

經費來源： ☒ 01 當年度公務預算 ☐ 02 委託補助計畫

機密(E)： ☐ 是 ☒ 否

出國類別： ☐ A 考察/訪問 ☒ B 學術會議/研討會  
☐ C 進修/研究 ☐ D 工作會議

**出席 2023 年美國地球物理聯盟研討會  
(American Geophysical Union Annual Meeting 2023)**

**出國報告書**

單位名稱： 國家災害防救科技中心 地震與人為災害組

出國人姓名職稱： 楊清淵 佐理研究員

出國地點： 美國舊金山

出國日期： 民國 112 年 12 月 10 日至 112 年 12 月 22 日

報告日期： 民國 113 年 1 月 31 日

## 摘 要

本次參加於美國舊金山舉辦之 2023 年美國地球物理聯盟研討會（American Geophysical Union Annual Meeting 2023；AGU23）為地球科學界參與人數最多、領域最多元的國際會議。地震與人為災害組楊清淵佐理研究員在本次會議於地震學場次以「A Three-Dimensional Active Structure Model Database Developed by NCDR: Active Faults and Earthquake Zones in Taiwan」為題進行口頭報告，發表由國家災害防救科技中心及其他學術單位共同建構之臺灣活動構造數值模型資料庫，其建置方法與模型應用，並積極參與地震學、地形學、災後調查與勘災工作等場次演講，獲取國際地震事件之地震資料處理與分析、地表變動觀測及大規模災害勘災策略等相關知識，除了拓展災防科技中心研究能見度，也精進日後地震研究的發展方向。

## 目 次

1. 目的.....	1
2. 會議紀要 .....	2
3. 心得及建議.....	14
4. 出國效益.....	15

## 1. 目的

本次申請至美國舊金山參加 2023 年美國地球物理聯盟年度研討會 (American Geophysical Union Annual Meeting 2023；以下簡稱 AGU) 進行口頭論文發表，旨在透過國際學術會議場合發表國家災害防救科技中心 (以下簡稱災防科技中心) 自 2015 年起與多個學研團隊共同建置之臺灣活動構造三維數值模型資料庫。

AGU 為美國地球物理聯盟每年舉辦之國際會議，同時也是世界上參與人數最多的國際地球科學會議。跨越了 2020 至 2022 年的疫情衝擊，本年度除了盛大恢復實體會議，同時保持疫情期間發展出的線上會議形式，使總體與會人數超過 25,000 人。匯集了全球學者的精彩研究，本次議程內容包含多元領域，地球科學、氣象學、氣候變遷、環境教育，由各種先期至成熟的主題發表共同組成。會議展示與互動方式也是最為多元，包含口頭報告 (Oral)、海報報告 (Poster)、電子海報 (E-lighting)、特約演講 (Lecture)、餐會討論會 (Reception and section gathering)，使每名與會者都能選擇最適合的方式討論各自有興趣的地球科學。

本次發表主題為「A Three-Dimensional Active Structure Model Database Developed by NCDR: Active Faults and Earthquake Zones in Taiwan」，主要發表由災防科技中心、國立臺灣大學、國立成功大學與臺灣中油公司等多個研究單位共同建構的臺灣活動構造三維數值模型資料庫。三維數值模型資料庫的建構源自於提升地下活動構造視覺化效果的需求，在過往的地震應變工作中，地震應變工作小組普遍提供二維的地質圖資，包含地震震央分布圖與地質剖面圖，以協助發震構造的解釋工作與評估受地動衝擊的災害高潛勢區。然而水平的地震震央分布圖難以展示地震的深度資訊，帶有深度的垂直地質剖面圖卻又受限於剖面數量不足，必須將地震垂直投影至最靠近的剖面，可能存在解釋誤差，同時上述的應變用地質圖資對於非專業地質人員的

使用不夠直觀，時常造成解讀困難。為了解決上述問題，災防科技中心嘗試利用多元的地質資料開發三維地下構造資料庫，透過視覺化效果良好的活動斷層與地震帶模型，協助地震應變的資料展示工作。本資料庫經歷多期更新，由最早的新竹示範區、到全臺活動斷層建製、再進入臺灣西部地層建構、乃至最新完成的地震帶圈繪與分析，逐步完成全臺灣地下的活動構造數值模型建置工作。

本次申請至 AGU 會議進行口頭演說會議報告，除了發表中心建置完成之活動構造資料庫，展示本中心如何透過這些三維資料協助地震應變工作，同時也希望於會議中學習相關領域的模型應用方向，進一步拓展活動構造模型的價值與應用層面，以及學習其他地震災害評估、勘災策略與國際地震事件調查結果等研究。

## 2. 會議紀要

### 2.1 會議前準備

本年度之 AGU 會議舉行於美國舊金山之 Moscone Center，舉行時間為 12/10-15（週日-週五），其中 12/10（週日）為會議前報到、領取會議名牌及教育訓練課程；12/11-15（週一-週五）為正式會議日期。會場內口頭報告與海報展示同時進行，口頭報告分為上午兩場（08:30-10:00、10:20-11:50）與下午兩場（14:10-15:40、16:00-17:30）；海報展示則為上下午共兩場（08:30-12:50、14:10-18:30）。口頭報告講者需於 12/08 前將完整報告投影片內容上傳至 AGU 指定系統雲端空間，若後續需要進行投影片內容調整，報告會議室之電腦設備僅提供展示功能，講者需於報告場次開始四小時前至大會官方準備之講者準備室（Speaker Ready Room），以隨身碟攜帶檔案覆蓋雲端資料或利用現場電腦進行投影片內容變更。

職於 12/10 上午抵達舊金山，於當日下午完成報到手續並領取大會名牌，12/11 上午至講者準備室進行投影片內容確認，12/13 下午於 14:10-15:40 的「S33B: Seismology General Contribution: Earthquake VI Oral」場次進行口頭報告。





圖一、本年度 AGU 舉行會場：舊金山 Moscone Center。



圖二、職與 AGU 會議標誌合照。

圖四、口頭報告照片紀錄。



## 2.2 會議報告內容

臺灣地處歐亞板塊與菲律賓海板塊交界，根據中央氣象署的地震資料庫，臺灣每年約發生 20,000 至 40,000 起地震，其中約有 700 至 2,000 起為有感地震。考量地震對人類社會造成的衝擊與災害，如 2022/09/17-09/18 的關山—池上地震造成東臺灣大面積地表破裂及斷層沿線的建物與橋梁受損，當地震事件發生時，災防科技中心將即時進行地震應變，透過自動化的地震應變系統產製高風險區域的評估情資，提供中央災害應變中心進行決策判斷的依據。傳統的地質圖資為二維圖資，包含地震震央分佈圖與地質剖面圖，通常需透過投影的方式將地震顯示於平面或垂直剖面，除了無法實際展示地震的空間分佈，對於不了解發震區域地質背景及活動構造的非地質專業人員將造成判讀上的困難。為了解決這個問題，讓應變人員乃至社會大眾都能夠了解這些雖隱藏在地底而難以揭開神秘面紗、卻透過大量地震展現其強烈活動性的活動構造，災防科技中心發展活動構造數值模型資料庫，透過視覺化的數值模型協助地震資料的呈現與發震構造的判識，同時發展完成之數值模型也可以進行更進一步的地震衝擊模擬工作。

在建構活動構造模型前，本研究考量臺灣不同地質分區的特性，採取兩套不同策略進行模型建構。西臺灣的海岸平原區與西部麓山帶主要由沉積岩組成，本研究搜集大量前人發表在沉積岩區的鑽井、震測與平衡剖面資料進行地下斷層在建構<sup>(1, 2, 3, 4, 5, 6)</sup>；剩餘的臺灣中部與東部，包含橫貫臺灣南北的山脈系統—雪山山脈與脊樑山脈由變質岩組成、最東側的海岸山脈由火山島弧及濁流岩組成，雖然夾雜有部分沉積岩，但這些地質分區仍以變質岩與火成岩為主，缺乏平衡剖面資料進行斷層與地層控制。有鑑於此本研究利用 1990-2020 的地震重定位序列<sup>(7)</sup>、震源機制解<sup>(8)</sup>與地下速度構造<sup>(9)</sup>，透過這些地球物理資料進行斷層位置判斷，再進一步進行模型建構。模型建構主要透過 GOCAD 軟體進行，透過將上述地質與地球物理資料放置到軟體的立

體空間中，建構不同剖面的斷層線，再透過軟體演算單一斷層線段組的最適宜連結方式，即可建構立體的斷層模型。

目前全臺大部分的斷層皆已建製完成，大致可區分為西北臺灣（新竹、苗栗）、中臺灣（臺中、彰化、雲林、南投）、西南臺灣（嘉義、台南、高雄）與東臺灣。於本次報告中挑選斷層構造相對單純的中臺灣、相對複雜的西北臺灣與最常發生地震的東臺灣進行展示。中臺灣的活動斷層結構相對單純，由南—北向，幾乎平行的幾組斷層系統組成；西北臺灣的活動斷層系統複雜，受不同時期的大地應力作用影響，斷層走向包含東北—西南向與東—西向兩組，兩組構造互相截切。東臺灣的活動斷層系統結構雖不複雜，但透過 1990-2020，30 年來的地震資料、震源機制解與地下速度構造，搭配自 2006 年來一連串發生在縱谷西側的地震事件，本研究完整建構向東傾斜的縱谷斷層與向西傾斜的中央山脈斷層模型。這組斷層模型也成功支援 2022/09/17-09/18 關山—池上地震的發震構造研判工作。

完成活動斷層模型建構後，若觀察臺灣的地震事件，會發現仍有許多地震密集發生區域與該地區的震源機制解無法透過現有的活動斷層模型進行解釋。為了分析這些無法透過活動斷層解釋，即無法有效評估地震再現周期或地震好發模式的密集地震發生區域，本研究運用與建構活動斷層時相同的地震重定位序列<sup>(7)</sup>、震源機制解<sup>(8)</sup>與地下速度構造<sup>(9)</sup>，搭配地震熱點分析，建構出全臺灣的地震帶模型。在此討論的地震帶（Seismic zones），並非如前述的活動斷層有著明確的面狀結構，而是利用不同深度的地震分布密度與震源機制解的相似性，進而對地震進行分類與區域劃分。換言之，空間分布靠近、又有相似的震源機制解，如都是正斷層、逆斷層或平移斷層地震事件，震源機制解指示之構造走向也相似的一群地震，就會被本研究劃分為同一個地震帶。運用上述判斷標準，本研究員全臺共區分 27 個地震的，同時也劃分出 4 個地震相對較缺乏的區域。

受限於本研究取用臺灣目前相對完整、即 1990-2020 的地震目錄，地震帶的分析標的僅包含過去 30 年的地震事件，相較於芮氏規模  $M_L$  7.0 以上動輒需要百年應力累積的大規模地震，30 年的時間無法完整包含一起大規模地震由同震期（Co-seismic period）、震後期（Post-seismic period）到間震期（Inter-seismic period）的完整地震時序，因此地震帶分析主要著眼於規模  $M_L$  6.0 左右，雖然不如大規模地震造成的災害嚴重，但仍對人類社會存在一定威脅性的中型地震。目前本研究已完成地震帶劃分，並逐步進行各地震帶之地震特性分析。未來將會透過各地震帶的地震發生時序與地震個數進行特性討論，如位在南投的埔里地震帶，在過去 30 年間發生過 10 次規模  $M_L$  6.0 以上的地震事件，即年平均 3 起中型地震。同時此地震帶小型地震的活動性亦非常高，每個月平均有 20-30 起規模  $M_L$  4.0 以下地震。2013/03/27 與 2013/06/02 等兩起造成 5 死 18 傷的南投地震即為埔里地震帶典型的地震事件。

本研究完成的活動斷層與地震帶數值模型已逐步投入協助地震應變判釋與地震展示工作，同時本研究也計畫於本年度（113 年）逐步公開模型建構成果，供有興趣的研究單位或學者申請使用。

#### 參考資料：

- (1) 陳文山、黃能偉、楊志成（2011）臺灣西南部更新世沈積層序特性與前陸盆地演化。《經濟部中央地質調查所特刊》，**25**，1-38。
- (2) Suppe, J. (1980) A retrodeformable cross section of northern Taiwan. *Proceedings of the Geological Society of China*, **23**, 46-55.
- (3) Suppe, J. (1980) Imbricated structure of western foothills belt, south-central Taiwan. *Petroleum Geology of Taiwan*, **17**, 1-16.
- (4) Yang, K.M., Huang, S.T., Wu, J.C., Ting, H.H., and Mei, W.W. (2006) Review and new insights on foreland tectonics in western Taiwan.

*International Geology Review*, **48**(10), 910-941.

- (5) Yang, K.M., Huang, S.T., Wu, J.C., Ting, H. H., Mei, W.W., Lee, M., Hsu, H.H., and Lee, C.J. (2007) 3D geometry of the Chelungpu thrust system in central Taiwan: Its implications for active tectonics. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, **18**(2), 143-181.
- (6) Yue, L.F., Suppe, J., and Hung, J.H. (2005) Structural geology of a classic thrust belt earthquake: the 1999 Chi-Chi earthquake Taiwan (Mw= 7.6). *Journal of Structural Geology*, **27**(11), 2058-2083.
- (7) Wu, Y.M., Chang, C.H., Zhao, L., Teng, T.L., and Nakamura, M. (2008) A Comprehensive Relocation of Earthquakes in Taiwan from 1991 to 2005. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **98**(3), 1471–1481.
- (8) Wu, Y.M., Zhao, L., Chang, C.H., and Hsu, Y.J. (2008) Focal mechanism determination in Taiwan by genetic algorithm. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **98**(2), 651–661.
- (9) Huang, H.H., Wu, Y.M., Song, X., Chang, C.H., Lee, S.J., Chang, T.M., and Hsieh, H.H. (2014) Joint Vp and Vs tomography of Taiwan: implications for subduction -collision orogeny. *Earth and Planetary Science Letters*, **392**, 177–191.

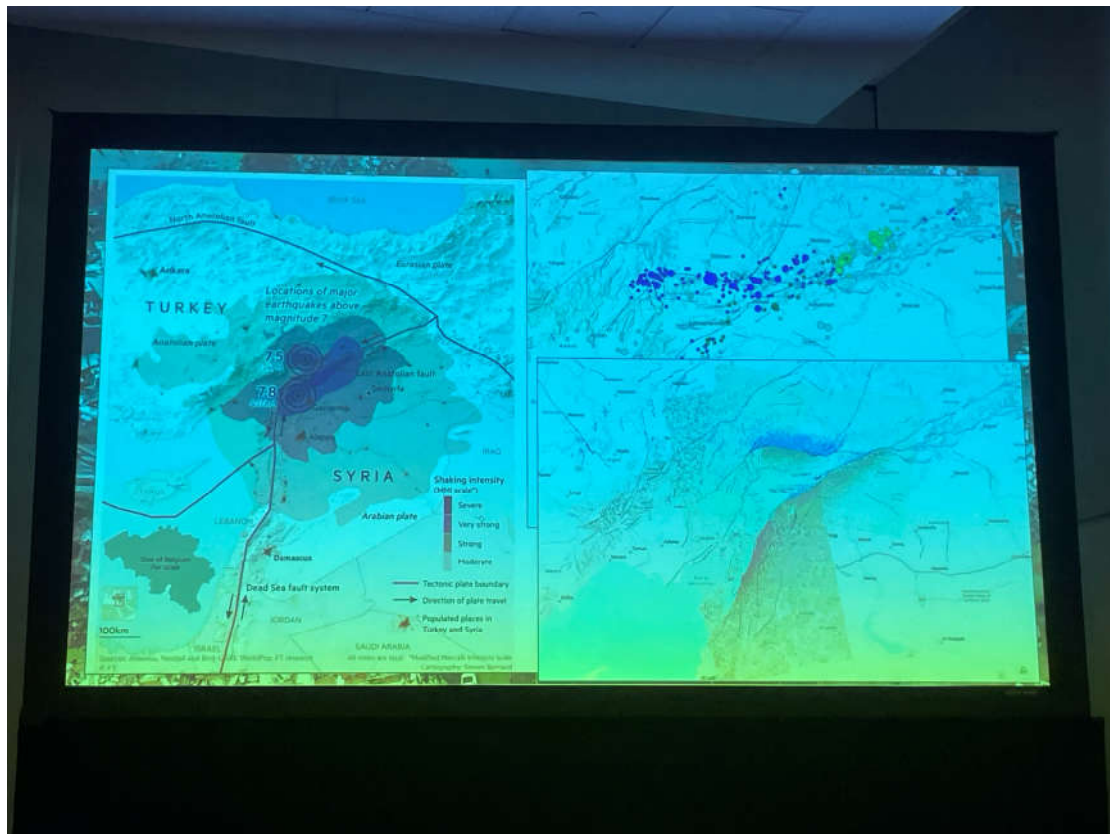


### 2.3 參與口頭報告場次內容

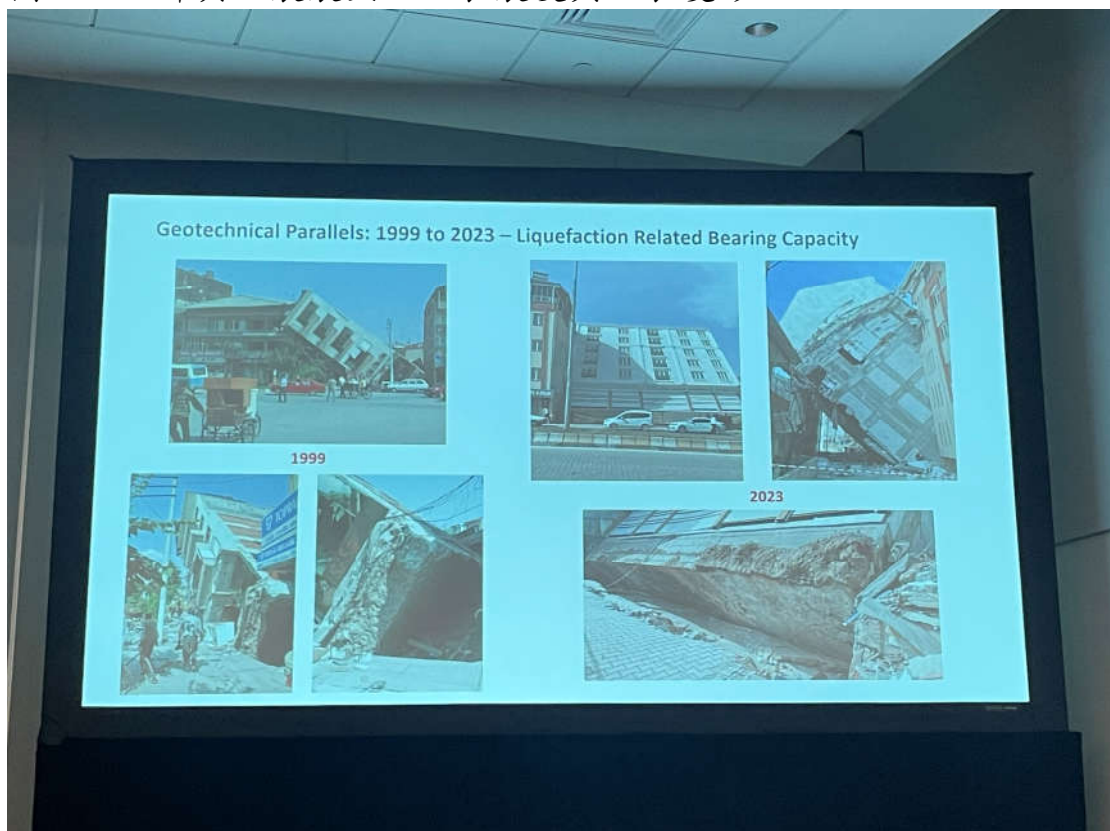
本次於地震學場次中介紹本團隊之活動斷層與地震帶模型建構方式、現階段建構成果、以及活動構造模型即時支援地震應變工作之經驗，同時也在會議中與其他學者及會議主持人討論下一個階段的模型應用規劃，包含實際利用模型資料進行地震模擬，與斷層的活化潛勢評估。非口頭報告的會議期間，職也有選擇與地震學、地震災害評估、海岸地形變遷、冰川地形演化研究與地震震後調查等與地震災害或地形學相關的研究場次參與。

在 2023 年 2 月土耳其地震震後調查成果的場次中 (The Türkiye Earthquake Sequence of February 2023: Human and Engineering Impacts, Scientific Findings, and Implications for Earthquake Risk and Risk Mitigation Strategies in the United States and Elsewhere)，多組由美國國家科學基金會 (National Science Foundation；NSF) 及美國國家地震減災計劃 (National Earthquake Hazards Reduction Program；nehrp) 支持之團隊報告 2023 年 2 月在土耳其與敘利亞接壤的東南部卡赫拉曼馬拉什省 (Kahramanmaraş) 所發生一系列的大規模地震，其震後之勘災經驗與調查成果。這起地震稱為土耳其卡赫拉曼馬拉什地震序列，規模最大的兩起達地震矩規模  $M_w$  7.8 及  $M_w$  7.5，因地震規模大、對許多城市造成毀滅性的衝擊，GEER、EERI 等多組人員聯繫土耳其的地震學術研究團隊，進行雙邊技術交流，共同進行災區勘災規劃與施行。除了針對建物、橋梁、道路、坡地崩塌進行系統性的調查與報導，該場次也邀請社會學者針對災後之災民安置策略、災民的生活習慣與信仰對配給之安置處所交通方式與安置房屋類型之選擇進行報告。會議後職也有主動向去年於鹽湖城舉辦之第 12 屆 NCEE 會議認識之 GEER 負責人 David Frost 討論土耳其的災後調查安排策略，以及臺灣於 2022 年 9 月發生之關山—池上地震災後調查工作。

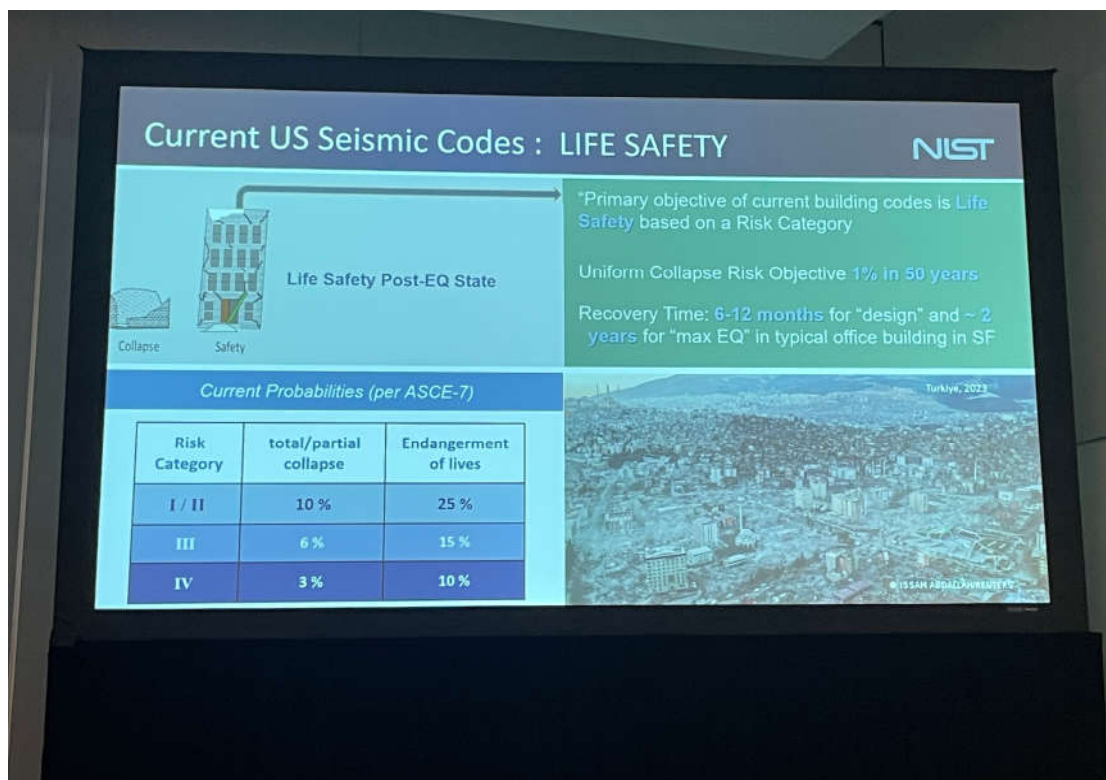




圖五、土耳其地震震央、地表震度與地表變形。



圖六、1999 年與 2023 年土耳其地震災損比較。

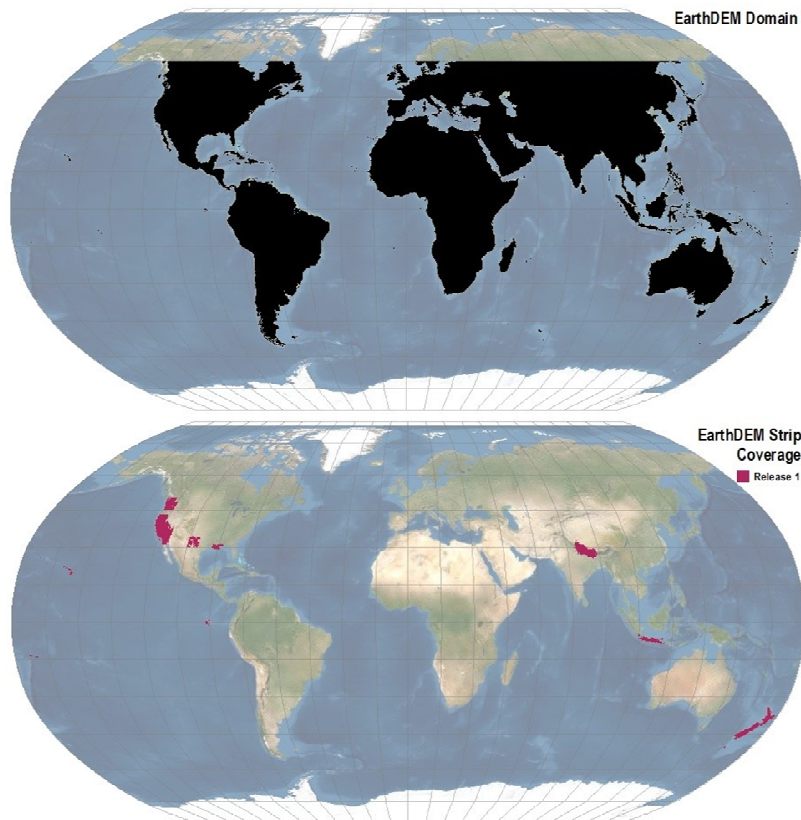


圖七、透過土耳其地震檢視美國之耐震設計法規。



圖八、GEER 負責人 David Frost 報告勘災成果。

在冰川地形演化研究場次中 (Observations and Models of Glacier Change)，多組團隊透過衛星影像建構地形數值模型 (Digital Elevation Model；DEM)，再透過分析不同期的地形模型進行冰川消長的演化比較。得益於衛星不斷環繞地球旋轉，影像資料的快速累積讓數值地形資料也大量增加，其中極區因為擁有最高的衛星通過次數，其影像資料更新速度是最快的，因此透過後期資料處理，將影像資料轉換為地形模型後，便能擁有多期地形模型，藉以研究更細緻的地形差異。在本場次中，職接觸到 The EarthDEM Project 這個計畫，此計畫開發高解析度地形數值模型資料庫，並將產製完成之地形資料公開上網(<https://www.pgc.umn.edu/data/earthdem/>)，使用者於申請帳號後便可以自由下載影像資料。目前影像資料雖然集中於北極極區，但有逐步增加非極區的地形資料覆蓋範圍，未來若資料庫有涵蓋入臺灣區域，便可運用資料庫之影像與地形資料分析地震對平原區等沒有植被覆蓋的環境進行地表變形分析。



圖九、The EarthDEM Project 產製地形數值模型現階段涵蓋範圍。



### 3. 心得及建議

本次於 AGU 會議首先感受到深度學習與 AI 人工智慧強烈影響人類社會的方方面面，在地震學領域也不例外，本次許多研究發表都是透過機器學習訓練 AI 模型進行地震波自動挑波，大大降低繁瑣卻至關重要的挑波作業。雖然本次發表的活動構造三維數值模型研究並無直接處理地震波的需求，但研究利用的原始資料即為大量的地震與震源機制解，其資料來源皆是由最基礎的挑波作業開始。得益於臺灣廣布的地震站，加上在地震事件發生後由不同團隊緊急架設的臨時站，以及地震測站測量極限的上升，大量的地震資料無法再單純仰賴人工挑波，因此快速、高效率與高正確性的自動挑波除了提升的資料處理的速度，也讓我們能夠更快解開地震事件的震源分布與活動構造的關係。

本次在地震學與活動斷層的相關場次中，職也了解許多團隊積極利用各種觀測資料量測斷層於同震及間震的變形，如同時利用干涉合成孔徑雷達（InSAR）與全球導航衛星系統（GNSS）進行大範圍而快速的地表變形觀測，並利用地表變形量搭配模式演算斷層於地下的變形行為。過去在進行這樣的模式演算時，部分研究會使用相對簡化、單一傾角的斷層模型進行模擬，然而目前本研究已利用地質與地球物理資料進行相對複雜但真實的斷層模型建構，若可將開發完成之模型資料套用到這些模式，將能夠進行更為精確的、由地表變動推估至更真實的地下斷層錯動的變形行為。

經過本次 AGU 報告，除了了解本研究發展之斷層模型的獨特性，也讓其他學者了解災防科技中心建構之活動構造數值模型，並透過和其他與會學者的討論更確立接下來將實際利用本研究開發之斷層模型進行地震模擬等更進一步的工作，未來將更進一步嘗試於地震事件後利用庫倫應力變化評估震源鄰近之其他斷層的受力狀況變化與未來活動的可能。

#### 4. 出國效益

本次參加 AGU 並進行口頭報告，實際向與會者展示全臺完整的活動構造數值模型資料庫，除了完整介紹建構流程，也歡迎有興趣學者透過災防科技中心之官方管道進行資料申請。與會過程除了分享中心研究，也廣泛獲取地震學、地形學與勘災等相關研究知識，同時收穫許多團隊之模型資料庫申請管道，如全球海底地形 AVISO+、極區地形數值模型 EarthDEM 與全球地表數值模型 CO3D，這些開放透過帳號申請的網路資料庫不僅提供了公開資料的相關範例，同時也可作為未來在研究需要時取得資料的管道。會議期間也積極與先前會議結識的學者進行交流，如美國 GREE 進行地震勘災相關工作的負責人 David Frost，未來雙邊若有進行地震調查與勘災工作的相關需求，則亦成為一可行的管道。