

出國報告（出國類別：研習）

## 赴英國 Cefas 研習鰻魚族群移動模式參數計算技術

服務機關： 行政院農業委員會水產試驗所東部海洋  
生物研究中心

職 稱： 助理研究員

姓 名： 周爰瑱

出國地區： 英國

出國期間： 107 年 10 月 8 至 10 月 21 日

報告日期： 107 年 12 月 13 日

## 摘 要

鰻魚為高度洄游性魚種，棲息海域與洄游路徑經常跨越各沿海國家經濟海域，就族群結構與生態習性之探討，是漁業科學研究的一大挑戰。標識放流為探索族群動態、分佈特徵與漁撈行為對魚群影響研究提供新的研究途徑。本中心進行鰻魚產卵洄游研究，目前已試驗及研發 4 種鰻魚標放技術，並成功追蹤日本鰻長達 14 天，但鰻魚族群移動模式參數計算仍在起步階段，學習該技術可進一步了解鰻魚產卵機制及洄游路徑，以利進行有效資源評估及制定保育措施。此計畫已於 (107) 年 10 月 8 至 10 月 21 日赴英國 Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science 研習鰻魚族群移動模式參數計算技術。研習內容包括三大部分：第一部分為學習地理估算誤差校正，並計算移動模式參數以推估最有可能的移動軌跡；第二部分為將天然標識器應用於族群移動技術；第三部分為學習環境資料分析，並與英國南安普斯頓大學師生交流。研習成果有助於提升本所電子標識器資料運算能力，並有效運用此技術於後續研究。

關鍵詞：鰻；eel；標識；tagging；洄游；migration

## 目 次

|              |    |
|--------------|----|
| 摘要-----      | I  |
| 目次-----      | II |
| 一、 目的-----   | 1  |
| 二、 行程表-----  | 2  |
| 三、 研習過程----- | 3  |
| 四、 心得-----   | 10 |
| 五、 建議-----   | 12 |
| 六、 附錄-----   | 13 |
| 七、 附圖-----   | 14 |

## 一、目的

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，天然鰻魚資源大減，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)，而歐洲鰻 (*Anguilla anguilla*) 在 2010 年被列為極度瀕危物種、日本鰻(*Anguilla japonica*)與美洲鰻 (*Anguilla rostrata*)則於 2014 年列入瀕危物種。歐洲鰻於 2007 年 6 月之第 14 屆締約國大會決議中，被列入附錄二，2009 年 3 月 CITES 貿易管理生效，歐盟科學組織認為，因無法評估其資源量，致無法判定出口是否影響資源存續，建議歐盟不核發出口許可證，因此自 2010 年 1 月起，除舊庫存外，禁止輸出歐洲鰻至歐盟以外地區，台灣養殖的日本鰻苗微全仰賴天然資源，所以亟需有公信力的研究及資源調查，並採取必要的資源保育措施，但是目前對於鰻魚的產卵洄游行為尚不完全清楚，且對於鰻魚之族群結構、仔稚魚的入添及產卵場環境特徵等仍知之甚少。

近十年來彈脫型衛星標識器(Pop-up satellite archival tag, PSAT)已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，並配合光照度資料進一步推估地理位置，目前已利用於鰻魚標識放流研究，鰻魚的魚體細長及體表纖細無鱗有別一般魚類，增加標放的困難，而標識技術為影響標放結果之重要影響因子，然現階段鰻魚標放成功機率仍低於 4 成，亟需發展更適合鰻魚之特殊標放技術及結合應用相關標識資料，以得到更佳的结果。

本中心進行日本鰻魚產卵洄游研究，目前已試驗及研發 4 種之鰻魚標放技術，並成功於野外追蹤日本鰻長達 14 天，但鰻魚族群移動模式參數計算仍在起步階段，因此本研習與學術交流計畫著重於學習該參數運算技術，計劃期間為 107 年 10 月 8 至 10 月 21 日總計 14 日赴 Cefas 及南安普斯頓海洋研究中心進行研習。

研習課程規畫表

| 日期         | 地點                                                                                      | 行程說明                      |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 10/8-9     | 台北-英國倫敦-英國環境漁業與水產養殖科學中心(Cefas)                                                          | 由台北前往英國環境漁業與水產養殖科學中心      |
| 10/9-15    | 英國環境漁業與水產養殖科學中心(Cefas)                                                                  | 鰻魚魚族群移動模式參數計算技術學習         |
| 10/15-21   | 南安普敦國家海洋學中心 ( Ocean and Earth Science, National Oceanography Centre Southampton, NOCS ) | 進行研究中心參訪並與南安普斯頓大學師生進行交流訪談 |
| 10/21-11/3 | 英國-台北                                                                                   | 私人行程後由英國返回台北              |

### 三、研習過程

Cefas 為英國研究海洋和淡水科學最多樣化的研究中心，專業領域涵蓋環境、水產養殖、漁業及海洋可再生能源等等，為全球海洋科學之執牛耳，並於水生生物環境、生物多樣性和糧食安全領域提供政策執行單位創新的解決方案，該中心與英國政府和英國海外領土、國際政府、公共和私營部門組織、教育和研究機構，以及非政府組織有密切的合作。

筆者於 10/8 抵達倫敦後於轉乘巴士於 10/9 日抵達洛斯托夫特，到達預定之青年旅館辦理住宿手續後，抵達 Cefas(圖一)，於研究員 Dr. Ewan Hunter 及 Dr. David Righton 的漁業科學研究室進行學習。Dr. Ewan Hunter 為資深標識放流的研究學者，他的研究卓著於行為生態學和空間動態學的研究。特別是應用衛星標識紀錄器於魚類定位和季節分佈方面取得了顯著的成功，並將該結果與耳石微化學互相連結，透過探討魚類行為、環境變化和捕撈之間的複雜關係，進行未來可持續開發魚類資源的影響預測。他發表了 40 多篇相關的科學論文，並在海洋可持續中心領導“海洋生物”主題，也擔任埃塞克斯大學生物科學學院諮詢委員會 NERC 培訓顧問委員會的成員，及海洋生物學國際期刊“Springer International journal Marine Biology”的副主編。Dr. David Righton 於海洋環境研究有 20 年研究經驗，過去三年於農業、漁業和食品部擔任海洋漁業研究所所長，並為歐盟鰻魚資源調查大型研究計畫(European eels in the Atlantic: assessment of their decline,EELIAD)之領導者，他的研究領域包括魚類行為和生態、演化及遷移、空間動態，於 1937 至 2016 年已發表至少 95 篇論文於各大期刊，其中包含鰻魚洄游性研究中重要之研究文獻。與兩位研究員進行經驗及意見交流，互相分享目前的研究進度及困難後，安排及討論

後續之研習。

此次赴英國研習鰻魚族群移動推估等相關技術，研習內容主要包括三大部分：第一部分為學習衛星資料分析，進行地理估算誤差校正，並計算移動模式參數以推估最有可能的移動軌跡；第二部分為生態記錄資料與天然標識器及環境影響學習；第三部分為學習環境資料分析，並與南安普斯頓師生交流。

### (一)衛星資料分析及地理校正模型研習

本部分主要由 Dr. Serena Wright (圖二)進行指導，Dr. Serena Wright 主要研究內容為魚類生態學、生物標放及移動，目前負責進行 Cefas 衛星標識器追蹤資料之地理估算誤差校正，並進行推估計算最有可能的移動軌跡，目前主要運算的魚種包含各類大洋性洄游鮭類、及比目魚、鱸魚、鰻魚等底棲性物種，首先他先從環境資料收集開始解說，他建議可以參考 COPERNICUS MARINE ENVIRONMENT MONITORING SERVICE 的相關資料作為地理位置的背景資料，並教學如果取得並應用資料於地理位置估算。

接下來進入初始資料分析，他透過 Cefas 目前歷年來的初始資料進行教學，依據不同資料跟魚種的特性解說如何去分辨資料的好壞，以及依據資料及魚種的不同特性進行地理位置的運算，並實際進行運算軟體 matlab 的教學。

之後進行目前 Cefas 最常使用的 Hidden Markov models (HMM) geolocation toolbox 套件使用，HMM geolocation toolbox 為一套底棲魚類衛星標識器移動模式行為預測的程式套件組，用於進行單一個體的地理定位的模型運算，在使用這套模組時依據海洋環境資料、魚類行為、數據特性、物種以及標籤類型進行重大修改，目前這個 HMM

框架的模型對比被標識的物種所記錄的下來的環境數據包含深度，溫度，潮汐等特徵，再與海洋學模型和限制魚類水平運動的行為模型互相驗證，並經使用模擬模型及野外實際標放驗證，並需要透過魚類初始位置和活動能力等已知數據進讓地理位置推估更為精準(圖三)，這個模型的應用及原理已在 2017 年刊登於加拿大漁業和水產科學雜誌。

## **(二)學習將天然標識器應用於族群移動技術：**

本部分的主要由 Dr. Ewan Hunter 進行介紹與指導，Dr. Ewan Hunter 帶領筆者前往 cefas 的標識放流資料館(圖四)，介紹他們歷年來的標放資料跟樣本，cefas 的標放歷史從 1902 年標識放流比目魚開始，滿滿的館藏跟資料讓筆者大開眼界，另外也注意到建立長時序的樣本資料的重要性，目前這些資料也應用在魚類於氣候變遷的影響研究上面。

除此之外，Dr. Ewan Hunter 著重在魚類的硬組織如耳石及鱗片等天然標識器資料跟衛星標識資料的連結，因次他也介紹目前最新的研究成果，目前主要透過使用微耳石化學分析了解耳石的元素與環境間的關係，再進一步應用到與標識器配合，結合長期的環境紀錄及短期的行為運動模式，以了解族群水平運動及季節性的移動，他也建議可以將這樣的技術應用在鰻魚的研究上面，並提供我們其他物種的標識放流上面應擴大採集鱗片及耳石，並建立長期的樣本資料的建議。

## **(三)學習環境資料分析應用與南安普斯頓國家海洋學中心師生交流：**

之後由 Dr. Ewan Hunter 帶領前往南安普敦國家海洋學中心 (NOCS) (圖五)，Dr. Clive Trueman 實驗室(圖六)，該中心擁有全面的現代化儀器和實驗室設施，也是英國深海研究船隊和相關設備的運

營基地，如 Autosub 這是一種能夠潛入 6 公里深處的自主水下航行器，NOCS 還擁有英國的海洋沉積物核心系列以及國家級的海洋學圖書館，Dr.Clive Trueman 研究領域在應用穩定同位素生態學於漁業的管理，並於海洋捕食者的空間分佈、遷移和營養生態學發表許多著作，亦應用耳石的穩定同位素化學於環境變遷及魚類遷移行為研究，在其帶領下於 NOCS 學習微化學分析的儀器操作，並與學生討論目前研究現況(圖七)。

#### 四、心得與建議

Cefas 位處英格蘭東部的北海沿岸，也是英國最東端的城市，在夏天的時候是個度假勝地，該研究中心於 1902 年因有感於當地比目魚漁業資源下降而成立，研究中心研究人員眾多，令筆者印象相當深刻的是該中心國際合作及學校合作項目非常眾多且頻繁，因此在該中心的期間筆者亦參與多次的線上跨國研究討論會議，對於會議的效率及參與的研究單位眾多印象深刻，除此之外研究單位及學校合作的研究項目也非常多，研究中心與各級大學及研究室之間有緊密合作關係，每一年研究中心與學校皆有聯合計畫招收研究生，並由學校及研究中心提供器材及人員進行有系統性的專業訓練，因此在研討會可以看到許多由學校及 Cefas 共同掛名的研究成果，這樣緊密之學術合作是筆者認為相當值得學習之處。

除此之外，該研究單位成立的歷史悠久，整體建築也有一百多年的歷史，目前正在整修中，期待能早日見到興建完成的新建築，讓筆者印象深刻的是，在一百多年前英國就開始注意漁業資源的變動，並且開始進行標識放流的研究，並建立長期的紀錄資料，在資料館中可以看到一百年前所採集的樣本以及各式的研究資料，這些研究資料都被完整的保存，並且持續的應用在新的研究中，這也是讓筆者很感動地方，希望以後也能學習該研究中心建立這樣長期的研究成果，並且

透過系統的資料保存，避免在研究人員退休離開後造成資料的缺失，並且可以讓研究人員努力的成果繼續造福後續的研究。

此次研習有幸可以前往南安普敦國家海洋學中心參訪，該中心位於倫敦南方的南安普斯頓，這個城市在近 20 年來快速的發展，因次市容多以摩登的新式建築為主，不似 Cefas 散發出古老的氣息，在這個研究中心特別注重海洋環境與生態及化學的結合，並有領先各國的深海探測技術，以及各式微化學儀器，以化學的角度解析生物及生態學的問題對筆者來說是個新的嘗試，參與其研究生討論時也發現英國在特別重視研究概念的探究其思考，大學授課後的小組討論內容也很多元議題活潑，這些都是台灣在教育上面可以借鏡的地方。

## 五、附錄

- 1.Baras, E., & Jeandrain, D. (1998). Evaluation of surgery procedures for tagging eel *Anguilla anguilla* with biotelemetry transmitters. In Advances in Invertebrates and Fish Telemetry, Springer Netherlands,107-111.
- 2.David,R.,Håkan,W.,Eric,F.,Finn,Ø.,Patrick,G.,Elsa,A.,Julian,M. (2016)Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to the Sargasso Sea. Behavioral Ecology,110(2), 2375-2548
- 3.Elsa, A., Kim,A., Elisabeth,F., Gaël,S.,Håkan,W.& David,R.,First evidence of European eels exiting the Mediterranean Sea during their spawning migration (2016)Scientific Reports(6)

4.Håkan,W., Niklas,S.,Ingvar,L., Kim,A.,David, R.,Behaviour of stocked and naturally recruited European eels during migration(2014) 145-157Imbert, H., Beaulaton, L., Rigaud, C., & Elie, P. (2007). Evaluation of visible implant elastomer as a method for tagging small European eels. Journal of Fish Biology, 71(5), 1546-1554.

5.Liu, C., Cowles, G., Zemeckis, D.R., Cadrin, S.X, and Dean, M.J. (2017), Validation of a hidden Markov model for the geolocation of Atlantic cod. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 74(11): 1862–1877. doi:10.1139/cjfas-2016-0376.

6.Magnus ,W.,n , Håkan,W.,Kim, A., Eric,. d , Paddy ,G.e , David ,R.,Evidence of marine mammal predation of the European eel (*Anguilla anguilla*) on its marine migration(2014) Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers, 86(1),32–38

7.Nielsen, J. (1988). Marking and tagging methods applied to eel, *Anguilla anguilla* . EIFAC Occasional Paper (FAO).

8.Thomassen, S., Pedersen, M. I., & Holdensgaard, G. (2000). Tagging the European eel *Anguilla anguilla* with coded wire tags. Aquaculture, 185(1), 57-61.

9. Sturrock, A. M., Trueman, C. N., Milton, J. A., Waring, C. P., Cooper, M. J., & Hunter, E. (2014). Physiological influences can outweigh environmental signals in otolith microchemistry research. *Marine Ecology Progress Series*, 500, 245-264. DOI: 10.3354/meps10699

10. Westin, L. (1990). Orientation mechanisms in migrating European silver eel (*Anguilla anguilla*): temperature and olfaction. *Marine biology*, 106(2), 175-179.

11. Westin, L. (1998). The spawning migration of European silver eel (*Anguilla anguilla*) with particular reference to stocked eel in the Baltic. *Fisheries Research*, 38(3), 257-270.

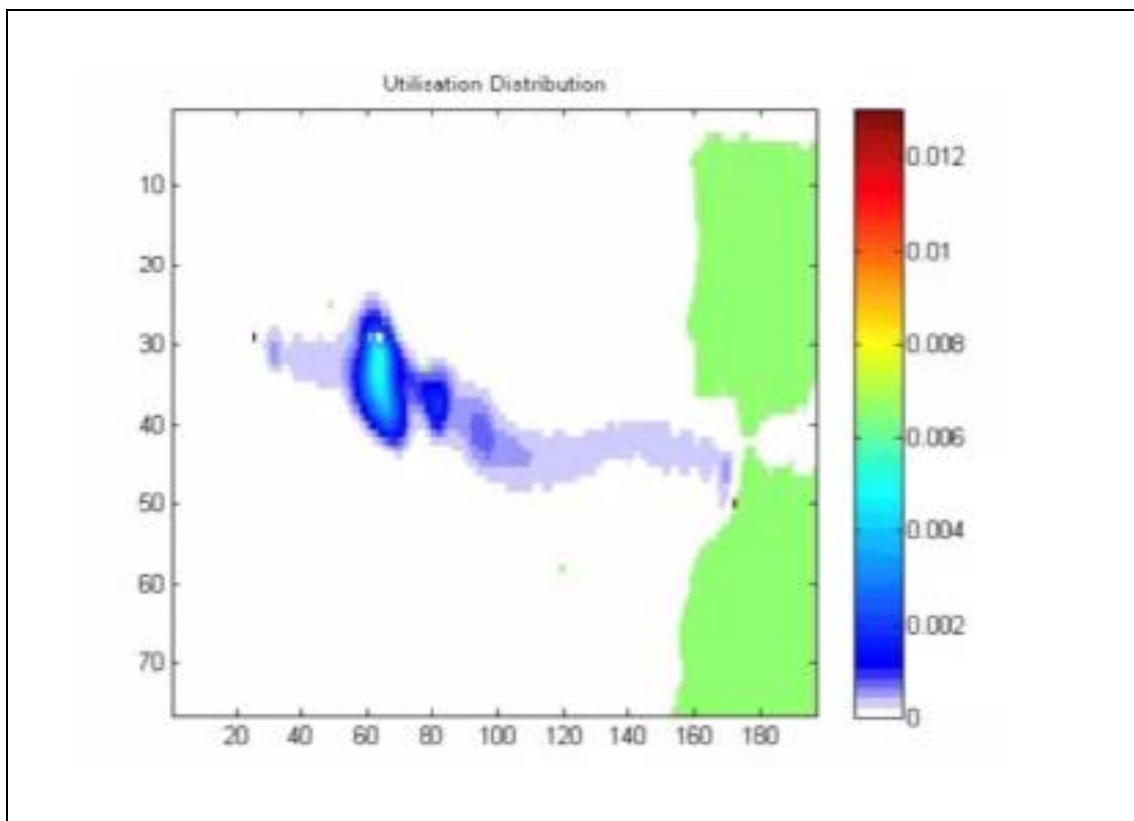
## 八、附圖



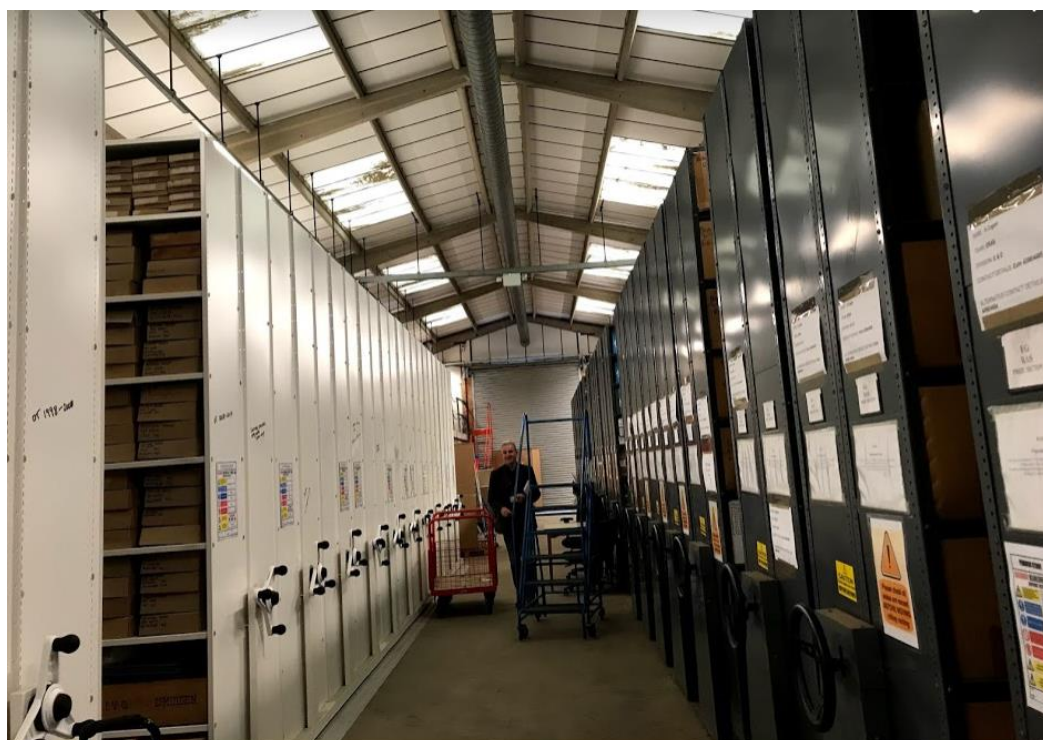
圖一、Cefas



圖二、筆者由 Dr. Serena Wright 進行標放資料計算教學



圖三、運動軌跡計算成果圖



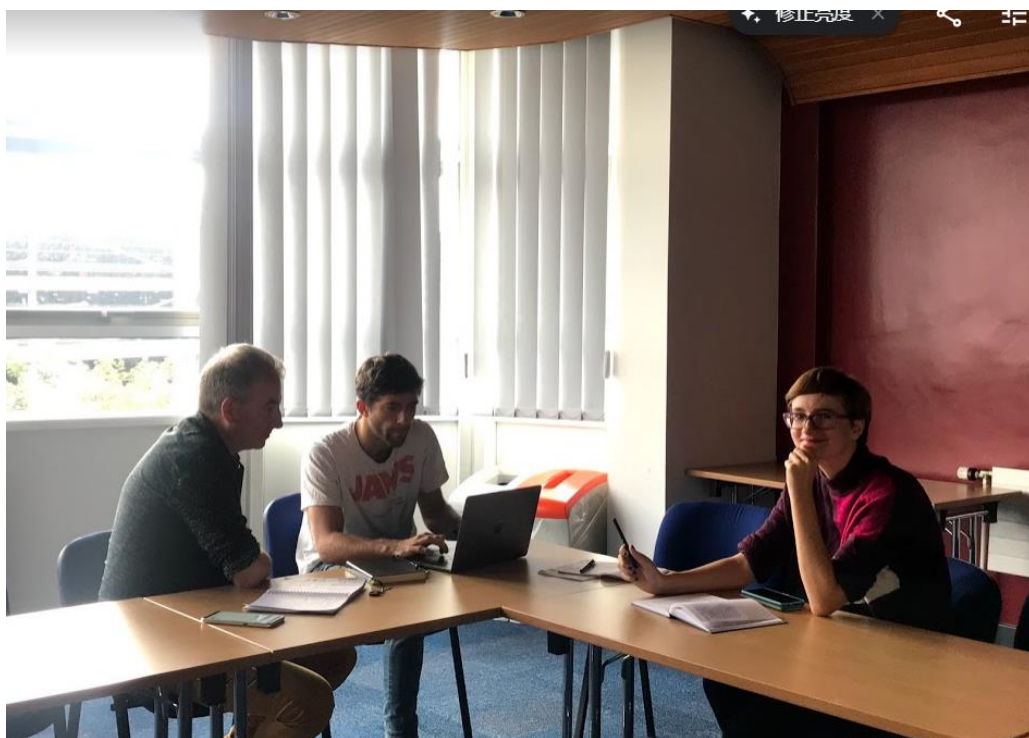
圖四、標識放流資料館



圖五、南安普敦國家海洋學中心



圖六、筆者 Dr Clive Trueman 教授及 Dr. Ewan Hunter 與進行研究交流。



圖七、筆者與南安普斯頓師生進行研究交流。