

出國報告(出國類別:進修)

農業菁英培訓計畫-氣候變遷對於海洋洄游性魚類食物網之動態模型預測-以太平洋海域翻車魷科魚種為例

服務機關：農業部水產試驗所

姓名職稱：張景淳 助理研究員

派赴國家/地區：美國

出國期間：109年8月19日至113年8月18日

報告日期：113年9月16日

## 摘要

翻車魷科(Molidae)魚種分布於全球熱帶至溫帶海域，並且能夠在西太平洋進行長距離遷徙。翻車魷科魚種在食物鏈中具有獨特的生態棲位，為凝膠狀浮游動物的捕食者。由於牠們生長緩慢且混獲比例高，因此了解不同地區翻車魷科魚種的食物階層動態對於制定有效的管理策略和政策至關重要。本研究的主要目標是使用電子標識器、胃內容物分析和碳氮穩定同位素數據探討翻車魷科魚種在西太平洋的遷徙模式、棲息地利用和攝食生態情形。本研究為全球首次發現翻車魷科魚種在西太平洋間進行大尺度的洄游行為，且解析翻車魷科魚種在不同間的棲地利用行為。此外，本研究對翻車魷科魚種的攝食生態亦有重要貢獻，發現翻車魷科魚種的攝食與過去研究描述不盡相同，不同種類有不同的攝食獵物組成，且並非只攝食凝膠狀浮游動物。

本研究第一章節主要利用電子標識器探討翻車魷科魚種的移動行為，數據顯示翻車魷科魚種在西太平洋有南-北向遷移行為，包括從臺灣向日本的北向遷徙與從臺灣向南半球的南向遷徙。這些南北向的遷徙顯示出不同的棲息地利用模式；翻車魷科魚種的北向移動行為與海洋渦旋有關；南向移動行為與海洋洋流和水層結構相關。第二章節利用穩定同位素分析解析翻車魷科魚種移動行為與棲地利用情形。結果顯示有些在日本和臺灣發現的大型翻車魷科魚種可能來自赤道海域，而在新喀里多尼亞海域捕獲的翻車魷科魚種可能來自臺灣，這些結果與衛星標記數據一致。結合這些大型遷徙個體的捕獲時間及翻車魷科魚種在臺灣和日本的繁殖期，推測從赤道海域遷徙至西北太平洋海域的翻車魷科魚種可能與繁殖行為有關。第三章節為利用文獻回顧、同位素分析和胃內容物分析對翻車魷科魚種的攝食行為進行研究。文獻回顧顯示翻車魷科魚種主要攝食凝膠狀浮游生物，但其攝食物種比過去研究描述的更為多樣。翻車魷 *Mola mola*、花紋翻車魷 *Mola alexandrini* 與假面翻車魷 *Mola tecta* 主要攝食海洋中表層環境的獵物，而矛尾翻車魷 *Masturus lanceolatus* 和長翻車魷 *Ranzania laevis*

則攝食海水中表層與及底棲環境的獵物。最後章節則探討臺灣海域常見的翻車魷科魚種 - 矛尾翻車魷的攝食行為，結果發現矛尾翻車魷主要攝食被囊類動物，且攝食種類會隨著其體型和季節而有不同。本計畫為西太平洋翻車魷科的遷徙與攝食生態提供了全新的見解。

最後，感謝農業部與服務機關提供本次進修，筆者期待未來能將所學應用於臺灣周邊海域的大洋性魚種上，並促進國際間的研究學術交流。

## 目錄

一、目的.....	5
二、研究過程.....	6
三、研究成果.....	8
四、心得與建議.....	10

## 一、目的

本研究的總目標是通過電子標記、胃內容物分析和同位素分析，探討翻車魷科魚種在西太平洋的遷徙模式、棲息地利用及捕食生態。翻車魷科魚種的族群面臨多種威脅，主要來自漁業活動和氣候變遷。翻車魷科魚種經常在不同國家的各類漁業中作為混獲被捕撈，包括延繩釣、定置網、流刺網和拖網漁業。儘管牠們的分布與一些海洋保護區重疊，但目前針對翻車魷科魚種並沒有特定的保護措施。此外，在一些翻車魷科魚類被大量捕撈的亞洲國家，尚未建立海洋保護區。氣候變遷亦進一步加劇了像翻車魷科魚種這類大洋性魚類所面臨的挑戰。大洋性魚類的時空分布、遷徙路徑和棲息地利用可能會受到海洋環境變化的影響，例如海水暖化和缺氧現象。漁業活動與氣候變遷的影響都對翻車魷科魚種族群構成了風險。如果缺乏針對該族群的保護措施，這些壓力可能會導致翻車魷科魚種族群的減少及其長期生存的危機，故了解翻車魷科魚種的遷徙模式和攝食習慣對於制定有效的保護措施至關重要。翻車魷科魚種長途遷徙是為了產卵、覓食或應對水溫和食物供應的季節性變化。通過了解牠們的遷徙路徑和關鍵棲息地，我們可以實施措施來保護牠們免受捕魚活動和棲息地退化的影響。

本研究共分成四個次要目標: 1. 使用電子標記技術來探索翻車魷科魚種的遷徙模式和棲息地利用情況。2. 結合同位素景觀圖、胺基酸複合物同位素分析和貝氏混合模型，研究翻車魷科魚種的遷徙模式。3. 通過文獻數據回顧、同位素分析和胃內容物分析，討論翻車魷科魚種各物種的攝食種類、廣度及重疊性。4. 針對臺灣東部海域最常見的矛尾翻車魷的攝食行為進行解析。本研究為翻車魷科魚種在西太平洋長距離遷徙過程中的營養動態和棲息地利用提供了重要見解。

## 二、研究過程

筆者於 109 年 8 月 19 日起赴美，至 113 年 8 月 18 日返國服務，博士班主要要兩部分，第一部分為課程進行與研討會參與過程，第二部分為實驗研究過程。

(一) 四年期間修習課程與研究進度如下:

- 2020.08-2020.12
  1. Physical Oceanography (3 學分)
  2. Marine Microplankton Ecology (4 學分)
  3. Advanced Statistics in R (4 學分)
  4. 第一次研究評審討論會: 訂定研究主題與方向
  5. 分析資料電子式衛星標識紀錄器記錄魚類的洄游路徑
- 2021.01-2021.12
  1. Chemical Oceanography (3 學分)
  2. Stable Isotope Biogeochemistry (4 學分)
  3. Ecology of Pelagic Marine Animals (4 學分)
  4. Introduction to Programming and Statistics in R (4 學分)
  5. 第二、三次研究評審討論會: 修正研究主題與方向
  6. 撰寫並投稿電子式衛星標識紀錄器記錄魚類的洄游路徑研究
  7. 進行翻車魷科魚種穩定同位素分析與胃內含物分析試驗
- 2022.01-2022.12
  1. Benthic Biological Oceanography (4 學分)
  2. Bayesian data analysis (4 學分)
  3. Direct Research
  4. 第四、五次研究評審討論會: 討論論文章節目標與假說
  5. 進行翻車魷科魚種穩定同位素分析與胺基酸複合物同穩同位素試驗

6. 撰寫並投稿矛尾翻車魷車魚種食性研究。

● 2023.01-2023.12

1. Ecosystem Modeling (4 學分)
2. Direct Research
3. 撰寫研究計畫書並通過博士資格考
4. 進行翻車魷科魚種穩定同位素分析與胺基酸複合物同穩同位素試驗
5. 撰寫翻車魷科魚種食性研究

● 2024.01-2024.08

1. 分析胺基酸複合物同穩同位素試驗資料
2. 投稿翻車魷科魚種食性研究
3. 撰寫並投稿同位素分析解析西太平洋翻車魷科魚種的遷移模式研究
4. 撰寫博士論文
5. 進行論文口試

(二) 研討會參與

本計畫共參加兩次國際研討會的口頭發表、三次學生研討會的口頭發表與一次同位素應用工作坊。其中筆者在 2023 年 73rd Tuna Conference 發表的「Ontogenetic and Seasonal Shifts in Diets of Sharptail Sunfish (*Masturus lanceolatus*) in Waters off Taiwan」獲得 American Fisherman's Research Foundation 贊助的獎學金。此外，筆者亦在同位素應用工作坊獲得 National Science Foundation 贊助的獎學金。

(三) 本計畫之試驗研究共分成三大項，包括使用電子式衛星標識紀錄器記錄魚類的洄游路徑與探討和環境間之關係、使用穩定同位素分析與胺基酸複合物同位素分析解析魚類洄游與棲地利用之關係、使用穩定同位素分析與胃內含物分

析解析魚類營養食性階層動態研究。其中胺基酸複合物同位素分析在國在較無相關技術，該技術可用來解析物種的遷移、營養源與匯，藉此了解食物網的營養階層動態。

### 三、研究成果

本計畫執行至今，已完成博士論文撰寫，將研究成果發表於 SCI 學術期刊三篇(第一作者與通訊作者)，第四篇預計於今年年底投出，並參與多場國際學術研討會進行口頭發表。各項研究成果摘要解述如下：

#### (一)使用電子式衛星標識紀錄器紀錄魚類的洄游路徑與探討和環境間之關係

Chang CT, Chiang WC, Musyl MK, Popp BN, Lam CH, Lin SJ, Watanabe YY, Ho YH, Chen JR (2021) Water column structure influences long-distance latitudinal migration patterns and habitat use of bumphead sunfish *Mola alexandrini* in the Pacific Ocean. *Scientific Reports*, 11, 21934.

本研究利用衛星標識器追蹤花紋翻車魷的移動路徑，自 2019 至 2020 年間，本中心研究人員在臺灣海域標識四尾翻車魷，其中兩尾向北移動至日本的沖繩島和九州，另外兩尾魚則向南遷徙，越過赤道，抵達巴布亞新幾內亞和新喀里多尼亞。白天時，翻車魷主要棲息在溫躍層下的深度，而夜間則會上升到混合層深度。其中，南北向遷徙的翻車魷顯示了不同的棲息地利用模式。向北遷徙的翻車魷主要利用渦旋。在反氣旋渦旋中，翻車魷通常棲息於較深的水層，而在氣旋渦旋中，翻車魷則偏好棲息在表層。南向移動的翻車魷則與洋流和水層結構有關。本研究結果提供了花紋翻車魷在不同棲息地利用模式上的重要見解，以及它們能夠在不同的時空尺度下進行長距離遷徙的能力。

#### (二)利用同位素分析解析西太平洋翻車魷科魚種的遷移模式

根據電子式衛星標識紀錄器研究結果顯示，翻車魷會在西太平洋進行長距



離的遷移行為。然而，電子式追蹤器因為成本高，無法追蹤族群間的移動與棲地利用。故本研究利用同位素分析解析西太平洋翻車魷科魚種族群的遷移模式與棲地利用。本實驗採集日本、臺灣、新喀里多尼亞與紐西蘭海域的翻車魷，並測量其氮穩定同位素值，之後將測量值與預測值進行比較並探討其移動行為路徑。結果顯示大部分在日本、臺灣海域的翻車魷與預測值重疊，表示該地區翻車魷大部分為定棲者。然而，在日本與臺灣海域有些大體型的翻車魷有可能為遷移者。紐西蘭海域的翻車魷之氮穩定同位素值較高於預測值，顯示它們可能是遷移者。這項研究為翻車魷的遷移模式提供了重要的見解，表明它們經常在西太平洋海域進行遷移。

### (三)翻車魷科魚種的食性解析

Chang CT, Drazen JC, Hixon M, Popp BN (2024) Diet breadth and overlap in the Family Molidae. *Environmental Biology of Fishes* 107: 877–897.

翻車魷科魚類廣泛分布於熱帶到溫帶水域，通常被認為主要以凝膠狀浮游生物為食。儘管它們在形態特徵和行為上相似，但不同翻車魷物種之間的營養生態和交互作用仍然知之甚少。我們透過文獻回顧和對臺灣東海岸採集的四個物種進行食性分析，來探討同域物種—翻車魷、花紋翻車魷和矛尾翻車魷—之間的食性關係。文獻回顧顯示，翻車魷科的食性比以往認為的要廣泛。翻車魷、花紋翻車魷和假面翻車魷主要捕食來自上層/中層海洋環境的獵物，而矛尾翻車魷和長翻車魷則捕食來自上層/中層海洋環境及底棲棲息地的獵物，且在長翻車魷的胃中未發現凝膠狀獵物。在臺灣海域，翻車魷、花紋翻車魷的食性範圍相似且相對狹窄，主要以水母為食。相比之下，矛尾翻車魷的食性更廣，主要以被囊類為食，並從上層和中層海洋、沿岸和底棲棲息地覓食。

### (四)矛尾翻車魷自體食性轉變與季節性變動研究

Chang CT, Drazen JC, Chiang WC, Madigan DJ, Carlisle AB, Hsu HH, Ho YS, Popp

BN (2023) Ontogenetic and seasonal shifts in diets of sharptail sunfish (*Masturus lanceolatus*) in waters off Taiwan. *Marine Ecology Progress Series* 715: 113-127.

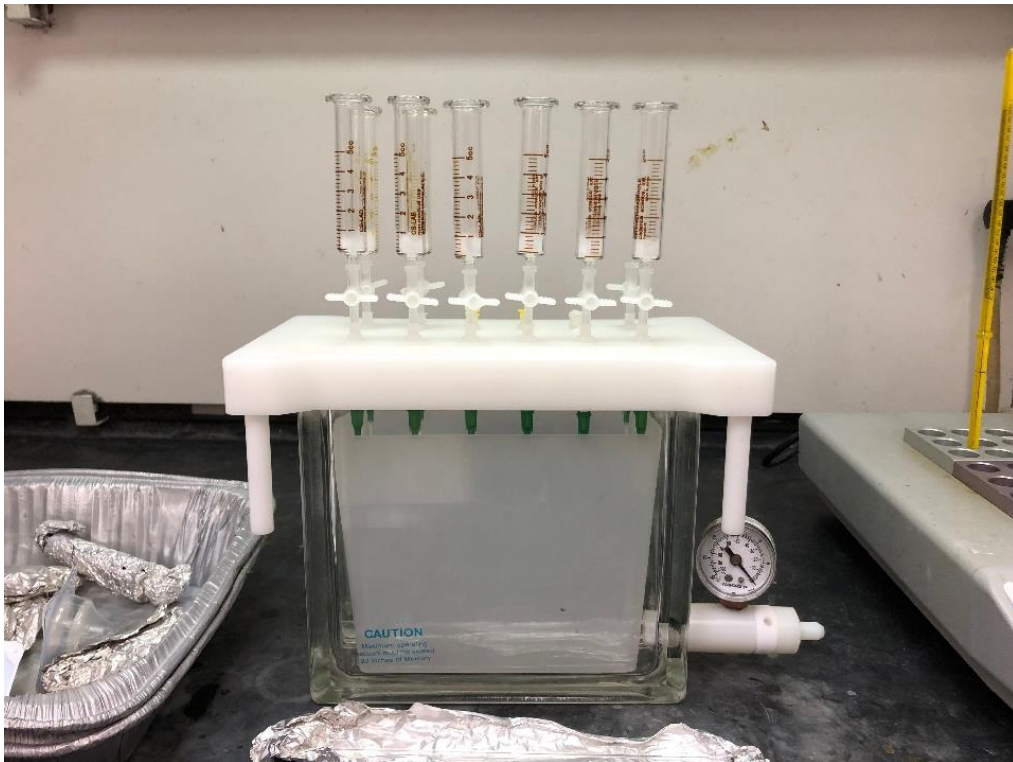
矛尾翻車魷廣泛分布於熱帶與溫帶海域中，通常被認為是以水母類浮游生物為食的捕食者。在某些地區，矛尾翻車魷為目標物種並被大量捕撈。然而，對於有關矛尾翻車魷的習性研究少。本研究透過胃內容物分析與穩定同位素分析解析臺灣東部海域矛尾翻車魷的攝食行為。結果顯示矛尾翻車魷主要以被囊動物為食。矛尾翻車魷的攝食隨著體型大小有顯著變化；小型魚具有較低的氮碳穩定同位素值，並以翼足類和海樽為主食，而大型魚 (>80 厘米) 則以鱗海鞘、頭足類為食，且隨體型增大，其同位素值和營養位階也相應提高。此外，其食性組成與碳穩定同位素值也有季節性變動，表示矛尾翻車魷的食性有季節性變動。

#### 四、心得與建議

(一) 在美期間發現許多研究計畫多與其他領域進行跨領域合作，例如筆者為海洋生物學門，進行研究時多與海洋物理、地質與化學專家合作研究。跨領域研究能夠將不同領域的專業知識整合在一起，提出新的視角和解決方案。例如，將生物數據與海洋物理結合，可以了解海洋環境與海洋生物之關係，更進一步探討氣候變遷對於海洋生物之影響。跨領域的合作亦可以激發創意，例如筆者所學習的胺基酸複合物同位素分析既是結合了海洋生物與化學的領域，將該技術應用至生態學研究，例如食物網動態、營養鹽來源、物種遷移等相關研究。此外，跨領域的合作也可以有效地利用資源，例如共享設備、數據和技術，可降低了成本與提升研究效率。跨領域的合作模式值得我們學習，有助於提高學術研究的水平。

(二) 本計畫的主要參與實驗室為穩定同位素生物地球化學實驗室。該實驗室的訓練體系完整，涵蓋了從樣本的前期製備、儀器操作、數據收集，到資料判讀

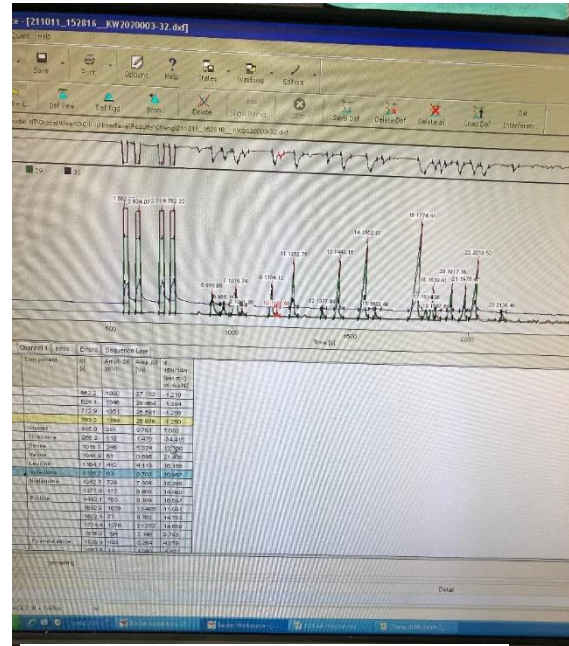
與分析的全過程，培養學生獨立研究的能力。筆者在該實驗室中，不僅能學習如何獨立操作各種儀器設備，還能掌握樣本處理的具體步驟，以及後續數據的解讀方法。當筆者在研究過程中遇到問題時，實驗室的老師與技術員會提供積極的協助和深入的討論，幫助學生解決實際操作中的困難，並加深對實驗原理的理解。這樣的學習環境，促進了筆者對整個實驗流程的全盤掌握，而不僅僅是接觸數據處理的部分。這種訓練方式對筆者而言非常寶貴，不僅提升技術操作能力，也培養了獨立思考和解決問題的能力。通過這樣的訓練，筆者可以將穩定同位素技術帶回臺灣，並應用到本地的研究中，為相關領域的發展作出貢獻。



圖一、胺基酸複合物同位素研究 - 實驗流程製備。



圖二、胺基酸複合物同位素研究 - 儀器操作。



圖三、胺基酸複合物同位素研究 - 資料判讀、分析。

(三) 夏威夷大學海洋學系在海洋監測和研究方面具備豐富的資源和經驗，特別是通過其試驗船對夏威夷周邊海域進行的長期監測。自 1988 年以來，該系每年都進行詳細的海洋環境調查，其中以 Station ALOHA 為主要測站。這一測站是長期海洋觀測的核心，為了解海洋生態系統的變化提供了重要的數據支持。除了現場調查之外，夏威夷大學還設立了 Hawaii Ocean Time-Series (HOT) 網站，將所有的監測數據公開上傳，這些數據包括鹽度、溫度、營養鹽濃度和氧氣濃度等海洋參數。該網站定期更新和維護，確保數據的準確性和可用性，為全球的海洋研究者提供寶貴的資料資源。在學生培訓方面，夏威夷大學海洋學系非常重視學生對 HOT 資料的分析能力，並且積極鼓勵學生參加出海航次，親身參與海洋監測活動。這不僅有助於學生的實際操作經驗，還能將這些監測數據融入他們的研究中，培養學生的科研能力和實踐經驗。此外，該系還與其他設有測站的國際大學和研究機構保持著密切的合作。例如，夏威夷大學與加利福尼亞大學聖塔芭芭拉分校的 Station 51 有多方面的合作，並共同發表了一些研究成果。這些國際合作有助於擴展研究視野，並提高對全球海洋變化的理解。臺灣的水產試驗所也擁有多艘

試驗研究船，對臺灣周邊海域進行了廣泛的監測，並積累了豐富的資料。因此，筆者認為，夏威夷大學在監測資料管理與應用方面的經驗和做法，可以成為臺灣相關機構在推進海洋監測工作中的寶貴參考。通過借鑒夏威夷大學的成功經驗，可以進一步提升臺灣在海洋科學研究與國際合作中的地位。

(四) 夏威夷大學海洋學系在科學傳播 (Science Communication) 方面的努力不僅限於高等教育機構，還延伸至當地的小學、國中、高中以及廣泛的社區。透過一系列的科學傳播活動，該校積極將科學知識帶入校園和社區，確保不同年齡層的學生和公眾都能夠接觸到最新的科學發現和環境保護觀念。科學傳播的重要性在近年來越來越受到重視，原因在於它能夠縮短科學研究與社會應用之間的距離。因此，將這些知識以通俗易懂的方式傳達給公眾，不僅可以提高公眾對科學的理解，還能促進科學成果的應用，並引導社會做出更加科學和負責任的決策。具體來說，夏威夷大學的科學傳播活動包括開放實驗室參觀、科學講座、與學校合作舉辦科學週、以及參與社區活動等形式。這些活動不僅激發了年輕一代對科學的興趣，也讓社區居民更了解當地環境的變化與保護的重要性。例如，通過解釋氣候變遷對夏威夷群島生態系統的影響，科學家們能夠向公眾傳達環境保育的緊迫性，並鼓勵大家採取行動。故筆者認為，臺灣在推動環境保育和科學教育的同時，也應該更加積極地引入科學傳播的思維模式和運作方式。科學傳播不僅僅是將研究成果傳播出去，更是一種雙向交流的過程，能夠幫助科學家了解公眾的需求與關切，從而更好地調整研究方向與應用。透過推動科學傳播，臺灣可以確保科學知識不僅停留在少數專業人士手中，而是被廣泛分享、理解並應用於改善環境等各個方面。這對於提高社會對科學議題的關注、增進公眾科學素養、以及促進可持續發展都有著至關重要的意義。