

台灣地形對降水系統的影響

陳景森

國立中央大學 大氣物理研究所

一、簡介

台灣四周環海，境內從南到北，地形複雜。由於山區可以提供大氣熱與水汽的來源，同時山區地形對於氣流又有阻擋，增加輻合的作用。因此在山區降水系統容易受到地形的影響。如美國的黑山地區，在夏天常有對流性降水發生 (Kuo and Orville, 1973)。美國的急水市 (Rapid City) 及大湯姆遜峽谷 (Big Thompson) 的水災，地形扮演著密切的角色 (Maddox et al, 1978)。在日本 Hamada 及 Masuda 地區的豪雨，也和地形有非常密切的關係 (Watanabe and Ogura, 1987)。Chang and Yoshizaki (1991) 研究琉球地區的一個長生命期的降水系統，發現地形的影響非常大。

研究台灣地區地形對降水的影響。國內很早就有研究，如 Liao and Chen (1984)，發現一個鋒面的個案在桃園及新竹山區降水有增加的現象。另外 Liao and Chen 也發現在夏天台中附近山區發生的降水系統，移到台灣海峽，這個降水系統約有 5 個小時的生命期。類似在夏天由台中山區發生的降水系統移到台灣海峽的個案也不在少數 (陳與林, 1986)。地形也能減緩降水回波的移動，造成雨量集中在某個地區，而形成豪雨，如 Chen (1984) 研究在南部地區的一個豪雨個案。由台南，高雄外海移入台灣南部，當它靠近山區時移速減慢。在 10 個小時之內，台南與高雄各下了 142.5 與 208.7mm。過去對地形對降水系統的研究，雖有初步結果，但是由於資料的品質及完善性，沒有 TAMEX 實驗好，所以降水系統如何受到地形的影響，比較不容易作更進一步的研究。因此在這個報告內，我們想簡單介紹經過 TAMEX 資料的分析後，我們對於台灣地區地形對降水系統的影響的研究結果。

二、TAMEX 資料的研究

1987 年 6 月 25 日 (TAMEX IOP 13) 台中地區有大於 100mm 的雨量發生 (Lin et al, 1989)。Manouji and Kurihara (1990) 利用日本 JMA 的波譜模式研究台灣地形對這個降水系統的影響。他們發現如果沒有台灣地形，則降水會從台中地區南移 90 公里，且降水強度減弱一半到三分之一。

Chen et al. (1991) 對發生在台灣北部山區的降水系統 (IOP 8, 1987 年 6 月 7 日) 作了分析。他們發現午後在北部地區的山區及西面斜坡地區皆有降水，斜坡地區的降水可超過 100mm (圖 1)。這種情形從雷達回波也可看出 (圖 2)，而模擬的結果 (圖 3) 顯示在適當的熱力條件，低層西風大及適合的地形配合下，新生對流能夠不斷地在斜坡產生且移向山區，造成在斜坡地有較大的降水。模擬結果亦顯示如果地形高度降低則斜坡與山區的降水明顯地減少。

Johnson and Bresch (1991) 發現在 TAMEX 期間，台灣西部海邊降水系統在清晨有增強的趨勢。其原因可能是受到陸風與西南季風所產生的輻合作用的影響。另外一個可能的原因是依據 Hunt and Snyder (1980) 的研究而來。他們指出在低佛羅得數 (Froude number) 下，在地形的上風處會產生由地形阻擋環境風場所產生的分流與靜止流 (Stagnation flow) (圖 4)。在靜止流區有抬升作用，可幫助降水系統的發展。在靜止流的上風區為分流區。由於分流所產生的下降運動不利於降水系統的發展。這個因素可能解釋有些降水系統移到台灣就消散的原因。又 Johnson and Bresch (1991) 研究 1991 年 5 月 24 至 26 日。在綜觀條件微弱時。台灣地區降水的特性。這三天降水發生在 100 至 500m 的台灣西部的斜坡地，而高度較高的山區降水反

而較少(圖5)。他們認為這種現象是海風經過斜坡地抬升所致。

Chen and Liou (1991) 亦研究上述的個案。在這三天由於太平洋高壓移到台灣地區,使得水汽在4公里以上的高度較 IOP 8 的個案少(圖6)。同時在這三天低層西風的風速也沒有像 IOP 8 的個案大(圖7),所以地形的抬升效應也較小。經過二維雲模擬,模擬的降水在斜坡地比 IOP 8 少。但這些降水是由於斜坡地加熱及抬升引起的,和海風移入內陸沒有直接的關係(模式在西面邊界無海洋的假設)。

於斜坡地區產生降水的個案在1987年6月20日也發生(梁丕賢, 1991)。在這一天,台灣地區受到太平洋高壓的影響,午後在北部,台中斜坡及高屏斜坡及山區有降水(圖8)。根據梁的研究,中部地區的雷達回波發生在200至500公尺的高度(圖9),發展後,此降水系統能維持6小時左右,且發展高度能達12至14公里。這個例子與上述的一些個案,顯示地形引發降水系統在台灣地區的重要性。

地形對從台灣地區以外的降水系統移到台灣地區的影響很大,在此試舉兩例來說明。第一個例子是 IOP 10 的個案。在這一天(1987年6月17日)具有低壓性質的降水系統從台灣東方北上造成台灣東北部地區的降水,但這次的降水特性是較大的降水發生在平地或較低的斜坡(圖10),分析經過宜蘭地區的雷達回波特性(圖11),回波在靠近山區的平原地區或較低的斜坡地增強。利用二維數值模擬的結果(圖12 Chen and Lin, 1991),我們發現降水有此特性。當地形高度減半,則上述性質不見,可見地形影響回波的強度相當大。第二個例子是 IOP 2 颶線的個案。根據鄧等(1990)的研究,在海上發展良好的颶線系統,進入台灣山區時,由於山區地形較高,水汽減少,因此進入颶線前緣的水汽減少,從而減少上升氣流的強度,減弱颶線系統的強度。Chen (1990)利用數值模擬的方法,亦提出類似的結果(圖13)。

Trier et al (1991) 檢討1987年6月8日鋒面過境台灣地區降水的特性(圖14),這種特性是有二個降水較大區,一在新竹,苗栗沿海及中橫山區,另一在高屏沿海。而北部及曾文水庫附近,降水

較少。他們利用都普勒資料發現在1100 LST(地方時)中北部地區是上升運動(圖15)。(此時鋒面在新竹附近,圖16)到了下午鋒面到了中南部鋒面強度變弱,同時中南部地區為下降運動,而在板橋的探空(0200 LST)的LFC在2公里的高度,所以鋒面的抬升不足以造成大量的降水。因此北部地區的降水不多。位在台灣西北方,海上的海洋船的探空資料顯示,正面積CAPE不算很小(416Jkg^{-1})而負面積CIN很小(10Jkg^{-1}),故鋒面的抬升造成新竹苗栗中橫地區雨勢較大。在中南部由於鋒面減弱及下降運動故雨量變小。但因鋒面沒有移到高屏地區(圖17),故由海上移入的空氣(東港資料顯示有 1214Jkg^{-1} 的CAPE及很小的CIN),在高屏地區造成較大的降水。由於地形的阻隔,南北空氣的性質不盡相同,再加上鋒面的影響,降水在台灣地區的分佈變化很大。

三、結論

本文簡單介紹經過TAMEX後,我們對台灣地區地形對降水系統的影響的了解。在梅雨季,鋒面未到達台灣地區時,降水系統常在台灣西面地形較低的斜坡產生。若環境條件適合,降水系統可以在斜坡及山區發展。有些地區降水可大於100mm(如 IOP 8)。由數值模擬的結果可以看出(Chen et al, 1991),若地形變低,則降水變得小很多。所以適當的地形高度所引起的抬升作用對於這種降水系統影響很大。若降水系統從外海移到台灣地區,地形對降水系統的影響

在於增強降水系統在平地及較低斜坡地區的雨量(IOP 11)。而對由台灣海峽移到台灣山區的有組織性的颶線系統(IOP 2),則有抑止發展的作用。主要的原因在於颶線移向較高處時,水汽較少,使得颶線系統的上升速度變小,減弱颶線的強度。

Johnson and Bresch (1991)的研究指出在低佛羅得數下,西南季風吹向台灣地區時,在靠近西海岸附近有靜止流。在這個地區有抬升作用,可幫助降水系統的發展。在靜止流的上風區為分流區。在此區有下降運動,不利於降水系統的發展。

當梅雨鋒經過台灣時,由於地形阻隔,不同

性質的大氣分佈在台灣各區，再加上鋒面的抬升作用，使得台灣地區的降水的分佈相當不均勻 (IOP 8)。

在本文準備期間，尚有很多 TAMEX 個案正在進行研究。相信不久以後我們對、地形對降水系統的了解，會有更進一步的認識。

參考資料：

- 陳景森與林雨我 1986：夏天台灣地區發生組性對流回波的案例研究。大氣科學，13，63-70。
- 梁丕賢，1991:TAMEX IOP 11中苗山區雷雨雙都普勒雷達觀測分析--雷雨結構及動力特性。國立中央大學大氣物理所碩士論文，73頁。
- 鄧仁星，陳台琦與陳景森，1990:IOP 2 颶線系統進入陸地後之雷達分析。氣象雷達與飛航安全研討會論文彙編。台北民航局與中華民國氣象學會，149-158。
- Chang, C.-Y. and M.Yoshizaki, 1991: A numerical study of the mesoscale convective system observed over Okinawa Island in June 1987,Mon. Wea. Rev., 119,2724-2733.
- Chen, C.-S., 1984: The preliminary investigation of terrain effect on the movement of summertime convective systems. Bull. of Geophysics, 26, 133-156.
- Chen, C.-S. 1990: A numerical study of the terrain effect on a squall line.TAO, 1, 73-90.
- Chen, C.-S. and C.-Y. Lin, 1991: A numerical study of the terrain effects on precipitation-TAMEX IOP-10 case study. Preprints International Conference on Mesoscale meteorology and TAMEX, Taipei, The meteorological society of the R.O.C and Amer. Meteor. Soc. 66-75.
- Chen, C.S. and W.-H. Liou, 1991: The comparison of precipitation characteristics between the IOP-8 case and an undisturbed case during TAMEX. Preprints, International Conference on Mesoscale Meteorology and TAMEX, TAIPEI 206-215.
- Chen, C.-S., W.-S. Chen and Z.Deng, 1991: A study of mountain generated precipitation system in northern Taiwan during TAMEX IOP-8.Mon. Wea. Rev., 119,2574-2606.
- 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.
- Hunt, C.R., and W.H. Snyder, 1980: Experiments on stably and neutrally stratified flow over a model three-dimensional hill. J. Fluid. Mech. 96,671-704.
- Kuo, J.T. and H.D. Orville, 1973: A Radar climatology of summertime convective clouds in the Black Hills. J. Appl. Meteor., 12, 357-368.
- Liao, S.Y. and C.-S. Chen, 1984: The Preliminary study of organized radar echo of frontal systems and of summertime convective systems. Proc. Natl. Sci. Council. ROC(A), 8, 250-266.
- Lin, P.-L. , T.-C. Chen Wang and C.-C. Yen, 1989: Doppler observational study of a long-lived rain-band in TAMEX IOP-13.Papers in Meteorological Research, 12,91-120.
- Maddox, R.A., L.R. Hoxit, C.F. Chappell, and F.Caracena, 1978: Comparison of meteorological aspects of the Big Thompson and Rapid city floods. Mon. Wea. Rev., 106, 375-389.
- Mannouji, N. and K.Kurihara, 1990: A numerical experiment of TAMEX IOP 13. Proceedings, Workshop on TAMEX Scientific Results, Boulder, NCAR. 121-126.
- Trier, S.B., D.B. Parsons and T.J. Matejka, 1990: Observations of a subtropical cold front in a region of complex terrain. Mon. Wea. Rev., 118, 2449-2470.
- Watanabe, H.,and Y.Ogura, 1987: Effects of orographically forced upstream lifting on mesoscale precipitation: A case study.J. Atmos. Sci., 44,661-675.

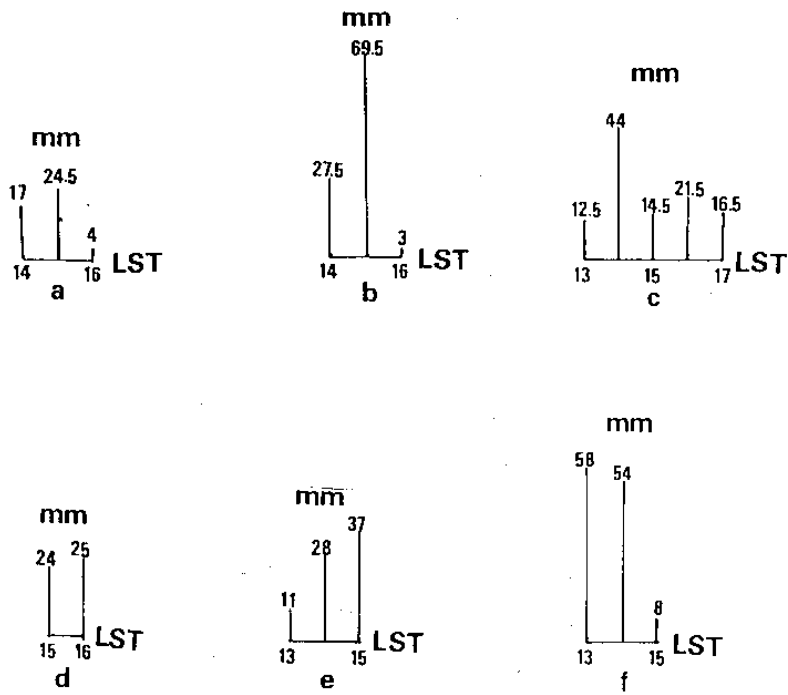


圖 1. 台灣北部及中部地區在 1987 年 6 月 7 日的逐時降水。測站 c 是大溪。(摘自 Chen et al., 1991)

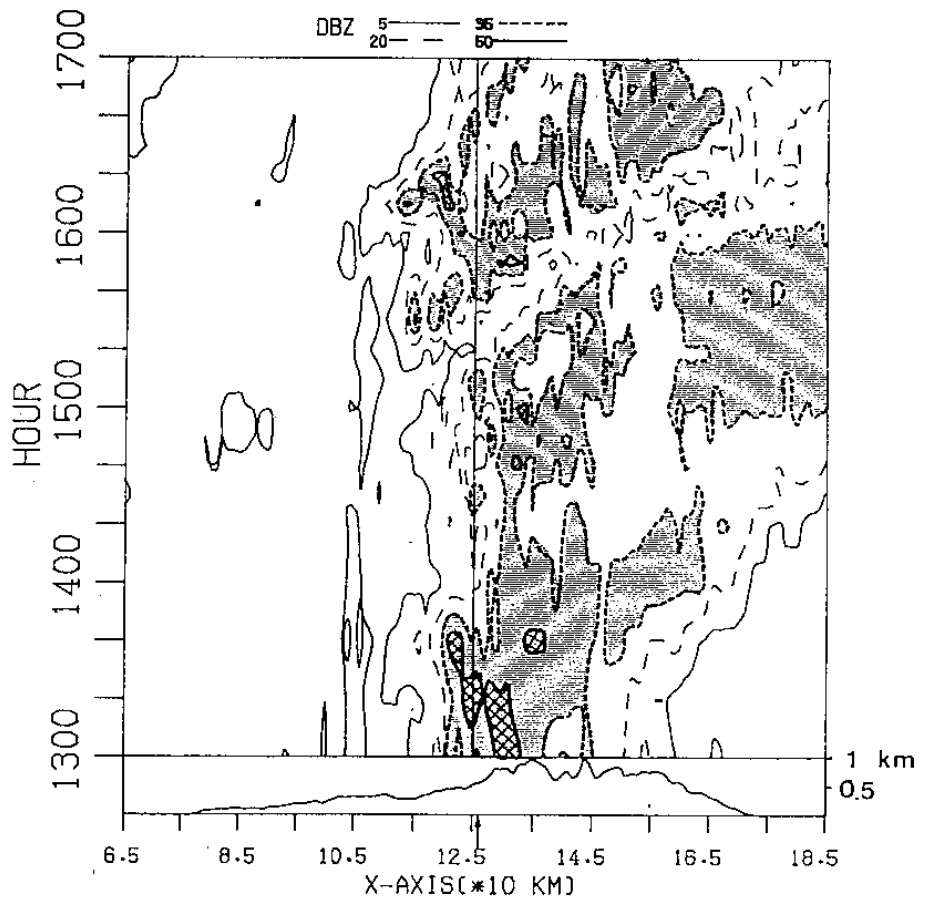


圖 2. 1987 年 6 月 7 日經過大溪東西方向的垂直剖面上同一地點上空的最大回波值的隨時變化圖。(摘自 Chen et al., 1991)

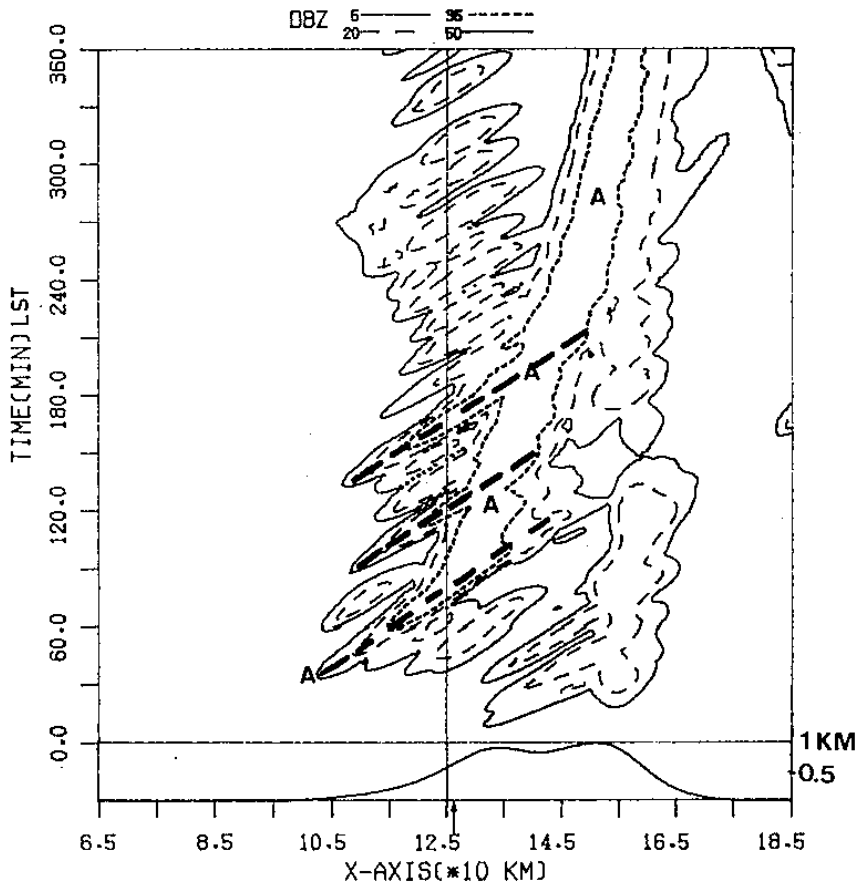


圖3. 同圖2但為模擬結果。(摘自 Chen et al., 1991)

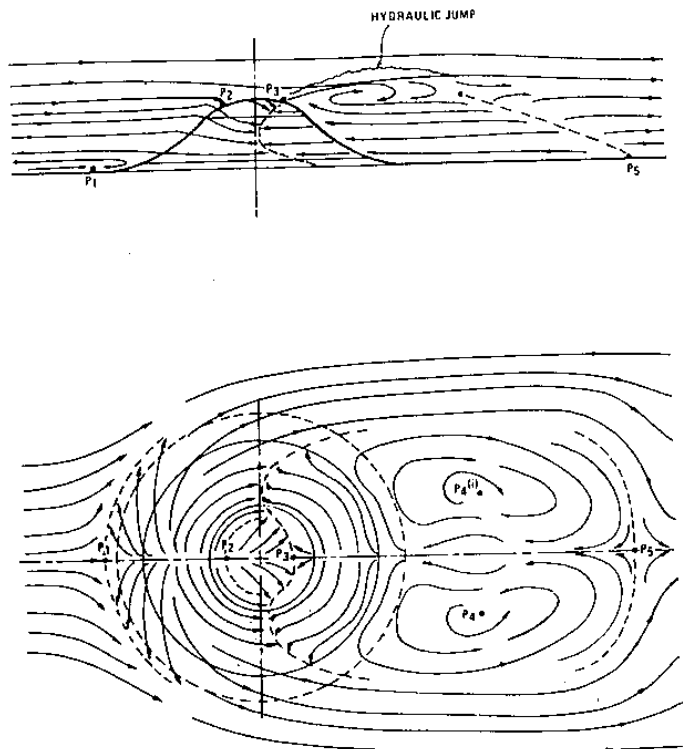


圖4. 氣流在佛羅得數為0.2時經過鐘形山的垂直及水平面的情形。在山前有靜止流區及分流區。(摘自 Hunt and Snyder, 1980)

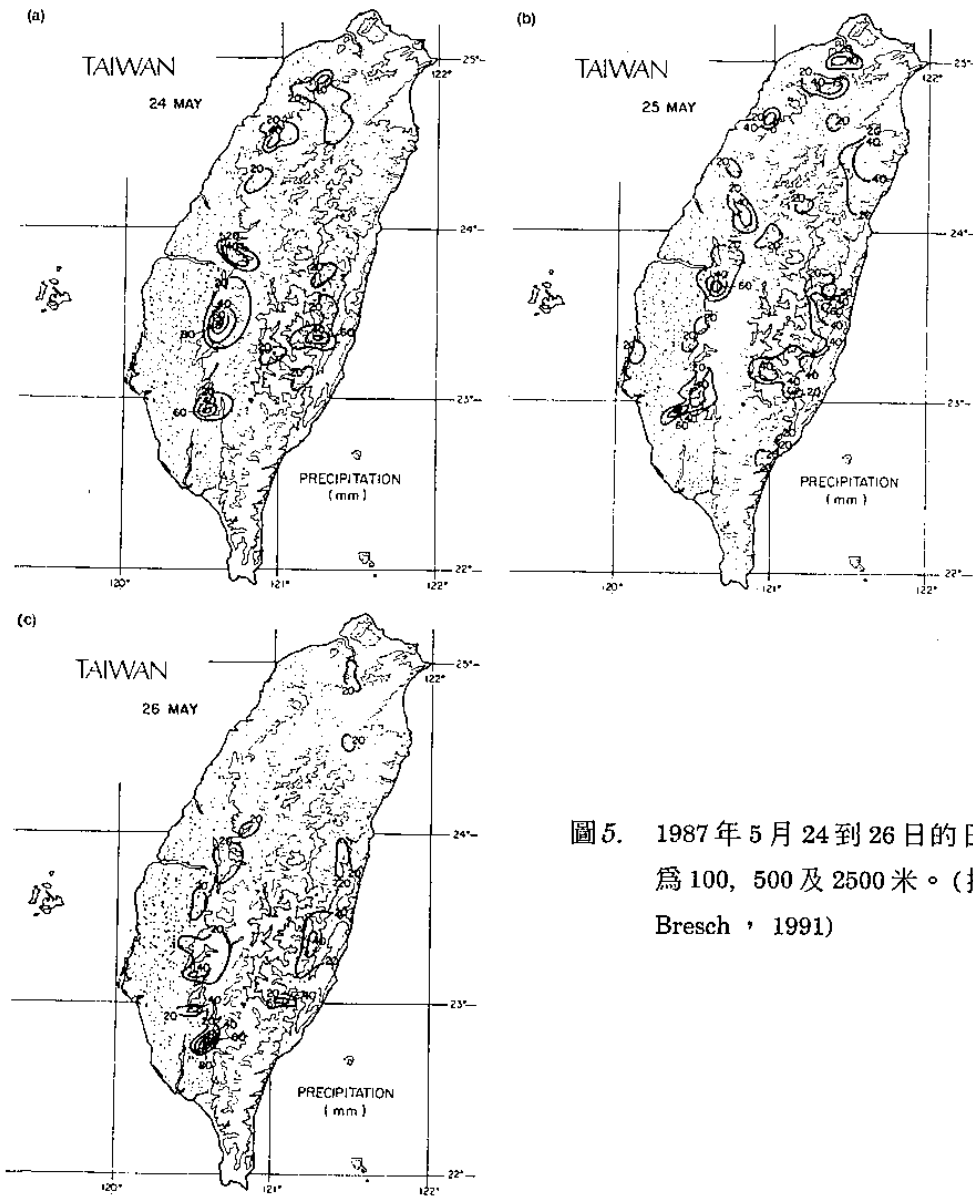


圖5. 1987年5月24到26日的日雨量，地形高度為100, 500及2500米。(摘自 Johnson and Bresch, 1991)

ZRT V.S. GAS-WATER RATIO

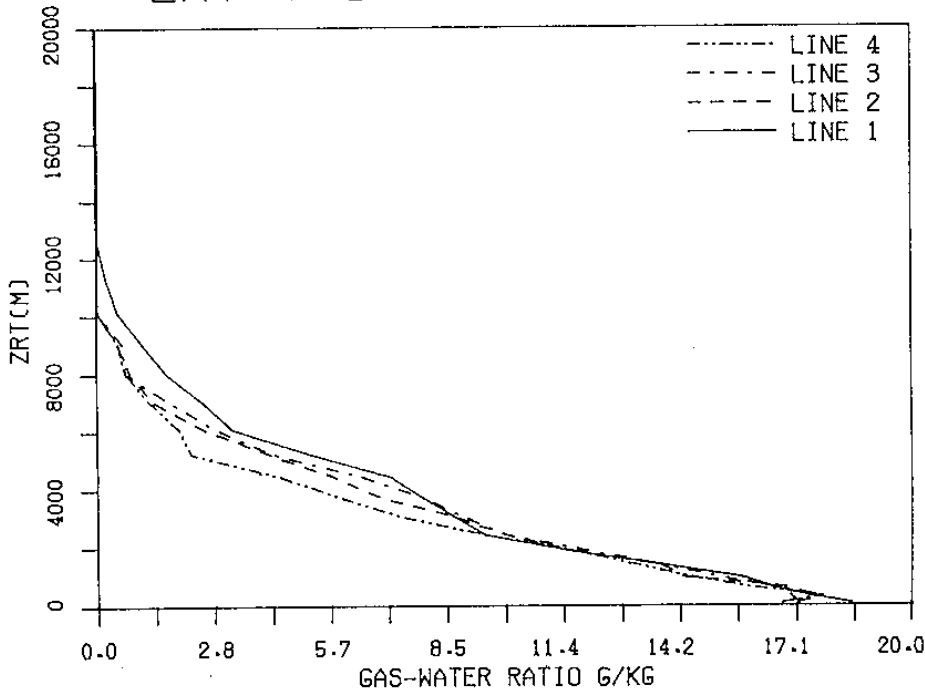


圖 6. 1987年6月7日 (Line 1) , 5月24日 (Line 2) , 5月25日 (Line 3) 及 5月26日 (line 4) 的板橋探空水汽混合比。(摘自 Chen and Liou, 1991)

ZRT V.S. HORIZONTAL VELOCITY

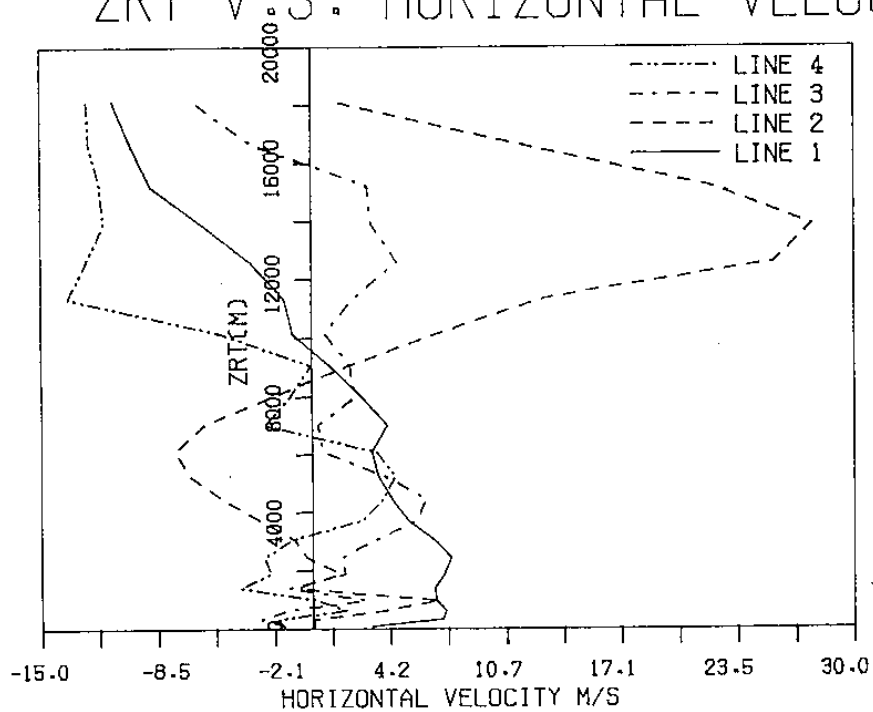


圖 7. 1987年6月7日 (Line 1) , 5月24日 (Line 2) , 5月25日 (Line 3) 及 5月26日 (line 4) 的板橋探空西風分量。(摘自 Chen and Liou, 1991)

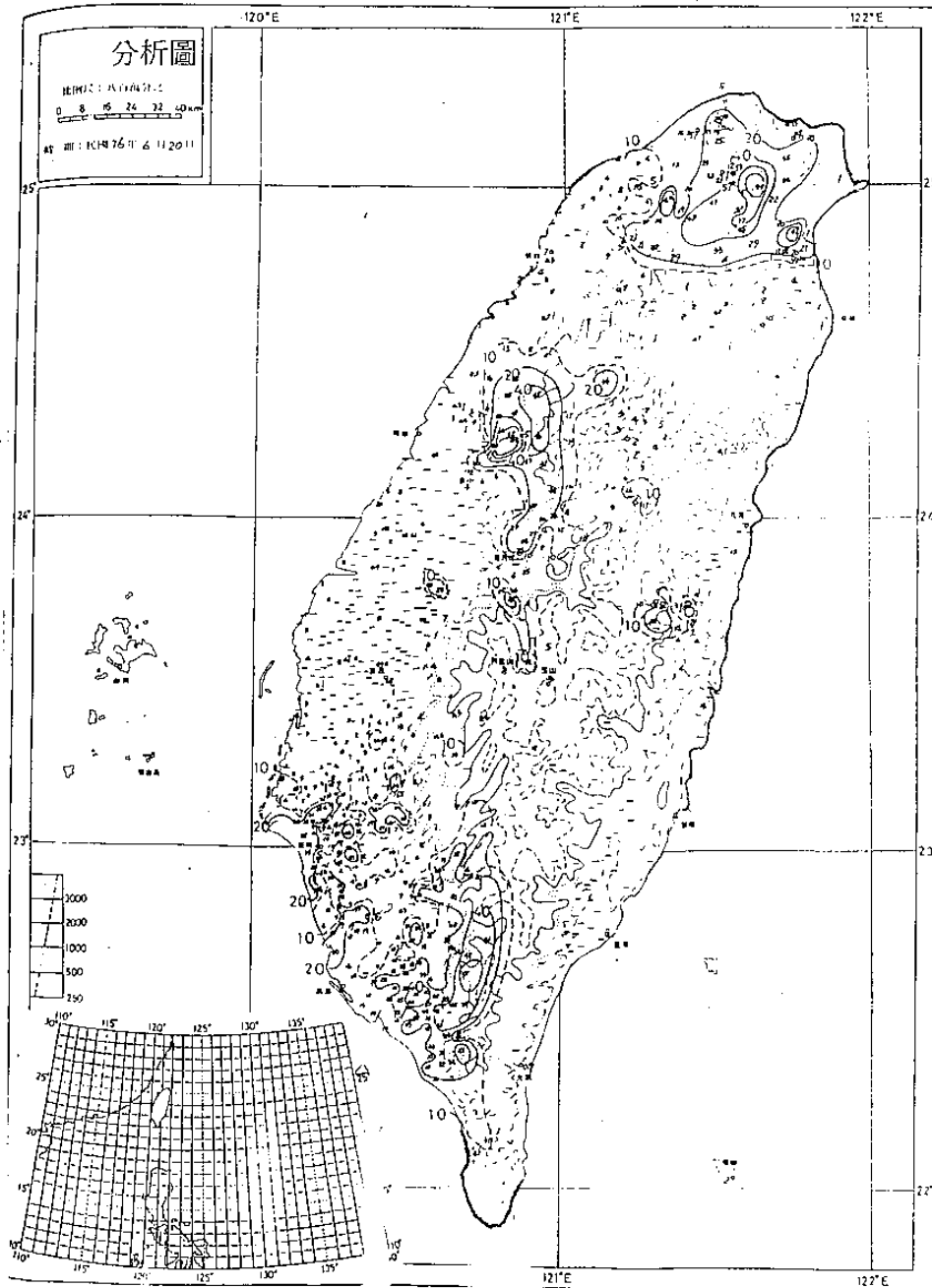
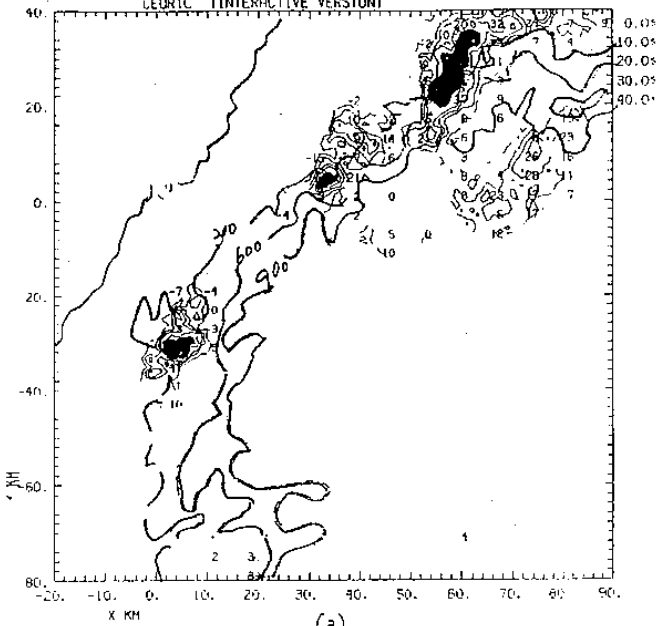


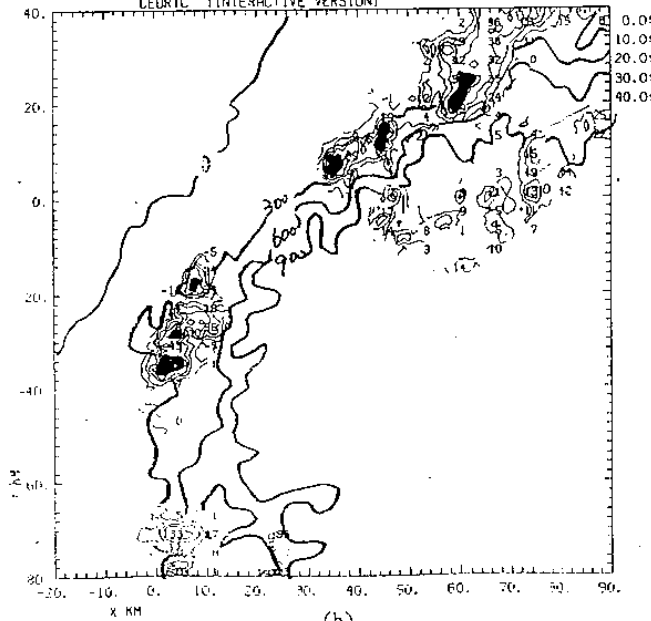
圖 8. 1987 年 6 月 20 日台灣地區的日雨量。(摘自梁, 1991)

87/ 6/20 13 16 29-13 20 30 CP-1 Z= 3.00 KM UZ
 (R5 OF 2/ 5/91) 1 X 1.00 1 ORIGIN=1 0.00, 0.001 KM X-AXIS= 90.0 DEG
 CEORIC (INTERACTIVE VERSION)



(a)

87/ 6/20 13 32 54-13 36 56 CP-1 Z= 3.00 KM DZ
 (R5 OF 2/ 5/91) 1 X 1.00 1 ORIGIN=1 0.00, 0.001 KM X-AXIS= 90.0 DEG
 CEORIC (INTERACTIVE VERSION)



(b)

圖9. 1987年6月20日1332 LST中部地區降水回
 波圖。黑色表示40dBZ以上。(摘自梁，
 1991)

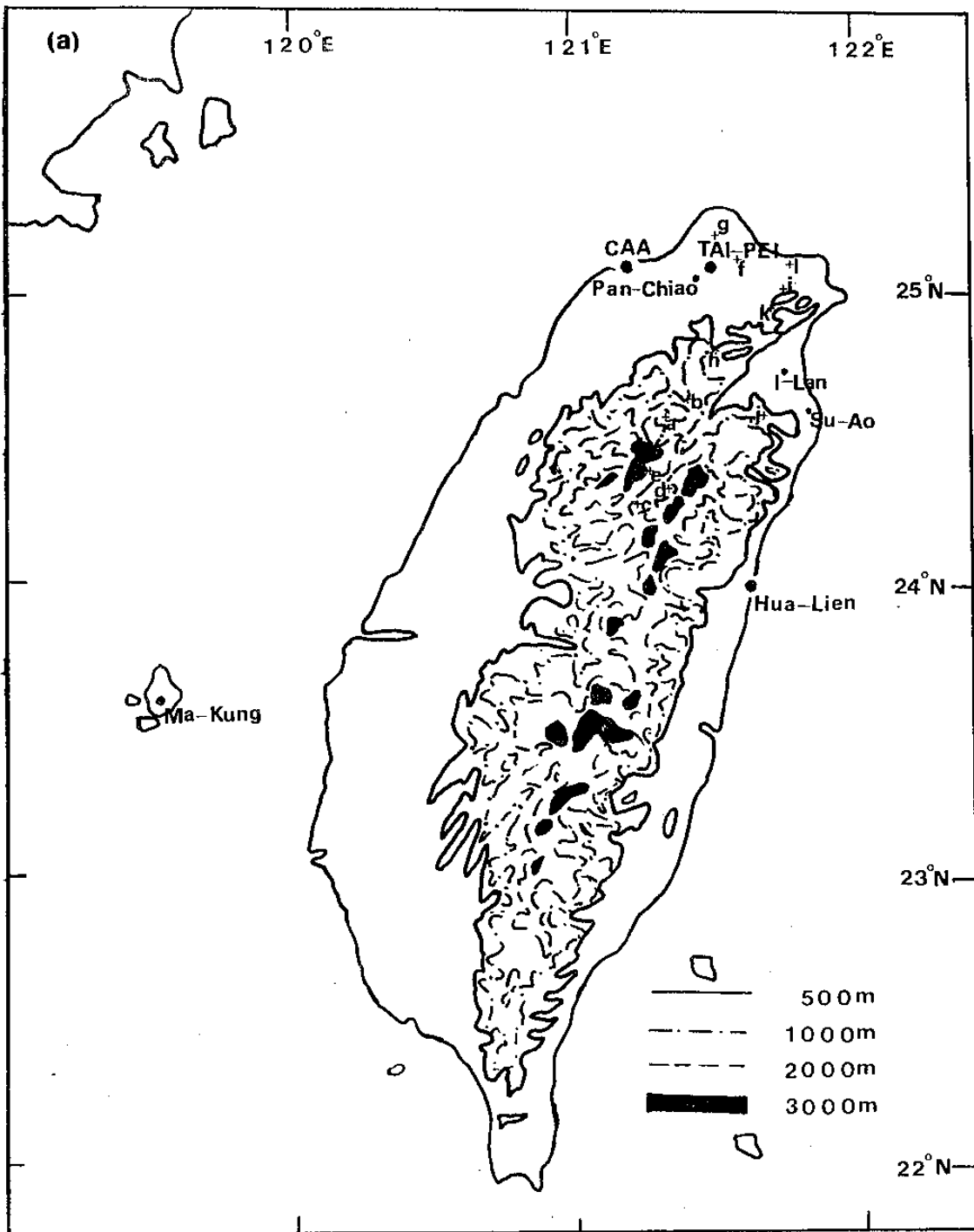
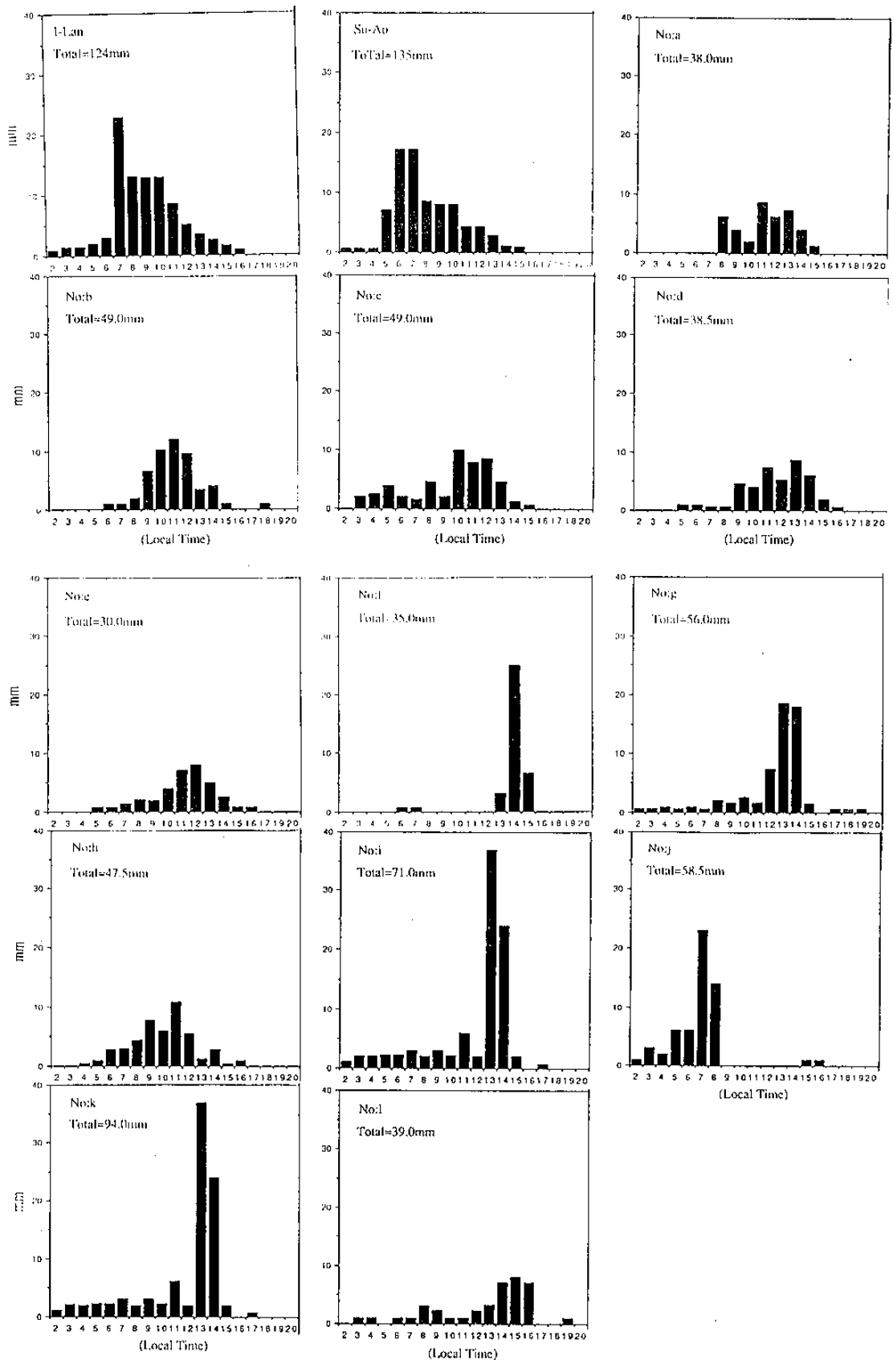


圖 10. 1987 年 6 月 17 日 (a) 測站分佈圖及
(b) 北部地區的降水。
(摘自 Chen and Lin, 1991)

(b)



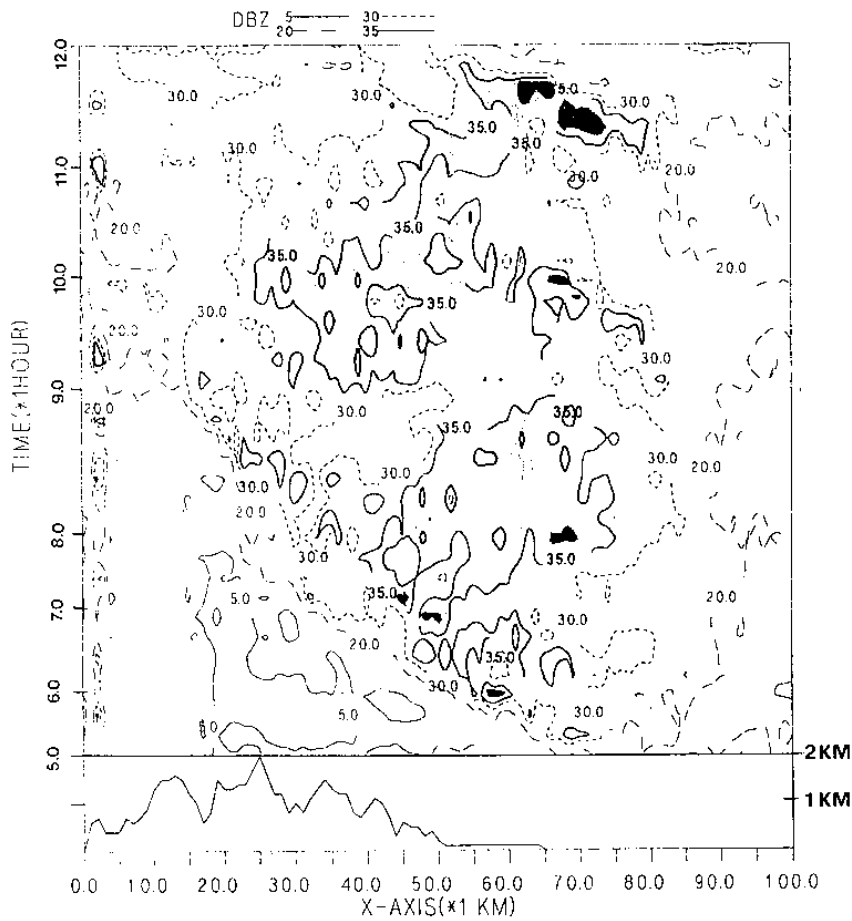


圖 11. 同圖 2。但為 1987 年 6 月 17 日。且經過宜蘭地區東西垂直剖面。(摘自 Chen and Lin, 1991)

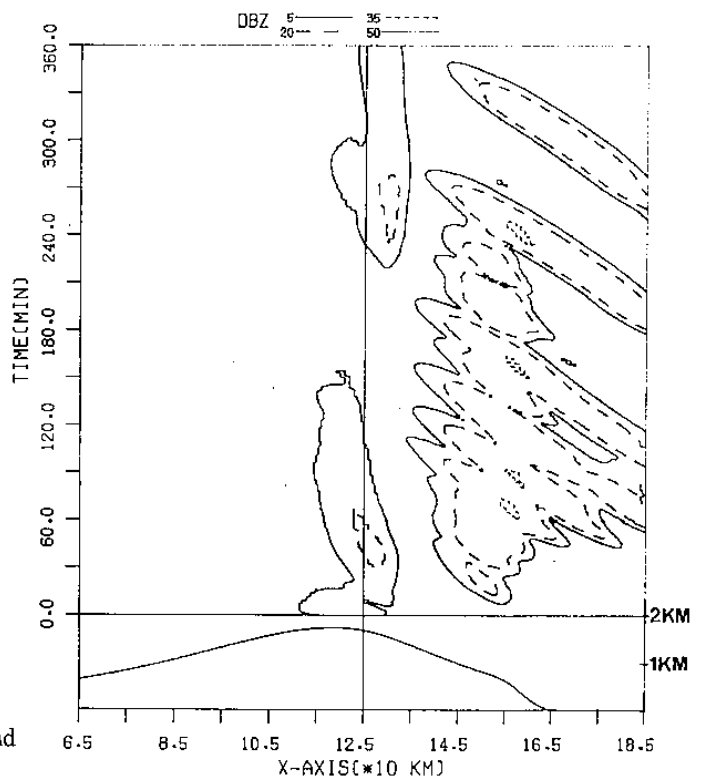


圖 12. 同圖 11。但為模擬結果。(摘自 Chen and Lin, 1991)

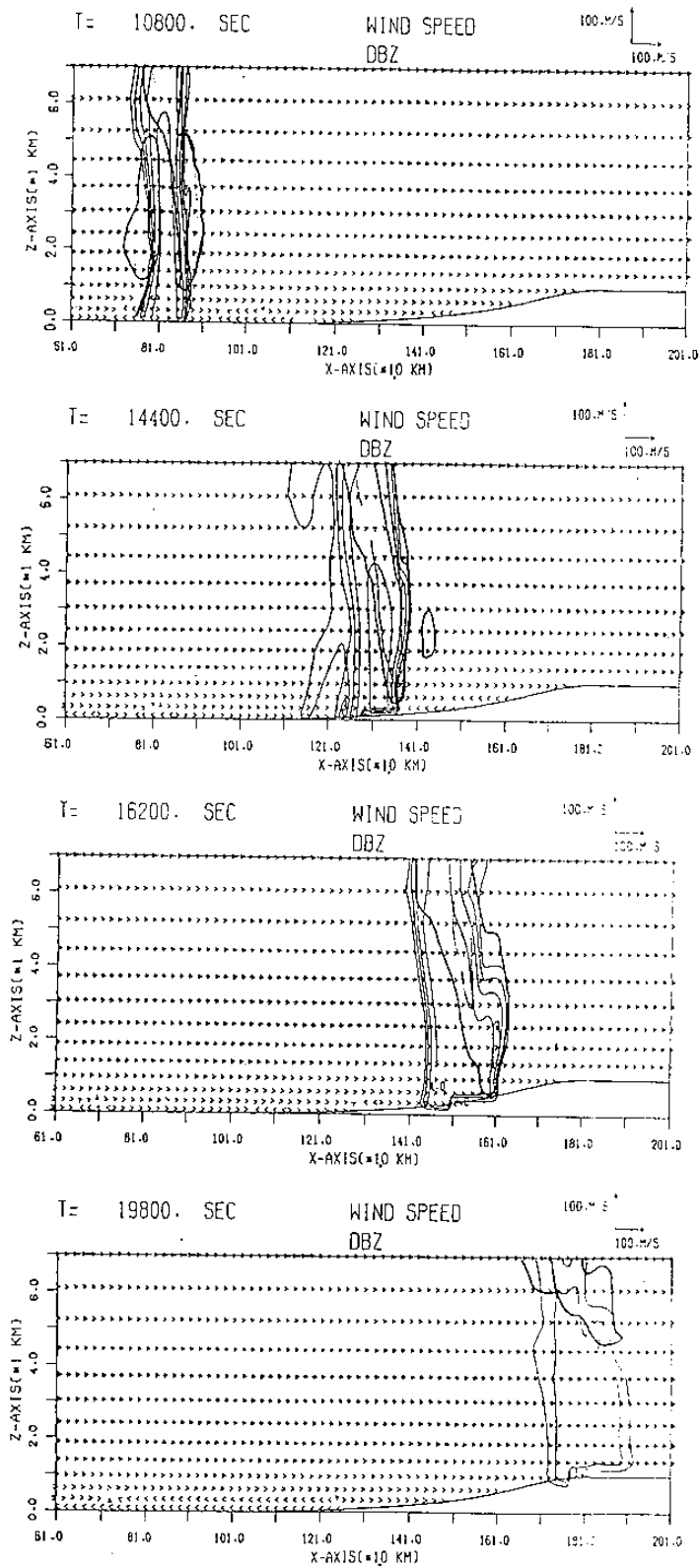


圖 13. 模擬颶線移向山區的情形。颶線強度以 10dBZ 等值線表示。粗線表雲區 (大於 0.1gkg^{-1} 的水汽比)。陰影區表示垂直速度大於 2ms^{-1} 。(摘自 Chen, 1990)

ACCUMULATED PRECIPITATION (mm) FOR
0000 LST 8 JUNE - 0000 LST 9 JUNE

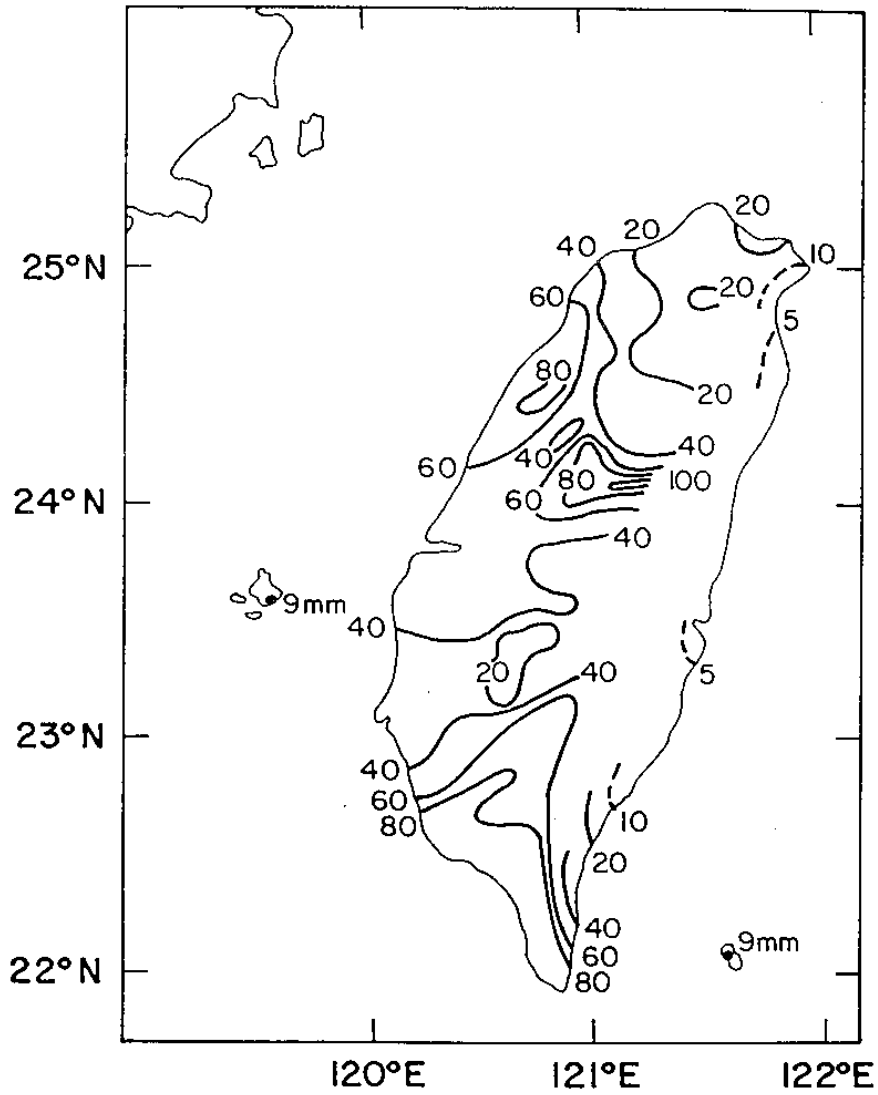


圖14. 1987年6月8日日雨量。(摘自 Trier, et al, 1990)

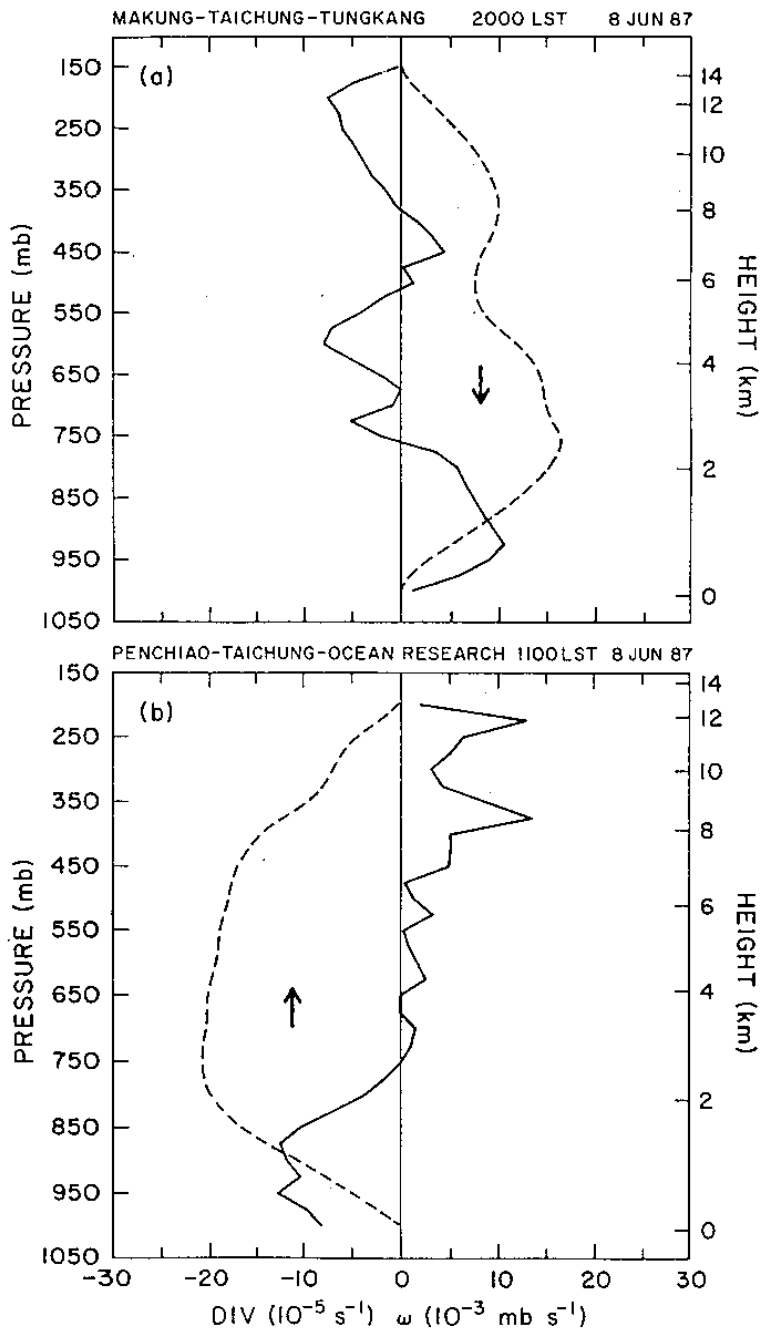


圖 15. (a)1987年6月8日2000LST由馬公，台中及東港的探空資料所求得的垂直速度。(b)1987年6月8日1100LST由板橋，台中及海洋研究船(約在馬公北方和台中西方的交線)探空所得的垂直速度。(摘自 Trier, et al, 1990)

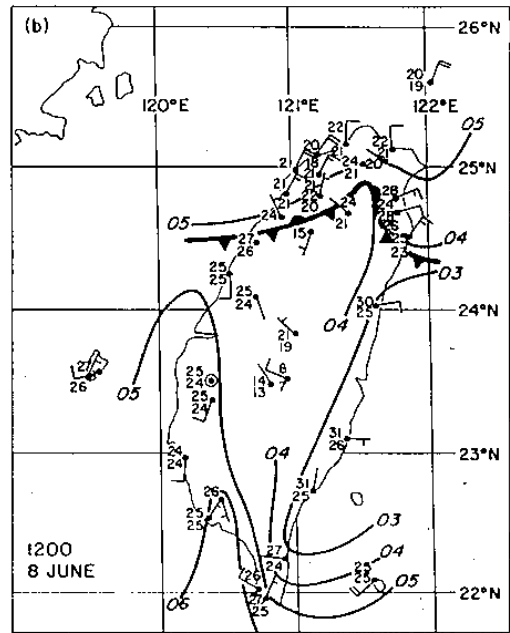


圖 16. 1987年6月8日1200LST的地面天氣分析圖。(摘自 Trier, et al, 1990)

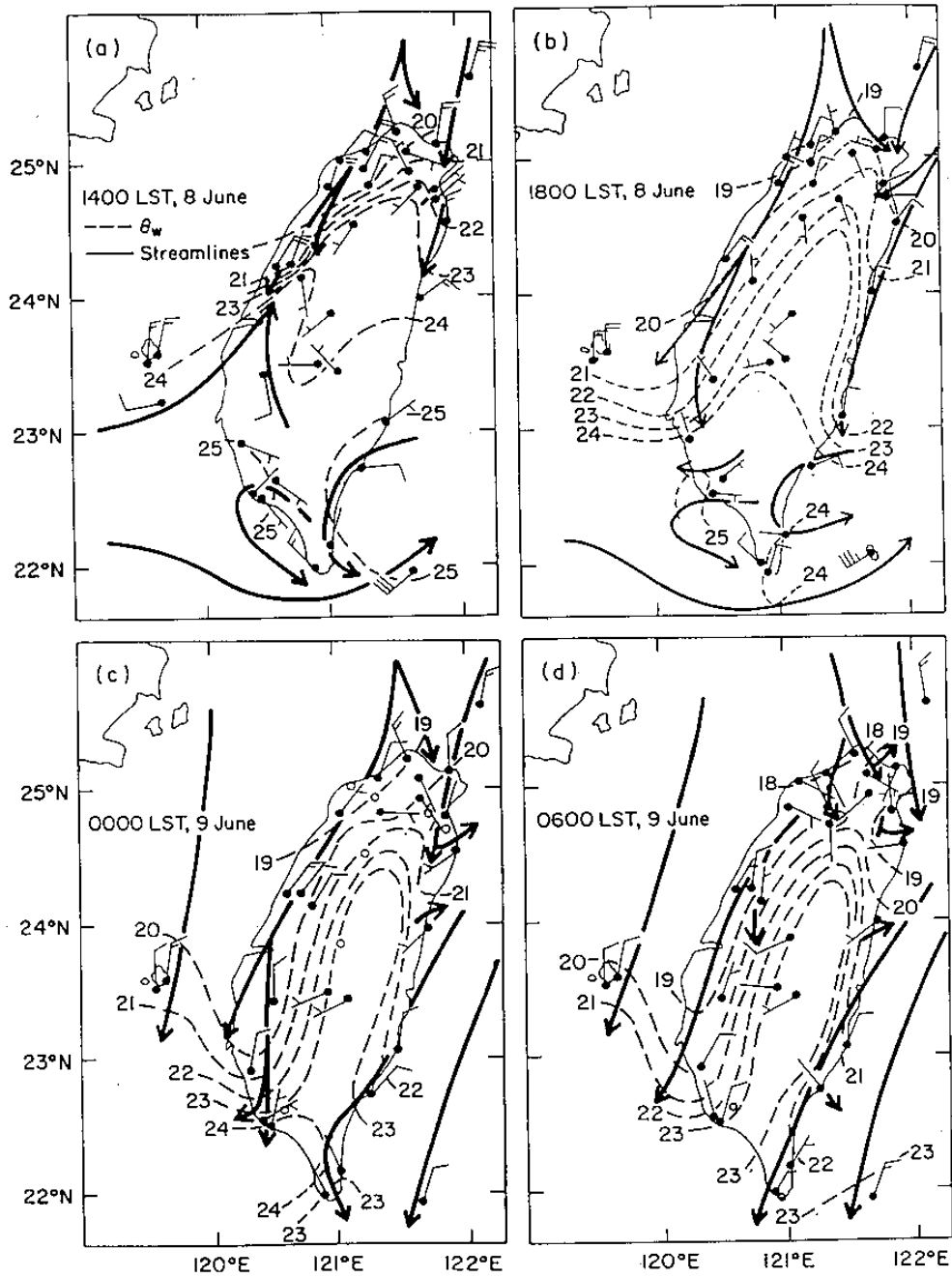


圖17. 地面濕球位溫分析圖。(摘自 Trier, et al, 1990)