

出國報告（出國類別：業務洽談）

參加 2025 年 Goldschmidt 地球化學
國際會議並考察博物館地質標本
展示模式

服務機關：國立自然科學博物館

姓名職稱：陳君榮 / 助理研究員

派赴國家：捷克、維也納

出國期間：114年 7月5日至 7月16日

報告日期：114 年 10 月 15 日

摘要

本次為期十二天的出國行程，主要目的在於參與於布拉格舉行之地球科學領域頂尖國際會議「Goldschmidt 2025」，並於會後深度參訪捷克國家博物館與維也納自然史博物館之岩礦相關展示區。透過會議參與，發表本館重要館藏 Esquel 橄欖隕鐵之微區 X 光螢光光譜分析成果，並掌握行星科學、隕石學、礦物學及早期生命演化之最新研究動態。透過博物館實地考察，學習世界級博物館在蒐藏、研究、展示與教育推廣之實務經驗。本報告將闡述此行之心得與發現，並對個人研究方向、本館蒐藏及展示工作提出建議。

目次

一、目的.....	1
二、Goldschmidt 2025地球化學國際會議.....	2
三、捷克國家博物館.....	8
四、維也納自然史博物館	16
五、心得與建議	32

一、目的

Goldschmidt Conference 是首屈一指的地球化學國際會議，每年約有超過 3 千位學者參與並進行學術發表，在學界具有重要影響力。此次參與將發表利用微區 X 光螢光技術分析重要館藏 **Esquel** 橄欖隕鐵所得之礦物化學成果。捷克國家博物館礦物廳於 2020 年重新開放，展示超過 4000 件精品礦物，此博物館的礦物收藏是捷克共和國最大的。另外，維也納自然史博物館中岩礦蒐藏超過 16 萬 8 千件，五個大型展廳展示了 500 多年來收集的具有美學和科學價值的礦物、寶石、岩石、隕石和玻璃隕石。借鏡這些世界級規模的礦物展示將有助於未來展示及相關科教活動之規劃。

此次行程為 114 年 7 月 5 日至 7 月 16 日，共費時 12 日，行程如下：

- 7/5-6 去程（台中-布拉格）
- 7/7-11 2025 年 Goldschmidt 地球化學國際會議
- 7/12 捷克國家博物館
- 7/13 由布拉格前往維也納(搭乘火車)
- 7/14 維也納自然史博物館
- 7/15-16 返程（維也納-台中）

二、2025 年 Goldschmidt 地球化學國際會議

本屆 Goldschmidt 會議在布拉格會議中心舉行，規模盛大，議題眾多。我個人的參與重點集中於與個人研究、博物館蒐藏標本及展示相關的幾個議題：

1. 解鎖太空船任務返回的小行星樣本以探索太陽系起源

英國自然史博物館的 Sara Russell 教授發表了關於小行星貝努（Bennu）樣本的礦物學歷史，其研究揭示了早期太陽系中水-岩反應的複雜過程。而來自日本及法國團隊的研究，則聚焦於貝努與龍宮（Ryugu）樣本的鐵氧化狀態及含水蝕變過程。由於標本取得不易，這些研究展現了行星科學中最先進的分析技術。

2. 解碼太陽系歷史

此議題之研究成果聚焦於利用不同的同位素系統來重建早期太陽系的時間序列與過程。例如，透過對 eucrites 隕石進行氬同位素分析，試圖釐清這些來自灶神星的隕石其暴露年齡與起源歷史，並探討其母體在岩漿洋階段所經歷的核幔分異過程。透過 U-Pb 定年法分析 CK 型碳質球粒隕石中的富鈣鋁包裹體（CAIs），進一步驗證了太陽系初始年齡約為 4567 百萬年的共識，並排除了更古老 CAI 存在的可能性，這為太陽系最早期的固化過程提供了精確的時間約束。

3. 行星與小行星的形成、分異與演化

此議題從不同角度揭示了太陽系天體從早期凝聚、內部熔融分異、到後期演化過程中的關鍵機制與多樣性。科學家們透過對鐵隕石、球粒隕石和無球粒隕石的系統分析，揭示了太陽系早期物質的分布特徵。同時，透過氮、鋅、鉻等同位素系統的分析，研究顯示太陽系內外區域確實存在著顯著的物質組成差異，這為理解行星形成過程中的物質遷移提供了關鍵證據。

本人於此次會議的報告題目「Micro-XRF Analysis of Mn and Cr Distribution in Seymchan and Esquel Pallasites: Insights into Formation and Cooling Histories」即被安排在此議題中，透過海報方式與學者們交流。利用非破壞性微區 X 光螢光分析技術展現橄欖隕鐵中錳和鉻的元素分佈，並進一步探討此類隕石內部複雜的冷卻歷史與形成過程。有不少學者對於本館所蒐藏的大片 Esquel 橄欖隕鐵表示高度興趣，希望能對隕石中之不同區域或型態之橄欖石進行採樣，希望藉由鉻同位素之變化來驗證目前學界所提橄欖隕鐵之形成機制。由於目前國外鉻同位素分析技

術已成熟，若能與國外學者進行合作，或能較快取得研究進展。

4. 火星及其他星球的岩漿作用與表面過程

在此議題中，令人印象深刻的是對月球 **Chang'e-5** 玄武岩的深入研究將月球火山活動的結束時間延續至約 20 億年前，這項發現對理解月球熱演化具有重要意義。而透過火星隕石（輝玻無球粒隕石和輝橄無球粒隕石）則可研究火星上的水環境。也有科學家提出新穎的觀點，認為火星傑澤羅撞擊坑等地的橄欖石-碳酸鹽組合可能並非形成於液態水環境，而是大氣與岩石在低溫下直接反應的產物，這挑戰了碳酸鹽必為水成成因的傳統認知，為理解火星碳循環提供了新的思路。這些研究成果，未來可轉化為本館中關於月球與火星展區的知識基礎，讓觀眾在參訪時能有更深刻的理解。

5. 微隕石研究

微隕石作為地外物質輸入地球的主要來源，其研究價值在於它們可能代表了來自小行星和彗星等不同母體的物質通。過對南極、格陵蘭、阿塔卡馬沙漠等地的微隕石收集與分析，科學家能夠追溯這些微小天體的來源與暴露歷史。研究發現微隕石的化學組成與宇宙成因核素特徵能夠有效區分其來自小行星或彗星，而不同收集地的微隕石則呈現出明顯的風化差異，反映了當地環境條件的影響。微隕石能提供與隕石互補的資訊。這方面的資訊可作為本館未來策展與科教活動之題材。

6. 礦物演化與新礦物學

Robert Hazen 教授關於「透過成礦離子的多樣性與分布解讀地球岩石圈氧化還原演化」的報告，是其「礦物演化」理論的進一步延伸。該理論強調地球上的礦物多樣性隨地質時間而增加，而這次演講中則提出了高價態的過渡性金屬則與風化和水蝕變環境有更強的關聯，這趨勢強調了生物影響對地球岩石圈地球化學演化的重要性。此一宏觀的視角，不僅是礦物學上觀念的突破，更為博物館的礦物展示提供了全新的敘事框架，從靜態的礦物分類，轉向動態的礦物與生命共同演化故事。

6. 生物礦化與古環境研究

此議題的報告展示了電子背向散射繞射技術與微區 X 光螢光光譜分析在生

物礦化與化石古環境研究中的突破性應用。例如電子背向散射繞射技術則可揭示了生物體如何精確控制礦物結晶過程。例如波羅的海牙形石的研究顯示，其組織部分呈現單一晶體取向的大尺寸氫氧磷灰石晶體，而有些部分則表現出細晶結構特徵，這種差異反映了不同組織在生物功能與生態適應上的多樣化礦化策略。通過分析鯊魚脊椎中的元素分布，成功重建了個體的遷徙模式與污染暴露歷史。研究發現 Sr/Ba 比值能清晰反映淡水與海水環境的轉換， Pb 的累積則與營養源密切相關。

電子背向散射繞射與電子顯微鏡能量色散 X 射線光譜的結合，實現了結晶結構與化學組成的同步分析；而微區 X 光螢光光譜分析與雷射剝蝕-感應耦合電漿質譜儀、二次離子質譜分析儀的整合，則使元素分布與同位素比值的關聯研究成為可能。這些技術的靈活運用可促使博物館化石藏品的科學價值最大化。另外未來在展示設計上，通過分析結果中的可視化呈現元素分布與結晶方位圖譜，亦能有助觀眾直觀理解生物礦化與化石化作用的奧秘。



Goldschmidt 2025 會議舉辦於布拉格會議中心。



Goldschmidt 2025 會議現場，匯集了全球頂尖地球科學家。



Goldschmidt 2025 會議現場，廊道上安排壁報展示區。



小行星貝努樣本的最新礦物學發現講題。



學者 Tanja Bosak 報告 NASA 毅力號火星探測器碳酸鹽取樣任務進度。



參加「解碼太陽系歷史」議題講廳。



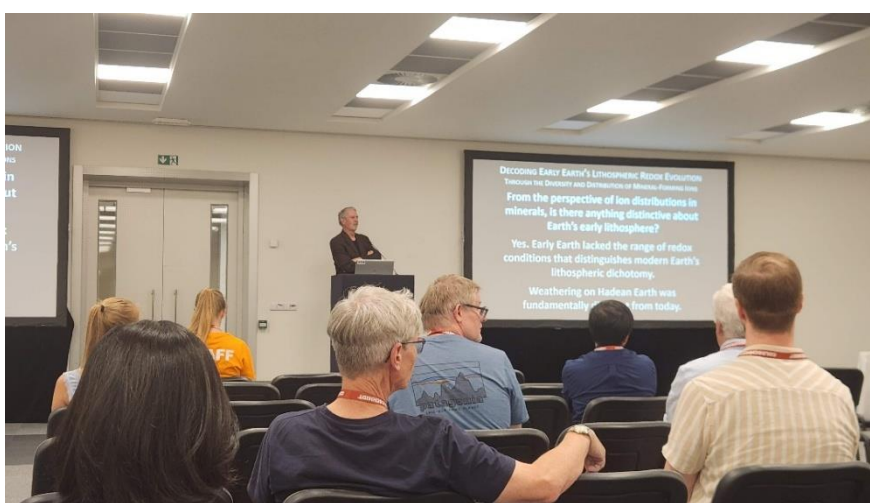
參加「行星與小行星的形成、分異與演化」議題



Goldschmidt 2025 會議壁報展示區。



本人於會議進行研究成果壁報展示。



學者 Robert Hazen 教授在會議中闡述其礦物演化理論之最新見解。

三、捷克國家博物館

捷克國家博物館的參觀主要著重在岩礦展示區域，包含礦物廳、隕石廳、螢光礦物區及捷克本土礦物資源廳。博物館的礦物廳的收藏可追溯至 1818 年博物館創立之初，由主要創辦人 Kaspar Count Sternberk 伯爵所捐贈的首批藏品。隨著更多人的跟進捐獻，從而奠定了今日館藏的基礎。1892 年 9 月 28 日，在著名捷克礦物學家 Karel Vrba 教授的推動下，首個礦物學展覽正式揭幕，規劃了能容納逾 4000 件標本的展示櫃，其佈局歷經百餘年仍完整保留至今。

捷克國家博物館擁有超過十萬件礦物，展廳僅精選其中 4000 件展出，涵蓋了 700 種礦物，陳列出來的皆為館藏中最具代表性的標本，並配具有鍍金標籤的展座，呈現歷史質感。展櫃上方有數字標示，可依其順序參觀，標本則依礦物化學分類系統依序陳列。

隕石展廳系統性呈現 440 件隕石樣本，從未分化的碳質球粒隕石與普通球粒隕石，到分化的無球粒隕石、石鐵隕石及鐵隕石，以及隕石玻璃（似曜岩）、撞擊岩與地球岩石。廳內核心為一座歷史性六角形展櫃，其頂部是隕石收藏的創始人 Karel Vrba 的銅像。展櫃裡陳列著重達 69 公斤 Canyon Diablo 隕石，Mount Joy、Gibeon、Tamarugal 等隕石切片，以及嵌有捷克隕石玻璃（Moldavite）的砂岩。另一亮點是重 83 公斤的 Campo del Cielo 鐵隕石，開放式展陳讓觀眾可親手觸摸。捷克本土找到的隕石有 49 件，特別以獨立展櫃展出。世界知名的捷克隕石玻璃共展示了 236 件標本，其中 81 件特別以背部打光的方式呈現其美麗外觀。

螢光礦物區為獨立空間，外部光線可被良好的遮蔽，在全暗的環境下欣賞螢光效果更為顯著。標本透過白光、短波與長波紫外線交替照射，呈現不同波段下螢光的色彩變化，讓觀眾直觀地理解「能量轉換」這一抽象的科學原理。ㄇ字型標本陳列手法使觀眾能感受到沉浸式體驗。

捷克礦物資源廳聚焦於捷克的四大礦產：金、銀、錫與鈾。展廳中展出約 800 件金屬礦床相關的礦物標本，並以由金、銀、錫或鈾玻璃製成的產品以及與採礦

相關的物品配合展出，使內容更為豐富有趣，也展現礦物於生活中之重要性。中央展櫃匯集鎮廳之寶，四面分別陳列著來自 Jáchymov 的方鈿礦、來自 Horní Slavkov 的錫石、由 Francis I 皇帝於 1820 年捐贈給博物館的淡紅銀礦，以及最大的 Klepice 金片、來自 Jílové 的金塊和 Otava 河開採的砂金。



捷克國家博物館礦物擁有超過十萬件礦物標本。



捷克國家博物館礦物廳，古典展示櫃中陳列著超過 4000 件礦物標本。



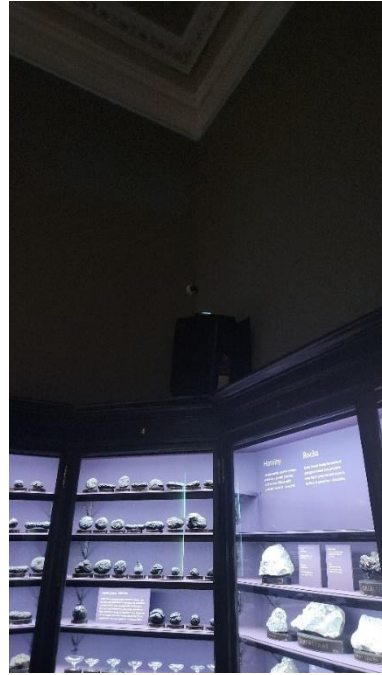
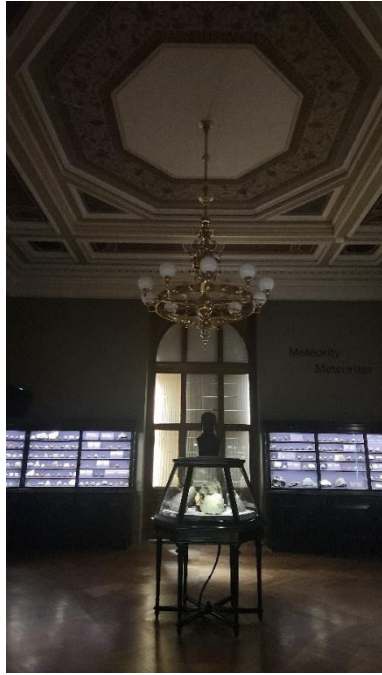
礦物依化學分類順序陳列，不同分類間會以標牌區隔。



光敏感礦物會以不透光板覆蓋以降低傷害，觀察標本時再掀開。



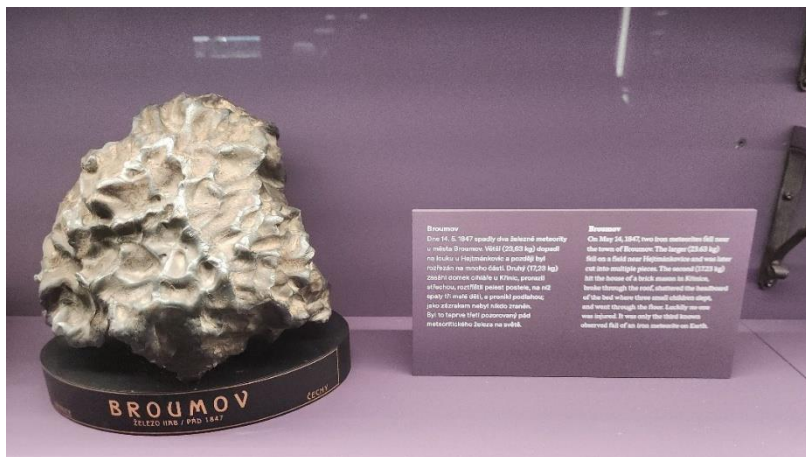
釩鉛礦；鍍金展座展現古典美，為維持展座樣貌皆無標示英文學名。



左圖：六角形展櫃頂部是隕石收藏的 Karel Vrba 的銅像。
右圖：隕石廳天花板以投影機投射流星軌跡來營造氛圍。



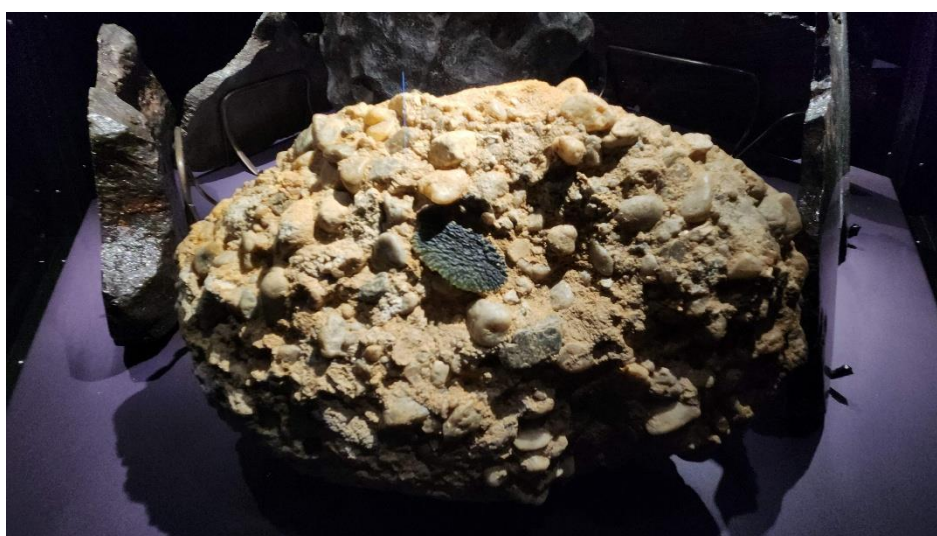
系統化陳列的各種類型隕石。。



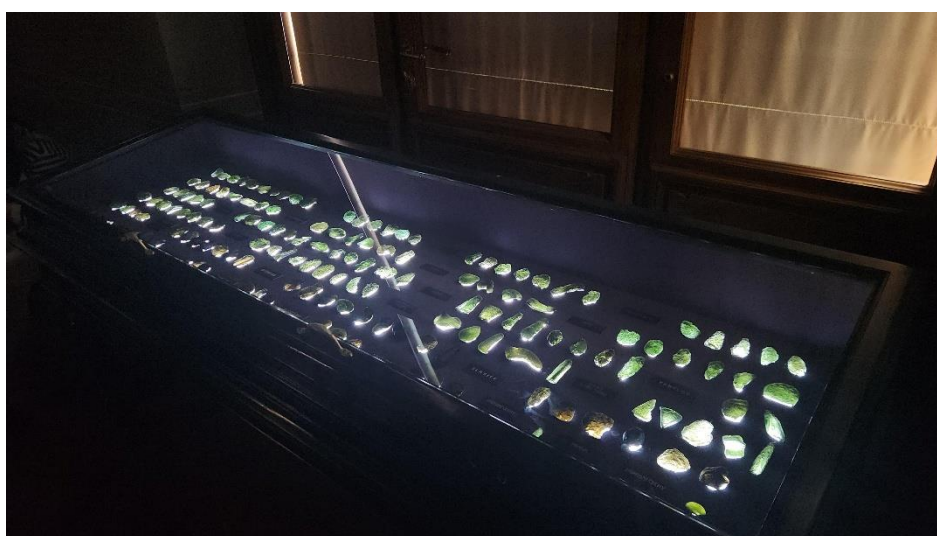
Broumov 鐵隕石是史上第三個被目擊掉落的鐵隕石。



Toluca 鐵隕石切面展現鎳鐵合金交紋圖案。



大型標本展現捷克隕石玻璃於野外發現時之樣貌。



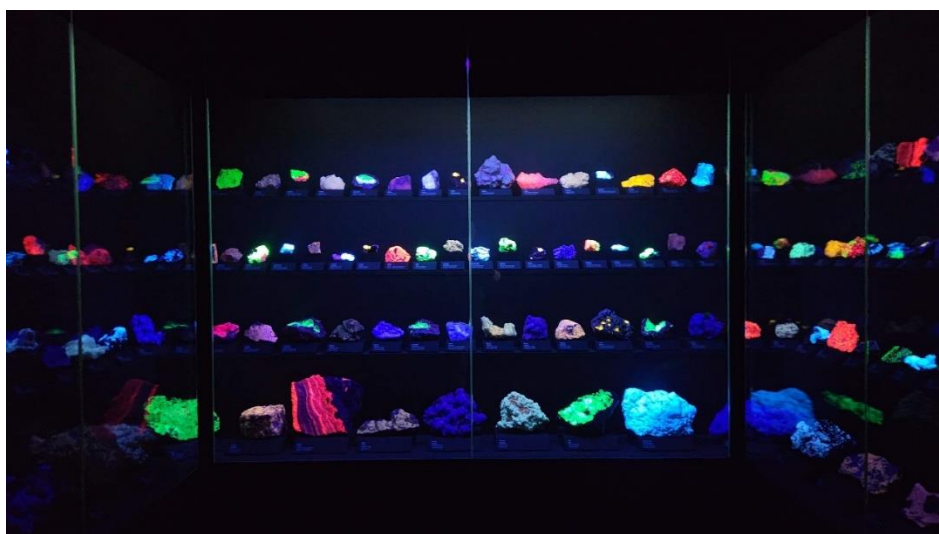
捷克隕石玻璃展櫃於窗戶旁，會受外面光源干擾。



精美的捷克隕石玻璃以背光呈現其透光度及表面特徵。



螢光礦物區白光波段。



螢光礦物區紫外光波段。



捷克礦物資源廳錫礦與鈾礦區。



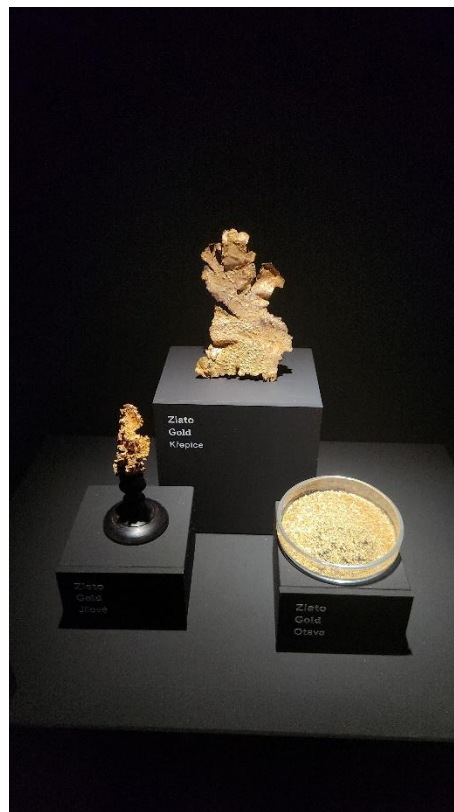
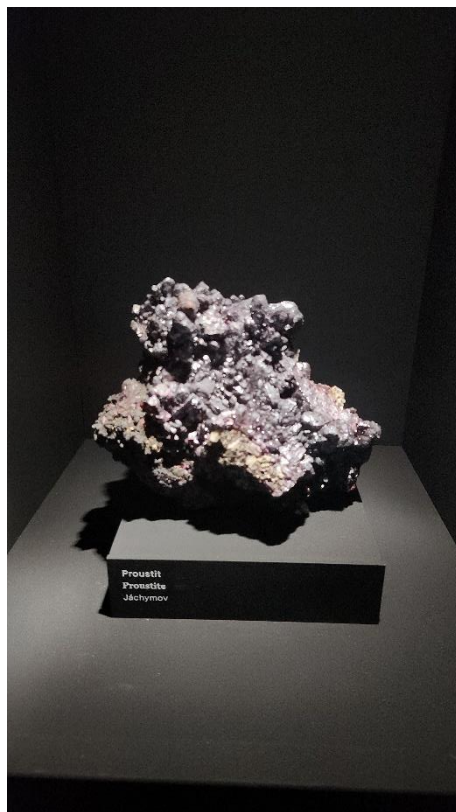
捷克礦物資源廳銀礦與金礦區。



鈾礦區中的標本可能具有輻射，搭配鮮豔的玻璃製品表現鈾礦特色。



圖 29：資源礦產廳展架設計相當簡約時尚，標本支撐固定物完美隱藏。



左圖：資源礦產廳展中央展櫃中的淡紅銀礦，淡紅銀礦在光照下會逐漸失去鮮豔的紅色，因此這件標本的光源採感應式，有人靠近時燈才會亮，以減少標本損害。

右圖：資源礦產廳展中央展櫃中的自然金標本。

四、維也納自然史博物館

維也納自然史博物館的 1 至 4 號展廳，系統性地展示了其歷經五百餘年收藏的礦物、寶石、及岩石。這些展廳按礦物化學與晶體結構進行系統分類陳列，從 1 號廳的「自然元素、硫化物」開始，依序經過 2 號廳的「鹵化物、氧化物」、3 號廳的「碳酸鹽、硫酸鹽」，至 4 號廳的「磷酸鹽、矽酸鹽及寶石」，觀眾能循著分類系統認識礦物世界。

此外，並於展廳四周或中心區域安排特色主題與亮點標本，彌補系統礦物展示區較為單調之內容，多個展示主題強化了展示深度。1 號廳的「礦物演化」主題展櫃，引入 Robert Hazen 的新穎理論，闡明地球礦物多樣性與生命活動、板塊構造的深刻關聯。另一亮點是「建築與裝飾石材」主題展櫃，精選館內龐大石材收藏中用於維也納環城大道等著名建築的樣本，連結了自然資源與人類文明。近期於 2023 年開幕的「晶體世界」則展示晶體的對稱之美、生長過程及科技應用。而第 4 展廳「天然放射性」主題則以來自加彭奧克洛的天然核反應堆標本等實物，探討放射性與宇宙輻射這無所不在的自然現象。

在各展廳的系統陳列中，有眾多非凡標本令人驚艷。1 號廳擁有被譽為極品、來自波蘭維利奇卡的岩鹽，以及重達 115 公斤的瑞士煙水晶和造型獨特的奧地利「鐵花」霞石。2 號廳則陳列著一個 1904 年捐贈、來自巴西的巨型深紫色紫水晶晶洞。3 號廳的焦點是一個令人震撼的巨晶岩鹽，產自維利奇卡，重約 1000 公斤，晶體長度可達 30 公分。4 號廳作為壓軸，展示了博物館最引以為傲的寶石收藏。其中包含重 594 克、色彩絢麗的斯洛伐克蛋白石；82.2 克拉的南非鑽石八面體；12.8 克拉、具完美變色效應的烏拉爾變石；以及一個由眾多珍貴寶石鑲嵌而成的「寶石花束」。此外，一顆來自巴西、重達 117 公斤的寶石級黃玉晶體，以其驚人的尺寸成為寶石門面。礦透過嚴謹的系統規劃與這些充滿故事性的主題與標本，維也納自然史博物館礦物廳不僅陳列了礦物的美學價值，更完整呈現了其在地球歷史與人類文化中的深遠意義。



維也納自然史博物館是全球最重要的自然史博物館之一。



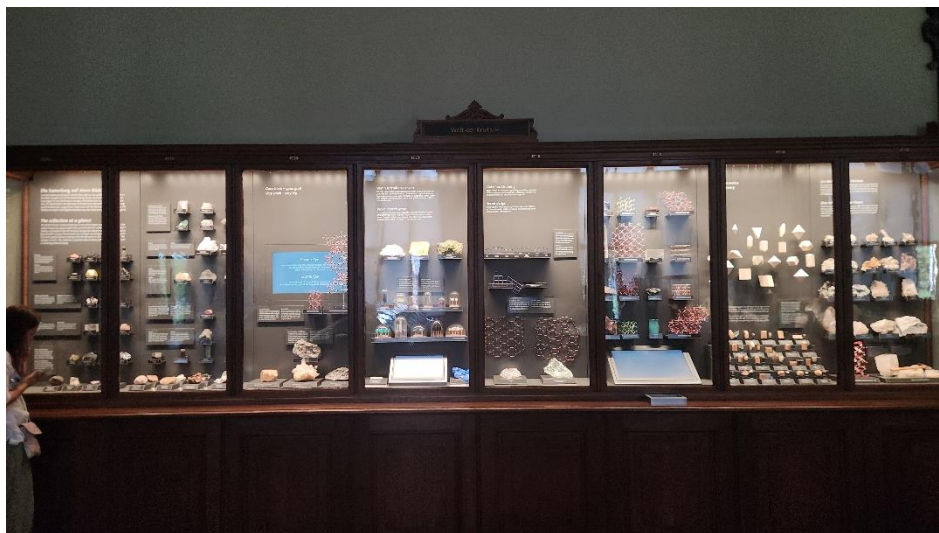
展廳中間聚焦於系統分類展示櫃。



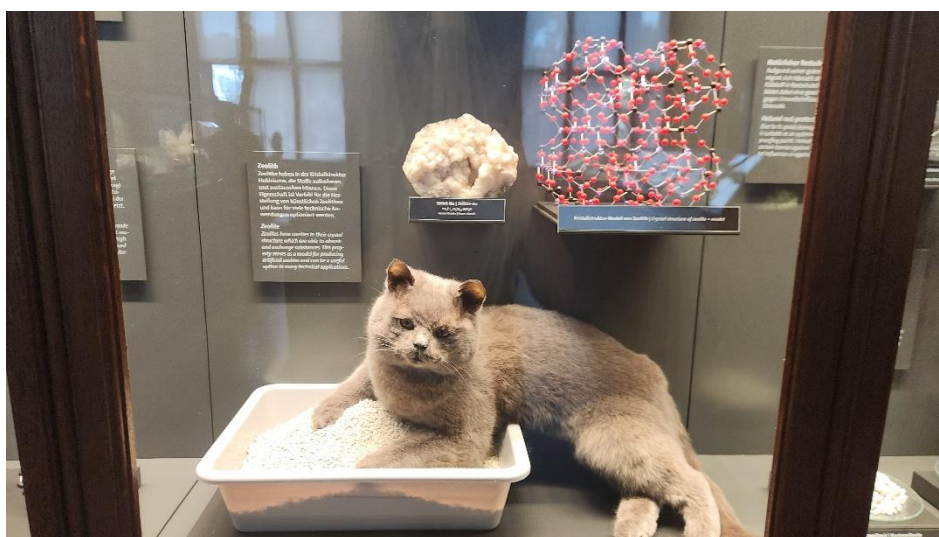
「建築與裝飾石材」主題展櫃中岩石種類驚人。



「礦物演化」展櫃以具年代控制的岩石與精美礦物訴說地球歷史。



「晶體世界」展區，現代化的設計令人耳目一新。



沸石類礦物的應用以貓砂呈現，並搭配了貓標本一同展示。

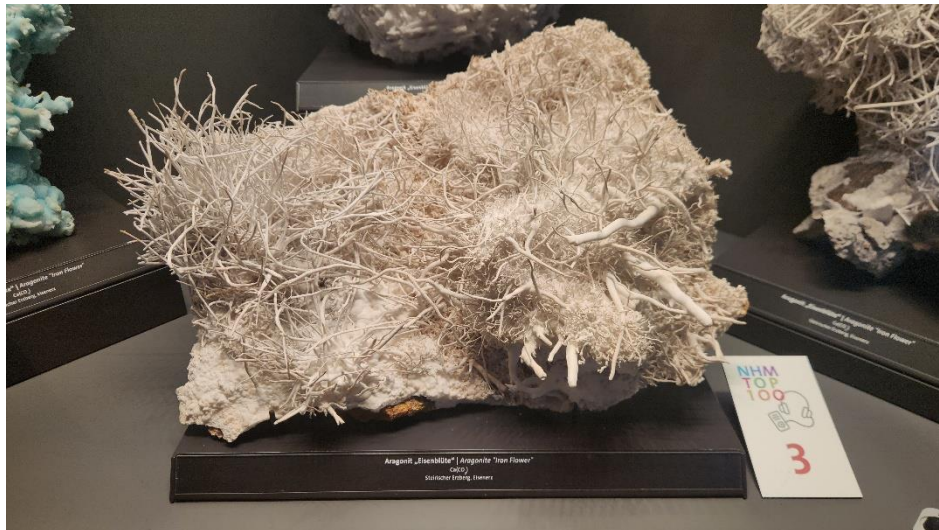


左圖：礦物標本搭配木頭模型呈現晶形及對稱之美。

右圖：以各種礦物呈現礦物顏色多樣性。



博物館的百大館藏會特別以號碼牌指出，並可透過掃碼取得詳細資訊。



奧地利特有的「鐵花」霰石。



利用大型展櫃下方空間打造晶洞。



觸控螢幕可查詢展示標本產地資訊，彌補標籤產地無英文對照之缺點。



螢光礦物展示區易受外部光源影響，但仍可見螢光效果。



第4廳中也展示了各樣的火成岩、沉積岩與變質岩，此圖為變質岩展櫃。



「天然放射性」展區中互動裝置可偵測標本輻射劑量。



左圖：重達 117 公斤的黃玉晶體為重要館藏。



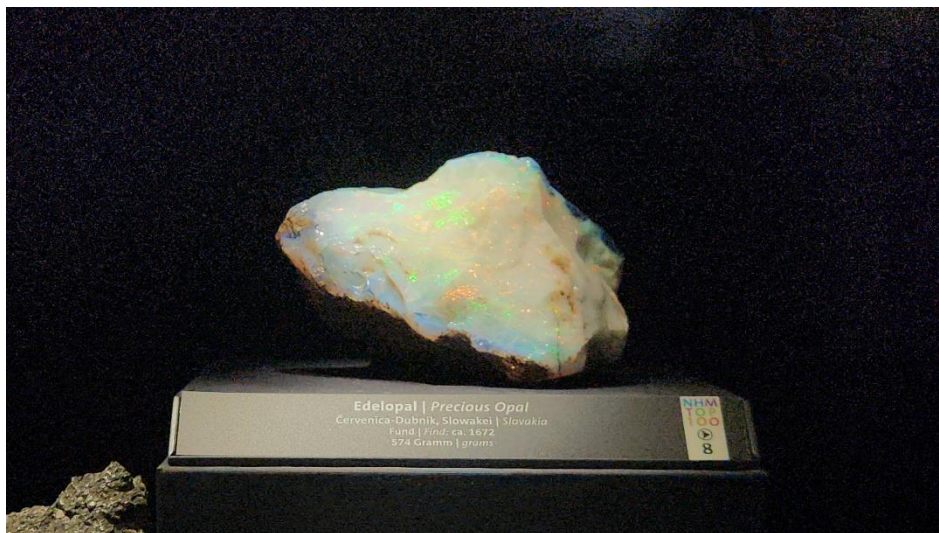
右圖：第 4 廳中著名的「寶石花束」，是藝術與礦物學的結晶。



第 4 廳中的寶石展櫃分區塊介紹各類寶石。



產自奧地利的 Habach valley 祖母綠。



重 594 克的斯洛伐克蛋白石。



82.2 克拉的南非鑽石。

第 5 展廳隕石廳自 2012 年全面翻新後，成功轉型為一個既尊重歷史傳統又擁抱現代科技的典範展覽空間。作為世界上最大、最完整的隕石展示之一，本廳的核心在於其無與倫比的實體收藏：約 1,100 顆隕石標本，其中包括曾為世界最大的石隕石 Knyahinya（重達 300 公斤）、奠定館藏基礎的 Hraschina 隕石，以及一系列具有里程碑意義的歷史性標本，如 Tabor、Stannern 和 Lancé 等。這些珍貴的藏品被巧妙地安置於展廳中央經翻新的經典歷史陳列櫃中，營造出濃厚的科學歷史氛圍。

展覽內容極為豐富，從系統性的隕石分類陳列（依循礦物學與化學分類，從碳質球粒隕石到鐵隕石），到聚焦特定主題的專區，如「奧地利隕石」、「月球與火星」（展示來自 NASA 的月球岩石、土壤以及 Tissint 火星隕石），乃至於「撞擊坑」與「化石隕石」等。展廳也設計了多種互動體驗，包括撞擊模擬器、顯微探索站、密度比較與隕石辨識挑戰。此外，動態元素如即時顯示的流星雷達數據，以及靜態的歷史瑰寶如 Johann Georg Nessfell 於 18 世紀製作的機械天象儀，共同構建了一個多層次、立體的參觀體驗，整個展廳可以說是傳統與現代的完美交融。

第 6 展廳主題為「地球一個充滿活力的星球」，是一個專門探討地質學的展廳。它超越了傳統地質學僅展示岩石的範疇，核心在於探討岩石圈、水圈、大氣圈與生物圈這四個圈層之間密不可分的動態關係。主題的時空跨度極廣，從地球 45.4 億年前的形成開始，一路延伸到當代備受討論的「人類世」。內容涵蓋了板塊構造如何塑造山脈、地球內部的結構、岩石的形成與循環，乃至於微生物在形成甲烷冰和錳結核等深海資源中所扮演的角色。為了讓參觀者親身感受地球的動態本質，此展廳的一大亮點在於設置了多個互動裝置。這些裝置讓抽象的地質過程變得可體驗，例如讓訪客能直觀了解地質作用，許多巧思值得讚賞及學習。



維也納自然史博物館隕石廳的全景，中央長形展櫃系統性地展示各類隕石。



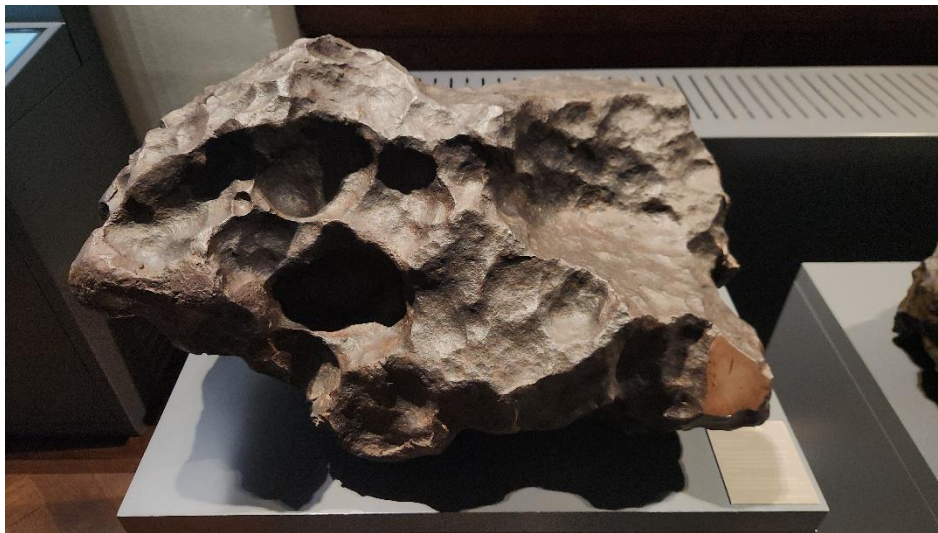
重達 300 公斤的 Knyahinya 普通球粒隕石，是館內重要的展品之一。



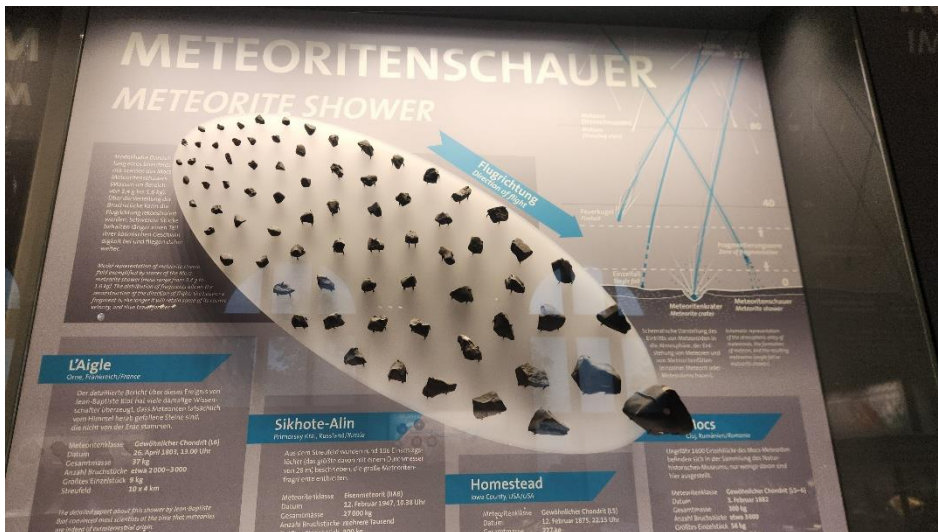
由左至右分別為 Ilmaes 鐵隕石、Cabin Creek 鐵隕石、以及 Hraschina 鐵隕石。



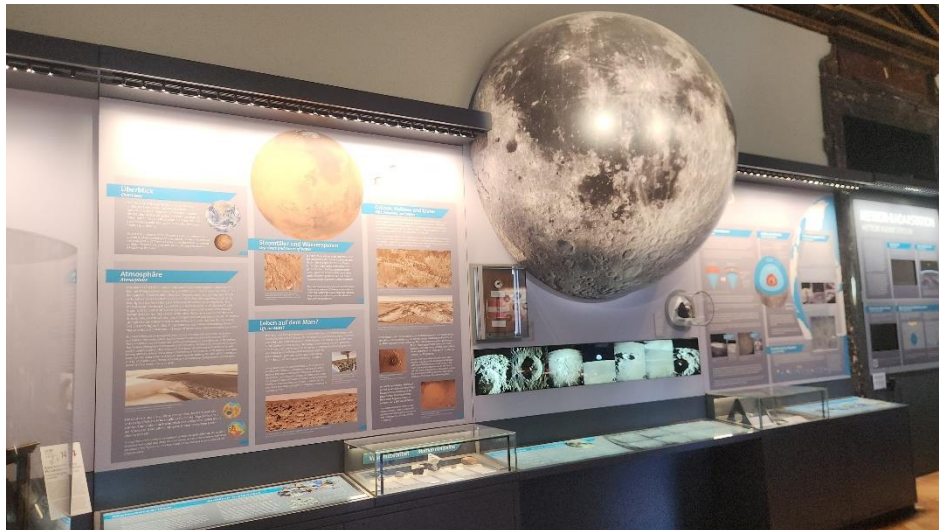
觀眾可零距離欣賞五件巨型鐵隕石，並可觀察隕石切面。



隕石一角刻意裁切以展示切面，可見鎳鐵合金交紋圖案。



隕石雨專區同時呈現了 4 大知名隕石雨事件中的隕石標本。



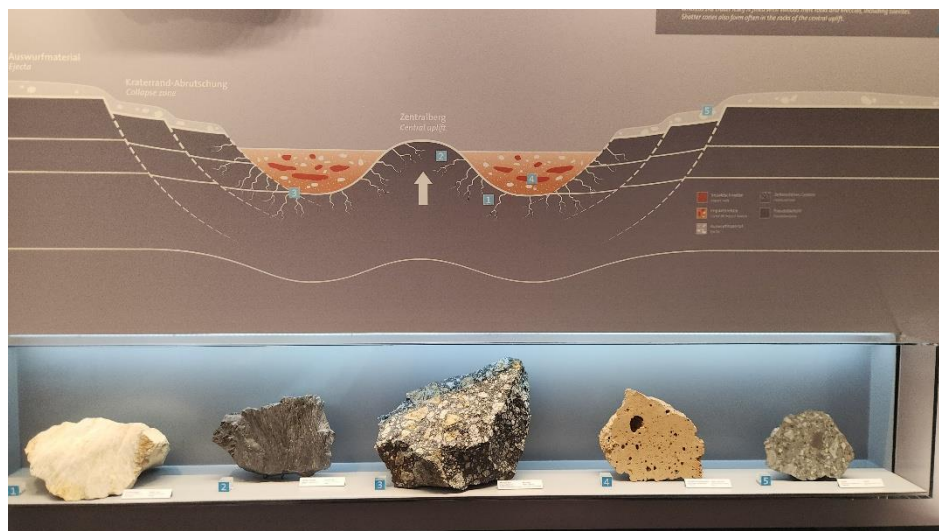
火星隕石及月球隕石專區，特別製作巨大月球模型呈現月表特徵。



阿波羅 17 號任務於 1972 年登月帶回的月岩標本。



火星隕石區可見 Chassigny、Shergotty、Nakhla、Zagami 與 Tissint 等知名隕石。



隕石坑內不同區域之撞擊岩，生成區域可與圖相對應。



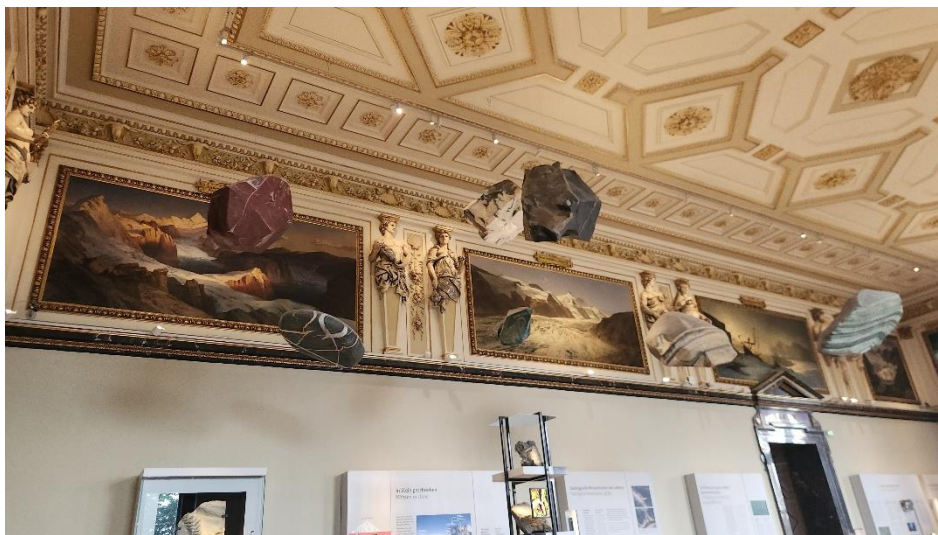
顯微探索站中可透過放大鏡及多媒體探索 8 件不同類隕石之顯微特徵。



互動裝置可將標本拿起比較不同隕石之密度差異。



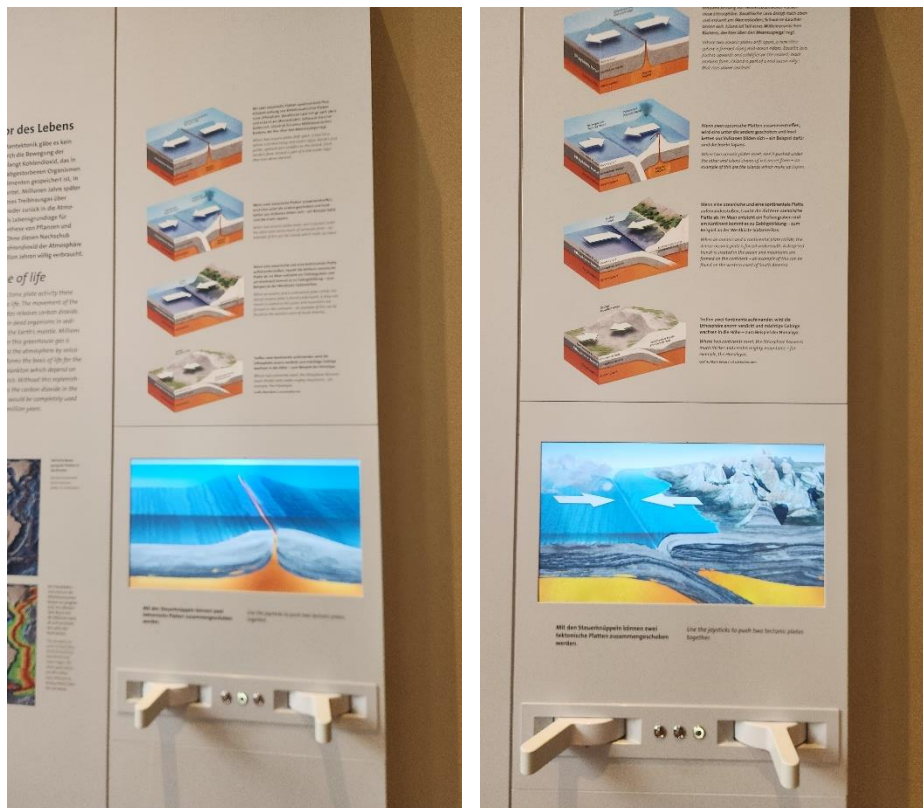
第 6 展廳展示「地球一個充滿活力的星球」主題，展示設計相當新穎。



展廳天花板漂浮著巨大岩石標本模型，創意十足。



「世界音樂」節律體驗區，將日月運行與季節更替化為感官的節奏。



透過把手可親手驅動板塊，搭配多媒體了解板塊移動的情形。



左圖：透過類似充氣的施力加壓裝置可觸發火山爆發。

右圖：調整溫度與濕度可控制石筍的產狀。

五、心得與建議

本次前往捷克布拉格參與 Goldschmidt 2025 國際會議，並於會後考察捷克國家博物館與維也納自然史博物館，實為一趟兼具學術深度與實務啟發的旅程。在會議中，不僅透過發表本館 Esquel 橄欖隕鐵之研究成果，與國際學者建立寶貴的交流橋樑，更掌握了行星科學、隕石學與礦物學的最新動態。特別令人印象深刻的是，會議中多項研究顯示，電子背向散射繞射（EBSD）與微區 X 光螢光光譜分析（ μ -XRF）技術的結合，已在生物礦化作用與化石化過程的研究上具有優勢。考量本人已具備此二項關鍵技術能力，未來可嘗試將研究領域延伸至化石藏品，開拓「生物礦化」及「化石化作用」研究領域，從而發掘館藏更豐富的科學價值。

在博物館考察方面，兩大世界級博物館的展示手法令人印象深刻。捷克國家博物館以其古典優雅的氛圍，系統性地呈現了礦物與隕石的分類之美；維也納自然史博物館則更進一步，透過「礦物演化」、「地球動力系統」等宏觀敘事，將靜態標本與動態地球歷史完美結合。更善用互動科技與情境設計，例如隕石廳的撞擊模擬、地球廳的板塊移動操作裝置，手動火山爆發及石筍生長控制裝置，成功將抽象的科學原理轉化為直觀且引人入勝的感官體驗。另外，兩館對於標本射的細緻考量，如對光敏感標本使用感應式光源、為放射性標本設置偵測器，展現了展示與保存並重的專業態度。

綜觀此行所見所學，個人認為在研究方面，除持續進行隕石相關研究外，也可將個人所擅長之 EBSD 與 μ -XRF 技術，應用於化石與生物礦物之微觀結構與元素分析，與本組古生物學門同仁建立本館在古環境與生命演化研究之特色。在展示規劃上，本館大地瑰寶礦物廳常設展雖已有引入「礦物演化」理論於展示中，但未來可更著重於礦物與生物共同演化的主題特展。另外，也可參考維也納自然史博物館的成功經驗，發展以「微隕石」、「火星之謎」或「礦物與人類文明」為題的特展，並適度導入互動體驗裝置，將研究成果轉化為公眾易於理解的科普內容，讓本館的珍貴蒐藏能持續啟發每一位來館觀眾的科學想像。