

# 雨量監測網設站設置最適化研究

地理三 B04208042 王澤承

## 第一節、前言

### 一、研究動機

台灣地區雨量測站大多集中於平原地區，又以都會區最為集中，如圖 1.所示。山區測站數量為數不多，僅主要道路如台 8 線、台 20 線，沿線有雨量站之設立，中央及雪山兩大山脈其餘的部分幾乎沒有雨量監測網的設置，形成空間上的不均勻分布。



圖 1.台灣本島雨量站分布

黃點為雨量觀測站，藍點為中央氣象局氣象測站。

可以看出雨量站分佈以台北、高雄兩大都市最為集中；中央山脈及雪山山脈雨量站設置便相對稀少。

當政府在對集水區進行管理，抑或學者對流域進行水文分析時，常常受限於山區降雨資料的不足，僅能以空間內差的方式得出較為概似的估計值，而可能導致決策上的誤判；加上國內目前架設雨量設站之單位有中央氣象局、環保署、水利署...等公家機關，並非由單一機關所設置。進而出現不同機關位於相近地區同時架設測站之情形。例如中央氣象局林口測站(林口高中)與環保署林口測站(林口國中)，水平距離僅 500 多公尺。

傳統的雨量站設置方法大多僅單純地使用空間統計的方式，如 Kriging，僅對地表狀態進行分析，較少將社會經濟狀況，如設站成本...等，納入考量。故，本研究將透過最適化分析的方式，規劃出最符合經濟成本的雨量

測站設立方式。在現有的測站分布下，找出台灣目前有哪些地區雨量監測網設置仍有不足，接著判斷出哪些地區為最佳的新測站設立位置；以及有哪些地區雨量測站密度已足夠，不需要再進行新設。希望透過此模式的設計方案，提供未來各機關在進行測站設置時的參考。

## 二、研究目的

1. 以最適化的方式分析台灣雨量監測網最佳配置方案
2. 確認台灣有哪些地區雨量測站設置不足及哪些地區設置已達飽和

## 第二節、參考論文

題目: Development of a multiple objective planning theory and system for sustainable air quality monitoring networks

作者: Ching-Ho Chen, Wei-Lin Liu, Chia-Hsing Chen

出處: Science of the Total Environment (2006 年) 354:1 – 19

### 一、研究簡介

#### 1.研究問題:

空氣品質監測網規劃設置最佳化。台灣地區空氣品質測站監測網最早由環保署設置，至 2005 年已設有 72 個空氣測站。另外在部分縣市，亦有由環保局所自行設置之若干測站。兩類測站並未以整合方式進行規劃，故此研究對目前的空氣品質監測網進行最適化配置的分析，以檢討現有的配置是否能滿足空氣監測網之目的，以及使否有設置的必要性。

#### 2.規劃系統範圍:

以空氣品質管理單位所管轄的區域行政界做為系統邊界。此研究將行政邊界劃分為多個等面積網格，以網格作為分析單位。

#### 3.規劃系統考慮因素:

空氣品質測站、空氣污染物、污染源、影響空氣污染物擴散的環境因子(地形、地勢、大氣狀況)、人類社會(人口、交通、敏感受體)。

#### 4.規劃測站種類

一般測站:測量系統中全部的污染源，計算整體空氣品質

交通測站:測量針對特定污染源，計算其所造成的空氣品質

工業測站:同交通測站

背景測站:排除系統中全部的污染源，計算背景空氣品質

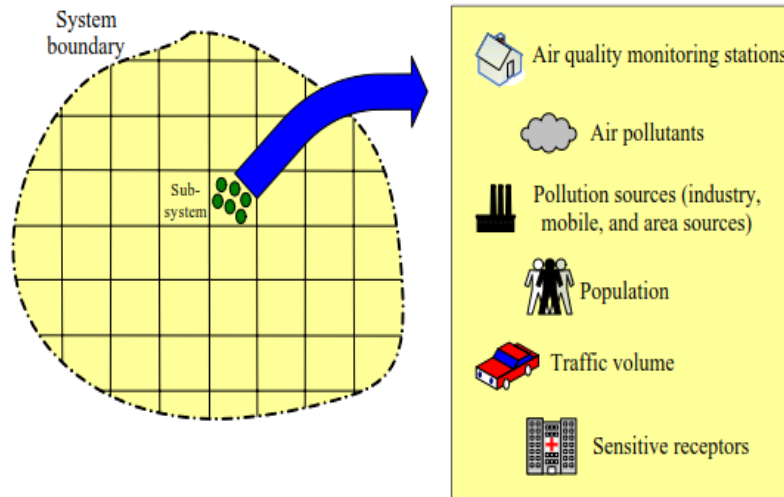


圖 4.研究系統概念圖

## 二、研究方法

由於空氣品質監測網規劃的問題必須考慮環境、社會、經濟三大目標，此三大目標在性質上為互相衝突，故作者選用「多目標規劃」進行最適化的分析。

### 1.最適化目標

#### 環境目標:

- (1) 污染物單一濃度值最大
- (2) 污染物濃度累積值最大
- (3) 濃度超過標準幅度最大
- (4) 濃度變化量最大
- (5) 污染物排放總量最大
- (6) 固定污染源排放量最大
- (7) 移動污染源排放量最大

#### 社會目標:

- (1) 人口數最多
- (2) 敏感受體數最多
- (3) 交通流量最大
- (4) 陳情案件數最多

#### 經濟目標:

- (1) 設站成本最小

總目標值的計算，是以權重值進行加總。針對每一種測站分別設制不同子目標的權重值。如果該種測站不考量某一子目標，則權重值為 0。權重計算如表 2。

表 2.各類測站子目標權重

		一般	交通	背景	工業區
環境	污染物濃度最高值	0.15	0.1	0.1	0.1
	污染物濃度累積值	0.05	0.05	0.05	0.05
	污染物濃度超過標準幅度	0.1	0.05	0.1	0.05
	污染物濃度變化量	0.05	0.05	0.05	0.05
	污染物排放總量	0.1		0.2	
	固定污染源排放量	0.05			0.25
	移動污染源排放量		0.25		
社會	人口數	0.2	0.1	0.3	0.15
	敏感受體數	0.1			
	交通流量		0.2		
	陳情數				0.15
經濟	設站成本	0.2	0.2	0.2	0.2

目標函數

$$Max. Z = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N (W_j \times OB_{ijk})$$

其中，

i:第幾個網格

j:第幾種目標

k:第幾種污染物

W<sub>j</sub>:第 j 個目標權重值

0，當 X<sub>i</sub>=0

WG<sub>j</sub>，當 X<sub>i</sub>=1

WT<sub>j</sub>，當 X<sub>i</sub>=2

WB<sub>j</sub>，當 X<sub>i</sub>=3

WI<sub>j</sub>，當 X<sub>i</sub>=4

X<sub>i</sub>:第 i 個網格設置空氣品質測站種類

0，未設站

1，一般測站

2，交通測站

2，背景測站

4，工業測站

OB<sub>ijk</sub>:第 k 個污染物第 i 個網格第 j 個目標值

## 2.限制條件

### (1)法令規定設站數:

以人口數及人口密度所計算各縣市應設立最少空氣測站站數。

### (2)經費:

設置空氣品質監測網所可使用經費上限。

### (3)測站距離:

同種類之測站距離過近，易使監測數據相關性過高。此研究設測站間距至少在 8 公里。

(4)由於設站條件不同，每個網格只能設立一種測站，只有交通測站可與一般測站一起設置。

*s.t.*

$$NG \geq PG$$

$$NT \geq PT$$

$$NB \geq PB$$

$$NI \geq PI$$

$$(NG \times CG + NT \times CT + NB \times CB + NI \times CI) \leq Q$$

$$R_{ab} \times (X_a + X_b) \geq 2R_c$$

其中，

$Nx$ :X 種測站實設站數

$Px$ :X 種測站至少應設站數

$Cx$ :X 種測站設站成本

$Q$ :設站預算

$R_{ab}$ :第 a 個網格與第 b 個網格之距離

$R_c$ :測站最小距離

## 3.最佳化模式

採用 0-1 整數規劃，用隱含枚舉法求解，為一種用來尋找最佳組合併消除不可能的方法。將所有變量從 0 出發，依次指定一些變量為 1，值道德到可行解，並將它做為目前最好的可行解。

## 第三節、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)

## 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. 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。

### 4. 崩塌地面積最大

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

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。

## 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:

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K \left( \frac{Z_k^* - Z_k(x)}{Z_k^* - Z_{i_*}} \right)$$

$$\text{s.t. } x \in Z$$

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。

## 第四節、案例研究

### 一、研究區

決策者:

中央氣象局

決策內容:

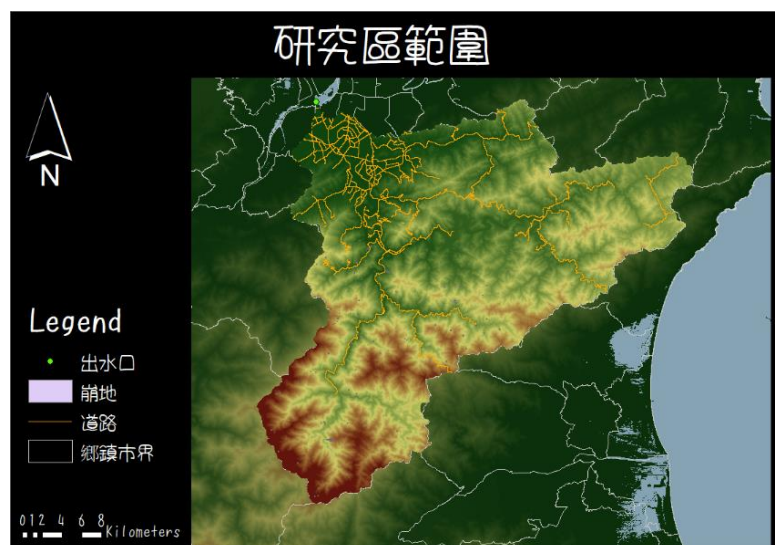
雨量測站最適化分佈位置。了解該研究區中，理想情況下的雨量測站分布情形。

研究區域:

新店溪集水區

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。



## 二、模式構想

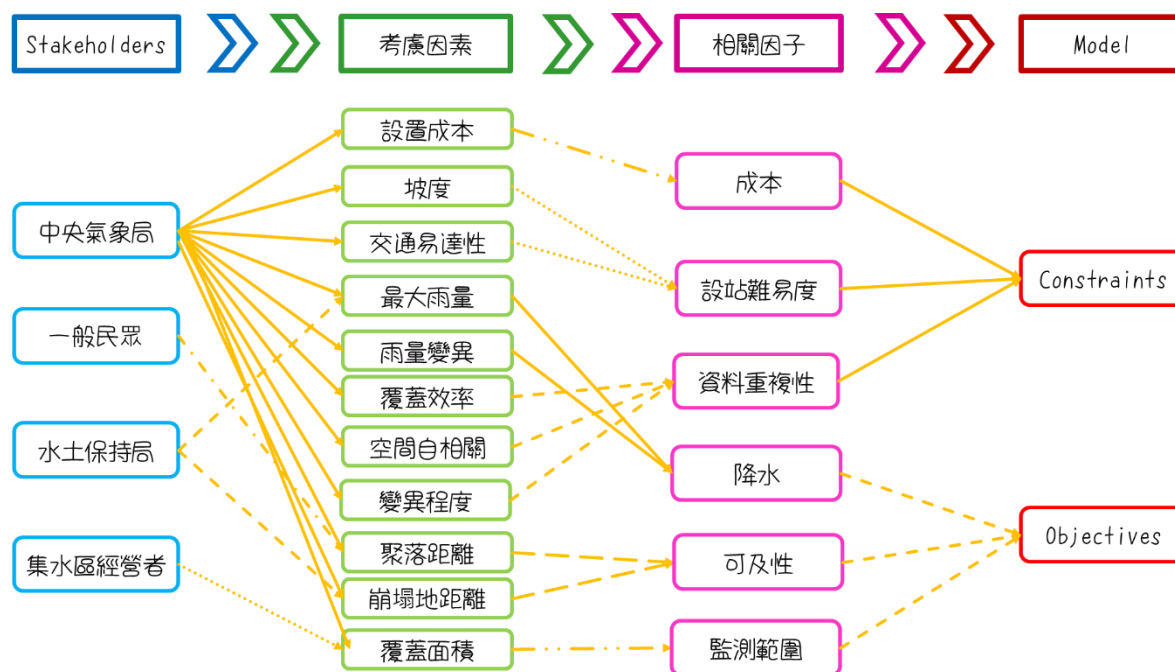
### 分析方式:

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。

### 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  $30^\circ$  (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。

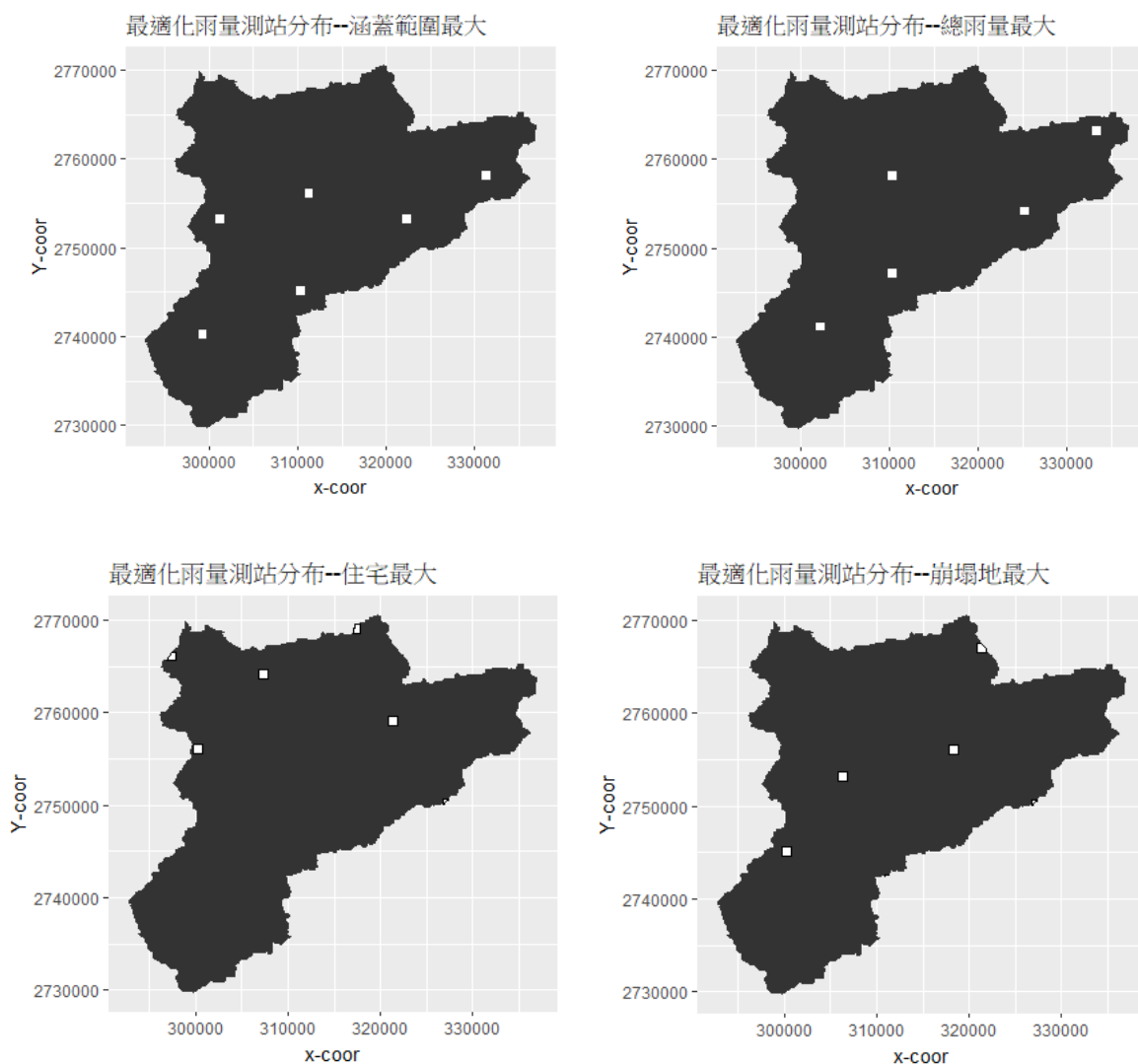
- 空間自相關程度:避免測站測量到的資料重複性過高。因測站測量的資料可能來自於同一個降雨極，故重複的測站會導致重複的計算，而升高成本。

- 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兩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。

### 三、結果:

各目標值下最適化結果:



上圖為 4 個目標值最大化後的結果:

可以發現涵蓋面積最大時，點趨近於平均分布；總雨量最大時，點較往雨量模擬大值的東半部集中；住宅數最大時，點集中於集水區北半部，也就是地勢較低平處；崩塌地面積最大時，點集中於崩塌地的位置。

多目標規劃:

償付表:

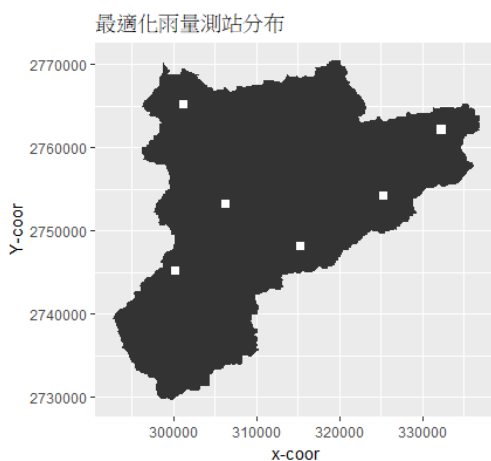
	$X^1=(1,23,89,92,145,205)$	$X^1=(6,33,113,191,381,489)$	$X^1=(63,135,236,396,493,515)$	$X^1=(10,20,63,91,148,488)$
f1	115.8814	104.853	83.24044	89.97812
f2	21621.07	24634.98	18581.52	21471.52
f3	57	104	27024	191
f4	1293.86	1590.47	0	50813.61

Minimum deviation method 結果:

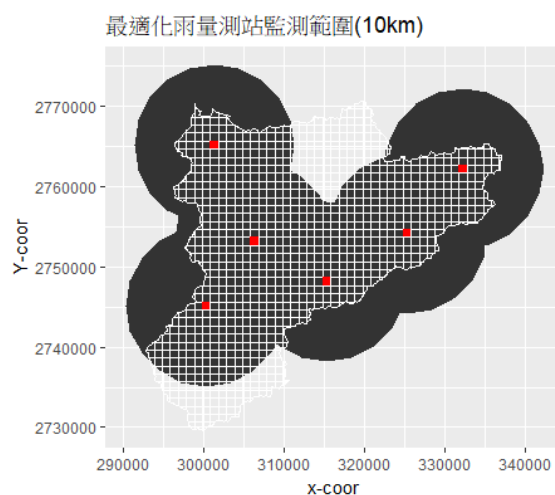
optimum: 49.0107

solution : (20 ,43 ,91 ,113 ,348 ,415)

測站分布情形:



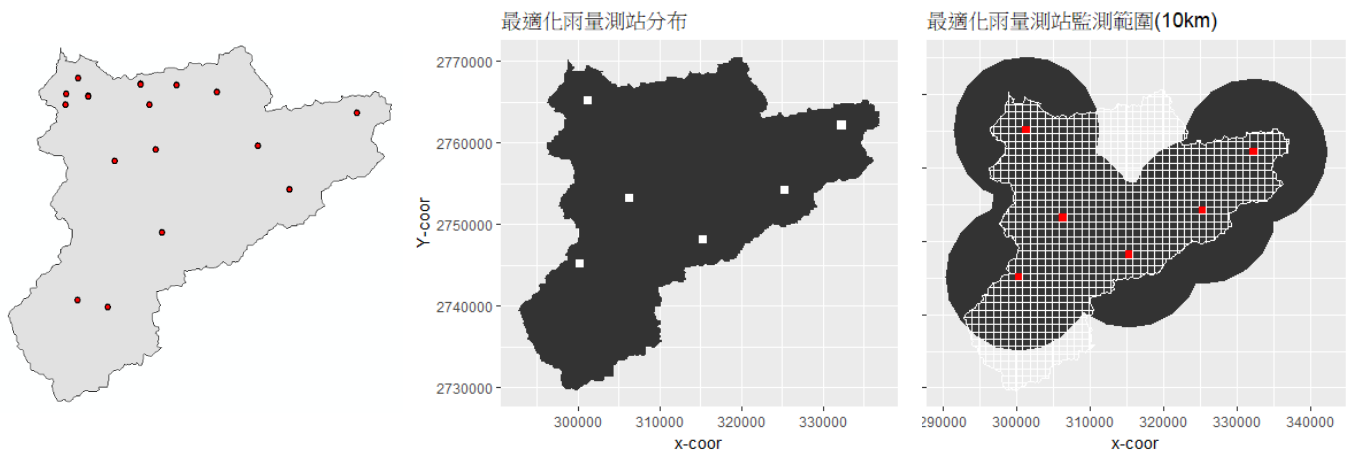
測站監測面積(10km)涵蓋範圍:



由 Minimum deviation method 進行多目標的加權後，結果如上圖。可以看到，點的分布較相近於涵蓋面積最大，但有受到其他目標式影響，有稍微偏移。如，左上較有受到住宅影響，產生一個測站。

## 第五節、結論

### 一、結果討論



上圖中，左圖為現有的測站分布，右圖違規化後取得的最適化測站分布。可以看出在現有的 16 站設置下，集水區左半部的測站其實有測站點過密的情形，經過最適化的調整後，測站點位有分散開來。此情況下各目標值：

1. 涵蓋面積: 114.7959 km<sup>2</sup>
2. 監測總雨量: 22151.89 mm
3. 涵蓋住宅數: 20015 戶
4. 崩塌地涵蓋面積: 40752.46 m<sup>2</sup>

模式優點:

1. 可以避免設置站點過度集中:此模式有事先規定測站間最近距離，故產生結果不會過度集中於某一地區。可避免資源浪費。
2. 考慮到氣象局外，其他各重要關係人需求:
  - (1)一般民眾:考慮距離民眾住宅最近，增加測站與住宅緊密度。
  - (2)水土保持局:考慮與崩塌地及年雨量大的地區，可增加測站與崩塌地潛勢區的緊密度。
  - (3)集水區經營者:考慮集水區韓泰面積最大，可以最有效的方式覆蓋整個集水區。

模式缺點:

1. 限制式未考慮周全:目前僅考慮設站難易度、資料重複性及經費，位考慮到更多地形因素。如:迎風坡及背風坡問題，目前環域內視為相同地形環境，但同一環域內可能有迎風及背風問題，若僅設一站，可能忽略另一部分雨量情況。
2. 未依據現有情況進行再配置:目前結果為在完全未設站的情況下設置站點，並未考慮到現有設站。若未來設站要往此方向設置，勢必得遷移現有站點，如此在以現有站點設置情況下，進行規劃，才能使遷移所需花費的成本最低。

## 二、未來方向

1. 考慮迎風背風情形:可在雨量模擬推估時，使用 **WRF** 等大氣模式，而不是用 **IDW** 等空間內插方法。如此，可以在雨量時將迎風背風的情況表現出來。
2. 再現有設站下，再進行一此最適規劃。如此，可將遷移站點時，所需花費的移動成本最小化，避免資源浪費，也可減少需要遷移的站點。