

出國報告（出國類別：研究）

赴美國夏威夷地震、火山與海嘯機構研 習相關預警技術及警報作業之應用

服務機關：交通部中央氣象局 地震測報中心

姓名職稱：蕭文啟 技正

林祖慰 課長

派赴國家：美國

出國期間：民國 104 年 04 月 29 日至 05 月 08 日

報告日期：民國 104 年 05 月 29 日

摘要

為強化我國地震、火山與海嘯預警等天然災害之監測與預警業務推動，中央氣象局指派地震測報中心蕭文啟技正、林祖慰課長 2 員赴美國夏威夷多個測報與防災相關單位，研習美方之地震測報與火山監測、海嘯警報作業、海嘯預警資訊通報與防災應用等。研習單位包括（一）夏威夷火山觀測所：負責夏威夷地區之地震測報，並監測當地火山活動。（二）太平洋海嘯警報中心：負責監測太平洋海域之地震活動、海嘯模擬以及警報發布。（三）國際海嘯資訊中心：負責太平洋海嘯警報資訊傳遞、國際海嘯防災業務合作與推廣應用。同時在中央研究院天文及天文物理研究所協助聯繫下，參訪毛納基山天文台。研習所見參訪單位可供中央氣象局借鏡處將建議逐步落實於中央氣象局地震測報、火山地震監測與海嘯警報業務之執行，並建議持續強化與美方相關單位之技術交流與合作。

目 錄

摘要	2
目錄	3
一、目的	4
二、研習參訪單位簡介	4
三、研習過程	6
四、心得及建議	27

一、目的

臺灣位於全球地震活動最為頻繁的環太平洋地震帶上，依據中央氣象局之地震活動統計，每年平均發生近 4 萬起地震，其中包括規模 6 以上有感地震約 2~3 起，歷史上亦有發生多次造成大量人員傷亡與經濟損失之災害地震；同時由於大屯火山緊鄰北臺灣人口密集都會區，且我國位於太平洋西側，無法免於來自海域大規模地震引發的海嘯威脅，地震、火山與海嘯是我國必須嚴肅面臨的天然災害。中央氣象局之地震測報作業已有多年實務運作經驗，但有關火山地震之監測，以及海嘯預警之防災推動，則相對缺乏實務經驗。因此必須努力向世界各國的先進單位研習與合作，藉由學習這些國際單位的科技開發與實務運作，來提昇並落實我國相關防災業務之推動。

夏威夷當地之主要地震、火山與海嘯相關單位包括「夏威夷火山觀測所」(Hawaiian Volcano Observatory, HVO)、「太平洋海嘯警報中心」(Pacific Tsunami Warning Center, PTWC)、以及「國際海嘯資訊中心」(International Tsunami Information Center, ITIC)。

為強化我國地震測報、火山地震監測與海嘯警報業務之推動，本局指派地震測報中心蕭文啟技正與林祖慰課長 2 員赴美國夏威夷前述相關機構研習，並強化與美方相關單位之後續技術合作、訓練觀摩以及未來的長期交流。

二、研習參訪單位簡介

在本局之國外顧問「太平洋海嘯警報中心」PTWC 2 位研究員徐文達博士以及王代林博士協助聯繫與規劃此行，研習單位主要包括「夏威夷火山觀測所」HVO、「太平洋海嘯警報中心」PTWC、以及「國際海嘯資訊中心」ITIC；並由中央研究院天文及天文物理研究所派駐於夏威夷大島的陳明堂副所長協助下參訪「毛納基山天文台」，依據參訪與研習順序簡介如下：

(一) 「毛納基山天文台」(Mauna Kea Observatories)

位於夏威夷大島上中北部的休眠火山，海拔 4205 公尺的毛納基山頂峰，是世界著名的天文學研究場所，佔地 500 英畝的「天文園區」內設置了超過 12 座世界各國的先進天文望遠鏡與觀測設備，所有系統均具備不同的觀測科技與天體目標。此行在陳明堂博士協助聯繫下參訪了其中 3 套系統：日本建置的「昴」望遠鏡（Subaru）系統；英國、加拿大、紐西蘭合作之 James Clerk Maxwell Telescope（JCMT）天文台；我國中央研究院與美國合作建置之次毫米波陣列望遠鏡系統（Submillimeter Array, SMA）。

（二）「夏威夷火山觀測所」（Hawaiian Volcano Observatory, HVO）

美國火山防災與觀測為美國「地質調查所」（United States Geological Survey, USGS）之職掌業務之一，其轄下共有 5 個火山觀測所：阿拉斯加、加州、華盛頓州、黃石公園、以及夏威夷州。

「夏威夷火山觀測所」HVO 位於夏威夷大島「基拉韋厄火山」（Kilauea Volcano）之火山口旁，主要任務為研究與監測夏威夷州之火山與地震活動，主要運用的地球物理與化學等技術包括：火山地震監測、地質調查、即時監控攝影、地殼形變 GPS 監測、火山氣體、航照空拍、以及歷史火山沈積研究等。夏威夷火山觀測所 HVO 之監測業務已有多年歷史，加上當地火山活動活躍，其火山研究與觀測科技均相當完備先進。

（三）「太平洋海嘯警報中心」（Pacific Tsunami Warning Center, PTWC）

隸屬於美國「國家海洋及大氣總署」（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）轄下之地震海嘯研究與監測預警單位，其主要任務為監測全球大規模之地震，依據海底地型與數值模型演算出海嘯波到達太平洋沿岸各國家地區之預估波高以及到達時間，產製海嘯警報並對外發布預警，提供世界各國重要的海嘯預警資訊。

「太平洋海嘯警報中心」並未實際維運地震儀器或是潮位觀測網，其即時地震資料來源為「美國地震學研究聯合會」（Incorporated Research Institutions For Seismology, IRIS）的全球地震觀測網以及太平洋各國的區域地震觀測網。而太平

洋海域的潮位觀測則是透過「國家海洋及大氣總署」NOAA 轄下「國家浮標資料中心」(National Data Buoy Center, NDBC) 系統獲得。海嘯作業必須具備快速的地震測報資訊，利用震央資訊產製海嘯預警資訊進行初報，再透過「國家浮標資料中心」NDBC 獲得的實際潮位觀測資料比對，並納入模型持續演算與修正，以產製後續更精確的海嘯報文。

(四) 「國際海嘯資訊中心」(International Tsunami Information Center, ITIC)

與「太平洋海嘯警報中心」PTWC 同樣隸屬於美國 NOAA 轄下，但其海嘯預警業務則有所不同：「太平洋海嘯警報中心」PTWC 主要負責海域地震監測、海嘯模擬與警報產製，「國際海嘯資訊中心」ITIC 則負責海嘯資訊的通報、環太平洋國家的海嘯防災宣導、演習以及教育訓練等。因此「國際海嘯資訊中心」ITIC 除隸屬於 NOAA 外，也具備另一個組織身份：聯合國教科文組織 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO) 的政府間海洋學委員會 (Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC) 之下，同時具備科技與國際防災之任務。「國際海嘯資訊中心」ITIC 會定期舉辦國際教育訓練以及海嘯演習，以促進太平洋沿岸國家的海嘯防災意識，並協助各國海嘯警報業務的推動。

三、研習過程

本次研習之行程安排係配合另一同時進行的氣象局氣象科技研習參訪行程，氣象科技研習參訪相關行程主要為 4 月 22 日~28 日氣象局局長辛在勤博士率領氣象科技人員，於夏威夷歐胡島召開與美方之氣象合作會議，並參訪當地氣象相關學術與作業單位。之後氣象人員轉赴美國本土繼續氣象會議與研習行程。地震測報中心蕭文啟技正與林祖慰課長則於 4 月 29 日搭乘中華航空班機抵達夏威夷檀香山與辛局長會合後開始參訪與研習。地震相關行程結束後搭乘 5 月 7 日凌晨航班返臺。10 天研習期間包括國際航班、夏威夷州內轉機以及例假日，詳細研習過程如下：

4月29日（星期三）

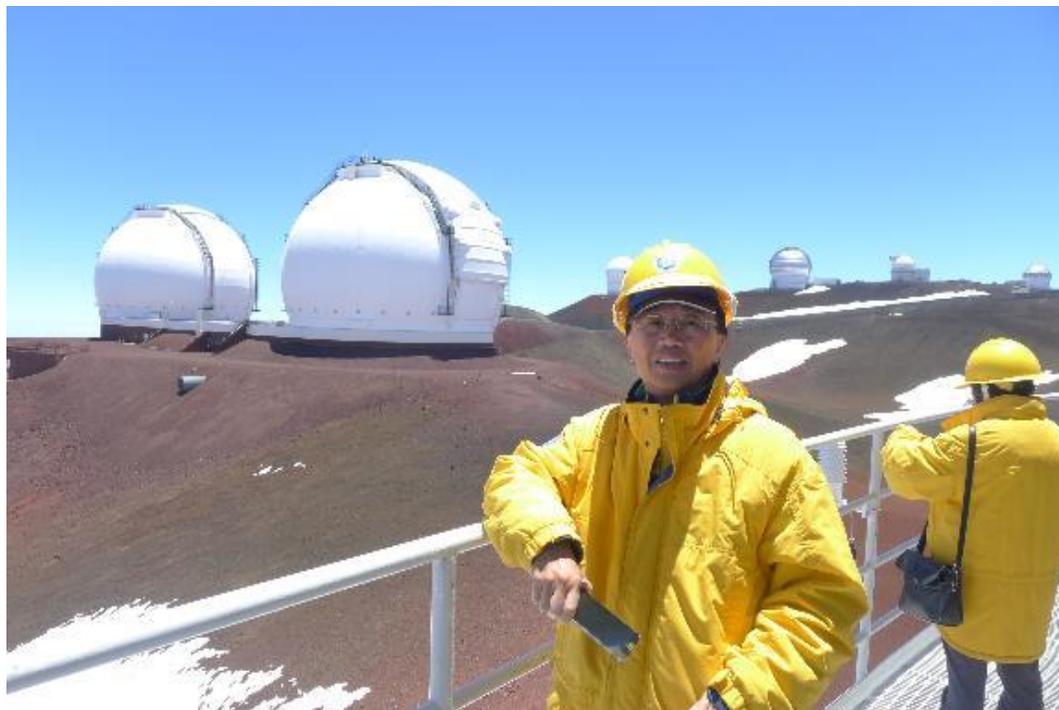
- 14:40由桃園國際機場搭乘中華航空航班至美國夏威夷檀香山機場。
- 與辛局長會合後，轉機赴夏威夷大島希洛市。

4月30日（星期四）

- 在中央研究院天文及天文物理研究所協助聯繫下，參訪「毛納基山天文台」（Mauna Kea Observatories）之先進天文觀測系統。毛納基山天文台係位於夏威夷最高山頂的天文園區，海拔 4203 公尺。整個山頂建置了超過 12 座世界各國或是國際合作建置的高科技天文觀測系統（如照片一），本次參訪有幸參觀以下 3 套系統：
 - （一）日本建置的「昂」望遠鏡（SUBARU）系統。（如照片二）
 - （二）英國、加拿大、紐西蘭合作之 James Clerk Maxwell Telescope（JCMT）天文台。
 - （三）我國中央研究院與美國合作建置之次毫米波陣列望遠鏡（SMA）。

以次毫米波陣列望遠鏡 SMA 系統為例，其原理為利用八座直徑 6 公尺的次毫米波陣列望遠鏡，共同構成一個天線陣列，可模擬為一座直徑超過 500 公尺的巨型天文望遠鏡，其觀測科技相當先進。（如照片三、四）

世界各國天文學者均有效利用「毛納基山天文台」的高海拔與低光害的完善天文觀測條件，從事高科技的天文研究與觀測。但是相對的就必須忍受長期高山空氣稀薄、高紫外線以及酷寒等等惡劣天然環境，相當辛苦，氣象局高山地區氣象站工作同仁亦有相同之處境。



照片一、辛局長參訪「毛納基山天文台」(Mauna Kea Observatories) 各國建置之天文觀測設備。



照片二、日本 SUBARU 天文台科學家介紹其觀測系統。



照片三、遠眺中央研究院天文所與美方合作建置之次毫米波陣列望遠鏡（SMA）。



照片四、SMA 技術人員介紹 SMA 觀測原理。

5月1日（星期五）

- 「夏威夷火山觀測所」HVO 研習地震測報與火山監測技術，上午火山觀測所安排業務相關人員進行5場簡報如下：（如照片五～七）
 - （一） USGS Volcano Hazards Program and HVO：由火山觀測所主任 Christina Neal 博士介紹美國地質調查所之火山監測業務，以及「夏威夷火山觀測所」HVO 簡介。
 - （二） Seismology：由 Weston Thelen 博士介紹夏威夷地震活動與監測業務。
 - （三） Geology：由 Matthew Patrick 博士介紹夏威夷火山地質背景，以及火山口自動監控攝影 Webcam 之業務。
 - （四） Ground Deformation：由 Asta Miklius 博士介紹地殼形變與 GPS 監測。
 - （五） Gas Emission：由 Jeff Sutton 博士介紹火山氣體監測作業。
- 下午由 Paul Okubo 博士帶領，進行「基拉韋亞」火山實地野外勘查。本次研習期間剛好遇到夏威夷火山觀測所旁之「基拉韋亞」火山岩漿活躍，熔岩湖（Lava Lake）溢出岩漿，於數百公尺外以肉眼或是透過望遠鏡觀看相當壯觀（如照片八）。此外還參觀了瑟斯頓熔岩隧道（Thurston Lava Tube），以及夏威夷大島各地數百年來多次火山活動所留下之熔岩地層遺跡。（如照片九、十）

夏威夷為一海洋板塊上的年輕火山島鏈，並非位於複雜之板塊邊界，其地震均與火山活動相關，地震數量及規模與臺灣相比平靜許多，地震較頻繁的地區為火山活動較活躍的夏威夷大島附近。「夏威夷火山監測所」HVO 維運一個完整的即時地震監測網，隨時監測各種地震活動，其觀測地震儀器包括強震儀、短週期地震儀與寬頻地震儀，觀測網架構與測報技術與我國大致相同（如圖一、二）。

我國北部大屯火山緊臨雙北人口密集之都會區，附近還有臺灣電力公司之數座核能電廠，且學者研究指出大屯火山最近一次噴發應為 5000 年前，符合國際火山學會定義的「活火山」標準，加上鄰近地區地熱與溫泉的現象活躍，因此實有必要嚴加監測。為了加強監測未來大屯火山可能潛在活動，由科技部與內政部於陽明山國家公園內，正式成立大屯火山觀測站（Taiwan Volcano Observatory - Tatun, TVO），並整合中央地質調查所、中央氣象局、中央研究院及國內各大學分析研究成果，建立多項火山監測系統及平台，同步監測大屯火山活動並進行研究。中央氣象局在本案中負責火山地震

之監測，主要整合大屯山區之寬頻地震站與本局地震觀測網 CWBSN 鄰近測站，進行即時地震訊號接收、自動與人工定位並進行統計分析，同時每月與 TVO 其他領域之監測進行綜合討論。

由於大屯火山之背景為板塊碰撞所造成，與夏威夷火山有所不同，且其火山活動相對於「基拉韋厄火山」可謂相當平靜，但火山監測科技包括地震監測、地殼形變、地質研究、地熱、火山氣體以及即時影像監控等等實為大同小異（如照片十一）。夏威夷火山觀測所 HVO 與大屯火山觀測站 TVO 同樣位於國家公園園區內，其火山監測之豐富經驗與國家公園火山管理相當值得臺灣借鏡。



照片五、HVO 科學家簡報火山監測業務與討論。



照片六、HVO 專家介紹火山監測，圖中為被熔岩高溫毀損之設備。



照片七、HVO 簡報會議後，蕭文啟技正代表氣象局致贈 HVO 主任 Christina Neal 博士紀念品。



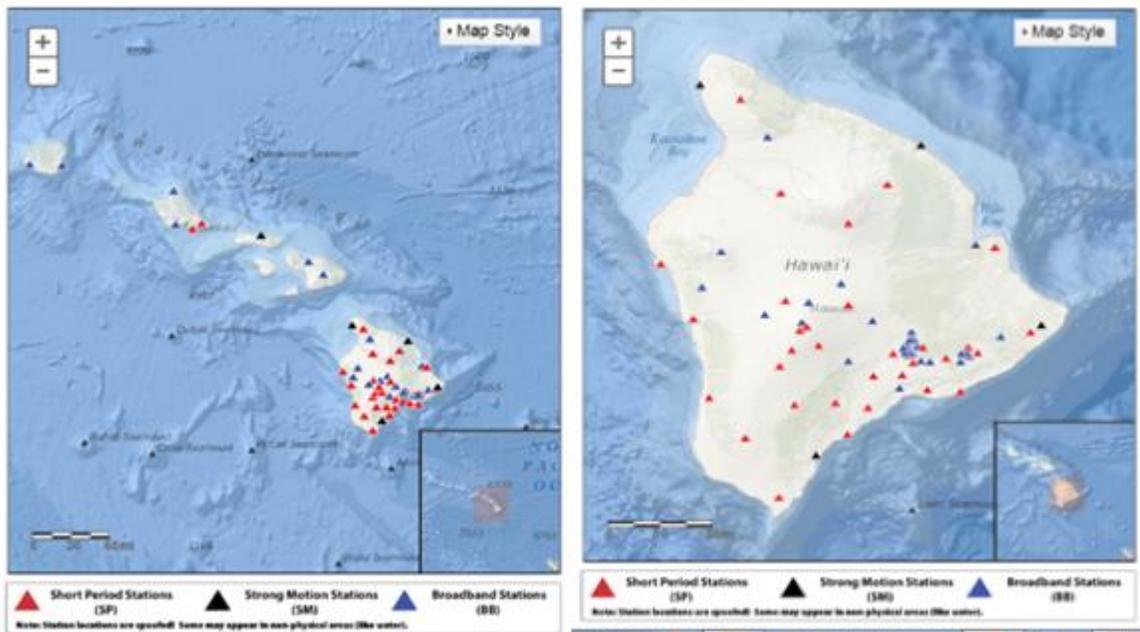
照片八、遠眺「基拉韋亞」火山之熔岩湖（Lava Lake）溢出岩漿。



照片九、HVO 的 Paul Okubo 博士帶領研習火山地質考察，於瑟斯頓熔岩隧道合影，同行包括中央研究院人員。

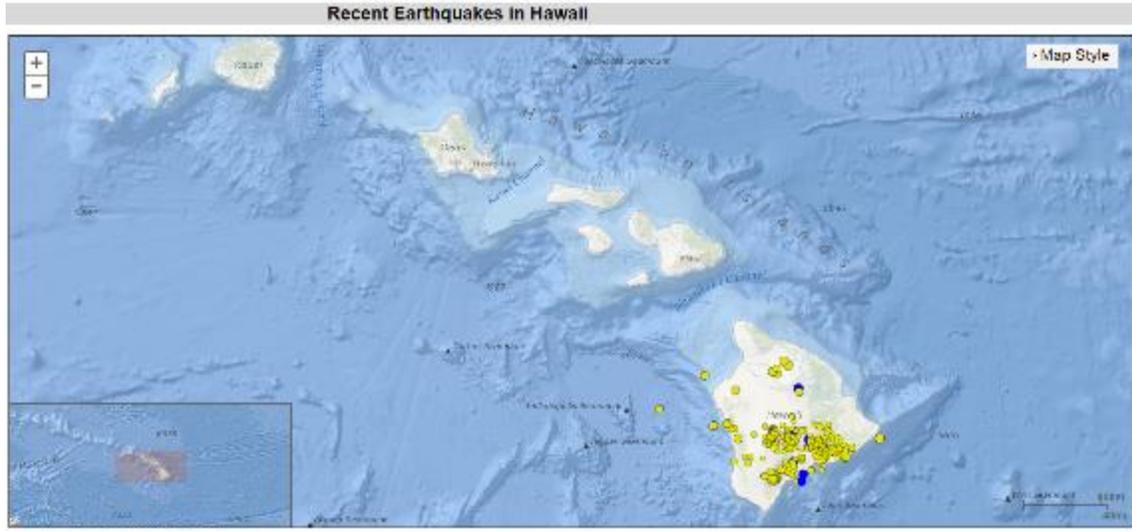


照片十、Paul Okubo 博士帶領研習火山地質考察，介紹火山熔岩遺跡。



圖一、HVO 之地震觀測網。

(紅色：短週期地震站、黑色：強地動地震站、藍色：寬頻地震站)



圖二、夏威夷之地震活動集中於火山活躍之大島地區。



照片十一、HVO 之火山監測展示系統。

5月4日（星期一）

- 「太平洋海嘯警報中心」PTWC，由主任 Charles McCreery 博士介紹其業務重點，並與美國 NOAA 太平洋地區辦公室（Pacific Regional Headquarters, PRH）副主任 Ed Young 洽談（如照片十二），與會還包括「太平洋海嘯警報中心」PTWC 2 位獲聘為本局顧問的研究員：徐文達博士與王代林博士。
- 參觀「太平洋海嘯警報中心」PTWC 作業室，由副主任 Stuart Weinstein 博士進行導覽介紹。（如照片十三）

原本「太平洋海嘯警報中心」PTWC 位於夏威夷西部的 EWA Beach，在美國地質調查所的永久磁力站園區的簡易建築內，採開放式機房與作業室。近年來規劃搬遷至珍珠港軍事管制區 Ford Island 內的 Inouye Regional Center（IRC）全新大樓，與其他 NOAA 單位合署作業。自去（2014）年即開始系統轉移，終於在今（2015）年遷移完成，近 2 個月的太平洋海嘯警報作業已由全新作業室發布。

相較於原本的辦公室，新的作業環境無論在空間、軟硬體都非常先進，同時主要演算系統安裝於安全管制的電腦機房內，以與發布作業室區隔。從進入 Ford Island 管制區、進入 Inouye Regional Center（IRC）都必須經過安檢換證，在資通安全與人員進出控管上相當嚴謹。在作業型態上，由於海域大規模地震與海嘯發生無法事先預測，因此作業上必須 24 小時不間斷值班守視，PTWC 目前值班人員僅 10 餘人，但專業程度相當高，超過 2/3 具備地震學或是海洋學博士學位，同時在值班之外還必須肩負系統管理與研發工作，由於近年發生多起大規模海嘯災害如 2004 南亞海嘯、2011 東日本地震海嘯，都造成相當嚴重的災情，其任務相當艱鉅。

- Nathan Becker 博士利用地球展示系統（Science On a Sphere, SOS）展示其最新完成之多個海嘯波傳遞模擬。（如照片十四）

「太平洋海嘯警報中心」PTWC 研究員 Nathan Becker 博士近年嘗試利用 GMT 科學繪圖，製作許多精美的海嘯潛勢圖、動畫等，並放置於 Youtube 網站與臉書等網路媒介，提供外界點閱來提昇大眾的海嘯預警意識。近期更將海嘯傳遞之動畫製作為地球展示系統（Science On a Sphere, SOS）上的立體展示，效果令人驚豔。

中央氣象局局本部大廳已建置一套相同的地球展示系統，作為外賓參訪與防災教育宣導之用，經與 Nathan Becker 博士請教與討論後，獲得同意將其製作之多媒體檔案無償提供本局使用。

- 與「太平洋海嘯警報中心」PTWC 副主任 Stuart Weinstein 博士、資深研究員 Gerard Fryer 博士、以及徐文達博士、王代林博士，開會討論下列事項（如照片十五）：

（一） 地震監測與潮位站資料即時傳遞。

本次研習與「太平洋海嘯警報中心」PTWC 人員討論過程中，可明顯感受到其強烈企圖心。早期「太平洋海嘯警報中心」PTWC 是直接利用全球地震觀測網的震央資訊來模擬海嘯，但近年已具備獨立快速地震測報的能力，其效能有時甚至比「美國地質調查所」USGS 全球地震網還快。「太平洋海嘯警報中心」PTWC 雖未維運實際之地震或潮位觀測網，但仍努力透過各式管道接收即時資料，朝向全方位發展。「太平洋海嘯警報中心」PTWC 期待與本局合作，利用網路即時封包方式接收部分臺灣之即時地震站與潮位站訊號，以提昇針對西太平洋海域地震監測與海嘯模擬之測報效率與精確度。

（二） 海嘯模擬 RIFT 模型之海嘯預估、最大浪高討論與技術轉移。（如照片十六、十七）

中央氣象局透過與國內學者之合作研究，已具備近岸地震引發之海嘯快速演算（單位海嘯法）以及 COMCOT 模擬系統，可在鄰近臺灣海域發生大規模地震後快速演算以產製海嘯警報，但仍希望能夠將「太平洋海嘯警報中心」PTWC 王代林博士開發之海嘯模擬即時預報系統（Real-time Forecast of Tsunamis, RIFT）技術轉移，期能在太平洋海域發生大規模地震後，本局可獨立進行快速模擬演算，透過多套系統之模擬結果進行海嘯警報製作與通報之決策參考。

目前本局之 COMCOT 系統雖可快速演算出海嘯預估波高，但針對預估海嘯到時則存在相當大的誤差。經與王代林博士請益後瞭解，其 RIFT 系統亦面臨相同困難：由於近岸海底地形相對於深海複雜許多，模擬演算雖可預估波相，但在到時的研判上很難定義門檻，若是演算初始參數地震規模不大，演算出的海嘯波甚至可能與背景浪高混淆，因此在海嘯到時常產生很大誤差。依據「太平洋海嘯警報中心」PTWC 目前的作業

方式，海嘯波高以 RIFT 模擬獲得，但海嘯到時則是利用「海嘯走時預估程式」(Tsunami Travel Times, TTT)直接以高精度的全球海深資料進行到時估算，結合 2 套系統的結果產製海嘯警報，此作業模式可供本局參考應用。

(三) 深海海嘯潮位站 (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami, DART)。

本次研習了解到目前全球之 DART 儀器以 SAIC 公司之系統為主，目前正規劃開發第四代 DART 4。DART 儀器原理主要有 2 個部分：1. 安裝於海床上的壓力記錄器，量測海水壓力與溫度等數據換算為海水深度，來估算潮位變化，並以無線 Accoustic 方式傳輸至海面設備。2. 海面上的浮標式即時資料傳輸設備，接收到海床觀測資料後，透過衛星通訊將觀測數據即時傳輸至資料庫。(如圖片三、四)

當平時無地震海嘯事件時，其通訊傳輸為每 6 小時間隔傳輸 1 次，提供背景監測；但當其深海設備觀測到地動，或是 NDBC 系統以人工方式啟動 Wake Up 後，可縮短通訊間隔為每 8 分鐘傳輸 1 點的模式，海嘯事件之近即時監測，提供海嘯模擬之演算修正。

「深海海嘯潮位站」觀測網之規劃建置有 2 種模式：1. 由美國政府 NOAA 出資，其轄下單位「太平洋海洋環境實驗室」(Pacific Marine Environmental Laboratory, PMEL) 規劃建置，將即時資料納入「國家浮標資料中心」NDBC 管理，並負責後續之長期維運(簡稱為 NDBC DART 或是 US DART)。2. 由環太平洋國家自行規劃站點位置與儀器規模，自行發包建置，資料與 NDBC 共享運用，但後續長期維運自行負責(簡稱為 SAIC DART)。

(四) PTWC 與 CWB 未來合作方向。

討論未來地震與潮位資料交換、人員與技術互相交流等議題。



照片十二、與 PTWC 主任 Charles McCreery 博士及 NOAA PRH 副主任 Ed Young 討論。



照片十三、PTWC 副主任 Stuart Weinstein 博士介紹作業室系統與環境。



照片十四、PTWC Nathan Becker 博士利用 SOS 展示海嘯模擬案例。



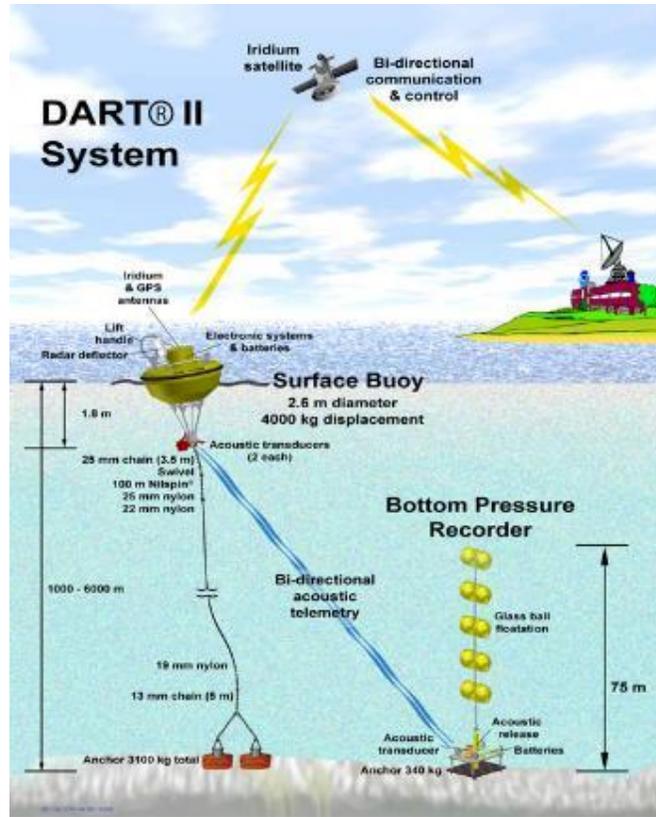
照片十五、與 PTWC 副主任 Stuart Weinstein 博士、資深研究員 Gerard Fryer 博士、徐文達博士、王代林博士，開會討論海嘯相關業務。



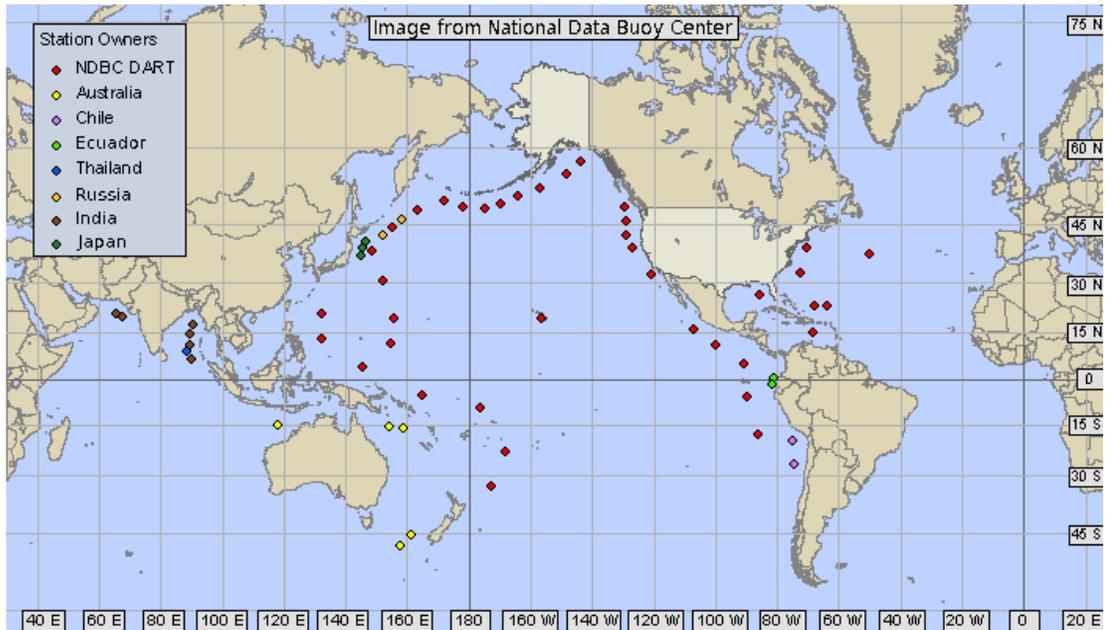
照片十六、與王代林博士討論海嘯警報作業。



照片十七、與王代林博士請益預估波高與到時之演算。



圖三、深海海嘯潮位站 DART 架構示意圖。



圖四、DART 測站分布圖，可分為由 NOAA 維運之 NDBC DART 以及海域各國建置 2 種。

5月5日(星期二)

- 參觀美國 NOAA 位於珍珠港軍事管制區 Ford Island 內之全新大樓 Inouye Regional Center (IRC)，其內包括多個海洋、海嘯、大氣等相關機構均在此進行公務作業(如照片十八)。
- 「國際海嘯資訊中心」(ITIC)，研習海嘯資訊通報、國際海嘯防災業務合作與推廣應用。與國際海嘯資訊中心主任 Laura Kong 博士討論下列事項(如照片十九)：

(一) 2014年10月開始發布之新版太平洋海嘯報文應用。

由於海嘯模擬技術的進步，「太平洋海嘯警報中心」PTWC 與「國際海嘯資訊中心」ITIC 於2014年10月開始將海嘯警報電文改版，並通報至環太平洋各國。新版海嘯通報除規劃新的海嘯波高分級表與格式改版外，保留傳統純文字報文利用傳真與專線通報，再透過電子郵件派送多媒體圖文之海嘯模擬結果，以作為太平洋沿岸國家之海嘯預警決策參考。

過去我國由於外交因素，僅可透過管道接收電文與傳真，近年則以訂閱電子郵件、或是直接擷取PTWC網站方式快速獲得太平洋海域之海嘯資訊，來快速啟動我國的海嘯警報作業。近年來在本局顧問徐文達博士與王代林博士協助下，已將本局海嘯作業之公務電子郵件信箱，加入PTWC海嘯通報的聯絡名單(Focal Points)內，因此除純文字之一般海嘯報文外，亦可快速接收到PTWC之各式多媒體圖文資訊，對於我國之海嘯警報作業有相當助益。

PTWC 的海嘯報文並非直接對一般民眾發布，環太平洋地區之海嘯防災仍為各國政府之權責，且必須考量到各國環境與基礎建設的不同來進行專業研判。以臺灣的海嘯警報作業為例有兩種模式：1. 遠地海嘯：接收PTWC海嘯報文，經過專業研判其可能對我國沿岸之影響後產製海嘯報文。2. 近海海嘯：當大規模淺層地震發生在臺灣鄰近海域時，如仰賴PTWC提供的海嘯警報，在時效上將無法即時提供防災應變，因此必須開發建置海嘯模擬演算機制。但有關PTWC提供海嘯報文之波高分級與我國之定義有所差異，未來要如何應用仍待召集相關專家學者研議。

(二) 國際海嘯教育訓練業務與太平洋海嘯演習。(照片二十~二十三)

「國際海嘯資訊中心」ITIC 由於肩負海嘯資訊通報與國際防災應用之責任，累積多年經驗舉辦活動，並製作許多精美的宣導文件、模型與影片等。並且每年定期邀集各國海嘯相關人員舉辦國際教育訓練，來加強太平洋各國的海嘯防災意識與警報作業。除教育訓練外，「國際海嘯資訊中心」ITIC 也會定期以設想情境模擬海嘯，來對外發布演習警報。過去我國雖透過非正式管道接收到演習報文，但仍可藉由演習情境測試中央氣象局的海嘯作業，並作為海嘯教育訓練之案例。

5月6日（星期三）

- 整理研習期間各單位熱心提供之業務簡報、軟體與文件資料、宣導品等。

5月7日（星期四）

- 搭乘凌晨 1 時 15 分中華航空班機，於 5 月 8 日上午 6 時返抵臺灣。



照片十八、NOAA 之 Inouye Regional Center (IRC) 合署辦公大樓。



照片十九、與 ITIC 主任 Laura Kong 博士討論海嘯警報、演習與教育宣導等議題。



照片二十、ITIC 之海嘯潛勢、避難地圖及各式海嘯防災宣導品。



照片二十一、ITIC 主任展示壓克力簡易海嘯模型。



照片二十二、與 ITIC 主任合影。

四、心得與建議

中央氣象局之地震測報作業已有多年實務運作經驗與實績，近年來更努力推動強震即時警報之通報與防災應用，同時觀測各式地球物理現象以作為地震前兆之研究。但除了快速地震測報之外，本局權責還包括火山地震監測與海嘯警報發布，此 2 項業務我國相對缺乏實務經驗，本次研習提供以下心得與建議：

- (一) 夏威夷火山觀測所 HVO 位在夏威夷之火山國家公園內，已累積數十年的火山研究與監測經驗，其結合防災與觀光之管理維運相當成功。反觀我國大屯火山觀測站 TVO 近年來才成立，相對仍在起步階段。火山活動除了地震監測外，還包括地殼形變、地質研究、地熱、火山氣體以及即時影像監控等等各種科技，建議 TVO 應嘗試與 HVO 進行全方面的交流與學習，來完備我國大屯火山之防災與監測業務。
- (二) 太平洋海嘯警報中心近年來與中央氣象局已建立密切的聯繫，中央氣象局海嘯警報業務已建立基本作業模式，並建置了單位海嘯演算法、以及 COMCOT 海嘯模型演算，但仍期待能將太平洋海嘯警報中心之 RIFT 海嘯模擬技術轉移，如此則無論是遠地海嘯或是近地大規模海域地震引發之海嘯，本局都可以獨立並快速進行多套數值模擬，來作為海嘯警報發布之決策研判，並提昇我國海嘯相關科技發展。
- (三) 為加強臺灣鄰近海域之海象監測與科技發展，本局未來將推動「強化臺灣海象暨氣象防災環境監測」計畫，其中規劃於臺灣鄰近海域建置數座「深海海嘯潮位站」DART，預期觀測資料將可提供海象觀測研究，並提昇近臺灣海域海嘯模擬之效率與精確度。但由於 DART 必須全海域聯網觀測方可發揮最大效益，因此務必與 NOAA 之 NDBC 合作，2 種建置規劃比較如下：
 1. NDBC DART：由我國提供計畫與經費與美國 NOAA 合作，委由美方之 PMEL 規劃建置，並將即時資料納入「國家浮標資料中心」NDBC 管理，以及後續之長期維運（簡稱為 NDBC DART 或是 US DART），本局則透過管道獲得新建置之 DART 甚至其他部分西太平洋觀測站資料。優點為儀器建置、資料應

用與維運管理將可與現行 NDBC 直接接軌，並可長期維運，新增 DART 測站後可提昇 NDBC 之 DART 觀測網在臺灣鄰近海域的測站密度與觀測效率，同時藉此與 NDBC 建立密切的合作關係，但測站、儀器與資料之擁有權、合作可行性、以及技術細節等仍有待商議。

2. SAIC DART：美方僅提供技術諮詢與建議，由我國規劃位置與儀器規模，並自行發包建置，資料與 NDBC 共享運用。主要缺點為臺灣並未有實際建置 DART 儀器之經驗，規劃與招商勢必相對複雜，且後續之長期維運管理更是困難，必須具備必要技術、船舶設備、甚至儀器備品等；相對的困難克服後，有機會提昇我國的海象觀測與海工技術。

相關計畫尚未開始執行，現階段應多方考量執行方式之優缺利弊，隨時與美國 NOAA 之 PMEL 與 NDBC 保持聯繫，以找尋出最適合我國建置「深海海嘯潮位站」的方案，並期許建置完成後可發揮最大效益。

- (四) PTWC 提供本局之 SOS 多媒體展示海嘯模擬案例，將可應用於本局一樓大廳之 SOS 地球展示系統，以提供外賓蒞臨或是臺灣民眾參訪時的科普教育宣導，提昇對於海嘯防災的認知。
- (五) 由於 PTWC 新版海嘯報文之波高分級與我國現行作業並非完全相同，尤其新版資訊中多提供了「未達 30 公分浪高」等級地區的資訊，依據其手冊說明此等級之潮位變化不致引發海嘯災害，但各國接收到資訊時容易混淆。例如海嘯報文將臺灣列為 30 公分以下地區，但因不致造成海嘯災情，因此報文並未詳細提供海嘯預估到時 (Estimated Time of Arrival, ETA)，徒增作業上的困擾。經過與 PTWC 與 ITIC 討論，對方表示除臺灣之外還有部分接收國家亦反應類似問題，未來將廣納各方意見持續改進報文內容與展示方式，氣象局將隨時配合 PTWC 海嘯報文之改版，應用於我國的海嘯警報作業。
- (六) 我國之海嘯警報與海嘯模擬已具備基礎雛型，並建立標準作業程序，甚至近年與所羅門群島、吉里巴斯等國家進行交流合作時，也將我們的作業模式提供他國參考。但由於海嘯防災並非僅是發布海嘯警報，還必須包括警報的通報、廣播避難、海嘯淹溢潛勢分析、以及緊急應變與收容計畫等等。由於海嘯防災並非政治議題，如外在條件與經費許可下應嘗試參加「國際海嘯資訊中心」ITIC

舉辦之定期國際教育訓練以及海嘯演習，除可強化我國之海嘯防災作業外，還能完備整體海嘯防災之架構，並提昇我國在國際防災事務的參與。

- (七) 本次研習帶回許多「國際海嘯資訊中心」ITIC 累積多年的海嘯防災教育訓練素材與宣導品，將可作為我國防災宣導之重要參考。