

# 與會報導 地工技術第 40 次工程地質研討會

## 綜覽花東岸·朝聖阿朗壹

丁禕<sup>1</sup>整理

### 一、前言

「花東海岸線」在2016年的「工程地質十大路線計畫」中即已規劃，並於2017年底完成預跑，由中興社魏倫璋博士負責統籌，延請顏一勤應用地質技師擔任主講。

2021年底，地工技術基金會執行長王泰典老師提議，何不將花東線往南延伸至阿塋壹古道？帶大家一起朝聖這條臺灣最後一道未經公路開發的海岸線。由於本次為第40次工程地質研討會，加上地工技術基金會即將滿40週年，意義深遠。遂於2022年3月，啟動第二次預跑工作，並於同年5月正式舉辦活動（行程如表一）。

表一 綜覽花東岸·朝聖阿朗壹研討會行程表

日期	停駐點
2022	停駐點1：七星潭 米崙斷層鑽井及監測計畫(MiDAS)、七星潭地體架構
5/27 (五)	停駐點2：石門洞 火山角礫岩、殘留火山頸與海蝕洞之特殊地質景觀 交流座談：海底火山與海嘯 (知本東台溫泉飯店)
5/28	停駐點3：阿朗壹古道 (由北口南田進南口旭海出) 南田石、海嘯石、地質構造與現象、楓港溪斷層

### 二、米崙斷層與MIDAS計畫

2018年2月6日花蓮發生規模6.4地震，花蓮市區受到嚴重震災。為釐清米崙斷層之地震地體構造與致災關鍵，學界陸續在花蓮市區與米崙斷層周邊進行各種調查並嘗試建構更詳細的地質模型，方法包括調查地表破裂型態(Huang et al., 2019)、遙感探測(Yen et al., 2019)、連續GPS監測(曾與邱, 2021)、陸上海上震測、餘震資料(Kuo-Chen, 2018)等。然而，不同方法與不同調查區域所建構出來的地質模型皆不相同，於是科學家們提出想法：如果能有地質鑽探，便可了解地下地質分層以及斷層帶深度分布，有助推估斷層的真實狀況，地質模型就能得到合理的控制與收斂。

於是，米崙斷層鑽井及監測計畫（簡稱

MiDAS)在2021年五月正式啟動。鑽探團隊由十幾年前完成車籠埔斷層深鑽計畫(TCDP)的豐宇綠能執行，而最重要的創新，是MiDAS於提取岩心後，於鑽孔中埋入地震光纖。傳統地震儀只能獲得單一深度單一點位的地震資料，新型態地震光纖可貫穿全孔，得到地中連續深度地震資訊，解析度更高。地震光纖運作原理與功能與地震儀不同，雖然無法全然取代地震儀，但結合光纖與地震儀相輔相成，進行更深入的跨斷層地震研究，希望能找出大地震發生前的蛛絲馬跡，對於地震預警，往前邁出更大一步(林, 2022)。

MiDAS共鑽探ABC三井，AC井位於米崙斷層之上盤，A井深度750公尺，進行岩心取樣；C井深度500公尺，進行水氣監測。B井位於下盤，作為對照井。地震測站位於七星潭旁，5/27活動當天雖無法直接看到岩心，但吳文傑老師仍以海報來介紹MiDAS岩心照片(圖一)，並說明A井於491公尺開始遇到斷層帶(以剪裂泥為主)，直至孔底仍未貫穿斷層。而取出之岩心，亦進行相關分析工作，包含岩石物理特性、地質構造分析、岩礦與地化分析、地磁分析、定年、流體與氣體採樣分析等(郭與吳, 2021；吳, 2022)。藉由這些分析研究，深入了解斷層帶的特性，有助於建立地質模型。而取出岩心後的鑽孔本身，則在孔內安裝地震儀與地震光纖，我們期待MiDAS能解析出更多過去未知的地震訊息，對地震減災做出貢獻。



圖一 吳文傑老師解說MiDAS計畫所鑽探之米崙斷層岩心(高宗正攝)

<sup>1</sup>財團法人中興工程顧問社

### 三、七星潭的地體架構與海邊的青石公

MiDAS在單一點位進行深鑽，以垂直方向瞭解米崙斷層，然而它的三度空間如何分布？又可能影響到哪些範圍？七星潭一帶的地層與米崙斷層又有什麼關聯？

米崙斷層是經濟部中央地質調查所公告之第一類活動斷層，所謂「第一類活動斷層」，係指全新世(距今一萬年前)以來曾經活動過的斷層，位置如圖二所示。

1951年10月到12月期間，花蓮到臺東縱谷地區發生數次大地震，並記錄到數千個餘震，而縱谷沿線出現了長度約90公里的同震地表破裂，地調所由北而南將其劃定為米崙斷層、嶺頂斷層、瑞穗斷層、玉里斷層、池上斷層、鹿野斷層與利吉斷層等，均為活動斷層。

顏技師拿出畫冊，讓大家一起朝南方看，描繪了七星潭地區的地層分布狀況，以及地質構造線型。並帶大家走到海岸邊一顆直徑大約3.5公尺的綠色巨石旁。顏技師請大家觀察：猜猜它從哪來？如果是山區的山崩帶來下的，應該整個地區都會佈滿類似的大石，不會是孤石；如果是海浪帶來的堆積，更不合理，七星潭海邊礫石大多小且圓潤，像這樣巨大又有稜有角的岩石，孤零零出現在海邊，頗為突兀。由於當地人也覺得它很特別，基於對自然界的尊重與敬畏，尊稱其為「青石公」。

青石公的岩性屬變質岩中的片岩，表面可以明顯看到片理構造，顏色是帶灰色的淡綠色。既然是綠色片岩，最合理的來源是中央山脈，但這裡早已遠離山區，又不像河流帶來，究竟如何出現在七星潭海邊？「海嘯」，是目前科學家們對青石公身世來源最可能的推測。很久以前，在臺灣島劇烈抬升時期，快速的侵蝕速率讓中央山脈崩了很多岩石入海。它們原本堆積在海底，一般海浪打不上來，只有當發生海底地震引發海嘯，才有足夠強勁的營力，把巨石再打回岸上。

「我們知道青石公是來自中央山脈的綠色片岩，那麼在變質之前，它原本的岩性是什麼？」顏技師又出題考大家。「火成岩！」林朝宗前所長輕鬆笑答：「綠色是綠泥石的顏色，綠泥石是火成岩中常見礦物，而一般碎屑性沉積岩，像是砂岩泥岩等，不太會出現綠泥石。」語畢，眾人開心於青石公前合影(圖三)。



紅星處為米崙斷層，紅色虛線處為花東縱系列斷層示意圖  
圖二 臺灣活動斷層分布圖(經濟部中央地質調查所，2021)



圖三 全員在青石公前合影(廖振宇攝)

### 四、石門洞與海底火山

午餐後來到石門洞，這裡是經濟部中央地質調查所地質遺跡地質敏感區規劃地點之一(意即已有相關調查及評估資料，但本文截稿為止尚未公告)。負責講解的丁禕技師，跟顏技師一樣，也帶著一本畫冊，拿著黑筆，邊畫邊講故事。

「我們現在在海岸山脈裡。大家都知道，構成海岸山脈的主體是火成岩，石門洞這裡確實是火成岩沒錯。」丁技師邊畫邊說：「畫露頭有很多種方式，可以遠觀畫整體大區域樣貌，也可以近看畫岩石露頭的細節。我們來畫眼前這塊露頭吧！仔細看看岩石裏面，夾了其他比較小的岩塊對不對？我們把這一大片構成石門洞地區本體的岩石稱為『基質』，我們把基質與所夾岩塊的顏色也標示上去，這些岩塊嵌在基質裡，它們是彼此分開還是擠在一塊兒？噢，是分開的。是圓

圓潤潤的還角礫狀？噢，是有稜有角的角礫狀。咦，還有看到一個洞一個洞的小氣孔。我們把所觀察到的這些特徵，慢慢描繪出來。」

「好了，現在眼前這塊露頭畫得差不多了，可是，畫出來的圖，要怎麼解釋這地區的地質故事呢？跟我們從教科書上學到的，又要怎麼連結呢？」

「根據地質學家研究，海岸山脈火山的成長，可分為三個不同階段的海底火山噴發狀況與類型，跟火山的成長過程、所在深度，以及承受的水壓有關。」丁技師在畫冊上依序畫了三種不同深度與規模的海底火山噴發型態(圖四)，說道：「最開始是深海噴發，火山形成初期，位於深海，水壓最大，噴發型態以枕狀熔岩流(pillow lava)為主；第二個階段是淺海噴發，火山長得比較高了，也可能因為板塊擠壓的構造抬升，把火山抬到水深較淺的地方。大約水深500公尺處，有一個所謂『揮發性氣體爆裂深度』(volatile fragmentation depth, VFD)(Fisher and Schmincke, 1984)，這個深度很有意思，在水深500公尺以下，火山氣體，也就是包括水氣、二氧化碳、二氧化硫跟各種揮發性氣體等，因為水壓很大，會溶解在岩漿中，岩漿也會因此黏滯度較低、比較好流動，就像最左邊畫的枕狀熔岩流那樣。」



圖四 丁禕技師以手繪方式講解石門洞地區火山角礫岩之海底火山噴發史(廖振宇攝)



圖五 蘇鼎鈞主委頒發感謝狀予顏顏技師(游中榮攝)

「當火山漸漸長到淺海噴發階段，火山口已經比水深500公尺淺了，水壓變小，火山氣體們開始可以形成氣泡冒出來了，也因為失去氣體，岩漿變得黏滯，噴發型態變成爆炸式噴發，噴出來的產狀，以火山角礫岩跟火山集塊岩為主。而岩漿變得黏滯，而且通常找得到有水流的沉積構造特徵。」丁技師繼續畫著：「最後是陸上噴發，火山已經成長到高出海面了，這時候噴發更劇烈，噴發產物包括火山灰、火山彈、火山礫，堆在陸地上久了，表面還可能發育出土壤。」

「我們剛剛觀察到基質中夾的岩塊呈角礫狀，也觀察到有氣孔。還有這裡，至少我們肉眼可見，沒看到枕狀熔岩流，也沒看到凝灰岩或火山彈等等。」丁技師把畫冊翻回前一頁，兩頁互相對照：「這樣的特徵一比對，就可以發現，原來石門洞這裡，是海底火山發育到淺海階段所噴發的火山角礫岩與火山凝灰岩。」

「對了！剛剛提到的枕狀熔岩流、火山凝灰岩，在海岸山脈都找得到，分布在不同的地方。也就是說，研究整個海岸山脈地區，可以發現海底火山在不同成長階段的噴發樣貌。」丁技師說：「枕狀熔岩流可以在安通的樂合溪找到，凝灰岩可以在豐濱的石梯坪找到。當你看得懂不同的岩石，也能把這些不同的岩石串成一道完整的故事，他們就會成為有生命的存在。這，就是地質師的工作！」

## 五、知本溫泉的晚間時光

為了隔日走阿塹壹古道，5/27晚上下榻於知本東台溫泉飯店，晚餐也在此聚餐。用餐前，學術主委蘇鼎鈞副總，頒發感謝狀給負責本次研討會的顏顏技師、徐文傑老師與丁禕技師(圖五)。一開始大家入座時還謹慎小心地戴著口罩，但每次地工技術活動總是吃不到三道菜，大家就開始走來走去交朋友了。很多人原本彼此素不相識，但在熱鬧的氣氛下，很容易就敞開心胸聊起天。

## 六、阿塹壹古道巡禮之一～海嘯石之謎

5/28(六)清晨，陽光明艷，適逢大潮，海水將於中午退至低潮線，真是太適合走阿塹壹了。阿塹壹古道其中一段海岸岩壁，在高潮位時必須爬岩而過，甚至如果海浪淹沒岩石則完全無法通行。2022年三月預跑小組通過此段時全員濕身，為此而詳加研究潮汐預報表，幫正式活動挑選平

安又適合的黃道吉日。

阿塋壹古道是臺灣僅存沒有公路通過的海岸線，正式名字是「琅嶠卑南古道觀音鼻段」。「琅嶠」是恆春古名，「卑南」是臺東古名，都是原住民族語。意即，這是一條連絡恆春與臺東之間的通行道路。而「阿塋壹Aljungic」，是排灣族的安朔部落(位於台東達仁)古名。90年代為了土地開發案而來採訪的記者，問當地族人這條路叫什麼名字？族人說：「這是琅嶠往阿塋壹(安朔)的路。」記者沒聽清楚，回去就把它寫成「阿塋壹古道」。其實安朔部落離這條路距離很遠。但，從此就被稱之為「阿塋壹古道」，並且沿用至今，真是美麗的錯誤阿！

阿塋壹古道沿線出露的地層，以楓港溪斷層為界，斷層以北出露潮州層，以南出露牡丹層(圖七)。我們此次從北端南田村入口進入，為潮州層輕度變質岩構成的小山，與海岸線緊鄰，沿途經過塔瓦溪、石門仔溪、里仁溪(乾溪)等都是沒口溪，其係因河川水量與水力不夠，而海浪堆積營力大，故在河口堆出沙丘，導致溪水流不出去的現象(圖六)，這是中央山脈東南段特有的地形地貌，在臺灣其他地區看不到。

從南田端入口很快抵達塔瓦溪，除觀察沒口溪形貌外，周遭山壁出露許多露頭可觀察，此處出露的潮州層，岩性以硬頁岩(輕度變質岩)為主，當地又稱為釘子岩。

過了塔瓦溪，在一處土壤層露頭前，顏技師拿出繪本，讓大家仔細觀察。土壤層分為高低兩層，中間夾了些卵礫石(圖八、九)。觀察鄰近區域，都有兩層土壤夾有卵礫石之情形。為什麼會有零星的卵礫石呢？顏技師請大家思考卵礫石來源的可能性：1.山上土石流帶下來；2.日常海浪打上來；3.土壤層發育時本來就有。

第3個選項首先被大家排除。第2個選項也被排除，雖然海浪可以將卵礫石打上岸，可是這裡離海岸太遠也太高了，颱風的巨浪也無法到達。第1個選項似乎較合理，但是，這裡山上出露以黑色硬頁岩為主的潮州層，礫石則是白色變質砂岩，明顯不是本地山上崩下來的，再者，形狀渾圓，明顯被水流搬運琢磨過，與山崩土石流稜稜角角的岩石形狀不同。這些卵礫石看似平凡，但細想下又非常奇怪不合理。

顏技師提供了另一個選項：它們可能是海嘯從海底打上來的。海嘯與一般風浪不同，多為海底地震所產生的長浪，比一般風浪更能觸及陸域更高更遠的範圍。白色卵礫石應源自較北側的中

央山脈高度變質岩，受河流營力磨圓，再帶入海中沉積。後來遇到海嘯，被打上陸地高處，海嘯事件後恢復平靜，其上方又漸漸發育出厚層土壤。

「所以，如果我們在比較高的地方，土壤層裡面發現不明的卵礫石，都是海嘯石囉？」有成員問道。顏技師回答：「先觀察整體環境，如果排除河道卵粒石堆積，也不像土石流，周圍找不到可能的來源，可以進一步考慮可能性。」

「如果是海嘯，應該規模很大吧？那這樣整個海岸地區的土壤層中，都應該要找到海嘯石才對，這裡有嗎？」又有成員提問。

「好問題！」顏技師說：「理論上這整區海岸可能都會有，實際上我們調查時，整片海岸大概找到兩三處，卵礫石位置都差不多高，型態也接近，我們推測是同一次海嘯事件帶來。但可能保存不易，有些土壤層被侵蝕掉了，沒有保留下來。」

「海嘯發生的年代多久以前？海嘯在哪裡發生的？以後還會發生嗎？」成員們問題不斷，討論得很踴躍！

「很棒的問題！」顏技師說：「年代要從土壤層去定年，還在研究中，相信不久的將來可能會有結果。海嘯發生地點，可能是東方外海的海底斷層，目前還不確定，需要有更進一步的海域構造研究，以及地震歷史資料，才能推估。只要外海有活動斷層，未來就有可能再度發生海嘯，所以海嘯的防災預警工作，非常重要！」

## 七、阿塋壹古道巡禮之二～南田石之謎

阿塋壹古道最為人稱道者，就是海岸邊鋪滿都是巴掌大的扁圓狀礫石，當地稱為南田石，吸引大量遊客前來此地訪勝。此片礫石海灘是珍貴保留區，遊客不得隨意把南田石帶走。我們一行人，通過檢查哨後，看到眼前一片美麗礫灘，也驚為天人地拍了大合照(圖十、十一)。此時，又帶出新問題了：這些南田石，是怎麼來的？

「那還不容易，不就海浪打上來的嗎？」成員們開心回答。

「是海浪打上來的沒錯，還經年累月打磨得圓滾滾！」顏技師笑著說：「可是，這些南田石的岩性，跟我們在此處看到的潮州層，黑色的輕度變質硬頁岩，很不一樣。它們都是高度變質岩，有變質砂岩、綠色片岩、燧石等，明顯是北方中央山脈高度變質帶的產物，例如花蓮那一帶，離這裡很遠喔。」



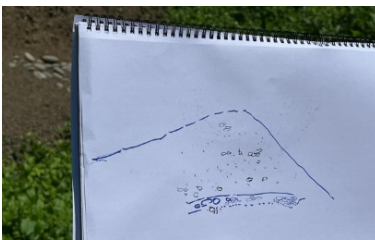
圖六 里仁溪的沒口溪狀況(徐士捷攝)



圖七 阿塋壹古道沿線地質圖(顏，2022，尤芊翔技師繪製)



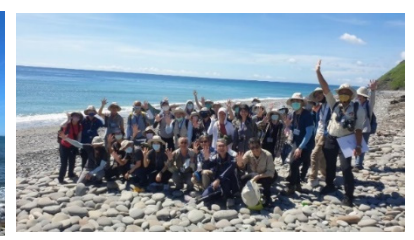
圖八 土壤層與海嘯石露頭(謝政育攝)



圖九 顏技師手繪之土壤層與海嘯石(翁孟嘉攝)



圖十 美麗的南田石礫灘(黃貞凱攝)



圖十一 礫灘上合影(廖振宇攝)

「疑？對耶！」大家仔細檢視南田石的特徵，確實都是高度變質岩，不是當地地層。

後來，一行人一直往南走，走到都快靠近旭海出口了，出露的地層岩性也從潮州層轉變為變質度更低的牡丹層(黑色頁岩與砂岩互層)，海灘上都還可以看到這些扁圓狀高度變質岩，一片一片地出現在海邊。

「這些南田石，是海流帶來的嗎？」成員們問道。「目前研判是這樣。」顏技師說：「最有可能是臺灣東部的沿岸流，由北往南流，這些南田石被海流搬運了可能達上百公里。海流的搬運能力真的很強，但我們現在對於沿岸流的特性還不是那麼清楚，如果未來能有學者詳加調查，我們就可以釐清南田石的身世之謎。也可以對沿岸流如何影響東部海岸地形地貌，有更清楚的認識！我們對大自然的認識還太少，還有很多的秘密，值得我們去深入探究。」

## 八、阿塋壹古道巡禮之三～ 楓港溪斷層之謎

阿塋壹古道北側出露潮州層，南側出露牡丹層，兩地層之間是楓港溪斷層，這條斷層早期在地質圖中(經濟部中央地質調查所, 1991、1993)，係一推測性斷層，意即科學邏輯上理應存在，但

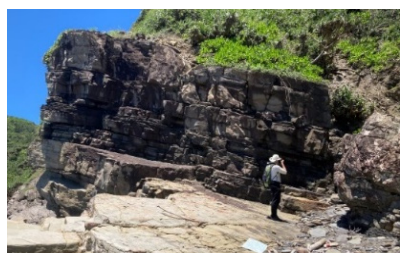
野外並未發現確切的斷層露頭與地形，故地質圖中以虛線表示。

在阿塋壹古道一路南行，接近地質圖上楓港溪斷層附近，顏技師帶大家在露頭上找到許多斷層帶的特徵：高熱造成的燒烤痕、岩體的錯動與破裂、錯動彎曲的石英脈(雁行排列構造)等(圖十二~十四)。我們一路上，在潮州層露頭中，看到很多斷層帶周邊的特徵，可是這些特徵就是斷層本身嗎？精準說來，只能研判它們是斷層帶的一部份，缺乏明確「斷層」本身的特徵，例如兩個不同系統的地層，以不整合的方式出露，並且能被人紀錄到。

大夥在艷陽下的炙熱沙灘走到快中暑，到了里仁溪口，如得救般看到一條綠蔭小徑，直通樹林，到看天溪畔休息。所謂看天溪，平常無水，下雨才有水。剛好前幾天下過大雨，此時小溪流水潺潺，大家紛紛脫了鞋襪泡腳(圖十五)。

午餐後沿著樹林路續往南，路徑又回到海邊，一邊是山壁，一邊是海灘。此時，岩性已明顯變了，不再是潮州層輕度變質硬頁岩，而是沒有變質特徵的牡丹層砂岩夾頁岩了。顏技師又拿起畫冊，手繪牡丹層常見的海底沉積同時變形的崩滑構造(圖十六)。

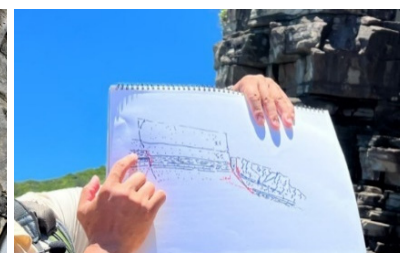
這表示，我們確實通過了楓港溪斷層了，我們已經來到楓港溪斷層以南的牡丹層境內。但



圖十二 具有許多斷層帶特徵的露頭(莊松棧攝)



圖十三 左：可能是斷層造成的剪裂 右：石英脈雁行排列(翁孟嘉攝)



圖十四 顏技師手繪斷層模型(翁孟嘉攝)



圖十五 里仁溪上游看天溪邊泡腳 邊吃午餐(陳修賢攝)



圖十六 顏技師手繪牡丹層沉積特徵並解說(左：陳修賢攝，右：林銘郎攝)



圖十七 旭海端古道終點合影(廖振宇攝)

是，為什麼我們明明穿過您了，卻沒有人看見？  
楓港溪斷層啊，您到底在哪裡呢？

旅程結束後，筆者坐在電腦前，細細回想著找不到楓港溪斷層露頭一事，仔細看著地質圖與沿途照片，突然靈光一現：「我們沒看到斷層，是因為斷層帶可能本身就是一個相對軟弱破碎的區域，容易受侵蝕成河流，當天吃午餐歇息的看天小溪，以及一路上的普通樹林路一帶，很可能就是楓港溪斷層通過的地方。斷層沒有不見，我們就在他的身上休息泡腳吃午餐。身在斷層帶裡，才反而看不見斷層。」這只是一個初步的猜想，還需要有更深入的地質調查結果來印證。期待未來地質調查的技術更進步，可以在更深的山區裡，找到過去未曾發現的斷層露頭，讓我們更了解斷層之謎背後的答案。

## 九、尾聲

烈日下全員順利走完阿塿壹古道，在旭海端古道口合影留念(圖十七)。歸途中，領隊逐一請大家分享這兩天的心得，很多人特別提到，非常感謝本次與會的家眷們，不離不棄，沒人喊累，沒人掉隊，在炎熱的天候裡，一步一腳印走完阿塿壹古道。一起參加，就是最好的支持。

“Because it’s there!” -- George Herbert  
Leigh Mallory  
山永遠都在，在等著你。

疫情只是一時，山永遠在那裡。祝福所有人平安健康，後會有期。

## 參考文獻

- 吳文傑 (2022), 「MiDAS計畫井場岩心處理介紹」, *台灣地震科學中心通訊*, 第35期。
- 林彥宇 (2022), 「米崙斷層井下地震儀陣列」, *臺灣地震科學中心通訊*, 第35期。
- 郭力維、吳文傑 (2021), 「米崙斷層深鑽研究介紹」, *臺灣地震科學中心通訊*, 第32期。
- 曾佳漢、邱紀瑜 (2021), 「米崙斷層連續GPS監測研究介紹」, *臺灣地震科學中心通訊*, 第33期。
- 經濟部中央地質調查所 (1991), 「五萬分之一臺灣地質圖幅及說明書-恆春半島」。
- 經濟部中央地質調查所 (1993), 「五萬分之一臺灣地質圖幅及說明書-大武」。
- 顏呈仰 (2022), 「朝聖阿朗壹·古道秘境之旅」, *大地技師*, 第25期, 第76-81頁。
- Fisher, R. V., and Schmincke, H. U. (1984). “Pyroclastic rocks: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 427pp.
- Huang, S. Y., Yen, J. Y., Wu, B. L., Yen, I. C., and Chuang, R. Y. (2019). “Investigating the Milun Fault: The coseismic surface rupture zone of the 2018/02/06 M<sub>L</sub> 6.2 Hualien earthquake, Taiwan. Terrestrial,” *Atmospheric & Oceanic Sciences*, 30(3).
- Kuo-Chen, H., Guan, Z. K., Sum, W. F., Jhong, P. Y., and Brown, D. (2018). “Aftershock sequence of the 2018 M<sub>w</sub> 6.4 Hualien earthquake in eastern Taiwan from a dense seismic array data set,” *Seismological Research Letters*, 90(1), 60-67.
- Yen, J. Y., Lu, C. H., Dorsey, R. J., Kuo-Chen, H., Chang, C. P., Wang, C. C., Chuang, R. Y., Kuo, Y. T., Chiu, C. Y., Chang, Y. H., and Bovenga, F. (2019). “Insights into seismogenic deformation during the 2018 Hualien, Taiwan, earthquake sequence from InSAR, GPS, and modeling.” *Seismological Research Letters*, 90(1), 78-87