

Term paper presentation 2: model design

雨量監測網測站設置最適化研究

地理三 B04208042 王澤承

問題定義

研究問題:

雨量監測網在研究區未設置雨量站情況下的最佳配置位置，以及在目前現有配置下該增設的位置。

決策目標:

自動雨量站。為直徑 30 公分之傾斗式雨量儀，雨量儀安裝於高約 4 公尺之不銹鋼製圓筒之筒頂，圓筒下面內裝發射機及譯碼機與電池等必要裝備，鄰側有天線桿，桿上裝置太陽能板及發射天線，如圖 1。(中央氣象局，自動雨量測報)



圖 1.自動雨量站示意圖。

設置面積約 10 平方公尺，並不會占用太多空間，需考量點僅有需位於空曠處及平緩處。

決策者:

中央氣象局

決策內容:

採下列兩種情況進行分析

Input:

1. 研究區沒有任何雨量測站
2. 研究區內現有雨量測站分布

Output:

雨量測站最適化分佈位置

情況 1.可以看出在該研究區中，理想情況的雨量測站分布情形。情況 2.受限於現有的測站分布，可以從此結果得知有哪些區域是需求不足的，而進行增設。也可以藉由情況 2.增設後的分布，搭配情況 1.的分布，做空間群聚的檢驗，找出過於群聚的測站，實施測站搬遷。

研究區域:

淡水河集水區

決策分期:

僅進行一次決策。沒有分階段設置，一次決策已將最適的空間配置規畫完。

問題分析

重要關係人辨認:

Planner:

中央氣象局:

本研究目的以中央氣象局為測站設置唯一規劃者。希望藉由單一測站設置者，以解決目前台灣雨量測站由眾多機關各自管理的重複設站情形。

考量因素:

- (1) 設置經費
- (2) 地形坡度
- (3) 交通易達性
- (4) 最大雨量變異監測
- (5) 空間自相關程度
- (6) 雨量變異程度
- (7) 覆蓋效率

Users:

1. 一般民眾:

一般民眾偏向雨量測站設置於住家附近，以利於民眾了解其住宅區附近的降水情況。

考慮因素:

(1) 聚落距離

2. 水土保持局:

水土保持局在颱風、梅雨...等強降水事件發生時，常利用中央氣象局的雨量資料以推估何處降水已達土石流警戒基準。偏向雨量測站設置於土石流發生潛勢區(崩塌地，以及年降雨量大的地區)附近。

考慮因素:

(1) 崩塌地距離

(2) 最大年雨量監測

3. 集水區經營者:

河川局、水利署、水文學家...等集水區經營者，會依據降雨資料推估該集水區內的降水情形，以利建設水庫、攔沙壩...等集水區經營。偏向雨量測站監測範圍能涵蓋整個集水區。

考慮因素:

(1) 最大監測面積

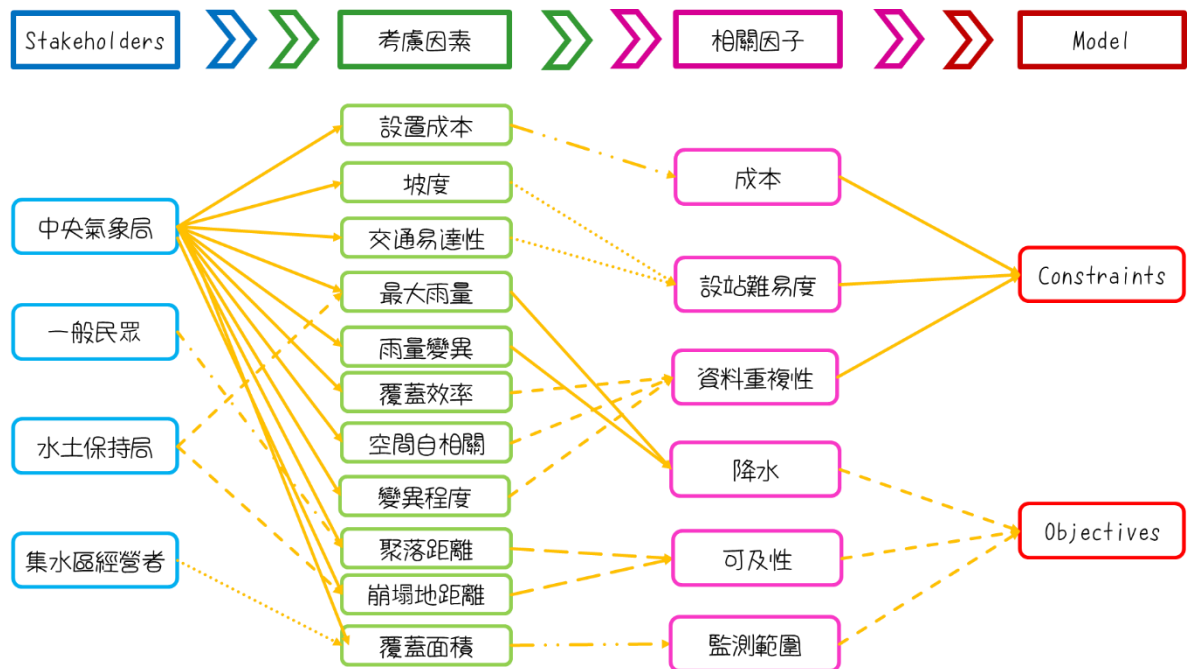
模式構想

一、分析方式:

決策單元為 1km X 1km 的網格。對各網格中的坡度、易達性、聚落面積、崩塌地面積...等因素，進行限制條件的建構。

雨量分布方面使用近 10 年得降雨資料，以現有的測站資料進行 Kriging 法及距離反比權重法(IDW)推估。傳統以算術平均法或徐昇式多邊形法進行的雨量推估，雖然能反映整體情況，但對小尺度的地形變異卻表現不理想。高堅泰、馮豐隆（1998）以多種生育地因子推估方法之探討，比較不同方法之適用資料型態、及站網分佈，比較如下：徐昇多邊形法（Thiessen polygon）適用定性資料的推估，IDW 適用快速繪製等值線，Spline 適用變化較小、資料較少之區域，Kriging 適用詳細推估、及站網之設置研究，Trend 適用推估全體之趨勢。本研究依此決定以 Kriging 法及距離反比權重法(IDW)推估雨量空間分佈。

二、考慮議題:



決策目標:

1. 降水:

包含總降雨量及雨量變異。

- 總雨量:一地的降雨量越大,表示該地所要負荷的降水重量越多。水土保持局關心土石流發生潛勢區,當降雨量越大的地區,表示該地越有可能發生土石流,故水土保持局及中央氣象局偏好雨量測站建設在總雨量大的地區。

- 雨量變異:一地的雨量變異程度越大,表示該地的雨並不穩定。因雨量空間推估是採用平均估計,故在雨量變異大的地區有降雨資料可以增加雨量空間推估的正確程度。因此,中央氣象局偏好雨量測站建設雨量變異大的地區。

2. 可及性:

包含聚落及崩塌地的可及性。因雨量資料特性為代表監測範圍內的值,在範圍內雨量值為相同,並不會隨距離遞減。故,採用該網格設站後,覆蓋面積內有多少聚落或多少崩塌地為可及性。

- 聚落:一般民眾關心其住家所在位置的雨量資料,以知道該地下多少雨,是否有淹水可能。所以,偏好雨量測站設置於聚落旁,需求為聚落覆蓋面積最大。

- 崩塌地:水土保持局關心土石流發生潛勢區,因此偏好雨量測站設置於崩塌地旁,以利於監測該崩塌地附近的雨量是否達到土石流發生基準,需求為崩塌地覆蓋面積最大。

3. 監測範圍:

集水區經營者進行整個集水區內的建設、分析。故，偏好雨量測站監測範圍能包含整個集水區，需求為監測範圍面積最大。

決策限制:

1. 成本(可設站數):

因雨量測站設站需要設站成本，故以可設站數為成本限制。因研究情況有兩種，第一種為直接給定站數；第二種圍在現有站數下，可新增的站數。

註:因雨量測站為必要設置設施，故不考慮維持的變動成本。若考慮變動成本，可能發生山地地區因變動成本高，而設站數降低的情形。

2. 設站難易度:

包含坡度及交通易達性。

· 坡度:雨量測站設置須有一定的面積，故太陡的邊坡可能導致測站倒塌或設置困難，故設坡度 30° (難以耕作基準) 為最大坡度限制。

· 交通易達性:當測站發生問題時，需有人員進入維修。故，測站旁需有道路可供人員進入。本研究以該測站網格及周邊網格(共 9 個)中有道路經過，為設置限制。

3. 資料重複性:

包含鄰近測站覆蓋範圍重複性、空間自相關程度、雨量差異程度。

· 覆蓋範圍重複性:避免兩測站覆蓋範圍面積重疊過多，而導致成本增加的情況。因測站覆蓋範圍為圓形，故本研究以兩側站直線距離作為覆蓋面積的替代參數，以方便計算。

· 空間自相關程度:避免測站測量到的資料重複性過高。因測站測量的資料可能來自於同一個降雨極，故重複的測站會導致重複的計算，而升高成本。

· 雨量差異程度:除了空間自相關程度外，需考慮測站間的雨量差異。因空間自相關僅能了解該測站周圍測站資料的相似程度，並未考慮到兩者的數值上的差異程度。例如有兩測站來自於不同的降雨極，但降雨量皆很小(差異不大)，此時該地僅需設一站便能代表該地區，不需要設置兩站。

模式列式

一、模式參數

i: 網格名稱

N: 研究區所有網格數

t: 時間期數

T: 研究總時間期數

Y_i : 網格 i 是否設置測站(0:否,1:是)

A_i : 網格 i 設立測站時所涵蓋面積

P_{it} : 網格 i 時段 t 的總雨量
 \bar{P}_i : 網格 i 平均雨量
 H_i : 網格 i 設站時聚落所占面積比例
 C_i : 網格 i 設站時崩塌地所占面積比例
 B : 總設站數
 D_{ij} : 網格 i 與網格 j 的距離
 D_c : 測站間限制距離
 S_i : 網格 i 平均坡度
 S_c : 測站設置限制坡度
 R_i : 網格 i 及周圍網格中是否有道路經過(0:否,1:是)
 ZI_i : 網格 i 雨量資料 Local Moran's I (LISA)的 z 統計量
 ZI_c : 雨量資料 Local Moran's I (LISA)拒絕域的臨界點
 σ_{ij} : 網格 i 與網格 j 的差異程度
 σ_c : 網格間差異程度標準

二、目標式

1. 覆蓋面積最大

$$Z_1 = \sum_{i=1}^N (A_i \times Y_i)$$

A_i 為 i 網格設置雨量站後的涵蓋的研究區面積， Y_i 為 i 網格是否設置雨量站，目標為使雨量站總涵蓋面積達最大。

2. 總雨量最大

$$Z_2 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sum_{t=1}^T P_{it}}{T} \right] Y_i$$

P_{it} 為 i 網格在第 t 期的總雨量，取平均後得 i 網格的平均雨量，目標為平均雨量最大，使雨量站設置往降雨極集中。

3. 雨量變異程度最大

$$Z_3 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sum_{t=1}^T (P_{it} - \bar{P}_i)^2}{T} \right] Y_i$$

計算 i 網格與量的變異數，表示期間內雨量的差異程度。目標為變異數最大，使雨量站監測容易澇旱反覆發生的地區。

4. 聚落面積最大

$$Z_4 = \sum_{i=1}^N (H_i \times Y_i)$$

計算 i 網格建立雨量站後，buffer 所能涵蓋的聚落面積。目標為使聚落

面積達到最大，使雨量站往聚落地區集中。

5. 崩塌地面積最大

$$Z_5 = \sum_{i=1}^N (G_i \times Y_i)$$

計算 i 網格建立雨量站後，buffer 所能涵蓋的崩塌地面積。目標為使聚落面積達到最大，使雨量站往崩塌地集中。

三、限制式

1. 預算

$$\sum_{i=1}^N Y_i \leq B$$

使建設的雨量站在可設站數內。

2. 設站難易度

坡度:

$$S_i \leq S_c \quad \forall i$$

S_i 為 i 網格平均坡度，使可建立測站的網格坡度小於最大坡度限制。

交通易達性:

$$R_i > 0 \quad \forall i$$

R_i 為 i 網格及周遭網格使否有道路經過，限制為使可建立測站的網格周圍有道路經過。

3. 資料重複性

覆蓋效率:

$$D_{ij}(Y_i + Y_j) \leq 2D_c \quad \forall i(i \neq j)$$

D_{ij} 為 i 網格及 j 網格之間的距離，限制為使設立的雨量站距離大於規定的最大距離。

空間自相關:

$$ZI_i < ZI_c \quad \forall i$$

其中， ZI 由以下算式推導:

ZI_i 為 i 網格的 Local Moran's I 的 z 統計量，限制為小於規定的顯著水準，目的在於確定兩往個測到的資料關聯性低。

The Local Moran's I statistic of spatial association is given as:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (1)$$

where x_i is an attribute for feature i , \bar{X} is the mean of the corresponding attribute, $w_{i,j}$ is the spatial weight between feature i and j , and:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (2)$$

with n equating to the total number of features.

The z_{I_i} -score for the statistics are computed as:

$$z_{I_i} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (3)$$

where:

$$E[I_i] = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n - 1} \quad (4)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad (5)$$

變異程度:

$$\sigma_c(Y_i + Y_j) \leq 2\sigma_{ij} \quad \forall i(i \neq j)$$

其中， σ_{ij} 由以下算式推導

$$\sigma_{ij} = \frac{|\bar{P}_i - \bar{P}_j|}{\bar{P}_i}$$

σ_{ij} 為 i 網格及 j 網格之間降雨資料的差異程度，限制在規定的差異程度下，目的在於確保兩筆資料有足夠的差異。前述的 **Local Moran's I** 僅敘述兩筆資料相似程度，若今天兩筆有差異但都很小，此模式規定這樣不能設站，以減少設站數，故多加差異程度使兩筆資料除了沒有關係外，還能差異大。

四、多目標解法

因不知決策者對於個目標的偏好，故選用 **Minimum deviation method**:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_{k=1}^K \left(\frac{Z_k^* - Z_k(x)}{Z_k^* - Z_{i_*}} \right) \\ \text{s.t. } & x \in Z \end{aligned}$$

其中， Z_k^* 為各個 $Z_k(x)$ 的最大值； Z_{i_*} 為各個 $Z_k(x)$ 的最小值。

後續問題:

1. 多目標模式選擇:

目前選擇 **Minimum deviation method**。但有可慮 **Criterion method**，現在考慮的問題是 p 值的選擇，還未決定 p 要設多少。

2. 降雨模式:

如果用測站現有資料用 **IDW** 法及 **Kriging** 法推估，不確定這樣是否能真實代表降雨情形。