

濱海複雜地形局部環流特性之研究

林沛練

國立中央大學大氣物理研究所

台灣位於亞熱帶，四面環海，島上地形複雜，濱海平原之後緊接著就是起伏的山區。在這種複雜的地形上，海陸、山谷及斜坡 - 平原的對比，會因為太陽加熱強迫作用的差異產生海陸風、山谷 - 斜坡風，盛行氣流也會因為山岳地形的熱力或動力作用而引發氣流阻塞、輻合、抬升、繞流以及背風渦旋或中尺度低壓的產生等現象。這種濱海複雜地形上的局部風系與伴隨的邊界層成長，不僅關係著局部環流的激發與維持，影響台灣地區的天氣變化，也控制著空氣污染物的輸送與擴散特性，非常值得重視。本研究主要利用過去台灣地區中尺度實驗以及局部環流研究群已進行西北台灣局部環流觀測實驗所收集的密集觀測資料來分析台灣西北部濱海複雜地形上，海陸風、斜坡風、地形噴流等局部環流風系之發展與伴隨之邊界層演化，期間的交互作用與日變化特性以及與局部對流生成發展的關聯。

一、前言

臺灣四面環海，境內約有三分之二的面積覆蓋著起伏的山地。由於海陸特性的不同，以及地形的效應所引起的局部環流，對於中尺度天氣系統的演化，大氣邊界層的發展以及污染物輸送的影響，都是臺灣大氣研究的重要問題。有鑑於此，局部環流為國科會大氣學門重點發展的工作之一。

近年來有關臺灣地區局部環流的研究逐漸增加，例如：Sun et al., (1991)，Sun and Chern (1993) 曾以普度模式模擬臺灣地區中尺度環流的發展，Johnson and Bresch (1991) 分析1987年5月24-26日臺灣地區海風發生的時間及邊界層特性。Chen and Hui (1992) 觀測到1987年5月14日台南地區海風環流的深度至少有500

公尺，林等 (1990) 曾於臺灣北部觀音工業區做密集觀測，探討該地區海陸風環流的特性和海風邊界層的發展。蔡與童 (1987)、蔡 (1987)、蔡等 (1988) 在典型的天氣下，利用經緯儀高空風觀測分析臺灣南端及北部陽明山、國聖附近複雜地形下，海陸風及局部環流風場。Liu et al. (1993) 曾觀測台北盆地沿淡水河谷的海陸風變化，以及其與臭氧濃度分佈的關係。呂等 (1993) 連續三年在中油桃園煉油廠附近進行地面氣象要素、測風以及探空之定期密集觀測，探討複雜地形下邊界層之熱動力場之日變化特性；林等 (1989) 觀測分析鹽寮地區地形對日夜局部風場之影響。雖然有關臺灣地區局部環流的研究逐漸增加，但是有系統的觀測資料收集與分析仍在起步階段。

二、觀測實驗

經由觀測分析，是了解大氣現象的基本方法之一。以往一些可能用來分析臺灣局部環流問題的資料，主要來自「臺灣地區中尺度實驗 (TAMEX)」，以及其他探討空氣品質與污染物輸送的實驗。由於實驗目的不同和儀器的限制，使用這些資料進行臺灣局部環流的研究，仍有很大的限制與困難。另一方面，在探討局部環流與大氣邊界層之發展、演化非常重要的地面層熱量、水汽、動量和輻射通量，以及海溫、地表溫度等基本資料，非常缺乏。使模式模擬缺乏重要地面層參數之輸入，以及結果的比對資料。至於有關局部環流與污染物輸送之資料也很匱乏。

目前國內觀測儀器的量、質與觀測技術、經驗，都有長足之進步，例如整合探空系統 (ISS)、聲波雷達 (Soda)，移動式探空車，繫留氣球、鐵塔觀測系統的使用，加上數位化衛星資料和都普勒雷達資料的處理。這些儀器的使用，對未來氣象的觀測作業和研究有很大的影響。

臺灣局部環流研究群基於共同的目標「了解臺灣局部環流」之下，群策群力，結合國內各方面的儀器與資料資源，規劃進行系列的局部環流觀測實驗，以建立不同季節，不同綜觀環境下的局部環流資料，來從事相關的研究。

三、1994年局部環流實驗

台灣局部環流研究群的參與教授在共同的目標「了解台灣局部環流」之下，依數值研究，觀測技術以及污染物輸送等各別的專

長，彼此配合，已建立了具體的合作研究方式，並於1994年6月15日至6月23日在西北台灣進行了先驅的觀測實驗。

該觀測實驗主持單位為台灣大學和中央大學，其他參與單位包括中央氣象局、中正理工學院、中興大學、空軍氣象聯隊和民航局。主要觀測網示於圖1中，P1至P11為各個測站的位置圖。基本上每個測站皆包括經緯儀高空風觀測(每3小時一次)及傳統地面觀測(自計)。兩個重點站：中央大學站 (P6)則有鐵塔(5層的溫、濕、風)、ISS(包括剖風儀、RASS和每3小時一次的無線電探空)聲波雷達和紊流通量觀測；觀音 (P2)則有聲波雷達和繫留氣球觀測。另外在後庄農改場 (P3)有土壤溫度，地熱通量的觀測。復興站 (P9)也有聲波雷達的觀測。此外，在台中有氣象局的探空車，每3小時作一次探空；空軍氣象聯隊在馬公站則有每6小時一次的探空，作為上游背景大氣的觀測。此外，在6月18日上五有飛機及SF6的釋放觀測。實驗期間，6月18日鋒面通過實驗地區，由觀測結果發現，觀音地區有低層噴流存在，其他時間則皆可看到海陸風環流的成長。

觀測初期6月15日-6月17日西南風相當明顯，但是海邊至中大的測站地面風顯示非常強的日變化震盪，夜晚為東南陸風，白天則為西南盛行風而且風速增強很多，由高空測風結果顯示除近地層之外均為綜觀西南盛行風所主宰，風向沒有明顯日變化。然而山區測站似不太受到盛行風之影響16日、17日均出現明顯的日夜環流之變化。白天上坡風約有700公尺到1公里的厚度，夜晚下坡風也有500公尺

到 700 公尺的厚度。

1994 年 6 月 22 日、6 月 23 日實驗以接近尾聲，此時圖 2 顯示局部之地面風系出現明顯的日變化，6 月 22 日 850 mb 以下天氣尺度之風系主要為東北風，因此白天之局部風系主要為偏北的地面風，夜晚則為東南之陸風風系，6 月 23 日盛行風較弱，白天為西南或西北風向岸海風，夜晚則為東南風的離岸陸風。

在各測站皆有經緯儀高空風的觀測，因此本文以分析這些觀測資料為主，我們將 6 月 22 日當天各測站高空風的資料切 150 公尺的高度來看水平向的風場變化；22 日凌晨 5 時(圖 3a)，陸風相當明顯，受微弱東北綜觀風的影響所以風向並沒有完全垂直海岸線，復興站(p9)的下坡風也被觀測到；之後太陽升起，地表開始受熱，海風也隨之發展，到了早上 11 時，海風的形態已經成熟(圖 3b)，同樣地，受微弱東北風的影響，使得整體的風場呈偏北風的情形，當天的天氣晴朗，所以海風持續很久，下午 5 時，海風仍持續著(圖 4a)；在其後的時間，在山區發生了雷雨，產生了範圍約 200 公里的對流系統，這已超過了觀測範圍，無法就實驗資料解釋。晚上 8 點，屬海陸風交替的時刻，風場微弱(圖 4b)；就 22 日凌晨到傍晚的現象來看，海陸風的交替相當明顯，日間加熱促使局部環流的改變在觀測中得到證實。

更深一步探討海陸風的發展及其交替情形，可從 p2、p4、p6、p8、p9 的連線來看，為了配合台灣西北部約 45 度的海岸線走向，因此將所有的風向逆時針轉了 45 度，此外，在各測站都加了地勢高度的考慮，所以風標所處的高度都是相對海平面的高度。

凌晨五點時，從海岸邊到內陸地區，陸風的形態都很明顯，陸風厚度約 350 公尺，復興站(p9)的下坡風也確實掌握到了(圖 5a)，隨後，地面在日間開始加熱，陸風漸減弱而消失，海風開始發展，由早上 11 點的觀測就可知海風的發展(圖 5b)，新坡站(p4)所測得的風速較小，應屬觀測上的誤差，復興站(p9)的上坡風相當明顯。

而個別測站逐時的風場變化，同樣亦作了風向逆時針轉 45 度的處理；就靠海邊的觀音站(p2)來看，6 月 22 日清晨 5 點是厚度約 350 公尺的陸風形態(圖 6a)，早上八點是陸風轉成海風的過渡時期，風向的轉變很明顯，而 11 點時海風已經成熟，強度約 1.5m/s ~ 4.5m/s，海風一直持續到下午五點。

接著，由中央站(p6)的風場逐時變化(圖 6b)，凌晨五點亦是陸風的吹拂，在八點的海陸風轉換時刻，與觀音(p2)比較可發現中央站風向轉向的相位有些延遲，可見得海風由海岸開始發展並逐漸向內陸進展的現象很明顯，中央站距觀音站約 15 公里，所以海風鋒的移速是項值得探討的問題；11 時中央站已是吹海風的時刻，所以 8 時到 11 時是海風鋒通過中央站的時間，根據中央大學鐵塔，在 15 分鐘的時間解析度的觀測中(圖 7)，陸風約在早上 8 點開始轉向，10 點後海風風向趨於穩定，而後海風可一直持續到下午五點半左右。入夜後，環境場轉為西南風，所以陸風就很難觀測。

復興站(p9)是靠內陸及山區的山，海拔約 400 多公尺，一般來說海風不易到達，所以在計劃中主要著重對山谷風的觀測；由復興站的時間序列來看(圖 8)，在凌晨 2 點到 5 點間，下坡

風強盛，約 2m/s ~ 3m/s，厚度 400 公尺，早上 8 點下坡風減弱，11 時上坡風已形成，但生命期不常，其後山區雷雨開始發展，入夜後，環境也轉為西南風。

利用中央大學密集的探空資料，將從地面到高空的溫度換算為位溫後，可得到逐時的邊界層結構的變化(圖 9)，取 6 月 21 日夜間到 22 日傍晚的探空，在 21 日晚上 11 點，是一穩定狀態，而在 22 日凌晨約 4 點的探空中，可發現近地表的冷卻效應，整個大氣仍是穩定的，早上 8 點加熱已經開始，混合層開始發展，到了下午 2 點，可發現是加熱最大的時間，混合層發展成熟，高度約達 750m，下午 5 點的探空中，混合層已然開始消退。

此次的觀測我們也發現 ISS，聲波雷達和數據化的衛星資料等非傳統的遙測儀器在探測邊界層的熱動力結構方面有相當不錯的功能，未來這方面的儀器使用可以再加強。

四、1995 年梅雨季末期的局部環流實驗

臺灣局部環流之研究在 1995 年梅雨季末期的觀測實驗於 1995 年 6 月 15 日至 6 月 28 日之間進行。這一次的觀測實驗主要著重於臺灣西北部垂直於海岸線從海邊至山區剖面上邊界層風場以及熱力場結構的時空變易特性之探討，因此除了作業單位原有的地面關測站及測風站之外，另外加了垂直剖面沿線 7 個地面站及測風站，包括觀音 (P1)，新坡 (P2)，中大 (P3)，東安 (P4)，中正理工 (P5)，百吉 (P6) 以及復興 (P7) 等 (圖 10)。

實驗期間梅雨鋒面帶一直滯留於臺灣北部外海，華南至臺灣山脈西側地區西南風非常強勁，臺灣一直處於太平洋高壓西側邊緣，天氣晴朗炎熱，一直到 28 日上午鋒面始南下到臺灣，之後又快速北抬，臺灣進入典型夏季天氣。

這一次的觀測實驗，強勁西南風持續出現是一大特色，因此是一綜觀風強迫作用較強的實驗。經由初步的分析我們發現下列幾個有興趣的結果。

1. 低層噴射氣流具有明顯的日變化振盪，日間低層強風特別明顯 (圖 11)，1 公里以下持續出現超過 20m/s 以上之強風。

2. 臺灣中央山脈對低層強風具有明顯之作用，如圖 12 所示，靠海邊的邊界層強風非常顯著但是靠山區之測站則弱了許多。

3. 由於也靠近中央山脈，山脈的阻擋作用使西南風減弱許多，因此斜坡風環流也較明顯如圖 12 所示，中大 (P3) 東邊靠山區之測站出現明顯的上坡風回流，回流所在之高度約在 1~1.5 公里之間。

4. 夜間的強勁西南低層強風也明顯侷限在濱海測站附近，靠內陸之山區風速較弱，因此夜間的下坡風發展非常完整如圖 13 所示，下坡風愈靠山區發展愈深厚。

5. 即使西南風很強，地面風仍然可能出現明顯日變化特性，如圖 14 所示，向岸風或上坡風的開始時間是從岸邊開始然後再延伸至內陸山地，反之離岸風或下坡風則先在山區出現再擴展至濱海地區。

6.地面強風持續的時間濱海區最長，愈往山區愈短（圖15），因此愈往山區地面風之日變化愈明顯。

五、結論

綜合1994年以及1995年梅雨季局部環流觀測實驗的分析結果，我們發現西北臺灣地區在梅雨季綜觀天氣擾動微弱時段，海陸風與山谷風環流非常明顯，濱海地區海風一般從早上8點前後一直持續到下午六點，海邊海風環流的厚度約300公尺上下。山區的山谷斜坡風環流顯現明顯之日夜變化，下坡風之厚度可達一公里，即使西南風很強地面風仍然可能出現明顯日變化特性，資料分析顯示向岸風或上坡風是從岸邊開始發展然後再延伸至內陸地區，下坡風則是內陸山區最先出現，然後再擴展至濱海地區。

有關低層噴流之分析顯示，中央山脈對低層強風具有明顯之作用，靠海的邊界層強風非常顯著，但靠山測站則弱了許多，因此在低層噴流存在之情況下，內陸山區斜坡風的發展比較明顯，低層噴流具有明顯的日變化振盪，日間一公里以下可能持續出現超過20m/s以上之強風。

六、誌謝

臺灣局部環流觀測實驗的順利舉行，首先當然要感謝國科會，台大大科系與中大大科系的全力支持，在觀測進行期間，承蒙中央氣象局、中正理工學院、空軍氣象聯隊、民航局及中興大學環境工程系的鼎力協同觀

測；觀音國中、東安國小、百吉國小、海湖國小、新坡國中、楊梅高中、復興國中、介壽國中、榮工處觀音施工所、後庄農業改良場、中油桃園煉油廠、中央氣象局淡水站和竹北站提供觀測場地及行政方面的支援，中央大學遙測中心、茶葉改良場和石門水庫管理局提供資料，在此特致謝忱。

七、參考文獻

- 林沛練、張隆男、陳景森，1990：海風邊界層之發展與污染物濃度的日變化，大氣科學，18，287-308。
- 林和、柯文雄、吳昭仁，1989：複雜地形三度空間風場模式—鹽寮地區海陸風之研究。大氣科學，第十七期，121-142。
- 蔡清彥、童雅卿，1987：臺灣南端局部環流之研究，大氣科學，15，69-88。
- 蔡清彥、柯文雄、李清勝、吳清吉、王永壯，1988：國聖附近海陸及局部環流風場研究，國立臺灣大學研究報告。
- Chen, C.-S, and N. B.-F. Hui, 1990: Analysis of a relatively dry front during the Taiwan Area Mesoscale Experiment. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2442-2468.
- Johnson, R. H. and J. F. Bresch, 1991: Diagnosed characteristics of precipitation systems over Taiwan during the May-June 1987 TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2540-2557.
- Liu, C. M., C. Y. Huang, S. L. Shieh, and C.-C Wu, 1993: Important Meteorological parameters for ozone experienced in Taipei Basin. *Atmos. Envir.*, (in press).

Sun, W. Y., J. D. Chern, C.-C. Wu, and W. R. Hsu,
1991: Numerical simulation of mesoscale
circulation in Taiwan and surrounding area.
Mon. Wea. Rev., 119, 2558-2573.

Sun, W.-Y., and J. D. Chern, 1993: Diurnal
variation of lee-vortexes in Taiwan and
surrounding area. J. Atmos. Sci., 50, 3404-3430.

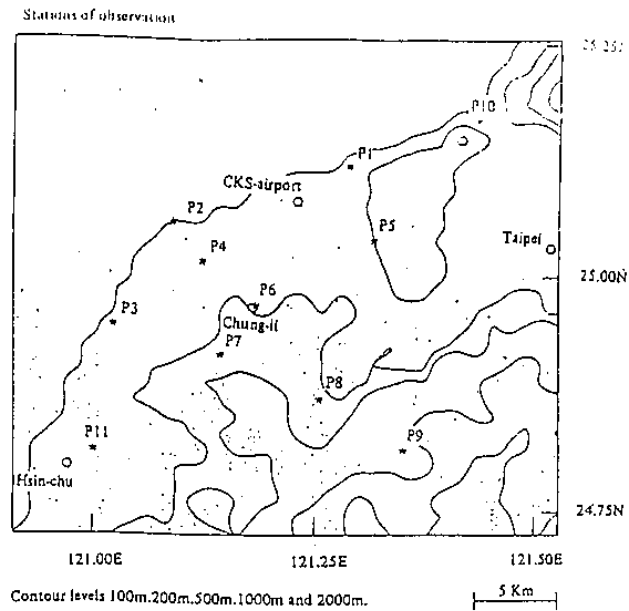


圖 1 局部環流實驗觀測網的分佈

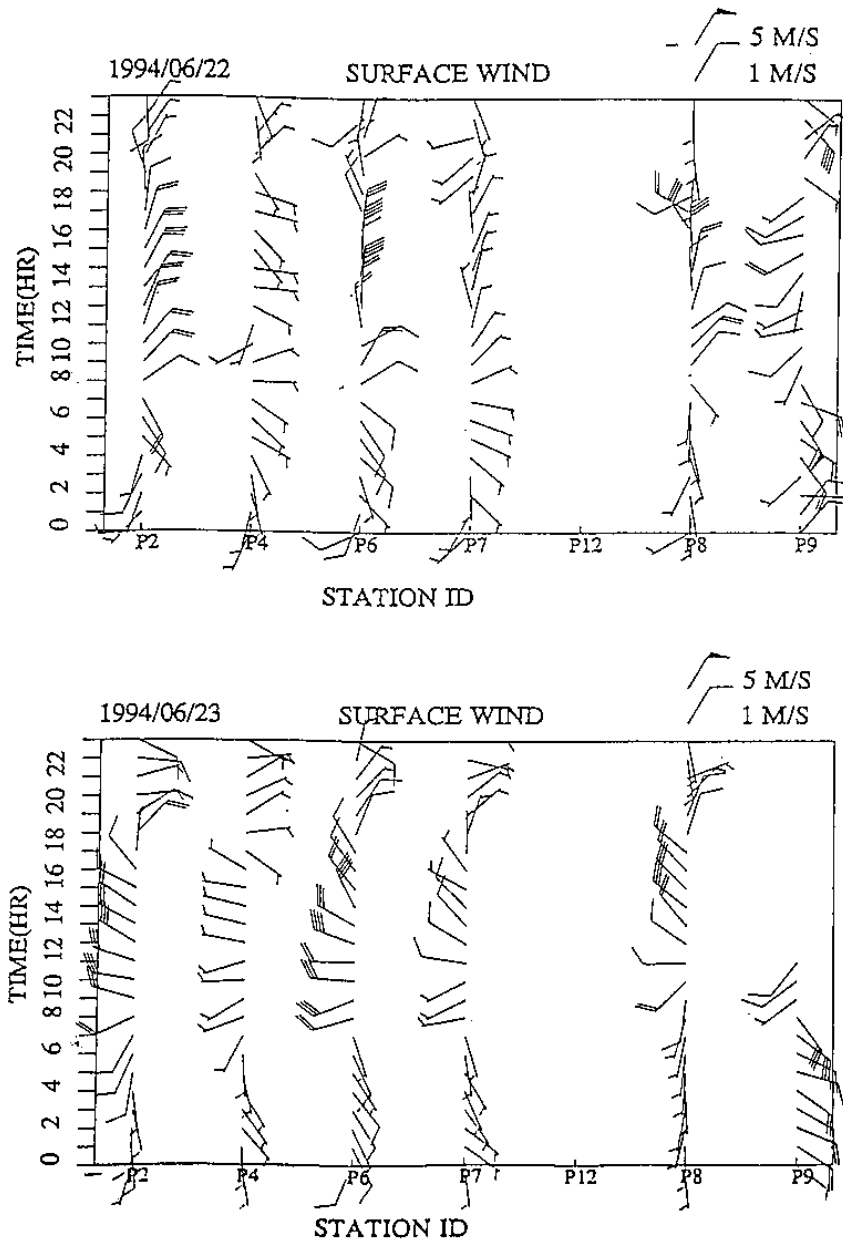


圖 2 1994 年 6 月 22 日，6 月 23 日垂直海岸線測站 (P2-P9) 地面風隨時間之變化。

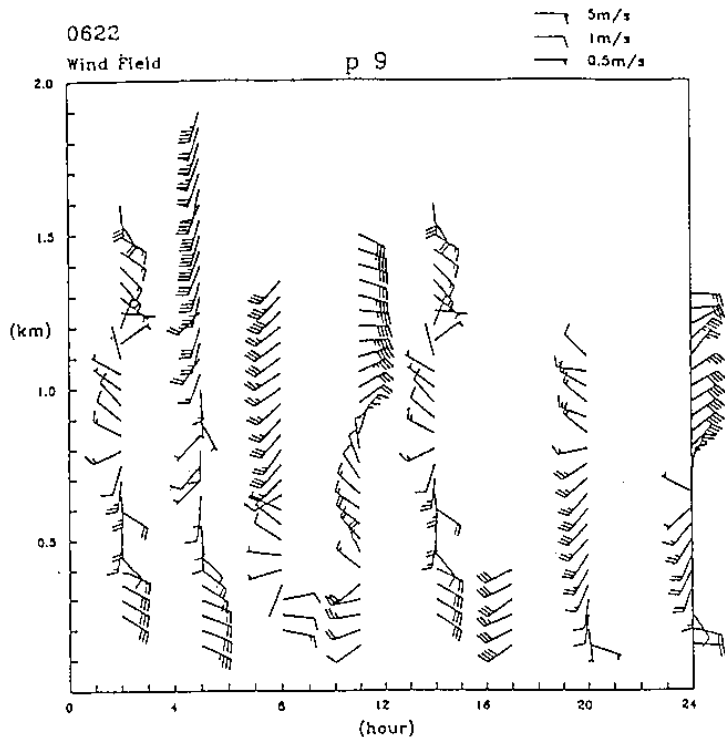


圖 8 p9 (復興) 站風場逐時變化。

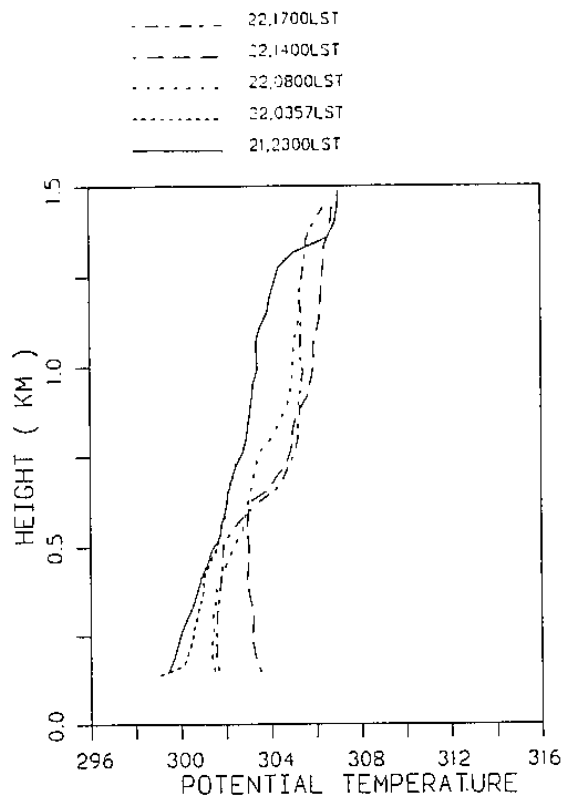


圖 9 中央大學探空之位溫結構。

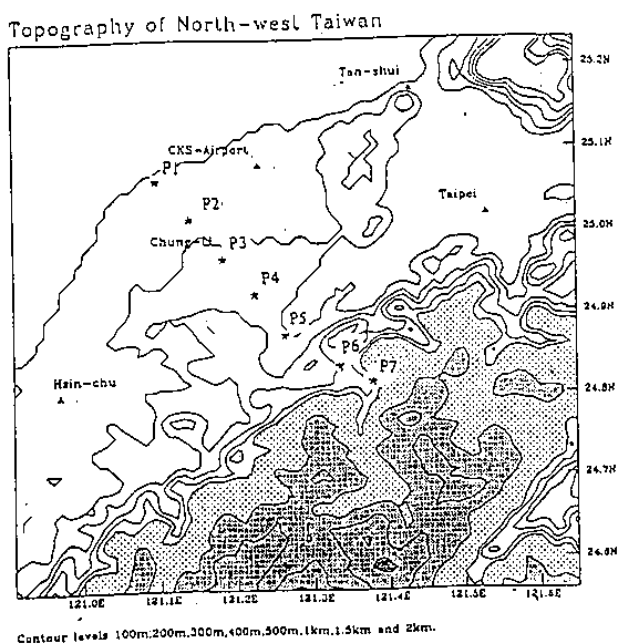


圖 10 1995 年局部環流實驗測站分佈。

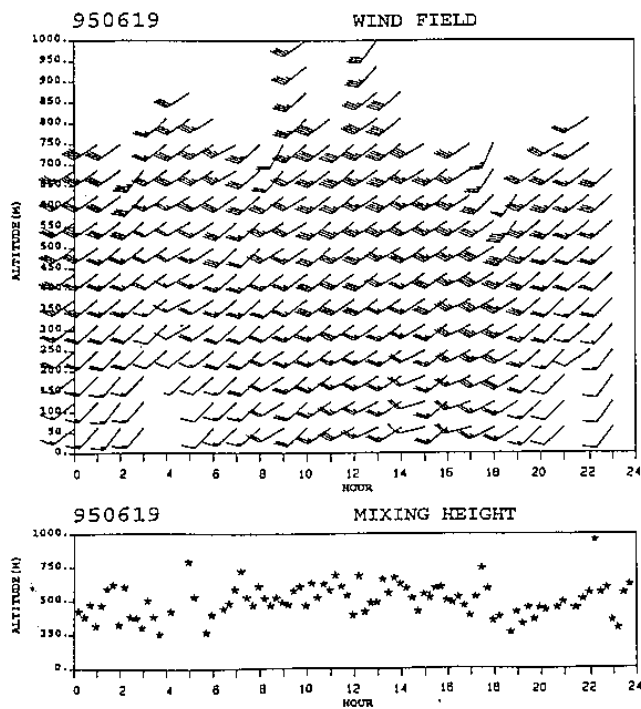


圖 11 1995 年 6 月 19 日中大(P3)站聲波雷達測量之邊界層風場日變化情況。

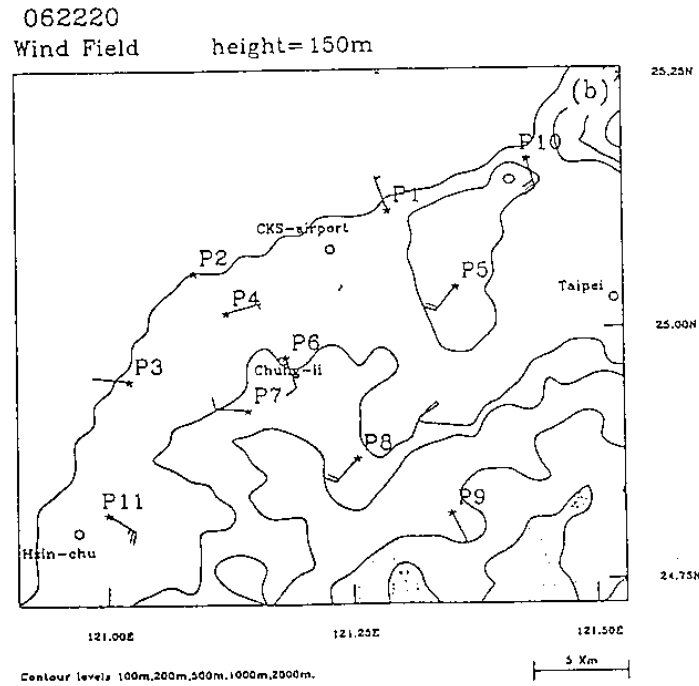
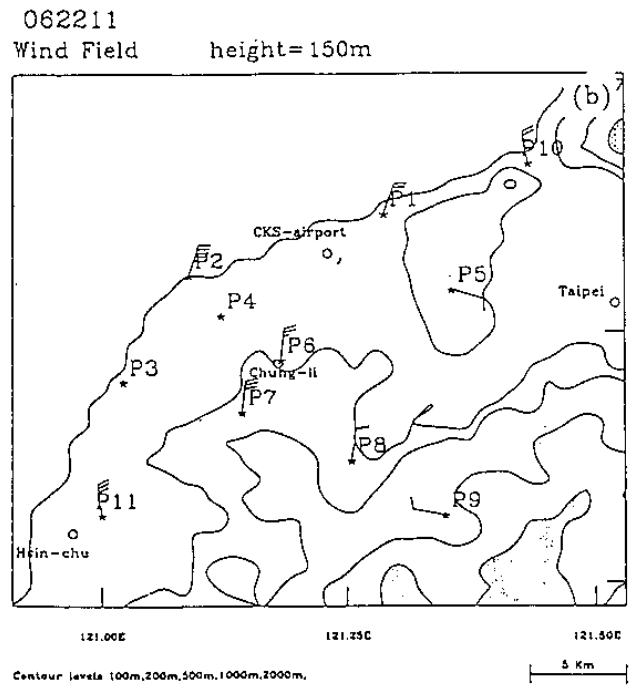
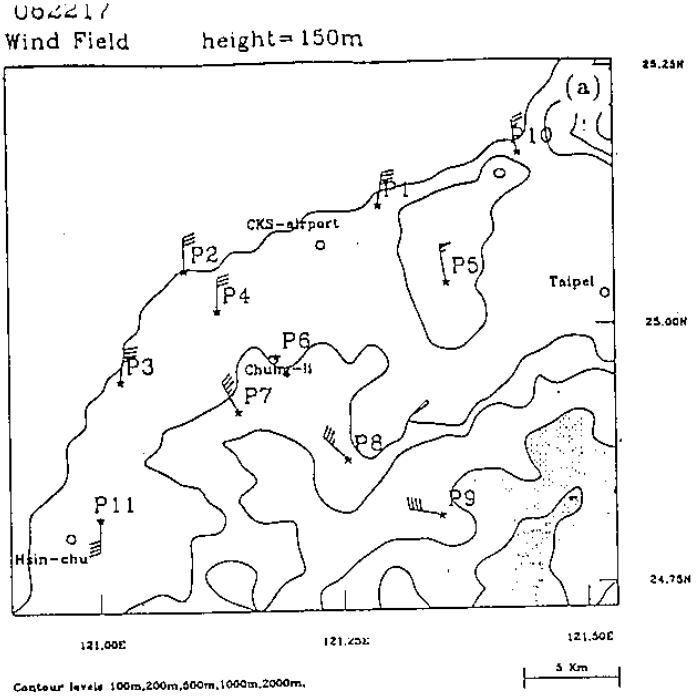
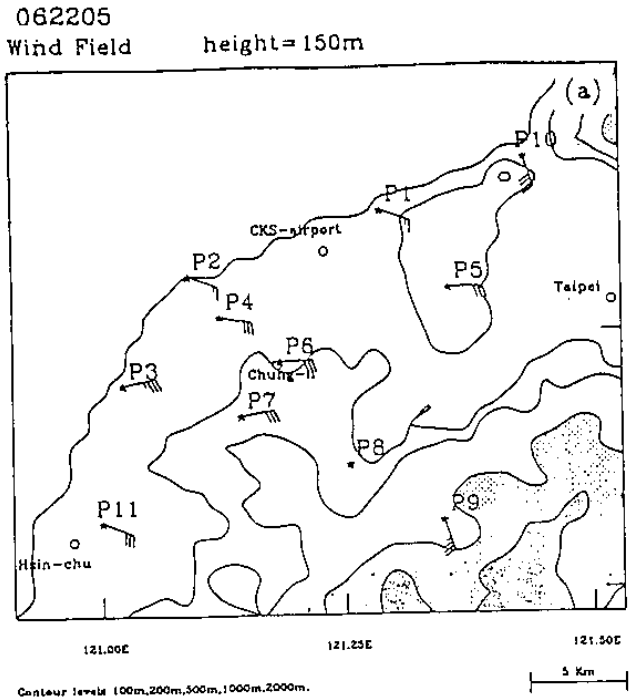


圖3 同圖4(a)1700LST (b)2000LST。

圖4 1994年6月22日 pibal 觀測 150m
高空風場(a)0500LST
(b)1100LST。

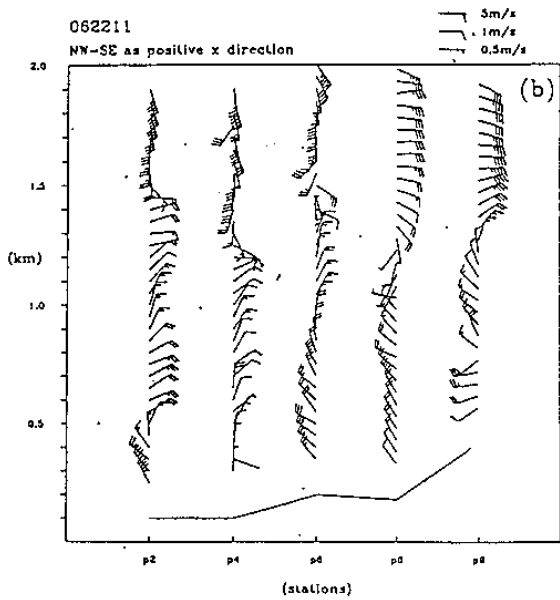
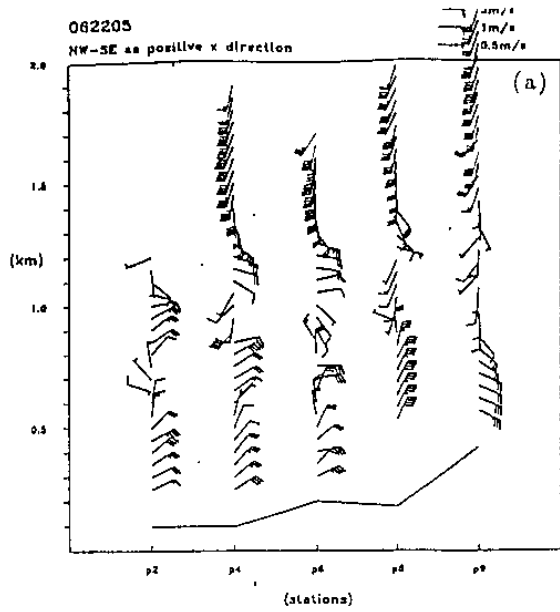


圖 5 p2、p4、p6、p8、p9 測站
pibal 觀測圖(a)0500LST
(b)1100LST。

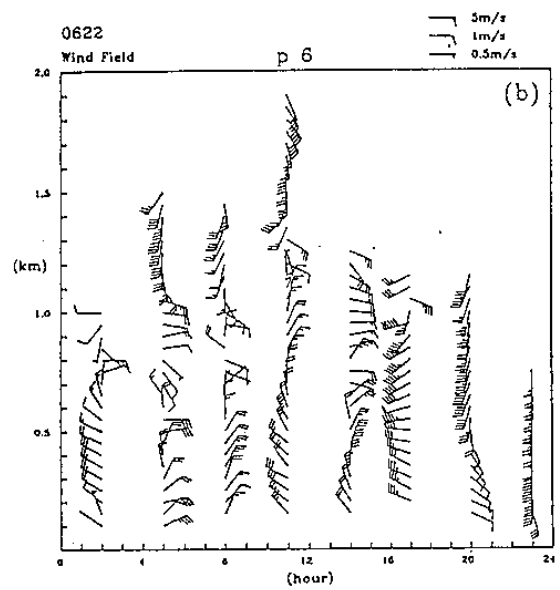
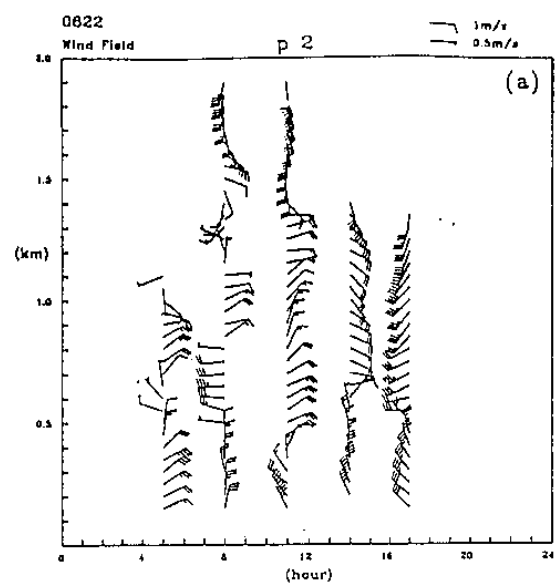


圖 6 單站風場逐時變化(a)p2 (觀音)
站(b)p6 (中央) 站。

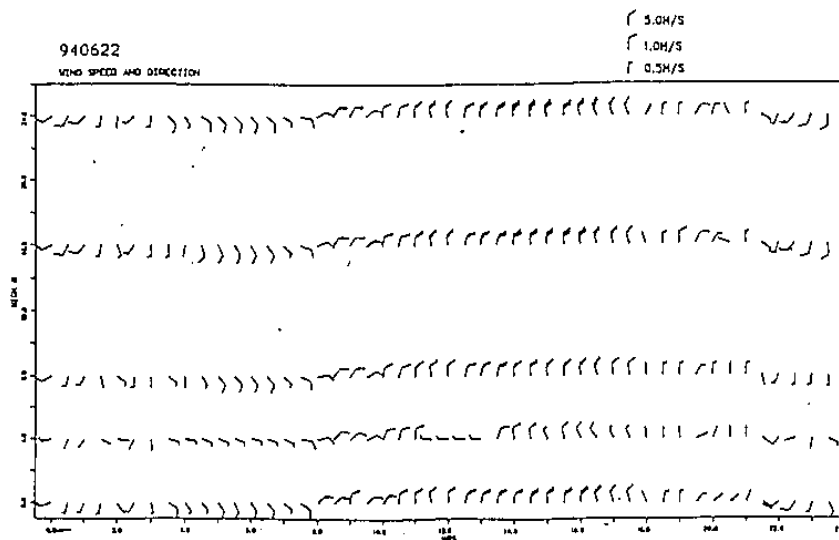


圖 7 中央大學鐵塔 1994 年 6 月 22 日觀測圖。

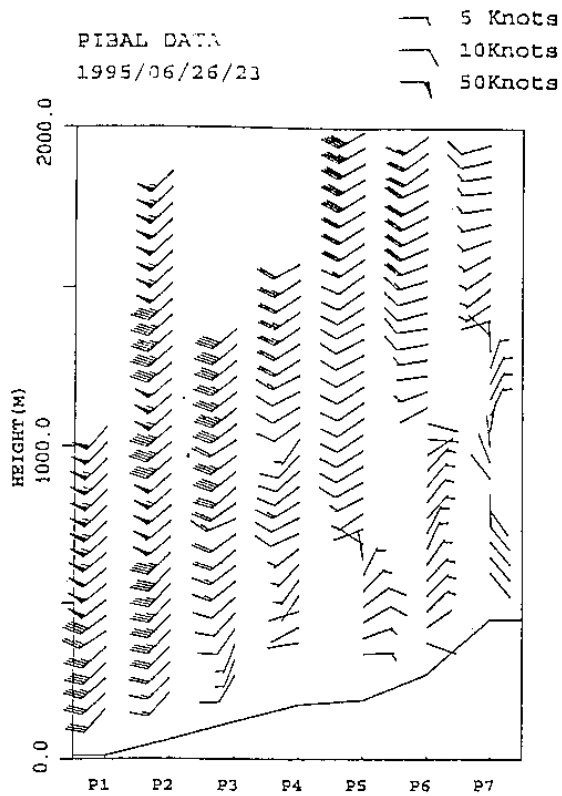


圖 13 1995年6月26日23時從海邊到山區剖面之測風分佈。

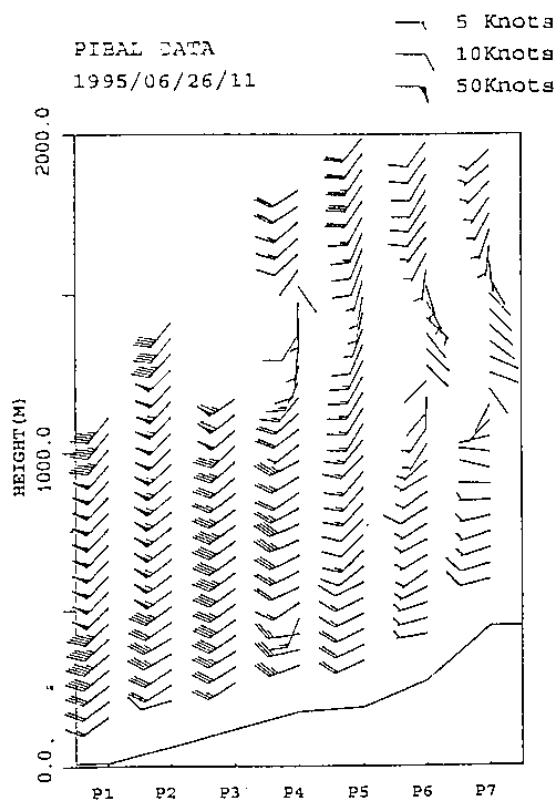


圖 12 1995年6月26日11時從海邊到山區剖面之測風分佈。

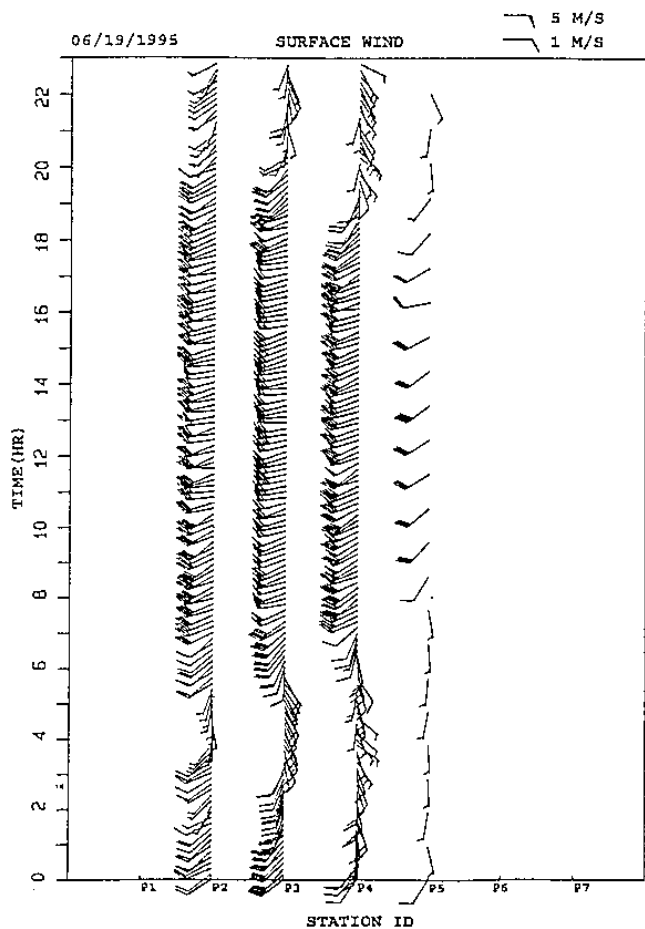


圖 14 1994年6月19日從海邊到山區測站地面風隨時間之日變化。

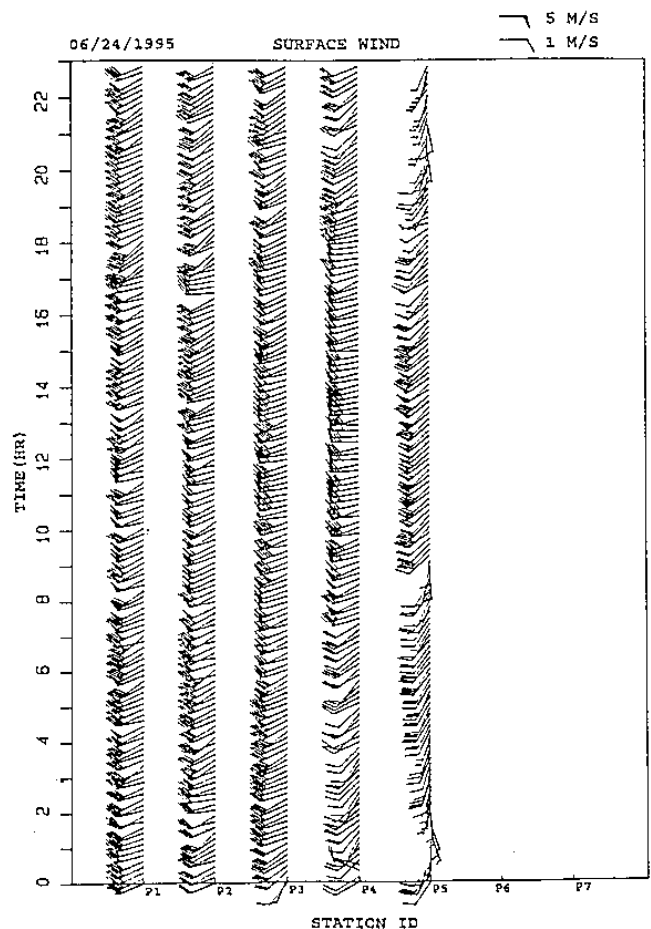


圖 15 1994年6月24日從海邊到山區測站地面風隨時間之日變化。