

子計畫五：以健康風險管理為依據之地下水復育決策

支援系統架構之研發(III)

研究人員：台大環工所馬鴻文、陳志明、張智程
90-2621-Z-002-035-

一、 研究目的

環境決策支援系統 (Environmental Decision Support System) 的目的是希望可以幫助我們從複雜多變的環境問題中，利用諸多的訊息、資料，透過模式的運算推估，化繁為簡，而提供出決策的重要參考。決策支援系統從 1970 年代初期被提出以來，一直受到各個領域廣泛的研究討論。而隨著資訊產業在不管是在軟硬體技術或是管理觀念上的進步，也使得決策支援系統的進入門檻漸漸降低。

然而，環境決策支援系統的建置還是充滿著許多的挑戰性的。一個有系統化、組織化的環境決策支援系統，所面臨到的將會是形形色色的環境決策問題，如何面對各種的決策問題，而有效率的透過適當的資料、模式等等的工具，而彙整出可信賴的決策分析，正是考驗著環境決策支援系統設計者的一個課題。再加上決策支援系統本身就涉及到許多如互動模式、資料資源、資料格式、模式資源、分析方法以及分析結果呈現等等資訊技術上而非環境上的困難，也阻滯了環境決策支援系統的發展。

檢視國內目前環境的資訊系統體系，正面臨著一個急待整合的窘境。在資料方面，國內的環境資本資料散佈很廣，除了政府組織中的環保署、主計處及地方環保機關是重要的資料源外，學術研究單位及民間組織亦有相當之環境資料。然而在產、官、學界之間並沒有一套整合的管理辦法，致使產生資料重複及規格不一致，更使得資訊在流通應用上相當不便。在系統方面，已有國土資訊系統、環境品質資料庫、環境地理系統及環保署的資訊網站等等陸陸續續步上軌道的資訊系統，以提供各界取得環境資訊，就決策支援系統來說，目前所存在的系統還是以資料供給者 (Data Provider) 的功能為取向，還沒有一個完整的系統可以幫助決策者甚至是一般民眾來解析複雜的環境問題。

爰此，筆者以一個環境問題研究者的身分，應用目前的資訊技術，試著提出一個具可擴充性的決策支援系統，期以其擴充性解決不同而複雜的環境決策問題。並且在這樣的系統架構下，經由系統明確的資料需求協定，可以從需求面提出一個在環境資料庫整合上的參考。本文將在後面的章節，將就 RCA 污染事件，以風險評估、整治成本及不確定性為考量的地下水整治方案優選來討論決策支援系統的架構。

本研究所要討論的地下水污染整治決策問題，是一複雜的研究課題。地質特性具非均質性，以及在評估整治方案過程中所考慮的經濟、水文特性等，或由於天生存在著不確定或由於資訊不足產生的不確定，使得整治方案的選擇並不容易，故嘗試以多目標規劃法，結合隨機規劃不確定性分析方法，來處理地下水整治決策中不確定的問題，配合地下水傳流模式、風險評估模式的加入，輔助決策者在具不確定性下選擇合適的整治方案，以追求成本及風險最小化的目標下，達到最佳的整治效果。

本研究首先需建立決策所需資料庫，包含整治方案、污染物特性，以供地下水傳流模式運算，並以三氯乙烯(TCE)及四氯乙烯(PCE)為所關注的污染物，模擬預測不同整治方案下的 30 年間濃度，以提供計算風險評估所需的資料，風險及成本是本文所考慮的整治目標。然，本階段研究重點在於討論決策支援系統的架構方法，因此所包含的整治方案僅以自然復育法、生物復育法、抽出處理法以及注氣法作討論。配合上述資訊，蒐集適合之多目標規劃方法，建立具不確定性之優選模式，所納入之不確定性分析包含文獻上常見的隨機規劃，最後，將所有模式整合，並比較不同的不確定下之多目標規劃法其優選的結果為何，以提供決策者參考。

研究目的主要包含以下二點：

- (1) 以多目標規劃法結合隨機規劃法來處理地下水整治決策中不確定的問題。並以此研究架構為討論案例，討論決策支援系統的建置方法。
- (2) 討論如何透過決策支援系統，輔助決策者在具不確定性下選擇合適的整治方案。

依本階段研究目的，在處理地下水整治決策中的不確定，而分別進行多目標規劃、隨機規劃、模糊規劃及整治方案的文獻回顧，並考慮風險評估，其後蒐集相關的水文、污染物特性的參數進行地下水傳流的模擬，將此濃度分佈代入優選模式中，分別以多目標規劃及隨機規劃、模糊規劃進行優選，以得到一整治方案的決策建議提供給決策者。

二、 研究方法

本研究主要著重在如何建置一套適合於解析複雜環境問題，並從產生的大量資訊中彙整出結果，以提供決策者決策的參考。

2-1 決策支援系統

我們每天都在進行決策。當氣象預報宣佈降雨機率為 50% 時，我們就開始決定要不要帶雨具的決策問題。當交通廣播提供了前方道路塞車的訊息，我們就開始思考應該繞道還是繼續往前走。我們所得到的資訊都是特別的收集或經過處理的；氣象預報的降雨機率是由複雜的氣象公式，結合了衛星的觀測結果，並結合經驗法則計算而得的。其間錯綜複雜的關係，並非一般的民眾所能了解的。而事實上，民眾也不需要了解這樣繁複的關係，對於帶不帶雨具這樣的決策問題而言，需要的只是一個正確的結果以作為判斷的依據而已。試想，如果沒有這樣的一個決策支援過程，那麼，我們可能在天氣陰晴不定的時候，就要開始計算複雜的氣象公式。

決策支援系統就是一個幫助決策者做決策的軟體、硬體或方法。這樣的系統將繁複的資訊及計算處理過程隱藏到系統內部，讓決策者可以專心在決策問題本身上，而不用分心在各個程序的細節。對於決策支援系統的重要性，在更大型的決策問題上更是被凸顯出來。直接以我們將要討論的地下水污染整治方案優選為例，我們要考慮的目標主要是居民的健康風險及整治成本。而將這兩個目標量化的過程就要牽扯到許多如污染傳輸、風險評估、工程成本估算等等專業領域的知識，而要求決策者徹底了解每項細節是不合理也不必要的。

垃圾廠的選址、礦藏的挖掘、貨車派車路線的決定、山坡地社區開發或是旅遊路線的擬定，這些與空間上的地底，地表有關的決策問題，都可稱作空間決

策問題。問題要得到解決，除了問題得定義外，就是解決問題的方法，這個方法可能試一套經驗法則，或是一組經過相當嚴謹證明過的數學方法。無論是哪一種，解決問題的方法都必須提供有效的資訊才能開始進行問題的解析。

從資訊管理的角度來說，資訊是從廣大的資料中去蕪存菁後對解決問題有幫助的資料。同樣地，空間資料也有其多樣性、複雜性，資訊系統的其中一個功能與目的及在於有效儲存及管理這些資料。空間資料的特性使得資訊閱讀或是決策者往往無法從擁有的龐大資料中理出頭緒，因此，資訊系統存在的目的即從龐大的空間資料中找出對使用者有意義的資料，亦即空間資訊。淬練出解決問題方法所需之資訊，才能夠賦予問題方法上實質的意義。決策支援系統的意義即在此，從資料庫中擷取對問題分析模式有用的資訊加以分析，再提供決策者數個替代方案的比較，讓決策者選擇，以輔助決策的制定。

2-1-1 決策支援系統架構

決策支援系統架構依其架構可分為資料庫管理系統 (Database Management System)、模式庫管理系統(Model Base Magement System)及對話盒管理系統(Dialog Box Management System)。決策者定決策問題時，通常無法很理性、快速、正確地做出判斷，因此須透過電腦化的決策支援系統進行決策過程的輔助。

2-1-2 決策問題的背後

貨車派車路線的選擇是一個很典型的空間決策問題。在過去沒有使用電腦輔助決策的時代裡，若是要一個很客觀，很理性的答案，首先必須要針對這個問題進行數學化的模化，貨車派車路線問題數學上稱作車輛巡迴問題(Vehicle Routing Problem, VRP)。這種問題的答案有很多，其中有一個或是一組最佳解(Best

Solution), 而有其他許多的可行解(Feasible Solutions)。而所謂的 NP-Hard 是其問題的特性, 也就是說, 在最遭的情況下, 隨著問題規模的增加, 運算時間會成指數方式增加。調度部門的經理不一定是數學很好的人, 就算他是, 寫出這麼一個式子可能就要花不少時間了。

式子寫出來, 不是把已知數帶進去答案就出來, 我們要用一些法則去找這個問題的最佳答案, 解車輛巡迴問題的方法有很多, 如找最佳解的分支定限法(Branch and Bound)、啟發式解法如模擬退火法(SA)、門檻值接受法(TA)、遺傳演算法(GA)或拉氏鬆弛法暨次梯度法(Lagrangian Relaxation and Sub-gradient Method)等方式, 每一種方法都有其效能及效率上的權衡, 如使用分支定限法肯定可以找到這問題的最佳解, 但等到解出來可能早已緩不濟急;或許用模擬退火法可能可以在 5 分鐘內找到一個答案, 但是又不曉得這個答案到底有多好, 很有可能是一個很差很差的答案。

2-1-3 決策支援系統的前端 – 對話盒管理系統

雖然數學方法可以解決許多複雜的問題, 但這並不代表每個貨車公司都必須要養一組數學家每天在解這個問題。再複雜、再嚴謹的數學式子或是演算法都對決策者決策的制定一點幫助也沒有, 因為那是黑箱(BlackBox), 決策者不需要知道那麼複雜的式子才能決策, 決策者要做的就是決策, 從電腦上顯示的文字、數據、圖表、地圖及任何對決策過程有幫助的顯示方式來輔助決策者做決定, 才是決策者要做的事情。

因此, 決策者面對的不是資料庫管理系統也不是模式庫管理系統, 而是人機介面, 或是對話盒管理系統。對話盒管理系統的優劣直接決定了決策支援系統的實用性, 因為對話盒管理系統設計不友善會導致決策者對使用該系統的信心挫

敗，而降低對系統的使用，如此一來，擁有再豐富的資料庫或是分析能力超強的
模式庫，卻得不到決策者得青睞也是枉然。

2-1-4 決策支援系統的後端－模式庫與資料庫

模式庫與資料庫是決策支援系統的核心，雖然決策者不需要知道資料庫架構
及模式的原理及演算法則，但是只有透過完整的資料枯竭有效的分析模式才能提
供決策者有效的結果，讓決策者依據這些結果進行高品質的決策。再這裡仍要強
調，決策支援系統作的是「支援決策」，而非決策的自動化，提供決策者數個替
代方案才是決策支援系統負責任的做法。

2-1-5 建立決策支援系統需注意的五個部份

要建立一個決策支援系統將包括以下五個部分：

1. **資訊資源的管理** 就軟體工程來說，決策分析及解析需要資料的輸入，而
產生的輸出資料將作為決策者決定的依據。因此，有效地管理資料的組成將
是任何決策支援系統所需要的要素。模式管理是幫助決策者從複雜而抽象的
環境中找出需要重視的條件所需使用的工具。在多目標及限制條件下的最佳
化就是一個典型在管理科學上的課題。性質上的推演 (Qualitative Reasoning)，
專家性的引導教學 (Expert Heuristics)以及資料開採 (Data Mining)也都是可以
將決策以算式來表示的方法。對決策支援系統而言，在眾多的方法中，如何
針對一個決策問題建議一個可以令決策者滿意的最佳的方法就是一個需要
克服的挑戰了。
2. **解決互動性的問題** 一個好的決策支援系統應該要能適時的提供使用者
完整的資訊。其與使用者之間應該是一個有反應且以使用者的觀點為出發點

的角度來處理問題的互動模式。再者，也應該提供一個感知的反應，讓使用者知道在每個假設之後，系統所產生相對應的變化。

3. **溝通與團隊合作的支援** 在大部分的情況裡，決策的形成是要經過不只一位的決策者的斟酌，因此在這樣的情況下，決策支援系統就扮演了一個溝通協調的角色。提供資訊交換、團體決策等功能就成了組織決策支援所不能或缺的一環。
4. **聯合運作** 在現在一個這樣緊密相連的網路年代，我們可預期的，人們將透過電腦這樣一個幫手而聯合起來提高解決問題的效率。一個透過互動而結合起來的新社會體制必然會形成，屆時，受限的，將只剩下個體所擁有的資訊與運算的能力而已。

2-1-6 建立與使用決策支援系統的困難點

建立與使用決策支援系統的困難，有部份的原因是因為忽略或未能達到功能或效能上的要求。技術上的障礙，如未知的資料模式、不同資料格式的整合，造成外部資料庫的存取功能不足也是造成困難的因素。這些因素都是因為在設計決策支援系統時的設計不良或未能通盤考慮系統內部各個部份的互動關係。

使用者常常會面臨如何學習有效、切適的操作 DSS 的困難。針對這些困難，Beulens 與 VanNunen(1998)列出數點原因：

- 1.系統處理問題的程序往往與使用者常用的方法有所不同。
- 2.系統提供的功能，相依性不易了解。
- 3.在決策方案中所使用功能及資料庫整合的結果不容易追蹤。

- 4.應用上往往廣泛的需要特定領域的能力或技能，如最佳化、預測。
- 5.使用者必須面對許多的資料庫、模式，而這些通常都有著不同的資料格式，也就衍生出格式轉換的問題。
- 6.使用者會需要同時考慮不同的方案，因此也就必須能夠追蹤對不同方案處理的不同結果。

2-1-7.決策支援系統方法論

Alter ' s (1980)將 DSS 分為:資料存檔、資料分析、訊息分析、計算模組、呈現模組、最佳化模組及優選建議模組。而在電算及通訊技術日新月異的影響下，問題呈現、問題解析、資訊工業也有了顯著的轉變，這使得 Alter 對 DSS 的分類方法變得有點不合時宜。但，這樣的分類方式仍常用來描述 DSS 功能與方法。

- 1.呈現方法是透過電腦圖像、聲音及文字等方式將資料以一個有意義且適當的方式表現。透過這些方法，可使決策者更清晰的了解 DSS 所使用或產生的資料所代表的意義。
- 2.資訊管理是用來儲存、組織、讀取及整合即時或相關的資料、訊息及知識的方法。經過管理，可以增強使用者對於資料存取的能力。
- 3.程序模式化可以將貫實世界的情況用定性或量化的方式描述、透過模擬及方案編訂，預測未來時間點可能發生的狀況。
- 4.優選模式在整合了決策性質、目標、喜好，以協調目標間的效用或價值。優選模式也整合了喜好的一致性;透過使用一致的喜好，去除了感知的偏差。

5.自動分析與推理是透過數學及邏輯的工具，自動全面的或部份的分析及推論的功能。這個功能用在組織決策程序時，提供專家的意見及應限制的狀況條件。

6.判斷產生是指系統幫助決策者評量所作的工作，並去除系統的不一致性及人為認知限制所帶來的偏差。可用在幫助架構決策問題、估算機率分布、分析風險及確認決策者推論基礎的一致性。

綜合以上所參考的文獻，我們可以知道，決策支援系統的建置，目的乃是期以透過已知的模式方法推估未來的發展情況，將繁複而困難的計算內化，轉而透過較簡易的操作方式與決策者溝通，進而提供決策者在決策上的參考。然而一個決策支援系統，所牽涉到的軟硬體問題煩瑣而複雜；而為了要處理這些環環相扣的問題，則是需要結合許多領域的專門知識，才有可能成功。在本研究中，是以建構一個地下水污染整治方案的決策支援系統為研究案例。

在本研究中，將影響決策支援系統之可用性的因素，主要分為軟體因素與硬體因素兩大類。分述如下：

軟體因素：在決策支援系統的內部，乃是透過許多專家所研發的模式以及研究方法，計算各種方法所蒐集取得的資料，以推估結果，透過邏輯處理後，產生決策參考。因此，在軟體因素的部份，又可以細分為以下幾個部份：

計算模式：計算模式本身的正確性、適用性與精密度，將會影響到計算結果的可靠度。因此具有高精密度與高精確度的模式，理所當然的是系統的首選，但是這樣的模式往往意味著大量的計算資源耗用，也就是需要更多的時間以及計算成本。因此決策支援系統的建置者必須在計算結果可靠度與

資源耗用的成本間做抉擇。此外，在一個決策支援系統中，將會連結許多不同的模式；而模式間的連結適用性也將會影響計算結果的可靠度。

計算資料：計算模式會影響結果的可靠度，遑論計算資料的正確性對於計算結果的影響。而在決策支援系統中的計算資料包含了模式計算所設定的參數型別以及外部輸入的資料型別。這個部份，可以透過資料的 QA/ QC 來提高資料的正確性。

計算邏輯方法：在決策支援系統中除了具體的計算模式之外，還有其他較具抽象性的計算方法。以本研究的案例來說，所使用到的蒙地卡羅方法，在系統中並不具有具體的形象，而只是幾個透過設定資料而隨機取樣的亂數元件以及計算結果整合的元件，而且是破碎地存在系統的計算流程中。這樣的不具完整形象的邏輯方法，在決策支援系統中，所扮演的角色卻和其他軟體因素一樣舉足輕重。引用不當的邏輯方法，輕則造成計算資源的浪費，重則造成最後的決策參考的謬誤。然而，這個部份的檢核工作並不容易進行。

使用者界面：使用者界面乃是決策支援系統與決策者溝通的橋樑，倘若使用者界面使用設計不當，使得決策者無法使用，這樣也就失去了決策支援系統的設立意義。再者，設計不良的使用者界面也會變成決策支援系統的功能限制，致使決策者無法依其意願架構模擬的模型，這樣一來，即使在其他軟體硬體條件都臻至完美的狀況，這個決策支援系統也只像是一件不合身的衣服，無法使用。

硬體因素：在建構完軟體的部份後，系統的執行部份，則必須倚重硬體的效能。一個精密的決策支援系統，若不能有足夠效能的硬體支持也是無法執行的。因此，硬體的計算能力，也將成為一個決策支援系統的成敗關鍵，

因此許多研究單位都致力於提升硬體的效能。 以一台設置在神奈川縣橫濱市海洋科學技術中心橫濱研究所中，名？“地球模擬器”的超級電腦為例。這台地球模擬器是目前名符其實的“世界上最大、最快”的超級電腦。它是由日本原子能研究所、宇宙開發事業團以及海洋科學技術中心提出設計標準，由 NEC 歷經 4 年多時間完成的。在設計製造時，上述三個單位計劃在該電腦中設置“虛擬地球”，進行全球類比的大氣迴圈及地球溫室效應、地震波傳播等的仿真，實現精密、高速度的運算，從開發一開始就將其命名？地球模擬器。而該超級電腦中總共安裝了 5120 個處理器。

在進行本案例中決策支援系統的建置前，首先要進行的是需求的分析。簡單的來說，以決策支援系統這一類的資訊系統來說，主要可以分成三個開發階段：(1) 需求分析 (2) 系統分析與設計 (3) 系統實施。在第一階段的需求分析中，主要目的在於了解軟體的現有問題、系統目標、系統限制、以及使用者的需求。本研究所扮演的角色連結了程式開發者與專家，讓開發者了解專家的需求，如此方能設計出可用度高的決策支援系統。軟體的系統分析(System Analysis, SA) 以及系統的實施方法也是資訊系統開發的兩個重要環節，但在本研究報告中將省略系統分析以及系統實施的細節部份。

就本案例，地下水污染整治方案決策，而言，以個人電腦為計算環境的軟體中，並沒有完整的決策支援系統。如果要以決策支援系統的方式產生決策的參考，所能利用的是個別的計算軟體，像是 MOD Flow、MT 3D 這一類普遍被使用的套裝軟體，搭配各研究單位自行開發的小型計算程式，進而加以串接。這樣的方式，優點在於成本低、建置時程短以及在模式的使用上，具有較高的自由度，並且可以在短時間內的到粗略的結果。然而也有相對的缺點，諸如人力需求量大、系統維護不易、無法有效率的計算大量或高精確度的資料等。而其致命的缺點是無法簡化複雜的計算流程，往往無法讓不具有多方面專業知識的決策

者輕易地使用系統。不但不能算是決策支援系統，其學習曲線也過長。

針對這樣的情況，在本研究中，以以下幾點為決策支援系統的建置目標：

整合計算模式：

以往的系統結構未能將模式整合在相同的架構下，而是使用個別的軟體。因此，在模式與模式間的資料連結就必須靠人力來傳遞，也就形成了計算的瓶頸。當計算量所產生的資料超出合理的人力負荷量時，系統也就隨之崩潰了。因此必須將所有的模式整合在相同的架構下，以程式的方式連結模式。然而這個部份的執行困難點，在於目前的套裝軟體都是由各個領域的專家所開發出來的系統，當中所涉及的專業知識以及技術相當多，而且原生的程式語言也不盡相同，因此在整合上有其困難度。因此，在本案例中，為了因應這樣的問題，所選擇的模式也大多屬於中小型的計算模式，以減低模式整合的困難度。

使用者界面：

具有親和力以及整合性的使用者界面是決策支援系統不可或缺的元素。這個部份將直接與使用者接觸，使用者也將透過使用界面建構模型、檢查執行進程、分析數據，以及得到最後的決策參考。因此，好的使用者界面，將成為我們建置的決策支援系統是不是有效率的輔助工具的關鍵。

提升硬體環境的計算能力

前面曾提過，硬體的計算能力，也將成為一個決策支援系統的成敗關鍵。在本研究中，將以網路通訊的方式，串接數台個人電腦，以延伸硬體的計算能力。

系統的延伸性

由於決策支援系統將面臨錯綜複雜的問題，因此必須提供擴充新功能、新計算方式的空間，否則，也無法有效解決無法預期的問題。特此，本計畫將以元件的方式切割系統。使用者將會是以組合元件的方式，架構模擬系統的模式，這樣也符合直觀的模型架構方式。若遇有需要更改模型架構或者加入新的計算元件時，也可以更改排列方式以及加入元件的方式達成。再者，決策支援系統的建置曠日費時，因此在元件的架構下，所有的計算模式都將可以透過簡單的方法被再利用。如此一來，便可以減少往後其他案例的建置成本，也可以縮短建構的時程。

接下來，我們將進行案例的分析。下圖是不包含整治方案的評估模型，目的在計算推估污染物在環境中的流佈情形，進而估算分布結果對於居民所產生的健康風險，而作為決策的依據。

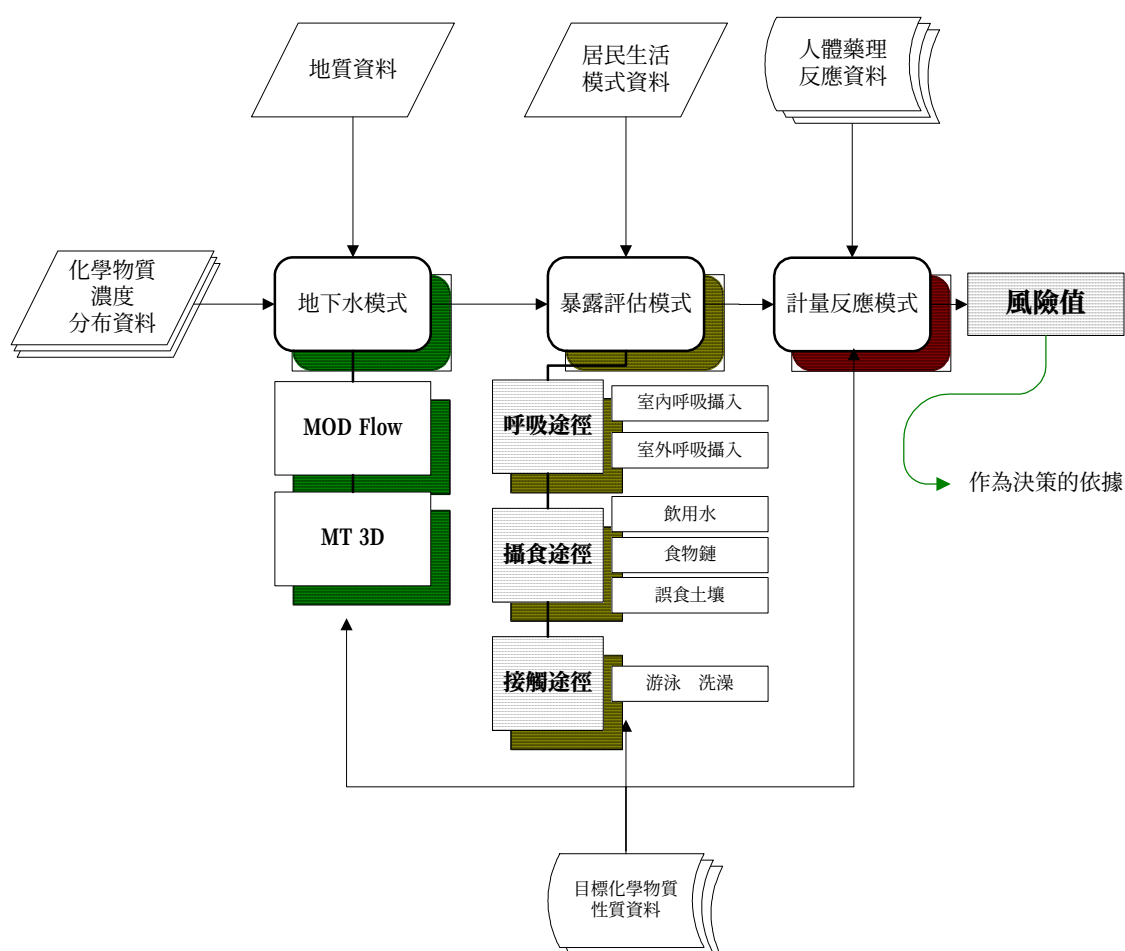


Fig.2.1 Assessment model without Treatment alternative

地下水傳流模式計算了污染物在地下水層中，隨時間的分布情形，所使用的模式 MOD Flow 以及 MT 3D 兩套在學術界常用的模式。由於已經是相當成熟的技術，因此，在本研究中將直接沿用其使用界面。這個元件的特色是消耗大量的計算資源，但設定單純，較不需要多樣而複雜的設定。而後面接續的是暴露評估模式，內部包括了呼吸途徑、攝食途徑、接觸途徑等三類。更進一步可以細分成更多的暴露細節。這部份的需求變動性大，將會因為多元化的暴露途徑而有大幅的改變。而在討論不同的族群時，也必須在這個部份進行不同的設定，因此，在設計上的需求是要滿足案例的多變性，讓使用者可以納入多種的暴露途徑元件且進行多種的設定。這個部份的元件的特點是數量龐雜，設定方式複雜，且需要大量的連結，將會耗用計算資源在連結通訊的溝通上。而最後的劑量反應模式，由於本案例所使用的模式較為簡單且單純；但是由於這個部份是承接在模式的最後，因此所有案例中設定的不同族群、不同方案，都將會將計算結果傳遞到這個元件，因此，實質的計算量並不會少於地下水模式的元件，連結量也不會比暴露評估少。換言之，這個部份同時具有了前兩者的技術困難。

加入整治方案的元件，須考慮整治方案本身的性質。在此，粗分為三類。相較於 30 年的評估時期，一類為短期的整治操作，像是抽出處理這一類的整治方案。另一類為長時間作用的整治方案，像是在地下建設金屬反應牆的整治方案。第三類是屬於不定時的整治方案，像是建構圍牆以侷限污染物的擴散；但這個部份的評估方法與其他方法相去甚遠，故在本文中不進行討論。

短期整治的元件，其在決策支援系統中將會影響改變的是污染物的起始濃度分布情況。將濃度改變後，再導入地下水模式進行計算。長期操作的整治元件，使用上較為複雜，因為它將影響污染物的起始濃度值、地質條件、計算的邊界條

件等等不同的設定。變動的情況，端視不同的整治方案而對評估模型的架構有不同的影響。 在本研究中，為反應整治的成本，以作為決策的參考，在整治方案中也加入了整治成本計算的功能。但又受限於國內整治成本的資訊有限，故採用國外的資訊，由整治量與整治成本做線性關係的簡化。

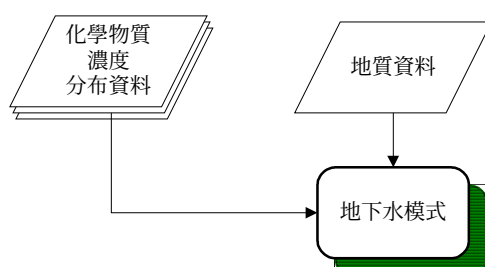


Fig.2.2 The relationship among data and G.W. Model in case without treatment alternative

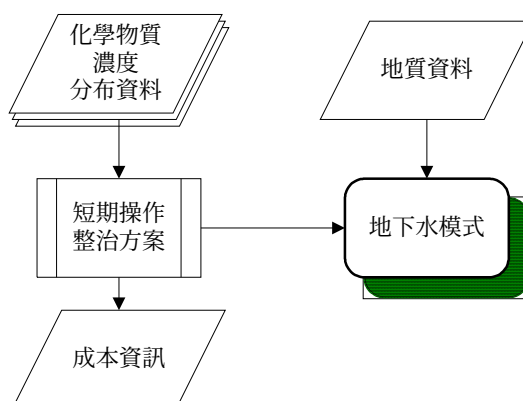


Fig.2.3 The relationship among data and G.W. Model in case short-term treatment alternatives

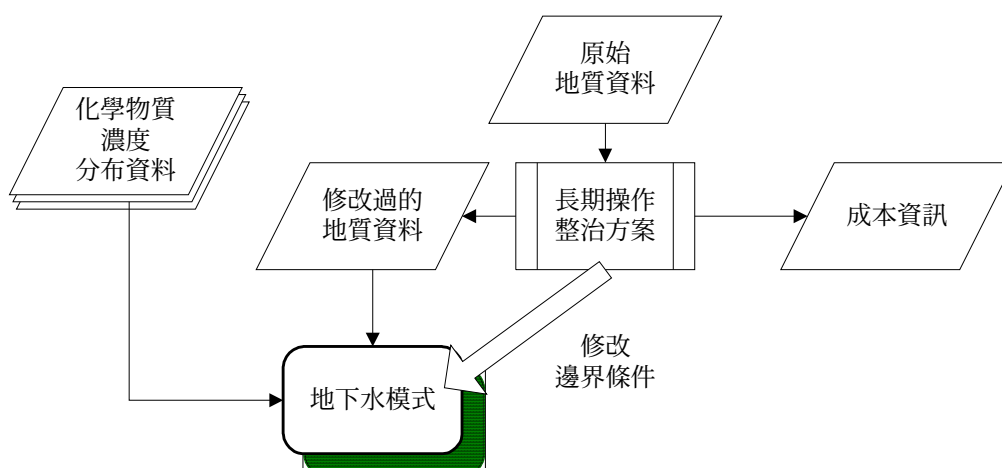
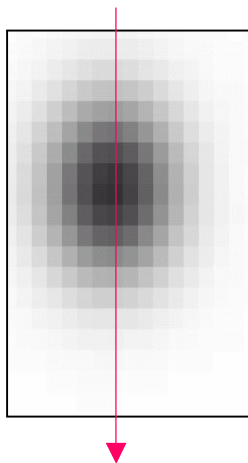


Fig.2.4 The relationship among data and G.W. Model
in case long-term treatment alternatives

本案例中，考慮不確定性分析，使用蒙地卡羅法。然而在使用了蒙地卡羅法後，由於在各個階段進行重複多次的隨機取樣以進行計算，因此使得計算量大幅度的增加。若以每個部份都進行 1,000 個樣本的採樣來計算，則第三個劑量反應的部份必須進行 $1,000^3$ 個批次 (10^9 次) 的計算。而在計算完成之後，還必須整合計算的結果。不管要滿足在計算量或者是資料量上的需求，都必須加強硬體的效能。

由蒙地卡羅法所衍生出來的問題，還不僅止於硬體的需求，在軟體的部份也產生了建置的障礙。首先在於資料彙整的部份，就出現兩難的狀況。若要將各個隨機取樣結果，在計算過程所產生的資料全數記錄下來，將造成資料管理的困難以及資料量爆炸性的增加。倘若在計算過程裡不記錄資料，僅僅將結果在計算完成時以統計方法整合後丟棄，則在後期進行資料分析時，只能呈現單一的統計結果，而無法回顧追蹤數據的來源。再者，蒙地卡羅法也增加了軟體內計算迴圈的複雜度，資料流向的控管也需要更詳細的規劃。

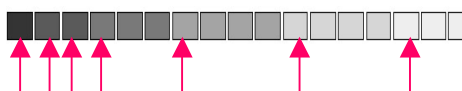
綜合以上幾點，在本研究中試行了數點的改善措施。為了往後資料分析的需求，我們首先以資料庫的方式進行資料的集中記錄與控管，以解決資料管理與資料流向控管的問題。而為了減少計算量，故在資料進入模式之前，以比對輸入計算資料的方式，減少重複的資料計算。這樣的方法可以下圖說明之。



以一份將要輸入地下水傳流模式的污染物濃度分布資料為例。首先，電腦會將資料以矩陣的方式依序讀取。我們可以取當中的一段資訊來觀察。



在這一段任意取出的資訊中，數據的分布情形並未經過整理。一般來說，元件將會依序處理計算這些資料。而造成了重複的資訊會被重複的計算，重複的浪費計算資源，也延長了決策者的等待時間。



若資料在計算前經過排序整理，則可以減少重複性的資料浪費計算資源的情況。圖中紅色箭號所標示的部份為需要計算的部份。

2-2 地下水流模擬

(1)場址描述

本文所研究的對象是台灣美國無線電股份有限公司，簡稱 RCA，位於桃園市西南區，中山高速公路北側，距離台北西南方約 35 公里，主要的地下水污染物是比水重的非水溶液相(Dense non-aqueous phase liquid, DNAPL)，其特性是為穿過毛細帶而進入地下水位面往下移，開始蓄積並形成一難以清除的 DNAPL 池；此 DNAPL 的特性也是使得 RCA 復育較其他地下水污染事件難整治的原因之一；而土壤部份經開挖曝氣復育處理後，已達整治標準。

在此所選定的關注場址範圍約為 1.2 公里 $\times$ 1.6 公里，在模式中將其切割為 12 $\times$ 6 個網格點，即網格大小為 100 公尺 $\times$ 100 公尺，且為了簡化，只考慮二維模式及一個含水層。

(2)水文地質參數

場址的第一含水層約介於 4.6~22.9m bgs (below ground surface)，第二含水層約介於 22.9~50.3m bgs，第三含水層約介於 50.3~93.0m bgs，第一及第二含水層是主要的污染區，地下水流向為北北東。其餘的水文參數選擇主要以參考 RCA 整治計畫書(2000)為主，不足的部份輔以文獻數據，並做合理的假設。其中，水力傳導係數(hydraulic conductivity)是地下水整治時很重要的一個考慮參數(Gavaskar *et al.*, 1998)，而 Liou *et al.*(1997)也提到地下水流速及軸向延散係數(Longitudinal dispersivity)是地下水重要的二個參數；Wagner *et al.*(1987)並曾以水力傳導係數、孔隙率(porosity)、軸向及橫向延散係數(transverse dispersivity)做為不確定參數的模擬，且由孫(2000)所做的敏感度分析得知，水力傳導係數、孔隙率及半衰期(half-life)是重要的不確定參數，另外，本文更進一步利用 MODFLOW 和 MT3DMS 對軸向延散係數、水力傳導係數、孔隙率、Bulk density 做敏感度分析，加減 10% 的參數看其對時間及空間平均濃度改變的程度，參數的原始值則如表 2-3 所示，

以下是其分析結果：

Table 2-1 PCE's sensitivity analysis

Parameter	The change of the concentration (parameter +10%,ppm)	Relative sensitivity	The change of the concentration (parameter -10%,ppm)	Relative sensitivity
Longitudinal dispersivity	$4.44 \times 10^{-7} \rightarrow 5.14 \times 10^{-7}$	+1.57%	$4.44 \times 10^{-7} \rightarrow 3.8 \times 10^{-7}$	-1.44%
Hydraulic conductivity	$4.44 \times 10^{-7} \rightarrow 4.79 \times 10^{-7}$	+0.79%	$4.44 \times 10^{-7} \rightarrow 4.43 \times 10^{-7}$	-0.27%
Effective porosity	$4.44 \times 10^{-7} \rightarrow 4.78 \times 10^{-7}$	+0.77%	$4.44 \times 10^{-7} \rightarrow 4.29 \times 10^{-7}$	-0.34%
Bulk Density	$4.44 \times 10^{-7} \rightarrow 4.44 \times 10^{-7}$	0%	$4.44 \times 10^{-7} \rightarrow 4.44 \times 10^{-7}$	0%

Table 2-2 TCE's sensitivity analysis

Parameter	The change of the concentration (parameter +10%,ppm)	Relative sensitivity	The change of the concentration (parameter -10%,ppm)	Relative sensitivity
Longitudinal dispersivity	$3.63 \times 10^{-7} \rightarrow 4.2 \times 10^{-7}$	+1.57%	$3.63 \times 10^{-7} \rightarrow 3.10 \times 10^{-7}$	-1.46%
Hydraulic conductivity	$3.63 \times 10^{-7} \rightarrow 3.58 \times 10^{-7}$	-0.14%	$3.63 \times 10^{-7} \rightarrow 3.54 \times 10^{-7}$	-0.25%
Effective porosity	$3.63 \times 10^{-7} \rightarrow 2.84 \times 10^{-7}$	-2.18%	$3.63 \times 10^{-7} \rightarrow 3.54 \times 10^{-7}$	-0.25%
Bulk Density	$3.63 \times 10^{-7} \rightarrow 3.63 \times 10^{-7}$	0%	$3.63 \times 10^{-7} \rightarrow 3.63 \times 10^{-7}$	0%

由表 2-1 及 2-2 可看出軸向延散係數、水力傳導係數、孔隙率的敏感度是較大的，故挑選其為本文所關注的三個不確定參數，其中，Liou (1997)及 Copty (2000) 等人提到水力傳導係數通常以對數常態分佈表示，其餘我們可以常態分佈來表示；利用蒙地卡羅模擬，給定參數的平均值及標準差，以隨機挑選出可能的值，模擬以上三個參數的不確定性，代入 MODFLOW 和 MT3DMS 模式中，並假設初始不確定參數位於網格中的 5 個可能位置(以卡式座標而言即位於點(0,16)、(12,16)、(7,3)、(1,1)、(12,1))，利用 MODFLOW 和 MT3DMS 以及隨機產生 50 個可能的隨機分佈場，使其亦符合地理特性，水文參數整理如表 2-3 所示；而模擬所需的高程及水頭資料則取用 RCA 計畫書(2000)資料一一輸入。

0.236	0.25	0.247	0.252	0.258	0.255	0.259	0.259	0.261	0.264	0.265	0.267
0.238	0.25	0.247	0.25	0.258	0.257	0.257	0.259	0.261	0.264	0.264	0.267
0.241	0.25	0.248	0.252	0.257	0.259	0.259	0.26	0.261	0.263	0.263	0.267

0.242	0.25	0.249	0.253	0.256	0.259	0.261	0.261	0.261	0.263	0.264	0.267
0.244	0.25	0.249	0.253	0.256	0.258	0.262	0.261	0.26	0.262	0.265	0.266
0.245	0.251	0.247	0.254	0.258	0.259	0.263	0.26	0.261	0.261	0.265	0.266
0.248	0.251	0.247	0.254	0.259	0.261	0.262	0.261	0.261	0.262	0.265	0.265
0.249	0.252	0.246	0.255	0.259	0.261	0.261	0.262	0.262	0.262	0.264	0.264
0.249	0.251	0.245	0.255	0.259	0.262	0.262	0.264	0.262	0.263	0.265	0.265
0.247	0.25	0.244	0.255	0.26	0.264	0.264	0.267	0.263	0.264	0.266	0.266
0.248	0.248	0.243	0.255	0.26	0.266	0.265	0.269	0.263	0.265	0.267	0.266
0.244	0.246	0.242	0.255	0.262	0.268	0.268	0.271	0.265	0.266	0.268	0.268
0.242	0.243	0.241	0.255	0.263	0.27	0.273	0.274	0.266	0.266	0.269	0.269
0.236	0.238	0.24	0.255	0.262	0.274	0.286	0.278	0.269	0.266	0.271	0.272
0.225	0.233	0.237	0.255	0.262	0.272	0.279	0.277	0.272	0.265	0.272	0.273
0.205	0.238	0.235	0.254	0.261	0.269	0.274	0.274	0.269	0.265	0.273	0.276

Table2-3 Possible effective porosity's distribution

本研究對象，RCA 場址相關的水文參數及不確定參數的平均值由整治計畫報告書中得知，而三氯乙烯及四氯乙烯的相關物化特性則整理如表 2-4 所示。

Table 2-4 Hydrogeologic parameters

Hydrogeologic parameters	Mean	Stand deviation	Distribution
Hydraulic conductivity(K), ft/s ²	4.631×10^{-4}	4.631×10^{-5}	Log-normal
Hydraulic gradient m/m	0.005-0.008	-	-
Effective porosity(Θ)	0.25	0.025	Normal
Storage coefficient	0.2	-	-
Longitudinal dispersivity(Dx), ft	9.84	0.984	Normal
Transverse dispersivity, ft	2.95	-	-
Bulk density, g/cm ³	1.7	-	-
f _{oc}	0.01		

Table 2-5 Properties of PCE、TCE(Bennett *et al.*,1991)

Properties	PCE	TCE
Molecular weight (g/mol)	165.83	131.4
Diffusion coef. In water(m^2/s)(D_{water})	8.834×10^{-10}	9.71×10^{-10}
Diffusion coef. In air (m^2/s)(D_{air})	7×10^{-6}	7.78×10^{-6}
Koc(g/cm^3)	263	94
SF (ingestion)($\text{mg}/\text{kg-d}$) ⁻¹	2×10^{-3}	6×10^{-3}
SF (inhalation)($\text{mg}/\text{kg-d}$) ⁻¹	5.2×10^{-2}	1.1×10^{-2}

2-3 污染物傳輸模擬

本研究所考慮污染源的方法是假設污染源在疑似的熱點(hot spot)上, 參考計畫書(2000)中所繪製的 PCE 及 TCE 的平均等濃度線為依據, 並假設污染源為污染濃度值最大點, 以本研究所設立的網格而言, 即於(7,3)處, PCE 濃度約為 5ppm, TCE 濃度約為 1.6ppm, 持續污染 30 年。

地下水污染傳輸模式

使用地下水傳流模式的主要目的是：

1. 預測污染物在查核點或承受點的濃度
2. 預測污染源控制整治方案的效果

然而, 地下水文中的傳輸及物化反應過程相當複雜, 會隨時間及空間有所變異, 所以需要模式來模擬實際的狀況, 模式依照其解法可分為數值模式及解析模式, 有許多數值模式或解析模式可用以預估一維、二維及三維條件下相關地下

水污溶質的濃度。模式亦可用來評估各種不同的替代方案的整治結果。依簡化假設條件的不同及依測試該模式所需費用與所需配合條件的差異，目前已經有各式的模式被發展出來。

大部分的數值模式可容納較多的相關資料，但相對的也需要輸入較多的專業知識及相關數據，而解析模式所需的則較少。在處理各種不同的含水層參數時，解析模式通常較不嚴謹，儘管數值模式有其複雜性與周密性，但是也必須輸入具有代表性的數據才能得到可靠的解答。本研究使用的地下水流模式為 MODFLOW，污染物傳輸模式為 MT3DMS。

2-3-1 MODFLOW

MODFLOW (Harbaugh & McDonald)為三維有限差分地下水流模型(Modular Three- Dimensional Finite- difference Ground-water Flow Model)，是由美國地質調查所(U.S. Geological Survey)於 80 年開發出的一套專門用於模擬孔隙介質中地下水流動的情形。自問世以來，MODFLOW 已經在全世界如學術研究、環境保護、水資源利用等相關領域內，得到了廣泛的應用。以下是 MODFLOW 所求解的偏微分方程式：

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}\right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

其中， K_{xx} 為沿 X 軸的水力傳導係數。

K_{yy} 為沿 Y 軸的水力傳導係數

K_{zz} 為沿 Z 軸的水力傳導係數

W 為單位體積下的體積通量。 S_s 為積蓄項。

2-3-2 MT3DMS

MT3DMS (Zheng & Wang)的全名為 Modular Three-Dimensional Multi-species Transport Model，其前身為 MT3D (Zheng, 1990)，是用來計算污染物在地下水中傳輸的情形。MT3DMS 可以用來模擬污染物在地下水中的移流(advection)、延散

(dispersion)、吸附(sorption)、以及一階(first-order)反應等。

以下是 MT3DMS 所求解的傳輸方程式：

$$R\theta \frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(\theta v_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(\theta v_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(\theta v_z C) + L(C) \quad (\text{式 2-19})$$

其中，R 為遲滯因子(retardation factor , dimensionless)

θ 為孔隙率(porosity , dimensionless)

C 為污染物濃度(ML-3)

t 為時間(T)

x,y,z 為沿各方向的距離(distance , L)

v_x, v_y, v_z 為沿 x,y,z 方向的速率(velocity , LT-1)

L(C)為其他非移流項，例如延散、污染源輸入或輸出、或化學反應等。

在利用 MT3DMS 模擬污染物傳輸前，必須先利用 MODFLOW 模式，求解地下水中每區塊(cell)往各方向的通量(flux)，並且記錄下飽和層厚度(saturated thickness)、流入和流出的流量等資料，做成一個水流傳輸連結檔案(flow-transport link file)，然後才能進行計算。因此，MT3DMS 雖然是地下水污染物傳輸的模式，但單單只利用 MT3DMS 是無法模擬的，必須結合 MODFLOW 和 MT3DMS 才能達成模擬污染物傳輸的目的。

2-4 復育方案模擬

以其前述的水文地質等參數為基礎，進行下列復育方案的設立，使用 MODFLOW 和 MT3DMS：

(1)自然復育

主要考慮的污染物因地下水的移流(advection)、延散(dispersion)、吸收吸附(sorption)過程造成污染物的衰減，分成(a)移流+延散，(b) 移流+延散+吸收/吸附

二部份來討論。

(a)移流+延散：

移流是污染物沿著地下水流在孔隙裡的滲流速度造成的移動，而延散則是分子從高濃度擴散至低濃度的傳輸過程，我們以下二圖來表示：

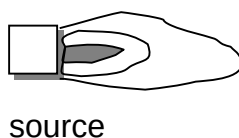


Fig 2-1 Advection and dispersion

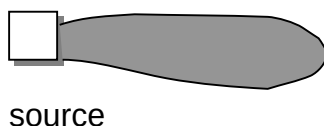


Fig 2-2 Advection only (Bedient *et al.*, 1994)

(b) 移流+延散+吸收/吸附：

污染物受吸附/吸收效應會造成污染物的延滯現象，因此延散的距離就會相對的縮短。再將具地理特性之不確定參數考慮進模式中，同時將相關的水文參數輸入模式，進行上述之整治方案設立及模擬，以預估 30 年間 TCE 與 PCE 可能之濃度分佈。

2-5 優選模式

將上述經由地下水模式模擬得到的濃度，代入模式中計算風險，以下就本研究所考慮的成本及風險二目標進行整理探討。

(1)成本

在考慮整治技術的成本時，主要分成資本(capital cost)及操作維護成本

(operation & maintenance cost)(Brown, 1996 ; Gavaskar *et al*, 1998) ; 即為固定成本及變動成本, 而由 Superfund 已知的資料顯示, 清除 NPL(國家優先名單)場址所需的總成本約為 3 仟萬美金至 1 億 2 仟萬美金 (Lawrence *et al*, 1997), 配合文獻上所搜集到的成本資訊, 整理如表 2-3 所示。

Table 2-6 The cost of treatment technology

Treatment technology	Cost elements	Cost(dollar)	Site characteristics/comments
In-situ Bioremediation ^[1]	Total treatment cost	2,000,000 (4/gal.)	TCE、DCE、VC
Funnel and Gate ^[1]	Installation cost	400,000	TCE : 100 to 400ppb
Pump and Treat ^[1]	Capital cost O&M	8,034,454 0.12/1000gal.	TCE, PCE、DCE、DCA、TCA
Pump and Treat ^[1]	Capital O&M	4,103,000 0.75/1000gal.	TCE 25,000ppb PCE12,000 ppb, DNAPLs
GAC ^[2]	O&M	500,000	
Monitoring ^[2]	O&M	250,000	
Pumping cost ^[3]	O&M	9.387 per L/s	
GAC ^{[5]a}	Capital O&M	100,000~800,000 25,000~250,000	
GAC ^{[5]b}	O&M	0.45~2.52/1000gal 0.22~0.54/1000gal	Contaminant >1mg/L Contaminant <1mg/L
Biore Restoration ^[5]	O&M	0.0165/gal	

Pump cost ^[5]	1MGD(0.04 39m ³ /s)	26,000	
MNA ^[6]	O&M	22,800	
Air sparging ^[7]	Capital	156,950	
	O&M	62,750	
Groundwater ^[2] Sparging	Capital	70,000 to 100,000	

* O&M : Operation and maintenance cost

GAC : Granular activated carbon adsorption

MNA : Monitored natural attenuation

[1]Brown, 1996

[2]Sharefkin, 1984

[3]Lefkoff, 1986

[4]Gavaskar *et. al.*, 1998

[5]Noonan *et. al.*,1990

[6]AFFCE, 1999

[7]Federal Remediation Technology Roundtable(FRTR), 2001。

由於要決定不同復育技術的成本十分不易，不同的場址大小、復育技術、污染物種類等都會影響復育的成本，使得成本間的差異很大，但大抵而言，復育成本不外乎分為固定成本及變動成本，是故，將成本簡單設立如下：

(A)自然復育：

(a)固定成本：監測井，假設為 50,000 美金。

(b)變動成本：操作與維護。自然復育需做監測的工作，故以 AFFCE(1999)的假設，每年約 22,800 美金。

(B)生物復育

(a)固定成本：整治井，需注入營養鹽、微生物等所需，假設為 70,000 美金。

(b)變動成本：操作與維護。採用 Noonan *et.al.*(1990)的假設（表 3-5 中 a），處理每加侖需 0.0165 美金，假設其處理量與抽出處理相同，故每 m^3/day 每年約需 $365 \times 4.3588 = 1,591$ 美金，抽水量平均值為 $26.49 \text{ m}^3/\text{day}$ ，故成本為 $1,591 \times 26.49 = 42,146$ 美金。

(C)抽出處理

(a)固定成本：整治井，需用來抽出受污染的水及回注乾淨的水所需，假設為 70,000 $\times 2$ 美金，另外，活性碳吸附的固定成本採用 Noonan *et.al.*(1990)（表 3-5 中 a）的假設，為 800,000 美金，故全部之固定成本為 $70,000 \times 2 + 800,000 = 940,000$ 。

(b)變動成本：活性碳吸附成本+抽水/注入成本，採用 Noonan *et.al.*(1990)（表 3-5 中 a）的活性碳吸附成本，為 250,000 元，而抽水/注入成本則採用 Noonan *et.al.*(1990)（表 3-5 中 a）的假設，每 $0.0439 \text{ m}^3/\text{s}$ 約 26,000 元，單位換算為抽出與注入每 m^3/day 每年約 $365 \times 6.8548 = 2,502$ 美金，由 4-1.3 節的機制設定，故其成本為 $250,000 + 2,502 \times 26.49 = 316,278$ 美金。

(D)注氣法

(a)固定成本：主要包含一注入空氣或氧氣的注入井及相關設備，由於 Sharefkin(1984)及 FRTR(2001)之資料差異不大，故取其平均值：108,983 美金。

(b)變動成本：操作與維護的成本，以 FRTR(2001)的數值，為 62,750 美金。
將上述資訊整理如表 2-7，標準差皆假設為原始值之 25%。

Table 2-7 Remediation technology cost

Remediation	Fixed costs	Variable costs
-------------	-------------	----------------

technology	(dollar)	(dollar)
Natural attenuation	50,000	22,800
Pump and treat a)	940,000	316,278
Pump and treat b)	940,000	316,278
Pump and treat c)	940,000	316,278
Bioremediation a)	70,000	42,146
Bioremediation b)	70,000	42,146
Air sparging a)	108,983	62,750
Air sparging b)	108,983	62,750

大致而言，抽出處理的成本會比其他整治方法來得高，而自然復育是成本最低的。

(2)風險

將前一節所得到的不同整治方案後的濃度，由於水文參數不確定會造成的濃度分佈不確定，故計算 10 個隨機場的 $192(\text{格點數}) \times 10(\text{隨機場}) = 1920$ 筆數據的平均值及標準差，在其對數-常態分佈下考慮 30 間平均暴露的濃度，將此濃度分佈代入模式計算暴露 30 年間所產生的風險，考慮暴露途徑有空氣(呼吸室外、室內空氣)、水(喝水、皮膚接觸)、土壤(皮膚接觸土壤、誤食土壤)及食物鏈(吃稻米、魚)所產生的風險，暴露受體則考慮一般成人。(湯，2000)

2-6 多目標規劃

利用多目標規劃結合隨機規劃及模糊規劃建立優選模式，在此我們需要製作一個隨機值產生元件。此元件會由已知的分布函數，隨機取出一隨機值，而後與決定好的假設變數、決策變數及要預測的變數，加入所需要的限制式。隨後我們將目標取最小或最大化，而求得最佳解。且因成本與風險的單位不同，是故將其各別除以理想解，即個別計算單目標之最佳值，如表 2-8 所示，使二者的單

位無因次化，彼此之間的權衡也較具有意義。

在限制式的選取上，主要考慮風險需小於 10^{-4} ，整治 30 年期間暴露風險值需小於 10^{-4} 。而決策變數即是我們要得到的復育方案。

在求解之前，先計算償付表，以得到理想解。

Table 2-8 Payoff table

objective	cost	risk	Decision var.(Alternative)
min cost	$Z1^*$	$Z2'$	
min risk	$Z1'$	$Z2^*$	

Ideal solution(cost, risk)=($Z1^*$, $Z2^*$)

利用上述所得到的資訊，利用權重法、目標規劃法、妥協規劃法來對多目標進行求解，其求解流程如圖 2-5 所示。在本研究中決策變數為整治技術，考慮暴露風險必需小於 10^{-4} 做為模式之限制式，再決定目標函數，此目標函數計算方法說明如後所述；接下來對目標取最大化或最小化，並利用蒙地卡羅法計算參數之不確定性，規劃完成後模擬優選而得最佳解。

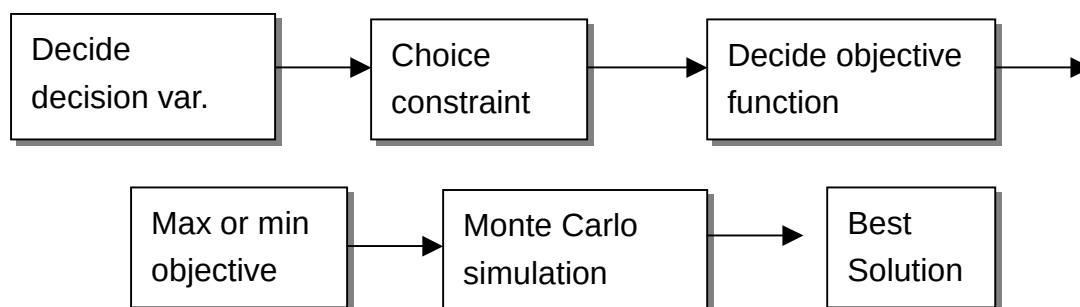


Fig 2-5 Flow chart for optimization

(1) 權重法

本文所建立的數學模式如下：

$$\text{目標：Min } W_{\text{COST}} * Z_{\text{COST}}(Xi) + W_{\text{RISK}} * Z_{\text{RISK}}(Xi)$$

$$\text{限制式：} Z_{\text{RISK}} \leq 1 \times 10^{-4} \quad \sum_{i=1}^8 X_i = 1$$

$$X_i = 0 \text{ or } 1 \quad i=1,2,\dots,8$$

$$W_{\text{COST}} \in [0,1]$$

$$W_{\text{RISK}} \in [0,1]$$

其中：

W_{COST} ：成本權重

W_{RISK} ：風險權重

(本文中採用幾個權重的不同組合，以比較及結果，分別為

$W_{\text{COST}} : W_{\text{RISK}} = 0.8 : 0.2, 0.5 : 0.5, 0.2 : 0.8$)

$$Z_{\text{COST}}(X_i) : \text{成本目標} = \sum_{i=1}^8 (C_{fi} + 30 * C_{vi})$$

$Z_{\text{RISK}}(X_i)$ ：風險目標

X_i ：整治方案變數

C_{fi} ：整治方案 i 之固定成本

C_{vi} ：整治方案 i 之變動成本

$i=1,\dots,8$ 分別代表的整治方案為：

1：自然復育

2：生物復育(a)

3：生物復育(b)

4：注氣法(a)

5：注氣法(b)

6：抽出處理(a)

7：抽出處理(b)

8：抽出處理(c)

(2)目標規劃法

本文所建立的數學模式如下：

$$\text{目標} \quad \text{Min } |d_{\text{COST}}| + |d_{\text{RISK}}|$$

$$\text{限制式} \quad Z_{\text{RISK}} \leq 1 \times 10^{-4}$$

$$|d_{\text{COST}}| = Z_{\text{COST}} - Z_{\text{COST}}^*$$

$$|d_{\text{RISK}}| = Z_{\text{RISK}} - Z_{\text{RISK}}^*$$

其中：

Z_{COST}^* ：成本理想值(由償付表而來)

Z_{RISK}^* ：風險理想值(由償付表而來)

$|d_{\text{COST}}|$ ：與 Z_{COST}^* 的差距值

$|d_{\text{RISK}}|$ ：與 Z_{RISK}^* 的差距值

(3) 妥協規劃法

本文所建立的數學模式如下：

考慮 $S=\infty$ 時，是數值上最短的距離：

$$\begin{aligned} & \text{Min max} \quad \left\{ \alpha_{\text{cost}} \left[\frac{Z_{\text{cost}}' - Z_{\text{cost}}}{Z_{\text{cost}}' - Z_{\text{cost}}^*} \right] + \alpha_{\text{risk}} \left[\frac{Z_{\text{risk}}' - Z_{\text{risk}}}{Z_{\text{risk}}' - Z_{\text{risk}}^*} \right] \right\} \\ & \text{s.t.} \quad Z_{\text{RISK}}(X_i) \leq 1 \times 10^{-4} \\ & \quad \alpha_{\text{cost}} \in [0, 1] \\ & \quad \alpha_{\text{risk}} \in [0, 1] \end{aligned}$$

其中

α_{cost} = 目標成本的權重

α_{risk} = 目標風險的權重

(本文中採用幾個權重的不同組合，以比較及結果，分別為

$\alpha_{\text{cost}} : \alpha_{\text{risk}} = 0.8 : 0.2, 0.5 : 0.5, 0.2 : 0.8$)

Z_{cost}' = 目標成本最差值(由償付表而來)

Z_{risk}' = 目標風險最差值(由償付表而來)

2-7 不確定下之數學規劃

輸入參數中具不確定的除了前面提到的水文參數外，其計算風險的暴露參數如體重、喝水量、致癌斜率因子、計算成本的固定成本、變動成本、整治效率等參數也具有不確定性，在此，我們利用傳統的機率來處理，即給予一平均值及標準差，配合適合之分佈，以建立其機率密度函數，利用蒙地卡羅法模擬 2000 次隨機挑選數值以代入風險模式及成本模式中計算，所得的結果也是一機率分佈，而分別對 50%、85%及 95%等累積機率比較結果。

其數學模式如下：

$$\text{Min } Z(\text{cost}, \text{risk})$$

$$\text{s.t. } Z_{\text{RISK}} \leq 1 \times 10^{-5}$$

其中：

$Z(\text{cost}, \text{risk})$ ：利用權重法或妥協規劃法所組合而成的目標

三、 結果與討論

3-1 系統效能執行結果

本系統的建置，並不如預期的達到高效能執行。 原因推估如下：

1. 多處理器的執行環境，會將部份的計算資源移轉做為處理器間的通訊計算，而造成計算能力的下降。 這樣的情況在連結的處理器數量越多時越嚴重。 也就是說，即使是配備多個處理器的超級電腦，不管各個處理器之間結合得如何緊密，都會存在處理器間通信的溢出(Overhead)問題。另外，如果採用多重節點，節點之間的通信將成? 瓶頸。從應用方面來看，運行代碼如果不能使全部處理器都處於最大限度的工作狀態便無法提高運算性能。主要的瓶頸也在於此。也就是說，處理器的數量及節點的數量越多，峰值性能和實際性能之間的差別就越大。本研究所建置的系統，同時在不同的電腦上執行了許多模式，造成了電腦間資料交流通訊量的大幅增加。 除了硬體本身的限制外，在本研究中，還有模式佈置錯誤的問題，而使得計算完成的資料，必須在網路間傳遞，以進行下一步的計算。 因此要建議的是，盡量在規劃時期就減少資料在網路間的傳遞量，而在單一的機台上完成大部分的工作後，再傳回。
2. 以資料排序減少重複資料計算的方法，並沒有如預期的有效發揮作用。原因是資料的重複性會隨著資料的有效位數增加而減少。 因此，除了零值以外，重複的資料並不多。 這樣的情況在地下水傳流模式尤其明顯，再加上多位小數的排序也會耗用計算的資源，因此在地下水傳流模式的部份反而是造成了反效果。 有關於這個部份的問題，建議進行資料的敏感度分析，在合理的範圍內，減少資料的有效位數，以減少資料的計算負擔。

3. 雖然執行的效果未若預期的大幅提高，但透過更周延的系統規劃方式，在個人電腦的平台上，執行效率仍有成長的空間。接下來的研究，甚至可以延伸個人電腦的平台，透過大型電腦來進行，則可以解決硬體限制的問題。畢竟使用個人電腦只是暫時的權宜之計，到目前為止，在這樣的平台上要進行決策支援系統的建置，還是要受到許多的限制。

地下水傳流模擬結果

由於水力傳導係數、孔隙率及軸向擴散係數…等參數之不確定性，造成地下水傳流空間上分佈的不確定。因此，本研究利用蒙地卡羅所產生的五十個隨機場，模擬產生濃度分佈之不確定，隨後將五十個隨機分佈場共 9600(192×50)筆的濃度值及整治 30 年期間每年暴露的濃度值，並計算其空間及時間的平均值與標準差，以其對數常態分佈 (log-normal distribution) 輸入優選模式中，以蒙地卡羅法處理此參數之不確定，其結果如表 3-1 及表 3-2 所示，其中各整治方案為本研究所選取比較之對象，分述如下：

(1) Natural attenuation

考慮污染物因移流、延散及吸收吸附(本研究假設為線性吸附)的過程造成污染物的衰減效應。

(2) Pump and treat (a)、(b)、(c)

考慮抽水率及回注率為 $26.49\text{m}^3/\text{day}$ ，a、b、c 三者抽水井及注入井的配置位置如圖 2-3。

(3) Bioremediation (a)、(b)

a 為以三價鐵來降解污染物，而 b 則以零價金屬鐵來處理污染物。

(4) Air sparging (a)、(b)

利用注氣井將 10mg/L 濃度的氧氣持續以 26.49m³/day 的速率注入地下含水層中，以促進污染物被微生物分解，a 與 b 的位置如圖 2-3 的 A-及 C-的位置。

Table 3-1 PCE concentration distribution

Remediation technology	Mean concentration (ppm)	Concentration Std. (ppm)
Natural attenuation	0.027483	0.330497473
Bioremediation a)	0.017499576	0.156766
Bioremediation b)	0.01970893	0.169588
Air sparging a)	0.012023354	0.131770387
Air sparging b)	0.01131488	0.130325501
Pump and treat a)	0.016097	0.128626
Pump and treat b)	0.013717	0.1176
Pump and treat c)	0.014118	0.111805

Table 3-1 為 PCE 於各整治技術中分佈情況，其結果顯示自然復育法的平均濃度值最高（0.0275mg/L），生物復育法次之（0.0175~0.0197mg/L），其次為抽出處理法（0.0137~0.0161mg/L），而注氣法的平均濃度值為最低（0.0113~0.0120mg/L）。

Table 3-2 TCE concentration distribution

Remediation technology	Mean concentration (ppm)	Concentration Std. (ppm)
Natural attenuation	0.009591	0.10542179
Bioremediation a)	0.00657	0.05276598
Bioremediation b)	0.00657032	0.052766
Air sparging a)	0.00415355	0.04032631
Air sparging b)	0.00279629	0.02783929
Pump and treat a)	0.005911	0.044189
Pump and treat b)	0.005694	0.058822
Pump and treat c)	0.006079	0.035653

表 3-2 為 TCE 於各整治技術中分佈情況，其結果和 PCE 相似，平均濃度最高為自然復育法（0.00959mg/L），生物復育法次之（0.00657mg/L），其次為抽出處理法（0.0051~0.0059mg/L），而注氣法的平均濃度值為最低

（0.00280~0.00415mg/L）。此外，就相同的整治技術而言，生物復育法中以三價鐵的效果比零價鐵的效果來得好，抽出處理中 A 的位置處理效果是較差的，注氣法也顯示 A 的位置效果較不好，在其他條件皆相同的情形下，可說明該位置的捕捉效果不如其他位置。

兩污染物平均濃度最高皆為自然復育法，探討其原因不難發現，自然復育法屬於被動式的復育法，在濃度去除的效率上自然不如其他復育方法，但若曝露時間內其濃度標準(或風險值)能達到安全的標準，自然復育法仍是可以選擇的復育技術。

將所得濃度分佈（表 3-1 及表 3-2）代入風險模式計算，可得四氯乙烯及三

氯乙烯合成之風險分佈結果，如表 3-3 所示。

Table 3-3 Risk distribution

Remediation technology	Mean risk	10% percentile risk	90% percentile risk
Natural attenuation	1.70×10^{-5}	1.92×10^{-7}	2.75×10^{-5}
Bioremediation a)	1.38×10^{-5}	1.49×10^{-7}	1.95×10^{-5}
Bioremediation b)	2.05×10^{-5}	1.70×10^{-7}	2.26×10^{-5}
Air sparging a)	7.40×10^{-6}	8.29×10^{-8}	1.16×10^{-5}
Air sparging b)	7.39×10^{-6}	5.40×10^{-8}	1.12×10^{-5}
Pump and treat a)	1.05×10^{-5}	1.79×10^{-7}	1.72×10^{-5}
Pump and treat b)	8.45×10^{-6}	1.37×10^{-7}	1.45×10^{-5}
Pump and treat c)	8.59×10^{-6}	1.86×10^{-7}	1.61×10^{-5}

平均風險值最高為生物復育法(b) (2.05×10^{-5})，自然復育法次之 (1.38×10^{-5})，其次為生物復育法(a) (1.38×10^{-5})，再其次為抽出處理法(a) ($1.05 \times 10^{-5} \sim 8.59 \times 10^{-6}$)，而注氣法最低 ($7.39 \times 10^{-6} \sim 7.40 \times 10^{-6}$)。整體而言，風險分佈大致都落於 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 之間，其區間可達 2 至 3 個等級。

四、結論與建議

4-1 結論

雖然執行的效果未若預期的大幅提高，但透過更周延的系統規劃方式，在個人電腦的平台上，執行效率仍有成長的空間。接下來的研究，甚至可以延伸個人電腦的平台，透過大型電腦來進行，則可以解決硬體限制的問題。畢竟使用個人電腦只是暫時的權宜之計，到目前為止，在這樣的平台上要進行決策支援系統的建置，還是要受到許多的限制。

撇開研究重點外的硬體問題，本研究也解決了決策支援系統整合性的問題，在模式的使用上，提供了一個整合性高的方式。而模式的可再利用性也將讓往後的系統建置成本減少。就研究的觀點看來，這是個值得繼續發展的方向。

4-1.1 多目標規劃之比較

地下水整治決策問題具有多目標性，故本研究以多目標規劃法來進行方案之評選，而多目標規劃的精神在於使每個目標在衝突時彼此都能有權衡得失，使所選擇方案能逼近最佳解，不同的求解技巧各有其優缺點，權重規劃法由於歷史悠久，且計算較為簡易，符合目標權衡的精神，故廣為大家所使用，且也有很多依此而發展出的求解方法，但若決策者的經驗不足，則權重的訂定是一困難，而妥協規劃法之求解精神也在求其妥協解，故二者之規劃法都具有其實用性。研究結果顯示，權重法以不同的百分比為比較基準時，會有不同的結果，妥協規劃法的結果則比較一致，而在現實問題中我們常常會面臨資訊不足的情形發生，是故，要如何在不确定下做決策更是令我們所關心的。

4-2 建議

1. 決策支援系統的建構，由於涉及資訊工程的技術，因此在本研究中，僅以環境工程工作者的角度提出對系統的需求與建議。然而，更完整的決策支援系統需要更專業的系統分析及資料流程分析控管，才有可能在效能上有更大的進步。也才能真正的達到 DSS 想要讓決策者專心於決策問題上的目標。
2. 在系統的演算法及資料的精度需求上，可以作更進一步的研究討論。若能在正確性與演算效率間找出平衡點，相信對於決策支援系統的建置將有極大的助益。
3. 撇開研究重點外的硬體問題，本研究也解決了決策支援系統整合性的問題，在模式的使用上，提供了一個整合性高的方式。而模式的可再利用性也將讓往後的系統建置成本減少。就研究的觀點看來，這是個值得繼續發展的方向。
4. 在環境決策支援系統的建置中，可以加入目前環境工程實務中漸漸重視的程序控制觀念，以提高系統的效能。
5. 本研究的重心在於建立決策支援系統之架構，因此對於地下水傳流模擬部份的考量稍嫌精確性不足，在將復育方案套入模式時的考量也無法完全符合該方案之特性，因此對於現實問題的模擬假設，也將是一不確定的來源之一；若能針對復育方法特性，以專屬的模擬軟體來模擬其結果，如以 T2VOC 模式來模擬注氣法，其預估濃度的準確性也會相對的提高。
6. 本研究所採用的整治方案並未包含所有整治方案之可能性，故若能將所有的整治方案納入，會使整個優選模式架構更趨完備、更具實用性。

7. 權重法及妥協規劃法當中的權重給定往往涉及主觀意識，以至於結果會也有些微差距，建議可以透過層級分析法、專家問卷法等來決定。
8. 傳統的機率規劃雖然在處理不確定性問題上具有很好的成效，但前題必須是要對該不確定數值也要有詳細的機率分佈函數，然而，現實問題中往往會缺乏資訊，且若欲得到詳細的機率分佈函數，其成本相對的也較高，
9. 為提高預測結果的可信度，可使用更複雜而準確的模式，也可由提高計算的精確度度著手。然而越準確的方法相伴隨的往往是更大量的模式間交叉的計算與資料流處理。而如何解決諸多方法與模式間的結合問題與資料的整合，將會是下一個階段研究的重點，這也是決策支援系統所必須解決的問題。
10. 環境規劃與管理是整合性的科學，牽涉範圍很廣，故本研究在許多環節上尚有待改進之處，但對於在多目標規劃與不確定性分析的結合方法學上，仍可提供未來朝向此方面研究的一個參考。

五、參考文獻

[中文部份]

王裕民，石門水庫水資源調配之研究滿意理論與多目標決策之應用，*中興大學資源管理研究所碩士論文*，1995。

行政院環境保護署，建立地下水水質監測與污染管制資訊系統先期計畫，EPA-89-G102-03-278，2000。

林祥緯，孫志鴻，多準則決策技術與地理資訊系統整合之研究，*國立台灣大學地理學系地理學報*第 24 期，p29-42，1998。

林俊宏，區域水資源調配空間決策支援系統建立之研究，*國立台灣大學農業工程研究所碩士論文*，1999。

孫蔭華，地下水污染整治決策中不確定性分析方法之比較，*國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文*，2000。

陳信雄，廖學誠，詹進發，地理資訊系統及遙測於集水區水文模式上之應用，*台大實驗林研究報告*第 10 卷第 4 期，P77-93，1996。

曾吉永，模糊多目標決策法在河川水質管理之應用，*國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文*，1997。

湯忠達，地下水污染之暴露與健康風險評估—以桃園 RCA 場址為例，*國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文*，2000。

黃文政，吳建民，吳明洋，多目標決策分析在水資源管理上之運用，*第五屆水利工程研討會論文集(一)*，1990。

瑞昶科技，RCA 原桃園廠址未來地下水污染整治與管理工作計畫書(核定本)，2000。

鄭惠丹，空間決策支援系統之研究—土地利用模式建構輔助系統之設計，*國立台灣大學地理學研究所碩士論文*，1994。

顏廷穎，模糊多目標規劃在林地經營上之應用--以八仙山事業區為例，*國立台灣大學森林學研究所資源管理組碩士論文*，1995。

[英文部份]

Air Force Center for Environmental Excellence, Natural attenuation of chlorinated solvents performance and cost results form multiple air force demonstration sites,1999.

Bit, A. K., M.P. Biswal and S.S. Alam, Fuzzy programming approach to multicriteria

- decision making transportation problem , *Fuzzy sets and systems* Vol. 50,p135-141,1992.
- Bedient, P. B., H. S. Rifai, C. J. Newell, Ground water contamination-transport and remediation, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, 1999.
- Boopathy, R., Factors limiting bioremediation technologies, *Bioresource technology* Vol.74 , p63-67,2000.
- Brown, S. D., A compendium of cost data for environmental remediation technologies, US. Department of Energy , Office of Science and Technology, LA-UR-96-2205,1996.
- Bennett, D. H. James, A. L. McKone, T. E., Oldenburg, C. M., On uncertainty in remediation analysis : variance propagation from subsurface transport to exposure modeling, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.62, p117-129, 1998.
- Ballester E., Stochastic goal programming : A mean-variance approach, *European Journal of Operational Research*, Vol.131, p471-481, 2001.
- Cohon, J. L., *Multiobjective programming and planning*, New York, Academic Press, 1978.
- Cross ,V. ,de Cabello ,M. , Fuzzy interactive Multiobjective optimization on borrowing/lending problems ,*Uncertainty modeling and analysis*, p513-518,1995.
- Copt, N. K. and A. N. Findikakis, Quantitative estimates of the uncertainty in the evaluation of ground water remediation schemes, *Ground Water*, Vol.38 No.1, p29-37, 2000.
- Chen, J.L., Studies on two remedial systems for groundwater polluted by chlorinated organic chemicals :Taoyuan RCA site, Institute of environmental engineering national chiao tung university, 2000.
- Cullen, A. C., H. C. Frey, Probabilistic techniques in exposure assessment, Plenum Press, New York and London, 1999.

- Clement, T. P., C. D. Johnson, Sun, Y., G. M. Klecka, C. Bartlett, Natural attenuation of chlorinated ethane compounds : model development and field- scale application at the Dover site, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol.42, p113-140, 2000.
- Dominique, G., C. Bernard, P. Perrochet, A. Parriaux, Comparing two methods for addressing uncertainty in risk assessments, *Journal of environmental engineering*, Vol.125 No.7 , p660-666, 1999.
- Daniel M., F. Paul , *Fuzzy logic* ,New York,1993.
- Dettinger, M. D., L. J. Wilson, First order analysis of uncertainty in numerical models of groundwater flow part 1. Mathematical development, *Water Resource Research*, Vol. 17, No.1, p149-161, 1981.
- Eskandari, A., P. Ffolliott, F. Szidarovszky, Uncertainty and method choice in discrete multiojective programming problems, *Applied Mathematics and Computation*, Vol.69, p335-351, 1995.
- Gavaskar, A. R., N. Gupta, B. M. Sass, R. J. Janosy and Dennis O ' Sullivan, *Permeable barriers for groundwater remediation : Design, construction and monitoring*, Battelle Press, USA,1998.
- Goicoechea, A., D. R. Hansen & L. Duckstein, *Multiobjective decision analysis with engineering and business applications*, Academic Press,N.Y.,1982.
- G.E and Thomson, *Groundwater remediation technical practicability evaluation report*, Taoyuan site, Taiwan,1998.
- Hulsurkar, S., M. P. Biswal, S. B. Sinha, Fuzzy programming approach to multi-objective stochastic linear programming problems, *Fuzzy sets and systems*, Vol.88, p173-181, 1997.
- Howard, P. H., R. S. Boethling, W. F. Jarvis, W. M. Meylan, and E. M. Michalenko, *Handbook of environmental degradation rates*, Lewis. Publishers, Inc. Chelsea, MI.
- Hyun, Y., K. K. Lee, Model identification criteria for inverse estimation of hydraulic

- parameters, *Ground Water*, Vol.36, No.2, p230-239,1997.
- Isamara C. A., Y. Akebo, F. Gomide, An approach for fuzzy linear multicommodity transportation problems and its application, *International joint conference on the 4th IEEE International conference on fuzzy system and the 2nd international fuzzy engineering symposium IEEE international conference on fuzzy systems*. Vol. 2, p772-780, 1995.
- Ierapetritou, M. G., J. Acevedo and E. N. Pistikopoulos, An optimization approach for process engineering problems under uncertainty, *Computers & Chemical Engineering* Vol. 20, No. 6/7, p703-709, 1996.
- Inuiguchi, M., J. Ramik, Possibilistic linear programming : a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.111, p3-28, 2000.
- James, A. L., C. M. Oldenburg, Linear and monte carlo uncertainty analysis for subsurface contaminant transport simulation, *Water resource research*, Vol.33, No.11, p2495-2508, 1997.
- Kagan, N., C. C. B. Oliveira, A fuzzy constrained decision planning tool to model uncertainties in multiobjective configuration problems, *Intelligent systems applications to power systems*, p271-275, 1996.
- Kelliher, C. F., L. S. Mahoney, Using monte carlo simulation to improve long-term investment decisions, *Appraisal Journal*, Vol.68, p44-57, 2000.
- Kalu, T. Ch. U., Capital budgeting under uncertainty : An extended goal programming approach, *International Journal of Production Economics*, Vol.58, p235-251, 1999.
- Leon, L. F., D.C. Lam, D.A. Swayne, G.J. Farquhar, E. D. Soulis, Integration of a nonpoint source pollution model with a decision support system, *Environmental Modeling & Software*, Vol. 15 pp.249-255.
- Lai, Y. J., C.L. Hwang, Interactive fuzzy linear programming, *Fuzzy sets and systems*, Vol.

- 45.p169-183, 1992.
- Lai, Y.J., C. L. Hwang, IFLP- II : A decision support system, *Fuzzy sets and systems* Vol.54, p47-56,1993.
- Lai, Y. J., C. L. Hwang, Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications, Berlin, New York, Springer-Verlag, 1994.
- Lushu, Li, K. K. Lai, A fuzzy approach to the multiobjective transportation problem , *Computers & Operations Research* Vol. 27 , p43-57, 2000.
- Langwaldt, J. H., J. A. Puhakka, On-site biological remediation of contaminated groundwater : a review, *Environmental pollution*, Vol. 107 , p187-197, 2000.
- Liou, T. S., H. D. Yeh, Conditional expectation for evaluation of risk groundwater flow and solute transport : one-dimensional analysis, *Journal of Hydrology*, Vol.199, p378-402, 1997.
- Lo, I. M.-C., W. K.-W. Law and H. M. Shen, Risk assessment using stochastic modeling of pollutant transport in landfill clay liners, *Water Science Technology*, Vol. 39, No. 10-11, p337-341,1999.
- Lee, S. I., P. L. Kitanidis, Optimal estimation and scheduling in aquifer remediation with incomplete information, *Water Resources Research* , Vol.27, No.9, p2203-2217, 1991.
- Lefkoff, L. J., S. M. Gorelick, Design and cost analysis of rapid aquifer restoration systems using flow simulation and quadratic programming, *Ground Water*, Vol.24, No.6, p777-790, 1986.
- Martin, V., P. Henk, P. Ivan and W. Herman, Policy analysis for strategic choices in integrated water management , *Water Science Technology* Vol.34, No 12, pp.17-24,1996.
- Mauricio, M. D., A. H. Karen, Evaluation of waste minimization alternatives under uncertainty: a multiobjective optimization approach , *Computers & operations*

- research* Vol. 23,p1493-1508,1999.
- McKinney, D. C., M. D. Lin, Pump-and-treat ground-water remediation system optimization, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 122, No.2, p128-136, 1996.
- Marryott, R. A., Optimal ground water remediation design using multiple control technologies, *Ground Water*, Vol.34, No.3, p425-443, 1996.
- Morgan, D. R., J. W. Eheart, and A.J. Valocchi, Aquifer remediation design under uncertainty using a new chance constrained programming technique, *Water Resource Research* Vol.29 No.3, p551-561, 1993.
- Mohammed, W., Chance constrained fuzzy goal programming with right-hand side uniform random variable coefficients, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.109, p107-110, 2000.
- Min, H., E. Melachrinoudis, Dynamic location and entry mode selection of multinational manufacturing facilities under uncertainty : A chance-constrained goal programming approach, *International Trans. Operational Research*, Vol.3, P65-76, 1996.
- Nielsen, S. S., S. A. Zenios, A stochastic programming model for funding single premium deferred annuities, *Mathematical Programming*, Vol.75, p177-200, 1996.
- O ' Hannesin, S. F., Gillham, R. W., Long-term performance of an in situ " iron wall " for remediation of VOCs, *Ground Water*, Vol.36, No.1, p164-170,1998.
- Palph, H. Sprague, H. J. Watson , *Decision support systems : putting theory into practice*, London, Prentice Hall International, p7-34,1993.
- Petr Ekel , Witold Pedrycz , Roland Schinzinger , Methods of multicriteria decision making in fuzzy environment and their applications, *North American fuzzy information* ,Vol.18,p625-629,1999.
- Rifai, H. S., P. B. Bedient, J. T. Wilson, K. M., Miller, and J. M., Armstong, *MODFLOW and MT3DMS Natural attenuation decision support system user ' s manual version1.0*,

- U.S. Air Force Center for Environmental Excellence, San Antonio, TX, Brooks Air Force Base, 1998.
- Rizzoli, A. E., W.J. Young, Delivering environmental decision support systems: software tools and techniques, *Environmental Modeling & Software*, Vol. 12, No. 2-3, p237-249, 1997.
- Sedivy, R. A., J. M. Shafer, L. C. Billbrey, Design screening tools for passive funnel and gate systems, *Groundwater Management Research*, p125-133, 1999.
- Starr, R. C., J. A. Cherry, In situ remediation of contaminated ground water. The funnel-and-gate system, *Ground Water*, Vol.32, No.3, p465-476, 1994.
- Sharefkin, M., M. Shechter, A. Kneese, Impacts, Costs, and techniques for mitigation of contaminated groundwater : a review, *Water Resources Research*, Vol.20, No.12, p1771-1783, 1984.
- Sutardi, C. R. Bector, I. Goulter, Multiobjective water resources investment planning under budgetary uncertainty and fuzzy environment , *European Journal of Operational Research*, Vol.82, p556-591, 1995.
- Tang, J., D. Wang, An interactive approach based on a genetic algorithm for a type of quadratic programming problems with fuzzy objective and resource , *Computers & Operations Research*, Vol 24 ,Issue:5,p413-422,1997.
- USEPA Office of solid waste and emergency response, A citizen's guide to soil vapor extraction and air sparging, 1996, April. EPA 542-F-96-008.
- USEPA Office of solid waste and emergency response, A citizen's guide to bioremediation, 1996, April. EPA-542-F-96-007.
- USEPA Office of solid waste and emergency response, A citizen's guide to natural attenuation, 1996, October. EPA-542-F-96-015.
- Vogel, T. M., P. L. McCarty, Biotransformation of tetrachloroethylene to trichloroethylene, dichloroethylene, vinyl chloride, and carbon dioxide under methanogenic conditions,

- Applied and Environmental Microbiology*, Vol.49, No.5, p1080-1083, 1985.
- Werners, B., Interactive multiple objective programming subject to flexible constraints, *European Journal of Operational Research* Vol.31,p342-349,1987.
- Wagner, B. J., Gorelick, S. M., Optimal groundwater quality management under parameter uncertainty, *Water Resources Research*, Vol.23, No. 7, p1162-1174,1987.
- Wagner, B. J., Gorelick, S. M., Reliable aquifer remediation in the presence of spatially variable hydraulic conductivity : from data to design, *Water Resources Research*, Vol.25, No.10, p2211-2225, 1989.
- Yeh, H. C., W. E. Kastenberg, Health risk assessment of biodegradable volatile organic chemicals : A case study of PCE, TCE, DCE and VC, *Journal of hazardous materials*, Vol.27, p111-126, 1991.
- Zeleny, M., *Multiple criteria decision making*, New York, McGraw-Hill, 1982.
- Zimmermann, H. J., Fuzzy sets theory—and its applications, International series in management science/operations research, Boston, Kluwer-Nijhoff Pub. Hingham, MA, USA, 1984.

[網頁部份]

中時奇摩報—即時新聞 RCA 致癌員工自救 將打跨國官司求償

<http://ctnews.kimo.com.tw/2001/04/29/realtime/257048.html> 2001.4.29

行政院環保署 RCA 桃園場址地下水污染整治計劃 a

<http://www.epa.gov.tw/waterpollution/RCA> 地下水污染整治計畫.doc

行政院環保署--地下水污染防治 b

<http://www.epa.gov.tw/waterpollution/四科/HPI-2.html>

英文環保政策月刊中文版，第二卷第 3 期 c

<http://www.epa.gov.tw/cooperation/epm/EPM2-3f.html>

行政院環保署—國家環境保護計劃第三篇 d

[http : //www.epa.gov.tw/policy/nationproj/37-59.doc](http://www.epa.gov.tw/policy/nationproj/37-59.doc)

Federal Remediation Technologies Roundtable, U.S. EPA, Chair, Washington, D. C.

20460, Cost and Performance Catalog of Case Studies, *<http://www.ftrr.gov/cost>*, 2001.