

第三章 研究方法與流程

本研究主要流程如圖 3.1 所示，包括 1.資料收集；2.水質監測站網模式建立；3.水質監測站網優選；4.案例建立；5.案例分析研討；6.線上決策支援系統之建置。以下一一說明各項主要工作項目之內容或規劃。

3.1 資料收集

本研究進行前，應先了解目前之相關研究內容，及案例區之背景資訊以供研討，故需收集以下資料：

- 1.相關研究文獻：包括集水區水質監測、水質監測站網優選模式、決策支援系統等相關研究，已於第二章中詳細說明。
- 2.案例區相關資料：收集案例建立所需之資料，作為案例分析研討之依據，如污染量、水文、氣象、土地利用型態等資訊，將另於附錄二中詳細回顧與說明，以應用於第四章案例研討中。

3.2 目標式—基於地理特性因子之期望成本函數

依據地理特性因子所建立的回溯成本函數乃是採用 Dixon et al. (1999) 所提出的函數，以下摘要說明之，詳細資訊請參閱該論文。

地理特性包括測站涵蓋範圍內的河段數目、河段長度與面積，成本函數之公式如下：

$$E(\text{cost}) = \sum P_i E(W_i) \text{-----}(3.1)$$

$E(\text{cost})$ ：目標成本函數

P_i ：在 i 子集水區發現污染源之機率

$E(W_i)$ ：當偵測到污染，往上游追溯污染源之回溯成本。

3.2.1 河段數目

以河段數來建立目標成本函數時，在 i 區發現污染源之機率為 i 點所涵蓋之河段數除以總河段數，即 $P_i = n_i / N$ ；且由於回溯污染時，每遇到分岔處則須分為兩邊繼續向上作二元回溯，故回溯污染之所需的平均採樣數約為 $\log_2 n_i$ ，即 $E(W_i) = \log_2 n_i$ ，故可得：

$$E(\text{cost}) = \sum \frac{n_i}{N} \log_2 n_i \text{-----}(3.2)$$

n_i ：測站 i 上游涵蓋範圍所包含之河段數

N ：集水區總河段數

3.2.2 河段長度

以河段長度來建立目標成本函數時，在 i 區發現污染源之機率為 i 點所涵蓋之河段長度除以總河段長度，即 $P_i = l_i / L$ ；回溯污染成本同樣以 $\log_2 n_i$ 來代表，即 $E(W_i) = \log_2 n_i$ ，故可得：

$$E(\text{cost}) = \sum \frac{l_i}{L} \log_2 n_i \text{-----}(3.3)$$

l_i ：測站 i 上游涵蓋範圍所包含之河段長度

L ：集水區總河段長度

3.2.3 面積

以面積來建立目標成本函數時，由於發生污染事件的機率及往其上游回溯污染之成本均直接與涵蓋面積相關，故假設回溯成本大約與涵蓋面積之平方成正比，故可得：

$$E(\text{cost}) \sim \sum a_i^2 \text{-----}(3.4)$$

a_i ：測站 i 上游涵蓋範圍之面積

3.3 目標式—基於污染特性因子之期望成本函數

由於地理特性因子不見得與污染特性有一定的關係，本研究因而採用林（90 年）所考量非點污染特性因子，以期能得出較具全面性考量之站網優選結果，並分別以總氮、總磷與沉積物來代表非點源污染之因子。林(90 年)採用 Thiessen Polygons 法來求得各子集水區之雨量，再以 AGNPS 模式進行非點源污染之模擬分析，推估出非點源污染量。以上推估方法之詳細理論與使用參數之設定將於附錄一中另行說明。

3.3.1 總氮

以總氮來建立目標成本函數時，由於非點污染量大致與污染源面積成正比，故假設回溯成本亦大約與污染量之平方成正比，可得：

$$E(\text{cost}) \sim \sum t_i^2 \text{-----}(3.5)$$

t_i ：測站 i 上游涵蓋範圍內所推估之總氮污染量

3.3.2 總磷

以總磷所建立之回溯期望成本函數如下列：

$$E(\text{cost}) \sim \sum p_i^2 \text{-----}(3.6)$$

p_i ：測站 i 上游涵蓋範圍內所推估之總磷污染量

3.3.3 沉積物

以沉積物建立之回溯期望成本函數如下列：

$$E(\text{cost}) \sim \sum s_i^2 \text{-----}(3.7)$$

s_i ：測站 i 上游涵蓋範圍內所推估之總沉積物量

3.4 水質監測站網優選模式

本研究先建立以模擬退火法求解之優選模式，以供後續比較新建模式之求解效能優劣；再以均化各水質監測站點涵蓋範圍內之成本因子（如河段數）為目標，分別建立兩個線性整數規劃之優選模式，此涵蓋範圍即指各監測站點之有效監測範圍，其進行優選之決策考量對象為各成本因子，再將結果套用至 3.2 及 3.3 節之公式，計算出成本函數值，以量化回溯污染的期望成本，比較不同模式之優選效能。以下分別說明三個模式之建立。

3.4.1 模擬退火法模式

為比較所發展模式與過往選址方法之效能優劣，本研究首先需建立一現有之優選模式；考慮求解速度與方便性後，選擇建立模擬退火法之優選模式，詳細概念及理論已於第二章中介紹。

模擬退火法模式是直接以降低總回溯期望成本為目標，其求解流程如圖 3.2 所示，首先隨機選定初始溫度(T_0)及初始測站組合，得到初始成本函數值(C_0)，再隨機變動其中一個監測站點，選定新點後即可得到新的成本函數值(C_1)，並比較 C_0 與 C_1 ，若 $C_1 < C_0$ 則表示回溯成本降低，可繼續進行；若 $C_1 > C_0$ 時，為能尋求較佳之近似解，故仍有條件地容許模式繼續往成本提高的方向進行，先隨機選定一個 0~1 之間的 r 值，當 $\exp(-\Delta E/c) > r$ 時(ΔE 即成本差值， c 為溫度)，則可繼續此迴圈，反之則放棄並重新開始新迴圈。本研究嘗試以不同迴圈數求解後，將總迴圈數設為 600 次，此次數已可達到優選，且設定每迴圈進行 2 次，但當 $C_1 / C_0 < 0.8$ 時，即可直接結束此迴圈；且每個迴圈結束後均需進行降溫動作，本研究以每次下降 10%溫度之方式來降溫，如此持續下去，直到達 600 次迴圈為止。

3.4.2 成本均化模式 (UC model)

以均化各監測站點涵蓋範圍內之成本因子為目標來建立的

線性整數規劃模式，並以考量各河段（或其他成本因子）應屬於何測站為主要思考邏輯，求取各測站之涵蓋範圍。模式內容如下列：

$$\text{Min } \sum_{i=1}^N u_i + v_i \quad \text{-----}(3.8a)$$

S.T.

$$x_{ave} - u_i + v_i - x_i = 0 \quad \forall i \quad \text{-----}(3.8b)$$

$$x_{ave} = \frac{\sum x_i}{M} \quad \text{-----}(3.8c)$$

$$\sum y_i = M \quad \text{-----}(3.8d)$$

$$y_i \in [0,1] \quad \forall i \quad \text{-----}(3.8e)$$

$$By_i > x_i \quad \forall i \quad \text{-----}(3.8f)$$

$$y_1 = 1 \quad \text{-----}(3.8g)$$

$$z_{ip} \leq 1 - y_k \quad \forall p \in C_k, \forall k \in A_i^u, \forall i \quad \text{-----}(3.8h)$$

$$\sum_{r \in S_j} z_{rj} = 1 \quad \forall j \quad \text{-----}(3.8i)$$

$$x_i = \sum_{j \in C_i} (z_{ij} \cdot F_j) \quad \forall i \quad \text{-----}(3.8j)$$

$$0 \leq z_{ij} \leq 1 \quad \forall i, j \quad \text{-----}(3.8k)$$

N：總河段數目。

M：欲選測站數。

x_i ：某測站候選點 i 之成本因子值。

x_{ave} ：為所有 x_i 之平均值。

u_i 、 v_i ：分別為 x_i 距離平均值 x_{ave} 之正或負差異值。

y_i ：判斷候選點 i 是否被選為測站，若是則為 1，否則為 0。

B ：為一極大之常數值。

z_{ij} ：介於 0~1 之值，判斷河段 j 是否被候選點 i 所涵蓋。

C_k ：被候選點 k 涵蓋之所有河段的集合。

A_i^u ：候選點 i 上游之所有候選點集合（不含 i 點本身）。

S_j ：包含河段 j 之所有候選點的集合。

F_j ：為河段 j 之成本因子。

為均化各監測站所涵蓋之成本因子，故將(3.8a)式（目標式）設為欲求得 $\Sigma u_i + v_i$ 之最小值，如此即能得到均化之結果。(3.8b)式以 x_{ave} 減去 x_i ，產生之正或負差異值即為 u_i 、 v_i 。(3.8c)式將所有 x_i 之總和除以欲選測站數 M ，即可得到平均值 x_{ave} 。(3.8d)式設所有 y_i 之總和即等於欲選測站數 M 。(3.8e)式則設定 y_i 值來判斷候選點 i 是否被選為測站。(3.8f)式則是為確保候選點 i 無設站時 $x_i = 0$ 。(3.8g)式中預設 $y_1 = 1$ ，即最下游河段必設測站，以確保優選結果涵蓋全區域河段。(3.8k)式設定 z_{ij} 值，以此判斷河段 j 是否被候選點 i 所涵蓋，若否則為 0。(3.8h)式設定當候選點 i 上游之某 k 點已設為測站時，被 k 點涵蓋之河段 p 則不再重複包含於 i 點涵蓋範圍內，即此時 $z_{ip} = 0$ 。(3.8i)式中，屬於 S_j 之 r 點各有對應之 z_{rj} 值，設河段 j 之 z_{rj} 總和為 1；且因(3.8h)式中設定河段不被重複涵蓋，故可知僅存在一 z_{rj} 值為 1，其餘 z_{rj} 值均為 0。(3.8j)式中，候選點 i 所涵蓋之河段 j ，其回溯成本為 z_{ij} 乘以河段 j 之成本因子 F_j ，故 i 點之成本因子值 $x_i = \Sigma(z_{ij} * F_j)$ 。

3.4.3 覆蓋消去均化模式 (CEUC model)

成本均化模式雖可求解，但因其概念是考量各河段應屬於何測站，以求取各測站之涵蓋範圍，所產生的變數眾多，求解時間也因而較久；故本研究再加以改良並建立覆蓋消去均化模式，此模式則是以測站上游總涵蓋範圍減去其上游已設測站之涵蓋範圍，來求出測站之有效涵蓋範圍，如此可有效減少變數數量，降低求解時間。變數設定如成本均化模式。詳細內容如下：

$$\text{Min } \sum_{i=1}^N u_i + v_i + p_i S \text{-----}(3.9a)$$

S.T.

$$x_{ave} - u_i + v_i - x_i = 0 \quad \forall i \text{-----}(3.9b)$$

$$x_{ave} = \frac{\sum x_i}{M} \text{-----}(3.9c)$$

$$\sum y_i = M \text{-----}(3.9d)$$

$$y_i \in [0,1] \quad \forall i \text{-----}(3.9e)$$

$$y_i A_i > x_i \quad \forall i \text{-----}(3.9f)$$

$$\sum x_i = X \text{-----}(3.9g)$$

$$x_i = y_i A_i - \sum_{j \in U_i} x_j + p_i \quad \forall i \text{-----}(3.9h)$$

$$B(1 - y_i) > p_i \quad \forall i \text{-----}(3.9i)$$

p_i ：用以抵銷進行中可能產生的負值。

S：極小的常數值。

A_i ：候選點 i 原始涵蓋之成本因子值。

X ：集水區之成本因子總值(即總河段數、總河段長度等)。

U_i ：候選點 i 所涵蓋範圍中已設測站點之集合。

B ：極大之常數值。

覆蓋消去均化模式之主要不同在於(3.9h)式，此式代表若候選點 i 被選取為測站時，則其涵蓋範圍是以原始總範圍減去其上游已設測站之涵蓋範圍，且當 i 點無設測站時，為確保 $x_i = 0$ ，故增設 p_i 以抵銷其負值。(3.9a)式(目標式)中，同成本均化模式欲使 $\Sigma u_i + v_i$ 為最小以均化成本因子，增加之 p_i 項則乘以 S (極小常數值)使 p_i 之影響相對極小，不致與 u_i 、 v_i 競爭。(3.9b)~(3.9e)式設定同成本均化模式之(3.8b)~(3.8e)式。(3.9f)式則是為確保 i 點無設站時 $x_i = 0$ 。(3.9g)式可確保全部流域均被涵蓋。(3.9i)式則用以確保當 i 點被選為測站時 $p_i = 0$ 。

