

赴丹麥研習鰻魚生物記錄技術紀實

周爰瑛

水產試驗所東部海洋生物研究中心

前言

日本鰻 (*Anguilla japonica*) 為東亞地區主要的養殖鰻種。唯日本鰻目前尚無法達到商業化完全養殖的階段，因此養殖方式只是將捕獲的天然鰻苗放入池中飼養。而近數十年來，由於受到河川棲地破壞、人為濫捕以及氣候變遷等因素影響，無論是鰻苗還是河川中鰻魚親魚的數量，均出現了急劇減少的現象 (韓, 2015)。種鰻之產卵洄游特徵及產卵場之海洋環境因子，一直是鰻魚人工繁養殖重要的一環，生物記錄結果可提供分析種鰻洄游時之海洋環境資訊，進一步了解種鰻的環境調控及催熟機制，有助於人工繁殖技術之確立，終而達成鰻魚資源復育之目標。

近十年來，彈脫型衛星標識器 (Pop-up satellite archival tag, PSAT) 廣泛運用於大洋性魚類及海洋哺乳類生態習性及洄游路徑探討，標識器可記錄海洋環境溫度及深度資料，配合光照度資料，可進一步推估地理位置，本所已將 PSAT 應用於旗魚洄游路徑之探究，並研發出利用傳統鏢旗魚漁法將標識器植入魚體之技術，唯鰻魚的魚體細長，體表無磷，無法採用旗魚之固定方式，而標識技術的良莠影響記錄器配置於鰻魚魚體之時間長短，為影響鰻魚標識放流成效最重要之一環，因此極需進行鰻魚生物記錄技術研習。丹麥技術大學與挪威自然研究中心

(Norwegian Institute for Natural Research, NINA) 針對歐洲鰻魚之生物記錄合作研究成果享譽全球，已陸續開發出各種鰻魚 PSAT 標識方法，具有成熟之鰻魚生物記錄技術及衛星資料解析能力，曾成功追蹤歐洲鰻長達 273 天。本次獲丹麥技術大學首肯，前往研習鰻魚生物記錄技術，期能有助於種鰻洄游習性與產卵場環境特徵之解析，俾利鰻魚放流效益與繁養殖技術的發展。

研習過程

研習內容主要為鰻魚的 PSAT 標識技術、衛星回傳訊號之解析原理與探討鰻魚產卵洄游行為特徵及生態記錄資料整合分析。丹麥技術大學丹麥水產資源研究所 (DTU Aqua) 原名丹麥漁業研究所 (圖 1)，目前約有 270 名員工，其中三分之一為科研人員，該所分為 8 個研究領域，包括海洋生態和海洋學、淡水漁業與生態、水產養殖、監測數據、海洋生物資源、生態系統的海洋管理、海洋生物中心及丹麥貝類中心等，並擁有丹麥最大之研究船達那號 (Dana)。達那號可容納 38 個船員，內設 5 個設備完善之實驗室，供拖網及水樣分析之用，並搭載 18、38 和 120 Lhz 之聲納系統及可偵測氧氣、壓力、螢光、深度之 CTD，同時配備有導航及無線電通訊系統。除達那號之外，還有 3 艘小型研

究船及一些小船，並附設生態展示館，提供豐富的生態教育課程。Dr. Kim Aarestrup (圖 2) 為標識放流領域的資深研究者，擁有豐富的標識放流經驗，他從 2011 年起執行鰻魚族群追蹤計畫至今，已累積多篇相關報告，最新的一篇發表於 SCIENCE，回顧海洋生物標識研究成果，內容豐富精彩。他也是多個學術期刊與委員會之委員，經常提供資源評估管理上之建議。Dr. Aarestrup 先向筆者介紹目前研究團隊的研究成果及現況後，開始本次的研習。



圖 1 丹麥技術大學



圖 2 Dr. Aarestrup 進行教學標識器標識課程

研習 PAST 配置於鰻魚之技術

本次學習的鰻魚 PAST 配置技術，共有三種，第一種為 Jellyman and Tsukamoto 標識法 (圖 3)，該方法適用魚體型較大之鰻魚，由紐西蘭 Jellyman 博士與 Tsukamoto 博士共同研發，主要應用於紐西蘭特有種長鰭鰻魚 (*Anguilla dieffenbachii*)；第二種為 Økland 標識法 (圖 4)，其優點為不易脫落，但對鰻魚肌肉傷害較大，若應用於鮭魚等具有鱗片之標識物種則效果極佳；第三種為 Westerberg 標識法 (圖 5)，由 Westerberg 博士研發，應用鰻魚皮膚韌性極強的特性，無須穿透鰻魚肌肉，而是在魚體上設置三個連接點，減少標識器掉落之機會，雖然在自然環境中水阻仍將集中於同一個連接點，但如果第一連接點鬆脫，第二連接點之術後傷口應已癒合，可有效降低鬆脫機率，若第二連接點亦鬆脫，則仍有第三連接點連接標識器。

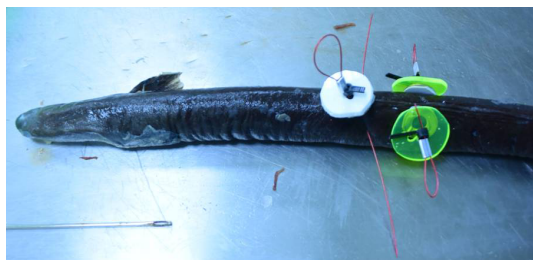


圖 3 Jellyman and Tsukamoto 標識法



圖 4 Økland 標識法

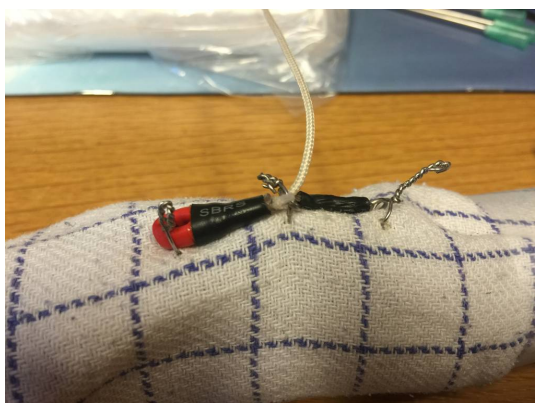


圖 5 Westerberg 標識器法

學習鰻魚 PAST 回傳訊號特徵解析原理

PSAT 最早是一個配備有衛星傳輸功能之數據記錄器，其主要優點是，不需要回收標識器就可以讀取到所記錄之資料，因此近年來廣泛應用於海洋生物之洄游行為研究。目前已經被用來追蹤翻車魚、旗魚、鯊魚、鮪魚和海龜。鰻魚是其中最小的追蹤物種之一。標識器可記錄位置、深度、溫度，並透過移動距離等相關數據解析其移動模式、季節性運動與日夜遷徙行為。衛星標籤包括數據記錄與由浮球和天線組成的釋放裝置。端鼻錐處的釋放裝置由電解分離鏈接環，在超過預設日期或指定時間後，其環狀針腳便會發出電能，緩緩溶斷（腐蝕）與碳纖維線之間的連接，使標識器從魚體脫離上浮至海水表面（錨定裝置依然與魚體保持連接）。標識器主要有兩種類型，第一種是利用光的強度來推估地理位置；亦即依據全日光照的時間判斷所在的緯度（精確度為正負 1 度）及經度（精確度為正負 0.5 度），因此在深度較深或是

水色混濁的水域判斷容易失準。

第二種為同時利用地球磁場和光線強度的方式推估地理位置。標識器依據地球磁場的強度來估計緯度（精確度皆在正負 0.5 度）並以光強度來判斷經度。此外，由白天之移動數據來計算一天之內運動範圍及平均位置。

Dr. Aarestrup 建議筆者先以 3 週作為初期研究的彈脫日期，之後視資料狀況再行延長彈脫時間。

探討鰻魚產卵洄游行為特徵及生態記錄資料整合分析

此部分之研習係以過往鰻魚回傳訊息，進行鰻魚產卵洄游行為特徵及生態記錄資料整合分析，並學習使用海洋生物追蹤網絡資料庫（Ocean Tracking Network Database）。Dr. Aarestrup 以其多年研究鰻魚衛星標識器之回傳資料，教導筆者如何分析及解釋生態記錄資料，以及如何判斷異常數據，避免錯誤解讀鰻魚的行為特徵。另，以 2013 年美洲鰻魚之研究報告為例，教導筆者如何分辨鰻魚及其掠食者之行為特徵與種類，使筆者獲益良多。

海洋生物追蹤網絡（Ocean Tracking Network, OTN）為加拿大於 2012 年所成立之委員會，OTN 資料庫的基本概念為成立一個共享數據之平台，進而建立一個全球性的遙測網絡。衛星遙測和衛星標識放流是其中的重要一環，有助於了解動物行為及其與環境的關係。目前追蹤的區域橫跨七大洲五大洋之海水及淡水水域，追蹤物種包含海洋哺

乳動物、海龜、魷魚，其他無脊椎動物和鯊魚、鱒魚、鰻魚、鮪魚、鮭魚、鱈魚等魚類以及具有科學和戰略利益的物種，Dr. Aarestrup 為該委員會國際科學顧問，他表示整合性的區域資料對研究大洋性洄游魚類動物行為非常重要，可用來比對同一物種在不同洋區之遷移活動，甚至可以擴展至不同物種之間或是其與環境間的交互關係探討，衛星標識器資料具有準確與可比較性，可隨著時間累積觀察至更大尺度的變化。電子式標識器追蹤大洋性魚類的研究雖然已有超過 10 年以上的歷史，但一直缺乏一個確保資料不會遺失及被竊取的保存及分享平台，因此發展一個安全可靠之資料庫是相當重要的。OTN 期望透過加拿大、美國、阿根廷、百慕達、西班牙、南非、日本、澳大利亞和其他地區的研究機構之間的合作，建立最全面完善之海洋科學數據資料庫，以提供海洋管理單位漁業管理及保護瀕危動物之有效建議。

研習心得

這次研習過程中，筆者在 Dr. Aarestrup 的教導下，對於標識放流研究有更深入且廣泛的了解，Dr. Aarestrup 也藉由自身的經驗勉勵筆者，他表示鰻魚的標識放流研究具有相當的挑戰性，但是所有的研究都必須從頭慢慢去做，經由一次又一次的經驗中學習，找出一個最適當的方式，並告訴筆者如何以不同的思維去解析一份資料，讓筆者受益良多。此次赴丹麥技術大學研習鰻魚生物記錄技術，從標識器配置、衛星訊息傳遞與解析至資料庫的建立與資料的整合分析，實地習

得紮實的知識與技巧，對筆者未來推動的鰻魚標識放流等相關研究奠定重要的基礎。

標識放流是一項需要各單位長期合作的研究，彼此相互分享標識器設定及配置經驗可以減少因經驗不足導致的時間及經費耗損，研究成果分享則可以提供更全面性的思考，期待往後有機會向更多研究學者請益，吸取更多經驗。這次參訪礙於時間，無法順利拜訪挪威的 Dr. Finn Økland，但 Dr. Finn Økland 透過 email 提出許多建設性的建議，對筆者助益良多。未來期待透過與更多國家及單位的交流，可以使本所鰻魚標識放流研究更加順利。

結論與建議

鰻魚為全球性瀕危物種，相較於歐洲鰻及美洲鰻於衛星標識放流研究已投入好幾十年以上之研究經費及人力物力，日本鰻之衛星標識放流研究仍需加強。臺灣為日本鰻養殖主要國家之一，但目前漁政單位僅著重在保育類物種如海龜及鯨鯊之標識放流研究，相較於高經濟價值之大洋性鮪旗類，對鰻魚研究人力及研發經費的投入，仍有待補強。

鰻魚之產卵洄游特徵及產卵場之海洋環境特徵，一直以來是鰻魚人工完全養殖許必須之重要一環，生物記錄研究結果將可提供種鰻培育之海洋環境條件與催熟機制，如何將生物記錄科學技術，運用於鰻魚之放流技術提升與效益評估實為刻不容緩之重要課題，建議未來國際合作人才培育可增加此應用技術及學術交流，以增進未來國際計畫執行能力。