

以無線電追蹤探討
七家灣溪一號壩改善前後
對台灣櫻花鉤吻鮭移動模式之影響

雪霸國家公園管理處自行研究報告

中華民國一百年十二月

100301020500G2003

以無線電追蹤探討
七家灣溪一號壩改善前後
對台灣櫻花鉤吻鮭移動模式之影響

執行單位：雪霸國家公園管理處

研究人員：廖林彥、陳嘉修

協同人員：張偉根、王振偉

郭庭宏、謝承叡

雪霸國家公園管理處自行研究報告

中華民國一百年十二月

目 次

表次	II
圖次	III
摘要	IV
第一章、計畫緣起與目的	1
第二章、研究方法	4
2-1、研究範圍	4
2-2、無線電標籤之植入與位置追蹤	5
第三章、工作成果	10
3-1、七家灣溪一號壩改善前階段	10
3-2、七家灣溪一號壩改善工程進行中階段	12
3-3、七家灣溪一號壩改善後階段	14
第四章、結果分析及討論	17
第五章、結論與建議	18
5-1、結論	18
5-2、具體建議	19
參考文獻	20

表 次

表一、實驗台灣櫻花鉤吻鮭基本資料及定位資料筆數(ID45~85)	8
表二、實驗台灣櫻花鉤吻鮭移動距離及上溯位置表(ID45~54)	10
表三、實驗台灣櫻花鉤吻鮭移動行為模式分析表(ID45~54)	11
表四、實驗台灣櫻花鉤吻鮭移動距離及上溯位置表(ID65~85)	16

圖 次

圖一、為了鮭魚保育和國土保安，雪霸處執行台灣第一次防砂壩改善工程	2
圖二、實驗範圍為大甲溪上游七家灣溪一號壩至三號壩之間	4
圖三、實驗鮭魚捕捉方法 (a~c) 及植入發報器步驟 (d~h)	6
圖四、體外標誌、實驗鮭魚及無線電追蹤	7
圖五、七家灣溪一號壩改善工程進行過程	12
圖六、七家灣溪一號壩改善工程進行中階段台灣櫻花鉤吻鮭追蹤定位結果	13
圖七、七家灣溪一號壩改善後階段台灣櫻花鉤吻鮭追蹤定位結果	15

摘 要

關鍵詞：台灣櫻花鉤吻鮭、無線電追蹤、壩體改善、溯河返鄉

本研究針對七家灣溪一號壩附近之台灣櫻花鉤吻鮭族群，將無線電發報器植入體內，並配合七家灣溪一號壩棲地改善工程之時程，密集追蹤紀錄台灣櫻花鉤吻鮭於溪流中之位置及其所在區域之棲地型態，以驗證台灣櫻花鉤吻鮭之棲地利用行為，並探討七家灣溪一號壩改善前後對台灣櫻花鉤吻鮭移動之影響以及七家灣溪一號壩改善工程之生態效益。

本研究於壩體改善前階段標記之十尾實驗鮭魚，並將其自其原棲地移置於七家灣溪一號壩下游。其中有 70%（共計 7 尾）出現往上游方向溯游之返鄉行為；其中更有 40%（共計 4 尾）上溯至七家灣溪一號壩正下方之深潭。實驗結果顯示出台灣櫻花鉤吻鮭在遭受外力改變棲息位置及面臨棲息環境改變時，會出現具有正確方向之辨識能力之溯游返鄉行為，且一號壩之聳立確為其上溯行為形成無法克服之阻礙。

本研究壩體改善施工中階段針對七家灣溪一號壩下游區域之族群，標記之十尾台灣櫻花鉤吻鮭並放流回其原棲息位置。於施工期間所有標記個體均成功存活，結果顯示在施工進行期間內所造成之水體內懸浮顆粒撞擊以及濁度劇烈升高等因素，尚不致對下游鮭魚族群造成立即致命之影響；而在工程完工後，由於壩體下游區域棲地型態的改變，至少有 60%（共計 6 尾）於工程完工後即刻向上游方向移動，並通過七家灣溪一號壩改善新增之通道，於一號壩上游區域另行尋找合適棲地棲息。施工期間一號壩下游的實驗鮭魚胃內含物明顯偏少。

本研究於壩體改善後階段針對分屬於七家灣溪上游觀魚台及舊復育中心兩處之族群，共計標記 20 尾實驗鮭魚。實驗結果顯示，其中被移置於下游之實驗鮭魚絕大部分（90%，共計 9 尾）表現出具有正確方向之長距離上溯返鄉移動行為，其中更有 70% 確認其溯游過程中成功利用一號壩壩體改善後所新形成之河道，返回上游之原棲地。本階段實驗結果正式驗證了七家灣溪一號壩壩體改善工程確實對台灣櫻花鉤吻鮭溯游返鄉行為之助益。

Abstract

A radio telemetry study of Formosan landlocked salmon movement pattern responding to Cijiawan #1 Dam removal

Keywords: Taiwan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*)、
radio telemetry 、 dam removal 、 upstream homing

Distributed only in Cijiawan Stream in Wuling area, Taiwan landlocked salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) has been endangered because of the habitat degradation due to area development and climate change. Cijiawan #1 dam has blocked the longitudinal connectivity of the stream and restricted Taiwan salmon from moving freely to choose adequate habitat for their living needs or adjustments to environmental disturbance.

This research captured Taiwan landlocked salmon from population close from Cijiawan #1 dam, and relocated them downstream the dam after surgically implanting radio telemetry tags. By mimicking flood wash down situation in typhoon season, after release, the samples are tracked for their daily position and movement pattern. The research was taken placed in three phases: before the #1 dam removal, during dam removal construction, and post dam removal. The result from 1st phase clearly shows Taiwan landlocked salmon's home coming behavior after misplaced, and demonstrated the Effect of Cijiawan #1 Dam on Taiwan salmon in stream movement barrier; the 2nd phase shows the salmon were influenced by the temporary construction impact but managed to survive through it and moved upstream to search for suitable habitat because their original habitat was severely changed with the sediment release; the 3rd phase shows Taiwan landlocked salmon were able to utilize the newly restored passage from #1 dam for long-range longitudinal movement.

第一章 計畫緣起及目的

台灣櫻花鉤吻鮭目前主要僅存於雪霸國家公園武陵地區之七家灣溪，原為太平洋洄游性鮭魚，經長時間演化，已喪失降海生長習性，成為陸封於大甲溪流域上游、終生在高冷的森林溪流中完成其生活史的初級性淡水魚。然而，近年來受到氣候變遷以及人為因素的影響，導致集水區環境與溪流生態發生變化，使得台灣櫻花鉤吻鮭面臨棲地劣化及生存的危機。其中，河道內之橫向水工構造物，更直接造成棲地環境變化，影響河川生態系統的功能性以及其結構的完整性。

防砂壩的興建，在水資源工程方面，具有攔阻砂石、防止進入水庫造成淤積的功能，但是在河川環境生態方面，卻往往造成負面的影響。七家灣溪一號壩造成上游的砂石嚴重堆積，使得防砂壩上形成平坦河床，一方面喪失棲地多樣性，另一方面也造成水溫因流速減低而容易升高，惡化台灣櫻花鉤吻鮭棲息環境。此外，防砂壩對鮭魚最大的影響在於隔離其自由行動，雖然台灣櫻花鉤吻鮭已經因為地質事件及自然演化而被陸封在台灣島高山地區，但是在繁殖季節仍會上溯到河川上游較低溫地區，洪水來臨時也會找尋合適的避難場所，因此防砂壩的聳立已造成各河段間的鮭魚無法交流，也限制了鮭魚對棲息環境的選擇。

Huntingford (1998) 針對大西洋鮭魚 *Salmo salar* 的在人工河道環境內的移動行為研究指出，大西洋鮭魚針對固定的棲地型態及特定的棲地範圍表現出特定之定棲行為 (sedentary) 之後，在面臨被人為移置到其他河段之狀況、亦或棲息環境條件改變之時，會有移動返回至原棲息區域，或移動尋找原溪號之棲地型態之行為。此外，Armstrong (1997) 透過於天然河道內之無線電標記追蹤的研究更發現，生活於河川淡水水域的棕鱒 *Salmo trutta* L.，遭人為移置離開原棲息區域 (800m-3600) 後，在短時間 (0-4 天之內) 之內，有刻意移動並正確判斷上下游方向的長距離返鄉性移動行為。因此防砂壩的聳立確實可能造成各河段間的鮭魚無法交流，也限制了鮭魚對適合棲息環境的選擇。



圖一、為了鮭魚保育和國土保安，雪霸處執行台灣第一次防砂壩改善工程

七家灣溪一號壩位於七家灣溪主流上，因壩體後方泥沙完全淤積，已喪失其設置之攔阻砂石、減緩水庫淤積之功能，且壩體所形成上下游高達十五公尺之落差，亦嚴重阻斷河道之連續性，導致台灣櫻花鉤吻鮭上下溯游的阻礙，而限制了鮭魚對適合棲息環境的選擇與面臨棲地環境變遷的應變能力。雪霸國家公園管理處 2007 年委託辦理之「七家灣溪壩體改善研究評估」計畫指出，七家灣溪沿岸防砂壩改善優先順序以一號壩為最優先辦理。而為擴大珍稀瀕危物種—台灣櫻花鉤吻鮭的族群交流，本處自 2009 年起進行壩體改善作業會勘，並積極邀集學者及相關單位研擬改善措施。

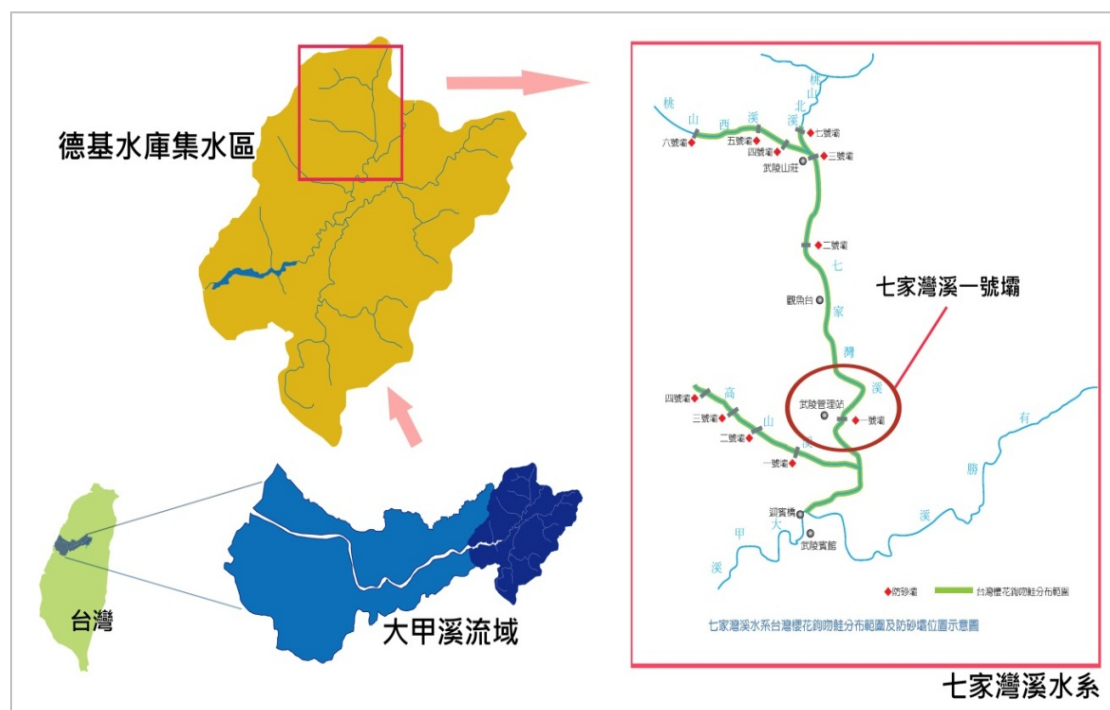
本研究針對七家灣溪一號壩附近之櫻花鉤吻鮭族群，將無線電發報器植入部分台灣櫻花鉤吻鮭體內，並配合七家灣溪一號壩棲地改善工程之時程，密集追蹤紀錄櫻花鉤吻鮭於溪流中之位置及其所在區域之棲地型態。藉由分析櫻花鉤吻鮭在七家灣溪一號壩上下游區域的移動行為模式，比較七家灣溪一號壩棲地改善工程前後櫻花鉤吻鮭生活行為與其棲地利用模式之異同，以便瞭解及掌握櫻花鉤吻鮭對不同型態棲地之利用行為，並提供七家灣溪一號壩棲地改善工作對溪流棲地生態環境復育及對櫻花鉤吻鮭族群保育效益評析之重要參考資料。

第二章 研究方法

2-1、研究範圍

七家灣溪為大甲溪上游的主要支流之一，位於武陵地區北方，集水區源頭主要為雪山北稜與桃山品田支稜山脈，全長約 15.3 公里，集水面積約 5,603 公頃，上游包括桃山西溪與桃山北溪（舊稱無名溪）兩條支流，兩溪匯流於武陵吊橋以下三號防砂壩附近。七家灣溪流域河段棲地富變化且遮蔽性高，造就低水溫高隱匿環境，是現今台灣櫻花鉤吻鮭唯一棲息河域。

本計畫之研究範圍原以七家灣溪一號壩棲地改善工程對河川棲地生態以及對台灣櫻花鉤吻鮭之棲息之可能影響的範圍為主。下游範圍約延伸至台灣櫻花鉤吻鮭主要族群分佈界線迎賓橋附近；上游範圍主要則以一號壩改善後對上游區域可能造成河床下切的影響範圍，約至壩上 800 公尺左右為主。但由於實驗對照組之操作需要，以及無線電標記鮭魚之實際移動狀況，本計畫之上游研究範圍最後延伸至七家灣溪三號壩為止（詳參圖二）。



圖二、實驗範圍為大甲溪上游七家灣溪一號壩至三號壩之間

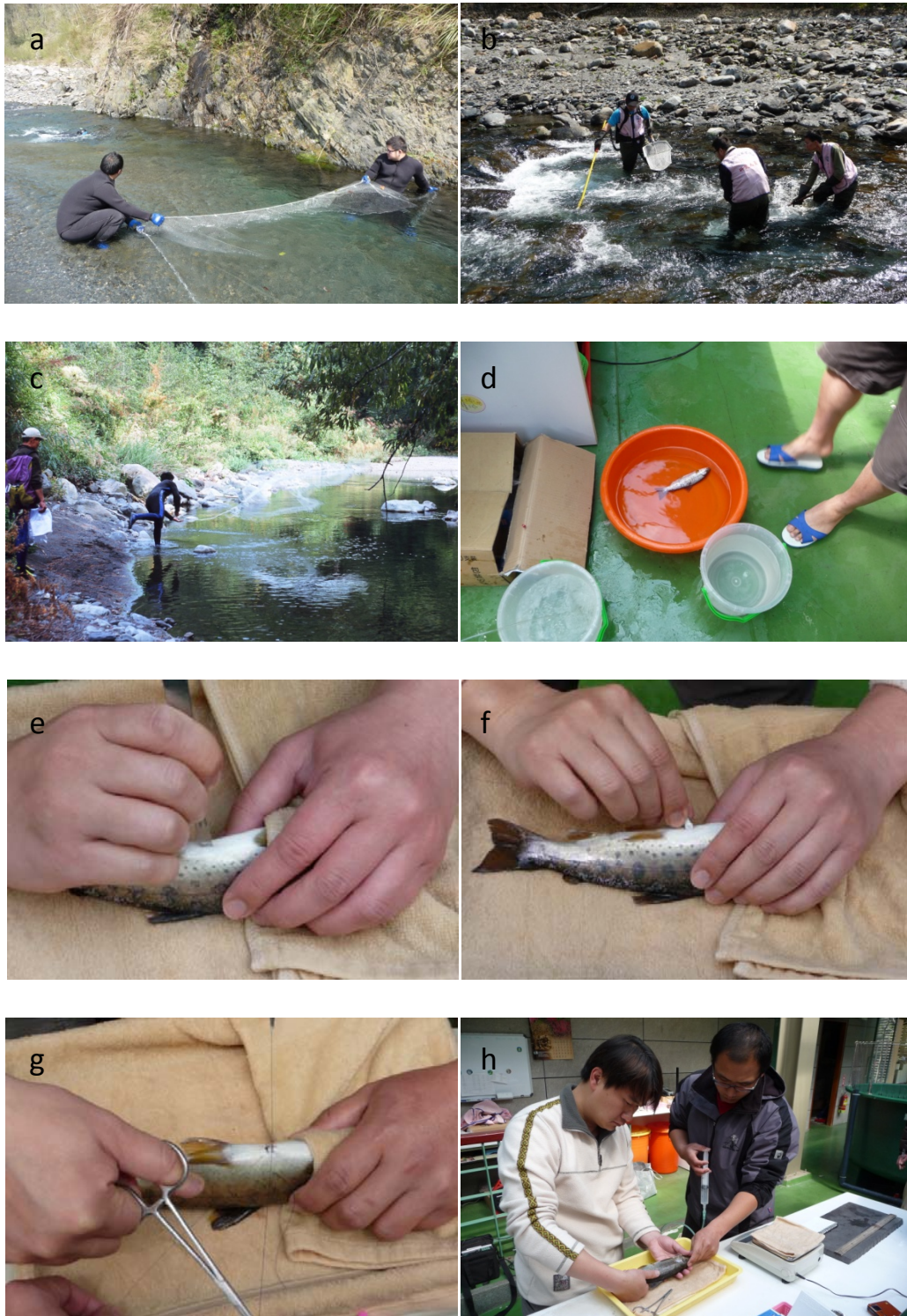
2-2、無線電標籤之植入與位置追蹤

本研究實驗魚種台灣櫻花鉤吻鮭，為全球鮭鱒魚類分佈的最南限，屬於陸封型的鮭魚，目前僅生存在七家灣溪流域，野外族群數量依季節及棲地天然條件之變化，目前約暫時穩定為 2000-4000 尾，屬於瀕危滅絕的保育物種。本實驗主要利用台灣櫻花鉤吻鮭野生族群，在實驗範圍內依據實驗設計需求在數個特定之深潭區域利用投網法捕捉後，再進行無線電標籤之植入。

無線電標籤之植入及利用其無線電訊號進行實驗魚體之位置追蹤的實驗方法，針對魚類在天然環境內之移動行為研究，已被證實為一相當有效且可提供直接科學證據的方法 (Cooke et al., 2004)。許多國外研究也已透過無線電追蹤技術之利用，成功紀錄並分析魚類在不同季節，或針對不同目的例如覓食、避難及繁殖等驅動因素，所進行之棲地利用行為與移動模式的改變 (Meka et al., 2003; Muhlfeld and Marotz, 2005; Schmetterling, 2001)。

本研究所使用之無線電標籤，內含微小發報器及電池模組 (Lotek Engineering, Newmarket, Ontario, Canada: NTQ-2, 空氣中乾重 0.3 g, 長 10.0mm, 寬 5.0mm, 厚 3.0mm high, 尾部軟質天線長約 18cm)，無線電發報單元每隔 8-10 秒發報一次訊號，其訊號由接收器接收時，除信號之強弱可作為實驗魚體與接收器所在位置相對距離遠近之判斷外，其訊號也另外包含個別標籤之識別號碼，可供作特定個體之辨識。電池使用壽命約約為 36 天。

無線電發報器及體外標誌植入步驟為先使用麻醉劑將實驗魚麻醉後，置於手術桌上，測量全長和重量後，將腹部朝上，在胸鰭和臀鰭中央 (靠近臀鰭基部處) 以手術刀在表皮切開 1.5 公分的長度，將微小發報器植入腹腔內，同時以注射針頭穿過一邊的表皮，將無線電線推入注射針筒內順勢拉出魚體外，然後將傷口以手術線縫合，並進行基本之殺菌等傷口處理。另外除無線電標籤之植入外，另外將鮮豔顏色之體外標誌置於在實驗魚背鰭前方，以作為後續現地追蹤時與其他野生族群之識別。上述植入動作約在四分鐘內完成後，將實驗魚蓄養在打氣的養殖桶內等待甦醒，並觀察其麻醉恢復及手術癒合是否影響其游動行為，等恢復正常游泳能力時，於至少 24 小時後，將實驗魚放入實驗設計規劃之特定河段，以進行後續位置追蹤。



圖三、實驗鮭魚捕捉方法 (a~c) 及植入發報器步驟 (d~h)

a: 圍網法 b: 電氣法 c: 投網法

d: 麻醉 e: 剖腹 f: 植入發報器 g: 縫合 h: 復甦



圖四、體外標誌、實驗鮭魚及無線電追蹤

有關無線電標籤或其他外物植入魚體等手術方法，對於魚類存活率、攝食行為及游泳能力等方面之可能影響，Winter (1983) 提出植入之標籤之重量建議小於實驗於重量之 2%，方可避免其他負面影響。近年學者 (Brown 2006, 2010) 依據養殖環境與野生環境等實際之實驗結果，更建議將魚類可接受外來標籤植入且不會受顯著影響的重量比例上限建議修正到 4.3% - 10.9%。Chittenden (2009) 之實驗結果，更針對 6mm×19 mm 等級尺寸標籤之植入，建議最小魚體應至少體長 11cm，至少重 15g 以上。本研究所使用之標籤在尺寸及重量上皆更短更輕，且所捕捉魚體皆為至少一齡以上之成魚，體長及體重皆遠大於前列研究之建議值 (詳參表一)，故可推論該標籤之植入，並不會對實驗魚體之存活率、攝食行為及游泳能力等造成任何顯著之負面影響。

研究人員將於研究期間內，每日定時沿著實驗的河流旁，以無線電接收器 (model SRX_400 and SRX_600; Lotek Engineering, Newmarket, Ontario, Canada) 追蹤鮭魚體內無線電發報器發射的個別訊號，當訊號接收至最大時，再輔以目視法確定鮭魚位置，並紀錄當時個體的停留之位置及鮭魚棲地利用行為之特性。並利用事先於河道內所設置之距離標示及全球定位系統 GPS 資料，推算定位位置

與相關地標之相對距離，以作為移動距離與棲地利用範圍換算之用。除部分因無線電發報器器材及天候與河道地形限制等因素之影響外，本研究共計紀錄 1479 筆定位資料（詳參表一）。

表一、實驗台灣櫻花鉤吻鮭基本資料及定位資料筆數(ID45~85)

編號	全長（公分）	重量（公克）	定位次數
45	24.0	133.5	64
46	29.5	266.0	1
47	21.0	87.9	28
48	23.0	117.1	60
49	19.5	77.6	64
50	24.0	139.9	62
51	20.5	98.1	63
52	27.5	184.0	59
53	21.0	95.6	59
54	26.0	207.8	63
55	25.0	149.3	26
56	24.5	158.6	54
57	24.6	138.3	62
58	26.0	171.7	60
59	25.5	131.7	68
60	24.5	167.7	58
61	24.0	141.2	70
62	23.8	158.5	42
63	26.2	178.0	57
64	26.7	172.2	49
65	16.5	183.1	20

表一、實驗台灣櫻花鉤吻鮭基本資料及定位資料筆數 (續)

編號	全長 (公分)	重量 (公克)	定位次數
66	26.0	153.8	23
67	26.5	188.7	20
68	27.5	224.2	24
69	29.0	247.1	25
70	25.5	196.9	4
71	25.5	200.5	20
72	24.0	148.0	20
73	26.5	174.2	22
74	26.0	172.6	21
75	29.0	108.1	23
76	26.6	182.2	24
77	23.4	118.5	21
78	16.5	183.1	20
79	24.6	148.0	23
80	23.9	106.2	9
81	23.4	121.5	22
82	24.4	137.8	23
83	23.8	122.3	21
84	22.4	112.8	23
85	24.3	102.5	22
		共計	1479

第三章 工作成果

3-1、七家灣溪一號壩改善前階段

本研究於七家灣溪一號壩改善前階段所標記之十尾實驗台灣櫻花鉤吻鮭 (ID#45 至 ID#54)，在距七家灣溪一號壩上游約 300-800 公尺處之深潭區域內捕捉後，經植入無線電標籤後，移置於七家灣溪一號壩下游約 500 公尺後，於研究期間 (100 年 3 月 16 日至 100 年 4 月 22 日) 之追蹤定位結果發現：有 70% (共計 7 尾) 出現往上游方向溯游之返鄉行為；在出現返鄉行為的鮭魚中，更有 40% (共計 4 尾) 上溯至七家灣溪一號壩正下方之深潭 (詳參表二)，顯示出台灣櫻花鉤吻鮭在遭受外力改變棲息位置及面臨棲息環境改變時，會出現溯游返鄉行為，並具有正確方向之辨識能力，且一號壩確為其上溯行為形成無法克服之阻礙。

表二、實驗台灣櫻花鉤吻鮭移動距離及上溯位置表(ID45~54)

編號	移動距離總計 (公尺)	平均每日移動 距離 (公尺)	最遠上溯位置與 一號壩距離 (公尺)
45	360	9.47	320
46	N/A*	N/A*	10*
47	450*	34.62*	220*
48	790	21.94	10
49	220	5.79	460
50	990	26.05	10
51	580	15.26	220
52	850	23.61	10
53	330	10.65	480
54	160	4.21	480

*註:編號46及47之實驗鮭魚，分別於100年3月16日及100年3月29日後便失去無線電訊號，無法進行每日之追蹤定位。但該兩隻實驗鮭魚又分別於100年4月26日及100年5月12日於距離七家灣溪一號壩約10公尺及220公尺處之深潭被研究團隊捕獲。紅字表示已經移動到壩下的深潭區。

本研究所紀錄之實驗鮭魚返鄉移動行為之平均每日移動距離以及使用棲地範圍之資料顯示（詳參表三），鮭魚返鄉移動行為模式中，前十天之平均每日移動距離及棲地移動範圍（係指鮭魚所出現過之棲地所涵蓋之範圍，或稱利用棲地範圍）與其後之行為模式有顯著之不同。實驗開始前十天所記錄到之定位資料筆數僅占全部定位資料筆數之 29.41%，但其所記錄到之累計移動距離卻占總移動距離之 69.13%；而實驗開始前十天鮭魚之平均棲地移動範圍為 216.67 公尺，亦遠超過第十一天起棲地移動範圍之 45.56 公尺。個別實驗鮭魚返鄉之移動行為，實驗開始前十天對比於十天後之平均每日移動距離以及使用棲地範圍，經統計 T 檢定分析，亦有顯著之增加（ $P=0.006$ ； $P=0.003$ ）。據此推論，台灣櫻花鉤吻鮭在遭受外力改變棲息位置及面臨棲息環境改變時，會出現返鄉溯游之移動模式，其平均每日移動距離及使用棲地範圍皆比原本之移動模式增加；而約略十天之後，便恢復期原本之定棲行為模式。

表三、實驗台灣櫻花鉤吻鮭移動行為模式分析表(ID45~54)

編號	前十天平均每日移動距離（公尺）	第十一天起平均每日移動距離（公尺）	前十天棲地移動範圍（公尺）	第十一天起棲地移動範圍（公尺）
45	5.00	11.07	20.0	170.0
46	N/A	N/A	N/A	N/A
47	39.00	20.00	290.0	20.0
48	53.00	10.00	320.0	100.0
49	11.00	3.93	20.0	20.0
50	99.00	0.00	490.0	0.0
51	42.00	5.71	260.0	30.0
52	52.00	12.69	490.0	20.0
53	16.00	8.10	30.0	20.0
54	10.00	2.14	30.0	30.0

本研究針對七家灣溪一號壩對於河道連續性以及對既有台灣櫻花鉤吻鮭族群上下溯游行為的影響，藉由一號壩上游之台灣櫻花鉤吻鮭族群之無線發報器植入與下游之異地放流，透過密集追蹤紀錄台灣櫻花鉤吻鮭於溪流中之位置及其移動模式，本研究驗證台灣櫻花鉤吻鮭之返鄉溯游行為模式，並證實七家灣溪一號壩對於台灣櫻花鉤吻鮭之返鄉行為及其上下溯游之阻礙。

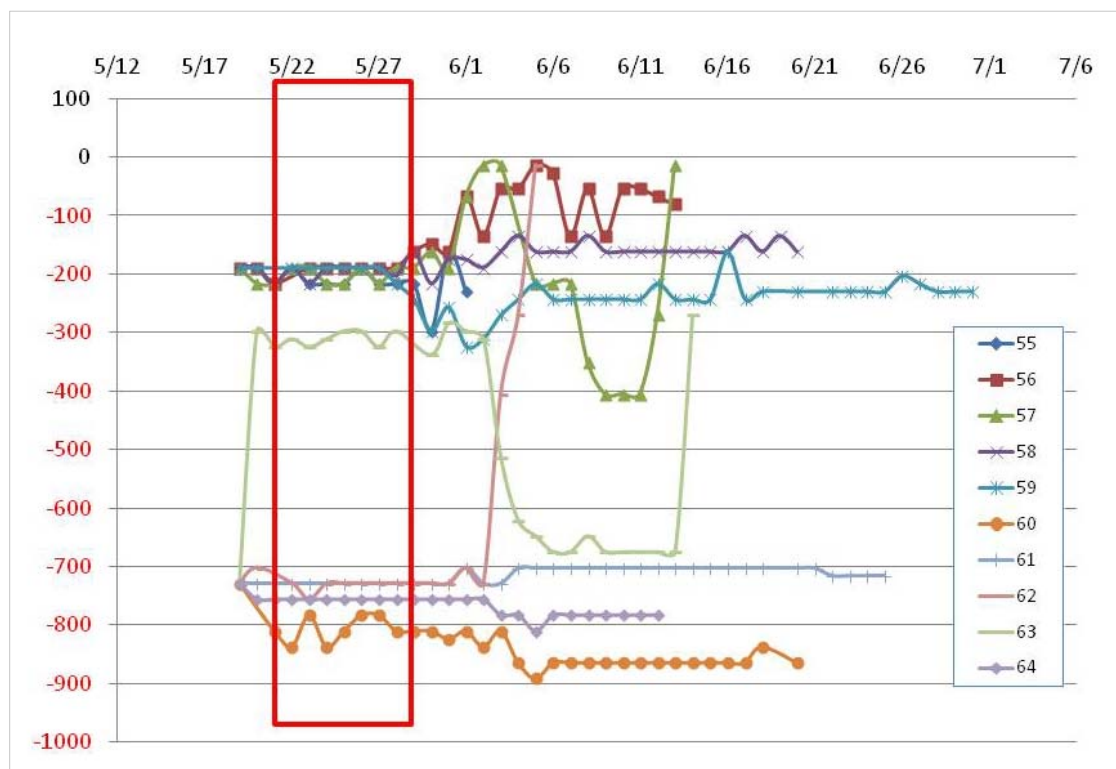
3-2、七家灣溪一號壩改善工程進行中階段

本研究於七家灣溪一號壩改善工程進行中階段，共標記之十尾實驗台灣櫻花鉤吻鮭 (ID#55 至 ID#64)，其中五尾 (ID#55 至 ID#59) 捕捉於距七家灣溪一號壩下約 150 公尺處之深潭區域；其餘五尾 (ID#60 至 ID#64) 捕捉於距七家灣溪一號壩下約 550 公尺處之深潭區域。經植入無線電標籤後，於 100 年 5 月 19 日分別置回其捕捉區域。七家灣溪一號壩改善工程於於 100 年 5 月 23 日開始，前兩日先進行施工便道之鋪設以及一號壩下深潭之回填作業，壩體本身之改善工程與河道連續性之恢復作業，則開始於 100 年 5 月 25 日；最後於 100 年 5 月 30 日開始河道最後整理作業後，七家灣溪一號壩改善工程的河道作業部分大致完成 (詳參圖五)。



圖五、七家灣溪一號壩改善工程進行過程

本階段研究期間（100年5月19日至100年7月02日）之追蹤定位結果顯示出（詳參圖六）：在施工過程之中，縱使一號壩下游棲地遭受相當大程度之干擾，例如重型機具進出所造成之噪音及震動，深潭回填作業中大型土石之墜落衝擊、因各項作業及壩體缺口所造成之水體混濁等等，所有無線電標記的鮭魚皆仍存活，雖因水體濁度過高無法以目是確認其詳細狀況，但所有位置訊號接穩定，未出現樣本死亡可能顯現之往下游漂移的現象。在完工之後，因下游棲息地遭大量釋放土石堆積，造成原本之深潭及其他多樣水域之環境，變成單一淺瀨，且河床極為不穩定，其河心位置及水域型態皆處劇烈變化階段，加上大部分之藻類及水生昆蟲，亦因砂石堆積及底床急速抬升等因素而消失殆盡，整體一號壩下游附近棲地以無法符合台灣櫻花鉤吻鮭棲息所需，故依無線電定位追蹤結果顯示，在工程告一段落後期，大部分實驗鮭魚，尤其是較靠近一號壩工程位址之五尾（ID#55 至 ID#59），皆出現異於其正常定棲型態之頻繁活動，移動至其他區域尋找替代之棲息場所。整體結果顯示有 60% 於工程完工後即刻向上游方向移動，並有部分於後續之定位資料顯示通過七家灣溪一號壩改善新增之通道，於一號壩上游區域尋找合適棲地棲息。實驗結束後，ID57、61、62、63 及 64 在九月於舊復育中心及三號壩捕獲。



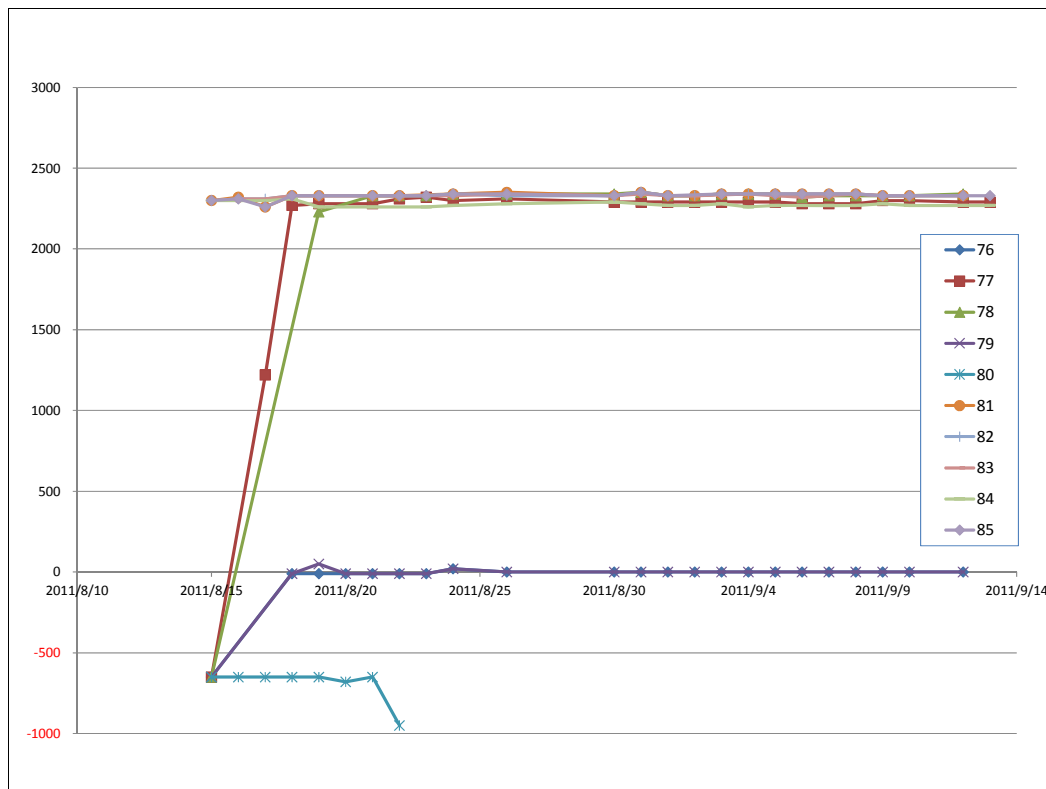
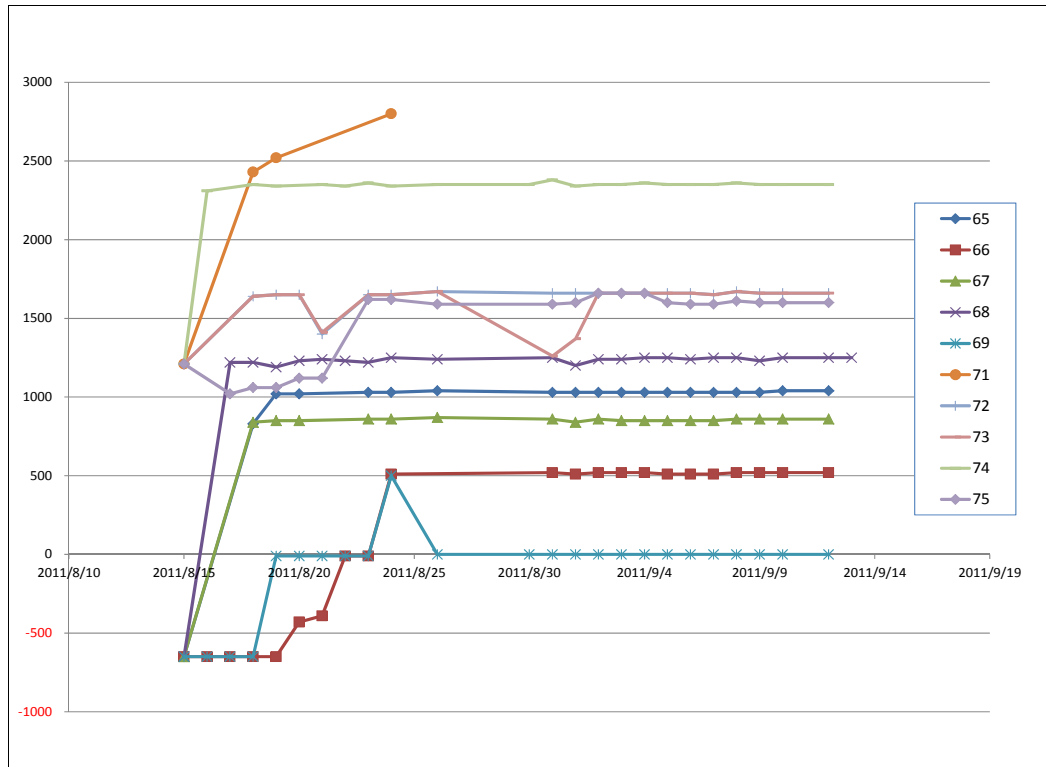
圖六、七家灣溪一號壩改善工程進行中階段台灣櫻花鉤吻鮭追蹤定位結果

3-3、七家灣溪一號壩改善後階段

本研究於七家灣溪一號壩改善後之階段，共標記之二十尾實驗台灣櫻花鉤吻鮭（ID#65 至 ID#84），其中 10 尾（ID#65 至 ID#75）捕捉於距七家灣溪一號壩上游約 1200 公尺觀魚台附近之深潭區域；其餘 10 尾（ID#76 至 ID#84）於距七家灣溪一號壩上游約 2400 公尺舊復育中心附近之深潭區域。經植入無線電標籤後，於 100 年 8 月 15 日將兩組各一半隻實驗魚隻置於一號壩下游約 650 公尺武陵農場場長宿舍下方之深潭區域，其於魚隻則置回其捕捉區域。

本階段研究期間（100 年 5 月 19 日至 100 年 7 月 02 日）之追蹤定位結果顯示出（詳參圖七）原地放流實驗組別皆顯現出明顯之定棲行為，其每日平均移動距離有限，且僅固定使用依定範圍之棲地，罕有長距離隻移動行為；而異地放流之族群則出現明顯之返鄉溯游行為，在遭移置出其既有之固定棲息領域後，便進行異於其定棲型態之長距離、大範圍且具有正確方向性之返鄉溯游行為。

關於原地放流實驗組所顯現之定棲性，有別於舊復育中心隻實驗組別皆明顯留滯在原捕捉位置，位於觀魚台附近所捕捉之組明顯在實驗階段亦散開至一定範圍，但其中後期仍展現出固定範圍之棲息行為。關於異地放流實驗組所展現之返鄉溯游行為，共計有 90% 出現溯游行為，且其中更有 70% 成功利用七家灣溪一號壩改善工程所新增之廊道，前往上游之棲息地，該現象成功證明七家灣溪一號壩壩體改善工程對櫻花鉤吻鮭溯游返鄉行為之助益，其缺口之水深流速等水流條件，已從原本是完全無法通過的溯游障礙，改善成為可通過之溯游廊道。



圖七、七家灣溪一號壩改善後階段台灣櫻花鉤吻鮭追蹤定位結果

65-69 為觀魚台捕捉 (距一號壩 1210m)，移置於一號壩下游 -650m。71-75 為觀魚台捕捉 (距一號壩 1210m)，原地放流。76-80 為舊復育池捕捉 (距一號壩 2300m)，移置於一號壩下游 -650m。81-85 為舊復育池捕捉 (距一號壩 2300m)，原地放流。

表四、實驗台灣櫻花鉤吻鮭移動距離及上溯位置表(ID65~85)

編號	棲地使用範圍 (公尺)	平均每日移動 距離(公尺)	最遠上溯位置與 一號壩距離(公尺)
65	1680	66.86	1040
66	1160	47.31	520
67	1510	62.16	860
68	1900	85.23	1250
69	1150	64.51	500
71	1590	186.50	-
72	440	39.49	-
73	440	69.98	-
74	1150	52.39	-
75	600	38.71	-
76	670	17.59	20
77	2970	119.64	2320
78	2990	120.03	2340
79	700	31.67	0
80	300	42.22	-650
81	80	9.77	-
82	40	4.30	-
83	30	5.08	-
84	50	6.64	-
85	80	8.21	-

註. 65-69 為觀魚台捕捉 (距一號壩 1210m)，移置於一號壩下游 -650m

71-75 為觀魚台捕捉 (距一號壩 1210m)，原地放流

76-80 為舊復育池捕捉 (距一號壩 2300m)，移置於一號壩下游 -650m

81-85 為舊復育池捕捉 (距一號壩 2300m)，原地放流

第四章 結果分析及討論

所謂定棲的固定生活領域，係指依固定且可防衛其他動物進入的範圍 (Gerking 1953, Batchman 1984, Miller 1957)，而亦有許多研究發現有關鮭鱒魚類在淡水河川的定棲行為及其範圍大小，如 Bridcut and Giller (1993) 指出愛爾蘭成年棕鱒的定棲範圍約為 90 平方公尺；Saunders and Gee (1964) 描述大西洋幼鮭在淡水河川的定棲領域大約 36 平方公尺；而 Bachman (1984) 則估計棕鱒平均定棲領域約為 15.6 平方公尺。此外太平洋鮭魚櫻鱒 *Oncorhynchus masou masou* 位於日本九州的溪流陸封族群，亦發現成魚於固定領域活動的定棲性 (Sakata 2005)。本研究藉由無線電標記及以定位追蹤調查，透過記錄台灣櫻花鉤吻鮭之每日移動距離及棲地使用範圍等資料，亦成功驗證其定棲行為。

過去有關魚類移動模式的研究指出：許多鮭鱒魚類在環境條件改變的驅使下或是受外力影響而離開原棲息地之後會主動返回原棲息地的返鄉移動特性如棕鱒 *Salmo trutta* L. (Harcup et al., 1984; Halvorsen & Stabell, 1990)、cutthroat 鱒 *Oncorhynchus clarki* (Miller, 1954) 以及大西洋鮭魚 (Saunders & Gee, 1964)。雖有部分學者針對該行為是否僅為魚類隨機移動的巧合 (Gerking, 1957; Tytler et al., 1978)，或針對其定向機制 (Papi, 1992) 提出疑問，但透過無線電標記以及移動位置追蹤的實驗方式，生活於河川淡水水域的棕鱒已被證明在離開原棲其區域之後，具有刻意移動且正確判斷上下游方向的返鄉性行為 (1997)；而大西洋鮭魚更在被人為移置到其他河段後，亦可移動返回至原棲息區域 (Huntingford 1998)。本研究藉由無線電標記及以定位追蹤調查，亦成功驗證台灣櫻花鉤吻鮭在離開其既有之定棲範圍後，展現長距離、大範圍且具正確方向性之返鄉溯游行為。

第五章 結論與建議

5-1、結論

本研究針對七家灣溪之台灣櫻花鉤吻鮭族群，將無線電發報器植入其體內，並藉由密集追蹤紀錄台灣櫻花鉤吻鮭於溪流中之位置及其移動模式，驗證台灣櫻花鉤吻鮭之棲地利用行為以及七家灣溪一號壩改善工程之生態效益。本研究於壩體改善前標記之十尾實驗鮭魚，並將其自其原棲地移置於七家灣溪一號壩下游。其中有 70%出現往上游方向溯游之返鄉行為；其中更有 40%上溯至七家灣溪一號壩正下方之深潭。本階段實驗結果顯示出台灣櫻花鉤吻鮭在遭受外力改變棲息位置及面臨棲息環境改變時，會出現具有正確方向之辨識能力之溯游返鄉行為，且一號壩之聳立確為其上溯行為形成無法克服之阻礙。

本研究於壩體改善施工期間，針對七家灣溪一號壩下游區域之族群，標記之十尾櫻花鉤吻鮭並放流回其原棲息位置，希望藉由其定位資訊及移動行為，觀察七家灣溪一號壩改善工程施作所造成之暫時干擾及其對棲地狀況所造成之改變，對下游族群是否造成不可恢復之嚴重影響。實驗結果顯示，在施工進行期間內，所有標記之個體均可持續接收其位置資料，代表施工所造成之水體內懸浮顆粒撞擊以及濁度劇烈升高等因素，尚不致對下游鮭魚族群造成立即致命之影響；而在工程完工後，由於壩體下游區域棲地型態的改變，無線電追蹤資料顯示實驗標記個體中，有 60%於工程完工後即刻向上游方向移動，通過七家灣溪一號壩改善新增之通道，於一號壩上游區域另行尋找合適棲地棲息。

本研究接續於壩體改善後，針對分屬於七家灣溪上游觀魚台及舊復育中心兩處之族群，共計標記 20 尾實驗鮭魚，並將其中半數移置於七家灣溪一號壩下游。最後實驗結果顯示：有別於放流回原棲息地實驗鮭魚所表現出侷限於固定範圍進行短距離移動之定棲行為，移置於下游之實驗鮭魚絕大部分（90%）表現出具有正確方向之長距離上溯返鄉移動行為，其中更有 78%確認成功利用一號壩壩體改善後所新形成之河道，返回上游之原棲地。本階段實驗結果正式驗證了七家灣溪一號壩壩體改善工程確實對櫻花鉤吻鮭溯游返鄉行為之助益。

5-2、具體建議

建議：評估繼續改善有勝溪及司界蘭溪二座壩體之可行性。

說明：為暢通台灣櫻花鉤吻鮭游動路線，讓有勝溪上游之羅葉尾溪五百多尾的衛星族群，能夠與七家灣溪四千尾主要族群進行基因交流，並擴大棲息空間。相同地，司界蘭溪的防砂壩打通後，可以降低河床高度，減緩坡降，減少司界蘭溪棲地都是以急瀨的劣勢，並且可以讓伊卡萬溪的魚類洄游上溯至司界蘭溪。

主辦機關：德基水庫委員會、林務局、台中市政府、雪霸國家公園管理處

參考文獻

- ARMSTRONG, J. D., and N. A. HERBERT, 1997 Homing movements of displaced stream-dwelling brown trout. *Journal of Fish Biology* **50**: 445-449.
- ARMSTRONG, J. D., P. E. SHACKLEY and R. GARDINER, 1994 Redistribution of juvenile salmonid fishes after localized catastrophic depletion. *Journal of Fish Biology* **45**: 1027-1039.
- BACHMAN, R. A., 1984 Foraging Behavior of Free-Ranging Wild and Hatchery Brown Trout in a Stream. *Transactions of the American Fisheries Society* **113**: 1-32.
- BRIDCUT, E. E., and P. S. GILLER, 1993 Movement and site fidelity in young brown trout *Salmo trutta* populations in a southern Irish stream. *Journal of Fish Biology* **43**: 889-899.
- BROWN, R. S., D. R. GEIST, K. A. DETERS and A. GRASELL, 2006 Effects of surgically implanted acoustic transmitters >2% of body mass on the swimming performance, survival and growth of juvenile sockeye and Chinook salmon. *Journal of Fish Biology* **69**: 1626-1638.
- BROWN, R. S., R. A. HARNISH, K. M. CARTER, J. W. BOYD, K. A. DETERS *et al.*, 2010 An Evaluation of the Maximum Tag Burden for Implantation of Acoustic Transmitters in Juvenile Chinook Salmon. *North American Journal of Fisheries Management* **30**: 499-505.
- CHITTENDEN, C., K. BUTTERWORTH, K. CUBITT, M. JACOBS, A. LADOUCEUR *et al.*, 2009 Maximum tag to body size ratios for an endangered coho salmon (*O. kisutch*) stock based on physiology and performance. *Environmental Biology of Fishes* **84**: 129-140.
- COOKE, S. J., S. G. HINCH, M. WIKELSKI, R. D. ANDREWS, L. J. KUCHEL *et al.*, 2004 Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology. *Trends in Ecology & Evolution* **19**: 334-343.
- GERKING, S. D., 1953 Evidence for the Concepts of Home Range and Territory in Stream Fishes. *Ecology* **34**: 19.
- GERKING, S. D., 1957 Evidence of Aging in Natural Populations of Fishes. *Gerontology* **1**: 287-305.
- HALVORSEN, M., and O. B. STABELL, 1990 Homing behaviour of displaced stream-dwelling brown trout. *Animal Behaviour* **39**: 1089-1097.
- HARCUP, M. F., R. WILLIAMS and D. M. ELLIS, 1984 Movements of brown trout, *Salmo trutta* L., in the River Gwyddon, South Wales. *Journal of Fish Biology* **24**: 415-426.

- HUNTINGFORD, F. A., V. A. BRAITHWAITE, J. D. ARMSTRONG, D. AIRD and P. JOINER, 1998 Homing in juvenile salmon in response to imposed and spontaneous displacement: experiments in an artificial stream. *Journal of Fish Biology* **53**: 847-852.
- MEKA, J. M., E. E. KNUDSEN, D. C. DOUGLAS and R. B. BENTER, 2003 Variable Migratory Patterns of Different Adult Rainbow Trout Life History Types in a Southwest Alaska Watershed. *Transactions of the American Fisheries Society* **132**: 717-732.
- MILLER, R. B., 1954 Movements of Cutthroat Trout after Different Periods of Retention Upstream and Downstream from their Homes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **11**: 550-558.
- MILLER, R. B., 1957 Permanence and Size of Home Territory in Stream-Dwelling Cutthroat Trout. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **14**: 687-691.
- MUHLFELD, C. C., and B. MAROTZ, 2005 Seasonal Movement and Habitat Use by Subadult Bull Trout in the Upper Flathead River System, Montana. *North American Journal of Fisheries Management* **25**: 797-810.
- PAPI (Editor) , 1992 *Animal Homing*. Chapman & Hall, London.
- SAKATA, K., T. KONDOU, N. TAKESHITA, A. NAKAZONO and S. KIMURA, 2005 Movement of the fluvial form of masu salmon, *Oncorhynchus masou masou*, in a mountain stream in Kyushu, Japan. *Fisheries Science* **71**: 333-341.
- SAUNDERS, R. L., and J. H. GEE, 1964 Movements of Young Atlantic Salmon in a Small Stream. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **21**: 27-36.
- SCHMETTERLING, D. A., 2001 Seasonal Movements of Fluvial Westslope Cutthroat Trout in the Blackfoot River Drainage, Montana. *North American Journal of Fisheries Management* **21**: 507-520.
- TYTLER, P., J. E. THORPE and W. M. SHEARER, 1978 Ultrasonic tracking of the movements of atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L) in the estuaries of two Scottish rivers. *Journal of Fish Biology* **12**: 575-586.
- WINTER, J., 1983 Underwater biotelemetry, pp. 371-395 in *Fisheries Techniques*, edited by LA NIELSEN and D. JOHNSON. American Fisheries Society, Bethesda, MD.