



日本鰻增殖放流之效益評估

韓玉山*

國立臺灣大學漁業科學研究所

摘要

鑑於日本鰻 (*Anguilla japonica*) 天然資源銳減，日本環境省於 2013 年將其指定為瀕危物種，2014 年國際自然保護聯盟組織 (IUCN) 也把日本鰻與美洲鰻 (*A. rostrata*) 列入紅皮書的瀕危物種，臺灣林務局更在 2017 年把日本鰻列入臺灣淡水魚紅皮書的極度瀕危物種。但是在龐大的產業利益之前，資源管理的工作舉步維艱。水產試驗所放流鰻來源為天然採捕之鰻苗養殖而成，因此並無一般放流魚種的近親繁殖問題；此外，因日本鰻僅有一個單一族群，因此放流活動亦無污染基因池之問題。臺日中韓與歐洲每年皆有進行鰻魚放流工作，若以 1,000 尾種鰻 (母) 計算，合理假設有 10% 可成功洄游至產卵場產卵，每尾母鰻至少可生下 150 萬顆以上的卵，保守推估至少會有 1 億顆以上受精卵。

關鍵詞：日本鰻、增殖放流、效益評估

前言

鰻魚屬於鰻鱺科 (Anguillidae)，鰻鱺屬 (*Anguilla*)，是陸海之間的洄游性魚類。全世界總共有 19 種及亞種。臺灣地區最常見為日本鰻 (*A. japonica*) 及鱸鰻 (*A. marmorata*)，而太平洋雙色鰻 (*A. bicolor pacifica*) 為熱帶品種，臺灣位於其分布邊緣，因此數量不多 (韓, 2013)，另外於 2009 年發現一新種呂宋鰻 *A. luzonensis* (又名黃氏鰻, *A. haungi*) (Teng et al., 2009, Watanabe

et al., 2009)，臺灣很少見。此外，臺灣亦曾發現西里伯斯鰻 (Tzeng and Tabeta 1983; 本實驗室，未發表)，但在臺灣極為罕見。其中日本鰻僅有一個單一族群 (Han et al., 2010)，成年後經過變態的銀鰻，會離開原先棲息的河川或是河口域，花費半年左右時間，游過 3,000 km 以上，最後到達馬里亞納海脊西側海域附近進行繁殖之後便死亡 (Tsukamoto, 2006)，而孵化出來的柳葉鰻會從產卵場，順著北赤道洋流往西漂送，到了菲律賓東方海域之後，往北漂送進入黑潮，途經臺灣、中國、韓國及日本的大陸棚水域，歷經 4–6 個月變態為玻璃鰻後，進入河口域 (Han, 2011)。

* 通訊作者/10617 臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號；TEL:(02)33663726；FAX:(02)33669449；E-mail: yshan@ntu.edu.tw





日本鰻是亞洲水產養殖的重要魚種之一，而商業化之人工繁殖技術尚未建立，因此大量鰻苗在河口被捕撈以供養殖所需。根據統計，亞洲地區現今的日本鰻資源量相較於 1970 年代而言，估計低於當時的 10% (Han et al., 2009, Chen et al., 2014)。鰻魚資源量大幅下降的原因推測與棲地惡化、過度捕撈及全球氣候變遷等因素有關 (Bonhommeau et al., 2008; Han et al., 2009; Zenimoto et al., 2009; Chen et al., 2014)。近數十年來，東亞各國經濟飛速成長，導致河川與河口域受到嚴重的破壞，例如濕地填平、河岸水泥化、水壩、堰、港口等開發，以及河川污染如工業廢水、農業廢水，以及河川上游引水導致中下游基流量不足等等，均會減少鰻魚之有效天然棲地，筆者認為棲息地之破壞應是鰻魚資源量大幅下降的主因。因此，要有效恢復鰻魚資源量，首要之務是重新找回鰻魚之棲息地。近十餘年來，因鰻魚市場供不應求，導致東亞各國大量捕撈鰻苗，鰻苗開發率極高，再加上自然死亡率，鰻苗能順利上溯到河川的比例非常有限，導致天然鰻魚補充量日益減少。此外，由於民間相信野生鰻魚為滋補上品，亦增加了漁民對野生成鰻的捕捉誘因，導致能夠進行產卵洄游的種鰻數量很低，加劇了鰻魚資源量的下降。除亞洲的日本鰻外，歐洲地區的歐洲鰻 (*A. anguilla*) 及美洲地區的美洲鰻 (*A. rostrata*) 亦同樣面臨資源量快速減少的困境 (Dekker, 2004)。以歐洲鰻為例，在 1980 年代中期加入到歐陸各河口的鰻苗資源量，僅為全盛時期的 10%，近年來更降到 1%，未來有瀕臨絕種

的可能。因此，歐洲鰻於 2007 年第 14 屆 CITES 締約國大會決議中，被列入附錄二物種，2009 年 3 月 CITES 貿易管理生效，歐盟科學組織認為，因無法判定出口不影響鰻魚資源的存續，建議歐盟不予核發出口許可證，因此自 2010 年 1 月起，歐盟決議除舊庫存外，禁止輸出歐洲鰻至歐盟以外地區。國際自然保護聯盟組織 (IUCN) 並於 2010 年將歐洲鰻列為紅皮書極度瀕危物種。2003 年國際海洋探測委員會 (ICES) 在歐洲大陸規定，針對捕捉之野生銀鰻，必須流放 40% 的漁獲量，以確保有足夠的親魚降海繁殖下一代。2007 年更進一步透過歐盟法規，建立鰻魚資源管理框架，目標是至少流放 40% 以上捕獲之鰻苗與降海種鰻，以確保河川天然鰻魚資源量。

鑑於日本鰻天然資源銳減，日本環境省於 2013 年將其指定為瀕危物種。2014 年 IUCN 也把日本鰻與美洲鰻列入紅皮書瀕危物種，臺灣林務局更在 2017 年把日本鰻列入臺灣淡水魚紅皮書極度瀕危物種。科學界早已對日本鰻資源提出預警，但是言者諄諄，聽者藐藐，在龐大的產業利益之前，資源管理工作仍然舉步維艱。雖然 IUCN 紅皮書本身不具有法律約束力，但是在每 3 年集會 1 次的瀕危野生動植物種國際貿易公約 (CITES，又名華盛頓公約) 會議中，歐盟於 2016 年 4 月寄給 CITES 的公開信中提出要求，應積極調查與評估現有鰻魚屬之資源量與貿易現況，作為下屆 (2019 年) 提案與否之參考。公開信指出，臺灣、日本、中國、韓國等國共同同意的日本鰻資源管理措施





並不完善，且走私問題嚴重，所以具有公信力的研究及調查是必要的。附錄二物種的出口，必須檢附非違法捕獲（也就是合法捕撈來源）以及此輸出不危害此物種存續之證明文件。而在 2019 年 CITES 年會中，則決議持續針對鰻魚屬之資源量與貿易狀況進行資料收集，作為下屆是否將日本鰻與其他鰻種列入附錄二物種之參考。2016—2017 年，東亞地區日本鰻鰻苗總捕撈量達 62 公噸（臺灣 5 公噸）。然而，2017—2018 年日本鰻鰻苗產量呈現崩落，2017 年 11—12 月臺灣的總捕撈量居然未滿 100 kg，為史上前所未見。2018—2019 年，東亞地區日本鰻鰻苗產量繼續下滑，臺灣及東亞的鰻苗本年總捕撈量，臺灣約 2.5 公噸，東亞地區約 21 公噸，創下歷史次低（前次歷史新低是 2012—2013 年之 20 公噸）。日本鰻鰻苗每年來游量雖然變動很大，但都在一定的下降軌道區間內。以鰻魚的生活史來看，每年秋冬時鰻會進行降海洄游產卵，日本鰻必須在河川累積足夠的能量，才能成功洄游產卵，因此河川棲地品質的好壞，對日本鰻來說非常重要的。然而，水壩、攔沙壩、河岸水泥化、河水被抽走做為農業工業和民生用及河川污染等，皆嚴重影響日本鰻的遷徙、覓食和生存。筆者近年利用衛星遙測技術，分析過去 40 年間，東亞地區日本鰻河川棲地的長期變遷，研究結果發現，日本鰻棲地被破壞情形非常嚴重，至少削減 7 成以上。沒有種鰻，就沒有下一代，這是鰻魚資源量長期下降的主要原因。筆者曾經一再公開呼籲，鰻苗資源長期來看還是處於衰退態勢，若不採

取有效對策，在 10 年內將面臨無魚可捕的困境。

行政院農業委員會自 2013 年起，公告全國鰻苗捕撈漁期管制規定，捕撈許可時間訂為 11 月初至隔年 2 月底共 4 個月，希望讓部分鰻苗能夠上溯到河川中長大。另各縣市政府亦陸續公告轄內指定河川，禁止使用任何方式採捕體長 8 cm 以上之鰻魚，讓野生鰻與放流鰻能夠順利降海產卵。這些措施是鰻魚資源永續利用最直接、迅速可見效果的作法。然而，雖然臺灣管制日本鰻鰻苗出口，但實際執行效果不彰，大多數的早期苗仍走私出口至日本。究其根本，皆導因於鰻苗資源嚴重不足所致。因此，如何管理與復育日本鰻的資源，為臺灣及東亞鰻魚產業永續發展的關鍵。

鰻魚人工增殖放流

鰻魚資源復育除管制鰻魚的捕捉與棲地保護外，亦可藉由人工增殖放流，在環境容量負載範圍內，有效增加鰻魚資源量。以歐洲為例，早在 20 世紀初，德國、義大利及波蘭，都有鰻魚資源復育的紀錄。其復育方法大多野放鰻苗，但在地中海區域，也放流幼鰻（15—20 cm），其來源為野捕或養殖鰻。在臺灣，水產試驗所於 1976—2003 年間，於外海開放性水系完成了 27 次日本鰻的放流工作，其中包括 24 次的近海放流及 3 次公海放流，共計放流了 54,384 尾、31,621 kg 的種鰻。其方法為將養殖鰻進行催熟注射及標識後，再以船運輸至外海投放，但因塑膠





標籤深及肌肉，傷口在高鹽的海水中無法癒合，往往因滲透壓失調與感染問題，導致虛弱死亡，以致放流效果常被質疑，再者因開放性水系不易評估與追蹤，較難確定放流效果。故自 2003 年起，採用加強河口與淡水

棲地中鰻魚資源量的策略，依鰻魚的生態習性，適度放流幼鰻與大型種鰻，期望種鰻能依其生理需要盡快進行降海產卵。適度放流幼鰻則能增加河川鰻魚資源量及未來降海產卵的種鰻數量。自 2010 年以來（表 1），

表 1 水試所/漁業署 2010-2017 年鰻魚河川放流紀錄

放 流 日 期	重量(kg)	尾 數	放 流 地 點	放 流 單 位	備 註
2010.12.07	368	7,759	新竹縣鳳山溪	水試所	
2010.12.16	467	5,000	屏東縣高屏溪	水試所	
2010.12.23	560	3,500	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2011.05.24	387	1,200	宜蘭縣宜蘭河	漁業署	
2011.12.14	559	3,220	新竹縣鳳山溪	水試所	
2011.12.14	499	3,080	屏東縣高屏溪	水試所	
2012.04.22	188	496	宜蘭縣宜蘭河	漁業署	
2012.11.27	350	840	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2012.11.29	200	480	新竹縣鳳山溪	水試所	
2012.11.29	150	360	新竹縣頭前溪	水試所	
2012.11.29	200	480	屏東縣高屏溪	水試所	
2013.11.21	282	420	新竹縣鳳山溪	水試所	
2013.11.27	387	602	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2014.01.28		12,000	新竹縣鳳山溪麻園段	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		18,000	新竹縣鳳山溪義民大橋	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		30,000	宜蘭縣宜蘭河中央大橋上游	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		15,000	宜蘭縣宜蘭河中央大橋下游	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		53,000	宜蘭縣冬山河加禮遠橋	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		35,000	宜蘭縣冬山河利澤簡橋	漁業署+水試所	鰻苗
2014.06.04	565	10,715	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2014.06.04	300	390	屏東縣高屏溪	水試所	
2014.06.06	250	325	新竹縣鳳山溪	水試所	
2015.10.30	379	800	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2015.10.30	285	603	新竹縣鳳山溪	水試所	
2015.10.28	270	518	屏東縣高屏溪	水試所	
2016.10.25	385	558	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2016.10.26	315	471	新竹縣鳳山溪	水試所	
2016.10.25-11.08	208	455	屏東縣高屏溪	水試所	
2016.12.26		30,000	新北市雙溪	漁業署+水試所	鰻苗
2016.12.28		30,000	宜蘭縣宜蘭河	漁業署+水試所	鰻苗
2016.12.28		30,000	宜蘭縣冬山河	漁業署+水試所	鰻苗
2016.12.30		50,000	新竹縣鳳山溪	漁業署+水試所	鰻苗
2016.12.30		50,000	屏東縣高屏溪	漁業署+水試所	鰻苗
2017.11.20	521	733	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2017.11.20	230	331	新竹縣鳳山溪	水試所	
2017.11.10-11.16	312	450	屏東縣高屏溪	水試所	





本研究室開始參與日本鰻河川放流與效益評估之研究，由於放流鰻來源為天然採捕之鰻苗養殖而成，因此並無一般放流魚種的近親繁殖問題。此外，因日本鰻僅有一個單一族群，因此放流活動亦無污染基因池之問題。放流之成鰻多選擇 3 齡以上、500 g 左右之體型，多已達準備降海的銀鰻階段（圖 1），雌雄比約 3 : 2，放流地點主要集中在宜蘭河、鳳山溪和高屏溪中下游。成鰻標識方

法是利用植入微晶片及注射耳石螢光劑處理（圖 2），以方便回收辨識及分析。針對放流所作之效益評估發現，由於標識放流時，鰻魚剪尾後身體狀況回復較慢，在放流初期許多放流的鰻魚尚未適應野外環境，部分放流的鰻魚在注射及剪尾處有發炎潰爛現象，估計將提高其自然死亡率，故現已改為不剪尾，並加強傷口之消毒，減少放流後感染的問題。

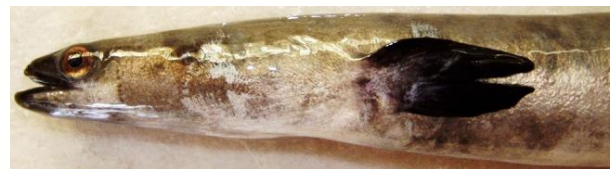
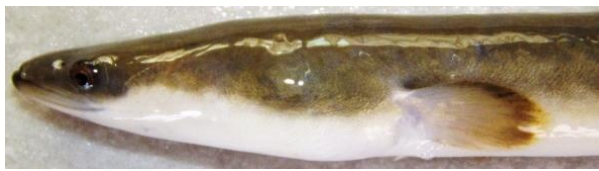


圖 1 成長期的黃鰻(上)與準備降海的銀鰻(下)



植入微晶片



注射螢光劑



放流活動



放流活動

圖 2 日本鰻標識放流流程





增殖放流回收評估研究

由過去數年 (2010–2017) 的放流後回收評估資料顯示,放流回收率平均在 2% 左右,放流後初期 1 個月內有明顯之回收高峰 (圖 3), 放流 2 個月後回收鰻即快速減少, 推估原因有二:一為放流初期鰻魚尚未適應天然環境,遇到降雨時,易隨著水流游到下游河口,非常容易被河口大量之蛇籠捕捉,尤其在宜蘭河與高屏溪,實地勘察確實蛇籠遍布,網具密度過高,由歷年漁民回報消息推估,大約一半以上之放流鰻會在短時間內遭到漁民大量捕捉,極不利於鰻魚降海洄游,將大大降低放流之成效。因此,放流後必須加強宣導與執法,避免漁民捕捉,才能確實有效讓放流鰻降海產卵,增加鰻苗資源量。例如,在鳳山溪的調查活動中發現,下游的點位常發現大型定置網,幾乎橫越整條溪寬,明顯是要一網打盡下溯之魚類與毛蟹,過去調查時亦發現過壞掉的擋網存在,表示一直有人在此處嘗試以攔住河川的方式捕魚,對日本鰻的資源與降海洄游是一大威脅,建議加強巡視取締非法漁法。二為放流鰻在河口適應一段時間後,可能離開河口進行降海洄游,因此消失於河口無法再回收。

少部分放流種鰻因可能未達降海銀鰻之沉態,因此會滯留於河川中,由回收資料統計得知,在放流初期,由於需要一段時間的適應期,初期攝食效率很低,因此體重有明顯減輕的情形 (圖 4),約經過 3–4 個月後,體重開始明顯恢復,到 6 個月時可超過原來放流時之體重。回收鰻中亦發現,有個

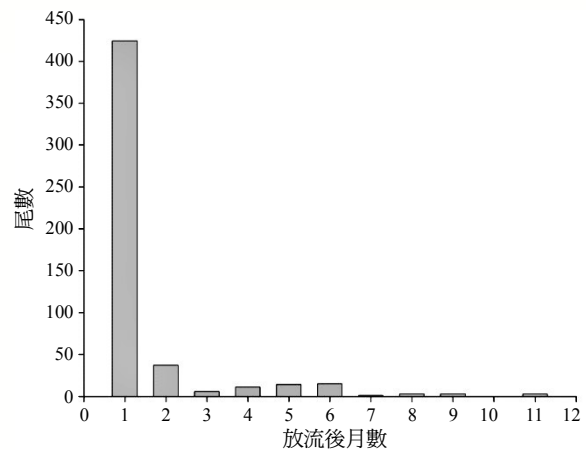


圖 3 2010-2017 年間種鰻放流(n=16882)後之平均回收統計,放流鰻回收高峰多在放流後 1 個月內

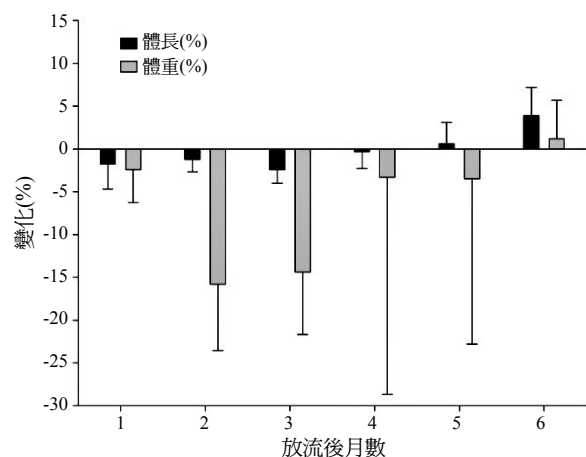


圖 4 種鰻放流後之體長與體重變化趨勢

體由放流前之黃鰻階段轉變成準備降海的銀鰻階段。放流鰻生殖腺與野生鰻發育情形是相似的,兩者並無明顯區別 (圖 5)。此外,鰻魚耳石中的鋇元素 (Strontium, Sr),其濃度經以鈣濃度標準化後的鋇鈣比 (Sr : Ca ratio) 與水體鹽度具正向的關係,因此由耳石鋇鈣比的時序列變化能重建該魚種在河海之間的洄游環境史。利用回收鰻鋇鈣比所得到的結果,和過去野生鰻資料做比較可知,放流鰻與野生鰻一樣,同樣具有淡水型、河口型及遷徙型之棲地偏好 (圖 6)。



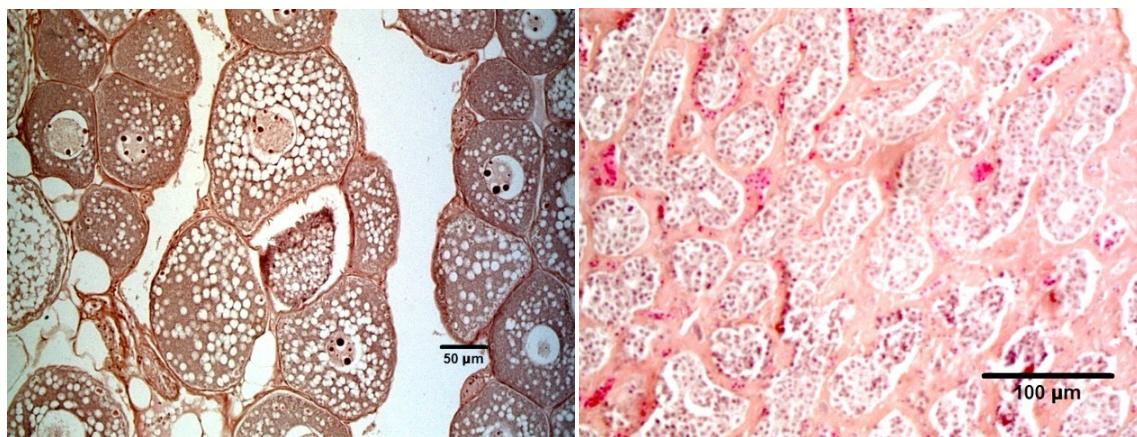


圖 5 種鰻放流後之生殖腺組織切片圖(左：母鰻；右：公鰻)

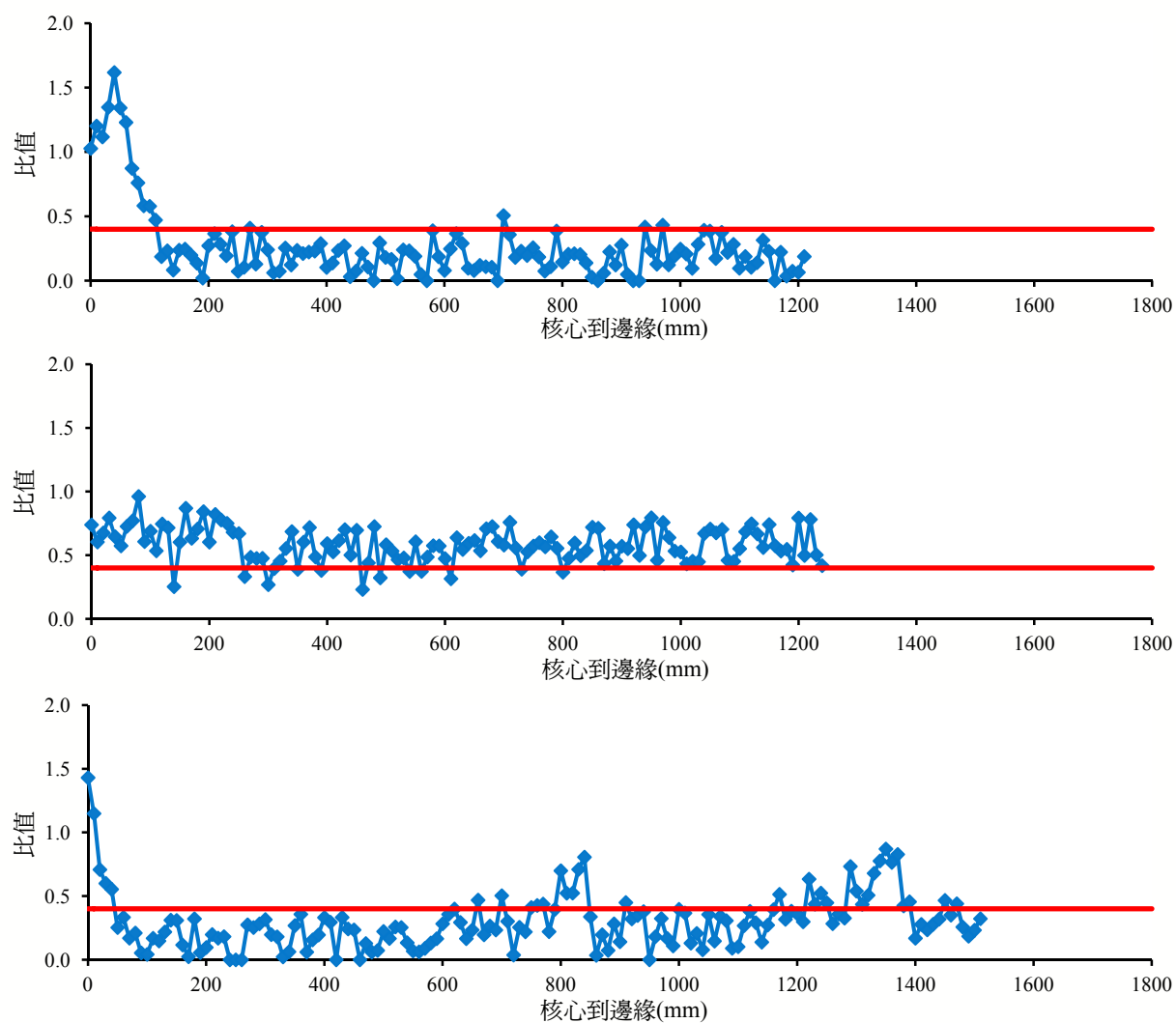


圖 6 放流種鰻之洄游環境史(上：淡水型；中：河口型；下：遷徙型)





為了進一步了解放流鰻之遷移動態，於 2013 年於宜蘭河進行日本鰻成鰻無線電標識放流之工作，體型為 2–2.1 尾/kg，以無線電標籤進行標識 30 尾。無線電標籤內含微小發報器、天線及電池模組 (Lotek Engineering, Newmarket, Ontario, Canada: NTC6-1, 重 2.8 g, 長 22.0 mm, 寬 9.0 mm, 尾部軟質天線長約 18 cm)，無線電發報單元每隔 5–7 秒發射一次訊號，電池使用壽命約為半年。其訊號由接收器 (Lotek Engineering, SRL-DX3) 接收時，除信號之強弱可作為實驗魚體與接受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。無線電發報器植入鰻魚肛門前腹腔處，待傷口癒合後將標識魚放流至宜蘭河中游處，進行後續追蹤。追蹤方法係利用船筏，由河口駛向中上游，利用無線電接收器搜索訊號，標定每一隻實驗魚所在位置，並利用全球衛星定位系統 GPS 資料，記錄定位位置 (圖 7)。進行鰻魚遷徙行為動態分析，結果發現，大部分的放流鰻於放流後，很快往下游移動，此現象與野生鰻銀鰻之降海洄游習性相符。這些結果顯示，放流鰻在放流後 2 個月內，若能逃過漁具的捕捉，大部分應該能進行降海洄游，而滯留河川之少數個體，經數月之野外適應後，適應良好之個體能夠正常生長並銀化，也可望加入降海洄游群。

自 1990 年代，科學家即開始利用標識一再捕實驗研究銀鰻之遷徙動態 (Dekker et al., 2011)。在瑞典，所有進口之鰻苗放流

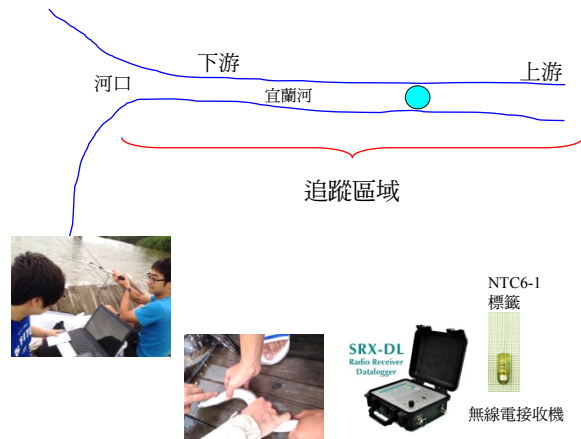


圖 7 利用無線電標籤進行種鰻之標識放流

前須經過檢疫，而放流之幼鰻 (1 g/尾) 也可成功長成銀鰻並開始遷徙 (Sjöberg et al., 2008)。在放流的其中 3 條瑞典河川也發現，因放流而使鰻魚資源量上升的情形 (Pedersen et al., 2009)。在芬蘭，曾於 1966 年放流 1,762 隻鰻苗於 5 個湖泊，於 1992 年仍能回收 56 尾，其中 63% 為銀鰻 (Tulonen and Purisiaineen, 1992)。在波羅的海的標識放流實驗，於 2006 放流之鰻魚部分會在放流當年游向波羅的海的出口，與野生鰻一同被捕 (Sjöberg et al., 2008)。其它實驗亦發現，在波羅的海的出口沿岸捕捉之鰻魚，有 26.7% (Limburg et al., 2003) 與 21.3% (Clevestam and Wickström, 2008) 為放流鰻。EIFAC/ICES 在 2009 年的報告以及 Prigge et al. (2013) 之研究亦指出，於波羅的海放流之養殖鰻有許多能游到波羅的海的出口。然而，亦有報告指出，波羅的海的天然鰻會依固定路徑游向波羅的海的出口，而移植鰻會在波羅的海到處亂游，似乎迷失方向 (Westin, 1998)。由於人工增殖放





流之養殖鰻，可能來自遠方其他國家採捕而來，雖然放流鰻能順利降海，但實際上是否能成功定位並洄游至產卵場產卵，至今仍未有具體證據。

科學家遂利用浮上式衛星標識器 (pop-up satellites tags) 追蹤歐洲鰻及紐西蘭大鰻的降海洄游行為 (Aarestrup et al., 2009; Jellyman and Tsukamoto, 2010)。標識器本體搭載了溫度及壓力感應器 (可轉換為水深) 以記錄被標識個體棲息的水溫與深度，更搭配了光度感應器來解析地理位置，以描繪其洄游路徑。結果發現銀鰻降海後，會在水溫 $5-15^{\circ}\text{C}$ ，深度 $200-800\text{ m}$ 間，進行規律性的日沉夜浮之垂直洄游。日本的研究團隊自 2008 年後，也數次在日本近海進行日本鰻的衛星標識，追蹤銀鰻如何從陸地河川回到馬里亞納海域的產卵場。然而，由於衛星追蹤器大多過早脫離，追蹤日數太短，其降海產卵的洄游路線仍然是個謎。

2015 年本實驗室使用浮上式衛星標識 (MiniPAT tag)，本體搭載了溫度、壓力、感光光度計記錄被標識個體地理位置，以描繪鰻魚洄游路徑 (圖 8)。放流 10 尾養殖與野生銀鰻於臺灣宜蘭外海，觀察其在黑潮水域移動情形，衛星標識浮上時間設定 1-4 個月，資料由衛星回傳後，可進行洄游路徑之綜和分析。透過回傳的深度及溫度資料 (圖 9)，發現鰻魚在降海洄游過程中，亦會有晝夜垂直洄游的習性，即白天光線充足時，會在較深的水域移動 (約 $400-600\text{ m}$)，而夜晚光線微弱時，會在相對表層的水域 (約

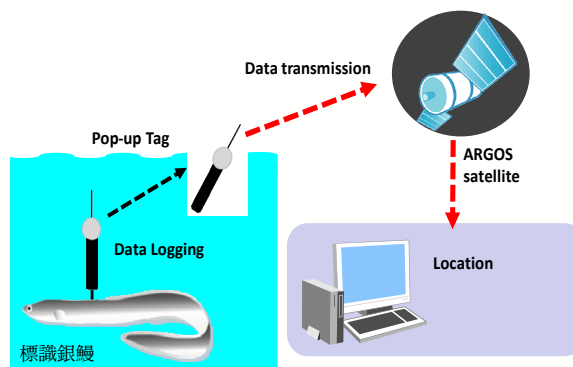


圖 8 利用衛星標識追蹤鰻魚降海洄游路徑

$200-300\text{ m}$)，晝夜垂直洄游的振幅會受到海水深度的限制，因此利用衛星標籤所回傳的資料，與西太平洋水溫與水深即時資料庫比對，進而描繪出放流鰻可能的移動路徑。除三顆衛星標籤資料回傳不完整，發現其餘 7 尾放流鰻，無論是野生或是養殖鰻，皆沿著陸棚邊緣順黑潮往北移動，上浮點分布於沖繩島附近，最遠至日本宮崎縣外海 (圖 10)。

2016 年則使用浮上式單點式衛星標籤 (Mark Reporter PAT tag) (圖 11)，與先前的不同，並未搭載壓力計，僅能呈現日溫差區間與上浮點位置，本體搭載了光感應器以推算被標識個體之地理位置，用以描繪鰻魚洄游路徑。單點式衛星標籤大幅降低體積與重量，有利於小型魚類之追蹤。本年新增在臺灣西側一小琉球海域的放流位置，比較在臺灣兩側不同之洋流系統的環境下，降海洄游路徑之差異。結果顯示，10 尾放流鰻僅成功回收 4 筆紀錄資料，龜山島及小琉球海域各 2 尾 (圖 12)。本年使用之衛星標籤並無早期上浮機制，意即衛星標籤只有在設定時程結束時才會進行資料的回傳，龜山島海域放流之衛星標籤經定位顯示，



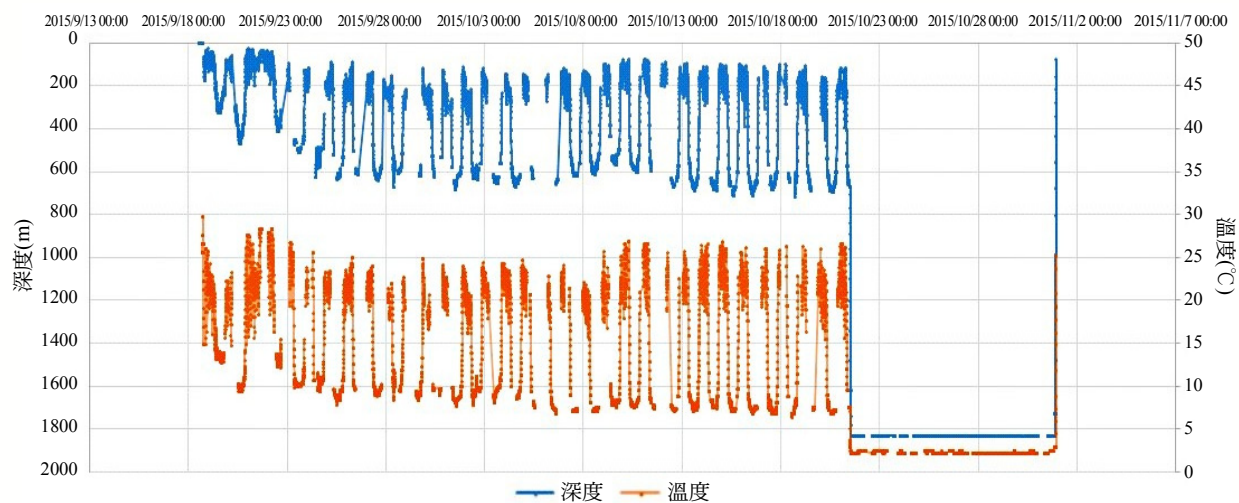


圖 9 放流鰻有晝夜鉛直洄游習性

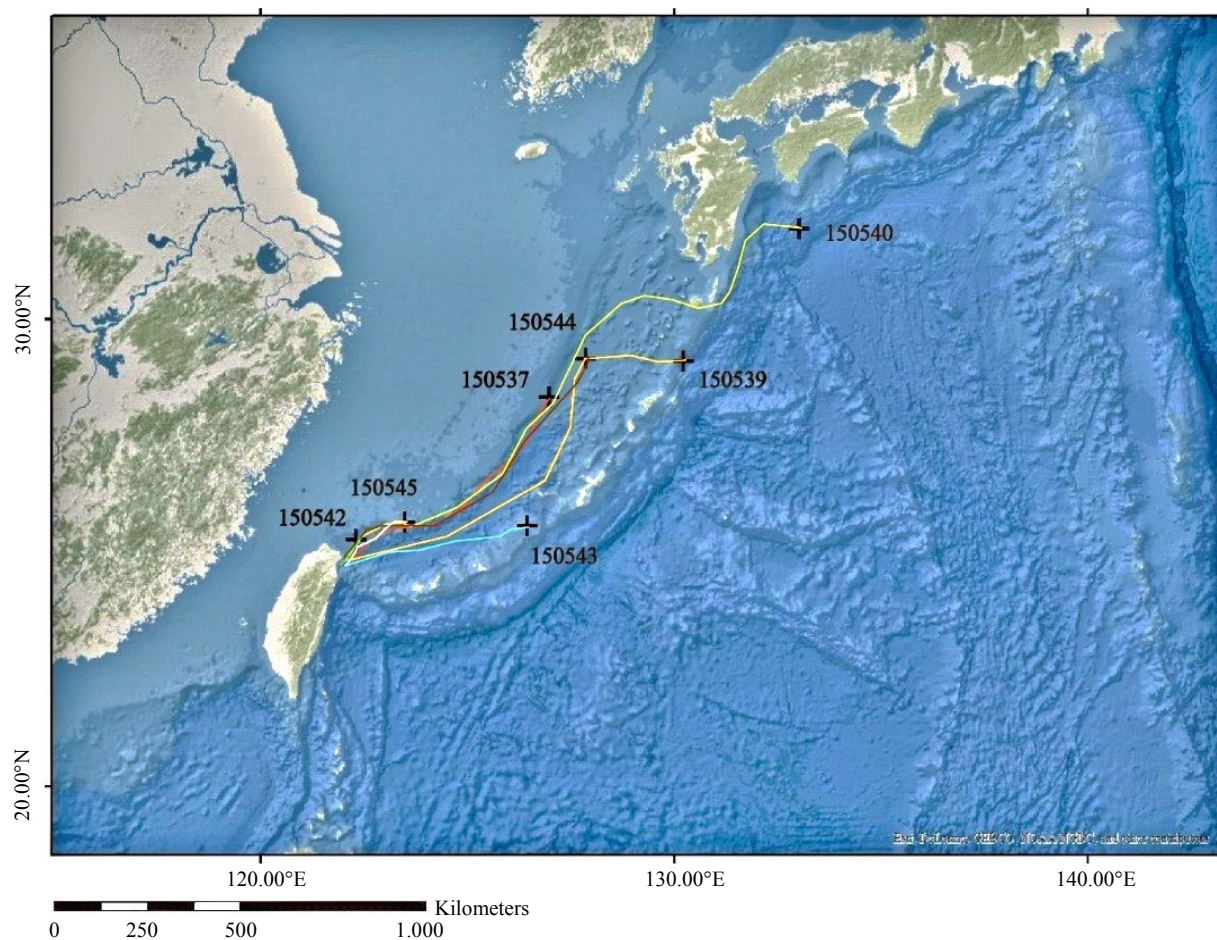


圖 10 2015 年衛星標籤上浮位置推估



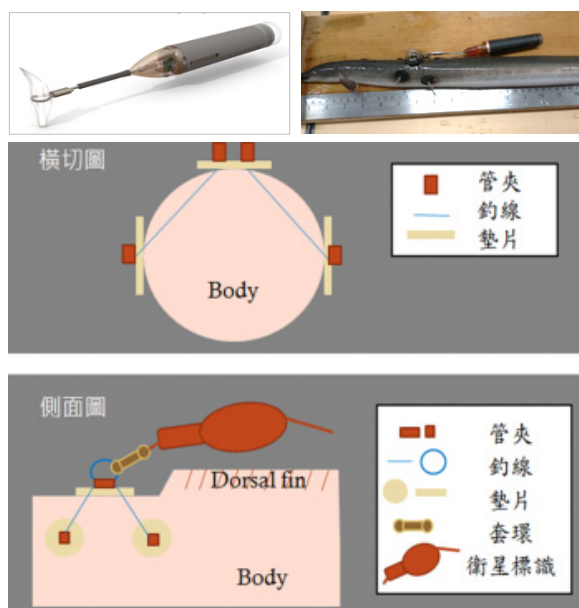


圖 11 浮上式單點式衛星標籤(Mark Reporter PAT tag)安裝

在日本伊豆小笠原群島區域的海域，而小琉球海域放流之回傳資料得到的位置卻是分別在東西兩個不同的方位。本年實際記錄到放流鰻行為之天數分別是 11 及 15 天，再利用洋流流速資料，計算衛星標籤在浮上後於海上漂流之距離，來推估衛星標籤與放流鰻當初脫離的位置。經過計算，可能脫離的位置在沖繩海槽西側之大陸棚邊緣，距臺灣約 300 – 600 km (圖 12、橘色黃色+)。但相同的估算方法無法運用於小琉球的放流組別，主要因為臺灣西南方海域有局部環流存在，衛星標籤會受到環流影響，無法估計實際漂流路徑。若將 2016 年宜蘭放流資料與 2015 年資

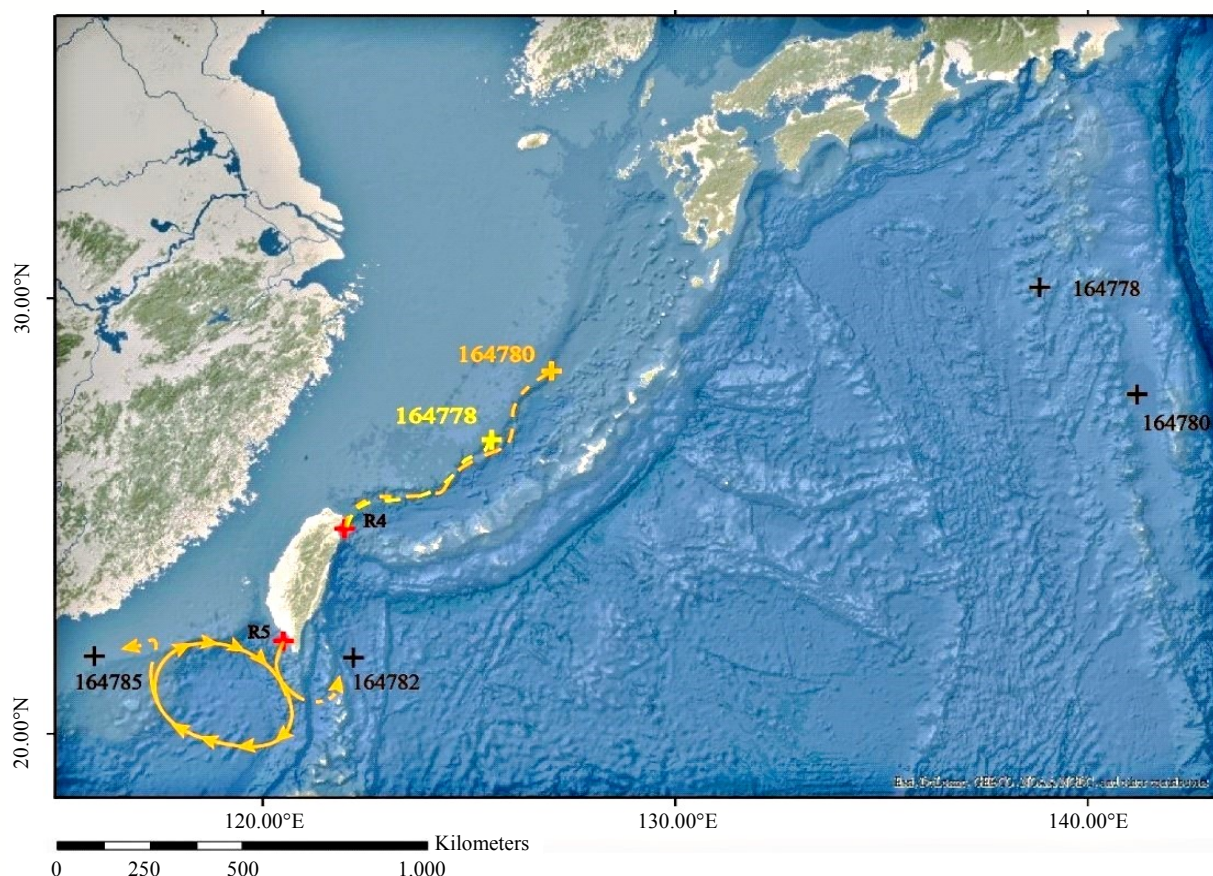


圖 12 2016 年衛星標籤上浮位置推估





料整合能發現，於小琉球與龜山島共放流鱸鰻，太平洋雙色鰻，日本鰻共 20 隻，數據分析顯示，所有放流鰻均表現出晝夜垂直洄游行為，在大洋中之水平移動速度則介於 13–65 km/day，白天洄游之平均深度為 518 m，平均溫度為 9℃；夜晚洄游之平均深度為 125 m，平均溫度為 21℃。在潛水能力的比較中，鱸鰻具有最佳的下潛速度（平均 5.05 m/分）。通過對比 2 年移動路徑的紀錄，發現養殖鰻與野生鰻之洄游路徑有很高的相似度，推測放流之鰻魚可能先順著黑潮移動往北移動，在日本千葉縣外海碰到由太平洋板塊及菲律賓板塊形成的伊豆小笠原海脊，轉變方向向南洄游至產卵場，或是在適當時機，脫離黑潮，往產卵場方向筆直游去。

歐洲的跨國研究團隊，整理了近年來歐洲鰻降海洄游研究成果 (Righton et al., 2016)。研究收集了歐洲 20 條河川之天然鰻魚降海資料，歸納出降海多發生於 8–12 月。利用浮上型衛星標籤，研究 707 隻銀鰻由 4 條河川放流後之降海洄游路徑，在成功回收之 206 個標籤資料中發現，雖然許多鰻魚很快就被捕食，仍然有 80 個以上樣本可資分析洄游路徑。洄游路徑可由西歐大陸追蹤至亞速爾群島，鰻魚皆具有晝沉夜浮之特徵，白天會下潛至 800 m，弱光深水層，夜晚則在 200–300 m，弱光之水層游泳，因此可以有效躲避敵害 (Righton et al., 2016)，洄游速度介於 3–47 km/day。降海洄游的種鰻，不須進食，但會受如鯊魚、鮪魚、鯨豚等掠食者捕食 (Amilhat et al.,

2016; Béguer-Pon et al., 2012)。分析產卵場之柳葉鰻資料，歸納出產卵活動主要介於 12 月至隔年 2 月。若鰻魚在秋季降海，不太可能全部於冬季到達 5,000 km 以上距離之藻海產卵場。因此，歐洲鰻可能有少部分能在數月內及時到達產卵場，另一部分可能要游 1 年以上，在次年方到達產卵場產卵。日本鰻多在秋冬降海，於 5–8 月產卵，因此有充分時間洄游，應不至於耗時 1 年以上之洄游時間。

依照歷年來對鰻魚放流後回收紀錄、耳石鋸鈣比、無線電標識放流分析及衛星標識追蹤結果發現，放流種鰻於放流後，1–2 個月內會集中在河口區，造成回收高峰幾乎集中在前 2 個月，顯示種鰻可能於河口等待降海時機，其洄游路徑與野生鰻相同。但是放流鰻魚是否能成功到達產卵場，則仍待驗證。

鰻魚增殖放流效益

臺灣、日本、中國、韓國與歐洲每年皆有進行鰻魚放流工作，以 2016 年來說，中國 5 月 19 日在江蘇省地方政府在洪澤湖泗陽高渡水域舉辦鰻魚放流活動，本次共計投放鰻魚苗 3 萬尾，規格大於 12 cm，鰻魚苗放流後將會給漁民帶來較高的經濟收益。2016 年日本鰻魚放流活動，在愛知、靜岡、高知、熊本、宮崎、鹿兒島等 6 縣舉行，約計 1,000 萬日幣，其中政府負擔一半，養鰻團體負擔一半。臺灣於 2016 年 11 月 26 日臺北關緝獲走私鰻苗共約 32 萬尾，扣除損





失與水試所保留研究使用外，於 12 月底分別於新北市雙溪、宜蘭縣宜蘭河及冬山河、新竹縣鳳山溪及屏東縣高屏溪，共放流稚鰻 19 萬尾，以充裕河川鰻魚資源量。另臺灣民間宗教團體亦有進行鰻魚放流活動，放流地點為嘉義縣外傘頂洲，鰻魚放流前已經海水飼養馴化。放流魚隻體型 1.5–2 斤/尾，2016 年總計放流 3,417 尾，2017 年至 5 月總計放流 465 尾。韓國歷年鰻魚放流活動，規格多介於 12–30 cm，由地方政府與養鰻協同組合各自進行，主要放流在上游地區。但是放流後之後續評估工作，則幾乎付之闕如。

若以 1,000 尾種鰻（母）計算，合理假設有 10% 可成功洄游至產卵場產卵，每尾母鰻至少可生下 150 萬顆以上的卵 (MacNamara et al., 2016)，保守推估至少會有 1 億顆以上受精卵。孵化出之仔魚須歷經 6 個月的長途洄游，過程中會有大量死亡，不過因柳葉鰻體色透明，具有隱蔽效果，加上途經低生產力海域，因此可以有效降低被捕食機率。在歐洲鰻的估計中，柳葉鰻之年活存率約為 2.2% (Bonhommeau et al., 2009)，若以 6 個月保守估計柳葉鰻活存率為 1% 的話，則可得到 100 萬尾玻璃鰻苗，以每尾鰻苗 100 元計算，產值可達 1 億新臺幣，放流成本約 100 萬新臺幣，因此潛在效益極高。由於柳葉鰻的變態日齡是決定玻璃鰻進入那個國家的時間點。臺灣與日本的柳葉鰻變態時間相差 3 個星期左右，早變態者進入臺灣，晚變態者則漂到日本 (Cheng and Tzeng, 1996)。日本鰻的玻璃鰻是隨著

黑潮與黑潮支流到達臺灣與東亞其它國家的，因此，放流鰻之子代日本鰻苗，會洄游至臺中日韓 4 個國家，凸顯了鰻魚資源共享的概念。

要有效提高鰻魚人工增殖放流效益，筆者在此提出幾個建議供參：(1)東亞目前對河川鰻魚保育政策，存在許多問題，例如臺灣目前之封溪護魚河川，多半設在上游，不符合日本鰻魚棲地主要為下游之實際需求。而根據目前各縣市政府公告之鰻魚保護河川，亦多半不符合日本鰻實際需求，例如設在上游（暖暖溪、瑪陵溪、草濫溪、友蚋溪），流域太小（鹽港溪）、非日本鰻棲息地（知本溪），或是嚴重污染（老街溪、朴子溪、二仁溪）。由歷年資源調查可知，宜蘭河、鳳山溪與高屏溪河川現存之鰻魚資源量極少，顯示鰻魚棲地嚴重之破壞與過漁現象。天然鰻魚資源下降之趨勢似乎仍未停止。欲落實鰻魚資源養護之工作，需要重建河川自然生態與落實禁漁期與禁漁區措施。日本某些縣市在秋冬時期，對日本鰻的採捕有限制，但每年仍然抓了數十噸野生成鰻。面對日本鰻資源嚴峻的現況，筆者建議應全面禁止東亞河川捕捉 8 cm 以上之野生鰻魚，方可有效保育天然與放流鰻魚的資源。(2)人為過度捕撈鰻苗也是造成野生日本鰻減少的原因。2013 年漁業署公布「鰻苗捕撈漁期管制規定」，只有 11 月至隔年 2 月可以合法捕撈鰻苗。但這段期間的鰻苗，幾乎就佔了當年臺灣可捕獲鰻苗量的 9 成以上，受保護的鰻苗量比例很低，效果相當有限。但若縮短捕撈期限，漁民又會反





彈，政策便在保育跟經濟中不斷拉鋸。可如今面對日本鰻資源危機，不可再心存僥倖，以歐盟保護至少 40% 的鰻苗標準來看，臺灣適當的可捕撈期應該設在 12 月至隔年 1 月，約佔當年臺灣可捕獲鰻苗量的 6 成 5。東亞各國亦須進一步限縮日本鰻苗的可捕撈期，至少讓 30–40% 以上的鰻苗可以上溯至河川中，補充天然鰻魚資源量。(3)可由政府出面收購當地河口捕獲之部分鰻苗，一是直接在放流至原河川中游，二是於當地養殖場養殖 2–3 個月，使成為每尾 5

–10 g 之幼鰻，於夏季時將此幼鰻放流回原捕捉河口，讓其恢復野性，並應將鰻魚放流河川皆劃設為封溪護魚河川，禁止一切漁業活動，方可確保河川天然資源與生態，對於鰻魚資源之養護與放流鰻魚之降海，效益方能極大化。放流鰻約經 3–5 年後之成長，便可偕同野生鰻一同降海洄游（圖 13）。由於放流鰻是原地捕捉與原地放回，因此能確保其產卵洄游之空間定位能力。此法特點是可確保放流鰻找到產卵場，並大幅增加河川鰻魚之資源量。

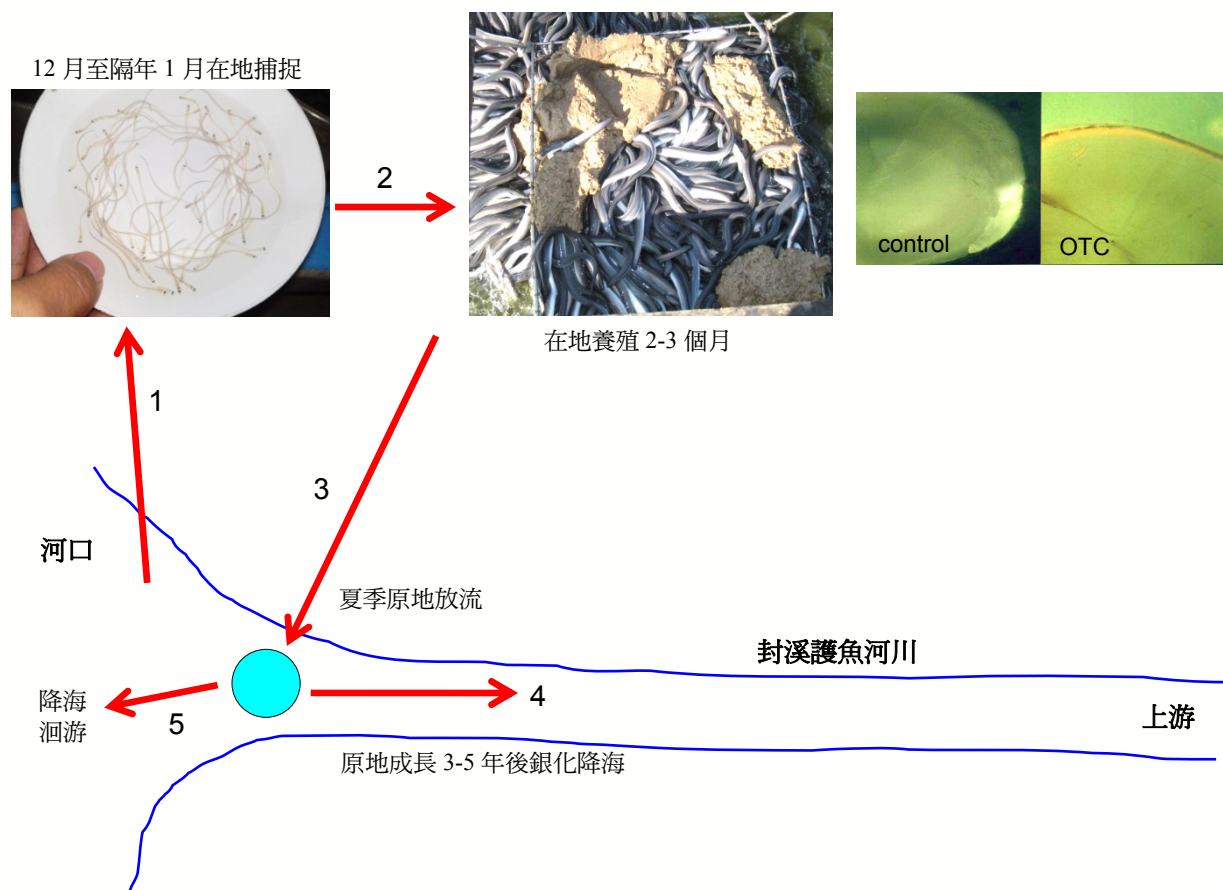


圖 13 建議的日本鰻人工增殖放流策略





參考文獻

- 韓玉山 (2013) 人工放流鰻魚之效益評估。行政院農業委員會 102 年度科技計畫研究報告。
- 韓玉山 (2015) 日本鰻人放流效益及策略評估之研究。行政院農業委員會 104 年度科技計畫研究報告。
- 韓玉山 (2016) 日本鰻人放流效益及策略評估之研究。行政院農業委員會 105 年度科技計畫研究報告。
- Aarestrup, K., F. Okland, M. M. Hansen, D. Righton and P. Gargan (2009) Oceanic Spawning Migration of the European Eel (*Anguilla anguilla*). Science, 325: 1660.
- Aqua report 2011:23 Swedish University of Agricultural Sciences, Drottningholm.
- Bonhommeau, S., E. Chassot, B. Planque, E. Rivot, A. H. Knap and O. Le Pape (2008) Impact of climate on eel populations of the Northern Hemisphere. Mar. Ecol. Prog. Ser., 373: 71-80.
- Chen, J. Z., S. L. Huang and Y. S. Han (2014) Impact of long-term habitat loss on the Japanese eel *Anguilla japonica*. Estuar. Coast. Shelf Sci., 151: 361-369.
- Cheng, P. W. and W. N. Tzeng (1996) Timing of metamorphosis and estuarine arrival across the dispersal range of the Japanese eel *Anguilla japonica*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 131: 87-96.
- Clevestam, P. and H. Wickström (2008) Rädda ålen och ålfisket! Ett nationellt bidrag till en Europeisk förvaltningsplan. Slutrapport från pilotprojekt till Fonden för fiskets utveckling. Dnr: 231-1156-04, 42, Swedish.
- Dekker, W. (2004) Slipping through our hand. Population dynamics of the European eel. PhD dissertation. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Univ. of Amsterdam.
- Dekker, W., H. Wickström and J. Anderson (2011) Status of the eel stock in Sweden in 2011.
- Han, Y. S. (2011) Temperature-dependent recruitment delay of the Japanese glass eel *Anguilla japonica* in East Asia. Mar. Biol., 158: 2349-2358.
- Han, Y. S., W. N. Tzeng and I. C. Liao (2009) Time series analysis of Taiwanese catch data of Japanese glass eels *Anguilla japonica*: possible effects of the reproductive cycle and El Niño events. Zool. Stud., 48: 632-639.
- Han, Y. S., C. L. Hung, Y. F. Liao and W. N. Tzeng (2010) Population genetic structure of the Japanese eel *Anguilla japonica*: panmixia in spatial and temporal scales. Mar. Ecol. Prog. Ser., 41: 221-232.
- Jellyman, D. and K. Tsukamoto (2010) Vertical migrations may control maturation in migrating female *Anguilla dieffenbachii*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 404: 241-247.
- Limburg, K. E., H. Wickström, H. Svedäng, M. Elfman and P. Kristainsson (2003) Do stocked freshwater eels migrate? Evidence from the Baltic suggests "Yes". Am. Fish. Soc. Sym., 33: 275-284.
- MacNamara, R., T. K. McCarthy, H. Wickstrom and P. D. Clevestam (2016) Fecundity of silver-phase eels (*Anguilla anguilla*) from different habitat types and geographic locations. ICES J. Mar. Sci., 73: 135-141.
- Pedersen, M. I. (1998) Recapture rate, growth and sex of stocked cultured eel *Anguilla anguilla* (L.). Bull. Fr. Peche Piscic., 349: 153-162.
- Pedersen, M. I., K. Aarestrup, A. Koed, S. Pedersen and F. Økland (2009) Escapement and progression rate of European silver eel by passing a hydroelectric power station. Fish. Manag. Ecol., 254: 149-156.
- Prigge, E., L. Marohn and R. Hanel (2013) Tracking the migratory success of stocked European eels *Anguilla anguilla* in the Baltic Sea. J. Fish Biol., 82: 686-699.
- Righton, D., H. Westerberg, E. Feunteun, F. Økland and P. Gargan (2016) Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to the Sargasso Sea. Sci. Adv., 2:





- e1501694.
- Sjöberg, N. B., H. Wickström and E. Petersson (2008) Bidrar den omflyttade ålen till lekbeståndet i Sargassohavet? Blankålsmärkning kan ge svaret. Slutrapport från pilotprojekt till Fonden för fiskets utveckling, Swedish, 231: 5-43.
- Teng, H. Y., Y. S. Lin and C. S. Tzeng (2009) A new *Anguilla* species and a reanalysis of the phylogeny of freshwater eels. Zool. Stud., 48: 808-822.
- Tsukamoto, K. (2006) Spawning of eels near a seamount. Nature, 439: 929.
- Tulonen, J. and M. Pursiainen (1992) Eel stockings in the waters of the Evo State Fisheries and Aquaculture Research Station. Suomen Kalatalous, 60: 24-261.
- Tzeng, W. N. and O. Tabeta (1983) First record of the short- finned eel *Anguilla bicolor pacifica* elvers from Taiwan. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 49: 27-32.
- Watanabe, S., J. Aoyama and K. Tsukamoto (2009) A new species of freshwater eel *Anguilla luzonensis* (Teleostei: Anuguillidae) from Luzon Island of the Philippines. Fish. Sci., 75: 387-392.
- Westin, L. (1998) The spawning migration of European silver eel (*Anguilla anguilla* L.) with particular reference to stocked eel in the Baltic. Fish. Res., 38: 257-270.
- Zenimoto, K., T. Kitagawa, S. Miyazaki, Y. Sasai, H. Sasaki and S. Kimura (2009) The effects of seasonal and interannual variability of oceanic structure in the western Pacific North Equatorial Current on larval transport of the Japanese eel *Anguilla japonica*. J. Fish Biol., 74: 1878-1890.

