

恆春落山風的分析與機制探討

洪秀雄

國立中央大學 大氣物理系

胡仲英

行政院經建會 部門計劃處

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，漫天風沙滾滾狂飆。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，二方面對刮十天、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（1986）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_i (Richardson Number，定義為

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

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、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、屏東的緯度才會降至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。（參考圖一）

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15m/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覆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。

由於資料豐富，但只有1986年的資料收集較為齊全，因此本文中將集中在1986年的情形，除非另有其他用意。

四、由地面資料看恆春落山風

四、一 個案統計

1981年至1986年的資料經統計後編列為表格，表一為自1981年至1986年各月平均發生落山風的統計，表二為1986年的情形。

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（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。
3. 由發生的次數看（表一及二）落山風主要盛行於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。

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，就是颱風在恆春附近。
5. 11月29日地面陣風達28m/s，由圖二的前後三天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，可見落山風為局部地方產生的現象。

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。

圖三是一個很典型落山風起動的例子。1986年11月20日0430之前恆春處於靜風狀態，這時風向大致是NWW，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。

圖四是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。而圖五則為同年11月15日至17日地面風向風速的情形，可看出15日地面風速很小，落山風起自11月17日上午九時並持續到18日中午左右。後者將進一步用數值模式加以模擬。

以上幾個例子中都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，也就是風一定跨越恆春半島的山而過，而非繞過。

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，據說路過的機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，必須從自計記錄中去探尋。恆春測候所的自計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。

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，有時強陣風持續數日，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。儘管如此，依據我們調查的結果大致可以得到以下的結論：

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，如圖四所示。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，結果如圖六。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，結果如圖七。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_i 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。

六、預報因子及結論

我們現在拿一個個案，以數值模式模擬的方式來印證觀測所得。1986年11月17日恆春測站曾有高達25.6m/s的強陣風，由板橋17日00Z的探空資料看(圖八)，毫無疑問的，臨界層位於2.5公里處，且該處的 R_i 很小，正是造成共振最理想的位置。另一方面才兩天以前(15日)，恆春有難得的沒有落山風的情形，而板橋的探空資料顯示有一臨界層位於2公里處，但該處的 R_i 大於10，不會造成重力波的反射。

我們就用這兩天的探空資料置入二維的模式中(洪與翁，1985)，模擬結果如圖九及十所示。11月17日的地面風速因共振的關係由初始值的4m/s(東風)放大到16m/s，而由2.5公里以下雷諾應力(垂直動量通量)隨時間增長的情形看，這正是共振過程的寫照。另一方面，11月15日的地面風速在模擬二小時後和初始值的4m/s沒有顯著差異，而由雷諾應力的紊亂變大變小情形，可見沒有建設性的反射在進行。

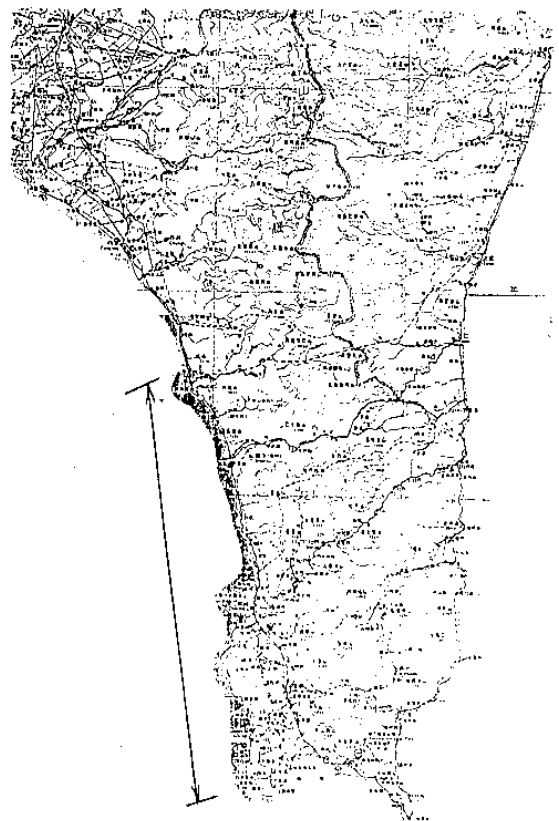
因此落山風的預報因子顯然就是(1)上游的風向為東北至北北東，地面風速在5m/s以上；(2)上游的上層探空資料顯示，風向量在東北-西南方向的投影(即所謂的側風，cross wind)有一明顯的零風速處，且該處的理查遜數小於1.2。

誌謝

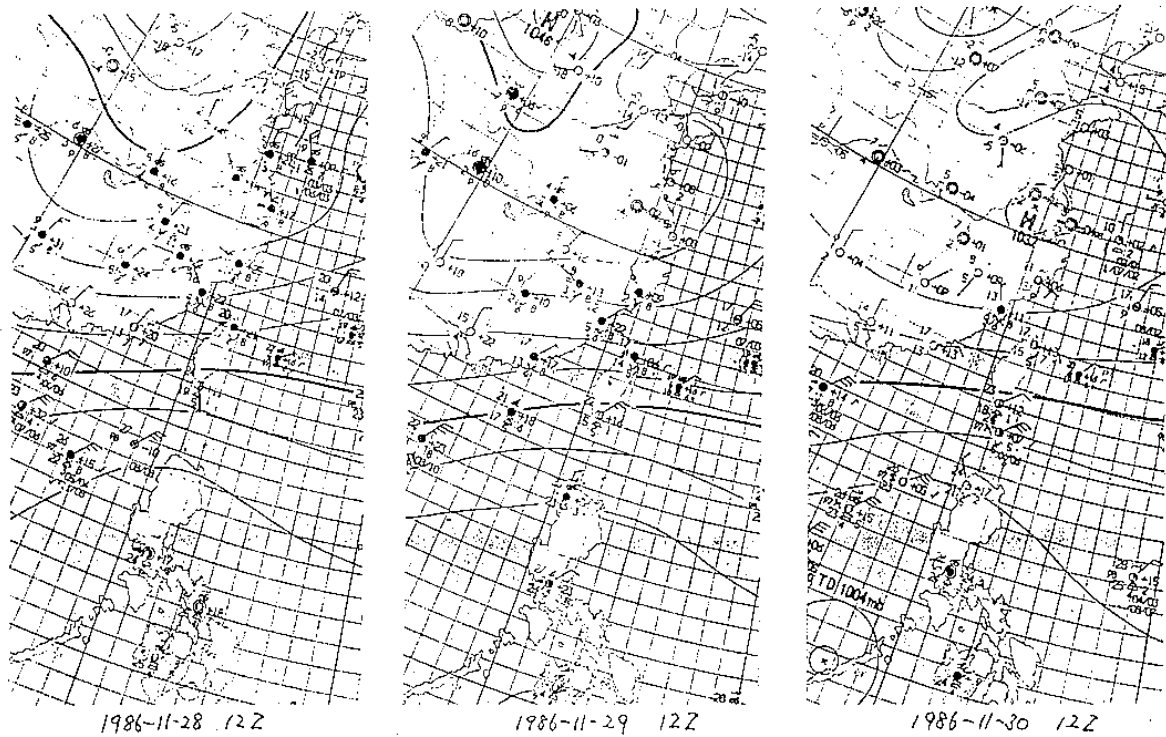
感謝蕭志惠小姐的協助。本文部分研究由CWB76-01-11資助。

參考文獻

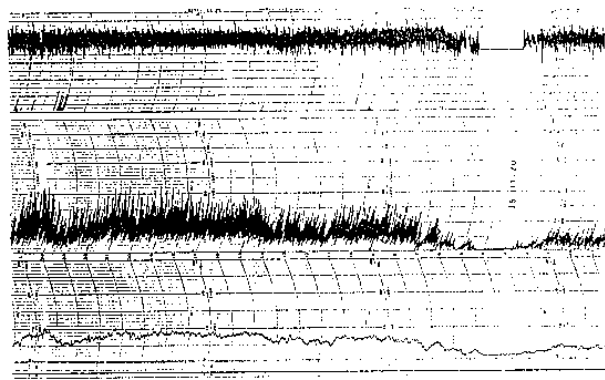
- 洪秀雄，翁富山，1985：恆春半島氣流過山引起之擾動。國立中央大學大氣物理研究所大氣動力研究報告。
- 洪秀雄，胡仲英，王時鼎，1987：「山岳造成之中尺度天氣現象」委託研究報告。
- Hong, S.-s and F.-S. Weng, 1990: A theory for the fall wind phenomenon in Hengchun Penninsula. In preparation.



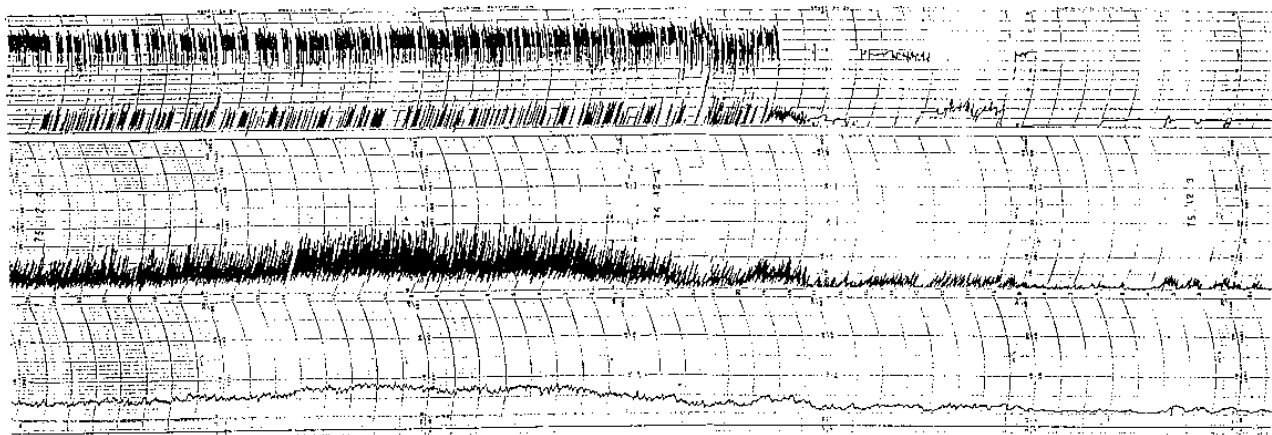
圖一、恆春半島地理形勢，標示區為落山風盛行處。



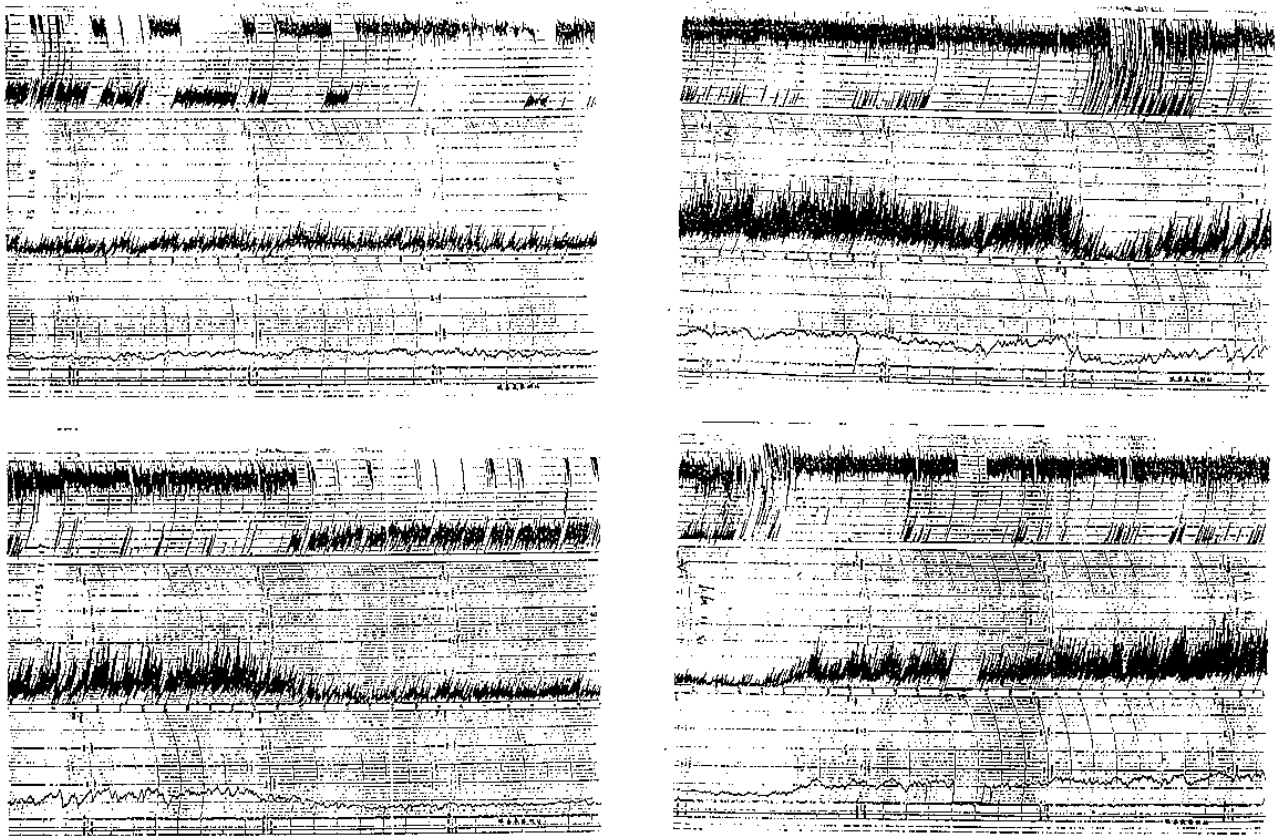
圖二、1986年11月28日至11月30日台灣鄰近地區之天氣形勢。



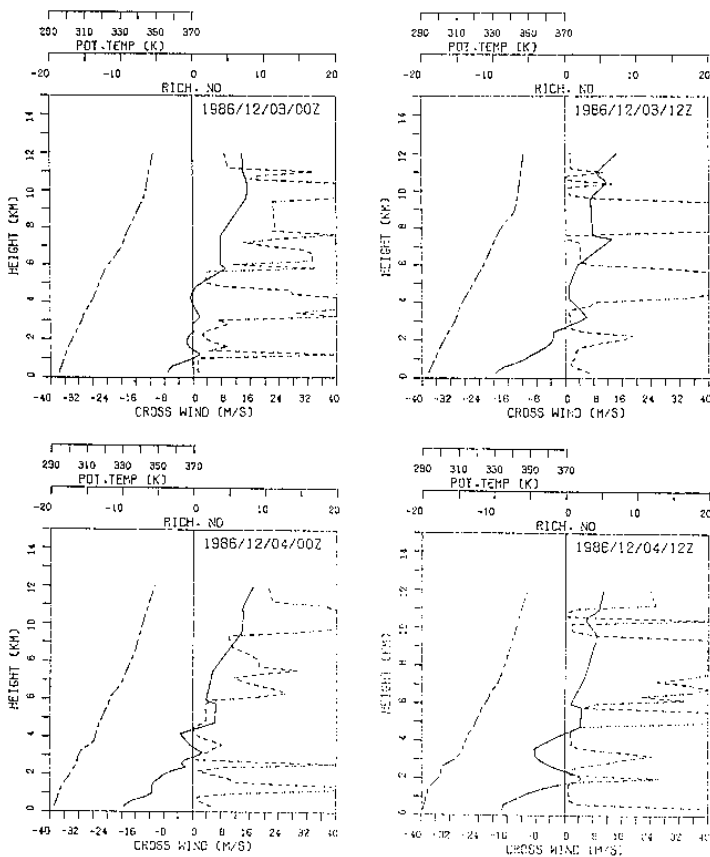
圖三、1986年11月20日恆春測站之地面風向風速。



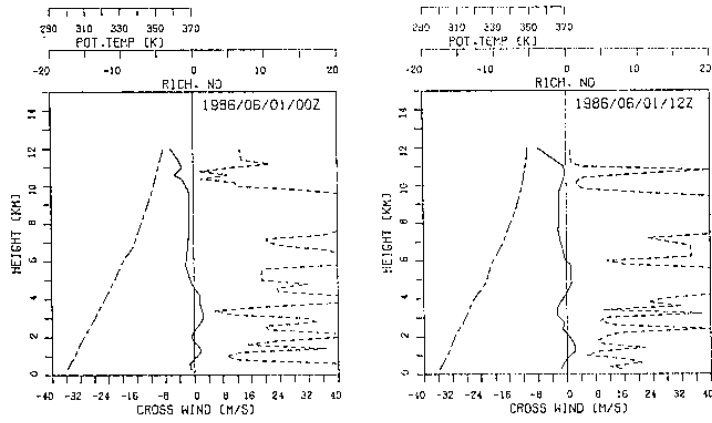
圖四、1986年12月3日至4日恆春測站之地面風向風速。



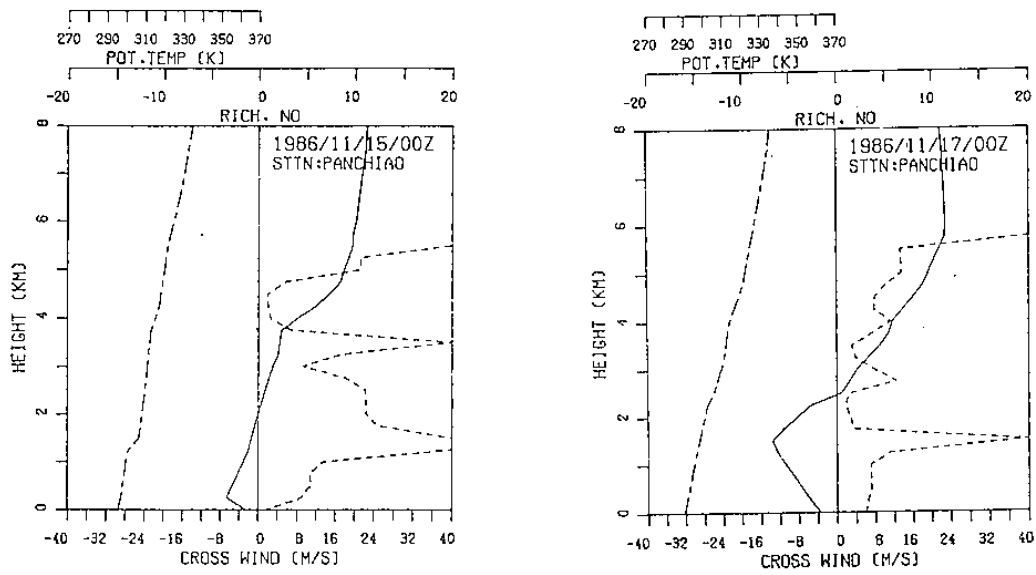
圖五、1986年11月15日至17日恆春測站之地面風向
風速。



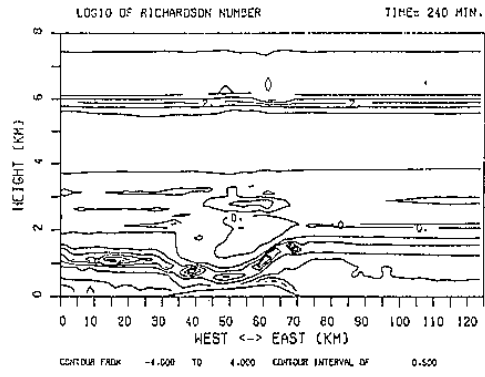
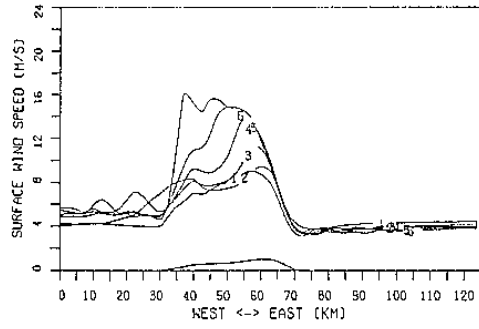
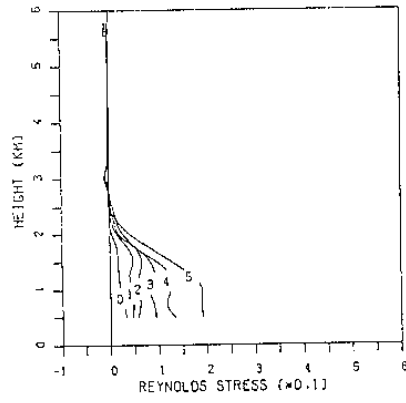
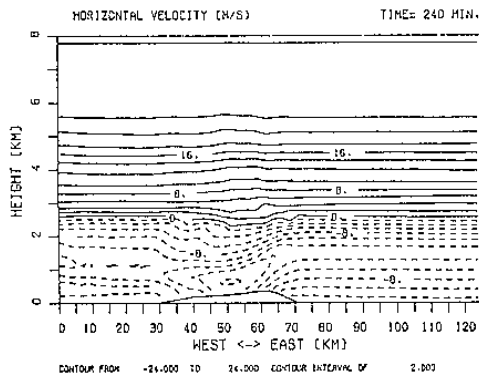
圖六、
1986年12月 3日至 5日之綠島探空資料分析
，圖上點虛線為位溫，實線為測風（東北 -
西南）風速，點線為理查遜數。



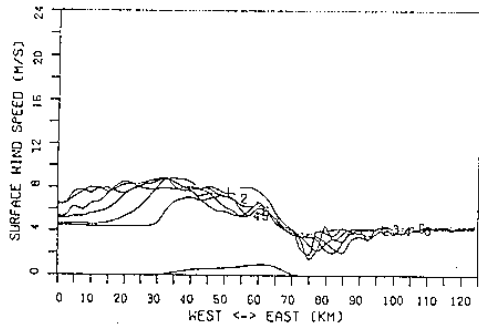
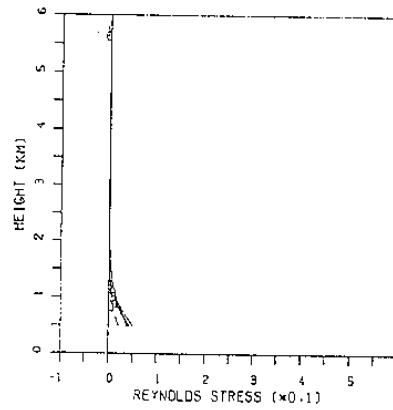
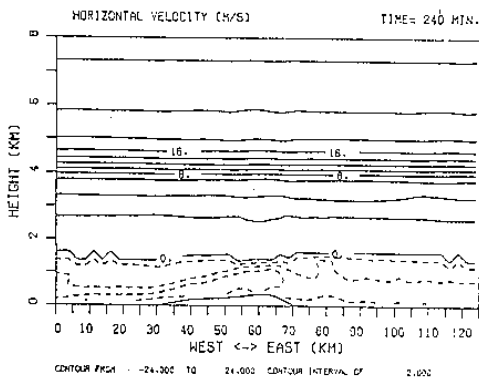
圖七、1986年 6月 1日的綠島探空資料分析。圖示同圖六。



圖八、1986年11月17日及15日的板橋探空資料分析。圖示同圖六。



圖九、1986年11月17日之數值模擬結果。



圖十、1986年11月15日之數值模擬結果。

analysis of the Hengchun Fall Wind and its Mechanism

Siu-shung Hong
National Central University
Department of Atmospheric Physics

Chung-Ying Hu
Economic Construction
Committee

ABSTRACT

There are strong gusts every year from October till March or April next year. Sometimes, the gusts appeared for only two or three hours, but there were also numerous cases in which the gusts lasted for ten days or even a half month. The surface gusts could exceed 20 m/s at times. Since the winds were north-easterly, it looks like that winds were induced by air came across the mountain and fell down along the western slope. The phenomenon is thus known as the 'Fall Wind'.

This research gathered the recent meteorological data observed by the CWB ground stations, and the upper air sounding data. The data are analyzed to reveal the truth. The phenomenon is explained with the aid of a dynamic theory, and the search for the forecasting parameter becomes possible.

The results show that the Hengchun Fall Wind is a manifestation of resonance due to multiple reflection of gravity waves between the critical level and the ground. It is not the result of air swirling around the peninsula, and has no direct relation with the cold surge. The favorite conditions for Fall Wind to occur are : (1) the critical level is located at 2 to 3.5 km, (2) the Richardson Number at the critical level is smaller than or in the neighborhood of 1.

