



雪霸國家公園管理處
Shei-Pa National Park Headquarters

臺灣櫻花鉤吻鮭命名
100週年專題演講

論文集

中華民國 108 年 6 月 29 日

臺灣櫻花鉤吻鮭命名 100 週年專題演講

議程表

一、 時間：108 年 6 月 29 日(星期六)

二、 活動地點：雪霸國家公園汶水遊客中心第一視聽室

時 間	題 目	講 者	單 位
8:30-9:00	報到		
9:00-9:20	長官及貴賓致詞		
9:20-9:30	合照		
9:30-10:00	大島正滿故事	大島正伸 教授	日本金澤大學
10:00-10:20	國寶魚研究保育之演進	曾晴賢 教授	清華大學
10:20-10:40	休息		
10:40-11:00	武陵長期生態研究	林幸助 教授	中興大學
11:00-11:20	雪霸處 25 年臺灣櫻花鉤吻鮭保育歷程	廖林彥 主任	雪霸國家公園管理處 武陵管理站
11:20-11:50	向保育國寶魚前輩致敬 受獎者：林曜松、張崑雄、鄭明能(鄭守讓)-鄭達智 代表授獎		
11:50-12:30	綜合座談		

目錄

國寶魚研究保育之演進..... 1

武陵十五年長期生態研究，拆壩復育臺灣櫻花鉤吻鮭
棲地..... 39

雪霸處以了解關心行動希望保育鮭魚 25 年..... 74

國寶魚研究保育之演進

曾晴賢教授

清華大學生物資訊與結構生物學研究所

一、前言

在臺灣亞熱帶島嶼的高山上，在一百年前能夠發現溫帶地區才有的鮭科魚類，是一件生物學上不可思議的冰河地史之重大例證。也因此讓臺灣生物多樣性的特殊性，得以讓世人所了解。在過去這一百年的歷程中，前人對於這個珍稀物種所做的諸多研究和保育工作，大致整理出以下的演進資料，可供有興趣的朋友作參考。

二、發現與命名

在還沒有正式文獻紀錄以前，臺灣各地的原住民就已經非常熟悉自己生活周邊的自然資源，這些資訊主要是透過人類學的訪記才得以流傳。關於臺灣櫻花鉤吻鮭的傳說，在大島正滿博士(1935)所著的泰雅的呼喚（タイヤルは招く，第一書房，東京，136頁）紀錄現今臺中市和平區環山部落的泰雅族人之歌謠，大意是：

「次高山下，蜿蜒著美麗的司界蘭溪，
溪水清冽，綠意盎然，
溪中有肥大的櫻花鉤吻鮭跳躍著，
這兒的风景幽美，還有熱鬧的豐年祭，
歡迎啊！歡迎！
歡迎朋友你來司高耀作客。」

泰雅族人吟唱著嘹亮的歌聲，每年秋天鮭魚繁殖時，會在淺灘上活動，泰雅族人趁便站在岸邊射獵捕食，自小他們即從山上滾下南瓜

練習射箭，因之個個皆為百發百中的神射手。日人據臺後，帶來了漁網，泰雅族人學會撒網的技巧，才開始借用駐在所(警察局)的漁網捕魚，一天十五斤的漁獲是七家灣溪畔最高的紀錄。泰雅族人稱這種魚 Bunban，對他們而言，是大自然賞賜的食物，但是應該不知道 Bunban 所連結的自然奧妙。



圖 1 1935 年泰雅族青年在七家灣溪以弓箭射魚的情形
(摘自大島正滿，1940，脊椎動物大系—魚，三省堂)



圖 2 1935 年泰雅族青年在七家灣溪撒網捕魚的情形

(摘自大島正滿，1935，タイヤルは招く)

早年臺灣淡水魚類的研究，大都是歐美人士所從事的分類學調查為主。最早是英國外交官史溫豪(1836~1877)採集的標本，送給大英博物館的貢德發表了數種新種或是新記錄開啟新頁。之後雖然陸續有其他零星研究報告，但是主要都是臺灣平原和丘陵地區的一些魚類為主。直至 1917 年 10 月 18 日，在當時臺北州羅東郡（現在的宜蘭縣大同鄉）服務的日本警察津崎友松，提供駐地泰雅族原住民所捕捉的臺灣櫻花鉤吻鮭標本，輾轉寄到臺灣總督府專門研究淡水魚類的大島正滿之助手青木赳雄（後來擔任水產試驗場臺南支場長）手中，雖然青木赳雄第一時間就陸續發表本種鮭科魚類（青木赳雄。1917。臺灣にも鱒を産す(豫報)。臺灣水產雜誌，23: 51-54；青木赳雄。1917。臺灣にて鱒の發見。臺灣博物學會會報。32: 138.），但是並無提及本種的正式學名。青木也把在臺灣發現鮭科魚類的事情，報告給當時在美國史丹福大學進修的大島正滿知曉，但是當時大島正滿的指導教授喬丹博士(Dr. David S. Jordan，美國史丹福大學創校校長)並不敢相信亞熱帶的臺灣能夠有溫帶地區才有的鮭科魚類，所以一直到隔年大島正滿

返臺之後，親眼見到津崎警察所提供的鹽醃漬標本和一尾活體標本，立即根據第一尾的成熟雄性鮭科魚類標本，做詳細的分類學描述，本來大島正滿所提出得第一個學名是 *Salmo saramao* Jordan & Oshima（青木尅雄。1919。臺灣鱒學名決定。臺灣水產雜誌，41:7-8。），可能喬丹校長認為外人對於當時的梨山(Saramao)這個小地名較不容易熟識，因此在共同發表在美國費城自然科學院期刊(Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia) 時，就將學名改為 *Salmo formosanus*，所以在爾後的分類文章中，均依照這個學名為基礎做演進。

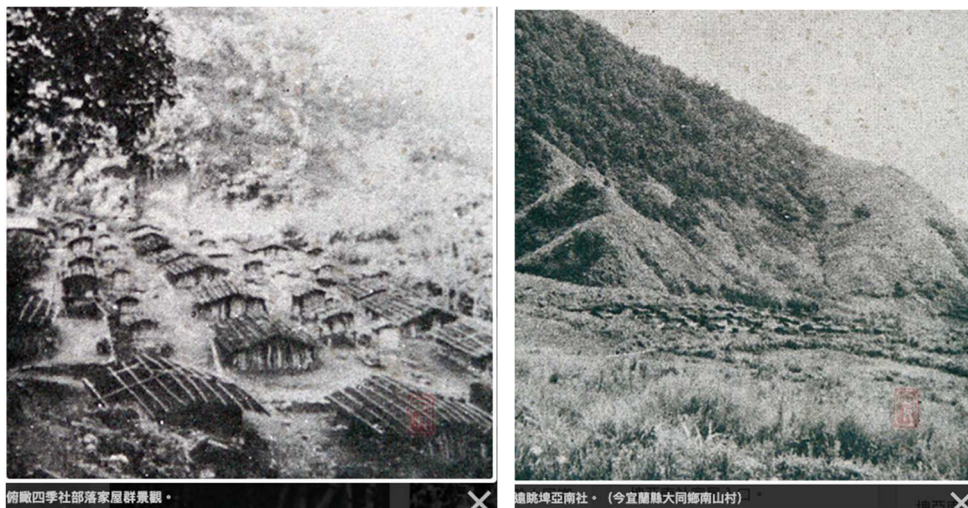


圖 3 日據時代宜蘭四季社（左）和南山村（右）的部落環境
（摘自 <http://ylhm.e-land.gov.tw/exhibition/Skayulung/7.html>）

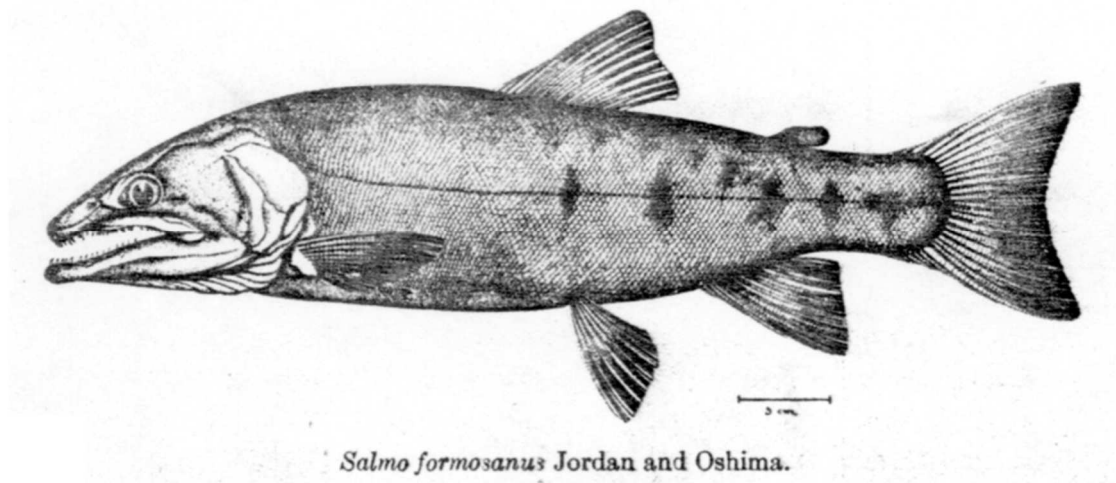


圖 4 第一尾鹽醃漬的臺灣櫻花鉤吻鮭標本
(摘自 Jordan and Oshima, 1919)



圖 5 臺灣櫻花鉤吻鮭命名者 Jordan 校長 (左, 史丹福大學提供) 和
大島正滿博士 (右)

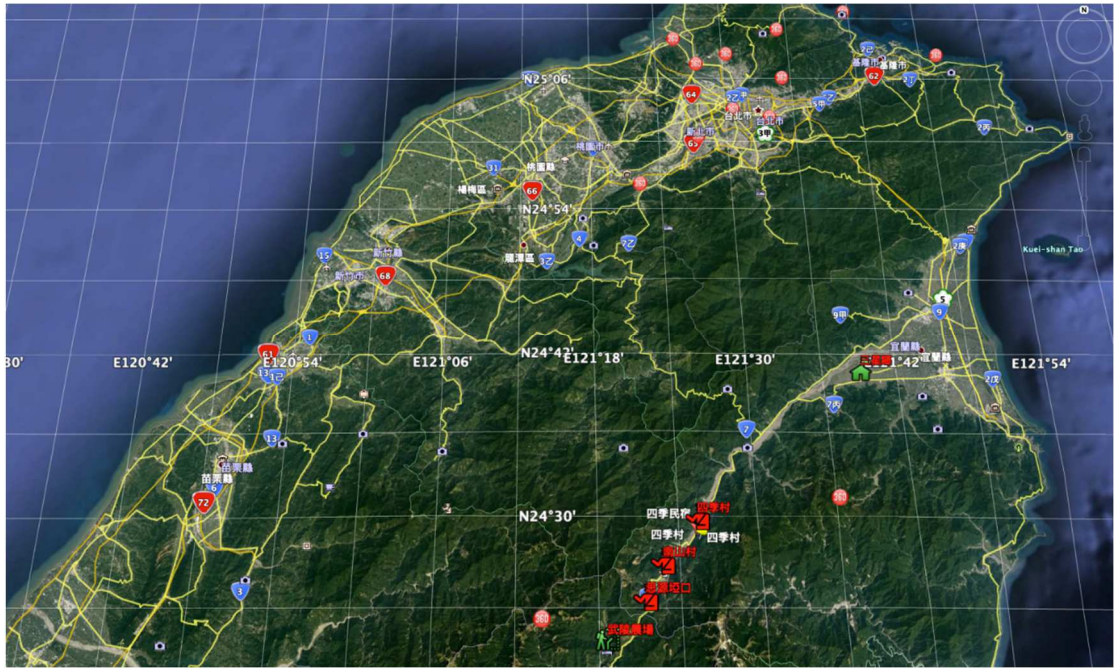


圖 6 臺灣櫻花鉤吻鮭發現史的重要地標相對位置
(自 Google earth pro 重繪)

1934 年大島正滿根據新獲得的標本，比對日本的鮭魚樣本，認為臺灣產的鮭魚跟大西洋的鮭屬 (Genus *Salmo*) 不一樣，因此重新修正臺灣的鮭魚應該屬於太平洋的鉤吻鮭屬 (Genus *Oncorhynchus*)。1985 年時，在臺灣各地採集淡水魚類標本多年的日本生物地理學會渡部正雄會長，和曾經服務於台電電源勘測隊和林試所的林淵霖先生，在採集大甲溪各地的鮭魚標本之後，和日本的鉤吻鮭屬做形態學的比對，認為本種應該是屬於鉤吻鮭屬的櫻花鉤吻鮭的四個亞種之一，因此將學名改為 *Oncorhynchus masou formosanus*。櫻花鉤吻鮭的中文名是曾在臺灣大學、師範大學和東海大學任教的前臺灣博物館館長，陳兼善教授於在 1954 年臺灣銀行出版之臺灣研究叢刊和臺灣魚類中英日名對照表，以及在 1956 年出版的巨著臺灣脊椎動物誌（臺灣省特種教育基金會出版）中所定的中文名。



圖 7 林淵霖先生

(摘自 <http://www.tri.org.tw/per/23/23-21.pdf>)



圖 8 陳兼善教授

(摘自 <http://www.taiwan-fisheries.com.tw/news/news-000229.htm>)

三、生態學研究

在 1935 年之後，因為臺灣高山地區逐漸可以進出，臺灣櫻花鉤吻鮭的世界，才從分類學領域開拓出另一個生態學和保育生物學的境界。其中最重要的記錄也是對這種魚類情有獨鍾的大島正滿，再從日本回臺所做的大規模探查，將行旅的過程所見所聞出版一本泰雅的叫喚（大島正滿，1935，タイヤルは招く，第一書房，東京，136 頁），成為重要的人類學研究文獻，當然對於臺灣櫻花鉤吻鮭的生態記錄有最詳實的參考資料。

在 1935 年 7 月間，從事臺灣淡水魚類調查研究最有貢獻，但是後來回去日本多年的大島正滿博士和其他的生物學家，與朝日新聞社記者等一行將近 10 人，浩浩蕩蕩專程回到臺灣，準備進行一項夢寐以求的野外調查工作。當時宜蘭鐵道線已通車，比亞南道路也已完工，大島博士等人終於可以一償十五年前的心願，親自探查「臺灣鱒（當時對於臺灣櫻花鉤吻鮭的稱呼）」的生態。他們在大批警官和原住民嚮導的護送下，從羅東經土場入山，翻過蘭陽溪和大甲溪的分水嶺（思源埡口）進入大甲溪上游。

在海拔 1,924 公尺高的比亞南鞍部附近（現在的思源埡口），由當地警察駐在所岸良巡查的帶領下，大島博士走到緊鄰駐在所的大甲溪（現在的有勝溪）察看設在溪中的砲彈型竹籠（魚筌陷阱），非常興奮的看到第一尾活生生的鱒魚，不自覺就大聲的「Yamame! Yamame!」，興奮之情溢於言表！

經過詳細檢查，大島博士察覺臺灣鱒體側並無紅色斑點，只有不顯著的淡紅縱帶，此特徵和日本產的山女魚（Yamame）完全相同，因此大島博士斷定臺灣鱒與日本北方的陸封型櫻鱒 *Oncorhynchus masou* (Brevoort) 相同，因此把臺灣鱒重新修訂學名為 *Oncorhynchus*

masou (Brevoort)。

回到日本後，大島博士完成「泰雅的呼喚」一書，裡頭除了記述大甲溪地理環境、鱒魚棲息水域、生活史、存在原因等；也對於當地泰雅族的生活、漁獵法及歌謠亦有詳細的記載，是臺灣淡水魚類最重要的一本生態與人類學相關的著作。可惜當時所拍攝的影片，可能在二戰期間流失無法再找得到了，否則那份紀錄片絕對是最珍貴的生態紀錄片之一！

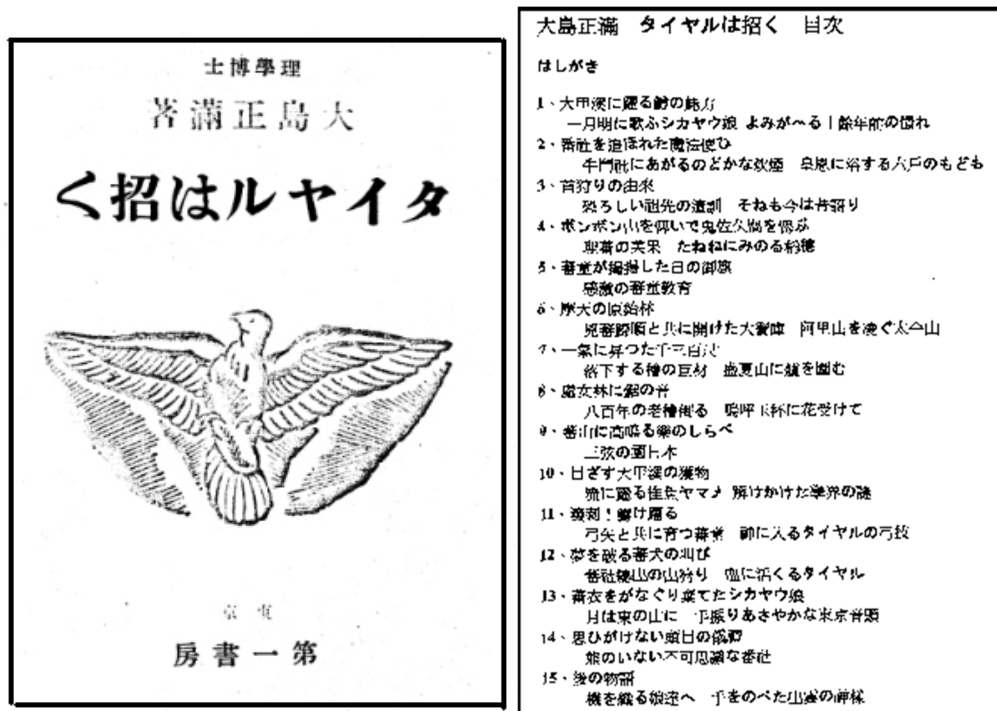


圖 10 臺灣櫻花鉤吻鮭第一手的野外調查紀錄「泰雅的呼喚」封面



大島正滿和泰雅青年在岸邊記錄鮭魚形質特徵



對攝影機極感興趣的兩位當地原住民



從事野外調查工作的大島正滿



協助野外調查工作的泰雅青年

圖 11 泰雅的呼喚一書中的重要照片

四、天然紀念物—日治時期

真正對於臺灣櫻花鉤吻鮭進行較為深入的生態學研究工作，應是日治時期的臺灣總督府在研擬訂頒臺灣天然紀念物時，特別委由總督府技師與儀喜宣（1929～1939 年間擔任水產試驗所第一任所長）擔任調查委員，偕同當時的水產試驗所技師中村廣司，於 1936 年 7 月、10 月和 1938 年 4 月三度前往大甲溪上游所作的臺灣櫻花鉤吻鮭調查開始。



圖 12 開啟臺灣櫻花鉤吻鮭生態研究的興儀喜宣
(摘自 <https://reurl.cc/1aj9Q>)

彼等所做的調查報告於 1938 年出版，該書「天然紀念物調查報告(五)－臺灣高地產鱒」乃是最早一本關於臺灣淡水魚類單一物種生態調查的報告(興儀喜宣、中村廣司，1938，臺灣高地產鱒(櫻花鉤吻鮭)，天然紀念物調查報告第五輯。臺灣總督府內務局，32 頁。(林曜松譯，1986，農委會林業特刊 9：1-14))，而且至今也幾乎沒有其報告書能夠對其他的臺灣淡水魚類，做到如此詳細和完整的調查與保育規劃。

該報告內容詳細記載四章內容以及交通路線、文獻和圖版：

1. 棲息地及名稱
2. 沿革(發現及鑑定，鱒魚與山地人的關係和漁獲現況)
3. 生物學的事實(分布及習性，型態學特徵的比較和結論)
4. 保護的必要性、方法及區域

在這本報告中詳述了不少生態資料，包括：

1. 大甲溪鱒魚只限於大甲溪上游水溫 16 以下的水域棲息。
2. 產卵期是十月上旬至十一月下旬，為期大概有一個月。
3. 產卵期是二年魚先劇，其次為一年魚（體長 160mm），魚的抱卵數在 200 左右。
4. 產卵時好像沒有明顯的遷徙活動，只在溪流中，深淵下方的砂礫地隨意產卵。
5. 這種魚的天然餌料完全是水棲昆蟲的幼蟲。

在分佈方面，也記錄到：

1. 思源埡口鞍部附近（今羅葉尾溪）在 1930 年左右還很多，但是在 1938 年時已經難得一見。
2. 有勝溪勝光附近在 1838 年間漁獲數量已經相當減少。
3. 七家灣溪流域志良節附近（今有勝溪匯流口附近）大型魚獲顯著減少。
4. 司界蘭溪流域平岩山附近（環山地區）沒有顯著增減。
5. 合歡溪和南湖溪的狀況不明。

更重要的本報告提出一些具體保育政策的建議，如：

1. 禁止放流本流域以外鱒魚屬的魚以及魚卵。
2. 從清泉橋下游會合點（匯流點）以東各支流之上游，在五月一日至十二月三十一日間禁漁。
3. 志良派出所下方（七家灣溪與有勝溪匯流口）以上的七家灣溪主流，於十月一日至十一月三十日禁止捕魚。
4. 七家灣溪匯流口以上的主流，兩岸各 300 公尺以內，禁止砍伐林木以及變更地形等行為。

雖然這份文件建議的相關保護措施在當時因為戰亂的關係，並沒有確實執行，然而卻是日後對於臺灣櫻花鉤吻鮭保護工作時最重要的

參考依據。臺灣櫻花鉤吻鮭也因此於 1941 年時，被臺灣總督府史蹟名勝及天然紀念物調查委員會指定為天然紀念物。

在此同時期也活躍於臺灣高山地區從事生態與人類學研究的另一個傳奇人物--鹿野忠雄，其實也曾在他著名的研究報告雪山生態學研究裡，特別記錄當時的臺灣櫻花鉤吻鮭分佈情形。根據其記錄顯示，臺灣櫻花鉤吻鮭在日治時代期的 1917 年至 1941 年間，分布遍及今日松茂以上的整個大甲溪上游，包括合歡溪、南湖溪、司界蘭溪、七家灣溪及有勝溪等支流都曾是其棲息地。其中司界蘭溪及七家灣溪的數量最多，甚至在七家灣溪以投網方式每人每天還可以捕獲到 15 斤以上，是當時當地原住民重要食物來源之一。

五、保育空窗期

可惜在 194~1957 年間，臺灣櫻花鉤吻鮭的研究因二次世界大戰爆發而停頓，即使臺灣光復初期也不曾再重啟研究，臺灣櫻花鉤吻鮭相關研究與保育工作形同中斷。況且當時大甲溪上游也陸續進行開發，包括中橫公路（含宜蘭支線）與森林砍伐、高冷蔬果菜園和農場開墾等。但從某些蛛絲馬跡可以推知當時人們應知道此地有臺灣櫻花鉤吻鮭存在，例如勝光派出所旁的「馬鱒橋」，就是從日語鱒魚(masu)音譯而來。

根據鄭明能先生(1987)年所著之「太魯閣國家公園區櫻花鉤吻鮭高山魚類自然環境資源生態調查計畫」總報告，彼在 1951 年時，從花蓮到合歡溪、南湖溪、七家灣溪、勝光溪（有勝溪）、蘇七蘭溪（司界蘭溪）等地調查金礦資源時，除了南湖溪沒有發現臺灣櫻花鉤吻鮭之外，其餘地區因為尚無非法捕魚和無污染，國寶魚可是魚滿河谷，一小時可釣到五、六斤之多。

戰後臺灣第一次的正式學術調查記錄是 1958 年 10 月間，臺灣水產試驗所鄧火土所長、楊鴻嘉先生、漁業局鄭枝修等人，在七家灣溪採集到 73 尾臺灣櫻花鉤吻鮭標本，同時也做了相關的生態與分類記錄報告。雖然這次調查結束後，就再也沒有任何臺灣官方關於臺灣櫻花鉤吻鮭之後續研究調查工作，但是關心其生態的日本學者，仍舊千方百計地來臺灣尋找本種的標本，例如日本生物地理學會會長渡部正雄博士就曾經在 1964 年到 1974 年間，前後 16 次在臺灣各地河川採集調查有關鮭魚的蹤跡。渡部正雄博士來臺採集調查的工作，主要是由在 1957~1973 年之間，長期在梨山地區做水文勘測工作的林淵霖先生協助，根據林先生早年跟筆者提起的說法，在當年的大甲溪上游，還有不少的臺灣櫻花鉤吻鮭的族群。

渡部博士曾經在七家灣溪和司界蘭溪等地，採集到數十尾臺灣櫻花鉤吻鮭之標本。依其描述，在當時鮭魚還有一定的數量存在。除此之外，日本淡水魚保護協會木村英造理事長在 1969 年於七家灣溪採集時，雖然還能夠採集到不少標本。隨後日本岡山大學安江安宣教授在 1970 年 2 月間，和京都大學川那部浩哉教授（1973 年）均陸續來臺探查臺灣櫻花鉤吻鮭的族群現況，卻看到不少原住民使用電、毒魚的方法捕捉魚類，對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群造成相當大的衝擊。主要是這段期間，大梨山地區高冷蔬菜種植與果園的開墾，帶給當地居民相當高的財富，也衍生許多不良的後遺症。居民有錢有閒，加上購買氰酸鉀等農藥極為方便，因此七家灣溪附近溪流生態在這段時間遭到嚴重迫害，毒魚、電魚情形極為嚴重，魚類之數量急速下降。筆者個人第一次前去大甲溪上游做調查，是在 1977 年 6 月，受臺灣大學動物系恩師沈世傑教授和干定天客座教授之託，組隊前去勘查了有勝溪（勝光周邊）、七家灣溪（場部和武陵吊橋周邊）、大甲溪（環山周邊）

等地，結果不僅發現不到臺灣櫻花鉤吻鮭的蹤跡，甚至其他的魚類也寥寥可數，體型更是小得可憐。後來詢問當地民眾才知道，前一個月當地才被全面性的毒魚，所以溪流魚類幾乎全軍覆沒！



圖 13 1969 年木村所採集的臺灣櫻花鉤吻鮭

更嚴重的是 1960 年代起大甲溪中游水力的開發，壩高 222 公尺的德基水庫於 1969 年完工，並連帶於大甲溪上游地區動工興建數十座防砂壩，光七家灣流域就有十餘座。也因為當時缺乏保育臺灣櫻花鉤吻鮭的認識，所以完全沒有考慮到建防砂壩可能對於魚類族群的影響。這個危害臺灣櫻花鉤吻鮭保育最嚴重的工程建設，至今都還無法完全解決，顯見一個錯誤的工程決定，影響至深且鉅！

這些遍佈於大甲溪上游各主、支流的防砂壩，導致河床上升，流速減緩，水溫也因此急劇上升。海拔 1,600 公尺清泉橋以上的大甲溪原本就可發現臺灣櫻花鉤吻鮭之蹤跡，因為水溫逐步升高導致鮭魚族群逐步退縮到更上游海拔 1,750 公尺以上的七家灣溪河段。依精密水溫記錄分析，可以確知秋季臺灣櫻花鉤吻鮭繁殖期時期，如果該河段

水溫無法保持 12°C 以下，臺灣櫻花鉤吻鮭就無法成功繁殖。

2000 年左右，因為防砂壩抬高水位及流速減緩，增加河水日照時間導致水溫急劇上升，七家灣溪 2 號壩以下河段已不適合魚類繁殖。又因當地缺乏適當的魚梯，魚群無法上溯到適合產卵的上游河段，對於族群延續甚為不利。大家擔心，如果再因全球聖嬰效應促使溫度繼續上昇，或繁殖期碰到颱風侵襲，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量更可能加速減低。所幸 2 號壩的主副壩在自然的力量下被摧毀，1 號壩更在 2011 年六月間拆除成功，解決了魚類無法上溯產卵的問題。河道兩岸的植栽和保護工程也得到相當好的效果，魚類繁殖的情況有非常好的進步。



圖 14 武陵農場所在的七家灣溪是臺灣櫻花鉤吻鮭核心的保護區

六、近代保育過程

1. 民間自行保育時期

1970 年代，鄭明能先生因師承上海自然科學研究所生物部長木村重博士的關係，加上精通日語，是日本淡水魚保護協會木村英造會長的好友，因此長久與日本學者交流，又從事山地森林資源探查的工

作，非常熟悉臺灣的山地情況，所以特別了解保護臺灣櫻花鉤吻鮭的重要性。因此透過東海大學歐保羅院長與于明振教授的幫忙，爭取到林務局的經費補助，在七家灣溪進行相關的生態調查，並在桃山北溪和桃山瀑布溪匯流口附近，建造了臺灣櫻花鉤吻鮭的第一座復育場（鄭明能、于明振，1976，桃山櫻花鉤吻鮭自然繁殖場建造設計，東海大學環境科學研究叢刊，第 23 號，22 頁）。在這個研究期間，1976 年 6 月期間，彼等只捕獲 14 尾小魚，放在目前的湧泉池該地，其中只有 6 條能產卵之二年成魚。雖後在繁殖季時，將 4 尾放入武陵吊橋下之大潭任其繁殖。當年的魚類族群數量應該是光復後最小的階段，當年鄭明能先生估計，大約只剩下約 50 尾而已。雖然這座目前位於桃山北溪桃山登山口（煙聲瀑布下游匯流口）附近的復育場（遺址），沒有能夠真正成功地進行相關復育工作，幸而隨後在七家灣溪就有自然族群的增殖，同時也因為鄭明能先生持續在此地進行的田野工作，開始受到民間保育人士之重視，陸續為一些野外雜誌所報導，有些好朋友（如原本擔任記者的客家歌手陳永淘先生）受其感召也前來一起投入保育之工作。這一階段應該是光復後的第一個民間人士所主導的保育工作，影響頗為深遠！



圖 15 鄭明能先生是翻轉臺灣櫻花鉤吻鮭保育歷史的重要關鍵人物
(左圖摘自 1977 年 3 月 23 日聯合報，右圖攝於 1983 年冬)



1996年湧泉池棲地改善之前



1998年湧泉池棲地改善直後

圖 16 七家灣溪湧泉池是臺灣櫻花鉤吻鮭族群命脈維繫的重要關鍵地點



圖 17 1977 年林務局補助鄭明能先生所設計之鮭魚繁殖池

鄭明能先生的努力受到當時內政部營建署張隆盛署長之重視，他於 1983 年 10 月間，邀請許多保育界人士共同前往七家灣溪，勘查臺灣櫻花鉤吻鮭之現況與擬定保育對策，並敦請政務委員張豐緒先生共同推動臺灣櫻花鉤吻鮭保育工作。臺灣櫻花鉤吻鮭是在 1984 年七月，政府依「文化資產保存法」第四十九條及「施行細則」第七十二條之規定，指定並公告此魚為珍稀動物，因此有了「國寶魚」的美稱。營建署張署長在當時應該是最重要的推動臺灣櫻花鉤吻鮭保育計畫的關鍵人士，但是後來整個保育工作並未由國家公園系統來做，而是在協調之後，交由從 1984 年九月起接辦自然文化景觀工作的農業委員會來主管相關保育和學術研究工作。

2. 行政院農業委員會時期

張豐緒政務委員所推動的此一重任，後來是由行政院農業委員會接手，開始了近代臺灣櫻花鉤吻鮭保育史的另一個階段。惟過程大都

由學術界所主導，鄭明能先生和當地部落人士並未被積極邀請參與，顯然是臺灣櫻花鉤吻鮭保育經驗和工作上一段難以彌補的缺憾！

行政院農業委員會所主導執行的臺灣櫻花鉤吻鮭保育工作，主要是由中央研究院動物研究所的張崑雄博士主導規劃，從 1985 年六月起，積極委由武陵農場主辦櫻花鉤吻鮭棲息地巡邏保護計畫，並延攬了當時臺灣生態界的一時之秀，參與各項的基礎生態研究，包括整個七家灣溪集水區的動植物、地理、水文水質、魚病、繁養殖試驗研究（水試所鹿港分所負責）、集水區生態系研究，除建設復育中心各項硬體設施（目前的舊復育中心）、魚類教育中心等設施。這一段時間剛好是臺灣生態保育意識最強，國家經濟實力最盛的時期，大約有十年左右的時間，建立了非常豐富的各種生態基礎研究資料（包括翻譯大量的相關文獻）和培養甚多的生態學研究人才。



圖 18 1990 年代主導櫻花鉤吻鮭復育工作和推動國際交流的張崑雄博士（雪霸處提供）

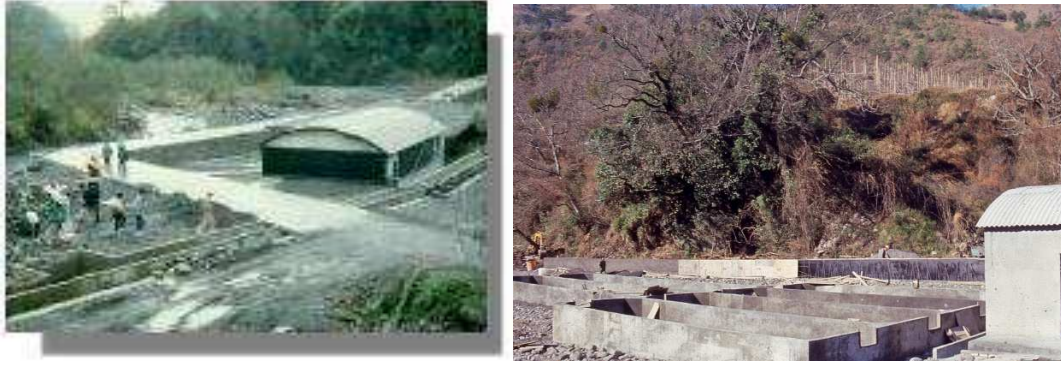


圖 19 農委會在 1985 年間所興建的櫻花鉤吻鮭復育場（目前已經全部沖毀了）

1988 年十月，張崑雄教授和林曜松教授出席了在日本北海道所舉行的第三屆世界鮭鱒魚類會議中，特別放映復育研究的紀錄片，引起世界各國與會代表的注意，並稱許臺灣在復育工作上的成就。除此之外，更讓日本學者感到興趣的乃是張教授與東京大學沼知健一教授利用 DNA 的分析，推估臺灣的鮭魚應該是在八萬年到十四萬年前即存在了。此一會議也催生了在 1989 年十一月於臺灣所舉行的第一屆國際鮭鱒魚學術研討會，對於日後推動國際交流有很大的幫助。

在這一段初期研究階段，主要是委託臺灣大學動物系林曜松教授、昆蟲系楊平世教授、臺灣省農業藥物毒物試驗所李國欽所長等人，詳細調查臺灣櫻花鉤吻鮭之族群數量、水棲昆蟲、和水域農藥殘留等計畫。在臺灣櫻花鉤吻鮭族群調查方面，1984 年裡的調查發現，只剩下七家灣溪約 5 公里左右溪段還有零星的臺灣櫻花鉤吻鮭存活其中（約 2000 尾）。後來因為復育後之放流，臺灣櫻花鉤吻鮭分布才擴及七家灣溪較上游的 6 號壩上方及高山溪流域。1987 年 9 月和 1989 年 1 月的調查，族群數量從 1800 尾減少至 650 尾，究其原因跟防砂壩和洪水的影響有很大的關係。



圖 20 林曜松教授（左二）對於櫻花鉤吻鮭族群生態研究所下的功夫最深（摘自 https://tesri.tesri.gov.tw/files/tesri_nature/tesri_adm10_20101027151159/71-6s.pdf）

因此在 1991 年時林務局邱健介先生等人的調查裡，發現臺灣櫻花鉤吻鮭棲地大概以武陵農場迎賓橋為下限，向上至七家灣溪上游桃山西溪 6 號壩底下約 7 公里長之區域。後來雖然也在有勝溪、南湖溪等地亦有其他零星之分布記錄，但都是為數甚少的個體。至此方始確定存活於七家灣溪的臺灣櫻花鉤吻鮭，應是僅存的一個相對穩定之族群。

早期由行政院農業委員主導的臺灣櫻花鉤吻鮭保育階段，族群調查重心僅侷限於七家灣溪 1 號至 3 號防砂壩之間的主流河段，整個族群量會略微低估。1986 年間較精確之統計記錄為 646 尾，1987 年則發現有 1,757 尾。隨後因連續幾次颱風侵襲導致天然環境被破壞，族群數量開始減少，至 1991 年冬季裡之估計，僅存 600 尾左右。1992 年至 1994 年 3 月間，臺灣櫻花鉤吻鮭在七家灣溪主流河段的數量越來越少，1 號~3 號防砂壩間之數量僅剩 278 尾，族群已嚴重呈現明顯下降之趨勢。1988 年間人工繁殖成功的 250 尾幼魚，分別被放流到七家灣溪上游及高山溪等地，後來都建立了相當重要的新生族群，

可惜當時並未有詳細的追蹤調查。

雖然此一時期是最為輝煌的保育研究階段，但是筭路藍縷的開創時期是非常辛苦而不見得能夠馬上得到立竿見影的成效，但是這些前人的努力心血，才是後人得以繼續往前進步的踏腳石，我等後輩絕對不能忘記彼等的貢獻！

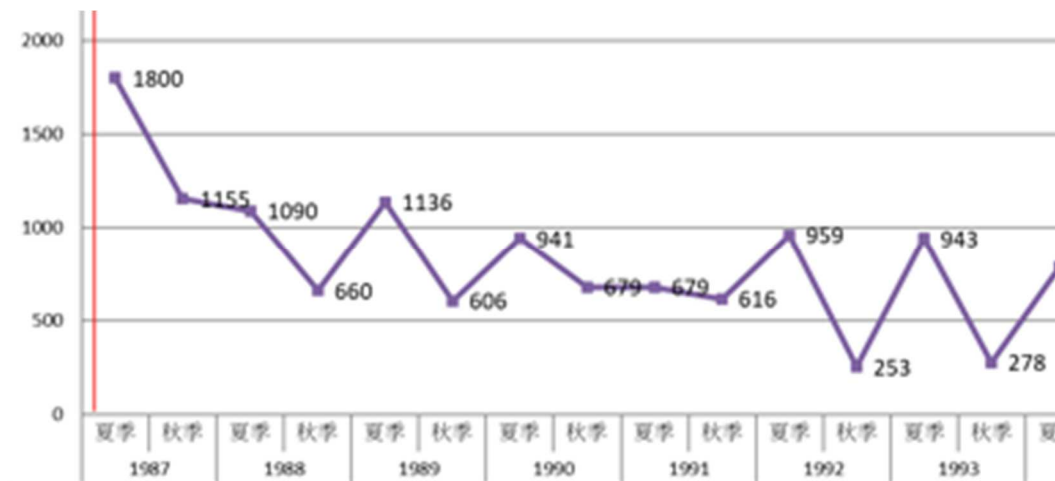


圖 21 1987~1993 年間七家灣溪主流河段臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量變動情形

3. 雪霸國家公園時期

1994 年起，內政部營建署雪霸國家公園管理處接手臺灣櫻花鉤吻鮭之保育工作。為有效的監督及保護僅存的臺灣櫻花鉤吻鮭，不僅持續過往的族群普查工作，更將普查之範圍擴及臺灣櫻花鉤吻鮭所有可能生存的河段，以求完整掌握整體族群之數量與動態結構。清華大學的研究團隊從 1994 年起，就被委託執行本項工作至今。在 1994 年夏季之實地統計發現，臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量僅有 800 尾左右，冬季更只記錄到 638 尾而已。所幸 1994 到 1995 年間之七家灣溪河川環境相當穩定，不僅繁殖情況良好，同時幼魚成長也很順利。1995 年冬季及 1996 年夏季之兩次普查，分別記錄到 2,495 尾及 1,854 尾，整個族群數量由於幼魚之成功加入而有較明顯的增加。

然而 1996 年 7 月 31 日，賀伯颱風侵襲臺灣全島，由於瞬間降雨量驚人，使得七家灣溪流域遭受相當嚴重的損害，加上本區防砂壩過於密集的影響，河道近三分之一發生改道，上游溪段河床大幅抬高、河床寬度變寬、兩岸原有濱溪植被被沖失、河川上游及兩岸土石崩塌嚴重，深潭多被填滿等嚴重的棲地損害，同時也對臺灣櫻花鉤吻鮭族群造成相當重大的影響。

在 1996 年的冬季普查結果發現，臺灣櫻花鉤吻鮭的族群量為 1,237 尾，較颱風前減少了近三分之一，其中 2 齡以上的大型魚幾無折損，1~2 齡成魚折損率為 42.6%，1 齡以下幼魚折損率達 40.6%，顯然較大型的魚比較容易躲過天災的威脅。除了族群數量減少之外，颱風加上層防砂壩橫向阻隔效應之影響，族群空間分布的重心在颱風後有明顯往下游溪段飄移之現象，七家灣溪 3 號壩以上溪段從颱風前的 654 尾急劇減少到僅剩 347 尾，加上土石堆積達 2~5 公尺高、深潭消失、變淺、河床變寬、植被蓋度大減、水溫日夜溫差加大等多項不利因素，都影響到往後族群的增殖。

該次颱風時也有許多魚群被沖往下游後，擱淺在現在的鮭魚生態中心旁的河灘地上，其中救助不及的 32 尾，就成為後來研究族群遺傳結構的重要標本。這個事件足以證明颱風會使河川魚類被沖往下游，如果河岸缺少避難所或避難所不當的話，將導致魚類族群之損失。一般而言，在颱風過後魚類會重新回溯到原本生活的河段，但是如果人工構築的防砂壩缺乏適當的洄游通道（魚梯），魚類就會被擋在防砂壩下游之河段。萬一在下游河段缺乏適當的繁殖環境，防砂壩下的魚群基本上就是死族群，因為牠們無法對族群貢獻繁殖後代的能力，整個族群就會越來越少。

多年來的調查結果分析顯示，天然災害如颱風、梅雨，對於臺灣

櫻花鉤吻鮭族群的威脅最大，經常會影響整個鮭魚族群的數量與分布變化。加上此地甚多防砂壩阻隔的重疊效應，往往使得被洪水沖到下游的鮭魚無法再回到上游地區，影響族群的天然分布。而天然災害對臺灣櫻花鉤吻鮭族群最深遠的影響，主要是在產卵季節時對於新生族群的傷害，例如在 1994 年十月的產卵季開始時，正好碰上豪雨使得溪水高漲，許多已經產完卵的巢場和卵均被沖毀。洪水同時挾帶甚多的泥沙，覆蓋許多未被沖毀的鮭魚產卵場，導致魚卵的死亡率大增。

在雪霸國家公園成立之後主導臺灣櫻花鉤吻鮭保育的階段裡，人工增殖放流（域外的歷史棲地放流為主）和棲地的改善，可能是能夠讓整個魚類族群有極為驚人增長成績的主要原因。人工增殖放流的工作一開始是前林培旺處長和吳祥堅科長，在筆者的介紹之下，前去日本參訪了山形鮭鱒魚養殖場、北里大學、北海道鮭鱒魚資源中心等地的養殖設施，返國後在舊復育中心中，胼手胝足的利用溪流中已經成熟的種魚，所做的繁養殖工作，建立了許多寶貴的經驗並作傳承。後來又在武陵管理站主任廖林彥博士專業的努力下，更有輝煌的成就，相信他在本次的研討會中會有更詳實的經驗分享，因此不多做贅述。

至於在棲地保育的重要工作方面，在當年臺中縣政府和林務局、退輔會武陵農場、雪霸國家公園等單位，共同努力下，櫻花鉤吻鮭野生動物保護區在 1997 年 10 月成立，保護區以臺中市大甲溪流域上游七家灣溪集水區為主，並以山稜、溪谷等自然地貌為界線，包括林務局大甲事業區 24 至 37 林班（扣除 24 林班之 1 至 8 林班）、以及武陵農場中、北谷，南邊於七家灣溪西岸以億年橋向西延伸之山稜線為界，總面積約 7,124.7 公頃。

考量櫻花吻鮭所需之棲地環境特性與現有土地利用管制現況，依野生動物保育法之規定，規畫成核心區與緩衝區兩部份。保護區公告

後初期以七家灣兩岸崖地起五十公尺寬，武陵溪、桃山西溪兩岸崖地起一五〇公尺寬劃為嚴格保護的核心區，並於每年六月底前檢討核心區之範圍，必要時予以擴增；緩衝區則包含核心區以外之區域。

根據這個櫻花鉤吻鮭野生動物保護區的上位計畫，逐步的讓武陵農場將武陵路以東，接近七家灣溪河畔的果園和菜園退耕還林，目前已經有很多地方演替成為相當可觀的河畔林。加上 2006 年國家公園管理處徵收武陵地區最後的 8.1 公頃私有地完成之後，此地已經不在有高冷蔬菜的種植了。目前在整個七家灣溪谷地中，已經不復如 40 年前那般完全被農業開墾所破壞的自然景象了。



圖 22 1986 年時的武陵農場菜園的情形

近年來，退輔會武陵農場更將臺 7 甲線有勝溪旁的一些農地，不在放租而改作自然復育的工作，相信此一河道的自然更新和演替，將有機會再回一百年前鮭魚滿溪的榮景。



1935年大甲溪思源埡口旁的環境狀況

2006年大甲溪上游的環境現況

圖 23 有勝溪上游思源埡口附近的河谷七十年前後環境變化比較



圖 24 1986 年有勝溪兩岸被開墾成為高冷蔬菜園的情形

至於在七家灣溪河道中，更有許多翻天覆地的改變。首先是在 2002 年間，舊復育中心旁的二號壩（復育中心新建時所做的取水堰）被颱風所沖毀之後，從一號壩到三號壩之間形成完整的通路，讓鮭魚得以上溯到更適合繁殖的上游河段。更上游的桃山西溪五號壩也因為自然崩壞而讓上游河道有更長的自由棲地，也增加了鮭魚生存的空間。更可貴的是從 1998 年及 2001 年之間，接連的改善了高山溪 4 座的防

砂壩，並且在 2010 年 5 月間，執行七家灣溪最下游的一號防砂壩進行改善工作，這幾座防砂壩的改善在過往被視為是一項不可能的任務，然而國家公園的幾位處長能夠勇於接受研究成果的建言，居中協調相關單位和果斷的下決策，才能夠讓七家灣溪的整個鮭魚棲息地有越來越完整的機會，這些工作當然是可以從整個鮭魚族群數量的變化上反應出來。



圖 25 2000 年七家灣溪二號壩尚未崩壞之前的情形



圖 26 2002 年七家灣溪二號壩崩壞的情形，右側是魚道的殘跡



圖 27 2004 年七家灣溪二號壩崩壞的情形，圖左可見復育中心取水口的位置



圖 28 高聳的七家灣溪一號壩在拆除前是櫻花鉤吻鮭的最重要障礙之一



圖 29 七家灣溪一號壩拆壩之後的情形

帶來的洪水事件影響，造成河道的側向侵蝕與崩塌，使棲地環境改變甚大，多數深潭與峽谷地形被填滿。2013 年秋季普查結果顯示臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量跟颱風前相比減少了約三分之二。2014 年無颱風侵襲武陵地區，因此鮭魚族群數量逐漸復原。雖然數量仍在一千多尾，但是其中小魚佔了近七成的數量，前景仍相當樂觀。2015~2017 年因棲地漸趨穩定，鮭魚族群數量回升至 3,528 尾，2018 年秋季普查則數量上升到 5,059 尾，族群結構偏向較穩定的金字塔形，顯示整體的更新狀況相當良好，且受到 2012 年蘇拉以及 2013 年蘇力颱風影響的鮭魚族群數量在近幾年因無大型風災洪水侵襲而有成長，可說是漸趨穩定，2018 年秋季最近的一次普查臺灣櫻花鉤吻鮭結果發現，整個族群數量又回到約 5,059 尾之高峰，同時可以分佈到七家灣溪與有勝溪的匯流口附近，顯然已經跟 1938 年間的鮭魚分佈情形極為接近了。

七、驗證結果與發現

1994 年至今，已近 26 年長期而且固定詳細的族群監測工作，都是採取浮潛目視觀測計數之方式，從七家灣溪匯流口往上，將所有魚類可能分布之區域加以全面統計，從中發現到以下的幾個重要結果：

1. 七家灣溪是臺灣櫻花鉤吻鮭自然分布的核心區域：於其他域外如南湖溪和合歡溪發現的小族群，或是人為放流方見魚踪的有勝溪和司界蘭溪都已逐漸消失。
2. 臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量增減常被劇烈的自然力所左右：如果颱風或豪雨侵襲，尤其是在繁殖季時，對於整個族群增長更有嚴重影響；繁殖季時如果水溫過高，族群增加情況也不樂觀。

3. 上游地區是主要的繁殖場：七家灣溪中下游鮭魚族群在繁殖季節裡，必須上溯到水溫低於 12°C 以下的上游河段，否則縱使產了卵也無法順利地孵化成功，這也直接說明為何需要拆除防砂壩的理由之一。
4. 颱風或豪雨會將上游魚群沖往下游：由於中上游溪谷大都是較缺乏洄水潭的陡峭山谷，因此水流量過大流速過急時，魚群就會被沖往下游較寬闊之溪段。等洪水退去時，鮭魚會再度的洄溯到原本棲息的上游水溫較低之河段。也因此拆除影響其洄溯的防砂壩，或是解決生物廊道的問題，跟前一項結論一樣，關係到整個魚類族群的命脈。
5. 臺灣櫻花鉤吻鮭族群在七家灣溪生態系食物網中有相當重要的地位：其雖以水棲和森林中掉落之昆蟲與其他動物（如蛙類）為主食，但也是其他溪流鳥類之重要食物對象，譬如綠簑鷺、河鳥或其他鳥類，就依賴捕食臺灣櫻花鉤吻鮭來作為撫育幼鳥或維持其自身成長。
6. 改善棲息環境是保護魚類族群最重要的工作：整條溪流的淵瀨平均分布，尤其是深潭數量和大小往往跟魚類族群之多寡有關，魚類洄游廊道暢通與否也會影響族群繁衍狀況。因此上游集水區崩塌和防砂壩淤積、切割河段等現象，對於魚類之族群有非常大的影響。
7. 防砂壩越密集或是高度越高，對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群穩定影響越大：3 號壩至 6 號壩之間臺灣櫻花鉤吻鮭族群更新能力最強，但是族群數量最不穩定，因為棲息地很容易受到洪水衝擊，魚群一旦被沖往下游後就回不去原棲息地，因此年間族群數量變動最厲害。目前 3 號壩以下之河段已經沒有

任何的障礙，棲地多樣性最高，河段也最長，所以族群數量最穩定。

8. 水域基礎生產量決定臺灣櫻花鉤吻鮭之最大族群數量：最大的生物承載量取決於整個水域的基礎生產量，如果魚群數量過大，則每一條魚所能夠獲取的食物有限，其成熟雌魚之抱卵數量就會減少（一般約 150~200 粒卵）。如果魚類能夠獲取較多食物的時候，魚體可以長得更肥壯，所能夠繁殖的後代也將會更多（一般約 500 粒卵）。
9. 魚類自然繁衍的能力相當強：根據統計發現，屬於陸封型的臺灣櫻花鉤吻鮭，可以在河川裡面活存 3~4 年，同時有 2~3 次繁殖之機會。只要不超過連續三年不良繁殖季節之條件，族群數量都有機會在 1 年內成倍數增長。
10. 人為活動影響仍舊存在：根據調查發現，一些人為影響需要注意，譬如 2 號壩至 3 號壩間，在造林除草當年，周邊河段鮭魚族群數量銳減而有異於其他河段的情形，顯示人為影響應該存在。
11. 避難所棲息地的連結有其必要性：過往曾是很重要的一些鮭魚避難所，例如 2 號壩與 3 號壩間的湧泉池，因為連接本流的河道日久淤積而無法有效連通，導致作為洪水期之重要避難所功能逐漸喪失。
12. 武陵農場「退耕還林」成效逐漸發揮：七家灣溪水水溫因為周邊地表植被覆蓋度，及溪床罩蓋度之不同而有所影響，水溫越低則對於鮭魚族群棲息越加有利。本區許多河岸之保護帶造林逐漸發揮作用，加上減少使用化肥和農藥，整體水質有明顯的改善。河道越來越自然，魚群分佈也趨於穩定之

狀態。

13. 生態系統整體性研究逐漸取代單一物種之個別研究計畫：過往單獨生態研究無法顧及整體生態系統的相互關連，譬如了解魚類的族群數量，但是無法了解跟魚類有關連的上下與周邊生態系關係，如今在整體性生態系統研究中，有更明確地了解各項生態之間的彼此關連，應該是臺灣地區最具有代表性的長期生態研究項目之一。

在這些研究心得當中，有許多建議都陸續被主管機關所重視，同時也採取了適當的解決方案。譬如一些棲地改善工程、防砂壩拆除工程、生態系統整合型計畫等等，都獲得相當好的成果。這些成果不僅對於七家灣溪臺灣櫻花鉤吻鮭保護區之生態做出了具體貢獻，也是臺灣地區作為河川生態系保育研究的楷模。雪霸國家公園管理處也積極地推動自行研究，包括人工繁養殖、域外放流與追蹤、棲地改善與效果追蹤等等，都顯示出非常大的成效。

八、保育傳承 一棒接一棒

如果說臺灣櫻花鉤吻鮭研究是孕育臺灣淡水魚類生態研究的搖籃一點也不為過。農委會時代主導臺灣櫻花鉤吻鮭族群生態研究的臺灣大學動物系林曜松教授，指出其四大之最：「支持研究單位最多、參與研究單位最多、研究期間最長和參與研究人員最多。」

從 1984 年迄今，臺灣櫻花鉤吻鮭大規模學術研究已長達 28 年，數百位學者和研究生參與各項相關研究，培育了不少優秀人才。迄今至少有 6 位博士生和 10 餘位碩士生，以臺灣櫻花鉤吻鮭相關研究而獲得學位。內容涵蓋臺灣櫻花鉤吻鮭基礎生物學、遺傳多樣性、族群生態、族群分布和環境因子關係、防砂壩對物理棲地的影響和七家灣

溪昆蟲相研究等。

再就 1994 年起，曾經參與臺灣櫻花鉤吻鮭族群調查之研究生當中，有多位如今已是臺灣大學、師範大學、交通大學、中山大學、中研院、國家海洋研究中心和國家衛生研究院等等學術研究機構的學者，以及服務於特有生物研究保育中心或是林務局等單位從事保育研究工作的專家。從他們的經驗中，無不以能夠有機會參與臺灣櫻花鉤吻鮭研究為榮，更因此而體會到從事基礎研究的重要性。

個人有幸在此學習到河川生態學之知識，也能夠更廣泛和實際應用在其他的方面。也看到許多年輕有為的科學家，經過七家灣溪冷冽的溪水洗禮之後獨立發展有成。再回頭看看過去近 100 年之臺灣櫻花鉤吻鮭保育史，慶幸自己有機會在這個永不停歇的保育接力賽中，跑過這麼短短的一棒，也同時看到整個魚類族群欣欣向榮邁向更光明的未來，內心自然充滿歡喜！

九、參考文獻

- 大島正滿，1935。タイヤルは招く，第一書房，東京，136 頁。
- 大島正滿，1940。脊椎動物大系一魚。三省堂。
- 青木赳雄，1917。臺灣にも鱒を産す(豫報)。臺灣水産雜誌，23: 51-54。
- 青木赳雄，1917。臺灣にて鱒の發見。臺灣博物學會會報，32: 138。
- 青木赳雄，1919。臺灣鱒學名決定。臺灣水産雜誌，41: 7-8。
- 郭金泉，2018。臺灣產鮭魚的發現過程和學名的演變，臺灣博物季刊，37(1): 16~19。

興儀喜宣、中村廣司，1938。臺灣高地產鱒（櫻花鉤吻鮭），天然紀念

物調查報告第五輯。臺灣總督府內務局，32 頁。（林曜松譯，1986，

農委會林業特刊 9：1-14）

鄭明能、于明振，1976。桃山櫻花鉤吻鮭自然繁殖場建造設計，東海

大學環境科學研究叢刊，第 23 號，22 頁。

Ho, C. W., 2016, Complete mitochondrial genome of *Oncorhynchus masou formosanus* (Jordan & Oshima, 1919) (Pisces, Salmonidae)

Gong, Li, et al., 2017, The complete mitochondrial genome of *Oncorhynchus masou formosanus* (Salmoniformes: Salmonidae) and phylogenetic studies of Salmoninae. Conservation Genet Resour. 9: 281~284.

武陵十五年長期生態研究， 拆壩復育臺灣櫻花鉤吻鮭棲地

林幸助

國立中興大學生命科學系

摘要

「國寶魚」臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanus*)的自然分布範圍侷限於武陵溪流，但 2001 年時數量普查僅存不到 500 尾。在此之前與臺灣櫻花鉤吻鮭相關之研究計畫已超過百項，然而量化資料很少，且資料缺乏整合，而且濱岸生物一直缺乏研究。保育工作需以宏觀的角度來管理自然資源及棲地，為整合武陵溪流各項研究，雪霸國家公園管理處從 2002 年起執行先導計畫，找出當時研究盲點與亟待解決之研究空缺，於 2004~2013 年推動為期 10 年之「武陵長期生態監測(WLTER)」整合計畫。

為了解臺灣櫻花鉤吻鮭數量變動機制，擴大研究包括水溫、流量、物理棲地、水質、藻類、沿岸植被、陸棲與水生昆蟲、兩生、爬蟲、哺乳類、魚類與鳥類等時空動態變化，並擬定長期目標從小到大依序建構不同尺度之生態模式：

1. 臺灣櫻花鉤吻鮭小尺度的族群動態模式(完成於 2006 年)。
2. 中尺度之溪流水域食物網模式(完成於 2007 年)。

3. 大尺度之跨溪流與濱岸生態系統之耦合模式(完成於 2009 年)。
4. 建構因應氣候變遷更大尺度之武陵集水區溪谷生態系模式(完成於 2014 年)。

十年 WLTER 整合計畫回答了當時鮭魚族群數量變動的六個關鍵機制問題：

1. 當時鮭魚數量變動主要並不是因為鮭魚本身生殖或存活率過低的問題。
2. 當時鮭魚數量變動主要也不是鮭魚食物(水棲昆蟲)不足的問題。
3. 當時鮭魚數量變動主要也不是幼鮭魚被(濱溪鳥類)掠食太多的問題。
4. 當時七家灣溪濱岸武陵農場果菜園雖然所輸入農藥及肥料營養等，但因為七家灣溪水流量大，稀釋後對於鮭魚數量的影響不大。
5. 武陵地區每年雖然有 380,000 遊客，且集中於 2 月賞櫻季及 7-8 月暑假，但是對於鮭魚數量變動的衝擊還在族群能容忍的範圍內。
6. 颱風暴雨洪水的衝擊對於鮭魚數量的影響頗大，是鮭魚數量的驅動力與關鍵因素。

WLTER 整合計畫藉由建構模式深入了解臺灣櫻花鉤吻鮭數量的調控機制，後續監測鮭魚數量也符合研究預期結果，因此倡議拆除七家灣溪攔砂壩，提升臺灣櫻花鉤吻鮭對抗每年颱風洪水的能力。2011 年五月底，雪霸國家公園管理處順利完成七家灣溪一號防砂壩壩體改

善工程，開通溪流生物的生態棲地廊道。WLTER 整合計畫透過壩體改善前(2010 年)、改善中(2011 年)以及改善後(2012、2013 年)環境與生物群集的長期研究，發現壩體拆除時間點若選擇在洪水季節前，可以減輕工程對於溪流生物所造成的影響，建立了溪流拆除防砂壩之生態復育工程之標準作業程序。WLTER 整合計畫結束五年後，直至 2018 年才又重新啟動兩年計畫，評估七家灣溪一號壩拆除的長期(7-8 年)生態效應。歷年 5 階段參與 WLTER 整合計畫的主要研究人員共計 18 位。WLTER 整合計畫透過歷年對七家灣溪各項生物與環境的研究資料，描繪出七家灣溪生態系運作的概念模式，並藉由 2018 年的研究得到與概念模式大致符合的生態系運作模式。

綜合言之，WLTER 整合計畫已確立中海拔高山溪流各項生態監測方法，並發展武陵溪流監測系統，也建立武陵地區七家灣溪各項生物與環境因子之回復標準，並建構武陵地區溪流生態系概念模式，清楚掌握濱岸土地利用之農業活動及颱風洪水對溪流生物的影響，建立族群與水域食物網不同尺度之生態模式。目前累積已發表至少 27 篇 SCI 期刊論文及 28 篇國內其他優良期刊論文，具體提升國內溪流生物與生態學研究水準。該計畫並建立與國際接軌之武陵地區生態資料庫，至 2018 年底已收集 16 綱 104 目 429 科 898 種 10,0293 筆生物資料，2748 筆水質資料，4369 筆藻類與有機碎屑資料，9136 筆環境溫

度監測資料，以及 1369 流量模擬資料，已成為國內外單一溪流生態資料最豐富之資料庫。

一、武陵長期生態研究緣起

雪霸國家公園位於臺灣中部偏北，自然資源豐富，生物多樣性高。在 1937 年日據時代即有將雪霸國家公園所在區域及太魯閣合併納入「次高太魯閣國家公園」之芻議。內政部自 1987 年開始進行該區自然資源之調查後，認為此區域具有成立國家公園之價值與必要，遂由行政院核定，於 1992 年七月成立雪霸國家公園管理處(圖 1)。

雪霸國家公園自然資源中最具有特色的莫過於 1918 年意外被發現的臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanus*)(圖 2)。牠是冰河時期的孑遺生物，推測冰河時期因為海水結冰，大部分亞洲大陸東部沿海地區因為海水退卻而變成陸地。日本櫻花鉤吻鮭族群因為水溫變冷而擴展至更南邊的區域得以分布至臺灣。牠們是陸封型的寒帶鮭鱒魚類，卻能存活於熱帶與亞熱帶之臺灣，是氣候變遷活見證，也是演化生物地理學的重大發現(汪靜明 1994)。冰河時期結束後，大甲溪流流域因其優越的地理環境(坡度緩，腹地廣)而得以保存櫻花鉤吻鮭族群至今。在 70 年前整個大甲河流域上游均可見到鮭魚的蹤影，但如今魚群數量大幅減少，自然分布範圍只侷限於武陵地區七家灣溪、高

山溪與桃山北溪(林幸助等 2008)。由於具有重要學術價值，因此政府於 1984 年七月依「文化資產保存法」，指定並公告臺灣櫻花鉤吻鮭為珍貴稀有動物，又稱為「國寶魚」。其現存之棲地七家灣溪，在 1997 年由行政院農委會依據「野生動物保育法」，公告為野生動物保護區。七家灣溪流流域周遭森林也成為第 1434 號水源涵養保安林，為涵養下游德基水庫之水源及防止砂、土崩壞淤積德基水庫，並保護中部橫貫公路及當地村落、耕地安全。七家灣溪上游亦屬於武陵國家森林公園遊樂區。因為七家灣溪動植物資源豐富，2007 年 10 月營建署列為國家級重要濕地。2008 年 1 月國科會生物多樣性行動方案推動小組將武陵流域列為生態熱點，建議為長期生態研究重點區域。

武陵地區在雪霸國家公園成立前由農委會所主導之研究，主要著重在臺灣櫻花鉤吻鮭及棲地描述(Wang 1989, Tsao 1995, 曾晴賢及楊正雄 2001)及與鮭魚食性有關的水生昆蟲等(林曜松等 1987)。國家公園成立後才開始擴大到溪流其他相關生物自然資源之研究與調查，與臺灣櫻花鉤吻鮭有關之研究計畫當時已超過百項(雪霸國家公園 2000)。然而量化資料非常少，且資料缺乏整合(林幸助 2002)，而且濱岸生物，包括植被、陸棲昆蟲、兩生類、爬蟲類、哺乳類與鳥類均一直缺乏研究，或僅是非量化研究中附帶研究對象(袁孝維 1995, 呂

光洋 2002)。在溪流生態系中，這些生物可能都與臺灣櫻花鉤吻鮭有直接或間接的能量傳遞關係。

2001 年七家灣溪臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量普查結果僅存不到 500 尾，當時對其是否能存續普遍感到悲觀。保育工作需以宏觀的角度來管理自然資源及棲地，也就是「生態系管理」。由於過去大多只針對個別明星物種進行研究及評估，但其結果對許多體型大、壽命長、生殖期晚的重要物種之保育往往未能成功，因此宏觀之生態系導向管理已成為全球趨勢。所謂「生態系管理」是：「在某一具生態意義所界定的範圍內，將該生態系中的生物、非生物、人為因素及其間交互作用中已知的知識及未知的部份一併納入管理考量。」亦即生物應不分種類、不分大小，不分掠食者或被掠食者亦需悉數保護，必須考慮到整體生態系功能與平衡，一體保護整個棲地或生態系，才是最經濟有效的治本之道。

生態系管理之基礎建立在園區內各項資源的瞭解與掌握。然而生態系中因子複雜，環境變化固然可由評估水質或底質等物理化學因子著手，但所得資料並無法判知環境變化是否會影響生物存榮，亦無法得知所測得的變化對生物的影響，包括長期累積效應與衝擊程度，更無法推測生物群體的互動與未來可能發展動態。因此有必要以生物為基礎，直接藉由生態系中各生物類群間的交互作用，其中主要為營養

階層食性關係及物質傳輸路徑及該生態系之能量來源 (Lin et al. 2012)，對武陵溪流生態系的結構與功能進行深入瞭解，進一步建立長期生態系監測系統。生態系監測在現今全球變遷的威脅下是迫切需要的，因為其影響是全面的，而非只有單一生物個體。生態系特質常無法由單一生物類群顯現，必須將所有生物類群整合分析後才能得知，因此生態系研究是生態學門中極具有挑戰性的。在生態系研究過程中，不但可以整合來自不同領域但關係密切之研究，亦可以深入透視生態系的運作與組成分子間交互作用，鑑別出過去對生態系知識的盲點，以協助確立未來生物與生態研究的優先順序，亦可藉以預測自然環境變遷與人為干擾對整體生態系的影響，作為管理階層者政策制定的主要依據，更可以簡明圖示法讓一般社會大眾瞭解生態系錯綜複雜的交互關係與運作，這些預期成果都是雪霸國家公園管理處經營管理所迫切需要的資訊。

生態研究何以必須長期進行之理由，乃因生態系結構十分複雜，許多生態過程與變遷速度緩慢，生物對颱風等干擾之反應在時間上也有延遲效應，再加上一些長時間尺度的自然災害如聖嬰與反聖嬰等事件發生，頻率雖低，具不可預測性，卻又影響深遠，很難以短期、小尺度或針對少數物種作生態指標的調查可以掌握，甚且可能造成誤導。例如 Lin et al. (2018)發現長達十年時間尺度的反聖嬰才是影響墾丁沿

岸海草床及珊瑚礁生態的重要因子。因為夏天雨水較多的反聖嬰，會將富含氮營養的人為污水排入墾丁沿岸海域，導致沿岸優養化。雖然富含氮營養的污水也會促進海草吸收更多二氧化碳，使得葉片長得更快更長，葉片生物量也增多；但此富含氮營養污水也會同時促進海草葉片上及珊瑚礁的大型藻類藻華，進而影響海草及珊瑚光合作用，導致海草死亡，珊瑚白化，海草植株密度及珊瑚礁覆蓋度變疏，分布面積縮小，墾丁沿岸生態劣化。武陵溪流的臺灣櫻花鉤吻鮭為重要珍貴文化資產，但此區域為生態旅遊賞櫻熱點，也正面臨農業肥料、農藥、遊客干擾、颱風暴雨、棲地破壞甚至全球氣候變遷等威脅，亟需加以深入研究，建立長期生態監測系統，以釐清影響武陵地區的自然與人為的因素，瞭解其形成變遷維繫之機制，才能所因應與調適。



圖 2 「國寶魚」臺灣櫻花鉤吻鮭(*Oncorhynchus masou formosanus*)

二、武陵長期生態研究執行策略

2002~2003 年，雪霸國家公園管理處為整合武陵溪流各項研究，委託筆者執行先導計畫，回顧文獻資料，找出當時研究盲點與亟待解決之研究空缺(林幸助 2003)。2004 年為推動「武陵長期生態監測(WLTER)」整合計畫試營運，依食物網結構整合七家灣溪生物與生態相關研究項目，嘗試規定各子計畫於共同測站與共同時間進行採樣(圖 3)，初期研究項目為物理棲地、水質、藻類、水生昆蟲與魚類(林幸助 2004)。2005 年開始正式推動 WLTER 整合計畫，為了解臺灣鉤吻鮭數量變動機制，我們認為好的科學才有好的管理。除了延續原有研究項目外，開始擴大研究包括水溫、流量、物理棲地、水質、藻類、沿岸植被、陸棲與水生昆蟲、兩生、爬蟲、哺乳類、魚類與鳥類等時

空動態變化(林幸助等 2005)，並擬定長期目標從小到大依序建構不同尺度之生態模式：

1. 建構臺灣櫻花鉤吻鮭小尺度的族群動態模式(完成於2006年)
2. 建構中尺度之溪流水域食物網模式(完成於2007年)
3. 建構大尺度之跨溪流與濱岸生態系統之耦合模式(完成於2009年)
4. 因應氣候變遷建構更大尺度之武陵集水區溪谷生態系模式(完成於2014年)

2006年WLTER計畫彙整過去近20年臺灣櫻花鉤吻鮭監測資料，首先完成族群小尺度的臺灣櫻花鉤吻鮭年齡群矩陣模式(Chung et al. 2007)。2007年WLTER計畫擴大完成中尺度武陵地區溪流水域生態系食物網模式以及食物鏈能量流營養階層傳輸模式(圖4)，並藉由食物網模式分析指出控管農業活動與維持濱岸植被是保育臺灣櫻花鉤吻鮭的優先方針(Lin et al. 2012)，同時開始探討颱風洪水對於棲地與水生生物的衝擊(林幸助等 2007)。該食物網模式估算出武陵溪流臺灣櫻花鉤吻鮭當前生態承載量約為5,800尾。該計畫同時發現七家灣溪之支流高山溪改善防砂壩改善棲地後，大石頭(>25 cm)比例增加對臺灣櫻花鉤吻鮭族群有正成長的效益(Chung et al. 2008)。

2008年WLTER計畫探討濱岸土地利用與聖嬰年之少颱風冬春雨等效應對於溪流生態系的影響(林幸助等 2008)。在未受洪水影響而減損鮭魚數量之情況下所觀測到之臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量5,321尾之高峰值，頗為接近食物網模式估算出武陵溪流臺灣櫻花鉤吻鮭當前生態承載量。本計畫亦發現流量實為武陵溪流生態系主要驅動力，對溪流生態系造成連鎖層階效應(Chiu et al. 2008, Tsai et al. 2014, Kuo et al. 2016)，同時為因應日後氣候變遷之可能衝擊，開始建立水文、

水溫與氮磷元素通量等前瞻環境模式。該計畫(林幸助等 2008)分析發現成鮭與幼鮭數量變化受到日流量影響最大；亞成鮭數量變化則受前一季幼鮭數量影響；臺灣櫻花鉤吻鮭數量與水棲昆蟲數量、硫酸鹽濃度與導電度呈現負相關，但是與鳥類數量、深瀨比例以及大小礫石比例呈現正相關。

為保育臺灣櫻花鉤吻鮭，2009 年開始討論拆除防砂壩議題，費時兩年與相關單位溝通協調，因此武陵溪流從此邁入實質生態系經營管理的新階段。我們依循從 2004 年 WALTER 所設立的監測系統與永久測站，建立七家灣溪一號防砂壩拆除改善前的背景資料，並持續監測觀魚台上游果四與果五區高濃度硝酸鹽山溝水點源污染(林幸助等 2009b)。該計畫發現石附生藻類生物量仍以有勝溪最多，而七家灣溪觀魚台因受高濃度硝酸鹽污染，生物量次之。水質監測與水棲昆蟲結果皆顯示，人為活動與農耕密集區附近之測站因營養鹽濃度較高，水質相對較差。我們整合颱風極端流量、水溫、流域土地覆蓋狀況、水棲昆蟲與附生藻類之資料，完成大尺度之跨溪流與濱岸生態系統之耦合模式(Tsai et al., 2014)。此模式(圖 5)顯示環境因子對於附生藻類的影響大於水棲昆蟲。只有在冬天干擾少之上游溪段水棲昆蟲之影響效應才會顯現。在中度森林鬱閉度與流量及高營養鹽的溪段，附生藻類才有機會生長。2009 年臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量達到 4,545 尾，顯示當年颱風對鮭魚數量的影響不大，可能與颱風路徑沒有直接影響武陵地區有關。我們也發現了高山溪殘材壩已明顯地限制了鮭魚群的自由移動，因此建議以不擾動環境方式切開殘材處理。

2010 年起為因應七家灣溪一號防砂壩壩體拆除改善計畫，繼續針對防砂壩壩體改善前的生態環境建立長期背景資料，期望能與防砂壩壩體改善後之生態環境資料進行比較分析，為往後國內拆除防砂壩

之生態復育工程建議標準作業程序。我們利用水棲昆蟲快速生物評估法，發現七家灣溪的棲地評比維持無損害與中度損害之間。魚類夏季普查發現臺灣櫻花鉤吻鮭總計 3,377 尾，在族群結構上形成金字塔型的族群結構，顯示族群仍屬穩定(林幸助等 2010)。2010~2011 年間幾乎沒有颱風洪水侵襲武陵地區，因此藻類生物量、水棲昆蟲密度及臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量皆創下歷年新高。

2011 年五月底，雪霸國家公園管理處順利完成七家灣溪一號防砂壩壩體改善工程，開通溪流生物的生態棲地廊道(圖 6)。自七家灣溪一號防砂壩拆除後，臺灣櫻花鉤吻鮭在原來一號壩上下游的移動頻率增加，並觀察到臺灣櫻花鉤吻鮭通過形成的生態廊道往上移動，代表一號防砂壩拆除後的確達到開通生態廊道的目的與效益(林幸助等 2011)。一號防砂壩壩體改善後直至 2012 年蘇拉颱風暴雨之前的七月，鮭魚族群數量又增加為 5,479 尾，顯示當時臺灣櫻花鉤吻鮭的數量已極為接近生態承載量，棲地狀況良好。可能限制鮭魚族群的高山溪殘材壩已於 2012 年初經雪霸處之裁切處理，之後又經八月蘇拉暴雨沖刷，大型殘材壩幾乎已移除。然而 2012 年蘇拉颱風的暴雨事件使得鮭魚族群數量下降至 3,764 尾，這也是七家灣溪臺灣櫻花鉤吻鮭在早期構築防砂壩後首次在洪水事件影響過後可以不受七家灣溪一號壩的阻隔而回到中游。

2013 年是 10 年期 WLTER 整合計畫(2004~2013 年)的最後一年，我們根據七家灣溪一號壩拆除後兩年半的監測資料，與一號壩拆除前背景資料的比較，評估七家灣溪一號壩拆除的短期(2-3 年)生態效應(圖 7)。2013 年秋季普查結果顯示臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量又因颱風影響，減少了約三分之二。本研究透過七家灣溪一號防砂壩壩體改善前(2010 年)、改善中(2011 年)以及改善後(2012、2013 年)環境與生物

群集的長期研究，尋求減輕對生態系造成衝擊的最佳拆除溪流防砂壩的方法，發現壩體拆除時間點若選擇在洪水季節前，可以減輕工程對於溪流生物所造成的影響(Chang et al. 2017)。歷年 5 階段參與 WLTER 整合計畫的主要研究人員共計 18 位，名錄列於表 1，。

限於經費，2014~2017 年 WLTER 整合計畫結束，武陵溪流生態監測只零星作重要項目(水質、物理棲地、水棲昆蟲與魚類)，但七家灣溪生態表現悉如之前研究所預期。2014 年因無颱風侵襲武陵地區，因此鮭魚族群數量逐漸復原。雖然數量仍在一千多尾，但是其中小魚佔了近七成的數量。2015~2016 年因棲地漸趨穩定，鮭魚族群數量回升至接近 3000 尾，且族群結構呈現中胖桶型族群結構。2017 年及 2018 年夏季族群數量上升至 3500 尾左右，且呈現金字塔型的族群結構，顯示族群更新狀況良好。WLTER 整合計畫結束五年後，直至 2018 年才又重新啟動兩年計畫，評估七家灣溪一號壩拆除的長期(7-8 年)生態效應。

因為 WLTER 整合計畫的論文發表，2014 年吸引美國 Motana Tech 的數學系 Laurie Battle 教授自費來臺合作研究臺灣櫻花鉤吻鮭。我們利用 2001 年高山溪拆壩前後的臺灣櫻花鉤吻鮭觀測資料，建構了可用以模擬氣候變遷影響之武陵鮭魚生態模式(Battle et al. 2016)。我們發現拆壩的棲地復育(>25 cm 的大石頭比例增加)比起其所創造的溪流通道對於臺灣櫻花鉤吻鮭存活率，尤其是幼魚的效益更大。若 2001 年高山溪未拆防砂壩，此溪流的鮭魚早於 2007 年即已滅絕。因此積極管理策略對於臺灣櫻花鉤吻鮭得存活是必須的。此模式更預測拆壩後，在 2018 年臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量會維持在 400 尾左右，大致符合 2018 年夏天於高山溪的計數結果。雖然未來氣候變遷，颱風強度可能提升，但是仍會在未來 20 年保有 100 尾左右數量。

表 1 武陵長期生態研究(WLTER)5 階段主要研究人員

年	階段	主要研究人員
2002~2003	0 (規劃)	林幸助
2004~2006	1	林幸助、賴明洲、郭美華、楊正澤、盧重成、 施習德、吳聲海、曾晴賢
2007~2009	2	林幸助、葉昭憲、官文惠、彭宗仁、高樹基、蔡尚憲、郭美華、楊正澤、葉文斌、吳聲海、曾晴賢、 孫元勳、邵廣昭
2010~2011	3	林幸助、葉昭憲、官文惠、蔡尚憲、郭美華、楊正澤、吳聲海、曾晴賢、孫元勳、邵廣昭、王筱雯
2012~2013	4	林幸助、葉昭憲、王筱雯、官文惠、郭美華、曾晴賢、邵廣昭
2018~2019	5	林幸助、葉昭憲、官文惠、郭美華、吳聲海、曾晴賢、孫元勳、端木茂甯

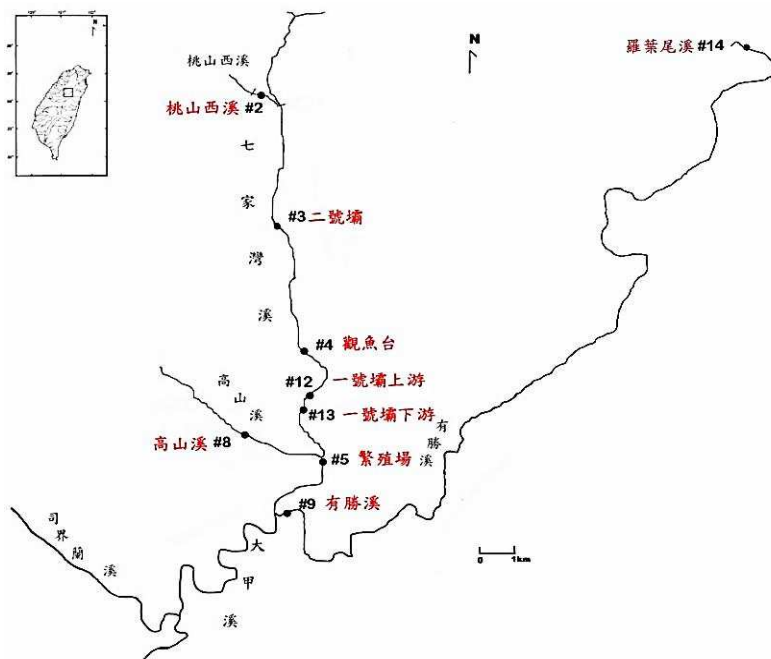


圖 3 武陵長期生態監測(WLTER)共同測站

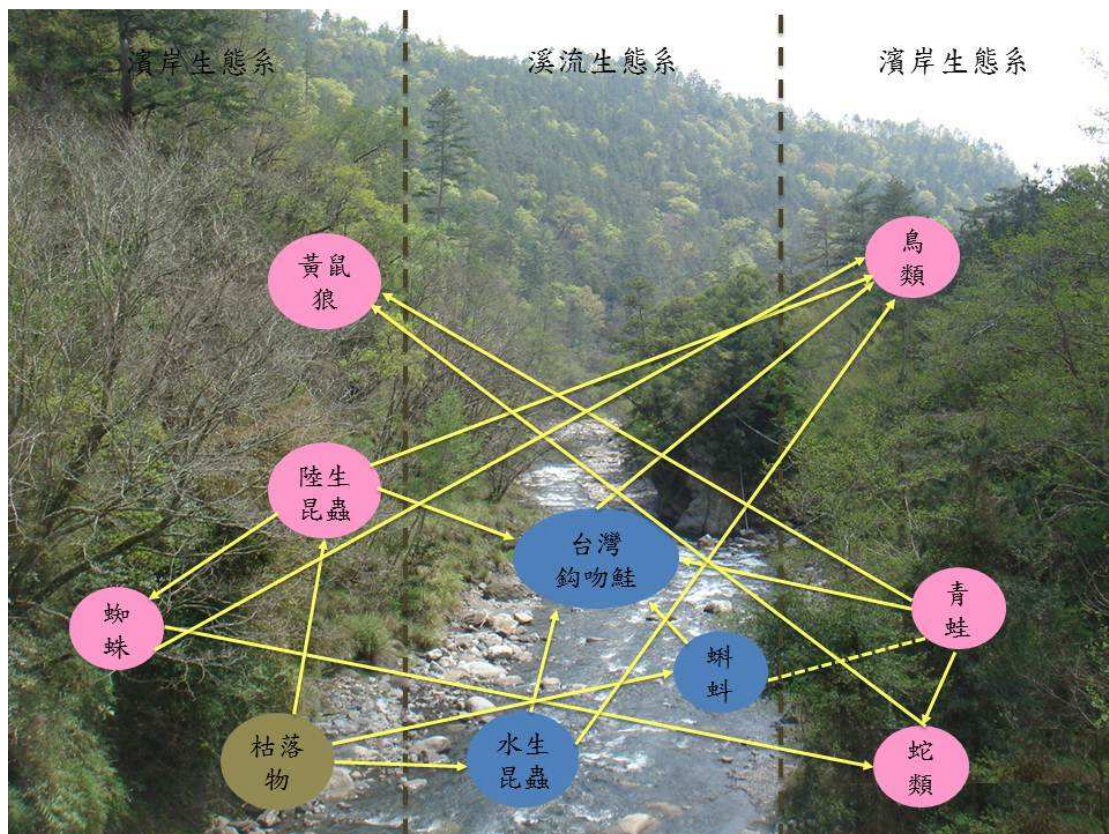


圖 4 武陵溪流生態系食物網模式以及食物鏈能量流營養階層傳輸模式

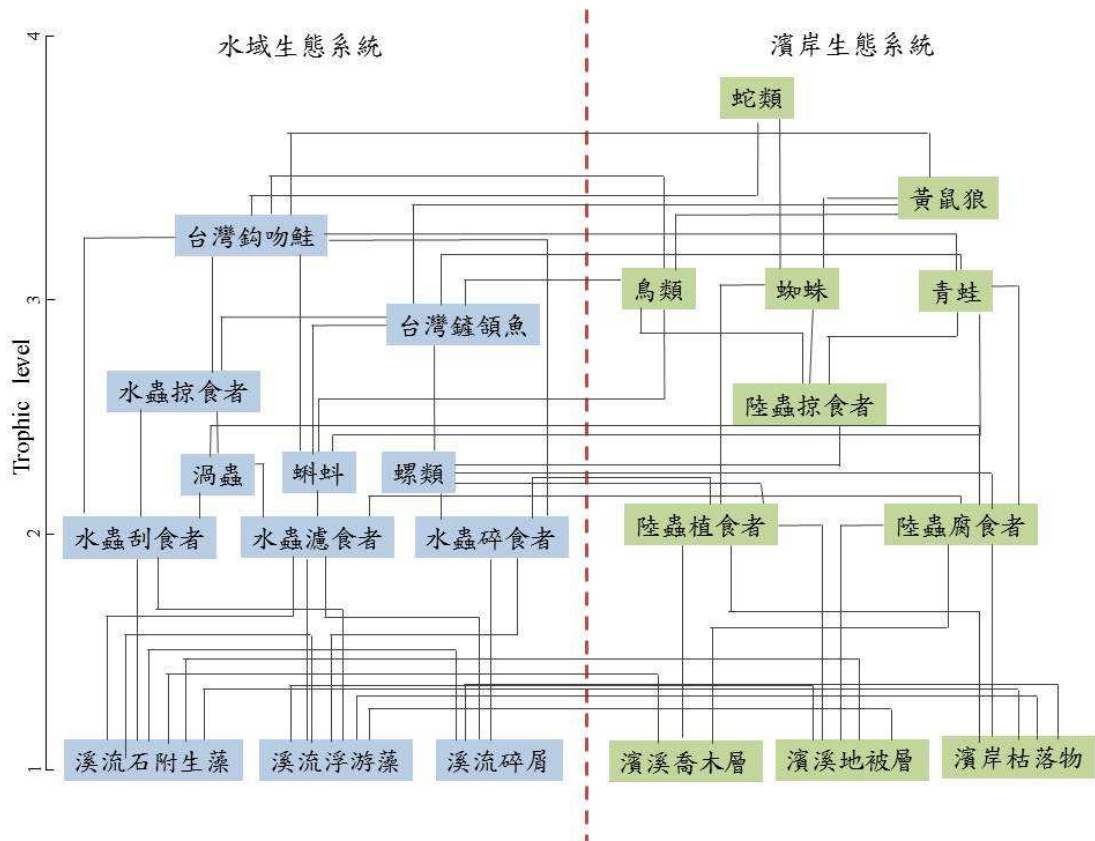


圖 5 大尺度武陵地區跨溪流與濱岸生態系統之耦合模式



圖 6 2011 年五月底，雪霸國家公園管理處順利完成七家灣溪一號防砂壩拆除改善工程，開通溪流生物生態棲地廊道

三、武陵長期生態研究重要研究發現

十年磨一劍(2004~2013 年)的 WLTER 整合計畫建構了武陵溪流生態系食物網模式(圖 7)，並回答了當時臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量變動的六個關鍵議題：

1. 當時臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量變動主要並不是因為鮭魚本身生殖，或存活率過低的問題。
2. 當時臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量變動主要也不是鮭魚食物(水棲昆蟲)不足的問題。
3. 當時臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量變動主要也不是幼鮭魚被(濱溪鳥類)掠食太多的問題。
4. 當時七家灣溪濱岸武陵農場果菜園雖然所輸入農藥及肥料營養等，但因為七家灣溪水流量大，稀釋後對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量的影響不大。
5. 武陵地區每年雖然有 380,000 遊客，且集中於 2 月賞櫻季及 7-8 月暑假，但是對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量變動的衝擊還在族群能容忍的範圍內。
6. 颱風暴雨洪水的衝擊對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量的影響頗大，是臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量的驅動力與關鍵因素。

根據這六項結論，因為夏秋颱風是臺灣生態幾乎每年必須面對的問題，因此 WLTER 團隊認為復育臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量的有效戰略是協助提升臺灣櫻花鉤吻鮭對抗颱風洪水的抵抗力。其中關鍵是 Chung et al. (2008)發現七家灣溪支流高山溪改善防砂壩改善棲地後，大小漂石(大石頭)比例增加對臺灣櫻花鉤吻鮭族群有正面效益。此乃因為大石頭底下的隙縫空間可以提供臺灣櫻花鉤吻鮭於颱風洪水時避難的空間，免於被洪水沖到下游。而且拆除攔砂壩後所形成的生態

廊道可讓被颱風洪水沖到下游的臺灣櫻花鉤吻鮭有機會再回到上游水溫較低的棲地。因此 WLTER 團隊倡議拆除七家灣流域攔砂壩，才能提升臺灣櫻花鉤吻鮭對抗每年颱風洪水的能力。

WLTER 整合計畫也發現了武陵農場農業活動的可能影響。常施用之肥料包括氮肥、磷肥以及鉀肥等，易導致七家灣溪水體營養鹽改變。這些施用在土壤中的物質進入溪流主要路徑有滲淋、沖蝕以及降雨逕流三種方式。其中鉀肥及其他陽離子，將造成溪水導電度升高，而氮肥及磷肥則是水中藻類之營養鹽來源。我們已找到七家灣溪的農業點源污染源(Chang et al. 2010, Kuan et al. 2009, Chang et al. 2008)，是來自於觀魚台上游果四與果五區的農場與露營區。Peng et al. (2012)的研究指出七家灣溪中硝酸鹽輸入除了觀魚台附近的山溝水之外，農業施肥自土壤淋溶到溪流中的來源也很重要。因此仍需長期生態監測水質，尤其是特定污染源輸入的水質，以維護臺灣櫻花鉤吻鮭最重要的棲息水域。

優養化對水域的立即影響是藻類的大量生長，因此藻類是水域環境的重要指標，本身的腐敗分解也會影響水質。兩種矽藻指數一致顯示武陵水質冬季較夏季差，且有勝溪是武陵溪流中水質最差的，而高山溪水質則是最好的。七家灣溪下游與有勝溪可能因農地的施肥導致營養鹽濃度高於其他溪流而有優養化的現象(Yu and Lin 2009)。武陵農場為臺灣高冷夏季蔬菜及溫帶高經濟果樹主要產地。2008 年 WLTER 計畫清查果菜園仍餘 11.1 公頃(林幸助等 2008)。王敏昭(1997)指出武陵農場緩衝林帶(七家灣溪舊河道)下坡段處之土壤導電度值較上坡及中坡段相對為高，顯示武陵農場之種植果樹、蔬菜多年施用之肥料，已沖刷滲流至武陵農場緩衝林帶下坡段處，且在該處聚積；武陵農場梨樹區表土含最高可溶性鹽類，茶區含最高陰離子鹽類營養

源，而作為七家灣溪濱岸保護帶之草原區，則未發現有大量可溶性肥料營養鹽沖刷滲濾至此，顯示保護帶功能。

WLTER 整合計畫發現颱風洪流導致棲地劣化(林幸助等 2009)。水棲昆蟲數量歷年研究顯示，在歷經較嚴重的洪流可能造成水棲昆蟲群集中體型較大物種之比例下降(Chiu and Kuo 2012)。水棲昆蟲歷經了 2003 年無颱風年後，數量及生物量於 2004 年 2 月達到高峰，但往後幾年明顯受到颱風梅雨所造成的洪流影響而呈下降趨勢，影響隔年水棲昆蟲組成拓殖回復方向。一些體型較大的物種，已逐漸減少，被替換成體型較小的物種，生物量下降。若當年有洪水，可能導致來年鮭魚大型食餌密度下降；若洪流減弱，大體型物種長角石蛾 *Stenopsychidae* 及黑管石蛾 *Uenoidae* 數量則增加，因此這兩種毛翅目可作為極端洪流的生物指標。洪流擾動後雖然物種有減少現象，但是對洪水較具抗性的物種與恢復較快的物種，兩者間生態功能轉換是維持溪流生態功能重要機制。

大型食餌石蠶蛾在溪流中密度下降不只影響臺灣櫻花鉤吻鮭數量，也會影響到生態系中頂級掠食者褐河烏(*Cinclus pallasii*) (Chiu et al. 2008)。褐河烏數量和水棲昆蟲群聚結構有高度相關，兩者都和流量呈現負相關。洪水造成水棲昆蟲數量減少，間接影響褐河烏族群，颱風洪水也會透過溪流生態系中自下而上效應，直接衝擊褐河烏，造成族群數量驟減(Hong et al. 2016)。

早在 1986 年記錄臺灣櫻花鉤吻鮭 646 尾，1987 年 1,757 尾(林曜松等 1990)。隨後因天然環境破壞，族群數量開始減少，至 1991 年冬天僅存 600 尾左右(林曜松等 1991)。自 1992 至 1994 年間，缺乏例行的族群數量監測。直到 1994 年 5 月始重新進行鮭魚族群普查(曾晴賢，1994)。2004 年開始 WLTER 整合計畫對於臺灣櫻花鉤吻鮭族群

數量調查有完整紀錄，藉由建構模式深入了解其調控數量機制，後續監測鮭魚族群數量也符合研究預期結果。當時觀察重要結論如下：

1. 颱風會造成臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量遽減 1/3 左右，並且將上游族群沖到下游，導致上游魚群減少而下游魚群增加。如此將使上游族群基因庫縮減，增加近親交配之可能，導致族群日趨衰弱；而下游族群可能由於棲息條件不佳，導致出生率下降，死亡率提高。
2. 颱風造成幼魚之死亡率高於成魚。幼魚無論在游泳、覓食、忍飢及躲避災害等各方面的能力均劣於成魚，因此對於優良棲地與避難所的需求也就更為殷切。
3. 比較颱風前後各防砂壩間族群數量之變化。在每一個壩與壩之間，魚群傾向於集中在最靠近防砂壩下沖蝕潭附近的河段。推測原因可能是因棲地較為良好。而秋季魚群集中的程度較春季為高，可能是為求較低水溫產卵，而使魚群往上游低水溫河段移動，但卻因受阻於防砂壩而造成族群更加集中現象。
4. 在颱風與防砂壩共同作用之下，臺灣櫻花鉤吻鮭族群的存續已面臨嚴苛的考驗。因此高落差之防砂壩或殘材壩應予以拆除或改善，促進上下游櫻花鉤吻鮭的基因庫，以避免臺灣櫻花鉤吻鮭滅絕。

四、拆除七家灣溪一號壩後的生態效應

溪流底棲藻類為武陵溪流最主要基礎生產者，因此瞭解環境條件與藻類變化的調控機制是研究溪流生態系運作的基礎。在溪段空間尺度下，Biggs (1996)認為水流、底質、營養物質交換為影響藻種組成及生物量的主要變因，其中水流為最直接的影響因子。Stevenson(1996)也認為水流是影響底棲藻類群聚變異最重要的因子。短期來看，附生藻類在受到拆壩水流衝擊後，2-4 週過後即可回復至拆壩前的水準(圖 8)；長期來看，拆壩後藻類生物量的年平均生物量反而較往年低。Thomsom et al.(2005)指出拆壩後影響藻類生物量的主要原因為溪流底質穩定度。拆壩七個月後，隨著河床底質的穩定，藻類生物量才恢復至拆壩前的水準。本計畫 2011~ 2012 年於七家灣溪一號防砂壩壩體改善密集監測中的初步結果顯示，在壩體改善後一個月內，石附生藻類群集組成於一號壩上、下游間都是有差異的，但在一個月後便可回復。可見壩體改善對藻類的短期影響並不大，反而受到暴雨事件的影響更為嚴重(Kuo et al. 2016, Chiu et al. 2016)。然而，七家灣溪一號防砂壩壩體改善後的長期效應仍需持續監測，才能瞭解底質環境改變會如何影響藻類豐度與組成。

七家灣溪一號壩壩體拆除改善工程對水棲昆蟲群集產生約 2.5 個月的短期負面直接影響(圖 8)，等同遭受一小型洪水的衝擊，導致數量和多樣性下降(Chiu et al. 2013)。拆壩後五年連續監測發現，水棲昆蟲的多樣性波動範圍已逐漸縮小，顯示逐漸有回穩之趨勢(郭美華 2017)。由此可知，拆壩後雖然水棲昆蟲可以在短時間內透過生態功能轉換的方式恢復，並維持生態功能正常，但是拆壩的後續影響時間仍需要持續監測。

2008 年夏季的調查發現，鮭魚的族群數量達到了進行調查工作

以來的歷史次高 5,321 尾，其中一齡的幼魚數量達到 3,758 尾，且多集中於七家灣溪二號破壩至三號壩之間。但是夏季調查過後，七家灣溪流流域又面臨了卡玫基與辛樂克等數個颱風的劇烈影響，雖然夏季族群數量大增至歷史新高，但在連續風災過後減少 41% 的族群，幼魚損失最為嚴重，但總數仍維持在 3,000 尾以上。我們也發現族群數量增加與放流河段並無關連，但先前放流保育擴展了分布河段，並穩定了上游族群，顯示族群對連續重大風災衝擊有抗力。2009~2012 年整個武陵地區風調雨順，鮭魚族群量亦不斷攀升，至 2011 年秋季以及 2012 年夏季調查達到歷史最高點，並已接近七家灣溪流流域所預估的最大生態承載量。但 2012 年八月的蘇拉颱風降雨為武陵溪流帶來相當大的洪水事件，鮭魚族群數量如預期減少約三分之一。由於 2012 年蘇拉颱風洪水影響，七家灣溪河床變得相當不穩定，再經歷 2013 年七月蘇力颱風洪水影響，河道產生側向侵蝕與崩塌，多數深潭與峽谷地形被填滿，因此 2013 年秋季普查結果顯示臺灣櫻花鉤吻鮭族群數量減少了約三分之二。2014 年無颱風侵襲，鮭魚數量逐漸復原，雖然數量只有一千多尾，但是小魚佔了近七成；2015~2016 年鮭魚族群數量回升至接近 3000 尾，且族群結構漸趨穩定；2017~2018 年夏季族群數量上升至 3500 尾，族群更新狀況良好。2018 年由於完全沒有颱風洪水事件，因此秋季普查到 5,059 尾，族群數量又回到 5000 尾以上。由此可知雖然族群處於高承載量並暴露在極端洪水事件下，但是一號防砂壩拆除可以提升臺灣櫻花鉤吻鮭的回復力。儘管如此，七家灣溪生態系在極端氣候與現存壩體雙重威脅下(Battle et al. 2016)，鮭魚族群所面臨的潛在威脅，是保育鮭魚重要的課題。在未來極端氣候常態化下，拆壩後長期環境與生物的監測，可以更好預測極端氣候對鮭魚族群的衝擊。

在七家灣溪一號壩拆除後，植食性的臺灣白甲魚(*Onychostoma barbatulum*)和肉食性的臺灣櫻花鉤吻鮭數量均增加，因此在溪流食物網中蝌蚪同時增加競爭者與掠食者。兩種魚類對於兩生類蝌蚪而言，若競爭者影響力強，則蝌蚪的生長速度可能降低；若掠食者的影響大，則蝌蚪的數量會降低；蛙類蝌蚪可能因掠食者的種類而改變其外表體型和行為(Relyea 2001)。七家灣溪的蝌蚪已知會因處溪段之流速不同而有不同的含沙量。掠食者和競爭者的增加，可能會改變蝌蚪的覓食行為，進而改變其胃含物中無機物含量，亦可能造成其外型的改變。盤古蟾蜍可能因為皮膚毒性能有較佳的禦敵能力。因此未來研究透過檢視兩生類蝌蚪是否受到魚類數量增加以及環境改變，而有數量上、生態區位上或是形態上的改變。

溪流指標鳥類河烏會因為拆壩造成的砂石沖刷而有移動現象，因此溪流施工應避開河烏的繁殖季(1-4 月)，可將影響減到最輕。拆壩後，臺灣白甲魚透過壩體缺口到達上游，一號壩上游臺灣白甲魚數量增加，或可緩和臺灣櫻花鉤吻鮭被河烏捕食的壓力，成為拆壩的長期效應之一。WATER 整合計畫深入研究發現，影響河烏繁殖的關鍵並非洪水強度，而是發生洪水時間(Hong et al. 2016)。同時，洪水改變河烏移動行為，從主流往流量較小的支流移動，移動距離遠超過平常的活動範圍，七家灣溪支流有勝溪是七家灣溪河烏族群在洪水期間重要的避難所(Hong et al. 2018b)。我們也發現 2015-2018 年共 8 窩河烏巢遭到臺灣獼猴(*Macaca cyclopis*)掠食，佔所有繁殖窩數的 17.8%；相較之下，2004-2006 年僅 1 巢遭到獼猴掠食，佔所有繁殖窩數的 3.4%，顯示獼猴問題亟需重視。

五、武陵溪流生態系運作概念模式

整合 WLTER 研究結果，透過概念模式建立，可以讓我們瞭解生態系運作的方式，因此累積歷年對七家灣溪各項生物與環境的研究資料，可建立武陵溪流生態系概念模式(圖 9)。在概念模式中，武陵地區主要的驅動因子為降雨；當降雨量增加時，溪流流速會增加。而流況變動程度則會影響底質組成，當流況變動小時，細顆粒底質會累積；當流況變動大時，細顆粒底質會被沖刷，而使粗顆粒底質比例上升。但是極端降雨發生時，同時會將濱岸鬆散的細顆粒大量沖刷進入溪流，待洪水退去時，反而會有細顆粒大量累積的狀況。

底質的組成會直接影響溪流生物類群，細顆粒底質因為容易被沖刷，對於藻類而言不是適合生長的環境(Uehlinger 1991)。水棲昆蟲通常具有底層避難所尋覓的行為，藉此躲避或是抵抗洪水的影響(Robinson et al. 2004)；例如，蜉蝣目會鑽進底質中，並且抓住石頭表面，以躲避洪水的衝擊(Olsen and Townsend 2005)。當處在以細顆粒為主的底質組成狀況下，流況變動時，水棲昆蟲會隨著底質變動而有數量損失的狀況。Birnie-Gauvin et al. (2017)利用 30 年棕鱒長期監測資料發現，小鮭魚的密度可以決定整個族群是否能發展；結果顯示在壩體存在狀況下，即使上游系統存在與下游系統相似的成魚密度，族群仍無法發展，主要是因為壩體存在而導致底質組成條件不佳，造成小鮭魚無法成長進而發展整個族群。由此可知，底質組成受流況變動而改變時，會直接影響溪流生物族群。

兩個武陵溪流食物網由左至右，分別代表流況變動小時的食物網以及流況變動大時的食物網(圖 9)。藻類的組成會同時受到流況以及濱岸植被天空遮蔽度影響：1.當流況變動小時，綠藻因為沒有受到高流速影響而有較高的組成；當流況變動大時，藻類組成則轉以矽藻為主。2.天空遮蔽度與季節有關，在武陵地區流況變動小的季節，樹葉茂盛、天空遮蔽度較高，由於光

線被遮蔽，會使藻類生物量下降。整體而言，初級生產量對於食物網的供應，在流況變動小時，會有較高的藻類生產量，以及較少的沿岸碎屑輸入，而食物網內生物的生物量都比較高，物種間對於資源的競爭較小；在流況變動大時，會有較少的藻類生產量，以及較多的沿岸碎屑輸入，而食物網內生物的生物量皆減少，物種間對於資源的競爭較大。從生態模式的結果亦可發現，當系統中資源不足時，捕食階層對於獵物資源的能量轉移效率提高，推論是因為物種間競爭增加所致。

以 2018 年七家灣溪生態的調查結果來看，當年沒有高降雨量、沒有颱風洪水事件發生，在概念模式圖(圖 9)中屬於左邊的食物網，我們從測站中選取兩個底質不同的測站，觀魚臺 / 繁殖場測站進行比較：流速($0.69 \text{ ms}^{-1} / 0.95 \text{ ms}^{-1}$)；底質(細砂 / 粗石)；天空遮蔽度(10 % / 38 %)；藻類生物量($27.5 \text{ mg m}^{-2} / 23.4 \text{ mg m}^{-2}$)；綠藻比例(14 % / 14 %)；水棲昆蟲平均密度($3736.6 \text{ ind.m}^{-2} / 3991.9 \text{ ind.m}^{-2}$)；鯛魚個體數(76 尾 / 211 尾)；鮭魚個體數(6 尾 / 88 尾)；蝌蚪平均密度($19.8 \text{ ind.m}^{-2} / 22.4 \text{ ind.m}^{-2}$)；河烏平均隻數(4 隻 / 5 隻)。從上述調查結果，雖然沒有高的降雨量，但是流速快慢仍然決定兩個測站的底質差異，繁殖場流速快以粗石為主，觀魚臺流速慢則以細砂為主；加上天空遮蔽度的影響，整體而言繁殖場測站有較高的藻類生物量；然而綠藻比例在此無法單以流速因子解釋。從環境到食物來源顯示繁殖場的整體狀況可能較觀魚臺佳，因此不同消費者生物類群，也可以觀察到繁殖場測站有較高的生物量或是數量。從生態模式的綜合營養衝擊結果顯示，2018 年鯛魚幼魚對蝌蚪的負面影響加大，顯示兩者屬於物種間競爭，符合概念模式中推論。

透過歷年對七家灣溪各項生物與環境的研究資料，可以描繪出七家灣溪生態系運作的概念模式，藉由 2018 年的資料也可以得到與概念模式大致符合的生態系運作，然而未來仍需要更多研究，以更加完善 WALTER 整合研究所提出的概念模式。

六、武陵長期生態研究之貢獻

綜合言之，WLTER 整合計畫已確立中海拔高山溪流各項生態監測方法(林幸助等 2008)，並發展武陵溪流監測系統，包括附生藻類 TDI 及 DAipo 兩種矽藻指數(Yu and Lin 2009)、水棲昆蟲快速生物評估法 II 與水質指標 WWQI (Wuling Water Quality Index: 以導電度、濁度、生化需氧量、總磷、氮氮為監測因子)等監測指標，未來可以進一步發展成以本土物種研究為基礎的整合生態指標；此外也建立武陵地區七家灣溪各項生物與環境因子之回復標準，並建構武陵地區溪流生態系概念模式(圖 9)。同時也清楚掌握濱岸土地利用之農業活動及颱風洪水對溪流生物的影響，建立族群與水域食物網不同尺度之生態模式。目前累積已發表至少 27 篇 SCI 期刊論文及 28 篇國內其他優良期刊論文，具體提升國內溪流生物與生態學研究水準。該計畫也委由中央研究院生物多樣性研究中心建立與國際接軌之武陵地區生態資料庫，至 2018 年底已收集 16 綱 104 目 429 科 898 種 10,0293 筆生物資料，2748 筆水質資料，4369 筆藻類與有機碎屑資料，9136 筆環境溫度監測資料，以及 1369 流量模擬資料，收錄於雪霸國家公園生物資源與環境調查資料庫(<http://spnp.biodiv.tw/index.php>)，已成為國內外單一溪流生態資料最豐富之資料庫。

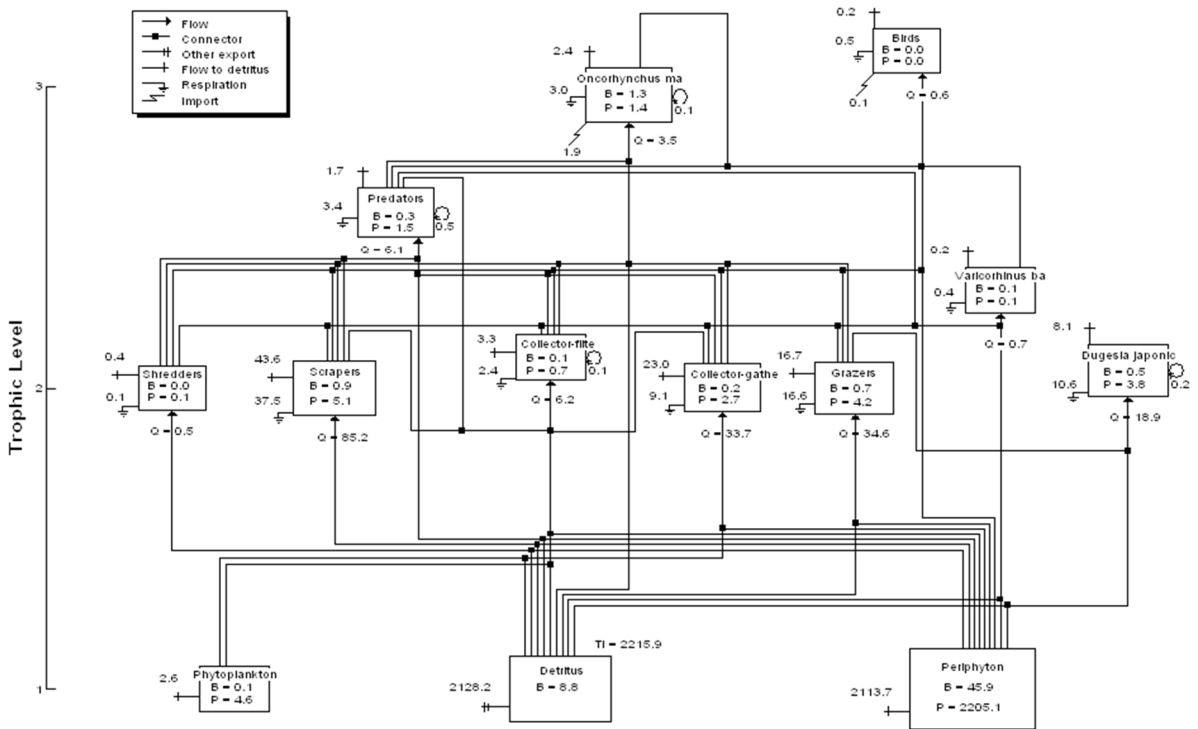


圖 7 武陵溪流食物網能量流模式，以七家灣溪觀魚台測站為例



圖 8 七家灣溪一號壩拆除後 2.5 年短期生物與環境回復情形

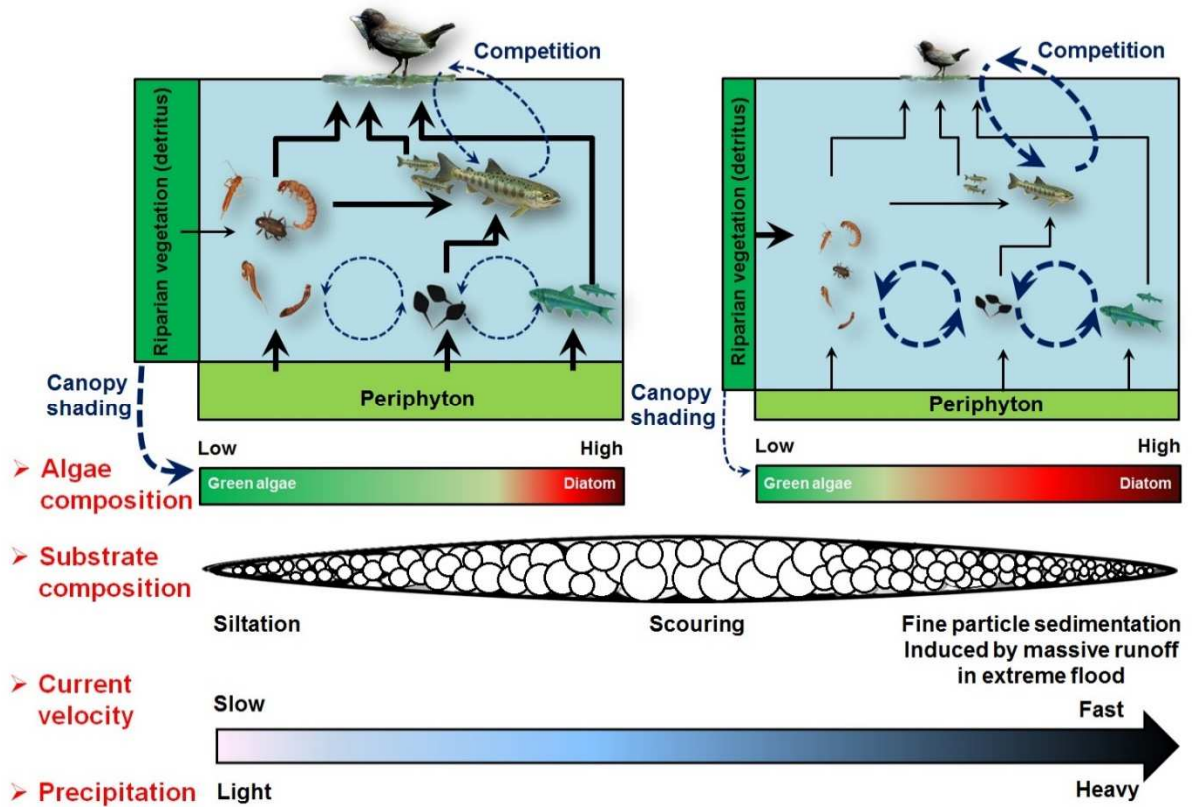


圖 9 七家灣溪溪流生態系概念模式

七、參考文獻

王敏昭, 1997. 緩衝帶對營養鹽之截流作用. 水土保持學報 29, 69-92.

呂光洋, 2002. 雪霸國家公園兩生爬蟲類調查研究—武陵地區 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.

汪靜明, 1994. 子遺的國寶—臺灣櫻花鉤吻鮭專集. 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.

林幸助, 2002. 武陵地區生態系監測與模式建構規劃 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.

林幸助, 2003. 武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽 (研究報告).

內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.

林幸助, 2004. 武陵地區環境生態模式可行性研究 (研究報告). 內政

部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.

林幸助, 王筱雯, 吳聲海, 官文惠, 邵廣昭, 郭美華, 曾晴賢, 葉昭憲,

2011. 武陵地區溪流生態系長期監測暨整合研究 (研究報告). 內

政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.

林幸助, 吳聲海, 官文惠, 邵廣昭, 孫元勳, 郭美華, 高樹基, 彭宗仁,

曾晴賢, 楊正澤, 葉文斌, 葉昭憲, 蔡尚惠, 2008. 武陵地區長期

生態監測暨生態模式建立 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家

管理處, 苗栗縣.

林幸助, 吳聲海, 官文惠, 邵廣昭, 孫元勳, 郭美華, 高樹基, 彭宗仁,

曾晴賢, 楊正澤, 葉文斌, 葉昭憲, 蔡尚惠, 2007. 武陵地區長期

生態監測暨生態模式建立 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家

管理處, 苗栗縣.

林幸助, 吳聲海, 官文惠, 邵廣昭, 孫元勳, 郭美華, 高樹基, 彭宗仁,

曾晴賢, 楊正澤, 葉文斌, 葉昭憲, 蔡尚惠, 2008. 武陵地區長期

生態監測暨生態模式建立 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家

管理處, 苗栗縣.

- 林幸助, 吳聲海, 官文惠, 邵廣昭, 郭美華, 曾晴賢, 葉昭憲, 2010. 武陵地區生態系長期監測與研究 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.
- 林幸助, 官文惠, 邵廣昭, 郭美華, 曾晴賢, 葉昭憲, 2009b. 98 年武陵地區長期生態研究 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.
- 林幸助, 徐崇斌, 葉昭憲, 官文惠, 彭宗仁, 高樹基, 蔡尚惠, 郭美華, 楊正澤, 葉文斌, 吳聲海, 曾晴賢, 孫元勳, 邵廣昭, 2009a. 武陵溪流生態系長期生態研究與生態模式建構. 國立臺灣博物館學刊 62, 13-23.
- 林幸助, 廖美齡, 溫佩珍, 鐘豐昌, 2005. 武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-溪流生態系食物來源與模式建構 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.
- 林曜松, 張崑雄, 張瓊文, 張耀文, 1990. 武陵農場魚類研究教育中心初步規劃. 農委會 79 年生態研究第 002 號: 40 頁。
- 林曜松, 張崑雄, 詹榮桂, 1991. 臺灣大甲溪上游產陸封性鮭魚的現況. 農委會林業特刊 39, 166-172.
- 林曜松, 楊平世, 黃國靖, 謝森和, 1987. 武陵農場河域蜉蝣目稚蟲之生態研究. 行政院農業委員會林業特刊 57-78.

- 袁孝維, 1995. 武陵地區登山步道沿線野生動物景觀資源調查 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.
- 郭美華, 2017. 武陵地區七家灣溪壩體改善後臺灣櫻花鉤吻鮭棲地監測暨現存其它棲地調查與改善評估, 第三章水棲昆蟲研究 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.
- 雪霸國家公園管理處, 2000. 雪霸國家公園自然資源研究方向芻議-歷年保育研究計畫總檢討. 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.
- 曾晴賢, 1994. 櫻花鉤吻鮭族群調查與觀魚台附近河床之改善研究 (研究報告). 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.
- 曾晴賢, 楊正雄, 2001. 櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(四) (研究報告). 內政部營建署雪霸國家管理處, 苗栗縣.
- Battle, L., Chang, H.Y., Tzeng, C.S., Lin, H.J., 2016. The impact of dam removal and climate change on the abundance of the Formosan landlocked salmon. *Ecol. Model.* 339, 23–32.
- Biggs, B.J.F., 1996. Patterns in benthic algae of streams., in: Stevenson R.J. et Al. (Eds.) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Birnie-Gauvin, K., Larsen, M.H., Nielsen, J., Aarestrup, K., 2017. 30 years of data reveal dramatic increase in abundance of brown trout following the removal of a small hydrodam. *J. Environ. Manage.* 204, 467–471.

- Chang, C.L., Kuan, W.H., Lui, P.S., 2010. Modeling watershed responses to typhoon events - a case study of Wulin catchment in Taiwan. *Fresenius Environ. Bull.* 19, 658–663.
- Chang, C.L., Kuan, W.H., Lui, P.S., Hu, C.Y., 2008. Relationship between landscape characteristics and surface water quality. *Environmental Monitoring and Assessment* 147, 57–64.
- Chang, H.Y., Chiu, M.C., Chuang, Y.L., Tzeng, C.S., Kuo, M.H., Yeh, C.H., Wang, H.W., Wu, S.H., Kuan, W.H., Tsai, S.T., Shao, K.T., Lin, H.J., 2017. Community responses to dam removal in a subtropical mountainous stream. *Aquat. Sci.* 79, 967–983.
- Chiu, M.C., Kuo, M.H., 2012. Application of r/K selection to macroinvertebrate responses to extreme floods. *Ecol. Entomol.* 37, 145–154.
- Chiu, M.C., Kuo, M.H., Chang, H.Y., Lin, H.J., 2016. Bayesian modeling of the effects of extreme flooding and the grazer community on algal biomass dynamics in a monsoonal Taiwan stream. *Microb. Ecol.* 72, 372–380.
- Chiu, M.C., Kuo, M.H., Sun, Y.H., Hong, S.Y., Kuo, H.C., 2008. Effects of flooding on avian top-predators and their invertebrate prey in a monsoonal Taiwan stream. *Freshw. Biol.* 53, 1335–1344.
- Chiu, M.C., Yeh, C.H., Sun, Y.H., Kuo, M.H., 2013. Short-term effects of dam removal on macroinvertebrates in a Taiwan stream. *Aquat. Ecol.* 47, 245–252.
- Chung, L.C., Lin, H.J., Yo, S.P., Tzeng, C.S., Yang, C.H., 2007. Stage-structured population matrix models for the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) in Taiwan. *Raffles Bull. Zool.* 151–160.
- Chung, L.C., Lin, H.J., Yo, S.P., Tzeng, C.S., Yeh, C.H., Yang, C.H., 2008. Relationship between the Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou*

- formosanus* population and the physical substrate of its habitat after partial dam removal from Kaoshan Stream, Taiwan. *Zool. Stud.* 47, 25–36.
- Hong, S.Y., Sharp, S.P., Chiu, M.C., Kuo, M.H., Sun, Y.H., 2018. Flood avoidance behaviour in Brown Dippers *Cinclus pallasii*. *Ibis* 160, 179–184.
- Hong, S.Y., Walther, B. A., Chiu, M.C. Kuo, M.H. Sun, Y.H., 2016. Length of the recovery period after extreme flood is more important than flood magnitude in influencing reproductive output of Brown Dippers (*Cinclus pallasii*) in Taiwan. *The Condor* 118:640-654.
- Kuan, W.H., Chang, C.L., Lui, P.S., 2009. A variety of meteorological and geographical characteristics effects on watershed responses to a storm event. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 59, 466–469.
- Kuo, Y.M., Yu, H.L., Kuan, W.H., Kuo, M.H., Lin, H.J., 2016. Factors controlling changes in epilithic algal biomass in the mountain streams of subtropical Taiwan. *PLoS ONE* 11, e0166604..
- Lin, H.J., Chen, L.L., Peng, S.E., Hung, M.C., Liu, P.J., Mayfield, A.B., 2018. The effects of El Niño-Southern Oscillation events on intertidal seagrass beds over a long-term timescale. *Global Change Biol.* 24, 4566–4580.
- Lin, H.J., Peng, T.R., Cheng, I.C., Chen, L.W., Kuo, M.H., Tzeng, C.S., Tsai, S.T., Yang, J.T., Wu, S.H., Sun, Y.H., Yu, S.F., Kao, S.J., 2012. Trophic model of the subtropical headwater stream habitat of Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus formosanus*. *Aquat. Biol.* 17, 269–283.
- Olsen, D.A., Townsend, C.R., 2005. Flood effects on invertebrates, sediments and particulate organic matter in the hyporheic zone of a gravel-bed stream. *Freshwater Biol* 50, 839–853.
- Peng, T.R., Lin, H.J., Wang, C.H., Liu, T.S., Kao, S.J., 2012. Pollution and variation of stream nitrate in a protected high-mountain watershed of Central Taiwan: evidence

- from nitrate concentration and nitrogen and oxygen isotope compositions. *Environmental Monitoring and Assessment* 184, 4985–4998.
- Relyea, R.A., 2001. Morphological and behavioral plasticity of larval anurans in response to different predators. *Ecology* 82, 523–540.
- Robinson, C.T., Aebischer, S., Uehlinger, U., 2004. Immediate and habitat-specific responses of macroinvertebrates to sequential, experimental floods. *J N Am Benthol Soc* 23, 853-867.
- Stevenson, R.J., 1996. The stimulation and drag of current., in: *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystem*. Stevenson, R. J., Bothwell, M. L., Lowe, R. L. and Thorp, J. H. (Eds.), Elsevier Science.
- Thomson, J.R., Hart, D.D., Charles, D.F., Nightengale, T.L., Winter, D.M., 2005. Effects of removal of a small dam on downstream macroinvertebrate and algal assemblages in a Pennsylvania stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 24, 192–207.
- Tsai, J.W., Chuang, Y.L., Wu, Z.Y., Kuo, M.H., Lin, H.J., 2014. The effects of storm-induced events on the seasonal dynamics of epilithic algal biomass in subtropical mountain streams. *Mar. Freshw. Res.* 65, 25–38.
- Tsao, E.H.S., 1995. An ecological study of the habitat requirements of the Formosan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*). Colorado State University, Colorado, USA.
- Uehlinger, U., 1991. Spatial and temporal variability of the periphyton biomass in a prealpine river (Necker, Switzerland). *Archiv für Hydrobiologie* 123, 219–237.
- Wang, C.M.J., 1989. Environmental quality and fish community ecology in an agricultural mountain stream system of Taiwan. Iowa State University, Iowa, USA.
- Yu, S.F., Lin, H.J., 2009. Effects of agriculture on the abundance and community structure of epilithic algae in mountain streams of subtropical Taiwan. *Bot. Stud.* 50, 73–87.

雪霸處以了解關心行動希望保育鮭魚 25 年

廖林彥

雪霸國家公園管理處 武陵管理站主任

這些年來，我們常常在想，臺灣櫻花鉤吻鮭對我們的意義到底是什麼？

那魚、生態、人、生活，到底哪一個重要？

農業跟保育到底能不能並存？

然一直也在思考說，我們怎麼去拯救牠？

希望有一天，臺灣櫻花鉤吻鮭能夠脫離絕種邊緣的困境。

一、復育代表希望

當我還是學生時期，聽到臺灣櫻花鉤吻鮭我就覺得很雀躍，牠是我們的國寶，就在臺灣神秘的中部山區裡面存活著。那很多人還沒有來過，或來過之後，我相信他們觀念一定是...神秘又抱著希望。那種一群人共同為了拯救一個物種在做一件事情，有一個共同目標在努力的時候；做得好，一個希望、做不好，可以改進，一個希望，一個拯救物種成功的希望，有希望你才有辦法去往前進，去克服很多困難，臺灣櫻花鉤吻鮭其實很多很多困難，從早期的技術問題，到現在是大環境的問題，沒有希望你根本做不了這件事。所以希望是一種力量，希望是一種改變環境的正面的力量。



圖 1 保護山林溪流物種是我們共同的未來

二、重要的環境指標

根據記載，臺灣櫻花鉤吻鮭在 1980 年以前數量非常多。常常在想，為什麼牠會越來越少？牠瀕臨滅絕，很多原因，其實都跟人有關，所以文明絕對是加速臺灣櫻花鉤吻鮭滅絕的很大的因子。站在全球的觀點，很多生物面臨到全球暖化的議題的時候，在臺灣的溫帶魚類櫻花鉤吻鮭也是同樣面臨生存挑戰，牠生長在七家灣溪十公里的河段，下游的水溫若越來越高的時候，農業汙染越來越嚴重的時候，牠勢必要往上不斷的移動。因此，以世界的的觀點看小小的臺灣溪流，我們能做什麼？我們就是把攔砂壩改善掉，把阻礙鮭魚往上溯的通道打掉，打掉之後，讓牠想去哪裡，牠就去哪裡，尤其是往上游去移動，去往合適、無污染的地方去生存。

三、推動河川復興運動-「退壩還水於河，退耕還田於林」

防砂壩因為淤積，使得河床變寬，河水變淺，造成水溫變化劇烈，並直接阻隔鮭魚上溯活動空間。雪霸處透過水工模型試驗作為拆壩試驗依據，並且協調各主管機關，終於在 1998 年及 2001 年接連改善高山溪 4 座防砂壩，提供鮭魚一個通行的廊道。後續監測發現除了棲地物理特性改變，棲地環境改善外，臺灣櫻花鉤吻鮭的數量也趨於穩定。2010 年開始則針對七家灣溪最下游的 1 號壩改善工作進行各項生態與工程評估，並於 2011 年 5 月進行改善。



圖 2 退壩還水於河 - 七家灣溪一號壩改善工程

森林是水的故鄉，森林植被的穩定並且直接影響生物族群的興衰。武陵地區因長期農墾開發，造成水質劣化，土壤沖刷嚴重，影響溪流棲地環境。因此雪霸處積極與武陵農場協商，希望武陵農場加速轉型，以生態旅遊為主，逐年減少農墾作業，收回農地植樹造林。多年來亦持續在七家灣溪河岸邊及回收之廢耕地上，進行各項造林活動與計畫，

種植楊梅、楓香、青楓、山枇杷、青剛櫟、山肉桂和臺灣赤楊等多種原生植物，希望可以逐漸改變武陵地區河岸植被景觀。除了上述造林工作外，雪霸處經內政部核准徵收武陵地區最後的 8.1 公頃私人土地，於 2006 年 12 月 6 日完成武陵地區徵收法定程序，土地登記移轉為雪霸處所管轄。至此，武陵農場內七家灣溪旁國寶魚重要棲息地內已經沒有任何高冷蔬菜種植。

四、鮭魚保育與國際接軌

從保育政策的擬定、復育技術的精進、研究計畫的提升、協助部落護魚隊的成立、加強保育巡查及推動生態教育的宣導等，都直接和間接影響臺灣鮭魚的生存。這些保育觀念及研究成果有很多是國內保育前輩的啟蒙開發，特別是在雪霸國家公園成立前由張崑雄老師所率領的研究團隊，累積的研究結果至今仍是我參考的重要依據。此外，從 2000 年於南投集集召開國際研討會制定「臺灣櫻花鉤吻鮭保育行動策略芻議」，開啟了我與國際頂尖的鮭鱒魚類專家交流的機會。著名的鮭魚保育繁養殖場專家 Dr. Paul Klinea 面授機宜如何生產健康的養殖族群，並提供珍貴的研究論文。有鑒於日本鮭鱒魚類復育技術及保育觀念的領先，2005 年赴北海道立水產孵化場及道南支場一個月時間修習鮭魚復育技術、養殖場管理及溪流魚類調查的方法。2006 及 2007 年，在鮭魚繁殖季節邀請本處顧問北海道榮譽教授小野里老師在武陵長駐三星期，一對一親自指導之下，獲益良多。長野縣水產孵化場長古川賢男博士及寒地土木研究所村上泰啟主任研究員等亦都曾蒞臨武陵「臺灣櫻花鉤吻鮭生態中心」交流鮭魚保育及棲地復育方法。2018 年起與日本宮城縣教育大學等合作鮭魚移動模式長期追蹤。以上國際合作皆有重大的成果發現。

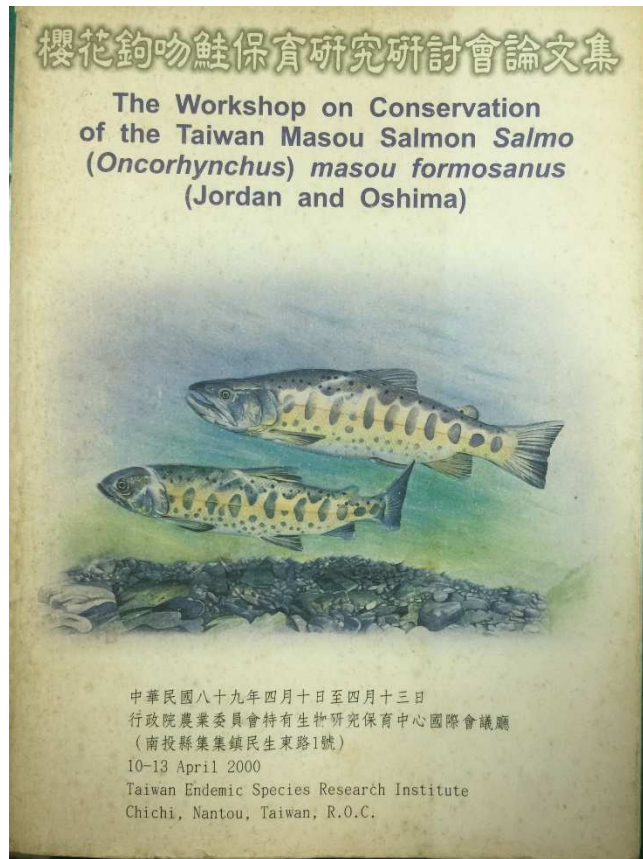


圖 3 1999 年召開臺灣櫻花鉤吻鮭國際研討會制定保育三階段

五、保育的態度關乎文化水準與政府決心

從事物種保育工作首在對於標的物種特性的了解，這樣才能找到問題，然後用正確的方法來去解決所面臨的問題。世界上許多生物種類的滅絕，大多數都與人為活動有關，也有極少數卻因為人類的努力而躲過絕種危機。當臺灣櫻花鉤吻鮭數量急遽降至數百尾時，其中不乏悲觀絕望的觀點，甚至出現十年內終將滅絕的論調。其實，這些看法雖然是有所根據，縱使許多人不同意也不喜歡這樣的論點，但是基因群窄化現象卻是不爭的事實。1984-2000 年間難道從事此物種保育相關研究的學者們不努力嗎？問題究竟在哪裡？十年一晃就過去了，當時一定沒有人會想到有一天可以看到就在日據時代鮭魚量相當多

的羅葉尾河流域，曾經一度在此絕跡的臺灣櫻花鉤吻鮭，自從 2009 年在雪霸處及大家的努力下只放流兩次(合計約 550 尾)，迄今(2012 年 12 月)已經形成了一個非常重要而穩定的衛星族群，況且數量超過 1200 尾（等同於 2014 年七家灣流域族群數量）。這是因為我們的努力終於逐漸顯示成果！國寶魚會不會滅絕已經不是一個單純物種絕跡的問題了，而是文化水準的表徵及政府對於國土保育的決心。透過行銷、廣告、教育等手段，環境保育觀念深耕於國人心中，人人珍惜愛惜環境，保護生命，遂使雪霸處所推動的各項計畫與措施得以順利執行與落實。前人辛苦努力所累積的知識與經驗，讓我們享受了目前的成果。但是我們更要兢兢業業，校正以前的錯誤，例如在十月份放流有生殖力的種魚，在十一月馬上可以參與繁殖，到隔年颱風之前新增幼魚增進躲避能力。陸封鮭魚是定棲性的魚類，棲地的改善、經營與管理就變得格外重要。歷史棲地放流所以能夠成功，也只不過是排除了人為因素的干擾，讓時空能夠回到從前而已。至於棲地環境恢復到何種程度，就必須進行實際生態監測調查。除了七家灣溪、高山溪以及羅葉尾溪等幾個鮭魚較多屬於良好測站的地點之外，也選定其他較差的測站並積極與司界蘭溪、樂山溪和合歡溪的環境狀況相互比較，藉以整合放流後各項監測指標如食物豐度（昆蟲調查研究）鮭魚族群大小與成長及肥滿度狀況加以比對分析以得到更多關於棲地的時空變化軌跡資訊。俾使物種保育、科學研究與文化傳承結為一體，得以生生不息。2017 年起與太魯閣國家公園跨域合作，2018 年放流 1000 尾一齡臺灣櫻花鉤吻鮭至合歡溪，並與南投翠華社區組成巡守隊，達成政府、軍、警與民達成共同維護國寶魚活存的默契。2019 年也預定再放流 1000 尾，讓臺灣櫻花鉤吻鮭在海拔 2500 公尺以上的溪流開啟另外的生存棲地。



圖 4 2017 年 10 月 26 日以人力背負鮭魚放流至合歡溪歷時 8 小時





圖 5 2017 年「攜手同心，溯源保種」跨域合作放流合歡溪作業

圖 6 一齡幼鮭

六、臺灣櫻花鉤吻鮭保育生物學

臺灣櫻花鉤吻鮭雌魚孕卵數隨著體長增加而增多，且養殖族群顯著高於野生族群。野外雌魚的體型、肥滿度和孕卵數與當年的環境承載量和颱風事件有關係。生殖腺指數雄性鮭魚(0+ 齡)大於 1+ 齡的鮭魚。種魚的上顎長/全長及下顎長/全長比值雄性顯著大於雌性。水溫控制在 11、13、15°C 及對照組(自然溪水)環境下卵的受精率及各期孵化率均無顯著差異，其中受精率： $96.6 \pm 4.0 \sim 93.6 \pm 5.2$ (%)，發眼率： $79.6 \pm 11.3 \sim 76.4 \pm 12.6$ (%)，孵化率： $75.6 \pm 9.5 \sim 72.0 \pm 12.2$ (%)，

上浮率： $69.6 \pm 8.8 \sim 56.8 \pm 10.8$ (%)。孵化積算水溫為 $453.9 \pm 10.4^{\circ}\text{C}$ 天，上浮期積算水溫為 $662.3 \pm 13.0^{\circ}\text{C}$ 天。產卵場的面積 $0.23 \sim 1.9\text{m}^2$ ，平均 $0.7 \pm 0.5\text{m}^2$ ；水深 $23.5 \sim 51.7\text{cm}$ ，平均 $29.4 \pm 12.8\text{cm}$ ；水面下流速 $0.1 \sim 0.6\text{cm}/\text{sec}$ ，平均 $0.4 \pm 0.1\text{ cm}/\text{sec}$ ；卵粒埋藏深度介於 $3.0 \sim 22.5\text{cm}$ ，平均 $8.3 \pm 6.3\text{cm}$ 。



圖 7 人工復育取卵



圖 8 孵化暨馴餌系統發明專利

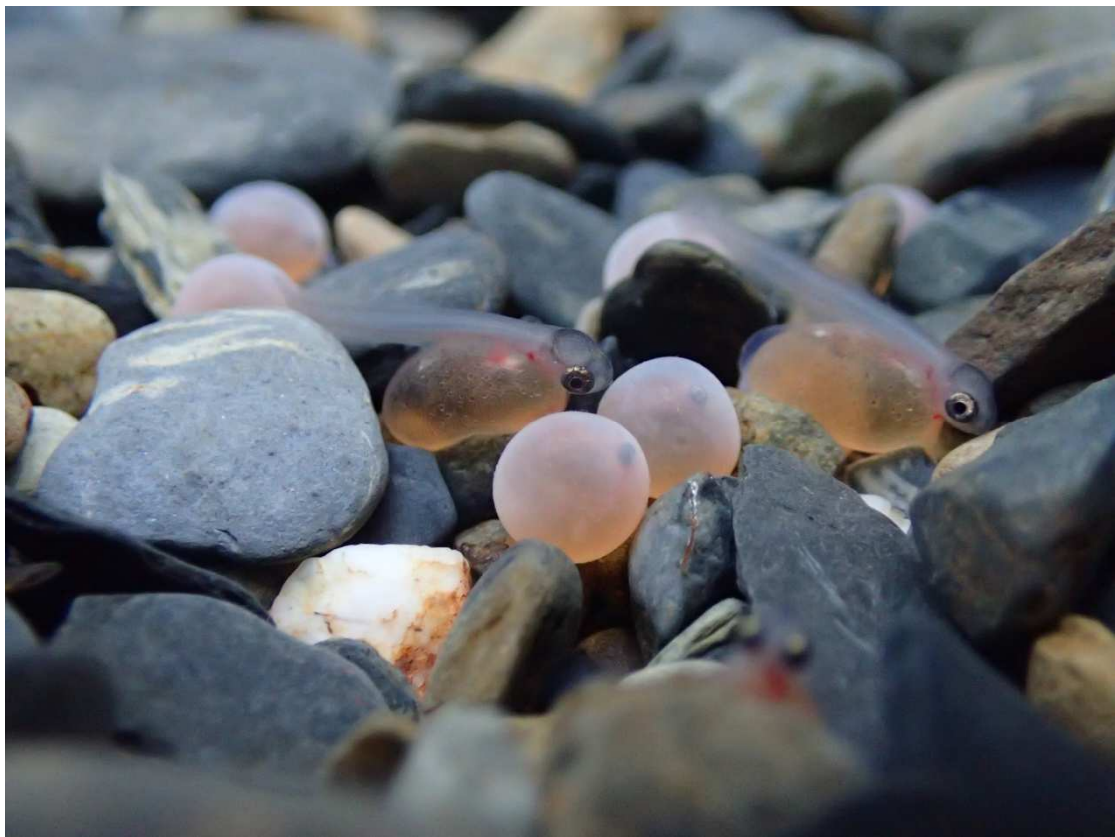


圖 9 水溫 10°C、45 天孵化成卵黃囊期鮭魚

最小成熟年齡雄魚為 0^+ 齡，雌魚為 1^+ 齡。繁殖後雌雄鮭魚不必然死亡。最長壽命為 3^+ 齡。早熟雄魚(0^+ 齡)體型顯著大於同齡相同性別者；生長速率同齡種魚雄性顯著高於雌性，並隨著年齡增長有下降的趨勢。

移動模式：

1. 移動時間集中在白天，始於日昇止於日落；晝間進入急瀨，夜間回到深潭。
2. 日平均移動距離隨放流時間增加而減少，而競爭力低下的個體會在相鄰數個深潭間頻繁上下游移動，直到尋找到適合的棲地。
3. 定棲個體日常活動距離平均值以所居住的深潭為中心往上下游河段各 563 公尺間之範圍來回游動。
4. 具有方向判斷能力之返鄉移動行為。

依臺灣櫻花鉤吻鮭食性結構特性分析發現陸域無脊椎動物對於體型大的魚體個體相較於體型小的個體具有較大的貢獻度；至於陸域無脊椎動物較高豐量的季節大都出現在鮭魚棲地適逢濕季而具有較高的空域覆蓋度時，因而反應在魚體食性結構組成比例之中。

在臺灣櫻花鉤吻鮭絕跡的歷史溪流區段仍普遍受到攔砂壩及農業活動的威脅，因此放流策略建議如下：

1. 放流地點選擇：流量小、有洪水僻護棲地的溪流源頭或支流

為優先。

2. 放流的最佳時機：颱風期後、繁殖季前。
3. 放流年齡(體長)：生產力最大的 1+ 齡鮭魚(體長: 15-20 cm)。
4. 多點放流：分散放流風險，有助益放流族群的擴散。



圖 10 研究團隊執行桃山北溪鮭魚族群數量調查

七、許臺灣櫻花鉤吻鮭一個瓜瓞綿延的未來

臺灣櫻花鉤吻鮭是環境的指標，生長良好顯示環境不錯，生長不好甚至滅絕，表示環境已經不適合了鮭魚生存，所謂「今日魚類、明日人類」一樣的道理，臺灣鮭魚生長的大甲溪是德基水庫的集水區，亦是大臺中地區民眾主要飲用水來源，若早我們十萬年前來到臺灣的鮭魚都無法繼續生活，水質污染對飲用者的嚴重性，可想而知。就像

「拯救鮭魚 736」，描述編號 736 的鮭魚從河海交接處往上洄游至上游產卵場，期間遭遇到同伴的死亡和土地開發、破壞，道盡人類對於環境的不疼惜。臺灣鮭魚若會說話，一定有很多的感想要訴說。臺灣 1800 公尺高海拔的溪流生活著一種流動珍貴如金的珍寶-臺灣櫻花鉤吻鮭，不僅是臺灣國寶，亦是世界注目的孑遺物種，目前最重要的任務就是擴展臺灣櫻花鉤吻鮭生存空間，讓臺灣櫻花鉤吻鮭游出七家灣溪。雪霸處每年放流養殖族群數百至數千尾至歷史曾經存在的溪流，希望放流的鮭魚就像爬藤植物瓜類般，一但播了種，就會不斷地向四周拓展、生長、開花和結果。



圖 11 許臺灣櫻花鉤吻鮭生生不息、瓜瓞綿延的未來

八、愛臺灣，從保育臺灣山林開始

很多人質疑「保育國寶魚對於人類有什麼好處」、「投入的保育經費不如直接挹注地方建設」等，我們都試著從臺灣櫻花鉤吻鮭生存的溪流環境談起，七家灣溪為大甲溪的源頭，匯流至德基水庫，然後流經臺中各區域，一部分進入自來水廠，供應大臺中地區民生用水，大部份流入臺灣海峽。假使國寶魚生長的不理想，表示七家灣溪水質不佳，在下游的淨水場必須花費更多的步驟才能符合飲用水標準，但是有很多溶入水中農藥和肥料等化學物質並不是能夠移除，潛在對人類的安全造成很大影響；而出海口接受到高污染的水質，會直接影響沿岸海域生態，降低漁獲量，造成生態浩劫。

七家灣溪發源自雪山和桃山山脈，國家公園規劃為生態保護區，受到法令嚴格保護，每日登山人數必須在承載數量之內，登山秩序仰賴登山客自主維護，永續保育臺灣最後一片淨土。愛臺灣，可以有很多方式。從保育臺灣櫻花鉤吻鮭、愛護臺灣中央山脈及淨化登山心靈開始。期盼能夠以更謙卑的心來尊敬大自然，愛護我們所生存的每一吋土地及物種，愛自己認識及不認識人、接納理念相同及不相同的人，達到「敬天惜地愛人、求真求善求美」的目標。

九、展望未來

1. 持續進行生態監測及研究
2. 改善鮭魚棲地並返回歷史溪流
3. 與各機關及部落持續合作保育
4. 灑下環境教育種子向下紮根

最後以國際保育大使珍古德博士曾經說過的話自我惕勵未來的保育工作：唯有了解，我們才會關心；唯有關心，我們才會採取行動；唯有行動，生命才会有希望。

十、參考文獻

大島正滿，1935。泰雅的呼喚。第一書房，139 頁。

汪靜明，2000。臺灣櫻花鉤吻鮭復育策略。櫻花鉤吻鮭保育研究研討會。南投：內政部營建署雪霸國家公園管理處、行政院農業委員會特有生物研究保育中心，290-295 頁。

林曜松、曹先紹、張崑雄、楊平世，1988。櫻花鉤吻鮭生態之研究(二)族群分佈與環境因子間關係之研究。農委會 77 年生態研究第 012 號，39 頁。

曾晴賢，2014。武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-魚類研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處，計畫執行專刊 9101 號。

黃沂訓，2011。臺灣櫻花鉤吻鮭歷史棲地— 有勝溪及羅葉尾溪環境

生態監測及評估期末報告。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

苗栗。

葉昭憲，2011。臺灣櫻花鉤吻鮭歷史棲地— 有勝溪及羅葉尾溪環境

生態監測及評估期末報告。內政部營建署雪霸國家公園管理處。

苗栗。

廖林彥，2002。臺灣櫻花鉤吻鮭保育現況。與臺灣櫻花鉤吻鮭有約論

文集，24-31 頁。

廖林彥，2003。臺灣櫻花鉤吻鮭人工復育。與臺灣櫻花鉤吻鮭有約保

育研討會論文集。雪霸國家公園管理處。

廖林彥，2004。臺灣櫻花鉤吻鮭移地保育之研究。雪霸國家公園管理

處自行研究案，63 頁。

劉逸夫、廖林彥，2008。魚卵孵化暨魚苗培育槽。中華民國專利證書

發明第 296501 號，經濟部工業局。