

我國東南沿海地區冷鋒之移動速度 及其降水預報之研究

A Study of the Movement of Cold Fronts and Associated Precipitation Along the Coast of Southeast China

陳 正 改

Cheng-Kai Chen

ABSTRACT

In this study, General J. J. George's method is adapted for forecasting the movement of cold fronts along the coast of Southeast China.

As for the movement of cold fronts parameters of prediction are based upon the current 850mb charts according to the following criteria:

(1) The height difference between the reference point on the front and the points 600 miles east and west of the front at 850mb chart is measured and a correction is given according to latitude.

(2) The temperature gradient at 850mb is measured from the reference point on the front to the point 600 miles northward.

Concerning of precipitation forecasting, the prediction parameters are developed from the moisture pattern and height-change field at 850mb. The moisture parameter is defined as a tongue of moist air at 850mb in which the dew points are from 0°C to 10°C for light rain, and 10°C or higher for thunderstorms. The height-change fields within 24-hour are obtained by subtracting the previous 850mb chart from the current one with an interval of 24 hours.

一、前 言

當極地高壓由高緯度向低緯度地區伸展時，於我國東南沿海地區常有溫帶氣旋發生 [1] [2]，當此溫帶氣旋由沿海地區東移時，其所伴隨之冷鋒附近的天氣，時或雷電交作，風雨俱來，時或輕風掠過，僅浮雲片片。冷鋒附近天氣，既呈如此天壤之別，故對於冷鋒移行之速度及冷鋒過境時可能發生的降水，實有詳細討論研究之必要。

本文研究之主題，即在介紹如何有系統地運用 850 毫巴資料來預測我國東南沿海地區冷鋒的移動速度以及其降水，以供從事天氣預報人員之參考，從而

提高天氣預報的準確率，俾有益於社會大眾。

二、研究方法及採用資料

我國東南沿海地區於冬半年所發生的降水現象，其因素雖多，但主要是受冷鋒過境所引起；而在夏半年，則甚少受到冷鋒之影響。根據上述事實，故本研究採用之資料取自 1967 年至 1973 年，每年十月至翌年五月於 110~125°E，30~20°N 範圍內所出現之冷鋒，加以分析討論。至於冷鋒移動速度之預測，主要乃應用 1967 年 10 月至 1972 年 5 月共五年於上述地區所出現的冷鋒作為基本資料，以鋒面兩邊

850mb 上氣流之強弱(即梯度風強度之差)及其溫度梯度作為預報參數[3]，而製作適合於預報我國東南沿海地區冷鋒移速之客觀預測圖；並以 1972 年 10 月至 1973 年 5 月的實際資料加以驗證，而求其準確率、平均誤差及最大誤差，以供實際預報時之修正。上述方法，並於 1973 年 10 月至 1974 年 5 月在中央氣象局預報組實際使用，所得效果，甚為良好。

三、冷鋒移動速度之客觀預報

(一) 冷鋒運行之基本原理

當極地高壓由高緯度向低緯度地區伸展時，我國東南沿海地區時有溫帶氣旋發生，而其所伴隨之冷鋒後方的氣流常具有北分風[1]。由於冷鋒後等壓線之位向常呈東北至西南向，而鋒面之位向為東北東至西南西，或為東至西向，此種鋒面移行之速度與大氣局部環流具有密切之關係[4]，但僅據此項經驗法則，我們祇能對冷鋒的移行作定性預報，並不能作定量預報。根據喬治(J. J. George)[3]之研究，我們可利用鋒面兩邊 850mb 面上氣流之強弱及鋒面北方 850mb 面上之溫度梯度，作為定量預報冷鋒移動速度的參數；現將此二參數的基本原理說明如下：

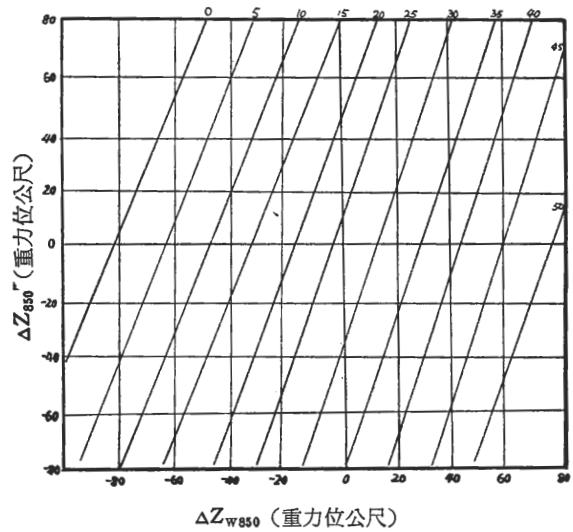
1. 850mb 面上鋒面兩邊氣流之強弱(即梯度風強度之差)：

如鋒面北邊之氣流由北向南，則此氣流有促使地面鋒面迅速南移之趨勢；反之，如鋒面南邊的氣流為由南向北，則此北向氣流可阻止鋒面之南移，而使此鋒面呈滯留或祇向南稍作位移。如南邊之氣流速較北邊為強，則可使滯留鋒轉為暖鋒而北移。故凡迅速南移之鋒面，其北邊必為強盛之北風，而其南邊之風力每甚微弱。

2. 鋒面北邊 850mb 面上之溫度梯度：

如鋒面北邊的溫度梯度陡峻，則極地氣團必強盛，於是常促使鋒面迅速南移；反之，如鋒面北邊的溫度梯度和緩，則極地氣團之勢力必較微弱，於是鋒面南移之速度亦較遲緩。

根據喬治進一步之研究[3]：鋒面兩邊 850 毫巴面上氣流之強弱，對鋒面移行之影響程度，亦受緯度所左右，故鋒面兩邊梯度風強度之差必須先加以緯度訂正(見表二)，然後利用圖一求其加權值；此加權值和溫度差即為定量預報冷鋒移動速度的預報參數。



圖一 加權值之確定

Fig 1: Determination of weighting values

至於採用 850 毫巴面上的資料來預測鋒面移行之速度，乃因 850 毫巴面上的高度約為 1500 公尺，此高度已遠離地面摩擦層(通常為 500 公尺)，為自由大氣層中最接近地面的標準氣流層，且依據 850 毫巴圖可正確的定出鋒面之位置，如此將有助於我們的預報。

表一：預測冷鋒移動速度之作業表

Table 1: A working sheet for cold fronts movement prediction

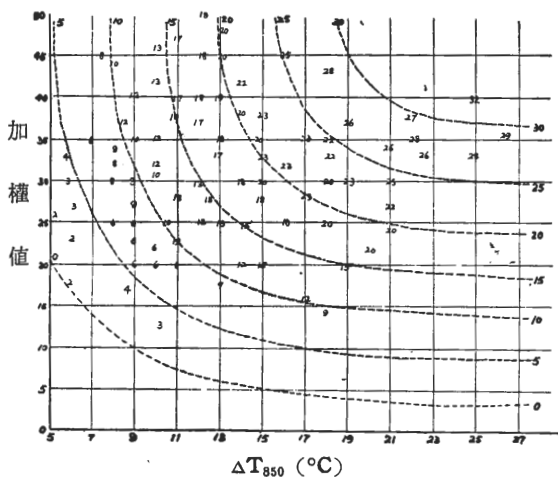
年 月 第 號 類		850 mb 槽線		訂正 係數	H _w	H _E	H _O	ΔZ _w	ΔZ _E	加 權 值	T _O	T _U	ΔT ₈₅₀	預測 移速 (mi/ hr)	預 測 實 際				備 註
日	地面冷鋒	°N °E °N °E													°N °E °N °E		25°N 23°N 25°N 23°N		
Z	°N °E °N °E	°N °E °N °E	°N °E °N °E												臺北	臺南	臺北	臺南	

筆者利用 1967 年十月至 1972 年五月，計五年共 146 次於華南地區出現的冷鋒，按表一所列項目逐次記載其資料，以此作基礎求得冷鋒移行的預報參數〔即加權值和溫度差〕及 24 小時內冷鋒的平均實際時速，由此繪成五年來冷鋒在我國東南沿海地區向南移動的平均時速之分佈圖（如圖二），進而求得冷鋒南移速度之客觀預測圖（見圖三）。

表二：定壓面高度之緯度訂正係數表

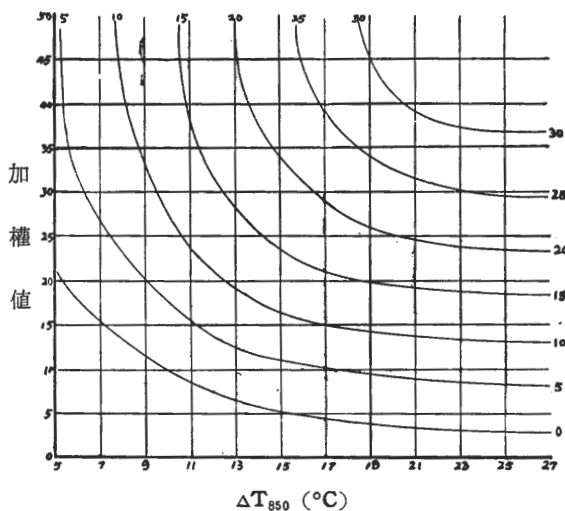
Table 2: Coefficients for latitude correction

緯 度	訂 正 係 數	緯 度	訂 正 係 數
50	0.55	35	0.74
49	0.56	34	0.76
48	0.57	33	0.78
47	0.58	32	0.80
46	0.60	31	0.82
45	0.61	30	0.85
44	0.62	29	0.87
43	0.63	28	0.90
42	0.65	27	0.93
41	0.66	26	0.96
40	0.67	25	1.00
39	0.68	24	1.04
38	0.70	23	1.09
37	0.71	22	1.14
36	0.73	21	1.19



圖二 冷鋒於我國東南沿海地區向南移動平均時速分佈圖〔虛線為冷鋒南移之平均時速(哩/時)〕

Fig 2: The movement of cold fronts along the coast of Southeast China.

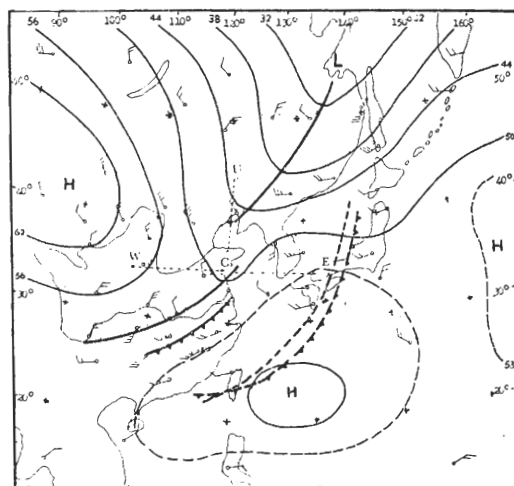


圖三 冷鋒於我國東南沿海地區南移時速之客觀預測圖〔曲線為冷鋒南移之平均時速(哩/時)〕

Fig 3: The objective forecasting chart of cold fronts along the coast of Southeast China

至於客觀預測圖之應用步驟為：

- (1) 先在地面鋒相配合之 850mb 面槽線上取一點 C，作為計算冷鋒運行速度之基準點（參看圖四）。
- (2) 再於 C 點東西兩側沿緯度線各取一點 E 與 W，使 EC 與 WC 之距離各為 600 哩（約為 9 緯度；此乃因冷鋒的移動速度平均每 24 小時約為 600 哩）。



圖四 六十一年十二月十一日 0000Z 850mb 圖（冷鋒斷線為十二日 0000 Z 地面冷鋒之實際位置，斷線為十二日 0000Z 850 mb 之槽線）

Fig. 4: 850mb chart (0000Z 11 December 1972)

(3) 計算 E 與 C，及 W 與 C 間 850mb 面之高度差。W、C 兩點之高度差乃以 W 點 850mb 面上之高度減 C 點 850mb 面之高度，並乘以 C 點所在緯度訂正係數(如表二)，使此高度差與地轉風速相符合，以 ΔZ_{W850} 代表。而 C、E 之高度差乃以 E 點 850mb 面上之高度減 C 點 850mb 面之高度，並乘以 C 點所在緯度訂正係數，以 ΔZ_{E850} 代表。但當 W 及 E 點之位置超過 850mb 面封閉高壓中心時，則 W 及 E 點之高度應以封閉高壓中心的強度表示。

(4) 求 ΔZ_{W850} 與 ΔZ_{E850} 之關係及對冷鋒移行速度之綜合影響。 ΔZ_{W850} 值如為正，則表示鋒面後方有向南之地轉風；反之，則有向北之地轉風； ΔZ_{E850} 值如為正，則表示鋒面前有向北之地轉風；反之，則為向南。設 ΔZ_{E850} 為不變，則當 ΔZ_{W850} 愈大時，冷鋒向南移行之速率愈大；若 ΔZ_{W850} 值為不變，而 ΔZ_{E850} 值愈大，冷鋒移行之速率愈小。其間之關係實為一直線，故 ΔZ_{W850} 與 ΔZ_{E850} 對於冷鋒移行速度之綜合影響可以圖一計算之。圖中之實斜線稱為加權線，其值由 0 至 50，數值愈大，冷鋒移行愈速。此值將與冷鋒北邊 850mb 面上溫度梯度值合併，以計算冷鋒移行之速度。

(5) 由基準點 C 向北量 600 哩之距離，得 U 點，求 850mb 面上 CU 兩點之溫度差，此可表示冷氣團之強度，以 ΔT_{850} 表之。

(6) 以 ΔT_{850} 為橫坐標，由圖一所得之加權值為縱坐標，代入圖三中，可求得冷鋒向南移動之時速。圖中之斜曲線表示基準點 C 於未來 24 小時內，南移之平均時速。由此平均時速線之形式觀之，可知當加權值大於 30 時，鋒面之移動速度與 850mb 面之溫度梯度值的關係較為密切，而當 ΔT_{850} 值大於 20 時，則鋒面之移動速度與加權線之關係較為密切。

冷鋒上其他各點移行之速度可以同法計算之，而封閉等高線區之冷鋒速度之計算，應按氣旋移行之方向與速率原理和步驟計算之 [5]。

然在實際預報時，為了爭取時效，可利用表一所列之各項資料，自 850mb 圖中求得而逐項填入，並與圖一和圖三合併應用，如此即可求得冷鋒之預測時速，進而可預估冷鋒影響甚至通過某一地區或某一地點的時間。

(二) 客觀預測圖之實例應用

現以實際的天氣圖作為實例，以印證此方法之可行性：

例(一)，圖四為六十一年十二月十一日 0000Z 850 mb 圖，山東半島附近東北至西南向之實線為槽線，地面冷鋒位於槽前，如圖中所示之冷鋒位置。

1) 今以槽線與 120°E 經度線之交點為基準點 C，其 850mb 上之高度約為 1500gpm。

2) C 點左側 600 哩之點為 W，其高度為 1600 gpm.

3) C、W 兩點之高度差為 (1600-1500) gpm = 100gpm，而 C 位於 34°N，由表二知其緯度訂正係數為 0.76

$$\therefore \text{得 } \Delta Z_{W850} = 100 \times 0.76 = 76 \text{gpm}$$

4) C 點右側 600 哩之點為 E，其 850mb 之高度為 1534gpm

5) C、E 兩點之高度差為

$$(1534 - 1500) \text{gpm} = 34 \text{gpm}$$

$$\text{而 } \Delta Z_{E850} = 34 \times 0.76 = 26 \text{gpm}$$

6) 因 $\Delta Z_{W850} = 76$ ， $\Delta Z_{E850} = 26$

由圖一得加權值為 47。

7) C 點北邊 600 哩之 U 點，其溫度約為 -15°C，而 C 點之溫度為 3°C，則 C、U 兩點之溫度差為：

$$\Delta T_{850} = 3 - (-15) = 18^\circ\text{C}$$

8) 因加權值為 47 及溫度差為 $\Delta T_{850} = 18$ 。

由圖三得 C 點於未來 24 小時內平均南移時速(沿 120°E 經度)為 28 哩，則 C 點於 24 小時南移之距離為 672 哩，即約 10 個緯度。依此速度，可預測此鋒面於 12 日清晨將會接近臺灣北部地區，實際上與所預測者相符，此即為一急行冷鋒之例。圖四中之冷鋒斷線為 12 日 0000Z 地面冷鋒之實際位置，斷線即為 12 日 0000Z 850mb 面上之槽線位置，其與預測之位置甚為接近。

例(二)，圖五為十二月十七日 0000Z 850mb 圖，槽線位於長江口附近，地面鋒位於槽前。

1) 槽線與 120°E 之交點為基準點 C，其高度為 1500gpm.

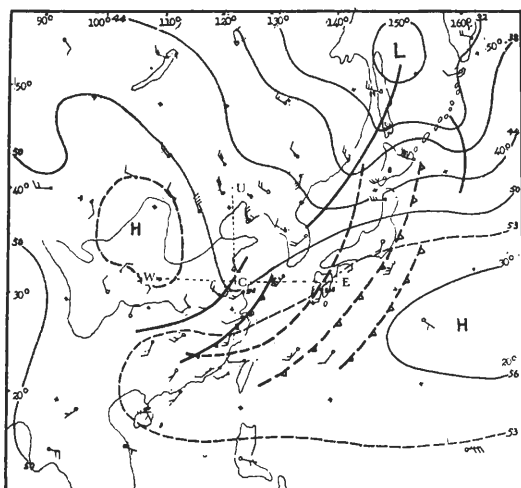
2) C 點左側 600 哩之 W 點，其高度為 1530 gpm.

3) C 位於 32°N，由表二知其緯度訂正係數為 0.80.

$$\therefore \Delta Z_{W850} = (1530 - 1500) \text{gpm} \times 0.80 = 24 \text{gpm}.$$

4) C 點右側 600 哩之 E 點，其高度為 1540gpm.

$$\therefore \Delta Z_{E850} = (1540 - 1500) \text{gpm} \times 0.80 = 32 \text{gpm}.$$



圖五 六十一年十二月十七日 0000Z 850 mb 圖
(冷鋒斷線為十八日 0000Z 地面冷鋒之實際位置，斷線為十八日 0000Z 850 mb 之槽線)

Fig. 5. 850mb chart (0000Z 17 December 1972)

5) 因 $\Delta Z_{W850} = 24$, $\Delta Z_{E850} = 32$

由圖一得加權值為 31

6) C 點北邊 600 哩之 U 點，其溫度為 -20°C ，而 C 點之溫度為 0°C ，則 C、U 兩點之溫度差：

$$\Delta T_{850} = 0 - (-20) = 20^{\circ}\text{C}$$

7) 因加權值為 31, $\Delta T_{850} = 20$

由圖三得 C 點於未來 24 小時內平均南移時速為 22 哩，則 C 點於 24 小時南移之距離為 576 哩，即約 8 個緯度。依此速度，可預測此 850mb 之槽線，於 18 日上午將會接近臺灣，實際上亦如此，並且於 18 日下午通過臺灣北部；又臺北於 0840Z 時有雷雨，此為鋒面雷雨之實例。

例(三)，圖六為十二月二十七日 0000Z 850mb 圖，槽線位於長江口附近，地面鋒面位於槽前。

1) 基準點 C 之高度為 1510gpm。

2) C 點左側 600 哩之 W 點，其高度為 1518gpm

3) C 位於 31°N ，由表二知其緯度訂正係數為 0.82

$$\therefore \Delta Z_{W850} = (1518 - 1510)\text{gpm} \times 0.82 \div 7\text{gpm.}$$

4) C 點右側 600 哩之 E 點，其高度為 1523 gpm.

$$\therefore \Delta Z_{E850} = (1523 - 1510)\text{gpm} \times 0.82 = 11\text{gpm.}$$

5) 因 $\Delta Z_{W850} = 7$, $\Delta Z_{E850} = 11$

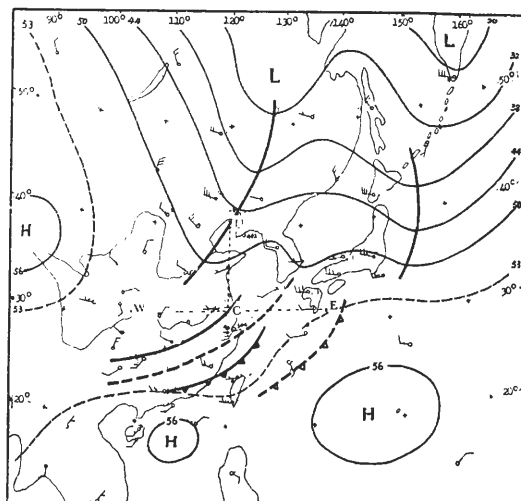
由圖一得加權值為 27

6) C 點北邊 600 哩之 U 點，其溫度為 -6°C ，而 C 點之溫度為 4°C ，則 C、U 兩點之溫度差為：

$$\Delta T_{850} = 4 - (-6) = 10^{\circ}\text{C}$$

7) 因加權值為 27, $\Delta T_{850} = 10$

由圖三得 C 點未來 24 小時內平均南移時速為 7 哩，而 24 小時之南移距離為 $7 \times 24 = 168$ 哩，即約 2.5 個緯度。其速率相當緩慢，與 28 日 0000Z 之位置相比較甚為接近，此即為緩慢冷鋒之例。

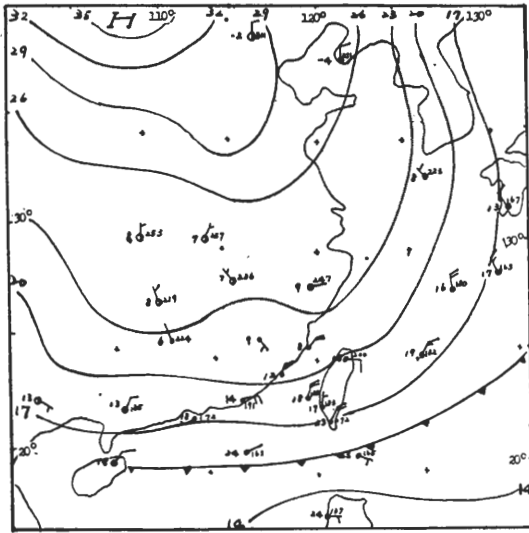


圖六 六十一年十二月二十七日 0000Z 850 mb 圖
(冷鋒斷線為二十八日地面冷鋒之實際位置，斷線為二十八日 0000Z 850 mb 之槽線)

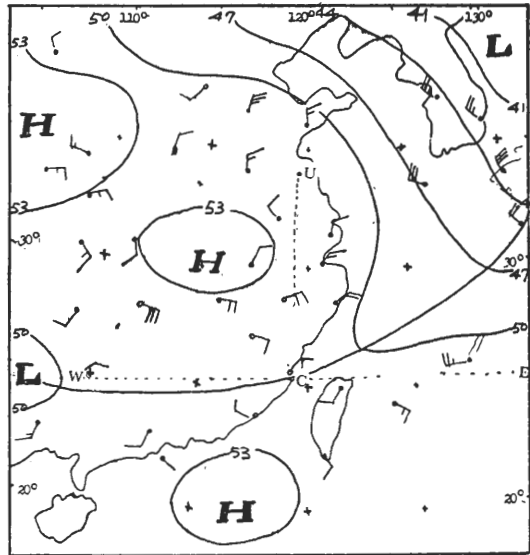
Fig. 6. 850mb chart (0000Z 27 December 1972)

例(四)，民國六十三年三月九日晚有一冷鋒通過臺灣地區；自十日起，全省均為陰雨濛濛的天氣，尤其北部及東北部地區，陰雨的天氣竟持續了五天之久（十日至十四日），給人之感覺，猶如已進入梅雨季節。若對地面天氣圖加以分析，發現地面高壓已自蒙古向東南伸展〔見圖七(A)〕，理論上，臺灣未來應是受移動性高壓影響之天氣型，天氣應好轉才對；然若應用「冷鋒移動速度的客觀預測圖」（圖三），依據上述方法，對 850mb 圖〔圖七(B)〕加以分析，可得如表三所列之結果，由此可發現位於東南沿海地區的槽線，於未來 24 小時的平均南移時速祇有 2 哩而已，即此槽線近似呈滯留狀，由此可預測，臺灣的天氣於短期間內，將不會有好轉的機會。

由此實例，可知：冷鋒移動速度的客觀預測圖，亦可適用於滯留鋒，以預測其有無南移之可能。



圖七 (A) 六十三年三月十日 0000Z 地面天氣形勢圖
Fig. 7: (A) Surface synoptic chart (0000Z 10 March 1974)



圖七 (B) 六十三年三月十日 0000Z 850 mb 圖
Fig. 7: (B) 850mb chart (0000Z 10 March 1974)

表三：六十三年三月十日 0000 Z 預測冷鋒的移動速度表

Table 3: The forecasted speed of the cold front at 0000Z 10 March 1974.

850mb 槽線				訂正係數	H _w	H _E	H _C	ΔZ _w	ΔZ _E	加權值	T _C	T _U	ΔT ₈₅₀	預移測速 (mi/hr)	備註
°N	°E	°N	°E												
29	120	25	116	0.96	508	510	514	-6	-4	25	3	-2	5	2	滯留

例(五)，於三月至五月，當冷鋒接近臺灣地區，若來自太平洋的海洋氣團與來自大陸的極地氣團之勢力相當時，則冷鋒將在東南沿海或臺灣附近滯留，以致臺灣地區成為持續性的陰雨天氣。但當海洋氣團的勢力超過極地氣團時，則冷鋒將向北移，此亦可由 850 mb 圖得證；因此時 850mb 槽線南側之北向氣流均比北側之南向氣流強盛，根據「冷鋒移動速度」之原理，則冷鋒勢必北移而變成暖鋒，臺灣地區的陰雨天氣將可暫時停止，而出現短暫的好天氣。

民國六十三年三月十五日即為冷鋒北移變成暖鋒，而使臺灣出現短暫好天氣的實例。根據三月十四日 1200Z 之地面圖〔圖八 (A)〕分析，地面高壓已移

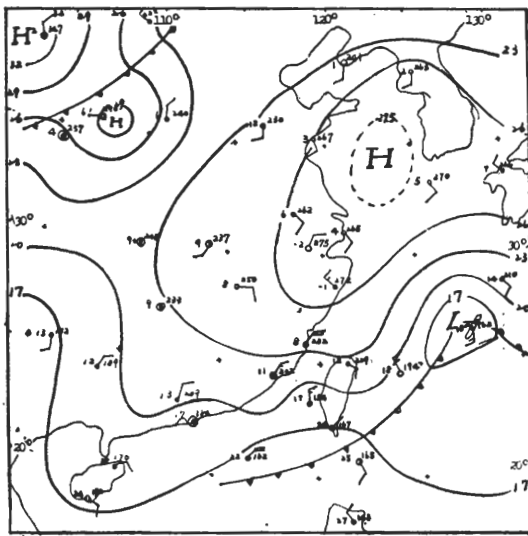
到黃海，鋒面位於臺灣東方海面至巴士海峽一帶；然 850mb 圖顯示臺灣地區為高壓所籠罩〔圖八 (B)〕，而於東海有一東西向的橫槽，應用「冷鋒移動速度的客觀預測圖」對冷鋒之移動作一預測（如表四所示），發現冷鋒於未來 24 小時之移速為負值，此表示地面冷鋒必定轉弱，有變成暖鋒之可能，以致持續五天之久的陰雨將可暫停；實際的天氣亦如所預測。但十五日晚起由於極地氣團的勢力再度增強，所以冷鋒於十六日凌晨又南下，使臺灣再出現陰雨的天氣。

由此實例，可知：冷鋒移動速度的客觀預測圖，亦可用來預測冷鋒是否會北移，進而預報臺灣的天氣是否會有由壞轉好的機會。

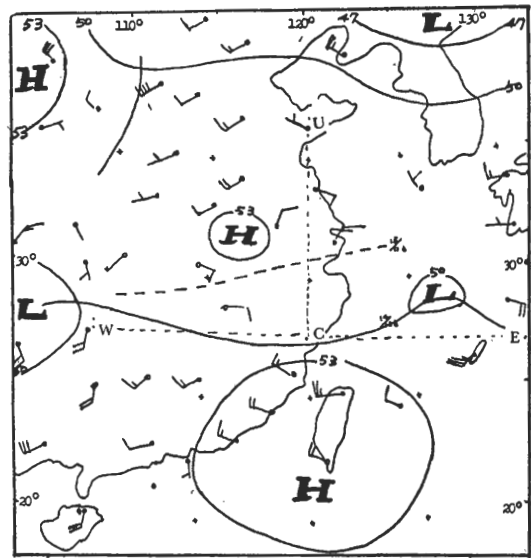
表四：六十三年三月十四日 1200 Z 預測冷鋒的移動速度表

Table 4: The forecasted speed of the cold front at 1200Z 14 March 1974.

850 mb 槽線				訂正係數	H _w	H _E	H _C	ΔZ _w	ΔZ _E	加權值	T _C	T _U	ΔT ₈₅₀	預移測速 (mi/hr)	備註
°N	°E	°N	°E												
27	120	25	110	0.93	506	523	526	-19	-3	20	6	3	3	-2	北移轉為暖鋒



圖八 (A) 六十三年三月十四日 1200Z 地面天氣形勢圖
Fig. 8: (A) Surface synoptic chart (1200Z 14 March, 1974)



圖八 (B) 六十三年三月十四日 1200Z 850mb 圖
Fig. 8: (B) 850mb chart (1200Z 14 March 1974)

(三) 客觀預測圖之評估

筆者曾以 1972 年 10 月至 1973 年 5 月，共計 7 次的冷鋒資料，逐次的用「冷鋒移動速度之客觀預測圖」（圖三）加以驗證，而得到下列四點結果：

1. 由圖三求得冷鋒的預測移動速度與實際移動速度的誤差為實際移動速度的 20%，此表示使用圖三求得冷鋒的預測速度之準確率為 80%。其計算法如下：

$$\frac{\sum | \text{預測移動速度} - \text{實際移動速度} |}{\sum (\text{實際移動速度})}$$

2. 使用圖三求得冷鋒的預測速度之平均誤差為每小時 2.4 哩，而最大誤差為每小時 10 哩。

3. 將 37 次冷鋒的預測移動速度與實際移動速度逐次的相互比較，而可求得預測速度之誤差次數（於 24 小時中，每小時平均速度的差距為 ± 3 哩），如表五所示。由此可知，預測速度之誤差平均以每小時 0~2 哩（即每天約 1 個緯度左右）所出現的次數為最高。

4. 表六為使用圖三求得 37 次冷鋒的預測移動速度和實際移動速度之次數的比較，根據此表，我們可求得預報得失的頻率分配。由表六所示，冷鋒的預測速度與實際速度相同者，即預報完全符合者共有 27 次，故使用圖三求得冷鋒移速的預測次數之準確率為 73%。

表五：37 次冷鋒的預測速度於 24 小時內之誤差分配表（1972 年 10 月至 1973 年 5 月）

Table 5: Frequency distribution of average errors of 24-hour forecasts (December 1972~May 1973)

次 數 誤 差 mph	預測速度 mph						合 計 (次)
	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	
0~2	5	8	6	5	0	1	25
3~5	0	2	4	1	2	0	9
6~8	0	0	0	2	0	0	2
9~10	0	0	1	0	0	0	1

表六：使用客觀預測圖求得37次冷鋒的預測速度和實際速度之次數比較 (1972年10月至1973年5月)

Table 6: A comparison of actual and forecasted speeds (December 1972~May 1973)

次 數 實際速度	預測速度 mph							合 計 (次)
	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30		
0~5	4	0	0	0	0	0	4	
6~10	1	9	2	0	0	0	12	
11~15	0	1	7	2	0	0	10	
16~20	0	0	1	5	0	0	6	
21~25	0	0	1	1	1	0	3	
26~30	0	0	0	0	1	1	2	
合 計 (次)	5	10	11	8	2	1	37	

四、冷鋒降水之客觀預報

(一) 冷鋒降水之理論

根據研究 [6]，冷鋒附近發生降水多寡的因素有二：冷鋒活躍之強度為其一，暖氣團中水汽含量之多寡為其二。於是冷鋒過境時的降水現象即可利用此作為預報參數，而加以預測，現詳述如下：

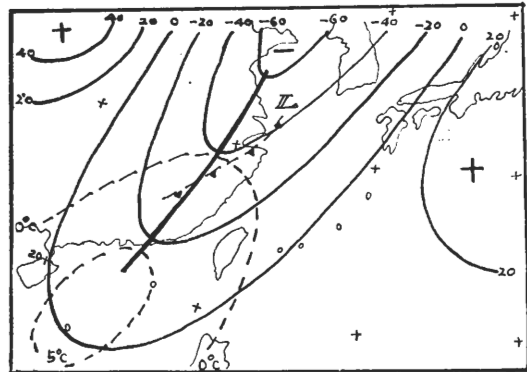
1. 冷鋒活躍之強度

鋒面活躍與否，雖可以氣流運行之方向確定之 [6]，但無法以明確之數值表明其強弱程度，於日常天氣預報之作業時，實感困難。唯若細察 850mb 面天氣圖，當氣流由北轉南時，地面氣壓與 850mb 面高度常會有顯著的低降。南風愈強，850mb 高度降低愈速，故若計算 850mb 面於過去 24 小時內下降之數值，即可表示暖氣流北上之強度。於強活躍冷鋒前，850mb 面 24 小時之等變高線，常如鋒面附近之等壓線呈槽型。等變高線之槽愈深，北向暖氣流亦愈強。如鋒前並無等變高線之槽存在，且其高度有增加之現象，則此冷鋒之活躍性較為微弱，於此冷鋒通過時，將無降水現象發生。

至於繪製 24 小時 850mb 等變高線時，高度差以 20 重力位公尺為宜，先畫零等變高線，次畫 ± 20 ， ± 40 ，如圖九至圖十二中之細實線，而粗實線表示等變高線之槽線。等變高線之負值愈大，冷鋒活躍之強度愈強；此時，若暖空氣中之水汽含量充足，則等變高線為 -20 重力位公尺以下之地區，於冷鋒通過時，必有豐沛之雨量。

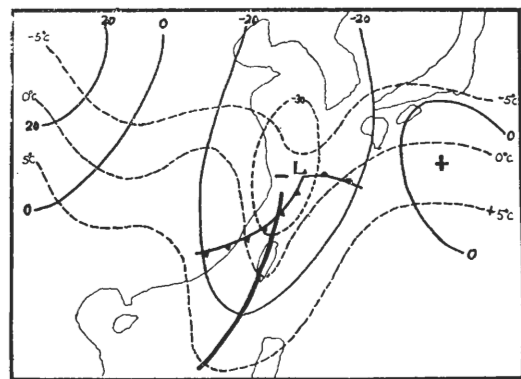
2. 暖氣團中之水汽含量：

暖氣團中水汽含量之多寡為冷鋒過境時發生降水現象之必要因素。因冷鋒雖屬活躍，但鋒面附近暖氣



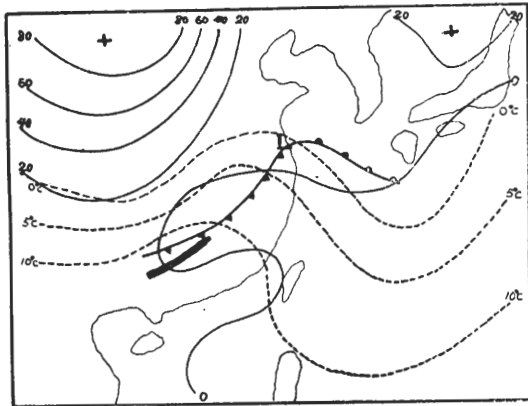
圖九 五十七年一月十一日 1200Z 至十二日 1200Z 850 mb 24小時之變高線圖 (段線為十二日 1200Z 850 mb 之等露點線)

Fig. 9. 850mb 24-hour ΔH chart at 1200Z 11~12 January 1968.



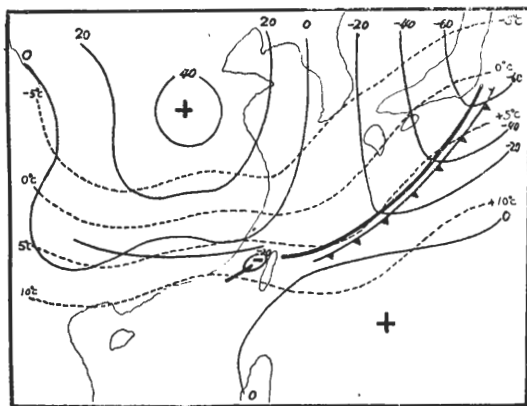
圖十 六十一年十二月二十六日 0000Z 至二十七日 0000Z 850mb 24小時之等變高線圖 (段線為二十七日 0000Z 850 mb 之等露點線)

Fig. 10: 850mb 24-hour ΔH chart at 0000Z 26~27 December 1972)



圖十一 六十一年十二月十日 0000 Z 至十一日 0000Z 850mb 24小時之等變高線圖 (段線為十一日 0000Z 850 mb 之等露點線)

Fig. 11: 850mb 24-hour ΔH chart at C000Z 10~11 December 1972.



圖十二 六十一年十二月十七日 0000 Z 至十八日 0000Z 850 mb 24小時之等變高線圖 (段線為十八日 0000Z 850mb 之等露點線)

Fig. 12: 850mb 24-hour ΔH chart at 0000Z 17~18 December 1972.

圖內若無適量之水汽存在，仍無降水之可能。有時，水汽雖豐，但鋒面活躍性微弱，亦無降水現象。

當 850mb 層的溫度露點一致時，水汽含量之多寡，可以 850mb 面上之露點確定之。凡 850mb 面上之露點小於 0°C 時，雖有強烈之冷鋒通過，亦無降水，故 0°C 等露點線乃為鋒面降水區之分界線。圖九至圖十二中之段線，即為等露點線。豐沛之雨量常發生於露點 10°C 或 10°C 以上，且與等變高線之槽線相疊之地區。

由上所述，可知冷鋒降水之多寡，可用 850mb 面上的露點確定，故於冷鋒影響臺灣的二十四小時前與地面冷鋒對應的 850mb 槽前之最大露點和冷鋒降水的強度，應有一定的關係。

筆者依據此關係，而應用 1967 至 1973 年影響臺灣天氣的 163 次冷鋒資料 [7] 加以分析並統計，求得 850mb 槽前之最大露點和臺北、臺中、臺南三地 24 小時降水量，降水頻率之比較表 [如表七和表十所示]，由此可得下列四點結果：

(1) 臺灣地區因受冷鋒影響而引起的降水頻率和其平均日降水量與 850mb 槽前之最大露點值成正比例。但當 850mb 槽前之最大露點值超過 16°C 以上時，由於此時之溫度亦相當高，以致冷鋒之活躍性反而不強，於是冷鋒所引起的降水頻率及平均日降水量亦相對減少。

(2) 當 850mb 槽前之最大露點值低於 0°C 以下時，則無降水的可能，此乃因此時的冷鋒屬乾冷鋒，水汽含量較少之故。

(3) 當冷鋒通過臺灣地區時，臺北發生降水的機會高過臺中，而臺中發生降水的機會又高過臺南。

(4) 在此六年期間，臺灣地區計有 15 次鋒面雷雨發生 (如表十一所示)；四月及五月為鋒面雷雨最易出現的時候，此時，中南部的雨量往往比北部還要多，此乃因當冷鋒接近臺灣海峽時，常誘導溫濕的西南氣流進入中南部地區，而造成雷雨。

表七：850mb 槽前之最大露點和臺北日雨量之比較 (1967~1973)

Table 7: Relationship between reported 850mb maximum dew points and 24-hour rainfalls at Taipei

站名	日露點	日雨量					合計 (次)
		< 1 mm	1~5 mm	6~10 mm	11~20 mm	21mm 以上	
臺	0°C 以下	1	0	0	0	0	1
	0~5°C	4	3	1	0	0	8
	6~10°C	18	28	5	4	3	58
北	11~15°C	15	20	7	7	8	67
	16°C 以上	2	11	3	5	8	29
	合計 (次)	40	72	16	16	19	163

資料來源：中央氣象局

表八：850mb 槽前之最大露點和臺中日雨量之比較 (1967~1973)

Table 8: Relationship between reported 850mb maximum dew points and 24-hour rainfalls at Taichung

站名	日 露 點	日 雨 量					合 計 (次)
		< 1 mm	1~5 mm	6~10 mm	11~20 mm	21mm 以上	
臺	0°C以下	1	0	0	0	0	1
	0~ 5°C	5	3	0	0	0	8
	6~10°C	42	10	3	3	0	58
	11~15°C	41	10	7	2	7	67
中	16°C以上	16	5	1	0	7	29
合 計 (次)		105	28	11	5	14	163

資料來源：中央氣象局

表九：850mb 槽前之最大露點和臺南日雨量之比較 (1967~1973)

Table 9: Relationship between reported 850mb maximum dew points and 24-hour rainfalls at Tainan

站名	日 露 點	日 雨 量					合 計 (次)
		< 1 mm	1~5 mm	6~10 mm	11~20 mm	21mm 以上	
臺	0°C以下	1	0	0	0	0	1
	0~ 5°C	6	2	0	0	0	8
	6~10°C	45	9	1	3	0	58
	11~15°C	46	10	4	4	3	67
南	16°C以上	17	5	1	3	3	29
合 計 (次)		115	26	6	10	6	163

資料來源：中央氣象局

表十：850mb 槽前之最大露點和臺北、臺中、臺南三地之降水頻率 and 平均日降水量之比較 (1967~1973)

Table 10: Relationship between pre-trough maximum dew points frequencies and 24-hour rainfalls

站名	臺 北		臺 中		臺 南	
	降 水 頻 率 (%)	平均日 降 水 量 (mm)	降 水 頻 率 (%)	平均日 降 水 量 (mm)	降 水 頻 率 (%)	平均日 降 水 量 (mm)
0°C以下	0	0	0	0	0	0
0~ 5°C	50	4	38	3	25	1
6~10°C	71	6	30	5	23	5
11~15°C	77	10	40	13	31	10
16°C以上	93	15	45	20	48	16

資料來源：中央氣象局

表十一：臺灣地區發生鋒面雷雨之統計 (1967~1973)

Table 11: Frontal thunderstorm in the Taiwan area

年	月	日	日 雨 量 (mm)		
			臺 北	臺 中	臺 南
1968	3	30	38	29	44
1968	5	26	23	47	58
1969	5	20	9	70	35
1969	5	24	12	54	45
1970	5	10	23	47	12
1970	5	25	5	34	21
1970	5	31	76	—	—
1971	5	29	12	10	20
1972	4	8	44	10	1
1972	5	10	45	25	—
1972	5	20	30	32	43
1972	12	18	32	10	4
1973	4	2	32	38	20
1973	4	12	3	3	1
1973	5	18	42	30	6

資料來源：中央氣象局

(二) 冷鋒降水的預報實例

因冷鋒降水的強度，隨冷鋒活躍之程度及暖氣團中之水汽含量而有所不同，故李爾 (Riehl) [8] 曾依冷鋒降水的強度及其降水的持續時間，而將冷鋒降水分為三類：A. 無降水 (或雨跡)，B. 持續較長時期的降水，C. 陣雨或雷雨。至於其預報方法，可依據前述之預報參數行之。茲各舉例說明如下：

1. 無降水 (或雨跡) 之預報實例

圖九為五十七年一月十一日 1200 Z 至十二日 1200 Z 間 24 小時 850mb 等變高線圖。由該圖所示，850mb 等變高線之負值很大，表示此冷鋒相當活躍。然因冷鋒正好位於 0°C 等露點線附近，表示此暖氣團內並無適量的水汽存在，由此可預測當此冷鋒通過臺灣地區時，將無降水之可能既使降水亦祇微量而已。事實上，亦如我們所預測，表十二即為一月十三日當冷鋒過境時，臺灣各地的降水量。

表十二：五十七年一月十三日臺灣各地雨量一覽表 (mm)

Table 12: Rainfalls of various stations of Taiwan on 13 Jan. 1968

站 名	基隆	宜蘭	臺北	新竹	臺中	臺南	高雄	恆春	花蓮	臺東
雨 量	0	0.1	0	0	0	0	0	0.3	5.6	0

資料來源：中央氣象局

2. 持續較長時期的降水實例

圖十為六十一年十二月二十六日 0000 Z 至二十七日 0000 Z 間 24 小時 850mb 等變高線圖。

由此圖之等變高線分佈可知，雖然於東海地區有顯著的等變高線之槽區，但由露點溫度線分佈可知，於等變高線之槽區臺灣附近的露點溫度均低於 0°C，故無豐沛之水汽存在，且此鋒面之移動速度甚為緩慢（每日約二個半緯度而已——詳見前面所述之範例）；於臺灣地區，鋒面雖於二十八日上午過境，但並無雲雨，直至下午，北部地區雲量始增多；於 28 日夜間，北部地區始略有雨量；二十九日全省於此冷鋒影響下，呈陰雨天氣，至三十一日轉好；二十八日至三十一日全省各地雨量如表十三所示。

表十三：六十一年十二月二十八日至三十一日臺灣各地雨量一覽表 (mm)

Table 13: Rainfalls of various stations of Taiwan from 28 to 31 Dec. 1972

站名	基隆	宜蘭	臺北	新竹	臺中	嘉義	臺南	高雄	恆春	臺東
28日	8	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
29日	11	4	10	12	9	10	2	0	0	2
30日	14	13	8	3	9	3	0.6	0.5	0	3
31日	2	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0.2

資料來源：中央氣象局

3. 陣雨或雷雨之預報實例

(1) 陣雨

圖十一為六十一年十二月十日 0000 Z 至十一日 0000 Z 間 24 小時 850mb 等變高線圖，此與圖十正好相反。由圖十一所示，雖然冷鋒附近之露點溫度均在 5°C 以上，即水汽含量尚豐，但由其等變高線之分佈可知，此冷鋒活躍之程度相當微弱，且為快速之冷鋒（詳見前面所述之範例）。故當冷鋒通過時，除有局部陣雨外，並無顯著之鋒面雨。表十四為十二月十二日臺灣各地雨量之紀錄。

表十四：六十一年十二月十二日臺灣各地雨量一覽表 (mm)

Table 14: Rainfalls of various stations of Taiwan on 12 December 1972

站名	基隆	宜蘭	臺北	新竹	臺中	嘉義	臺南	高雄	恆春	臺東
雨量	7	0.4	1	0	0	0	0	0	0	0

資料來源：中央氣象局

(2) 鋒面雷雨

圖十二為六十一年十二月十七日 0000 Z 至十八日 0000 Z 間 24 小時 850mb 等變高線圖。等變高線之槽線由日本南方海面向臺灣本島伸展，且於臺灣海峽中另有一等變高線之小槽，顯示東南沿海地區有強盛的暖氣流存在，且於 18 日 0000 Z 時，此區之露點皆在 10°C 左右，故水汽豐沛，若按冷鋒運行之預測速度，此冷鋒繼續以一天八個緯度之速度南移（見前面所述之範例），則此冷鋒過境時，必沛然而雨，且此等變高線於臺灣海峽北部有一呈尖銳之小槽，似有發生雷雨之可能。事實上，當此冷鋒於 18 日通過臺灣北部時，新竹曾於 15 點 35 分，桃園於 15 點 45 分，臺北於 16 點 40 分下雷雨，並且臺北縣三峽附近曾下冰雹，所幸未造成災害。

至於十八日臺灣各地雨量如表十五所示。

表十五：六十一年十二月十八日臺灣各地雨量一覽表 (mm)

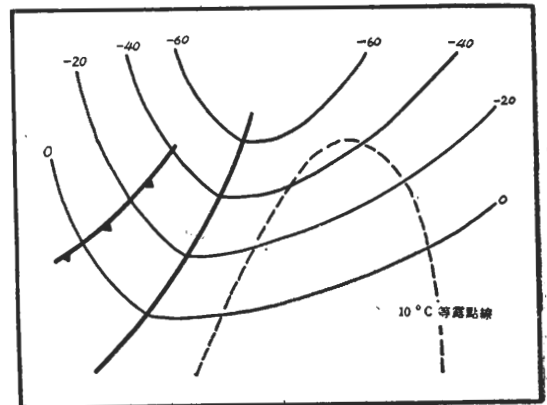
Table 15: Rainfalls of various stations of Taiwan on 18 December 1972

站名	基隆	宜蘭	臺北	新竹	臺中	嘉義	臺南	高雄	恆春	臺東
雨量	30	45	32	27	10	14	4	0	0.3	0

資料來源：中央氣象局

根據懷亨 (Whiting) [9] 之研究，鋒面過境是否有雷雨發生，其可由 850mb 24 小時等變高線和 850mb 10°C 等露點線之關係決定之。而其組合型式，可歸納為四類：如圖十三(A)至圖十三(D)。

圖十三(A)為無鋒面雷雨之型式：冷鋒位於等變高槽之後側，而 10°C 等露點線位於該槽線之前

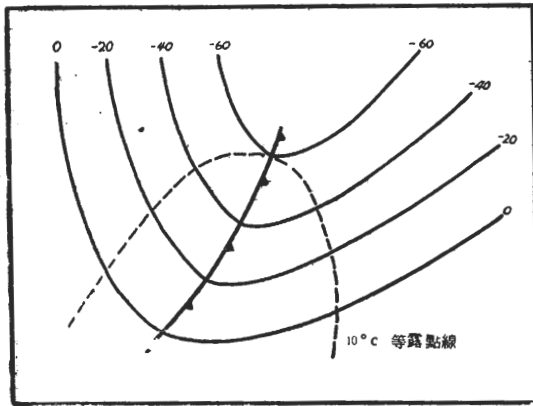


圖十三(A) 無鋒面雷雨型 (取自 J. J. George)

Fig. 13: (A) Non-frontal thunderstorms (after I. J. George)

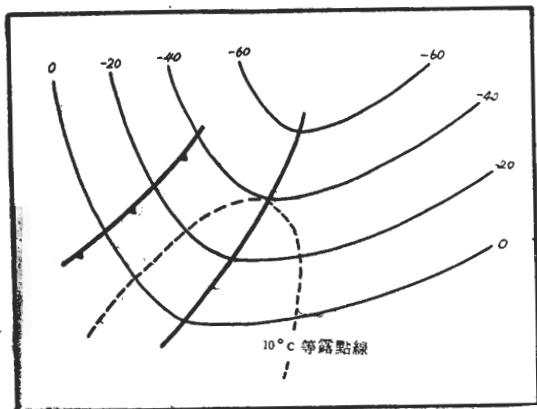
方，按統計，於此種氣壓場型之分佈下，地面冷鋒在 15 小時內無足夠之速度抵達濕空氣區域（ 10°C 等露點線所圍之區域），使其上升，故此冷鋒附近於 15 小時內並無雷雨發生；至於 15 小時後是否有雷雨形成，則於繪製 12 小時後之天氣圖時始可確定。

圖十三 (B) 為有鋒面雷雨之範式：冷鋒正好與等變高線之槽相重合，且 10°C 等露點線亦位於槽區，於此種氣壓場型之分佈下，有豐沛的水汽，且冷鋒相當活躍，故當冷鋒過境時，常有雷雨發生。



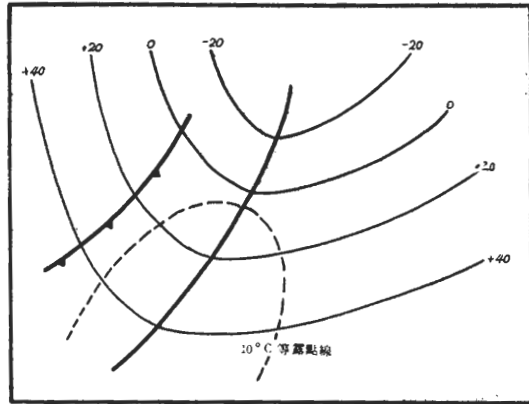
圖十三 (B) 有鋒面雷雨型 (取自 J. J. George)
Fig. 13 (B): Frontal thunderstorms
(after J. J. George)

圖十三 (C) 為鋒前有飆線之範式：此圖所示者，為於鋒面區無雷雨，但於鋒前可能有飆線形成，但因暖濕之空氣與等變高線之槽線相疊，故當冷鋒接近時，於鋒前不穩定之氣流內，可能形成帶狀之雷雨羣，即飆線。



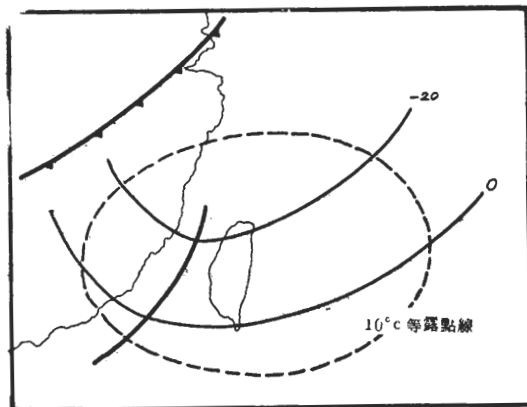
圖十三 (C) 鋒前有飆線型 (取自 J. J. George)
Fig. 13 (C): Pre-frontal squall-line
(after J. J. George)

圖十三 (D) 亦為無鋒面雷雨之範式：此圖之型式雖與圖十三 (A) 相若，但部份等變高線為正，顯示鋒面之強度微弱，當冷鋒通過時，除雲量增加外，並無雷雨發生。

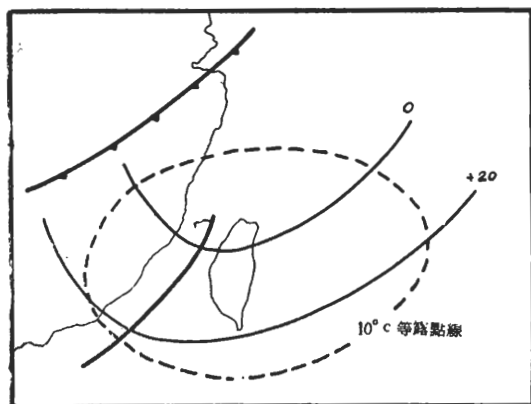


圖十三 (D) 無鋒面雷雨型 (取自 J. J. George)
Fig. 13: (D) Non-frontal thunderstorms
(after J. J. George)

圖十四為臺灣區鋒前雷雨型；圖十五為臺灣區鋒前小陣雨型，此兩種天氣圖型式相似，850mb 之露點線幾乎相等，唯 850mb 面上 24 小時之等變高線顯有不同，圖十四內為 -20GPM 而圖十五內則為零，故當冷鋒接近時，前者有鋒前雷雨發生，且有較多之雨量；而後者僅有短暫之陣雨，雨量較少。



圖十四 臺灣區鋒前雷雨型 (取自 Prof. Griffith Wang) (五十一年二月二十日 0000Z)
Fig. 14: Pre-frontal thunderstorms over Taiwan (after Prof. Griffith Wang)



圖十五 臺灣區鋒前小陣雨型(取自 Prof. Griffith Wang) (五十一年三月二十一日 1200Z)

Fig. 15: Pre-frontal showers over Taiwan (after Prof. Griffith Wang)

五、結 論

臺灣於冬半年期間，通常每隔三天到五天，有時七天，總有一冷鋒過境；而每當冷鋒過境時，均會替臺灣地區帶來天氣變化。為了使預報人員能對冷鋒過境之時間及冷鋒降水作一完全客觀、簡便且又準確的預報，俾提供有關單位及各界人士參考，進而有助於國家的農經建設，故筆者對「冷鋒移動速度定量預報」的可能性以及冷鋒降水的預報作了深入之研究，得到下列結論：

1. 冷鋒移動速度可用鋒面兩邊 850 毫巴面上氣流之強弱（即梯度風強度之差）及鋒面北方 850 毫巴面上之溫度梯度作為預報參數，而求得「冷鋒移動速度的客觀預測圖」決定之。

2. 以 1972 年 10 月至 1973 年 5 月共計 37 次的冷鋒資料利用「冷鋒移動速度的客觀預測圖」逐次的加以驗證，所得效果甚為良好，且其使用步驟及方法相當簡便，任何預報人員無需預報工作經驗均能自行使用，故其可作為冬半年定量預報中國東南沿海地區冷鋒移動速度之方法。

3. 冷鋒降水有三種類型：無降水（或祇有雨跡），持續性的降水及鋒面雷雨或陣雨。

4. 冷鋒附近發生降水多寡之因素有二：

(1) 冷鋒活躍之強度：可用 850mb 24 小時等變高線之數值來表示其強弱。

(2) 暖氣團中水汽含量之多寡：可以 850mb 面上之露點值確定之，即 850mb 之 0°C 等露點線為鋒面降水之分界線，而降水頻率與平均日降水量與 850mb 槽前的最大露點值成正比例。

5. 鋒面雷雨的預測，可用 850mb 24 小時之等變高線和 850mb 10°C 等露點線之組合型式確定之。

致 謝

本論文之研究題綱及研究項目承蒙中國文化學院地學研究所王崇岳教授和國立師範大學地理研究所所長劉鴻喜教授指導擬定，賜閱參考書籍；撰述期間，復蒙王、劉兩教授和臺灣大學大氣科學系主任亢玉璽教授撥冗逐字細閱，校正錯誤及提供許多寶貴意見，筆者至深初感。此外在研究過程中，承蒙中央氣象局副局長吳宗堯教授、戚啓勳教授、徐明同博士等提供諸多珍貴資料及研究方法供筆者參考，筆者由衷感激。於撰稿時，蒙中國文化學院地質學系林蘭貞講師協助整理資料及繕寫，使本研究得以順利完成，筆者於此謹向以上諸位師長致最深的謝意。

參 考 文 獻

1. 王崇岳 客觀預報法之實例——中國沿海地區冷鋒移速之預測 中國文化學院地學系天氣學講義
 2. 正中書局編輯委員會 中國氣候概論 p. 70~77 及 p. 85~88 正中書局印行。
 3. Joseph J. George (1960) Displacement of Surface Cold Fronts Weather Forecasting For Aeronautics p. 195~215.
 4. 俞家忠 (1973) 臺灣冷季鋒面及其相伴天氣預報之研究 中國文化學院氣象系第 2 期 p. 10~17.
 5. 王崇岳 客觀預報法之實例——中國沿海地區溫帶氣旋之發展及其運行之預測法 中國文化學院地學系天氣學講義
 6. 王崇岳 冷鋒過境時降水現象之預測法 中國文化學院地學系天氣學講義
 7. 陳正改 中國東南沿海地區冷鋒之移動速度及其伴生天氣之研究 p. 13 中國文化學院地學研究所氣象組碩士論文
 8. H. Riehl 原著 之杰譯 降水預報的研究 氣象學報 第一卷第一期 p. 56~58.
 9. R. M. Whiting 原著 陳良暉譯 鋒前曉線之客觀預報法 氣象學報第五卷第一期 p. 35~38.
- 作者通信處：中央氣象局