

內政部營建署太魯閣國家公園管理處八十四年度研究報告

太魯閣國家公園砂卡礑溪魚道規劃之研究

執行單位：中華民國國家公園學會

主持人：曾晴賢（清華大學生命科學系）

壹、前言

太魯閣國家公園之範圍包括中央山脈北段山區地帶，奇萊及南湖兩大山區係本區河川之主要源流區。國家公園區域內之河系以立霧溪為主要的主幹河川，另外尚有大甲溪源流之南湖溪、合歡溪、畢祿溪及耳無溪，和平溪上游之和平南溪、三棧南溪、三棧北溪等支流。立霧溪上游之支流甚多，由下而上依次有砂卡礑溪、荖西溪、陶塞溪、休督溪、小瓦黑爾溪、塔次基里溪和瓦黑爾溪等等大小支流。

太魯閣國家公園範圍內之各河川之集水區之原始森林和原生植被，尚維持相當完整，只有少數地區有果園或菜園的開墾，因此對河川水質的污染程度仍較低。然而因為本區河川上游之地質環境極為特殊，有許多崩塌地形和高落差的溪谷，容易造成河水混濁和河床不穩定之現象。河川中游地帶亦有頗多高落差瀑布和峽谷等地形，最常見於各河川主支流交會點之間，例如休督溪、富田溪、瓦黑爾溪等支流與立霧溪交會點均是著名的瀑布區。立霧溪下游則因河水含砂量較大而水流速度頗為急湍，在大理石峽谷中急速沖刷，河底幾近平滑或僅含顆粒較小的卵石和砂，河床環境之變動常因水量而異，因此在立霧溪主流裡相當缺乏適合水生動物棲息的环境條件。

立霧溪的水生生物相在本省之中，可以算是相當貧瘠的河川之一。只有在少部份較小型的支流裡，如砂卡礑溪、休督溪等河段，由於河床較穩固，上游集水區之地理環境較穩定。因此仍有一些水域環境頗佳的河段，有不同的水生動物棲息其間。在太魯閣國家公園區域內以往調查（呂等，1983；大津，1990；曾，1992）所記錄之 16 種魚類和 10 種蝦蟹類之中，除了中央山脈西部南湖溪才有分布的台灣纓口鰍和蓮花池中的泥鰍等引進種之外，共有 11 種溪流魚類和所有的蝦蟹類均分布於砂卡礑溪之中。因此可知砂卡礑溪是本園區溪流生態中最重要的一條河川（曾，1992）。同時也因為本區所發現的許多生物，都是國內重要得洄游性生物，因此在本區所做的各項保護這些洄游性生物的措施，也將是其他相關溪流可以借鏡的地方。

立霧溪是太魯閣國家公園區域內最重要的溪流，主流起源於奇萊山北峰，海

拔 3100 公尺，全長 54.5 公里，流域面積 621 平方公里（石等，1987）。立霧溪全部位於花蓮縣秀林鄉境內，流域上游呈扇形，幾條支流在天祥附近匯流後成為著名的太魯閣峽谷中游，急湍的奔流往東傾瀉而下，於新城附近注入太平洋。全域均受東北季風及颱風影響，年降雨量達二千公厘左右。由於河川坡度陡峻，水力資源豐富，在民國 44 年即設立了立霧電廠，並建有溪畔壩及砂卡礑溪攔水壩引水發電。

砂卡礑溪為立霧溪之第一條支流，距離立霧溪入海口 9.5 公里，會流口標高 95 公尺，起源於二子山與曉星山之間海拔 2340 公尺之馱彌陀山，全長 17.2 公里。流域面積約 58 平方公里（石等，1987），僅次於另一條支流陶塞溪（123 平方公里），略大於小瓦黑爾溪（57 平方公里）和華綠溪（56 平方公里）。有關於砂卡礑溪的水文資料，僅有台灣電力公司在攔水壩的地方所做的長期記錄。以民國七十四年至八十四年之間所有的流量統計，大致上可以發現砂卡礑溪年平均流量約在 1.86~3.11cms 左右。八十四年至八十五年之間的取水流量統計資料，亦顯示在砂卡礑溪攔水壩的取水流量平均達 2.6cms。由於本攔水壩的最大取水量為 4.1cms，因此亦即顯示本地的流量在某些時段裡會有超過台電取水的最大容量，因此會有從攔水壩溢流的情形。由於每年所做的統計因為該地交通與天候狀況特殊的緣故，因此無法常態的取得數據。然而根據每一年所統計的數據而言，砂卡礑溪的枯水期並沒有明顯的區分，僅有在幾年的四五月之間，以及夏季八月左右的時候，有較低水位的時候。

俗稱神秘谷的「砂卡礑溪」，沿溪風景優美怡人，陸上生態原始，有步道供遊客漫步遊憩。大部份來此的訪客，均係循著河谷右側的既成步道出入神秘谷。她並非路途艱難或谷深不可測始稱其神秘，只因為其誘人之美而被冠以其名。這裡的美不盡然只是山谷壯盛之美，尚有諸多生命之美藏於其中。諸如青山植物及盛開的百花，爭鳴的飛羽雀鳥，舞之翩翩的彩蝶，莫不都是神秘谷引人入勝的諸多美景。然而，就在潺潺流水之間還有許多我們意想不到的奇妙生物也棲息於其間。我們以往均不曾留意其存在，事實上這兒的生物世界是東海岸少有的一塊寶藏。在這裡共有 12 種溪流魚類和 11 種的蝦蟹類分布於砂卡礑溪之中，其中除了純淡水性的台灣鏟頰魚與兩種淡水蟹類之外，其餘的 11 種魚類和 9 種蝦蟹類都是屬於河海洄游性的種類（曾，1992）。這些魚類在砂卡礑溪中的數量仍是相當多，但是因為台電公司在本溪中游設有攔水壩將所有的溪水截流進入發電隧道之中。以至下游河段只有涓涓細流。在這樣的環境之中，所能提供的水生生物棲息空間極為有限，因此現存的所有溯河進入砂卡礑溪的洄游性生物，都只能擠在一段不到四公里的小溪流之中。

砂卡礑溪攔水壩以上的廣大溪流之中，只有純淡水性的台灣鏟頰魚一種魚類棲息於此間。雖然攔砂壩下方也有許多洄游性魚蝦蟹類的幼苗，但是也因為沒有

能力越過這個人為障礙到達廣闊的上游十餘公里溪流之中，因此在有限的下游溪流環境中互相競爭，成長速度和活存數量都比起東部其他相類似的溪流遜色。事實上，在攔水壩以上的溪流環境中，也因為只有一種啃食溪底石頭上附生底藻的台灣鏟頰魚，缺乏完整溪流生態體系中應有的其他食物鏈成員，諸如以溪流中任何有機物為食的毛蟹和淡水長臂大蝦可以擔任清除溪流垃圾的工作，喜歡攝食絲藻的匙指蝦可以幫助清除溪流中過多的藻類等等。因此空有豐沛的溪水而無相對豐富的生物種類，對於一處以保育為主要目的的國家公園而言是一件頗令人不解的事。有鑑於此，國家公園管理處也積極協調台電公司設法改善本攔水壩對於洄游性生物的障礙，並針對維持本溪下游最基本溪流生態所需的流量進行研究。希望在和台電公司相互的配合之下，達到保育本園區最重要的溪流生態環境的目的。

根據以往的訪問調查研究所知，立霧溪有極為豐富的洄游性生物資源，但是因為缺乏妥善的保護措施之下，許多溯河中的魚蝦蟹苗在河口附近就被無情的電捕撈取，僥倖進入河川中的小苗仍有一部份因為沒有適當的導引，因誤入發電廠之中而無法順利的繼續溯入上游河川去完成正常的生活史。這種現象可以在以往立霧電廠的廠區裡經常發現大量的毛蟹幼苗，或是成堆的蝦虎和鱸鰻魚苗等事實證明之。

由於東部溪流中的洄游性生物種類相當特殊而且豐富，許多是本省其他西部地區所不易發現的種類，有些種類的生態習性更是特殊，不僅在溪流生態中可當做環境指標，有時更可以當做一個生態教育的活教材。本溪環境的可及性相當高，再加上已有的多樣性生態，使得本溪在以往的各項環境生態教育活動中，提供成為相當成功的活教材。相信在日益擴展的國家公園生態解說教育上，本溪的各種生態資源將會有更大的用處，也因此有必要將本地的珍貴溪流生物特別加以保護。由於本溪以往並無精確的針對各項水生動物生態需求和真正的資源量等問題有過詳細的調查，因為過去也未曾針對本地所特有的洄游性生物做過相關的魚道等設計研究，因此得太魯閣國家公園管理處之委託，進行本項之研究工作。

在砂卡礑溪的水生生物之中（表一），除了純淡水性的台灣鏟頰魚與兩種淡水蟹類（太魯閣澤蟹和陸蟹）之外，其餘的 11 種魚類和 9 種蝦蟹類都是屬於河海洄游性的種類，這些魚蝦蟹類在砂卡礑溪中的數量仍是相當多，它們在本地區有極為重要的生態和教育意義，例如：

1. 砂卡礑溪是立霧河流域之中唯一一條生態環境最好的溪流，溪流生物種類最多，生物量也最豐富。
2. 本溪有許多具有經濟價值的水生動物，傳統上是附近原住民的漁獲食物之

一，例如毛蟹、長腳大蝦、鱸鰻、台灣鏟頰魚、大吻蝦虎和日本禿頭鯊等等。

3. 本溪流之中有些種類對於淡水河川生態的平衡，或是水質的維持有幫助，例如大和米蝦可以清除綠色絲藻，毛蟹是河川中最佳的清道夫。
4. 本溪流中的許多生物種類，是本區水鳥或是傍水而居的動物主要食物來源，例如河烏和綠蓑鷺以蝦虎科魚類為食，黃魚鴉以溪流蟹和毛蟹為主食。
5. 本溪流經常可以發現許多攀爬於急流旁，或是瀑布邊潮濕岩壁上的魚類和蝦蟹類，是本區最富解說教育價值的溪流生態景觀之一。甚至是在某些季節裡，在一些特定的地區就可以看到許多魚類和蝦蟹類集體洄游的景象，最具有生態教育之功能。
6. 本溪不僅擁有完整的溪流生態環境，同時也有極為方便的交通，使得本溪流具有成為東部地區最佳的野外生態教育場所的潛力。

雖然本溪流具有特殊的價值，但是因為台電公司在本溪流中設有攔水壩，將所有的溪水截流進入發電隧道之中，以至於所有溯河進入砂卡礑溪的洄游性生物，都只能擠在一段不到四公里的涓涓小溪流之中。由於本溪流具有以上所說的特殊價值，因此太魯閣國家公園管理處基於保育的立場，希望協調台電公司於早在日據時代即已建立的立霧電廠砂卡礑溪攔水壩，考慮實施生態維護放水量措施，以及規劃可供魚蝦蟹類溯降的魚道等工作，是以委託本計劃進行研究。

本計劃的目的是希望針對維持砂卡礑溪中下游，最基本溪流生態所需的生態維護流量進行研究，並且研究改善本攔水壩對於洄游性生物的障礙，規劃適當的魚道設施。希望在台電公司的配合之下，達到保育本園區最重要的溪流生態環境的目的。

貳、 研究範圍、過程和方法

以往國外的魚道設計研究工作，主要是著重於溫帶地區較大型的鮭鱒魚類的利用之上，少部分是針對較小型的河川純淡水魚的鯉科魚類或是香魚等種類而做。甚少是對於諸如本省東部地區所常見的大批熱帶或是亞熱帶洄游性生物種類而做的研究，以致於以往在本省東部地區較少看到成功的魚道設計案例。由於任何地區所要規劃的魚道設計，都必須有相當詳細的各項魚類生態習性資料，因此本次的研究針對本地區所特有的洄游性生物，進行詳細的生態調查和實驗分析。主要的研究內容可分為兩大部分；

一、針對本地所有的洄游性生物，進行各項洄游性生態資料的調查。包括洄游性生物的種類調查、來游季節和時間、洄游方式、運動特性和能力分析、爾後保護措施的規劃等工作。

二、針對本溪攔水壩所應補設的魚道設施進行規劃。

研究的範圍除了包括太魯閣國家公園境內的立霧溪與砂卡礑溪等地之外，並將擴及其下游的立霧溪河口段等地區。

本研究計劃以一年之時間，按照以下的步驟實施之，其內容包括：

（一）河域生態棲地的各項基本水文調查，包括不同季節中不同河段的水深、流速和流量等資料。

（二）生物種類調查；包括自行以各種方法採集撈捕、觀察及記錄，或委託當地居民協助採集及記錄。採集之原則除保存少部分以做為鑑定物種和統計資源量之外，大部分均在捕捉記錄各項資料之後立即放回河川中。

（三）鑑定各物種，記錄其分佈情形、相對數量、生活習性和被利用之狀況（主要是河口的魚苗撈捕情形）。

（四）根據前述各項生物調查所得之資料，以及攔水壩本身的結構特性，規劃壩所要增設之魚道設施，並且研擬各項管理作業措施。

（五）規劃各項河川資源保育的措施，建立一套可以結合台電公司以及當地政府在園區內外執行的溪流生態保育方案，以保護本溪流之各種珍貴水產資源。

有關水生生物種類組成以及分布範圍之研究包括：

A．調查範圍：本項調查之範圍包括砂卡礑溪全域和立霧溪下游（自溪畔壩以下至出口）。

B．調查方法：

1．網捕：利用手投網、魚苗叉網及不同網目之刺網，採捕河川及河口區之魚類及其他水生生物。

2．魚苗陷阱：在河口、砂卡礑溪和立霧溪會流口附近等地，設置魚苗陷阱（同

曾等, 1994), 以捕捉溯河性魚苗, 記錄其種類、數量、來游時間和行為等資料。

3. 目視法: 河濱或是電廠內所能發現之各種動物主要以目視記錄之, 如有特別之種類, 則以徒手捕捉後攜回鑑定。

4. 訪問當地居民及文獻整理: 直接訪問當地有經驗之居民, 訪問記錄各種常見之魚貝類。並整理以往本區之水生生物調查報告。

有關魚道的規劃設計工作包括:

- (一) 收集砂卡礑溪水文資料與砂卡礑溪攔水壩的基本設計圖面資料;
- (二) 整理本地相關洄游性魚類和蝦蟹類的生態習性基本資料;
- (三) 選定適合型式的魚道的構造 - 暫時性或是半暫時性構造;

參、 結果

經過一年的調查研究, 發現立霧溪有豐富的洄游性生物, 包括;

1. 本省東部在冬季裡(十月至隔年二月), 有相當多的白鰻鰻苗洄游到各河口附近的海域, 並且溯入河口之中, 在這個季節裡, 附近的漁民經常會在河口附近捕捉鰻苗以供養殖之用。本季(八十三年十一月至八十四年二月為止)本區的鰻苗產量較以往數年稍多, 但是魚苗價格卻仍然高漲至每尾三十餘圓以上, 最高時可達 54 圓。這種魚苗價格偏高的原因, 據業者說明是因為本省許多鰻苗被走私出口到中國大陸去了, 本地養殖業者所需的鰻苗數量不足所需, 因此價格高居不下, 許多撈捕鰻苗的漁民均發了一筆小財。

另外在捕捉鰻苗的同時, 也會捕捉到許多不同種類的洄游性魚苗, 例如鱸鰻鰻苗、烏魚苗以及許多蝦虎科魚類幼苗, 同時也有許多洄游性字紋弓蟹的大眼幼蟲夾雜在漁民所捕捉的漁獲物之中。這些魚苗有部分會溯入河川中上游, 例如烏魚魚苗和蝦虎科魚類的幼苗。但是也有一部份種類僅在河口附近或是河川下游棲息, 並不會繼續上溯到河川中上游河段, 例如字紋弓蟹和雙邊魚等, 這些種類較不會受到上游電廠的影響。

2. 立霧溪口和本省東部各地的河川一樣, 有許多的鱸鰻鰻苗經年可見, 但是最多的數量鰻苗來游是出現於每年冬季白鰻來游的季節和五、六月之間。鱸鰻鰻苗會在夏季裡一直上溯到河川中上游, 根據訪問得知部分鱸鰻鰻苗有可能會誤入立霧電廠廠房之內。

3.立霧溪河口常見的蝦虎科魚類（日本禿頭鯊和大吻蝦虎為最主要的種類）自每年春季起，一直到秋末的這段時間裡都會溯河，其中又以五、六、七月之間為最多。河口經常可以看見許多居民以電網捕捉這些溯河性魚苗，有極少部分是作為釣魚之誘餌，另有部分魚獲是自行食用之外，有時還會出售給附近飲食店作為新鮮海產。從河口繼續上溯而來的魚苗逐漸長大，平常可以見到零零星星的魚苗，攀爬在各急流邊的潮濕岩壁之上溯河。在電廠之尾水路附近的排水牆壁之上，也偶而可以看到少數的魚苗攀爬而上，在來游數量最多的時候還會誤入電廠之內。砂卡礑溪下游自三月起即經常可以看到和捕捉到上溯的小魚苗，最多的時候則在五、六月之間。

4.毛蟹（臺灣絨螯蟹）和字紋弓蟹的幼苗（大眼幼蟲期）終年都會溯河，尤其是在夏季裡為最多。字紋弓蟹喜歡在下游河段生活，毛蟹則會繼續上溯至河川中上游地區。這些毛蟹幼苗在上溯到電廠附近時，已經成長為幼蟹，經常誤入電廠之內而死亡。春末之時可以發現降海洄游的成熟種蟹。利用攔截網所捕捉到的成蟹頭胸甲長約在 3.5~4.9cm 左右，體重為 15.8~57.1g 左右。

台灣絨螯蟹（以往稱為直額絨螯蟹）是一種僅分佈於臺灣東部本省特有種洄游性生物。奇特徵是殼甲略呈六角形，表面扁平且平滑。兩眼之間的額呈平直狀。鉗腳掌部外表面叢生絨毛，內面則光滑。步腳側扁，各長節上緣密生短毛。第五步腳掌短且寬扁。

本種係河海洄游的蟹類，幼蟹在河川中成長約兩年即可成熟，生殖季節的降海洄游期為 1~5 月之間，此時會順流而下，在河口或內灣的海域產卵。抱卵數約為 89,000~289,000 粒之多。產卵期在 3~7 月之間，而以 6~7 月為盛產期。親蟹在繁殖過後就會死亡，並不會在回到河川中生長，因此本種的壽命僅約 2~3 年而已。受精卵在海水中孵化後經過數度的變態，大約 16 天後可以變態成為甲寬約為 1.55mm 的大眼幼蟲，隨即成群的上溯至淡水河川中繼續成長。在這個時候也有許多字紋弓蟹的大眼幼蟲一併的上溯，但是後者的體型較大，甲寬約有 3.87mm（洪，1993）。

字紋弓蟹在本溪上溯的季節似乎相當長，甚至在冬季十一或是十二月間仍然有相當數量的大眼幼蟲自海中溯入河川之內（游，1994）。根據觀察這些冬季溯河的大眼幼蟲，會先在河口棲息一段相當長的時間，變態成為幼蟹之後數月，才於隔年四月間再繼續上溯河川中游。相反的，在夏季裡溯河的大眼幼蟲，很可能直接溯河進入河川，不做停留就直接往上游溯河。因此在許多魚苗陷阱的地方可以觀察到數量頗多的大眼幼蟲和剛變態的幼蟹。

雖然目前知道台灣絨螯蟹的大眼幼蟲，在每年 6 月至 8 月之間可在河口附近採集到（洪，1993）。但是在本年度的調查裡，並未真正發現到有相當數量的群體集中溯河。以往所看到的成群大眼幼蟲上溯的情形，仍有待繼續的追蹤調查。目前對於這兩種蟹類的分布情形略有一些初步的了解，毛蟹毫無疑問的會上溯到十數公里之遙的山區小山澗之中成長，字紋弓蟹則僅分布在下游河段的主流地區。該種蟹類不僅成群的在主流中生活之外，尚喜歡爬上鄰近地區的小山澗或是小水塘中棲息。

這兩種蟹類都是雜食性而且成長快速之淡水蟹，係河川中的清道夫，台灣絨螯蟹成長的體型頗大，可長至 8~10 公分，約 200~600 公克以上，一直是人們喜好的食物對象。字紋弓蟹雖然數量亦相當多，但是比較兇猛而且體型比毛蟹稍小，一般的人較不喜歡捕捉，但是仍然可以食用。近年來由於天然環境的改變，以及人為大量的捕捉，這些珍貴的蟹類數量有減少的情形。

5.大部分的蝦類幼苗終年都會溯河，但是以夏季為最多。成熟種蝦在四季裡都可以發現有抱卵降海洄游的現象。蝦類幼苗在海洋中行浮游生活，進入河內的變態完成小蝦苗，經常成群的在夜間沿溪兩側爬行上溯。根據電廠資深員工告知，偶而會有成群蝦類沿著電廠的排水管溯入電廠之內，顯見其數量之多。

6.砂卡礑溪終年都有相當多的洄游性生物棲息，春末夏初則是溯河性生物最活躍的季節。根據所設之陷阱所捕捉的種類比較，三、四月溯河的種類以日本禿頭鯊為最多，五、六月間則以大吻蝦虎為最多。這些魚類的體型明顯地大過剛溯入河口的魚苗，平均體長已達 4.2cm（日本禿頭鯊）與 3.9cm（大吻蝦虎）左右，比起剛溯河時分別的體長 3.5cm 和 1.5cm 以有明顯的成長。在一般的陷阱裡也可以捕捉到台灣鏟頰魚，體型大都是 10cm 左右。

7.進入砂卡礑溪的游泳性洄游魚類（烏魚和湯鯉等），大部分因為跳躍能力的關係，致使這些種類的分布僅止於下游的巨石區高落差之下。

8.台灣鏟頰魚（苦花）的分布整段溪流均有，尤其攔水壩之上的數量極多，也有溯河至水溫約 15 左右的河段產卵的現象。目前因為保育工作執行較有效，許多水域裡都可以看到相當多數量的較大型魚群活動。

9.在所有的洄游性生物之中除了台灣鏟頰魚之外，未來可能利用攔水壩魚道設施的生物種類，其溯河行為大都以攀爬性為主，較少跳躍性的種類。

10.在一般水流量較低的時候，攔水壩都沒有溢流水，僅有排砂道的極小滲水，無法吸引生物的上溯。在雨季或是豐水期的時候，如果有較大的溢流水，則

可以見到極少數日本禿頭鯊和大吻蝦虎攀爬而上，溯河到攔水壩以上的河段繼續成長。

肆、 討論

由於台灣多山地之地形，又因水資源有限，許多地方建了水庫、攔水堰和攔砂壩，因而影響河川之生態的完整性和連通性甚為嚴重。許多魚類之棲地受破壞，或是魚類之自然洄游路徑與行為被阻隔，河川生物資源亦因而受到極嚴重之傷害（曾，1990）。在自然的河川環境下，許多水生物可以藉著上下的遷移活動，可以躲避不良的生活條件，或尋找更合適生活的場所。例如洪水期裡，大部份上游的魚類會被洪水衝激或是自行順流而下，一直到一個夠大的迴流深潭，水流較緩慢而不虞被急流沖走的地方；就停留在那裡度過危險期。當洪水消退時，這些魚類就陸續的再回到溯它原來的棲地。如果河川中沒有任何巨大地形障礙，魚類可以很容易地溯回上游去。可是當攔水壩或是攔砂壩將河川截為二段之後，如果壩體本身沒有適當的魚道設施或是足夠的放流水，可以讓魚類順利的渡過這個人為障礙，那麼這些魚類就再也回不了壩上的棲地了，例如砂卡礑溪攔水壩的下堤面在今年颱風後稍微有一些破損，因此有一處相當大的深潭。當溢流的洪水逐漸減退的時候，就有許多趁勢溯河的台灣鏟頰魚集結在攔水壩之下，而當溢流水完全停止之後，一大群的魚就被困在這個破水潭之中，顯然是因為這些魚類根本無法越過這個壩堤而被困在這個地方，因此如何提供一處可以繼續上溯的魚道，是極為迫切的事。

事實上，魚道的設計工作所要顧慮的事物相當繁複，並非單純只考慮讓魚順利的越過堰堤而已。例如我們目前所熟知的一些魚道，大都只是針對溯河魚類的需要而設計。但是甚少魚道規劃上也已經做到了能夠讓那些反方向降海，或是順流下到河川下游的魚類順利的找到越過堰堤的出路。因此有許多降海洄游的成魚或是幼苗，有時會被直接沖下攔砂壩，或是隨著攔水堰旁的取水管道進入灌溉、飲水或是發電系統之中（Ott, et al., 1993）。以砂卡礑溪為例，許多成熟的毛蟹會順著主水流兩側爬行而下，到河川出海口產卵。成熟鰻魚降海洄游時，會順著水流表面降到大洋中繁殖。在河川上游出生的蝦虎魚類幼苗，會順流降至海邊渡過幼苗浮游期的那一段時間。這些降海洄游的種類如果沒有妥善的增加保護措施，日後也可能會因為誤入發電引水隧道，進而可能會被渦輪機所傷害（Larinier, M., 1990）。

台灣最早的魚道設計，應屬於日本人在 1918 年左右於淡水河以上南勢溪沿線所造的 3~4 個魚道，由下游往上分別在桂山攔水壩、龜山路、忠治以及烏來等地均有此類設施，可惜截至目前為止僅剩桂山攔水壩的魚道，因年久自然毀損而

於前年重新按照原有設計整修改建，其餘的魚道均因壩堤二次改建之後而廢置了。

光復後林務局、水利局、水土保持局、臺灣省自來水事業處、台電公司以及石門水庫管理局等單位在全省各地溪流中，陸續建造數十座魚道的設施。可惜這些設施之中大部分因為早年的參考資料有限，大都只能模仿美日等國常用做為鮭鱒類所用的魚道設計，因此對本省不同習性的淡水魚類而言，應用上仍有不方便之處。魚道的設計應當首先了解當地魚類的特性，再針對各種魚類的習性加以規劃，方能將魚道造的適合當地魚類所需，否則誠屬可惜！直到這幾年各工程單位積極引進新的魚道設計技術和觀念，因此近年來所建之魚道日漸精良。雖然目前現有值得推介之魚道仍有限，但是台灣目前即將施工中之數座魚道設計已應用一些較新之觀念，相信可以將此項河川工程推向另一個新的紀元。

以往本省所有的魚道設計工作，甚少有過事先的溪流生態調查研究，甚至也沒有過現場水文調查的資料，因此有許多建造完成的魚道無法發揮其預定的功能。直至民國七十四年時，內政部營建署墾丁國家公園管理處，有鑑於區域內之欖仁溪因建築攔砂壩，可能對該河川之珍貴溪流生態造成影響。因而委託進行有關增修魚道之可行性研究，以改善攔砂壩對於生態的影響（曾，1986）。自此之後，台灣各地有多處有魚道設計的工作也都有事先的生態調查研究。其中包括大甲溪上游七家灣溪櫻花鉤吻鮭魚道勘查規劃（闕等，1987）、鹿角坑溪取水堰魚道設置（沈等，1991）、大甲溪馬鞍壩魚道規劃設計（張等，1992）等等。另外，農委會與各級政府單位年來陸續委託台灣大學、成功大學、文化大學、台灣省特有生物保育研究中心和漁業技術顧問社等單位，陸續的進行了許多基礎和實際的魚道研究工作。目前大致上對於魚道工程的掌握應當沒有太多的問題，主要的是尚欠缺對於各地特殊的魚類生態基本資料的了解，因此實際設計時仍經常會出現狀況。這些事先的調查研究工作和一些基礎的學理研究，對於本省魚道設計的能力提升，將有相當大的助益。相關的魚道設計基本原理可以分別說明如下；

（一）設立魚道之目的

- 1、在阻礙魚群洄游的構造物或特殊的河床地形上，為了去除或減輕其障礙性，因而設立魚道。
- 2、設計魚道之主要目的是為了保育水產資源。
- 3、維持「適合魚類棲息的河川」是次要目的。「適合魚類棲息的河川」，事實上可因國人之親水性而異，換句話說，魚道設置的真正目的就是維持讓人們更容易親近的河川。

（二）魚道的種類和構造

魚道（Fishway, Fish pass）的定義：為使魚類能克服河川中任何阻礙，使其順利往上溯游的任何人為所做的通路之通稱。在於名詞上，魚道係指構造較單純，僅是減低落差的通路，稱之為魚道。如果通路中具有較複雜的導壁或隔壁等設施，則稱之為魚梯（Fish ladder）。

（三）魚道的型式

魚道的設計型式必須依照阻礙（瀑布、堰堤或水壩）的規模、構造、放水狀況、位置、河川的特性、魚類的生態和經濟效益等因素來考慮。因此魚道有許多不同型式，大致上可以區分為三種類型：

A - 1 水路式

- 1、平面式魚道 Simple plane system.
- 2、導壁式魚道 Complex plane system.
- 3、階段式魚道 Pool and fall system.
(step system) .
- 4、逆流式魚道 Counter current system.
(Denil system) .
- 5、隧道式魚道 Tunnel system.
- 6、鰻魚道 Eel ladder.

A - 2 掬揚式

- 7、升降梯式魚道 Elevator system.

A - 3 閘門式魚道

- 8、閘門式魚道 Lock and gate system.

前所述 8 種魚道的基本型式，其構造分別是：

1、平面式魚道

僅設計一個簡單的斜坡式構渠，可供水流通，或者可兼作行船之用的水路。主要的是利用在低落差的障礙物上使坡度降低後，水流的速度能夠減至魚類的游泳能力界限之內。對於一些游泳能力頗強的鮭鱒魚類較為適用。這種簡單的水路為了適應地形，或達到低坡度的要求，可以做成彎曲的弧形，或做多次的轉折。有的時候為了使用水流速降低，亦可在中途構築幾個小池，或將底部造成波狀隆起，或立一些石頭或小柱子，以減低水流之速度。在一些較低的攔水壩或攔砂壩，

可以在壩頂的一側設置一個切口，沿切口向另外一側加設一個斜走的坡道，亦可供一些魚類使用。這些多變化的設計觀念仍被廣泛運用在現代的魚道設計之上。

2、導壁式魚道

如果平面式魚道的水流速度過大時，魚類上溯將有困難，因此在水道中加設緩和水流的阻隔導壁，將有助於對水流速度的控制。導壁的形狀，間隔和突出的角度均有許多不同的型式。主要是配合魚類的習性，或造成一些渦流，或提供魚類短暫休息的場所。這是魚道設計型式的較新趨勢之一。

3、階段式魚道

本種魚道和導壁式魚道的主要差別在於做為減低水流的隔壁，較之導壁式的導壁更寬，而兩側均連接到魚道的兩側，水流主要是越過隔壁時速度能能夠低緩下來。這種方式的魚道是最普遍而且效果極佳，為一般人所採用本形式魚道主要的設計著眼於隔壁的形式變化。如果隔壁的頂部有高低之別，則越流的水深會隨著高低的不同而變淺或變深，流速也因而有緩有急，每一個隔壁能交互使用，則可使水流產生不同的變化，魚類可以依其游泳能力尋求適合的位置上溯。隔壁的下方有時可挖出一個通水的潛孔。潛孔可以減低水壓，也能在水位極低落時仍保持有水流，同時可兼具排除砂石雜物的功能。隔壁有時是和水流走向垂直，或向上流部或下流傾斜均有不同效果。有時為了加強隔壁的穩定，可以做成梯形。

4、逆流式魚道

本型的設計主要是在水道中設置一些特殊型式的隔（導）壁，使部份的水流能產生逆向流動，由於能減低流速之效果極佳，在實用上的價值亦高，故愈來愈受歡迎及廣泛使用。尤其是在研究較大坡度的暫時性或較短距離的魚道上，更受到大家的注目。

5、隧道式魚道

部份地區由於建造開渠式魚道較不方便，則可以利用暗渠式之設計，水路內的設計大多用階段式的構造方法。由於一般魚類對於全黑的水路仍有排斥性，因此在魚道頂部可以加裝電燈，或利用垂直通風管直接自外界採光，以保持魚道內仍有足夠的光照。

6、鰻魚道

針對鰻魚的運動方式和習性，在暗渠中利用竹管或蛇籠，可供鰻魚的隱藏和上溯之用。在階段式魚道，沿潛孔的位置，加設蛇籠的裝置，亦可供鰻魚利用。有些堰堤是利用許多隔板來調節水流和水位，則特別設計一些可以自動曲折的長木，筒筒內有許多固定的突起，水流可由木筒穿過隔板而流出，鰻魚即可鉤長木筒內往上溯，這種設計在許多舊型攔水堰中頗適用。

7、升降梯式魚道

本式魚道適合於較高之水壩，藉著附加的動力，使壩下方集結的魚群能運送到壩頂上方而放流。大部分的設計依照以下的順序操作之，階段式魚道→集魚池→升降梯式電梯→放魚用水道→水庫放流。本式魚道的規模頗大，必須和誘魚的裝置或連接的水路相結合，同時要有固定的人管理才可行。

8、閘門式魚道

利用二組以上的閘門做交替的啟閉，使魚能順利往上溯。通常時上游的閘門先關閉，而開啟下游的閘門，使魚游入水室中。接著將下游的閘門放下，再開啟上游的閘門，使水室中的魚繼續往上溯。這種方法和許多運河中供船舶行走的閘門操作原理相同。

（四）設計魚道的必備條件

為了使魚道能夠充分發揮其效果，必須考慮以下 6 項條件。

1、魚道出水口必須容易誘集魚類。讓必須使用魚道的魚兒們，能毫無阻礙地僅快到達入口，且順利進入魚道中。

2、能夠長期保持有適當的水流。

3、構造必需適合本地魚種和魚類溯河時之體長使用。使進入魚道的魚兒們，能輕易且快速的游完全程並從出口游出。

4、避免造成魚類的傷害或造成魚類的過度疲勞。從魚道游出的魚兒們，能夠立即找到正確的方向，避免陷入迷失方向的危險狀態。

5、建造、管理和維持要儘量簡便，建造費不宜過高。

6、保全設施必須完全。

以上 6 項條件按照其優先順序排列，尤其前三項是最需要考慮的條件。為了達到以上的要求，在設計之前必須考慮到魚道設置的（A）位置和方向，（B）魚道的寬度，（C）放水流量、流速和放水狀況，（D）魚道的傾斜度和建築構造。

（A）位置和方向

魚類在往上溯的時候，往往是沿著河岸兩側者為多。因此，魚道通常設在岸側，使魚類較容易集中到魚道的出水口。另外，在岸側構築的工事亦較方便。魚類上溯到堰堤時會尋找主要的水流位置，再沿其兩傍上溯，因此魚道的位置要和水流的中心互相配合。如果堰堤和河流的走向略為傾斜，魚道則設置在較斜向上游的一側，因為魚類會沿著堰堤而朝上游的方向移動。

魚道下方的出水口附近是魚類聚集之所，魚道的下方往往被沖成一個較深的凹地，水流的方向亦會影響到魚停留在這個位置的時間長短，如果魚道出水口的方向和河流的方向保持在 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之間魚類的誘集情形最好，如果超過 90° 以上，則效果會減低。

魚道的位置選擇尚要注意不要使出水口過於遠離堰堤，或是和發電廠的取水口和排水口過近，否則魚類易於迷失方向。

(B) 幅員

水流往往會決定魚道的成敗，如果水流量愈大，愈能將魚類誘集在一起，而魚道中流水速度又會影響魚類上溯的能力，因此只有改變魚道的幅員（寬度），可以取得適當的水流量和流速。如果魚道幅員愈廣，則水流量可以增加，但是更得考量可以利用的取水量，以及堤堰的安全顧慮，不能過於擴張魚道的幅員。根據國外一些水壩築設魚道的統計中發現，較常被採用的幅員約是堰堤長度的 4~5 %，如果幅員低於 3 %，則效果不佳，如果堰堤愈長，魚道幅員則必須有正比例的增加。

(C) 通水量、流速和放水狀況

魚道中的通水量是以水流的斷面積乘以流速的積。通水量愈大雖然更能誘集魚類，但是必須考慮魚類的游泳能力，並且考慮魚類在魚道中的停留時間，儘量不要使魚類過於疲勞而無法游完全程。

魚的游泳能力是決定魚道內水流速度的重要因子，游泳能力又取決於魚的種類、體長大小、生理狀況、水溫和溯河時間。其中較重要的是要知道是那一種多大體長的魚來使用這個魚道。想要得到這個資料，就必須由河川魚類調查的資料中取得。例如在河川的上中下游各有設有供香魚使用的魚道，則因下游的魚道是香魚幼苗溯河的地方，必須針對其游泳能力較弱的事實來決定魚道的設計，例如體長 6~10cm 的香魚幼苗，如果水流速在 50~60 cm / s 時，其游泳能力最強，可達 100 cm / s，而水流變弱或變強，香魚的游泳能力亦會減弱，因此設計上就以選定 50~60 cm / s 為水流速度的標準。

相對的，在中游地區，香魚體形較大，適合的水流為 50~70 cm / s。上游段的水流速又因香魚體形更大，而且游泳能力更強，因此又可提高至 60~80 cm / s 的設計標準了。一般的鰻魚游泳速度和體長也有相同的正相關，鰻線用之魚道用水流在 40cm / s 時最合適，如果鰻魚體長達到 15~30 cm 時，水流標準又可提升到 150 cm / s。又如臺灣常見的溪魚，在體長 7.5~9.5 cm 之開時，在流速 80 cm / s 以下，溯河毫無問題，而水流如超過 100 cm / s，則較不易通過。關於這種溪流中魚類游泳能力的數據，目前仍極缺乏，因此在設計魚道時，缺乏可以依據之標準。

在臺灣的河川，由於水量並不十分充足的情況下，甚難長時間的使魚道內的水流量維持在一定高的標準。但是過小的水流量對於魚類的刺激作用較弱，因此如何配合魚種的溯河季節和溯河時間，做較大規模的放水，將有助於誘集魚群，以及使魚群能順利的溯上。像鰻魚這種主要在夜間溯河的種類，可在晚上放流較大量的水，就可以有效的刺激鰻魚的河。在白天則因鰻魚均蟄伏在下游深潭的隱蔽處，縱使放大量的水，也無法引誘其上溯。每一種魚溯河的時間略有不同，因此魚道的放水狀況應視溯河魚種之不同而加以調整。

（五）魚道的管理

魚道管理的主要項目如下：

- 1、調節流量。
- 2、堆積砂土等的排出。
- 3、對於鳥類，禁止捕魚等活動的監視和防止。
- 4、對於破損、河床低下等導致的功能降低之改善。
- 5、其它。

（六）設置後的改善方法

- 1、找不到入口處（入口處設計不良者），聚集成群的魚兒們究竟會採取什麼樣的行動呢？
- 2、在群體行動中，每一隻的游泳力、跳躍力有多大的差別呢？

- 3、慢到什麼程度的流速，魚兒不再上溯？
- 4、魚道內魚群混雜，會出現什麼樣的障礙呢？（或是魚道內可容納多少尾魚？）
- 5、調節流量的裝置，並不是讓流量確保在一定數，也不是在固定的時間間隔內調整流量的變化，什麼樣的調節方式最適當呢？

以上這些疑問，須要實地調查與無數次的實驗。除此以外當然還有許多待改進之處，這些都需借助新儀器與新血輪的加入，共同克服這些問題。魚道設計乃一專門技術，不僅須有魚類生態學的基本知識，尚得結合水利、土木工程學知識、甚至機械、電機等專門學識也是必須知曉的條件。

事實上根據在東部其他地區所做的相關研究中發現，東部地區所有的洄游性生物種類可能有 50 種以上（曾，1994）。立霧溪雖然溪流環境並不一定可以和其他諸如花蓮溪、秀姑巒溪或者是卑南大溪等較大型的主要溪流相提並論，但是以立霧溪口正位於沿岸黑潮的輸送路線上的條件，能夠順著溪水的吸引而溯入河川的種類應該不在少數。以往在立霧溪口調查當地漁民所捕撈的魚苗種類時，亦發現有相當多不同種類的魚苗，因此相信有更深入的調查工作，將會使本地的洄游性生物資源有更清楚的了解。

由於以往在規劃魚道設施的時候，經常碰到無法精確的估計本溪的水生生物資源量等問題，以致於常有資訊不足而無法有效規劃的情形。然而最近在東部地區發現有一種非常有效的魚苗陷阱，可以有效而毫無傷害的捕捉到以往所不易撈捕的小型溯河性魚蝦蟹類幼苗。因此這種設計將會對於溯河性生物資源的定量有相當大的幫助，可以有效的定量洄游性生物資源（曾，1994）。

以砂卡礑溪所有的特殊生態體系而言，未來規劃攔水壩的魚道設施設計基準，應該考慮以可能的最低生態維護放水量（0.5 cms）為通水標準，而以提高本區較為多數的攀爬性生物為主的改良式區斜面魚道設計方式，將是最可行的方式。

砂卡礑溪攔水堰只是台電公司立霧發電廠的兩個攔水堰之一，雖然此地的水質遠較溪畔壩所截取的立霧溪主流還要好，但是因為所能夠取水的量有限，一般也都是作為輔助發電和清洗機件為最大用途。以砂卡礑溪攔水壩的設置規模而言，取水口是位於堰堤的東側（面向下游的左岸），上游主要水流接近堰堤之時的方向也是偏向左岸的流向，取水口旁邊也有一道排砂用閘道，經常有滲流流出，因此堰堤下方也經常有積水和形成水潭。如果以現有的攔水壩結構而言，其，

堰頂斜面相當陡峭而且長，縱使有溢流水也無法讓魚類越過此段障礙。在研究期間也有遇到幾次發生壩面溢流水的時間，的確看到不少魚類在此跳躍，但是都只是在斜面上撞牆而已，很快的就被水流所沖下去。反而有幾隻綠蓑鷺就站在旁邊，趁機啄食這些跳躍中或是攀爬在斜面上的魚類，對於魚類的損失而言是相當大的。

事實上，不僅是有許多溯河中的魚類無法越過現有攔水壩的障礙，另外還有一些降海時的生物（例如降海產卵的毛蟹或是鱸鰻），因為沒有適當的設施讓它們避免進入引水鋼管之中，因此順水流而下的降海成魚或蝦蟹類，甚至是魚苗，都會被吸到一段相當高壓力的管路，之後又被渦輪機攪拌一番，因此可能遭受到相當嚴重的損傷。未來在考慮增設魚道設施的時候，也應當考慮在水流上方增設魚柵的可能性。

由於本區各種洄游性生物的生活習性並不相同，許多生物溯河洄游的季節也都不一樣。整體而言，砂卡礑溪全年幾乎都會有魚蝦蟹類的明顯遷移現象，而以三到九月為最明顯。因此如果未來兼顧基本生態維護放流量的問題，則至少在攔水堰上游水流量超過 3.0 cms 以上的時候，魚道之內應當有較多的通水量(0.5 cms 以上)，其餘水流較小(小於 2.0 cms)的季節則應當維持至少 0.17 cms 的通水量，這種調節的方法在未來可以在魚道上部入水口的地方設置兩個獨立的進水口，分別調節流量的大小，就可以解決通水量的問題。其中一個進水口的流量必須長年保持 0.17 cms 的流量，另外一處則設計在攔水堰取水量超過 3.0 cms 的時候，多餘的逕流可以溢流到魚道取水口內，此處最大的取水量則設計為 0.33 cms，如此配合前面一處的取水口，就可以達到總取水量 0.5 cms 的標準。

由於本區有非常多數量利用攀爬方式溯河的生物，因此未來所增設的魚道應當在魚道的兩側提供較為寬廣而平緩的斜面，提供給攀爬性的生物使用，這種增設的構造可以利用木板或是塑鋼材料建造，並不需要更改或是破壞現有攔水壩的結構，因此可行性相當高。未來的魚道如果不能直接架設在引水閘門或是進水口下方，也可以考慮在取水口的對岸，以簡易式的鋼架鋪設一道斜度在五分之一左右的斜曲面（寬度在一公尺左右），直接架設在攔水堰的上面。進水口以清除攔水堰上游淤積的砂石開闢一個人工水道，自較上游的河段（約在堰頂一百公尺左右）直接引水進入魚道之內，此處的簡易式魚道水流面以自然石粘貼成多變化的表面，以供各種魚類攀爬。另外也可以利用跨越堤頂的方式，設置虹吸式的管路，以抽水幫浦引水，如此也可以做一道簡易的魚道，提供相當多的生物所使用。但是由於本地的電源供應較為困難，因此以前面所述的自然重力引水方式設置簡易式魚道較為可行。

伍、建議

1.砂卡礑溪的溪流生態相當豐富而具有保育及教育價值，因此台電公司砂卡礑溪攔水壩有必要檢討改善攔水壩阻擋魚類上下洄游的問題。

2.國家公園管理處可考慮在砂卡礑溪長期記錄天然流量，同時據以在未來台電公司重新申請水權之時（現有的水權年限為民國八十九年一月三十一日），能夠據以向主管機關反應重新檢討核准的水權量。不然以目前台電公司申請高達 4.5 cms 的引用水量，不僅遠超過此地的天然逕流量，同時也沒有實際的取用這麼多的水量，更沒有考慮保護下游水域生態所需的基本生態維護放水量。未來如能適當爭取到合理的水權量之時，也可以加以利用作為魚道的通水量。

3.應當建議台電公司在砂卡礑溪攔水壩增設魚道及魚柵的設施，以供洄游性生物之用。

4.如果在台電公司未能改善上項設施之前，可以考慮在攔水壩的右側（西側）建立簡易式的魚道。主要的構造可以採用簡易式鋼架配合木板材料建造，基本通水量則暫時以不超過 0.2 cms 為考量。在設計魚道的時候必須特別考慮本區有非常多利用攀爬方式溯河的生物，因此必須提供較寬廣的側邊斜面以供攀爬之用。

5.應當建議台電公司於立霧電廠廠尾水路附近，設置溯河性生物的導引性魚道或是魚柵，以引導這些生物幼苗回歸到立霧溪主流，以免誤入立霧電廠廠房內而喪生。如果設置導引性魚道有實際困難之時，也可以設置類似阿美族原住民所使用的魚陷阱，藉由人工採捕之後以車輛搬運的方式越過立霧電廠的障礙，讓洄游的魚類繼續上溯到國家公園範圍內。

6.由於本區的洄游性生物活動旺季是夏初的這一段時間，以往委託的研究計劃因為年度的關係，經常在最重要的季節裡無法順利進行野外研究工作。同時在初步的野外調查資料裡也發現，砂卡礑溪在夏初的這段時間裡，有相當規模的洄游性生物活動，但是每一年的情形都因為當年水文與氣候狀況的變化而有不同，因此有必要進行長期多年的調查，以確實掌握所有的生物活動資料，以便未來規劃各項保育工作，或是規劃各項解說教育的時候，有較充足的資訊。

陸、謝誌

本計劃之執行有賴太魯閣家公園管理處劉處長之支持，以及廖副處長、保育課張課長、保育課全體同仁的協助，方才得以完成。期間又得到台電東電處立霧電廠的協助，提供相關水文資料以及各項圖表資料，特此致謝。

本項研究又因為保育課鄒月娥小姐的實際協同參與各項研究工作，方能順利

進行。許多後援又得自郭功祥老師的幫忙，亦一並致謝之。

柒、參考文獻

Aonuma, Y., 1992, Review of the genus *Rhinogobius* (Pisces; Gobiidae) in Taiwan. Ms. Thesis, Univ. of Ryukyus, Japan, 79pp.

Aonuma, Y., T. Yoshino and C. S. Tzeng, 1990, Studies on *Rhinogobius* fishes found from Central and Northern Taiwan. Abstracts for the 23th annual Meeting of Ichth. Soc. Japan, :23.

Aonuma, Y., T. Yoshino, and C. S. Tzeng, 1992, Fishes of the genus *Rhinogobius* found in Taiwan, with notes on their zoogeography. Abstracts of the 25 th Annual Meeting of the Ichthyological Society of Japan, :36.

Bates, K., 1993, Fish passage policy and technology. Proceedings of a symposium of the Bioengineering Section of the American Fisheries Society, 209pp.

Boltz, J., C. Bell, P. Leonard. 1995. The challenges of developing habitat suitability criteria for a large southeastern river. *Water Power* 95:92-101.

Chang, K. H., et al., 1992, Fishway design plan for the Maan Dam project. (unpublished data) .

Downing, J. K. 1983. Accuracy and precision in estimating instream flow requirements. *Water Power* 83:1284-1293.

Ghanem A., and F. Hicks, 1992. A review of the hydraulic models used in instream flow needs assessment methods. *Water Resources Engineering Report No.92-4:1-64*.

Ishida, R., S. Nakamura, N. Mizuno, N. Tamai, and H. Mayama. 1991. Stream restoration for fishes in Japan. *ISHIDA ET AL.*: 225-237.

Larinier, M., 1990, Experience in fish passage in France: Fish pass design criteria and downstream migration problems. in Proceedings of the International Symposium on fishways '90 in Gifu Japan, :65-74.

Leonard, P., C. Bell, and J. Boltz. 1995. Habitat modeling in a southeastern alluvial

floodplain river. Water Power 95':102-111.

Liang, Y. S., 1984, Preliminary notes on the distribution of freshwater fishes found from Taiwan. Jour. Taiwan Mus., 37(2):59-69.

Morhardt, J. E., D. F. Hanson, P. J. Coulston. 1983. Instream flow: increased accuracy using habitat mapping. Water Power 83':1294-1304.

Nakamura, S., 1990, A review of the Fish passage facilities in East Asia. in Fish passage policy and technology (Proceedings of a Symposium presented by the Bioengineering Section of the American Fisheries Society, in Sept. 1993, Portland, Oregon USA. edited by Bates) ,

Ott, R. F., and M. R. Stansbury, 1990, Passage improvement at the Glenn-Colusa irrigation diversion. *ibid*, :147-153.

Pace, G. L., 1975, The freshwater snails of Taiwan. Malacological Review, 118pp.

Pyan, P. A., and S. C. Choy, 1990, Observations on the upstream migration of *Varuna litterata* (Fabr.) megalopae (Decapoda, Brachyura, Grapsidae) in Fiji. Crust., 58:237-249.

Reiser, D. W., T. A. Wesche, and C. Estes. 1989. Status of instream flow legislation and practices in North America. Fisheries, Vol. 14, No. 2:22-29.

Souchon, Y., S. Valentin. 1991. Instream flow Incremental methodology (IFIM) : Study cases, technical and scientific aspects, reserch in 3 countries: USK, UK, France. CEMAGREF:1-10.

Stalnaker, C., B. L. Lamb, J. Henriksen, K. Bovee, J. Bartholow. 1995. The instream flow incremental methodology :A primer for IFIM. Biological Report 29:1-45.

Studley, T. K., S. F. Railsback, M. ASCE, and J. E. Baldring. 1995. Tesing the instream flow method in trout streams. Water Power 95':84-91.

Tzeng, C. S., 1986, Distribution of the freshwater fishes of Taiwan. Jour. Taiwan Mus., 39(2):127-146.

Yu, S-L and Edward, J. Peters. 1994. Relations of weighted usable area to fish abundance in the Platte River, Nebraska.

Yu, S-L and Edward, J. Peters. 1995. Application of logistic regression to develop habitat suitability criteria for sand shiner, *Notropis stramineus*. *Rivers*, Vol. 5, No. 1:22-34.

大津 高, 曾晴賢, 張萬福, 中谷 勇, 1990, 太魯閣峽頂蓮花池生態環境之記錄, 國家公園學報, 2 (1) : 113-119.

大島正滿, 1923, 台灣產淡水魚分佈補遺. 動物學雜誌, 34 (416) :236-240.

川那部浩哉, 水野信彥, 1989, 日本 淡水魚, 山 溪谷社, 日本東京, 719 頁.

中坊徹次編, 1993, 日本產魚類檢索, 東海大學出版會, 日本東京, 1474 頁.

日比谷京等著, 1989, 河川生物資源保全流量調查報告書, 全國內水面漁業協同組合連合會 (日本), 257 頁.

木村英造, 1975, 台灣淡水魚調查記, 淡水魚 (日本), 1:

水野信彥編, 1987, 內水面漁場環境, 利用實態調查報告書。 日本全國內水面漁業協同組合連印會, 265 頁。

石再添, 張瑞津, 林雪美, 1987, 台灣地區十五條河川理論水力蘊藏量及地表逕流係數研究. 師大地理系地理研究叢書第十四號. 213 頁。

吉村信吉, 1972, 湖沼學, 生產技術中心 (株) 印行, 東京, 439+69 頁.

呂光洋, 1990, 溪流生態系, 森林溪流淡水魚保育訓練班論文集 :23-32.

呂光洋等, 1983, 太魯閣國家公園動物生態景觀資源之調查報告, 內政部營建署, 45 頁

李思發, 1990, 淡水魚類種群生態學, 農業出版社 (北京), 291 頁.

沈世傑, 曾晴賢, 李植堅, 1989, 鹿角坑溪魚類放流及生態研究, 陽明山國家公園

管理處保育研報. 48 頁.

沈世傑, 曾晴賢, 周鎮傑, 1990, 鹿角坑溪取水堰魚道設置研究. 陽明山國家公園管理處印, 33 頁。

沈世傑主編, 沈世傑, 李信徹, 邵廣昭, 莫顯蕎, 陳哲聰, 陳春暉, 曾晴賢等合著, 1993, 台灣魚類誌, 台灣大學動物學系印行, 960 頁.

林曜松, 曾晴賢, 1985, 南仁山淡水魚類及水生無脊椎動物研究, 墾丁國家公園保育研報 3 號之 2, 23 頁.

林曜松等, 1984, 台灣地區具有被指定為自然文化景觀之調查研究報告, 中華民國自然生態保育協會, 177 頁.

洪明仕, 1993, 南澳溪直額絨螯蟹族群動態及生物學之研究, 海洋大學漁業研究所碩士論文, 67 頁.

宮地傳三郎, 川那部浩哉, 水野信彥, 1982, 日本淡水魚類圖鑑, 保育社出版 (大阪), 462 頁.

財團法人中興工程顧問社, 1993. 台灣電力公司鯉魚潭士林發電工程士林壩保留基流量分析報告. 台灣電力公司研究報告, 18 頁。

張崑雄, 詹榮桂, 鄭明修, 曾晴賢, 陳育賢, 1992, 東北角海岸風景特定區海域、溪流生態及解說資源運用之調查研究, 觀光局東北角海岸風景特定區管理處印行, 155 頁.

郭河, 1994, 養鰻透視, 台北水產出版社, 231 頁.

陳弘成、曾萬年、黃穰、雷淇祥、陳章波, 1989, 花蓮溪河口域生態環境調查及紙漿廢水的毒性試驗, 環保署 EPA-78-006-07-157, 183 頁.

陳兼善, (于名振增訂) 1984, 台灣脊椎動物誌 (上、中、下冊), 第二次增訂版, 台灣商務印書館.

陳朝欽, 黃哲崇主編, 1985, 台灣沿岸仔稚魚苗研究專輯, 農委會漁業特刊第二號, 279 頁.

曾晴賢, 1981, 急湍中的魚類生態, 科學月刊, 12(6):17-21.

曾晴賢, 1986, 臺灣的淡水魚類, 台灣省政府教育廳自然叢書 12 號, 194 頁

曾晴賢, 1986, 欖仁溪攔砂壩之魚道規劃設計研究, 墾丁國家公園管理處保育研報 33 號, 52 頁.

曾晴賢, 1990, 台灣淡水魚(I), 臺灣野生動物資源調查手冊(3), 行政院農委會印行, 145 頁.

曾晴賢, 1990, 台灣淡水魚類的生與死, 林務局森林溪流淡水魚保育訓練班論文集, :81-95.

曾晴賢, 1992, 太魯閣國家公園區域內溪流動物之研究, 太魯閣國家公園管理處印, 45 頁.

曾晴賢, 1992, 校園及住家附近的水生動物, 教育部自然生態保護教育圖鑑(四), :144-154.

曾晴賢, 1993, 親水活動觀魚游---走入一個有趣的魚類生態教室, 自然生態教育發展研討會研習手冊, 太魯閣國家公園管理處印行, :20-49.

曾晴賢, 1993, 保育台灣河川資源的魚道工程, 新竹市國民小學教師環保教育研習營論文集, 新竹師院印行, :10-18.

曾晴賢, 張萬福, 陳育賢, 1989, 東部海岸陸域資源調查及分析:動物資源調查分析, 台灣省住都局印行, 136 頁.

曾晴賢, 詹見平, 1993, 適用於鄉土教學的台灣淡水生物, 鄉土教學資源研討會論文集, 花蓮師院編, :72-86.

曾晴賢, 1994, 秀姑巒溪河川資源保育及利用之研究。東部海岸風景特定區管理處印行,

曾晴賢, 李淑珠, 1987, 魚道的設計指南及案例, 中國水產, 419:21-28。

曾晴賢, 陳懸弧, 賴春福, 1992, 太魯閣國家公園砂卡礑溪溪流生態之旅, 太魯閣國家公園管理處印行, 56 頁.

游祥平, 1974, 台灣產匙指蝦類之研究, 水產養殖, 2 (2) :49-58.

游祥平, 何平合, 1986, 台灣產絨螯蟹之研究, 博物館科學年刊, 29:111-116.

游登良, 1994, 那夜我們看螃蟹行軍, 講義, 15 (2) :30~35.

黃娟娟, 游祥平, 1982, 台灣產淡水長臂蝦之研究, 省立博物館年刊, 25 : 157-180.

黃毓嵩, 1985, 水文氣象與壩工工程。銀禾文化, 186 頁。

鄒月娥, 1994, 太魯閣國家公園砂卡礑溪所產大和米蝦之生物學研究, 內政部營建署太魯閣國家公園管理處自行研究案報告, 37 頁。

鄭明修, 詹榮桂, 馮豐隆, 曾晴賢, 楊正澤, 1994, 東北角海岸風景特定區自然生態資源調查與監測(一), 觀光局東北角海岸風景特定區管理處印行, 206 頁。

闕狀狄, 鄭枝修, 張瑞欣, 1987, 櫻花鉤吻鮭魚道勘查規劃。農委會 76 年生態研究第 007 號報告, 53 頁。

顏清連等, 1984, 立霧溪水力發電計劃環境影響評估研究, 台大土木工程研究所, 水力 (7305), 277 頁。

台灣漁業技術顧問社, 1995, 石岡壩魚道興建可行性評估及初步規劃, 台中縣政府委託計劃報告。

表一：砂卡礑溪之水生生物種類和分布區域表；分布的範圍以檢查哨以下為下游河段，中段則到達攔水壩以下，壩上係指攔水壩以上的河段。溯河洄游性係指在河海兩側洄游性生物的產卵場是在河川裡，降海洄游性則係指產卵場是在海洋之中。河川內洄游是指本種魚類在產卵之時會上溯至上游河段產卵。

編號	種 類	分 布 範 圍			洄 游 性	備註
		下游	中段	壩上		
1.	台灣鏟頰魚	**	**	***	河川內洄游	
2.	日本禿頭鯊	***	**	*	溯河洄游性	
3.	雙帶禿頭鯊	*			溯河洄游性	
4.	褐吻蝦虎	***	**	*	溯河洄游性	
5.	大吻蝦虎	***	***	*	溯河洄游性	
6.	曙首厚唇鯊	*			溯河洄游性	
7.	湯鯉	*			降海洄游性	
8.	大口湯鯉	*			降海洄游性	
9.	棕塘鱧	*			降海洄游性	
10.	溪鱧	*			降海洄游性	
11.	鱸鰻	*	*	*	降海洄游性	
12.	白鰻	*			降海洄游性	
13.	大和米蝦	*	***	*	降海洄游性	
14.	匙指蝦	*	*		降海洄游性	
15.	金神沼蝦	***	**		降海洄游性	
16.	寬掌沼蝦	**	*		降海洄游性	
17.	日本沼蝦	*			降海洄游性	
18.	大和沼蝦	**			降海洄游性	
19.	花紋沼蝦	*			降海洄游性	
20.	短腕沼蝦	***	***		降海洄游性	
21.	台灣絨螯蟹	***	***	*	降海洄游性	
22.	太魯閣澤蟹	***	***	***	陸封性	
23.	陸蟹	*	**	**	陸封性	

表二：東亞地區利用魚道的主要魚蝦蟹類。

Common Name	Scientific Name	Body Length of Adult	Period of upstream/down stream	Spawning Area
CHINA				
[anadromous]				
	<i>Acipenser sinensis</i>	150cm	spring/fall	upper reaches
	<i>Macrura reevesii</i>		spring/fall	middle reaches
[catadromous]				
Japanese eel	<i>Anguilla japonica</i>	70cm	spring/fall	deep ocean
hair crabs	<i>Ericher spp.</i>		spring/winter	estuary
[potamodromous]				
black carp	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	30cm		middle reaches
grass carp	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	30cm		middle reaches
TAIWAN				
[catadromous]				
日本鰻 Japanese eel	<i>Anguilla japonica</i>	70cm	spring/fall	deep ocean
鱸鰻 Swamp eel	<i>Anguilla marmorate</i>	100cm	spring/fall	deep ocean
台灣絨螯蟹	<i>Ericher taiwanensis</i>		winter/summer	estuary
Taiwanese hair crab				
日本絨螯蟹	<i>Ericher japonicus</i>		spring/winter	estuary
Japanese hair crab				
[amphidromous]				
日本禿頭鯊	<i>Sicyopterus japonicus</i>	15cm	spring/fall	middle reaches
monk goby				
褐吻蝦虎				
freshwater gobies	<i>Rhinogobius spp.</i>	6cm	spring/fall	middle reaches
香魚 Ayu	<i>Plecoglossus altivelis</i>	15cm	spring/fall	middle reaches
沼蝦 freshwater shrimps	<i>Macrobranchium spp.</i>		spring/fall	estuary
[potamodromous]				
台灣鏟頰魚	<i>Varicorhinus barbatulus</i>	17cm	spring/fall	upper reaches
pale chub	<i>Zacco spp.</i>	12~17cm	spring/winter	middle, lower reaches

表三：七十四-八十四年砂卡礑溪攔水壩流量表。

日期(74 年)	1/1	1/5	2/1	2/9	3/8	4/11	4/25	5/17	6/17	11/28		
標高(CM)	135	80	120	150	110	90	80	130	150	110		
流量(CMS)	3.58	1.98	3.12	4.1	2.82	2.24	1.98	3.43	4.1	2.82		
日期(75 年)	1/2	2/7	2/18	2/24	3/6	4/2	4/8	4/21	5/3	5/21	8/8	8/16
標高(CM)	150	60	150	110	120	100	85	30	60	150	100	115
流量(CMS)	4.1	1.42	4.1	2.82	3.12	2.52	2.13	0.52	1.42	4.1	2.52	2.97
日期(75 年)	8/23	8/25	11/4	11/10	11/14	11/17	12/29					
標高(CM)	110	150	140	120	110	150	140					
流量(CMS)	2.82	4.1	3.74	3.12	2.82	4.1	3.74					
日期(76 年)	2/7	2/20	3/18	4/13	5/22	6/17	7/20	7/26	8/28	9/9	9/17	10/21
標高(CM)	70	65	100	65	60	150	110	150	90	150	150	100
流量(CMS)	1.72	1.57	2.52	1.57	1.42	4.1	2.82	4.1	2.24	4.1	4.1	2.52
日期(76 年)	10/25	12/30										
標高(CM)	150	100										
流量(CMS)	4.1	2.52										
日期(77 年)	2/15	3/14	3/29	5/10	6/1	7/13	7/30	8/20	9/8	9/22	12/24	
標高(CM)	70	110	70	60	150	90	80	65	80	150	100	
流量(CMS)	1.72	2.82	1.72	1.42	4.1	2.24	1.98	1.57	1.98	4.1	2.52	
日期(78 年)	1/1	2/3	2/28	3/6	3/13	3/25	4/6	4/16	4/18	4/24	5/2	5/3
標高(CM)	140	85	70	65	70	135	150	115	130	110	95	90
流量(CMS)	3.74	2.11	1.72	1.57	1.72	3.59	4.1	2.97	3.43	2.82	2.38	2.24
日期(78 年)	5/10	5/20	7/1	7/8	7/15	7/29	8/14	9/1	9/9	9/11	11/11	11/29
標高(CM)	120	150	110	100	70	95	65	55	70	150	140	130
流量(CMS)	3.12	4.1	2.82	2.52	1.72	2.38	1.57	1.27	1.72	4.1	3.74	3.43

表三：七十四-八十四年砂卡礑溪攔水壩流量表（續）

日期(78 年)	12/8											
標高(CM)	120											
流量(CMS)	3.12											
日期(79 年)	1/11	1/19	1/26	2/12	2/22	2/28	3/16	3/24	4/3	4/18	5/16	5/19
標高(CM)	130	120	110	140	120	150	145	140	100	150	110	150
流量(CMS)	3.43	3.12	2.82	3.74	3.12	4.1	3.92	3.74	2.52	4.1	2.82	4.1
日期(79 年)	7/17	8/1	8/11	8/17	8/18	9/7	9/10	10/24	11/3	12/4	12/11	12/25
標高(CM)	140	130	140	100	150	150	150	140	130	70	80	65
流量(CMS)	3.74	3.43	3.74	2.52	4.1	4.1	4.1	3.74	3.43	1.72	1.98	1.57
日期(80 年)	1/8	2/1	2/7	2/21	3/14	4/6	4/12	4/13	4/18	4/25	4/30	5/1
標高(CM)	70	100	95	140	80	65	60	65	75	70	60	150
流量(CMS)	1.72	2.52	2.38	3.74	1.98	1.57	1.42	1.57	1.85	1.72	1.42	4.1
日期(80 年)	5/3	5/8	5/15	6/1	6/7	6/19	6/25	6/27	7/1	7/8	7/13	7/18
標高(CM)	80	55	50	55	70	50	70	150	95	65	60	150
流量(CMS)	1.98	1.27	1.12	1.27	1.72	1.12	1.72	4.1	2.38	1.57	1.42	4.1
日期(80 年)	7/25	8/6	8/12	8/15	8/18	8/21	9/5	9/11	9/16	9/17	10/23	10/29
標高(CM)	150	80	85	90	130	90	70	80	100	150	140	150
流量(CMS)	4.1	1.98	2.11	2.24	3.43	2.24	1.72	1.98	2.52	4.1	3.74	4.1
日期(80 年)	11/1 5	11/22	11/28	12/4	12/10							
標高(CM)	150	140	130	140	100							
流量(CMS)	4.1	3.74	3.43	3.74	2.52							
日期(81 年)	1/3	1/9	1/15	2/2	2/9	2/15	3/27	4/2	4/8	4/9	4/14	4/23
標高(CM)	90	130	90	110	95	150	125	110	100	110	140	150
流量(CMS)	2.24	3.43	2.24	2.82	2.38	4.1	3.28	2.82	2.52	2.82	3.74	4.1
日期(81 年)	5/8	5/14	5/16	5/20	5/26	6/1	6/19	7/1	7/7	8/12	8/19	8/21

表三：七十四-八十四年砂卡礑溪攔水壩流量表（續）

標高(CM)	135	130	110	135	90	150	95	110	125	70	150	135
流量(CMS)	3.59	3.43	2.82	3.59	2.24	4.1	2.38	2.82	3.28	1.72	4.1	3.59
日期(81 年)	8/27	8/28	10/30	11/11	11/21							
標高(CM)	130	150	130	95	110							
流量(CMS)	3.43	4.1	3.43	2.38	2.82							
日期(81 年)	1/20	2/17	3/2	3/17	3/27	4/8	4/15	4/22	4/30	5/6	5/19	5/29
標高(CM)	95	80	65	145	85	120	150	80	70	60	55	60
流量(CMS)	2.38	1.98	1.57	3.92	2.11	3.12	4.1	1.98	1.72	1.42	1.27	1.42
日期(82 年)	6/4	6/14	6/24	7/16	7/24	8/4	8/23	9/6	9/26	11/12		
標高(CM)	65	55	50	45	50	60	50	65	70	80		
流量(CMS)	1.57	1.27	1.12	0.97	1.12	1.42	1.12	1.57	1.72	1.98		
日期(83 年)	1/16	2/18	4/21	5/31	6/21							
標高(CM)	50	150	70	85	95							
流量(CMS)	1.12	4.1	1.72	2.11	2.38							
日期(84 年)	1/1	1.13	1/19	1/26	2/20	3/9						
標高(CM)	150	120	100	50	130	150						
流量(CMS)	4.1	3.12	2.52	1.12	3.43	4.1						
年份	74 年	75 年	76 年	77 年	78 年	79 年	80 年	81 年	82 年	83 年	84 年	
標高	3.02	2.82	2.63	2.38	3.07	2.42	3.11	1.87	1.86	1.9	3.07	

表四：民國八十四年至八十五年台電砂卡礑溪攔水堰取水流量統計表，表內的統計數字僅係台電觀測記錄，除此之外的時間仍有流量但是並無記錄值。

時間	水位高度（cm）	流量（cms）
84/01/01—01/13	150	4.1
84/01/14—01/19	120	3.12
84/01/20—01/26	100	2.52
84/01/26—02/19	50	1.12
84/02/20—03/08	130	3.43
84/03/09—03/26	150	4.1
84/03/30—04/12	80	1.98
84/04/13—04/21	100	2.52
84/04/22—05/05	80	1.98
84/05/06—05/20	85	2.11
84/05/21—06/04	150	4.1
84/06/05—06/23	110	2.82
84/06/24—07/07	135	3.58
84/07/08—07/09	90	2.24
84/07/10—10/25	150	4.1
84/10/26—11/20	145	3.92
84/11/21—12/31	100	2.52
85/01/01—01/07	100	2.52
85/01/08—01/22	80	1.98
85/01/23—02/09	90	2.24
85/02/10—02/17	80	1.98
85/02/18—02/26	75	1.85
85/02/27—03/06	80	1.98
85/03/07—03/18	65	1.57
85/03/19—04/05	75	1.85
85/04/06—04/17	85	2.11
85/04/18—05/06	70	1.72
85/05/07—05/18	100	2.52
85/05/19—05/26	115	2.97
85/05/27—06/08	100	2.52
85/06/09—06/11	85	2.11
85/06/12—06/20	70	1.72
85/06/21—07/04	80	1.98
85/07/05—07/25	70	1.72
85/07/26—09/18	150	4.1
85/09/19—09/29	125	3.28
85/09/30—10/14	120	3.12
85/10/15—12/17	150	4.1
平均	102.4	2.6

