

熱島效應對臺北都會區水文型態之影響評估

Assessment of the Impacts of the Urban Heat Island Effect on the Hydrological Features in Taipei Metropolitan

國立臺灣大學
氣候天氣災害研究中心
助理研究員

潘宗毅

Tsung-Yi Pan

國立臺灣大學
氣候天氣災害研究中心
研究助理

陳思璋

Szu-Wei Chen

國立臺灣大學
大氣科學系
研究助理

廖啟勳

Chi-Shuin Liao

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
博士後研究員

張高華

Kao-Hua Chang

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
教授

張倉榮*

Tsang-Jung Chang

摘要

臺灣地區受到氣候變遷與熱島效應等大小尺度天氣氣候變異之影響，許多地區不斷在不同延時之累積降雨量上打破歷年紀錄，對於都會區之防洪能力造成相當大之衝擊。其中，區域排水之設計標準因小於河川堤防之標準，故近年短延時極端降雨之事件多直接衝擊地方政府之防洪系統，進而引致局部地區積淹水之內水型淹水災害。本研究以臺北都會區為研究區域，應用統計及數值方法探討都市發展後所引致之熱島效應對於降雨在時空域上之變化。

本研究由統計方法發現熱島效應引致午後熱對流之雨帶開始向都會區移動，臺北市南邊及新北市的中和、永和及新店區皆有明顯降雨強度增加之趨勢。由數值方法模擬溫度變化與雨量分布變化結果顯示臺北都會區溫度熱島效應的存在已對於都會區的雨量分布造成影響。最後提出臺北都會區受熱島效應影響後之淹水風險升高區域，期驥提供未來都市防洪策略、水文設計之參考。

關鍵詞：熱島效應，水文分析，數值分析，淹水災害。

*通訊作者，國立臺灣大學生物環境系統工程學系教授，10617 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號，tjchang@ntu.edu.tw

ABSTRACT

Due to the influence of climate change and urban heat island (UHI) effect on the variation of climate and weather, record-breaking cumulative rainfalls happen in many regions in Taiwan, and the extreme rainfall events threat to the capacity of flood prevention in those regions. Because the designed capacity of a regional drainage system is lower than that of a river levee, more regional inundations induced by short-duration extreme rainfall events happen frequently. This study selects Taipei metropolitan as the study area, and applies statistic and numerical methods to investigate the impacts of the UHI effect on the hydrological features.

The statistic results show that not only the rain band of the afternoon convection influences by the UHI effect moves to central area, but also the cumulative rainfall increases significantly in southern Taipei city and Zhonghe, Yonghe and Xindian of New Taipei city. The numerical results show that the UHI effect changes the spatial distribution of rainfalls in Taipei metropolitan. Finally, this study provides the area in where the flood risk is raised due to the UHI effect in Taipei metropolitan, and the information could be the reference for further urban flood prevention and hydrological design.

Keywords: Urban heat island effect, Hydrological analysis, Numerical analysis, Flood disaster.

一、前言

臺灣地區受到氣候變遷與熱島效應等大小尺度天氣氣候變異之影響，許多地區不斷在不同延時之累積降雨量上打破歷年紀錄，對於都會區之防洪能力造成相當大之衝擊。臺灣針對不同空間尺度之水利防洪設施皆有不同之設計標準。中央管河川多以 100 年重現期之計畫洪水進行堤防高度之設計且設計暴雨多屬大於 24 小時之長延時降雨(淡水河流域為 200 年重現期保護標準)，然而地方政府所轄之區域排水系統則多以 10 年頻率保護，25 年不溢堤為目標，且因集流時間較短，其設計暴雨多採用小於 12 小時之短延時降雨(內政部營建署，2010)。爰此，近年來短延時極端降雨之事件頻仍(王與賴，1984；盧孟明等，2007)，直接衝擊地方政府之防洪系統，進而引致局部地區積淹水之內水型淹水災害(王宣賀，2009)。

臺北都會區為臺灣第一大都會區，臺北盆地

內高度的經濟發展、密集的人口集中與大規模的都市開發，造成鋼筋混凝土的高樓大廈，以及道路、商場等其他不透水構造物遍佈，使得都市溫度比鄰近郊區高，並且夜間都市因降溫較慢，將使日夜溫差逐步縮小，此即為熱島效應(Cotton and Pielke, 1996)。另因都市地表遍佈高樓大廈，讓地表糙度(surface roughness)提高形成阻力，因此近地表氣流通過都市時會減速並在都市下風處形成輻合產生降雨(Draxler, 1986; Fujibe, 2003; Jauregui, 1996; Morris, 2001; Otte *et al.*, 2004; Saitoh *et al.*, 1996; Shepherd, 2005)。

Chen *et al.* (2007)研究臺北盆地的都市化發現，從 1960 年~2005 年間觀測，臺北地區受到熱島效應顯著增溫的影響，過去 45 年內雷雨發生次數增加了 70%，使得臺北的夏季雨量遽增了 80%，觀測數據已清楚顯示熱島效應如何影響午後雷暴雨在臺北盆地發生。Lin (2008a)與劉等人(2003)在研究西部熱島效應時指出，原應在山區降水之對流系統，因市區增溫比郊區快，進而增

強對流系統，使得降水位置改變提早發生於下風處。

透過上述文獻可知，數十年都市化已使臺北都會區容易造成地表增溫，而發生顯著的都市熱島效應，進而改變垂直空氣對流結構，讓午後暴雨發生機率提高，增加致災危險性。本研究從都市防洪之角度，透過觀測資料分析探討熱島效應對臺北都會區水文型態的影響，並研析常導致都市積淹水的午後對流雨進行熱島效應因子(日高溫、日溫差及相對濕度)與水文因子(降雨強度)的關係，評估近年臺北都會區受熱島效應影響後之淹水風險升高區域，期驥提供未來都市防洪策略、水文設計之參考。

二、研究方法

2.1 熱島強度定義

午後熱對流是一種對流性降雨，一般的午後對流門檻值定義為 15 mm/hr，此種類型的降雨特性就是生命週期短，發生在炎熱的夏季午後，且降雨強度驚人，常常伴隨著劇烈的天氣變化，如冰雹等。

本研究午後熱對流定義如下：

1. 去除颱風雨(颱風雨以氣象局發布颱風警報天數為準)；
2. 選取時間為 1200~2000 LST，且降雨大於 0.5 mm/hr；
3. 0600~1200 LST 和 2000~0600 LST 不能有降雨的發生。

篩選後，時雨量大於 40 mm/hr 以上的降雨視為極端降雨事件。

2.2 頻率分析

本研究基於序率水文學理論，將降雨頻率分析分為四個步驟：年極端值序列之擷取、該極端值序列最適機率分布之選定、最適機率分布之參數推估及特定重現期下水文量之計算，茲將各工作步驟以及基本理論分述如下：

2.2.1 年極端值序列之擷取

藉由各雨量站之歷年時雨量紀錄資料，依據

設計延時之訂定，擷取有效年極端值序列。其中設計延時分別為 1、2、3、4、6、12、18 及 24 小時設計降雨延時。

2.2.2 年極端值序列最適機率分布及其參數之檢定

由於降雨量極端值序列之最適機率分布會影響特定重現期水文量之大小。本研究針對某一特定地區水文量選取合適之機率分布時，採用標準誤差 SE (standard error)決定最適候選機率分布，隨後再進行統計上之機率分布適合度檢定，根據 SE 指標與適合度檢定之結果，決定最適機率分布。標準誤差 SE (鄭克聲等，2001)的表示式如下：

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (2-1)$$

式中 x_i 為樣本數由大至小排序之水文量， $\hat{x}_i$ 為利用點繪公式計算第 i 個觀測樣本 x_i 累積機率，再由選用之統計分布估算對應該累積機率之水文量； n 為樣本數。區間公式及點繪公式(Yu and Huang, 2001)分述如下：

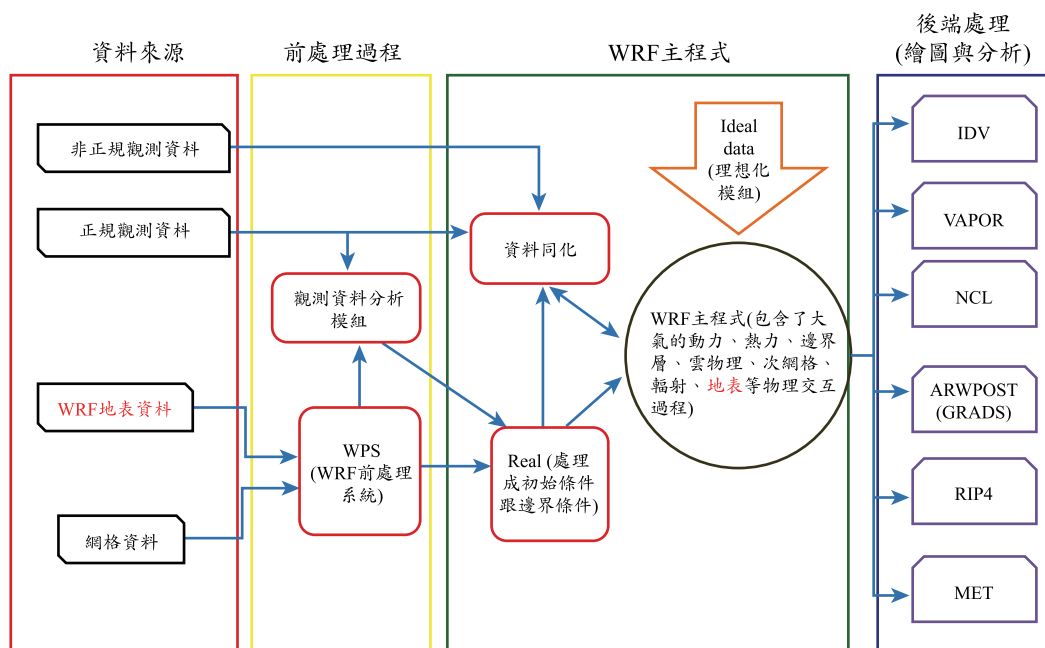
$$m = 2 \times \left[0.7436 \times (n-1)^2 \right]^{0.2} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$P = (i - 0.326) / (n + 0.348) \dots\dots\dots (2-3)$$

其中， m ：組距數目、 n ：分析資料個數、 P ：超越累積機率、 i ：分析資料大小順序，最大值時排序為 1。若該機率分布檢定結果之 SE 值，為所有機率分布檢定結果中之最小值，則該機率分布即具有最適性，最後應用動差法進行最適機率分布之參數推估工作。

2.2.3 特定重現期下水文量之計算

水文量大於或等於某一特定值所發生的時距稱為重現期距(recurrence interval)，其平均值即稱為重現期(return period)。在水文量之頻率分析中，重現期一般均以年為單位，故某特定水文量所相對應之重現期，即表示發生大於或等於此水文量所需之平均年數。相對某特定重現期水文量之大小，可表示為(Chow, 1951)



資料來源：<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/model.html>

圖 2-1 WRF 模式流程示圖

$$x_T = \mu + K_T \sigma \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

式中 x_T 為重現期 T 之水文量大小； μ 為水文資料之平均值； σ 為水文資料之標準偏差； K_T 稱為頻率因子(frequency factor)。上式即為頻率分析的通式，於不同的機率分布下，其頻率因子亦會有所不同。因此若將水文量視為一隨機變數，尋求其機率分布模式與資料之統計參數，即可求得特定重現期之頻率因子，以計算其相對應之水文量。

本研究將採用最佳機率分佈並進行各種重現期計算包括重現期為 2、5、10、25、50、100、200 及 500 年之頻率水文量。

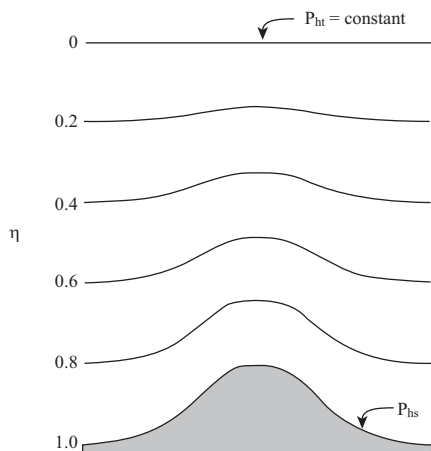
2.3 中尺度氣象研究及預報模式(WRF)

2.3.1 WRF 模式簡介

WRF (Weather Research and Forecasting) 模式(Done *et al.*, 2004)，為美國大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)等機構所發展的新一代中尺度氣象研究及預報

系統。WRF 目前仍由世界各地氣象和物理學家共同開發中，架構在 LINUX 系統中，原始碼是免費公開供大家互相研究討論，為目前中尺度氣象用途最廣泛的一套模組，WRF 模組當中大致上可以分為四部分，分別為資料端、前端處理(The WRF Preprocessing System, WPS)、WRF 主體模式(ARW Solver 與 Advanced Research WRF)及後端處理出圖(Post-processing 與 Visualization tools) (圖 2-1)，這四部份結合起來就可以產生預報產品或者是研究產品，資料主要是由衛星或者是由模式提供分析或再分析資料，也可以利用輔助程式放入當地的觀測資料，而所要重現的土地利用就是利用輔助程式更改其土地利用的分配，以達到較吻合目前都市化的情境設定。

WRF 主體模式主要包括大氣的動力過程(包含地形、 η 座標(地形追隨靜力氣壓垂直座標(Laprise, 1992))、基本方程、時間和空間積分、網格配置、地圖投影及邊界條件等)和物理過程(包含雲微物理、積雲參數化、長短波輻射方法及地表模式等)，其中還有一些關於高速計算方



資料來源：http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf, p.7

圖 2-2 η 座標示意圖

面的電腦設定，利用這些方法組合成模擬大氣系統的 WRF 模組。而後端處理及數據出圖主要是把氣象模式當中的 netcdf 格式轉變成可以加以處理的格式(binary or ASCII)，或者是利用模式的輸出檔診斷出所需要的變數，並加以分析討論。

2.3.2 WRF 理論與數值方法

WRF 為複雜的物理模組，在空間上積分上使用有限差分法，和在時間積分上使用 Runge-Kutta，而為了克服地形的問題，在垂直座標使用 η 座標(圖 2-2)，並把這些積分方法放入平流方程、擴散方程、擾動方程等動力模組，再配合輻射方程、微物理方程等模組去有意義的表達出當時的物理特徵，是一套複雜且繁複的方程組，此部分主要介紹空間與時間積分的處理。

大氣模式中主要由下列幾項方程式控制(羅璋盛，2005)：

連續方程式：

$$\partial_t(\ln \partial_\eta p) + (\nabla_\eta \cdot \mathbf{v}_h) - \partial_\eta \dot{\eta} = 0 \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

其中， η 是指 $\eta = \frac{P - P_t}{P_s - P_t}$ ， p 是壓力， P_s 代表地面壓力， P_t 代表模式大氣層頂壓力， $\mathbf{v}_h$ 為水平速度， $\dot{\eta}$ 為垂直速度， η 座標系是為了減少因為地形所產生的問題而衍生出來的座標系。

水平運動方程式：

$$\partial_t \mathbf{v}_h = -\alpha \nabla_\eta p - \nabla_\eta \phi - f \hat{k} \times \mathbf{v}_h + \text{Fr} = 0 \quad \dots\dots (2-6)$$

其中， $\alpha \nabla_\eta p$ 代表的是在 η 座標的氣壓梯度力； $\nabla_\eta \phi$ 為科氏力， $f \hat{k} \times \mathbf{v}_h + \text{Fr}$ 為摩擦力， $\partial_t \mathbf{v}_h$ 代表的是水平方向之加速度。

靜力方程式：

$$\partial_t \phi = -\alpha \partial_\eta \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

其中， ϕ 代表重力位， p 為壓力， α 為比容。利用靜力方程式可進行坐標轉換。

熱力方程式：

$$\frac{C_p T}{\theta} \partial_t \theta = \dot{Q} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

其中， θ 代表位溫， T 代表溫度(K)， C_p 代表等壓比熱係數， $\dot{Q}$ 代表熱量之變化(非絕熱加熱變化)。基本大氣方程由這些控制，這些是屬於沒有考慮水氣之動量和能量基本方程，若加入水氣則更為複雜。

三、案例分析

3.1 研究區域概述

臺北都會區

臺北盆地內屬於臺北市及新北市等臺灣首善之都會區(圖 3-1 與圖 3-2)，為臺灣政治、經濟、文化中心，超過八百萬人集中於中下游平原地區，堤防長度計 109,141 公尺。氣候方面，臺北地區，冬季主受到東北季風、大陸冷高壓的影響，氣溫偏低，夏季則主要受太平洋高壓、西南季風影響，氣溫偏高。3-5 月為春季、6-8 月為夏季、9-11 月為秋季、12 月-2 月為冬季，其中，5-6 月梅雨季，7-9 月颱風季，為主要降水之來源(圖 3-3)，再者，其他月份均有鋒面系統帶來降雨。

臺北都會區之熱島效應，主要為降水時空分布、強度、頻率產生改變，1960~2005 年間觀測，臺北都會區因熱島效應，氣溫明顯上升，過去 45 年，雷雨發生次數增加 70%，夏季雨量因此劇增

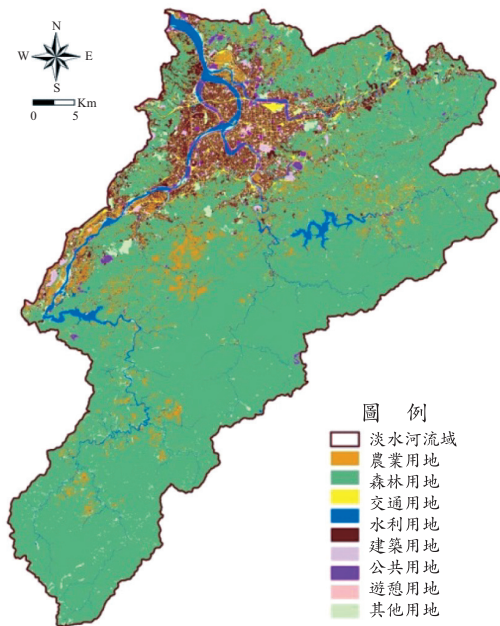


圖 3-1 臺北地區土地使用分布狀況一覽圖

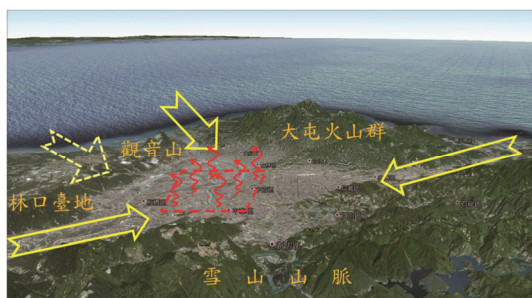


圖 3-2 臺北都會區地形圖

80% (高慧萱, 2009)。再者, Lin *et al.* (2008b) 使用 WRF-Noah-UCM 耦合模式, 並加入人為排放熱源計算與衛星空拍土地利用型態資料, 模擬臺北盆地之熱島效應影響, 結果顯示模式能合理表現出午後雷雨在雪山山脈邊緣輻合現象, 且在夜間至清晨能合理模擬氣溫變化來表現熱島效應之影響, 並由敏感度測試指出人為熱排放源的改變是造成邊界層高度和溫度變化最主要的影響因子。

3.2 基本資料說明

本研究區域為臺北都會區, 使用的觀測資料

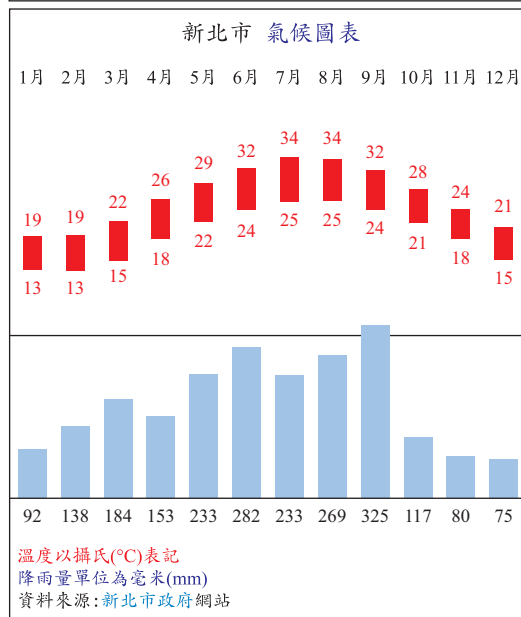
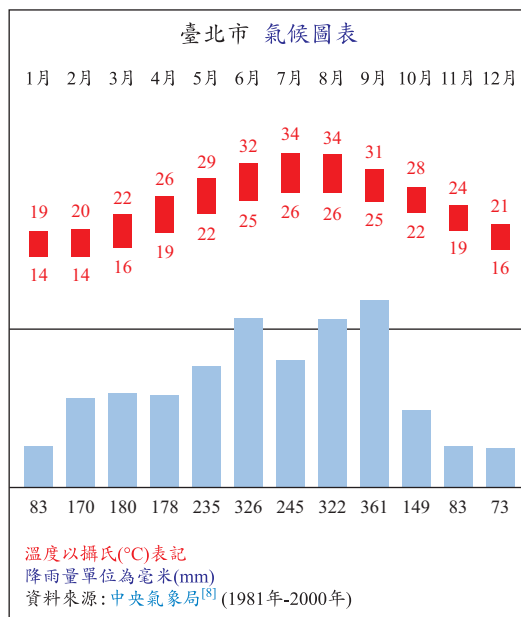


圖 3-3 臺北市及新北市月平均高低溫及月平均降水量之分布圖

為中央氣象局逐時自動雨量及人工測站的溫度、雨量及相對濕度資料(圖 3-4)。目前臺北都會區人工測站僅有五站, 其中超過百年紀錄資料僅有臺北測站(466920), 且溫度、濕度資料較為齊全, 因此將選取臺北測站(466920)來探討臺北都

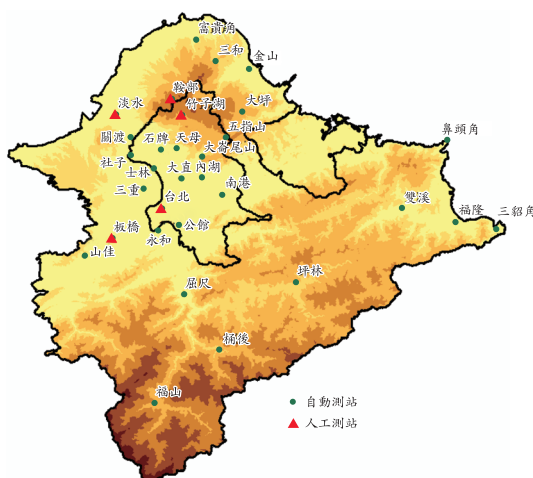


圖 3-4 本研究所採用臺北都會區觀測站空間分布圖

會區受熱島效應的影響；而為了解熱島效應強度至少需有一個郊區測站做為參考比較，但目前受限於測站紀錄年限與山上測站易受地形影響，經評估後採用淡水站做為郊區參考測站。此外，本研究為探討降雨型態受熱島效應影響而引致之空間變化，只選取紀錄年限較長之自動測站進行空間分析。

為應用數值模式驗證熱島效應對於水文環境之影響，本研究採用中尺度氣象研究及預報模式進行午後熱對流案例分析。本研究共選取 3 場午後熱對流曾造成臺北市局部積淹水之水文事件。其中，2004 年 8 月 20 日，臺北地區下起午後雷陣雨，一、兩小時的暴雨，造成臺北縣板橋、新店、中和、臺北市文山區到處淹水(環境資訊電子報, 2004)；2009 年 8 月 12 日，午後一場大雷雨，台北縣包括永和、板橋，樹林等地的低漥地區，全都積水，最高有一個輪胎那麼深(TVBS, 2009)。2010 年 6 月 21 日，臺北地區午後對流旺盛，許多地方突然下起大雨。氣象局統計，截至晚上 9:00 為止，台北縣三峽的下雨量最大，達 258 毫米，而在土城也累積了 152 毫米的雨量，而且永和街道還出現大淹水，讓學校晚讀的小朋友差點回不了家(民視新聞, 2010)。

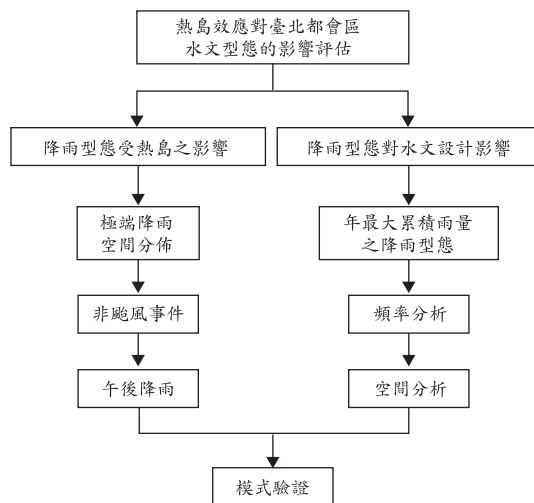


圖 3-5 本研究流程

3.3 研究流程

本研究為評估都市熱島效應對水利面相之衝擊研究，目的係為探討都市熱島效應的成因與影響，並配合區域天氣模式模擬熱島效應對天氣系統之影響，進行都市熱島效應對防洪能力與水資源管理之衝擊評估，最後提出都市熱島效應的對應策略，其詳細流程如圖 3-5 所示。

四、結果與討論

4.1 降雨型態分析

一般降雨情形可分為「短時間暴雨」與「長時間颱風雨」兩種，前省住都局因其對雨水下水道設施之影響各異，其定義如下：(內政部營建署，2010)

暴雨：降雨範圍小、延時短、惟降雨強度大，易造成市區局部積水，雨水下水道管渠之規劃設計，主要以“暴雨”為設計之依據。

颱風雨：降雨強度較暴雨為小，但範圍廣、延時長，常造成外水位高漲而氾濫成災，因此堤後抽水站主要以「颱風雨」為設計之依據。

這幾年來，我們常可於都會區發現夏日午後雷陣雨，這種類型的瞬間雨量相當驚人，但是生命週期卻十分短暫(半小時~數小時)。根據研究指出(張倉榮等，2010)，這種瞬間降水導致都市淹水的比例有逐漸升高的趨勢。據此，本研究統

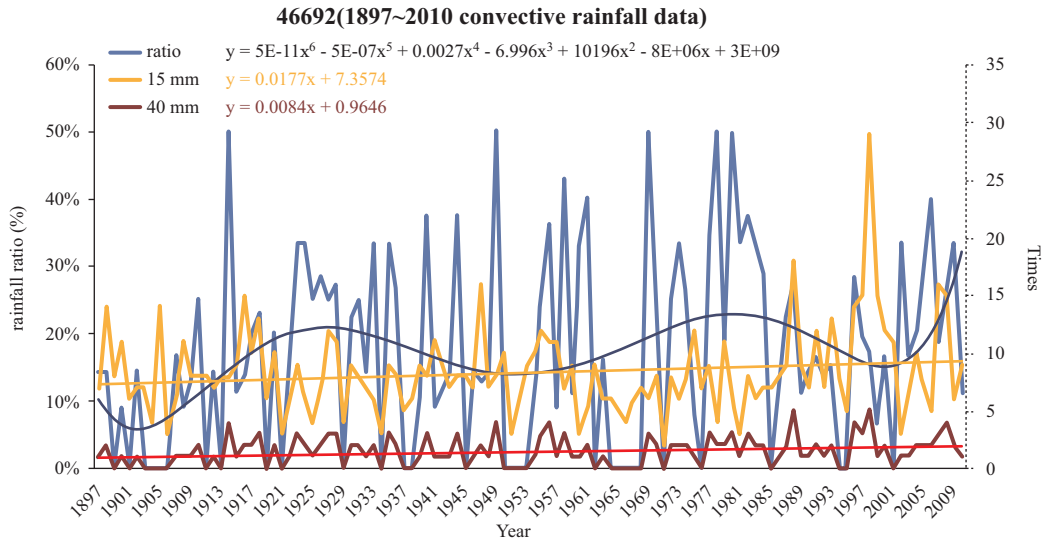


圖 4-1 台北測站 1897~2010 年午後降水事件(黃線：15 mm/hr 極端降水；紅線：40 mm/hr 極端降水)

計 1897 年至 2010 年(共 113 年)臺北雨量站的歷史時雨量紀錄(非颱風雨強降雨)，結果顯示於圖 4-1，圖中黃色線為午後降雨事件(時雨量大於 15 mm/hr)及紅色線為午後極端降雨事件(時雨量大於 40 mm/hr)。圖中藍色線表示午後極端降雨與午後降雨事件之比值，由其趨勢線可約略看出在這 100 年間臺北都會區的午後極端降雨頻率是逐漸增加的趨勢。本研究將進行分析探討這類型的降雨對大臺北都會區的整體影響，以提供未來都市防洪設計的參考。

4.2 極端降雨空間分布

本研究將針對大臺北都會區極端降雨的空間分布進行探討，利用 16 年歷史觀測資料(1997~2012)進行分析，因為不是每個測站都有 16 年的資料，所以本研究直接將資料不足測站濾除，並針對非颱風事件、午後熱對流事件，分為 1997~2004、2005~2012 兩類來進行極端降雨發生次數的統計。

由表 4-1 可以看出，午後熱對流事件平均極端降雨發生頻率臺北市皆多於新北市，且主要集中在再臺北市大安、新店、及永和區一帶，其中又以公館站(2.5 次)為最高；而由表 4-2 則可以發現臺北都會區北部的極端降雨發生頻率變

少，而越往南則極端降雨發生頻率變多，主要還是集中再臺北市的西南處一帶，以屈尺站(2.75 次)為最高，顯示出極端降雨大致有往南端移動的趨勢。

經由這 16 年的變化來看(圖 4-2)，非颱風事件的極端降雨分布大致呈現西北-東南走向，其中再淡水、關渡一帶略為增加，三重、公館一帶減少，而屈尺、桶後則明顯的增加；而午後熱對流事件的極端降雨分布則呈現北-南走向，其中在鞍部、社子、及士林一帶減少，大直、公館一帶較無變化，而於屈尺、福山、板橋、桶後、永和、三重、及臺北站皆有增加的趨勢，雖然大直、公館一帶較無變化不過卻是次數最高的區域，並且也是熱島效應主要的熱區，顯示出臺北都會區南端的午後天氣型態逐漸在改變。

4.3 熱島效應對水文分析之影響

如表 4-3 與表 4-4 可看出，大部分再降雨延時大於 6 小時的降雨型態以颱風雨為主；降雨延時小於 6 小時的降雨型態則以非颱風雨為主，這樣的結果也與水文設計應用手冊(鄭克聲等，2001)定義降雨延時小於 6 小時為短延時暴雨一致，且降雨延時 1~2 小時的非颱風雨次數遠大於颱風雨次數。

表 4-1 臺北都會區午後熱對流事件極端降雨統計表(1997~2004)

單位：次

	極端降雨事件統計表(> 40 mm/hr)								
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	mean
山佳	2	5	4	1	1	1	0	1	1.875
坪林	0	0	0	0	2	0	1	2	0.625
福山	0	0	0	0	0	0	0	0	0
桶後	0	0	1	0	0	2	0	0	0.375
屈尺	2	1	2	0	0	2	1	2	1.25
大坪	0	1	0	0	0	0	0	0	0.125
五指山	1	0	1	1	0	0	0	1	0.5
福隆	0	1	0	0	0	0	0	0	0.125
雙溪	0	2	0	1	0	0	0	0	0.375
富貴角	0	1	2	0	0	0	0	1	0.5
三和	0	0	1	0	1	0	0	2	0.5
金山	2	0	2	0	0	0	0	0	0.5
鼻頭角	0	1	0	1	1	0	0	0	0.375
三貂角	0	0	0	0	0	0	0	0	0
三重	0	2	1	0	1	0	0	1	0.625
社子	0	2	0	0	1	0	0	1	0.5
大崙尾山	0	1	2	0	0	0	0	1	0.5
大直	0	2	3	0	0	0	0	1	0.75
石牌	0	0	0	0	0	0	0	3	0.375
天母	0	0	0	1	0	0	1	2	0.5
永和	0	3	2	5	0	1	0	1	1.5
士林	0	1	2	1	2	0	0	3	1.125
內湖	0	1	5	0	0	0	0	1	0.875
南港	0	1	4	0	2	0	1	1	1.125
公館	3	1	6	4	1	1	3	1	2.5
關渡	0	0	0	0	0	0	0	0	0
板橋	0	0	0	0	0	1	1	2	0.5
淡水	0	0	0	0	0	0	0	0	0
鞍部	0	0	0	2	2	0	0	2	0.75
竹子湖	1	1	0	0	1	0	0	1	0.5
臺北	3	3	1	3	0	1	0	2	1.625

表 4-2 臺北都會區午後熱對流事件極端降雨統計表(2005~2012)

單位：次

	極端降雨事件統計表(> 40 mm/hr)								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	mean
山佳	2	1	3	0	2	1	0	0	1.125
坪林	0	0	2	2	0	1	0	0	0.625
福山	0	1	1	1	0	1	3	1	1
桶後	0	0	0	3	2	1	1	0	0.875
屈尺	0	3	4	6	4	2	2	1	2.75
大坪	0	0	1	0	0	0	0	0	0.125

表 4-2 臺北都會區午後熱對流事件極端降雨統計表(2005~2012) (續)

單位：次

	極端降雨事件統計表(> 40 mm/hr)								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	mean
五指山	0	0	0	2	0	0	0	0	0.25
福隆	0	0	0	0	0	0	0	0	0
雙溪	1	1	0	1	0	1	0	0	0.5
富貴角	0	0	0	0	0	0	0	0	0
三和	0	0	0	1	1	0	0	1	0.375
金山	0	0	1	0	0	0	0	0	0.125
鼻頭角	0	0	0	0	0	0	0	0	0
三貂角	0	0	0	0	0	0	0	0	0
三重	1	0	2	2	2	0	0	0	0.875
社子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大崙尾山	0	0	0	0	1	1	0	0	0.25
大直	0	0	2	1	1	1	1	0	0.75
石牌	0	0	1	0	0	0	0	0	0.125
天母	0	0	2	0	0	0	1	0	0.375
永和	1	1	3	2	2	4	0	3	2
士林	0	0	3	1	1	0	0	1	0.75
內湖	0	0	1	2	0	2	0	0	0.625
南港	1	0	1	2	1	0	2	0	0.875
公館	1	1	7	3	0	1	2	3	2.25
關渡	0	0	0	0	0	0	0	0	0
板橋	2	0	2	1	2	1	1	1	1.25
淡水	0	0	0	0	0	0	0	0	0
鞍部	0	0	0	0	1	0	1	0	0.25
竹子湖	0	1	0	0	2	0	0	0	0.375
臺北	2	1	3	3	2	1	0	3	1.875

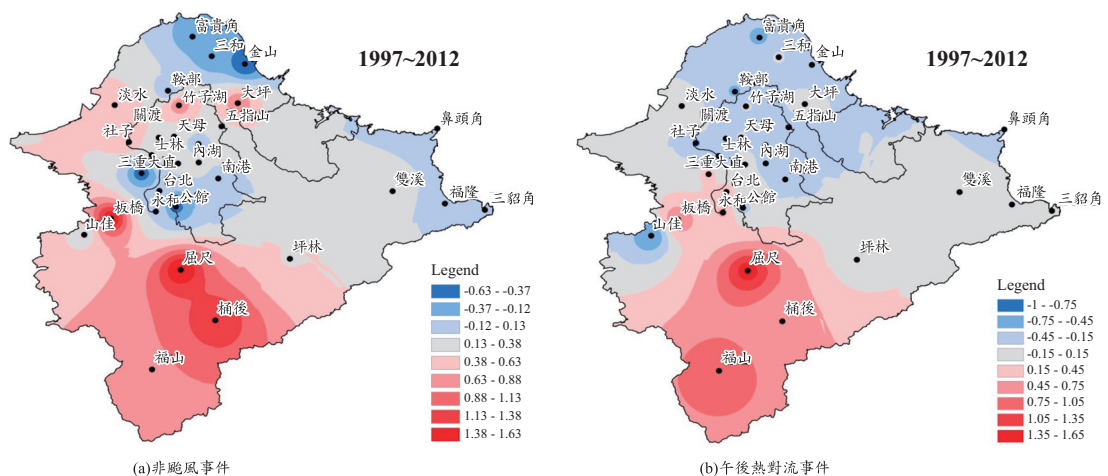


圖 4-2 臺北都會區極端降雨變化分布圖(1997~2012) (紅色為增加、藍色為減少)

表 4-3 年最大累積雨量之降雨型態統計表(採用年數 1997 至 2004 年)

單位：次

站名	高程	紀錄年數	延時	1hr	2hr	3hr	4hr	6hr	12hr	18hr	24hr
臺北	5.3	8	颱風	1	3	3	6	6	6	6	6
			非颱風	7	5	5	2	2	2	2	2
福隆	6	8	颱風	3	3	3	3	4	4	4	4
			非颱風	5	5	5	5	4	4	4	4
石碑	7	8	颱風	3	4	4	3	5	6	6	6
			非颱風	5	4	4	5	3	2	2	2
板橋	9.7	3	颱風	0	0	0	0	1	2	2	2
			非颱風	3	3	3	3	2	1	1	1
山佳	10	8	颱風	2	2	2	5	6	6	6	6
			非颱風	6	6	6	3	2	2	2	2
三重	18	8	颱風	1	4	4	4	5	5	5	5
			非颱風	7	4	4	4	3	3	3	3
淡水	19	8	颱風	2	2	2	3	3	3	3	3
			非颱風	6	6	6	5	5	5	5	5
內湖	20	8	颱風	3	4	4	6	6	6	6	6
			非颱風	5	4	4	2	2	2	2	2
公館	22	8	颱風	1	4	4	5	6	6	6	6
			非颱風	7	4	4	3	2	2	2	2
士林	26	8	颱風	2	3	3	4	5	5	5	5
			非颱風	6	5	5	4	3	3	3	3
雙溪	40	8	颱風	4	5	6	6	6	5	5	5
			非颱風	4	3	2	2	2	3	3	3
南港	42	8	颱風	5	4	6	6	6	6	6	6
			非颱風	3	4	2	2	2	2	2	2
金山	49	8	颱風	3	3	3	4	5	5	6	6
			非颱風	5	5	5	4	3	3	2	2
大直	49	8	颱風	2	3	3	5	5	5	5	5
			非颱風	6	5	5	3	3	3	3	3
社子	54	8	颱風	1	1	2	3	3	4	4	4
			非颱風	7	7	6	5	5	4	4	4
天母	63	8	颱風	3	4	5	5	5	6	6	6
			非颱風	5	4	3	3	3	2	2	2
屈尺	70	8	颱風	1	1	2	2	3	5	5	5
			非颱風	7	7	6	6	5	3	3	3
永和	77	8	颱風	1	2	3	3	3	5	5	5
			非颱風	7	6	5	5	5	3	3	3
關渡	111	8	颱風	3	4	4	6	6	6	6	6
			非颱風	5	4	4	2	2	2	2	2
三貂角	116	8	颱風	2	2	2	3	3	3	2	2
			非颱風	6	6	6	5	5	5	6	6
鼻頭角	118	8	颱風	3	3	3	3	4	5	5	5
			非颱風	5	5	5	5	4	3	3	3
富貴角	196	8	颱風	4	5	4	3	4	5	4	4
			非颱風	4	3	4	5	4	3	4	4

表 4-3 年最大累積雨量之降雨型態統計表(採用年數 1997 至 2004 年)(續)

單位：次

站名	高程	紀錄年數	延時	1hr	2hr	3hr	4hr	6hr	12hr	18hr	24hr
三和	200	8	颱風	2	3	3	4	5	6	5	4
			非颱風	6	5	5	4	3	2	3	4
坪林	300	5	颱風	4	4	3	3	4	4	4	4
			非颱風	1	1	2	2	1	1	1	1
大坪	362	8	颱風	3	2	3	4	4	5	4	5
			非颱風	5	6	5	4	4	3	4	3
桶後	387	8	颱風	4	6	6	6	5	6	6	6
			非颱風	4	2	2	2	3	2	2	2
福山	405	5	颱風	3	3	3	3	4	4	4	4
			非颱風	2	2	2	2	1	1	1	1
大崙尾山	463	8	颱風	3	2	3	3	3	5	5	5
			非颱風	5	6	5	5	5	3	3	3
竹子湖	607.1	8	颱風	4	5	5	5	6	6	6	6
			非颱風	4	3	3	3	2	2	2	2
五指山	685	8	颱風	2	5	6	6	6	6	6	6
			非颱風	6	3	2	2	2	2	2	2
鞍部	825.8	8	颱風	6	5	5	5	5	5	6	6
			非颱風	2	3	3	3	3	3	2	2

*灰階表示非颱風雨次數大於颱風次數

*備註：其中板橋、三重、坪林及福山測站部分資料於資料庫毀損

表 4-4 年最大累積雨量之降雨型態統計表(採用年數 1997 至 2012 年)

單位：次

站名	高程	紀錄年數	延時	1hr	2hr	3hr	4hr	6hr	12hr	18hr	24hr
臺北	5.3	16	颱風	1	3	3	6	8	10	10	10
			非颱風	15	13	13	10	8	6	6	6
福隆	6	16	颱風	6	5	6	6	7	8	8	8
			非颱風	10	11	10	10	9	8	8	8
石牌	7	16	颱風	4	7	6	7	10	12	12	12
			非颱風	12	9	10	9	6	4	4	4
板橋	9.7	11	颱風	3	3	2	1	2	7	7	7
			非颱風	8	8	9	10	9	4	4	4
山佳	10	16	颱風	3	4	4	6	8	10	11	11
			非颱風	13	12	12	10	8	6	5	5
三重	18	14	颱風	2	4	4	6	8	8	8	8
			非颱風	12	10	10	8	6	6	6	6
淡水	19	16	颱風	4	4	4	6	7	7	7	7
			非颱風	12	12	12	10	9	9	9	9
內湖	20	16	颱風	3	5	5	8	10	10	11	11
			非颱風	13	11	11	8	6	6	5	5
公館	22	16	颱風	2	5	4	5	9	12	12	12
			非颱風	14	11	12	11	7	4	4	4
士林	26	16	颱風	2	4	5	6	8	9	9	9
			非颱風	14	12	11	10	8	7	7	7

表 4-4 年最大累積雨量之降雨型態統計表(採用年數 1997 至 2012 年) (續)

單位：次

站名	高程	紀錄年數	延時	1hr	2hr	3hr	4hr	6hr	12hr	18hr	24hr
雙溪	40	16	颱風	4	5	7	7	8	9	9	9
			非颱風	12	11	9	9	8	7	7	7
南港	42	16	颱風	6	5	6	7	8	9	9	9
			非颱風	10	11	10	9	8	7	7	7
金山	49	16	颱風	4	5	6	6	8	8	9	9
			非颱風	12	11	10	10	8	8	7	7
大直	49	16	颱風	3	4	4	6	8	10	10	9
			非颱風	13	12	12	10	8	6	6	7
社子	54	16	颱風	1	2	3	5	7	8	8	8
			非颱風	15	14	13	11	9	8	8	8
天母	63	16	颱風	6	7	10	10	11	12	12	12
			非颱風	10	9	6	6	5	4	4	4
屈尺	70	16	颱風	1	1	2	4	6	10	10	10
			非颱風	15	15	14	12	10	6	6	6
永和	77	16	颱風	1	4	4	5	6	10	10	9
			非颱風	15	12	12	11	10	6	6	7
關渡	111	16	颱風	4	6	6	9	10	12	12	12
			非颱風	12	10	10	7	6	4	4	4
三貂角	116	16	颱風	4	4	3	4	5	6	5	5
			非颱風	12	12	13	12	11	10	11	11
鼻頭角	118	16	颱風	3	5	5	5	6	8	8	8
			非颱風	13	11	11	11	10	8	8	8
富貴角	196	16	颱風	5	7	6	5	6	8	6	6
			非颱風	11	9	10	11	10	8	10	10
三和	200	16	颱風	5	5	7	8	9	10	8	7
			非颱風	11	11	9	8	7	6	8	9
坪林	300	13	颱風	5	7	6	7	9	9	8	9
			非颱風	8	6	7	6	4	4	5	4
大坪	362	16	颱風	4	5	7	8	8	6	5	6
			非颱風	12	11	9	8	8	10	11	10
桶後	387	16	颱風	7	11	10	11	11	14	14	13
			非颱風	9	5	6	5	5	2	2	3
福山	405	16	颱風	7	8	9	10	12	12	12	12
			非颱風	6	5	4	3	1	1	1	1
大崙 尾山	463	16	颱風	3	2	4	5	6	8	9	9
			非颱風	13	14	12	11	10	8	7	7
竹子湖	607.1	16	颱風	7	9	10	10	12	12	11	12
			非颱風	9	7	6	6	4	4	5	4
五指山	685	16	颱風	4	8	10	9	9	9	11	11
			非颱風	12	8	6	7	7	7	5	5
鞍部	825.8	16	颱風	10	9	9	9	10	10	11	11
			非颱風	6	7	7	7	6	6	5	5

*灰階表示非颱風次數大於颱風次數

*備註：其中板橋、三重、坪林及福山測站部分資料於資料庫毀損

表 4-5 淡水河系流域鄰近雨量站概況表

測站編號	測站名稱	管理單位	時雨量資料狀態		分雨量資料狀態	
			記錄年份	年數	記錄年份	年數
01A220	三峡	第 10 河川局	1980~1991, 1993~2011	20	2004~2011	8
466920	台北	中央氣象局	1896~2011	116	無	無
01A200	火燒寮	第 10 河川局	1955~2011	57	2004~2011	8
01A380	瑞芳(2)	第 10 河川局	1972~2011	40	2004~2011	8
01B030	五堵	第 10 河川局	1965~2011	47	2004~2011	8
00A130	石碇(2)	第 10 河川局	1971~2011	41	2004~2011	8
01A210	大豹	第 10 河川局	1974~2011	38	2004~2011	8
01A190	碧湖	第 10 河川局	1971~1974, 1976~1976, 1978~2011	39	2004~2011	8
01A410	中正橋	第 10 河川局	1978~2011	34	2004~2011	8
01A420	竹子湖(2)	第 10 河川局	1978~2011	34	2004~2011	8
01A450	坪林(4)	第 10 河川局	1978~2011	34	2004~2011	8
01A430	福山(3)	第 10 河川局	1978~1981, 1983~2011	32	2004~2011	8
01A440	大桶山	第 10 河川局	1979~2011	33	2004~2011	8
01C400	石門(3)	第 10 河川局	1977~2011	35	2004~2011	8
01A160	林口(1)	第 2 河川局	1974~1991, 1993~2011	26	2004~2011	8

由此可知，短延時強降雨的型態，最主要還是以降雨延時 1~2 小時的非颱風雨主導，此現象可能是因短延時強降雨(延時 1~2 小時)的事件受到當地或中尺度天氣系統的影響多於大尺度綜觀環境；而延時大於 6 小時的降雨事件則需大尺度綜觀環境的支持(颱風)。

由於熱島效應影響，市區增溫比郊區快，並增強熱對流，使得原本應在山區降水的對流系統，卻在城市下風處產生午後雷雨，降雨位置的改變，市區附近降雨反而比山區多。除溫度因素外，鋒面及風向同時也影響雨帶分布的區域性變化，因此掌握受熱島效應後的雨帶分布情形是防洪上首要工作。

淡水河系流域鄰近 15 個所屬水利署的雨量站，由於其紀錄年限長且完整，本研究採用其資料進行雨量空間分布分析，其分布位置如圖 4-3 所示。表 4-5 為 15 個雨量站的基本資料，由各站時雨量的紀錄年份，本研究統一選取各站 1978~2011 年的雨量資料，並依據臺北都會區年

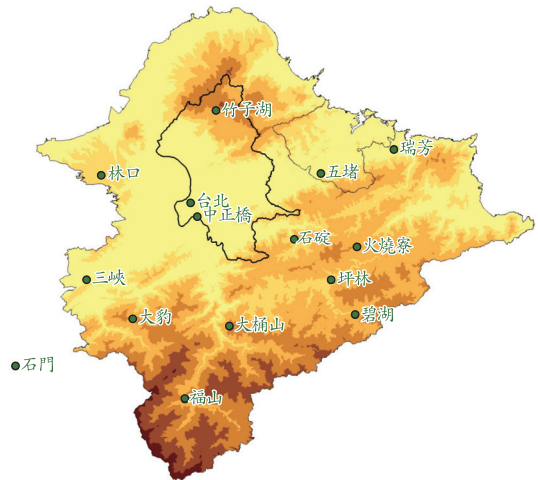


圖 4-3 淡水河系流域鄰近 15 個雨量站位置圖

熱排放量圖(圖 4-4)，1985 年始年熱排放量大幅增加，而決定 1978~1985 年為熱島效應影響前，1978~2011 年為熱島效應影響後。本研究則針對降雨延時 1、1.5、2、3 及 6 小時，進行各雨量站

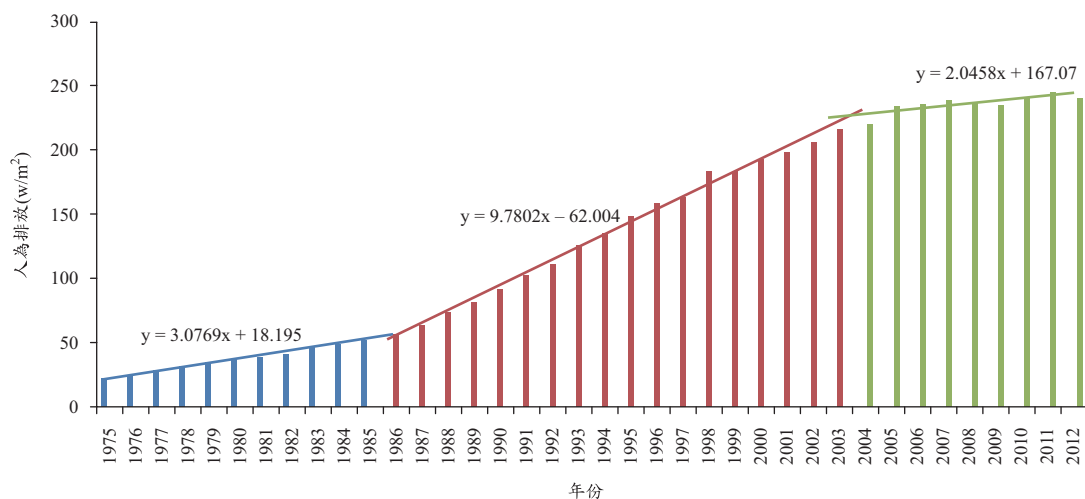


圖 4-4 臺北都會區年熱排放量圖

表 4-6 不同降雨延時各雨量站於熱島效應前後之降雨情形(5 年重現期)

單位(mm)

1978 年~1985 年(熱島前)															
降雨延時	三峽	台北	火燒寮	瑞芳	五堵	石碇	大豹	碧湖	中正橋	竹子湖	坪林	福山	大桶山	石門	林口
1.0hr	76.76	70.46	62.72	56.00	62.45	61.62	71.04	67.57	73.83	95.15	58.59	79.27	60.68	70.04	76.09
1.5hr	97.60	83.17	86.22	73.03	74.02	82.74	82.44	89.67	85.93	114.86	75.02	106.35	77.10	82.94	94.13
2.0hr	118.45	95.88	109.72	90.05	85.59	103.86	93.85	111.76	98.04	134.57	91.44	133.43	93.53	95.85	112.16
3.0hr	144.12	122.90	149.49	116.02	103.23	133.42	115.78	147.12	127.85	154.93	128.88	170.03	108.45	124.13	126.04
6.0hr	176.98	166.40	208.00	165.16	134.96	193.92	159.19	211.00	167.60	245.19	187.28	222.29	163.69	167.85	162.36
1978 年~2011 年(熱島後)															
1.0hr	70.27	69.74	86.57	86.59	78.89	79.15	81.77	86.02	89.21	81.35	82.37	73.40	79.00	81.44	64.67
1.5hr	85.51	84.74	107.06	103.82	94.93	97.43	97.02	103.57	100.79	101.70	100.30	97.35	92.70	92.36	80.34
2.0hr	100.76	99.74	127.55	121.06	110.98	115.70	112.27	121.13	112.38	122.05	118.23	121.31	106.41	103.28	96.01
3.0hr	113.97	119.87	158.23	146.51	134.40	142.80	131.65	151.95	134.21	155.65	150.88	159.27	129.52	123.15	115.76
6.0hr	147.33	155.53	235.55	196.77	184.60	205.78	172.56	230.98	172.12	259.05	223.16	252.49	190.63	153.29	159.92
(熱島後-熱島前)/熱島前															
1.0hr	-8%	-1%	38%	55%	26%	28%	15%	27%	21%	-15%	41%	-7%	30%	16%	-15%
1.5hr	-12%	2%	24%	42%	28%	18%	18%	16%	17%	-11%	34%	-8%	20%	11%	-15%
2.0hr	-15%	4%	16%	34%	30%	11%	20%	8%	15%	-9%	29%	-9%	14%	8%	-14%
3.0hr	-21%	-2%	6%	26%	30%	7%	14%	3%	5%	0%	17%	-6%	19%	-1%	-8%
6.0hr	-17%	-7%	13%	19%	37%	6%	8%	9%	3%	6%	19%	14%	16%	-9%	-2%

於熱島效應前(1978~1985 年)及熱島效應後(1978~2011 年)的雨量頻率分析。本節以重現期距 5 年說明受熱島效應影響的衝擊區域之界定方法，並比較不同延時之間的變化。未來在檢視不同尺度的河川流域及排水系統時，需考慮不同設

計標準的重現期距，以相同方法進行衝擊區域的界定。表 4-6 為不同延時下各雨量站重現期距 5 年的雨量頻率分析結果，並計算出熱島效應前後間的差異。

圖 4-5 為不同延時及重現期距 5 年下臺北都

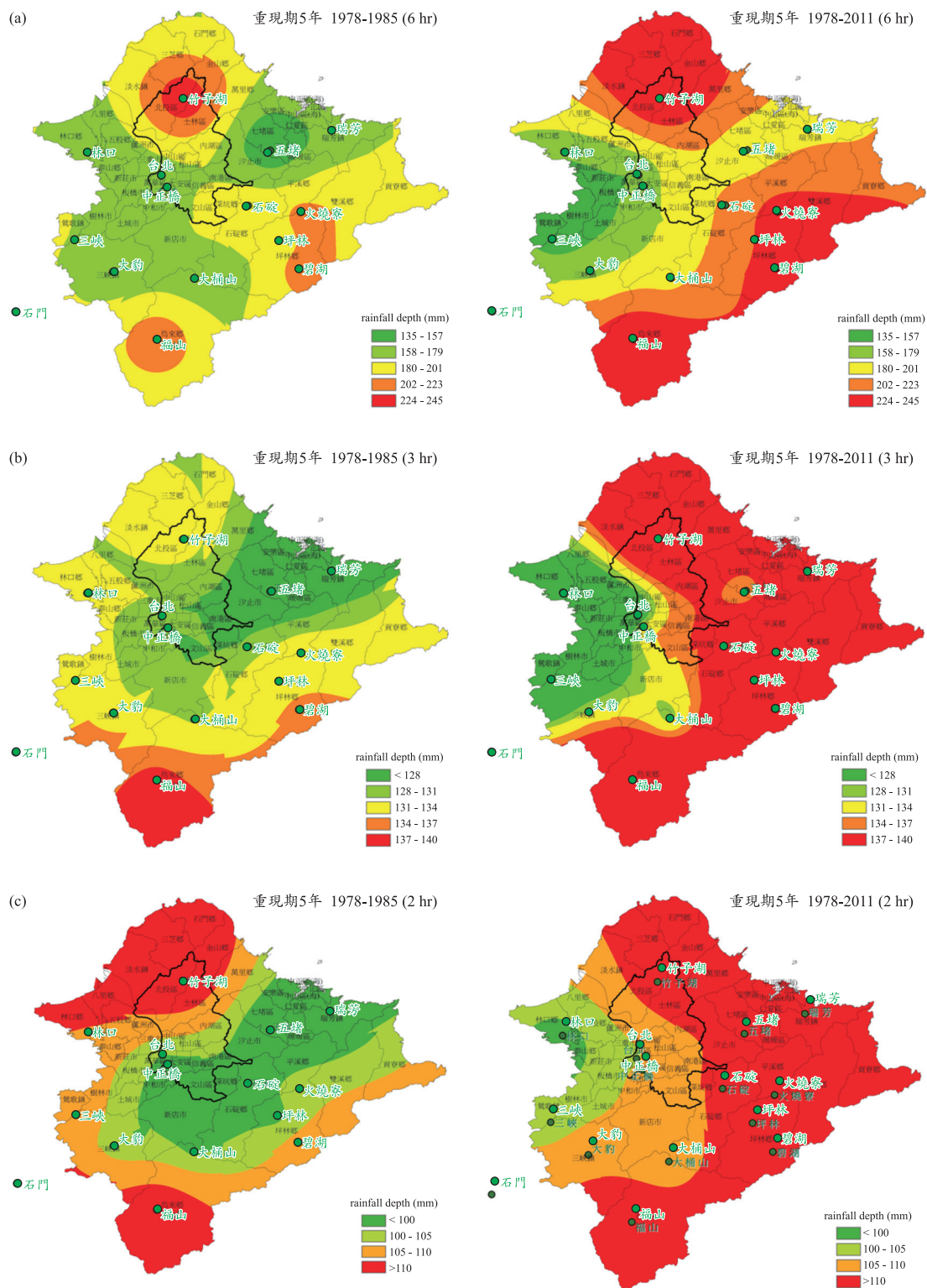


圖 4-5 不同降雨延時熱島效應前後之降雨雨量圖，(a)6 hr；(b)3 hr；(c)2 hr；(d)1.5 hr；(e)1 hr

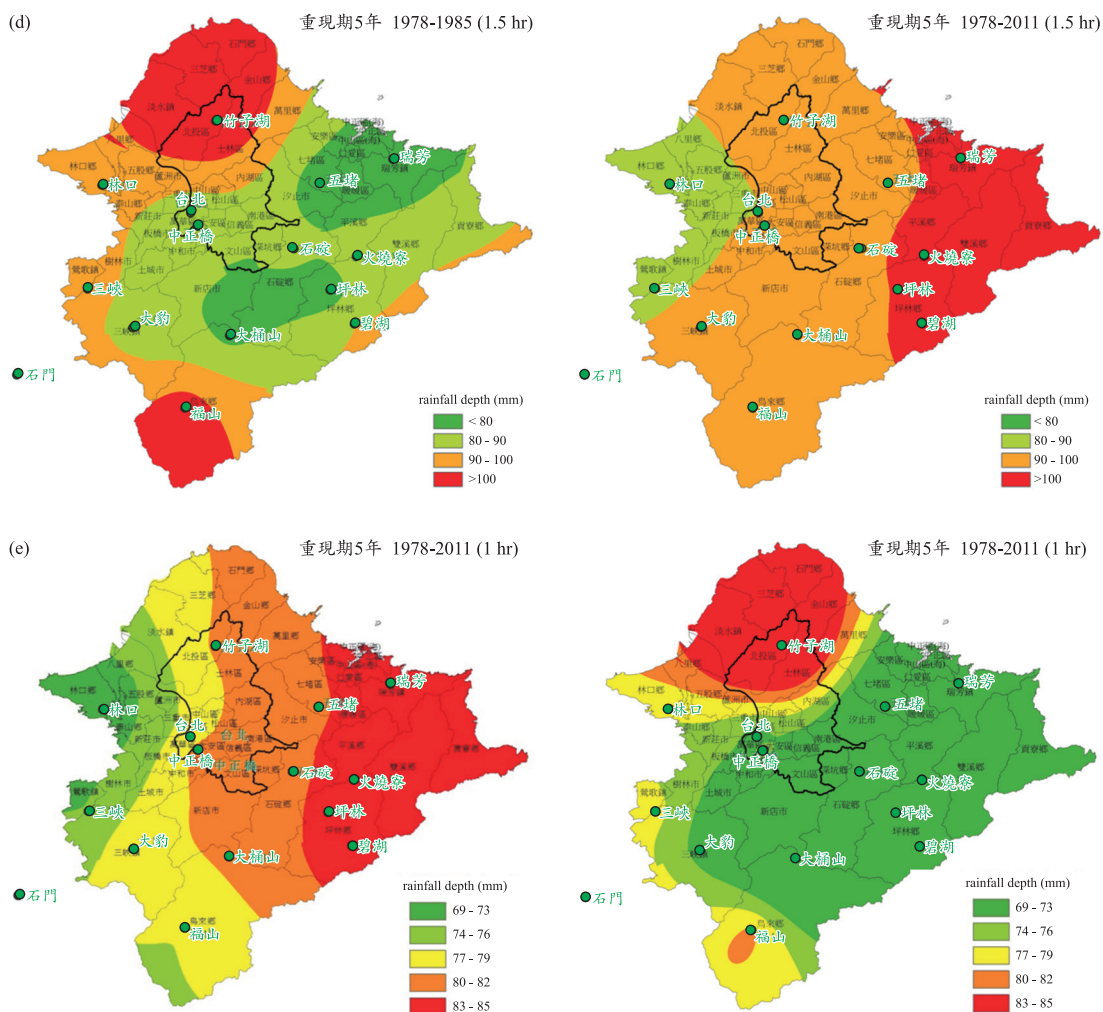


圖 4-5 不同降雨延時熱島效應前後之降雨雨量圖，(a)6 hr；(b)3 hr；(c)2 hr；(d)1.5 hr；(e)1 hr (續)

會區於熱島效應前後的雨量分布圖。由圖發現，不同延時下熱島效應前降雨主要集中於山區，尤其是竹子湖一帶，山區降雨深度皆大於平地。熱島效應後雨帶開始向都會區移動，臺北市南邊及新北市的中和、永和及新店區皆有明顯降深度增加之趨勢。圖 4-6 為不同延時及重現期距 5 年下臺北都會區於熱島效應前後的雨量差異圖，其中藍色表示熱島效應後降雨深度減少區域，紅色表示熱島效應後降雨深度增加區域，紅色區域為熱島效應的衝擊區域，稱之為熱區。以下為各降雨延時、各雨量差異區間的範圍整理。

4.3.1 降雨延時為 6 hr (見圖 4-6(a))

雨量差異 0~10% 的區域有臺北市：北投區、士林區、中山區、大同區、松山區、大安區、信義區及文山區；新北市：淡水區、三芝區、永和區、中和區、新店區及三峽區。

雨量差異 10~20% 的區域有臺北市：內湖區及南港區；新北市：石門區、金山區、萬里區、汐止區、平溪區、雙溪區、貢寮區、深坑區、石碇區、坪林區及烏來區。

雨量差異 20~30% 的區域有新北市的瑞芳區。

4.3.2 降雨延時為 3 hr (見圖 4-6(b))

雨量差異 0~10% 的區域有臺北市：北投區、

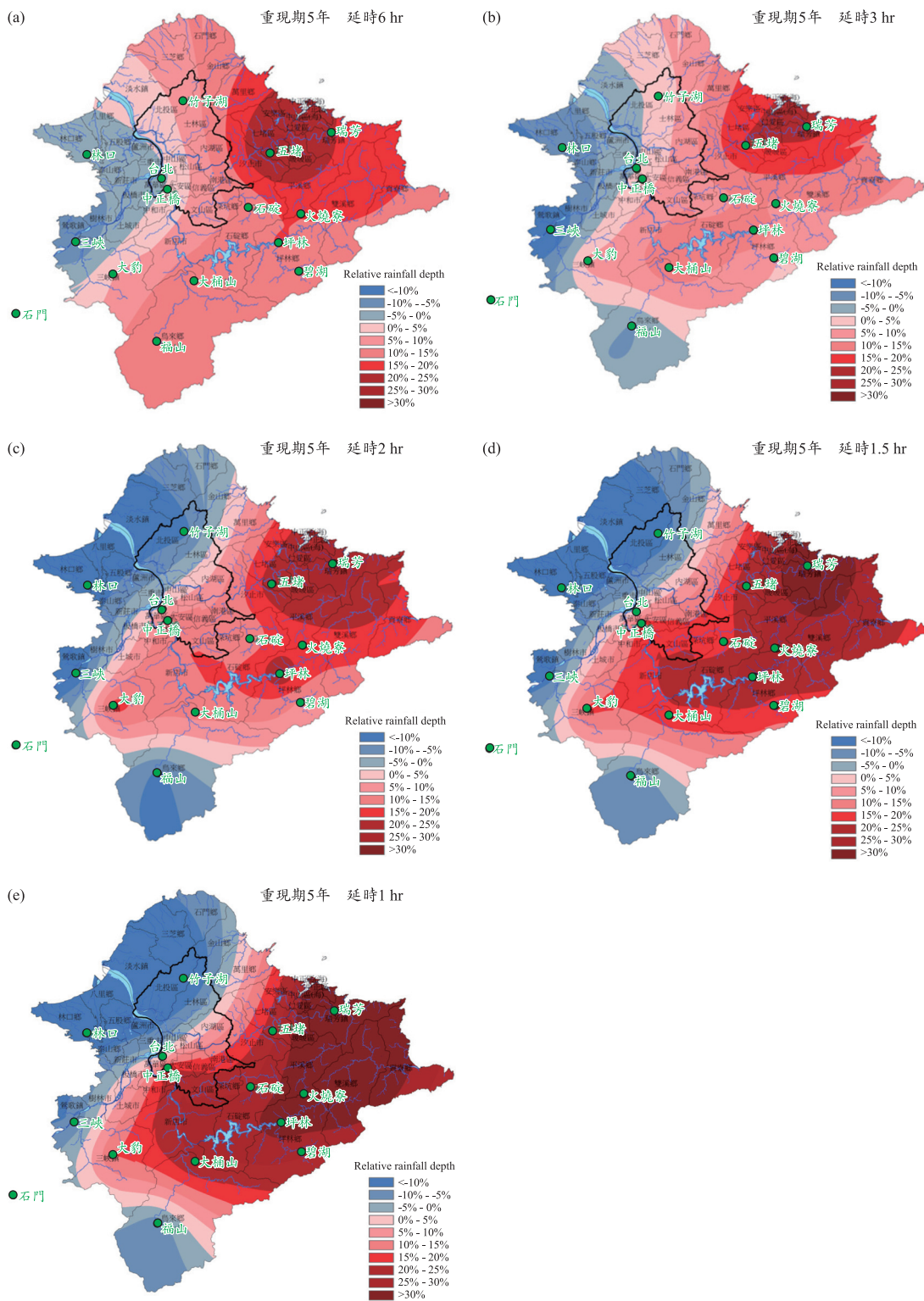


圖 4-6 不同降雨延時熱島效應前後之雨量差異圖，(a)6 hr；(b)3 hr；(c)2 hr；(d)1.5 hr；(e)1 hr

士林區、中山區、松山區、內湖區、大同區、萬華區、大安區、信義區、南港區及文山區；新北市：三芝區、石門區、金山區、永和區、中和區、新店區及三峽區。

雨量差異 10~20%的區域有新北市：萬里區、汐止區、平溪區、雙溪區、貢寮區、深坑區、石碇區及坪林區。

雨量差異 20~30%的區域有新北市的瑞芳區。

4.3.3 降雨延時為 2 hr (見圖 4-6(c))

雨量差異 0~10%的區域有臺北市：內湖區、大同區、中山區、松山區、萬華區及中正區；新北市：萬里區、板橋區及土城區。

雨量差異 10~20%的區域有臺北市：大安區、信義區、南港區及文山區；新北市：永和區、中和區、新店區、三峽區、汐止區、深坑區、石碇區、坪林區及貢寮區。

雨量差異 20~30%的區域有新北市：平溪區、瑞芳區及雙溪區。

4.3.4 降雨延時為 1.5 hr (見圖 4-6(d))

雨量差異 0~10%的區域有臺北市：內湖區、中山區、松山區、萬華區及中正區；新北市：萬里區、板橋區、土城區及三峽區。

雨量差異 10~20%的區域有臺北市：大安區、信義區、南港區及文山區；新北市：深坑區、永和市、中和市及新店區。

雨量差異 20~30%的區域有新北市：汐止區、平溪區、雙溪區、貢寮區、石碇區及坪林區。

雨量差異大於 30%的區域有新北市：瑞芳區。

4.3.5 降雨延時為 1 hr (見圖 4-6(e))

雨量差異 0~10%的區域有臺北市：內湖區、中山區、松山區、萬華區及中正區；新北市：萬里區及板橋區。

雨量差異 10~20%的區域有臺北市：大安區、信義區及南港區；新北市：永和區、中和區、土城區及三峽區。

雨量差異 20~30%的區域有臺北市的文山區；新北市：汐止區、深坑區、新店區及石碇區。

雨量差異大於 30%的區域有新北市：瑞芳

區、平溪區、雙溪區、貢寮區及坪林區。

由圖 4-6 得知，臺北都會區西北方受熱島效應影響的降雨深度是減少的，而西南方往北方是增加的趨勢。另外，熱區的範圍隨著降雨延時減少而增加，雨量差異度也隨之增大。延時 6 hr 與 3 hr 的雨量差異度主要在 0~20%內；在延時 2 hr，雨量差異度主要則在 10~20%間；而延時在 1.5 hr 與 1 hr，雨量差異度有增幅到大於 30%的範圍，延時 1 hr 為最大熱區範圍及雨量差異度。

4.4 WRF 數值模式之驗證結果

臺北都會區(包含臺北市和新北市)是臺灣人口最密集的城市，也是都市化最嚴重的地方，且其為盆地地形，雖然位於臺灣北邊，但是卻因地形因素夏季溫度往往較其他都會區來的高，再加上人為活動集中在盆地中央，使得人為熱量集中不易發散。不同土地利用有不同的反照率(albedo)、可感熱通量(SH; Sensible Heating)、潛熱通量(LH; Latent Heating)等等，因而改變地表溫度狀況(Cotton and Pielke, 1996; 高慧萱, 2009; 曹嘉宏, 2007)。本研究採用張倉榮等於 2010 年之實驗設計(張倉榮等, 2010)，時間積分採用 Runge-Kutta method 三階準確，空間積分採用 Arkawa C grid，雲微物理是採用 WSM Single-Moment 6-Class Scheme (Hong and Lim, 2006)，包含水氣被活化成雲滴或冰晶，而這些雲滴、冰晶再透過收集碰撞等過程，產生降雨粒子，當空氣浮力無法支撐降雨粒子時，降落到地上形成降雨，而雲微物理主要是用來計算網格尺度的降雨；積雲參數法主要解析次網格對流或淺雲，利用各網格點上的氣象資料以參數化方式計算此網格內的水氣變化，本研究採用的是 Grell-Devenyi ensemble scheme (Grell *et al.*, 1995)。本研究利用 RRTM (Rapid Radiative Transfer Model) 方法(長波)和 Dudhia 方法(短波)計算長短波輻射影響大氣輻射收支平衡的過程。在地表大氣熱通量模式採用 Monin-Obukhov similarity theory，考慮地表過程和與大氣間的熱通量傳輸。而地表模式則使用 5 層熱力擴散模式，把地表以下土壤分成五層，來表示其個別土壤層的熱量變化，熱通量

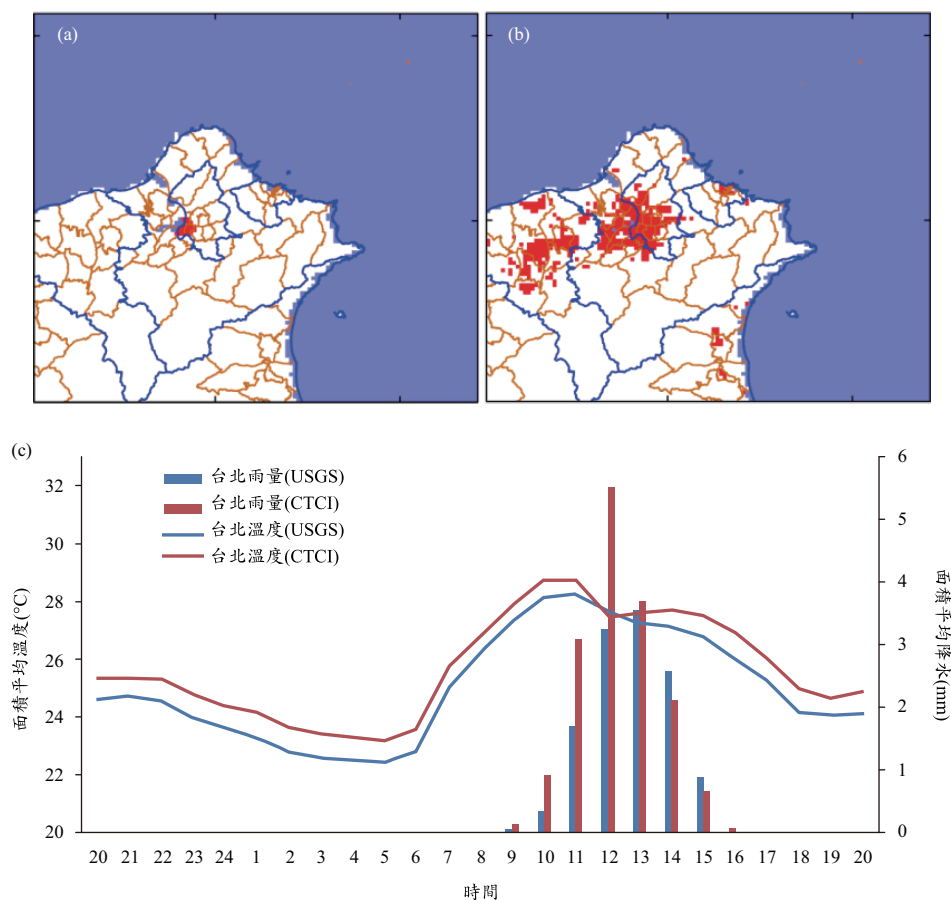


圖 4-7 (a)臺北都會區 USGS 都市化分布、(b)臺北都會區 CTCI 都市化分布與(c) USGS 與 CTCI 溫度與雨量時間變化圖

參數變化是根據美國地質調查所(U.S. Geological Survey, USGS)公布的全球資料(包括土地利用、地形、土壤種類等)，其中最小的解析度為 30's (臺灣地區約 830 公尺)的資料場。

據此，本研究選用三場午後降雨事件作為初始天氣狀況，分別為 2004 年 8 月 20 日、2009 年 8 月 12 日與 2010 年 6 月 21 日，利用 WRF 模式進行不同都市化程度的土地利用之比較，USGS 表示熱島前土地利用分布情形，CTCI 表示熱島後土地利用分布情形，如圖 4-7(a)與 4-7(b)所示。圖 4-7(c)為溫度與雨量 24 小時時間變化圖，由圖得知 CTCI 夜晚溫度大約比 USGS 上升 0.5~0.7°C，而在白天溫差大概在 -0.1~0.5°C 之間(負數是因為降雨的蒸發冷卻所導致)，其符合熱

島效應造成夜晚溫度上升較明顯之情形(Lin *et al.*, 2008b)。圖 4-8 為臺北都會區 USGS 與 CTCI 於上午 10 點之溫度差異圖。由模擬溫度之分布結果顯示，所有案例皆是 CTCI 大於 USGS。換言之，都會發展後確實造成熱島現象。此外，圖 4-9 分別為臺北都會區 USGS 與 CTCI 於上午 10 點之六小時累積雨量差異圖。由模擬雨量分布結果顯示，在所有案例皆是 CTCI 大於 USGS，代表臺北都會區之熱島效應已改變都會區的雨量分布。

五、結 論

本研究應用統計方法明顯看出臺北都會區這幾年熱島效應(熱島強度)有增加的趨勢，將

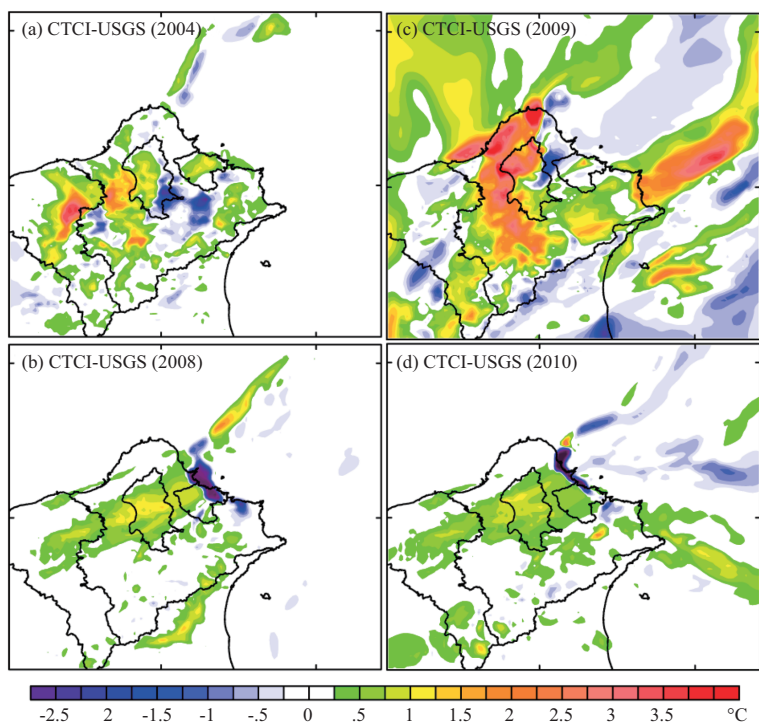


圖 4-8 臺北都會區 USGS 與 CTCI 於上午 10 點之溫度差異圖，(a) 20040820、(b) 20090812 與(c) 20100621

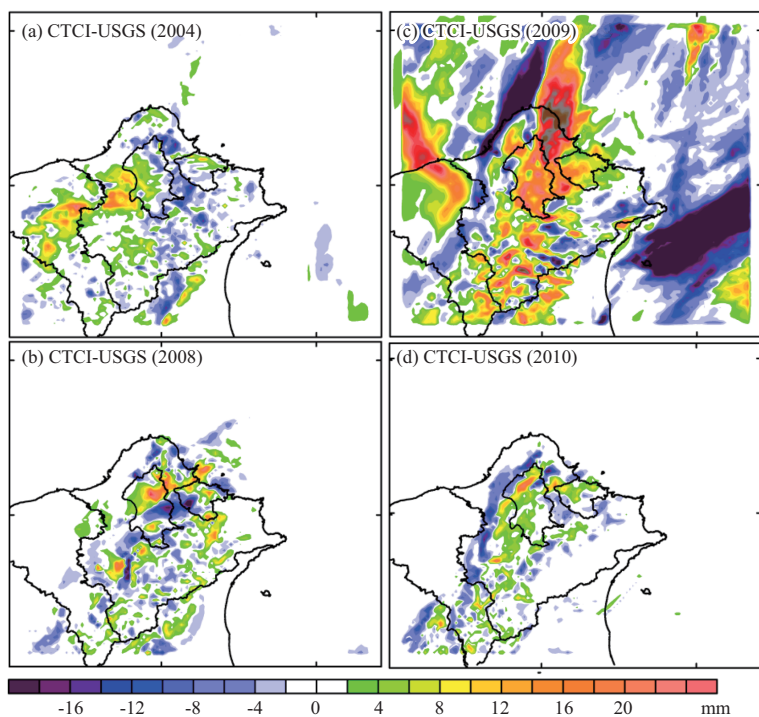


圖 4-9 臺北都會區 USGS 與 CTCI 六小時累積雨量差異圖，(a) 20040820、(b) 20090812 與(c) 20100621

使得溫度持續升高、平均降雨強度不斷增強及相對濕度的減少，此種現象將造成都市水文設計及防洪面臨更嚴峻得挑戰。其結論可歸納如下：

1. 透過臺北都會區觀測站之 16 年的變化來看(圖 4-1)，非颱風事件的極端降雨分布大致呈現西北-東南走向，其中再淡水、關渡一帶略為增加，三重、公館一帶減少，而屈尺、桶後則明顯的增加；而午後熱對流事件的極端降雨分布則呈現北-南走向，其中在鞍部、社子、及士林一帶減少，大直、公館一帶較無變化，而於屈尺、福山、板橋、桶後、永和、三重、及臺北站皆有增加的趨勢，雖然大直、公館一帶較無變化不過卻是次數最高的區域，並且也是熱島效應主要的熱區，顯示出臺北都會區南端的午後天氣型態逐漸在改變。
2. 短延時強降雨的型態，最主要還是以降雨延時 1~2 小時的非颱風雨主導，此現象可能是因短延時強降雨(延時 1~2 小時)的事件受到當地或中尺度天氣系統的影響多於大尺度綜觀環境；而延時大於 6 小時的降雨事件則需大尺度綜觀環境的支持(颱風)。
3. 熱島效應後雨帶開始向都會區移動，臺北市南邊及新北市的中和、永和及新店區皆有明顯降深度增加之趨勢。
4. 臺北都會區西北方受熱島效應影響的降雨深度是減少的，而西南方往東北方是增加的趨勢。另外，熱區的範圍隨著降雨延時減少而增加，雨量差異度也隨之增大。延時 6 hr 與 3 hr 的雨量差異度主要在 0~20%內；在延時 2 hr，雨量差異度主要則在 10~20%間；而延時在 1.5 hr 與 1 hr，雨量差異度有增幅到大於 30%的範圍，延時 1 hr 為最大熱區範圍及雨量差異度。
5. 由模擬溫度與雨量分布結果顯示，在三場案例皆是 CTCI 大於 USGS，此代表臺北都會區有溫度熱島效應存在，而且對於都會區的雨量分布造成影響。

謝 誌

本研究感謝經濟部水利署水利規劃試驗所及科技部補助專題研究計畫經費(水利署水利規

劃試驗所計畫編號：MOEAWRA1030030；科技部專題研究計畫編號：103-2221-E-002-204)及中央氣象局提供雨量資料(發文字號：中象衛字第 1030012517 號)，使本研究得以順利進行，特此誌謝。

參考文獻

1. Chen, T.C., Wang, S.Y., Yen M.C., 2007. Enhancement of Afternoon Thunderstorm Activity by Urbanization in a Valley: Taipei. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 46, 1324-1340.
2. Chow, V. T., 1951. A general formula for hydrologic frequency analysis. *Transactions American Geophysical Union* 32, 231-237.
3. Cotton, W. R., and R. A. Pielke, 1996. *Human impacts on weather and climate*. Cambridge University Press, pp.288.
4. Done, J., Davis, C.A., Weisman, M., 2004. The next generation of NWP: explicit forecasts of convection using the weather research and forecasting (WRF) model. *Atmospheric Science Letters* 5(6), 110-117.
5. Draxler, R.R., 1986. Simulated and observed influence of the nocturnal urban heat island on local wind field. *Journal of Applied Meteorology* 25, 1125-1133.
6. Fujibe, F., 2003: Long-term surface wind changes in the Tokyo metropolitan area in the afternoon of sunny days in the warm season. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 81, 141-149.
7. Grell, G.A., Dudhia, J., Stauffer, D.R., 1995. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). Technical Note NCAR/TN-398+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 122pp.
8. Hong, S.Y., Lim, J.O.J., 2006. The WRF Single-Moment 6-class Microphysics scheme (WSM6). *Journal of the Korean Meteorological Society*, 42, 129-151.
9. Jaurequi, E., Romales, E., 1996. Urban effects

- on convective precipitation in Mexico City. *Atmospheric Environment* 30, 3383-3389.
10. Laprise, Rene, 1992. The Euler equations of motion with hydrostatic pressure as an independent variable. *Monthly Weather Review* 120, 197-207.
 11. Lin, C.Y., Chen, F., Huang, J.C., Chen, W.C., Liou, Y.A., Chen, W.N., and Liu, S.C., 2008a. Urban heat island effect and its impact on boundary layer development and land-sea circulation over northern Taiwan, *Atmospheric Environment* 42, 5635-5649.
 12. Lin, C.Y., Chen, W.C., Liu, S.C. Liou, Y.A., Liu, G.R., Lin, T.H., 2008b. Numerical study of the impact of urbanization on the precipitation over Taiwan. *Atmospheric Environment* 42, 2934-2947.
 13. Morris, C.J.G., Simmonds, I., Plummer, N., 2001. Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. *Journal of Applied Meteorology* 40, 169-182.
 14. Otte, T.L., Lacser, A., Dupont, S., Ching, J., 2004. Implementation of an urban canopy parameterization in a mesoscale meteorological model. *Journal of Applied Meteorology* 43, 1648-1665.
 15. Saitoh, T.S., Shimada, T., Hoshi, H., 1996. Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island. *Atmospheric Environment* 30, 3431-3442.
 16. Shepherd, J.M., 2005. A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. *Earth Interaction* 9 (12), 1-27.
 17. TVBS, 2009, 午後大雷雨 中和水淹輪胎高, <http://news.tvbs.com.tw/old-news.html?nid=140155>
 18. Yu, Gwo-hsing, and C.-C. Huang, 2001. A distribution free plotting position. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 15, 462-476.
 19. 王宣賀, 2009, 氣候變遷對臺北市雨水下水道系統之衝擊影響評估, 國立臺灣大學生物環境系統工程研究所碩士論文。
 20. 王為銘與賴信達, 1984, 臺北市短延時與長延時降雨預測方法之研究, 中原大學土木工程研究所碩士論文。
 21. 內政部營建署, 2010, 雨水下水道系統規劃原則檢討。
 22. 民視新聞, 2010, 土城永和街淹水 橡皮艇送學童, <https://www.youtube.com/watch?v=2AKyKJIAjmE&feature=youtu.be>
 23. 高慧萱, 2009, 都市熱島效應對台北盆地對流降雨影響之模擬研究, 國立臺灣大學土木工程學系碩士論文。
 24. 張倉榮, 蘇紹昆, 廖啟勳, 王嘉和, 2010, 熱島效應對臺北都會區午後雷暴雨時空分布之影響研究 — 以 2009 年 0812 水災例, 農業工程學報 56(3), 85-101.
 25. 曹嘉宏, 2007, 臺灣土地利用型態對 MM5 模擬局部環流之影響, 國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
 26. 鄭克聲 等人, 2001, 「水文設計應用手冊」, 經濟部水資源局委辦計畫。
 27. 環境資訊電子報, 2004, 天災重創國土 山林政策總體檢, <http://e-info.org.tw/news/taiwan/special/2004/taspr2004-01.htm>
 28. 劉紹臣, 劉振榮, 林傳堯, 許乾忠, 林文澤, 2003, 臺灣西部平原熱島效應, *Taiwan Watch*, Vol. 5, No. 4/Winter。
 29. 盧孟明、陳佳正, 林昀靜, 2007, 1951-2005 年臺灣極端降雨事件發生頻率之變化。 *大氣科學* 35, 87-104。
 30. 羅璋盛, 2005. WRF 模式在颱風路徑預報應用與 EOF 分析誤差因素。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文, 指導教授: 黃清勇。

收稿日期：民國 104 年 5 月 21 日
修正日期：民國 104 年 7 月 22 日
接受日期：民國 104 年 8 月 6 日