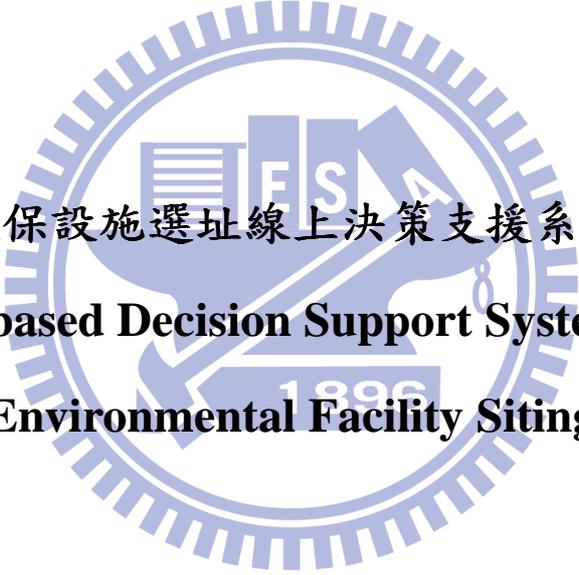


國立交通大學

環境工程研究所

博士論文



環保設施選址線上決策支援系統
**Web-based Decision Support System for
Environmental Facility Siting**

研究生：劉坤興

指導老師：高正忠教授

中華民國一〇〇年六月



摘要

環保設施選址由於需要評估許多選址準則與因子，以及處理大量的地理資訊，導致選址過程複雜度頗高，因而有必要發展有效率的工具輔助選址決策分析。本研究因而發展一個線上決策支援系統輔助環保設施選址及進行相關決策分析工作，此系統主要包括選址模式求解模組、選址平行化運算模組與選址空間分析模組等三大部份。選址模式求解模組主要包括網格式及向量式選址模組，由於現有向量式選址優選模式針對實際問題的求解效率不佳，且必須使用套裝軟體求解，本研究因而發展一個向量式選址的專屬演算法及求解模組。選址模式求解模組雖已大大改善求解效率，但對於網格式案例而言，隨案例區域增大，求解時間會顯著增長，本研究因而發展一個平行運算環境，將大案例區分為數個子區域分別求解，進一步改善選址模式求解效率。本研究亦發展環保設施選址空間分析模組，用以進行空間性因子分析及展示所得的成果，增進在選址決策支援上的效率與實用性。並藉由本研究所發展的環保設施選址決策支援系統，有效輔助進行相關決策分析及場址評估，並進行案例測試，以示範本系統如何提昇選址效益與決策支援品質。依案例實測結果證實優選分析模組可效率提供較佳的優選方案，平行求解模組可有效改善求解效率，約在 3 倍到 7 倍之間，而所發展的向量式掩埋場選址電腦程式更可增進至少 29 倍的求解效率，且可獲得適宜性更好的候選場址。本研究亦分別示範應用各系統進行掩埋場、水質監測站與空氣品質監測站的選址案例分析，展示各系統輔助選址決策的實用性，讓使用者有效率且較深入的分析不同選址方案，提昇選址決策分析的效率與品質。

關鍵字：環境設施選址、平行運算、優選模式、決策支援系統、永續環境系統分析



Abstract

Environmental facility siting (EFS) must consider various criteria and factors for evaluating the suitability of a candidate site. EFS also needs to process a massive amount of spatial information before a proper EFS decision can be made. This study was thus initiated to develop a decision support system (DSS) to facilitate EFS analyses. The system includes three core modules: optimization analysis, spatial analysis, and parallel computing modules. This study developed four sub-systems for raster-based landfill siting, vector-based landfill siting, water monitoring station siting, and air monitoring station siting. The raster-based landfill siting sub-system includes three major modules for landfill siting optimization, spatial analysis, and parallel computing. For establishing the vector-based landfill siting sub-system, a specific algorithm and data format were developed to improve its computational efficiency. The vector-based landfill siting sub-system includes an optimization module using the specific algorithm and a spatial analysis module. The water quality monitoring station siting sub-system consists of an optimization module to determine a monitoring network, a spatial analysis module, and a siting summary and comparison module. The air monitoring station siting sub-system aims to assist users in designing an appropriate air monitoring network and comprises an optimization module, a spatial analysis module, and a siting summary and comparison module. The results of parallel computing show that the parallelized algorithm and computing environment can increase the speed by about three to seven times while compared to the original algorithm implemented on a single computer. The vector-based landfill siting program can significantly improve computational efficiency, at least 29 times faster than the time used by a previous model. The sub-system is thus able to find candidate sites with good suitability. The system and all sub-systems have been applied to several illustrative cases to demonstrate their applicability in improving the quality of decisions for EFS problems.

Key words: environmental facility siting; parallel computing; decision support system; optimization; and sustainable environmental systems analysis.



誌 謝

這是一段一生值得走過一次的學習之路，感謝指導教授 高正忠老師在過去這些年中對我為學與處世態度的指正，令我獲益良多。感謝中央大學 廖述良老師，中興大學 林明德老師，東海大學 陳鶴文老師，本所的 林志高老師與朝陽大學的林宏嶽老師，對環保設施選址決策支援系統發展提供的各項寶貴建議。

也感謝父母與家人無怨無悔的支持，令我免於經濟上的負擔，可以專心求學，相信外婆在西方亦有保佑我。感謝依伶的陪伴，讓我在研究路上順利度過不少辛苦過程，在生活的各項重要細節上都給予我珍貴的建議，在情緒上的每個低潮給予適當的建言。

感謝研究室夥伴們的陪伴，感謝學長維燁、沛濠與子欽的經驗傳承，學長銘儒與學姐瑞珍曾提供的打工機會，還有學長哲廷、紹陽在我初入學時的幫助、學長親民與志軍在我碩一時的幫忙。會記得同學涵翔、阿泰、立夫跟文馨共同學習的期間，以及一起從事手工製造業的日子，現在你們都各有一片天了。學弟妹冠華、彥超、雅如、家豪、育農、宥禎、立偉、世澤、旻韓、仕強、彥璋、京澄、展帆、阿嚕、岳奇、科智、心怡、彥宏、維祐與嘉仁，感謝你們在研究室給我的協助，我會記得跟彥超、雅如、家豪、育農、旻韓、京澄、展帆與阿嚕曾經一起練柔道、重訓或打球的日子，記得每一屆學長或學弟妹獨特的特色，如對維根生活素有心得的沛濠學長，引領研究室自行車與登山風潮的子欽學長跟陳大哥，隱身在工程領域的音樂家宥禎與嘉仁，默默推動壘球的冠華跟科智，創造健身奇蹟的彥超，熱心推動養魚風氣的立偉，打排球的京澄、展帆與阿嚕，打桌球的涵翔大哥跟世澤，還有一些推動智慧型娛樂軟體與贊助煙業的於此不具名的學弟們。

也感謝 黃修禮老師跟六弦樂集的夥伴，與 吳國輝老師跟柔道夥伴的打氣，還有 雲昇老師的智慧建言，與 顏斯華老師的英文寫作指導，以及感謝從高中就認識，且每年聚會幾乎都會碰面的宏璋、旭正、建華、鈺現、穎超、暉儒、熙于與嘉成的幫忙，亦感謝提供各種求學與健康建議的朋友們，以及一同討論 DSP 的朋友們，這條路上因為有各位的扶持，才能順利結束這段博士求學過程，對此我銘感五內。



目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1
1.1 研究緣起.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究流程.....	5
1.4 論文內容.....	6
第二章 文獻回顧.....	9
2.1. 環保設施選址問題.....	9
2.2. 環保設施場址初篩.....	11
2.3. 環保設施選址優選模式及演算法.....	11
2.4. 電腦模式之平行運算.....	13
2.5. 環境或選址決策支援系統.....	15
第三章 環保設施選址決策支援系統之架構.....	20
第四章 環保設施選址模式求解演算法及模組.....	24
4.1 網格式選址模式決策分析優選求解模組.....	25
4.2 向量式選址模式決策分析優選求解模組.....	26
4.2.1 向量式選址空間資料格式.....	28
4.2.2 向量式選址優選演算法.....	30
4.2.3 向量式選址模式模組化.....	32

第五章 環保設施網格式選址模式平行運算求解演算法與模組.....	35
5.1 平行化程序.....	36
5.2 網格式平行運算求解演算法.....	38
5.3 環保設施網格式選址平行運算模組.....	40
第六章 環保設施選址空間分析模組.....	43
6.1 環保設施選址模式空間分析模組發展工具說明.....	44
6.2 網格式環保設施選址模式空間分析模組.....	45
6.3 向量式環保設施選址模式空間分析模組.....	49
第七章 環保設施選址決策支援系統之建立.....	52
7.1 網格式掩埋場選址決策支援系統.....	52
7.2 向量式掩埋場選址決策支援系統.....	55
7.3 集水區水質監測站選址決策支援示範系統.....	57
7.4 空氣品質監測站選址決策支援示範系統.....	62
第八章 選址案例應用示範.....	67
8.1 網格式環保設施平行化運算.....	67
8.2 向量式環保設施選址優選演算法.....	72
8.3 環保設施選址案例示範.....	81
8.3.1 網格式掩埋場選址支援系統.....	81
8.3.2 向量式掩埋場選址支援系統.....	86
8.3.3 集水區水質監測站選址決策支援示範系統.....	91
8.3.4 空氣品質監測站選址決策支援示範系統.....	96
第九章 結論與建議.....	101
9.1 結論.....	101
9.2 建議.....	104
參考文獻.....	106

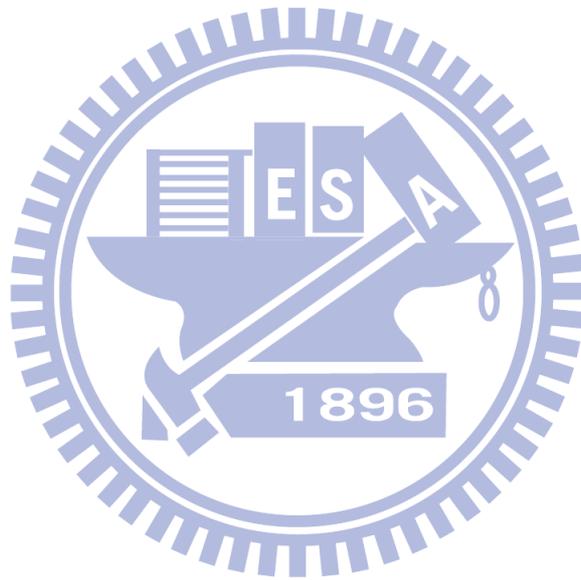
圖目錄

圖 1.1	研究流程圖.....	8
圖 3.1	環保設施選址決策支援系統發展架構圖.....	23
圖 4.1	向量式環保設施選址案例空間資訊格式範例.....	29
圖 4.2	環保設施選址優選模組電腦程式執行流程圖.....	34
圖 5.1	網格式平行運算求解模組架構示意圖.....	37
圖 5.2	網格式環保選址平行運算模組記錄優選解之流程.....	42
圖 6.1	網格式環保設施選址優選空間特徵示意圖.....	48
圖 6.2	向量式環保設施選址優選示範.....	51
圖 7.1	網格式掩埋場決策支援系統架構圖.....	54
圖 7.2	向量式掩埋場選址決策支援系統架構圖.....	56
圖 7.3	水質監測站選址決策支援系統架構圖.....	61
圖 7.4	空氣品質監測站選址支援子系統架構圖.....	66
圖 8.1	選址因子圖層.....	69
圖 8.2	在面積要求為 16 網格下各情境的選址結果與各情境選址因子權重組	70
圖 8.3	平行運算與單機環保設施選址優選計算之比較.....	71
圖 8.4	情境 AV vs. AP 選址結果比較圖.....	76
圖 8.5	情境 BV vs. BP 選址結果比較圖.....	77
圖 8.6	情境 CP vs. CV 選址結果比較圖.....	78
圖 8.7	情境 DP vs. DV 選址結果比較圖.....	79
圖 8.8	選址結果例舉(a) B1P2000; (b) B1V2000; (c) D10P1000; 及(d) D10V1000	80
圖 8.9	網格式掩埋場選址決策支援子系統系統主介面.....	83
圖 8.10	各選址結果及選用決策因子與權重.....	83

圖 8.11 檢視空間屬性:(a) 地質;(b) 土地坡度;(c) 土地價格;(d) 圖層套疊結果	84
圖 8.12 網格式掩埋場選址決策支援子系統操作示範	85
圖 8.13 向量式掩埋場選址決策支援系統操作主介面	88
圖 8.14 各因子圖層檢視	89
圖 8.15 優選場址空間分析	90
圖 8.16 選址報表分析	90
圖 8.17 集水區水質監測站選址決策支援示範系統主介面	92
圖 8.18 展示流域資訊	93
圖 8.19 監測站點選址結果	94
圖 8.20 集水區水質監測站選址決策支援示範系統統計分析功能	95
圖 8.21 空氣品質監測站選址決策支援示範系統主畫面	97
圖 8.22 檢視案例區畫面	98
圖 8.23 目標函數輸入	98
圖 8.24 監測站網分析	99
圖 8.25 統計圖表分析	100

表目錄

表 8.1 向量式選址情境權重比例.....	74
表 8.2 向量式選址結果.....	75





第一章 前言

1.1 研究緣起

環保設施一般是為了處理污染物或廢棄物，或是為了環境監測等目的而設立，以滿足不同環境問題之需求，但由於可利用的土地資源逐漸減少，造成不易找到適當場址設置環保設施，且環保設施選址時需要考量不少因子，包括成本、環境負面影響及工程建設上等考量，造成選址決策頗為複雜，雖已有不少學者曾進行相關研究(e.g., Nas *et al.*, 2010; Guiqin *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2009; Delgado *et al.*, 2008; Sener *et al.*, 2006; Kontos *et al.*, 2005; Yesilnacar and Cetin, 2005; Al-Jarrah and Abu-Qdais, 2006; Melo *et al.*, 2006; Cheng *et al.*, 2003; Gupta and Ralegaonkar, 2003; Frantzis, 1993; Zyma, 1990; Gilbert *et al.*, 1985; Lane and McDonald, 1983)，但至今相關整合性的工具並不多，且一些具空間性的因子，由於需要處理大量空間資訊(e.g., Gemitzi *et al.*, 2007; Sener *et al.*, 2006; Yesilnacar and Cetin, 2005)，讓此問題越形複雜，而決策支援系統的架構概念即為整合各種相關工具，以輔助管理者進行決策制定(Little, 1970)，對於環保設施選址的兩個所需解決問題：複雜性與不同選址目標間的妥協(Maniezzo *et al.*, 1998)，決策支援系統可在使用者面對選址問題時，提供適當工具協助進行較全面的檢視，以及整合選址模式與使用者的經驗，經過反覆修正而得到較適當的方案。

在選址模式方面，環保設施選址問題須在空間分析上同時考量選址因子、場址集中性及空間位置等問題。為提升選址決策效率與品質，本研究團隊過去已發展網格式優選模式(Kao and Lin, 1996)，且以案例證明所發展的網格式優選模式因所需變數及限制式較少，而增進求解效率，且優於國際上其他模式。並更進一步以 C 語言發展了一套網格式選址優選電腦程式(Kao, 1996)，有效提升計算效率，且可成為一獨立模組搭配決策分析使用。然而，在現實應用中亦常需要處理向量式資訊(Church, 2002)，且向量式資料處理及展示均較網格式快，加上一般向量式地理資訊系統不具有優選功能，本研究團隊因而曾改良既有之網格式選址

模式為向量式選址模式(Lin and Kao, 1998)。不過，當網格式或向量式選址模式使用如 CPLEX(ILOG, 2006)套裝程式求解，將會花費不少時間求解，其主要原因有二:(1)使用 branch-and-bound 法尋找整數解時，需要大量的計算步驟；(2)太多無效的 branches 增加計算時間。再加上須建立優選套裝程式的使用介面，方能使優選工具與其他分析工具連結進行更複雜的決策分析。本研究因而發展特有向量式資訊格式，並發展一向量式選址演算法，再以該演算法為基礎，利用具高效率的 C 程式語言發展向量式選址優選電腦程式，以改善求解效率。

而選址優選電腦程式的操作流程，可大致分為輸入、輸出與執行三個部份，環保設施選址的輸入，代表了使用者所要設定的選址目標，而輸出為該目標下的候選場址及場址的適宜度，未模組化之前，輸入與輸出多半為特定格式，通常不易令使用者瞭解，故本研究進一步模組化優選電腦程式，令輸入輸出皆以模組介面轉換為可理解的決策資訊，以令選址優選模式的操作上更具決策支援的內涵，且利於與其他選址決策分析模組結合，提升其分析向量式環保設施選址問題的實用性。

雖然之前發展的網格式優選模式電腦程式(Kao, 1996)，可縮短求解時間，當求解更大範圍或更複雜的選址問題時，會影響求解效率，可能需要不少計算時間，因此本研究以平行運算解決此一問題，以在求解此類選址案例時，有效縮短求解時間以求得適當候選場址。平行運算已普遍應用於求解中(e.g., Keedwell and Khu, 2006; Babendreier and Castleton, 2004; Sziveri and Topping, 2000; Thomas and Li, 1996; Camp *et al.*, 1994)，以增進效率，這些研究有不少是採用 MIMD (multiple instruction multiple data)的電腦架構求解，但這些研究者所採用的平行環境與使用的電腦語言都較特殊，如 MPI (Gropp and Lusk, 2006)等，非一般研究單位可輕易架設或撰寫相關程式，本研究因而對於網格式選址問題特性發展平行運算演算法，並模組化為平行運算模組，此模組不需要特殊規格電腦設備即可執行平行運算，如此可應用既有之電腦設備架設平行環境，且便於未來新購置之設備可隨時加入平行運算環境，也隨時可讓損壞的設備退出，而不須重新建置平行環境與

重新撰寫編譯電腦程式，此平行環境因而較易擴充及維護，且由於可利用既有電腦設備進行架構，因而能減少購置新設備的成本。

為能有效率的讀取與分析各空間因子之相關地理圖層以選出待選區域，以及分析與呈現最後的選址結果，經常需要以地理資訊系統(Geographical information system, GIS)協助處理大量的空間資訊(e.g., Nas *et al.*, 2010; Guiqin *et al.*, 2009; Sener *et al.*, 2006; Yesilnacar and Cetin, 2005; Dorhofer and Siebert, 1998; Michaels, 1988)。但一般 GIS(如 ArcGIS, ESRI, Inc., 2007)沒有提供優選功能，而一些提供優選模式功能的 GIS，通常無法直接用於決策問題上，且缺乏決策程序中互動與重複的彈性(Sugumaran *et al.*, 2010)，因此不易分析一些較複雜的方案，故有必要再與其他模式工具結合。然而如何整合這些工具且能有效率的輔助決策，並不是一件容易的事。

在環保設施選址決策程序中，使用者瞭解在不同的決策情況下需要詢問什麼問題，但對於大量無法立即判斷的資料，難以分析出較具體的結果；而電腦系統可以處理大量資料且進行資料的分析，而分析出使用者肉眼難以察覺的結果，因此需要系統化的決策方式輔助決策時的思考，以避免使用者可能的僵化思維(Hoch *et al.*, 2001)，本研究因而發展一個能進行空間性因子分析的環保設施選址線上決策支援系統，配合較高效率的平行運算方法與工具，改善選址決策分析的效率，並對網格式與向量式掩埋場、水質監測站、與空氣品質監測站選址問題，進行選址決策分析示範。

決策支援系統發展的平台有多種類型，網路型決策支援系統為近年較多見的一種(Turban *et al.*, 2006)，今日網路已是重要資訊傳播管道，對於決策支援系統而言，若將系統建置在網路上，使用者不需在同一地即可進行決策分析，且環保選址所需背景資訊與系統的調整可在網路伺服器端上更新即可，不同使用者僅需透過網頁瀏覽器操作系統，而免去單機安裝系統所可能產生的資料更新不同步或系統版本不一的狀況。

1.2 研究目的

由於選址過程需要分析各種選址因子及處理不同的空間資料。且針對不同的選址問題，決策分析方式亦不同，為有效輔助決策，有必要發展一個適當的工具，改善選址的決策品質與分析效率，本研究因而建立環保設施選址決策支援系統，主要研究目的可分為以下三點說明：

1. **發展具有彈性且可適用於不同環保設施選址問題的優選輔助工具：**本研究主要探討掩埋場或類似的環保設施選址問題，此類選址經常會採用一些空間資料進行選址分析，空間資訊主要可分為網格式與向量式兩種格式，雖然本研究群已發展了網格式優選模式與程式及向量式優選模式，但針對向量式資訊仍有必要發展求解效率較高的程式，且有必要進一步整合空間與優選決策分析工具及模式，以增進選址決策輔助分析效率，不論網格式或向量式選址分析，皆有適當工具可用以提昇選址決策品質。並藉由模組化的發展，整合為決策支援系統，將選址前後流程貫串為一連續的程序，而不會被分散的工具使用流程在選址決策過程中干擾使用者，降低決策品質。
2. **改善選址優選模式的求解效率：**由於之前發展的向量式選址優選模式利用套裝程式之求解效率仍不佳，本研究因此發展向量式專屬空間格式與演算法，再以具較高演算效率的 C 程式語言發展向量式選址程式。此外，當網格式選址案例範圍較大時，求解時間太長，本研究因此根據網格式選址特性，發展專屬之平行運算模組，以改善選址範圍較大時優選模式的求解效率。
3. **改善選址空間性資訊之決策分析環境：**過去研究情況為優選模式為主要的研究，則空間分析工具不夠完備，而以空間分析工具(如 GIS)為主者，則較缺乏選址相關優選分析功能。在選址決策上，此兩種工具的整合仍待改進。本研究因此建立一空間性分析模組，分別與網格式跟向量式選

址模組整合，分析優選場址之空間資訊，以利於進行整合之選址決策分析。

1.3 研究流程

本研究主要目標是發展一個環保設施選址決策支援系統，整合選址空間與優選分析，以提昇選址決策品質，研究流程如圖 1.1 所示，主要分為下列七個部份：

1. **環保設施選址問題分析**：分析環保設施選址特性，並界定本研究所進行的選址問題應用範圍，分析選址限制與相關選址因子。
2. **環保設施選址決策支援系統架構規劃**：根據環保設施選址決策優選分析與空間分析需求，以及選址決策所需的空間資料，包括選址因子的網格式與向量式等資料，規劃系統架構，主要包括三大模組：求解模組與專屬演算法、平行運算模組與空間分析模組。
3. **發展環保設施選址求解模組與專屬演算法**：模組化為整合系統的一個重要步驟，透過模組化建立適當的輸出與輸入介面，才能進一步與其他模組工具進行整合，輔助決策分析支援程序，因而先將過去所發展之網格式求解模式納入，並發展成一子模組。由於向量式模式執行的效率問題，故亦發展專屬的向量式選址專屬演算法以進行向量式選址優選分析，包括建立選址案例的向量式選址空間資料格式，並依所發展的專屬資料格式輸入求解模組；然後撰寫相關程式作為運算模組求解的核心，並將其模組化，以供決策支援系統使用。
4. **發展環保設施選址平行運算模組**：根據網格式模式求解的特性，發展選址模式專屬平行運算演算法與程式以改善求解的效率，並利用五台電腦與自行發展的平行運算環境輔助程式，建立平行運算環境，令平行運算可架構在一般個人電腦上，降低硬體技術的難度及減低購置成本，並進一步發展成網格式平行運算模組，納入決策支援系統。

5. **發展環保設施選址空間分析模組**：環保設施選址牽涉到大量空間資訊分析，本研究發展適合選址使用的空間分析模組，提供選址空間分析功能，並將空間資訊視覺化，與整合入主要的系統操作介面，協助使用者以空間分析模組掌握整個環保設施選址流程，藉由與其他模組互相結合，成為具有優選分析功能的空間分析工具。
6. **環保設施選址決策支援系統建立**：此部分針對掩埋場、水質監測站與空氣品質監測站等不同的環保設施選址問題特性，整合選址優選模式模組、平行運算模組與選址空間分析模組，以環保設施選址決策需求考量，整合各項模組建立環保設施選址決策支援系統。
7. **選址案例應用示範**：以案例實際示範使用者如何應用本研究所發展的系統進行選址分析，先示範網格式平行運算對更複雜的網格式選址問題選址效率的提昇，並驗證平行運算環境之實用性，之後示範向量式選址程式如何改善向量式選址空間資訊的選址優選分析，包括改善過去模式的結果與提昇效率，最後示範本決策支援系統在選址過程中如何結合各模組輔助決策分析，以提昇選址決策分析品質。

1.4 論文內容

本論文主要說明如何發展環保設施選址決策支援系統，接下來在第二章進行文獻回顧，回顧過去有關優選模式、平行環境及環境選址決策支援系統等相關研究文獻。第三章介紹環保設施選址決策支援系統之架構，說明在兼顧選址流程中重要的程序時，各模組如何相互整合以輔助環保設施選址決策支援，其中包括設計理念與概要內容。第四章敘述本研究如何將環保設施選址模式進一步發展為選址模式模組，以及本研究針對向量式選址問題所發展的專屬演算法、專屬格式與獨立的模式模組。第五章說明本研究如何克服網格式選址問題平行化問題，與發展專屬演算法，並發展一個平行化環境，據以建立一個環保設施選址模式平行化演算模組。第六章說明本研究如何發展環保設施選址空間分析模組，使其可以具

備優選功能，並進行較具效率的選址分析。第七章說明環保設施選址決策支援系統之建立，如何根據掩埋場、水質監測站與空氣品質監測站不同的選址特性，整合前幾章所敘述的決策分析工具，藉以提昇選址決策支援的品質與效率。第八章進行選址案例應用示範，包括證實平行運算對網格式選址問題，與向量式環保設施選址優選演算法對向量式選址問題的效率提升，以及示範本研究所發展的子系統如何提昇對各選址問題的選址決策支援品質。第九章總結本研究的貢獻，及對未來的研究方向提出一些建議。



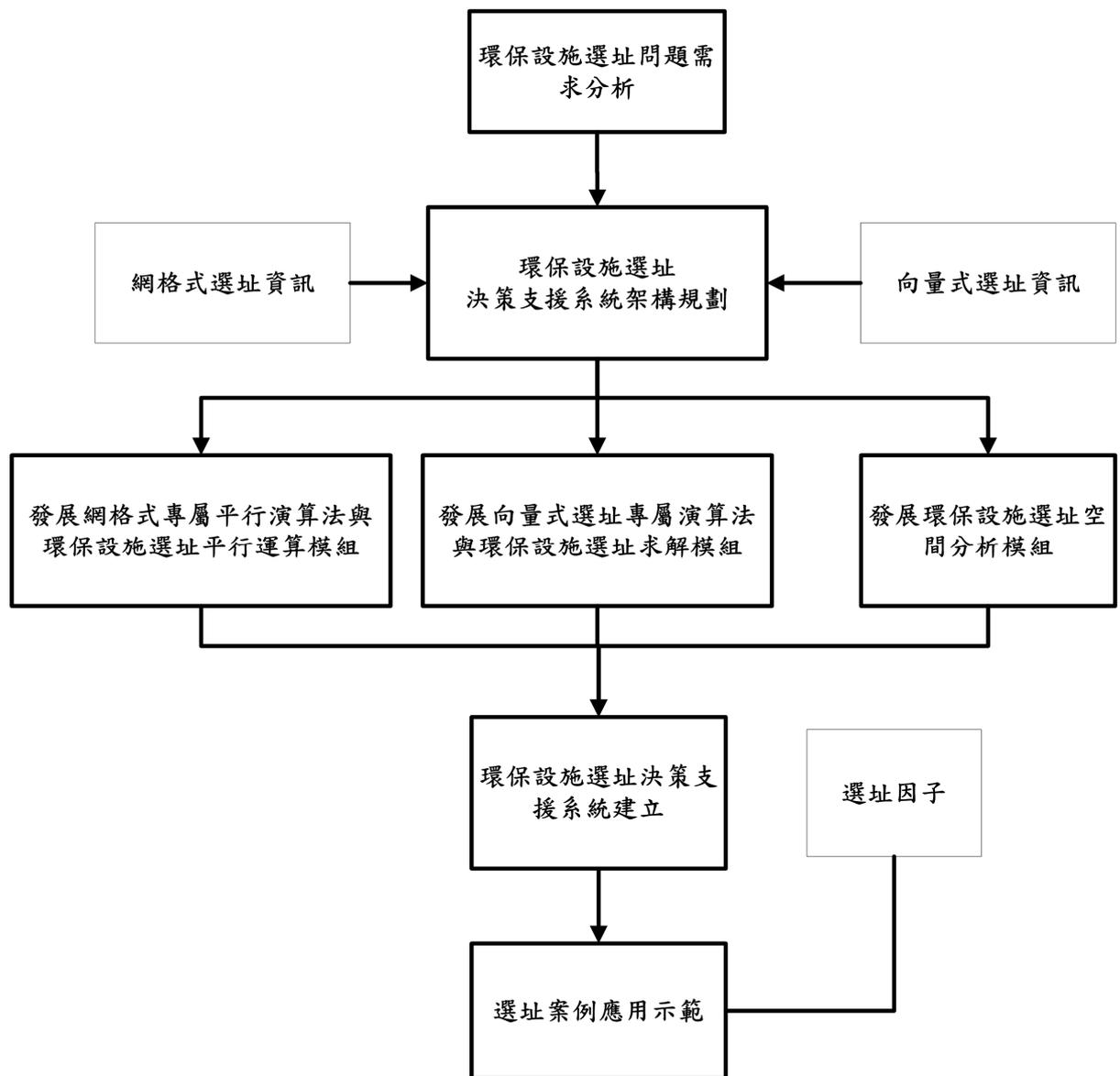


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章回顧環保設施選址決策支援系統相關文獻，內容分為環保設施選址問題、環保設施選址初篩、選址模式優選模式及演算法、電腦模式之平行運算與環境及選址決策支援系統五大部份討論。

2.1 環保設施選址問題

Maniezzo *et al.* (1998)說明環保設施選址為在所需的問題類型上，基於不同因子考量，而給出一個或數個適合設址的地點。Malczewski (2004)將選址問題分為兩類，一類為已經預設數個候選場址，再根據決策需求的不同，評估這些場址並排序，然後找出最適當的場址；另一類則是沒有預設場址供選擇，分析者根據選址因子限制，對案例區各種可能的位置加以分析，方能得出候選場址。本研究即是屬於後者，由於沒有預設場址，故需要在給定的區域中，根據環保設施設址的需求給定方案，故有許多困難需要克服。

Maniezzo *et al.* (1998)指出環保設施選址分析的困難處有二：一是問題類型本身所帶來的複雜性，二是對於不同選址目標間的妥協。換言之，環保設施設址先天上即受到不少規範與限制，以避免或減輕設址後的負面影響，如 Frantzis (1993)指出如掩埋場的環保設施，可能會帶來水污染、景觀、噪音與臭味和區域改變等影響。因此設址時須考量相關選址因子，提升環保設施設址的適當性，以降低可能的負面影響。而選址在評估各選址因子時需要收集不少空間資料進行分析，過去研究者如 Sumathi *et al.* (2008)進行掩埋場選址研究時針對所需評估的因子收集各項圖層，包括土地利用與地質因子等圖層，每個圖層因子資訊由許多區塊為單位表示其空間性質，包括其屬性資訊與面積。Ouyang *et al.* (2008) 在規劃水質監測站時，分析河川流域地理資訊，其中包括 599 個河段的詳細資訊。Kanaroglou *et al.* (2005)進行空氣污染監測站選址時，使用土地利用與人口圖層等空間資訊，亦因為其案例區大與人口散佈的複雜性較高，以及選址模式以網格

呈現為主，故需要轉換大量空間資訊。在上述這些選址研究中皆由於選址各因子圖層所包含空間資訊頗多，而需要適合工具進行空間分析，故上述研究者們都採用 GIS (Geographic Information System)協助處理及分析。

GIS 雖可協助處理及分析空間資訊，但仍無法完全滿足選址決策所需，Densham(1991)在說明 GIS 應用於決策支援時，指出 GIS 對於特定的決策問題，缺少應用面的彈性，如需要不同格式的圖形與報告格式等，更重要的，GIS 對於情境(context)變化或決策過程變動，也缺乏足夠的彈性予以對應。如在前述研究中，應用 GIS 已可改善不少空間資訊分析效率，但仍未能改善在選址決策分析所需要的一些關鍵工具，且為表示區域中的空間性質與因應不同決策分析需求，選址案例可能會以不同格式儲存土地區塊、河段資訊或人口分佈等數據，而儲存格式又會因使用不同的分析工具而改變，或需進行格式轉換，而這些格式一般較複雜且較難跨工具使用。這些問題主要是因一般 GIS 軟體通常並非針對特定選址問題的決策分析步驟設計，故在資料格式上並沒有考量選址的需求，且亦未結合優選模式，導致一些 GIS 格式與分析工具都有其侷限性，不完全滿足選址決策分析的需求，故本研究發展環保設施選址決策支援系統，對於個別選址問題發展適合的空間分析工具及資料格式，並結合相關的選址優選分析模式，希望能增進選址問題的分析效率與品質。

目前常見的環保設施選址問題包括掩埋場選址(Nas *et al.*, 2010; Chen and Kao, 2008)、水質監測站選址(Kao *et al.*, 2008)、空氣品質監測站選址(Kao and Hsieh, 2006)、廢棄物轉運站選址(Li *et al.*, 2008)、資源回收站選址(Kao *et al.*, 2010)與焚化爐選址(Wey, 2005)等問題，唯由於人力時間有限，本研究因而主要針對掩埋場、水質監測站與空氣品質監測站等選址問題進行研究，而這幾個問題是國內外都經常碰到的環保設施選址決策問題，本研究對於掩埋場選址問題建立兩個決策支援子系統，且另外對於水質監測站與空氣品質監測站選址問題各建立兩個示範子系統。

2.2 環保設施選址初篩

選址分析過程中，一般會以一些因子進行初篩(screening)，這些因子通常為法規要求或一般應避免的條件或原則，初篩步驟為將這些條件與原則，各先建立圖層後，進一步進行疊合，可得到一個篩選圖，之後再將篩選圖中較零碎且明顯不宜設址的區塊除去，最後此圖層即是初步選址待選區域(Noble, 1992)。如此先將明顯不適當的區塊排除，之後即可不必針對這些被排除的區塊作進一步分析，減少後續選址分析的工作負荷，過去如 Kao *et al.* (1996)與 Kao *et al.* (1997)、Sener *et al.* (2006)、Yesilnacar and Cetin (2005) 等研究皆先以去除不適當區域為基層圖層(mask layer)或搜尋區域(search areas)，之後才針對其他選址因子進行分析，初篩的目的在於初步找出選址潛力較高的地區，唯本研究雖亦參考這些方法進行初篩以減少後續分析的負荷，而環保設施選址過程中，更為複雜的部份為分析不同選址因子間之妥協，以分析出較明確的場址候選方案，故研究重點主要較專注於發展初篩後的優選場址工具。

2.3 環保設施選址優選模式及演算法

初篩後，即需針對候選區域進行進一步的選址分析，然而由於需同時考量不同的選址因子，以及所評估的選址因子間重要性不同，為了在綜合考量不同選址因子狀況下得出適當場址，因而有的分析者採用權重法進行分析，如 Sener *et al.* (2006) 使用權重法分析出設址潛力(potential)，但這只能針對單一網格或小區塊分析，且尚未考量到選址的空間性因子。

Shirabe (2005)說明空間性因子考量包括大小(size)、形狀(shape)與關聯性(spatial relation)，其認為形狀因子在進行優選模式分析的難度頗高，與環保設施選址較相關的為前兩項，尤其場址形狀與周遭因子特性等空間性考量，為選址的重要決策依據，例如一般會期望場址能夠完整且避免破碎與畸零的情況，因而 Wright *et al.* (1983)、Gilbert *et al.* (1985)與 Diamond and Wright (1989)等研究因而

提出場址集中性解決此問題，這些研究一般以周長除以面積定義集中性，其目的在於盡量保證優選模式可以找出外型合適的區域，以設置相關環保設施。

Wright *et al.* (1983)及 Minor and Jacobs (1994)雖各發展一考量集中性的場址優選模式，然而這兩個優選模式所需整數變數與限制式數量均較多，造成運算與分析時間也相對的增加，因此有必要改進優選模式的效率問題。Kao and Lin (1996)因而發展了一個網格式選址優選模式，減少優選模式的整數變數及限制式數量，計算求解時間約只有其他模式所需時間的 1/20，明顯增進了求解效率，雖然此優選模式已明顯改善求解效率，但針對大區域問題而言，仍然需要再進一步改善求解效率，故 Kao(1996)更進一步發展了一套演算法求解，並以 C 語言撰寫了一個程式求解，效率更進一步提昇，且不必使用模式求解套裝軟體即可求解，以及容許分析者放寬空間性上的限制，如橋(bridge)等的出現。唯這些工具仍需要由專業人士操作，一般分析者不易馬上上手使用，故本研究將依據這些研究成果發展一個網格式選址優選模組，讓這些成果能有效用於改善選址決策。

除以上提及的網格式空間資訊類型外，環保設施選址案例的空間資訊尚有向量式類型。Church (2002)說明選址時選擇這兩種格式之一的可能原因如下：

1. 收集或購置時的格式即是如此。
2. 分析或模式所應用的格式種類需求。
3. 相關分析系統的價格或是資料購入價格。
4. 此格式為分析軟體所需格式。
5. 分析者系統管理需求。

由於這些原因，選址分析除採用網格式格式外，亦常用向量式格式資訊。相較之下，依據網格式空間資訊進行選址，由於案例區為固定的網格大小所組成，網格尺度小時可提供詳細的空間資訊，但資料量也會增大。而向量式空間資訊是以點線面表示，較接近真實土地劃分情況，向量式空間資訊檔案通常較小，

較易傳輸，唯其區塊不如網格式規律，在此類格式選址分析上，需要發展適當的向量式選址分析工具協助使用者進行分析。

如前所述，目前針對網格式空間資訊已有相關模式、演算法及工具可使用，但仍有向量式選址問題需要解決。Lin and Kao (1998)曾發展了一向量式選址優選模式，此向量式優選模式相較於網格式優選模式，由於向量式選址分析是處理以點線面表達的地理資訊為主，故所需要處理的空間性變數及限制式會少很多，但針對較大區域問題，仍有必要改善求解效率，且目前並沒有相關的演算法可使用，故本研究發展一個演算法與專屬格式，且依據此演算法撰寫電腦程式，且進一步發展為可與其他選址決策分析工具結合的向量式選址優選模組，以改善選址決策的品質與效率。

2.4 電腦模式之平行運算

前一節所提到的選址優選演算法程式雖然效率已比優選模式快很多，但隨著對選址案例區的尺度更細，或案例區面積較大時，求解時間仍會增長許多，需要尋求解決方案。Paprzycki and Stpiczynski (2006)說明雖然現代電腦的發展速度朝著 Moore's Law 所預測的增加運算效能，但仍趕不上問題複雜度的增長，此時即會考慮平行運算做為解決此類需大量運算問題的工具，而 Armstrong and Densham (1992) 也提及平行運算可做為空間性因子模式(spatial models)所帶來的大量運算的解決方案，另外在其他應用平行運算的研究中，如 Babendreier and Castleton (2004)應用平行運算方法進行對有害廢棄物管理設施的風險評估以改善決策效率，Vrugt *et. al* (2006) 應用平行運算於環境模式中隨機參數的估算。在其他領域方面，平行運算亦應用在很多問題上，如 Thomas and Li(1996)曾應用平行運算求解二維熱與水氣的傳導問題，以及 Sziveri and Topping(2000)曾利用 MIMD 的電腦架構，增進求解有限元素分析的效率，故本研究以平行運算來改善選址時的計算效率問題。

但將問題化成平行運算求解並不容易，Vrugt *et al.* (2006)認為平行運算尚未廣泛應用，其中原因之一為技術難度頗高。這些困難之處，如 Armstrong and Densham (1992)所提，研究者需將原本連續式(sequential)的模式類型，改為平行化模式，才能進行平行運算求解。Pirozzi and Zicarelli (2000) 提出一些平行運算所面臨的困難，如怎麼把原本的問題分解(decomposing)成可平行運算的區塊，各處理器間怎麼共通資訊 (communication data between processors)，以及資料的輸入輸出與處理器分配負載等問題，這些問題在原本的連續式類型對於整體演算影響不大，但在進行平行運算時則成為頗重要的問題。故本研究針對原本選址程式，撰寫特定平行運算演算法來改善此問題，將待解區域分區求解，而其他問題與平行運算環境的架構有關。

在平行運算環境部份，根據費林分類(Flynn's taxonomy) (Paprzycki and Stpiczynski, 2006)，依照指令流(instruction)與資料流(data stream)可分為四類：

1. **SISD** (single instruction stream/single data stream): 單指令流，單資料流。
2. **MISD** (multiple instruction streams/single data stream): 多指令流，單資料流。
3. **SIMD** (single instruction stream/multiple data streams): 單指令流，多資料流。
4. **MIMD** (multiple instruction streams/multiple data streams): 多指令流，多資料流。

Paprzycki and Stpiczynski (2006)說明在這 4 個類型中，以 SIMD 與 MIMD 為主要應用類型。而在 MIMD 架構中，有一種子類型為 SPMD (single program/multiple data) (Algorithm and Theory of Computation Handbook, 2004)，意即每一個處理器 (processor)執行相同程式，各自擁有自己的資料流(data stream)，這種方式可應用於組合多台個人電腦為平行環境，故本研究採用 SPMD 為發展平行運算的類型，但在架構平行環境時，常需要(1)有可配合平行運算的

語言或函式庫;及(2)特殊的電腦設備及安裝平行環境，對於電腦基礎一般不強，且經費有限的環保單位，將會是一項考驗，故本研究在考量使用難度與成本限制下，發展一個可用以進行環保設施選址決策分析的平行運算環境。

2.5 環境及選址決策支援系統

環保設施選址決策問題，在有限的土地資源下，需考量眾多的選址因子，尤其是一些具有空間性的因子，更增加了選址決策分析的複雜性，選址分析須要選擇選址因子、案例區初篩、初篩後選址區域評估、優選分析與空間分析等等工作，以篩選出較適當的場址，以期發揮設施的功能保護環境且降低其可能帶來的負面影響，以上每一步驟如之前所述，都是重要且彼此相關，如何有效率的進行決策分析及改善決策品質，是研究者的一個重要挑戰，因而本研究發展決策支援系統提昇選址決策分析支援的品質與效率。

決策支援系統的概念在 1970 年代即已形成，如 Little(1970)即曾定義決策支援系統為以模式為基礎而處理資料與判斷的數個程式集合，以輔助管理者進行決策制定。而 Gorry and Morton (1971)定義決策支援系統為一電腦系統，協助解決結構化的問題部份，亦即可參數化或程序化而進行優選模式分析的部份，但過程中決策制定者亦加入分析，利用資料及模式來解決非結構化問題，亦即優選模式無法考慮的部份，如 Turban *et al.* (2006) 所說，決策支援系統是有彈性的，且容易有反應的，它可容許管理上的直覺及判斷併入分析之中。也就是說，決策支援系統結合了人類使用者經驗與優選分析的優點進行決策制定，而此特點亦是環保設施選址決策時所需。

傳統的決策支援系統主要架構為模式庫、資料庫與使用者介面，其中模式分析為決策支援系統的重心(Turban *et al.*, 2006)，而對於環保設施選址決策這樣需要分析空間性資訊的問題而言，空間分析工具整合系統甚為重要，因而開始有人發展空間性決策支援系統(spatial decision support system)，Crossland *et al.* (1995)

進行對空間性決策支援系統的試驗，比較空間性決策支援系統與傳統的紙本與工具進行選址決策進行比較，利用空間性決策支援系統的使用者出錯的機率較小，原因為：1. 空間性決策支援系統可以提供互動式的圖層顯示，較傳統只能面對靜態的圖層資訊要好；2. 更重要的是空間性決策支援系統可提供更有效率的圖層顯示，而傳統作法以紙本地圖進行分析，若問題較複雜而需要顯示不同的空間分析時，則須要增加紙本地圖的數量以進行分析，但使用者可透過空間性決策支援系統，將傳統所需的多份地圖轉為同一介面顯示，令問題分析更有效率；3. 由於視覺化的關係，空間性決策支援系統能夠產生更引起使用者注意的資訊，令使用者更能掌握問題分析的要點，提昇選址決策品質。本研究因而結合模式庫與空間分析的優點，發展環保設施選址決策支援系統。

而在決策支援系統的操作與發展上，Turban *et al.* (2006)認為大多數使用者並不是程式設計者，所以他們需要容易使用的發展工具及程序，以理解相關格式資料的讀取，以及能以有意義的方式來操縱這些資料，由於現今使用者已多能夠利用電腦的一般操作與利用網路資源，且亦有不限時地的優點，故網路決策支援系統可提供使用者一個適當平台進行決策支援系統的操作。且以網路為平台發展系統，能較順利使用本研究所發展的平行運算環境，因而本研究建立整合空間分析與優選分析，以網路為操作平台的環保設施選址決策支援系統，應用在選址決策上。

回顧過去相關研究時，過去研究者曾建立一些系統協助選址決策分析，如在掩埋場選址相關研究中，Siddigui *et al.* (1996) 與 Sener *et al.* (2006)以層級分析法 (Analytic hierarchy process, AHP)結合 GIS 進行掩埋場選址潛勢區域分析。Charnpratheep *et al.* (1997) 與 Gemitzi *et al.* (2007)除結合 AHP 法與 GIS 外，採用模糊理論(Fuzzy)分析選址因子與選址分析的不確定性，進行潛勢場址區域的篩選。Kontos *et al.*(2005)整合多目標分析法、空間分析與空間統計方法，結合 GIS 處理選址因子空間資訊進行設址潛勢區域分析。以上研究者雖均利用 GIS 結合

其他方法進行掩埋場選址區域分析，但尚未進行至場址搜尋及優選階段，亦未建立 DSS 改善決策分析。

Kao *et al.* (1996) 曾以一些規則與地理資訊系統結合建立一個網路版的掩埋場選址專家系統，唯該系統無法分析一些較複雜的空間性因子，且沒有優選功能。而 Al-Jarrah and Abu-Qdais (2006) 利用模糊邏輯方法(fuzzy logic)建立選址決策支援系統，應用許多 Fuzzy IF-THEN rules 進行對場址適合度的評分，係對已選定的數個場址進行評估與排名；Chang *et al.* (2008) 結合 AHP 法、GIS 與模糊理論建立空間性決策支援系統，對已知候選場址進行評選與分析，這些系統為另一種類型的輔助系統，但亦缺乏優選能力。雖然這些空間性決策支援系統在選址決策支援上提供不錯的分析工具，但缺少優選功能，因而一些較適合的選址方案有可能未被分析到，影響選址決策的品質。

在水質監測站部份，Dixon and Chiswell (1996) 曾回顧相關文獻，提出水質監測應考量監測目標、資料分析、水質指標等，由多方面綜合評估。Dixon *et al.* (1999) 在考量判定污染源效率下，以河段數、河段長度與面積等三個地理特性因子為目標，並以模擬退火演算法求取較佳的監測站網；而林(2000)則再增加總氮、總磷與沈積物三個污染特性因子為目標，以上兩個研究皆使用模擬退火演算法進行求解，故尚不能保證所得的解為全域最佳解。甯 (90 年) 曾以多目標規劃優選監測站網，且應用模糊理論反應多目標評估系統的不確定性，唯該研究除了較複雜且較難評估所得結果外，亦未建立系統輔助決策分析。

因此本研究團隊 Kao *et al.* (2008) 曾發展一集水區水質監測站選址模式，除 Dixon *et al.* (1999) 所建議之河段數目、河段長度與測站涵蓋面積因子之外，更加入總磷、總氮與總沉積物因子，以期反映集水區污染分佈，並以成本均化模式與覆蓋消去均化模式進行優選求解，根據站數需求不同，得出適當的監測站分佈。但以上模式尚未發展為整合系統，提供使用者足夠的決策支援，故本研究在此進一步根據以上監測目標與兩個數學優選模式發展決策支援示範系統，並整合空間

分析與統計圖表功能，示範使用者如何彈性應用於集水區水質監測站選址問題上，以期能得到符合集水區特性與監測面積的水質監測站網。

另外在空氣污染監測站相關研究中，Noll and Mitsutomi (1983)以偵測累積污染量最大為設計考量，篩選出累積污染量的最大位置，最後再依據所需站數決定站網分佈。Modak(1985)則考量偵測範圍最大，或考慮偵測範圍最大與超出法規標準為設站目標，再利用最小展樹法(Minimal spanning tree)與效用函數法(Utility function)選出站網分佈。Trujillo-Ventura and Ellis(1991)採用空間覆蓋率、偵測到超出標準次數、資料正確性與站網成本等目標，再以權重法找出適當站網方案。上述研究主要針對區域型空氣品質監測，與工業區污染源集中且污染量大的特性不同，因此有必要發展不同的規劃方法，Noll *et al.* (1977)以最高濃度發生機率為目標進行站網規劃，對較大的點污染源進行監測站選址設置，Arbeloa(1993)以監測站可偵測範圍最大與超出法規標準最大為考量，以最小展樹法與效用函數法進行規劃。但這些求解方式有的並未保證能找到優解，或是選取的目標仍有改善之處，本研究團隊 Kao and Hsieh (2006)因而以 1. 偵測頻率最高; 2. 偵測累積濃度最大; 3. 偵測總範圍最大; 4. 保護人口最多等目標，對於工業區空氣污染問題進行站網設置分析，以多目標模式分析方式，對於不同站點需求進行站網設置分析，但也未建置成一個整合系統，將各工具有效率的結合，因而在本研究中進一步建立決策支援示範系統，以整合系統工具方式，輔助使用者進行空氣品質監測站網分析，以提昇監測站網分析品質。

針對其他環境問題，亦曾有研究發展相關的系統輔助決策分析，例如 MacDonald (1996)整合專家系統與規劃模式等工具為決策支援系統，整合分析各種固體廢棄物管理所需的決策因子進行廢棄物管理規劃，並讓協助使用者瞭解規劃結果對環境的影響。陳(1997)針對河川流域管理進行決策支援系統的建立，達到管理土地、水質與水量三大因子的目標，並有效擬定河川流域水管理策略。Hastrup *et al.* (1998)曾發展都市有害廢棄物管理決策支援系統，整合多準則模

式，進行五個廢棄物處理設施設置方案評估與決策分析。游(2003)建立土地利用管理決策支援系統，以動力模式為主，結合一些軟體工具，考慮對空氣、水與土地可能的影響下，進行土地利用分析。Simonetto and Borenstein (2007) 建立一個廢棄物清運決策支援系統，使用者可以該系統配置清運車輛跟決定清運路線，安排清運人力資源，並以實例示範該系統之應用。周(2008)發展水庫操作決策支援系統，連結乾旱預警決策分析模式與水資源歷史資料，分析不同減水策略與提供應變方案。以上可得知決策支援系統能藉由整合多項工具，而有效率的進行環境問題分析，因此本研究採用 Geotool(Geotool PMC, 2006)與 JAVA 程式語言發展選址模式模組與空間分析模組，提供使用者具優選功能之空間分析工具，且進一步結合本研究發展的平行運算模組，發展專屬於環保設施選址問題的優選工具與空間分析工具的系統，並且各項工具皆為互相整合與支援的模組。以期建立一個可有效改善環保設施選址決策分析效率與品質的決策支援系統。

此外，Uran and Janssen (2003)曾指出不少決策支援系統在實際決策分析上經常效率不佳，原因是有的系統功能太過複雜，且當待選適合場址過多時，使用者必須重複不斷輸入選址資料的步驟，方能針對適合場址中做進一步篩選，如此一來十分耗費使用者的時間。決策支援系統亦常有需要較長學習時間，以及系統價格昂貴等等缺點。這些均是發展決策支援系統需要注意的問題。因而本研究針對不同選址特性發展不同選址決策支援子系統，提供適量的分析功能，以協助使用者可較有效率的進行選址決策分析。

第三章 環保設施選址決策支援系統架構

由於環保設施選址係對案例的大量資訊及不同需求與因子規範下，在所給予的空間內找出適當的設址地點，為能結合使用者的經驗與電腦模式工具分析功能，使整個決策程序能夠儘量完善考量各層面，以及提升工具彼此的整合性，本研究針對環保設施選址優選、空間分析與對較複雜案例的求解效率發展一個決策支援系統改善選址決策品質與效率。所發展的環保設施選址決策支援系統架構如圖 3.1 所示，主要包含三個主要模組：環保設施選址優選模組、環保設施選址平行求解模組與環保設施選址空間分析模組等，以下分別簡述各模組的設計理念及概要內容。

1. **環保設施選址優選模組**：環保設施選址決策優選分析，需要在候選區域中，依據一些選址因子找到適合度較高的候選場址。但過去一些優選模式與工具，對於向量式選址空間資訊格式支援較不足，或是這些模式與工具之操作較複雜，當有新的或改變選址考量時不易再進行新的分析。為了改進環保設施選址決策分析品質，本研究發展出可同時考量集中性與其他選址因子的選址優選模組，該模組結合過去本研究群所發展的網格式選址優選模式與電腦程式，以及改善向量式優選模式所發展的向量式優選程式，發展環保設施選址優選模組，並為環保設施選址決策支援系統的主要模組，設計理念及發展目標如下：

- a. 依選址問題所需考量的條件與因子特性進行優選，根據重要性予以加權，以及結合選址區域集中性、面積及成本等考量，綜合選出一塊適宜性與設址可行性高候選址區域。
- b. 由於選址分析上，相關選址空間資訊有不少是以向量式資訊儲存，而向量式選址模式具有輸入參數較少之特點，可有效率的求解環保設施選址問題，因此本研究發展向量式環保設施選址優選

程式，與網格式環保設施選址優選程式整合，分析者可視選址案例的需求採用適當的工具輔助選址決策。

- c. 優選模組以獨立模組方式發展，且簡化過去優選工具操作之步驟，搭配系統使用介面，令使用者可依據選址需求，重複選定不同決策參數，如因子權重分配等，進行多次之選址優選分析，直至較合適場址出現，提昇選址決策分析時之效率。

2. **環保設施選址平行求解模組**：環保設施選址案例越大，或是複雜性高時，以網格式掩埋場選址問題為例，其所需分析的土地網格會隨著案例區或場址大小增多，導致進行優解分析時求解時間太長，因而有必要考量採用平行運算法提升選址求解效率，但一般的平行運算方式大多需要較專業的資訊領域知識，以及使用較高階的電腦設備或特殊軟體，對於環保設施選址決策分析者而言，購置成本與技術上都有相當難度，因此本研究發展可供平行求解模組使用的專屬演算法，然後據此發展平行求解模組，期使此模組達到以下目標：

- a. 以專屬平行運算演算法且成本低的平行運算求解環境解決環保設施選址決策分析上因選址範圍增大，或是選址因子複雜性高而衍生的選址求解效率問題。
- b. 讓環保設施選址決策分析者不須受太多專業資訊領域訓練，就可透過此模組結合既有之運算設備進行選址優選求解，降低設備購置成本。

3. **環保設施選址空間分析模組**：選址過程關係到許多空間性因子，在過去他人研究中亦可得知，環保設施選址問題通常需分析大量的空間資訊進行決策分析，尤其是選址亦需考量場址的空間特徵，若僅以優選程式所產生數值或文字描述之優選結果，不易表達其空間性質，加上優選分析本身雖考量一些空間性的因子，但優選分析仍不容易對選出之空間性質

進行整體考量，仍需選址決策分析者的判斷，以分析選址結果，因此需要空間分析工具以協助使用者進行分析。但過去相關研究為空間分析所採用的地理資訊系統，並不易連結其他選址優選工具，本研究因而發展一套輔助環保設施選址決策支援分析的空間分析模組，此模組協助決策分析者處理與選址案例區所需的空間分析功能，以期達到下述目標：

- a. 環保設施選址決策分析者可藉由此模組進行環保設施空間資訊分析，以輔助選址決策分析。
- b. 環保設施選址決策分析者可藉由此模組結合選址優選模組功能進一步分析所得出優選場址之空間特性。

本系統應用的選址問題除了針對掩埋場選址等類型之決策分析建置系統，亦針對集水區水質監測站與空氣品質監測站選址決策支援分析建立系統，示範本研究所發展之模組與子系統在這二個選址問題上的適用性。



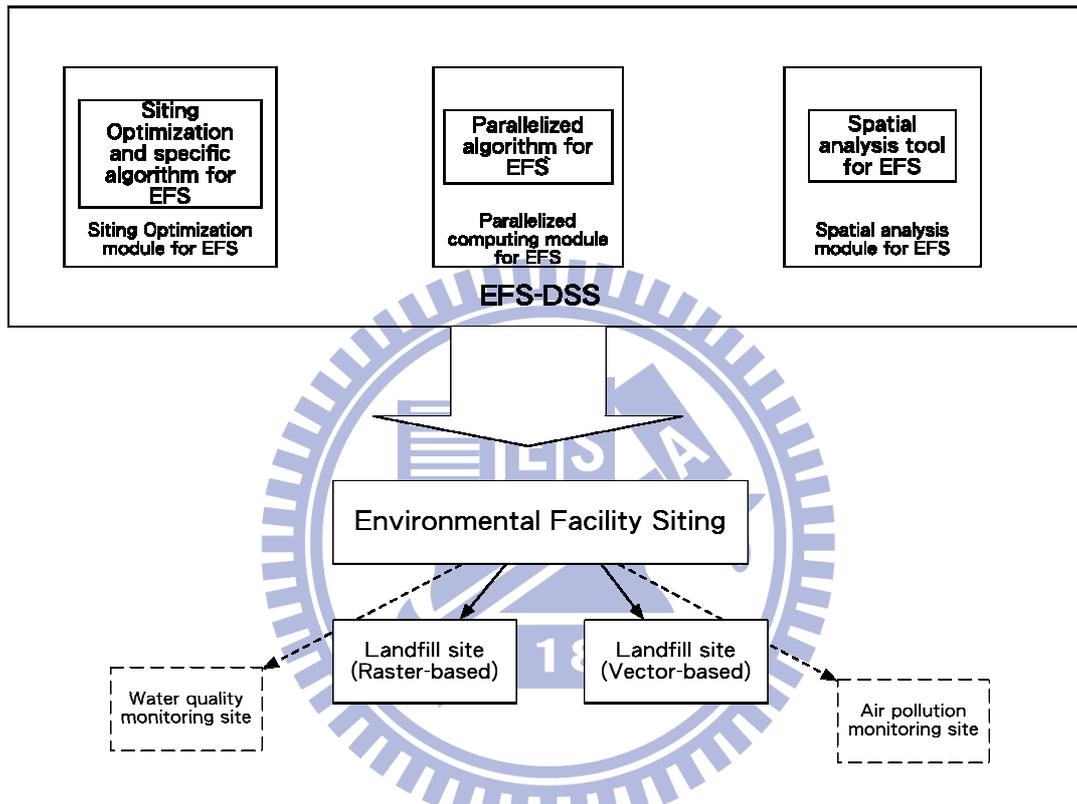


圖 3.1 環保設施選址決策支援系統發展架構圖

第四章 環保設施選址模式求解演算法及模組

環保設施選址過程中，通常需要考量一些具空間性的選址因子，分析空間性因子較為複雜，以掩埋場為例，在進行選址分析時，除了要考量如坡度等環境因子以外，也需考量集中性因子，不能採用畸零且分散的場址。因而增加空間性分析的難度。

在進行選址分析過程中，選址因子可參數化或標準化，再藉由數學優選模式進行優選分析，而求得一些優選方案。但這些因子資訊需要先以網格式或向量式格式儲存，網格式資訊雖可呈現較詳細的資訊，且計算便利，但往往資訊量較大；而向量式資訊因為比起網格式資訊檔案容量小，處理起來較有效率，但不適合儲存空間太小的資料，否則反而比網格式更沒效率。於是選址案例會因儲存資訊格式，呈現不同特性，在優選分析上，亦有必要根據這兩種格式的特點，發展不同的數學模式或演算法進行分析，因此在選址決策分析上分為網格式與向量式二種分開進行。本研究針對這兩種資訊儲存格式發展專屬的環保設施選址模式演算法與專屬模組，以改善分析場址集中性與各種選址因子的效率，有效求得適當的選址方案。

以下將分為網格式與向量式選址模式決策分析優選求解模組分別敘述如何發展模組及演算法。

4.1 網格式選址模式決策分析優選求解模組

在網格式環保設施選址決策過程中，優選分析主要根據使用者決策分析之需求優選出候選場址，使用者可變更優選條件或選址因子，得到多個候選場址，以縮小決策分析的範圍，提高決策分析的效率，因此網格式選址模式決策分析優選求解模組為本系統之主要模組。在說明優選求解模組發展之前，先簡述之前發展的網格式選址優選程式。由於過去他人所發展之網格式優選模式（Minor and Jacob, 1994; Wright et al.,1983）有整數變數及限制式太多的缺點，導致選址效率較差，本研究群因而曾建立一個優選模式(Lin and Kao, 1998; Kao and Lin, 1996)改善這些問題，該模式如下列：

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \sum_{i=0}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n+1} V_{i,j} & (1a) \\
 \text{Subject to} & & \\
 & 2I_{i,j} - I_{i,j-1} - I_{i+1,j} + V_{i,j} \geq 0 \quad \forall i \in \{0, \dots, m\}; \forall j \in \{1, \dots, n+1\} & (1b) \\
 & \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} I_{i,j} \geq A \quad \forall i \in \{1, \dots, m\}; \forall j \in \{1, \dots, n\} & (1c) \\
 & \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} C_{i,j}^k \cdot I_{i,j} \geq G^k \quad \forall k \in \{1, \dots, p\} & (1d) \\
 & I_{i,j} \text{ is } [0,1] \text{ integer} \\
 & \text{other constrains or bounds}
 \end{aligned}$$

其中式 1a 為目標式， $V_{i,j}$ 為非負變數，代表場址半總周長之長度，式 1b 以後為限制式， $I_{i,j}$ 為第 i,j 網格的 0/1 變數，代表網格式否屬於所選場址的一部分，式 1c 中， A 為所需場址大小，式 1d 中 $C_{i,j}^k$ 為第 i,j 網格的選址因子 k 的值， G^k 為場址第 k 因子的下限值，由於此模式針對每一網各僅需一個整數變數及一個一般變數，且僅有一限制式。經實際測試後已證明此模式對於環保設施選址求解的結果，求解效率比之前其他研究所發展的模式改善 20 倍左右(Lin and Kao, 1999)。

但要使用所發展的優選程式進行掩埋場選址分析，使用者需依特定格式輸入模式及選址參數，需要具備相關的優選專業及使用優選工具的能力，因而本研究將其模組化。優選分析模組化除了便於使用者使用，也利於與其他決策分析輔助工具整合，如與後續說明的空間分析模組整合進行掩埋場選址分析。因此本計畫將過去本團隊(Kao, 1996)所寫的網格式環保設施選址 C 語言電腦程式，以 JAVA (Sun Microsystems, Inc., 2009)與 Geotool(Geotools PMC, 2006)進一步發展為網格式環保設施選址模式模組，讓使用者透過所提供的友善介面引導，可專注在環保設施選址分析需求，所有輸入參數，再由優選模組自行轉換為特殊格式的輸入檔，及進行優選分析，相關操作均予以簡化，以提高選址分析效率。而優選模組所得出的候選場址，則可再經由下一章所敘述的空間分析模組進一步分析。所有空間特徵參數，亦可在空間分析模組進行輸入，以方便使用者在進行空間分析之時，視決策需求改變空間特徵參數，再進一步進行選址分析，空間特徵參數將在下一章中一一說明。

此模式的電腦化程式可以獨立運作，並成為本環保設施選址決策分析系統中的求解模組，再搭配向量式優選模式，可讓使用者因應環保設施選址案例所採用的資訊格式，進行網格式或向量式環保設施選址分析。

4.2 向量式選址模式決策分析優選求解模組

選址決策分析過程中，實務上所會遇到的空間資訊儲存格式除網格式外，尚有向量式格式，向量式資訊通常檔案較小且較易於表示不同土地分區，向量化選址模式因而所需要的變數相較於網格式選址模式應可更少，因而具有更佳的選址決策分析效率，於是本研究群曾發展了一個向量式優選模式(Lin and Kao, 1998)，該模式如下列，

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{i=n} I_i \cdot A_i \left(\sum_{k=1}^{k=m} W_1^k \cdot C_i^k \right) + W_2 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_i \quad (2a)$$

Subject to (2b)

$$S_i \cdot I_i - \sum_{j \in E_i} S_{i,j} \cdot I_j + I_i \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} I_i \cdot A_i \geq A_r \quad (2c)$$

$$(C_i^k - G^k) \cdot I_i \geq 0 \quad (2d)$$

for $k = 1 \dots m$

其中式 2a 為目標式， I_i 為 0/1 整數變數，代表第 i 個區塊是否在候選場址中， A_i 為第 i 個區塊的面積， W_1^k 為第 k 個選址因子的加權值， W_2 為集中性因子的加權值， C_i^k 為第 k 個選址因子在第 i 區塊之值， V_i 用來記錄場址周長，在式 2b 中， S_i 為第 i 區塊的周長， $S_{i,j}$ 為第 i 與第 j 區塊間的邊長，在式 2c 中， A_i 代表第 i 區塊面積， A_r 為選址所需要最小面積，在式 2d 中， G^k 為第 k 選址因子最低值。

此向量式選址優選模式相較網格式選址優選模式，由於是處理以點線面表達的地理資訊為主，所需要處理的空間性變數及限制式會少很多。但若採用商業求解軟體求解，則求解效率仍然不高。另外此模式在集中性因子權重不夠高時，可能會選出土地區塊連接不連續的候選場址，另外由於優選模式數學上的一些限制，土地區塊會朝面積最小化的方向選擇，但事實上，若選取的面積大些，在實際規劃時由於不會全部利用或是切割為適合場址，故仍為可接受的方案。本研究因而將發展專屬的演算法及決策分析優選求解模組，以進一步輔助向量式選址優選分析。以下說明所採用的資料格式及演算法。

4.2.1 向量式選址空間資料格式

向量式格式是以點線面幾何圖形來表達各種地理資訊如土地形狀、河流位置等，並以屬性資料儲存一個土地區塊的特性，如坡度、地價等選址所需考量的因子，雖然坊間商用 GIS 已有不少向量式格式，唯較複雜，故本研究採用一個較精簡的格式來儲存，以減少資料存取時間及增進選址決策分析的效率。以下說明本研究所採用的向量化格式，圖 4.1 所示為一個選址範例區的向量化後的圖形資訊，每一圖層主要是由邊(edge)與不規則多邊形(polygon)組成，其所代表的意義說明如下：

1. **多邊形**：此部份表示選址案例區的土地空間資訊，每一個多邊形代表一個土地區塊，其屬性資料包括面積及與其他土地區塊相鄰的邊，如圖 4.1 中，土地區塊 2 的相鄰邊有 b、n、h、i、j、g、d，在後續執行環保設施選址優選模組時，即會由相鄰邊所對應的土地區塊進行選址分析。
2. **邊**：代表土地區塊的邊界，且每一個邊僅有兩個相鄰的多邊形，亦即若一個邊與超過二個土地區塊相鄰時，則必須再分段，例如圖 4.1 中 A 至 B 的邊由於與三個土地區塊 2,5,及 7 相鄰，故不是本研究認可的邊，必須再細分為 d 及 g。而在選址案例區的最外圍將預設一個虛擬(Dummy)土地區塊，以滿足每一個邊有二個相鄰土地區塊的條件，亦便於演算法判斷是否已在選址區址的周界，如邊 a 為虛擬土地區塊 Dummy 與土地區塊 1 的相鄰邊。
3. **因子圖層**：針對不同的選址因子如坡度、地價等，均有如圖 4.1 的圖層，但分別儲存不同土地區塊不同因子的值，分析各種因子圖層，即可綜合考量多個選址因子進行選址決策分析。

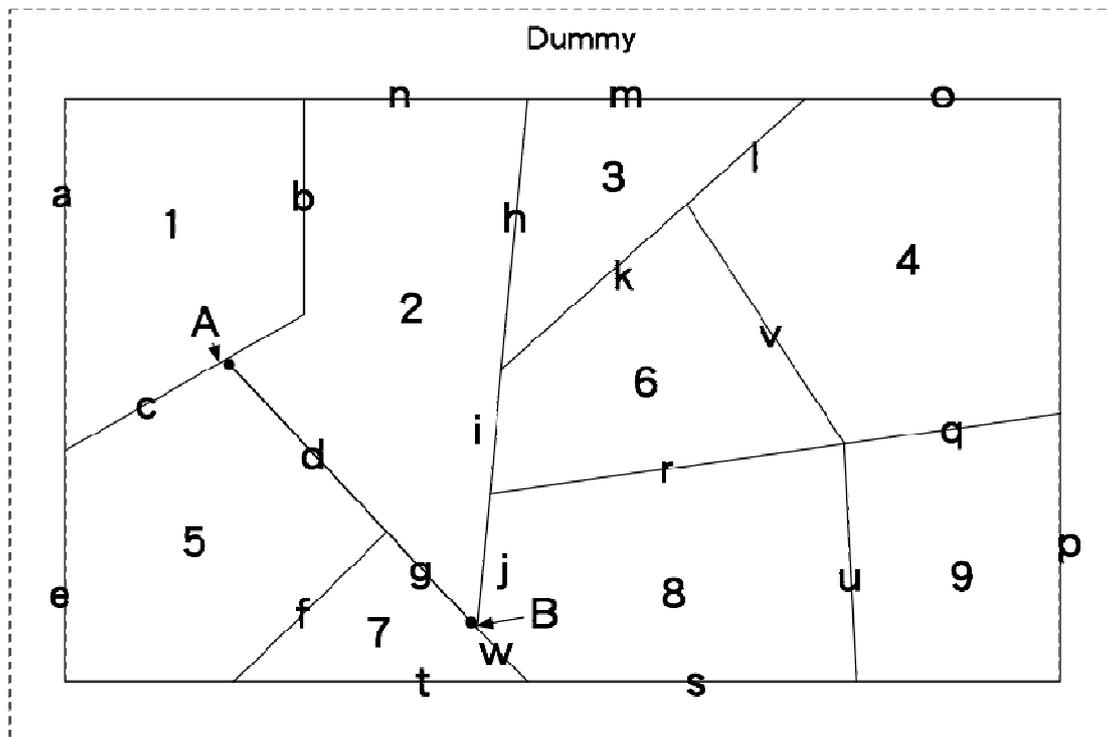


圖 4.1 向量式環保設施選址案例空間資訊格式範例

4.2.2 向量式選址優選演算法

在土地區塊中尋求合適區塊組合設置環保設施，若採用前述優選模式求解，將會影響運算速度及決策分析效率，因此有必要發展一套適當的演算法，以提高分析效率，本研究因而發展一套向量式選址專屬的演算法及電腦程式進行分析，且令本研究所發展的環保設施決策支援系統不必應用優選套裝軟體，即可用此自行發展的電腦程式求解。由於環保設施選址問題通常具有設址面積限制，以及場址集中性與選址因子的考量，過於分散的或不連續的場址就不須考慮，因此在實際使用 Branch-and-Bound (B&B) 搜尋時，可以省略許多無用的 branches，因此可以增進選址效率。本研究所發展之向量式環保設施選址優選演算法如下列：

Algorithm: Vector-based Branch-and-Bound Siting Search

Prepare and read mask and factor map layers;
Generate the LandParcel and BorderEdge arrays from the mask map layer;
Read the options specified by the user, including the weights for factor map layers, an initial optional best bound for the objective value, acceptable limit for site compactness value, bounding rules (e.g., site area, compactness value, etc.), constraints, and other options;
Initialize and empty the land parcel set for current candidate site, CandidateSite, and the array of adjacent parcels, AdjacentLandParcel;
Select the one with lowest objective value, in the LandParcel array as the TopLandParcel and then do **Site search()**.

Site search():

Add current land parcel into the CandidateSite, current candidate site;
Check current candidate site against the specified bounding rules, if not acceptable, then stop branching further;
If the size of the current candidate site is acceptable,
then do **Site Appropriateness() and then Checking best()**;
else
collect adjacent polygons that can be branched into the AdjacentLandParcel array;
select the land parcel with lowest objective value in AdjacentLandParcel as the current land parcel polygon and do **Site search()** recursively.

Site appropriateness():

Compute the compactness value of current candidate site based on its area and total length of all peripheral edges;

If the compactness value does not satisfy the specified limit, discard the current candidate site and do not branch further. (optional)

Checking best():

Check feasibility with constraints specified by the user;

Check noninferiority; (optional)

If it is a valid site, output or record the associated information;

If the objective value of the valid site is better than the currently best value, the result is recorded and the current best value is updated.

其中 *Site search()* 程序主要執行 Branch-and-Bound 演算法，由指定的起始土地區塊開始搜尋適合的環保設施場址，本演算法的場址適合值計算方式如下列：

$$C_p = \frac{\sum_i I_i A_i (\sum_{k=1}^{k=m} W_1^k \cdot C_i^k)}{\sum_i I_i A_i} + W_2 \frac{\sum_i I_i V_i}{\sum_i I_i A_i} \quad (3)$$

其中 C_p 為計算到目前為止的目標值， I_i 為 0/1 整數變數，代表第 i 個區塊是否在候選場址中， A_i 為第 i 個區塊的面積， W_1^k 為第 k 個選址因子的加權值， W_2 為集中性因子的加權值， C_i^k 為第 k 個選址因子在第 i 區塊之值， V_i 則用來記錄場址周長。

上式主要用以計算土地區塊適合度。由於原模式的優選目標值等於每一區塊的面積乘上該區塊的因子值，則針對適宜度高(因子值小時)且面積大的區域，會因而比適宜度較差(因子值大時)，但面積小的區域的目標值差，反而會被忽略，不列入待選場址。本研究為了改善向量式環保設施選址優選分析，將新目標值的考量寫進演算法中，以求得更為適宜的候選場址。

搜尋過程中，由 *Site appropriateness()* 程序確定場址集中性是否適宜，在本研究採用周長除以面積來定義集中性，若得出的數值越小，則代表其集中性越

佳。但集中性因子，不如其他因子有其最大與最小值，可供進行標準化，因而在選址中，可依以下二種方式進行：

1. **將集中性因子與其他選址因子共同考量：**此時目標值以式(3)進行計算，集中性因子與其他因子間之重要性以權重表示。根據使用者所設定的因子權重，求出此條件下的優選場址。
2. **將集中性因子分開考量：**由於集中性因子未能完全標準化，且有時集中性會有一可接受範圍，而選址重點會放在其他選址因子上的優選，故此時目標值的計算，式(3)的 W_2 為 0，集中性因子另行設定範圍，若不合集中性需求的場址則捨棄之，此時所得到的候選場址，為具一定集中性，且在使用者設定所需因子權重下，可標準化之選址因子的優選場址結果。

*Checking best()*程序主要是依據使用者對各種選址因子所設定的限制式，及依目標值評估目前的場址是否較適合，若是，則更新目前的最適解，以供 B&B 法刪除不必要 Branch 的 sub-trees 之依據。

4.2.3 向量式選址模式模組化

本研究依前所述的向量式選址空間資料格式，以及專屬的向量式環保設施選址優選演算法，發展電腦程式，並將其模組化，建立一個可獨立運作的環保設施向量式掩埋場選址優選分析模組，除了具有較高環保設施選址求解效率，不必採用商業優選軟體即可求解，且提供適當的選址介面供使用。此選址優選模式的一些選址因子的選項將由下一節所介紹的空間分析模組讀入，再自動產生優選分析所需輸入檔，以節省使用者自行製作輸入檔的時間與人力，提高選址效率，且此獨立模組亦可與系統內其他向量式掩埋場選址分析工具連結，提昇選址分析效率。

本研究發展的環保設施選址優選模式模組執行流程如圖 4.2 所示，電腦程式主要依據之前所列的演算法來撰寫程式，以 Geotool 與 JAVA 進行模組相關程式

撰寫。首先如圖 4.2 之步驟 A 讀入以專屬空間資訊格式儲存的環保設施選址案例的空間性資訊，之後如圖 4.2 之步驟 B 讀入分析者依該選址案例的情況，而所決定的各選址因子以及權重，並轉成電腦程式所需之輸入檔，然後如圖 4.2 之步驟 C 將環保設施選址案例的各土地區塊賦予一個選址數值，分析出各選址因子下不設址的土地區塊，不適合的區塊分數會較高，反之較低，然後開始執行 VectorSearch B&B siting algorithm，從指定的 TopLandParcel 土地區塊開始執行 *Site search()*，如圖 4.2 之步驟 D, E 搜尋適當場址，若選入的土地區塊不符合初始向量式選址模式的限制條件，則如圖 4.2 之 F 直接停止搜尋動作，而符合限制條件的場址，在如圖 4.2 之步驟 G 確認滿足設址面積之後，若使用者有設定集中性因子範圍，則如圖 4.2 之步驟 H 評估環保設施選址場址的集中性是否滿足要求，以及如圖 4.2 之步驟 I 評估所選出之候選場址的選址分數，並如圖 4.2 之步驟 J 檢查是否優於目前已選出的最好場址，以決定是否成為目前的優選解，而最後如步驟 K 得出的結果即為本環保設施選址案例中，在集中性與選址因子考量之下，如圖 4.2 之步驟 K 經由向量式優選模式求得適宜度高的場址，提供優選方案供選址人員做進一步分析。

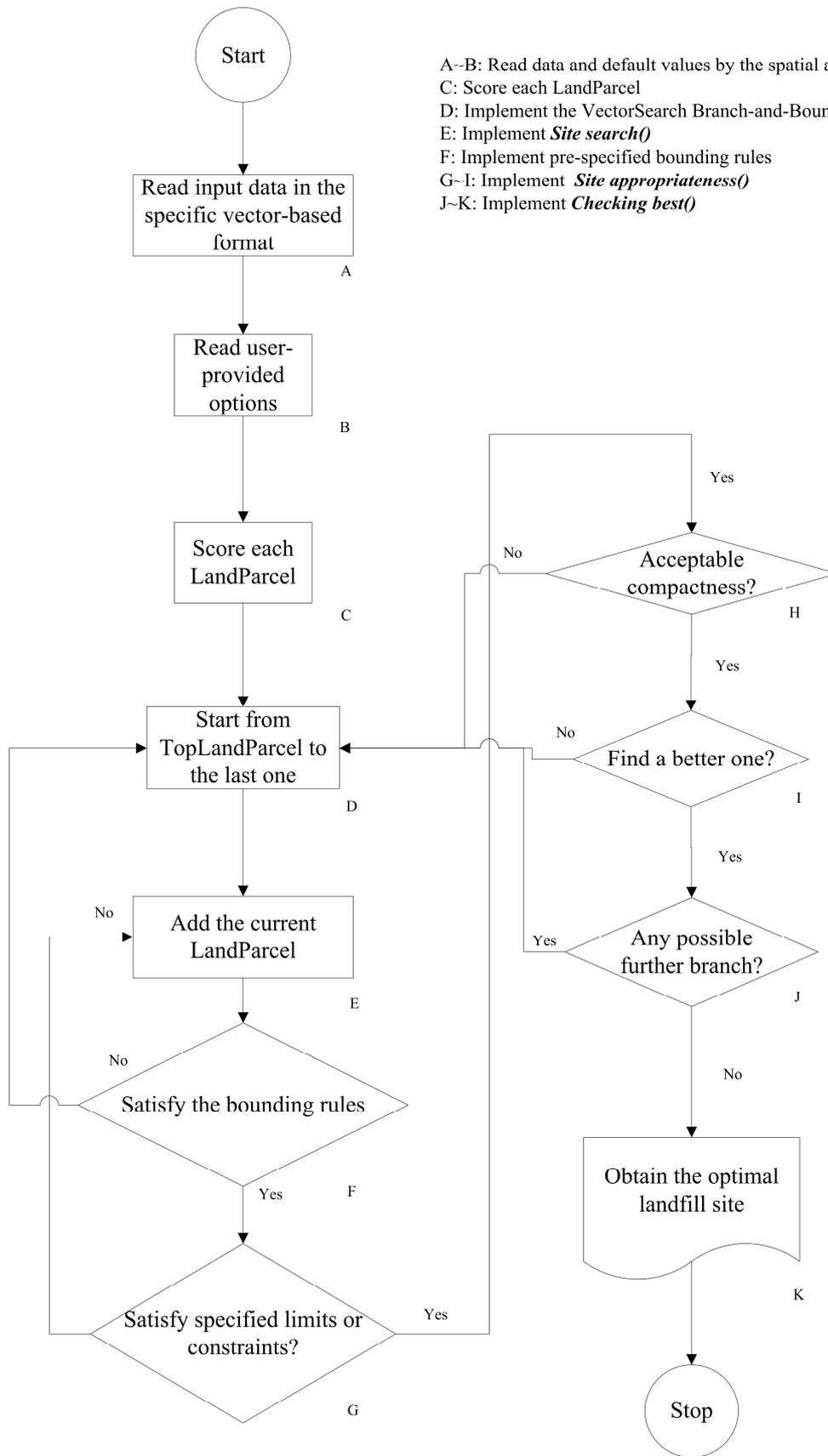


圖 4.2 環保設施選址優選模組電腦程式執行流程圖

第五章 環保設施網格式選址模式平行運算專屬演算法及模組

環保設施選址網格式模式的求解效率，雖然可藉由之前所介紹的環保設施選址優選決策分析模組增進之，然而當案例區面積大且土地區塊較多時，運算求解時間也會相對增長很多，導致不易求解。但要應用平行運算，網格式問題或資料仍需平行化，且需對原演算法與電腦程式進行改進，才可利用多個運算設備同時進行演算，以解決網格式的求解問題。

另外，一般平行運算環境的建置，除了需要有相當的資訊知識及會使用相關的平行運算函式庫外，還需要負擔額外的軟硬體設備購置費用。為了使環保設施選址模式平行運算可在較常見的一般電腦進行，發展專屬環保選址模組平行化演算法，結合多部電腦，可使決策時間縮短，為較經濟的解決方法。雖然各選址問題之求解均可藉由平行運算而增加其效率，但在本研究所研究的選址問題中，大部分選址問題之一般求解時間還不致於太難以接受，目前只有網格式環保設施選址決策分析求解時間頗長，較有需要以平行運算方式進行求解，增進其效率，因而之後主要以網格式環保設施選址模式平行運算專屬演算法及模組為主進行介紹，雖然其他選址問題的需求不大，但類似的平行運算方法亦可運用在其他選址問題上。

本研究除發展環保設施選址模式平行運算求解的專屬演算法外，且進一步將平行運算模組化，以設置一個低成本，且可有效用於求解環保設施選址模式用的平行運算環境，本章主要說明本研究發展的網格式環保設施選址模式平行化程序、平行運算專屬演算法及與環保設施網格式選址平行運算模組，以下一一說明之。

5.1 平行化程序

在網格式環保設施選址模式平行運算專屬演算法及模組的發展中，將選址模式求解程序平行化為主要核心技術，亦為下節所提網格式選址模式求解平行演算法及模組發展的依據。而為了可以應用此一平行化程序的概念實際應用在網格式環保設施選址上，發展出可實行平行運算專屬演算步驟是一個重要關鍵，而後進行模組化，與環保設施選址決策支援系統整合。以下介紹平行化程序。

網格式環保設施選址模式求解平行化的基本概念是將環保設施選址案例區分為數個較小區域，並交由多台電腦同時進行求解，圖 5.1 所示為網格式環保設施選址模式求解平行化的示意圖，將選址案例區分割為數個子區域，並將不同子區域分配給平行環境中各運算電腦進行選址優選決策分析，當未進行平行運算，求解時必須從整個案例區的第一個網格至最後一個網格進行求解，平行化後，則每台電腦可同時由不同網格開始當作選址優選首格(TopCell)求解，且透過網路分享目前所有電腦所得的最好方案，平行求解。每一個電腦分別由不同區的網格當作 TopCell 開始求解，平行演算法將於下一節詳細說明之。

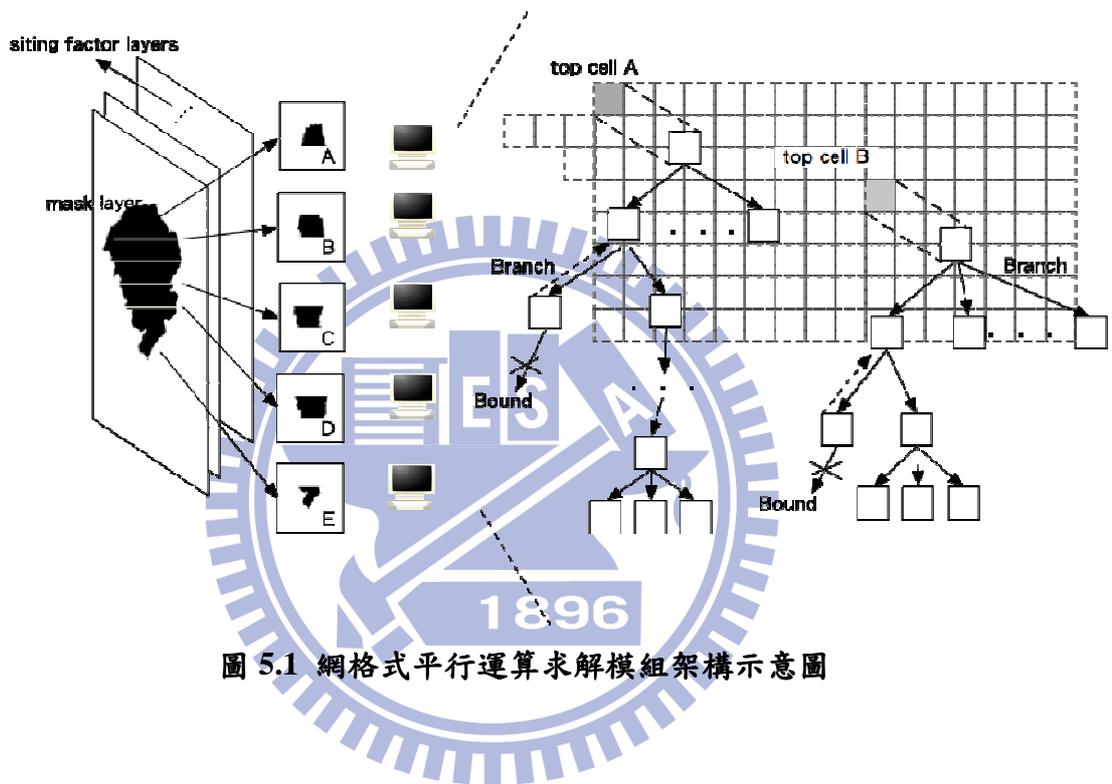


圖 5.1 網格式平行運算求解模組架構示意圖

5.2 網格式平行運算求解專屬演算法

網格式選址求解模式平行運算求解專屬演算法如 Algorithm: Raster-based Parallel Siting 所列，分為 Parallel siting 與 B&B siting 兩部分。在 Parallel siting 中，首先在 Server 電腦上進行選址案例空間資訊平行化處理，包括讀入網格式環保設施選址案例空間資訊，以及讀入分析者預設選項，呼叫各 Client 電腦開始執行平行運算，各 Client 電腦即開始依指定的起始 TopCell(以下亦稱為優選首格)執行 B&B siting 演算法直到所指定的終止 cell 為止，進行平行運算優選求解，期間各 Client 電腦所求的優選解中的最佳選址方案亦透過網路讓各 Client 電腦共享資訊。

B&B siting 演算法則採用 Kao(1996)時所提出的演算法，B&B siting 演算法主要包括 Branch 與 Bound 兩大步驟。在 Branch 部份，從選定的 TopCell 開始，找尋較佳的場址，每一場址是由相鄰的網格所組成，如圖 5.1 所示，以 TopCell A 為例，所找尋的網格群將會成為一個 branch-and-bound tree，為了避免 sub-trees 過多而影響運算結果，已確定無法再搜尋到優選解 sub-trees 則在 Bound 步驟時刪除，不再搜尋，如此可有效減少 sub-trees 數量，提升優選效率。

而由於優選首格與 B&B 演算法的特性，雖然分為數個區域進行平行求解，但不會有候選場址遺漏未搜尋到的情形，因為所分割的子區域，是以優選首格為主的各 Branch 進行計算，而非分配計算範圍之計算，就如同每台電腦由不同的起點開始運算起，而不是資料平行(Data parallelism)方式，如果是資料平行的方式，則在子區的邊界上會有問題，也就是說，在邊界上的候選場址將不會被選入。但這些邊界是為了進行平行求解而設，因而忽略這些候選場址是不適當的，故本研究是以 TopCell 為主作完整的搜尋，並不是切開原資料結構進行分區求解，因而不會有上述分區邊界會產生的分析問題。

Algorithm: Raster-based Parallel Siting

Parallel Siting

Read mask and factor map layers;
Read the options selected by the user and each computer is assigned to solve a pre-specified range of cells as top cells;
Activate each computer running in parallel to implement the ***Algorithm: B&B Siting*** for solving the siting problem for the pre-specified range of cells;
Display the final globally best result as the solution.

B&B Siting

For each candidate cell being severed as a top cell, do ***Branch()***;

Branch():

(Note: For ease of explanation, bounding rules are not listed in the same order shown in the program. Instead, they are grouped into two categories of general and optional rules.)

General bounding rules:

- possible cells only;
- bounds on estimated site factor values;
- objective function improvement based on an estimated objective function value;

Optional bounding rules:

- maximally allowable width and/or height to topCell;
- maximally allowable width of a horizontal bridge;
- maximally allowable number of corner cells;

If a possible site is found, do Check() to check feasibility and/or noninferiority;

Collect candidate branching cells that can be branched into array adjacentCell;

For each cell in adjacentCell do Branch().

Check():

Check feasibility with constraints provided by the user;

Check noninferiority; (optional)

If it is a valid site, output or record associated information.

If the objective value of the valid site is better than the locally best one, then the locally best one is updated.

If the locally best one is better than the globally one, the global one is replaced by the local one; otherwise the global one is copied to the local one.

5.3 環保設施網格式選址平行運算模組

為了執行上述的演算法，首先需要建立一個電腦硬體架構供進行平行運算，在過去一些與平行運算相關的研究中，經常使用一些平行化軟體與硬體運算架構，但需要較高的資訊專業技能及較昂貴的設備，本研究採用成本較低的 SPMD (Single program and multiple data) 方式進行平行運算，並自行發展網格式求解模組。

在平行求解進行選址決策分析的過程中，如何與其他電腦交談(commnication)或同步(synchroniztion)是重要的問題，在選址平行求解過程中，若單一電腦進行優選時，無法得知其他電腦已解出較自己好的結果，則此電腦會不斷的計算下去，因而整體選址效率就會被拖慢。為了防止此項事件發生，演算法中顧及各執行優選分析之平行求解的電腦的交談問題，以一台電腦為主，利用 Linux 系統的 NFS 技術共享目前各執行優選分析電腦的最佳結果，為避免同步化過於頻繁，造成輸入/輸出的速度增長選址分析時間，故每台電腦設定為在一定的迴圈數下，進行目前全域選址結果的檢核，以確定目前的優選搜尋 sub-tree 是否仍需繼續下去，或是是否需要跳至下一個網格進行新的搜尋。

網格式平行求解模組乃是利用本研究群自行發展的兩支 Perl 程式(Wall and Schwartz, 1992)，配合 Linux 系統的 NFS 所架起之平行運算架構，其架構如圖 5.1 所示，利用其中一台為主機電腦呼叫五台子電腦(含主機本身)進行平行運算求解，每一台子電腦負責由不同區域開始求解，此部分採用過去以 C 語言所發展的網格式環保設施選址程式(Kao, 1996)進行網格式 B&B 演算法。而在求解過程中，如圖 5.2 所示，當前最佳解(Currently global best solution)為所有子電腦所知的最好結果，在平行運算進行中，若其中一台子電腦有產生較當前最佳解更佳的解，則替換成為當前最佳解，反之則捨棄此解，此網格式平行運算模組以五台 Linux-based 的個人電腦所組成，且單價均在 NT\$26,000 以下，因此較專業伺服器設置便宜，並且由於採用 Linux 系統，故不必如一些微軟視窗系統下所

架設之平行環境(e.g., Babendreier and Castleton, 2005)，需要作業系統軟體購置費用，故此平行運算架構建置成本較低，且對於一般決策分析人員來說，硬體設備也較易取得。

而環保設施網格式選址平行運算模組的介面主要以 JAVA 與 PHP (The PHP Group, 2010)為主進行撰寫，包括與求解模組間之介面，以及環保設施選址分析者所需要的直接執行環保設施選址平行運算的人機介面，在需執行平行運算模組時，使用者僅需透過友善操作介面進行勾選，即可利用本模組輔助選址決策分析，以簡化分析者的使用步驟而提升決策分析效率。



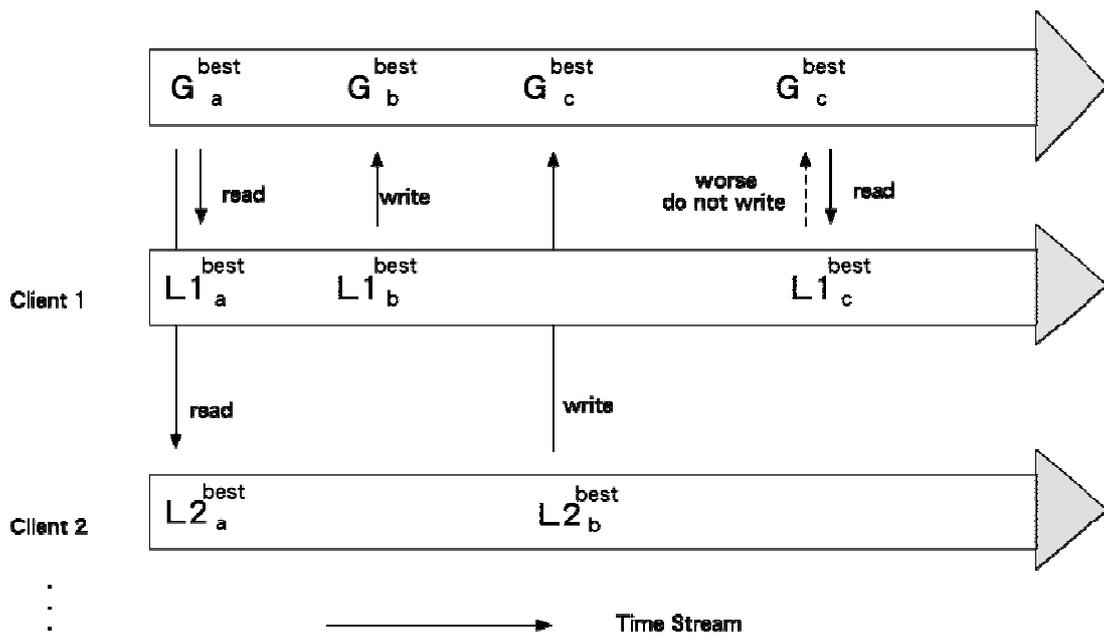


圖 5.2 網格式環保選址平行運算模組記錄優選解之流程示意圖

第六章 環保設施選址模式空間分析模組

環保設施選址空間分析的主要目的，是協助使用者了解經過優選分析選出的候選場址的各種空間屬性資訊，進一步藉由使用者的經驗判斷場址的優劣，以選出適當的環保設施選址區域及位置。因此，環保設施選址空間分析工具，需協助使用者在選址決策程序中，以圖像化方式分析大量空間性資訊，如各種具空間屬性的環保設施選址因子，而對於不同選址問題，每個選址決策分析本身，都會關連複雜的空間資訊，包括空間屬性、儲存格式以及分佈趨勢等，在選址決策空間分析時，空間分析工具需將這些原本複雜的，且較難直接判讀的空間資訊，轉為視覺化、可理解性的決策分析輔助資訊，以及轉為進行優選分析所需的空間格式或空間分析所需之展示格式，如此，在選址問題決策分析上，才能更有效的輔助使用者進行對候選場址進行評估。多數研究採用商用 GIS 軟體(如 Arcview 等)加以分析，但此種商業軟體未提供專屬的環保設施選址空間分析功能，較難與優選分析工具結合。

本研究因而發展專屬的環保設施選址模式空間分析模組，將各種環保設施因子圖層，轉化為本模組相關的數值空間資訊圖層之後，使用者便可由環保設施選址模式空間分析模組的介面，利用空間分析模組進行網格式與向量式兩類環保設施選址空間分析。另外，操作介面亦歸入空間模組一併發展，因為使用系統進行空間模組空間分析時，可隨時用優選模組進行優選分析，之後亦可回到此模組分析所得場址之空間特性或以設定其他選址因子重新進行優選，所提供的友善操作介面較能讓使用者掌握選址分析的全部流程，優選分析所需的空間輸入參數亦將由此模組所提供介面輸入。以下將先簡述發展環保設施選址模式空間分析模組之發展工具，再以網格式環保設施選址模式空間分析模組與向量式環保設施選址模式空間分析模組，分別說明結合網格式與向量式環保設施優選模組的空間分析模組功能。

6.1 環保設施選址模式空間分析模組發展工具說明

一般空間分析工具較欠缺優選分析功能，因而多半輔助使用者進行資料處理或分析，而還不足以得出較合適的方案，而優選分析工具本身，亦缺乏有效顯示與分析空間性資訊的能力，無法令使用者較直覺的判讀選址方案。此外，對於不同的環保設施選址問題，應針對其選址需求，進行不同的介面功能發展，故本研究針對空間分析問題發展相關工具，以滿足選址決策分析需求，在環保設施選址模式空間分析模組資訊技術方面，主要使用 Geotool (Geotools PMC, 2006)與 JAVA (Sun Microsystems, Inc., 2009)，以及將此環保設施選址模式空間分析模組建構在網路上，分析者只要使用網際網路瀏覽器(如最普遍之 IE)與輔助軟體(JAVA VM)，就可進行環保設施選址模式空間分析模組。

Geotool 為一個包含許多空間分析功能的函式庫，在環保選址決策中，所需要的空間分析功能，本研究主要透過 Geotool 發展出以下功能的相關工具：

1. **環保設施選址空間分析所需要的格式轉換：**包括轉換一般常見的檔案格式，將環保設施選址所需要的因子圖層，轉換成優選模組所需之敘述格式。
2. **輔助判讀選址空間資訊：**將選址決策因子圖層，呈現在系統使用介面上，輔助使用者進行空間資訊判讀以進行選址分析。
3. **空間分析功能：**包括使用者所需要到的空間分析工具列的各項工具，例如因子圖層疊圖後的各土地區塊的適宜度趨勢，進行因子圖層與待選場址的檢視或是污染分佈檢視，或最基本的移動與縮放圖層等。

JAVA 則是用來發展整個系統的主要語言，將 Geotool 函式庫各種空間分析功能因應環保設施選址需求，組合為各項功能，與進一步發展為模組。JAVA 本身具有物件導向功能，對於選址決策分析工具來說，物件導向提供了獨立且彈性的功能，使決策分析工具可各自獨立發展。另外，透過 JAVA 撰寫統一的輸入輸出介面，可以連結各項工具進行整合。對於決策支援系統而言，這樣的發展型式，

一旦當各項工具需要發展新功能，或是核心模式程式等需要更新時，不需整個系統重新更改，只要各模組個別進行更新即可，而因應不同選址分析所需加入的新模組等，透過各模組相似的架構，也可以較有效率的加入本決策支援系統，擴充其功能與應用的範圍。JAVA 也是一個可用在網路的語言，其目的在於讓本模組脫離過去分析者只能使用單機作業，資訊無法共享，以及系統升級等問題，且讓分析者可較不受時地限制，而節省決策分析過程中的成本及提昇其效率，此具備空間分析與優選功能的環保設施選址模式空間分析模組，使用者在使用時，需加裝 JAVA VM (Sun, 2010)，目前已頗普遍的常見於個人電腦上。且本研究亦主要利用 JAVA 建立資料讀取工具，以供環保設施決策支援系統使用。

除了 Geotool 與 JAVA 外，本研究亦利用 PHP 撰寫一些程式，協助空間分析模組與優選模式連接，並搭配公用函式庫(Gonzalez, 2008)寫了向量式格式轉換程式，以輸入至優選模式中，並搭配 Geotool 與 JAVA 進行向量式空間的展示功能。

6.2 網格式環保設施選址模式空間分析模組

為了同時考慮集中性與其他優選因子，加上在上一章所描述的優選模組，其所產生的場址亦需要再進一步做空間性質分析以確定待選場址適合程度，以及又需兼顧與其他工具連結的彈性，本研究因而發展網格式環保設施選址模式空間分析模組，與優選分析工具結合，以提昇網格式環保設施選址的效率。

本模組讀取待選區域基本圖層及因子圖層，這些圖層是以 Shapefile (ESRI, 2009)格式儲存，可供使用者作為網格式環保設施選址分析之基本圖層，掌握待選場址空間性質，並將網格式環保設施選址優選模組所得之選址優選結果以新增圖層方式呈現，疊於基本圖層之上，整合優選與空間分析，以供進一步確定優選模組所提供候選場址之適宜性。

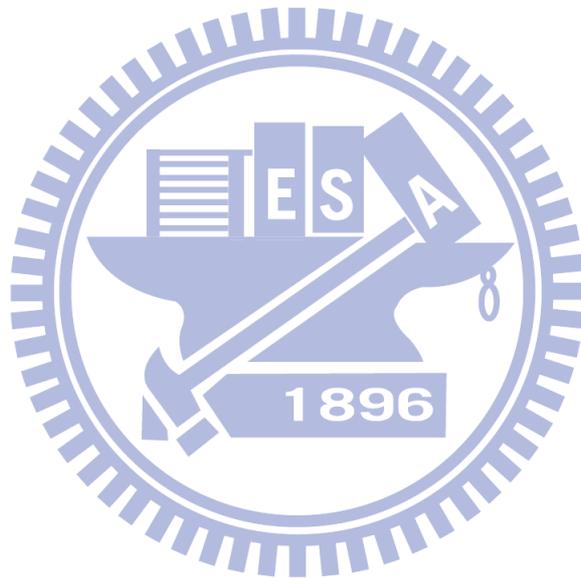
在執行上一章所說明的優選模組之前，需要先以此空間分析模組設定與輸入空間特徵參數，主要會有兩種情況：

1. 第一次優選分析，先以此空間分析模組設定空間特徵參數，求出起始優選方案，然後回到此模組進一步判識及分析空間特性。
2. 優選分析後，重新再回到此模組設定空間特徵參數及選址因子，再進一步以優選模組進行優選分析，再回到此模組比較不同決策考量所得之候選場址，直至選出較適宜性的場址。

為了讓二種情形能順利進行，增進使用者選址決策效率，故在此模組進行選址空間特徵優選參數設定。網格式環保設施待選場址的空間分析特徵，如圖 6.1 所示，使用者可在此模組下設定與分析這些空間特徵以判斷優選場址的適當與否，且設定可接受的上限或下限值，以便能排除明顯不佳的方案，改善求解效率，以下一一說明各個空間特徵及一些參數設定時宜考量的因素：

1. **場址面積**：場址面積需要滿足需求，過小的場址面積常不易規劃，但太大亦沒必要，故通常會設定場址面積的上下限。
2. **場址最大長度與場址最大寬度**：狹長的場址往往不利於規劃與使用，藉由限制長寬的上限值，可有效刪除一些明顯較差的方案，以加速求解的效率。
3. **橋形限制(bridge cells)**：如圖 6.1 所示，橋為連接兩個區塊的一狹長區域，若有橋存在，會如狹長區域般不利於規劃及使用，一般在選址時，可先設定不容許橋的存在，看能否求得場址完整性較佳的場址，但若不存在，則可酌量放寬此限制，此限制放得愈寬，則搜尋求解時間會較長。
4. **階形限制(corner cells)**：一般而言，如圖 6.1 所示，階梯狀的場址指在邊界處成鋸齒狀，場址集中性較差，唯由於是網格式資訊，與實際邊界可能不同，有時即使在邊界成鋸齒狀，有可能實際場址是平順的區域，故求解時，亦不宜完全不接受階狀場址，尤其是針對格網較小的資料。
5. **各限制因子加權權重**：分析者在不同環保設施選址決策情境下可調整各種限制因子的加權權重，以顯示出各種因子間重要性的不同，以期優選時能選擇較符合期望的場址。

6. **單個限制因子容許範圍**：分析者可針對單個限制因子設定容許範圍，對於某些設址因子在不同情境下的改變予以分析，如設址成本限制的增加或減少。



the layers of raster-based EFS case

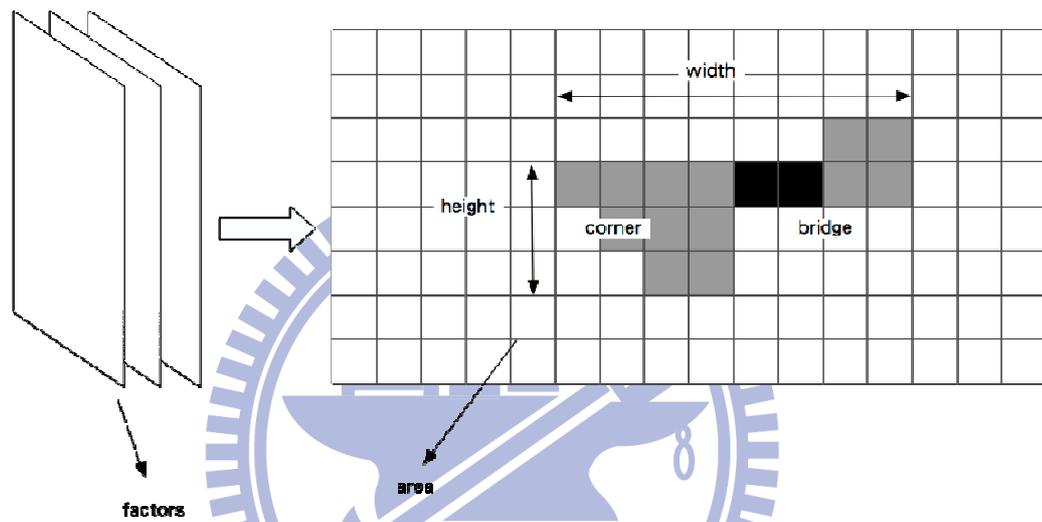


圖 6.1 網格式環保設施選址優先空間特徵示意圖

6.3 向量式環保設施選址模式空間分析模組

向量式空間分析模組，由於其形狀不規律，要將其空間性質完全以數學表達十分困難，因此在進行選址分析時，需要一個空間分析工具進行分析，以輔助優選分析較難考慮的空間性質。故本研究發展空間分析模組以輔助向量式環保設施選址決策分析，而優選分析之前，亦由此模組設定空間特徵參數，以便在經常重複的選址過程中，有效掌握空間性質，提高選址效率。

向量式環保設施選址模式所優選出的如圖 6.2 所示的區域，使用者主要分析以下的空間特徵，以判斷優選結果的適當性：

1. **評估場址面積與外形：**由於所得結果的面積是在所設定的上下限間，並沒有作進一步的面積適合度優選分析，故圖 6.2 所示，在一定適合度範圍中會選出不同大小與形狀的候選場址，此時，雖可建立面積適合度函數再進行一次優選分析，但針對少數候選場址如此作，效率不高，這時使用者可直接在圖面上判識及比較。
2. **評估場址長度與寬度：**如同網格式環保設施選址案例，若場址過於狹長則設置不易，分析者可藉由環保設施選址空間分析模組優先淘汰這些雖符合所需的面積大小，但不適當設址的地點。
3. **評估其他未考量的因子：**可與各種 GIS 圖層疊圖分析，以了解所選出場址及周遭的詳細特性，例如有可能場址附近有特殊景點，雖然在一定範圍外，但仍會影響景觀，這時由此模組所提供的空間分析，可看出這些較詳細且未納入優選分析的因子，以免找到不適當的場址。

此模組亦可設定以下因子，以供向量式選址優選分析模組進行優選：

1. **設定選址面積上下限：**由於向量式土地區塊面積並不固定，分析者可依其所設定之面積範圍進行優選。分析者因此可依據環保設施選址情

境不同，分別進行不同面積範圍的優選，再藉由空間分析模組分析優選解的適當性。

2. **設定不同因子間的權重**：分析者可依照掩埋場選址情況不同，在讀入因子圖層時調整因子權重表示因子的重要性，此模組所設定的空間因子，亦作為優選分析的依據。
3. **設定單因子圖層的限制**：對於各選址因子限制的變動，如設置成本增加等，分析者可藉由空間分析模組判斷不同狀況下優選場址的適合程度，及分析變動限制對選址結果的影響。

向量式環保設施選址空間模組還包括一個轉換程式，由於向量式空間選址需要一個專屬的空間格式進行優選分析，故此模組整合一個以公用函式庫 (Gonzalez, 2008) 與 PHP 撰寫的轉換程式，將向量式選址所需的空間資訊轉換為 4.2 節所述的特殊空間格式，以進行求解。



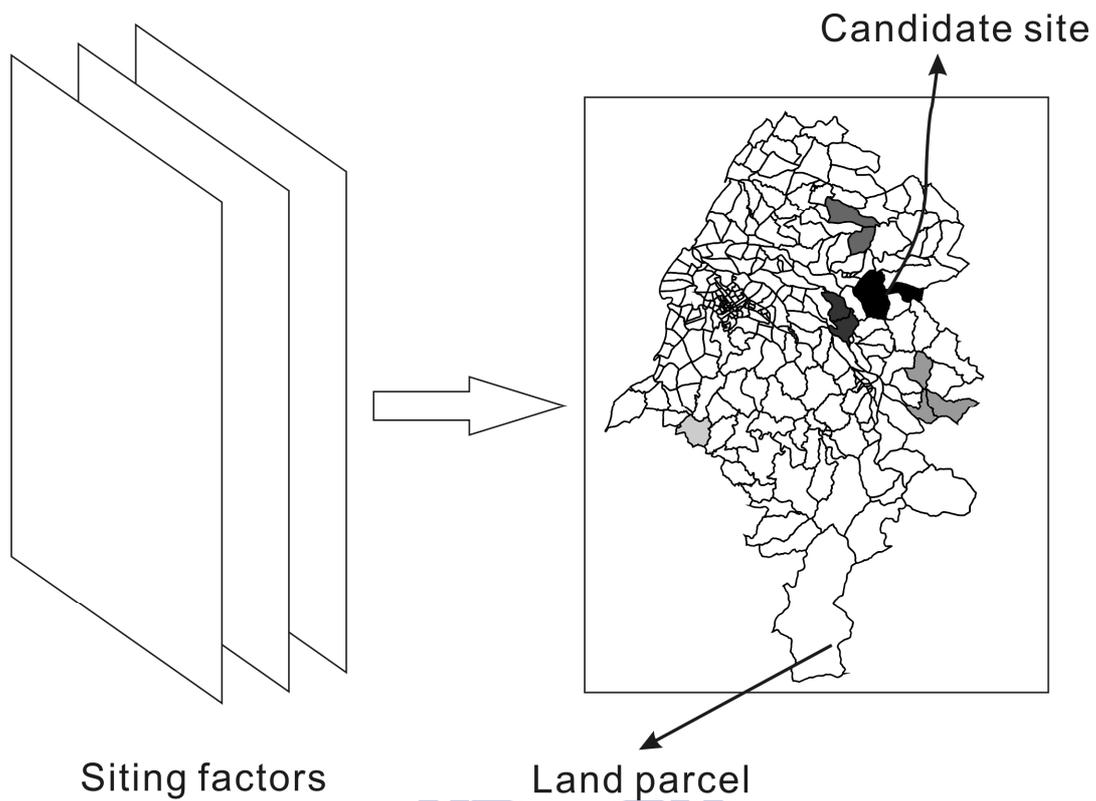


圖 6.2 向量式環保設施選址優選示範

第七章 環保設施選址決策支援系統之建立

前述本研究發展之網格式與向量式環保設施選址模式模組，為綜合考量各種環保設施選址決策選址因子的分析工具。而選址平行化模組則進一步提升環保設施選址決策分析的效率。空間分析模組則主要協助分析者分析具空間屬性的資訊與評估優選分析所得的候選場址。而本研究所建立的環保設施選址決策支援系統，即以環保設施選址模式模組、選址平行運算模組與空間分析模組為基本架構，提供可彼此整合且具彈性有效率的決策分析工具，以及易於掌握選址空間特性與使用的分析介面。

本章說明本研究如何對於各種環保設施選址問題利用以上模組，進行決策分析輔助，為不同選址決策支援分析問題建立子系統，針對不同選址問題整合適當的決策分析、空間資訊或平行運算等工具。本研究所建立的模組，可透過所建立的介面與其他模組分析功能互動，故具彈性可獨立或與其他模組整合操作的特性，並不會因選址對象不同而需要重建整個選址程序所需工具，因而增進選址分析效率。本研究以網格式與向量式掩埋場選址決策分析為主，分別建立兩個決策支援子系統。另外，亦對空氣品質監測站與集水區水質監測站兩個選址問題，以類似的架構發展個別的決策支援子系統。

7.1 網格式掩埋場選址決策支援系統

網格式掩埋場選址決策支援分析過程，主要為先分析案例資訊，包括各項因子的空間資訊等，之後再根據使用者所需的選址因子權重，進行優選分析得出掩埋場候選場址，本研究因而發展網格式掩埋場決策支援子系統之系統架構，如圖 7.1 所示，主要架構可分為以下模組：

1. **網格式掩埋場選址優選模組**：主要整合 4.1 節之網格式選址模式決策分析優選求解模組，使用者可透過空間分析模組設定選址需求，可透過本

模組介面進行網格式掩埋場選址模式分析，且可有效率的進行選址優選分析。

2. **平行運算模組**：選址案例的複雜程度，尤其是針對網格式掩埋場選址，會因其案例區增大，或是解析度增加，而增加求解上困難度，故納入第 5 章所發展之平行運算模組輔助選址決策分析，利用一般常見低成本的電腦設備增進選址效率。
3. **空間分析模組**：整合發展 6.2 節之網格式環保設施選址模式空間分析模組，使用者可透過此模組決定掩埋場選址所需的空間特徵參數，與因子權重等選項，且可透過本模組進行選址優選分析後各場址空間性質，以結合網格式掩埋場之優選分析與空間分析，改善掩埋場選址決策分析品質。



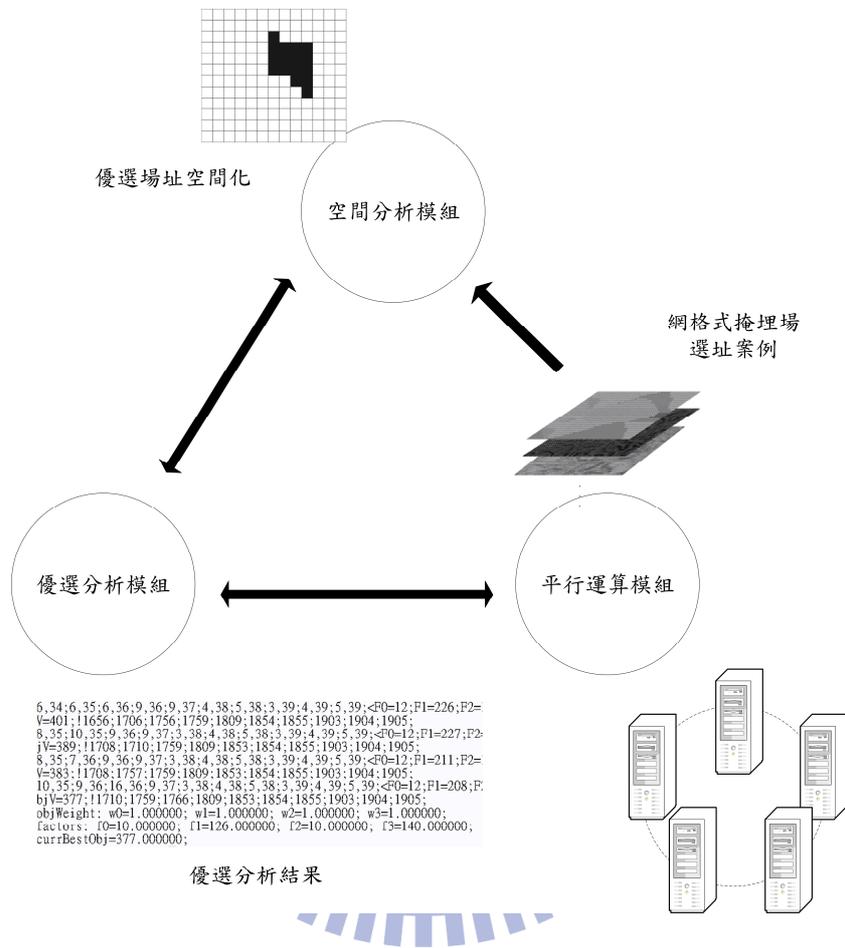


圖 7.1 網格式掩埋場決策支援系統架構圖

7.2 向量式掩埋場選址決策支援系統

向量式掩埋場選址決策支援分析大致與網格式掩埋場選址決策分析類似，但與網格式掩埋場選址的不同之處，在於向量式掩埋場的土地區塊較無一致性，但較能突顯分區性質，在選址時較少有網格式可能產生的邊界問題(如階形限制)，但其空間性質相對網格式較複雜，如更難以單純憑藉集中性的限制而限制外型等狀況，因此使用者進行優選分析之後，需與空間分析更密切的配合，以確認候選場址的適宜度。

向量式掩埋場選址決策支援系統架構如圖 7.2 所示，主要發展向量式掩埋場選址優選模組與空間分析模組。以下說明如何發展此二個模組。

向量式掩埋場選址決策支援系統各模組的內容如下：

1. **向量式掩埋場選址優選模組：**本系統整合 4.2 節所發展的向量式選址模式決策分析優選求解模組，協助使用者進行向量式掩埋場選址分析，將原本複雜的向量式掩埋場選址資料轉化為較易於分析的專屬格式(請參見 4.2 節之說明)，再進一步透過模式介面有效率的利用所發展的優選程式進行掩埋場場址優選分析。
2. **空間分析模組：**本系統整合 6.2 節所發展的向量式環保設施選址模式空間分析模組，協助使用者分析向量式掩埋場案例資訊，包括因子圖層等，以進行一些案例區場址分析。且使用者可透過空間分析模組進行優選分析後場址空間特徵分析，由於向量式掩埋場候選場址的空間特徵會較網格式掩埋場候選場址更複雜，故需本模組協助使用者進一步判斷場址的適合度。使用者亦可利用此模組介面，進行選址分析所需的各項操作，包括輸入因子權重與所需面積等，整合進行向量式掩埋場選址分析，以提升選址分析的效率。

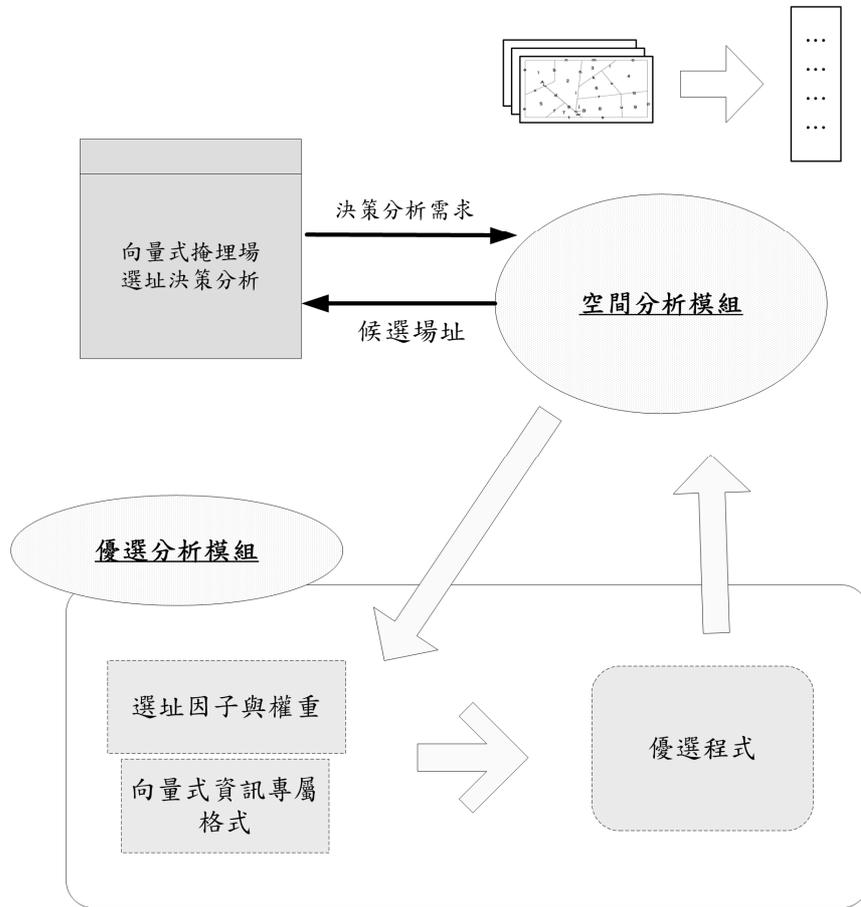


圖 7.2 向量式掩埋場選址決策支援系統架構圖

7.3 集水區水質監測站選址決策支援示範系統

集水區水質監測站選址目的在於建立適當的監測站網，以回溯集水區污染源，以期有效控制污染，為達成此一目的，需根據污染特性或地理特性因子進行優選分析得出監測站網，再經由空間分析工具評估所得之監測站網，故本研究發展的集水區水質監測站選址支援示範系統架構如圖 7.3 所示，主要應用與發展前兩個決策支援系統的類似方法與工具發展此子系統，包括水質監測站選址優選及水質監測站選址空間與統計分析兩個主要模組，使用者可利用本系統所提供之模組進行集水區水質監測站選址決策分析，系統可依據使用者的需求與集水區案例資訊執行監測站網優選模式與一些空間分析，以提昇決策品質與效率，以下一一介紹各模組功能。

7.3.1 水質監測站優選分析模組

集水區水質監測站的優選分析，根據污染特性與地理特性，主要以總磷、總氮與總沈積量與河段數目、河段長度、流域面積為回溯成本因子，進行優選求解，求取能涵蓋整個集水區且在發生污染事件時能較迅速回溯出污染源的站網，以及各測站之涵蓋範圍。主要使用本研究群過去發展的兩個優選模式為核心工具進行優選分析，模式內容如下：

成本均化模式(Uniform-Cost, UC model)：

$$\text{Min } \sum_{i=1}^N u_i + v_i \quad (3a)$$

$$S.T. \quad (3b)$$

$$x_{ave} - u_i + v_i - x_i = 0 \quad \forall i$$

$$x_{ave} = \frac{\sum x_i}{M} \quad (3c)$$

$$\sum y_i = M \quad (3d)$$

$$y_i \in [0,1] \quad \forall i \quad (3e)$$

$$By_i > x_i \quad \forall i \quad (3f)$$

$$y_1 = 1 \quad (3g)$$

$$z_{ip} \leq 1 - y_k \quad \forall p \in C_k, \forall k \in A_i^u, \forall i \quad (3h)$$

$$\sum_{r \in S_j} z_{rj} = 1 \quad \forall j \quad (3i)$$

$$x_i = \sum_{j \in C_i} (z_{ij} \cdot F_j) \quad \forall i \quad (3j)$$

$$0 \leq z_{ij} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (3k)$$

其中 N 為總河段數； M 為欲選測站數； x_i 為某測站候選點 i 之回溯成本因子值； 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 為判斷候選點 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} 為介於 0~1 之值，雖不是二元整數，但結果會是 1 或 0，主要用以判斷河段 j 是否被候選點 i 所涵蓋； C_k 為候選點 k 所涵蓋河段的集合； A_i^u 為候選點 i 上游之所有候選點集合（不含 i 點本身）； S_j 為包含河段 j 之所有候選點的集合； F_j 為河段 j 之回溯成本因子。式 3a 與 3b 主要利用 u_i 、 v_i 用以均化各間測站所涵蓋的成本因子；式 3c 用以得出 x_{ave} ；式 3d 保證所有 y_i 的總和為欲選測站數 M ；式 3e 以 y_i 判斷候選點是否被選為測站；式 3f 確保候選點 i 無設站時， $x_i=0$ ；式 3g 預設 $y_1=1$ ，即最下游河段必設測站以確保涵蓋所有河段；式 3h 當候選點 i 上游某 k 點已設站時， k 點所涵蓋之河段 p 則不再重複包含於 i 點涵蓋範圍內，此時 $z_{ip}=0$ ；式 3i 表示河

段 j 要有一候選站所涵蓋；式 3j 用以計算回溯成本因子值；式 3k 表當河段 j 被候選點 i 所覆蓋時， z_{ij} 為 1。

覆蓋消去均化模式 (Coverage Elimination Uniform Cost, CEUC model)

以上成本均化模式主要概念是逐一紀錄河段是否被候選測站覆蓋，而得出測站涵蓋範圍，但因此變數會較多，故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 UC 模式。內容如下：

$$\text{Min } \sum_{i=1}^N u_i + v_i + p_i S \quad (4a)$$

S.T.

$$x_{ave} - u_i + v_i - x_i = 0 \quad \forall i \quad (4b)$$

$$x_{ave} = \frac{\sum x_i}{M} \quad (4c)$$

$$\sum y_i = M \quad (4d)$$

$$y_i \in [0,1] \quad \forall i \quad (4e)$$

$$y_i A_i > x_i \quad \forall i \quad (4f)$$

$$\sum x_i = X \quad (4g)$$

$$x_i = y_i A_i - \sum_{j \in U_i} x_j + p_i \quad \forall i \quad (4h)$$

$$B(1 - y_i) > p_i \quad \forall i \quad (4i)$$

其中 p_i 用以抵銷求解時式(4h)右方前二項可能產生的負值； S 為極小的常數值； A_i 為候選點 i 原始涵蓋之回溯成本因子值； X 為集水區之回溯成本因子總值(即總河段數、總河段長度等)； U_i 為候選點 i 所涵蓋範圍中已設測站點之集合； B 為極大之常數值。式 4h 為主要與成本均化模式不同之處，表示若候選點 i 被選為測站時，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 $x_i=0$ ，增設 p_i 已抵銷其負值。

此系統亦是以 JAVA 撰寫介面，發展為集水區水質監測站優選分析模組，讓使用者可依所設定優選條件及上游集水區案例資訊，利用本模組進行優選分析，之後將優選後的集水區水質監測站空間分布情況利用模組介面以統一格式輸出，以供進行監測站網空間或統計分析，以期求得適當的監測站網。

7.3.2 水質監測站空間與統計分析模組

此模組主要用以呈現優選分析模組所選出的站網及進行空間與統計分析，本模組以 Geotool、JAVA 與 JFreeChart (Gilbert and Morgner, 2006) 撰寫讀取集水區資料輸入與輸出介面，在空間與統計分析模組中，使用者可進行以下分析：

1. **分析各監測點的回溯成本因子值**：協助使用者分析各監測點的流域面積、河段數等地理特性與總磷、總氮與沈積物等回溯成本因子值，並協助使用者比較不同成本函數下所求得的候選站點及各站點的回溯成本因子值。
2. **分析候選站點之涵蓋範圍**：可以此模組分析監測站所覆蓋範圍及展示候選站點空間性質。

除空間分析外，並加入圖表輔助分析，以協助使用者分析比較基於六個回溯成本因子所得的候選站網，主要供分析以下兩點。

1. **候選站點回溯成本值分析**：在不同測站數需求下，以圖表輔助分析比較各測站回溯成本因子值所佔比重。
2. **站點數需求比較**：分析站點數與回溯成本值間的變化，目前系統設定從 2 點到 20 點，可比較不同站點的回溯成本因子總值。

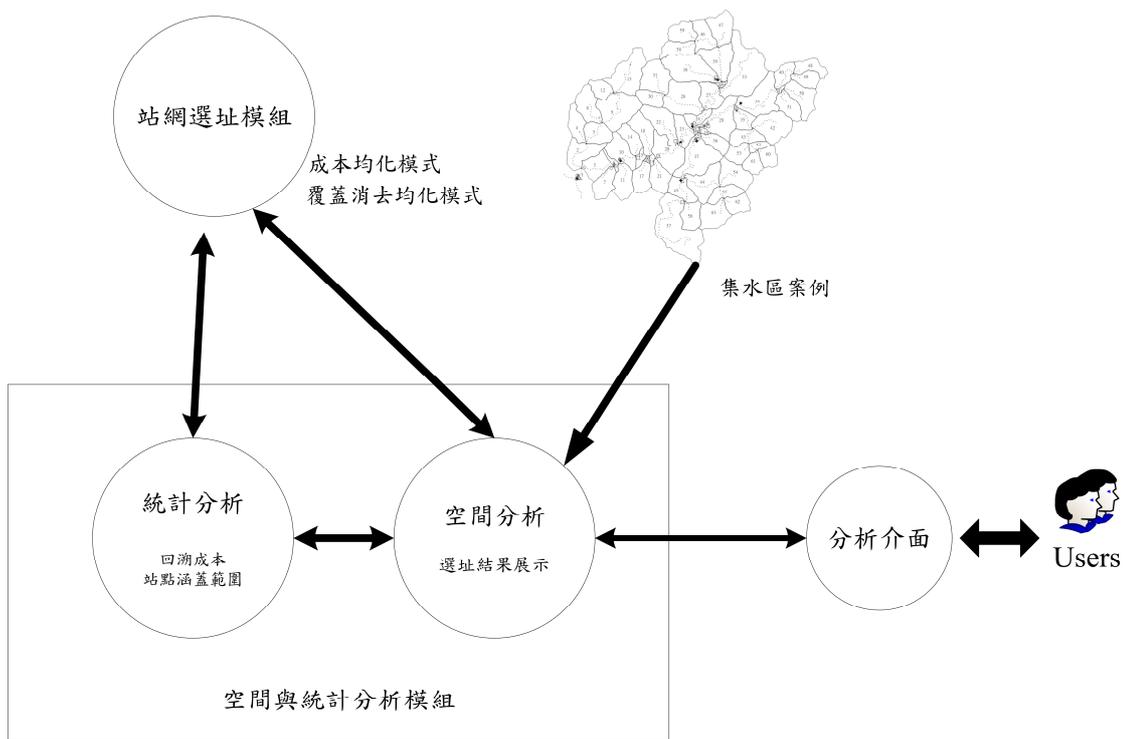


圖 7.3 水質監測站選址決策支援示範系統架構圖

7.4 空氣品質監測站選址決策支援示範系統

為瞭解工業區對鄰近空氣品質造成的潛在影響，或評估污染防治設備設置成效，因而需設置空氣品質監測站網進行監測，但監測站網的位置會影響監測結果之代表性，故要分析基於不同的考慮下所得之監測站網結果，因而需要結合監測站網優選分析與空間分析，進行整合式的分析，因此本研究所發展的空氣品質監測站選址決策支援示範系統架構圖如圖 7.4 所示，分為空氣品質監測站優選分析及空間與統計分析兩大主要模組。優選分析模組主要介紹監測站選址分析的監測目標與使用模式。空間與統計分析模組則說明如何輔助使用者依案例區空氣污染模擬分佈進行監測站網選址空間分析，進一步協助使用者評估站網設置適宜度，以下二小節一一說明之。

7.4.1 空氣品質監測站選址優選分析模組

空氣品質監測站網的設置，目的在於有效掌握工業區產生煙流對周遭環境的空氣品質所造成的影響，但礙於成本因素，監測站網需在有限的數量下選擇適當的位置，發揮最大的監測功能，選址分析因而有一些需要考量的因子，如煙流的散布範圍、累積劑量、污染面積及影響人口數等等。本團隊之前(Kao and Hsieh, 2006)已發展以下優選模式進行監測站網設置優選分析，選出適當的監測站網以進行空氣品質監測，以監測工業區內污染源產生的空氣污染對鄰近區域的影響。主要目標式如下所示：

$$\text{Max } W_{DC}O_{DC} + W_{DDC}O_{DDC} + W_{DA}O_{DA} + W_{PP}O_{PP} \quad (6)$$

其中 O 為各因子之目標值， W 為因子的權重，下標為各因子代碼，DC 為偵測能力(Detection capability)、DDC 為劑量偵測能力(Dosage detection capability)、DA 為偵測範圍(Detection area)及 PP 為人口保護數(Population protection)。以下簡要說明各目標：

1. 最大偵測能力(Maximum detection capability, DC)：定義為站網能夠監測到幾次重要煙流(plume)，其閾值設定為 100ppb，其公式如下列：

$$MAX \quad o_{DC} = \sum_{i=1}^I d_i \quad (7a)$$

S.T.

$$d_i \leq \sum_{j \in M_i} y_j \quad \forall i \quad (7b)$$

$$0 \leq d_i \leq 1 \quad \forall i \quad (7c)$$

$$\sum_{j=1}^J y_j \leq Q \quad (7d)$$

$$y_j = [0,1] \quad \forall j \quad (7e)$$

其中 d_i 為煙流 i 是否有被偵測到; y_j 是 0-1 變數，表達監測站是否位在網格 j ; M_i 是煙流 i 的網格集合; Q 是監測站數上限。

2. 最大劑量監測能力(Maximum dosage detection capability, DDC)：有些鄰近區域可能污染劑量不高，但累積劑量卻十分高，在長期下，也會對該區域造成嚴重的影響。其公式如下：

$$MAX \quad o_{DDC} = \sum_{j=1}^J \left(\sum_{i=1}^I C_{ij} \right) * y_j \quad (8)$$

S.T.

Same as constraints (7d) and (7e)

其中 C_{ij} 是煙流 i 在網格 j 的污染程度。

3. 最大偵測面積(Maximum detection area, DA)：意即用最少的監測站涵蓋最大的面積，因此各監測站的偵測範圍最好不要相互覆蓋，其公式如下：

$$MAX \quad o_{DA} = \sum_{j=1}^J t_j \quad (9a)$$

S.T.

$$t_j \leq \sum_{j \in N_j} y_j \quad (9b)$$

$$0 \leq t_j \leq 1 \quad \forall j \quad (9c)$$

Same as constraints (7d) and (7e)

其中 N_j 是網格 j 監測有效範圍內之網格集合; t_j 表示網格 j 是否屬監測站涵蓋範圍。

4. 最大保護人口數(Maximum population protection, PP)：保護鄰近居民亦是站網設置的一個重要目標，其公式如下：

$$MAX \quad O_{PP} = \sum_{j=1}^J P_j y_j \quad (10)$$

S.T.

Same as constraints (7d) and (7e)

其中 P_j 為網格 j 的人口數。

以上公式詳細細節請參考 Kao and Hsieh (2006)。上列模式雖可輔助監測站選址決策分析工具，但模式操作對於不熟悉優選模式及相關模式求解工具的使用者並不是件容易的事，且若希望改變優選條件必須重新設定檔案，宜有一個便利的系統輔助分析，本計畫因而應用 JAVA 程式語言發展優選分析模組，利用友善的操作介面，讓使用者依照不同空氣品質站網選址需求，進行權重調整與其他參數設定，使用本模組進行優選分析，之後將優選後的空氣品質監測站空間分布情況利用模組介面以統一格式輸出，以供進行監測站網空間或統計分析，且有效率的進行優選分析，選出適宜度高的空氣品質監測站網。

7.4.2 空氣品質監測站選址空間與統計分析模組

空氣品質監測站選址分析可供使用的目標函數皆具有一些空間特性，例如 *DC* 考量煙流的擴散方向與影響範圍、*DDC* 考量累積濃度的空間分布、*DA* 考量監測站監測範圍與 *PP* 的人口分布情形，再加上優選分析之後，優選出的空氣品質監測站網亦需要空間分析工具做進一步分析，協助使用者判斷所得出的站網結果是否適當，因此本子系統建立一個空間分析工具及提供一些統計功能的空間與統計分析模組，協助使用者進行空氣品質監測站選址相關分析，功能如下：

1. **區內空氣品質基本資訊**：本模組可協助使用者較直覺的掌握整個案例區的位置、人口數與污染散播或污染面積等資訊，可對監測站選址問題的背景透過模組介面進行互動式的瞭解與分析。
2. **優選站網分析**：本系統將數值分析結果透過本模組轉換為視覺化的站網分布顯示，使用者可配合案例區的資訊，進一步分析站網設置是否適當，以及各目標權重或相關參數是否需要調整。
3. **統計分析**：本系統可統計分析監測站網選址的參數與優選分析結果，包括列表統計比較分析各次結果。並提供非劣解的圖表繪圖功能。
4. **空間資訊轉換**：本系統透過介面將監測站網分析相關資訊與站網優選分析結果，轉換為可展示及分析的空間資訊格式。

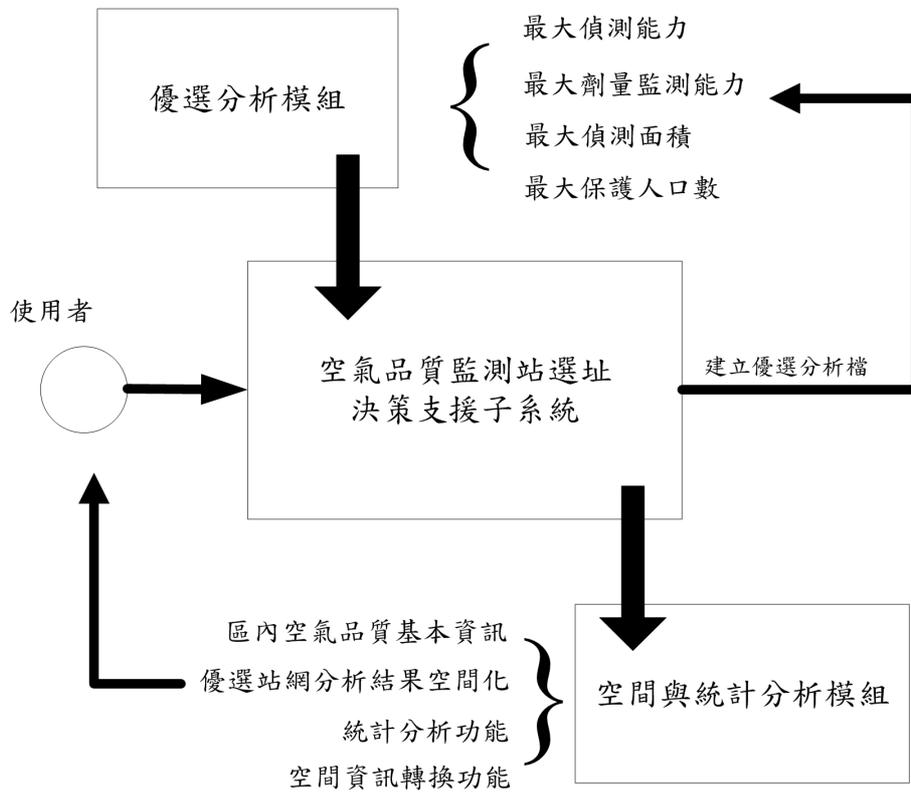


圖 7.4 空氣品質監測站選址支援示範系統架構圖

第八章 選址案例應用示範

本章敘述網格式選址平行運算、向量式選址優選演算法及環保設施選址決策支援系統等主要研究成果的案例應用示範，以下一一說明之。

8.1. 網格式環保設施選址平行運算

環保設施選址網格式選址優選模式平行運算採用中台灣某地的虛擬案例示範，該案例包含 2500 個網格，用以測試平行運算的實用性。本案例在選址過程中採用坡度、地質與土地價格 3 個選址因子，如圖 8.1 所示，每一個網格皆根據坡度、地質與土地價格等因子加以評分。愈低的分數代表的適合度愈高，如在坡度圖層中，低數值網格代表其坡度適中；地質因子圖層中，較低數值的網格代表不透水性較高；土地價格圖層中，低數值網格代表的土地價格比較低。

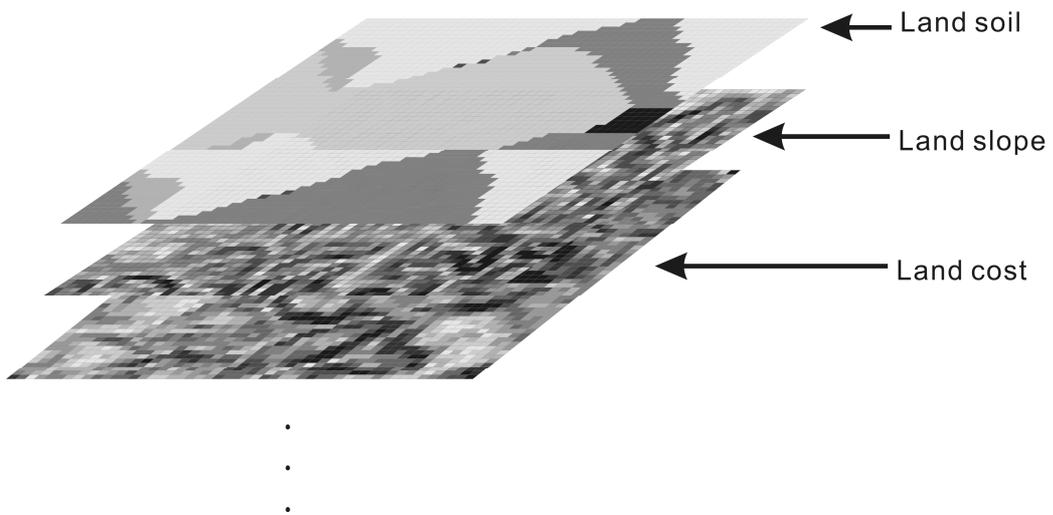
為維持與之前發展優選模式的一致性以進行比較，故較低的數值代表較高的適合度。資料部份為伺服器端與客戶端電腦共享。如圖 5.1 所示，每台電腦依所指定的不同起始網格，進行平行運算。如圖 8.2 所示，本研究以 4 個不同情境進行分析：(A) 以坡度因子為主；(B) 以地質因子為主；(C) 以土地價格因子為主；與(D) 三因子同時考慮。所使用之各因子圖層之因子值已都標準化至 1 到 100 之間，1 代表最佳因子值，該網格適合度最高。另外本研究亦利用一台電腦進行單機求解以比較運算效率。

圖 8.2 為各情境在求取面積為 16 網格時所得答案，並列出各權重設定於此圖中，而圖 8.3 (a) 比較了 4 個情境下，與面積 16 網格的選址結果。由結果可知，在側重坡度、地質或土地價格等單一因子時，所得地點頗不同，而在同時考量三因子的情況下，所得地點又與前三個地點不同，代表在側重不同因子考量時，選址方案的差異性不小，而平行運算的運算速度約為單機運算結果的 1/3.1~1/4.6。在單因子情境下，不論是單機或是平行運算，所需運算時間都較短，然而，當情境 D 考慮所有選址因子時，運算複雜度因而提高，因此求解時間也有顯著的增

加，若能進行平行運算，比起單機運算而言，能較有效率的帶給使用者在不同因子優選分析下的場址方案。

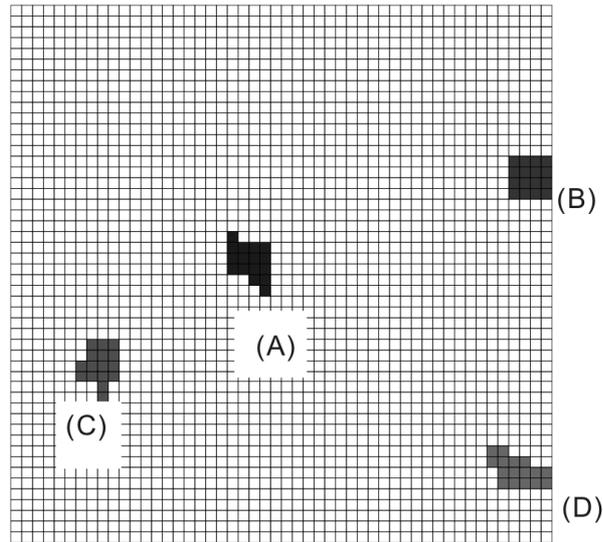
如圖 8.3 所示，平行運算所需的計算時間要較單機運算時間縮短許多，然而由於平行環境使用 5 台電腦，故理想的運算時間應為單機運算時間的 1/5。以上測試案例雖已提昇運算效率，但並未達到 1/5，原因可能為以下兩點：(1) 檔案讀取/寫入增加的時間；(2) 本研究進行選址平行運算中，每台電腦為平均分配優選首格區間，但事實上每台電腦所遭遇的計算複雜度不相同。雖未達到 1/5 的理想值，但此運算結果已顯示平行運算可以相當程度減少運算時間。

另外本研究亦比較情境 D 下，面積 16 到 20 網格的平行運算與單機運算結果，情境 D 為各因子比重相同，運算結果如圖 8.3 (b)所示。由結果可知，平行運算所需的運算時間為單機運算所需時間的 1/4 至 1/7.3。前 3 個案例的運算節省程度未至理想的 1/5。但在面積需求 19 與 20 網格的案例中，平行運算時間分別為單機運算的 1/7.3 與 1/5.7，原因可能為：(a) 檔案讀取/寫入的時間在整體運算時間拉長後被忽略了；(b) 在選址過程執行 B&B siting 演算法中，一個較好的候選場址結果在早期階段即出現，故可加速平行運算中 B&B siting 演算法排除不需要的 branches，以增進運算速度。



1896

圖 8.1. 選址因子圖層



Scenario	Weight		
	Land slope	Land soil	Land cost
A	1	0	0
B	0	1	0
C	0	0	1
D	1	1	1

圖 8.2. 在面積要求為 16 網格下各情境的選址結果與各情境選址因子權重組

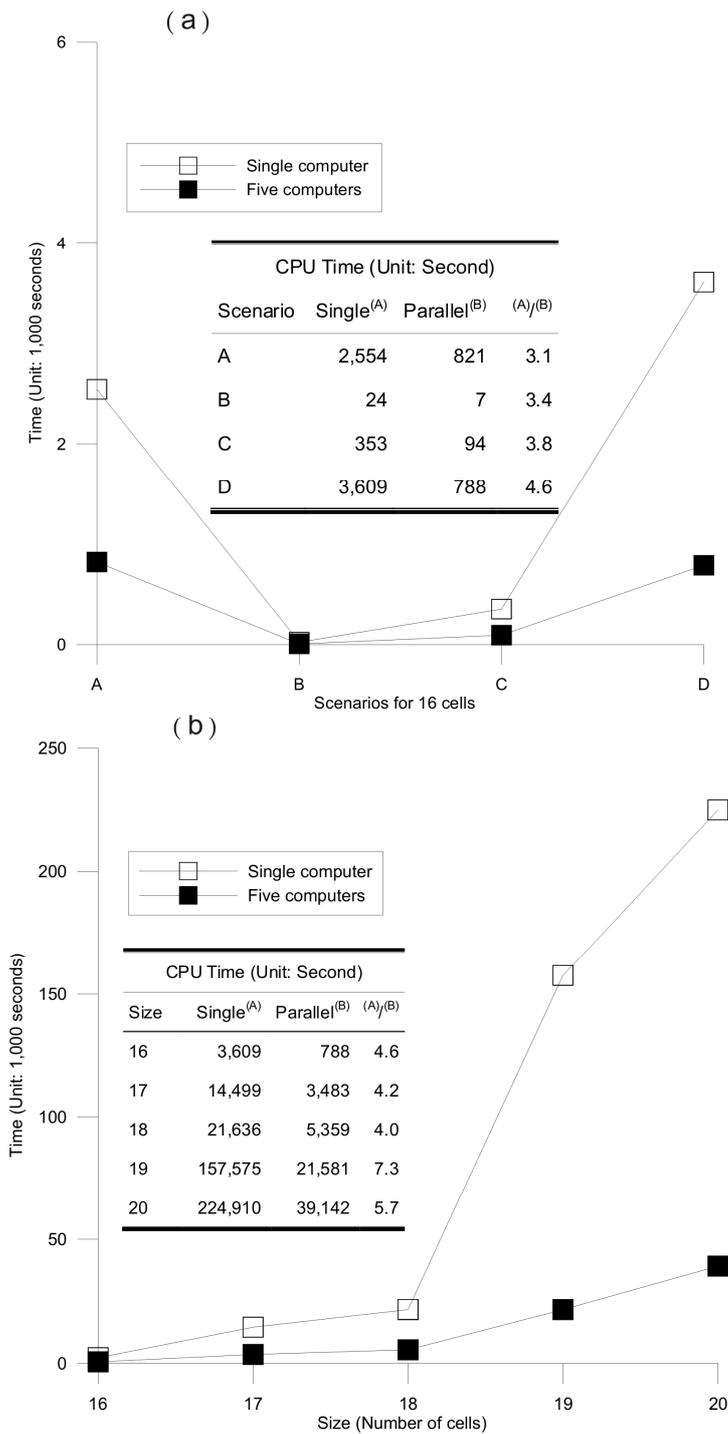


圖 8.3 平行運算與單機環保設施選址優選計算之比較(a) 面積要求為 16 格下各情境選址所需時間;(b) 情境 D 且面積要求為 16 至 20 格下的求解時間。

8.2 向量式環保設施選址優選演算法

本研究採用一個小型的虛擬選址案例進行系統應用示範，該案例有 283 個土地區塊及 806 組邊界，以及三個因子圖層，分別為地質、人口密度與土地價格。地質以透水性為主，透水性越低的土地區塊越好。為降低可能的風險，設址也需考慮避開人口稠密處，故人口密度越低的土地區塊越好。為了實際建設的需求，成本也是一個需要考量的因子，故土地價格越低的區塊適宜度越高。為了便於優選模式建立目標式，本研究以評分值愈低表示適宜度越高，且 3 個因子的土地區塊適宜度都已調整至 1-100 的範圍內。資料建立後，則以優選模式進行選址分析。

優選模式的目標式依選址因子的綜合適宜度建立，各因子依其重要性設定不同權重作綜合評估，如表 8.1 所列，本研究共設定四組權重，第一組三個因子的權重相同，之後三組則分別強調其中一個因子，設定選址目標為求取大小為 1,000-3,000 平方公尺的場址，為了便於討論，每一個結果以一組代碼代表，代碼第一部分為權重組代碼，如表 8.1 所列，第二部分為 Compactness 的權重，為 1, 10, 或 100，第三部分，則分別以 P 表示使用 CPLEX(ILOG inc., 2006)求解向量式優選模式，代號 V 則為以本研究所發展的向量式優選電腦程式進行求解，以比較二者間求解效率，最後一部分則為選址面積，例如 A1V1000 則代表在權重組 A，Compactness 權重為 1、以本研究所寫向量式選址程式求解及選址面積限制至少為 1,000 平方公尺，依此類推。

表 8.2 比較求解效率，結果圖分別繪製於圖 8.4、8.5、8.6 與 8.7，運算時間與求取面積不一定成比例，主要是因各區塊面積不定，求解複雜度亦有差異所致。在選址案例區不大及場址面積要求亦不大的情形下，即使以 CPLEX 求解優選模式的運算速度已不算慢，但本研究所寫的程式可以再進一步提昇效率，由於電腦測速精確度有所限制，因為運算速度快的關係，故電腦模式的運算時間結果大多顯示為 0.002s。由表 8.2 可看出向量式選址優選電腦程式約可提昇至少 29

倍以上之速率，而在如圖 8.4 之 A100P1500 vs. A100V1500 (8.153×10^4 倍)，圖 8.5 之 B100P1000 vs. B100V1000 (3.702×10^5 倍)，圖 8.6 之 C1P2500 v.s. C1V2500 (7.161×10^5 倍)、C1P3000 vs. C1V3000 (2.920×10^6 倍)、C10P3000 vs. C10V3000 (1.031×10^6 倍) 與圖 8.7 之 D100P2000 vs. D100V2000 (3.460×10^5 倍) 這些情境下，更可看出明顯的效率改善，以上證實所發展的向量式選址演算法及優選電腦程式確實可顯著提昇選址模式求解效率。

本研究所發展的電腦程式採用不同的適宜度計算法，可改善之前研究所發展的選址優選模式所得結果場址不連接的問題，如圖 8.8 所示。在某些狀況下，該模式所得場址連接度可能會較差，如圖 8.8(a)與 8.8(b)所示，其分別為 B1P2000 與 B1V2000 的結果，可看出 B1P2000 的選址結果並不連接，且明顯 B1V2000 所得結果較佳，在運算速度上，B1V2000 約改善 60 倍的求解速度。圖 8.8(c)與 8.8(d)則比較 D10P1000 與 D10V1000 的結果，情況亦類似，D10V1000 在運算速度上亦快了 51 倍，如表 8.2 與圖 8.6 所示。總結以上，向量式掩埋場選址電腦程式除了增進選址效率之外，亦可提高所選場址的適宜度。

表 8.1 向量式選址情境權重比例

情境	地質	人口密度	土地價格
A	1	1	1
B	10	1	1
C	1	10	1
D	1	1	10

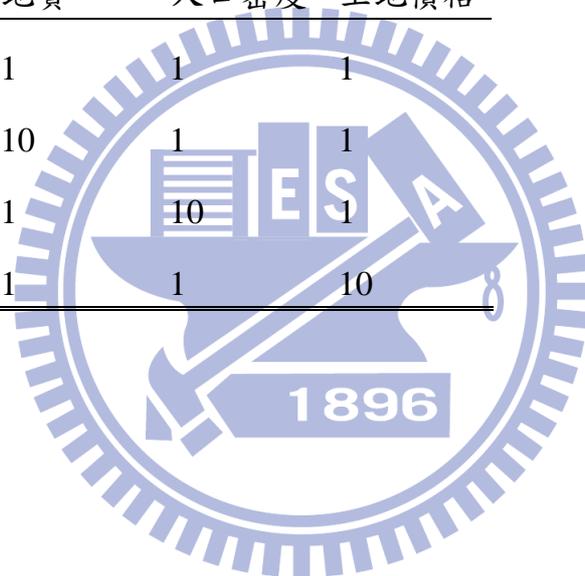


表 8.2 向量式選址結果

Case	運算時間	Case	運算時間	Case	運算時間	Case	運算時間
A1P1000	0m0.717s	A1V1000	0m0.002s	C1P1000	0m0.083s	C1V1000	0m0.002s
A1P1500	0m0.359s	A1V1500	0m0.003s	C1P1500	0m0.355s	C1V1500	0m0.002s
A1P2000	0m0.663s	A1V2000	0m0.002s	C1P2000	0m0.465s	C1V2000	0m0.002s
A1P2500	0m0.388s	A1V2500	0m0.003s	C1P2500	23m52.214s	C1V2500	0m0.002s
A1P3000	0m0.313s	A1V3000	0m0.002s	C1P3000	97m20.368s	C1V3000	0m0.002s
A10P1000	0m0.829s	A10V1000	0m0.002s	C10P1000	0m0.123s	C10V1000	0m0.002s
A10P1500	0m0.405s	A10V1500	0m0.002s	C10P1500	0m0.441s	C10V1500	0m0.002s
A10P2000	0m0.732s	A10V2000	0m0.002s	C10P2000	0m1.864s	C10V2000	0m0.002s
A10P2500	0m0.508s	A10V2500	0m0.003s	C10P2500	0m4.451s	C10V2500	0m0.002s
A10P3000	0m0.206s	A10V3000	0m0.002s	C10P3000	34m21.490s	C10V3000	0m0.002s
A100P1000	0m5.756s	A100V1000	0m0.002s	C100P1000	0m17.407s	C100V1000	0m0.002s
A100P1500	4m44.580s	A100V1500	0m0.003s	C100P1500	0m14.147s	C100V1500	0m0.002s
A100P2000	0m9.108s	A100V2000	0m0.002s	C100P2000	1m25.041s	C100V2000	0m0.002s
A100P2500	0m3.150s	A100V2500	0m0.003s	C100P2500	1m23.361s	C100V2500	0m0.002s
A100P3000	0m5.686s	A100V3000	0m0.002s	C100P3000	1m41.558s	C100V3000	0m0.002s
B1P1000	0m0.122s	B1V1000	0m0.002s	D1P1000	0m0.103s	D1V1000	0m0.002s
B1P1500	0m0.464s	B1V1500	0m0.002s	D1P1500	0m0.406s	D1V1500	0m0.002s
B1P2000	0m0.127s	B1V2000	0m0.002s	D1P2000	0m0.058s	D1V2000	0m0.002s
B1P2500	0m0.134s	B1V2500	0m0.002s	D1P2500	0m0.075s	D1V2500	0m0.002s
B1P3000	0m0.076s	B1V3000	0m0.002s	D1P3000	0m0.065s	D1V3000	0m0.002s
B10P1000	0m0.368s	B10V1000	0m0.002s	D10P1000	0m0.307s	D10V1000	0m0.002s
B10P1500	0m0.237s	B10V1500	0m0.002s	D10P1500	0m0.157s	D10V1500	0m0.002s
B10P2000	0m0.131s	B10V2000	0m0.002s	D10P2000	0m0.070s	D10V2000	0m0.002s
B10P2500	0m0.175s	B10V2500	0m0.002s	D10P2500	0m0.276s	D10V2500	0m0.002s
B10P3000	0m0.066s	B10V3000	0m0.002s	D10P3000	0m0.088s	D10V3000	0m0.002s
B100P1000	12m20.328s	B100V1000	0m0.002s	D100P1000	2m16.277s	D100V1000	0m0.002s
B100P1500	0m47.960s	B100V1500	0m0.002s	D100P1500	0m7.510s	D100V1500	0m0.002s
B100P2000	2m31.818s	B100V2000	0m0.002s	D100P2000	11m31.922s	D100V2000	0m0.002s
B100P2500	0m7.517s	B100V2500	0m0.002s	D100P2500	1m7.140s	D100V2500	0m0.002s
B100P3000	4m54.527s	B100V3000	0m0.002s	D100P3000	1m4.961s	D100V3000	0m0.002s

*1m4.961 意為 1 分 4.961 秒

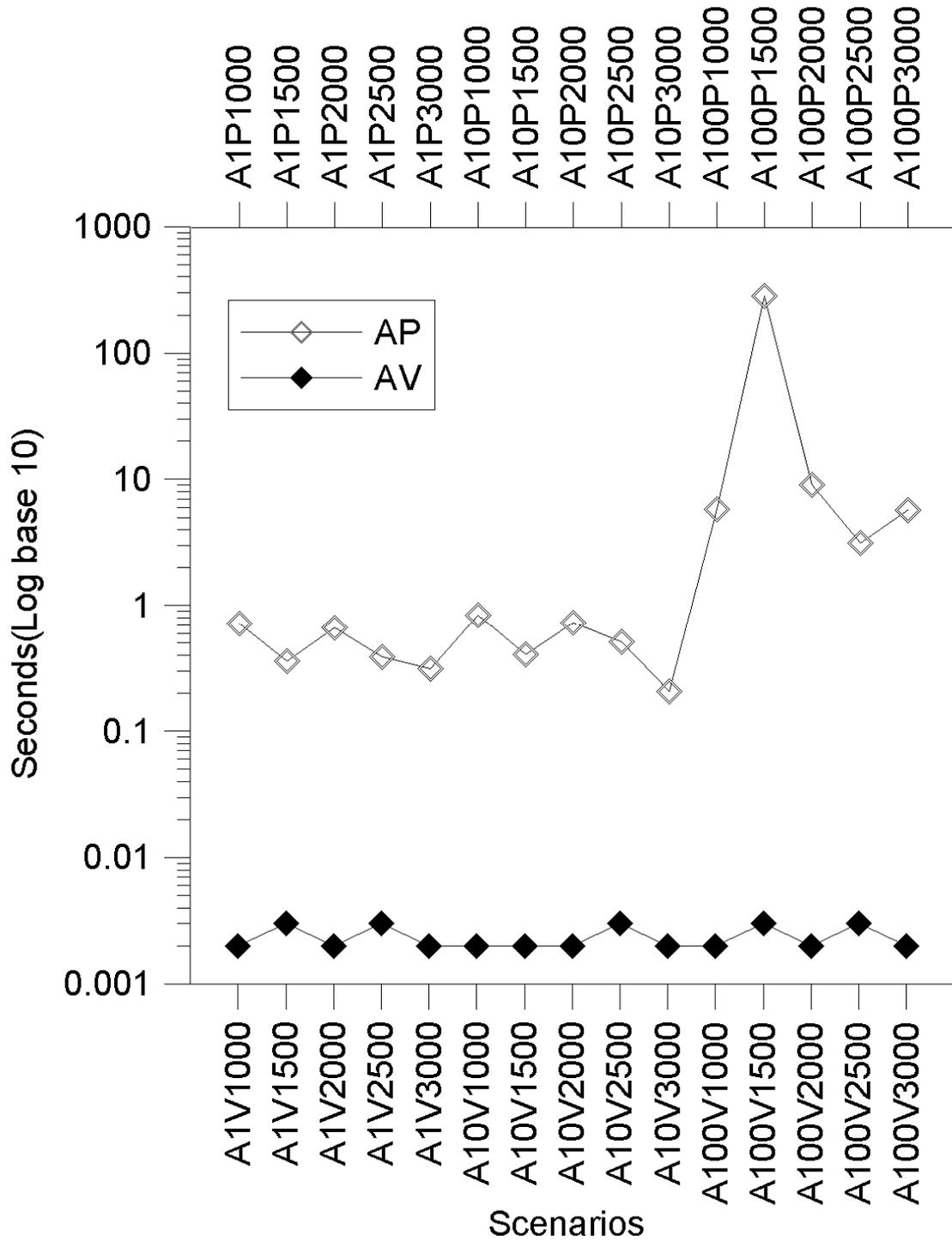


圖 8.4 情境 AV vs. AP 選址結果比較圖

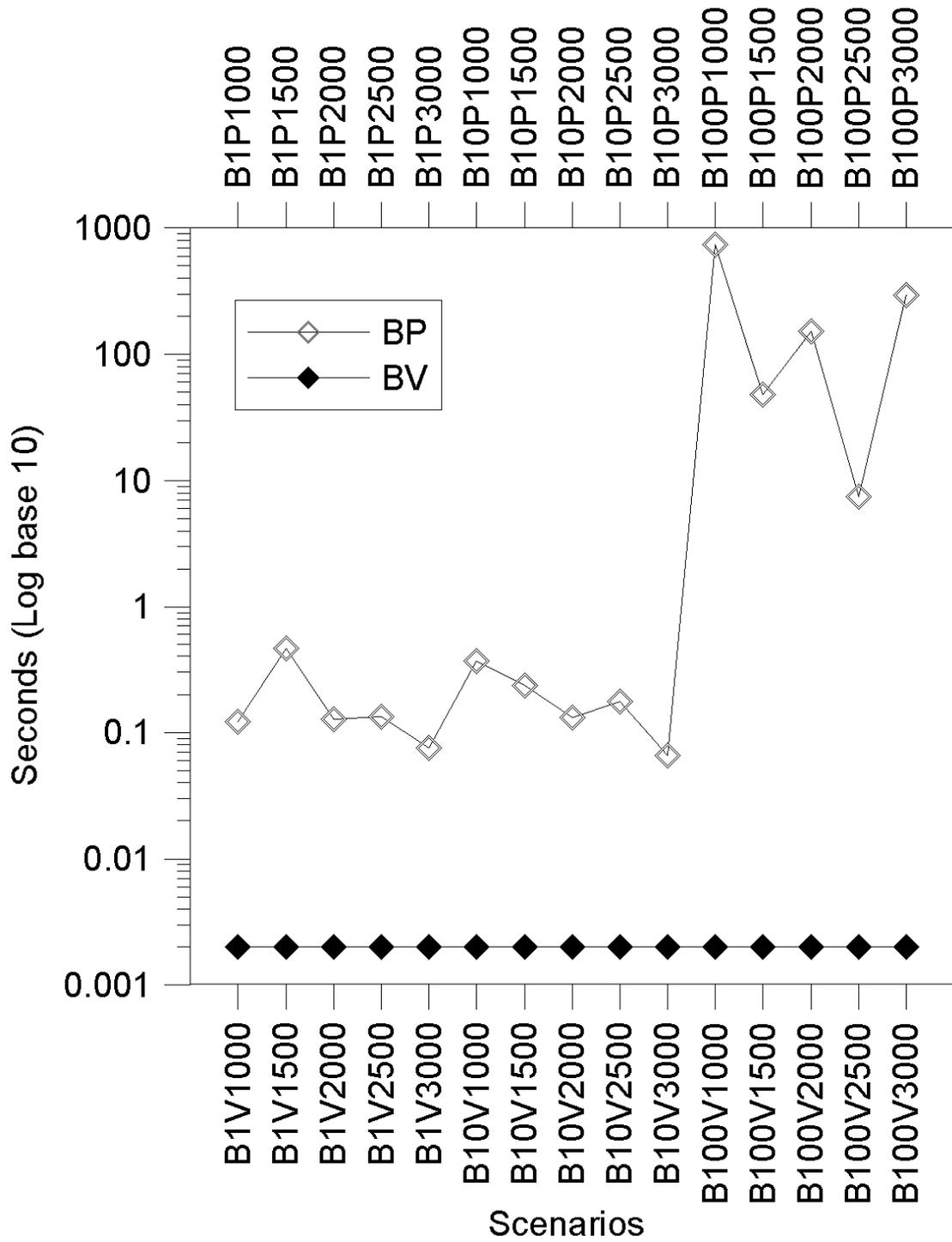


圖 8.5 情境 BV vs. BP 選址結果比較圖

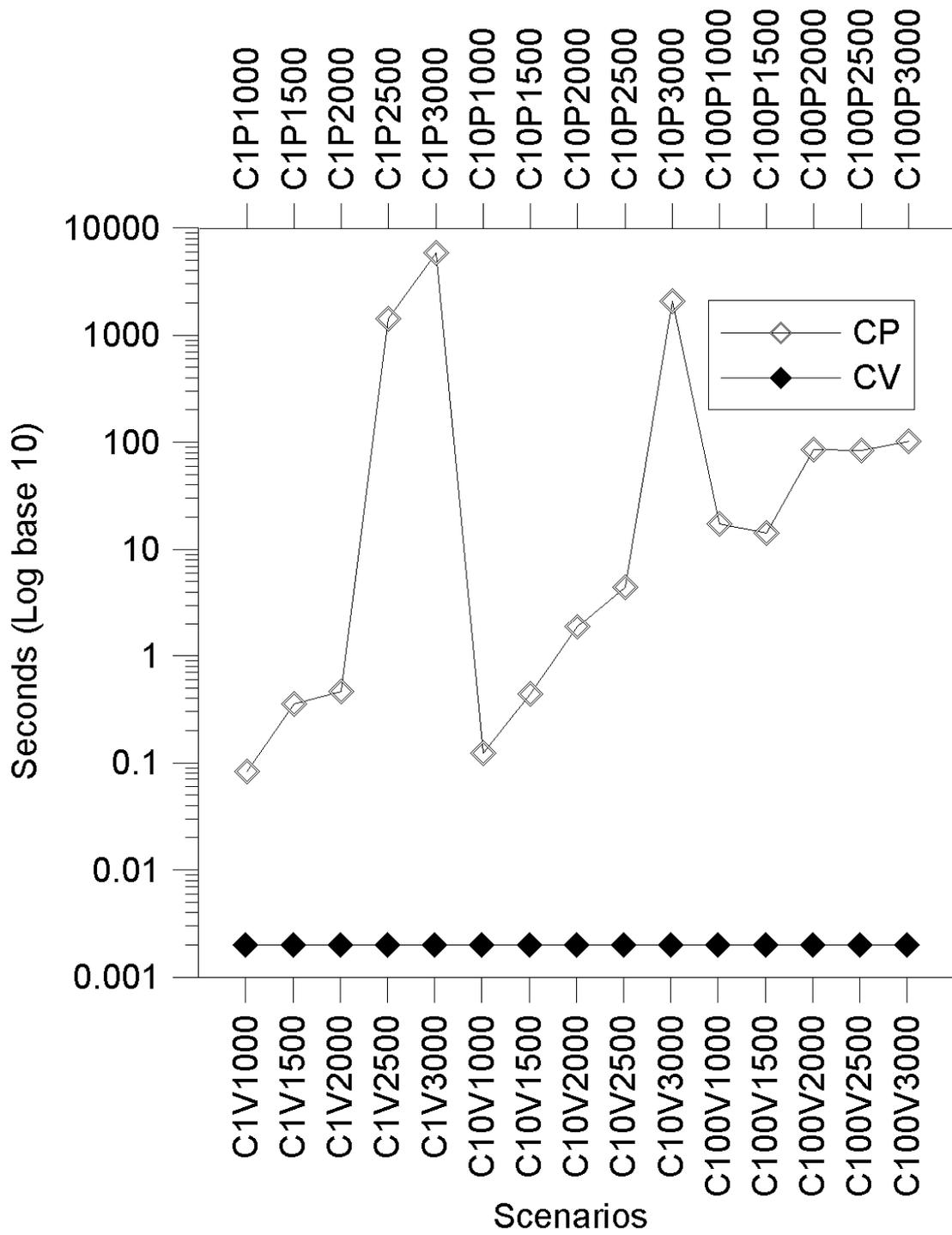


圖 8.6 情境 CP vs. CV 選址結果比較圖

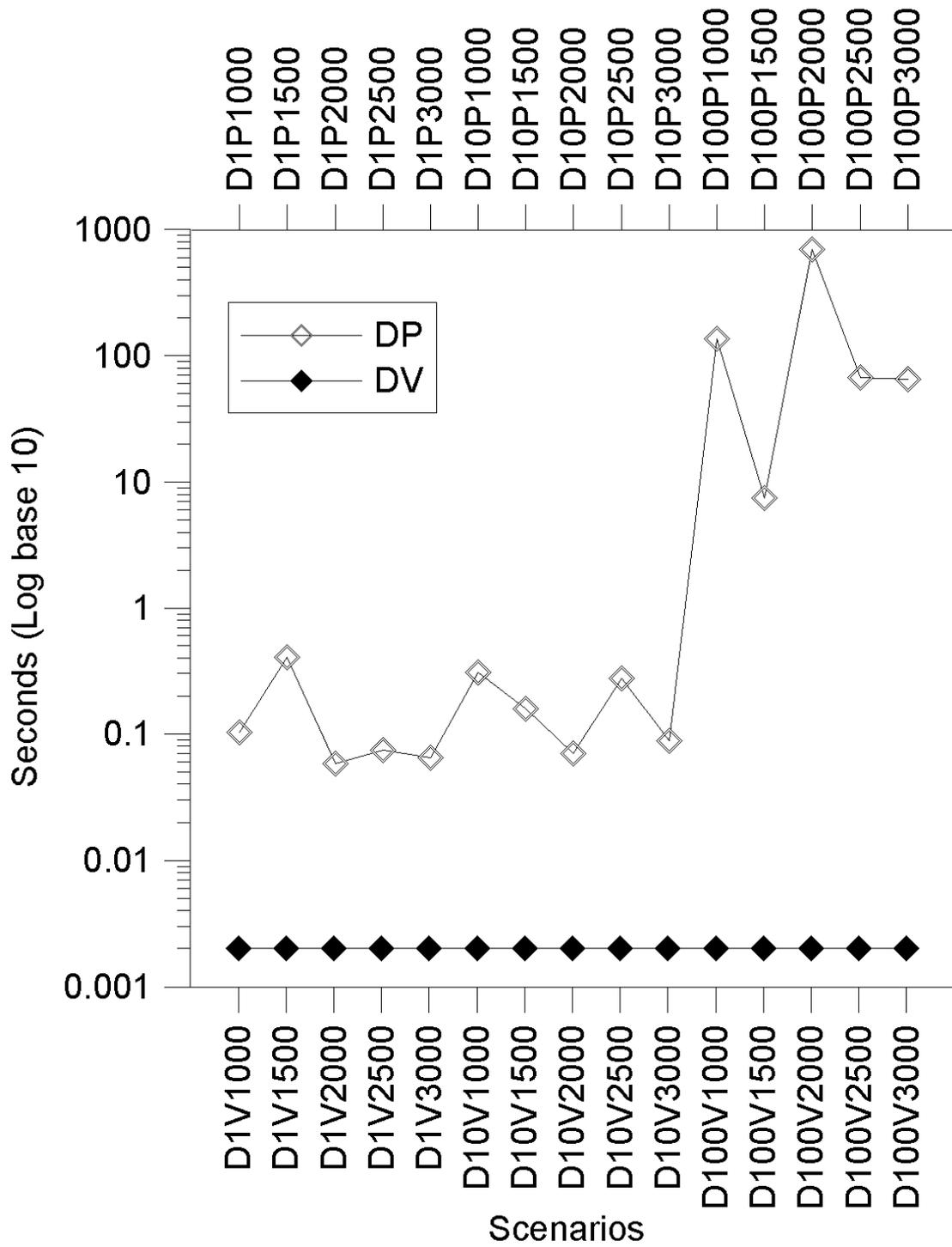
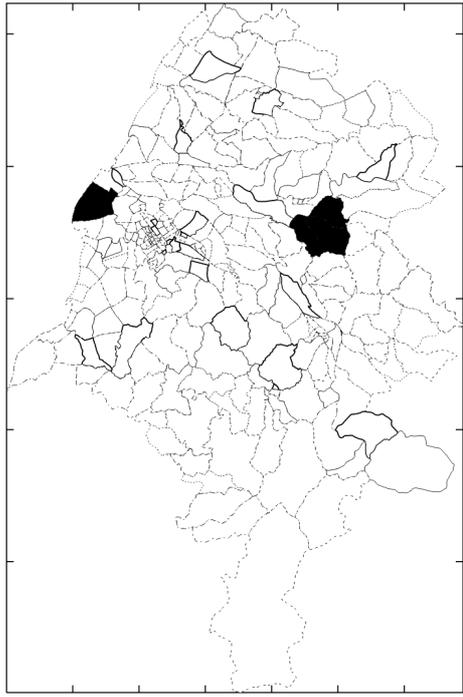
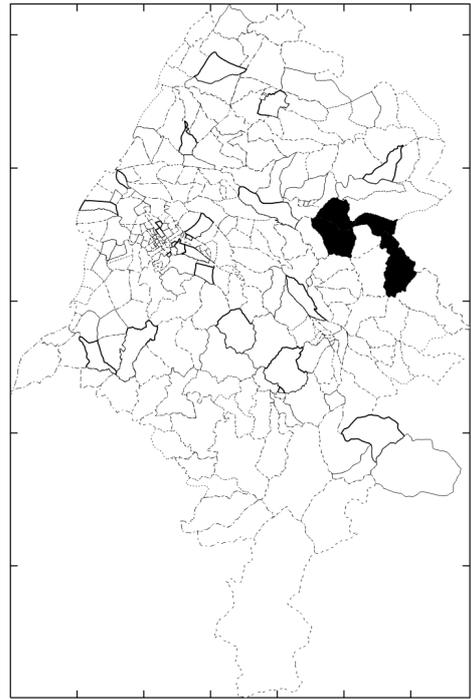


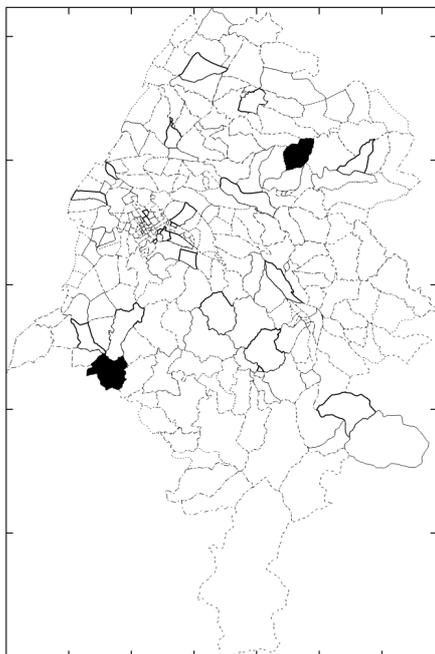
圖 8.7 情境 DP vs. DV 選址結果比較圖



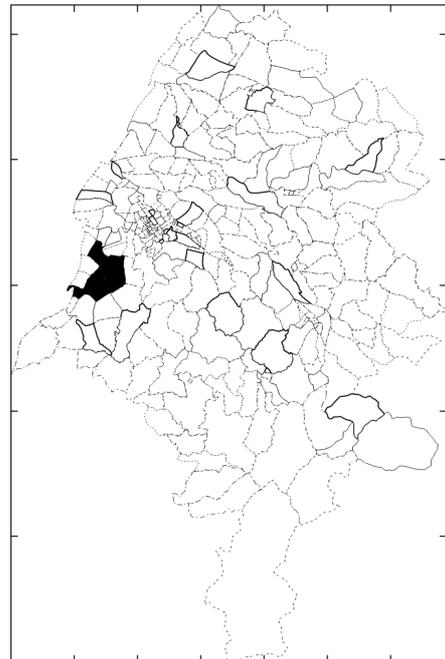
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 8.8 選址結果例舉(a) B1P2000; (b) B1V2000; (c) D10P1000; 及(d) D10V1000。

8.3 環保設施選址案例示範

以下分別說明網格式掩埋場選址決策支援系統、向量式掩埋場決策支援系統、集水區水質監測站選址決策支援示範系統與空氣品質監測站選址決策支援系統的案例示範。

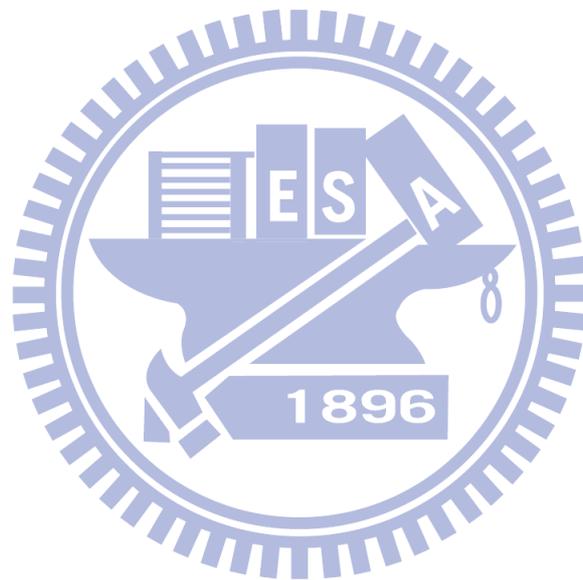
8.3.1 網格式掩埋場選址支援系統

網格式掩埋場選址決策支援系統的示範應用案例為台灣中部某區域選址問題，在此案例中以地質、土地坡度與土地價格作為選址考量因子。系統介面如圖 8.9 所示，在進行網格式掩埋場選址時，使用者可根據不同地質、土地坡度、土地價格因子，利用介面上水平捲軸或輸入欄位輸入所需權重，而水平捲軸亦可較直覺的反映出不同選址情境下權重間的不同，並透過下拉式選單選取所需的土地面積，進行掩埋場選址優選。而在得出優選結果後，使用者可再針對所需的空間需求，如面積、場址最大寬度與長度、橋形限制、階形限制及因子權重調整選址因子作進一步的篩選，如圖 8.9 所示。系統可依不同設定進行多次優選分析，亦會儲存各參數的選擇，如圖 8.10 所示，以供比較候選場址時用。

本系統可依不同因子圖層與待選場址特性分析其對於選址決策的影響，以深淺顏色表示各場址適宜度，協助使用者比較不同選址決策之空間性差異，如圖 8.11 所示，圖 8.11(a)即表示在地質考量下，較不適合建立掩埋場於西北方，圖 8.11(b)表示在土地坡度考量下，從東北經過中央至東南處，較不適合選址，而圖 8.11(c)為土地價格考量，顯示南邊區域建立掩埋場的成本較高，圖 8.11(d)則為圖層套疊結果，顯示同時考量以上三因子的狀況下，並無特別明顯的選址場址方案，此時需進行優選分析以獲得適宜方案。

以掩埋場選址分析模組進行選址所得結果如圖 8.12 所示。由於一般空間分析系統缺乏適當的掩埋場選址優選功能，本研究因而整合空間分析與優選工具，讓使用者可進行空間性優選決策分析，並由空間分析模組分析空間性因子及比較

不同方案下之優選選址決策。此外，本系統亦整合本研究所發展之平行運算模組，更進一步提升掩埋場選址問題之選址優選模式求解運算效率。



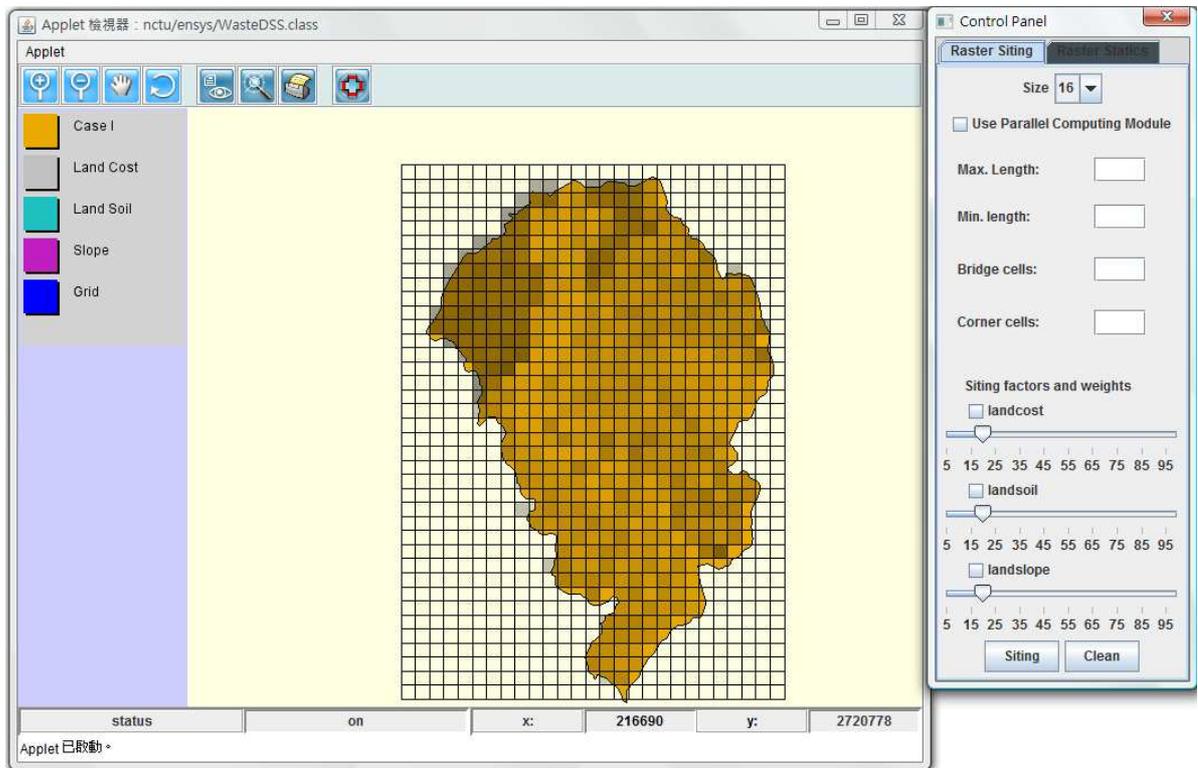
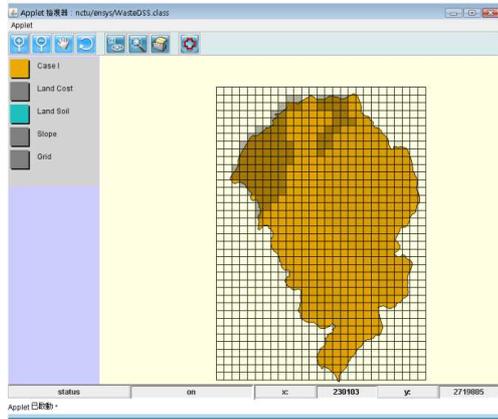


圖 8.9 網格式掩埋場選址決策支援子系統系統主介面

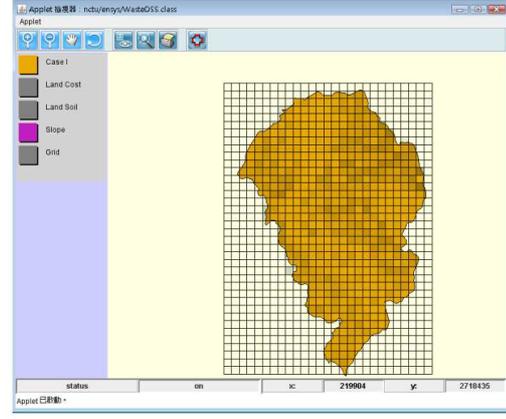
Result #	Land cost	Soil	Slope	Land cost weight	Soil weight	Slope weight	Score
Result1	Y	Y	Y	38	57	41	90
Result2	Y	Y	Y	38	24	41	92
Result3	Y	Y	Y	61	24	41	
Result4	N	N	Y	61	24	41	
Result5	N	Y	N	61	24	41	
Result6	Y	Y	N	61	24	41	
Result7	Y	Y	N	44	24	69	
Result8	Y	Y	N	44	24	69	
Result9	Y	Y	N	44	33	69	920

各選址結果的
權重選擇

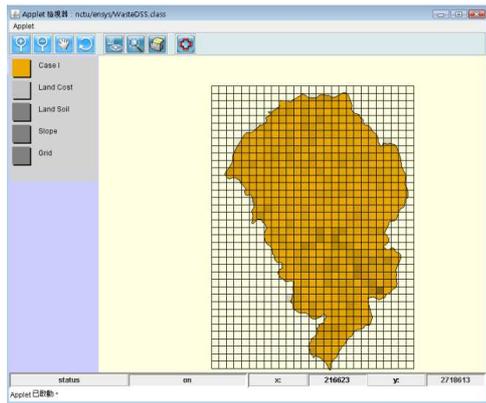
圖 8.10 各選址結果及選用決策因子與權重



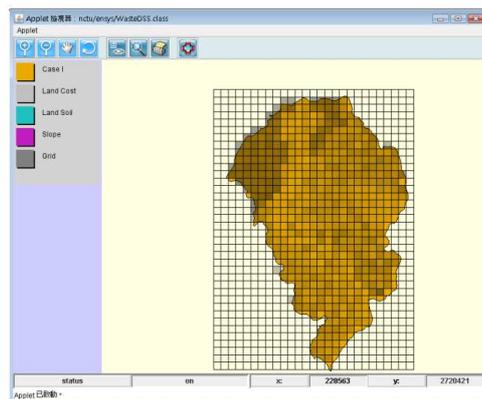
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 8.11 檢視空間屬性：(a) 地質；(b) 土地坡度；(c) 土地價格；(d) 圖層套疊結果

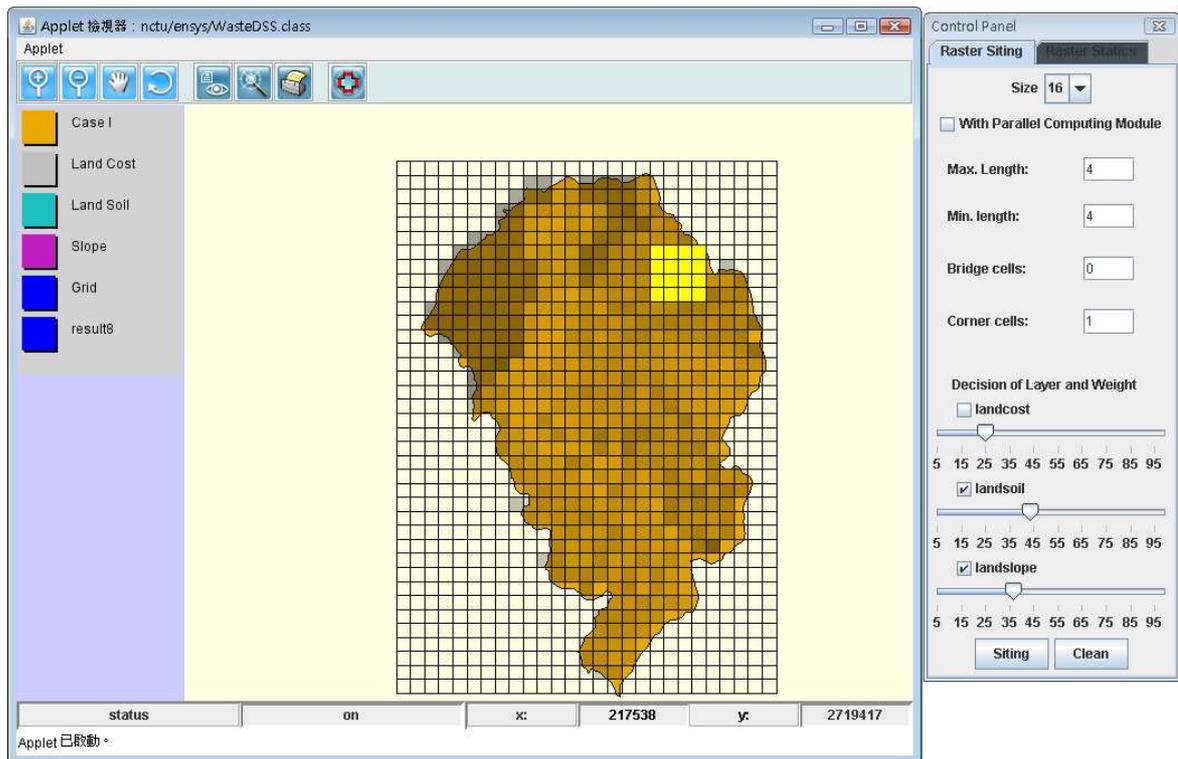


圖 8.12 網格式掩埋場選址決策支援子系統操作示範

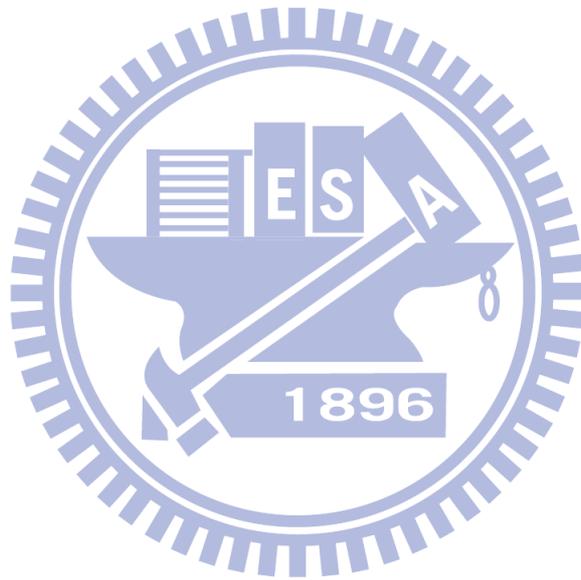
8.3.2 向量式掩埋場選址支援系統

向量式掩埋場選址決策支援系統示範應用之案例為另一個台灣中部某區域選址問題，在此案例中以地質、人口密度與土地價格作為選址考量因子。

此系統介面如圖 8.13 所示，使用者應用本系統進行掩埋場選址分析的過程，可分為以下六點說明：

1. **各因子圖層檢視**：系統協助使用者掌握掩埋場選址案例區資訊，進行初步評估，以便進行後續的優選分析，如圖 8.14 所示的人口密度圖層，因子圖層以深淺顏色代表各區塊適宜度，此圖顯示中西區域與東南區域人口密度較高，且使用者可將滑鼠移至上方可出現其人口密度數值。
2. **設定選址因子**：如圖 8.13 所示，使用者根據不同地質、人口密度、土地價格因子與土地面積需求選擇所擬考量的選址因子，並設定選址因子的參數，利用水平捲軸可顯示決策情境下不同權重間的高低。
3. **掩埋場選址優選分析**：使用者輸入各參數後，按下 Siting 按鍵，系統即根據選址需求，開始進行優選分析。
4. **優選場址空間分析**：不同的因子權重所得出的候選場址，在系統以獨立圖層顯示，如圖 8.15 所示，使用者可檢核場址資料，如面積形狀與場址長寬等，進行場址空間分析，以確定所選場址的適宜度。
5. **多次分析比較**：在得出優選結果後，使用者可再針對一些需進一步檢核的地方或其他空間分析需求評估所選場址，若不滿意，使用者可改變選址參數，重複進行多次優選分析及比較。此步驟可能會反覆進行數次，直至滿意所得結果為止。

6. 報表分析：如圖 8.16 所示，系統亦可將候選場址各空間因子與其權重，以及優選後面積結果列出，以供使用者比較候選場址。



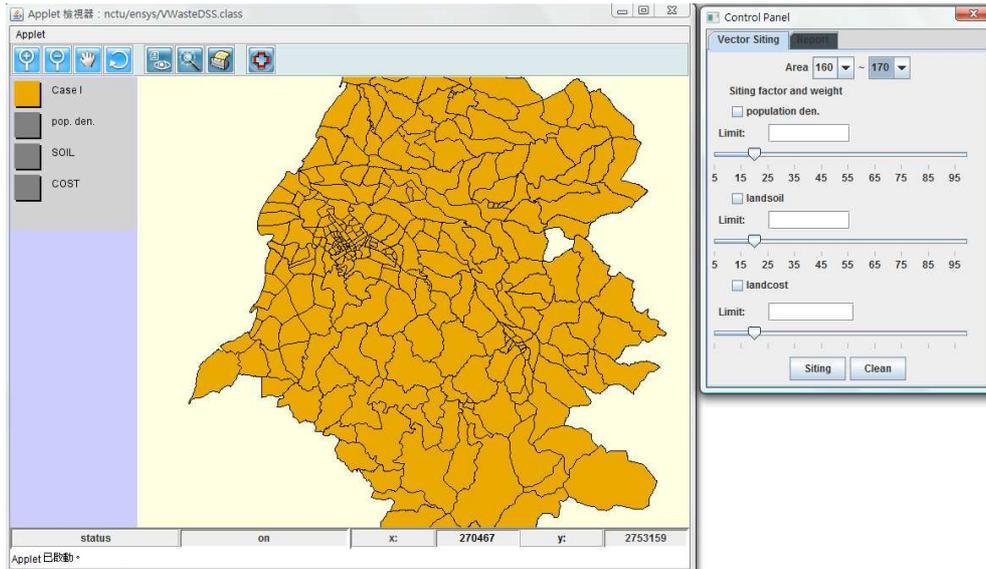


圖 8.13 向量式掩埋場選址決策支援系統操作主介面

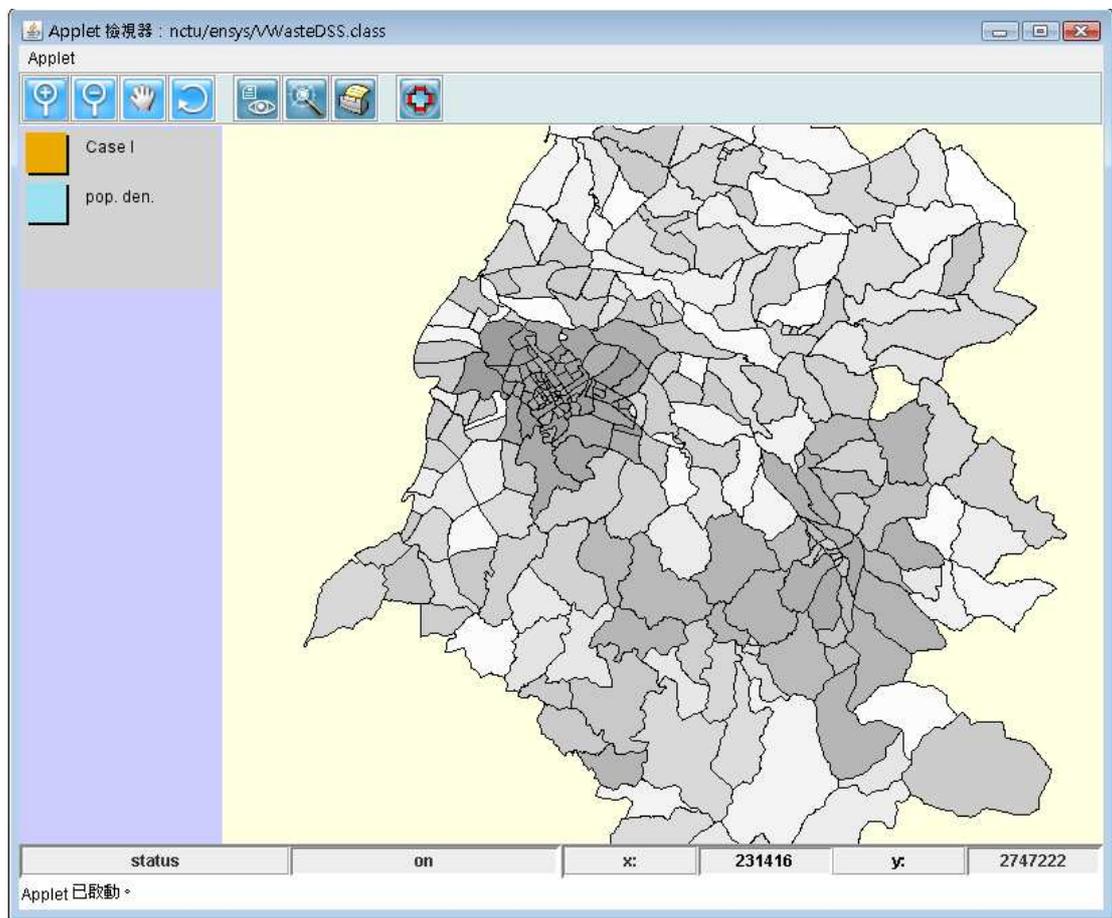


圖 8.14 各因子圖層檢視

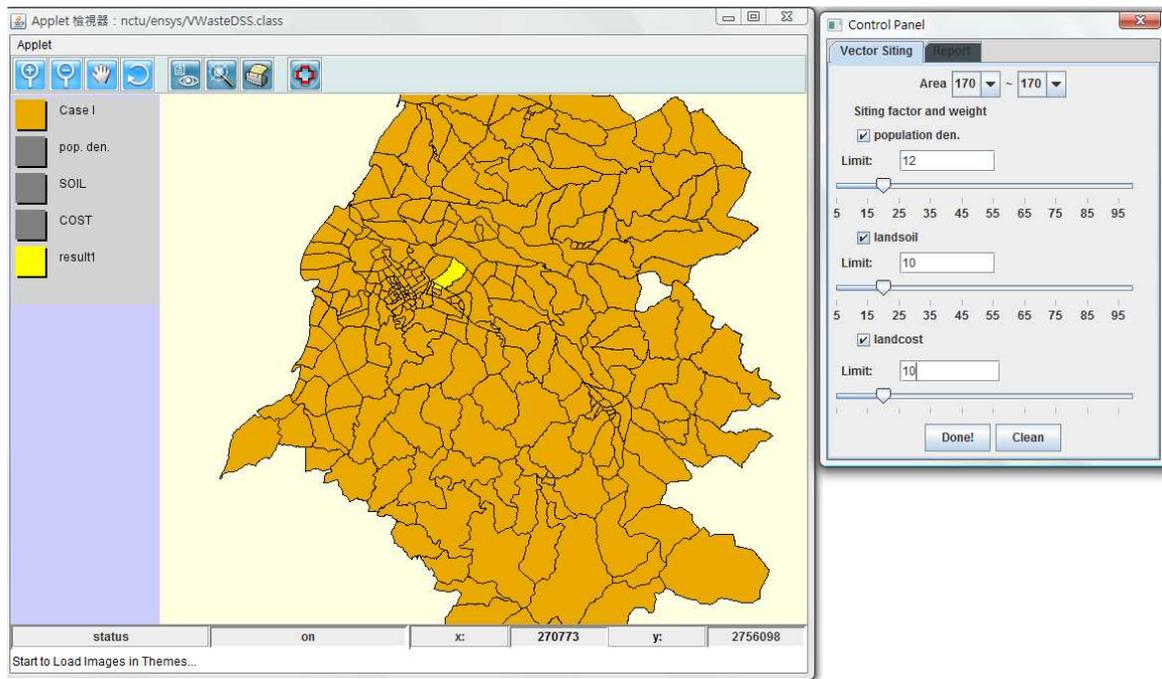


圖 8.15 優選場址空間分析

Result #	Pop den.	Land soil	Land cost	Pop. den. weight	Soil weight	Cost weight	Score
Result1	Y	Y	Y	36	10	10	68513
Result2	Y	Y	Y	36	56	10	72193
Result3	Y	Y	Y	36	56	38	74242
Result4	Y	Y	Y	36	56	38	74242
Result5	Y	Y	Y	36	23	38	71602
Result6	Y	Y	Y	36	68	38	75202
Result7	Y	N	N	12	68	38	54358
Result8	Y	N	N	12	68	38	54358
Result9	N	Y	N	12	65	38	54118
Result10	N	N	Y	12	65	38	54118
Result11	N	N	Y	12	65	38	54118
Result12	N	N	Y	12	65	38	54118
Result13	N	Y	N	12	65	38	54118
Result14	N	Y	N	12	80	38	86551

圖 8.16 選址報表分析

8.3.3 集水區水質監測站選址決策支援示範系統

集水區水質監測站選址決策支援示範系統則以中部某上游集水區為案例進行分析，系統介面如圖 8.17 所示，可檢視分析案例區總磷、總氮或總沉積物等污染負荷資訊，與土地與水系之空間資訊，如支流銜接關係等，本系統可依據各河段污染空間特性與地理空間關係進行集水區水質監測站選址。

使用者可經由系統介面，進行以下集水區水質監測站選址程序：

- 1. 展示流域資訊：**系統協助使用者掌握集水區地理資訊與污染資訊現況，游標指至相關區域時，即跳出視窗顯示該區資訊以進行檢視，如圖 8.18 所示。
- 2. 選擇回溯成本因子進行站址優選分析：**使用者可由如圖 8.18 所示的控制介面選取選址分析擬採用的回溯成本因子，包括總磷、總氮或沉積物污染及一般河系特性因子等回溯成本因子，進行站址優選分析。
- 3. 監測站點空間分析：**優選分析所得站點如圖 8.19 所示範，系統將其轉為獨立圖層，以展示其空間特性進行選址分析，使用者可利用流域空間圖層資訊輔助，以確定每個站點在集水區中的座落位置。本系統亦包含判斷監測站涵蓋範圍等空間分析，可綜合多項相關資訊，用以輔助選址決策分析。
- 4. 圖表分析：**使用者可利用如圖 8.20 所示的各監測站目標函數分析等圖表，以比較及分析不同成本回溯因子所得監測站空間位置之差異，以期改善決策品質。

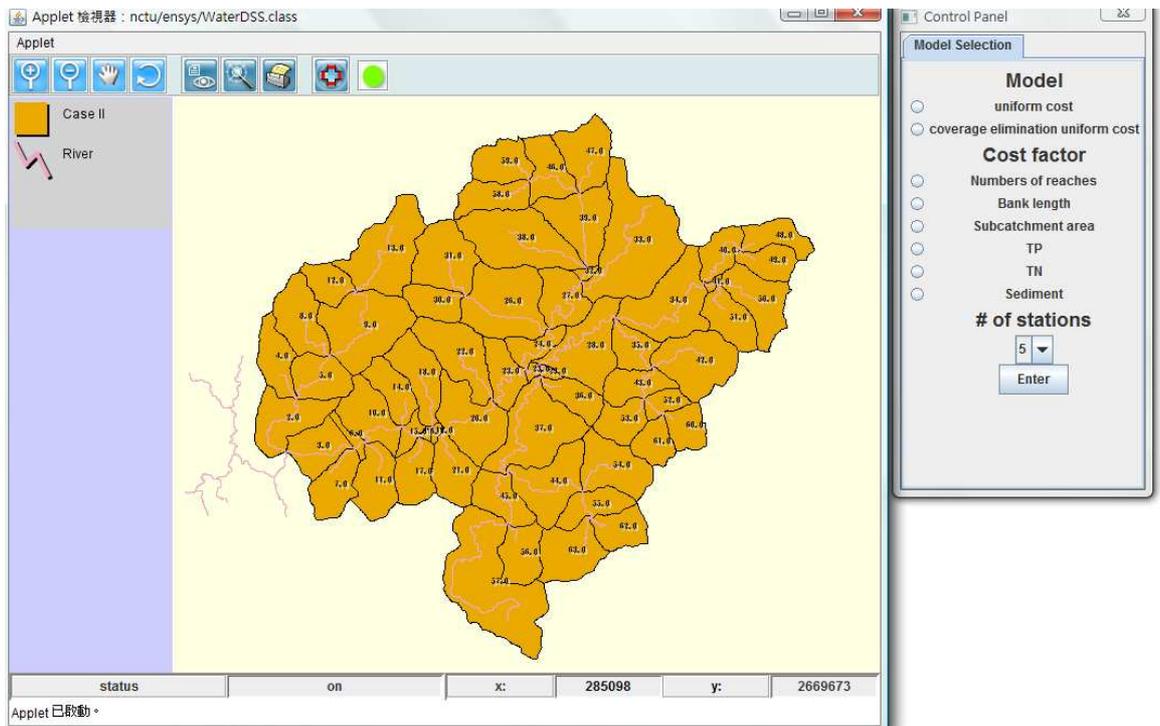


圖 8.17 集水區水質監測站選址決策支援示範系統主介面

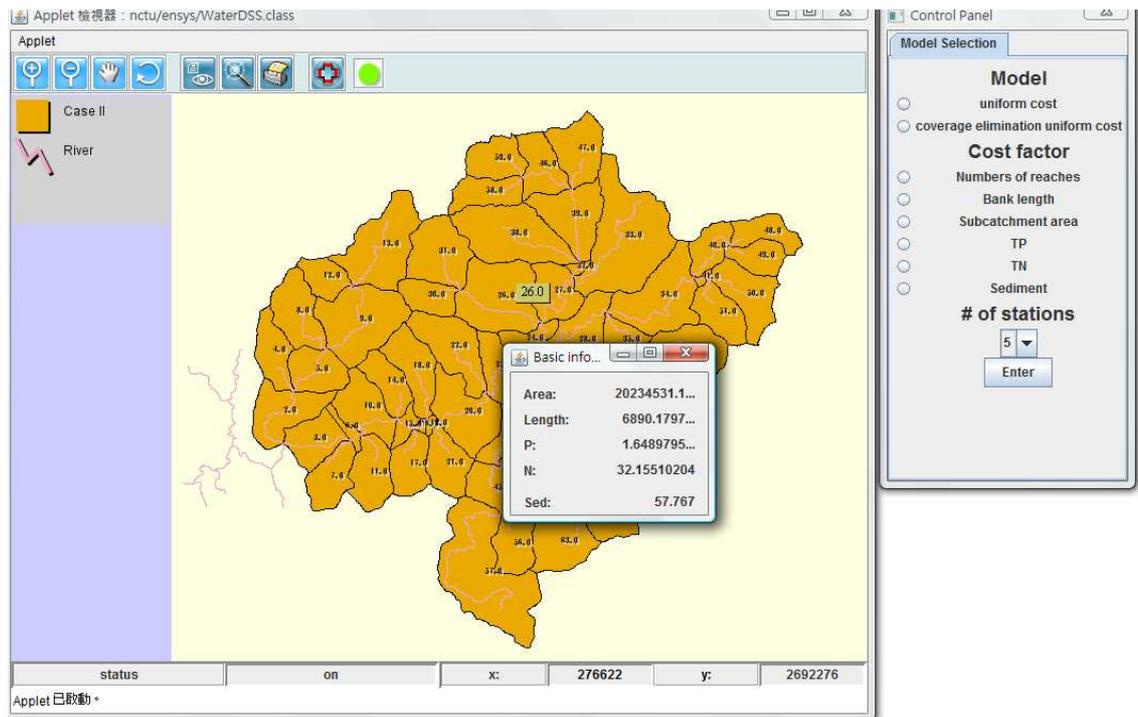


圖 8.18 展示流域資訊

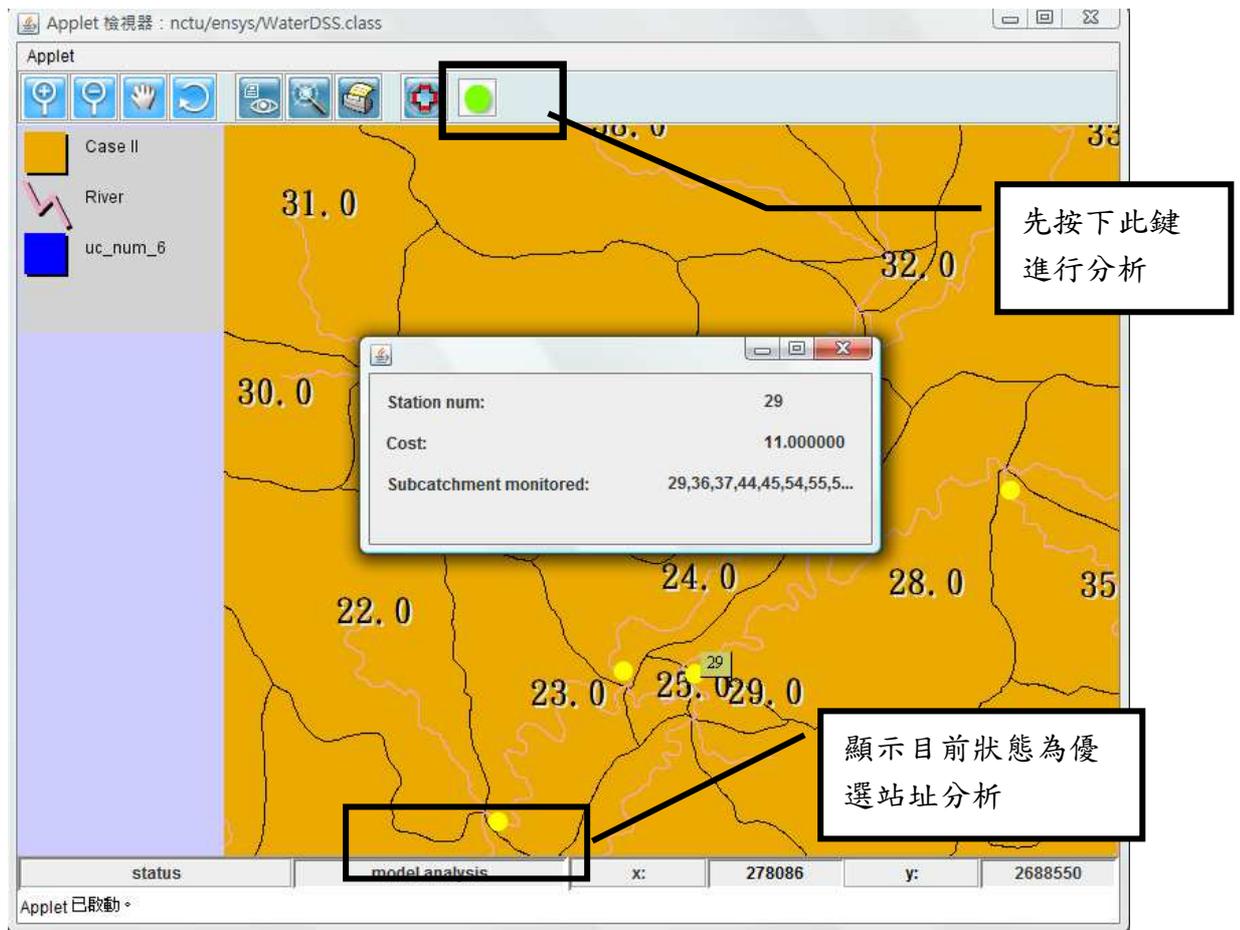


圖 8.19 監測站點選址結果

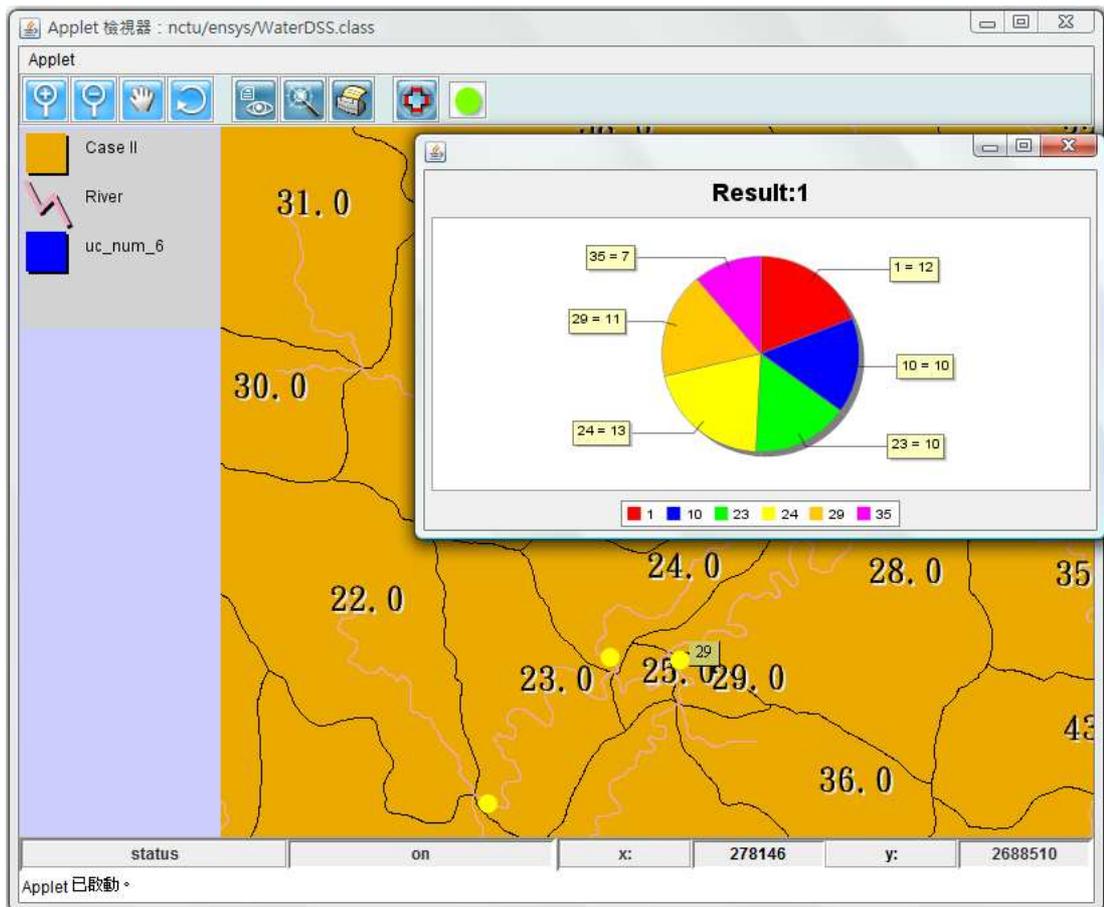


圖 8.20 集水區水質監測站選址決策支援示範系統統計分析功能

8.3.4 空氣品質監測站選址決策支援示範系統

本研究以某工業區為例，進行空氣品質監測站選址分析，示範案例區共分為 441 個網格，系統主畫面如圖 8.21 所示，提供選址優選模組與空間與統計分析模組的操作功能。空氣品質監測站選址決策支援示範系統功能如下：

1. **案例區檢視**：使用者可藉由按下本模組介面的「Basic information」按鍵後，透過本系統檢視案例區資訊，如檢視排放源位置與氣象站位置等，如圖 8.22 所示。
2. **目標函數輸入**：若要輸入目標函數，使用者需先按下如圖 8.23 所示的「AQMN siting analysis」按鍵後，呼叫如圖 8.24 之模式參數輸入介面，根據空氣品質監測站選址需求，輸入 *DC*、*DDC*、*DA* 與 *PP* 等目標權重，若不擬考量任何目標，可將權重設為零，並選擇所需站數。另外使用者也可設 cut-off 值，cut-off 值定義測站所涵蓋範圍，愈大則相關性要求較嚴格，涵蓋範圍較小，反之則較大，細節請參見 Kao and Hsieh (2006)，本系統提供 0.7、0.8 或 0.9 供選擇，使用者可依需求進行設定。
3. **監測站網優選分析**：當各參數輸入後，使用者即可直接按下如圖 8.23 的「Analysis」鍵進行分析，優選模組會呼叫優選分析相關工具進行選址優選，並透過介面轉換優選結果，以進行後續站網選址分析。
4. **監測站網空間分析**：優選後的站網結果經空間模組轉換為圖層，如圖 8.24 所示，使用者可更進一步藉由系統進行監測站網空間性質相關之適宜度分析。
5. **統計圖表分析**：本系統提供優選結果統計報表，如圖 8.25 所示之非劣解的統計圖，方便使用者比較不同優選分析結果，以決定較合適的方案。

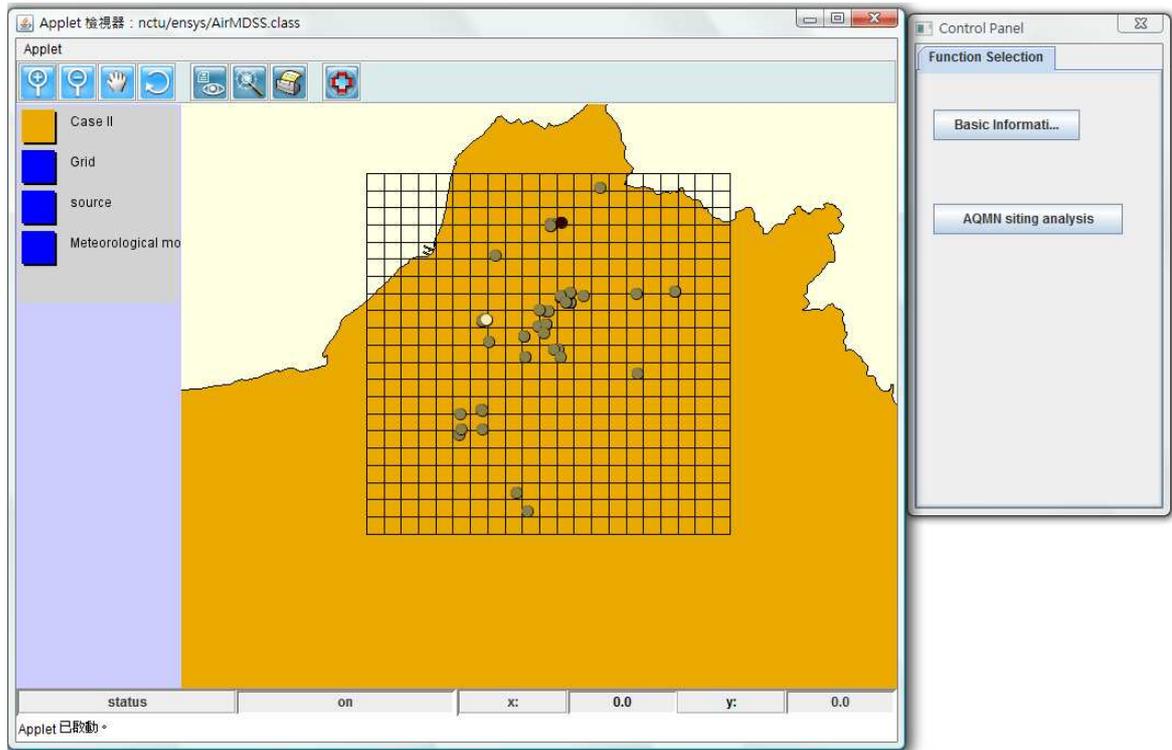


圖 8.21 空氣品質監測站選址決策支援示範系統主畫面

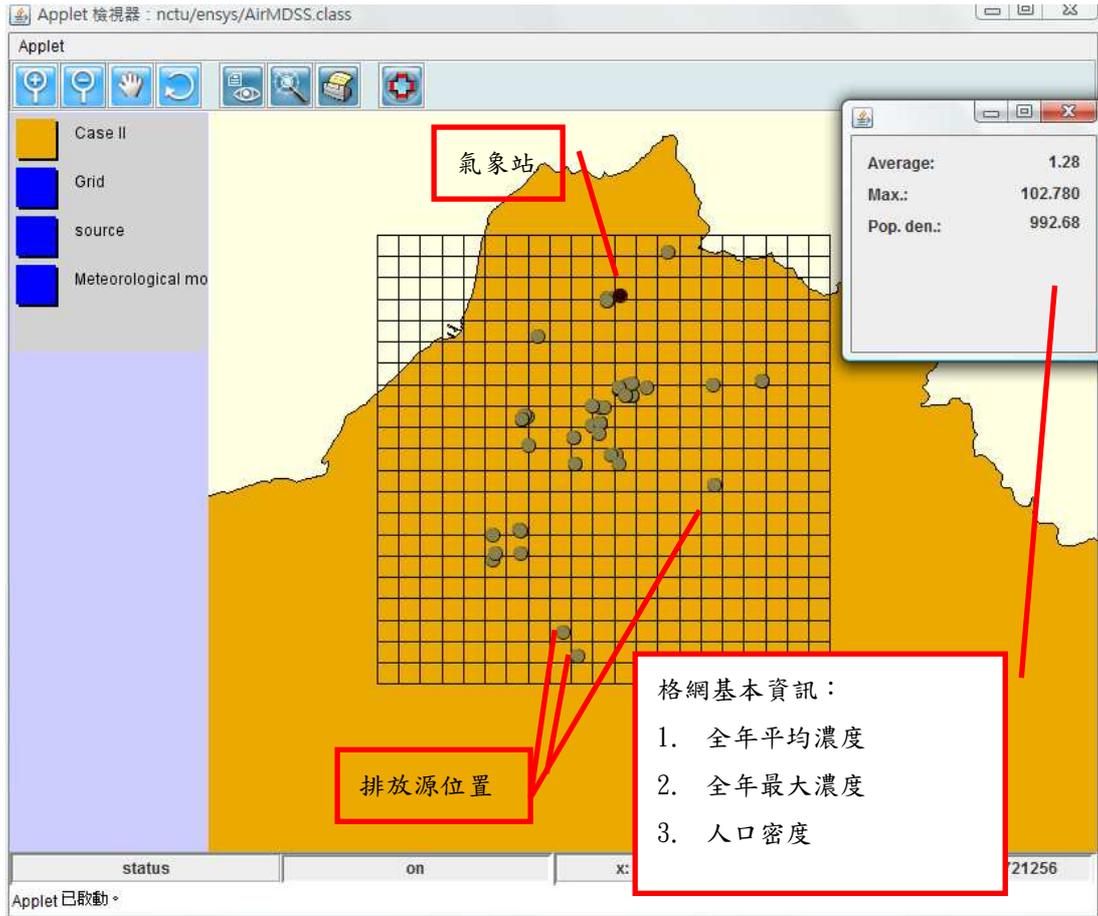


圖 8.22 檢視案例區畫面

Objectives

Max. detection capability: 0

Max. dosage detection capability: 0

Max. detection area: 0

Max. population protection: 0

cut-off: 0.7

numbers of station: 4

Analysis

圖 8.23 目標函數輸入

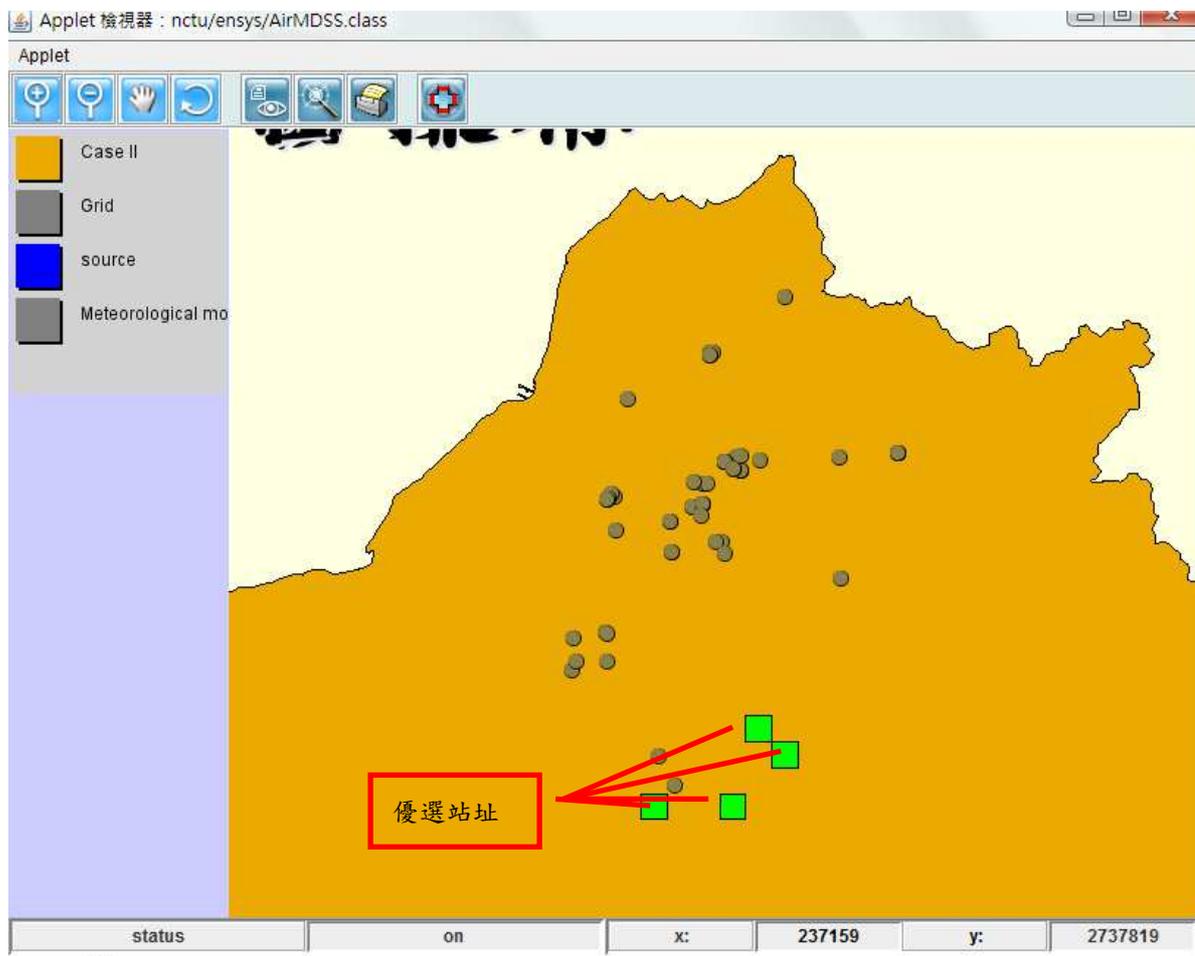


圖 8.24 監測站網分析

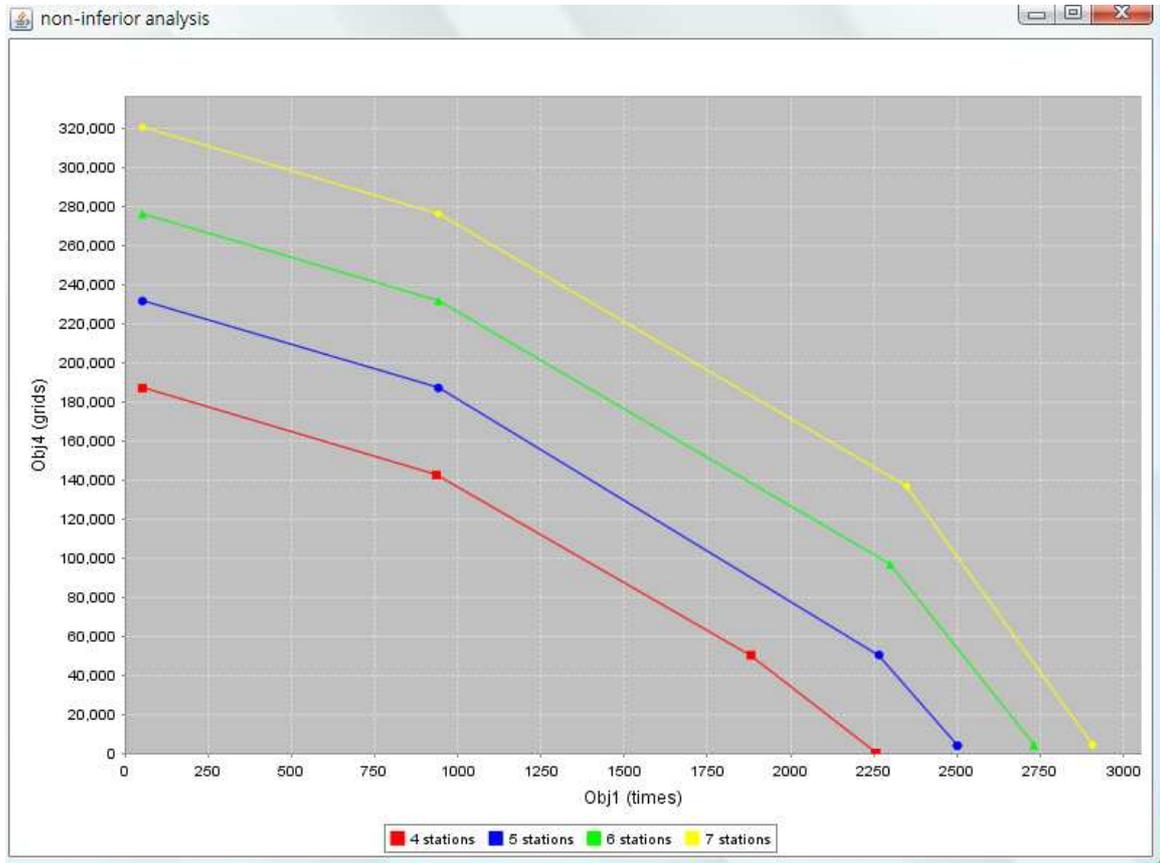


圖 8.25 統計圖表分析

第九章 結論與建議

環保設施選址決策由於應盡量避免造成負面影響，故需要在複雜的空間資訊與選址因子中分析出可行方案，因此本研究發展環保設施選址決策支援系統整合所需的選址工具，輔助使用者在選址過程中進行優選及空間性之整合分析，以期提升選址決策分析的品質與效率。

以下將分為兩節分別敘述本研究的結論與建議未來可能研究方向。

9.1 結論

本研究成果主要有環保設施選址決策支援系統架構、環保設施選址模式求解演算法及優選模組、環保設施選址模式平行運算專屬演算法及模組、環保設施選址模式空間分析模組、環保設施選址決策支援系統建立等五部份，以下一一討論及說明之。

整合性決策支援分析系統可有效提選址效率與品質，但過去甚少有研究發展此類系統，本研究因而針對選址決策空間性因子資訊複雜分析不易的特性，與滿足在不同決策情境找到適當場址需求下，建立一個系統架構，包括環保設施選址優選、平行運算與空間分析三個主要核心模組，其中優選模組主要包括網格式與向量式兩個模組，發展且整合相關工具，以協助分析不同資訊儲存格式的選址問題；選址平行運算模組主要供用以提升某些複雜度較高的網格式選址問題之分析效率；空間分析模組則是用以分析選址決策中遇到的空間性問題，並以此模組整合優選模組與平行運算模組，令使用者可有效率的應用各項選址決策分析相關功能，提升決策分析品質。本研究所發展的各環保設施選址決策支援系統皆以此三個核心模組為主所構成。

優選求解模組為本系統分析核心工具，在所給定的案例中，從無數個可能的選址場址中找出較適當的方案。根據處理空間資訊類型的特點，本研究分別發

展網格式與向量式選址優選求解模組應用於選址優選分析上，輸入所需考量的因子權重後即可得到適宜性較高的候選場址。在網格式優選求解模組部份，本研究整合過去本團隊發展的環保設施選址電腦程式，且進一步與其他模組整合，以增進網格式選址問題優選分析的效率。而對於向量式選址問題，本研究針對其特性發展向量式空間格式，以及向量式選址優選演算法與電腦程式，以提升優選分析效率，並模組化以進行系統整合。以上本研究所發展的優選模組皆可透過系統操作介面，令網格式與向量式選址問題皆能有適當的工具進行分析，且有效率的進行求解。在案例分析時，比較過去發展的向量式環保設施選址模式與本研究所發展的向量式環保設施選址優選電腦程式，結果發現向量式環保設施選址優選電腦程式，針對所測試的情境，約可提昇至少 29 倍以上之速率，最高有 2.920×10^6 倍的改善速率，故可證實本研究所發展的電腦程式可明顯增進向量式環保設施選址的效率，且亦證實本研究所發展的電腦程式可改善過去所發展優選模式可能得到不連接場址的問題，在進行向量式環保設施選址時，可提昇優選場址適合度，增進選址決策分析品質。

網格式選址問題的複雜度發展可能會令求解時間加長至難以求解的程度，而平行運算可在不改變其優選模式的分析優點下，以多台電腦平行運算改善求解效率，本研究針對網格式 B&B 演算法之特性，發展平行運算專屬演算法及模組。主要以分配不同優選首格發展平行化程序與平行運算專屬演算法，使用者可以成本較低的電腦執行平行運算，可增進此類問題分析效率且節省成本。本研究並進一步發展平行運算模組，以利於與決策支援系統整合。在案例分析中，網格式環保設施選址以 5 台電腦平行運算，在所設定的 4 個情境下，與面積 16 網格的選址結果，平行運算的結果約為單機運算結果的 $1/3.1 \sim 1/4.6$ ，可能由於檔案讀取/寫入與計算複雜度分配的問題，故未達到 $1/5$ 的理想值，但此運算結果已顯示平行運算可以相當程度減少運算時間。且在針對情境 D，面積 16 到 20 網格的平行運算與單機運算結果中，發現平行運算所需的運算時間為單機運算所需時間的

1/4 至 1/7.3，此主要是由於排除許多不需要的 branches，而使得運算效率顯著提昇，且檔案讀取時間因總體計算時間較長而影響較小。平行運算在本研究中證實確實可以藉由一般個人電腦來增進演算效率，而針對更大的範圍的問題，在一定程度的問題難度增長下，仍可在本研究的平行環境架構下，藉由加入電腦的數量，進一步縮短運算時間，以改善環保設施決策分析效率。

過去研究所使用的空間分析工具都較難與環保設施選址優選分析工具整合，且通常功能並未針對選址問題的特點進行設計，例如環保設施選址決策過程需多次以不同決策情境考量，以協助使用者在多個優選場址間進行比較，且應同時帶入該案例區的基本資訊，以利使用者直覺判斷優選場址所在地的狀況，故本研究為了整合空間分析與優選分析工具，發展專屬的環保設施空間分析模組，主要發展網格式與向量式兩類選址類型的空間分析模組，進行適宜各類型特性的選址空間分析，以及進行優選後場址的進一步分析。另外，空間分析模組具有使用者操作介面，使用者可經由此介面設定選址空間特徵參數，以便在經常重複的選址過程中，有效掌握空間性質，提高選址效率。

本研究以所完成的環保設施選址模式模組、選址平行化模組與空間分析模組為環保設施選址決策支援系統基本架構，建立掩埋場選址問題發展網格式掩埋場選址決策支援系統與向量式掩埋場選址決策支援系統，以上系統提供使用者對於兩個不同資訊類型的掩埋場選址問題，皆可進行較有效率的選址決策分析，以提昇決策品質。另外，本研究亦以類似的架構，建立集水區水質監測站選址決策示範系統與空氣品質監測站選址決策支援示範系統，以上兩個示範系統展示本研究所規劃的架構與所發展的核心模組，可應用於不同性質的選址問題分析。本研究應用以上所發展的系統與示範系統，對於個別環保設施選址案例進行選址分析示範，使用者可依據不同的選址要求，利用操作介面輸入因子權重等優選參數或空間特徵，而優選分析所得場址可展示於空間模組介面上。系統亦提供其他統計

圖表分析，以供使用者進一步分析，或重複執行分析過程，直至有滿意的候選場址方案產生。

而針對不同的選址特性，本研究所發展的系統亦有相對應功能提供使用者相關決策資訊，如協助使用者在網格式與向量式掩埋場問題中，掌握因子圖層複雜資訊的空間分佈，與進一步設定網格式掩埋場選址優選分析外型限制等；在水質監測站部份，協助使用者掌握流域與相關污染源資訊，且以視覺化呈現水質監測站網分佈；在空氣品質監測站網選址問題中，協助使用者掌握人口、污染源濃度與排放源位置分佈，並透過圖形展示監測站網的格網位置。且利用選址決策支援系統，較能有效率的反覆操作，以互動方式進一步瞭解選址問題的內涵，如在掩埋場選址中，使用者可先後進行著重坡度或地價之優選分析，再藉由系統空間分析功能瞭解選址位置受不同選址因子的影響。

總結來說，本研究所發展之環保設施選址決策支援系統，可整合使用者在選址分析過程中所須的各種重要工具，在數個因子的考量中，評選出適當的設址方案，且藉由各模組之整合，更提高其彈性與實用性。且決策支援系統較其他工具更能連結使用者的決策經驗，使用者的經驗與直覺可彌補決策程序既有分析工具的不足，如數位化的因子圖層資料更新，通常須要耗費不少人力、時間與成本，因此可能難以做到即時更新，而使用者往往能較即時的反應此一事實，而利用於判斷最後場址的適當與否，因此更能保證最後場址決策之品質。

9.2 建議

本研究已初步建立 DSS，而關於環保設施選址，仍有一些研究方向值得加以探討，提供以下建議以供後續研究者參考。

1. 整合其他環保設施選址問題

雖然本研究宥於人力所限，以掩埋場、水質監測站與空氣監測站選址為主進行環保設施選址決策支援系統的探討，但在現實中仍有其他選址問題，

如有害廢棄物選址與資源回收站選址等，皆可以考慮建立系統以提昇決策時的效率。

2. 建立整合性因子資料庫

對於不同選址案例進行收集相關選址因子，並設計相關功能以協助使用者進行不同案例狀況下的因子選擇。

3. 考慮鄰避效應

鄰避效應為選址所遇到頗困難的問題之一(eg. Horst, 2007)，往後或可研擬出更好的政策溝通方式，或是挑選更適當的指標進行此課題的研討。

4. 考量時間性因子

一些選址決策規劃、建立到使用，可能經過 10~20 年的時間，若能加入考量空間性因子，應可使選址決策品質提昇。

5. 發揮政策溝通的功能

DSS 雖具有發揮政策溝通的功能，但目前 DSS 仍是以使用者為主進行開發，政策溝通功能仍待後續研究繼續探討。

6. 與 Linux-cluster 結合的選址平行運算環境

未來若 Linux-cluster 所使用的平行環境硬體的價格與相關程式語言的技術難度可以為一般選址人員所接受，則可以考慮進行相關研究，測試是否能進一步提昇效率。

參考文獻

- 林金蓮，(90 年)，「水庫集水區水質監測站址優選分析」，國立交通大學環境工程研究所碩士論文，新竹。
- 周家慶，(97 年)，「水庫乾旱風險預警及水庫操作決策支援系統之建置研究」，國立臺灣海洋大學河海工程學系博士論文，基隆。
- 陳慶和，(86 年)，「河川流域水管理決策支援理論與決策支援系統之發展」，國立中央大學環境工程研究所博士論文，桃園。
- 游建華，(92 年)，「永續土地利用管理決策支援系統之發展」，國立台灣大學環境工程學研究所博士論文，台北。
- 甯蜀光，(90 年)，「河川水質監測站網最佳化規劃」，國立成功大學環境工程研究所博士論文，台南。
- Al-Jarrah, O. and Abu-Qdais, H. (2006). "Municipal solid waste landfill siting using intelligent system." *Waste Management*, 26(3), 299-306.
- Algorithms and Theory of Computation Handbook, CRC Press LLC. (1999). "single program multiple data." in *Dictionary of Algorithms and Data Structures* [online], Paul E. Black, ed., [U.S. National Institute of Standards and Technology](http://www.nist.gov/dads/HTML/singleprogrm.html). <<http://www.nist.gov/dads/HTML/singleprogrm.html>> (Feb.25)
- Arbeloa, F.J.S., Caseiras, C.P., and Andres, P.M.L. (1993). "Air quality monitoring: optimization of a network around a hypothetical potash plant in open countryside." *Atmospheric Environment*, 27A (5), 729-738.

- Armstrong, M. P. and Densham, P. J. (1992) "Domain decomposition for parallel processing of spatial problems." *Computers, Environment and Urban Systems*, 16(6), 497-513.
- Barbendreier, J. E. and Castleton, K. J. (2005). "Investigating uncertainty and sensitivity in integrated multimedia environmental models: tools for FRAMES-3MRA." *Environmental Modelling & Software*, 20(8), 1043-1055.
- Camp, W. J., Plimpton, S. J., Hendrickson, B. A., and Leland, R. W. (1994). "Massively parallel methods for engineering and science problems." *Communications of the ACM*, 37(4), 30-41.
- Charnpratheep, K., Zhou, Q., and Garner, B. (1997). "Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems." *Waste Management and Research*, 15(2), 197-215.
- Chang, N.-B., Parvathinathan, G., and Breeden, J. B. (2008). "Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region." *Journal of Environmental Management*, 87(1), 139-153.
- Chen, W.-Y. and Kao, J.-J. (2008). "Air pollution directional risk assessment for siting a landfill." *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58(12), 1539-1545.
- Cheng, S., Chan, C. W., and Huang, G. H. (2003). "An integrated multi-criteria decision analysis and inexact mixed integer linear programming approach for solid waste management." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16(5-6), 543-554.

- Church, R. L. (2002). "Geographical information systems and location science." *Computers & Operations Research*, 29(6), 541-562.
- Crossland, M. D., Wynne, B. E., and Perkins, W. C. (1995). "Spatial decision support systems: An overview of technology and a test of efficacy." *Decision Support Systems*, 14(3), 219-245.
- Densham, P. J. (1991). "Spatial decision support systems." *Geographical information systems: Principles and applications*, 1, 403-412.
- de Oliveira Simonetto, E. and Borenstein, D. (2007). "A decision support system for the operational planning of solid waste collection." *Waste Management*, 27(10), 1286-1297.
- Delgado, O. B., Mendoza, M., Granados, E. L., and Geneletti, D. (2008). "Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico." *Waste Management*, 28(7), 1137-1146.
- Diamond, J. T. and Wright, J. R. (1989). "Efficient land allocation." *Journal of Urban Planning & Development*, 115(2), 81-96.
- Dixon, W. and Chiswell, B. (1996). "Review of aquatic monitoring program design." *Water Research*, 30(9), 1935-1948.
- Dixon, W., Smyth, G. K., and Chiswell, B. (1999). "Optimized selection of river sampling sites." *Water Research*, 33(4), 971-978.
- Dörhofer, G. and Siebert, H. (1998). "The search for landfill sites - requirements and implementation in Lower Saxony, Germany." *Environmental Geology*, 35(1), 55-65.
- ESRI, Inc. (2007), ArcGIS 9, California: Redlands.

Frantzis, I. (1993). "Methodology for municipal landfill sites selection." *Waste Management & Research*, 11(5), 441-451.

Gemitzi, A., Tsihrintzis, V., Voudrias, E., Petalas, C., and Stravodimos, G. (2007). "Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills." *Environmental Geology*, 51(5), 797-811.

Gilbert, D. and Morgner, T. (2006). JfreeChart. <<http://www.jfree.org/jfreechar>> (Nov. 14).

Geotools Project Management Committee (Geotools PMC) (2006). Getting started. Available online at <http://www.geotools.org/display/GEOTOOLS/Getting+Started>. (Nov. 14).

Gilbert, K. C., Holmes, D. D., and Rosenthal, R. E. (1985). "A multiobjective discrete optimization model for land allocation." *Management Science*, 31(12), 1509-1522.

Gropp, W. and Lusk, E. (2006). "MPICH2." Argonne National Laboratory Group, Mathematics and Computer Science Division Argonne National Laboratory, Argonne IL. <<http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/mpich/index.html>> (Nov. 14).

Gupta, R., Kewalramani, M. A., and Ralegaonkar, R. V. (2003). "Environmental Impact Analysis Using Fuzzy Relation for Landfill Siting." *Journal of Urban Planning and Development*, 129(3), 121-139.

Haastруп, P., Maniezzo, V., Mattarelli, M., Mazzeo Rinaldi, F., Mendes, I., and Paruccini, M. (1998). "A decision support system for urban waste management." *European Journal of Operational Research*, 109(2), 330-341.

- Hoch, S. J., Kunreuther, H. C., and Gunther, R. E. (2001). *Wharton on Making Decisions*, Hoboken, NJ: Wiley.
- Horst, D. V. D. (2007). "NIMBY or not? Exploring the relevance of location and the politics of voiced opinion in renewable energy siting controversies." *Energy Policy*, 35(5), 2705-2714.
- Lane, W. N. and McDonald, R. R. (1983). "Land Suitability Analysis: Landfill Siting." *Journal of Urban Planning and Development*, 109(1), 50-61.
- Li, C., Li, G., Luo, Y., Li, Y., and Huang, J. (2008). "Environmental monitoring and fuzzy synthetic evaluation of municipal solid waste transfer stations in Beijing in 2001-2006." *Journal of Environmental Sciences*, 20(8), 998-1005.
- Lin, H. Y. and Kao, J. J. (1998). "A vector-based spatial model for landfill siting." *Journal of Hazardous materials*, 58(1-3), 3-14.
- Kao, J. J. (1996). "A raster-based C program for siting a landfill with optimal compactness." *Computers & Geosciences*, 22 (8), 837-847.
- Kao, J. J., Chen, W. Y., Lin, H. Y., and Guo, S. J. (1997). "Network expert geographic information system for landfill siting." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 10(4), 307-317.
- Kao, J. J. and Lin, H. Y. (1996). "Multifactor spatial analysis for landfill siting." *Journal of Environmental Engineering*, 122(10), 902-908.
- Kao, J.-J. and Hsieh, M.-R. (2006). "Utilizing multiobjective analysis to determine an air quality monitoring network in an industrial district." *Atmospheric Environment*, 40(6), 1092-1103.

- Kao, J.-J., Li, P.-H., Lin, C.-L., and Hu, W.-H. (2008). "Siting analyses for water quality sampling in a catchment." *Environmental Monitoring and Assessment*, 139(1-3), 205-215.
- Kao, J., Wen, L., and Liu, K. (2010). "Service distance and ratio based location-allocation models for siting recycling depots." *Journal of Environmental Engineering*, 136(4), 444-450.
- Kanaroglou, P. S., Jerrett, M., Morrison, J., Beckerman, B., Arain, M. A., Gilbert, N. L., and Brook, J. R. (2005). "Establishing an air pollution monitoring network for intra-urban population exposure assessment: a location-allocation approach." *Atmospheric Environment*, 39(13), 2399-2409.
- Kontos, T. D., Komilis, D. P., and Halvadakis, C. P. (2005). "Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology." *Waste Management*, 25(8), 818-832.
- MacDonald, M. L. (1996). "A multi-attribute spatial decision support system for solid waste planning." *Computers, Environment and Urban Systems*, 20(1), 1-17.
- Melo, A. L. O., Calijuri, M. L., Duarte, I. C. D., Azevedo, R. F., and Lorentz, J. F. (2006). "Strategic decision analysis for selection of landfill sites." *Journal of Surveying Engineering*, 132(2), 83-92.
- Minor, S. D. and Jacobs T. L. (1994). "Optimal land allocation for solid- and hazardous- waste landfill siting." *Journal of Environmental Engineering*, 120(5), 1095-1108.
- Michaels, M. (1988). "GIS expected to make landfill siting easier." *World Wastes*, 32-36.

- Modak, P. M., and Lohani, B. N. (1985). "Optimization of ambient air quality monitoring networks." *Environmental Monitoring and Assessment*, 5(1), 1-19.
- Nas, B., Cay, T., Iscan, F., and Berkday, A. (2010). "Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation." *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1), 491-500.
- Noll, K. E., Miller, T. L., Norco, J. E., and Rafer, R. K. (1977). "An objective air monitoring site selection methodology for large point sources." *Atmospheric Environment*, 11(11), 1051-1059.
- Noll, K. E. and Mitsutomi, S. (1983). "Design methodology for optimum dosage air monitoring site selection." *Atmospheric Environment*, 17(12), 2583-2590.
- Ouyang, H., Yu, H., Lu, C., and Luo, Y. (2008). "Design optimization of river sampling network using genetic algorithms." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(1), 83-87.
- Paprzycki, M. and Stpiczynski, P. (2006). "A brief introduction to parallel computing." *Statistics Textbooks and Monographs*, 184, 3-42.
- Pirozzi, M. A. and Zicarelli, M. (2000). "Environmental modeling on massively parallel computers." *Environmental Modelling and Software*, 15(5), 489-496.
- Renkow, K. and Keeler, A. G. (1996). "Determining the optimal landfill size: is bigger always better?" *Journal of Environmental Management*, 46(1), 67-75.
- Sugumaran, R., Degroote J., and Sugumaran, V. (2010). *Spatial decision support system*, Boca Raton, Florida: CRC press.
- Gorry, G. A and Morton, M. S.S. (1971). "A framework for management information systems." *Sloan Management Review*, 13(1), 50- 70.

- Shirabe, T. (2005). "Classification of spatial properties for spatial allocation modeling," *GeoInformatica*, 9(3), 269-287.
- Thomas H. R. and Li C. L. W. K. (1996). "Two-dimensional parallel computing solution of coupled heat and moisture flow in unsaturated soil." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 10 (3), 236-247.
- Trujillo-Ventura, A. and Hugh Ellis, J. (1991). "Multiobjective air pollution monitoring network design." *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 25(2), 469-479.
- Sener, B., Süzen, M. L., and Doyuran, V. (2006). "Landfill site selection by using geographic information systems." *Environmental Geology*, 49(3), 376-388.
- Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R., and Carlsson, C. (2002). "Past, present, and future of decision support technology." *Decision support systems*, 33(2), 111-126.
- Siddiqui, M. Z., Everett, J. W., and Vieux, B. E. (1996). "Landfill siting using geographic information systems: A demonstration." *Journal of Environmental Engineering*, 122 (6), 515-523.
- Sziveri, J. and Topping, B. H. V. (2000). "Transient dynamic nonlinear analysis using MIMD computer architectures." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14 (2), 79-91.
- Sumathi, V., Natesan, U., and Sarkar, C. (2008). "GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill." *Waste Management*, 28(11), 2146-2160.
- ILOG Inc. (2006). *Using the CPLEX callable library*, Incline Village, Nev.

- Uran, O. and Janssen, R. (2003). "Why are spatial decision support systems not used? Some experiences from the Netherlands." *Computers, Environment and Urban systems*, 27(5), 511-526.
- Vrugt, J. A., Ó Nualláin, B., Robinson, B. A., Bouten, W., Dekker, S. C., and Sloot, P. M. (2006). "Application of parallel computing to stochastic parameter estimation in environmental models." *Computers and Geosciences*, 32(8), 1139–1155.
- Wall, L. and Schwartz, R. L. (1992). *Programming Perl*, O'Reilly & Associates, Inc., Sebastopol, CA, U.S.A.
- Wang, G., Qin, L., Li, G., and Chen, L. (2009). "Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China." *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2414-2421.
- Wey, W. (2005). "An integrated expert system/operations research approach for the optimization of waste incinerator siting problems." *Knowledge-Based Systems*, 18(6), 267-278.
- Wright, J., Reville, C., and Cohon, J. (1983). "A multiobjective integer programming model for the land acquisition problem." *Regional Science and Urban Economics*, 13(1), 31-53.
- Yesilnacar, M. I. and Cetin, H. (2005). "Site selection for hazardous wastes: a case study from the GAP area, Turkey." *Engineering Geology*, 81(4), 371-388.
- Zyma, R. (1990). "Siting considerations for resource recovery facilities." *Public Works*, September, 84–86.