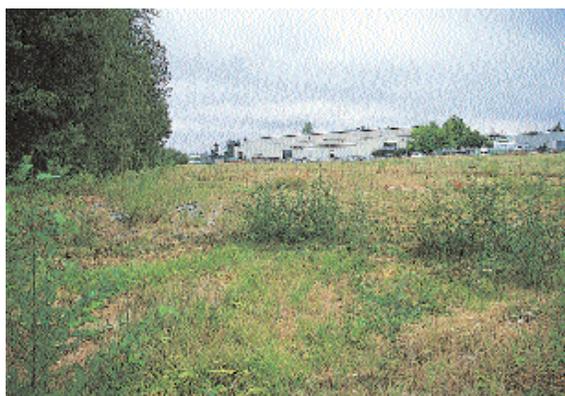




美國維拉美特河濱水生態系經營管理概況

文、圖 ■ 廖學誠 ■ 國立台灣師範大學地理系助理教授



波特蘭市工業區附近的沼澤生態系

濱水生態系介於陸域與水域間，物種歧異度大，易受環境變化而影響。溪流的水量、水質及泥砂，常改變溪流附近的理化性質，更替濱水帶周遭動植物的棲息環境，更影響到濱水帶的生物多樣性，故濱水生態系的經營管理日漸受到重視。美國水資源學會 (AWRA) 於2000年8月28-31日在美國奧瑞崗州波特蘭市舉辦「多目標土地利用集水區的濱水生態及管理」研討會，探討濱水生態系的結構、功能、調查分析方法及經營管理策略等，會後並參觀當地維拉美特河(Willamette River) (本文簡稱維河) 濱水生態系的經營管理現況，沿著維河由下游往上游進行考察，分別參觀波特蘭市郊濱水生態系復育、農業區濱岸管理、森林緩衝帶試驗區及森林溪流保育等四大部分。本文謹將維河野外考察部分及相關研究結果介紹於國內讀者，部分地方也許值得我們借鏡。

維河濱水生態系經營管理概況

維河位於美國奧瑞崗州西北部，主流長301公里，由南向北注入哥倫比亞河，再流入太平洋(圖1)。維河流域面積29,800km²，約為台灣的4/5，奧瑞崗州主要城市如優境(Eugene)、賽倫(Salem)及波特蘭(Portland)等均位於流域中，著名的奧瑞崗州立大學(OSU)亦在境內。十九世紀初，歐洲移民開始在此流域內大量開墾，二百年來，人類活



圖 1 美國奧瑞崗州維拉美特河流域圖

表1 維河Albany測站於築壩前後之水文變化

	年平均逕流量 m ³ /sec	最高流量 m ³ /sec	最低流量 m ³ /sec
築壩前	387	3,128	110
築壩後	397	1,996	165

動改變了維河流域地貌，95%的洪氾平原被開墾為農田或城市(Staley et al., 2000)，尤其是為了控制洪水及灌溉所需，從1941年起至1968年止共興建了10座水庫，所涵蓋的集水區面積約為流域的43%，而主流兩側的護岸工程則陸續施工，目前總長為76 km，這些水利工程設施不但直接影響到維河的水文特性如最高、最低流量及年平均逕流量等（表1），更改變了維河周遭的濱水生態系(Dykaar and Wigington Jr., 2000)。

(一) 都市區濱水生態系復育

由於過去波特蘭市快速發展，使得市郊附近維河與哥倫比亞河交匯處的沼澤生態被破壞殆盡，有鑑於此，市政府成立「哥倫比亞沼澤集水區委員會」，由政府官員、專家學者及當地居民共組而成，透過溝通與合作，



波特蘭市郊沼澤區規劃為滯洪池

擬定該區沼澤生態系的復育計畫，並加以推行，以確保集水區內的品質與穩定度，並恢復生態系內原有的構造與功能。該委員會成員來自多方，不同意見與利益可在此協調，降低衝突，以利復育計畫之推行。該沼澤區在復育過程中，避免人工植樹方法，因為人工植樹不見得能吻合沼澤區自然生態系的構造與功能，即使是用原生樹種亦是如此，其植生分佈將淪為人造而非天然，此外，人工植樹常著眼於造景功用，有時甚至會阻礙洪水流徑。部分緊鄰波特蘭市工業區的沼澤則被規劃為都市滯洪池，當降雨過大時，部份地表逕流可暫時儲存於此，減緩洪害。此外，該沼澤區亦設有環境教育中心及休閒遊憩場所，以滿足當地居民需求，使得沼澤區具有多目標功能。

調查波特蘭市的濱水植物（18個樣區）與附近鄉村的濱水植物（17的樣區）後發現，調查區域內總共有138種植物，其中原生種102種，外來種36種。由於不斷的人為干擾，使得外來種植物有機會侵入波特蘭市的濱水生態系，致使都市區植物的歧異度（Shannon指數）高於鄉村區，但若只考慮原生植物，則鄉村區濱水原生植物的歧異度將遠高於都市區。此外，鄉村區原生植物的歧異度明顯地與濱水帶寬度成正比，且與濱水帶周長/面積之比成反比，至於都市區原生植物的歧異度則與濱水帶寬度及周長/面積之比無顯著相關，此乃由於都市區濱水帶大都成不連續狀的島嶼(O'Neill and Yeakley, 2000)。若著眼於復育濱水帶原生植物，則濱水帶寬

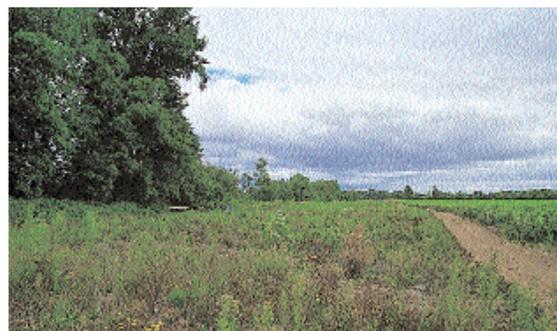


度應加寬，並連成帶狀，而非各自獨立的生態島嶼。

波特蘭市西邊的Hillsboro市及東南邊的奧瑞崗市是波特蘭市的近郊城鎮，1970年起迅速都市化後，這兩個城鎮各自採取不同的濱水生態系保育策略。Hillsboro市地勢較為平坦，市政府規定在洪氾平原區內禁止干擾地形及植生的開發行為，且濱水緩衝帶寬度不得低於7.6 m。奧瑞崗市地勢較為陡峻，市政府設立特別區域以保護水土資源，包括：(1)不穩定邊坡區：陡坡及山崩地滑區禁止開發；(2)維河綠道區：保護維河濱水生態系、減少沖蝕、穩定河岸、保護水質及生物棲地等；(3)水資源區：濱水緩衝帶寬度不得低於15.2m。鄰近的波特蘭市則規定濱水帶寬度不得低於15m。經由航空照片判釋後得知，這兩城市的不同保育策略對濱水植物分佈有下列影響：(1)Hillsboro市濱水植物集中於河流兩側，且較連續；奧瑞崗市濱水植物分佈分散，部分區域沒有植生，但部分區域則植生密佈；(2)Hillsboro市濱水植物覆蓋面積隨濱水寬度而遽減，奧瑞崗市則較和緩，在寬度100m時還有30%的植生覆蓋率，200m時還有10%的植生覆蓋率(Ozawa, et al., 2000)。

(二) 農業區濱岸管理

維河中部區域有許多排水不良的農地，由於此區土壤不適合其他作物生長，故農民大都種植裸麥作為家畜飼料之用。因為地力貧瘠，所以施用大量的化學肥料，尤其是氮肥施用量更高，每年每公頃約用140-235kg，這些化學營養鹽隨著流水進入河川，造成溪



維河共軛湖旁的森林緩衝帶試驗區

流水質污染，當地政府還在此豎立警示牌，告訴民眾河川已受污染，禁止釣魚及游泳等活動，以策安全。當河川受到污染後，要再度恢復原貌是不太容易。經由野外試驗得知，在種植裸麥地區每年每公頃施用200kg的氮肥，經35m寬的森林緩衝帶過濾後，上層土壤水中的 NO_3^- 濃度由1.7 mg/L降至0.05mg/L，下層土壤水中的 NO_3^- 濃度則由3.8 mg/L降至0.05 mg/L，由此可知森林緩衝帶確實可以過濾氮肥，攔截營養鹽，減少河川污染及優氧化(Griffith et al., 1997)。

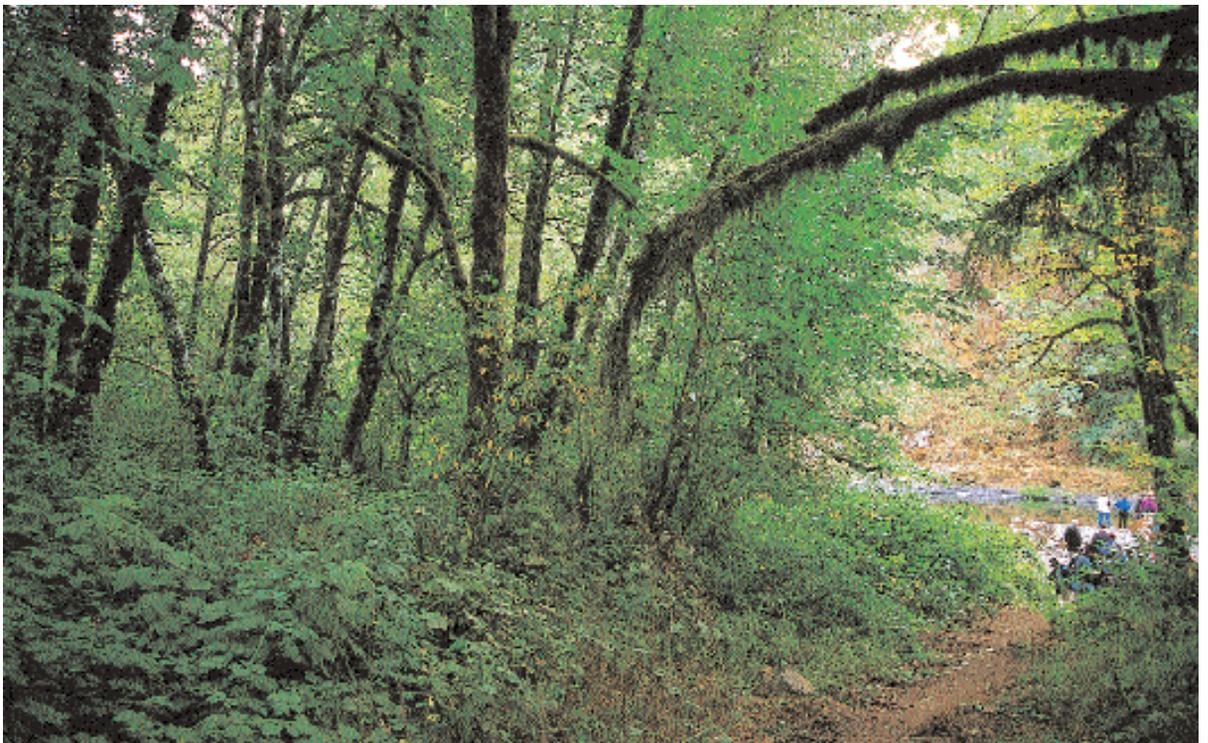
除了森林緩衝帶會改變水質外，河床中的礫石泥砂也會影響到水質的變化。維河河床寬闊地區常見河道分歧，部份河水入滲河床下形成地下伏流再流入其他河道。經野外調查後得知(Fernald et al., 2000)，伏流水的溶解氧(DO)及 NH_4^{++} 濃度比原來河水低，但電導度、 NO_3^- 、可溶磷濃度則增加，伏流水流速增加時則水溫降低。伏流水會影響水質及水生生物的棲息環境，當溝渠人工化後，不但減少河水入滲機會、增加流速外，水質的改變及河床底棲生物的生存環境將受到巨大衝擊，並影響到濱水生態系食物鏈。

(三) 森林緩衝帶試驗區

第三站我們參觀維河舊河道旁的森林緩衝帶試驗區，該舊河道已形成共軛湖，湖旁有寬約10m的森林緩衝帶，緊鄰的則是農地，種植大片玉米。由於森林緩衝帶寬度不夠，奧瑞崗州公園及遊憩局乃在沿湖旁邊選一試驗地，長約1,000m，寬約30m，區分成10個樣區，每一樣區採用不同的植生種類，進行濱水生態系復育工作。部分試區混種橡樹、楓樹、桤木、樺木、杉木及松樹等，部分地區則規劃為草地，據此進行比較，探討何種復育技術成效最好。此濱水生態系復育計畫期望能達成下列目標：(1)植生的遮陰作用降低水溫，以利魚類生存；(2)改善野生動物及植物的棲息環境；(3)穩定河岸邊坡；(4)

減緩及過濾地表逕流；(5)增加遊憩機會。

維河河道常因洪水氾濫而改變，舊河道形成共軛湖，河流水區內的植生則因洪水衝擊而不斷地更新演替。自從水壩及護岸工程陸續進行後，維河的洪害是降低了，流量也較平穩，但行水區內的植生演替也因此而受到變更。經由地理資訊系統分析，比較維河行水區內三個試驗區（面積都是1 km²），1939年及1996年植生資料後得知，植生覆蓋率增加，分別由34%增加至36%、42%增加至64%及18%增加至51%，相反地，裸露地則減少，分別由12%降至8%、12%降至4%及17%降至2%(Sharon and Jones, 2000)。人為的水利設施雖帶給人類益處，但也將會明顯地改變濱水生態系內的植生演替。



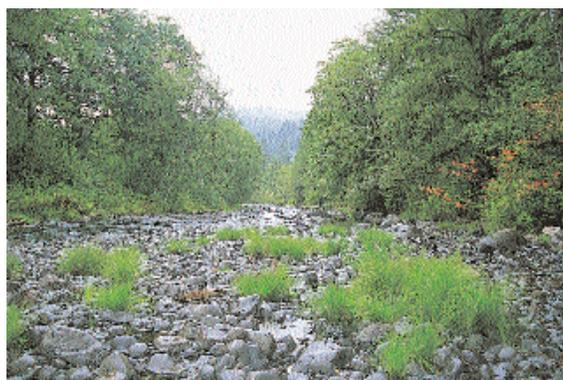
維河森林緩衝帶植生結構



(四) 森林溪流保育

最後一站我們參觀維河上游支流卡拉波依亞河(Calapooia River) (簡稱卡河) 濱水生態系，卡河位於山區，溪流兩側地勢陡峻，與台灣山地集水區相似。林道沿河關建，林道與溪流間保留森林緩衝帶，除具有穩定林道路基、減少溪流淘刷功用外，林道路面經降雨逕流沖蝕後所產生的泥砂，也可藉由森林緩衝帶而攔截下來，避免流入河川，造成土砂災害或污染水質。森林緩衝帶內植生組成成為固有樹種，在天然狀態下形成複層林，地被植生茂密，攔截泥砂效果佳；上層林木高大，具有遮陰效果，減少太陽直曬溪流，有利鮭魚生存，掉入溪流內的枯枝落葉，則是水生生物重要的食物來源。此外，漂流木沿著溪流隨處可見，這些漂流木留置現地，除可穩定河道地貌外，亦是魚類重要棲息環境之一。卡河兩側嚴禁露營、烤肉，避免污染溪流水質，並有警察在此巡邏。

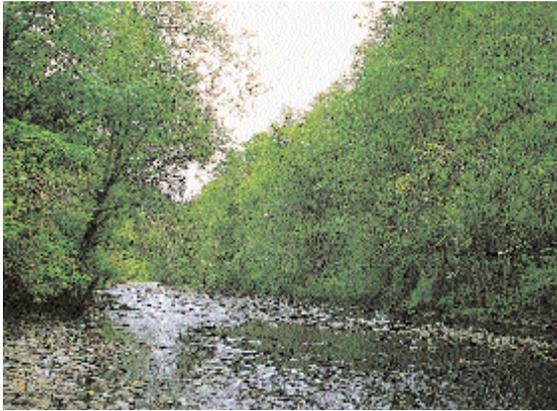
McAllister等(2000)比較卡河濱水植物與農業區濱水植物之差異後得知，卡河沿岸天然森林緩衝帶有53種植物，82%為原生種，除少數優勢樹種如*Populus balsamifera*(20%)及*Pseudotsuga menziesii*(12%)外，其餘樹種分佈平均低於10%。至於農業區則又細分耕作區及休耕區(1974年開始休耕)，大都為草本植物，並且是外來種。耕作區有18種植物，其中*Lolium perenne*占據60%，休耕區有32種植物，其中*Alopecurus pratensis*占據53%，耕作區與休耕區的植物組成迥然不同。農業開墾明顯地改變了維河濱水帶的植



卡河濱水生態系之二

物組成，外來種逐漸地取代維河原生植物，此外，休耕區雖歷時二十餘年，但仍無法自然地回復至原來植生組成，說明經過人為干擾後的植生演替可能與原來的演替路徑大不相同。

返程時途經Corvallis市，此市東側與維河相鄰，部分堤岸年久失修，1996年維河洪水又沖毀部分河岸，市政府乃尋求工程顧問規劃設計，於1999年8月宣布濱岸樹木將被砍除，並進行護岸工程，此項宣布經由當地報紙披露後，引起居民譁然。於是奧瑞崗州立大學21名教授自行組成聯合團隊，進行規劃評估，希望濱岸樹木能被保留以維持生態功能，經調查分析並舉行公聽會(400餘人參加)後，提出一份濱岸復育計畫(Gregory et al., 1999)。該復育計畫將保留濱岸胸高直徑7.5cm以上樹木共900株，並加強種植原生樹種以穩定河岸，此外，上游地區也要加強造林，使得濱岸森林帶連成一氣。最後市政府要求工程顧問與教授們協調，重新規劃濱岸復育計畫，同時兼顧防洪安全及生態保育(Staley et al., 2000)。



卡河濱水生生態系之一

建議

此次維河野外考察筆者有下列建議：

(一) 濱水生生態系復育計畫應讓當地居民參與

濱水生生態系的破壞大都是人為因素所造成，包括開墾、闢路、遊憩及都市化等，居民在此長久居住，已陸續融入其中，故進行濱水生生態系復育工作時，常會與當地居民期望或權益相衝突，為能落實復育工作，又能兼顧當地居民權益，在擬定復育計畫時有必要讓利益相關人(stakeholder)參與討論，並共同制訂決策，唯有如此，濱水生生態系復育計畫才能事半功倍、圓滿達成，而這也是時勢所趨。

(二) 濱水生生態系復育計畫應因地制宜

被破壞過的濱水生生態系要恢復原來面貌是不太容易，因為生態系的構造及功能都已被更動過，且當地環境可能已經無法與濱水生生態系相契合，因此，在進行濱水生生態系復育工作時，應考慮現實需求、因地制宜，達到雙贏局面。例如，波特蘭市近郊接近工業

區附近的沼澤生態系，為因應都市化後增加的洪峰流量，部分沼澤區域被設計為滯洪池是有其必要，若只是一味地高標準要求恢復原狀，則該工業區所產生的洪峰流量，必將耗去更多經費來加以處理。此外，為因應附近居民休閒需求，部分沼澤區則被規劃為遊憩及環境教育之用，除能符合當地居民期待，亦達教育宣導之效。同樣的情形也發生在芝加哥市近郊的沼澤區(Herricks, 2000)。

(三) 政府應盡告知民衆之義務

被污染的河川、湖泊或水庫，在污染源尚未清除之前，政府應有義務告訴民衆真相，豎立警示牌，避免民衆因不知而遭受危害。此外，政府應儘速確實處理污染問題，尋求改善之道。

(四) 加強濱水生生態系基礎研究

濱水生生態系復育規劃與設計需要堅強扎實的理論基礎作為依據，正是所謂「工欲善其事，必先利其器」。唯有正確瞭解濱水生生態系的構造與功能，才能有效地進行復育工作。若因對濱水生生態系瞭解不足或認知錯誤，致使復育計畫失敗，則可能會造成濱水生生態系二次危害，所以加強濱水生生態系的基礎研究是進行復育計畫的必備要求。

(五) 加強法規政策修訂及教育宣導

濱水生生態系復育工作應依據相關法令規定辦理，若有過時或不合時宜所需之法規，則應修改以符現狀。此外，透過傳播媒體或學校教育，宣導生態保育的重要性，讓社會大眾明瞭唯有健康永續的生態環境，人類生命才得以延綿。🌱