

中國文化大學地學研究所大氣科學組
碩士論文

Graduate Institute of Earth Science (Atmospheric Sciences Section)
Chinese Culture University
Master Thesis

都會效應對台北夏季午後降水的影響

Influences of urban effects on summertime
afternoon precipitation in Taipei

指導教授：游政谷 博士
Advisor : Professor Cheng-Ku Yu

研 究 生：顏亦堅
Graduate Student : Yi-Jian Yen

中華民國 99 年 6 月
June 2010

摘要

本研究利用五分山都卜勒雷達資料、台北都會區鄰近的氣象局與環保署測站資料、MODIS 衛星資料以及中鼎工程顧問公司的土地利用資料來探討 1999 年~2008 年弱綜觀環境下都會效應對台北夏季午後降水在空間與時間上的降水特徵。雨量分析顯示台北盆地的降水主要集中在於台北盆地的南部區域，且降水時段集中於中午 12 時~傍晚 18 時；利用高解析度雷達資料分析台北都會區的午後降水回波(大於 30 dBZ)與劇烈降水回波頻率(大於 50 dBZ)在空間分佈上有明顯的變化，分析顯示這些分佈與地表溫度(Land-Surface Temperature)和建築物的分佈有密切的關聯性。

午後降水的時間演變上，本研究發現台北都會區在週間午後降水強度與降雨量均較週末顯著，從過去 50 年夏季弱綜觀天數的雨量資料統計顯示，台北都會區午後降水的週間變異有逐漸顯著的趨勢；而分析台北都會區的懸浮微粒濃度也發現有類似的週間變異。另外，從台北盆地平均的累積雷達回波(大於 30 dBZ)分析顯示，週間的降水發展時間較週末降水時間來的延遲，此結果支持了都會區懸浮微粒的濃度對於午後降水影響的重要性。

致謝

這份論文的完成，要感謝眾多人的幫忙。首先，要感謝一路栽培的恩師 游政谷博士，在這研究所兩年的期間，有游老師細心的指導與鼓勵，讓我得以在求學的過程中面對瓶頸時有更多的力量去克服，也得到很多寶貴的知識，更重要的是，在研究所的兩年，從游老師的身上學習到面對任何事的態度與專注，還有待人處事的道理，我想這是最珍貴的。也要感謝口試委員陳正平博士與林傳堯博士細心的指正與評閱，使得論文得以更臻完善。

在研究過程中，在資料的使用上蒙受許多人的協助，中央氣象局張保亮課長，台大大氣資料庫 楊明錚先生，中央大學遙測所 陳錕山博士與江陽聖學長，中鼎工程公司 倪佩貞總工程師，因為您的幫助，使我的研究得以更加完備，也減輕我在蒐集資料的困難。

在學習的過程中，要感謝系上老師的指導，還有信凱學長耐心以及細心的幫助，凌文學長在超強的程式與指導論文的寫作方法，嘉倫學長在研究資料的教導，哲佑學長在統計資料上的指導，生活中大小事都幫我們處理的好好的瑩薰學姊，還有佩蓉學妹在午餐上的幫忙，以及菁華學姊的大氣系福利社，以及其他的學長姐與一起彼此鼓勵的好同學，好夥伴。你們的陪伴讓我在這段時間過得充實且快樂。

家人的支持是我完成論文的最大動力，特別感激我的父母和兄長，在經濟上給我很大的幫忙，讓我可以毫無牽掛的專心求學，也給我很大的支持與鼓勵；以及感謝所有台北的親朋好友在生活上給予協助與幫助，還有感謝在高雄的阿姨以及姨丈與所有親戚的鼓勵與支持，另外也感謝宿舍的兩隻小老鼠讓我回家時不感到孤單，謝謝你們。

最後再次感謝曾經給予幫助的每一位貴人，本論文絕非我一人之力能以完成，在此致上我誠摯的謝意，並將這份成果獻給大家。

目錄

摘要.....	I
誌謝.....	II
目錄	III
圖表說	V
第一章 前言.....	1
(一) 文獻回顧.....	1
(二) 研究動機.....	3
第二章 資料及處理分析方法.....	5
(一) 資料....	5
1. 資料來源.....	5
2. 五分山都卜勒雷達之特性與處理.....	5
3. 中鼎公司(CTCI)土地利用型態資料(landuse data)介紹.....	6
4. MODIS衛星之特性.....	7
5. 數值地形資料介紹與處理.....	7
(1) 數值地形資料介紹.....	7
(2) 數值地形資料的處理.....	8
(二) 研究天數之選取與定義.....	9
第三章 台北都會區綜觀環境特徵.....	10
(一) 探空分析.....	10
(二) 總累積雨量與降水時間及降水強度分布.....	10
(三) 累積雷達回波分佈與強度.....	11
第四章 地表溫度與建築物的分佈與午後降水的相關性.....	12
(一) 建築物的分佈對午後降水的影響.....	12
(二) 地表溫度的分佈對午後降水的影響.....	13
第五章 懸浮微粒對午後降水的相關.....	14
(一) 午後降水的週間變異.....	14
(二) 其他氣象參數的變間變異.....	16

1. 溫度的週變化.....	16
2. 海風的週變化.....	17
3. 混合比與相對濕度的週變化.....	17
4. 近地面穩定度的週變化.....	18
第六章 結論與未來展望.....	19
參考文獻.	21



圖表說

- 表1 1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數。
- 表2 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，上午 8 時近地面層之靜力穩定度的週變化。
- 表3 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，上午 8 時近地面層之對流穩定度的週變化。
- 圖2.1 本研究所使用的所有氣象地面觀測站與環保署北部超級測站位置，測站屬性標示於右上側。
- 圖3.1 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，板橋局屬站 0000 UTC 的平均斜溫圖，右側風標為水平風隨高度之變化 (half bar = 2.5 m s^{-1} , full bar = 5 m s^{-1})。
- 圖3.2 1999年至2008年夏季弱綜觀環境下台北盆地的累積雨量圖。計算出各測站的累積次數後，再以 Cressman(1959)的權重函數將其轉為網格資料繪製而成，色階代表累積雨量（單位為公釐），間距如圖上所標示，黑色等值線表示地形高度（單位為公尺），實心方塊代表局屬站，空心圓圈代表自動氣象站，實心圓圈代表自動雨量站。
- 圖3.3 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，台北盆地鄰近的所有測站平均累積降雨量與時間的關係圖，X軸代表時間（地方時間制，單位為小時），Y軸為累積雨量（單位為公釐）。
- 圖3.4 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，午後單日最強時雨量的測站位置次數分佈圖。計算出各測站的累積次數後，再以 Cressman(1959)的權重函數將其轉為網格資料繪製而成，色階代表累積次數，間距如圖上所標示，黑色等值線表示地形高度（單位為公尺），實心方塊代表局屬站，空心圓圈代表自動氣象站，實心圓圈代表自動雨量站。
- 圖3.5 (a)1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，午後累積雷達回波圖

(大於 30 dBZ)，色階為累積雷達回波次數(單位為次數，間距如圖上所示)，黑色等值線代表地形高度(單位為公尺)。

(b) 同圖 3.2，但累積時間改為午後(12時~18時)。

圖3.6 同圖3.5a，但將午後累積雷達回波改為大於 50 dBZ。

圖4.1 (a) 2002 年臺北盆地建築物百分比圖，由中鼎工程顧問公司數位化內政部 2002 年所出版的台灣地區高解析度的土地利用資料。色階為每一網格點內建築物的百分比(單位為百分比，間距如圖上所標示)，黑色等值線代表地形高度(單位為公尺)。(b) 同 (a)但將研究範圍縮小，黑色等值線代表地形10公尺的高度。

圖4.2 (a)建築物百分比與累積雷達回波(大於 30 dBZ)，色階為建築物的百分比(單位為百分比，間距如圖上所標示)，粗黑色等值線代表 10公尺地形高度，細黑色等值線代表雷達累積回波高次數區域(單位為次數)，間距為20次。雷達累積回波時間為 1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數的午後12~18時。(b)同 (a)但將雷達累積回波改為大於 50 dBZ，間距為2次。

圖4.3 (a)在地形高度10公尺以下，所有網格點內的建築物百分比與午後累積雷達回波(大於 30 dBZ)的關係圖。X軸為建築物的百分比，Y軸為累積雷達回波，圖中黑色實線為線性迴歸線，相關係數顯示在圖上方。累積雷達回波時間為 1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數的午後12~18時。(b) 同(a)，但將午後累積雷達回波改為大於 50 dBZ。

圖4.4 (a)圖為 MODIS 衛星所觀測的地表溫度平均圖，色階代表平均溫度(單位為 $^{\circ}\text{C}$ ，間距為圖上所標示)，黑色等值線代表地形高度(單位為公尺)。平均時間為 2006年~2008年夏季 MODIS 衛星有觀測地表溫度的弱綜觀環境下所有天數。(b) 同(a)，但將研究範圍縮小，黑色等值線代表地形10公尺的高

度。

圖4.5 (a)平均地表溫度與累積雷達回波(大於 30 dBZ)的關係圖，色階為平均地表溫度(單位為 $^{\circ}\text{C}$ ，間距如圖上所標示)，粗黑色等值線代表 10公尺地形高度，細黑色等值線代表雷達累積回波高次數區域(單位為次數)，間距為20次。雷達累積回波時間為 1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數的午後12~18時。(b)同(a)但將雷達累積回波改為大於 50 dBZ，間距為2次。

圖4.6 (a)在地形高度10公尺以下，所有網格點內的平均地表溫度與午後累積雷達回波(大於 30 dBZ)的關係圖。X軸為平均地表溫度，Y軸為累積雷達回波，圖中黑色實線為線性迴歸線，相關係數顯示在圖上方。累積雷達回波時間為 1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數的午後12~18時。(b)同(a)，但將午後累積雷達回波改為大於 50 dBZ。

圖5.1 (a)星期日；(b)星期一；(c)星期二；(d)星期三；(e)星期四；(f)星期五；(g)星期六。1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，台北盆地的午後平均時雨量圖。計算出各測站的平均時雨量後，再以 Cressman(1959)的權重函數將其轉為網格資料繪製而成，色階代表平均時雨量(單位為公釐)，間距如圖上所標示，黑色等值線表示地形高度(單位為公尺)，實心方塊代表局屬站，空心圓圈代表自動氣象站，實心圓圈代表自動雨量站。

圖5.2 1999~2008年夏季弱綜觀環境下星期三的各測站午後平均時雨量，扣除星期日各測站午後平均時雨量的差值圖，再以 Cressman(1959)的權重函數將其轉為網格資料繪製而成，色階代表平均時雨量差值(單位為公釐)，間距如圖上所標示，黑色等值線表示地形高度(單位為公尺)，實心方塊代表局屬站，空心圓圈代表自動氣象站，實心圓圈代表自動雨量站。

- 圖5.3 (a)1999年~2008年台北盆地地形高度 50 公尺以下所有測站的午後平均時雨量圖。圖中細線代表正負標準差值。(b)1999年~2008年台北盆地地形高度 50 公尺以下午後平均的累積雷達回波(大於30 dBZ)圖。
- 圖5.4 1958年~2008年7、8月弱綜觀環境下，以 10 年為一單位的禮拜一~禮拜日台北局屬站午後平均時雨量圖。圖中各線條所代表的年份以標示在圖片右側。
- 圖5.5 2002年~2008年夏季弱綜觀環境下，北部超級測站於上午 11 時的 PM_{2.5} 懸浮微粒濃度平均圖。X軸從左側~右側分別為星期日~星期六；Y軸則是懸浮微粒濃度。
- 圖5.6 1999~2008年夏季弱綜觀環境下，台北、台中、高雄三大都會區內，所有懸浮微粒監測站於上午11時的 PM₁₀ 平均濃度週變化圖。
- 圖5.7 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，地形高度 50 公尺以下，以10分鐘為一個單位的平均午後累積雷達回波圖(大於30 dBZ)。
- 圖5.8 1999~2008年夏季弱綜觀環境下，其星期一~星期日台北盆地地形高度50 公尺以下所有測站於上午11時的平均溫度圖。
- 圖5.9 (a)1999~2008年夏季弱綜觀環境下，淡水河口於上午 11時的平均海風分量的週變化圖 (b) 同(a)但為基隆河口。圖
- 5.10 影響基隆海風分量沒有週變化的原因為，基隆局屬站的背後有山脈阻擋，且距離台北都會區較遠(圖中的方塊分別代表基隆與淡水局屬站，測站名稱各標示在方塊左側)。
- 圖5.10 影響基隆海風分量沒有週變化的原因為，基隆局屬站的背後有山脈阻擋，且距離台北都會區較遠(圖中的方塊分別代表基隆與淡水局屬站，測站名稱各標示在方塊左側)。
- 圖5.11 (a)1999~2008年 夏季弱綜觀環境下，台北盆地地形高度50 公尺以下所有測站於上午11時平均混合比的週變化 (b) 同

(a)但改為相對濕度。



第一章 前言

台北盆地是台灣開發最為蓬勃的都會區，超過四分之一的台灣人口（大約 650 萬人）集中在台北都會區。而台北都會區特殊的盆地地形，四面環山卻有淡水與基隆河開放流向大海，形成一個渾然天成的自然實驗室。從近期的研究資料顯示，台北盆地因為都市化與人口的增加，夏季午後雷陣雨有逐漸增加的趨勢；但過去的研究比較多是著重在時間尺度的變化，降水在空間上分佈的變化則是較少被探討的。而近年來在台北盆地周圍大量設置了密集的地面觀測站與都卜勒雷達觀測網，提供我們機會去檢視都會效應對於降水的可能影響。

（一）文獻回顧

在台灣，過去已經有非常多的研究針對地形效應與局部環流等科學議題進行了解。例如，Johnson and Bresch (1991)研究 TAMEX 期間之降水特性，所分析的三個弱綜觀午後對流個案中，降水大多發生 100~500m 的斜坡，他們認為這是海風行經西岸平原後，遇斜坡地形抬升所致。Chen and Chan(1994)針對 TAMEX IOP11(1987 年 6 月 20 日)利用一三維模式模擬研究結果顯示海陸溫度對比對午後初期對流系統之生成並無決定性的影響，但可增強對流系統的強度。林(1996)研究梅雨季太平洋高壓系統下台灣地形與午後對流降水的關係，由降雨頻率分析發現，對流主要發生在午後，高頻率區分佈在 500m 的斜坡區及中部地區 1500m 以下的山區；西南平原及東部的降雨頻率相對較少。此外利用觀測及模擬結果分別指出三種不同環境風向（東南風、南風、西南風）下的對流機制，包括繞流、抬升、熱力環流與潛熱釋放的加強輻合等，其中地形扮演了相當重要的角色。

在其他地理位置，Hsu(1970)分析美國德州南部沿岸長期海陸風觀測資料，指出海風通過時，溫度下降，溼度上升，積狀雲形成於海風鋒面前最大上升運動區，海風發展在下午三點左右達最盛，而對流

性陣雨多發生在海風發展後 1~2 小時且發生於輻合最強之區域附近。

近年也開始有許多文獻在探討都會效應與人類活動對於各種天氣參數以及對流或降水的影響性。Cotton and Pielke(1996)研究許多大型都會區，如美國墨西哥城、日本東京、中國的上海等，研究指出市區氣溫往往比郊區或農田高出攝氏5度以上，這是因植物葉面在水汽蒸發過程，使得地表及近地面大氣得以冷卻降溫，但當森林被砍伐取而代之成為都市建築物或道路後，上述冷卻降溫的效果就會大幅降低，造成都市熱島效應。而城區內高聳的建築物增加地面的粗糙度，降低都市區的通風效率，使城市區的增溫速度比郊區快，熱對流於城市區顯著發生。談(2003)研究台北都會區春節的假期效應時發現日夜溫差、日最高溫和日均溫皆為非春節期間大於春節期間。在分析懸浮微粒(PM10)發現，在春節期間空氣中懸浮微粒的濃度因汽車活動較少而減少，會吸收較少的太陽輻射，使周圍環境大氣溫度變冷，垂直穩定度變小進而強化對流使雲量變多，使得最高溫變低，日夜溫差變小。

Lin(2008)利用WRF-Noah-UCM模式模擬北台灣的熱島效應對邊界層的發展與海陸環流時指出，人類活動所產生的熱(anthropogenic heat)在台北的夜間和清晨對於邊界層的發展和熱島效應扮演重要的角色，此外作者也指出熱島效應也會影響海陸環流，造成海風在白天增強，在夜間陸風則被減弱，使得空氣的污染物擴散滯留在北台灣。

在研究都會效應對於對流或降水的影響性，Chen et al. (2007)研究台北盆地的都市化發現，從1960年~2005年間觀測，台北地區受到「熱島效應」顯著增溫的影響，過去45年，雷雨發生次數增加了70%，使得台北的夏季雨量遽增了80%。Lin(2008)在研究西部平原熱島效應時指出，原本應在山區降水之對流系統，因為市區增溫比郊區快，增強對流系統，使得降水位置改變提早發生於下風處。

另一方面，在人口密集的都會區，由於人類活動所產生的污染，也使得各種天氣參數與降水產生週變化。Forster and Solomon (2003)

在分析長期的日夜溫差及日最低溫資料發現，在美國、墨西哥、中國、日本等大都市均有明顯的週間變化，其中日夜溫差主要是受到日最低溫的影響，週末和週間的日夜溫差最多可以相差0.5度C。作者推論人為排放的懸浮微粒可能在這個效應上扮演重要角色。

Dessens(2001)在分析法國西南部降冰雹的週間變化時發現，在大西洋區域，冰雹的強度與頻率在週末與週間並沒有變化，但在內陸地區，冰雹的頻率與強度則有明顯的週間變化，在週間的冰雹大小明顯較週末來的小，作者在觀測內陸的空氣污染的變化時，推測由於人為造成懸浮微粒濃度增高，造成冰核粒子的量改變，導致冰雹的強度與頻率會有週間變化。

龔(2006)分析中國東部地區夏季的日降水頻率的週變化，發現降水頻率有明顯的週間變化，降水頻率在週末較週間來的高，最小的頻率出現在禮拜三。作者認為造成週間的變化主要可能與人類活動導致的懸浮微粒濃度週循環有關，週間的氣膠濃度相較於週末較高，不利於降水，反之週末的懸浮微粒濃度較高，導致週末的降水頻率增高。

Thomas(2008)分析美國東南方的夏季對流降水的週變化特徵，顯示在週間的降水較週末來的高，同時也分析懸浮微粒濃度，發現在週間有濃度的最大值。作者認為由於懸浮微粒濃度高，雲粒子碰撞合併過程不易產生，導致更多的水滴能夠傳送到結冰線之上，產生額外的潛熱，引起更大的冰粒子。同時加強對流區域的輻合，增強降雨量。

(二) 研究動機

在台灣已有不少研究是針對對流降水來做討論，然而大多數的研究皆著重在地形效應與局部環流，對於台灣地區而言，都市效應對於對流降水影響的探討非常少，其中我們特別對於台北都會區的午後降水感到興趣。雖然Chen et al. (2007)曾提出了台北都會區午後降水的特徵，但是此研究主要為長時間的觀測特徵，對於午後降水在空間上的變化、以及建築物的分佈與懸浮微粒的濃度是否也扮演重要的角

色等問題，並沒有加以探討。

本研究主要目的是藉由 1999 年~2008 年夏季弱綜觀環境下的所有天數加以分析，並利用高解析度的雷達資料及其他可使用的觀測資料，期望對於午後降水能有更進一步的分析與了解。本文第二章說明本研究所使用的資料來源與處理方法，並針對弱綜觀環境之選取做詳細的說明。第三章主要在描述台北盆地的大氣環境與雨量的分佈情形。第四章是在介紹建築物與地表溫度對於午後降水的相關性及其分佈情形。第五章則是探討懸浮微粒濃度與降水的影響以及各氣象參數的週間變化。最後，將主要的研究結果與未來工作整理於第六章。



第二章 資料及處理分析方法

(一)資料

1. 資料來源

- (1)中央氣象局：地面測站逐時雨量資料，包括局屬地面觀測站及自動觀測站（圖 2.1a）。板橋探空資料，十二小時一筆。五分山都卜勒雷達（RCWF）資料，每六分鐘一筆體積掃描（Volume scan）的雷達回波場資訊。
- (2)行政院環保署：台北縣新莊市於 2002 年所設立之北部超級測站（圖 2.1b）逐時懸浮微粒濃度（ PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ ）以及懸浮微粒成份資料。
- (3)中鼎工程顧問公司：台灣地區高解析度的土地利用資料，此高解析度土地利用資料是由中鼎工程顧問公司利用內政部所出版2001年經建版之 1/25,000 基本地形圖數位化後所得，網格解析度為 1 公里。
- (4)美國國家航空暨太空總署（National Aeronautics and Space Administration）：MODIS（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer）衛星一天一筆（02 UTC）之地表溫度資料（Land Surface Temperature），資料解析度為 1 公里，範圍涵蓋全球。
- (5)數值地形資料：台灣地區數值地形模型資料（DTM，Digital Terrain Model）為行政院農委會補助計畫「台灣地區數值地形模型資料」，由林務局農林航空測量所執行，製作完成之台灣地區數值地形模型資料（DTM），轉存中央大學太空及遙測研究中心並負責保管。

2. 五分山都卜勒雷達之特性與處理

五分山雷達為 WSR-88D（Weather Surveillance Radar-1988 Doppler）型 S 波段（10 公分）都卜勒氣象雷達，雷達天線高度為 766

公尺，雷達的觀測資料包括降水回波強度、都卜勒徑向速度以及頻譜寬。雷達掃瞄觀測為順鐘向 360 度圓錐面掃瞄，並非由固定方位開始掃描，而每次觀測所得不同仰角的圓錐面資料組成完整的體積掃瞄，掃瞄策略為每 6 分鐘進行 9 個仰角的圓錐面掃瞄，分別為 0.4、1.4、2.3、3.3、4.2、6.0、9.8、14.5 及 19.5 度，掃瞄一層約費時 26~34 秒。雷達回波資料觀測範圍為 460 公里，徑向解析度為 1 公里。

五分山雷達的資料處理流程步驟如下：(1)將 level II 資料格式轉換成 UF(universal format)資料格式。首先將 level II 資料解壓縮之後，轉為兩組氣象局格式資料，分別為雷達回波以及都卜勒徑向速度資料，然後再將此兩組資料轉換成 UF 格式資料。(2)將 UF data 轉換為 sweep data 並使用 NCAR soloii 軟體處理雷達回波場及風場資料。雷達回波場的處理主要是刪除海面雜波及地形雜波，即刪除 0.4 度仰角掃描中，因海面所造成的雷達回波，以及剔除因地形所造成的恆定回波(permanent echoes)，最後再將處理完畢後的都卜勒雷達資料轉換回 UF 格式。

3. 中鼎公司(CTCI)土地利用型態資料(landuse data)介紹

土地利用資料為中鼎工程顧問公司利用內政部所出版的 2001 年經建版之 1/25,000 基本地形圖(1999 年~2001 年)數位化後所得。經建版之基本地形圖全國共計有 261 張圖幅資料，中鼎公司將此資料之紙圖及數值檔案經過土地分類整理、圖形修正、草圖檢核及地類面積計算等繁複的處理過程後得到 1/25,000 之台灣地區數位化地類圖。資料網格則是採用世界橫麥卡脫投影(Universal Transverse Mercator Projection Grid System，簡稱 UTM)座標系統，網格解析度為 1 公里。中鼎公司的土地利用型態分類中，是將台灣分成 16 種不同的地表型態(住宅區建築區、果園農場、蔗田、旱作地、針闊葉林、矮林、綠地、茶林、水域、水田、魚池魚塢、機場、礦場、港口、海、其他)，分類的方式是先將空照圖分成一公里見方的小方塊，再判定在方塊中這 16 類地表形態各所占的比例。其中土地利用為森

林的部分，因為空照圖無法明確的分類出針葉林、闊葉林的分佈範圍，故將森林的地區統一歸類為混合林。

本研究主要探討都會效應對午後降水的影響，因此我們將人為所建設的項目皆歸納為建築物內。

4. MODIS 衛星之特性

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 為太陽同步衛星，軌道高度為 705 公里，搭載於 Terra 及 Aqua 兩顆衛星上，每顆衛星之觀測週期約 12 小時，Descending Node(Terra) 約在 1030 UTC，觀測台灣附近區域之時間為 0200 UTC 左右，Ascending Node (Aqua) 約在 1330 UTC，通過台灣鄰近區域之時間則為 0500 UTC，因此，同一地點每日可有四次掃瞄。

該感應器共分為 36 個波段，波長分佈於 0.4~14.5 μm 間，涵蓋可見光、近紅外線等頻道。其應用相當廣，在大氣方面可提供氣溶膠參數、大氣溫濕剖面、臭氧含量與地表溫度等；在海洋方面則可提供海溫、葉綠素等海洋水色；而在陸地上可量測到植被指數及森林火災等。此外，MODIS 衛星之空間解析度共分為三種，分別為 1000 公尺、500公尺與250公尺，各波段之最高解析度亦不盡相同，波段 1~2 為 250 公尺，波段 3~7 為 500 公尺，波段 8~36 則為 1000 公尺。

本研究是利用 MODIS 衛星觀測台灣地表溫度的資料，由中央大學遙測研究所提供，主要是想藉由其高空間解析度來觀測夏季台北盆地地表溫度與午後降水的分佈性。

5. 數值地形資料介紹與處理

(1) 數值地形資料介紹

台灣地區數值地形模型資料(DTM, Digital Terrain Model)為行政院農委會補助計畫「台灣地區數值地形模型資料」，由林務局農林

航空測量所執行，製作完成之台灣地區數值地形模型資料(DTM)，轉存中央大學太空及遙測研究中心並負責保管。此 DTM 之地面解析度為 40 m*40 m，平面座標系統採用二度分帶橫麥卡脫投影(Two Degree Zone Transverse Mercator Projection 簡稱二度 TM 座標)。平面座標單位為公尺，高程(即高度)為釐米，原始資料以 ASCII 碼逐點儲存三維座標。

(2) 數值地形資料的處理

由於地形資料為 ASCII 碼儲存，資料儲存空間過於龐大，而為了節省資料儲存空間及增加資料讀取速度，所以將原始資料轉為 BINARY 格式，並且將垂直解析度降為公尺。此外，由於本研究需利用地形資料作計算，而為了節省電腦效能及減少電腦計算時間，特別另外輸出一組水平解析度為 1 km*1 km 的地形資料(垂直解析度仍為公尺)，以配合徑向解析度為 1 km 的都卜勒雷達資料。

本研究為配合此地形資料之座標系統，透過中央研究院計算中心 GIS 小組所開發的座標轉換計算程式，將所有經緯度資料(即海岸線資料與測站位置)統一轉換為 TWD67(Taiwan Datum 1967)大地基準之 TM 二度分帶座標(即以虎子山為三角測量基準)。下列為 TWD67 的相關介紹：

(i) 參考橢球體採用 1967 年新國際地球原子如下：

長半徑： $a = 6378160$ 公尺，短半徑： $b = 6356774.7192$ 公尺，扁率： $f = (a-b)/a = 1/298.25$ 。

(ii) 大地基準點以南投埔里之虎子山起算：

經度 λ 為 $120^\circ 58' 25.975''$ ，緯度 ϕ 為 $23^\circ 58' 32.340''$ ，對頭拒山之方位角 $\alpha = 323^\circ 57' 23.135''$ 。

(iii) 高程(即高度)基準面：

台灣本島以基隆平均海水面起算，澎湖以馬公平平均海水面起算。

(iv) 地圖投影：

有關地籍測量及大比例尺測圖所應用之座標系統，係採用橫麥卡托投影經差二度分帶，台灣本島之中央子午線為 121° ，座標原點為中央子午線與赤道交點，且橫座標西移 250,000 公尺，中央子午線之尺度比率為 0.9999。

(二) 研究天數之選取與定義

本研究所探討的是在 1999 年~2008 年間夏季(6、7、8 月)，不受強綜觀天氣系統影響(颱風、鋒面…等)之弱綜觀環境，弱綜觀天數選取條件如下：(1)利用每日 00UTC 之地面天氣圖，將鋒面，颱風等系統影響之天數剔除。(2)接下來參考中央氣象局所提供的 GMS 衛星雲圖，移除鋒面雲帶、颱風及其外圍環流或其他外來雲系影響之個案天數，以確認台灣附近沒有任何顯著雲雨系統的影響，上述條件皆滿足即納入本研究的天數(不管有無顯著性降水，只要是弱綜觀天數皆納入研究的選取天數)。最後選定出本研究所使用的 435 天弱綜觀天數(表一)。



第三章 台北都會區綜觀環境特徵

(一)探空分析

為了瞭解台北盆地夏季的大氣狀況，篩選出 1999 年~2008 年各年所有 6~8 月弱綜觀環境下的天數，利用板橋局屬站於 0000 UTC 的探空資料，將不同天數的相同高度層平均，繪製出平均斜溫圖(圖 3.1)，由圖 3.1 顯示台北都會區在夏季弱綜觀情況下對流可用位能為 $1132.7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ，對流抑制為 $37.1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ，顯示大氣具有明顯的對流不穩定度；且由於在弱綜觀的環境下，底層環境風速皆偏小，風向皆偏西南風或東南風。

(二)總累積雨量與降水時間及降水強度分佈

台北地區降雨量分佈方面，我們選取了台北都會區鄰近的 38 座氣象站(包括自動氣象站、自動雨量站以及局屬站)，計算 1999 年~2008 年 6~8 月所有弱綜觀天數各測站降雨量總和(圖 3.2)，圖 3.2 顯示累積降雨量最大值集中在台北盆地的南部區域，而在淡水河口與基隆河口以及大屯山等山區則出現較小的累積雨量。

為了解台北盆地降水日夜變化的可能趨勢，我們將台北盆地鄰近的所有 38 座測站總降雨量相加且平均所有測站數目，並將其總累積雨量劃分為 0~24 時(地方時間制)(即圖 3.3 所示)。圖 3.3 顯示在弱綜觀的環境下，台北都會區的主要降雨量集中在中午至傍晚的時段(即 12~18 時)，其餘時間並無顯著的累積雨量，故午後降水為本研究的探討重點。

在單日最強降水位置方面，利用台北都會區鄰近的 38 座測站，分析了 1999~2008 年所有夏季弱綜觀環境天數中，每一天午後最強時雨量的位置，並計算其累積天數(圖 3.4)，圖 3.4 顯示單日最強降水累積最多次數集中在台北盆地中心(台北局屬站)，可以看出最強降雨與最高累積雨量的位置分佈並不非常一致(圖 3.2)。

(三)累積雷達回波分佈與強度

從前面的分析結果得知台北都會區在夏季弱綜觀環境下的降水集中在中午 12 時~傍晚 18 時的這段時間，因此我們將此時段作更深入之分析，利用 Yu and Smull (2000)的方法，將 PPI (1.4 度仰角) 雷達回波大於 30 dBZ 網格資料作累積，繪製所有弱綜觀環境午後的累積雷達回波圖(圖 3.5a)，利用雷達的高解析度優勢來了解這段時間內台北都會區降水水平分佈特性。由弱綜觀午後雷達回波圖可發現大量累積雷達回波位於台北盆地的南側與新店山區一帶，在大屯山等山區與淡水與基隆出海口則出現較小的累積雷達回波值。透過地形高度資料及考慮地球曲率下，雷達電磁波的高度低於大屯山頂之高度，顯示大屯山頂的大累積雷達回波值應為地形雜波。

在所有弱綜觀環境天數的中午 12 時~傍晚 18 時的累積雨量圖(圖 3.5b)同樣也可發現在台北盆地南側與新店山區有大量的累積雨量(超過2700釐米)，在大屯山等山區與淡水與基隆出海口累積雨量也同樣有個較小值(300釐米~1200釐米)。累積雨量主要集中在台北盆地的南部區域(最大值位於永和站)，並且向北逐漸減少。在定性上，此雨量分佈與累積雷達回波(圖 3.5a)的結果是一致的。

為了了解台北盆地午後劇烈降水的分佈位置，圖 3.6 為台北盆地午後強降水回波(大於 50 dBZ)發生的累積雷達回波分佈，此分佈基本上與大於 30 dBZ 累積雷達回波分佈(圖3.5a)相當類似。值得一提的是，在台北盆地地形較平坦不受地形效應影響的區域(地形高度低於 50 公尺)，強降水累積回波在空間上有明顯變化，此特徵可能與都市建築物分佈不均勻有關，我們將於往後章節作進一步探討。

第四章 地表溫度與建築物的分佈與午後降水的相關性

(一)建築物的分佈對午後降水的影響

由前章得知，強降水累積雷達回波在台北都會區地勢較平坦的區域有顯著的分佈差異，為了解這些分佈特徵是否與都市建築物分佈有關。我們利用中鼎工程顧問公司數位化內政部 2001 年所出版的台灣地區高解析度的土地利用資料，藉此分析台北都會區建築物的分佈百分比情況(我們定義獨立房屋、建築物、港口、機場均為建築物)(圖 4.1a)，由圖 4.1a 顯示台北建築物的分佈主要集中在台北盆地的平地區域(即地形高度低於 10 公尺的區域)，其餘地區則無明顯的建築物分佈，因此將研究區域縮小並集中於台北都會區建築物分佈較為集中的區域(圖 4.1b)。

為了分析建築物分佈對午後降水的影響，繪製大於 30 dBZ 午後累積雷達回波高頻率區域(大於 900 次)疊加於建築物分佈百分比圖(圖 4.2a)，與繪製繪製大於 50 dBZ 午後累積雷達回波高頻率區域(大於 30 次)疊加於建築物分佈百分比圖(圖 4.2b)，在此我們並不考慮對流胞的是否於山區或平地生成。圖 4.2a 與圖 4.2b 顯示午後高頻率降水回波與高頻率強降水回波均集中於建築物分佈高百分比的區域。為了更客觀的分析建築分佈與午後降水的相關，我們將研究區域內大於 30 dBZ 午後雷達累積回波所有的網格資料與建築物分佈百分比的網格資料計算相關係數與線性迴歸(圖 4.3a)，也分析了研究區域內大於 50 dBZ 午後雷達累積回波所有的網格資料與建築物分佈百分比的網格資料去計算相關係數與線性迴歸(圖 4.3b)。由圖 4.3a 與圖 4.3b 顯示建築物分佈百分比與雷達累積回波值呈正相關，相關係數均有在 0.5 以上，即建築物密度越高的區域，有利加強降水與劇烈降水的頻率，顯示在台北盆地因都市建築物與人為的設施在空間上的分佈密度不同對於劇烈降水的確有所影響。

(二)地表溫度(Land-Surface Temperature)與午後降水的相關

為了分析地表溫度與午後降水分佈的相關，我們利用高空間解析度的 MODIS 衛星所觀測的地表溫度資料來作分析。因為 MODIS 衛星觀測日期並不穩定，因此我們將 MODIS 衛星有觀測到的本研究天數篩選出來，繪製出地表溫度的平均圖(圖4.4a)，並將研究區域給放大(圖4.4b)，由圖 4.4b 顯示在地表溫度的分佈也有明顯的變異性。

我們使用前一節所探討建築物分佈對午後降水影響的相同作法，繪製大於 30 dBZ 午後雷達累積回波高頻率區域(大於 600 次)疊加於地表溫度的平均圖(圖 4.5a)，與繪製大於 50 dBZ 午後雷達累積回波高頻率區域(大於 40 次)疊加於地表溫度的平均圖(圖 4.5b)，圖 4.5a 與圖 4.5b 顯示午後高頻率降水回波與高頻率強降水回波均集中於地表溫度較高的區域。為了更客觀的分析地表溫度與午後降水的相關，我們將研究區域內大於 30 dBZ 午後雷達累積回波所有的網格資料與地表溫度的網格資料計算相關係數與線性迴歸(圖 4.6a)，也分析了研究區域內所有大於 50 dBZ 午後雷達累積回波的網格資料與地表溫度的網格資料去計算相關係數與線性迴歸(圖 4.6b)，由圖 4.6a 與圖 4.6b 顯示都市分佈百分比與雷達累積回波值呈正相關，相關係數均有在 0.5 以上，即地表溫度越高的區域，有利加強降水與強降水的頻率。顯示在台北盆地因地表溫度在空間上的分佈不均勻而產生降水與劇烈降水有顯著的分佈差異。

從前面的分析顯示午後降水在空間的分佈差異與建築物的分佈與地表溫度有密切的關聯性，因此我們也分析了在台北盆地(地形高度十公尺以下)區域建築物與地表溫度的相關係數，分析顯示地表溫度與建築物的相關係數為0.43，我們推測在土地資料分類並沒有把柏油路與某些設施計算在內，使得兩種資料有些許的誤差，因此造成相關係數較低的結果。

第五章 懸浮微粒對午後降水的相關

(一)午後降水的週間變異

前一章節主要是在討論都會效應對於午後降水在空間分佈的影響，接下來將討論人類活動的型態對午後降水的影響。我們將 1999 年~2008 年所有夏季弱綜觀環境下的天數分成星期一~星期日(星期一~星期日弱綜觀天數為：星期一共59天、星期二共60天、星期三共64天、星期四共62天、星期五共67天、星期六共67天、星期日共56天)，並個別去計算其午後的平均時雨量，繪製出星期一~星期日午後的平均時雨量圖(圖 5.1a~圖5.1g)。從圖 5.1a~5.1g 顯示降水有明顯的週間變異，即週間降水較週末顯著，在星期三有週間降水的最大值，星期日則有最小值。為了凸顯午後降水週間變異最大的區域，我們將星期三(圖 5.1d)每一個測站午後的平均時雨量，扣除星期日(圖 5.1a)每一個測站的午後平均時雨量獲得圖 5.2。由圖 5.2 顯示在台北盆地降水週間變異較大的區域集中在台北盆地地形高度 50 公尺以下的區域，反觀山區則無太大的變異，因此我們將其研究範圍縮小並集中於地形高度 50 公尺以下的區域。

為了更明確的顯示台北盆地降水的週間變化，將星期一~星期日地形高度 50 公尺以下所有測站所計算出的午後平均時雨量相加並除上測站數目，得到星期一~星期日台北盆地內的平均時雨量(圖 5.3a)，也將 1999 年~2008 年夏季弱綜觀環境下所有天數的五分山雷達資料分成星期一~星期日，將地形高度 50 公尺以下的 PPI (1.4 度仰角)午後雷達回波(大於30 dBZ)網格資料作累積，並除以所有天數，即可得到每一個網格點的單日午後平均的累積雷達回波，再將所有網格點裡的累積雷達回波相加，可得到所有網格點的單日總累積回波次數，再除於地形高度 50 公尺以下的所有網格數，繪製出午後地形高度 50 公尺以下的累積雷達回波平均圖(圖5.3b)。從圖 5.3a 與圖 5.3b 可明顯看出，在台北盆地的週間午後降水較週末來的顯著，顯示台北盆地不受其他天氣系統下之午後降水有顯著的週變化勢。

為了檢視台北盆地的午後降水週間變異是否在近 10 年才較為顯著，我們統計了 1958 年~2008 年以 10 年為一個單位，分析台北局屬站在這 50 年間的夏季弱綜觀環境下降水的週間變異。由於早期並沒有衛星資料，於是在篩選弱綜觀天數方面，利用氣象局百年颱風侵台路徑圖，將發布海上颱風警報的前三天至解除海上颱風警報的後三天(避免外圍雲系的干擾)排除在篩選的天數內，其餘天數皆納入於弱綜觀環境的天數裡，同時只計算 7、8 兩個月，排除 6 月是避免有鋒面的干擾影響分析結果。

圖 5.4 為 1958 年~2008 年以 10 年為一個單位，台北局屬站的弱綜觀環境下星期一~星期日的午後平均時雨量圖。分析顯示在 1958 年~1968 年間，午後平均時雨量並沒有週間變異，從 1969 年~1978 年週間變異有開始出現的趨勢，且最大值均集中在星期三(除了 1989 年~1999 年最大值在星期二)。除了午後降水的週間變異，過去 50 年午後降水均也有逐漸增加的趨勢，這樣週間變異的結果可能與人類活動與都市發展有關。

我們進一步利用環保署空保處位於台北縣新莊市所設立的北部超級測站所監測的 PM_{2.5} 懸浮微粒濃度資料加以分析，由於北部超級測站於 2002 年開始啟用，於是資料時間為 2002 年~2008 年夏季弱綜觀環境下的所有天數，同樣利用分析雨量的方法，將資料分為星期一~星期日，並平均每一天上午 11 時 PM_{2.5} 的懸浮微粒濃度(圖 5.5)(只計算上午 11 時是為了探討午後降水前一個小時的懸浮微粒濃度)。由圖 5.5 顯示台北盆地的懸浮微粒也有與午後降水類似的週間變異，即週間的懸浮微粒濃度較週末濃度高，推測由於在週間人類普遍處於上班階段，汽機車流量與工廠的運作大部分集中於週間，週末則相對較少，因此懸浮微粒濃度會有這樣的週間變異是合理的。

另一方面我們也選擇了台中與高雄兩大大都會區，來檢視其 PM₁₀ 懸浮微粒濃度有無週間變化(利用 PM₁₀ 是由於南部超級測站於 2005 年才開始觀測，而台中並無超級測站)，分析方法與上述分析台北都會區的懸浮微粒濃度相同，將其各都會區內的懸浮微粒監測站取上午

11 時的總平均（台北都會區以板橋、永和、松山三座測站做平均；台中都會區以西屯、豐原、大里三座測站做平均；高雄都會區則以小港、左營、前鎮、楠梓將其平均），繪製出其三大都會區的懸浮微粒濃度於星期一~星期日上午 11 時的平均圖(圖 5.7)，圖 5.7 顯示台中與高雄兩大都會區並沒有類似台北都會區顯著的週間變化，我們推測可能與地形有關，台北盆地四週有山脈阻擋，屬於較封閉的地形，而高雄與台中地勢上相對於屬於平原地形，懸浮微粒受大環境的風與局部環流的影響，較容易往四周擴散，因此沒有明顯的週循環。

另一部分我們也分析了高雄都會區（高雄縣市地形高度50公尺以下之所有雨量測站）的午後平均時雨量之週變化(未圖示)，分析顯示高雄都會區降水並無明顯的週變化趨勢。

Rosenfeld(2006)與Thomas(2008)的研究顯示，由於人類活動造成懸浮微粒濃度高，雲粒子則相對較小，雲粒子在雲內的碰撞合併過程則不易發生，導致降水發展時間延緩。由前面分析顯示午後降水與懸浮微粒均有顯著的週間變異，為了驗證懸浮微粒濃度對午後降水有直接的影響，利用了 1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數的五分山雷達資料，將資料時間分成星期一~星期日，以 10分鐘為一單位，將每 10分鐘裡面的每筆雷達資料地形高度 50 公尺以下的 PPI (1.4 度仰角)午後雷達回波(大於 30 dBZ)網格資料作累積，並除以 10 分鐘裡面所有的雷達資料筆數，再將所有網格點的累積雷達回波相加，即可得到總累積回波次數，再除於地形高度 50 公尺以下的所有網格數，繪製出午後累積雷達回波平均圖(圖 5.7)，次數越高的時間代表降水易發生在此區間，由圖 5.7 顯示在週間午後降水發展相較於週末有較晚的趨勢(星期三累積雷達回波平均最大值較禮拜日累積雷達回波平均最大值晚了大約兩個小時)，由此結果某種程度驗證懸浮微粒濃度對於台北盆地的午後降水的重要性。

(二)其他氣象參數的週間變異

1. 溫度的週變化

從前一節得知懸浮微粒濃度有明顯的週間變化，且與午後降水的週間變化成一致性，接下來我們繪製了台北盆地地形高度 50 公尺以下所有測站在上午 11 時的平均溫度圖(圖 5.9)，分析顯示台北盆地在週間的氣溫較週末低，推測原因是由於週間的懸浮微粒濃度高，導致近地面氣溫較低。

2. 海風的週變化

另一方面分析了海風的週變化，利用淡水局屬站和基隆局屬站(選擇這兩個測站的原因為淡水局屬站和基隆局屬站均位於出海口的的位置)上午 11 時的風向風速加以分析，將淡水局屬站與基隆局屬站的風向風速換算成垂直海岸線的分量，並將彭佳嶼局屬站的風向風速當作是綜觀環境的風，將彭佳嶼局屬站的風向風速投影到海岸線，同樣換算出垂直海岸線的分量，並將淡水局屬站與基隆局屬站所求出的海風分量扣除彭佳嶼的分量，繪製出上午 11 時海風從淡水河口所進入的週變化圖(圖 5.10a)與海風從基隆河口所進入的週變化圖(5.10b)，從圖 5.10a 顯示淡水河口的海風分量在週間較週末小，推測是由於台北盆地的溫度在週間較低，溫度梯度小導致海風分量在週間較小；而從圖 5.10b 顯示基隆河口的海風並無明顯的週變化，推測是由於基隆局屬站後方有山脈阻擋，且距離台北都會區的距離較遠(圖 5.11)，因此受到台北都會區的影響較小，導致海風變化量不大。

3. 混合比與相對濕度的週變化

由前面得知溫度與海風均有週變化，接下來我們利用台北盆地 50 公尺以下的所有測站，計算星期一~星期日上午 11 時的混合比(圖 5.12a)與相對濕度(圖 5.12b)，從圖 5.12a 顯示混合比在週

間較週末小，這樣的結果是合理的，因為由前面得知海風在週間小，於是帶進台北盆地的水氣量就少，導致混合比在週間小；另一方面圖 5.12b 顯示相對溼度在週間較週末高，此結果推測原因是由於台北盆地的溫度在週間較低，導致週間的相對濕度較高。

4. 近地面穩定度的週變化

為了瞭解近地面穩定度的變化，利用了板橋探空的資料(0000 UTC)將其分類為禮拜一~禮拜日，由於每日所觀測的各層高度並不一致，於是我們將其 1 公里以下高度內插為 100 公尺一筆資料將其平均，並計算出各層的位溫與相當位溫，進而求出近地面的靜力穩定度(表2)與對流穩定度(表3)，由表 2 顯示出靜力穩定度在週間(禮拜三)在近地面 500公尺以下相對於其他天來說是最不穩定的，而從表 3 分析顯示對流穩定度在週間(星期三)的近地面是最不穩定的。有這樣的結果，猜測是由於懸浮微粒濃度分佈或者是成分，導致其位溫梯度與相當位溫梯度在週間的近地面較大，進而影響穩定度的變化。

從這一節分析顯示溫度、海風、混合比、相對濕度、近地面穩定度均有週變化，但變化量均是相當微小，可否影響到午後降水導致降水有週間變化，目前還沒有確切的證據。

第六章 結論與未來展望

本研究透過中央氣象局的地面測站與五分山雷達資料、NASA MODIS 衛星觀測地表溫度資料、中鼎工程顧問公司土地利用資料和環保署空氣間測站資料分析了 1999 年~ 2008 年夏季弱綜觀環境下台北盆地的午後降水特徵，透過上述這些資料的分析了解都會效應對於午後降水的關係，並探討其台北盆地午後降水時空分佈的影響。整合前幾章的結果，其主要結論如下：

- (一) 從台北盆地降水的綜觀分析顯示，在弱綜觀環境下主要降水集中在台北盆地的南部區域一帶，有累積降雨量的最大值；另一方面分析單日最強降水的位置，顯示強降水最高次數集中在台北局屬站即盆地內部，與最大累積雨量的位置並不非常一致，此乃顯示都會效應扮演著加強降水的角色。在弱綜觀環境下，降水時間集中在中午~傍晚的時段，其餘時段並無太大的降水。
- (二) 在利用高解析度雷達資料分析台北都會區的午後累積雷達回波(大於30 dBZ)與劇烈降水累積雷達回波(大於 50 dBZ)上，顯示在台北盆地午後降水在空間上的分佈有明顯的差異，分析顯示造成降水的分佈不均勻與地表溫度(Land-Surface Temperature)和建築物的分佈有密切的關聯性。
- (三) 台北都會區在週間午後降水強度與降雨量均較週末顯著，從過去 50 年夏季弱綜觀環境下的雨量資料統計顯示，台北都會區午後降水的週間變異有逐漸顯著的趨勢；且分析台北都會區的懸浮微粒濃度也發現有類似的週間變異。另外從台北盆地平均的累積雷達回波(大於 30 dBZ)分析顯示，週間的降水發展時間較週末降水時間來的延遲，此結果支持了都會區懸浮微粒的濃度對於午後降水影響的重要性。
- (四) 利用台北盆地的氣象測站資料分析午後降水前的大氣環境顯示，氣溫在週間較週末低，推測是由於懸浮微粒在週間濃度較高，導致氣溫降低；而海風的分析方面，淡水河口的海風風速在週

間較週末小，這樣的結果是合理的，因為從氣溫的分析上週間的氣溫較低所導致，而相對濕度在週間較週末高，混合比在週間較低，完全符合海風與氣溫的週變化。從板橋局屬站 0000 UTC 的探空資料分析顯示，在禮拜三底層的靜力穩定度與對流穩定度是最低，推測與懸浮微粒的濃度與成分有關。分析顯示溫度、海風、混合比、相對濕度、近地面穩定度均有週變化，但變化量均是相當微小，可否影響到午後降水的週變化，目前還沒有確切的證據。

本研究主要針對台北盆地的都會效應對於午後降水的影響進行空間和時間的分析。由此研究使我們對於都市效應在午後降水空間上的分佈有進一步的認知，亦對懸浮微粒濃度對於午後降水的影響以及午後降水的發展時間有初步的了解。然而對於午後降水的強度與降雨量的週間變化則仍須進一步釐清，從前一章分析顯示在台北都會區懸浮微粒與各氣象參數均有週間變化，至於影響午後降水的週間變異主要是雲物理(Cloud Physics)或雲動力過程(Cloud Dynamics)在主導，我們還不甚清楚。未來亦可選取幾個個案進行更深入的研究，以期許都會效應對午後降水能有更進一步的了解。

參考文獻

- 林傳堯，1996：梅雨季太平洋高壓系統影響下台灣地形與午後對流降水關係之研究。國立中央大學大氣物理研究所博士論文，241頁。
- 談珮華、周佳、梁靜宜、吳柏霖，2008：台北都會區的假期效應，*大氣科學*，**36**，197-213
- 龔道溢、郭棟、羅勇，2006：中國夏季日降水頻次的週末效應。*氣候變化研究進展*，**2(3)**：131-134.
- Bell, T. L., D. Rosenfeld, K.-M. Kim, J.-M. Yoo, M.-I. Lee, and M. Hahnenberger, 2008: Midweek increase in U.S. summer rain and storm heights suggests air pollution invigorates rainstorms. *J. Geophys. Res.*, **113**, D02209, doi:10.1029/2007JD008623.
- Chen, C. -S., and Y. E. Chan, 1994: On the formation of cloud and precipitation systems in Taiwan during TAMEX IOP11. *TAO*, **5**, 137-168.
- Chen, T. -C., S. -Y. Wang, and M. -C., Yen, 2007: enhancement of afternoon thunderstorm activity by urbanization in a valley: Taipei. *J. Appl. Meteor.*, **46**, 1324-1340.
- Cotton, W. R., and R. A. Pielke, 1996: Human impacts on weather and climate. Cambridge, University Press, pp.288.
- Cressman, G. P., 1959 : An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.
- Dessens, J., R. Fraile, V. Pont, and J.L. Sanchez, 2001: Day-of-the-Week variability of hail in southwestern France. *Atmos. Res.*, **59-60**, 63-76.
- Forster, P. M. and S. Solomon, 2003 : Observations of a “weekend effect” in diurnal temperature range, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. .*, **100(20)**, 11225 -11230.

- Hsu, S. A., 1970: Coast air circulation system: Observation and empirical model. *Mon. Wea. Rev.*, **98**, 487–509.
- 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.
- Lin, C-Y., F. Chen, J. Huang, Y. A. Liou, W.C. Chen, W.N. Chen, Shaw C. Liu, 2008: Urban Heat Island Effect and its Impact on Boundary Layer Development and Land–Sea Circulation over Northern Taiwan, *Atmospheric Environment*, **42**, 5639–5649.
- Lin, C-Y., W.-C. Chen, Shaw C. Liu, Y. A. Liou, G.R. Liu, T.-H. Lin, 2008: Numerical study of the impact of urbanization on the precipitation over Taiwan, *Atmospheric Environment*, **42**, 2934–2947.
- Rosenfeld, D. (2006), Aerosol–cloud interactions control of Earth radiation and latent heat release budgets, *Space Sci. Rev.*, **125**, 149 – 157, doi:10.1007/s11214-006-9053-6.
- Yu, C. K., and B. F. Smull. 2000: Airborne Doppler Observations of a Landfalling Cold Front Upstream of Steep Coastal Orography. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1577–1603.

表 1 1999 年~2008 年夏季弱綜觀環境所有天數

年	月、日	年	月、日	年	月、日	年	月、日
1999	0608	1999	0811	2000	0712	2001	0627
1999	0609	1999	0814	2000	0713	2001	0628
1999	0610	1999	0815	2000	0714	2001	0629
1999	0611	1999	0816	2000	0715	2001	0630
1999	0615	1999	0817	2000	0716	2001	0701
1999	0622	1999	0818	2000	0717	2001	0702
1999	0623	1999	0819	2000	0718	2001	0707
1999	0624	1999	0823	2000	0719	2001	0713
1999	0625	1999	0824	2000	0720	2001	0714
1999	0626	1999	0825	2000	0721	2001	0716
1999	0627	1999	0826	2000	0722	2001	0717
1999	0628	1999	0827	2000	0723	2001	0718
1999	0629	1999	0828	2000	0731	2001	0719
1999	0630	1999	0829	2000	0801	2001	0720
1999	0701	1999	0830	2000	0802	2001	0721
1999	0702	1999	0831	2000	0803	2001	0725
1999	0703	2000	0601	2000	0804	2001	0726
1999	0704	2000	0602	2000	0805	2001	0805
1999	0705	2000	0603	2000	0811	2001	0806
1999	0706	2000	0608	2000	0812	2001	0807
1999	0707	2000	0620	2000	0815	2001	0808
1999	0715	2000	0621	2000	0816	2001	0809
1999	0716	2000	0622	2000	0817	2001	0810
1999	0717	2000	0623	2000	0818	2001	0811
1999	0718	2000	0624	2000	0819	2001	0812
1999	0719	2000	0625	2000	0820	2001	0813
1999	0720	2000	0626	2000	0826	2001	0814
1999	0721	2000	0627	2001	0601	2001	0824
1999	0722	2000	0628	2001	0610	2001	0825
1999	0729	2000	0629	2001	0617	2002	0619
1999	0730	2000	0630	2001	0618	2002	0620
1999	0731	2000	0701	2001	0620	2002	0621
1999	0803	2000	0710	2001	0625	2002	0622
1999	0804	2000	0711	2001	0626	2002	0623

年	月、日	年	月、日	年	月、日	年	月、日
2002	0624	2002	0825	2003	0719	2004	0712
2002	0627	2002	0826	2003	0720	2004	0713
2002	0628	2002	0827	2003	0721	2004	0716
2002	0629	2002	0828	2003	0725	2004	0717
2002	0630	2003	0601	2003	0728	2004	0718
2002	0701	2003	0604	2003	0729	2004	0719
2002	0706	2003	0605	2003	0730	2004	0720
2002	0715	2003	0620	2003	0731	2004	0721
2002	0716	2003	0621	2003	0801	2004	0722
2002	0719	2003	0622	2003	0809	2004	0724
2002	0720	2003	0623	2003	0810	2004	0725
2002	0721	2003	0624	2003	0811	2004	0728
2002	0722	2003	0625	2003	0812	2004	0729
2002	0723	2003	0626	2003	0813	2004	0730
2002	0724	2003	0627	2003	0821	2004	0731
2002	0725	2003	0628	2003	0822	2004	0801
2002	0726	2003	0629	2003	0823	2004	0802
2002	0727	2003	0630	2003	0825	2004	0803
2002	0728	2003	0701	2003	0826	2004	0804
2002	0729	2003	0702	2003	0827	2004	0805
2002	0808	2003	0703	2003	0828	2004	0806
2002	0809	2003	0704	2003	0829	2004	0807
2002	0810	2003	0705	2003	0830	2004	0808
2002	0812	2003	0706	2004	0614	2004	0814
2002	0813	2003	0707	2004	0615	2004	0815
2002	0814	2003	0708	2004	0616	2004	0819
2002	0815	2003	0709	2004	0617	2004	0820
2002	0816	2003	0710	2004	0622	2004	0831
2002	0817	2003	0711	2004	0623	2004	7023
2002	0818	2003	0712	2004	0624	2005	0605
2002	0819	2003	0713	2004	0625	2005	0606
2002	0820	2003	0714	2004	0626	2005	0607
2002	0821	2003	0715	2004	0627	2005	0608
2002	0822	2003	0716	2004	0706	2005	0609
2002	0823	2003	0717	2004	0710	2005	0610
2002	0824	2003	0718	2004	0711	2005	0626

年	月、日	年	月、日	年	月、日	年	月、日
2005	0627	2006	0623	2006	0820	2007	0722
2005	0629	2006	0624	2006	0825	2007	0723
2005	0630	2006	0625	2006	0826	2007	0724
2005	0701	2006	0626	2006	0827	2007	0725
2005	0702	2006	0627	2006	0828	2007	0726
2005	0703	2006	0628	2006	0829	2007	0727
2005	0704	2006	0629	2006	0830	2007	0728
2005	0705	2006	0630	2006	0831	2007	0729
2005	0706	2006	0701	2007	0601	2007	0730
2005	0707	2006	0702	2007	0618	2007	0731
2005	0708	2006	0703	2007	0619	2007	0801
2005	0709	2006	0704	2007	0620	2007	0802
2005	0710	2006	0705	2007	0621	2007	0803
2005	0711	2006	0710	2007	0622	2007	0804
2005	0712	2006	0717	2007	0623	2007	0805
2005	0713	2006	0718	2007	0625	2007	0806
2005	0714	2006	0719	2007	0626	2007	0822
2005	0715	2006	0720	2007	0627	2007	0823
2005	0722	2006	0721	2007	0628	2007	0824
2005	0723	2006	0722	2007	0629	2007	0827
2005	0724	2006	0728	2007	0630	2007	0828
2005	0726	2006	0729	2007	0701	2007	0829
2005	0727	2006	0730	2007	0702	2007	0830
2005	0728	2006	0731	2007	0703	2007	0831
2005	0729	2006	0801	2007	0704	2008	0619
2005	0730	2006	0802	2007	0705	2008	0620
2005	0731	2006	0803	2007	0706	2008	0625
2005	0801	2006	0804	2007	0707	2008	0626
2005	0808	2006	0805	2007	0708	2008	0628
2005	0809	2006	0806	2007	0711	2008	0629
2005	0810	2006	0812	2007	0716	2008	0630
2005	0827	2006	0813	2007	0717	2008	0701
2005	0828	2006	0814	2007	0718	2008	0702
2006	0620	2006	0815	2007	0719	2008	0704
2006	0621	2006	0816	2007	0720	2008	0705
2006	0622	2006	0819	2007	0721	2008	0706

年	月、日
2008	0709
2008	0710
2008	0711
2008	0712
2008	0713
2008	0722
2008	0809
2008	0811
2008	0813
2008	0814
2008	0815



表2 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，上午8時近地面層之靜力穩定度的週變化。

高度(公尺)	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
100	-0.00469	-0.00292	-0.00483	-0.00416	-0.00416	-0.00393	-0.00360
300	0.00084	0.00176	0.00079	0.00111	0.00121	0.00156	0.00137
500	0.00250	0.00302	0.00243	0.00275	0.00271	0.00275	0.00248
1000	0.00343	0.00371	0.00364	0.00378	0.00367	0.00387	0.00359
2000	0.00452	0.00459	0.00449	0.00458	0.00455	0.00458	0.00460

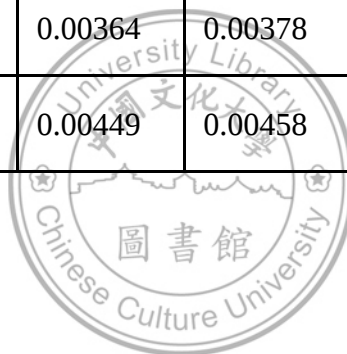
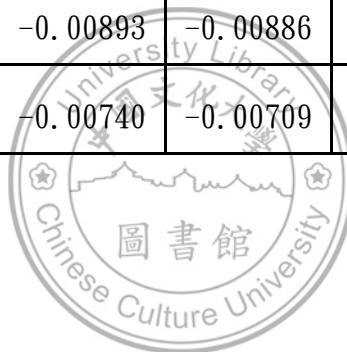


表3 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，上午8時近地面層之對流穩定度的週變化。

高 度 (公尺)	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
100	-0.04472	-0.03483	-0.04652	-0.04213	-0.04360	-0.03775	-0.04011
300	-0.01864	-0.01424	-0.01907	-0.01901	-0.01877	-0.01498	-0.01827
500	-0.01194	-0.00987	-0.01212	-0.01281	-0.01288	-0.01031	-0.01336
1000	-0.00877	-0.00778	-0.00893	-0.00886	-0.00943	-0.00771	-0.00956
2000	-0.00707	-0.00710	-0.00740	-0.00709	-0.00716	-0.00674	-0.00775



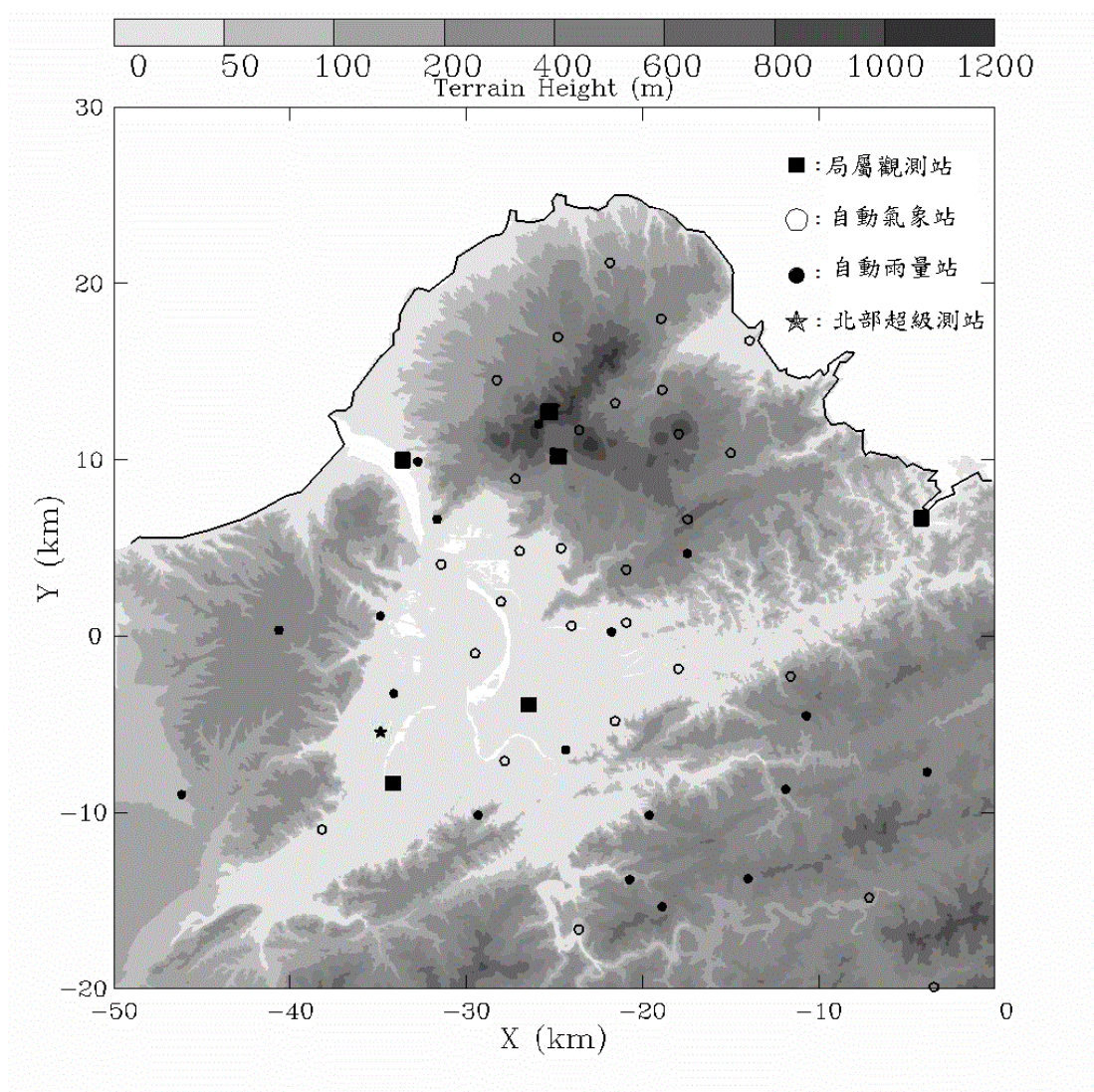


圖2.1 本研究所使用的所有氣象地面觀測站與環保署北部超級測站位置，測站屬性標示於右上側。

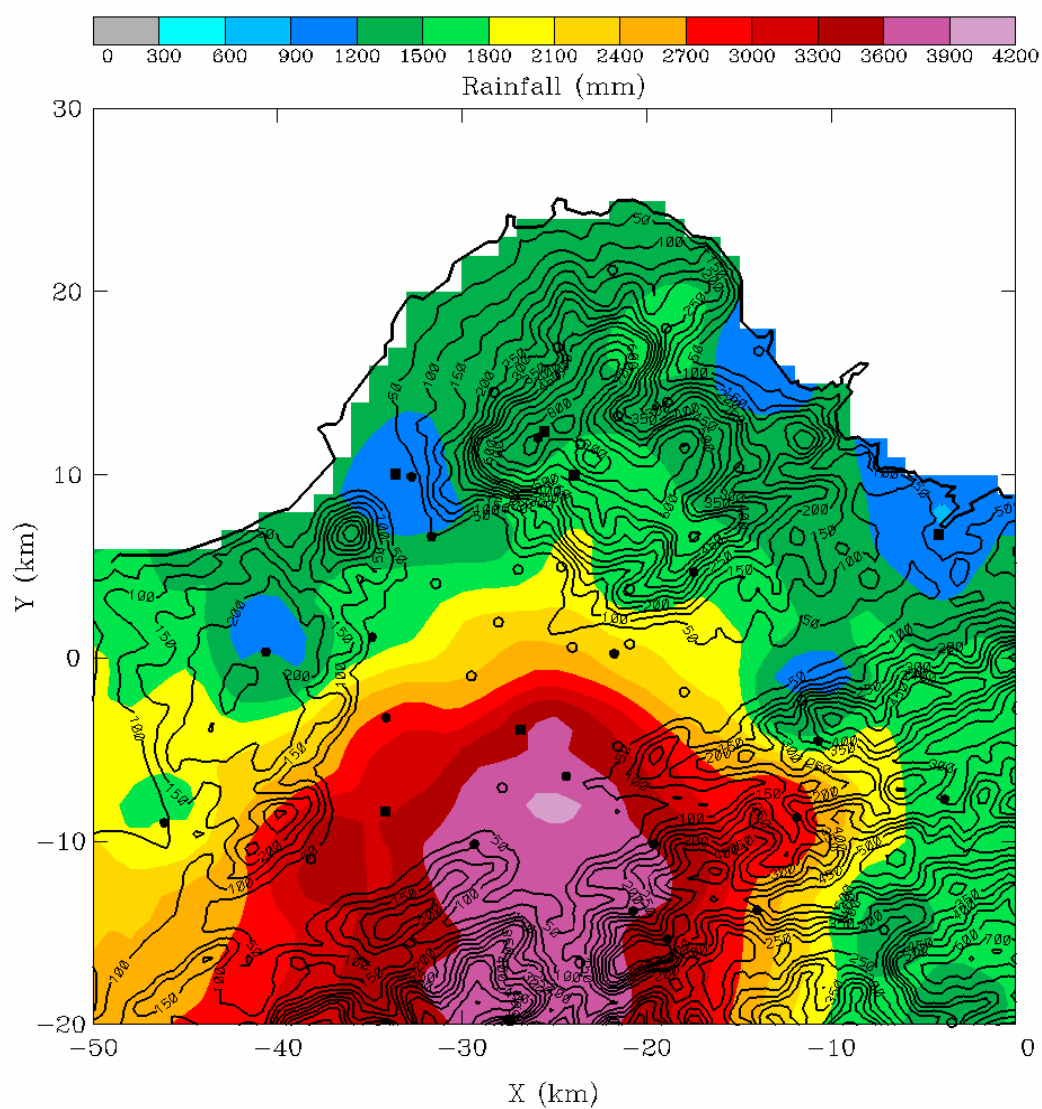


圖3.2 1999年至2008年夏季弱綜觀環境下台北盆地的累積雨量圖。計算出各測站的累積次數後，再以 Cressman(1959)的權重函數將其轉為網格資料繪製而成，色階代表累積雨量（單位為公釐），間距如圖上所標示，黑色等值線表示地形高度（單位為公尺），實心方塊代表局屬站，空心圓圈代表自動氣象站，實心圓圈代表自動雨量站。

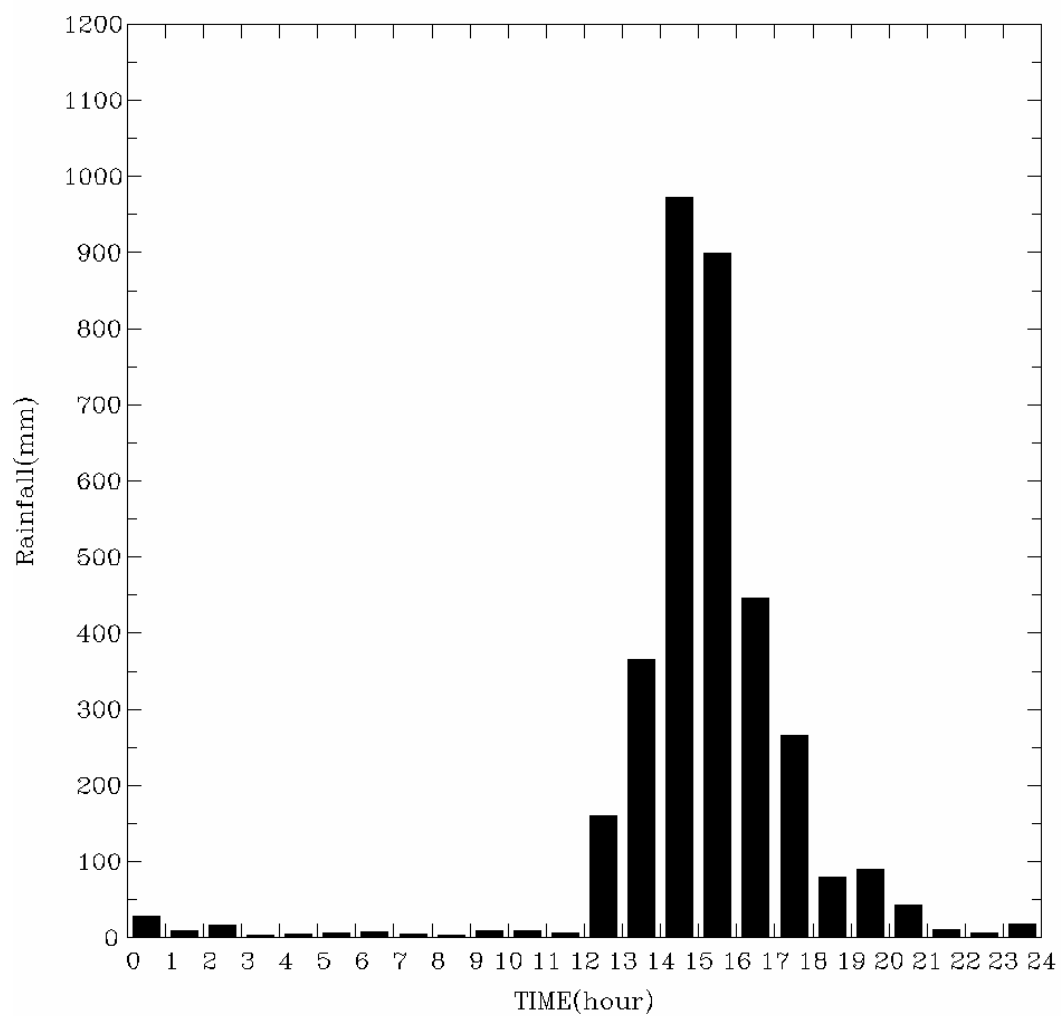


圖 3.3 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，台北盆地鄰近的所有測站平均累積降雨量與時間的關係圖，X軸代表時間(地方時間制，單位為小時)，Y軸為累積雨量(單位為公釐)

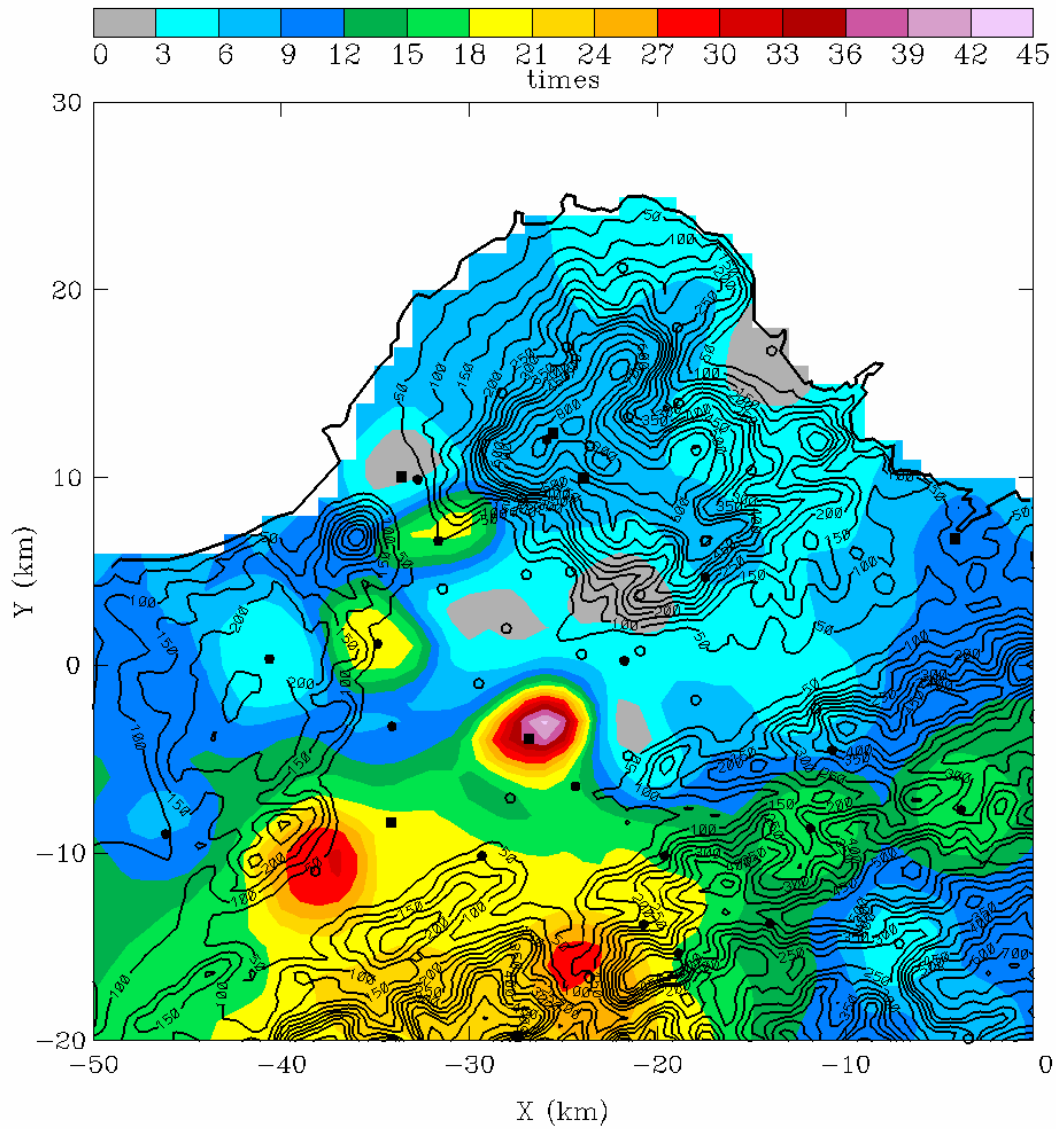


圖3.4 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，午後單日最強時雨量的測站位置次數分佈圖。計算出各測站的累積次數後，再以 Cressman(1959)的權重函數將其轉為網格資料繪製而成，色階代表累積次數，間距如圖上所標示，黑色等值線表示地形高度（單位為公尺），實心方塊代表局屬站，空心圓圈代表自動氣象站，實心圓圈代表自動雨量站。

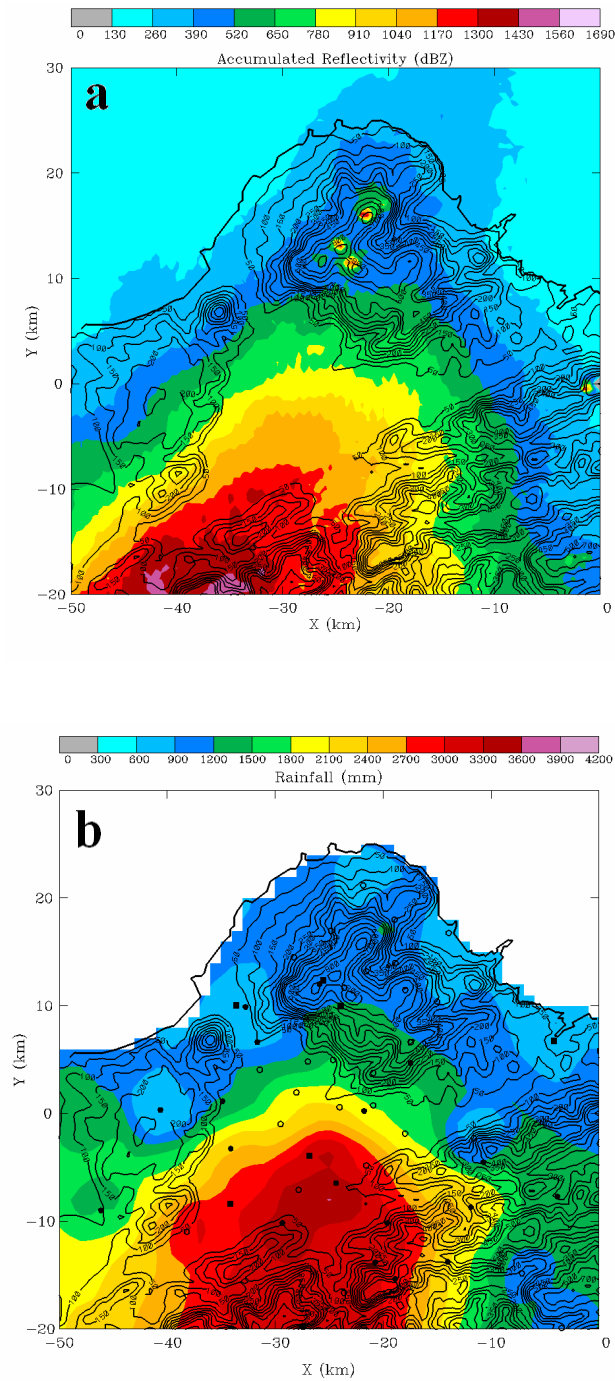


圖3.5 (a)1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，午後累積雷達回波圖(大於 30 dBZ)，色階為累積雷達回波次數(單位為次數，間距如圖上所示)，黑色等值線代表地形高度(單位為公尺)。(b)同圖 3.2各測站累積雨量圖，但雨量累積時間改為午後(12時~18時)。

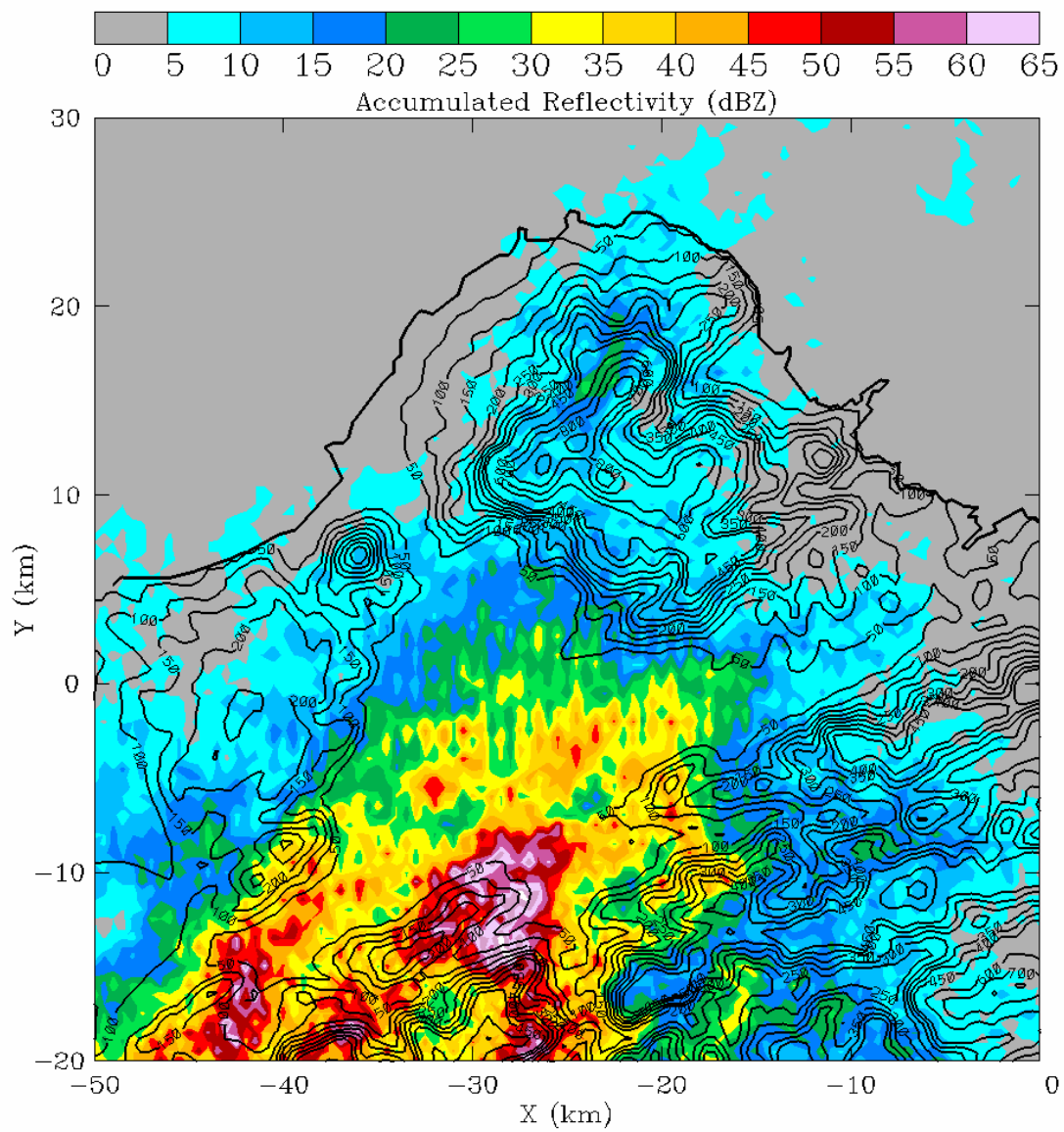


圖3.6 同圖3.5a，但將午後累積雷達回波改為大於 50 dBZ 。

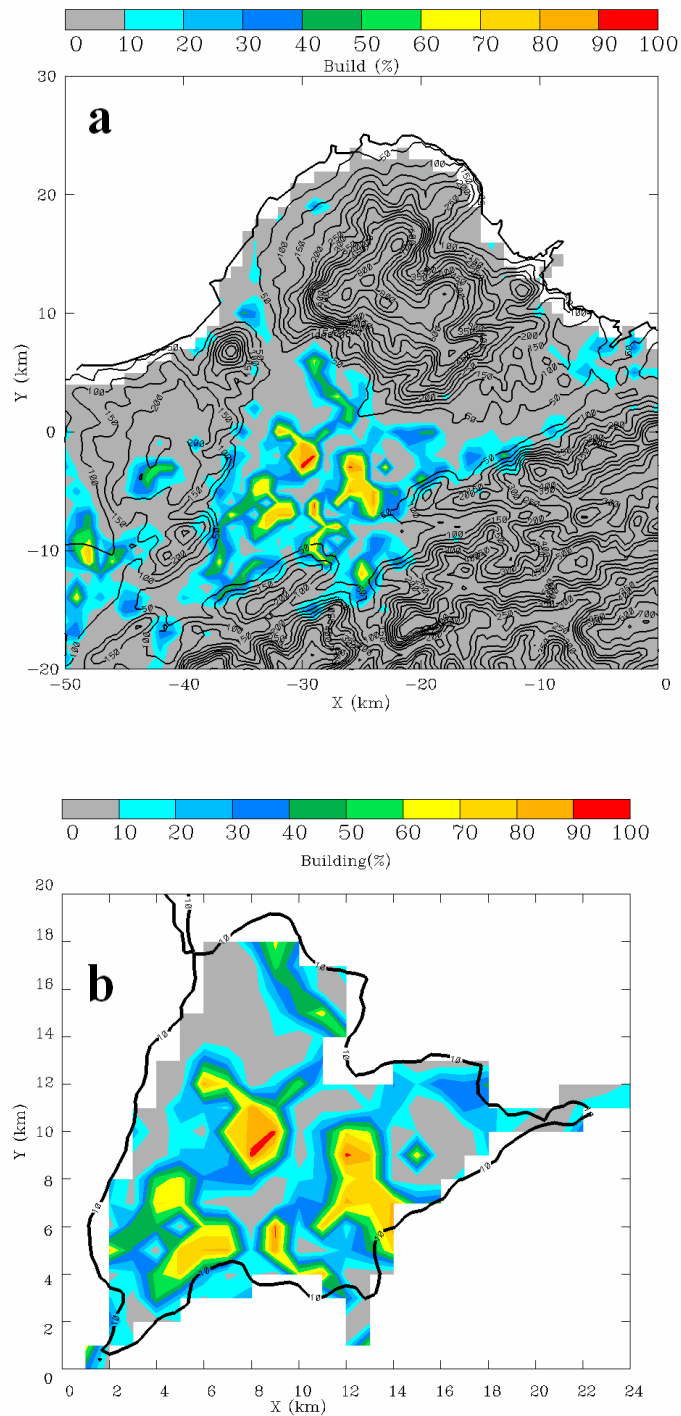


圖4.1 (a) 2002 年臺北盆地建築物百分比圖，由中鼎工程顧問公司數位化內政部 2002 年所出版的台灣地區高解析度的土地利用資料。色階為每一網格點內建築物的百分比（單位為百分比，間距如圖上所標示），黑色等值線代表地形高度（單位為公尺）。（b）同（a）但將研究範圍縮小，黑色等值線代表地形10公尺的高度。

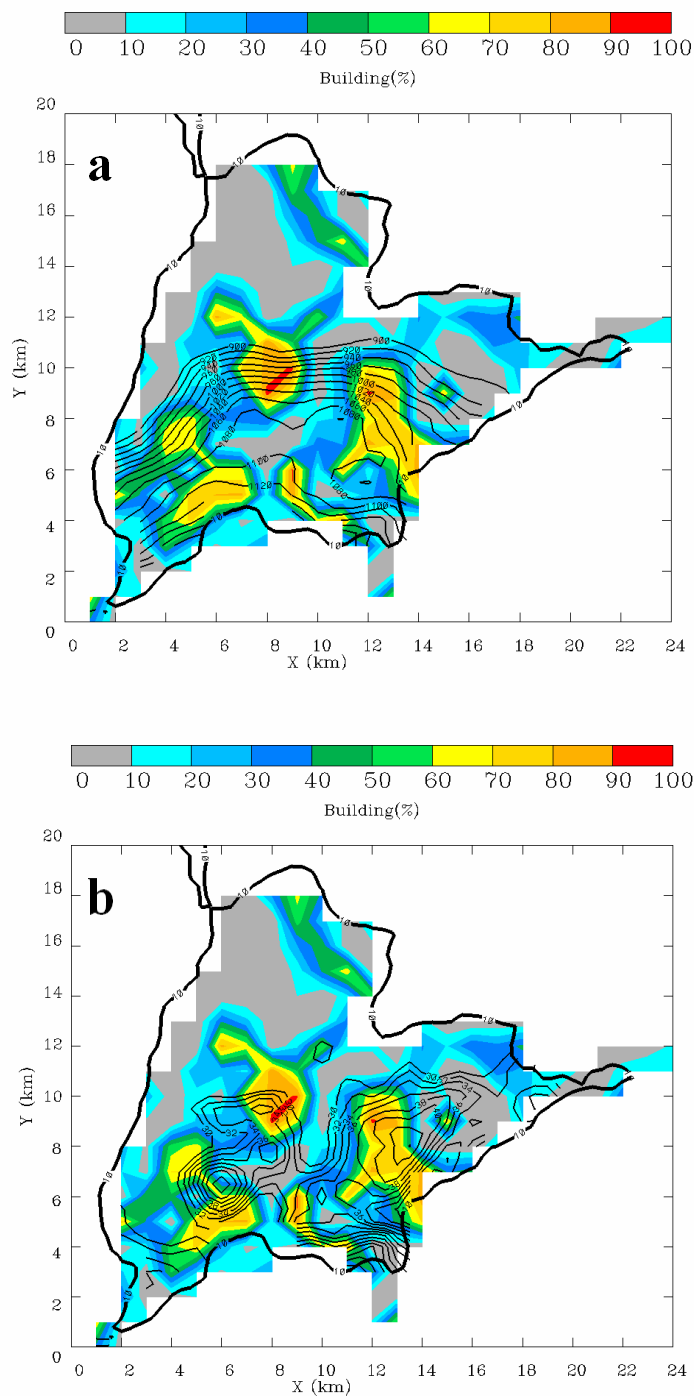


圖4.2 (a)建築物百分比與累積雷達回波(大於30dBZ)，色階為建築物的百分比(單位為百分比，間距如圖上所標示)，粗黑色等值線代表 10公尺地形高度，細黑色等值線代表雷達累積回波高次數區域(單位為次數)，間距為20次。雷達累積回波時間為 1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數的午後12~18時。(b)同(a)但將雷達累積回波改為大於 50dBZ，間距為2次。

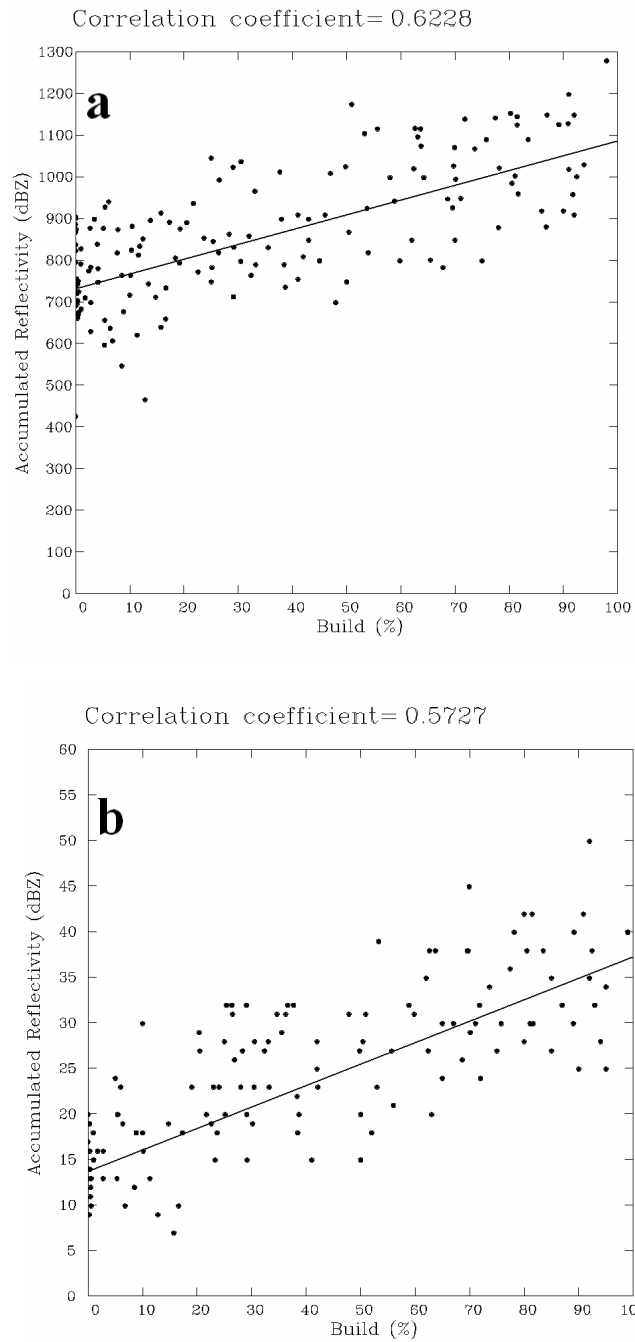


圖4.3 (a)在地形高度10公尺以下，所有網格點內的建築物百分比與午後累積雷達回波(大於 30 dBZ)的關係圖。X軸為建築物的百分比，Y軸為累積雷達回波，圖中黑色實線為線性迴歸線，相關係數顯示在圖上方。累積雷達回波時間為 1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數的午後12~18時。(b) 同(a)，但將午後累積雷達回波改為大於 50 。

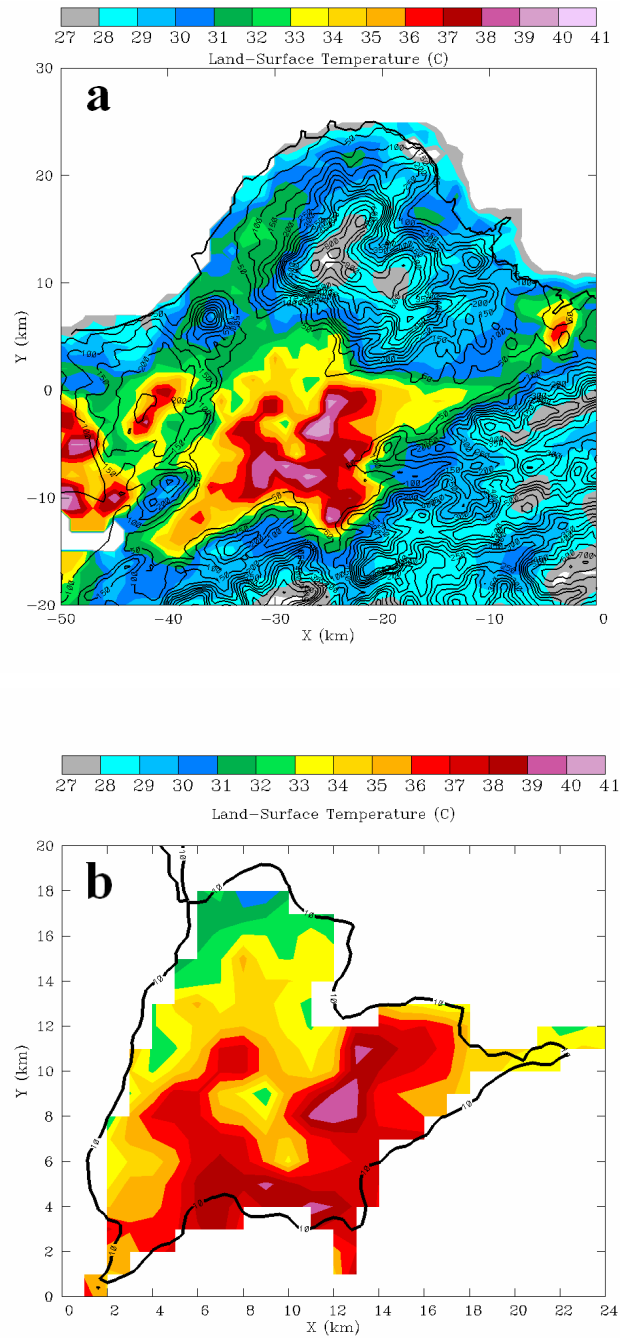


圖4.4 (a)圖為 MODIS 衛星所觀測的地表溫度平均圖，色階代表平均溫度（單位為 $^{\circ}\text{C}$ ，間距為圖上所標示），黑色等值線代表地形高度（單位為公尺）。平均時間為 2006年~2008年夏季 MODIS 衛星有觀測地表溫度的弱綜觀環境下所有天數。 (b) 同(a)，但將研究範圍縮小，黑色等值線代表地形10公尺的高度。

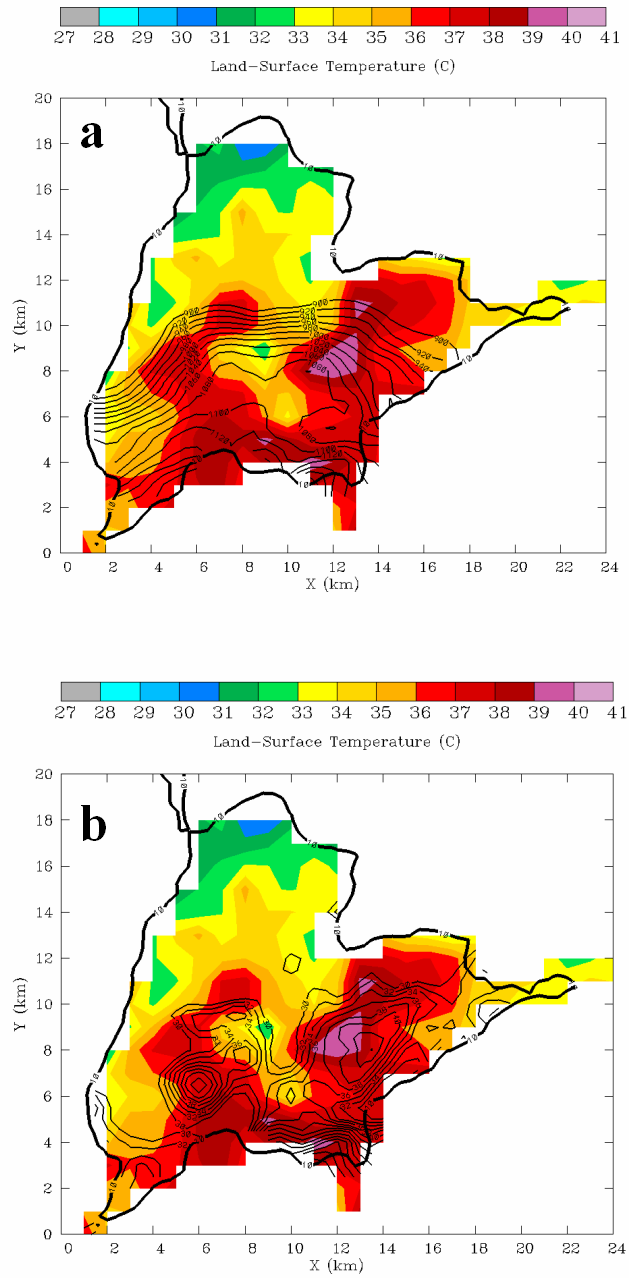


圖4.5 (a)平均地表溫度與累積雷達回波(大於30dBZ)的關係圖，色階為平均地表溫度(單位為 $^{\circ}\text{C}$ ，間距如圖上所標示)，粗黑色等值線代表10公尺地形高度，細黑色等值線代表雷達累積回波高次數區域(單位為次數)，間距為20次。雷達累積回波時間為1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數的午後12~18時。(b)同(a)但將雷達累積回波改為大於50dBZ，間距為2次。

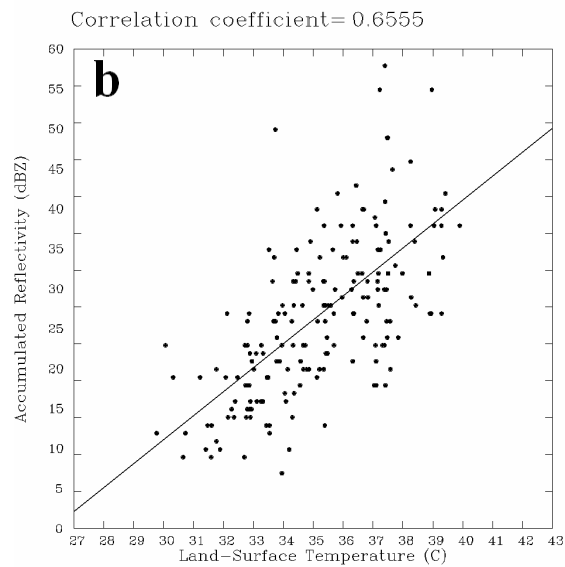
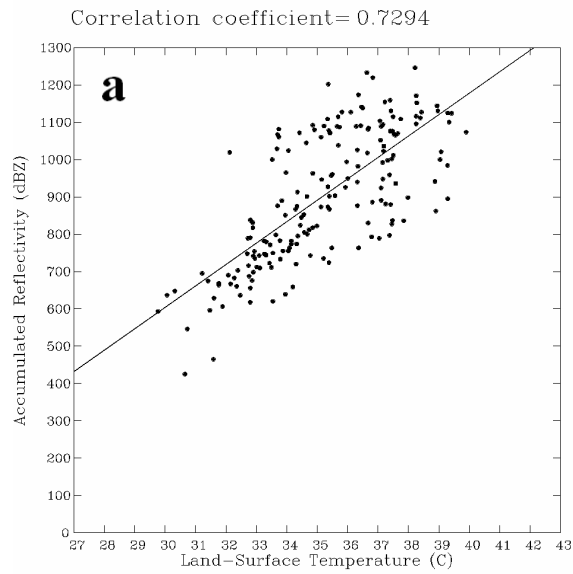


圖4.6 (a)在地形高度10公尺以下，所有網格點內的平均地表溫度與午後累積雷達回波(大於 30dBZ)的關係圖。X軸為平均地表溫度，Y軸為累積雷達回波，圖中黑色實線為線性迴歸線，相關係數顯示在圖上方。累積雷達回波時間為 1999年~2008年夏季弱綜觀環境所有天數的午後12~18時。(b) 同(a)，但將午後累積雷達回波改為大於 50 dBZ。

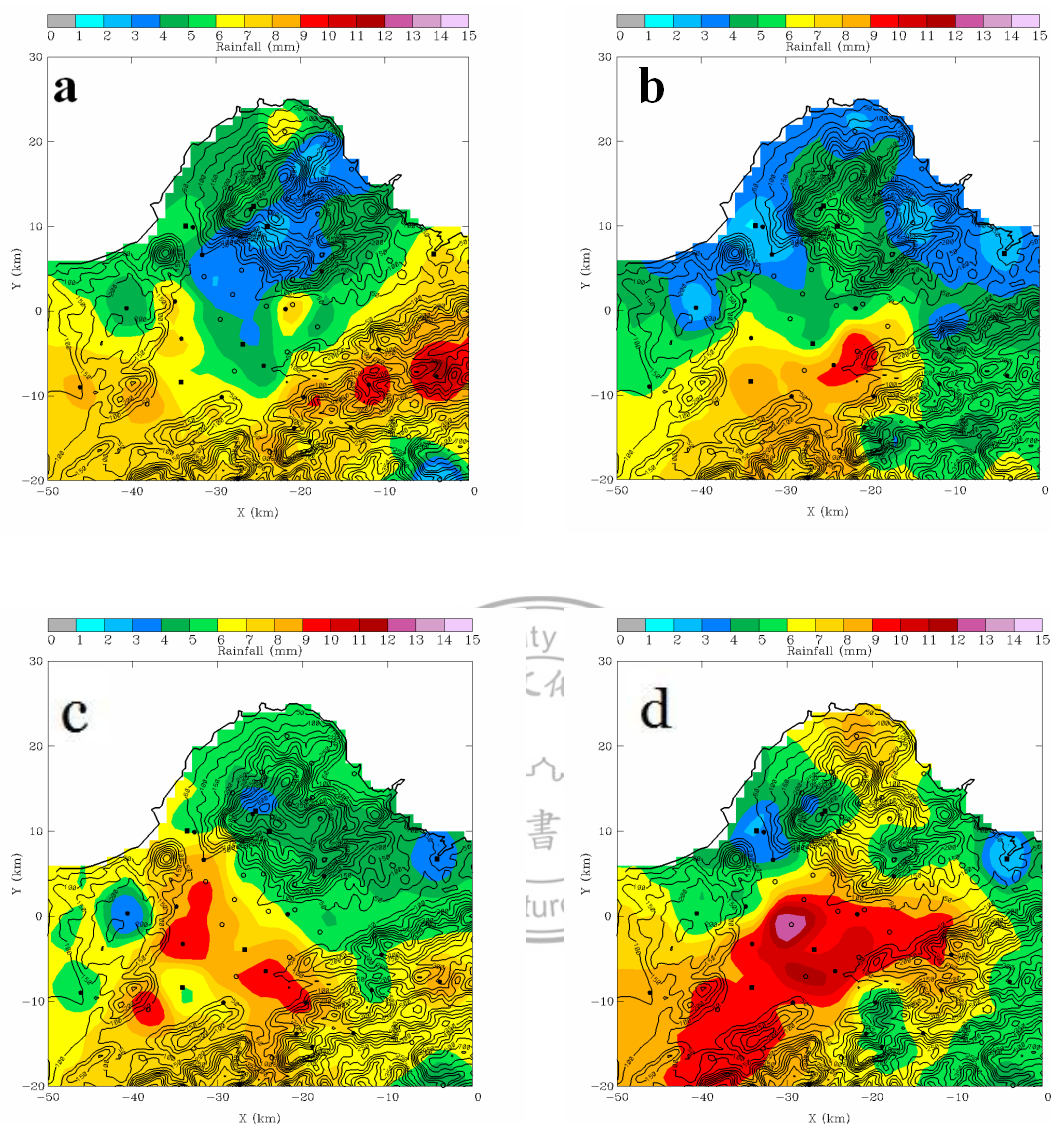


圖5.1 (a)星期日；(b)星期一；(c)星期二；(d)星期三；(e)星期四；(f)星期五；(g)星期六。1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，台北盆地的午後平均時雨量圖。計算出各測站的平均時雨量後，再以 Cressman(1959)的權重函數將其轉為網格資料繪製而成，色階代表平均時雨量（單位為公釐），間距如圖上所標示，黑色等值線表示地形高度（單位為公尺），實心方塊代表局屬站，空心圓圈代表自動氣象站，實心圓圈代表自動雨量站。

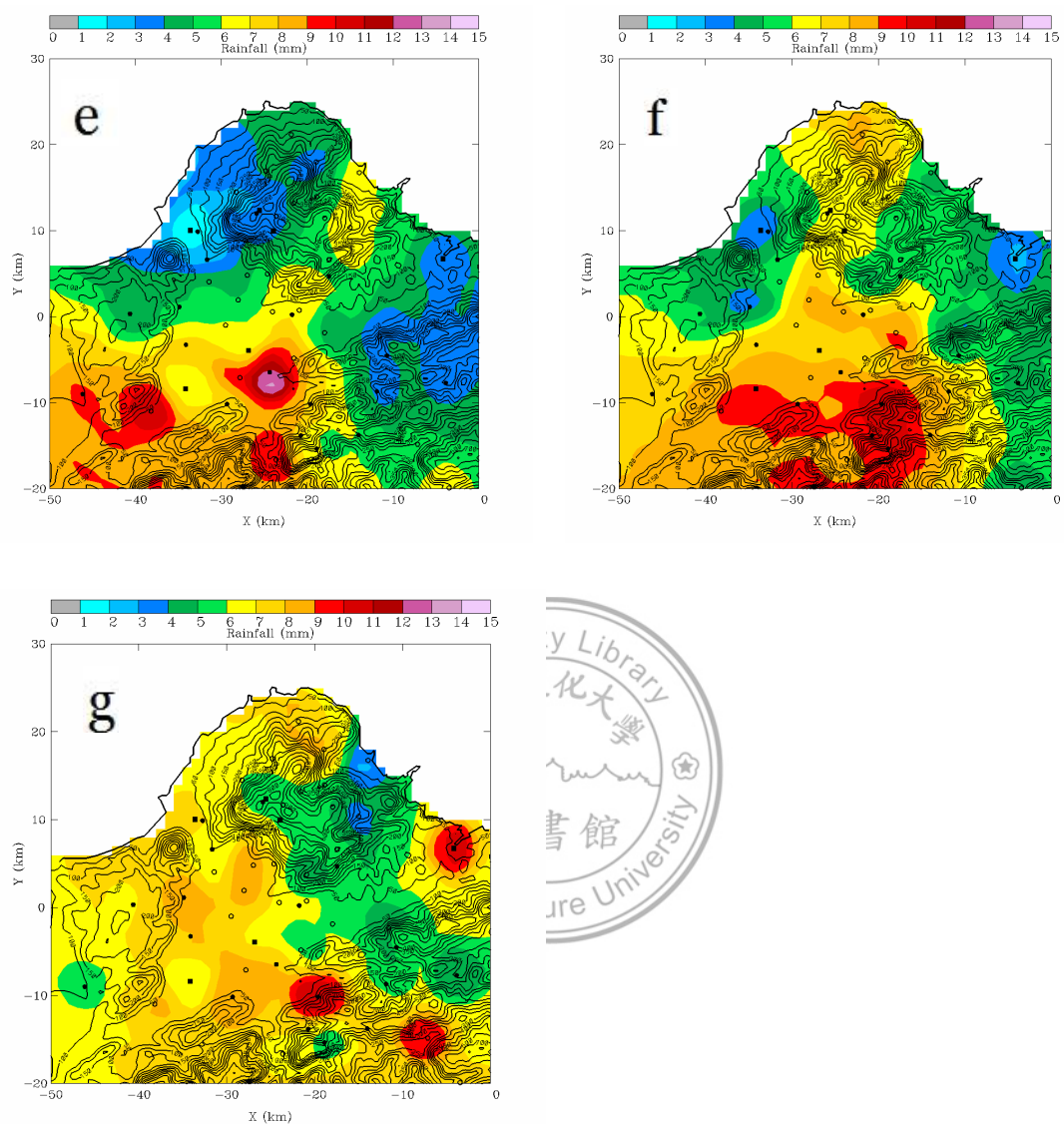


圖5.1 (續)

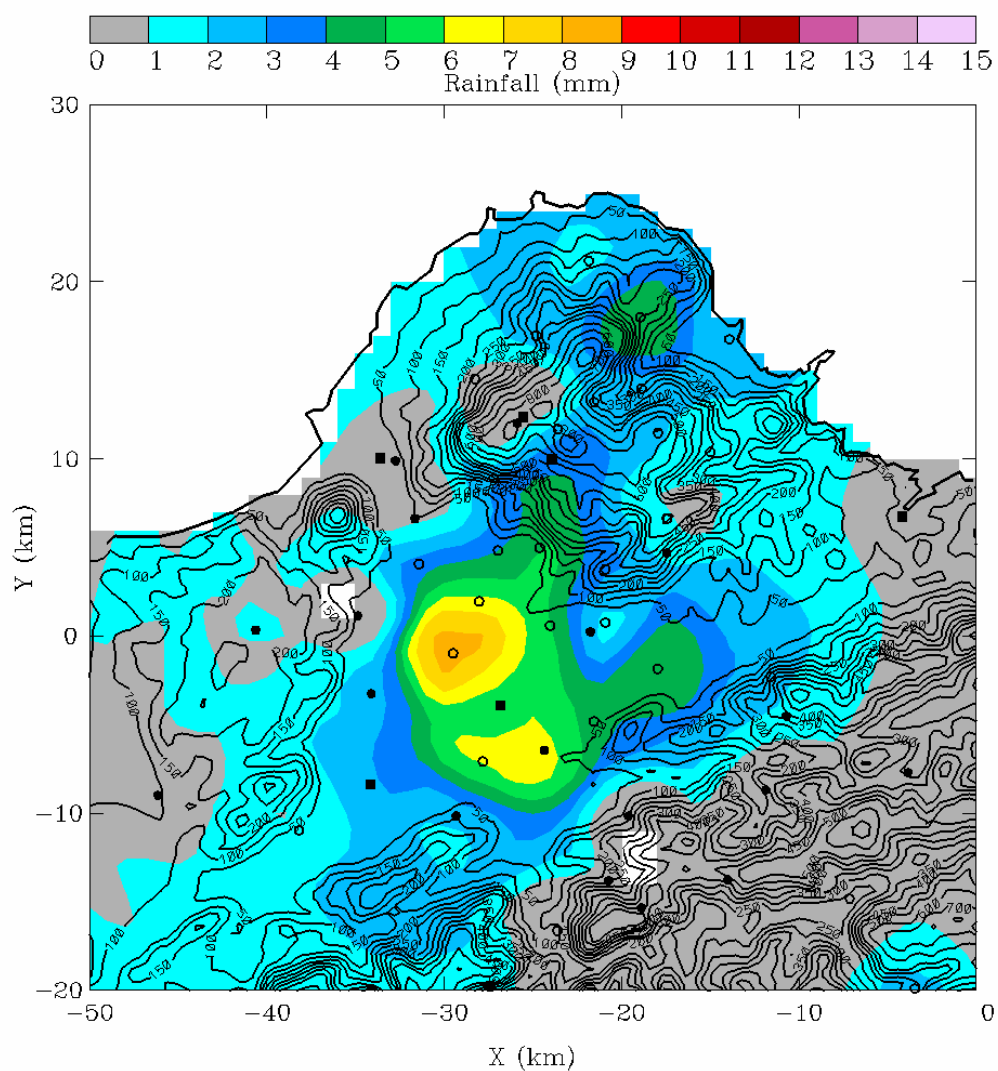


圖5.2 1999~2008年夏季弱綜觀環境下星期三的各測站午後平均時雨量，扣除星期日各測站午後平均時雨量的差值圖，再以Cressman(1959)的權重函數將其轉為網格資料繪製而成，色階代表平均時雨量差值（單位為公釐），間距如圖上所標示，黑色等值線表示地形高度（單位為公尺），實心方塊代表局屬站，空心圓圈代表自動氣象站，實心圓圈代表自動雨量站。

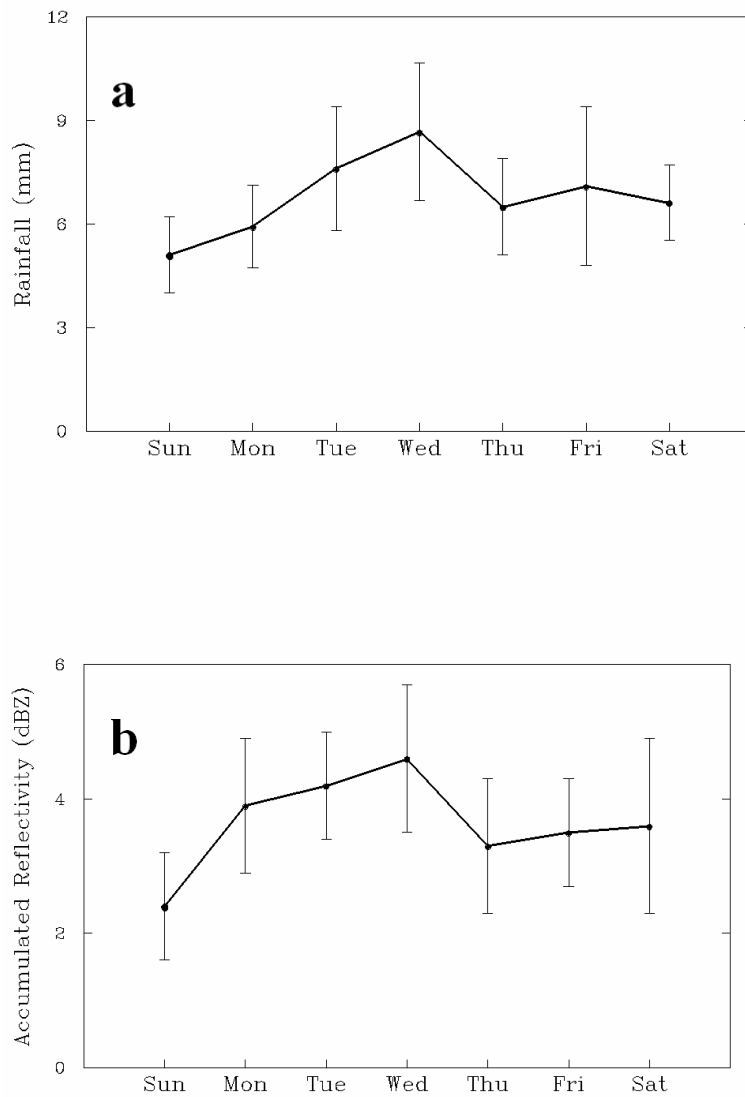


圖5.3 (a)1999年~2008年台北盆地地形高度 50 公尺以下所有測站的午後平均時雨量圖。圖中細線代表正負標準差值。 (b)1999年~2008年台北盆地地形高度 50 公尺以下午後平均的累積雷達回波(大於30 dBZ) 圖。

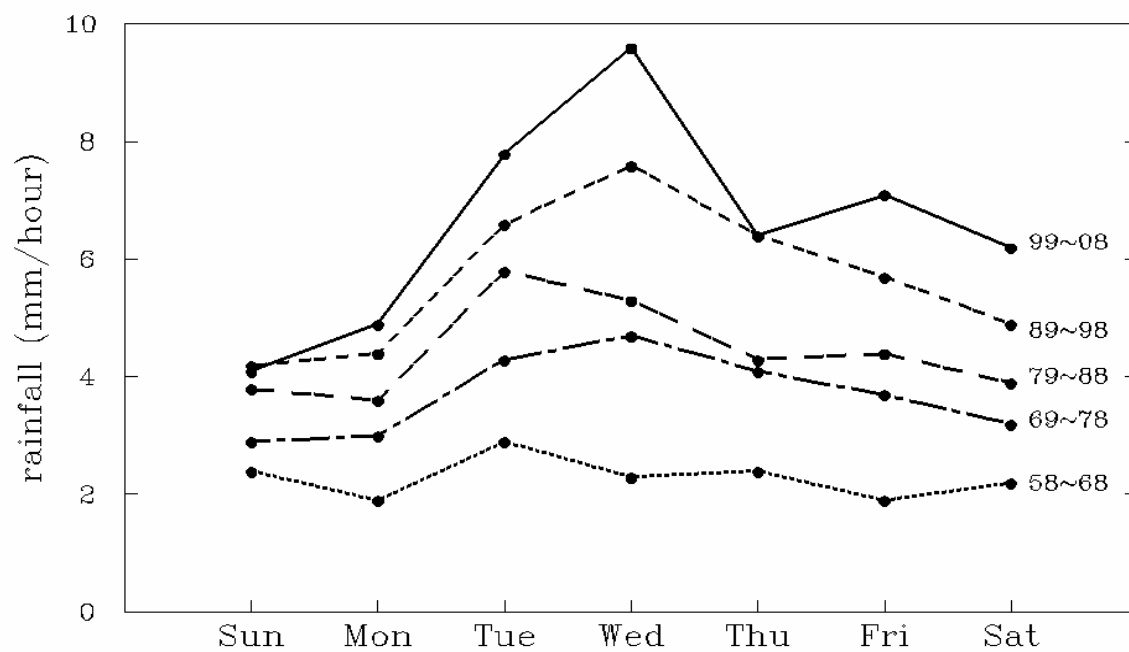


圖5.4 1958年~2008年7、8月弱綜觀環境下，以 10 年為一單位的星期一~星期日台北局屬站午後平均時雨量圖。圖中各線條所代表的年份以標示在圖片右側。

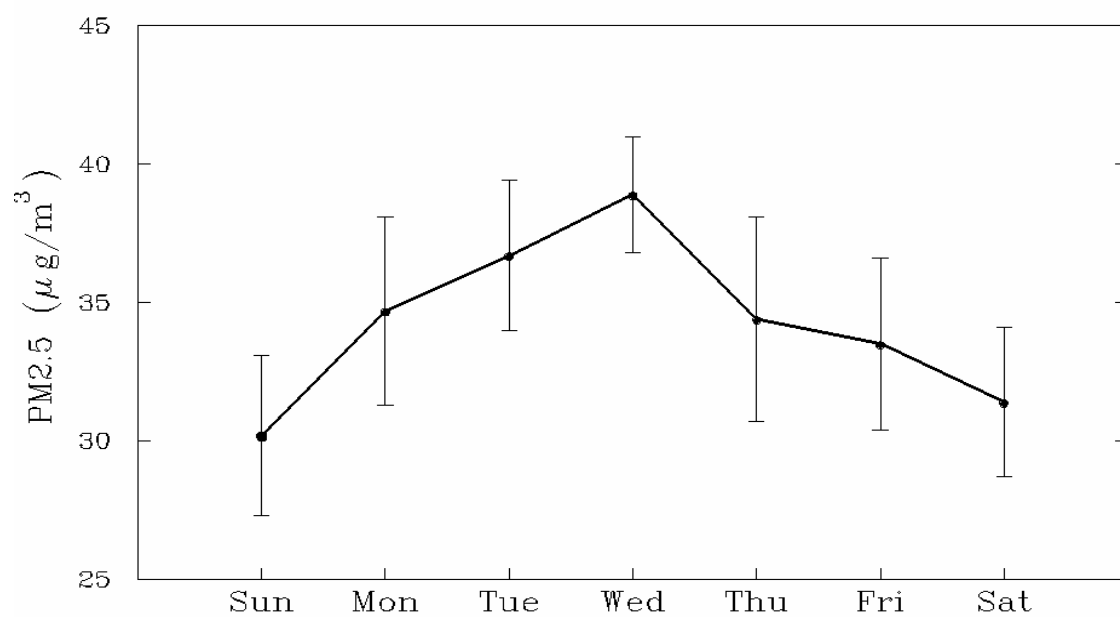


圖5.5 2002年~2008年夏季弱綜觀環境下，北部超級測站於上午 11 時的 PM2.5 懸浮微粒濃度平均圖。X軸從左側~右側分別為星期日~星期六；Y軸則是懸浮微粒濃度。

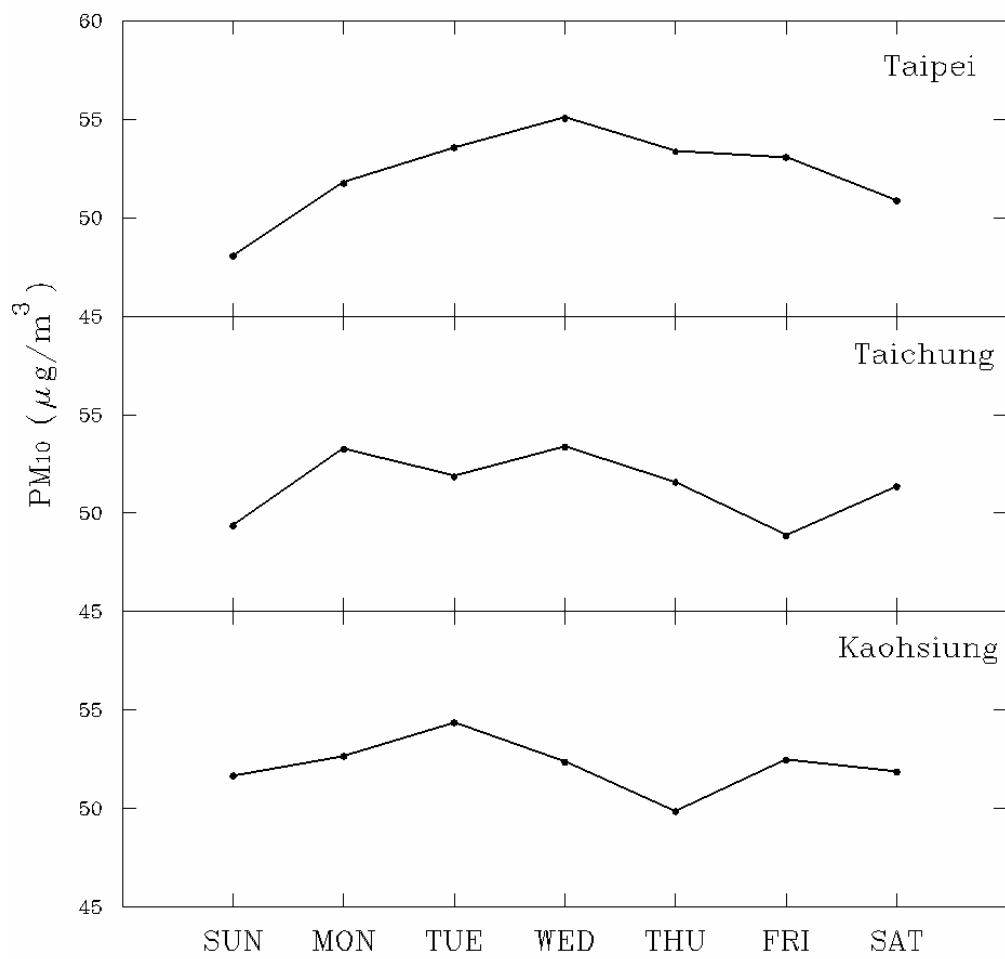


圖5.6 1999~2008年夏季弱綜觀環境下，台北、台中、高雄三大都會區內，所有懸浮微粒監測站於上午11時的 PM10 平均濃度週變化圖。

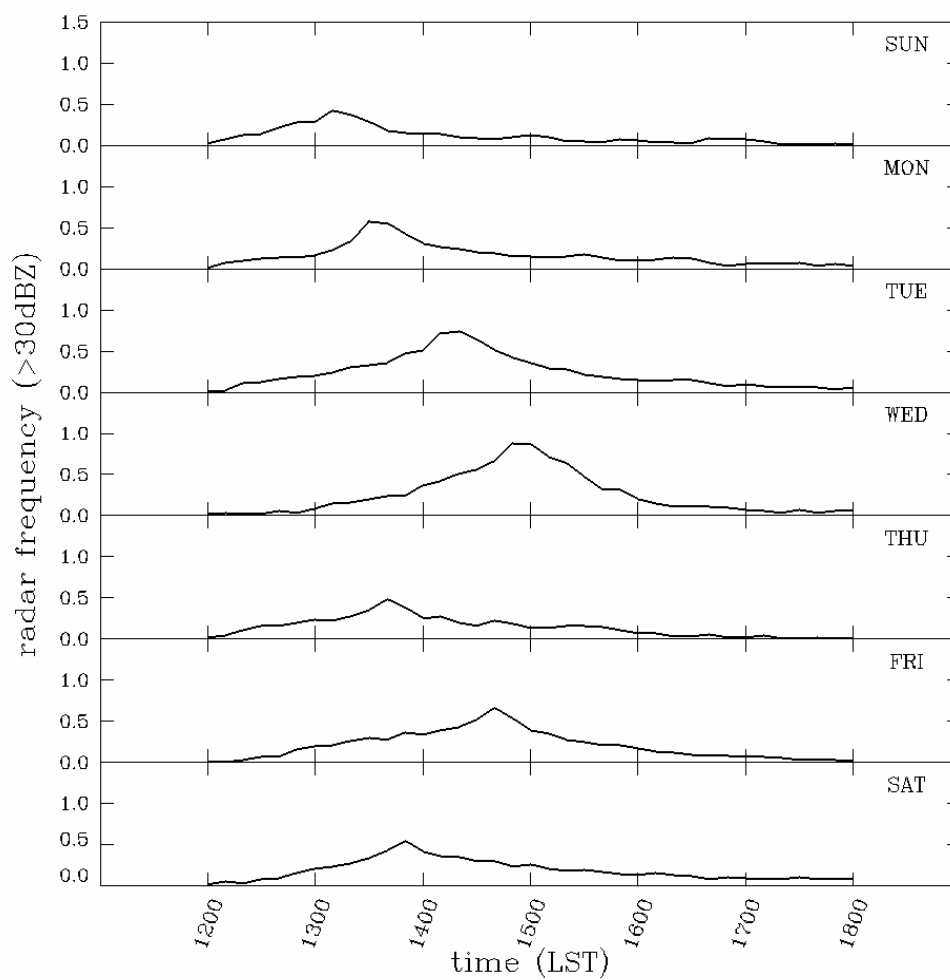


圖5.7 1999年~2008年夏季弱綜觀環境下，地形高度 50 公尺以下，以10分鐘為一個單位的平均午後累積雷達回波圖(大於 30 dBZ)。

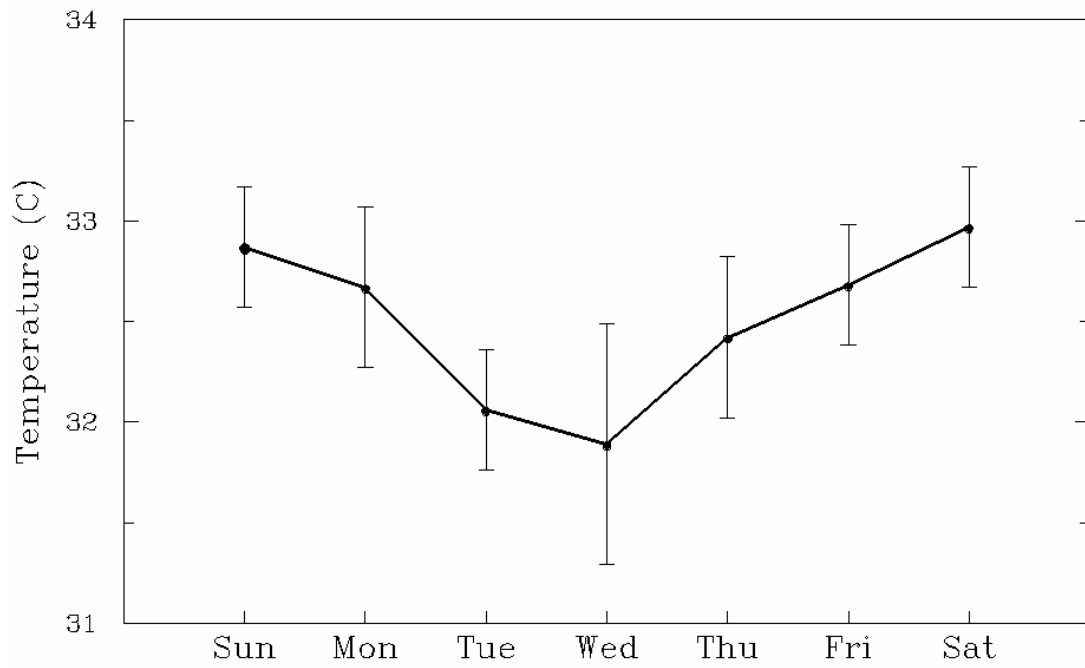


圖5.8 1999~2008年夏季弱綜觀環境下，其禮拜一~禮拜日台北盆地地形高度50公尺以下所有測站於上午11時的平均溫度圖。

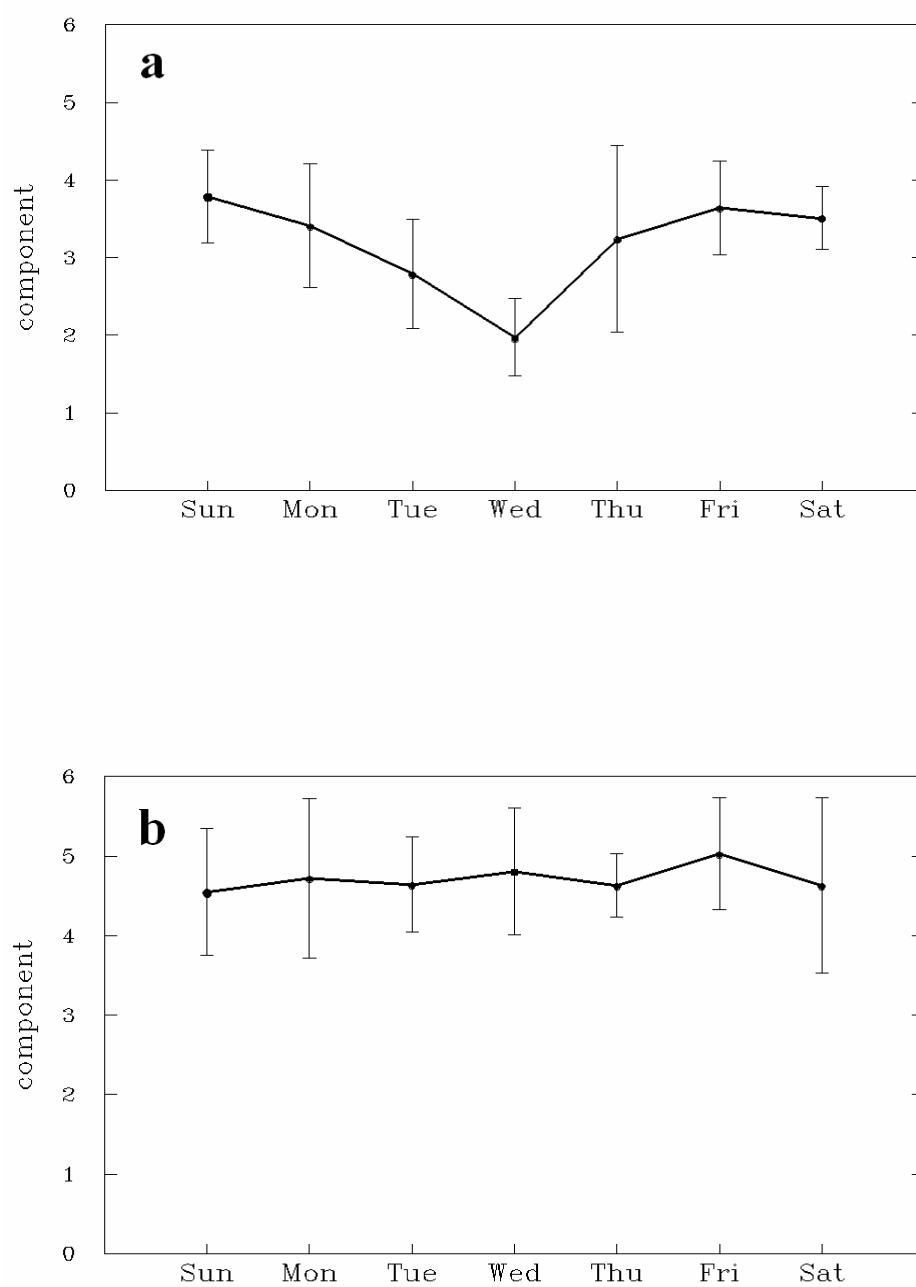


圖5.9 (a)1999~2008年夏季弱綜觀環境下，淡水河口於上午 11 時的平均海風分量的週變化圖 (b) 同(a)但為基隆河口。

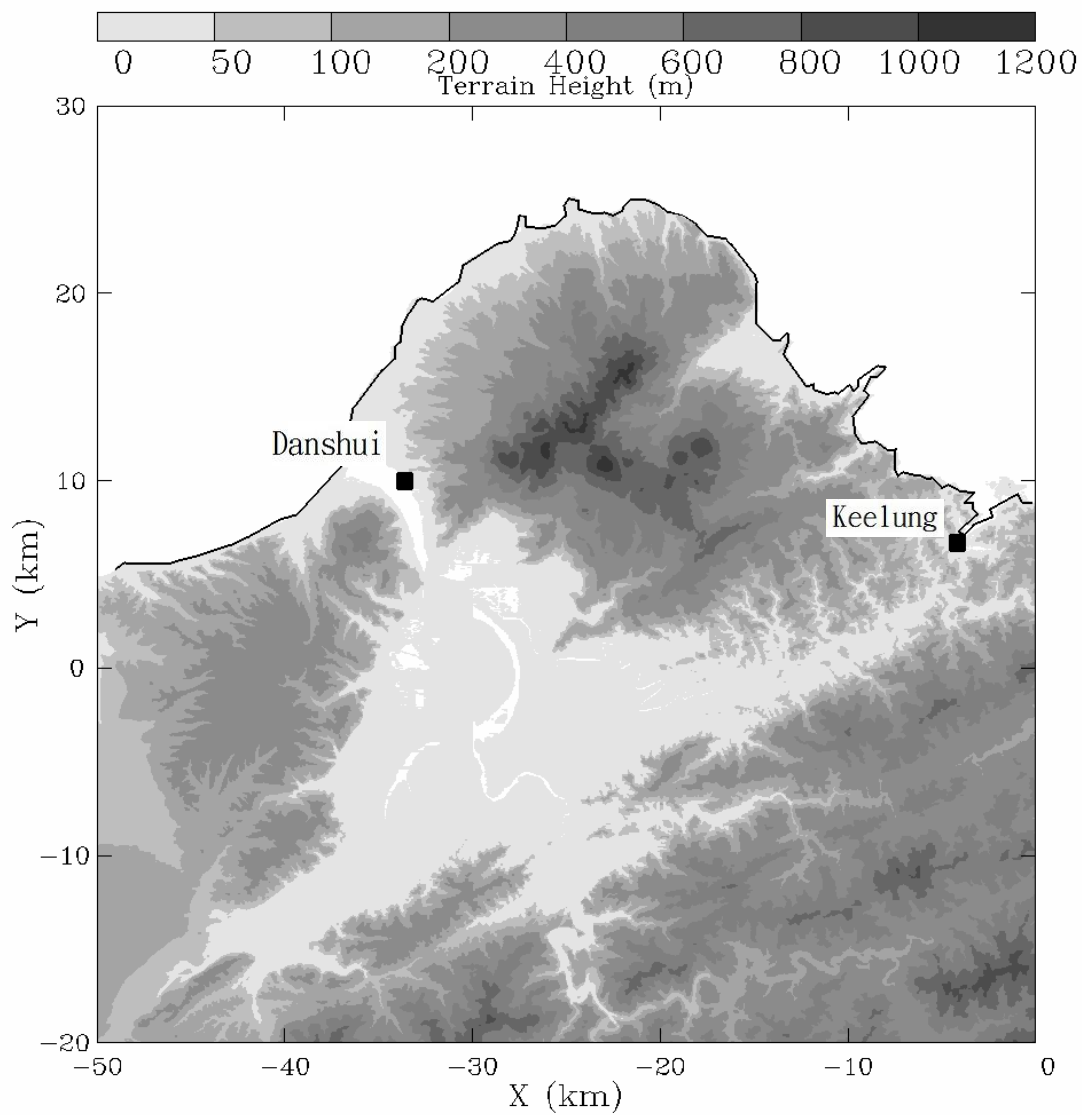


圖5.10 北台灣的地形分佈，圖中的方塊分別代表基隆與淡水局屬站，測站名稱各標示在方塊左側。影響基隆海風分量沒有週變化的原因可能為，基隆局屬站的背後有山脈阻擋，且距離台北都會區較遠所導致

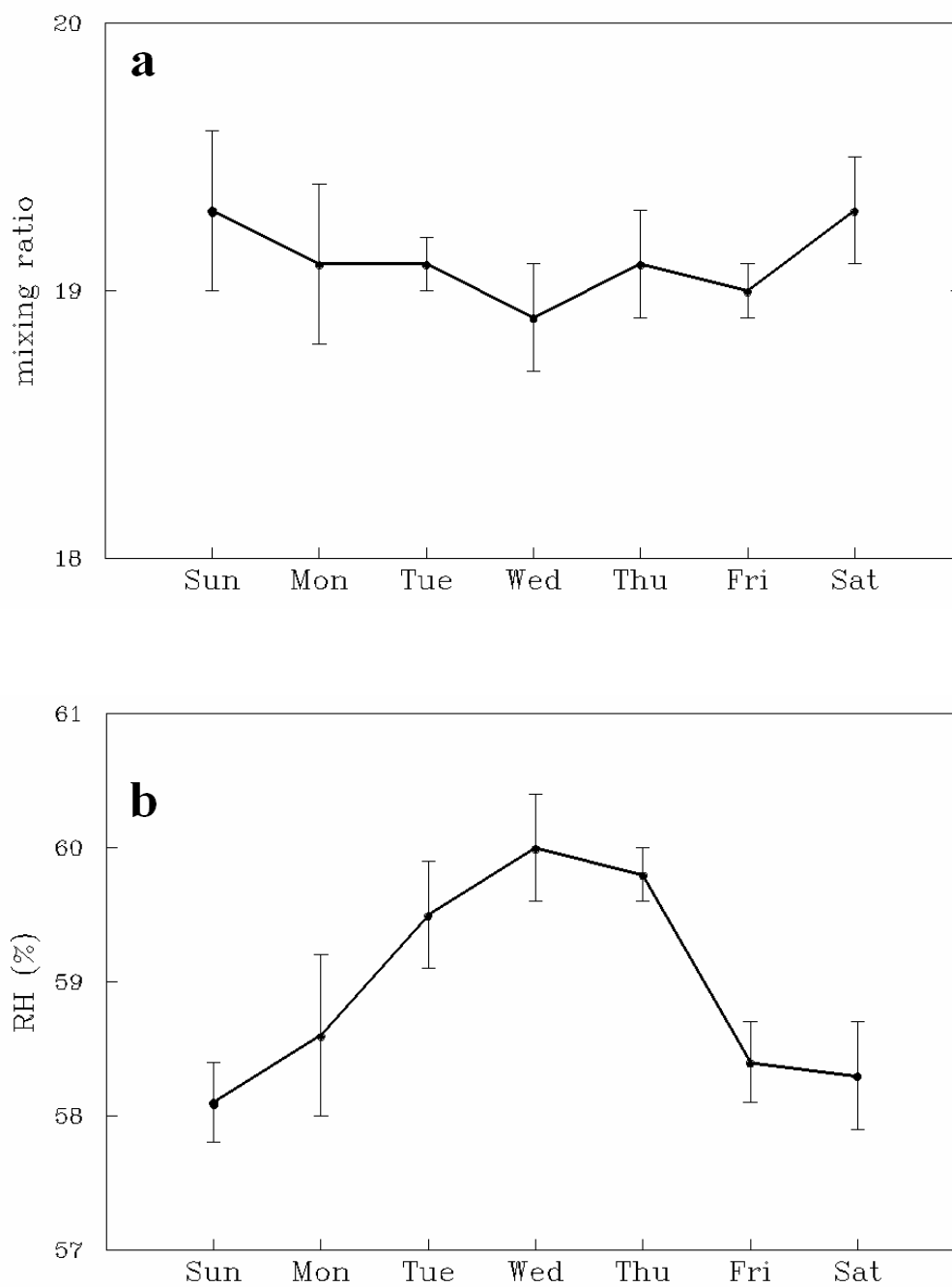


圖5.11 (a)1999~2008年 夏季弱綜觀環境下，台北盆地地形高度 50 公尺以下所有測站於上午11時平均混合比的週變化 (b) 同(a)但改為相對濕度。