

9
2
2
1

雪霸國家公園氣候環境之研究

研究人員：邱清安、林永發

雪霸國家公園管理處

雪霸國家公園氣候環境之研究

雪霸國家公園管理處自行研究報告

092-301020500G-021

雪霸國家公園氣候環境之研究

研究人員：邱清安、林永發

內政部營建署雪霸國家公園管理處自行研究報告
中華民國九十二年十二月

目次

表次.....	
圖次.....	
摘要.....	
第一章、緒論.....	1
第二章、前人研究.....	3
一、氣象數據之檢定.....	3
二、氣候空間之推估技術.....	6
三、推估結果驗證.....	13
四、代表氣候之氣象歷史記錄.....	14
第三章、材料與方法.....	16
一、研究材料.....	16
二、研究方法.....	16
第四章、結果與討論.....	21
一、氣象數據檢定結果.....	21
二、月平均氣溫空間.....	23
三、月平均降水空間.....	31
第五章、結論與建議.....	35
附錄一.....	38
附錄二.....	47
附錄三.....	48
附錄四.....	51
參考書目.....	54

表次

表 1、各月平均降雨值之驗證(Boer et al., 200).....	8
表 2、PLUVIA 迴歸模型(Drogue et al., 2002).....	10
表 3、各月平均氣溫推估結果之交叉驗證.....	19
表 4、月平均氣溫對海拔高度、緯度、經度進行線性迴歸之結果.....	23
表 5、月平均降水對海拔高度、緯度、經度進行線性迴歸之結果.....	26
表 6、各月平均降雨推估結果之交叉驗證.....	27

圖次

圖 1、臺北站所有氣溫記錄在全年日期上的分布.....	5
圖 2、7 種方法所推估之各月降雨的相對 MSE(Goovaerts, 2000).....	9
圖 3、以測站為中心之 DEM 窗格化程序.....	10
圖 4、三種方法所繪製之 1971-1990 年平均等雨量圖.....	11
圖 5、氣象數據檢定流程.....	12
圖 6、台灣數值高程模型與大於 10 年記錄之氣溫測站分布.....	20
圖 7、雪霸國家公園 DEM、測站分布、OK 推估結果之一月等溫線...22	
圖 8、雪霸國家公園一月平均氣溫推估圖.....	24
圖 9、台灣數值高程模型與大於 15 年記錄之降水測站分布.....	25

摘 要

關鍵詞：氣候、空間推估、地理統計、雪霸、GIS

一、研究緣起

將點狀測候站資料擴展為三維空間氣候狀態之結果謂之空間氣候值，其估算為水分平衡、水資源管理、氣候變化、農業生產、核廢料貯存等研究的基本問題(Hevesi et al., 1992a,b; Boer et al., 2001; Drogue et al., 2002)，也是許多生態、水文模型的必要參數(Daly et al., 1994)，發展可靠而詳盡的氣候空間推估方法，一直是近年來備受注意的焦點。氣候既為地景、環境最高層級之影響因子(Lioubimtseva & Defourny, 1999)，其中尤以氣溫及降水兩項為最重要的生態氣候因子，也是測候站之重要觀測項目，以氣溫而言，其對海拔高度存在顯著的且不同型式的溫度遞減效應(Rolland, 2003)，而降雨更較氣溫不易估算(Boer et al., 2001)，山區降雨的空間型式主要依存於氣象狀態與地形起伏，目前在山區的降雨型式與分布仍不甚瞭解，主要是由於局部地形的複雜度與可用資訊的缺乏(通常高海拔地區測站不多且分布不均)(Prudhomme & Reed, 1998,1999; Prudhomme, 1999; Marquinez et al., 2003)。

二、研究方法及過程

本篇報告對中央氣象局所提供之氣象數據先行檢定資料品質，再計算各測站之月平均氣溫、月平均雨量後，以多變量迴歸分析與ArcGIS之空間分析模組(Geostatistical Analyst)推估台灣之氣溫、降雨空間，並討論各推估方法之優劣。

三、重要發現

如何利用測站點資料推估氣候空間，是各種環境生態模式研究應用上的需要，也是迫切尚待解決的理論研究問題。本報告之氣象數據檢定程序提供了一種基於空間概念的檢定思考方向，其結果提供了後續空間化作業之可用測站的海拔、座標及氣象數據之品質控制；而月平均氣溫因可用測站數較少無法表現良好之區域化變量，經複迴歸預測併合理論最佳的 kriging 殘差推估之氣溫空間化結果能提供山區無測站地區的研究背景參考；月平均降雨之可用測站數較多，但影響降雨之變因極為複雜，其空間化結果如同單一降雨事件，僅能提供概略地降雨分布情形，然相對於單一的測站降雨資料本報告之結果仍具參考價值。氣候空間之結果須注意其適用與限制，本報告以空間推估程序所得之結果，適用於中尺度空間之研究，對局部地形所造成之微氣候，如霜袋效應、雨陰效應等模擬能力則有所不足。

四、主要建議事項

氣候為環境最高層級之影響因子，特別是其中的熱量和水分及二者之配合狀況。由本報告結果以下分別提出以下立即可行的建議及長期性建議加以列舉。

立即可行之建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

對植群分布而言，海拔高度為一間接因子，所隱含的是氣溫效應，而氣溫對植群分布之更直接作用，未來應以溫量指數等予以轉化。

長期性之建議

主辦機關：雪霸國家公園管理處

國家公園應逐步建立園區物理性及生物性的生態資料庫。

第一章 緒論

氣候為環境最高層級之影響因子，特別是其中的熱量和水分及二者之配合狀況(Woodward, 1987；Brovkin et al., 1997)，將點狀測候站資料擴展為三維空間氣候狀態便愈顯重要，此亦為當氣候變遷(climate change)時研究陸域生態系分布與功能之反應的首要步驟，更精確的氣候推估方法將有助於量化氣候對自然之影響與管理森林、溼地、農地等生態系(Price et al., 2000)。將點狀測候站資料擴展為三維空間氣候狀態之結果謂之空間氣候值，其估算為水分平衡、水資源管理、氣候變化、農業生產、核廢料貯存等研究的基本問題(Hevesi et al., 1992a,b；Boer et al., 2001；Droque et al., 2002)，也是許多生態、水文模型的必要參數(Daly et al., 1994)，發展可靠而詳盡的氣候空間推估方法，一直是近年來備受注意的焦點，在最近的 IPCC 氣候變遷第二次評估報告(IPCC Second Assessment Report on climate change)與京都議定書(Kyoto Protocol)中都曾被提及。然而山區之氣象狀態極為複雜與難以預測，預報上常用的全球環流模式(GCM)在尺度上並無法滿足生態研究的需求，而僅能藉由少量的測站觀測資料透過推估技術來估算長期氣候值。

氣候既為地景、環境最高層級之影響因子(Lioubimtseva & Defourny, 1999)，其中尤以氣溫及降水兩項為最重要的生態氣候因子，也是測候站之重要觀測項目，以氣溫而言，其對海拔高度存在顯著的且不同型式的溫度遞減效應(Rolland, 2003)，而降雨更較氣溫不易估算(Boer et al., 2001)，山區降雨的空間型式主要依存於氣象狀態與地形起伏，目前在山區的降雨型式與分布仍不甚瞭解，主要是由於局部地形的複雜度與可用資訊的缺乏(通常高海拔地區測站不多且分布不均)(Prudhomme & Reed, 1998,1999；Prudhomme, 1999；Marquinez et al., 2003)。

對於在廣大的自然界中，由於受到經濟、技術及地上物等因素的限制，針對某現象(phenomenon)的觀測只能在某些特定位置取得資料，因而常有採樣不足或是分布不均等情況發生，空間推估技術便經常廣為應用，以描述整

個區域內該現象分布的狀況(Goovaerts, 2000；李育明，2001)。空間推估之研究除了瞭解各類方法的適用與限制外(Burrough & McDonnell, 1998)，更重要的問題是如何利用輔助資訊以增加估算的準確性(Isaaks & Srivastava, 1989；Boer et al., 2001)，在降雨空間推估上最常利用的方法是研究降雨與地理地形因子之關係來彌補山區測站的缺乏，例如以研究區之海拔高程作為輔助資訊，以改善當測站不足時的推估精確度。

本篇報告對中央氣象局所提供之氣象數據先行檢定資料品質，再計算各測站之月平均氣溫、月平均雨量後，以多變量迴歸分析與 ArcGIS 之空間分析模組(Geostatistical Analyst)推估台灣之氣溫、降雨空間，並討論各推估方法之優劣。

第二章 前人研究

一、氣象數據之檢定

長期氣象觀測數據常被用在各種不同目的的科學研究與經營管理上，但大多數的使用者由於氣象數據取自政府機構，而完全相信數據是準確的或者未查覺其中的不合理(Jeffrey et al., 2001)，以致干擾了後續數值模型準確度或不當地引用為環境背景說明。不合理氣象數據的成因並非氣象或氣候本身的變動，而是來自人為因素的干擾(Peterson et al., 1998)。檢視由中央氣象局所提供日平均氣溫與日降水之原始氣象資料(raw data)，其資料品質依測站類別而異：以有專人駐站之局屬氣象站最優，次為 1986 年起為防災目的所建置的自動雨量及氣象遙測站(蔡清彥，1992)，而其他單位為不同目的所設置的專用氣象觀測站則資料良莠不齊。對於記錄各氣象站海拔、座標等之測站基本資料，使用者通常予以直接引用，但由 GIS 之圖層套疊結果，亦可發現某些測站之基本資料的不合理現象。

(一) 氣象觀測數據之檢定

不合理氣象觀測數據可分為兩大類：不均質(inhomogeneity)與錯誤(error)，其檢定工作亦即 González-Rouco et al.(2001)所提出資料品質控制過程中的均質化與極端值過程(homogenization and outliers processing)。數據不均質之成因為觀測儀器、測站位置、測站周圍環境的變更，及不同人員、時間等觀測作業的變更所引起(Meek & Hatfield, 1994；Alexandersson & Moberg, 1997；Peterson et al., 1998)，屬較輕微的波動。而數據錯誤常是由於觀測儀器故障、人為的不實記錄、筆誤與輸入錯誤等因素所造成(Peck, 1997；Jeffrey et al., 2001)，常為極端不合理值。Peterson et al.(1998)曾對氣象數據均質檢定方法提出完整的回顧，其作者包含歐美澳等 21 位氣候學者，並期許未來各國能完成氣象資料均質化工作，以做為長期氣候變遷、防災、自然資源評估等研究之使用。在這些方法中以標準化常態均質檢定(Standard Normal

Homogeneity Test, SNHT)最常被使用(Alexandersson & Moberg, 1997 ; Keiser & Griffiths, 1997 ; Nordli et al., 1997 ; Tuomenvirta, 2001 ; Wijngaard et al., 2003) , 其原理係以數據品質最佳之測站作為參考序列測站(reference stations)針對待檢測站(candidate stations)建立其相關比值序列, 再檢驗統計量序列, 最後找出資料之不連續點(discontinuity)或趨勢(trend), 然而此種時間序列檢定方法最後結果須配合記錄各測站歷史變革的詮釋資料(station history metadata files)加以解釋並修正, 而不適用於無詮釋資料的本地測站。

氣象數據的均質化可完整檢定出因觀測作業、環境、儀器等所造成的數據不連續性與趨勢變化, 並對有問題的數據加以修正, 可視為廣義的數據檢定。而本文為進行台灣氣候資料面化與研究氣候植群關係之預處理, 所著重的是長期平均氣候狀態, 因此在數據檢定方面則著眼於狹義的檢定: 找出對平均值影響甚大的不合理極端值。且上述資料的不連續性與趨勢實可在長期氣候平均的計算中予以忽略, Easterling & Peterson(1995)也發現在某些長期氣候的數據均質化過程, 其正負修正值有可能被抵銷掉(balance out)。有關不合理極端值的檢定, Meek & Hatfield(1994)曾提出對單一測站資料的品質控制與保證(quality control/quality assurance)方法, 其檢定準則為(1)高低值界限(high/low range limits, LIM)、(2)改變率界限(rate-of-change limits, ROC)、(3)連續無變化界限(continuous no-observed-change with time limits, NOC)。LIM是指氣象數據本身具有一定的最高最低值界限存在, 以氣溫為例可用最高溫與最低溫之正弦曲線(Sinusoidal curve)加以限制。ROC則是指氣象數據隔日之波動具有一定之範圍。NOC為檢定連續幾日記錄無變動之不合理現象。由於台灣之測候站觀測項目不一定包含最高溫、最低溫, 因此在進行氣溫 LIM檢定時採用正弦曲線加減 1.5 個標準差做為上下界, 圖 1 為 1960~2002 年中央氣象局局屬臺北站氣溫數據之 LIM 檢定圖, 此結果雖可檢定出特異值, 然並不代表這些特異值記錄必然是錯誤的, 尤其是降水資料在颱風或豪大雨期間, 其記錄超出上下界是極有可能的, 然若放寬檢定上下界則又將失去檢定效力。另外在 ROC 檢定時此種真實的氣象記錄亦很可能超出所設定的臨界波

動範圍。

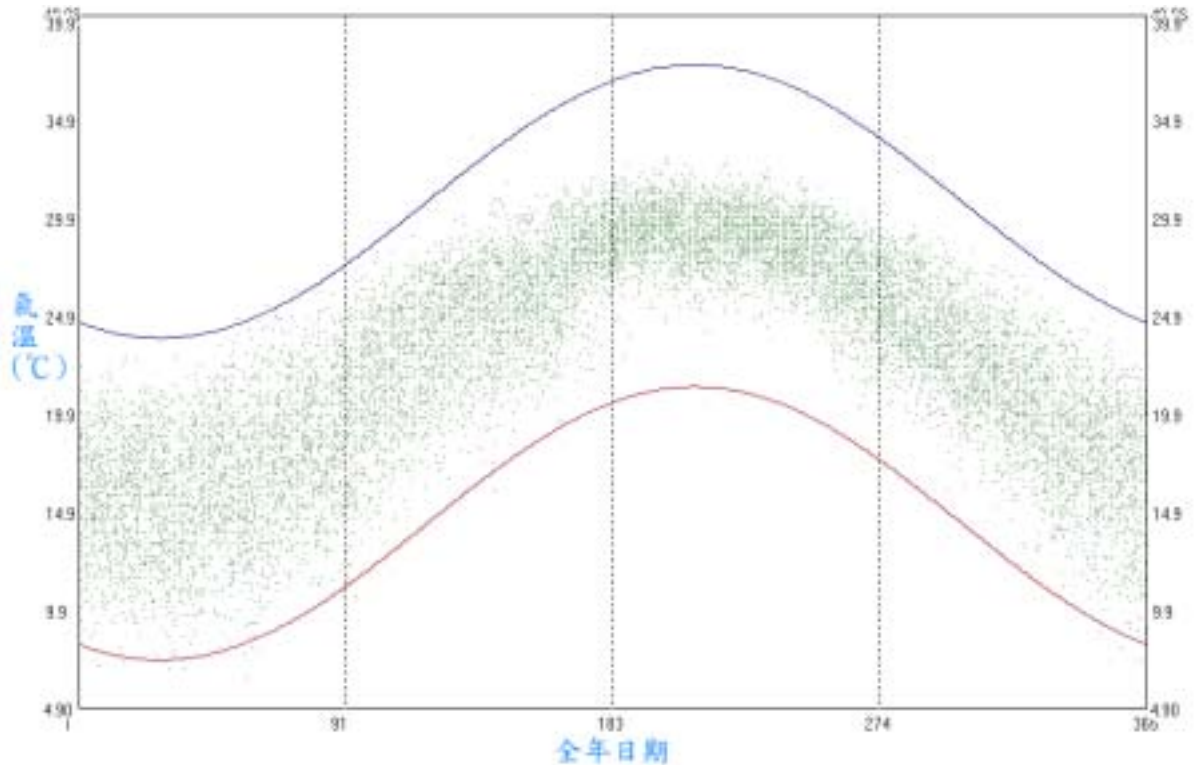


圖 1、1960~2002 年臺北站所有氣溫記錄在全年日期上的分布(藍線為上界、紅線為下界、綠色點為每一筆日平均氣溫記錄)。

Jeffrey et al.(2001)為建構澳洲完整氣象數據資料庫，以空間內插(interpolation)技術進行缺失氣象數據之填補，亦即以距目標站最鄰近的測站資料進行內插推估，再以所得推估值(interpolated value)填補目標站的數據缺失(unrecorded observational value)，其概念類似 Peterson et al.(1998)所列之間接均質性檢定的主觀方法，亦即待驗站與鄰近站(candidate-neighbour)之比較，引介了區域氣象信號(regional meteorology signal)至單一測站進行平均的修正(average adjustments)。由於氣象數據檢定為進行台灣氣候資料空間化之預處理，目的在濾除極端不合理值，而非填補觀測記錄序列之缺值，且本研究將以空間內插技術進行台灣三維氣候空間之推估，為避免研究方法邏輯上之相悖，因此只引用區域氣象信號的概念，濾除極端不合理的氣象觀測數據

並改填以空值(null)，而不對其進行修正。

(二) 測站基本資料之檢定

測站基本資料係記錄各測站之站碼、海拔高度、座標、所在位置、記錄期始末等，其本質應為各測站之真實量測與記錄，但可能由於早期量測儀器的準確性或記錄錯誤，當把各測站標示於地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)，與數值化的行政區、數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)相比對亦發現有部分不合理現象，如 01H400 東埔站基本資料為海拔 1135m、南投縣信義鄉，而當以其基本資料標定於 GIS 數值高程模型、行政區則顯示為 2092m、高雄縣桃源鄉，可知其測站基本資料的座標有問題以致標定到另一地點 DEM 高程，或其本身海拔高度的記錄有問題。對測站基本資料如何加以檢定目前國內外並無相關文獻探討，此可能是由於測站基本資料係為各測站的設置背景描述並無疑問之理由，因而無人予以檢定。

二、氣候空間之推估技術

古典統計學通常假設(1)研究對象為純隨機變量。(2)研究對象可重複試驗或大量觀測。(3)樣本間具獨立性。(4)不考慮樣本之空間分布。然而許多自然資源具有明顯的空間分布特性、無法重複取樣、樣本間存在空間相關性，而在採礦上發展出的地理統計學(Geostatistics)正可用來處理此類同時具有隨機性與結構性的變量，此種表面矛盾的特點，其隨機面向(random aspect)是說明局部的不規則(local irregularities)，而結構面向(structural aspect)則反映大尺度的趨勢(large scale tendencies) (Armstrong, 1998)。Robertson(1987)強調地理統計在生態學上的運用潛力，並指出野外生態研究通常無法量測所有的點、假設樣本獨立且符合常態、在推論未取樣區域時隱含插值概念，均可藉由地理統計來解決。

在 1960 年代地理統計發展前，徐昇法一直是計算降雨空間之標準方法

(Pardo-Iguzquiza, 1998a)，其對於山區降雨分布並無法精確估算，且由於山區測站通常(1)數量不多。(2)分布不均，多位於低海拔及人口集中處。(3)資料記錄不全或時間不長，更加彰顯估算降雨空間的困難與必要(Barry, 1992。Prudhomme & Reed, 1998,1999)。山區降雨空間的推估，近二十年來著重於建立降雨與地形關係之模型(Droque et al., 2002)，由於電腦與地理資訊系統之發展，空間資料處理與運算速度的障礙漸被解決，使得此方面的研究更易進行。基本上，空間推估技術可劃分為：(1)確定性模型(deterministic model)。(2)推測性/地理統計性模型(stochastic/geostatistical model)兩大類(Boer et al., 2001；Johnston et al., 2001)。在降雨空間的推估上最常被使用的方法係地理統計方法(Droque et al., 2002)，亦即一般所通稱的 Kriging，藉由觀測資料之變異圖(variogram)分析空間結構(Pardo-Iguzquiza, 1998a)，因其不僅可推估降雨空間、繪製等值線圖層、結果驗證，亦可用以評估測站網絡(Ashraf et al., 1997；Kitanidis, 1997)，目前在 ArcGIS 上亦外掛 Geostatistical Analyst 模組提供強大且便利的運用(Johnston et al., 2001)，可逐步進行原始資料檢視、方法與參數設定、模式匹配、圖層繪製、結果驗證、方法比較等。然而 Marquinez et al.(2003)以 GIS 結合適當地理地形變量，強調利用迴歸分析估算降雨空間，只要在相似地形特性下，因其推估品質不依賴鄰近測站密度，即使僅有少量測站，亦可推估出比地理統計更佳的结果，且當研究區超越最邊緣測站時，其外延結果亦比地理統計更佳。迴歸分析之推估結果雖然較為平緩(smooth)，但由整體概括的觀點(general view)來看可能更接近實際降雨空間分布(Droque et al., 2002)，Martinez-Cob(1996)亦發現在少量測站之區域，結合修正殘差的 modified residual kriging 比未加入迴歸的其他 kriging 方法更可降低估計的不確定性(uncertainty)。

由於單靠測站氣候資料不足以完全模擬真實氣候狀態，而須藉由地理地形等因子來做為輔助的預測因子。所謂輔助/外加/完整資訊(secondary/additional/exhaustive information, i.e. independent variable)係指除主要/目標/採樣變量(primary/target/sample variable, i.e. dependent variable)外，其

他任何與之相關而可共同分析的一個或多個次要輔助變量(Isaaks & Srivastava, 1989 ; Boer et al., 2001 ; Marquinez et al., 2003) , 在降雨空間分析中 , 輔助資訊通常為衍生自數值高程模型(digital elevation model, DEM)之地理地形因子(Goovaerts, 2000 ; Drogue et al., 2002 etc.) 。最著名與簡單的輔助變量為海拔高度 , 由於地形效應使降雨量通常隨海拔升高而增加 , 但此種效應在各地並不一致 , 尤其在大山塊區域其變化更是不均勻(Singh & Kumar, 1997) 。由地理地形效應來逐步檢視山區降雨的特色 :

- (1)降雨隨海拔增加而增加(e.g. Barry, 1992)—海拔高度可能為輔助資訊。
- (2)背風坡之雨蔭(rainshadow)效應(e.g. Colinvaun, 1994)—方位可能為輔助資訊。
- (3)降雨受地形起伏因子影響(e.g. Prudhomme, 1999)—坡度可能為輔助資訊。
- (4)降雨和水氣來源及其方向有關(e.g. Marquinez et al., 2003)—相對於海岸之距離與鋒面方向可能為輔助資訊。

Boer et al.(2001)以空間推估套裝軟體 ANUSPLIN 及 GSTAT 比較 3 種薄板仿樣分析法(Spline)、4 種地理統計法來推估墨西哥 Jalisco 之月平均降雨量與月最高溫 , 由 MSE(mean square error)之驗證結果顯示(如表 1) , 併入海拔高程作為輔助因子之空間推估結果普遍優於未併入海拔高程者。在方法比較上則以考量三維座標(three-dimensional coordinates, i.e. trivariate)者為佳。且由於降雨之資料變異性大、與海拔相關性較小、資料常非呈高斯分布 , 以致降雨較氣溫更難以精確推估。Martinez-Cob(1996)認為降雨資料偏 log-normal 分布 , 分析前應先予以轉換。

表 1、各月(4、5、8、9 月)平均降雨值之驗證，粗體字表最小之 MSE(Boer et al., 2001 之部分)

Interpolation technique	MSE			
	April	May	August	September
Ordinary kriging	36.7	62.4	1251.9	1123.6
Regression kriging	36.1	64.4	1182.1	1111.2
COKriging	35.3	58.1	1132.8	820.0
Trivariate regression kriging	33.2	50.6	728.4	520.1
Bivariate thin plate splines	44.1	78.5	3562.6	3418.2
Trivariate thin plate splines	33.7	50.8	753.6	515.9
Partial thin plate splines	36.9	67.4	3456.6	3101.4

Goovaerts(2000)以 Thiessen polygon(Poly)、inverse square distance(Inv)、ordinary kriging(OK)3 種單變量分析法，及併入海拔高程作為輔助資訊的 linear regression(Reg)、simple kriging with varying local mean(SKlm)、kriging with an external drift(KED)、colocated ordinary COKriging(OCK，即下文 Drogue et al.(2002)所提及之 extended colocated co-kriging, COK)4 種多變量分析法研究葡萄牙南部 Algarve 之降雨空間，結果顯示以降雨資料併入海拔高程之分析(後 4 種方法)優於單以降雨資料之分析(前 3 種方法)(如圖 2)。

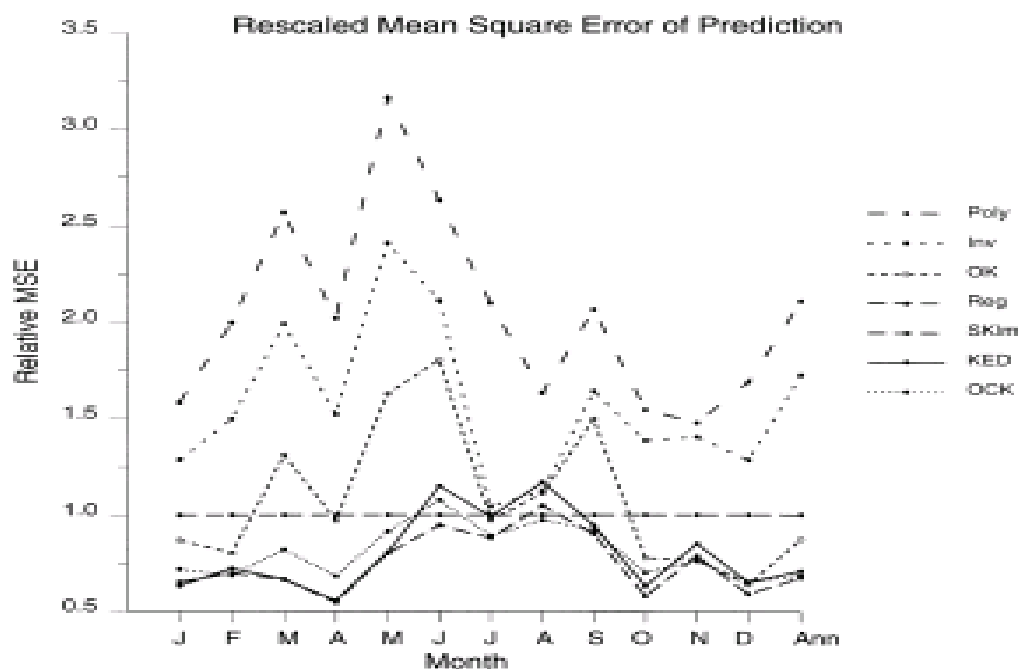


圖 2、7 種方法所推估之各月及年平均降雨的相對 MSE(Goovaerts, 2000)

Droque et al.(2002)於瑞士之研究考慮降雨與以下因子之關係：(1)測站周圍山塊的大小與形態。(2)測站距主要嶺脊與次要嶺脊的距離。(3)成雨氣團的起源與軌跡。以多變量迴歸 PLUVIA 整合不同尺度之海拔與方位(如圖 3)，全面探討山區降雨與地形關係，針對每一測站製作(8 方位+1 中心)×(10 種窗格)×(8 種海拔高參數)=720 個地理地形參數，加上各測站 XY 座標與海拔高度 Z，共計 723 個地理地形參數進行逐步迴歸分析，其中僅 1 至 2 個參數即可說明降雨之大部分變異(如表 2)，最後並與 KED、COK 之結果比較(如圖 4)。由圖 4 可看出在盛行西風帶影響下，研究區西側偏海洋性(maritimet type)氣候、東側屬大陸性(continental type)氣候。以迴歸法推估之山區降雨變異較為平緩(smooth)，而地理統計之 KED、COK 則較能看出陡峭山區處與測站密度較高處之降雨變異，Dirks et al.(1998)指出當測站網密度極高時(35 km²中有 13 個測站)，Kriging 推估結果並未特別優於計算簡單的距離反比平方法(inverse square distance)之結果。另外，在地理統計法之推估結果中 COK 與 KED 二者之差異不大，此與 Goovaerts(2000)之結論相同，不過在許多報告(Isaaks & Srivastava, 1989；Knotters et al., 1995；Pardo-Iguzquiza, 1998a；Boer

et al., 2001)指出 COK 是最耗運算成本的方法，因為同時計算主要、輔助變量之變異圖(direct-variogram)及二者之交叉變異圖(cross-variogram)函數。

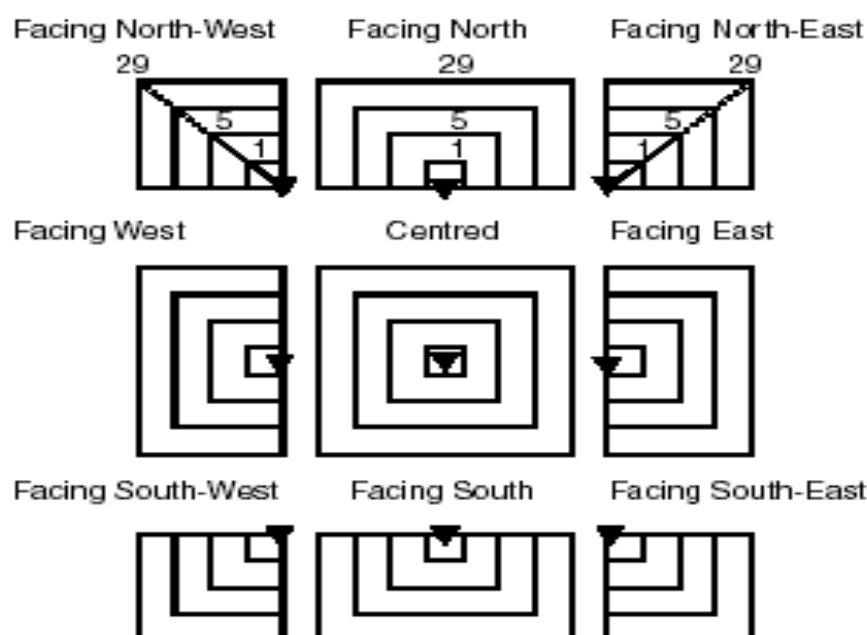


圖 3、以測站為中心之 DEM 窗格化程序(DEM windowing process)(8 方位加中心窗格)(Drogue et al., 2002)

表 2、降雨與地理地形參數之 PLUVIA 迴歸模型參數(Drogue et al., 2002)

Period	<i>n</i>	Regression parameters				R^2	<i>F</i> ratio	SEE
1971–90	126	<i>a</i>	DNE7			0.835	649.8	0.060
		1.517 (25.8)	0.585 (25.5)					
1971–90 ^a	53	<i>a</i>	DNE7	CE25		0.858	157.8	0.058
		1.802 (18.6)	0.499 (14.6)	0.103 (3.1)				
1981	145	<i>a</i>	DNE13	ESW28		0.814	312.9	0.070
		1.544 (22.6)	0.623 (24.8)	–0.055 (–2.8)				
1983	152	<i>a</i>	DNE10			0.824	702.0	0.070
		1.437 (23.6)	0.637 (24.5)					
1983 ^a	53	<i>a</i>	DNE7	ESW25		0.853	152.4	0.063
		1.623 (18.6)	0.618 (16.8)	–0.072 (–2.4)				
May 1983	159	<i>a</i>	PDE7	CSE28		0.688	174.1	0.058
		1.370 (20.3)	0.430 (16.6)	0.086 (4.2)				
January 1986	139	<i>a</i>	DN19	CNW28		0.837	352.1	0.113
		–0.854 (–7.4)	1.150 (26.1)	–0.191 (–4.0)				
October 1986	138	<i>a</i>	DN19	CNW28		0.728	185.4	0.120
		–0.307 (–2.5)	0.874 (18.7)	–0.263 (–5.1)				
June 1987	146	<i>a</i>	PQNE13	CC25		0.653	137.2	0.080
		0.821 (9.6)	0.536 (16.3)	–0.138 (–4.6)				
July 1989	140	<i>a</i>	CNW28	EW1	<i>Y</i>	0.527	50.1	0.132
		39.410 (9.1)	0.305 (5.1)	0.081 (4.2)	–11.069 (–8.6)			

^a With a partial network. *n*: number of calculation stations; SEE: standard error of estimate; *t* ratio in brackets; M: mean elevation; D: median elevation; C: coefficient of variation of elevation; E: standard deviation of elevation; PD, DD: first and last decile of the hypsometric curve; PQ, DQ: first and last quartile of the hypsometric curve; *X*, *Y*: geographical coordinates of the point of measurement. For example DNE7 corresponds to the median elevation of a square window of 7 × 7 km² facing the north-east.

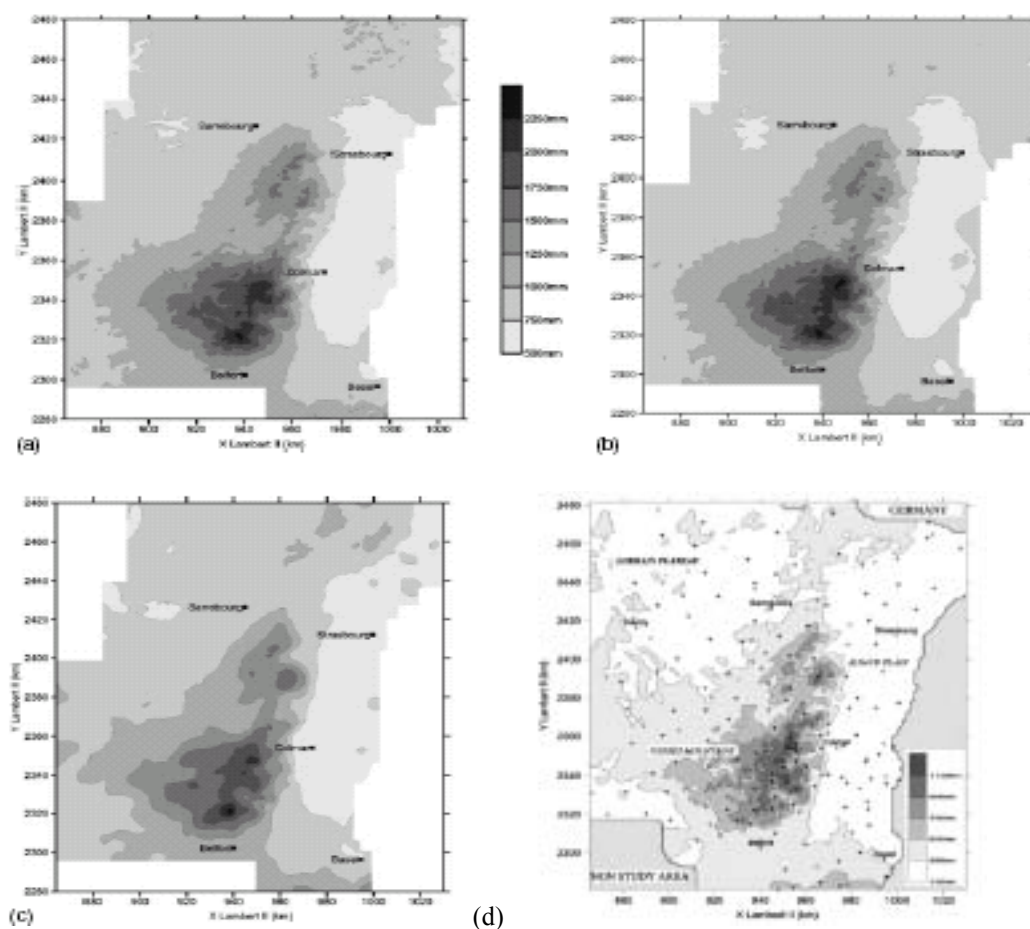


圖 4、三種方法所繪製之 1971-1990 年平均等雨量圖(a)COK；(b)KED；
(c)PLUVIA；(d)研究區地形及測站分布(Droque et al., 2002)。

雖然許多報告以 GIS 結合主分成或迴歸分析可對降雨空間之推估得到令人滿意的結果(Ninyerola et al., 2000；Wotling et al., 2000)，但整體而言，由於 Kriging 可輕易與 GIS 相結合並可併入迴歸殘差等運算，加諸受 ArcGIS 之 Geostatistical Analyst 與聯合國糧農組織(Food and Agriculture Organization, FAO)之 GS⁺等軟體的推廣，成為空間推估技術之最常被使用的方法，其中推估結果較佳的主要為 Co-kriging 與併入迴歸之 Kriging (包含不同報告所使用之 KED、kriging combined with regression、modified residual kriging 等方法)，二者之主要差異在於(Knotters et al., 1995；Goovaerts, 2000；Droge et al.,

2002)：

- (1) 併入迴歸之 Kriging 係利用目標變量與輔助變量間已知的、物理可解釋的關係。而 Co-kriging 則是假設二變量存在線性關係。
- (2) 併入迴歸之 Kriging 僅須計算目標變量空間關係之單一函數。而 Co-kriging 如以目標變量合併 m 個輔助變量，則須計算 $(m+1)$ 個變數函數及 $[m(m+1)]/2$ 個交叉變異函數，輔助變量愈多耗費愈多計算成本。
- (3) 併入迴歸之 Kriging 所得結果較為平緩。而 Co-kriging 受地形起伏變化之影響較大。

三、推估結果驗證

各種推估方法結果之驗證，可先將測站分為模擬組(modeling dataset)與驗證組(validating dataset)，以模擬組資料建立模型後，再由驗證組觀測值與模擬組推估值計算其誤差，藉以比較不同推估法之成效。分組之依據主要係由相似地形條件中選取測站做為驗證組(Droque et al., 2002；Marquinez et al., 2003)，或以逢機法選取測站作為驗證組(Martinez-Cob, 1996)，驗證組之測站數約為總數的 1/3 至 1/5。另 Boer et al.(2001)於 193 測站中主觀選取 25 站做為驗證組，選取準則為經驗判定模擬組之測站應能合理代表全區。與上述分組驗證不同的，交叉驗證(cross validation)係將全部的測站均作為模型建立之依據，再來評估與比較不同的推估方法之結果(Isaaks & Srivastava, 1989)，其做法為以全部測站(共 n 站)建立模型後，逐次刪除其中 1 測站，重新以其餘測站($n-1$ 站)建立模型，計算所得推估值與觀測值(真值)之誤差，循序刪除另 1 測站(原測站置回)重新計算其誤差，直至所有測站之誤差均被計算。以上 2 種驗證方法未見文獻評論其優劣與運用時機，Journel & Rossi (1989)曾提及交叉驗證的使用必須更小心，因其結果易受取樣差異所影響，然而基於統計要求當樣本數不多而無法另外篩選出驗證組時，只好選擇交叉驗證法(Pardo-Iguzquiza, 1998b)。Isaaks & Srivastava(1989)認為交叉驗證並非僅可用來比較推估結果，在選擇不同的權重程序、搜尋策略、變異圖模型時均可發

揮其作用。

有關各方法之比較準則(comparison criteria)有下列數種(Tabios & Sala, 1985 ; Hevesi et al., 1992b ; Chiles & Delfiner, 1997 ; Goovaerts, 2000 ; Boer et al., 2001 ; Droque et al., 2002 ; Marquinez et al., 2003), 其中以推估誤差均方(MSE)最常被使用：

$$\text{bias/ME}(\text{mean error}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \quad (\rightarrow 0)$$

$$\text{MAE}(\text{mean absolute error}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (\rightarrow 0)$$

$$\text{SSE}(\text{sum of square error}) = \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \quad (\rightarrow \min.)$$

$$\text{MSE}(\text{mean-square error}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \quad (\rightarrow \min.)$$

SMSE(standard mean square error)/MSSE(mean standardized square error)/

$$\text{MSDR}(\text{mean squared deviation ratio}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - P_i)^2}{\hat{\sigma}^2(x_i)} \quad (\rightarrow 1)$$

$$\text{MPE}(\text{maximal prediction error}) = \max_{i=1} |O_i - P_i|$$

O_i 與 P_i 為目標變量在 x_i 處的觀測值(observed value)與推估值(predicted value)

$\hat{\sigma}^2(x_i)$: kriging variance

n 為驗證測站數

四、代表氣候之氣象歷史記錄

藉由長期的測站降雨記錄資料可推算平均氣候狀態並對未來之降雨給定期望值(Pardo-Iguzquiza, 1998a), 然因各月各年之降雨時時波動, 多久的氣象記錄平均值才足以代表長期氣候之規律? 世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO)建議使用 30 年以上的氣象資料來代表長期氣候(WMO, 1967 cf. Ninyerola et al., 2000), 然由於山區測站之稀少與分布不均, 在實際研究案例中, Su(1984)取 5 年以上、Boer et al.(2001)取 19 年以

上、Droque et al.(2002)取 20 年以上、Goovaerts(2000)取 25 年以上的測站資料，Marquinez et al.(2003)檢視西班牙北部 Asturias 地區 1966-1990 間之 250 個測站，其中具有 25 年完整記錄者僅有 5 個，因此主觀給定篩選準則，各測站不同年同月份記錄之相關係數 >0.8 且有共同的 189 個月以上之記錄者，最後篩選出 117 個測站作為分析依據。

第三章 研究材料與方法

一、研究材料

(一)氣象觀測數據

取自中央氣象局所蒐集之台灣所有測站 1960 ~ 2002 年之日均溫、日降水記錄為原始數據，以資料品質檢定程序篩檢後，計算各測站之月平均氣溫、月平均降水，以做為氣候空間推估之依據。

(二)GIS 圖層

取自交通部運研所之台灣行政區圖及農委會航測所之 40m 數值高程模型 (Digital Elevation Model ,DEM)進行測站基本資料檢定與氣候空間推估。

(三)代表氣候之氣象歷史記錄

本報告參酌上述研究，主觀採用不含空值(null)之記錄期大於 10 年者來求算月平均氣溫，另記錄期大於 15 年者來求算月平均降水。

二、研究方法

(一)氣象數據檢定方法

本文以 ArcGIS 8.1 為空間分析操作平台，引入交通部運研所之台灣數值地圖及農委會航測所之 DEM 進行測站基本資料的檢定，在觀測數據方面則採用 Meek & Hatfield(1994)之 NOC 檢定方法，及區域氣象信號過濾極端不合理值，檢定流程如圖 5。

1. 測站基本資料檢查規則

氣象資料除氣溫與降水之資料品質須加以檢定外，測站之座標位置資料因能影響氣候面化之結果，故亦須加以處理：

- (1) 無測站基本資料者：部分的專用氣象觀測數據僅有站碼與觀測記錄，並無站名、海拔高度、座標等基本資料，此類測站無法得知其所在位置，本研究全部予以刪除。
- (2) 異碼同站：亦即座標相同的不同測站。
 - A. 同一站之站碼變更：同一測站因測站種類或隸屬單位變更致使站碼變更，不同兩站碼之觀測數據的記錄日期常為相互接續，本研究將早期站碼改為近期站碼藉以合併前後資料。
 - B. 其中某站之座標資料錯誤：其記錄日期相重疊，且二者站名、海拔、地址不同，本研究由 ArcGIS 疊合行政區界後確認錯誤站後予以刪除。
- (3) 座標位置檢查：由 ArcGIS 疊合各測站點與行政區界，超出行政區邊界 3 km 者予以刪除。
- (4) 海拔高程檢查：比較測站基本資料海拔高度與該站標示於 GIS 所在之 DEM 高程，相差 200m 者予以刪除。

2. 氣象觀測數據檢查規則

- (1) 必然錯誤記錄的篩選：
 - A. 降水(precipitation, P)篩選出 $P < 0 \text{ mm}$ 或 $P > 2000 \text{ mm}$ (中央氣象局局屬站歷史最高日降水為 1440 mm)，直接改為空值。
 - B. 氣溫(temperature, T)篩選出 $T < -15$ 或 $T > 36$ (中央氣象局局屬站歷史最低日平均氣溫為 -12、最高日平均氣溫為 33)，直接改為空值。

上述準則所篩除之必然錯誤記錄，已能完整包括原始資料的-999.5 等儀器故障之已知錯誤，同時濾除必然錯誤之極端值以避免影響下一步驟之區域氣象信號的平均。

(2) 非必然錯誤記錄的篩選：

- A. 連續無變化界限(continuous no-observed-change with time limits)：篩選出各測站連續 3 日以上無變化之記錄，將之視為錯誤並改為空值($P = 0$ 予以忽略，因為多日無雨是正常的)。
- B. 以區域氣象信號檢定數據之高低值界限(high/low range limits)：讀取檢定後測站基本資料。
 - (A) 降水資料：比較每站每日降水與在 DEM 海拔高程 300 m 搜尋半徑範圍內與其距離最近 5 個測站之記錄平均降水，相差 300 mm 以上者視為錯誤記錄改為空值。
 - (B) 氣溫資料：比較每站每日氣溫與在水平距離 70 km 搜尋半徑範圍內與其 DEM 高程最近 5 個測站之記錄平均氣溫，相差 7 以上者視為錯誤記錄改為空值。

上述非必然錯誤記錄的篩選準則實屬 Peterson et al.(1998)所列之間接均質性檢定的主觀方法(subjective method)，引介了區域氣候信號(regional climate signal)至單一測站進行平均的修正(average adjustments)，亦即待驗站與鄰近站(candidate-neighbour)之比較，同時本研究依 Rhoads & Salinger(1993)之建議採用同一時間序列的多個鄰近站資料做為比較之基礎。

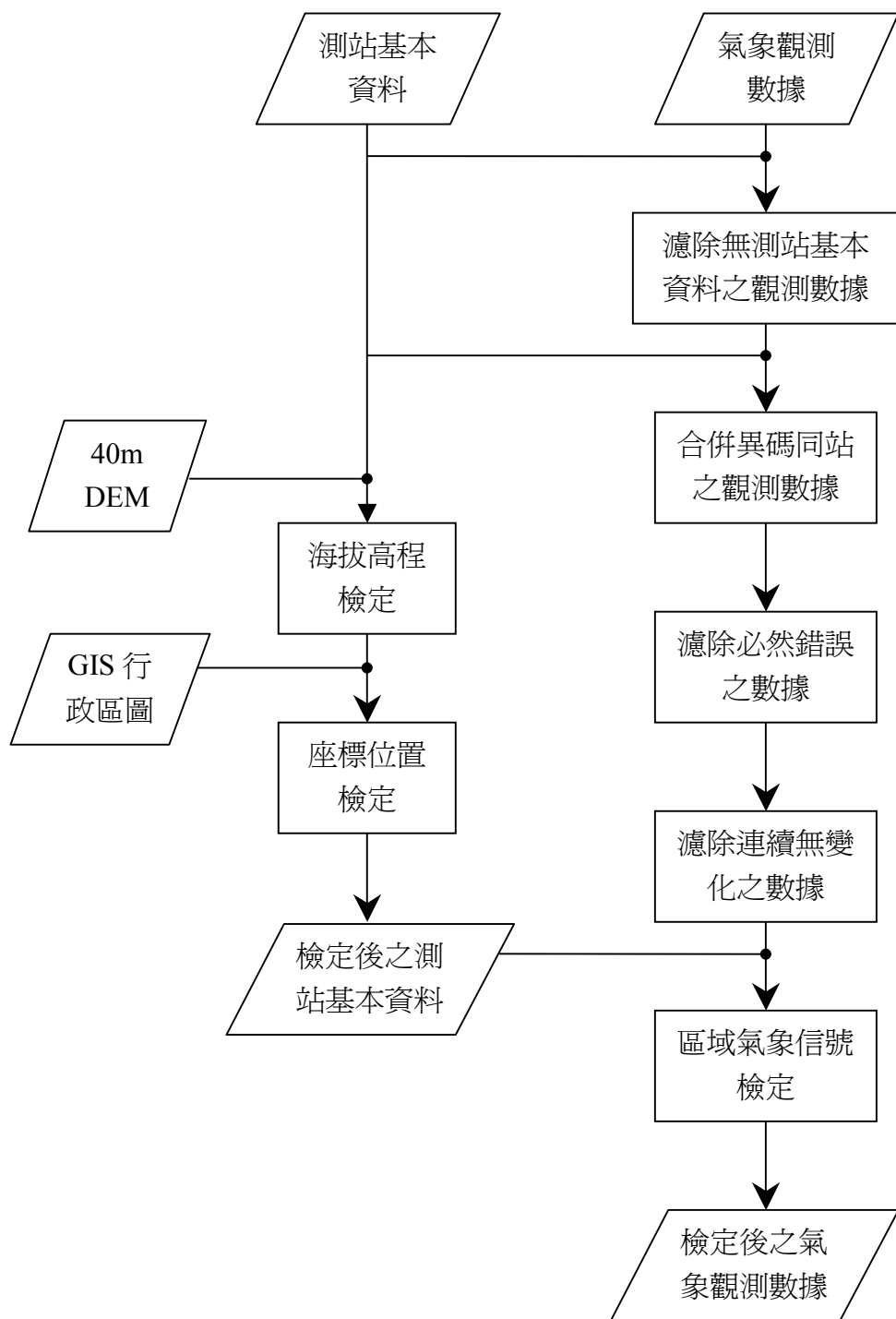


圖 5、氣象數據檢定流程

(二)氣候空間推估方法

以 ArcGIS 8.1 之 Spatial Analyst、Geostatistical Analyst 為空間分析操作平台，並對農委會航測所之 40m DEM 進行空值修補，再重取樣為 100m 之 DEM 網格(Egrd)，同時為配合迴歸分析使用，讀取其 TM 二度分帶(TWD67 基準)之經緯度(Xgrd, Ygrd)。有關測站平均氣溫、降水與海拔、經度、緯度之線性迴歸分析，以 SPSS 10.1 為分析工具。

有關山區氣候空間推估之常用計算式如下(Droque et al., 2002)：

Regression(rainfall vs. topographic parameters)：

$$P^*(x_0) = a + bP(x_1) + cP(x_2) + \cdots + nP(x_n) + \varepsilon$$

$$\text{KED(kriging with external drift)}: P^*(x_0) = \sum_{\alpha} \lambda_{\alpha} P_{\alpha}$$

$$Z(x_0) = \sum_{\alpha} \lambda_{\alpha} Z_{\alpha} \quad \text{。} \quad \sum_{\alpha} \lambda_{\alpha} = 1$$

COK(extended collocated co-kriging)：

$$P^*(x_0) = \sum_{\alpha} \lambda_{\alpha} P_{\alpha} + \sum_{\alpha} \lambda_{\alpha} Z_{\alpha} + \lambda_0 Z(x_0)$$

$P^*(x_0)$ 為 x_0 處(無測站的任意點)之氣候推估值

$X_1, X_2, \dots, X_n$ 為地形輔助因子

ε 為殘差

λ_i, P_{α} 與 Z_{α} 分別為 α 處(有測站的點)之權重、實際氣候值與輔助變量(海拔高度)

第四章 結果與討論

一、氣象數據檢定結果

經氣象數據檢定程序可客觀的濾除無測站基本資料之觀測數據、合併異碼同站之觀測數據、濾除必然錯誤之數據等結果。

附錄一為經比對測站基本資料與利用其座標標定於 GIS 行政區圖、讀取 DEM 高程後，經座標位置檢查及海拔高程檢查程序被刪除的 207 個測站。其中測站海拔高度與 DEM 高程之差異，可能是來自於測站基本資料的高度不正確，亦是由於 DEM 網格平均高程誤差或其本身的高程不正確。在研究過程中發現，除局屬測站外，自動站與合作站之座標位置、海拔高程，仍待進一步的檢定，亦即應建立完整測站詮釋資料。其中座標位置與海拔高程屬各測站之基本資料，如同 DEM 資料有部分誤錯尚待更為準確的修正。

附錄二為合作站連續無變化界限所濾出之數據，本報告所使用之連續無變化界限可篩出可能不合理的無變化數據，但將無變化界限定為 3 日則仍待討論，且未經判斷即逕予濾除是有可能刪除掉反映真實氣象狀態的連續無變化數據，即使可能誤刪真實記錄本報告仍予刪除，因就計算長期(本報告以大於 10 年記錄求算月平均氣溫，以大於 15 年記錄求算月平均降水)之月平均的多量數據而言影響並不顯著。

高低值界限並未濾除任何記錄，且未再重試其他的搜尋半徑、差異值，主要是檢定過程非常大量的運算之限制，另外如何訂定合理的搜尋半徑、差異值也是一大問題；此程序設計仍有極大的改善空間，以降水量為例，搜尋半徑應與降水系統的大小相關，如梅雨與對流雨之搜尋半徑不應相同，對不同坡面之差異亦應考慮，而用來檢定某站記錄之鄰近測站組設定為距離最近 7 站並不盡合理，去除最高與最低記錄亦僅為避免區域氣象信號模糊之過渡性想法，如能給予各站鄰近測站較合理的權重，如距離反比權重法，考慮降雨型式、迎風背面問題等應為更佳之方式。而氣溫區域氣候信號的鄰近測站

給予權重，應可考慮由氣溫遞減率迴歸信賴區間予以訂之。本報告所設定高低值界限之搜尋半徑範圍與差值並未濾除任何記錄，可粗略地視為無特異氣象觀測值之結果。

二、月平均氣溫空間

本研究選用經氣象數據檢定後之氣溫測站，取觀測期大於 10 年之測站共 207 站(如圖 6)，並計算其各月之平均氣溫，做為空間推估分析之原始資料。

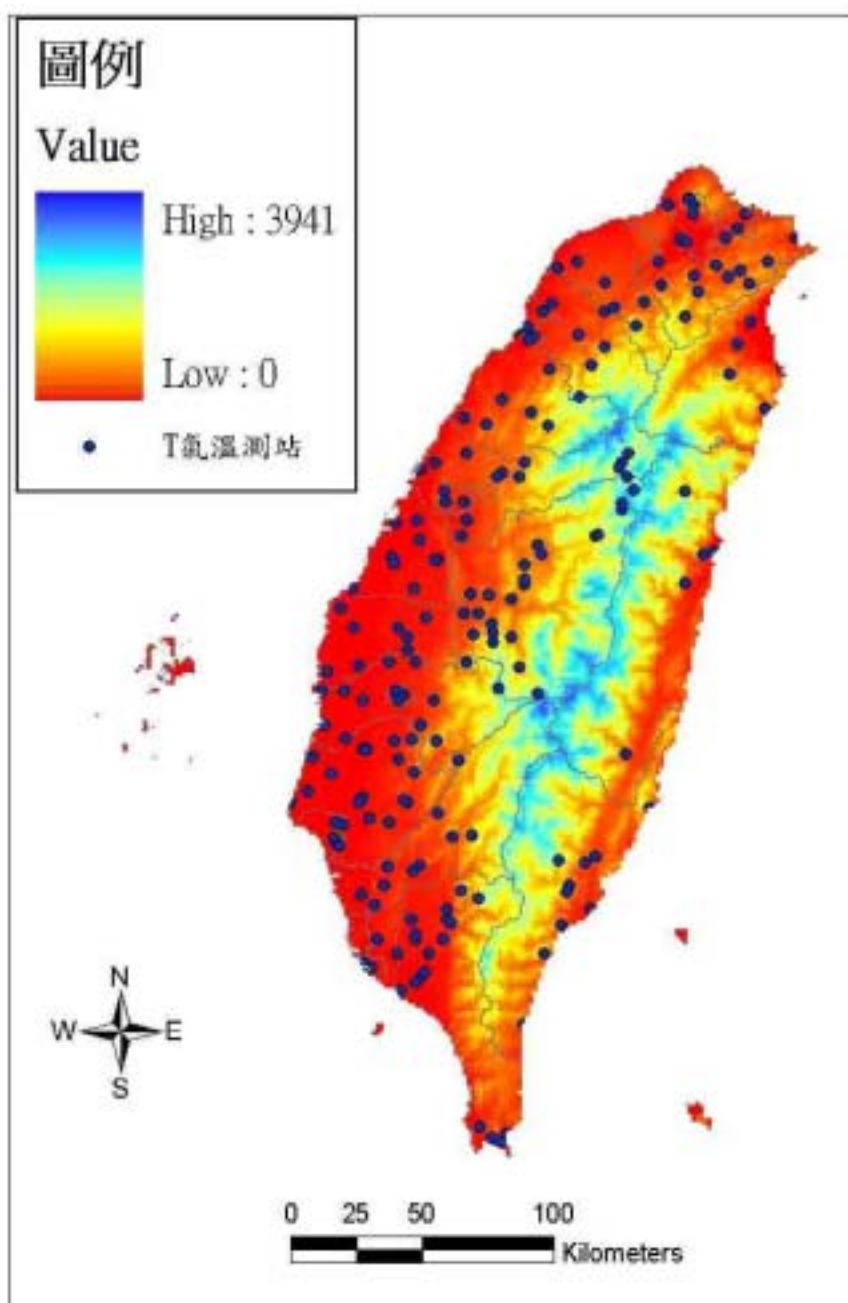


圖 6、台灣數值高程模型與大於 10 年記錄之氣溫測站分布

表 3 為以 ArcGIS 外掛之 Geostatistical Analyst 模組的空間分析方法推估各月測站之結果，由交叉驗證之結果來看平均推估錯誤均小於 0.1，與 Price et al.(2001)、Jeffrey et al.(2001)等報告之結果相當，但由圖 6 可知除玉山、合歡山外，其他高海拔地區十分欠缺測站，因而可能造成這些區域推估的偏差，由圖 7 雪霸國家公園範圍來看，因其園區與周邊測站稀少且無高於 2200m 之測站。如以台中、新竹站之 1 月平均氣溫約 15.4 視為平地氣溫，則雪山 DEM 高程 3882m 以氣溫遞減率 $-0.4 \sim -0.6$ /100m 來計算其氣溫約在 $-0.11 \sim -7.87$ ，因此 OK 推估結果顯然高估了類似雪山等無合適鄰近站之高海拔地區的氣溫，其亦為所有空間推估方法之限制——要求合宜的採樣點分布。

表 3、各月平均氣溫推估結果之交叉驗證

n=207	Prediction Error	January	February	March	April	May	June
IDW	Mean	0.044	0.054	0.074	0.079	0.085	0.077
	RMSE	2.107	2.138	2.151	2.227	2.287	2.351
LP	Mean	0.232	0.200	0.191	0.230	0.271	0.268
	RMSE	2.531	2.536	2.542	2.655	2.736	2.787
RBF	Mean	0.011	0.019	0.034	0.037	0.037	0.030
	RMSE	2.081	2.115	2.134	2.191	2.236	2.297
OK	Mean	0.005	0.003	0.006	0.015	0.010	0.003
	RMSE	2.038	2.151	2.167	2.170	2.202	2.286
	Mean Std	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	-0.001
	RMSE Std	1.241	1.010	1.008	1.460	1.429	1.418
COK	Mean	0.012	0.009	0.020	-0.011	-0.022	-0.026
	RMSE	2.046	2.087	2.123	2.091	2.090	2.163
	Mean Std	0.003	0.001	0.006	-0.015	-0.017	-0.016
	RMSE Std	1.420	1.469	1.475	1.339	1.195	1.108
KED	Mean	-0.001	0.002	0.005	0.006	0.004	-0.001
	RMSE	0.916	0.874	0.894	0.793	0.783	0.834
	Mean Std	0.001	0.001	0.001	0.002	-0.001	-0.003
	RMSE Std	1.112	1.146	1.213	1.196	1.062	1.001

註：共計 207 個測站月平均氣溫資料。IDW: Inverse Distance Weighted。LP: Local Polynomial interpolation。RBF: Radial Basis Functions。OK: Ordinary Kriging。COK: Cokriging。KED: Kriging with External Drift (residual bwtween temperature and elevation)。RMSE Std: Standardized Root-Mean-Square of predicted error。

表 3、各月平均氣溫推估結果之交叉驗證(續)

n=207	Prediction Error	July	August	September	October	November	December
IDW	Mean	0.056	0.054	0.061	0.072	0.050	0.040
	RMSE	2.387	2.361	2.329	2.281	2.185	2.136
LP	Mean	0.355	0.353	0.319	0.264	0.249	0.248
	RMSE	2.874	2.848	2.798	2.716	2.621	2.552
RBF	Mean	0.015	0.015	0.018	0.025	0.014	0.009
	RMSE	2.325	2.301	2.259	2.218	2.129	2.095
OK	Mean	0.001	-0.002	-0.001	0.003	0.009	0.010
	RMSE	2.291	2.264	2.199	2.190	2.087	2.052
	Mean Std	-0.001	-0.002	-0.002	0.000	0.000	0.003
	RMSE Std	1.195	1.207	1.169	1.380	1.402	1.310
COK	Mean	-0.072	-0.072	-0.036	-0.033	-0.021	-0.002
	RMSE	2.869	2.838	2.108	2.082	2.007	2.023
	Mean Std	-0.019	-0.019	-0.018	-0.018	-0.016	-0.006
	RMSE Std	0.775	0.770	1.048	1.151	1.234	1.334
KED	Mean	0.004	0.002	-0.003	-0.001	-0.001	-0.002
	RMSE	0.880	0.845	0.809	0.858	0.854	0.906
	Mean Std	0.003	0.002	-0.004	-0.002	-0.001	0.000
	RMSE Std	1.016	1.018	0.984	1.060	1.121	1.102

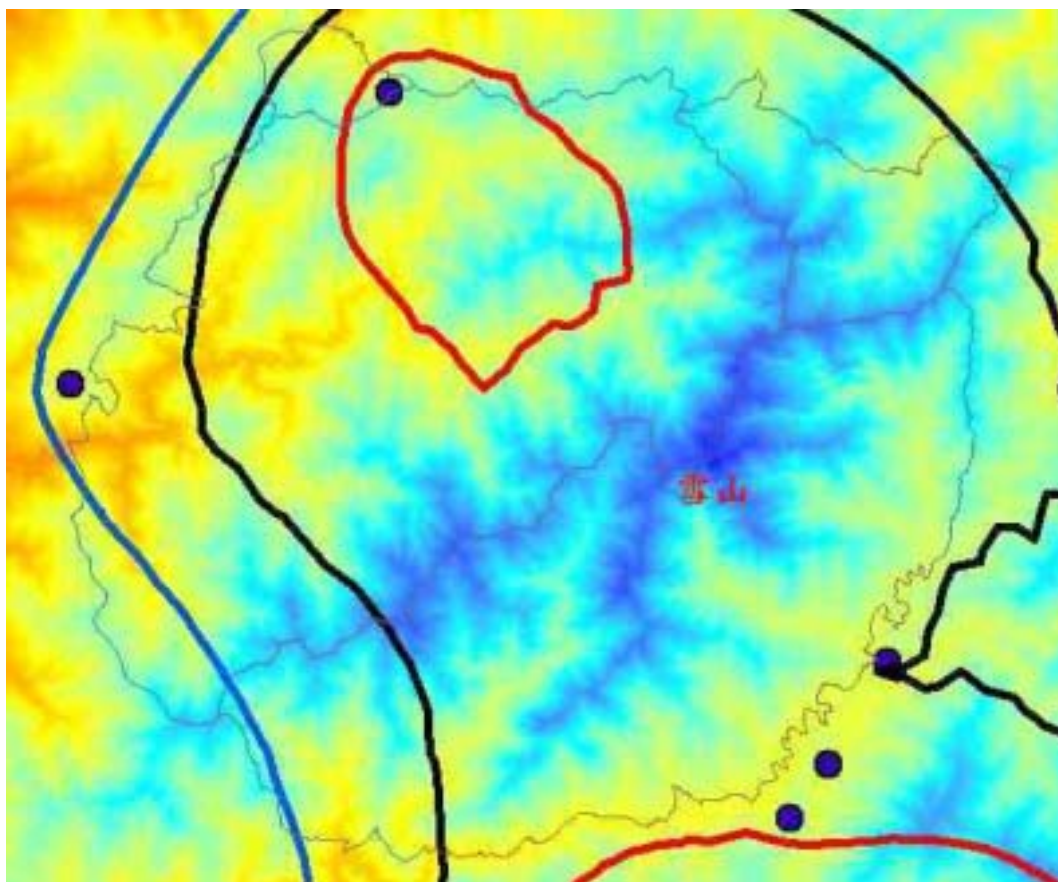


圖 7、雪霸國家公園 DEM、測站分布(黑點)、OK 推估結果之一月等溫線(紅線爲 8、黑線爲 9、藍線爲 10)

由表 3 比較各方法之 MSE 可以看出以海拔高度做為輔助變量之方法能更準確估算氣溫，氣溫隨海拔高度而遞減乃為通則，然 Rolland(2003)指出各地之氣溫遞減率並不一致，台灣深受季風氣候影響造成冬季北部迎風面較低溫之現象。另外，氣溫隨緯度增加而遞減亦為通則。表 4 為以各站各月平均氣溫對海拔高度、緯度、經度進行線性迴歸之結果(刪除離島測站及迴歸殘差最高最低各 6 站)，顯示氣溫與海拔存在著極顯著的相關性，且除 7、8 月外，當以海拔和緯度為預測變數(predictor variables)其修正後決定係數(adjusted R^2)更大幅提升，以海拔、緯度、經度為預測變數則可解釋更多的氣溫變異。因其本報告以海拔、緯度、經度之迴歸預測值合併迴歸殘差之 OK 推估結果做

為氣溫之推估值，亦即 Boer et al.(2001)之 trivariate regression-kriging 推估法。有關台灣各月平均氣溫之推估圖如附錄三，圖 8 為雪霸之一月氣溫推估圖，其結果較 OK 等單純空間推估結果更為合理。

表 4、月平均氣溫對海拔高度(E)、緯度(Y)、經度(X)進行線性迴歸之結果

n=190		January	February	March	April	May	June
E	Adj R ²	0.788	0.754	0.751	0.835	0.902	0.949
	constant	16.954	17.611	20.057	23.432	26.034	27.734
	E	-4.64E-03	-4.61E-03	-4.64E-03	-5.05E-03	-5.41E-03	-5.47E-03
	p value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EY	Adj R ²	0.925	0.932	0.94	0.953	0.958	0.96
	constant	53.342	59.704	63.773	59.071	51.394	38.589
	E	-4.31E-03	-4.22E-03	-4.25E-03	-4.73E-03	-5.17E-03	-5.37E-03
	p value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Y	-1.39E-05	-1.61E-05	-1.67E-05	-1.36E-05	-9.68E-06	-4.14E-06
EYX	p value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	adj R ²	0.938	0.942	0.942	0.953	0.961	0.96
	constant	60.236	65.883	67.238	57.461	47.654	37.104
	E	-4.46E-03	-4.36E-03	-4.32E-03	-4.69E-03	-5.09E-03	-5.34E-03
	p value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Y	-1.75E-05	-1.93E-05	-1.85E-05	-1.28E-05	-7.74E-06	-3.37E-06
	p value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	X	1.11E-05	9.92E-06	5.56E-06	-2.58E-06	-6.00E-06	-2.38E-06
	p value	0.000	0.000	0.002	0.111	0.000	0.117

註：灰色網底表被選用作為氣溫估算。

表 4、月平均氣溫對海拔高度(E)、緯度(Y)、經度(X)進行線性迴歸之結果(續)

n=190		July	August	September	October	November	December
E	adj R ²	0.952	0.955	0.944	0.897	0.863	0.828
	constant	28.667	28.319	27.155	24.960	21.902	18.628
	E	-5.52E-03	-5.49E-03	-5.42E-03	-5.17E-03	-4.91E-03	-4.73E-03
	p value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EY	adj R ²	0.951	0.955	0.954	0.95	0.949	0.933
	constant	28.9	27.562	37.892	48.722	51.161	50.326
	E	-5.51E-03	-5.49E-03	-5.32E-03	-4.95E-03	-4.64E-03	-4.44E-03
	p value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Y	-8.87E-08	2.89E-07	-4.10E-06	-9.07E-06	-1.12E-05	-1.21E-05
EYX	p value	0.892	0.643	0.000	0.000	0.000	0.000
	adj R ²	0.951	0.955	0.957	0.952	0.949	0.939
	constant	29.422	27.306	34.472	45.993	51.54	54.954
	E	-5.53E-03	-5.49E-03	-5.25E-03	-4.89E-03	-4.65E-03	-4.54E-03
	p value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Y	-3.60E-07	4.21E-07	-2.32E-06	-7.65E-06	-1.14E-05	-1.45E-05
	p value	0.673	0.604	0.004	0.000	0.000	0.000
	X	8.38E-07	-4.10E-07	-5.49E-06	-4.38E-06	6.09E-07	7.43E-06
	p value	0.620	0.799	0.001	0.007	0.706	0.000

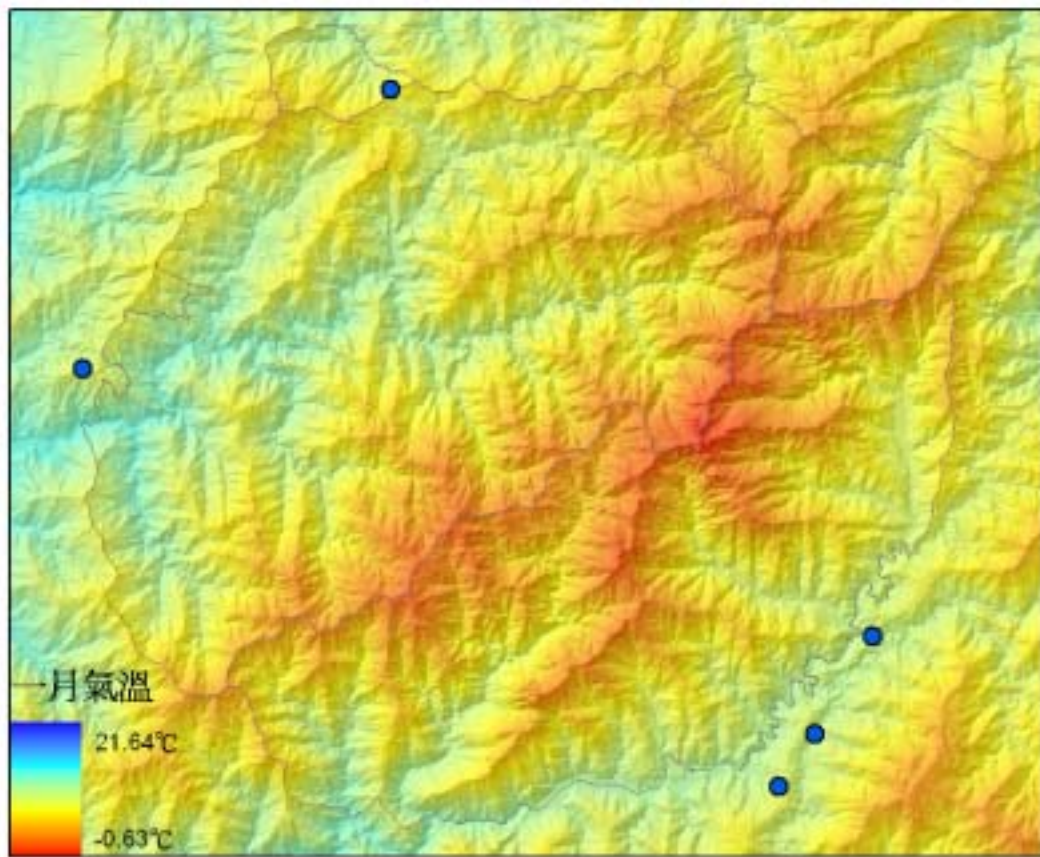


圖 8、雪霸國家公園一月平均氣溫推估圖

三、月平均降水空間

本研究選用經氣象數據檢定後之降水測站，取觀測記錄大於 15 年之測站共 777 站(如圖 9)，並計算其各月之平均降水，做為空間推估分析之原始資料。

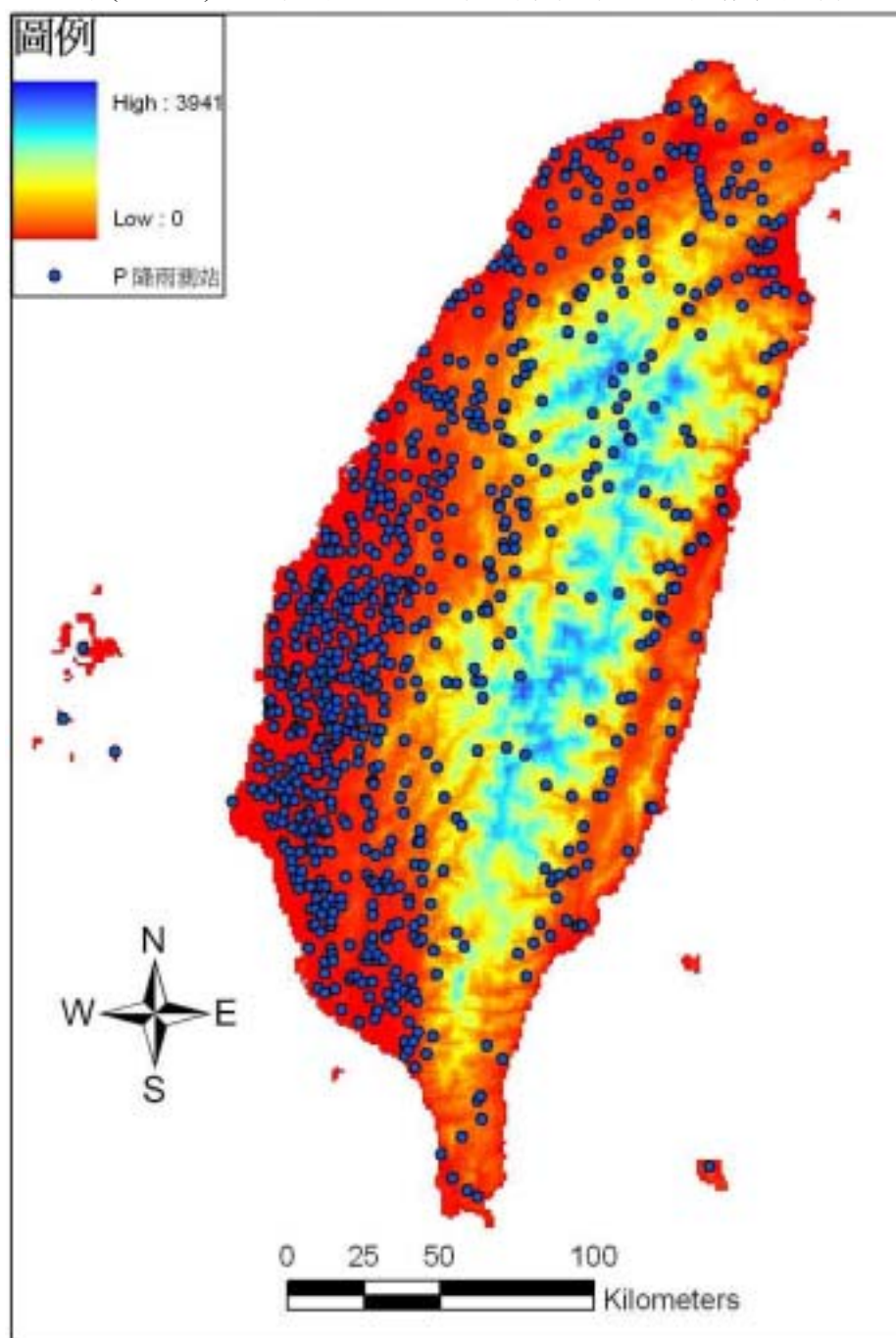


圖 9、台灣數值高程模型與大於 15 年記錄之降水測站分布

許多報告(e.g. Phillips et al., 1992 ; Pardo-Iguzquiza, 1998a ; Drogue et al., 2002)指出的降水—地形存在顯著關係，經由月平均降水與海拔高度、緯度、經度進行線性迴歸之結果(表 5)，可知在推估降水空間時使用之前的海拔、緯度、經度 trivariate regression-kriging 推估法並無法逼近真實的降水空間。

表 5、月平均降水對海拔高度(E)、緯度(Y)、經度(X)進行線性迴歸之結果

n=777		January	February	March	April	May	June
E	adj R ²	0.080	0.186	0.216	0.320	0.463	0.119
X	adj R ²	0.543	0.560	0.460	0.305	0.150	0.023
Y	adj R ²	0.337	0.554	0.628	0.428	0.050	0.119
EX	adj R ²	0.544	0.597	0.524	0.468	0.491	0.201
EY	adj R ²	0.230	0.374	0.654	0.745	0.646	0.477
XY	adj R ²	0.568	0.690	0.686	0.463	0.149	0.124
EYX	adj R ²	0.571	0.736	0.766	0.648	0.491	0.287

表 5、月平均降水對海拔高度(E)、緯度(Y)、經度(X)進行線性迴歸之結果(續)

n=777		July	August	September	October	November	December
E	adj R ²	0.026	0.055	0.082	0.038	0.016	0.032
X	adj R ²	0.053	0.013	0.473	0.575	0.518	0.433
Y	adj R ²	0.400	0.247	0.009	0.078	0.177	0.229
EX	adj R ²	0.117	0.099	0.476	0.568	0.532	0.434
EY	adj R ²	0.472	0.349	0.084	0.102	0.180	0.239
XY	adj R ²	0.439	0.301	0.639	0.629	0.519	0.441
EYX	adj R ²	0.487	0.369	0.640	0.633	0.532	0.442

Goovaerts(1997)曾提及除檢視目標變量與輔助變量之關係外，對二者之空間分布特性亦應加以考量，尤其在 COK 中，當輔助變量之塊金效應(nugget effect)遠小於目標變量之塊金效應時，將會造成交叉變異圖中主要變量的資訊量降低，不當選擇的輔助變量將增加模型中的雜訊(noise)(Ninyerola et al., 2000)。因此在運用輔助變量時應注意目標、輔助變量之空間關聯性的強度，即共區域化(coregionalize)之程度，及推估殘差(residual)中是否仍有空間結構

存在(Ahmed & De Marsily, 1987 ; Goovaerts, 2000)。Asli & Marcotte (1995)指出除非主要、輔助變量之相關係數 >0.4 ，否則不應將此一輔助變量列納入分析。表 5 對降水與海拔、緯度、經度之線性迴歸無法良好解釋的真實降水之空間變異，但由表 5 也可看出降水空間與地形因子仍存在著某種程度的相關性，因此本報告除了採用一般傳統的空間推估方法外，也嘗試併入高程、方位等考量的空間推估方法，表 6 為各種空間推估方法之結果，可以看出 kriging(OK)有較佳的推估結果，若再結合海拔高度(e.g. COK)，結合非等向性(anisotropy, e.g. aniOK, ani COK)，結合降趨(detrending, e.g. detOK detCOK)等方法均有可能降低推估的錯誤，但改善之效果有限。由於降雨資料未呈常態分布，本報告依 Martinez-Cob(1996)之建議，分析前應先予以 log 轉換為常態後，再以計算需求較低且 MSE 尚佳的 OK 推估月降雨量，附錄四為降雨資料經 log 轉換後的 OK 經台灣各月平均降水量之推估圖。由表 5 各月降雨—地形迴歸相關性上與表 6 各月降雨推估精度上，可知降雨地形模型之解釋量於夏季明顯較冬季為少，Droque et al.(2002)歸因於山塊使夏季大氣不穩形成對流胞(convective cells)所致，然 Goovaerts(2000)於葡萄牙南部 Algarve 的研究，其雨季為冬季(10-4 月)降雨空間與地形之關係較不密切，其成因則應從氣象學理上進一步探討。

有關降雨空間推估方法選定，應瞭解各方法的優點與限制後，並綜合考量研究區之地理地形特性、測站資料與其分布特性等加以選定及驗證比較，Isaaks&Srivastava(1989)即認為目標變量的本質、所獲樣本值、模型建立準則，較分析方法之差異對推估結果有更大的影響，因此在上述之研究結果中，常見不同報告對方法之不同評等，適用某地之分析方法並不一定適用於本地(Martinez-Cob, 1996)，不同月份之降雨受地形控制程度不同，其推估模型之選擇亦應不同，最後可將各月降雨推估值加總與年平均降雨空間比對。

表 6、各月平均降雨推估結果之交叉驗證

n=777		January	February	March	April	May	June
IDW	RMSE	29.14	26.63	21.04	28.23	34.43	48.76
LP	RMSE	32.10	32.02	27.07	28.94	47.80	65.20
RBF	RMSE	28.36	26.58	20.67	27.08	33.69	47.38
OK	RMSE	29.67	26.81	20.52	26.14	32.50	48.58
COK	RMSE	29.66	26.81	20.52	26.25	32.16	46.32
aniOK	RMSE	29.40	27.21	20.76	26.02	32.48	52.13
aniCOK	RMSE	29.42	27.06	20.76	26.11	31.62	46.07
detOK	RMSE	27.96	27.06	20.18	26.84	32.49	48.62
detCOK	RMSE	27.96	26.99	20.54	26.59	41.73	46.10
det_aniCOK	RMSE	28.61	26.93	20.88	25.84	37.10	48.32
logOK	RMSE	27.72	26.06	20.13	26.04	32.43	48.36
logCOK	RMSE	27.72	26.05	20.13	26.03	31.53	48.21

註：ani: anitropy；det: detrend p=1；log: log transformation；n: 降雨測站數。

表 6、各月平均降雨推估結果之交叉驗證(續)

n=777		July	August	September	October	November	December
IDW	RMSE	47.57	57.12	52.56	59.97	43.19	46.48
LP	RMSE	60.35	77.95	67.04	77.55	53.75	48.01
RBF	RMSE	51.08	67.85	51.64	57.20	41.89	43.46
OK	RMSE	47.37	60.52	48.70	59.81	43.58	46.93
COK	RMSE	47.27	60.39	50.06	59.80	43.58	46.93
aniOK	RMSE	47.44	60.33	48.43	59.51	43.35	46.83
aniCOK	RMSE	47.36	59.87	50.20	59.51	43.37	46.83
detOK	RMSE	47.06	54.52	48.70	59.20	41.87	42.34
detCOK	RMSE	46.98	55.60	54.63	58.97	41.81	42.34
det_aniCOK	RMSE	47.81	58.69	51.39	59.37	44.76	44.72
logOK	RMSE	46.39	59.52	48.51	58.49	41.63	42.75
logCOK	RMSE	46.28	59.37	49.92	58.68	41.64	42.76

第五章 結論與建議

氣象數據品質控制雖是煩鎖且艱鉅的工作，但對包含不合理的數據而言，這卻是進行其他分析前的決定性優先工作，而採用何種技術端取決於任務目標與可用資源(task and resources available)(Peterson et al.1998)，限於台灣多數氣象站無詮釋資料可用以說明不合理部分之資料不連續性與長期趨勢，且本研究之最終目的在探討植群與氣候之關係，著重的是長期氣候的平均狀態，因此在氣象資料檢定上僅完成不合理極端值之篩除，已可滿足進行下一步的氣候資料空間化工作之需求。氣象觀測資料為各種氣象與氣候相關分析之基礎，未來之工作應可重視：(1)建立各測站完整準確的詮釋資料、(2)發展更為合理可用的區域氣象信號、(3)藉由網路縮短合作站資料回傳時間間隔，以更即時地檢定數據合理性。本報告將測站基本資料高程與所在 DEM 高程之差設定為 100m 以下乃不得已的主觀方式。而在記錄數據方面本研究著重於篩除因人為不實記錄、筆誤與輸入錯誤等所造成不合理的極端值，實未針對觀測作業、測站周圍環境、觀測儀器等所造成的資料不連續性與趨勢變化加以修正，亦即對 Alexandersson & Moberg(1997)、Tuomenvirta (2001)、Wijngaard et al. (2003)等報告中所強調的資料均質性未加處理，此應為未來進一步檢定氣象資料的重要工作。

台灣之月平均氣溫之推估由氣溫對海拔、緯度、經度之線性迴歸併入殘差之 OK 推估，由實際的欠缺測站之高海拔地區—雪霸國家公園，可得良好的氣溫估值，其中海拔可解釋 7、8 月氣溫變異 95%以上，說明台灣在夏季時南北、東西之差異並不大，而其他月份以海拔、緯度、經度三預測變數亦可解釋 93%以上的氣溫變異，本報告同時將線性迴歸估算值併入迴歸殘差 OK 推估值，更可修正迴歸估算後局部地區的變化，亦即以迴歸分析結合適當地理地形變數估算整體的(general)平緩的(smooth)氣溫(Drogue et al., 2002；Marquinez et al., 2003)，再結合修正迴歸殘差之空間推估來顯示局部變化，此法在少量測站之區域可降低估計的不確定性

(uncertainty)(Martinez-Cob(1996)。對植群分布而言，海拔高度為一間接因子，所隱含的是氣溫效應，而氣溫對植群分布之更直接作用，未來將以 Kira 溫量指數予以轉化(倪健，1997；Yim & Kira, 1975, 1976)。

有關台灣之月平均降雨之推估結果，雖然可看出台灣整體的降雨空間分布情形，其精度也不比其他研究差，但在本研究中降雨推估結果並不如氣溫推估令人滿意，主要原因降雨事件隨不同的地形而有不同的表現形式(Konrad, 1996)，且深受帶來水氣之季風風向的影響(Qian, 2002)，基於地形與風向的複雜變異，理論上推估區域降雨(regional rainfall)應建立在已定義好的均質區上，然一旦分區後，在繪製推估結果時，其邊界之等雨量線可能無法咬合(merging isohyets)(Droque et al., 2002)。至於如何確立地形與降雨交互作用的尺度(the scale of the topographic-rainfall interactions)在上述報告中並未討論，Droque et al.(2002)認為現今研究山區降雨之模式並無法解釋與降雨有關之大氣微物理現象，因此以 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 、 $4 \times 4 \text{ km}^2$ $28 \times 28 \text{ km}^2$ 等不同尺度予以計算地形參數，Marquinez et al.(2003)則以 GIS 自動計算的 sub-basin($5-382 \text{ km}^2$)來代表對降雨均質反應的小區。另外，在研究帶來水氣之季風風向的方法中，Kriging 可選定某一方位與搜尋半徑之範圍(Johnston et al., 2001)，可解決迴歸分析中難以處理的非等向性(anisotropy)問題。如同 Daly et al.(1994)所言，山區降雨推估的困難除了目標變量資訊的缺乏外，缺少完整的概念架構(conceptual framework)也是主因。未來在研究台灣山區之降雨空間分布，即應先建立分析流程並對架構逐項加以檢視：(1). 測站資料(目標變量)之樣本大小、均質性、篩選法則、分布與轉換型式等。(2). 輔助變量之選定與組合。(3). 各種推估模型之參數設定與結果比較。未來我們將對 Daly et al.(1994)所發展的 PRISM 推估模型再進一步檢視其在台灣的適用性。

如何利用測站點資料推估氣候空間，是各種環境生態模式研究應用上的需要，也是迫切尚待解決的理論研究問題。本報告之氣象數據檢定程序提供了一種基於空間概念的檢定思考方向，其結果提供了後續空間化作業之可用測站的海拔、座標及氣象數據之品質控制；而月平均氣溫因可用測站數較少

無法表現良好之區域化變量，經複迴歸預測併合理論最佳的 kriging 殘差推估之氣溫空間化結果能提供山區無測站地區的研究背景參考；月平均降雨之可用測站數較多，但影響降雨之變因極為複雜，其空間化結果如同單一降雨事件，僅能提供概略地降雨分布情形，然相對於單一的測站降雨資料本報告之結果仍具參考價值。氣候空間之結果須注意其適用與限制，本報告以空間推估程序所得之結果，適用於中尺度空間之研究，對局部地形所造成之微氣候，如霜袋效應、雨陰效應等模擬能力則有所不足。

附錄一、被刪除之測站

測站號碼	海拔高度	縣市	地址	DEM高程	country	town	高差
11S240	55	台東縣	長濱鄉長濱路 25 號	2955	花蓮縣	卓溪鄉	-2900
F2H430	3028	南投縣	信義鄉轆大 12 林班	1093	南投縣	鹿谷鄉	1935
11S520	138	台東縣	鹿野鄉中華路 27 鄰 121-5 號	1615	台東縣	延平鄉	-1477
01N620	40	台南縣	關廟鄉新埔村	1426	台東縣	海端鄉	-1386
C1T910	130	花蓮縣	萬榮鄉西林村 1-1 號(榮民工程處蔣公銅像旁)	1475			-1345
T2T300	100	花蓮縣	鳳林鄉大榮里大忠路 17 號	1392	花蓮縣	萬榮鄉	-1292
41H780	1410	南投縣	仁愛鄉法治村	142	新竹縣	湖口鄉	1268
F2M190	2274	嘉義縣	吳鳳鄉中正村 68 號	1049	嘉義縣	阿里山鄉	1225
F2F290	2521	台中縣	和平鄉南勢村埔里事業區第 28 林班	1339			1182
F2P110	1500	高雄縣	桃源鄉寶山村寶山巷 75 號	347	高雄縣	六龜鄉	1153
01T350	1570	花蓮縣	鳳林鎮森榮里	472	花蓮縣	萬榮鄉	1098
F2T430	2730	花蓮縣	壽豐鄉民族村大檜山瞭望台	1688	花蓮縣	秀林鄉	1042
C1T810	1870	花蓮縣	秀林鄉富世村關原路 3 號(救國團慈恩山莊)	877			993
H1M250	1020	嘉義縣	大埔鄉馬頭山	27	嘉義市	西區	993
01H400	1135	南投縣	信義鄉東埔村(東埔派出所)	2092	高雄縣	桃源鄉	-957
31H580	95	南投縣	南投市崇文里崇文巷 9 號	989	南投縣	中寮鄉	-894
C0R100	50	屏東縣	三地門鄉口社檢查站車程約 2 小時(舊瞭望台旁)	936			-886
C0S760	2435	臺東縣	海端鄉紅石(紅石瞭望臺旁)	1561			874
41F200	2800	台中縣	和平鄉平等村	1945			855
F2H700	1390	南投縣	集集鎮集集大山	556	南投縣	魚池鄉	834
41T060	169	花蓮縣	秀林鄉富世村	984			-815
C1I040	1693	南投縣	仁愛鄉法治村良久林場內	907			786
C0A9D0	787	臺北縣	永和市保生路 25 號(永平國民小學校園內)	6			781
11T290	170	花蓮縣	瑞穗鄉富源村中正路 21 號	946	花蓮縣	光復鄉	-776
C1T900	160	花蓮縣	萬榮鄉西林路 8 鄰 114 號(西林國民小學運動場旁)	927			-767
E2P250	1300	高雄縣	茂林鄉茂林村南鳳山	2049			-749
D2H280	1748	南投縣	仁愛鄉大同村仁和路 170 號	1004			744
C0U730	2000	宜蘭縣	大同鄉(思源啞口旁)	2734	宜蘭縣	南澳鄉	-734
C1R250	787	屏東縣	春日鄉七佳村自強一路 92 號(力里國民小學內)	82			705
F2T110	1689	花蓮縣	秀林鄉銅門村龍溪瞭望台	989			700

C1T980	257	花蓮縣	秀林鄉龍潤發電廠旁	948			-691
D2F230	1734	台中縣	和平鄉平等村武陵路 3 號	2400			-666
H1O940	1234	台南縣	東山鄉大棟山山頂附近	570			664
11P100	253	高雄縣	六龜鄉六龜村	916			-663
41F240	3000	台中縣	和平鄉平等村	2348			652
21D170	630	新竹縣	尖石鄉秀巒村鎮西堡	1273			-643
F2S450	1349	台東縣	海瑞鄉新武村沙姑山	709			640
40F840	5	台中縣	龍井鄉麗水村三港路水裡港巷 21 之 10 號	629	花蓮縣	秀林鄉	-624
D2F300	2248	台中縣	和平鄉梨山村福壽路 29 號	1624			624
P2T550	700	花蓮縣	萬榮鄉馬遠村萬榮農場	82	花蓮縣	玉里鎮	618
41H750	3000	南投縣	信義鄉望鄉村	2406			594
A0T680	1087	花蓮縣	秀林鄉富世村天祥路 24 號	508			579
C1T940	1570	花蓮縣	鳳林鎮(往臺 16 線過管制哨約 12K 處)	1010	花蓮縣	萬榮鄉	560
A0U410	560	宜蘭縣	羅東鎮竹林里復興街 14 號	3			557
F2D130	870	新竹縣	尖石鄉秀巒村控溪 14 號	1426			-556
F2L440	1405	嘉義縣	竹崎鄉中和村 97 號	849			556
C0E610	80	苗栗縣	泰安鄉錦子村(由泰安開車約 2 小時瞭望台旁)	626			-546
C1I330	1014	南投縣	仁愛鄉埔里事業區 107 林班地(臺 14 線近埔里市區)	1556			-542
F2T530	2486	花蓮縣	萬榮鄉林田山事業區第 102 林班	1944			542
C0A570	387	臺北縣	烏來鄉后桶街 49 號孝義村 5-6k 處路旁	927			-540
C0T820	550	花蓮縣	秀林鄉立霧溪事業區 80 林班地(天祥祥德寺)	1087			-537
41H740	2400	南投縣	信義鄉地利村	1864			536
01A210	600	台北縣	三峽鎮插角里	72			528
F2L400	750	嘉義縣	大埔鄉永樂村五彎瞭望台	222			528
F2T520	922	花蓮縣	豐濱鄉太巴事業區第 27 林班	398			524
F2T210	1128	花蓮縣	卓溪鄉卓溪村	622			506
41H770	1410	南投縣	仁愛鄉合作村	1902			-492
40T090	1117	花蓮縣	秀林鄉富世村洛韶 28 號	1607			-490
41T090	1117	花蓮縣	秀林鄉富世村洛韶 28 號	1607			-490
C1U511	64	宜蘭縣	大同鄉(羅東事業區第 58 林班內)	551			-487
C0A9G0	489	臺北市	南港區興南路 62 號(東新國小內)	5	台北市	松山區	484
C0F900	49	臺中縣	和平鄉自由村東崎路二段 116 號	530			-481
09E190	2560			2081			479
41H270	1520	南投縣	仁愛鄉精英村廬山瞭望台	1043			477
F2U290	679	宜蘭縣	頭城鎮礁溪鄉玉石路 116 號	202	宜蘭縣	礁溪鄉	477

E2P240	750	高雄縣	茂林鄉六龜村民治路 15 巷 5-10 號	279			471
U2H290	680	南投縣	仁愛鄉新生村山林巷 1 號	1147	苗栗縣	泰安鄉	-467
F2F090	650	台中縣	和平鄉天輪村東關路二段 20 號	1104			-454
21C090	1260	桃園縣	復興鄉華陵村	813			447
F2H790	1050	南投縣	埔里鎮埔里事業區第 30 林班(上坪)	608	台中縣	和平鄉	442
F2H420	2470	南投縣	信義鄉轆大 55 林班	2908			-438
F2T160	550	花蓮縣	玉里鎮東豐里第 33 林班	114			436
V2P050	250	高雄縣	六龜鄉興隆村頭埔 140 號	684			-434
41S190	160	台東縣	卑南鄉東新村 17 號	591			-431
C1U521	64	宜蘭縣	員山鄉雙連埤地區(需徒步 20 分鐘)	494			-430
D2S420	272	台東縣	池上鄉新興村 104 號	697	花蓮縣	卓溪鄉	-425
H1M420	1086	嘉義縣	大埔鄉三角南山	665			421
F2T120	1388	花蓮縣	秀林鄉水源村榮山瞭望台	1803			-415
C0A990	36	臺北市	內湖區大崙尾山觀光公園	447			-411
41H250	2860	南投縣	仁愛鄉精英村	2451			409
41H240	890	南投縣	仁愛鄉親愛村大安路 108 號	1294			-404
41T590	1800	花蓮縣	秀林鄉富世村和平	1396			404
01P140	2500	高雄縣	桃源鄉小關山	2100			400
R2F310	2028	台中縣	和平鄉自由村船型工作站	2428			-400
11T450	218	花蓮縣	富里鄉竹田村 92 之 3 號	611	花蓮縣	卓溪鄉	-393
U2H140	156	南投縣	竹山鎮前山路一段 12 號	547	南投縣	鹿谷鄉	-391
01D280	780	新竹縣	尖石鄉玉峰村	1165			-385
21D150	780	新竹縣	尖石鄉玉峰	1165			-385
01T670	1100	花蓮縣	萬榮鄉西林村	1483			-383
00A060	8	台北市	中正區青島東路	387	台北縣	雙溪鎮	-379
T2H070	443	南投縣	埔里鎮北門里中山路 137 號	817			-374
F2T270	654	花蓮縣	瑞穗鄉瑞穗村 10 鄰 29 號之 11	1027	花蓮縣	萬榮鄉	-373
41A300	370	台北縣	萬里鄉國聖村	740			-370
F2T190	80	花蓮縣	玉里鎮三民里	449			-369
C1E450	968	苗栗縣	泰安鄉象鼻村	605			363
F2D210	730	新竹縣	關西鎮玉山里玉山瞭望台	367			363
F2Q900	1170	屏東縣	春日鄉力里村大漢山瞭望台	808			362
00H540	322	南投縣	水里鄉頂崁村苗圃巷 2-1 號	683			-361
C1F870	1045	臺中縣	和平鄉(博愛國小谷關分校附近)	1401			-356
41H760	590	南投縣	魚池鄉車坪崙	941			-351

C0S680	1659	臺東縣	延平鄉紅葉山瞭望臺旁(延平林道 23K 處步行約 50 分鐘)	1310			349
C1A640	140	臺北縣	石碇鄉南窟 34 號附近	488			-348
41F140	977	台中縣	和平鄉平等村	1325			-348
C0U750	398	宜蘭縣	頭城鎮龜山島山頂 401 高地觀景台	55			343
F2C120	1229	桃園縣	復興鄉華陵村 40 號	886			343
C1V170	3340	高雄縣	桃源鄉(玉山氣象站旁北峰塔塔加鞍部登山口步行約 8 小時)	3679			-339
C1T890	365	花蓮縣	壽豐鄉壽豐村壽山路 19 號(壽豐國民小學操場旁)	34			331
01Q350	250	屏東縣	來義鄉來義村 72 號(來義國小內社分校)	581			-331
51L380	60	嘉義縣	番路鄉觸口村 25 號	390			-330
C1A600	410			83			327
A0F360	1950	台中縣	和平鄉梨山村	1624			326
C1V220	1550	高雄縣	桃源鄉老濃溪事業區 99 林班地	1874			-324
F2L420	900	嘉義縣	大埔鄉茄冬村坪林瞭望台	576			324
C0A560	455	臺北縣	烏來鄉福山村李茂岸 8 號(福山國小旁)	770			-315
C0U710	1810	宜蘭縣	三星鄉太平山 93 林班地	1496	宜蘭縣	大同鄉	314
21C070	1220	桃園縣	復興鄉華陵村	910			310
F2S370	753	台東縣	達仁鄉土板村阿春山	443			310
09S090	745			441			304
41U150	140	宜蘭縣	三星鄉天山村電力路 25 號	444			-304
C0E530	29	苗栗縣	三義鄉 36701 廣盛村 10 鄰 122 號(三義國民中學內)	330			-301
D2L410	236	嘉義縣	大埔鄉西興村 4 鄰 3 號(馬廠)	536			-300
P2H560	100	南投縣	漳和里祖祠巷 11 號	398			-298
52S500	52	台東縣	台東市中興路 4 段 351 巷 502 號	347			-295
11H830	289	南投縣	水里鄉矩工村 3 鄰民生路 25 號	570			-281
51S170	60	台東縣	台東市豐田里中興路 4 段 569 號	340	台東縣	卑南鄉	-280
F2U040	1930	宜蘭縣	大同鄉太平村太平巷	1650			280
41F260	2596	台中縣	和平鄉平等村	2317			279
A0S050	9	台東縣	台東市博愛路 134 號	284	台東縣	卑南鄉	-275
41F210	2700	台中縣	和平鄉平等村	2971			-271
U2H500	520	南投縣	鹿谷鄉鳳凰村仁義路 1 號	786			-266
C0S740	22	臺東縣	池上鄉新興村 104 號(退輔會臺東農場內)	287			-265
H1M430	1200	嘉義縣	番路鄉公田大山	937			263
L1A800	386	台北縣	坪林鄉石曹村	124	新竹縣	湖口鄉	262
A1C01	300	桃園縣	大溪鎮新峰里 1 鄰 272 號	559			-259

0							
41H180	1550	南投縣	仁愛鄉大同村	1294			256
41U020	246	宜蘭縣	大同鄉樂水村電口巷 12 號	501			-255
F2U270	650	宜蘭縣	湖西村	395	宜蘭縣	員山鄉	255
F2U100	750	宜蘭縣	大同鄉松羅村	499			251
R2F330	1000	台中縣	和平鄉自由村烏石坑	750			250
41T100	1255	花蓮縣	秀林鄉富世村	1500			-245
C0A9B0	250	臺北市	北投區石牌路 1 段 139 號(石牌國中內)	6			244
C1I290	1151	南投縣	信義鄉豐丘村豐丘產業道路末端	1394			-243
C0T790	2565	花蓮縣	秀林鄉立霧溪事業區 67 林班地(救國團大禹山莊)	2807			-242
C1U501	47	宜蘭縣	大同鄉牛鬥地區	287			-240
41H230	1200	南投縣	仁愛鄉親愛村大安路 136 號	1440			-240
C1G680	245	彰化縣	芳苑鄉草湖村功湖路草湖段 140 號(草湖國民中學內)	7			238
R2F340	730	台中縣	和平鄉博愛村東關街一段 16 巷 1 號	967			-237
41A250	142	台北縣	烏來鄉烏來村 55 號	378			-236
H1M220	1550	嘉義縣	吳鳳鄉里佳	1786	嘉義縣	阿里山鄉	-236
40F160	1858	台中縣	和平鄉梨山村中興路四段 178 號	1624			234
C0A9E0	230	臺北市	士林區延平北路 6 段 308 號(社子國小內)	3			227
C1T830	200	花蓮縣	秀林鄉布洛灣地區(布洛灣遊客中心圓環之廣場旁邊)	427			-227
01A230	660	台北縣	烏來鄉	433			227
F2S250	22	台東縣	長濱鄉樟原村樟原路 2 鄰 20 號	246			-224
C1V190	2700	高雄縣	桃源鄉長春祠旁之步道行約 50 分鐘	2479			221
C1T800	1260	花蓮縣	秀林鄉富世村中橫公路洛韶 11 號	1041			219
40U010	750	宜蘭縣	大同鄉寒溪村	968			-218
41U010	750	宜蘭縣	大同鄉寒溪村	968			-218
41U390	750	宜蘭縣	大同鄉寒溪村	968			-218
41U030	1118	宜蘭縣	大同鄉寒溪村大元巷	1333			-215
F2H460	2600	南投縣	信義鄉地利村第十林班	2389			211
C1U510	420	宜蘭縣	大同鄉	628			-208
41H530	407	南投縣	水里鄉明潭村明潭巷 73 號	613			-206
F2H330	500	南投縣	魚池鄉頭社村後尖山	706			-206
F2E180	688	苗栗縣	南庄鄉東河村	483			205
C1I150	393	南投縣	信義鄉地利村 5 鄰開信巷 98-3 號旁	596			-203
F2H300	1510	南投縣	仁愛鄉法治村第 39 林班	1309			201

F2S220	1665	台東縣	台東市建興村建興 38 號	1465	台東縣	卑南鄉	200
C0A9C0	222	臺北市	士林區天母東路 116 號(三玉國小內)	23			199
F2T150	1000	花蓮縣	秀林鄉富世村西寶	1196			-196
C0H990	3235	南投縣	仁愛鄉昆陽警察局後方下坡處(太魯閣國家公園)石碑後 20 公尺	3043			192
C0G650	216	彰化縣	員林鎮萬年里明倫路 2 號(明倫國中內)	26			190
C1I270	593	南投縣	水里鄉水里聖母修道院內	403	南投縣	集集鎮	190
F2F370	2000	台中縣	和平鄉梨山村中正路 109 號	2185			-185
C1U720	1260	宜蘭縣	大同鄉南山村 4 鄰埤南巷 31-3 號(南山國民小學內)	1077			183
01E080	1400	苗栗縣	泰安鄉梅園村(松安派出所)	1217			183
41T620	1340	花蓮縣	秀林鄉銅門村	1518			-178
41H660	330	南投縣	國姓鄉北山村中正路 34 號	507			-177
51S060	28	台東縣	台東市卑南里更生北路 426 號	205	台東縣	卑南鄉	-177
F2F110	990	台中縣	和平鄉中坑村雪山路育才巷 1 號	814			176
P2L370	409	嘉義縣	番路鄉新福村 17 號	235			174
01E020	860	苗栗縣	泰安鄉梅園村天狗 32 號	688			172
C1A700	197	臺北縣	中和市圓通路 367 巷 64 號(慈雲寺右旁步行 2 分鐘)	26			171
41F150	785	台中縣	和平鄉博愛村	956			-171
41U420	1930	宜蘭縣	大同鄉太平村	1759			171
F2Q890	2056	屏東縣	霧台鄉霧台村	1885			171
C1F890	2010	臺中縣	和平鄉八仙山事業區 49 林班地船型山苗圃廢棄觀測坪附近	2180			-170
01M210	1460	嘉義縣	阿里山鄉白雪村水山 23 號	1630			-170
51S160	178	台東縣	卑南鄉富源村 41 號	8	台東縣	台東市	170
C1E680	980	苗栗縣	泰安鄉大興村(從泰安國小進入站址車程約 10 分鐘)	811			169
C1R260	230	屏東縣	春日鄉春日國民小學內	62			168
01O070	395	台南縣	白河鎮關嶺里(關子嶺國小)	561			-166
F2O060	334	台南縣	白河鎮關嶺里 30 號	500			-166
C0A540	401	臺北縣	坪林鄉碧湖(北宜路旁之碧湖橋道路上行約 10 分鐘)	563			-162
C0A920	30	臺北縣	石門鄉山溪村 10 鄰九芎林 13 號旁(石門國小山溪分班附近)	192			-162
51F030	298	台中市	西屯區永安里西屯路三段	137			161
52F030	298	台中市	西屯區永安里西屯路三段	137			161
72D080	1208	新竹縣	五峰鄉竹林村羅山巷 88 號	1047			161
E2F080	630	台中縣	和平鄉博愛村東關路一段松鶴巷 33 號	791			-161
01H410	540	南投縣	信義鄉明德村玉山路 19 號	700			-160
41P780	74	高雄縣	美濃鎮山里竹門 20 號	234			-160

C1U700	370	宜蘭縣	三星鄉太平山遊樂區售票口後方	529	宜蘭縣	大同鄉	-159
41P070	220	高雄縣	六龜鄉中興村中庄 24 號	379			-159
C1H860	1676	南投縣	仁愛鄉	1833			-157
51S320	185	台東縣	鹿野鄉瑞源村	342			-157
52S320	185	台東縣	鹿野鄉瑞源村	342			-157
F2S460	1621	台東縣	海瑞鄉崁頂村里山	1464			157
C0R340	285	屏東縣	牡丹鄉牡丹國民小學	441			-156
C1H000	2297	南投縣	仁愛鄉大同村仁和路 136 號(台 14 線 20K 處的長途通信機房旁)	2452			-155
C1I220	1098	南投縣	國姓鄉 147 縣道 9K 處與站址直線距離約 1.6K	944			154
C0U650	494	宜蘭縣	大同鄉松羅村鹿場路 11 號(往松羅山頂瞭望亭旁)	343			151
C1A9N0	312	臺北縣	新店市北宜路旁(文山事業區第四林班)	463	台北縣	石碇鄉	-151
01U060	280	宜蘭縣	大同鄉英士村四季國小梵梵分校邊堤頂	430			-150
F2A180	500	台北縣	坪林鄉石槽村碧湖路四堵	351			149
C1U610	268	宜蘭縣	礁溪鄉二結村 1 鄰 9-1 號(宜蘭技術學院實驗林苗圃)	120			148
41H260	2360	南投縣	仁愛鄉精英村富貴路	2212			148
41T140	2600	花蓮縣	秀林鄉富世村大禹嶺	2452			148
41T050	1900	花蓮縣	秀林鄉富世村	1754			146
D2T510	225	花蓮縣	豐濱鄉豐濱村豐富 214 號	79			146
01P120	1250	高雄縣	桃源鄉寶山村 57 號	1105			145
01S210	100	台東縣	卑南鄉溫泉村(清覺寺左側)	245			-145
41F250	2887	台中縣	和平鄉平等村	2743			144
T2T170	135	花蓮縣	玉里鎮光復街 52 號	279			-144
11J920	10	雲林縣	林內鄉林中村三星 15 號	150			-140
A0B040	140	基隆市	暖暖區暖中路 112 號	0			140
41F270	753	台中縣	和平鄉博愛村東關街一段堰堤巷 5 號	891			-138
41F220	2350	台中縣	和平鄉平等村	2487			-137
01T280	172	花蓮縣	瑞穗鄉富源村	308			-136
C1D380	178	新竹縣	新埔鎮下寮里 43 號義民廟右方路旁	44			134
01D190	770	新竹縣	尖石鄉新樂村煤源	904			-134
40T040	272	花蓮縣	秀林鄉銅門村	405			-133
F2T580	1700	花蓮縣	萬榮鄉玉里事業區第九林班內	1567			133
01P770	75	高雄縣	美濃鎮興農里廣興街 124 號(廣興國小)	207	高雄縣	六龜鄉	-132
01T750	550	花蓮縣	萬榮鄉西林村	682			-132
F2Q370	429	屏東縣	獅子鄉大谷村壽汴	297			132

C1M570	840	嘉義縣	番路鄉大湖村 5 鄰下坪 8 號(嘉義縣番路鄉大湖國民小學內)	709			131
C1V230	760	高雄縣	桃源鄉高中村	629			131
40A260	215	台北縣	烏來鄉孝義村	346			-131
41A260	215	台北縣	烏來鄉孝義村	346			-131
11T490	120	花蓮縣	光復鄉敦厚路 127 號	250			-130
40T030	425	花蓮縣	秀林鄉銅門村水簾	555			-130
41T030	425	花蓮縣	秀林鄉銅門村水簾	555			-130
466870	126	連江縣	南竿鄉牛背嶺	0			126
01F100	1600	台中縣	和平鄉八仙山	1725			-125
C0K240	1000	雲林縣	古坑鄉草嶺村	1124			-124
01N840	480	台南縣	南化鄉關山村(林務局山林工作站)	358			122
C1E470	1800	苗栗縣	泰安鄉梅園村(由觀霧派出所開車經大霸尖山路口直走約 50 分)	1921			-121
C1R290	260	屏東縣	牡丹鄉石門古戰場(恆春事業區 29 林班地)	139			121
01A430	500	台北縣	烏來鄉福山村	379			121
01T240	940	花蓮縣	卓溪鄉第 31 林班	819			121
C0E420	147	苗栗縣	竹南鎮大埔里仁愛路 1092 號(竹南鎮大埔國民小學內)	27			120
21D350	2000	新竹縣	尖石鄉西丘斯山	2119			-119
40F130	1513	台中縣	和平鄉平等村達見	1394			119
F2N800	150	台南縣	楠西鄉密枝村	269			-119
C0A9F0	124	臺北市	內湖區內湖路一段 520 號(內湖高工內)	6			118
C0G640	120	彰化縣	鹿港鎮海埔里顏巷 67 號(退輔會宿舍內)	2			118
C1I050	2636	南投縣	信義鄉丹大事業區第 10 林班地(瞭望臺旁)	2518			118
C1O870	1246	臺南縣	白河鎮大棟山三角點	1130			116
01D270	1620	新竹縣	尖石鄉秀巒村白石	1504			116
21D160	1620	新竹縣	尖石鄉秀巒村白石	1504			116
01F680	480	台中縣	太平鄉東汙村(陳平利果園)	595			-115
U2H480	1150	南投縣	鹿谷鄉內湖村森林巷 9 號	1265			-115
41U360	1930	宜蘭縣	南澳鄉金洋村	1816			114
C0A510	590	臺北縣	三峽鎮插角里 180 號 9 鄰(三峽李山神宮附近)	477			113
21C080	620	桃園縣	復興鄉高義村	507			113
01E060	760	苗栗縣	泰安鄉象鼻村(象鼻派出所)	648			112
01R070	910	屏東縣	瑪家鄉筏灣村	1022			-112
09L350	130			241			-111
F2T540	1450	花蓮縣	萬榮鄉西林村	1339			111

52S160	118	台東縣	卑南鄉富源村 41 號	8	台東縣	台東市	110
C1H850	2297	臺中縣	和平鄉梨山福壽路 29 號	2406	南投縣	仁愛鄉	-109
01U080	1050	宜蘭縣	大同鄉南山村(南山派出所)	1159			-109
11E650	215	苗栗縣	獅潭鄉新店村 4 鄰 46 之 2 號	324			-109
52T480	12	花蓮縣	光復鄉大進村糖廠街 19 號	121			-109
F2H130	1050	南投縣	竹山鎮大人凍山頂	942			108
F2L350	1045	嘉義縣	番路鄉公興村瀨頭	937			108
C1G660	121	彰化縣	溪湖鎮大竹里彰水路二段 725 號(湖南國民小學內)	14			107
01T340	2310	花蓮縣	鳳林鎮森榮里	2203	花蓮縣	萬榮鄉	107
82H320	850	南投縣	魚池鄉中山路 270 巷 13 號	743			107
E2F180	2150	台中縣	和平鄉梨山村郵局信箱 140 號	2043			107
01E070	1800	苗栗縣	泰安鄉梅園村(大壩尖山登山口一公里)	1906			-106
72U180	7	宜蘭縣	羅東鎮中山西路 236 號	113	宜蘭縣	員山鄉	-106
C0A910	108	臺北縣	三重市中正北路 107 號(明志國中校園內)	3			105
U2H370	777	南投縣	信義鄉同富村同和巷 47 號	882			-105
C1G690	159	彰化縣	溪榮光村國光路 1 號彰化縣田中鎮退輔會彰化工廠內	55	彰化縣	溪州鄉	104
40F170	1457	台中縣	和平鄉梨山村	1561			-104
21D140	840	新竹縣	尖石鄉秀巒村控溪 14 號	943			-103
01P660	355	高雄縣	甲仙鄉西安村甲仙鄉公所	253			102
21C150	630	桃園縣	復興鄉三光村	732			-102
21U110	1150	宜蘭縣	大同鄉棲蘭山池端	1252			-102
H1M240	1850	嘉義縣	吳鳳鄉樂野	1748	嘉義縣	阿里山鄉	102
C0A940	135	臺北縣	金山鄉中興段 404 地號(磺港社區活動中心內)	34			101
C1F990	138	臺中縣	大雅鄉棋山通山路 46 號(臺中高爾夫球場辦公室後面)	239			-101
11J950	177	雲林縣	林內鄉林北村新光路 18 號	76			101
F2C100	473	桃園縣	復興鄉澤仁村忠孝路 12 號	573			-100
52N700	2	台南縣	七股鄉樹林村 135 號	16	台南縣	善化鎮	-14
72V140	24	高雄縣	旗山鎮廣福里南隆街 3 號	10	屏東縣	潮州鎮	14

註：以上被刪除之測站除灰底為超出行政區界外，其餘測站係因基本資料之海拔高度與 DEM 高程相差大於 100m。

附錄二、氣象數據連續無變化濾出之資料(部分)

stano	yy	mm	dd	precip	stano	yy	mm	dd	precip
F2M190	1965	3	8	0.6	F2Q600	1987	3	17	100.0
F2M190	1965	3	9	0.6	F2Q600	1987	3	18	100.0
F2M190	1965	3	10	0.6	F2Q600	1987	3	19	100.0
F2N480	1986	3	26	888.0	F2Q600	1987	6	20	102.5
F2N480	1986	3	27	888.0	F2Q600	1987	6	21	102.5
F2N480	1986	3	28	888.0	F2Q600	1987	6	22	102.5
F2O060	1978	5	20	40.0	F2Q600	1987	7	14	100.0
F2O060	1978	5	21	40.0	F2Q600	1987	7	15	100.0
F2O060	1978	5	22	40.0	F2Q600	1987	7	16	100.0
F2P270	1973	6	16	10.0	F2Q600	1987	8	29	500.0
F2P270	1973	6	17	10.0	F2Q600	1987	8	30	500.0
F2P270	1973	6	18	10.0	F2Q600	1987	8	31	500.0
F2Q280	1966	8	22	15.0	F2S110	1966	7	26	1.0
F2Q280	1966	8	23	15.0	F2S110	1966	7	27	1.0
F2Q280	1966	8	24	15.0	F2S110	1966	7	28	1.0
F2Q370	1970	9	13	10.0	F2S110	1970	3	23	3.0
F2Q370	1970	9	14	10.0	F2S110	1970	3	24	3.0
F2Q370	1970	9	15	10.0	F2S110	1970	3	25	3.0
F2Q370	1972	2	21	2.0	F2S110	1970	12	7	8.0
F2Q370	1972	2	22	2.0	F2S110	1970	12	8	8.0
F2Q370	1972	2	23	2.0	F2S110	1970	12	9	8.0
F2Q370	1972	2	26	15.0	F2S110	1972	1	5	9.0
F2Q370	1972	2	27	15.0	F2S110	1972	1	6	9.0
F2Q370	1972	2	28	15.0	F2S110	1972	1	7	9.0

附錄三、台灣各月平均氣溫推估圖

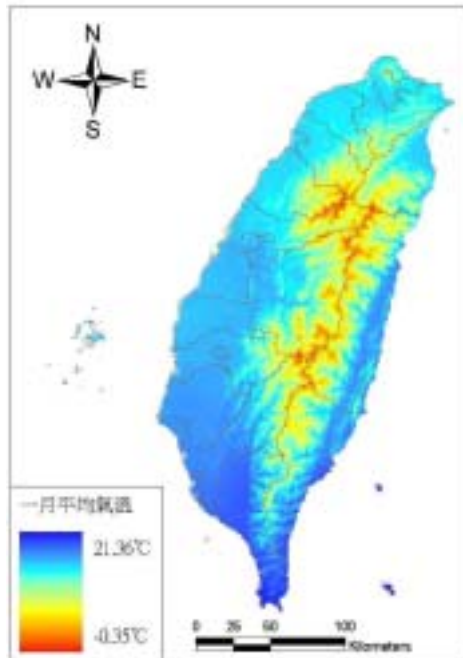


圖 11、台灣一月平均氣溫推估圖

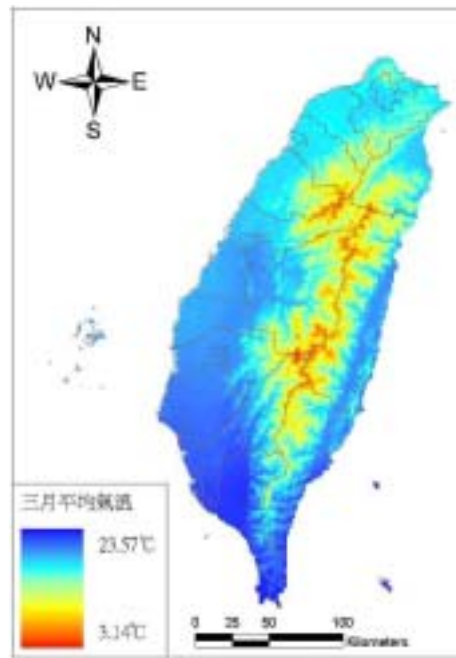


圖 13、台灣三月平均氣溫推估圖

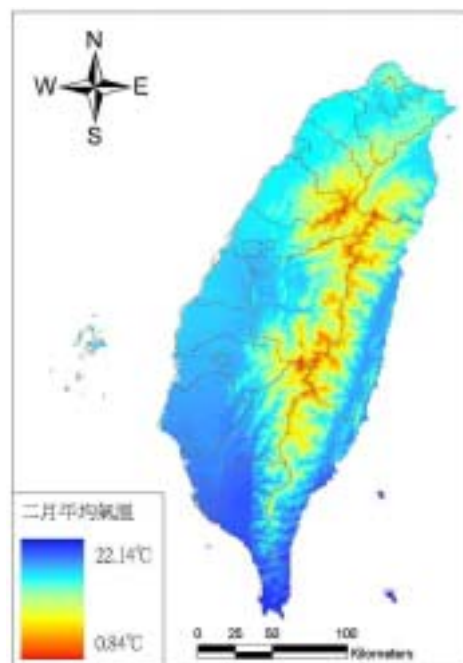


圖 12、台灣二月平均氣溫推估圖

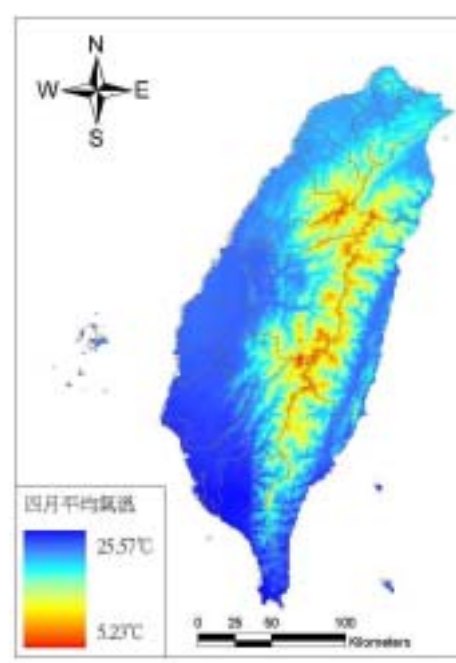


圖 14、台灣四月平均氣溫推估圖

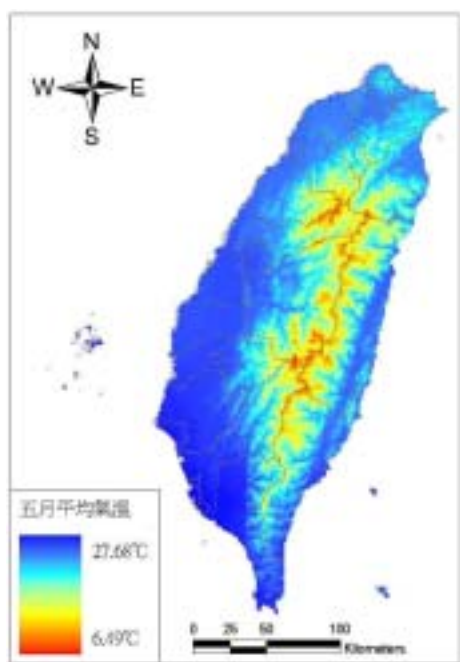


圖 15、台灣五月平均氣溫推估圖

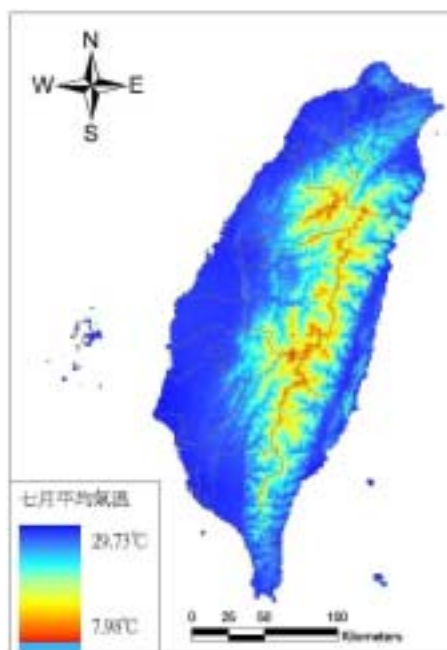


圖 17、台灣七月平均氣溫推估圖

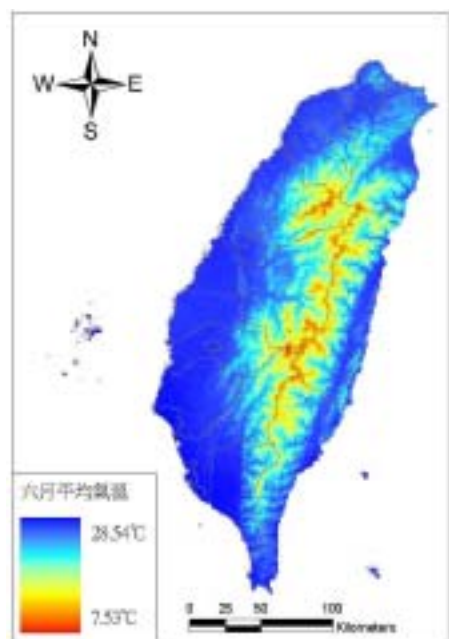


圖 16、台灣六月平均氣溫推估圖

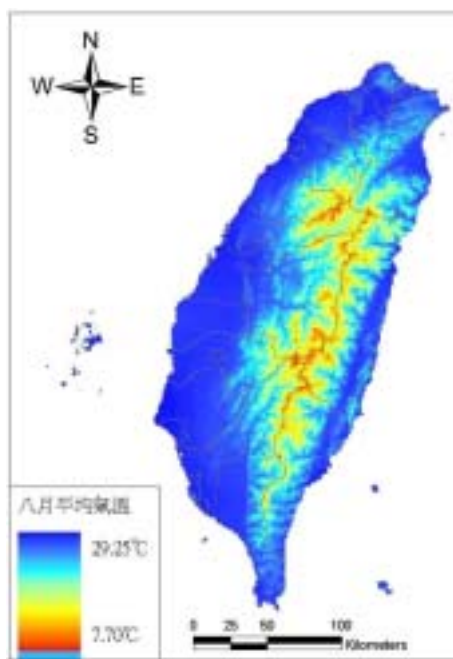


圖 18、台灣八月平均氣溫推估圖

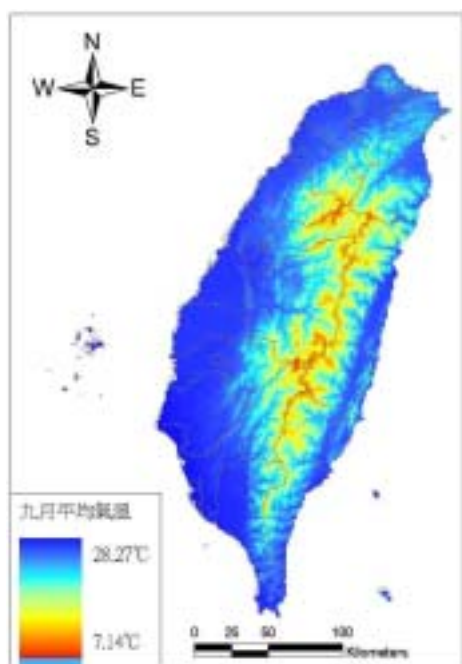


圖 19、台灣九月平均氣溫推估圖

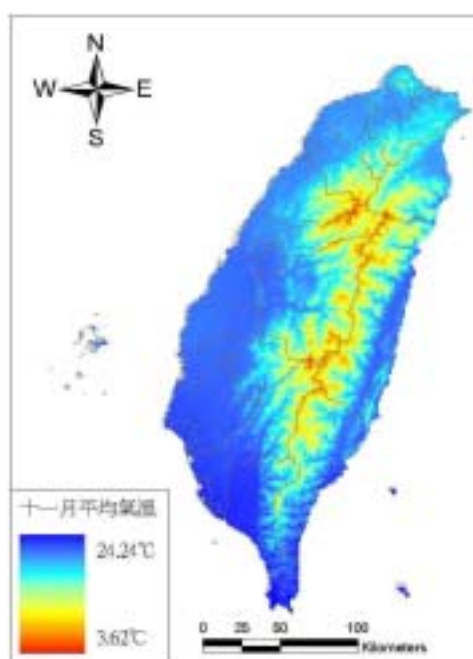


圖 21、台灣十一月平均氣溫推估圖

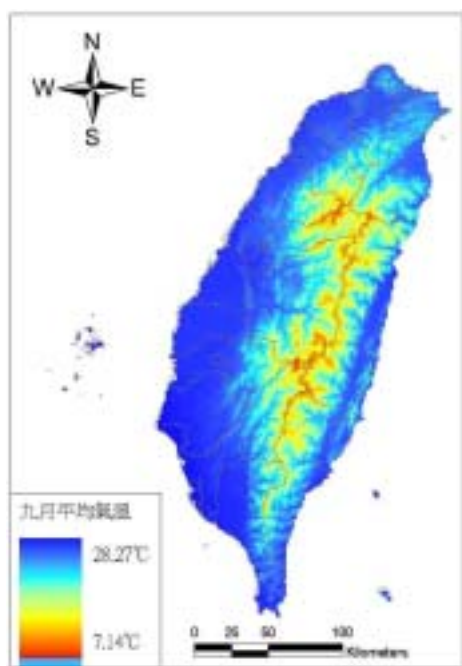


圖 20、台灣十月平均氣溫推估圖

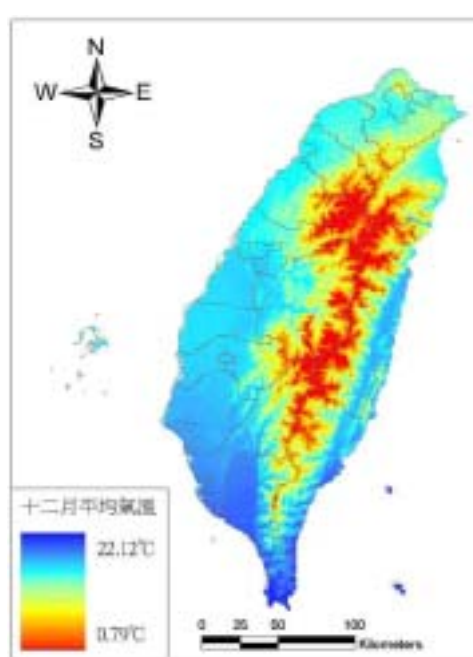


圖 22、台灣十二月平均氣溫推估

附錄四、台灣各月平均降雨推估圖

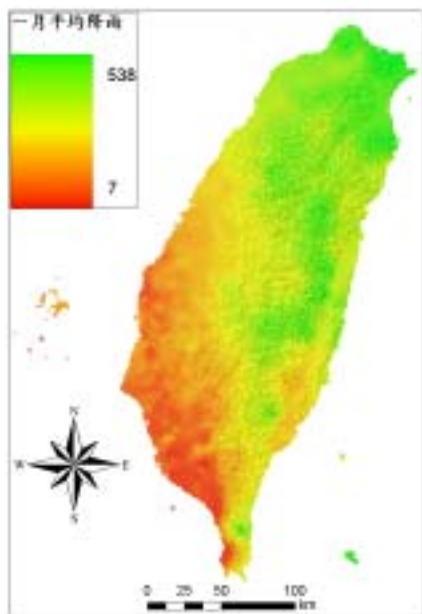


圖 23、台灣一月平均降雨推估圖

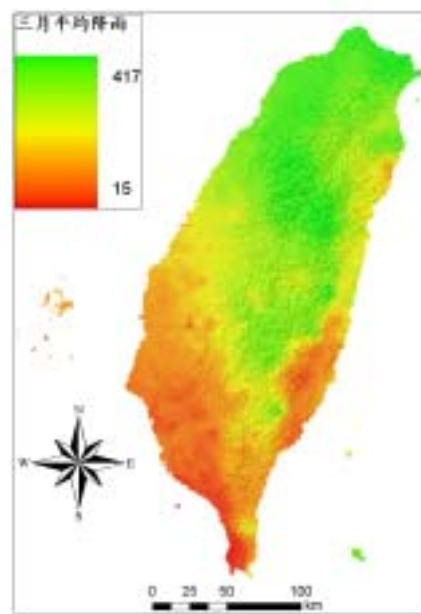


圖 25、台灣三月平均降雨推估圖

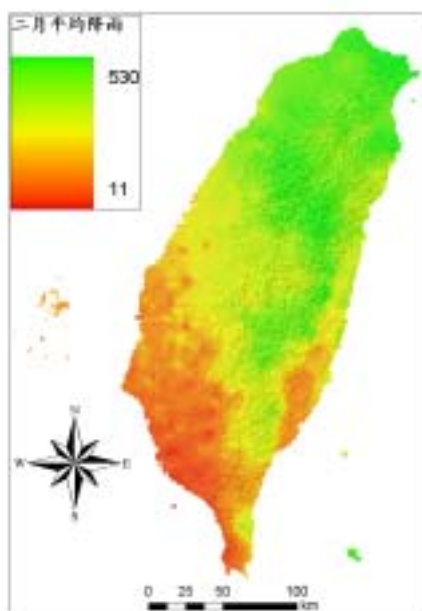


圖 24、台灣二月平均降雨推估圖

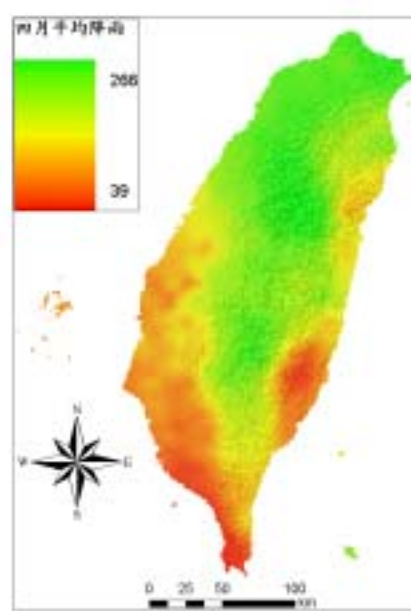


圖 26、台灣四月平均降雨推估圖

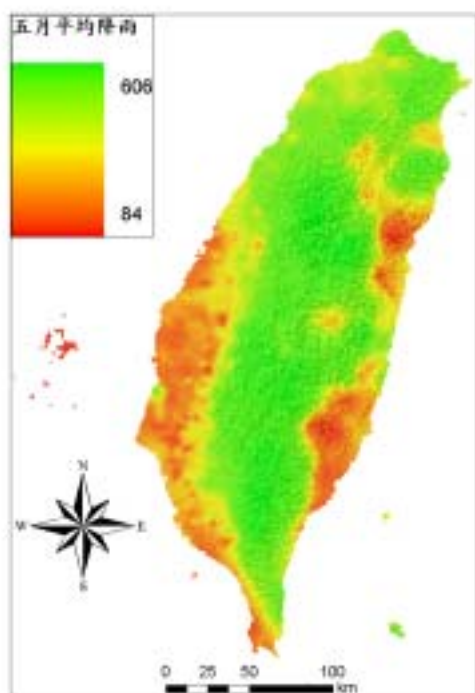


圖 27、台灣五月平均降雨推估圖

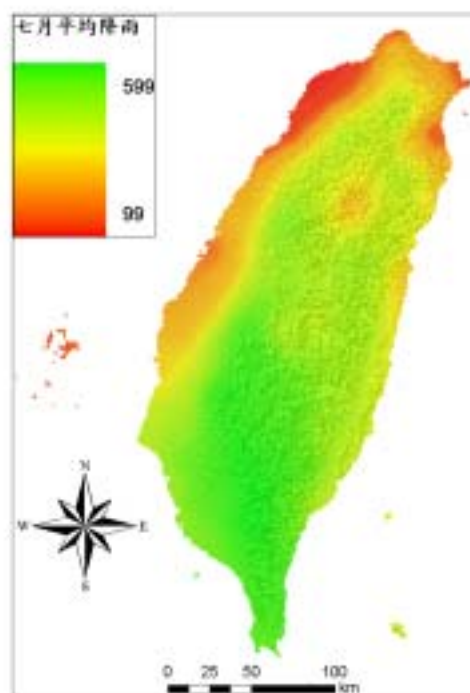


圖 29、台灣七月平均降雨推估圖

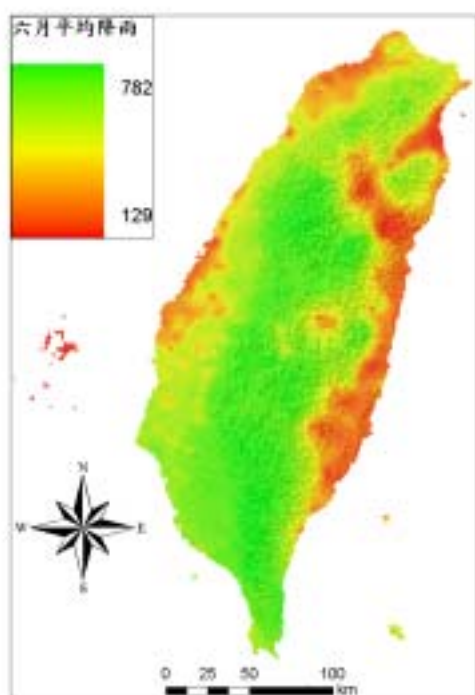


圖 28、台灣六月平均降雨推估圖

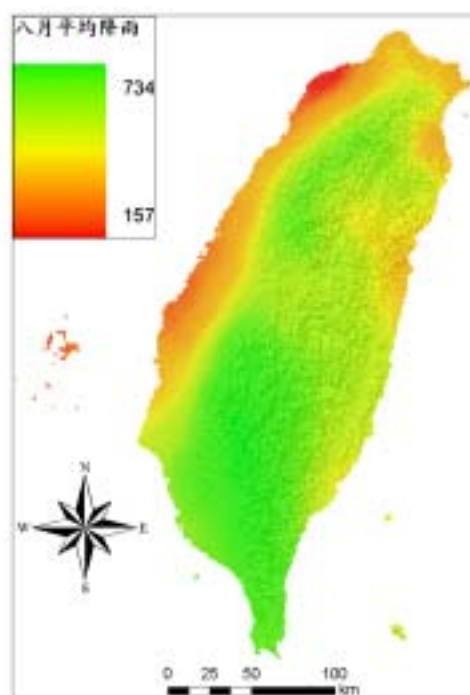


圖 30、台灣八月平均降雨推估圖

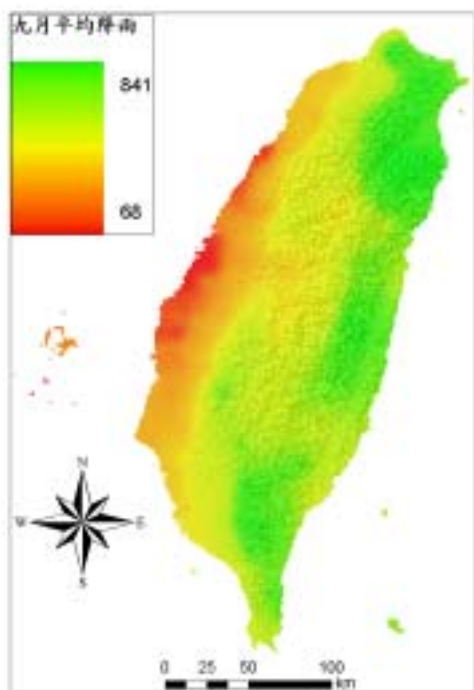


圖 31、台灣九月平均降雨推估圖

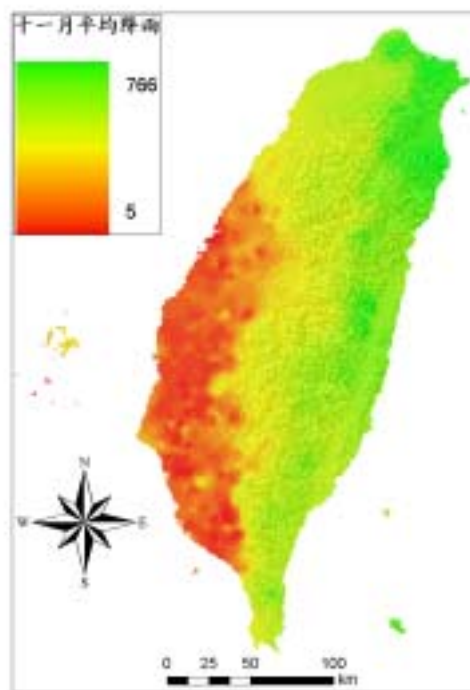


圖 33、台灣十一月平均降雨推估圖

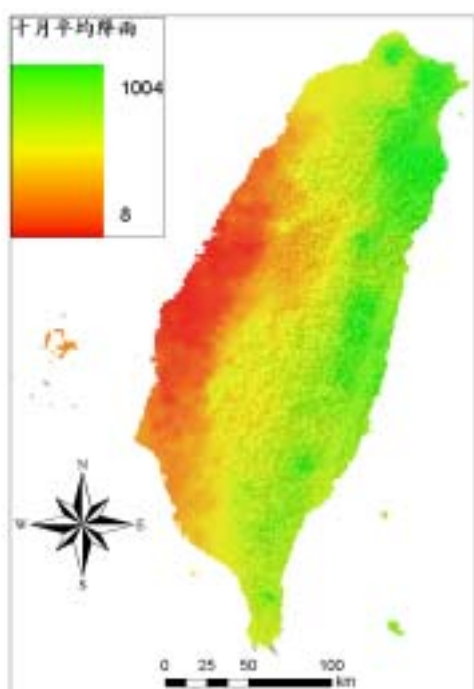


圖 32、台灣十月平均降雨推估圖

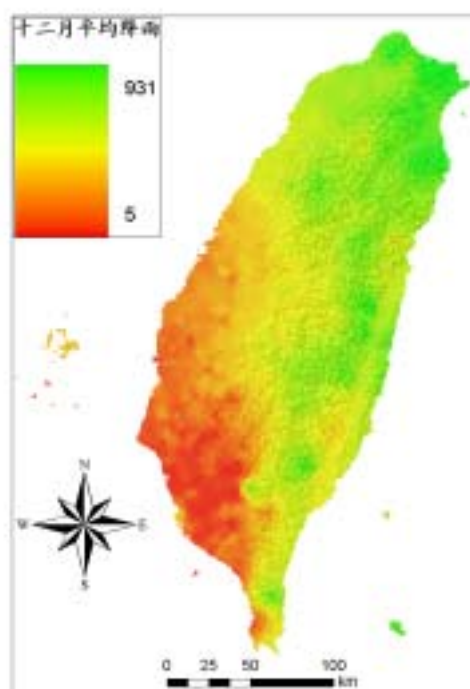


圖 34、台灣十二月平均降雨推估圖

參考書目

- 甘順吉 2001 空間指數與內插方法之相關性研究。國立中興大學土木系研究碩士論文，54 頁。
- 白梅玲 1999 福山試驗林之景觀分類、植被分布推估與變遷評析。國立臺灣大學動物學研究所碩士論文，96 頁。
- 吳守從、陳永寬 1998 森林植群生態資訊建立之研究。航測及遙測學刊 3(2):71-100。
- 吳明進 1992 臺灣的氣候變化—降雨和降水。大氣科學 20(4):295-318。
- 吳明進、陳幼麟 1993 臺灣的氣候分區。大氣科學 21(1):55-66。
- 李久先、吳建志 1995 地理資訊系統應用於森林生育地屬性之建立與分析。國立中興大學實驗林研究報告 17(1):137-157。
- 李育明 2001 地理統計於空氣品質管理之應用。地理統計在農業和環境科學之應用研討會論文集，145-153 頁。
- 沈中桴 1997 臺灣的生物地理：2.一些初步思考與研究。臺灣省立博物館年刊 40:361-450
- 邱清安 1996 插天山自然保留區植群與植相之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文，162 頁。
- 柳檣 1968 臺灣植物群落分類之研究()臺灣植物群系之分類。林試所研究報第 166 號，26 頁。
- 徐國士、宋永昌、呂勝由 2001 臺灣植被類型圖說。國立臺灣科學教育館，167 頁。
- 徐森雄、謝杉舟 1997 臺灣東部地區降雨與降水量之網目氣候值。屏東技術學院學報 6(1):29-39。
- 高堅泰 1999 群集分析法應用於台灣生育地之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文，88 頁。

- 張新時 1993 研究全球變化的植被—氣候分類系統。第四紀研究 2:157-169。
- 莊秉潔、吳明進、劉啓清、陳世煥 1996 臺灣區域氣候變化。中國環境工程學刊 6(2):131-150。
- 郭寶章 1979 臺灣造林之氣象生育地分區之研究。臺灣大學與行政院農業發展委員會合作試驗報告第 26 號，58 頁。
- 陳文福、王仲豪 2000 空間降雨資料模式之研究。水土保持學報 32(1):11-24。
- 陳正祥 1957 臺灣之氣候與氣候分區。臺大實驗林林學叢刊第 7 號，174 頁。
- 陳堯風 1996 北部地區降雨面積遞減曲線建立之研究。國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文，85 頁。
- 陳朝圳 1996 數值高程模型應用於日輻射潛能之推估。行政院國家科學委員會補助專題研究報告，51 頁。
- 陳朝圳 2002 地景尺度的森林資源經營與林地分級。台灣林地分級與森林資源永續經營研討會論文集，68-84 頁。
- 陳嘉榮 2000 區域雨量分析與降水—逕流預報之研究。國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文，219 頁。
- 程萬里、蕭令宜、陳奕祥 1995 臺灣地區氣候環境之變化趨勢。東海學報 36(2):29-54。
- 馮豐隆、高堅泰 1999 應用克立金推估模式於降雨製圖。國立臺灣大學農學院實驗林研究報告 13(2):155-163。
- 馮豐隆、高堅泰 2001 Holdridge 生態區分類方法在臺灣的應用與模擬。林業研究 23(1):83-99。
- 黃文政、楊富堤、游山峰 1998 區域化變數理論在水資源領域應用之探討。第九屆水利工程研討會。國立中央大學。
- 黃威廉 1993 臺灣植被。中國環境科學出版社，294 頁。
- 葉慶龍 1994 恒春半島山地植群生態及其保育評估。國立臺灣大學森林學研究

所博士論文，172 頁。

詹進發 2002 多尺度生態單元為基礎之林地分級。台灣林地分級與森林資源永續經營研討會論文集，119-143 頁。

劉春迎 1999 Kira 指標在中國植被與氣候關係研究中的應用。植物生態學報 23(2):125-138。

劉棠瑞 1959 臺灣植物分佈論。臺灣大學農學院實驗林印行，7 頁。

歐陽宗繼、趙新平、趙有中、張連強 1996 山區局地氣候的小網格研究方法。農業工程學報 12(3):144-148。

蔡玉琴 1997 淡水河流域降雨時空分析及推估—地理資訊系統的應用。師大地理研究報告 26:139-206 頁。

蔡清彥 1992 國家建設六年計畫之氣象建設。氣象預報與分析 130:1-6。

薛繼熏 1982 臺灣山地之雨季與雨區。國立臺灣師範大學地理學研究 6:49-54。

謝杉舟、徐森雄 1993 地理資訊系統在坡地氣候資源規劃上之初步應用。技術學報 8(2):207-215。

謝宗欣、黃增泉 1999 臺灣產風輪菜屬之地理分布及氣候環境。國立臺灣博物館年刊 42:1-10。

羅悅心、關秉宗 1999 氣候變遷對臺灣中部山區植物群系之影響()以 Holdridge 生物區帶模式評估。國立臺灣大學農學院實驗林研究報告 13(3):241-253。

蘇鴻傑 1985 台灣天然林氣候與植群型之研究()地理氣候區之劃分。中華林學季刊 18(3):33-44。

蘇鴻傑 1989 臺灣之生態系及其保育—初評保護區系統。臺灣省林業試驗所林業叢刊第 31 號，165-176 頁。

蘇鴻傑、陳子英 1991 臺灣根節蘭及鶴頂蘭之地理分布及氣候環境。臺大農學院研究報告 1(4):40-55。

- Ahmed S & De Marsily G 1987 Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. *Water Resources Research*. 23: 1717-1737.
- Alexandersson H & Moberg A 1997 Homogenization of Swedish temperature data. Part 1: homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology* 17:25-34.
- Armstrong M 1998 *Basic Linear Geostatistics*. Springer. New York. 154pp.
- Ashraf M, Loftis JC & Hubbard KG 1997 Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks. *Agricultural and Forest Meteorology*. 84:255-271.
- Asli M & Marcotte D 1995 Comparison of approaches to spatial estimation in a bivariate context. *Mathematical Geology*. 27(5):641-658.
- Band LE, Peterson DL, Ruessing SW, Coughlan J, Lammers R, Dungan J, & Nemani R 1991 Forest ecosystem processes at the watershed scale: basis for distributed simulation. *Ecological Modelling* 56:171-196.
- Barry GB 1992 *Mountain Weather and Climate*. 2nd edn. Routledge. New York. 432pp.
- Boer EPJ, de Beurs KM & Hartkamp AD 2001 Kriging and thin plate splines for mapping climate variables. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 3(2): 146-154.
- Brovkin V, Ganopolski A & Svirezhev Y 1997 A continuous climate-vegetation classification for use in climate-biosphere studies. *Ecological Modelling* 101:251-261.
- Burrough PA & McDonnell RA 1998 *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press. New York. 333pp.
- Burrough PA 1986 *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford University press. New York. 194pp.

- Burrough PA 1995 Spatial aspects of ecological data. In: Jongman, R.H.G., ter Braak, C. J. F. & van Tongeren (eds.) *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University press. Cambridge. pp.213-251.
- Chiles J-P & Delfiner P 1997 *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 695pp.
- Chorley R J & Haggett P 1965 Trend surface mapping in geographical research. *Transactions Institute of British Geographers*. 37:47-67.
- Colinvaux P 1994 *Ecology 2*. Wiley & Sons, Inc. New York. 688pp.
- Daly C, Neilson RP & Phillips DL 1994 A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology*. 33:140-158.
- Dirks KN, Hay JE, Stow CD & Harris D 1998 High-resolution studies of rainfall on Norfolk island. Part 1: interpolation of rainfall data. *Journal of Hydrology* 208: 187-193.
- Drogue G, Humbert J, Deraisme J, Mahr N & Freslon N 2002 A statistical-topographic model using an omnidirectional parameterization of the relief for mapping orographic rainfall. *International Journal of Climatology*. 22: 599-613.
- González-Rouco, J., Jiménez, J. L., Quesada, V. & Valero, F. 2001 Quality control and homogeneity of precipitation data in the southwest of Europe. *Journal of Climate* 14: 964-978.
- Goovaerts P 1997 *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press. New York. 483pp.
- Goovaerts P 2000 Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology* 228:113-129.
- Hevesi J A, Flint A L & Istok JD 1992a Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, Part 1: structure analysis. *Journal of*

- applied meteorology 31:661-676.
- Hevesi J A, Flint A L & Istok JD 1992b Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, Part 2: Isohyetal maps. Journal of applied meteorology 31:677-688.
- Holdridge LR 1967 Life Zone Ecology. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center. 54 pp.
- Isaaks EH & Srivastava RM 1989 An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press. New York. 561pp.
- Johnston K, van Hoef JM, Krivoruchko K & Lucas N 2001 Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI. New York. 300pp.
- Journel AG & Rossi ME 1989 When do we need a trend model in kriging? Mathematical Geology. 21(7):715-739
- Keiser DT & Griffiths JF 1997 Problems associated with homogeneity testing in climate variation studies: a case study of temperature in the northern Great Plains, USA. International Journal of Climatology 17:497-510.
- Kitanidis PK 1997 Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology. Cambridge University Press. New York. 249pp.
- Knotter M, Brus DJ & Oude Voshaar JH 1995 A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations. Geoderma. 67: 227-246.
- Konrad CE 1996 Relationships between precipitation event types and topography in the southern Blue Ridge Mountains of the southeastern USA. International Journal of Climatology. 16:49-62.
- Lioubimtseva E & Defourny P 1999 GIS-based landscape classification and mapping of European Russia. Landscape and Urban Planning 44:63-75.
- Lough JM 1997 Regional indices of climate variation: temperature and rainfall in Queensland, Australia. International Journal of Climatology 17:55-66.

- Lydolph PE 1989 The Climate of the Earth. pp.182-201. Rowman & Littlefield Publishers, Inc. USA.
- Marquinez J, Lastra J & Garcia P 2003 Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. *Journal of Hydrology*. 270:1-11.
- Martinez-Cob A 1996 Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. *Journal of Hydrology*. 174:19-35.
- McCoy J & Johnston K 2001 Using ArcGis Spatial Analyst. ESRI. New York. 230pp.
- Meek DW & Hatfield JL 1994 Data quality checking for single station meteorological database. *Agricultural and Forest Meteorology* 69:85-109.
- Moberg A & Alexandersson H 1997 Homogenization of Swedish temperature data. Part 1: homogenized gridded air temperature compared with a subset of global gridded air temperature since 1861. *International Journal of Climatology* 17:35-54.
- Moberg A & Bergström H 1997 Homogenization of Swedish temperature data. Part 2: the long temperature records from Uppsala and Stockholm. *International Journal of Climatology* 17:667-699.
- Ninyerola M, Pons X & Roure JM 2000 A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*. 20(14): 1823-1841.
- Nordli PØ, Alexandersson H, Frich P, Forland EJ, Heino R, Jonsson T & Tuomenvirta H 1997 The effect of radiation screens on Nordic time series of mean temperature. *International Journal of Climatology* 17:1667-1681.
- Pardo-Iguzquiza E 1998a Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography. *International Journal of Climatology*. 18:1031-1047.

- Pardo-Iguzquiza E 1998b MLREML4: A program for the inference of the power variogram model by maximum likelihood and restricted maximum likelihood. *Computers & Geosciences*. 24(6):537-543.
- Peterson TC, Easterling DR, Karl TR, Groisman P, Nicholls N, Plummer N, Torok S, Auer I, Boehm R, Gullett D, Vincent L, Heino R, Tuomenvirta H, Mestre O, Alexandersson H, Jones P & Parker D 1998 Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *International Journal of Climatology* 18:1493-1517.
- Price DT, McKenney DW, Nalder IA, Hutchinson HF & Kesteven JL 2000 A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. *Agricultural and Forest Meteorology* 101: 81-94.
- Prudhomme C & Reed DW 1998 Relationships between extreme daily precipitation and topography in a mountainous region: a case study in Scotland. *International Journal of Climatology*. 18:1439-1453.
- Prudhomme C & Reed DW 1999 Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland. *International Journal of Climatology*. 19:1337-1356.
- Prudhomme C 1999 Mapping a statistic of extreme rainfall in a mountainous region. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans & Atmosphere*. 24(1-2):79-84.
- Qian W, Deng Y, Zhu Y & Dong W 2002 Demarcating the worldwide monsoon. *Theoretical and Applied Climatology*. 71:1-16.
- Rhoades DA & Salinger MJ 1993 Adjustment of temperature range over Australia since 1951. *International Journal of Climatology* 13:899-913.
- Robertson GP 1987 Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. *Ecology*. 68(3):744-748.
- Rolland, C. 2003 Spatial and seasonal variations of air temperature lapse rates in alpine regions. *Journal of Climate* 16:1032-1046.

- Running SW & Nemani RR 1987 Extrapolation of synoptic meteorological data in mountainous terrain and its use for simulating forest evapotranspiration and photosynthesis. *Can. J. For. Res.* 17:472-483.
- Singh P & Kumar N 1997 Effect of orography on precipitation in the eastern Himalayan region. *Journal of Hydrology*. 199: 183-206.
- Smith DM, Larson BC, Kelty MJ & Ashton PMS 1997 *The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology*, 9th Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp.235-263.
- Su HJ 1984a Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (). Analysis of the variations in climate factors. *Quart. J. China. For.* 17(3):1-14
- Su HJ 1984b Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (). Altitudinal vegetation zones in relation to temperature gradient. *Quart. J. China. For.* 17(4):57-73
- Su HJ 1985 Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan (). A Scheme of geographical climatic regions. *Quart. J. China. For.* 18(3):33-44
- Tabios GQ & Sala JD 1985 A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resources Bulletin*. 21(3): 365-380.
- Thiessen AH 1911 Precipitation averages for large areas. *Monthly weather Review* 39:1082-1084.
- Thornthwaite CW 1948 An approach toward a rational classification of climates. *Geophys. Rev.* 38:55-94.
- Tivy J 1978 *Biogeography—A Study of Plants in the Ecosphere*. pp.35-192. Wing King Tong Co Ltd., Hong Kong.
- Tuomenvirta H 2001 Homogeneity adjustments of temperature and precipitation series—Finnish and Nordic data. *International Journal of Climatology*

21:495-506.

- Wang CK 1962 Some environmental conditions and responses of vegetation on Taiwan. Biol. Bull. Tunghai Univ. 11:1-19.
- Webster R & Oliver M 2001 Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester. 271pp.
- Wijngaard JB, Klein Tank AMG & Können GP 2003 Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. International Journal of Climatology 23:679-692.
- WMO, World Meteorological Organization 1967 A Note on Climatological Normals. Technical Note 84, WMO-208.
- Woodward FI 1987 Climate and Plant Distribution. Cambridge University Press. Cambridge. 174pp.
- Wotling G, Bouvier C, Danloux J & Fritsch J-M 2000 Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographic environment. Journal of Hydrology. 233: 86-101.
- Yim YJ & Kira T 1975 Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula. .Distribution of some indices of thermal climate. Jap. J. Ecol. 25(2):77-88.
- Yim YJ & Kira T 1976 Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula. .Distribution of climate humidity/aridity. Jap. J. Ecol. 25(2):77-88.
- Zurbenko I, Porter PS, Rao ST, Ku JY, Gui R & Eskridge RE 1996 Detecting discontinuities in time series of upper air data: development and demonstration of an adaptive filter technique. Journal of Climate 9:3548-3560.