

TAMEX 期間台灣地區海陸風特性之初步分析

林沛練 盛揚帆

國立中央大學大氣物理研究所

摘要

海陸風對局部地區氣象特性的影響早已為氣象人員所熟知，近年來之研究更注意海陸風對濱海地區對流活動之貢獻以及對污染物輸送與擴散的影響。本文利用TAMEX 期間密集觀測所收集的地面氣象要素，測風以及探空等資料分析台灣地區在該段時間內的海陸風特性以及海陸風邊界層之發展。分析結果顯示，TAMEX 非密集觀測期間，台灣地區的海陸風現象非常明顯，而密集觀測期間除了第五次，第九次以及第十一次密集觀測期較明顯之外，其餘均不明顯，但當綜觀系統較弱時，海陸風之特性仍然隱約可見。海風邊界層之特性，除了地表加熱為主要控制因子之外，也與離海距離、地形特性以及綜觀天氣形態有很密切之關係。

一、前言

海陸風乃由於海陸差異加熱效應所產生的一種力管環流現象，這種局部的中尺度大氣現象不僅與緯度有關(Yan and Anthes, 1987)，也因季節而不同。而天氣形態，彎曲海岸以及起伏之山嶺地形更深深影響著海陸風環流之特性。人類很早就注意到海陸風之現象，例如古代漁民便知利用夜間陸風出海捕魚，而於第二天藉海風返航。另外海陸風對局部對流系統的觸發或加強，以及對污染物傳輸之影響，近年來已逐漸引起研究人員的注意。

海風之研究不論是數值的模擬或是觀測的分析均有許多人在進行，海風之觀測雖已有相當長的歷史，然而比較有系統之觀測則在本世紀中葉以後。早在1953年David Atlas 即利用改良之APS-34型雷達來偵測美國麻州東南沿灣之海風，Fisher(1960)，Frizzloa and Fisher (1963)則利用探空氣球架設觀測網分析新英格蘭海風之主要特徵，他們的分析指出，海風厚度約在1000m 以下，而且可深入內陸30-50Km，海風水平最大風速可達10m/sec。另外Hsu (1970)在德州海岸以及Lyons and Olsson

(1973)在密西根湖濱的密集觀測乃中尺度海風以及湖風環流相當完整之觀測，Hsu(1970) 指出海風或陸風總是最先發生在海岸而且最後也是海岸附近消失，陸風通常較弱而且只出現清晨，最強的海風發生在下午3 點左右。海風鋒面處為最強輻合區，當其通過時可以觀測到溫度下降，相對濕度先下降再上升，風向呈順時鐘向轉180度。Fujibe and Asai (1984)曾對Sagami Bay Area 夏天的海陸風結構及其日變化進行詳細之分析，並探討斜坡對海陸風之影響。有關海風鋒面或湖風鋒面之特性，多年來研究者不乏其人，Simpson et al. (1977)，Keen and Lyons (1978)以及Ogawa (1986)等均曾進行過觀測與分析。Helmis et al. (1987)觀測分析海風鋒面之特性以及離岸風對海風鋒面之影響，他指出離岸風存在時鋒面較峻峭，梯度也較強，垂直速度約在 $1.0-1.5\text{ms}^{-1}$ 之間，沒有離岸風時鋒面較弱，垂直速度只有前者之1/3 而已。

Nakane and Sasano (1986)利用高解析Lider 之觀測發現海風厚度約300m，海風鋒面前緣向上延伸可達1300m，500m以下鋒面與地面之夾角約 45°

，500m至1000m 之間夾角約 14° ，1000m 以上則約 6° 左右。海風鋒面前進之速度約3.3 m/sec，海風與環境風場之風向與風速均有明顯之不同。Ogawa et al. (1986) 以及Nakane and Sasana(1986) 等學者綜合他們觀測分析之結果均強調海風邊界層之結構可分為三部分，即(I)內流(吹向陸地)之海風(II)海風回流區以及(III)環境風等三個層次。海風前緣之頂部，回流區之頂部均會有逆溫之現象出現。

一九八七年五六月台灣地區中尺度實驗(TAMEX) 期間，收集了密集之地面、測風、鐵塔以及探空等資料，對台灣地區海陸風之分析提供了很好的機會，本文即為我們分析的一點初步成果。

二、台灣地區海陸風的基本特性

台灣地處亞熱帶，四面環海，島內地形起伏，河谷交錯，中央山脈縱貫其中，鄰近地區影響大氣運動的因素中，海陸效應以及山嶺地形效應均扮演著舉足輕重的角色。由於海陸對峙以及山嶺起伏均會因為對大氣的差異加熱而引發海陸風或山谷斜坡風環流，這種局部性之熱力直接環流在綜觀環境強迫微弱的情況下乃是一種盛行之大氣現象。

檢視TAMEX 密集觀測期間(IOP) 的地面觀測資料，我們發現綜觀強迫作用較弱之IOP-5，IOP-9以及IOP-11台灣地區之海陸風較顯著，如圖1 及圖2 所示，由圖1 可見海風及陸風的日夜變化相當明顯

台灣地區在IOP-5 期間，大約處在微弱南來綜觀氣流之影響下，除了西北沿海測站之外，海陸風之交替相當清楚。白天溫度分佈除了隨緯度而異之外，也由海邊向內陸增加，大約每十公里升高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ，下午兩點時屏東比高雄小港之溫度約高 3°C ，海風很明顯。夜晚降溫則由內陸開始，如圖1 所示，凌晨一點時內陸測站之溫度大致比同緯度濱海之測站低。6 月15日台灣地區雖在冷鋒過後之北來氣流影響下，但是海陸風之交替仍然很明顯。6 月20日低層綜觀氣流為東南風，除了西南沿海似為綜觀所影響之外海陸風明顯。20日下午2 點屏東測站溫度與濱海測站溫度之差值僅有 1° ，故海風特性不明顯。

圖2 則顯示西部一些選擇測站地面要素隨時間之變化。海風、陸風開始之時刻隨測站位置，不同

個案而有差異。一般而言向岸風在濱海之測站先出現，離岸風則因受山谷下坡風之影響而由內陸先開始。6月1日台灣西南沿海測站陸風起動之時間，台南站為21時，高雄為凌晨1 時，屏東則在22時後就吹陸風。6 月15日之情況沿海測站陸風大約從19時之後就起動。另外海風入侵之後地面測站之水汽含量(露點溫度)都有增加的趨勢。6 月20日中正機場海風從10時開始明顯，陸風則在21時之後出現。小港站海風由10時起動，19時後即轉為陸風。台中水湳站9 時海風開始吹進。

由於TAMEX 密集觀測期間，大都是綜觀天氣系統強迫較強，或是擾動較大的時候，因此除了前述之三個IOP 之外，海陸風大都為綜觀系統所掩蓋。由於TAMEX 非密集觀測期，綜觀大氣之擾動較弱因此海陸風之局部環流均頗明顯，這可以由圖3 各測站的地面風變化看得很清楚，海風大約在9 點到10 點之間開始，陸風則在晚間9 點之後漸漸顯著，一般而言台灣西南部濱海平原的海陸風現象最清楚，此外台東，花蓮也頗明顯。台灣西北部由於西北來系統影響一般較其他地區為大，以致海風常為系統所掩蓋。圖3 中風向之日變化與溫度之日變化有非常密切的相關性，另外高雄(46744) 及花蓮(46766) 兩站分別在18日、19日零晨以及19日、22日零晨出現的降水似乎與海風陸風交替之時刻有很密切之關聯。

鐵塔資料雖然除了花蓮站之外均只有單曾的風向風速但由於每十分鐘均有一個觀測值，時間解析度相當高，對海風、陸風之間交替轉換的過程記載得更仔細，因此對海陸風之分析亦很有幫助。圖4 為東石(TXL09)，花蓮(46699)及嘉義(46748) 等站的一些觀測結果，海風陸風的交替出現非常清楚。

圖4 中花蓮(46699) 站在5 月16日、5 月19日、5 月26日、6 月1 日以及6 月10日鐵塔測風結果，可以清楚看到海風起動時刻約在8:30左右，陸風則變動較大。另外由5 月24日~26日東石站(TXL09) 與嘉義站(46748) 鐵塔測風比較，可以看出海邊之東石站海風起動較早，但是陸風則以位在內陸的嘉義站轉變較快。

三、海陸風邊界層的特性

由於台灣西南部濱海平原之海陸風現象最顯著

，因此我們選擇台南(46743)，左鎮(TXN23)，甲仙(TXP22)以及屏東(46750)等站的測風資料，分析海陸風邊界層內風的分佈特性，如圖5所示。海風之厚度可達1公里，回流最高可伸展到1.5公里以上，陸風最明顯時厚度也在500公尺以下。另外內陸山區測站之資料顯示，亂流強度較大，海陸風或斜坡風之轉換仍很清楚。比較這幾個測風站之資料，台南(46743)位於海邊，故海風較早起動，在6月2日~6月5日之間回流只有在6月4日14點清楚的出現。屏東(46750)位在內陸，海風層較厚，幾乎都有海風回流出現在每天的午後時間。左鎮及甲仙站位在山區，擾動較大，6月3日、6月4日14點時兩站向岸風的上層都有回流出現。

圖6為TAMEX期間板橋(46685)，台中(46751)以及花蓮三個探空測站在海陸風明顯日，邊界層風場以及熱力場的一些案例，由圖6可以看出當海風明顯之時混合層一般均有良好的發展，混合層內之熱力分佈除了近地層會有超絕熱之情況出現外，垂直相當均勻。由位溫的垂直分佈來看，5月24日花蓮測站之混合層高度約為1.8Km，台中也為1.8Km

參考文獻

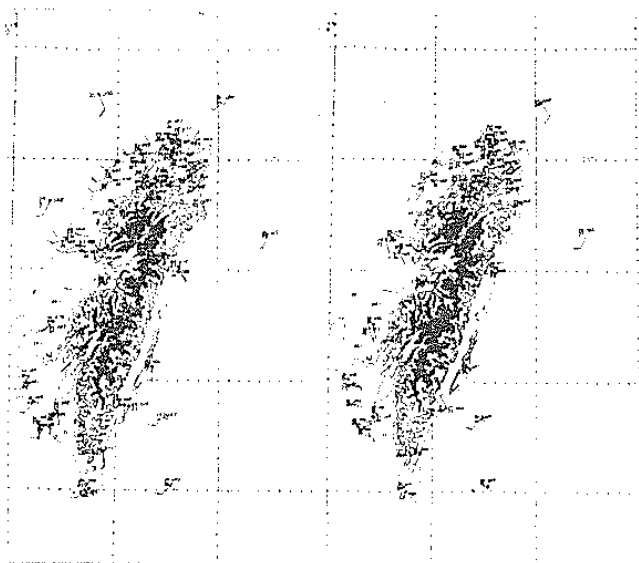
- Atlas, D., 1960: Radar detection of the sea breeze, *J. Meteor.*, 17, 244-258.
- Estoque, M. A., 1961: A theoretical investigation of sea breeze, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 87, 136-146.
- Fisher, E. L., 1960: An observational study of the sea breeze, *J. Meteor.* 17, 645-660.
- Frizzola, J. A. and E. L. Fisher, 1963: A series of sea breeze observations in the New York city area. *J. Appl. Met.*, 2, 722-739.
- Hsu, Shih-Ang, 1970: Coastal air circulation system: Observations and empirical model *Mon., Wea. Rev.*, 98, 487-509.
- Keen, C. S. and Lyons, W. A., 1978: Lake/land breeze circulation on the western shore of Lake Michigan, *J. Applied Meteor* 17, 1843-1855.
- 6月1日板橋站之混合層06UTC時為1.5Km，09UTC時降為1.2Km，6月20日板橋、東港以及花蓮之混合層約為1公里，台中則為1.8公里，值得注意的是混合層中風並非均勻分佈。風場與熱力場間耦合之作用，海陸風區、轉換區以及回流區在邊界層動力與熱力結構上表現之特徵，我們正繼續在分析探討。

四、結語

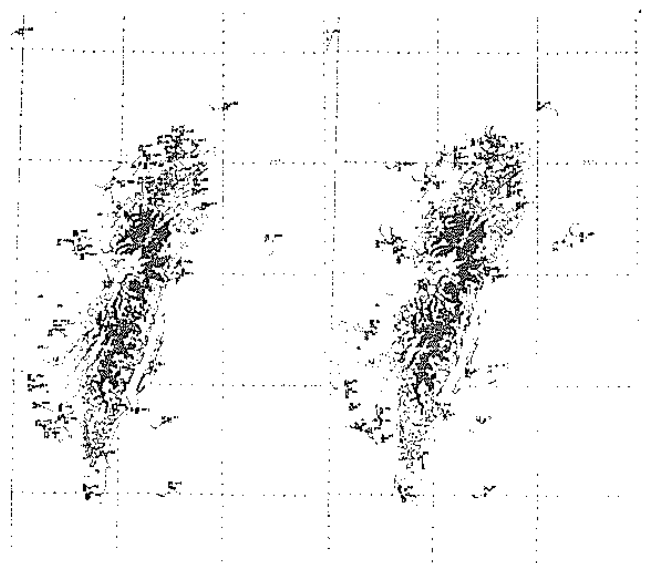
TAMEX期間的密集觀測資料，提供一個良好的機會，讓我但全面性的來觀察台灣地區海陸風的一些特性。從這些密集觀測資料的初步分析結果，顯示台灣地區的海陸風現象在綜觀強迫微弱之情況下，一直是盛行之現象。全島濱海地區白天吹海風，夜晚吹陸風的交替情況尋常可見。海風邊界層之特性除了受地表加熱使混合層得到良好發展之外，也與地形特性以及綜觀天氣形態有很密切之關係。山嶺地形引發之斜坡風與海陸對峙誘導的海陸風間如何交互作用，海陸風邊界層內熱力場與動力場如何耦合交互作用均為進一步將要探討之主題。

- Kondo, H. and K. Gambo, 1979: The effect of the mixing layer on the sea breeze circulation and the diffusion of Pollutants associated with land-sea breezes. *J. Meteor. Soc. Japan*, 57, 560-575.
- Mitsumoto, S., Ueda, H., and Ozoe, H., 1983: A laboratory experiment of the dynamics of the land and sea breeze *J. Atmos. Sci.* 40, 479-489.
- Nakane, H. and Y. Sasano, 1986: Structure of a sea breeze front revealed by Scanning Lidar observation. *Boundary Layer Meteor.* 64, 787-792.
- Ogawa, Y., T. Ohara, S. Wakamatsu, P. G. Diousey and I. Uno, 1986: Observation of Lake Breeze penetration and subsequent development of the thermal internal boundary layer for the Nanticoke II shoreline Diffusion Experiment. *Bound-*

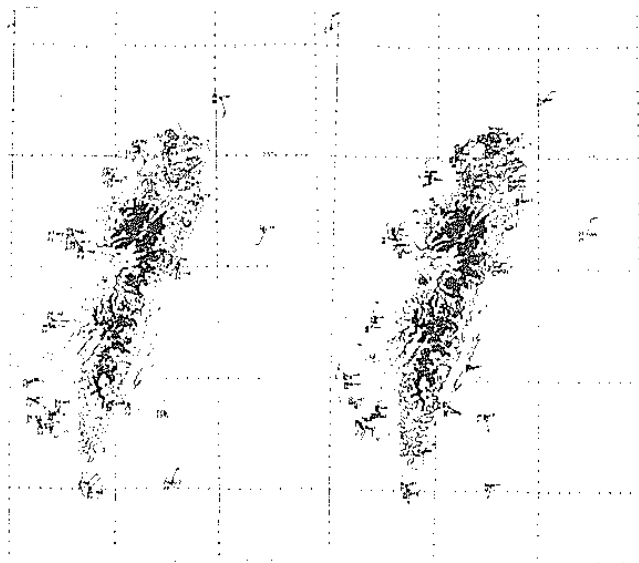
- ary Layer Meteor. 35, 207-230.
- Pearson, R. A., 1973: Properties of the sea breeze front as shown by a numerical model. J. Atmos. sci. 31, 1481-1489.
- Simpson, J. E., Mansfield, D. A., and Milford, J. R., 1977: Inland penetration of sea breeze fronts. Quart., J. R. Meteor. Soc. 103, 46-76.
- Simpson, J. E. and R. E. and R. E. Britter, 1980: A laboratory model of an atmospheric mesofront. Quart. J. Roy. Meteor. soc., 106, 485-500.
- Yan, H., and R. A. Anthes, 1987: The effect of latitude on the sea breeze. Mon. Wea. Rev., 115, 936-956.



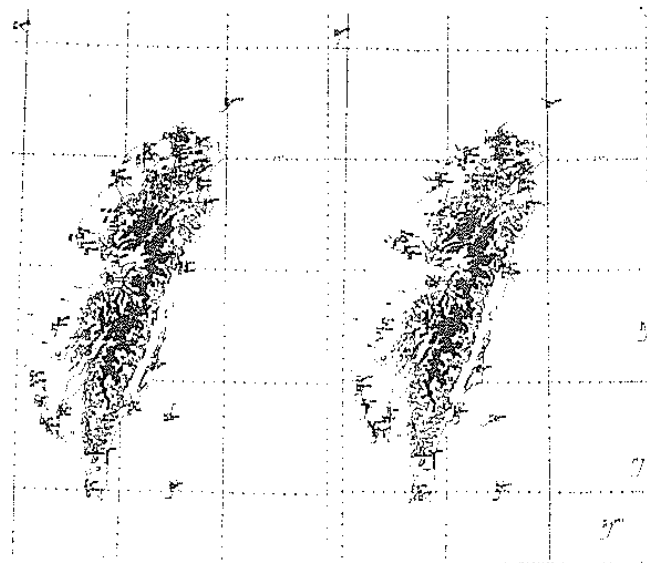
(a) 1987,6,1, 1400LTC (b) 1987,6,2, 0100LTC



(c) 1987,6,2, 0700LTC (d) 1987,6,2, 1400LTC

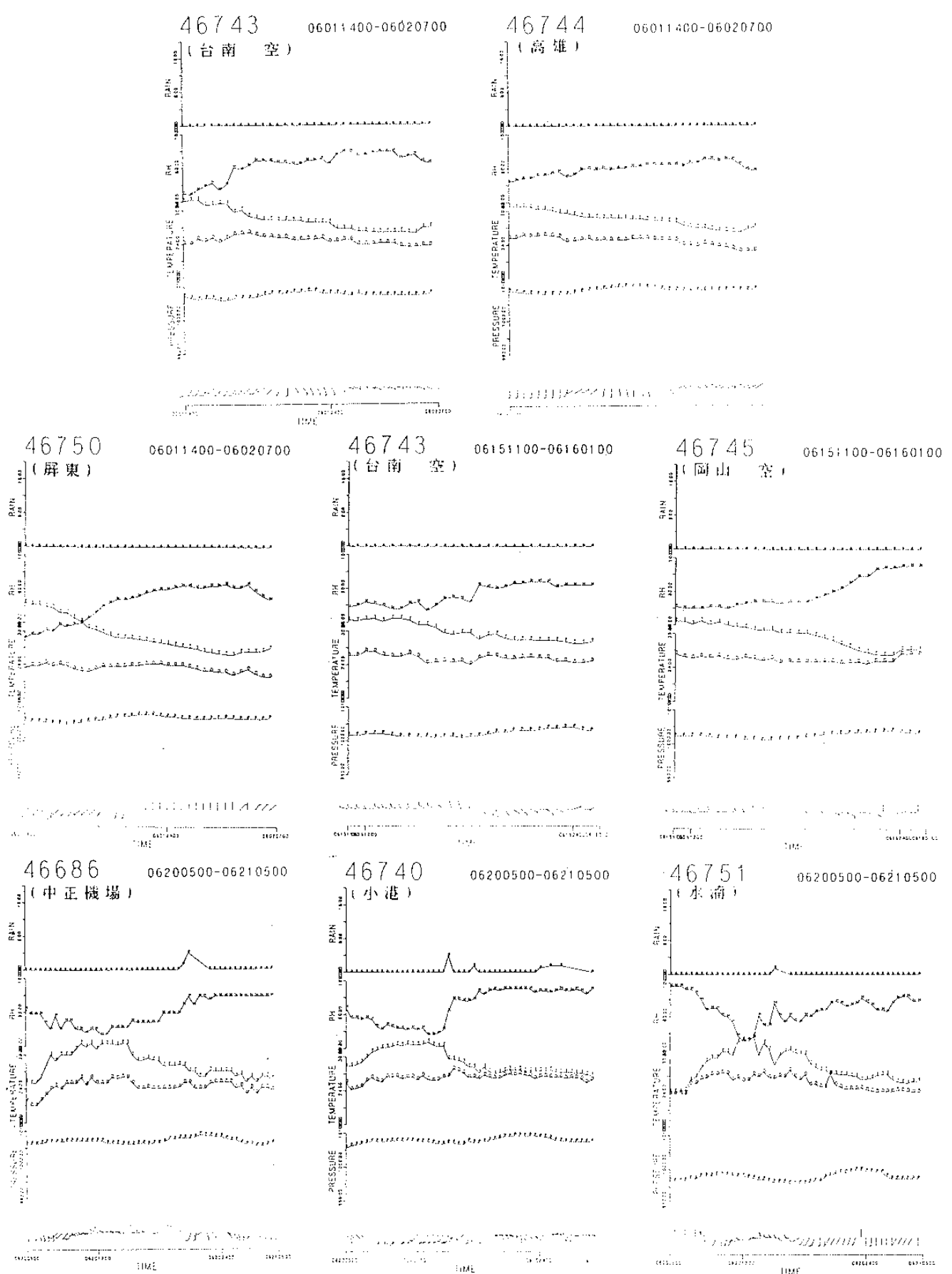


(e) 1987,6,6, 0200LTC (f) 1987,6,15, 1200LTC

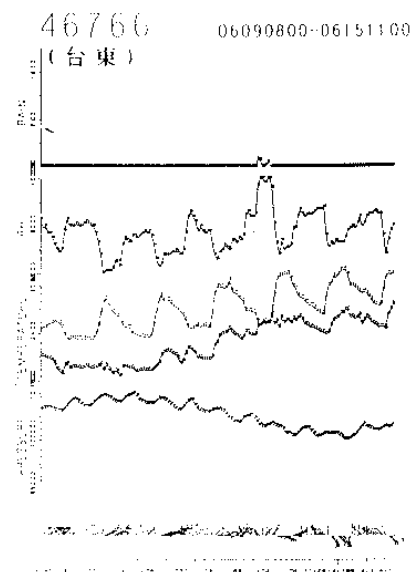
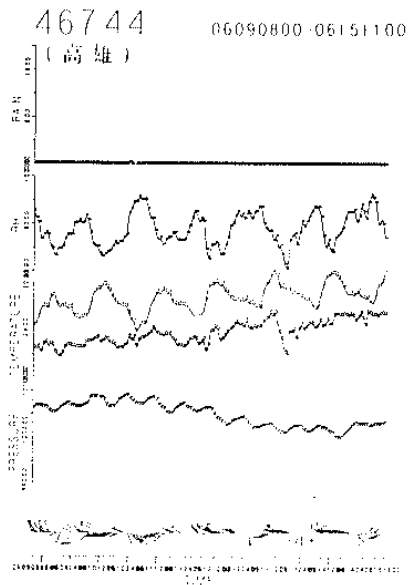
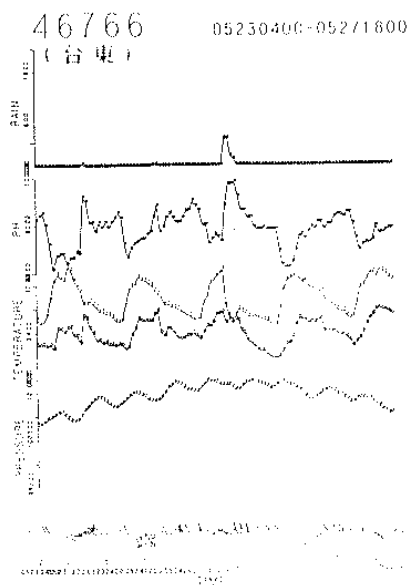
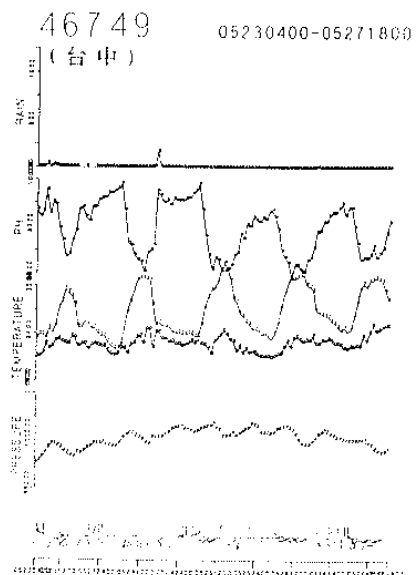
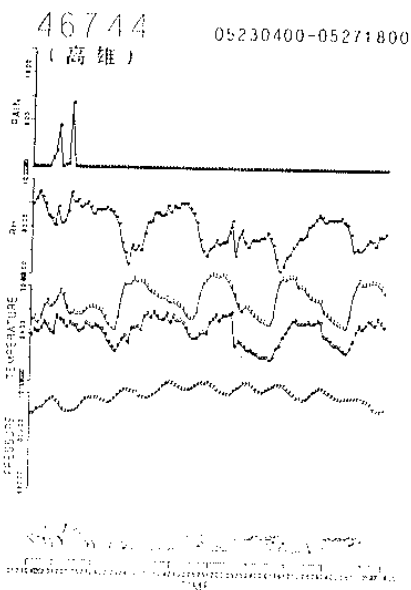
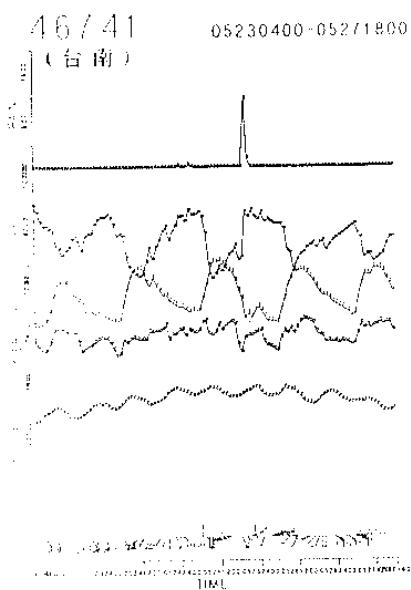
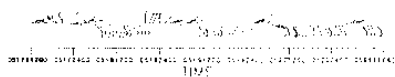
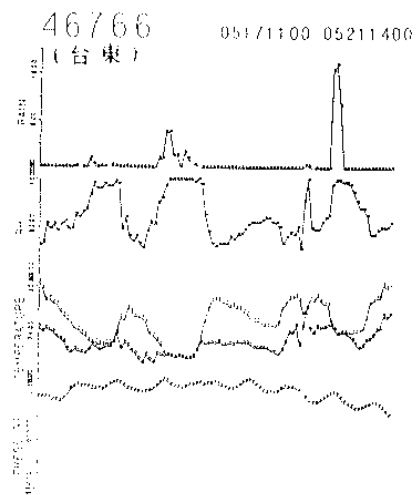
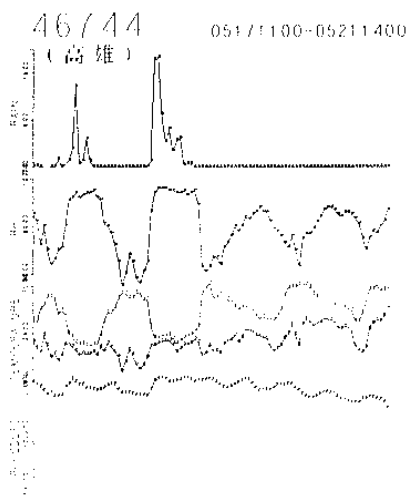


(g) 1987,6,20, 0600LTC (h) 1987,6,20, 1400LTC

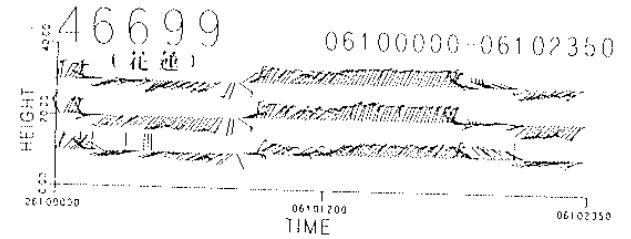
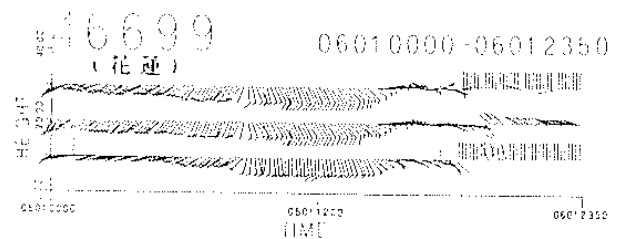
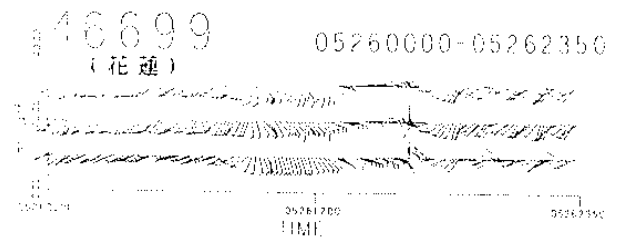
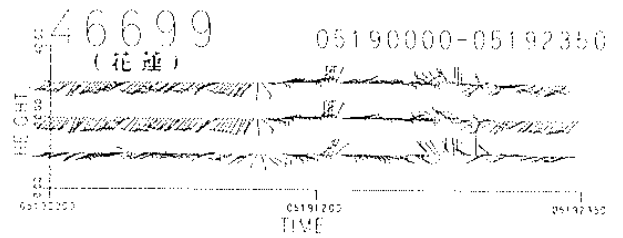
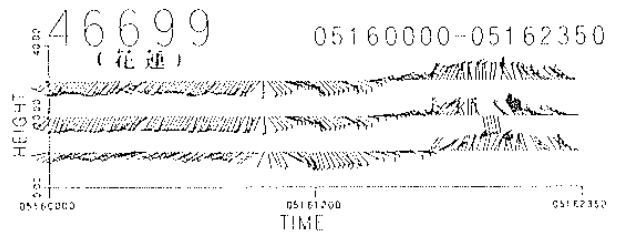
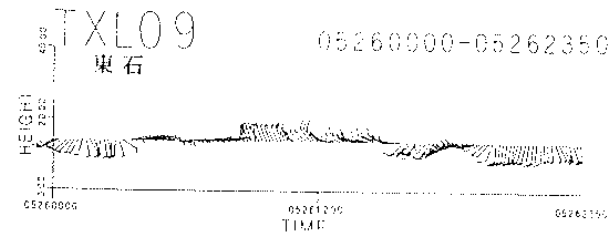
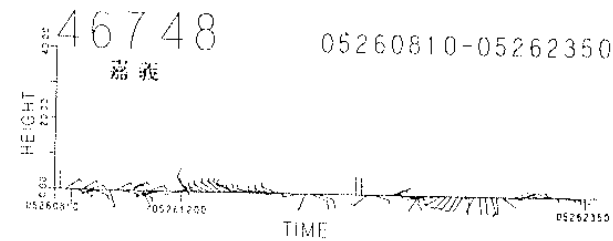
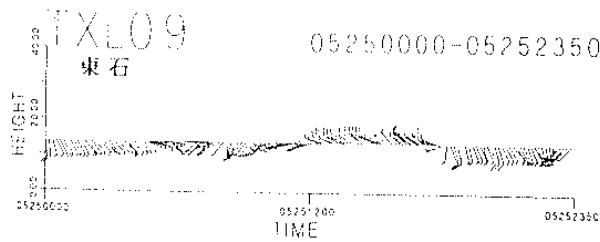
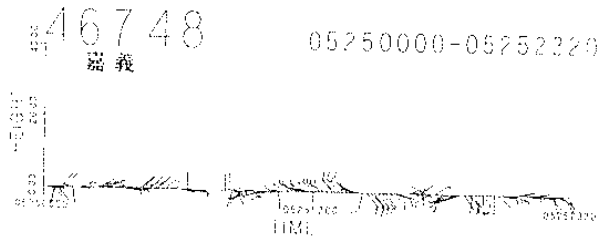
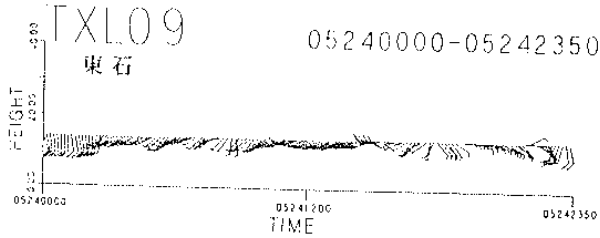
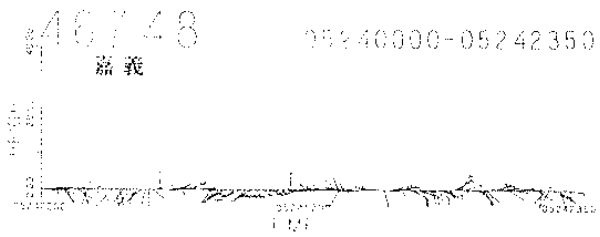
圖一 台灣區域TAMEX 期間地面天氣資料



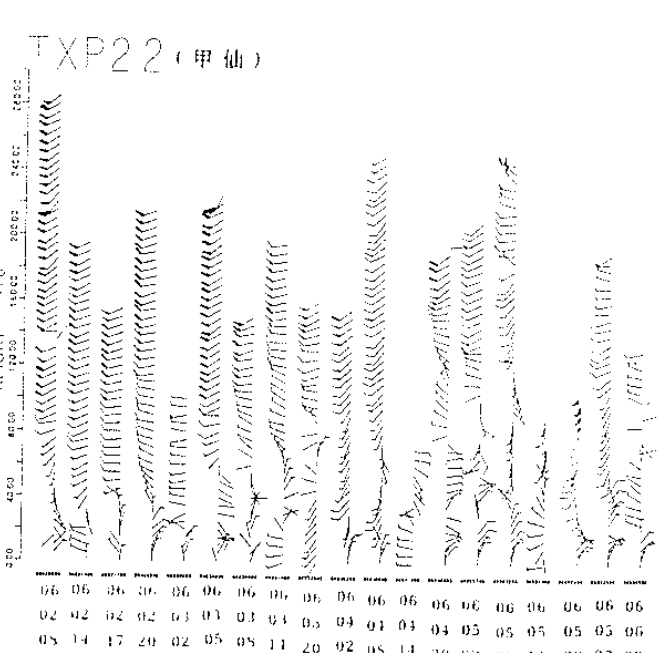
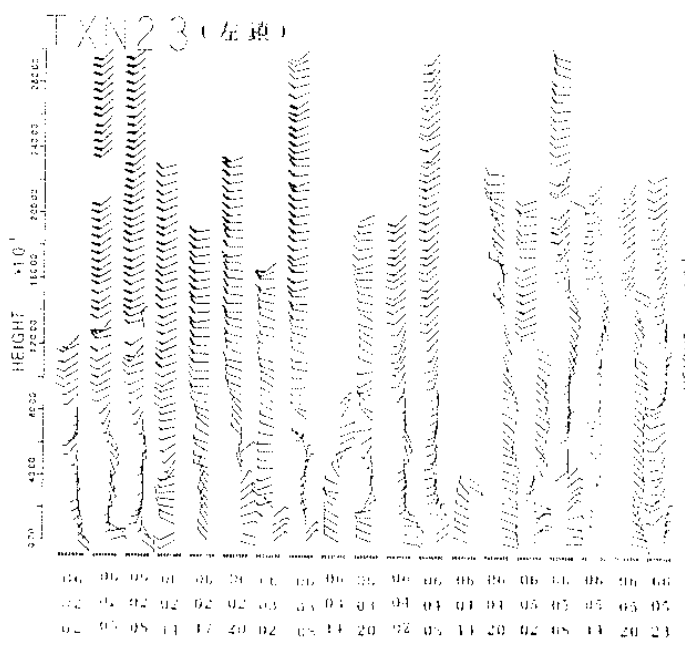
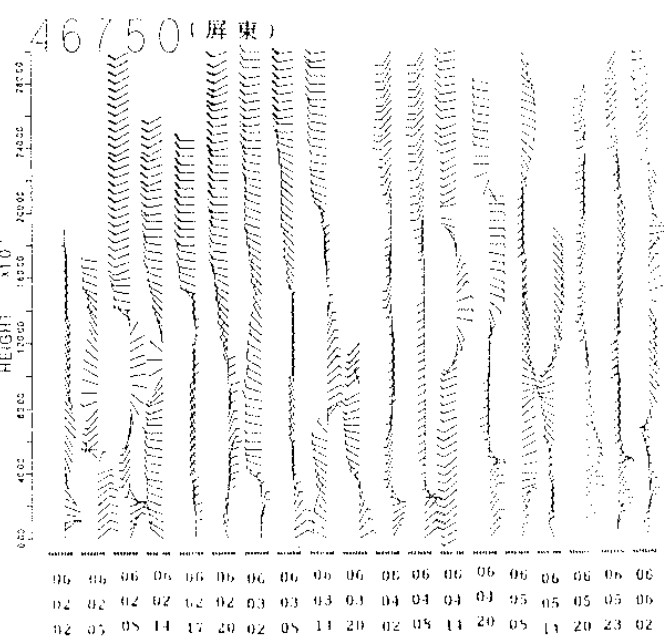
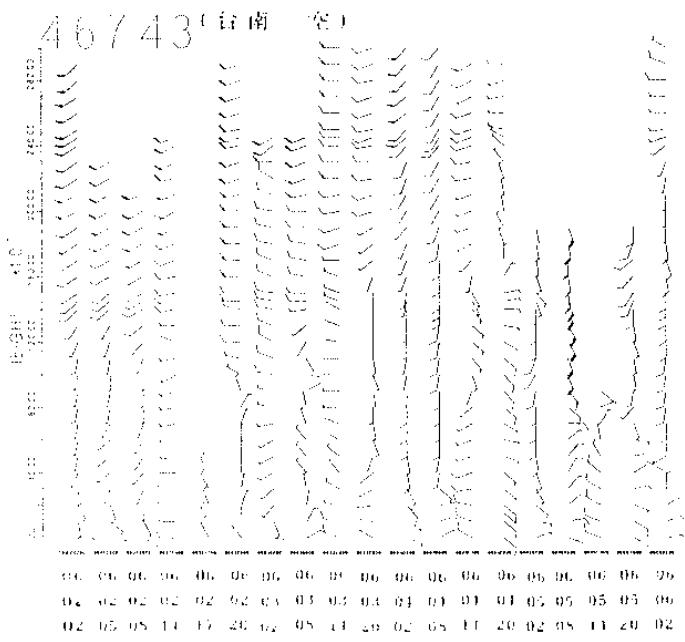
圖二：密集觀測期間地面測站各氣象要素隨時間的變化情形。圖中橫軸代表時間(LTC)，縱軸由上而下分別為雨量，相對濕度、溫度及大氣壓力。圖中的符號R 為雨量，H 為相對濕度，T 為溫度，D 為露點溫度，P 為大氣壓力，最下面為風場。



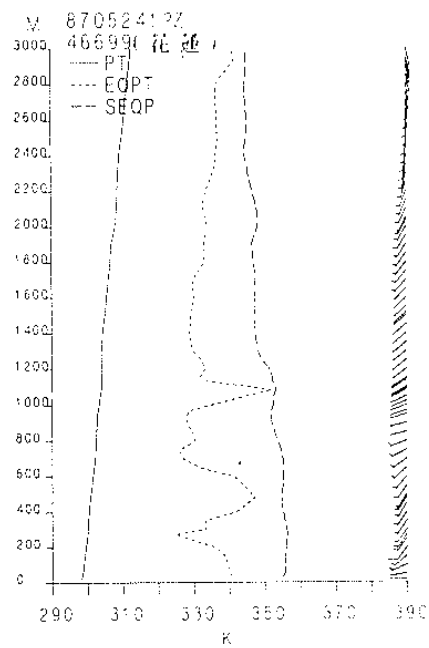
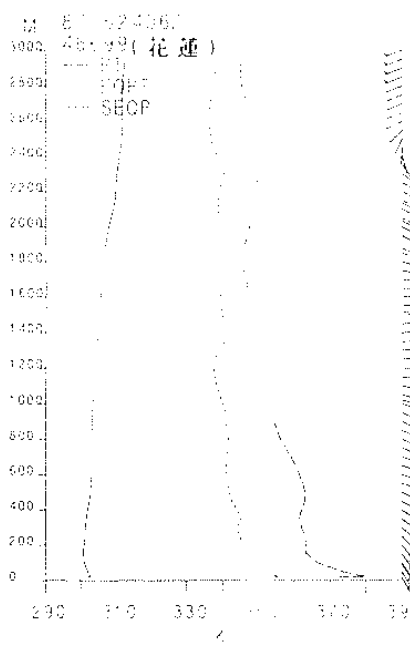
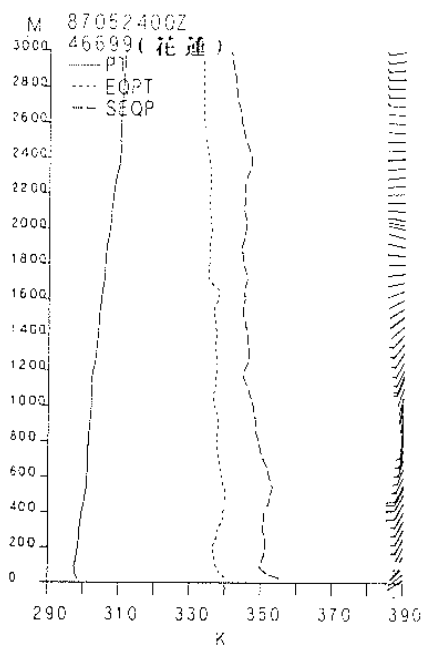
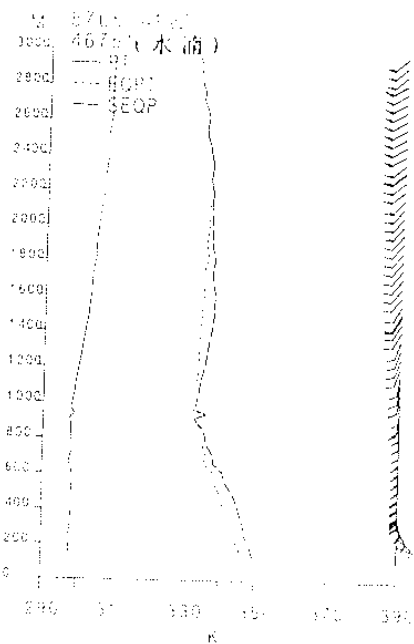
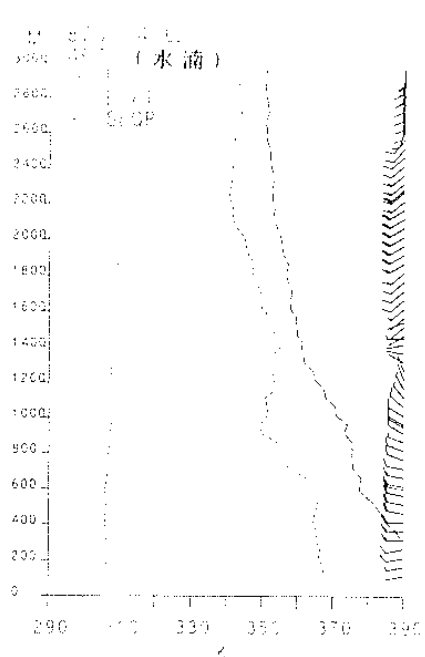
圖三 非密集觀測期間地面測站各氣象要素隨時間的變化情形。圖中各符號與圖二相同。



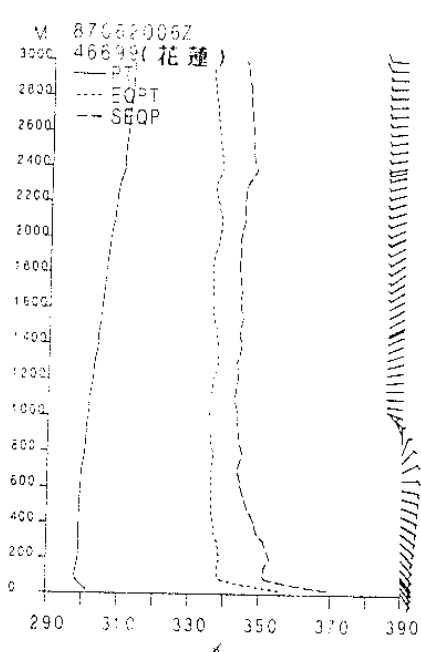
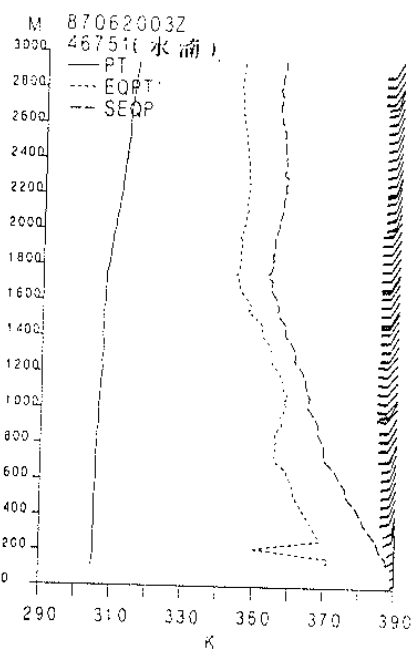
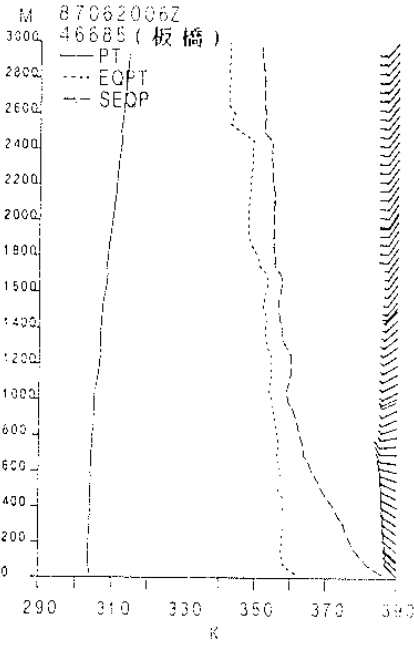
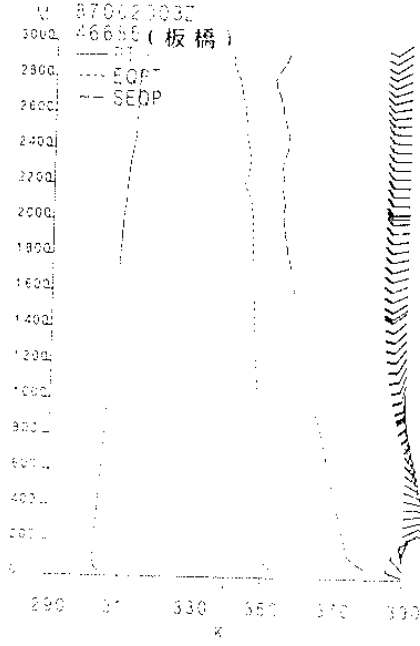
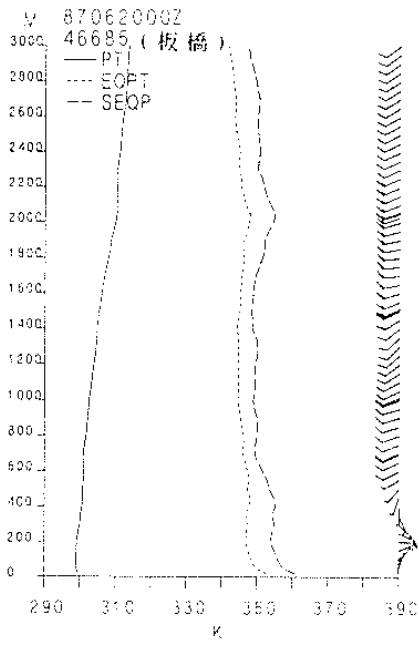
圖四 測風鐵塔在各時段內觀測到的風變化：



圖五 測風資料垂直分佈的時間序列。



圖六 邊界層內探空風場與熱力場之分析。



(續圖六)

**A Preliminary Study On the Characteristics of Sea and Land
Breezes in Taiwan Area During TAMEX Period**

PAY-LIAM LIN YANG-VANG SHENG
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC PHYSICS
NATIONAL CENTRAL UNIVERSITY

Abstract

Sea and land breezes and their behavior are very important from the view point of local weather and air pollution in coastal region. A regular cycle of sea and land breezes was frequently observed at coastal stations during TAMEX period.

The TAMEX data set provides a good opportunity to examine the diurnal circulation on this mountainous island. In this paper, several characteristics of the undisturbed sea and land breezes over Taiwan have been determined. The kinematic and thermodynamic character of the sea and land breeze boundary layer will also be discussed. Well-mixed layers developing and pronounced moistening of the boundary layers had been observed in the afternoon as the sea breeze penetrates island and advects moister air inland off the ocean.