

應用普通克利金內插雨量差值法修正雷達定量降雨估計推估計地面雨量分析場之研究

陳怡彰¹ 顧欣怡² 黃于盈² 李天浩³ 鄭安孺¹ 于芃¹

多采科技有限公司¹

交通部中央氣象局²

國立臺灣大學水工試驗所³

摘要

氣象局的降雨觀測資訊主要是來自於測站觀測與雷達定量降雨估計(Quantitative Precipitation Estimation, QPE)。雷達 QPE 可提供面的觀測資訊，但往往會低估降雨量；測站可提供較為精確的雨量觀測，但僅為點的資訊，本研究研發「應用普通克利金內插雨量差值法修正雷達定量降雨估計推估計地面雨量分析場」分析技術(QPE difference interpolation given by Ordinary Kriging technique，簡稱 dOK 法)，計算測站雨量觀測與其所在位置之雷達 QPE 差值，以普通克利金法將插值內插到各 QPE 網格點，再將內插值加上雷達 QPE 後，得到解析度 0.0125 度之地面雨量分析場。將 0.0125 度地面雨量分析場推廣應用於氣象局「圖形化預報編修系統」(Graphic Forecast Editor, GFE)2.5 公里網格範圍的方法，則是根據 QPE 網格與 GFE 網格的映射關係，取最大值做 GFE 網格的雨量。取最大值而不使用算術平均的目的，是為了保留高強度降雨的資訊、避免低估降雨量，以利外界防災作業應變需求。

與傳統的雨量內插方法比較，dOK 的優勢有二：(1)克利金法應用資料本身彼此的相關性來決定測站的內插權重，得到最小估計誤差的客觀分析結果；(2)若雷達 QPE 有缺漏時，dOK 法仍能進行演算，所估計得的地面雨量場與只使用測站資料應用普通克利金法(OK 法)內插的分析結果相同。以 2014 年雨量資料，應用觀測系統試驗(Observation System Experiment)評估本研究所研發之 dOK 地面雨量場分析技術效益，分析結果顯示，dOK 法對局部地區小尺度降雨系統的掌握，優於 OK 法。

一、前言

雨量資料對於民生用水、農業灌溉、工業發展、乃至於防災策略的擬定是必要的資訊，正確的降雨觀測或預報資訊對於防災救災尤其重要。目前氣象局預報人員藉由實際測站觀測、衛星、雷達等即時觀測資料，歸納出台灣地區的實際天氣概況，因此需要的接近真實觀測資料的即時雨量分析場，供預報結果校驗之所需。氣象局現行的地面雨量場內插方法是使用測站資料應用普通克利金法(OK 法)內插至 2.5 公里網格解析度範圍，雖然雨量站觀測資料較為精確，但 OK 法可能受限於雨量站分布不均，在雨量站稀少的區域無法準確描述出區域的降雨。因此本研究提出應用「普通克利金內插雨量差值法修正雷達定量降雨估計推估計地面雨量分析場」分析技術，計算測站雨量觀測與其所在位置之雷達 QPE 差值，以普通克利金法進行內插，強化區域性小尺度降雨系統的內插成果。

二、普通克利金法理論背景

普通克利金法(Ordinary Kriging technique)估計地面雨量場是假設空間隨機變數具有常態性，平均值為常數但其數值未知，內插估計值為

$$\hat{\theta}(u_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \theta(u_i) \quad (1)$$

其中， $\theta(u_i)$ 表第 i 站觀測降雨，為 λ_i 為第 i 站的權重係數， U_i 表位置向量 (x_i, y_i) 。估計誤差變異數為

$\sigma_{\hat{\theta}_0}^2 = E[(\hat{\theta}(u_0) - \theta(u_0))^2]$ ，使估計誤差變異數為最小的必要條件是： $\sigma_{\hat{\theta}_0}^2$ 對任意權重係數 λ_i 的微分必須為零。將上式代入估計誤差變異數 $\sigma_{\hat{\theta}_0}^2$ ，並且對 λ_i 微分， $i = 1, 2, \dots, n$ ，整理可得以下方程式：

$$\frac{\partial \sigma_{\hat{\theta}_0}^2}{\partial \lambda_i} = 2 \sum_{j=1}^n \lambda_j \text{cov}(u_i - u_j) - 2 \text{cov}(u_i - u_0) = 0$$
$$\Leftrightarrow \sum_{j=1}^n \lambda_j \text{cov}(d_{ij}) = \text{cov}(d_{i0}) \quad (2)$$

不偏估條件為：

$$E[\hat{\theta}(u_0)] = \sum_{i=1}^n \lambda_i E[\theta(u_i)]$$

$$\Rightarrow m = m \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3)$$

普通克利金法的權重係數必須同時滿足(2)式的「最小估計誤差」和(3)式的「不偏估條件」。利用

Lagrange multiplier, ν , 組合兩種條件, 可以得到以下的矩陣方程式:

$$\begin{bmatrix} cov(d_{11}) & cov(d_{12}) & \dots & cov(d_{1n}) & 1 \\ cov(d_{21}) & cov(d_{22}) & \dots & cov(d_{2n}) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ cov(d_{n1}) & cov(d_{n2}) & \dots & cov(d_{nn}) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cov(d_{10}) \\ cov(d_{20}) \\ \vdots \\ cov(d_{n0}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cov(d_{11}) & cov(d_{12}) & \dots & cov(d_{1n}) & 1 \\ cov(d_{21}) & cov(d_{22}) & \dots & cov(d_{2n}) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ cov(d_{n1}) & cov(d_{n2}) & \dots & cov(d_{nn}) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} cov(d_{10}) \\ cov(d_{20}) \\ \vdots \\ cov(d_{n0}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

普通克利金法的估計誤差變異數為:

$$\sigma_{\hat{\theta}_0}^2 = E \left[\left(\hat{\theta}(u_0) - \theta(u_0) \right)^2 \right]$$

$$= \sigma^2 - \nu - \sum_{i=1}^n \lambda_i cov(d_{i0}) \quad (4)$$

半變異圖為以測站與測站間的距離對半變異數的資料對, 套配函數而得。本研究選用同半變異圖為不包含金塊效應的指數型模式:

$$\gamma(d_{ij}) = \sigma^2 [1 - \exp(-d_{ij}/L)] \quad (5)$$

其中, 參數 L 稱之為影響長度, $\exp(-d/L)$ 相當於相關係數, 當 $d = 0.7L$ 時, $\gamma(d) \approx cov(d) \approx 0.5\sigma^2$, 亦即當兩站距離約 0.7 倍的影響長度時, 雨量相關係數約為 0.5。

三、地面分析雨量場內插技術

本文提出的「應用普通克利金內插雨量差值法修正雷達定量降雨估計推估地面雨量分析場」分析技術 (QPE difference interpolation given by Ordinary Kriging technique, 簡稱 dOK 法) 是以都卜勒雷達定量降雨估計 (Quantitative Precipitation Estimation, QPE) 資料與雨量站的差值, 利用普通克利金法 (Ordinary Kriging technique) 解析地面分析雨量場。

雨量站觀測資料來源為降雨強度觀測資料。雷達估計降雨來源為解析度為 0.0125 度之定量降雨估計產品 (QPE)。取得同時間兩種不同觀測系統的資料後, 將雨量站觀測雨量減去該雨量站所在位置所對應之 QPE 網格點的 QPE 降水估計值, 得到各站雨量差值。並應用普通克利金法內插估計各網格點的雨量差值。

得到各網格點的雨量差估計值後, 將雨量差估計值加上雷達 QPE, 得到各網格點的雨量估計值。若雨量估計值小於 0, 則令該網格雨量為 0。

此方法內插解析度為 0.0125 度的網格點, 而氣象局「圖形化預報編修系統」(Graphic Forecast Editor, GFE) 為 2.5 公里解析度的網格點, 如圖 1 所示。因此需利用映射(mapping)方法將 QPE 網格資料映射到 GFE 網格上, 以利氣象局後續使用。映射的方法是對於每個 GFE 網格點, 搜尋中心點座標落在 GFE 網格內的 QPE 網格點, 如此每個 GFE 網格內可搜尋到 4 至 6 個 QPE 網格點, 如圖 2 之示意圖所示, 其中虛線為 GFE 網格範圍, 橘色十字為 GFE 網格中心點, 黑色十字為 QPE 網格中心點, 以藍色虛線所框之 GFE 網格為例, 其會搜尋到編號 A、B、C、與 D 四個網格。然後將所搜尋到的 QPE 網格雨量配置給 GFE 網格, 以得到 GFE 網格雨量。

將 QPE 網格雨量配置給 GFE 網格的方法, 可以取算術平均或是權重估計, 考量此兩種方式都可能低估局部地區的降雨量, 為提供外界防災應用需求, 建議採用最大值作為 GFE 的降雨量。以圖 2 藍色虛線所框之 GFE 網格為例, 假設 A、B、C、D 四個 QPE 網格分別為 20.7、22.0、19.6、20.8 mm/hr, 則取 22.0 mm/hr 作為此 GFE 網格點雨量值。

此外, GFE 與 QPE 網格場, 非僅解析度不同, 涵蓋範圍亦不同。將二網格網重疊比較, 結果為圖 3 所示, 圖中, 黑色區塊為 QPE 網格範圍、棕色區塊為 GFE 網格範圍、橘色斜線區塊則為 GFE 網格超出 QPE 網格的範圍。對於超出 QPE 網格範圍的 GFE 網格點, 只能以最近距離的 QPE 網格雨量推估這些超出範圍的 GFE 網格雨量。

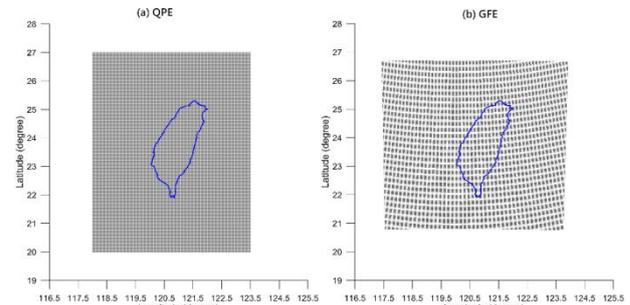


圖 1 氣象局 QPE 及 GFE 網格點分布圖

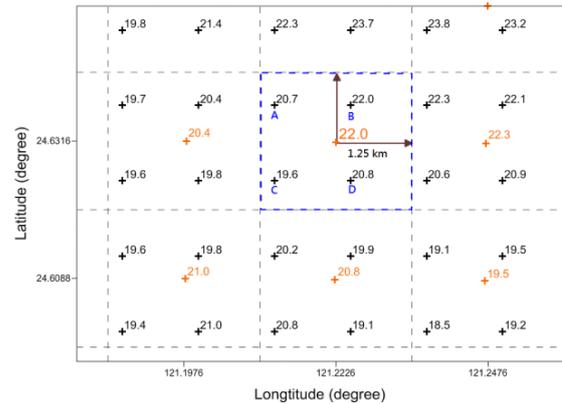


圖 2 GFE 網格擷取 QPE 網格雨量資料示意圖

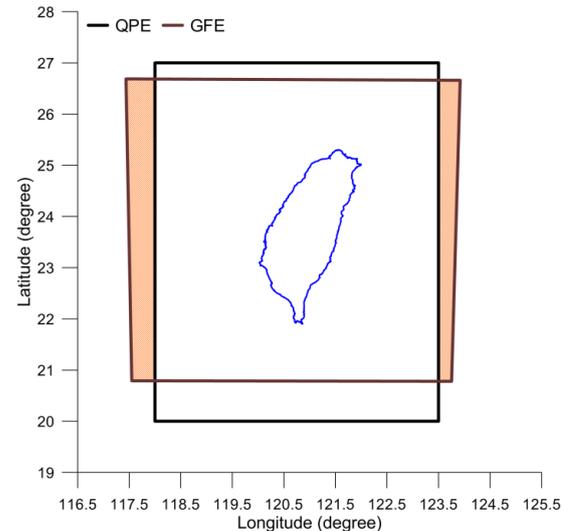


圖 3 GFE 網格及 QPE 網格範圍比較示意圖

四、分析結果與討論

挑選幾場颱風個案比較雷達 QPE 降雨、QPESUMS、OK 法及 dOK 法地面雨量場的差異，以及利用歷史資料進行遮蔽測站實驗，評估 dOK 法成效。

(一) 事件分析

以 2013/07/13 08:00 蘇力颱風、2014/06/03 12:00 鋒面事件、以及 2015/08/08 03:00 蘇迪勒颱風降雨資料為例，比較 QPE、QPESUMS、OK、以及 dOK(GFE Domain)地面雨量場差異，結果如圖 4~6 所示。

圖 4 的案例中，OK 法跟 dOK 法均顯示高雄沿海地區有強降雨，但於 QPE 及 QPESUMS 中則無此現象。根據雨量站觀測資料，2013/07/13 08:00 氣象局 CIV420 鳳雄站降雨為 7.0mm/hr，但環保署 Ze000048 橋頭站降雨達 34.0mm/hr，Ze000049 仁武站降雨亦有 18.0mm/hr。QPESUMS 之所以未顯示高雄沿海一帶強降雨，應該是 QPESUMS 系統未接收環保署降雨資料的緣故。類似情形也發生在泰武鄉及瑪家鄉一帶，水利署 01Q250 泰武(1)站雨量達 23.0mm/hr，01Q910 阿禮站雨量達 33.0mm/hr，01Q920 新瑪家站雨量則達 45.0mm/hr，於 OK 及 dOK 法估計該地區雨量達 50.0mm/hr 以上，但 QPESUMS 中此地區有雨量但值偏小，原因是在 2013 年 07 月時，氣象局 QPESUMS 系統尚未接收水利署的資料，而本計畫為事後分析，因此納入了水利署的資料，由此也可見，在偏遠地區設置雨量站的重要性。綠島地區，QPE 及 QPESUMS 中顯示雨勢達 10mm/hr 以上，但 OK 及 dOK 法估計則偏小，此乃由於當時 C0S730 綠島站的觀測雨量僅有 0.5mm/hr，影響 OK 及 dOK 之運算結果。

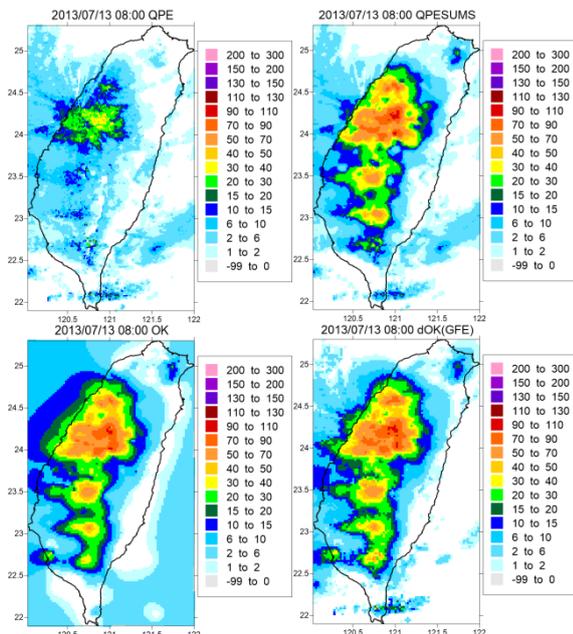


圖 4 2013/07/13 08:00 蘇力颱風事件雨量場結果比較

圖 5 的案例中，雷達偵測到南投山區有一條雨帶，QPE 強度約為 10~20mm/hr 之間，但附近一代雨量站如合歡山 C0F860 梨山、C1F9W0 德基站、C1H860 瑞

岩站、C1H000 翠峰等站觀測到降雨均僅為 6.0~6.5mm/hr，因此 OK 法無法反映出這條雨帶，而 dOK 法卻可以。

圖 6 的案例中，由於海面上缺少測站資料，因此 OK 法無法反映出臺灣東南方外海之降雨，但 dOK 可以。雖然如此，dOK 法可靠度與雷達 QPE 的準確度有關，如果雷達 Z-R 關係錯估測站地區的降雨量，則 dOK 亦會錯估，QPESUMS 也是如此，但 dOK 法對於近海雨量的估計效果，較 QPESUMS 為佳

整體而言，dOK 與 QPESUMS 內插效果近似，對於雨量站較稀疏地區，仰賴雷達資料提供降雨資訊。dOK 法對局部地區小尺度降雨系統的掌握，較傳統 OK 法為好。

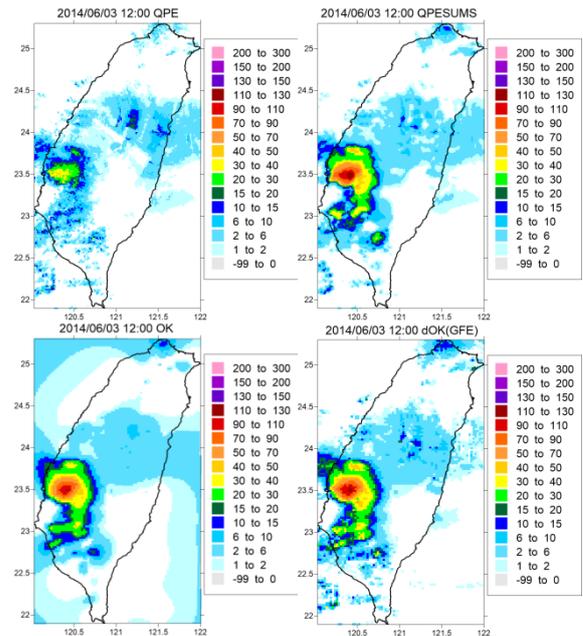


圖 5 2014/06/03 12:00 鋒面事件雨量場結果比較

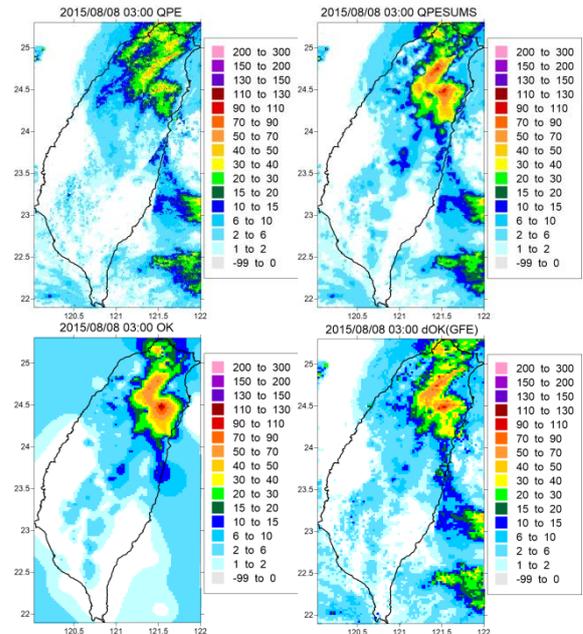


圖 6 2015/08/08 03:00 蘇迪勒颱風事件雨量場結果比較

(二) 遮蔽測站實驗分析

評估克利金法估計降雨量效益的方法是採用觀測系統實驗(OSE)。作法是每次遮蔽一個測站(假設該站無觀測資料),以其他站迴歸趨勢係數與變異圖參數,然後用所建立的模型來估計被遮蔽測站的雨量,並將其與實際觀測值比較,計算估計誤差標準偏差。由於,零雨量的資訊會稀釋估計誤差標準偏差,導致無法正確判斷內插方法的良窳,因此在計算時只針對非零雨量的資料進行分析。

以 2014 年氣象局設置於台灣島內的人工站雨量資料分別用 OK 法及 dOK 法做遮蔽測站實驗,比較其估計誤差標準偏差如圖 7 所示。圖中,黑色圓圈為 OK 法估計誤差標準偏差、藍色十字為 dOK 法估計誤差標準偏差。整體而言 dOK 法估計誤差較 OK 法小,表示 dOK 法推估地面雨量分析場較接近測站觀測資料。dOK 法適用性是與雷達 QPE 品質有關,若雷達 QPE 偏差過大,則該區域 dOK 法估計成效亦可能不如預期,未必會優於 OK 法。因此如何確保雷達資料品質的穩定性,應是值得持續關注的課題。

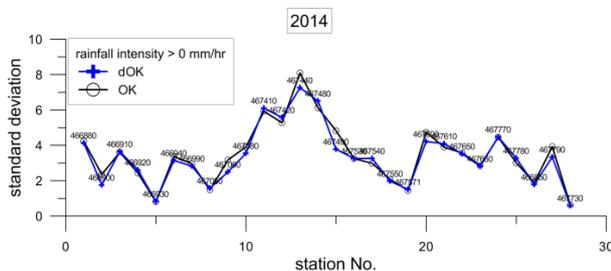


圖 7 2014 年氣象局人工站估計標準偏差分析圖

五、結論

本研究提出的「應用普通克利金內插雨量差值法修正雷達定量降雨估計推估地面雨量分析場」分析技術是以都卜勒雷達定量降雨估計資料與雨量站的差值,利用普通克利金法解析地面分析雨量場。並根據 QPE 網絡與 GFE 網絡的映射關係,取最大值推廣到氣象局「圖形化預報編修系統」網絡上。

此方法應用資料本身彼此的相關性來決定測站的內插權重,得到最小估計誤差的客觀分析結果。此外,若雷達 QPE 有缺漏時,dOK 法仍能進行演算,所估計得的地面雨量場與只使用測站資料應用普通克利金法(OK 法)內插的分析結果相同。

而 dOK 法可靠度與雷達 QPE 的準確度有關,如果雷達 Z-R 關係錯估測站地區的降雨量,則 dOK 亦會錯估。因此若雷達品質不一,部分 dOK 法估計成效可能不如預期。由前述分析可知 dOK 法對局部地區小尺度降雨系統的掌握,優於 OK 法。

六、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絡點氣象數據研究」期末報告書,2009。
交通部中央氣象局,「小區域暨災害性天氣資料分析與