

海洋之聲，臺灣之子

國際水下聲學專家林穎聰

文／林蔓禎 圖／林穎聰、Kelly Walsh、Mike Moore、Caladan Oceanic



此次深潛任務成果豐碩，林穎聰與 Victor Vescovo 開心合影。(攝影 /Mike Moore)

人類的五種感覺器官，眼、耳、鼻、口、舌，形成視覺、聽覺、嗅覺、味覺及觸覺等感知能力，所以，我們透過光照射在物體上再反射到眼睛，而看到事物，與聲音傳導的原理完全相同。聲音是由物體震動而產生，透過液體、氣體和固體等介質傳播出去。因此，「聲學」是波動學的一個領域，研究內容包含聲波、超聲波和次聲波等範圍；而「水下聲學」就是研究水中聲波的產生、接收、傳播…面向的一門學問。

在臺灣出生、成長至完成博士學位，現職為美國伍茲霍爾海洋研究所 (Woods Hole Oceanographic Institution) 終身研究員的林穎聰博士，旅居美國 18 年以來，不僅參與實海域探測計畫逾 60 次，西元 2020 年更成功潛入 100,925 公尺深的海底，完成潛入馬里亞納海溝 (Mariana Trench) 最深處「挑戰者深淵」(Challenger Deep) 的壯舉，成為全球第 12 位、亞洲第 1 位完成此任務的探測者。筆者透過電子通訊方式進行訪談，林博士以爽朗親和的魅力，娓娓道來他所鍾愛的，蘊藏於深海之中的海洋密碼。

“關於水下聲學”

林博士表示，「水下聲學」的研究

與發展多與自然物理有關，譬如「仿生」(Bio-inspired)，當人類看到並學習到動物的某些行為而模仿，這也是水下聲學研究的範疇。接著他舉例，陸地上最善於聽音辨位的動物是蝙蝠，而海裡的則是海豚。因為動物的大腦在演化過程中，常因缺乏光線而發展出必須用聽音來辨位，依賴聽力來探索、觀察周圍的環境，蝙蝠與海豚都有類似的情形。蝙蝠同時也是夜行性動物，視力已經嚴重退化，所以依靠「超聲波」來探測環境與傳遞訊息，因此很多雷達聲納的研究起源皆來自蝙蝠及海豚。

提到海底光源，太陽光大約只能照射到 200 公尺的深度，在此之下的陽光能量就會被海水吸收，因此在深海裡只能藉由高強度手電筒的光源來照明，但手電筒的光只能傳遞不到 20 公尺；因此深海中，最好的能量傳播即聲源。那麼在海裡有哪些因素會影響聲音的傳播？一是「溫差」，有溫差就有折射。除此之外，溫度的高低也會影響聲音傳播的快慢；溫度越高，聲音傳播速度越快，溫度越低，聲音傳播速度越慢。第二個考量的因素是「鹽度」。事實上，海水有不同的鹽度，造成海水鹽度最主要原因是地球的礦物質溶解到海裡，歷經幾百萬年甚至更長時間的重力影響，鹽度越高(海水密度越高)，海水下沉

越深，另外聲音的傳播速度也越快；鹽度越低，海水下沉較淺，聲音的傳播速度也越慢。為了達成用聲音來探測海洋環境，就必須了解海洋環境參數，以此掌握聲音傳播的模式，透過聲波來探測海洋。更簡單的例子就是，聲波發送出去彈回到耳裡，讓人聽到，就像用光探測環境的道理一樣。

“「國防」角色舉足輕重”

水下聲學、海底探測，到底在探測、研究什麼，如此專業領域似乎很難與日常生活產生連結，其實不然；「國防」，就是水下聲學高度發展的一個非常重要的關鍵。國防包含「防禦」及「攻擊」二大面向，是社會安定重要的一環，因而水下聲學在國土安全保衛上扮演了舉足輕重的角色。第一次世界大戰期間，德國發展出潛艇 U-boat(Undersea boat)。在敵對陣營英

國皇家海軍的嚴密封鎖中，德軍處於劣勢，多數時刻都按兵不動，唯獨 U-boat 承擔起探測軍情、攻擊敵艦的大多數任務，更立下重創英國海上經濟命脈的大功。相對而言，英國陣營為了抵擋 U-boat 的攻擊，亦加速水下聲學的開發與研究，因此可以說，水下聲學是從第一次世界大戰期間才開始全面性的快速發展起來。

當然，聲音可以在水中傳播這件事很早就得到證實，但也僅限於少數活動或個人經驗，「水上芭蕾」即為一例。喜歡游泳、潛水的人最能體會在水中或海裡時，完全聽不到外界聲音、噪音，心境瞬間變得無比平靜，彷彿與世隔絕般的自在與寧謐。水上芭蕾的某些動作必須在水中而非水上完成，其曼妙的舞姿與動作必須搭配音樂來進行，因此當舞者潛入水中時，靠著水下喇叭將音樂傳播出來，讓舞者可以就著音樂舞動。

“因憧憬海洋而研究海洋”

海洋是一個未知的內宇宙，恢弘壯闊、神祕莫測，令人敬畏神往，心嚮往之。林穎聰從小就對大海懷著一份特殊的情感，大概從國小 5 年級開始接觸自然科學，得知全世界最深的海底就位在馬里亞納海溝的「挑戰者深淵」時，內心即受到激勵與觸動。海溝底部於海平面下的深度還大於



美國富豪探險家 Victor Vescovo，邀林穎聰搭乘潛艇深潛至海底。(圖片提供 /Caladan Oceanic)

聖母峰(世界第一高峰，喜馬拉雅山主峰，高 8,848 公尺)海平面上的高度。當時全世界只有一、二個人造訪過該海溝(下潛第一人為美國軍官 Don Walsh，其子 Kelly Walsh 也在西元 2020 年下潛到挑戰者深淵)。對年幼的林穎聰而言，那片廣袤的深海就像太空人登陸月球一樣遙不可及，甚至更加深不可測。從此，「挑戰者深淵」就成了林穎聰心目中的「聖地」，一個他畢生憧憬的神祕海洋國度。

之後，求學過程一路順遂，林穎聰從成大水利及海洋工程學系學士、台大造船及海洋工程學系碩士到臺大工程科學及海洋工程學系博士，他就讀的系所始終不離海洋相關科系。西元 2002 年攻讀博士學位期間，他赴美一年當交換學生，期間同時完成臺大博士論文，西元 2003 年返臺完成

論文口試，不久之後即接到美國伍茲霍爾海洋研究所(Woods Hole Oceanographic Institution)的工作邀約，西元 2004 年林穎聰舉家赴美，開始他的研究工作經歷，也從此展開全新的人生。

旅美至今，林穎聰累積的出海探測次數已超過 60 次，對他來說，每一次出海都是非常珍貴的經驗。然而，西元 2020 年抵達挑戰者深淵的計畫，卻是一次充滿不確定性的艱鉅任務，所幸最後順利達成，林穎聰成為第一位抵達地球最深處的亞洲人與臺灣人。

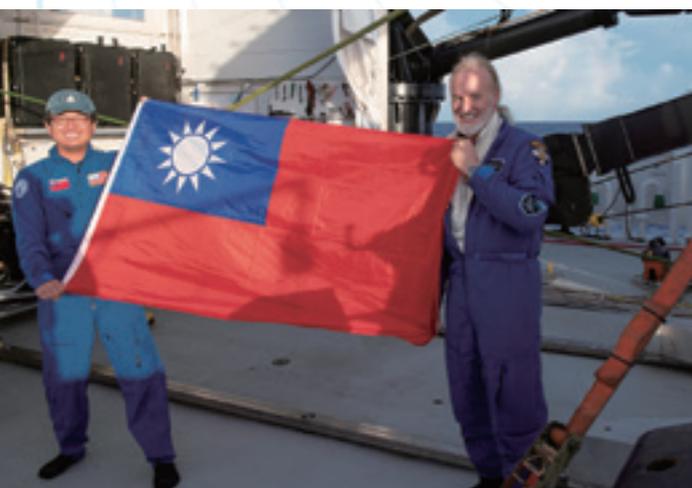
“「限制因子號」潛水艇的挑戰”

能夠參與此計畫，源於美國富豪探險家 Victor Vescovo 成立一個私人的海洋探險公司，想找一位具水下聲學專業的海

洋科學家。他覺得林穎聰非常適合，便邀他一同出海，挑戰海底探測任務。出海計畫的研究團隊有 20 多人，但真正搭乘潛艇深潛至海底的包含富豪探險家、Kelly Walsh、林穎聰與 Jim Wigginton 四人。富



限制因子號的外觀與造型，下方的圓狀物即壓力艙和觀測窗。(攝影/Mike Moore)

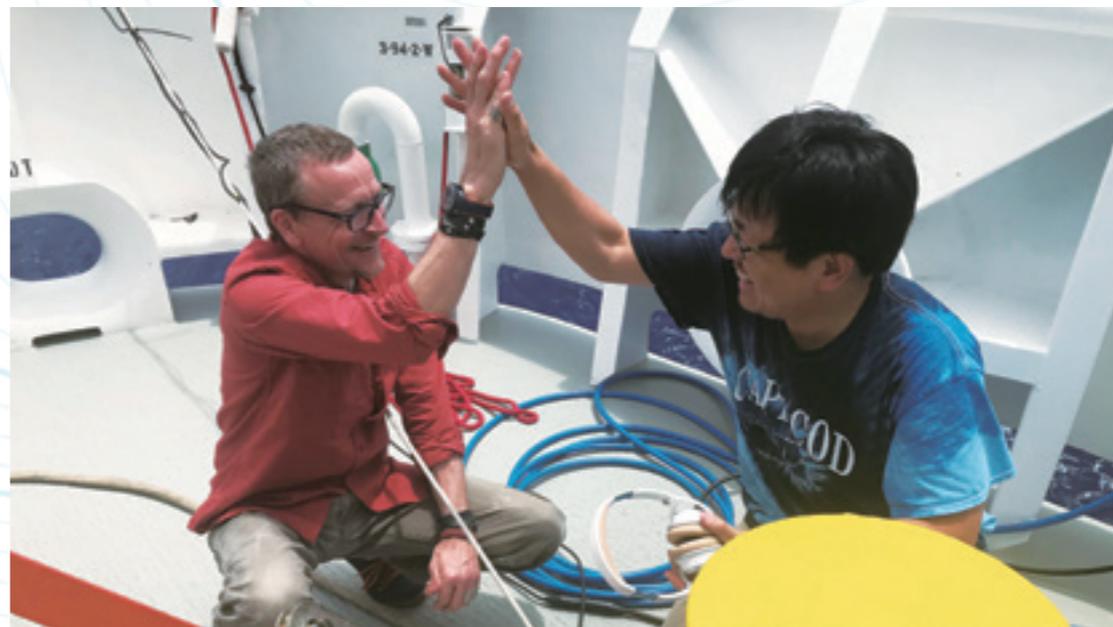


成功完成深潛，林穎聰最想和臺灣的鄉親父老分享這份喜悅。(攝影/Mike Moore)



豪探險家 Victor Vescovo 依序搭載其他三人(一次一人)下潛至挑戰者深淵。潛艇名為「限制因子號」(Limiting Factor)，這是一艘外觀方形、內部壓力艙圓形的潛水艇，由鈦金屬製成，厚度高達 25 公分，不僅是高科技的尖端產物，也是一件絕無僅有的工藝精品。潛艇內部供兩人乘坐的壓力艙，是個直徑僅 1.7 公尺大小的空間，從開始下潛到完成任務為止，此狹小的壓力艙就是兩人的活動範圍，他們必須在此執行駕駛潛艇、操作儀器、工作記錄...探測事項。

即使研究團隊的專業無懈可擊，行前準備亦妥善無虞，此行仍有極大的風險存在。出海前，林穎聰連遺囑都寫好了，他也表示，自己始終對馬里亞納海溝心懷憧憬，如此難得的機會，不希望因為一時的害怕，而錯失聆聽大海想要傳達的聲音與故事。那麼，風險何在？其實首先面臨的就是潛艇下潛時的狀況。如果潛水艇設計不良，深海中的壓力很可能將潛艇壓扁。林穎聰以保麗龍杯為例，將杯子放入袋中送下海，約莫到達 1、2 千公尺深處，海水的壓力就能將原本手掌大的保麗龍杯子壓到像一根拇指般大小。所以，「抗壓」是工程設計上的一大挑戰，包含抗壓係數最



林穎聰是全球完成潛入最深海底壯舉的 12 人，圖左的 Kelly Walsh 則是第 11 人，兩人擊掌，彼此慶賀。(圖片提供/Kelly Walsh)

高的球狀潛艇及建造潛艇的材質等。

所幸「限制因子號」成功下潛並順利著陸海底。然而危機尚未解除，下去沒問題，上來卻又是另一個考驗。下潛時可掛重增加密度讓潛艇自然下沉，但上升時只能依靠潛艇特製的手臂卸重；在如此高壓下，必須得保證手臂能正常運作、不會出錯。雖然出發前的各項操作順序、步驟皆經過多次演練與縝密安排，但在 11 公里深的水下操作能力，遠比在無重力的外太空還要困難。因高壓會造成金屬疲勞甚至爆破，現場任何一個突發狀況，都可能導致任務失敗，無功而返。慶幸的是，包含下

潛 4 小時、停留 2 小時及上升 4 小時，「限制因子號」深潛全程 10 小時期間，所有成員皆安然無恙，並成功抵達海底，完成探測壯舉。

“ 抵達「挑戰者深淵」 ”

「限制因子號」下潛經過 4 小時抵達海底，林穎聰和 Victor 再花 40 分鐘找到水下標燈 (beacon)，讓基地知道潛艇的所在位置後，隨即展開探測行動。當潛艇著陸的那一刻，林穎聰看到的是塵土飛揚的畫面，眼前的景致是沙波 (沙子的波浪) 與岩石的組合；霎時之間他內心萬分激動，深

感震撼與感動；體認到大自然的神奇與奧妙，對比人類的渺小，身為人類一份子，更應敬畏自然、善待環境。他覺得「限制因子號」就像是時空膠囊般，將他帶回到幾百萬年前的海底，看到的彷彿就是地球最原始的面貌；而過程中卻又讓他以為來到另一個時空、另一座星球，宛如愛因斯坦說的「蟲洞」(wormhole)，如夢似幻，真假難辨。

想像一下 100,925 公尺是什麼樣的概念？對筆者而言根本無從想像。林穎聰解釋，在將近 11 公里深的海底看似非常平靜，但水壓極大，不存在任何魚類，也少有生物能存活，可能因為地震或地殼變動等自然現象才會產生波動，因而海的流動

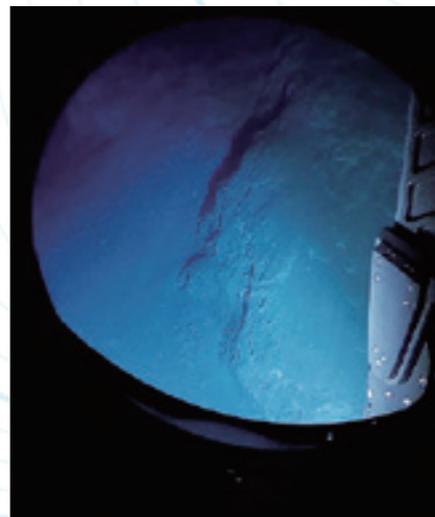


從海底採集到的兩個端足類生物。(攝影/林穎聰)



自然非常緩慢，不太可能造成沙波；所以他看到的沙波景象，也許需要歷經數百萬年的時間才得以形成，這讓他深深覺得，自己好像是個誤闖聖地的不速之客，叨擾了這片神聖的國度，所以他們抱持著敬畏的心完成科學探測。

然而，這趟任務確實不虛此行，透過生物捕捉器採集到兩個端足類 (Amphipod) 生物，模樣像蝦子，長度約 3 公分，是深海中常見的甲殼類。還完成了「水下聽音器」探測之創舉。此儀器是由美國 NOAA 海洋研究機構所提供，這也是該儀器第一次放入這麼深的海底，意外的是竟然測量到很多種聲音，包含地震、海面上船的噪音…。而研究團隊同時執行了「水下聲學傳播」的實驗，也就是從海面上將水下喇叭放入海底，並傳送低頻的聲音至海裡，透過喇叭傳播出去，以此了解聲音在水裡的傳播情形。實驗結果發現，在如此深海中聽到的聲音會因頻率的不同而出現傳播速度的快慢或距離遠近。因海水無法吸收低頻的聲音，所以若以中央音 Do 的頻率約 256 赫茲 (Hz) 為例，低 8 度就是 128Hz，再低 8 度是 64Hz，而 64Hz 的聲音就能在



經由觀測窗拍攝到的海底地貌。(攝影/林穎聰)



潛艇著陸時拍到的聲音回報器 (Beacon, 標燈) 畫面。(攝影/林穎聰)



水下傳到幾百公里外的距離；由此可知，聲波的傳遞非常有效率。透過實驗又得到另一個重大發現；聲音傳下去後會反彈回到海面，海面上的聲波又可再反彈一次到海底，最終測量到有三個往返共五次反彈，總共傳播路徑的長度為 56 公里，這個結果超乎大家預期，難以想像在近 11 公里的深海裡，聲音的反射係數竟如此之高。這個實驗也創下有史以來垂直傳播距離最長的紀錄，如此振奮人心的消息，對林穎聰與團隊而言都是最佳的回饋。

回程時的另一個感動，是在潛艇逐漸上升，光線也越來越亮之際，林穎聰很幸運的剛好迎接了金黃燦亮的水底日出，那份感動，讓他畢生難忘。

地球村的概念與實踐

這趟出海計畫，不僅深潛過程圓滿成功，探測研究亦大有斬獲，這讓林穎聰深刻感受到團隊合作的重要性，以及地球村的真正體現。他回想當年決定出國履職，有些長輩卻不看好，他帶著些許遺憾的心，告訴自己必須加倍努力，證明臺灣教育出來的博士，一樣可以在國際舞台上與全世界的菁英分庭抗禮。他在美國這麼多年來，受到很多人的幫助，他始終心懷感恩，也覺得自己可能比較幸運，從未有所謂種族歧視的情形發生在自己身上。譬如此行研發團隊成員 20 多人，卻分屬 10 個不同的國家，大家不分種族、國籍、膚色，在相同的條件與機會之下，彼此公平競爭也互相合作。地球表面有 70% 為海洋所覆蓋，

海洋就是地球的母親。海洋因匯聚千河百川而成就其浩瀚博大，這股「海納百川」的精神，就像母親對待子女的無私與包容一樣。長期在如此無私的團隊裡工作，沒有無謂的鬥爭與紛擾，林穎聰這個來自桃園的臺灣囡仔表現亦不負鄉親期望，近年來多次擔任首席科學家，領導團隊執行專案計畫；這些榮耀，不只是他個人及家族的驕傲，更是對臺灣年輕世代最鼓舞人心的堅定力量。

「召喚臺灣人心中的海洋基因」

臺灣是海島國家，理應人人對海洋有深刻的感情，但事實並非如此。對此，林穎聰的見解是，早期漢人從中國移民來臺，必須跨越海象險惡的黑水溝才能平安抵達，後來又因為政治與國安問題的考量，導致人們與大海的情感有所切割。然而，

臺灣四面環海的天然環境，無法永遠切割，因此他認為，臺灣人的血液裡一定有著原住民南島文化與移民敢於冒險的性格，那是一種「亞洲維京人」文化，冒險犯難的精神。而他想要做的，就是喚起臺灣人體內的海洋基因。

雖然定居美國，但仍心繫臺灣，對於臺灣政府近年推動的「海洋立國」政策亦深表認同。他因為喜歡海而學習海、研究海，希望未來能進一步透過教育的方式傳播他的海洋知識，將這份情感回饋給自己的國家和故鄉，讓國人能透過認識海洋、感受並理解海洋，同時了解到對地球環境保護的迫切需要，進而親近海洋、擁抱並保護海洋。身為地球的一份子，我們對待大海，就像大海對待宇宙萬物一樣，不只是接受，更應付出、給予及回饋。🌊



林穎聰因自幼喜歡海而研究海，他始終心繫臺灣，希望未來能透過教育方式推廣更多海洋知識，回饋故鄉。(圖片提供 /Caladan Oceanic)



林穎聰博士簡歷

現職

美國伍茲霍爾海洋研究所 (Woods Hole Oceanographic Institution) 終身研究員
美國羅德島大學 (University of Rhode Island) 兼任教授

學歷

國立成功大學 水利及海洋工程學系 學士
國立臺灣大學 造船及海洋工程學系 碩士
國立臺灣大學 工程科學及海洋工程學系 博士

重要經歷

深潛抵達馬里亞納海溝「挑戰者深淵」之世界第 12 人
美國聲學學會 (Acoustical Society of America, ASA) 期刊
「三維水下聲學 (3D Underwater Acoustics)」特刊主編

獎項榮譽

美國聲學學會 Medwin Prize in Acoustical Oceanography
美國聲學學會會士
英國聲學學會 A B Wood Medal

專案研究

美國海軍專案研究團隊之首席科學家