A Preliminary Proposal for Groundwater Source Protection Zone of the Choshuichi Groundwater Basin

Chung-Jung Chiang[1,2] and Jui-Er Chen[1]

Abstract

Surface water source protection zones have been widely delimited and declared in Taiwan according to the Tap Water Act and Drinking Water Management Statutes. Although the laws are also valid for groundwater regimes, no groundwater source protection area has been set up due to limited information concerning the groundwater systems and concealed groundwater recharge mechanisms. Reviewing study results related to recharge areas, recharge sources, yearly recharge volume and water quality of aquifers, the major recharge areas can be clearly delineated and proposed as the groundwater source protection zone of the Choshuichi Groundwater Basin.

Key word: Groundwater source protection zone

行政院農業委員會農業試驗所 AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE 1895

1. Central geological survey, Ministry of Economic Affairs, R.O.C.
2. Corresponding author, E-mail: chiang@linx.moeacgs.gov.tw

濁水溪沖積扇地下水水源保護區劃定之芻議

江崇榮 [1,2] 陳瑞娥 [1]

摘要

台灣地區依據自來水法和飲用水管理條例，已針對地表水廣泛劃定水源保護區；此二項法規雖亦適用於地下水水源保護區之劃定，然而因爲地下水系統較難掌握，地下水水源保護區劃定工作尚未展開。本文以濁水溪沖積扇地下水區爲例，整合過去數年來水文地質及地下水補注相關調查研究成果，評估主要補注區之分布範圍，建議劃定爲地下水水源保護區，希望能經由地下水水源之保護，達到地下水資源永續利用之目標。

關鍵詞：地下水水源保護區

1. 經濟部中央地質調查所
2. 通訊作者，電子郵件：chiang@moeacgs.gov.tw

前言

臺灣地區民國78年至87年之年平均用水總量約181.3億立方公尺，其中由河川引水供應75.9億立方公尺（41.9 %），地下水抽用量62.8億立方公尺（34.6 %），水庫供水42.6億立方公尺（23.5 %）；由此可知，地下水供水量爲水庫供水量之1.5倍（經濟部水利署，2003）。有鑑於地下水資源之高度重要性，而地下水補注區爲地下水之水源地，因此行政院環境保護署民國87年提出之國家環境保護計畫，明訂應調查研擬地下水天然補注區範圍，建立補注區水質保護及污染源管制措施。然而地下水系統埋藏於地下，在缺乏水文地質基本資料及長期地下水水質和水位觀測資料狀況下，地下水天然補注區範圍之劃定及保育工作尚未落實。

經濟部自80年至97年間執行臺灣地區地下水觀測網整體計畫，全程三期共17年，投入大量人力和物力，建置觀測井網，蒐集水文地質及地下水水位和水質基本資料；其中以第一期七年完成建置之濁水溪沖積扇和屏東平原地下水區，資料最爲完備；依據相關研究成果，江崇榮和陳瑞娥 (2004) 曾提出屏東平原地下水水源保護區劃定之芻議。本文則針對濁水溪沖積扇，以水文地質、地下水流場及地下水水質特性圈繪補注區範圍；用氫氧穩定同位素質量平衡分析，評估地下水不同補注水源所佔之比率；利用地下水位歷線及地下水層蓄水係數，進行地下水收支分析；據以釐定主要地下水補注區之範圍，建議劃設爲地下水水源保護區，希望對保護區土地利用及水土污染做適當管制，使地下水資源管理能朝向永續利用的目標跨出一步。

水源保護區相關法規及劃定概況

水源保護區相關法規主要有自來水法和飲用水管理條例；其與保護區劃定之條文及劃定情形概要如次：

水質水量保護區

自來水事業對其水源之保護，得視實際需要，依水利法向水利主管機關申請辦理，或請水利主管機關會商有關機關，劃定及公布水質水量保護區域，禁止在區域內一切貽害水質與水量之行爲（自來水法第十一條）。

自來水公司依據自來水法，以其取水口以上集水區及下游400公尺河川行水區爲範圍，並以天然稜線爲界線，申辦劃定水質水量保護區；從民國64年起陸續劃定111處水質水量保護區，其中包括水庫水源保護區16處，河川取水口水源水質水量保護區95處，

總面積約9,902平方公里（駱尚廉，2001）；迄民國91年1月，公告廢止四區及縮減高屏溪流域水源水質水量保護區範圍，總面積成爲9,061平方公里，約佔臺灣面積之25 %。地下水雖然也是自來水公司之重要水源，然而並未針對其取水井之地下水水源加以界定及申辦劃定保護區。

水質保護區

行政院環境保護署依民國86年修訂之飲用水管理條例第五條，劃定飲用水水源水質保護區77處，及飲用水取水口之一定距離範圍49處，總面積約3,577平方公里，約佔臺灣面積之10 %（駱尚廉，2001）。其所稱之飲用水水源爲自來水及水質符合飲用水水源之地面水體和地下水體（飲用水管理條例第三條及第六條）。飲用水水源水質保護區及取水口一定距離範圍內，原有建築物及土地使用，經主管機關會商有關機關，認爲有污染水源水質者，得通知所有權人限期拆除、改善或改變使用；其所受之損失由自來水事業或相關事業補償之（飲用水管理條例第五條）。

以上兩法劃定水源保護區之目的，均在保護飲用水之水源；自來水法之水質水量保護區之劃定，是由自來水事業單位提出申請才辦理，主管機關處於被動；而飲用水管理條例之水質保護區，則由主管機關主動評估劃定，因此尚可包括自來水事業以外之飲用水源，劃定之適用範圍較大；惟水質保護區劃定工作起步較晚，而且目前以符合飲用水水源水質且爲甲類水體者爲主要劃定對象，因此已劃定之範圍反而較小，並且大部分與水質水量保護區重疊。地下水雖亦爲臺灣地區之重要飲用水水源，然而目前尚未針對地下水體劃定水源水質保護區；因此佔水資源供應量三分之一的地下水，仍然處於沒有受到積極保育的狀態下。

濁水溪沖積扇地下水水源保護區之劃定步驟

本文所稱地下水水源指的是地下水補注區；地下水補注區可從水文地質結構、地下水流場和水質特徵等釐定其範圍；地下水補注水源，可利用氫氧穩定同位素之質量平衡分析，評估各項補注水源所佔之比率（江崇榮等，2005）；地下水補注量，可利用地下水位歷線分析方法評估（江崇榮等，2006）。經由上述研究工作，可充分掌握地下水補注區、補注源和補注量，以及其在地下水區空間上之分布，據以劃分出主要補注區，以爲地下水水源保護區優先劃定之對象。

（一）以水文地質及地下水流場辨識補注區

經濟部中央地質調查所之濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告（1999）所描繪本區之範圍較大，北以烏溪爲界，向東延伸到車籠埔斷層，向南則擴大到北港溪略南，往西則延展到地下水層推測尖滅之處，據以描述廣域之水文地質及地下水流概念模型；圖1顯示中部地下水層（F2）邊界、地下水流場及剖面aa′、bb′、cc′ 之分布，地下水由東側台地、丘陵及河床區向西側沿海區滲流，烏溪、八卦山脈、濁水溪及斗六丘陵均爲地下水流源頭；圖2、3、4顯示本區300公尺深度內之水文地質，由四層地下水層間夾三層阻水層所組成，阻水層向東尖滅，扇頂附近各地下水層互相連通；補注區由北而南有八卦山脈、濁水溪河床及沖積扇頂區、斗六丘陵等。圖5繪出上部阻水層（T1）由西向東分布之界線T1，以及各地下水層（F1、F2、F3、F4）礫石層由東向西分布之界線，顯示沖積扇頂附近是以巨厚之礫石層爲主所組成，約在T1線以東之扇頂區各地下水層上下互相連通，因此扇頂區之降雨、灌溉水、河水之入滲形成本區各地下水層之共同以及主要補注。

本文以沖積扇內，亦即平原區爲探討範圍（圖6），不包括區外之八卦山脈和斗六丘陵；並以資料較多之上、中、下部（F1、F2、F3）三層地下水層爲對象；而各地下水層之共同補注區位於沖積扇頂區，相當於圖5分佈於T1以東之乙級補注區。

（二）以地下水氚、溶氧和硝酸態氮輔助辨識補注區

氚爲一放射性同位素，半衰期12.43年，天然氚由宇宙線之中子撞擊大氣層中之氮原子而成，並與氧結合成水分子；大氣之氚呈一穩定的濃度值，臺灣地區大氣及降雨含氚之背景濃度約3.0 TU；由於1952年到1962年間進行之大氣層熱核爆試驗，使大氣及雨水氚濃度從1953年起開始急速上升，並於1963年到達最高約600.0 TU（Yu *et al*., 1998）。假設1952年前入滲補注之地下水背景值3.0 TU至5.0 TU，於1992到1997年間取樣分析，因爲經40多年的衰退，氚濃度約0.3 TU到0.7 TU，而氚分析的精確度（precision）約0.1 TU，若以1.0 TU爲臨界值，當水樣含氚大於1.0 TU，可認定其應爲1953年或更晚入滲補注之水，或至少混有1953年後補注之水，代表該水樣取樣於補注區或其臨近。水中之溶氧主要來自大氣或水生植物。未受污染之地面水，在25 ℃左右之溶氧濃度約8 mg/l（Mc Neely *et al*., 1979）。當地面水入滲補注地下水後，往深處或下游滲流，因阻水層封閉及微生物及化學作用而漸被耗盡；因此地下水高溶氧之分布區可顯示出地下水補注之位置。以0.5 mg/l 爲臨界值，大於0.5 mg/l 表示顯著含溶氧補注區之指標，小於此值則爲含氧極微之非補注區。

雨水中之硝酸態氮（NO_3^--N）一般在0.2 mg/l以下，未受污染之地面水常在1.0 mg/l以下

（Mc Neely *et al*., 1979）。由於氮肥及人畜排泄物污染土壤和地面水，可使補注區地下水之硝酸態氮濃度遠高於1.0 mg/l ；地下水往深處或下游滲流，因阻水層封閉及微生物作用下，硝酸態氮與水中溶氧幾乎同步被還原而迅速耗盡，基於上述特性，硝酸態氮可爲地下水污染及補注區之指標，高濃度之區域爲被污染區，也是地下水快速補注區（江崇榮等，2005）。

氚、溶氧和硝酸態氮爲示踪劑，三者均由入滲水帶入地下水層中，可指示地下水補注區之分布；先以氚大於1.0 TU爲條件，再以溶氧或硝酸態氮大於0.5mg/l 爲附加條件來輔助劃定補注區範圍，其界線如上部地下水層和中部地下水層之R1和R2線（圖6）；上部阻水層（T1）爲上部（F1）和中部（F2）地下水層之分隔層，T1線以東爲主要補注區之初估範圍，面積約273平方公里；至於R1和R2，則以氚、溶氧和硝酸態氮標示出的補注區範圍；兩種方法完全不同，然而所獲界線卻相當一致，可互相驗證其合理性。由於上部地下水層被覆於中部地下水層之上，地下水區內之垂向補注必先進入上部地下水層，再向下補注中部地下水層，受兩層之間阻水層之封隔，中部地下水層之補注區理應小於上部地下水層之補注區。圖六卻顯示界線R2在R1的西側，此乃中部地下水層是濁水溪沖積扇之主要抽水層次，地下水水力坡度和流速較大，示踪劑傳輸速度較快距離較遠所致。綜上所述，本文採用R1界線以東爲上部地下水層和中部地下水層之共同補注區，也是濁水溪沖積扇之主要地下水補注區，面積約285平方公里（江崇榮等，2005），佔全區面積2079平方公里之13.7 %。

（三）以氧穩定同位素組成評估補注水源

在水文循環中，水中之氧穩定同位素組成，只因蒸發或凝結時之同位素分化作用，以及不同水源之混入而有所改變；同一地點之地下水、地面水或雨水之氫氧穩定同位素組成值常維持在一定範圍內；藉由地下水及補注水源氫氧穩定同位素之質量平衡分析，可估計出地下水是由補注源按多少的比率混合成的。圖7和表1摘錄本區氧穩定同位素質量平衡分析之結果（江崇榮等，2005），顯示濁水溪沖積扇地下水區之主要地下水補注區內，降雨入滲補注約佔總補注量之22.9 %；上游河水流入扇頂區於河床入滲補注約佔總補注量之34.0 %，兩項合計約56.9 %；亦即在面積僅佔全區13.7 % 的主要補注區內，補注量達全區之56.9 %。因此可知濁水溪的水質和水量，以及主要補注區土地使用型態和污染程度，是控制濁水溪沖積扇地下水補注水質和水量之主要因子。

（四）地下水補注量評估

彰化雲林地區因缺乏水庫，民生用水、工業用水和農業用水均高度仰賴抽取地下水供應；然而因抽水井常未裝置水表，地下水抽用量難以明確統計，導致地下水收支平衡分析具有高度不確定性。比較直接而可靠的方法是地下水歷線分析方法（江崇榮等，2004，2005）；將日平均地下水位乘上蓄水係數及代表面積，加總後可得代表全區在該日之蓄水量，據以繪製全年之365日之地下水（量）歷線；每年約10月起至次年1月爲乾季，濁水溪沖積扇地下水歷線之退水線呈穩定之直線 (L)，其斜率可代表全年之穩定抽水率；2月至3月之乾季地下水歷線之退水線，則呈另一較大斜率之直線 (M)，其斜率代表穩定抽水率加上水稻灌溉抽水率；利用上述L、M直線之斜率可估算出全年之穩定抽水量和一、二期作水稻灌溉之抽水量，加總得年抽水量 (Qp)。此外，以10月至次年1月之乾季退水線 (L) 之平行線，將各次退水線往後延伸到因降雨而上升歷線之頂點下，延伸線與歷線頂點之垂直差距代表各場次降雨之補注量，加總可得全年補注量 (Q_r)。歷線在年底與年初之垂直差距，則代表全年蓄水變化量 (Q_s)。最後，應用水平衡式，$Q_r = Q_P + Q_\ell + Q_s$，可計算出地下水之流失量 (Q_ℓ)。地下水歷線分析法評估結果如表2，88、89及90年之年抽水量依次約13.65、14.58、11.73億立方公尺，補注量依次約15.36、15.34和15.30億立方公尺，蓄水變化量依次約-1.33、-0.94和1.17億立方公尺，水平衡公式計算得流失量依次爲3.04、1.70和2.40億立方公尺（江崇榮等，2006）。3年之補注量甚接近，平均值爲15.33億立方公尺，若乘上氧同位素質量平衡分析所獲之補注水源之補注率，可概估河水在濁水溪沖積扇頂河床年入滲補注約5.21億立方公尺（圖8），降雨在扇頂區入滲補注約3.51億立方公尺；亦即主要補注區佔全區總面積13.7 %，入滲補注總水量達8.72億立方公尺。

（五）地下水污染潛勢之考量

從圖2、3、4概念模型及水文地質剖面得知，只有沖積扇頂是主要非受壓區，補注水於此入滲及分到各層之中，是地面水入滲補注入口之主要途徑，也是污染物傳輸之門戶。圖9上部及中部地下水層中，81年到89年間地下水取樣分析硝酸態氮濃度分佈概況（陳文福等，2003），來自地表之硝酸態氮污染，集中在沖積扇頂；由此可看出兩件事，一是沖積扇頂爲地下水易受污染區，另一是地下水已遭受相當程度的人爲污染。硝酸態氮污染主要來自氮肥及人畜排泄物，是一種廣泛的區域性污染；地下水中硝酸態氮的濃度大於1 mg/l，顯示極接近污染源，可爲補注區之另一指標。沖積扇頂是上、中、下部地下水層之共同補注區，區內土壤或地面

水污染極易傳輸到深淺各地下水層中，是全地下水區地下水水質和水量保育的重點區域。

（六）地下水水源保護區劃定之建議

本研究釐定之地下水主要補注區面積約285平方公里，佔濁水溪沖積扇地下水區之13.7 %；年補注水量約8.72億立方公尺，佔全區之56.9 %；面積小補注量大，而且位居地下水流之源頭，土地或水體若受污染或不當之利用，將嚴重影響全區地下水之水質和水量；建議劃設爲地下水水源保護區。正式劃定保護區時應由主管機關再確認其範圍，進行必要水文地質補充調查，以提高保護區界線之精確度。

地下水水源保護區建議管制事項

自來水法第十一條，訂定11項禁止貽害水質與水量之行爲。飲用水管理條例第五條禁止12項污染水源水質之行爲，可爲地下水水源保護區管制之基礎；經歸納並參考德國地下水保護區管制內容（江崇榮，1985；DVGW，1975），建議管制事項如次：

一、以營利爲目的之飼養家畜家禽。

二、有機或無機肥料、農藥或除草劑之過量使用。

三、排放超過規定標準之工、礦廢水或家庭污水。

四、掩埋或棄置垃圾、灰渣、污泥、糞尿、廢油、廢化學品、動物屍體或其它足以污土壤、地表水或地下水之物品。

五、非法砍伐林木、開墾土地或採取土石。

六、河道變更或河川工程足以影響河床滲透或河水自淨能力且未經主管機關同意者。

七、新社區開發或新墳場之設立。

八、工業區開發，污染性工廠設立或污染物品輸送管線之設置。

九、道路、鐵路、捷運系統、機場、軍事設施等之開發，未經主管機關同意或未經環境影響評估通過者。

十、核子反應器之設置或運作，放射性廢料之儲存或處置。

水源保護區屬於公益性限制發展區，對於公益提供者，依其損失或付出之大小，應給予適當補償，其經費來源可比照自來水法第十二條或飲用水管理條例第五條之規定，由自來水事業提供，亦可考慮徵收地下水水權費或抽水費來支應。水質水量保護區依都市計畫程序劃定爲水源特定區者，其土地應視限制程度減免土地增值稅、贈與稅及遺產稅（水利法第十二

條之一)。

地下水水源保護區上游集水區之水，亦爲地下水之補注水源；以濁水溪爲例，約有34.0 %之地下水源自於濁水溪上游集水區之河水，34.2 %源自東側緊接的八卦台地和斗六丘陵區；此等區域因在地下水區外，未被本文納入保護區一併探討，惟其重要性不容忽視，尤其台地及丘陵地茶園和果園發達，其使用之農葯和肥料也可能間接流入地下水區中，值得在未來進一步調查探討。

結論與建議

地下水是臺灣地區之重要飲用水源，保護此項資源以達永續利用之目標，乃刻不容緩的工作。截至目前爲止，重要地表水體已依據自來水法劃定自來水水源水質水量保護區，飲用水管理條例劃定飲用水水源水質保護區；此二項法令雖然涵蓋地下水體，然而因對地下水之了解有限而遲未劃定其水源保護區。近年來臺灣地區地下水觀測網計畫建立起量多質佳之水文地質及地下水資料，對地下水系統有較確實之掌握，提供地下水水源保護區劃設工作之科學依據。居於地下水在水資源供應上佔有高比重、不可替代性及易受污染，主要補注區之保育工作實爲迫切的重大課題。

引用文獻

江崇榮。1985。地下水保護區。中華民國工程環境學會會刊。工程環境 6：1-13。

江崇榮、陳瑞娥。2004。屏東平原地下水水源保護區劃定之芻議。經濟部中央地質調查所彙刊 17：1-19。

江崇榮、陳瑞娥、賴慈華、黃智昭。2005。濁水溪沖積扇地下水區之補注區與補注源探討。經濟部中央地質調查所彙刊 18：1-28。

江崇榮、黃智昭、陳瑞娥。2006。以地下水歷線分析法評估濁水溪沖積扇之地下水收支。經濟部中央地質調查所彙刊 19：61-69。

陳文福、林文勝、張國強、秦啓文、蔡克敏。2003。彰雲地下水補注區之溶氧與硝酸鹽氮濃度。經濟部中央地質調查所彙刊 16：125-139。

駱尙廉。2001。飲用水水源保護。第六次全國科學技術會議大會提案。第四議題永續發展與民生福祉。子題二。環境保護與全球變遷科技。題綱二飲用水水源保

護。共 5 頁。

經濟部中央地質調查所。1999。台灣地區地下水觀測網第一期計畫。濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告。經濟部中央地質調查所。共 130 頁。

經濟部水利署。2003。臺灣地區水資源開發綱領計畫。經濟部水利署網站（http://www.wra.gov.tw）資料。

DVGW. 1975. “Richtlinien für Trinkingwasserschutzgebiete”, 1. Teil, Schutzgebiete für Gründwasser. Technische Regeln Arbeitsblatt W101.

McNeely, R.N., V.P. Neimanis, and L. Dwyer. 1979. Water Quality Source Book. A Guide to Water Quality Parameters. P27-28. P33-34.

Yu, P., C.H. Wang, and T.F. Yang. 1998. The use of tritium to determine the mean residence time of the groundwater in Pingtung Plain. Thirteenth Southeast Asian Geotechnical Conference. 1988. Taipei. Taiwan. pp.727-732.

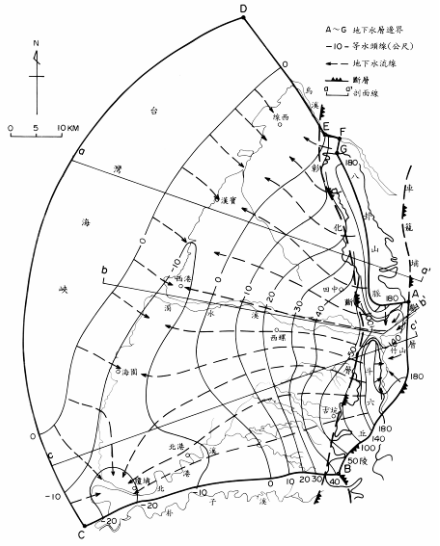


圖 1 . 濁水溪沖積扇中部水層（F2）之邊界及地下水流概念模型（圖中數值係 1997 年 8 月和 1998 年 4 月平均水位）。

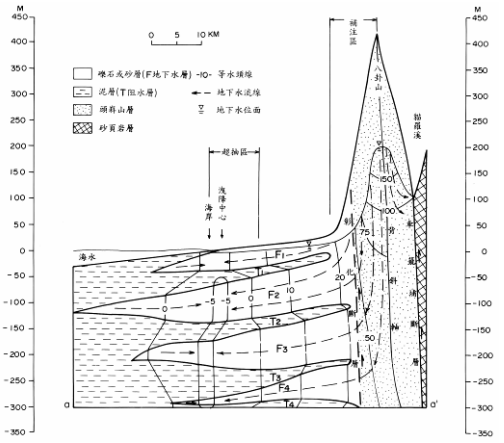


圖 2. 濁水溪沖積扇 aa′ 剖面水文地質及地下水流概念模型（圖中數值係 1997 年 8 月和 1998 年 4 月平均水位）。

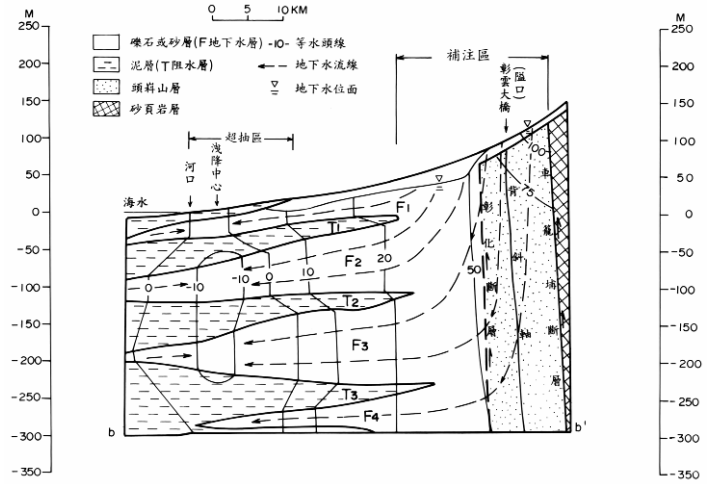


圖 3. 濁水溪沖積扇 bb′剖面水文地質及地下水流概念模型(圖中數值係 1997 年 8 月和 1998 年 4 月平均水位)。

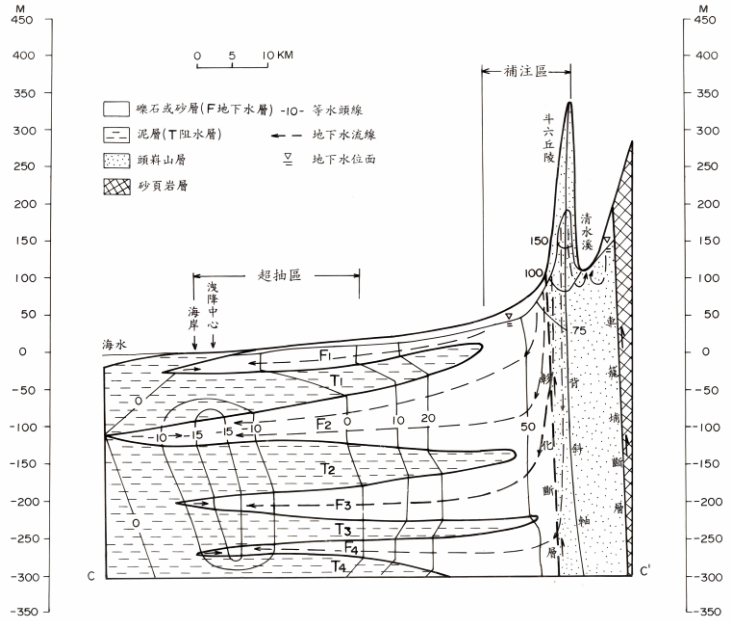


圖 4. 濁水溪沖積扇 cc′ 剖面水文地質及地下水流概念模型（圖中數值係 1997 年 8 月和 1998 年 4 月平均水位)。

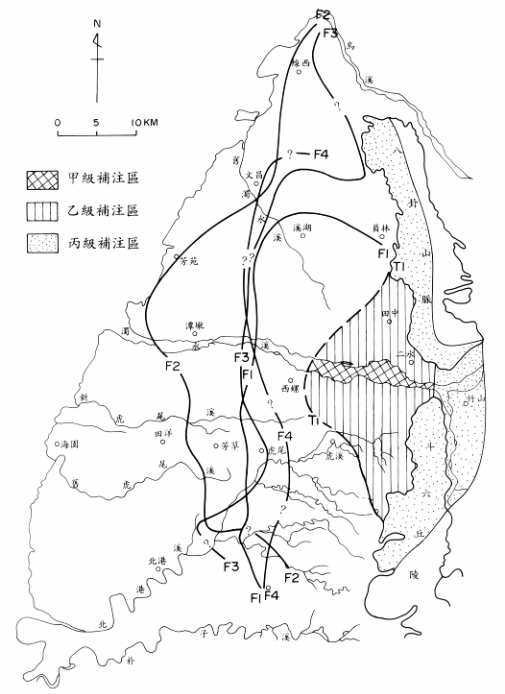


圖 5. 濁水溪沖積扇地下水補注區及上部阻水層界線 T1 與各地下水層（F1、F2、F3、F4）之礫石層由東向西分布界線。

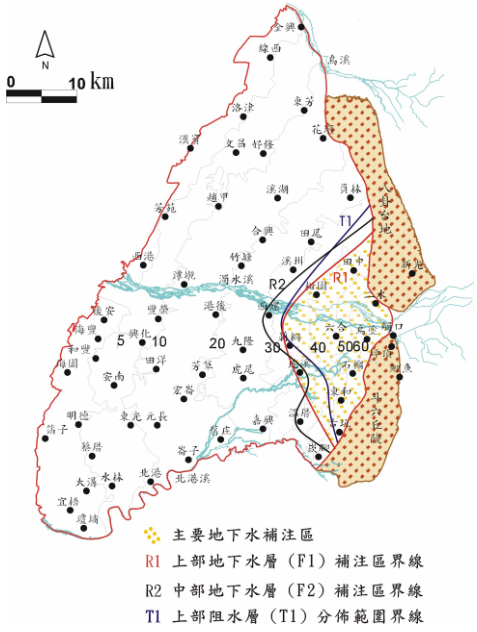


圖 6. 氚、溶氧和硝酸態氮輔助辨識之濁水溪沖積扇上部及中部主要地下水補注區分布略圖。

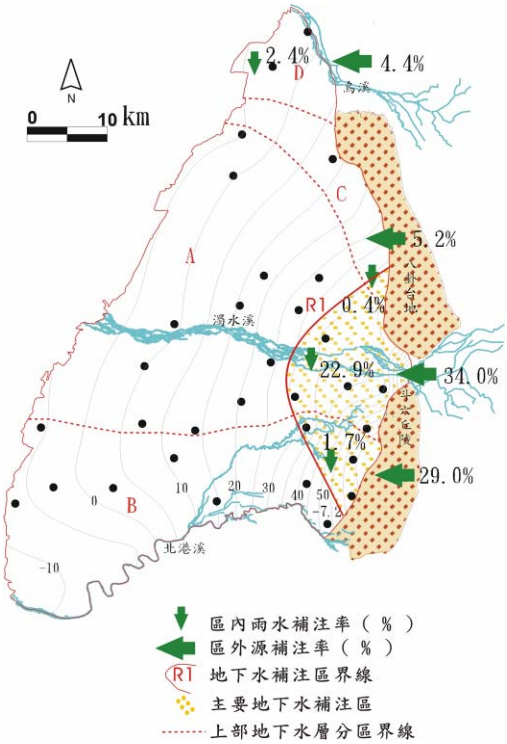


圖 7. 濁水溪沖積扇主要地下水補注區及地下水補注源分布圖。

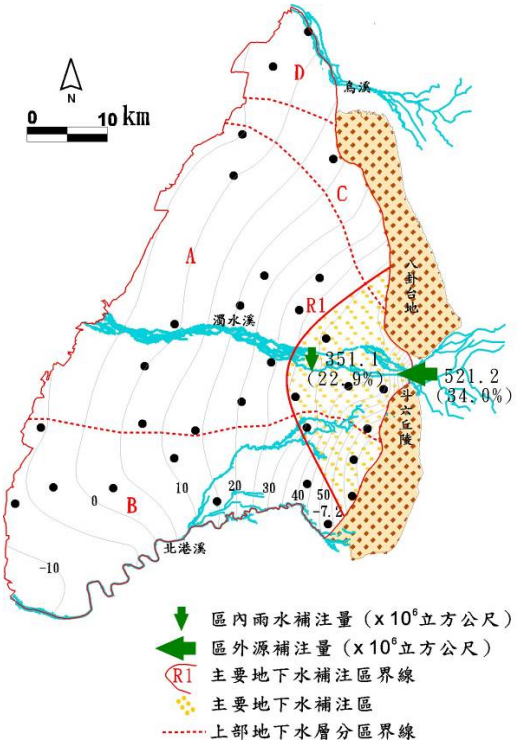


圖 8. 濁水溪沖積扇主要水補注區及 88 至 90 年平均地下水補注量分布圖。

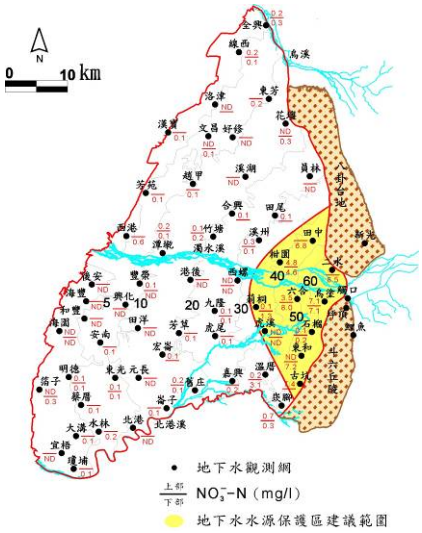


圖 9. 濁水溪沖積扇上部(F1)及中部(F2)地下水層歷年 NO3--N 濃度分佈概況所顯示之污染潛勢。

表 1. 各分區內源和外源在全區所佔之比率

A 濁水溪分區	濁水溪水 X ＝ 0.598 × 207.216 ÷ 364.084 ＝ 0.340 ＝ 34.0 %
	雨水（1－X）＝ 0.402 × 207.216 ÷ 364.084 ＝ 0.229 ＝ 22.9 %
B 北港溪分區	斗六丘陵地下水 X ＝ 0.945 × 111.826 ÷ 364.084 ＝ 0.290 ＝ 29.0 %
	雨水（1－X）＝ 0.055 × 111.826 ÷ 364.084 ＝ 0.017 ＝ 1.7 %
C 員林花壇分區	八卦台地地下水 X ＝ 0.925 × 20.564 ÷ 364.084 ＝ 0.052 ＝ 5.2 %
	雨水（1－X）＝ 0.075 × 20.564 ÷ 364.084 ＝ 0.004 ＝ 0.4 %
D 烏溪分區	烏溪水 X ＝ 0.649 × 24.487 ÷ 364.084 ＝ 0.044 ＝ 4.4 %
	雨水（1－X）＝ 0.351 × 24.487 ÷ 364.084 ＝ 0.024 ＝ 2.4 %
外源總比率 ΣX ＝ 0.726 ＝ 72.6 % 內源總比率 Σ（1－X）＝ 0.274 ＝ 27.4 %	

表 2. 濁水溪沖積扇地下水收支估計值($Q_r = Q_P + Q_\ell + Q_s$，$\times 10^6$ 立方公尺)

年	補注量 Q_r	抽水量 Q_P	流失量 Q_ℓ	蓄水變化量 Q_s	淨補注量 $Q_r - Q_\ell$
88	1,536	1,365	304	-133	1,232
89	1,534	1,458	170	-94	1,364
90	1,530	1,173	240	117	1,290
平均	1,533	1,332	238	-37	1,295