

出國報告（出國類別：開會）

參加2024年歐洲地球科學聯合會年會(EGU)

服務機關：經濟部地質調查及礦業管理中心

姓名職稱：梁嘉宏 技士

派赴國家：奧地利

出國期間：113年4月12日至113年4月21日

報告日期：113年6月19日

摘要

歐洲地球科學聯合會(European Geosciences Union, 簡稱 EGU)為世界盛名國際研討會，該會議每年集中全球各地地球科學領域之專家學者，於會議發表研究成果，並相互討論與技術交流。本次參加2024年 EGU 目的為發表本中心臺灣地下水資源調查成果，並藉由參與會議進行地下水資源調查技術研討，得以提升國內地下水調查研發能量。

本次發表論文以海報互動方式發表，題目為「Refining the Characteristics of Hydrogeological Settings of Ping-Tung Plain of Taiwan」，其目的為提高臺灣屏東平原地下水資源管理效益及利用效率，該研究重點瞭解屏東平原地區的水文地質架構，並評估地下水含水層特性與估算水文地質參數，研究結果顯示屏東平原地下水區水文地質條件佳；臺灣近年受到極端氣候影響，乾旱時地下水便成為重要備援水源，故本中心地下水資源調查之成果顯而重要。同時於會議期間參與地下水資源議題會議，也參與人工智慧科技應用於水文地質議題、全球水資源變遷、防災科技與應用、減碳與二氧化碳封存、遙測技術應用於水資源等多元與跨領域議題會議，獲得更多地下水資源相關領域知識與跨領域學識。本次會議受益良多，冀望能將相關獲得之經驗與技術，應用於本中心地質業務執行與推動。

目 次

一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得及建議.....	18

一、目的

歐洲地球科學聯合會(European Geosciences Union, 簡稱 EGU)為世界盛名國際研討會，該會議每年集中全球各地地球科學領域之專家學者，於會議發表研究成果，並相互討論與技術交流。

本次會議領域包含：大氣科學、生物地球科學、全球氣候變遷、冰凍圈科學、地磁與岩石物理-能源-資源與環境學、地球與太空科學資訊學、大地測量學、地體動力學、地球科學儀器和數據系統、地形學-地球化學-礦物學-岩石學和火山學、水文科學、海洋科學、行星與太陽系學、地震學、地層學-沉積學和古生物學、土壤科學、構造與構造地質學等學門領域。

根據大會官方資料2024年 EGU 大會共有20,979名專家學者與會，其中有來自全球116個國家共18,388名專家學者至維也納與會，另有來自全球109個國家共2,591名專家學者在線參會。本次參加2024年 EGU 目的為發表本中心臺灣地下水資源調查成果，並藉由參與會議進行地下水資源調查技術研討，得以提升國內地下水調查研發能量。

二、過程

表1、出國行程表

天數	日期	起訖地點	行程摘要
第1天	4月12日	臺灣至奧地利	啟程由臺灣桃園出發，直飛奧地利維也納。
第2天	4月13日	臺灣至奧地利	到達奧地利維也納；年會報到及資料準備。
第3天	4月14日	奧地利	參加歐洲地球科學聯合會年會(開始日)。
第4天	4月15日	奧地利	參加歐洲地球科學聯合會年會(第二日)。
第5天	4月16日	奧地利	參加歐洲地球科學聯合會年會(第三日)。
第6天	4月17日	奧地利	參加歐洲地球科學聯合會年會(第四日)，發表臺灣地下水資源調查成果。
第7天	4月18日	奧地利	參加歐洲地球科學聯合會年會(第五日)。
第8天	4月19日	奧地利	參加歐洲地球科學聯合會年會(結束日)。
第9天	4月20日	奧地利至臺灣	資料整理，返程由奧地利維也納出發，直飛臺灣桃園。
第10天	4月21日	奧地利至臺灣	抵達臺灣桃園。

(一)論文發表

本次發表文章為「Refining the Characteristics of Hydrogeological Settings of Ping-Tung Plain of Taiwan」及摘要如圖1及圖2，本論文為綜整本中心歷年調查及補充調查成果，進行文章撰寫及投稿，並以海報互動方式呈現，本論文透過本中心歷年及增補地質鑽孔與地球物理井測試驗，進行區域水文地質架構評估與檢討，並重釋屏東平原地下水區水文地質架構。同時透過本中心歷年及增補複井抽水試驗成果，分析含水層特性與估算水文地質參數，依整體評估結果顯示，屏東平原地下水區水文地質條件佳；臺灣近年受到極端氣候影響，乾旱時地下水便成為重要備援水源，故本中心地下水資源調查之成果顯而重要。

海報展示時間為4月17日8點30分至12點30分，張貼期間本人向多名臺灣、德國、瑞士及法國等國內外學者介紹本篇論文研究內容，其與學者討論內容重點摘錄如下：

1. 專家學者對臺灣水文地質調查資料如此詳細與豐富感到驚艷，如：臺灣平原地區水文地質鑽探每隔3至5公里，即有1孔(筆)地質鑽探資料。
2. 專家學者對於水文地質的屏狀圖非常感到興趣，甚至有3D 模擬建構的學者尋求索取檔案資料。
3. 專家學者對經濟部依地質法劃定地下水補注地質敏感區來保育地下水資源感到認同。
4. 專家學者讚賞本中心將歷年水文地質調查匯入臺灣水文地質資訊系統供大眾閱覽使用，並建議該系統未來可建置英文版本。



Refining the Characteristics of Hydrogeological Settings in Pingtung Plain of Taiwan

Chia-Hung Liang^{1,3}, Chien-Chung Ke², Jung-Jun Lin², Tzi-Hua Lai¹, Chi-Chao Huang¹, Ping-Hua Shao¹, and Yuan-Hsi Lee³

¹Geological Survey and Mining Management Agency, New Taipei City, Taiwan (*chliang@gsmma.gov.tw)

²Sinotech Engineering Consultants, Inc., Taipei City, Taiwan

³National Chung Cheng University, Chiayi City, Taiwan

To improve the benefits of the groundwater resources management and utilization efficiency of Pingtung Plain located at Southern Taiwan, this study focused on the understanding of the hydrogeological settings and groundwater flow behavior of this area as well as assessing the reasonable of the delineation of groundwater recharge geologically sensitive areas (GWRA) by various field investigation techniques.

Following the aforementioned purposes, totally four boreholes with the depth of 100 meters were drilled spreading around GWRA in 2019. According to the core logging analysis of Zaixing site located at the region of GWRA, we found that the gravel formation, distributed at shallow layer, was playing an important role of the benefit of groundwater recharge due to its hydraulic conductance. Furthermore, the Changxing, Silin and Huamin sites were located spreading around the boundary of the GWRA. The lithology of Huamin site was mainly composed of thick layers of gravel and mud, while Changxing and Silin sites were composed of thick layers of gravel and coarse sand, and thin layers (around 4 to 10 meters thickness) interspersed locally with three to four layers of gravel and coarse sand. The interlayer of fine grain sediments in this area showed that it is unfavorable for vertical infiltration of surface water and rainfall into deeper aquifers. To analyze the characteristics of a aquifer and estimate hydrogeological parameters, the constant-rate pumping tests were conducted in two different sites located in GWRA. The hydraulic conductivity (K) and specific yield (Sy) of Zaixing site were 3.8×10^{-3} m/sec and 0.16 respectively, while those of Silin were 1.6×10^{-3} m/sec and 0.17. Finally, we could summarize that the Pingtung Plain had the relative higher conductance and capacity of water resources based on the comparison results of the range of hydraulic conductivity and specific yield with nine major groundwater area.

Therefore, an elaborate plan of hydrogeological investigation and assessment of groundwater resources of Pingtung Plain are very crucial to face the challenge of water scarcity in the near future.

圖1、發表之海報展示摘要內容

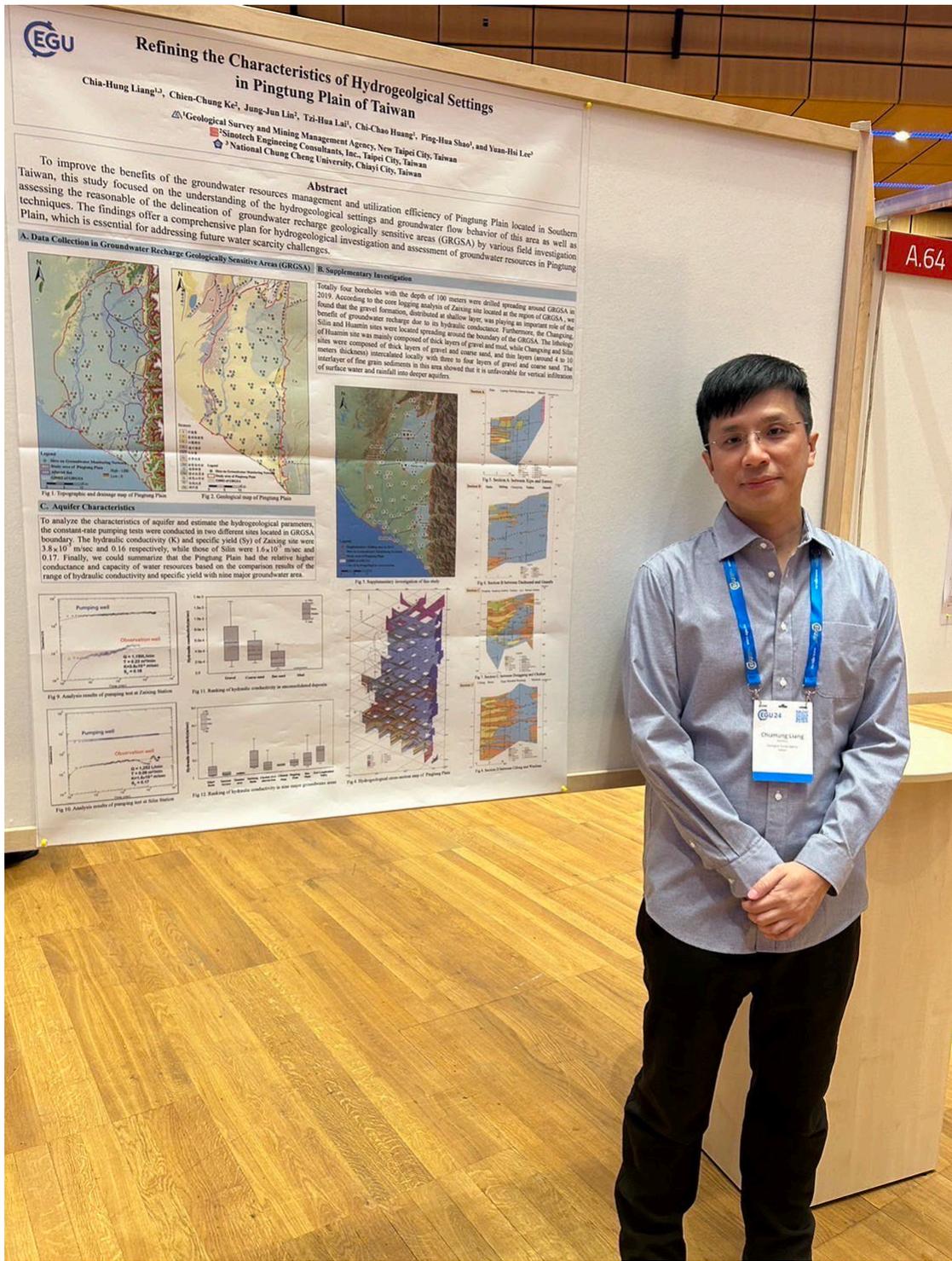


圖2、本人於會場與本次會議發表之海報合影

(二)參與會議

水文科學(Hydrological Sciencds, HS)，本議程包括：氣候變化中的水文學(HS1.1)、水文學中的創新遙測器與監測 (HS1.2)、跨學科水文學(HS1.3)、不同氣候與環境中的集水區水文學(HS2.1)、從觀察到概念到模型之集水區水文學(HS2.2)、集水區尺度的水質(HS2.3)、多尺度的水文變異性與變化(HS2.4)、全球及(次)大陸水文學(HS2.5)、水文訊息(HS3)、水文預報 (HS4)、水資源規劃、管理、政策與治理(HS5.1)、水-能源-糧食-生態系統聯繫 (HS5.2)、人水系統、基礎設施與城市(HS5.3)、遙測與資料同化(HS6)、降水與氣候 (HS7)、地下水水文學之地下水運輸(HS8.1)、地下水水文學之地下水(HS8.2)、地下水水文學之含水層水文學 (HS8.3)、侵蝕、沉積與河流過程 (HS9)、生態水文學、濕地與河口：水生與陸生過程及相互聯繫(HS10)、水文學科特定興趣短期課程 (HS11)、水文學相關跨學科與跨領域(ITS) (HS12)、其他與水文學相關的議程 (HS13)。

大會安排上述23種水文相關的議程，來自水文、地下水、生態、遙測及跨領域等專家學者，共同深入探討水文科學的研究，茲摘要本人參與會議之重點如下：

1.地下水資源(全球變遷背景下的地下水管理)

由於氣候變遷和人口成長，水資源壓力預計將迅速增加。因此，預計未來將出現水資源短缺。此外，極端氣候事件的頻率、強度和持續時間將增加乾旱期與可能導致洪水的極端降水的交替。在這種背景下，必須透過適當納入地下水資源來改善水管理模式，因為大多數可用淡水都是地下水形式，並且必須制定應對氣候變遷主要影響的策略。因此，至關重要的是(i)開發數值工具(大型模型)來繪製可用地下水資源圖並預測其在不同氣候變化和需水情境下的行為，(ii)量化地下水體對水資源的恢復能力氣象事件，(iii)確定氣候變遷和不斷增長的需求對地下水品質的影響，以及(iv)提出適應措施，以應對氣候變遷對水資源的主要影響，增加儲存的水量並減少洪水。因此，推動地下水管理

以應對氣候變遷和不斷增長的水需求的貢獻為重要的課題。Thomas Riedel 等人發表 Groundwater recharge, vegetation and climate change。透過數值模擬大氣二氧化碳和溫度增加對蒸散量和地下水補給的影響，發現對於特定植被類型，結果大不相同。有些植物的生長期會延長，理論上增加了每年的土壤需水量。但由於作物生長和成熟速度加快，其生長季節可能會縮短，因此收穫可能會提前，從而減少植物土壤需水量。結論建議植物用水和地下水補給的淨影響值得研究，特別是在氣候變遷的條件下，地下水可能仍然是未來人類用水的寶貴資源。

然而，地下水的系統非常複雜，須瞭解含水層特性才能因應極端氣候的影響。Ishita Bhatnagar 等人發表 Discovery of Resilience of Large and Complex Aquifers to Climatic Extremes under Anthropogenic Influences。研究指出過度的人類活動可能會破壞地下水位與其主要補給源（降水）之間的關聯。利用先進的交叉小波轉換非線性訊號處理技術，探索地下水和降水之間的非線性關係，發現地下水和降水之間的關聯在 2002 年乾旱後顯著減弱，凸顯了抽水活動的局部和持久影響。從這些極端情況中恢復對於維持農業至關重要，與人類活動的強度密切相關。這項研究為瞭解在面臨日益頻繁的乾旱的亞熱帶含水層中地下水對降水的反應如何隨時間變化提供了寶貴的見解。

另外，山區地下水資源相關議題中，Huy Trieu Duc 等人發表 Criteria for selection of technology to exploit groundwater in water scarce area in Vietnam。採用 GIS 方法，並利用層級分析法（AHP）方法整合標準，選擇適合高山缺水地區的水資源開採技術。研究結果表明，根據層次分析方法，確定適宜水源可持續利用技術方案應用區域的評估標準以及所建立標準的權重確保了比例一致（CR<10%）。評估水資源的指標，Jannis Epting 等人研究乾旱 Measures to adapt to climate change and mitigate the impact of droughts in alluvial aquifers and rivers、Anita Eross 等人研究海水入侵 Mitigation strategies against seawater intrusion in the context of

climate change，而在水資源的永續評估方面，Yunjung Hyun 等人發表 Indicator-based assessment of groundwater resources sustainability in South Korea。該研究提出了地下水永續管理指標，以基於 DPSIR 框架來考慮這些因素。在韓國，總大腸桿菌、NO₃-N 和 Cl⁻ 是地下水中觀察到的主要污染物。案例研究表明，建議地下水可持續性管理指標足以提供地下水資源狀況的整體看法。

創新議題構思方面，Núria Ferrer 等人發表 Utilizing Remote Sensing Data to Locate Managed Aquifer Recharge Facilities Using Floodwater。運用遙測數據來定位利用洪水的管理地下水補注設施。政府間氣候變化專門委員會對地中海地區的氣候預測表明，預期平均溫度將增加多達3.5°C，而降水量將相應減少約10%。這樣的預測表明了氣候制度的轉變，尤其洪水的極端事件預測。面對水資源短缺，洪水自然地流入海洋亦是資源的損失，若將水源補注至含水層，不僅增加了水資源，亦可減緩洪氾災害，提升抗旱的能力。為了確定含水層充注策略的最佳位置，遙測和地理資訊系統（GIS）的整合證明是無價的。在這項研究中，結合了這兩種工具，提出了一種使用洪水來找到管理地下水補注最佳地點的方法論。為此，該研究使用 Sentinel-2衛星圖像處理了一組河流圖像，以評估河流寬度的演變。隨後，將這些數據整合到提出的多準則分析中，以確定最佳的 MAR 位置。在確立方法論後，將其應用於 Llobregat 河（西班牙），該河是供應巴塞隆納地下水的重要來源。

2. 解決水資源管理和環境問題中的作用之地下水流系統

地下水流系統著實影響水資源管理和環境問題。瞭解地下水流系統需要從地方到區域和盆地尺度的治理過程和條件的知識，包括多孔隙和裂隙的孔隙介質。此外，與地下水管理相關的問題凸顯了可持續發展和保護地下水資源的重要性。因此，在分析與地下水管理相關的問題，不因過度開發、使用衝突、氣候變化、資源開發或污染，應正視從退化到惡化的質與量方面的保護。

然而瞭解和有效傳達關鍵的環境指標變得至關重要。故 Elena Egidio 等人

研究探討監測和報告地下水溫變化的重要性，作為理解氣候變化更廣泛影響的關鍵組成部，發表 *Connecting the dots: groundwater temperature data as a key element in Climate Change conversation*，研究綜合了來自位於義大利西北部平原 Piedmont Po plain，在淺層由砂礫組成的自由含水層中，觀測 15 個水井的地下水溫數據。從 2010 年開始提供的每日地下水溫數據經過分析，進行統計加工，評估趨勢和溫度異常。分析成果顯示平均每月地下水溫的區域分佈變化為 7.7 和 14.0°C，並呈現數值增加為每十年 2.1°C。該研究不僅有助於擴大對氣候科學和地下水影響的知識，還強調了在應對全球氣候迅速變化帶來的多重挑戰時，科學觀測的報告數據呈現之必要性。

整體計畫分析中，Selene Olea 發表 *Groundwater flow components and environmental problems in a groundwater flow system, center-west Mexico*。點出墨西哥中部的 Cuitzeo 地下水流系統正面臨著因大量地下水抽取、硝酸鹽污染和水位下降而面臨挑戰。該研究自 2013 年採用編譯數據，並由集群分析來辨識不同群組。基於流動軌跡，結合地質訊息、結構特徵和 Piper、Gibbs 和 Mifflin 等水文化學圖表，識別出四個群組，並確定了本地、中間和兩個區域間的水流關係。這些流動元素在空間分佈與補注區和結構特徵有相關，展示了對地下水流向的非連續演進。此外點出硝酸鹽和地下水水位下降等環境問題進行分析的初步發現，有助於更深入地探討。

3. 人工智慧科技應用於水文地質議題

水文地質人工智慧科技應用方面，Charmaine Cruz 等人發表了 *Drones and machine learning for habitat monitoring*。報告指出由於人類活動的壓力，棲息地狀況不斷惡化，推動出許多與保育相關的立法。而法規涉及到繪製地圖，以利收集有關棲息地的重要資訊，包括它們的位置、空間範圍和隨時間的變化。因此，應用無人機和機器學習，可以與傳統的野外調查相結合，以提高繪製棲息地的效率和效果。該研究於 2020 年愛爾蘭 Kerry 的一個沙丘建置高精度的棲息地網格，透過 Random Forest 機器學習技術分析，可達到更高的分

類準確性，而不僅僅是使用單一數據集（分別為92.37%與84.09%）。此外，無論數據集的數量如何，包括地形數據都一直可以提高準確性。比較三個無人機獲取的數據集顯示，在生長季節的中期，即開花期獲取的數據集對於沙丘棲息地的繪製要優於早期或晚期獲取的數據集。棲息地保育的一個關鍵方面是追蹤入侵物種的位置和擴展，否則對棲息地不疑係施加重大壓力的主要威脅之一。

4. 防災科技與應用議題

災害著實影響人民的生命財產與安全，科學家不斷地針對氣候變遷與極端事件的變化，進行研究與減緩災害的影響。重點成果說明如下：

(1) 預警系統

Luca Ciabatta 等人發表 Operational soil moisture-based threshold for the assessment of landslide occurrence over Umbria region, central Italy。對於降雨誘發的山崩，建置早期警報系統（EWS）可減輕山崩危害的方法。本案例考慮研究區1989年至2022年發生的所有降雨事件的情況下之土壤濕度狀況，透過分析降雨事件前後的水文模型中所獲得的土壤飽和狀況，發現大多數山崩係在土壤達到飽和時發生的。故當觀察到土壤達到飽和所需的降雨量時，可發出警報。此外，未來將針對高解析度降雨和土壤濕度衛星衍生的產品進行測試，以評估未來提供預警之可行性。

Francesca Giannone 等人發表 SAR and Optical Remote Sensing for Flood Mapping and Monitoring through GEE。該研究工作探討了在 Sentinel-1和 Sentinel-2衛星上使用合成孔徑雷達（SAR）和光學傳感器來對地球表面進行監測，以應對洪水事件，並使用 Google Earth Engine（GEE）平臺進行分析，以發展一整合的研究方法，應用於預警系統及緩解災害的影響。報告中介紹了兩個案例研究：如雷文納的2023年5月洪水和2021年西西里的阿波羅颶風。結果證實所提方法在監測和區分洪水之效益。儘管在數據處理和校準方面存在挑戰，但該方法仍具有參考價值的監測成果，尤其 SAR 和光學影像的

整合數據，提供了洪水狀況的全面視角。

歐洲氣候的變化使得伴隨熱浪和乾旱的發生變得更加頻繁。因此，Domenico Giaquinto 等人發表 *An evolving network approach to assess compounding heat and dry extremes in Europe*。為了評估這些氣候危害的演變，關鍵是要識別複合熱乾事件的同步結構，突顯極端增加的熱點區域，並分析導致這些異常條件的大氣前兆。該研究透過不斷演變的網絡方法，以評估由於全球變暖而在歐洲大陸引起的同步複合熱乾極端事件的時間演變。在過去80年中此事件頻率增加的地區中，建立了一個由 51 個連續層構成的演變網路，每個層模擬特定時間窗口中複合熱乾事件在空間中的同步結構，一旦確定了演變網路，就會分析此 51 層以突顯圖結構中的主要變化。研究指出，氣候複雜網路被證明是揭示氣候過程被忽略的特徵中有力工具，此方法提出了有關氣候空間動態的關鍵應用。

(2) 防減災調查與評估

臺灣位歐亞與菲律賓板塊邊界上，地震活動頻繁，故自然災害的防減災調查與評估之重要性。本次列出相關的成果如下：

Subash Ghimire 等人發表 *Testing machine learning models for rapid building damage assessment at regional scale*。評估或預測建築物的地震損壞對地震災害管理至關重要。有幾種傳統的損害評估方法可結合危害、暴露和脆弱性進行地震損害評估。然而，在緊急情況下，由於時間和資源限制，收集所有必要的資料進行地震損害評估可能不可行，因為這些資訊可能不容易獲得。在這種情況下，機器學習方法可以通過依靠成本效益高且容易獲得的數據合理評估損壞，提供一種範式轉移。該研究旨在研究機器學習模型對區域尺度損害評估的預測效能。機器學習模型在地震後建築物損壞資料庫上進行訓練和測試。結果顯示，建築物可依靠的特徵，例如樓層數、年齡、地板面積和高度，能夠在大範圍內合理評估損壞，特別是在使用基於交通燈（綠、黃、紅）損壞分類架構時。在過去地震建築物損壞組合上訓練的機器學習模型可以合理

估計未來地震期間不同地區具有相似建築物組合的損壞。

Massimiliano Alvioli 等人發表 A scenario-based approach for immediate post-earthquake rockfall impact assessment and case study。地震觸發的落石有許多文獻與方法，其中統計方法依賴於當地地形特性的分析，並將其與觀察到的落石進行經驗關聯。相比之下，確定性或基於物理的方法依賴於地震震動引起的落石軌跡的建模。此需要不同的數據，並且允許對其結果進行各種解釋和應用。該研究介紹一種利用地震時地面震動估計的方法來評估地震引起的落石情景，其主要輸入是數值地形分析出可能的岩石軌跡起點的位置。在此提出的方法中，使用對應於特定地震的地面震動圖來抑制在地面震動較弱區域激活源地的概率，同時增強靠近震央地震較強區域的概率。岩石軌跡是通過三維運動建模軟體（STONE）計算概率源圖。案例應用於 1976 年 $M_I = 6.5$ 年弗留利地震，該地震中存在一個準確的地震引發岩石目錄。透過峰值地面加速度作為調節參數來抑制或增加岩崩源地概率，該模型合理地重現觀察結果。該方法的校準對該地區是特殊的，但預計將對未來同一地區的地震誘發岩石有預測之效果，對於類似的地震事件。這項工作的結果可在現場觀測資料可用之前進行初步的影響評估。未來建議此方法可應用在當地震事件後，依據產製的地震震度估算值（從經驗 ShakeMap 或波動傳播的物理模型）可適用於快速地評估岩石崩落衝擊。

5. 多元及跨領域議題

EGU 認識到平等、多樣性和包容性的重要性，作為科學研究的重要基礎，以應對基本科學問題和社會相關的環境挑戰，讓我們的生活更加美好。茲摘要說明如下：

(1) 資源地質

關於數位化土壤圖繪製方面 Digital Soil Mapping and Assessment with remote sensing and pedometrics。透過本議題空間土壤資訊對環境建模和土地利用管理至關重要，需要以適合環境管理的比例來展現不同土壤屬性（橫向

和縱向)和地景過程的空間表徵，以發展明確、量化和空間寫實的地景連續模型。這些模型可以作為環境模型的輸入，如水文、氣候或植被生產力，解決土壤層中的不確定性及其在環境建模中的影響。若搭配現代土壤遙測、地理空間技術和空間統計的進步，可有效地建置更詳細和更準確的土壤地圖，同時提供相關的不確定性。在不同學科和環境中，數位土壤地圖有利於解決更深入的科學問題。

地下水管理是重要的課題之一 Innovative technologies using remote sensing data for water management applications。目前遙測產品具有很高的潛力，有助於監測和模擬水資源。儘管如此，由於缺乏品質、解析度、信任或經驗，水利管理者對其使用仍然受到限制。如何尋找支持從地方到全球尺度的遠端遙測數據應用於高解析度的土地利用或農業或河川流量、湖泊和水庫容量、地下水資源、乾旱監測/建模以及其對缺水植被以及灌溉容量監測和建模的改進評估等水資源管理的新發展。會場中各學者也使用不同技術，如物理模型或人工智慧技術的組合，以及不同數據來源，如遠端遙測和現地等作出貢獻。因應人類水資源互動和氣候變化對整個水循環的影響方面。

0403花蓮地震後，各學者紛紛提出 SAR 衛星影像分析成果，除了地震危害的應用，亦有其他自然和人為災害，包括洪水、地滑、地震、火山爆發、冰川運動、永凍土破壞、採礦、石油/天然氣生產、液體注入/提取、泥炭地損害、地層下陷、地下瓦斯、石油泄漏等。SAR remote sensing for natural and human-induced hazard applications 議程中，瞭解 SAR 遙測是監測和應對自然和人為災害的無價工具，特別是隨著來自傳統 SAR 任務的 SAR 數據收集的空間與時間解析度前所未有的提高，實現了利用 SAR 相位和振幅圖像中的與災害相關的訊息，包括地面變形和地表變動，且可解析測地時間尺度下地球系統的作用機制。然而，從 SAR 圖像中優化提取表面位移和干擾，通過多學科大數據協同作用，以及構建不同危害事件的觀測和機制之間的關聯，仍然具有挑戰性。

(2) 減碳與二氧化碳封存

ESG 議題近年來普遍提升。本次由 Sonja Lavikko 等人發表 Automated mineralogy as a key technology toward zero-waste mining - The EXCEED project。瞭解與能源轉型相關的關鍵原材料 (CRMs) 需求日益增加，歐洲對於這些供應來自幾個第三國家，包括中國的依賴，再加上 ESG 問題的增加，呼籲建立一個新的採礦範式，亦即負責任、零廢棄、多金屬/礦物採礦。 鋰硬岩礦床是最佳的示範場址，因鋰以外，還有許多副產品，包括工業礦物 (石英、長石、雲母) 和 CRMs (Nb、Ta 等)，可能被提取。評估這些副產品在鋰生產過程中是否可回收方法，故自動化礦物學 (Automated mineralogy) 為關鍵的技術。此學門係一個通用術語，描述一系列分析解決方案，商業企業領域以及各科學研究和工程應用領域，這些應用主要涉及礦物，岩石和人造材料的自動化和定量分析。故案例中須確定如何利用次級物料流和副產品的回收依賴於對材料的知識，其化學組成，顆粒大小，晶體結構和紋理。透過調查四個歐洲鋰礦場址，包括兩個電氣礦床 (芬蘭 Keliber 和葡萄牙 Savannah)，以及兩個稀有金屬花崗岩 (法國 Beauvoir 和英國 St Austell)。

另外，國內因配合2050年淨零排碳，二氧化碳封存與地熱研究議題盛行。國際能源總署 (IEA) 於2023年的能源技術展望報告中指出，2030年減碳目標可藉由目前既有技術來達成，但之後的深度減碳需依賴目前尚在研發與示範階段的創新技術。這些創新技術有水泥、鋼鐵及鋁的生產製程結合碳捕捉、封存與再利用 (CCUS)、氫煉鋼技術及直接碳捕捉 (DAC) 等技術。因此，IEA 於淨零排放情境 (NZE) 亦指出，在邁向淨零排放上，CCUS 扮演的角色也日益加重，二氧化碳捕捉量從2021年 0.4億噸，至2030年增加為12億噸，並於2050年達到620億噸。Andrea Pierozzi 等人發表 Carbonation experiment of basaltic crystals and glasses using supercritical CO₂ under different PT conditions。研究指出礦物碳酸化是一種新興技術，它涉及鈣-鎂-鐵含鎂玄武岩與二氧化碳反應，通過碳酸鹽礦物的形成將其存儲在岩石中。冰島的 CarbFix 計劃就是此方法的一個案例。然而，深入需探討原子和納米尺度的複雜多成分系統中，水、

溶解離子和晶體的物理化學關係，這對於在玄武岩儲藏層中成功實施 CCS 是至關重要的。

而在 Underground Thermal Energy Storage: applications, concepts, impact and processes 議題中，熱能儲存 (TES) 是有效能源供應和實現低碳能源平衡的關鍵組成部分。TES 允許彈性的儲存容量和期間，並代表一種跨部門技術，因為它將熱量，冷卻能量和電力耦合在一起。地下熱能儲存 (UTES) 技術，需探討其性能和工程，以及地下熱傳遞過程，特別是含水層地熱能儲存 (ATES)、鑽孔地熱能儲存 (BTES)、礦坑地熱能儲存 (MTES) 及相關基於地面的變體，如坑道儲存、洞穴儲存和人工水砂儲存池。未來重點需克服有關 TES 設計和可持續運作的技術障礙，提高與 UTES 有關的熱、水力和環境效應的理解。此外，增強 UTES 的社會接受度，亦須整合各種可再生能源之貢獻。此外，時間或空間尺度上對誘發或自然熱量變化的觀測，及對地下流動和熱傳遞進行精確特徵化是至關重要的。因此，實驗設計進步的新見解、對新的現場觀察的報告、連續或耦合建模概念的示例、含水層季節和長期發展中的熱力條件和機械條件、跨含水層邊界的熱傳遞、及預測地熱系統的長期表現等皆是關注的重點。

另外案場的安全性評估亦是重要的課題之一，在 Reevaluating seismic hazard and ground motions for North Sea CO² storage projects 中，北海擁有許多海上風力發電場和碳捕捉與儲存場址，故向綠色經濟過渡中扮演戰略角色。但北海以中等地震活動聞名，如2023年 Mw5.1北海地震是該地區33年來最大的地震，導致挪威 Equinor 公司的石油平臺 Snorre B 暫時停產。北海最後一次全面的地震風險評估是大約二十年前進行的。此後，北海地區陸地和海上地震站紀錄了許多新的地面運動，以及概率性地震危害評估 (PSHA) 方法的重大進展。因此，研究旨在為北海開發第一個特定地區的地面運動模型，該模型將用於更新的 PSHA 中，以確保新的海上風力發電場和 CCS 場地的安全設計。

(3) 人工智慧技術應用

生成式人工智慧 (Artificial Intelligence Generated Content, AIGC) 係是一種人工智慧 (AI) 技術，利用機器學習 (ML) 和自然語言處理的方法，透過訓練模型來學習數據的模式和結構，自主生成具有合理性和創造性的內容，包括文字、圖像、音樂、影片等。因此，AI 便捷了我們的生活。然而，對於科學研究方面，ML 或 AI 的應用著重在數據分析與預測。

在 *Strategies and Applications of AI and ML in a Spatiotemporal Context* 議題中，瞭解氣候變遷、災害管理、公共衛生與安全、資源管理等當代的挑戰，莫過於需仰賴大數據分析來應對。各類技術在本地及全球範圍尺度不斷地產生巨量的傳統和非傳統地理空間數據。大部分數據包含地理空間數據元件，並且使用空間算法進行分析。忽略大數據的地理空間元件可能導致對提取資訊的不當解釋。這一差距已被認識到，並導致了新的時空感知策略和方法的發展。因此，機器學習在時間與空間尺度的進展著實重要。

再者，人工智慧推動對地球及其各種規模系統的理解取得進展，並越來越多地的應用於各種領域，尤其 Chat GPT 在內的強大語言模型，已經在學術、教育等領域造成了變革。為瞭解決在地球、空間和環境科學研究中對人工智慧和機器學習的道德使用的迫切需求，美國地球科學聯合會 (AGU) 主持及美國國家航空暨太空總署 (NASA) 提供資助近期跨學科報告，開發了一套適用於地球、空間和環境科學研究中使用人工智慧和機器學習的原則和責任。

地理空間人工智慧 (GeoAI) 因其處理和理解大量地理空間數據並推斷有價值的模式和資訊的能力而變得受歡迎，使得創建地圖、進行分析和開發國家、國際或全球範圍的地理空間應用成為可能。在 *Advances in Geospatial Artificial Intelligence for large-scale, regional and continental mapping* 議程中，透過 GeoAI 進行研究快速的地理資訊更新、公共安全改進、智慧城市發展、綠色轉型以及氣候變化的緩解和適應等問題，隨之面臨更多的挑戰與議題。這些挑戰涉及大型 GeoAI 系統運作化，包括自動化 AI 的生命周期、追蹤和調適新的語境和景觀模型、模型的時間和空間放大、改善可解釋

性、平衡成本和性能，以創造雲端和本地端環境管理之韌性和未來安全的 AI 和 IT 操作。因此，國家製圖機構對 GeoAI 方法的要求，與工業/商業利益相關方之關係，及國家機構在建立 GeoAI 標準方面的角色，皆是未來重要的課題。此外，GeoAI 互通性和從多尺度、多模式遙測數據來源提取的核心地理空間圖層，以增強國家的基本圖資與檔案，且包括大尺度的點雲分析。

三、心得及建議

過往參與國內地下水資源學門研討會，以場次與參與人數比較，屬於小眾市場，並不如其他地質科學學門熱絡，而此次參與 EGU 地下水資源相關議題有相當多場次與參與人數，深感榮幸有機會參與此會議，會議中有許多國家專家學者透過此年會分享相關地下水資源研究成果。由本次會議瞭解到地下水資源調查技術的蓬勃發展，應用更為多元，且人工智慧(AI)已可實務運用於地下水資源領域。

本次海報展示方面，有多位國內外學者主動觀賞本次的海報，本人逐一向國內外學者進行說明，分享與討論我國地下水資源調查成果，提升我國學術能見度。其中多位學者對於本研究建置的三維水文地質架構屏狀圖感到興趣，目前本研究係透過各鑽孔實際的成果進行電腦人工製圖為主，由點(地質柱狀圖)至面(水文地質剖面)進而到三維水文地質架構屏狀圖，未來冀望能透過 AI 技術進行岩性對比繪製二維水文地質剖面圖與三維水文地質架構屏狀圖。

本次會議期間參與地下水資源議題會議，並參與人工智慧科技應用於水文地質議題、全球水資源變遷、防災科技與應用、減碳與二氧化碳封存、遙測技術應用於水資源等多元與跨領域議題會議，獲得更多地下水資源相關領域知識與跨領域學識，並可發現隨著 AI 技術的進步，當場次主打 AI 的應用時該系列場次參與人數較其他場次踴躍，且其成果展示了大量的數據分析及應用，凸顯 AI 應用在未來科學研究中乃是重要的技術之一。建議本中心未來研究地質實務方面導入 AI 應用。

本次會議受益良多，再次感謝本中心的支持始得參與本次 EGU，冀望能將相關獲得經驗與技術，應用於本中心地質業務執行與推動。同時建議本中心未來也能派員參與此會議，創造本中心發展地質業務之應用更多的可能性。