

高雄機場冬季雷雨與飛航安全之關係

楊正治

陳炳全

民航局飛航服務總台氣象中心

摘 要

一般而言，高雄機場冬季出現雷雨之機率較小，因此過去對於高雄機場之雷雨天氣現象之研究，多偏重於夏季氣團雷雨以及梅雨期間中尺度雷雨，然而，冬季之高雄機場，在某些特殊的天氣系統下，同樣可以出現激烈的雷暴雨天氣。

本文係利用民航局氣象中心製作之綜觀幅度天氣圖，探空曲線分析圖，雷達圖及日本氣象廳製作之數值分析圖、預報圖、GMS - II 衛星雲圖等，尋找造成高雄機場冬季雷雨之主要天氣類型，然後依不同天氣類型做個別分析，研究導致雷雨天氣現象的過程，以及激發雷雨之物理機制，進而探討其與飛航安全之關係。

研究結果發現：

一造成高雄機場冬季雷雨之主要天氣類型如下：

1. 鋒前東風波槽雷雨型。
2. 發展良好台灣低壓雷雨型。
3. 滯留鋒上波動雷雨型。
4. 活躍鋒面過境雷雨型。

二可能激發雷雨之物理機制計有：

1. 下對流層伴隨有強暖平流及潛在不穩定。
2. 中、上對流層有強冷平流自高層南下。
3. 中、低對流層槽線接近，波槽前正渦度平流隨高度增加。
4. 下對流層強風軸通過，造成強烈擾動。
5. 上對流層噴流條南下至高雄附近，造成高層強輻散場。

一、前 言

高雄機場冬季雷雨發生之頻率，根據 1970 ~ 1986 十七年高雄機場地面觀測資料之統計，總共發生 15 次，約佔高雄機場十七年雷雨總日數的百分之五。

高雄機場因有中央山脈屏障，冬季所受東北季風之影響較小，天氣良好為年中之乾季。因此，過去對於高雄機場之雷雨天氣現象之研究，較偏重於

夏季氣團雷雨以及梅雨期間中尺度系統雷雨。然而，冬季之高雄機場，在某些特殊的天氣系統下，同樣可以出現和夏季或梅雨期間，那麼激烈的雷暴雨天氣。如果把冬季高雄機場發生雷雨之天氣因子，和夏季或梅雨期發生雷雨的天氣因子相比較，則吾人仍可發現一些蛛絲馬跡，這些即是本文研究的重點。

本研究首先尋找造成高雄機場冬季雷雨之主要天氣類型，然後依不同天氣類型做個別分析，研究

導致雷雨天氣現象的過程，以及激發雷雨之物理機制，進而探討其與飛航安全之關係。

二、資料統計與分析

民航局總台氣象中心已將高雄機場氣象台十七年(1970~1986)地面觀測紀錄，儲存於電腦磁帶，研究人員選取其中冬季三個月(12~2月)，發生雷雨天氣現象之全部資料，利用PRIME-250電腦予以統計及分析並製作成表，藉供與民航有關各界參考，詳見表一。

高雄機場 1970~1986 年冬季雷雨統計表 表一

年	月	日	時間	最大風	最低層高度	最低雲基	最大雨量	雷雨持續時間
				(速/時)	(呎)	(呎)	(毫米)	(分)
1970	12	12	1330	070/10	1000	1500	25.0	33
			1400					
1972	1	20	0400	170/08	8000	1500	10.0	90
1972	12	21	1222	360/2200	600	800	7	160
			1312					
1972	2	14	0420	330/1200	700	1000	3.6	147
			0847					
1980	2	23	2143	330/07	1200	6000	2.0	77
			2210					
1982	2	28	0205	340/08	1800	2000	9.0	70
			0415					
1982	1	28	0833	130/04	2000	3000	7	49
			0822					
1983	1	29	1301	300/09	1800	1200	7	23
			1324					
1983	1	30	0008	040/05	1600	1600	12.0	58
			0006					
1983	1	30	0440	280/08	1600	1800	4.5	58
			1535					
1983	2	18	0000	330/2400	200	500	44.5	77
			1022					
1983	2	18	1305	320/16	2800	1000	3.6	10
			1324					
1983	2	26	0511	130/15	3200	3500	7	34
			1543					
1985	2	4	0738	020/08	1600	3000	1.5	60
			1336					
1985	2	9	1101	300/07	3000	2000	2.0	117
			1234					

由表一可見：

1. 冬季雷雨共計發生十五次。
2. 單一次雷雨發生時總降水量 > 20 mm 以上者，共計二次，最大降水量為 44.5 mm。
3. 單一次雷雨發生時其持續時間 ≥ 100 分鐘者，共計三次，最長者持續達 160 分鐘。
4. 雷雨期間能見度 ≤ 800 公尺者出現三次。
5. 雷雨期間雲幕高 ≤ 800 呎者出現二次。
6. 雷雨期間之平均風 ≥ 20 KT 及陣風 ≥ 30 KT 者有三次。

三、高雄機場冬季雷雨之主要天氣類型

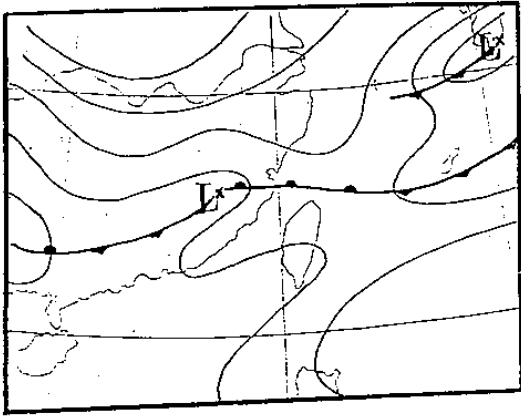
近十幾年來，國內對於台灣區冬季雷雨之研究報告，從早期林氏(1972, 1979, 1977)；王氏；戚氏(1972; 1974)等。近期陳氏(1982)；董氏(1982)；謝氏(1982)及李氏(1984, 1985)等，計有論文十多篇。

各文獻分析台灣區冬季雷雨，大都伴隨有(1)地面冷鋒或飆線，(2)高層冷平流，(3)低層噴流軸，(4)高層噴流條，(5)高空軸散等現象發生。研究人員為增加對高雄機場冬季雷雨之了解，就十七年綜觀幅度天氣資料加以分析，發現高雄機場冬季雷雨之天氣型態主要係受鋒面、低壓、波動、及高低層噴流等因素所支配。尤其高、低層噴流的位置，強弱及動向，更是決定雷雨大小及持續時間久暫的重要因素。

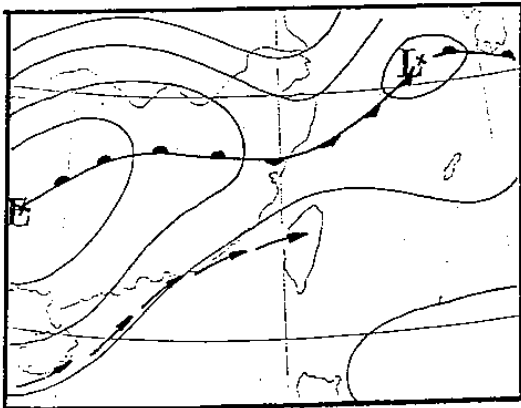
若以地面天氣圖為主，高空天氣圖為輔，配合其他有利雷雨發生的物理機制，可將高雄機場冬季雷雨發生之主要天氣型歸類如下：

(一)鋒前東風波槽雷雨型：冬季地面冷鋒來臨前，地面分裂高壓已經東移至 130° E 以東，從大陸沿海至琉球為一廣大暖濕鞍型場。此時，高空若有短槽從華南移進台灣上空，同時有低對流層強風軸通過高雄附近，則槽前暖濕空氣受低對流層動力作用輻合上升；斯時中對流層若有冷空氣沿鋒面下滑，在高層冷平流強迫抬升下，槽前暖濕空氣急速爬升導致雷雨發生。1983年1月28~30日，高雄機場連續三天出現雷雨即為此類型天氣之代表。根據統計，此類型雷雨之持續時間平均約為一個小時，惟雨量不大。然而，如果上對流層噴流條及冷平流伴隨南下配合，則雷暴雨將更激烈，持續時間更長，圖一~六為此類型雷雨之綜觀幅度天氣系統。

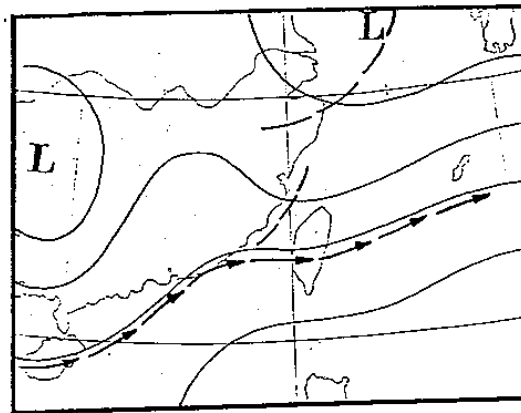
(二)發展良好台灣低壓雷雨型：自入冬以迄初春，台灣東方洋面至琉球群島，由於高壓迴流流經暖濕黑潮洋面，在暖平流強烈，有氣旋式曲率，氣壓梯度平緩及急峻的水平溫度場等有利條件下(王氏1970)，同時在 850hPa, 700hPa 有槽線移入，500hPa 有正渦度平流之配合，極易產生台灣低壓。



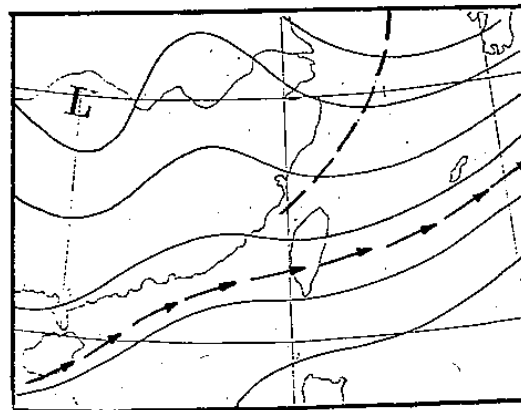
圖一 1983年1月30日 00Z SFC



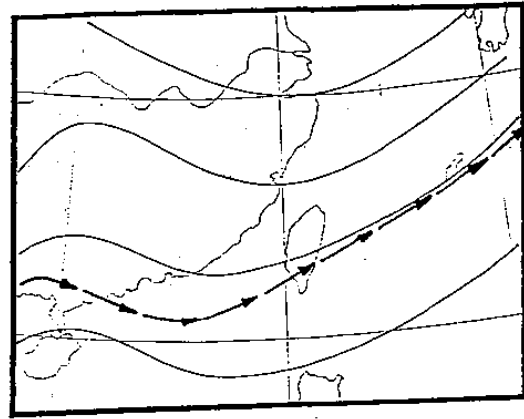
圖二 1983年1月29日 12Z 850 hpa



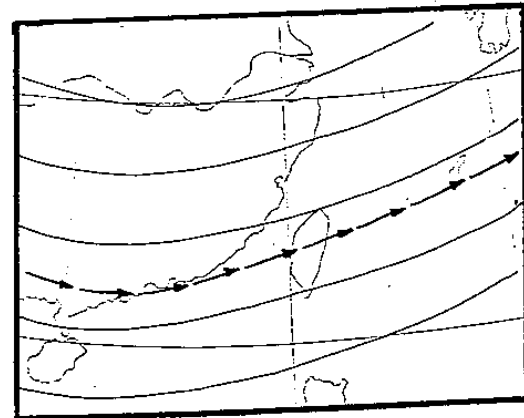
圖三 1983年1月29日 12Z 700 hpa



圖四 1983年1月29日 12Z 500 hpa



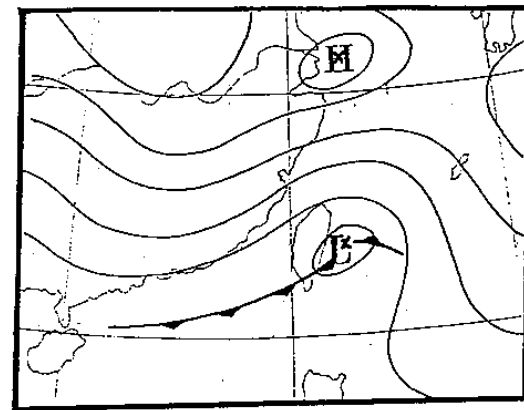
圖五 1983年1月29日 12Z 300 hpa



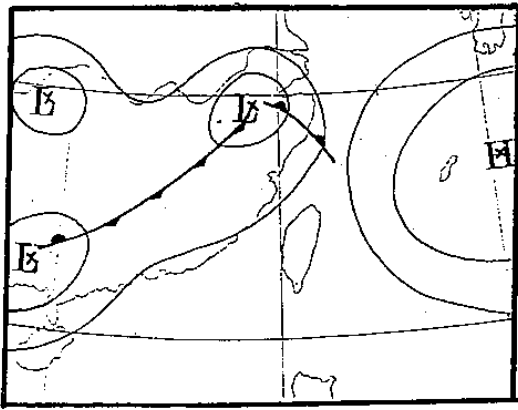
圖六 1983年1月29日 12Z 200 hpa

台灣低壓發展過程中，其環境條件如有(1)下對流層西南氣流大於 40 KT (2)高空正渦度平流在 $20 \sim 30 \times 10^{-6} \text{ Sec}$ (3)高層噴流條及冷平流接近時，則低壓發展良好，常伴隨鋒面及飈線。當其通過高雄機場，可為高雄機場帶來雷雨，天氣狀況也較惡劣。高雄機場過去十七年中，出現此類雷雨共有四次，尤以 1972 年 12 月 21 日一次，雷雨持續長達

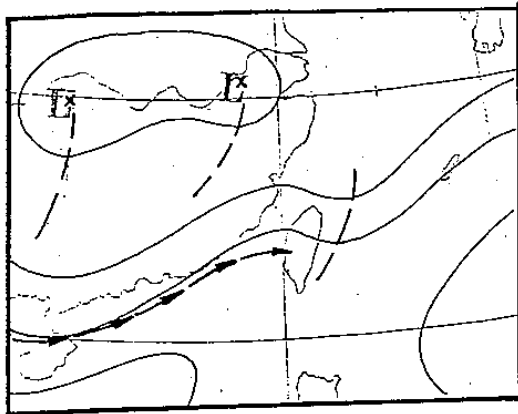
160 分鐘，能見度、雲幕高均低於高雄機場最低起降標準，可見一斑。圖七~十為此類雷雨之綜觀幅度天氣系統。



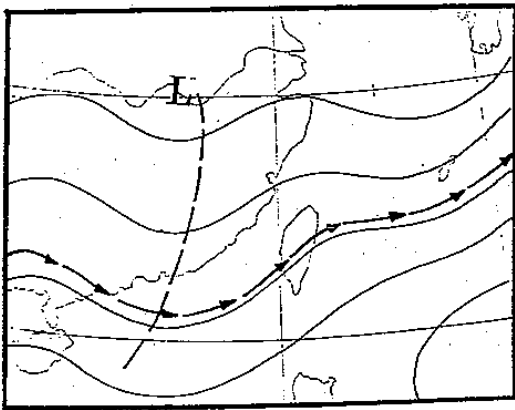
圖七 1972年12月21日 00Z SFC



圖八 1972年12月20日 12 Z 850 hpa



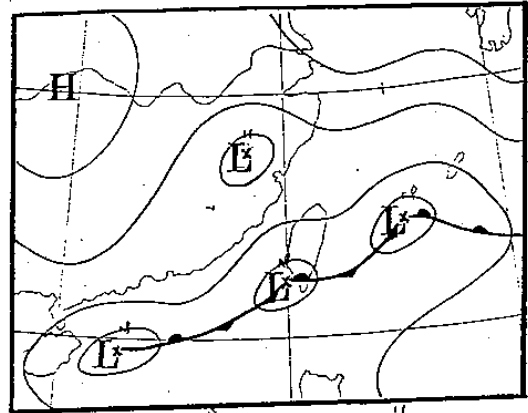
圖九 1972年12月20日 12 Z 700 hpa



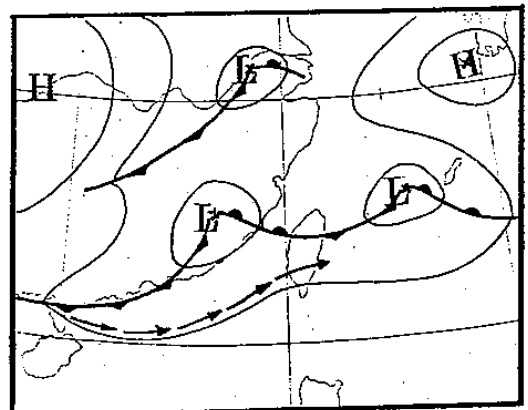
圖十 1972年12月20日 12 Z 500 hpa

(三) 滯留鋒上波動雷雨型：當極地變性分裂高壓，自大陸沿海東移至琉球以東海域，此時若滯留鋒仍在台灣南部附近，同時 850hPa 及 700hPa 有槽線接近台灣區，使 850 ~ 700hPa 上升運動在 3 mb/hr 或以上；高空正渦度在 $10 \sim 20 \times 10^{-6} \text{ Sec}$ ；則容易在滯留鋒上產生被動。當新生波在台灣南部附近發展，並向高雄機場移動，如果正值下對流層強風軸通過高雄上空，或高層噴流條南下位於高雄機場 2 個緯度以內（李氏 1985），則高雄機場

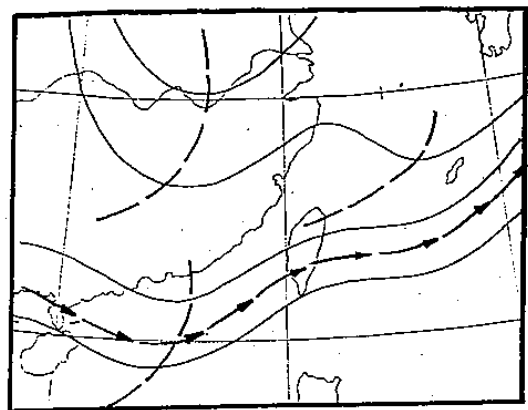
可能出現雷暴雨。1983 年 2 月 16 日下午，高雄機場風狂雨急，雷電交加，一小時內降水達 44.5mm 的大雷雨為其典型。圖十一~十六為此類型雷雨之綜觀幅度天氣系統。



圖十一 1983年2月16日 00 Z SFC



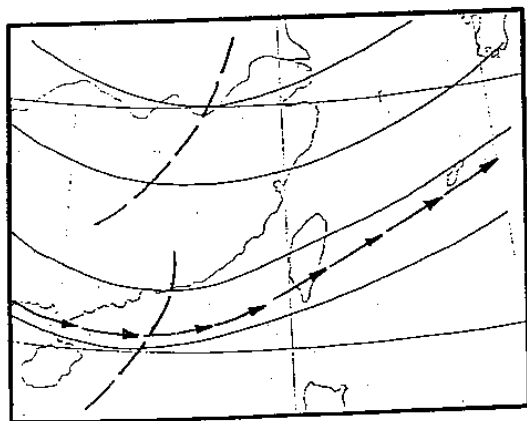
圖十二 1983年2月16日 00 Z 850 hpa



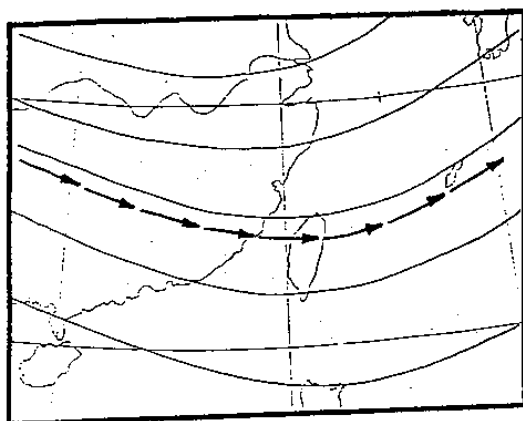
圖十三 1983年2月16日 00 Z 700 hpa

(四) 活躍鋒面過境雷雨型：冬季在中國長江中、下游，華南及東海一帶，因水汽充足，地形平坦廣潤，為鋒面孕育的極佳場所（王氏 1970）。冷鋒生成後，因寒潮爆發而南下，據統計台灣地區冬季裡平均每 4 ~ 6 天有一次冷鋒過境，其中因溫度，氣壓梯度特別陡峻之急行冷鋒，所佔比例約為十分

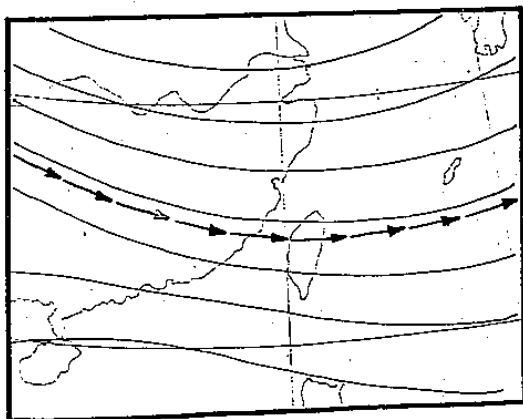
致雨(劉氏 1980)，因此中對流層以上伴隨之冷平流，及因高層噴流條通過所造成之高層輻散場之強弱，為決定雷雨大小及持續時間久暫之主要因素。高雄機場過去十七年中，僅發生二次此類型雷雨，而且從台灣北部隨鋒面南下，勢力逐漸減弱，圖十七~廿二為此類型雷雨之綜觀幅度天氣系統圖。



圖十四 1983年2月16日00 Z 500 hpa



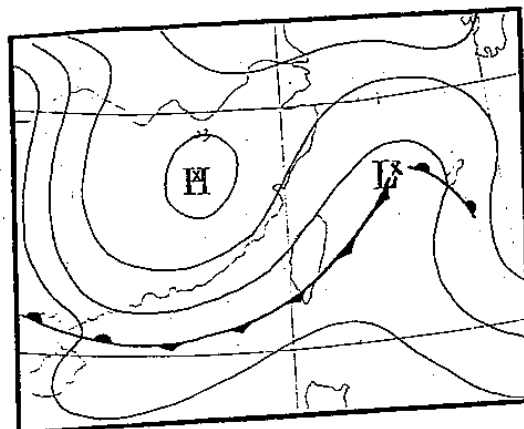
圖十五 1983年2月16日00 Z 300 MB hpa



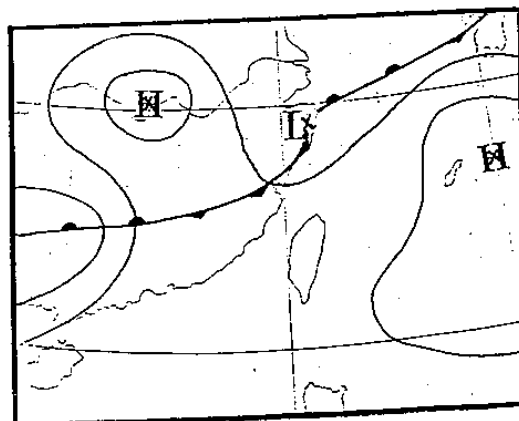
圖十六 1983年2月16日00 Z 200 hpa

之一(謝氏 1982)，此類冷鋒常為台灣北部地區帶來颶線及雷雨。然而，當其繼續南下，因潛能釋放，地形摩擦而速度減緩，俟其到達高雄地區都為強弓之末。除非特別強烈之寒潮推動冷鋒南下時，伴隨之高層噴流條到達高雄附近，可為高雄機場帶來雷雨。

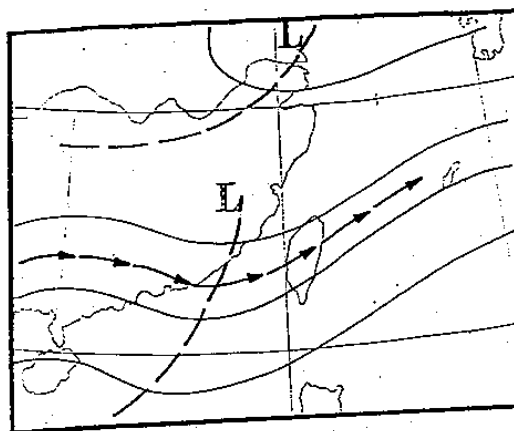
水汽充足，氣層不穩定為純冷鋒型雷雨之特徵(李氏 1985)。一般而言，此類型雷雨係因斜壓位能之轉換為動能，把下對流層潮濕水汽舉升凝結



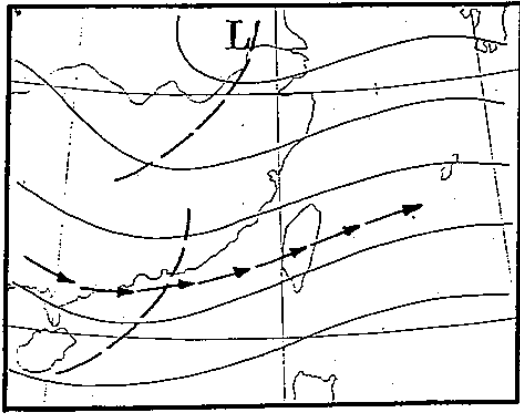
圖十七 1980年2月23日12 Z SFC



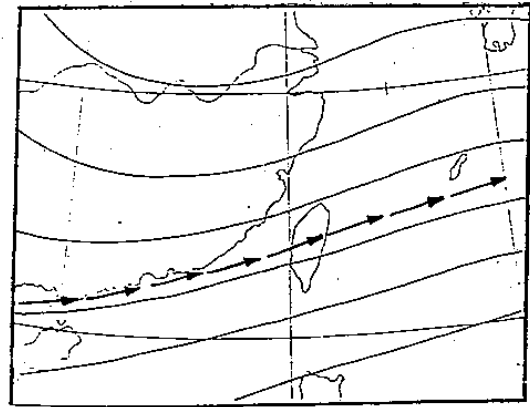
圖十八 1980年2月23日12 Z 850 hpa



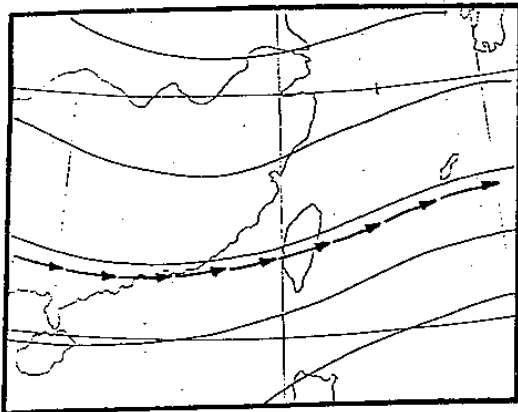
圖十九 1980年2月23日12 Z 700 hpa



圖廿 1980年2月23日 12 Z 500 hpa



圖廿二 1980年2月23日 12 Z 250 hpa



圖廿一 1980年2月23日 12 Z 300 hpa

四、激發高雄機場冬季雷雨之物理機制

前一節裡吾人討論到高雄機場冬季雷雨發生之主要天氣類型及發展過程，至於激發雷雨之物理機制，本節裡仍依各種不同之天氣類型，從導致雷雨發生之大氣環境條件出發，以定量或定性之分析方法，尋找可能激發雷雨之各種物理機制，並分類比較，供爾後預報參考，詳見表二。

從表二中可發現：

(一)Holtan (1972) 在討論Omega 方程中，認為上升運動與渦度平流隨高度增加有成正比之關係，本次研究中發現東風波槽雷雨型，其雷雨發

高雄機場冬季導致雷雨之物理機制調查表

表二

物理機制 雷雨型	渦度 10 ⁻⁶ Sec	溫度平流		垂直運動		水平運動		穩定度		水汽含量			
		冷	暖	上升	下降	輻合	輻散	Q _e	KI	SFC %	850 T-Td	700 T-Td	500 T-Td
東風波槽 雷雨型	± 0	中對流 層	下對流 層 上對流 層	下對流 層 上對流 層	中對流 層	下對流 層 中對流 層	上對流 層	400 MB 以下對流 性不穩定 400 MB 以上中性 穩定	≥ 34	> 80	< 3°C	> 10°C	> 10°C
發展良好台 灣低壓雷雨 型	> +20	上對流 層	下對流 層 中對流 層	下對流 層 中對流 層	上對流 層	下對流 層 上對流 層	中對流 層 (上)	500 MB 以下條件 性不穩定 500 MB 以上中性 穩定	30 ≤ KI ≤ 35	> 85	< 2°C	< 4°C	< 6°C
滯留鋒上波 動雷雨型	> +15	中對流 層 下對流 層 上對流 層	下對流 層 中對流 層 上對流 層	下對流 層 中對流 層 上對流 層	中對流 層 上對流 層	下對流 層 中對流 層 上對流 層	中對流 層 下對流 層 上對流 層	600 MB 以下條件 性不穩定 600 MB 以上中性 穩定	28 ≤ KI ≤ 34	> 90	< 2°C	< 5°C	> 10°C
活躍鋒面過 境雷雨型	> +10	中對流 層 上對流 層	下對流 層	下對流 層	中對流 層 上對流 層	下對流 層	中對流 層 上對流 層	700 MB 以下條件 性不穩定 700至400 MB間中 性穩定 400 MB 以上穩定	27 ≤ KI ≤ 31	70~85	< 3°C	< 3°C	> 10°C

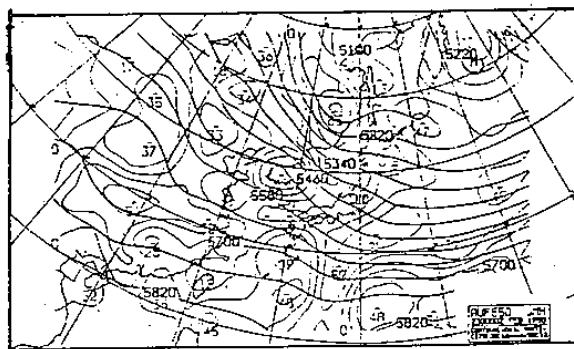
受高空渦度大小之影響較小。其他三種類型雷雨發生前，高雄地區至少需有 $>10 \times 10^{-6} \text{ Sec}$ 以上之正渦度存在。其中，又以發展良好台灣低壓雷雨型最大約在 $20 \times 10^{-6} \text{ Sec}$ 以上。圖廿六~卅三為雷雨發前各類型雷雨東亞區高空渦度圖。

(二)Ninomiya (1971) 強調差異之水平熱力與濕氣平流為導致空氣不穩定的主要原因。在本次分析中，溫度平流項共同之必要條件為：下對流層伴隨有潮濕之暖氣平流，而暖平流之厚度又以發展良好台灣低壓雷雨型為最高，可達中對流層。另根據林氏 (1976) 之研究，高層冷平流之南下，可將下層溫暖潮濕空氣強迫抬升；造成空氣不穩定，導致雷雨，經研究結果，各類型雷雨發生前，其環境大氣之中對流層以上，均伴隨相當程度之冷平流存在，亦頗符合。

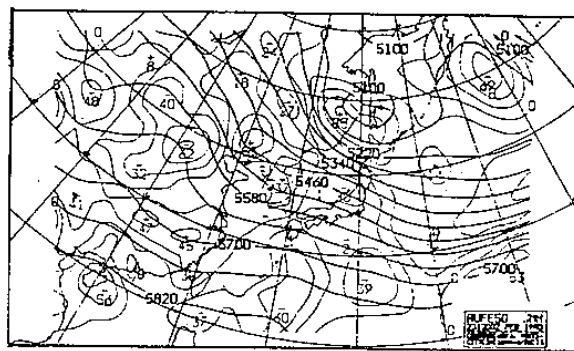
(三)各類型雷雨發展過程的顯著不同，故雷雨生時環境大氣之垂直運動也因之各異。然而，研究發現，下對流層具有上升運動，却為高雄機場冬季雷雨發生之充要條件，圖卅四~四十一為雷雨發生前各類型雷雨台灣區 850 ~ 700hPa 上升運動圖。

(四)據陳氏 (1980) 之研究，大氣之水平運動中，因合流、分流之結果，對周圍環境大氣之貢獻，在低對流層有輻合上升及輻散下沉之作用，在高對流層有輻合下沉及輻散上升之作用。此外，高空噴流條之效應，處於軸心之第一及第三象限內，亦有利於下層空氣之大範圍舉升 (陳氏：高等天氣學)。本次調查結果，高雄地區冬季雷雨，在水平運動中，最有利之條件為：下對流層有水平輻合上升，上對流層有水平輻散舉升。

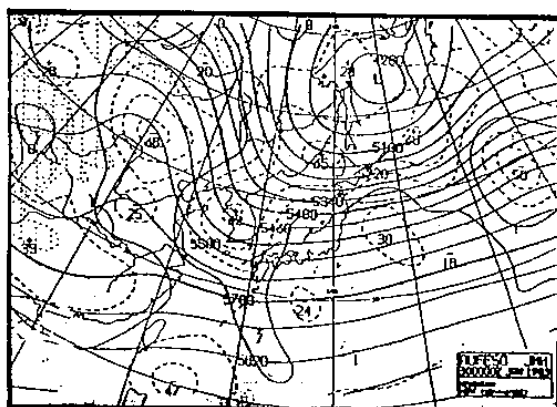
(五)大氣之穩定度為決定雷雨是否發生之重要因素之一，測量大氣穩定度大小之方法多種；本文選用相當位溫 (θ_e) 及K指數，作為評估大氣穩定度之標準。選高雄機場冬季雷雨發生前，最接近一次東港 (46747) 探空觀測紀錄予以分析。發現當雷雨發生時，其環境大氣之下對流層必有潛在不穩定存在，其上為中性穩定，從無例外，此與謝氏 (1982) 及李氏 (1985) 之研究台灣地區冬季雷雨十分吻合。在K指數方面，最低必在 27°C 以上，除東風波槽雷雨型K值大於 34°C 外，其餘約在 30°C



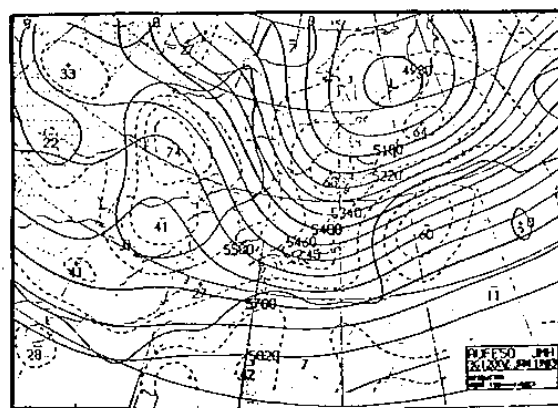
圖廿六 1980年2月23日00Z 500hpa 渦度圖



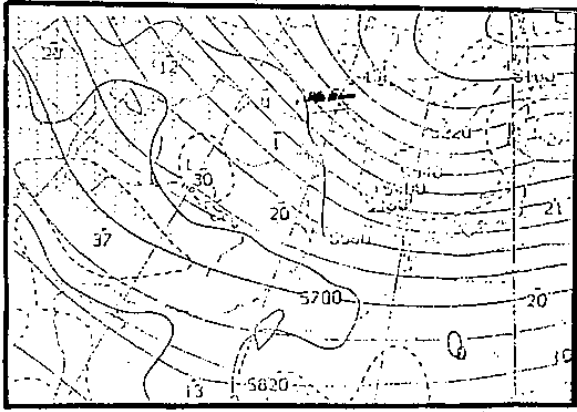
圖廿七 1980年2月23日12Z 500 hpa 渦度圖



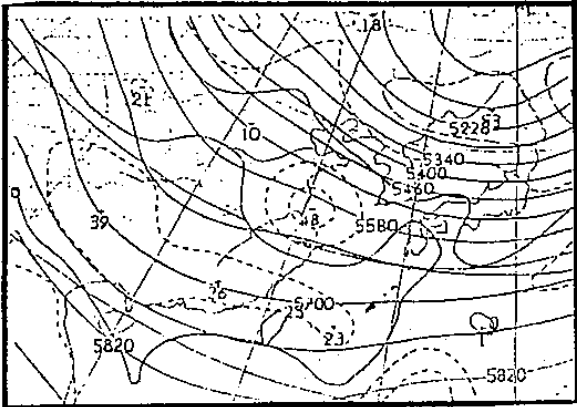
圖廿八 1983年1月30日00Z 500 hpa 渦度圖



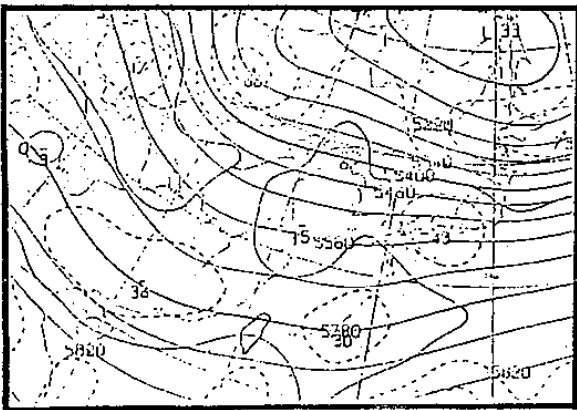
圖廿九 1983年1月30日12Z 500 hpa 渦度圖



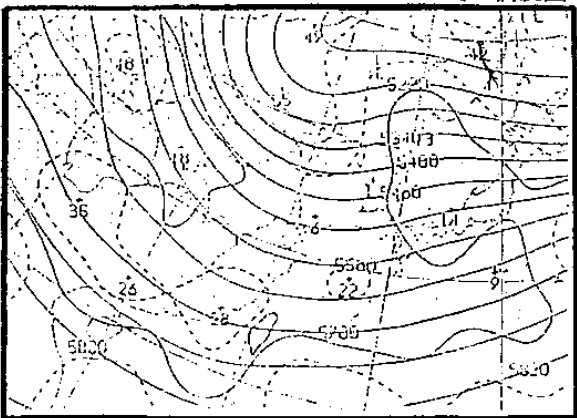
圖卅十 1983年2月15日00Z 500 hpa 渦度圖



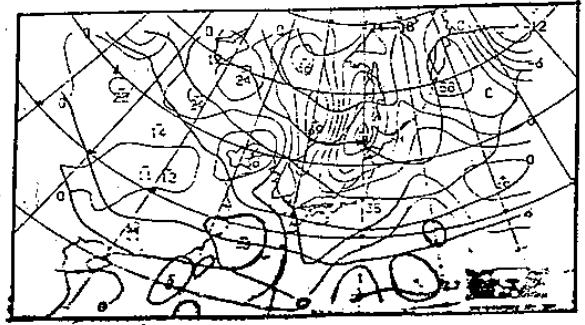
圖卅一 1983年2月15日12Z 500 hpa 渦度圖



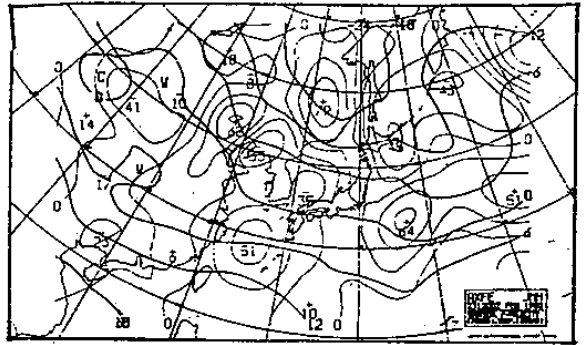
圖卅二 1983年2月16日00Z 500 hpa 渦度圖



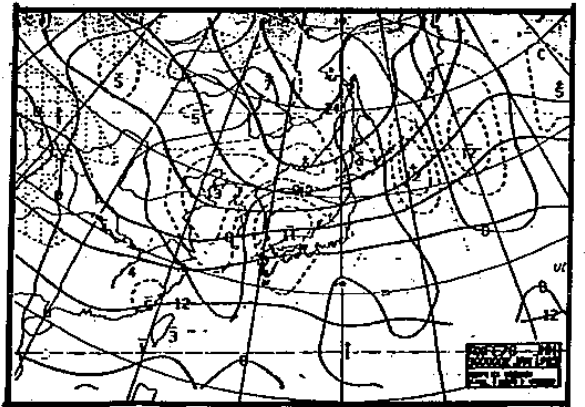
圖卅三 1983年2月16日12Z 500 hpa 渦度圖



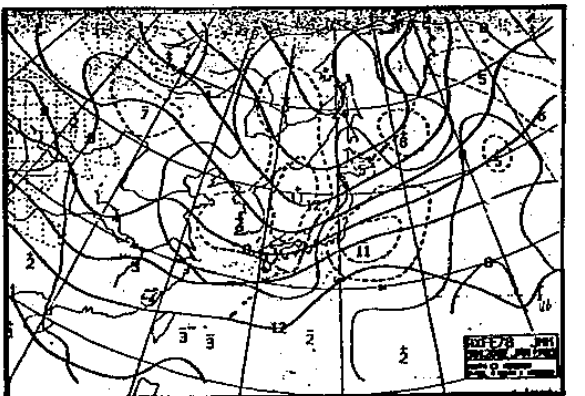
圖卅四 AXFE 78 00 Z 23.FEB 1980



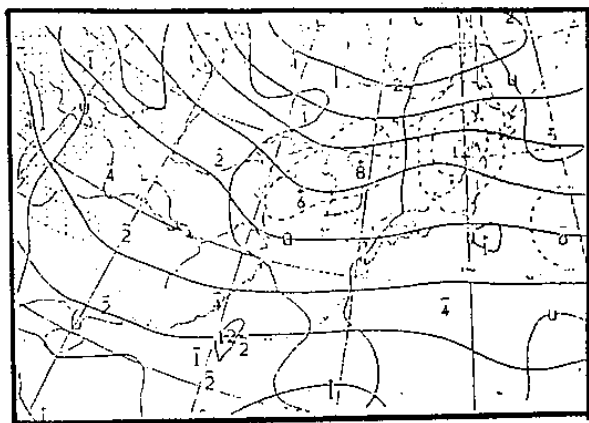
圖卅五 AXFE 78 12 Z 23.FEB 1980



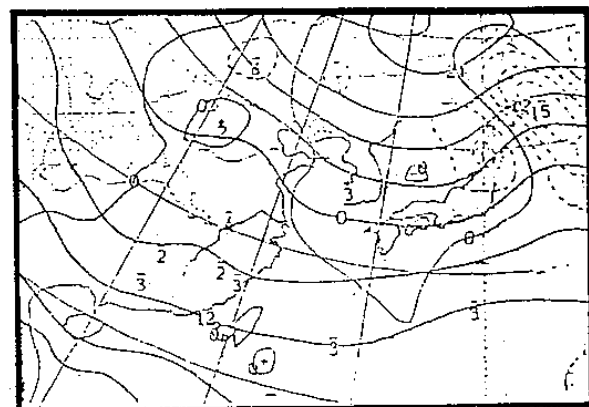
圖卅六 AXFE 78 00 Z 30. JAN 1983



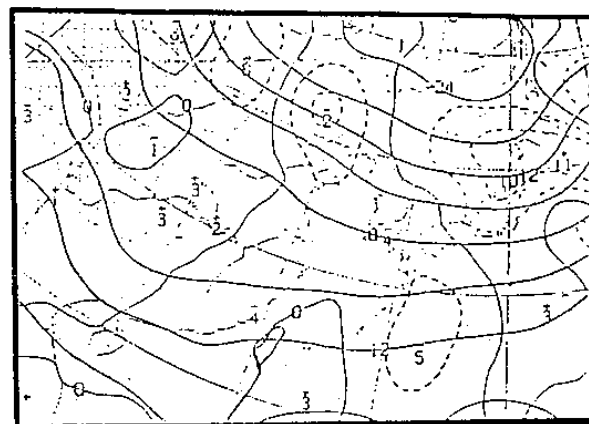
圖卅七 AXFE 78 12 Z 30. JAN 1983



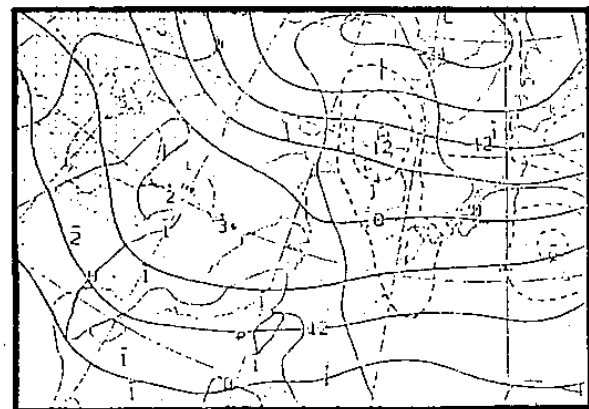
圖卅八 AXFE78 00Z 15 FEB 1983



圖卅九 AXFE78 12Z 15 FEB 1983



圖四十 AXFE78 00Z 16 FEB 1983



圖四十一 AXFE78 12Z 16 FEB 1983

左右。顯然K值比其他研究者所得之結果略高，圖五十~五十四為各類型雷雨發生前 θ_e 分佈圖。

(六)水汽含量計算之目的，在瞭解冬季雷雨發生前環境大氣中是否有足夠水汽可供凝結致雨。因雷雨屬對流性降水，故中、下對流層水汽含量之大小為計算之重點。

高雄機場冬季雷雨發生前6小時內，各層水汽含量之平均值如表二所列，可見在850hPa以下，水汽含量均十分充沛，而500hPa則較乾燥。

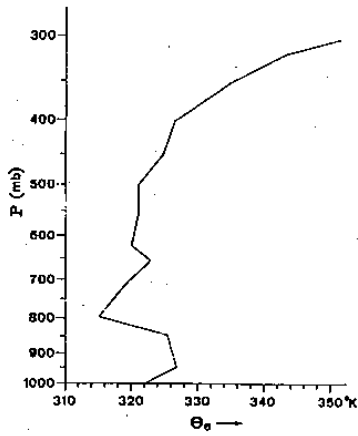
五、高雄機場冬季雷雨與飛航安全之關係

(一)冬季雷雨期間出現之飛行天氣分析：雷雨天氣中影響飛航安全之天氣因素包括風場、雲幕、能見度、降水現象及雷雨持續時間等，尤其是因風場之快速轉變造成之風切、亂流，嚴重影響航空器之起降，操作時不可不慎。此外，雷雨中夾帶之豪雨、冰雹、閃電等對航空器本身直接的危害更是有目共睹。本節針對上述高雄機場冬季雷雨主要天氣類型，分別說明其出現之飛行天氣條件，俾利爾後守視，預報參考。詳見表三。

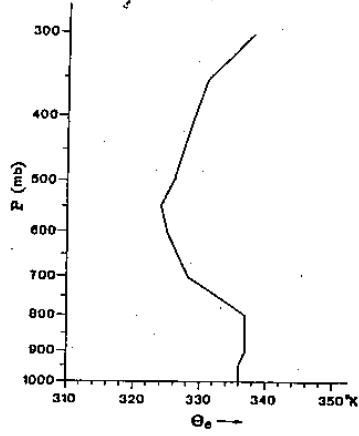
由表三可見：

1.鋒前東風波槽雷雨型：此型雷雨出現時，風向在雷雨後期由北來風轉為南來風，風向變化較大，所幸風速均不强，對於飛機起降影響較小。在能見度及雲幕高方面，無論平均值、極端值，均在高雄機場09號跑道天氣最低起降標準之上，對於航空器之起降，除雷雨正在機場頂上(over head)外，不致構成威脅。其出現之平均時間約為55分鐘。

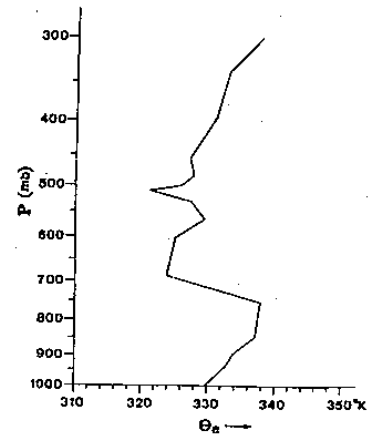
2.發展良好台灣低壓雷雨型：充分發展之台灣低壓及其伴隨之鋒面或飆線，在接近高雄地區時，所出現之飛行天氣條件較惡劣，且持續時間較長(約二小時)，根據高雄過去十七年資料之統計結果顯示：雷雨中期因低壓所在之位置不同，使得風向、風速有很大改變。當低壓接近高雄機場時，不但風向轉變迅速也強，同時能見度、雲幕高亦十分惡劣，可能出現低於高雄機場天氣起降標準之狀況，航空器飛行必須特別謹慎。



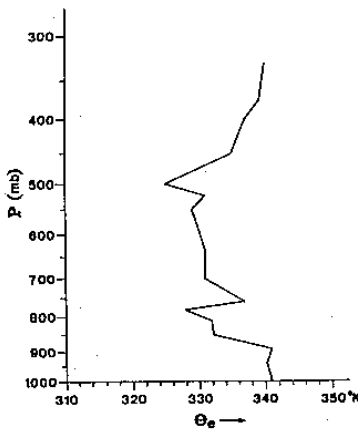
圖五十三 1983年2月16日00Z東港(747)相當位溫
分佈圖(滯留鋒上波動雷雨型)



圖五十一 1983年1月30日00Z東港(747)相當位
溫分佈圖(鋒前東風波後雷雨型)



圖五十四 1980年2月23日12Z東港(747)相當位溫
分佈圖(活躍鋒面過境雷雨型)



圖五十二 1983年2月9日00Z東港(747)相當位溫
分佈圖(發展良好台灣低壓雷雨型)

高雄機場冬季各型雷雨所飛行天氣因素之統計

表三

雷雨 型	風向 (度)			風速 (米/秒)		積冰度 (公尺)		雲幕高 (呎)		持續時間 (分)		備註
	前	中	後	平均值	極端值	平均值	極端值	平均值	極端值	平均值		
鋒前東風波 後雷雨型	010 ?	310 ?	180 ?	6	12	1600	1000	2500	1200	55		1983年1月30日 雷雨發生兩次各約 1小時
發展良好台灣 低壓雷雨型	350 ?	VRB ?	310 ?	18	30	3000	800	1200	800	107		1972年12月21日 一次持續時間最長 為160分鐘
滯留鋒上波 動雷雨型	090 120	500 330	380 030	12	34	1300	200	1400	500	82		1983年2月16日 一次雷雨陣水最 高達44.5mm
活躍鋒面過 境雷雨型	310 ?	040 ?	310 ?	10	40	3200	700	3000	1500	30		1980年2月23日 活躍鋒面過境雷雨 發生前陣風高達 40KT

3.滯留鋒上波動雷雨型：冬季滯留鋒在台灣南部附近停留時，高雄機場天氣以陰時多雲為主，降雨機會不多。然而，當滯留鋒上發展波動且移近高雄機場時，則狂風暴雨，雷電交加，飛行天氣條件之惡劣為冬季各類型雷雨天氣之冠。1983年2月16日雷雨期中出現之陣風達34KT，能見度在200公尺，雲幕高500呎，閃電、打雷、暴雨在一小時內雨量高達44.5mm，詳見表四。所幸雷雨時間不長，航空器或可驅避，俟其減弱消失。

4.活躍鋒面過境雷雨型：此類型雷雨一般均由台灣北部隨鋒面或颱風南下，其強度因潛能釋放及摩擦損耗而逐漸減弱。為維持其能量之來源，上對流層冷平流及噴流條必伴隨南下，劉氏(1980)。故此類型雷雨天氣出現時，北風特別強勁，地面風速最高可達40KT，同時因高空噴流條之南移，機場附近可能有中度以上之亂流，航空器應防地面側

風及高空亂流。

(二)冬季雷雨期間出現低於起降標準天氣分析：高雄機場位於高雄市之東南濱海地區，地理位置為北緯 $22^{\circ}34'21''$ ，東經 $120^{\circ}20'18''$ 。跑道為東西向(090~270)，裝設有ASR-7及AN/TPX-42型管制雷達，以儀器飛行及目視飛行兩種方式，訂定機場天氣起降標準。目視飛行天氣起降標準，一般僅適用於天氣相當良好情況，本節不予討論。至於儀器飛行天氣起降標準，如表五所列。此外，當雷雨出現在機場上空(over head)，及因強風造成側風大於30KT時，航空單位為顧慮航空器之安全，航空器之起降亦在限制之列。

高雄機場冬季各型雷雨天氣出現低於起降標準之時間及天氣因素如表六所示：

1.依雷雨天氣類型言：以發現良好台灣低壓雷雨型，及滯留鋒上波動雷雨型兩種，出現低於起降標準之時間佔絕大部份。

- 最高，兩者共佔全部之60%，而且其出現之飛行天氣條件也較其他兩型為惡劣。
2. 高雄機場冬季雷雨，影響航空器起降最嚴重者，為能見度低於 800 公尺，及側風大於 30 KT，全部出現時間共計 242 分鐘。
 3. 冬季雷雨期間因下暴氣流造成之低層風切與亂流，以及雷暴雨中夾帶之豪雨、冰雹、內電等，對航空器本身均具有重大危害，飛行時必須特別小心。
 4. 因高層噴條流南下可能出現高空積冰及高層亂流，航空器飛行時應提高警覺。
 4. 陳泰然，吳清吉，1978：台灣五大城市之氣候特性分析。大氣科學。5，2，3。
 5. 陳毓雷，1980：高空輻散與強烈天氣之關係。氣象預報與分析。84，1～4。
 6. 劉廣英、陶家瑞，1980：鋒面雷雨之個案分析。氣象預報與分析。84，1～29。
 7. 謝信良、胡亞棟，1982：華南地區中幅度降水現象之初步探討。中央氣象局中範圍天氣系統研討會。
 8. 陳泰然，1982：高等天氣學。
 9. 謝維全、游志强，1982：冬季台灣地區雷雨的氣候分析與研究。氣象預報與分析。93，33～41。

七、參考文獻

1. 王時鼎，1970：台灣區域冬半年連續 3～6 天惡劣天氣型研究。氣象學報；16，2，22。
2. 林鞠情，1976：高層冷平流與雷雨。氣象預報與分析。67，21～27。
3. 林則銘，1977：危害飛行氣象因素客觀預報研究—鋒面雷雨。氣象預報與分析。73，11～21。
10. 祝鴻鵬、李金萬等，1985：中正國際機場和松山機場冬季雷雨分析。
11. Ninormiya, K.O 1971: Dynanical analysis of outflow from tornado-producing thunderstorms as revealed by ats III pictures. J. Appl. Meteor., 10, 778～798.
12. 日本氣象廳，1970～1986：歷史天氣圖，數值分析，預報圖。

The Relationship of Thunderstorm and Flight Safety at Kaohsiung Airport in Winter

Cheng-Chih Yang

Ping-Chuan Cheng

Taipei Meteorological Center/ ANWS, CCAA,

Abstract

Normally in Winter, it is rare to find the thunderstorm occurs at Kaohsiung Airport. Therefore, the most of studies are related to air mass thunderstorm in summer time or meso-scale thunderstorm during Taiwan Mei-Yu season. However, under some specific weather patterns, heavy thunderstorm did occur around the area in winter.

In this study, the synoptic surface charts, the upper level charts, the skewt-log P diagrams, the radar sketch, GMS satellite pictures, the vorticity and the p-velocity charts of JMA's issues are used for tracing out the weather patterns causing the phenomenon. Then detailed analyses are made to each pattern, following the process and figuring out the physical mechanism.

The result shows that the winter thunderstorm would be accompanied by any of the 4 patterns: (1) An easterly wave ahead of a front. (2) Well-developed Taiwan Low. (3) New waves generating along a stationary front. (4) Active front passage.

The mechanism inducing the thunderstorm might be: (1) Strong warm advection and potential instability exist in lower troposphere. (2) Strong cold advection moves southward and downward in middle-and-upper troposphere. (3) The trough moves nearby and the positive vorticity advection increases with the height in the lower-and-middle troposphere. (4) The low level jet passes, causing the strong disturbances. (5) The upper level jet streak moves southward to the Kaohsiung area, causing the strong divergence.