

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

永續發展知識管理系統建立之整合成果呈現推動計畫

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2621-Z-002-031-

執行期間：93年08月01日至94年09月30日

執行單位：國立臺灣大學環境工程學研究所

計畫主持人：於幼華

共同主持人：廖述良，張慶源，邱祈榮，朱子豪

計畫參與人員：高正忠、李培芬、何瓊芳、童慶斌、張揚祺、李育明、闕蓓德、
張益誠、余瑞芳、商能洲、廖卿惠

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 11 月 30 日

永續台灣的願景與策略研究

永續發展知識管理系統建立之整合成果呈現推動計畫

執行單位：國立台灣大學環境工程學研究所 計畫編號：NSC 93-2621-Z-002-031

計畫主持人：於幼華

共同主持人：廖述良、邱祈榮、張慶源、朱子豪

研究參與人員：高正忠、李培芬、何瓊芳、童慶斌、張揚祺、李育明、闕蓓德、張益誠、余瑞芳、商能洲、廖卿惠。

聯絡方式：台北市舟山路 71 號 台灣大學環境工程學研究所

計畫摘要

永續發展資訊系統工作團隊在過去第一階段的三年計畫，已初步完成環境資料庫（以詮釋資料庫之方式）之建置，並轉移給國科會科資中心，做為學術界使用之窗口。第二階段的三年計畫，以『污染防治』、『自然保育』、『資能源善用』及『資訊工具』四個工作分組方式來進行淡水河流域、高屏溪流域與濁水溪流域之『永續發展知識管理系統』的建立。本年度之計畫執行，不拘泥於過去在四個工作分組之方式進行，改以針對三大流域之環境知識庫所建立的成果，綜合整理而出，並預計集結出書（書名暫訂：台灣三大流域居民之生活環境近況），以作為本年度工作成果呈現的重點，以對『永續發展知識庫』之建立做出計畫之最後整理與總結。此出書計畫的內容包括應用永續發展知識管理系統之建置資料，以及三大流域之環境資料整理分析，此參考書籍，可以幫助使用者及一般讀者獲取三大流域之永續發展環境知識的淺入深出，並具系統性的整理，教導活用環境資料庫上的知識。

此出書計畫的主要方向為活用永續發展知識庫之建置資料，首先分別就三大流域之人文與史地篇介紹，以軟性史地資訊為出發點，進而以生物多樣性 GIS 資料庫的成果，概覽流域生態，及就農林漁牧物質流情境分析與動態模擬，描述出各流域的產業特色，並就各流域農業資源善用評估及以貿易史談論環境管理系統與經濟效益分析。另外，運用各流域水體水質資料庫、各流域之水資源利用與廢棄物質量之特性研究，討論該流域河川的水文與水質與居民生活用水所需及其型態，並針對各流域水資源系統之累積性影響與承载力、水資源永續發展指標、氣候變遷之永續性等，用以評估該流域之水資源利用之永續性；並設專章討論海域永續指標之發展及其沿海海域環境之永續性。

關鍵詞：環境資料庫、永續發展指標、永續發展知識庫、知識管理系統、淡水河流域、

高屏河流域、濁水河流域。

一、 前言

為因應國家永續發展管理決策之需求而著手推動的永續台灣的願景與策略研究之計畫，在永續發展知識管理系統建立的面向，本工作團隊在過去第一階段的三年計畫，已初步完成環境資料庫（以詮釋資料庫之方式）之建置，並轉移給國科會科資中心，做為學術界使用之窗口。第二階段的三年計畫，以『污染防治』、『自然保育』、『資能源善用』及『資訊工具』四個工作分組方式來進行淡水河流域、高屏河流域與濁水河流域之『永續發展知識管理系統』的建立。而這個龐大的系統建置工作，至今已累積到了第七年的研究時間，在整體的架構上已有相當的規模。本計劃過去永續發展知識庫的研究內容主要包含：(1) 永續發展知識管理系統之建置、(2) 土地利用知識管理系統、(3) 自然資源資料庫之建置、(4) 資能源資訊系統等，經由各組的協調與分工，已陸續建置完成，使在提供未來在環境資料庫的擴充與永續發展知識庫的建構上更具系統性與便利性。

本年度之計畫執行，不拘泥於過去在以『污染防治』、『資訊工具』、『自然保育』及『資能源善用』四個工作分組之方式進行，改以針對三大流域之環境知識庫所建立的成果，綜合整理而出，並預計集結出書（書名暫訂：台灣三大流域居民之生活環境近況），以作為本年度工作成果呈現的重點，並對『永續發展知識庫』之建立做出計畫之最後整理與總結。此出書計畫的主要方向為活用永續發展知識庫之建置資料，並以三大流域（泱泱的淡水河流域、滔滔的濁水河流域與綿綿的高屏河流域）為範疇，以「流域人文與史地篇」、「流域生態概覽」、「流域的產業特色」、「流域河川的水文與水質」、「居民生活所需—以用水為例」、「居民生活對環境的影響—以污染物排放為例」與「流域資訊之整理現況與未來」等主題，來作為此永續發展知識管理系統建立之整合成果的呈現。以下除了就成果作摘要式的整理以外，將於附件中摘錄書籍中部份的內容。

二、 三大流域人文與史地篇介紹

2.1. 淡水河流域人文與史地篇介紹

本研究用已經建立之淡水河農、林、漁、牧業物質流分析之資料庫系統。作為估算區

域農、林、漁、牧業物質使用密集度及其他環境相關密集度等指標的基線資料，反映出 1986 ~ 2000 年之間淡水河流域環境變遷、物質量變化、及發展狀況。提供永續發展指標量化之依據參考。

經濟發展後，淡水河流域非農業部門就業機會增加，淡水河流域農業就業人口、農戶率、及農戶人口數佔總人口數比例之減少，亦屬必然發生的現象，是經濟進步的象徵，也是農業對其他部門貢獻之一。如果在經濟發展後，農業勞動力並未顯著減少，則農業勞動生產力就無法提高，農民所得也就更為偏低。所以當農業勞動力減少時，不必在如何維持農業勞動力上著力過多。政策重點應該在如何調整農業的生產及經營方式。

淡水河流域之稻作面積比由 1986 年的 34 % 下降至 2000 年的 10 %。稻作產量比之由 1986 年之 1.43 % 下降至 2000 年之 0.65 %。稻作產量面積由 1986 年之 3.71 公噸/公頃上升至 2000 年之 5.06 公噸/公頃。前列各項所示都在在顯示淡水河流域已成為一個高度開發的區域，已漸漸不發展稻作生產，係對台灣地區的稻作產量貢獻日趨減小的地區。但由稻作產量面積指標也顯示出近年淡水河流域地區已漸漸提高農地資源的有效利用。淡水河流域農林漁牧物質需求 (MAFFiL) 從 1989 年之 499,559 tons 隨時間呈下降趨勢。但到 1991 年 (280,407 tons) 之後逐年微幅上升，至 2000 年時淡水河流域農林漁牧物質需求量約 442,436 tons，顯示淡水河流域農林漁牧物質需求日益增加。

淡水河流域農林漁牧物質使用密集度由 1989 年的 617.78 kg/106 NT\$ of GDP 逐年下降至 2000 年的 304.1 kg/106 NT\$ of GDP，減少約 54.78 %，其中又以 1998 年的 246.82 kg/106 NT\$ of GDP 為最小值。另外，其每單位農業 GDP (GDPAFFiL) 農林漁牧物質需求量由 1989 年 40.52 tons/106 NT\$ of GDPAFFiL 降至 1993 年 21.81 tons/106 NT\$ of GDPAFFiL，下降約 46.17 %。顯示淡水河流域之農林漁牧物質使用量並未隨著經濟成長而比例增加，淡水河流域境內民眾的農林漁牧物質善用效率非常顯著。亦可表示淡水河流域農業有朝著永續的理念前進、農業轉型成功，因為發展高附加價值的農產品，以及重質不重量的觀念，皆會使 MAFFiL/GDPAFFiL 減小。

2.2. 濁水河流域人文與史地篇介紹

本研究透過政府農業統計年報，建制「濁水溪流域農林漁牧物質流資料庫」，分析濁水溪流域歷年來農林漁牧資源的變化情形，找出濁水溪流域農業資源總產量與其變化範圍，並確認影響濁水溪流域農業資源變遷的關鍵性因素。主要採用的相關農業產量資料主要係依據行政院農業委員會出版的農業統計年報，及濁水溪流域內各行政區縣市政府出版的統計要覽，搜集並彙整 1987 年至 2002 年農、林、漁、牧物質資料。

(1) 總農業物質生產情形

圖 2.1 顯示濁水溪流域農業總物質產量之年變化趨勢。其值介於 3.65~4.33 百萬公噸之間，整體而言，其變動幅度不大，總產量趨勢呈現略微上升，平均每年增加 3 萬 4000 公噸之農業物質產量。

若分析農、林、漁、牧等四大生產類別之生產百分比可以發現，影響農業總產量的關鍵因素為農作生產(如圖 2.2)。歷年之農作生產百分比介於 80~89%，但農作生產百分比從 1987 年開始逐年下降。另一方面，畜牧生產百分比從 1987 年以來有逐年上升的趨勢，由 1987 年的最低值 8.67%，上升到 1997 年的 15.87%。在 1997 年爆發豬隻口蹄疫之後，畜牧百分比驟降，但目前有回升的趨勢。漁業生產百分比有逐年上升的趨勢，但上升幅度較小，由 1987 年的最低值 1.97% 上升到 2001 年的最高值 2.33%。林業生產百分比則呈逐年下降的趨勢，由 1988 年的最高值為 0.53%，下降到 2002 年的最低值為 0.02%。

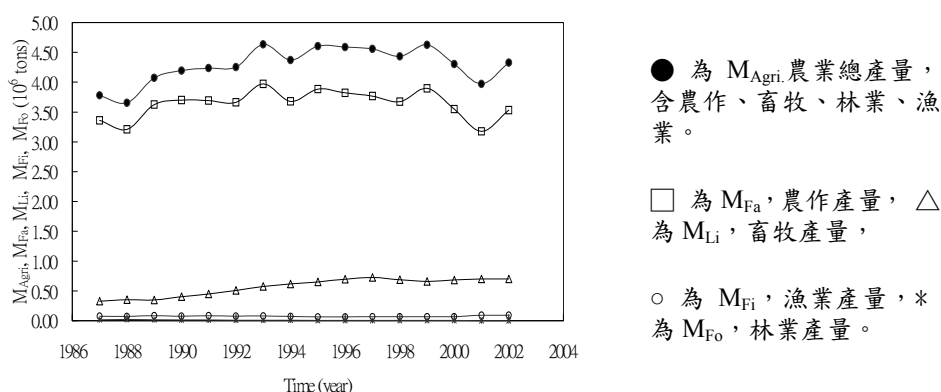


圖 2.1 濁水溪流域農業總產量圖

由生產百分比可知，濁水溪流域的農業活動雖然仍以農作生產為主，但畜牧生產、漁業生產的百分比有逐年上升的趨勢，顯示未來在濁水溪流域的農業活動中，畜牧、漁業生產將佔有更重要的角色。

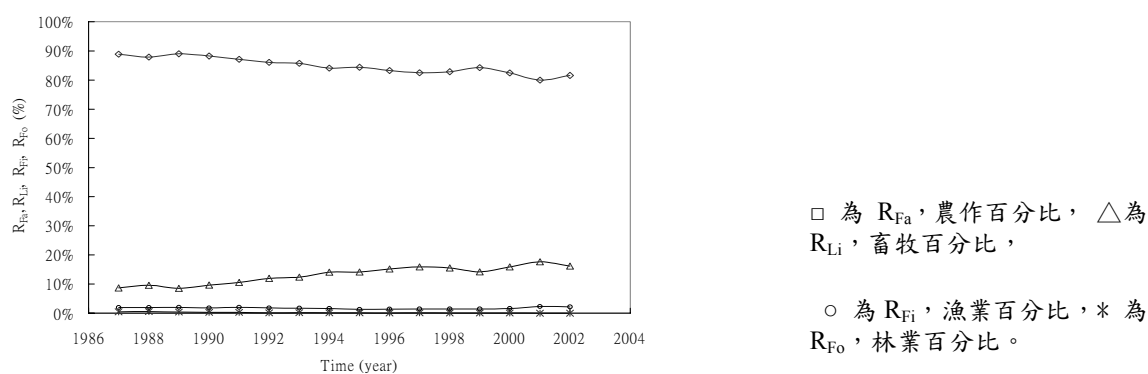


圖 2.2 濁水溪流域農業總產量百分比圖.

目前影響農作生產的關鍵因素為蔬菜產量；另外，濁水溪流域的稻米產量呈現長期緩慢下降趨勢。影響畜牧生產的關鍵因素為豬隻產量，呈現穩定趨勢，趨近市場飽和狀態；但在畜牧生產中的蛋類產量與家禽肉品產量有逐年上升之趨勢。由於蛋類產量與家禽肉品產量都屬於「家禽飼養業」，表示濁水溪的畜牧產業在豬隻方面維持穩定，在新增加的部分則是以家禽飼養為主。

(2) 農地與稻作

濁水溪流域之稻作面積比歷年最高值為 1987 年 32.1% 值，至 2001 年時為最低值 23.8%，平均值為 26.2%，整體呈現減少趨勢，顯示該流域漸漸不發展稻作生產。在相同指標比較下，淡水河流域最高值為 1986 年 34.3%，最低值為 2000 年 10.2%，平均值為 17.6%；高屏溪流域最高值為 1987 年 43.1% 值，至 2001 年時為最低值 18.6%，平均值為 26.3%。故可知此三大流域的稻作面積都有日趨減小的趨勢。

就濁水溪流域的稻作產量面積比（圖 2.3）發現：濁水溪流域的稻作產量面積比最高值為 1995 年 17.23 公噸/公頃，最低值為 1987 年 12.05 公噸/公頃，平均值為 14.81 公噸/公頃。比較淡水河流域與高屏溪流域的稻作產量面積比可以發現：濁水溪流域流域稻作產量面積遠高於淡水河流域與高屏溪流域，亦可顯示濁水溪流域歷年平均之稻作生產力為最優，的確是台灣農業的穀倉。

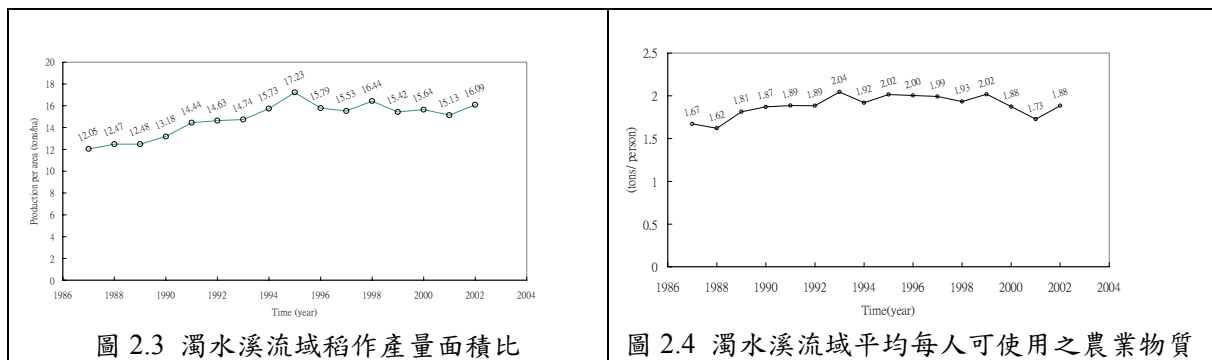


圖 2.3 濁水溪流域稻作產量面積比

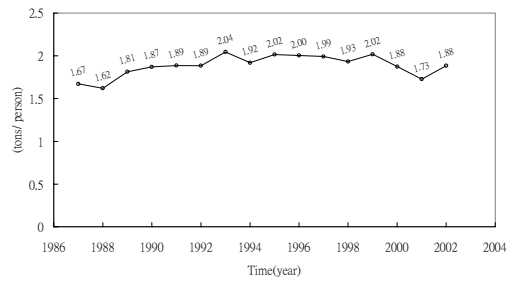


圖 2.4 濁水溪流域平均每人可使用之農業物質

(3) 濁水溪流域農林漁牧物質生產密集度

圖 2.4 為濁水溪流域之每人平均可使用之農業物質之年變化趨勢。結果顯示並沒有明顯地上升或下降趨勢。僅在 2000~2002 年有較大的波動，表示濁水溪流域之民眾，每人平均可使用之農業物質數量充足且穩定

2.3. 高屏溪流域人文與史地篇介紹

(1) 農地與稻作

由於相關資料僅涵蓋 1986~2001 年間，故本研究主要就農戶耕地面積比作歷年趨勢探討。歷年來每戶農家大都擁有 1.1 公頃至 1.2 公頃不等之耕地面積，歷年變化趨勢十分穩定。每戶農戶耕地面積比為 1.3 公頃/農戶。至於，高屏溪流域農業人地比則大都維持在每千名農業勞動人口就擁有 400 公頃至 487 公頃之耕地面積。高屏溪流域稻作種植面積比約介於 19%~43%間；稻作產量則介於 70,065 噸至 158,462 噸，且逐年遞減。

(2) 其它農業活動

高屏溪流域林業造林活動近來逐漸活絡，平均每萬人造林面積數量多維持在 1.7 至 6.4 公頃之間。另就漁業而言，高屏溪流域漁戶率皆維持在 1.7~2.6 %間波動。養豬畜牧活動方面，若以一隻豬重量約為 112 kg 計算。高屏溪流域豬隻總重由 1987 年的 93,067 tons，到 1996 年時竄升為 203,218 tons，之後因為爆發口蹄疫事件及環保署推動「養豬離牧與依法禁養政策」，到 2001 年豬隻的總重為 106,885 tons，較 1996 年減少 96,333 tons。

(3) 高屏溪流域農林漁牧物質使用密集度

高屏溪流域農林漁牧物質需求從 1987 年值較高為 1041,357 tons，至 1992 年時其生產量值較低，多介於 852,137~920,465 tons，變動幅度約在 10%區間。就農林漁牧物質每人平均使用值而言，其值在 1995 年最高為 1529 kg/person，而於 1992 年時為最低為 1082 kg/person。至於農林漁牧物質使用密集度趨勢方面，其值是介於 5,299~3,604 kg/106 NT\$-GDP 不等，其中又以 2000 年之值最低，僅 2,912kg/106 NT\$-GDP，因此農林漁牧物質經濟效益提升，亦可顯示高屏溪流域只要投入較少的農林漁牧物質生產量但卻可得到生產毛額提高之趨勢。

三、 三大流域生態概覽

3.1. 淡水河流域生態概覽

(1) 鳥類資料庫

本研究彙整歷年的研究文獻及調查報告，以 GIS 建立淡水河流域鳥類之分布資料庫及多樣性資料庫。在淡水河本流下游、大漢溪及基隆河與淡水河匯流處一帶，鳥類種類以冬候鳥為主，若依同功群屬性，則以水鳥為主。在前述調查區的鳥類相之區域差異方面，華江橋、華中橋和中正橋較為類似，其次是關渡和立農，社淡和成子寮。挖子尾和社尖則為較獨立的兩個調查站。前述調查區的鳥類相逐年變化似受到棲地變化的影響。在基隆河流域與淡水河本流下游區域，鳥類以留鳥為主，冬候鳥其次，若依同功群屬性，則以陸鳥為主。在前述調查區的鳥類相之區域差異方面，可發現各調查站的候鳥之種類與數量，從上游至下游呈現梯度變化。位於基隆河上、中游的 6 個樣站，即自強橋至成美橋的候鳥之種類與數量較少；自成美橋站以降，候鳥的種類與數量逐漸增加，尤其是中國海專至挖子尾間最高。水鳥的種類與數量之變化亦呈現此一趨勢。

(2) 魚類資料庫

由五年來所累積的資料中，可初步瞭解基隆河上、下游間曾採集到的魚種可能出現的頻度與數量。結果顯示，從自強橋至社后橋間，是初級原生淡水魚類的主要分布範圍。在基隆河的截彎取直河段，本土魚種受限於棲息環境遭到改變，加上沿岸匯入的廢污水干擾，遂難以像耐污染力強的外來魚種，得以苟延殘喘於相對惡劣的環境中。在大直橋採樣站以降，則逐漸出現隨潮水湧入的周緣性淡水魚類，其累計魚種在淡水河口的挖子尾採樣站達到最高的 36 種，惟多數魚種或僅在 5 年 12 次的採樣中偶

現身影，或僅有單一個體，因此恐難就此判定究為河道環境、洋流動態或氣候變遷的影響。累積五年的資料，漸能呈現生物組成隨水體環境而漸次改變的趨勢。

3.2. 濁水河流域生態概覽

本研究完成了濁水河流域各類脊椎動物的分布資料庫。此資料庫共包含鳥類 308 種、哺乳類 57 種、兩生類 28 種、爬蟲類 67 種、淡水魚類 38 種的 GIS 分布資料。將各主要分類群的 GIS 圖層套疊，計算每一個網格中所分布物種的豐富度，可瞭解各主要分類群在整個流域分布的大致情形。

鳥類以中海拔山區，以及河口地區的物種豐富度最高(圖 4.2a)，最多於單一網格中，包含 122 種鳥類。中海拔分布鳥種較多的情形應該與此區域繁殖鳥類較豐富有關 (Lee et al., 2004)。而河口地區較高的種豐富度，則反映出大城濕地確實是水鳥重要的棲息環境。

哺乳動物(圖 3.1b)則以低海拔與部分較高海拔的地區種類最多，最多在同一網格中有 36 種哺乳動物分布其間。由於哺乳類的調查因種類的不同而有不同的方式，例如針對大型哺乳動物多利用排遺或其他活動痕跡進行調查，而中小型哺乳動物則以捕捉方式進行，而針對不同種類的小型哺乳動物，所採用的捕捉方式也會有所不同，因而此資料庫所顯示的物種豐富度，可能會因為各地點調查方式的不同而受到影響。

兩生類的物種豐富度以低海拔的山區較高(圖 3.1c)，最多於單一網格中有 22 種兩生類的紀錄。爬蟲類的種豐富度最高達到 34 種(圖 3.1d)，但分布則由低海拔至較高海拔的山區皆有，並未有明顯集中於某一海拔區段的情形。至於淡水魚類(圖 3.1e)的資料則相對較為缺乏，單一網格中出現最多的魚種為 19 種，以河川的中游豐富度較高，但此結果很可能是受到下游地區調查資料較少的影響。

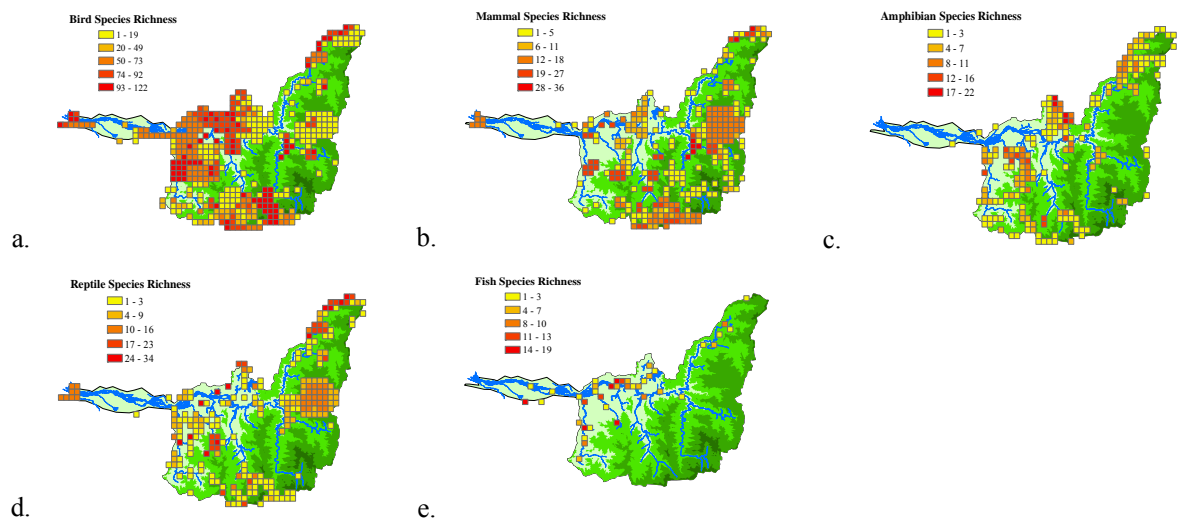


圖 3.1 濁水溪流域 (a)鳥類 (b)哺乳類 (c)兩生類 (d)爬蟲類 (e)淡水魚類 物種豐富度的分布圖

四、 三大流域產業特色與環境管理系統

第二次世界大戰戰後，發展了五十餘年台灣之淡水河、濁水溪和高屏溪三大流域經多方努力開發後，各種主要產業之分布狀況列如表 4.1 所示。

由表 4.1 中可以約略看出淡水河流域的產業分布相對於其他各流域而言是比較平均的，其中以紡織業、金屬製品業和機械業為大宗，各占該流域產業的五分之一左右。因此該三大工業廢棄物和污水之處理得當，十分重要。此外，本流域亦為台灣造紙業大本營，其總數超過其他二流域之總和。濁水溪流域之紡織業最為突出，幾乎占該流域產業將近百分之四十左右。高屏溪流域為台灣之石化業重鎮，其廠商 35 家高於其他二流域；本區之金屬基本工業、金屬製品業和機械業亦為重要產業，合占該流域產業之百分之八十左右。

近十年來國際經貿版圖有了變化，大陸、印度和韓國經濟日益茁壯，配合國際間經濟整合的風潮興起，加上台灣於 2001 年加入了世界貿易組織，受到 WTO 會員國應遵守的義務規範，使工商業者直接面對了來自世界各地之競爭，因此必須重視環境保護之世界潮流，才能維持企業經營立於不敗之地、永續發展。由於 ISO 14001 環境管理系統之認證，目前世界各國泰半予以承認，逐漸成為未來商場競爭之主要利器之一。本研究透過對台灣之三大流域廠商通過 ISO 14001 環境認證進行問卷調查和實證

分析後，獲得以下結論：

表 4.1. 台灣三大主要流域產業分布情形

	淡水河流域		濁水溪流域		高屏溪流域	
	廠商數	百分比	廠商數	百分比	廠商數	百分比
金屬基本工業	355	15%	275	12%	320	20%
金屬製品	514	22%	495	20%	431	27%
造紙	364	15%	181	8%	146	9%
紡織	611	26%	851	37%	375	23%
石化	28	1%	18	1%	35	2%
機械	500	21%	507	22%	299	19%
總計	2372	100%	2327	100%	1606	100%

資料來源：台灣工業產品資訊網 網址：<http://www.industry.net.tw/>

(一) 淡水河流域主要推動 ISO 14001 的產業為電機與電子二種產業；濁水溪流域則主要在金屬業、紡織業和電子業三種產業；高屏溪流域則以化學業、金屬業及塑化業為主。

(二) 廠商獲得 ISO 14001 者，其台資股東佔大多數而且內、外銷平均分佈，代表國內廠商之環保意識提升，已由以往消極被動的態度轉變為積極主動地推行環境保護系統。

(三) 推行 ISO 14001 對企業的管理、環保及營運績效上確實有顯著正面之助益，財務績效之助益則稍弱。

(四) 在管理績效方面：三大流域廠商均因 ISO 14001 之實施而建立了良好的環保內部稽核制度，使得環境更符合環保法規要求。此外，淡水河流域之廠商之管理績效在「市場行銷」方面表現突出，例如市場佔有率之增加、顧客忠誠度提升、市場進入障礙提高。濁水溪流域廠商在罰款之次數及金額方面降低，而高屏溪流域則對社區關係之改善有所成效。

(五) 在環保績效方面：三大流域使用之毒性化學物質均因而減少、空氣及水污染均經內部稽核管制面降低、廢棄物及噪音也都明顯減少。

(六) 在財務績效方面：三大流域廠商均因推行 ISO 14001 而更容易獲得國外廠商之支持，節省了原料成本或者降低了廢棄物及污染物之處理成本。

(七) 在整體營運績效方面：三大流域廠商透過 ISO 14001 均因而提升了整體營運績效，不但在原物料之回收再利用方面有改善，而且產品之品質或產品形象獲得提升。

ISO 14001 環境管理系統由公司或企業之內部主動建立其環境政策及目標，透過國際驗證和稽核而逐年達成節能減廢之要求，符合台灣永續發展的前景。

五、 三大流域居民生活用水所需

5.1. 淡水河流域水資源系統

本研究應用 Vensim 系統動力模式建立淡水河流域之系統動力模式圖，主要將系統分為供水系統與需水系統兩個部分，下面分別介紹此兩個水資源系統動力模式圖。

(1) 新店溪供水系統

新店溪水資源系統動力模式包括了翡翠水庫、直潭壩、青潭堰、直潭淨水場、長興淨水場、公館淨水場，目前供水的方式是，臺北市自來水事業處先以南勢溪的天然流量為主，判定此量是否可以滿足下游的需水量，一旦南勢溪水量不足時，便會通知翡翠水庫放水，而翡翠水庫放水又受到其放水規則限制，直潭壩則負責攔蓄水量將原水輸送至直潭淨水場處理，較下游的青潭堰將攔蓄水量送至長興淨水場，在長興淨水場有一分水井，將部分水量分送至公館淨水場；模式中為了模擬真實情況，將翡翠水庫操作規線和放水規則納入考慮，而直潭壩、青潭堰的取水量則根據下游大臺北自來水供水系統需水量所決定，新店溪水資源系統動力模式如圖5.1所示。

(2) 大漢溪系統

大漢河流域中水工結構物包括了石門水庫、石門大圳、桃園大圳、後池堰、鳶山堰、三峽堰，石門大圳進水口位於石門水庫上游左岸，除了提供灌溉用水也提供民生用水，龍潭淨水場、平鎮淨水場、石門淨水場皆以石門大圳為取水來源；在石門水庫下游約二公里處，有一建築長約600公尺之低壩「後池堰」，在後池堰左端有一桃園大圳取水口，桃園大圳則提供了桃園大圳灌區及光復圳灌區之灌溉用水，同時大湳淨水場也從桃園大圳獲取原水，另外大湳淨水場也以鳶山堰為取水來源，其取水優先順序以桃園大圳為主，不足水量再從鳶山堰

取水補足；上述四座淨水場即為石門地區供水系統主要供水來源，而各淨水場在模式中所需處理水量，是先求出石門地區總需水量，再依照各淨水場之設備設計容量比例，將總需水量乘上各淨水場所佔比例，求出各淨水場實際出水量。另外板新淨水場目前取水來源有二，分別為鳶山堰、三峽堰，板新用水區除了由板新淨水場負責供應自來水用水，另外臺北市自來水事業處也有支援板新地區用水，首先先求出板新地區總需水量後，扣除臺北市自來水事業處支援板新地區用水之水量後，即為板新淨水場所需處理水量，而取水的順序先以三峽河為主，由三峽堰負責提供原水不足再由屬於鳶山堰取水。大漢溪水資源系統動力模式如圖5.2所示。

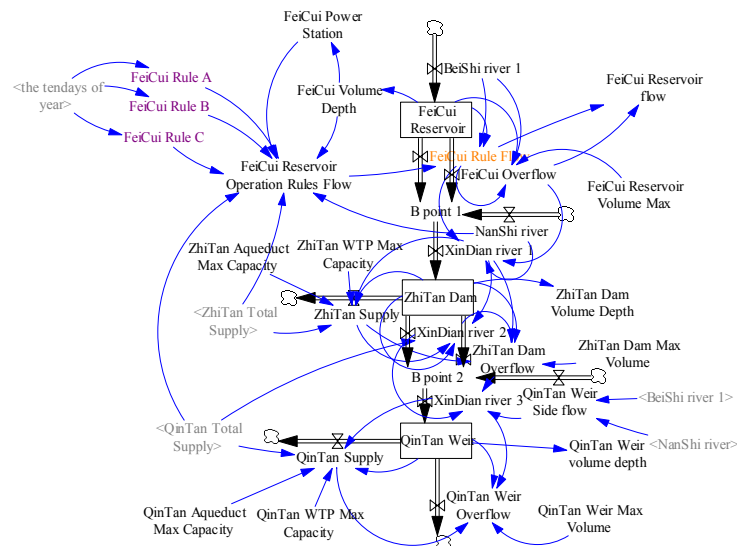


圖 5.1 新店溪系統動力模式

(3) 臺北自來水供水系統

在新店溪水資源系統中，直潭壩、青潭堰攔蓄水量以供臺北地區之用水，再此將整個臺北自來水供水系統納入考慮，臺北供水區不僅包含了臺北市，也涵蓋了部分臺北縣地區，共可分為十一個分區，並針對各供水分區總人口數、普及率、售水率、每人每日用水量求出該供水分區之總需水量，進而得到各淨水場所需處理水量，此水量即為直潭壩、青潭堰至新店溪中取水之根據。圖5.3 即為臺北自來水供水系統動力模式。

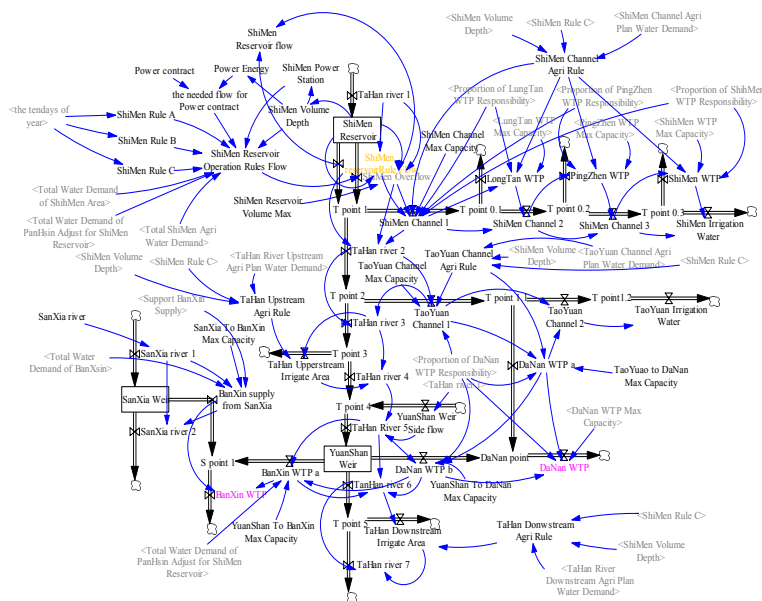


圖 5.2 大漢溪供水系統動力模式示意圖

5.2. 濁水河流域水資源系統

濁水溪之供水系統，在上游段主要以發電為主，中游及下游段則以供應南投、彰化、雲林等地之農田灌溉為主。在上游段的發電供水部分，以日月潭水庫為主要發電的中心樞紐，而在下游段的灌溉水部分，則以集集攔河堰為主要的控制中心。根據經濟部水利署中區水資源局 2001 年的「濁水溪水資源整體開發計畫」中所提，濁水溪流域的電力供應，可以分為四個子系統：第一系統為利用蓄於霧社水庫的水源及從奧萬大壩導入的水源進行發電的「萬大發電廠」系統，霧社水庫的最大發電放流量為 24cms。第二系統以日月潭水庫-大觀第一發電廠-鉅工發電廠為主，鉅工發電廠的發電放流量與日月潭的取水量大致相同。鉅工發電廠發電後的尾水排入水里溪。第三系統以日月潭水庫-大觀第二下池壩為主，利用興建於日月潭（上池）與水里溪的大觀第二下池壩，進行抽蓄發電，對濁水溪之流量幾乎不產生影響。第四系統，以日月潭水庫-明潭下池壩為主。與第三系統相似，在灌溉用水的部分，目前則以「集集共同引水計畫」，為主要的指導原則。其中包含：大型攔河壩一座（集集攔河堰），弧形排洪閘門 18 座，排沙閘門 4 座。大型共同引水口兩座，北岸計畫取水量 70cms，南岸計畫取水量 90cms，引水底檻標高 201.5 公尺大型沈沙池兩座，南北各一座。工業用水專用設施，專用管路長 42 公里，工業區內並設面積 20 公頃尾水池一座（蘇炳勳，王希夫，2001）。濁水河流域之水資源系統圖，如圖 5.4 所示。

5.3. 高屏溪流域水資源系統

高屏溪流域水資源系統整個系統動力模式包含甲仙攔河堰、高屏溪攔河堰及各個引水位置，為了方便計算，將各個引水位置分為十個分區且將模式精簡化。模擬的期距為旬，模擬時間為民國 80 年至民國 87 年。藉由系統動力學理論，本研究將高屏溪水資源系統轉換成水資源動力模式，並以此為基礎，透過系統動力學應用軟體 Vensim，對高屏溪水資源系統作一個模式的建立，高屏溪之水資源系統動力模式如圖 5.6 所示。透過系統動力學理論，將河川系統、結構物與水資源需求者都加以單元化，並以線段標示單元間的相互關係，再賦予每個元件適當的定義，即可將高屏溪水資源系統轉換成系統動力模式。

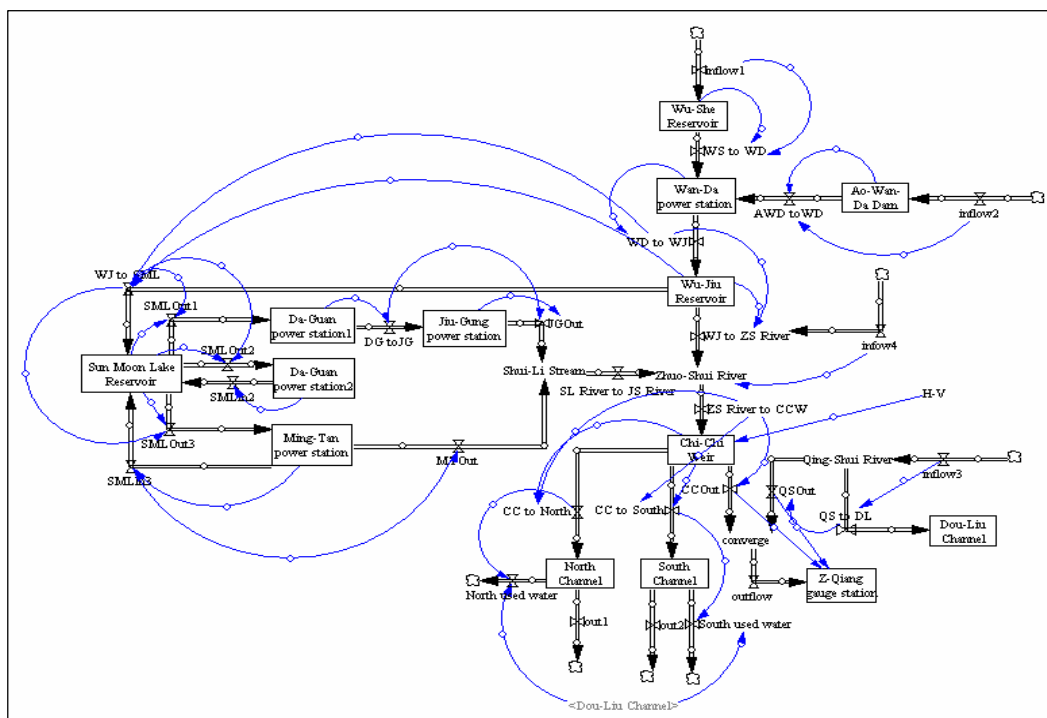


圖 5.5 濁水河流域系統動力模式示意圖

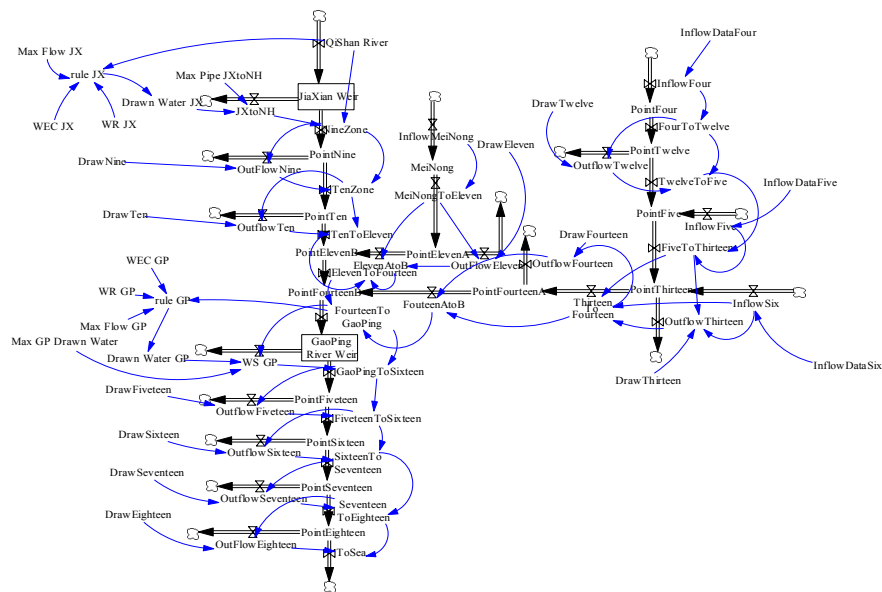


圖 5.6 高屏溪水資源系統動力模式示意圖

六、高屏溪河口附近海域環境之永續性分析

海域環境不僅受到海洋的污染外，接受來自陸域人為的活動影響更是嚴重。故本研究將對高屏河流域之陸域環境與海域環境分別介紹，陸域環境以高屏河流域為主，說明台灣西部海域可能污染來源加以說明。由於台灣西南沿岸的人口密度高且工商業發達，因此所產生的污染物多且對環境所造成衝擊較大。再加上台灣海峽水域比東部海域水淺，洋流較弱，因此對於污染物之混合、稀釋及傳輸的能力較不如開放式海域，相對自淨能力也較弱。目前西南沿海附近家庭廢水、垃圾、工業廢水、甚至農田中使用之農藥及殺蟲劑等都可藉種種管道排入海洋，導致沿海海域水質污染，破壞沿海海域生態平衡以及漁業生物資源。而海象會影響海域流場的變化，進而影響污染的傳播。

本研究以高屏出海口附近海域環境為例，利用多變量分析的因素分析作為指標合成方法，計算出因素值與權重，再合成為一永續指標值，再配合 GIS 與空間內插的 IDW 法，繪製永續指標之時間序列圖(圖 7.1)與時空變化圖(圖 7.2)，以評估高屏出海口附近海域的永續趨勢變化。結果得知，雖然永續指標呈現震盪的現象(每年 3~9 月逐漸變差，9 月至隔年 3 月又會逐漸轉好)，但是趨勢逐漸向上，代表高屏溪出海口附近的海域環境是逐漸朝向永續的狀態，這顯示高屏河流域污染源控制與管理已經有初步的成效。

利用指標來呈現海域水質環境的整體表現，可清楚地描述海域水質的變化趨勢是否朝向永續，且透過指標的協助，使決策人員或一般民眾均易於瞭解海域水質環境的狀況與趨勢，顯示利用因素分析法所找出的個別指標項目具代表性，可確實掌握水質資料的大部分訊息。再者，利用時序列圖及時空變化圖等視覺化的協助，呈現海域水質的時空變化，可讓使用者更易於瞭解海域環境的變化趨勢。

然而有鑑於監測資料的限制，建議環境部門未來增加監測地點，而且監測地點必須分佈均勻，本單元所分析的資料只包含 5 個測站，因此能推估範圍受限，而且推估之精確度有限。此外，建議環境監測的頻率應該縮小，此次報告所使用資料的時間間隔長達數個月，因此無法有效預估未監測時間的環境狀態，綜合來說，環境部門有必要進一步研究合適的資料蒐集範圍與合理之監測站數，如此可增加合成指標之準確性。最後由於本單元只是單純的使用 IDW 法做為空間內插的方式，因此未來相關研究若能夠測試其他空間內插法，將可相互比較何種內插法更符合實際狀況，更適合來推估海域環境的永續趨勢。

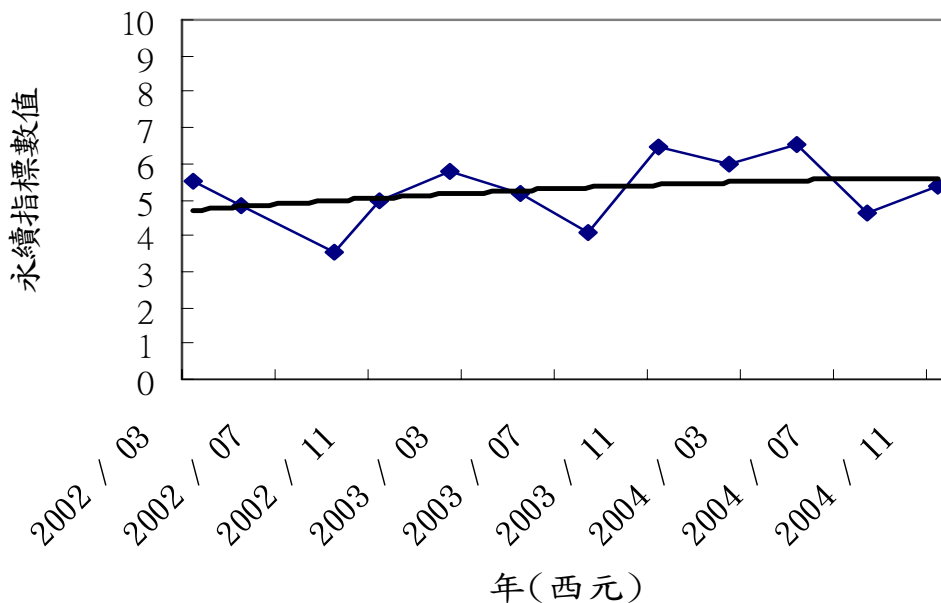


圖 6.1 高屏海域水質狀態之時序列趨勢圖

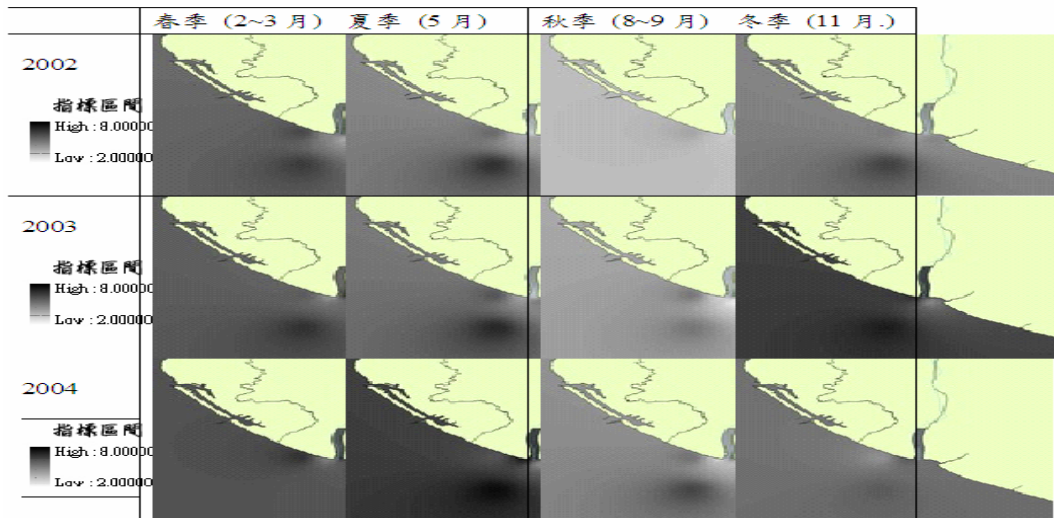


圖 6.2 高屏海域水質狀態之時空變化圖

七、 結語

國內三大流域之環境永續發展知識庫的內涵可以視為一種追求台灣整體環境永續發展資料庫建置之嘗試。以三大流域所有環境相關的資料、資訊為根本，經由有效的管理與整合，成為有系統的知識工具--資料庫，並透過資訊的詮釋與相關技術平台，而呈現出具有環境監測能力與評估永續指標的完善系統-資訊系統。藉由三大流域環境資料庫的建立與綜合內容的整合成籍，能有效地、系統化地整合所蒐集與環境相關的大量資料與資訊，既可加速國內各環境相關資料庫之整合，配合全國性行政資訊之發展，亦可藉此項系統化資訊與國際間環境資料之傳佈與交換，提昇國際環保形象。此外，除了將資訊系統結合 www 的知識管理平台而提供的知識庫搜尋系統之外，更以傳統的書籍方式向大眾傳遞訊息，務求可以滿足各種程度上知識需求，使未來在永續發展知識的生產、管理及使用上，奠定了基礎，有效的提昇研究與決策之品質與效率。

整合以上之探討，本年度的研究除了使得永續發展知識庫的建構目標向前邁進一步之外，更期能以整合內容成書之構想，將永續發展知識庫推廣給更多的一般大眾得以運用。希望藉此運用更多管道讓環境資料庫的資訊與知識更為普及化，並在與其他各種資訊系統的整合以及虛擬圖書館的建置下，必將更加多元豐富。而如何使各系統之間在橫向的資源分享與縱向的系統整合，以及如何應用在未來的永續環境管理與決策，都將是需要未來各領域之間更密切的合作與努力的目標。

參考文獻

中文：

- 方力行、陳義雄，1999，“台灣淡水及河口魚類誌”，國立海洋生物博物館籌備處。
- 何瓊芳、林錫雄、李育民、張慶源、於幼華，2001，“台灣物質流之建置與資能源善用之跨國比較”，2001年環境資源經濟、管理暨系統分析學術研討會，中央研究院經濟研究所。
- 吳宗擘，2004，“空間資料探勘與知識產生—以建立崩坍敏感性評估模式為例”，台大地理所碩士論文。
- 吳景煌，2000，“環境績效指標之研究”，國立台北大學資源管理研究所碩士論文，台北，台灣。
- 李宜欣，2002，“自農業資源變遷初探淡水河流域之物質流課題”，國立台灣大學環境工程學研究所，碩士論文。
- 李培芬、潘彥宏、呂光洋、周文豪、張琪如，2000，“臺灣兩生類動物的分布模式與多樣性” 2000年海峽兩岸生物多樣性與保育研討會論文集，159-178。
- 洪培勛，2002，“智慧型環境詞彙庫之發展與建置”，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所。
- 盧曉鈴，2003，“高屏溪流域農業資源變遷之情境分析與動態模擬”，國立台灣大學環境工程學研究所，碩士論文。
- 劉碧珍、陳添枝、翁永和，2003，國際貿易理論與政策，雙葉書廊。
- 周天穎，2003，“地理資訊系統理論與實務，儒林圖書有限公司，台北，二版。

英文：

- Chinander, K.R., 2001, “Aligning Accountability and Awareness for Environmental Performance in Operations”, *Production and Operations Management*, 10(3), 276-291.
- J. Liebowitz, 2001, “Knowledge management and its link to artificial intelligence”, *Expert Systems with Applications* 20, 1-6.
- Lee, P. F., T. S. Ding, F. S. Hsu, and S. Geng., 2004, “Bird species richness in Taiwan: distribution on gradients of elevation, primary productivity, and human disturbance”, *Journal of Biogeography* 31, 307-314.
- Renzi M. F. and L. Cappelli, 2000, “Integration between ISO9000 and ISO14000: Opportunities and Limit”, *Total Quality Management*, 11(4/5&6), 849-856.
- Rencher, A. C., 2002, “Methods of multivariate analysis”, 2nd Eds, John Wiley and Son.

網站：

- MapServer, 2004, <http://mapserver.gis.umn.edu/>
- pGraph, 2004, <http://www.aditus.nu/jpgraph/index.php>
- JavaScript, 2004, <http://devedge.netscape.com/central/javascript/>
- 台灣河川, <http://contest.ks.edu.tw/~river/file/Default.htm>
- 行政院主計處, 2003, 「行政院主計處網站」, 網址：<http://www.dgbasey.gov.tw/>
- 集集攔河堰管理中心, 2004, <http://210.241.100.66/>
- 台灣工業產品資訊網 網址：<http://www.industry.net.tw/>

附件一：由滄海桑田論台灣農林漁牧物質之善用

—張慶源，何瓊芳

一、前言

台灣島北起富貴角、南達鵝鑾鼻，東自三貂角、西迄曾文溪入海口，全島面積約三萬五千七百六十平方公里，其地形、地貌在十九世紀以前變遷相當大，到二十世紀之後，已漸趨安定。台灣地形景觀豐富，最大特色是島上有許多高山，最初由於歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊之互相推擠，使海中沉積物被擠出海面；而這種板塊運動使台灣地表高山雲集，海拔超過三千公尺以上的山脈有玉山、雪山、秀姑巒山、南湖大山和北大武山等，而以玉山高達三千九百五十二公尺拔得頭籌，傲視東亞。除了板塊及造山運動外，岩石地表及其間之河川受侵蝕及堆積之作用，加上台灣四周環海的海洋性氣候影響，山間植被種類豐富，風景秀麗。無怪乎西元十七世紀初葡萄牙人初見台灣時，在碧海藍天之中，見到山勢峻偉、林木蔥鬱、層巒疊翠，不禁直覺反應，稱之為美麗之島(Formosa)。台灣之地理位置優越，北濱東海，東臨太平洋，西傍台灣海峽，南迄巴士海峽，自古成為歐亞航運之必經之地。台灣海峽有兩條不同水溫及流向之海流交會：一為黑潮暖流，俗稱黑水溝，其主流由台灣南方海域向北流經台灣之東部和北部，而黑潮支流則由西向北流，經澎湖群島而北上。另一條洋流則是循著大陸沿海南下的寒流，與黑潮交會於台灣海峽中部地帶，兩種海流之交會，帶來豐富之漁業資源，自是不在話下。

台灣多樣化地形之形成，根據陳冠學(2003)所述，地質學家推測約於距今五千四百多年前，台灣才與大陸分離，由桑田變成滄海，之後由於自然力之長期變動，板塊推擠使地殼隆起，造就了上節所述之高山地形外，亦有因風化作用及河川雨水沖積，成就了現今台地、丘陵、平原和盆地等四大類型多樣化之地形風貌。其中台地地形原為沖積扇之地盤隆起，經河川侵蝕後，分割形成頂部平坦之台地，分布在台灣之中部以北地區，例如林口、桃園、大肚及八卦均為台地。台灣丘陵地多半分布在山地的邊緣，高度起伏小，而以雙溪丘陵、關西丘陵和苗栗丘陵為顯著；平原地形則低平寬廣，多半由河川沖積而成，土質肥沃，適宜農作，例如台灣西部的彰化平原、嘉南平原和屏東平原外，東部尚有蘭陽平原和花東縱谷，均為台灣農業的主要生產中心；此外，台灣尚有一種四周環山、中間低平的盆地地形，散布在山地、丘陵、台地與平原之間，這種盆地地形適宜人居，尤以西部的台北盆地及台中盆地人口稠密，而埔里盆地和位於台東的泰源盆地人口則較為稀疏。

至於台灣河川之數量多，大大小小共計有一百二十九條，其中淡水河全長約 159 公里，早年極具行船之利，促進了台北盆地之繁榮；濁水溪溪流最長，其主流全長 186

公里，可惜每年輸沙量 6300 萬噸，以致水色混濁，不具行船之便，但有利於灌溉；而高屏溪全長 171 公里，其流域面積涵蓋最廣，為南部主要公共供水來源。此外，台灣其他長度在 100 公里以上之河川尚有：中部之大甲溪(全長 140 公里)和大肚溪(全長 117 公里)、以及南部之曾文溪(全長 138 公里)，提供各地民生及工業用水來源。由於淡水河早年具有行船之便利，因此，台北盆地之開發，全賴淡水河，而淡水河之三大支流，包括基隆河、大嵙崁溪及新店溪，均因以前民船可以航行較長的距離，使得台產甚多經濟作物，如茶、糖、樟腦等均可順流而下，使沿岸商務繁榮，造就了台北盆地之興盛。台灣中部之大甲河流域則以水力發電聞名，建有德基、青山、谷關、天輪、馬鞍、石岡等六大發電廠。而南部之高雄港是在十八世紀中葉後，受風潮之影響，漸次發生淺洲而形成今日之高雄灣，和北部之基隆港合為台灣的兩大國際港，對台灣進出口貿易，貢獻良多。

二、產業活動對生態環境之衝擊

自古以來，為了謀求生活中食、衣、住、行、育、樂之各種需要，人類不斷地從事各項經濟活動，如漁獵、拓荒、墾植，利用自然資源謀求生計或互通有無而經商營利，目的是要求得生存之必需品及生活上之享受。

有關人類經濟活動所形成之社會類型，根據何瓊芳(2005)所述，早先由德國經濟學家李斯特(Friderich List)於 1844 年提出政治經濟學的國民體系(Das Nationale System der Politischen Qkonmie)，認為人類總體經濟體系(economy)是以「社會」作為研究對象，而以「國界」為範圍，依照人類經濟活動之主要型態可將各國之經濟活動發展分為五個階段，分別為野蠻時期、漁獵時期、農業時期、農工業時期和農工商業時期。

美國經濟學家羅斯托(W. W. Rostow)則從動態變化程度之不同，將人類活動帶來之經濟成長區分為傳統社會、過渡階段、起飛階段、邁向成熟階段及大量消費階段等五時期，而各國處於不同之經濟階段。他強調在經濟成長之低階段時，經濟體系泰半生產並出口初級產品及簡單之工業品；等到社會進入經濟成長之高階段時，經濟體系會擴大製造產能，使產品多樣化，並逐步增加生產耐久消費財及資本密集財。由於各國經濟發展之程度不同，開發中之國家多生產並出口初級產品及簡單之工業品，以交換已開發國家所生產及出口之耐久消費財及資本密集財等，使得這種生產及國際貿易行為是由處於不同階段的國家彼此互相分工生產並跨國交換所需商品而互惠互利。

不論各國處於上述何種經濟成長階段，傳統上，依據劉鴻喜、李薰楓(2004)及姜善鑫等(2004)學者之看法，人類複雜之產銷經濟活動可分為以下三大類：

第一級產業(Primary production)為人類直接向自然界支取資源

以及利用自然而繁殖生產的產業，例如農、林、漁、牧、礦等產業之生產活動，

直接取之於大自然或利用自然資源繁殖生產。

第二級產業(Second production)為製造業，泛稱為工業，係將已有之物質或原料經過加工改造後，增加其價值，成為新產品。有關製造業之種類非常廣泛，包括紡織、食品、化學、藥品、電氣、機械、造紙、建材…等等，其生產活動之原料和物質所需，十分依賴第一級產業之供應。

第三級產業(Tertiary production)為服務業，其範圍涵蓋一切勞務，諸如商業活動、政府服務、運輸、倉儲、通訊、資訊、金融、保險、醫療、教育、會計、法律…等，其產業行為不需要物品之生產，只需要更多之勞務。

由於上述三種產業均直接或間接使用到自然資源，而在生產、製造消費或服務過程中或多或少會產生資源和能源之損耗，以及對生態環境之衝擊。而依據簡又新(1990)提出相關產業對環境污染之主要問題，包括毒物之擴散、廢棄物污染、優養化或酸化等問題，請參見表 1。

由表 1 中可以看出各種產業對環境所造成之污染問題，包括毒物擴散、廢棄物污染、優養化及酸化等且嚴重程度不一，需要政府和全民共同投入污染防制而加以改善，才能兼顧經濟發展和環境保護。

另外，若能針對各級產業進行節用資源和能源，加強資源使用之效率，增加生產力，並使用無毒材料等，亦不失為由投入面進行環境保護之好方法。本文即由農、林、漁、牧產品之物質善用進行分析。因此，為了瞭解現今台灣農業物質善用與否之全貌，進而減輕其對環境之衝擊，我們可以先由日據時代以及二次大戰戰後台灣之農業墾植情況談起。

三、日據時期台灣農業概況

西元 1895 年，滿清政府與日本發生甲午戰爭，清軍戰敗而將台灣及澎湖群島割讓給日本；之後日本治台五十年，採取「工業日本、農業台灣」的政策，主要著重於增加台灣之農產，以提供日本國內之農產品和工業原料所需。依據劉鴻嘉、李薰楓(2004)所述，日人治台採取統制經濟，農業生產規劃受日本中央控制，施行糖業保護政策、稻米增殖事業、製糖會社彌補政策以及農業調整政策等，促進了台灣農業的發展。

由於農業生產受到地形、氣候、土質、日照、水分供應等自然環境之影響，而台灣南部和北部之氣候差異頗大，而氣候之差異就形成日據時代台灣農業計劃生產之基礎條件。

因此，日據時代初期，北部地區包括台北縣、新竹縣和桃園縣均為台灣茶葉之主產地。此外，台北、新竹亦產柑橘，北部丘陵地區亦盛產樟腦。

中部地區之主要經濟作物是稻米，以台中縣為核心，南達雲林縣、北迄苗栗縣，產量豐富。除了稻米以外，香蕉、黃麻、鳳梨、西瓜、木材之產量亦豐。

台灣南部當時成為甘蔗的主要產地，日人著手改良品種使蔗作增加，並使該區成為供給日本本國砂糖的主要來源地。濁水溪兩岸，糖廠林立，蔚為奇觀。此外，南部尚產文旦、樟腦、香蕉和黃麻等經濟作物，農產豐碩。

東部地區在日據時代亦生產稻米和甘蔗；也生產甘藷和落花生等作物。

除了上述之經濟作物外，台灣之太平山、八仙山與阿里山出產杉、柏和檜木等重要珍貴之木材，提供居民修建房舍、橋樑、辦公處所等用途，為民生必需之建材。

四、戰後台灣產業發展概況

台灣光復之初，農業占產業部門之最大比重，政府著重於「以農業培養工業，以工業發展農業」。故自 1949 年起，陸續實施土地改革政策，包括三七五減租、公地放領、耕者有其田等措施，並設法降低農業生產成本和提高農民收入，推廣綜合技術改革，設置價格平準基金等，使農民生活普遍獲得改善，而農村地區也逐漸邁向現代化。

農業改革政策成功之後，不僅提供了建設台灣所需之原料和勞力，更使得部分原為地主身份者紛紛將資金投入其他產業，配合政府適度之鼓勵進口替代性產業、發展外銷產業及策略性工業等措施，使企業家資本累積，工廠日益增加、技術創新而市場擴大到世界各國，而台灣之進出口貿易在 1970 年以後，工業產品如電子、紡織、運動器材、機械設備等之出口量大增，而農產品外銷占出口之比重相對減少，由於工業產品出口之單價高於農產品，因此台灣在 1970 年以後，對外貿易一直呈現出超的局面。根據劉鴻喜、李薰楓(2004)之說法，自台灣光復迄今，由農業社會轉變成工業社會共分下列五個階段：

(一)重建時期(1945 年~1952 年)

戰後工業百廢待興，政府全力加強電力、肥料和糖業之製造，積極扶持民營工業。

(二)進口替代時期(1953 年~1960 年)

政府因外匯短絀，因此鼓勵台灣民間工業積極生產以替代民生必需的進口產業，例如紡織業和食品業等，使得輕工業大有進步。

(三)出口擴張時期(1961 年~1970 年)

為了擴大市場規模，增加產業利潤，政府積極鼓勵出口產業之發展，輕工業之生產大幅增加，對外貿易暢旺，台灣經濟開始起飛。

(四)資本、技術密集工業時期(1971年~1980年)

本時期著重於重工業之發展，包括電子業、石化業、精密機械、造船和電機工業等，使得工業技術大幅升級，尤以十大建設中之煉鋼廠、核能電廠、造船廠及煉油廠等四大項均屬資本、技術密集之重工業。

(五)策略性工業(1981年迄今)

由於經濟自由化、新台幣升值，以及環境保護和勞資問題浮上檯面，政府開始推動生產高附加價值產品的策略性工業，如電子業、資訊業、機械業和生物科技等工業。

由於上述五階段之發展，使台灣由戰後之農業國轉變成新興之工業國家，而各不同時期之主要政策性產業類別列如表 2 所示。

表 2. 台灣經濟發展策略性產業類別

	發展策略	主要策略性產業	污染性工業	
			甲類	乙類
重建時期	恢復農工生產設施	紡織、電力、肥料		肥料
1950	進口替代的工業發展	紡織、食品、水泥、電氣用品、化學品、味精	水泥、化學品	食品、味精
1960	出口替代的工業發展	紡織、機械、電子、塑膠		紡織、塑膠
1970	重化工業	鋼鐵、造船、汽車、石油化學原料、機械、電子、煉銅、煉鋁	鋼鐵、石油化學原料、煉銅、煉鋁	
1980	策略性工業	能源、生物科技、資訊、自動化、食品科技	能源	
1990	產業升級、亞太營運中心計畫	航太工業、軟體工業、機械、生物科技、自動化	能源	

註：甲、乙類污染性工業類別，依據 1988 年經濟部公布「新工廠污染防治審核作業要點」中甲、乙類工業的分類。資料來源：劉鴻喜、李薰楓，「經濟地理」，大中國圖書公司，台北市 (2004)。

由表 1 和表 2 可以得知台灣戰後已由農業社會轉變成工業社會並成為新興工業化國家，並可得知各種產業污染之主要來源及問題所在，而相關污染問題之解決，有賴政府及全民共同努力。由污染防治層面進行減廢和整治的工作。

在另一方面，如果能由生產層面善加改進，使每單位人力投入或資源投入之效率增加，減少資能源之浪費，節用原料，使每單位勞動投入量之產出增加，亦不失為由生產層面相對減緩對環境衝擊之方法。

本文擬解析台灣之淡水河、濁水溪和高屏溪三大流域之農、林、漁、牧物質的使用情況並加以評估比較。據以供作降低或消除農業之環境負荷之參考。

五、台灣三大流域農林漁牧物質善用之比較

如前面各節所述，農、林、漁、牧為人類直接向自然界支取資源及利用自然而繁殖生產之產業，是屬於第一級產業，因此其相關產銷量之變化亦直接反應在物質流之帳面上。

由於淡水河、高屏溪和濁水溪三大流域涵蓋了台灣大部分之農、林、漁、牧產業，因此本文參考並彙整筆者及國科會「永續台灣的願景與策略」整合計畫之「永續發展知識管理系統之建立」主軸計畫研究同仁之成果（如：李宜欣，2002；盧曉玲，2003；黃屏綸，2005；Chang et al., 2004 a and b, 2005）將三大流域之農業物質資料及農業物質善用情形加以比較後，繪出相關之圖形，列於圖 1~圖 15。

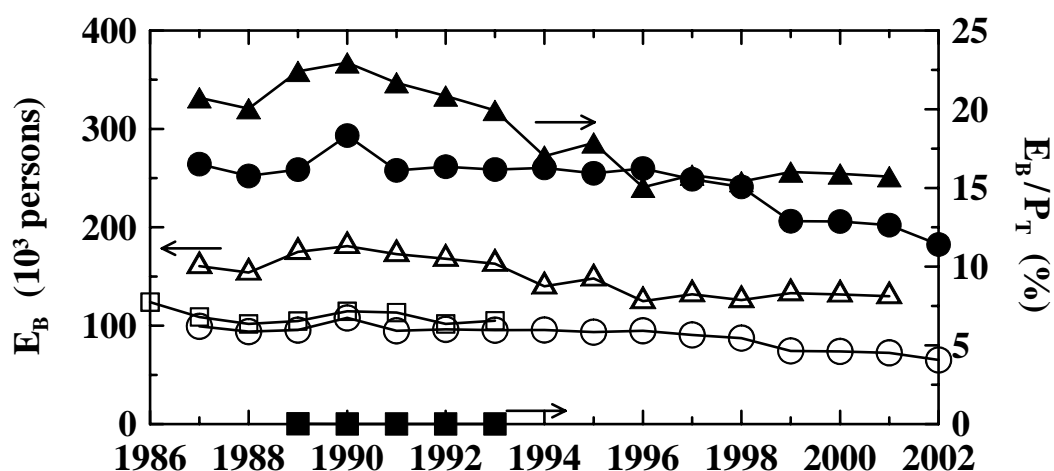


圖 1. 濁水溪(○)、高屏溪(△)及淡水河(□)各流域歷年農業(含農、林、漁、牧)從業人口數(E_B)之變化與濁水溪(●)、高屏溪(▲)及淡水河(■)

各流域歷年之農業從業人口占總人口數比例(E_B/P_T)之變化。

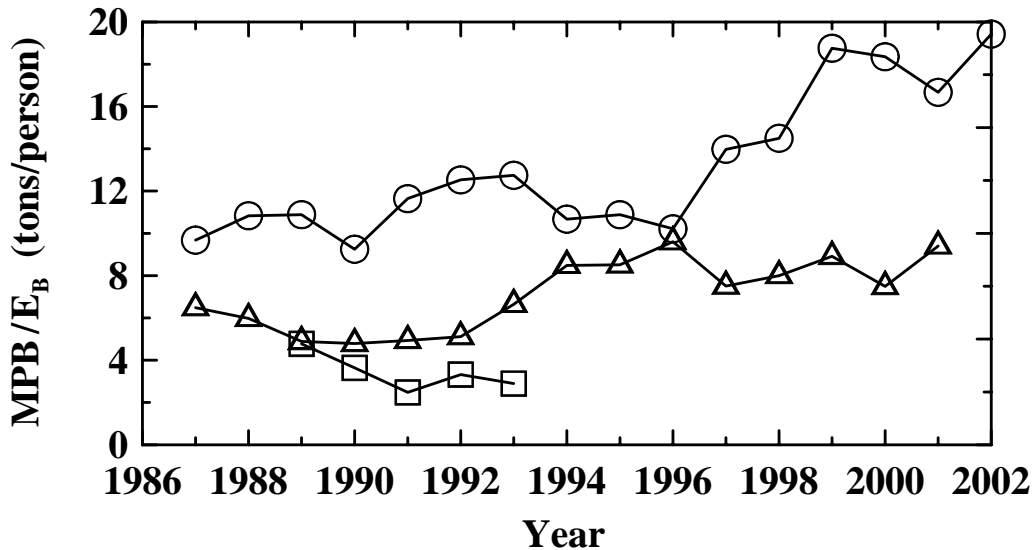


圖 15. 濁水溪(○)、高屏溪(△)及淡水河(□)各流域歷年每單位農業從業人口之農業(含農、林、漁、牧)物質生產量(MPB/ E_B)之比較。

由圖 1~圖 15 中，可以將三大流域歷年農、林、漁、牧之物質使用情形作比較如下：

- (1) 高屏流域農業(含農、林、漁、牧)從業人數歷年均比其他流域多，濁水溪次之。淡水河則人數相當少。若以農戶戶數作比較則濁水溪之農家最多。
- (2) 若以耕地面積來比較，高屏溪和濁水溪流域之總耕地面積十分接近，淡水河附近之耕地較少，且有日益縮減之趨勢。但就每單位農戶所使用之耕地面積而言，則淡水河流域之農戶略勝一籌。
- (3) 若就歷年每單位耕地之實際種植面積來比較，則濁水溪流域之農戶表現遠高於其他二流域。但三流域之實際種植面積均普遍緩慢縮減。
- (4) 濁水溪流域歷年生產之稻米總產量遠高於其他二流域，顯見濁水溪流域是台灣的米倉。若就每單位實際收穫面積之稻米產量，亦以濁水溪居冠。
- (5) 論及每人造林面積及植株數目時，淡水河流域之表現則遠勝過其他二流域。於 1989 年達到最高峰後下降，之後緩緩攀升，於 1997 年再創高峰，1998 年後則少到與其他二流域相去不多之局面，值得有關單位注意加強。
- (6) 濁水溪流域之漁戶數目占總戶數之比例最高，其次為高屏溪，而淡水河流域則漁戶數占總戶數之比例非常小。但其每單位漁戶之水產養殖面積卻最大，顯示出淡水河之人口多，而漁戶十分努力地養殖。
- (7) 論及歷年流域水產養殖產量占總漁獲量之比例，則濁水溪流域之比值遠高於其他二地區，但高屏溪流域自 1995 年以來，也逐年上升。
- (8) 豬隻總產量及畜牧業總產量均以高屏溪最高，是否影響該流域之環境，值得注意。

若由豬隻產量與該流域畜牧業之總產量之比例看來，高屏溪流域則最低，顯見高屏溪流域除了養豬以外，其他家畜之養殖亦盛。

(9) 濁水溪流域在 1993 年以前所生產之農、林、漁、牧物質總量(MPB

)為各區之冠；1993 年後被高屏溪趕上，然 1996 年後濁水溪之產量再度略勝一籌。

(10) 若以每人農、林、漁、牧物質生產量來比較，則濁水溪流域亦為最高，顯見該流域之居民在農業方面之生產效率高。對每位農業從業人員而言，濁水溪流域之農、林、漁、牧物質生產量亦為最高，自是不在話下。

六、結論

台灣經過先民們拓荒墾殖、荷蘭人、鄭氏父子及日本人之經營後，已然成為農產豐饒之地。戰後國民政府之經貿政策使台灣由農業社會轉變為新興工業國家。但「民以食為天」，民生所需物質在日常生活中極為重要；如何將農、林、漁、牧物質及其生產時所使用之物質有效率地使用，將是永續經營必須注意的趨勢。

整體而言，濁水溪流域之農業從業人員在農作和漁業生產方面之表現具有高效率，該流域之稻米、漁獲產量之表現居於三流域之首位。淡水河流域則以每人造林面積及植株數目取勝，森林植被有助於環境保護，惟原生物種及優良植株之選擇，應能加乘其對自然環境之復育和保護。高屏溪流域豬隻總產量和畜牧業總產量居三大流域之冠，惟豬隻等之圈養數目過多時，是否造成環境污染過重，值得注意觀察。畜牧業在高屏溪流域之發展，應是大有可為。

附件二、綿綿的高屏河流域

張揚棋

一、 背景介紹

本單元主要探討高屏溪河口附近海域環境之永續狀態，若是從整體性的自然環境來思考，海域環境不僅受到海洋的污染外，接受來自陸域人為的活動影響更是嚴重，故本單元將對高屏河流域之陸域環境與海域環境分別介紹，陸域環境以高屏河流域為主，說明流域的自然環境與流域內的產業結構，而海域環境則針對台灣西部海域的海象及可能污染海域的來源作說明。

1.1 高屏河流域的簡介

高屏溪發源於中央山脈玉山附近，自旗山到林園工業區出海，因正好分隔高雄縣與屏東縣而得名，以下為高屏溪之流域環境與產業概況之說明。

1.1.1 流域環境

高屏溪全長 171 公里，流經高屏縣市 24 鄉鎮，流域面積約為 3257 平方公里，是台灣流域面積最大的河川。其主要支流包含荖濃溪、楠梓仙溪，濁口溪，隘寮溪等(洪田浚，1994)，以下對各支流作簡單介紹。

- 荖濃溪：為高屏溪主要支流，發源於玉山東山東坡和秀姑山西南坡，與楠梓仙溪隔山平行流至大津匯入濁口溪，流經美濃鎮進入廣闊的屏東平原，流長 137 公里，流域面積約為 1373 平方公里。於屏東縣高樹鄉再匯入隘寮溪，與南下的楠梓仙溪於高雄縣旗山鎮嶺口匯集成高屏溪。荖濃溪水量豐沛，提供農作物灌溉用水，中上游清澈的水質是大高雄地區飲用水主要來源之一。
- 楠梓仙溪：又稱旗山溪，發源自高雄縣東北端的玉山山麓，流經高雄縣三民鄉、小林、甲仙鄉、月眉、杉林鄉到旗山鎮嶺口與荖濃溪匯集成高屏溪，流長 117 公里，流域面積約為 802 平方公里。中上游不是高山就是丘陵台地，由於溪水的切割侵蝕，很多地方可看見兩岸峭壁千仞，氣勢宏偉。河流湍急而富變化，造成許多瀑布、縱谷、平灘、激流等景觀。

- 濁口溪：為荖濃溪之分支，發源於卑南主山西坡。河川走向在上游部份呈縱谷，稱為巴里桑，在曼塔雲以下為橫谷走向，稱為濁口溪。流長 59 公里，流域面積約為 375 平方公里，主流流域涵蓋高雄縣茂林鄉、桃源鄉，在大津附近加入荖濃溪河系。濁口溪河谷最顯著的地形特性為「成育曲流」，各曲流間相互伸出尖銳山腳，常常發生切斷曲流，而將尖銳山腳之基部截斷形成環丘，且環丘比高在 100 公尺以上，這種高峻環丘不但台灣罕見，在全世界亦不多見。
- 隘寮溪：主要由南北兩大支流匯合而成，北隘寮溪發源於知本主山附近的巴尤泡池，源流稱為巴尤溪；南隘寮溪發源於北太武山；南北兩溪蜿蜒向西流(順向谷)至三地門附近會合，出山谷沿西北像流到屏東縣里港鄉磚子附近匯入荖濃溪，流長約 68.5 公里，流域面積約 642 平方公里，涵蓋屏東縣霧台鄉、三地鄉、鹽埔鄉、高樹鄉、里港鄉及內埔鄉(少數)。本溪北與濁口溪，南與林邊溪支流庫瓦魯斯溪、萊社溪為鄰。(林朝榮，1957)

高屏河流域之平均雨量甚高，每年約達 3150 公厘，因此平均年逕流量高達 87 億立方公尺。此外，高屏溪及東港溪是台灣地區地下水蘊藏量最豐富的地區，地下水區面積廣達 1210 平方公里，然每年超抽水量遠超過天然補充量，而導致平原地下水位劇降，水質惡化及地層下陷等問題。

由於高屏河流域內之雨量豐沛，因此水源充足，可提供民生與工業用水。從上游到下游共有十五個取水口，每年供給 10 億立方公尺，灌溉面積 1518 平方公里。除了供給小型農田灌溉區外，主要供給九個大灌溉區，包括旗山、屏東縣萬丹及越堤二仁溪等灌溉區。

1.1.2 產業概況

由於高屏河流域水源豐富，利於農工業的發展，因此流域內的產業以農業與工業為大宗，其次為畜牧、砂石等行業，以下為流域內主要產業之說明。

- 工業：近年來台灣經濟快速發展，使高屏河流域內之經濟結構由農業為主，逐漸轉為以工業為中心。流域所涵蓋鄉鎮共 24 個，流域內的各類別工廠共計 2,105 家，其分佈主要集中在高雄縣大寮鄉及屏東縣屏東市。而以類別分，則以金屬類

工業 535 家，佔 25.42%最多；其次為食品業工廠 279 家，佔總數 13.25%(屏東縣統計要覽，1999；高雄縣統計要覽，1999)。

- 農業：高屏溪流域內氣溫高、雨量充沛、天然土地肥沃，適宜農耕經營。農產品以稻米、大豆、甘蔗、香蕉、鳳梨為主。耕地面積約 70,229.84 公頃，佔土地面積之 20.01%，農業戶口 103,195 戶，佔流域內總戶數 15.67%。然近年來工商業快速發展，農村勞動力外流，農民所得偏低，農業經營面臨困難，致使耕地面積和農業人口逐漸減少，預料未來人口及耕地面積將持續減少。
- 漁業：高屏溪流域內養殖漁業相當發達，沿海鄉鎮漁池遍佈，其中從事漁撈只有屏東市，其餘均為養殖戶。養殖漁業以飼養蝦、鰻、吳郭魚、虱目魚等為主，大多集中於高屏兩縣內。高屏兩縣各類水產養殖面積最多，計 4965 公頃。而近年來高屏溪沿海污染嚴重，漁撈業之漁民數逐漸減少，相對養殖業則大量增加。由於養殖業者大多抽取地下水使用，因此產生地層下陷、地下水鹽化等問題。此外，有部分養殖業者將漁場建於河床上，對河川亦有不良之影響。
- 畜牧：高屏溪沿岸豬隻多達 129 萬頭，近年受口蹄疫影響，畜養有減少趨勢。養雞數量以九如鄉、里港鄉、鹽埔鄉及高樹鄉最多，約佔總數之 60%；流域內鴨隻飼養量主要分布於萬丹鄉、鹽埔鄉、高樹鄉及新園鄉，約佔全部之 70%。養鴨業者多將鴨飼養於河床上，因此對水質影響甚大。以各鄉鎮流域內養鴨隻數，其中以高樹鄉 660,525(佔總數 24.29%)為最多。
- 砂石業：高屏溪為本省南部主要砂石供應區，年產量 2700 百萬立方公尺，約佔全省產量的四分之一，銷售範圍涵蓋台南、高雄、屏東等地。(大河戀，2000)。高屏溪中下游段，里嶺大橋、高美大橋、高屏大橋、里港大橋，處處可見砂石場林立，砂石場又利用河床靠近堤防的地方堆放待出售的砂石，堆積如山的砂石，使得河道變窄，水流加快、加速河道中央的沖刷，另外砂石業者藉由溪水沖洗砂石，導致溪水混濁。

1.2 台灣西部海域環境的說明

由於台灣西南沿岸的人口密度高且工商業發達，因此所產生的污染物多且對環境所造成衝擊較大。再加上台灣海峽水域比東部海域水淺，洋流較弱，因此對於污染物

之混合、稀釋及傳輸的能力較不如開放式海域，相對自淨能力也較弱。目前西南沿海附近家庭廢水、垃圾、工業廢水、甚至農田中使用之農藥及殺蟲劑等都可藉種種管道排入海洋，導致沿海海域水質污染，破壞沿海海域生態平衡以及漁業生物資源。而海象會影響海域流場的變化，進而影響污染的傳播，因此說明海域環境前，必須先針對西部海域之海象作說明，以下說明海域環境。

1.2.1 海域海象

海象是指潮汐、海流與波浪等物理現象，是影響海域流場的重要機制，甚至會影響污染的傳輸與擴散，因此研究海域環境時須先瞭解海象的情況。以下針對潮汐、海流、波浪等現象進行說明。

- 潮汐：台灣東岸水域較深，因此潮差變化較小，而西岸臨台灣海峽，水域也較淺又受地形的影響，故潮差變化大。出海口處因沿岸週期海流之影響，故對河川帶來的污水或廢水具有混合稀釋之作用。一般而言，外海的潮差較小，而海岸河口附近的潮差可達數公尺。
- 海流：海流會影響海岸地形的變遷及污染物的擴散，依照波浪破碎作用會產生沿岸流及離岸流，而破碎帶外則有恆流(黑潮)、潮流及風驅流。圖 1.1 為台灣附近海域，東北、西南兩季風所造成的海流流向圖。以下說明數種海流的作用與形成。

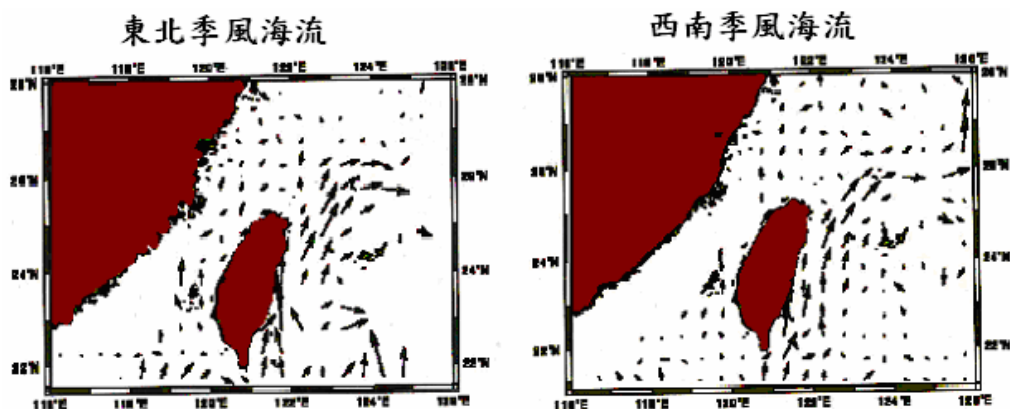


圖 1.1 臺灣附近海域東北、西南兩季風海流流向型態(台灣大學海洋研究所,1998)

(1) 黑潮：台灣所屬之黑潮乃是由北赤道之洋流在菲律賓東方海域轉向北行而形成，整年流經台灣東岸北上，且有支流流經巴士海峽，部份左旋流入中國南

海，部份則沿台灣西岸北上，流過台灣海峽，再至中國東海與主流相會合(范光龍及余金源，1981；Chuang，1986)。夏季時，海域因受西南季風影響，黑潮支流會被中國南海方向來的海流取代；而冬季因吹東北季風，台灣海峽北端之海流會往南流並在澎湖附近與往北流之黑潮支流相遇。圖 1.2 為夏季與冬季時的黑潮海流流向。

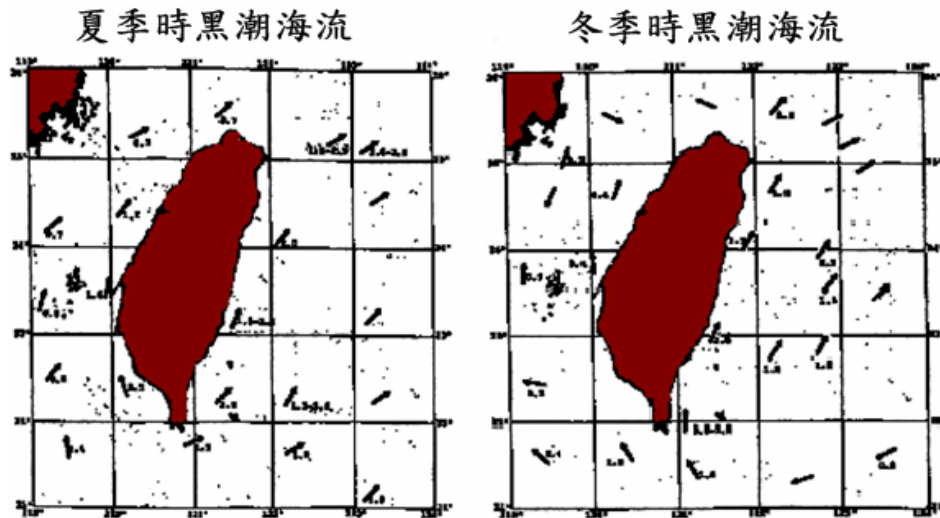


圖 1.2 臺灣附近海域黑潮海流之大小與方向(范光龍及余金源，1981)

(2)潮流：潮流為潮位升降時所形成之水體流動，潮流與其它海流的相異處在於潮流具週期性且可預測。台灣西海岸潮流在漲潮時，南部潮流向北，北部之潮流往南，而在中部附近會合；在退潮時則以相反方向流動。圖 1.3 表示台灣西部沿岸之潮流流向。

(3)近岸流：近岸流依流動方向可分為沿岸流及離岸流，沿岸流是與海岸平行方向流動之水流，而因海岸之突出部分或海溝處所產生向外海方向流動之水流則為離岸流。沿岸流及離岸流皆為受波浪影響而同時發生，因地形與人為構造物之影響，使得近岸水域流況複雜。台灣海峽北部之沿岸流為向南流動，南部沿岸流則為向北流動。

(4)湧昇流：湧昇流會將溫度高的海水自底層帶到表層，因此湧昇流發生時，

周圍海域生物活動力提升，且基礎生產力變高，因而形成主要的魚場。研究指出，冬季時，在澎湖群島的附近會形成湧昇流；八月及十月時，澎湖西南海域會發生明顯之湧昇流；而在東北季風期(12月與3月)，湧昇流區會偏向澎湖東南海域，5月份恢復至澎湖至澎湖西南海域。

- 波浪：波浪能加強淨化海水中之污染物質，影響漂沙與沿岸污染物之傳輸。在西南海岸，由於外傘頂之遮蔽作用影響，故外傘頂南端至曾文溪口之冬季風浪不大。冬季時，高雄附近海域的波浪會受東北季風作用；而夏季時則受西南季風及颱風的影響；因而夏季之最大波高及平均示性波高均比冬季為大。

1.2.2 海域重要污染源

海域環境受污染，會導致海域生態產生變化，甚或造成嚴重的破壞，因此需對造成海域污染的原因加以瞭解。西南部海域之重要污染源有下列諸項。

- 港口：高雄港之污染源來自船舶、貨載、市鎮污水、魚市場、河川排水及中油輸油及船艦意外事件所造成之污染，其中以市鎮污水、前鎮河川所造成之污染最為嚴重。加上高雄海域的大林蒲、中洲及左營海洋放流管為目前正運轉中之放流管，此三條放流管間的平面距離不足20公里，可能造成海域環境的衝擊與影響。
- 電廠溫排放：運轉中的電廠主要為興達發電廠及大林火力發電廠。這些發電廠皆位於沿海附近，其溫排水可能會對附近海域環境及生態造成影響。同時，火力發電廠之煤灰亦可能對海域環境及生態產生不利之影響。
- 工業區：西南沿海之工業區有永安、林園工業區等，由於工業區所排放之工業廢水含有許多污染性之物質，如任其排放於海洋，將對附近海域造成污染，並危及海洋生物及人體健康。

二、方法

本文使用指標作為評估高屏溪海域環境的永續趨勢，透過因素分析(Factor Analysis)方法將各項水質監測項目合成為一綜合指標，並結合地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)及空間內插(interpolation)的方式呈現海域環境之永續趨勢。以下針對所使用的方法，包括指標的應用、因素分析、GIS 以及常用的空間內插法等進行說明。

2.1 指標的應用

指標依組成可分為個別指標項目(individual indicators)、指標群、單元指數(sectoral indices)以及綜合指數(composite indices)等數種類(張益誠, 2001)。個別指標項目指的是原始監測數據經初步處理後所得之基礎資訊，數個相關聯的個別指標項目可進一步組成指標群(clusters)。個別指標項目經無因次化處理或統計函數轉換為個別指數(individual indices)，而系統單元(sector)下，相關的個別指數可合成為單元指數(sectoral indices)，其描述系統單元之綜合表現。如再進一步以跨領域或跨系統單元的觀點來合成單元指數者，即為綜合指數，其描述系統整體之綜合表現。

如圖2.1為指標應用的範例，BOD、COD為水環境指標群中，相關聯的兩項個別指標項目，兩者可合成為一水質污染指數 Q_w (單元指數)，同理 SO_2 、 O_3 為空氣環境指標群中，相關聯的個別指標項目，可合成為一空空氣污染指數 Q_a 。假設整個環境系統僅包括水與空氣兩個系統單元，則將此兩系統單元合成為一綜合指數 Q ，以此綜合指數來描述整個環境系統。

一般民眾對簡化的指標訊息較感興趣，如空氣品質(PSI)，而科學家或指標專家則可能關注於這些簡化指標背後的監測資料或指標間的因果關聯。因此，指標系統設計需依照溝通對象的理解程度而定，如溝通對象為專家，則基於驗證的需求與理解程度的提昇，所需的資料量亦較大，相反的，若溝通對象為一般民眾或高階決策者，則基於關心的重點以及理解的程度，資料或指標的濃縮程度相對也較高，如高階決策者，往往要求以一個容易了解與管理的指數來協助決策，而一般大眾可能想知道整體的過程，至於一般決策者的需求則介於其中。

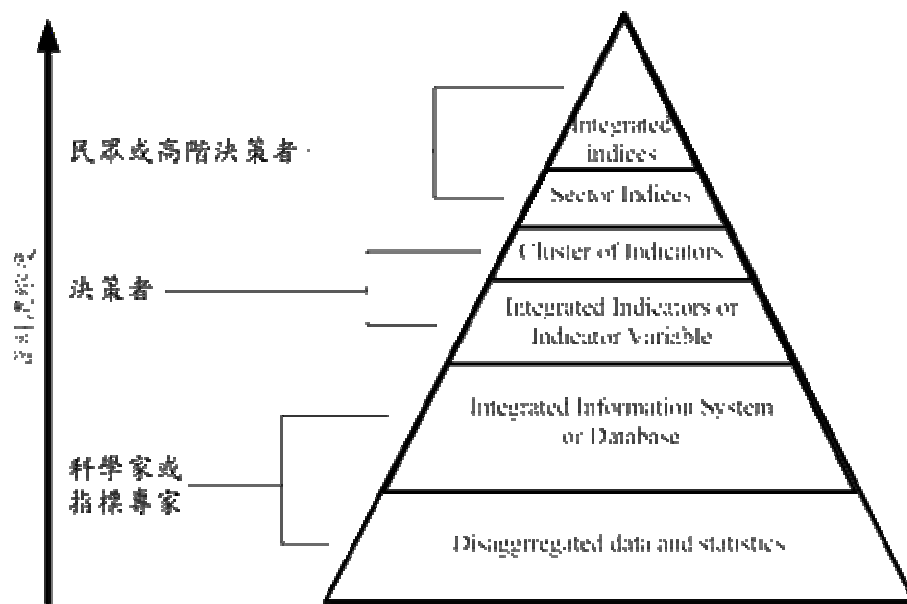


圖 1.2 金字塔圖(張益誠，2001)

歸納指標系統設計之想法，就資料、指標、指數、資料濃縮度與使用者間之階層關係重新繪製成改良的金字塔圖，如圖 2.2 所示。金字塔的最底層，為涵蓋所有衡量指標使用的統計或監測數據(Disaggregated data or statistics)，所使用的資料量最充分且資料濃縮度最低，做為提供科學家與指標研究專家使用之數據或參數，而這些數據或參數將構成整合性資訊系統或資料庫(Integrated information system or database)的基礎要素。金字塔的中層，為提供決策者使用所謂之個別指標項目或指標群(Disaggregated /Individual indicator variables or Cluster of indicators)，所使用的資料量中等且濃縮度適中。而金字塔的上層，為提供一般民眾或高階決策者使用的單元指數或綜合指數(Sector indices or Integrated indices)，是最精簡也最易溝通的指標合成(Aggregation)形式，所以資料濃縮度最高。而金字塔其中所指的單元與綜合指數的關係，就如同將水、空氣等單元指數合成為綜合指數一般。

2.2 因素分析

因素分析是 20 世紀初期在心理學領域所發展出來的一種多變量統計技術，其目的在於以較少的變數來表示原有的資料結構且能保有大部分的資訊。最初應用的範圍偏重於有關人類行為之研究，後逐漸擴及於社會學、氣象學、政治學、藥學、地

理學及管理學等領域。以下說明因素分析之基本概念與執行步驟。

2.2.1 基本概念

因素分析之主要目的在以較少的維數來表示原先的資料結構，而又能保有原資料結構所提供的大部分資訊，也就是希望從 p 個觀察變數萃取出 m 個潛伏因素，利用這些潛伏因素代表全部的觀察變數，以減少所使用的變數。因素分析假設觀察變數是由兩部分所組成，一是變數共有的部分，稱為共同因素(Common Factor)，另一則是各變數獨有的部分，稱為獨特因素(Specific Factor)。因素分析是將 p 個變數($x_1 \sim x_p$) 的每一個變數(x_i)，分解成 m 個($m \leq p$)共同因素(F_1, F_2, \dots, F_m)，與獨特因素(Specific Factor)的線性組合，如方程式(1)。

$$\begin{bmatrix} X_1 - \mu_1 \\ X_2 - \mu_2 \\ \vdots \\ X_p - \mu_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11}F_1 + l_{12}F_2 + \dots + l_{1m}F_m \\ l_{21}F_1 + l_{22}F_2 + \dots + l_{2m}F_m \\ \vdots \\ l_{p1}F_1 + l_{p2}F_2 + \dots + l_{pm}F_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_p \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 μ_i = 第 i 個變數(x_i)的平均， ε_i = 第 i 個獨特因素， F_j = 第 j 個共同因素，

l_{ij} = 第 i 個變數(x_i)在第 j 個共同因素(F_j)的因素負荷

為簡化因素分析的模式，必須符合下列幾個基本假設：

- 共同因子間相互獨立，且共同因子之平均數為0，變異數為1，即 $\text{cov}(F_j, F_k) = 0, j \neq k$ & $E(F_j) = 0, \text{var}(F_j) = 1$ for $j = 1 \sim m$ 。
- 獨特因子間相互獨立，且獨特因子平均數為0，變異數為 ψ_i ，即 $\text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_k) = 0, i \neq k$ & $E(\varepsilon_i) = 0, \text{var}(\varepsilon_i) = \psi_i$ for $i = 1 \sim p$ 。
- 此外因素分析中假設共同因子 F_j 與獨特因子 ε_i 間無相關，即 $\text{cov}(F_j, \varepsilon_i) = 0$ ，

根據上述假設，可計算出 $\text{var}(x_i) = l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + \dots + l_{im}^2 + \psi_i$ ，並將方程設為 $\text{var}(x_i) = h_i^2 + \psi_i$ ，在此稱 h_i^2 為因子共同性，其定義為第 i 個變項的共通性(Communality)；而 ψ_i 稱為獨特性，表示獨特因子所能詮釋的變異數。

2.2.2 參數估計與共同因子抽取

Rencher(2002)認為因素分析的計算過程，可簡化成參數估計與共同因子抽取 2 個步驟，說明如下。

1. 估計共通性 h_i^2 及計算因素模型參數(負荷 l_{ij} 及獨特性 ψ_j 的估計)

在因素分析中，估計共通性 h_i^2 及計算因素模型參數的方法很多，如主成份法(principal component method)、主軸因素法(principal axis factor)或反覆解法(principal axis factor)、最大概似法(maximum likelihood)、未加權最小平方法(unweighted least square)、一般化最小平方法(generalized least square)、 α 因素抽取法(alpha factoring)及映象因素抽取法(image factoring)等不同方法，而實際運用上以主成份法與主軸因素法最多，而兩者間又以主成份因素分析方法使用最為普遍，因此本研究採用採用主成份法作為因素抽取法，以下說明主成份法。

主成份法假設變異數矩陣(或相關矩陣)為特徵值與特徵向量所組成，進而產生方程式(2)，再推算負荷 l_{ij} 及獨特性 ψ_j ，如方程式(3)所示。

$$\mathbf{S}(\text{or } \mathbf{R}) = \mathbf{C}\mathbf{D}\mathbf{C}' = \mathbf{C}\mathbf{D}^{1/2}\mathbf{D}^{1/2}\mathbf{C}' = (\mathbf{C}\mathbf{D}^{1/2})(\mathbf{C}\mathbf{D}^{1/2})' = \mathbf{L}\mathbf{L}' \dots\dots\dots (2)$$

$$\mathbf{L} = \mathbf{C}_1 \mathbf{D}_1^{1/2} = \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} \cdot \mathbf{c}_1, \sqrt{\lambda_2} \cdot \mathbf{c}_2, \dots, \sqrt{\lambda_m} \cdot \mathbf{c}_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

$p \times m$ $p \times m$ $m \times m$

其中 $\mathbf{S}(\text{or } \mathbf{R})$ 為變異數矩陣(或相關矩陣)， \mathbf{D} 為由特徵值 ($\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$ ， $\mathbf{S}(\text{or } \mathbf{R})$ 的特徵值) 組成的對角矩陣， \mathbf{C} 為使 $\mathbf{S}(\text{or } \mathbf{R})$ 轉變成 \mathbf{D} 之正交矩陣，而 \mathbf{L} 則是負荷矩陣

第 j 個因子 F_j 所佔之總樣本變異量的計算如方程式(4)所示。

$$\text{變異數矩陣 } \mathbf{S}: \frac{\sum_{i=1}^p l_{ij}^2}{tr(\mathbf{S})} = \frac{\lambda_j}{s_{11} + s_{22} + \dots + \lambda + s_{pp}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{相關矩陣 } \mathbf{R}: \frac{\sum_{i=1}^p l_{ij}^2}{tr(\mathbf{R})} = \frac{\lambda_j}{p}$$

2. 抽取共同因子

由於因素模式的解並非唯一，因此需要進行轉軸的動作，使每個共同因子 F_j 只有少數幾個 l_{ij} 的係數很大，然後再以此做為因子命名或是變數分組的依據。轉軸的目的是使因子或成份間具有清楚的區隔，其作法是將所抽取的因子，經過數學轉換，釐清不同因子間的關係，以確立因子間最簡單的結構，進一步協助進行因子的命名。

轉軸的方式可分為直交轉軸與斜交轉軸。直交轉軸(orthogonal rotation)是在轉軸過程當中，因子之間的軸線夾角保持 90 度，即因子之間的相關設定為 0，包含有變異最大法(varimax)、四方最大法(quartimax)、均等變異法(equimax rotation)。而斜交轉軸(oblique rotation)則容許因子間具有一定的共變，在轉軸的過程中，同時對於因子的關聯情形進行估計，常用的方法如最小斜交法(oblimin rotation)、最大斜交法(oblimax rotation)、四方最小法(quartimin)等。因為變異最大法轉軸後所得之因素結構較為簡單，且容易解釋，故本研究將採用變異最大法進行轉軸，其轉變方程為 $L^* = L T$ ， T 為直角轉換矩陣(orthogonal transformation matrix)， L^* 則為轉軸後之新負荷矩陣。

2.3 地理資訊系統與空間內插分析

地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)是一套整合地理資訊及屬性資料的電腦資訊系統，以電腦為基礎進行空間資料的建立、存取、管理、分析與展示等工作，尤其對於空間資料的分析與展示更有強大的功能。以下說明 GIS 的概念、組成元件以及常用的空間內插方法。

2.3.1 地理資訊系統

地理資訊系統是結合「地理」、「資訊」、「系統」三者而成。地理泛指與相對位置或空間分布相關的知識；資訊是將空間資料經數位化處理後，存入電腦資料庫中；系統則是將電腦硬體、操作軟體、空間資料與使用人員連結起來。GIS 的應用範圍極為廣泛，舉凡環境保護、自然資源管理、土地管理、都市區域規劃、交通運輸、流行病追蹤、最適位址選擇等等(周天穎，2003)，幾乎無所不包，因此非常適合應用於具有空間關係的環境問題。以下說明 GIS 的基本概念、組成要件以及資料結構。

1. GIS 的基本概念

地理資訊系統除協助製作地圖外，更可與真實世界的資料相連結，改善各項空間事務與提昇環境資源的使用效率(efficiency)與效果(effectiveness) (周天穎，2003)。所謂的地理資訊，廣義而言，泛指地表上下之可見特徵及解釋空間特徵的現象(phenomena)或事件(incidents)。結合科技是指利用電腦來完成的各項工作，如此可因軟硬體不同或特殊之需求，表現空間特徵；連結各項資料則有助於決策之擬定。地理資訊系統利用各項技術將真實世界的現象與事件簡化，並將資料蒐集與整理後，進行資料分析以輔助決策之判定。

GIS 可分為兩個主要部份來探討，一為空間資料(spatial data)；另一為屬性資料(attribute data)。所謂的空間即其地理區位(geographic location)，是指地理空間上的相對位置，通常以地圖的方式來表示。屬性資料是指描述性的資料，描述空間的特徵，由文數字構成，且隨時間變化而改變。過去的 GIS 作業方式偏向於類比資料(analog data)的處理，以人工手繪的方式處理圖形，以文字註記的方式處理屬性；而現代的 GIS 則是以電腦輔助數值資料(digital data)處理的方式，如圖形經過數化成為數值化的向量或網格資料，屬性則是以關聯性資料庫的方式建立，這些圖形與屬性皆儲放在電腦設備中，查詢、更新與保存期間較過去處理方式佳，更可透過網際網路進行各種資源的分享。

2. GIS 的組成要件

GIS 的主要工作項目包括資料的輸入、分析、統計與輸出等，地理資訊系統皆需借重電腦的軟硬體設備，來達到使用者的各項需求。資訊系統的內容首重資料，不論圖形或文數字資料都有其意義，所以資料是 GIS 的重要必備元件。資料從取得到成果的輸出與展示有一定的步驟，說明如下：

- 資料的蒐集與取得：一般而言，資料的來源主要有既存的圖形、現場調查及航空攝影(或遙感探測)三方面。在資料取得前，須對於空間範圍有所了解，因資料的正確與否會影響空間分析與決策的正確性，另外，資料蒐集的過程中，相關資料亦應一併蒐集以利分析參考利用。
- 資料處理：資料輸入前必須進行資料前期處理(preprocess)，以保證資料的有效性與正確性。不同來源的資料，造成資料的格式不一致，因此資料需要經過轉換方能輸入。資料轉換主要包含兩種，一為地圖投影及座標系統不同，另一為資料儲存格式不同。
- 資料輸入：資料輸入可分為圖形或屬性(文數字)輸入。圖形輸入的方式有兩種，一為利用數位板數化輸入，另一利用掃描器輸入。屬性資料則以文數字檔案型態輸入。
- 資料管理：資料經過處理與輸入後，後續還需良善的管理，才能讓使用者對資料進行分析。包括資料的刪除、儲存、修正、管理、資料共享與安全性等。
- 資料操作與分析：資料操作與分析的主要目的就是為了獲得新資訊。經由操作與分析所得的新資訊，可建立一新的應用模式，對於決策制定有很大的助益。如利用道路資料來進行路網分析(network analysis)，以尋求最短或最佳路徑。
- 成果輸出與展示：不管進行何種操作與分析，最終目的就是要輸出與展示，主要可分為多媒體的檔案顯示方式(soft copy)以及產生報表、照片(hard copy)兩種方式。

3. 資料結構

GIS 中主要的資料結構有兩種，一是向量式資料。(vector data)結構，一是網格式資料(raster data)結構。說明如下：

- 向量式資料

向量在數學上的定義是指具有大小及方向的量度單位，也就是一條可以計算其數量與方向性的直線。在 GIS 中的向量模式，則是建構在個別的點和坐標上，由點連結成線，線連結成閉合的面。向量式資料以關聯式(relational)資料庫或是物件導向式(object oriented)的資料庫為其結構。以關聯式資料庫來說明向量式的資料結構，各項屬性資料間或屬性與圖形資料皆透過某一索引值產生關聯，而圖形由點(point)、線(line)、面(polygon)所組成。

向量資料的分析功能除一般的邏輯運算外，更包括圖形資料的分析處理，如環域(buffer)、疊圖(overlay)以及路網(network)分析等功能。例如在道路拓寬或是徵收道路兩旁土地時，以線(道路)為中心進行環域分析，分析拓寬範圍或是徵收的影響範圍；或利用空間物件的交集、聯集與差集等運算的疊圖分析；或是利用可執行路徑(route)搜尋、派遣配置等功能的路網分析。所謂的路徑搜尋就是尋找符合條件的最佳或最短路徑；而派遣配置就是將某種資源配置於何處可以達到條件要求，如消防隊之配置，必須在 10 分鐘內到達任何一點的距離範圍為何。

- 網格式資料

網格式的資料結構發展較早，因為網格式簡化了許多空間的複雜性，且易於展示。網格式就是將空間已大小相等的網格式來表示，網格式形狀有許多種，如矩形、三角形及六角形等，而通常使用正方形的網格式結構來處理資料。網格式資料由行與列構成，每一格網格式就稱為一個 grid cell，網格式大小代表著這些網格式資料的解析度(resolution)。網格式越大，解析度越低，在圖形上所能展示的地物就越少，反之，網格式越小，解析度越高，所能表現地物就越多。網格式資料的記錄方式，是一個網格式中記錄一個數值，以不同數值代表不同類別。

建置地理資料庫時，常會面臨向量式或網格式的選擇問題，其實各有其優缺點。

向量資料由於較符合真實世界的形貌，較易為使用者接受，但建立資料的時間與成本較高；而網格式資料則易於分析，且比向量式資料更容易表現地理現象(地形、地勢等)，常被應用於自然資源方面的研究。兩者間可以互相轉換及交替使用的，依使用者的目的與需求來選擇何種方式。

2.3.2 空間內插分析

空間分析(spatial analysis)是利用一些方法與技術，針對空間中的資料進行各種不同的分析。空間分析是GIS的核心和靈魂，是GIS有別於其他電腦資訊系統的主要關鍵之一。透過空間分析，配合空間資料的屬性資料，將能提供強大、豐富的空間資料查詢及分析的功能。一般來說，空間分析至少包括空間關係的計算與查詢、環域(buffer)分析、疊圖(overlay)分析、路網(network)以及空間內插(interpolation)分析等功能。本研究將利用GIS中的空間內插功能，推估海域水質的空間分佈。

空間內插分析的應用相當廣泛，如雨量之推估、地下水位預測、土壤污染濃度趨勢與空間分佈以及大氣中污染物分佈情形等。而常用的空間內插方法有四種，包括距離反比權重法(Inverse distance weighting, IDW)、曲線尺法(Spline)、克利金(Kriging)法、趨勢面分析法(Trend surface analysis)等四種空間分析法。

1. 距離反比權重法(IDW)

IDW法是以現有的已知點數值來做線性的加權運算，權重大小依點位資料的距離來決定。其計算方法如方程式(5)所示。

$$f(x, y) = \left[\sum_{i=1}^n w(d_i) * z_i \right] / \sum_{i=1}^n w(d_i) \dots\dots\dots (5)$$

其中w為權重，z為已知一點數值，d為內插點到已知樣本點距離。在此種內插的過程中，如何選擇樣本點非常重要。因為此法所推得的內插值，為最大值與最小值的權重平均值，因此內插值必介於兩者之間。所以當最大值與最小值未知時，將無法藉由此種內插法推得最大值與最小值，此外，以此內插法所得到之等高線也較不平滑(賴進貴，1996)。

2. 曲線尺(Spline)內插法

Spline內插法的概念類似以曲線尺繪製曲線，內插所得到的曲面必定會通過樣本點，且使得彎曲程度最小。此種內插法可獲得平滑的一次微分曲線，因此DTM數值變化大的地區，較不適合進行此種的內插分析。在ArcView(GIS商業軟體)中提供了兩種類型的Spline內插法：規則的(Regularized)和具張力的(Tension)。Regularized類型可獲得平滑的面及一次微分面，藉由控制權重參數可使的所得的面更為平滑，可提供二次微分分析之用。Tension所得到的平面通常較為粗糙，然而較為接近真實地表平面，通常可得到平滑的內插面，但其一次微分所得的面則不平滑。設定較大的權重值可改善內插面起伏僵硬的結果。

3. Kriging法

Kriging法在形式上和IDW法非常類似，皆利用已知點數值加權來推估未知點的數值，然而計算權重的過程較為複雜，在進行空間內插前需先進行空間結構的分析，由已知點的數值來分析資料間數值大小差異和空間分布的關係，產生一半變異圖(semivariogram)作為內插法適用性的判斷並決定權重，再以平均法或移動視窗法來計算每個網格數值。但此法容易將空間分布局部細節化(smoothing)，造成超估較小值，低估較大值，將難以推測極值。

Kriging 內插法假設z值空間變異現象具全面統計同質性(statistical homogeneity)，即空間中任一點的物理量z視為隨機變數，各隨機變數構成一隨機變域，而不同位置之隨機變數間存在一空間變異結構，使隨機變數除受地區性變異之影響外，也受該空間變異結構之影響，則該變異數稱為一區域化變數。空間變異由半變異值定量，半變異值由輸入點之資料組合計算樣本半變異值來，其值為輸入點對分組距離h，分別配對之z值差值採平方總和加以平均，可由方程式(6)求得(n為分組距離h內樣本點分別配對距離)。所得之半變異值搭配適當之模式理論，可得理論半變異值，藉以計算各已知點權重，推估未知網格值(ESRI，1996)。

$$\nu\left(\frac{1}{h}\right) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \dots\dots\dots (6)$$

4. 趨勢面內插法(Trend surface analysis)

趨勢面內插法是屬於 fitted function 的內插法，可獲得平滑之曲面，其計算方式是以多項式回歸獲得與輸入值最小平方和誤差值的推估面，可藉由控制多項式回歸的次數進行推估面結果的控制，使用次數越高所獲得的結果越複雜，但卻不一定有越準確的結果，需視資料特性而定，一般常使用的次方數介於 1 到 3 之間。趨勢面內插主要有兩種模式，次方序列多項式(power series polynomial model)是多重回歸模式利用獨立變數表示，可以是線性、二次或更高次方，但對於複雜地形難以提供適當計量，故較適合處理線性趨勢或較少彎曲的地表。由於此推估方式在獲得較為平滑的曲面，因此推估結果所得曲面往往不通過原始輸入點位，同時其推估所獲得的最大最小值也會超過或小於輸入點之最大最小值。

上述四種方法之比較整理如表 2.1 所示。IDW 與 Kriging 兩種方法所推估之值會介於最大與最小值間，因此無法藉由此兩法獲得最大值與最小值。Spline 法及趨勢面法雖可獲得較為平滑的曲面，但推估結果與原值未必相同。此外，向外推估極值，但難以獲得較為理想之值。根據本研究需求，為避免推估誤差，因此不採用 Spline 法及 Trend 法。且 Kriging 進行空間推估所需時間較長，加上必須有足夠數量的輸入點以進行模式的選用與分析，因此本研究採用 IDW 做為空間內插的方法。

表2.1. 四種空間內插法之比較(Liu and Rossini, 1996)

名稱	特性	優點	缺點
IDW	所推估之值不會超過原值的範圍。	可快速繪製等值線。	兩個或以上的觀測點距離非常近時，會產生錯誤訊息，且表面非均質時不宜使用。
Spline	產生平滑曲面。	適合變化較小、資料較少之區。	推估值易超過原始值，產生大變異之推估值。
Kriging	具有最佳線性無偏估值。	對於繁雜之點資料可給予較為合理之推估。	計算半變異圖模式較為複雜。
趨勢面	可說明全區的分佈規律及態勢。	可推估全體之趨勢狀態。	忽略區域性之變異。

三、案例分析

以高屏溪海域水質資料為例，根據上述方法進行分析，評估高屏溪出海口附近海域環境的永續趨勢。首先說明指標系統的建置步驟，包含資料的前置處理、特性檢定與指標合成方法，再結合空間內插法及 GIS，依據所得之永續指數繪製時序列圖及時空變化趨勢圖，藉以呈現永續趨勢的變化。

3.1 建置步驟

建置步驟可分成四個步驟，首先針對原始監測資料進行前置處理，包括缺失值、無因次化及一致化處理。接著進行特性檢定，通過特性檢定後才開始利用因素分析的方法進行指標合成的步驟，未通過檢定則重新選擇原始監測資料。經由計算因子負荷矩陣與因子分數，再依權重將因子評價分數合成為一永續指數，最後利用時間序列圖與時空變化趨勢圖來展示結果，流程如圖 3.1 所示：

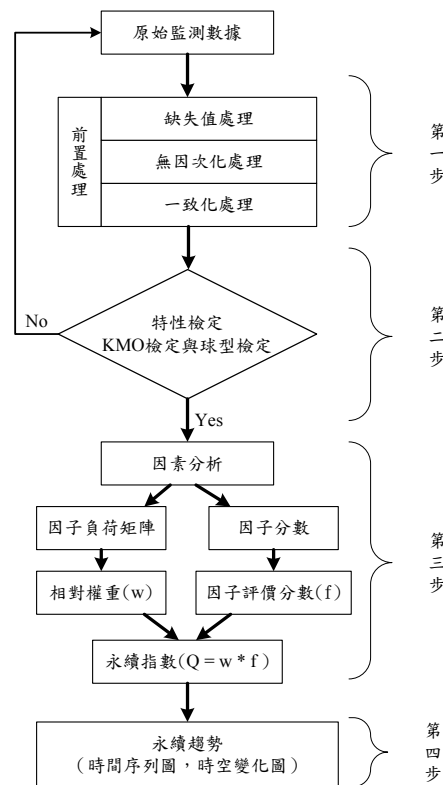


圖 3.1 研究流程

3.1.1 資料前置處理

為使監測資料能有效且正確地被使用，在指標運算前需進行資料前置處理，依序包含缺失值(missing values)、無因次化與一致化處理，說明如下：

1. 缺失值的處理

缺失值是指在資料中因某些原因而未被記錄的觀察值。如在醫學或科學研究中，測量機器發生故障、檢測的樣本遭到毀壞、研究人員忘記記錄、及患者無按時接受治療等；甚至當資料庫進行資料合併時有些記錄欄位沒有匹配及進行資料整理程序造成記錄遺失等。缺失值會造成樣本與實際母體的偏差，降低估計的精確度，故許多統計方法無法接受遺漏值。缺失值主要幾種處理方式如下所示：

- 直接刪除資料中含缺失值的部分。
- 利用全部資料的亂數值來填入缺失值，以符合由系統誤差(包含儀器誤差)、實驗誤差(包含人為誤差)與採樣的隨機誤差三類的誤差。
- 由各變數所特有的、平均、變異數來產生常態亂數，補入缺失值。

所使用資料中，以「N.D」代表低於偵測極限(detection limit)之測值，是由於儀器精密度或是測試方法的關係，以目前的儀器精密度並無法檢測出此污染物含量，因此將此值視為缺失值。Simpson(1995)曾利用隨機常態分配(random normal)產生一落於0到偵測極限值之間的數值來填補此類缺失值，使統計推論更為合理。因此本研究採用此作法作為填補缺失值的方式。

2. 無因次化處理

由於資料測量單位的不同將會影響分析結果，為統一資料的因次格式，本研究使用無因次轉換(dimensionless transformation)做為常態標準化(standard normalized)的方法。此法是將原始數據轉換為標準差等於1，平均值等於0的Z分數(Z-score)，統一資料的因次格式，以消除因測量單位不同所產生的差異。方式如方程式(7)所示。

$$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad , \quad x_i \text{ 為原始數據} \dots\dots\dots (7)$$

其中 $E(X) = \mu$, $Var(X) = \sigma^2$, X 為原始數據集。

使用常態標準化的原因，是常態分佈在分析上較易處理。其次是常態分佈適合當做不少母體之機率模式。第三個原因是由於在中央極限定理(Central Limit Theorem) , 使得在不太強的條件下，常態分佈可當做不少大樣本的近似分佈。

3. 一致化處理

數據運算時，需使指標的參數值對永續性的反應一致，因此無因次化後的變項資料需進一步進行變項反應的一致化轉換(uniformity transformation)。一致化轉換是先對指標變數作永續「正」或「負」相關的邏輯二分法(logic dichotomy)判斷，指標的相關性如表 3.1 所示。

表 3.1 指標項目的一致性相關

指標項目	一致性		指標相關說明
	相關		
	正向	負向	
溶氧	*		溶氧高，有利於生物發展，趨於永續。
懸浮微粒		*	懸浮固體多會阻礙光在水中的穿透，影響水中生物生長，趨向不永續。
硝酸鹽氮		*	硝酸鹽氮含量過高時，常易造成藻類大量繁殖，使得水體呈優養化現象，趨向不永續。
葉綠素		*	葉綠素高，表示水中藻類過量繁殖，趨向不永續。
重金屬(鎘、鉻、銅、鋅、鉛)		*	危害生物，趨向不永續。
汞		*	破壞魚類的呼吸系統，中樞神經系統及皮膚等，趨向不永續。
磷酸鹽		*	過量的磷進入水體，將造成藻類大量繁殖及死亡，並會因其腐敗分解大量耗氧，導致水中溶氧耗盡，形成優養化現象，趨向不永續。

了解指標的相關性後，若當變項原始資料值越高，相對之永續趨勢是正向，則以其常態標準化 Z 分數值所對應之常態標準曲線累積機率為其一致化分數值(以 P 表示)；反之，若當變項原始資料值越高，而相對永續趨勢是負向的，則以 1 減去該變項常態標準化 Z 分數值對應之常態標準曲線累積面積($1-P$)代表其一致化分數值。

3.1.2 資料特性檢定

在因素分析的條件中，變數之間需具有相關性，但相關性太高或太低的變項，皆會造成使用因素分析的困難。相關性太低難以抽取一組穩定的因素，不適於進行因素分析，然而相關性太高的變項，則有明顯的多重共線性(multicollinearity)，有效度不足的疑慮，所獲得的因素結構價值不高。因此在進行因素分析之前，需透過球型檢定(Bartlett's test of sphericity)與 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy)檢定來檢驗上述問題，以評估資料的可因子化及樣本適切性。

1. 球型檢定：球型檢定是用來探討相關係數是否適當的一種方法。由於因素分析使用相關係數作為因素抽取的基礎，一般而言，相關矩陣中的相關係數必須顯著的高於 0，某一群變數兩兩之間有高相關，顯示可能存在有一個因素，多個群落代表多個因素。如果相關係數非常接近且都偏低，則因素的抽取越不容易，球型檢定即可用來檢驗這些相關係數是否不同且大於 0，顯著的球形考驗(Sig>=0.05)表示相關係數足以作為因素分析抽取因素之用。
2. KMO,取樣適切性量數：探討相關系統是否適當還有另一種方法就是用偏相關係數(Partial Correlation)或淨相關係數來做判斷。變數之間是否具有高度關聯，可以從偏低的淨相關系統來判斷，以淨相關係數來計算各個變項的關係，排除了其它變項的影響，該係數稱為 KMO 取樣適切性量數，代表與該變數有關的所有相關係數與淨相關係數的比較值，該係數越大表示相關情形良好。KMO 之定義如方程式(8)所示。

$$KMO = \frac{\sum \sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum \sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum \sum_{i \neq j} a_{ij}^2} \dots\dots\dots (8)$$

其中 r_{ij} 為變項 i 與 j 之 Pearson 積差相關係數，而 a_{ij} 為此變項之偏相關係數，式(8)指出若偏相關係數平方(a_{ij}^2)和越小，並遠小於所有相關係數平方(r_{ij}^2)和時，使得 KMO 函式分子與分母越接近，則 KMO 檢定值越接近 1，表示變項間有共同因子存在，可因子化。Kaiser (1974) 認為 KMO 值大於 0.5 是較適合的，而 0.8 以上為最佳。當 KMO 之數值過小時，其建議剔除相關較小之變項。

3.1.3 指標合成與呈現

將一致化分數值視為最初因素分析設算所需之輸入，利用主成分因子分析方法及最大變異轉軸，計算出因子分數(F)，將所得之因子分數進一步作常態曲線轉換與尺度轉換為 10 分制的因子評價分數(f)(Factor evaluating score)，另在因子模式解中因子負荷矩陣(L(p*m)=[l_{ij}])的因子負荷平方和 λ_j，計算式如方程式(9)所示。

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^p l_{ij}^2 \dots\dots\dots (9)$$

表示所萃取各因子的相對重要程度，將之除以所有萃取因子之總和定義為其相對權重(Relative weighting)，以 w_j 來表示，如方程式(10)所示。

$$w_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^m \lambda_j} \dots\dots\dots (10)$$

$$Q = \sum w_j \times f_j \dots\dots\dots (11)$$

將所導引出共同因子評價分數 f_j 乘以相對權重 w_j 加總之後，成為永續發展指標 Q(sectoral index)如方程式(11)所示。此永續指標的數值界於 0 至 10 之間，其中 0 代表不永續，10 代表永續。

利用永續發展指標 Q 為基礎，計算各時間點之平均值繪製時序列趨勢圖，與各時間點所包含之指標數據集利用 GIF 之空間分析法繪製出空間圖並依照時間順序排列成時空變化圖，再針對時序列圖與時空變化圖分別說明海域水質狀態的時間變化趨勢以及整體海域水質狀態的時空變化。

3.2 實際建置

本研究之案例為高屏溪出海口附近的 5 個海域水質測站，其測站位置如圖 3.2 所示。資料來源為環保署環境監測資料庫的海域水質資料，監測記錄為民國 91 年至 93 年。此資料包含 16 個水質監測項目，去除無明顯相關性的測項(水溫與鹽度)後，以酸鹼值(PH)、溶氧(DO)、懸浮微粒(SS)、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮、葉綠素(Chl-a)、矽

酸鹽、磷酸鹽、重金屬等 14 個檢測項目做為指標的運算基礎。

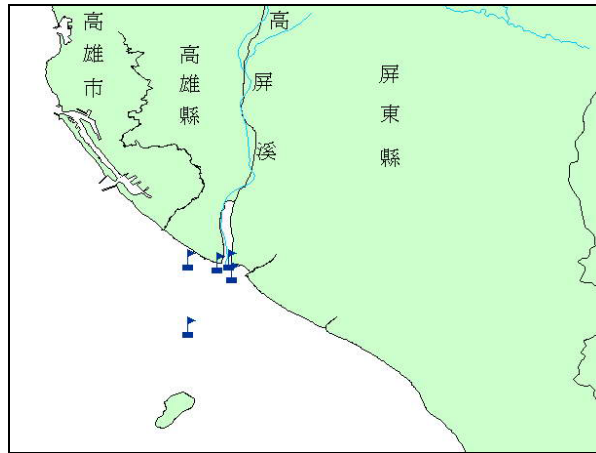


圖 3.2 測站位置圖

根據建置步驟，首先針對個別項目以隨機常態分配產生一落於 0 到偵測極限值之間的數值，利用此值數填補缺失值，並將項目作常態標準化後，根據表 3.1 之指標相關性作一致化轉換。經過資料前置處理後，再透過球形檢定與 KMO 檢定檢驗是否適合進行因素分析，由表 3.2 得知 KMO 值為 0.629 (>0.5)，可得知此筆資料的特性結構適合因素分析。

表 3.2 KMO 與 Bartlett's 檢定

KMO 取樣適切性量數		0.629
Bartlett 球形檢定	近似卡方分配	421.1168
	自由度	91
	顯著性	0.000

接著利用主成份選取法，以相關矩陣(correlation matrix)運算，萃取因子的特徵值大於 1 的值，可得因素陡坡圖及各成分的總變異量表，如圖 3.3 及表 3.3 所示。由表 3.3 可得知，特徵值大於 1 的因子有 5 個成份，這 5 個主成份可以用來解釋原十四個

變數(原總變異量) 71.586%的變異程度。因此選取這 5 個因子做為後續指標合成的個別指標項目。

根據上述，已選取 5 個主要因子，接著開始進行指標合成的步驟。表 3.4 是 5 個因子的轉軸成份矩陣，是依據因素負荷量來由大到小排列。依照表 3.4 可歸納出各成份為何種測項組成：第一成份由磷酸鹽、葉綠素、亞硝酸鹽氮組成；第二成份因子為硝酸鹽氮、矽酸鹽、懸浮微粒、酸鹼值、銅；第三成份由汞、鎘、鉛組成；第四成份由溶氧與鉻組成；第五成份因子為鋅。

因子負荷取平方和後即產生特徵值，此特徵值的統計意義為所萃取之個別因子對所有變項總變異性之貢獻，也就是每個因子的代表程度，可做為因子間相對重要性的衡量依據，因此可計算出 F1~F5 的因子負荷量平方和及相對權重，如表 3.5 所示。

表 3.5 各因子之負荷量平方和及相對重要程度

	因子負荷量平方和	相對重要程度
F1	2.81	0.28
F2	2.789	0.278
F3	1.768	0.177
F4	1.373	0.137
F5	1.283	0.128

將因子分數 F1~F5 分別依常態尺度轉換為 0-10 分尺度的因子評價分數 f1~f5，進而依其相對權重計算整體表現指標 Q，如方程式(12)所示。

$$Q = 0.28 * f_1 + 0.278 * f_2 + 0.177 * f_3 + 0.137 * f_4 + 0.128 * f_5 \dots\dots\dots (12)$$

再利用整體表現指標 Q 為基礎，計算高屏溪出海口海域之水質永續狀態指標。先以時序列趨勢圖呈現海域水質狀態的時間變化趨勢，如圖 3.4 所示。再透過 GIF 圖檔動態的呈現海域水質的時空變化趨勢，如圖 3.5 所示。圖中的永續指標數值界於 0~10 之間，其中 0 代表不永續，10 代表永續。

由圖 3.4 得知，高屏溪出海口附近海域自 91 年 3 月至 93 年 11 月共有 12 次的水質監測資料，利用整體表現指標 Q 計算各時間點之平均值繪製海域永續指標之時序列圖 3.4。從圖中可看出海域狀態呈季節性變化(每年 3 至 9 月海域狀態逐漸變差，9 月至隔年 3 月又會轉好)，雖然海域環境狀態在每年 9 月左右皆呈較差狀態，然每年皆有明顯改善之趨勢，而根據圖中的回歸線(黑線)可得知高屏溪出海口附近海域狀態有漸趨於永續的趨勢。

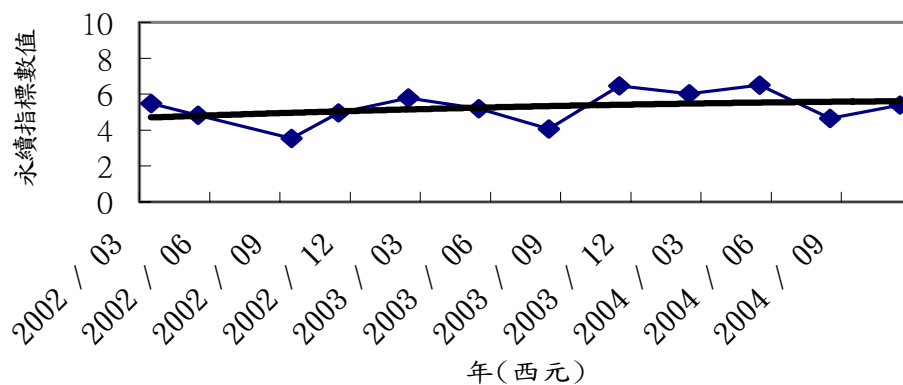


圖 3.4 高屏海域水質狀態之時序列趨勢圖

由圖 3.5 得知，將 12 個時間點所包含之指標數據集利用空間分析法繪製出 12 張空間圖並依照時間順序排列形成圖 3.5 之時空變化圖。從圖中可看出在所有時間點中出海口之狀態皆比其他測站為差，而每年 8,9 月海域環境會達到最差之狀態。並可看出 2002 至 2004 年各季海域環境皆有逐漸轉向永續之趨勢。

3.3 結論與建議

本單元以高屏出海口附近海域環境為例，利用多變量分析的因素分析作為指標合成方法，計算出因素值與權重，再合成為一永續指標值，再配合GIS與空間內插的IDW法，繪製永續指標之時間序列圖與時空變化圖，以評估高屏出海口附近海域的永續趨勢變化。由上述結果得知，雖然永續指標呈現震盪的現象(每年3~9月逐漸變差，9月至隔年3月又會逐漸轉好)，但是趨勢逐漸向上，代表高屏溪出海口附近的海域環境是逐漸朝向永續的狀態，這顯示高屏河流域污染源控制與管理已經有初步的成效。

利用指標來呈現海域水質環境的整體表現，可清楚地描述海域水質的變化趨勢是否朝向永續，且透過指標的協助，使決策人員或一般民眾均易於瞭解海域水質環境的狀況與趨勢，顯示利用因素分析法所找出的個別指標項目具代表性，可確實掌握水質資料的大部分訊息。再者，利用時序列圖及時空變化圖等視覺化的協助，呈現海域水質的時空變化，可讓使用者更易於瞭解海域環境的變化趨勢。

然而有鑑於監測資料的限制，建議環境部門未來增加監測地點，而且監測地點必須分佈均勻，本單元所分析的資料只包含5個測站，因此能推估範圍受限，而且推估之精確度有限。此外，建議環境監測的頻率應該縮小，此次報告所使用資料的時間間隔長達數個月，因此無法有效預估未監測時間的環境狀態，綜合來說，環境部門有必要進一步研究合適的資料蒐集範圍與合理之監測站數，如此可增加合成指標之準確性。最後由於本單元只是單純的使用IDW法做為空間內插的方式，因此未來相關研究若能夠測試其他空間內插法，將可相互比較何種內插法更符合實際狀況，更適合來推估海域環境的永續趨勢。