

台灣北部與鄰近地區春夏季節 中尺度對流系統發展的環境條件探討

林宗嵩¹ 陳泰然²

¹景文工商專科學校

²國立台灣大學大氣科學研究所

(中華民國八十六年九月八日收稿；中華民國八十六年十月十五日定稿)

摘 要

本文利用1988~1993年2~7月民航局中正機場都卜勒雷達回波資料與中央氣象局板橋探空站資料，以探討不同生命階段之線狀與非線狀中尺度對流系統以及不同類別線狀對流之環境條件特徵與其間異同。所分析之相關環境條件參數包括：垂直平均風場、垂直風切、穩度指數、各種特徵高度（層）、對流可用位能（CAPE）以及對流理查遜數（Ric）等。

結果顯示，低層垂直風切之大小可能為決定中尺度對流系統是否形成線狀結構、線狀對流形成型態是否為後造型以及線狀對流主軸是否為東西走向之重要因子。總指數與CAPE有最佳之正相關且常可表達線狀對流系統內對流之垂直發展深淺，而Weisman and Klemp區分不同胞狀結構線系統之Ric值標準，可能並不適用於副熱帶之春夏季節。此外發現，環境之不穩度與CAPE，線狀對流較非線狀對流為大，過境前較過境時與過境後為大，鋒前型較鋒上型為大，系統與鋒面相交者較平行者為大，破線型較後造型為大，主軸呈東北-西南與南北走向者較東西走向者為大，後側型較主軸型為大。

關鍵詞：中尺度對流系統、垂直風切、對流可用位能、對流理查遜數、穩度指數、線狀對流、非線狀對流

一、前 言

中尺度對流系統（mesoscale convective system；MCS）為台灣地區春夏季節的重要

天氣現象，並常導致豪大雨產生災害（吳等 1984；謝與陳 1985）。為增進對MCS之了解，以改進豪大雨預報能力減少災害損失，台灣地區中尺度實驗（Taiwan Area Mesoscale Experiment；TAMEX）在1987年5~6月實施實地作業，所蒐集到的密集觀測資料被國內外專家學者廣泛研究，使我們對於梅雨季之個案中尺度對流系統之結構、演變及有利環境條件增加很多了解（例如：Chen 1992；1996；陳與謝 1993；陳 1994）。然而，我們對於春夏季節影響台灣地區之中尺度對流系統之氣候特徵與環境條件所知仍然相當有限，所以近年來這方面之研究漸受重視（例如：鄧與陳 1990；陳等 1996；陳與沈 1996）。

導致豪大雨的中尺度對流系統雷達回波結構，常呈現線狀對流形式，或稱為颶線。了解颶線在不同地區的形成、發展、演變及移動特徵與環境條件，為氣象上有趣且重要的課題。Barnes and Sieckman (1984) 曾依系統移速 (V_L) 將熱帶地區之中尺度線狀對流分成快速移動 ($V_L > 7\text{ms}^{-1}$) 與慢速移動 ($3\text{ms}^{-1} \leq V_L \leq 7\text{ms}^{-1}$) 兩類，並利用GATE (GARP Atlantic Tropical Experiment) 的探空資料進行合成分析。結果顯示，低層垂直風切對於熱帶線狀對流的移動速度扮演重要的角色，即低層風切主要平行於快速系統的移動方向，但垂直於慢速系統的移動方向。Bluestein and Jain (1985) 曾將1971~1981年間春季發生於美國奧克拉荷馬的中緯度區颶線個案，依雷達回波形成型態分成四類，即破線型 (broken line)、後造型 (back building)、破面型 (broken areal) 及嵌面型 (embedded areal)。其環境條件之合成分析顯示，所有型態颶線幾乎均處於條件性不穩定的對流層環境中，破線型的環境具有較弱的垂直風切與較大的CAPE，後造型則具有較強的垂直風切與較大的CAPE，嵌面型具有較弱的垂直風切與四種型態中最小的CAPE。所有類型颶線通常是沿著離地面1公里內之垂直風切方向移動，其移向與中對流層底部的垂直風切有較大的交角，而與高對流層風切的夾角約為30~40°。

鄧與陳 (1990) 曾探討1973~1989年3~5月發生於台灣地區的10個颶線系統個案的綜觀環境特徵，發現該等系統均發生於對流不穩的環境中，其CAPE均大 ($> 1000\text{m}^2\text{s}^{-2}$) 且低層垂直風切亦強，對流理查遜數 (Ric) 約為10~40。Chen and Chou (1993) 則利用1987年5~6月TAMEX期間所觀測到的6個鋒前颶線個案，探討其一般特徵及不同生命階段的合成環境條件。他們發現所有個案均於梅雨鋒面前發生且隨時間移離鋒面，其合成環境條件特徵介乎熱帶與中緯度颶線系統之間。颶線形成期之環境於3~4公里高度存有低層噴流，並於700hPa之下具有強烈垂直風切。系統主軸走向類似中緯度颶線，約與1~3公里垂直風切呈45°交角，但CAPE則類似熱帶系統，較中緯度者為小。成熟期於系統前之內流在400hPa以下較形成期為強且深厚，CAPE亦較大。颶線系統之消散，則與系統前之CAPE與低層內流減小有關。

最近，陳等 (1996) 探討1988~1993年2~7月台灣北部與鄰近地區中尺度對流系統之氣候特徵，包括：發生頻率之時空分布、季節與日夜變化、形成與組織型態、生命期長短及中尺度對流系統與梅雨鋒面之相關等；陳與沈 (1996) 則研究1988~1993年5~6月梅雨季台灣海峽

北部與鄰近地區不同類別線狀對流之環境條件異同與不同生命階段的環境條件變化。本文為上述兩項研究工作之延續，主要目的在針對陳等（1996）所蒐集的個案，以探討春夏期間台灣北部與鄰近地區不同性質與類型之中尺度對流系統發展的環境條件，包括：垂直平均風場、垂直風切、穩度指數、各種特徵高度（層）、對流可用位能（CAPE）及對流理查遜數（Ric）等。將針對中尺度對流系統各生命階段、系統通過前後、線狀對流與鋒面的關係、線狀對流形成型態、線狀對流主軸走向及線狀對流層狀降水區型態等，進行其環境條件之異同分析與探討。

二、資料與分析

為探討台灣北部與鄰近地區春夏季節中尺度對流系統之環境特徵，利用民航局中正機場都卜勒雷達於1988~1993年2~7月（1988年2~4月缺）所觀測之雷達回波資料，以非都卜勒狀態觀測之最大強度回波圖（觀測半徑240公里）選取中尺度對流系統個案，並去除午後熱雷雨與颱風及其外圍雲雨帶個案，分析結果包括線狀對流148個與非線狀對流323個，其各種分類標準及其一般氣候特徵可參閱陳與林（1995）、陳等（1996）。首先將板橋探空之標準層與特性層資料，在地面至100hPa間線性內插至每25hPa間距之各等壓面層，隨後確定對流系統與探空站的時空關係。本文中尺度對流系統之選取標準，為降水回波值 $\geq 20\text{dBz}$ 之顯著回波區之（a）水平尺度 ≥ 150 公里且（b）持續時間 ≥ 3 小時。此種中尺度對流系統，若對流區呈現長：寬比至少為3：1之線狀型態，且持續時間 ≥ 3 小時，則定義為線狀對流。對於線狀對流之生命期而言，若對流區已形成線狀結構且長度 ≥ 150 公里，則定義為形成期；對流區已達最大強度且呈現恆定狀態，則為成熟期；對流區出現線狀結構之最後時間，則為消散期。圖1為鋒前嵌面型線狀對流不同生命階段之典型個案，此期間鋒面仍位於華南而不在雷達觀測範圍之內。對於非線狀對流而言，若顯著回波區之水平尺度 ≥ 150 公里則為形成期，對流區已達最大強度且呈現恆定狀態則為成熟期，顯著回波區水平尺度 < 150 公里則為消散期。

所求取代表環境條件的參數，包括：3~10公里（中高對流層）平均向量風、0~2.5公里（低對流層）、2.5~6公里（中對流層）及0~6公里（中低對流層）垂直風切，總指數（Total Totals Index；TTI）與K指數（K Index；KI），舉升凝結層（LCL）、自由對流層（LFC）、平衡層（EL）、對流凝結層（CCL）、對流可用位能（CAPE）及對流理查遜數（Ric）等，其定義如下：

$$\begin{aligned} \bullet \text{總指數 (TTI)} &= T_{850} + T_{d850} - 2T_{500} \\ &= (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{500}) \end{aligned} \quad (1)$$

(1)式內T為溫度， T_d 為露點，下標數字為氣壓（hPa）。TTI > 44時有利深對流發展，> 54則可能發展為強對流（Maddox 1983）。

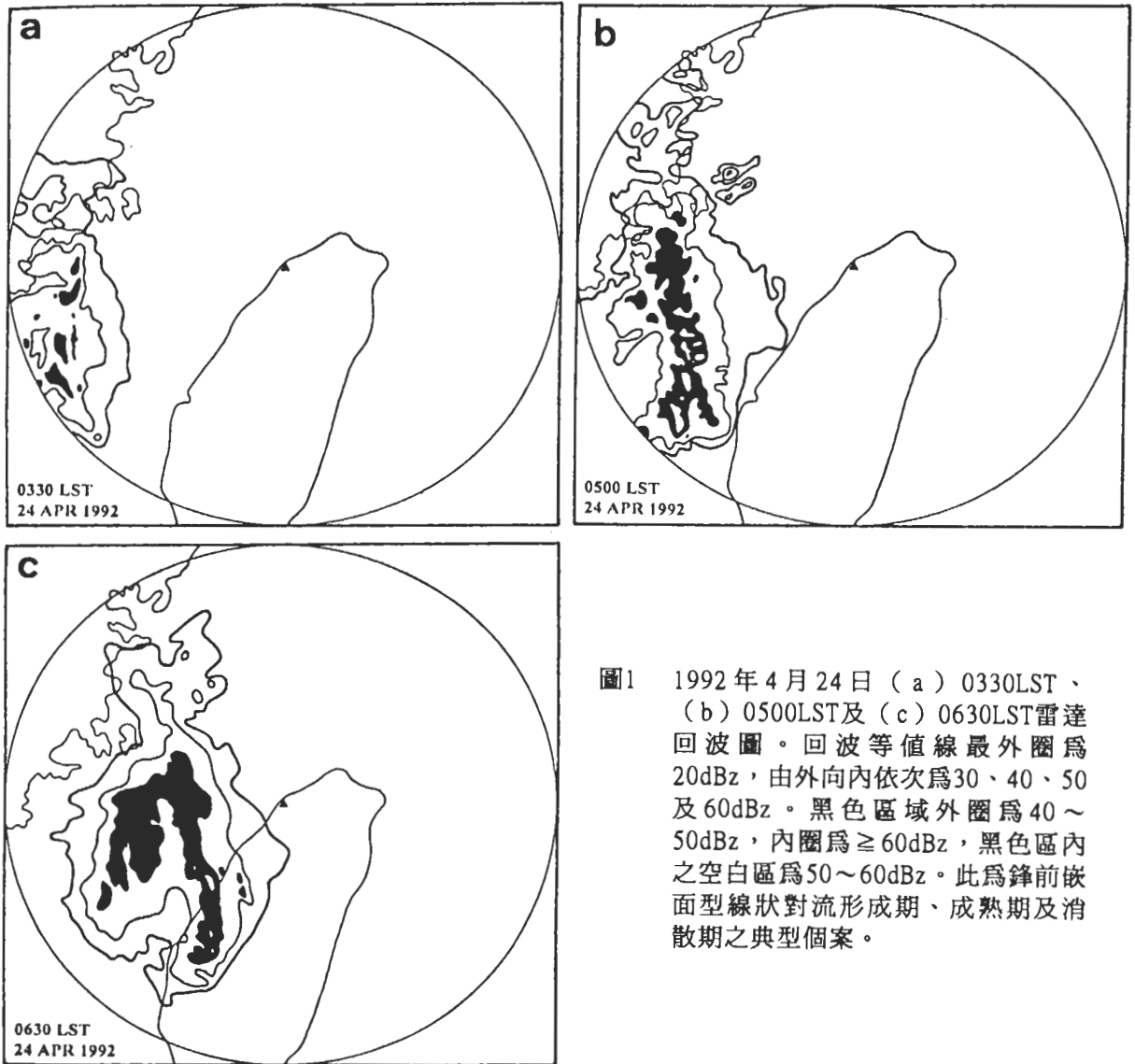


圖1 1992年4月24日 (a) 0330LST、(b) 0500LST及 (c) 0630LST雷達回波圖。回波等值線最外圈為20dBz，由外向內依次為30、40、50及60dBz。黑色區域外圈為40~50dBz，內圈為 ≥ 60 dBz，黑色區內之空白區為50~60dBz。此為鋒前嵌面型線狀對流形成期、成熟期及消散期之典型個案。

$$\bullet \text{K指數 (KI)} = T_{850} - T_{500} + T_{d850} - (T - T_d) / 700 \quad (2)$$

KI > 32時有利中尺度對流系統形成與發展 (鄧與陳 1990)。

- 舉升凝結層 (LCL)：氣塊受外力舉升，以乾絕熱過程上升達到飽和之高度。
- 自由對流層 (LFC)：氣塊以絕熱過程上升至其溫度與環境溫度相同之高度，其上氣塊溫度較環境溫度為高，可自由對流。
- 平衡層 (EL)：在LFC之上，氣塊對流至其溫度與環境溫度相同之最低高度層。
- 對流凝結層 (CCL)：空氣塊充份受熱使溫度增高至可沿乾絕熱上升以達飽和之高度，

此即為積狀雲底之高度，可由地面露點沿混合比線上升與探空溫度曲線相交求得。

$$\bullet \text{對流可用位能 (CAPE)} = \int_{z_1}^{z_2} g \left(\frac{\theta_c - \theta_{env}}{\theta_{env}} \right) dz \quad (3)$$

式中 z_1 為 LFC 高度， z_2 為 EL 高度， θ_c 為地面氣塊之位溫， θ_{env} 為未飽和環境之位溫。CAPE 為中高層潛在不穩度之量度，為單位質量之氣塊由自由對流層至平衡層環境對氣塊所做的淨功，即熱力圖內之正面積。

$$\bullet \text{對流理查遜數 (Ric)} = \frac{\text{CAPE}}{\frac{1}{2} \left[\left(\overline{U}_6 - \overline{U}_{0.5} \right)^2 + \left(\overline{V}_6 - \overline{V}_{0.5} \right)^2 \right]} \quad (4)$$

其中 $\left(\overline{\quad} \right)_6$ 與 $\left(\overline{\quad} \right)_{0.5}$ 分別為最低 6 公里與 0.5 公里內之氣壓權重平均，U 與 V 分別為東西向與南北向之風分量。Ric 在 15~35 時有利超大胞發展，大於 40 時則有利多胞風暴發展 (Weisman and Klemp 1982)。

三、結 果

(一) 各生命階段

表一為線狀與非線狀中尺度對流系統在形成期與成熟期之環境條件，消散期因各只有一個案故從略。在風場方面，不論線狀或非線狀對流均在中高對流層盛行西南西風內形成、增強，且低對流層垂直風切均顯著大於中對流層垂直風切。中高對流層平均風速在形成期與成熟

表一 1988~1993年2~7月(1988年2~4月缺)所有在不同生命階段的線狀與非線狀中尺度對流系統，於過境板橋探空站前之個別探空所求得各項參數之平均，其中 $\overline{\vec{v}}_{3-10}$ 為 3-10 公里之平均風向量， $\overline{\vec{v}}_0$ 、 $\overline{\vec{v}}_{2.5}$ 及 $\overline{\vec{v}}_6$ 分別為地面、2.5 公里及 6 公里高度處的風，其下表內數字為風向與風速 (ms^{-1})，其餘各參數詳見第二章。

階段 \ 參數		$\overline{\vec{v}}_{3-10}$	$\overline{\vec{v}}_{2.5} - \overline{\vec{v}}_0$	$\overline{\vec{v}}_6 - \overline{\vec{v}}_{2.5}$	$\overline{\vec{v}}_6 - \overline{\vec{v}}_0$	TTI ($^{\circ}\text{C}$)	KI ($^{\circ}\text{C}$)	LCL (hPa)	LFC (hPa)	EL (hPa)	CCL (hPa)	CAPE (m^2s^{-2})	Ric
		線狀	形成期 13 個案	256 17.8	250 17.5	10 4.8	265 15.7	43.5	35.0	901.5	805.4	218.8	878.8
成熟期 8 個案	259 19.3		247 14.7	288 6.7	260 20.3	45.0	33.2	917.1	807.0	240.8	917.0	884.7	15.7
非線狀	形成期 7 個案	256 14.6	237 12.0	306 5.9	258 15.1	43.5	34.3	916.8	766.2	276.0	922.7	561.3	15.6
	成熟期 6 個案	247 15.7	232 13.1	317 3.9	248 14.0	43.5	32.0	909.8	777.7	227.1	899.4	609.9	25.3

期，線狀對流均大於非線狀對流。低對流層與中低對流層之垂直風切亦然，即線狀對流在較強的低對流層與中低對流層之垂直風切的環境裡形成與發展，而非線狀對流之環境垂直風切則較弱。中高對流層西南西氣流之平均風速，線狀與非線狀對流之成熟期均大於形成期，線狀對流之中對流層與中低對流層之垂直風切於成熟期較大，但非線狀對流則較小。穩度指數顯示，不論形成期或成熟期，線狀對流環境均較非線狀對流環境不穩定。線狀對流成熟期之總指數 > 44 ，有利深對流發展 (Maddox 1983)；線狀與非線狀對流之形成期與成熟期K指數均大於 > 32 ，有利中尺度對流系統形成與發展 (鄧與陳 1990)。

LCL、CCL及EL之高度，線狀對流於成熟期均較形成期為低，非線狀對流則反是；而成熟期線狀對流LCL、LFC、CCL及EL之高度，均較非線狀對流者為低。比較線狀與非線狀對流在形成期與成熟期之LFC與EL高度，顯見線狀對流系統內之對流可發展得較為深厚。形成期與成熟期，線狀對流之CAPE均較非線狀對流者為大，即線狀對流形成與發展於具有較多對流可用位能之環境，但Ric則較小。此外，線狀與非線狀對流，成熟期之CAPE與Ric均較形成期者為大，即系統在具有較大對流可用位能之環境裡發展。線狀對流形成期CAPE=831.9m²s⁻²，Ric=13.2與成熟期CAPE=884.7m²s⁻²，Ric=15.7，均較TAMEX線狀對流形成期與成熟期合成環境之CAPE=910；1330m²s⁻²，Ric=42；175為小 (Chen and Chou 1993)，亦較鄧與陳 (1990) 所求得之3~5月10個線狀對流個案平均CAPE=1176m²s⁻²，Ric=23.3為小。

(二) 系統通過前後

當板橋探空站位於中尺度對流系統通過之前，且系統與探空站距離在系統長度尺度以內 (平均長度尺度約200~300公里) 施放探空時，定義為中尺度對流系統過境前環境。當板橋施放探空時，中尺度對流系統已抵達探空站，則定義為中尺度對流系統過境之環境；若中尺度對流系統已通過探空站，則定義為中尺度對流系統過境後環境。圖2為中尺度對流系統過境前、過境時、過境後與板橋探空站之相對空間關係示意圖。因對流系統可呈組織或無組織形式，且可相繼移經板橋探空站，故探空資料歸屬於系統過境前或過境後亦需加以區分。若有A、B兩中尺度對流系統同時出現，A系統已影響探空站 (接近、過境或已通過)，而B系統與探空站距離在300公里內，則該探空資料歸入系統A的環境。若B系統與測站距離在300公里內，但探空施放時已受B系統前之弱對流或局部性對流影響，則仍視為B系統之環境。

線狀與非線狀對流過境前後環境條件之改變，如表二所示。線狀對流過境時與過境後，雖分別僅有2個與3個個案，可能較不具代表性，但仍求取其平均以供比較參考。在風場方面，線狀與非線狀對流於過境前與過境時環境均處於中高對流層盛行西南西風內，但線狀對流過境後則轉為西南風而非線狀對流環境則轉為西風。各類別之低對流層垂直風切均大於中對流層之垂直風切。線狀對流之中高對流層平均風速於過境時最小，但非線狀對流則於過境時最大；低對流層與中低對流層之垂直風切變化亦然。穩度指數顯示，線狀對流之總指數於過境時由44.2減小為36.6，過境後增加為45.9，非線狀對流之總指數亦有相似之變化趨勢，顯示對流釋放不穩度與系統通過後環境不穩度之恢復。線狀對流過境前後之K指數均大於34，但非線狀對流過境

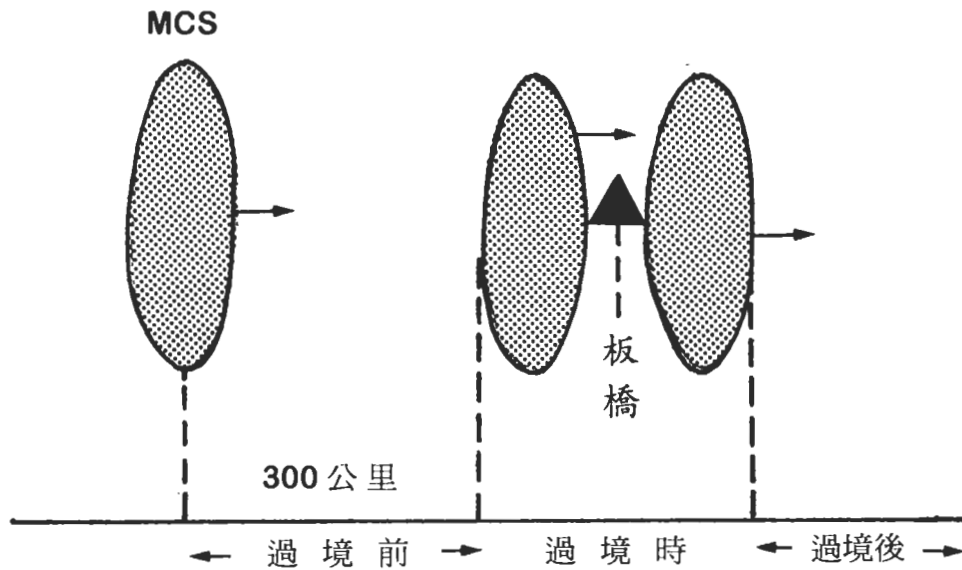


圖2 中尺度對流系統過境板橋探空站前後之示意圖。

表二 1988~1993年2~7月(1988年2~4月缺)所有線狀與非線狀中尺度對流系統,相對於板橋探空站,於過境前、過境時及過境後板橋各個探空所求得各項參數之平均,餘同表一。

階段	參數	\bar{v}_{1-10}	$\bar{v}_{2.5-\bar{v}_0}$	$\bar{v}_0 - \bar{v}_{2.5}$	$\bar{v}_0 - \bar{v}_0$	TTI (°C)	KI (°C)	LCL (hPa)	LFC (hPa)	EL (hPa)	CCL (hPa)	CAPE (m ² s ⁻²)	Ric
		線狀	過境前 22 個案	256 19.7	248 16.5	325 4.3	262 17.9	44.2	34.4	907.0	801.1	228.9	891.4
線狀	過境時 2 個案	254 12.0	245 11.7	7 5.0	269 10.0	36.6	35.0	926.2	862.5	334.2	935.9	1106.8	40.3
線狀	過境後 3 個案	236 22.5	227 18.7	269 5.7	237 23.1	45.9	36.0	928.6	745.4	254.9	895.8	696.9	5.8
非線狀	過境前 14 個案	254 15.7	236 12.4	304 5.4	255 15.3	43.8	33.5	915.7	779.0	248.5	916.5	590.4	19.5
非線狀	過境時 14 個案	242 18.1	245 14.1	209 4.2	237 17.7	40.6	29.8	932.8	819.0	446.1	961.4	363.3	8.3
非線狀	過境後 7 個案	266 17.0	246 13.4	342 5.9	271 14.1	44.8	34.7	934.4	814.2	357.9	951.7	388.7	17.7

時減小為 < 30。不論線狀與非線狀對流,於過境時LCL、LFC、CCL及EL之高度均較過境前顯著降低,系統過境時EL之降低顯示環境不穩度與對流可用位能已部分釋放。線狀對流之CAPE,於過境前後各階段均顯著較非線狀者為大,即線狀對流發展在具有較多對流可用位能的環境。此外,過境前至過境時,線狀對流環境之CAPE由891.4m²s⁻²增為1106.8m²s⁻²,而非線狀對流之CAPE則由590.4m²s⁻²減為363.3m²s⁻²。即過境時線狀對流之CAPE達最大,但非線狀對流之CAPE則減為最小。於過境時,線狀對流之Ric達最大(>40),但非線狀對流則減為最小(8.3)。

顯然，線狀與非線狀對流過境時環境風場之改變大異其趣。線狀對流過境時，中高對流層平均風速、低對流層與中低對流層之垂直風切均減至最小，但非線狀對流則增至最大。CAPE與Ric於線狀對流過境時均達最大，但非線狀對流過境時則減至最小。LCL、LFC、CCL及EL之高度，則不論線狀與非線狀對流，均於系統過境時降低。

(三) 線狀對流與鋒面

線狀對流與鋒面關係之分類，鋒前型為當系統在成熟期位於鋒面與鋒前400公里之間者，鋒上型為系統在成熟期位於鋒面上者，即系統與地面鋒有相交或重疊者。圖3為鋒前型、鋒上型線狀中尺度對流系統與鋒面關係示意圖。當線狀對流主軸與鋒面交角 $\leq 20^\circ$ 時視為兩者平行，否則為相交。形成於鋒前與鋒上以及平行與相交於鋒面之線狀對流之環境條件，如表三所示。在風場方面，鋒前或鋒上之線狀對流均於中高對流層盛行西南西風內形成，且低對流層垂直風切均較中對流層者為強。不論中高對流層平均風速或低對流層、中對流層、中低對流層之垂直風切，均為鋒前大於鋒上。鋒前之不穩度較鋒上者為大，LCL、LFC、CCL及EL之高度鋒前亦較鋒上稍高；鋒前CAPE較大，但Ric則較小。顯然，發生於鋒前之線狀對流有較不穩定的環境大氣與較大的對流可用位能，並有較大的中高對流層平均風速與中低對流層垂直風切，系統內之對流發展也較深厚。

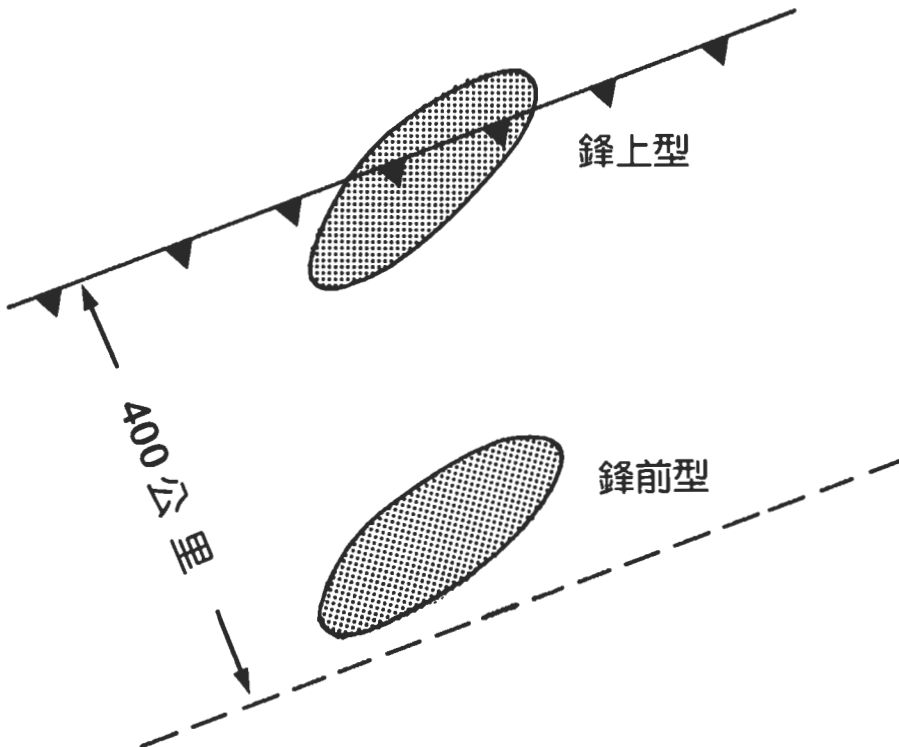


圖3 鋒上型、鋒前型線狀對流與鋒面相關示意圖。

表三 1988~1993年2~7月(1988年2~4月缺)所有形成於鋒前、鋒上、平行鋒面(交角 $\leq 20^\circ$)及與鋒面相交($20^\circ < \text{交角} \leq 60^\circ$)之線狀中尺度對流系統,於通過板橋探空站前各個探空所求得各項參數之平均,餘同表一。

參數 鋒面關係	\bar{v}_{j-10}	$\bar{v}_{2.5} - \bar{v}_0$	$\bar{v}_6 - \bar{v}_{2.5}$	$\bar{v}_6 - \bar{v}_0$	TTI ($^\circ\text{C}$)	KI ($^\circ\text{C}$)	LCL (hPa)	LFC (hPa)	EL (hPa)	CCL (hPa)	CAPE (m^2s^{-2})	Ric
鋒前 11 個案	256 19.0	250 17.4	334 4.7	265 18.4	45.1	35.7	904.4	797.1	218.5	882.5	902.6	12.1
鋒上 9 個案	258 17.7	246 15.9	343 4.2	261 15.9	42.6	33.1	906.0	798.0	250.7	893.5	587.7	13.4
平行 15 個案	259 17.9	252 17.1	5 4.7	268 15.9	43.3	34.4	901.5	783.7	245.2	882.1	598.2	11.7
相交 7 個案	252 20.5	240 15.4	277 8.5	253 22.8	46.2	34.3	918.8	842.2	194.0	911.1	1339.0	18.1

線狀對流與鋒面平行者,中高對流層平均風速較相交者為小,中對流層與中低對流層之垂直風切亦較小,但低對流層之垂直風切則較大;唯平行與相交之線狀對流均處於中高對流層盛行西南西風內,且低對流層之垂直風切均較中對流層者為強。相交者之總指數較平行者為大,但K指數則兩者相近。相交者LCL、LFC及CCL之高度較平行者為低,但EL高度則較高,即與鋒面相交之系統內對流可有較深厚的發展;相交者之CAPE與Ric均較平行者為大。顯然,與鋒面相交的線狀對流有較不穩定的環境大氣與較大的對流可用位能,系統內對流可有較深厚的發展,並有較大的中高對流層平均風速與中低對流層垂直風切。

(四) 線狀對流形成型態

表四為不同形成型態線狀對流之環境條件差異,因破面型與前造型均僅各有一個個案,故僅對破線型與後造型進行分析比較。圖4為破線型與後造型形成期之典型個案。在風場方面,兩者均在中高對流層盛行西南西風內發展,且低對流層之垂直風切均顯著大於中對流層者。後造型有較大的中高對流層平均風速與較強的低對流層、中低對流層西南西垂直風切。兩者之大氣穩度相近,但破線型之CAPE($1196.9\text{m}^2\text{s}^{-2}$)遠大於後造型者($465.2\text{m}^2\text{s}^{-2}$),破線型之Ric亦較後造型者為大。此外,兩者LCL與CCL之高度相近,但破線型有較低之LFC與較高之EL,亦即系統內之對流有較深之發展。

表四 1988~1993年2~7月(1988年2~4月缺)所有不同形成型態之線狀對流於經過板橋探空站前,各個探空所求得各項參數之平均,餘同表一。

參數 型態	\bar{v}_{j-10}	$\bar{v}_{2.5} - \bar{v}_0$	$\bar{v}_6 - \bar{v}_{2.5}$	$\bar{v}_6 - \bar{v}_0$	TTI ($^\circ\text{C}$)	KI ($^\circ\text{C}$)	LCL (hPa)	LFC (hPa)	EL (hPa)	CCL (hPa)	CAPE (m^2s^{-2})	Ric
破線型 7 個案	262 15.6	258 14.4	353 5.2	278 14.9	43.9	34.8	903.8	807.4	178.5	881.2	1196.9	18.2
後造型 11 個案	255 19.8	246 18.5	341 3.4	257 18.5	42.9	34.0	902.8	791.5	271.7	886.6	465.2	7.6

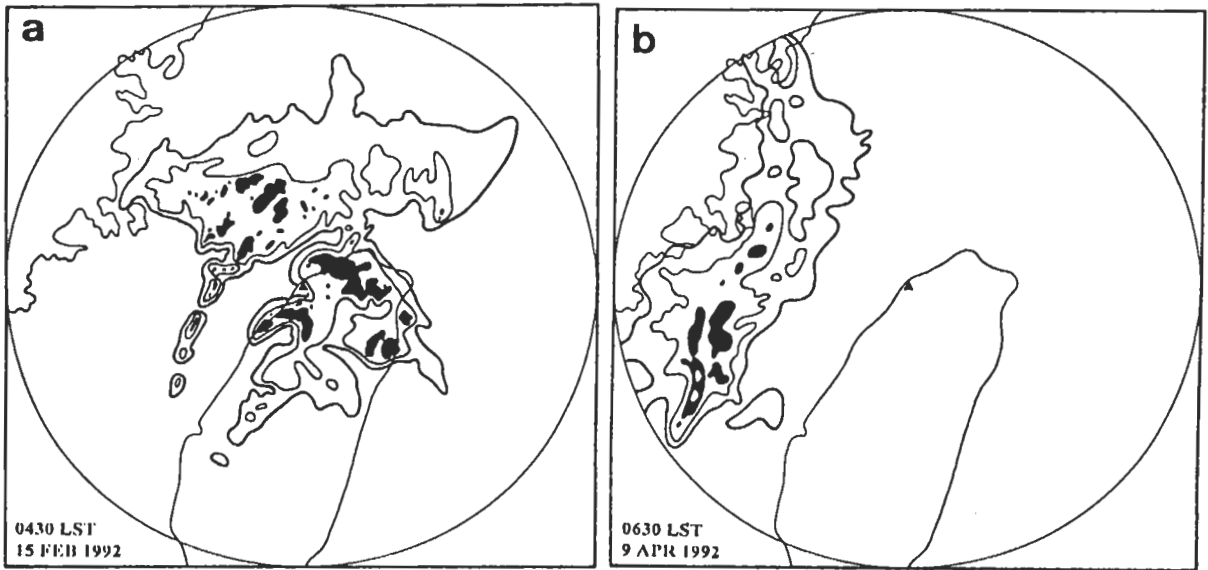


圖4 1992年 (a) 2月15日0430LST與 (b) 4月9日0630LST雷達回波圖。(a)、(b) 分別為破線型與後造型線狀對流形成期之典型個案，餘同圖1。

(五) 線狀對流主軸走向

不同主軸走向線狀對流之環境條件，如表五所示。在風場方面，三類均在中高對流層盛行西南西風內發展，且低對流層風切均顯著大於中對流層者。東西走向線狀對流有最大的中高對流層平均風速，亦有最強的低對流層、中低對流層西南西垂直風切；南北走向線狀對流的中高對流層平均風速最小，低對流層、中低對流層之垂直風切亦最弱。三者均在不穩定環境內發展，以南北走向線狀對流之總指數最大(46.0)，CAPE (1070.3 m^2s^{-2})與Ric (19.3)亦最大，東西走向線狀對流之總指數最小(43.7)，CAPE (539.4 m^2s^{-2})與Ric (6.8)亦最小。K指數與CAPE之大小，無明顯相關。南北走向線狀對流LCL、LFC及CCL之高度均最低，EL高度最高，即系統內可有最深的對流發展。顯然，南北走向之線狀對流雖然中高對流層平均風速、低對流層、中低對流層風切均最弱，但環境最不穩定，CAPE與Ric均最大，故其內對流發展也最深厚。

表五 1988~1993年2~7月(1988年2~4月缺)所有不同主軸走向之線狀對流於經過板橋探空站前，各個探空所求得各項參數之平均，餘同表一。

參數 走向	\bar{v}_{3-10}	$\bar{v}_{2.5-\bar{v}_0}$	$\bar{v}_6 - \bar{v}_{2.5}$	$\bar{v}_6 - \bar{v}_0$	TTI ($^{\circ}\text{C}$)	KI ($^{\circ}\text{C}$)	LCL (hPa)	LFC (hPa)	EL (hPa)	CCL (hPa)	CAPE (m^2s^{-2})	Ric
NE-SW 15 個案	255 19.3	250 16.4	317 4.3	262 18.5	44.3	33.9	904.1	798.6	244.7	892.6	821.2	13.4
E-W 3 個案	265 20.7	254 19.9	348 2.9	263 19.9	43.7	37.5	909.8	780.7	219.9	868.2	539.4	6.8
N-S 3 個案	252 14.8	231 14.9	333 6.6	257 15.0	46.0	34.9	926.0	840.1	182.2	915.6	1070.3	19.3

(六) 線狀對流層狀降水區型態

在有無層狀降水區之分類中，層狀降水區在系統後側者為後側型，在線狀對流主軸方向者為主軸型。不同型態層狀降水區之線狀對流示意圖，如圖5所示，其環境條件差異，如表六所示。在風場方面，各類型均發生在中高對流層盛行西南西風內，中高對流層平均風速以主軸型最強後側型最弱。低對流層垂直風切，主軸型與無層狀區者相近，後側型較弱；中低對流層垂直風切則以無層狀區者最強，後側型最弱。各類型之低對流層垂直風切均較中對流層者為強。各類型均在不穩定環境內發展，其總指數與K指數大小亦均十分相近。主軸型CAPE (939.7m²s⁻²) 最大，後側型 (811.2m²s⁻²) 次之，無層狀區者 (649.7m²s⁻²) 最小；Ric則以後側型最大 (16.5)，主軸型最小 (10.7)。LCL、LFC及CCL之高度，以無層狀區者最低，主軸

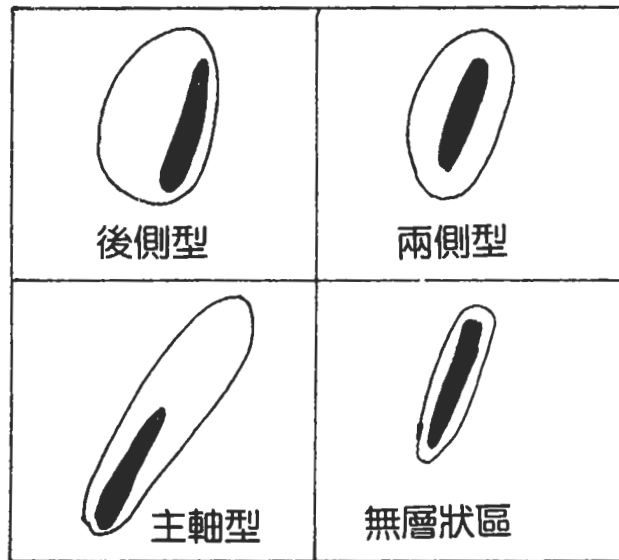


圖5 不同型態層狀降水區之線狀對流示意圖。黑色區域為對流區，其區外為層狀降水區。

表六 1988~1993年2~7月 (1988年2~4月缺) 所有不同層狀降水區型態之線狀對流，於過境板橋探空站前各個探空所求得各項參數之平均，餘同表一。層狀降水區在線狀對流後側者為後側型，在線狀對流主軸方向者為主軸型。

參數 型態	\bar{v}_{3-10}	$\bar{v}_{2.5-\bar{v}_0}$	$\bar{v}_6-\bar{v}_{2.5}$	$\bar{v}_6-\bar{v}_0$	TTI (°C)	KI (°C)	LCL (hPa)	LFC (hPa)	EL (hPa)	CCL (hPa)	CAPE (m ² s ⁻²)	Ric
後側型 5個案	252 15.4	242 15.0	319 4.0	255 16.3	44.9	34.7	910.7	798.6	210.1	890.9	811.2	16.5
主軸型 9個案	256 20.3	252 17.4	344 4.8	267 17.9	44.4	34.9	894.4	793.5	216.3	878.9	939.9	10.7
無層狀區 7個案	259 19.3	249 17.4	312 3.8	259 19.4	43.1	33.7	915.3	802.6	265.9	897.5	649.7	11.2

型最高；EL之高度則以無層狀區者最低，後側型最高。比較LFC與EL高度，顯見系統內對流可發展之厚度以後側型最大（588.5hPa），主軸型次之（577.2hPa），無層狀區者最小（536.7hPa）。顯然，主軸型環境有最大的對流可用位能與中高對流層最大的風速，且具有低對流層較大的垂直風切；但後側型有最大之Ric，且其對流有最大的垂直發展。

四、討 論

颶線形成與發展之環境大氣需具有潛在不穩度（即對流不穩度）或對稱不穩度（例如：Bluestein and Jain 1985；鄧與陳 1990；Chen and Chou 1993；Sanders and Bosart 1985；Sanders 1986；Emanuel 1988），並具有顯著之垂直風切與較大的對流可用位能（CAPE）以維持傾斜上衝流與較長之生命期（例如：Rotunno et al. 1988；Weisman 1992），而對流理查遜數（Ric）之大小則可決定颶線屬超大胞或多胞型態（Weisman and Klemp 1982）。因此，對環境垂直風切、大氣穩度、CAPE及Ric之分析與探討，有助於對不同類型線狀對流（即颶線）及線狀與非線狀對流形成與演變之了解。中高對流層平均風場與發展深厚對流胞之移動息息相關，而由探空求取之一些特徵高度（LCL、LFC、CCL、EL）亦可表達中尺度對流系統形成與發展環境之水氣與溫度垂直分布之重要特徵，並指示對流發展之可能厚度。因此，本文針對各類中尺度對流系統，分析其環境之運動、熱力及動力參數，包括：中高對流層平均風場、各層垂直風切、穩度指數、各特徵高度（層）、CAPE及Ric等。

在所分析之各不同類別線狀與非線狀對流裡，環境之低對流層垂直風切均顯著大於中對流層垂直風切，即垂直風切主要集中在低對流層，隱含低層噴流之存在。此種強烈之低對流層垂直風切，與中緯度的情況類似，有利於多胞颶線之發展（Rotunno et al. 1988）。各類別中尺度對流系統之Ric大部分在15~35之間，理論上有利於超大胞颶線之發展（Weisman and Klemp 1982），但實際上本區雷達觀測截至目前為止此段時間並無超大胞之證據，顯示Ric之區分標準在副熱帶之春夏季對流系統可能並不適用，或其原始定義必須加以修正。此外，比較各類別中尺度對流系統裡不穩度指數與CAPE之關係顯示，非線狀對流之總指數、K指數與CAPE無明顯相關，而線狀對流之總指數與CAPE之相關遠高於K指數與CAPE之相關（有正相關之比例為0.87vs.0.47）。因此，我們認為在副熱帶地區春夏線狀中尺度對流系統發展之環境大氣，總指數應較K指數可靠，因其大小亦可間接指示對流可用位能之大小。

線狀對流與非線狀對流形成與發展之環境條件有顯著的差異，前者環境具有中高對流層平均風速與較強的低對流層垂直風切，並具有較不穩定與較大CAPE之大氣，系統內之對流亦可發展得較為深厚。我們認為中尺度對流系統是否要以線狀或非線狀形式出現，似乎與中高對流層平均風速大小、低對流層垂直風切大小較有關連，因不穩定大氣與CAPE均為對流形成之必要條件。不論線狀或非線狀對流，系統過境前之環境均較過境時不穩定，顯示系統過境時部分不

穩度已經由對流釋放，非線狀對流之CAPE亦顯著減小，但線狀對流之CAPE增加，此可能乃因其僅2個案之故。過境時LCL、LFC、CCL及EL之高度降低，可能乃因降水使地面氣塊水氣含量增高而來。

形成於鋒前與鋒上線狀對流之環境條件有所不同，鋒前環境有較大的中高對流層風速與低對流層、中低對流層垂直風切，隱含鋒前低層噴流之存在。鋒前環境較不穩定，CAPE較大，系統內之對流有較深厚之發展，此可能乃因鋒上系統低層空氣較為冷乾，故不穩度與CAPE較小使系統內之對流厚度亦受限制。相交與平行於鋒面線狀對流之環境，則以相交者有較大的中高對流層風速與較強的中低對流層垂直風切，大氣較不穩定且CAPE較大，系統內之對流亦有較大之垂直發展。我們認為中高對流層風速與中低對流層風切大小可能與線狀對流是否與鋒面平行或相交之關係較為密切，因大氣不穩度與CAPE均為線狀對流形成之必要條件。

破線型與後造型之環境風場有顯著的差異，後造型有較強之低對流層與中低對流層垂直風切。較強的低層垂直風切與系統下衝流形成之低層冷池間之平衡，是飈線維持之重要機制（Rotunno et al. 1988）。因此，下衝流在地面往外輻散之較強冷空氣與環境氣流間產生之輻合，提供上游新對流產生之舉升作用，以形成後造型線狀對流。破線型線狀對流之環境則有較大之不穩度與CAPE，其內對流發展亦較深厚。不同主軸走向之線狀對流環境風場亦有顯著的差異，東西走向線狀對流具有最大低對流層與中低對流層西南西／西垂直風切，如同上述後造型之情況，較大之東西向低層垂直風切可能維持較強之低層冷池，因而使系統內之對流胞亦傾向於沿東西走向形成。不同主軸走向之線狀對流，以南北走向之環境最不穩定，CAPE亦最大，系統內之對流發展亦最深厚。

不同層狀降水區結構之線狀對流，低對流層與中低對流層垂直風切以主軸型與無層狀區者相近，而後側型較小，中高對流層風速亦然，顯示風場垂直結構似非決定不同型態層狀降水區線狀對流之因子。後側型與主軸型線狀對流系統內之對流有較深厚之發展，而無層狀區者系統內之對流發展最淺，此可能因後者環境大氣不穩度較小且CAPE亦較小，雖有顯著垂直風切，但因對流發展較淺而無法發展出中高對流層之層狀降水區結構。

五、總 結

本文利用1988~1993年2~7月民航局中正機場都卜勒雷達所觀測到的台灣北部與鄰近地區線狀與非線狀中尺度對流系統，進行不同性質與型態歸類，並利用板橋探空站資料求取與對流發展有關之大氣環境參數，以探討不同類別中尺度對流系統之環境條件特徵與異同，包括：垂直平均風場、垂直風切、穩度指數、各種特徵高度（層）、對流可用位能（CAPE）及對流理查遜數（Ric）等，結果可歸納摘述如下：

1. 低層垂直風切之大小，可能為決定中尺度對流系統是否形成線狀結構的重要因子。低對流層與中低對流層之垂直風切，線狀對流各生命階段均較非線狀對流為強；線狀對流各生命階段之環境較非線狀對流者不穩定，CAPE亦較大，系統內之對流發展亦較為深厚。

2. 線狀對流過境前之強烈低層垂直風切，於系統過境時減弱，過境後再增強；非線狀對流則無此顯著變化。線狀與非線狀之環境不穩度於系統過境時減小，CAPE亦於過境後減小，顯示環境空氣之不穩度與對流可用位能，已因系統內之對流而部分釋放。

3. Weisman and Klemm區分不同胞狀結構颶線系統之Ric值標準，可能並不適用於副熱帶春夏季節。

4. 不同類別線狀對流之穩度指數，以總指數與CAPE有最佳之正相關，總指數與CAPE有很好之正比關係。

5. 線狀對流位於鋒前時，其環境低層垂直風切較在鋒上者為強，鋒前環境較鋒上不穩定，CAPE亦較高，系統內對流垂直發展較為深厚。

6. 線狀對流主軸與鋒面平行者之低對流層垂直風切較相交者為強，但中對流層垂直風切則較弱；相交者之環境較不穩定，CAPE亦較大，系統內對流有較大之垂直發展。

7. 不同形成型態線狀對流之低層垂直風切以後造型較強，破線型較弱，但破線型環境較不穩定，CAPE較大，系統內對流亦有較大之垂直發展。後造型環境低層較大之垂直風切可與較強之下衝流低層冷池維持平衡，而低層冷池輻散外流空氣與環境氣流於系統上游所形成之輻合可提供新對流發展，以形成後造型之線狀對流形式。

8. 東西走向線狀對流之低層垂直風切較東北-西南與南北走向者為強，但東北-西南與南北走向線狀對流之環境較東西走向者不穩定，CAPE亦較大，系統內對流垂直發展較為深厚。東西走向線狀對流較大之低層垂直風切亦近乎東西走向，此可與較強之下衝流冷池維持平衡，使系統內新對流胞在東西方向較有利發展，而形成東西向線狀對流結構。

9. 不同層狀降水區型態之線狀對流，低對流層垂直風切以主軸型最強，後側型最弱，但後側型環境最不穩定，系統內對流垂直發展最為深厚。無層狀區線狀對流，雖低層垂直風切亦強，但CAPE最小，系統內對流垂直發展最淺，可能因此而無中高對流層之層狀降水區結構。

本文探討春夏季節不同類別中尺度對流系統之環境條件特徵與異同，除對它們之氣候特徵增加了解之外，對於線狀與非線狀對流系統以及不同類型線狀對流之形成與發展之了解亦有幫助。而環境條件之特徵，除在不同類別間有所不同之外，隨著季節之演變亦將有所不同，此項課題值得進一步研究。此外，板橋探空所表現的環境條件可能受台灣地形效應影響而與馬公探空有所不同，例如：也許因局部性對流（例如：午後熱雷雨）而使MCS環境之CAPE較小，或因地形效應而使局部LLJ增強而使Ric較小。但是，本文對於不同類別MCS環境條件之分析結果，在定性上應仍具代表性。馬公與板橋探空所求得之MCS環境條件異同，為另一氣象上有趣的問

題，值得進一步研究。

致 謝

我們非常感謝兩位審查者提供卓見，使本文更為完整，並感謝周鴻祺先生、王子軒先生及吳連育先生在資料收集、處理、分析以及完稿等各階段的幫忙與協助。本研究在國科會專案計畫NSC87-2111-M-002-015與NSC87-2621-P-002-058支援下完成。

參考文獻

- 吳宗堯、陳泰然、謝信良、喬鳳倫、陳正改、蕭長庚及朱曙光，1984：台灣地區春至初夏之局部性豪雨及其對水稻災害之初步分析。*大氣科學*，11，29-44。
- 陳泰然，1994：台灣梅雨季之豪雨研究。*大氣科學*，22，455~477。
- 陳泰然與沈里音，1996：台灣梅雨季海峽北部與鄰近地區線狀對流之環境條件。*大氣科學*，24，233-248。
- 陳泰然與林宗嵩，1995：梅雨季天氣系統之中尺度氣候研究（一）。台大大氣科學研究所研究報告 NTUATM-1995-001，124頁。
- 陳泰然、周鴻祺、林宗嵩及楊進賢，1996：台灣海峽北部與鄰近地區春夏中尺度對流系統之氣候特徵。*大氣科學*，24，145-164。
- 陳泰然與謝信良，1993：台灣地區中尺度實驗計畫之整體檢討與評估：計畫辦公室（三）。國科會防災科技研究報告82-06號，159頁。
- 鄧仁星與陳景森，1990：台灣地區颶線之環境分析。*大氣科學*，18，149~158。
- 謝信良與陳正改，1985：台灣地區氣象災害之調查研究。國科會防災科技研究報告73-40號，66頁。
- Barnes, G. M., and K. Sieckman, 1984: The environment of fast- and slow-moving tropical mesoscale convective cloud lines. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1782-1794.
- Bluestein, H. B., and M. H. Jain, 1985: Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, 42, 1711-1732.
- Chen, G. T. J., 1992: Mesoscale features observed in the Taiwan Mei-Yu season. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 497-516.
- Chen, G. T. J., 1996: Some important mesoscale features over South China and Taiwan in the Mei-Yu season (May and June). 3rd Conference on East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate, 12-24, Natl. Central Univ., Chung-Li, Taiwan.
- Chen, G. T. J., and H. C. Chou, 1993: General characteristics of squall lines observed in TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 726-733.

- Emanuel, K. A., 1988: Observational evidence of slantwise convective adjustment. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 1805-1816.
- Maddox, R. A., 1983: Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 1475-1493.
- Rotunno, R., J. B. Klemp, and M. L. Weisman, 1988: A theory for strong, long lived squall lines. *J. Atmos. Sci.*, 45, 463-485.
- Sanders, F., 1986: Frontogenesis and symmetric instability in a major New England snowstorm. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1847-1862.
- Sanders, F., and L. F. Bosart, 1985: Mesoscale structure in the Megalopolitan snowstorm of 11-12 February 1983. Part I: Frontogenetical forcing and symmetric instability. *J. Atmos. Sci.*, 42, 1050-1061.
- Weisman, M. L., 1992: The role of convectively generated rear-inflow jets in the evolution of long-lived mesoconvective systems. *J. Atmos. Sci.*, 49, 1826-1847.
- Weisman, M. L., and J. B. Klemp, 1982: The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 504-520.

An Investigation of Environmental Conditions of the Mesoscale Convective Systems over Northern Taiwan and Its Vicinities in the Spring-Summer Period

Tsung-Sung Lin¹ George Tai-Jen Chen²

¹Jin-Wen College of Business and Technology

²Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

ABSTRACT

Doppler radar echoes at the CKS International Airport of the Civil Aeronautics Administration and rawinsonde data at Panchiao station of the Central Weather Bureau in the period of February-July 1988-1993 were analyzed. The environmental conditions were studied for the different life stages of line type and non-line type mesoscale convective systems (MCSs) as well as various types of line convection. Pertinent parameters representing environmental conditions include vertically weighted mean wind, vertical wind shear, instability indices, characteristic levels, CAPE and Ric.

Results showed that vertical wind shear seems to be instrumental in determining the mesoscale organizing structure of line type vs. non-line type, the line formation of back building type vs. broken areal type, and line axis orientation of E-W type vs. NE-SW and N-S types. Total totals index and CAPE are highly correlated and are good indicators for the vertical development of the convection in line-type MCSs. The criteria of Ric in distinguishing the cell structure of squall line as proposed by Weisman and Klemp appear to be inappropriate over the

subtropical region in the spring-summer period. Additionally, it was found that significant differences in instability and CAPE existed among various types of MCSs. The instability and CAPE are greater for the line type than the non-line type convection and greater for the pre-system than the after-system environment. For the line-type convection, they are greater for the pre-frontal type than the over-frontal type, greater for the non-parallel type than the parallel type, greater for the broken areal type than the back building type, greater for the NE-SW and N-S types than the E-W type, and greater for the rear-type than the along-axis type.

Key words : Mesoscale convective system, Vertical wind shear, CAPE, Ric, Instability index, Line-type convection, Non-line type convection.