流軸則約在 $29^\circ N$ 。由(b)、(c)及(e)知，LLJ北方和ULJ南方之間伴隨強烈上升氣流及高層輻散，在ULJ北方與LLJ南方均有下降運動，構成雙胞環流，由(d)、(f)知，氣流上升區有溫度正距平及較多水汽。綜合得之，LLJ與ULJ呈平行走勢，ULJ與LLJ之間有上升氣流，並構成雙胞環流。此類環流與Chen(1982), Tsay and Kau(1989)所討論者相似。

四、結論與討論

本文選擇1987年TAMEX期間 IOP_2 ， IOP_{3a} ， IOP_3 三個梅雨個案，分析高層噴流與低層噴流的耦合情形，並討論所伴隨之垂直環流情形。

我們發現1987年梅雨期雨量偏少，而該年五月下半個月在 $100^\circ E$ 至 $115^\circ E$ 間之高層噴流位於

20° 至 $30^\circ N$ 之間，也與雨量較多的1979年者位於 $30^\circ N$ – $40^\circ N$ 之間(Tsay and Kau, 1989)有所不同。

在1987年五月下半個月有南支ULJ的存在，它大致位 $22^\circ N$ 至 $30^\circ N$ ， $100^\circ E$ 至 $118^\circ E$ 之間，呈西北西—東南東走向。此南支ULJ存在時，經常會在其下方產生低層噴流呈西南—東北走向，LLJ軸與ULJ軸出現X形相交情形，在交叉點北方有旺盛的上升氣流與高層輻散，為熱力間接環流的現象。 IOP_2 前期(5月15日00及12Z)及 IOP_{3a} 前期(5月19日00及12Z，20日00Z)均屬於這種情形。此期間上升運動的中心大致位於 $108^\circ E$ 至 $115^\circ E$ $25^\circ N$ 至 $30^\circ N$ 之間，因此不能造成台灣地區的降雨。

雖然整個系統產生之後將往東移，但系統都在到達台灣之前會有明顯的改變。主要的改變在於高層噴流，南支ULJ與北支ULJ合併，因而LLJ軸與ULJ軸呈X形相交的情形消失，LLJ軸位於ULJ軸南方呈平行走向。此時，整體環流與1979年梅雨個案者(Tsay and Kau, 1989)相近，上升運動及高層輻散位於ULJ軸入區南方及LLJ軸之北方之間，其北方為熱力直接環流南方則為熱力間接環流為兩胞環流現象。台灣地區在LLJ軸到達北端以後開始下雨。

對台灣地區之降雨情形而言， IOP_2 與 IOP_3 並不相同(表一)。 IOP_2 造成台灣全省地區5月17日及18日兩天的大雨，而 IOP_{3a} 則僅造成5月22日及23日全省各地少量雨量。兩個案的主要差異在於兩胞環流發展時間的長短及發展之完整性。 IOP_2 個案中合併後的ULJ較強(圖1e和1f)並有充分時間發展成較完整的兩胞環流(圖6a, 6c和6e)。在系統抵達台灣前12hr已發展完成，成為類似Chen(1982)及Tsay and Kau(1989)所討論之環流系統。而 IOP_{3a} 合併後的ULJ則較弱(圖12e和12f)，而且沒有充分發展時間，在+12hr後才有較不完整之兩胞環流(圖17a, 17c和17e)。

在1987年進入6月份之後，高層噴流分佈情形則與1979年者相同，南支ULJ已消失，僅有一支ULJ存在，當ULJ東移，至其最大風速區移出中國大陸後，在ULJ軸入區南方(約在 $110^\circ E$ 20° – $25^\circ N$ 附近)會有低層噴流產生，如 IOP_3 ，圖7a與8a所示之6月7日00Z 200mb與700mb噴

流情形。並且在 ULJ 軸入區與 LLJ 軸之間有上升運動發生，生成兩胞環流。此系統東移後造成台灣地區 6 月 8 日的豪雨發生。整個系統的發生與移動過程與 1979 年梅雨個案則十分相近。

綜合 Tsay and Kau(1989) 及本文的研究，我們發現在台灣地區的梅雨期期間有兩類整體環流可能發生。第一類整體環流包括高層噴流，位於 ULJ 入區南方並平行之低層噴流，位於兩噴流間之上升運動及伴隨之兩胞環流。當此類整體環流東移，LLJ 抵達台灣北端時將造成台灣地區之豪雨。

第二類整體環流則有兩支高層噴流，南支 ULJ 與 LLJ 成 X 形相交，在交點北方則有上升運動並伴隨熱力間接環流。當此類整體環流東移至上升運動中心移過 115° E 後，南支 ULJ 將與北支 ULJ 合併，此類整體環流就將演變為第一類整體環流。若能在抵達台灣地區前演變成為完整之第一類整體環流系統，則仍可帶給台灣地區豪雨，否則將成為少雨的個案。

由本文的討論得知，梅雨期間在 100° 至 120° E 間 ULJ 的南北位置與強度之變化影響台灣地區之降雨甚巨。因此 ULJ 此的演化機制是重要而有待進一步研究的課題。

五、後 記

我們對本研究計劃先後兩位專任助理翁富山及張庭槐先生，以及中央氣象局陳正改科長的協助，表示致謝。另外我們要感謝三位審查者的細心閱讀與指正，使得本文能更完善。本研究是在國科會計劃編號 NSC78-0202-M002-01 補助下完成的。

參考資料

- Akiyama, T., 1973: Frequent occurrence of heavy rainfall along the north side of the low-level jet stream in the Bain season. *Paper Met. Geophys.*, 24, 379-388.
- Chen, G. T. -J. and C. -C. Yu, 1988: Study of low-level jet and extremely heavy rainfall over northern Taiwan in the Mei-Yu season. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 8848-891.
- Chen, Q., 1982: The instability of the gravity-inertia waves and its relation to low-level jet and heavy rainfall. *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 1041-1057.
- Ding, Y-H, 1980: On the physical conditions of occurrence of heavy rainfall and severe convective weather. Preprints, 8th conf. on weather forecasting and analysis, 371-377.
- Matsumoto, S. and K. Ninomiya, 1971: On the meso-scale and medium-scale structure of cold front and relevant vertical circulation. *J. Met. Soc. Japan*, 49, 648-668.
- Matsumoto, S. and S. Yoshizumi, 1971: Characteristic features of Bain front associated with heavy rainfall. *J. Met. Soc. Japan*, 49, 267-281.
- Matsumoto, S., 1973: Lower tropospheric wind speed and precipitation activity, *J. Meteor. Soc. Japan*, 51, 101-107.
- Tsay, C.-Y., and W.-S. Kau, 1989: The coupling of upper-level and low-level jets during Taiwan heavy rainfall period in Mei-Yu season. *Papers Meteor. Res.*, 12, 17-32.
- Uccellini, L. W. and D. R. Johnson, 1979: The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implication for development of severe convective storm. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 682-703.
- 陳正改, 1979: 梅雨鋒面所伴隨之低層噴流和台灣地區豪雨之關係, *大氣科學*, 6, 29-37。
- 蔡清彥、鄭寶鳳, 1989: 台灣地區梅雨期間低層噴流的結構分析及其雨發生豪雨的關係, *大氣科學*, 15, 1-16。
- 蔡清彥, 陳靜洵, 1988: 梅雨期間台灣豪雨個案中尺度動能收支, *大氣科學*, 16, 31-48。

The Coupling of Upper-Level and Low-Level Jet Streaks During TAMEX period

Ching-Yen Tsay

Central Weather Bureau

(manuscript received 20 June 1991; in final form 21 September 1991)

ABSTRACT

Three cases including IOP₂, IOP_{3a} and IOP₈ in 1987 TAMEX period have been selected for this study. The coupling of the upper-level and low-level jet streaks and the accompanying vertical circulation system have been analyzed. The influence of the overall circulation system to the precipitation in Taiwan were then discussed.

According to Tsay and Kau (1989) and present study, we find that two kinds of circulation systems may occur during Taiwan Mei-yu period. The first kind of circulation system includes upper-level jet (ULJ), low-level jet (LLJ) paralleled and located to the south of entrance portion of ULJ, upward motions in the area between these two jet streaks and accompanying two-cell vertical circulations. This kind of circulation has been discussed by Chen (1982). The total system will move eastward after developed in southeast mainland China. Precipitation in Taiwan will start when LLJ reaches the northern tip of Taiwan island.

The second kind of circulation system will have two upper-level jets. The southern ULJ is oriented in WNW to ESE direction, while LLJ is oriented in SW to NE direction. The southern ULJ and LLJ form an X-cross. Upward motion is located to the north of the crossing point. A direct circulation cell is accompanied with the upward motion. This kind of circulation system is similar to the system in north America discussed by Uccellini and Johnson (1979).

The second kind of circulation system will also move eastward. After the center of upward motion moving to the east of 115° E, the southern ULJ will have sudden northward jump and merge with the northern ULJ. The circulation system will change to the pattern of the first kind of circulation system. If the development of this new first kind of circulation pattern is completed before arriving Taiwan, Taiwan will have heavy rainfall. Otherwise it will be a less rainfall case.

Key Words: Upper-level Jet Low-level Jet TAMEX Mei-Yu