

梅雨季中尺度對流系統與台灣北部地區降雨相關性之研究

陳泰然 黃文亭 王尹懋

國立台灣大學大氣科學研究所

(中華民國八十九年十月二十三日收稿；中華民國八十九年十一月二十四日定稿)

摘要

本文利用中正機場都卜勒雷達所觀測到的1988~1993年5~6月梅雨季台灣北部地區的中尺度對流系統，分析其與降雨的關係。首先將中尺度對流系統分為線狀對流系統與非線狀對流系統，再將線狀對流系統依形成型態、層狀降水區所在位置、系統主軸走向等做不同的分類。分析不同類型之中尺度對流系統在台灣北部地區之降雨量，並探討梅雨季裡不同時段降雨量與中尺度對流系統的關係。

結果發現，中尺度對流系統是導致台灣北部梅雨季降雨的主要因子，佔梅雨季總降雨量63%，唯系統實際降雨量在各測站間具有很大的差異。雖然非線狀對流系統發生頻率遠多於線狀對流系統，但是平均而言，線狀對流系統的降雨量比非線狀對流系統者為多。以線狀對流系統的形成型態而言，後造型的降雨量最多，破線型次之；以層狀降水區位置而言，主軸型的降雨量遠多於其他類型；以系統主軸走向而言，東西走向的降雨量最多，東北-西南走向次之。這些不同類型線狀對流系統所造成降雨量多寡，實與環境低對流層垂直風切息息相關，垂直風切大者系統平均降雨量亦大。

關鍵字：梅雨季、中尺度對流系統、線狀對流系統、非線狀對流系統

一、前言

台灣地區每年5、6月的梅雨季，梅雨鋒面所伴隨之中尺度對流系統(mesoscale convective systems; MCSs)經常造成區域性降雨，甚至豪(大)雨，引發嚴重的水患。在1987

年「台灣地區中尺度實驗計畫」(Taiwan Area Mesoscale Experiment; TAMEX; Kuo and Chen 1990)後，我們對於梅雨季的降雨過程雖已增加許多了解，但目前對於梅雨季個別降雨個案的降雨時間與降雨強度的預報能力仍低。以中央氣象

局在 1977~1989 年所發佈 24 小時非颱風(主要為梅雨季)豪(大)雨預報(≥ 50 公厘/天)為例(陳等 1991),其技術得分(TS)全島平均約在 0.15~0.21(TS=0 表無預報能力,TS=1 表完美預報),顯然目前的豪(大)雨預報能力仍有很大改進空間。其中後符(預報事件中應驗之比例)大於前估(發生事件中事先預報到的比例),顯示目前對導致豪(大)雨之綜觀尺度強迫機制已有相當了解(較大之後符),但對激發豪(大)雨之中尺度過程了解仍然有限(較小之前估)。

陳(1994a)曾針對台灣梅雨季所觀測到的中尺度現象及其與豪雨有關的問題進行回顧與評估,認為目前我們對於中尺度對流系統等現象之中尺度氣候知識(即 mesoscale climatology)仍十分不足。藉由中尺度氣候之研究,除了可以增加對中尺度現象之了解,在提供短期預報訊息方面,亦有相當重要性。在中尺度預報裡,不同方法在不同預報期限將提供不同的氣象知識(或訊息或預報能力),例如外延法約在 2 小時後即喪失預報能力,而中尺度與大尺度模式因其需進行內在氣象場間調整之故,所以約分別在初始時間之後 3 小時與 6 小時才漸具預報能力,使得在 2~6 小時之時段出現預報缺口(forecasting gap),中尺度氣候在此預報缺口正可提供可觀之訊息。此外,任何預報方法的預報能力亦可相對於氣候值所提供的預報加以評估,且在所有方法所提供之預報對於中尺度現象未來演變無法掌握時,中尺度氣候即成為唯一可用的預報方法(即客觀指引)(陳 1994b)。

陳(1994b)利用民航局中正機場都卜勒雷達之非都卜勒模回波觀測資料,分析 1988~1993 年 2~7 月台灣北部與近海地區的中尺度對流系統之氣候特徵,發現線狀對流系統主要發生

在台灣北部與台灣西北部沿海一帶,於台灣西北部沿海進入成熟期,並於北部地區及東北部沿海進入消散期。不同形成型態與不同主軸走向之線狀對流系統,幾乎都於移入西北部沿海或外海時到達成熟階段,並於北部地區或東北部外海消散。線狀對流系統發生頻率,於 2~4 月隨季節增多,於 5~6 月達最多,7 月銳減。

陳與林(1995)利用同組資料,探討中尺度對流系統之日夜與季節頻率分佈及生命期。結果顯示,不論是線狀或非線狀對流系統之形成均無顯著日夜變化,但兩者之發生頻率有顯著季節變化,均以 5 月最多,且後者比前者多。線狀對流系統之形成型態以後造型最多,破線型次之,前造型與破面型最少。有層狀降水區之線狀對流系統,則以後側型最多,主軸型次之,兩側型最少。線狀對流系統平均生命期為 7.6 小時,於 5 月與 6 月梅雨季較長,分別為 8.3 小時與 8.6 小時,於 3 月與 4 月較短,均為 6.6 小時。不同形成型態之生命期,以破面型最長(10 小時),以破線型最短(7.3 小時)。

陳與林(1996)及林與陳(1997)利用板橋探空站資料分析環境條件並求取多種參數,以了解對流與大氣環境之相關。結果顯示,在低對流層與中低對流層之垂直風切方面,線狀對流系統各生命階段均較非線狀對流系統為強。線狀對流系統各生命階段之環境較非線狀對流系統更不穩定,前者之對流可用位能(CAPE)與對流理察遜數(Ric)亦均較大,系統內之對流發展亦較為深厚,且具較低之自由對流層(LFC)與較高之平衡層(EL)。

陳與沈(1996)針對 5~6 月梅雨季個案,利用歐洲中期天氣預報中心(European Center for Medium Range Forecast; ECMWF)網格與板

橋探空站之資料，探討不同類型線狀對流系統之綜觀環境條件，結果顯示各類型均發生於 850 hPa 梅雨鋒面南側之西南氣流內，850~700 hPa 低層噴流提供低對流層強烈垂直風切，為線狀對流系統發展之有利條件，中低對流層的水平輻合則舉升潛在不穩定大氣，配合水氣通量輻合，使線狀對流系統可垂直發展至 200 hPa 層高度。

陳與王（1998）延伸以上的研究，探討不同類型線狀對流系統特徵與環境條件參數以及系統特徵參數之統計相關，結果顯示，後造型線狀對流系統之系統主軸長度愈長，則生命期愈長且移速愈慢，而破線型的此種相關則不顯著，此可能因為後造型之低層外流與其上游環境氣流的輻合，為系統內新對流胞產生之主要機制。

上述研究使我們對台灣北部與近海地區之中尺度對流系統的發生頻率以及其形成與發展的綜觀環境條件有進一步的認識。本文目的在分析梅雨季裡中尺度對流系統之氣候特徵，將其分為線狀與非線狀對流系統兩大類，再依照線狀對流系統之各種特徵加以分類比較。同時，分析中尺度對流系統與台灣北部地區降雨之相關，探討梅雨季裡不同時段、不同類型之中尺度對流系統造成台灣北部地區降雨量的差異。

二、資料與分析

本文選取陳與林（1995；1996）所分析之 1988~1993 年 5~6 月所有線狀與非線狀中尺度對流系統個案，利用期間台灣北部地區中央氣象局所屬之淡水、鞍部、台北、竹子湖、基隆及新竹等六個測站的降雨量（圖 1），分析不同類型中尺度對流系統在台灣北部地區產生之降雨，並比較梅雨季不同時段與不同降雨系統的降雨量

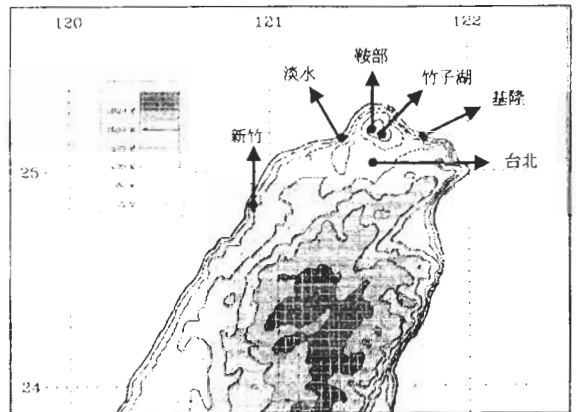


圖 1 台灣北部地區地形與地面測站分布。

差異。所用 6 年資料應可回答上述各項問題與顯現年際變化現象，是否能代表長期氣候之特徵並非本文研究主題，例如年代際變化現象之存在，長期氣候統計特徵之呈現應有更長時間之資料。

依陳與林（1995；1996）採用之標準，當雷達觀測之降水回波值 ≥ 20 dBz 之顯著回波區的水平尺度 ≥ 150 公里，且持續時間 ≥ 3 小時，即定義為中尺度對流系統。此種中尺度對流系統若對流區呈現長：寬比大於 3：1 之線狀型態，且持續時間 ≥ 3 小時，則定義為線狀對流系統，否則為非線狀對流系統。在分析不同類型線狀對流系統之降雨量方面，選取形成型態、層狀降水區所在位置及系統主軸走向等三種分類。依雷達回波觀測，線狀對流系統形成之型態可分為破線型（broken line；BL）、後造型（back building；BB）、前造型（forward building；FB）、破面型（broken areal；BA）及嵌面型（embedded areal；EA）等五種（Bluestein and Jain 1985）。依層狀降水區相對於線狀對流系統所在位置（圖 2），線狀對流系統可分為後側型（層狀降水區在線狀對流系統後側）、兩側型（在線狀對流系統前後

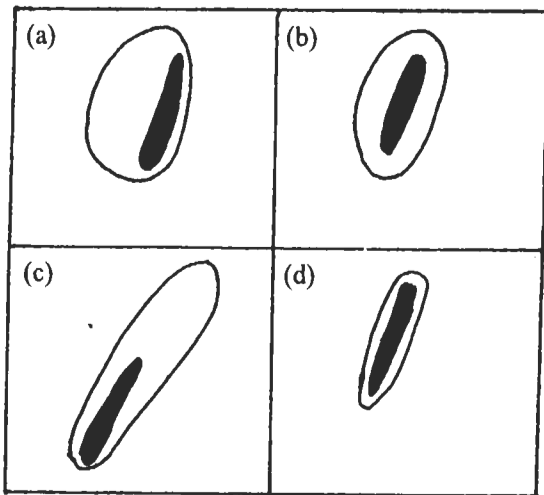


圖 2 不同形式層狀降水區之線狀中尺度對流系統，(a) 為層狀降水區在線狀對流系統後側（即後側型）、(b) 為在前後兩側（即兩側型）、(c) 為在對流主軸方向（即主軸型）及(d) 為無層狀降水區型（陳等 1996）。

兩側）、主軸型（在線狀對流系統主軸方向）及無層狀降水區型等四種（陳等 1996）。依系統之主軸走向分類，則可分為南北走向、東北-西南走向、西北-東南走向、東西走向及其他（例如弧形）等五種。

在梅雨季裡不同時段降雨量的比較方面，將梅雨季兩個月的時間區分為四個時段，即 5 月上半月、5 月下半月、6 月上半月及 6 月下半月。在梅雨季裡降雨系統的比較方面，將其分為中尺度對流系統與非中尺度對流系統兩類；中尺度對流系統之降雨則再分為線狀與非線狀對

流系統。非中尺度對流系統之降雨，可能包含午後雷陣雨、層狀雲降雨或颱風等其他降雨系統造成，本文暫不討論。

本文所探討的中尺度對流系統係以中正機場都卜勒雷達所觀測到的雷達回波為準，系統主要形成在台灣西北部海面，由西向東移動。當系統抵達陸地上後，有可能依然存在並造成陸地上部份測站的降雨，但是有時因為陸地雜波而無法判定系統的存在。因此，本文將中尺度對流系統的降雨量定義為，在雷達觀測到的對流系統生命期內之降雨量，加上於雷達回波判定的生命期後，在前述 6 個測站中至少有 3 個測站有連續降雨的時段內之降雨量。若降雨的測站減少至兩個以下，或於生命期後的降雨不連續，我們認為此種降水現象已非中尺度對流系統導致，故不包含於該個案的雨量。此外，若接鄰兩個個案有部份時間重疊，則重疊時間內的雨量歸於前一個案。

三、結 果

（一）中尺度對流系統之氣候特徵

線狀與非線狀中尺度對流系統在各年梅雨季之發生次數，如表一所示，各年後者均約為前者 2 倍之多。兩類系統發生的總數以 1993 年最多，共有 53 個，1990 與 1991 年最少只有 24 個，相差超過 50%。這種顯著中尺度對流系統發

表一 1988~1993 年梅雨季線狀 (L)與非線狀(NL)中尺度對流系統之發生次數。

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	總計
L	12	11	6	5	8	18	60
NL	19	31	18	19	20	35	142
總計	31	42	24	24	28	53	202

生頻率的年際差異，應與大氣環境和環流系統（例如鋒面）之年際差異有關。一般而言，中尺度對流系統主要發生在梅雨鋒面雲帶，因此，若該年鋒面較多且影響北部地區之時間較長，則該年可能有較多之中尺度對流系統，若否，則可能較少，此種確切差異特徵為未來進一步探討之課題之一。線狀與非線狀對流系統發生次數的年際變化均大，尤其是線狀對流系統，1991年發生次數最少只有5個，1993年最多有18個，相差超過3倍。1990年非線狀對流系統發生的次數最少，只有18個，而1993年其發生次數亦為最

多，達35個。

線狀與非線狀對流系統在梅雨季裡四個時段之發生次數，如表二所示。其中以5月下半月發生頻率最高，不論是線狀或非線狀對流系統皆然，總數約佔了整個梅雨季的1/3；5月上半月次多，而6月上半月的總數雖較6月下半月為少，但相差不大。顯然，平均而言5月出現頻率高於6月，此可能乃因5月大氣已具足夠對流可用位能，而梅雨鋒面影響頻率較6月為高（Chen and Chi 1980），因此所發生之中尺度對流系統亦較多。

表二 1988~1993年梅雨季四個時段線狀(L)與非線狀(NL)中尺度對流系統之發生次數。

	5月上半月			5月下半月			6月上半月			6月下半月		
	L	NL	小計	L	NL	小計	L	NL	小計	L	NL	小計
1988	0	2	2	7	9	16	1	1	2	4	7	11
1989	5	12	17	4	11	15	1	4	5	1	4	5
1990	0	7	7	2	4	6	4	7	11	0	0	0
1991	0	6	6	0	0	0	0	0	0	5	13	18
1992	3	6	9	2	7	9	1	4	5	2	3	5
1993	5	10	15	4	13	17	7	8	15	2	4	6
總計	13	43	56	19	44	63	14	24	38	14	31	45

梅雨季裡四個時段不同形成型態線狀中尺度對流系統之發生次數，如表三所示。不同形成型態發生頻率在任一時段內之變化很大，但都以後造型或破線型最多，後造型與破線型分別有23個與21個，較其他類型多出數倍，約佔總數73%。因此，本文在不同形成型態線狀對流系統導致之降雨方面，只選取這兩類型探討。梅雨季裡四個時段不同形式之層狀降水區中尺度線狀對流系統之發生次數，如表四所示，有1/3以上的個案（24個）無層狀降水區，數量次多的是

主軸型有18個，後側型個案與主軸型相近有15個，兩側型最少只有3個。不同主軸走向線狀中尺度對流系統在梅雨季裡四個時段之發生次數，如表五所示，東北-西南走向的個案最多有36個，佔了60%，其次為東西走向有16個，佔了26%，其餘走向發生的頻率均很少，其中南北走向者有5個，西北-東南走向者2個，弧形者僅1個。因此，本文在不同主軸走向線狀對流系統導致之降雨方面，只選取東北-西南走向與東西走向做探討。此外，東北-西南走向之個案最

表三 1988~1993年梅雨季四個時段不同形成型態線狀中尺度對流系統之發生次數。

形成型態	5月上半月	5月下半月	6月上半月	6月下半月	總計
後造型	5	8	6	4	23
破線型	4	4	6	7	21
嵌面型	1	4	0	0	5
前造型	1	0	1	1	3
破面型	0	1	0	1	2
不明型態	2	2	1	1	6
總計	13	19	14	14	60

表四 1988~1993年梅雨季四個時段不同形式層狀降水區線狀中尺度對流系統之發生次數。a 爲後側型，b 爲兩側型，c 爲主軸型，d 爲無層狀降水區。

	5月上半月	5月下半月	6月上半月	6月下半月	總計
a	3	6	3	3	15
b	1	0	1	1	3
c	4	6	5	3	18
d	5	7	5	7	24
總計	13	19	14	14	60

表五 1988~1993年梅雨季四個時段不同主軸走向線狀中尺度對流系統之發生次數。

主軸走向	5月上半月	5月下半月	6月上半月	6月下半月	總計
南北	1	2	2	0	5
東北-西南	9	9	7	11	36
西北-東南	2	0	0	0	2
東西	1	8	5	2	16
弧形	0	0	0	1	1
總計	13	19	14	14	60

多(60%)引發出一個有趣的科學問題，此是否與台灣地形走向有關？或與夜間台灣西岸和福建沿海之陸風輻合有關？或與盛行之低對流層西南氣流或垂直風切方向有關？這些都是未來可以探討的課題。

(二) 中尺度對流系統與降雨

梅雨季不同類型之降雨系統在北部 6 個測站的平均降雨量與所佔梅雨季裡總降雨量的百分比之逐年分佈，如表六所示。不論中尺度或非中尺度對流系統之降雨量或梅雨季總降雨

表六 1988~1993年梅雨季不同類型降雨系統在北部6個測站的平均降雨量(公厘)與所佔梅雨季總降雨量之百分比。MCS與NMCS分別代表中尺度與非中尺度對流系統,而L與NL則分別代表線狀與非線狀中尺度對流系統。

		1988	1989	1990	1991	1992	1993
MCS	L	90.7 (18.7%)	86.0 (24.5%)	135.4 (21.0%)	66.0 (12.7%)	48.9 (8.8%)	240.6 (48.9%)
	NL	115.3 (23.8%)	190.5 (54.3%)	155.3 (24.1%)	317.4 (61.0%)	306.4 (54.8%)	170.1 (34.5%)
	小計	206.0 (42.5%)	276.5 (78.8%)	290.7 (45.1%)	383.4 (73.7%)	355.3 (63.6%)	410.7 (83.4%)
NMCS		278.7 (57.5%)	74.4 (21.2%)	354.5 (54.9%)	137.0 (26.3%)	203.7 (36.4%)	81.5 (16.6%)
總計		484.7 (100%)	350.9 (100%)	645.2 (100%)	520.4 (100%)	559.0 (100%)	492.2 (100%)

量,均有顯著年際變化,其中非中尺度對流系統之降雨量年際變化似有2年週期,而中尺度對流系統降雨量隨時間增加之趨勢十分明顯,由1988年之206.0公厘逐年增加至1993年已達410.7公厘,6年之間約增加一倍。中尺度對流系統降雨量佔梅雨季總降雨量百分比之年際變化,亦有顯著之2年週期,此顯非完全由中尺度對流系統出現頻率之多寡決定(表一),降雨量準2年週期之變動現象值得未來進一步探討。線狀對流系統之降雨量以1993年最多,有240.6公厘,1992年最少,只有48.9公厘,相差近5倍;非線狀對流系統之降雨量以1991年最少,有317.4公厘,1988年最少,只有115.3公厘,相差近3倍。除1988年與1990年之降雨量為非中尺度對流系統較中尺度對流系統稍多外,其餘各年梅雨季之降雨量均由中尺度對流系統主宰,兩者比例約在2~4倍之間。中尺度對流系統之降雨量佔梅雨季總降雨量比例以1993年最大,達83.4%,以1988年最小,只佔42.5%。

梅雨季四個時段不同類型降雨系統在北

部6個測站的年平均降雨量分布如圖3所示,各時段降雨量及其與所佔該時段總降雨量的百分比,如表七所示。圖3顯示不同類型降雨系統有趣之降雨量季節變化,在中尺度對流系統裡,不論任何時段非線狀對流系統降雨量均大於線狀對流系統;唯前者降雨量於5月下半月達最大,隨後減小;而後者則隨時間增大,於6月上半月達最大。非中尺度對流系統降雨量則幾乎隨季節逐漸增大,5月下半月介於線狀與非線狀對流系

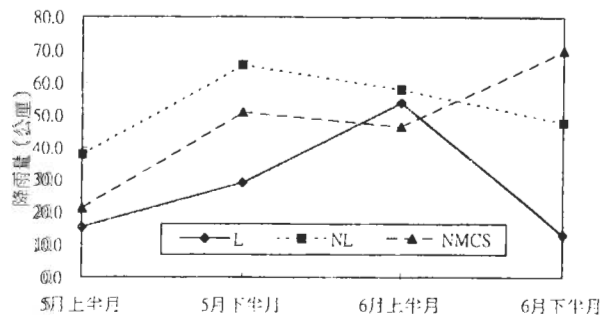


圖3 1988~1993年梅雨季四個時段不同類型降雨系統在北部6個測站的年平均降雨量分佈。L、NL、NMCS分別代表線狀中尺度對流系統、非線狀中尺度對流系統及非中尺度對流系統。

表七 1988~1993 年梅雨季四個時段不同類型降雨系統在北部 6 個測站的年平均降雨量（公厘）與所佔當時段總降雨量之百分比，餘同表六。

		5月上半月	5月下半月	6月上半月	6月下半月	總計
MCS	L	15.3 (20.7%)	29.0 (19.9%)	53.9 (34.0%)	13.1 (10.0%)	111.3 (21.9%)
	NL	37.8 (51.0%)	65.5 (45.0%)	58.0 (36.6%)	47.8 (36.6%)	209.2 (41.1%)
	小計	53.1 (71.7%)	94.5 (64.9%)	111.9 (70.6%)	60.9 (46.6%)	320.4 (63.0%)
NMCS		21.0 (28.3%)	51.1 (35.1%)	46.5 (29.4%)	69.8 (53.4%)	188.3 (37.0%)
總計		74.1 (100%)	145.6 (100%)	158.4 (100%)	130.7 (100%)	508.7 (100%)

統之間，6 月上半月較此兩者為少，但 6 月下半月已較線狀或非線狀對流系統為多。以總降雨量而言，由 5 月上半月之後逐漸增加，6 月上半月達最多，為 158.4 公厘，6 月下半月則減少。中尺度對流系統的降雨量，也是由 5 月上半月之後逐漸增加，6 月上半月達最多，6 月下半月則減少。而非中尺度對流系統之降雨量，似有明顯隨季節增加之勢，由 5 月上半月的 21.0 公厘，增加到 6 月下半月的 69.8 公厘。在前三個時段中尺度對流系統主宰梅雨季的降雨量，其降雨量所佔當時段總降雨量比例相當接近，大約介於 65%~72%，而在 6 月下半月所佔比例減小，僅佔 46.6%。

北部各測站梅雨季不同類型降雨系統的年平均降雨量與所佔梅雨季該測站總降雨量的百分比，如表八所示。梅雨季裡降雨量以鞍部與基隆最多，均超過 570 公厘，淡水最少，僅約 400 公厘。中尺度對流系統的降雨量以鞍部、基隆、新竹較多，均在 340 公厘以上，淡水較少，僅約 280 公厘，台北與竹子湖介乎其中，約 300 公厘。中尺度對流系統是梅雨季降雨的主要來

源，其降雨量佔梅雨季總降雨量比例以新竹最大，為 77.0%，台北最小，但亦有 55.9%。線狀中尺度對流系統降雨量佔梅雨季總降雨量比例，以西北部沿海測站之淡水和新竹較高，約為 1/4~1/3，其他測站較低約為 1/5。各測站線狀與非線狀對流系統的個案平均降雨量，如圖 4 所示。各測站線狀對流系統之降雨量均較非線狀者為多，所有測站之平均分別為 11.1 公厘和 8.8 公厘，此種差異與線狀對流系統較非線狀對流系統較具有組織性且生命期亦較長者一致。不論是線狀或非線狀對流系統的個案平均降雨量，均以淡水最少，分別為 9.2 公厘和 8.1 公厘；線狀對

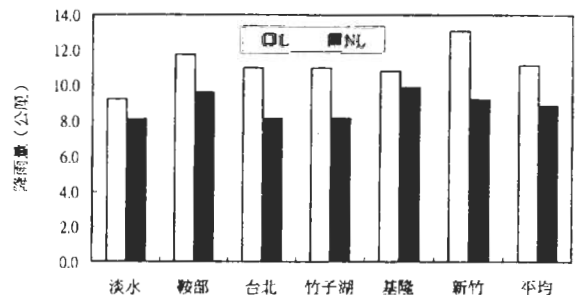


圖 4 1988~1993 年梅雨季各測站線狀(L)與非線狀(NL)中尺度對流系統之個案平均降雨量。

表八 1988~1993 年梅雨季各測站不同類型降雨系統的年平均降雨量（公厘）與所佔梅雨季該測站總降雨量的百分比，餘同表六。

		淡水	鞍部	台北	竹子湖	基隆	新竹	平均
MCS	L	92.1 (23.1%)	117.3 (20.5%)	109.8 (20.3%)	109.7 (21.4%)	107.9 (18.7%)	130.8 (28.9%)	111.3 (21.9%)
	NL	191.2 (47.9%)	227.0 (39.6%)	192.4 (35.6%)	192.9 (37.7%)	234.1 (40.7%)	217.4 (48.1%)	209.2 (41.1%)
	小計	283.3 (71.0%)	344.3 (60.1%)	302.2 (55.9%)	302.6 (59.1%)	342.0 (59.4%)	348.2 (77.0%)	320.5 (63.0%)
NMCS		115.7 (29.0%)	228.7 (39.9%)	238.6 (44.1%)	209.1 (40.9%)	233.5 (40.6%)	104.2 (23.0%)	188.2 (37.0%)
總計		399.0 (100%)	573.0 (100%)	540.7 (100%)	511.7 (100%)	575.5 (100%)	452.4 (100%)	508.7 (100%)

流系統以新竹最多為 13.1 公厘，非線狀對流系統以基隆最多為 9.9 公厘；兩者降雨量差異以新竹最大基隆最小。顯然，不同類型中尺度對流系統在各地造成之降雨量有顯著的差異。

不同形成型態線狀對流系統在各測站的總降雨量與個案平均降雨量，如表九所示。各測站的總降雨量均以後造型線狀對流系統為最

多，所有測站平均為 349.0 公厘，破線型次之為 204.2 公厘，前造型最少僅 0.5 公厘。平均一個中尺度對流系統造成的降雨量亦以後造型最多，為 15.2 公厘，嵌面型次之為 13.1 公厘，以前造型最少，僅 0.2 公厘。為避免個案不足較不具代表性的問題，只選取個案較多的後造型與破線型兩類之個案平均降雨量進行比較（圖 5）。

		淡水	鞍部	台北	竹子湖	基隆	新竹	平均
後造型	總降雨量	327.1	399.6	331.2	366.5	316.9	352.8	349.0
	個案平均降雨量	14.2	17.4	14.4	15.9	13.8	15.3	15.2
破線型	總降雨量	139.4	177.6	201.1	170.1	240.2	296.7	204.2
	個案平均降雨量	6.6	8.5	9.6	8.1	11.4	12.9	9.5
嵌面型	總降雨量	45.4	76.5	62.1	71.0	46.3	91.5	65.5
	個案平均降雨量	9.1	15.3	12.4	14.2	9.3	18.3	13.1
前造型	總降雨量	0.3	1.2	0.2	1.0	0.4	0.1	0.5
	個案平均降雨量	0.1	0.4	0.1	0.3	0.1	0.0	0.2
破面型	總降雨量	18.3	21.2	20.7	21.0	19.0	6.8	17.8
	個案平均降雨量	9.2	10.6	10.4	10.5	9.5	3.4	8.9
不明型態	總降雨量	22.3	27.5	43.5	28.3	24.4	37.1	30.5
	個案平均降雨量	3.7	4.6	7.3	4.7	4.1	6.2	5.1

表九 1988~1993 年梅雨季各測站不同形成型態線狀中尺度對流系統的總降雨量與個案平均降雨量（公厘）。

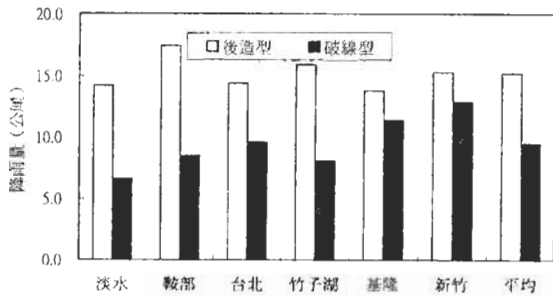


圖 5 1988~1993 年梅雨季各測站後造型與破線型線狀中尺度對流系統之個案平均降雨量。

各測站之平均降雨量後造型都大於破線型，其中以鞍部的差異最大，基隆與新竹的差異最小。後造型的個案平均降雨量在所有測站平均為 15.2 公厘，以鞍部最多為 17.4 公厘，以基隆最少為 13.8 公厘。破線型的個案平均降雨量在所有測站平均為 9.5 公厘，以新竹最多為 12.9 公厘，以淡水最少只有 6.6 公厘。顯然，不同形成型態線狀對流系統可導致不同降雨量，而任一型態線狀對流系統亦在不同地點造成不同降雨量。

不同形式層狀降水區線狀對流系統的總降雨量與個案平均降雨量，如表十所示。各測站總降雨量均以上軸型最多，所有測站平均有

458.7 公厘；以兩側型最少，所有測站平均僅 30.5 公厘。個案平均降雨量各測站亦均以主軸型最多，所有測站平均為 25.5 公厘，各測站幾皆以無層狀降水區者最少，所有測站平均僅 3.8 公厘。兩側型個案較少平均降雨量較無代表性，故不予討論，其餘三種形式的個案平均降雨量，如圖 6 所示。主軸型在各測站均遠多於後側型或無層狀降水區者，主軸型最多在新竹為 27.5 公厘，最少在淡水只有 22.3 公厘，所有測站平均為 25.5 公厘；後側型最多在新竹為 9.9 公厘，最少在基隆為 3.4 公厘，所有測站平均為 5.7 公厘；無層狀降水區者最多在基隆為 5.0 公厘，最少在淡水僅 2.4 公厘，所有測站平均為 3.8 公厘。顯然，不同形式層狀降水區線狀對流系統可導致不同降雨量，而任一型態線狀對流系統亦在不同地點造成不同降雨量。

不同主軸走向線狀對流系統在各測站的總降雨量與個案平均降雨量，如表十一所示。各測站的總降雨量均以東北-西南走向線狀對流系統為最多，所有測站平均為 384.6 公厘，東-西走向者次之，所有測站平均為 276.3 公厘。個別系統造成的平均降雨量在各測站幾皆以東西走向

		淡水	鞍部	台北	竹子湖	基隆	新竹	平均
a	總降雨量	71.4	93.0	62.5	89.6	51.4	148.3	86.0
	個案平均降雨量	4.8	6.2	4.2	6.0	3.4	9.9	5.7
b	總降雨量	22.8	25.4	45.1	30.3	26.4	33.1	30.5
	個案平均降雨量	7.6	8.5	15.0	10.1	8.8	11.0	10.2
c	總降雨量	401.6	490.8	451.2	464.1	450.2	494.4	458.7
	個案平均降雨量	22.3	27.3	25.1	25.8	25.0	27.5	25.5
d	總降雨量	57.0	94.7	100.0	73.9	119.2	109.2	92.3
	個案平均降雨量	2.4	3.9	4.2	3.1	5.0	4.6	3.8

表十 1988~1993 年梅雨季各測站不同形式層狀降水區線狀中尺度對流系統的總降雨量與個案平均降雨量 (公厘)。a 為後側型，b 為兩側型，c 為主軸型，d 為無層狀降水區。

表十一 1988~1993年梅雨季各測站不同主軸走向線狀中尺度對流系統的總降雨量與個案平均降雨量(公厘)

		淡水	鞍部	台北	竹子湖	基隆	新竹	平均
南北	總降雨量	5.0	8.2	3.1	9.1	7.5	1.9	5.8
	個案平均降雨量	1.0	1.6	0.6	1.8	1.5	0.4	1.2
東北-西南	總降雨量	256.9	396.8	429.5	351.4	450.5	422.3	384.6
	個案平均降雨量	7.1	11.0	11.9	9.8	12.5	11.7	10.7
西北-東南	總降雨量	0.6	2.0	0.4	1.2	0.3	0.3	0.8
	個案平均降雨量	0.3	1.0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.4
東西	總降雨量	290.2	296.4	225.8	296.1	188.9	360.5	276.3
	個案平均降雨量	18.1	18.5	14.1	18.5	11.8	22.5	17.3
弧形	總降雨量	0.1	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
	個案平均降雨量	0.1	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1

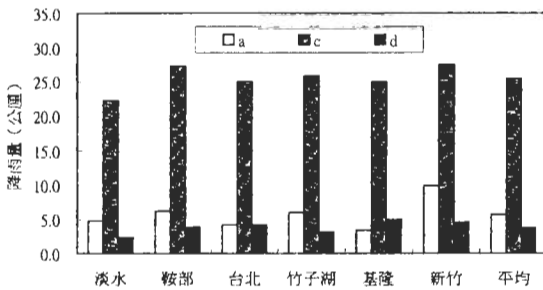


圖6 1988~1993年梅雨季各測站不同層狀降水區線狀中尺度對流系統之個案平均降雨量。a為後側型，c為主軸型，d為無層狀降水區。

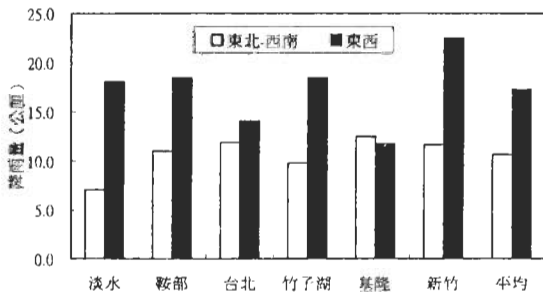


圖7 1988~1993年梅雨季各測站不同主軸走向線狀中尺度對流系統之個案平均降雨量。

者最多，所有測站平均為 17.3 公厘；東北-西南走向者次之，為 10.7 公厘；弧形走向者最少，只有 0.1 公厘。圖 7 為個案較多的東北-西南走向與東西走向兩類在各測站之個案平均降雨量。東北-西南走向者最多在基隆為 12.5 公厘，最少在淡水僅 7.1 公厘；東西走向者最多在新竹為 22.5 公厘，最少在基隆只有 11.8 公厘。除基隆外，東西走向的個案平均降雨量都大於東北-西南走向者，兩者間之差異以淡水和新竹較大。顯然，不同主軸走向線狀對流系統可導致不同降雨量，而任一型態線狀對流系統亦在不同地點造成不同降雨量。

四、討 論

在 5、6 月梅雨季裡，中尺度對流系統發生頻率與造成降雨量的時間分布顯示，在四個時段中的發生次數以 6 月上半月最少（表二），但是造成的降雨量卻是最多（表七）。不論線狀或非線狀對流系統，其造成 5 月下半月與 6 月上半

月的降雨量都多於5月上半月或6月下半月者，尤其是由線狀對流系統造成的降雨量，中間兩個時段較其前後時段之差異更大。顯然，梅雨季裡中尺度對流系統造成的降雨量隨其生成的時段不同而不同，平均而言，5月下半月與6月上半月個別中尺度對流系統的降雨量比5月上半月或6月下半月者為多。一個線狀對流系統造成的降雨量，5月下半月與6月上半月約為5月上半月或6月下半月者的2~4倍；一個非線狀對流系統造成的降雨量差異較小，但依然是以5月下半月與6月上半月者較多。

在5~6月梅雨季裡，降雨量多集中在中間一個月，5月上半月最少，大約只有其他三個時段降雨量的一半，6月下半月的降雨亦少，在四個時段的降雨量裡，中尺度對流系統所佔之比例均高（表七），只有6月下半月未達50%，其他三個時段大約介於65%~72%，可見中尺度對流系統對梅雨季降雨量有很大的貢獻。梅雨季裡非線狀對流系統發生次數較線狀對流系統為多，因此其降雨量所佔比例也較大，但是對個別系統平均而言，線狀對流系統的降雨量則較非線狀對流系統者為多。各測站之個案平均降雨量都是線狀對流系統大於非線狀對流系統（圖4），此種現象實乃反映線狀對流系統較具組織性且通常對流強度較強與生命期亦較長的特性（陳與林 1996；林與陳 1997）。

線狀對流系統的形成型態以後造型和破線型最多（表三），此兩類型的發生頻率在春夏季節亦然（陳 1994a）。後造型導致的總降雨量在各測站均較破線型為多（表九），個案平均降雨量在各測站亦都較破線型為多（圖5），後造型之形成是在對流系統移動方向之上游不斷有

新對流胞產生，之後新胞範圍擴大，移向舊胞並與之結合。破線型之形成，開始時為許多孤立對流呈線狀排列，隨後各胞發展擴大且舊胞之間又有新胞形成，演變成密實的線狀對流系統（Bluestein and Jain 1985）。或許破線型線狀對流系統在海上形成之後，移到陸上逐漸減弱消散，故在台灣北部的降雨量平均較後造型者為少。後造型線狀對流系統即使在海上形成，但移到陸地之後，其上游海上仍可有不間斷的新對流胞生成，繼續往下游的陸地移動，這可能是造成陸地上較破線型更多降雨量的原因之一，兩者平均降雨量差異之主要原因，實須進一步探討。再者，由陳與林（1996）及林與陳（1997）的研究顯示，後造型之低對流層垂直風切較破線型者為強，環境低層較大之垂直風切可與較強之下衝流形成之低層冷池維持平衡，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生命期較長之後造型線狀對流形式，這可能也是後造型中尺度對流系統降雨量較多的原因。

線狀對流系統所伴隨之層狀降水區形式分類顯示（表四），有40%並無層狀降水區，而有層狀降水區者則以後側型和主軸型較多，各佔25%和30%；在層狀降水區的個案中，後側型、兩側型及主軸型分別佔42%、8%及50%。Parker and Johnson（2000）分析1996年和1997年5月在美國中部發生的88個線狀中尺度對流系統，依其層狀降水區所在位置區分為後側型（tailing stratiform；TS）、前側型（leading stratiform；LS）及主軸型（parallel stratiform；PS），其中約60%為後側型，前側型與主軸型則各佔約20%，不明型態或無層狀降水區者只有3個。台灣北部與美國中部兩地區線狀對流有無層狀降

水區的比例差異懸殊，且在有層狀降水區的個案中，各型態所佔的比例也有差異，美國中部的線狀對流中，後側型所佔比例最高，但在台灣北部地區後側型與主軸型所佔比例較接近，兩地區不同形式層狀降水區之線狀對流發生頻率是否與兩地區大氣環境條件有相關，值得進一步探討。

林與陳（1997）分析 1988~1993 年 2~7 月台灣北部與近海地區的線狀中尺度對流系統之環境條件發現，主軸型線狀對流之對流可用位能（convective available potential energy；CAPE）最大，達 $939.9 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ，後側型次之為 $811.2 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ，無層狀降水區者最小，僅有 $649.7 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ，他們認為系統內無層狀降水區者之對流可用位能對流最小，垂直發展最淺，可能是導致無中高對流層之層狀降水區結構的原因。而 Parker and Johnson（2000）研究裡的中尺度線狀對流之後側型的對流可用位能最大達 $1605 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ，前側型次之為 $1009 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ，主軸型最小為 $813 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ，這些均遠比林與陳（1997）研究中無層狀降水區線狀對流系統之對流可用位能大。一般而言，美國中部大氣環境的對流可用位能值較台灣附近環境者大，但是對流可用位能大小顯然並非決定不同形式層狀降水區線狀對流系統發生的因子。再者，林與陳（1997）針對不同形式層狀降水區線狀對流系統之垂直風切做比較，結果顯示台灣附近主軸型線狀對流之低層垂直風切最強（ 17.4 m/s ），後側型最弱（ 15.0 m/s ），各形式線狀對流系統之低對流層垂直風切均較中對流層者為強。而美國中部後側型線狀對流之垂直線狀結構的風場剖面明顯與前側型和主軸型不同，後側型之風場均為由前向後（front-to-rear），前側型和主軸型在低對流層也有較強的由前向後的分量，但在高對流層則是有明顯的由後向前風場（rear-to-front）；以垂直線狀結構的低層風切而言，後側

型（ 4.7 m/s ）也明顯小於主軸型（ 11.8 m/s ）與前側型（ 7.0 m/s ），各形式之低對流層垂直風切也均較中對流層者為強（Parker and Johnson 2000）。顯然，低層垂直風切可能為決定不同形式層狀降水區線狀對流系統之重要因子，主軸型有較大的垂直風切，後側型則較小。

主軸型層狀降水區之線狀對流系統所作隨的降雨量在各測站都明顯多於其他類型（表十；圖 6），其中無層狀降水區者的降雨量最少。主軸型較大之低層垂直風切可維持較強之下衝流，因此較強之低層輻散外流與環流空氣輻合，可提供新對流胞發展，使主軸型線狀對流系統降雨量較多。無層狀降水區之線狀對流系統，雖低層垂直風切亦強，但 CAPE 最小，系統內對流垂直發展淺，可能因此而無中高對流層之層狀降水區結構（林與陳 1997），所以降雨量很少。Smull and Houze（1985）對飢線的研究也顯示，飢線對流區的冰雹會受氣流影響而落在層狀區，可見在線狀對流系統中，層狀降水的重要性。

線狀對流系統主軸走向以東北-西南者最多，東西走向者居次（表五）。而鄧與陳（1990）分析 1973~1989 年春季台灣附近 9 個飢線個案，其對流主軸均為南北或東北-西南走向，並無東西走向者，與本文的情況大不相同，此或許乃因兩者所用資料時間不同且定義亦有所不同所致。除基隆之外，東西走向的個案平均降雨量都大於東北-西南走向者（圖 7），而且這兩種走向線狀對流系統在各測站的總降雨量或平均降雨量都遠大於其他走向者（表十一）。這可能因線狀對流系統的走向使系統影響測站的時間不同，影響時間較長則降雨量也就較多，所以東西走向的降雨量最多，東北-西南走向者次之。再者，陳與林（1996）及林與陳（1997）的研究指出，東西走向之線狀對流系統有較大之東西向低

層風切，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有利發展，而形成生命期更長之東西向線狀對流結構，這可能也是使東西走向線狀對流系統降雨較多的原因。

梅雨季裡中尺度對流系統導致的降雨量，在各測站雖有顯著差異，以新竹最多淡水最少，但都比非中尺度對流系統為多（表八），中尺度對流系統的降雨量佔梅雨季總降雨量百分比以新竹最高為 77.0%，台北最低亦有 55.9%，鞍部、竹子湖及基隆三站相近，大約在 60%（表八）。顯然，中尺度對流系統雖是導致台灣北部梅雨季降雨的主要因子，但是各地之地理位置與局部地形差異，導致的中尺度對流系統降雨量貢獻之差異亦不容忽略。

五、總 結

本文利用 1988~1993 年梅雨季中正機場都卜勒雷達所觀測到的雷達回波，分析不同類型對流系統氣候特徵及其對台灣北部降雨的影響，探討不同類型之中尺度對流系統對台灣北部地區降雨之貢獻，並分析梅雨季裡不同時段與不同類型降雨系統之差異。結果可歸納為以下幾點：

1. 梅雨季裡出現的非線狀對流系統（平均一年 24 個）雖然多於線狀對流系統（平均一年 10 個），但是一個線狀對流系統造成的平均降雨量（11.1 公厘）多於一個非線狀對流系統者（8.8 公厘）。
2. 中尺度對流系統是導致台灣北部梅雨季降雨的主要因子，佔梅雨季總降雨量 63%，但是線狀與非線狀對流系統對各地造成的降雨量有很大的差異。

3. 梅雨季四個時段裡，除 6 月下半月外，由中尺度對流系統所造成的降雨均佔梅雨季裡總降雨量的 65%~72%，而 6 月下半月的比例也有 46.6%。
4. 以線狀對流系統形成型態而言，後造型與破線型出現次數最多，兩者總數超過 70%，前者可能因有較強低對流層環境垂直風切以維持較長生命期，故其平均降雨量（15.2 公厘）多於後者（8.9 公厘）。
5. 以有層狀降水區型態者而言，主軸型出現頻率最高，可能因其環境低層垂直風切較大，故其平均降雨量（25.5 公厘）亦遠多於其他類型。
6. 以系統主軸走向而言，東北-西南走向與東西走向者出現頻率最高，約佔 90%；其平均降雨量以東西走向者最多（17.3 公厘），東北-西南走向次之（10.7 公厘）。
7. 梅雨季四個時段的中尺度對流系統對降雨量的貢獻也不一樣，5 月下半月或 6 月上半月平均一個中尺度對流系統（包括線狀或非線狀）造成的降雨均比 5 月上半月或 6 月下半月多。

致 謝

本研究在國科會專案計畫 NSC90-2111-M-002-001 支持下完成。

參考文獻

- 林宗嵩與陳泰然，1997：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。大氣科學，25，379-396。
- 陳泰然，1994a：台灣梅雨季之豪雨研究。大氣

- 科學, **22**, 455-477。
- 陳泰然, 1994b: 台灣地區梅雨季中尺度現象之氣候研究(一)。台大大氣科學研究所研究報告 NTUATM-1994-001, 112 頁。
- 陳泰然與王尹懋, 1998: 台灣北部與鄰近地區春夏中尺度線狀對流系統特徵與環境條件之相關分析。大氣科學, **26**, 149-156。
- 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系統之環境條件。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。
- 陳泰然與林宗嵩, 1996: 梅雨季天氣系統之中尺度氣候研究(二)。台大大氣科學研究所研究報告 NTUATM-1996-001, 92 頁。
- 陳泰然、周鴻祺、林宗嵩與楊進賢, 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**, 145-163。
- 陳泰然、謝信良、陳來發與陳清得, 1991: 台灣地區現階段豪(大)雨預報能力。大氣科學, **19**, 177-188。
- 鄧仁星與陳景森, 1990: 台灣地區飈線之環境分析。大氣科學, **18**, 149-158。
- 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., and S. S. Chi, 1980: On the frequency and speed of Mei-Yu fronts over Southern China and the adjacent areas. *Pap. Meteor. Res.*, **3**, 31-42.
- Kuo, Y. H., and G. T. J. Chen, 1990: The Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX): An Overview. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 488-503.
- Parker, M. D., and R. H. Johnson, 2000: Organizational modes of midlatitude mesoscale convective systems. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3413-3436.
- Smull, B. F., and R. A. Houze, 1985: A midlatitude squall line with a trailing region of stratiform rain: Radar and satellite observations. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 117-133.

The Relationship of Mesoscale Convective Systems and Precipitation over Northern Taiwan in Meiyu Season

George T. J. Chen W. T. Huang Mark Y. M. Wang

Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

(Manuscript received 23 October 2000 ; in final form 24 November 2000)

ABSTRACT

Mesoscale convective systems (MCSs) observed by Doppler radar at the CKS International Airport during the Meiyu season of 1988 ~ 1993 were analyzed to investigate their relation with the precipitation in northern Taiwan. The MCSs were first classified into line and non-line types. Line-type MCSs were further categorized according to different types of formation, stratiform region, and axis orientation. Precipitation for different types of MCSs in northern Taiwan was analyzed and the relation of MCSs and precipitation in different time period in the Meiyu season were also investigated.

Results showed that MCSs were the major contributor to the precipitation of Meiyu season in northern Taiwan. It contributed 63 percent of total precipitation in Meiyu season, although there were remarkable differences in precipitation among stations. Line-type MCSs occurred less frequently than non-line type ones, however the former contributed more precipitation on average. Back-building type produced most precipitation followed by broken-line type among all formation-type MCSs. Parallel-type MCSs produced much more precipitation than others in all stratiform region types. East-west type produced most precipitation followed by NE-SW type in all orientation-type MCSs. Different types of mesoscale line convection produced different precipitation amount which was highly related to the low-level vertical wind shear of the environment. MCSs developed with a large vertical wind shear also produced large amount of precipitation.

Key words: Meiyu season, Mesoscale convective system, Line-type mesoscale convective system, Non-line type mesoscale convective system