

十二、研究計畫內容：

(二) 研究計畫之背景及目的

2-1 背景

臺灣地區受到氣候變遷與熱島效應等大小尺度天氣氣候系統變異之影響，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。爰此，近年來短延時極端降雨之事件頻仍(Chu and Yu, 2010)，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。

臺灣內水防洪之概念始於 1998 年防災國家型科技計畫辦公室所產製之全臺灣水潛勢圖(許銘熙等, 1998)。因不考慮外水溢淹水情境，該淹水潛勢圖係針對假設於定量降雨下之固定雨型所引致之內水溢淹進行淹水模擬。然而，早期都市防洪預警之概念多以區域排水模式演算及地表漫地流淹水演算模式為主，其數值模式之建立及演算過程皆相當耗時，且僅能針對特定情境預先產製淹水潛勢圖資，無法真實反應颱風豪雨期間降雨之時空分布，對於都市內水引致迅洪之淹水災害型態較不易及早預警。為縮短內水洪水預警時間，政府相關防災單位開始考慮多源化之定量降雨估計(如地面雨量站及整合雷達回波之劇烈天氣監測系統 QPESUMS)。然而，臺北市政府大地工程處分析 QPESUMS 產品與地面雨量站觀測資料後發現，若雷達回波資料未考慮非中央氣象局之地面雨量站僅以所轄雨量站進行校正時，其降雨之空間分布有明顯差異(臺北市政府大地工程處，2013)。圖 1 係 2010 年 10 月 25 日午後熱對流之觀測案例，說明降雨之空間分布若依據不同降雨觀測來源，對淹水警戒區域之評估將有明顯影響。

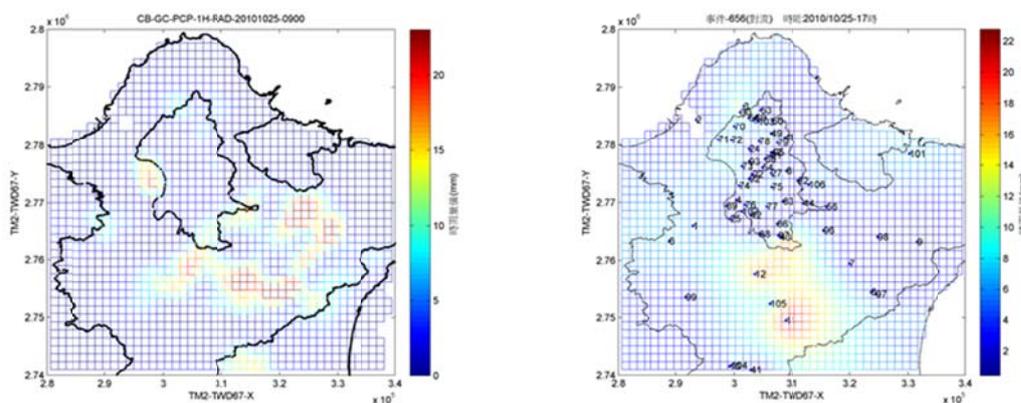


圖 1 QPESUMS 推估雨量(左)與地面雨量站推估雨量(右)比較(午後對流，2010/10/25-17 時)。

此外，經濟部水利署應用中央氣象局地面雨量測站資料直接建構降雨-淹水警戒門檻值，透過即時之雨量觀測及 1、3、6、12、24 小時累積雨量之計算，發展一快速、強韌、穩定之內水防洪預警系統。經 2011~2012 年實際運作之結果統計發現，因 1 小時累積降雨超過警戒值之事件比例高達 78%，6 小時以內之極端降雨達警戒值之事件比例為 83.7%，且預警系統之準確度與空間降雨是否充份掌握具高度相關(經濟部水利署，2013)。爰此，針對短延時極端降雨所引致之內水型淹水災害預防，研析熱島效應對短延時極端降雨之影響並評估目前之雨量站網是否充份掌握其影響之空間變化係重要且迫切之議題。

臺北都會區之熱島效應與土地使用程度相關(圖 2)，於水文方面之主要影響為降水時空分布、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%，夏季雨量因此遽增 80%(圖 3)。再者，Lin et al. (2008)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。

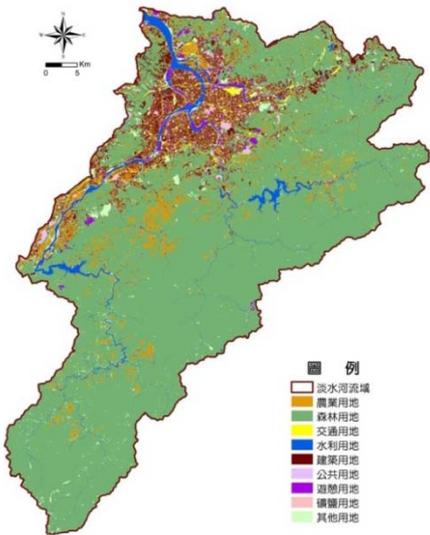


圖 2 臺北地區土地使用分布狀況一覽圖

圖 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

臺灣中部地區，隨著都市規模增加，對氣象參數之影響有更顯著且強化的趨勢，降水方面，都市下風處之降水隨著都市規模(urban size)增加，降水亦增，另外，還有一項是臺灣中部地區特有的現象，即都市上游平原隨著都市規模增加，其降水系統亦隨著被強化。就臺中都會區而言，由 Lin et al.(2007)研究結果顯示，臺中都會區在可感熱通量、距地 2 公尺之氣溫、近地面相對濕度，皆較非都會區有較顯著之變化，可感熱通量於中午達逾 $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (非都市區 $150 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)，都市區地表氣溫上升近 3°C 、相對溼度減少近 10%，皆較非都市區變化顯示(圖 4a、b、c)。

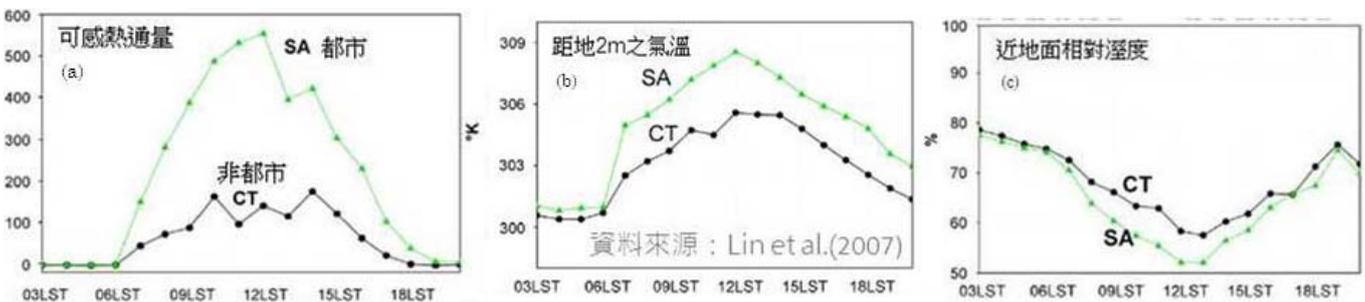


圖 4 臺中地區，都市區與非都市區之(a)可感熱通量、(b)距地 2 公尺之氣溫、(c)近地面相對濕度隨時間之變化圖

前述臺北及臺中盆地之熱島現象已藉由溫度之觀測確認其存在，但在熱島效應影響水文環境之評估上仍較少著墨。依據經濟部水利署評估熱島效應對都會區防洪能力之衝擊經驗，前人雖指出臺北盆地受熱島效應影響顯著，但若由地面雨量站之觀測資料進行分析時，過短之紀錄年限及雨量站網之分布密度不易反應熱島效應造成降雨在空間上之變化。為提升都會區對短延時極端降雨之淹水預警技術，透過雨量站網及雷達回波之觀測進一步評析熱島效應對短延時極端降雨之影響有其重要性。

2-2 目的

本研究擬利用中央氣象局之劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之定量降雨估計產品及中央氣象局、水利署、地方政府所建置之地面雨量站進行午後對流降雨事件之降雨空間推估，並應用群集分析辨識午後對流降雨事件發生時都市熱島現象之程度，並依據群集分析結果分析短延時極端降雨之空間變化趨勢。研究區域選擇臺北及臺中盆地進行熱島效應對短延時極端降雨影響之分析比較。相關研究成果期冀提供水利防洪相關單位參考，以達到掌握短延時極端降雨事件可能致災之區域，讓政府得以及時提醒、民眾得以及時避災之目的。其分項目標條列如下。

- (1) 評估雨量站網對雷達降雨校正之影響；
- (2) 午後對流降雨之定量降雨資料融合；
- (3) 午後對流降雨與都市熱島效應之群集分析；
- (4) 短延時極端降雨受熱島影響之空間與強度分析；
- (5) 臺北與臺中盆地短延時極端降雨受熱島效應影響之比較分析。

2-3 重要性

本研究著重於盆地型都會區之短延時極端降雨受都市熱島效應影響之分析技術發展，並透過多源定量降雨產品之整合，提升都市熱島效應分析資料之質量，最後以人口密集度高之臺北盆地及臺中盆地進行案例研究，據以研析都市熱島效應對短延時極端降雨之影響程度以及比較兩個案例之差異。本研究之重要性條列說明如下。

- (1) **提升地面雨量站網與雷達估計降雨之融合品質。**目前中央氣象局雷達估計降雨產品係僅依據中央氣象局所建置之地面雨量站資料對雷達回波所估計之降雨產品進行雨量校正。本研究將進一步考慮地方政府於都會區所建置之雨量站觀測資料，據以提升雷達估計降雨於盆地型都會區之雨量估計品質。
- (2) **建立熱島強度與短延時極端降雨之關係。**由於臺灣於1990年之後方大量建置自計式雨量站，故諸多雨量紀錄年限過短，不足以描述隨都市發展歷程下降雨之空間變化。前人亦多以WRF數值模擬方式研析熱島效應對都市降雨之影響。然數值模式之空間解析度有其極限，對於熱島效應主要影響之午後對流降雨型態，仍不易達到定量分析。本研究擬由熱島現象之基本定義發展雨量紀錄有限之熱島效應分析技術。應用地面雨量站與雷達估計降雨之融合產品，分析不同熱島強度下之短延時極端降雨於水文環境上之變化。
- (3) **臺北與臺中盆地之短延時極端降雨受熱島效應影響之比較分析。**目前諸多前人研究仍著重於單一地區之都市熱島效應影響評估。本研究擬透過研析技術之發展，同時進行臺北與臺中兩盆地之案例分析。其結果可供政府水利防災相關部門之參考，透過國土規劃，優先針對受熱

島現象影響短延時極端降雨較顯著之地區進行調適方案之規劃。

2-4 文獻回顧

2-4.1 雨量站網分析

雨量站分布與空間降雨量分布有關，而降雨空間分布特性通常和一個地區的地形、氣候等因素息息相關，因為地形的冷卻效應，使降雨量有隨高程增加而遞增的趨勢，所以山區較平地雨量變化多，雨量站網之密度在山區也應較平地密集。若雨量站位置的選定無法代表區域降雨特性，則將導致社會資源之浪費，並增加災害發生。因此，近年來已有許多雨量站網設計規劃的相關研究，主要可分為使用克利金法進行評估與應用訊息熵理論來評估雨量站的效益。

在設計雨量站網方面，Kassim 和 Kottegoda(1991)比較線性的簡單克利金法(Linear Kriging)及非線性組合的非連結克利金法(Disjunctive Kriging)於設計雨量站網之表現，結果顯示後者之估計變異數較前者低且較為穩定，較能夠表現出空間中的變異特性。許(1993)在研究中採用指數模式、指數碎塊模式、次方模式與次方碎塊模式等四種時雨量變異圖模式進行雨量推估與站網設計，推估結果皆顯示次方模式與指數碎塊模式有較佳的推估值。

許(1993)在研究中利用區域化變數理論探討淡水河流域內時雨量在空間中之變異情形及進行雨量的推估，再利用克利金變異數作為站網設計之依據。於半變異元模式方面，採用指數模式、指數碎塊模式、次方模式與次方碎塊模式等四種時雨量變異圖模式進行雨量推估與站網設計，推估結果皆顯示次方模式與指數碎塊模式有較佳的推估值。

鄭等人(1996)以淡水河流域之 32 個雨量站為例，應用區域化變數理論於雨量站網設計與評估。研究中首先以時雨量之無因次半變異元分離降雨強度及空間位置對降雨量變異之影響，再配合克利金變異數之推估與排序，以循序演算法(Sequential method)評估站網中各站之重要性，決定各雨量站設置或捨棄之先後順序。並利用通用克利金法(Universal Kriging)輔助決定該流域應優先設置之基本站、可刪除多餘站及合理站數。

André 等人(2003)為探討站網密度對年雨量推估及每日流量推估之重要性，利用克利金推估法針對不同的站網密度進行比較，結果顯示密度高的站網可將雨量多的地區推估的較好。而站網密度為洪水預報的關鍵，品質不良的預報無法建立好的水庫管理系統，將會造成能源的損失和浪費，因此站網的數量與位置設計有評估之重要性。

侯、鄭(2003)以淡水河流域連續時雨量之颱風資料為例，引入訊息熵(Information Entropy)理論以評估不同站網設計方法之優劣及其適合性。研究中，首先將研究區域內的平均降雨變異之二維趨勢予以移除，使其可視為一定常性之隨機變域。此時，研究範圍內各個測站之熵值皆相同，即可以聯合熵值最大為原則逐步加站。結果發現以基本站為基礎逐次加站時，會先不確定性較大的測站，即該測站之周圍降雨特性較難掌握。研究中並比較以最大聯合熵值、傳統克利金與全域克利金三種方法對站網設計之影響。結果發現利用全域克利金變異數加以選站時，可考慮到區域內所有網格之降雨變化，如此所選出的測站可代表整個區域之降雨變化；而最大聯合熵值與傳統克利金的選站原則皆取決於半變異元模式之決定，兩者結果相近，且所選出之測站無法代表整個區域之降雨變化。在此研究中，評估站網設計的方法以全域克利金變異數為佳。

Pan et al. (2012)以高屏溪流域之 24 個雨量站為例，應用克利金變異數進行雨量站網分析。其結果顯示該區之雨量站網若結合雷達回波資料，僅需保留 12 個雨量站進行雷達回波之校正，即可得到原 24 個雨量站網所建立之空間推估滿意度。

2-4.2 雷達估計降雨與地面雨量站之融合

依據前人之研究，臺灣高強度之降雨多由於颱風雨帶與山區地形之交互作用所引致。為了監測全臺降雨變化以作為防災預警之用，超過 400 個自記式雨量站之高密度地面雨量站網自 1990 年之後開始布建，同時亦建置 4 顆都卜勒雷達。目前中央氣象局已將 400 多個全臺之自記式雨量站與雷達回波資料融合為定量降雨估計產品(QPESUMS)(Chiou et al., 2005)。Vieux 等(2003)、Chen 等(2007)，及 Wang 等(2007)應用 QPESUMS 系統中之定量降雨估計產品(QPE)於土石流及洪水之災害預警。然而，QPESUMS 之產品於水利工程之相關應用仍在發展中，因為氣象領域在實務上所能提供之資訊與水文水利領域對於降雨資料品質之需求不論在時間及空間之解析度上仍有一段落差(Pappenberger et al., 2008)。因此，如何透過地面雨量站網及雷達回波資料融合為高品質之降雨估計產品仍是未來需持續投入之議題。

許多研究已針對雷達資料與地面雨量站網資料之融合提出改善之建議。Steiner 等(1999)於美國密西西比的 Goodwin 溪測試 30 場暴雨事件(每場累積降雨至少大於 10mm)，發現偏估校正在雷達回波 Z 與地面雨量站(R)之間所採用之冪次關係中應視為重要之程序。由於地面雨量站之觀測雨量品質大幅影響雷達估計降雨之偏估校正，故地面雨量站的品質控管亦相對重要。Michelson 與 Kolstinen(2000)應用地面雨量站與雷達估計雨量之比例進一步衍生高解析度之 3 小時與 12 小時累積降雨。前述檢定資料可應用於與地面雨量站資料之融合。該融合程序共分為 2 步驟：(1)計算經檢定之衛星估計平均降雨與地面雨量站估計之區域平均降雨之比值，並用以調整衛星估計降雨。對於低降雨強度之情況，則以兩者間之差值取代比值；(2)由步驟(1)所產製之成果，進一步應用誤差變異數作為權重與地面雨量站資料進行融合。2002 年，Seo 與 Breidenbach 應用地面雨量站觀測資料發展一個通用型區域偏估計算器用以推估空間非均勻之雷達降雨校正機制。透過指數型平滑方法所得到之變異數可據以進行參數最佳化。此外，透過雷達估計降雨之驗證分析，Habib 等(2009)指出多感測雨量估計與地面雨量站之觀測值間之偏估達到正負 25%之累積降雨量。研究同時指出，在一個雨量估計像素(pixel)內若有多個雨量站，則可避免錯誤之偏估校正。

在應用地理統計技術進行空間資訊之較正方面，克利金(Cressie, 1993)是目前最多人採用之理論之一，該理論可描述雷達資料與地面雨量站資料在空間變異結構之關係。Bastin 等(1984)提出時變性之估計運算器並應用於計算季節變異及降雨強度對半變異圖之影響。Germann 及 Joss(2000)應用雷達回波資料之半變異圖分析阿爾卑斯山降雨之空間特徵。此外，諸多研究皆指出共克利金是目前最廣泛用於融合兩種以上感測儀之定量降雨估計方法(Crawford, 1979; Eddy, 1979; Seo, 1998; Sun et al., 2000; Goudenhoofd and Delobbe, 2009)。Sun 等(2000)證明於洪水即時預報方面，應用地面雨量站與雷達資料間之共克利金於降雨估計比單獨採用流域尺度之雨量站資料較有效率。Haberlandt(2007)採用具外部趨勢之克利金(KED)由地面雨量站之日降雨量與高程資料作第二變數進行逐時雷達雨量資料之推估。此研究同時提到半變異圖對空間內插的影響並非非常顯著。Goudenhoofd 與 Delobbe(2009)評估許多雷達與地面雨量站網資料融合之方法進行日降雨量之估計。研究顯示克利金法(包括 KED，依據雷達誤差修正量之克利金，及一般克利金)皆能達到滿意之雷達與雨量站資料融合效果。然而 KED 之缺點係殘餘值之半變異圖必須由第二變數具相同值之位置估計而得(Goovaerts, 1997)。但實際上雷達資料為時變性，故實務上不太可能預測第二變數具相同數值之位置。據此，由殘餘值進行克利金空間推估之方法係目前最合理且最佳之方法。

2-4.3 都市熱島效應對水文環境之影響

隨著人類經濟發展、工業化、都市化、能源使用量大增等人為因素，使得都會區與鄰近之郊區的生活型態、土地使用與人口密度等因子差異性加大，導致都會區氣溫比周遭郊區高之現象，稱之為

『都市熱島現象』。所謂的『都市熱島效應』，則是熱島現象產生後，衍生的效應，譬如影響到都市區之 1.平均氣溫，2.最高溫及最低溫，3.降雨-時空分布、強度、頻率、體積，4.懸浮微粒量，5.霧日數，6.相對濕度，7.中尺度環流，8.風向及風速，包括海風等改變，進而影響到區域性之氣候產生變化，尤其是區域降雨改變是最為顯著的，因此，都市防洪(僅考慮內水)-包括區域排水及雨水下水道，以及水資源之管理更凸顯出其重要性。

熱島效應帶來之典型影響及過去學者在研究熱島效應時，主要分析之因子及其成果包括：

Bornstein(1968)、Oke(1982)、Draxler(1986)、Balling and Cerveny(1987)、Bornstein and Lin (2000)、Morris et al. (2001)、Shepherd et al.(2002)、Dixon and Mote (2003)：指出熱島效應對於中尺度環流有顯著影響，進而使對流、降雨產生變化。

Oke(1982)、Arnfield(2003)：提出高大建築物，使地表粗糙度增加，進而降低都市地區之通風速率，使得都市地區留住較多熱及汙染物，導致對流作用與周遭地區來比有增加之趨勢。

Hjermfelt(1982)：藉由理論及數值模式之研究顯示，都市化不僅增加粗糙度，亦強化地表輻合。

Shepherd et al.(2002)、Steiger et al.(2002)：隨著都市規模(urban size)的增加臺灣中部都市下風處之山坡區及平原地區之降雨系統皆有被顯著強化的趨勢。

劉等(2003)：透過臺灣 1890-2010 年相對濕度距平圖顯示，相對溼度高於 90%之發生頻率較過去 40 年減少 2 倍以上，因而霧發生頻率亦減少 3 倍以上；臺灣西部平原熱島效應產生，原本應在山區(集水區)降雨之對流系統，因市區增溫比郊區快，並增強熱對流，使得提前在城市下風處產生午後雷雨，不僅降雨位置改變，市區附近降雨反而比山區集水區多，也使得乾旱現象更為嚴重；根據模式分析，熱島效應也可能衝擊到其他臺灣地區性氣候現象，包括西部平原海陸風、山谷斜坡風及午後雷雨等。

Chen et al. (2007)：UHI-海風，在城市地形的相互作用中起著重要的作用，影響著臺北盆地內的降雨變率。研究臺北盆地之都市化發現，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，臺北夏季雨量占總降雨量的 70%。

Lin et al. (2008)：透過 MM5 數值模式研究指出，臺灣中部地區隨著都市規模的增加，對於氣象參數的影響有更顯著的趨勢。如可感熱通量(SHF)於中午達逾 $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (非都市區 $150 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)，都市區地表氣溫上升近 3°C 、相對溼度減少近 10%，皆較非都市區變化顯示。

Lin et al. (2008)：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。

高(2009)：透過 Weather Research and Forecast (WRF)中尺度數值氣象模式，以相同初始與邊界條件分別利用兩種不同土地利用型態及兩個年代不同的人為排放條件設計 5 種情境實驗。在初夏時節沒有明顯大尺度降雨系統(颱風、梅雨)影響的情況下，模擬分析午後強對流降雨個案。其與 Chen et al. (2007)及 Lin et al. (2008)有一致之研究觀點，藉由模式模擬結果比較各情境模擬溫度、風速與相對濕度差異，進而評估 WRF 的模擬能力。結果顯示模式模擬雨量分佈並不理想，並且該研究著重比較各情境之模擬差異並沒有與實際觀測資料進行比較。

2-5 參考文獻

- André, S. H., Ouarda, T. B. M. J, Lachance, M., Bobée, B., Gaudet, J. and Gignac, C., “Assessment of the impact of meteorological network density on the estimation of basin precipitation and runoff: A case study,” *Hydrological Processes*, Vol. 17, pp. 3561-3580, 2003.
- Arnfield, A.J., 2003. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island, *International Journal of Climatology* 23, 1-26.
- Balling, R.C., Cerverny, R.S., 1987. Long-term associations between wind speeds and the urban heat island of Phoenix, Arizona. *Journal of Applied Meteorology* 26, 712–716.
- Bastin, G., Lorent, B., Duqué, C. & Gevers, M. (1984) Optimal estimation of the average areal rainfall and optimal selection of rain gauge locations. *Water Resour. Res.*, 20(4), 463-470.
- Bornstein, R.D., 1968. Observation of the urban heat island effect in New York City. *Journal of Applied Meteorology* 7, 575–582.
- Bornstein, R., Lin, Q., 2000. Urban hat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies. *Atmospheric Environment* 34, 507–516.
- Chen, C.Y., Lin, L.Y., Yu, F.C., Lee, C.S., Tseng, C.C., Wang, A.H. & Cheung, K.W. (2007) Improving debris flow monitoring in Taiwan by using high-resolution rainfall products from QPESUMS. *Nat. Hazards*, 20(2), 447-461. Doi: 10.1007/s11069-006-9004-2
- 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.
- Chiou, T.K., Chen, C.R., Chang, P.L. & Jian, G.J. (2005) Status and outlook of very short-range forecasting system in Central Weather Bureau, Taiwan. *Applications with Weather Satellites II*, edited by Menzel and Iwasaki, *Proceedings of SPIE* 5658, 185-196.
- Crawford, K.C. (1979) Considerations for the design of a hydrologic data network using multivariate sensors. *Water Resour. Res.*, 15(6), 1752-1762.
- Cressie, N.A.C. (1993) *Statistics for spatial data*. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics. John Wiley & Sons, 928 pp.
- Dixon, P.G., Mote, T.L., 2003. Patterns and causes of Atlanta’s urban heat island-initiated precipitation. *Journal of Applied Meteorology* 42, 1273–1284.
- 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.
- Eddy, A. (1979) Objective analysis of convective scale rainfall using gages and radar. *J. Hydrol.*, 44, 125-134.
- Germann, U. & Joss, J. (2001) Variograms of radar reflectivity to describe the spatial continuity of Alpine precipitation. *J. Appl. Meteorol.*, 40, 1042-1059.
- Goovaerts, P. (1997) *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford Univ. Press, New York.
- Goudenhoofd, E. & Delobbe, L. (2009) Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 195-203.
- Haberlandt, U. (2007) Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. *J. Hydrol.*, 332, 144-157. Doi:10.1016/j.jhydrol.2006.06.028
- Hjemfelt, M.R., 1982. Numerical simulation of the effects of St. Louis on mesoscale boundary layer airflow and vertical motion: simulations of urban vs. non-urban effects. *Journal of Applied Meteorology* 21, 1239–1257.

- Kassim, A. H. M. and Kottegoda, N. T., "Rainfall network design through comparative kriging methods," *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, Vol. 36, No. 3, pp. 223-240, 1991.
- Lin, C.Y., Chen, F., Huang, J.C., Chen, W.C., Liou, Y.A., Chen, W.N., and Liu, S.C., 2008. Urban heat island effect and its impact on boundary layer development and land-sea circulation over northern Taiwan, *Atmospheric Environment*, Vol. 42, pp. 5635-5649.
- Lin, C.Y., Chen, W.C., Liu, S.C. Liou, Y.A., Liu, G.R., Lin, T.H., 2008. Numerical study of the impact of urbanization on the precipitation over Taiwan, *Atmospheric Environment*, 42, 2934-2947.
- Michelson, D.B & Koistinen, J. (2000) Gauge-radar network adjustment for the Baltic Sea experiment. *Phys. Chem. Earth (B)*, 25(10-12), 915-920.
- 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* 42, 716-738, 40, 169-182.
- Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108,1-24.
- Pan, T.Y., M.Y. Li, Y.J. Lin, T.J. Chang*, J.S. Lai, and Y.C. Tan, 2012, "Assessment of Typhoon Flood Forecasting Accuracy for Various Quantitative Precipitation Estimation Methods." In: Robert J. Moore, Steven J. Cole & Anthony J. Illingworth, editors. *Weather Radar and Hydrology*. Wallingford: IAHS Publication Series (Red Books), 502-507.
- Pappenberger, F., Scipal, K. & Buizza, R. (2008) Hydrological aspects of meteorological verification. *Atmos Sci. Let.*, 9, 43-52. Doi: 10.1002/asl.171
- Seo, D.J. (1998) Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and rain gage data. *J. Hydrol.*, 208, 37-52.
- Seo, D. & Breidenbach, J.P. (2002) Real-time correction of spatially nonuniform bias in radar rainfall data using rain gauge measurements. *J. Hydrometeorol.*, 3, 93-111.
- Shepherd, J.M., Pierce, H., Negri, A.J., 2002. Rainfall modification by major urban areas: observation from space borne rain radar on the TRMM satellite. *Journal of Applied Meteorology* 41, 689-701.
- Steiner, M., Smith, J.A., Burges, S.J., Alonso, C.V. & Darden, R.W. (1999) Effect of bias adjustment and rain gauge data quality control on radar rainfall estimation. *Water Resour. Res.*, 35(8), 2487-2503.
- Sun, X., Mein, R.G., Keenan, T.D. & Elliott, J.F. (2000) Flood estimation using radar and rain-gauge data. *J. Hydrol.*, 239, 4-18.
- Vieux, B.E., Vieux, J.E., Chen, C. & Howard, K.W. (2003) Operational deployment of a physics-based distributed rainfall-runoff model for flood forecasting in Taiwan. *Int. Symp. Inf. Weather Radar and Distrib. Hydrol. Model.*, Sapporo, Japan, 2003.
- Wang, Y.C., Li, M.X., Tsai, H.X. & Yu, P.S. (2007) Application of QPESUMS system with distributed rainfall-runoff model. *2nd Int. Conf. Urban Disaster Reduct.*, 27-29 Nov., Taipei, Taiwan.
- 侯如真、鄭克聲，(2003)，「訊息熵應用於雨量站網設計之理論探討」，*臺灣水利*，第 51 卷，第 2 期，pp. 10-21。
- 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。
- 許敏楓，(1993)，「雨量空間變異及站網設計之研究」，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
- 鄭克聲、許敏楓、葉惠中，(1996)，「雨量站網設計與評估—區域化變數理論之應用」，*臺灣水利*，第 44 卷，第 1 期，pp. 16-25。
- 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。

(三) 研究方法、進行步驟及執行進度

3-1 研究方法

3-1.1 本計畫採用之研究方法與原因

本研究欲藉由氣候觀測資料探究都市熱島效應對短延時極端降雨之影響，擬利用中央氣象局之劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之定量降雨估計產品及中央氣象局、水利署、地方政府所建置之地面雨量站進行午後對流降雨事件之降雨融合及空間推估，並應用群集分析辨識午後對流降雨事件發生時都市熱島現象之程度，並依據群集分析結果分析短延時極端降雨之空間變化趨勢。研究區域選擇臺北及臺中盆地進行熱島效應對短延時極端降雨影響之分析比較。其主要研究方法與資料間之輸出入關係如圖 5 所示。其研究方法說明如下各節。

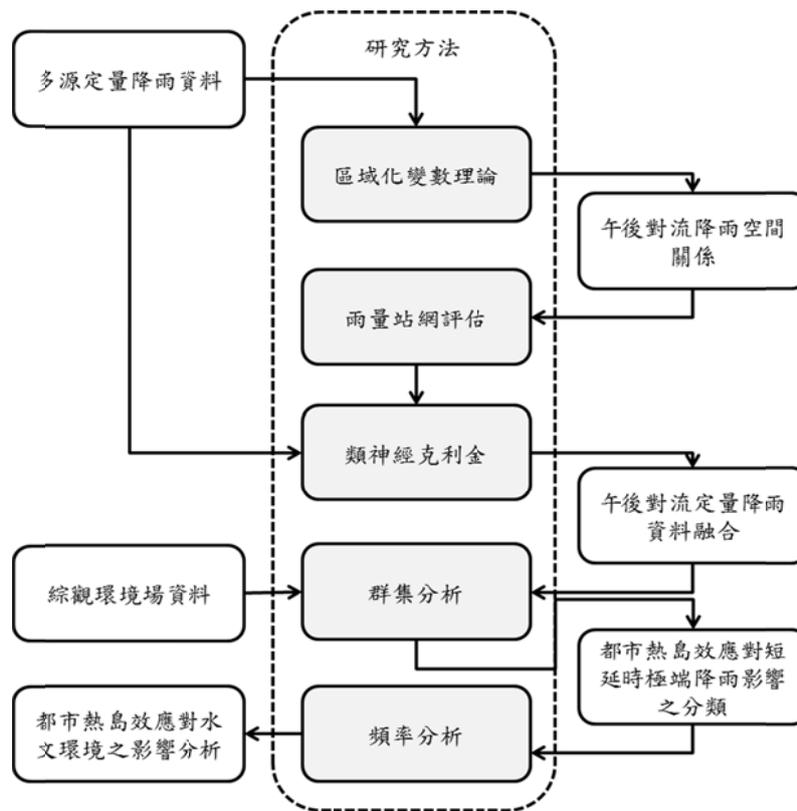


圖 5 研究方法與資料流之關係圖

3-1.1.1 區域化變數理論：一般克利金

克利金估計法是針對區域化變數所具有之特性所發展出推估系統方程組。利用隨機變域中已知之區域化變數 $Z(x_i)$ ($i=1,2,\dots,n$)，推估此空間中任一位置，只要已知相對距離 h 即可利用克利金推估法求得該位置之估計值 $Z^*(x_0)$ 。由統計角度觀之，克利金推估具有最佳線性不偏推估 (Best Linear Unbiased Estimator, 簡稱 BLUE) 特性，因此於空間推估方面經常使用。

一般克利金法 (Ordinary Kriging) 為應用於二階定常性假設之區域化變數，故 $Z(x)$ 之期望值為一定值，即 $E[Z(x)] = E[Z(x+h)] = c$ (常數)，且估計值 $Z^*(x_0)$ 為觀測值 $Z(x_i)$ 之線性組合，為求得最佳且唯一之估計權重 λ_{0i} ，首先須配合不偏估性質可求得(1)式，即

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} = 1 \quad (1)$$

其次，為了求得最佳化之推估結果，並為了同時滿足最佳化與不偏估兩項特性，又利用標準拉格蘭茲法（Standard Lagrangian Technique）引入拉格蘭茲參數（Lagrangian Multiplier） μ ，使得

$$\begin{aligned} L &= \text{Var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)] - 2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} - 1) \\ &= E[Z^*(x_0) - Z(x_0)]^2 - 2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} - 1) \\ &= -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{0i} \lambda_{0j} \gamma(x_i - x_j) + 2\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} \gamma(x_i - x_0) - 2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_{0i} - 1) \end{aligned} \quad (2)$$

將(2)式分別對 λ_{0i} 及 μ 取偏微分，並令其偏微分為零，則可得克利金系統方程式（Kriging System Equation）及克利金變異數 σ_k^2 （Kriging variance）。(11)式為克利金系統方程式之矩陣型態，(3)式為克利金變異數之計算式。

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \gamma_{2n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \gamma_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

在(3)式中， $\gamma_{ij} = \gamma(|x_i - x_j|) = 1/2 E\{[Z(x_i) - Z(x_j)]^2\}$ ， γ_{ij} 代表觀測資料彼此間之半變異元函數值，而 γ_{i0} 表示系統和欲推估點間的半變異元函數值，此處半變異元函數可視為空間相關性之量化表現，在已知半變異元函數情形下，利用克利金系統方程式即可求得最佳估計權重 λ_i 。進行克利金推估時，可再求得欲推估點之克利金變異數；利用克利金系統方程式可求得最佳估計權重 λ_{0i} 後，即可分別求得最佳不偏推估值及其對應的克利金變異數，若推估之克利金變異數愈小，則代表推估結果愈佳。

克利金變異數 σ_k^2 之計算式如下：

$$\sigma_k^2 = \text{Var}[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_{0i} \gamma(x_i - x_0) \quad (4)$$

3-1.1.3 類神經克利金

本研究擬採用類神經克利金(Neural Kriging)進行空間雨量之推估。考慮由遞迴式類神經網路退化為無遞迴式連結，且輸入層即為地理座標，輸出層為各座標之推估物理量(如定量降雨推估)，則其類神經克利金之架構可由圖6輸入層為 x, y 座標-輸出層為地理資訊 z 之多層前向式類神經網路架構表示。

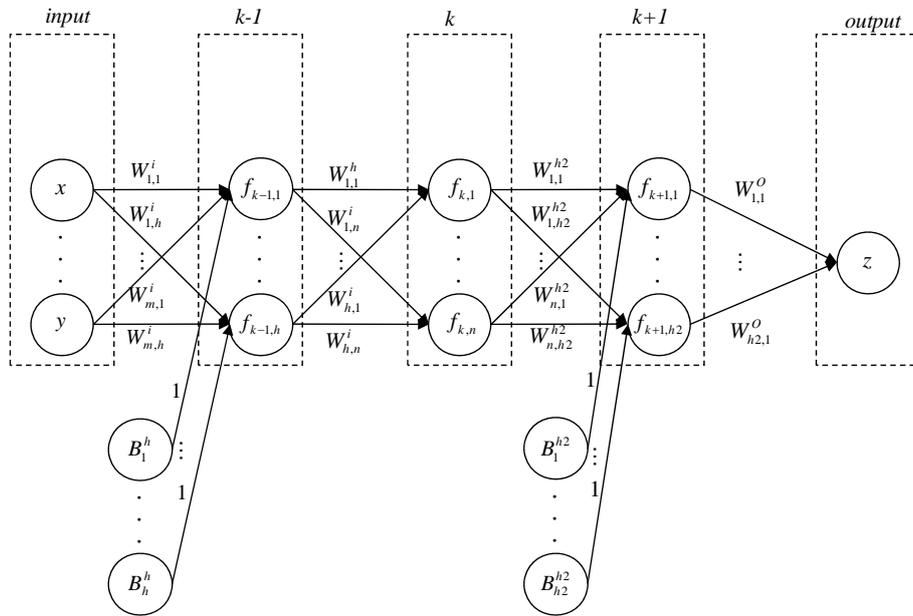


圖 6 輸入層為 x, y 座標-輸出層為地理資訊 z 之多層前向式類神經網路架構圖

一般監督式前向式類神經網路之學習過程(training)係以網路輸出值與目標值之差值進行反向修正，故其類神經網路學習過程係以最小化目標函數為驅動各神經元間權重值修正之機制，其目標函數可以式(5)表示。

$$F = \frac{1}{2} E \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N (v_{ij} - O_{ij})^2 \right] \quad (5)$$

其中， v_{ij} 為設計輸出(desired output)， O_{ij} 為網路輸出， n 為訓練資料組數， N 為輸出層之神經元數(圖 6 之 $N=1$)， F 即為類神經網路系統之能量函數(energy function)或稱目標函數(objective function)，其學習演算法係採用倒傳遞演算法(Rumelhart et al., 1986)。然類神經克利金之目標函數為考慮克利金理論之半變異圖(semivariogram)特性，Koike et al. (2001) 提出一改進後之目標能量函數 F 如式(6)所式。

$$F = \frac{1}{2} \left\{ \begin{aligned} & \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i - o_i}{\bar{v}} \right)^2 + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \left(\frac{\gamma(h_k) - \gamma^*(h_k)}{\bar{\gamma}} \right)^2 \\ & + \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n \left[\max\left(\frac{o_i - o_{\max}}{o_{\max} - o_{\min}}, 0 \right) \right]^2 + \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n \left[\min\left(\frac{o_i - o_{\min}}{o_{\max} - o_{\min}}, 0 \right) \right]^2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

其中， $\gamma(h_k)$ 及 $\gamma^*(h_k)$ 分別為由觀測資料推導之半變異圖及由網路輸出值推導之半變異圖； h_k 為第 k 組資料之距離， m 為資料分組用以計算代表半變異數之組數； n_1 及 n_2 代表網路輸出值大於輸出值上限及小於輸出值下限之組數。

其資料同化過程如下步驟：

- (1) 於研究區域建立座標格網；
- (2) 決定網路隱藏層及各層神經元數量。(類神經克利金網路架構之設計)；
- (3) 計算觀測資料之半變異圖 $\gamma(h_k)$ ；

- (4) 給予類神經克利金網路初始權重，介於-0.5~0.5 之間；
- (5) 以座標為輸入值計算各神經元之數值，包括觀測點之網路輸出值；
- (6) 計算網路輸出值與觀測點之觀測值誤差及半變異元之誤差；
- (7) 計算式(20)之目標能量函數。若 F 小於誤差容忍值，則可停止網路訓練；若 F 大於誤差容忍值，則重覆步驟(5)並應用 Aarts and Korst (1990)之退火演算法進行網路權重修正。

本研究於步驟(2)所採用之類神經克利金網路架構將考慮 Koike et al. (2001)所建議之 2 層隱藏層之 4 層網路架構；各層神經元之數量則皆採用 2 個神經元，以降低網路之複雜度。

3-1.1.4 雨量站網評估

欲進行雨量站網空間之推估，可將計畫範圍劃分為若干個規整的網格點，並將每個網格點視為一未知觀測站，再利用區域內已知的觀測站及半變異元模式，推估區域內所有網格點上的克利金變異數 σ_k^2 (即推估誤差之變異數)，理論上克利金變異數 σ_k^2 之最佳值為零，即表示其推估值是完全正確的，當克利金變異數越大即代表推估的正確性越差。在每個網格點上應該都會具有一個推估誤差 $\tilde{Z}(x)$ ，即實際值 $Z(x)$ 與推估值 $Z^*(x)$ 之差值 ($\tilde{Z}(x) = Z(x) - Z^*(x)$)。由於克利金變異數具有最佳線性不偏推估的特性，因此其推估誤差 $\tilde{Z}(x)$ 之期望值可視為零，變異數為其克利金變異數，假設每個網格點上之推估誤差是屬於之常態分布，即 $\tilde{Z}(x) \sim N(0, \sigma_k^2)$ 。計算出每個網格點上之克利金變異數 σ_k^2 後，再根據式(7)即可計算每個網格點上的推估誤差 $\tilde{Z}(x)$ 落在 $k\sigma_z$ 這個範圍內的機率值，即為滿足降雨量推估準確度要求之機率(acceptance probability, pA)。

$$\begin{aligned}
 P[|Z^*(x) - Z(x)| < k\sigma_z] &= P[\tilde{Z}(x) < k\sigma_z] \\
 &= P\left[\frac{\tilde{Z}(x)}{\sigma_k} < \frac{k\sigma_z}{\sigma_k}\right] = P\left[Z < \frac{k\sigma_z}{\sigma_k}\right] = \alpha = P_A(x)
 \end{aligned} \tag{7}$$

其中， σ_z 為該隨機變域內 $Z(x)$ 之標準偏差 (即半變異元函數臨界變異值(Sill)之平方根)，由於本研究將雨量資料無因次化，因此 σ_z 之理論值應為 1.0，但利用實際資料在不同降雨類型下套配之半變異元模式其臨界變異值不一定為 1.0，因此各類型降雨之 σ_z 的大小也就不相同。不同克利金變異數下之推估誤差落在 $k\sigma_z$ 範圍內的機率值 $p_A(x)$ 不盡相同，其推估誤差之常態分布示意圖如圖 7 所示，在這兩個具有不同分布的圖形上可以比較出，克利金變異數 σ_{k1}^2 比 σ_{k2}^2 來的小，因此在克利金變異數為 σ_{k1}^2 的這個網格點上，其推估誤差 $\tilde{Z}(x)$ 落在 $k\sigma_z$ 這個範圍內的機率值 $p_A(x)$ 會比 σ_{k2}^2 這個網格點的機率值來的大。由此可知當網格點上的克利金變異數較小時 $p_A(x)$ 機率值較大，反之則其機率值會較小。

利用每個網格點上之機率值繪製研究區域內之等值線，依此機率值等值線即可觀察出在哪一區域其推估機率較低，也就代表此區的推估結果是比較不好的。

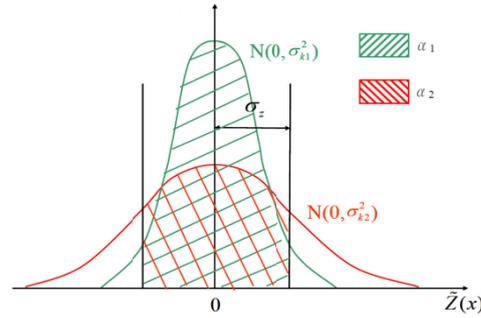


圖 7 在不同克利金變異數下之 $p_A(x)$ 值

3-1.1.5 群集分析

在原先複雜事物的研究中，若可以先將眾多資料按相似性質歸類成幾個不同組，則易探討各組之特性，而可清楚說明原本整體資料所代表的意義。群集分析(cluster analysis)即是提供分類方法的統稱。群集分析是一種數值分類法，主要使用一組計量資料，計算各觀察體的相似或相異性，然後使用各種標準，將這些觀察體加以劃分成數個群集，進而更有效地掌握各集群的特性，希望使分類後同一群內觀察體的相似性愈高愈好，而不同群集間觀察體的相異性則愈高愈好。

群集分析之流程包含研究問題、變數之選取、檢查假定、相似性的衡量、群集方法的選擇、群集數的決定、群集的解釋(陳(2000)、黃(2003)、賴(2012))。許多研究結果指出非階層式群集分析法較階層式群集法為佳，但非階層式分析法須先決定分群數目，可由主觀判斷分成幾類或重複測試幾個不同群集數，主觀判斷可能顯得不夠客觀，而重複測試又需花費許多時間。階層式群集分析的缺點是觀察值一旦被分為同一群，則其後就會在同群，因此結合此兩種法之二階段法變應運而生。Anderbeg(1973)提出二階段法，結合階層式與非階層式兩種方法，並以任何一種階層式群集方法求得理想群集數目，再利用非階層式進行群集分析，此方法同時可以彌補階層式及非階層式之缺點。

本研究參考 Punj and Steward (1983)研究，將各種群集分析法之優劣歸納如下: 1. 當資料有集端值時，華德法的群集效果優於平均連鎖法。 2. 當資料有集端值時，對 K-means 的影響較小。 3. 選擇集群的方法較選擇相似度的衡量方法更重要。

根據上述結果，本研究擬第一階段選用華德法決定群集數目，在輸入變數時，先將資料正規化，使其具有共同單位，再以 SPR 及 R2 判定最佳群集數，第二階段採用 K-means 進行分類，分類完成後再將資料還原為原始數據，並探討不同群集之特性，本研究群集分析之流程如圖 8 所示。

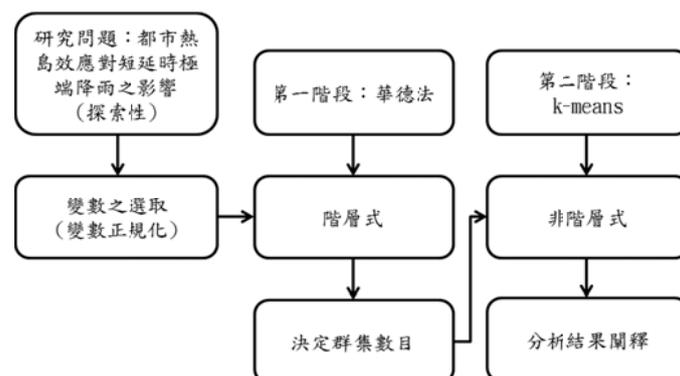


圖 8 本研究群集分析之流程圖

3-1.1.6 頻率分析

本研究擬探討都市熱島效應對短延時極端降雨事件之影響，故應用降雨頻率分析研析降雨資料若包括都市熱島效應影響顯著之事件與未包括該事件時之差異。故擬針對 10、30、60、90、120、180、360、720 分鐘共 8 個延時之降雨資料進行頻率分析，最後求得重現期距 2、5、10、25、50、100 及 200 年之降雨強度量。

統計分布之種類甚多，臺灣省水利局(1989)採用二參數對數常態分布、三參數對數常態分布、皮爾遜第三型分布、對數皮爾遜第三型分布、極端值一型分布及雙對數常態分布分別針對水利局全省歷年年最大一日、二日及三日暴雨進行頻率分析。游(1992)使用三參數對數常態分布並配合合成資料，對 22 個普通雨量站之年一日最大暴雨進行分析。國立臺灣大學水工試驗所(1993)應用二參數對數常態分布、皮爾遜第三型分布、對數皮爾遜第三型分布及極端值一型分布等四種機率分布對東部地區六個雨量站進行頻率分析。游(1996)採用極端值一型分布對臺灣北部區域 38 個自記雨量站進行頻率分析後發展 IDF 關係式。

本研究依據國內過去較常使用之統計分布，選用一般極端值分布、極端值一型分布、皮爾遜第三型分布、對數皮爾遜第三型分布及三參數對數常態分布等五種常用於極端事件之機率分布進行頻率分析。

3-1.2 預計可能遭遇之困難及解決途徑

(1) 都市熱島效應之量化

- 可能遭遇困難：都市熱島效應係引致極端午後對流降雨之可能因此之一。對於午後對流之短延時極端降雨事件，其成因可能包括風向、溼度、綜觀天氣條件(臺灣附近為低壓或高壓)，溫度。故都市熱島效應之影響程度恐不易量化。

- 解決途徑：透過群集分析，可先將午後對流事件與都市熱島效應之關係進行分類。當群集分類增加時，其不同程度之都市熱島效應影響有可能自分群之事件中解析而得。

(2) 短延時極端降雨受熱島影響之空間與強度分析

- 可能遭遇困難：短延時極端降雨之分析有賴於高解析度之時空觀測資料作為分析之基本資料。目前高密度雨量站網之布建約於 1990 年後開始有紀錄，故以都市發展角度而言，研究區域之一之臺北市早已為都市開發接近飽和之程度，不易由雨量站資料探究時間尺度上之環境變遷對熱島效應之影響。

- 解決途徑：本研究擬由都市熱島效應之基本定義進行水文事件之篩選。都市熱島強度之定義係指都市與郊區之溫差。當正溫差(都市減郊區)越大代表熱島強度越大。故即便 1990 年之後臺灣之都會區已開發大半，但每日熱島效應之強度仍有不同。故由地面雨量站與雷達定量降雨之資料融合，可達到短延時極端降雨受熱島影響之事件篩選，並據以完成空間與強度變化之分析。

3-1.3 重要儀器之配合使用情形

本研究暫不使用重大儀器，若干所需儀器已添置或可租用。

3-2 進行步驟

本研究擬利用中央氣象局之劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之定量降雨估計產品及中央氣象局、表C012

水利署、地方政府所建置之地面雨量站進行午後對流降雨事件之降雨空間推估，並應用群集分析辨識午後對流降雨事件發生時都市熱島現象之程度，並依據群集分析結果分析短延時極端降雨之空間變化趨勢。研究區域選擇臺北及臺中盆地進行熱島效應對短延時極端降雨影響之分析比較。故依前述概念，可規劃為 5 大步驟：

- (1) 評估雨量站網對雷達降雨校正之影響；
- (2) 午後對流降雨之定量降雨資料融合；
- (3) 午後對流降雨與都市熱島效應之群集分析；
- (4) 短延時極端降雨受熱島影響之空間與強度分析；
- (5) 臺北與臺中盆地短延時極端降雨受熱島效應影響之比較分析。

其研究流程圖如圖 9 所示。

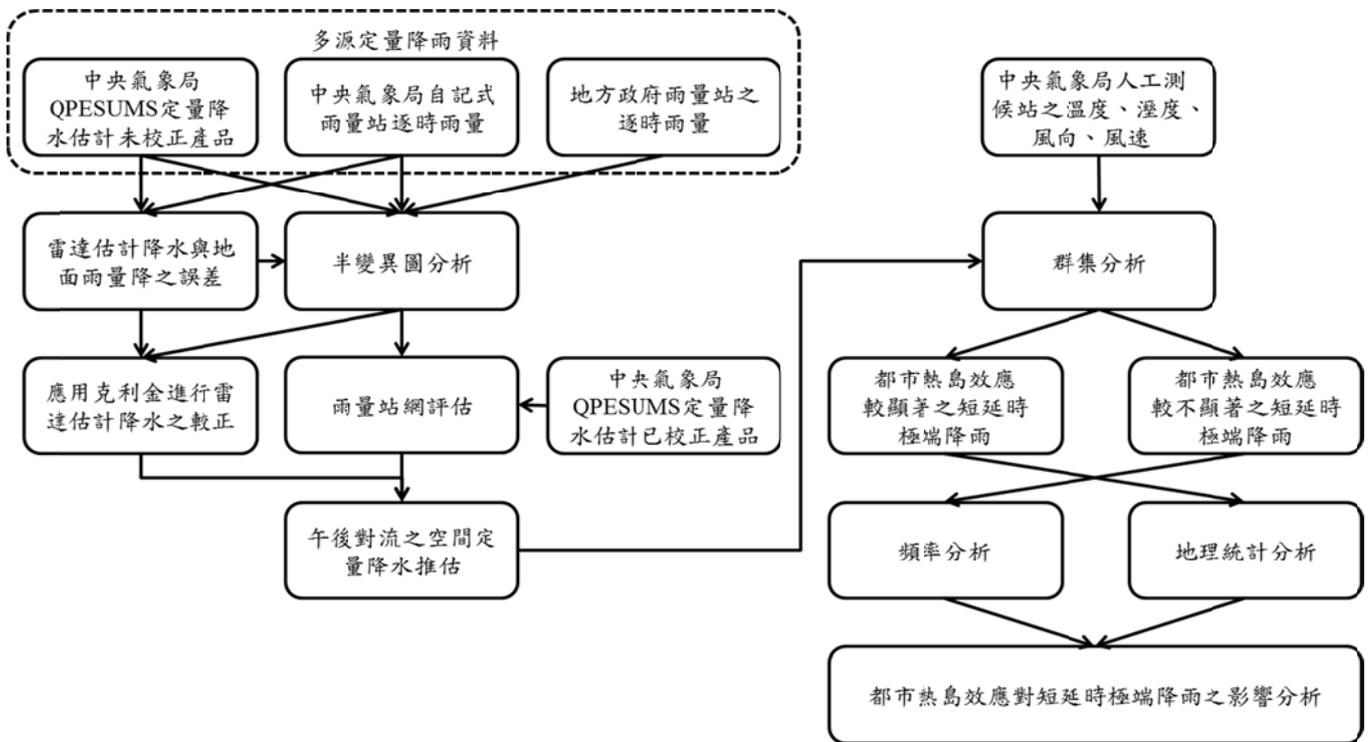


圖 9 研究流程圖

由流程圖可知，為探究多源定量降雨資料之間之關係，本研究採用克利金理論進行半變異圖之研析，並據以評估雷達回波資料於不同地面雨量站網密度之校正成效。最後考慮多源定量降雨資料進行降雨資料融合，並篩選午後對流事件進行空間定量降水之推估。針對午後對流之降雨事件，本研究依據中央氣象局人工測候站之環境場資料(逐時溫度、逐時溼度、逐時風向、逐時風速)進行熱島度之計算，並與各事件之降雨特徵進行群集分析，以分離都市熱島效應較顯著與較不顯著之午後對流事件。依據篩選之事件進行時間域之降雨頻率分析及空間域之地理統計分析，期了解都市熱島效應對短延時極端降雨之影響。

3-3 執行進度

本研究之研究進度甘梯圖如下：

時程 工作項目	月份											
	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	第11月	第12月
歷史氣象水文資料蒐集與整理	■	■										
評估雨量站網對雷達降雨校正之影響		■	■	■								
午後對流降雨之定量降雨資料融合				■	■	■						
午後對流降雨與都市熱島效應之群集分析					■	■	■					
短延時極端降雨受熱島影響之空間與強度分析						■	■	■	■			
臺北與臺中盆地短延時極端降雨受熱島效應影響之比較分析								■	■	■	■	
報告及研究文章撰寫											■	■
預定進度累計百分比	8	16	24	32	40	45	50	60	70	80	90	100

(四) 預期完成之工作項目、成果及績效

4-1 預期完成之工作項目

- (1) 評估雨量站網對雷達降雨校正之影響；
- (2) 午後對流降雨之定量降雨資料融合；
- (3) 午後對流降雨與都市熱島效應之群集分析；
- (4) 短延時極端降雨受熱島影響之空間與強度分析；
- (5) 臺北與臺中盆地短延時極端降雨受熱島效應影響之比較分析。

4-2 對於學術研究、國家發展及其他應用方面預期之貢獻

本研究著重於盆地型都會區之短延時極端降雨受都市熱島效應影響之分析技術發展，並透過多源定量降雨產品之整合，提升都市熱島效應分析資料之質量，最後以人口密集度高之臺北盆地及臺中盆地進行案例研究，據以研析都市熱島效應對短延時極端降雨之影響程度以及比較兩個案例之差異。本研究對於學術研究、國家發展及其他應用方面預期之貢獻條列說明如下。

4-2.1 對於學術研究預期之貢獻

- (1) **提升地面雨量站網與雷達估計降雨之融合品質。**目前中央氣象局雷達估計降雨產品係僅依據中央氣象局所建置之地面雨量站資料對雷達回波所估計之降雨產品進行雨量校正。本研究將進一步考慮地方政府於都會區所建置之雨量站觀測資料，據以提升雷達估計降雨於盆地型都會區之雨量估計品質。
- (2) **建立熱島強度與短延時極端降雨之關係。**由於臺灣於 1990 年之後方大量建置自計式雨量站，故諸多雨量紀錄年限過短，不足以描述隨都市發展歷程下降雨之空間變化。前人亦多以 WRF 數值模擬方式研析熱島效應對都市降雨之影響。然數值模式之空間解析度有其極限，對於熱島效應主要影響之午後對流降雨型態，仍不易達到定量分析。本研究擬由熱島現象之基本定義發展雨量紀錄有限之熱島效應分析技術。應用地面雨量站與雷達估計降雨之融合產品，分析不同熱島強度下之短延時極端降雨於水文環境上之變化。

4-2.2 對於國家發展預期之貢獻

- (1) **臺北與臺中盆地之短延時極端降雨受熱島效應影響之比較分析。**目前諸多前人研究仍著重於單一地區之都市熱島效應影響評估。本研究擬透過研析技術之發展，同時進行臺北與臺中兩盆地之案例分析。其結果可供政府水利防災相關部門之參考，透過國土規劃，優先針對受熱島現象影響短延時極端降雨較顯著之地區進行調適方案之規劃。
- (2) **短延時極端降雨之防洪設計。**本研究透過都市熱島效應對短延時極端降雨之影響評估，分析在有無影響之情況下，對於水文設計頻率分析之結果有何差異。其結果可供區域排水設計之水利防洪規劃參考。

4-2.3 對於其他應用預期之貢獻

降雨及水災風險評估係防災產業之重要一項服務內容。本研究之成果可提供都市熱島強度與可能造成短延時極端降雨事件之潛勢關係，其成果可供防災產業應用於風險評估、災害預警之參考。

4-3 對於參與之工作人員，預期可獲之訓練

參與本研究計畫人員可獲得的訓練如下：

- (1)、程式語言撰寫能力
- (2)、不同降雨物理機制學習
- (3)、相關文獻閱讀能力
- (4)、地理統計研究方法
- (5)、類神經網路的應用
- (6)、都市熱島效應對水文環境影響之分析能力
- (7)、論文撰寫能力

4-4 預期完成之研究成果及績效

本計畫預期之研究成果將撰寫國際研討會與 SCI 期刊，積極參與都市防洪相關之國際學術會議，最後亦撰寫國科會計畫執行技術報告 1 份。