

出國報告（出國類別：研究）

赴美國夏威夷太平洋海嘯警報中心移地 研究地震監測預警與海嘯警報作業之技 術及應用

服務機關：交通部中央氣象局(地震測報中心)

姓名職稱：陳達毅 技佐

廖哲緯 技佐

派赴國家：美國

出國期間：民國 102 年 08 月 11 日至 08 月 23 日

報告日期：民國 102 年 09 月 02 日

摘要

2011年3月11日13時46分，日本東北地方太平洋近海發生規模9.0地震，引發的大海嘯對日本東北3縣造成巨大傷害，死亡加上失蹤人數超過2萬7千人，是繼2004年南亞大海嘯後又一次毀滅性浩劫，讓環太平洋各國重新檢視海嘯預警系統之不足，紛紛加強與改進本身之發布系統及防救災體系。

夏威夷太平洋海嘯警報中心（Pacific Tsunami Warning Center, PTWC）為美國國家海洋及大氣機構（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）所屬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，並分析研判是否會對各海域鄰近國家造成海嘯威脅，隨時提供相關國家海嘯警報通告。太平洋海嘯警報中心於全球地震監測預警以及海嘯警報具備多年之實務運作經驗，於國際上享有盛名，為全球重要之地震與海嘯研究及防災機構。

為強化我國地震監測預警與海嘯警報業務之推動，中央氣象局指派地震測報中心蕭文啓課長(執行中央研究院計畫)、陳達毅技佐與廖哲緯技佐共3員赴PTWC研習相關技術，包括地震監測預警、海嘯警報作業、海嘯預警系統之維運經驗、地震海嘯資訊之通報傳遞機制等。此次前往太平洋海嘯警報中心進行訪問有3大重點：

- (一) 地震監測技術與海嘯警報發布流程
- (二) 海嘯相關資料接收、處理、演算軟體學習與技術轉移
- (三) 協助太平洋海嘯警報中心建置地震預警系統，提升夏威夷區域地震警報效能

相關成果將落實於中央氣象局與臺灣地區地震監測預警及海嘯警報業務之應用，並強化後續雙方於科技資源、研究合作、訓練觀摩以及其他地震、海嘯相關之長期交流合作機會。

目 錄

| | |
|-----------------|----|
| 摘要 | 2 |
| 目錄 | 3 |
| 一、目的 | 4 |
| 二、過程 | 4 |
| 三、研究項目與重點 | 7 |
| 四、心得 | 10 |
| 五、建議 | 11 |
| 六、相關照片 | 12 |
| 七、參考文獻 | 22 |

一、目的

夏威夷太平洋海嘯警報中心為美國國家海洋及大氣機構所屬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，並分析研判是否會對各海域臨近國家造成海嘯威脅，隨時提供相關國家海嘯警報通告。太平洋海嘯警報中心於全球地震監測預警以及海嘯警報具備多年之實務運作經驗，於國際上享有盛名，為全球重要之地震與海嘯研究及防災機構。

環太平洋地震帶為全球地震最為頻繁的地區，過去亦曾多次發生由海域大規模地震引發海嘯威脅之事例。臺灣位處環太平洋西側，無法免於來自太平洋海域地震海嘯之威脅，因此必須與國際接軌，研發最新之地震、海嘯觀測與預警技術，同時須落實海嘯警報系統之應用，以達成防震減災之目標。

為強化我國地震監測預警與海嘯警報業務之推動，本局指派地震測報中心蕭文啓課長、陳達毅技佐與廖哲緯技佐共 3 員赴上開機構分別研習相關技術，蕭員進行地震監測預警及海嘯警報之移地研究；陳員與廖員研習海嘯預警系統之維運經驗、地震、海嘯資訊之通報傳遞機制等。相關成果將落實於本局地震監測預警與海嘯警報業務之應用，並強化後續雙方於科技資源、研究合作、訓練觀摩以及其他地震、海嘯相關之長期交流合作機會。

本次赴太平洋海嘯警報中心研究，了解該機構主要地震海嘯觀測與發報方面之實務經驗及維運技術等項目，透過實際交談強化後續雙方於科技資源、訓練討論與觀測資訊等項目之交流合作機會。

二、過程

本次參訪太平洋海嘯警報中心由本局地震測報中心蕭文啓課長(執行中央研究院計畫)、陳達毅技佐與廖哲緯技佐共 3 員赴上開機構分別研習相關技術，於 8 月 11 日搭乘中華航空抵達夏威夷檀香山，至 8 月 22 日搭機返臺。本次參訪有賴太平洋海嘯警報中心徐文達博士協助申請相關行政程序，徐博士為臺灣桃園人，畢業於國立臺灣大學地質科學系，爾後於美國攻讀博士學位後在美國工作，並於 2005 年調派至太平洋海嘯警報中心服務。

在為期 13 天的參訪研究中，扣除例假日，8 個工作日均朝九晚五待在太平洋海嘯警報中心園區內，幾乎每個上、下午都與一位以上的專家，就其專業領域或開發負責之系統、軟體進行請益與討論。其餘時間則觀摩其行政管理制度、作業環境設置、測網資料維護、地震海嘯警報之發布處理流程等。陳達毅技佐協助開發該機構地震預警作業程式，用於 Earthworm 系統自動進行夏威夷群島之區域地震預警，此預警系統在臺灣地區已有相當成熟的實際應用，也將推廣至全國各個中小學以利防災應變之用。廖哲緯技佐則學習該機構所開發之海嘯模擬演算模式程式與全球潮位資料接收管理系統 Tide Tool，海嘯模擬一直是本局地震測報中心經驗較為不足的部分，能將這兩套軟體的運作學成並帶回國，對於我國的海嘯發報能力將有巨幅的提升，此行收穫之豐遠超乎預期。藉此機會雙方進行技術交流，未來在地震與海嘯領域有更密切的合作。

詳細研究過程紀錄如下：

08/11(日)

- 23:00由桃園國際機場搭乘中華航空至美國夏威夷州檀香山機場

08/12(一)

- Victor Sardina 介紹 PTWC 海嘯警報系統相關作業環境
- Barry Hirshorn 與達毅討論 Mwp 規模計算與地震預警的應用
- Dailin Wang 以簡報說明 RIFT 海嘯模擬程式原理(Green's law)，以及模擬效益評估

08/13(二)

- Dailin Wang 展示海嘯模擬程式系統的功能、介面與操作
- 越南軍方單位來訪，由 Gerard Fryer 進行相關發報作業解說
- 與 Dailin Wang 討論 PTWC 產品與介面程式應用：python tkinter, matplotlib
- Stuart Kanoa 解說夏威夷當地的地震網與資料處理

08/14(三)

- 與 Vindell Hsu 討論行程與學習 (HVO、地磁觀測、地震定位)
- 讀 PTWC RIFT 相關資料、FTP 下載 tide tool 元件(哲緯)
- 與 Nathan Becker 討論 GMT、動畫製作之相關軟體資源

08/15(四)

- 研究 tide tool ，設置安裝環境(哲緯)
- Vindell Hsu 帶領參觀地震觀測站、磁力觀測站
- 觀摩海嘯警報發布處理實況 (Vindell Hsu, Nathan Becker)

(16 Aug 2013 02:31 UTC, 6.8 Mwp, 41.8° S 174.2° E 10 km, Cook Strait New Zealand)

08/16(五)

- 成功安裝執行 TideTool(哲緯)
- David Walsh 介紹 SIFT (Short-term Inundation Forecasting for Tsunamis)
- Stuart Weinstein 介紹並操作 tide tool 之功能與應用
- Vindell Hsu 展示以 Unix SAC 取得資料

08/19(一)

- Stuart Weinstein 教導 TideTool 設定，完成潮位資料接收、解碼成 ASCII
- Dailin Wang Lunch together
- Nathan Becker 分享繪圖與相關程式應用技巧(GMT, Xplanet, ImageMagick, FFmpeg)
- 與 Stuart Weinstein 會談

08/20(二)

- GEBCO(grided bathymetry chart of the oceans) 研究(哲緯)
- 與主任 Charles McCreery 會談 (過去臺灣行之經驗，工作體驗)
- 安裝 GMT、研究 Python TK(哲緯)
- 與 Vindell Hsu 會談 (Dailin, 遷址, 學習狀況)
- 與 Barry 討論預警系統，並完成 OFF-LINE 測試 (達毅)

08/21(三)

- 研究嘗試 Python TK 程式編寫(哲緯)
- 蕭文啓課長向 PTWC 人員報告地震中心作業系統
- 安裝預警系統於 PTWC (達毅)
- 參與 PTWC 例行討論大會
- 與 PTWC 人員餞別拍照留念

08/22

- 搭乘凌晨 01:20 中華航空班機返回臺灣

三、研究項目與重點

此次前往太平洋海嘯警報中心研究有 3 大重點：

- (一) 地震監測技術與海嘯警報發布流程
- (二) 海嘯相關資料接收、處理、演算軟體學習與技術轉移
- (三) 協助太平洋海嘯警報中心建置地震預警系統，提升夏威夷區域地震警報效能

專門項目如下：

A. 地震、海嘯監測與發報作業

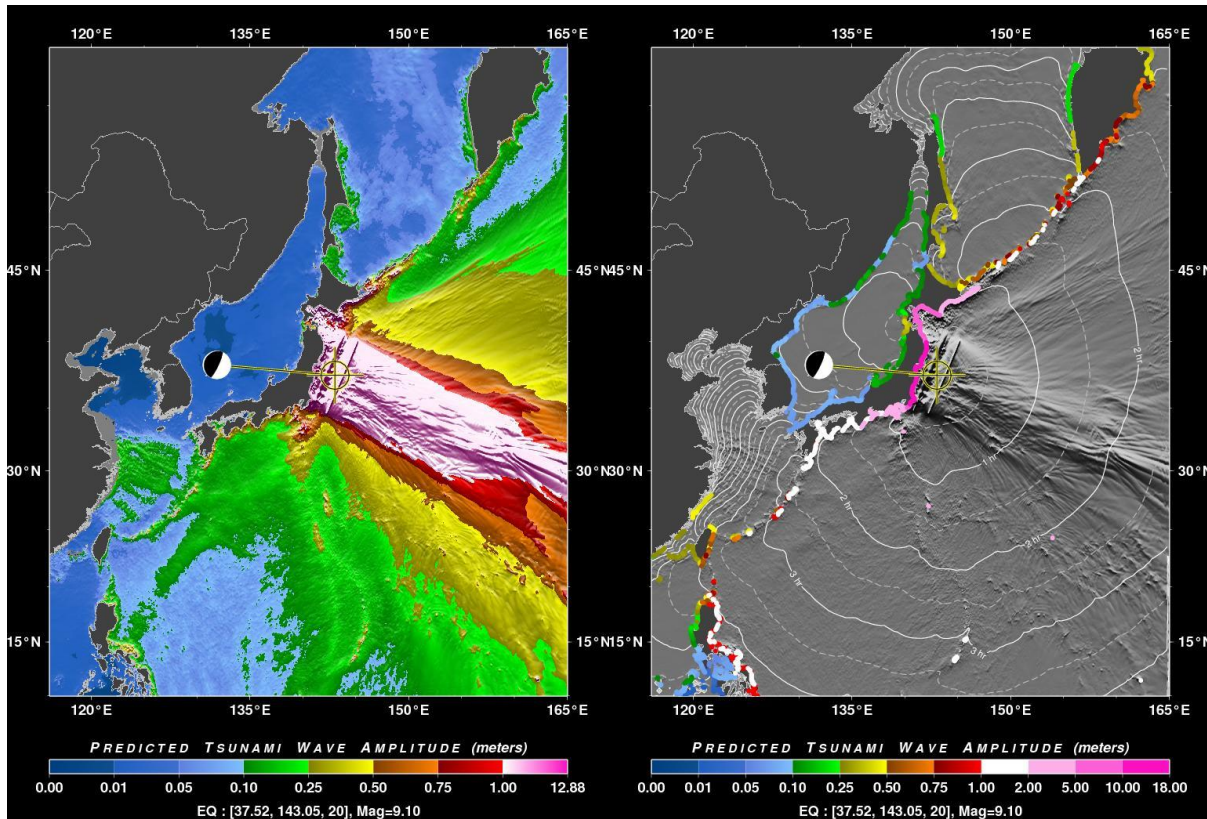
太平洋海嘯警報中心值班人員共 12 人，多為地震與海洋專家，其中 9 位具備博士身分，專業程度相當高。當太平洋海域發生強震時，太平洋海嘯警報中心會以全球地震測站資料，迅速解算出地震的相關參數，包括初始位置、深度、Mwp 規模預估與 W-phase CMT 震源機制解，同時由 USGS(U.S Geological Survey)自動取得該地震之訊息。爾後將地震參數輸入至 RIFT(real-time tsunami forecast model)即時海嘯預測模式進行演算，因地震的幾何破裂方向對海嘯之影響範圍與強度具有決定性影響，以 W-phase CMT 震源機制解增強海嘯預測的精準度。海嘯資訊發報流程方面與本局地震測報中心類似，由各種通訊管道進行傳遞，而後填寫作業流程檢核表，以電話通報相關資訊。

B. RIFT (real-time tsunami forecast model)

RIFT 為太平洋海嘯警報中心王代林博士所開發，用來預測海嘯傳播時的波高，以線性淺水方程式計算得來的海嘯預測經驗模型。對於多種地震來源與海岸型態可以進行很好的模擬演算，已成功模擬最近幾個衝擊性海嘯事件，包括 2010 年 2 月智利海嘯與 2011 年 3 月日本海嘯。RIFT 擁有很快的即時演算速度，並可套用實際的地震斷層破裂型態以有效提高結果的正確性與精確度。地震規模對於 RIFT 運算的振幅影響很大，越大的地震能激起越高的海嘯波，其中規模相差 0.2 就能產生明顯不同結果。另外，地震震源破裂所造

成的指向性效應，深深影響海嘯的傳播方向。震源機制解為決定 RIFT 演算結果的關鍵，如果初始計算未有該地震的震源機制解參數，RIFT 會以平行海岸線的淺層逆衝斷層為預設震源參數進行運算，其結果是對陸地影響最嚴重的情形。

其他模型如 NOAA 的 SIFT (Short-term Inundation Forecasting for Tsunamis) 與 ATFM (Alaska Tsunami Forecast Model)，其模擬演算無法應用於太平洋所有海岸型態與國家，但 RIFT 可以輕鬆達成，此系統將成為太平洋海嘯警報中心的運作基石。我們在這段期間同時比較 SIFT 的運作演算，SIFT 是以 JAVA 開發，會先以較粗的解析度計算傳播波高分布，隨著時間再以較細的格點模擬計算，同時也可計算陸地的溢淹範圍。相較 RIFT 在數秒內即時演算出結果，SIFT 演算速度太過緩慢，往往要等個數分鐘才能有較高解析的結果。期間我們將 2011 年 311 日本東北地方太平洋近海規模 9.0 地震參數輸入，區域選擇臺灣附近進行模擬演算，結果與觀測資料接近。



以 RIFT 模擬 2011 年 3 月日本東北地方太平洋近海規模 9.0 地震所引發之海嘯，
得到東亞區域海嘯波高分布(左)與海嘯波初達時間與沿海岸嘯波波高(右)

C. EEW(Earthquake Early Warning) 地震預警系統

地震預警系統能夠在災害性地震波侵襲目標區之前數秒到數十秒提供地震資訊，使得人員可以預作準備，自動控制的設備能夠及時啟動防災機制，將地震災害降低，保障生命財產安全。夏威夷地震大部分集中在大島，距離人口稠密的歐胡島約有 400 公里，相當適合發展地震預警系統。地震若在大島發生，預估大約 100 秒之後，強烈的地震波才會侵襲歐胡島。因此，若地震預警系統能夠在 30 秒左右完成地震資訊的判斷與傳送，將可以爭取到約 1 分鐘的準備時間。

我們在太平洋海嘯警報中心安裝在 Earthworm 環境下運作的地震預警系統，能夠直接取得該中心的即時地震資料。目前系統已經進行線上測試，未來再經過參數調整之後相信會有不錯的成果。

D. Tide Tool 潮位資料接收軟體

太平洋海嘯警報中心所開發的操作工具，用來對 WMO(World Meteorological Organization) 的 GTS(Global Telecommunications System)傳送來的海水位資料進行解碼、展示與運用。Tide Tool 會以時間序列來展示即時海水位資料。使用者可以互動的方式操作其時間序列資料進行水波振幅量測與移除潮汐信號。在海嘯監測方面，可以圖形介面即時觀測海水位變化，得到水波的到時、最大波高等觀測數據，進而修正 RIFT、SIFT 之海嘯模擬演算結果。

Tide Tool 是以 Tcl/Tk 作為程式編碼腳本，電腦必須安裝 BLT 擴充套件才可啟動該程式。程式主要分為 3 個分支，分別為

[get_data.tcl](#) (從 NOAA 取得全球海水位 GTS 資料)

[Tide_v9.26.tcl](#) (海水位資料解碼、管理、展示介面)

[Pacific_Client_v2.0.tcl](#) (以地圖形式展示所有潮位測站、DART 測站狀態)

已解碼的海水位資料，在 Windows 系統中會以 ASCII 格式存於 C:\Tcl\TideTool\Decoded_Data\JulianDay 資料夾中，海嘯監測實務上可以再轉存進 earthworm 進行更多的後端應用或分享。

E. TTT(Tsunami Travel Time) 海嘯走時預估程式

此軟體係由 Paul Wessel 博士研發，可應用於多種作業系統。TTT 主要係憑藉著高精確度的世界各地水深資料進行到時估算，是以當震源位置確定之後，即可推算傳遞到周邊各地的預估到時，而且震源破裂可選擇點震源或多重破裂(參考餘震分布)的不同形式種類，以更有效的擬合真實破裂情況，GMT 繪圖軟體展示推估的走時結果是最佳的呈現方式。

四、心得

中央氣象局的地震速報系統與強震即時預警系統，對於臺灣地區地震活動可以快速地發布資訊與預警，應用於防震減災。臺灣所處的位置較少受到海嘯侵襲，海嘯事件的發報並不如地震頻繁，因此在海嘯預警方面經驗較為不足，但依據學者分析以及歷史資料顯示，臺灣東部海域或是南部之馬尼拉海溝，均有可能發生足以引發海嘯的大規模地震，對於海嘯相關的研究運用仍有不少發展空間。

太平洋海嘯警報中心為全球海嘯監測之尖端標竿，我們此次參訪研習，主要是針對海嘯發報作業，觀摩學習太平洋海嘯警報中心如何進行地震、海嘯的監測、處理、發報作業，交流過程中我們常針對許多監測作業軟體系統向該單位專家請益，專家們都毫不藏私熱心為我們細心解答，讓我們獲益豐沛。

監測作業軟體方面，太平洋海嘯警報中心主要使用 Linux 系統，該系統支援多人多工作業，是個穩定且適合程式開發的平台，在 Linux 平台上運作的地震、海嘯監測軟體，開發方面除了使用 C、C++、Fortran 等科學常用的程式語言之外，亦使用較新且具彈性的 Python 作為軟體開發程式語言，該語言跨系統平台、物件導向、免宣告、免編譯，最重要的是其結構化特色讓程式碼易讀易學，使得軟體維護上相當容易，本中心未來將陸續導入 Python 作為系統開發工具。

經歷此次的參訪研習，內心所受到的衝擊是難以言喻的，國際先進單位所開發使用的軟體系統，有很多部分值得我們學習，但我們同時也發現中央氣象局仍有較優的部分，如

地震測報中心在地震資料的接收、處理、發布、儲存方面，經驗與技術都已經相當成熟完備；地震速報系統程式處理流程上的安排，其設計上較為簡易直觀便於值班操作、維護。

五、建議

- (一) Linux 作業系統為穩定且適合程式開發之平台，支援多種程式開發工具，將來可更廣泛利用於地震測報中心之發報作業，以提升地震資料收錄、整合應用之穩定性。
- (二) 目前地震測報中心在軟體開發方面，使用多種程式語言作為工具，維護上相當不易，費時費力，將來希望多利用 Python 作為軟體開發語言，以加快軟體開發速度，並減低維護成本。
- (三) 雙方機構就地震監測、海嘯警報與地震預警系統方面之實務經驗與維運技術，未來仍應持續加強雙向技術交流，可有效提升我國相關防災知識與技能，進而提昇我國於國際社會地震與海嘯防災領域的地位。

六、相關照片



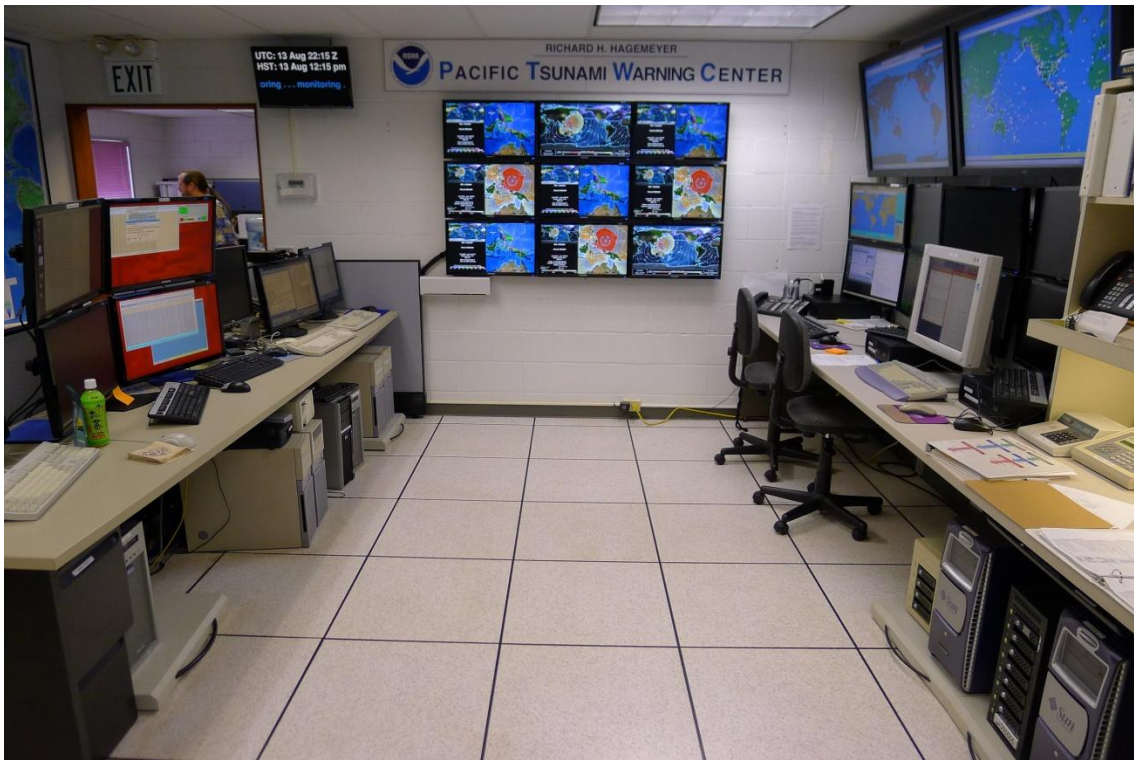
地震測報中心陳達毅技佐、蕭文啓課長與廖哲緯技佐



位於夏威夷 Oahu 島的太平洋海嘯警報中心



PTWC 海嘯處理、發布作業室(入門右側)



PTWC 海嘯處理、發布作業室(入門左側)



與王代林博士、Nathan Becker 博士合影



PTWC 電腦機房，採開放式空間設計



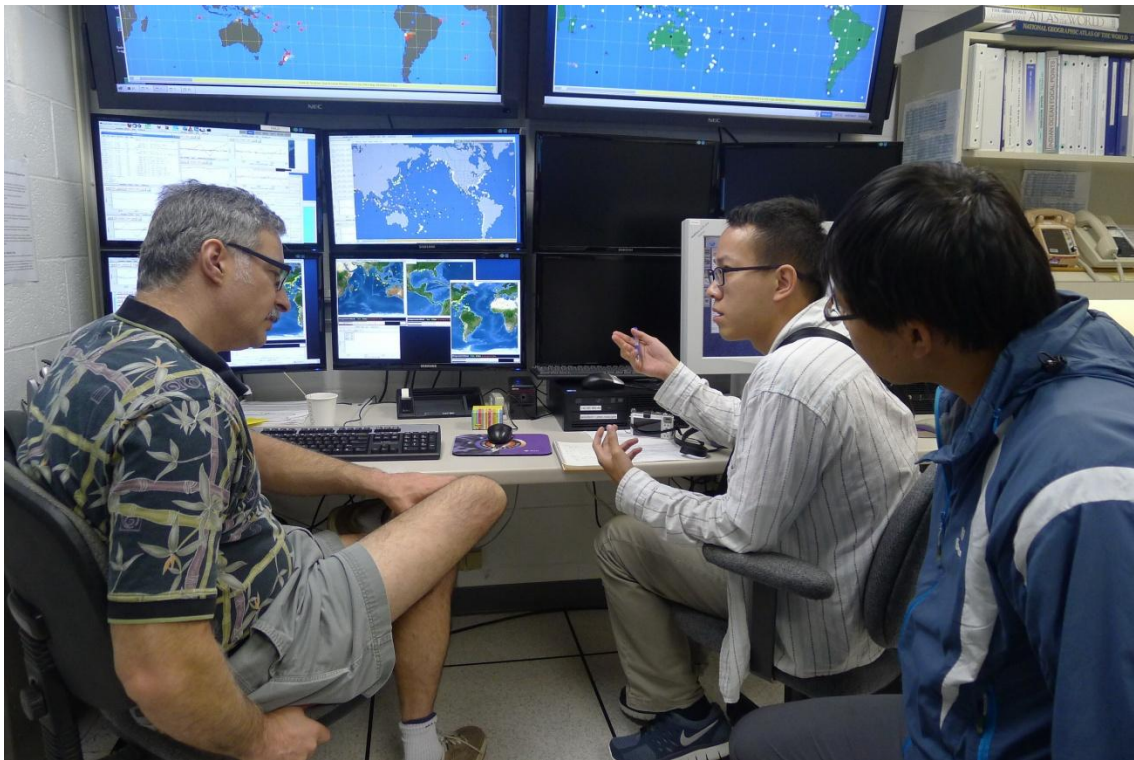
Barry Hirshorn 博士講解地震事件之 Mwp 計算預估



王代林博士指導即時海嘯模擬軟體 RIFT 使用操作



Stuart Kanoa 與陳達毅討論地震資料收錄與測站管理



PTWC 副主任 Stuart Weinstein 博士教導使用 Tide Tool



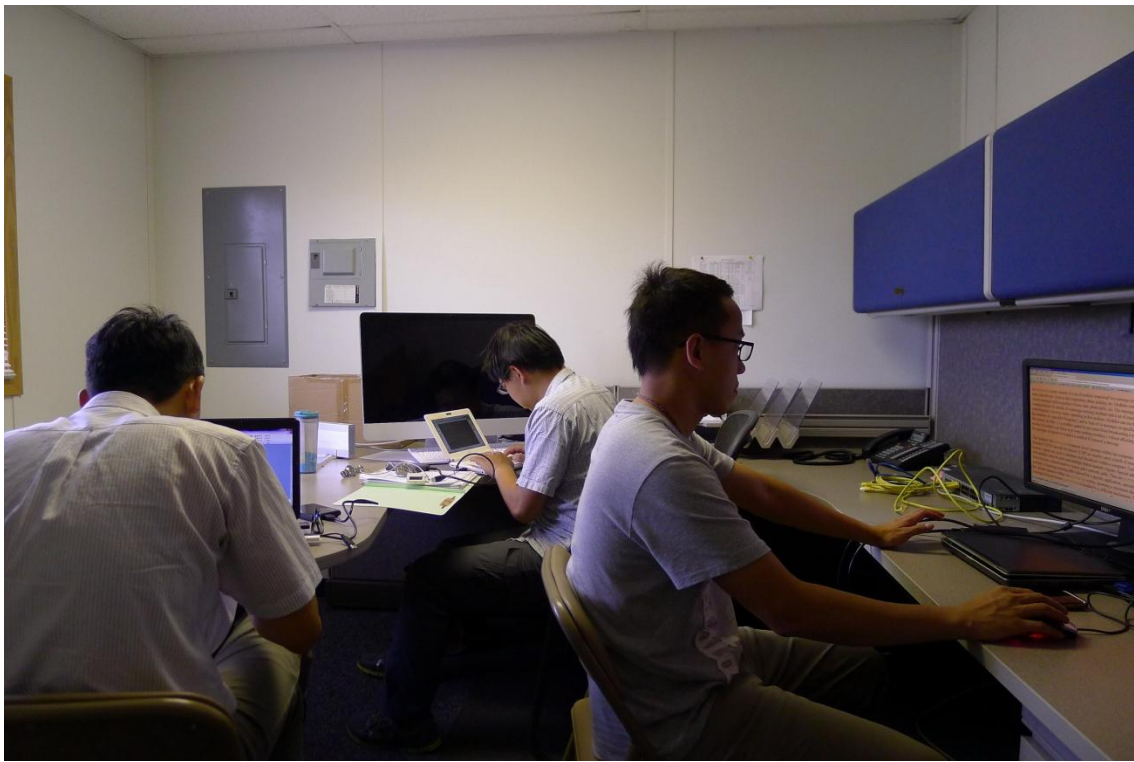
向 Nathan Becker 博士請益 GMT 繪圖與動畫繪製



與 Barry Hirshorn 博士討論地震預警系統



Stuart Weinstein、David Walsh、Gerard Fryer 討論系統運作



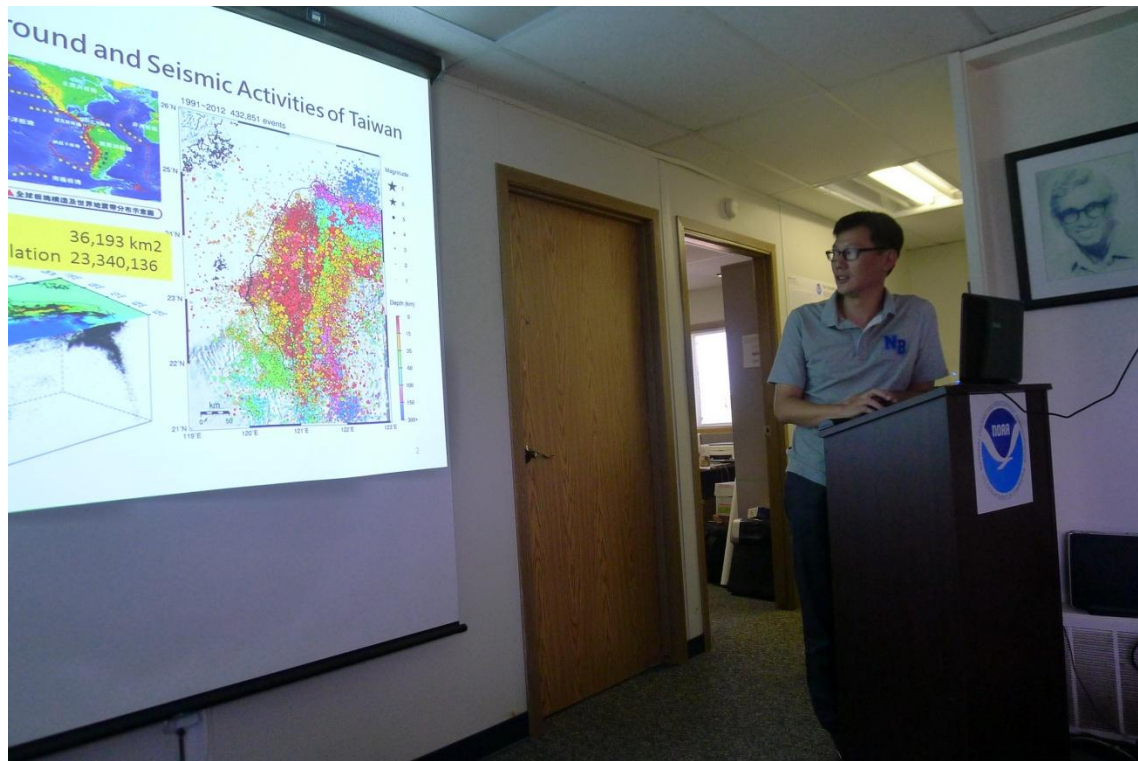
空檔時間我們待在小辦公室進行個別研究項目



徐文達博士帶領參觀地震測站、磁力測站



與 PTWC 主任 Charles McCreery 博士會談交流



蕭文啓課長向 PTWC 專家們簡報本局地震中心作業概況



一同參與 PTWC 例行中心會議



此次參訪獲益匪淺，希望未來能持續進行雙方機構的交流

七、參考文獻

- Foster, J. H., B. A. Brooks, D. Wang, G. S. Carter, and M. A. Merrifield, Improving tsunami warning using commercial ships, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L09603, doi:10.1029/2012GL051367, 2012.
- Fryer, G., Holschuh, N., Becker, N., and Wang, D., 2010, Improving Tsunami Warning with a Rapid Linear Model, Paper NH33A-1378, Amer Geophys Union, Fall Meeting, 2010 (abstract).
- Fryer, G. J.; Wang, D.; Becker, N. C.; Weinstein, S. A.; Walsh, D., Fast Simulation of Tsunamis in Real Time, Paper NH21C-1525, Amer Geophys Union, Fall Meeting, 2011 (abstract)
- Duputel, Z., L. Rivera, H. Kanamori, G. P. Hayes, B. Hirsorn, and S. Weinstein, Real-time W-phase inversions during the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Earth Planets Space*, 63(7), 535 – 539, doi:10.5047/eps.2011.05.032., 2011
- Duputel, Z., L. Rivera, H. Kanamori, and G. H. Hayes, W phase source inversion for moderate to large earthquakes (1990 – 2010), *Geophys. J. Int.*, 189, 1125 – 1147, doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05419.x, 2012.
- Wang, D.; Walsh, D.; Becker, N. C.; Fryer, G. J., A Methodology for Tsunami Wave Propagation Forecast in Real Time, Paper OS43A-1367, Amer Geophys Union, Fall Meeting, 2009 (abstract).
- Wang, D., Becker, N.C, Walsh, D, Fryer, G., Weinstein, S. A., McCreery, C. S., Sardiña, V., Hsu, V., Hirshorn, B.F., Hayes, G.P., Duputel, Z., Rivera, L., Kanamori, H., Koyanagi, K.K., and Shiro, B., Real-time Forecasting of the April 11, 2012 Sumatra Tsunami, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L19601, doi:10.1029/2012GL053081, 2012
- Whitmore, P., Weinstein, S., Knight, W, Wang, D., McCreery, C., and Gately, K., Real-time tsunami forecasting for the Caribbean Region, Paper 25-6, Southeastern Section - 62nd Annual Meeting (20-21 March 2013), *Geol Soc Amer*, 2013 (abstract).