

伴隨寒潮爆發之冷鋒過境高雄國際機場 之鋒面合成結構分析

陳 泰 然
國立台灣大學大氣科學系

林 銓
民航局氣象中心

(中華民國七十一年三月二十五日收件，四月二十日訂正)

摘 要

本文選取 1969 - 1977 年 12 - 2 月 17 個伴隨冷鋒過境之寒潮個案，利用高雄小港機場地面逐時觀測，以分析冷鋒過境前後之空間與時間合成中幅度結構。結果發現溫度、露點與氣壓在冷鋒過境前後有顯著變化，鋒前 3 - 4 個緯度之風速（特別是北風分量）驟增為鋒面過境之前兆。霧、霾發生機率在鋒面過境前後變化不大且幾皆較台北機率高，能見度亦然且較台北為小，顯示高雄有較台北為高之空氣污染。此外，鋒面過境台北與高雄之氣象條件與天氣現象亦做比較。

一、前 言

陳與林 (1981) 曾分析 1967 ~ 1977 年 12 ~ 2 月伴隨冷鋒過境台北松山機場之 22 個寒潮個案，並以冷鋒過境當天與前一天或後一天松山機場最低溫度差定義三種不同速率之寒潮：(1) 快速寒潮為兩日差達 7.1°C 或以上者，(2) 中速寒潮為兩日差在 5.1°C 與 7.0°C 之間者，(3) 慢速寒潮為兩日差在 3.1°C 與 5.0°C 之間者。任與蔡 (1981) 以氣象局所測得台北站最低溫度連續下降 48 小時，即前後 3 天，達 4°C 或以上者稱為寒潮， $4^{\circ} \sim 5.9^{\circ}\text{C}$ 者為中寒潮， $6^{\circ} \sim 7.9^{\circ}\text{C}$ 者為強寒潮， 8°C 以上者為極強寒潮。陳與林所分析之 22 個個案中，有 20 個屬於任與蔡之強或極強寒潮，且快速寒潮均為（或接近）極強寒潮。他們分析這三種不同速率寒潮之冷鋒過境前後 12 小時氣壓與溫度合成分佈，發現快速寒潮因鋒面前後氣壓梯度最大，因而風速大且冷空氣平流快，故最低溫度下降快速。

陳與林亦以準拉格藍基座標分析這 22 個個案冷鋒過境松山機場所伴隨之中幅度氣象條件與天氣現象，發現除溫度外，其餘各項氣象要素包括風、氣壓、露點、相當位溫、霧、霾、能見度、雲幕、降水及垂直風切等在鋒面過境前後均有顯著改變。

本文即在利用這些冷鋒過境台北所伴隨之寒潮個案，採用以移動鋒面為準之準拉格藍基座標系統，分析冷鋒過境高雄小港機場前後各氣象要素之中幅度合成結構，以了解其特徵，並進一步與鋒面過境台北之結果比較，以了解冷鋒在台灣北部及南部所伴隨氣象因子與天氣要素之異同。

二、所用資料與分析過程

為了解寒潮爆發所伴隨冷鋒過境台北與高雄之鋒面中幅度結構異同，故所選個案與陳與林 (1981) 之個案相同，唯高雄小港國際機場正式成立於 1969 年 7 月，故所選個案僅有 1969 ~ 1977 年 17 個（台北所選 22 個）。使用之地面資料係以民航局所屬高雄小港機場氣象台之逐時觀測為主，分析過程所使用之天氣圖則同時參考民航局氣象中心、中央氣象局以及日本氣象廳等三個單位所繪製者。本文目的在於求取寒潮所伴隨冷鋒過境前後之合成結構，首先確定各冷鋒過境小港機場時刻，之後確定過境前後冷鋒與機場之垂直距離，最後

17 個個案之地面各項重要氣象要素按鋒面過境不同時間間距（1 小時）與空間間距（1 度緯度）做合成結構分析。

表一為所選 17 個個案冷鋒過境小港機場時刻，小港機場冷鋒過境當天與次日或前一日最低溫度

差、冷鋒過境松山機場前後2天最低溫度差以及冷鋒過境兩地之時差。在這17次冷鋒僅有4次2日最低溫度差台北小於高雄，其他13次均為台北大於高雄，亦即南部之寒潮最低溫度變化速率約有20%大於北部。若按陳與林之分類，則過境小港機場之冷鋒所伴隨17次寒潮，有11次屬於慢速寒潮（ $3.1^{\circ} \sim 5^{\circ}C$ ），2次中速寒潮（ $5.1^{\circ} \sim 7^{\circ}C$ ），無快速寒潮，另有4次最低溫差小於 $3^{\circ}C$ 。在11次慢速寒潮中對於台北而言則有5次屬於慢速，4次屬於中速，2次屬於快速，亦即高雄之慢速寒潮約有一半屬於台北之中速或快速寒潮。而在這

17個個案中，有7個在台北為中速寒潮抵達高雄6個變為慢速寒潮，4個在台北為快速寒潮抵達高雄有3個變為慢速寒潮，亦即在北部之中速及快速寒潮抵達南部約有80%將變性而成慢速寒潮。這些冷鋒抵達高雄時間平均約落後台北6小時，移速最快者僅落後1~2小時，最慢者達17小時，落後時間之長短（即冷鋒移速）與2日最低溫度差在兩地間之差異並無明顯相關。顯然不論鋒面移速快慢，上述北部之中快速寒潮將有80%抵達南部時已變性成為慢速寒潮。

表一：1969~1977年隆冬（12月~2月）17個伴隨冷鋒過境台北之寒潮爆發個案其鋒面過境高雄小港機場時間（地方時）、最低溫度差及兩地過境之時間差，括弧內為氣象局公園路前後3天最低溫度差。

次序	冷鋒過境時間	小港機場前後2天最低溫度差(°C)	該個案松山機場前後2天最低溫度差(°C)	落後冷鋒過境松山機場時數
(1)	1969.12.7, 2000	3.3	6.3	4
(2)	1970.1.4, 1600	3.7	5.0	7
(3)	1970.1.30, 0000	4.6	8.4	2
(4)	1970.12.2, 1800	1.7	3.5	1
(5)	1971.1.20, 1500	4.9	5.0	5
(6)	1972.2.26, 1500	4.4	5.2	1
(7)	1972.12.12, 0500	2.6	6.6	2
(8)	1972.12.28, 1700	4.9	8.3	9
(9)	1973.12.21, 1600	3.8	7.0	3
(10)	1974.2.23, 2000	4.2	3.2(6.9)	15
(11)	1974.12.3, 2100	4.4	3.8(6.2)	14
(12)	1974.12.18, 0400	2.4	8.3	4
(13)	1975.2.7, 1800	3.4	5.5	17
(14)	1975.12.20, 1600	2.9	7.0	3
(15)	1975.12.27, 0700	4.5	3.1(6.6)	4
(16)	1975.2.29, 0600	5.8	5.7(8.4)	4
(17)	1976.12.25, 2200	6.4	8.4	9

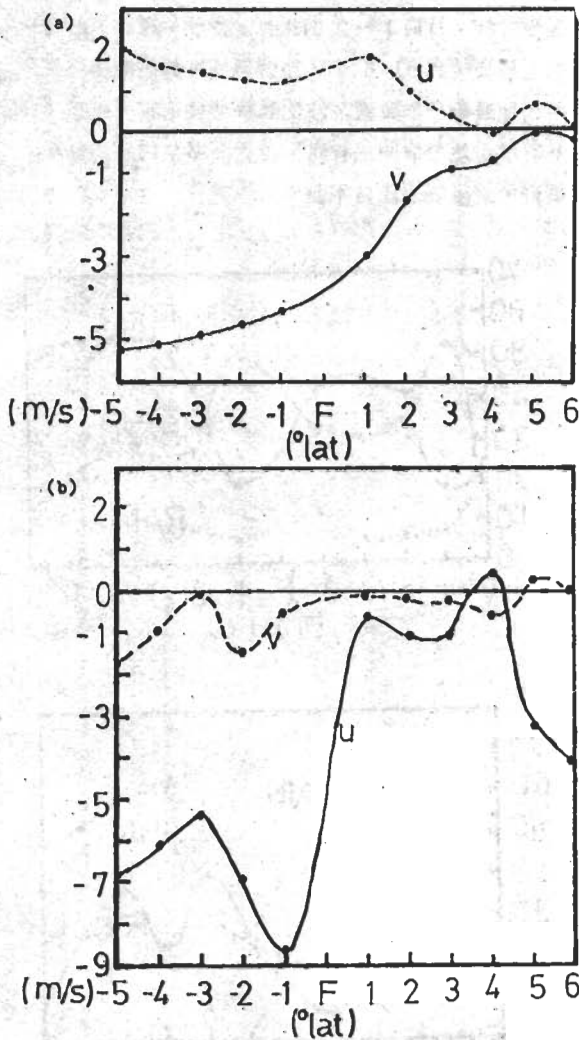


圖 1 : (a) 1969 年 12 月至 1977 年 2 月共 17 個高雄寒潮個案東西風 (u) 與南北風 (v) 之空間合成分佈。

(b) 22 個台北寒潮個案 (陳與林, 1981)。橫座標正值表鋒前緯度數, 負值表鋒後緯度數。

三、結 果

(一) 冷鋒過境前後之空間合成結構

採用移動冷鋒為參考座標之準拉格藍基座標系統, 將高雄小港機場 17 個寒潮個案之地面逐時觀測資料, 包括: 東西風分量、南北風分量、氣壓、溫度、露點、雲幕、能見度、霧、霾及降水量等, 歸入相對於冷鋒所在位置之適當空間間距內 (以 1 個緯度劃分), 求取鋒面合成結構如下。

1 風場

圖 1 a 為冷鋒前後東西風 (u) 與南北風 (v) 分量之分佈。不論鋒前、鋒後, 除於鋒前 4 個緯度處出現極微弱之東風分量外, 其餘皆為西風分量。冷鋒接近時由鋒前 4 個緯度之極微弱東風分量 (0.1 ms^{-1}) 轉變為西風分量, 並逐漸增強至鋒前 1 個緯度處的最大值 (1.8 ms^{-1}), 冷鋒過境之後, 西風稍為減弱, 但仍維持在 1.5 ms^{-1} 左右。除鋒前 5 個緯度處外, 南北風分量均比東西風分量強, 且不論鋒前、鋒後皆出現北風分量。自鋒前 5 個緯度起至鋒後 5 個緯度之間, 北風分量均在增強, 而增強速率可約略分成三個階段, 即鋒前 3~5 個緯度緩增, 鋒前 3 個緯度至鋒後 1 個緯度速增, 鋒後 1~5 個緯度仍繼續緩慢增強。鋒前 3 個緯度至鋒後 1 個緯度之北風驟增從 0.6 ms^{-1} 升至 4.5 ms^{-1} , 約增加 7~8 倍之多。顯然冷鋒過境, 北風與西風皆迅速增強, 但以北風增強最為顯著。此點與 1 b 所示台北之情形迥異, 台北以東風增強較顯。

2 能見度

圖 2 a 為冷鋒過境前後能見度之分佈情況。一般而言, 鋒前、鋒後能見度變化不大, 均在 5~7 公里之間, 鋒前 6 個緯度處之能見度最差為 5200 公尺。鋒面接近能見度較佳, 特別是在鋒前 2 個緯度至 1 個緯度處約增加 1000 公尺。鋒前 1 個緯度處之能見度最佳為 6900 公尺, 冷鋒過境後能見度又稍漸轉劣, 鋒後 4 個緯度處之能見度降為 5300 公尺。此亦與 2 b 所示台北情況有別, 台北鋒後能見度顯著轉佳。

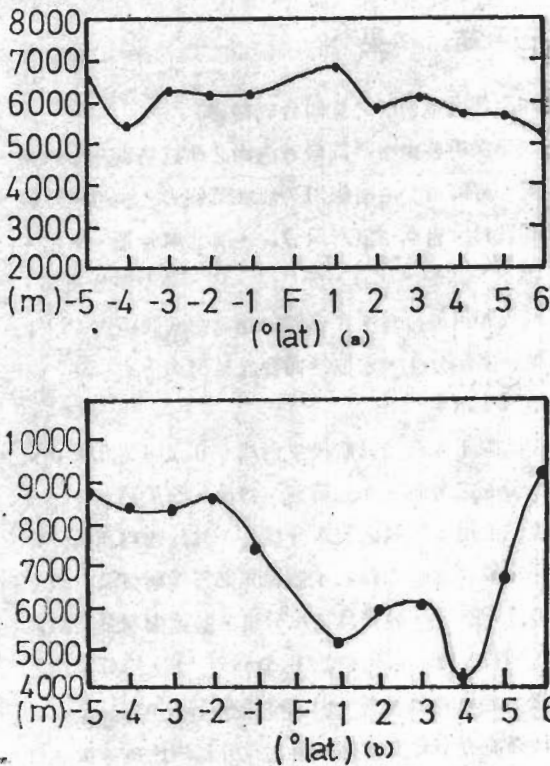


圖 2：同圖 1，但為能見度。

3. 天氣

圖 3 a 為發生霧、霾及降水之機率。不論鋒前或鋒後，降水機率均小，唯鋒後一股皆高於鋒前。鋒前 2 個緯度至鋒後 4 個緯度機率稍高在 10% 左右，鋒後 5 個緯度之降水機率最高亦僅為 25.6%，鋒前 3~6 個緯度之降水機率為~0%。比較高雄 12 月 (10.3%)、1 月 (13.4%)、2 月 (14.3%) 之逐日降水機率氣候值月平均 (陳, 1977)，顯然這些伴隨寒潮之冷鋒並非導致南部降水之主要天氣系統。此亦與 3 b 所示台北情況有別，台北鋒面過境時及鋒後降水機率大增。

霧之發生機率在鋒前 3~6 個緯度間大於

50%，鋒面接近時機率降低，自鋒前 3 個緯度到鋒前 1 個緯度機率由 54.6% 降至 18.8%，鋒面過境後再增高，鋒後 4 個緯度處增為 52.5%。此與圖 3 b 所示台北情況有異，台北鋒面前後機率均較高高雄為小，且鋒面過境之後機率驟降。

霾之發生機率在鋒前 6 個緯度處最小，鋒面接近逐漸增加，鋒前 1~2 個緯度處驟增，鋒前 1 個緯度處達最高值為 51.6%，冷鋒過境及鋒後機率降低。此種機率分佈與霧之發生機率呈負相關，與圖 3 b 所示台北分佈顯然有異，台北機率在鋒面接近時驟降，之後幾乎維持不變。

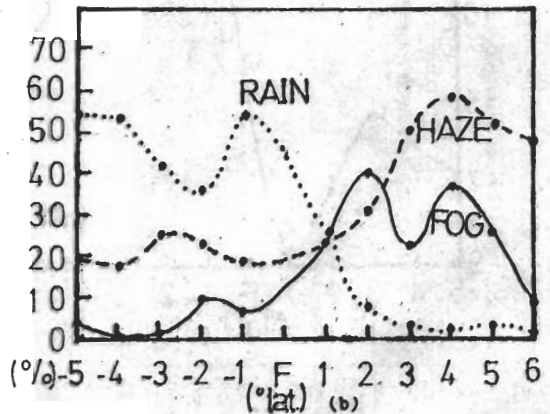
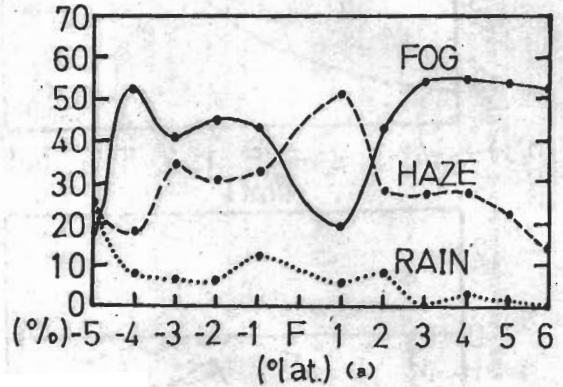


圖 3：同圖 1，但為霧 (FOG)，霾 (HAZE) 及降水 (RAIN) 之發生機率。

4. 雲霧

圖 4 a 為雲霧高及雲霧之發生機率分佈情形。一般而言，除有小變動外，雲霧出現機率距鋒前愈遠愈小，鋒面過境時驟增，由鋒前 1 個緯度之 48.4% 增至鋒後 2 個緯度之 86.2%。雲霧高在鋒前 6 個緯度處即開始下降至鋒後 5 個緯度處達最低，即由 10,000 呎左右降低到 4,900 呎。此兩種分

佈十分一致，即當雲幕發生機率較大時雲幕較低，
機率較小時則雲幕較高。此種分佈與圖 4 b 台北情
況相近，唯台北雲幕較低且發生機率較大。

接近則上升至鋒前 1 個緯度處達最高。冷鋒過境溫
度急降，鋒後溫度繼續下降。此種溫度變化與傳統
鋒面定義一致，而與圖 5 b 台北所示情形不同，台

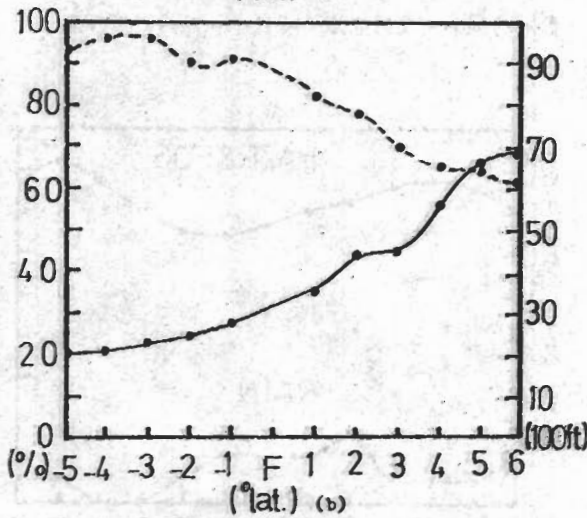
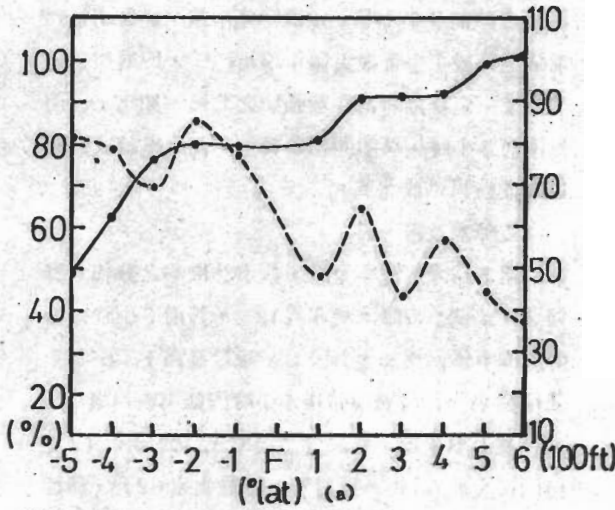


圖 4：同圖 1，但為雲幕高(實線)
及雲幕發生機率(虛線)。

5. 氣象要素

圖 5 a 為氣壓、溫度與露點的分佈。氣壓於鋒
前 6 個緯度起即已開始逐漸下降，在鋒前 2~4 個
緯度急速下降，1~2 個緯度處達最低。鋒後氣壓
升高，唯上升速率不如鋒前下降之快。此點與圖 5
b 台北所示變化相左，台北氣壓鋒後上升較鋒前下
降快速。鋒前溫度以距鋒面 4 個緯度處最低，鋒面

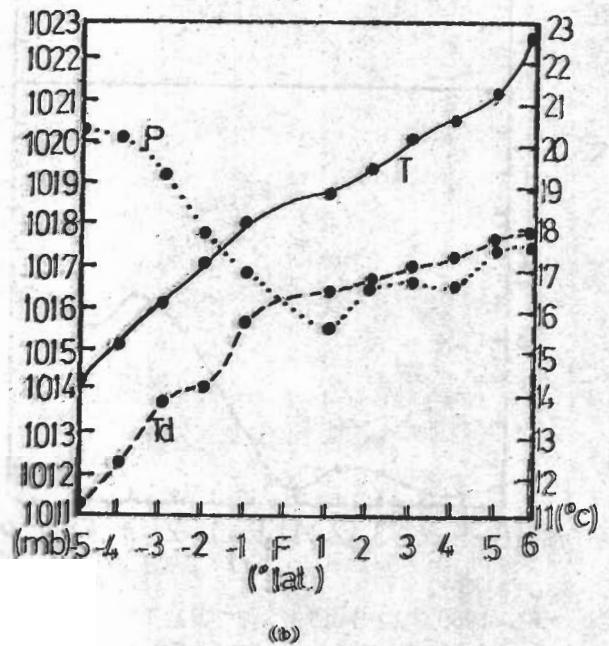
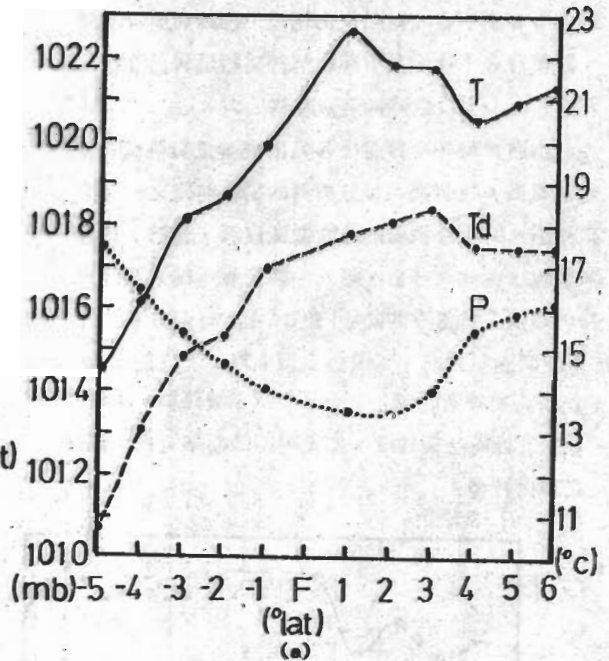


圖 5：同圖 1，但為氣壓(P)、溫度(T)
與露點(Td)。

北不論鋒前、鋒後，溫度均下降且下降速率相近。露點變化恰似溫度，在鋒前上升，但至距離鋒面3個緯度處達最高，然後開始緩慢下降，鋒面過境之後急速下降。此種分佈除在鋒前3~6個緯度之外，與圖5b所示台北露點變化相似，即鋒前緩慢下降，鋒後急速下降，其下降梯度鋒後約為鋒前3倍。

(二)冷鋒過境前後之時間合成結構

由前節得知冷鋒前後各氣象要素之分佈具有顯著之特徵，現將進一步分析鋒面過境前後之時間合成結構。將小港機場的地面觀測資料，包括：東西風分量、南北風分量、降水、霧及霾等歸入相對於冷鋒過境之適當時間間距內(以1小時劃分)，所取時間包括鋒前、鋒後各6個小時；平均而言冷鋒過境高雄較過境台北落後6小時，故鋒前6小時約相當於鋒前2個緯度。如此可得鋒面鄰近更小幅度之變化特徵。

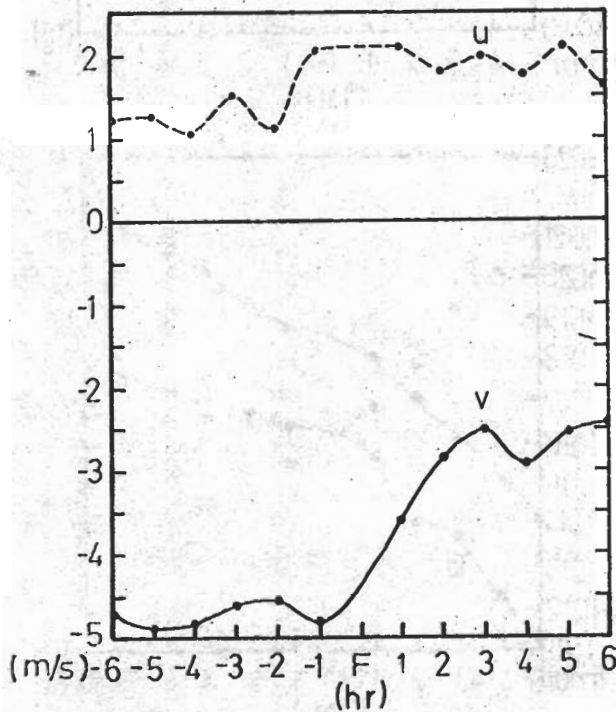


圖6：1969年12月至1977年2月共17個高雄寒潮個案東西風(u)與南北風(v)之時間合成分佈。橫座標正值表鋒前小時數，負值表鋒後小時數。

1 風場

圖6為東西風分量和南北風分量之分佈情形。不論鋒前、鋒後皆為西風，且鋒前與鋒面過境時之西風皆比鋒後大。此外，不論鋒前、鋒後皆出現北風，自鋒前3小時起，北風迅速增強，從 2.5ms^{-1} 增強至鋒後1小時最大值 4.9ms^{-1} ，約增加2倍，鋒後一直維持相當持續強勁之北風。如此，鋒面抵達前3小時，風即開始順轉，由西北風轉成鋒後之北北西風甚或北風。

2 降水及霧、霾

圖7為降水機率及霧、霾發生機率之分佈。鋒前3~4個小時降水機率為0%，鋒前3小時以後降水機率逐漸增加至鋒後2小時最高為17.6%，之後變小。鋒面過境前後4小時內雖有較高機率，但僅接近氣候值。霧霾發生機率在鋒面前後12小時內皆大於65%，鋒前5小時最大達82%，鋒面接近時變小，至鋒前1小時最小，冷鋒過後升高。

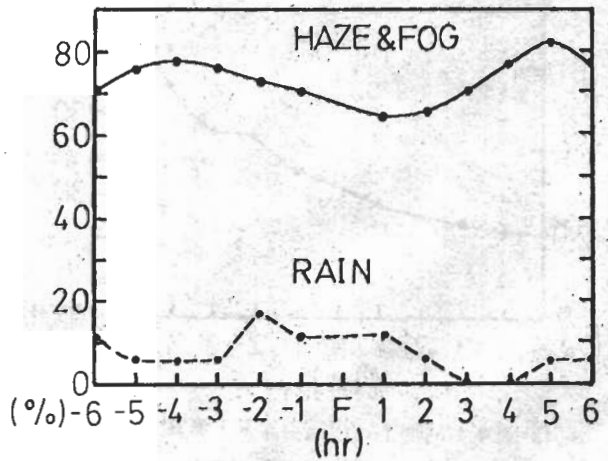


圖7：同圖6，但為霾與霧(HAZE & FOG)及降水(RAIN)之發生機率。

四、討 論

在台北松山機場伴隨寒潮之冷鋒過境，可由風場、氣壓與露點之變化來定義，而經常被用來定義鋒面之溫度却不適用，主要乃因鋒前雲霧發生機率高（60~90%），在白天阻隔太陽輻射而抑制氣溫上升，故鋒面未到氣溫即已開始下降（陳與林，1981）。在高雄小港機場鋒前雲霧發生機率較小，平均在50%，且溫度與雲霧機率呈負相關變化，即雲霧機率大時溫度低，機率小時溫度高。鋒前溫度變化趨勢為鋒面接近時溫度升高，鋒面過境溫度驟降，故溫度變化為鋒面過境之良好指標（圖4、5）。露點在鋒面過境時其梯度有顯著變化，恰似台北情況，鋒前緩慢下降，鋒後急速下降，其下降梯度鋒後約為鋒前3倍。鋒面過境前後氣壓降至最低，唯鋒前氣壓下降梯度較鋒後上升梯度為大，此點和台北相左，台北鋒後氣壓上升較鋒前下降快速。冷鋒過境台北以東風增加最為顯著，是鋒面過境之主要現象（陳與林，1981）。冷鋒過境高雄則不然（圖1），以北風增加最為顯著。西風與北風分量在鋒前3~4個緯度處即已開始急遽增加，西風於鋒面過境後趨於平穩，北風則仍繼續加強，鋒面前後北風分量均大於西風分量。因此，伴隨寒潮之冷鋒過境高雄可由溫度、露點與氣壓之變化來定義，而風速增強（特別是北風）則為鋒面過境之前兆。此種寒潮爆發時北風分量增強時間較冷空氣抵達時間為早的現象亦為南海寒潮爆發（北風分量驟增）之重要特徵（Chang et al., 1979），但其成因目前尚不清楚。

鋒面過境前後雲幕高及雲幕發生機率之變化均與台北相似，唯高雄雲幕較台北高，平均約高200~300呎，且發生機率較台北小，平均小20~30%，此表示低對流層較乾燥，故成雲機會較小，雲量較少。冷鋒過境高雄之降水機率雖有增加但不顯著，約與氣候值降水機率相當，此點與台北大不相同。台北鋒前降水機率很小（<10%），鋒面過境及鋒後機率大增至40~50%，鋒面過境前

後各一個緯度內機率即增加1倍（圖3）。高雄鋒面過境及鋒後降水機率並未顯著增加，顯然可歸因於其位於中央山脈下風區之地理位置，此區空氣較乾燥且冷空氣南行下沉變得較為穩定，故雖有鋒面擾動亦不易成雨。鋒面前後能見度變化不大，約在5~7公里，此和台北亦不相同，台北於鋒面過境後能見度大增，由鋒前5~6公里增加為7~9公里。一般而言，高雄能見度較台北為小且較不受鋒面影響，此可能指示高雄地區有較嚴重之空氣污染。此點亦和鋒面前後霧霾發生機率幾近相同者一致（圖3），在台北鋒後霧霾發生機率驟降，能見度大增，而在高雄鋒面前後霧霾發生機率並無太大區別，能見度變化亦小。鋒前1個緯度處霧之機率降至最低，霾之機率升至最高，此處溫度露點差最大達4.9°C（圖5），即相對濕度最小，此點亦指示空氣中有足夠污染物以提供凝結核，故在相對濕度太小不足以形成霧時亦將有霾出現。高雄小港機場位於高雄小港區，在市區東南約10公里處，周圍地勢低平，北望半屏山（海拔245公尺），西北遠眺壽山（海拔356公尺），西與西南則濱臨台灣海峽，距海約5公里，緊臨之西北方則有高雄臨海工業區，南與南南東方有中國造船廠和中鋼公司。冷鋒前後雖西北風加強，但因小港機場位於工業區之下風帶，因此能見度在鋒後未見好轉似可歸因於較嚴重的空氣污染。

五、總 結

陳與林（1981）分析1967~1977年10個隆冬（12~2月）22個寒潮爆發所伴隨冷鋒過境台北之中幅度合成結構，本文利用相同分析技術於高雄小港機場前後地面氣象要素，選取其中17個個案（1969~1977），求取冷鋒過境前後之合成結構，以了解其特徵及其與冷鋒過境台北之異同，結果可歸納如下：

1 冷鋒抵達高雄之時間落後過境台北之時間，最短1~2小時，最長達17小時，平均為6小時。鋒面移速快慢與前後2日最低溫度差在兩地之差

異無明顯相關。台北之中速與快速寒潮有 80% 轉變成高雄之慢速寒潮。

2 溫度變化為鋒面過境高雄之良好指標，露點與氣壓在鋒面過境前後有顯著變化，即鋒面過境可由溫度、露點與氣壓來定義。鋒前 3~4 緯度風速驟增（特別是北風分量）為鋒面過境之前兆。

3 鋒面過境台北以東風增加最為顯著，過境高雄則以北風增加最為顯著。

4 鋒面過境前後降水機率雖略有增加，但僅與氣候值相當，顯示這些伴隨寒潮之鋒面並非導致冬季降水之主要天氣系統。

5 鋒面過境高雄前後雲霧高較台北者為高，雲霧機率較台北者為低，此可能因在南部地區北方之乾冷空氣南行下沉，故較不易成雲。

6 鋒面過境高雄，其前後之霧與霾發生機率變化不大，台北則鋒後機率大減。過境高雄前後之水平能見度變化亦小，均在 5~7 公里，台北鋒後能見度則大增，由鋒前之 5~6 公里增加為 7~9 公里。此主要可能因小港機場位於高雄濱海工業區東南，處於盛行西北風之下風帶，故有較豐富之空氣污染物使然。

致 謝

本文為在國科會專案計畫 NSC - 69M - 0202-01(07) 支持下完成之部分研究成果。

參 考 文 獻

- 1 任立淪、蔡清彥，1981：台灣地區寒潮合成天氣型式之研究。大氣科學，8，67-79。
- 2 陳泰然，1977：台灣地區主觀機率天氣預報之氣候參考值分析。台大大氣科學系研究報告 Prob-Fore-001 號，85 頁。
- 3 陳泰然、林銘作，1981：伴隨冬季寒潮爆發之冷鋒過境前後松山機場氣象條件與天氣現象之合成研究。大氣科學，8，53-65。
- 4 Chang, C.P., J.E. Erickson, and K.M. Lau, 1979: Northeasterly cold surges and near-equatorial disturbances over the winter-MONEX area during December 1974. Mon. Wea. Rev., 107, 812-829。

**On the Composite Frontal Structure at Kaohsiung
International Airport during the Cold Front Passage
Associated with Winter Cold Air Outbreaks**

George Tai-Jen Chen

Department of Atmospheric Sciences
National Taiwan University

Getner Lin

Weather Central, CCA

Abstract

Seventeen cases of cold air outbreaks accompanying cold front passage, as defined by the changes of minimum temperature, are chosen during the period of December-February, 1969-1977. Data employed include surface observations at Kaohsiung International Airport and weather maps of Chinese Central Weather Bureau, Chinese Civil Aeronautics Administration and Japan Meteorological Agency. Data of these 17 cases are composited at various distances with respect to the moving cold front and are also composited at various times with respect to the time of frontal passage to reveal the mesoscale structure. Results show that there are significant differences ahead and behind the front for temperature, dew point and pressure. The sudden increase of wind speed, especially the northerly wind component, at $3-4^\circ$ latitude ahead of front presignifies the approaching of a cold front. The higher probability of fog and haze occurrence and lower visibility as compared to those at Taipei both ahead and behind the front indicate the higher air pollutant concentration at Kaohsiung. Also, comparison of the meteorological conditions and weather phenomena are made at Taipei Airport and Kaohsiung International Airport during the cold front passage associated with winter cold air outbreaks.