

傾聽宇宙最深處的玄機——在南極搜索極高能宇宙微中子

文・圖／陳丕榮

臺大梁次震宇宙學與粒子天文物理研究中心參與國際安裝微中子天文台「天壇陣列」(Askaryan Radio Array, ARA)無線電天線。2011年12月，本人為此計畫隻身前往世界最南端的冰原，在攝氏零下40多度的嚴苛環境進行實驗。此為臺灣第一個在南極的實驗，不僅意味國內科學水平受到國際肯定，更象徵臺灣天文研究邁向新里程。

天壇陣列的形成

2006年任職於史丹佛大學時，參與一捕捉宇宙微中子的國際合作計畫，研發一座「南極脈衝瞬態陣列」(Antarctic Impulsive Transient Antenna, ANITA)探測器。目的為將之搭載於美國航太總署的氣球，從南極冰層表面偵測微中子所產生之訊號。由於ANITA探測器有雜訊干擾和電力的限制，若能將探測儀器建構於冰的表層下會更理想。2007年本人應邀回母校物理系任教，兼任本校梁次震宇宙學與粒子天文物理學研究中心主任，同時將ANITA計畫帶回臺大，積極構思如何在ANITA的基礎上，推動一個新的南極計畫。

2009年，由本人發起，與有共同理想的國際專家學者發表了一份白皮書，促成ARA(Askaryan Radio Array Observatory)計畫。聯合美、歐、日等國在4年內，以千萬美金打造100平方公里範圍之無線電天線陣列，成為全世界最大的微中子天文台。ARA也是南極星空中天壇星座(Altar)的古



圖1：2011年親赴南極安裝天線，成為登頂的第一位臺灣學者。

希臘及拉丁文名稱。這個天文台的「望遠鏡」是由埋在海拔3000公尺高的南極極頂冰原中的37座天線探測站所組成，以2公里間隔呈現蜂巢狀之6邊形幾何，涵蓋100平方公里，來傾聽冰層下由極高能宇宙微中子所發出的訊息。

在國科會及臺大梁次震中心的支持下，臺灣團隊將提供10座，超過4分之一的ARA天線站，並主導天線之研發。我國在此國際合作計畫中，占有舉足輕重之地位。2011年年底，本人赴南極參與實驗，安置一座測試性天線，並擔任ARA國際共同發言人之重責。（圖1）

前進極頂，捕捉微中子

進行這樣的研究，究竟所為何事？為何要千辛萬苦的捕捉微中子？「微中子」是一種質量輕、不帶電荷的基本粒子，由於它的作用力非常微弱，在宇宙中不受阻擋，也不易偏折。因此若能測得宇宙中任一角落的微中子，便能藉此推估該未知地點的資訊；假使能捕捉到來自宇宙邊緣的微中子，便有機會追溯到宇宙的發源地。而天壇陣列計畫的目的，就是想了解原始的宇宙起源，進一步解答未知的世界。而且在南極冰原觀測到的微中子，也能提供高能粒子物理方面的重要資訊。這是因為當超高能宇宙微中子和南極冰原中的質子或中子作用時，它的中心能量大約是世界上最高能量的加速器—瑞士日內瓦歐洲核子研究中心（CERN）「大強子對撞機」（LHC）的10倍之多。這將是未來唯一可以提供最高能粒子物理前沿資訊的管道。



圖2：ARA（Askaryan Radio Array Observatory）是臺灣發起的國際計畫。

預計以4至5年完成所有安裝，其後持續對宇宙微中子進行5至10年的觀測。期待藉由天壇陣列對宇宙面貌有重大發現，並能擴大觀測面積以蒐集更多資訊。對於宇宙是否有額外圍度空間，以及粒子在最高能前沿的資訊，或許能獲得解答。

個人有幸成為臺灣第一個登上南極極頂的學者，天壇陣列的形成有賴於臺大梁次震宇宙學與粒子天文物理學研究中心作為平台、行政院國家科學委員會的資助，以及母校臺大提供研究空間，是「產、官、學」合作促成。（圖2）

南極記趣—雙百巧合

此行至南極，趣事頗多，在此分享一二。12月14日，本人受邀參加阿蒙森征服南極百年的紀念活動，挪威總理史托騰柏格（Jens Stoltenberg）在紀念儀式上，為阿蒙森冰雕揭幕，並



圖3：作者將臨時繪製的國旗插在南極的土地上。

在地面插上挪威國旗。象徵紀念人類征服南極百年的阿蒙森冰雕將會留在當地。恰巧，去年也是中華民國建國100年。為了紀念臺灣人首度登上極頂，並慶賀建國百年，我亦於此行中，將中華民國國旗立於南極，與各國國旗共同飄揚。（圖3）

此國旗是我在南極親手繪製。由於出國前忙碌，忘了帶原先購買的國旗，巧的是，「阿蒙森-史考特南極站」有一個美術工作坊，內有各式繪畫材料和布料。遂利用夜間餘暇繪製，總計花了10小時。然而只有簽訂南極條約的國家，才能將國旗長駐於此（目前僅有12國），因此在回國時一併將之帶回臺灣，目前由臺大校史館納入典藏並永久展示，成為臺大校史的一部分。（本專題策畫／物理學系陳政維教授）



陳丕榮小檔案

1983年在J.J. Sakurai教授指導下取得美國加州大學洛杉磯分校（UCLA）之理論粒子物理學博士學位。由於電漿尾場加速機制、等離子體中光束自聚焦作用及線性對撞機中軔制輻射同調成對產生過程之重大發現，於1994年獲選為美國物理學會會士。2001年以普朗克質量與尺寸展示子遺黑洞之存在，進而解開長存已久之霍金黑洞蒸發難題；曾於1995年及2001年兩度榮獲年度重力研究基金會論文競賽獎。已出版多篇以暗能與暗質為主題之論文。2000年陳教授於美國史丹佛大學草創陳氏（後更名為Kavli）粒子天文物理學及宇宙學研究所，並為該研究所永久成員。2007年回到母校臺灣大學物理系任職，同時擔任梁次震宇宙學與粒子天文物理學研究中心（LeCosPA）主任至今。除了理論研究外，在實驗上，近來帶領臺灣團隊參與南極無線電衝擊波天線（ANITA）及天壇陣列（ARA）兩計畫於南極進行極高能宇宙微中子之探測，以及高能瞬變光源之即時觀測計畫（UFFO）以衛星望遠鏡偵測伽瑪射線爆之提示信號。2009年起為日內瓦世界教育評議會創始會員。