

# 臺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

陳泰然 王尹懋

國立台灣大學大氣科學系

(中華民國八十七年三月十二日收稿，中華民國八十七年五月十五日定稿)

## 摘 要

本文選取 1988~1993 年 2~7 月間發生於台灣北部與鄰近地區的 50 個線狀對流系統，分析雷達回波顯示之系統特徵與環境條件參數間以及系統特徵參數間之相關性，並探討具有顯著水準相關性之物理意義與詮釋。

研究結果顯示，線狀對流系統之移速主要由垂直於線狀對流主軸的中高對流層平均氣流之平流過程主宰。這些系統在海上時，雷達回波長度愈長者其生命期愈長且移速愈慢；但登陸後，此種相關性已不復存在。此種相關性在後造型與不同生命階段之線狀對流亦極顯著。研究結果亦顯示，鋒面位置在決定線狀對流系統特徵占有重要角色。此外，研究發現潛在不穩度與對流可用位能不僅為鋒前型與破線型線狀對流發展之必要條件，且其大小亦決定它們生命期之長短。

關鍵詞：線狀對流、環境條件、生命階段

## 一、前 言

陳等 (1991) 對中央氣象局所發布非颱風引起的豪 (大) 雨預報能力評估結果，顯示目前對於導致豪 (大) 雨之綜觀尺度強迫機制已有相當了解，但是對於激發豪雨產生的中尺度過程，所知仍然有限。透過對 TAMEX (Taiwan Area

Mesoscale Experiment) 計畫的整體檢討與評估，雖然使我們了解 TAMEX 計畫已有很豐富的科學成果，但是也使我們認識到還有很多有關梅雨季節豪雨與其伴隨之中尺度現象問題仍待進一步的研究 (陳與謝 1993)。目前以不同方法進行短期預報，顯示在 3~9 小時之間有一預報能力低值

區 (Doswell 1986)；若要彌補該區之知識斷層 (knowledge gap) 以改進預報能力，必須對影響該時段之中尺度現象與過程做更深入的研究，以增加瞭解。

陳與林 (1995, 1996) 在「梅雨季天氣系統之中尺度氣候研究」裡，曾利用民航局中正機場都卜勒雷達回波資料與板橋探空站資料，探討 1988~1993 年 2~7 月間台灣海峽北部與鄰近地區中尺度對流系統之氣候特徵與環境條件。隨後，陳與沈 (1996) 進一步分析其間梅雨季線狀對流之環境條件，發現鋒上型線狀對流平均生命期較長，移動速度最慢，且系統長度最長。最近，林與陳 (1997) 利用同組資料探討春夏季線狀與非線狀中尺度對流發展的環境條件異同，發現低層垂直風切大小，可能為決定中尺度對流系統是否形成線狀對流結構、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。這些研究結果顯示，不同型態線狀對流的特徵與環境條件有很密切的關係，其中某些關係有合理的物理解釋，但有些在目前仍付闕如 (陳與沈 1996；林與陳 1997)。本文目的即在利用同一組資料，進行線狀對流特徵參數與環境條件參數間以及線狀對流特徵參數間之統計分析，以辨別具有 95% 以上顯著水準 (significance level) 之相關，並探討這些相關之物理意義或提出物理詮釋。

## 二、資料與分析

由陳與林 (1995, 1996) 「梅雨季天氣系統之中尺度氣候研究」所得到的 148 個線狀對流個案 (1988~1993 年 2~7 月)，選取有完整板橋探空觀測配合的個案，得到總計 50 個線狀對流系

統，做為本文研究的主要對象，板橋探空資料應可做為北部地區線狀對流的環境條件。陳與林的研究已對這些系統求取有關參數，包括：系統形成時間、板橋探空站和系統的相對位置、線狀對流形成型態、線狀對流主軸走向、20dBZ 最大回波長度、系統移速、系統生命期等。他們所求取的板橋探空環境條件參數包括：3~10 公里平均向量風，0~2.5 公里、2.5~6 公里及 0~6 公里之垂直風切，蕭式指數 (Showalter Index；SI)，舉升指數 (Lifted Index；LI)，總指數 (Total Totals Index；TTI)，K 指數 (K Index；KI)，對流可用位能 (CAPE) 及對流理查遜數 (Ric) 等。除了利用這些參數之外，本文並由個別探空求取 3~10 km 垂直與平行於線狀對流主軸之平均風速。這些參數、線狀對流型態以及不同類別線狀對流等之定義，均與林與陳 (1997) 所用者相同。本文進一步分析各參數間之相關係數，並探討任兩參數間之線性相關係數兩尾檢定之顯著水準 (陳 1978) 與其物理意義或詮釋。

## 三、結果與討論

不同型態、不同生命階段的線狀對流以及系統過境前後期間，線狀對流特徵與環境條件參數間之相關係數，如表一與表二所示。系統移速與環境參數間之相關，以 3~10 km 垂直於線狀對流主軸之平均風速最為重要，此在物理上亦易於理解中高對流層風場對於線狀對流系統平流之重要性。此種正相關對所有個案 (50 個個案) 具有 95% 以上之顯著水準，此亦反映在各不同類別線狀對流之正相關係數。對於後造型線狀對流、形成期線狀對流以及線狀對流過境前之環境，其間相關性均具有 95% 以上之顯著水準，且相關係數更比

所有個案者為高，特別是形成期之線狀對流（16個個案），相關係數更高達 0.64。移速與其餘環境參數間之相關，普遍不具 95%以上顯著水準，此為物理上可以預期。然而，鋒前型線狀對流（14個個案）之移速與總指數之正相關高達 0.56，並具 95%以上顯著水準；破線型線狀對流（8 個個

案）之移速與 K 指數之負相關更高達 -0.76，亦具大於 95%顯著水準。此種相關性值得注意，唯其物理詮釋與物理意義需待進一步的研究。

各不同類型線狀對流之最大雷達回波長度、生命期與環境參數間之相關，僅破線型與鋒前型線狀對流之生命期與 CAPE 之相關具有 95%以上

表一 1988~1993年2~7月北部地區不同形成型態與不同生命階段之線狀對流統特徵和環境條件的相關係數，陰影代表95%顯著水準以上。

系統特徵：環境條件	所有個案	破線型	後造型	形成期	成熟期
移速：平行主軸3~10km平均風速大小	0.0743	0.2924	0.2766	0.2048	0.1939
移速：垂直主軸3~10km平均風速大小	0.4108	0.5597	0.48	0.6413	0.3353
移速：LI	0.0366	0.6471	0.0908	-0.0111	0.3476
移速：TTI	0.055	-0.2275	0.4215	0.3748	0.0687
移速：KI	-0.0043	-0.7586	0.2836	0.4358	-0.153
移速：SI	0.0033	0.4711	-0.252	-0.3135	0.1009
移速：CAPE	-0.0859	-0.2854	-0.1953	-0.0108	-0.3307
移速：Ric	-0.0556	-0.2458	0.2766	-0.0886	-0.3017
20dBZ最大長度：LI	0.0649	-0.1034	-0.3218	-0.2004	-0.3242
20dBZ最大長度：TTI	-0.219	0.1257	-0.0935	-0.032	0.0417
20dBZ最大長度：KI	-0.1492	0.2204	-0.05	-0.25	0.3993
20dBZ最大長度：SI	0.1541	-0.217	-0.0473	0.0407	-0.3033
20dBZ最大長度：CAPE	0.0516	0.6192	0.0185	0.1995	0.0708
20dBZ最大長度：Ric	-0.0195	0.2091	-0.021	-0.0888	0.0647
生命期：LI	-0.1169	-0.5016	-0.145	0.0939	-0.3683
生命期：TTI	-0.0852	0.5575	-0.2235	-0.3131	0.2988
生命期：KI	0.1609	0.4117	0.2315	-0.2138	0.5004
生命期：SI	-0.0904	-0.5981	-0.0772	0.166	-0.4583
生命期：CAPE	0.18	0.9559	0.0609	0.2192	0.3469
生命期：Ric	0.1516	0.553	0.116	0.0822	0.358

表二 1988~1993年2~7月北部地區過境前後與不同鋒面型態線狀對流系統特徵和環境條件的相關係數，陰影代表95%顯著水準以上。

系統特徵：環境條件	系統過境前	系統過境時	鋒前型	鋒上型	鋒後型
移速：平行主軸3~10km平均風速大小	0.2705	-0.1917	0.3234	-0.0226	0.4274
移速：垂直主軸3~10km平均風速大小	0.4602	-0.1677	0.2742	0.6652	0.6152
移速：LI	0.2181	0.0951	0.2313	0.2201	0.5599
移速：TTI	0.2672	-0.5281	0.5581	-0.2579	-0.1956
移速：KI	0.1004	-0.3877	-0.0196	-0.199	-0.0688
移速：SI	-0.1146	0.5082	-0.2013	0.2402	0.1649
移速：CAPE	-0.1525	0.3524	-0.3447	0.2501	-0.2248
移速：Ric	-0.2239	0.4623	-0.402	0.3286	-0.4132
20dBZ最大長度：LI	-0.2091	0.4622	-0.0077	-0.3589	-0.0905
20dBZ最大長度：TTI	-0.0031	-0.6669	-0.1231	0.3033	0.1287
20dBZ最大長度：KI	0.0408	-0.6473	0.0539	0.0075	0.4317
20dBZ最大長度：SI	-0.1026	0.6973	0.0295	-0.2152	-0.3013
20dBZ最大長度：CAPE	0.1683	-0.1478	0.3522	-0.1104	-0.1613
20dBZ最大長度：Ric	-0.0323	-0.0805	0.0059	-0.2089	-0.3297
生命期：LI	-0.2376	0.0551	-0.1366	-0.1855	-0.4923
生命期：TTI	-0.0147	-0.4146	-0.3134	0.3026	0.2888
生命期：KI	0.193	-0.0655	-0.0937	0.4607	0.4115
生命期：SI	-0.1722	0.1984	0.0563	-0.3831	-0.3802
生命期：CAPE	0.2852	-0.1587	0.6295	0.0082	0.0267
生命期：Ric	0.2444	-0.1756	0.4142	0.085	0.0886

顯著水準，其餘雖仍有些較高之正、負相關，唯均未具顯著性。林與陳（1997）的研究指出破線型線狀對流環境相對於其他形成型態者而言，有較大的潛在不穩度與較高的對流可用位能（CAPE）；本文所分析的破線型線狀對流（8個個案）生命期與CAPE之正相關，其相關係數高達0.96。顯然，環境大氣愈不穩定、存在有愈多的對流可用位能，則愈容易形成破線型線狀對

流，且生命期也愈長。林與陳（1997）的研究結果發現鋒前型線狀對流環境相對於其他鋒面型而言，亦有較大的不穩度與較高的CAPE，而本文分析的鋒前型線狀對流（14個個案）生命期與CAPE之正相關為0.63。顯然，鋒前型環境較不穩定且有較多對流可用位能，而當不穩度與對流可用位能愈大，則形成之線狀對流系統生命期愈長。

表三 1988~1993年2~7月北部地區各類線狀對流系統特徵之間的相關係數，陰影代表95%顯著水準以上。

系統特徵：系統特徵	所有個案	破線型	後造型	形成期	成熟期
20dBZ最大長度：移速	-0.259	-0.1883	0.5828	-0.4407	-0.3999
20dBZ最大長度：生命期	0.5336	0.6924	0.6774	0.5626	0.7353
生命期：移速	-0.58	-0.1812	-0.7017	-0.6303	-0.6619

系統特徵：系統特徵	系統過境前	系統過境時	鋒前型	鋒上型	鋒後型
20dBZ最大長度：移速	-0.3725	0.6622	-0.03	-0.9451	-0.3432
20dBZ最大長度：生命期	0.569	0.4789	0.741	0.3534	0.667
生命期：移速	-0.6497	-0.0822	-0.4999	-0.5058	-0.8788

表三為不同類別線狀對流系統特徵參數間之相關係數，這些參數包括：20dBZ 回波最大長度、生命期及移速。各類線狀對流系統之 20dBZ 回波最大長度與移速均有負相關，且後造型與鋒上型線狀對流之負相關係數均有 95%以上顯著水準。鋒上型（9 個個案）相關係數高達 -0.95，後造型（18 個個案）相關係數則達 -0.59。陳與沈（1996）的研究發現，在鋒面類型中以鋒上型之移速最慢且系統長度最長，而認為此乃因該型線狀對流於成熟期時位於鋒面上，有低層水氣輻合與最強水氣通量輻合之故。顯然，鋒上型線狀對流不僅移速最慢與雷達回波長度最長，並且有長度愈長則移速愈慢之現象。後造型線狀對流系統之形成過程，為新的對流胞於對流系統主軸之上游形成，而成熟的對流胞則併入系統內。因此，系統（雷達回波）長度愈長移速愈慢應可理解。

對所有個案而言，20dBZ 回波最大長度與生命期具有 95%以上顯著水準之正相關（0.53）；正相關亦存在於各不同類別之線狀對流，特別是後造型、鋒前型、形成期及成熟期之線狀對流，其

正相關係數均有 95%以上顯著水準。對所有個案而言，生命期與移速具有 95%以上顯著水準之負相關（-0.58），負相關亦存在於各不同類別之線狀對流，其負相關係數亦均有 95%以上顯著水準。後造型線狀對流 20dBZ 回波最大長度與生命期之正相關係數高達 0.68，生命期與移速之負相關係數高達 -0.70，且均超過 95%顯著水準。陳與沈（1996）的研究發現，在不同形成型態線狀對流裡以後造型生命期較長，認為主要乃因垂直於線狀對流系統主軸之風分量在垂直方向變化（垂直風切）以後造型較大之故。顯然，環境垂直風切愈大則後造型線狀對流生命期將愈長，而系統（雷達回波）長度亦愈大且移速愈慢。

對形成期與成熟期之線狀對流而言，20dBZ 回波最大長度與該期之生命期均有顯著正相關，且該期之生命期與移速亦均有顯著負相關。顯然，線狀對流於形成期與成熟期，系統長度愈長則該期之生命期愈長且移速愈慢，此和大氣內不同尺度系統所預期之性質一致，即尺度愈大則移

速愈慢且生命期愈長。對不同鋒面型態之線狀對流而言，鋒前型之系統長度愈長則生命期愈長，鋒上型之系統長度愈長則移速愈慢，而鋒後型之系統生命期愈長則移速愈慢；顯然鋒面位置在決定線狀對流系統特徵具有重要角色。系統過境前後之系統特徵參數間之相關性有很大變化，過境前各特徵參數間均具有 95%以上顯著水準，但過境時則無，亦即線狀對流系統過境板橋探空站前，系統長度長則生命期愈長且移速愈慢，系統過境時此種關係已不顯著；顯示線狀對流系統由海上進入陸上之後，原有系統之特徵已受陸地影響而不復存在。

## 四、總 結

本文延伸陳與林（1995，1996）研究 1988～1993 年 2～7 月台灣北部線狀對流系統所得結果，包括環境條件參數與線狀對流系統特徵參數，探討不同類別線狀對流有關參數間之相關，相關係數有 95%以上顯著水準的結果可摘述為以下數點。

1. 線狀對流系統的移速與 3～10 公里間垂直於線狀對流系統主軸之平均風速有顯著的正相關，特別是後造型與形成期的線狀對流以及線狀對流過境前的環境，此種相關性更高，顯示這些系統之移動主要由中高對流層平均氣流之平流過程主宰。
2. 鋒前型與破線型線狀對流系統之生命期與對流可用位能有顯著的正相關，對流可用位能愈多則此兩類系統之生命期愈長，顯示潛在不穩度與對流可用位能不僅為這些線狀對流系統發展之必要條件，且其大小亦決定它們生命期之長短。

3. 線狀對流在海上時，系統長度愈長則生命期愈長且移速愈慢，但登陸後此種相關性已不復見，此可能乃因陸地上的複雜性，使線狀對流之結構、動力與在海上時已有顯著的差異。

4. 後造型線狀對流之系統長度愈長，則生命期愈長且移速愈慢，而破線型線狀對流此種相關性則不顯著，此可能乃因後造型線狀對流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。

5. 形成期與成熟期之線狀對流，均有系統長度愈長則該期之生命期愈長與移速愈慢之現象，此可能乃因後造型個案數最多之故。

6. 鋒前型線狀對流系統長度愈長則生命期愈長，鋒上型系統長度愈長則移速愈慢，鋒後型系統之移速愈慢則生命期愈長；亦即不同鋒面型態之線狀對流，其系統特徵參數間之相關性亦有不同，顯示鋒面位置在決定線狀對流系統特徵之重要性，唯為何會有這些關係則需進一步的研究。

本文主要目的在探討不同類別線狀對流系統特徵與環境條件之間以及系統特徵參數之間之統計相關，並提出物理詮釋或科學上之初步解釋。這些具有統計顯著性之相關，應可作為今後台灣北部地區春夏期間預報線狀對流系統之參考應用，亦可做為進一步選擇探討以決定春夏期間相關性物理機制之參考。

## 致 謝

本文在國科會專案研究計畫 NSC87-2111-M-002-015 與 NSC88-2111-M-002-001 支持下完成。

## 參考文獻

- 陳啓崗，1978：初級統計學。六國出版社，327 頁。
- 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。
- 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，124 頁。
- 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。
- 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。
- Doswell,C.A., 1986 : Shortrange forecasting . Mesoscale Meteorology and Forecasting. *Amer. Meteor. Soc.*, **99**. 689-719.

# **Correlation Analyses for the Environmental Conditions and Characteristics of Mesoscale Line-type Convective Systems in Spring and Summer over Northern Taiwan and Its Vicinities**

**George Tai-Jen Chen      Mark Ying-Mao Wang**

**Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University**

( Manuscript received 12 March 1998 , in final form 15 May 1998 )

## **ABSTRACT**

Fifty cases of line-type convective systems over northern Taiwan and its vicinities in spring and summer of 1988~1993 were selected in this study. Correlations between the characteristics of line convection as revealed by radar echoes and the environmental conditions were analyzed. Physical interpretation and explanation were given for those correlations with statistical significance.

Results showed that the movement of line convection was mainly controlled by the advection process of mean flow normal to the major convective line in the mid- and upper-troposphere. When the line-type convective system was over the ocean, the life time was longer and the movement was slower for the system with a longer length scale. When the system moved over land, this relationship no longer existed. This relationship was also clearly shown for the back-building type and at the different evolution stages of line-type convection. Results also showed that the frontal position played a crucial role in determining the characteristics of the line-type convection. Additionally, it was found that the potential instability and CAPE not only were the necessary conditions for the development of line convection, but also were positively correlated to the duration of line-type convection.

**Key words : Line-type convection, Environmental condition, Life stage.**