

西北台灣局部環流與邊界層發展之研究

陳焱煌 林沛練

國立中央大學

大氣物理研究所

摘要

『西北台灣局部環流實驗』於94、95、96年在中壢地區進行觀測，藉由傳統地面測站以及高空測風、探空之觀測，加上先進觀測儀器—整合探空系統（ISS）的資料分析，我們發現西北台灣局部環流與邊界層發展的幾個特性：1. 白天邊界層的風速較強，即使在有天氣系統影響的情況下亦如是；2. 山坡測站顯示明顯的上下坡風日循環變化，海陸風環流對山坡上測站的影響較小，地形效應及上、下坡風的影響較大；3. 強綜觀環境下，局部環流受到遮蔽較大，但仍有日夜變化；4. 在不同綜觀環境下，海風推進速度及厚度不同，發展較好的海風厚度可達800至1000公尺；5. 邊界層的發展有日變化，以弱綜觀環境下表現較明顯。

一、緒論

四面環海、地形複雜的台灣是天然的氣象實驗室，海陸對比及山地加熱差異促成了海陸風與山谷風環流；地形對盛行風的熱動力作用，會引發氣旋、阻塞、抬升、輻合、繞流及背風渦旋或中尺度低壓等現象。進一步探討局部環流及邊界層發展，將對台灣地區中尺度天氣系統的演化以及污染物的輸送、擴散有更深一層的了解。

有關中尺度環流的研究很多，Chen and Nash(1994)利用1990年HaRP(Hawaii Rain-band Project)密集觀測資料，分析夏威夷島氣象場變化及局部環流特性。明顯的海陸及山坡、平原溫度差異，驅動了中尺度環流的日夜變化，加上貿易風的吹拂，盛行風場的影響也不容忽視(Chen and Nash, 1994)。研究發現日夜加熱差異對地表風場及降水有很強的修飾作用；在迎風坡處於傍晚及晨間過渡期，風場轉向肇始於斜坡，而後往平地推進(Chen and Nash, 1994)。

近年來由於台灣地區的中尺度氣象愈益受到重視，相關的研究增加：林(1985)探討斜坡地形對邊界層風場日變化的影響。蔡與童(1987)、蔡(1987)選擇在具有代表性的天氣條件下，利用經緯儀及高空測風氣球，於台灣南端及北部陽明山區進行觀測，分析複雜地形下之局部環流。林等(1990)於台灣北部觀音工業區進行密集觀測，探討海陸風環流特性、海風邊界層的發展以及污染物濃度日變化特性。Johnson and Bresch(1991)利用TAMEX(Taiwan Area Mesoscale Experiment, 台灣區中尺度實驗)期間高解析度的觀測資料，分析1987年5月24日台灣地區海風發生的時間及邊界層

特性。林與盛(1990)指出西部平原區的海風肇始於早上九點，並於一小時內開始移往內陸；而陸風大約在傍晚發生，但受午後雷陣雨外流的影響，各地出現陸風的時間不同。呂等(1993)亦連續三年在中油桃園煉油廠附近進行地面氣象要素、高空測風以及探空之定期密集觀測，探討複雜地形下邊界層熱動力場的日變化。

以往的研究較少比較不同季節、不同綜觀環境條件下的局部環流差異，且對於分析局部環流與大氣邊界層之發展、演化以及其間交互作用非常重要的輻射通量、地表溫度及垂直、平行海岸(山脈)之剖面觀測資料非常缺乏，一方面造成觀測分析未臻完善，另一方面亦因模式缺乏近地層重要參數之輸入，較難進行接近真實情況之台灣地區局部環流相關模擬。三年的西北台灣局部環流實驗由於有不少先進儀器的輔助，提供了具有良好時空解析度的資料，且配合地面基本氣象場以及探空的施放，測風經緯儀所得風場垂直變化，這都助於一步分析不同綜觀環境下，局部環流與邊界層發展的關係。

二、資料來源與分析方法

本研究主要針對局部環流與邊界層之發展進行探討，資料取自94、95、96三年『西北台灣局部環流實驗』得到的各種氣象要素等寶貴資料，三年的測站分佈參見圖1。所採用得資料主要為：中央氣象局地面天氣圖、地面資料、高空測風氣球資料以及中央大學整合探空系統(ISS, Integral Sounding System)資料，包括：915 MHz剖風儀、無線電聲波探空系統(RASS, Radio Acoustic

Sounding System)。

綜觀天氣型態主要是以中央氣象局地面天氣圖來研判，另外由中央大學的中上層探空資料加以佐證。地面資料主要是以風場分析為主，利用風花圖來表示地面風場的統計特性，並比較日間與夜間的異同。日間的選取是以早上 7 點至下午 6 點，這段時間之外便屬於夜間。經過日夜分離的處理後，可以看出白天與晚上風場變化的差異。

探空資料是取自中央大學 ISS，大約是每 3 小時一筆，以其得到的熱力場曲線及風場垂直剖面來探討局部環流的日夜變化、邊界層的發展以及大氣穩定度，並探討彼此的交互作用。915MHz 剖風儀每半小時有一筆平均資料，可用以分析垂直風場的細微變化。風場資料分為兩種格式，一為高高度模式(high mode)，一為低高度模式(low mode)。本研究以低層為分析重點，因此選取 low mode 資料來看低層風場變化。至於高空測風氣球資料，則是利用經緯儀追蹤其仰角與方位角，換算成風場，用以探討局部環流的高度與演變過程。在天氣晴朗的情況下，測風氣球的追蹤可至 3000m 以上，而在夜間及天色黯淡多雲的情形下，追蹤的高度較低甚至無法進行，空間上的資料分佈也因此參差不齊。

三、分析結果與討論

(一) 實驗期間之綜觀天氣型態

94'年實驗期間(6/15~6/23)處梅雨季末期，天氣型態呈現鋒前不穩定狀況。鋒面在 6/18 下午抵達北台灣並向南推進，6/19 及 6/20 的鋒面位置在中部地區，西北部屬鋒後天氣型態。之後鋒面北退、勢力減弱，天氣型態回復到鋒前情況，且即將轉為夏季。95'年實驗期(6/15~6/28)同樣是梅雨季末期，6/17 後太平洋高壓增強故氣溫偏高。實驗期間天氣型態是呈現強綜觀環境場即旺盛西南風吹拂的狀況，台灣一直處於太平洋高壓脊西側邊緣，天氣晴朗炎熱。96'年實驗(7/16~7/19 及 7/22~7/23)期間，台灣為太平洋副熱帶高壓所籠罩，為典型的夏季天氣型態，各地晴朗炎熱。此時綜觀環境場較微弱，局部環流及邊界層發展較明顯。

(二) 地面風場分析

此部份主要是以垂直海岸線之觀測線上的測站作分析(表一)，94'年實驗期間所觀測到的地面風場(圖 2A、2B)，在鋒前環境場下顯見海岸至

平原區測站(僅附 P2 站結果)的風場日變化，風速在日間較強，可達 10knots，此乃因白天太陽輻射加強邊界層的渦流擾動使近地表動量增加所造成。而風向大致呈現局部環流海陸風的走向；但在 6/18 下午鋒面經過後，風場轉為鋒後東北風，6/19 處於鋒後環境場，局部環流被遮蔽而不明顯，但日間風速仍較強；靠海邊測站可達 10knots 而內陸平原區測站約為 7knots。山坡上的測站(P9)在 6/18 日鋒面過境後，局部環流不太受鋒面影響，上下坡風仍存在。鋒面移走後局部環流日變化更明顯，且夜間下坡風速較強，這是因為山坡面在夜晚時輻射冷卻較強烈所導致。

95'年的綜觀環境場為強勁西南風主控，因此地面測站的風場非常一致，均呈西南風走向，但白天有偏海風分量(偏西)且風速較強，夜間有偏陸風分量(偏南)。山坡旁的測站(P5)亦受環境風場影響，但日夜變化較平原區測站明顯：白天是綜觀風場與上坡風結合，夜間風速減弱轉為下坡風，並受地形渠道效應影響而偏南風。96'年在弱綜觀環境場情況下，局部環流非常明顯，風場日夜變化很顯著並且在白天風速可達 12knots。

(三) 風花圖分析

為了解實驗期間地面風場的統計特性，因此利用風花圖作進一步的分析。94'年因鋒面經過會影響海陸風日夜變化的統計特徵，所以只針對山坡旁測站(P8)來分析，可知風場主要吹南風(超過 40%)，且日夜變化明顯，白天為上坡風走向，夜間轉為下坡風走向(受地形渠道效應影響偏南風)且風場較一致。95'年受強勁西南風吹拂，由平原區測站(P3)風花圖統計結果分析，發現白天還是有海風分量而偏西，晚上有陸風分量而偏南(圖 3)，越靠近內陸的測站其夜間偏南分量越明顯。96'年的地面風場呈現弱綜觀環境下日夜變化顯著之的型態，整段實驗期的統計結果沒有超過 20% 的特徵風場，白天主要為海風環流且風速較強，夜間呈現陸風且風速較小。

(四) 整合探空資料的分析

94'年的探空位溫曲線如圖 4，顯見 6/18 下午鋒面系統靠進使溫度驟降，低位溫區域(鋒面滯留台灣)一直延伸至 6/20 上午。鋒前與鋒後均可看到邊界層於上午發展。95'年在強盛西南風的環境下，邊界層發展仍有明顯日變化，每天中午前發展達最高，尤其以 6/19 及 6/24 兩天最顯著，6/19 的混合層發展超過 900m，而 6/24 更達 1200m。比

較這兩天探空與整段實驗之平均探空(圖 5)，由相當位溫曲線發現這兩天底層的不穩定度較實驗期間的平均為大，據此推論大氣底層的不穩定度會影響邊界層發展的高度。96'年是在弱綜觀環境下進行觀測，時值夏季，邊界層發展理應更旺盛而明顯，事實亦然。

利用中央 ISS 之 915MHz 剖風儀，可對風場垂直剖面作更細部的解析。圖 6 是 94'年 6/20 的風場垂直剖面時序圖，為鋒面經過後的情況，鋒後冷平流厚度約 500~700m，有時會超過 1000m，但大尚未達到山坡測站的高度，因此山坡測站的地面風場不受鋒面的影響，仍有局部環流日夜變化。平原區測站籠罩於鋒後冷平流中，海陸風環流日夜變化幾乎被遮蔽。鋒面北退後，風場的日夜變化才較明顯。95'年之風場垂直剖面在中層以上均為強盛西南氣流，風場在日間受海風修飾而稍偏西，夜間受陸風影響而偏南，500m 以下的風場有日夜變化。

(五) 高空測風氣球觀測資料分析

94'年因鋒面經過，其陰雨天氣使觀測不易，所以選取鋒面北抬後的觀測資料作分析。圖 7 為 6/21 在不同測站(P4 與 P6)觀測所得風場垂直剖面時序圖，由圖中可看出：6/21 的局部環流清楚，日間呈現海風狀況且上層有回流，海風厚度在 11 點左右達最高，將近 1000m；內陸測站(P6)觀測到的海風厚度稍低，發展成熟的時間較晚，同樣有上層回流。沿垂直海岸的觀測線，選取從海邊至山坡測站觀測所得風場畫成剖面圖，可看海風的推進以及上層回流，平原測站低層風場在晚上 8 點已轉為陸風。

95'年高空測風氣球觀測幾乎都呈現西南風的狀態，唯獨山坡測站仍有局部環流日夜變化。選取山坡上測站(P7)來分析實驗期間每日風場垂直剖面的變化，發現上下坡環流在整段實驗期間非常明顯，上坡風在午後發展最強而其厚度也將近 1000m。夜間下坡風較弱且厚度較低。

96'年是在典型夏季天氣(弱綜觀環境)進行密集觀測(每小時一次)，結果發現：內陸測站在日出後仍存在陸風，海風在 10 點後由海邊測站發展起來，12 點時已推進到內陸，13 點後的海風厚度超過 1000m，午後海風勢力慢慢減弱並在 18 點後開始轉向，由海邊測站先轉向，平原區測站繼之快速轉向，夜間則為陸風狀況。

四、結論與展望

綜合以上觀測分析，歸結出下列幾點分析結果：1. 在不同綜觀環境場下，海邊至平原區測站的日間風速均較強，山坡上測站則以夜間下坡風速較強。而山坡測站(中正理工)由於受到地形渠道效應影響，因此風向偏南北走向。2. 局部環流的發展會受不同綜觀環境場影響：在強綜觀環境場下，海邊至平原區的局部環流受到遮蔽而不明顯，而山坡上測站則較不受干擾仍有局部環流日夜變化；弱綜觀環境場下的局部環流發展顯著，可以看到較完整的環流變化且發展高度較高，而夏季的海陸風轉換時間有延遲的趨勢，較晚轉成海風也較晚轉為陸風；鋒前環境場下的局部環流還算清楚，發展厚度也不算低；不過在鋒後東北風籠罩下的局部環流不明顯，雖然仍有日夜變化但環流高度較難判斷。3. 利用探空資料分析邊界層的特性，可以看出有明顯的日變化。當綜觀環境場處於鋒前情況下，邊界層還是有發展；鋒面經過後則不易發展，主要是一個鋒後冷乾空氣的天氣型態；而在強綜觀環境下，發現在低層較不穩定時邊界層發展較高。4. 經由剖風儀分析垂直風場剖面，發現 94 年鋒面高度約為 500 至 700 公尺，尚未達到山坡上測站所在高度，因此對其地面風場影響不大，上下坡風日夜變化仍然顯而易見。95 年在強盛西南氣流籠罩下，局部環流仍會修飾低層風場，使風向在日間偏西而夜間偏南。

本篇對於實驗期間觀測的聲波雷達資料並未作分析，且對於影響邊界層發展非常重要的各種熱通量、水氣通量及輻射通量並沒有使用鐵塔觀測資料來進一步研判其細部發展過程，是需要繼續加強的地方。如果觀測分析可以再擴大應用上述資料，那麼對局部環流與邊界層發展才會有更完整的描述。

參考文獻：

- 林沛練，1985：斜坡地形對邊界層風場日變化振盪的效應，*大氣科學*，第 12 期，134-158 頁。
- 蔡清彥，1987：台灣北部地區局部環流之研究，*大氣科學*，第 15 期，179-198 頁。
- 蔡清彥，童雅卿，1987：台完南端局部環流之研究，*大氣科學*，69-88 頁。
- 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*，第 18 期，287-308 頁。
- 林沛練，盛揚帆，1990：TAMEX 期間台灣地區海陸風特性之初步分析。*天氣分析與預報研討會論文集編*，133-144 頁。
- 呂世宗，張隆男，郭坤土，1993：中國石油公司桃園煉油廠空氣品質調查評估及監測，國立中央大學環境研究中心研究報告，300

頁。

吳清吉，張隆男，簡文義，林沛練，林松錦，陳景森，許武榮，林能暉，1994：西北台灣局部環流研究，國科會研究報告。

張隆男，簡文義，林沛練，吳清吉，林松錦，陳景森，許武榮，林能暉，1996：台灣局部環流之研究（I），國科會研究報告。

林沛練，陳台琦，賴信志，1996：台灣局部環流之研究：濱海複雜地形局部環流與邊界層之發展（II），國科會研究報告。

Chen, Y. L., and A. J. Nash, 1994: Diurnal variation of surface airflow and rainfall frequencies on the island of Hawaii. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 34-56.

—, and J. J. Wang, 1994: Diurnal variation of surface thermodynamic fields on the island of Hawaii. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 2125-2138.

Johnson, R. H., and J. F. Bresch, 1991: Diagnosed characteristics of precipitation system in northern Taiwan during May-June 1987 TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2540-2557.

年度	94'	95'	96'
觀音	P2	P1	P1
新坡	P4	P2	P3
中央大學	P6	P3	P4
東安國小		P4	P5
中正理工學院	P8	P5	
百吉		P6	
復興	P9	P7	

表一、各年度實驗期間垂直海岸觀測線上的測站之編號。

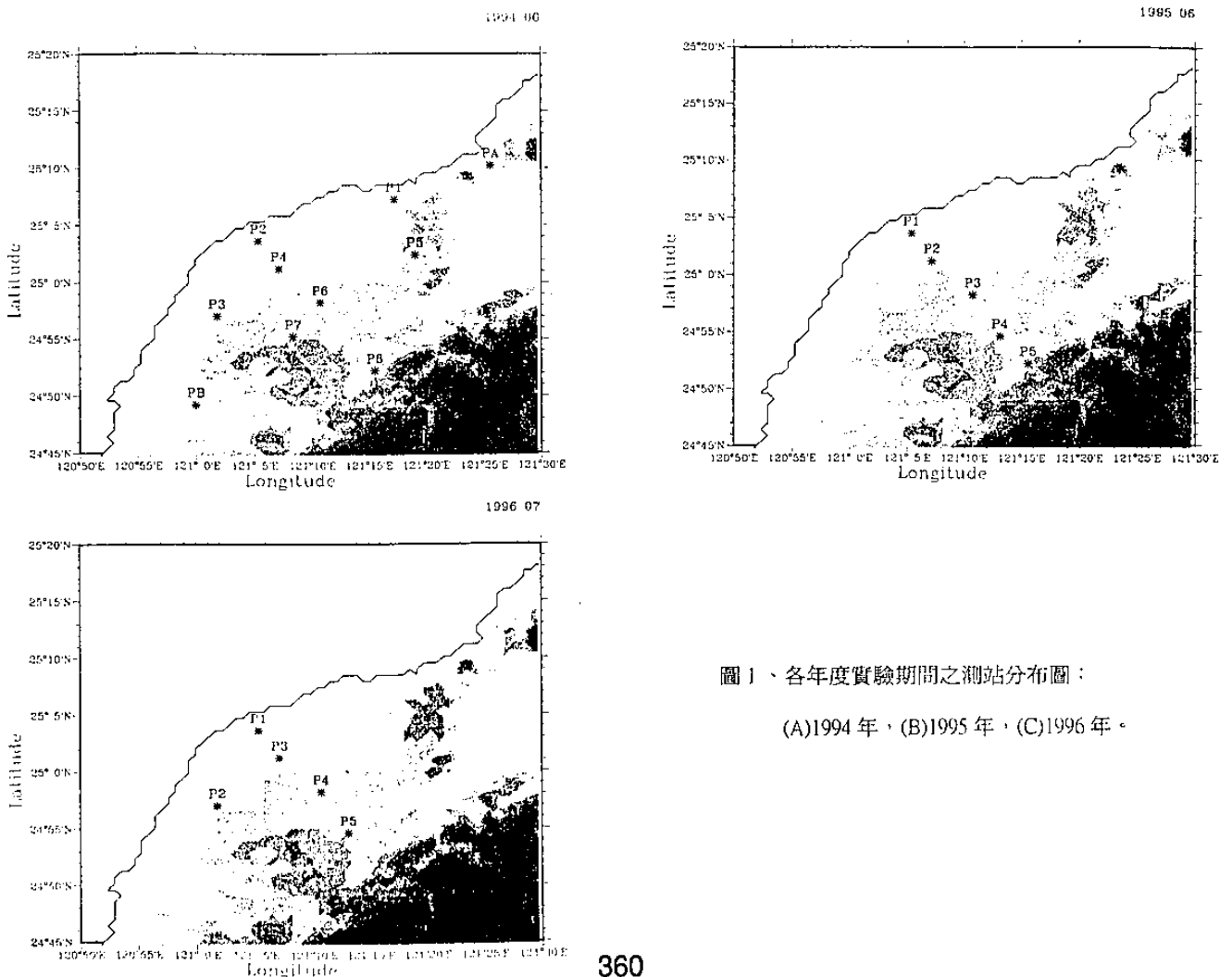


圖 1、各年度實驗期間之測站分布圖：
(A)1994 年，(B)1995 年，(C)1996 年。

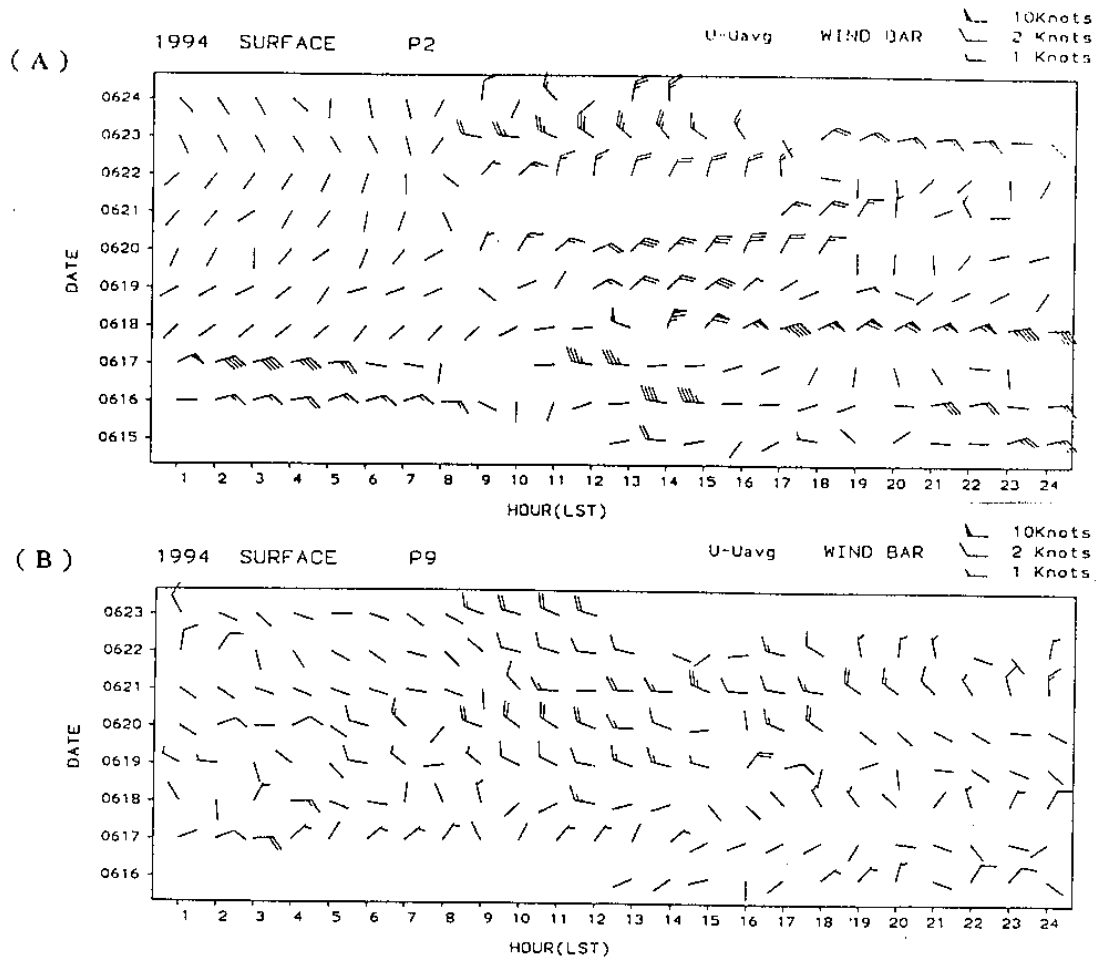


圖 2、1994 年實驗期間之地面風場時序變化：(A) 觀音站 P2，(B) 中正理工學院 P9。

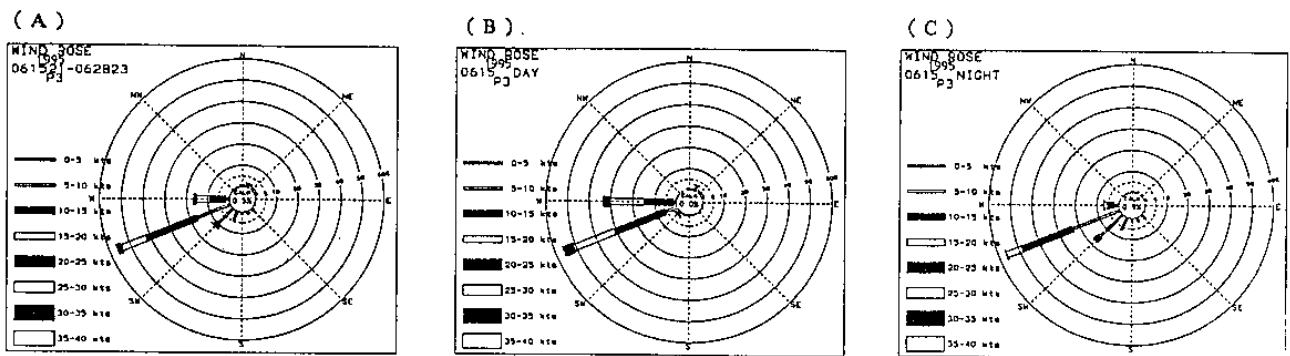


圖 3、1995 年實驗期間中央大學 P3 之地面風場風花圖：(A) 整段實驗期，(B) 整段實驗期之日間風場，(C) 整段實驗期之夜間風場。

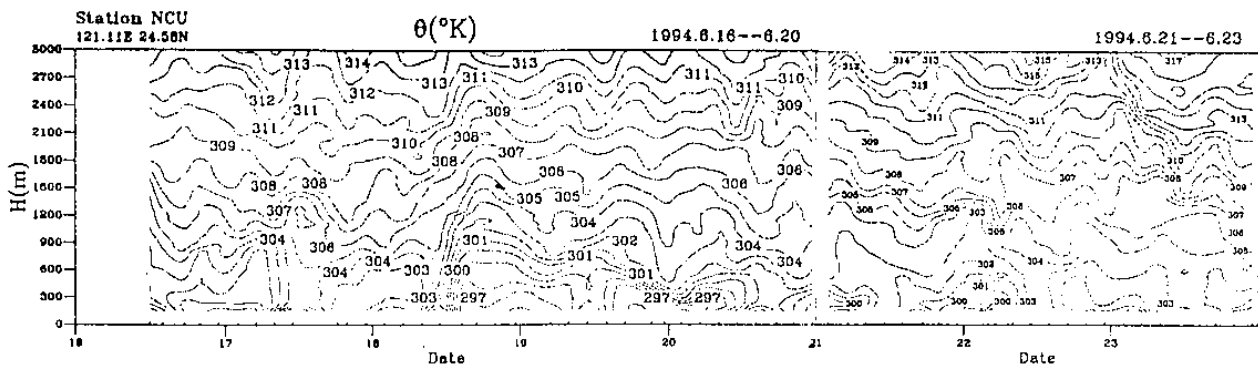


圖 4、1994 年整段實驗期間中央大學測站探空資料之位溫等值線時序圖。

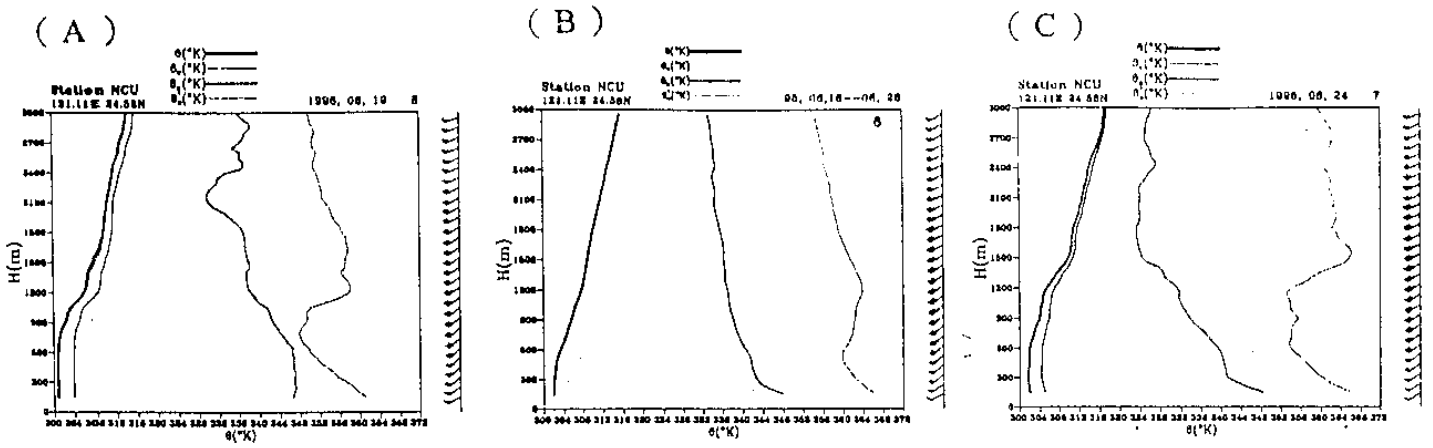


圖 5、1995 年實驗期間之探空曲線圖，分別為位溫、虛位溫、相當位溫、飽和相當位溫線：(A)為 6 月 19 日 08 時，(B)為整段實驗期間 08 時之平均 (C)為 6 月 24 日 07 時。

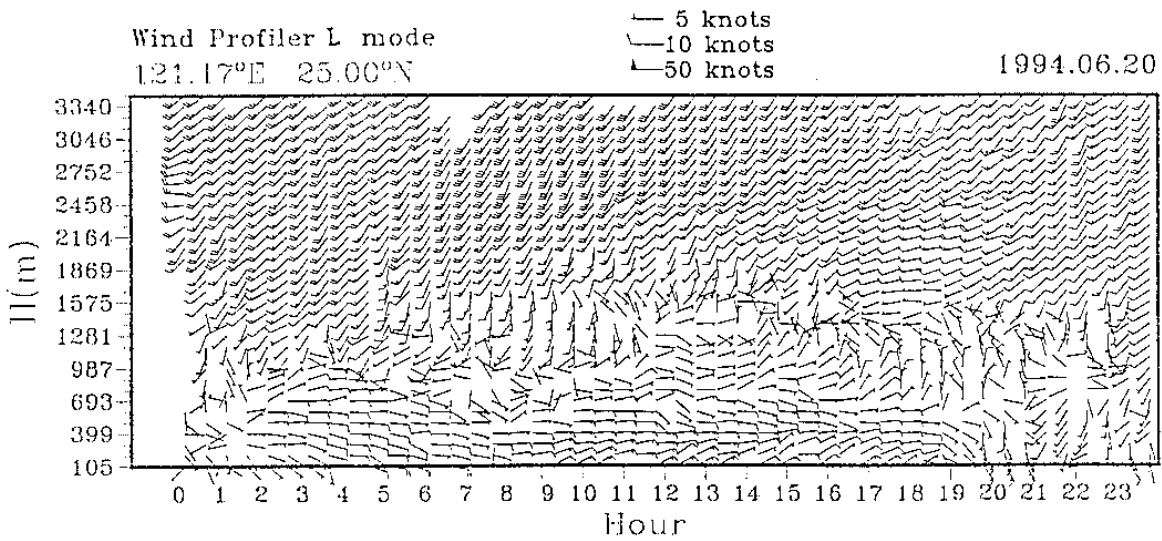


圖 6、915MHz 剖風儀觀測所得 1994 年 6 月 20 日之風場垂直剖面時序圖。

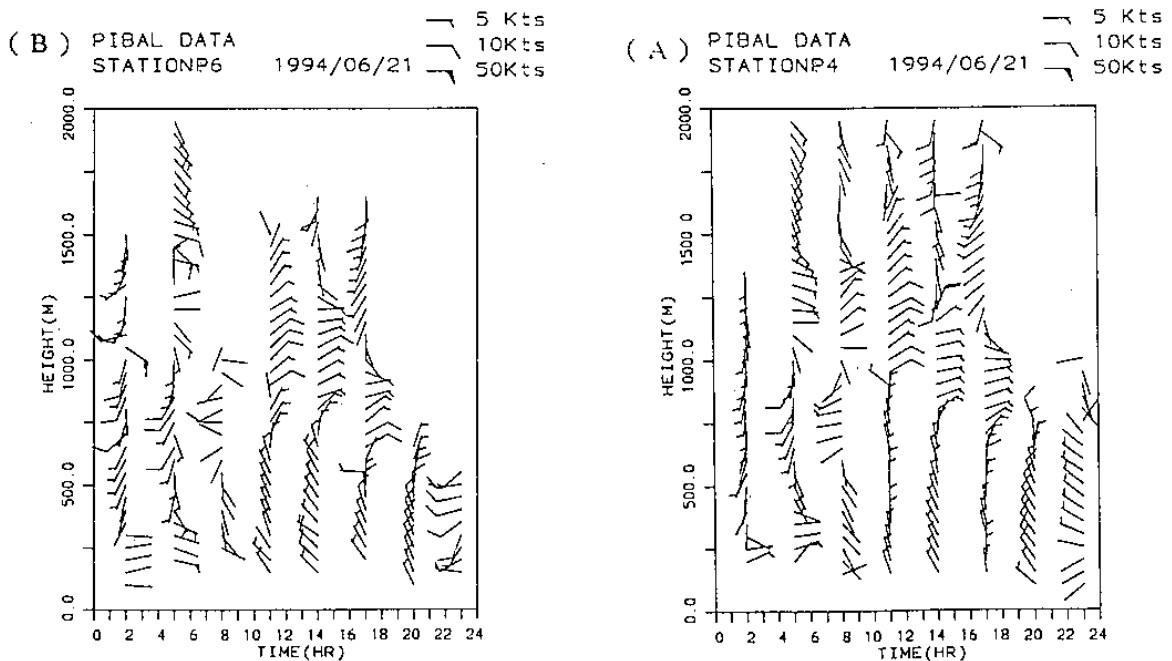


圖 7、1994 年實驗期間 6 月 21 日於新坡站 P4 與中央大學站 P6 之風場垂直剖面時序圖（經緯儀觀測高空測風氣球）：(A)P4、(B)P6。