

LiDAR-DEM 地形紋理分析於岩性分類 - 以南橫公路向陽至

嘉寶區域為例

曾鐘儀¹、林慶偉¹、劉守恆¹

(1)成功大學地球科學系

因為 LiDAR 數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 能一定程度上穿透植被，反映精細的地表紋理特徵，本研究希望透過不同岩性在地形上紋理之差異，進行岩性分類，輔助山區地質調查時劃定岩性界線。本研究選擇南橫公路向陽至嘉寶約 70 平方公里地區作為研究區域，應用範圍內高精度 LiDAR-DEM 作為研究材料，並利用其衍生之紋理資訊進行岩性分類並與相關地質調查資料進行比對。

進行地形紋理分析之前需要先決定最佳空間尺度，故利用半變異元分析，先瞭解地形紋理具相關性的空間大小，再透過灰階共生矩陣 (Gray Level Co-occurrence Matrix, GLCM) 的七種紋理特徵(平均值、方差、同質性、對比度、差異性、熵及相關性)，統計地形紋理特性作為分類指標。參照初步地質調查與前人研究資料在三種主要的岩性單元(片岩區、變質火成岩區及板岩區)範圍選定樣本區，將上述紋理特徵以監督式學習分類器的最大概似分類法 (Maximum Likelihood Classifier, MLC) 進行分類，將分類結果比對前人文獻中具有細部地質調查成果之整合岩性圖，估計紋理分類結果的準確度。

初步研究成果中分類準確度分別為：片岩區 45%；變質火成岩區 37%；板岩區 50%。在片岩區與板岩區交界明顯，且兩岩性界線分布與前人現地調查地質圖大致相符。未來將持續尋找更具岩性區別度的地形紋理，並配合其他分類器，以求得最佳的紋理分析與分類組合。最後實地進行調查，驗證岩性分類結果與界線分布。

中文關鍵字：數值高程模型、紋理分析、灰階共生矩陣、最大概似分類法、岩性分類

以 GPS 與 InSAR 2.5D 速度場探討宜蘭平原之變形特性

曹博涵¹、胡植慶¹、饒瑞鈞²、邱俊穎¹

(1)臺灣大學地質科學系、(2)成功大學地球科學系

宜蘭平原位於臺灣島東北部，被認為是沖繩島弧向西至臺灣島的延伸區域。本研究應用長期 GPS 速度場與衛載合成孔徑干涉雷達(satellite-based InSAR)技術，針對宜蘭平原之長期地表變形進行觀測，並探討其在地體構造上之意義。GPS 水平速度場，可進一步解算為區域內長期應變速率與旋轉速率；並且，由於 C 波段雷達衛星 Sentinel-1 衛星系可提供升軌與降軌兩個方向的變形速率，可再解算成東西向與垂直向的速率，為 2.5D 變形場。藉上述觀測資料與解算所得之結果，有助於探討長時間內宜蘭平原廣範圍的變形特性。GPS 所得之觀測速度場中，宜蘭平原內 GPS 水平速度以 1.0~40.0 mm/yr 朝西南方向移動，在平原內部之垂直速度呈現約 10 mm/yr 的沉降。水平速度由南向北呈現遞增趨勢，於蘇澳一帶達最大值約 40 mm/yr；垂直速度則在宜蘭平原中央之宜蘭斷層區域達到最大沉降速率約 10 mm/yr。而在 InSAR 於 2016 年至 2020 年的觀測成果中，宜蘭平原在升軌視衛星方向平均速度為-18~3 mm/yr；降軌視衛星方向平均速度為-19~7 mm/yr。進一步解算之 2.5D 成果中，東西方向速率自呈現由北向南遞增之趨勢，宜蘭平原南端達最高值向東 20 mm/yr；垂直方向速率則在宜蘭斷層一帶達最高沉降速率 10 mm/yr。由 GPS 速度解算所得之應變速率顯示，宜蘭平原南端為伸張量最高處，被認為是宜蘭平原主要之張裂區域。但在 GPS 速度場與 InSAR 成果中，宜蘭平原北半部的宜蘭斷層區域為主要沉降之區域，而非伸張量最高之平原南端。除了弧後張裂的因素外，宜蘭斷層區域亦可能存在地下水位變化引致之地表下陷，使其沉降速率高於平原南端。

中文關鍵字：宜蘭平原、GPS 速度場、合成孔徑干涉雷達、2.5D

聲波阻抗逆推解釋技術應用於 B 礦區碳酸鹽岩儲集層

古佳艷¹、張資宜¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

本研究應用聲波阻抗逆推分析解釋技術於海域 B 礦區，該區主要目標層為碳酸鹽岩儲集層類型。由於此礦區有較複雜的石油系統，且過去對碳酸鹽岩較缺乏相關探勘經驗，故研究首先根據井上電測資料分析儲油層、含水層、蓋層之聲波阻抗特徵差異。震波資料之聲波阻抗逆推方法以確定性逆推法(Constrain Sparse Spike Inversion)進行主要目標層之震波逆推處理，選擇已有油氣發現之碳酸鹽岩儲集層為主要分析範圍，求取聲波阻抗屬性資料體，其主要處理程序為低頻趨勢地質模型建立、震波逆推參數測試及震波逆推。震波逆推解釋流程則是以井資料為控制點，配合聲波阻抗逆推結果，利用地層切片(horizon slice)屬性萃取技術求取此區碳酸鹽岩儲油層可能封閉範圍，共完成 3 個構造暨岩性圈閉與 6 個可能儲油分布範圍估算。

綜合以上研究成果，可歸納碳酸鹽岩儲集層之特徵如下：(1)各層碳酸鹽岩儲層不一定較上方蓋岩之聲波阻抗低，但產油區間普遍比大套儲層本身呈現低聲波阻抗的特徵，且產油區間上方均存在一聲波阻抗較高的緻密層。此與井下電測資料之產油層物性特徵的結果相符，推測可作為局部的蓋岩。但在 B 礦區之外也有白雲岩質石灰岩(dolomitic limestone)儲集層上下夾雜有硬石膏(anhydrite)薄層之特殊岩性組合的例外。(2)碳酸鹽岩油氣聚集之有利條件，除構造圈閉之外：(i)深部儲集層整體而言為高密度、高聲波阻抗之緻密層，低聲波阻抗、低密度、高孔隙率特徵之區間有利於油氣儲存。(ii)淺部儲集層其上方具有緻密層可作為局部蓋岩以阻隔下方油氣往上移棲，低聲波阻抗、高孔隙率、低頁岩含量特徵之區間有利於油氣儲存。未來探勘目標可往上述有利油氣聚集之特徵儲集層中。

中文關鍵字：碳酸鹽岩儲集層、震波逆推、聲波阻抗、地層切片

後龍溪、大安河流域與竹南沿海河系山區地下水地層電阻特性分析

劉家維¹、陳文山¹、彭筱涓¹、李奕亨¹、蔣立為¹、梁嘉宏²、
賴慈華²、紹屏華²

(1)工業技術研究院綠能與環境研究所、(2)經濟部中央地質調查所

受到全球氣候劇烈變化，臺灣的地面水文環境產生極大的改變，為增進臺灣水文地質基本調查資料，本研究針對竹南沿海河系流域、後龍河流域、大安河流域，運用地球物理方法之聲頻大地電磁探測及地電阻影像剖面探測，分析目標區域之電性地層構造與特徵，藉以瞭解臺灣北部山區地下水資源之蘊藏與分布特性。聲頻大地電磁探測針對研究區域內的重要地質構造與主要地層單元進行調查，以垂直主要構造線方向，完成一條跨越臺灣北部的東西向水文地質電性剖面。由地層電阻率分布研判，DD'剖面 AMT(聲頻大地電磁)探測，同時涵蓋平原區與山區，總計佈設 20 個測點。整體看來剖面西北段頭嵙山礫岩層，應屬高電阻特性，呈現低電阻係反應可能含有地下水。剖面往東鄰接卓蘭層，淺部為泥岩特徵之低電阻反應，深部則為砂泥互層，較有含水潛能。剖面中段(DD100)開始進入中新世地層，電阻型態與地層位態相當成高角度分布，低電阻多與此區段數條斷層構造有關，研判地下水可能富含於鄰近斷層構造的砂岩層。剖面東南段自測點(DD150)以東，進入變質岩區，高山地層呈現高電阻特徵，低電阻出現於背斜構造兩側，顯示地下水分布主要仍與地質構造有關。斷層構造造成地層破碎，形成地下水往下入滲通道，形成低電阻特徵的地下含水層。另共完成 88 個 EM(多頻道電磁)測點之量測，測點高程分布於 90 m 至 1,800 m 之間，最大高程之測點為 1,752 m，測點多數位於 200 m 以下以及 900 m 至 1,600 m 區間，雖 200 m 至 900 m 間測點數量較少，但仍可在高程之變化上得到更多的統計數據，更能貼近以山區地下水蘊藏含水層為主要目標之調查。本年度亦增加比對岩屑層厚度與坡度之關聯性分析，經全區數據比對，發覺無明顯坡度與岩屑層厚度之關聯性。因應鯉魚潭水庫之伏流水取水計畫，兩條地電阻測線依大安溪伏流水探勘井位佈設，選址於大安溪經國道一號三義段下游河道中進行探勘，施測兩條正交共計 1,210 m 之地電阻探測(RIP)，一條 605 m 位於北岸河階測線(測線 A/Line A)，施測方向為平行河流方向，並於其 330 m 處進行另一條 605 m 長垂直河道之測線量測(測線 B/Line B)。測線 A 地表下 10 m，呈現大範圍低電阻區域，研判為地下伏流水反應；而測線 B 約 180 m 處與 250 m 處，地表下具明顯低電阻區域，推測為伏流水位置。

中文關鍵字：地球物理探測、音頻大地電磁法、直流電阻法

透地雷達應用於場址調查案例研究

鍾陳東¹、沈顯全¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

地球物理探勘利用儀器在地表進行非破壞性探測，如磁力、重力、電磁或震波測勘等方法。其中，透地雷達探測技術在地表對地下發射一種高頻電磁波，當地下物的介電常數發生變化時，電磁波產生反射現象而為地表所接收，由累積接收的反射訊號可分析解釋地下物的形貌與地層特性等。此技術在先進國家已廣為使用，依照探測天線頻率之高低不同，分別可應用於鋼筋位置調查、混凝土裂縫空洞調查、管線調查、空洞調查、地層層位調查、水中沉積物調查與考古調查等。

本研究應用 400 MHz 天線頻率之合單式透地雷達於不同場址進行調查，分別為南部煉油廠內之管線調查和北部加油站之環境調查，藉由雷達波反射訊號在剖面上的形態特徵來判釋管線、地層掏空、污染現象等特徵，藉以協助後續工程之作業與開發。由工作成果得到場址之管線分布和地層掏空現象，然而部分場址因地表水泥鋼筋網格干擾而無法判釋出管線和污染現象

中文關鍵字：透地雷達、地球物理探勘、非破壞性檢測、管線調查



三維高斯平滑在震測解釋上的應用

蘇俊陽¹、李健平¹、張國雄¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

在油氣探勘的工作中，震測解釋是從震測資料中提取地下地質資訊，進行地下層面及構造分析工作。其成果可進一步結合震波屬性分析方法，以了解地層的岩石分布特性及油氣的可能分布位置。由於震測資料包含各種雜訊和資料缺陷，依照專家人工判讀的解釋工作需要大量時間，其成果亦具有不確定性。近年商業探勘解釋軟體發展許多自動解釋的工具，但受限於資料品質不佳，其成果仍需專家人工品管。

高斯平滑被廣泛地用於影像處理，能有效處理隨機雜訊，但實際操作時，受控於參數 σ (標準偏差)的設定，亦可能造成影像失真。本研究藉由三維高斯平滑處理一個構造簡單的震測資料，在水平向及垂直向上設定不同參數對震測訊號進行處理。藉由實際井下地質資料的對比、進行人工及自動解釋、繪製地下構造圖，以及進行震波屬性分析，綜合評估成果，找到適合的工作流程及參數來幫助震測解釋工作的進行。

中文關鍵字：震測解釋、高斯平滑



澳洲西北海域羅巴克盆地之構造與探勘標的初探

廖韜智¹、蘇俊陽¹、李健平¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

澳洲周圍海域分布多個有油氣蘊藏的盆地或構造，在澳洲西北海域，自西到東有北卡納文盆地(North Carnarvon Basin)、羅巴克盆地(Roebuck Basin)、布洛斯盆地(Browse Basin)、波拿帕盆地(Bonaparte Basin)一系列自古生代起發育的張裂盆地，這些盆地分佈的區域合併稱為西澳超盆地(Westralia Superbasin)。北卡納文盆地、布洛斯盆地與波拿帕盆地都已有數十年的油氣開發歷史，唯獨羅巴克盆地近幾年才發現大型油田。本研究整理已發表的文獻，並使用自澳洲政府購買之開放礦區震測資料進行分析解釋構造與探勘標的的工作。

羅巴克盆地可分為斜坡區的 Rowley 次盆地與陸棚區的 Bedout 次盆地，這兩個次盆地以 Bedout 高區分隔，盆地內主要構造方向為東北-西南走向，與西澳超盆地的主要構造方向一致。震測資料分析顯示，在新近紀之前，羅巴克盆地多是處在張裂或沉降的環境，故堆積了極厚層的沉積物，若僅計算較可能有油氣產生與儲集的古生代與中生代的沉積物堆積厚度，南邊的 Bedout 次盆地厚約 10 公里，至北邊的 Rowley 次盆地則可達約 15 公里厚。羅巴克盆地內的油氣探勘則是 2015 年後才有比較顯著的成果，在陸棚區的 Bedout 次盆地下方，一個同時受構造與地層因素控制的探勘標的，發現油氣儲集在三疊系地層內，探勘結果估計區域內儲藏超過 500 萬桶油當量(500 MMboe)，為近年來澳洲最大的探勘成果。

與西澳超盆地中其他油氣田的儲集地層相比，羅巴克盆地發現油氣儲集的地層，位在較深且較老的三疊系地層中，在侏羅系與白堊系地層內則少有油氣被探勘發現，推測與其沉積物堆積特性、構造分布及熱成熟的歷史有關。在同一區域內，可能也有極具油氣潛能的同類型探勘標的存在，未來將持續對此一區域進行分析研究。

中文關鍵字：澳洲西北海域、羅巴克盆地、震測資料

應用自組織特徵映射神經網路於儲集層特性描述

周昆瑩¹、蘇思仔¹、黃俊銘²、郭陳浩²、宋時驊¹、蔡文瑜¹、顏家葦¹

(1)台塑石化股份有限公司、(2)中央大學地球科學系

自組織特徵映射神經網路 (Self-Organizing Map) 是由芬蘭人工類神經網路學者 Teuvo Kalevi Kohonen 博士於 1982 發表的非監督式學習方法，其優點在不改變輸入資料的拓樸 (Topographic) 特性下，可將 N 維度的資料映射至二維的視覺化空間上，同時可透過權重係數的調整，促使類神經網路收斂。本研究即應用此方法，在多重震測屬性資料的環境下，取得自組織特徵映射結果，主要分為以下階段：1. 利用主成分分析 (Principal Components Analysis) 等方法，在屬性資料庫中篩選出適當的屬性資料組合，作為自組織特徵映射神經網路的屬性資料輸入層。2. 將屬性資料輸入層匯入自組織特徵映射神經網路，設定最適分群數並取得多重屬性資料的特徵映射結果。3. 利用群聚分析並結合油氣井的地層標定，將自組織特徵映射圖中的類神經元歸納出有意義的地質資訊，用以解釋目標儲集層。

本研究聚焦於類神經元透過細分類、群集特徵、取樣匹配等提取類別特徵的方法，在完成屬性資料於自組織特徵映射神經網路的訓練後，進而在自組織特徵映射圖中歸納出類神經元的群聚，再以油氣井的地層標定匹配各個類神經元群聚，識別出目標儲集層所關聯的群聚與類神經元，最後提取出適當的類神經元將目標儲集層的分布特性描述出來，作為油藏評估與探井選址的參考。

中文關鍵字：主成份分析、自組織特徵映射神經網路、群聚分析

井下地電阻影像法於土壤與地下水污染調查應用

沈顯全¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

地層電阻率深受孔隙水質影響，相同地質條件因污染物質造成水質變化而使電性產生顯著差異時，監測地層電阻率變化可應用於污染場址範圍調查。本計畫應用地表-井內地電阻影像法等地球物理技術，展示描繪出調查場址污染範圍，期望運用地物監測技術提升污染整治成效的可行性；同時井內地電阻影像法明顯可以增加深部解析度，達到高解析度的成像效果。

在污染整治階段中灌入藥劑整治為重要的化學方法，但在滲透率差之地層中，重力或壓力會造成整治藥劑沿著優勢流徑傳輸，所以藥劑傳輸路徑監測非常重要。本計畫於研究場址進行藥劑灌入時進行孔內電阻率監測，透過動態電阻率監測描繪出藥劑分布範圍與反應時間，可提供藥劑灌注時動態調整適當的數量與深度，達到提升整治效果。

中文關鍵字：環境污染調查、地電阻法、孔內電阻法



利用高鐵振動訊號進行地下構造解析 - 回顧與初探

劉家維¹、柳志錫¹

(1)工業技術研究院綠能與環境研究所

台灣高鐵全線縱貫臺灣人口密集的西部地區，路線全長 349.5 公里，最高營運時速 300 公里，連結臺灣南北成為一日生活圈，是國人依賴的大眾交通工具之一，結至 2020 年 1 月總載客數已超過 6 億人次，載客數量眾多，而其安全性的考量也是眾人所關心的議題，鐵路下方乘載的土層是否因為行進或地殼活動而產生危害性的變化，需要透過眾多分析方法綜合調查。高速列車行進所產生的振動訊號是透過高速列車與高速鐵路之間的變形擠壓而產生的，具有頻帶寬、低頻強與重複性好等優點，其優點成為近年來國際矚目的研究題材之一。

鑒於國內相關研究甚少，本研究彙整近年來利用高鐵振動訊號的發展與展現於高鐵現地量測的初步成果。利用高鐵振動探勘的分析方法為移動式震源問題，其數學形式上複雜難解，現今解析思路為使用全波形(full waveform)的方法進行探勘工作，但其在應用上仍有一大段路程，另外一種分析方法則為利用環境噪訊(ambient noise)法解析，此方法能獲得的有效的頻散曲線，我們團隊經由現地量測，結果能有效解析地層特性。高鐵列車行進重複性高，震源穩定，若能有效運用其振動特性解析地下構造，並加以監測，勢必能對鐵路行經安全多加一份保障。

中文關鍵字：高速鐵路、振動、探勘

利用類神經網路重建中東某碳酸鹽岩礦區井下岩性

邱維毅¹、伍允豪¹、鍾陳東¹、蘇清全¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

本公司以往油氣潛能評估之礦區目標地層多屬碎屑岩之沉積環境，對碳酸鹽岩之石油系統與油氣探勘均缺乏相關經驗。因此，期藉由分析中東地區碳酸鹽岩探勘資料，提升本公司對於碳酸鹽岩儲集層之認識。本研究比對全岩芯描述資料與電測資料，利用數位化之全岩芯描述內的岩性資訊，以類神經網路分析方式嘗試比較不同岩性與電測資料組合間的關聯，期尋找出與岩性對比良好之合適電測資料組合，將其應用於同區域其它井位未採取岩芯區段的岩性識別上。

本研究整理完成研究區域內 18 口鑽井的全岩芯數位化工作且建立 16 種常見岩性之岩性模板。基於岩芯數化結果，再利用 Petrel 震測解釋軟體內之類神經網路運算功能進行岩性分類。分類結果顯示，無論是改變學習之井測曲線組合或是簡化岩性分類，均無法如預期達成藉由類神經網路區分岩性之目的。初步認為可能造成類神經網路岩性分類結果不佳之因素可能為：(1) 聲波井測、密度井測、中子孔隙率井測等井測方式主要反映出地層之物理結構，而非碳酸鹽岩受二次成岩作用影響下之次生孔隙；(2) 岩芯描述的間距多小於或等於井測間距，使岩芯描述之岩性邊界難以對應至井測曲線上之變化邊界。

本研究結果雖不如預期，但經比較過去文獻後，建議未來若有碳酸鹽岩之類神經網路重建岩性工作，可先進行詳細沉積環境與岩石物性分析，再於侷限之目標層段內進行，或有助於類神經網路之岩性識別。

中文關鍵字：中東、碳酸鹽岩、岩性辨識

Finite-difference time-domain simulation of magnetotelluric data

許耀文¹

(1)中央大學地球科學系

有限差分時域 (Finite-Difference Time-Domain, FDTD) 或 Yee 方法 (以華裔美國應用數學家 Kane S. Yee 的名字命名) 是一種電磁場計算領域的數值分析技術。這是一種時間域的分析方法, 可以通過一次模擬運行就覆蓋很寬的頻率範圍, 應用範圍可由極低頻(接近直流電)至極高頻(如可見光)。本研究以 MATLAB 語言開發了時域有限差分法來模擬大地電磁法於一維地層中的電磁波行為, 可模擬產生任意位置觀測到的時間序列資料, 吸收邊界條件 (absorbing boundary conditions, ABC) 採用 Mur's ABC。經過驗證, 一維模型在此吸收邊界下數值模擬產生的時間序列準確度高。本研究模擬不同的大地電磁法野外觀測位置, 例如地表、河底、海底, 產生時間序列資料, 可計算大地電磁法常用的物理量, 如阻抗 (impedance)、視電阻率 (apparent resistivity) 及相位 (phase)。另外, 本研究可作為寬頻大地電磁法資料蒐集儀器設計的重要參考, 用於評估河底、海底的訊號強度進而設計最佳的資料蒐集方案。

中文關鍵字：有限差分時域，大地電磁法模擬。



應用地電阻影像法於海岸廢棄物測勘之研究

顏麒書¹

(1)中央大學地球科學系

本研究應用地電阻影像法 (Electrical resistivity tomography, ERT) 於桃園市大園區新街溪出海口，對地表下可能埋藏之廢棄物進行測勘。2020 年 9 月 3 日及 9 月 4 日於桃園新街溪出海口左岸進行野外施測，布置兩條長度 96 公尺、電極間距 1.5 公尺的交錯測線 (L1 測線與 L2 測線) 及一條長度 64 公尺、電極間距 1 公尺的測線 (L3 測線)。使用自行開發之地電阻監測儀器—多波道直流電阻法與自然電位法全自動監測系統(Remote Resistivity Monitoring System, R2MS)，進行多電極波道測勘。施測所得的資料，使用阻尼最小平方法 (Damped least squares inversion)，進行非線性逆推解算。並且，將逆推結果繪製成電阻率剖面圖，配合阿爾奇定律 (Archie's law)，對比兩條測線間之孔隙率及含水率差異，藉此判釋地質構造、地下材料特性，對海岸地下構造進行完整的分析。成果為：

一、依照最佳的逆推模型，各測線下方之電性構造呈現明顯的層狀構造，與常見的海岸地下構造吻合，容易判別地電阻異常區域。

二、地層岩石之電阻率受含水量、滲透水成分影響，L1 測線與 L2 測線位於潮間帶，為海水滲透之地層，含水量較大，電阻率普遍較低；L3 測線靠近陸地，為淡水與海水滲透的交界帶，含水量較小，電阻率較高，符合阿爾奇定律。

三、根據 L1+L2 測線及 L3 測線之地電阻剖面圖、中位數剖面圖，在測量範圍內皆無發現電阻率異常區域。並且，對比 L1+L2 測線與 L3 測線在各深度之平均電阻率、孔隙率及含水率，數值十分相近，不存在大範圍的電阻率異常。因此，評估該場址範圍內無掩埋之廢棄物。

中文關鍵字：地電阻影像法、阿爾奇定律、海岸廢棄物

Effect of rainfall infiltration processes on subsurface using time-lapse electrical resistivity tomography in Liyutan area, Northern Taiwan

Tran Van Huu¹、Chien-Chih Chen¹

(1)Department of Earth Sciences, National Central University

Rainfall infiltration has a substantial effect on the subsurface, especially soil stability. It can penetrate through the soil layer, and contribute to the water table level as a whole. In our research, we evaluated the changes of a hillslope under the effect of rainfall infiltration in the Liyutan area, Northern Taiwan. The rainfall infiltration causes the changes in resistivity values of the rock. Therefore, we used the time-lapse Electrical Resistivity Tomography (ERT) method to investigate its effect. Data were collected from May to August 2019 and included apparent resistivity data from electrical resistivity tomography measurements, rainfall precipitation, and groundwater level from 7 wells in the research area. In order to determine rainfall effects, time-lapse resistivity sections were obtained from apparent resistivity data after applying the inversion process. Based on the changes in resistivity distribution, the research area can be divided into 5 subzones. The spatial and temporal effects of rainfall events were estimated by three types of further analysis. First, we compared the precipitation with the mean resistivity value of each zone to evaluate the effect of rainfall. Second, the relationship between groundwater table level and median resistivity value was set. Finally, normalized water content was established from resistivity data. Results have proved the effects of rainfall infiltration on the subsurface in the study area. The rainfall water infiltrated into the subzones after one hour. This causes the changes in median resistivity in each zone. Rainfall can virtually penetrate to the deeper part of zone D. The results of the normalized water content show the fluctuations over the investigated period because of precipitation.

Keywords: rainfall precipitation, electrical resistivity tomography, Taiwan, groundwater, normalized water content

折射震測與多波道表面波分析法研究澎湖東吉嶼的沉積地層

楊子誠¹、謝秉燁¹、張永孚¹、汪良奇¹

(1)中正大學地球與環境科學系

澎湖縣位於台灣與中國大陸的中間，是研究兩岸環境變遷的重要指標，而沉積物往往是研究環境的要素，土壤剖面能提供長時間尺度的植群變遷紀錄，本研究的目的就是希望擔任研究沉積物厚薄分布的起頭，利用折射震測法與多通道表面波分析法(MASW)去分析澎湖南方四島東吉嶼的地層分布情形，以非破壞性的方式，繪製出完整的地層剖面，以利將來得以重建南方四島過去的自然環境變遷與探索人類活動的證據，建立起兩岸環境變遷的橋樑。

中文關鍵字：澎湖南方四島國家公園、折射震測、多通道表波分析法(MASW)



應用地電阻法判釋古大員市鎮於現今區域海陸交界

毛重仁¹、樂鏜·祿樸峻岸¹、鍾國風²

(1)成功大學地球科學系、(2)成功大學考古研究所

台江內海原址是荷據時期重要的對外貿易港口，荷人亦在此發展出繁榮一時的大員市鎮。但隨著曾文溪的改道帶入大量沉積物，古安平港逐漸淤積失去了港口功能。沉積環境也從原本泥岩轉換成砂岩沉積。然而對安平地區的歷史多為人文紀載及口述歷史傳承，鮮少有針對此地的地球物理測勘研究。根據地調所地質調查及鑽探岩心分析顯示，安平地區近地表多為砂岩沉積地層。但其原址為台江內海，較早期沉積環境以泥岩為主。故本研究將藉由地層組成物質與含水量的不同，呈現出不同的導電特性(一般以電阻率表示)，以地電阻試驗搭配地電阻影像剖面法 (Resistivity image profile, RIP) 來呈現地表以下地層電阻率的分布情形。

本研究採用地電阻儀來做施測，建立地表下視電阻率模型，利用逆推程式來反演實際地層電阻率的模型。將以模型判釋泥岩與砂岩分布，再搭配考古成果及土地利用之歷史資料研究做比對以此劃定古大員市鎮海陸交界分布、舊港口水道位址及推算出台江內海沉積速率。

經過多次的野外地電阻施測與建立反演模型，搭配考古資料佐證，大致已將古大員市鎮疆域做出劃定，北起西門國小；南至林默娘公園一帶；東達石門國小一帶。沉積地層除去表面的人為回填層，多以穩定的海象或濱海相沉積之泥沙岩為主，而透過泥岩層的分佈深度，推測出此地的沉積速率約為每年 0.5 公分。

中文關鍵字：古大員市鎮、地電阻影像剖面法、海陸交界，沉積速率

半動態參考框架應用在地方地籍測量之適用性研究 - 以高雄市為例

李建寬¹、景國恩²、陳國華³

(1)高雄市政府、(2)成功大學測量及空間資訊學系、(3)臺北大學不動產與城鄉環境學系

推動高精度大地參考框架的目的，就是為了串接控制測量和地籍測量。研究證實半動態參考框架不僅解決了靜態框架精度隨時間劣化的致命傷，其中引用大量觀測資料建置的地表變形模型，更近即時性有效化解地震效應與基準轉換殘差對大地參考框架精度的干擾問題。然而對於應用在地方地籍測量是否適用，尚未可知。高雄市轄區內擁有西部海岸平原、西部麓山帶與中央山脈等臺灣主要的地質區塊，而且還有 10 個觀測站構成的大地控制網，提供本研究所需的基礎環境。為了達到研究目的所擬定的策略，首先是以該 10 個 cGNSS 於 2013 年的公告成果作為參考依據，比較自 2013 年到 2020 年的網形變形情形，以及經半動態參考框架的地表變形模型修正後的結果。結果顯示，修正前的大地控制網確有變形現象，經半動態參考框架的地表變形模型修正後已可消除，顯見半動態參考框架可直接應用在地方控制測量。另因地方地籍測量實際存在山坡地與市區混雜情況，故本研究再以地形變化且地質活動明顯的壽山國家自然公園為例，進行實際地籍測量運用情況的測試。測試結果顯示，在精度上也完全符合現行地籍測量規範。最後，因為半動態參考框架的地表變形模型是以大量大地觀測資料為基礎，故若能增設較多的連續 GNSS 觀測站，尤其是在地質環境敏感區域附近，對於區域地表變形資訊的掌握會更精確，精度也會更為提升。至於增建數量及地點的評估建議，則有待再進一步的研究。

中文關鍵字：半動態參考框架、地籍測量

花蓮至宜蘭間地殼變形特性研究 2011-2020

張有和¹、張成華¹、錢正明²

(1)東華大學自然資源與環境學系、(2)工業技術研究院材料與化工研究所

板塊隱沒帶地殼變形常受斷層所控制，宜蘭-花蓮間是板塊隱沒方向反轉之區域，海域有明顯隱沒造成之海下地形，陸地上此區域除了米崙斷層外並沒有其它活動斷層，所以此區域地表變形監測，可以提供隱沒帶板塊邊界地表地殼變形特性岩之研究題材。東華大學東部地震中心與工業技術研究院在南澳與花蓮市間自 2011 年起逐步加密設置 19 個 GPS 連續觀測站(NDH1-5 與 HGC1-9, 另有 5 個站設置未滿半)，配合氣象局提供之連續站資料，和平網有 HGC1-7、HUAP 等 8 個站；花蓮網有 HGC8-9、NDH1-5、HUAL、PEPU 與 NDH4 等十個站。研究結果顯示 2018 年 2 月 6 日花蓮地震前後，(1)和平網 HGC1-HGC4 地震前時間序列較長(1333-2252 天)，其中 HGC1-HGC4 地震前後，速度場向東南自 41.6 mm/yr 轉變為地震後(1031-1050 天)增速為 53.2 mm/yr、由下沉 3 mm/yr 變為抬升 16 mm/yr。HGC5-7(1031-1050 天)地震後記錄向東南 57.6 mm/yr 與抬升 6.4 mm/yr。(2)花蓮地區 NDH1-5 地震前(1141-1495 天)速度場往東 10.6 mm/yr 轉變為地震後(1039-1045 天)往南南東 25.1 mm/yr、由下沉 4.6 mm/yr 變為抬升 22.1 mm/yr；HGC8(三棧亞泥礦區)與 HGC9(美崙山)地震後(1043 天)，速度場分別是往東南 31 mm/yr 與東南東 16.2 mm/yr、抬升分別是 44.22 mm/yr 與 20.49 mm/yr。(3)花蓮網 2018 年 2 月 6 日地震時因米崙斷層活動之影響，斷層兩側連續站有同震變形，米崙斷層上盤(東側)包括 NDH5、HGC9 與 HUAL 往東北東移動；米崙斷層下盤(西南側)包括 PEPU、NDH1、NDH2、NDH3、NDH4 與 NDHU 往南或南南西移動，最大水平位移量超過 1 公尺。和平網自地震前開始加速往東南移動一週內水平位移約 10 公分。長期 GPS 連續站時間資料顯示隱沒帶地殼變形受到隱沒速度與區域應力影響造成不同程度之地殼變形，未來須針對不同岩性之岩體變形差異與是否誘發斷層破裂進一步研究。

中文關鍵字：全球衛星定位系統、連續站、隱沒帶

Results of Taiwan active faults monitoring in recent years

Chien-Liang Chen¹、Jiun-Her Liang¹、Kuo-En Ching²、Wu-Long Chang³、
Ray Y. Chuang⁴、Jyr-Ching Hu⁵、Yin-Hsuan Chen¹、Shen-Hsiung Liang¹

(1)Central Geological Survey, MOEA, Taiwan、(2)Department of Geomatics, National Cheng-Kung University、(3)Department of Earth Sciences, National Central University、(4)Department of Geography, National Taiwan University、(5)Department of Geosciences, National Taiwan University

In order to understand the crustal deformation pattern, analyze anomalies for earthquake precursor and realize the activities of active faults, the Central Geological Survey, MOEA has established an island-wide active fault observation network of GNSS, precise leveling, borehole strainmeter, ground-water level and soil gas geochemical monitoring in Taiwan. We referred the experiences on earthquake probabilities model and tried to apply it in Taiwan to calculate probabilities for potential earthquake of active faults.

On the part of integrated monitoring data, we combined several GNSS stations around active faults into triangles to calculate GNSS strain and analyze the correlation between GNSS strain and borehole strain. Furthermore, the GNSS, precise leveling and PS-InSAR data were used to make velocity profiles across 33 active faults in Taiwan. On the part of earthquake probabilities analysis, this research evaluated the slip rate and slip deficit rate of active faults by DEFNODE model. The acquired data were provided to assess fault parameters, and calculated recurrence intervals and occurrence probabilities of active faults. Only if we continue implementing the survey project, we can turn the long-term geodetic data into useful information for disaster prevention and reduction.

Keywords: active faults, crustal deformation pattern, analyze anomalies, DEFNODE model

3D coseismic displacement field derived from SAR-based fusion method

Li-Chieh Lin¹、Ray Y. Chuang¹、Chih-Heng Lu²

(1)Department of Geography, National Taiwan University、(2)Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica, Taiwan

Coseismic deformation is one of the keys to unveil the motion and mechanism of a seismogenic fault. A comprehensive 3D coseismic displacement field is also a helpful tool to identify the off-fault deformation and multi-fault triggering. Not only the distributed displacement pattern is well captured, but it also offers a good constrain on the slip vectors. However, it is sometimes difficult to obtain comprehensive 3D coseismic displacement field with high spatial resolution, coverage and accuracy. Terrestrial geodesy offers high accuracy measurements but with very limited spatial resolution. Optical satellite images can provide high spatial resolution and coverage, yet it is hard to invert the vertical displacement. Since the 90s, DInSAR has shown strong capability to capture the surface displacement due to different ground driving forces with high spatial resolution and coverage. Because SAR satellites are mainly polar orbits with side looking characteristics, surface displacement in the north-south direction is less constrained. To tackle this issue, several processing algorithms were developed to obtain the azimuth displacement. Therefore, surface displacements from at least three directions can be used to invert the true 3D displacement field. In this study, we take the 2018 Hualien earthquake as an example to test different algorithms to get enough surface displacements for the inversion of true 3D displacement field. We invert the 3D displacement field with results from DInSAR and Multiple Aperture Interferometry (MAI). The result shows that the newly obtained 3D displacement field has better spatial resolution comparing with result from combining DInSAR and Pixel Offset Tracking (POT). Since MAI requires less interpolation and have better accuracy and resolution than POT, it is convinced that MAI should be a significant component for inverting such 3D displacement map.

Keywords: coseismic deformation, SAR processing algorithms, 3D coseismic displacement, earthquake

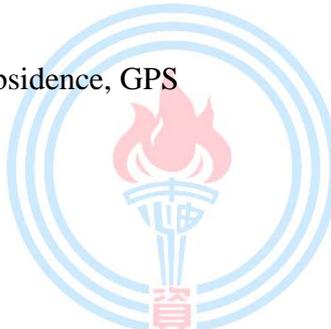
Using PSInSAR technique to observe land subsidence in Pingtung coastal area

Ping-Chen Chiang¹、Ray Y. Chuang¹、Chih-Heng Lu²

(1)Department of Geography, National Taiwan University、(2)Research Center for Environmental Changes, Academia Sinca, Taiwan

Land subsidence in Pingtung Plain is a severe problem in decades. The modern geodetic data indicated the velocity of land subsidence in Pingtung can be up 3.58 cm/yr. To date, ones can use soil strata well, leveling GPS, and SAR to monitoring land subsidence. Different from other methods, SAR can measure minor changes and slow deformation over a wide area. In this study, we processed 79 Sentinel-1 ascending images and 59 Sentinel-1 descending images with the persistent scatters InSAR (PSI) method to estimate the surface deformation of Pingtung Plain from 2016 to 2018. We split the whole time into 7 pairs by dry and wet seasons to estimate the seasonal deformation in this area. In addition, we analyze the spatiotemporal pattern of land subsidence in the PSInSAR timeseries to characterize subsidence migration.

Keywords: PSInSAR, land subsidence, GPS



利用精密水準資料解析現今臺灣西南部泥岩區的垂直地表變形特性

魯曜銓¹、景國恩¹、陳建良²

(1)成功大學測量及空間資訊學系、(2)中央地質調查所

根據過去地表變形研究工作顯示，臺灣西南部之地表應變速率遠大於台灣本島之平均值，然而此高應變速率可能是由於泥貫入體之持續發育所造成的。換言之，臺灣西南部地區之應變速率雖然很高，但是受到泥貫入體活動的影響並不容易累積能量並引發地震。本研究使用中央地質調查所自 2002 年至 2020 年設置之岡山至安坡及路竹至茂林兩條水準測線資料並進行資料濾除，接著篩選距水準測線較近且品質穩定之 GPS 連續站然後挑選出最佳的約制組合，並藉由 GPS 連續站之分析成果透過找到較佳時間以一地震兩事件修正震後效應對水準速度擬合的影響，獲得台灣西南部於甲仙地震前、甲仙至美濃地震間與美濃地震後相對於大陸邊緣之垂直速度場。由垂直速度場可知，背斜構造區域的東西側通常會有一速度梯度變化，其值大約為 3.6-10.2 mm/yr，而北端區域的速度變化趨勢大致呈後一時期較前一時期抬升速度增加，在中洲背斜甲仙地震前原本呈沉陷約 -6.8 mm/yr，在甲仙地震後變為抬升速度約 1.8 mm/yr，2016 年後更升至 6.2 mm/yr；小崗山背斜抬升速度變化約 6 mm/yr；古亭坑背斜速度變化約 3.3 mm/yr；車瓜林與旗山斷層北段所夾區域速度變化趨勢亦相似約為 3 mm/yr，在南端區域美濃地震前速度變化趨勢與前者相同，但在 2016 年後其速度均呈沉陷且較前一時期差約 7.9 mm/yr。同時，解析不同時期的垂直速度場梯度變化，以移動平均法對內插成等間距的垂直速度場進行平滑化達到高頻、低頻訊號的分解，預期可將斷層近地表潛移行為與泥貫入體活動造成之區域性的垂直地表變形型態進行區隔，並探究泥貫入體對地表垂直速度造成的影響與分布以及知悉與地震交互作用後不同時期的變形機制。了解泥貫入體對地表的變形機制有助於提升台灣西南部對於高估間震期垂直速度場的問題。

中文關鍵字：精密水準測量、GPS、泥貫入體、台灣西南部

利用 GNSS 和精密水準測量成果建立 2002 到 2019 年

臺灣同震位移場目錄

李柏逸¹、景國恩¹、蕭詩涵¹、陳建良²

(1)成功大學測量及空間資訊學系、(2)中央地質調查所

以 GNSS 連續站研究臺灣 2002 年以來發生重大地震事件的地表同震位移場成果已相當完整，然而 GNSS 連續站所能提供的仍是有限，對於垂直位移場的成果可靠度也有待提升。本研究因此嘗試利用中央地質調查所施測的 767 站 GNSS 移動站和 29 條精密水準測線的資料，來提升 2002 年以來重大地震事件：2002 年花蓮外海地震、2003 年成功地震、2006 年卑南地震、2006 年恆春地震、2010 年甲仙地震、2013 年瑞穗地震、2013 年 3 月南投地震、2013 年 6 月南投地震、2016 年美濃地震、2018 年花蓮地震和 2019 年花蓮地震的同震位移場空間解析力與垂直位移場可靠度。本研究將利用坐標時間序列分析來計算地表同震位移場，並分別將各重大地震事件之同震位移場彙整成表格和分布圖，接著引用前人已發表以 GNSS 連續站研究臺灣重大地震事件之同震位移場文章，並將其同震位移資料亦製作成表格與分布圖，以進行 GNSS 連續站、移動站和水準同震位移場空間分布之比對，確認其成果是否具一致性。其中，由於 GNSS 連續站的時間解析度為一天一筆觀測量，移動站和精密水準一年施測一次，且誤差較連續站大，所以前人發表的連續站同震位移場資料為重要的參考依據。有了同震位移場的資料，再利用斷層傾角、走向角、滑移角、深度、長度和寬度等幾何參數，以斷層滑移模型推出各個重大地震事件引發的斷層滑移分布，進而推得各斷層的構造型態。

中文關鍵字：GNSS 連續站、GNSS 移動站、精密水準測量、時間序列、同震位移場

Crustal deformation of the Kendeng Fault branches area from GNSS and InSAR data and its earthquake potential in Surabaya City, Indonesia

Raudlah Hawin Ayani¹、Ira Mutiara Anjasmara²、Yunung-Nina Lin³、
Reyhan Azeriansyah¹、Kuo-En Ching¹

(1)Department of Geomatics, National Cheng Kung University、(2)Institut Teknologi Sepuluh Nopember、(3)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

The Kendeng fault is one of the active faults in East Java, which has two branches: the Surabaya fault and the Waru fault. It may pass through Surabaya city, the second-largest city in Indonesia. Understanding the earthquake potential is very important for seismic prevention in Surabaya city to evaluate the seismic hazard of the Kendeng fault. We integrated the data from the Global Navigation Satellite System (GNSS) and Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) for the crustal deformation monitoring in the study area. One hundred nine ascending images and one hundred twenty-six descending Sentinel-1A images from November 2014 to July 2020 and the 30-meter resolution SRTM DEM were used to generate the interferograms using Scientific Computing Environment ISCE software. Furthermore, we constructed the cumulative displacement time series using the Small Baseline Subset (SBAS) technique. The outlier detection and root mean square of residual phase estimation was applied to improve the InSAR time-series accuracy and reliability. The LOS InSAR velocities in ascending ranges between -14.8 mm/year and 9.5 mm/year, and the descending between -13 mm/year and 6.8 mm/year. In addition, data from 19 campaign-mode GNSS stations from 2017 to 2020 are collected and worked for time-series analysis and validate the LOS InSAR velocities. Horizontal velocities range between -23.18 mm/year and 47.88 mm/year toward to southeast. Most of the Surabaya city's vertical motions are subsidence ranging between -1.26 mm/year and -112.20 mm/year. These results also aim to detect the activity of Kendeng faults which can lead to potential earthquakes.

Keywords: earthquake potential, Surabaya fault, Waru fault, SBAS, GNSS

應用 SBAS-InSAR 觀測 2016-2020 台灣西南部構造活動性與

變形特徵

陳俊諺¹、胡植慶¹、譚諤²

(1)臺灣大學地質科學系、(2)中央研究院地球科學研究所

受到歐亞板塊前緣碰撞後隱沒到菲律賓海板塊之下，台灣西南部厚層泥岩中的活動構造常以潛變的形式發生，如龍船斷層、車瓜林斷層、右昌斷層與鳳山斷層等，利用合成孔徑干涉雷達技術 (InSAR) 來進行大面積地表變形監測，可以探討上述構造延走向方向的潛變行為，亦可以補足 GPS 觀測的不足。本研究應用小基線集法 (SBAS) 對升軌 L-band ALOS-1 2007-2011 與升降軌 C-band Sentinel-1 2016-2021 年的影像來分析西南部的地表變形，並利用擬合後的 GPS 連續站的觀測速度場，來對雷達觀測的結果進行約制。最後將雷達觀測到的地表變形投影至東西、升降方向作結果的討論。其中 20160206 美濃地震也提供了很好的材料用以來討論震前 (2007-2011)、震後 (2016-2017) 與間震 (2018-2020) 地表變形行為。以右昌斷層為例，在升軌與降軌在視衛星方向可以觀察到跨斷層 6 mm/yr 與 8 mm/yr 的變形。最後，則利用有限元素法軟體 DynEarthSol 建立概念模型，模擬活動構造可能造成的地表變形行為。

中文關鍵字：小基線集、合成孔徑干涉雷達、大地測量、有限元素法、右昌斷層

Horizontal coseismic displacements of the northernmost Chelungpu fault of the 1999 Chi-Chi earthquake

Yau-Hsuan Tsai¹、Ray Y. Chuang¹、Yu-Ting Kuo²

(1)Department of Geography, National Taiwan University、(2)Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung-Cheng University

The distribution of surface deformation is important to understand the fault kinematics and fault geometry at depth. To learn the coseismic ground deformation, image geodesy can provide observations with good spatial coverage. For example, displacements derived from comparing pair images is spatially continuous. The 1999 $M_w=7.6$ Chi-Chi earthquake generated ~100-kilometer surface rupture in central Taiwan. Previous study has utilized subpixel correlation for SPOT images in the central segment of the Chelungpu fault. The displacement field of the northern segment, which has the maximum displacements of fault, has not been well studied. This research uses subpixel correlation for SPOT satellite images with the pixel resolution of 10 m to measure horizontal surface displacements along the northern segment of the surface rupture. The horizontal displacements are determined by merging SPOT offsets and GPS data. According to the result, we can see a very clear V-shape displacement boundary in the northern end of the surface rupture, which is parallel to the shape of the Chisui Shale on the surface. The horizontal coseismic displacements show that the average displacement is about 3~4 m (up to about 12 m) in E-W, about 4 m (up to about 12 m) in N-S, and both increase toward the fault trace.

Keywords: surface deformation, 921 Earthquake, Chinshui Shale, Tungshih Anticline

Taiwan Geodetic Model-GNSS data processing and observation results sharing platform

Hsin Tung¹、Hrong-Yue Chen¹、Ya-Ju Hsu¹、Wen-Tzong Liang¹、
Ruey-Juin Rau¹

(1)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Since the first continuous GNSS station, S01R, was established in Baisha, Penghu Island, in 1992, more than 450 continuous GNSS stations operate daily until now. Data from these stations have been used to produce high-precision, three-component velocity fields as well as position time series that track time-varying crustal deformation from small interesting area to entire Island of Taiwan. In order to keep receiving as well as analyzing these valuable and enormous data, a huge investment of manpower and material resources is required from fields to laboratories. Since the field conditions are controlled by the installation institutes, we focus on carefully dealing with the data collected from all the corporate partners. To achieve the goal of providing a fast service of data collecting and coordinate positioning for earth sciences research, the Taiwan Geodetic Model (TGM) platform originated by Institute of Earth Sciences, Academia Sinica (IESAS) aims to increase the quantity and availability of the data and to deliver products based on the raw data. High quality computed products such as stations positions, time series, velocities and strain rate fields provide researchers in Earth Science with relevant information for finding new data patterns, making new discoveries and even creating new science.

Keywords: Taiwan Geodetic Model, TGM, GNSS

萬丹鯉魚泥火山區域重力加密測量結果

薛雅駿¹、李紘慶¹、張晟文¹、薛立晨¹、羅佑中²、鄭凱謙¹

(1)中正大學地球與環境科學系、(2)中央大學地球科學系

臺灣西南部因特殊的地質條件，形成許多泥貫入體與泥火山，其中位處屏東萬丹的鯉魚山泥火山有長期的間歇性噴發特性，噴發紀錄最早可回溯到 1772 年。除了少數幾年外，自 2015 年開始幾乎每年都至少有一次的噴發。目前我們還不太了解泥貫入體與泥火山的活動方式與機制，因此我們設立大地測量監測網，自 2018 年起進行固定觀測來了解地表幾何變形特性。同時進行萬丹泥火山的相對重力網加密，補強原本相對重力網點數稀疏的問題。本研究將提出 2021 年重力加密測量的結果與初步重力異常圖。

中文關鍵字：泥火山、重力測量、鯉魚山



車瓜林斷層北段調查與活動性研究

劉彥求¹、顏一勤²、黃志遠¹、許晉璋¹

(1)經濟部中央地質調查所、(2)顏一勤應用地質技師事務所

本研究進行車瓜林斷層沿線調查與條帶地質圖測繪，以確認斷層的詳細位置、斷層帶特性與控制點等，並彙整資料討論其活動性。車瓜林斷層位於臺灣南部，為逆移斷層，呈東北走向，北起高雄市內門，向西南延伸經旗山區大廊庭山，西南端在燕巢區附近為沖積層所掩覆，在此以北斷層出露，長度約 24 公里，為此斷層北段；南段隱伏於沖積層以下，具長約 6 公里之線形崖向西南西延伸至橋頭糖廠附近尖滅。車瓜林斷層野外大多有良好露頭可以追蹤，斷層帶寬約數十公尺至百餘公尺，常見數條髮辮狀的斷層泥帶交織而成厚度更大的斷層帶。

國道 3 號田寮 3 號橋北橋台與道路等人工結構物，跨越車瓜林斷層與旗山斷層有潛移現象與結構破壞，國工局在此區進行大地監測，確認斷層兩側有明確相對位移與快速抬升。依據中央地質調查所於車瓜林斷層南段之線形崖排鑽取樣，車瓜林斷層可能於 7,500 年內有活動紀錄，而 25,000 至 10,500 年前期間，車瓜林斷層可能有多次的活動事件。依現有鑽探資料與線形崖之相關性，車瓜林斷層南段可能往西南西繼續延伸，最後何處尖滅、遭截切或隱伏於沖積平原之下，以及其活動事件等資料仍需更多調查工作確認。

中文關鍵字：車瓜林斷層、旗山斷層、龍船斷層、古亭坑層、大廊庭山透鏡體、GPS 衛星測量

斷層傾角對斜移斷層錯動引致上覆土層變形之影響

彭昱熙¹、方儒雅¹、林承翰¹、林銘郎¹

(1)臺灣大學土木工程學系

自地質法公告迄今，中央地質調查所已公告 33 條活動斷層，並依照活動斷層兩側共 300 公尺易受斷層錯動或地表破裂的範圍為準則來劃設 15 條活動斷層地質敏感區。針對正、逆斷層錯動引致上覆土層地表變形的研究，在探討不同斷層幾何與覆土層厚度(基盤位置)的影響上已有相當的成果，而針對平移斷層的研究近年來也有諸多討論。上述研究成果均指出斷層傾角為影響斷層錯動引致地表變形的重要因素之一，另有，台灣目前許多活躍的斜移斷層尚未被深入研究，如位於西南部的車瓜林斷層，近期監測資料顯示其運動是以平移為主，並帶有少許逆衝分量。儘管目前對該斷層之地表變形型態所知甚少，且車瓜林斷層於沖積平原區之傾角仍未有定論，然而為防患未來斷層持續潛變可能造成鄰近的工程結構物出現損壞、變形，實有先行一步研究之需要。

本研究設計不同傾角的斜移斷層縮尺砂箱模型，經由試驗觀察覆土層的地表線型、地貌分布、破裂跡的發展歷程與分布趨勢，再建立基於離散元素法的三維數值模型，模擬結果與砂箱試驗校核後，可由數值模擬觀察覆土層的地中變形和應變集中帶分布。斜移斷層綜合了走向與傾向滑移斷層的地表變形特徵，走向滑移分量之雷氏剪裂與傾向滑移分量之斷層崖結合，產生形貌複雜的破裂跡。初步研究結果顯示，當斜移斷層傾角改變，地表變形帶之中心線受傾向滑移分量影響產生偏態，進而改變整體變形集中帶之分布。藉由對覆土層變形行為進行定性及定量分析，本研究統整不同斷層傾角之斜移斷層其地表與地中變形特徵，有助於推測斷層破裂跡於覆土層中的發展，判斷破裂跡可能出露位置與變形帶範圍，提供近斜移斷層人工構造物災害防治之參考依據。

中文關鍵字：斜移斷層、近地表變形、砂箱試驗、離散元素法模擬

A geological exploration of the unexpected normal faulting in the Zhongliao tunnel area, southwestern Taiwan

Kai-Fong Chen¹、Maryline Le Béon²、Yi-Wei Chiou²、Yu-Cheng Hsu²、
Chang-Chih Chen²

(1)Department of Earth Sciences, National Central University、(2)Institute of Applied Geology,
National Central University

According to geodetic data, we learned that there is a significant ground displacement across the Chishan fault, near the north end of the Highway 3 Zhongliao tunnel, leading to a serious damage on the tunnel. Footwall uplift and fault-parallel component reach up to 80 mm/yr and 15 mm/yr, respectively. The current deformation corresponds to normal faulting with a right-lateral component, which contradicts the traditional knowledge of the Chishan fault, as an east-dipping thrust that brings the Miocene Wushan sandstone on the Plio-Pleistocene Gutingkeng mudstone. Because geodetic data has limited spatial coverage and time span, this study is based on geological field survey and geomorphologic analysis to look for evidence for long-term deformation and explore the fault zone characteristics. Several outcrops with brittle fault mirrors and ductile deformation are found. The principal shear zone reaches up to 50 m in width, with an average attitude N48E/67E. We are also able to interpret slickenlines and sheared mud with ductile C-S structures as an evidence of right-lateral normal faulting. The shear zone width and the presence of ductile structures imply that the unexpected normal faulting is more than a transient deformation: it is a relatively long-lived phenomenon that resulted in permanent deformation. The fault line is sometimes associated with anomalies in the topography, such as SE-facing counter-slope escarpments, that would also be consistent with sustained normal faulting. The mechanism behind this phenomenon still remains uncertain. Understanding the relation between this unexpected fault zone and the other active tectonic structures in the region will be the primary focus of this research in the future.

Keywords: Chishan fault, Zhongliao tunnel, fault zone, structural geology, active fault, geomorphology

2006 年屏東外海地震誘發之恆春斷層慢滑移事件

蕭詩涵¹、景國恩¹、蔡佩京²、李劍珩³、張文和⁴、陳建良⁵

(1)成功大學測量及空間資訊學系、(2)綠環工程技術顧問有限公司、(3)K2 Management、
(4)中央大學地球科學系、(5)中央地質調查所

本研究藉由中央地質調查所於恆春半島設置之 7 個 GNSS 連續站、37 個移動站及 2 條精密水準測線 2002 年至 2016 年間之觀測資料發現，2006 年屏東外海 M_L 7.0 地震發生後，恆春半島之地表運動型態產生了明顯的轉變，且首次觀察到臺灣地區之慢滑移事件。為了釐清此區域慢滑移事件之活動型態及其在恆春斷層上能量累積與釋放的模式，本研究除了分析時間序列獲得地表速度場外，更透過基線反演模型與斷層錯位模型，推估斷層面上滑移虧損速率與滑移速率之分布型態及數值，再結合地質調查結果進行綜合探討。根據時間序列分析結果，恆春半島之地表速度場以 2006 年屏東外海地震及 2010 年 4 月為界，可區分為 3 個時期：相對於 S01R 測站，2006 年屏東外海地震發生前，西南側水平速度於約 53-58 mm/yr 向西北，垂直沉降速度約 8-15 mm/yr；東側水平速度於約 47-55 mm/yr 向西北西，垂直沉降速度約 5-18 mm/yr。2006 年屏東外海地震發生後至 2010 年 4 月，西南側水平速度於約 53-56 mm/yr 向西南西，垂直沉降速度約 3-10 mm/yr；東側水平速度於約 45-53 mm/yr 西北西，垂直速度轉為抬升為主約 3-9 mm/yr。2010 年 4 月至 2016 年，西南側水平速度於約 50-54 mm/yr 向西南西，垂直沉降速度約 3-8 mm/yr；東側水平速度於約 43-53 mm/yr 西北，垂直速度轉回沉降為主約 1-6 mm/yr。基線反演模型與斷層錯位模型結果則指出，恆春斷層為具有左移分量之逆衝斷層，其於 2006 年屏東外海地震發生前，具有南北兩個地栓 (asperity)；且地震發生後，能量並未停止釋放，而是持續於此兩個地栓由南往北遞進釋放。此外，根據地質調查研究結果，鄰近恆春斷層區域直至 2017 年仍有地表裂隙產生，亦為此區域震後持續潛移之佐證。綜上所述，本研究推論：(1) 恆春半島地表運動型態的改變是由 2006 年屏東外海地震所誘發；(2) 恆春斷層上盤垂直速度之變化與地質調查研究結果顯示，斷層面上所累積之能量於地震後仍持續緩慢釋放中，亦即此區域有慢滑移事件之發生；(3) 恆春斷層之位置可能位於目前劃定範圍之東側約 1-2 公里之位置。

中文關鍵字：恆春斷層、2006 年屏東外海地震、慢滑移事件、斷層滑移虧損速率

卑南河流域河水之生物性碳轉換

陳培恩¹、塗子萱²、林立虹³、王珮玲¹

(1)臺灣大學海洋研究所、(2)中山大學海洋科學系、(3)臺灣大學地質科學系

調控大氣二氧化碳的諸多機制中，岩石風化作用扮演了關鍵的角色。過去探討風化作用的研究中，大都聚焦於運用大河系統中的河水溶質或同位素特徵，推論無機風化作用的形式、速率與影響因子，往往忽略了其生地化作用，亦可能對大氣二氧化碳收支產生的重要貢獻。特別是於造山帶的小河系統中，河水滯留時間短，並有大量溶質與沉積物輸送至河道，提供豐沛的岩石源礦物質與有機質，作為河域自營作用和異營作用可能的基質，分別消耗和釋出二氧化碳，過去卻鮮有研究探討此兩種代謝形式，對於流域二氧化碳收支的影響。

有鑑於此，本研究選擇於台灣東部擁有最高沉積物輸出通量與高化學風化速率之卑南河流域，收集不同季節上至下游的河水樣本，添加標定 ^{13}C 同位素之無機碳與有機碳源進行培養實驗，量測自營與異營作用速率，並進行生地化和分子生物分析，釐清相關控制因子和參與作用的微生物族群組成。初步結果顯示，相較於河川上游，全年在卑南溪出海口皆有最高的自營作用速率，約 $0.55\sim 2.32 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ，且在濕季時較高，可達乾季時的 4 倍，與河川之硝酸鹽濃度呈顯著正相關；異營呼吸作用速率約為 $16.4\sim 79.0 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ，雖呈現明顯的區域性和季節性差異，卻未有上下游或普遍性的乾濕季系統性變化。在環境中複雜的微生物族群組成，亦有 *Cyanobacteria* 與 *Campilobacterota* 等菌門豐度在時空上的變化，可能在其中扮演重要角色。總結來說，於卑南溪上游、支流至下游出海口，全年異營代謝產生二氧化碳速率高於自營生物合成消耗的速率，可知卑南河流域屬於異養河川系統，對大氣二氧化碳為淨輸出。未來期望能統合各項成果，提供卑南河流域完整的生物性碳轉換過程與貢獻。

中文關鍵字：自營作用、異營作用、 ^{13}C 同位素標定

Morphotectonics of the Houjing Tableland Area, Kaohsiung, Taiwan

Chiming Tung¹、Yu Wang¹

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University

In this study, we use topo maps in the 20th and 21st century, post-WW2 aerial photos, and digital elevation models in the 21st century to map the active tectonic features within the Houjing Tableland area before the urban development. Houjing Tableland is a NE-SW trending tableland in the Kaohsiung area with surface elevations of about 18-20 m. The top surface of the tableland is mantled by the Holocene sediments (Wu, 2000; Wu et al., 2002), and Sun (1964) suggest its northwestern and southeastern edge is bounded by the Youchang Fault and the Shoushan Fault, respectively. Along the NW edge of the tableland, our result suggests the Youchang Fault can be separated into three sections: the Ciaotou section, the Lantian section, and the Youchang section, from NE to SW. The orientations of the escarpments are $\sim N60^{\circ}E$ to $\sim N45^{\circ}E$ in the Ciaotou section, $\sim N25^{\circ}E$ to $\sim N7^{\circ}E$ in the Lantian section, and $\sim N30^{\circ}E$ in the Youchang section. The distribution of these escarpments suggests the left-stepping reverse fault geometry of the Youchang Fault. Our result of the Shoushan Fault at the southwestern edge of the tableland suggests the Shoushan fault contains less clear tectonic escarpments than the Youchang Fault. This indicates vertical activity of the Shoushan Fault is much less than the Youchang Fault since the formation of the Houjing Tableland. We also find at least four levels of fluvial terraces along the Houjing River, transecting through the Houjing Tableland. The distribution of the terrace suggests the persistent and differential land-level changes across the tableland. By adapting the previous published radiocarbon dating results, and the regional sea-level change history, together with our mapping result, we suggest the currently geometry of the Houjing Tableland is primarily controlled by the vertical throw of the Youchang Fault. The average uplift rate of the Houjing Tableland is about 3 mm/year in about the last 4 thousand years.

Keywords: Youchang Fault, Shoushan Fault, active fault, tectonic geomorphology

Dynamic modeling of the multi-fault rupture of the 1906 Mw 7.1 Meishan, Taiwan, earthquake: Constraints on frictional behavior and stress

Chen-Ray Lin¹、Sebastian von Specht²、Kuo-Fong Ma³、Yi-Wun Liao⁴

(1)Department of Earth Sciences, National Central University; Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management (E-DREaM) Center, National Central University、(2)Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management (E-DREaM) Center, National Central University; Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan; Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany、(3)Department of Earth Sciences, National Central University; Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management (E-DREaM) Center, National Central University; Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(4)Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management (E-DREaM) Center, National Central University; GNS Science, Lower Hutt, New Zealand

The March 17 1906 Mw 7.1 Meishan earthquake marks one of the most devastating events in Taiwan. Previous studies regarded the Meishan earthquake as a right-lateral strike-slip event related to the coseismic surface rupture along the Meishan fault. Liao et al. (2018) discussed a scenario where rupture on a blind thrust fault triggered the preexisting weak zone on the Meishan fault. They validated their model by comparing three Omori seismographs records from Taiwan with synthetic waveforms. We investigated this multiple segment rupture scenario from a dynamical modeling perspective for various fault system configurations in the Meishan earthquake region. Model parameters are constrained within physically reasonable ranges by incorporating stress mechanics related to the frictional limit, fluid pressure, rheology, and the Wallace-Bott hypothesis; horizontal stress orientations are taken from the World Stress Map and stress drop ranges within globally observed values. We considered both hydrostatic fluid pressure and fluid overpressurization. The static friction coefficient ranges from $\mu_s=0.4$, (Kidder et al., 2012) and $\mu_s=0.7$ (Byerlee's law). We created pure brittle and brittle-ductile models based on rock strength curves. The linear slip-weakening model is run on a 3D finite element mesh in a homogeneous half-space. Our rupture simulations show reasonable slip distributions for low μ_s (0.4 to 0.5), implying that Byerlee's law does not hold in the region. Rupture in the brittle models is limited within the predefined fault patches while in models with brittle-ductile models, rupture does not extend beyond the brittle-ductile transition zone. Fluid overpressurization reduces rock strength resulting in larger slip. The Omori records are comparable to the synthetic waveforms from various scenarios, indicating that the 1906 Meishan earthquake can be reasonably explained as a multiple-segment rupture system, but not from a single segment rupture.

Keywords: 1906 Meishan earthquake, multiple segment rupture, frictional behavior, physical stress constraints



Re-estimating strain partitioning between the Timor Trough and the Wetar Backthrust

Timothy Day¹、Yunung-Nina Lin²、Yu Wang¹、Yu-Ting Kuo²、
Ira Mutiara Anjasmara³、Sin-Da Tsai⁴、Ya-Ju Hsu²

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、(2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(3)Department of Geomatics Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia、(4)Timor Map, Dili, Timor-Leste

The mechanism for strain partitioning between the frontal and the back structure, as well as the proportion of partitioning, has long been of great interest to the study of plate tectonic evolution and seismic hazard evaluation. As one of such front-rear structure pairs, the Timor Trough to the south and the Wetar Fault to the north together absorb and partition the plate convergence motion between the Australian plate and the Sunda plate along the southern rim of the Banda Sea. Earlier geodetic modeling with campaign-mode GPS observations suggests that the majority of plate motion has been taken up along the Wetar Fault, leaving the Timor Trough relative inactive and free from generating large subduction zone earthquakes. In this study, we adopt observations from continuous GPS stations (including one installed by IES in Timor-Leste since 2019) and InSAR time-series from ESA's Sentinel-1 satellites to reconstruct the 3D displacement fields on the Timor Island. With the augmentation of these continuous observations, we aim to refine the strain partitioning between the frontal and the back structure in order to assess the seismic hazard in the region.

Keywords: synthetic aperture radar, GPS, strain partitioning, plate motion, back-arc thrusting

Determination of site effects in damaged area during the 24th August 2016 Chauk Earthquake

Ei Mhone Nathar Myo¹、Tun Naing²、Lin Thu Aung³、Kaung Sithu⁴、
Thinn Hlaing Oo⁵、Khaing Nyein Htay⁶

(1)Department of Geology, Yangon University、(2)Department of Engineering Geology, Yangon Technological University、(3)Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University、
(4)Department of Geology, Patheingyi University、(5)Myanmar Earthquake Committee、
(6)Myanmar Geosciences Society

An intraslab earthquake (Mw 6.8) struck central Myanmar on 24th August 2016, with the epicenter close to the ancient city of Bagan along the Irrawaddy River. This ~84 km deep earthquake caused wide spread damages to buildings and pagodas in the central Myanmar, including 270 millennium-old Buddhist pagodas in the ancient Bagan. Post-earthquake investigation suggests most of earthquake-damage buildings are built on the Holocene alluvium or on the Upper Miocene to Pleistocene Irrawaddy Formation, which are mainly composed of fluvial deposits and friable sandstone. In order to understand the site condition nearby these earthquake-damage buildings, this study analyze the microtremor signals collected from 10 different townships in the central Myanmar to estimate the shallow shear wave velocity (V_{s30}) and the local soil conditions. In total, we deployed microtremor station at 27 sites and log the microtremor signals for about 20 minutes at each site. We then use Chroun 2007 program to estimate the fundamental frequency and horizontal to vertical spectral ratio (HVRs) to determine the condition of underlying soil layers. Our results suggest most of the damaged buildings during the 2016 earthquake are located on the Class C or Class D soil layers. Our analyses also suggest many of our surveyed sites are characterized by thick and slow sediment layers. Such soil and sediment conditions along the Irrawaddy River may play certain roles controlling the spatial distribution of building damages during the 2016 Chauk earthquake.

Keywords: earthquake damage, microtremor, fundamental frequency, microtremor HVRs, V_{s30} , site class.

由地表變形與震度紀錄重建 1839 年緬甸阿瓦(Ava)地震規模

吳昇翰¹、王昱¹、Myo Thant²

(1)國立台灣大學地質科學系暨研究所、(2)Myanmar Geosciences Society

1839/3/23，緬甸城市阿瓦遭遇震度 9 級的地震(Prachuab, 1988)。該次地震的規模之大，甚至遠達曼谷也能感受到晃動。歷史紀錄顯示震央應位於阿瓦附近，幾可確定此次事件的孕震構造是緬甸與巽他地塊間的右移實皆斷層(Sagaing Fault)。實皆斷層以南北向貫穿緬甸，總長度超過 1000 公里，持續以約 20 mm/yr 的速率滑移(Maurin et al., 2010)。

實皆斷層沿線在過去 150 年間曾發生多次伴隨地表破裂的災害性地震(如 1930、1931、1946、1956 與 2012 地震)，唯獨密鐵拉至實皆的區段除可能造成 1839 年地震外，在過去近兩世紀中未有明確的地表同震破裂與地震記錄。以地震再現週期與斷層活動速率而言，密鐵拉至實皆在過去超過 100 年以上未發生地震，可能表示該段斷層處於長達數百年的間震期閉鎖之狀態，並持續累積應力。為了解該地區的斷層活動性質，本研究試圖確定 1839 地震的地表破裂範圍，以及透過古地震研究的方法，嘗試重建密鐵拉區域的斷層活動歷史。

本研究透過高解析度數值地形圖，標記密鐵拉至內比多附近因斷層活動所造成的地表變形。由地表變形描繪斷層形貌，判斷研究區域內是否有可作為破裂終點的斷層跡不連續。在斷層跡位置的基礎上尋找錯移量紀錄，再由錯移紀錄的數值與分布判斷斷層的活動性質。同時檢視區域內的佛寺建築，從其毀壞狀況與時間推斷是否與地震有關。

透過構造地形判識與野外實查，本研究發現實皆斷層在密鐵拉至內比多沿線形成 300 公尺寬的斷層錯移帶。於斷層錯移帶中發現數條近乎平行的右移斷層跡與壓力脊、錯斷河、閉塞丘等多種右移斷層常見之活動構造地形。其中可辨識的最小右移量約 1.7 公尺。本研究另於標貝地區找到一開挖露頭，顯示水平層狀湖相沉積物覆蓋於受擾動且被砂質侵入體貫穿的混亂湖相泥質沉積物之上，可能與 1839 年地震時斷層破裂所引發的強地動相關。根據 ESI 2007 環境震度分級，噴砂的尺度說明此事件的震度約可分類在 level IX，鄰近的斷層應伴隨產生地表破裂。若此紀錄與 1839 年地震地表破裂相關，1839 年地震的地表破裂範圍應從目前確認的實皆一帶向南延伸至少 150 公里。若加上實皆北方 30 公里 Mingun Pagoda 在 1839 地震中倒塌的紀錄，我們推論 1839 年阿瓦地震所伴隨的地表破裂最短約 180 km。根據 Wesnousky, 2008 地表破裂長度與地震規模關係經驗公式計算，最小地震規模應是 Mw 7.6 以上。

中文關鍵字：活動斷層、地震地質、古地震、實皆斷層、緬甸

Zircon age and petrogenesis of the Telupid ophiolite in northwestern Sabah

Yu-Hsiang Chien¹、Kuo-Lung Wang²、Sun-Lin Chung²、Azman A. Ghani³、
Xian-Hua Li⁴、Yoshiyuki Iizuka⁵、Hao-Yang Lee⁵

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、(2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan; Department of Geosciences, National Taiwan University、(3)Department of Geology, Malaya of University、(4)State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China、(5)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Sabah ophiolites generally include Banggi Island, Ranau, Telupid, and Darvel Bay ophiolites which are distributed from northwestern to southeastern Sabah. Previous studies suggest that Sabah ophiolites bear supra-subduction zone (SSZ) feature and formed during Late Triassic to Late Cretaceous, but their age and tectonic origin remain debated. This study presents zircon U-Pb dating and Hf isotope results and bulk-rock geochemical data of the Telupid ophiolite, to examine their origin for tectonic implications. The crustal section of the Telupid ophiolite is composed of basaltic andesites (SiO₂ up to 53 wt.%) and gabbros. The zircon U-Pb dating of gabbros show ages ranging from 47±2 to 42.5±0.3 Ma with positive εHf(T) values from +22 to +16 for these zircons. Both basaltic andesites and gabbros display depleted light rare earth elements (LREE), nearly flat high rare earth elements (HREE), and their multi-element distribution patterns show depletion in high field strength elements (HFSE). In addition, their bulk-rock Sr-Nd isotopic compositions exhibit εNd(T)= +9.4 ~ +8.8 and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr= 0.703024 ~0.703585. These data suggest that the Telupid ophiolite was a fragment of Eocene oceanic lithosphere generated in Mid-Ocean Ridge (MOR) setting. Since Eocene MOR-type ophiolite is discovered in Sabah, it indicates that not all Sabah ophiolites formed in SSZ setting during Mesozoic as previous thought. Furthermore, the Telupid ophiolite could associate with Eocene Palawan ophiolite (Hall, 2002) which is most likely to be a remnant of Proto South China Sea.

Keywords: Sabah, Eocene ophiolite, MOR-type

Geochemical and age characteristics of the volcanic rocks in West-Central Java

Andrie Al Kausar¹、Yu-Ming Lai²、Ledyantje Lintjewas¹、Iwan Setiawan³、
Hao-Yang Lee⁴、Long Xiang Quek²

(1)Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University; Research Center of Geotechnology, LIPI, Indonesia、(2)Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University、(3)Research Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences、
(4)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Java Island is a part of the Sunda Arc located in the Sundaland southeastern margin. It was formed by the subduction of the Indo-Australian Plate beneath the Eurasia Plate. Island arc magmatism begins in the early Cenozoic and continues to erupt until Recent. The previous dating works of magmatic rocks mainly used K-Ar method, which may show younger ages due to the low closure temperatures of muscovite and biotite (350-300 °C). Moreover, the geochemical analyses only focus on particular volcanoes. In this study, we focus on eastern West Java and Central Java, using zircon U-Pb geochronology and whole-rock geochemistry to study five volcanic bodies in this area. A total of 28 volcanic rock samples were collected from West Java (Mt. Sunda, Mt. Malabar and Mt. Guntur) and Central Java (Mt. Slamet and Mt. Merapi). Geochemistry of the West-Central Java samples varies from basalt, andesite to dacite. They are comparable to calc-alkaline to high-k calc-alkaline volcanic rocks. There is no clear difference between the REE patterns of these samples. Primitive mantle normalized trace element diagram shows typical subduction signature, enriched in LILE (Rb, Ba, Th, U, and K) and depleted in HFSE (Nb, Ta, and Ti). Zircon U-Pb dating results show that volcanic rocks in Mt. Sunda (andesite, 4.05 Ma; dacite, 3.77 Ma), Mt. Malabar (basaltic andesite, 6.74 Ma; dacite 4.37 Ma) and Mt. Guntur yielded a weighted average of 0.73 Ma. Both Mt. Slamet and Mt. Merapi samples are mafic and did not yield any zircon U-Pb age. The mafic volcanic rocks tectonic discrimination ternary diagrams (TiO_2 -MnO- P_2O_5 and Nb-Zr-Y) show that the samples from West-Central Java were probably formed in an island arc subduction process. Using the formula from the correlation of Indonesian active volcanic geochemistry with Benioff Zone depth, the depth of these magmas may have ranged about 131-201 km below the surface.

Keywords: Java Island, Sunda arc, geochemistry, zircon U-Pb geochronology

印尼爪哇西部新生代火山岩之年代學與地球化學特徵

梁瑋琪¹、賴昱銘¹、李皓揚²、辛怡儒³、Ledyantje lintjewas¹、
Iwan Setiawan⁴、Long-Xiang Quek¹

(1)臺灣師範大學地球科學系、(2)中央研究院地球科學研究所、(3)臺灣大學地質科學系、
(4)Research Center for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences (LIPI)

東南亞地區位於三大板塊，歐亞板塊、菲律賓板塊和印度—澳洲板塊聚集邊緣的交匯處，同時也包含了數個活躍的板塊隱沒帶，並有著許多由早期岡瓦納古大陸(Gondwana)分裂的地殼，歷經古生代至新生代的地質構造活動後聚集至現今東南亞位置。爪哇島位於巽他古陸(Sundaland)的南緣，為一平行於巽他-班達隱沒帶(Sunda-Banda Subduction Zone)之島嶼，依照大地構造的分布可分為西瓜哇、中爪哇、東爪哇三個地塊。西瓜哇以新生代火山島弧為主，其北部為巽他古陸大陸基盤，中、東爪哇以白堊紀增積的蛇綠岩體及島弧岩石為主，南部殘存的部分太古代大陸地殼則平行分布於爪哇全島。針對西瓜哇研究的部分，前人在定年工作上有數個第三紀的鉀氫定年結果，並初步討論新生代火山在空間上的分佈；地球化學部分，前人工作僅有全岩主要元素的分析，因此本研究將於西瓜哇地區採樣並進行了更詳細的定年與地球化學分析，從而試取得西瓜哇地體演化架構相關線索，以及西瓜哇各期火山活動之年代。

本研究於西瓜哇採集了新生代之火山岩(共 55 個)，並依照火山和地理位置把樣本分成五群(Danau 火山體、Bayah Dome 北部、Bayah Dome 南部、Gede 火山體、Ciemas 火山體)，進行鋯石鈾鉛定年分析與全岩地球化學分析。鋯石鈾鉛定年初步結果可將西瓜哇的火山岩分兩期，分別為中期中新世(11~17 Ma) 到晚期中新世(5.4~9.9 Ma)及更新世(小於 1 Ma)。空間上的分布：中期到晚期中新世出露在整個 Bayah Dome 地區(南、北部)；更新世火山岩為整個西瓜哇最年輕的火山岩體，主要出露在 Danau 火山體、Bayah Dome 北部和 Ciemas 火山體；從初步結果可得知第三紀的岩漿活動具有由西瓜哇南部向北部，呈現年代愈趨年輕的現象並呼應前人使用鉀氫定年結果之相同推論。另外，在 Bayah Dome 北部具有白堊紀年代約 140 Ma 之繼承鋯石紀錄，並可對比至蘇門答臘同時期的岩漿活動，顯示此岩漿活動由蘇門答臘南延至西瓜哇北部。全岩地球化學中，主要元素指出此區域火山岩主要為鈣鹼質的玄武岩至石英安山岩 ($\text{SiO}_2 = 45\sim 69 \text{ wt.}\%$)；微量元素部分，輕稀土元素對重稀土元素有相對較富集的現象和微鎔負異常，並且呈現高場強元素 (high field strength elements, HFSEs) 虧損，特別是鈮、鉭及鈦(Ti)等元素，以及大離子親石元素(large ion lithophile elements, LILEs)富集，呈現典型的島弧岩漿地球化學特徵。

本研究發現印度—澳洲板塊在西瓜哇地區呈現多階段的隱沒作用，並可將島弧火山的空間分布與噴發時間相聯結，地化部分還有待後續的全岩鋁鈹同位素與鋯石鉛同位素資料獲得後，做更進一步的岩石成因的探討。

中文關鍵字：印尼爪哇、巽他島弧、新生代火成岩、鋁石鈾鉛定年法、全岩地球化學



利用多頻道反射與海底地震儀震測資料分析臺灣海峽北部之沉積層

P 波速度構造

王政揚¹、王天楷¹、魏格¹、馬仙古¹

(1)臺灣海洋大學地球科學研究所

本研究分析 2019 年 6 月在臺灣海峽北部觀音台地(新北市西北外海)收集的十條多頻道反射震測剖面及 6 部海底地震儀震測資料，以建立橫跨觀音台地之沉積層 P 波速度-界面模型。由於 2019 年收集的反射震測資料頻道數(12 頻道)較少，故先比較 2018 年在觀音台地北部收集的 24 頻道反射震測資料，並以此輔助震測資料處理與解釋。海底地震儀震測資料處理則是先進行海底地震儀定位，之後根據多頻道震測剖面的反射面建立初始模型的界面，再進行海底地震儀資料折射波與反射波走時選取。利用逐層反演修正折射波與反射波走時誤差後，建立沉積層 P 波速度-界面模型。從臺灣海峽北部中線附近的十條多頻道反射震測剖面顯示許多分段的正斷層，且在橫跨觀音台地雙程走時 0.52-0.63 秒處探測到前陸基底不整合面。一般而言，觀音台地東南部的前陸基底不整合面深度較觀音台地北部的深度深。在觀音台地的東北側(靠近新北市)也發現一些走滑斷層的花狀結構。從海底地震儀資料折射波和反射波走時反演橫跨觀音台地北部的沉積構造觀測到在前陸基底不整合面附近的 P 波速度(1.9-2.1 公里/秒)有較大的側向變化，其中幾條正斷層在較深的構造穿過前陸基底不整合面。此外，從海底地震儀震測 P 波速度模型可發現觀音台地表層(海床下約 100 米處)P 波速度(1.5-1.6 公里/秒)較小，可能為較鬆軟的淺層沉積層，故不適宜進行海底工程。我們收集的反射與折射震測資料和完成的 P 波速度-界面構造，將有助於臺灣海峽北部的海上風電場，海底電纜和海底隧道的地質評估。

中文關鍵字：前陸基底不整合面、花狀構造、觀音台地、走時反演

台灣西南外海增積岩體高屏峽谷之地形與沉積特徵

張立¹、林殿順¹、許樹坤¹

(1)中央大學地球科學系

高屏海底峽谷源頭與高屏溪出海口相連，將大量台灣從造山帶來的沉積物可直接經由高屏峽谷傳輸至馬尼拉海溝與南中國海蔘海平原。峽谷路徑穿過活躍的馬尼拉增積岩體，因此構造活動對峽谷系統的沉積作用以及峽谷路徑發育有顯著的影響。本研究使用多音束水深資料、反射震測剖面、海床底質剖面及沉積物岩心來討論高屏峽谷沿線的地形、沉積物分布以及構造活動之間的關係。

研究深資顯示高屏峽谷上游是蜿蜒的曲流狀峽谷，但峽谷兩側沒有明顯向上堆積的「堤岸」，故將峽谷兩側以「峽谷邊緣」稱之。峽谷軸部與兩側峽谷邊緣間的高程差(以下以「峽谷深度」稱之)約為 200 至 500 公尺，峽谷軸部平均坡度為-1.78%，由沉積物分布可知濁流主要受限於高屏峽谷內。在高屏溪出海口附近的峽谷源頭所採的岩心中，觀察到因陸上洪泛作用所形成的異重流沉積物。上游峽谷的發育位置受控於泥貫入體發育的影響。高屏峽谷中游的路徑筆直，沿著北北西-南南東走向的分歧斷層發育，峽谷深度約為 500 至 800 公尺，峽谷軸部平均坡度為-1.52%，峽谷中游上段主要是搬運的環境，峽谷軸部有礫石堆積。峽谷西側平台以泥質沉積為主，推測濁流主要仍受限於高屏峽谷內。高屏峽谷下游的峽谷路徑蜿蜒，依據峽谷的路徑幾何特性與沉積特性，本研究將下游分為上部與下部討論。下游上部在地形與震測剖面中可見此區峽谷兩側具有向上堆積的「堤岸」特徵，且曲流狀峽谷經歷側向遷移、曲流帶寬可達 15 公里，峽谷兩側有大量的海底山崩崖。峽谷深度約為 130 至 400 公尺，峽谷軸部平均坡度為-0.64%。峽谷下游上部深度較淺，濁流較容易溢出峽谷堤岸，沉積於峽谷兩側的深海盆地；峽谷西側 15 公里外、高出峽谷周圍深海盆地 170 公尺的海脊上的岩心中也含有大量的濁流沉積物。峽谷下游下部在一系列隆起的海脊間發育，時而穿過海脊、時而蜿蜒於海脊之間。峽谷下游下部最後與澎湖峽谷一同匯入馬尼拉海溝。

中文關鍵字：高屏峽谷、增積岩體、濁流、異重流、沉積物

臺灣海域天然氣水合物及熱液礦產資源調查資料庫介紹

莊閔涵¹、葉影澄¹、林依蓉²、陳松春²、王詠綸²、劉家瑄¹、
許鶴瀚³、陳姿婷³

(1)臺灣大學海洋中心、(2)經濟部中央地質調查所、(3)臺灣大學海洋研究所

自 2004 年中央地質調查所於臺灣西南海域推動天然氣水合物資源潛能調查，以及 2016 年接續推動的東北海域礦產資源潛能調查工作以來，多個工作團隊針對臺灣海域進行資源潛能調查，其中包括反射震測、地熱流、地熱模擬、高解析聲納、磁力、地球化學、海床觀測等各式調查研究工作。為了能有效管理及應用上述各式海域資料，本團隊協助地調所進行各類資料彙整，並負責資料庫建置與維護工作。17 年來，地調所及各工作團隊已在周遭海域執行了 84 個調查航次，收集來的地球物理資料包括總長 26,444.5 公里的反射震測剖面、36,870 公里的海床底質剖面、225 站地熱流量測、約 14,268 平方公里的多音束水深資料、約 2,038 公里的高解析底拖聲納剖面、191 站的海底地震儀觀測，及約 6,834 公里的磁力資料；在地球化學與海床觀測工作方面，共彙整了 551 站的岩心資料，另保存底拖海床觀測影像紀錄、特殊海床觀測影像及水下遙控無人載具調查的觀測影片、採樣紀錄與溫度資訊。另外，透過岩心及水樣分析、解釋，也收錄了多個岩心之基本描述、沉積物粒徑、地化特性、礦物組成、磁學性質以及間隙水地化資訊等多種分析資料。為能有效管理上述資料，本資料庫利用地理資訊系統的建置，將各項資料進行數位化，並依據不同資料屬性、需求目的、工作年度及主題目錄建立資料圖層；同時通過資料的大數據整合將空間資訊進行視覺化工作，展示巨量資料的分析成果，並藉由地理資訊系統的優勢及圖資平台的發佈，發展相關的加值服務。另外針對多元的地球化學量化分析資料，則是再建置 MySQL 關聯式資料庫協助管理，讓地化分析資料的更新更趨完整。未來也希冀能透過學術合作工作的推動，讓這些珍貴的海域調查資料能發揮更高的價值。

中文關鍵字：天然氣水合物、熱液礦產資源、海洋資料庫、地理資訊系統

台灣西南海域古水道之震測反射特徵與演育

涂嘉勝¹、許庭瑄¹

(1) 臺灣中油公司探採研究所

古水道之演育與分布在油氣探勘上有重要意義，因水道除了可作為沉積物輸送管道之外，其下切侵蝕作用形成之空間內也可充填水道沉積物，這些充填沉積物可能為細砂、粗砂、礫石混合組成，成為具探勘潛力之油氣儲集岩，且在其側向與垂向上可因泥質沉積物存在而成為封阻，形成油氣封閉構造。

台灣海域早期（1990 年代）的反射震測資料，因受當時軟硬體之限制，其震測資料處理流程與方法大多較簡易，使得最終震測成像結果與現今處理方法所得之結果有明顯差異，造成許多有地質意義之沉積特徵在早期的震測資料成像中並不容易被觀察到。本研究使用位於台灣西南海域 F 構造東側之早期二維震測資料，利用重合前時間移位法（PSTM）之重處理剖面並進行解釋後，於中新世地層頂部發現一系列呈低連續性、中至高振幅之反射特徵，此反射特徵具明顯受後期水道切蝕，且其頂部以侵蝕面與上新世地層接觸，推論此套地層應為處於大陸棚上受後期水道侵蝕之三角洲或水下扇沉積。自上新世開始，研究地區地層開始快速增厚，且越年輕地層其水道發育也越活躍，水道側向移棲與垂向疊加特徵也更明顯，以上這些結果可作為未來在尋找探勘目標之參考。

中文關鍵字：震測、水道、儲集岩



Stress magnitude and orientation estimations with logging data in a deep coal-bearing formation near Shimokita, Japan

Hung-Yu Wu¹、Weiren Lin²、Yoshinori Sanada³

(1)Department of Resource Engineering, National Cheng-Kung University、(2)Graduate School of Engineering, Kyoto University、(3)Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Borehole C0020A, near the Shimokita Peninsula, Japan is located in a forearc basin that formed as a result of subduction between the Pacific and North American plates. This borehole was drilled during the IODP 337 expedition that collected high-resolution wire-line resistivity logging, caliper data, geophysical properties measurements, and core samples. Riser drilling operations produced good borehole conditions to the depth of 2480 mbsf. Based on high-resolution Formation MicroImager (FMI) images, breakouts and tensile fractures are observed along the borehole wall to indicate in-situ stress orientations and magnitude. Here we construct a geomechanical model from the observation of borehole failure and the physical properties measured from wire-line logging in the coal-bearing formations. This model provides a stress orientation and magnitude profile with the depth. The bottom hole leak-off test revealed the magnitude of minimum horizontal principal stress (S_{hmin}) and is consistent with our model. To satisfy the occurrence of borehole enlargements and tensile fractures, the orientation of horizontal maximum principal stress is pointed to NE-SW, and stress magnitude was inferred to be within the normal-faulting stress regime.

Keywords: Shimokita, breakout width, stress state

臺灣海峽離岸風場之海域地質環境優勢與挑戰

蘇品如¹、陳松春¹、林依蓉¹、邵屏華¹、許鶴瀚²、劉家瑄²、謝獻祥²

(1)經濟部中央地質調查所、(2)臺灣大學海洋中心

臺灣離岸風電正如火如荼發展，然而，地質不確定性常為離岸風電最大成本變因，影響設計、時程、施工方法等，因此對地質環境的深入了解，是風場開發不可或缺的資訊，也是極為重要的國土資料。已公告的潛力風場集中於彰化、雲林外海由濁水溪口向西北方向延伸的彰雲砂脊，地震、颱風及洪水頻仍，易有事件性的沉積作用，加上海流效應，海床地貌並不穩定。藉由精密水深資料發現：廣泛分布在彰雲砂脊、澎湖水道、梧棲外海及觀音凹陷等處海床的沙波有東西向遷移的特徵，位移距離可高達約 100 公尺/年，如以波高 10 公尺計算，沙波飄移對海床地形可能造成± 10~20 公尺的差異。此外，這些未固結的近代砂質沉積物快速堆積，在沉積層內部往往形成過飽和壓力環境，在遭受地動時極易產生液化，在傳統震測和電火花剖面中也已觀察到流體煙囪現象。從震測剖面則發現彰濱海域有許多正斷層分布，目前在彰濱外海發現超過 100 條的正斷層，部分切穿過末次冰期不整合面，尤其西彰雲沙脊西側，沉積盆地地層厚度向西漸薄，部分正斷層切穿至近海床處。竹苗外海在淺部地層也有逆衝斷層活動，新竹陸域的 3 條活動斷層(湖口斷層、新竹斷層、新城斷層)是否往西南延伸進入風機場址海域，仍需進一步調查確認。震測剖面中尚可發現澎湖北方海域疑似有火成岩侵入特徵，火成岩或斷塊構造高區或可提供穩定的地層面供風機架設，然而分布範圍仍須釐清，以免貿然鑽井造成機具損壞。綜上，海域地質仍需更詳細地調查及彙整解釋，以釐清風場海域地質安全議題，需由政府和風電廠商共同努力。

中文關鍵字：離岸風電、海域地質環境

New application of inspection technology of materials engineering in gemology: Coated synthetic moissanite

Tsung-Jen Wu¹、Sheng-Rong Song¹、Wen-Shan Chen¹、Wen Lin²、
Chien-Tai Cheng³、Hui-Jun Ji⁴

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、(2)Department of Materials and Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology、(3)Department of Materials Science and Engineering, National Taiwan University、(4)School of Materials Science and Engineering, Shanghai University

Synthetic silicon carbide (Moissanite) is a diamond substitute that has some physical properties similar to natural diamonds, such as the refractive index and specific gravity. Some colored silicon carbide samples on the microscope will appear the uneven distribution of color on the surface, and the color is highly concentrated around the edge in diiodomethane solution. Generally, an interface layer will be added between the coating layer and the matrix to avoid agglomeration of coating material by surface energy. Therefore, we can be inferred that they are coated samples. The examination using the ED-XRF for color and colorless samples that more elements of V, Co, Mn, Cu were detected in blue silicon carbide (colorless ones were without those four elements). Inspection by AIS + AES method, since the substrate is silicon carbide, it can be found that the distribution of oxygen decreases rapidly below the depth of 45-55 nm from the surface, while the proportion of carbon increases rapidly, and vanadium also decreases rapidly around the depth of 45-55 nm. It clearly shows that the coated layer is a silicon dioxide film doped with vanadium with a thickness being about 45-55 nm. High-resolution analyzed results from FIB + AC-TEM + EELS methods are consistent with AIS + AES methods. EPMA testing result of coated layer contains trace element: V and Co, which can make up for the problem of undetectable trace elements in AIS+AES and FIB + AC-TEM + EELS methods.

Keywords: coating, coated, SiC, moissanite

淺談深水沉積系統陸源有機碳的傳輸與堆積 - 以台灣西南海域高屏

海底峽谷系統中段堤側區域為例

俞舜文¹、林殿順²、蔡龍珩³、林殷田¹、簡至暉¹、張詠斌⁴、
林玉詩⁴、黃美惠⁴、陳松春⁵、蘇品如⁵

(1)臺灣中油公司探採研究所、(2)中央大學地球科學系、(3)中央大學應用地質研究所、
(4)中山大學海洋科學系、(5)經濟部中央地質調查所

在傳統的觀念中，河流傳輸的陸源有機碳(Terrigenous Organic Carbon)大多堆積於三角洲或陸棚環境中，僅有少量陸源有機碳會被傳輸並堆積於深水環境中；然而，近來越來越多的研究發現，在深水沉積系統的沉積物中仍然有大量的陸源有機碳存在(如美國的墨西哥灣與非洲的剛果深水沉積系統)。因此，研究深水沉積系統陸源有機碳的傳輸與堆積，將有助於全球碳循環(Global Carbon Cycle)模式的建立；此外，深水沉積系統中的陸源有機碳可為油氣生成的來源，故研究深水沉積系統陸源有機碳的堆積模式，亦將有助於深水石油系統的探勘。本研究利用經濟部中央地質調查所於 2010 年時，租用法國 Marion Dufresne 研究船在高屏峽谷中段西部堤側所採集的巨型活塞岩心 MD178-3291 為研究材料，對末次冰期以來高屏海底峽谷系統中段堤側區域陸源有機碳的傳輸與堆積進行討論。本研究進行的分析項目包括：整體岩心的岩性描述、沉積物中有孔蟲的碳十四定年、沉積物的總有機碳(TOC)與氮(TN)含量分析，以及有機質的穩定碳同位素分析。結果顯示，在 26,000 年至 17,000 年前，沉積物有機碳的含量大多大於 0.60% (最高可達 0.77%)，且有機質穩定碳同位素的 $\delta^{13}\text{C}$ 值則介於 -22.0 ‰ 至 -23.0 ‰ 之間；而在海水面開始加速上升(約 17,000 年前)至 12,000 年前，沉積物有機碳含量的值逐漸變小(約由 0.70% 降至 0.55%)，且有機質穩定碳同位素的 $\delta^{13}\text{C}$ 值約由 -22.50 ‰ 變輕至 -24.50 ‰，顯示此時期沉積物有機碳含量雖然逐漸減少，但陸源有機碳的供應卻逐漸增加，造成這種現象的原因可能是因為海水面開始加速上升，高屏峽谷系統的沉積與侵蝕平衡剖面開始進行調整、上部斜坡的侵蝕作用增加，使得原本堆積在上部斜坡的碎屑沉積物與陸源有機碳因受到侵蝕而被進一步再搬運至較水深處堆積，增加了高屏海底峽谷深水區域的陸源有機碳供應量，但又由於碎屑沉積物的供應量亦同時增加，因此稀釋了沉積物中有機碳的含量(沉積物有機碳含量變小)。而後，在 12,000 年前迄今，高屏海底峽谷系統中段堤側區域沉積物的有機碳含量與有機質穩定碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值的變化雖又趨於穩定，但有機碳含量與 $\delta^{13}\text{C}$ 的值皆仍較 26,000 年至 17,000 年前的值小，顯示此時期峽谷系統雖然沒有沉積與侵蝕平衡剖面的調整作用，但仍有較多的碎屑沉積物與陸源有機碳供應，這可能是由於在 12,000 年前開始，陸上強降雨件事開始變為頻繁，增加了高屏海底峽谷系統強濁流事件的發生，因此加強了深水區域陸源有機碳的供應。綜上所述，控制高屏峽谷系統深水區域陸源有機碳的傳輸與堆積的因素，除了海

水面的變化外，氣候造成的因素(如陸源沉積物供應的變化)亦為另一重要原因。

中文關鍵字：高屏海底峽谷、深水沉積系統、陸源有機碳



「南沖繩海槽斷層及火山分布」地質主題圖繪製

林依蓉¹、陳松春¹、王詠綸¹、蘇品如¹、邵屏華¹、楊懿丞²、
許鶴瀚²、劉家瑄²、許樹坤³

(1)經濟部中央地質調查所、(2)臺灣大學海洋中心、(3)中央大學地球科學系

經濟部中央地質調查所於 105 年開始推動四年期的「臺灣東北海域礦產資源潛能調查」科技發展計畫，運用國內現有的海域地質調查方法與探測技術，分年擇區於臺灣東北海域南沖繩海槽進行地質調查工作。計畫自 108 年結束，共計完成面積約 4,800 平方公里的多音束水深探測、測線長度約 3,292 公里的多頻道反射震測探測，及測線長度約 955 公里的底拖側掃聲納暨底質剖面資料。臺灣東北海域的南沖繩海槽，為菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞板塊所形成的弧後張裂盆地，水深以海槽中心最深，海槽中心分布有數條東-西走向的海床線形構造，亦可清楚辨識出數個明顯的火山地形，部分火山錐體清晰可見；由南-北向橫跨海槽中心的震測剖面，可以發現南沖繩海槽有一張裂中心，張裂中心南北兩側分布許多正斷層，並且北側的正斷層往南傾，南側的正斷層往北傾，呈一地塹形貌，將此區域命名為中央地塹，中央地塹亦可觀察到大量的火成岩體出露，往西則火成活動漸減，海槽亦逐漸收窄消失，取而代之的則是受到東北-西南向正斷層陷落造成的宜蘭海脊北嘴，在最西側的宜蘭陸棚仍是以東北-西南走向之正斷層為主，而西北側的基隆陸棚，則分布東北-西南走向之南傾正斷層。本研究藉由分析震測剖面，判釋出噴出火山及切穿海床之斷層位置，並依據地形分析，進行火山範圍之圈繪以及斷層位置之側向連接，最後繪製出臺灣東北海域南沖繩海槽的斷層及火山分布地質主題圖，並規劃於 111 年出版。未來經濟部中央地質調查所也將持續進行海域地質及資源調查，完善海域地質基礎資料，以作為政府藍色國土規劃、資源永續經營與防、救災計畫的基本參考依據。經濟部中央地質調查所於 105 年開始推動四年期的「臺灣東北海域礦產資源潛能調查」科技發展計畫，運用國內現有的海域地質調查方法與探測技術，分年擇區於臺灣東北海域南沖繩海槽進行地質調查工作。計畫自 108 年結束，共計完成面積約 4,800 平方公里的多音束水深探測、測線長度約 3,292 公里的多頻道反射震測探測，及測線長度約 955 公里的底拖側掃聲納暨底質剖面資料。臺灣東北海域的南沖繩海槽，為菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞板塊所形成的弧後張裂盆地，水深以海槽中心最深，海槽中心分布有數條東-西走向的海床線形構造，亦可清楚辨識出數個明顯的火山地形，部分火山錐體清晰可見；由南-北向橫跨海槽中心的震測剖面，可以發現南沖繩海槽有一張裂中心，張裂中心南北兩側分布許多正斷層，並且北側的正斷層往南傾，南側的正斷層往北傾，呈一地塹形貌，將此區域命名為中央地塹，中央地塹亦可觀察到大量的火成岩體出露，往西則火成活動漸減，海槽亦逐漸收窄消失，取而代之的則是受到東北-西南向正斷層陷落造成的宜蘭海脊北嘴，在最西側的宜蘭陸棚仍是以東北-西南走向之正斷層為主，而西北側的基隆陸棚，則分布東

北-西南走向之南傾正斷層。本研究藉由分析震測剖面，判釋出噴出火山及切穿海床之斷層位置，並依據地形分析，進行火山範圍之圈繪以及斷層位置之側向連接，最後繪製出臺灣東北海域南沖繩海槽的斷層及火山分布地質主題圖，並規劃於 111 年出版。未來經濟部中央地質調查所也將持續進行海域地質及資源調查，完善海域地質基礎資料，以作為政府藍色國土規劃、資源永續經營與防、救災計畫的基本參考依據。

中文關鍵字：南沖繩海槽，斷層，海底火山



Tectonics of the Hualien Ridge and offshore extension of the Milun Fault

Lien-Kai Lin¹、Shu-Kun Hsu¹、Ching-Hui Tsai²、Yi-Ching Yeh¹、
Shiou-Ya Wang¹、陳冠廷¹、陳松春³、林筱珊²

(1)Department of Earth Sciences, National Central University、(2)Center for Environmental Studies,
National Central University、(3)Central Geological Survey, MOEA, Taiwan

Located in eastern Taiwan, the Longitudinal Valley is generally considered as the collisional suture between the Philippine Sea and the Eurasian plates. To the northeast, the Philippine Sea Plate is generally considered to have subducted beneath the Ryukyuan Arc. The corner between the eastern Taiwan and the Ryukyuan Arc system is the transition from the plate collision to plate subduction of the Philippine Sea Plate. In consequence, the tectonics is complicated and the earthquakes are rather frequent. In this study, we use marine geophysical data to study the submarine Hualien Ridge that is situated in this plate collision/subduction transition. The Hualien Ridge is the offshore portion of the inland Milun Tableland; the Milun Tableland is uplifting and is bordered in the west by the active Milun Fault. Our results show that the Hualien Ridge can be tectonically divided into the active southern Hualien Ridge and the inactive northern Hualien Ridge. Several active faults trending $\sim N30^{\circ}E$ exist in the southern Hualien Ridge; some faults could be linked to the active faults in the Milun Tableland. The structures in the southern Hualien Ridge and the Milun Tableland display a pop-up structure that is subject to the oblique compression from the northwestward collision of the Philippine Sea plate. Moreover, the $\sim N30^{\circ}E$ trending structural faults are the results of the transpressional fault system. However, the Milun Fault, the western boundary of the fault system, probably terminates near $24^{\circ}04'N$, where a pronounced bathymetric structure trending $N300^{\circ}$ exists. On the other hand, in the northern Hualien Ridge we can only observe several blind normal faults covered by ~ 100 m thick sediments. Overall, the distinct separation of tectonic activity in the Hualien Ridge marks the transition from the actively plate colliding (convergence) to inactively convergence or partially subduction of the Philippine Sea Plate relative to the Eurasian Plate.

Keywords: Hualien ridge, collision, subduction, sparker reflection seismic, Milun Fault

臺灣北方海域棚坡區海床形貌的成因探討

鍾承峻¹、許鶴瀚¹、張日新¹、楊懿丞²、陳姿婷¹、劉家瑄²、
林依蓉³、陳松春³

(1)臺灣大學海洋研究所、(2)臺灣大學海洋中心、(3)中央地質調查所

海床的形貌反應了不同地質及構造作用影響，臺灣北方海域地處東海陸棚與陸坡區，平均水深小於 300 公尺，東南側與南沖繩海槽接鄰，西、北側是平緩的東海陸棚。過去研究指出，此區大地構造由臺灣造山帶的後造山垮塌及沖繩海槽弧後擴張所主導，但其細部地形特徵與地體構造的關聯性卻少有討論。本研究利用多音束水深及多頻道反射震測資料，進行地形與震測相分析，嘗試了解海床的構造型態，並將臺灣北方海域區分為基隆內陸棚區、基隆外陸棚區與北方三島區進行探討。在基隆外陸棚區，水深資料顯示海床線型特徵皆為東北-西南向，延伸長度可大於 10 公里；在震測剖面上，海床線型特徵大多有可對應的斷層構造，而斷層構造鄰近的反射則有強振幅、混亂相等特徵。在基隆內陸棚區，海床上不但有東北-西南向以及西北-東南向兩組不同走向的線型特徵，尚有環狀特徵的分布；在震測剖面上，除了亦可觀測到與海床線型特徵相對應的斷層構造、以及斷層構造周圍強振幅與混亂相等特徵之外，也有觀察到噴出火山構造之特徵。在北方三島區，則以西北-東南向(長度<10 公里)的線型特徵以及環狀特徵為主；在震測剖面上，除了強振幅與混亂相的反射特徵不限於斷層構造周圍，以及噴出火山構造特徵之外，我們同時發現有部分區域的深部地層影像被近海床之訊號遮蔽。根據水深與震測資料的分析結果，我們推測海床上的線型特徵主要反映切穿海床的斷層構造，走向上以東北-西南向為主、西北-東南向為次；而根據線型特徵在走向和長度上的差別，則可能為主要斷層構造以及因其相互接續所造成的次生構造。環狀特徵則可能與崩塌有關，推測是受斷層錯動或是破火山口機制所導致。而剖面中強振幅、混亂相與訊號遮蔽區域推測為火成岩體及熔岩流覆蓋海床造成。我們的觀察說明了臺灣北方海域之海床與地層正受到活動斷層與火成作用的影響。

中文關鍵字：臺灣北方海域、海床構造形貌、多頻道反射震測、多音束水深資料

利用海底形貌與震測特徵探討棉花峽谷的沉積型態

黃靖芸¹、許鶴瀚¹、張日新¹、林亮甫²、陳姿婷¹、劉家瑄²、
陳松春³、林依蓉³

(1)臺灣大學海洋研究所、(2)臺灣大學海洋中心、(3)中央地質調查所

棉花峽谷位於臺灣東北外海，其上游有東西兩支流，在峽谷中段匯合為一主流，然而過去因資料限制，對於棉花峽谷的地形、地層特性與相關構造對峽谷演化的作用仍未能完全瞭解。本研究藉高解析水深與多頻道反射震測資料，檢視棉花峽谷的地形與構造特徵，並討論峽谷地形受沉積及構造作用的影響。棉花峽谷自西支流頭部至陸坡底部全長約 136 公里，且東西兩支流形貌差異大：東支流長約 22 公里，由水深 600 公尺處發育，寬約 1.2 至 5 公里，下切深度約 120 至 380 公尺，頭部的數個小分支皆從一崖狀地形發育，其下段有小型曲流、數個半月型崩面及階地的分布，屬陸坡限制型峽谷；西支流長約 86 公里，由水深 200 公尺處發育，寬約 0.6 至 4 公里，下切深度僅 35 至 207 公尺，支流上段下切淺、地勢起伏小且流徑蜿蜒，屬陸棚嵌入型峽谷。東支流的震測剖面顯示少量沉積物堆積，谷壁兩側的地層多被截切，有許多斷層與斷塊分布在東支流以及兩支流交匯處底下，在東支流的兩側亦可發現被掩埋的古峽谷；西支流的震測剖面中，沉積物幾乎沒有堆積，在支流中段可能因熔岩流分布造成海床堅硬，使得訊號難以穿透至下部地層，在震測剖面上呈反白震測相；相較於東西兩支流，主流軸部水道兩側堆積了大量沉積物，應為多期的自然堤。本研究藉地形及震測資料的分析，推測東支流及頭部的數個分支可能是沿斷層間的斷塊或由斷層所觸發的塊體運動所形成，以旺盛的侵蝕作用為主，沉積物堆積較少；西支流上段可能為沿海床熔岩流造成的局部起伏所形成，但因地層堅硬而無法深切，支流下段無熔岩流分布，亦以侵蝕作用為主，才形成現今的峽谷形貌；主流兩側除了有厚層沉積物堆積，還有數個階地與崩移塊體分布，顯示主流目前以堆積作用為主。初步的成果也顯示被掩埋的古峽谷與現今峽谷的分布範圍並不相同，然而對於古峽谷的成因與現今峽谷的演化還需要進一步的分析與討論。

中文關鍵字：海底峽谷、多音束水深、反射震測、棉花峽谷、臺灣東北海域

利用海底地震儀與多頻道反射震測資料分析臺灣海峽中段之沉積層

P 波速度構造

蘇永祥¹、Sebastian Wege¹、王天楷¹、戚務正²

(1)臺灣海洋大學地球科學研究所、(2)中央研究院地球科學研究所

臺灣海峽中部的沉積構造，包括臺西盆地，南日島盆地，澎湖盆地等，都有活躍的斷層構造，值得研究。這項研究的目的是了解斷層的分佈，並協助對臺灣海峽中部深海(大於 50 公尺深)風電場的海底工程進行地質評估。首先，從 2017 年在臺灣海峽中部收集的多頻道反射震測和海底地震儀資料，以建立 P 波速度和斷層的沉積構造。根據海底地震儀資料走時反演烏坵凹陷與澎湖台地之間的 P 波速度-界面模型發現基盤上下錯動造成約 0.8 公里落差的正斷層帶，推測為濱海斷裂帶。位於烏坵凹陷西北側與金門隆起的交界發現 P 波速度(5 公里/秒)低速帶，形成不對稱的半地塹構造。我們認為臺灣海峽中部的濱海斷裂帶不但有右移走滑斷層，並重新激發先前存在的正斷層。此外，分析 2020 年 6 月新海研二號 007 航次跨越南日島盆地的 8 部海底地震儀資料折射和反射波走時反演 2 公里深的 P 波速度-界面模型與 9 條多頻道反射震測剖面，我們發現淺層沉積層(0.1-0.9 公里深)的 P 波速度為 1.5-2.3 公里/秒，較深層(0.8-1.5 公里深) P 波速度則為 3.5-4 公里/秒。此反演模型也顯示位於南日島盆地東南側深度 0.8-1.5 公里的 P 波速度(4 公里/秒)較高，可能是緊鄰東南側的邊界斷層所導致。南日島盆地西北側淺層(0.5-0.7 公里深)沉積層 P 波速度(2.5 公里/秒)高速帶，則可能是受到通過沉積層的正斷層影響。

中文關鍵字：斷層構造、前陸盆地、濱海斷裂帶、南日島盆地

由海底地震儀資料探討南沖繩海槽之熱液活動特性

黃安婕¹、林靜怡¹、K.I. Konstantinou¹

(1)中央大學地球科學系

沖繩海槽是琉球弧溝系統作用所造成的弧後擴張盆地，在這樣張裂性的地質作用區域內常有活躍的火成和熱液活動。在過去的研究中，利用地球物理(震測、重力和磁力)、地質(岩石採樣)和實際水下觀測方法，也在南沖繩海槽內發現許多有潛力的熱液活動場址，包含火龍火山 1、火龍火山 2、石林隆堆、蓬萊斷層帶及第四與那國海丘場址等。但這些方法對於熱液相關活動分析所能涵蓋區域通常較小或是無法長期持續觀測。海底地震儀，具備一個水聽器及三分量的地動儀，可以用來持續監測天然地震及各種地動訊號，本研究即希望利用海底地震儀資料分析，來對於這些熱液活動資訊有更進一步了解。本研究分析了 2017 年 OR2-2231 航次於南沖繩海槽佈放的 6 個海底地震儀資料，記錄時間從 2017 年 4 月 7 日至 4 月 18 日，共 12 天。資料時頻分析顯示其中 3 個海底地震儀有記錄到諧波震顫(harmonic tremor)，一種常被認為與流體在火山內部的共振或火山氣體的排放有關的訊號。在測站距離小於 4 公里的情況下，諧波震顫只被單一個海底地震儀記錄，推測諧波震顫應該是由局部的活動造成。為了瞭解諧波震顫的震源特性，本研究也透過火山震顫模擬測試不同物理參數下產生的不同火山震顫，結果顯示諧波震顫在火山氣體週期性供應時才會產生。透過訊號來源定位分析搭配前人研究南沖繩海槽內部的噴氣構造位置，發現諧波震顫訊號來源與海槽內噴氣構造及海底火山的位置對應良好，且相同時段發生的諧波震顫不一定來自同一個方向，可能是熱液系統內流體遷移造成的結果。

中文關鍵字：沖繩海槽、諧波震顫、熱液活動、海底地震儀

從 10 秒邁向 7 秒的地震預警系統

陳達毅¹

(1)中央氣象局地震測報中心

地震預警系統能在災害性的地震波抵達前提出警報，讓民眾預先採取防範措施以避免或降低破壞性震波所造成的災害。地震預警是目前最有效的防震減災手段，經過 20 年研究與測試，中央氣象局於 2014 年開始將地震警報發送給學校及防災單位，2016 年開始透過手機簡訊與電視台新聞頻道發送警報給全國民眾。為了讓近震央區也能夠擁有預警時間，嘗試以現地型地震預警技術，建立六都客製化地震預警系統。在此 4 年期計畫中將分年建置，依序為雙北、臺南高雄、臺中及桃園。計畫完成後，都會區民眾不僅可以接收到原有的 10 秒地震預警系統資訊，也可以接收到現地型客製化地震預警系統資訊。若不考慮警報從氣象局發出去之後中間經過電信業者轉傳的時間，僅考慮氣象局送出警報的時間，2020 年 4 月上線的 10 秒地震預警系統，平均而言地震後約 10 秒可從氣象局發布地震警報，其中花費的時間歷程包含：資料傳輸延遲約 1.5 秒、採用 P 波計算規模約 3 秒、系統解算時間約 1 秒、訊息傳遞時間約 1 秒，剩下 3.5 秒為系統等待觸發測站的時間。系統在接收到 4 個觸發測站之後開始到第一個解算結果，為求穩定，目前採用第三個解，用來對外發布警報。平均而言，到第三個解時，系統需蒐集 6 個以上的觸發測站。因此可以說，為了達到 10 秒地震預警，必須在 3.5 秒內至少蒐集 6 個觸發測站。以 P 波每秒 6 公里的速度計算，必須在離震央 21 公里的範圍內有 6 個能正常運作的地震站，才能達到 10 秒地震預警的目標。換句話說，此等待觸發測站的 3.5 秒時間內，若地震觀測網的密度很高，只要 1 秒就能夠蒐集到 6 個站，則地震預警時間為資料傳輸延遲約 1.5 秒，加上採用 P 波計算規模約 3 秒，加上系統解算時間約 1 秒，加上訊息傳遞時間約 1 秒，共 7.5 秒。2020 年 4 月上線的 10 秒地震預警系統，屬於區域型地震預警模式，在目前的系統架構下，發布警報所需的固定時間成本為：資料傳輸延遲約 1.5 秒、採用 P 波計算規模約 3 秒、系統解算時間約 1 秒、訊息傳遞時間約 1 秒等，共約 6.5 秒。參考附圖，6 都地震觀測網在提高密度之後，大部分情形都可在 1 秒左右蒐集到 6 個以上地震站，因此有機會將地震警報發布時間由地震後 10 秒縮短至 7 秒左右。另一個將地震警報發布時間由地震後 10 秒縮短至 7 秒左右的主要原因來自於演算模式的改變，先前採取區域型地震預警模式，利用最靠近震央的觀測站，於地震發生之後快速決定地震震源參數，根據這些參數預估遠離震央處各地的震度，再針對預估震度大於預設門檻的地區發布警報。若改採現地型地震預警模式，則不需要解算地震震源參數，僅採用 P 波 3 秒資訊預估隨後抵達震波的震度，此方法速度較快但是誤差較大。為了降低誤報，須採用多個測站共同驗證再發布警報(假設為 3 至 5 個站同時預估震度達發布門檻)。因此，若所需固定的時間成本與區域型模式相同，皆為 6.5 秒，於 1 秒內只要能取得 3 至 5 個站所預估的震度達發

布門檻，就能夠完成 7 秒地震預警的目標。最後一項達成 7 秒地震預警目標的努力方向為，縮短目前的系統架構下發布警報所需的固定時間成本。降低傳輸延遲 0.5 秒，P 波計算規模取 2 秒，訊息傳遞時間縮短 0.5 秒等，在此理想狀況下，所需的時間成本將降低為 4.5 秒，比現行系統所需 6.5 秒快 2 秒。六都客製化地震預警系統，就是要實作現地型模式的地震預警系統，再搭配上地震密度的提升(於六都地區增加 103 個地表強震站)，以及藉由新建置的井下地震站(於六都地區增加 30 個站)所提升的訊號品質，不僅讓現地型模式的地震預警系統更能夠發揮，也讓原來區域型模式的地震預警系統有機會再縮短警報發布時間。未來地震預警系統，於區域型與現地型模式共同運作下，應有機會完成 7 秒地震預警系統。

中文關鍵字：地震預警、井下地震站、強震站、現地型地震預警



西南太平洋索羅門群島地區之大地應力變化

羅仲宏¹、簡珮如²、曾泰琳¹、黃柏壽²、陳于高³

(1)臺灣大學地質科學系、(2)中央研究院地球科學研究所、(3)中央研究院環境變遷研究中心

為探討索羅門群島雙島鏈之斷層構造及區域應力的分布與隱沒系統的關聯，本研究參考 Global Centroidal Moment Tensor (GCMT) 的中大規模 ($M \geq 4$) 震源機制解，並進行應力反演。根據 GCMT 震源的空間分布，我們將索羅門群島大致區分為北方島鏈一區和南方島鏈沿著 San Cristobal Trench 的索羅門海段、中部西省區域以及東部瓜島三個區。北方島鏈地區的最深震大約為 180 km，反映出 90 Ma 太平洋板塊向南隱沒到澳洲板塊下的遺跡。20 Ma 隱沒反轉後，澳洲板塊開始向北隱沒至太平洋板塊下方，其中索羅門海區域的地震深度可達 500 km，有著 roll-back 的隱沒特徵。接著往東為新生的板塊隱沒，因此中部西省地區卻僅有 50 km 的中淺震，直到東部瓜島地區才又出現 140 km 的隱沒帶深震。分析沿著海溝的不同震源機制解，整體地震群的 P 軸走向同板塊聚合方向，但淺部 (<50 km) 的 T 軸卻有不同。索羅門海區域的 T 軸在海溝南方因有 outer rise，T 軸方向也同板塊聚合方向，向北跨越海溝後 T 軸則呈現 down-dip compression 的型態。中部西省區域的 T 軸卻平行海溝，且無 outer rise。東部瓜島地區則又出現 outer rise，跨越海溝後 T 軸則呈現 down-dip extension 的樣貌。我們首先針對中部西省區域的地震進行應力反演，結果顯示最大主應力 σ_1 與板塊聚合方向一致，而 σ_2 與 σ_3 的大小相近，顯示出該地震源機制的型態在走向滑移與逆斷層之間互換。後續將會進行其他地區的地震源機制應力反演，並且拓展震源機制解算區域至巴紐地區與北東加地區。未來亦將結合近期於群島上布設的兩大地震觀測網，持續評估測站資料品質，並使用台灣所發展之地震矩張量逆推法，求解之震源機制，評估速度模型及結果穩定性，嘗試建立一適合該區域之全波形逆推流程。

中文關鍵字：索羅門群島、震源機制、應力反演

臺灣東北外海碰撞系統之中、深源地震特性研究

黃怡陵¹、黃瑞德²、莊宜珊³、張文彥⁴、林祖慰⁵、林采儀²、林瓊瑤²

(1)臺灣海洋大學地球科學研究所、(2)中國文化大學地質學系、(3)臺灣海洋大學附屬基隆海事高級中等學校、(4)東華大學自然資源與環境學系、(5)中央氣象局地震測報中心

本研究使用世界觀測網(IRIS DMC)之遠震 P 波資料，挑選震矩規模 5.5(含)以上，發生於臺灣東北外海碰撞系統內之中、深源地震進行震源參數特性研究。分析演算所得之震源參數與 USGS 和 GCMT 之結果相較顯示，在深度解上，本研究的結果與這兩大單位的解非常一致，但在震矩的估算上，本研究的結果都偏低。在斷層面解的比較上，本研究結果與兩大單位的解大部份十分一致，但有三個特殊事件三方結果呈現差異。本研究目前的結果中並沒有估算破裂方向性對震源歷時的影響，此時求得的震源歷時為平均震源歷時，由震源歷時與地震矩關係結果得知，本研究的估算結果介於前人估算所得的關係式之間(參見 Kikuchi and Ishida, 1993; Singh et al., 2000; Hwang et al., 2018)，此結果顯示此研究區域的構造十分複雜，並非典型的隱沒構造。震源歷時與深度關係結果顯示此兩參數沒有顯著的相關性，平均震源歷時大約 5 秒，這與前人研究結果不甚一致(參見 Bos et al., 1998; Houston et al., 1998; Tocheport et al., 2007)，再次顯示此區域構造的複雜性，此也隱含著，即使估算的是平均震源歷時，震源的破裂方向性也仍需要被考量。

中文關鍵字：震源深度、震源歷時、地震矩

初探台灣地區中、大規模地震拐角頻率(f_c)與地震矩(M_0)之關係

黃瑞德¹、陳柏融¹、林瓊瑤¹、黃怡陵²、張文彥³、林采儀¹、
林祖慰⁴、張若磐⁵

(1)中國文化大學地質學系、(2)臺灣海洋大學地球科學研究所、(3)東華大學環境學院暨自然資源與環境學系、(4)中央氣象局地震測報中心、(5)臺南應用科技大學通識教育中心

本研究分析台灣地區中、大規模地震的震源時間函數頻譜，並以 w^{-2} 震源模型調查地震矩(M_0)與拐角頻率(f_c)的關係，藉此進一步了解台灣地區地震是否具有震源自相似特徵(靜應力降(D_s)與 M_0 無關)，以及震源上揚時間、破裂時間與整個震源歷時的比例關係。結果顯示 $M_0 \sim f_c^{-2.54}$ ，偏離震源自相似下的 $M_0 \sim f_c^{-3}$ ，但符合 $M_0 \propto f_c^{-(3+\epsilon)}$ ($\epsilon \approx 1.0$; Kanamori and Rivera, 2004, BSSA)，然而 $M_0 \sim f_c^{-2.54}$ 並不能說明 D_s 隨 M_0 增加而增加的現象(Oth, 2013, EPSL)，因此，本研究認為 $M_0 \sim f_c^{-3}$ 可以成立，但是在 $D_s V_r^3$ 為定值的條件下(V_r 為破裂速度)。最後，本研究得到 M_0 與 f_c 的最佳關係為 $M_0 = 0.28 * 10^{16} f_c^{-3}$ (M_0 單位為 Nm， f_c 單位為 Hz)。比對先前有關台灣震源歷時與 M_0 的研究(Hwang et al., 2020, PAGEOPH)，平均上得到震源破裂時間與整個震源歷時的比值約為 0.88，也就是震源上揚時間約是整個震源歷時的 0.12 倍，符合一般中、大規模地震的觀測。本研究初步結論台灣地區中、大規模地震並不具有震源自相似特徵，但仍維持 $M_0 \sim f_c^{-3}$ 的關係。

中文關鍵字：震源時間函數、地震矩、拐角頻率、 w^{-2} 震源模型、震源自相似性、破裂時間、上揚時間

中央氣象局新一代地震測報系統設計與規劃構想

陳達毅¹

(1)中央氣象局地震測報中心

中央氣象局地震測報系統是臺灣在地震活動監測、地震警報發布與地震資料蒐集上面一套重要的系統，涵蓋範圍包括：資料接收、資料交換、資料整合、資料展示、資料處理、資料儲存與資料供應。自 1989 年地震測報中心成立以來，初期以電話線路傳輸地震資料，並自行開發人工處理地震波形資料的介面程式，經過數十年的修改與精進，完成了一套妥善率高且十分穩定的系統，人工處理數十萬筆地震目錄資料，發送近萬筆有感地震報告，不僅在地震防災上提供準確且快速的資訊，在資料方面累積了非常豐富地震資料供學術界研究使用，使得我們更了解臺灣的地震地體構造。2012 年起，24 位元地震觀測網上線運作，不僅訊號解析度由 16 位元提升至 24 位元，也將不同種類的地震觀測儀器資料，藉由美國地質調查所研發的 Earthworm 系統整合至同一個平台，使得短周期地震網、強震網、寬頻網、井下地震網、海底地震網，甚至是外單位的地震網，包括：中研院寬頻網和 IRIS 觀測網，也一起整併至氣象局地震觀測系統中，使得地震觀測網密度與測站包覆度有巨幅地提升。在此同時，新的地震測報作業也在此 Earthworm 平台展開，透過自行開發的地震監測模組發展地震預警系統，在 2014 年起對中小學校園及防救災單位正式發送預警訊息，2016 年起透過電視台與國家級警報向全國民眾發布預警訊息，2020 年 4 月推出 10 秒地震預警系統，使得地震預警系統能夠針對發生於陸地上的淺層地震，在地震發生後 10 秒內發布警報。另外，為了提升地震資料品質與地震資料可用性，2020 年委託中研院規劃建置新一代地球物理資料庫系統，重新整理測站詮釋資料，設計新的資料索取介面，修改資料儲存格式，希望能建立一個國際級的地震資料中心。在此背景之下，考量到近年來新興地震觀測技術愈來愈成熟，原來進行人工定位與地震發布的軟體所使用的開發環境(Visual Basic)不再支援，早年氣象局自行設計的資料格式無法滿足目前需求。因此，開始有設計新一代地震測報系統的構想，參考國際上通行的地震資料處理系統，譬如：SeisComP 和 Seisan，與國際通用的資料格式，選擇合適的開發環境，希望能重新建立符合未來作業需求的地震測報系統。本研究將盤點現行地震測報系統與近年來最新地震測報技術，於資料處理方面提出符合需求的演算機制，於人工資料處理與地震發布方面提出符合需求的操作介面與程序。

中文關鍵字：地震測報、地震預警、地震觀測網、資料管理中心

Spatiotemporal relationship of background earthquake and aftershock

Yi-Hsuan Wu¹

(1)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

For the seismic risk assessment, background and triggered earthquakes /aftershocks are the same important. Background earthquakes are rare but vital component in the earthquake catalog. Because the occurrence of background earthquakes refers to the result of tectonic loading, some characteristics of background earthquakes may be representative of fault physical parameter. Another important component in the earthquake catalog, also the majority of earthquakes, is triggered earthquakes/aftershocks that result from increasing stress induced by a main shock. One known feature of triggered earthquake/aftershocks is that they are usually clustered. The mechanics of background earthquakes and triggered earthquakes results in different properties for them in space and time. Giving a correlation distance that is defined as the shortest distance between earthquakes of same magnitude in 10^n ($n=-2.0-1.0$) times of the averaged inter-event time, the histogram of the correlation distance can be better fitted by two combined distribution. The distribution of shorter correlation distance can be well described by power law and that of longer correlation distance was better described by lognormal distribution, hereafter the correlation distances were termed power law correlation distance and lognormal correlation distance accordingly. The distribution of power law correlation distance and magnitude showed an increasing trend of power law correlation distance following magnitude within 10 km when the magnitude is smaller than 4.5 in California region and 4.7 in Taiwan. Similarly, an increasing trend of lognormal correlation distance correlated with magnitude occurred within 50 km when the magnitude is smaller than 4.5 and 4.7 in California region and Taiwan, respectively. The results imply that 4.5 and 4.7 may be the characteristic magnitude for California region and Taiwan.

Keywords: seismicity, power law, lognormal distribution, bimodal distribution, characteristic magnitude

深部地震活動性對應地震 b 值特性探討：以高屏地區為例

張議仁¹、葉玉蓮²、黃有志¹、林哲民¹、溫士忠²

(1)國家地震工程研究中心、(2)中正大學地球與環境科學系

在 2010~2016 年間，台灣西南部高屏地區發生了三起規模介於 6.3~6.6 的中型地震，這三起地震均與地表斷層系統無關，許多研究顯示其發震構造與深層早期正斷層系統有關。這些地震都造成了重大人員傷亡，並對當地社會產生了經濟影響。為了解此區的地震活動特性，本研究以地震 b 值重新探討台灣高屏地區深部斷層系統再活化下所顯示出的高地震潛勢區域。

從 G-R 關係式顯示地震發生頻率與地震規模之間的關係，但對於空間與時間上並無著墨。本研究嘗試從時間及空間上的分區來進一步探討深層孕震構造的潛勢。近年的地震資料收集較為完善，主要是儀器偵測能力與數量上的大幅增長，所以用更精細的範圍來進行探討比對。研究成果顯示在不同時間區段低 b 值分布呈現帶狀分布，範圍在三起中強地震的震源區附近。另外對資料亦進行深度上的分區，結果顯示淺部地殼為地震 b 值較高，深部地殼顯示低的 b 值暗示著較高的地震潛勢。本研究希冀得到較符合該區的參數，這也表示了對此區域需尋找適宜的統計範圍，最後再進一步對不同的時間區段進行討論

中文關鍵字：台灣高屏地區、地震 b 值、地震活動度、孕震帶



使用構造地質解之三維斷層幾何模型進行動力學地震模擬

陳麒任¹、吳元傑¹

(1)中山科學院核能研究所

以物理為基礎的地震動力學模擬有助於我們洞悉未來地震情境，有助於辨識地震災害的風險。本研究主要目的係在正演方式進行動力學地震模擬中，加入非平面斷層建模方式，提升模擬的真實性。研究案例為文獻資料較豐富的车籠埔斷層與集集地震，斷層幾何模型不同於以往使用地震斷層面解，改使用構造地質解的车籠埔-三義斷層三維幾何模型。地震動力學模擬使用三維分離元素分析軟體與自行撰寫之動態破裂程式。本研究完成建立地形和非平面斷層面的建模技術，且可以進行地震動力學模擬，未來將以集集地震做驗證，若可行，此技術將可應用於其他斷層以及評估各種地震情境。

中文關鍵字：斷層模型、動力學模擬、地震



探討地震波之建築物放大效應

塗冠婷¹、黃明偉¹

(1)國家災害防救科技中心

高密度之 P 波警報器(P-alert)觀測網，可提供即時高解析度震度圖，於災害性地震發生時可協助防救災相關單位判斷可能發生的災情，但因儀器架設於建築物牆壁上，使儀器紀錄之地震波形會參雜建築物效應，因此相對於中央氣象局自由場強地動觀測網(Taiwan Strong Motion Instrumentation Program, TSMIP)之最大地動加速度值(Peak Ground Acceleration, PGA)，P-alert 觀測之 PGA 可能有高估現象。為修正 P-alert 地震波形的建築物效應，本研究使用台灣西南部地區的 2015~2020 年間規模大於 4.5 的地震事件並計算 P-alert 測站與其鄰近 TSMIP 測站之建築物修正頻譜，假設兩測站於頻率域中的震源效應、路徑效應及場址效應相同，差別在地震波訊號是否含有建築物效應，故將兩測站的傅式頻譜相除，求得頻率相依的建築物修正頻譜，並藉著建築物修正頻譜校正 P-alert 傅式頻譜，最後比較修正前與修正後 P-alert 與 TSMIP 的 PGA 比值，探討此方法校正建築物效應成果。統計未經過建築物修正之東西分量 PGA 比值平均值為 1.19，標準差為 0.6，修正後之 PGA 比值平均值為 0.94，標準差為 0.37；南北分量修正前之 PGA 比值平均值為 1.14，標準差為 0.51，修正後之 PGA 比值平均值為 0.94，標準差為 0.29。經由統計成果顯示修正後的 PGA 比值平均值接近 1，且標準差值皆降低，因此，使用頻率相依之建築物修正頻譜可有效的修正 P-alert 建築物效應及其 PGA 值。

中文關鍵字：台灣西南部、P-alert 觀測網、建築物修正頻譜、頻率相依、PGA 比值

Seismic source studies of Mindanao earthquakes using finite fault inversion

Wei-Yu Zhang¹、Po-Fei Chen¹

(1)Department of Earth Sciences, National Central University

The Mindanao island in South Philippines represents a completion stage of northward propagation of arc-arc collision by the divergent double subduction of the Molucca Sea plate (Chen et al., 2020). Here, the NE dipping subduction of the Cotabato Trench to the west, the west dipping of the Philippine Trench to the east, and the left-lateral strike-slip faults (Cotabato and Philippine) in the island together absorb the Philippine-Sundaland relative motions. Recently, a few strong ($M > 6.0$) earthquakes at least three in Oct. and one in Dec., 2019 - occurred in close proximity to each other on the Cotabato fault. Intrigued by causative relationships of these earthquakes, we conduct a finite fault inversion in this study to investigate the slip distributions as a function of time for aforementioned events. In the inversion schemes, the overall fault plane is divided into subfaults with which the Green's functions of teleseismic body waves (1Hz low-pass filter) to observatory stations calculated. The optimal slip amplitude, rake angle, initial rupture time, and rise time of each subfault are then determined by minimizing the discrepancy between those superposed from each subfault and those from observations. The comparison is made on wavelet amplitude variations that apply wavelet transform both on synthetics and observations. The optimization scheme is simulated annealing algorithm that approximates the global minimum of a given function through a probabilistic technique (Ji et al., 2002). Having determined the source characteristics of these earthquakes, we will look into their spatial and temporal relationships and potential tectonic implications.

Keywords: Mindanao, finite fault inversion

台灣地震對與重複地震關聯性與其潛在活動構造區域

林育璿¹、樂鏜·祿璞峻岸¹

(1)成功大學地球科學系

台灣人口密度高且地質活動頻繁，這兩項因素亦是影響地質災害模型的重要參數，如何在災害性地震下降低危險是台灣人民保護自己最重要的課題。藉由地震對的地震特性來了解發震區域特徵，並利用此因素建造符合災害風險的建築和制訂適宜法規。本計畫使用氣象局地震目錄並利用時間與空間特性剔除餘震後篩選出地震對，並探尋其發震區域分布及其特性，和發震區內事件時間間隔。此外並探究重複地震(特定地震群重複在同一斷層上，並且具有相似發震機制、波形相似度、規模大小)與地震對(相似規模、相近距離、彼此互非餘震)的關聯性，輔助解釋地震對可能的地體構造成因，且補充台灣活動構造分布模型。

中文關鍵字：地震對、重複地震、孕震構造



New insight into tectonics of Taiwan Strait from focal mechanisms and geophysical data

Chieh-Chen Lee¹、Tai-Lin Tseng¹、Pei-Ru Jian²、Bor-Shouh Huang²

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、

(2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Earthquakes in Taiwan Strait, on a passive margin, are infrequent and sometimes lack of well constrained focal mechanisms due to station coverage. To better understand the earthquake generations and crustal structures associated in Taiwan Strait, we analyzed the focal mechanisms of 21 moderate earthquakes from 1996 to 2018. All the moment tensor solutions were inverted using refined velocity models and waveforms of the best available stations. By combining results of previous studies, we compile a total of 44 well-constrained focal mechanisms in Taiwan Strait and compare them with magnetic data. There is a sequence of extremely shallow thrusting events in the offshore Miaoli area of Taiwan that are likely associated with the deformation front formed by collision. In the offshore region of southwestern Taiwan, both strike-slip and normal events are present. The latter is related to bending caused by gravity load on the continental margin. As for Tainan Basin, where the 1994 Mw 6.5 earthquake occurred, its vicinity remained seismically active in the past two decades. Earthquakes there are mostly normal faulting with minor strike-slip component with focal depth ranging from upper to lower crust (majority 15-25 km). The distribution correlates with the belt of high positive magnetic anomaly (100-250 nT). Previous studies interpreted the source of high magnetic anomaly to be magma intrusions into lower crust during the final rifting and early spreading of South China Sea. Therefore, we propose that a heterogeneity of crust beneath this area caused the concentration of stress and clustering of earthquake, a scenario analogous to the lower crustal rift-pillow as an explanation for the New Madrid seismic zone. The focal mechanisms near the Binhai Fault are variable. The 2018/11/25 Mw5.7 Taiwan Shoal earthquake sequence show high angle strike-slips and shallow centroid depth of 11-21 km. The inferred fault plane is E-W striking, also consistent with the previous study.

Keywords: Taiwan Strait, focal mechanisms, moment tensor inversion

Using multi-size unit tsunami method to build the tsunami early warning system in Ryukyu subduction zone

Yu-Chuan Chou¹、Po-Fei Chen¹、Tso-Ren Wu²

(1)Department of Earth Sciences, National Central University、

(2)Institute of Hydrological and Oceanic Sciences, National Central University

The Ryukyu subduction zone offshore NE Taiwan with its along-strike length nearly 1000 km is potentially for the occurrence of mega-earthquakes ($M_w > 9$) that will inflict significant tsunamis hazards in Taiwan. It is thus essential to establish a regional tsunami early warning system, which heavily relies on tsunami simulations. Among the three stages - Generation, Propagation, Run-up - of tsunami simulations, the propagation is the most time consuming stage and we adopt unit tsunami method to circumvent the real-time calculation of tsunami propagations. In this method, the seafloor of potential source region is divided into pixels. With each pixel, a one meter initial wave height was assigned and the propagation to tidal gauge stations was calculated using COMCOT (Liu et al., 1998) with results (unit tsunamis) stored in database. In the case of a real earthquake, the tsunamis at tidal stations generated by the earthquake are synthesized by linear combinations of unit tsunamis pulled out from database with coefficients equivalent to the average vertical seafloor displacement of the corresponding pixel caused by the earthquake. It is a trade-off between the number of pixels and the spatial resolution of seafloor displacements. Here, we employ a multi-size approach to cope with the broad coverage of the Ryukyu subduction zone. In the future, we will apply the same approach to establish tsunami warning systems for other tsunami-prone regions, such as Indonesia.

Keywords: Ryukyu subduction zone, unit tsunami method, tsunami early warning, COMCOT

Vp and Vs of shallow oceanic crust constrained by body-wave polarization analysis

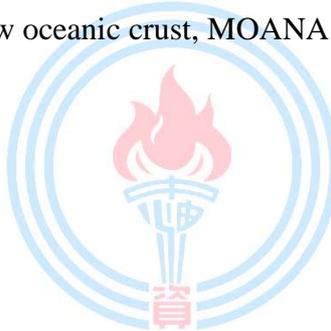
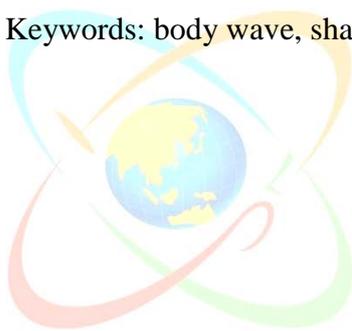
Yu-Wen Fang¹、Ban-Yuan Kuo²、Justin Yen-Ting Ko¹

(1)Institute of Oceanography, National Taiwan University、

(2)Institute of Earth Science, Academia Sinica, Taiwan

Body-wave polarization provides a new and inexpensive way to constrain shallow oceanic crust structure. This method will be applied to the data from the Marine Observations of Anisotropy Near Aotearoa (MOANA) experiment to estimate Vp and Vs of shallow oceanic crust beneath ocean bottom seismometers (OBSs) array installed off both coasts of the South Island of New Zealand from late January 2009 to early February 2010. The P-wave polarization angle has no sensitivity to Vp but only to Vs, while the S-wave polarization angle has sensitivity to both Vp and Vs. In this study, both local and teleseismic events will be used. We expect to see frequency dependence of P-wave polarization that is sensitive to Vs at different depths.

Keywords: body wave, shallow oceanic crust, MOANA.



利用體波極化特性分析臺灣東北部淺層速度構造

謝偉修¹、溫士忠¹、陳朝輝¹

(1)中正大學地震學研究所

以往為了得到近地表波速，大多使用鑽井、噪聲或是人工震源等方法，這些方法中都需要花費大量時間進行開挖，或是造成土壤環境的破壞，更重要的是需要花費較大量的金錢，且不方便在人口稠密的區域執行，本研究使用前人提出體波極化分析的方法，剛好可以克服上述缺點，減少土壤環境的破壞，以及經費上的支出。本研究使用台灣東北部地區 36 個測站的三分量遠震資料，並使用震央距 30° 到 90° ，地震規模大於 6 的遠震震波記錄，使用體波來計算測站下的極化角度，再透過網格搜索得到最佳的模擬波速。另外對於深度敏感度的問題，本研究發現深度對於頻率的依賴性將可以使我們的結構限制在一個深度範圍內。為了增加體波波速穩定性，本研究加入更多的地震資料，來減少在 S 波極化角度上的不準確，再透過計算來改善壓縮波速模擬不好的問題，從而得到更完整的淺層速度。從研究的結果中可以看出相對低速及高速的地區很好的對應到了中央山脈的變質岩區域，以及近岸邊石灰岩的低速區，此結果亦與 Vs30 和 Z1.0 的結果相呼應。是故，透過此方法可以快速得到測站底下的淺層速度構造，且比起同樣使用遠震的接收函數方法可得到更淺的細部變化，這是使用體波極化分析的優勢。

中文關鍵字：臺灣東北部、極化分析、淺層速度構造、壓縮波速、剪切波速

微震活動在地熱區的行為特徵：以北台灣磺嘴山為例

陳榮輝¹、吳璋哲¹、蘇建旻¹、溫士忠¹、李奕亨²、廖彥喆²、
彭筱涓²、陳俊榕²、陳朝輝¹

(1)中正大學地震學研究所、(2)工業技術研究院綠能與環境研究所

地熱能源的開發是近年來的熱門議題之一，位於台灣的大屯火山周遭也蘊藏著許多地熱資源，但礙於大屯火山屬於陽明山國家公園的一部份，在開發上有著一定的難度，在 2020 年 5 月 27 號，位於大屯火山群中磺嘴山東北側的金山硫磺子坪地熱示範區正式開鑽，此處剛好位於陽明山國家公園的邊界之外，而且有地熱開發的潛能。為了監測此地熱示範區的背景活動，本研究佈設一微震網紀錄此地熱區的地殼活動。長時間在此處進行微震觀測除了可以更加瞭解地熱區內微震的活動特徵，並可對將來的預設廠址有長期的監控。本研究使用中正大學地震研究所於磺嘴山鄰近地區所佈設之微震觀測網資料，透過所收錄的地震事件進行重新定位及混成震矩張量反演 (Hybrid Moment Tensor Inversion) 分析，來了解該地熱區微震的活動型態，目前觀察到此地熱區在淺層 1~3 公里的地方，分佈著許多非雙力偶震源的地震，而這些地震屬於膨脹的形式達到 50%~60%，表示此地熱區處於熱水活動活躍的情況，此現象代表著此區的地熱具備開發潛能，除此之外，此監測網亦能成為此區域淺層應力變化的指標。

中文關鍵字：混成震矩張量反演、磺嘴山、微震、地熱潛能

利用後投影法探討新養女湖泥火山區微震訊號

劉子菱¹、溫士忠¹

(1)中正大學地球與環境科學系

本研究目的是利用後投影法呈現微震訊號發生位置，藉此探討泥火山區的構造，因此在泥火山周遭擺設 16 個臨時測站記錄地動訊號。因泥火山底下的訊號會以微震的方式呈現，而微震的振幅小，且 P 波、S 波到時難以辨識，無法使用傳統定位方法進行定位，而後投影法只需要以觀測到的波形、準確的走時就能夠定位訊號來源，因此採用後投影法並運用震源掃描法 (Source-Scanning Algorithm, SSA) 進行定位。因後投影法需仰賴準確走時，故首先以臺灣西南部三維速度構造藉由模擬彎曲波線追跡法 (Pseudo-bending, PB) 反覆疊代，再沿波線路徑分段地將走時最小化，以計算更為精準的 S 波走時，求得此地區地下走時資料庫。接著採用震源掃描法以不同的震源點空間藉由波形的亮度函數進行網格搜索，計算出亮度最大的格點，即為可能的訊號發生的位置。本研究以訊號較強的波段進行定位，從而得知在此區底下有一類似垂直的管狀通道。最後，整合所有微震訊號發生位置，則能得到泥火山底下構造形貌。

中文關鍵字：後投影法、震源掃描法、模擬彎曲波線追跡法、泥火山、微震



花蓮地區孕震構造研究

黃籍億¹、李恩瑞¹

(1)成功大學地球科學系

台灣位於太平洋板塊與菲律賓海板塊交界帶，地震活動頻繁。菲律賓海板塊在台灣東部地區向北隱沒，也因此位於板塊碰撞和隱沒交界帶的花蓮地區，有著更高的地震活動度和複雜的構造系統。在地震活動度方面，根據中央氣象局 (Central Weather Bureau, CWB) 的紀錄，花蓮地區發生了數起致災性的地震事件，其中包含 1951 年 10 月 22 日規模 7.3 的地震事件、2002 年 3 月 31 日規模 6.8 的地震事件以及 2016 年 2 月 6 日規模 6.26 的地震事件。自從 2012 年起，CWB 開始利用連續紀錄來紀錄地震事件，花蓮地區在 2012 年至 2019 年之間，紀錄了高達 59000 個地震事件。而在構造方面，根據前人研究，除了中央地質調查所已經公佈的第一級活動斷層 - 米崙斷層和第二級活動斷層 - 嶺頂斷層之外，也有研究指出中央山脈東部斷層和大清水撕裂斷層等可能的構造。

本研究我們採用 Weighted Template Matching Algorithm (WTMA) 的方法來建立一個更完整的地震目錄，WTMA 方法是利用已知的地震波形來當作模板，利用此模板對連續波形進行波形相似度的搜尋並依照信噪比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR) 給予權重後疊加，利用這個方式，我們可以找出肉眼無法辨識的地震事件，將地震目錄擴充的更加完整，使我們有更詳細的資料來研究 b 值和地震活動度。為了更加詳細的了解地下構造系統的分佈和判識發震構造，我們利用 GrowClust 重新定位法來進行重新定位。GrowClust 是利用地震的相對位置的重新定位法，利用波形的相似性以及到時差來進行分群並重新定位，之後我們利用重新定位後的地震事件在時間、空間分佈以及震源機制解來進行構造的判識。

我們利用 WTMA 的所搜尋到的小地震以及震源機制解來判別斷層面，也藉由重新定位使地震事件的分佈更加的線性，這有助於我們了解研究區域內的活動構造：米崙斷層、嶺頂斷層、清水斷崖附近的逆斷層、中央山脈東側的高角度西傾逆斷層以及大濁水溪口的逆斷層。

中文關鍵字：花蓮地震、地震目錄、地震重新定位、孕震構造

Ambient noise tomography for northern Okinawa trough OBS array

Ting-Chun Lin¹、Kai-Xun Chen²、Yuancheng Gung¹、Ban-Yuan Kuo³、
Mamoru Nakamura⁴、Shuichi Kodaira⁴、Pei-Ying Patty Lin⁵、
Ching-Ren Lin³

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、(2)Department of Geosciences, National Taiwan University; Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(3)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(4)JAMSTEC、(5)Department of Earth Science, National Taiwan Normal University

From September 2018 to June 2019, IES, TORI, and JAMSTEC deployed broadband OBSs in the north Okinawa Trough (NOT) and its neighboring sea. Continuous vertical component of data from OBS, F-net stations and five temporary stations are used to extract the empirical Green functions of Rayleigh waves. With the measured dispersion (3-30 seconds) data from the noise-derived Rayleigh waves, we then implement a one-step, wavelet-based multi-scale tomographic technique to invert for 3-D models of both Vs and its azimuthal anisotropy of the upper crust and the shallow mantle structures. Major features in our preliminary model are generally consistent with the local multi-channel seismic model, with structure beneath volcanoes and the OT axis characterized by higher Vs, and fore-arc region characterized by lower Vs. Our models also show that there are clear variations in the fast polarization directions of anisotropy across the trench in the shallow depths, and such variations slowly migrate into a smoother pattern with depth.

Keywords: northern Okinawa trough, NOTOBS, ambient noise tomography, Ryukyu subduction zone

利用福爾摩沙陣列分析大屯火山區倍頻地震訊號之特徵

何其恩¹、陳卉瑄¹、林正洪²、賴雅娟³、史旻弘⁴

(1)臺灣師範大學地球科學系、(2)中央研究院地球科學研究所、國家地震工程研究中心、大屯火山觀測站、(3)國家地震工程研究中心、大屯火山觀測站、(4)中央研究院地球科學研究所、大屯火山觀測站

火山活動的觀測，除了研究噴發史、火山氣體監測、地溫梯度監測等，亦可觀測底下的岩漿活動狀況了解火山的活動性。岩漿庫的活動對應到深部氣體、流體和圍岩的相互作用，可藉由地震波的特徵解讀；而某些特殊的火山微震便是地底下流體活動重要指標。前人研究指出，一般的構造型地震在頻譜上不會有倍頻的特徵出現，通常倍頻訊號的出現，需要流體的運移以及有限而恆定的流體通道。如同水在水管裡快速流動一般，水的速度變化將會產生壓力、在水管裡震盪而形成壓力波，震盪的頻率取決於水管的長度和形狀。這樣的現象發生在火山的岩漿通道，亦可能因壓力的變化產生特定頻率的振動訊號，能量在管道裡傳播形成了駐波的條件，造成倍頻訊號。

大屯火山地區可能發現倍頻訊號嗎？對應到的物理過程和其他已觀測到的單頻和混合訊號是否相同？根據前人文獻，目前對大屯火山地區倍頻訊號，尚未有完整的搜尋和目錄的建置。本計畫的目的，在利用福爾摩沙陣列的資料搜尋大屯火山地區出現的倍頻訊號。我們利用了中央研究院福爾摩沙陣列在 2019 年一至二月的連續資料，在大屯山地區共 14 個測站，目前共找出八個被倍頻事件，持續時間約 15 秒，這些事件在 VO14、VO13、VO10、VO08 四個測站出現了明顯的倍頻特徵。於頻率 2-8 Hz 之間，有特間隔峰值出現 (e.g., 3 Hz, 3.8 Hz, 4.6 Hz, 5.4 Hz) 的倍頻特徵，以位於七星山東南方的 VO14 測站最為顯著。延續利用這些當時定義的倍頻事件為基準，本研究將改善程式自動搜尋的條件，擴大搜尋的時間範圍至四月，讓大屯火山地區的倍頻訊號有更完整的整理和分析成果。

中文關鍵字：火山倍頻特徵、火山倍頻地震、大屯火山、福爾摩沙陣列

2020 年 12 月 10 日宜蘭外海 M_L 6.6 地震破裂特徵之研究

王聖東¹、黃瑞德¹、林昱全¹、林瓊瑤¹、林采儀¹、黃怡陵²

(1)中國文化大學地質學系、(2)臺灣海洋大學地球科學研究所

本研究利用遠場 P 波逆推和非負解時間域解迴旋探討 2020 年 12 月 10 日宜蘭外海 M_L 6.6 地震的破裂特徵。首先，從遠場 P 波(包含直達 P 波、pP 波和 sP 波)逆推得到此地震的深度為 69 公里、平均震源歷時 4.7 秒、地震矩 1.31×10^{18} Nm (M_w 6.0)和斷層面解 $75^\circ/49^\circ/168^\circ$ 和 $173^\circ/81^\circ/42^\circ$ (strike/dip/slip)。接著，以遠場 P 波逆推的結果在震源處產生不含歷時的直達 P 波當成經驗格林函數，再與觀測直達 P 波進行非負解時間域解迴旋，得到隨測站方位變化的震源時間函數(震源歷時)，其呈現單向破裂特徵，再由破裂方向性分析得到最佳破裂方位 109° 、破裂長度 16.2 公里及破裂速度 3.26 km/s (約是 0.72 倍 S 波速度)。從最佳破裂方位可以確定此地震的斷層面為走向 75° 的面，近似由西往東破裂，此外，從垂直破裂方向的震源時間函數可以確認此地震含有三個子破裂，並非單純的一次破裂，從多重破裂分析顯示由西至東約每 1.2~1.3 秒發生一個子破裂，且每個子破裂的歷時及大小約略相同。

中文關鍵字：遠場 P 波、時間域解迴旋、震源時間函數、破裂速度、多重破裂分析



2019 年秀林(花蓮)地震序列震源歷時與地震矩關係之探討

詹京倍¹、黃瑞德¹、林瓊瑤¹、林采儀¹

(1)中國文化大學地質學系

先前研究已指出 2019 年 4 月 18 日 M_L 6.3 秀林地震餘震序列的地震能量(E_s)與芮氏規模(M_L)間有 $\log E_s \sim 2.0M_L$ 的關係，但此關係是如何成立呢？在此，本研究將利用震源歷時(T)與地震矩(M_0)之關係來確認 $\log E_s \sim 2.0M_L$ 成立的原因，除此之外，也可用來探討震源自相似(靜應力降與地震大小無關)的議題。首先，以頻率—波數積分法計算合成波，並調整震源歷時後與觀測波比對，求得最佳的震源歷時，結果顯示秀林地震餘震序列的 M_0 與 T 呈現弱相關，即 $\log T \sim 0.06\log M_0$ ，此可視為 M_0 與 T 無關，明顯偏離了在震源自相似下的 $\log T \sim (1/3)\log M_0$ 關係，可見秀林地震餘震序列的震源特徵並不符合震源自相似。假設震源時間函數為一等腰三角形，其高(振幅)為 A ，底(歷時)為 T ，此時， $M_0 \sim AT$ 且 $E_s \sim 4A^2/T$ ，也就是 $\log M_0 \sim \log A + \log T$ 和 $\log E_s \sim 2\log A - \log T$ ，再假設地震規模(M)正比於 $\log A$ ，即 $M \sim \log A$ ，當在震源自相似下會得到 $\log E_s \sim 1.5\log A \sim 1.5M$ ，這如同在大地震的 $\log E_s \sim 1.5M_s$ 關係(M_s :表面波規模)；反之，當 M_0 與 T 無關，則 $\log E_s \sim 2\log A$ 。透過 M_0 與 T 的關係探討，本研究得到秀林地震餘震序列的 M_0 與 T 無關，此不符震源自相似條件，也同時得到秀林地震餘震序列 $\log E_s \sim 2.0M_L$ 關係成立的原因。

中文關鍵字：震源歷時、地震矩、地震能量、芮氏規模、震源自相似性

2-D Spectral-element simulation of subduction zone guided waves and seismic diffraction around magma chambers: An example from northern Taiwan

Chih-Yin Chou¹、Shu-Huei Hung¹

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University

The existence of a magma chamber beneath the Tatun Volcano Group (TVG) near the Taipei metropolitan area has recently raised both scientific and public concern but is still under debate. Previous evidence for or against it mostly relies on the ray-based analysis and modeling of P and S arrival times from > 100 km deep earthquakes in the adjacent Ryukyu subduction zone and local earthquake traveltime tomography, thanks to a dense Formosa array of broadband seismographs deployed uniformly across northern Taiwan. On the other hand, with the advent and availability of wave-based numerical methods and high-performance parallel computing, full-waveform modeling and inversion become feasible which leads to resolve the earth's internal structure with much sharper and higher resolution. To explore rich "anomalous" waveform signals resulting from crustal and mantle velocity heterogeneities beneath northern Taiwan, we employ a spectral-element AxiSEM algorithm to simulate seismic wave propagation through 2-D heterogeneous earth models for earthquakes with depth >100 km and $M_w > 4$ occurring in the adjacent subduction zones around Taiwan. The 2-D velocity structure along the great-circle plane is derived from 3-D local tomographic models for the Taiwan region and global models of MIT08 and S40RTS for the region outside of it. The obtained synthetics are benchmarked with those calculated by fully 3-D, but computationally-expensive SPECFEM3D_GLOBE and AxiSEM3D methods. By comparing the synthetic seismograms with accuracy up to 5 s for 1D laterally homogeneous and 2D heterogeneous models with the corresponding observed records at the Formosa and other permanent broadband stations across Taiwan, we will investigate the changes of phase arrival times and waveforms related to the imaged low-velocity bodies beneath the TVG being postulated as the magma reservoir and high-velocity features from the subducted slab.

Keywords: full waveform modeling, AxiSEM, Tatun Volcano Group, Magma reservoir

板塊碰撞轉換至隱沒構造 - 宜蘭南部地區地震特性

林容辰¹、李恩瑞¹

(1)成功大學地球科學系

台灣地處歐亞板塊與菲律賓海板塊之碰撞造山帶，東北外海有菲律賓海板塊隱沒至歐亞板塊之下而形成的琉球海溝及弧後張裂之沖繩海槽，並在台灣島上擠壓形成貫穿全島中央之脊梁山脈，而東北部陸域即位於兩種構造之轉換帶，其轉換構造與過程至今仍是研究的熱門焦點。

本次研究區域位於宜蘭縣南部，中央山脈最北端之區域，以及其東方海域，其距離台北都會區僅數十公里遠，若在此區域發生較大規模之地震，對台灣政經將產生巨大的威脅，本研究希望從地震數量、分布等，了解此區之孕震構造，對此區域有更進一步的認識。本研究基於中央氣象局自 2012 年至 2019 年間的連續地震觀測資料，進行重新定位後討論區域內的構造分布。在本次研究中利用之重新定位運算方法為 GrowClust，其為相對重新定位法，運用波形、到時差等計算相關性後，再加以分群並進行重新定位。重新定位後之結果與原始地震分布相比，呈現較佳之線性分佈，且有集中的趨勢，對於區域內的構造有更進一步的了解。

另外，本次研究中利用匹配濾波器(Template Matching Algorithm, TMA)建立更完整的地震目錄，TMA 之原理為：使用已知的地震波形作為模板，搜尋連續地震紀錄中類似的波形訊號，以此找尋肉眼難以判別的事件，增加地震目錄的完整性。

中文關鍵字：板塊隱沒、板塊碰撞、地震目錄、模板匹配

Preliminary study on evaluation of distribution of pulse index from various fault slip model used in stochastic finite-fault simulation

Jyun-Yan Huang¹、Shu-Hsien Chao¹、Che-Min Lin¹

(1)National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan

Evaluation of velocity pulse was an important issue in engineering seismology especially for near source region. The long period velocity pulse has caused serious building damages in recent large earthquakes in Taiwan such as 2016 Meinong and 2018 Hualien earthquakes. Owing to the urgent need to understand characteristics of the velocity pulse, several identification or extraction methods were mentioned earlier including pulse indicator (PI), principle component method (PC), peak ground velocity (PGV) ratio or energy ratio of extraction pulse and instantaneous power etc. However, it's still very hard to predict the future occurrence of velocity pulse and we may lack of enough near fault records to build a reliable model, that we may need simulation to help construct the probability evaluation of the space distribution for an expected fault plane. In addition, long period velocity time history was reproducible from stochastic finite-fault simulation technique has been checked from an exercise for 2016 Kumamoto, Japan earthquake, owing to the long period pulse-like motion were basically generated from wave superposition in finite-fault effect and would not effect from random phase condition of the certain frequency band. Meanwhile, a random asperity fault models covered high possibility of the occurrence on a fault were applied to finite-fault method for evaluation of peak ground acceleration (PGA) range for un-happened fault to provide a possible way for evaluated of the uncertainty generated from source effect previously. In this study, we would firstly evaluate the reproducible of velocity waveform for space distribution of 2016 Kumamoto earthquake records. Afterward, we would provide a case study for Shanchiao fault in Taiwan using random asperity model for stochastic finite-fault technique to calculate wide-spreading velocity waveforms and check for abovementioned pulse indexes to narrow-down some possibility of occurrence of directivity or super-shear effects.

Keywords: velocity pulse, finite-fault simulation, Kumamoto Japan earthquake,
Shanchiao fault Taiwan

利用微地動訊號探討台南台地西緣之地下構造變化

邱連湘¹、吳澄峰¹、周宇廷¹、饒瑞鈞¹

(1)成功大學地球科學系

台南台地位於嘉南平原南端，為一東陡西緩的橢圓形台地，其構造相當特殊，然對於台地的形成機制目前仍存在許多不同的解釋，從過去台南台地地下構造的地球物理資料中，研究主要偏重於東緣後甲里斷層沿線，而有關台地西緣的討論則相對較少。為瞭解台地西緣之地下構造變化，本研究由北至南選定 4 條東西向測線(長 1500~3000 m 不等)，其中，最北端測線位於永康區並橫跨鹽水溪，最南端則位於南區省躬國小附近，每條測線至少以 8 個點進行微地動量測。從單站頻譜比法結果顯示，共振主頻(介於 1.1~1.7 Hz)的變化不大，而同一測線中，放大倍率(介於 1.2~3.7)的變化較為明顯，由台地邊緣西側向東側逐漸增加，且在地表高程 5~15 m 間，放大倍率變化達到最大。為進一步探討在台地邊緣處構造的變化，本研究利用 OpenHVSAR 程式反演淺層速度構造，初步結果顯示在台地上方的測站，於淺層 300 m 處，S 波速度達 1000 m/s，此深度可對應至深鑽結果之上部古亭坑層位置(375 m)。另根據所得之二維速度構造剖面，其上部古亭坑的介面深度在測線距離 500-600 m 內，快速由台地邊緣西側(深度~800 m)向東側(深度~300 m)變化，然此一傾斜地層(上部古亭坑介面)的深度於上到台地後變化趨於平緩，此結果與前人利用定年及鑽井資料所繪之剖面相似，而在台地邊緣附近所觀察到之場址放大現象，主要與地下地層厚度與速度的快速變化有關。

中文關鍵字：微地動、台南台地、淺層速度構造

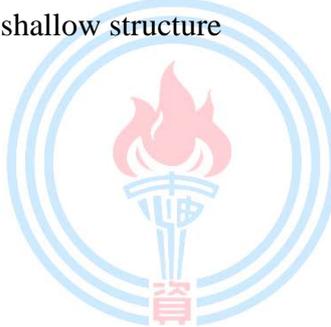
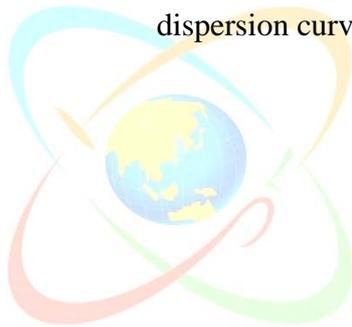
Ambient noise tomography in Southeastern Taiwan

Nguyen Thu Thao¹、Hao Kuo-Chen¹

(1)Department of Earth Sciences, National Central University

Crustal structure in eastern Taiwan is key for understanding the tectonic evolution and interaction between the Philippine Sea and Eurasian plates from subduction to collision. In order to explore the crustal structure in this region in detail, 3-D ambient noise tomography was used with a dense seismic array data set. We deployed 40 temporary seismic stations in southeastern Taiwan in 2019 for about one month. Time series were cross-correlated to construct Rayleigh wave Green's functions. For each station pair, group velocity dispersion curves were picked using a frequency-time analysis and image transformation technique. Then, we applied the direct inversion of surface wave dispersion data to estimate the 3D shear-wave velocity model from these group velocities.

Keywords: Southeastern Taiwan, 3-D ambient noise tomography, group velocity dispersion curves, shallow structure



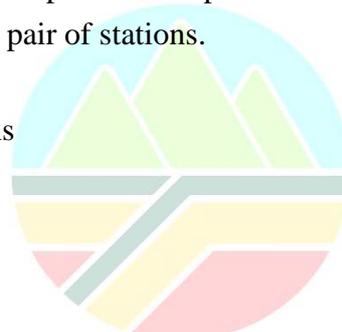
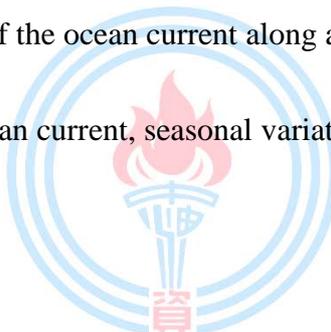
Retrieving the hidden wave signals from oceanic ambient noise

Tony Tsung-Lin Tsai¹、Justin Yen-Ting Ko¹

(1)Institute of oceanography, National Taiwan University

Ambient noise seismic interferometry involving the cross-correlation of continuous signals at different receivers has been widely used to retrieve the Green's functions between any pair of stations. Although many promising results have been demonstrated in recent years, there is no study has been devoted to assessing the possibility for retrieval of ocean waves. The main object of this work is to answer this question whether the technique can be used to obtain the Green's function of the ocean signals. We exploit the ambient noise seismic interferometry to obtain the Green's functions of ocean waves propagating from deep-sea pressure gauges to tide gauge stations deployed in the eastern Taiwan. The preliminary results show that the obtained Green's functions do follow the shallow water equation and can be used to estimate the arrival time of the tsunami propagating from the pressure gauge to the tide stations. The comparison of the Green's function between different stacked periods can provide the potential seasonal variations of the ocean current along any pair of stations.

Keywords: ambient noise, ocean current, seasonal variations



利用深度嵌入聚類演算法進行地動訊號分群—以苗栗鹿湖山區為例

王重卿¹、李恩瑞¹

(1)成功大學地球科學系

山崩落石監測系統主要以影像監控搭配邊坡防護欄，一旦偵測到異常即可通知駕駛減速，降低傷亡。然而其方法受到許多限制，例如夜間監測不易、下雨天是落石好發的時段但影像監控的能見度卻不高造成辨識不易，或者崩塌源定位不易，較難及時提出正確警報等等。近幾年落石坍方產生的地表振動訊號能夠被鄰近的地震儀所接收到，落石及崩塌時所產生的地表震動也能夠被地震儀所記錄，地震儀有著連續紀錄且不受氣候影響等優勢，而不同機制（地震、落石、崩塌等等）產生的震動，則會反映在地震儀三分量的記錄上，並且其波形特徵與頻率分佈有肉眼能夠區分的明顯差異。近來已有許多研究成功利用地震波時頻圖(Spectrogram)特徵自動將不同類型的震動源進行分類。而另一方面，隨著近年來機器學習(Machine Learning)相關理論、工具及硬體效能的大幅進步，在地震學領域的應用也展現了巨大潛力，許多研究也嘗試應用機器學習方法於地動訊號的自動辨識中。

目前透過分析山崩、落石所產生的地動訊號搜尋崩塌事件的主要方法為仰賴主觀的人工判讀挑選，此作法除了耗時，更易造成主觀偏誤。苗栗鹿湖山區常有大小落石崩塌造成道路損毀以及威脅用路人安全。本研究利用架設於該區的四個地震儀測站之地動訊號事件時頻圖進行分析。挑選出可能的地動訊號事件，並以深度嵌入聚類模型(Deep Embedded Clustering)利用非監督式深度學習的自編碼(Autoencoder)學習低維空間的潛在空間並進而學習可能的聚類分佈。自動將訊號類型進行分群並與已知的地震及落石崩塌目錄進行交叉比對加以驗證模型，藉此減少先入為主所造成的主觀偏差並大幅度地降低搜尋崩塌事件的時間。由不同類型地動事件在時頻圖上的特徵差異，藉由非監督式的聚類分析，可以建立出本區域的地動訊號類型特徵，可以讓我們更加的瞭解本研究區域地動訊號的特性。

中文關鍵字：地震學、落石、地震、時頻圖、深度學習、自動編碼器、t-SNE

Ambient seismic wavefield recorded at the seafloor OBS network in the northern Nankai Trough

Hou-Sheng Cheng¹、Emmy T.-Y. Chang¹、Yuancheng Gung²、
Takashi Tonegawa³

(1)Institute of Oceanography, National Taiwan University、(2)Department of Geosciences, Nation
Taiwan University、(3)Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

The ambient seismic wavefield which is mainly excited by oceanic gravity waves can be categorized into three spectral bands: the primary (10-20 s) and secondary (5-10 s) microseisms and infragravity waves (IGWs) (>20 s). Excitation of primary microseisms is converted by nonlinear coupling with local topography between ocean swell and seismic waves on subtle undulation of continental shelves. Whereas, secondary microseisms are derived from storms and wave-wave interaction between ocean gravity waves. The mechanism of IGWs can be explained by the sea-level oscillation affected by the traction force converting from the regional wind field, and are influenced by both offshore leakage and the coastally generated free waves to form the deep-water standing waves. Therefore, the transmitted microseism and IGWs energy depend on ocean wave state and bathymetry. Moreover, the ambient seismic noise converted at the near-shore or from the pelagic areas may exhibit different frequency bands. We provide the spectral analysis of the ambient seismic noise with the data acquired from the Dense Oceanfloor Network System for Earthquakes and Tsunamis (DONET) in the northern Nankai trough. We illustrate the variation of ambient energy with time and space and proceed with the cross-correlation function and cross-correlation beamforming function to discuss its origins and propagations. The spectral analysis shows significant secondary microseisms and IGWs with the DONET data. The secondary microseisms propagated as Scholte waves with velocities of 0.6~0.8 km/s. The peak frequencies of IGWs are in a frequency range of 0.008~0.02 Hz, while they perform a systematical frequency drifting corresponding to the water depth of stations. Besides identifying the potential conversion environment for the ambient seismic noise, our study provides information for the spatial and temporal variation of seafloor noise in the northern Nankai trough.

Keywords: ambient seismic noise, cross-correlation function, cross-correlation beamforming, ocean bottom seismometers

Three-dimensional crustal velocity structures in Northern Indochina from multiple seismic datasets

Ha Vinh Long¹、Hsin-Hua Huang²、Le Minh Nguyen³、
Van Duong Nguyen³、Quang Khoi Le³、Thi Giang Ha³、Dinh Quoc Van³、
Bor-Shouh Huang⁴、Tu Son Le³

(1)Department of Earth Sciences, National Central University, Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(2)Department of Earth Sciences, National Central University、(3)Institute of Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam、(4)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

The Northern Indo-China Peninsula is the extension of southeast Tibet-Himalaya syntax and a tectonically complex region composed of multiple micro-continents such as the South China Block, Indochina block, and Simao block. The relative movements between micro-continents result in several large-scale shear zones (e.g. Red River shear zone) along which moderate seismicity occurs. Knowledge of the detailed 3-D crustal structure is therefore crucial to improve our understanding of shear zones and seismic hazards in the region. In this study, we collect more than 1000 earthquakes recorded by multiple seismic networks in Vietnam, Lao, Thailand, and stations from IRIS within the region of 18° to 25° latitude and 100° to 110° longitude. We then perform a joint tomographic inversion integrating arrival times of the P- and S-direct waves traveling in the crust and the head waves along the Moho. The obtained velocity model shows a good correlation with shallow geological features at shallow depths. At deeper depths of the crust, several velocity anomalies bounded by and across the fault zones and micro-continent boundaries are also revealed and discussed.

Keywords: travelttime tomography, Northern Vietnam, Vp/Vs ratio, crustal structure, Vietnam seismic network, Northern Indo-China

The seismic moment release before-and-after the September 28th, 2018 Mw 7.5 Palu earthquake, Sulawesi, Indonesia

Yopi Ruben Serhalawan¹、Po-Fei Chen¹

(1)Department of Earth Sciences, National Central University

Sulawesi in the eastern Indonesia is a K-shaped island located within a triple junction. There are two slabs (Celebes and Sula) with opposite polarity to the north. The east arm of Sulawesi is categorized as an ophiolitic whereas the southeast arm of Sulawesi is the part of the Australian plate. The west and southwest parts of Sulawesi are the part of Eurasian plate. The central part of Sulawesi exposes the left-lateral Palu-Koro fault and Matano fault with the northwest-southeast direction that associated with extension during the rollback of Banda embayment (Hall, 2012; Hall and Spakman, 2015). On September 28, 2018, the Mw 7.5 earthquake occurred in the Palu-Koro fault with significant left-lateral slip component. This earthquake triggered a tsunami and liquefaction to the city of Palu and the surrounding region with more than 4000 casualties. Before the earthquake, the Palu-Koro fault was considered as a high slip rate (32-45 mm/yr) with low seismicity (Bellier et al., 2001). However, seismicity in Sulawesi is active after the Palu earthquake, including swarm activity in Mamasa region since November 2, 2018 (Supendi et al, 2019), the Mw 6.8 gulf of Tolo earthquake on April 12, 2019, and the Mw 6.2 Majene-Mamuju earthquake which was preceded by Mw 5.7. In this study, we aim at quantifying the seismic moment release of Sulawesi before and after the Palu earthquake. Using data of Global CMT catalog, we divided Sulawesi into boxes of coherent focal mechanism - Mamasa, gulf of Tolo, Majene-Mamuju, etc. We calculated the summation of moment tensors for earthquakes within each box and compare those before and after the Palu earthquake. We expect the results will reveal the seismic behaviour of Sulawesi affected by the Palu earthquake.

Keywords: Palu earthquake, seismic moment release, Palu-Koro fault

Observations of ScS phase by Formosa Array and its applications

Shu-Yun Xie¹、Po-Fei Chen¹

(1)Department of Earth Sciences, National Central University

We examined data of teleseismic events with depth greater than 100 km and magnitude greater than 6.0 as recorded by Formosa Array (FMA), a dense broadband seismic network covering North Taiwan with 140 stations. Among 15 events examined, we found one event (7.06°S, 146.49°E, 146 km, Morro Bay, Papua New Guinea) that exhibits prominent signals of ScS phase. While causes of the clear ScS phase are still under investigation, we calculated the relative arrival time residual (RATR) of ScS for stations of FMA. RATR is a reflection of receiver-side mantle and crust velocity heterogeneity since source-side paths for FMA of one teleseismic event are nearly identical. Resulting pattern of ScS RATR will be examined in the framework of high resolution 3D P-wave velocity model (Su et al., 2019) in conjunction with results of tracing rays by FMTOMO (Rawlinson et al., 2006). Study of the ScS RATR pattern will be expanded to cover whole Taiwan region using data of BATS (Broadband Array in Taiwan for Seismology). Furthermore, the observation of prominent ScS phase not only prompts us to look into the S-to-P conversion (ScSp) at the top of subducting Ryukyu slab for constraint of its geometries. We will also employ a slant-stacking scheme on data of FMA to enhance signals of ScS_{410p} or ScS_{660p} to infer the upper mantle thermal structures beneath NE Taiwan.

Keywords: Formosa Array, ScS phase, relative arrival time residual

Seismic attenuation structures beneath the northeastern JapanChia-Li Yen¹、Justin Yen-Ting Ko¹、Yu-Pin Lin²

(1)Institute of Oceanography, National Taiwan University、

(2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Detailed seismic attenuation mapping can provide critical constraints on the thermal evolution of the mantle dynamics. In this study, we investigate the seismic attenuation characteristics beneath northeastern Japan using the regional earthquakes recorded at 343 stations of three different seismic networks (S-net, Hi-net and F-net). Recent deployment of the S-net largely improves the structural resolvability near the trench, in particular at the junction between the Kuril Trench and the Japan Trench. Since the direction of S-net seismometers depends on the layout of marine cables, we correct the rotation angles by multiplying matrices calculated from tilt, rotation, and azimuth before measuring the spectra amplitudes of P and S waves in multiple frequencies using integrals over wavelet transforms. All measurements are referencing to the 1-D synthetics to eliminate the effects from the source and geometrical spreading. We invert the spectra amplitudes for a 1-D frequency-dependent attenuation model. The inverted station residuals, which account for unresolved lateral variations in attenuation structure, suggest stronger attenuation in the volcanic area and the collision region of the Kuril and Japan arcs. On the other hand, for the raypaths passing through the subducting slab are characterized by low attenuation.

Keywords: seismic attenuation, subduction zone, Kuril trench, Japan trench

利用繞射體波探究全球 D'' 區域之速度構造

胡凱傑¹、柯彥廷¹

(1) 臺灣大學海洋研究所

自地震學蓬勃發展至今，相對於上部地幔，對於深部地幔速度構造與動力學機制，在不同研究中仍存在相當大的歧異性，特別是位處於核幔邊界的 D'' 區域。科學家認為此區域特別之處在於它有異於其他不連續面的平滑的特徵，存在如同地表大陸與海洋般的高低起伏，以及擁有不同的厚薄分布；近期諸多地震波層析成像的結果顯示，D'' 區域在速度構造上也存在鮮明的差異，快速異常構造多分布於大陸中部與環太平洋地區，慢速異常構造則分布於太平洋中心與非洲大陸西南部區域。前者指示在物質組成與結構上相較於周圍地幔冷而緻密，後者則較為高溫，可能與地幔中的熱柱的湧升及隱沒板塊的沉降有極大的關聯，故研究 D'' 區域能使我們更加了解地球內部的動力機制，一窺地球的奧妙。

為了完整解析 D'' 速度構造之側向變化，本研究蒐集發生在 2005 年至 2020 年規模大於 5.0 的全球深部地震事件傳至全球地震觀測網的資料。雖然我們選擇波相為繞射體波，其波傳路徑大部分伏走於核幔邊界上，保有最多下部地幔的資訊，但並不能排除上部地幔的速度異質性之貢獻。故我們選擇方向來源相近的近震事件來做校正，以確保我們的資料僅保留來自下部地幔的速度特徵。初步檢視我們所下載的資料，繞射核幔邊界的波段均勻分布於全球，高度符合我們所預期的結果，有助於我們檢視全球深部地幔的速度構造。而經過近震校正後的走時殘差與震幅變化，亦更能反映真實下部地幔速度異質性之貢獻。

中文關鍵字：繞射體波、D''、下部地幔、異質性、走時殘差

Application of machine learning for efficient classification on tectonic tremors in Taiwan and Shikoku, Japan

Hao-Yu Chiu¹、Kate Huihsuan Chen²、Kazushige Obara³、Jyr-Ching Hu¹

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、(2)Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University、(3)Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Tectonic tremor is long-lasting and noise-like seismic signals with the dominant frequency of 2 to 8 Hz. It is generally identified by waveform similarity in envelope with nearly the same arrival at different stations. Without a display of waveforms from multiple stations, discriminating tremors from noises is difficult, especially in the area where the tremors are relatively weak and short such as Taiwan. Is an automatic detection scheme possible across regions? How much the tremor signals can tell us about the source properties and regional differences in physical environment that hosts tremors? This study attempts to explore the signal characteristics of tremors in areas that are naturally separable and different from each other. We used the trained classifier for detecting continuous tremors in Taiwan, eastern and western Shikoku for comparison. Using the tremor waveform from CWBSN in Taiwan identified by Liu et al. (2019) for training data. The tremor events in the Shikoku region were derived from the catalog by Annoura et al. (2016). Here we used the waveform data recorded by Hi-net. To prepare the labeled events composed of the largest number of data, tremors in the catalogs were segmented into 1200-31000 signals with a length of 60 seconds. Using the 60-s-labeled data (1296 tremors in Taiwan; 30888 tremors in Shikoku), we applied k-NN classifier on 29 seismic features to investigate the classification performance. For tremors in Taiwan and eastern Shikoku, the final classification rate is up to 90%; 82.1% for western and eastern Shikoku. This suggests a potential of applying k-NN on tremor detection in different areas. By Fisher's class separability criterion, the optimal feature that allows us to separate tremor in Taiwan from the one in eastern Shikoku is energy of the signals filtered in 0.1-1 Hz. The most distinct feature for tremors in western and eastern Shikoku appears to be energy in the last two-thirds part of the autocorrelation function.

Keywords: tectonic tremors, Shikoku, features, classification rate, k-NN, Fisher's class separability criterion

臺北市區的環境振動特徵

黃宇禎¹、陳卉瑄¹、邱皓瑜²、林正洪³、賴雅娟⁴、史旻弘⁵

(1)臺灣師範大學地球科學系、(2)臺灣大學地質科學系、(3)中央研究院地球科學研究所、國家地震工程研究中心、大屯火山觀測站、(4)國家地震工程研究中心、大屯火山觀測站、

(5)中央研究院地球科學研究所、大屯火山觀測站

近年來，城市地震學備受重視，人們對於非自然起源的微地動訊號備感興趣：人類活動造成的振動可以對應到多大規模的地震？這些振動的時間空間模式和訊號特徵為何？而如何一一釐清振動的起源？藉由分析位於臺北地區的高密度寬頻地震儀 Formosa array 所記錄到的連續地震訊號，可以讓我們探究市區的環境噪音之特徵和起源。利用 2019 年 4 月份在 15 個不同測站的連續資料，我們發現主要頻率分別落在三個區段：1 Hz 以下，3-5 Hz，及 14 Hz。較低頻率 1 Hz 以下，其訊號來源為自然環境的振動。介於 3 Hz 到 5 Hz 的訊號，其來源為重型的交通工具經過或交通工具的來往較不頻繁所引起，然而當交通工具經過較為頻繁時，所產生的頻率約在 14 Hz 左右。不同類別的資料在不同個時段有明顯的人為活動趨勢，各測站間的連續資料相關性，在 <1 Hz 可達到 0.9 的相關係數，而在高頻的區段相關係數大大減低至 <0.5。在該月出現最大振動的，是位於仁愛路附近的 CT08 測站。本研究欲進一步釐清各測站發生異常振動的種類為何？其在訊號特徵的表現與振動起源之關係。

中文關鍵字：城市地震學、環境振動、訊號特徵、高密度寬頻地震儀、臺北市區

The age of Ryukyu subducting slab beneath northern Taiwan inferred from seismic waveform modeling

Yu-Sheng Hung¹、Justin Yeng-Ting Ko¹

(1)Institute of Oceanography, National Taiwan University

The age of Ryukyu subducting slab beneath northern Taiwan inferred from seismic waveform modeling Maxwell Yu-Sheng Hung¹ and Justin Yeng-Ting Ko¹ 1 Institute of Oceanography, National Taiwan University There are two competing scenarios based on the tectonic evolution of western Gagua ridge, believing Huatung Basin (HB) is a trapped piece of an Early Cretaceous ocean basin (125Ma) or is formed in the second spreading era of West Philippine Sea Basin (WPB) (35–50Ma). Therefore the age of the HB plays a critical role in this issue. Scientists endeavor in different aspects to constrain the precise age of HB which includes magnetic field simulation, seismology, thermal modeling and Argon dating. Although there is a general consensus that the birth of HB should be roughly in the Eocene, large uncertainties do exist among different studies ranging from 30 Ma to 125 Ma. In this study, we collected the tele-seismic waveforms with epicenter distance between 30–90 degrees and depth over 100 km recorded by the Broadband Array in Taiwan (BATS). We measure amplitude fluctuations in P-waves comparing to the PREM and characterize the multipathing arrivals caused by the subducting Philippine Sea plate (PSP) from high frequency waveforms. In order to investigate the detailed morphology of the subducting PSP, we use GPU-accelerated Finite-difference method to compute large number of the Green's functions to create a library of the idealized 2D models. We grid search for five model parameters by minimizing the differences in traveltimes, amplitudes and waveform shapes between data and synthetics. The optimal velocity models are converted to thermal structure based on the theorem of Sleep (1973). With a preliminary glance of the simulation results, we suggest that the optimal model would have a better constraint on the slab dynamics and the age of HB. Keywords age, geodynamics, Huatung Basin, morphology, seismology, subducting slab, thermal modeling

Keywords: age, geodynamics, Huatung Basin, morphology, seismology, subducting slab, thermal modeling

TCDP 井下地震儀儀器 15 年長期監測 - 地震與噪訊

陳文瑜¹、林彥宇¹

(1)中央大學地球科學系

台灣車籠埔鑽探計畫井下地震儀 (Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project Borehole Seismometers Array, 簡稱 TCDPBHS) 安裝於 1999 年 Mw 7.6 集集地震最大同震變形 (12m) 之車籠埔斷層北段。井下地震儀所紀錄之高品質地震波形, 許多前人研究已對於此研究區域產生之微地震及斷層帶特性進行深入的分析與探討 (Lin et al., 2012; Wang et al., 2012; Ma et al., 2012; Lin et al., 2016)。TCDPBHS 自 2006 年以來已持續運行近 15 年之久, 本研究分析其長時間之連續波形紀錄的變化, 用以瞭解測站的觀測數據品質在長時間的運行下有無顯著改變。我們分析 15 年間 TCDPBHS 連續波形, 並計算其功率譜密度之機率密度函數 (Probability Power Spectral Density, 簡稱 PPSD), 發現 TCDPBHS 長期噪訊變化並不大, 顯示儀器運作至今依然運作良好。另外, 本研究亦會對監測到之不同類型的微地震, 利用 Lin (2014) 所提出之半自動化的方式進行挑波與分類, 以瞭解 15 年間微地震之活動行為變化, 未來建立 TCDPBHS 之長期完整的地震目錄, 使得這些高品質資料在公開之後能夠更容易地被學界使用。本研究技術將可以直接應用於米崙鑽井計畫之井下地震儀陣列資料分析。TCDPBHS 資料庫預計將於今年在台灣地震科學中心資料庫 (TEC Data Center) 中開放, 歡迎大家多加利用。

中文關鍵字：台灣車籠埔鑽探計畫、井下地震儀、微地震、功率譜密度、機率密度函數

Seismically derived ground tilts induced by the 2010 Chilean tsunami

Jui-Chun Freya Chen¹、Wu-Cheng Chi²、Chu-Fang Yang²

(1)Department of Atmospheric Science, National Taiwan University、

(2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

We wish to develop new ways to observe tsunami contributes to tsunami research. Tidal and deep-ocean gauges have been used for coastal and offshore observations. However, tsunami-induced ground tilts offer a new possibility. The ground tilt signal induced by 2010 M_w 8.8 Chilean earthquake were observed at a tiltmeter network in Japan. However, tiltmeter stations are usually not as widely installed as broadband seismometers in other countries. Here, we analyzed broadband seismic records from Japan's F-net and found seismically derived ground tilt signals consistent with previously published tiltmeter dataset. We have also included waveforms from broadband seismic networks in other countries, such as Taiwan, as well as an ocean-bottom seismometer, and found similar patterns. In this work, we documented a consistent time sequence of evolving back-azimuth directions of the tsunami waves at different stages of tsunami propagation through beamforming-frequency-wavenumber analysis and particle-motion analysis. Dense broadband seismic networks can provide a useful complementary dataset, in addition to tiltmeter arrays and other networks, to study or even monitor tsunami propagation using arrayed methods.

Keywords: tsunami, ground tilt, broadband seismometer

台南六甲地區孕震構造分析

張筱敏¹、李恩瑞¹

(1)成功大學地球科學系

台南六甲地區在 2020/8/19 單日連續發生 4 起芮氏規模(M_L) 3.8-4.7 的地震，深度皆在 10-11 公里之間，屬於淺層地震。回顧六甲地區的歷史地震事件，以 1862 年的台南大地震最有名，推估的規模可達 6.7，六甲地區一帶之地震活動值得關注。研究資料顯示六甲斷層為一逆衝斷層，全長約 21 公里，傾角約為 30 度向東傾，深度約在 5 至 8 公里，水平抬升速率為 11-12.8 釐米/年，垂直抬升速率為 5.5-6.3 釐米/年，約在 30 萬年前開始活動，目前被列為第一類活動斷層。本研究使用波形交互相關得到之 P、S 波波相相對到時，以 Growclust 重新定位方法，針對此區域內具密集性分布的主餘震序列重新定位，並期望建構更清楚的發震構造樣貌，以了解六甲地區的孕震構造。將六甲地區 2020 年 8 月份的地震資料重新定位後，可發現事件密集分布於地表六甲斷層東側，震源機制解顯示斷層面為北北東至南南西走向，朝東傾約 40 度，而將發震位置依深度投影後發現此區地震事件密集發生於 10-11 公里處，並且呈現 40 度向東傾的趨勢。將研究結果與過去所知的六甲斷層資料作比較，可發現發震深度集中於 10-11 公里之間，並非位於基底滑脫面之上，而傾角（約 40 度與約 30 度）也有明顯的不同。台灣西南部區域以褶皺逆衝帶與覆瓦狀逆衝斷層為主要斷層構造，在麓山帶區域褶皺逆衝帶中，低角度逆衝斷層以造山活動前存在之正斷層的淺層部份作為斷坡向上爬升，透過相關構造觀測與震源資料，推測在更深處可能有造山運動前生成的正斷層影響著此處的活動。六甲地區地震事件在基底滑脫面之下似有另一構造控制著此處的活動，亦有可能為西部斷層活動類型向南延伸分佈的展現，與西南部一帶的褶皺逆衝帶比較，此活動構造可能與造山運動前生成之正斷層有關，而確切構造為何、以及發震的機制與活動則有待進一步的分析與觀測。

中文關鍵字：六甲斷層、地震重新定位、褶皺逆衝帶

深度學習於地震偵測之落地化：連續資料的波相挑選及降低反投影

法之計算開銷

廖勿渝¹、李恩瑞¹

(1)成功大學地球科學系

近來，深度學習算法於地震學之嘗試如雨後春筍冒出，而如何將演算法納入連續，甚至是即時的地震資料處理流程是值得被關注的議題。為了提高模型在動態的波形上偵測地震及波相的穩定性，我們提出了 Marching Mosaic Waveform Augmentation (MMWA)。在模型的訓練資料中加入以不同地震波形拼接而成的資料，並使其隨機前後移動，以模擬多組地震訊號同時出現，以及在判釋的時間窗格內被截切的狀況。本研究以在固定時間窗格內判釋地震 P 波及 S 波到時的模型為例，在時間域上對所有資料點進行移動式的重複判釋，取其中位數以作為模型的穩定輸出。此判釋方式能迫使模型判釋每個資料點時，能同時注意其他資料點隨著時間變化的情形，以模擬人類判釋地震波相到時的行為。反投影法(back-projection)藉由在連續資料上針對多個測站所記錄到的特定訊號（如初達 P 波）建構特徵方程式（如 STA/LTA, Kurtosis 等），在時、空間域進行疊加，以尋找潛在的訊號源。使用傳統的線性方法建構特徵方程式，在連續資料的處理上最大的問題有三：(一) 無法分辨 P 波、S 波。(二) 無法捕捉在短時間內連續發生之地震，尤其是振幅差異較大之事件。(三) 特徵方程式的值無統一單位，偵測閾值設定困難。因此在實務應用上，在地震記錄的三個分量上分別對 P 波及 S 波設計特徵方程式，並使用研究區域的 P 波及 S 波速度模型分別進行演算再疊加是較保守的做法。然而地震波形的變異性甚大，無法以同組參數量化所有地震出現時，所有波相的特徵。本研究以兩百萬餘筆三分量地震記錄(約 5% 純噪音，約 25% 為 MMWA 所合成的資料)訓練而成的 ARRU (Attention Residual-Residual U-Net) seismic phase picker 進行連續資料的地震偵測及波相判釋，可以很好的緩解上述三個困境。此外，將需要建構並疊加的時間序列函數減少為原本的三分之一，即只輸入模型所產出的 P 波及 S 波偵測函式。其中最大值為 1，最小值為 0，演算法的數值穩定度較高。

中文關鍵字：深度學習、地震偵測、波相挑選、資料增強、連續資料處理

利用數值模型探討中寮隧道之高密度泥貫入體形成之機制

林佳勳¹、王維豪¹

(1)中正大學地球與環境科學系

位於高雄市田寮區的中寮隧道北端出口，剛好位於旗山斷層與龍船斷層之間，自從開通以來便因地表抬升作用而導致道路被嚴重破壞。旗山斷層與龍船斷層為東北-西南走向之逆斷層，但是近幾年的大地測量資料顯示旗山斷層下盤與龍船斷層上盤之間 450 公尺內的同時具有水平伸張與壓縮的地形變，且垂直抬升速率高達 10 cm/yr。然而，此抬升區域為重力異常高區，並非一般低密度貫入體的形成機制。因此本研究使用 2-D 黏彈塑數值模型，希望藉由模擬出符合觀測資料之地表速度以探討此區地形變得形成機制。

本研究模型中包含：古亭坑層、高孔隙流體壓泥層、烏山層以及旗山斷層。根據前人研究，我們認為在古亭坑層深處會因低滲透率、甲烷氣的生成與黏土礦物脫水而形成高孔隙流體壓力。本研究模擬結果顯示，當古亭坑泥岩受到造山運動的推擠後，靠近旗山斷層的高壓泥層開始累積應變，並上抬升，使其上方的古亭坑層產生局部的應力集中，形成斷裂。此時底部的高孔隙流體進入破裂的泥岩，使得斷層因含水與高流體壓而進一步的弱化作用，形成弱面，進而促使高壓泥岩上升形成泥貫入體。隨著破裂面的增長與弱化，泥貫入體上升速度也逐漸增加。綜上所述，本研究認為壓密、脫水與脫氣作用使得超高壓泥岩在中寮隧道地下約 3-5 公里處產生，而造山運動的擠壓使得其上方的泥岩產生破裂，部分的水與天然氣沿著新生的斷層溢出，並弱化泥質斷層面，同時也增加原高壓層的密度。而殘留孔隙壓力仍足以抬升高密度的泥岩，並形成重力高區與異常的抬升速率。

中文關鍵字：中寮隧道、旗山斷層、古亭坑層泥岩、泥貫入體、數值模擬

Mapping seismicity in Albania from various catalogs

Edlira Xhafaj¹、Chung-Han Chan¹、Kuo-Fong Ma²

(1)Taiwan International Graduate Program (TIGP)–Earth System Science Program, Academia Sinica and National Central University, Taiwan, Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management (E-DREaM) Center, National Central University, Taiwan、(2)Taiwan International Graduate Program (TIGP)–Earth System Science Program, Academia Sinica and National Central University, Taiwan, Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management (E-DREaM) Center, National Central University, Taiwan, Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Earthquake catalogs are a key component in seismic hazard assessment. Given the long continuity of history in Europe, compiling a catalog involves combining several sources from different periods. This task is particularly of importance for seismically active regions like Albania, which is among the most affected by severe earthquakes, part of the Alpine-Mediterranean seismic belt. Located in Southern Europe, where the Eurasian plate connects to with tectonic setting of the Aegean subduction zone, which extends along the Albanian coast into the complex subduction of the Adriatic Plate to the North. Seismicity is among the highest in Albania, and despite its short extend of only 360 km North-South and 150 km East-West, accounts for 7.2% of the overall seismic energy released in Europe, an earthquake with $M \geq 6.5$ occurs every year. To map the seismicity recorded in the past two millenniums, earthquake parameters from several catalog sources are combined to illustrate seismic activity in Albania. In this study, we consider the catalogs from the Institute of GeoSciences in Albania (IGJEUM), Seismic HAZard haRmonization in Europe (SHARE), Euro-Mediterranean Seismological Center (EMSC), and International Seismological Centre Bulletin (ISC). For magnitude harmonization, we convert all other magnitude scales into moment magnitude based on regression relationships suitable for the study region. Based on a time series of the seismicity, the magnitude of completeness for various observation periods could be determined. Considering the assumption of the Poissonian model for temporal distribution of seismicity, we remove foreshocks and aftershocks using declustering approaches. We identify several area sources based on the tectonic setting and propose a seismic model for each area using the Gutenberg-Richter law based on the earthquake parameters from the declustered catalog. Such seismic model could provide crucial parameters for subsequent probabilistic seismic hazard assessment.

Keywords: earthquake catalog, declustering, seismic hazard, magnitude of completeness, area source

臺灣北部地震帶判識、構造特性分析與其防災之應用

楊清淵¹、柯明淳¹、陳文山²、洪嘉佳²、柯孝勳¹

(1)國家災害防救科技中心、(2)臺灣大學地質科學系

透過長時間的地震觀測、槽溝鑽井工作與古地震的分析，地球科學家了解到地震震源破裂位置具有一定的重複性，如何有效掌握發震構造特性將有助於研判地震災情分布與餘震可能發生地區，進而提升災害搶救之效能，一直為地震防災的工作重點。在科技部經費支持下，國家災害防救科技中心與臺灣大學、成功大學將臺灣本島內被視為誘發大規模地震的 33 條活動斷層，逐步完成其地下構造面的向量化資料建置，但由於地震發生區域多在構造資料缺乏之地下深部位置，故本研究嘗試以建置「地震帶」之方式，補足構造資料之不足。

本研究整合前人已發表的地下速度構造、地震分布與震源機制解資料，將濁水溪以北之區域繪製 15 條東西向地質剖面，同時透過 GOCAD Mira Geoscience 軟體，逐步比對並繪製臺灣北部地震帶之分布位置。根據現階段研究成果顯示，臺灣北部 6 個地質構造分區共存在 13 個潛在的地震帶，目前各地震帶除已完成構造特性分析與過去引發的地震事件說明外，當各次地震事件發生之時相關地震資訊也將再作為地震帶範圍之修正，於未來整合地震災害情境評估後，協助災害重點區域劃定與防災規劃。

中文關鍵字：活動斷層、地震帶、地震防災



斷層地下面解資料應用於地震災損評估之合理性

柯明淳¹、楊清淵¹、黃明偉¹、吳佩庭²、方星尹¹、楊耿明²

(1)國家災害防救科技中心、(2)成功大學地球科學系

如何針對地震情境模擬設定一個合理的地震規模協助地區進行地震災害防救計畫之施作，常為地震減災工作者探討的重點，而目前常用之地震規模之設定主要為依照地形判釋、野外地質調查、地物探勘之結果所劃定的斷層長度或依斷層傾角、平衡剖面假設斷層的斷層面大小，透過經驗公式換算為地震規模後於地震情境模擬之使用。為增加地震災害的防災能量，在科技部防災學門的支持下，國家災害防救科技中心、台灣大學與成功大學逐步建立含中央地質調查所公告之 33 條活動斷層、16 條學理上符合活動斷層定義之斷層以及東部與南部海域之地下地質向量化資料，並定期依調查或探測資料成果之增加再進行修正。

為有效使用構造的地下向量化資料，今年度團隊嘗試將建構新竹斷層與新城斷層的向量化地下面解資料轉化後，新竹斷層與新城斷層之地震規模皆約為 $M_L6.4$ ，小於現今常用之 $M_L6.8$ ，故配合斷層面長寬、走向以及傾角等資料，並透過國家災害防救科技中心的地震衝擊資訊平台(Taiwan Earthquake Impact Research and Information Application Platform, 簡稱 TERIA) 針對兩條斷層的地震情境進行模擬，未來除提供災害管理者新的地震情境，也嘗試比對不同斷層參數所產生之地震情境結果，討論目前所建構之地下地質向量化資料對於地震防災應用之合宜性與合理性。

中文關鍵字：活動斷層、地震情境、地震規模

住宿式長照服務機構地震災害風險評估 - 以嘉義市為例

劉淑燕¹、劉怡君¹、謝蕙如¹

(1)國家災害防救科技中心

臺灣位於環太平洋地震帶上，由於板塊交界處的聚合活動，飽受地震的威脅，如 1999 年九二一大地震、2016 年美濃地震導致數以百計甚至數以萬計的人員傷亡，對社會經濟造成重大衝擊。加上人口過度集中及城市化快速發展，在現今的環境條件下，若發生大規模地震災害，其造成的損失規模與社會衝擊較以往更加擴大嚴重。

臺灣已於 1993 年成為高齡化社會，根據內政通報統計，從我國歷年人口結構觀察，高齡者（65 歲以上）比例逐年上升，2019 年底已占總人口數 15.28%，面對高齡化與少子化的衝擊，臺灣對於老人照護的需求日漸增加。由於生理狀況的差異性與不同的移動能力，當災害發生時，高齡者相對屬於避難弱勢族群。而地震的來臨難以預測，從得知地震發生到震波傳遞往往只有數分鐘甚至十數秒的應變時間，因此，如何協助高齡者在震災來臨時能安全避難已是間不容緩的課題。本研究擬以住宿式長照服務機構為研究對象，探討在最大可能地震發生的極端情境下，易致災地區的機構之建築結構、空間分布與災害的關係，以利相關單位制訂防災政策與應變業務計畫之參考。

中文關鍵字：高齡者、住宿式長照服務機構、地震災害、風險評估



A study of the landscape transition along the surface ruptures of the 1999 Chi-Chi earthquake and Chelungpu Fault over the past 20 years in central Taiwan

Jin-wei Hsu¹、Yen-Chiu Liu¹、Chih-Yuan Huang¹、Shih-Ting Lu¹、
Po-Tsun Chen¹、Yen-Hui Lin¹

(1)Central Geological Survey, MOEA, Taiwan

The Chi-Chi earthquake occurred on September 21, 1999 was the largest earthquake of the century in Taiwan ($M_L=7.3$). The strong ground motion attacked and induced building damages and over 2,300 fatalities. The thrust of Chelungpu Fault also induced about 100 km long of the surface ruptures and remarkable co-seismic displacement in Central Taiwan. The geologist of Central Geological Survey (CGS) recorded and defined the surface ruptures, fault traces and co-seismic deformations after the earthquake immediately. A survey report included more than 240 sites of outcrops and surveying data were published in November, 1999. After 20 years that the Chi-Chi earthquake had occurred, most of the observational sites of Chelungpu Fault recorded in the survey report mentioned above and some associate vestiges were surveyed again in this study. Compared the images taken right after the earthquake and recorded in 2019, the environment near fault were different apparently caused by artificial activities such as excavations or constructions. Only a few of building or structures retained the damaged states. The co-seismic uplift and the fault scarps still can be recognized in the field. However, the slopes of scarps were gentler at most of sites except the sites with retaining wall constructions. In fact, the rupture traces of Chelungpu Fault have disappeared soon because of the natural erosion or artificial activities and hard to define today. The importance of the immediate records after earthquake was manifested through the comparing of images in the present and the past. Taiwan is a seismically-active island and hard to avoid the earthquake because we located on the boundary of plates and fire ring. Even though the earthquake can't be forecast so far, hope the image records in this study can remind the people that the disaster of large earthquake, and the researches of active faults can provide useful information for disaster prevention and reduction are what we expect.

Keywords: 1999 Chi-Chi earthquake, Chelungpu Fault, fault scarp, surface ruptures, central Taiwan

Developing the building exposure inventory for seismic risk assessment in Taipei

Ming-Kai Hsu¹、Kuo-Fong Ma²、Chung-Han Chan¹

(1)International Graduate Program for Earth System Science between National Central University and Academia Sinica, Taiwan; Earthquake-Disaster and Risk Evaluation and Management Center, National Central University、(2)International Graduate Program for Earth System Science between National Central University, Taiwan; Earthquake-Disaster and Risk Evaluation and Management Center, National Central University; Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Development of building exposure for seismic risk assessment has been a focus topic for urban development and future design to understand societal capacity and strengthen resilience. An exposure database includes building parameters, including locations, taxonomy, height (number of floor), construction times and usage. These end-to-end hazard and risk assessment will increase the resilience of society to extreme earthquake events by identifying the factors critical to society in the earthquake scenarios or/and seismic assessment in probability. Departing from some exposure databases with grid-based resolution, we have constructed building-based exposure database. We first obtained the geometry of each individual building from the National Land Survey and Mapping Center. Then we acquired corresponding building parameters (such as address, taxonomy, number of floor, construction times and usage) according to the government tax data from finance statistics database. Address of each building was converted to corresponding coordinate through the Taiwan Geospatial One Stop (TGOS). Based on the geometry and coordinate, parameters from various sources can be integrated. Such high-resolution database would contribute crucial information for subsequent risk assessment, such as risk from fault displacement hazard; implementing specific response spectra based on the height (or number of floor) of each building.

Keywords: seismic risk, exposure model, building inventory

Probabilistic fault displacement hazard analysis: Review and case study in Taiwan

Jia-Cian Gao¹、Chung-Han Chan²、Kuo-Fong Ma³、Chyi-Tyi Lee¹

(1)Earthquake-Disaster and Risk Evaluation and Management Center, National Central University / Institute of Applied Geology, National Central University、(2)Earthquake-Disaster and Risk Evaluation and Management Center, National Central University / Department of Earth Sciences, National Central University、(3)Earthquake-Disaster and Risk Evaluation and Management Center, National Central University / Department of Earth Sciences, National Central University / Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Coseismic surface displacements associated with large earthquakes could result in significant damage to structures located on or near a fault. Thus, a probabilistic fault displacement hazard analysis (PFDHA) has been proposed to estimate expected levels of slip on a fault due to surface rupture. However, the dataset that contributed to this analysis is rare due to infrequent events of this kind. An earthquake with M_w 6.4 occurred in Hualien, Taiwan, on 6 February 2018, which caused surface ruptures associated with the Milun Fault with a maximum offset of 30 cm, resulting in damage. Field investigations were immediately carried out with good compilations of the data, which provided additional important test data for the PFDHA. In addition to validating the PFDHA, we first implemented the empirical prediction equations for fault displacement, variability of displacement, and other variables that are the key to implementing a PFDHA from the available global dataset, and proposed a new fault displacement prediction equation (FDPE) for the principal fault based on an existing prediction form. We used the derived prediction equations and their variability to calculate the fault displacement hazard and handle epistemic uncertainties through a logic tree formulation. Using the surface rupture data (with free field data and other possible artifact data in the fields) of the 2018 Hualien earthquake, we validated the credibility of the FDPE that we selected, and the investigation on the fault displacement hazard. The comparison shows that 86% of the free field data of the Hualien event is within one deviation, whereas about 65% for other datasets having artifacts. Our study shows a possible establishment of a Taiwan fault displacements hazard map, which is helpful to the government and public for understanding the fault displacement hazard and the potential hazard level for major facilities.

Keywords: probabilistic fault displacement hazard analysis

新城斷層的地質調查與構造特性

江婉綺¹、陳柏村¹

(1)經濟部中央地質調查所

本研究針對頭前溪至中港溪之新城斷層沿線進行地質調查，共發現 3 處斷層露頭，可作為新城斷層跡位置控制及斷層構造特性研究，並由野外調查成果繪製新城斷層地質圖。

新城斷層北端，在頭前溪一帶的剪切作用劇烈，斷層泥帶寬約 3 公尺，緊鄰斷層上盤的卓蘭層，在層內局部有網脈狀的剪切構造發育，研判為新城斷層的斷層變形帶，整體範圍寬約 200 公尺。

新城斷層往西南切過頭前溪南岸階地，斷層線跡順著近東北向的斷層崖（線形崖地形特徵明顯）延伸，續往西南切過大確頂一帶的丘陵地，由地質調查結果可知斷層上盤為卓蘭層，呈東北東走向、向南傾約 10 至 30 度，鄰近斷層的岩層可觀察到密集剪裂帶及變形帶的發育，整體斷層帶的範圍約 150 公尺，斷層下盤為頭嵙山層香山砂岩段，岩層呈東西至西北西向、緩向南傾，無斷層擾動的跡象。

新城斷層再往西南，斷層上、下盤岩層都是頭嵙山層香山砂岩段，斷層兩側的層位落差變小、岩性相近，上盤岩層約呈東北走向、向東傾 10 至 30 度，而斷層下盤岩層則近乎水平。在新城村新豐宮附近，有很好的斷層露頭可觀察到新城斷層的斷層特性，於此處新城斷層為數條規模不大的斷層共組（斷距約數至十餘公分），而非呈現一條主要的斷層型態，與頭前溪一帶的斷層形貌有很大的差異。本露頭中觀察到斷層主要位態為近南北向、向東傾 10 餘度、向西逆移，強烈的剪切現象主要集中於灰黑色泥岩層中，緊鄰斷層的上盤岩層受到斷層變形影響，位態轉為近東西向、向北傾 30 餘度，呈單斜褶皺變形形貌，另外，距主斷層約 100 公尺的範圍內，發現 2 條分支斷層為近南北向、向東傾 25 度、向西逆衝，造成岩層向北傾斜角度達 60-70 度。

新城斷層經鹽港溪再往西南，斷層上盤岩層之傾斜角度逐漸變小，由於斷層上下盤兩側岩層都很緩、近水平，加上人為開發較多、露頭少，故斷層線跡位置輔以地形判釋，地質證據較少。

新城斷層南端，切過中港溪北岸的階地，斷層線跡順著呈南北向之階地崖線往南延伸，斷層走向轉為南北向，往南隱伏到沖積層下。

綜合前述野外資料顯示，新城斷層的構造特性包含：1. 斷層北段的錯距較大，往南段遞減；2. 斷層北段的主斷層形態為單一主斷層的密集剪裂帶，至斷層中段(新城一帶)，主斷層由數條規模不大的斷層共組，斷層帶內有分支斷層發育；3. 斷層帶的地表寬度由北往南變小；4. 新城斷層的地形特徵於南北兩端較為明顯，中間切過丘陵地的部分則地形特徵較不明顯。

中文關鍵字：新城斷層、斷層跡、斷層帶

"Probabilities Model Map" for Active Faults in Taiwan

Shen-Hsiung Liang¹、Yi-Rui Li²、Yi-Rong Zhuang²、Yin-Tung Yen²、
Chien-Liang Chen¹、Bruce H. Shyu³

(1)Central Geological Survey, MOEA, Taiwan、(2)Sinotech Engineering Consultants, Inc., Taiwan、

(3)Department of Geosciences, National Taiwan University

Central Geological Survey (CGS) release a map of active fault probabilities for Taiwan Island. The map showed the 50-year conditional probability of earthquakes for the 33 active faults in Taiwan. Actually, CGS has been publishing active fault maps in Taiwan since 1998. There are 33 active faults published in the 2012 version of the active fault map.

Because Taiwan is located at the boundary between the Philippine Sea Plate to the east and the Eurasian Plate to the west. Due to the fast plate motions, it is a country with high seismic activities. According to the past 100 year records, the most destructive earthquakes in Taiwan were mainly caused by inland active faults.

In addition, the active fault potential information was required strongly after the huge impacts of the economy and society due to the 1999 Chi-chi earthquake for the hazard seismic assessment requirement of public construction. Therefore, the investigations and researches related to the active faults have been one of the hot topics in the earth science community in Taiwan in recent years.

In 2021, CGS focused on the improvement of fault parameters and earthquake probability assessment of the 33 active faults in Taiwan. This map for the practice in engineer application, it can be needed to estimate of maximum seismic intensities for the design of buildings, critical facilities and lifelines. Also, for the application of public education, it can expand public education to strengthen the perspective for earthquake hazard and risk mitigation.

Keywords: Probabilities Model, Central Geological Survey, active faults

臺灣地震模型 - 海域孕震構造資料庫之建置

陳承鴻¹、徐濤德¹

(1)臺灣大學地質科學系

臺灣地處年輕的活躍造山帶，島上有許多孕震構造與地震活動，若能在災害性地震發生前有適當的風險評估與準備，將能大幅降低災害造成的損失。在科技部臺灣地震模型(TEM)計畫的資助下，本團隊致力於整理臺灣區域的孕震構造，包括繪製可能構造線位置並建立相關構造參數表，如長期滑移速率、可能發震規模與再現周期等，並已於2020年發表新版45條陸域孕震構造資料庫。由於臺灣的地震災害不僅侷限於陸地上的構造，因此未來本團隊除了持續更新陸域構造之成果，下一階段主要目的為建置臺灣周圍海域的孕震構造分布及其相對應的資料庫。目前本計畫著手於資料收集與彙整階段，期望能整合過去數年間，學界與業界針對臺灣海域的地質研究成果，進一步分析海域孕震構造的可能位置與地下延伸方式，並初步計算構造之參數，以利後續地震危害度計算，達到更全面的防震防災準備。

中文關鍵字：臺灣地震模型 (TEM)、地震災害、孕震構造



An exploration of the intention of “new evidence” in the Amendment Procedure of the Geologically Sensitive Area: Taking the amendment of the Active Fault Geologically Sensitive Area of Milun Fault for example

Jin-wei Hsu¹、Shih-ding Lu¹、Yu-Jen Chang¹、Wen-Hsing Cheng¹

(1)Central Geological Survey, MOEA, Taiwan

According to the Regulations for the Delineation, Amendment and Revocation of Geologically Sensitive Area Status, the active fault Geologically Sensitive Area of Milun Fault (F1011) that based on the new evidence of the surface ruptures occurred in 2018 Hualien earthquake has been the first amendment procedure since the Geology Act came into force. About the intention of the “new evidence” in the statute, the definition in the Administrative Procedure Act and Code of Criminal Procedure can be classified as: (1) The evidence that existed, or was established, but was not investigated in time before the procedure is finished, or (2) the evidence that only come to light or become established after the procedure. Moreover, the integration of the evidence becomes established after the procedure and that existed evidence during or before procedure were also regarded as new evidence in the actuality.

In the procedure of the amendment of the Geologically Sensitive Area of Milun Fault, the new evidences of surface ruptures occurred in 2018 were appeared after the original announcement and deliberation of the geologically sensitive area. Therefore, these surface ruptures can be regarded as the second classification of new evidence mentioned above. Besides, the surface ruptures occurred in 1951 Hualien earthquake that had been considered but not adopted during deliberation of delineation were confirmed by 2018 Hualien earthquake because of the similar trend and geological implication. The ruptures of 1951 Hualien earthquake can be categorized as the first classification of new evidence mentioned above if we consider that as the evidence in the amendment procedure of the Geologically Sensitive Area of Milun Fault.

Regardless of the classification of new evidence applied in the amendment procedure, the geological evidences and indeed research should be the most important foundation no matter the delineation or amendment of geologically sensitive area.

Keywords: Regulations for the Delineation, Amendment and Revocation of Geologically Sensitive Area Status, active fault geologically sensitive area, Milun Fault, new evidence, 2018 Hualien earthquake

活動斷層地質敏感區(F0021 梅山斷層)劃定簡介

劉彥求¹、林燕慧¹、石同生¹、黃志遠¹、許晉璋¹、陳柏村¹、盧詩丁¹

(1)經濟部中央地質調查所

梅山斷層為右移斷層，約呈東北東走向，1906年3月17日嘉義發生規模7.1的地震，造成了1,266人喪生與大約2萬至3萬餘戶的房屋全倒、半倒或受損。大森房吉(Omori, 1907)地質調查資料顯示，地表破裂分布於雲林縣與嘉義縣境內，東起雲林縣古坑鄉與嘉義縣梅山鄉於華興溪交會處的下莊附近，以西南西走向延伸至嘉義縣民雄鄉山子腳附近，長約12公里；另一分支由民雄鄉陳厝寮西方向西延伸至民雄車站附近，長約4公里，兩段總長約16公里。

依據大森房吉(Omori, 1907)地質調查資料，在開元後以東該斷層北側為升側，開元後以西至山子腳一帶斷層南側為升側，在山子腳以西的區域斷層兩側則沒有明顯抬升。梅山斷層在1906年地震時，斷層兩側的變形狀況呈現橫移斷層的特性，整體為對稱形態。

本地質敏感區位於嘉南平原與斗六丘陵的交接帶，依地勢變化由西至東包括平原區、隆起河階—沖積扇區與丘陵區；丘陵區以東則為西部衝上斷層山地(林朝榮, 1957)。

梅山斷層活動斷層地質敏感區位於臺灣西南部，自雲林縣古坑鄉與嘉義縣梅山鄉交會處的華興溪北岸，以西南西方向延伸經梅山鄉梅北村、三美莊、開元後、大林鎮中坑、埤頭、人狗坑、溪底、民雄鄉山子腳、過溪仔、寶珠湖至東勢湖，終止於民雄車站附近，長約16公里，總面積約5.0平方公里。

中文關鍵字：1906年梅山地震、梅山斷層、地表破裂、右移斷層、Omori、活動斷層地質敏感區

Shallow rupture pattern of the northernmost Lingding Fault during the 2018 Hualien earthquake: the perspective on aerial photos

Jian-Ming Chen¹、Yu Wang¹、Yu-Ting Kuo²、Shao-Yi Huang³、

James Hollingsworth⁴

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、(2)Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung-Cheng University、(3)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(4)Université Grenoble Alpes

On 6th February 2018, the M_w 6.4 Hualien earthquake occurred near the Hualien City, accompanied with ground deformations along the Milun and Lingding Faults. While post-event field survey provided detailed description and data of the Milun Fault, there was not too much report about the surface rupture and deformations along the Lingding Fault since the surface rupture passed through the Hualien River bed. In order to investigate the shallow rupture behavior of the Lingding Fault during the 2018 earthquake, the pre- and post- earthquake aerial photos are used in this study. We not only map the plausible coseismic surface rupture on the Hualien River bed by visual inspection of the images, but also obtained the surface displacements to determine the spatial pattern and magnitude of offset across the Lingding fault by COSI-Corr. Both approaches reveal clear result within the Hualien River bed, and suggest the 2018 coseismic rupture along the Lingding Fault is dominated by the left-lateral slip, where the displacement decreased from north to south, from ≥ 1.0 m near the Hualien River mouth to ≤ 0.4 m south of the Mugua River. Such pattern agrees well to the GNSS RTK field survey result. After that, we conduct a series of half-space fault slip model to fit the sub-pixel correlation data and GNSS RTK survey results. To sum up, the shallow portion of the northernmost Lingding Fault did rupture during the 2018 Hualien earthquake, forming a series of left-lateral surface ruptures with limited fault-normal movement.

Keywords: 2018 Hualien earthquake, Lingding Fault, surface ruptures, aerial photos

由歷史航空照片建置數值地形模型探討 1972 年瑞穗地震瑞穗斷層

向北延伸之活動構造

李應頌¹、王昱¹

(1)臺灣大學地質科學系

台灣東部於 1972 年 4 月 22 日發生規模 6.7(M_w)之瑞穗地震，震源位於瑞穗鄉東方近海深度約 15~29 公里處，為左移逆衝斷層型態破裂。其主震與餘震序列位於 1951 年 10 月花蓮縱谷地震群以南、11 月縱谷地震序列以北，顯示該地震發震斷層可能為 1951 年花東縱谷斷層系統向北破裂之結果。為了解 1972 年瑞穗地震發震斷層與 1951 年縱谷斷層破裂的關聯，以及可能伴隨的地表變形，本研究使用在 1972 年瑞穗地震發生前、後之歷史航照，以運動回復結構(SfM)及多視立體(MVS)之方法建置該地區的歷史數值地表模型(DSM)與正射影像，並透過構造地形判釋及田野調查了解該區域之活動斷層特性與可能的同震地表變形。本研究在海岸山脈西側光復鄉至壽豐鄉一帶，總長約 24 公里的山麓西側發現連續分布之斷層跡，斷層跡沿線可見斷錯河階、斷錯河、閉塞丘、斷層池等多樣的左移活動構造地形；另於東富村阿美族國小等地可見平行排列的活動構造崖與地形抬升，顯示該地區的縱谷斷層系統具有明顯的左移與逆移分量，與 P 波初動法之震源機制解相符。本研究之田野訪談調查結果亦顯示 1972 年瑞穗地震於加里洞至阿托莫地區的地震震度可達改良式麥卡利震度(MMI) VII~VIII 度，暗示 1972 年瑞穗地震為一由南向北傳播的單向斷層破裂所造成。

中文關鍵字：1972 年瑞穗地震、花東縱谷斷層、瑞穗斷層、航空照片、數值地形模型、運動回復結構、多視立體

菌蝕作用對原油碳同位素組成之影響

林殷田¹、俞聖法²、徐敬閔¹、賴慶晏²、徐偉軒²、葉世國¹

(1)臺灣中油公司探採研究所、(2)中央研究院化學研究所

油-油和油-岩對比雖常以生物指標化合物對比作為主要鑑別方式，但油氣在形成以後至移棲到儲集層的過程間，常會受到岩層中的有機物以及不同來源的油之混合。生物指標化合物雖然可以提供混合有機物的來源，但混合源在油中所佔的比例卻不易從生物指標化合物的特徵中分辨出來。而原油成份中穩定碳同位素組成，可以協助估算不同來源的貢獻比例。因此當進行油-油對比時，具類似生物指標化合物的不同油樣之間，可利用穩定碳同位素組成之差異來區分。

然而，依菌蝕程度之不同，常見不定程度碳同位素組成之改變，進而影響油-油和油-岩對比的正確性。因此本研究進行菌蝕作用對原油穩定碳同位素組成之影響。研究結果顯示，利用單一菌種進行原油菌蝕實驗可見其低碳數之正烷烴在初期即被分解近 50%，隨著菌蝕時間增加，其高碳數之正烷烴亦持續降解。隨著正烷烴降解越多，整體穩定碳同位素組成亦逐漸變重。更進一步，分析其特定分子碳同位素組成，降解初期亦逐漸趨向較重的碳同位素組成，再逐步下降至接近未菌蝕前之比值。此結果符合動力學同位素效應，較輕的 ^{12}C 組分，具較高的比例，可較快速地持續地被菌蝕。然而，當菌蝕逐漸劇烈，則開始有更多的 ^{13}C 的組分被分解，則會反向地使得碳穩定同位素比值又再次降低，逐漸逼近原始菌蝕前的比值。此項趨勢，與 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 的動力學同位素效應，呈現高度的正相關。

中文關鍵字：菌蝕作用、原油、同位素效應

以生物整治法處理風化油品污染土壤 - 現地模場試驗

羅凱泓¹、陳韋廷¹、林舜隆²、王騏璋²、李信佳³、許藝騰³、高志明¹

(1)中山大學環境工程所、(2)臺灣中油公司探採研究所、(3)和協環保科技股份有限公司

土壤被石油碳氫化合物所污染是一個普遍且嚴重的問題。油污染土壤大多是由於油槽或管線的滲漏而造成。在受油品污染土壤場址中，風化油品相較於其他油品不僅含碳數高且化學穩定性佳，不易在環境中分解，故對環境生態影響較大。因此，開發經濟有效且對環境友善的整治工法有其必要性。本研究評估以生物堆處理風化油品污染土壤之可行性。研究中以現地模場進行生物堆試驗，評估生物堆最佳操作參數。由於風化油品中主要碳氫化合物之生物可利用性較低，因此本研究將營養基質(碳基生物復育劑)與嗜油菌株混拌入污染土壤，再結合生物可分解界面活性劑，使土壤中風化油品達到增溶效果，以提升風化油品生物分解效率。本研究所開發之碳基生物復育劑可有效促進嗜油菌株生長，生物復育劑中含有生物可利用碳源，可使嗜油菌菌量在試驗過程得以快速成長。試驗結果顯示，添加碳基生物復育劑的生物堆可在 56 天內移除土壤中 46% 之總石油碳氫化合物(total petroleum hydrocarbon, TPH)，相較於僅添加氮磷營養鹽與嗜油菌液生物堆高出 10% 之 TPH 移除率。試驗結果顯示，碳基生物復育劑在界面活性劑增溶效果下，嗜油菌分解 TPH 的活性更為顯著，TPH 移除率達到 68%。添加界面活性劑可增加污染物(TPH)生物可利用性，並達到促進 TPH 降解的目標。由於生物堆中營養鹽被微生物所消耗，總菌量自第 35 天逐漸降低，造成各組生物堆在實驗後期之 TPH 移除速率降低。此結果也說明土壤中的營養鹽在整治後期成為 TPH 移除速率之限制因子。綜上所述，TPH 污染生物整治法結合界面活性劑可有效提升風化油品的生物分解效率，而適當設計及操作的生物堆可做為整治受風化油品污染土壤的處理方法。

中文關鍵字：總石油碳氫化合物、生物加強法、生物堆、界面活性劑、風化油
品

天然水庫黏土（NRC）和 *S. pasteurii* 脲酶對水中重金屬鉛、鎘、砷

吸附及濁度之去除

林品芸¹、黃奕勳²、馬柔堤²、陳建易²

(1)中正大學化學暨生物化學系、(2)中正大學地球與環境科學系

重金屬鉛、鎘、砷為環境中持久且具有毒性的污染物，本研究利用天然水庫黏土與 *S. pasteurii* 產生的脲酶，降低水中重金屬鉛、鎘、砷濃度及濁度。實驗條件於 pH 7 條件下，用不同濃度的重金屬鉛、鎘、砷(20~1000 mg/L)，天然黏土 (0.01~0.7 g)，時間 (0~24 小時)，找出最佳去除對重金屬鉛、鎘、砷的條件，利用 X 射線螢光光譜儀(X-ray Fluorescence Spectrometer, XRF)及 X 射線衍射儀(X-ray Diffractometer, XRD)分析天然黏土主要成份為高嶺土及蒙脫石。重金屬吸附能力鉛>鎘>砷。吸附劑濃度 0.03 g 時，10 秒內可去除濃度 100 ppm 的鉛，60 秒內可去除 80 ppm 的鎘。在水中發現 *S. pasteurii* 脲酶能使水中濁度降低。結果顯示利用天然黏土與 *S. pasteurii* 脲酶能降低 99%以上的鉛，94%以上的鎘。以經驗常數($1 > n$)和吸附動力學(Langmuir 和 Freundlich)顯示，天然黏土吸附重金屬鉛和鎘，屬於單層吸附，較符合二階反應動力學。結果顯示天然水庫黏土與脲酶，能有效吸附重金屬並降低水中濁度。

中文關鍵字：重金屬去除、天然黏土、濁度、脲酶、等溫吸附、動力學

MIP 法製備高光催化性能之奈米氧化鋅生物白水泥砂漿

王敏峰¹、葉偉凡¹、黃奕勳¹、林品芸²、陳建易¹

(1)中正大學地球與環境科學系、(2)中正大學化學暨生物化學系

本研究主要利用 MICP(Microbial Induced Carbonate Precipitation)法於生物白水泥砂漿改良，並評估其應用於土木水利工程之探討。首先成功利用微生物誘導鋅沉澱方法填補白水泥材料中的微裂縫，可以降低其吸水率，並且成功結合水熱法合成出奈米氧化鋅。在吸水率方面，添加 2.5%四水硝酸鋅(鋅源)配比之生物白水泥砂漿與一般的白水泥砂漿相比可以下降 52.75%。在材料表面疏水性上，添加 2.5%的四水硝酸鋅配比之生物白水泥砂漿時，接觸角度高達 89.54°，相當接近疏水性材料之性質。在光催化性能方面，添加 2.5%的四水硝酸鋅配比之生物白水泥砂漿與一般的光催化白水泥砂漿相比，其光催化效率($\eta\%$)提升了 34.31%。在抗菌能力方面，含有鋅源配比之生物白水泥砂漿在模擬太陽光下具有 100%的抗菌效率。在成本方面，添加 2.5%的四水硝酸鋅配比之生物白水泥砂漿與一般的光催化白水泥砂漿相比，每立方公尺可以節省 149,531 元。實驗結果證明利用微生物誘導鋅沉澱技術結合水熱法製備生物白水泥砂漿，可成功改善白水泥砂漿特性，降低吸水率和親水性特性，防止水滲透所導致的問題，以及提高光催化能力以達到降解有機物和抗菌之成效。

中文關鍵字：微生物誘導沉澱、奈米氧化鋅、生物白水泥砂漿、光催化

利用微生物誘導碳酸鎘沉澱並經由鍛燒製備奈米氧化鎘

諶子翔¹、陳建易¹、黃奕勳¹、林品芸¹

(1)中正大學地球與環境科學系

使用 *SP* 與 *EC* 兩種不同的菌種，並經由微生物使水中鎘離子形成碳酸鎘沉澱，使用不同的溫度及時間鍛燒碳酸鎘沉澱物來製備奈米氧化鎘，經過 XRD、FTIR、SEM 及 TEM 分析經由不同溫度及時間鍛燒出的納米氧化鎘，觀察晶格型態及差異。

中文關鍵字：氧化鎘



使用自製培養基改善微生物誘導碳酸鈣沉澱之技術並應用於

台中港揚塵防治

周郁翔¹、陳建易¹、黃奕勛¹、林品芸¹

(1)中正大學地球與環境科學系

台中港區域位於大甲溪出海口南側，由於此區域海流流向大多以西、北兩方向居多，會導致原本應該淤積於大甲溪出海口的河川漂沙被帶至台中港區域，再藉由北防波堤而停留在北側淤砂區。隨著淤積的灘地逐漸擴大，再加上此區域風向大多為東、北方向為大宗，這兩者引發揚塵並影響台中港及鄰近區域。

揚塵會對建築、農業、環境、人體等各方面造成威脅，為了抑制揚塵，本研究使用微生物誘導碳酸鈣沉澱（Microbial Induced Carbonate Precipitation, MICP）之技術來進行海沙固化，此種方法利用微生物新陳代謝的過程中伴隨產生尿素酶，並使用尿素酶加速尿素水解速度來生產銨根離子和碳酸根離子，並提供鈣源在土壤孔隙之間形成碳酸鈣結晶來達到固化的效果。不過此種方法目前成本較高，原因是在於細菌培養時使用的培養基價格較為昂貴，因此本實驗使用嘉義酒廠製酒過程中所產生之廢棄物酒糟，將其製作成培養基來取代原培養基，藉此在達到降低成本的同時又不影響固化效果。

本研究分為兩部分，第一部分為先驅實驗，對海沙樣本進行基本性質分析，包含粒徑分析、質地分析、孔隙率分析以及容積密度分析，與此同時，對微生物進行沉澱試驗和尿素酶實驗，確保微生物在酒糟培養基依然能生存，並生產尿素酶和形成碳酸鈣沉澱。在確認海沙和微生物性質後，即開始進行 MICP 防風定沙樣品製作，在此實驗中，我們以酒糟培養基來分別取代不同比例的 Tris-Yeast 培養基，並進行抗剪切強度與抗風蝕強度實驗，來確認降低成本並不會影響防風定沙的效果，之後進行後續驗證分析，包含場發射掃描式電子顯微鏡（Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM）、X 光粉末繞射儀（X-ray diffraction analysis, XRD）、碳酸鈣含量、數位偏光顯微鏡（Digital Polarizing Microscope）來確認是否有碳酸鈣結晶的形成，以確保防風定沙的效果是源自於 MICP 技術。

在先驅實驗的沉澱實驗中，我們發現以酒糟取代 Tris-Yeast 培養基並不會影響沉澱量太多，整體沉澱量大多維持在 1.4~1.9 g 之間；在抗剪強度實驗中，更可以發現完全以酒糟培養時，抗剪強度會大幅上升；在抗風蝕強度實驗中，不論以何種方式培養效果都差不多；而在之後的驗證分析中，不論是 FE-SEM，亦或是 XRD 皆有發現碳酸鈣結晶，並且碳酸鈣的含量確實有上升。由此可知，以酒糟作為培養基取代昂貴的培養基並應用於防風定沙是可行的。

中文關鍵字：微生物誘導碳酸鈣沉澱、揚塵、酒糟

微生物誘導沉澱應用於地下水中重金屬砷之去除研究

張伯宇¹、陳建易¹、黃奕勛¹、林品芸¹

(1)中正大學地球與環境科學系

因地下水中的重金屬含量通常皆會過高，根據行政院環境保護署公告之資料，地下水所含 10 種重金屬(砷、鎘、鉻、銅、鉛、汞、鎳、鋅、銻、鉬)，其中以砷的含量為最高，所以本研究選用優勢菌種簡稱為之 SP 細菌結合共沉澱技術，過濾工廠含砷廢水，根據不同細菌濃度及沉澱時間，以觀察沉澱物對於重金屬砷的淨化能力，使民眾平常使用的地下水所含重金屬含量降低，以保全民眾身體健康水，是人一生中不可或缺的物質，可以一日不食，卻不能一日不飲水，而根據行政院環境保護署公告之地下水所含重金屬高達 10 種，嘉義之地下水，其中以砷含量為最高，為使民眾盡可能的不使用到此種地下水，將使用專業技術試圖淨化水質。

中文關鍵字：細菌、共沉澱技術、砷、地下水



操作型遊戲學習法應用於國小學童認識礦物之教學活動設計

李佩倫¹

(1)嘉義大學數位學習設計與管理學系

大部份教育者認為透過遊戲結合教材的方式可克服教室中枯燥的學習，研究結果亦顯示透過遊戲式學習其學習成效優於傳統授課的方式。「認識礦物的特性」為國小五年級自然科技與生活「岩石與礦物」的單元目標之一，過往教學活動設計除了教師圖片教學引導外，亦有學生觀看岩石和礦物標本，並進行特性觀察與描述之設計。然而，相較於物理、化學領域之教學活動，則較缺乏相關的操作實驗之設計，因此，應用操作型遊戲於此單元以增加學生的學習動機是本研究的主要目標。本操作型遊戲學習法分成二個階段，各約一節課：第一階段「尋寶活動」以認識礦物及學生能叫出礦物名稱為主要學習目標；第二階段「小小鑑定家」為利用礦物之物理、化學特性以辨認礦物為主要學習目標，相關之活動理念與設計如下：

在沙坑玩耍是每個小孩樂此不疲的活動，因此「尋寶活動」是結合沙坑與「Gem Hunting」的遊戲概念，讓學童在沙坑內挖掘出任務卡的礦物組合。因此除了沙坑外，主要設計為「礦物展示牆」以協助學童認識任務所需的礦物外型。活動過程中學童必須分辨不同的礦物及能說出其名稱才能過關，故必須在礦物展示牆上熟記礦物之晶型或特徵，如此反覆觀看及記憶，並及時在沙坑中尋覓，進而在遊戲之中便熟悉礦物特徵。本研究結果顯示本活動設計在認識礦物與名稱之學習成效，是不分年齡且均具正向的學習成效。「小小鑑定家」在活動前，教師需操作各種鑑定方法，如硬度、條痕、解理、斷口等等之示範及說明，之後給予學生一張鑑定流程及未知標本，讓學生依實驗流程進行測試。本活動研究結果顯示大部份學生都樂於挑戰，活動過程也會互相討論可能之礦物名稱。因此結合二節課程之後，大部份學生都能完成任務，亦同時在遊戲中認識礦物及理解其特性。

中文關鍵字：遊戲學習、礦物、教學活動設計

廉價光達應用於地表 3D 地圖建立之研究

張有和¹、張成華¹

(1)東華大學自然資源與環境學系

攝影測量是建立傳統地圖之最佳選擇，也被利用於建立數值地表模型，雖然以垂直攝影方式建立的地表高程變化相當完整，但卻被稱為 2.5D 地圖，因為例如建築物側面等處因拍攝死角沒有資訊。近年來利用無人載具以側拍方式建立建物側面資訊能比較完整建立 3D 地圖，但是無可諱言側拍仍有許多攝影死角例如不規則柱面，造成 3D 地圖不夠完整。解決方式可以利用空載或地面光達進行掃描以彌補此缺陷，但因為光達設備十分昂貴，所以此方法無法普及。另外完整的 3D 地圖建立耗費大量人力，需要更新的速率也比傳統地圖來的頻繁，急需當地人員擔任建立 3D 區域地圖之重任，這些人員也不可能投資昂貴的光達設備。2019 年底起出現較多廉價光達(1%傳統光達價格)，例如 Livox 系列產品(<https://www.livoxtech.com/>)，Livox Mid-40 以小範圍(FOV=380)利用非重複性掃描，掃描最小角度 0.050，可以達到 2 公分精確度與最遠 260 公尺掃描距離。一年間也出現許多免費光達操作軟體可用於靜態掃描(Livox Viewer 0.11.0、Livox SDK、OpenPyLivox)建立完整 3D 點雲資料，再利用相同點拼接不同掃描位置點雲得到最後完整點雲資訊。也可以利用動態掃描 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)方式以慢速(低於 5 公里/小時)進行掃描(LOAM、Livox_mapping、LeGO-LOAM)建立大規模 3D 點雲資訊。本研究利用 Phantom 4 RTK 無人機建立東華大學環境學院 3D 地圖，再比較利用 Riegl Z360i 地面光達與 Livox Mid-40 光達建立完整 3D 點雲，結果顯示廉價 Livox Mid-40 光達(600g)因為易於攜帶性價表較高，但如果嚴格要求資料準確度 Riegl Z360i 地面光達點雲準確度優於 1 公分(Livox Mid-40 約 2 公分)，但因無人機建立之點雲資料一般約為 2-5 公分解析度，所以使用廉價光達大配無人機建立 3D 地圖值得進一步推廣。

中文關鍵字：地面光達、空載光達、點雲

通往人工智慧的巨量空間資料處理工具 - TronGisPy

王禹翔¹、王選仲¹、方子齊¹、黃梓育¹、沈哲緯¹

(1)興創知能股份有限公司

歸功於電腦硬體運算資源的長足進展，人工智慧(AI, Artificial Intelligence)建模與巨量資料科學的技術應用門檻也隨之降低，並且伴隨著 Python 程式語言的崛起，以飛快的速度擴散在各式各樣的領域之中，就連地球科學與地理資訊也同樣無一倖免。從過去仰賴商用軟體(如 ArcGIS、MATLAB、Super GIS、ENVI、eCognition 等)、底層語言(如 C++、Fortran 等)，到至今開源軟體(如 QGIS、GMT、SAGA GIS、Python、R 等)百花齊放，地球科學在踏入資料科學的層次時，依然面臨著巨量資料消化困難、處理繁瑣等困境，進而影響流程自動化與分析智慧化的可能性。興創知能(ThinkTron Ltd.)致力發展「智慧空間資訊服務」，以自身 AI 專案經驗，開發開源的地理資訊系統(GIS, Geographic Information System)資料分析工具-TronGisPy，該工具支援 Python 環境下的各種空間資料分析，同時也是網格資料(包含衛星影像、航攝影像)的 AI 前處理工具。基於 GDAL (Geospatial Data Abstraction Library)所開發的 TronGisPy，能夠幫助研究人員快速應用在許多科學領域，包含地球科學、海洋大氣、森林資源與土木防災等分析工作。2020 年底 TronGisPy 已在 GitHub 免費開源(<https://github.com/thinktron/TronGisPy>)，平行化運算設計大幅降低巨量網格資料讀寫分析之效率；能夠支援各種網格資料讀寫、座標轉換、格式轉換和內插補值；也設計了網格資料與向量資料的互動，以及高效率的地形特徵運算模組，大幅提升向量圖資與 DEM 資料分析之可用性。本研究將展示多個資料分析應用案例，期待 TronGisPy 的持續擴充，並作為資料科學應用的入門工具，創造地球科學研究發展的新紀元。

中文關鍵字：Python、人工智慧、開源工具、網格資料、空間資訊

多媒體載具應用於活動斷層與災害潛勢之展示

柯明淳¹、楊清淵¹、塗冠婷¹、王仲昀²、楊泓軒²、邱能賢²、曲新天²

(1)國家災害防救科技中心、(2)兔豚有限公司

921 集集地震的災害記憶隨著民眾的年齡增長與社會事件發生逐漸受到替代，但於 2016 年美濃地震、2018 年花蓮地震兩次的地震災害後，再次喚起民眾對於地震與活動斷層議題之關注，然而產官學等不同層面之單位，現階段所有的活動斷層基本資料、災害情境模擬等資訊皆屬於科學研發結果，對於一般民眾而言，這些科學研發成果仍因過於艱深而無法與其生活環境之關聯性。國家災害防救科技中心與兔豚有限公司嘗試將目前博物館或展場常使用的多媒體互動遊戲方式整合中央地質調查所、中央氣象局、國家災害防救科技中心以及各學術研究單位對地震研究之成果，開發一組能展示活動斷層與災害潛勢互動式多媒體載具，提供防災科普教育或展覽使用，讓民眾透過使用互動式資料查詢之方式，了解生活中活動斷層與其發生地震後，災害對於自我居住環境之影響。

本次開發之互動式多媒體載具，為一個長 121 公分、寬 75 公分、延展高度為 210 公分之雙向投影立體投影模型，主要以實體模型搭載浮空式按鈕多媒體介面，展示臺灣地區 33 條活動斷層基礎資料與其模擬之地震災害情境、3 條臺灣島北、中、南之地質構造剖面與 1904 年至 2018 年 27 起歷史災害事件等地震情境資料，同時各地震模擬事件與歷史災害事件之等震圖也已參考 2020 年中央氣象局之新制震度進行編修，未來互動式多媒體載具將協助國家災害防救科技中心於活動斷層與地震災害潛勢等不同防災相關科普教育之使用，藉以加深民眾對於地震災害對其生活影響之印象。

中文關鍵字：多媒體載具、活動斷層、災害潛勢

Tectonic exhumation (and erosion) of a metamorphic core in the Pleistocene, Taiwan

Tim Byrne¹、Michael Chojnacki²

(1)Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong-Hwa University、

(2)USEngineering Solutions Corp.

We propose that extension and thinning of the upper crust, i.e., tectonic exhumation played a significant role in exhuming the metamorphic core in Taiwan. The youngest penetrative fabric in the metamorphic core, S_3 , forms a broad, gently NE plunging antiform. The cleavage is also typically axial planar to numerous recumbent folds, suggesting significant vertical shortening. Veins of quartz, calcite, albite, and/or adularia appear mildly deformed by S_3 , suggesting development late in the formation of S_3 . The veins ($n=92$) strike NW-SE, dip steeply, and are generally normal to the mineral stretching lineation, which plunges NE. In X-Z sections, asymmetric structures are weakly developed and suggest top-to-NE or top-to-SW shear. Fluid inclusions in euhedral to subhedral crystals of quartz and adularia suggest entrapment temperatures of 200°C to 350°C. Ar^{40}/Ar^{39} dating of the adularia suggests crystallization at ~2.5 Ma (see also Chojnacki, MS thesis, 2019). P-T conditions, geometry, and kinematics of S_3 are similar to conditions documented for pseudotachylite exposed along the Hoping River (Korren et al., 2017) which yielded a 1.5 Ma Ar^{40}/Ar^{39} age (Chen et al., 2017). We propose that the pseudotachylite represents the waning stages of S_3 -related exhumation.

The low dip and regional extent of S_3 argue for significant vertical shortening and/or substantial sub-horizontal shear strain. We prefer a top-to-the northeast shear during S_3 because this sense of motion provides a mechanism for deforming S_2 from an initial vertical orientation (see Ho et al., this session) to its present moderate WNW dip. Top-to-the northeast motion also implies that the metamorphic core was tectonically exhumed from beneath the Luzon forearc. We propose that tectonic exhumation occurred from about 2.5 Ma to at least 1.5 Ma, the time of rapid exhumation cooling in the core (Hsu et al., 2016). The relative importance of tectonic versus erosional exhumation is an important topic for future research.

Keywords: exhumation, Tailuko Belt, erosion

造山帶楔形體演化的熱力學耦合數值模擬 - 以臺灣為例

張家彬¹、李元希¹、譚諤²

(1)中正大學地球與環境科學系、(2)中央研究院地球科學研究所

臺灣造山作用導因於菲律賓海板塊的呂宋島弧以每年 7 至 8 公分的速度向歐亞板塊聚合所致，造山作用開始於約 6.5 百萬年。臺灣造山楔形體可分為五個構造區域，由東向西依次為屬於菲律賓海板塊的海岸山脈，中生代大南澳變質帶與東部板岩區、中央山脈西側新生代板岩區、雪山山脈板岩區與西部的褶皺逆衝帶。西部的褶皺逆衝帶為未變質的沉積岩與變質的雪山山脈和中央山脈以斷層接觸，由北至南的邊界為雪山山脈的水里坑斷層、地利斷層與南部中央山脈的潮州斷層。在臺灣中段分別在雪山山脈與中央山脈形成兩個變質度高區，其間為中央山脈變質度最低的廬山層。

對造山楔形體的變形，利用庫倫變形的楔形體或 S 點的模型分析楔形體的變形，其結果多反應大尺度且均勻的變質與變形型態，對於造山帶中常見現象如造山帶中變質岩體與麓山帶間由一主要斷層分隔或如臺灣造山帶中發育兩個變質高區皆無法預測。此外造山帶多位於大陸邊緣，伴隨許多張裂作用時的正斷層，這導致造山帶底部滑脫面常為斷坪-斷坡構造型態。

為能較真實模擬造山楔的變形行為，本研究利用熱-力學耦合的數值分析，參考推土機模型，以地震層析成像為邊界條件，將楔形體受後阻體推動變形，考慮不同的侵蝕模型及滑脫面斷層型態，並以臺灣造山帶做為模擬對象。

本研究模擬出近似於現今臺灣造山帶的構造特性與低溫定年年代，模型顯示侵蝕作用對於造山楔的高度與出露變質溫度及年代極為重要。雪山山脈變質高區的形成導因於斷坡構造之上發育的背斜構造，此斷坡構造並導致分隔變質岩區與低度變質區的主要斷層發育。中央山脈出露的高度變質岩受控於深部岩層的塑性變形行為與中央山脈斷層，且在整體楔形體的變形中消耗大部分的縮短量，在模型運動初期至少佔總縮短量的 70 至 80%，隨著時間推移，當後阻體越靠近斷坡，中央山脈消耗的縮短量佔比會逐漸減少，雪山山脈消耗的縮短量佔比則增加，雪山山脈在模型後期佔總縮短量的 50%。本研究雖以臺灣造山帶為模擬對象，但模擬結果將可應用到其他造山帶。

中文關鍵字：雪山山脈、中央山脈、造山作用、數值模擬、熱年代學

Preliminary thermal metamorphic documentation of metasedimentary rocks in Northwest Vietnam and implications for tectonic evolution

Nguyen Thi Kim Dung¹、Chih-Tung Chen¹

(1)Department of Earth Sciences, National Central University

Tectonics in northwestern Vietnam are mostly the results of two collision events: the Indosinian event and the India-Asia collision that happened during the Permian-Triassic and the Cenozoic, respectively. Northwest Vietnam lies on the convergent boundary between the Indochina block to the southwest and the South China block to the northeast with distinct geological characteristics. Closure of the Paleo-Tethys led to the collision between the Indochina and South China blocks, and this collision formed the suture zone in the Middle Triassic. Since the early Cenozoic, Indian and Asian continents started to collide, and this collision caused the extrusion of the Indochina block. Most published papers on structures and dating are mainly focused on igneous rocks along the Song Ma Suture Zone and the Red River Shear Zone, while metasedimentary rocks outcropping around the suture zone and the faults in this area have not been thoroughly understood. Therefore, we applied the geothermometer method Raman spectroscopy of carbonaceous material (RSCM) to acquire the peak temperature condition, which is combined with field and microstructural observations along with stratigraphy information to further interpret and reconstruct the tectonic evolution of Northwest Vietnam. A total of 20 metamorphic samples were collected in the Dien Bien province to Lai Chau province, Vietnam. The Raman spectroscopy of carbonaceous material (RSCM) geothermometer is applied to the samples to obtain their peak metamorphic states. The temperature results from RSCM, which are distributed in the range of 215°C to 561°C. In future work, this study will include microstructural results to investigate regional deformation. The results are expected to help explain mountain building processes in the Indosinian period as well as the influence of the later Himalaya-Tibet event on the active Dien Bien Phu fault in the Cenozoic of Northern Vietnam.

Keywords: Northwest Vietnam, South China block, Indochina block, RSCM

Active normal faulting in north-central Vietnam illuminated by geomorphic analysis

Vu Anh Dao¹、Yu-Chang Chan²、Chih-Tung Chen¹、Thi-Hue Dinh²

(1)Department of Earth Sciences, National Central University、

(2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Quang Nam basin and surrounding region in north-central Vietnam is seismically active with numerous recent earthquakes and associated geohazard, while there has been limited research regarding the tectonic deformation of the central Vietnam, especially neotectonic features including fault scarps or surface ruptures. This work integrates existing structural data with new detailed geomorphic analyses of the fluvial network to characterize deformation patterns and potential active movements in north-central Vietnam. Relationship between faults and geomorphology is quantified using 30-m ASTER DEM to extract channel and basin metrics including steepness, concavity, and stream length-gradient indices of modeled river longitudinal profiles. In particular, convex segments of longitudinal profiles (knickpoints) are investigated in the spatial context of suspected active faults. Several knickpoints arise locally from lithological boundaries of different erodibility; however, many knickpoints distributed along-strike of major faults having a clear tectonic origin. The results of the normalized steepness index (k_{sn}) exhibit relative higher values on the channels intersecting with the NE-SW to E-W trending faults which are regarded as normal faults by investigation of shear-sense indicator in recent fault scarps. This work recognizes the existence of active faults in the area which pose seismic threat including tectonic subsidence to several million inhabitants of Da Nang and Hoi An cities and adjacent region.

Keywords: Central Vietnam, active fault, river profile, normalized steepness index (k_{sn}), tectonic geomorphology, knickpoint.

Reinterpreting Yuli belt serpentinites in eastern Taiwan

Dominikus Deka Dewangga¹、Chin-Ho Tsai¹、Yoshiyuki Iizuka²、
Yui Kouketsu³、Ilona Talvikki Sakaguchi³、Sun-Lin Chung²、Hui-Fen Chen⁴

(1)Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong-Hwa University、
(2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(3)Graduate School of Earth and Planetary
Sciences, Nagoya University, Japan、(4)Institute of Earth Sciences, National Taiwan Ocean University

Serpentinites and metaigneous rocks (metabasalt, metagabbro, and metaplagiogranite) are distributed sporadically in the Yuli belt. These rocks were previously referred to as fragments of dismembered ophiolites (Liou, 1981). The surrounding metasedimentary rocks and some metaigneous rocks were subject to high-pressure (HP) metamorphism. However, the origins and metamorphic conditions of serpentinites are still unclear. This study focuses on serpentinites in the Fengtien (FT), Wanjung (WJ), Tsunkuanshan (TS), and Chinshuichi (CSC) areas. The samples consist of antigorite and magnetite with minor chlorite, olivine, diopside, brucite, talc, and carbonates. Chromian (Cr) spinel is the only relict igneous phase. The compositions of Cr-spinel (Cr#, Mg#, and Fe³⁺%) indicate that the protolith origin of FT and TS serpentinites is abyssal peridotite, whereas WJ and CSC serpentinites are of forearc mantle protolith. Textural features and mineral compositions of olivine (Fo₉₅₋₉₈) and diopside imply a metamorphic origin (cf. Lo et al., 1984). Pseudosection modeling (Perple_X) and the mineral assemblage (atg + mag + chl + ol + di) show that serpentinites from different origins were metamorphosed under similar peak metamorphic temperatures (~550 °C). We assume the pressure conditions of serpentinites according to those of surrounding garnet-bearing metasedimentary rocks (1.4-1.7 GPa; ~550 °C; Yeh, 2019). Serpentinites and surrounding rocks were metamorphosed isofacially (~1.5 GPa; ~550 °C) at great depths (~50 km). This P-T estimation is higher than previously reported (Lan & Liou, 1981). Our results imply that the Yuli belt serpentinites represent materials from a paleo-subduction interface.

Keywords: protolith, Cr-spinel, abyssal, forearc, metamorphism, subduction.

Structural evolution and active structures of Dezful embayment in Zagros foreland basin deduced from balanced cross section and SAR interferometry

Yu-Ting Tai¹、Jyr-Ching Hu¹、Kuang-Yin Lai²、Ping-Jung Hsieh²

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、

(2)Exploration and Development Research Institute, CPC Corporation

Zagros foreland basin is about 1400 km long, 100-300 km wide, from southeast of Iran to eastern Turkey. This basin was formed since Miocene due to the oblique convergence between Arabian and Eurasian plates. The present-day convergent rate of two plates is about 20-30 mm/yr. The structural development and sedimentary environments greatly contribute to the formation of petroleum system in Zagros basin. At least 60 oil and gas fields have been found by the end of 2009. Therefore, realizing the structural evolution is beneficial to explore petroleum system. Here, we apply Move 2018 to restore the cross section in Dezful embayment to examine the reasonableness and understand the process of structural evolution. In addition, we project the seismic data and GPS data to understand the active structures in this region. Moreover, by using InSAR technique, the surface deformation could be observed appropriately. According to the result of restoration, major faults develop both in-sequence and out-of-sequence thrusting, the shortening is approximately 33 km and the long-term shortening rate would be 1.5 mm/yr parallel to the profile. The most active structure is Mountain Front Fault which accommodated 9.6 km shortening and led Kamarun Anticline to become fault-propagation fold. The GPS result projected to the profile shows Zagros foredeep fault accommodates an insignificant shortening in comparison with whole shortening rate of ~2 mm/yr across the foreland basin. We project earthquake data to correlate the seismicity with the active structures, the high seismicity is located near Mountain Front fault extended to the basement at depth about 20 km. We use multi-temporal InSAR to monitor the deformation patterns in main structures in foreland basin. The preliminary result shows the significant gradient of LOS velocity across the Zagros Foredeep fault, thus we suggest that this structure is active due to the creeping of weak detachment.

Keywords: Dezful embayment, restore cross section, detachment, InSAR, SBAS

Structural evolution and activity of Kirkuk recess in Zagros orogen

Ting-Yun Lee¹、Jyr-Ching Hu¹、Kuang-Yin Lai²、Ping-Jung Hsieh²

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、

(2)Exploration and Development Research Institute, CPC Corporation

Zagros orogen is part of the Alpine-Himalayan orogenic system and is formed as a result of collision between Arabian Plate and Eurasia Plate with a convergent rate of about 22 mm/yr. Foreland basin of Zagros orogen is one of the most important petroleum-rich area in the world. Kirkuk recess in the northwestern part of the Zagros orogen contains 18% of oil and gas storage of the whole foreland basin. Therefore, a more complete understanding of structural evolution should be helpful to increase the accuracy of oil and gas exploration. This study can be divided into two parts, first we use MOVE 2018 software to restore the balanced cross section in order to investigate the structural evolution of Kirkuk recess. Initial length of the cross section is about 212 km, and gives shortening around 16.3 km after the restoration, 7 km of them being accommodated within the Inner High Folded Zone. The result shows that the deformation propagated from northeast to southwest, which reflects the in-sequence evolution of the low angle basement-rooted thrusts. Because these thrusts don't penetrate the sedimentary cover but connected upward to the basal detachment layer, shortening caused by uplift were propagated to foreland and finally formed detachment folds in sedimentary cover. As the result, deformation style in the study area is characterized by multi-detachment folds detached above a basal detachment level. In the second part of the study, we use Small Baseline Subset (SBAS) technique to deal with D-InSAR data, in order to analyze temporal surface deformation across main fault-related folding within three years. The result shows that hanging wall of Mountain Front Fault have downward movement one year after the 2017 Mw 7.3 earthquake and this implies that Mountain Front Fault continued to slip after the mainshock, thus caused extension on the hanging wall. As the result, we consider Mountain Front Fault is still active nowadays.

Keywords: balanced cross section, Zagros orogen, Kirkuk recess, InSAR, Small Baseline Subset

海岸山脈秀姑巒溪剖面八里灣層之鋯石及磷灰石核飛跡定年研究：

探討源區山脈的剝蝕演化

李政熹¹、陳文山¹、黃奕彰¹

(1)臺灣大學地質科學系

中期中新世以來，海岸山脈從板塊隱沒形成的火山弧，演變為弧陸碰撞的構造環境。前人多針對山脈岩層進行熱定年分析來了解造山帶的時空演化，然而隨著山脈不斷抬升剝蝕，早期出露的岩層已成為碎屑沉積物堆積於盆地中。因此本研究針對海岸山脈秀姑巒溪剖面，採集八里灣層的變質砂岩礫石及砂岩同時進行鋯石核飛跡(ZFT)及磷灰石核飛跡(AFT)定年，輔以砂岩岩象分析，探討脊樑山脈的剝蝕及冷卻歷史。

本研究共分析六個變質砂岩礫石及四個砂岩，礫石年代能反映山脈中特定岩層的抬升冷卻歷史，而砂岩年代頻譜則記錄著源區不同岩層的冷卻年代及剝蝕演化。礫石定年呈現兩種結果：(1) AFT~1.8-1.6 Ma 完全癒合、ZFT~3.4-3.3 Ma 完全癒合；(2) AFT~1.8-1.6 Ma 完全癒合、ZFT 部分癒合；代表源區至少有兩種不同變質度的岩層出露。然而，本研究發現某些砂岩的 AFT 完全癒合峰值~4.0-3.0 Ma，老於同層位礫石的 AFT 年代 ~1.8-1.6 Ma，甚至老於該砂岩的 ZFT 完全癒合峰值，推測此異常的 AFT 年代群應是混合自不同岩層的結果(硬頁岩及板岩)。

砂岩的 ZFT 及 AFT 頻譜皆含有大量完全癒合及部分癒合的年代峰值，且隨著地層層序向上，癒合年代逐漸年輕且含量漸增，顯示 1.5-0.8 Ma 期間山脈已出露大範圍極低度(硬頁岩)至低度變質岩(板岩)，層序上亦呈現反剝蝕現象。此外，根據礫石 ZFT 及 AFT 所記錄的冷卻路徑，源區的變質砂岩層於 3.0-1.5 Ma 開始加速冷卻(剝蝕)，與盆地沉積速率加快的時間相近；由砂岩 ZFT 完全癒合峰值計算的山脈冷卻時間亦向上逐漸減少，顯示在 5.2-0.8 Ma 期間剝蝕速率不斷加快，即源區山脈未達到穩定態。

中文關鍵字：核飛跡定年、鋯石、磷灰石、八里灣層、脊樑山脈、剝蝕歷史

Study of anisotropy of magnetic susceptibility across the southern portion of the Backbone Range, Taiwan

Ya-Chu Tseng¹、En-Chao Yeh¹、Ning-Shan Hsu²、Yu-Ching Chang¹、
Jian-Cheng Lee³、Gong-Ruei Ho³、Ching-Chou Fu³

(1)Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University、(2)Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong-Hwa University、
(3)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

The Mountain building process is a fascinating and intriguing topic for solid earth research. Taiwan orogen is a classical mountain belt that resulted from on-going arc-continent collision between the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate. The Backbone Range of Taiwan is the oldest geological unit, which is formed and exhumed during subduction and collision. The eastern Backbone Range is commonly composed of the Tananao metamorphic complex and the slate. The former could further be divided into Tarako belt and Yuli belt separated by the Shoufeng shear zone due to the huge age difference between each belt. Although the Tananao metamorphic complex has undergone several deformation events, the mesoscopic mylonitic schists within the Shoufeng shear zone shared the same attitude with the wall rocks of each belt. These observations make difficulty to reconstruct the structural evolution of the Tananao metamorphic complex and examine the role of Shoufeng shear zone. In order to evaluate the deformation imposed on Taiwan orogeny, we plan to explore the different deformation events by investigating the strain pattern across the eastern Backbone Range. This study plans to shed the lights on illustrating deformation domains with the regional strain distribution across the eastern Backbone Range. Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS) is an efficient tool to analyze the finite strain and characterize petrofabrics and structures. The experiment will measure the principal directions and values of magnetic susceptibility ellipsoid, and further evaluate the mean magnetic susceptibility, the degree of anisotropy, ellipsoid type and strain pattern. Based on the strain distribution inferred from AMS, the changes of deformation across the eastern Backbone Range could be inspected, and the aspects of Shoufeng shear zone can be further characterized.

Keywords: anisotropy of magnetic susceptibility, Backbone Range, Shoufeng shear zone

“梨山斷層”兩側的變質溫度與構造特性

許可亞¹、李元希¹

(1) 中正大學地球與科學環境科學系

“梨山斷層”在衛星影像上在眉溪砂岩與廬山層交界附近有明顯的線性構造，大致由東北向西南延伸，經過牛鬥、梨山、霧社、武界等地，全長約 140 公里。但此斷層存在與否仍有爭議，這反映在不同版本的地質圖中有些繪製斷層有些則無。

在支持斷層存在主要證據有“梨山斷層”西側的佳陽層為綠色片岩相，而廬山層為葡萄石-綠纖石變質岩相，存在變質溫度差異，且佳陽層可能為始新世地層而廬山層為中新世地層，存在地層年代差異。近期地震資料的分析似乎亦認為斷層的存在。認為斷層不存在的依據是一些剖面在野外未見重大位移的斷層帶，年代早期斷層位置認為在眉溪砂岩與廬山層間，但此兩地層之間野外並未發現斷層，一些斷層發現於廬山層之中，似乎並不存在重大落差斷層，地層的缺失可能源於不整合。

為釐清此一問題我們初步結合 RSCM 的變質溫度分析、熱定年資料、中視及微視構造討論“梨山斷層”特性。在 RSCM 變質度上我們在“梨山斷層”兩側採取密集樣本，分析變質溫度變化，亦在部分剖面進行構造分析。本研究利用拉曼光譜分析岩石薄片中的碳質物，因碳質物具受熱後結晶度提升與結構改變的不可逆性質，以及其分子結構反應出最強一次的熱事件，故常藉此探討變質岩區受熱事件的變質溫度，並將其作為變質度分類的依據。當變質溫度夠高時，拉曼光譜的峰值集中在石墨峰 (G)，隨著變質溫度逐漸降低，拉曼光譜的峰值陸續出現缺陷峰 (D1、D2、D3、D4)。依據上述變質溫度所對應的波形特徵，進行峰形分解與擬合曲線等處理，利用 Kouketsu 或 Lahfid 經驗公式，可得相對的變質溫度。

本研究由北至南分別在中橫(梨山)、霧社、武界採了三組橫跨佳陽層、眉溪砂岩、廬山層的樣本。在中橫剖面，從佳陽層到廬山層接近眉溪砂岩的地區，變質溫度的梯度比起東側的廬山層呈現更大的漸變關係；霧社的研究區域，眉溪砂岩跟廬山層西緣的變值溫度呈現混亂的高低起伏，向東邊驟降後趨於平緩；武界的剖面與霧社的結果較相似，在眉溪砂岩跟廬山層西緣的變值溫度呈現混亂的高低起伏，並且有較大的誤差，向東邊驟降後趨於平緩，並且向西平緩升溫。雖然三個剖面在廬山層西側處都有個降溫梯度較兩側大的區段，變質溫度在約 1-1.5 公里寬下降約 50-70 度。

在武界地區相對露頭較佳，在野外主要要斷層為走向滑移斷層、斷層面向東傾斜逆斷層，若存在“梨山斷層”，應發現斷層面向西的背衝斷層，在微構造亦未見剪切構造發育，因此並未發現“梨山斷層”證據。

在“梨山斷層”附近存在變質溫度梯度較大的變化，但野外未見斷層，我們推測可能於始新世-漸新世的不整合有關，始新世時期為張裂環境，導致較高地溫

梯度，伴隨較高變質溫度，之後始新世地層因正斷層時期的梨山斷層作用抬升侵蝕，之後沉積被動大陸邊緣的中新世地層，此不整合或許是導致變溫溫度梯度變化原因，並非導因於斷層作用。

中文關鍵字：梨山斷層、中橫、霧社、武界、碳質物拉曼光譜、變質溫度



以熱變質度解析台灣中部雪山 - 脊梁板岩帶邊界構造運動模式

陳尚謙¹、陳致同¹

(1)中央大學地球科學系

在台灣造山帶中，板岩帶為被動大陸邊緣不同部位沉積物之深埋、隱沒、變質，最終掘升至地表之結果，其中以梨山斷層為界，可再劃分為雪山板岩帶與脊梁板岩帶，二者之地質年代、變形行為、變質度皆有所落差。因此若要對板岩帶，以至於台灣造山歷史有更一步的剖析，作為界線斷層的梨山斷層有不可忽略的研究價值。本研究以拉曼碳質物光譜(Raman Spectroscopy of Carbonaceous Material, RSCM)進行板岩帶變質巔峰溫度(T-peak)高密度量測。RSCM 為一高精度 T-peak 溫度計，其樣本間誤差值可低至 10-15°C，對區域的 T-peak 變化能有更精準的結果。本研究區域於中橫梨山段向北延伸至啞口一帶，界定出雪山-脊梁交界處 T-peak 有約 45-60°C 的陡降。此外預計將 T-peak 結果結合薄片微構造觀察及野外斷層擦痕資料，推論梨山斷層可能的位置、運動模式及變形歷史。

中文關鍵字：拉曼碳質物光譜、梨山斷層、雪山山脈、脊梁山脈板岩帶



台灣西北部竹苗地區找齊正斷層與逆衝斷層銜接及演化關係

吳佩庭¹、楊耿明¹、柯孝勳²、柯明淳²、方星尹²

(1)成功大學地球科學系、(2)國家災害防救中心

台灣西北部新竹苗栗地區為台灣重要科技產業所在地，該區域的活動斷層研究更為重要。本研究區域內依照中油地質圖所繪製之斷層，由北而南分別為東—西走向的新竹斷層與斗煥坪斷層，和東北—西南走向的新城斷層、竹東斷層、北埔斷層與鹿廚坑斷層；其中新城斷層伴隨寶山背斜，並且在地下分之維兩條斷層，北端以新竹斷層為界，南端以斗煥坪斷層為界；而鹿廚坑斷層位於斗煥坪斷層的南側伴隨永和山背斜，斗煥坪斷層向東延伸又連接竹東—北埔斷層及其上盤的竹東背斜。

本研究目的在探討竹苗地區早期正斷層與後來發育之逆衝斷層兩者相互銜接關係，以及斷層面上上下地層截切線的變化，並提出演化順序模型。本研究結合前人研究與本研究所繪製平衡剖面，並運用 SUKA-GOCAD 建置斷層及地層地下三維模型，提出以下結論：

一、新城斷層以低角度的斷層面連接高傾角新竹斷層，向東分出兩條斷層，且分支點從近地表開始，往南越來越深，最南端再合併為一條斷層，並以低傾角斷層截止於高傾角的作為撕裂斷層之斗煥坪斷層；鹿廚坑斷層則以 S 型連接斗煥坪斷層，並以斗煥坪斷層作為其側斷坡滑移斷層；斗煥坪斷層在東邊連接帶有低角度逆衝斷層特性的北埔斷層與竹東斷層。

二、新城斷層與鹿廚坑斷層地下三維斷層型貌和滑移量本就不一致，顯示兩條斷層為獨立發育的斷層。新城斷層上盤地層背斜型貌較為和緩，且未受到竹東—北埔斷層的影響，和竹東—北埔斷層上盤的竹東背斜為獨立的構造。鹿廚坑斷層上盤背斜東翼則可視為深部獅頭山構造的延伸，形成緊密的向斜，且未見鹿廚坑斷層滑移過側斷坡所形成的背斜。

三、綜合上述特性，可判斷本研究區域演化順序如下：東—西向的斗煥坪斷層及新竹斷層早於竹東—北埔斷層，後鹿廚坑斷層於斗煥坪斷層南邊向北發育，並以斗煥坪斷層作為側斷坡，且部分鹿廚坑層間斷層受到深部獅頭山構造的影響；新城斷層未受到竹東—北埔斷層的影響，於斗煥坪斷層北邊向南北發育，以新竹斷層作為側斷坡、斗煥坪斷層作為撕裂斷層。

中文關鍵字：西部麓山帶、三維地層構造模型、GOCAD 軟體、正斷層再活動

**Fold-thrust belt-related deformation bands in porous sandstone:
A study on the late Pliocene to early Pleistocene Cholan sandstone
downstream of Chichi weir, central Taiwan**

Nguyen Thi Lan Chi¹、Wen-Jeng Owen Huang²

(1)Graduate Institute of Applied Geology, National Central University、

(2)Department of Earth Sciences, National Central University

This study is concerned with the description, classification, analysis and interpretation of Chushiang fault-related deformation bands (DBs) based on field observation and microscopic observation. DBs are common structural elements that can be found in the late Pliocene to early Pleistocene Cholan sandstones distributed downstream of Chichi weir along the Zhuoshui River in the frontal part of the fold-thrust belt in central Taiwan. One fold train appears in the hanging wall of the east-dipping Chushiang left-lateral reverse fault and is composed of one tight asymmetric anticline to the east and the other gentle symmetric syncline to the west with a wavelength of hundreds of meters. The DBs occur in moderate sorted, fine to coarse sandstone layers. Most of the DBs is bounded by the two axial surfaces of the anticline and syncline and fall into three sets with orientations of 035°/45°SE, 135°/53°SW, and 000°/~80° W to 80°E, respectively. In addition, DBs that appear in the area between fault trace and syncline axial trace are obvious under microscopic but ambiguous on the outcrop and they evolve into becoming fractures. However, in the eastern limb of the anticline, the DBs sub-parallel to the bedding plane or close to some minor fault with orientation parallel to the fault trace. Based on my microscopic observation, these DBs are disaggregation bands and represent the result of the compaction regime. In contrast, DBs that appear in between the anticline axis and fault trace are cataclastic DBs. Such evidences (include DBs occurrences and microstructures) indicate the origin of these cataclastic DBs highly related to the Chushiang faulting. These preliminary observations show these DBs commonly appear in this fault or fault-affected zone and the factors controlling their development include lithology, proximity to the fault, and position on folds induced by faulting. In short, the DBs can serve as paleo-stress intensity indicator in this case.

Keywords: Chushiang fault, Cholan Formation, sandstone, deformation band

臺灣東北角萊萊地區褶皺型態探討

吳明諭¹、魏格²、戚務正²、羅偉¹

(1)臺北科技大學資源工程研究所、(2)中央研究院地球科學研究所

臺灣東北角沿海露頭多分布於海蝕平台上，其中有許多錯綜複雜的裂隙，可能是多期的破裂並疊加後產生的結果，與不同時期的地質構造有關，尤其以斷層構造為主，斷層產生時會影響周圍的岩石產生新一期的裂隙或干擾原先的裂隙。但除了斷層構造外，褶皺構造也是影響裂隙發育的一大因素，故討論該地區的裂隙幾何時也需將褶皺構造一併探討。

本研究先前分析東北角海岸萊萊地區的裂隙與斷層關係已有初步的結果，於濱海公路 110.5 km-111.5 km 處之主斷層走向大致呈現東北-西南方向，該斷層受到左剪應力的影響，於 110.5 km 處發育出尖端破壞帶(tip damage zone)的馬尾狀構造(horsetail splays)及反向斷層(antithetic fault)之裂隙幾何樣貌，於 111.5 km 處發育出圍岩破壞帶(wall damage zone)的雁型排列斷層(en-echelon fault)，但該結果只考量斷層構造對裂隙的影響，並未考量到褶皺構造的影響，為了將褶皺影響的情況考量到裂隙演化過程內，本次研究主要針對該區之褶皺構造，繪製地質剖面，由岩層層面位態的變化與中視褶皺的幾何分析，觀察褶皺不同部位的裂隙性質與變化，同時配合萊萊地區外海的地球物理炸測資料，整合出該區域褶皺與斷層對裂隙的影響情形。

中文關鍵字：臺灣東北角、萊萊、褶皺型態、裂隙分析

南投濁水溪變質碎屑岩的褶皺特徵之研究

劉佳玫¹、陳品維¹、江東憲¹

(1)中國文化大學地質學系

本研究於南投武界至巴庫拉斯地區調查結果顯示，位於南投濁水溪沿線的變質碎屑岩呈現一系列的褶皺，堪稱雪山山脈帶的褶皺天堂。此處變質碎屑岩以板岩、粉砂質板岩及變質砂岩為主要組成，因組成岩體的顆粒大小不同時，當岩體在變質作用的影響之下，由於岩體的變形程度差異，進而影響河流發育型態與河床岩體看起來不連續的形貌。本研究將透過地質調查方式，觀察不同尺度的褶皺特徵，採集各種岩性組合的變質碎屑岩，於室內分析碎屑岩的岩象，最後，綜合中視尺度及顯微尺度，提供南投濁水溪沿線變質碎屑岩的褶皺特徵發育之訊息。

中文關鍵字：變質碎屑岩、褶皺、濁水溪、南投



海水蒸發結晶過程元素與硼同位素分化特徵研究

陳柏達¹、游鎮烽¹、鍾全雄¹

(1)成功大學地球科學系

穩定硼同位素因其對不同環境因素的分化差異和特性，在地球科學領域已經被廣泛應用於追蹤滷水及岩鹽形成過程。過去研究大多聚焦於地層中的蒸發岩類相關研究，由於對當時環境因子掌握不足，無法釐清主導硼同位素分化的機制。為解析環境因素對硼同位素分化之影響，本研究以自然開放環境進行海水蒸發實驗，在實驗過程中獲取在強蒸發環境下不同結晶模式的氯化鈉樣品，分析其硼同位素組成，進一步去探討不同蒸發環境條件和氯化鈉結晶型式對硼同位素的分化程度。

為得知海水蒸發鹽在不同蒸發條件和不同結晶形式對硼同位素分化機制，本研究在春季(3月)和夏季(5月)於四草安順鹽場採集各個蒸發池中逐步濃縮的滷水及鹽樣品，以感應耦合電漿光學發射光譜儀 (ICP-OES)、離子層析儀(IC)分析其元素組成，並以微昇華純化分離樣品的硼，使用多接收器感應耦合電漿質譜儀 (MC-ICP-MS)進行同位素分析。初步結果顯示，在夏季的高蒸發條件下出現浮於蒸發池表面的氯化鈉結晶，其化學特徵符合二維結晶作用(Two-dimensional crystallization)所形成之晶體，在沉澱時間早於池水底部粗鹽，且其鉀含量高。而二維結晶的氯化鈉容易有液包體使其氯化鈉濃度降低，在本次研究的樣品含量僅約 70%左右鹽度。而硼濃度可高達 18 ppm，為同時期的粗鹽樣品含硼濃度 3 倍。而兩季粗鹽含硼濃度亦有差異(春季 11.5 ppm，夏季 6.61 ppm)，將再進一步利用硼同位素了解其關聯性。

中文關鍵字：硼同位素、滷水、蒸發鹽

利用鋰同位素探討觀雲地區土壤水風化來源及組成

許哲維¹、游鎮烽¹、鍾全雄¹、劉厚均¹、陳一菁²

(1)成功大學地球科學系、(2)成功大學生命科學系

矽酸鹽化學風化過程中會消耗大氣中的二氧化碳，是調節長期地球氣候的重要反應，因此了解矽酸鹽化學風化是重要的課題。河流逕流水的主要來源來自降雨及流域內地層中的水，包含地下水、土壤水等，這些水會和矽酸鹽進行水岩反應，因此水的化學組成可提供來自這些水岩反應的訊息。在矽酸鹽中，鋰(Lithium)是一易遷移元素，其同位素組成可作為了解矽酸鹽水岩反應及次生礦物形成過程的指標。台灣位於西太平洋颱風行經路徑上，颱風侵襲常伴隨強降雨事件。為了探討不同降雨強度時，不同風化來源對逕流水中溶解物質的貢獻，本研究針對濁水溪流域中游及上游區域附近的雨水、土壤水以及中游河水進行採樣，分別以 ICP-OES、ICP-QMS、IC 及 MC-ICP-MS 分析樣品的主要元素、微量元素、陰離子濃度以及鋰同位素值($\delta^7\text{Li}$)。

根據樣品之 Sr/Na、Li/Na 的相關性，河流中的鋰在一般時期時，來自上游土壤水的貢獻較大；在高流量時期則主要來自附近的土壤水、雨水及地下水。前人對河水鋰同位素研究指出，一般時期及強降雨時期的 $\delta^7\text{Li}$ 可初步估計上游區域土壤水具有較低的 $\delta^7\text{Li}$ 值，中游則具有較高的 $\delta^7\text{Li}$ 值，顯示上游 $\delta^7\text{Li}$ 的分化程度較中游低。進一步使用雷利分化模型(Rayleigh fractionation model)評估上游土壤水，可由分化係數推估形成次生礦物的程度及種類。根據本研究的鋰同位素值預計能夠區分濁水溪在不同降雨強度時的風化來源及不同次生礦物提供的訊號。

中文關鍵字：矽酸鹽化學風化、鋰同位素、風化來源、土壤水

熱液礦床區含石英安山岩岩象特徵之研究

黃品瑄¹、洪瑋澤¹、劉佳玫¹、蔡裕偉¹

(1)中國文化大學地質學系

基隆火山群位於臺灣東北部，於每年 10 月至隔年 4 月受到東北季風影響甚劇。另外，基隆火山群多處為熱液礦床區，因此，此處的岩石將記錄受到風化作用及熱液蝕變作用的影響過程。本研究將利用岩象學分析於基隆山、牡丹山、本山、草山以及雞母嶺等 5 個火山體的含石英安山岩特徵，以影像分析法量化 5 個火山體的礦物百分比，以了解在風化作用的影響下礦物相的轉變。

本研究總共分析了 109 個標本，標本中顆粒度小於 40 μm 者視為石基，普通角閃石礦物顆粒邊緣及礦物內部皆有出現黑色外質，因此將其依照呈現出的樣貌及光學特性進行分類，一共分為 5 類。其中第一類(I)為普通角閃石外圍呈現黑色外觀，礦物內部呈現普通角閃石的光學特性；第二類(II)為普通角閃石完全無法以光學特性判斷，其外型為普通角閃石；第三類(III)為普通角閃石轉變為黑雲母，外型為普通角閃石，內部呈現黑雲母的光學特性；第四類(IV)為普通角閃石轉變為方解石，外型為普通角閃石，內部呈現方解石的光學特性；第五類(V)為普通角閃石轉變為綠泥石，外型為普通角閃石，內部呈現綠泥石的光學特性。基隆山、牡丹山礦物組成主要為斜長石和普通角閃石；前者第一類和第二類的普通角閃石佔了近 90%；後者則 5 種類型的普通角閃石都有，其中又以第三類含量最多。本山的礦物組成與基隆山和牡丹山相同，然而，普通角閃石類型則以第二類含量最多。草山和雞母嶺礦物組成主要為斜長石、普通角閃石和輝石類，且兩座火山體皆以第二類的普通角閃石含量最多。目前，初步判斷鄰近熱液礦床區的含石英安山岩受到風化作用影響易產生洋蔥狀的外形，且岩石中含量最多的普通角閃石類型也較多，因此，可從中觀察風化過程的產物。

中文關鍵字：熱液礦床區、含石英安山岩、岩象學、普通角閃石、輝石類

大屯火山群之常見次聲波訊號

史旻弘¹、林正洪²、賴雅娟¹、李曉芬¹、鄧嘉睿¹、林欽仁²

(1)國家地震工程研究中心、(2)中央研究院地球科學研究所

次聲波(Infrasound)是指頻率低於 20 Hz 的聲音訊號，一般而言人類的耳朵無法感知，但動物卻可以感受到次聲波的頻率甚至利用來溝通。在自然界中，大規模的自然現象，如火山噴發或隕石進入大氣層，都能產生強烈的次聲波訊號，在地球表面傳播數千公里甚至更遠，而諸如劇烈天氣狀況、極光、海浪、雷擊、地震，也都能產生次聲波訊號。同樣人為活動，若有產生爆炸或爆裂等物理行為，如核子試爆、火箭發射、軍事和工業行為所造成之爆炸，甚至飛機之超音速飛行、發動機、風力發電機組等人為工業機具運作同樣也能產生。目前，世界上最大的次聲波監測網屬於國際監測系統 IMS (International Monitoring System) 的一部分，此系統隸屬於聯合國全面禁止核試驗條約組織 (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, CTBTO)。該組織之主要任務為利用設置在全球各地的監測站，監測是否有核子試爆後產生之各種信號，以確定是否有國家進行核子試爆。該監測網所紀錄之各種資料，也同時提供給研究人員，針對不同之研究分析使用。而次聲波訊號之監測也常使用在火山地區，用以確定各種火山地區特有聲波訊號之來源的定位，如火山噴發、噴氣孔、火山泥流或山崩等。本研究將使用大屯火山群地區之次聲波監測網所記錄到之各種訊號，確定其來源與可能之成因，提供大屯火山群活動監測參考。

中文關鍵字：次聲波、大屯火山群、大屯火山觀測站

大屯火山群與龜山島近期地化監測之時空變化

李曉芬¹、林正洪²、羅清華³、賴雅娟¹、史旻弘¹、劉進興¹、
張麗琴¹、洪國騰⁴

(1)國家地震工程研究中心、(2)中央研究院地球科學研究所、(3)臺灣大學地質科學系、
(4)經濟部中央地質調查所

以流體地球化學方法來監測火山活動是目前火山學界廣泛使用，也是最有效的方法之一。工作團隊於大屯火山群已進行多年的地化監測工作，除了定期於火山噴氣口及溫泉區直接採集樣品分析之外，還採用連續土壤氣體監測站的方式來監測火山活動。自 2018 年年底開始，在主要噴氣口的氣體成分分析中發現氦氣有明顯增加現象，2019 年整年的變化更為明顯，至 2020 年時稍微回復，然而與過往的背景值相較之下仍偏高。同時期噴氣中的氯化氫濃度亦出現明顯增加現象。不過氦同位素($^3\text{He}/^4\text{He}$)在此期間顯示相當穩定沒有明顯變化，另一重要指標的 $\text{CO}_2/\text{S}_{\text{total}}$ 比值亦顯示系統偏向以熱液活動為主。溫泉水樣品的分析結果在 2020 年也發生陽離子濃度異常增加現象，於大油坑與八煙地區最為顯著。由於陽離子的變化可能和熱液滲水與圍岩反應相關，因此初步判斷是熱液活動增強的訊號。

工作團隊於 2020 年也開始採集龜山島海底溫泉樣品分析其主要氣體組成。然而比較過往的資料出現明顯的差異。樣品中的空氣組成與往年分析結果相較之下比例較重，然而氦同位素又顯示氦氣主要為深部(岩漿)來源。預想造成這個現象的可能原因為前幾年的海底山崩改變了部分氣體來源，造成有較多的空氣端成分(N_2 和 Ar)進入系統，但是因為空氣中的氦氣量少且不易進到海底系統，因此沒有造成氦同位素的變化。

中文關鍵字：大屯火山群、龜山島、大屯火山觀測站、流體地球化學

臺灣東部綠島之火山岩相與火山演化初探

唐懷昱¹、宋聖榮¹

(1)臺灣大學地質科學系

建構臺灣的弧陸碰撞歷史，釐清島弧火山的演化至關重要。海岸山脈、綠島與蘭嶼為呂宋島弧北延的部分，呈現時間與空間上的島弧火山演變序列，提供絕佳的研究題材。不同於海岸山脈已受到弧陸碰撞的影響發生強烈擠壓、抬升以致複雜的變形與侵蝕，綠島雖受到侵蝕，但尚未發生強烈變形，火山噴發物的紀錄仍完整保存。然而前人對於綠島研究多著墨於火山岩的岩象、年代與化學特徵，鮮少提及這些噴發物所代表的火山作用以及弧陸碰撞過程中島弧演化的意義。鑒於上述原因，本研究於綠島進行野外地質調查，檢視與釐清火山岩分佈與產狀，並進行岩象與岩相分析，配合彙整前人研究結果建立火山層序並探討火山演變。

野外調查顯示，綠島東側柚子湖與海蔘坪一帶有放射或水平之柱狀節理熔岩流出露；島的南側(龜灣鼻)至東北側(燕子洞)海岸沿線，有數層可側向追蹤的火山碎屑流、再積性火山角礫岩、凝灰岩層，其岩層的位態走向大致上以柚子湖為中心，向北側呈現 N85°E/30°N，向南呈 N60°W/25°S；露頭常見到錯移距離 0.5~5 m 不等的正斷層，斷層面位態走向並沒有一致的趨勢。分析結果指示綠島東側的火山岩相展現近火山口相之組合特徵，岩層位態顯示東側曾經有一個古地形高區，但於現今地形已不復見。位處弧陸碰撞帶的綠島就大地構造尺度而言，應屬於擠壓的應力環境，卻於島上東側野外露頭可見到許多正斷層；這些正斷層可能與火山噴發與垮塌作用有關，指示有大規模噴發與崩塌事件曾經發生，其與綠島東側的地形高區消失是否有關連，需進一步調查釐清。

中文關鍵字：弧陸碰撞、北呂宋島弧、綠島、垮塌作用

Temporal variation of permutation entropy in seismic noise during three eruption cycles at Shinmoedake volcano, Japan

Diah Ayu Rahmalia¹、K. I. Konstantinou¹

(1)National Central University

Permutation entropy (PE) is a simple complexity parameter for time series that is useful in the presence of observational noise. This study investigated PE variation during three eruptions in 2011, 2017, and 2018 at Shinmoedake volcano. Shinmoedake had its first magmatic eruption in January 2011 and after 6 years, a new activity began in October 2017 and it was followed by another eruption in March 2018. The frequency range 1-7 Hz was used to infer the temporal change of randomness in time series data. Permutation entropy calculation considered the embedding dimension ($m=5$) and embedding delay ($L=2$) in a 20 minutes time window length. The results showed that PE values decreased before each eruption occurred. Decreasing PE values indicated a reduction of complexity that is associated with magma migration to the shallower depth and caused attenuation of seismic waves. Besides, PE also exhibited increasing behavior and suddenly decreased just before the eruption events in 2011, 2017, and 2018. We also analyzed the correlation between tremor depth location and PE values that depicted a negative correlation in each eruption period. PE values would decrease when tremor occurred at a shallower depth and PE values would increase when tremor migrated to larger depths.

Keywords: permutation entropy, Shinmoedake volcano, eruption, Tremor depth location

臺灣西南外海永安海脊岩芯沉積物之砷分布及其意義

楊鈞恩¹、洪崇勝²、楊懷仁¹

(1)成功大學地球科學系、(2)中央研究院地球科學研究所

臺灣西南部嘉南平原部分地下水含高砷濃度 (>0.35 ppm)，但其砷的來源與遷移機制尚無定論。地下水賦存於沉積岩層中，故沉積物與地下水密切相關，沉積物中砷的分布特徵因而成為瞭解地表砷循環之重要因子。本研究分析中央地調所於永安海脊鑽取岩芯 (MD178-3274) 之沉積物。以每 30 cm 間距，密集採集，以建立沉積物砷濃度與深度之連續變化，並挑選其中 33 個樣本，進行砷的連續萃取分析，解析砷於各寄主中之分佈比例，以推測砷釋出潛勢。

永安海脊岩芯長度 24.7 m，沉積物粒徑為粉砂、黏土偶摻有深褐色或黑色結核顆粒。所分析 82 個樣本的砷含量介於 1.57 到 13.3 ppm 之間 (平均值為 7.7 ppm)，為典型之沉積物砷含量 (全球沉積物平均砷含量約為 8 ppm)。此砷濃度範圍低於嘉南平原沉積物的砷含量 (最高至數百 ppm)，暗示臺灣西南外海沉積物抬升上陸之後，又歷經數次砷富集作用。砷連續萃取結果顯示，以 0.05 M 磷酸氫鈉 (NP) 萃取之吸附的砷為總砷量的 12%~40%，大多大於 20%，明顯高於一般沉積物吸附砷之比例 (以孟加拉砷污染地區為例， $<15\%$)，此等高比例之吸附砷暗示可由脫附而釋出大量砷。又以鹽酸萃取的砷約佔總砷的 10%~20%，此部份的砷，一般被認為由錳氧化物釋出。相較於全球嚴重砷污染地區沉積物之主要砷寄主—針鐵礦而言，錳氧化物更容易因還原作用而分解釋出砷，又為另一砷釋出機制。整體而言，連續萃取分析結果呈現臺灣西南外海沉積物具高砷釋出潛勢，釋出的砷於地下水與沉積物間循環，於適當的氧化還原環境中再富集，形成嘉南平原的高砷沉積物。

洪崇勝等人 (2015) 依沉積物磁性礦物種類，將永安海脊岩芯沉積物分為 0–7.52 m (I)、7.52–18.30 m (II)、18.30–24.70 m (III) 等三區，分別代表尚未還原的均一粒徑碎屑 (I)、強烈還原環境的少量碎屑源磁性礦物 (II) 及溫和還原環境的還原態硫複鐵礦及黃鐵礦 (III)。然分析結果顯示總砷濃度無法與此區分完全對比，深度 19.52 m 以上之沉積物的砷濃度在 4 到 13 ppm 之間震盪，於未還原帶與強還原帶內無法明確區分，但在深度 19.52 m 以下之溫和還原帶，濃度明顯下降，最低值為 1.57 ppm，似又與氧化還原環境變化有關。再者，吸附砷的比例在 8.42 m~8.72 m 處達最大值 (40%)，恰為未還原帶與強還原帶的分界，砷分佈又有受氧化還原環境變化控制的跡象。現有數據顯示，砷分佈與磁性礦物種類之相關性仍需以其他岩芯資料驗證，若屬實，再探討肇因。

中文關鍵字：砷、沉積物、連續萃取

Remnant forearc preserved in a paleo-subduction complex? A new inference from HP metaigneous rocks in eastern Taiwan

Wen-Han Lo¹、Chin-Ho Tsai¹、Sun-Lin Chung²、Hao-Yang Lee³、

Qiu-Li Li⁴

(1)Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong-Hwa University、
(2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan; Department of Geosciences, National Taiwan
University、(3)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(4)State Key Laboratory of
Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing,
China

High-pressure (HP) metaigneous rocks are sporadically exposed in the metasedimentary Yuli belt. Recent studies suggest that the HP rocks were subject to subduction zone metamorphism at depths of ~ 45 to 55 km (e.g. Keyser et al., 2016). The metaigneous rocks, including metabasalt, metagabbro, and metaplagiogranite, together with serpentinite, are interpreted as fragments from dismembered ophiolites with unknown origin (Liou, 1981; Lin et al., 1984). As the remnant of an ancient oceanic lithosphere, these fragments provide an invaluable opportunity to investigate tectono-magmatic-metamorphic evolution of subduction zones. To address this issue, we report the first SIMS U-Pb zircon dates coupled with whole-rock geochemical constraints from the metaplagiogranite and metagabbro in the Chinshuichi area of the southern Yuli belt. Our results show that (1) the SIMS U-Pb zircon analyses of all samples yielded consistent magmatic ages of ~ 17 Ma, which are coeval with the timing of subduction initiation of the South China Sea lithosphere (cf. Shao et al., 2015; Lai et al., 2017); and (2) whole-rock trace element compositions are characterized by negative Nb-Ta and positive Th anomalies, indicating a supra-subduction zone environment (oceanic forearc or volcanic arc). On the basis of available data, we argue that these HP metaigneous rocks represent a remnant from a nascent forearc section during the early Miocene subduction initiation.

Keywords: subduction initiation, high-pressure metamorphism, U-Pb zircon dating, forearc, ophiolite

泰國新生代火成岩之地球化學特徵與岩石成因

徐雅容¹、彭君能²、鍾孫霖³

(1)臺灣大學地質科學系、(2)中央研究院地球科學研究所、(3)中央研究院地球科學研究所、臺灣
大學地質科學系

中南半島各國均受到不同程度晚新生代板內火山活動之影響，產生分布廣泛的玄武質岩石。其中，在泰國的新生代火山岩零星出露，與在越南南部、寮國南部及柬埔寨的新生代火山岩成強烈對比，這現象到底跟岩漿源區或熔融程度有關，跟地體構造及其作用的差異性有關，還是跟岩漿分化的程度有關？此外，綜觀整個中南半島，泰國則是少數有前人研究報導中酸性火山岩的地方，那些分異程度較高的火山岩成因為何？它們與玄武岩的關係又如何？探討以上問題除有助於更了解板內岩漿系統的形成與噴發機制外，對整個東南亞地區的地體構造或許有重要啟示。因此，本研究分析了 61 個採集自泰國不同地區的新生代火山岩，其中包含 Barr and Macdonald (1981)和 Barr and James (1990)所提供的 26 個樣本，進行系統的岩象描述與地球化學分析。

岩象觀察表明，大多樣本受到蝕變的影響有限，保留相對新鮮的斑晶與基質，多數玄武質岩石樣本具有斑狀結構，少數為無斑隱晶質。根據 CIPW Norm，樣本分為鹼性玄武岩、橄欖石拉斑玄武岩、石英拉斑玄武岩及中酸性岩四大類，其中鹼性玄武岩可進一步細分為強鹼性和弱鹼性兩種。鹼性玄武岩和橄欖石拉斑玄武岩具有相似於洋島玄武岩的微量元素特徵，富集大離子親石元素(從原始地函的 20 到 110 倍不等)與輕稀土元素(從原始地函的 70 到 350 倍不等)，重稀土元素相對虧損(從原始地函的 0.5 到 5 倍不等)，相較於不相容性相近的微量元素，鈮、鉭與鈦均沒有呈現負異常，表明岩漿不曾受到地殼混染，或許跟岩漿在地殼上升的過程較為迅速有關。此外，多數樣本呈現鉀的負異常($K/La = 58-384$)，指示岩漿源區可能含有金雲母或角閃石的殘餘相，若此推測屬實，則岩漿的產生可能為曾遭受交代換質之岩石圈地函來源為主。石英拉斑玄武岩微量元素特徵較不一致，元素分布趨勢多在富集中洋脊玄武岩與洋島玄武岩之間，主因或許跟地函部分熔融程度有關，另一可能的解釋為不同程度的玄武質岩漿與地函圍岩的相互作用。本研究初步排除地殼混染為泰國新生代火山岩岩漿分化機制之一，未來將進一步利用主要元素與微量元素制約岩漿在地函源區形成的過程，並配合待進行的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年學與 Sr-Nd 同位素測定，試圖提出泰國新生代火山岩最合理的形成機制。

中文關鍵字：泰國、新生代、板內火成岩、鹼性玄武岩、地球化學

Secular variation of Early Cretaceous granitoids in Kyushu, SW Japan: The role of mélangé rocks as a possible magma source

Kenshi Suga¹、Meng-Wan Yeh¹

(1)Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

The Early Cretaceous volcanic-arc granitic rocks from Kyushu, SW Japan are contemporaneous with the granitic rocks of the Yanshan Orogeny (SE China) along the eastern Eurasian continental margin. The secular geochemical variations of the whole-rock major elemental and Sr–Nd isotope data of the Early Cretaceous granitic rocks from Kyushu, SW Japan, as well as the zircon and apatite saturation temperatures, shows distinct changes during the Albian (~115 to ~100 Ma) as: (1) the mASI value of the rocks (i.e., Shiraishino granodiorites) decreases below 1, (2) the Sr–Nd isotopic data are relatively constant [$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70471$ to 0.70573 ; $\epsilon\text{Nd}(t) = +0.2$ to $+1.9$] within different rock types including granites, granodiorites, tonalites, and adakitic rocks (i.e., the Shiraishino granodiorites), following the increase of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and decrease of $\epsilon\text{Nd}(t)$ from Berriasian, and (3) higher maximum temperatures at ~105 Ma. The secular changes indicate that important geodynamic changes occurred in the arc system of SW Japan as it changed from subduction-accretion during the Jurassic to continental arc during the Early Cretaceous. Thermodynamic partial melting modeling demonstrates that the Albian granitic rocks can be derived from mélangé rocks, such as chlorite-actinolite schists, at moderate depth and variable redox conditions. It is concluded that the genesis of the Early Cretaceous granitic rocks from Kyushu, SW Japan, may be related to upwelling of the asthenosphere and hot corner flow into the mantle wedge caused by slab rollback, which followed a shallowing of the subduction angle and subsequent flat-slab subduction during the Late Jurassic. The resultant heat induced the partial melting of the mélangé rocks that formed on and were transported from the subducted plate interface. Reference: Suga, K., Yeh, M.W., 2021. *Front. Earth Sci.* 8:95.

Keywords: granitoids, mélangé, arc magma, partial melt, Early Cretaceous, SW Japan, Yanshan orogeny

Characterizing the granitic rocks of the Doba basin, southern Chad

Tran Thi Hue¹、John Gregory Shellnutt¹、Tung-Yi Lee¹、Meng-Wan Yeh¹、
Chih-Cheng Yang²

(1)Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University、

(2)CPC-Taiwan, Exploration and Production Business Division

This preliminary study attempts to characterize the granitic rocks in order to make first-order observations and determine if they could be part of the same intrusive body. The granites from the Djabi-1 well (2440-2473 m depth) are mostly potassium feldspar (~30 vol%), plagioclase (~25 vol%) and, quartz (~25 vol%) with a small amount (~20 vol%) of mafic minerals (e.g., biotite, clinopyroxene, hornblende). The granites from Mouroumar-1 well (2250-2350 m depth), are mainly potassium feldspar (~60 vol%), plagioclase (~15 vol%), quartz (~18 vol%) with a minor amount (~7 vol%) of mafic minerals (e.g., biotite, clinopyroxene, hornblende). The granites from Benoy -W2 well (3180-3230m depth) are mainly potassium feldspar (~55 vol%), plagioclase (~20 vol%), quartz (~20 vol%) with a minor amount (~5 vol%) of mafic minerals (e.g., biotite, clinopyroxene, hornblende). The granites from Kiagor -1 well (2700-2736.3 m depth) are a large amount of potassium feldspar (~50 vol%), plagioclase (~20 vol%), and quartz (~20 vol%) with a minor amount (~10 vol%) of mafic silicate minerals (e.g., biotite, clinopyroxene, hornblende). The granites from Bebalem-1 well (2965-3000 m depth) have main components of potassium feldspar (~40 vol%), plagioclase (30 vol%), quartz (~20 vol%), and mafic minerals (~10 vol%). All of the rocks are coarse-grained and granular and mostly slight pink (Benoy-W2, Kiagor-1, and Bebalem-1 wells) to reddish (Mouroumar-1 well) color for the exception of the rocks from the Djabi-1 well which are darker due to the greater abundance of mafic silicate minerals. The mineralogy of the granites suggests that there were at least three distinct magma pulses beneath the Late Cretaceous sedimentary rocks of the Doba basin.

Keywords: Chad, Doba basin, granite, Central African Orogenic Belt, Late Ediacaran

Monitoring environmental changes with dendrochemistry: Challenges and potential solutions

Hsin-Lin Wei¹、Chuan-Chou Shen¹、Huei-Ting Lin²

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、Research Center for Future Earth,
National Taiwan University、(2)Institute of Oceanography, National Taiwan University

The numerous advantages of tree rings make it an essential environmental and climatic archive for the pre-instrumental eras. Trees distribute widely, being easily accessible, providing replicates, and preserving multiple proxies with intra-annual resolution. The physical properties, e.g., ring widths and ring densities, have been used to reflect variations in temperature, precipitation, sea surface temperature for more than one century. Chemical proxies, including elements and isotopes, in tree rings have been widely valued and developed as new environmental proxies in recent decades. Apart from oxygen and carbon isotopes in tree-ring cellulose used as sound climatic recorder, elements, e.g., Hg, Pb, and Cd, were new proxies for diverse environmental change topics, such as industrialization, air pollution, and soil contamination, in the Anthropocene. However, the movement and diffusion of elements across the rings, called radial translocation, intensifying during the sapwood transforms into heartwood, blur the elemental records. Correction for the radial translocation makes the application of tree-ring elements more useful and robust. To extend the usage of tree-ring elements as reliable environmental proxies, we comprehensively review articles published in the literature and summarize the critical mechanisms leading to radial translocation, including elemental mobility, tree physiology and anatomy, and heartwood formation process. In this study, we also propose a possible strategy to overcome the radial translocation effect.

Keywords: radial translocation, dendrochemistry, tree ring, biomonitoring

南中國海東北部過去三萬八千年以來浮游性有孔蟲豐度與

海表溫度變化

陳子軒¹、林殿順¹、王子軍¹

(1)中央大學地球科學系

本研究利用位於臺灣西南海域，水深 1,315 公尺的 MD18-3568 岩心(岩心總長 20.7 公尺)，透過浮游性有孔蟲的種屬與豐度變化及古海表溫度的建立，探討南中國海東北部所受東亞季風的影響。本岩心為懸浮堆積的泥質半遠洋沉積物，岩心浮游性有孔蟲碳十四定年結果顯示，本岩心自 38,000 年以來為連續、穩定沉積。本研究採集 40 個樣本，將樣本處理為含有 300 隻以上的浮游性有孔蟲化石。鑑定其種屬並計算各種屬絕對豐度及相對豐度後，初步結果顯示，*Globigerinoides ruber*、*Trilobatus sacculifer*、*Neogloboquadrina dutertrei* 及 *Pulleniatina obliquiloculata* 等四種在副熱帶常見之種屬，在大多數樣本中所佔的浮游性有孔蟲比例平均可達六成以上。冷水種 *Globigerina bulloides* 的比例平均約一成，其餘種屬的比例共佔約兩成。配合古海表溫度及碳十四定年所得之年代模式，可建立三萬八千年以來南中國海東北部浮游性有孔蟲的豐度及東亞季風強度變化。

中文關鍵字：南中國海、浮游性有孔蟲、海表溫度、東亞季風



Rare earth elemental geochemistry in foraminifera and its application to paleo-monsoon dynamics

Yogaraj Banerjee¹、Li Lo¹、Chuan-Chou Shen¹

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University

The rare earth elements (REE) are chemically coherent group with the variation of their stability constants in an ordered way. The partitioning between phases may lead to fractionation of the light REE relative to the heavy REE which have been attributed to differing mineral-seawater partition coefficients within the group. The relative abundance of REE have been used as useful proxy to understand the deep ocean circulation pattern, terrestrial/oceanic inputs, precipitation. However, there are two major challenges: (1) understanding on the susceptibility of REEs in the diagenetic environment (marine pore water), which precluded estimating alteration of the primary foraminiferal signal, and (2) the cleaning procedure typically used to remove contaminant phases was subject to the effects of REE reabsorption. Here in our ongoing project, we are carrying out REE analysis on well-preserved planktonic foraminifera recovered from two cores of MD05-2925 and ODP-1115B in the western Pacific to reveal the monsoon dynamics in the northern Australian and Indonesian region over last 800-kyr. In order to address the challenges related to the diagenetic alteration and cleaning procedure, we have (1) screened the well-preserved samples from the altered one, and (2) developed a cleaning procedure to remove all coatings and contaminant phases. A protocol for analysing REE from femtogram of carbonate samples including foraminifera was developed on ICP-SF-MS. Previous study using planktonic foraminifera *G. ruber* REE/Ca records of core MD05-2925 clearly demonstrated the role of obliquity cycle on the precipitation pattern at the tropical southern hemisphere in the Pacific over the last 282-kyr. Here in the present study, we are further extending the approach for the last 800-kyr for understanding the role of precession and obliquity forcing over the past late Quaternary glacial-interglacial cycles. The initial results of this ongoing project will be presented at the conference

Keywords: REE, foraminifera, monsoon

層序地層分析應用於波斯灣海域油田

蘇清全¹、邱維毅¹、蘇俊陽¹、張國雄¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

本研究根據岩心描述、鑽井岩屑分析和電測曲線的趨勢判釋沉積相，並建立碳酸鹽岩沉積相模式。波斯灣海域之地層劃分為 9 種沉積相：1. 洋盆 (Basin)、2. 遠端外斜坡 (Distal Outer Ramp)、3. 近端外斜坡 (Proximal Outer Ramp)、4. 遠端中斜坡 (Distal Middle Ramp)、5. 碳酸鹽岩地台邊緣 (Platform Margin)、6. 礁後 (Backreef)、7. 半開放水域 (Restricted Open Marine)、8. 潮間帶 (Intertidal)、9. 潮上帶 (Supratidal)。

整合沉積相與全球海水位之變化趨勢，在中侏羅紀之 Araej 地層至白堊紀中期之 Laffan 地層之間共劃分了 19 個層序，分別為 Diyah 層的 5 個次層序；Arab 的 4 個次層序；Hith 層序；Thamama Group 的 Habshan、Lekinwair、Kharaiib 和 Shuaiba 層序；Narh 層序；Mauddud 層序；Shilaif 層序；Mishrif 的 2 個次層序。

層序對比之結果顯示海域礦區之 Arab-Hith 儲蓋系統在 B 好景區形成優異之儲蓋系統，並有油氣之生產，但在 M 好景區及以東的地區有油氣逸散的風險；Thamama-Narh 儲蓋系統受 Mandous 構造中南北走向之鹽丘構造截切，影響儲蓋系統的封阻性，使得油氣沿著鹽丘構造向淺部地層移棲；Mishrif-Laffan 儲蓋系統中蓋岩層普遍不厚，且局部地區出現沉積不整合面，存在油氣逸散的風險；Halul-Fiqa 儲蓋系統之 Halul 層有作為儲集岩層的可能，Fiqa 層之巨厚泥質沉積物，可作為封阻油氣之蓋岩。根據油氣測試結果，M 與 K 好景區的 Halul 層皆有油氣發現，本研究區域應有探勘淺層油氣的潛能。

中文關鍵字：碳酸鹽岩、層序地層分析、波斯灣

底棲性有孔蟲 *Elphidium taiwanum* Nakamura 1937

之分類學有效性探討

簡至暉¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

希望蟲屬是近濱環境中相當常見的底棲性有孔蟲類群。*Elphidium taiwanum* 是中村正義於 1937 年命名之化石種，其形態與 *Elphidium craticulatum* 非常相似，實際上，在中村氏的原始描述中，兩者的唯一區別僅在於 *E. taiwanum* 的終圈房室數量（約 30 個）少於 *E. craticulatum*（40 個以上）。此外，Hofker 亦於 1968 年描述了發現於雅加達灣、型態與上述兩者類似的 *Elphidium batavum*；黃敦友（Huang, 1969）認為 *E. batavum* 應是 *E. taiwanum* 的同物異名。然而，*Elphidium batavum* 至今仍被視為有效命名，而在諸多關於底棲性有孔蟲現生種的研究中，上述的三個物種也並未被清楚的區分，都被歸類為 *E. craticulatum*。因此，對於這三個型態相似的物種及其命名—分類學有效性的問題，相當值得探討與釐清。本研究即以形態學及分類學描述的基礎為出發點，比較三個希望蟲屬物種的異同，並依據國際生物命名規約之原則，探討並判別 *E. taiwanum* 的分類學有效性。

中文關鍵字：底棲性有孔蟲、分類學、希望蟲屬、微體古生物學



台南左鎮區二寮的海星化石之研究

郭周昱¹、王良傑²、王士偉³、米泓生¹

(1)臺灣師範大學地球科學系、(2)臺南市自然史暨化石研究協會、(3)國立自然科學博物館

本研究透過形態觀察及特徵比較，針對產自台南左鎮地區崎頂層的海星化石進行分類。除了少數標本保存不佳、僅能鑑定至科或屬之標本外，其餘標本皆可鑑定至種；形態特徵為：腕數 5 腕、口面與反口面平坦、體盤相對較小、上緣板(superomarginal)與下緣板(inferomarginal)明顯且對稱、緣板外形呈長方形，板上覆滿顆粒體、帶線(fasciole)明顯、背板較小且呈小柱體狀、腹板呈縱向排列。初步鑑定結果均應歸屬於柱體目(*Paxillosida*)、槭海星科(*Astropectinidae*)、槭海星屬(*Astropecten*)，並且可能皆為同一種；但有些特徵並沒有完整保留下來，例如：腕末端之端板遺失或是留存甚少、背板及腹板殘餘不多、上緣板周圍與體板之間的細棘遺失、第一至第四個上緣板之上側之椎狀棘遺失、從第四個上緣板至腕末端之上緣板中間之小短棘未保存、上緣板與下緣板間之棘刺殘餘甚少，以及篩板遺失。因此鑑定為 *Astropecten cf. vappa*。另，本批化石為目前已知台灣最年輕之海星地質紀錄。

中文關鍵字：化石、海星化石、崎頂層、左鎮



以湖泊泥炭之地球化學特性重建台灣中部自晚全新世之古氣候變遷

連翊豪¹、汪良奇¹、方君而¹、楊育丞¹、徐瑜婕¹

(1)中正大學地球與環境科學系

位於台灣中部濁水河流域的頭社盆地，為埔里盆地群中晚更新世至全新世的封閉型湖盆；盆地中的連續泥炭沉積，提供了研究古環境變遷的理想材料。先前研究中，以植物孢粉化石分析，重建植被與氣候的變化。故本研究利用多種指標方法分析對其採集的沉積物岩心，包括粒徑、碳屑、燒失量、磁感率等項目。本研究想探討頭社盆地沉積物的特性，與其湖盆周遭的環境變化，在採樣時也提高解析度，以利各指標的交互分析，故採取了總長約 6 公尺的岩心，並以每 2 公分分段，最深處達將近 8 公尺深。

在重建台灣中部山區的古環境變化中，由已完成的放射性碳同位素定年資料得知，此岩心涵蓋範圍約距今 17000~2000 cal BP；由粒徑分析的資料顯示，平均沉積的粒徑在 6.8 μm ，而在 8000~6000 cal BP 期間有幾段明顯的起伏變化出現，出現最小的平均粒徑為 2.1 μm 。本實驗嘗試利用碳屑分析來解釋過去的野火活動與環境變化的關聯，發現在大約 15000 cal BP，有大量的碳屑沉積。先前的研究上，利用燒失量及孢粉資料，得出燒失量低時氣候涼爽、燒失量高時氣候潮濕的結論，本次研究數據平均約有 70%，而在大約 4000~3000 cal BP，出現燒失量低至平均 30%；並且在 9500~5700 cal BP 期間，也有幾次燒失量驟降的情況出現；而在 15000 cal BP~11000 cal BP 中則是平緩的起伏變化。

本研究目的著重在頭社這一萬七千年來的沉積物特性及其環境變遷的分析，利用各指標得到定量的資料，配合詳細的定年結果，得到指標隨時間上的變化，來反映氣候的變化歷史。並探討古氣候的變動特徵或是異常事件。

中文關鍵字：碳屑、野火事件、沉積物

台灣全新世大炭屑紀錄與火災模式初探

吳妍希¹、劉邦權¹、Ludvig Löwemark²、楊子誠¹、陳豫祥¹、林育仕¹、
汪良奇¹

(1)中正大學地球與環境科學系、(2)臺灣大學地質科學系

沉積物的炭屑分析可重建火災事件並推演氣候狀態，此外自然火災為控制森林演替與全球碳循環的重要因子。炭屑的存在反映人類活動所造成的人為火災，另外自然火災的記錄也可以利用氣候條件的變化去推測火災變化的原因。本研究目的是透過分析宜蘭縣三星妹池、南投縣頭社盆地沉積物的炭屑重建出台灣不同區域完整且連續的火災紀錄。從這兩個地點獲得的岩心分別長 250 公分以及 700 公分，以 1 至 2 公分的深度為間隔，透過分析程式與影像處理計算出各個深度(不同年代)中有多少數量以及面積的炭屑以利去看整體變化的趨勢，可以知道台灣全新世以來的火災歷史。由於這兩個所選地點較少人為擾動，因此其炭屑變化可用來反演台灣全新世氣候乾溼變化，並對台灣不同時間與空間氣候變遷進行比對。

中文關鍵字：炭屑、全新世、火災事件



台灣西南部中新世井下層序地層與沈積環境研究

鄭洪任¹、林殿順¹、涂嘉勝²

(1)中央大學地球科學系、(2)臺灣中油公司探採研究所

台灣西南部陸海域地區為探勘之潛力區域，為了建立完整層序地層架構，本研究利用台灣中油公司提供之台灣西南部陸域井位資料，進行沉積環境與層序地層之分析。主要方法是利用伽瑪射線、自然電位、聲波井測以及電阻率等電測曲線的變化，劃分出不同特徵的曲線，再加上其岩心或岩屑紀錄中的特殊沉積物進行沉積環境分析。接著再依據其垂直的環境變化劃分出不同的次層序來建立層序地層。目前研究之範圍位於 B 斷層以南、義竹斷層以北之嘉義地區中新世地層，在初步分析其沉積環境後，研究結果顯示該地區木山層為河流相至濱海相環境；碧靈頁岩至打鹿頁岩時期則呈現濱面至遠濱相環境；觀音山砂岩至南莊層時期則開始出現受潮汐以及波浪影響的堰洲島、瀉湖、潮坪等環境。且根據鑽井之地層厚度發現，八掌溪砂岩於義竹斷層以北地區厚度約為 60~100 公尺；以南厚度最厚可達到約 1000 公尺。因此，依據(Lin, 2003)之分類將晚漸新世至中新世地層分為三個時期 (1) 30~21 Ma，木山層及其更老之地層，處於張裂階段，義竹斷層開始錯動並形成地塹(Graben) (2) 21~12.5 Ma，碧靈頁岩至觀音山砂岩時期，呈穩定的熱沉降 (3) 12.5~6.5 Ma，南莊層時期，由於 B 斷層及其南部斷層開始發育，形成一階地(Terrance)。

中文關鍵字：井下電測，層序地層，沉積環境

台灣南部地層沉積環境與 XRD 分析

李瑋倫¹、李沅銘¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

本研究分析南部地層樣本 13 筆，採樣地點包含北港溪、平林溪、粗坑溪、楠梓仙溪、曾文溪等流域，以頁岩地層為主。樣本進行了全岩 X 光粉末繞射、乾燥順向試片(Air-dried)、乙烯乙二醇飽和試片(Glycolated)、慢掃描繞射等四項檢驗。

試驗一共得到 52 筆檢驗資料，全岩 X 光粉末繞射結果顯示樣本除了大量的石英質外，亦包含黏土礦物；再經由乾燥順向試片將黏土礦物萃取過後進行繞射掃描，大多數黏土礦物應以伊萊石為主，並有少量的高嶺土與綠泥石出現；乙烯乙二醇飽和試片結果則沒有發現任何的蒙脫石的存在；慢掃描繞射結果顯示大多數樣本以綠泥石為主，僅少數樣本有高嶺土存在。

過去研究顯示，高嶺土較常出現在近濱海區，綠泥石居中，伊萊石則集中在遠濱海區，而根據本研究 XRD 結果，平林溪流域的木山層及北寮層自慢掃描試驗中有單一高嶺土峰值出現，而二仁溪的古亭坑層及部分鹽水坑頁岩樣本則出現高嶺土與綠泥石雙峰值現象，對照野外採樣地層描述，木山層及北寮層皆發現圓丘狀交錯層出現；而鹽水坑頁岩為厚層頁岩夾有薄層風暴砂岩，屬於外遠濱帶。

中文關鍵字：台灣南部、XRD、沉積環境

利用人工智慧辨識岩石薄片影像

林逸威¹、李沅銘¹、蘇俊陽¹、林玉儂²

(1)臺灣中油公司探採研究所、(2)中央研究院地球科學研究所

岩石薄片影像分析是計算儲集岩礦物組成和孔隙率的方法。儲集岩的岩性及命名需由礦物組成而得，孔隙率則是攸關儲集岩層之儲量。本研究嘗試利用人工智慧將儲集岩的岩石薄片影像分割為石英、長石、岩屑、黏土、孔隙等五類以便進行沉積岩分類，以及計算孔隙率。

研究方法分為四個步驟：(1)影像前處理，包含平行偏光與垂直偏光影像之掃描、拼接、校正、切割等；(2)建立訓練/驗證影像集，利用影像分割，將影像進行分類，並將其切割、轉換成輸入資料集；(3)建立/訓練模型，利用 Matlab 等軟體，建立多層感知器、CNN 等模型，並利用訓練/驗證影像集訓練模型；(4)驗證模型，檢驗模型預測之準確率，評估代價函數是否達到最小值等，以選定適合之人工智慧模型。

本研究將 A 井上福基砂岩層之岩石薄片進行上述步驟處理，比較人工智慧模型預測之礦物分割與人工分割之間的差異，並將其預測之礦物組成比例、孔隙率，與前人文獻所計算之結果進行差異性比較。目前初步測試，利用多層感知器模型，僅分類石英、岩屑、黏土、孔隙等四種影像，利用 6000 張 4x4 像素影像進行訓練及驗證，並利用 2000 張 4x4 像素影像進行測試，準確率可達 90.7%。

中文關鍵字：儲集岩、光性礦物、人工智慧

以主導動力學曲線研究赤鐵礦還原磁鐵礦反應

陳青毅¹、鄧茂華¹

(1)臺灣大學地質科學系

赤鐵礦是自然界中常見的穩定鐵氧化物，廣泛分佈於岩石和土壤中，赤鐵礦經過還原反應之後會形成磁性礦物磁鐵礦。赤鐵礦對氧化還原環境十分敏感，故可以作為研究古環境變化的指標，在古氣候、古地磁的研究上，都具有十分重要的作用。主導動力學曲線模型(Master Kinetics Curve Model, MKC)是參考主導燒結曲線模型(Master Sintering Curve Model, MSC)之推導方式，以一般化學反應速率方程式為基礎推導而出的動力學模型，可經由分析擬合數組實驗數據而得到反應預測曲線，其具有使用方便、預測準確、應用範圍廣三個主要優點。根據前人研究，目前已成功將主導動力學曲線應用於燒結、相變、黏土礦物脫水、熱分解、氧化等反應。尚未有更進一步研究證實可應用於其他類型反應，故本研究以赤鐵礦還原反應探討主導動力學曲線於還原反應之適用性，將實驗得到之數據以主導動力學曲線擬合並預測其反應，擬合數據包含熱重分析實驗數據、熱膨脹分析實驗數據、前人文獻數據。

中文關鍵字：主導動力學曲線模型、擬合曲線、赤鐵礦、磁鐵礦、還原反應



丹泉石之長晶合成及其致色機制之研究

倪嘉晟¹、陳燕華¹

(1)成功大學地球科學系

在自然界中極少數的黝簾石因為含微量釩元素，致色形成藍紫色的高單價寶石『丹泉石』；由於丹泉石至今仍無人工合成的文獻，本研究嘗試將三氧化二釩與黝簾石進行混摻實驗。一般黝簾石的合成會以高溫高壓法進行，但高溫高壓法有著危險性、能源成本高、結晶顆粒較小等缺點，且短時間內相轉變速度快容易形成混相等問題，故本研究欲以水熱法取代傳統高溫高壓法進行黝簾石的長晶合成。

對比 Byrappa (2006)利用矽線石為起始物去合成黝簾石，本研究選用其同分異構物在低壓相較易生成的紅柱石為起始原料，並探討在酸性條件下不同溫度、壓力及反應時間對合成黝簾石的影響。藉由 X 射線衍射儀(XRD)分析混摻後的晶格大小及合成礦物成分，且在高溫下進行熱處理顯色，進行人工丹泉石的合成。

初步成果顯示：利用水熱法可成功合成黝簾石，發現當壓力提高及拉長反應時間可使生成物趨向純相，接下來我們會選用最適當的合成參數進行丹泉石混摻實驗，並加以探討其致色之機制。

中文關鍵字：黝簾石、丹泉石、水熱合成、致色成因



石墨包裹矽奈米顆粒之結構討論

李晨瑜¹、陳志穎¹、楊智淵²、鄧茂華¹

(1)臺灣大學地質科學系、(2)師範大學地球科學系

矽元素與碳元素在地殼中極為豐富，分別排名於第二及第十五，擁有容易取得且用途廣泛的優勢。因此本團隊利用這兩個元素的普及性，首次合成出石墨包裹矽奈米顆粒，期待能將其應用擴展到電池產業。石墨包裹矽奈米顆粒(Graphite Encapsulated Silicon nanoparticles, GES)具有核-殼層狀結構，外殼由石墨片及非晶質碳堆疊，核心則是由矽或碳化矽多晶組成，是粒徑約 20-100 nm 的球狀奈米複合材料。本研究利用熱重分析及 X 光粉末繞射分析觀察 GES 的熱行為，可得知 GES 的碳層在約 200°C 時會開始氧化為碳氧化物，碳化矽在約 550°C 時會開始分解為石墨和矽，以此分析結果提出 GES 的核心有以下三種可能結構：第一，矽與碳化矽晶粒混雜；第二，由碳化矽粒包圍矽晶粒；第三，由矽晶粒包圍碳化矽晶粒。期望將來可以透過進一步的實驗來確認 GES 之結構是否符合本研究提出之假說。

中文關鍵字：石墨、矽、碳化矽、核殼結構、奈米顆粒



New evidence of high-pressure metamorphism in mafic schist from the Wanjung area, Yuli belt, eastern Taiwan

Enggar Wisnu Cahyaning Ratri¹、Chin-Ho Tsai¹、Yu-Wei Zhang¹、
Yui Kouketsu²、Yoshiyuki Iizuka³

(1)Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong-Hwa University、

(2)Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan、

(3)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

The Yuli belt is considered as a high-pressure (HP) metamorphic terrane, owing to the presence of glaucophane and omphacite in some rocks related to serpentinite. In the Wanjung area, metagabbro, serpentinite, and mafic schist are associated with metasedimentary schist. HP metamorphism in this area is only represented by omphacitic rock within serpentinite (Yui and Lo, 1989). In this study, we report a new finding of relict Na-amphibole in garnet-bearing mafic schist and amphibole-albite schist. The studied outcrop contains mafic schist with intercalated layers of garnet-bearing mafic schist (Type 1), amphibole-albite schist (Type 2), and barroisitic schist (Type 3). The peak mineral assemblages of these rock types are garnet + quartz + epidote + rutile ± glaucophane (Type 1), glaucophane + garnet + quartz + epidote (Type 2), and barroisite + garnet + quartz + epidote (Type 3). Centimeter-sized porphyroclastic garnet in Type 1 shows partially honeycomb texture in which thin garnet surrounds quartz grains. Honeycomb garnet is rare and commonly reported from HP/UHP rocks in some orogenic belts (Hawkins et al., 2007). Glaucophane only occurs as rare inclusions within albite. Amphibole compositional zoning in Type 2 from core to rim is glaucophane → barroisite → actinolite and in Type 3 is barroisite core to actinolite rim, suggesting retrograde recrystallization. We applied quartz Raman barometry (Enami et al., 2007; Kouketsu et al., 2014) and garnet-hornblende geothermometer (Graham and Powell, 1984) on Type 3, and obtained *P-T* conditions of 1.4-1.5 GPa and 495-503 °C, which indicate subduction metamorphism. Our finding suggests that HP metamorphism in the Wanjung area is not limited to omphacitic rock only.

Keywords: glaucophane, honeycomb garnet, subduction, Yuli belt

不同粒徑大小三水鋁石之熱行為與動力學探討

莊人豪¹、鄧茂華¹

(1)臺灣大學地質科學系

三水鋁石由氫氧化鋁所組成，經熱分解可產生氧化鋁與水，在工業上具有諸多應用，故為一種相當重要的礦物。然而，三水鋁石可能同時具有兩種不同的反應途徑：完全脫水形成 γ -氧化鋁、以及不完全脫水形成軟水鋁石。此性質由三水鋁石的粒徑大小所控制，粒徑越小則反應將趨向於單一。本研究即是利用不同粒徑之三水鋁石粉末進行熱重實驗，並藉由主導動力學曲線模型與 Avrami 方程式等兩種動力學模型探討三水鋁石熱分解反應之動力學性質。其中，主導動力學曲線模型以實驗數據為基礎，無須事先得知反應機制即可求得反應預測曲線，因此相當適合預測任意升溫歷程之反應；Avrami 方程式則為研究結晶過程之動力學模型，並可用於探討反應機制是否發生改變。

中文關鍵字：三水鋁石、粒徑大小、熱行為、主導動力學曲線模型、Avrami 方程式



含水鎂 - 鈣鋁榴石之紅外光譜特性

孫浩誠¹、張耘瑗¹、杲紹伊¹、邱仁謙²、龔慧貞³

(1)中央研究院地球科學研究所、(2)中央大學地球科學系、(3)成功大學地球科學系

大體積壓力機可產生高壓且高溫的環境，常被拿來合成地球深部的礦物。本研究使用大體積壓力機，在 6 GPa 與 1000-1400°C 的環境下，合成不同比例鎂-鈣鋁榴石固溶體系列樣品。在合成實驗的初始材料中摻入氫氧化鋁($\text{Al}(\text{OH})_3$)，使樣品腔內的總含水量 (H_2O) 達到 5 wt% 左右，作為合成含水鎂-鈣鋁榴石中之結構水的來源。為了探討氫原子(H)進入不同比例鎂-鈣鋁榴石晶體結構的特性，本研究運用傅立葉轉換紅外光譜儀(FTIR)來測量樣品的含水量以及探討其 OH 振動模(vibration mode)的特性。含水鎂-鈣鋁榴石 OH 振動模的頻段主要落在紅外光譜 3400~3700 cm^{-1} 的範圍內，在鈣鋁榴石(Grossular)的紅外光譜中，OH 振動模主要由兩個峰組成，分別在 3601 cm^{-1} 與 3621 cm^{-1} 的位置。隨著樣品中鎂含量的增加，OH 振動模的位置會往低波數的方向移動，且信號的半高寬增大。利用紅外光譜訊號峰下面積做計算可以得到晶體的含水量，發現整個固溶體系列樣品的含水量大部份都低於 500 ppm wt，在 $\text{Py}_{40}\text{Gr}_{60}$ 成分比例的晶體大約可以到 800 ppm wt 的含水量，惟有 $\text{Py}_{65}\text{Gr}_{35}$ 成分比例的晶體的含水量特別高，可達 1500 ppm wt 以上，推測晶體含水量多寡可能與晶體合成的溫度以及共存礦物相的出現有關。

中文關鍵字：鎂-鈣鋁榴石、傅立葉轉換紅外光譜儀、OH 振動模

臺灣本島結晶岩類岩石力學特性初探

邱琮翔¹、魏倫璋²、莊伯禹²、柯建仲²、李在平¹、陳臆涵¹

(1)臺灣電力股份有限公司、(2)中興工程顧問社

岩石力學特性係為諸多岩石工程設計與分析的重要關鍵因子，如隧道工程、地熱與石油資源開採及核廢料處置場建置等，除可透過現地調查技術來瞭解與掌握各種岩層之力學特性外，一般最常採用岩心樣本進行室內試驗，然過去岩石力學試驗規劃僅著重於一般物性及單軸抗壓與彈性參數量測，對於國際岩石力學學會(International Society of Rock Mechanics, ISRM)所規劃之試驗完整性及本土結晶岩類之力學試驗數據相對較少著墨，本研究以臺灣本島結晶岩類中變質花崗岩(含花崗岩與花崗片麻岩)及大理岩之岩心樣本為對象，參考 ISRM 建議方法規劃 13 項岩石力學實驗室試驗，其目的在於獲取不同深度結晶岩類之岩石力學相關參數，藉以評估其在空間分布上的變化，以及各項參數之不確定性。

初步試驗結果顯示，變質花崗岩之含水量、抗剪強度、靜彈性模數、柏松比、楊氏模數、剪力模數、統體模數、熱傳導係數、熱擴散係數及比熱等參數，呈現出較大理岩為低之現象；在孔隙率、吸水率、單位重、比重、消散耐久性及體積應變方面，呈現高於大理岩之趨勢；在單軸壓縮強度、三軸壓縮強度、抗張強度及節理面抗壓強度等參數部分，則概略呈現兩者數值相近的現象。此一系系列試驗成果有別於過去常認定變質花崗岩力學強度高於大理岩之刻板印象。

此研究所獲之岩石力學相關參數，係國內少數針對結晶岩類進行大量試驗之結果，其分布特性、參數不確定性等均可提供未來岩石力學相關模型建置之參考依據，有助於提升其準確性及應用性。

中文關鍵字：變質花崗岩、大理岩、岩石力學、參數不確定性

Temporal evolution of dynamic friction coefficients during rock deformations revealed by Fisher-Shannon Method

Hong-Jia Chen¹、Tsung-Hsi Wu¹、Chien-Chih Chen¹、Li-Wei Kuo¹、
Luciano Telesca²、Michele Lovallo³

(1)Department of Earth Sciences, National Central University、(2)Institute of Methodologies for Environmental Analysis, National Research Council, Italy、(3)ARPAB, 85100 Potenza, Italy

Earthquake rupture is a complex dynamic process owing to strengthening and weakening of fault friction during rapid slip. The mechanism of dynamic friction variations involves different physical and chemical processes. The temporal dynamics of the fault friction during such a slip still remains poorly understood. The objective of our research was to analyze the temporal information of the dynamic friction coefficients during different deformation stages. We used the Fisher-Shannon method to estimate the disorderness in the time series of the dynamic friction coefficients. We observed that the disorderness is significantly affected because of the strengthening and weakening of dynamic friction. During the strengthening in the process of melt patches, the disorderness increases due to the rough surfaces; during the weakening in the process of the steady-state slip, the disorderness decreases due to the fully melting lubrication. Therefore, we concluded that the temporal information of the dynamic friction coefficients might respond to the physical and chemical processes, and the Fisher and Shannon indicators would help us to identify the different deformation stages.

Keywords: earthquake rupture process, rock deformation, dynamic friction coefficient, Fisher information, Shannon entropy

電阻式加熱鑽石高壓砧之設置與應用

曹懿麒¹、林俊宏¹、陳朝志¹、簡祐祥¹、張仁韋¹、謝文斌¹

(1)中央研究院地球科學研究所

本實驗室致力於研究地球深部礦物在高溫高壓下的物理性質以及其如何影響整個地球內部的熱演化以及動力學等的過程。由於地球內部的高壓與高溫為影響地球內部礦物物理性質的重要因素，能夠在實驗裝置中同時產生高溫及高壓條件將可使實驗結果更接近地球內部的狀態。近年我們發展了電阻式加熱之鑽石高壓砧，在鑽石砧周邊放置環形加熱線圈，線圈以 S 型熱電偶金屬線(白金 90 wt%+鈦 10 wt%)纏繞，另外採用 R 型熱電偶黏著於鑽石側來測量樣品的溫度，搭配絕緣、絕熱層以及高熱傳導的材料，可使鑽石砧內樣品室的溫度加熱至約 600°C (~900K)。本研究以 Phase D ($\text{MgSi}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$) 為例，此礦物相能穩定存在於下部地函頂部，其晶體結構內能含有約 10 wt% 的 H_2O ，為地球深部水循環中一重要含水礦物。探討 Phase D 在高溫高壓下的物理特性將有助於我們探討下部地函淺層如何受含水礦物影響，以及在地球動力學上的演化機制。我們使用電阻式加熱鑽石砧結合時間解析熱光反射技術 (time-domain thermoreflectance, TDTR)，測量 Phase D 在高溫高壓環境下之熱傳導與聲速等物理性質的變化。未來也希望這套系統不僅可以用來研究地球深部各種礦物的物理性質，也可用應用於行星科學、材料科學以及跨領域的合作研究上。

中文關鍵字：鑽石高壓砧、時間解析熱光反射技術

台灣主要地層之熱導係數研究

華智祥¹、許鶴瀚¹、江協堂²

(1)臺灣大學海洋研究所、(2)宜蘭大學通識教育中心

前人的研究認為臺灣擁有相當高的地熱潛能，地層的熱導係數為評估地熱潛能的重要參數之一，本研究將有系統性的測量臺灣地層的熱導係數，過去一年來總計費時 21 天，於西部麓山帶、雪山山脈、脊樑山脈、海岸山脈、恆春半島等地質區的主要地層露頭，鑽取直徑 6 公分、長 10~30 公分的岩心或採集岩石樣本，共計於 40 個地層中採了 105 個樣本，樣本經磨平處理後，以 ISOMET 熱導係數儀測量其熱導係數。測量結果發現，熱導係數最大值($\sim 4.77 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)為雪山山脈始新世時期的四稜砂岩，最小值($\sim 1.14 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)為西部麓山帶中新世時期的南莊層，推測雪山山脈的四稜砂岩由於其礦物組成多為導熱程度高的石英組成，因此熱導係數偏高，西部麓山帶的南莊層可能因孔隙率高，因此熱導係數偏低。另外，海岸山脈地質區整體的熱導係數是所有地質區當中最底的($\sim 1.49 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)，推測其岩石多為海洋性沉積物組成，膠結性差。若是以地理上做分類，會發現臺灣中央山脈的熱導係數皆大於海岸山脈，推測中央山脈的主要岩石多為石英含量高的沉積岩和變質岩，而海岸山脈的岩石多為雲母、黏土礦物這些導熱程度低的礦物組成。本研究所展示這些系統性的熱導係數量測結果，可提供未來研究臺灣熱流估算的參考。

中文關鍵字：熱導係數、地熱探勘、熱流、岩石熱傳導

鐵鎂鋁榴石在高壓下之熱傳導率變化

洪瑜華¹

(1)中央研究院地球科學研究所

地球內部的熱流影響著地球的熱結構、動力學甚至是地球演化，其中影響熱流的一項因素為物質的熱傳導率。我們長期的目標是希望藉由測量地球內部各類物質的熱導率以建構一完整的地球熱動力模型。本次研究對象為石榴子石群之鎂鐵鋁榴石，其熱導率在常溫壓下約為 $3 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ，我們發現在壓力達到 23 GPa（約深 660 公里）時，會隨壓力上升達到 $7 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 。當與鎂鋁榴石、鈣鋁榴石兩種不同端點成分之榴石做比對時，發現在壓力 16 GPa（約深 440 公里）以上，鎂鐵鋁榴石的熱導率上升速率較另外兩者為低。表示儘管深度與熱導率呈正相關，但含有鐵端鐵成分時，會使其熱導率上升趨勢變得緩慢。

中文關鍵字：石榴子石、鐵鋁榴石、高壓、熱傳導率



斜張型盆地油氣田地質模型建立方法

馮力中¹、王銘浩²、蕭從文¹

(1)台灣中油探採事業部、(2)Schlumberger

在全球的產油盆地中，斜張型盆地已發現大量的油氣田，是非常具油氣潛能的盆地類型，亦是台灣中油公司核心探勘目標之一。油氣田從發現進入生產階段，須藉由建立地質模型來描述油氣田儲集層分布，估計油氣蘊藏量，再依據模型佈置適當的生產井位，以最佳化油氣生產。

本研究以斜張型盆地油氣田為例，依據鑽井、震測資料建立地質模型。建模步驟主要為依據震測解釋之地層面與斷層面建立構造模型，按照測井對比之分層將構造模型分為四個地層區間，在水平與垂直方向上建立構造模型之網格，接著將屬性適當地填入構造模型的網格中。本研究利用(1)井資料統計；(2)震測逆推等兩種方法建立屬性模型，包含：岩性、孔隙度、滲透率與含水飽和度等屬性。岩性係依據測井曲線分為砂岩、致密砂岩與頁岩等三種岩性，從變異圖(variogram)統計結果設定其垂直與水平方向之延伸範圍，井資料統計方法在垂直方向可提供穩定的統計結果，但水平方向因控制點太少而無法取得合適的延伸範圍，僅能以經驗方式設定水平方向參數。利用震測逆推方法從震測振幅反推 P 波阻抗屬性，得到 P 波阻抗高者多為砂岩，P 波阻抗低者多為頁岩之關係，可用來做為岩性分布之趨勢，並改善水平方向變異圖之統計結果，依據此趨勢體計算岩性模型，接著按砂岩、致密砂岩與頁岩所對應的孔隙度分布，以岩性模型為趨勢計算孔隙度模型，再以孔隙度模型為趨勢計算滲透率模型，最後以滲透率模型為趨勢計算含水飽和度模型。

本研究建立之地質模型提供油氣田構造、岩性、孔隙度、滲透率與含水飽和度等三維模型，提供後續蘊藏量評估及油氣田開發模擬所需之數據，設計適當之開發計畫，期能降低鑽井成本並增加油氣田採收率。

中文關鍵字：地質模型、震測逆推、儲集層

台灣海峽玄武岩之震測特性初探

張頌平¹、林亮甫¹、Arif Mirza¹、劉家瑄¹、謝獻祥¹、許鶴瀚²

(1)臺灣大學海洋中心、(2)臺灣大學海洋研究所

台灣新生代地層中可觀察到多期的岩漿入侵事件，澎湖群島與台灣西部平原的一千公尺深處皆有玄武岩的分佈。這些玄武岩空間分佈和特徵過去還未普遍了解，如在淺層地層存在玄武岩層，則會影響離岸風力發電機的基礎設置。因此本研究利用海域高解析度反射震測資料，探討彰濱外海的離岸風力發電風場之地質特性，以火花放電(Sparker)作為聲源，頻率介於數百至數千赫茲，理論垂直解析度可達一公尺左右。再經過資料處理提高訊噪比，及消除覆反射後得以呈現海床以下數百公尺深的清晰影像。在處理完成的震測剖面中，可觀察到數米至十餘米厚的玄武岩分布，這些岩層頂部的反射訊號極性與海床極性相同的強振幅反射，底部則呈現反極性特徵的強振幅反射，顯示岩層相較其上、下方地層具有較高的震波傳遞速度與密度。在研究區域中，玄武岩層呈現多層分佈，深部的岩層為侵入岩，可透過的幾何形貌可區分出岩蓋(Loccolith)、岩床(Sill)等火成岩特徵；在最淺層的岩層為噴發岩，從震測剖面預估這些噴發型的玄武岩層的深度可從水下 50 公尺深，逐漸往東變深達 800 公尺深，進覆(onlap)於其上的是向東變厚的前陸盆地沉積物。而前陸盆地的沉積物中並沒有觀察到類似的火成岩震測特徵，推測本區域最年輕的玄武岩形成年代應與前陸基底不整合面的年代相仿，約為 7-8 百萬年前。其與澎湖島玄武岩的年代，和西部平原鑽井得到樣本的年代相接近，顯示為相同時期岩漿活動的產物，而整體火成岩空間分佈則因前陸撓區作用逐漸往東變深。

中文關鍵字：台灣海峽玄武岩、離岸風力發電、火花放電反射震測

利用泥漿測錄之全烴指數與烴類氣體組成特性比辨識油氣層之產狀

李沅銘¹、張錦澤¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

鑽井工程中之泥漿測錄(Mud logging)為鑽進過程之泥漿循環至地面，透過氣相層析儀分析泥漿中的總氣體含量和氣體成分，而氣體成分基本分析甲烷至戊烷(C₁-C₅)，通常更高碳數烷烴類氣體與輕碳數烷烴類成分氣體相比其含量通常極低導致無法偵測，因此僅取基本分析之泥漿氣體成分進一步計算全烴指數(Total gas Index)與烴類氣體組成特性比(Ch Ratio)，本研究將結合上述兩者計算公式並帶入實際礦區資料，分別為 Block I 和 Block II，並藉由鑽桿測試或是完井結果進行對比。

藉由 Block I 和 Block II 地層測驗之流體產狀結果對比全烴指數與烴類氣體組成特性比圖，本研究嘗試將地層流體產狀分為產氣層(Gas Zone)、產油層(Oil Zone)、產油及水層(Oil/Water Zone)和無生產價值層(Nonproductive)。此方法界定方式在全烴指數大於 10,000 的條件下，烴類氣體組成特性比小於 0.5 指示為產氣層，大於 0.5 時則為產油層；當全烴指數小於 10,000 且烴類氣體組成特性比小於 1 指示為無生產價值層，而當烴類氣體組成特性比大於 1 且全烴指數介於 5,000-10,000 之間指示為產油層，全烴指數介於 1,800-5,000 之間指示為產油及水層，全烴指數小於 1,800 時則為無生產價值層，分析結果作為描述地層與辨識油氣層產狀之評估。未來可嘗試將此劃分規則套用於其他礦區或井資料，瞭解其他礦區資料應用下的狀況，並修正出更精確的劃分數值，找出最佳的應用方式。

中文關鍵字：泥漿測錄、全烴指數、烴類氣體組成特性比、油氣層

鹽水坑頁岩冷泉碳酸鹽固體瀝青之烴組成

蕭良堅¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

固體瀝青 (Solid Bitumen) 為在不同熱演化階段生成並殘留於地層中的固態有機物。其組成的變化可能反映油氣生成、排放、運移、儲聚與破壞過程。鹽水坑頁岩為早期上新世地層，其露頭可發現許多冷泉碳酸鹽 (Cold-Seep Carbonates) 存在。過去研究已經發現現代海床氣苗可形成冷泉碳酸鹽，而對冷泉碳酸鹽的穩定碳同位素分析也能辨識氣苗的來源，顯示其可能為油氣存在指標。本研究的固體瀝青樣品採自於楠梓仙溪甲仙大橋下，鹽水坑頁岩野外露頭之冷泉碳酸鹽。對固體瀝青樣品進行熱裂-氣相層析質譜儀 (Pyrolysis Gas Chromatography Mass Spectrometry, Py-GC-MS) 分析後，結果顯示瀝青樣品裂解後有較多輕碳氫化合物出現，組成以芳香烴及極性化合物為主，如苯、酚等，以及多環芳香烴萘、菲系列化合物。而樣品中飽和烴類化合物，以及 C₂₀ 以上化合物所佔比例不多。進一步繼續使用分段熱裂分析，自 300°C 開始，到 600°C 為止，每隔 50°C 為單位對樣品進行熱裂分析。在 300°C 與 350°C 溫度段圖譜相近，以萘與菲系列化合物為主。而自 400°C 開始，萘、菲等芳香烴化合物與高極性化合物仍占多數，同時並未發現如油母質有烯-烷雙峰出現的情形。固體瀝青的出現可能反映油氣生成或移棲過程，也有可能為有機物在埋藏過程中轉化而成。關於出現在鹽水坑頁岩冷泉碳酸岩表層的固體瀝青所代表的意義仍需要進一步研究。

中文關鍵字：固體瀝青、熱裂氣相層析質譜儀、冷泉碳酸鹽

台灣油氣地化組成分群及因素分析

林詩佳¹、張錦澤¹、林殷田¹、許峻嘉¹、莫慧偵¹、郭昱賢¹、
林政遠¹、吳素慧¹、林麗芬²

(1)臺灣中油公司探採研究所、(2)逢甲大學統計學系

中油公司針對原油、凝結油及天然氣樣品之分析方法，主要包含天然氣組成分析、天然氣同位素分析、凝結油/原油輕碳氫化合物分析、凝結油/原油同位素分析等，透過地化方法解析油氣特性及探勘潛能。本研究藉井的凝結油/原油樣品輕碳氫化合物成分資料、井的天然氣樣品成分組成與甲烷、乙烷、丙烷碳同位素資料、地表氣苗天然氣樣品成分組成與甲烷、乙烷、丙烷碳同位素資料，以及南部井及地表氣苗天然氣樣品成分組成與甲烷、乙烷、丙烷碳同位素資料等 4 種資料組合，採用歐式距離華德法進行階層式分群分析，比對區域地質背景及油氣特性進行解析。發現分群方法可能區分竹苗地區鄰近構造之油氣及南部天然氣樣品在移棲過程因構造、斷層及地塊分布造成的地化特性差異，並以其 6 群分群結果因素分析，探討各分群間主要影響之成分。

中文關鍵字：輕碳氫化合物、天然氣組成、穩定碳同位素、階層式分群、因素分析



由螞蟻體屬性研究 A 礦區碳酸鹽岩背斜構造油藏

張國雄¹、李健平¹、蘇俊陽¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

碳酸鹽岩是重要的儲油岩和生油岩，在全世界的各大油氣田中，碳酸鹽岩分布面積雖僅佔 20%，卻是世界各大石油公司極為重視之探勘標的。中東 A 礦區三維震測資料顯示地層深部仍存在大型背斜構造，然而傳統三維震測資料體卻很難針對背斜構造內之小斷層進行合理的解釋。

藉由 A 礦區三維震測資料體，應用螞蟻體屬性轉換技術，解釋深部背斜構造中可能存在但無法摘取之小尺度斷層，透過參數設置和運算以突顯可能存在之小斷裂。此轉換可突顯小斷層之分布及連續性，藉以偵測可能遺漏之孔洞型油氣藏。

本研究先分別嘗試多種濾波，進行資料處理測試。進而做邊界探測，利用預處理完之三維震測資料再進行方差(variance)與混沌(chaos)等屬性之測試。轉換成螞蟻體屬性後可萃取出數量眾多之小尺度斷層，小尺度斷層值可再轉換成孔洞屬性。由檢視孔洞屬性，可發現分布於背斜構造周圍之巨型孔洞，或許可提供另一種鑽探思維。

中文關鍵字：碳酸鹽岩、螞蟻體屬性、混沌、方差



台電公司碳捕集、再利用與封存業務發展現況

黃鐘¹、楊明偉¹、莊宗諭¹、沈威辰¹、詹堯如¹、黃連通¹、楊萬慧¹、
黃宣維¹、蕭以晨¹、黃孟涵²、Kathryn Robbins²、童忻³

(1)臺灣電力股份有限公司、(2)美國馬里蘭大學地質系、(3)中央研究院地球科學研究所

近年來因大氣二氧化碳濃度不斷增加，故全球各研究機構均提出不同減碳路徑，其中二氧化碳捕集、再利用與封存（Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS）被認為在 2050 年之後，每年將減去全球至少 10% 的碳排放量，因此我國的長期減碳路徑圖中，亦有執行 CCUS 之規劃。由於我國能源近 98% 為進口，且幾乎為化石燃料，因此我國的碳排放量歷年來均無法產生顯著的下降。又因為我國位處孤島，因此較難仿效歐陸或北美國家利用其廣大之土地面積進行高占比的綠能建設，由我國 2025 年的電力能源占比規劃中，綠能僅占 20%，而火力發電（包含燃氣與燃煤）將近 80% 的比例就略見一二。因減碳並非一蹴可及之工程，在我國轉型為低碳排國家之路程中，尚需要依賴化石燃料作為過度時期的能源供應者，因此我國展開大規模 CCUS 的步調應儘早開始，以降低 2050 年達到符合溫室氣體減量及管理法減碳要求的困難。台電公司自 2008 年起開始各項 CCUS 相關之研究，並於 2014 年完成碳封存試驗場域井下地質資料分析、2018 年完成碳封存試驗場域環境背景值監測網建構、2019 年完成台中減碳技術園區內微型碳捕集測試區之建立、2020 年完成台中減碳技術園區基本設計、2021 年完成「台中發電廠第九、十號機發電計畫環境影響說明書第五次變更內容對照表（設置減碳技術園區）」專案小組第二次審查會。台電公司後續將持續進行 CCUS 相關工作，碳捕集與再利用部分將藉由台中減碳技術園區之先導設施進行研究，碳封存部分將持續進行環境背景值監測以及展開封存量估算、封存技術可行性與安全性評估等相關工作，以期在 2050 年時的排碳量達到溫室氣體減量及管理法之要求。

中文關鍵字：二氧化碳捕集、二氧化碳再利用、二氧化碳封存、淨零碳排

台灣東部變質岩區地熱地質構造之研究 - 以鹿野溪紅葉谷溫泉為例

張郁敬¹、葉恩肇¹、曾雅筑¹

(1)臺灣師範大學地球科學系

電力是人類不可或缺的生活必需能源，目前地球上主要的電力來源為燃燒化石燃料，在化石燃料轉換為電能的同時，會產生大量的二氧化碳以及粉塵，使得地球溫室效應和空氣汙染日趨嚴重。為了解決此一問題，未來發電應可利用綠色能源來取代部分化石燃料，地熱能為目前綠色能源轉換效率最高且相對環保的基載能源。世界上大多數地熱電廠皆是以鄰近火山地區作為地熱來源，臺灣雖為環太平洋火山帶中一小島，由歐亞板塊及菲律賓海板塊之交互運動驅使弧陸碰撞引發造山運動，但因國家公園之劃分，使得台灣之火山地熱無法探勘與開採，反觀台灣本島約三分之二面積的區域多出露變質岩，且文獻資料顯示中央山脈東翼變質岩區熱流值達百餘 mW/m^2 ，因此合理推測台灣東部具有極高的地熱發展潛力。

台東鹿野溪地區位處板岩區，具有較高的地溫梯度與多處溫泉出露，故本研究將以台東縣延平鄉鹿野溪紅葉谷溫泉地區進行研究。前人於本研究區內提出兩種構造模型，一模型為紅葉谷斷層，另一模型為紅葉谷背斜。紅葉谷溫泉的熱流機制是以斷層摩擦熱主控抑或是穹窿上升主控，其溫泉的熱水通道是否與地質構造相關聯，皆為本研究的主要探討重點。為協助台灣變質岩區地熱的探勘與開發，本研究將以空拍機進行鹿野溪三維數值模型建置及數值地形判釋，使用影像軟體產製高解析度正射影像作為地表地質調查底圖，並繪製此區域之路線地質圖及裂隙分布，採集岩石樣本以微構造分析地質構造型態和應力方向，以斷層擦痕反演古應力場方向，配合礦脈中液包體重建應力場方向、應力比值及液壓比值，回推礦脈形成之深度及溫度，且以碳質物拉曼光譜檢測最後一期構造形成時之最高溫度，藉此釐清中視地質構造之關係，探討地下熱源的成因及地理位置。

台東鹿野溪紅葉谷地熱地質構造之研究結果將可釐清變質岩區熱流機制，以利後續地熱電廠建置之工程設計，同時地熱電廠建置可提供更多的偏鄉工作機會，協助青年返鄉、留鄉，提供發展之空間，也有助於地方產業強化及發展。本研究之研究成果亦能作為全球變質岩區地熱開發之參考，提升全球地熱能源產量。變質岩區地熱探勘技術的一小步，將會是未來綠色能源的一大步。

中文關鍵字：地熱、板岩、地質構造

A new insight on 3-D deterministic fracture network and fracture intensity measurements from digital outcrop: a case study from Kimmeridge bay, England

R. Plateaux¹、Francesco Palci²

(1)Independent Researcher、(2)Imperial College London, Royal School of Mines, Prince Consort Rd,
Kensington, London

The need to model 3-D fracture networks to better predict their impact on fluid flow and rock stiffness has strongly increased in recent years. Most fracture exposures, however, essentially reveal 2-D fracture traces (e.g.: outcrop, mine wall, rock core). Characterizing fracture properties such as fracture density/intensity, an essential input for most Discrete Fracture Network packages, remains often poorly constrained and/or scale-dependent when measured from outcrop for sub-surface modelling.

In this contribution, a 3-D deterministic fracture network is grown from over 2500 2-D fracture traces mapped out from digital photographs in Kimmeridge Bay (UK). The newly 3-D fracture network comprises rectangular strata-bound fractures of a height corresponding to the strata thickness. Cutting through faults are also modelled and their heights are constrained by their traces observed in proximal cliffs.

The well-constrained 3-D DFN is an excellent opportunity to measure fracture intensities P_{10} , P_{21} and P_{32} (respectively 1-D, 2-D and 3-D sampling) using common techniques from subsurface and outcrop studies. Indeed, the 3-D fracture intensity is not measured but often approximated from P_{10} and P_{21} measurements, although being the 'holy grail' parameter for DFN creation. We develop a new algorithm to measure a true 3-D fracture intensity enabling a comparison with traditional measurements of fracture intensities. P_{10} and P_{21} were measured along horizontal pseudo wells created through the deterministic DFN within the strata-bound layer. The Terzaghi correction, often applied on P_{10} , tends to overestimate P_{32} by a maximum factor of 25 times. Lower sampling resolution offers a higher chance to have more fracture per unit sampling, hence tends to reveal a more linear relationship between P_{10} , P_{21} and P_{32} . The comparison also demonstrated a dependence of the sampling grid resolution on fracture intensity measurements.

Keywords: fracture intensity, Discrete Fracture Network, natural fracture, sub-surface, outcrop

前鹽石油系統要素分析-以巴西 Espírito Santo 盆地與

Santos 盆地為例

洪作緒¹、李政益¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

自 2006 年在巴西 Santos 盆地之 Tupi 油田的重大發現後，前鹽石油資源便受到石油探勘業的注目。其單井高產及龐大蘊藏量之特徵對探勘者而言極具吸引力。因此，儘管深水、產層深度深以及蒸發岩特性等條件使開發成本相對高昂，然近十數年來，在巴西深水前鹽礦區所取得的一連串成功，已直接證實前鹽石油資源實具探勘及開採潛力。本研究以 Espírito Santo 盆地與 Santos 盆地之探勘資料，結合南大西洋盆地之演化架構及演化歷史，嘗試分析此區域前鹽石油系統的生、儲、蓋等要素，期能增進對此高探勘潛能區的了解。

Espírito Santo 盆地與現在的前鹽石油開發熱區 Santos 盆地同位於巴西東側海域，兩者與南大西洋中段一系列盆地擁有相似的盆地演化架構及演化歷史。自早白堊紀以來，岡瓦那大陸即開始張裂而逐步形成南大西洋。在此期間，南大西洋中段經歷了同張裂期、過渡期、漂流期三個主要階段。其中於同張裂期之構造低區所堆積的湖相頁岩形成了前鹽石油系統中的生油岩；總有機碳含量(TOC)為 1-5%，屬於良好至極優之生油岩。此外，堆積於構造高區的同張裂期殼灰岩及過渡期之微生物碳酸鹽岩則成為前鹽儲集層，局部地區的儲層厚度可達數百米。最後，在過渡期晚期所堆積的厚層蒸發岩則形成優良蓋層，足以圈閉大量油氣。

中文關鍵字：南大西洋、前鹽石油系統、蒸發岩、碳酸鹽岩、湖相頁岩

褶皺帶石油系統與探勘標的研究-以伊拉克北部札格羅斯褶皺帶為例

賴光胤¹、謝秉融¹、莫慧偵¹、李珀儂¹、簡至暉¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

中東札格羅斯褶皺帶屬油氣豐富的超級盆地，伊拉克北部札格羅斯褶皺帶地區未來仍具有大油氣田的探勘潛力。本研究透過蒐集區域地質與探勘資料及區域石油系統資料，針對伊拉克北部札格羅斯褶皺帶之區域構造演化與石油系統進行綜合解釋分析。札格羅斯褶皺帶是由阿拉伯板塊和歐亞板塊聚合作用而成，依據區域主要斷層架構，札格羅斯褶皺帶由西南往東北，可分成低褶皺帶、高褶皺帶與疊瓦帶等 3 個走向平行的構造分帶。由伊拉克北部札格羅斯褶皺帶整合的石油系統資料顯示，本區域豐沛的油氣蘊藏，大多來自於厚層碳酸鹽岩及蒸發岩所構成的成藏組合，其中侏羅系 Sargelu Fm. 為此區最重要的生油來源，古近系的 Kirkuk 群是大油氣田最重要的生產層，不僅發育有原生孔隙，還發展有次生溶洞孔隙。此外有以硬石膏組成之蒸發岩為主的蓋層，頁岩及泥灰岩在局部地區也發揮良好的封閉作用。

台灣西部麓山帶油氣構造可分為南北兩區，其中打鹿頁岩中的打鹿砂層為麓山帶北區最重要之產油氣層，而其最主要的生油岩為漸新統-中新統生油岩，並以背斜相關構造為主要封閉型態。札格羅斯褶皺帶已被證實的探勘標的地層年代範圍很廣，其中，最重要的是上白堊系、漸新統及中新統的探勘標的。根據石油系統的研究，依儲集岩類型與封閉型態，札格羅斯褶皺帶探勘標的類型，主要以碳酸鹽岩為儲集層與以背斜構造為封閉型態。西部麓山帶與札格羅斯褶皺帶因兩地石油系統中的儲集岩特性不同，所以主要探勘標的類型亦不同。然而比較以碳酸鹽岩為主要探勘標的的儲集層，則竹苗麓山帶井下打鹿頁岩同一時代之石灰岩，或可做為未來之可探目標。再比較札格羅斯褶皺帶探勘標的分布狀況，以低褶皺帶構造分帶最多，高褶皺帶次之，因此在西部麓山帶應可再往變形前緣方向尋找變形程度較小之背斜構造為探勘標的。

中文關鍵字：札格羅斯、麓山帶、探勘標的

Mineralogical and chemical variability of bedload sediments in small mountainous rivers of Taiwan: Provenance versus weathering control

Pin-Ru Huang¹、Kuo-Fang Huang¹、Ruo-Mei Wang¹、Po-Chao Wu²、
Shail Vijeta Ekka³、Chorng-Shern Horng¹、Kalyani Nayak⁴、
Andrew Tien-Shun Lin⁵

(1)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan, Earth System Science Program, Taiwan International Graduate Program (TIGP), Academia Sinica, College of Earth Sciences, National Central University、(3)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan, Earth System Science Program, Taiwan International Graduate Program (TIGP), Academia Sinica, College of Earth Sciences, National Central University, Earth System Science Program, Taiwan International Graduate Program (TIGP), Academia Sinica, College of Earth Sciences, National Central University、(4)Earth System Science Program, Taiwan International Graduate Program (TIGP), Academia Sinica, College of Earth Sciences, National Central University, Earth System Science Program, Taiwan International Graduate Program (TIGP), Academia Sinica, College of Earth Sciences, National Central University、(5)College of Earth Sciences, National Central University, Earth System Science Program, Taiwan International Graduate Program (TIGP), Academia Sinica, College of Earth Sciences, National Central University

The island of Taiwan is among the highest uplift rate and most rapidly denudating environments globally because of extensive rainfall/typhoon events and frequent earthquakes. The contrasting geological/geomorphological setting of Taiwan provides a unique and unrivaled natural laboratory to systematically evaluate the relative importance of sediment provenance and weathering process in determining mineralogical and chemical characteristics of bedload sediments. In this study, bedload sediments were collected from the four selected river catchments, including Liwu, Hsiukuluan, Beinan, and Kaoping Rivers in order to further constrain the main controls on sediment chemistry of bedload. Bulk-geochemical analyses including major elements and RRE are obtained from XRF and ICP-MS. In addition, semi-quantitative mineralogical analyses, including bulk-sediment and fine-grain clay, are carried out through random powder and oriented mounts clay slide measured by XRD. By combining all these mineralogical and geochemical constraints, we will be able to understand how provenance and weathering controls on mineralogical and chemical characteristics of bedload sediments in small mountainous rivers of Taiwan.

Keywords: weathering indices, erosion characterization, mineralogy analysis, Taiwan rivers

辨認卑南溪沉積物的有機地化特徵

楊沁文¹、林玉詩¹、黃美惠¹、王珮玲²、蘇志杰²、張詠斌¹

(1)中山大學海洋科學系、(2)臺灣大學海洋研究所

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊的碰撞邊界上，活躍的造山運動造就許多高聳的山脈，也造成臺灣較高的地震發生頻率及較為破碎的地質條件。而在東亞季風及颱風的影響下，臺灣降雨量相對豐沛，在強降雨或颱風事件發生時，沉積物混雜風化的岩石、植物碎屑進入河川，進一步向外海輸送，若有條件形成濁流，則會在海洋沉積物中形成所謂的快速沉積層(事件層)。為了瞭解物質傳輸的過程，分析陸源沉積物的特徵是不可或缺的。由於木質素普遍存在維管束植物中，加上結構穩定，較不易被生物降解，在前人研究中多作為植物有機碳來源的示蹤劑。為了釐清這些經由河川攜帶至深海埋藏的沉積物特性，本研究使用多項有機碳代用指標，包含碳氮比、穩定有機碳同位素以及生物指標中的木質素，分析標本包含卑南溪河床沉積物、懸浮沉積物以及集水區內土壤。分析結果中，從穩定有機碳同位素約-22‰至-30‰的偏負數值，可以推估有機碳有高比例來自浮游植物及C3植物的貢獻，在木質素的S/V比和C/V比結果上，發現主要來自於被子植物的貢獻。利用木質素酸醛比的資料，可進一步推斷木質素受降解作用影響的程度，研究結果發現土壤標本比起河床沉積物具有更高的酸醛比值，顯示降雨沖刷土壤所帶至河川的有機質中，具有較多降解成熟的木質素，可能為岩石風化所產生及土壤中微生物活動所影響。而河床沉積物中的木質素，則有較高比例來自於集水區內的現生植物碎屑，受到降解作用影響較低。結合各項指標結果的討論，有助於釐清木質素是否能做為指示深海沉積物事件層成因的有效指標，並可作為後續研究海洋沉積事件層的重要依據。

中文關鍵字：卑南溪、顆粒態有機碳、木質素、降雨事件

非彈性應變回復法現地應力評估的統計分析與精進

蔡維倫¹、陳炳權²、楊士寬¹、葉恩肇¹、林立虹²、柯建仲³

(1)臺灣師範大學地球科學系、(2)臺灣大學地質科學系、(3)中興工程顧問社

隨著科技水平不斷進步，為提升生活品質，人們對於交通網路建設、天然資源開採、廢棄物處置與空間開發及擴建等需求與日俱增。在這些工程發展的促使下，現地應力在工程及研究上相當重要的參數。現地應力不僅影響開發中結構物的穩定性，對於地下岩盤壓力、水文環境及對不同深淺層岩盤的開挖破壞行為強度控制有著相當關聯性，因此，近年來現地應力狀態的研究日趨重要及重視。現地應力測量有多種不同方法，如套鑽法、水力破裂和非彈性應變回復法等，其中又以非彈性應變回復法(Anelastic Strain Recovery, ASR)為目前的耗費成本較低、效率較高的現地應力測量方法(孫東生等人, 2014)。ASR 法是利用地下深處岩石因應力解壓後所產生的應變回復來推算三維現地應力方向和規模的方法。

前人使用的非彈性應變回復分析程式是以 18 個應變計測量 9 個方向的回復正應變規模，重建三維應變張量，進行三維主應變場的演算，轉換成主應力方向與規模，但結果只獲得一組平均數值，並未分析各方向與規模的偏差量，以致無法提出可信的數據供工程單位參考使用。本研究預計進行原程式的改進，將原本 9 個方向改以 6 個獨立方向為一組單位，並於每個獨立方向使用 4 個應變計進行量測，運用抽樣的方式進行重複演算，將比對每一組結果之應力方向與規模的異同，完整地獲得統計意義與誤差範圍的結果。

統計分析方法之樣本取於臺東南橫大崙溪，深度 140 米之片岩樣本。ASR 初步分析結果顯示為非典型安德森斷層應力場形式。最大、次大和最小主應變之位態分別為 $141.14^\circ/45.79^\circ\text{E}$ 、 $36.22^\circ/14.05^\circ\text{E}$ 和 $293.74^\circ/40.81^\circ\text{W}$ ，水平最大應力的擠壓方向為西北-東南向，主應力由大到小分別為 3.66、2.22 和 2.06 MPa。葉理傾向和傾角分別為 296.18° 和 65.31° ，葉理面的法向量與三軸主應變相距較遠，推測本樣本可能沒受到葉理面力學異相性的影響。

未來工作將會進行抽樣與統計分析，將這些新資料運用新的改良方式進行演算，得到較高可信度的應力場大小。冀望未來此新技術可以廣泛運用於各項工程開發與地質科學學術研究。

中文關鍵字：非彈性應變回復法、現地應力場

澳洲西北海域 Roebuck 盆地之油氣發現及其涵示

李政益¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

與澳洲西北海域其他多產盆地相比，Roebuck 盆地的探勘活動相對稀少，其基本原因在於自 1963 年探勘之始以來，此盆地幾乎沒有任何顯著的油氣發現。然 Apache Northwest Pty Ltd 於 2014 年在 Phoenix South 1 井發現石油。其後 Quadrant Northwest Pty Ltd 亦於 2015-2018 年至鄰近區域鑽井，並陸續找到石油及天然氣伴凝結油。估計上述發現所蘊含的油氣蘊藏量達 524.8 MMboe。

綜觀過去近 60 年來在 Roebuck 盆地的探井分布圖，並將近幾年油氣發現之儲層位置與鄰近盆地之石油系統作比較後，可歸結出幾個重點。其一，這些發現皆位於 Roebuck 盆地南部。其次，這些發現都位於中三疊紀砂岩層中，與鄰近盆地的儲層層位明顯不同。其三，澳洲西北海域通常是以產天然氣為主，因此在 Roebuck 盆地找到石油是相當特殊的案例。這些重點暗示 Roebuck 盆地存在一個有別於鄰近盆地的石油系統。此石油系統可能以早三疊紀海進頁岩或中三疊紀早期之河相-三角洲相頁岩做為生油岩，以河相-三角洲相層間砂岩為儲層，並以層間頁岩或中三疊紀晚期之海進碳酸鹽岩為蓋層。此外，儲集這些油氣的地層代表一發育於中三疊紀的河相-三角洲相，而古地理重建指出此河道系統乃沿著二疊紀東岡瓦那大陸張裂時所發展出的張裂支軸而發育。

中文關鍵字：西北陸棚、中三疊系、石油系統

台灣地熱兩相流孔板產能量測及分析

林欣澤¹、王令銓¹、魏柏丞¹、謝秉志¹、施威任²、曾紹宇¹

(1)成功大學資源工程學系、(2)金屬工業研究發展中心

隨著科技及產業的發展，台灣的能源消耗量逐年攀升，連帶著二氧化碳排放量也跟著上升。而近年隨著環保意識的升高，使用再生能源就成為了降低二氧化碳排放量的一個重要方式。太陽能、風電以及地熱為常見的再生能源，而地熱能源有著不受天氣影響，產量較為穩定的優勢，可以不間斷的輸出電力，因此，地熱能源是未來再生能源開發不可或缺的一部份。

台灣位處太平洋火山地震帶上，為一地熱資源豐富的島國，因此在台灣許多地方都能看見溫泉業者的蹤跡。一般來說，地熱發電係經過詳盡的地質及地物調查，在進行儲集層熱能探勘之後，接下來的重要工作就是進行地熱產能測試。目前常用的產能測試方法是使用唇壓測試法以及分離器測試法，主要使用於較大型的（MW 等級）且具有較大的基地腹地的地熱案場中。台灣有很多的溫泉具備好的熱能，雖屬於較小型的（kW 等級）地熱潛能案場，但如果良善的進行開發利用，可以讓溫泉業者有參與台灣能源轉型的機會。但要使用這些溫泉地熱，前述的產能測試設備可能會因為現有場地較小而不方便使用。因此，尋求合適於台灣溫泉地熱的有效小型產能測試方法變成發展溫泉地熱案場的一項關鍵工作。

除了唇壓測試法以及分離器測試法之外，近年來國際間也開發了流孔板兩相流產能測試技術。利用流孔板進行產能測試的好處是使用腹地的需求較低，設備容易運送及方便於現場組裝，本研究認為其相當合適於台灣小型的溫泉地熱案場中。流孔板產能量測其實在台灣已經有很長久的歷史也相當成熟，其多用於石油工業的生產礦區中進行天然氣的流量量測。目前，台灣的油氣生產已經進入開發後期，這些設備的使用率也逐漸降低。若能夠運用天然氣礦區的流孔板設備於地熱案場進行地熱流體的兩相流測試中，也可以達成台灣油氣產業既有設備的資源循環利用。

因此，本研究的主要目的是針對小型（kW 等級）的台灣溫泉地熱案場開發出流孔板兩相流產能測試技術，以國際流孔板兩相流地熱產能計算模式為基礎，篩選出適合於台灣溫泉地熱使用的流孔板兩相流產能測試方程式。本研究同時也啟動流孔板兩相流產能測試的現場實驗，運用流孔板量測儀器於台灣溫泉地熱場址，透過現地試驗蒐集產能測試的實測數據，以應用於本研究所發展的流孔板兩相流產能測試模式中。期能透過本研究，有效的推展台灣溫泉地熱的開發。

中文關鍵字：地熱開發、兩相流、流孔板

大屯山馬槽地區地下熱液換質礦物相種類研究

李沅銘¹、林章凱¹、李瑋倫¹

(1)臺灣中油公司探採研究所

大屯山地熱系統依據過去地熱鑽探井資料，在馬槽地區具有最高的地溫梯度，過去在此地區之地熱鑽探井也曾產出弱酸性熱水，也有許多地球物理探勘及地球化學探勘資料來探討此火山型地熱系統，但是對於受到熱液換質的安山岩質熔岩流所造成的礦物相轉變相關研究相對較少。為了進一步掌握此地熱系統之地下模式，以及比對過去地球物理探勘與地球化學探勘之結果，本研究藉由馬槽一號井及馬槽二號井地熱鑽探井井下岩樣，進行岩石薄片之岩象分析、全岩 XRD 粉末繞射分析及半定量黏土礦物百分比組成，得到井下熱液換質礦物相組成、分帶及熱液換質程度量化，進而探討其熱源、地下熱水水質、井下溫度、安山岩質火山熔岩流中和能力和造成此熱液換質礦物相分帶之原因。

研究分析顯示馬槽一號井深度區間於 0-500 公尺為黏土化帶，組成以蒙脫石及混層黏土礦物為主，其中 300-500 公尺為進階黏土化帶；500 公尺以下則為絹英帶，組成以石英和絹雲母兩種礦物為主，其中 500-830 公尺有部分綠泥石化，830-1,620 公尺以下則有部分青磐岩化現象，1,620 公尺以下則進入五指山層。馬槽二號井深度 0-400 公尺則僅受到輕微熱液換質作用，在 400-1,166 公尺為黏土化帶，1,166 公尺以下則進入五指山層。絹英帶背後所隱含的意義為大屯山地熱系統本身之地下流體可能為酸性，在此區域過去產出弱酸性熱水與其上覆巨厚之安山岩質熔岩流酸性中和能力相關，然而在部分綠泥石化的區間，有可能存在較酸性的地下流體。未來若是在此區域有更多的井下岩性資料便能夠建立井下熱液換質分帶之岩性模型，以更進一步了解此區域之地熱系統。

中文關鍵字：大屯山、馬槽、換質礦物相、黏土礦物組成、熱液換質種類

利用 Open Source 架構建置線上地熱地質探勘資料整合查詢平台

鍾權偉¹、董倫道¹、林蔚¹、溫心怡¹、黃淞洋¹、林朝彥¹、陳棋炫²、
陳勉銘²

(1)工業技術研究院材料與化工研究所、(2)經濟部中央地質調查所

地熱探勘是地熱開發中風險最高的階段，政府部門若能提供可靠的地熱地質資訊，降低地熱開發前期的投資風險，自然能吸引並促成企業投資；因此，提高地熱地質資訊的精度與可靠度為地熱開發成功的關鍵。而在地熱開發前期，所需參考之資料，其包含之專業領域、資料種類及數據格式繁多，不僅是文獻參考資料、數據處理成果、分析過程等內容，還包含各類空間資訊資料等，因此本計畫主要利用及組合開源軟體(Open Source)之網頁框架技術、資料庫軟體、空間資訊系統等，將地熱探勘前期所需相關資料，進行彙整、收納於不同資料庫中，並建構線上查詢與展示資料界面，除資料列表及基本查詢外，亦提供空間查詢功能，提供地熱探勘相關人員可利用此一平台，針對特定區域進行資料綜合檢視，以利後續找尋與推測高潛能區域，作為未來進階開發參考之依據。此外，本計畫以開源軟體進行建構，除可降低專業軟體或封閉式開發造成之後續維護成本外，亦可由相關人員依據相同架構進行建構，作為後續個人或單位使用。地熱地質探勘資料整合查詢平台，主要使用 WordPress 內容管理系統(CMS, Content Manager System)作為查詢平台之前後端介面設計與開發，連接 MySQL 資料庫系統儲放文件資料與詮釋資料，使用 PostgreSQL、PostGIS、GeoServer 作為空間屬性資料儲放與查詢。後續資料維護與使用上，亦可直接使用 QGIS 等開源 GIS 軟體直接連接 PostgreSQL 資料庫或 GeoServer 等 GIS 資料庫，進行更進階之資料分析與製圖等需求，提供使用者不同軟體面向之需求。

中文關鍵字：地熱地質探勘、開源軟體、資料庫

仁澤周遭地區野外構造量測與斷層擦痕應力反演分析

林朝彥¹、黃淞洋¹、葉恩肇²、溫心怡¹、陳棋炫³、林昶成³

(1)工業技術研究院材料與化工研究所、(2)臺灣師範大學地球科學系、(3)經濟部中央地質調查所

台灣位處於歐亞板塊與菲律賓海板塊隱沒碰撞帶上，特殊的地理位置使該島擁有豐富的溫泉與地熱資源。近年環保意識抬頭，綠色能源已成為當前政府極力推動與發展的重點核心，而在地熱資源開發的議題上，如何有效評估場區導水裂隙與應力之間的關聯性，於先期評估的調查上甚為重要。

野外地質構造調查與量測可以間接提供該區的構造演化歷史與地質特性，並結合斷層擦痕應力反演分析，進而探討應力場的演育序列，從中了解區域裂隙、節理、礦脈、斷層擦痕與大地應力場的關聯性，配合地表地熱徵兆踏勘調查，可以評估該地區之熱水上湧通道與裂隙成因等議題，其成果將可供給後續詳細調查階段與場址調查階段之評估參考。

本調查區域包含：土場溪、排骨溪溫泉與梵梵溫泉等主要地區。依據野外調查結果，推測應力場主要以西北擠壓的橫移斷層應力場為主，部分地區可量測到正斷層應力場證據。擦痕反演分析顯示，鳩之澤溫泉(土場溪)為左剪之橫移斷層為主，水平最小擠壓方向(σ_3)為東北-西南向；梵梵溫泉主要為正斷層，水平最小擠壓方向(σ_3)為東北-西南向。此應力型態造就本區形成一組近南北向高角度，連續性較佳的裂隙或剪切構造，可能為本區主要的導水通道，且在礦脈(Vein)的觀察上也可得到相似的結果。另外，於排骨溪可量測到現生的導水通道與剪切帶構造。

中文關鍵字：地熱、導水裂隙、斷層擦痕、構造

土場仁澤地熱區熱液流體之地球化學特性

溫心怡¹、張育德¹、謝佩珊¹、董倫道¹、陳棋炫²、林昶成²、陳勉銘²

(1)工業技術研究院材料與化工研究所、(2)經濟部中央地質調查所

地熱資源探勘的目標在於了解地下熱源分布與地質構造環境。地熱流體包含熱水和氣體，富含地熱儲集層之地球化學特徵，可經由斷層或裂隙等地質通道向上遷移至地表，常以溫泉和噴氣(亦或溫泉氣泡)的形式呈現。因此，藉由研究地熱流體之成分及同位素，能解析其來源與特性。本研究利用流體地球化學的方法，於宜蘭山區土場仁澤與英士地區進行野外地熱流體露頭調查量測，並分析溫泉水和溫泉氣泡樣本組成成分及氫、氧、氮和碳等同位素；另盤點既有資料觀察其長期變化趨勢，以提供宜蘭土場仁澤地區之地熱發展潛能綜合評估所需基本資料。

中文關鍵字：地熱流體、流體地球化學、同位素、土場仁澤地熱區



大屯火山北面水文觀測站設置與觀測分析

蔣立為¹

(1)工業技術研究院綠能與環境研究所

建立水文循環及水文地質概念模式，是地熱區廣域水文地質調查的重要工作，因地熱熱流量與氣候變化息息相關。為因應全球氣候變遷，減少地熱區地表水資源損失，應積極增設次(子)集水區水文觀測站，長期觀測地表及地下水水文的變化，再依據觀測數據設計地熱區截流設施，使地表水可以停留時間較長，增加地熱區地下水的入滲量，進行天水深循環(約 4-5 km)入滲，以與上升高溫熱水進行混和，再經由構造形成地表地熱徵兆區，以利後續地熱電廠的永續開發(sustainable exploitation)。

大屯火山北面(磺嘴山區)地熱區水文觀測站集水區，分別包含磺溪及萬里磺溪集水區。磺溪及萬里磺溪兩集水區面積分別為 50 及 40 km²。地熱區水文觀測站觀測項目包括：(1) 50/100 cm 深度的土壤含水量(water content)、(2) 磺溪/萬里磺溪水位(river stage)、(3) 磺溪/萬里磺溪表面流速(surface velocity)、(4) 皿蒸發量、(5) 50/100 cm 深度的土壤張力值、(6) 50/100 cm 深度的地溫(ground thermal)、(7) 降水量、(8) 環境中溫度與濕度及(9) 日照強度等。另由河川水位及流速可計算磺溪及萬里磺溪流率及流量。

磺溪水文觀測站自 2017 年 7 月 5 日起進行觀測，至 2018 年 12 月 04 日止共記錄 12,356 筆資料，完成一個水文年的資料。萬里磺溪水文觀測站自 2017 年 10 月 18 日起進行觀測，至 2018 年 12 月 04 日止共記錄 9,866 筆資料，同樣完成一個水文年的資料。

中文關鍵字：大屯火山地熱區、水文觀測站、水文循環

宜蘭土場地熱模式

黃緯誠¹、陳思婷¹、廖啓岳¹、楊國威¹、廖明威¹

(1)台灣中油探採事業部

宜蘭土場地熱區為臺灣具地熱發電潛能區之一，位於宜蘭縣蘭陽溪支流之田古爾溪畔，沿田古爾溪一帶佈露高溫野溪溫泉及地熱徵兆，溫泉均屬弱鹼性碳酸氫鈉泉，推測地下地熱儲集潛能高。過去本公司於此區曾進行地熱地質調查並進行地熱井鑽探，雖均鑽遇高溫之地層，但當時之熱水汽產量、發電技術及儲集層管理等技術尚無法達到商業開發標準。近年為因應政府綠色能源政策，再次啟動宜蘭仁澤土場地熱區之地熱發電潛能測勘。

土場地熱區出露地層為中新世廬山層，地層走向為北 30 度至 60 度東，向東南傾斜約 50 至 80 度，主要為單斜構造型態。參考早期之地表溫泉、裂隙調查、地球物理調查及鑽井等資料，並依據近年執行地表地質調查及土場 14 及 15 號井的井下為電阻電測影像資料等，綜合研判於土場 8、14 和 15 號井井坪附近有數條北北東走向小斷層組成約 400 公尺寬之透水斷層帶經過，使熱水在深度 800 公尺以內沿著此斷層帶向西北側延伸，而形成土場地熱區淺部層狀高溫地熱儲集岩。而深部上湧帶儲層可能由近東西向之數條斷層組成，使高溫熱水可從地下深處上湧至淺部地熱儲集岩。本研究將以過去研究為基礎，整合地表地質精查及井下地質資料，探討地熱地質模式，釐清此地熱好景區位置及相關機制。

中文關鍵字：土場地熱區、淺部層狀地熱儲集層、深部上湧帶、地熱地質模式

深地層三維熱傳導分析研究

蘇鈺婷¹、梁書嚴²、康景翔¹、李在平¹

(1)臺灣電力股份有限公司、(2)中興工程顧問社

我國用過核子燃料最終處置參考國際作法，規劃採用工程與天然障壁所形成的多重屏障系統，將用過核子燃料包覆於廢棄物罐、緩衝材料、回填材料，並深埋約 300 m 至 1000 m 的地下岩層中進行深地層處置，將其與人類環境隔絕。由於廢棄物罐裝載之用過核子燃料會產生衰變熱，並經由緩衝材料、回填材料及處置母岩向外傳導，然緩衝材料溫度過高可能使其特性產生變化，因此需考量各廢棄物罐擺放間距與隧道間距之影響性。

本研究利用熱傳模擬結合岩石熱特性的測量結果，評估處置系統相鄰廢棄物罐擺放間距及隧道間距的合適性。參考本島結晶岩區域之溫度井測與井錄分析結果，地溫梯度為 0.217 °C/100 m，配合岩石熱特性設定資料，取平均岩石熱傳導係數 2.46 [W/m·K]進行案例分析。研究結果顯示當廢棄物罐初始熱負載為 1200 W 時，廢棄物罐擺放間距 7 m 與隧道間距 30 m 以上之距離可確保緩衝材料溫度控制在有效範圍內。

中文關鍵字：衰變熱、岩石熱特性、地溫梯度、熱傳導係數



應用 InSAR 技術於海岸地表環境變形觀測

陳宜祥¹、區雪儀²、蕭弘翊¹、陳致憲¹、姜佳辛¹、曾美云¹、
陳奕中³、陳柔妃³

(1)中國文化大學地質學系、(2)成功大學地球科學系、(3)臺北科技大學材料及資源工程學系

隨著空間資訊的發展，雷達衛星具備全天時、大範圍及高解析度對地觀測的能力，已被廣泛應用於火山、地震、山崩及地層下陷等，此一技術在工程基礎設施以及結構物監測等方面同樣極具發展潛力。合成孔徑雷達干涉測量技術通過分析處理雷達獲取的微波相位資料，可獲取高精度大面積地表變形資訊，本研究透過不同監測技術之整合，評估空間與時間尺度下之最佳監測方法或組合，同時加強多元多尺度時空監測資料之整合分析與運用。本研究使用歐洲太空總署 Sentinel-1A 上升軌自 2020 年拍攝期程內之雷達影像資料，研究區域鄰近蘆竹海岸為主，影像時間從 2020/06/04 至 2020/11/19 為止，共計 15 幅原始影像。透過雷達影像干涉圖，可以發現研究區域干涉同調性受到海沙運移、植被覆蓋等影響，初步成果平均單位點密度為 2188 點/平方公里。蒐集頻率為每 12 天為一期，衛星影像圖資蒐集共 15 期。本研究顯示 2020/06/04 以來蘆竹地區以蘆竹 5 及 1 號站累積地表變形速率達 20 mm 最為顯著；大園地區以觀園 1 號站累積地表變形速率達 30 mm 最為顯著；觀音地區以觀園 17 號站累積地表變形速率達 20 mm 最為顯著。為了釐清連接各風機間的線路以及維修道路，本研究依據各影像對地表變形資訊，以蘆竹地區為例，繪製研究區時序地表變形剖面剖面在蘆竹 5 及 7 號站累積地表變異量達 30 mm。MT-InSAR 分析方法，適用於大範圍、長期緩慢運動之地區，提供量化的地表變形成果，瞭解未來海岸變化，以及時因應採取保護措施。

中文關鍵字：多時域合成孔徑雷達干涉技術

竹林地區潛在大規模崩塌「高雄市-六龜區-D009」災害調查初探

許錕安¹、賴文基¹、蔡正修²、劉文賢²

(1)成功大學防災研究中心、(2)行政院農委會水土保持局

本研究針高雄市-六龜區-D009(竹林地區)潛在大規模崩塌，進行地質鑽探、地球物理探測、地下水文及地中變形觀測，透過地下探測搭配地表地質調查，將針對大規模崩塌變動機制及活動性進行探討，作為後續集水區大規模土砂災害風險分析及調適策略研擬之依據。

地質鑽探調查與分析，合計 3 處鑽孔共 150 公尺。鑽探過程詳實紀錄水位變化，進行地下水文分層。BW2 孔岩芯判釋，由上而下大致可分為岩屑層(0~2.35 公尺)及岩盤 (20.0~34.5 公尺)，其間為風化或破裂較嚴重之岩盤，33~40.0 公尺存在明顯剪裂及碎裂泥質，疑似本處滑動面。地電阻探測，分別為通過 BW1 及 BW3 的 L-1 橫剖面(450 公尺)；通過 BW1 及 BW2 的 L-2 縱剖面(250 公尺)，深度均大於 50 公尺。從地層電性上，較明顯可區分成(1) 岩屑層、(2) 風化岩層及 (3) 岩層等三種地電阻分層。

針對高雄市-六龜區-D009 大規模崩塌區，根據 109 年 7 月至 11 月份傾斜管與地下水監測資料。本高雄市-六龜區-D009 大規模崩塌區三處監測井位，由於監測期尚短，加上缺乏重大降雨事件，故均欠缺明顯滑動特徵，且從地質鑽探岩芯判釋之滑動面較深(地下 36~47 公尺)，地下水位除 BW2 井位有常態地下水位，其餘地下水位接近孔底，僅有降雨期間有明顯水位。

109 年坡面調查監測成果地表與地下皆無明顯位移，僅探測到 BW-2 具可能滑動面及其於豪雨期間地下水位有異常升高趨勢，110 年將擴大地表地質調查，以及相關監測設備持紀錄維運，待後續事件考驗後作進一步解析。

中文關鍵字：災害調查、潛在大規模崩塌、竹林地區

臺北盆地下陷的成因探討 - 岩漿庫底部掏空或單純的斷層陷落盆地

陳彥禎¹

(1)臺灣海洋大學球科學研究所

臺北盆地下陷的研究過去普遍認為與沖繩海槽的弧後張裂有關，並且從大的地體構造模型來解釋斷層作用造成盆地下陷。但由於盆地下方僅有沉積物鑽井岩心，缺發更深部的岩盤岩心資料，目前也缺乏高解析度的重力異常資料，無法得知過去盆地下方是否存在著岩漿庫的可能？近 20 幾年來，增加了許多鑽井資料，使我們得以研究台北盆地的地下沉積物地質特徵。循著前人研究的成果，統整盆地周圍的岩心資料、火成岩分布的範圍，與使用 GIS 計算盆地下陷量體與火山噴發量體的大小，希望了解大屯火山群的火山噴出岩漿體積與地層下陷量是否可能有關。使用 GIS 劃出台北盆地構造等深圖，利用林口臺地與台北盆地的高差，計算出台北盆地下陷體積。其次套用義大利火山地質學者 Acocella 之砂箱實驗噴出體積與下陷體積關係，結合內政部 30 公尺 DEM 與台大宋聖榮教授大屯火山群地質圖，計算出大屯火山噴出岩體體積。綜合計算結果，分析台北盆地下陷體積與大屯火山岩漿噴出體積是否相關，用另一個可能的角度思考台北盆地形成的可能。另外，我們也將結合地層對比的方法，計算林口臺地與台北盆地的地層的相對陷落速率，探討盆地底部是否可能有岩漿庫掏空，或過去認為單純的構造張裂陷落之可能性。

中文關鍵字：台北盆地、大屯火山、鑽井、基盤等深圖、GIS

台灣南部隱沒帶地震地動預估式之研究

劉妍希¹、李錫堤¹

(1)中央大學應用地質研究所

地動預估式是用來評估地動值隨距離衰減的公式，為地震危害度分析中重要的一環，藉由地動預估式可估算場址可能受到的地動值大小，進而作為工程設計上的考量。

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的碰撞帶上，兩板塊的碰撞作用在台灣外海形成兩個隱沒帶構造，分別是位於東北部外海的琉球隱沒帶和西南部外海的馬尼拉隱沒帶。不同的震源類型其震波特性與衰減模式不盡相同，現今針對台灣隱沒帶地震所建立的地動預估式是以東北部的地震資料來建立。過去在進行地震危害度分析時，兩個隱沒帶地震之皆採用相同的地動預估式，但南部隱沒帶地震與東北部隱沒帶地震的震源特性和衰減特性有所不同，加上近幾年來南部隱沒帶的地震資料也已足夠，故本研究針對南部隱沒帶地震建立地動預估式，以臺灣強地動觀測網 1991 年至 2018 年的資料，進行基線校正與濾波並計算反應譜，透過混合效應的非線性迴歸分析建立台灣西南部隱沒帶地動預估式供地震危害度分析應用。

中文關鍵字：地動預估式、台灣南部隱沒帶地震、地震危害度分析、非線性迴歸分析



Horizontal deformation caused by groundwater withdrawal in central Taiwan based on GNSS observation analysis

Reyhan Azeriansyah¹、Kuo-En Ching¹、Pei-Ching Tsai²

(1)Department of Geomatics, National Cheng-Kung University、

(2)Green Environmental Engineering Consultant Co., Ltd.

Although the horizontal deformation related to the land subsidence has been proposed in the USA, only the vertical deformation resulted from the groundwater pumping was considered in central Taiwan so far and this information is an efficient coefficient to manage the groundwater withdrawal. However, the discrepancy of geodetic surface subsidence rate larger than compaction rate from monitoring well indicates that the compaction at the aquifer deeper than 300 m is possible. To clarify this enigma, a horizontal deformation pattern may help to resolve the compaction located at the aquifer deeper than 300 m. In general, central Taiwan moves toward NW relative to the Eurasian plate due to plate convergence. However, the directions of horizontal velocities in the land subsidence region are relatively random. Because the velocities are generally less than 10 mm/yr in this area, this random orientation is usually proposed as the measurement error. But the study in Los Angeles, USA indicates that the random orientations of horizontal velocities result from the groundwater pumping. We, therefore, re-visited the horizontal velocity field in central Taiwan in this study. The GNSS observations were first used to estimate the horizontal velocities around the land subsidence region based on the coordinate time-series analysis. To extract the signals of land subsidence from the raw horizontal motion, the velocities out of the land subsidence region will be used to evaluate the tectonic-driven velocities in the land subsidence region by two methods: the spatial interpolation and tectonic block model. After removing the tectonic-driven velocities, the land subsidence-related horizontal velocities will be obtained and used to evaluate the layer depth and its compaction rate using the dislocation model.

Keywords: land subsidence, secular velocity field, tectonic block model, spatial interpolation, dislocation

漫天徹地-運用 ERT 結合 InSAR 探討滾水坪泥火山活動跡象

陳宗霆¹、樂鏜·祿璞峻岸¹、吳劭威²、葉佳鴻²、陳奕中³、陳柔妃³

(1)成功大學地球科學系、(2)臺灣世曦工程顧問股份有限公司、

(3)臺北科技大學材料及資源工程系

台灣西南部海底早期的快速沉積作用，使沉積物尚未充分壓密膠結，在西部麓山帶一系列褶皺逆衝帶中，發達發育良好的泥貫入體構造，藉由斷層或裂隙等線性構造出露於地表形成大小規模不同的泥火山。滾水坪泥火山位於高雄市燕巢區及橋頭區之交界，其鄰近龍船斷層向西南延伸之車瓜林斷層。由經濟部中央地質調查所五萬分之一地質圖旗山圖幅，可將本區地層劃分為：現代沖積層、階地堆積層、崎頂層、古亭坑層等，其中滾水坪泥火山之泥漿噴發物經由化學分析後，結果為古亭坑層之產物(林啟文等，2013)。本研究使用地電阻影像剖面法(Electrical Resistivity Tomography, ERT)，藉由 ERT 深入地表下取得地層間不同岩性電阻率之特性，繪製滾水坪泥火山地層電阻率分布圖，並搭配 3DERT 建置泥火山地下構造，推測泥漿庫所在位置。同時，結合多時序合成孔徑雷達干涉技術(Multi Temporal InSAR, MT-InSAR)，監測地表變動之變形量及變動頻率之特性，獲得泥火山地表高程變化資料，最後利用多期地表變形量進而探討滾水坪泥火山噴發口之地表活動情形。本研究藉由這兩方法取得地表下泥漿庫通道、地層間含水量多寡與泥火山噴發口變動頻率相互關係，此兩種不同技術可相輔相成，達成泥火山地區地球物理與衛星遙測聯合探勘之實務應用。

誌謝 本研究計畫承蒙 台灣世曦工程顧問股份有限公司「橋頭科學園區泥火山公園三維地表地質及地電阻(含地聲觀測)整合調查及分析」計畫案提供研究經費 謹致謝忱。

中文關鍵字：地電阻影像剖面法、多時序合成孔徑雷達干涉技術、滾水坪、泥火山

The effect of groundwater fluctuations on accumulative subsidence of aquifer layers based on a fluid - mechanical model in Choushui River alluvial fan.

Nguyen Thi My Tien¹、Chuen-Fa Ni¹

(1)Institute of Applied Geology, National Central University

In Taiwan, the Choushui River alluvial fan is a severe land subsidence area due to groundwater extraction in the past decades. Unexpectedly, the subsidence area has been moved from the coastal to the central of Choushui River alluvial fan where the Taiwan High-Speed Rail constructed can threaten its safety. Previous studies found that the land subsidence and layer settlement were consistent with the groundwater level variations. However, the average of groundwater variations changes from stable to increasing over time while cumulative subsidence continuously increases if we consider observation wells around Taiwan High-Speed Rail. The dynamics of groundwater fluctuations might affect the land subsidence on the surface and in the aquifer layers. In this study, numerical simulations of pumping wells in the shallow and deep aquifer were conducted to investigate which factor has a superior influence on the subsidence. The finite-difference model in FLAC3D was used to simulate the fluid-mechanical interaction when pumping. The predicted layer settlements will be compared to observed data to verify the numerical model performance. The preliminary results indicate that shallow aquifer pumping will not only influence shallow aquifer but also deeper aquifer. The factor affecting the subsidence might be the combination of seasonal groundwater fluctuations and dynamic loading of Taiwan High-Speed Rail. Based on the understanding of the local variation process of the land subsidence, we could carry out an efficient management plan to mitigate subsidence in the Choushui river Alluvial fan. We will simulate subsidence induced by deep aquifer pumping and apply dynamic loading to the model to analyze the response of groundwater and aquifer layers to pumping in near future.

Keywords: Choushui River, groundwater fluctuations, fluid-mechanical interaction, FLAC3D.

彰濱外海高解析震測地層及流體特徵分析

曾湧翔¹、許鶴瀚¹、陳憶萍²、楊懿丞²、王明²、劉家瑄²

(1)臺灣大學海洋研究所、(2)臺灣大學海洋中心

沉積物液化與地層中流體移棲皆為海床不穩定因子。在淺海具有快速沉積作用發生的區域，特別是高孔隙率的砂質沉積環境，常會有流體填充在孔隙當中，當極端事件發生且造成地層擾動時，這些超孔隙水壓地層孔隙之間因富含流體，故顆粒間摩擦力較小，即有機會發生沉積物液化，並且孔隙中流體可能沿著壓力梯度方向移棲，形成流體移棲特徵，進而造成海床與地層不穩定。本研究探討臺灣海峽東側彰濱外海近岸區淺部地層之流體特徵及分布，研究區鄰近濁水溪出海口。濁水溪為全台沉積物供應量最大的河流(30~60 Mt/yr)，河口的淺海環境中堆積大量砂質沉積物，且因臺灣地震、颱風、洪泛等極端事件發生頻繁，大量沉積物於短時間內輸入彰濱外海，快速沉積作用有利於流體封存於地層中，一旦地層受到擾動，容易觸發流體移棲與沉積物液化作用。本研究利用火花放電(sparker)震測調查得到的地層剖面，透過震測相分析，根據流體造成的震波性質改變來辨識彰濱外海地層中的流體，例如：頂部強振幅、低頻、極性反轉、內部振幅衰減與垂直貫穿水平地層等特徵。震測剖面顯示研究地區有廣泛分布的楔型體(cliniform)，其震測相呈現下覆至下部地層，上部整合，內部呈傾斜狀排列與反白特徵，深度約為海床下十到二十公尺，厚度則介於數公尺到十多公尺，水平延伸達數百公尺到數公里，其發育可分為兩期並皆向海進積，且在其下方亦觀察到透鏡狀反白特徵。因其分布鄰近古濁水溪出海口，故推測為過去於高水位時期古濁水溪輸入大量陸源沉積物進入彰濱外海，因快速堆積而沉積出的富含流體地層。綜觀震測剖面中顯示的流體特徵，本研究將彰濱外海近岸區的流體分為兩大類型，分別為水平富集型與垂直移棲型。水平富集型的流體在空間上呈連續性分布，主要分布在楔型體內部、楔型體下方與東彰雲砂脊下方；垂直移棲型可依震測相中出現的流體指示特徵，分為 Pa(反極性)、Pb(無反極性)、Pc(頂部連結麻坑)三種，大多位於淺部地層且皆移棲至海床下十公尺左右，有少數幾個突破海床。這些垂直移棲通道直徑皆介於數公尺到一百公尺間，其中 Pa 有觀察到極性反轉的特徵，推測當中可能含氣體；Pc 則表示流體向上移棲冒出海床而形成麻坑或古麻坑。垂直移棲型主要分布於古濁水溪口與現今濁水溪口外，故推測是因濁水溪輸入大量砂質沉積物，快速沉積後，流體被封存於一定深度地層中，可能因之後的擾動事件，使其向上移棲。根據彰濱外海近岸區的流體特徵與分布，我們認為此區的流體移棲與富存可能與古代及現今的濁水溪出海口位置有所關聯，濁水溪的快速堆積作用是影響彰濱外海地層中流體封存的重要機制之一，而封存的流體受極端事件的擾動後，即可能造成沉積物液化，亦可能促使流體移棲發生，造成海域地質災害。近年來台灣積極發展離岸風電，彰濱外海正是重要潛力場址之一，希望

透過本研究對此處淺部地層流體特徵的辨識與分佈位置的探討，能夠對流體造成的相關地質災害風險有更進一步的了解與掌握，以提升海域工程安全，也能對日後離岸風場的建設及營運有所幫助。

中文關鍵字：流體移棲、沉積物液化、震測、火花式放電、離岸風力發電



低速至高速旋剪儀實驗試體之鐵氟龍污染影響的量化

黃柏崑¹、董家鈞¹

(1)中央大學應用地質研究所

相較於過去傳統土壤剪力試驗(三軸、直剪試驗)，低速至高速旋剪儀可對試體進行長位移剪切之優勢。當研究試體為黏土粉末時，為防止試體粉末於旋剪試驗過程中溢出，試體粉末須以夾具包覆。選擇低摩擦性之鐵氟龍作為夾具降低其摩擦特性對旋剪試驗之影響。然而高速旋剪試驗中，鐵氟龍恐因摩擦熱變質或受剪磨損進而侵汙試體外圍，恐有影響實驗結果之疑慮。前人研究有將在經正向應力 1 MPa 以及滑移速度 1 m/s 下，使用高嶺土進行旋剪實驗後之受剪後試體做鐵氟龍汙染含量的量化分析，然而並未仔細考量鐵氟龍在試體中的汙染分布。故本研究採用經正向應力 1 MPa、滑移速度 1 m/s 旋剪試驗後之受剪氣乾高嶺土，進行試體外圍半徑 12.5-7.0 毫米的局部取樣及整個試體的均勻取樣，結合 X 光繞射儀及熱微差掃描分析儀以量化鐵氟龍於高嶺土粉末中之汙染含量，並比較均勻取樣及局部取樣的結果。均勻取樣之結果顯示，其鐵氟龍含量約在 1% 左右，未來將與局部取樣之結果進行比較，預期得到更高之鐵氟龍汙染含量。

中文關鍵字：旋剪試驗、氣乾高嶺土、鐵氟龍汙染



山崩潛感因子最適量測尺度探討 - 以石門水庫集水區為例

繆念澤¹、李錫堤¹

(1)中央大學應用地質研究所

良好的山崩潛感模型可提供適當的山崩災害預估，並作為製圖、工程選址、防災決策等依據，因此選取高效度潛感因子供建立潛感模型可謂重要。山崩潛感因子常取自於地形、地質等及區位尺度有關之因子，一般以潛感因子所使用之網格數值地形模型(DTM)及其他網格資料之網格解析度或網格大小定義尺度大小。從過往研究可知地形資料在不同的量測尺度下其輸出值會有所不同，這可能多少影響山崩潛感模型之表現。然而過往山崩潛感分析所使用的因子多為同一尺度，並未真正考量因子尺度對於山崩潛感模型之影響。

欲改變因子尺度時可內插產生較小之網格資料，或以重新取樣之方式產生較大之網格資料。但在實際運用上，近年國外學者是以不同大小的移動視窗先對原始DTM做平滑化，再以3x3核心產製各尺度因子，並分別評估各尺度因子之效度，以找出最適尺度之因子作為模型建立依據。本研究除了以平滑化移動視窗法建立不同尺度之因子外，試圖再以大核心網格法建立不同尺度之因子，做為比較之用。

本研究先在石門水庫集水區建立艾利(2004)、馬莎(2005)、辛樂克(2008)、蘇力(2013)等四個颱風事件誘發山崩目錄，找出各個颱風事件下，各個潛感因子的最適測量尺度，探討不同事件下最適測量尺度的異同，再利用各事件下最適尺度因子建立每一個事件的山崩潛感模型，比較每一個模型的成功率及預測率相較於原始模型的改善情形。最後將對因子最適量測尺度的方法學做成結論與建議。

中文關鍵字：大核心網格法、平滑化移動視窗法、潛感因子最適量測尺度

台灣板岩重力變形的控制因子分析

鐘暉翔¹、李錫堤¹

(1)中央大學應用地質研究所

台灣板岩帶的劈理位態大致呈東北-西南走向，向東南高角度傾斜。高角度劈理在重力作用下會發生下坡潛變現象；在順向坡處發生緩慢的拱彎變形(buckling)，而在逆傾坡處發生漸進式的撓曲變形(flexuring)。當變形持續累積時會使劈理角度變緩且岩體風化破碎，在豪大雨期間可能會有滑動致災之虞。板岩邊坡的調查研究在台灣已有多項計畫進行，累積了許多調查報告與資料，可供進行控制因子分析，但對於影響變形速率的各項因子尚未有深入探討及分析。

本研究利用中央地質調查所多年期大型崩塌調查計畫與農業委員會水土保持局大規模崩塌調查計畫中許多位於板岩坡的報告資料，整理出各鑽孔的滑動監測資料、岩心鑽探報告及水位監測資料等等，選取若干不同因子進行研究。所採用的岩體因子有：破碎程度、風化程度、板岩比例、劈理傾角等。地下水類因子有有：地下水位深度、最大地下水位上升高度等。變形因子則包括：岩盤頂面變形速率，滑動面變形速率、變形最大深度等。整理完各項因子資料後，先針對各個控制因子與各個變形因子進行相關分析(correlation analysis)，挑選出相關性高的因子做為控制因子。最後運用多元迴歸方法建立板岩重力變形的潛感模型，供台灣各板岩坡重力變形程度之預估。

中文關鍵字：板岩、重力變形、控制因子、相關性分析、多元迴歸

以尤拉 - 拉格朗日耦合分析崩塌過程：以四川新磨崩塌為例

林亭妤¹、林冠璋¹

(1)成功大學地球科學系

近年來，有限元素分析常被運用於模擬崩塌的發生機制與運動過程，而傳統用於分析崩塌發生機制的有限元素分析常使用拉格朗日網格，其分析模型能承受之網格變形程度有限，無法模擬較大變形的情況。為模擬快速運動的大型崩塌，本研究採用尤拉-拉格朗日耦合分析，以尤拉網格分析排除拉格朗日分析於網格嚴重扭曲時無法進行計算的問題，並以 2017 年四川新磨村大型崩塌為例，模擬土石塊體崩落的過程及堆積狀況。土石材料在邊坡上的分布狀況也是影響崩塌運動過程的重要因素之一，本研究亦考量不同的材料分布情境，模擬崩塌過程的塊體運動行為。模擬結果顯示，當考量邊坡上有剝刮材料時，塊體最大運動速度達到 55 m/s。如果考量邊坡上有剝刮材料或邊坡下方具有舊崩積材料時，模擬之崩塌影響範圍便會最吻合實際崩塌後材料的堆積狀況。

中文關鍵字：數值模擬、尤拉-拉格朗日耦合分析、新磨崩塌



A study of knickpoints and its multiple causality in northeastern Taiwan

Chin-Yi Yang¹、Ting-Wei Huang¹、Pei-Shan Hsieh¹

(1)Industrial Technology Research Institute

Knickpoints located on the stream profile separating into different gradient can provide important nick information for drainage network. The generation of knickpoint is widely used to discuss the evolution of drainage network. There are several knickpoint related researches focused on large scale tectonic discussion in Taiwan, however, regional scale analysis of existence and distribution of knickpoint is rare. In this study, we use auto-extracted program to obtain stream network, knickpoint and river steepness index from 20 m DEM (published by Ministry of the Interior), and apply it to discuss the possible causes of knickpoints in the relatively small drainage basin.

In this study, the drainages of Nao, Heping, and Kanagan are chosen as case studies, there are some reasons as following: (1) the lithology of the Heping drainage is complicated (marble, gneiss, and schist), and WEP boundary may have crossed through this drainage causing subsidence and uplift. (2) the Kanagan drainage is a small drainage basin located on southeast side of Heping drainage. A shallow micro-seismic swarm in Kanagan drainage is discovered, besides, the Kanagan river flows through simple lithology (marble and gneiss). (3) the Nao drainage is northern of Heping drainage and also on the north side of WEP boundary. This means that this drainage basin is far away from the collision. (4) there are several historic and existence landslides prevailed on these drainage basins. These regional affected factors can play an important role in the genesis and development of knickpoints.

Keywords: drainage, knickpoint, river steepness index

曾文溪出海口最近期變遷年代再探討

陳彥傑¹、陳秀琄²、王子碩³、黃文亭⁴、陳家琦⁴、鐘大歡¹

(1)嘉南藥理大學觀光系、(2)自由工作者、(3)聚珍臺灣、(4)中央氣象局臺灣南區氣象中心

綜合目前的文獻資料分析，自 17 世紀的 1832 年以來，曾文溪的出海河段或出海口曾變遷過 4 次。而其中對於曾文溪出海口的最近期變遷年代仍各有說法。近年來由於許多文史、地理等數位化資料庫系統的出現，其強大的查詢與比對能力使得研究人員乃至一般民眾皆能進行時間與空間資料的交互查詢比對，並對臺灣各地相關的地理變遷有所了解。本研究綜合「臺灣百年歷史地圖」的時空分析以及《臺灣日日新報》報導與《臺灣總督府檔案》記載的蒐尋與比對，發現曾文溪出海口最近期變遷年代應為「昭和 3 年(1928 年)9 月」。而造成此一出海口變遷的原因主要是 1928 年整個 8 月的連日大雨，加上 8 月 9-12 日以及 9 月 3~6 日的颱風所帶來的風雨。這連月來累積的水力與破壞，讓曾文溪的主流在 1928 年 9 月 3~6 日的颱風期間，向西沖破當時十份塢(今台南市七股區十份里)附近的沙洲，並沿當時十份塢附近的細流出海。

中文關鍵字：曾文溪、改道、臺灣百年歷史地圖、臺灣日日新報、臺灣總督府
檔案



Tectonic geomorphology analysis in Hsinchu area by using historical aerial photos and SfM technique

Chin-Yi Lin¹、Ray Y. Chuang¹

(1)Department of Geography, National Taiwan University

Geomorphic features are useful tools to identify active structures in tectonically-active areas. Because the island of Taiwan is located at an active plate boundary, the study of tectonic geomorphology is very important for assessing seismic hazards. In Taiwan, Hsinchu is one major urban area with a large population and a high-technological industry development area (Hsinchu Science Park), which is at high seismic because it is located in between the Hsinchu fault and Hsincheng fault. To better understand the fault geometries and slip rates, the studies of river terraces displaced by the faults are required. However, the geomorphic features in current high resolution DEMs may disappear because of rapid industrialization and urbanization. Therefore, historical photos provide an opportunity for us to clearly see the geomorphic features before the modification by the urban development. Compared with aerial photogrammetry, the Structure from Motion (SfM) technique requires fewer photo parameters and the DEM generated by historical aerial photos with SfM technique has higher spatial resolution of about 1 m. Therefore, historical photos with SfM technique could be more suitable for analyzing tectonic geomorphology. Thus, this study aims to analyze tectonic geomorphology via high resolution 3D model derived from historical aerial photos and the SfM technique. The SfM-generated 3D model will be connected to real coordinate system through Ground Control Points (GCP) established by reference maps and 5 m DEM. In this research, we map and correlate terraces of Touchien River and identify suspected fault scarps and estimate the displacement of the terraces on the same step. Finally, we examine how the SfM-generated DEMs and the GCP settings perform in this case.

Keywords: mapping geomorphological feature, Structure from Motion, fluvial terrace, fault scarp

Topographic changes due to erosion of Lichi Badland by using archival aerial photos and SfM technique

Zi-Xin Lee¹、Ray Y. Chuang¹

(1)Department of Geography, National Taiwan University

In this study, we estimate topographic changes of Lichi Badland by using archival aerial photos and Structure from Motion (SfM) method. Archival aerial photos, which were taken since 1940s in Taiwan, provide valuable visual interpretation for surface analysis and datasets for generating topographic data. However, it may be difficult to assess all camera parameters for historic aerial photos and the coordinates of ground control points, making topography reconstruction through traditional photogrammetry almost impossible. With the development of computer vision-based SfM photogrammetry in recent years, it becomes possible to reconstruct old topography without complicated procedures and parameters. In eastern Taiwan, Lichi Badland is one famous geotourism area with rugged topography under high erosion of the Lichi Mélange. The erosion pattern of the Lichi Mélange is less understood. Therefore, we aim to generate high resolution 3D model by archival aerial image and SfM technique of the Lichi Badland. This model will be constrained by ground control points (GCPs) derived from recent DEM and orthomosaic image. Then, we will examine the accuracy of the model and test the ability and limitation to detect land cover changes of the Lichi Badland by using archival aerial photos and Digital Elevation Models of Difference (DoD) method.

Keywords: Structure from Motion, Digital Elevation Models of Difference, archival aerial photos, change detection

應用空載光達數值地形精進火成岩與沉積岩混合區地質圖：以海岸

山脈地區玉里地質圖幅為例

趙柏濂¹、詹瑜璋²、胡植慶¹、孫正璋³、謝有忠⁴

(1)臺灣大學地質科學系、(2)中央研究院地球科學研究所、(3)臺灣大學地質科學系、中央研究院
地球科學研究所、(4)經濟部中央地質調查所

過去繪製二維地質圖時，受限於台灣植被茂密與地形陡峭，在野外露頭能取得的資料有限，因此難以提高地質圖製圖解析度。近年來，光達技術產製的數值地形模型，能濾除覆蓋地表的植被，展示出精細裸露的地形。前人研究證實在台灣西部麓山帶與雪山山脈地質區，運用高精度與高解析度的數值地形模型，判釋岩層層跡與構造的地形特徵，具精進地質圖的潛力。本研究將以玉里地質圖幅海岸山脈區為例，進一步討論新的製圖方式是否適用於火成岩與沉積岩混合區，並且探知海岸山脈中段地質構造型態。海岸山脈出露岩層包含中新世中期到上新世早期的火成岩層：都鑾山層、上新世到更新世早期的沉積岩層：蕃薯寮層與八里灣層、以及中新世到更新世的利吉層。研究製圖流程分為四大步驟：首先，將數值高程模型套入 ArcGIS Pro，計算日照陰影圖與坡度圖。接著，在三維工作環境下，轉換不同視角與光源，觀察地形特徵，判釋岩層層跡與構造線。然後，運用位態計算工具，求出岩層位態資料，再到野外查核比對岩性與位態。最後，將資料整合成更高解析度的地質圖，且繪製剖面。研究結果顯示火成岩與沉積岩中，因為各岩層抗侵蝕能力不同，使得地形上坡度不同，所以得以精細的追蹤岩層層跡。本研究亦觀察到因植被覆蓋，而過去未發現的細微構造：高寮地區的正斷層系統為深層重力滑坡變形所致；花東山的都鑾山層為單斜構造；長濱地區都鑾山層與八里灣層邊界有清楚且延續性佳的構造線型，推測是小錯距的層間滑動。本研究為無法到達的地方補足地質資料，且在火成岩與沉積岩混合地區，提供高精度與高解析度的製圖方式。

中文關鍵字：高解析度數值地形模型、三維地質製圖、海岸山脈、差異侵蝕、
火成岩

工程地質探勘資料庫系統

張閔翔¹、魏正岳¹、莊釗鳴¹、黃佳偉¹、侯進雄¹、賴品妙²、王炫詠²

(1)經濟部中央地質調查所、(2)晏晟科技股份有限公司

經濟部中央地質調查所於國土資訊系統架構體系中，屬於自然環境基本資料庫分組，負責整合建置全國地質鑽探相關資料。本所利用地理資訊系統技術開發工程地質探勘資料蒐集工具軟體，持續辦理作業規範研修，以資料作業規範為基礎，建置資料庫查詢系統網站以及配套教育訓練，進行工程地質探勘資料蒐集，同時逐年更新資料蒐集工具軟體，提供國土資訊系統相關分組與全國民眾豐富的地質鑽探資訊，有效達成國土地質資料之「分散建置，集中管理」之作業目標。

近年來由於地質法之施行，民眾更加重視居住環境，對地質資料的了解需求日益殷切。為落實地質鑽探資料蒐集建置與資料公開，配合空間資訊技術之演進，以及第四至第五階段電子化政府雲端化相關作業，將工程地質探勘資料庫以 WebGIS 網頁視覺化方式呈現及對外揭露地質資訊，直接支援「地質資料蒐集管理辦法」施行後相關地質調查報告書及鑽探資料查詢業務，近期又增加鑽探資料蒐集建置範圍，改良資料蒐集工具軟體，完善資料彙整與供應機制，並增設教育推廣課程，讓民眾以簡明易懂之方式瞭解居住之地質環境，使國人能趨吉避凶、減輕地質災害的威脅，也提供國內重要工程建設之參考依據。

中文關鍵字：地質資料、鑽孔資料、網際網路空間資訊平台、土工技術調查

國土地質倉儲暨地質資料整合查詢系統

魏正岳¹、鄭文昕¹、張閔翔¹、莊釗鳴¹、侯進雄¹、柯文浩²

(1)經濟部中央地質調查所、(2)群琮地理資訊公司

經濟部中央地質調查所配合行政院國家發展委員會「NGIS2020 時空資訊雲建置計畫－落實智慧國土」公共建設計畫，辦理「地質圖資建置及開放應用計畫」，運用資料倉儲高效率之整合管理架構，逐年蒐集並整合開放地質相關資料，完善國土地質資料整合式管理供應平台與空間資料倉儲服務，與其它國土資訊系統相關資料庫系統進行接軌，開放相關需求單位進行資料應用並持續辦理基礎資料建置。

本計畫於 109 年度完成核心地質圖資擴充建置、跨單位協作機制及開放資料等作業，以先進之空間資訊技術建置整合式地質資料協作應用平台，強化地質資料即時更新及開放供應，提供中央及地方政府進行加值應用；計畫執行成效包含：(1) 擴充地質資料庫基礎應用環境及配套。(2) 地質圖資建檔管理與更新。(3) 資料介接、流通、管理與供應。(4) 資料管理推廣與諮詢服務。

在服務網站及既有倉儲系統功能改版方面，109 年度完成單點詳細資訊及介接外部圖台街景服務之開發；擴建行動裝置專用網頁，提供不同行動裝置作業系統(如：Android, iOS)正確瀏覽；另新增自產圖資上傳功能，提供使用者上傳 SHP、CSV、GeoJSON、GPX 及 KML 等 5 種格式圖資，自行判釋圖資坐落之地質資訊，以利實施後續分析作業，擴大地質資料之應用層面。

中文關鍵字：地質資料、國土地質倉儲、查詢系統

利用無人機進行航拍與點雲建模 - 解析新北市萊萊地區地質構造

白庭瑜¹、蔡耀萱²、詹瑜璋³、葉致翔⁴、孫正璋⁵

(1)臺灣大學地質科學系、(2)臺灣大學地理環境資源學系、(3)中央研究院地球科學研究所、
(4)臺灣大學土木工程學系、(5)臺灣大學地質科學系、中央研究院地球科學研究所

以傳統遙測方法所建出之數值高程模型進行構造判釋工作，其公尺級的解析度造成細部以及地勢平緩地區之構造判釋上的困難，使得傳統模型已無法適用於如海蝕平台等高程無太大起伏，卻包含如裂隙及節理等細部構造的地方。隨著無人機航拍技術之進步，現已可透過無人機航拍照片建立公分級解析度之三維網格模型，在室內進行構造判釋，並輔以野外查核，解決傳統地質調查時因地形崎嶇或發生地質災害等因素而導致人力難以抵達的問題。本研究區域位於新北市萊萊地區之海蝕平臺，位處鶯仔瀨向斜南翼，岩層以漸新世的大桶山層為主，岩性為硬頁岩與砂岩互層，地層出露良好且無植被覆蓋，並出露岩脈以及數個大幅度彎曲構造。在此利用無人機進行航拍，將所取得之照片進行空間平插、點雲計算並且建立公分級解析度之三維網格模型，將成果匯入 ArcGIS Pro，在三維環境，藉由不同視角的輔助，判釋構造及岩層，將構造線打點標記出來，計算其位態並且進行野外查核，最終將資料繪製於赤平投影圖上計算褶皺軸之走向及傾沒角。研究成果分為東邊及西邊兩個部分，其中，西側之裂隙大致呈東北-西南走向、部分呈馬尾狀破裂且平移斷層帶有左移分量，推測此區曾受東北-西南向之左剪力作用；東側除了與澳底層媽崗段之砂岩接觸、有東西向發育良好之節理系統，亦有數條西北-東南向之右移斷層錯開岩脈。此外，兩區域之大幅度彎曲構造中，層理之傾角一致性高，計算其褶皺軸傾沒角在 10 度上下，推論萊萊地區之大幅度彎曲構造非因崩移作用所形成，而是大尺度擠壓之下所產生之小區域緩褶皺。

中文關鍵字：無人機、攝影測量、三維地質製圖、高解析度網格模型、三維 GIS

無人機光達系統點雲型態與數值高程模型特徵研究

江晉霆¹、詹瑜璋¹、孫正璋¹、張國楨²

(1)中央研究院地球科學研究所、(2)台北科技大學土木工程系

本研究區域為宜蘭縣大同鄉梵梵，本研究將此區域分成三大區塊，依序為河灘地、密林區、人造物區。本研究針對密林區中竹、闊葉林以及河灘地上之芒草、礫石等在點雲模型裡的樣貌分析。本研究主要使用 RIEGL 公司所生產的雷射掃描儀(miniVUX1-DL)與無人多旋翼機(Ricopiter)進行掃描任務，任務完成後也使用 RIEGL 之點雲解算軟體 Riprocess 解出點雲模型後，即可針對不同的植被、人造物....等不同地貌切出剖面進行檢視。為了探討系統誤差，本研究在模型中找出相對水平的地方，例如：柏油路、堤防、屋頂。並在這些區塊選取 1 平方公尺的範圍對其進行統計分析，即可找出此模型之系統誤差。本研究判定地面點數量方式，針對不同地貌如裸露地、竹林區、闊葉林區、竹、闊葉混合林區分別切出 5 平方公尺，以統計的方式判定地面點數量的多寡，從圖中可知道植被越茂盛的區塊地面點數量越少。光達可能無法或不易穿透植被茂盛的密林區及闊葉林區，造成這些區塊點雲模型有空洞的情形產生，此種現象類似於光達無法穿透人造區結構物的現象，因此將其定義為房屋效應。人造物區點雲模型中因為有房屋效應的關係，若將人造物去除，反而會讓模型產生空洞。本研究將人造物表面歸類於地面點雲，獲取更完整的數值地表模型，以達到充分利用點雲資料的目的。分類出地面點雲後，可以產製出數值高程模型，從數值高程模型上即可判定此研究區域的地質構造現況。從系統誤差分析中，本研究在相對水平區塊上，擷取 1 平方公尺的點雲做統計分析，此無人機光達系統之系統誤差大約在 3~5 cm。此研究成果對於未來的山崩與侵蝕研究提供適合精度的應用基礎。

中文關鍵字：無人機、光達、點雲、數值高程模型

Development of Seismic data acquisition system for low-cost accelerometer with Raspberry-Pi (RFidget)

Utpal Kumar¹、Lu-hsuan Chen¹、Chu-Te Chen¹、Wen-Tzong Liang¹

(1)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

We aim to develop a new seismic data acquisition system, equipped with functions of both local recording and real-time data streaming, for low-cost accelerometers (RFidget) using Raspberry-pi 4 attached with a PhidgetSpatial MEMS sensor (1403_1B). The full scale of this sensor is $\pm 2g$ and the machine noise level is less than one gal, which makes this RFidget unit suitable for strong motion monitoring. The design is to convert digital data from the PhidgetSpatial sensor into a standard data format (preferably miniSEED) and then either to record the evenly sampled data locally or to enable data streaming from each RFidget directly to a recording server in a real-time manner. The RFidget system comprises three primary components—local clients, webserver, and desktop software. The local clients aim to record and send the stream the data to the webserver in real-time. The webserver aims to collect the data from the clients and preprocess it for near real-time delivery. The open-source desktop software with PyQt5 based graphical interface provides efficient tools to receive, analyze and visualize the data from the webserver in real-time. With this design for RFidget units, the building monitoring for seismic risk assessment, rapid array mobilization for aftershocks, and educational seismic network deployment will become easier for researchers. We'll demonstrate our preliminary results in the poster area. The RFidget software will be openly accessible to the scientific community.

Keywords: data acquisition, accelerometers, open source software

臺東鹿野地區河流地形作用與山崩事件之交互影響

蔡加洛¹、徐濤德¹

(1)臺灣大學地質科學系

河流作用是地表侵蝕與堆積最主要的營力之一，因此河流地形之相關研究長期以來皆是地質學家所重視的議題之一；另一方面，活躍造山帶中，山崩事件是影響地形演育的重要地表作用，主控了侵蝕作用與河流系統的沉積物供應。臺灣地處活躍造山帶，因此山崩對河流系統的影響是臺灣中低海拔地形演化的主要因素之一。臺東鹿野地區的鹿野溪與卑南溪匯流處附近，有一系列發育良好的河階地形，地形上同時顯示過去曾有一個規模極大的古山崩事件（鸞山山崩），過去雖然曾經有針對兩者分別進行的研究，但並未詳細探討河流地形變化是否與山崩事件的發生具有因果關係，或是山崩事件崩落後對該處河流系統是否造成影響。有鑑於此，本研究目的為藉由山崩與周圍河流階地的地形幾何、層位關係、以及其相對年代，來釐清鹿野地區河流系統的演育歷史，瞭解這些地表作用在河流演育的過程中其交互的影響。本研究利用即時動態定位(RTK-GPS)與雷射測距儀在野外進行山崩堆積物與其底岩間界面的高程測量，再透過高精度數值地形模型進行地形分析，得到過去山崩未發生前的古地形面。結果發現兩千多年前山崩事件發生前，卑南溪主流古河道可能流於目前河道東側數百公尺處，此河道於山崩發生時遭到山崩堆積物掩埋，使得河流改道至現今卑南溪河道所在位置，並下切形成外成峽谷。另一方面，綜合前人的觀察與資料，本研究認為兩千多年前此山壁內的古河道也並非是長久以來卑南溪所流經的位置，而可能是當鹿野溪發育大規模的龍田沖積扇階地時，大量的沉積物加積使得兩千多年前之卑南溪河道向東遷徙數百公尺，流到了現今山壁內本研究所發現的古河道處。其後又由於這個側向遷徙造成海岸山脈西翼邊坡過陡，而引發了鸞山山崩事件。整體來說，鹿野地區河流地形作用與山崩事件經過一系列的相互影響，才形成了目前所見的面貌。

中文關鍵字：河流地形作用、山崩、沖積扇、鹿野地區、卑南溪

屏東平原未飽和地下水流數值模擬

林均祥¹、劉台生¹

(1)中正大學地球與環境科學系

2020 年台灣面臨有史以來第二次未受颱風侵襲的罕見水文事件，導致 2021 年 3 月已經開始在台中地區進行分區停水的措施。相對於不易保存的地表水，地下水則為一種可以永續經營的水資源。屏東平原為台灣第二大的沖積平原，擁有豐富的地下水資源，但也同時面臨地層下陷、海水入侵及地下水汙染等挑戰。前人研究考慮的屏東平原地下水流數值模擬，多半建構在飽和含水層的基礎，但若考慮伏流水開發等應用，則未飽和效應為一個值得探討的影響因子。本研究考慮屏東平原地下水分區，根據現有觀測井的地下水位，考慮平原中從扇頂到扇尾的部分屏東平原地區為模擬區域，考慮第一含水層及第一阻水層，以 van Genuchten 保水曲線模式，進行未飽和地下水流數值模擬。根據研究區域中地質鑽探井所獲得第四紀泥層定年資料，可建立模擬區域中含水層及阻水層的三維地質構造分布，並根據扇頂、扇央及扇尾的分布設定含水層的水力傳導係數。降雨入滲則參考過去研究，以分區的方式設定不同的入滲量。本研究以商用軟體 FEFLOW 7.3 版進行地下水流數值模擬，並以降雨入滲量、邊界河流補注量，以及水力傳導係數等作為校正參數，利用 PEST 理論對模擬結果進行校正，可獲得符合水利署地下水觀測井所量測的地下水位。後續研究會將模擬區域的深度擴展到第三個阻水層，並進行詳細的參數敏感度分析。案例分析則將以屏東平原傍河取水的伏流水開發案，重新評估現有的取水方案。

中文關鍵字：屏東平原、未飽和地下水流數值模擬、水資源

在有限厚度含水層中受不同地表溫度時變性影響的地溫 -

深度剖面之熱傳輸模式

張家豪¹、蔡瑞彬¹

(1)臺灣大學生物環境系統工程學系

地層中的溫度(地溫)已被廣泛用作估算含水層中地下水流的示踪劑。先前的研究通常假定含水層的厚度為無限，以簡化地下熱流問題的數學模式。然而，可預期的，此簡化模型將無法描述在真實含水層(有限厚度)中的熱傳輸情形。有鑒於此，本研究發展一個熱傳輸模式，用於描述有限厚度含水層中的地溫-深度剖面。此地溫剖面受熱傳導-平流方程式(heat conduction-advection equation)控制，而含水層底部設定為恆溫條件，通過拉氏變換(Laplace transform)可求解該模式。藉由此解，本研究分析了三種不同地表溫度的時變性對地溫剖面的效應。研究結果顯示，地溫剖面呈現的輪廓能確實反映不同的時變性。此外，含水層的熱導率(thermal conductivity)、熱容量(heat capacity)，及地下水流量對地溫剖面的影響相當顯著。

中文關鍵字：熱傳輸、地溫剖面、地下水流量



屏東平原地下水補注區之水文地質補充調查成果

林榮潤¹、柯建仲¹、梁嘉宏²、陸挽中²、賴慈華²、邵屏華²

(1)中興工程顧問社、(2)經濟部中央地質調查所

民國 81 至 97 年期間，「台灣地區地下水觀測網整體計畫」於屏東平原地區共完成 52 站之水文地質調查研究。全區面積共 1,231 平方公里，平均每 24 平方公里有一站，而各站之平均距離約 5 公里，共繪製了 13 條水文地質剖面。而為了達到地下水水資源保育與永續利用，經濟部中央地質調查所於 103 年度完成屏東平原地下水補注區之劃設，且於 108 年度執行屏東平原地下水補注區補充水文地質調查，包括：4 孔地質調查井之取樣與分析工作，以及建置 2 站複井抽水試驗站，進行分級、定量抽水試驗。綜合調查成果顯示，於鄰近地下水補注敏感區中，由扇頂至下游分布的剖面，分別有剖面十三、十一、十、八、與七等，可比對本次新增 4 處鑽孔，進行剖面編修與繪製；而位於荖濃至隘寮溪與林邊至力力溪之沖積扇扇頂區，分別完成載興站與四林站之抽水試驗，其成果皆符合扇頂區高透水性之水文地質特性，有助於釐清補注邊界與劃設。

中文關鍵字：屏東平原、地下水補注、水文地質



臺灣北段山區水文地質調查之研究

梁嘉宏¹、柯建仲²、林榮潤²、賴慈華¹、邵屏華¹、王詠綸¹

(1)經濟部中央地質調查所、(2)中興工程顧問社

目前臺灣正遭逢 56 年來的乾旱缺水危機，尤以桃竹苗地區最為嚴重，本所自 99 年起即投入山區地下水資源調查評估，其整體計畫之思維架構係起源於山區屬地下水資源的重要補注來源區域，在政府提倡多水源多系統聯合經營區域性水資源策略下，山區地下水資源不失為重要之水資源調配來源，然而對於評估山區地下水蘊含量現況所需之水文地質基本調查資料卻相當匱乏。據此，為瞭解山區地下水之水量與水質，本所遂及規劃為期 12 年之臺灣山區地下水資源調查。

本文係針對 109 年度調查範圍位於香山沿海河系、中港溪、後龍溪、竹南沿海河系、大安溪等北段山區流域，藉由水文地質鑽孔及地下水觀測井網之建置，進行地下水位變動之觀測，並藉由一系列孔內水文地質調查技術來瞭解山區水文地質架構，調查試驗工作包含：孔內電井測、井徑、孔內攝影、地下水流速、孔內波速、封塞水力試驗及抽水試驗等，獲得各鑽孔地質單元之孔隙率、透水係數及導水係數等水文地質參數資料；另為提升水文地質調查資料之精度，本文亦發展出孔內高精度地下水流速量測技術，藉由更細緻之地下水的區段流速差異分析，可更加詳細掌握山區站址周圍之水文地質特性。整體而言，欲掌握山區之岩層地下水資源，須深入進行詳細之開發區段實務研究。

中文關鍵字：水文地質調查、山區地下水資源、地下岩層水力特性

宜蘭龍德井異常地溫梯度之數值模擬

陳文福¹、陸挽中²、賴慈華²、邵屏華²、黃智昭²

(1)嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所、(2)經濟部中央地質調查所

宜蘭平原區觀測井的垂直地溫梯度顯示有兩處地溫異常高：礁溪及龍德，地溫梯度可達 $0.077 (^{\circ}\text{C}/\text{m})$ ，礁溪為著名的溫泉區，研究較多，龍德站的研究較少，本研究利用垂直井溫來推算龍德站阻水層的垂直流向及流速，並探討該井異常垂直地溫梯度的成因。地溫分布主要受到地表面溫度、地層熱傳導(conduction)及地下水流動(convection)的影響，經由熱傳(heat transfer)公式的數值模擬，可以推算地下水的流速及流向。計算結果顯示：阻水層 T1-1 垂直流速約 $3\sim 4 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ (負值表示往上流)，垂直流動方向並與水位觀測一致；T1-2 及 T1-3 因為溫度曲線顯示對流傳遞溫度的效應低於熱傳導，只能算出流速的上限。T1-2 小於 $-5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ ，T1-3 小於 $-5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ 。根據模擬結果，龍德地區的地熱異常，推測斷層破裂帶應沒有切穿沉積層，否則破裂帶的流速應該比較快，本研究模擬的流速約 $3.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ ，相當泥質地層的流速，表示下部岩盤的熱進入觀測的地層後，應主要以熱傳導向上傳熱。

中文關鍵字：地溫梯度、數值模擬、宜蘭平原



應用羅吉斯迴歸法建立山區地下水資源開發潛能場址預測模式

廖逸凡¹、董名家¹、許世孟¹

(1)臺灣海洋大學河海工程學系

裂隙岩體滲透性參數能提供山區地下水資源開發場址遴選或施工規劃前重要的關鍵資訊，然受限於傳統工程有著很多經費、人力與時間成本等問題，實務上取得之滲透性參數調查資料量往往不足以代表場址水文地質現況，故如何以更有效率與低成本的方式辨識候選場址的岩體滲透性質是尚待解決的問題。

鑑此，本研究蒐集全臺山區各流域共計 474 筆裂隙岩體之水文地質與水力試驗資料，以此跨域且多岩性的資料為基礎，篩選出七項具代表性之地質特徵，分別為岩石品質指標 (RQD)、地層深度指標(DI)、剪裂泥含量指標(GCD)、岩性滲透率指標(LPI)、裂隙頻率(FF)、裂隙寬(FW)、與流速(v)，作為推估裂隙岩體滲透性之因子，共設計出五種因子組合模式，嘗試透過羅吉斯迴歸分析法建構出具開發潛能場址發生機率與選定因子間的關係，並產出以地質特徵預測達到岩體滲透性係數門檻值成功機率之迴歸模式，而門檻值之設計以 $K=10E-6$ 為基準，高於門檻值時即代表該場址之水資源開發潛力足以滿足地方性供水需求。

成果顯示，本研究設計之五種因子組合模式預測矩陣正確率均達 85% 以上，且模式正確率隨採用因子數上升而提高，其中七項因子之組合模式正確率高達 93.7%，顯著性良好。最後，應用 ROC (receiver operating characteristic) 曲線下面積(AUC)來評估所建模式之正確性，而本研究所建立之五種因子組合模式 AUC 值達均 0.9 以上，模式辨識力強。

總結以上分析成果，結合地質特徵因子與羅吉斯迴歸分析方法所建立之預測模式，將能以更有效率的方式瞭解候選場址之水文地質狀況，為地下水資源開發評估所需基本資料提供更具實務性之參考。

中文關鍵字：裂隙岩體、羅吉斯迴歸、滲透係數、地質特徵、ROC 曲線

孔內多層式光纖光柵水壓與溫度感測系統研發與測試

何彥德¹、蔡瑞彬²、王子賓³、張良正⁴

(1)臺灣大學、(2)臺灣大學生工系、(3)健行科技大學、(4)陽明交通大學

含水層常作為地下水使用的來源，一旦遭受地下水污染將立即影響供水安全性，同時地下水復育亦將面臨極大的挑戰。為了預測整治藥劑與污染團在深層含水層的移動路徑，了解地下水系統的狀態是很重要的(如地下水質、水位與水溫等)，然而傳統環保署觀測井多僅在特定深度開孔，且只能觀測含水層的平均狀態，因此提供的地下水相關資訊相當有限。有鑒於此，本研究使用光纖布拉格光柵(Fiber Bragg Grating, FBG)研發出多層地下水壓與溫度量測系統，可以在同一鑽孔內同時進行多個不同深度的水壓與溫度量測。光纖具有可遠距離穩定傳輸訊號、訊號不易受水與電磁波干擾與無火花安全性高等優點，而本研究所開發之FBG 多深度水壓與溫度量測系統則進一步透過室內測試與現地測試，以展現本系統之觀測能力。

中文關鍵字：多層式光纖光柵感測系統、地下水壓、地下水溫



利用 Kriging 插值觀測地層下陷中心移動以及壓縮狀況

邱淳銜¹、倪春發¹

(1)中央大學應用地質研究所

地層下陷是台灣的國土安全不容忽視的問題，除沿海低窪地區因地層下陷所產生之淹水問題外，台灣高鐵路線上之下陷嚴重區，造成交通安全層面上的疑慮，是刻不容緩的重要議題。目前高鐵路線上所經過之下陷區屬濁水溪沖積扇為最嚴重，其中以虎尾、土庫、元長及褒忠等鄉鎮為主要下陷區。地層下陷的觀測方法有許多種，其中精準度最高且分布最廣的觀測資料為水準測量，但此方法之缺點是監測頻率過長，而地層下陷影響主因為地下水，地下水會隨著旱季或雨季而有水位的高低起伏，因此以年的觀測頻率是明顯不足的。為解決各種觀測資料在時間、空間上精度與頻率差異，所產生資料無法直接互補之問題，本研究使用 kriging 插值，假定採樣點之間的距離或方向可以用於反映插值結果的空間相關性，利用水準測量資料與 GNSS 資料進行融合，結合兩者的優點，並以 kriging 插值出每月的地表沉陷分布，用以分析地下水位與地層下陷的關係。藉由磁環式監測井與水準樁的觀測資料進行融合，插值出較淺層地區的壓縮量，分析地表下 300M 之壓縮量，並與地表沉陷分布做分析比較。

中文關鍵字：克利金插值、地層下陷、地層壓縮、地下水



應用多變量統計技術歸納蘭陽平原地下水中砷釋出機制

蔡秉諺¹、劉雅瑄¹

(1)臺灣大學地質科學系

臺灣自早期便因烏腳病的出現而使地下水中砷的議題廣受討論，在蘭陽平原同樣也多有地下水砷濃度超標的問題。為釐清蘭陽平原各個地下水文條件不一之地區何以具有較高砷濃度，本研究自行政院環保署全國環境水質監測資訊網提取西元 1993-2020 年共 28 年的蘭陽平原地下水水質監測紀錄，以期透過長時間且穩定的監測資料觀察區域的水質特性，並發掘其與砷釋出機制之關係。本研究以常年監測記錄為基礎，利用比例法進行資料前處理，轉化數據分佈並優化多變量分析之分析效益。而後使用多變量統計方法的主成份分析(Principal Component Analysis, PCA)及聚類分析(Clustering Analysis, CA)進行資訊統整，以歸納並解釋蘭陽平原各區域的水質特性及變化。根據分析結果，蘭陽平原之地下水井可分為五群：A 群受鹽化影響而有高濃度氯離子；B 群位於平原東部的還原性環境及人類活動影響區域；C 群水質與 B 群同樣有還原性條件及人類活動影響，但強度較弱；D 群為受農作肥料影響的扇頂農盛區；E 群分佈於山麓帶及蘭陽溪岸，接收新鮮水源而呈氧化性環境。在蘭陽平原各類地下水水質中，A 群及 B 群的井位與高砷地下水關係最大，C 群次之。A 群有氯離子與砷競爭吸附而導致砷被釋出，以受古海水殘留影響的冬山國小舊井為代表性井位，古亭國小井也曾因現生海水之影響而相同結果。B 群井位分布於蘭陽平原東部，地層因泥層阻礙通氣及人類活動污染而有強烈的還原性環境，宜蘭高商井、竹林國小井及古亭國小井皆因此而有砷之還原性溶解機制。同屬 B 群之冬山國小新井則位於山麓帶，但因鄰近工廠清倒重油等廢棄物後累積於泥質沉積層所致之還原性環境而同樣有砷的還原性溶解機制。員山國小井數據多屬於 C 群，受人類污染影響較小而以源自四稜砂岩之矽酸鹽競爭吸附為砷釋出的主要機制。由此可見，蘭陽平原地下水中砷富集機制在各處不盡相同，包含還原性溶解機制及競爭吸附機制，而無氧化性溶解機制。

中文關鍵字：蘭陽平原、地下水、群集分析、主成份分析

裂隙岩體地下水流之格林元素法數值模擬

曾冠綸¹、劉台生¹

(1)中正大學地球與環境科學系

以邊界值元素法(boundary element method, BEM)進行離散裂隙岩體中地下水流數值模擬，雖可省去離散化模擬區域的繁瑣步驟，但其數值理論卻無法有效處理介質的異質性及異向性。格林元素法(green element method, GEM)承襲 BEM 的數學基礎，但利用格林第二等式(The second Green's identity)及格林函數的通解，可有效地將網格中的質量守恆轉換成網格邊界上的法線通量，並同時可處理介質的異質性及異向性。針對低母岩滲透性的離散裂隙岩體，本研究目前已完成穩態地下水流的 BEM 數值理論，能夠處理的邊界條件包含 Dirichlet 及 Neumann 邊界條件，Robin 邊界條件則仍在繼續發展。利用 Python 程式語言，本研究已發展出三維裂隙岩體地下水流數值模擬的 BEM 數值模擬程式，並考慮數個基本測試案例，以及文獻中發表的基準案例，將本研究的 BEM 數值解，與商用軟體 FracMan 7.4 版的數值模擬結果互相比對，發現 BEM 解與 FracMan 解完全一致。後續研究方向首先要處理本研究 BEM 程式的計算效率，以期能夠適用於大尺度裂隙岩體中的地下水流數值模擬。BEM 理論發展部分，則將持續精進數值理論，使其能夠考慮 Robin 邊界條件，以及處理暫態項、涵/源項，以及裂隙與圍岩之地下水交換。此外，將持續利用文獻中的基準案例，全面性驗證此 BEM 數值模擬程式，並將此程式應用於大尺度裂隙岩體中的地下水流數值模擬。

中文關鍵字：格林元素法、離散裂隙岩體、地下水流

Challenges in the preservation of disaster remains-Example of the Chelungpu Fault Preservation Park

Cheng-Shing Chiang¹、Tyan-Ming Chu²、Wen-Hao Chou³、Shin-Ho Lee¹、
Jer-Fu Wang⁴

(1)National Museum of Natural Science、(2)Pro-Vision Environmental Engineering Corporation、
(3)Center for Ecology and Environment, Tunghai University、(4)Department of Civil and Disaster
Prevention Engineering, National United University

Taiwan has had a major earthquake every 30-60 years. Therefore, earthquake museums were needed for long-term earthquake education and geoheritage exhibitions. Earthquake museums highlight disaster risks and preparedness information. The purpose of preserving earthquake remains is to educate visitors about Taiwan's natural disasters and provide a memorable experience that inspires earthquake preparedness.

The Chushan trench across the Chelungpu fault is a good example of Chichi Earthquake rupture. This trench has recorded the five most important earthquake events on the Chelungpu fault. Although the Chelungpu Fault Preservation Park (CFPP) has worked to preserve these earthquake remains, they have been threatened due to seepage over the years. The aim of this paper is to analyze trench seepage and explore the development of an anti-seepage model, to provide a reference for earthquake remains and museum development worldwide.

Keywords: earthquake museum, inheritance protection, earthquake remains, seepage

溫度變化與黏土礦物傳輸特性之改變

梁書嚴¹、林文勝²

(1)中興工程顧問社、(2)臺灣大學

國際原子能總署建議高放射性廢棄物應採深地質處置方式，利用深部岩層的隔離阻絕特性，將用過核子燃料深埋於 300 至 1000 公尺的地下岩層中，藉由工程與天然障壁所形成的多重障壁系統，可有效圍阻或遲滯核種的外釋與遷移，使用過核子燃料的放射性不致影響人類健康與環境安全。多重障壁是指利用廢棄物包件、緩衝材料與回填材料共同構成之工程障壁，與處置母岩構成之天然障壁，所形成的層層保護，利用隔離、遲滯等原理，確保放射性廢棄物衰變到無害的程度，並避免影響生物圈環境。

工程障壁中的緩衝材料多使用膨潤土為主要成分，因膨潤土具有非常低的導水特性、非常好的回脹能力，並具有高吸附性，可以遲滯核種進入到自然界中，而用過核子燃料產生的衰變熱，可能導致的緩衝材料劣化或是發生變質，溫度低時膨潤土吸水膨脹，孔隙水進入到膨潤土中成為層間水，溫度升高會使膨潤土釋出水分子到孔隙之間成為孔隙水，並導致膨潤土本身體積收縮，此時緩衝材料的孔隙率就會升高。傳統討論核種傳輸的模型，通常使用緩衝材料的總孔隙率，並未修正孔隙率對核種傳輸的影響，本研究依照我國核廢料之燃耗使用 COMSOL Multiphysics 模擬早期失效中工程障壁系統與母岩中的熱分布情形，同時修正孔隙率，計算不同時間段的孔隙率變化與核種傳輸的情形，並使用有吸附能力與有無吸附能之核種分別進行分析，結果顯示修正孔隙率後，所得之濃度穿透曲線較為保守，在未來的安全分析中可朝此方向同步進行修正與結果分析。

中文關鍵字：孔隙率、膨潤土脫水、核種傳輸、功能安全評估。

利用氫氧同位素估算馬槽河流域地下水平均滯留時間以及其意義

陳奕伶¹、郭欽慧¹

(1)中國文化大學地質學系

估算與建立區域地下水平均滯留時間，是瞭解區域水化學與地下水補注的關鍵，但過去相關研究較少，尤其是山區更少。因此，本研究嘗試利用 201208-201408 期間，3 口位於大屯火山群馬槽流域中監測井（TB-MW26、TB-MW29、TB-MW30）之地下水穩定氫氧同位素，分別估算各井之地下水平均滯留時間，藉此研判區分流域地下水補注來源與機制。結果顯示三口井的 D-excess 值相近，落在 20~22 之間，顯示主要補注來自於同一來源同一時段；而地下水平均滯留時間分別為 27、57、73 天，代表本區域平均滯留時間都相對短暫，意味著補注相當快速。另外，由穩定氫氧同位素值擬合曲線之週期及振幅變化，發現 TB-MW29 與小油坑雨水擬和度高，顯示本水井主要補注來源為天水；而 TB-MW26、TB-MW30 的穩定氫氧同位素值擬合曲線之週期及振幅變化與小油坑雨水相似度降低，顯示 TB-MW26、TB-MW30 除了天水的補注之外，另有其他補注來源或機制參與其中。經比對空間關係，顯示 TB-MW26、TB-MW30 是位於馬槽溪南岸而 TB-MW29 位於北岸。透過地下水平均滯留時間發現本研究流域中地下水的天水來源雖然相同，但是卻有不同的補注機制，並且根據地下水平均滯留時間可以界定出地下水流上下游的關係。預計進一步結合水化學資料，根據主要離子組成和離子濃度變化的異同，建構完整區域水文地質。

中文關鍵字：地下水、穩定同位素、平均滯留時間

以界面活性劑處理受石油碳氫化合物污染土壤：

吸附及傳輸效應評估

周心怡¹、李信佳²、何詠詩¹、許藝騰²、高志明¹

(1)中山大學環境工程研究所、(2)和協環保科技股份有限公司

油品洩漏為國內外土壤及地下水污染的主要原因之一，而國內屬於油品污染的場址亦有增多之趨勢。當發生油品洩漏時，石油碳氫化合物會經由土壤逐漸滲入到含水層並且形成非水相溶液，並緩慢溶解至地下水中，造成整治困難。界面活性劑淋洗法因其整治效率與經濟效益較高，是常用的現地修復技術，對於土壤中石油碳氫化合物的去除有較好的處理效果。界面活性劑能降低油水界面張力，增加碳氫化合物的溶解性，進而增加石油碳氫化合物的去除效果。本實驗針對十二烷基硫酸鈉(Sodium dodecyl sulfate, SDS)，烷基苯磺酸鹽(Linear Alkylbenzene Sulfonate, LAS)，脂肪酸甲酯磺酸鈉(Methyl Ester Sulfonates, MES)及生物可分解型的 SP25 四種界面活性劑在土壤中的吸附及傳輸效應進行試驗及評估。若界面活性劑在土壤中吸附消耗較低，則其在現地整治中傳輸範圍較大，但亦可造成溶出之污染物通過優勢逕流導致非預期的傳輸，故選擇合適的界面活性劑進行現地整治必須事先審慎評估。SDS, LAS 及 MES 屬於陰離子型的界面活性劑，SP25 屬於非離子型界面活性劑，其對脂類親和性較佳。本研究選用之四種界面活性劑，SDS, LAS 已有許多文獻及市售產品標章可證明生物分解性大於 95%，MES, SP25 主成分均為天然植物提取且經測試生物分解性可大於 98%，具有更高的生物降解性，選用上列界面活性劑可避免在整治期間對環境造成二次污染，達到環境友善的整治目標。研究結果顯示，界面活性劑注入後表面張力由 72 降至約 36 mN/m，此時 SDS, LAS, MES 及 SP25 所需濃度分別為 0.08%、0.2%、4%及 0.025%。本研究選用 3%界面活性劑進行管柱淋洗與吸附實驗，管柱試驗乾土壤重量為 580 g，土壤孔隙體積(pore volume, PV)為 250 mL，SDS, LAS 及 MES 出流水 2 PV 時的表面張力已達到原界面活性劑的表面張力，顯示藥劑已經貫穿土壤。由於 SP25 是非離子型，在土壤中的吸附消耗量較大，因此 SP25 在 6 PV 才達到貫穿結果，顯示非離子型界面活性劑與有機污染物有較強的親和力。石油碳氫化合物在環境中屬於非極性物質，因此石油碳氫化合物對非離子型 SP25 親和力高於其他三種陰離子型界面活性劑。測試結果顯示，SP25 能更有效率達到使石油碳氫化合物由土壤中脫附和溶出的目標，SP25 之吸附特性也使藥劑於現地灌注上較不會透過優勢逕流導致非預期的傳輸，可準確灌注於計算好之孔隙體積中，生物分解性之測試結果仍以 SP25 最佳，故綜合評估結果，SP25 應較適合使用於現地整治。

中文關鍵字：石油碳氫化合物、界面活性劑、吸附、土壤污染

HYDRUS-2D 模式應用於地下水熱傳遞之研究

秦淑娟¹、倪春發¹

(1)中央大學應用地質研究所

溫度作為示踪劑可反映地下水流及熱傳遞的動態過程，與化學示踪劑相比，溫度示踪劑可以減少對環境的負面影響，為增進推估含水層內水流及溫度傳遞行為之精確度，本研究通過砂箱實驗以及 HYDRUS-2D 數值模式模擬，分析水溫、水流及熱傳輸的過程，探討 HYDRUS 模式之水流、溫度傳輸模型及其反推估模式。砂箱試驗所填充之材料土壤特徵參數及熱傳導性質透過室內實驗取得，包含水力傳導係數、非飽和土壤 van Genuchten 特徵曲線、熱導率及比熱容，再將參數帶入 HYDRUS-2D 內進行反推估計算，以校正與水流相關之參數。再將校正後參數輸入數值模式，模擬地下水流與溫度變化。砂箱試驗於室內恆溫環境下進行，砂箱尺寸為 155*55*2 cm³，砂箱左右各有一水槽調節水位，使左右邊界皆為定水頭，分別為 40 公分及 20 公分，砂箱中的水溫接近於室內溫度約 18 度，在離左水槽水平距離 35 公分、離砂箱底部垂直距離 25 公分處，以單點的方式注入熱水，使用蠕動馬達以流量每秒 0.642 立方公分持續注水 5 小時，以觀察相對高溫水注入相對低溫水中的熱傳遞軌跡。

中文關鍵字：溫度示踪劑、van Genuchten 特徵曲線、HYDRUS-2D、砂箱實驗



A two-dimensional analytical model for multispecies transport with rate-limited sorption

Nguyen Thi Thu Uyen¹、Jui-Sheng Chen¹

(1)Institute of Applied Geology, National Central University

In recent years, most studies using an analytical model for multispecies assume relationship between dissolve phase and sorbed phase was equilibrium controlled. However, some previous researches developed one-dimensional model for rate-limited sorption demonstrated that the rate-limited sorption process can affect the accurate prediction of contaminant concentration in the subsurface environment. Nevertheless, a multidimensional model would be more suitable in practice and have more applications. This study introduces an analytical model for the two-dimension transport of degradation contaminants under the action of rate-limited sorption. The system of partial differential equations has been analyzed into linear algebraic equations through the sequential application of the Laplace transforms, the finite Fourier transform, generalized integral transform and their inverses. The contaminant concentration of each species is calculated based on this linear algebraic equation. This study determined transport of the contaminants with different sorption rates of 0.05 year⁻¹, 0.5 year⁻¹, 5 year⁻¹ and 20 year⁻¹, respectively. The results of the analytical model have been compared with numerical model, with high similarity proving the accuracy and reliability of the new model. In addition, the sorption rate affects the range of spread of the contaminants. With a high sorption rate, the extent of the plume is narrowed and the concentration level also decreased. Moreover, the lower the sorption rate is, the higher the concentration predicted for pollutants is expected. The results of the rate-limited sorption model approach the equilibrium-controlled sorption model when the sorption rate reaches 20 year⁻¹.

Keywords: analytical model, rate-limited sorption, multispecies transport, advection-dispersion equation

Using groundwater flow and land subsidence simulations to assess the geological model uncertainty

Nguyen Quoc Cuong¹、Shih-Jung Wang¹、Duc Huy Tran¹、
Yonatan Garkebo Doyoro²

(1)Institute of Applied Geology, National Central University、(2)Department of Earth Science,
National Central University; International Graduate Program for Earth System Science between
National Central University and Academia Sinica

Land subsidence is a phenomenon that currently attracted great noticed around the world, especially in populated and large building areas. Studies and predictions of land subsidence rate and understanding the factors that cause soil compaction are widely studied and understood. However, the uncertainty in the geological model, as well as the parameters, which may affect the groundwater flow and subsidence are less considered in the literature. The software GMS (Groundwater Modeling System) was used to operate the groundwater flow and land subsidence simulations to quantify the geological model uncertainty. A synthetic geological model was constructed as the original model. Different numbers of borehole data extracted from the original model and a combination of the data from resistivity tomography and borehole were conducted to build several new 3D geological models. 3D transient groundwater flow model (MODFLOW) and subsidence model (SUB) are developed based on the constructed geological models. The root mean square error (RMSE) and coefficient of determination (R-Square) using the reconstructed models' results compared to those of the original model were calculated to assess the geological model uncertainty. The results showed that using resistivity tomography data with the correction of boreholes data showed the best result than only using different numbers of borehole data. The results revealed an acceptable RMSEs (2 mm) and R-square value (approximate 0.9) in land subsidence simulation. The results also indicated that the prescribed boundary condition dramatically affects the results of subsidence simulation, as well as the value of hydraulic conductivity significantly affects the delay behavior in compaction calculation. Based on these results, geologists can assess the appropriate number of boreholes and combine the geophysical results to mitigate the geological model and parameter uncertainties to a specific study area.

Keywords: geological model uncertainty, land subsidence, groundwater flow,
borehole number, geophysical and geological fusion.

降雨山崩即時系統之修訂

簡留玄¹、黃春銘¹、李璟芳¹、朱偉嘉²、林錫宏²、紀宗吉²

(1)中興工程顧問社、(2)經濟部中央地質調查所

本研究精簡經濟部中央地質調查所「降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新」計畫建置之「降雨誘發山崩預警資訊系統」，將斜坡單元警戒化整為 4 個不同尺度(斜坡單元、村里、鄉鎮及縣市)，並更名為「降雨山崩即時系統」(RiLRS)，以供各單位防災整備參考。

本研究擬將台灣中部高山區納入「降雨山崩即時系統」之警戒範圍，因此，針對高山區之山崩災例及斜坡單元山崩潛勢進行增補。山崩災例部分，台灣中部高山區人跡罕至且交通不便，本研究將盡可能蒐集山區道路沿線及有人居住的聚落附近之崩塌地資訊；斜坡單元山崩潛勢部分，需將高山區斜坡單元山崩潛勢補足，本研究將使用經濟部中央地質調查所「山崩與地滑地質敏感區進階劃定資料增建」計畫產製之全臺斜坡單元，重新調整北、中、南、東等 4 區之斜坡單元山崩潛勢。

本研究以既有現地調查資料及前述新增之山崩災例，針對北中南東 4 個分區不同潛勢等級的雨量門檻值重新修訂，修訂後之雨量門檻值將回饋至降雨山崩即時系統，於梅雨、汛期等易致災季節應證門檻值之正確性，以利後續滾動更新，達到防災目的。

中文關鍵字：山崩、山崩潛感、雨量門檻值

莫拉克颱風後高屏河流域崩塌地多時序變異性分析

李品毅¹、林慶偉¹、巫光軒¹、劉守恆¹

(1)成功大學地球科學系

近二十餘年，台灣遭逢許多重大土砂災害之侵襲，邊坡崩塌的消息時有所聞，且降雨引發的崩塌一再發生，可能與極端降雨事件效應有關。故本研究選定 2009 年莫拉克颱風作為極端降雨事件，以探討極端強降雨的效應對於其後續降雨事件引發之崩塌的影響與影響時長，且 2009 年莫拉克颱風雨量多集中於台灣南部地區，所以本研究以高屏河流域作為分析區域。

本研究選定高屏河流域計約 3,320 方公里為分析區域，利用自 2008 年起至 2019 年間 20 幅之 SPOT 衛星影像，結合數值地形，以人工判釋圈繪崩塌地，影像判釋結果持續追蹤崩塌地發生的位置及其演育趨勢，並與 2009 年莫拉克風災至 2019 年之間，雨量事件累積雨量達到 500 mm 的雨量資料與崩塌判釋結果進行迴歸關聯性分析，以了解高屏河流域崩塌地歷經莫拉克風災極端降雨事件後的崩塌發育時序變化與分布特性。本研究工作項目及分析之重點包括：(1)崩塌目錄建置；(2)坡面單元崩塌率變異歷程分析：新生、擴大或復育；(3)雨量與崩塌關係分析。

分析結果顯示各區域新生崩塌率、舊有崩塌擴大率及新增崩塌率與有效降雨雨場之累積雨量、降雨延時及最大降雨強度之迴歸關聯性分析，各崩塌類型有將近 3 年期間受到莫拉克颱風影響使崩塌資料與雨量相關性較低，故莫拉克效應影響期間為 2009 年~2012 年，共計 3 年。因此將莫拉克颱風效應影響後(2013 年~2019 年)之舊有崩塌擴大率與累積雨量及最大降雨強度進行迴歸關聯性分析。結果顯示莫拉克颱風效應影響後之舊有崩塌擴大率與累積雨量及最大降雨強度之迴歸關聯性具有正相關之趨勢。

中文關鍵字：莫拉克颱風、高屏河流域、極端降雨、崩塌、變異分析

應用 Sentinel-1 衛星資料瞭解 2020 日本九州水災

王聖東¹、吳善薇¹

(1)中國文化大學地質學系

全球暖化和極端氣候的影響下，短時強降雨、滯留梅雨鋒面和颱風事件日益增加，導致區域性旱澇異常，以日本為例，較常見的是水災，研究水災有多種方法，以現地調查和空拍調查為主，而本研究則應用 Sentinel-1 衛星調查。Sentinel-1 為歐洲太空總署哥白尼計畫下之首任務，分別由 1A 和 1B 所組成，C 波段成像，重複觀測週期為 6 天，不受日夜和天氣影響，資料密度和 Sentinel-1 前瞻式合成孔徑雷達技術-Terrain Observation with Progressive Scans SAR (TOPSAR) 可以滿足研究水災所需，另外，Sentinel-1 的產品有多種格式，本次所使用的為 Level 1 GRD 影像，並運用 ArcGIS 和 SNAP 軟體，前者為較為人知的地理資訊系統的商業軟體，後者為歐洲太空總署所提供的影像分析軟體，在進行 ArcGIS 分析之前衛星影像要先在 LINUX 系統下執行輻射地形校正的工作，校正後的影像才可以進行下一步的分析；在進行 SNAP 分析時校正工作相對 ArcGIS 簡單，因為在 SNAP 裡有內建輻射地形校正的功能，能直接進行分析，最後比較結果，以 2020 日本九州水災為例，經過初步分析，農地有明顯淹水的情況，可能導致當季農作物歉收，並呼籲政府作相對應的改善或規劃，避免重蹈覆轍。本研究利用兩筆相同觀測時間及地點的衛星資料，分別使用 ArcGIS 及 SNAP 分析後並與當地的災情報導進行比較，瞭解何種方法分析是最接近真實淹水狀況，提供給之後研究水災的人作為參考。

中文關鍵字：Sentinel-1 衛星影像、水災、日本九州

廣域大規模崩塌潛勢區之活動性評估與滑動面反演

簡呈展¹、吳俊龍²、郭志禹³、陳奕中¹、陳柔妃¹

(1)臺北科技大學材料及資源工程系、(2)行政院農委會水土保持局、(3)中央研究院應用力學中心

本研究使用合成孔徑雷達干涉技術(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)，應用 2007-2011 年 ALOS 雷達衛星觀測資料，計算全台 190 處大規模崩塌潛勢區之廣域地表變形資訊。由於 InSAR 技術所獲得為相對於雷達觀測方向(Line of sight, LOS)的變形量，與一般傳統測量所獲得的地面資料不同，而全台為數眾多大規模崩塌潛勢區之地表資料複雜、不易解釋。本計畫以 ALOS 衛星升軌運行方位(Ascending orbit)之方位角為 350 度為界，考量衛星觀測幾何所造成的誤差，190 處大規模崩塌潛勢區內有 113 個邊坡坡向朝東，而 77 個邊坡坡向朝西，在進行大規模崩塌活動性評估時，將其不同坡向之地表變形量轉換到坡面運動位移，有助於進行活動性計算與排序。

本研究提出大規模崩塌潛勢區位之活動性指標(Landslide Active Index)進行崩塌活動性計算，分別為「崩塌面積活動性指標」，其物理意義為單位面積之平均下降值，以及「觀測點活動性指標」，其物理意義為單位觀測點下降量。依據風險矩陣的概念，經整合排序之後全台 190 處中計有 36 處高活動性，佔 19%。其次，指活動性中者，共計 37 處，佔 19%。低活動性共計有 117 處，佔 62%。

本研究利用 InSAR 地表變形資料，進行南投縣-仁愛鄉-D066 大規模崩塌潛勢區之滑動面反演。首先應用最小平滑曲面模式進行破壞面推估，可得最大深度約為 69 公尺，崩塌區平均深度約為 30 公尺，最大深度位置約與崩塌體重心位置重合，推估崩塌滑動面平均坡度約為 29.2 度。同時應用彈性錯位模式，獲得最大深度約為 37 公尺，對比二種不同反演模式所推估之破壞面深度相差 7 公尺。

中文關鍵字：合成孔徑雷達干涉技術、ALOS 雷達衛星影像、活動性指標、滑動面反演分析

整合地表與地中資料建立光華崩塌地之工程地質力學模式

林于超¹、李忠勳¹、林承翰¹、林銘郎¹

(1)臺灣大學土木工程學系

光華崩塌地位於桃園市復興區 T002 大規模崩塌範圍內，自 2018 年起持續有變形徵兆，並已規劃完成兩階段的整治工程，以減少地表水入滲與排出坡體內之地下水。然而從今年一月底起，該邊坡之活動性突然劇增，相關權責單位也在 1 月 30 日成立了災害應變小組，除了加強對此地區之監測工作，同時也封閉光華農路與堆置貨櫃於光華道路，提前預防崩塌發生可能之危害。

過去針對光華崩塌地之破壞模式已有前期調查報告，但較少有針對地中原始資料之深入探討。目前由於邊坡活動性旺盛，地中監測儀器難以維持，故相關部門改採取地表監測為主。因此，本研究擬整合現有的地表與地中資料，藉由遙測影像資料瞭解崩塌範圍以及不同時期的地貌變遷；搜集多期地形資料瞭解大尺度的地形特徵(如蝕溝、水系或節理)，輔以近期高精度地表測繪資料建構可靠的變形位移剖面；地質資料方面，將透過野外調查區域之地層位態與節理分布，釐清近期地表地貌之變形徵兆，並藉由 2018 年與 2019 年鑽探取得之岩心，重新進行岩心判釋與岩體評分，以評估該邊坡之工程地質參數。

透過野外調查與地表地中監測資料，本研究最終將建立光華崩塌地之三維工程地質力學模式，並據此提出一合理的破壞機制。此三維工程地質力學模式將可於未來應用在建立數值分析模型，進行邊坡穩定分析或運移堆積分析，以求探討監測儀器佈設與整治工法設計之有效性。

中文關鍵字：岩石邊坡、光華崩塌地、地表地中資料、野外調查、三維工程地質力學模式

臺 20 線 142K+500~144K 路段多期光達高精度數值地形分析應用

王貽德¹、何岱杰²、許書凱³、黃貞凱³、林志交⁴、林慶偉¹

(1)成功大學地球科學系、(2)臺灣電力股份有限公司、(3)黎明工程顧問股份有限公司、
(4)中興測量有限公司

拉克風災重創臺 20 線南橫公路，過去 10 年公路總局第三養護工程處持續不斷進行道路災修及重建工程，但仍有部分路段強降雨後持續破壞，甚至擴大破壞規模。且臺 20 線南橫公路在海拔 1,000 公尺以上路段邊坡陡峭，人力不易抵達，無法以人力巡檢或調查道路邊坡狀況。

為此本計畫在臺 20 線南橫公路 142K+500~144K 利用光達高精度數值地形分析潛在大規模崩塌及邊坡微地形特徵並配合現場調查檢核微地形特徵；以 2011 年與 2019 年光達高精度數值地形之變化分析地表地形變化、可能滑動面深度與潛在崩塌土方量。

計畫成果顯示在臺 20 線南橫公路 142K+500~144K 路段多重山脊、張力裂隙、坡腹隆起與趾部侵蝕等潛在大規模崩塌微地形構造明顯；現場調查發現重力變形與右移斷層特徵；透過以 2011 年與 2019 年光達高精度數值地形之變化分析顯示潛在大規模崩塌可能滑動深度約 55 公尺，涵蓋道路里程 143K~144K，該區域在 2011 至 2019 年間坡趾水平退縮約 16 公尺，潛在崩塌活動面積約 70 公頃，潛在崩塌土方量約 38,500,000 立方公尺。

中文關鍵字：高精度數值地形、多期高精度數值地形分析、潛在大規模崩塌

台灣東北部地區潛在大規模崩塌精進判釋暨補充調查

陳佳芬¹、巫光軒²、羅百喬³、林慶偉⁴、秦德¹、謝有忠⁵

(1)聯合大地工程顧問公司、(2)財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會、

(3)臺北科技大學資源工程所、(4)成功大學地球科學系、(5)經濟部中央地質調查所

本計畫名稱為「潛在大規模崩塌精進判釋暨補充調查」，利用空載雷射掃瞄 (Light Detection And Ranging, LiDAR) 產製之高精度數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，與同步拍攝之正射影像，進行精進判釋及現地調查，自 106 至 110 年以分年分區方式完成相關判釋、調查、分析與評估等工作成果。工作項目為(1)既有區域面積 10 公頃以上潛在大規模崩塌之精進判釋、(2)既有區域面積 2 公頃以上至 10 公頃以下潛在中等規模崩塌之補充判釋及現地調查、(3)新增區域坡地聚落潛在大規模及中等規模崩塌判釋及現地調查、(4)新增重點區域的地質敏感特性評估。完成工作成果資料可提送相關防減災的權責機關，做為各單位進行規劃工程治理、監測預警、土地管理與居民遷移等相關作為之參考。

本年度(109 年)為第四年工作，完成圖幅數量為 121 幅比例尺 1/5,000 精進圖幅與 50 幅比例尺 1/5,000 新增圖幅，潛在大規模崩塌精進判釋結果總計為 273 處，其中 176 處為前計畫判釋成果，97 處為本計畫判釋成果，在 273 處潛在大規模崩塌之中，有 88 處可能影響 34 處聚落住戶安全；潛在中等規模崩塌精進判釋結果總計為 436 處，有 54 處可能影響 12 處聚落住戶安全。

於完成 50 幅新增圖幅重點區域的地質敏感特性評估，對於環境地質敏感因子資料進行檢查判釋，其結果為山崩 761 處，土石流 136 處，順向坡 1122 處，河岸侵蝕 55 處，向源侵蝕 121 處，潛在大規模崩塌 31 處與潛在中等規模崩塌 111 處。另完成 115 處聚落安全評估，其結果為 28 處聚落評估為安全，86 處聚落評估為有條件安全，僅 1 處聚落評估為不安全。

本研究感謝經濟部中央地質調查所「結合大規模崩塌地質防災資訊服務計畫」支持。

中文關鍵字：空載雷射掃瞄、數值高程模型、潛在大規模崩塌

運用高精度空載光達地形探討 2016 年紅葉崩塌後續地形演育

區雪儀¹、林冠璋¹、林志交²、鄧嘉欣²、吳俊龍³、陳奕中⁴、陳柔妃⁴

(1)成功大學地球科學系、(2)中興測量有限公司、(3)行政院農委會水土保持局、

(4)臺北科技大學材料及資源工程系

2016 年 9 月莫蘭蒂強烈颱風帶來累積雨量超過 600 mm 的豪大雨，導致位於台東縣延平鄉紅葉村邊坡發生大面積崩塌，其後續產生的大量土石，導致土石流、破壞村莊內道路與民宅。由於大規模崩塌具破壞力強、影響範圍大之特性，且通常伴生土石流等複合型災害之發生，紅葉村土石流掩埋事件更再次喚起國內對大規模崩塌災害的重視與關注。由於崩塌邊坡先天的地表特性及地質模式，是瞭解崩塌發生條件的根本基礎，然而在崩塌後期邊坡的地形發育更是鮮少為人探討。為瞭解紅葉崩塌事件後續的地形演育，本研究利用 2020 年 0.5 公尺高精度空載數值地形模型，藉由產製坡度圖、紅色地圖等基礎資料，瞭解大規模崩塌邊坡之地形演變，並配合多期數值地形模型進行崩塌特徵、線性構造比對，以及土方量體計算等，再配合野外現勘進行比對室內分析結果。本研究初步成果顯示，紅葉村北方邊坡上的蝕溝發育，受到區域構造影響，其岩體弱面是主要控制崩塌面雙溝同源的因素，而莫蘭蒂颱風強降雨則是誘發大規模崩塌的外在因素，以致於造成大面積岩屑崩滑並引發土石流災害。為了探討崩塌前後地表變形特徵，本研究後續將加入多時序合成孔徑雷達干涉技術(Multi Temporal InSAR, MT-InSAR)配合 2007-2011 年 ALOS 以及 2014-2021 年 ALOS-2 雷達衛星，產製多時序地表變形資訊，配合數值模擬方法針對紅葉崩塌邊坡的活動性與破壞機制，進行更深入的探討與分析。

中文關鍵字：地表地質作用、空載光達數值地形模型、地質災害、紅葉滑坡

運用雷達極化與空載光達地形特徵評估自動化崩塌圈繪之可行性

李銘泓¹、李恩瑞¹、陳柔妃²、陳奕中²

(1)成功大學地球科學系、(2)臺北科技大學材料及資源工程系

台灣為世界少數之複合性自然災害地區，除了地狹人稠、過度開發外，地質條件複雜、岩體脆弱以及全年降雨事件集中等，都是造成山崩災害的主要因素。以 2009 年莫拉克獻肚山山崩為例，在 72 小時之內下超過全年度的降雨，邊坡土壤含水量達到飽和、誘發山崩。期間崩塌量體在楠梓仙溪形成大型堰塞湖，爾後河水高漲造成潰堤、沖毀小林部落，造成四百餘人罹難。為避免憾事再度重演，如何快速、有效地掌握崩塌區域、影響範圍等，尤為重要。

傳統上崩塌地的劃定多半使用各種載具搭配光學影像儀器，利用事件前後影像之變異程度進行崩塌判釋研究。然而災後天氣通常不佳、雲層覆蓋率高，不利於快速取得災區之光學衛星，了解崩塌地現況。合成孔徑雷達則是利用雷達微波偵測地表，其全時、全天候的影像拍攝，較不受天候及雲層覆蓋影響，得以取得更多災後立即資料，更適用於災後判釋及協助救援。

本研究使用日本宇宙航空研究開發機構(JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency)於 2006 年發射之 ALOS/PALSAR 衛星，透過衛星雷達影像的雙極化成像(Dual-polarization)，將水準極化(Horizontal polarization)與垂直極化(Vertical polarization)之水平發射水平接收(HH)和水平發射垂直接收(HV)偏極化影像進行融合。為了增強雷達影像極化特徵，本團隊發展一套數值分析模式，透過提取每一像素之極化值，針對不同地表特徵物進行極化值分析，透過統計可快速分辨植被覆蓋區及裸露地。

以旗山流域為例，利用莫拉克風災前後雷達極化影像，可快速識別出絕大多數明顯裸露地，提取該裸露地範圍之極化影像、坡度圖、紅色地圖等地形特徵。嘗試尋找合適門檻值，建立符合該區域裸露地篩選模式，作為未來新生裸露地快速篩選之依據。同時結合雷達影像雙極化與高精度數值地形模型，為進一步進行深度學習中自動化判釋邊坡崩塌提供良好前置資料。

中文關鍵字：合成孔徑雷達、雙極化、ALOS/PALSAR、崩塌判釋、深度學習

Evaluating logistic regression and random forest for nowcasting modeling of earthquake-triggered landslides in Taiwan

Jay Liu¹、Ray Y. Chuang¹、Bing-Sheng Wu²

(1)Department of Geography, National Taiwan University、(2)Department of Geography, National Taiwan Normal University

Earthquake-triggered landslides can cause severe hazards, especially for plate boundary zones like Taiwan where has a lot of earthquakes occur every year. Thus, it is important to monitor and to predict earthquake-triggered landslides in such areas. In order to rapidly estimate landslide locations in near real-time, nowcasting is an effective way to provide possible landslide distributions when an earthquake happened. In this study, we aim to assess the predictive ability of two models, which were built by logistic regression and random forest methods. We use landslide data induced by the 1999 Chi-Chi earthquake as training data, and the Jueili earthquake-triggered landslide as the validation dataset. First, we compile parameters from the literature and produce these variable data at the spatial resolution of 40 m. Second, we access different combinations of parameters in the logistic regression and decide how many trees and how many variables will be taken in a tree in random forest. Third, we use indicators of model performance to evaluate the models. We use sensitivity and AUC to evaluate model performance. According to our result, the sensitivity in training data is 0.93 for logistic regression and is 0.94 for random forest. For the validation, the sensitivity is 0.83 for logistic regression and is 0.65 for random forest. The results show that the logistic regression model has its advantages for the nowcasting, and the random forest approach may not be as good as logistic regression based on the validation.

Keywords: near real time, seismic-induced, machine learning

從廣域地表變形行為探討台二甲 11K 路段之崩塌機制

陳致憲¹、陳奕中¹、陳柔妃²

(1)中國文化大學地質學系、(2)臺北科技大學材料及資源工程系

台 2 甲串連了陽明山主要多個觀光景點，更是陽明山對外連接的主要道路，而近年來坍方頻傳，經常造成道路交通中斷。本研究將結合時域性相關點合成孔徑雷達干涉技術技術，並利用多期 ALOS、ALOS2 影像之地表平均變形成果產製該崩塌區之地表長期平均形變量，配合空載光達地形特徵之判釋成果，藉以釐清崩塌區域內潛在活動區塊之時空變形特徵，並再進一步分析在火成岩上的淺層崩塌機制。

本研究顯示 TCP-InSAR 分析方法，適用於大範圍、長期緩慢運動之邊坡，能夠在光達地形定性描述邊坡特性之餘，提供量化的地表變形成果，有助於建立廣域科技應用於山區道路養護管理。相較初期投入大量人力及時間進行現地調查，更為快速、經濟獲取定量化地表變形資料，並可以提供細部調查及工程整治作為參考依據。同時易致災路段之時序變形資料，其變形趨勢及其分區分塊特性，可整合於現有道路邊坡分級規範，透過整合於道路邊坡管理系統，有助於後續規劃修築工程以及設置災害管理值。

中文關鍵字：空載光達、合成孔徑雷達干涉技術



「見微知著，引以為鑒」以臺鐵猴硐崩塌事件端看區域構造與

地表作用的影響

姜佳辛¹、陳奕中²、陳柔妃²

(1)中國文化大學地質學系、(2)臺北科技大學材料及資源工程系

臺灣位處菲律賓板塊和歐亞板塊的交界處，受到活躍的造山運動影響，地震活動頻發，且屬於副熱帶季風氣候，夏季降水豐沛，容易致使邊坡不穩，發生落石、崩塌、土石流等自然災害，危及鄰近的交通路線與設施。然而在臺灣環島鐵路動線中，宜蘭線為連接東部幹線的重要樞紐，沿線地勢陡峭、存在多處潛在崩塌。交通部臺灣鐵路管理局為了加強鐵路邊坡安全管理，自 2016 年起委託聯合大地工程顧問公司置執行邊坡全生命周期維護管理，將全台主線、支線共 5073 處邊坡分為 ABCD 四級，並建置預警管理系統。本研究以 109 年 12 月 4 日發生在宜蘭縣瑞芳-猴硐間的坍方為例，應用日本宇宙航空研究開發機構(Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA)發射 L 波段的 ALOS、ALOS-2 雷達衛星，結合多時序合成孔徑雷達干涉技術(Multi-temporal InSAR, MT-InSAR)，針對鐵路軌道及其周圍環境產製長期地表變形速率，配合既有的邊坡分級產製邊坡量化。此次崩塌位處猴硐背斜軸部，地層年代為中新世大寮層，岩性以厚層砂岩與砂頁互層為主，數組發育良好的張裂節理，使得地表逕流容易沿著裂隙進入岩層，易成為潛在滑動面，使不穩定的塊體沿破裂面或是土岩界面滑落。由 InSAR 初步成果，發現在此次坍方上方存在一個古崩塌區，而鄰近褶皺軸部發育多處潛在崩塌或舊崩塌地，需要相關單位對周邊地區持續關注。

中文關鍵字：空載光達、多時序合成孔徑雷達干涉技術、數值高程模型地形、
邊坡分級

應用 Sentinel-1A/B 雷達衛星資料進行地表變形研究

陳奕中¹、蕭弘翊²、李若品¹、吳俊龍³、鐘啟榮³、陳柔妃¹

(1)臺北科技大學材料及資源工程系、(2)中國文化大學地質學系、(3)行政院農委會水土保持局

全球極端氣候之下，各地崩塌、地滑及土石流等地質災害事件頻傳，如何即時掌握各種坡地災害潛勢，進而化被動為主動，為當前防災科技上重要課題。近年來多元多尺度衛星監測方法有效地應用於各項地表變形觀測，其中合成孔徑雷達干涉分析技術(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)能夠快速獲取廣域地表變形資訊，全天候不受雲霧影響的特性，使得世界各國紛紛發射承載不同波段的雷達衛星。有鑒於此，歐空局自 2014 年即發射 C 波段 Sentinel-1A 衛星其再訪週期為 12 天，2016 年 Sentinel-1B 升空後，每 6 天即可獲取一幅雷達影像。本研究選用雷達衛星 Sentinel-1A/B，以桃園市-復興區-T002 光華崩塌地為例，現地監測儀器 2021 年 1 月初即發現邊坡變位速率具有顯著增加趨勢。為進一步釐清崩塌地活動性及機制，本研究藉由多時序合成孔徑雷達干涉技術(Multi Temporal InSAR, MT-InSAR)解算該區地表長期平均變形速率及累積變形量，結果指出光華崩塌自 2020/01/06 起，坡腹隨時間呈現逐漸下滑趨勢，2021/02/05 至 2021/02/11 期間伴隨多日累積降雨因素，坡腹加速下滑，累積變形量持續從 400 mm 增加至 700 mm，然另藉由 2010-2014 多期數值高程模型(DEM)之崩塌量體變化及地形反映出下邊坡之地質材料主要源於冠部岩體滑落累積於坡腹坡趾而成，因此至 2021/02/11 後於降雨停止後地表未有持續性活動情形。

中文關鍵字：合成孔徑雷達干涉分析技術、Sentinel-1A/B 雷達衛星、空載數值高程模型地形、多時序合成孔徑雷達干涉技術

應用 Sentinel-1A/B 合成孔徑雷達衛星進行大位移量之地表變形研究

陳奕中¹、蕭弘翊²、李若品¹、吳俊龍³、鐘啟榮³、陳柔妃¹

(1)臺北科技大學材料及資源工程系、(2)中國文化大學地質學系、(3)行政院農委會水土保持局

全球極端氣候頻傳，發生崩塌、地滑及土石流等地質災害事件日益漸增，如何即時掌握各種坡地災害潛勢，進而化被動為主動，為當前防災科技上重要課題。近年來多元多尺度衛星監測方法有效地應用於各項地表變形觀測，其中合成孔徑雷達干涉分析技術(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)能夠快速獲取廣域地表變形資訊，世界各國也紛紛發射不同雷達波段衛星，以期成為。有鑒於此，本研究選用 C 波段雷達衛星 Sentinel-1A/B，每 6 天即可獲取一幅全臺高時間解析度雷達影像資料。本研究區域為農委會水土保持局長期監測桃園市復興區光華崩塌地，自 2021 年初起該區定點監測發現邊坡變位速率有增加趨勢，為進一步釐清崩塌地活動性及機制，本研究藉由多時期合成孔徑雷達干涉技術(Multi Temporal InSAR, MT-InSAR)解算該區地表長期平均變形速率及累積變形量，結果指出光華崩塌自 2020/01/06 起，坡腹隨時間呈現逐漸下滑趨勢，2021/02/05 至 2021/02/11 期間伴隨多日累積降雨因素，坡腹加速下滑，累積變形量持續從 400 mm 增加至 700 mm，然另藉由 2010-2014 多期數值高程模型(DEM)之崩塌量體變化及地形反映出下邊坡之地質材料主要源於冠部岩體滑落累積於坡腹坡趾而成，因此至 2021/02/11 後於降雨停止後地表未有持續性活動情形。



結合 Sentinel-1 衛星與角反射器於新竹縣泰崗聚落之地表變形研究

李若品¹、吳俊龍²、陳奕中¹、陳柔妃¹

(1)臺北科技大學材料及資源工程系、(2)行政院農委會水土保持局

近年來合成孔徑雷達干涉分析技術(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)，有效地運用在自然災害管理、地表變形觀測領域，本研究選用 C 波段 Sentinel-1A/B 合成孔徑雷達衛星，每 6 天即能獲取臺灣的雷達衛星影像資料，因其位處於山區、植被茂盛，因此在前期 ALOS/ALOS-2 雷達衛星 InSAR 分析之分析成果中，在邊坡上挑選 5 處相對活躍區域，建置高強度且穩定反射的角反射器(Corner Reflector)，以利於精確辨認位置並提高其同調性。同時使用空載光達數值高程模型(Airborne LiDAR derived DEM) 進行構造地形分析，搭配航空照片以及現地調查成果，評估大規模崩塌潛勢區位之活動性特徵。

本研究使用多時域合成孔徑雷達干涉技術(Multi Temporal InSAR, MT-InSAR) 地表變形分析，產製該區域廣域之地表長期平均形變量與累積形變量，其成果顯示崩塌坡面呈現整體性下滑趨勢，並於坡度較大之地區具有較大的形變量，而在下邊坡地區同時受河流側蝕影響，具有持續擴大的現象，未來可能的致災方式為坡趾受坡面侵蝕溝發育及向源侵蝕影響，持續性地表潛變將導致坡體失去支撐，影響到崩塌地上方的泰岡聚落。配合現地調查結果顯示，位於大規模崩塌冠部泰崗聚落之擋土牆已受到剪切及拉張之現象、周圍鄰近地區房舍窗戶已明顯傾斜，位於巷邊坡路旁之排水溝已呈現平行邊坡之張力裂隙，部分路段地面更呈現圓弧形破壞。

誌謝 本研究計畫承蒙 行政院農業委員會水土保持局「109 年大規模崩塌潛勢區廣域地表觀測活動性評估」提供研究經費 謹致謝忱。

中文關鍵字：合成孔徑雷達干涉分析技術、Sentinel-1A/B 雷達衛星、角反射器、空載數值高程模型地形、多時序合成孔徑雷達干涉技術

InSAR 技術結合現地監測進行崩塌後續治理績效評估

蕭弘翊¹、紀建宇²、楊智堯²、張嘉興²、林志交³、陳奕中⁴、陳柔妃⁴

(1)中國文化大學地質學系、(2)臺灣世曦工程顧問股份有限公司、(3)中興測量有限公司、

(4)臺北科技大學材料及資源工程系

臺灣超過 70% 區域位於山坡地，且公路邊坡災害現象頻繁，除了位於岩體破碎的年輕造山帶外，在經年累月受到颱風及地震等自然災害侵襲之下，如何進行道路維護、確保山區公路邊坡安全，為政府相關單位所面臨之嚴峻課題。台 24 線三地門至霧台路段邊坡，受到 2009 年莫拉克風災重創後已逾 10 年，但每當歷經颱風降雨或地震事件時仍偶有落石、岩屑崩滑或路基下陷等災害發生。其中 34.5K 路段在莫拉克風災受創嚴重，而後又受 2010 年凡那比颱風影響，坡面及路基嚴重流失，雖然已針對此路段進行邊坡改善工程以及現地與監測，但井下儀器安裝後不久隨即發生損壞，說明此一邊坡部分地區持續活動、仍具災害復發可能，故需要進行長期觀測。

本研究利用空載光達數值高程模型(Airborne LiDAR derived DEM)針對台 24 線 34.5K 崩塌區域進行道路主體、上下邊坡及周遭環境之微地形分析，結合航空照片判釋與現地調查，進行治理工程後續災害潛勢及地表變形監測等工作，藉以釐清本區後續道路維護與邊坡災害預警應注意的重點區域。本研究使用 2007-2011 年 ALOS 衛星雷達 12 幅原始影像與 2014-2019 年 ALOS2 衛星雷達 15 幅原始影像，配合多時域合成孔徑雷達干涉技術(Multi Temporal InSAR, MT-InSAR)進行地表變形分析，以瞭解研究區域內長期地表變形分佈特性，進行邊坡後續治理績效評估，以期達成具體量化工程整治成效。

本研究初步使用兩期(2010 年與 2017 年)空載光達高精度數值高程模型，計算出兩期地形的量體變化，並結合 MT-InSAR 產製廣域之地表長期平均形變量與累積形變量，透過現地調查及現場監測儀器比對檢核，進行道路整體安全性評估、提供工程單位整治建議參考及檢核工作，加強道路通行之安全及後續管理維護。誌謝 本研究計畫承蒙 臺灣世曦工程顧問股份有限公司「台 24 線三地門至霧台路段科技應用調查與坡地穩定評估委託技術服務工作」計畫案提供研究經費 謹致謝忱。

中文關鍵字：空載光達、多時域合成孔徑雷達干涉技術、數值高程模型地形、變化分析

遙測技術監測澎湖外垵地滑之初探

曾奕銓¹、呂政豪¹

(1)澎湖科技大學觀光休閒系

海岸地滑為全球需面臨的一個重要課題，尤其是沿海低窪地區及島嶼。澎湖外垵村北側及西側地滑，高為 50 公尺，故本研究欲透過遙測技術進行地滑體的位移偵測，以瞭解其活動性與其特徵。初步研究成果顯示，本研究從 2019 年 5 月至今，進行 5 次的高精度無人機航空攝影測量，三軸精度分為控制點及檢核點，其中控制點平均精度為 X 軸(經度): $0.027\text{ m}\pm 0.010\text{ m}$ 、Y 軸(緯度): $0.025\text{ m}\pm 0.009\text{ m}$ 、Z 軸(正高): $0.032\text{ m}\pm 0.0105\text{ m}$ ；檢核點平均精度為 X 軸(經度): $0.036\text{ m}\pm 0.010\text{ m}$ 、Y 軸(緯度): $0.042\text{ m}\pm 0.028\text{ m}$ 、Z 軸(正高): $0.045\text{ m}\pm 0.020\text{ m}$ 。本研究採用差分數值地形模型分析(DoD)，從這兩年的初步監測發現，整體地滑體變動不顯著，指示可能為一穩定的崩塌地。但仍有局部落石發生在遊客經常活動的懸崖邊或因海岸侵蝕古崩積物所造成的小型弧形地滑；為檢視資料正確性，本研究採用全站儀進行現場點位測量，發現懸崖邊呈現微量下陷，兩者資料皆為吻合，顯示使用技術可信度高。後續本研究將持續收集更多期的遙測影像，運用光學影像配準與關連技術(COSI-Corr)與進行 DInSAR 多時距(長期、短期)的地表位移偵測，利用上述技術配合影像來源，可延長監測時間，找尋出其活躍區、穩定區，未來可作為開方觀光及防治的一項依據。此外，也將結合現地測量與蒐集相關環境資料，以了解地滑體的活動特徵與影響因素。

中文關鍵字：澎湖、海岸地滑、無人飛行載具、光學影像配準與關連技術