

台灣水資源決策支援系統建置計畫

洪銘堅

經濟部水利署

摘要

近年來，電腦科技與水資訊相關技術已快速結合發展，且逐漸被廣泛應用在水相關課題上，可迅速處理繁雜的時空資料，已成為水資源管理規劃極佳的輔助工具。因此，政府單位乃以水資訊之概念積極串連資料庫系統，整合地理資訊系統與先進的水資源分析模式，而發展功能強大的水資源決策支援系統，期能有效地協助水資源管理相關工作之推動，以提供政府決策者擬訂政策之參考。本文特將該系統之發展、建置與應用成果加以介紹，內容包括系統發展目標、建置架構、系統組成與現階段功能及其應用成果等。

一、前言

水資訊係字譯於 Hydroinformatics，為一快速發展的新學門，其係利用近年來資訊發展的科技，整合知識與對於水量、水質之瞭解並應用數學模式與先進資訊科技工具，主要用於解決都市、內陸及近海水體有關水力、水文及環境之問題，進而提升水產業之決策品質。水資訊之範圍除了資料之取得、儲存、處理、分析與圖形展示的方法外，並包括先進模式與模擬、優選及智慧型的工具之使用，與水體環境及水工建造物之系統規劃和管理。1960 年代末，由於有效之數值方法與快速之電腦技術的應用，解決了水力學中的一些複雜與非線性流體方程式之問題。而可藉以預測因自然或人為因素，所造成的環境變化而改變水位與流量的能力，提高在工程研究的可靠度。如今全球性資訊革命的結果，已經改變傳統應用於水力、水文及環境系統的規劃、設計與決策之方式。具有超強能力之複雜電腦的通用性，提升計算功能之繁雜度，並可儲存、存取、控管與傳遞大量的資訊。水資訊即用以研究有關資訊流通於水體間之物質、介質及水與自然或人為環境間之相互之作用。傳統的水力計算模式提供有價值的水量與水質之相關資訊，經由標準的電腦計算模式之結果，用來研究一些其他衍生相關之議題。這些訊息必須加以敘述與估計任何已知水體之狀況，當然亦需考慮許多包含社會、法令及環境陳層面之因素。有關任何行諸於水體之計劃，其所導致物理性、社會性與環境的改變，皆需在計劃執行前加以決定。而水資訊即提供解決上述問題並具計算功能之決策支援系統，目前於國際上已廣泛為水利單位、工程顧問與政府機構所應用。為配合潮流推動台灣有關水資訊科技之應用，經濟部水資會(水資源局前身)於 1991 年起以國際合作方式，推展台灣水資源

決策支援系統之建置計畫，茲將其系統、功能、應用成果與未來展望略述如下，以供各界參考。

二、系統發展目標

近數十年由於台灣社會及經濟發展的需求，與外在環境的快速改變，水資源在國家政策之擬定，逐漸扮演著重要之角色。台灣位處亞熱帶，雨量豐沛，惟降雨在季節及區域分配不均勻，加上河川坡陡流急，年平均約 668 億立方公尺之逕流量，僅有 23%(含河川引水量及水庫運用水量)得到充分利用。由統計資料顯示，地表逕流雖仍有開發的空間，但隨集水區環境的人為破壞、河川水質的逐漸污染、以及水資源開發成本的日益高昂，過去廉價開發大量水資源的因素已不復存在，而台灣水資源的利用與管理，勢必由供應導向(supply oriented)改為需求導向(demand oriented)。因此，考量提升運用效率，如何將有限之水資源在全球氣候變遷之影響下，確保各標的用水能合理有效的分配，乃為當前政府面臨的挑戰。

然而在進行水資源整體調配管理時，往往面臨大量即時性資料的處理與分析工作，其資料多涉及繁雜的時間與空間分佈特性，且分散各處，亟需仰賴有效的資料供應系統串聯分散性資料庫，以快速擷取所須資訊。由於地理資訊系統具有迅速處理繁雜的時空資料之特性，為水資源管理極佳的輔助工具。因此，台灣水資源決策支援系統之發展乃嘗試結合資料庫供應系統、地理資訊系統技術與先進的水資源分析工具、電腦網路與電子通訊技術，藉以協助政府即時性、全面性水資源管理技術之提升，解決台灣水資源利用與管理所面臨之問題，繼而達到資源、人力與經費整合運用之目標。

三、系統建置架構

完整之決策支援系統係由資料庫、模式組及相關輔助系統等要素所建構而成，其架構示意圖如下。而台灣水資源決策支援系統即依序發展，完成相關之系統如：以最先進之電腦網路技術建立水資源資料供應體系，透過國際合作引進功能強大之分析模組，利用地理資訊系統及資料庫管理技術之輔助界面，展示分析成果。

四、系統組成與功能

(一)、資料庫

1、水文水資源資料管理供應系統

為因應水資源規劃模式所需輸入龐雜的資料，本系統乃依據資料的不同特性及用途，將相關資料分成空間性的地理資料與時序性的實測資料等二大類。該系統組成主要為分散性資料庫串連及資料查詢系統兩部分，而系統建立之流程為：蒐集水資源相關基本資料、資料彙整與分析、水資源資料庫正規化分析與建立開放式資料共通存取及應用機制等步驟。有關水資源資料庫之建置，自 2000 年起至 2003 年將先後完成台灣北、中、南、東等區域關於空間性及時序性之資料，包含氣象、水文、水資源、社經資料等。目前已完成 GIS 圖層資料計 79 項，時序性資料計 39 項。而促進資料之互通共享，以最新的資訊網路技術，利用最佳電子資料交換格式 XML，建立開放式資料共通存取及應用機制。該系統可經由 Web Service 提供伺服器端跨越網際網路給客戶端的服務，或者由客戶端跨越網際網路要求伺服器端提供服務。並藉 Simple Object Access Protocol, SOAP, 改善使用 Web 與 XML 的跨平台溝通機制，讓使用者能夠使用 XML 呼叫 Internet 上遠端電腦，透過 XML Web Service 取得即時資料。本系統 XML Web Service 架構如圖 XX 所示，目前建立 Web Service 之單位包括中央氣象局、台灣自來水公司等，其共享之資料項目有水文、氣象、水庫及用水等資訊。

(二)、模式組

為加強國內對於執行國家層次與流域層次之水資源規劃分析與管理之能力，前經濟部水資會(水資源局前身)於自 1985 年奉部長核准與荷蘭戴伏特水工所(Delft Hydraulics)技術合作，引進整合性分析工具，研擬水資源經理綱領計畫。該技術合作分兩階段進行，第一階段自 1985

起至 1991 年 5 月止共六年半，各以三年分兩期進行。第一期自 1985 年起至 1987 年，第二期自 1988 年 6 月起至 1991 年 5 月完成模式系統建置。而第二階段合作則接續進行系統維護更新至 1998 年 4 月止。第一階段第一期合作計畫主要工作為流域計算架構之建立，研究區域為高屏河流域，第二期則為加強整體計算架構之分析功能，並完成淡水河流域相關應用之分析報告，且擴充其分析範圍至南部地區。除此之外，亦發展國家層次計算架構，期能應用於水資源經理綱領計畫之分析與研擬。

水資源利用趨勢已由單一河川轉為區域水資源計畫，此種方式係配合整體社會及經濟發展，進行全盤性水資源管理與調配計畫，以達到資源最佳利用。為有效運用區域水資源，前水資會曾多年與荷方 Delft Hydraulics 合作建立一系列整合性水資源規劃模式，並結合地理資訊與相關分析工具，研發水資源決策支援系統以資應用。現階段已完成數項實用之模組，然而因應未來愈趨複雜之水資源問題，亟需加強中荷雙邊技術合作，以配合實際業務之需求，繼續推動台灣水資源決策支援系統建置計畫。乃由水資源局於 1999 年 10 月，中荷經貿諮商會議提出合作議題，經雙方同意合作項目為：1、更新水資源管理計算架構之模組至最新版。2、建立水力計畫以進行防洪控制。3、建立集水區模式以進行集水區保育與管理。4、應用模組化系統。5、發展台灣水資源決策支援系統。為使水資源決策支援系統功能多元化，目前建置相關模式依其功能可分為：水資源規劃(RIBASIM)、水理演算分析(SOBEK)及災害預警(FEWS)等三大類，茲將各類別之模式功能依序介紹如下。

1、水資源規劃模式(RIBASIM)

目前完成的整合性水資源規劃模式，可做為區域性及流域性水資源規劃與分析之工具。並依據多年的實際應用經驗，持續進行局部修改使其更加符合臺灣水資源規劃之實際需求。該模式係由多項子模式組成(如圖 1 所示)，包括：公共用水需求模式(PRODIS)、用水需求後處理模式(POSTPR1)、農業分區模式(ADIMO)、河川流域模擬模式(RIBASIM)、污染物產生模式(WASPRO)、河川水質模擬模式(DELWAQ)、區域評估模式(REMIA)、區域評估益本分析模式(BC REMIA)等。規劃模式群負責準確地推估各標的用水量及河川水質之變化情形，以及演算不同水資源調配方案之可能結果。

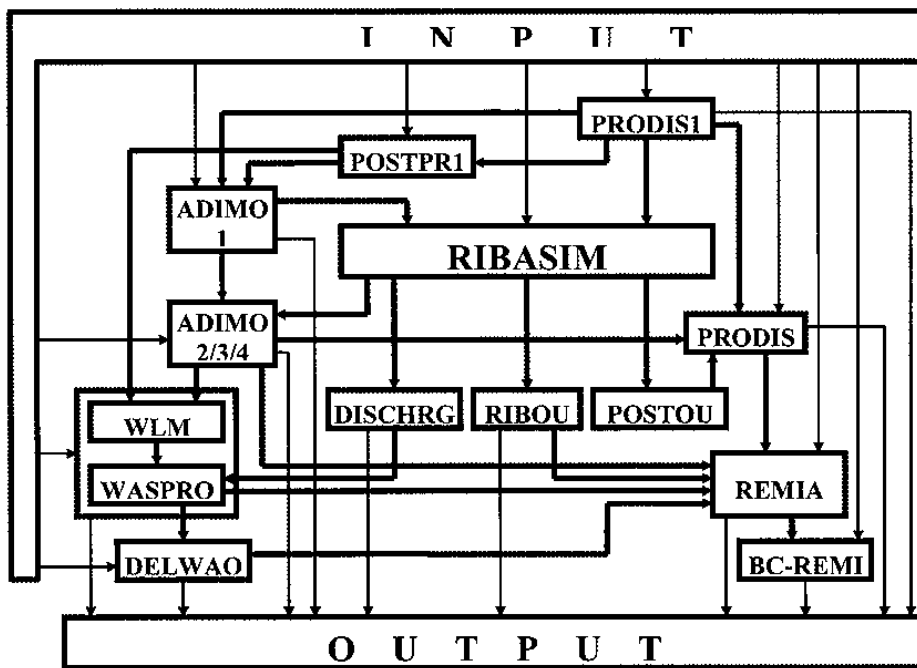


圖 1. 水資源規劃模式計算架構圖

2、水理演算分析(SOBEK)

SOBEK 係由荷蘭 Delft Hydraulics 所發展，為一套整合河川、都市排水系統與流域管理的套裝程式。SOBEK 依應用範圍區分為 SOBEK Rural, SOBEK Urban 及 SOBEK River, 三套模式包含降雨逕流、河道演算、漫地流演算、水質模式、輸砂計算、鹽分入侵及即時控制等模組。SOBEK 模式可應用於河川、都市下水道系統的水理計算及都市淹水區域的模擬等，對於水資源管理及災害應變，即時提供決策與分析所需之資訊。

SOBEK 系統軟體系列中，提供河道演算 (Channel Flow, 簡稱 CF) 與漫地流演算 (Overland Flow, 簡稱 OF) 的模組，經由輸入河川斷面、水工結構物、堤防... 等模擬時所需要的資料後，即可計算河川水位與淹水水深。並用以分析：洪災管理、疏散規劃、洪災損失評估、風險分析與景觀、公共設施或都市規劃。

SOBEK 系統以專案 (Project) 管理的觀念進行檔案與模擬個案的控制，對於同一個模擬區域而言，可以如淡水河流域、濁水河流域等設置一獨立專案。而特定專案下則可包含許多分析個案 (Case)，個案係依模擬區域中，每場不同事件之情境如納莉颱風個案、賀伯颱風個案等而設定。模擬情境的設定內容需包括地文資料的整合與水文資料的設定，SOBEK 系統的整體架構及相關操作介面如圖 2-1~3 所示。由圖可知，SOBEK 於資料與模擬的管理上，是以階層式的概念對所有的資訊加以控管，讓使用者易於了解，且容易管理。

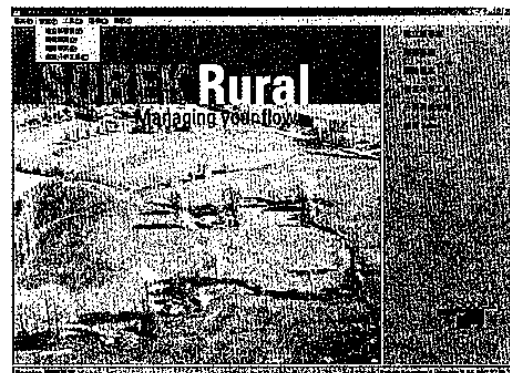


圖 2-1 SOBEK 系統畫面

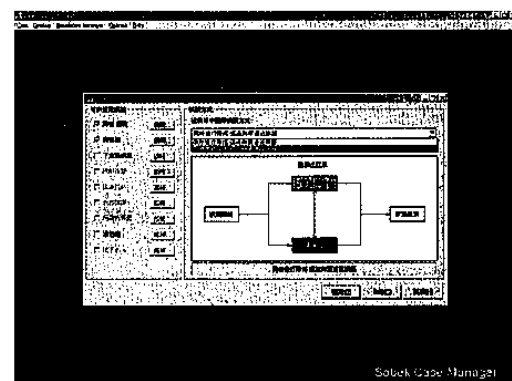


圖 2-2 「模式相關設定」介面



圖 2-3 NETTER 網絡編輯視窗

3、災害預警(FEWS)

荷蘭 Delft Hydraulics 為因應洪水預報即時性之需求，乃將水文水理模式與即時觀測資料，透過網路化加以整合，而發展 DELFT-FEWS (Flood Early Warning System)系統(圖 3)。依使用者之需求，可將 SOBEK 等模式架設於該系統中，目前已被廣為應用於歐洲各地包括萊茵河流域及印度等地區，作為洪水預警策略(flood alert strategies)之作業系統。

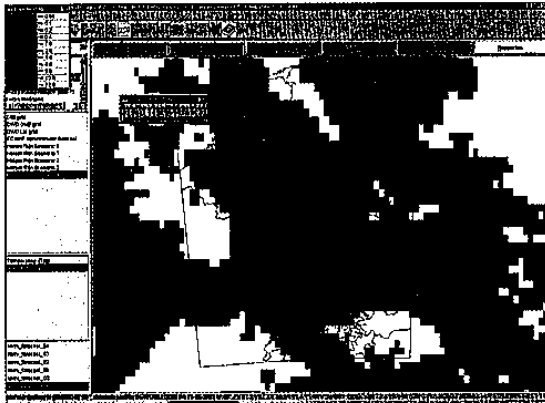


圖 3. FEWS 模擬萊茵河_易北河 2002 年夏季洪水

DELFT-FEWS 為一開放性架構之平台，可依使用者需求結合各種不同之模式，系統模組包含了資料庫模組(Database module)，資料匯入模組(Import module)，驗證模組(Validation module)，模式封裝模組(Model wrappers)，報告輸出模組(Report module)，及使用者介面(User Interface) (如圖 3-1)。模式整合 GIS 系統，能夠連接 PC-Raster 與 Arc-View 進行 GIS 圖層的建立與編輯。並在將資料同化技術與卡門濾波應用於洪水預警之模擬，可於系統中即時修正(如圖 3-2)。

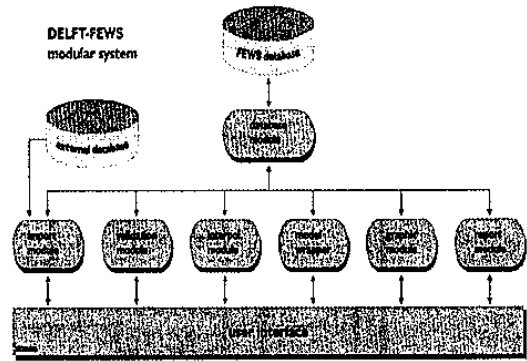


圖 3-1 FEWS 系統模組圖

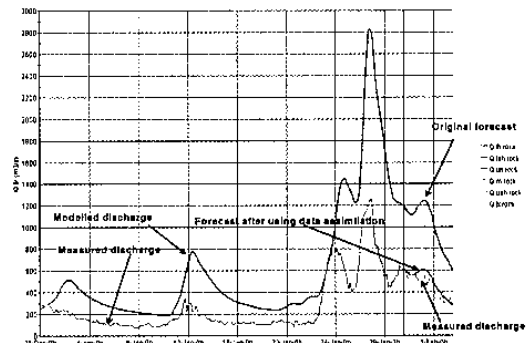


圖 3-2 FEWS 利用資料同化與卡門濾波修正流量

與強調運算功能的 SOBEK 不同之處，DELFT-FEWS 配合資料庫運用、結合水文水理模式並整合線上即時資料，將主要所欲解決的問題，鎖定在如何將大量的資料(data set)進行整合，並將這些即時資料處理後匯入現有模式中。目前在 DELFT-FEWS 的資訊蒐集系統中，已能匯入天氣預測、雷達資料、線上天氣與水文觀測資料等項目。DELFT-FEWS 系統功能完備，其系統之自動化已包括一些重複性的動作，如資料整合、驗證、轉換等均可自動完成。當蒐集到的資料出現錯誤或有缺漏時，DELFT-FEWS 自動提供可能的解決方式，對資料進行修正或補遺。其對資料進行整合的方式，係將來自各單位各種不同格式的資料(如水文量測與氣象資訊、即時雷達資料、天氣預報資料、水文水理模式演算結果)，利用開放式的架構，串聯各式獨立的模式並藉資料的轉換介面，加以傳輸與整合。DELFT-FEWS 之系統架構，如圖 3-3 所示。因其為一套整合各模組的開放式系統，可讓使用者容易在該系統中建置個別流域的地文基本資料。而在預報模組，介面具有引導功能，讓使用者根據系統設計之作業介面，順利完成洪水預報，並提供 HTML 網頁格式之報表及警報單之製作。

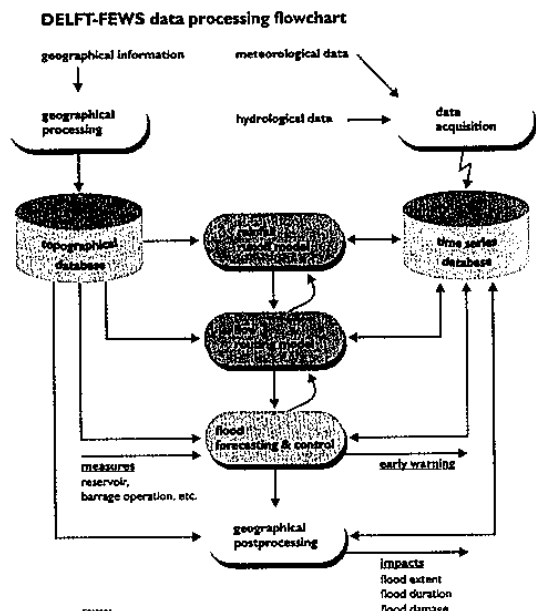


圖 3-3 DELFT-FEWS 系統架構流程圖

(三)、輔助系統

為使台灣水資源決策支援系統經由水資源資料供應體系，方便運用龐雜之資料庫，結合功能強大之分析模組，展示分析成果，乃利用地理資訊系統及資料庫管理技術建立相關之輔助系統，其中包括資料管理介面(HYMOS)與流網編輯介面(NETTER)。

1、資料管理介面(HYMOS)

HYMOS 為一資料庫管理系統，結合 GIS 技術，專為水文時序性資料之儲存、擷取、分析與結合模式應用等目的而設計。其主要功能包括：時序性資料匯入、驗證，率定曲線建立，資料統計分析，報告編製及資料格式轉換與輸出可供上述水資源規劃(RIBASIM)、水理演算分析(SOBEK)及災害預警(FEWS)等系統直接引用。

2、流網編輯介面(NETTER)

NETTER 可利用數位圖資建立一維流網與二維格網，供使用者準備模式所需之模擬架構。其主要架構係由點與線所組成，點依不同架構設定其物件種類，線則為兩點間之連結，可用以計算其間之傳輸量。NETTER 結合 GIS 技術，藉數位地圖為背景圖層，可清楚且容易建置實地模擬架構，如圖 4 所示。

當 NETTER 編輯流網或格網元素之屬性，係將其座標編輯與視覺化部分分開。針對任何網路編輯其地理性物件時，NETTER 提供不同用途的介面如 DDE 或 OLE 與工具箱，允許使用者應用自行建立資料編輯，如圖 4-1。與一般通用的地理資訊系統不同，NETTER 配合模式模擬時距較長之需求，於結果視覺化之展示上，加強其功能，使用者可依照不同之時間段，展示模擬架構中之各項模擬成果。視覺化之展示

則包括動態展示與錄影展示，如以線條粗細代表流量大小，箭頭走向代表流速之方向或以不同顏色代表各河段不同水質之濃度等，如圖 4-2。

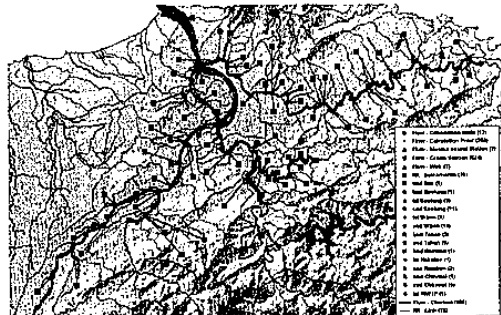


圖 4. NETTER 建置實地模擬系統架構

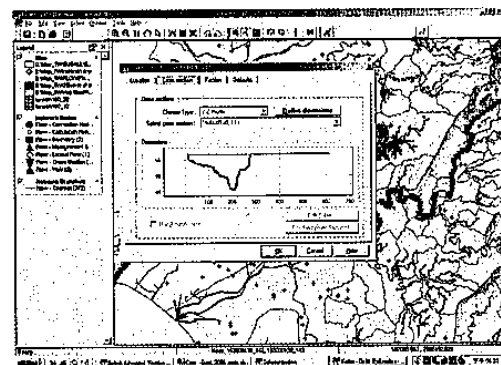


圖 4-1 NETTER 建立資料編輯

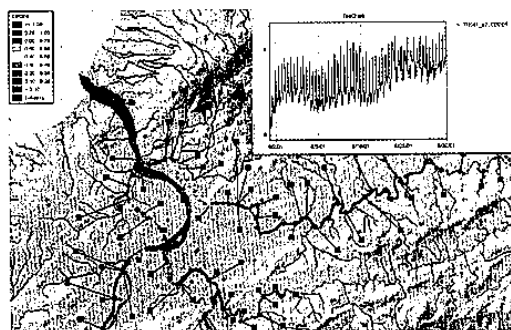


圖 4-2 NETTER 以顏色代表各河段之水質濃度

五、應用成果

台灣水資源決策支援系統，經多年之發展與應用於淡水河流域之相關問題，茲將其成果略述如下：

(一)、水理演算分析(SOBEK)

SOBEK 應用於淡水河水理演算，針對河道演算模組之輸出與輸入資料進行前處理與後製作之功能測試，並以 2000 及 2001 年之象神與納莉颱風事件對淡水河流域進行模式校正與驗

證，以瞭解 SOBEK 模式於台灣河川氾濫事件之應用狀況，繼而分析 200 年頻率洪水對淡水河流域之影響，如圖 5.5-1。

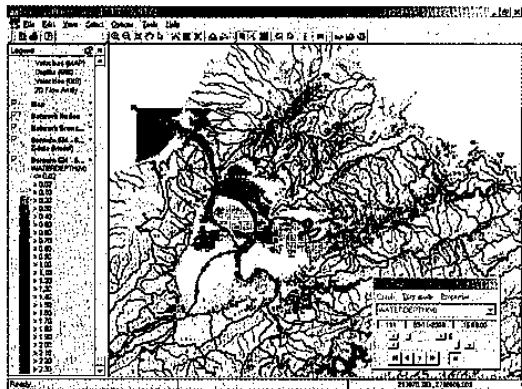


圖 5.象神颱風淹水模擬—網格 160m

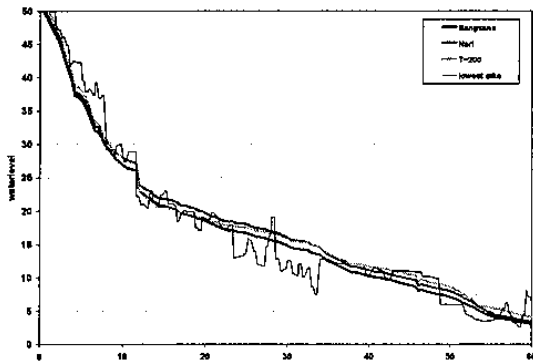


圖 5-1 基隆河各種不同事件河川最高水位之比較

(二)、水資源規劃模式(RIBASIM)

台灣水資源決策支援系統中有關水資源規劃模式(RIBASIM)，經多年科技合作計畫之充份檢討、確定分析主題並適度修改模式使其本土化，以適應臺灣之流域特性。水資源規劃模式包括 RIBASIM、ADIMO、DELWAQ 等主要模組，有關模式於淡水河流域之應用，皆以 1986 年為模擬之基準年，進行各模組之校正，並利用 1987 年至 1989 年相關資料驗證模式之可靠性。其中 RIBASIM 模擬水庫操作與河川流量之變化，ADIMO 模擬農作物需水量，DELWAQ 則模擬河川水質之變化。各模組之模擬結果與實測質皆頗相近，充分顯示本模式已能掌握淡水河流域之水資源運用狀況。相關模式之應用除淡水河流域外，並已擴展至其他流域，測試成果頗佳可做為區域性及流域性水資源規劃與分析之工具。圖 5-2 係以最新版本之 RIBASIM，對石門水庫歷年之操作與水量運用及調配加以模擬，以進而探討乾旱對策。

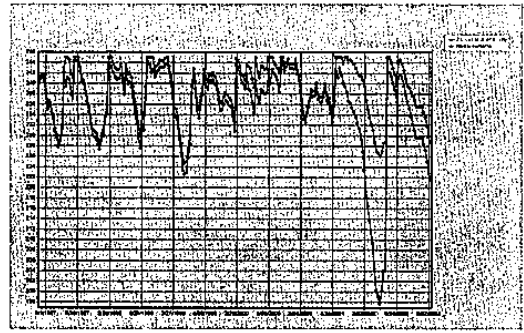


圖 5-2 石門水庫歷年水量運用及調配之模擬

(三)、災害預警(FEWS)

FEWS 為台灣水資源決策支援系統中較晚發展之項目，其應用仍先以淡水河流域為示範區，目前已完成系統建置及功能測試包括與資料庫、SOBEK 模式之連結等，初步成果如圖 5-3~4。

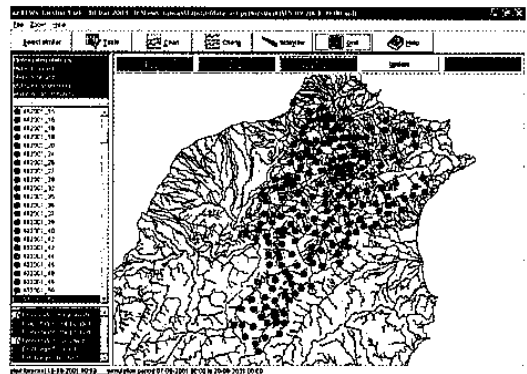


圖 5-3 FEWS_TANSUI 系統介面

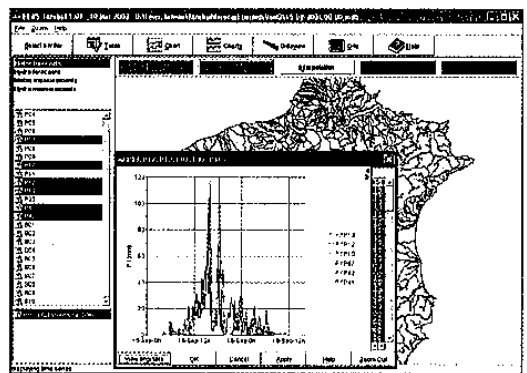


圖 5-4 FEWS_TANSUI 資料展示介面

六、結論與建議

(一)、水資源決策支援系統在中荷雙邊技術合作中，經充份檢討、確定分析主題並適度修改模式使其本土化，以適應臺灣之流域特性。目

前已完成水資源規劃模式，並經淡水河流域與其他流域之測試，成果頗佳可做為區域性及流域性水資源規劃與分析之工具。近年來陸續完成 SOBEK 及 FEWS 評估與測試，實用成果頗佳，值得推廣。

(二)、水資源決策支援系統現階段已完成數項實用之模組，然而因應未來愈趨複雜之水資源問題，亟需加強其系統功能包括：1、整合性流域水資源經理計算模組功能擴充與更新。2、結合集水區模式以模擬集水區保育與管理策略。3、增加水力演算功能以模擬洪災防治策略。4、研發系統模組化功能以加強該系統之應用彈性。5、結合空間圖形展示與策略分析技術以強化水資源決策支援系統之功能。方能配合整體社會及經濟發展與環境保育之考量，進行全盤性水資源管理與運用計畫，以達到資源最佳利用。

參考文獻

Delft Hydraulic, June, 1991, "National Master Plan for Water Resources Management", Report prepared for Water Resources Planning Commission, MOEA, Taiwan.

洪銘堅(12.1996), "水資源整合性規劃模式應用研究—淡水河流域水質管理", 第四屆海峽兩岸環境保護學術研討會, 中壢市, 中央大學, 817-825。

金紹興、洪銘堅(7,2001), 「水資訊科技」, 土木技術, 第 41 期, 43-56。

Horng, M.J., Brinkman, J.J., van Heeringen, K.J., Prinsen, G. and van Dijk, M., March, 2003, "The Development of Decision Support System for Water Resources in Taiwan (3/5)", Mission report prepared for Water Resources Agency, MOEA, Taiwan.