

山岳造成之中尺度現象

一、恆春落山風

洪秀雄

國立中央大學大氣物理研究所

胡仲英 王時鼎

中央氣象局

摘要

每年十月至翌年三、四月間，恆春半島地面時有狂風怒號，有時持續二、三小時，有時十天、半月不停息。地面陣風大時甚至超過秒速20公尺，漫天風沙滾滾狂瀾。由於風是越山而過，有如空氣由山頂直落而下般，這種現象俗稱「落山風」。

本研究就能收集到的地面資料、探空資料等作較完整的統計與分析，以了解此現象之真相，並指出過去認識之謬失，再借助理論之輔助提出正確之解釋，並進而探尋其預報因子。

結果顯示恆春落山風實為山岳波為臨界層（風速與波的相速相等的地方）反射引起共振而造成的，與寒潮暴發並無直接關聯，亦非氣流繞山而成。落山風形成之條件在於臨界層位於2至3.5公里間，臨界層處之里查遜數小於或接近一。

一、前言

在恆春半島西岸，每年到了十月，地面上即經常狂風怒號，地面的強風伴隨著強烈的陣風，除了晴朗的天空外，與颱風時的情景有幾分相似。這種強陣風現象斷斷續續的持續到翌年三、四月才會消失。由於地面風暴的盛行區是在東北季風與恆春半島的下風區，像是東北季風翻山越嶺後，下落而成的，故俗稱「落山風」。落山風除了對當地的居民的生活造成不便外，對交通、農作、建築等也有相當大的影響。

落山風呈間歇性，時強時弱。強陣風有時如曇花一現，一、兩小時後即消失無蹤，有時可持續數天而不稍減其強度，甚至有持續達十天、半月的。陣風風速有時緩慢增強，有時在一、二小時內就可由靜風狀態增強到超過20 m/s。風向則都來自東北、北北東，而無西風或南風的分量。

落山風形成的原因，以往一般的看法是：東北季風帶來的冷空氣，到了台灣南端約東港以南之後

，由於山嶺高度漸減，冷空氣得以越嶺而過，如果東部空氣較冷，密度比西部大，乃自山頂直瀉西下，造成落山風。

這種說法一方面缺乏定量的證明，二方面對幾十天、半月的落山風無法自圓其說，因為沒有一個南下的冷氣團能大到十天、半月仍通不過台灣南端，而且還維持東西向相當大的溫差。其實粗略的檢驗天氣圖和落山風發生的時期，可以明顯的看出落山風事件和冷氣團南下（如寒潮暴發）沒有特別好的相關。最簡單的例子就是十一月是每年落山風最盛行的月份，而冷氣團侵襲台灣較頻繁的月份卻是十二月份和一月份；何況事實上五月、六月也還有落山風的個案。

洪和翁（1985）先由分析探空資料指出落山風的動力關鍵所在，接著以理論證明落山風實際上是由於重力波在臨界層（風速與重力波相位速率相等的地方，即 $U = c$ 。對地形引發的重力波而言，也就是零風速的地方。）與地面間反覆反射造成共振效果而形成的。達成共振的最佳臨界層高度為2

至 4 公里間。臨界層高度處的里查遜數 R_1 (Richardson Number, 定義為

$$R_1 = g(\partial\theta/\partial z)/[(\partial u/\partial z)^2 + (\partial v/\partial z)^2]$$

必須小於 1 或低層風速很大以至於有能力激發大振幅的重力波。洪和翁的動力模擬肯定的證明這些條件。

於是我們不但對落山風的成因有了正確的了解, 而且落山風的預報也變為可能。本研究的目的即蒐集較完整的資料, 沿著洪與翁的方向作進一步分析探討, 同時一方面肯定其引發機制, 一方面由實際資料找出預報因子。

在本文中我們定義落山風為地面陣風超過 15 m/s。且非颱風的影響所造成的強陣風事件。

二、恆春半島的地理環境

恆春半島位於台灣的南端, 南臨巴士海峽, 東部面對太平洋, 而西岸則與台灣海峽相鄰。一般而言, 中央山脈在台灣中部最高, 平均可達三千公尺, 到了台灣南部越往南越矮, 不過要過了高雄、屏東的緯度才會降低於一千五百公尺以下。對厚度僅 1.5 公里的秋、冬季東北季風而言, 在高雄的緯度以北氣流無法越過中央山脈, 大約到了大武以南, 順著風向所經之地, 平均約為 400 公尺的山岳。(參考圖 1、2、3)。

三、資料來源

首先我們由中央氣象局磁帶資料庫中選取自 1981 年至 1986 年, 每天地面陣風強度超過 15 m/s 的日子 (實際收集的資料自 1977 年開始, 但因早期缺乏地面資料與探空資料之配合, 較不具研究之意義, 故從略)。我們把這些資料編輯為表格形式, 由這種表格我們可以清楚的看出事件當天的最大十分鐘平均風速以及當天的最大陣風強度, 以及同樣重要的風向。不過這些個案中有些單純是由於颱風過境所造成的, 有些是颱風在近海影響所及而有的現象, 故我們還要收集中央氣象局的颱風記錄和颱風

報告或統計表, 並作為依據, 讓我們將相關的日子加以剔除。

另一方面, 強陣風有時只在很短的時間 (如數小時) 內發生, 而不是全天都有, 這種現象只有從地面風速風向的自記記錄上才看得出來。因此我們還收集了 1985 年及 1986 年全年的恆春測站地面風速風向自記記錄並審視自 1981 年至 1984 年的全年同類資料。

根據理論 (洪和翁, 1986) 恆春落山風是由於來自東北方向的氣流跨越恆春半島地勢時, 引發重力波, 並在低理查遜數的臨界層存在下, 在地面與臨界層間重複反射造成共振的結果, 因此較大尺度的大氣結構與垂直風切是很重要的因素。

1985 年之前恆春附近僅有東港一探空測站, 可是因為東港位於背風區, 而且東港背面的山遠比恆春半島高, 其上層溫度結構及風場可能均已受高山所修飾, 故東港的探空資料並不適用恆春落山風的預報之用。所幸 1985 年 11 月以後綠島設立探空測站, 其資料正好可作為恆春的上游背景之用。我們在此研究中, 大致收集了 1986 年全年的綠島探空資料, 並且據此繪出垂直溫度結構及風向風速的分佈, 另外更進一步計算大氣穩定度和理查遜數等。探空資料中有時有缺碼, 有時有明顯錯誤, 對這些情形我們都採取不修改的原則以存真。

四、由地面資料看恆春落山風

四、一 個案統計

我們先從中央氣象局的磁帶資料庫中, 自 1977 至 1986 年十年的地面資料中蒐尋地面陣風風速超過 15 m/s 的日子, 並編列為表格。不過由於這些表基本上每年不會有太大的變化, 而早期的其他配合資料 (如颱風日期、自記記錄等) 比較不易收齊, 我們在本報告中僅選擇自 1981 年以後的資料來介紹。結果列於表一至表六。

由這些資料我們至少可以歸納出以下幾點:

1. 除了極少數特殊例子及在颱風的強烈影響下之外, 所有的風向均來自東北或北北東

表一、1981年發生在山風日期、及其風速風向統計表。上面的數字表示最大十分鐘平均風速及風向，下面的數字表示最大陣風風速風向。
風速的單位為 0.1 m/s。

恆春測候所1981年最大陣風超過15每秒的日子

測站：45759(恆春) 年份：1981 內容：最大十分鐘風速(m/s)
最大陣風(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	100 NE 189 NE	95 NE 163 NE									84 NE 163 NE	136 NE 275 NE
2	134 NE 247 NE	87 NE 160 NE		76 NE 162 NE							124 NE 231 NE	126 NE 233 NE
3	104 NE 193 NE				104 NE 197 NE						127 NE 237 NE	91 NE 176 NE
4	100 NE 183 NE	103 NE 185 NE			94 NE 179 NE						117 NE 235 NE	92 NE 173 NE
5	87 NE 151 NE	91 NE 171 NE	105 NE 202 NE		98 NE 185 NE							
6												93 NE 175 NE
7		95 NE 169 NE				101 NE 173 NE					124 NE 243 NE	109 NE 203 NE
8						110 NE 200 NE					150 NE 305 NE	111 NE 189 NE
9		95 NE 173 NE	103 NE 204 NE							103 NE 195 NE	123 NE 215 NE	
10	83 NE 158 NE	95 NE 169 NE	99 NE 195 NE							87 NE 166 NE	113 NE 218 NE	80 NE 157 NE
11	104 NE 184 NE		93 NE 155 NE							82 NE 159 NE	95 NE 173 NE	
12	89 NE 169 NE				120 NE 208 NE	81 E 155 E						94 NE 181 NE
13	71 NE 155 NE			97 NE 170 NE	91 NE 183 NE	81 S 265 S						105 NE 185 NE
14	83 NE 151 NE									103 NE 195 NE		108 NE 203 NE
15			119 NE 207 NE						87 NE 154 NE			110 NE 215 NE
16	112 NE 225 NE		82 NE 153 NE		97 NE 190 NE				85 NE 153 NE			99 NE 177 NE
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

恆春測候所1981年最大陣風超過15每秒的日子

測站：45759(恆春) 年份：1981 內容：最大十分鐘風速(m/s)
最大陣風(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	114 NE 195 NE	103 NE 178 NE			93 NE 199 NE						123 NE 227 NE	110 NE 193 NE
18	79 NE 158 NE						102 NE 171 NE				109 NE 203 NE	
19			112 NW 280 NW	95 NE 173 NE	89 NE 172 NE				85 NE 157 NE		90 NE 169 NE	87 NE 160 NE
20				105 NE 185 NE	95 NE 169 NE	85 NW 184 NW			120 NE 250 NE			95 NE 178 NE
21		94 NE 154 NE			87 NE 155 NE				113 NE 243 NE		76 NE 153 NE	
22	104 NE 202 NE											
23	111 NE 186 NE		83 E 153 NE				81 S 163 NE			119 NE 226 NE		93 NE 164 NE
24		94 NE 173 NE								102 NE 178 NE	90 NE 186 NE	112 NE 191 NE
25	132 NE 240 NE	108 NE 209 NE		103 NE 195 NE						103 NE 185 NE	139 NE 228 NE	
26	111 NE 216 NE	120 NE 215 NE	107 NE 195 NE							104 NE 186 NE	118 NE 193 NE	
27	113 NE 217 NE	108 NE 217 NE	88 E 160 NE							90 NE 184 NE	124 NE 226 NE	
28												114 NE 210 NE
29										76 NE 155 NE	104 NE 179 NE	122 NE 213 NE
30								87 NW 163 V			99 NE 193 NE	113 NE 207 NE
31								84 V 193 SW				79 NE 153 NE
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日數	18	13	9	5	10	2	0	0	2	10	20	21

註：本表
係由電腦計算
而來

表二、1982年發生落山風日期、及其風速風向統計表。

恆春測候所1982年最大陣風超過15每秒米的日子

測站: 46750(恆春) 年份: 1982 內容: 最大十分鐘風速(m/s)
最大陣風(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	89 NE 169 NE	92 NE 185 NE	103 NE 177 NE								104 NE 178 NE	
2	85 NE 155 NE	108 NE 201 NE	99 NE 183 NE			772 V 218 V					102 NE 222 NE	
3			86 NE 151 NE	102 NE 163 NE	776 NW 179 NW				132 NE 228 NE		83 NE 153 NE	
4				95 NE 157 NE								
5	89 NE 158 NE	80 NE 153 NE		94 NE 157 NE					85 NE 153 NE			126 NE 229 NE
6		90 NE 163 NE										129 NE 236 NE
7	107 NE 198 NE	71 NE 158 NE										97 NE 181 NE
8	106 NE 201 NE											
9		75 NE 154 NE		124 NE 241 NE				102 NW 167 NW	91 NE 153 NE			
10		97 NE 163 NE		106 NE 203 NE							103 NE 185 NE	
11		69 NE 160 NE						85 NE 167 NE				100 NE 179 NE
12		112 NE 205 NE										88 NE 164 NE
13		110 NE 201 NE							84 NE 170 NE			97 NE 170 NE
14		90 NE 159 NE			90 NE 153 NE			71 NE 167 NE	84 NE 154 NE			116 NE 241 NE
15	104 NE 191 NE				80 NE 153 NE			90 SE 163 SE	102 NE 219 NE			109 NE 213 NE
16	113 NE 219 NE								102 NE 203 NE			
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

恆春測候所1982年最大陣風超過15每秒米的日子

測站: 46750(恆春) 年份: 1982 內容: 最大十分鐘風速(m/s)
最大陣風(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	125 NE 226 NE	92 NE 183 NE								92 NE 176 NE	76 NE 153 NE	116 NE 212 NE
18	103 NE 195 NE			85 NE 150 NE								92 NE 184 NE
19	116 NE 219 NE			85 NE 163 NE								98 NE 177 NE
20					110 NE 194 NE					75 NE 151 NE	94 NE 185 NE	83 NE 189 NE
21					93 NE 153 NE							
22												89 NE 178 NE
23												93 NE 182 NE
24											113 NE 232 NE	81 NE 153 NE
25		89 NE 165 NE	108 NE 203 NE			107 NE 179 NE				97 NE 177 NE	119 NE 213 NE	
26	96 NE 183 NE		85 NE 162 NE			93 NE 169 NE				90 NE 157 NE	100 NE 200 NE	
27	80 NE 158 NE					111 NE 204 NE					102 NE 203 NE	87 NE 163 NE
28	97 NE 177 NE		97 NE 164 NE			100 NE 173 NE					97 NE 163 NE	
29	102 NE 183 NE		90 NE 153 NE					146 NW 246 NW				
30	79 NE 150 NE											
31												
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日數	15	12	7	7	4	4	0	0	3	7	11	15

註: 1. 落山風
2. 陣風
3. 最大十分鐘風速
4. 最大陣風

表三、1983年發生落山風日期、及其風速風向統計表。

恆春測站1983年最大瞬間超過15每秒米的日子

測站: 46759(恆春) 年份: 1983 內容: 最大十分位風速(m/s)
最大瞬間風速(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1										79 NE 178 NE	88 NE 173 NE	100 NE 228 NE
2	93 NE 177 NE									79 NE 169 NE	101 NE 182 NE	
3	99 NE 187 NE											
4						79 NE 168 NE						72 NE 163 NE
5											95 NE 189 NE	
6											90 NE 176 NE	
7			76 NE 151 NE						55 NE 165 NE			88 NE 179 NE
8	103 NE 213 NE											90 NE 178 NE
9	85 NE 167 NE											69 NE 158 NE
10	108 NE 228 NE									83 NE 178 NE		
11	95 NE 222 NE									165 NE 240 NE		103 NE 203 NE
12		101 NE 197 NE								111 NE 223 NE	90 NE 173 NE	100 NE 184 NE
13		91 NE 186 NE	128 NE 197 NE		201 NE 153 NE						93 NE 172 NE	
14			122 NE 230 NE								80 NE 151 NE	
15												90 NE 213 NE
16	71 NE 151 NE					94 NE 171 NE	84 E 156 NE				91 NE 166 NE	95 NE 173 NE
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

恆春測站1983年最大瞬間超過15每秒米的日子

測站: 46759(恆春) 年份: 1983 內容: 最大十分位風速(m/s)
最大瞬間風速(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17			77 NE 151 NE		91 NE 183 NE						105 NE 207 NE	
18	105 NE 207 NE	95 NE 183 NE	96 NE 176 NE								112 NE 215 NE	84 NE 155 NE
19	114 NE 218 NE	83 NE 153 NE									92 NE 201 NE	71 NE 162 NE
20	112 NE 210 NE	124 NE 244 NE									60 NE 150 NE	
21	105 NE 198 NE	130 NE 247 NE									86 NE 181 NE	
22	106 NE 226 NE	84 NE 184 NE									123 NE 267 NE	
23	94 NE 176 NE									104 NE 197 NE	115 NE 228 NE	
24								112 NE 233 NE		131 NE 254 NE	114 NE 243 NE	78 NE 154 NE
25	85 NE 153 NE							119 E 405 E		107 NE 220 NE	95 NE 225 NE	
26		84 NE 167 NE	85 E 155 NE					75 SW 178 SW		82 NE 153 NE	111 NE 237 NE	83 NE 156 NE
27		86 NE 156 NE								103 NE 203 NE	111 NE 226 NE	83 NE 167 NE
28										94 NE 177 NE	92 NE 158 NE	111 NE 223 NE
29					90 NE 163 NE					89 NE 153 NE	86 NE 177 NE	82 NE 163 NE
30				94 NE 183 NE						85 NE 173 NE	101 NE 193 NE	107 NE 223 NE
31												78 NE 158 NE
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日數	14	9	6	2	2	0	1	0	0	13	22	17

註: 1. 本表係根據恆春測站1983年風速風向統計表編製。
2. 凡有風速超過15m/s者, 均列入本表。
3. 凡有風向不明者, 均列入本表。

表四、1984年發生落山風日期、及其風速風向統計表。

恆春測候所1984年最大瞬間風速超過15每秒米的日子

測站: 45759 (恆春) 年份: 1984 內容: 最大十分鐘風速(m/s)
最大瞬間風速(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		79 NE 154 NE										115 NE 203 NE
2		94 NE 163 NE								91 NE 184 NE	104 NE 228 NE	
3	94 NE 195 NE	103 NE 188 NE	93 NE 177 NE								98 NE 200 NE	
4	78 NE 173 NE		93 NE 180 NE								79 NE 180 NE	
5	88 NE 185 NE		88 NE 163 NE									
6		103 NE 207 NE	91 NE 165 NE									100 NE 186 NE
7	79 NE 152 NE	85 NE 170 NE						+30 NW 186 NW		-24 NE 176 NE	102 NE 208 NE	
8		95 NE 189 NE									85 NE 170 NE	
9	88 NE 165 NE	83 NE 174 NE						+72 SE 165 SE				
10			87 NE 174 NE									84 NE 152 NE
11			78 NE 164 NE							83 NE 185 NE		
12										77 NE 160 NE		
13								+28 NE 178 NE		74 NE 151 NE		
14	99 NE 181 NE							+72 NE 160 NE				
15							+77 NW 150 NW	+33 NE 173 NE			79 NE 176 NE	
16	114 NE 222 NE										84 NE 177 NE	
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

恆春測候所1984年最大瞬間風速超過15每秒米的日子

測站: 45759 (恆春) 年份: 1984 內容: 最大十分鐘風速(m/s)
最大瞬間風速(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	85 NE 155 NE	111 NE 207 NE										
18		111 NE 208 NE									89 NE 157 NE	
19	87 NE 178 NE	87 NE 183 NE						+77 NW 153 NW			128 NE 255 NE	90 NE 172 NE
20	93 NE 179 NE		76 NE 155 NE					+63 W 150 W		114 NE 256 NE	108 NE 241 NE	
21			98 NE 213 NE							109 NE 222 NE	85 NE 179 NE	
22	82 NE 150 NE								+67 NE 158 NE	91 NE 177 NE		
23				93 NE 174 NE		+78 NE 173 NE						
24						+142 NE 280 NE					94 NE 204 NE	77 NE 160 NE
25	88 NE 155 NE									+80 NE 157 NE	111 NE 228 NE	95 NE 189 NE
26	104 NE 221 NE	97 NE 185 NE								+82 NE 169 NE	100 NE 219 NE	
27	94 NE 204 NE	109 NE 217 NE									87 NE 188 NE	
28	80 NE 160 NE	98 NE 171 NE						+24 NE 183 NE		115 NE 240 NE	80 NE 177 NE	
29	85 NE 154 NE	108 NE 203 NE						+93 NE 202 NE		108 NE 233 NE	91 NE 204 NE	85 NE 163 NE
30								+72 SE 212 SE		91 NE 220 NE	92 NE 192 NE	
31	93 NE 170 NE									111 NE 223 NE		
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日數	16	14	8	1	0	0	0	0	0	10	14	12

註: 1. 未測
2. 與前日不同
3. 缺測

表五、1985年發生落山風日期、及其風速風向統計表。

恆春測站前1985年最大瞬間超過15每秒米的日子

測站: 4759(恆春) 年份: 1985 內容: 最大十分鐘風速(m/s)
最大瞬間(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1				103 NE 180 NE								105 NE 165 NE
2									97 NE 151 NE			111 NE 188 NE
3			113 NE 163 NE									90 NE 160 NE
4	87 NE 179 NE			93 NE 187 NE					88 NW 167 NW			
5	73 NE 153 NE		93 NE 181 NE									
6			97 NE 170 NE									
7												
8												
9		167 NW 161 SW	147 NE 211 NE									
10		116 NE 206 NE	123 NE 240 NE									
11		97 NE 179 NE	117 NE 246 NE									
12			135 NE 196 NE									
13	89 NE 150 NE	98 NE 176 NE										
14	88 NE 175 NE	117 NE 186 NE	127 NE 189 NE							297 NE 198 NE	104 NE 165 NE	
15			107 NE 185 NE							297 NE 173 NE	107 NE 179 NE	
16		105 NE 185 NE										
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

恆春測站前1985年最大瞬間超過15每秒米的日子

測站: 4759(恆春) 年份: 1985 內容: 最大十分鐘風速(m/s)
最大瞬間(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17		88 NE 173 NE	90 NE 150 NE								211 NE 213 NE	
18			83 NE 150 NE	97 NE 180 NE							210 NE 202 NE	
19	78 NE 150 NE									116 NE 178 NE		94 NE 184 NE
20												97 NE 198 NE
21		103 NE 166 NE				97 NE 164 NE						91 NE 162 NE
22		107 NE 217 NE				120 NE 190 NE						
23		97 NE 239 NE										99 NE 197 NE
24	120 NE 184 NE	117 NE 194 NE									121 NE 206 NE	85 NE 150 NE
25	137 NE 230 NE	98 NE 160 NE									109 NE 173 NE	
26	129 NE 235 NE											
27										98 NE 153 NE		
28	103 NE 200 NE											
29	95 NE 150 NE		107 NE 217 NE									
30	92 NE 173 NE		143 NE 200 NE								106 NE 154 NE	
31	100 NE 167 NE		93 NE 207 NE									81 NE 170 NE
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日數	12	11	14	3	0	0	0	0	0	3	3	11

計: 38天

與自計設備不符 (自計設備上風速小於10m/s)

表六、1986年發生落山風日期、及其風速風向統計表。

恆春測站前1986年最大瞬間超過15海秒米的日子

測站: 46759(恆春) 年份: 1986 內容: 最大十分鐘風速(m/s)
最大瞬間風速(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			102 NE 138 NE						82 NE 160 NE	94 NE 180 NE	111 NE 238 NE	
2								+94 NE 165 NE	85 NE 153 NE	87 NE 192 NE		
3		72 NE 157 NE						+100 NE 182 NE	89 NE 167 NE			
4	95 NE 185 NE								80 NE 152 NE	88 NE 167 NE	107 NE 225 NE	
5	102 NE 150 NE									106 NE 211 NE		
6										112 NE 225 NE		
7				116 NE 162 NE					81 NE 180 NE		72 NE 193 NE	
8		91 NE 192 NE									96 NE 203 NE	
9							+103 NE 178 NE			104 NE 193 NE	88 NE 168 NE	
10							+105 NE 180 NE		90 NE 185 NE	113 NE 210 NE	80 NE 158 NE	
11				119 NE 181 NE					104 NE 211 NE	105 NE 210 NE	73 NE 155 NE	
12				95 NE 160 NE					108 NE 220 NE	79 NE 172 NE		
13									105 NE 207 NE	76 NE 155 NE		
14					112 NE 170 NE				+117 NE 220 NE			
15		124 NE 184 NE							+115 NE 220 NE		84 NE 165 NE	
16		102 NE 155 NE						65 NE 163 NE		104 NE 220 NE		
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

恆春測站前1986年最大瞬間超過15海秒米的日子

測站: 46759(恆春) 年份: 1986 內容: 最大十分鐘風速(m/s)
最大瞬間風速(m/s)

日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17					94 NE 156 NE			75 NE 161 NE			123 NE 253 NE	
18								+85 NW 170 NW			116 NE 250 NE	
19								+131 W 235 W	81 NE 168 NE		76 NE 168 NE	
20		104 NE 154 NE							83 NE 185 NE	114 NE 227 NE	86 NE 180 NE	
21		104 NE 154 NE								115 NE 225 NE		
22								+70 NW 155 NW			70 NE 158 NE	85 NE 180 NE
23										121 NE 217 NE		81 NE 158 NE
24		105 NE 170 NE						+80 NE 194 NW				
25										102 NE 220 NE	99 NE 213 NE	
26										113 NE 247 NE	115 NE 223 NE	
27	98 NE 161 NE	108 NE 154 NE								109 NE 210 NE	76 NE 167 NE	
28		109 NE 184 NE								83 NE 164 NE	98 NE 212 NE	
29										105 NE 210 NE	127 NE 280 NE	82 NE 172 NE
30										123 NE 262 NE	107 NE 224 NE	
31												
日/月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日數	3	9	1	3	2	0	0	2	0	14	22	17

註: 表風

(NE, NNE)。

2. 地面的最大陣風風速均大致相等於或甚至超過最大十分鐘平均風速。極端的例子如1986年11月29日最大陣風風速為28m/s，而最大十分鐘平均風速只有12.7m/s，兩者之比達2.2。另外1984年10月20日分別為26.6m/s及11.4m/s，兩者之比更達2.3。
3. 由發生的次數看（表七）落山風主要盛行

表七、
1981-1986年恒春落山風次數統計

月 份	總 次 數	平 均 每 年 次 數
1	78	13.0
2	68	11.3
3	45	7.5
4	21	3.5
5	18	3.0
6	6	1.0
7	1	0.1
8	2	0.3
9	5	0.8
10	57	9.5
11	92	15.3
12	93	15.5

於10月至次年5月；6月至9月幾乎不發生落山風；尤其集中在11月至次年2月。需提醒注意的是：統計表上顯示的各月平均發生次數可能會有點誤導，因為有些年份落山風特多，而另一些年份則特少。例如1986年11月幾乎每天都有秒速超過15米的強陣風，而1985年卻幾乎沒有個案發生。

4. 最大陣風超過15m/s而風向不是NE或NNE的個案差不多不是颱風過境，就是颱風在恒春附近。另有極少數的個案，月報表與自記記錄不符；還有一些（很少）難以界定是什麼原因造成的。這些我們在作統計時都事先除掉了，不在我們進一步研究之列。

四、二 落山風的特性

落山風的基本特性是相當紊亂的氣流；風向在90度之內迅速變化，風速在短時間內劇烈變動，有強烈的陣風性質。

圖4是一個很明確的表現落山風起勁的例子，發生於1985年11月24日。在上午九時三十分之前地面吹極微弱的北西北風，幾乎是靜風的狀況。九時三十分風向相當快速的轉成東北方向，九時四十分風速急速上升，至十二時三十分地面陣風已達15m/s，到了1830地面陣風更超過21m/s。由靜風到超過10m/s僅歷時不到一小時。

圖5則是一個很典型的例子。1986年11月20日0430之前恒春處於靜風狀態，這時風向大致是NWN，從0530開始風向漸變為北偏東，到了0600風向變成東北，而陣風風速則快速增強，到了0800已超過15m/s。此後風向維持為東北，而且陣風風速維持相當強度，甚至超過20m/s。

圖6是1982年12月4日至3日的個案。這一天在0900之前吹南風，慢慢的轉變為吹西南風，然後維持到1900。到了2000風向轉成北北東，在此之前風速一直維持低於10m/s，而在風向轉成穩定的北北東，而後再轉成東北後，地面風速快速增強，包括陣風。

圖7是另一個典型的強陣風個案，發生於1981年12月30日。和前面幾個例子有類似的地方，如強陣風開始前吹西南風，等1610轉成東北風時，地面風速及陣風即快速增強。陣風在兩小時內由幾乎為零增加到超過18m/s，而到2015時已超過20m/s。

圖8是1986年12月3日至4日的強陣風個案，這是該年12月最強的個案。圖9為1978年11月19日至20日的個案，這是該年最強的個案。後兩者我們將會進一步加以探討。

以上幾個例子中都很容易可以看出何時陣風突然加強。這裡我們大致可以獲致一個結論，那就是強陣風一定伴隨東北風，也就是風一定跨越恒春半島的山而過，而非繞過。

但是並不是所有的個案都有明確的起始時間。有時風速時強時弱，卻斷斷續續難以分割，就像1986年10月23日的個案那樣（圖10）。1981年12月4日至12月7日的情形更提供了一個鮮活而有趣的例子。1981年11月下旬有一強陣風自27日0850開始持續到12月9日1820止，共歷時12天半，中間在12月1日曾達27.5m/s的強陣風。但在12月4日至12月7日間陣風卻時強時弱。像圖11所展示的，在12月4日0000之前地面吹東北風，陣風超過10m/s，到了0210風向慢慢轉成西北，在風向轉成有偏西的分量時，陣風即快速減弱。到了0500已將近成為靜風狀態，可是到了0700風向再度轉成北風並繼續轉變方向，至0900前後已轉成東北方向，而此時地面陣風再度出現，並在1040時超過15m/s。12月5日0215時風向再變成偏西，同時間風速急速減弱。可是到了同日1900時風向再轉成北偏東，地面陣風再度加強。12月6日0100時又轉成偏西的風，地面陣風立刻消散。此後風速及陣風穩定增強，配合風向穩定轉向東北，在1535前後陣風增強，甚至超過17m/s，而在12月7日0140前後風向再轉成偏西，同時陣風風速迅速衰減。

可見來自北方偏東的風是必要條件，也就是跨越恆春半島的氣流是落山風的必要條件。至於充分條件，等到下一章檢討完高層風的分佈後再說明。

四、三 落山風發生之時間與涵蓋範圍

由於恆春半島除了恆春測站外就沒有其他測站了，因此落山風涵蓋的範圍難以數據或記錄證實。不過根據當地人的經驗，我們大致知道落山風完全發生在山的西南海岸一帶，南至白沙，北至枋山，其中以海口的風力最強，據說路過的腳踏車在海口附近有被吹翻的記錄。

要知道落山風發生的時間，必須從自記記錄中去探尋。恆春測候所的自記記錄大致保存得很好，不過因為一卷記錄紙記錄一個月的資料，而為了知道發生的時間，唯一的辦法是到該測站一卷卷從頭到尾翻閱，頗為費時費事。我們共翻閱了自1981年

至1986年的全部資料，並作成記錄。不過由於太瑣碎，而且大致相似，我們僅列出最近三年（即1984年至1986年）的情況，如表八至表十。由於1986年有較完整的資料配合，我們將放較多的注意力在上面。

如前節所述，所謂起始時間大致是依風速急速增加，同時伴隨風向之快速變化者定義之。當然並不是時常有這種明顯的特徵，有時陣風持續數日，時強時弱；有時陣風是緩慢加強的；這些情況就不容易界定「起始」時間了。表八至表十分別是1986，1985，1984的強陣風起始時間調查的結果。據此我們大致可以得到以下的結論：

表八、1986年落山風起始時間表

(a)

總站：恆春測候所 年終：1986 附錄：落山風起始時間表

月	日	風速 m/s	風向	起始時間及備註	月	日	風速 m/s	風向	起始時間及備註
1	4	25 NE	180 NE	本0740	5	14	112 NE	170 NE	本0150
5	10	102 NE	150 NE	同上	17	04 NE	170 NE	170 NE	同上
27	06 NE	160 NE	160 NE	同上	8	16	160 NE	160 NE	同上，陣風減弱
2	3	72 NE	150 NE	本0705	17	05 NE	160 NE	160 NE	同上
8	01 NE	130 NE	130 NE	2月050705	10	1	82 NE	150 NE	同上
15	124 NE	184 NE	184 NE	本0240	2	05 NE	160 NE	160 NE	同上
16	100 NE	150 NE	150 NE	同上	3	09 NE	160 NE	160 NE	同上
20	104 NE	154 NE	154 NE	本0205	4	00 NE	152 NE	152 NE	同上
21	104 NE	154 NE	154 NE	同上	7	01 NE	180 NE	180 NE	同上
24	105 NE	170 NE	170 NE	本0500	10	09 NE	185 NE	185 NE	本0740 陣風減弱
27	106 NE	154 NE	154 NE	本0220	11	104 NE	211 NE	211 NE	同上
28	109 NE	184 NE	184 NE	同上	12	108 NE	220 NE	220 NE	同上
3	105 NE	150 NE	150 NE	同上	13	105 NE	200 NE	200 NE	同上
4	7	116 NE	152 NE	4月02240	14	117 NE	220 NE	220 NE	同上
11	119 NE	181 NE	181 NE	本0150	15	115 NE	220 NE	220 NE	同上
18	05 NE	160 NE	160 NE	同上	19	01 NE	160 NE	160 NE	同上，陣風減弱

(b)

测站: 45734(恒春)	年份: 1936	内容: 最大十分钟风速(m/s) 最大阵风(m/s)
---------------	----------	-------------------------------

月	日	風向 風速	起始時間及备注	月	日	風向 風速	起始時間及备注
10	20	88 NE 185 NE	同上	11	18	116 NE 250 NE	不明瞭
	23	121 NE 217 NE	可能於10月22日1945開始		20	114 NE 227 NE	本日0630
	29	105 NE 210 NE	本日0745		21	115 NE 225 NE	同上
	30	129 NE 262 NE	同上		22	70 NE 162 NE	同上
11	1	94 NE 180 NE	本日1120		25	102 NE 220 NE	11月24日1725
	2	87 NE 192 NE	同上		26	113 NE 247 NE	同上
	4	88 NE 167 NE	同上		27	109 NE 210 NE	同上
	5	108 NE 211 NE	同上		28	83 NE 164 NE	同上
	6	112 NE 226 NE	同上		29	127 NE 280 NE	同上
	9	104 NE 193 NE	本日0715		30	107 NE 224 NE	同上
	10	113 NE 211 NE	同上	12	1	111 NE 265 NE	同上
	11	105 NE 210 NE	同上		4	107 NE 226 NE	不明瞭
	12	79 NE 192 NE	同上		7	72 NE 192 NE	不明瞭
	13	76 NE 155 NE	同上		8	95 NE 203 NE	不明瞭
	16	104 NE 220 NE	本日1530		9	88 NE 168 NE	不明瞭
	17	126 NE 252 NE	不明瞭		10	80 NE 159 NE	不明瞭

(c)

测站: 45750 (恒春)	年份: 1956	内容: 最大十分钟风速 (m/s) 最大阵风 (m/s)
----------------	----------	---------------------------------

[illegible]

註：今年登山起點統計：
0000-0800 7次
0801-1600 4次
1601-2400 8次

表九、1985年落山風起始時間表

(a)

測站: 4679 (恒春) 年份: 1985 內容: 最大十分鐘風速 (m/s)
最大瞬間風速 (m/s)

月	日	風速 風向	起始時間及備註	月	日	風速 風向	起始時間及備註
1	4	87 NE 179 NE	本日0400	2	16	105 NE 185 NE	本日0800
	5	73 NE 155 NE	同上		17	88 NE 173 NE	同上
	13	89 NE 158 NE	1月12日0500		21	103 NE 185 NE	2月20日1240 2400減弱, 1400再加強
	14	88 NE 175 NE	同上		22	107 NE 217 NE	2100減弱
	19	78 NE 159 NE	1月17日2000		23	97 NE 220 NE	0700再加強
	24	128 NE 184 NE	1月22日2340		24	117 NE 194 NE	同上
	25	137 NE 260 NE	同上		25	98 NE 160 NE	同上
	26	129 NE 235 NE	同上	3	3	113 NE 163 NE	本日0500
	28	103 NE 200 NE	同上		5	93 NE 181 NE	同上
	29	95 NE 158 NE	同上		6	97 NE 170 NE	本日1500
	30	92 NE 173 NE	同上		9	147 NE 211 NE	本日0700
	31	100 NE 167 NE	同上		10	123 NE 240 NE	同上
2	10	115 NE 235 NE	本日0300		11	117 NE 246 NE	本日1000
	11	97 NE 179 NE	同上		12	135 NE 155 NE	同上
	13	99 NE 176 NE	2月12日0620		14	127 NE 189 NE	3月13日1500
	14	117 NE 185 NE	同上		15	107 NE 185 NE	同上

(b)

測站: 4679 (恒春) 年份: 1985 內容: 最大十分鐘風速 (m/s)
最大瞬間風速 (m/s)

月	日	風速 風向	起始時間及備註	月	日	風速 風向	起始時間及備註
3	17	90 NE 150 NE	本日0500 1300減弱	12	14	104 NE 185 NE	本日0900
	18	83 NE 150 NE	0500再加強		15	107 NE 179 NE	同上
	29	107 NE 217 NE	本日0500		19	94 NE 184 NE	本日0500
	30	143 NE 200 NE	同上		20	97 NE 198 NE	同上
	31	93 NE 207 NE	同上		21	91 NE 162 NE	同上
4	1	103 NE 180 NE	同上		23	99 NE 197 NE	同上
	4	93 NE 187 NE	4月3日2000		24	85 NE 150 NE	同上
	18	97 NE 186 NE	不明確		31	81 NE 170 NE	不明確
10	2	97 NE 151 NE	9月28日0400開始 9月30日1600再加強				
	19	116 NE 178 NE	不明確				
11	24	121 NE 208 NE	本日0500				
	25	109 NE 173 NE	同上				
	30	106 NE 154 NE	11月28日0940				
12	1	105 NE 165 NE	同上				
	2	111 NE 188 NE	同上				
	3	90 NE 160 NE	同上				

註: 今年落山風起時間
0000-0800 16次
0901-1800 8次
1801-2400 2次

表十、1984年落山風起始時間表

(a)

測站: 46730(西營) 年份: 1984 內容: 最大10分鐘風速(m/s)
最大陣風(m/s)

月	日	風速 風向	起始時間及備註	月	日	風速 風向	起始時間及備註
1	3	94 NE 195 NE	本日0530開始 1510快速增強	1	31	93 NE 170 NE	本日0545
4	78 NE 173 NE	同上		2	1	79 NE 154 NE	同上
5	88 NE 185 NE	同上	本日0700	2	94 NE 163 NE	同上	
7	79 NE 152 NE	同上	本日0240	3	103 NE 188 NE	同上	
9	88 NE 168 NE	同上		6	103 NE 207 NE	同上	3月5日0550持續至9日
14	99 NE 181 E	同上	1月13日0210	7	85 NE 178 NE	同上	
16	114 NE 232 NE	同上	1月15日2250	8	95 NE 189 NE	同上	
17	85 NE 155 NE	同上		9	83 NE 174 NE	同上	
19	87 NE 170 NE	同上		17	111 NE 207 NE	同上	本日0730持續至19日
20	93 NE 179 NE	同上		18	111 NE 208 NE	同上	
22	82 NE 159 NE	同上		19	87 NE 183 NE	同上	
25	88 NE 155 NE	同上	本日1010	26	97 NE 185 NE	同上	
26	104 NE 221 NE	同上		27	109 NE 217 NE	同上	
27	94 NE 204 NE	同上		28	99 NE 171 NE	同上	
28	80 NE 160 NE	同上		29	100 NE 203 NE	同上	
29	85 NE 154 NE	同上		3	97 NE 177 NE	同上	

(b)

測站: 46730(西營) 年份: 1984 內容: 最大10分鐘風速(m/s)
最大陣風(m/s)

月	日	風速 風向	起始時間及備註	月	日	風速 風向	起始時間及備註
3	4	93 NE 180 NE	不明確	10	30	91 NE 230 NE	同上
5	83 NE 163 NE	不明確		31	111 NE 233 NE	同上	
6	91 NE 185 NE	不明確		11	91 NE 184 NE	不明確	可能為10月28日之延續
10	87 NE 174 NE	同上	本日1010	15	79 NE 176 NE	同上	本日0850
11	78 NE 164 NE	同上		16	84 NE 177 NE	同上	
20	76 NE 155 NE	同上	本日0815	18	89 NE 157 NE	不明確	
21	98 NE 213 NE	同上		19	126 NE 255 NE	同上	本日0710
4	23	93 NE 174 NE	不明確	20	105 NE 241 NE	同上	
10	11	83 NE 185 NE	10月10日1330	21	85 NE 170 NE	同上	
12	77 NE 160 NE	同上		24	94 NE 200 NE	不明確	可能於11月18日
13	74 NE 151 NE	同上		25	111 NE 228 NE	同上	
20	114 NE 236 NE	同上	10月19日0515	26	100 NE 219 NE	同上	
21	109 NE 232 NE	同上		27	87 NE 188 NE	同上	
22	91 NE 177 NE	同上		28	80 NE 177 NE	同上	
28	115 NE 240 NE	同上	本日0500	29	91 NE 204 NE	同上	本日0320
29	108 NE 233 NE	同上		30	92 NE 192 NE	同上	

(c)

站址: 4673(西嶺) 年份: 1984 內容: 最大分時風速(m/s)
最大風速(m/s)

月	日	風速 方向	起始時間及備註	月	日	風速 方向	起始時間及備註
12	1	115 呢 240 呢	本日0500				
	2	104 呢 228 呢	同上				
	3	98 呢 200 呢	同上				
	4	79 呢 160 呢	同上				
	6	100 呢 186 呢	同上				
	7	102 呢 238 呢	同上				
	8	85 呢 170 呢	同上				
	10	64 呢 152 呢	本日0730				
	19	50 呢 172 呢	12月18日1035				
	24	77 呢 160 呢	不明瞭				
	25	96 呢 190 呢	不明瞭				
	29	85 呢 163 呢	不明瞭				

註: 全年風速範圍
000-0800 12次
0801-1600 7次
1601-2400 1次

1. 若以24小時三等分來計算, 1984至1986年間落山風起始於0001-0800 LST 的共有29次, 0801

-1600 LST 的共有19次, 1601-2400 的共有11次。可見在早晨起始的機會最大。

2. 若以0901-2100 及2100-0900 的分法將一天分成白天與夜晚, 則1986年兩者各為11次; 1985年前者有8次, 後者有13次; 1984年中前者有5次, 後者有15次。總計白天發生24次, 晚上發生39次。

3. 總結的說, 落山風起始時間發生於夜晚和清晨者似乎較佔優勢, 不過並不相差懸殊。而且因為通常落山風開始後會持續一段長時間(至少十二小時, 甚至於一星期之久), 這表示日變化因素並不重要。

五、高層大氣結構與穩定度

我們先用最典型的例子說明大氣的垂直風切和動力穩定度的重要性, 稍後再展示和落山風的關係。

1986年12月4日恆春地面強陣風有達22.6m/s的記錄, 如圖8所示。雖然這次強陣風沒有明確的起始時間, 但大致在12月3日深夜地面陣風開始加強, 而到4日深夜開始減弱。我們把綠島當時的探空資料加以分析, 結果如圖12。由圖可以看到在12月3日00Z 時上層沒有明確的臨界層, 而且理查遜數普遍偏高。到了3日12Z (當時時間為下午8時), 明確的臨界層出現在離地面2.7公里處, 且該高度的 R_i 小於1。12月4日00Z 的情形相似, 臨界層的高度略為提高至3公里處, 這段期間落山風維持相當的強度。而到了12月4日12Z, 臨界層開始退化, 而且下降至2公里以下, 至5日00Z 下降到1.5公里, 且臨界層高度的 R_i 大於1。這印證了洪與翁(1985)的結論, 即臨界層的存在是落山風形成的必要條件, 而臨界層必須介於2至4公里間, 且同高度的 R_i 必須小於或接近於1 為落山風形成的充分條件。

每年6月大致是落山風休止的月份, 1986年也不例外。我們把6月頭一星期的綠島探空資料加以分析, 以了解其原因, 結果如圖13(a)至(e)。我

們很清楚的可以看出來，靠近地面的高度仍然吹東風，而且高層則東、西風交替換了好幾處，這表示有多層臨界層的存在，但 R_1 都遠大於1，並不具落山風的基本條件，故地面的風速都很小。

再挑一個落山風維持相當長時間的資料為例。1986年11月地面陣風風速超過15m/s 的日子有22天，也就是說幾乎天天都有相當強度的地面陣風。我們最後就拿這個月的資料來印證我們的看法和結論。這個月的綠島探空資料都展示在圖14上。

由於資料很多，我們不一一檢討。有強陣風的日子，高空探測資料大致都具有以上所提的條件，這裡我們將專注在沒有強陣風發生的日子的大氣結構。11月1、2日及4日曾有不算特別強的地面陣風，中間隔著3日當天無強陣風。由探空資料看起來，我們可理解那是因為臨界層 R_1 很大的緣故。11月7、8日兩天的情形類似。14、15日則一方面臨界層太低，一方面低層的風太小。16日的情形很特殊；由12Z的資料看起來，雖然該高度的 R_1 接近為零，但由於臨界層太多因不足以導至共振式的落山風，檢討此時綠島得探空資料可看見地面的風速在上風區即超過30m/s，11月18日亦同。為什麼此時上游風場增強到這種地步，由於資料不全，無法判斷。11月19日無強陣風，11月20日至22日均有強烈的地面落山風，可惜這幾天的探空資料殘缺不全。11月23及24日的高層風及溫度結構不適合構成落山風的要件，而地面記錄也正顯示這兩天沒有強陣風。此後除了26日探空資料不全外，11月25日至12月1日大致類似，均有合適的高層風及溫度結構與地面強陣風相配合，而12月2日這種高層的條件消失了，地面陣風也因而停歇。

六、理論模式模擬之配合研究

由上所述，我們已知恆春落山風不具有旋渦的特性，與冷空氣南侵也不一定有關係，但發生時上游探空資料一定顯示有相對於山岳波的臨界層存在，且該處的里查遜數很小（接近1 或小於1）。根據理論（Breeding, 1972），在這種情況下重力

波（包括傳播性質的山岳波）在遭遇臨界層時會造成部分反射。洪與翁（1985）以動力數值模式證明當臨界層的高度配合適當（約為 $\frac{1}{2}$ 波長）時，重力波在地面與臨界層間返復反射造成建設性的干涉，可導致共振，而振幅大幅度放大。本文的分析結果正支持他們的理論。進一步的理論詮釋與證明，將在別處發表，這裡不再贅述。

不過為了簡單展示臨界層及該處的低里查遜數為必要條件，而臨界層位於2 ~ 4公里間為充分條件，此處我們對75年11月15日及75年11月17日兩天的情形加以數值模擬（詳細的情形，包括模式、數值方法等，請詳見洪與翁，1985）。11月15日沒有落山風，而11月17日則有超過20 m/s 的強陣風。由地面天氣圖看（圖15），11月15日有一正在衰減強度的颱風位於南海上，恆春地區並未受到影響，11月16日有鋒面通過台灣，但在11月17日鋒面已遠離。本個案與冷氣團的關聯性並不明確，但11月29日恆春曾有高達28 m/s的地面陣風發生（見表六），而由圖16（11月28日至30日的地面天氣圖）上卻未能發現任何中、大尺度的天氣系統在臨近地區，明顯的可看出此次個案與所謂冷氣團入侵無關。

由於這兩天的綠島探空資料看起來並不正常（例如，11月17日的低層風速達30 m/s，但沒有其它資料及跡象支持此數據的正確性，包括日本氣象廳的天氣圖），我們只好改採板橋的探空資料。由於台灣北部的山脈都是東北、西南走向，與低層的風向大致平行，而且山均小於一千公尺，表示板橋的探空資料並不曾明顯的地形影響，因此以板橋的資料代表恆春半島上游的大氣狀況並不會引進顯著的誤差。圖17及圖18分別得自1986年11月15日及17日板橋的探空資料，顯示15日在2公里上空存在一重力波的臨界層（相對於山岳波而言），但臨界層處的里查遜數大於10，即遠大於1；而17日也有臨界層處於2公里的上空，可是該處的里查遜數大約等於1。後面我們用數值模式模擬的方式證明這個差別決定了迥然不同的結果。

我們先用圖18的大氣結構作為初始值，並在時間積分的過程中先讓地形緩慢升高（在三十分鐘內

把地形加到全高)以防止不穩定數值模 (computational mode)的產生。然後以此作為零時間的場,再往前積分。圖19a 為此結果。積分200 分鐘後的結果展示在圖20上,可見此時西岸地面的風以增加至 -10 m/s 。積分至 300分鐘時(圖21)西岸的地面風速更增加到 -16 m/s 。

同樣的模式改用11月15日的探空資料(圖17),得到圖22的結果,在積分 300分鐘後,西岸的風速仍小於 -8 m/s 。

我們把地面的風速分佈情形整理成圖23。同時,地面的氣壓分佈則展示在圖24上,顯示11月17日的臨界層及其接近 1的理查遜數為造成地面強風的關鍵。

至於為什麼這二天的結果會如此不同,原因是:由於11月17日臨界層的理查遜數接近 1,重力波(山岳波)會在臨界層附近反射,又由於臨界層位於 2公里處,對於垂直波長為4~6公里的重力波而言,在臨界層與地面間的反射會造成建設性的干涉,而使振幅隨時間遞增,這種情形可由重力波的動量流通量(momentum flux, 或 pseudo-momentum flux)隨時間穩定增加得到證實(圖25a)。11月15日雖然也有臨界層,但其理查遜數遠大於 1,重力波在臨界層主要被吸收掉,故振幅無法漲大,這由動量流通量幾乎維持不變可以證實(圖25b)。由空氣的速度向量上看(圖26),在積分 300分鐘時,由於重力波的振幅很大,空氣上下振盪的幅度很大,因此地面上的空氣實際上是由遠比山頂為高的地方疾落而下的。11月15日就沒有這種情況(見圖27)

最後討論一下為什麼除了風速大以外,還有強陣風。由圖28可看出在恆春半島上空有 $\log(R_i)$ 為負值的地方,表示這些地方的理查遜數小於 1,為有風切不穩定潛能的地方。故風切不穩定可能為造成亂流的原因(可參考 Clark and Farley, 1984),不過由於我們的模式為準靜力平衡模式,無法解析亂流尺度的運動。一旦有亂流發生的潛能存在時,為了使模式穩定,在模式中還特意加了亂流消散機制,一方面也模擬亂流發生後的「後果」,但無法模擬亂流發生時的「情形」。

七、結論及預報因子

由以上各種證據以及由各個角度的探討,我們可以達到以下的結論:恆春落山風是由於重力波在地面與臨界層反復反射,並造成建設性干涉,以至振幅變大的結果。至於為什麼會是陣風形式的,則可由圖23的理查遜數看出來,注意在恆春半島的西岸接近地面的地方,理查遜數小於 1,表示有風切不穩定 (shear instability)造成的亂流。

因此落山風的預報因子為 (1)上游的風向為東北至北北東,地面風速在 5 m/s 以上; (2)上游的上層探空資料顯示風向量在東北-西南方向的投影(即測風, cross wind)有一明顯的零風速處,且該處的理查遜數接近或小於 1。

誌謝

感謝蕭志惠小姐的協助。綠島探空資料的處理有一大部分是在周思迎及葉青青的協助下完成的,特別謝謝他們。本文部分研究由CWB76-01-11資助。

參考文獻

- Breeding, R. J., 1972: A non-linear investigation of critical levels for internal atmospheric gravity waves. *J. Fluid Mech.*, 50, 545 - 563.
- Clark, T.L., and Farley, R.D., 1984: Severe downslope windstorm calculations in two and three dimensions using anelastic interactive grid nesting: A possible mechanism for gustiness. *J. Atmos. Sci.*, 41, 329-350.
- 洪秀雄, 翁富山, 1985: 恆春半島氣流過山引起之擾動。國立中央大學大氣物理研究所大氣動力研究報告。

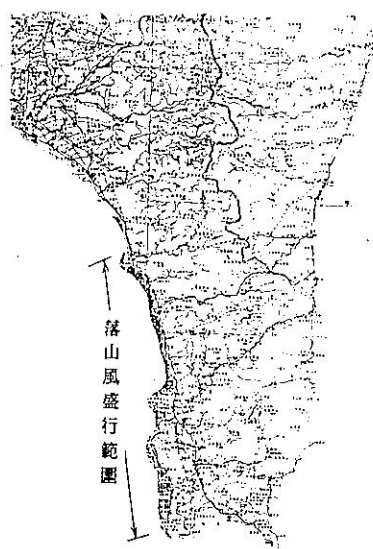
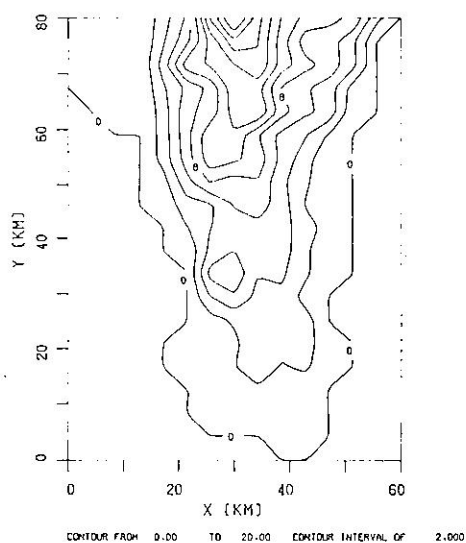
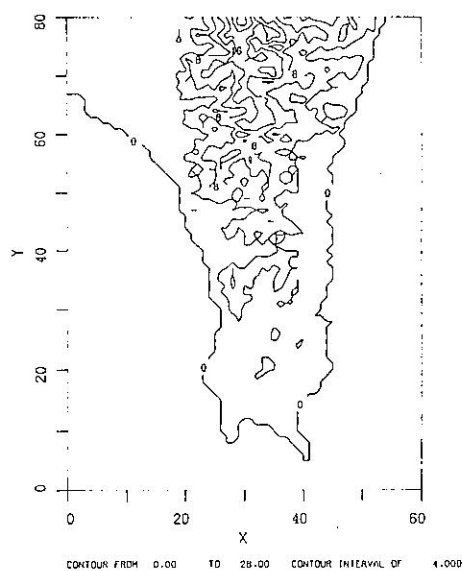


圖1、恆春半島之詳細地圖(摘自幼獅全省地圖)。

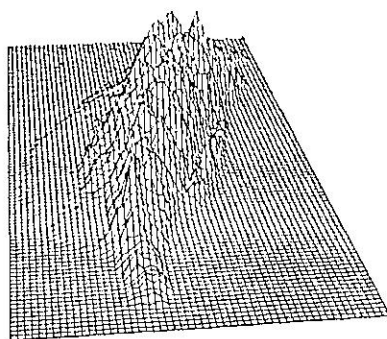


(2)

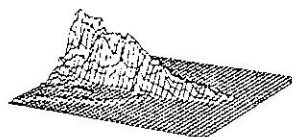


(1)

圖2、恆春半島之地勢等高線。(1)1公里間距資料，(2)5公里×5公里包跡地勢資料。實際的高度為等值線上的值乘以100公尺。



(2)



(3)

圖3、(1)由三維等值面看台灣之地勢，(2)由西南方所看到的恆春半島地形，(3)由東北方所看到的恆春半島。

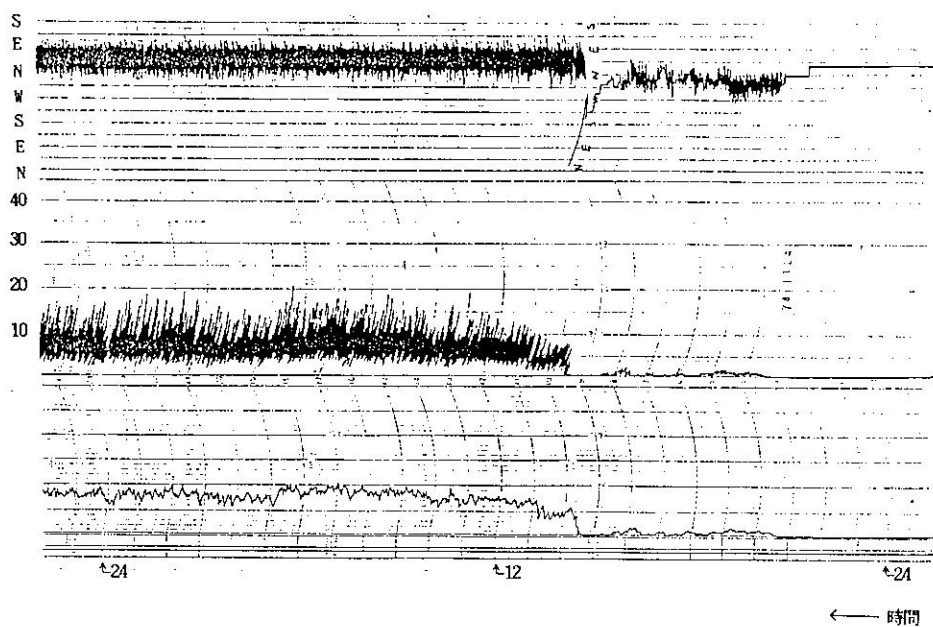


圖4、1985年11月24日恆春測站之地面風速風向。
最上面為瞬間風向，中間為瞬間風速(m/s)
，最下面為十分鐘平均風速。

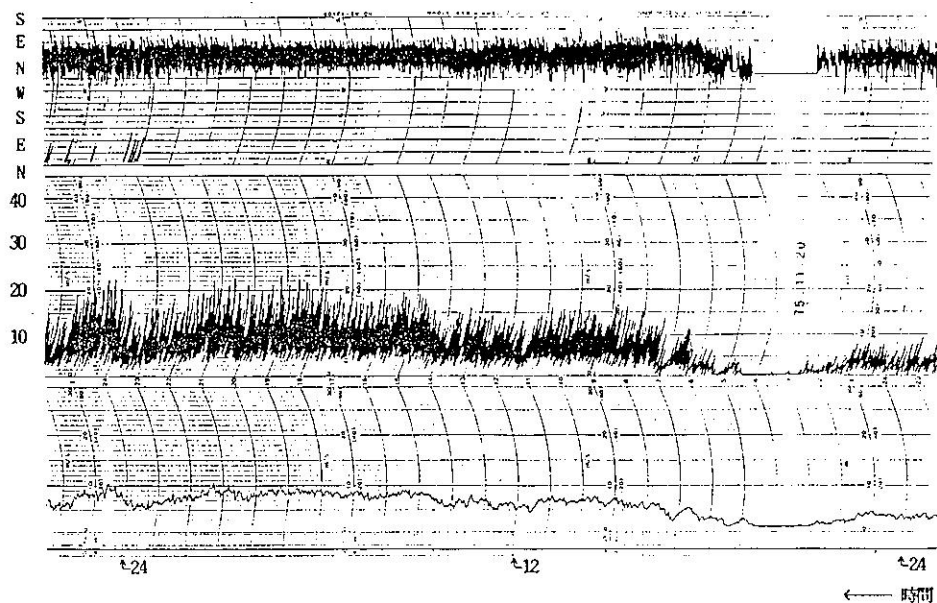


圖5、1986年11月20日恆春測站之地面風速風向。

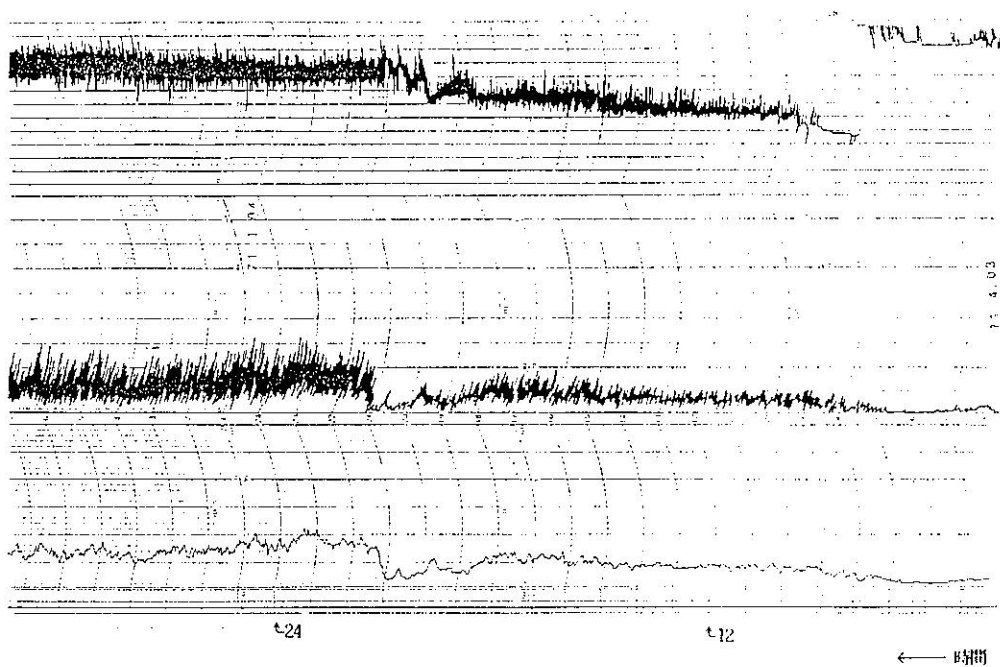


圖6、1982年4月3日恆春測站之地面風速風向。

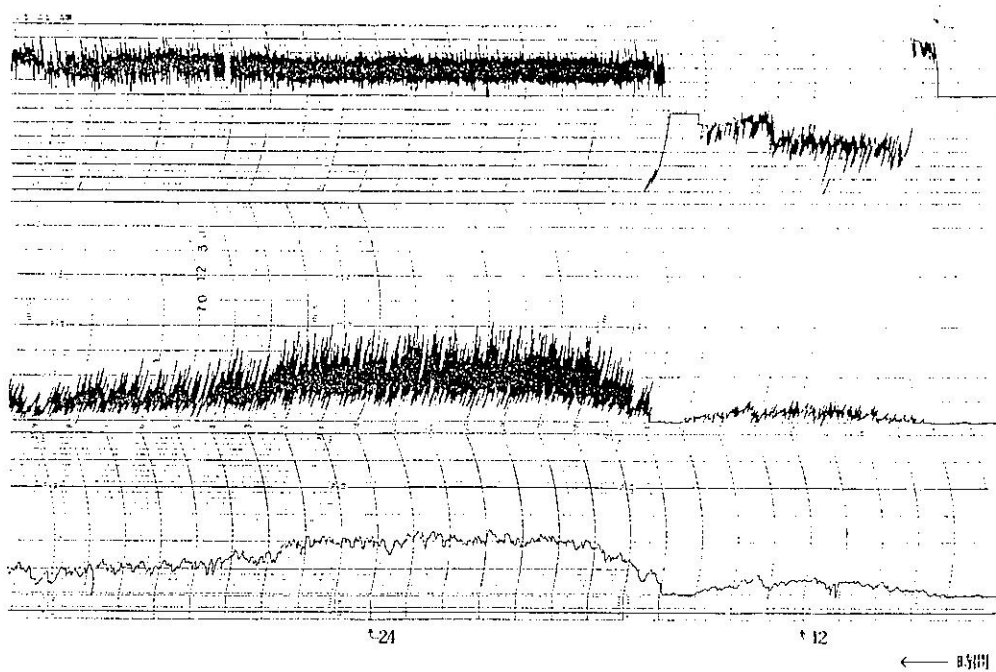


圖7、1981年12月30日恆春測站之地面風速風向。

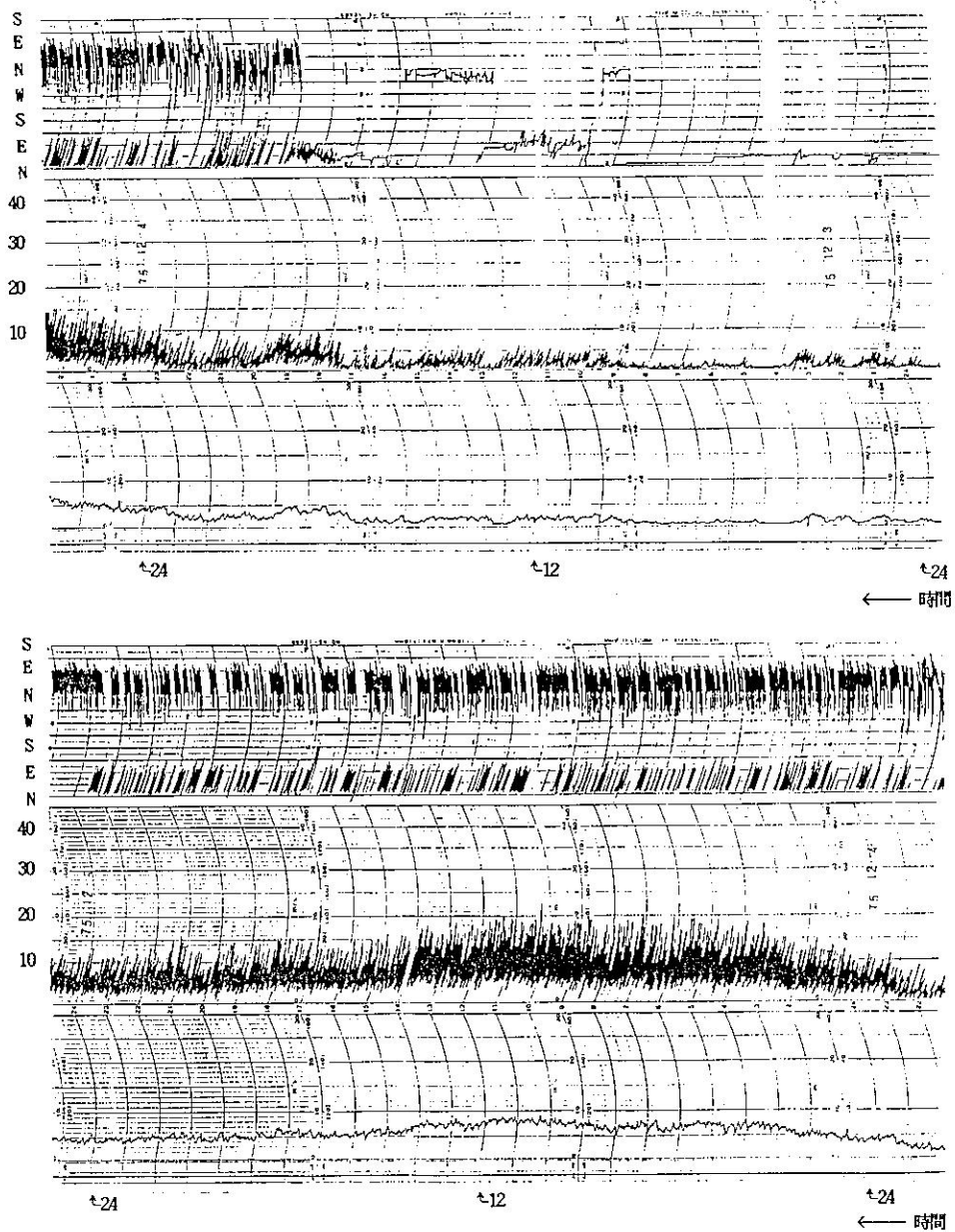


圖8、1986年12月 3日至 4日恆春測站之地面風速

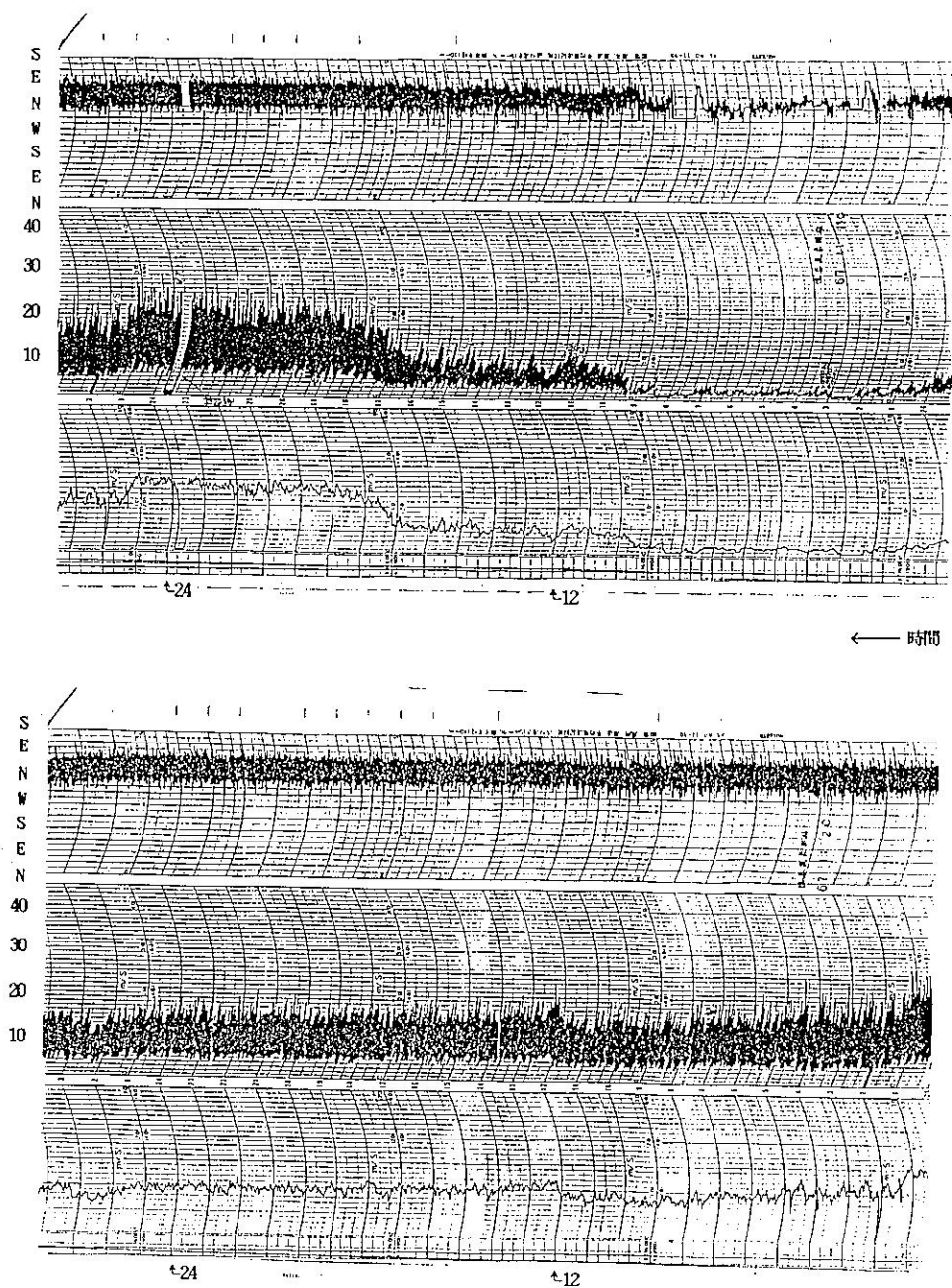


圖9、1978年11月19日至20日恆春測站之地面風速風向。

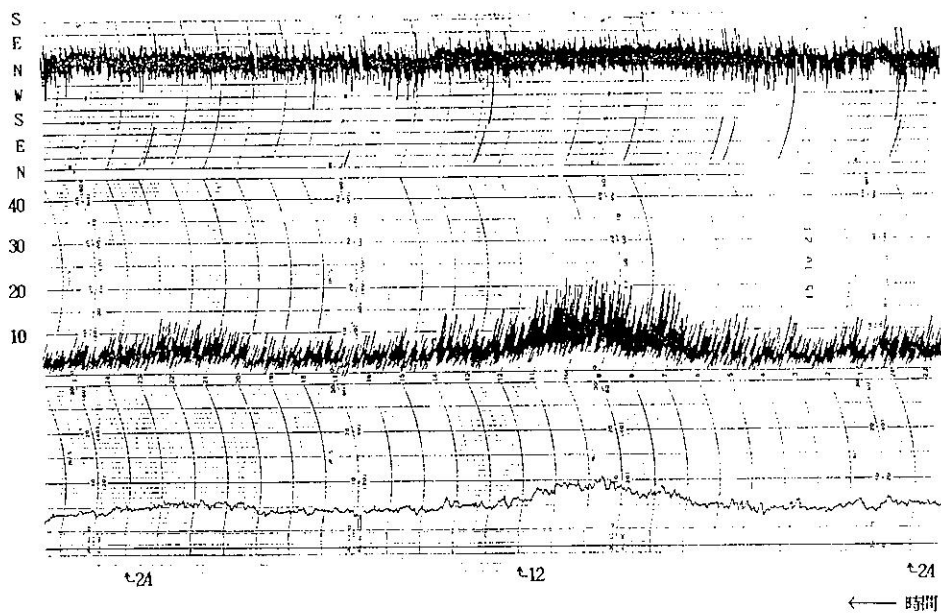


圖10、1986年10月23日恆春測站之地面風速風向。

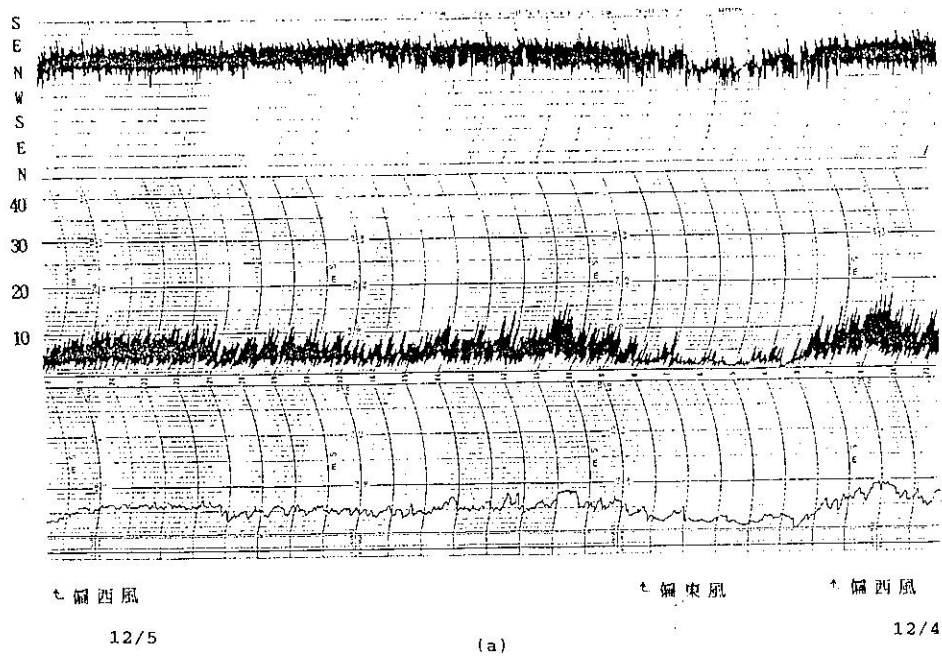
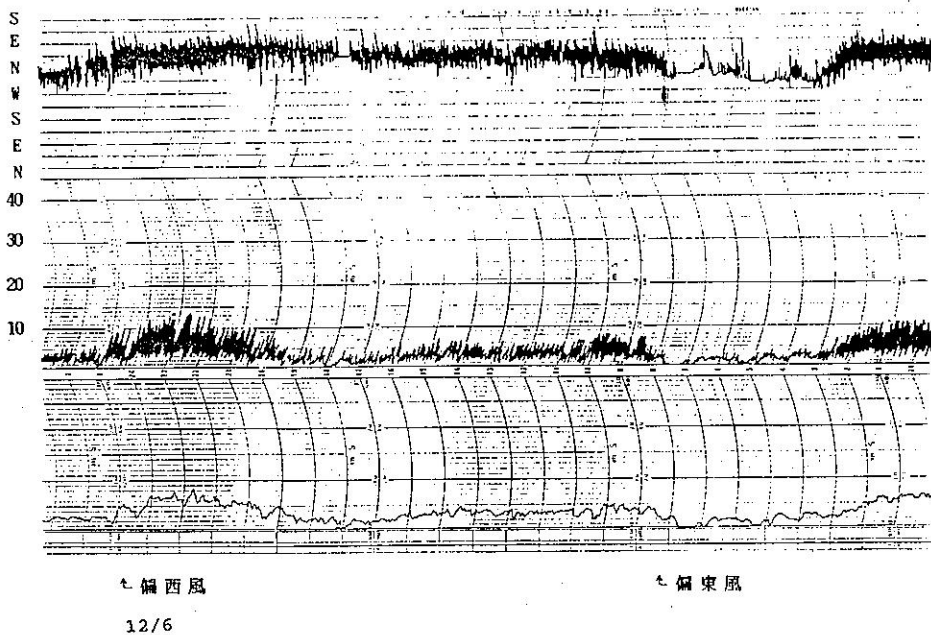
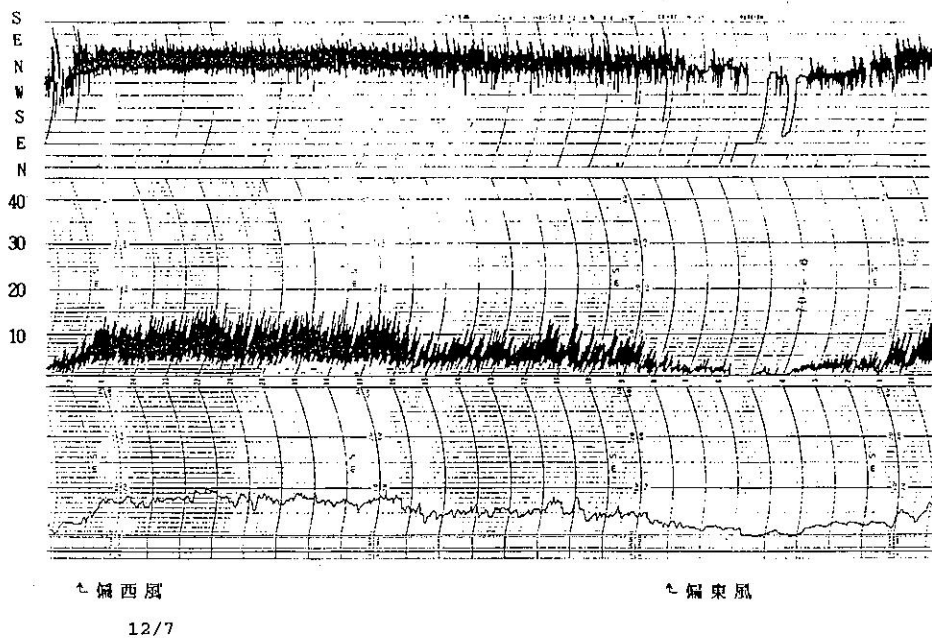


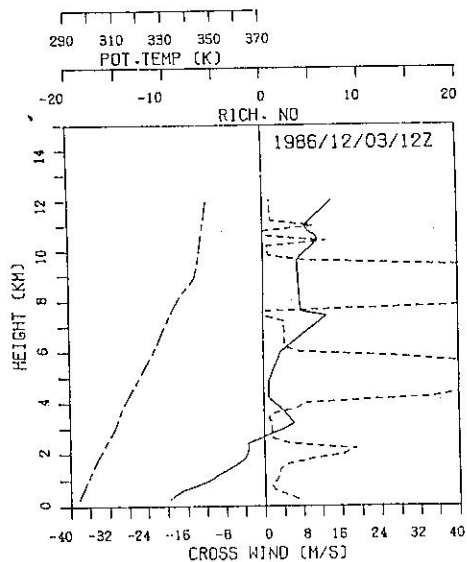
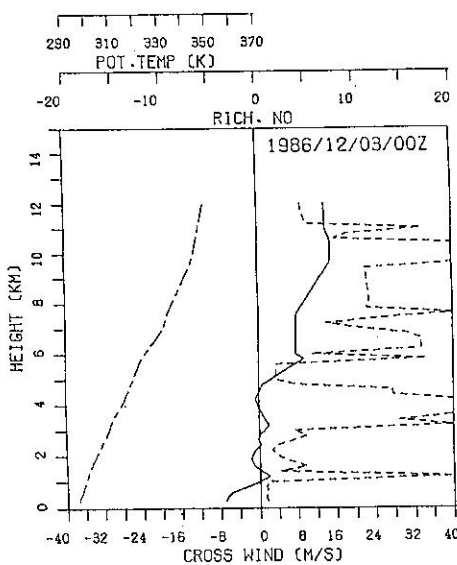
圖11、1981年12月 4日至 7日之地面風速風向。



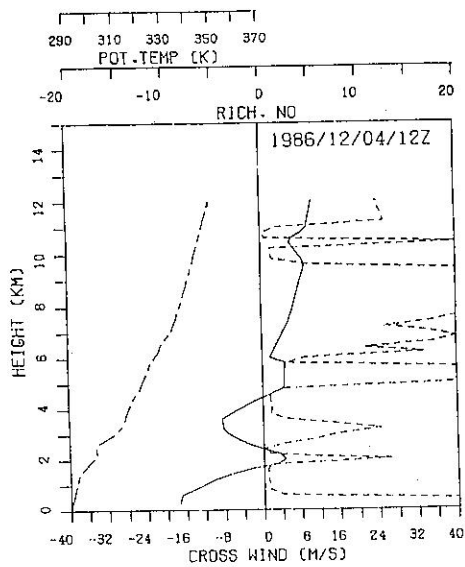
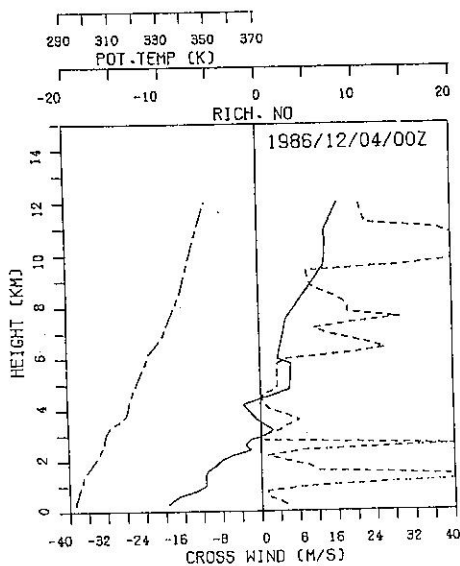
(b)



(c)

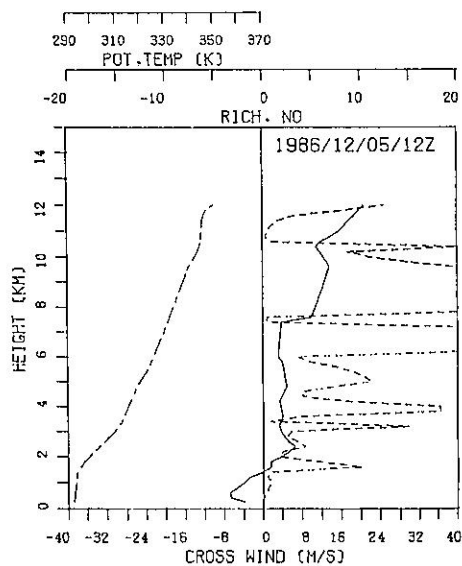
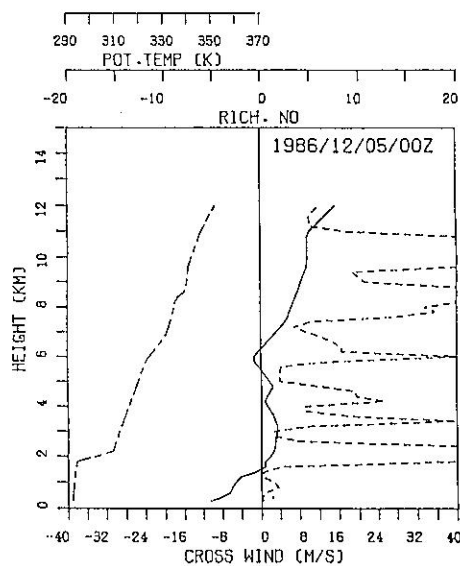


(a)

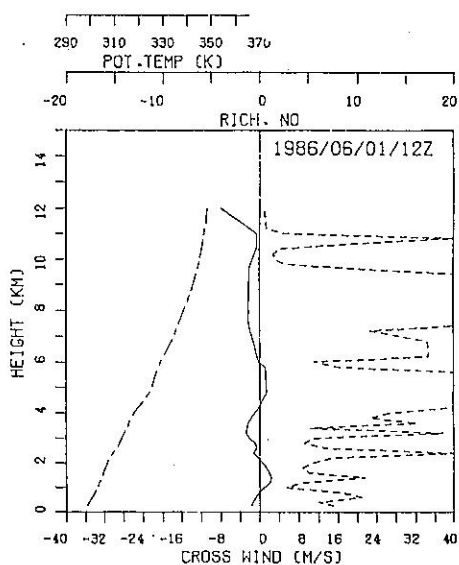
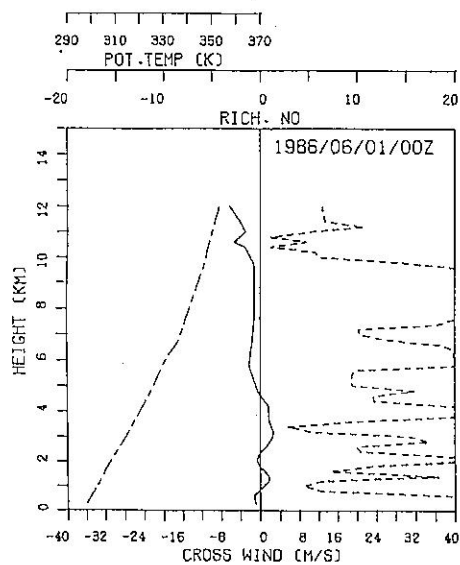


(b)

圖12、1986年12月3日至5日之綠島探空資料。
實線為側風風速，點虛線為位溫，虛線為
理查遜數。

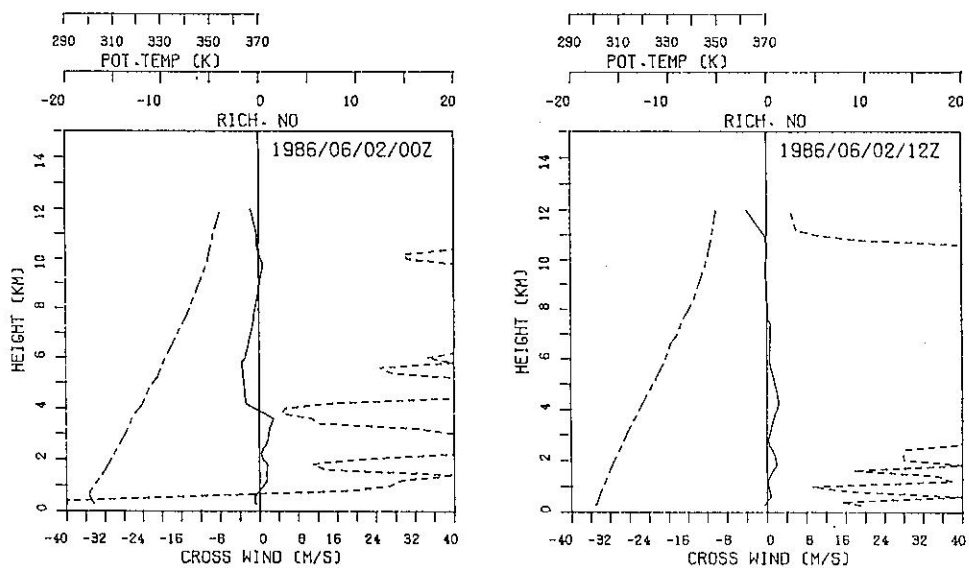


(c)

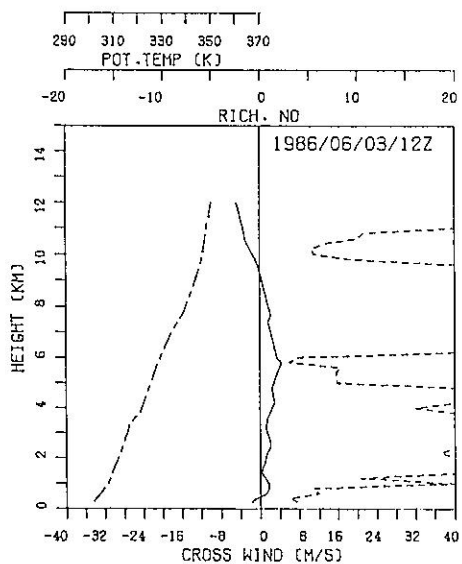


(a)

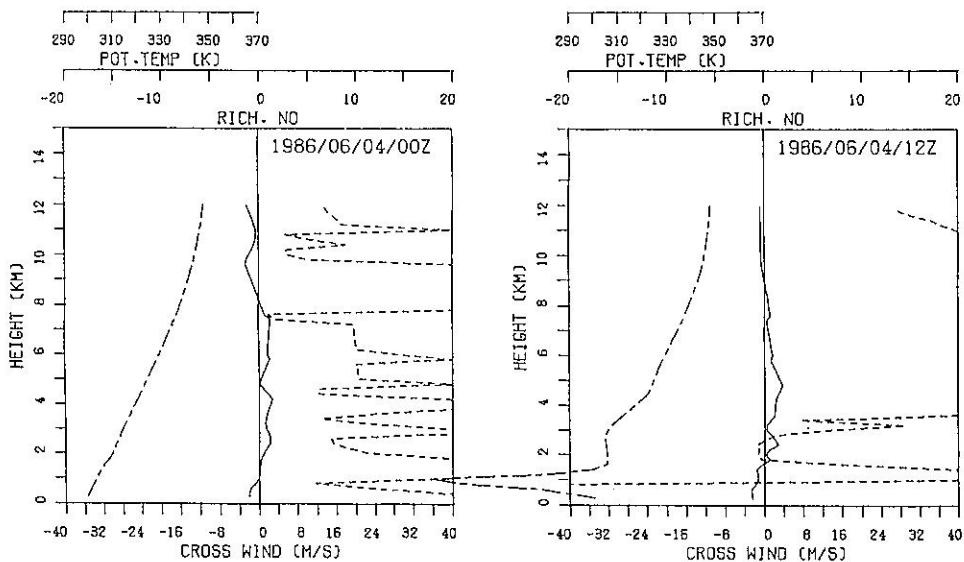
圖 13、1986年 6月 1日至 5日之綠島探空資料。



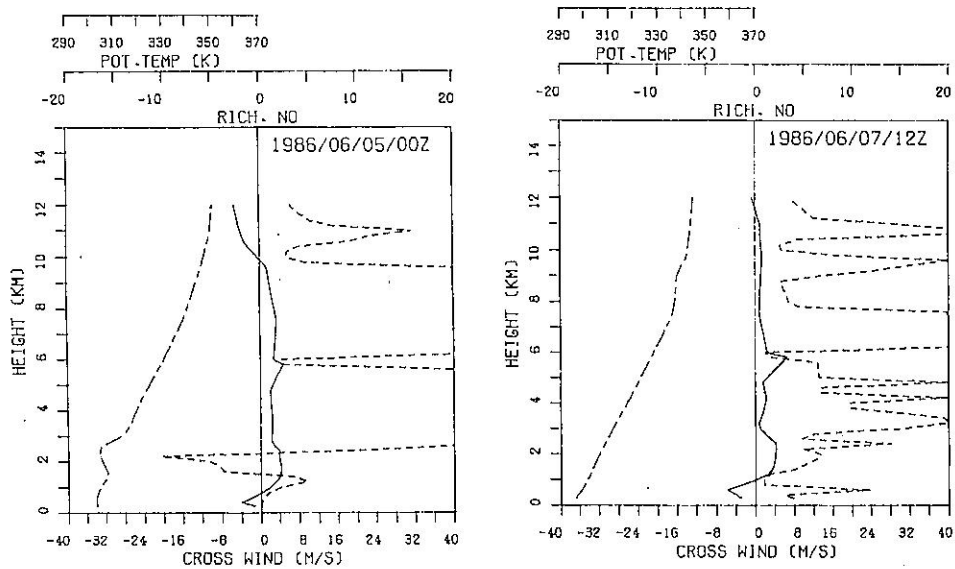
(b)



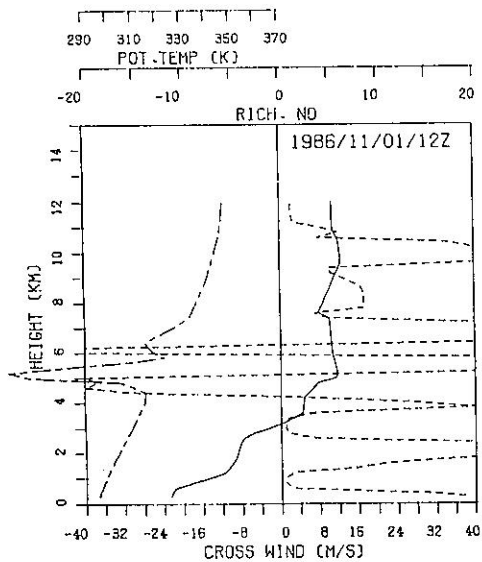
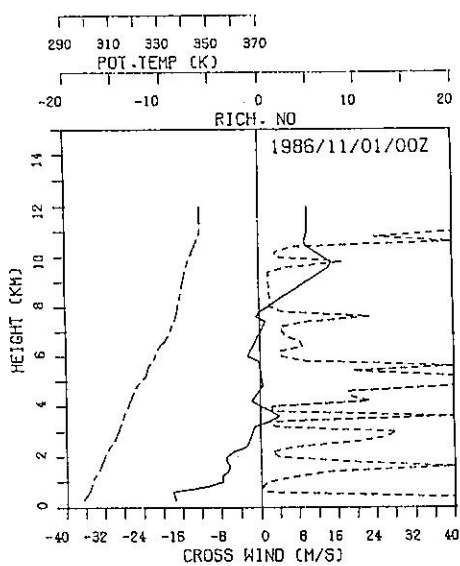
(c)



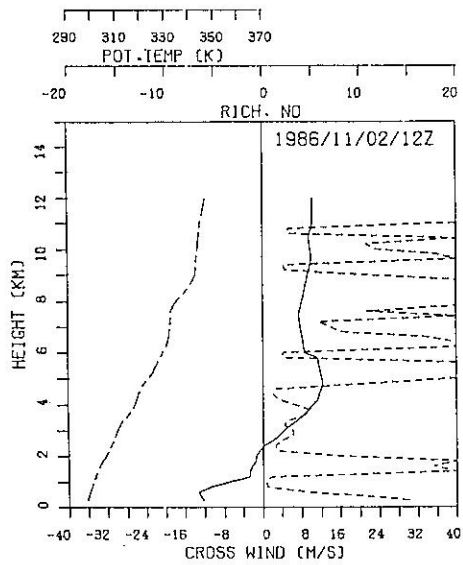
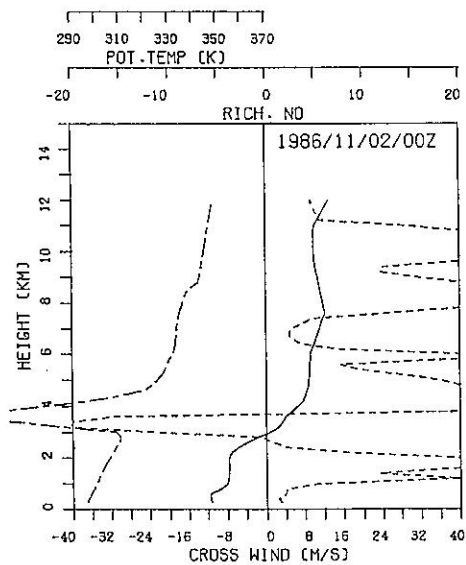
(d)



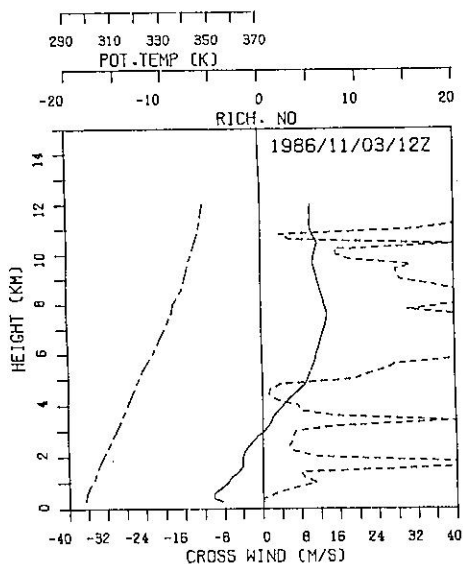
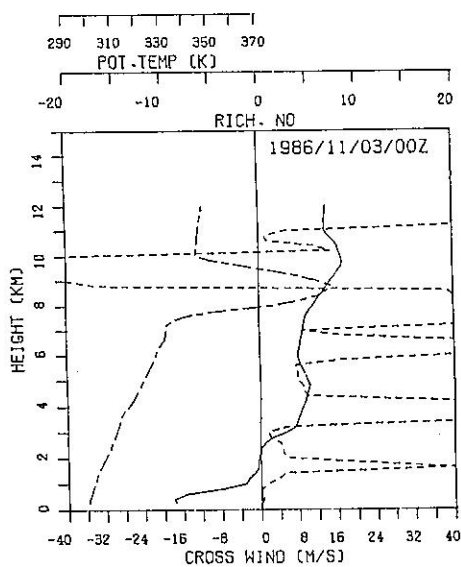
(e)



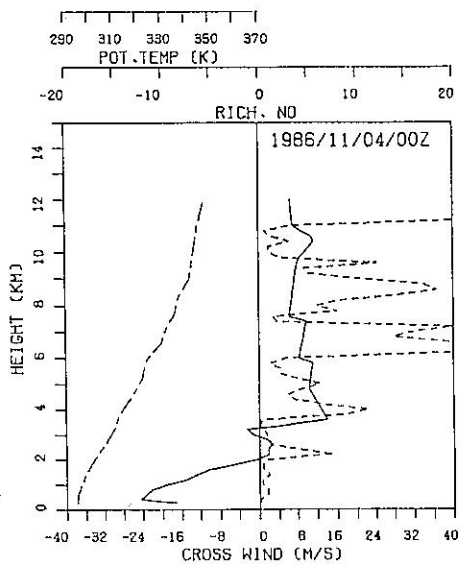
(1)



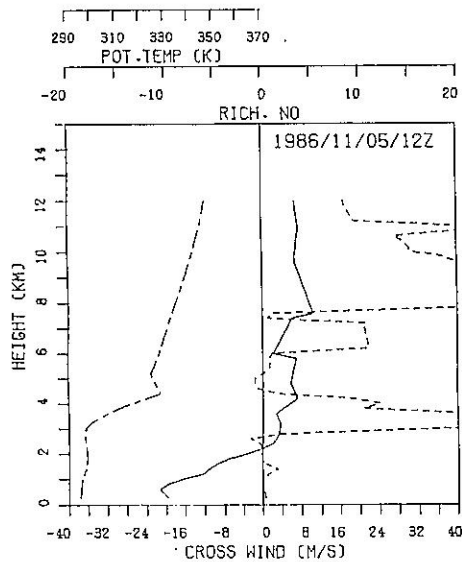
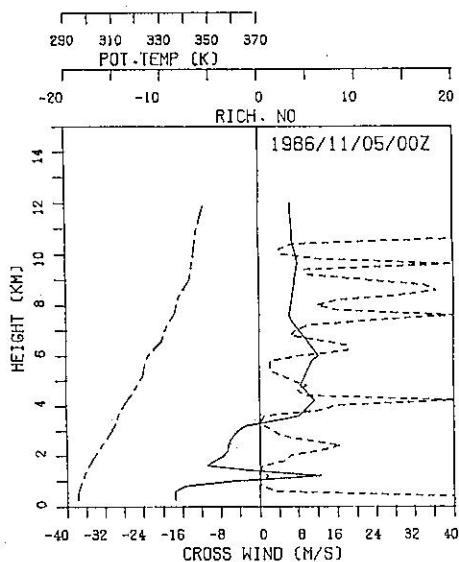
(2)



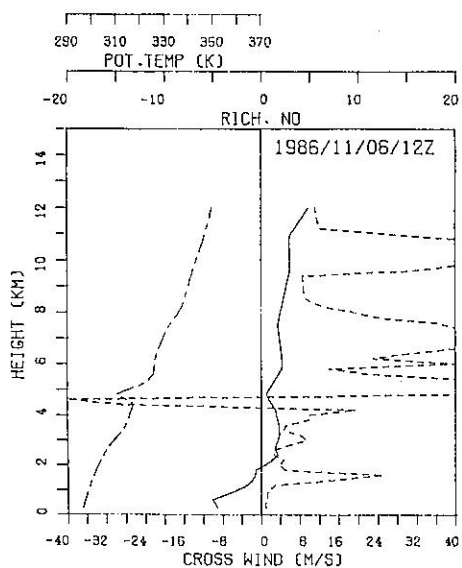
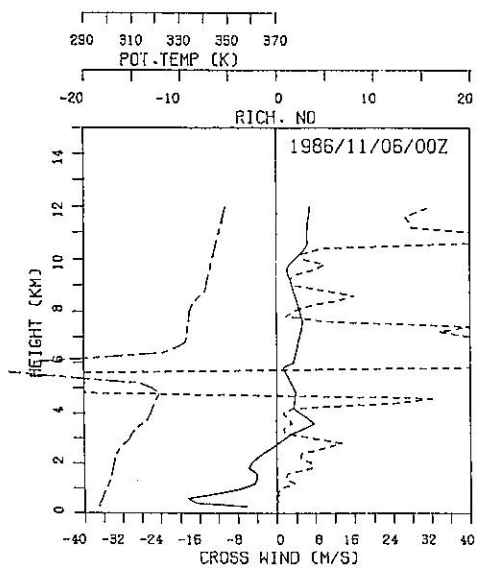
(3)



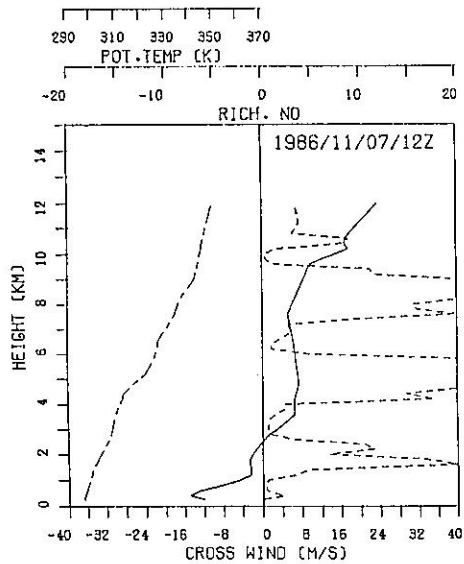
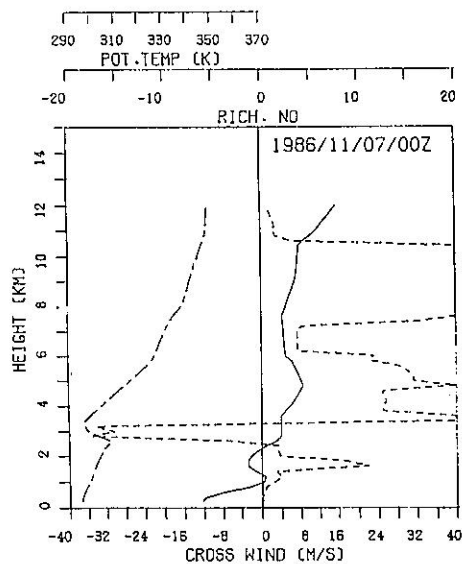
(4)



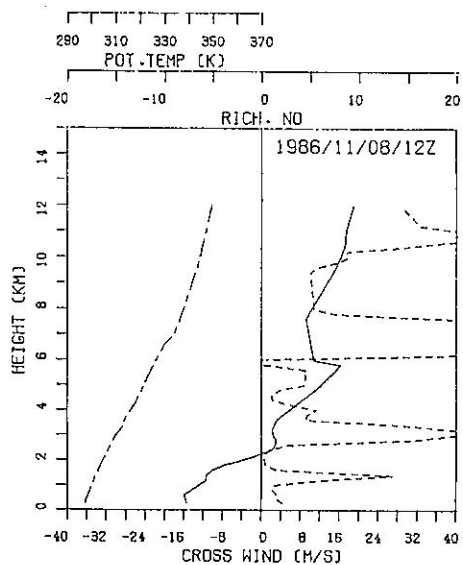
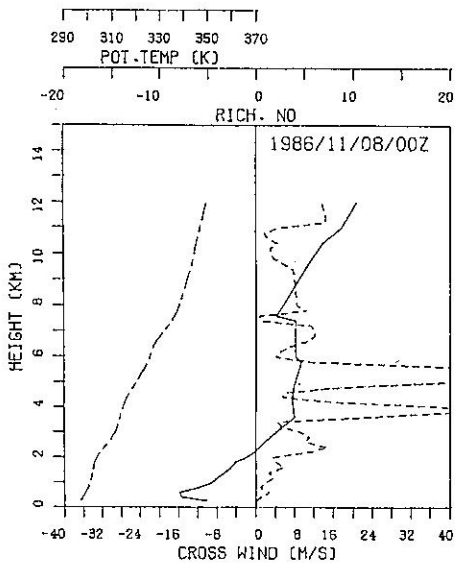
(5)



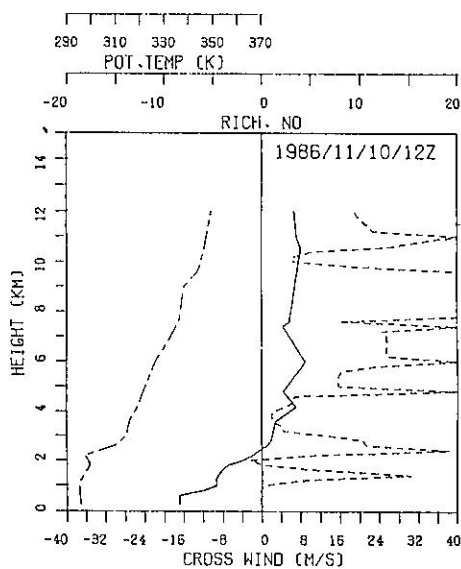
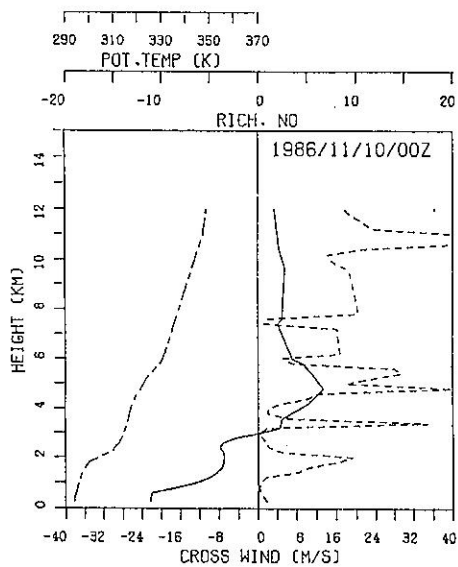
(6)



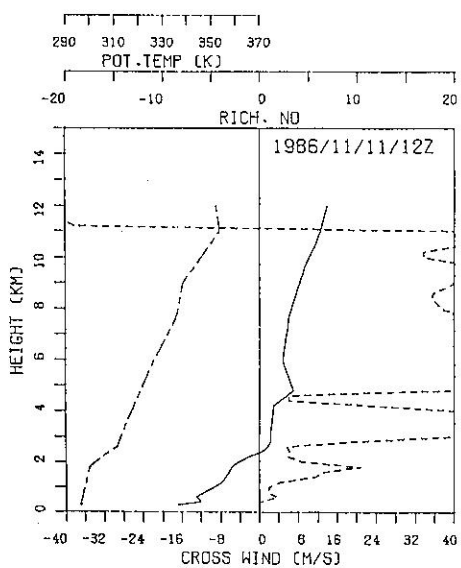
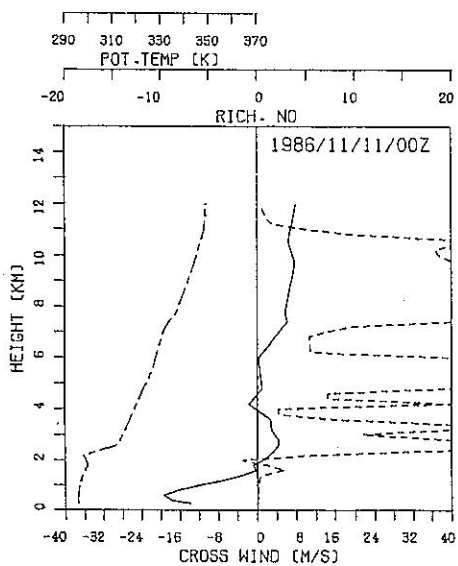
(7)



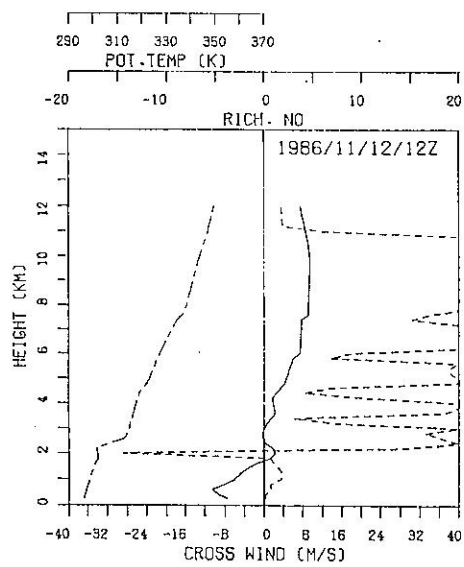
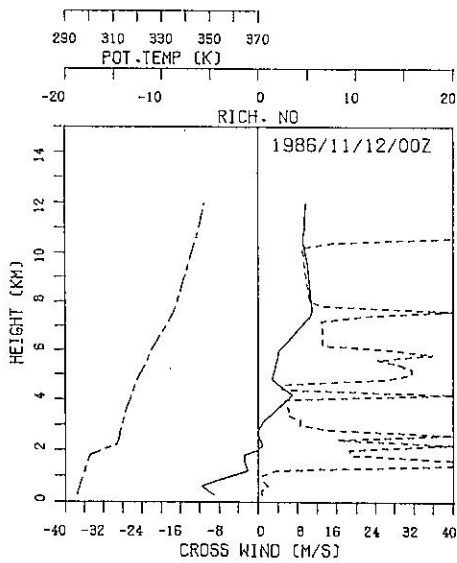
(8)



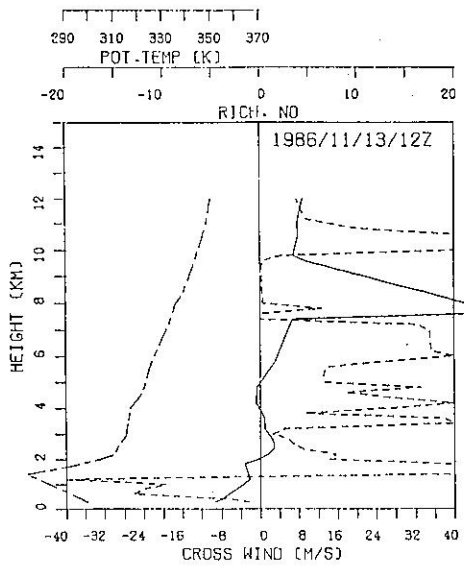
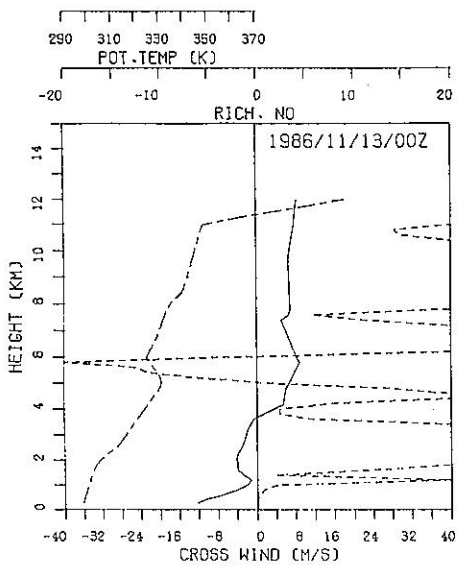
(10)



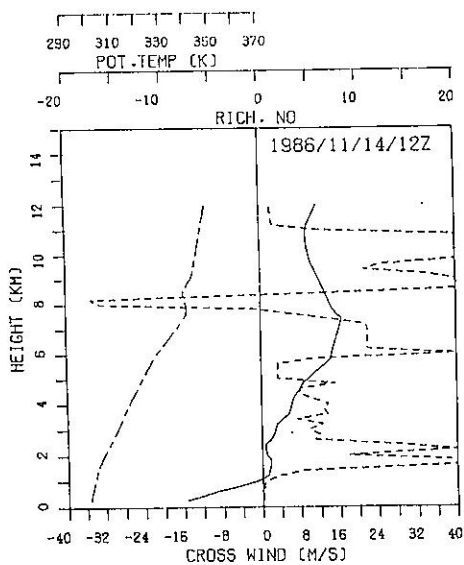
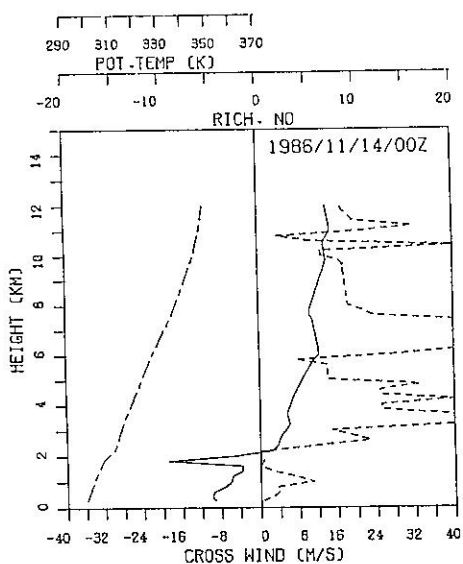
(11)



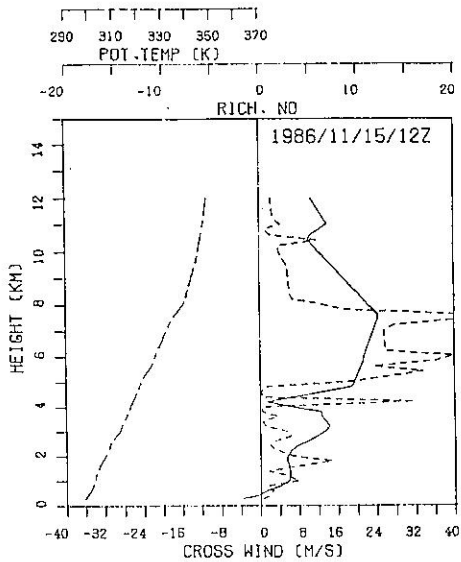
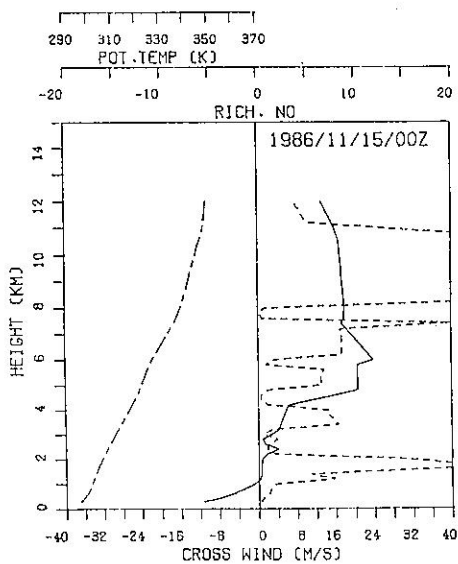
(12)



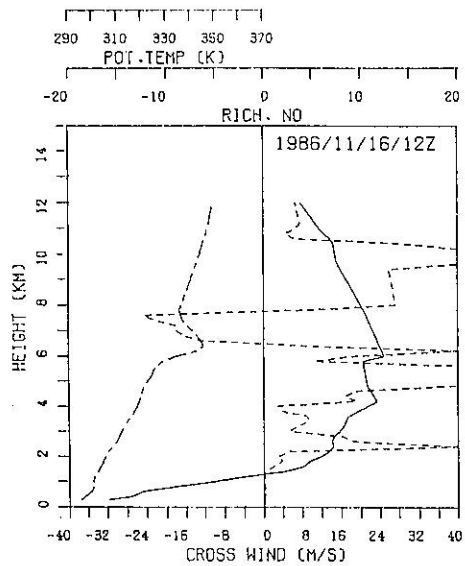
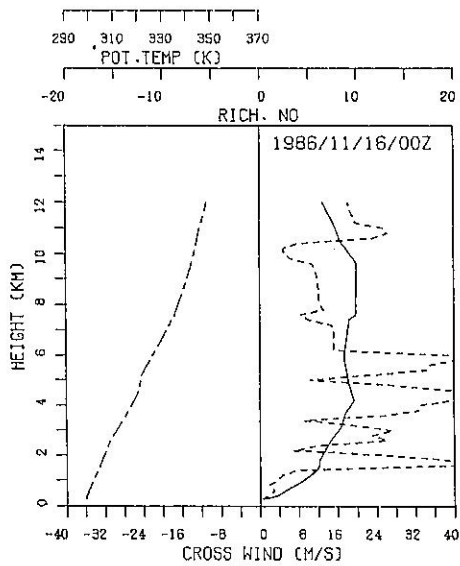
(13)



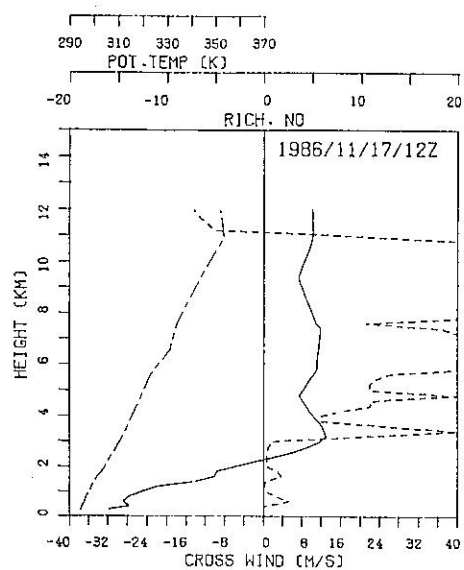
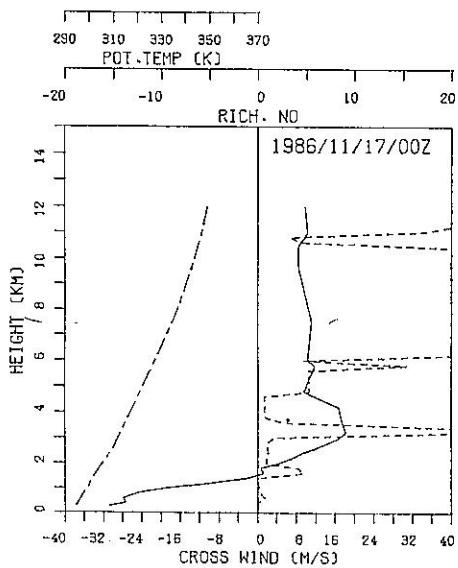
(14)



(15)



(16)



(17)

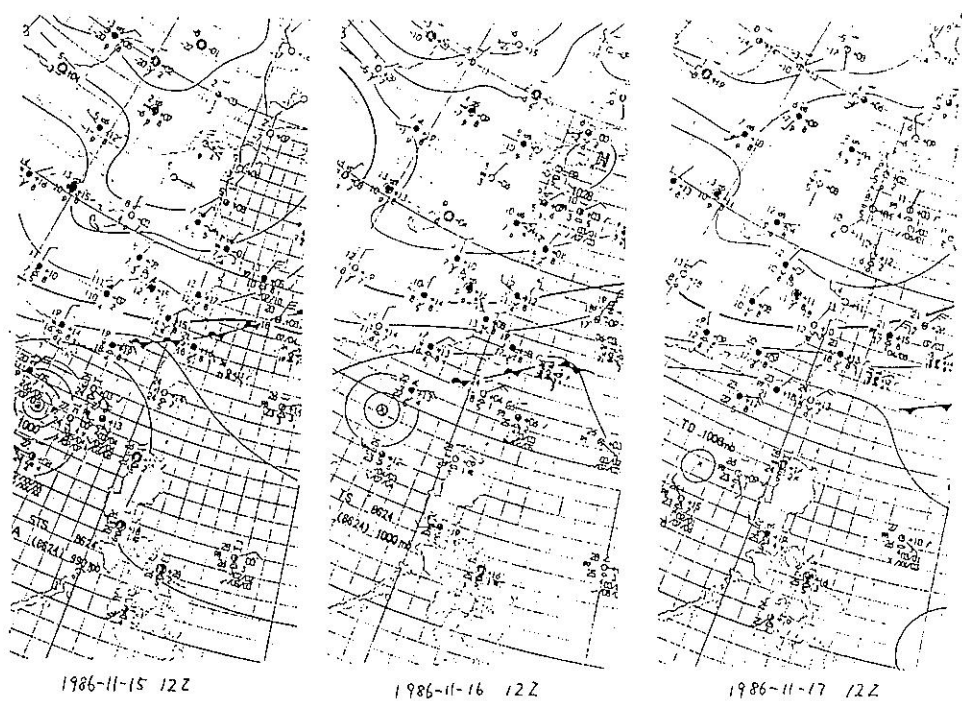


圖 15、1986年11月15至17日之地面天氣圖。

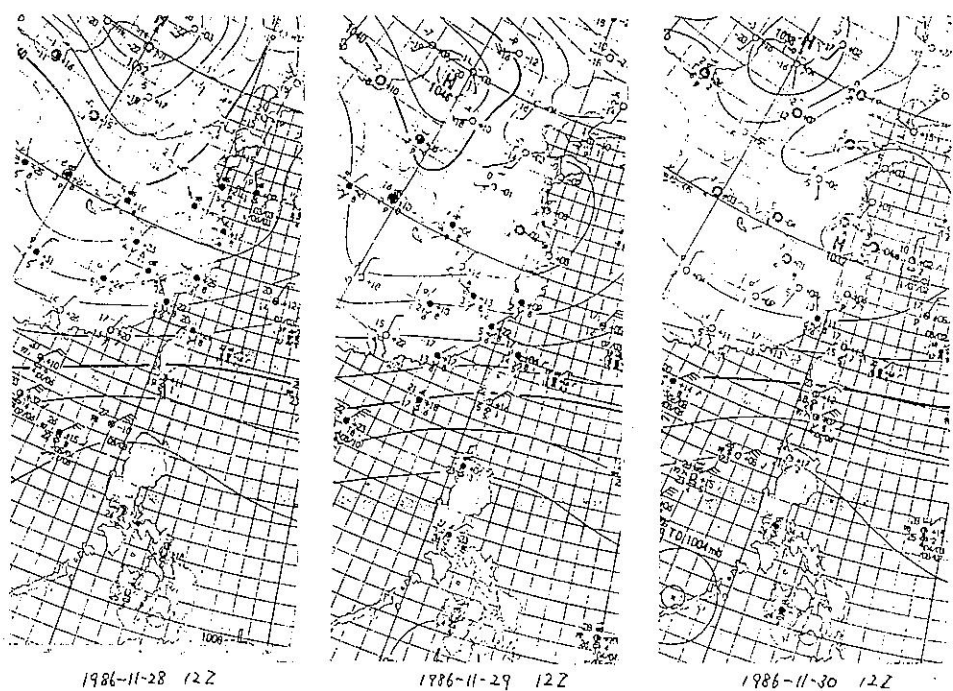


圖 16、1986年11月28至30日之地面天氣圖。

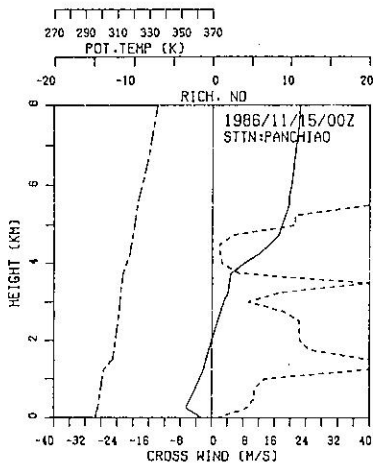


圖 17、1986年11月15日板橋上空的大氣結構。實線為測風風速（西南風為正，東北風為負），點虛線為位溫，虛線為理查遜數。後二者的標示顯示在圖的上方。

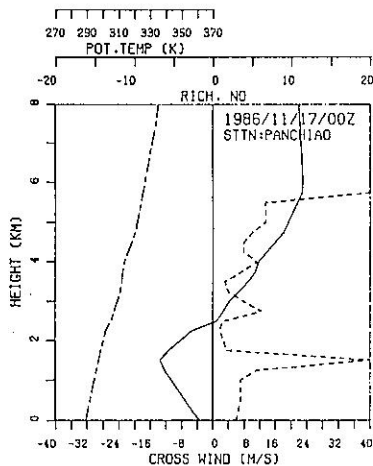
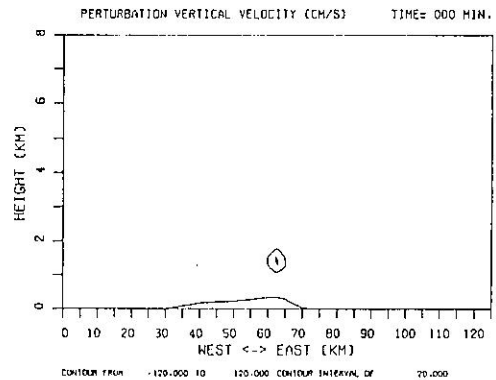
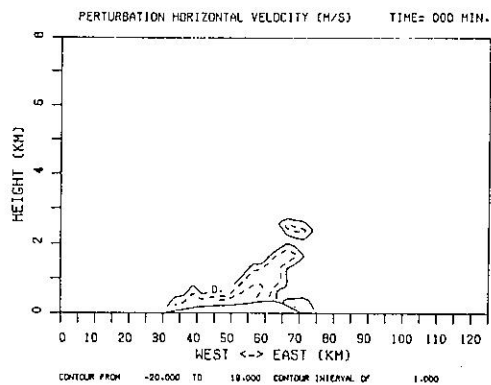


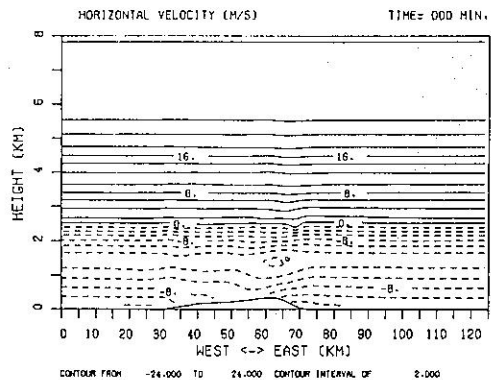
圖 18、1986年11月17日板橋上空的大氣結構。圖示與圖14相同。



(a)

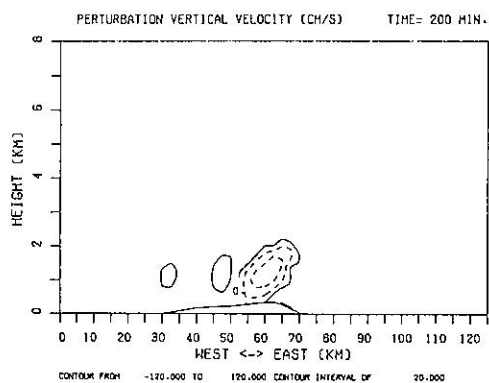


(b)

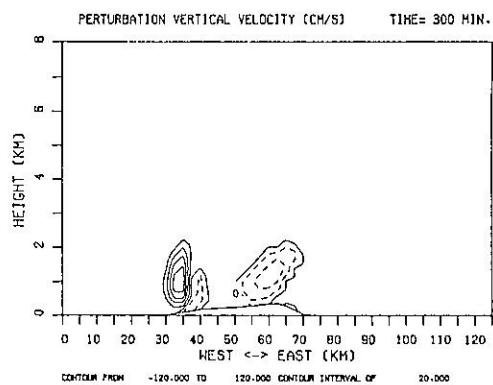


(c)

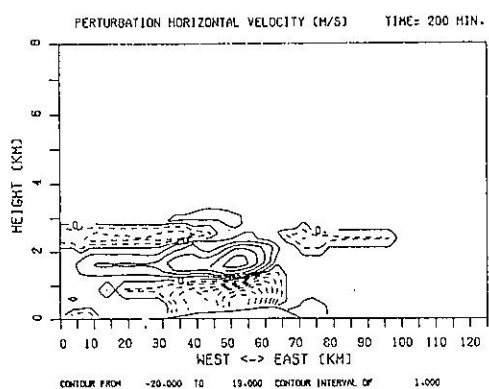
圖 19、零時間的解（詳見內文）。(a)垂直速度，(b)水平風速擾動量（即由地形引起的偏差量），(c)水平總風速（即平均風速加擾動量）。虛線部分為負值。此圖為11月17日的情形，不過11月15日的結果差異不大。



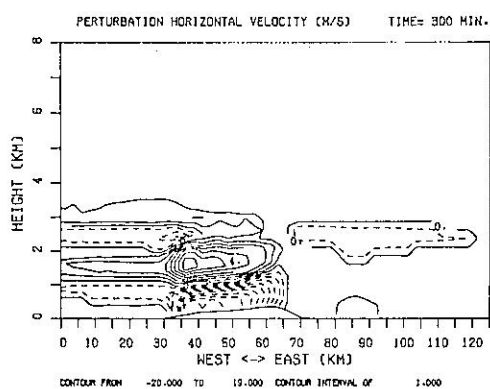
(a)



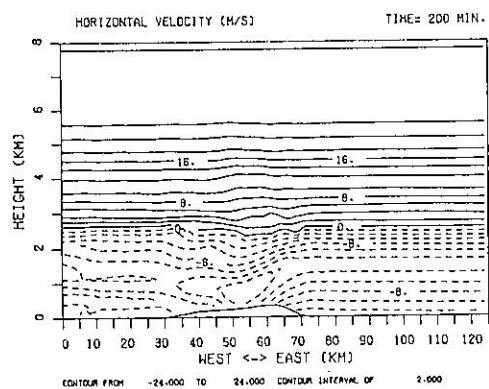
(a)



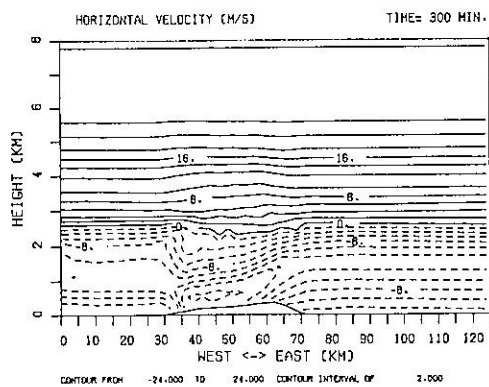
(b)



(b)



(c)



(c)

圖20、除了為積分200分鐘的結果外，其餘和圖19相同。

圖21、除了為積分300分鐘的結果外，其餘和圖19相同。

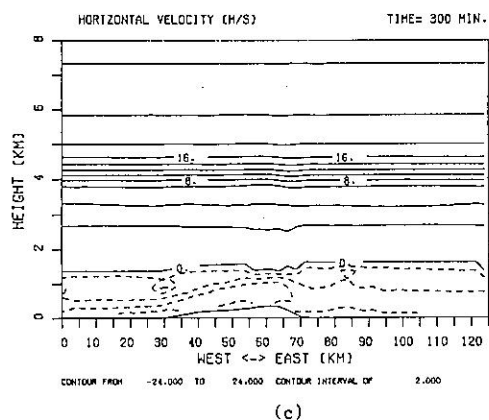
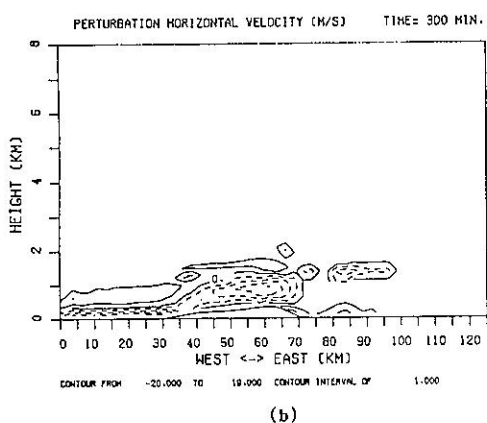
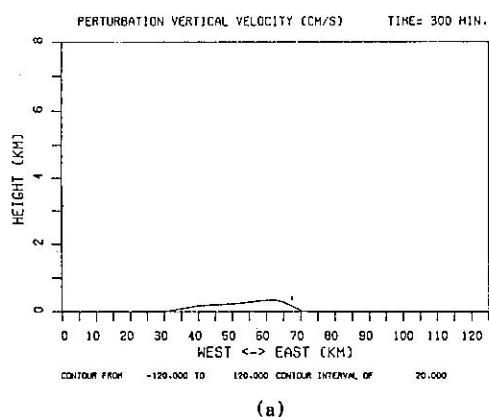


圖 22、除了為 1986 年 11 月 15 日的探空資料作為初始值，並積分 300 分鐘的結果外，其餘和圖 21 相同。

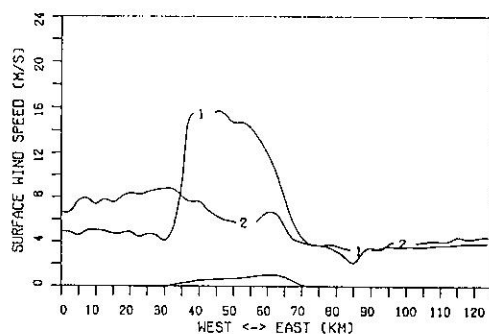


圖 23、積分 300 分鐘後地面上風速的分佈。曲線上標示 1 者為 11 月 17 日的結果，標示為 2 者為 11 月 15 日的結果。

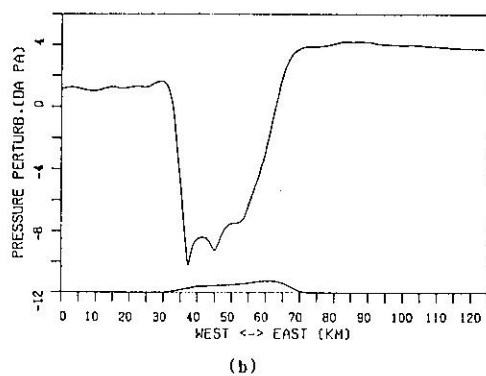
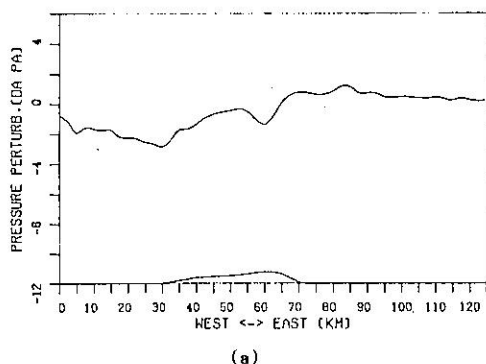
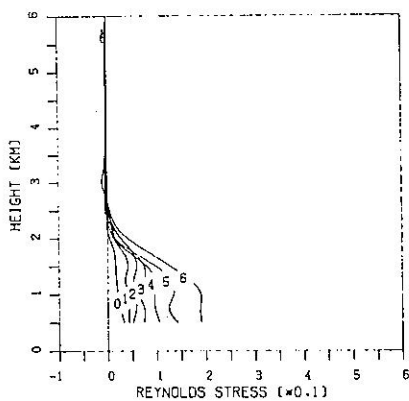
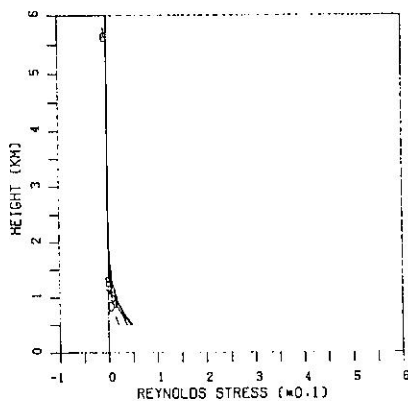


圖 24、積分 300 分鐘後地面上氣壓的分佈情形
a) 11 月 15 日； b) 11 月 17 日。



(a)



(b)

圖25、動量通量隨時間變化的情形，(a) 11月17日，(b) 11月15日。標示之數字表示時間順序，時間間隔為50分鐘。

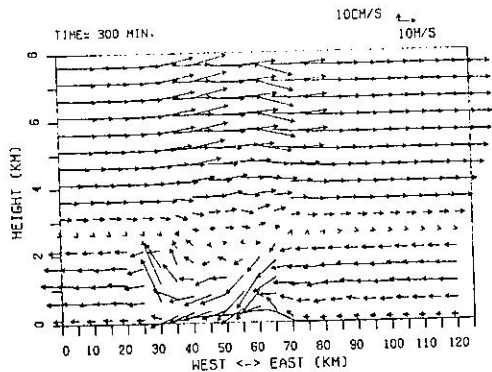


圖26、11月17日模擬積分 300分鐘後之空氣運動情形。實際的網格資料比本圖密一倍。

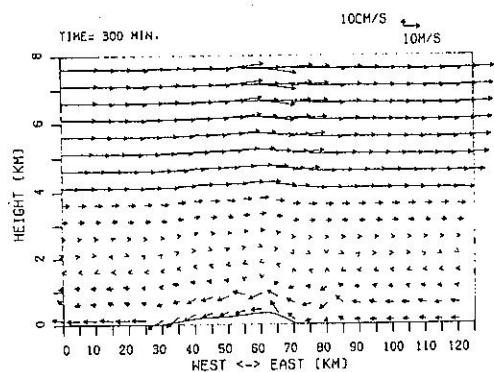


圖27、同圖26但為11月15日的情形。

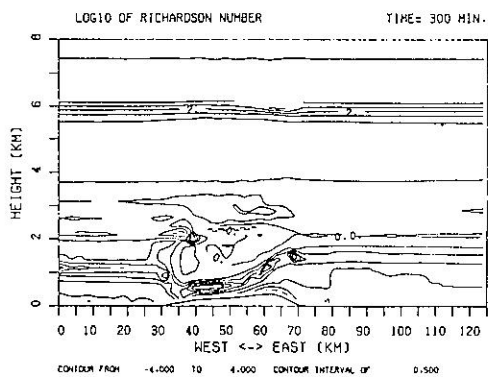


圖28、11月17日模擬積分 300分鐘後之理查遜數。

Meso-scale Phenomena Induced by Mountain

I. Hengchun Fall Wind Phenomena

Siu-shung Hong

Chung-Ying Hu Shih-Ding Wang

National Central University
Institute of Atmospheric Physics

Central Weather Bureau

ABSTRACT

There are strong gusty surface winds over the Hengchun Peninsula every year from October till March-April the next year. The gusts sometimes lasted for only 2-3 hours, but some other times persisted for several days or even weeks. The strong surface wind can exceed 30 m/s. It brings dusts into the sky and sweeps and soars over the west coast of the Hengchun Peninsula. The air rushes down the mountain slope, just as falling down from the mountain top. Therefore the phenomenon is coined "fall wind" by the folks.

This research collected abundant local surface data as well as sounding data on the upstream side of the Peninsula. Analyses were done to reveal the truth of the phenomenon. The results and statistics toppled the existing subjective theories. And a comprehensive new theory, assisted by a numerical model simulation, is proposed to explain the mechanism of the phenomenon. Based on the new theory, certain criteria can be identified for the purpose of forecasting the onset of the fall wind.

The results show that the fall wind is a manifestation of the resonant multiple reflection between the ground and the critical level (where the mean wind speed is equal to the phase speed of a gravity wave) aloft. It has no direct connection with the cold surge, or cold-air out-break, and has nothing to do with the air flowing around the southern tip of the Peninsula. The most important criteria for the fall wind to occur are that the critical level is situated in the neighborhood of 2-3.5 km, and that the Richardson number in the vicinity of the critical level is close to or smaller than one.