

臺北地區土地開發與氣候變遷之關聯性

龐士鈞¹、葉大綱^{1,*}、洪景山²、馮欽賜²

國立臺北大學 不動產與城鄉環境學系¹

中央氣象局 氣象資訊中心²

摘要

自1970年以來，臺灣工商業發展快速並帶動都市化，使大量人口集中於都市地區。當前臺灣都市地區的人口佔總體將近80%，都市高樓聳立、人造鋪面取代了森林及土壤，這樣的現象導致熱島效應的發生，造成都市地區溫度異常高於周遭郊區。本研究利用地基GPS水氣反演技術，採用長距離基線相對定位來估算絕對的天頂向濕延遲量，再透過經驗公式轉換成可降水量，並進一步分析溫度、可降水量與降雨量之關係。由本研究結果可得，熱島效應的確存在於臺北都會區，且不只在都市地區有顯著的影響；在郊區部分，因人口移動郊區都市化程度越來越高，使得大臺北原本的郊區亦發生熱島效應的現象，也由於郊區的溫度上升帶來水氣的增加，進而影響降雨增加的可能性。由2006~2014年的資料可發現，夏季平均氣溫上升攝氏0.5度，冬季氣溫則下降0.7度，使得這9年間的可降水量平均上升2%，降雨量亦同步上升了2%，且郊區的上升幅度較大。此一變化讓我們反思臺灣郊區的林地良田是否有繼續開發的必要？

關鍵字：臺北地區、熱島效應、全球定位系統、大氣可降水、降雨量。

一、前言

都市熱島效應(Urban Heat Island Effect)，又稱熱島效應，定義為都市環境，因綠地不足、人口過度集中、人工發散熱大，使得都市有如一座發熱的島嶼，在氣象學上稱之為「都市熱島」(Urban Heat Island)，其概念即都市溫度高於周遭郊區溫度，產生的原因主要是由於人類改變地表覆蓋所引起的微氣候變化之綜合現象，有時甚至在自然狀態下，某一小型的建築物涵蓋的範圍就會顯現與其他地區不同特徵的氣候現象。若用等溫線表示，有如溫度較高的島嶼被四周較寒冷的海洋所包圍，稱為熱島(Heat Island)。

在都市發展過程中，人工構造建築物漸漸取代原先的地表自然景觀，太陽的能量被道路和屋頂所吸收，人工實體如建築物的牆壁會將日間所吸收的熱量，於日落後釋放回大氣中，導致都市表面溫度比周圍地區高。隨著工商業發達，都市不斷擴張，人工實體逐年急速增長。這些實體各具有不同的反射率，也就是太陽的能量被地球表面實體反射回去之能力，反射率低表示太陽能量被吸收得多，表面溫度相對較高；反射率高表示被反射回去的量多，能量吸收的少表面溫度較低。由於人工實體反射率低，且具有不透水性之特性，使環境失衡，溫度不斷升高造成都市熱島效應。

臺北市為我國六個直轄市之一亦為我國首都，人口為全國各縣市排名第四，人口密度則居第一；新北市則為我國人

口最多的直轄市，全境環繞臺北市，東北臨基隆市、東南臨宜蘭縣、西南臨桃園市。臺北市與新北市兩大直轄市所連結而成的臺北地區，是臺灣人口最多的都會區，其地形主要是盆地，北以陽明山為界，西鄰林口臺地，東南邊則是雪山山脈。水文部分，臺北地區屬於淡水河流域，其主要支流為基隆河、新店溪與大漢溪；基隆河自上游的新北市平溪區發源，沿途流經新北市瑞芳區、基隆市暖暖、八堵、七堵區、新北市汐止區、臺北市南港、內湖、中山、大同區，至土林區社子島與淡水河匯流成淡水河；新店溪上游位於臺北地區東南方的新北市坪林、烏來區，沿途流經新北市新店、中和、永和、板橋區與臺北市文山區的景美、中正區的公館、古亭等地，至萬華附近與大萬溪匯流成淡水河；大漢溪上游位於新竹縣尖石鄉大霸尖山，沿途流經桃園市復興區、大溪區、八德區、桃園區、新北市鶯歌區、三峽區、樹林區、新莊區、板橋區與三重區，淡水河流域範圍涵蓋臺北市、新北市、桃園市、新竹縣。

全球暖化伴隨極端氣候的出現，使得氣候變遷對生態系統的影響更趨明顯。臺北地區的高度發展與人口集中，容易造成地表增溫而發生顯著的熱島效應，然熱島效應對於降水區域分布、降水量或強降雨的形成頻率及強度等與人類生活品質相關之情況是否產生明顯影響，是本研究欲釐清之問題。由於臺北地區為我國最重要的政經與文化發展的中心，若發生淹水災情，勢必造成國家嚴大損失，本研究以臺北地區作

為實證研究範圍，統計、分析並整理歷年之臺北地區都市測站與郊區測站的降雨量及溫度資料，驗證都市熱島效應在臺北地區是否會對降雨型態產生影響，透過交通部中央氣象局所公開的資訊的收集與搭配地基GPS測站的雨量資料，本研究將統計分析降雨事件並驗證兩者關聯性。

二、GPS氣象學

全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 自1970年代發展至今，已在諸多領域中受到廣泛的應用，如大地測量、控制測量、地殼形變、建物變形監測、軍事、即時定位與導航功能等。由於GPS於定位過程中會受到許多不同來源誤差之影響，為有效減少誤差影響，以提升定位精度，發展出差分定位技術，此原理為使用兩台以上的接收儀同時觀測，將觀測方程式作線性運算，因此差分定位技術在GPS可說是相當地重要。在氣象科學上的應用，稱之為GPS氣象學，利用對流層對於GPS衛星訊號所造成的延遲效應，反演得到有用的大氣資訊，促進大氣科學、氣象學等相關學術研究領域之發展。由於氣候變遷，社會各界都相當重視突發性、即時性的天氣預報，利用連續觀測的GPS衛星訊號可獲得對流層中可降水量的動態變化，得到高精度、高時空解析度、近即時且連續的全國可降水量應用於氣象預報，以提高即時性天氣預報的能力。

本研究以GPS水氣反演技術，觀察水氣量與降雨量之關係，其原理係採用長距離基線相對定位來估算絕對量之天頂濕延遲量，並藉由水氣微波輻射儀 (Water Vapor Radiometer, WVR) 的外部修正，來驗證並進一步提昇GPS反演之天頂濕延遲量 (Zenithal Wet Delay, ZWD) 精度，其成果可推得GPS接收儀之天頂濕延遲量與接收儀上空之可降水量 (Preceipitable Water Vapor, PWV) 成比例關係。陳彥秋等 (2008) 以水氣微波輻射儀的觀測量，驗證GPS反演之天頂濕延遲量，其標準差可達10-23 mm。顯示由GPS反演的天頂濕延遲量，其精度有不錯的表現，因此可廣泛運用於天氣預報的初始場資料。

目前GPS觀測資料應用於氣象預報上，是先以載波相位二次差分定位方式處理，在差分過程中消去了接收儀時鐘誤差與衛星時鐘誤差，接著以最小二乘去消除觀測資料中的週波未定值，此時可得到各測站的對流層天頂總延遲量 (Zenith Total Delay, ZTD)，由於天頂總延遲量包含天頂乾延遲量與天頂濕延遲量，配合全球經驗模式Saastamoinen估

計模式 (Saastamoinen, 1973) 及Niell映射函數 (Niell, 1996) 計算對流層乾延遲，再將天頂濕延遲量扣除乾延遲就可獲得天頂濕延遲量。若要求得大氣中的可降水量之關係，就是將天頂濕延遲量乘上一比例因子Π，就可將此延遲量轉化為可降水量，而比例因子Π，其經驗值約0.158-0.167之間 (Yeh et al., 2014；葉大綱、陳國華、洪景山、馬欽賜，2014)。

三、資料處理

都市內的柏油路、水泥鋪面與建築物，將太陽光、交通工具所排放的熱氣與空調設備所排出之熱空氣蓄積都市內，而都市內的大樓也阻擋了風的吹拂，使都市的溫度無法降下來，產生熱島效應，使得都市地區溫度異常高於周遭郊區。

為探討降雨量變化與可降水量間之關聯性，本研究利用交通部中央氣象局所提供之溫度測站資料，驗證熱島效應是否發生於臺北地區，再以地基GPS觀測站取得之雨量資料驗證熱島效應影響降雨之地域分布。GPS衛星資料是由內政部地政司衛星測量中心與交通部中央氣象局所提供之資料時間自2006年起至2014年，而地面接收儀每30秒取得一筆GPS數據，經由Bermese 5.0計算之後，取得逐時資料作月平均數據分析其趨勢 (葉大綱、陳博隆、張味新、洪景山, 2011)。全國共有100個衛星追蹤站，扣除金門、馬祖、小琉球、蘭嶼以及澎湖共5個離島測站，可分為北部、中部、南部、東部及山區，共有95個測站，其分佈如圖1所示。

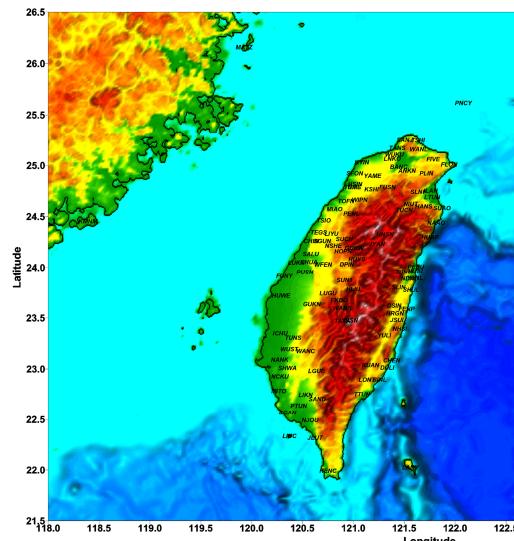


圖1 GPS衛星追蹤站位置分布圖（圖片來源：GPS精密求定大氣可降水及服務網）

其座標與所搭配的雨量站最短距離，所有雨量站與GPS測站平均距離為3.27公里，最遠距離為8.16公里，盡量使環境因素相同，以降低因距離過遠環境因素不同導致分析結果失準之可能性。以地基GPS反演之大氣可降水量具有相當之準確性，嘗試以其提供之水氣分布資訊來了解可降水量和降雨量之關係後提升可降水量資料的運用層面。

四、實證分析

(一)溫度分析：

首先進行溫度分析，由於熱島效應會使都市地區之溫度高於周圍郊區，本研究為驗證熱島效應是否存在於大臺北地區，將臺北都會區，以基準年2006年各行政區人口密度相對位次，劃分為核心區與邊陲區，並將落於核心區內之溫度測站定義為都市測站，反之為郊區測站。本研究選定臺北地區14個氣象溫度測站，其中都市地區溫度測站共9個，分別為山佳、金山、社子、大直、天母、永和、土林、內湖及南港測站；郊區溫度測站共5個，分別為大坪、五指山、三和、大嵙尾山及大屯山測站，其溫度測站分佈如圖2。依據觀察之結果，分析2006年至2014年夏季及冬季每小時之溫度，透過加總運算，計算出每年每季之平均溫度。其中，夏季期間為該測站每年之6、7、8月；冬季期間為該測站每年之12月及隔年之1、2月。

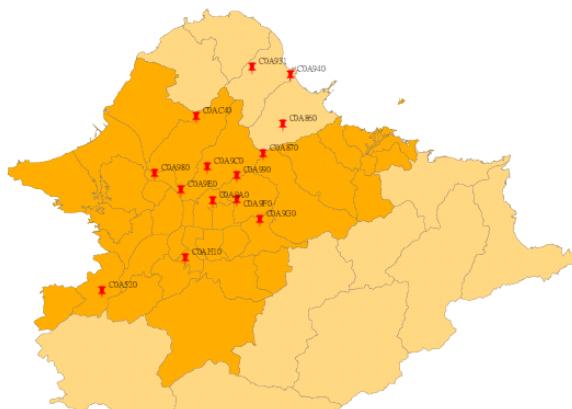


圖2 溫度測站分佈圖

圖3、4分別為2006年至2014年夏季與冬季均溫圖，由該圖可發現，2006年至2014年夏季平均氣溫呈現上升的趨勢，都市跟郊區氣溫大約均上升攝氏0.5度，冬季平均氣溫則呈現下降的趨勢，都市氣溫大約下降0.7度，郊區氣溫大約下降0.1度。由上述分析觀之，臺北的都市與郊區，夏天溫度同步呈現上升趨勢，

冬天溫度呈現下降的趨勢，推論造成此趨勢的原因應是全球暖化，造成極端氣候出現機率增加，在長久的趨勢看來，夏季越熱、冬季越冷的趨勢會愈加明顯。

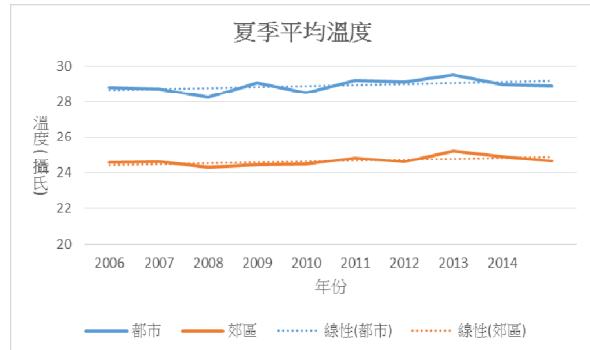


圖3 2006年至2014年夏季平均溫度圖

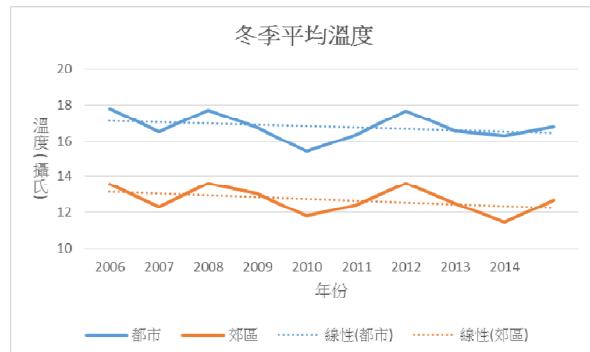


圖4 2006年至2014年冬季平均溫度圖

(二)雨量與水氣分析：

接著是雨量與水氣分析，在這個步驟中最重要的是水氣量資料也就是大氣可降水量資料。大氣可降水量定義為大氣垂直空氣柱中液態水的含量，即單位面積上空的水氣凝結為液態水時的水柱高度，以高度(mm)為其單位。透過GPS的觀測資料反演的大氣可降水量資料與雨量資料，觀察熱島效應對於降雨量空間分布之差異，驗證若臺北的都市地區之降雨量增加，是否造成郊區的雨量減少，並進一步分析水氣量和雨量之關聯性。由於熱島效應會使都市地區之降雨量多於周圍郊區，本研究為透過此種方式來驗證熱島效應是否存在於大臺北地區，將GPS可降水量和雨量測站同樣分為都市與郊區測站，分類方式同前述溫度分析的分類方式，本研究選定臺北地區10個可降水量和雨量測站，其中都市測站總共有4個，分別為板橋、林口、淡水、五股；郊區測站總共有6個，分別為三芝、坪林、福隆、萬里、金山、五分山，其臺北地區GPS可降水量和雨量測站位置圖測站分佈如圖5。將

各測站每年夏季及冬季之雨量及可降水量，以每日為單位分析，將資料缺漏部分扣除，計算出有資料日數的平均日降雨量，並乘以每月平均日數30日，得到每月平均降雨量。為求資料完整性，若部分月份資料有缺漏之部分，就不計算當月份資料，以其他月份的方式製作統計圖表。又為求結果之準確性，在分析過程中亦去除颱風所造成之極端降雨量降雨量；分析結果如圖5至圖9。

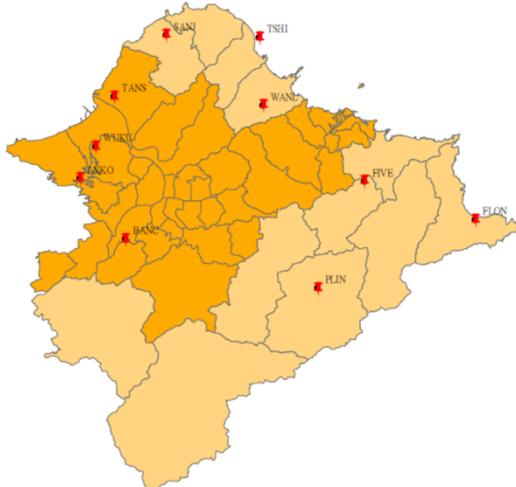


圖5 臺北地區GPS可降水量和雨量測站位置圖

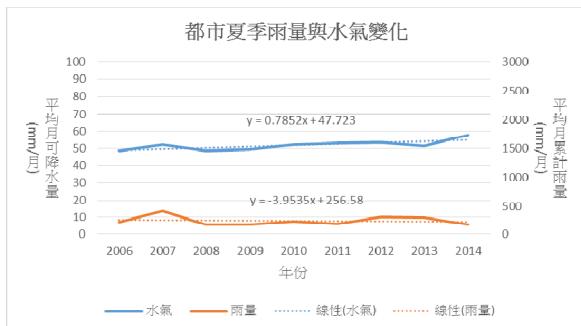


圖6 臺北都市地區夏季歷年雨量及水氣變化統計圖



圖7 臺北郊區夏季歷年雨量及水氣變化統計

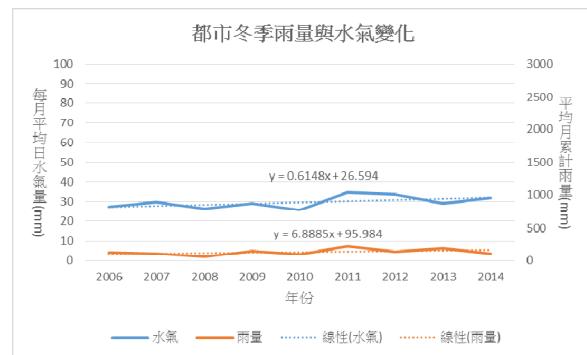


圖8 臺北都市地區冬季歷年雨量及水氣變化統計

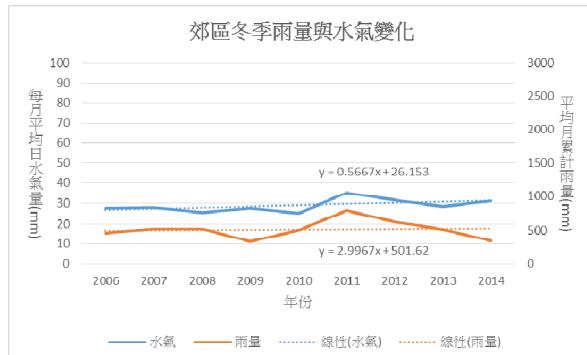


圖9 臺北郊區冬季歷年雨量及水氣變化統計

(三)綜合分析：

由上述溫度分析可知都市地區不論是在夏季或是冬季，平均氣溫皆高於郊區，驗證臺北都會區都市熱島效應；其次，夏季郊區溫差大於冬季，證明熱島效應之影響於夏季較顯著。

由圖6、7可見，臺北地區夏季都市測站與郊區測站水氣量皆成長，但相較郊區測站雨量增加趨勢較為明顯，都市測站雨量有下降趨勢，可推導夏季其他因素對降雨的影響較充足水氣量顯著。再從圖8、9可發現，冬季都市測站與郊區測站水氣量皆成長，其中都市測站雨量增加較郊區更顯著。

綜合上述溫度、雨量、水氣資料，發現臺北都會區氣溫上升，夏季時都市較郊區增溫顯著，冬季時都市較郊區降溫顯著；水氣量部分，在冬天時都市地區與郊區均有上升趨勢，都市冬季雨量增、夏季減，郊區夏季雨量增加幅度較冬季大。

熱島效應及全球暖化造成臺北地區平均溫度上升，影響水氣的增加，進而影響未來降雨增加的可能。但都市不透水層的增加，將導致都市地區排水的功能降低，可能會造成洪患的發生。本研究將臺北都會區氣候變遷下氣溫、雨量、水氣變化整理如下表1：

表1 2006年至2014年臺北都市地區與郊區在夏天與冬天的
水氣、雨量、溫度變化數據

夏季	水氣(mm)	雨量(mm)	溫度(C°)
都市	增加2%	減少2%	上升0.5
郊區	增加2%	增加4%	上升0.5
冬季	水氣(mm)	雨量(mm)	溫度(C°)
都市	增加2%	增加5%	下降0.7
郊區	增加2%	增加1%	下降0.1

五、結論與建議

綜合以上分析，可歸納研究結論如下：

(一)都市熱島效應存在於大臺北地區，且郊區也逐漸發生熱島效應：由以上分析結果可知，都市熱島效應的確存在於臺北都會區，且不只在都市地區有顯著的表現，在郊區部分，人口自都市移動至郊區的過程，使得郊區加速開發、都市化程度也越來越高，有可能成為新的都市地區，溫度也逐漸受到熱島效應的影響。

(二)熱島效應增加降雨的可能性：證實臺北都會區存在熱島效應後，研究發現其造成的平均溫度上升，帶來水氣的增加，進而影響降雨增加的可能性。經資料蒐集與分析後，臺北都會區雨量變化雖然並沒有一定的趨勢，但可降水量卻在2006~2014年間不論夏季或冬季、都市或郊區，都上升了2%，意味著將來臺北都會區有更大的降雨潛力。

(三)郊區人口增加，都市化結果導致暴露於：熱島效應帶來的溫度上升及水氣增加，間接影響潛在降雨事件增加之可能性，臺北都市地區發展較早，人口密度增長幅度有限，相較之下郊區反而有較大幅度增長。隨著人口密度的增長，郊區勢必加速開發，面臨暴雨所帶來的災害時，居民暴露於風險及危險的機率也跟著增加。

由以上研究結論，歸納建議如下：

(一)本研究比較臺北都會區自然環境因子（水氣、雨量及氣溫）的變化，但可降水及雨量和氣溫的測站分布卻鮮少位在同一處或鄰近地區，因此，即使仍有區分城市及郊區，但做出來的分析可能較不全面，為加強研究嚴謹度，往後應注意測站的選定，盡量選擇位於同一處或鄰近地區之測站。

(二)進行趨勢觀察研究中，資料的空間相關性及時間延續性

影響到分析的成果好壞，應確保資料的完整性；鑑於政府公開資料的等級劃分單位，進行脆弱度分析時，建議以縣市為單位，資料較為完整齊全，以獲得較好的成果。

(三)由於全球暖化導致降水集中於雨季，加上熱島效應導致郊區雨量有明顯增加的趨勢，基於國土保安、減緩災災的目的，郊區的林地良田建議不應該繼續開發。

參考文獻

陳彥林、陳國華、楊名，應用水氣輻射天頂延遲觀測量於

GPS相對定位之研究，2008，地籍測量，第27卷，

第3期，頁23-45。

葉大綱、陳博隆、張味新、洪景山，2011，利用GPS反演大氣可降水及年變化分析，發表於2011年建國百年天氣分析預報與地震研討會，臺北：交通部中央氣象局。

葉大綱、陳國華、洪景山、馮欽賜，2014，由溫度、水氣、降雨量分析大臺北地區之熱島效應，發表於2014年103年天氣分析與預報研討會，臺北：交通部中央氣象局。

GPS精密求定大氣可降水及服務網，網址：

<http://120.126.139.90:8080>，最後瀏覽日期：2015年7月26日。

Niell, A. E., 1996. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *J. Geophys. Res.*, 101, 3227-3246.

Saastamoinen, J., 1973. Contributions to the Theory of Atmospheric Refraction, *Bulletin Geodesique*, 107, 13-34. Yeh, T. K., J. S. Hong, C. S. Wang, T. Y. Hsiao, C. T. Fong, 2014. Applying the Water Vapor Radiometer to Verify the Precipitable Water Vapor Measured by GPS, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 25(2), 189-201.

