「臺灣長期氣候資料整集分析」計畫研究(6) —
克利金法網格化測站雨量觀測資料作業化流程研究

馮智勇[1] 林佑蓉[1] 詹智雄[2] 沈里音[2]
多采科技有限公司[1] 中央氣象局氣象科技中心[2]

摘 要

由於普通克利金法(Ordinary Kriging, OK)是假設空間存在未知的常數平均值，當應用於網格化臺灣全區測站雨量觀測資料時，易於局部區域零星降雨事件中的零雨量觀測處產生不合理結果，應改採簡單克利金法(Simple Kriging, SK)予以避免。為建立使用克利金法網格化測站雨量觀測資料的作業化流程，本研究提出以比較半變異圖函數積分長度與測站代表距離為切換機制，以期省去人為判別步驟。

測站代表距離的選擇方式是先將兩兩測站距離製作直方圖(Histogram)並且累積各組個數，而累積個數超過測站數的組別(或次組)平均距離即為測站代表距離。當半變異數圖積分長度小於測站代表距離時，代表屬於局部區域零星降雨情況，採用SK法網格化測站雨量觀測；若半變異數圖積分長度大於測站代表距離時，則採用OK法。

以2015年4月12日20時累積12小時雨量為例，臺北與花蓮區域出現零星降雨，最大為大坑站(C0T9E0)的15.0 mm、其次為松山機場(466960)的12.1 mm及加路蘭山(C0T9H0)的12.0 mm，而西半部地區則全無降雨。以OK法網格化後發現，西半部地區零降雨測站雖為零雨量，但其四周格點的雨量值卻為OK法估計之常數平均值1.1 mm，造成面化圖中出現許多雨量於小範圍內急遽變化的不合理區域。此係因半變異數圖套配所得的積分長度僅1 km，小於雨量測站代表距離所致，改用SK法則可得到較為合理網格化結果。

關鍵字：雨量網格化、克利金法、半變異圖積分長度

一、前言

克利金法(Kriging technique)是根據資料在空間中分布的統計特性，決定線性內插係數的一種技術。在資料符合不同趨勢條件假設下，克利金法可分為「普通克利金法」(Ordinary Kriging，簡稱OK)、「簡單克利金法」(Simple Kriging，簡稱SK)與「通用克利金法」(Universal Kriging，簡稱UK法)，其計算流程依序分為結構分析與最佳線性不偏估估計兩步驟，適合發展為自動化作業流程。中央氣象局預報中心於99年度引進克利金法並逐步應用於面化測站觀測資料為高解析網格化資料[1]、資料檢覈[2]與資料補遺[3]等作業。

當物理量為雨量觀測值時，在假設面化區域內的雨量趨勢符合「平均值為未知常數」的條件下，適合選擇採用OK法進行相關作業。然而，當OK法應用於台灣只有局部地區測站觀測到零星降雨的情況時，容易於各地零雨量觀測處出現雨量面化值於小範圍內急遽變化至OK法估計之常數平均值的不合理現象。針對局部地區零星降雨的情況，可以假設雨量平均值為零，而改用假設已知雨量平均值的SK法進行面化。

為了提供面化作業流程可依照降雨情況自動判斷採用OK法或SK法進行計算的機制，本研究提出比較由結構分析測站雨量觀測資料所得的「半變異圖」(semi-variogram)函數積分長度與測站代表距離為依據而進行切換的機制，以期省去人為判別步驟。以下首先說明由測站空間分布估計測站代表距離的方式，再行介紹OK法與SK法的計算方式，最後以藉由實際案例呈現測試結果。

二、測站雨量網格化作業流程

當取得一組具有N個測站的雨量觀測資料時，首先以兩兩測站距離的直方圖決定測站代表距離，並以雨量觀測資料套配指數型半變異數圖函數後，當半變異圖函數積分長度小於測站代表距離時，代表屬於局部區域零星降雨情況，採用SK法；反之，則採用OK法。

2.1 測站代表距離的估計方式

將N*(N-1)/2個兩兩測站距離製作直方圖後(以橫軸為距離，縱軸為個數)，由第一組開始累積個數，並選擇累積個數超過N的組別(若已知部分測站空間分布較為密集，則可改而選擇次組)的平均距離為測站代表距離，代表N個測站的平均最短距離。

從製作原始(raw)半變異圖的過程來看，當N個測站普遍觀測到降雨時，套配指數型半變異數圖函數所得的積分長度不應小於測站代表距離；另一方面，當僅有部分測站觀測到零星降雨時，半變異數圖函數積分長度必將小於測站代表距離。

2.2 普通克利金法

OK法是假設隨機變數平均值為未知常數，線性估計方程式為：

$$\hat{Z}(\mathbf{u}_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(\mathbf{u}_i) \tag{1}$$

假設天氣要素 $Z(\mathbf{u})$ 的平均值為m，則不偏估條件要求：

$$E\left[\hat{Z}(\mathbf{u}_0)\right] = E\left[\sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(\mathbf{u}_i)\right] \Rightarrow m = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot m$$
$$\Rightarrow \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1 \tag{2}$$

利用Lagrange multiplier v 結合最小估計誤差變異數條件的n個方程式(n為測站數)與此不偏估條件式，得到n+1組聯立方程式如下，以求解n+1個未知數 $\lambda_1, \lambda_2, \cdots \lambda_n, v$ 。

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \cdot cov(d_{ij}) + v = cov(d_{i0}) \quad \text{for } i = 1, 2, \cdots, n \\ \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1 \end{cases} \tag{3}$$

估計誤差變異數為：

$$E\left[\left\{\hat{Z}(\mathbf{u}_0) - Z(\mathbf{u}_0)\right\}^2\right] = \sigma_z^2 - v - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot cov(d_{i0}) \tag{4}$$

2.3 簡單克利金法

在已知常數平均值時，SK法是先將資料扣除此平均值，再進行半變異數圖套配以及權重係數值計算。線性估計式同為式(1)，而其n組聯立方程式為：

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \cdot cov(d_{ij}) = cov(d_{i0}) \quad \text{for } i = 1, 2, \cdots, n \tag{5}$$

估計誤差變異數為：

$$E\left[\left\{\hat{Z}(\mathbf{u}_0) - Z(\mathbf{u}_0)\right\}^2\right] = \sigma_z^2 - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot cov(d_{i0}) \tag{6}$$

三、案例測試與分析

3.1 使用資料

測試個案選擇氣象局局屬143個測站(包含46站、C0站與C1站)於104年04月12日20時的累積12小時雨量值資料，降雨主要發生於花蓮與台北地區，最高為大坑(C0T9E0)的15.0 mm，其次為松山機場(466960)的12.1 mm以及加路蘭山(C0T9H0)的12.0 mm，而西半部地區則無降雨紀錄。

3.2 測站代表距離計算

圖1為案例使用143個測站觀測所得的原始半變異圖(空心圓點)、實驗半變異圖(實心圓點)與指數型半變異圖函數套配結果(藍線)，積分長度為1.0 km，而變異數為9.1°C^2，此外，圖中同時以淡紅色長條呈現兩兩測站距離直方圖，組距為5公里。以直方圖上方標示的各組個數進行累加，前三組個數依序為34、111與117個,因此選擇第三組的平均距離12.5 km為測站代表距離。

圖2為採用OK法面化雨量觀測值得到GFE格點(2.5公里解析度)範圍台灣本島網格化結果，可見台灣西半部低區出現許多斑點。此現象是因為OK法面化結果具有保留測站觀測值的特色，因此西半部零雨量觀測測站處維持零值，然而離開該觀測點後則依照積分長度僅有1公里的半變異數圖函數變化至OK法對於未知平均值常數的估計值1.1 mm。

由於積分長度套配結果為1.0 km，小於測站代表距離，代表臺灣本島非普遍發生降雨情況，各地雨量平均值應為零，因此採用SK法進行面化如圖3所示，只有觀測到降雨的測站四周網格有面化0.1 mm以上的估計值，而零降雨觀測測站地區則為零雨量估計值，明顯較圖2合理許多。

四、結論與建議

針對局部地區零星降雨的情況，使用普通克利金法全台測站雨量觀測為網格化資料時，在零雨量觀測測站四周易發生雨量內插值於小範圍內急遽變化的不合理現象。此時，改用簡單克利金法並假設雨量平均值為零，則可予以避免。

實作於自動化作業流程中，可藉由半變異數圖函數套配的積分長度為採用OK法或SK法的判斷依據：當積分長度小於測站代表距離時，採用SK法；若積分長度大於測站代表距離時，則採用OK法。

建議使用克利金法進行雨量資料檢覈或者補遺時，實作此自動化切換OK法與SK法的流程。

五、參考文獻

1.交通部中央氣象局，2009:「應用克利金法建立高解析度網格點氣象數據之研究」委託研究計畫成果報告

2.鄭安孺、李天浩、顧欣怡、高慧萱、陳怡彣，2010: "即時雨量資料品質檢覈"，交通部中央氣象局建國百年天氣分析預報與地震測報研討會

3.交通部中央氣象局，2014: 「氣候變遷應用服務能力發展計畫-103年氣候資料整集分析系統發展」委託研究計畫成果報告。

六、附圖

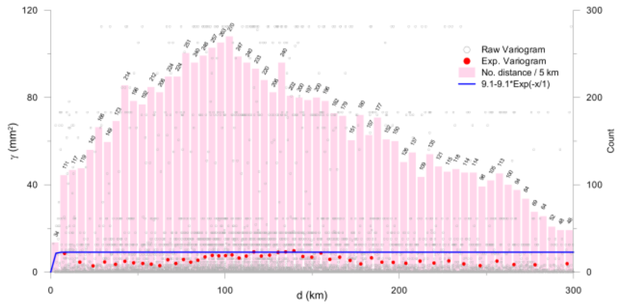

圖1 2015/04/12 20時12小時累積降雨觀測值個案的兩兩距離直方圖(粉紅長條)、原始半變異數圖(灰色空心圓)、實驗半變異數圖(紅色實心圓)與指數型半變異數圖函數套配結果(藍色實線)。

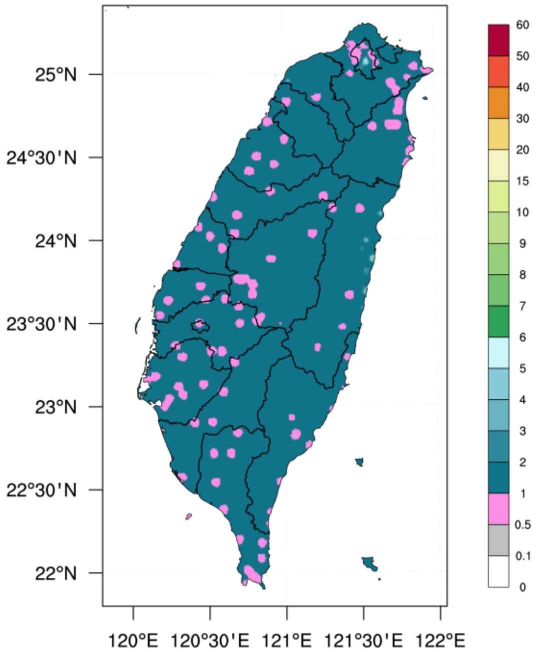

圖2 個案以OK法網格化結果。其中，0.5≤雨量<1.0 mm以粉紅色標示，0.1≤雨量<0.5mm以灰色表示，而0.1 mm以下則採空白區別。

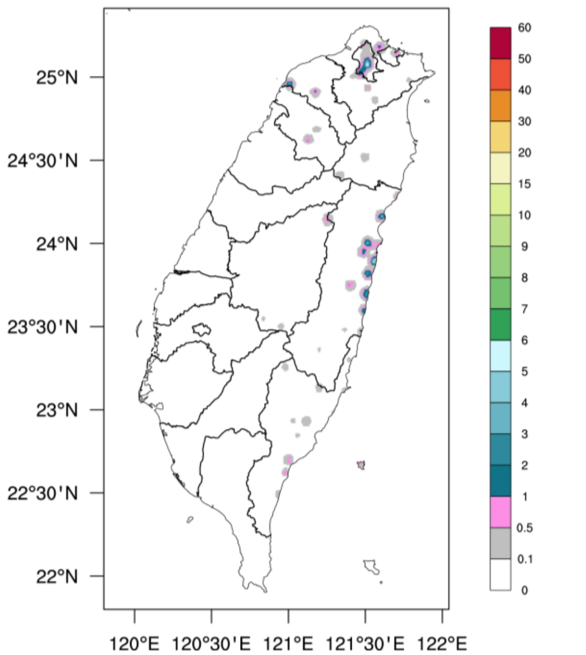

圖3 個案以SK法網格化結果。其中，0.5≤雨量<1.0 mm以粉紅色標示，0.1≤雨量<0.5mm以灰色表示，而0.1 mm以下則採空白區別。