

交通部中央氣象局預報中心
發展鄉鎮逐時天氣預報系統(2/2)
100 年度成果報告

中華民國 101 年 2 月 20 日

摘要

本計畫 100 年年度目標主要在完成鄉鎮天氣預報指引的各子系統建置，並引進全國即時預報系統(ANC)技術，包括建置完成細網格地面氣象真值分析系統、系集預報作業系統、統計降尺度預報系統、作業控管系統、產品展示及校驗顯示系統，並產製近 5 年細網格地面氣象重分析資料以提供校驗所需真值及統計模型建置使用。進行弱綜觀天氣下之預報因子與權重的分析、以及進行未來 30 與 60 分鐘風暴活躍度預報技術，同時評估資料同化系統(VDRAS)對於不同模式與觀測資料的表現，建立 ANC 系統歷史個案重分析模組。

一、前言

1.1 計畫目的

中央氣象局執掌全國氣象監測和預報業務，長期致力於氣象觀測、科技研究、預報服務等領域，因應時代變遷、社會型態改變以及天然災害的威脅，亟需提升氣象預報的細緻度及災害性天氣的預報能力。

本計畫目標以2年（99 - 100年）時間，發展本土化之鄉鎮尺度的天氣預報技術，建置臺灣、金門及馬祖各鄉鎮市之逐時天氣預報之作業化指引。初期以精緻化天氣預報技術作業化為主要任務，即時提供全國368鄉鎮市之逐時天氣預報指引；未來並可以延伸至各行各業的產業需求，提升專業化的天氣預報技術。

1.2 預期成效

本計畫是以臺灣天氣現象預報為研究主軸之科技研發應用計畫，期望廣泛應用精緻化天氣預報資訊於日常生活的需求。建立鄉鎮市尺度的氣象分析及預報資料，除了提供民眾更精緻的天氣預報資訊之外，可提升政府、企業及民眾對氣象災害之預警能力。而本計畫所產製之精緻天氣分析資料，亦可提供給相關領域進行深入研究，深耕臺灣之相關領域之科技研究，並藉由發表科學論文之方式，提身臺灣於相關技術之領導地位。本計畫之預期成效下如下：

- 提升本局氣象科技研發能力及本土化氣象研究

技術，以增加台灣地區天氣預報指引資訊。

- 提高本局天氣預報精細度，預期達到提供全國各鄉鎮市 3 天內之逐時及第 4~7 天內之每 12 小時的天氣預報資訊。
- 建立災害性天氣的氣候特徵分析資料，改善極短時定量降雨預報之技術及提升小範圍災害性天氣的預測能力，以提供即時之氣象防災資訊。

本計畫採行之動力與統計降尺度天氣預報系統的建置，乃是為了提供鄉鎮逐時天氣預報所需的高解析度統計預報指引。本系統主要是以動力數值天氣預報模式為基礎，開發動力統計相結合的預測方法及技術，建立逐時天氣預測模型，達到預報資訊降尺度的目的，以提供氣象局於預報作業時所需的特定預報項目指引。

二、 資源說明

2.1 計畫結構與經費

細部計畫		研究計畫		主持人	執行機關
名稱	經費 (千元)	名稱	經費 (千元)		
發展鄉鎮逐時天氣預報系統(2/2)	55,451	發展鄉鎮逐時天氣預報系統	55,451	鄭明典	中央氣象局預報中心

2.2 計畫人力

計畫名稱	執行情形	總人力 (人年)	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
發展鄉鎮 逐時天氣 預報系統	原訂	35	8.9	4	16.5	5.6
	實際	35	8.9	4	16.5	5.6
	差異	0	0	0	0	0

2.3 主要人力投入情形(副研究員級以上)

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
			學歷	經歷
鄭明典	計畫主持人	計畫管理(12)	學歷	加州大學洛杉磯分校氣象學博士
			經歷	中央氣象局預報中心主任
			專長	數值天氣預報
呂國臣	研究員級	計畫管理(12)	學歷	國立臺灣大學大氣科學博士
			經歷	中央氣象局預報中心副主任
			專長	計畫管理、系統規劃、天氣預報作業相關系統研究開發、天氣分析、Fortran 等程式語言
洪景山	研究員級	計畫管理、系 集技術發展 (6)	學歷	國立臺灣大學大氣科學博士
			經歷	中央氣象局技正
			專長	數值天氣預報
張保亮	研究員級	整體工作規 畫(3)	學歷	國立臺灣大學大氣科學博士
			經歷	中央氣象局技正
			專長	雷達資料分析、雷達定量降雨估計技術
馮欽賜	研究員級	計畫管理 (1)	學歷	國立臺灣大學大氣科學博士
			經歷	中央氣象局副主任
			專長	數值天氣預報

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
張庭槐	研究員級	計畫管理(1)	學歷	國立臺灣大學大氣科學博士
			經歷	中央氣象局課長
			專長	數值天氣預報
顧欣怡	研究員級	整體計畫執行 STMAS-2D 分析模組之維護與重分析；GT 自動化流程之維護。(6)	學歷	國立臺灣大學大氣科學系碩士
			經歷	中央氣象局預報中心技士
			專長	系統規劃、協調統整、Fortran、GRADS、Perl
鄧秀明	研究員級	功能開發建置(3)	學歷	國立臺灣大學大氣科學研究所博士
			經歷	· 氣象專案專案經理
			專長	專案管理、系統規劃、氣象觀測與分析、數值天氣預報與雷達氣象
林逸恆	研究員級	系統分析及設計，功能開發建置(12)	學歷	國立中大大氣物理研究所碩士
			經歷	· 氣象專案專案經理
			專長	專案管理、系統規劃、熟悉 Korn Shell、Fortran、NCAR 繪圖、Grads 繪圖、Photoshop、MySQL、Linux
楊淑蓉	研究員級	需求分析(12)	學歷	國立中大大氣物理研究所碩士
			經歷	· 中大大氣科學系 · 空軍氣象中心 · 氣象專案專案經理
			專長	專案管理、系統規劃、熟悉 Korn Shell、Fortran、Tcl/Tk、PV-WAVE、品質流程
鄭安孺	研究員級	克利金模組撰寫、資料分析(6)	學歷	國立臺灣大學土木工程學系博士
			經歷	多采科技有限公司負責人
			專長	水文統計、系統規劃
林忠義	研究員級	聯合克利金法研究(7.5)	學歷	國立臺灣大學土木工程學系博士
			經歷	國研院颱風洪水中心研究員

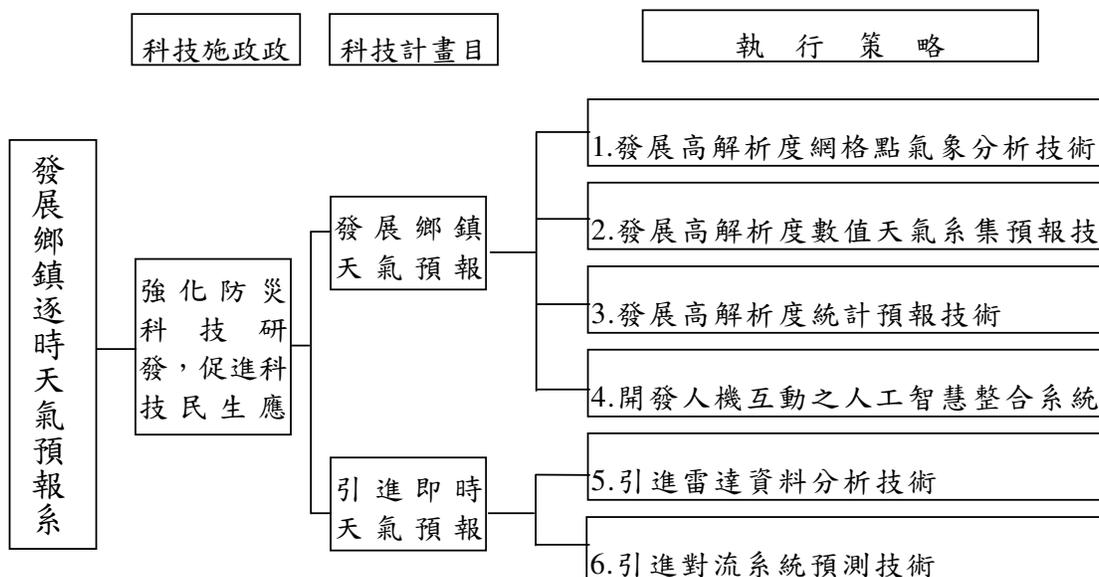
姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
			專長	氣象水文學、氣象雷達、數值方法
陳怡良	研究員級	整體計畫執行與管理、參與系統開發與研究(2)	學歷	國立臺灣大學大氣科學學系博士
			經歷	中央氣象局預報中心課長
			專長	計畫管理、系統規劃、天氣分析、台灣地形對颱風路徑的影響
蔡孝忠	研究員級	負責技術開發、參與研究、系統架構規劃(5)	學歷	國立臺灣大學土木工程學系博士
			經歷	國立臺灣大學土木工程學系氣象局氣象預報中心國防役
			專長	颱風降雨、統計學、Fortran、GRADS、NCL、MATLAB
張定祺	研究員級	負責系統開發統合、協助資料庫建置、資料流程處理(3)	學歷	國立臺灣大學大氣科學學系碩士
			經歷	中央氣象局預報中心技士
			專長	系統開發與維護、程式設計、Shell Script、Fortran、Visual Studio、SQL Script
賈愛玫	研究員級	負責系統建置相關協助、參與系統開發及規劃、參與研究(3)	學歷	國立中大大氣物理研究所碩士
			經歷	中央氣象局預報中心技佐
			專長	梅雨天氣分析、Fortran、GRADS
Juanzhen Sun	研究員級	在地化資料之使用與評估(6)	學歷	美國奧克拉荷馬大學氣象博士
			經歷	美國大氣科學研究中心科學家(III)
			專長	雷達資料之同化技術
James Wilson	研究員級	系統運作、預報因子研究(6)	學歷	美國華盛頓大學氣象博士
			經歷	美國大氣科學研究中心資深科學家
			專長	雷達氣象學、雷達資料分析
戴俐卉	副研究員級	模式發展(3)	學歷	碩士
			經歷	中央氣象局技士
			專長	數值天氣預報

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
			學歷	專長
張美玉	副研究員級	模式發展(3)	學歷	碩士
			經歷	中央氣象局技士
			專長	數值天氣預報
廖哲瑩	副研究員級	系統設計與功能開發建置(6)	學歷	交通大學資工所碩士
			經歷	· 淡江大學創新育成中心 · 晨鴻有限公司 · 臺灣國際商業機器公司(IBM) · 氣象專案工程師
			專長	C、C++、JAVA、C#.NET、PERL、X86 Assembly、LINUX 系統、FreeBSD
馮智勇	研究員	作業流程腳本設計與實作 統計模型核心程式開發 模型成效評估核心程式開發 統計模型成效分析與評估 系統整合、偵錯與故障排除 進度掌控 報告撰寫(12)	學歷	國立臺灣大學 土木工程所水利組博士
			經歷	2007.11~2008.12 國立臺灣大學博士後研究員 2008.12~2010.02 國立成功大學博士後研究員 2010.03~2010.04 國立臺灣大學博士後研究員
			專長	水文統計、數值方法、空間內插客觀分析、資料結構、作業流程規劃
黃葳芃	副研究員級	在地化資料提供、系統運作概念研究(6)	學歷	國立臺灣大學大氣科學博士
			經歷	中央氣象局課長
			專長	數值天氣預報模式、資料同化技術
張惠玲	副研究員級	資料同化方法及系統運作概念研究(6)	學歷	國立中央大學大氣科學碩士
			經歷	中央氣象局技士
			專長	氣象統計分析、機率性降雨預報校正技術

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
			學歷	國立臺灣大學大氣科學博士
林品芳	副研究員級	在地化氣候資料建立、在地化預報因子研究(12)	經歷	中央氣象局薦任技佐
			專長	雷達資料分析、閃電資料分析

三、計畫架構

本計畫整合氣象局相關之科研團隊成員，針對小區域天氣預報技術的發展，強化氣象防災科技研發，促進科技民生應用層面。計畫包括一般性與災害性兩類不同天氣尺度之預報技術發展之科技目標，分別由發展鄉鎮天氣預報指引以及引進即時天氣預報技術兩個主軸進行，並分 6 項技術發展執行策略同時進行，計畫樹狀圖架構如下：



四、計畫主要內容

本計畫將以現有的氣象監測網及預報技術為基礎，持續拓展大氣科研領域，研發高精密度之鄉鎮天氣預報技術，並建立作業整合系統以達預報精緻化之目標。規劃方案主要以六個相互關聯的工作項目組成，包括：發展高解析度網格點之氣象分析技術、發展高解析度數值天氣系集預報技術、引進美國國家大氣研究中心(NCAR)之都卜勒雷達變分分析系統、引進美國NCAR之雷達資料分析及對流系統預測技術、發展高解析度統計預報技術、開發人機互動之人工智慧整合系統。簡要說明各工作項目之目標如下：

工作項目一：發展高解析度網格點之氣象分析技術提供接近真實之2.5公里解析度網格點的氣象分析場資料，包括：降水量、地表氣溫、日間最高氣溫、夜間最低氣溫、雲量、地表風、地表溼度、海面相關氣象場及海面波浪，以做為實施精緻化預報之參考，並建立歷史氣象分析場資料庫，提供精緻化發展統計預報指引（工作項目三）與預報結果校驗（工作項目四）之所需。

工作項目二：發展高解析度數值天氣系集預報技術本工作項目擬採用高解析度模式，配合系集預報技術(ensembleforecast technique)，增加系集預報的樣本數及分歧度，因應台灣複雜環境條件下之天氣變化的不確定性，以產製精緻化預報之預報指引。

工作項目三：發展高解析度統計預報技術結合動力數值模式，整合動力數值模式產品與各式觀測資料的潛在預

報能力，建立各預報點之統計關係及逐時天氣預測模型，提供鄉鎮逐時天氣預報所需的高解析度統計預報指引。達到預報資訊降尺度的目的，提供氣象局於預報作業時所需的特定預報項目指引。

工作項目四：開發人機互動之人工智慧整合系統擬開發人機互動之資訊比對介面，以整合大量觀測資料與預報產品，並研發各類天氣系統（如颱風、鋒面、寒流等天氣現象）之監測、校驗與篩選自動化處理流程，使預報人員能於短時間有效參考天氣觀測與預報資訊，並依此做出最理想的預報研判。

工作項目五：引進都卜勒雷達變分分析系統擬引進美國NCAR發展之都卜勒雷達變分分析系統(Variational Doppler Radar Analysis System;VDRAS) VDRAS是利用雲尺度邊界層模式與它的伴隨模式對雷達資料進行四維資料同化分析，以求得邊界層之三維風場等。VDRAS反演所得之風場亦為ANC（工作項目六）系統的整合資料之一，其中「最大垂直風」之預報場即是由VDRAS的垂直速度而來，相關研究也證實如此使用VDRAS的風場可增進即時預報能力。

工作項目六：引進雷達資料分析及對流系統預測技術擬引進美國國家大氣研究中心(NCAR)發展之雷達資料分析及對流系統預測技術(Auto Nowcaster；ANC)，搭配VDRAS系統（工作項目五），並與高解析度系集模式（工作項目二）技術相結合，進行本土化系統的建置工作，針對變化迅速的對流性天氣系統，建置極短時天氣

預報系統，提供發生區域為主(location-pecific)的對流系統發生、成長、衰減及移動之預測，以改善導致豪雨現象的對流系統預測技術。

五、 計畫主要成果

本計畫 99~100 年執行期間，在進行科研發展、應用技術開發以及對外提供相關的社會服務等項目之重大成果分述如下：

1. 學術成就：

本計畫涵蓋 6 項技術發展執行策略之學術研究相關著作，涉及在氣象資料處理、數值模式系集預報、數值模式統計降尺度、台灣附近對流尺度分析技術以及相關之鄉鎮天氣預報等，在 99~100 年計畫執行期間共有國外期刊 2 篇、國內期刊 1 篇、國外研討會論文 1 篇、國內研討會論文 10 篇。研究報告 2 篇、建置 2 套資料庫、製作模式及系統手冊共 8 件。重要成果說明如下：

- (1) 完成建置單項觀測資料品質檢覈模組。本計畫發展小區域分析成果建立 2.5 公里解析度的網格點氣象場，但各氣象因子的觀測資料是否正確、品質是否穩定乃為影響分析結果成敗非常重要的因子。因此透過診斷分析確認歷史資料品質，針對各項氣象觀測資料包括溫度、露點溫度、相對濕度、雨量以及風場等，發展可靠的資料品質檢覈技術，加上適當的時間和空間條件限制可以去除有疑慮的觀測資料，並且據以重新分析歷史真實地面氣象場並建置相關

自動化作業流程將此資料檢覈模組納入即時地面氣象分析場產製流程中。

- (2) 完成 2005~2010 年 2.5 公里解析度網格點之地面氣象重分析場，包括降水量、地表氣溫、日間最高氣溫、夜間最低氣溫、雲量、地表風及地表溼度等，各觀測資料進行分析前均通過相關品質檢覈模組。品質良好的高解析度網格點地面氣象分析場，除了有助於預報員分析即時天氣現況，還可協助正確校驗網格預報產品以改善小區域天氣預報。
- (3) 在統計降尺度預報方法研究中，我們引入壓縮係數的應用，在建模過程使用最小絕對壓縮挑選機制(LASSO)，透過本計畫的研究已證明 LASSO 不只能提升預報準確度，又可免除氣象上統計建模傳統常用前序選取法所遭遇需主觀設定預定參數的問題，同時其建模效率也遠比逐次法好，而且 LASSO 不只是在線型模型、非線型模型，甚至是多類別的預報皆可應用，非常適合引入氣象預報作業。本計劃的執行乃先使用傳統方法建置模型發展及預報作業環境，我們建議接下來可以開始嘗試把 LASSO 方法也納入統計預報作業環境中，以期改善預報成效。
- (4) 在觀測與數值模式之資料整合與應用方面，本計畫引進美國國家大氣研究中心(NCAR)發展之都卜勒雷達變分分析系統(VDRAS)同化技術，提供對流系統之三維氣象資料，並配合引進美國對流系統預測技術(ANC)，提供對流系統發生、成長、衰減及移動之預報，以達到改

善導致豪雨預測技術之目的。100 年度已針對系統運作之核心部分進行本土化工作，其中關於台灣弱綜觀環境下午後對流系統發展之氣候特徵分析之結果已發表於美國 AMS 期刊。

2. 技術創新:

本計畫主要目的在實現中央氣象局發佈鄉鎮尺度天氣預報的創新技術。在計畫進行過程中，一方面著手研究本土化小區域天氣預報，並將成果投稿至國內外期刊以及重要之學術研討會，另一方面也將研發成果具體落實於實作，建置一系列之鄉鎮預報作業輔助系統，貫穿氣象觀測資料、中尺度系集預報模式、統計降尺度模式以及從美國引進即時天氣預報系統（ANC）的技術等，產製鄉鎮天氣預報指引，即時提供中央氣象局預報中心預報人員參考使用。此創新技術使氣象局天氣預報的精細度由原先以 22 縣市為分區的預報，提升至對每一鄉、鎮、市、區都發布天氣預報，並且也將一天分成 8 個時段，詳細預報 368 鄉鎮市區、2 天內天氣之變化，以及 7 天內每 12 小時的天氣預報資訊。此外，ANC 系統對小尺度系統的掌握將對災害性天氣精緻預報有正面助益。重要成果說明如下：

- (1) 本計畫將通用克利金方法由雨量及氣溫擴展延伸應用於推求相對濕度與露點溫度場，完成通用克利金法分析地面露點溫度場及地面相對溼度場模組之即時作業自動化流程建置，產出 2.5 公里解析度之地面氣象分析場並匯入於資料庫管理。
- (2) 完成高解析度模式系集預報技術(ensemble

forecast technique)，增加系集預報的樣本數及分歧度，因應台灣複雜環境條件下之天氣變化的不確定性，以產製精緻化預報之預報指引。本計畫已完成系集預報系統之上線作業，此為國內首創之數值天氣預報作業系統。該系統最高解析度達 5 公里，提供每日 2 次，每次共 20 個系集成員，每次達 72 小時預報，此對於提供臺灣地區高解析度之預報不確定性扮演重要的角色。

- (3) 完成建置一個鄉鎮預報產品展示系統，展示內容包含展示統計預報模式之預報結果、地面真實氣象分析場結果與校驗、統計預報模式與官方預報場各預報因子之場校驗及點校驗。
- (4) 在引進對流系統預測技術(ANC)與都卜勒雷達變分分析系統 (VDRAS) 部分，本(100)年度已完成本土化資料源之導入工作，現階段此 2 系統皆可即時運用臺灣地區最新之觀測資料及數值模式資料，產生未來 30 與 60 分鐘風暴活躍度預報。本(100)年度另亦進行系統運作核心部分之本土化工作，針對臺灣地區弱綜觀環境下午後對流發展之條件，建立本土化之預報因子，至今已獲得具體之研究成果。此新技術之應用將可強化對流系統發生、成長、衰減及移動的預測能力。

3. 經濟效益:

小區域天氣預報是國際趨勢，雖然我國之預報精緻化才剛起步，但對將來的氣象預報服務則影響

深遠。氣象局發展鄉鎮天氣預報，將帶動未來數位天氣預報資訊服務的契機。例如，藉由貼身的數位裝置，使氣象資訊傳遞更加快速與精確，亦可協助氣象防災資訊的蒐集與提供。根據美國氣象局經驗，小區域天氣數位化預報，將使民間氣象服務產業產製更豐富的加值服務。長期而言，對我國氣象產業將有正面的幫助。

4. 社會影響:

鄉鎮預報讓氣象更貼近生活，讓民眾更能掌握小區域、短時間的天氣變化。氣象局官方網站於 100 年 6 月新增「育樂氣象」資訊，資訊來源為本計畫發展之 2.5 公里解析度網格點地面氣象分析場。為了貼近民眾生活，提供包括海水浴場、海釣、單車、登山、旅遊和觀星等多項育樂活動的天氣現況之氣象資訊。此外，臺灣夏季常有地區性之午後雷陣雨，精緻的天氣預報讓您知悉晴雨時段，日常生活更加便利；從事旅遊、戶外活動時，透過鄉鎮逐時天氣預報，亦能了解各地區之天氣狀況，以妥善規劃必備用品及活動行程。

5. 其他效益:

本計畫在天氣預報實務架構下整合運作，方向明確，目標清楚。為落實計畫實質效益，本計畫執行期間逐步執行鄉鎮天氣預報宣導措施，首先藉由 2010 台北市國際花博會大型活動，與台北市政府簽訂 MOU，以花博會場進行單點天氣預報實

驗，2011年第四季更針對南台灣128個鄉鎮市區發佈鄉鎮預報，進行階段性的試營運，並與南部縣市舉辦之地方性活動連結，提供小區域天氣預報服務。其中，氣象局首次以民眾互動參與之形式構築官方網頁形式，透過舉辦「鄉鎮368最愛 Formosa 攝影圖文創作甄選比賽」活動，邀請民眾共同發掘368鄉鎮的萬千氣象，加強宣導鄉鎮預報效能，使氣象融入更豐富的在地人文色彩。活動官網湧進64萬次流覽量，共募得368個鄉鎮市區4258張精彩照片

六、對防救災用之影響與未來展望

6.1 對防救災之應用

為期2年(99-100年)執行小區域天氣預報技術成果在科技研發層面上，已可合理地解析出地理因素造成小區域的氣象差異，適用於複雜地形分佈下，臺灣各鄉鎮的氣象監測與服務，有助於增加防救災應用的效益。

鄉鎮逐時天氣預報已於101年正式上線作業，提供全國368各鄉、鎮、市、區3天逐3小時及第4~7天之逐12小時的天氣預報指引，並由氣象局官網即時發布，亦可由本局提供之行動裝置APP獲得相關資訊。無論預報區域數量及預報資料密度均大為增加，預報資訊之時間空間解析度亦大為提升，可有效供民眾更精緻化的天氣預報資訊指引。小區域天氣預報對將來的氣象預報服務影響深遠，將帶動未來數位天氣預報資訊服務的契機。

6.2 未來展望

現代化的天氣預報是一項高科技的應用技術，整合不同科學領域的科學家共同參與，而其影響層面也攸關於全國各個層面的需求。本計畫嘗試利用觀測資料的整合、數值預報系集技術發展、統計降尺度技術改善以及資訊產製系統的作業化，合理的將現有氣象高科技技術落實傳遞到各層面使用者可以參考的氣象資訊。

近年來大氣監測與預報能力雖有大幅提升，可是完全消除預報誤差，尤其精準的災害性天氣預測仍是各國大氣科學的一項難題。展望未來，在持續提升天氣預報準確度與精密度的同時，也必需兼顧各類預報不確定性的特質。因此，未來必需透過校驗的回饋，建立合理的進行鄉鎮預報誤差評估機制，讓客戶在使用天氣預測資訊時能夠充分的理解此特性，以強化氣象資訊的應用。尤其當災害性天氣出現，確需仰賴未來在即時天氣監測及預報技術的研發，以補足目前不足之處。

七、參考文獻

1. 鄭安孺、李天浩、顧欣怡、高慧萱、陳怡玟，2011: 即時雨量資料品質檢覈。建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編(100)，253-258。
2. 顧欣怡、王信凱、鄭安孺、高慧萱、陳怡玟、呂國臣，2011: 高解析度網格點氣象分析系統。建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編(100)，259-263。
3. 陳雲蘭、王政忠、劉欣怡、馮智勇、薛宏宇、劉家豪，2011: 「發展鄉鎮逐時天氣預報」計畫之高解析度統計預報技術研究(1) - - 引入最小絕對壓縮挑選機制

- (LASSO)改善建模成效。建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編(100)，235-240。
4. 王政忠、陳雲蘭，2011:「發展鄉鎮逐時天氣預報」計畫之高解析度統計預報技術研究(2) - -引入用順序型邏輯斯迴歸模型進行雲量多類別預報試驗。建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編，(100)241-244。
 5. 馮智勇、李天浩、陳雲蘭、高慧萱，2011:「發展鄉鎮逐時天氣預報」計畫之高解析度統計預報技術研究(3) - -BCDG 空間內插方法分析與應用。建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編(100)，247-252。
 6. Wang Jheng-jhong and Y. L. Chen, 2011: Comparison of Regularized Logistic Models with Linear Regression Models for Precipitation Probabilistic Forecasting.
 7. 李宥樺、張旭、蔡立夫、楊淑蓉，2011:鄉鎮逐時天氣預中央控管。建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編(100)，264-268。
 8. 洪景山、曹嘉宏，2011:利用 Cressman 客觀分析於網格化臺灣自動雨量觀測資料之探討。大氣科學，39，201-214。

即時雨量資料品質檢覈

李天浩¹ 鄭安孺² 顧欣怡³ 高慧萱² 陳怡彰²

國立臺灣大學水工試驗所¹

多采科技有限公司²

交通部中央氣象局³

摘要

時雨量空間分布與時變性均大，不易建立可靠的檢覈機制。本研究根據中央氣象局台灣西部自動雨量站系統採用「事件觸發(event triggering)」與「定時確認」組合通訊邏輯的特性，提出應用普通克利金法(Ordinary Kriging technique)篩檢因為傳輸失敗而「累積於後」的超大累積雨量值以及因為雨量站故障而始終回傳「零雨量」的錯誤雨量檢覈機制。

「累積於後」的異常雨量值，除了其值將普遍高於同時間其他正常測站雨量記錄外，另外伴隨的訊息是該站前一時間的記錄為負值的錯誤代號。雨量站故障的異常「零雨量」值，除了同時間其他正常測站均有雨量記錄而該站雨量記錄為零外，另外伴隨的訊息是前一時間的雨量記錄亦為零。對於豪大雨事件，若測站觀測雨量與克利金法的估計雨量的誤差值大於六倍平均估計誤差，且觀測條件滿足前述錯誤訊息時，雨量可能為異常。

以 2005 年至 2010 雨量資料進行分析，研究結果顯示，本研究所提出的雨量資料檢覈法可有效篩檢出因為傳輸失敗而「累積於後」以及因為雨量站故障而始終回傳「零雨量」的兩類錯誤雨量。

一、前言

雨量觀測對於民生用水、農業灌溉、工業發展、乃至於防災策略的擬定是必要的資訊，即時降雨觀測對於防救災尤其重要。目前包括中央氣象局在內等各政府單位於臺灣地區已建置超過八百座以上的雨量站，可於降雨事件發生時即時量測降雨量，並且回傳至中央氣象局。但即時回傳資訊有可能會因為連線中斷或異常的問題而產生錯誤，以至今使用者對於情勢產生誤判。因此有必要發展雨量資料檢覈機制，可於接收到雨量訊息時，即時篩選出錯誤資料。

雨量資料的檢覈是一件困難的事，主要原因是臺灣地區雨量空間分布與時變性均大，因此不容易建立可靠檢覈機制。本研究根據中央氣象局資料傳輸的邏輯，認為對於即時雨量資料的檢覈，應著重在篩檢出因為傳輸失敗而「累積於後」的超大累積雨量值以及雨量站故障而始終回傳「零雨量」的錯誤資料。在此前提下，本研究乃發展出應用克利金法(Kriging technique)篩檢「累積於後」及「零雨量」兩種錯誤雨量資料之即時雨量檢覈法。

二、雨量資料品質檢覈方法

中央氣象局台灣西部自動雨量站系統在建站時的系統設計，是採用「事件觸發(event triggering)」與「定時確認」的組合通訊邏輯。

「事件觸發」指的是當雨量站的傾斗式雨量筒因為降雨至少發生一次滿斗傾倒時，由測站端主動啟動通訊，透過中繼站等將觀測值傳送到中央氣象局。如果測站和中央氣象局之間的通訊沒有成功，在中央氣象局端，因為 10 分鐘或 1 小時內沒有收到某測站傳來訊號，便認為該測站該 10 分鐘或 1 小時的降雨量為 0，對外傳送該測站的即時降雨記錄為 0，但實際降雨量觀測值未必等於 0；在測站端的處理方式，是將未成功傳遞的降雨量「累積於後」，待下次成功連結到中央氣象局時，將該時段以及之前連續通訊不成功、「累積於後」的所有降雨量，當成單一數值送出。當大面積同時發生高強度降雨時，中繼站區域內多個雨量站會因為同時密集嘗試傳送資料，而致部份測站無法有效連接時，便可能在降雨當時無法傳輸。

「定時確認」指的是每個雨量測站不論是否有降雨，都必須在設定的時間間隔內（約 3 小時），透過中繼站與中央氣象局聯繫，以確認該站為正常運作中；如果超過設定的時間間隔測站仍未聯繫，即表示該站可能已經發生故障，中央氣象局的處理方式，是將該站的即時觀測記錄改以「-98」代號表示。

「累積於後」的異常雨量值，除了其值將普遍高於同時間其他正常測站雨量記錄外，另外伴隨的訊息是該站前一時間的記錄為「-98」（即時觀測）或「-9996」或「-9999」（歷史記錄）的錯誤代號。雨量站故障的異常「零雨量」值，除了同時間其他正常測站均有雨量記錄外，另外伴隨的訊息是該站前一時間的記錄亦為「零雨量」。根據前述之特性，本研究設計雨量檢覈的程序為，可以先做最基本的合理範圍檢覈，然後使用普通克利金法做空間分布合理性檢覈。

茲說明研究方法如下。

(一) 雨量合理範圍檢覈

雨量資料檢覈的第一步為檢查資料是否在合理範圍內。圖 1 為統計西元 2005 年至 2010 年 558 個測站的歷史資料所得各測站的最大時雨量(紅色+字)與次大時雨量記錄(藍色)分佈，橫軸為測站數，縱軸為降雨量。以人工方式檢視其中最大時雨量超過 200mm/hr 以上的記錄前後時間的資料，可以發現這些記錄應均為「累積於後」的錯誤。篩除這些資料後，可發現 2005 年至 2010 年間最大降雨事發生在 2009 年 08 月 10 日 02 時莫拉克颱風期間，中央氣象局 C0A950 鼻頭角站，其值為 189.0mm/hr。統計結果顯示，時雨量超過 200 mm/hr 的可能性極低，因此將時雨量的上限門檻取為 200mm/hr+10%，即 220mm/hr。

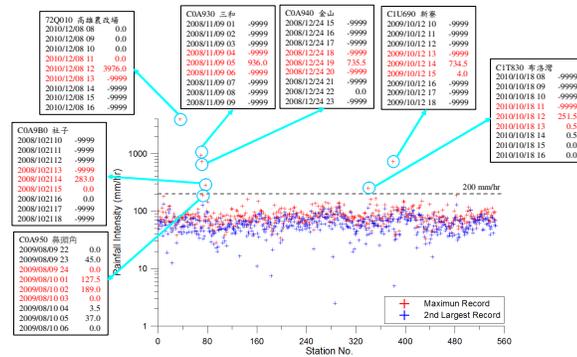


圖 1 根據 2005 至 2010 年資料統計得各雨量站最大與次大降雨記錄

(二) 克利金法空間分布合理性檢覈

克利金法(Kriging technique)又名地質統計法(Geostatistics technique)是根據資料在空間中分佈的統計特性，決定線性內插係數的一種技術(Bras and Rodriguez-Iturbe, 1985；Kitanidis, 1993)。氣象局於 2009 年「發展成鄉鎮逐時天氣預報」計畫中(中央氣象局，2009)，曾對應用普通克利金法建立高解析度網格點雨量場進行遮蔽測站試驗(Observation System Simulation Experiment)效果評估，研究結果顯示普通克利金法可適用於內插雨量資料。

利用克利金法進行雨量資料檢覈的作法，由鄰近雨量站觀測值估計每個測站的降雨量和信賴區間，若觀測資料值落在信賴區間之內，則通過檢覈；若觀測資料值落在信賴區間之外，且滿足且符合「累積於後」或「零雨量」異常站的特性者，則給予異常檢覈代碼，並且在後續進行網格雨量內插時，不使用該雨量站的資料。

克利金法的估計步驟是分為二部份：

1. 結構分析—由歷史或觀測資料，迴歸統計協變異數(covariance)隨距離變化的情形，決定「變異圖」或「半變異圖」(variogram or semi-variogram)函數。
2. 最佳線性不偏估估計(Best Linear Unbiased Estimation-BLUE)—假設估計值為已知值的線性權重平均，根據不偏估和最小估計誤差變異數兩項原則，根據變異圖或半變異圖導出協變異數矩陣，進而推估各測站對估計點的權重係數值。

實際檢覈方法說明如下。

1. 雨量資料結構分析

進行資料檢覈前，必須要事先準備克利金法所需半變異圖。「半變異圖」

是觀測樣本資料的協變異數隨距離變化情形。令 $\mathbf{u} = u(x, y)$ 為空間位置座標， $Z(\mathbf{u})$ 為空間隨機變數，則變異圖定義為：

$$2\gamma(d_{ij}) = E\left[\left(Z(\mathbf{u}_i) - Z(\mathbf{u}_j)\right)^2\right] \quad (1)$$

即距離等於 d_{ij} 的兩兩組合變數差異平方的「期望值」。 $\gamma(d_{ij})$ 稱為半變異圖。若隨機場為定常性，亦即資料之統計特性不因測站位置而有差異，則半變異圖 $\gamma(d_{ij})$ 和協變異數 $\text{cov}(\mathbf{u}_i - \mathbf{u}_j) = \text{cov}(d_{ij})$ 為互補函數

$$\gamma(d_{ij}) + \text{cov}(d_{ij}) = \sigma^2 \quad (2)$$

其中， σ^2 為定常性空間變數 $Z(\mathbf{u})$ 的變異數。

以克利金法進行空間雨量場內插時，是以同時間所有雨量站的觀測雨量即時迴歸統計半變異圖函數；但是以克利金法進行雨量檢覈時，因為只是做定性分析，因此不需要逐時進行迴歸，可使用歷史資料迴歸事先統計通用的半變異圖函數。除可以加速即時資料檢覈時效外，亦有助於資料分析的穩定性。但是因為考慮到各季節降雨的成因不同，因此將資料分為五季，分別是：12-2月、3-4月、5-6月、7-9月以及10-11月，取各季所含月份的加上前後10天的資料，分季迴歸統計半變異圖函數。各季資料加上前後10天的意義，是減少人為分季對分季的交接時節資料的連續性檢覈造成影響。

由於各時間點的降雨量強度不同，因此需要將雨量資料正規化，再行分析。分析步驟如下：

- (1) 逐時計算各時間所有測站雨量資料(不含缺漏以及零雨量資料)的平均值：

$$\mu_t = \sum_{i=1}^{n_t} p_{i,t} / n_t, \quad p_{i,t} > 0, \forall i$$

其中， μ_t 為 t 時間的平均雨量； n_t 為 t 時間的雨量資料數。 $p_{i,t}$ 為 t 時間、 i 站的雨量觀測值。

- (2) 逐時求取各時間所有雨量資料(不含缺漏以及零雨量資料)的變異數：

$$\sigma_t^2 = \sum_{i=1}^{n_t} (p_{i,t} - \mu_t)^2 / (n_t - 1)$$

其中， σ_t^2 為 t 時間的雨量變異數。

- (3) 將雨量資料除以該時間的變異數作正規化，即令

$$z_{i,t} = p_{i,t} / \sigma_t$$

- (4) 用 $z_{i,t}$ 資料求取半變異圖，半變異圖使用含金塊效應 c_0 的指數模型：

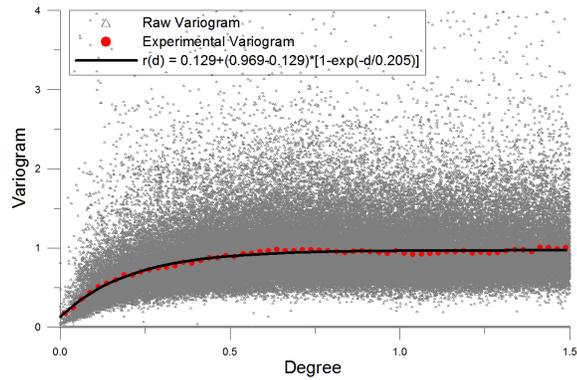
$$\gamma(d_{ij}) = C_0 + [\sigma_*^2 - C_0] \left[1 - \exp\left(-\frac{d_{ij}}{L}\right) \right] \quad (4)$$

其中， σ_*^2 是正規化雨量的變異數，理論上應該接近 1； C_0 為金塊效應 (nugget effect)，所反映的訊息是，即使是很近距離的兩點，也可能存在的差異； L 是影響長度 (integral length)，反映距離對相關性的影響，當兩測站距離大過 L 時，兩站間的相關性已經降到 0.37 以下；當兩測站距離大過 $1.5L$ 時，兩站間的相關性將降到 0.22 以下。

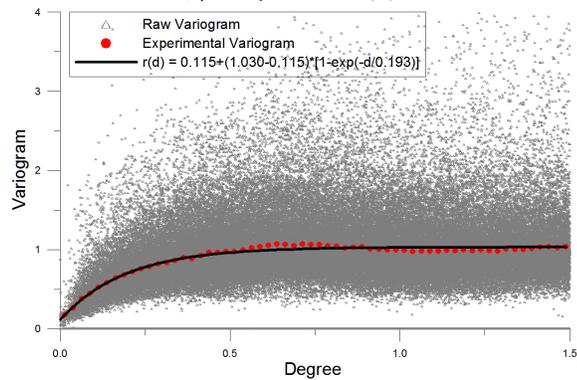
圖 2 所示為以 2005 年至 2009 年降雨資料，所統計得各季的正規化半變異圖。其中灰色 Δ 符號為觀測樣本資料的原始半變異數；紅色 \bullet 實心圓符號所示為實驗半變異數；實線所示為以實驗半變異數所套配的正規化半變異圖函數。如圖所示，等距離的原始半變異數在不同的時空點可能會有很大的差

異。因此在進行迴歸之前，通常會將距離軸分為幾個區間，然後將同區間內距離相近半變異數取平均求得實驗半變異數，由實驗半變異數就可以看到在排除了局部干擾的因素下，兩測站的相關性隨距離變化的情形，並且可以用一簡單指數函數來描述這種關係。

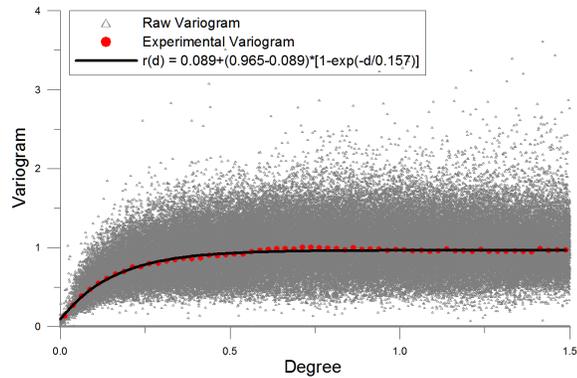
不同季節的正規化半變異圖差異並不大，變異數接近於 1，影響半徑則 L 介於 0.15 ~ 0.22 度，約為 16~24 公里之間，其中以 5-6 月的影響半徑最小，反映春、夏間月是小尺度的降雨。



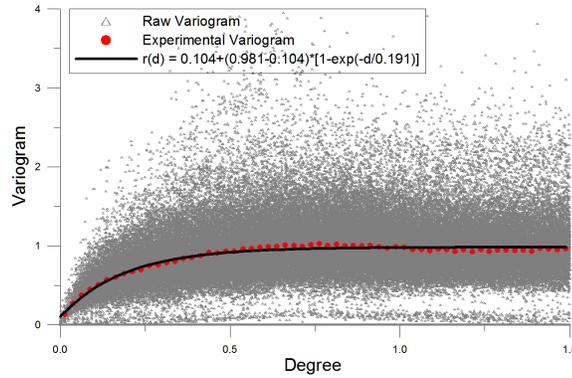
第一季：12-2 月



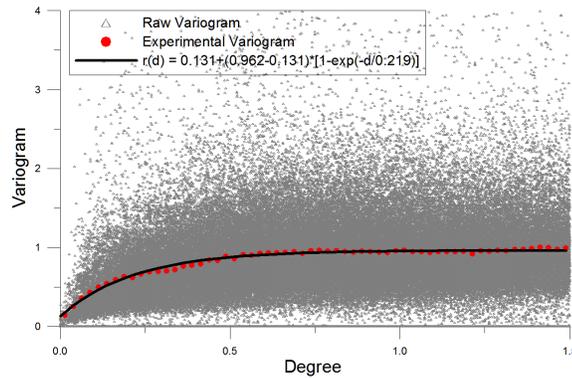
第二季：3-4 月



第三季：5-6 月



第四季：7-9 月



第五季：10-11 月

圖 2 根據 2005 至 2010 年時雨量資料統計得之正規化半變異圖

2. 資料檢覈

由於雨量檢覈的目標是要篩檢出「累積於後」以及測站故障「零雨量」異常資料，因此將只對強降雨事件進行檢覈。事件的篩選標準是，同時間的雨量記錄中，至少有 1 筆資料是超過 20mm/hr。檢覈步驟如下：

- (1) 計算該時間雨量不為零的「有效」時雨量平均值和變異數：

$$\mu_t = \sum_{i=1}^{k_t} p_{i,t} / k_t ;$$

$$\sigma_t^2 = \sum_{i=1}^{k_t} (p_{i,t} - \mu_t)^2 / (k_t - 1) , p_{i,t} > 0, \forall i$$

k_t 為不為零的有效時雨量站數。

- (2) 選取各雨量站的內插參考站。首先以雨量站 i 為中心，令選取半徑為 $d_0 = 0.3$ 度，選取距離 $d_{ij} < d_0 = 0.3$ 範圍內的有效雨量(含零雨量)，如果搜尋到的站數 $m_{t,i}$ 小於 30 站，則將搜尋半徑擴大 0.05 度，如此逐次擴大半徑，直到搜尋到至少 30 座參考站為止；
- (3) 採用普通克利金法，內插估計第 i 站的雨量值 $\hat{p}_{i,t}$ 。令，

$$\hat{p}_{i,t} = \sum_{j=1}^{m_{t,i}} \lambda_j p_{j,i} \quad (4)$$

其中， λ_j 為第 j 個鄰近測站的權重係數； $p_{j,i}$ 為第 j 個鄰近測站的雨量觀測值。根據不偏估條件為：估計值的期望值應等於平均值，即

$$E[\hat{p}_{i,t}] = E\left[\sum_{j=1}^{m_{t,i}} \lambda_j p_{j,i}\right] \Rightarrow m = m \sum_{j=1}^{m_{t,i}} \lambda_j$$

因此

$$\sum_{j=1}^{m_i} \lambda_j = 1 \quad (5)$$

估計誤差變異數為 $L = E[(\hat{p}_i - p_i)^2]$ ，根據最小估計誤差原理，使估計誤差變異數為最小的必要條件是： L 對任意權重係數 λ_j 的微分值必須為零，

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_j} = 2 \sum_{k=1}^{m_i} \lambda_k \text{cov}_{jk} - 2 \text{cov}_{ik} = 0 \quad (6)$$

利用 Lagrange multiplier, ν ，結合以上(6)式「估計誤差變異數最小化條件」以及(5)式「不偏估條件」：

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_j} + 2\nu \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) = 0$$

可推導出普通克利金法協變異數矩陣方程式為：

$$\begin{bmatrix} \sigma_i^2 & \text{cov}_{i,2} & \cdots & \text{cov}_{i,m_i} & 1 \\ \text{cov}_{2,1} & \sigma_i^2 & \cdots & \text{cov}_{2,m_i} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \text{cov}_{m_i,1} & \text{cov}_{m_i,2} & \cdots & \sigma_i^2 & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_{m_i-1} \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{cov}_{i,1} \\ \text{cov}_{i,2} \\ \vdots \\ \text{cov}_{i,m_i} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

上式中的 σ_i^2 為該小時所有大於 0 的「有效」資料的變異數，同時，

$$\text{cov}_{ij} = \sigma_i^2 \left[\sigma^{*2} - \gamma(d_{ij}) \right] \quad (8)$$

(4) 計算估計點的估計誤差變異數：

$$s^2 = \sigma_{\hat{p}_{i,t}}^2 = \left(\sigma_i \times \sigma^* \right)^2 - \nu - \sum_{j=1}^m \lambda_j \text{cov}_{i,j} \quad \text{for } \forall i \quad (9)$$

(5) 設定信賴區間為 6 倍的估計誤差值。當 $|\hat{p}_{i,t} - p_{i,t}| < 6s$ ，接受觀測值為真，否則觀測值可能有誤，進一步檢查：

- 若 $\hat{p}_{i,t} < p_{i,t}$ ，且 $p_{i,t-1} < 0$ ，屬於「累積於後」的異常狀況。
 - 若 $\hat{p}_{i,t} > p_{i,t}$ ， $1 > p_{i,t} > 0$ 且 $1 > p_{i,t-1} > 0$ ，屬於「零雨量」的異常狀況。
- 不滿足以上兩項條件之一的狀況，即使估計與觀測的絕對差值大於 $6s$ ，仍接受觀測值為真。由於考慮到如果參考站的觀測資料有誤時，可能會因為錯誤資料的汙染，反而將測站正常的觀測資料濾除，因此實際在進行資料檢覈式，是對所有的站先逐站計算估計誤差比值，令

$$d_i = \frac{|\hat{p}_{i,t} - p_{i,t}|}{6s} \quad (10)$$

若 $d_i > 1$ ，則先將該站標示可能異常站，當所有的站都測試完畢，比較各異常站中，將其中 d 值最大的異常站剔除，然後再對其他的異常站重新檢覈，再次檢覈時不會使用被剔除的異常站為參考站，如此重複檢覈直到異常站數量為 0 為止。

以上步驟(5)的信賴區間若取的太窄，可能會犧牲掉部分正常的觀測，若取得太寬，則可能無法篩檢掉錯誤的資訊。假設觀測值與估計值的誤差接近於常態分佈，當顯著水準取為 $\alpha = 0.1\%$ ，且樣本數趨近無限大時， t 分

布值約為 $t_{\alpha/2} \approx 3.1$ 。但考慮雨量空間分布與時變性均大，誤差為常態分布的假設亦不一定成立，因此取更寬鬆的信賴區間。6 倍的估計誤差值是本研究經測試認為較合理的係數。

表 1 所示為檢覈代碼說明。通過檢覈的雨量資料給予代碼 1；「零雨量」的異常狀況給予代碼 31，「累積於後」的異常狀況則是給予代碼 61。無法進行檢覈，例如篩選到參考站數不足 2 站，或未進行檢覈的狀況，例如同時間各測站的雨量均小於 20mm/hr，則給予代碼 0。

本研究所提出的資料檢覈法僅適用於強降雨事件：同時間的雨量記錄中，至少有 1 筆資料是超過 20mm/hr。因為如果所有站的雨量都不大時，則可能因為站與站的雨量差異不大，導致誤判的情形發生，尤其是對於「零雨量」型錯誤的研判，可能會將真正無雨量的資料誤判為是錯誤資料。

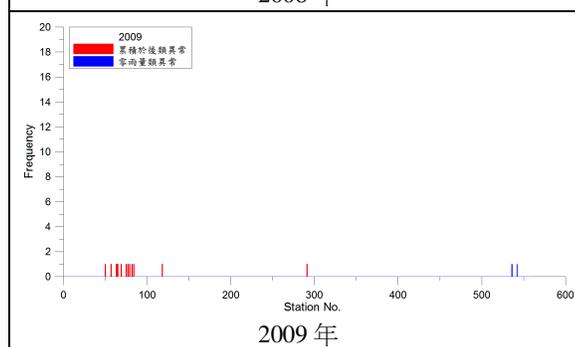
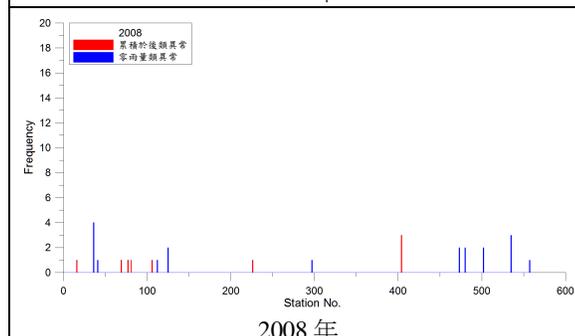
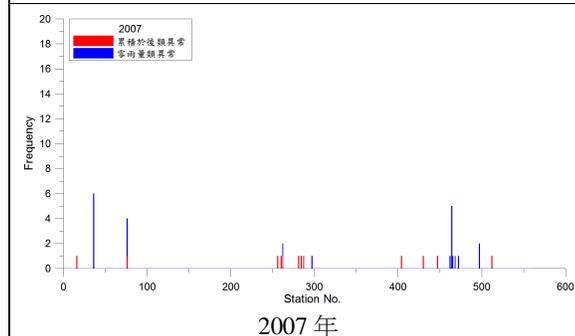
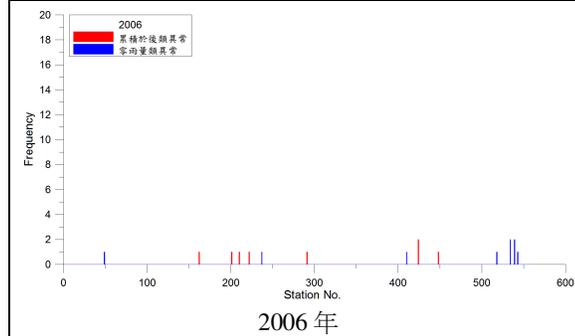
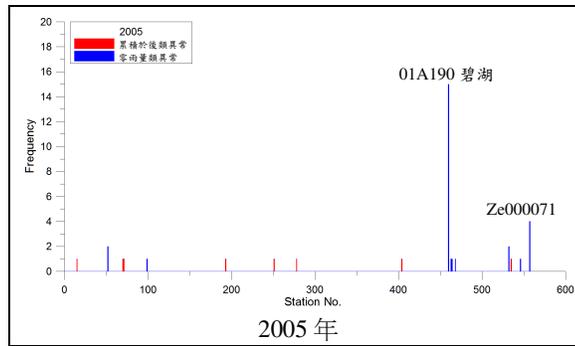
表 1 為檢覈代碼說明。

檢覈代碼	意義	檢覈結果
-99	t時間無觀測值	無法檢覈
0	無法檢覈或未檢覈	未檢覈
1	通過合理性檢覈	通過
31	「零雨量」的異常狀況	未通過
62	「累積於後」的異常狀況	未通過

三、分析結果

取 2005 年至 2010 年逐時雨量進行檢覈，檢覈結果如圖 3 所示，圖中顯示，其中，2005 年水利署 01A190 碧湖站有多筆「零雨量」的異常值。經檢查，發現有多筆「零雨量」異常資料是發生集中在 2005 年 08 月 31 日。將 2005 年 08 月 30 日 01 時至 9 月 1 日 24 時 01A130 碧湖站與鄰近氣象局 C0A540 四堵站以及 C0A530 坪林站雨量資料取出，繪製時間序列圖，其結果圖 4 所示。圖中所圈選的時段為碧湖站被篩檢出有零雨量異常的資料，而同時段四堵站及坪林站觀測到有降雨發生，因此碧湖站的「零雨量」錯誤檢覈結果應為可信。

圖 5 為一「累積於後」錯誤資料的範例。圖中所示為 2005 年 05 月 12 日 01 時至 05 月 14 日 24 時氣象局 C0M410 馬頭山站、C1M540 小公田站、以及 C0X020 關子嶺站降雨時間序列比較，其中，馬頭山站於 05 月 13 日 07 時至 13 時間共六小時無資料，而同時段除 09 時外，其他時間小公田站與關子嶺站均有雨量記錄，由此可推測，此時段馬頭山站降雨機率應該很高。14 時小公田站與關子嶺站時雨量分別是 21 以及 23mm/hr，但馬頭山站雨量記錄卻是高達 91mm/hr，因此馬頭山站 14 時被判定為「累積於後」錯誤檢覈結果應為可信。



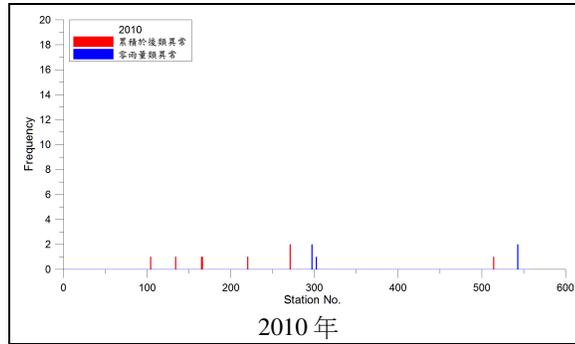


圖 3 2005-2010 年時雨量資料檢覈結果

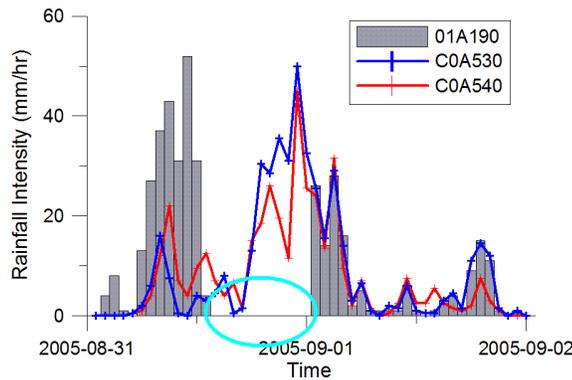


圖 4 2005 年 08 月 30 日 01 時至 09 月 01 日 24 時 01A190 碧湖站與 C0A540 四堵站及 C0A530 坪林站降雨時間序列比較

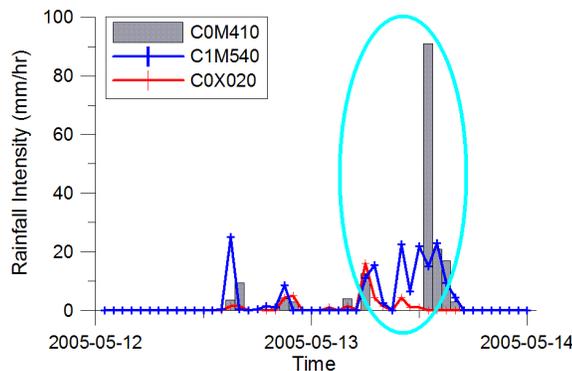


圖 5 2005 年 05 月 12 日 01 時至 05 月 14 日 24 時 C0M410 馬頭山站與 C1M540 小公田站及 C0X020 關子嶺站降雨時間序列比較

四、結論

雨量資料空間分布與時變性均大，因此品質檢覈不易。本研究根據中央氣象局即時資料，「事件觸發(event triggering)」與「定時確認」的組合通訊邏輯。歸納因為傳輸失敗而「累積於後」以及因為雨量站故障而始終回傳「零雨量」兩類雨量錯誤類型的伴隨訊息，提出以克利金法為基礎之即時雨量檢覈法。2005 年至 2010 年雨量資料檢覈結果顯示，本研究所提出的雨量資料檢覈法可有效篩檢出強降雨事件的「累積於後」以及「零雨量」

兩類錯誤資料。

五、參考文獻

交通部中央氣象局，”應用克利金法建立高解析度網格點氣象數據研究”期末報告書，2009。

Bras, R. L. and Rodriguez-Iturbe, I.:" Random functions and hydrology, Addison Wesley", Reading, Mass. , 1985.

Kitanidis, P.K., "Gestatistics" in "Handbook of Hydrology" edited by D.R. Maidment, McGraw Hill. , 1993.

高解析度網格點氣象分析系統

顧欣怡¹、王信凱¹、鄭安孺²、高慧萱²、陳怡彰²、呂國臣¹

交通部中央氣象局預報中心¹

多采科技有限公司²

摘要

氣象局預報中心在作業時並無接近真實的即時氣象分析場可供參考，預報人員僅能藉由實際測站觀測、衛星、雷達等即時觀測資料，歸納出台灣附近的實際天氣概況，建置接近真實的網格點氣象分析場資料乃為預報上迫切需求的資訊。此外，氣象局將於 101 年 1 月發布鄉鎮預報，此分析場將可作為鄉鎮預報產品或模式預報準確度評估與改進之客觀依據。目前氣象局驗證天氣預報的技術得分還是以單點校驗為主，未來發佈鄉鎮天氣預報產品後勢必要有網格預報的校驗以評估預報的準確度，而真值(Ground truth)即可作為校驗的基準。

為此，預報中心引進資料同化客觀分析方法 (STMAS-2D) 和客觀分析方法(通用克利金法、普通克利金法)，利用有限的觀測資料網與模式輸出的背景場資料，進行分析以期能得到最接近真實的網格點資料，建立各重要天氣因子之歷史氣象分析場資料庫，並以達成即時提供每小時 2.5 公里網格解析度氣象場分析之作業化為目標。此外，亦利用氣象局每 15 分鐘一筆的高時間解析度觀測資料，通過簡單資料檢覈方法後，以克利金法得到 1 公里網格解析度的氣象分析場，利用 NCL 繪圖後將產品提供預報員參考使用。本產品亦於花博期間在網頁上提供溫度、濕度及雨量網格分析資料以供民眾參考，也因剔除錯誤的觀測資料可即時通報測站進行維修。

高解析度網格點氣象分析系統目前已有包括地面溫度、露點溫度、風場、降水量、雲量、波浪和日最高最低溫等 2.5 公里網格點之 2005~2010 年歷史真值(Ground truth)分析場，並已完成地表氣象資料場分析技術 (STMAS-2D、普通克利金法和通用克利金法)之測試與作業建置，可每小時產出 2.5 公里網格解析度之各重要天氣因子分析場並匯入於資料庫管理。氣象重分析場之歷史和即時資料庫不僅有助於格點預報指引產品之校驗和大氣環境場之現況即時分析，亦可以協助建立不同天氣系統和季節影響下之小區域的氣候或天氣特徵，以協助精細之鄉鎮天氣預報。

一、 前言

目前中央氣象局提供有關天氣觀測資訊之服務，多以氣象局現有測站觀測資料為主，除了測站分布不均勻之外，空間解析度亦不到鄉鎮尺度的範圍。對於民眾的日常生活應用而言，除了提供常規性天氣觀測資訊之外，災害性天氣對生命財產的影響更劇。而天氣預報的基礎來自於氣象資訊的收集，例如針對引發豪(大)雨之對流系統的監測，如果有小區域範圍的即時氣象分析場可供預報人員參考將有助於小尺度劇烈天氣的預警能力。

中央氣象局自民國 72 年起執行 4 期公共建設計畫，除了配合全面汰換自動雨量站之觀測站網外，也完成了五分山、花蓮、墾丁和七股等 4 座新一代都卜勒氣象雷達網的設置，同時配合新式氣象衛星發射全面汰換了衛星接收系統，各項氣象基礎建設已陸續完成。隨著雷達與衛星等各類遙測資料的引入，以及大量地面自動觀測站的架設，高時空解析度的觀測資料提供了預報精緻化最有利的基礎；而如何將所有傳統與非傳統觀測資料同化，產生一最佳分析結果，提供下游模式最佳初始場以及作為統計預報與校驗之基礎，便成為重要的課題。此外，現今各國預報發展趨勢亦由原本文字預報及點預報的方式改為圖形化的面預報，此一預報結果的校驗，亦需將不規則測站分布的觀測資料轉化為能代表大氣真實情況的網格化結果，方能進行比對；故選取一個快速而又不失真的客觀分析方法處理觀測資料，實為發展鄉鎮預報的關鍵。

高解析度網格點氣象分析系統的發展是交通部中央氣象局「發展鄉鎮逐時天氣預報系統」中程計畫裡面一個工作項目，此中程計畫是以朝向提高精密度的天氣預報指引及監測技術為目標，預期可以有效改善鄉鎮尺度的天氣預報，增加常規天氣預報的精度以及改善災害性天氣的監測及預警能力。而高解析度網格點氣象分析系統即是負責提供接近真實之 2.5 公里解析度網格點的氣象分析場資料，包括：降水量、地表氣溫、日間最高氣溫、夜間最低氣溫、雲量、地表風、地表溼度、海面相關氣象場及海面波浪，以做為實施精緻化預報之參考，並建立歷史氣象分析場資料庫，提供精緻化發展統計預報指引與預報結果校驗之所需。此計畫特別針對本土化作業需求，建立作業化的鄉鎮尺度天氣分析技術，不但可以反映各地小區域的氣候特徵，此分析場亦將可作為鄉鎮預報產品或模式預報準確度評估與改進之客觀依據。

二、 方法簡介

在發展高解析度網格點之氣象分析場方面，客觀分析方法如

STMAS(Space-Time Mesoscale Analysis System)、克利金法(Universal Kriging technique)等分析技術皆須開發。

2-1、克利金法

克利金法(Kriging technique)又名地質統計法(Geo-statistics technique)，其根據資料在空間中分佈的統計特性，決定線性內插係數(Bras and Rodriguez-Iturbe, 1985)。克利金法估計的步驟可分為二部份：1、結構分析(structural analysis)－由歷史資料，迴歸統計協變異數(covariance)隨距離變化的情形，決定「變異圖」或「半變異圖」(variogram or semi-variogram)的函數。2、最佳線性不偏估估計(Best Linear Unbiased Estimation-BLUE)－假設估計值為已知值的線性權重平均，根據不偏估和最小估計誤差變異數兩項原則，以變異圖或半變異圖導出權重係數值。

「變異圖」或「半變異圖」是觀測樣本資料的協變異數隨距離變化情形。等距離的原始半變異數在不同的時空點可能會有很大的差異。因此在進行迴歸之前，通常會將距離軸分為幾個區間，然後將同區間內距離相近半變異數取平均求得實驗半變異數，由實驗半變異數就可以看到在排除了局部干擾的因素下，兩測站的相關性隨距離變化的情形，並且可以用一簡單的函數來描述這種關係。

過去的研究結果顯示，台灣地表溫度是緯度和海拔高度的線性趨勢函數，去除此二趨勢後的溫度殘差值的二階統計函數（即協變異圖）具有定常性。於是李天浩與林忠義(2010)融合 Bras 和 Rodriguez-Iturbe (1985)的通用協變異函數，和 Kitanidis (1993)建議的通用克利金法，再導出第四種通用克利金法設計。作法是將空間趨勢函數代入半變異圖表示式中，迭代嘗試不同的空間趨勢函數係數，將溫度變數值減去趨勢的殘差值，代入估計半變異圖或協變函數，收斂目標是溫度殘差值的協變異圖最符合定常性假設。獲得最佳化的趨勢係數和協變異圖後，配合使用 Kitanidis (1993)要求權重係數使各個趨勢函數係數乘的座標值權重組合都等於 0 的不偏估條件，設計地表溫度空間內插估計。使用這種方法的主要理念是台灣山區地表溫度隨海拔高度變化的趨勢為主控因子，必須去除半變異圖中的趨勢函數，才能突顯真實的地表溫度協變異圖。

另外，在雨量場分析方面，假設空間隨機變數具有定常性，平均值為常數但其數值未知，則可以使用普通克利金法(Ordinary Kriging technique)估計空間真實雨量場。但因為雨量測站網密度稀疏，雷達遙測降雨強度則有空間完整觀測的優勢，若能有效結合兩種觀測工具的特性，對於空間降雨的估計將有很大的助益，常見的整合雷達及雨量測站觀測降雨的方法有「比值調整」和「聯合克利金法」兩種策略。(李天浩與林忠義，2010)

雷達遙測估計降雨受到特殊氣象條件，非雷達電波，地形，觀測距離、體積和高度等因素的影響，使得雷達觀測存在多種不確定性。地面雨量測站觀測值雖然也會受到風速、大雨珠噴濺等問題影響，但相對而言準確很多，因此對於位置相同的雨量測站和雷達觀測值，多傾向於相信前者。「比值調整」法使用共網格的雨量測站觀測／雷達觀測比值，配合客觀分析法建立點比值的空間函數，調整沒有雨量測站共網格的雷達降雨強度估計值，然而因為統計理論不如聯合克利金法，也未證實能否避免特定雷達觀測誤差型態，近年較少應用。

「聯合克利金法」是線性權重鄰近估計網格的雨量測站和雷達兩種觀測值，利用最小均方差和不偏估原理，導出最佳權重係數，計算整合估計值的方法。按照資料整合方法的特性，聯合克利金法又可以分為：處理變數為對稱（例如常態）分佈，不含空間趨勢的普通聯合克利金法（**Ordinary Co-Kriging, OCK**）；處理變數對稱分佈，含空間趨勢的通用聯合克利金法（**Universal Co-Kriging, UCK**）；和利用赫米特（**Hermite**）等正交函數將非常態變數轉換為常態分佈變數組合的析取聯合克利金法（**Disjunctive Co-Kriging, DCK**）。

使用通用聯合克利金法（**UCK** 法）可以整合雷達及地面雨量測站觀測降雨，聯合克利金法的另一個優點為可輕易加入其它限制條件，例如若能取得各筆雷達觀測點與雷達之間的距離或是觀測點的高度等資料，可將其視為空間趨勢加入 **UCK** 法中成為新的不偏估條件式，對於具有高度空間變化特性的雷達觀測資料而言，可更有效的降低雷達觀測誤差對降雨估計的影響，得到較正確的降雨空間分佈估計結果。

2-2、STMAS-2D 方法

STMAS 是由美國海洋暨大氣總署（**NOAA**）的地球系統實驗室全球系統組（**Earth System Research Laboratory/Global Systems Division**）發展出來的一套客觀分析技術。而 **STAMS-2D** 則是包含在其實驗室的 **LAPS** 下的地面分析模組。此為一套透過連續變分法對觀測資料進行同化的客觀分析系統。原本 **LAPS** 中亦有 **LAPS-SFC** 模組可進行地面分析，但其使用的分析方法是傳統的 **Barnes** 逐次訂正法，此法有著計算次數頻繁的問題，若是要具體的解析出多個波長的天氣系統特徵，需耗費大量的計算時間，因而無法滿足鄉鎮預報所需要的細網格需求；現行同化技術則多為單次的三維或四維變分分析，分析結果的好壞取決於對於模式誤差與觀測誤差共變異的精確估計；此法不但需要更大量的計算，而且往往無法取得準確的變異數

估計，造成分析結果反而遺失觀測資料所捕捉的天氣特徵。(謝旻耕，1999)

STMAS 分析方法的特點在於透過多重網格(Multigrid)的概念進行最佳變分分析，此一分析方法與其他變分方式不同之處在於不需估計模式輸出的共變異項，先就觀測網絡可以解析的天氣特徵，直接透過觀測由長波到短波依序求解出來，而後在觀測無法解析的尺度，再透過統計權重的方式配合模式輸出求解，如此一來，大大減低了求得共變異數權重係數所需的計算量，具有計算時間短的優點。並且在於針對觀測資料可以解析的範圍內，因其針對不同的波長逐次的變分分析，亦可以保有天氣系統多重尺度的特性。而保留變分法的特性使的 **STMAS** 可以同化雷達徑向風等非傳統觀測資料，或是在分析過程加入物理條件的限制，這些都是傳統連續訂正法所無法做到的。

2-3、1 公里網格分析之觀測資料檢覈方法

利用氣象局每 15 分鐘一筆的高時間解析度觀測資料，通過簡單資料檢覈方法後，以克利金法得到 1 公里網格解析度的氣象分析場，利用 NCL 繪圖後將產品提供預報員參考使用。本產品亦於花博期間在網頁上提供溫度、濕度及雨量網格分析資料供民眾參考，也因剔除錯誤的觀測資料可即時通報測站進行維修。

溫度的檢覈方法是以上一個時間的溫度當做基準，比較與最新觀測之間的變化量，由於兩筆資料時間間隔只有 15 分鐘，若資料變動太大即有錯誤的可能。檢覈流程分兩階段，第一階段是將測站溫度與網格點上的溫度做比較，由於測站高度與克利金網格高度並不相同，比較之前先將網格溫度依大氣平均降溫率校正，接著以溫差 4 度當做門檻進行資料篩選；第二階段為測站本身連續性的比較，將第一階段通過之測站資料與上一個時間之測站資料進行篩選，門檻值為 1.5 度，需同時符合第一與第二個條件才算是通過檢覈。露點溫度的資料檢覈法溫度檢覈相同，僅改變門檻值為第一階段 3 度，第二階段 1 度而已。通過兩階段檢覈的測站資料才會進入克利金分析，如此將可以避免錯誤資料進入內差影響網格資料的準確性。

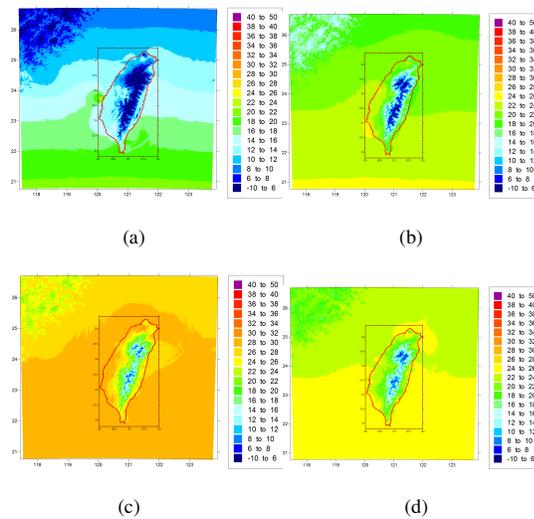
三、分析範例

以下就溫度場、雨量場、風場和雲量等 2.5 公里網格分析結果舉出幾個範例，使用通用克利金法(Universal Kriging technique)來估計空間真實溫度

場，使用普通克利金法(Ordinary Kriging technique)和通用聯合克利金法(UCK 法，整合雷達及地面雨量測站觀測降雨)分別估計空間真實雨量場。風場分析則以 STMAS-2D 客觀分析方法為主。雲量則由衛星紅外線多頻道數據資料推估而得。

3-1、溫度分析場

圖一.分別是 2009 年 01 月 01 日 01 時、05 月 01 日 01 時、08 月 01 日 01 時及 11 月 01 日 01 時應用通用克利金法所估計得之地面網格溫度場。克利金法是一種內插技術，不能用來外延估計海上網格點的溫度。雖然為繪圖的需要輸出海上網格點的估計溫度，但是其可信度不佳。



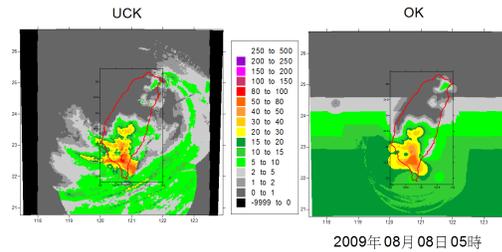
圖一：(a) 01 月 01 日 01 時 (b) 05 月 01 日 01 時 (c) 08 月 01 日 01 時 (d) 11 月 01 日 01 時之溫度分析場

3-2、雨量分析場

理論上，UCK 法的估計效果應優於 OK 法，但雷達雨量受地形干擾、雨滴粒徑分布大小、颱風結構等因素的影響，因此品質不佳。目前 QPESUMS 系統不分雨型，只使用一組 Z-R 關係式來將回波轉換成降雨，但經驗顯示，雷達在颱風期間普遍低估雨量，以莫拉克颱風為例，QPE 低估誤差可超過 50%。因此在颱風期間，UCK 法的估計效果不若預期。未來應重新評估各種雨量估計方法，對於梅雨、雷陣雨等不同雨型的估計成效。OK 法只能應用在估計陸上網格點雨量資訊，不可用在估計海面上的網格，海上的網格點因為距離各站均遠，與雨量站不相關，以克利金法演算，會得到所有測

站的觀測降雨平均值，但 UCK 法可估計海面上的雨量。

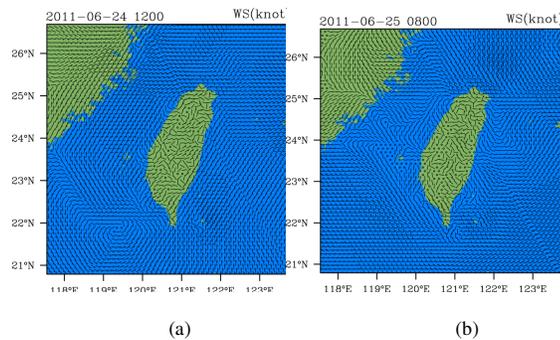
圖二為 2009 年 8 月 8 日 05 時之雨量分析場，應用普通克利金法(OK)估計得之地面網格雨量場與應用聯合通用克利金法(UCK)整合雷達與地面雨量測站所估計得之地面網格雨量場比較。



圖二：2009 年 08 月 08 日 05 時之雨量分析場

3-3、風場分析場

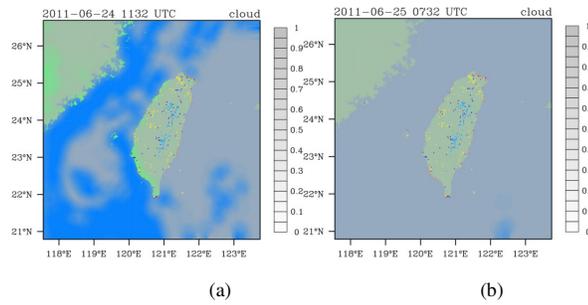
圖三為 2011 年米雷颱風期間以 STMAS-2D 方法分析的風場，由颱風路徑來看，6 月 24 日颱風中心在東經 132 度、北緯 22 度附近；6 月 25 日颱風中心已到東經 126 度、北緯 34 度附近。海面上的風場分析十分符合颱風的中心位置。



圖三：(a)06 月 24 日 12 時 (b)06 月 25 日 08 時之風場分析場

3-4、雲量分析場

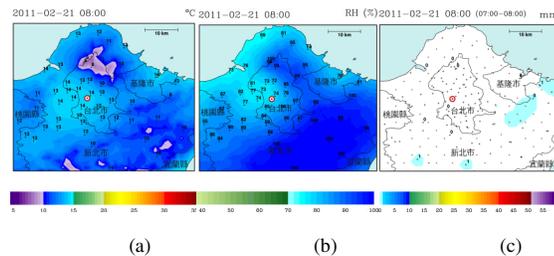
圖四為與 3-3 節同一時間之雲量分析場，颱風接近時雲量明顯增加。



圖四：(a) 06 月 24 日 12 時 (b) 06 月 25 日 08 時之雲量分析場

3-5、花博網頁提供之分析圖

氣象局於 2010 台北國際花卉博覽會期間和台北市政府共同合作，整合氣象監測、預報、服務及宣導等資訊，充分發揮氣象在生活與經濟活動的運用效能。其中，花博網頁上之即時天氣的部分，除了在東側大佳公園碼頭旁與西側圓山展區的氣象觀測站之外，並提供如圖五之花博展區附近 1 公里網格解析度之溫度、溼度和雨量分析圖，圖中紅色圈圈處即為花博展區。



圖五：2011 年 02 月 21 日 08 時(a)溫度(b)溼度(c)雨量之 1 公里網格分析場。

四、系統建置

接近真實的網格點氣象分析場資料是預報上迫切需要的資訊，更可作為格點預報或模式準確度評估與改進之客觀依據。「高解析度網格點氣象分析系統」已經在 99 年開始研發地面真實場(Ground Truth)分析技術，建置相關模組和程式庫，並已完成 2005 至 2010 年包含地表溫度、日最高溫、日最低溫、雨量、地表風、地表溼度、雲量等的歷史重分析真值(Ground truth)資料場。其中，風場由 STMAS-2D 客觀分析方法產出；雲量由本局衛星中心提供；地表溫度、溼度與雨量場則應用通用克利金法與聯合克利金法等統計客觀分析技術產出。已開發模組化程式與作業化自動執行環境，預計

101 年即時自動化真值(Ground truth)分析系統將正式上線以提供最接近真實的大氣環境場狀態描述。本系統的主要目標有以下兩項:

(一)、提供最穩定、即時且品質良好的高解析度網格點真值(Ground truth)氣象分析場，除了將有助於預報員分析即時天氣現況外，並可以協助網格預報產品之校驗以改善小區域天氣預報。更可以協助預報員建立由原先的點預報轉換成面預報的觀念。

(二)、長時間的歷史真值(Ground truth)氣象分析資料將可以作為小區域氣候特徵或天氣系統影響下之小區域溫度、降雨和風場等特徵的研究之用。尤其是在地形複雜的台灣，這樣的小尺度研究更是需要，尤其是對將來發布鄉鎮預報作業有實質的幫助。

各氣象因子的觀測資料是否正確、品質是否穩定乃為影響真值(Ground truth)分析結果成敗非常重要的因子。因此，我們對於各項測站氣象觀測資料包括溫度、露點溫度、雨量、以及相對濕度等，發展出可靠的資料品質檢覈(QA/QC, Quality Control and Quality Assurance)技術，建置資料品質檢覈模組，並且據以重新分析歷史真實氣象場。各觀測資料源本身有不同的 QA 方法，加上適當的時間和空間條件限制可以去除有疑慮的觀測資料，開發 QA 模組並以歷史真值(Ground truth)分析資料做測試，並建置相關自動化作業流程將此研發完成之 QA 模組納入即時真值(Ground truth)氣象分析場產製流程中。

本系統將各重要天氣因子之歷史與即時真值(Ground truth)氣象分析場之資料轉換格式後放入資料庫，並以建置觀測資料 QA 模組與真值(Ground truth)分析診斷模組以達成最佳化之歷史與即時作業化之網格點氣象分析場資料為目標，分析之氣象因子有降水量、地表氣溫、地表風、地表溼度、雲量及日間最高溫與夜間最低溫之網格分析。將此網格資料做格式轉換之後匯入天氣預報輔助系統「天氣整合預報系統(Weather Integration and Nowcasting System, WINS)」以及「預報資訊編輯系統(Forecast Information Editing System, FIES)」，預報人員可以透過以上預報輔助系統看到所有氣象因子網格分析資訊，以協助精緻化預報作業。

五、結論

氣象局將於 101 年 1 月發布鄉鎮預報，高解析度網格點氣象分析系統

的建立將可作為鄉鎮預報產品或模式預報準確度評估與改進之客觀依據。我們對於各項測站氣象觀測資料包括溫度、露點溫度、雨量、以及相對濕度等建置資料品質檢覈模組，並引進資料同化客觀分析方法（STMAS-2D）和客觀分析方法(通用克利金法、普通克利金法)據以重新分析歷史真實氣象場，並建置相關即時真值(Ground truth)氣象分析場自動化作業流程將產品提供至預報輔助系統以供預報人員分析即時天氣現況。

氣象重分析場之歷史和即時資料不僅有助於格點預報指引產品之校驗和大氣環境場之現況即時分析，亦可以協助建立不同天氣系統和季節影響下之小區域的氣候或天氣特徵，以協助精細之鄉鎮天氣預報。

六、參考文獻

Bras, R. L. and Rodriguez-Iturbe, I.: Random functions and hydrology, Addison Wesley, Reading, Mass., 1985.

Kitanidis, P. K, Generalized covariance functions in estimation, *Mathematical Geology*, 25(5), 525-540, 1993.

謝旻耕，1999：中美合作—氣象資料分析及顯示技術轉移，交通部中央氣象局氣象預報中心出國報告。

李天浩、林忠義，2010：評估四種聯合克利金法整合雷達和雨量站觀測估計降雨空間分佈的誤差特性，*中國土木水利工程學刊*，22：1，頁 23-41，2010.03[民 99.03]。

Comparison of Regularized Logistic Models with Linear Regression Models for Precipitation Probabilistic Forecasting

Jheng-Jhong Wang and Yun-Lan Chen

Weather Forecast Center, Central Weather Bureau, Taiwan

64 Kung Yuan Road, Taipei 10048, Taiwan

eMail: jjwang@mfcsv.cwb.gov.tw

phone: 886-2-23491211

Two key questions should be taken into consideration when constructing a statistical forecast model: (1) What will be the proper model assumption (model assumption issue)? (2) How to decide important predictors (variable selection issue)? Searching for those related works in meteorological application, it seemed the combination of linear regression models and forward selection scheme (FS) is the most common choice. In this report, we argue the unfitness of using linear regression to model binary predictants for probabilistic forecasting, such as rainfall events, and give alternative suggestion by applying logistic models. On confronting the over-fitting problem, we introduce LASSO (Least absolute shrinkage and selection operator), which regularizes the fitting process by adding a 1-norm constrain. This approach, proposed by Tibshirani (1996), not only can reduce the estimation variance and provide a more stable final model than those given by stepwise selection, its shrinkage effect producing some coefficients to exactly zero makes it also a good variable selection method. To present the better performance from regularized logistic models, 4 set of combinations were designed and compared in both model-fitting and forecast verification, they are :(1) LPM(Linear Probability Model) with FS (2)Logistic with FS (3)LPM with LASSO (4) Logistic with LASSO. The results meet our expectation and show better forecast skill from the last two sets with LASSO approach than those using forward scheme. Although the suggestion of adopting Logistic-LASSO rather than LPM-LASSO is more based on the issue of model assumption, our results also show overall better fitting and forecast skill in Logistic-LASSO approach. Furthermore, from the Logistic model with FS approach, we see evident over-fitting effect, which shows best fitting but worst forecast skill among the four. This might be the reason why some forecast model developers still prefer LPM, in spite of the improper model assumption. By introducing LASSO, our study tried to demonstrate the regularized logistic models will do a better job for probabilistic forecasting.

Keywords: Logistic model; LASSO; Forward selection; Over-fitting.

鄉鎮逐時天氣預報中央控管系統

李宥樺¹ 張旭¹ 蔡立夫¹ 楊淑蓉²

中央氣象局氣象預報中心¹ 資拓宏宇國際股份有限公司²

摘要

中央控管系統為鄉鎮逐時天氣預報計劃底下子系統之一，所提供服務包含系統監控、程序流程控制、統一來源資料倉儲。鄉鎮逐時天氣預報計劃相關子系統分別為高解析度網格點之氣象分析子系統、高解析度數值天氣系集預報子系統、高解析度統計預報子系統及互動智慧天氣辨識子系統。為達到降低維運人力以及穩定的自動化流程，提供流程控管、監控服務。使用流程控管服務須先在中央控管註冊程序啟動訊號，藉由事件驅動或定時啟動方式將透過SSH(Secure Shell)及RSH(Remote Shell)方式完成其他系統之作業程序並且回報程序處理狀況。中央控管系統監控服務包含CPU、硬碟空間、網路狀態，可設定警示範圍以提醒維護人員通報處理。因氣象局資資料種類繁多，為提高存取效能給各子系統進行資料運算，因此使用高速儲存媒體SAN(Storage Area Network)，讓各子系統能夠使用SAN所提供之LUN (Logical Unit Number)直接存取資料以降低資料傳輸時間成本。FIFOW各子系統伺服器均採用雙機備援，並且主機與輔機資料互相同步，提升系統穩定度、降低作業風險、減少維運人力、提升技術開發人力、服務不間斷持續營運之目的。

關鍵字：中央控管系統、鄉鎮逐時天氣預報計劃、系統監控、程序流程控制、雙機備援

一、前言

繼氣象業務全面電腦化後，自動化作業流程乃是處理氣象局業務重要之經驗。雖已有效降低人力成本，但自動化作業流程伴隨著維運人力的問題。目前系統數量日漸成長，系統風險也相對提高。維運人員之人力也逐漸增長，為有效將低維運人員人力及承受系統風險之壓力，鄉鎮逐時天氣預報計劃 (Fine Information of Formosa Weather以下簡稱FIFOW)透過中央控管系統(簡稱CCTL)掌握流程控管、主輔機監控、雙機備援、統一資料倉儲等機制將系統穩定度提高，可將人力提升至開發領域。FIFOW計劃上除了CCTL以外另有四個子系統分別為高解析度網格點之氣象分析子系統(簡稱GT)、高解析度數值天氣系集預報子系統(簡稱EFS)、高解析度統計預報子系統(簡稱SFM)及互動智慧天氣辨識子系統(簡稱ISWIS)均由CCTL負責所有子系統的流程控管、監控作業、資料來源索取、資料解碼、格式轉換等重要工作，資料來源由中央控管從上游取得後存放在資料倉儲，以利FIFOW所有相關系統順利完成各項任務。

二、硬體架構

FIFOW採用Intel Xeon伺服器級之中央處理器並且各自獨立運作，作業系統均採RedHat Enterprise Linux 5.4，均有相同等級之備援機、有各自獨立空間，內部光纖主幹進行資料傳遞，各子系統資料源均來自共同資料倉儲，統一資料來源管理、產品保存。每日有大量資料需求如觀測資料、網格資料、模式資料等，因此需要高速儲存媒體以降低資料傳輸時間成本。

(一) 硬體評估

中央控管評估各子系統(GT、SFM、EFS、ISWIS)需要即時運算龐大資料後發現NAS(Network Attached Storage)的效能讓各子系統獲得資料所需時間上造成過久的延遲導致氣象相關產品無法在限定之時間內產出，而造成相當大的損失。因此提供專門儲存線上作業用資料的SAN資料倉儲，允許子系統透過光纖通道(Fiber Channel)以小型計算機系統介面協定(Small Computer System Interface Protocols，簡稱SCSI Protocols)所提供的邏輯單元節點(Logical Unit Number，簡稱LUN)。保證上游資料進入SAN空間後，子系統可以立即讀取資料作運算並產出FIFOW相關氣象產品。雖然SAN的成本比NAS高出許多，但能夠在限定時間內完成產品之產製，才是當務之急。

(二) FIFOW整體架構

CCTL所提供的服務如圖1所示，各子系統透過LUN直接取得位於

EVA8000 SAN空間的即時資料，SAN空間有限因此將非即時資料保存到磁帶櫃(Tape Library)，未來需要使用到年代久遠的資料可從磁帶櫃將資料調出，提供模式建模、歷史資料查詢等工作。

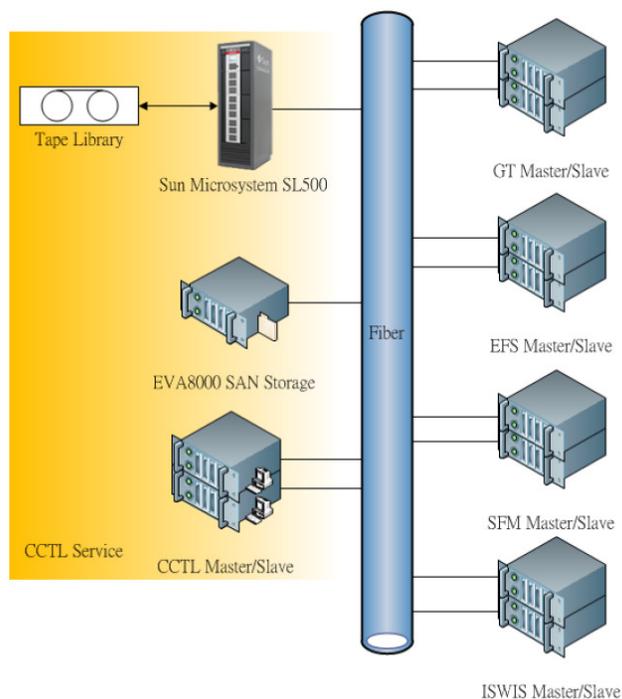


圖1：FIFOW硬體架構

三、 監控備援機制

為落實備援機制，各子系統主輔機會互相監控。當備援機偵測到主機無法運作時，備援機將會取代主機所提供的服務。並且等主機恢復時，立刻進入資料同步之作業，待資料同步完成時再從備援機取回服務權。除此之外也可以由中央控管管理介面得知子系統目前狀態，包含CPU狀態、網路狀態、硬碟狀態。

(一) 主輔機監控備援

每個子系統均有被分配到資料交換用空間如圖2所示，此空間作為主機與備援機之間資料傳遞之暫存空間。利用此空間主機與備援機都會將自己的狀態定時寫入此空間並且讀取對方目前狀態。不管是主機或備援機狀態沒有更新就會取得對方的服務權。資料分成檔案與資料庫，檔案同步使用rsync[1]，資料庫同步使用環狀抄寫(Ring Replication) [2]如圖3所示。當主機發生無法運作狀況時備援機會立刻使用IP Take Over[3]方式，取得主機的IP，當主機恢復後立刻進行檔案與資料庫同步，資料同步完成主機取回IP與服務權。

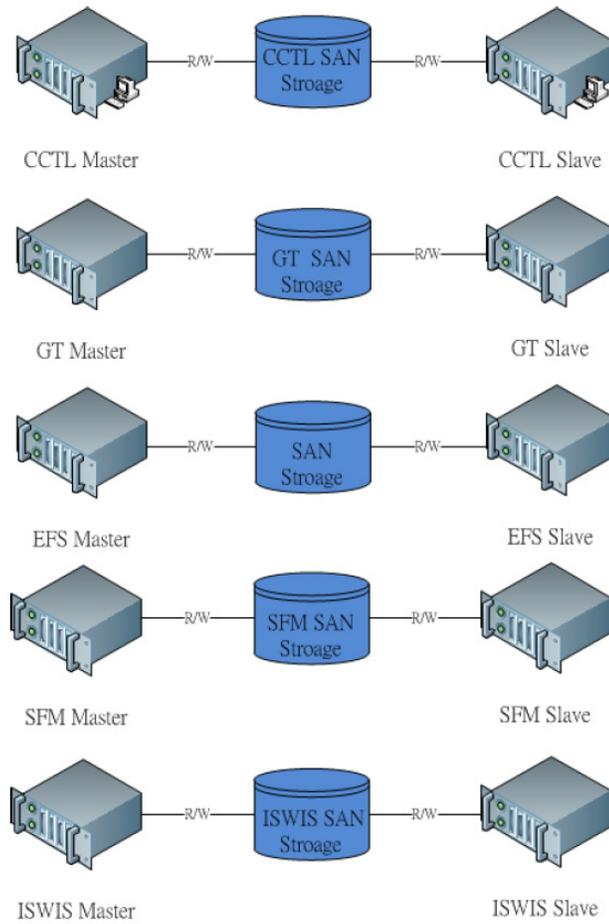


圖2：資料交換空間

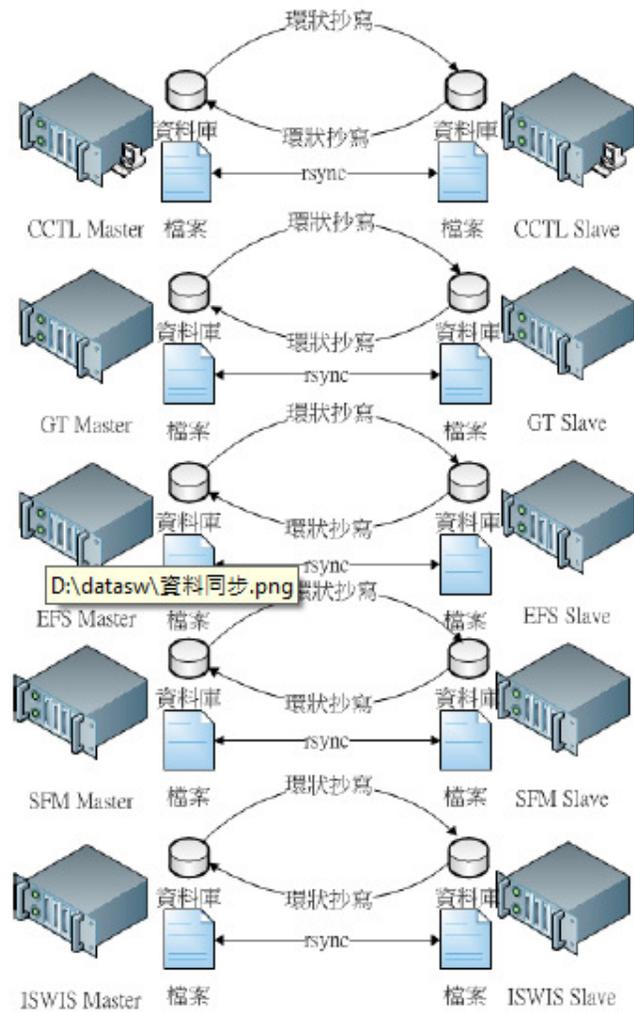


圖3:資料同步

(二) 子系統狀態監控

在CCTL管理介面當中顯示每分鐘偵測一次子系統狀態，結果如圖4至6分別為CPU、硬碟、網路每分鐘監控資訊。

偵測時間▼	主機	警示水位(%)	目前水位(%)
2011-05-19 16:54:01	CCTLsv1	80	12
2011-05-19 16:53:01	CCTLsv1	80	8
2011-05-19 16:52:01	CCTLsv1	80	8

圖4：CPU每分鐘監控資訊

偵測時間	主機	位置	目前水位(%)	高水位(%)	低水位(%)	百分比(%)	狀態
2011-05-19 16:50:01	CCTLsv1	/users2	1715681020	90	0	86	OK
2011-05-19 16:50:01	CCTLsv1	/home	21714272	80	0	47	OK
2011-05-19 16:50:01	CCTLsv1	/users3	360223892	90	0	74	OK

圖5：硬碟每分鐘監控資訊

偵測時間	主機	偵測項目 [系統/主機]	狀態
2011-05-19 16:53:08	CCTLsv1	172.16.7.31	OK
2011-05-19 16:53:08	CCTLsv1	172.16.7.33	OK
2011-05-19 16:53:08	CCTLsv1	172.16.7.73	FAIL

圖6：網路每分鐘監控資訊

四、資料倉儲

資料倉儲分成線上作業用與非線上作業用之倉儲，線上作業用之倉儲需要高速的資料傳遞效率因此使用SAN，歷史資料部分為非上線作業用均保存到磁帶櫃以節省空間成本。磁帶櫃系統為Sun Microsystem SL500 LTO4，使用SAN 1TB空間當作磁帶櫃緩衝區，平常各子系統作業用資料超過作業用時間就會透過中央控管系統將資料移到緩衝區，其他子系統只有唯讀權限。當緩衝區儲存容量超過80%就會發送任務信號啟動CCTL程序，將緩衝區資料移進磁帶櫃，磁帶櫃存取機制如圖7所示。

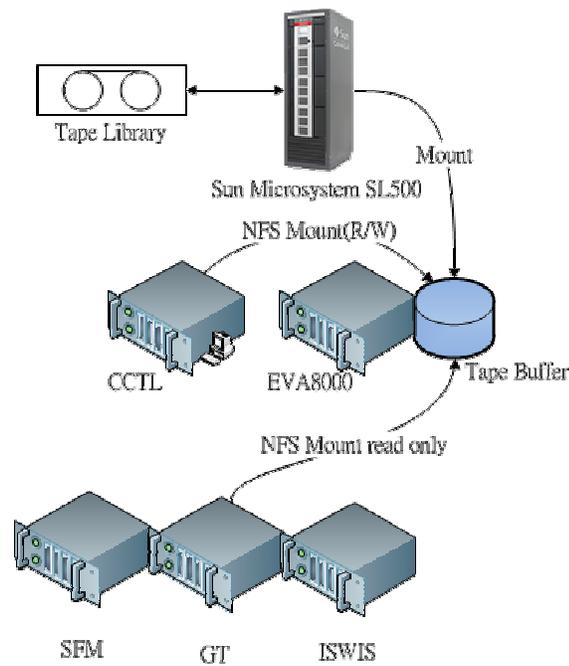


圖7：磁帶櫃存取機制

各子系統之之作業流程均由CCTL控管，各子系統使用流程控管服務之前會先詢問CCTL主機位置，得知主機位置後進行註冊。註冊完畢後，CCTL開始發送程序啟動訊號給該子系統完成作業程序如圖9所示。

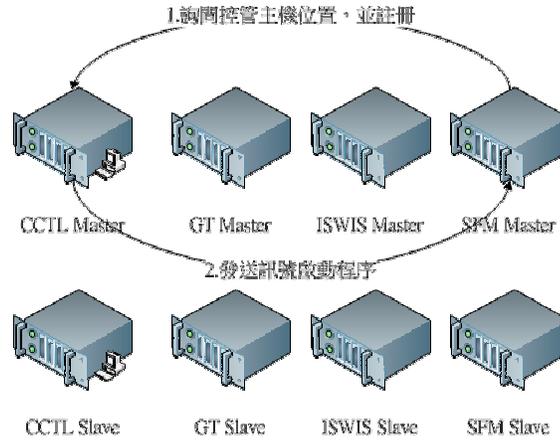


圖9: 流程控管機制

(三) 流程控管設定

各子系統需要由CCTL做流程控管時必須進行訊號註冊、工作組態設定、設定訊號觸發工作如圖10至12，以防止CCTL收到未註冊之訊號而執行未授權之程序。

signal name :

signal name

CCTL_QC_POSTPROCESS

CCTL_QC_PROCESS

GT_INT_CLOUD

圖 10：訊號註冊

Host	<input type="text" value="G1sv1.mtc.cwb"/>
Account	<input type="text"/>
Connection Mode	<input type="text" value="SSH"/>
Active Status	<input type="text" value="Enabled"/>
Working Directory	<input type="text" value="Working Directory"/>
Command	<input type="text" value="-t"/>
Description	<input type="text" value="run INT_CLOUD (for 25m per hour of INT CLOUD)"/>

圖 11：工作組態設定

signal name : trigger task :

圖 12：設定觸發工作

六、 結論

CCTL系統是相當有彈性的流程控制系統，可自訂流程串接。當然流程串接越複雜會導致作業時間拉長，因此串接流程必須經管理者以及開發者做詳細溝通，以達成高效能的控管作業流程，並且程式運作正常與否均可以確實回報處理狀況。雖然在串接過程當中需要花費較多心思以及時間與程式設計師溝通，只要將流程定義完善日後系統方可保證穩定運作並且有效率地執行。因氣象局資料來源龐大，產出產品所占用空間也不容小覷，因此也依照各子系統需求定義了合適的資料保存時間集儲存規範以節省資料倉儲整體空間。

七、 未來展望

目前監控介面是純文字表示，未來將全面圖形化，使監控人員操作容易上手。流程控制部分將串接完成之程序，會自動產生流程圖，並且顯示目前正在執行之程序。若程序發生錯誤可以選擇此流程重做，或是全部流程重做。目前資料庫資同步部採用Replication，未來使用資料庫叢集(Database Cluster)[4]來完成資料庫備援，CCTL將進行需求評估，不排除使用運算叢集(Computing Cluster)[5]架構來擔任需要高運算量之程序。

八、 參考文獻

[1] Tridgell, P. Mackerras,1996:"The rsync algorithm", Department of Computer Science Australian National University Canberra. ACT 0200 Australia.

[2] M. Kindahl, L. Thalmann,2009:" MySQL Replication Tutorial ",My SQL Conference & Expo .

[3] C. FETZER , N. SURI ,2003:"Practical Aspects of IP Take-Over Mechanisms", Proceedings of 9 th IEEE International Workshop on Object-oriented Real-time Dependable Systems (WORDS 2003), pages 250 - 254.

[4] S. Ganęcarski, H. Naacke, E. Pacitti, and P. Valduriez.2002:“Parallel processing with autonomous databases in a cluster system”, In Int. Conf. On Cooperative Information Systems (CoopIS).

[5] M. Baker, et al,2000:“Cluster Computing White Paper”, University of Portsmouth.

[6] R. Love., 2005: “Kernel korner: intro to inotify”, linux Journal, volume 2005, Issue 139, Pages: 8.

利用Cressman客觀分析法於 網格化臺灣自動雨量觀測資料之探討

洪景山 曹嘉宏*
中央氣象局

(中華民國一百年二月二十二日收稿；中華民國一百年八月五日定稿)

摘要

本研究針對Cressman客觀分析法，分別就影響半徑、修正次數以及測站與格點關係進行數值分析，說明逐次修訂法如何改善Cressman 客觀分析的效能，以及系統性地探討如何建構一個有效且快速的設計，並提出其之所以可行的理由。同時將研究結果，評估其在網格化臺灣地區自動雨量觀測資料之效能。

研究結果指出，Cressman逐步修正法將使測站的觀測增值逐步收斂為0，影響半徑會決定觀測增值收斂的速度，影響半徑越小，觀測增值和分析場收斂的速度越快，可更快在分析場中得到觀測所呈現的極值。Cressman 逐步修正法無可避免地會導致過度內插（overshooting）的問題發生，此一過度內插的問題和觀測點與格點位置的分佈有關。影響半徑越小，越少的疊代次數即可能出現過度內插的現象。當觀測點越接近分析格點時，分析值越接近觀測值，因此過度內插的問題會受到抑制。

最佳的Cressman 逐步修正法應考慮在修訂過程中逐次減少影響半徑，如此可取得觀測所掌握的大尺度結構，並在分析場中得到觀測所呈現的極值，同時也能有效抑制過度內插的問題。

關鍵字：Cressman 逐步修正法、影響半徑

一、前言

Cressman 客觀分析法 (Cressman 1959、曾1987) 為一種逐步修正法，在給定之猜測場下，逐步修正觀測增值，並依給定的權重內插至網格系統中。此一客觀分析法的權重函數僅與距離有關，其概念簡單而且計算快速、方便，在大部分情況下可以得到不錯的分析品質。Cressman 客觀分析法於 1970 年代早期被美國國家氣象中心 (National Meteorological Center) 採用，做為數值天氣預報系統之客觀分析技術。時至今日，Cressman 客觀分析法仍被廣泛應用於氣象資料之客觀分析，以做為各式研究或作業發展之用 (Ghirardelli and Glahn 2010、Chen et al. 2010、Irving et al. 2010、Collis et al. 2010)。

臺灣地區地形複雜，地面觀測系統受限於地形，其空間分佈非常不均勻，而產製網格化之氣象觀測產品，不論在研究或作業應用都有其必要性。但必須注意的是，網格化氣象觀測產品的品質要求會因不同目的而有所不同。例如做為模式初始場，網格資料必需考慮到變數之間的平衡和猜測場所提供的誤差統計資訊等，因此，最好的初始場是要能得到最好的預報結果；在這前提下，格點分析場不必然要和觀測一致。而做為天氣分析和校驗的目的，網格資料必須忠於觀測系統所提供的資訊，也就是在靠近觀測點附近的格點分析場應該要和觀測一致，而分析場應該盡量避免產生觀測所沒有的資訊，例如特定擬合函數下產生的過度內插 (overshooting) 問題。

李 (2009) 系統性地討論包括距離平方倒數權重法、Cressman 客觀分析法、Barnes客觀分析法 (Barnes 1964)、最佳內插法(Gandin 1965)、普通克利金法、以及通用克利金法 (Bras and Rodriguez-Iturbe 1985、Kitanidis 1993) 等應用於臺灣地區地面溫度觀測網格化之可行性評估，研究指出，無論使用何種內插法，當使用平地測站估計高山格點溫度時，將會產生低估的現象，反之，當使用高山測站估計平地格點溫度時，將會產生高估的現象。因為臺灣地區平地較山區有更多的測站，因此整體來說會有低估的偏差。但使用通用克利金法對於網格化地面溫度觀測可以取得極大的優勢，不僅內插誤差的均方根較小，同時系統性低估的程度也較小。此外，除了克利金法外，其他的分析方法都有相鄰測站導致過度權重的問題，這必須透過篩選測站 (data thinning) 方得以解決。惟使用克利金法需要大量的歷史資料以建構測站彼此之間的協方差矩陣，技術門檻也較高。

本研究主要是針對Cressman 客觀分析法，分別就影響半徑、修正次數以及測站與格點關係進行數值分析，說明逐次修訂法如何改善Cressman客觀分析的效能，以及系統性地探討如何建構一個有效且快速的設計，並提出其之所以可行的理由。同時將研究結果，評估其在網格化臺灣地區自動雨量觀測資料之效能。希望能在Cressman客觀分析法的基礎上，提供雨量觀測資料格點化的建議，以做為天氣分析與校驗之用。第二、三章分別簡介

Cressman 逐步修正法與實驗設計，第四章討論使用Cressman 逐步修正法進行雨量客觀分析可能遇到的問題與解決方案，最後則是結論。

二、Cressman逐步修正法介紹

Cressman客觀分析法為一種逐步修正法，在格點上第 n 次修訂的分析場可由影響半徑範圍（ R ）內的觀測值權重取得：

$$A_i^n = F_i^{n-1} + \frac{\sum_{k=1}^N W_{ik} \cdot (O_k - F_k^{n-1})}{\sum_{k=1}^N W_{ik}} \quad (1)$$

其中 i 為網格點， k 為測站， N 是影響半徑內的測站總數。 O 為觀測， F 為猜測值，在本研究中 F^{n-1} 即為 A^{n-1} ，第一次分析時猜測場設為0。另外， F_k 由 F 經雙線性內插取得。 $A_i^n - F_i^{n-1}$ 稱為分析增值（analysis increment）， $O_k - F_k^{n-1}$ 稱為觀測增值（observation innovation）。 W_{ik} 為權重函數，表為

$$W_{ik} = \begin{cases} \frac{R^2 - r_{ik}^2}{R^2 + r_{ik}^2}, & \text{if } r_{ik} < R \\ 0, & \text{if } r_{ik} > R \end{cases} \quad (2)$$

R 為影響半徑， r_{ik} 是格點和測站的距離。(2)之權重函數為距離的函數，當 r_{ik}

越小或 R 越大時，觀測點對格點的權重越大，權重函數對 R 和 r_{ik} 的關係如圖

1。

Cressman 客觀分析法為各向同性，具有簡單、計算快速、可導入猜測場資訊等優勢，但其無法涵蓋觀測誤差的資訊，也無法表達觀測點彼此之間的關係，同時分析品質和測站分佈有密切關係，影響半徑的決定需主觀判斷等因素，為其不足之處。

三、實驗設計

本研究使用中央氣象局467 個自動雨量站(測站分佈如圖2)，針對2010年9月19日0000UTC至9月19日0300 UTC，凡那比颱風侵台期間之3小時累積雨量，使用Cressman 客觀分析法將雨量觀測內插至經度 $118^\circ \sim 123^\circ$ 、緯度 $21^\circ \sim 26.5^\circ$ ，解析度為 0.04° 之網格系統中，並分析Cressman 客觀分析法各個參數對雨量客觀分析的影響，以及提出最佳的內插策略。其目的是要做為天氣分析和校驗之用，因此客觀分析結果必須忠於觀測系統所提供的資訊，也就是在靠近觀測點附近的格點分析場應該要和觀測一致，而分析場應該

盡量避免產生觀測所沒有的資訊。

四、分析與討論

圖3是使用不同影響半徑 (R) 之單次Cressman 分析結果。圖中顯示，當影響半徑逐漸增加時，分析的結果趨於平滑，這是合理的結果；因為影響半徑越大，對格點有影響的觀測也就越多，觀測資料經權重後使得分析場趨於平滑。反過來說，當影響半徑太小時，有可能導致分析場出現沒有觀測到的小尺度現象以及許多空隙，如圖3a所示。此外，圖3也顯示分析的極值隨著影響半徑增加而減小， R 由 0.12° 、 0.16° 增加至 0.20° 時，分析場於臺灣中部地區的極值分別為183.5、171.4和118.1 mm，觀測最大值則為183.5 mm。在實務上，我們通常希望分析場能保有一定程度的大尺度結構，但又能掌握觀測所呈現的極值。

單次Cressman 客觀分析法的分析結果由影響半徑決定，當影響半徑增加，分析場趨於平滑時，極值卻也同時減少，因此單次Cressman客觀分析法的分析結果，單憑調整影響半徑的大小很難達到我們在客觀分析實務運作上的要求。

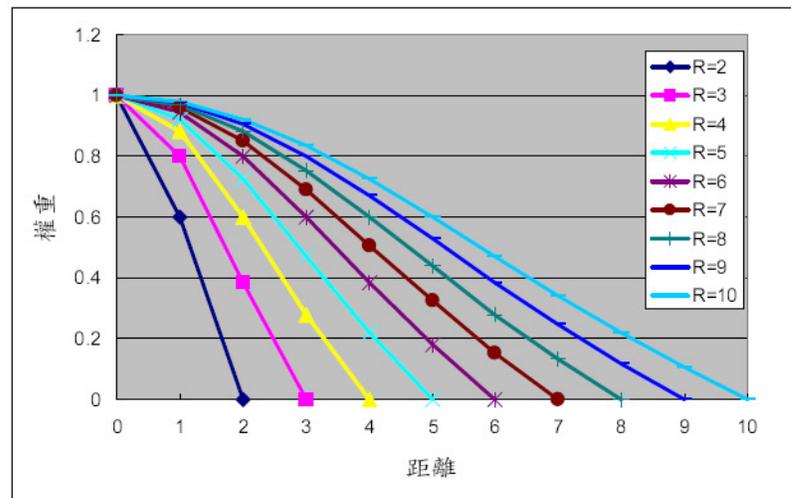


圖 1 Cressman客觀分析法之權重函數對 R 和 r_{ik} (單位為公里)的關係。

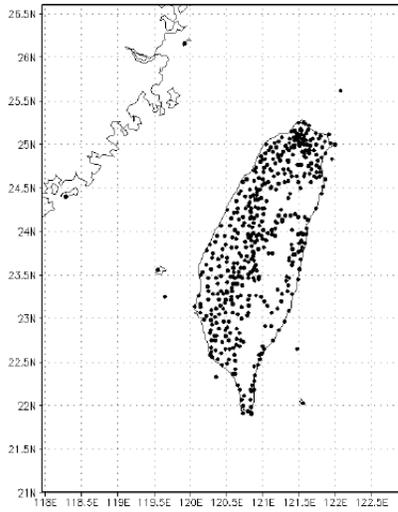


圖 2 中央氣象局自動雨量站分佈圖，總共467站。

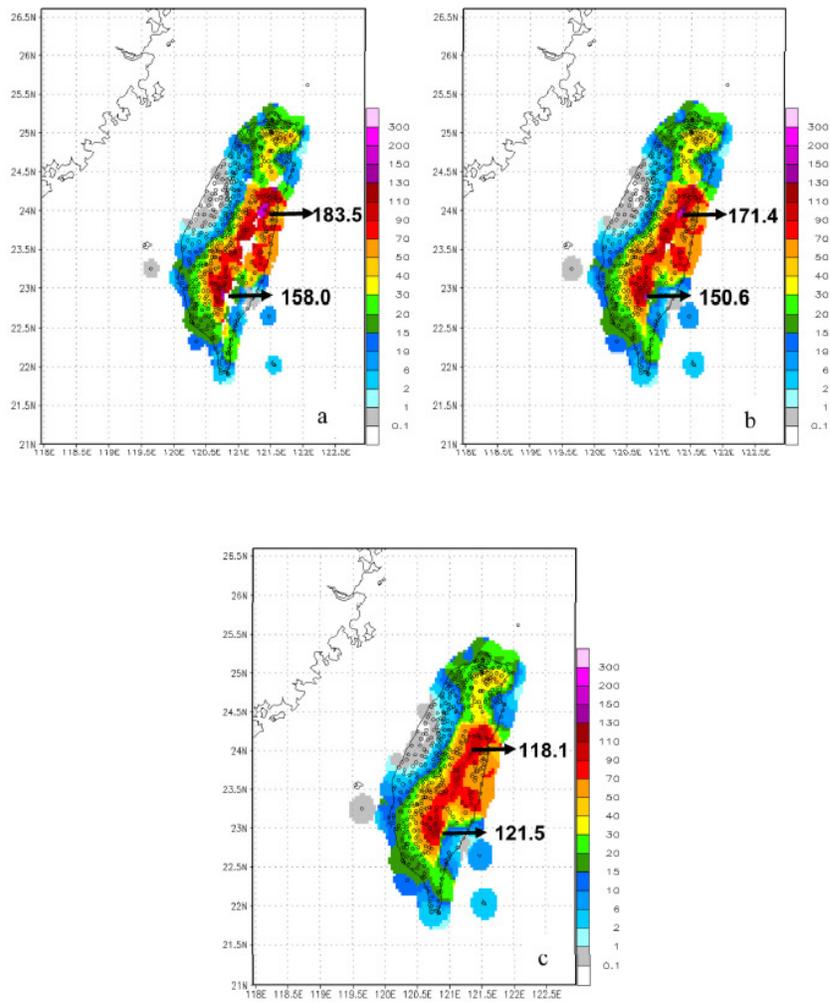


圖 3 不同影響半徑(R)之分析結果，a、b、c分別為 $R=0.12^\circ$ 、 0.16° 和 0.20° ，空心圓點為測站的位置。

為了使分析場能保有一定程度的大尺度結構，但又能掌握觀測所呈現的極值，在此使用Cressman 逐步修正法，也就是(1)式中第1次分析的 F 設為0，第2次的 F 是第一次的分析場，第2次的分析我們就稱為1次疊代之後的分析，以此類推。圖4為影響半徑 0.20° ，但分別為疊代2次和 次之後的分析結果。和圖3c（影響半徑同為 0.20° ）比較，3個分析場的勻滑度相去不遠，但隨著疊代修正次數的增加，臺灣中部地區分析的極值也隨之加，分別由圖3c之118.1 mm 增加至182.1 mm（圖4a）和202.1 mm（圖4b）。這是因為我們將每次疊代之後的觀測增值經權重後疊加到前一次的分析場之上，因此使用Cressman 逐步修正法似乎可以改善單次Cressman 客觀分析的不足之處，也就是能使分析場保有一定程度的大尺度結構，但又掌握觀測所呈現的極值。但圖4 同時顯示出另一個嚴重的問題，也就是當使用Cressman 逐步修正法會產生比觀測更大的極值，如圖4b，疊代3次的極值（202.1mm）大於觀測的極值（183.5 mm），這相當於過度內插（overshooting）的問題。此外，圖4b 顯示分析場局部極值均發生在觀測所不及之處，如圖4b之A、B、C、D。所以，我們有必要瞭解使用Cressman 逐步修正法如何導致過度內插的過程，並亟思防範之道，以取得最佳的使用策略，這是本文的研究重點。

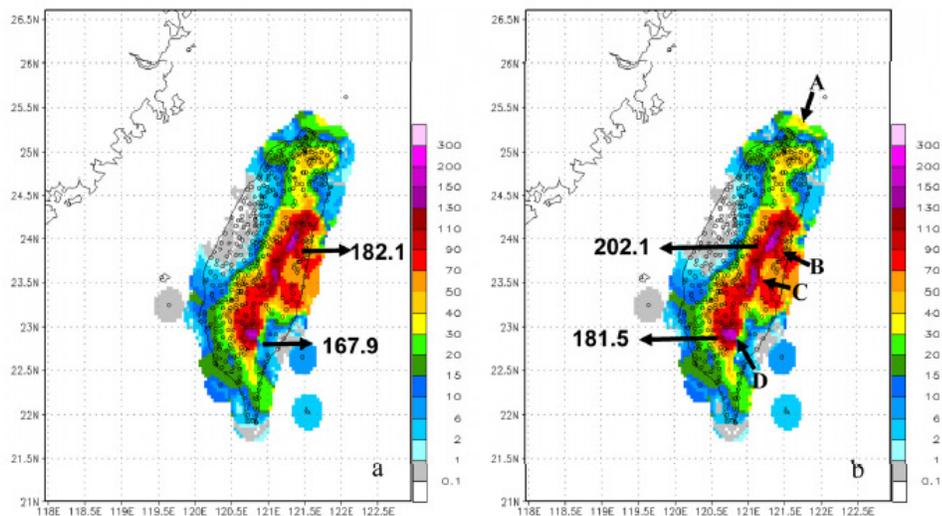


圖 4 影響半徑為 0.20° ，但疊代2次(a)和3次(b)之分析結果。

為進一步探討Cressman 逐步修正法導致的過度內插問題，在此使用一簡化的環境來進行分析。考慮一個一維系統，格點座標分別為1、6和11，觀測座標為3.5和8.5，並分別標示為G1、G2、G3、O1和O2，O1和O2 之觀測分別為183.5mm和94 mm。圖5為影響半徑10，不同疊代次數（實線）之分析場。圖中顯示，隨著疊代次數增加，座標3.5和8.5 之觀測增值逐次減少，最終收斂並趨近於0，這符合逐次修正的預期。因為觀測和格點座標位置均勻分佈，因此G2的分析場為O1和O2的平均，這相當於內插的過程，分析值

不隨疊代次數的增加而改變。O1的觀測增值為正、O2的觀測增值為負，G1之分析增值為O1和O2之觀測增值的權重，權重分別為0.88和0.28，因此G1每次的分析都會有正的分析增值，反之，G3的分析每次都會有負的分析增值。和觀測增值類似，逐次修正的分析增值隨著修正次數的增加而減小，最終收斂並趨近於一個定值，這些分析增值逐次累加的結果最終導致過度內插的現象。

以上例子顯示，單次的Cressman客觀分析法不會產生過度內插的問題，在Cressman逐步修正法，於類似圖5的網格和測站分佈情形下，G1和G3的分析相當於外插過程，雖然O1和O2的觀測增值在逐次修正中會趨近於0，但分析增值逐次累加的結果卻導致過度內插，圖4b之A、B、C、D等處之過度內插的現象也都是發生在缺乏觀測的地方，其形成的道理和G1或G3是一樣的。所有類似Cressman逐步修正法的客觀分析法，包括距離平方倒數權重法、Barnes客觀分析法等，只要是使用逐步修正，都無可避免地會有以上過度內插的問題。

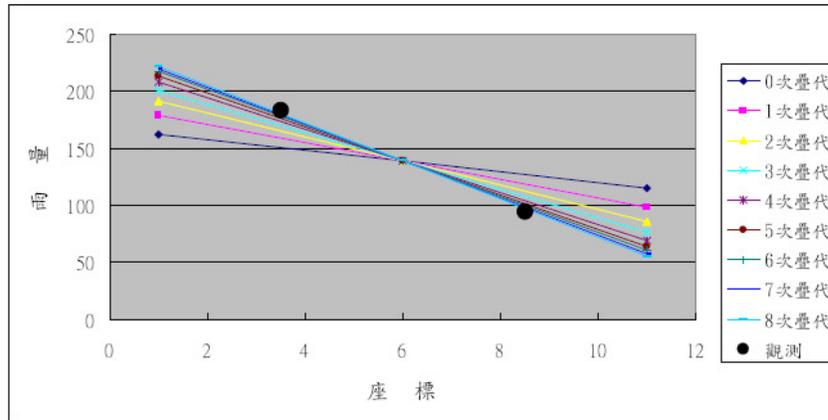


圖 5 不同疊代次數(實線)之分析場(G1、G2和G3)與觀測(黑點，O1和O2)，橫軸為座標位置，縱軸為雨量(mm)。

圖6是考慮不同影響半徑下觀測增值和G1格點分析場隨疊代次數之變化。圖中顯示，觀測增值隨著逐次修正次數的增加而逐漸變小，最終收斂趨近於0，但收斂速度隨著影響半徑的增加而減緩。因為觀測增值在逐次修正中收斂且趨近於0，分析增值也會收斂，最後，無論影響半徑為何，分析場最終都達到一個常數；但影響半徑較小時，其收斂的速度較快。因此，Cressman逐步修正法中，影響半徑會決定觀測增值和分析增值在逐次修正中減小的速度，但只要修正的次數夠多，分析場會收斂到一個定值，此一定值不會因影響半徑不同而有所不同。對本案例之G1格點而言，不管影響半徑為何，此一分析場最後均將收斂，但過度內插至228.25 mm。更進一步引伸，Cressman逐步修正法中產生過度內插的問題和觀測點與格點位置的分佈有關，和影響半徑沒有直接的關係。但在有限修正次數下，影響半徑越

小，觀測增值和分析場收斂的速度越快，我們可以在有限的疊代次數中將觀測增值減小到可以接受的程度，換言之，可更快在分析場中得到觀測所呈現的極值。相對地，當影響半徑很大時，各個觀測幾乎都有相同的權重，這時候逐次修正法每次修正的量就很小，對分析場調整的效率較差。再者，如果分析場會有過度內插的情形，影響半徑越小，其導致過度內插的現象會越快出現。

為進一步探討觀測點與格點位置分佈對分析場的影響，圖7將O1的座標由3.5改為2，如此更接近G1。圖中顯示，因為O1和G1的距離變小，因此O1的觀測增值對G1的分析場權重變大，G1的分析場會更接近O1的觀測值，最終G1的分析值收斂至199.2 mm，和圖6相比（收斂至228.25 mm），過度內插的程度減小了。因此，當觀測點越接近分析格點時，分析值越接近觀測值，因此過度內插的問題也會受到抑制。

圖8則是將O1和O2 觀測點座標改為4和8，等於增加觀測場的梯度。圖中顯示，當觀測場的梯度增加後，過度內插的程度也隨之增加，雨量分析值最後收斂至250.63 mm。台灣地區山區雨量通常較大，平地雨量較小，因此容易產生觀測雨量梯度較大的現象，此亦使得過度內插的可能性和嚴重性增加。

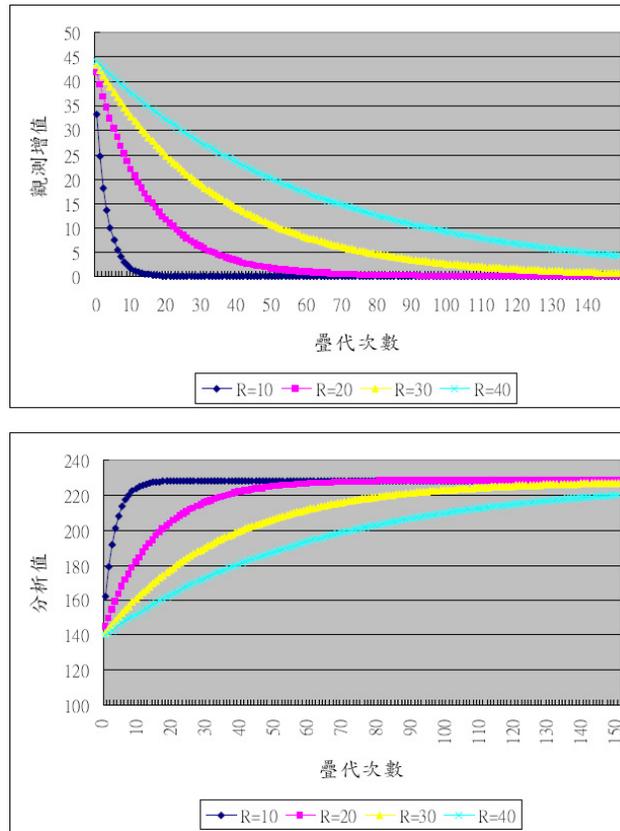


圖 6 O1點之觀測增值(a)和G1點之分析點(b)在不同影響半徑下隨疊代次數之變化。

綜合以上之分析，Cressman 逐步修正法中，影響半徑會決定觀測增值收斂的速度：影響半徑越小，觀測增值和分析場收斂的速度越快，可更快在分析場中得到觀測所呈現的極值。過度內插的問題和觀測點與格點位置的分佈有關，影響半徑越小，觀測增值收斂的速度越快，如果有過度內插的問題，其也將越快出現。當觀測點越接近分析格點時，分析值越接近觀測值，因此過度內插的問題也會受到抑制。所以根據以上之分析，我們可以擬定一個分析的策略：在逐次修正過程中逐步減小影響半徑，其效益為：

1. 第1次分析使用較大的影響半徑，可以取得觀測所呈現的大尺度結構。
2. 第2次以後影響半徑逐次變小，可更快在分析場中得到觀測所呈現的極值。
3. 因為影響半徑變小，(2)式中顯示只有越靠近分析格點的觀測站才會對分析有影響，因此可以有效抑制過度內插的問題。

圖9為根據以上的設計理念，將圖4之個案，配合測站分佈的密度以及根據主觀測試的結果，分別使用 0.20° 、 0.10° 和 0.07° 之影響半徑所做的2次疊代分析。圖中顯示，其分析結果在大尺度結構和圖3c類似，但同時也取得觀測的極值，最重要的是在此沒有過度內插的問題產生，分析的極值為182.9 mm，此和觀測極值183.5 mm 相當。此一分析結果符合使用Cressman 逐步修正法做為天氣分析和校驗的目的：客觀分析結果必須忠於觀測系統所提供的資訊，也就是在靠近觀測點附近的格點分析場應該要和觀測一致，同時分析場也沒有產生觀測所沒有的資訊。

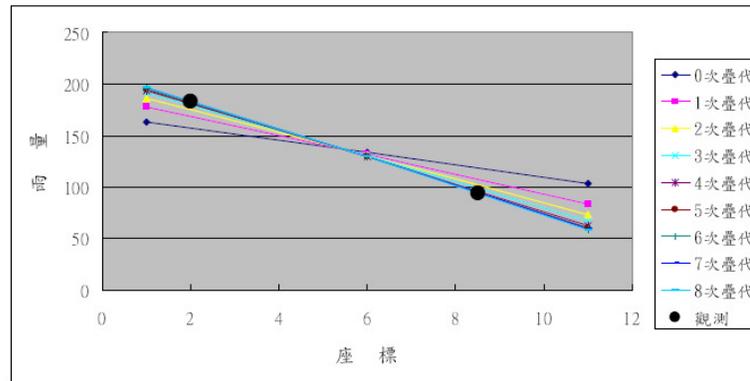


圖 7 同圖5，但O1觀測點座標為2。

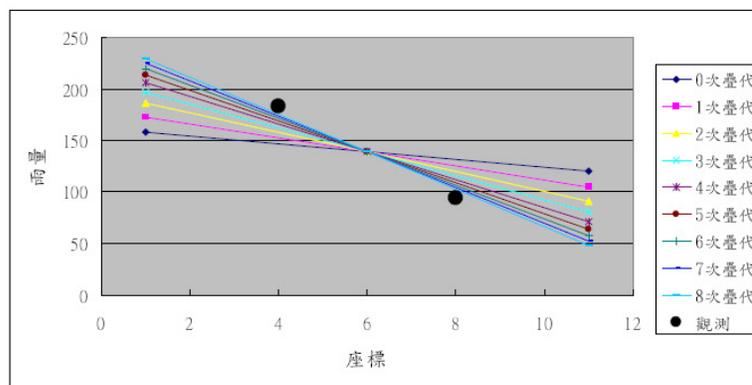


圖 8 同圖5，但O1和O2觀測點座標為4和8。

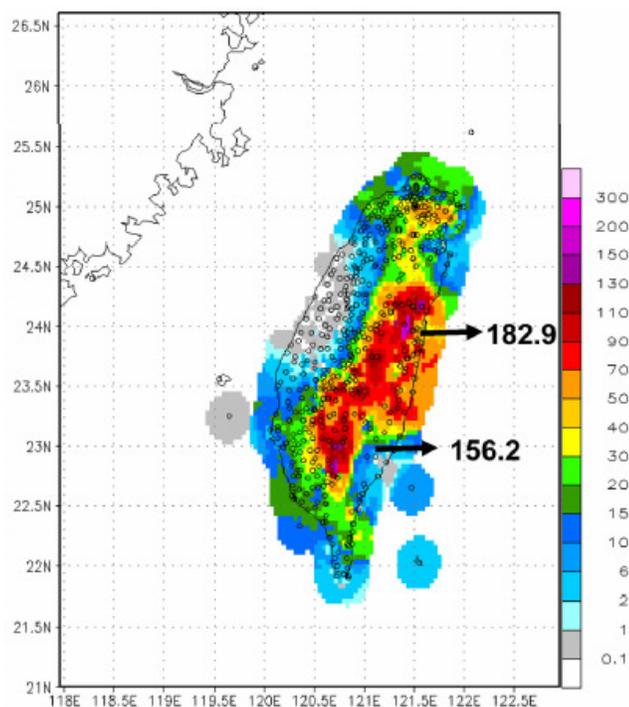


圖 9 同圖4但為2次疊代，影響半徑分別為 0.20° 、 0.10° 和的 0.07° 分析結果。

五、結論

本研究主要是使用傳統的Cressman 客觀分析法，針對臺灣地區自動雨量網的觀測資料進行網格化研究，並評估Cressman 客觀分析法的最佳使用策略，其目的是希望能在Cressman客觀分析法的基礎上，提供雨量觀測資料格點化的建議，以做為天氣分析與校驗之用。在實務上，我們通常希望分析場能保有一定程度的大尺度結構，但又能掌握觀測所呈現的極值。單次Cressman 客觀分析法的分析結果由影響半徑決定，當影響半徑增加，分析場趨於平滑時，極值卻也同時減少，因此單次Cressman客觀分析法的分析結果，單憑調整影響半徑的大小很難達到我們在客觀分析實務運作上的要求。

為了使分析場能保有一定程度的大尺度結構，但又能掌握觀測所呈現的極值，在此使用Cressman 逐步修正法進行客觀分析。使用Cressman 逐步修正法可以改善單次Cressman 客觀分析的不足之處，也就是能使分析場保有一定程度的大尺度結構，但又掌握觀測所呈現的極值。但使用Cressman 逐步修正法會產生分析比觀測更大的極值，也就是過度內插（over shooting）的問題。

在一個簡化的實驗設計下，於類似圖5 的網格和測站分佈情形中，G1和G3的分析相當於外插過程，逐步修正過程中觀測增值雖會逐次趨近於0，但分析增值逐次累加的結果可能導致過度內插的現象，此一過度內插的問題和觀測點與格點位置的分佈有關，是逐步修正法中無法避免的現象。

進一步分析顯示，在Cressman 逐步修正法中，影響半徑會決定觀測增值和分析增值在逐次修正中減小的速度，但只要修正的次數夠多，分析場都會收斂到一個定值，此一定值不會因影響半徑不同而有所不同。在有限修正次數下，影響半徑越小，觀測增值和分析場收斂的速度越快，因此我們可以在有限的疊代次數中將觀測增值減小到可以接受的程度，換言之，可更快在分析場中得到觀測所呈現的極值。相對地，當影響半徑很大時，各個觀測幾乎都有相同的權重，這時候逐次修正法每次修正的量就很小，對分析場調整的效率較差。再者，如果分析場會有過度內插的情形，影響半徑越小，其導致過度內插的現象會越快出現。進一步探討觀測點與格點位置分佈對分析場的影響，分析結果指出當觀測點越接近分析格點時，分析值越接近觀測值，因此過度內插的問題可以受到較好的抑制。最後，觀測雨量梯度越大，過度內插的可能性和嚴重性也隨之增加。

綜合以上之分析，我們可以擬定一個分析的策略：在逐次修正過程中逐步減小影響半徑，其效益為：

1. 第1次分析使用較大的影響半徑，可以取得觀測所呈現的大尺度結構。
2. 第2次以後影響半徑逐次變小，可更快在分析場中得到觀測所呈現的極值。
3. 因為影響半徑變小，(2)式中顯示只有越靠近分析格點的觀測站才會對析有影響，因此可以較有效地抑制過度內插的問題。

根據以上的設計理念，在本研究中將影響半徑設為 0.20° 、 0.10° 和 0.07° 所做的2 次疊代分析中顯示，其分析結果可以取得降水之大尺度結構，同時也能得觀測的極值，最重要的是在此過度內插的問題可以獲得較為有效地抑制，此一分析結果符合使用Cressman 逐步修正法做為天氣分析和校驗的目的。

此外，針對Cressman 逐步修正法所產生的過度內插問題，使用者可以在分析過程中，限定格點分析值不得超過影響半徑內的觀測值，或者限制

其不得產生負的雨量，這些限制也可以有效抑制過度內插的問題。當然，依據本研究所提出的分析策略，不同程度的調整仍會產生不同的結果。但本研究經由數值分析，在Cressman 逐步修正法中系統性地探討如何建構一個有效且快速的設計，並提出其之所以可行的理由，此對於國內使用Cressman 客觀分析法針對自動雨量觀測資料進行客觀分析可以有正面的效益。

致謝

作者感謝審查者針對本研究之分析策略所提出的建設性建議，讓本文得以更加完整。本研究在中央氣象局氣象資訊中心提供之計算支援以及國科會計畫NSC 99-2625-M-052 -006 -MY3 支援下完成。

參考文獻

- 曾忠一，1987：氣象與遙測資料的客觀分析。中央研究院物理研究所，410頁。
- 李天浩，2009：應用克利金法建立高解析度網格點氣象數據之研究。交通部中央氣象局研究計畫成果報告（MOTC-CWB-98-2M-03），134頁。
- Barnes, S. L., 1964: A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor.*, 3, 396 – 409.
- Bras, R. L. and I. Rodriguez-Iturbe, 1985: *Random Functions and Hydrology*, Addison-Wesley Publishing Company.
- Chen T.-C., S.-Y. Wang, M.-C. Yen, A. J. Clark, J.-D. Tsay., 2010: Sudden Surface Warming – Drying Events Caused by Typhoon Passages across Taiwan. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49, 234-252.
- Collis S., A. P., K.-S. Chung., 2010: The Effect of Radial Velocity Gridding Artifacts on Variationally Retrieved Vertical Velocities. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 27, 1239-1246.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 87, 67 – 374.

Gandin, L. S., 1965: Objective Analysis of Meteorological Fields. Israel Program for Scientific Translations, 242 pp.

Ghirardelli J., B. Glahn., 2010: The Meteorological Development Laboratory' s Aviation Weather Prediction System. Wea Forecasting, 25, 1027-1051.

Irving D., I. Simmonds, K. Keay., 2010: MesoscaleCyclone Activity over the Ice-Free Southern. Ocean: 1999 – 2008. J. Climate, 23, 5404-5420.

Kitanidis, P. K. 1993: Handbook of Hydrology, edited by D. R. Maidment, McGraw Hill.

Objective Analysis of the Rain Gauge Observations by Using the Cressman Analysis Method

Jing-Shan Hong and Jia-Hong Cao

Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

(manuscript received 22 February 2011 ; in final form 5 August 2011)

ABSTRACT

This study is to investigate the impact factors of the Cressman objective analysis method to grid the rain gauge observations from Automatic Rainfall and Meteorological Telemetry System managed by Central Weather Bureau. The impact factors include the influence radius, number of successive correction, and the distance between the observation and grid point. The results show that the successive correction will result in the observation innovation to converge to 0, and the overshooting problem. The influence radius will speed up the convergence, while the longer distance between the observation and grid point and the larger observation gradient will enhance the overshooting problem. The optimal solution to apply the Cressman objective analysis method is to reduce the influence radius during the successive adjustment to capture the larger scale structure, the observation extreme value, and well control the overshooting problem.

Key Words: Cressman Objective Analysis Method, Influence Radius, Overshooting