

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：其他(短期研究))

至史丹福大學學術交流

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： 副研究員

姓 名： 江偉全

出國地區： 美國

出國期間： 106 年 7 月 17 日至 9 月 17 日

報告日期： 106 年 12 月 3 日

摘 要

本出國計畫為前往史丹福大學霍普金斯海洋研究中心學術交流，出國期間自 106 年 7 月 17 日至 9 月 17 日止，總計 62 日，出國交通費與生活費用由史丹福大學提供。此次學術交流主要內容區分為三大項目：1)大洋性魚類同位素樣本分析，進行 221 尾太平洋黑鮪肌肉樣本酸洗及冷凍乾燥處理，樣本進行穩定同位素氮碳分析，研究結果將於年底取得；2)旗魚類標識放流資料與海洋環境資料的整合分析，以 MATLAB 重新建立黑皮旗魚標識放流資料庫，採用 25 個項目記錄每日黑皮旗魚的行為特徵資料，並以 QGIS 進行黑皮旗魚洄游路徑與環境資料進行套疊，再以 ODV 檢視歷年海洋環境因子的改變對移動行為之影響；3)參與 Tag A Giant 太平洋黑鮪標識放流試驗航程，與 Block 教授研究團隊搭乘 Shogun 休閒漁業漁船進行為期 8 天標放航程，總計標放 8 尾太平洋黑鮪及攜回 16 尾太平洋黑鮪活體，供蒙特雷水族館進行黑鮪養殖技術開發與魚體生理解析。

關鍵詞：黑皮旗魚(Blue marlin)；霍普金斯海洋研究中心(Hopkins Marine Station)；海洋資料觀測(Ocean Data View)；太平洋黑鮪(Pacific Bluefin tuna)；標識大魚(Tag A Giant)

目 次

摘要-----	I
目次-----	III
一、 目的-----	1
二、 行程表-----	3
三、 與會過程-----	4
四、 心得與建議-----	8
五、 照片-----	11

一、目的

史丹福大學(Stanford University)霍普金斯海洋研究所(Hopkins Marine Station)Barbara Block 教授為大洋性魚類使用電子標識器的創始者，包括使用可藉手術方式植入鮪魚體內的植入式標識記錄器，與會自動脫落並透過衛星傳送數據的彈脫型衛星標識器(pop-up satellite archival tag, PSAT)，並創設鮪類研究與保育中心(Tuna Research and Conservation Center)，進行太平洋黑鮪人工養殖及各項生理特性試驗，是國際最具知名的黑鮪研究重鎮。

Block 教授自 2000 年起執行太平洋掠食動物標識計劃(Tagging of Pacific Predators, TOPP)，結合太平洋海域 17 個標識放流計畫，包括鮪魚、鯊魚、海龜、海鳥及海洋哺乳類等等，總計超過 4600 個電子標識器，收集了近 30 萬天的追蹤數據，所得資料揭示了前所未有的海洋生物熱點(marine hotspot)、洄游與遷徙路徑與海洋物理詳細數據。此研究主要成果以” Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean” 為主題，發表於 2011 年國際最具盛名 Nature 期刊(附件一)，Block 教授也因此獲得 2012 年勞力士雄才大略獎，此兩年一度的獎項旨在支持懷有開拓精神並為改善人類知識與福祉而做出努力者，並倡導人們推陳出新，突破界限，以打破常規的創新理念改變世界。

本中心自 2008 年執行鮪旗魚類標識放流國際合作計畫，除了長期與北太平洋鮪類國際科學委員會(ISC)」持續合作至今外，亦陸續與國際專家學者在國際研討會上進行學術交流，Block 教授則多次提供標識放流相關配件與透過電子郵件提供寶貴建議，解決多項本中心執行標識放流計畫所面臨之問題。並自 2011 年起與本所進行國際合作，除邀請本中心研究同仁前往該校進行學術交流與學習標識放流相

關資料分析技術，並希望可以交換大洋性魚類樣本，進行跨洋區大尺度的分析研究。由本中心積極進行，持續至今。有關黑鮪跨洋區的同位素研究分析已於 2015 年以” Intrinsic tracers reveal recent foraging ecology of giant Pacific bluefin tuna at their primary spawning grounds” 為主題，發表於國際學術期刊 Marine Ecology Progress Series。

去年(2016)筆者奉准前往美國參加第 146 屆美國漁業學年會會後，也前往史丹福大學霍普金斯海洋研究所短暫學術訪問，Block 教授提及在臺灣進行國際合作型標識放流試驗之可能性，遂於本年(2017)來函希望計畫可以在臺灣執行國際合作型計畫。太平洋黑鮪漁獲量已接近歷史新低點，且仍持續處於過漁狀態中，漁業資源現況需密切監測。而每年 4 到 6 月為太平洋黑鮪的生殖季節，菲律賓海域至日本琉球群島海域(包括臺灣東部海域)推測為產卵場，但臺灣海域目前仍未有進行太平洋黑鮪標識放流研究。

目前本中心雖已建立旗魚類標識放流的生物紀錄科學(Bio-logging Science)技術，且具有海洋地理位置的優越獨特條件，但針對大型鮪類的標識放流研究試驗若能與史丹福大學霍普金斯海洋研究所鮪類研究與保育中心進行國際合作，將有助於提升標識放流研究試驗水準，研究人員藉由學術交流精進研究產能，必進一步解析此海域太平洋黑鮪族群移動與季節性洄游特徵，除善盡我國對於太平洋黑鮪利用之養護責任，並將可提供該魚種區域性漁業管理組織進行管理政策擬定之重要科學依據。

二、行程表

會議日期及時間	會議地點	會議機構	會議目的及討論主題
7/17(星期一)	臺灣桃園→美國舊金山→蒙特雷	去程	
7/18(星期二)~ 9/8(星期五)	史丹福大學	霍普金斯海洋研究站	1. 同位素氮碳分析 2. 標識放流資料分析 3. 環境資料整合分析
9/9(星期六)~ 9/16(星期六)	蒙特雷→聖地牙哥(墨西哥外海)	Shogun (Sportfishing vessel)	太平洋黑鮪生物性樣本採集與標識放流
9/17(星期日)	蒙特利→舊金山→臺灣桃園	回程	

三、研習過程

1. 同位素樣本彙整

本所自 2011 年起開始採集太平洋黑鮪肌肉組織樣本並與史丹福大學合作共同進行同位素氮碳分析，至 2016 年止總計採集 854 尾黑鮪組織樣本並已陸續完成同位素分析。本年亦採集 221 尾黑鮪肌肉樣本，及包括翻車魚樣本含餌料生物樣本 105 件與黑皮旗魚樣本 245 尾，全部完成酸洗與冷凍乾燥後，送史丹福大學霍普金斯研究中心進行同位素氮碳分析，分析所需費用由史丹福大學支付，雙方亦將共同發表相關分析結果。

2. 標識放流資料分析技術

本中心自 2008 年執行鮪旗魚類標識放流國際合作計畫，已累積了大量的旗魚類標識放流研究成果，除陸續在國內外學術研討會發表並已完成 3 篇 SCI 學術期刊的投稿，引起國際注目。目前標識放流研究成果仍持續累積，並已擁有足夠的長期資料得以進行與海洋環境資料整合分析，惟資料分析技術仍有很大的整合空間。筆者本次前往史丹福大學 Block 教授研究室，則是重新檢視 2010 年至 2015 年已經完成分析之 14 尾黑皮旗魚標識放流研究結果，進行與環境資料的整合分析。

MATLAB 程式設計

本中心進行旗魚類標識放流試驗所採用的彈脫型衛星標是紀錄器主要是由 ISC 提供 Microwave Telemetry(MT)製造之 PTT-100 標識器(Columbia, MD, USA)，標體長度 16.6cm，最大直徑 4.1cm，天線長度 17.1cm，重量 65~68g，使用低阻碳纖外殼密封，可承受深度達 2,100m，使用揮發性儲存記憶體。感應器元件運作溫度範圍-4~40°C(傳送至 Argos 系統誤差為 0.176°C，標識器記錄誤差為 0.04°C)，深度範圍 0~1,296m (傳送至 Argos 系統誤差為 5.4m，標識器記錄誤差

為 1.27m)。標識器尾端鼻錐處設有緊急釋放裝置—電解分離鏈接環，倘若：(一)日期達到初始設定；(二)連續四天保持恒定深度；(三)連續 15 分鐘深度超過 1,250m，只要達到其中一項彈脫條件，其環狀針腳便會發出電能，緩緩溶斷(腐蝕)與碳纖線之間的連接，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)。

紀錄資料透過衛星傳遞後所得的資料，包括每日光照度資料(日出與日落時間、日長時間)、溫度與深度記錄資料。由於透過衛星的傳遞因此在傳遞的過程經常會因為天候關係、海洋附著物或是長期使用標識器的毀損等，經常會有資料流失情形，造成回收資料並非是如預期的完整，尤其是在溫度與深度的日期與時間間隔經常是分同步的資料，並須透過程式語法將資料進行重新配對，重新配置每日及同一時間間隔中所記錄的溫度與深度資料，配對經由 KFSST 模式(Kalman filter state-space model, KFSST)所估得之可能的移動路徑(most probable track, MPT)，再由找出每日所棲息海域的環境資料(包括海水表水溫及溶氧等)進行配對分析。

MATLAB 是由 MathWorks 公司於 1984 年推出的數學軟體，其名稱是由「矩陣實驗室」(MATrix LABoratory)所合成，因此可知其最早的目標是提供一套非常完善的矩陣運算指令，但隨著數值運算需求的演變以及個人電腦運算速度的倍增，MATLAB 已成為各種動態系統模擬、數位訊號處理、科學計算、科學目視等領域的標準程式語言。1984 年 MATLAB 推出商用版，選用了 C 語言及選定 PC 為主要平台，MATLAB 使用必須購買授權，筆者有幸經過 Block 教授同意使用該研究所購買之授權軟體在史丹福大學得網域下進行 MATLAB 使用，重新建構本中心所擁有的黑皮旗魚標識放流資料，使用的欄位則包括：Tag_ID、Date、#Data、Depth_Min、Depth_Max、Depth_Mean、Depth_Std、Depth_Mode、Depth_25%、Depth_50%、Depth_75%、Depth_90%、Depth_95%、#Depth_Data、#Temp_Data、

Temp_Min、Temp_Max、Temp_Mean、Temp_Std、Temp_Mode、Temp_25%、Temp_50%、Temp_75%、Temp_90%及Temp_95%等 25 個欄位，建立未來標識放流資料與環境資料配對解析之資料庫。

QGIS 軟體運用

本中心以往所使用之 GIS 平台為 Seaturtle.org 所提供之 Maptool 線上版進行洄游路徑之繪製，但隨著回收資料日益增大，Maptool 的功能使用有限，勢必需要更強大的 GIS 軟體始能提供旗魚類標識放流研究成果所需。Block 教授擁有強大的 GIS 團隊，處理該研究室針對大洋性物種龐大的標識放流回收資料，但礙於筆者學術訪問時間僅有兩個月時間，Dr. Aaron Carlisle 建議筆者嘗試學習運用 Open Source，從新以 QGIS 為平台，以由 KFSST 模式(Kalman filter state-space model, KFSST)所估得之黑皮旗魚可能的移動路徑(most probable track, MPT)，再與環境資料庫資進行套疊與分析。海洋環境來自夏威夷大學的亞太數據中心(Asia-Pacific Data Research Center, APDRC)(<http://apdrc.soest.hawaii.edu/>)取得解析度規格為 $1/12^{\circ} \times 1/12^{\circ}$ 之週別衛星影像資料，資料來源為美國海軍實驗室(Naval Research Laboratory, NRL)所建構之全球模式分析的演算資料，內容包含混合層深度(MLD)、海表層鹽度(SSS)、海表面高度(SSH)以及海表層水溫(SST)。套疊之結果如照片一所示，進一步的解析需要區分為月別或是年別進行探討，也是未來研究成果投稿的一大討論課題。

Ocean Data View 平台使用

目前有許多的環境資料平台整合許多相同的資料，提供使用下載原始資料進行整合分析，或是檢視的互動軟體，提供使用者初步進行資料檢視，對於 Open Source 的資料使用，已是現今科學研究的趨勢，往往都有多難以想像的結果可以呈現。

學術交流期間亦嘗試利用 Ocean Data View (ODV)，運用其空間設定功能與各種類型圖層的選擇模式，繪製出符合研究區域海況的圖

形，作為分析海洋環境的說明依據。由於 Dr. Aaron Carlisle 曾於 2016 年所發表的學術期刊中指出東太平洋黑皮旗魚的洄游分佈與溶氧有密切關係，因此筆者也在 Dr. Aaron Carlisle 嘗試以自學方式進行 ODV 的使用，也將太平洋的溶氧資料按水深區別彙整成未來進行解析使用的高解度等曲線溶氧分佈圖(照片二)，ODV 強大的繪圖能力，令人讚嘆。

3. 太平洋黑鮪生物樣本採集與標識放流

自 1994 年起，史丹福大學研究團隊執行"Tag-A-Giant"研究計畫，著手建立黑鮪人工養殖與與野生族群永續利用所需之重要科學依據。研究團隊至今已標放超過 3,000 枚電子式標識器在太平洋與大西洋黑鮪魚體，探討黑鮪大尺度洄游之生態習性。除此之外，研究團隊亦開發最新的分子生物研究解析技術，運用於高度洄游性海洋生物。並與蒙特雷水族館(Monterey Bay Aquarium)合作，更在霍普金斯研究中心成立鮪魚研究與保育中心(Tuna Research and Conservation Center, TRCC)，該研究中心也是北美唯一進行黑鮪養殖技術研發及黑鮪魚生理研究之重鎮。經過了 20 餘年的努力，"Tag-A-Giant"研究計畫也設立了基金會(Tag-A-Giant Foundation)以保育黑鮪之未來為宗旨。

"Tag-A-Giant, TAG"圖騰來自 2006 年研究團隊科學家與贊助者共同設計，TAG 基金會也是個非營利組織，隸屬於海洋基金會(The Ocean Foundation)。該基金會成立的主要目的是建立科學研究基礎提供創新漁業管理策略擬定之科學依據用以復育黑鮪的資源。基金會成員涵蓋科學家、政策制定者、漁民及一般民眾，共同致力於太平洋黑鮪及大西洋黑鮪資源重建與永續利用。TAG 是由 Mr. Richard Worley、Mr. John Hill 及 Mr. Mike Leech 所創立，Block 教授則是該基金會的科學顧問。因此 TAG 每一到二年皆會進行大規模黑鮪魚標放試驗，皆是由 Block 教授領軍，參與人員除了 Block 教授研究室團

隊為主，包括史丹福大學經遴選的暑期實習生，及邀請來自世界各國從事相關研究或與該研究室有國際合作計畫的組織及漁業研究單位科學家。筆者此次至史丹福大學學術訪問，除在 Block 研究室進行資料解析技術研習外，並於出發前即受邀參加本年的 TAG 太平洋黑鮪標放航程。

2017 年 TAG 黑鮪標放航程為 9 月 10 日至 17 日，總計 8 日。由 Block 教授當領隊，總計 17 人參與。研究團隊由於器具相當多，自 9 月 5 日起則開始行前的準備工作，由於搭乘的不是研究船，各項器材及補給都必須親自動手籌備，並在 9 月 9 日晚間分別陸運與空運的方式抵達預計由聖地牙哥 Fisherman's Landing 港口附近旅館集結。TAG 租用 Shogun 休閒遊憩漁船，該船長 92 英呎、寬 30 英呎，擁有舒適寬敞的空間，得以進行生物性樣本採集及標識後野放的操作。該船與 TAG 合作已超過 10 餘年，此次亦由船主兼船長 Frank LoPreste 親自帶領 2 位副船長及 3 位資深船員協助這項科學性航程。

太平洋黑鮪魚的尋找工作除了以傳統的探魚機及目視法尋找之外，並以租用輕型民航機找尋，成效佳。漁獲太平洋黑鮪中，體型大於 100 公分尾叉長以上者，雙重配置體外彈脫型衛星標識器及體內植入式紀錄型標識器，小於 100 公分以下者僅配置體內體內植入式紀錄型標識器及體外超音波標識器，魚體狀況不佳(釣獲過程受傷或魚體掙扎大量流血)。此次標放航程總計標放 8 尾太平洋黑鮪，其中彈脫型衛星標識器配置 3 尾，超音波標配 5 尾，植入型紀錄器則配置 8 尾，每尾太平洋黑鮪並於魚體背部配置傳統號碼籤(照片三、四及五)。

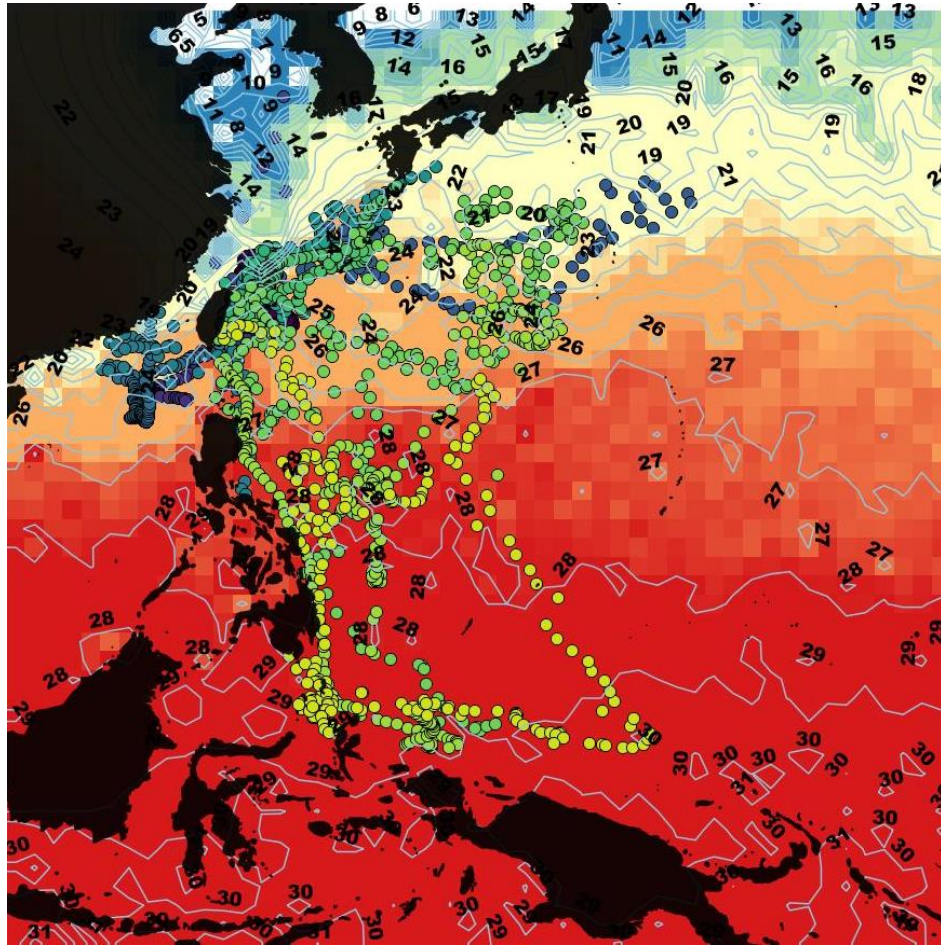
四、心得與建議

1. 藉此機會實際參與太平洋黑鮪標識放流航程，將有助於未來在臺灣海域進行太平洋黑鮪之標識放流試驗。除了進行標識放流試驗之外，亦在海上採集生物性樣本(肌肉及鰭條膜組織)，將進行分

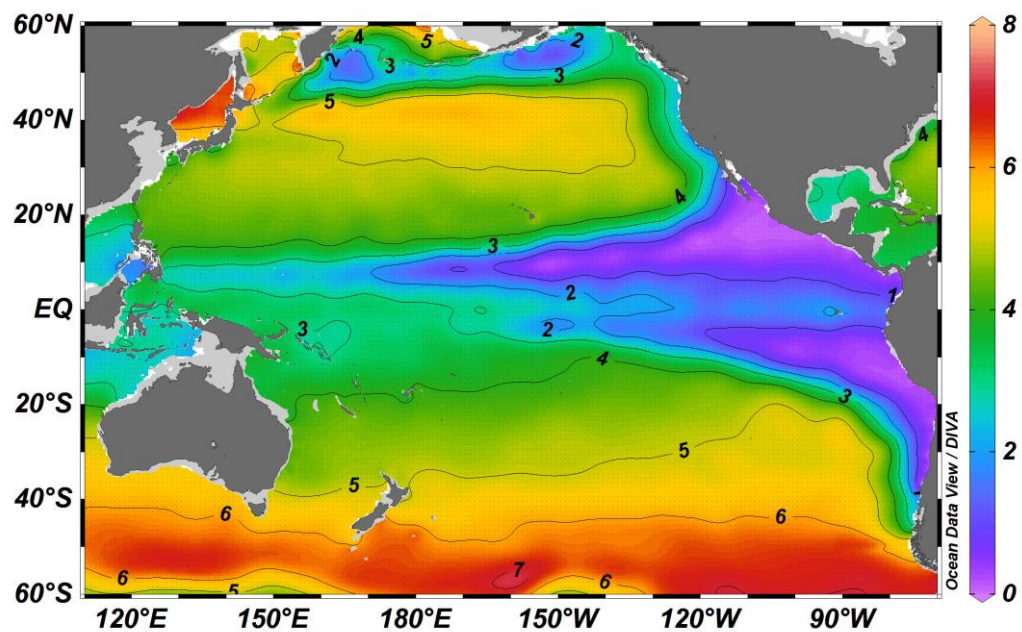
子生物學研究與同位素氮碳分析。此外，針對轉進的各太平洋黑鮪漁場，也以環境 DNA(environmental DNA, eDNA)的概念，利用 Niskin 採水器採集 1 公升水體，在船上隨即進行玻璃纖維濾膜過濾水體，曾經短時間在此漁場內伴隨太平洋黑鮪出現的魚類、海洋哺乳類甚至鳥類，其 DNA 將有可能被採集到，在大洋生態系中由許多高度洄游的海洋生物會聚集在一起，甚至大規模追逐與洄游。若此項試驗研究可以成功分析，則在臺灣東部海域沿岸的定置網漁場，將是非常適合做密集採樣進行 e-DNA 分析的海域(照片六)。

2. TAG 租用民間休閒漁業漁船進行太平洋黑鮪標識放流，8 日的航程所需租金約需美金 8 萬元，期間幾次尋求民用輕航機幫忙找尋太平洋黑鮪魚群分佈與漁場，每小時租金需支付 400 美元，雖然留下了許多空拍及於黑鮪魚群的珍貴影像，但一整個航程下來許須支付的租船費用及飛機租金，價值不斐，非一般研究型計畫所能。也由於蒙特雷水族館需要太平洋黑鮪活體進行科學研究與養殖試驗，所以水族館每年亦投入大量採集經費贊助 TAG 的太平洋黑鮪標放航程。此趟標放航程，同時也帶回 16 尾太平洋黑鮪活體，在船上三個活魚艙中將分別打入高量的純氧及降溫，為了讓太平洋黑鮪減少海上奔波搖晃魚體受傷，Block 教授特別安排在 9 月 15 日連夜先回港口卸魚。回到陸地上更用專業的活魚運輸車，猶如油罐車般的大小(照片七)，太平洋黑鮪在一路細心呵護，長達 6 小時的運輸過程，平安回到鮪魚研究與保育中心(TRCC)，我們也在卸完魚後馬上裝載活餌，繼續標放航程。每尾太平洋黑鮪活體，宛如"黑金"般珍貴，在活魚艙每一小時得監測記錄溶氧與溫度，大伙輪班看護，一路從墨西哥外海帶回美國本土，當我們在海上收到鮪魚研究與保育中心傳遞來太平洋黑鮪平安抵達訊息，全船人員齊聲歡呼。

3. Harold A. Miller Marine Biology Library 是霍普金斯研究中心專屬圖書館(照片八)，座落於研究中心的海岸邊，是棟木造建築物，景色幽美，有整片大大的落地窗，蒙特雷灣(Monterey Bay)一望無垠，海洋生物如海獺、海豹、大型鯨豚與海鳥經常就在眼前。研究中心給每位研究人員圖書館鑰匙，雖然圖書館的開放時間如一般表定，但是研究人員可以憑鑰匙隨時進圖書館查詢資料及列印文件，自由開放的學風，算是史丹福大學的辦學理念之一。圖書館除了擁有完備的當期的海洋科學期刊及海洋科學的最新相關書籍，但對於生物學家所應擁有的數值分析概念書籍一應俱全，舉凡各種程式語法對於生物學家應有之觀念書籍，佔了到館新書的一半比重，也大大顛覆了傳統生物學家對於數值分析重要性與概念上的忽視。
4. 最後，關於本次學術交流要感謝本所陳君如所長對於國際學術合作的支持與鼓勵，筆者才有此機會赴美國史丹福大學研習各項生物紀錄科學技術；以及史丹福大學 Block 教授安排筆者在該研究室的各項學習課題及參與黑鮪標識放流海上航程，及該研究室 Dr. Luke Gardner 及 Dr. Aaron Carlisle 照顧筆者在霍普金斯研究中心的生活細項與引導使用 Open Source 的新思維，也一併在此致最衷心的感謝之意。



照片一、嘗試以QGIS套疊2014年黑皮旗魚洄游路徑與海洋表水溫與等溫線。



照片二、以ODV繪製之太平洋水深200m之等溶氧量分佈圖。



照片三、研究人員搭乘Shogun休閒漁船進行太平洋黑鮪標識放流。



照片四、Block教授團隊標識太平洋黑鮪。



照片五、2017年TAG研究團隊完成任務返港後合照。



照片六、e-DNA 採水分析記錄。



照片七、太平洋黑鮪活魚運輸專用卡車。



照片八、霍普金斯研究中心Harold A. Miller海洋生物圖書館。(照片來源：<https://library.stanford.edu/hopkins>)