

水產音響學研究發展演進 暨第 13 屆亞細亞水產音響年會專題報導



嚴國維、黃鼎傑

水產試驗所海洋漁業組

水產音響學研究發展簡史



陸生生物中蝙蝠應用超音波，可清楚定位獵物之距離，在深夜裡精準的獵取獵物。而水中海洋哺乳類在面對更深更缺乏光線的深海，同樣也演化出了這項技能，除了可以探知獵物的蹤跡，甚至可以將其應用於社交溝通上。相較於這些動物自數百萬年前起就開始應用水中音響學，根據文獻記載，人類最早開始啟用水中音響學，係由知名博學家—李奧納多·達文西於 1490 年發現，若將一根長管放入海中，再以人耳去聆聽管內的聲音，就可以達到推算附近船舶距離之功能。達文西將這個重要的發現記錄於他的筆記，並流傳於世間。

1912 年鐵達尼號因撞擊冰山而沉沒，有關航行中遇到冰山的問題獲得許多科學家重視，並開始發展水中音響學的技術。而在第一次及第二次世界大戰的國際緊張情勢下，探測潛水艇之軍事需求，也促使更多水中音響學研究資源投入。雖然研究的過程中發現水中音響學對冰山的探知能力有限，但在潛水艇探測的過程中發現，透過音響調查海底深度及海底沉船有極大幫助，也因此將其轉換成為重要的航安設備，並廣泛銷售於世界各地之商船、漁船及試驗船。

1934 年 3 月，挪威科學家 Oscar Sund 在 Lofoten 利用試驗船之測深儀進行探測時，經過 Lofoten 周邊鱈魚產量最多的區域，意外地發現了測深儀從未被發現過的功能。這個功能就是透過測深儀的畫面可以發現生物群聚的現象 (圖 1)，而 Oscar Sund 也透過了測深儀所傳回之訊號與鱈魚的產卵特性進行比對，研判所探測到的生物就是鱈魚，如此大膽的推測也開啟了水產音響學之學門。

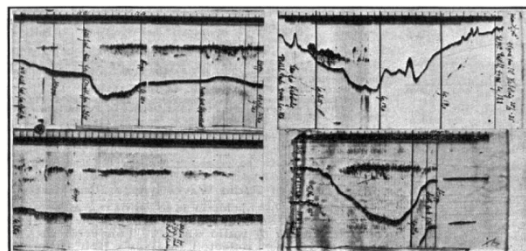


圖 1 首次發現音響學可應用於漁業的聲波回訊圖 (資料來源：Sund, O. (1935) Echo sounding in fishery research. Nature, 135(3423): 953.)

然而，僅僅發現魚群深度及位置，並無法滿足漁業需求及科學家的慾望，科學家想透過這樣科技取得更深入的資訊。在 1963 年兩位蘇聯科學家 (M. N. Scherbino 及 M. D. Truskanov) 共同努力下，總算透過大量的試驗作業及聲學的回波訊號，發現魚群密度與水下音響回訊能量之積分值有顯著相關，進而確定回訊積分法可作為探測魚群密度之指標。

在此之前，水產音響學所用之技術都屬於單波束探測，直至 1974 美國科學家 John E. Ehrenberg 發表其研究成果指出，透過寬窄不同之兩個波束發射器進行探測，除可個別探測到魚群回訊的積分值外，兩個不同波束積分之平均值也有助於提升評估資源密度的能力。3 年後美國科學家 Charles F. Greenlaw 及 Richard K. Johnson 也透過多頻率的方式提升了資源密度的探測能力。1980 年美國兩位科學家 (William A. Barry 及 Darrell R. Jackson) 更研發出分割波束的水中音響設備，透過波束的分割，訂出魚群所在位置之象限，達到探知魚群游動方向之能力 (圖 2)。

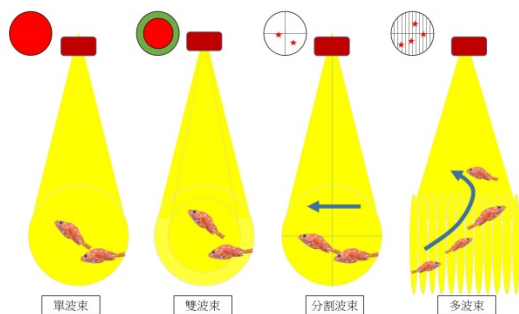


圖 2 不同波束探測之過程與回訊示意圖

1990 年代起，多波束 (multi-beams) 水中音響技術逐漸開始獲得水產研究之應用，透過許多波束的方式，除了因其扇形的特性可以掃描更廣的範圍外，對於魚群移動的指向性更能有效掌握，也因此成為水產音響學研究的新主流。時至今日更發展出 3D 功能的多波束儀器，可供科學家更細膩的分析水產資源 (圖 3)。

除了在探測魚群豐度及資源特性外，水產音響學發展至今，也延伸出更多元化的水產研究工具，例如超音波的標識放流儀器就是近年來相當獲得科學家青睞的一項產品。

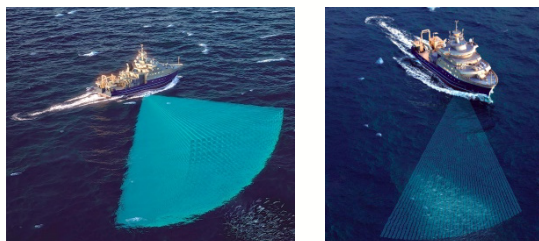


圖 3 不同類型之多波束水中音響探測示意比較，右為 2D，左為 3D (資料來源：www.simrad.com)

標識放流是一種傳統的漁業科學技術，漁業科學家最原始的構想，就是將已知數量的標識活魚放入魚群中，通過一段時間充分的混合後，透過捕撈的方式捕捉魚群中的部分魚體，進而從漁獲中標識的數量比例，來估計魚群資源的多寡。如圖 4 所示，科學家在某魚群中放入了標識魚 20 尾。經過一段時間的混合後，自魚群中捕捉 25 尾魚，發現其中有 5 尾是標識魚，就可依這個方式推算原始魚群的數量。這種標識回收計算原始資源量的實驗，又稱為 Petersen 法。

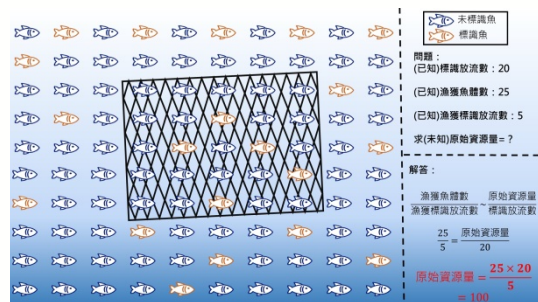


圖 4 Petersen 法標識放流資源評估構想圖

隨著水產音響學的不斷創新，標識放流技術也與時俱進，除最新科技之半導體記憶功能，也將水下超音波傳輸等水產音響學的科學元素引入裝置。這些提升讓標識放流不再只是簡單的計算資源量，也可透過記憶及資訊傳輸功能，讓科學家掌握更多魚體洄游過程的環境資訊。

亞細亞水產音響學會

一旦有效的水產音響學工具獲得開發，無論是作為提升漁獲效率的商業工具，又或者是作為一種科學調查的科學儀器，都將使相關研究同儕感受到萬分驚喜，亟欲經由學術會議交流，將使這些資訊與成果在水產音響學界流通與分享。過去常在歐洲、美洲及蘇聯密集研究的水產音響學，近年來也獲得亞洲國家研究人員的重視，並且在相關技術中得到一些發展成果。為了促進亞洲國家漁業科學家在此研究之資訊交流，增進跨域合作的機會，一群亞洲相關研究科學家共同組成亞細亞水產音響學會 (Asian Fisheries Acoustics Society, AFAS)，定期舉辦年會召集大家與會共享研究成果。臺灣眾多研究學者也是該學會的重要成員，也因此該學會成立至今，臺灣共承辦過 3 屆年會，其中也包含 2019 年的第 13 屆年會。

超音波生物標識追蹤技術訓練班

一、標識放流裝置介紹

在本屆年會籌辦過程，年會地區委員會副召集人—國立臺灣海洋大學呂學榮教授，特別希望能將此技術推廣至我國漁業研究界，因此洽本所共同邀請日本的專業技術團隊到臺灣，提供我國年輕漁業科學家專業知識課程及操作技術實務講授，經過本所相關同仁近 2 個月的籌備，總算帶來一場別開生面的超音波生物標識追蹤技術訓練班。

年會主會議開始的前一天 (2019 年 11 月 10 日) 上午，講者—富安信 (北海道大學

助理教授) 為各位學員說明了標識放流的歷史，在 Petersen 法於漁業科學界暢行一段時間後，1980 年代開始，就有科學家想到要透過標識放流收集更多的資訊，也因此有研究開始使用計時器手錶及紙張記錄企鵝、海豹及海龜等生物活動的時間。但在此年代，尚須將該標識裝置回收才能獲得資料，因此相對較不方便。1990 年代標識放流技術開始突飛猛進，除了由原始的紙張記錄提升為有微電腦的記憶功能外，也新增了許多個感測器裝置，包含：深度、溫度、加速度、速度、光強度、磁性、照片、GPS 等。如果說 1990 年代是標識放流發展的突破期，那通訊技術就是標識放流在 2000 年最重要的研發里程碑。在此年代，漁業科學家開始將無線電、聲波遙測及衛星通訊功能大量應用於標識放流裝置上，同時也讓科學家成功回收數據的機率大大的提升。

富安信也進一步說明了標識放流的方式，目前主要的標識放流方式大概可以分成以下三種，分別為外部安裝法、胃部安裝法及手術安裝法。首先外部安裝法主要是針對魚背鰭下方肌肉進行標識裝置的安裝，如圖 5 所示，為了確保魚體不會因為標識裝置而刮傷魚皮，可搭配塑料墊片加以保護。第二種安裝法為胃部安裝法，是透過輔助插入桿，將標識裝置通過喉嚨、括約肌一路送至魚的胃部。這個方法僅限特定耐受度較高的魚種，且因胃部放入該裝置後，即便該魚活存，仍可能影響其正常生活及增加死亡率，此舉與標識放流技術最原始假設：標識後與魚群內其他魚體之活存率無顯著差異會相互牴觸，因此此法近來較少使用。第三種方式

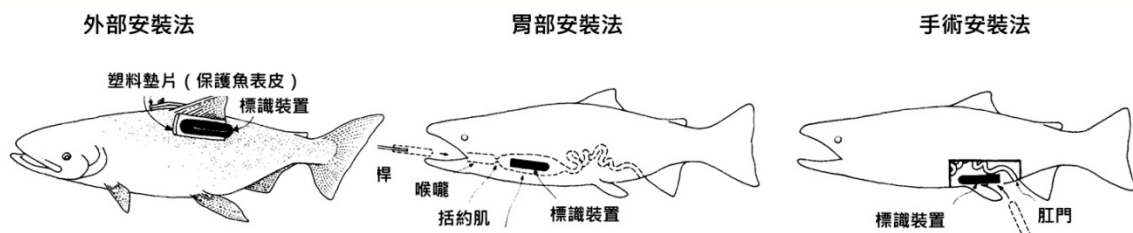


圖 5 標識放流的主要方式 (參考資料：Mellas & Haynes, 1985)

是手術安裝法，該方法即透過手術的方式，輕輕的劃開魚內臟外之皮組織及肌肉組織，將標識裝置放入後再將其縫合。此方法屬於侵入性的作業方式，除了在操作的時間長短上必須特別注意外，也必須加強消毒。另一方面，在下刀過程中，也要特別注意不可傷及內臟，否則將無法成功使魚返回魚群繼續生活。

二、標識放流實務課程

除了標識放流裝置介紹外，本次訓練班也特別規劃了實務課程。上午的實務課程主要讓學員練習手術安裝法，包含如何進行標籤植入以及縫合魚體等操作；而下午，則以遙控船模擬魚移動的方式，收錄移動的軌跡，並回到教室進行數據分析。在講師細心的指導下，學員大多學會了如何進行相關研究的入門功夫，講師也與學員一同感受標識完成後的喜悅。下午的時段，講師帶著學員透過遙控船的方式，讓標識裝置模擬魚體標識後游回大海的情況，在公務碼頭辛苦一下午後所收回來的資料讓學員倍感珍惜，也因此實習後講師指導後續的分析工作時，大家更是認真分析。隨著數據分析的方法逐一展演練習，課程也漸漸進入了尾聲，學員在離情依依的情緒下，期盼能再次參與相關的活動。

第 13 屆亞細亞水產音響學會年會暨論文發表會

「第 13 屆亞細亞水產音響學會年會暨論文發表會」之主會議於 2019 年 11 月 11—13 日在國立臺灣海洋大學舉辦，現場聚集美國、日本、韓國、中國、挪威、泰國、印度、印尼及臺灣等 9 個國家，近 100 位專家學者與會，挪威、日本等先進科學儀器的廠商也進駐海洋大學。年會開幕式由海洋大學李明安教授主持，邀請致辭嘉賓包含海洋大學張清風校長（致開幕辭）、本所陳君如所長（致歡迎辭）及亞細亞水產音響學會理事長宮本佳則教授（學會主席致辭）。張校長在致辭時除歡迎遠道而來的學者，也特別提及水產音響學是漁業科學中不可或缺的一部分，在漁業資源評估、淡海水養殖都扮演了極為重要的角色。本所陳所長也在會中點出了水產目前對人類生活的價值，並向 1934 年挪威科學家首次將水產音響學應用於漁業觀測的重要里程碑致敬。宮本佳則教授回顧了過去在大連，仁川，臺北，檳城，青島，釜山，東京，高雄，曼谷，函館，廣州和濟州等各個亞洲國家辦理年會的歷史，並期許更多學者投入相關研究。開幕式後，學者及致辭嘉賓也合影留念（圖 6）。



圖 6 參與年會之學者及致辭嘉賓合影留念

本次發表會共收入了 41 篇論文，其中包含關鍵演說 3 篇、口頭發表 32 篇及海報發表 6 篇。報告主題分為音響技術、音響應用、生態監測、回訊探測及理論與標物反射強度等五類。各議題研究亮點如下：

一、音響技術

利用多音鼓聲納系統進行鮪魚計數，並透過額外的發波器量測魚體游動速度。結果表明，計數誤差在 2% 以下，這種新開發的計數系統可應用在養殖鮪魚的計數方面。

二、音響應用

在海上施工時產生的噪音可能造成魚類生理上的影響，本研究透過陣列式音鼓在海上風機的施工距離 1 km 處，對 3 尾比目魚進行觀測。研究結果顯示，海上施工對比目魚的游泳方向沒有顯著影響，游泳方向和潮流方向之間亦沒有顯著相關。

三、生態監測

透過機械式掃描聲納系統，對魚群行為以及體長分布等進行觀測。結果證實，該系統可以有效取得魚群時空分布及體長分布等，兼具實用性以及成本較為低廉等特性。

四、回訊探測

使用多頻率聲學探測及拖網採樣等方式對兩種磷蝦進行資源評估，並探究體長分布及空間分布。結果發現，兩種磷蝦的主要分

布區域均在大陸斜坡，且具有不同的垂直分布週期特性。

五、理論與標物反射強度

透過 10 個採樣點進行拖網作業及聲學探測，並與前人研究進行比較，發現相同密度之評估結果與前人研究具有顯著差異，進一步研究後發現磷蝦之脂質含量會影響密度評估結果。

本所同仁本次共有 5 篇作品於發表會上發表。其中江偉全副研究員以海報方式發表之「Fine-scale vertical movements and behavior of young skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) off eastern Taiwan」及「Short-term movements and habitat preferences of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the northern East China Sea」是以水產音響學在標識放流上的技術及應用為重點的相關研究。而李純慧助理研究員以海報方式發表之「Preliminary analysis on the acoustic and catch data of the bottom trawl in coastal waters of northwestern Taiwan」則是以水產音響學方式調查漁獲資源之研究成果。嚴國維助理研究員口頭發表之「Acoustic characteristic estimates of zooplankton in the Taiwan Strait」，主要透過周邊漁場監測的浮游動物資料與水產音響學的技術進行分析，進一步發現不同浮游生物豐度對於水中聲波探測所造成的差異。黃鼎傑探測技正口頭發表之「Evaluation the fish aggregation effect of wind turbine facilities by using scientific echosounder in Nanlong wind farm area」探討如何透過音鼓角度的調整，更貼近的探測離岸風力發電機組下的資源量。