雕刻地球：時間、流水與岩石的動態交響曲

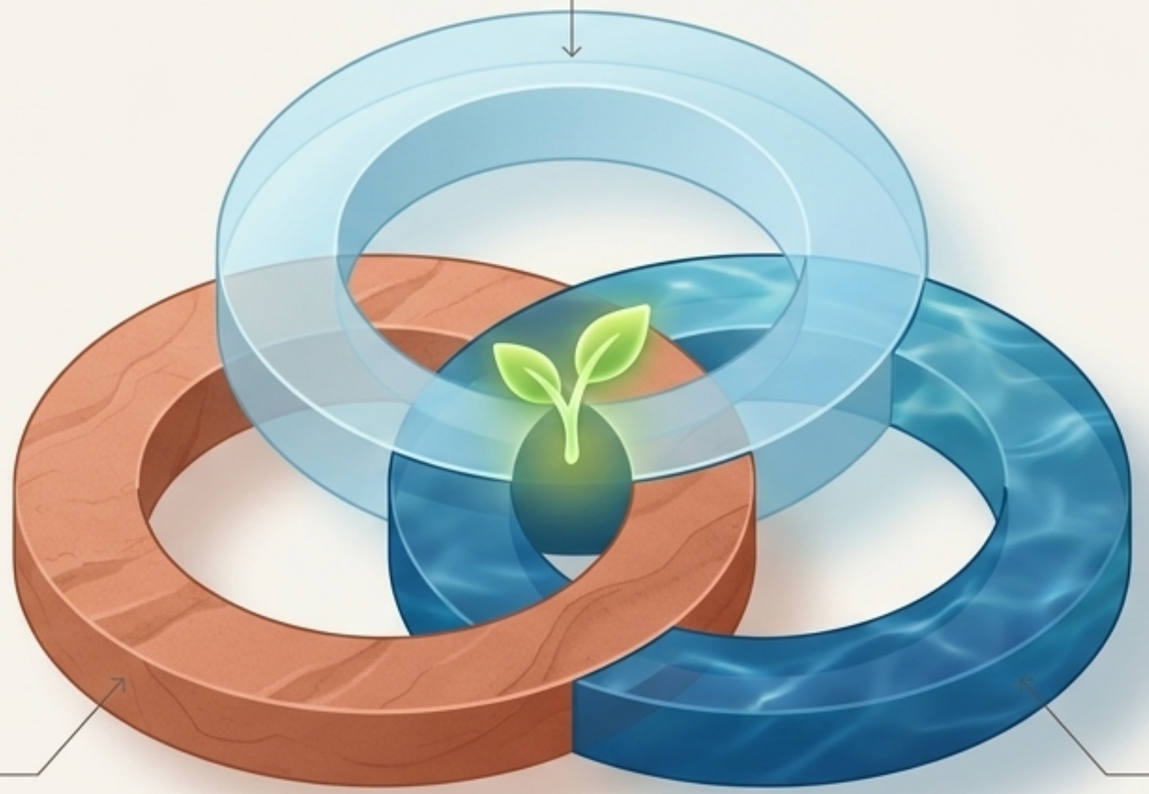
從宏觀的水循環到微觀的礦物結晶，圖解地表形貌的無盡演化。



Gemini Notebook

構成世界的極簡架構：地球三圈

大氣圈 (Atmosphere)：
包覆地球的氣體，調節氣候、阻擋輻射，提供生命所需氣體。



岩石圈 (Lithosphere)：
地球表層的固體岩石，蘊藏礦物資源，是承載生命的「畫布」。

水圈 (Hydrosphere)：
涵蓋地表所有淡水與鹹水，是地表最活躍的「雕刻工具」。

Insight: 傳統上各領域獨立，但在「地球系統科學」中，三者密不可分，共同維持動態平衡。

Gemini Notebook

藍色星球的「豐沛錯覺」

地球表面 71% 被水覆蓋



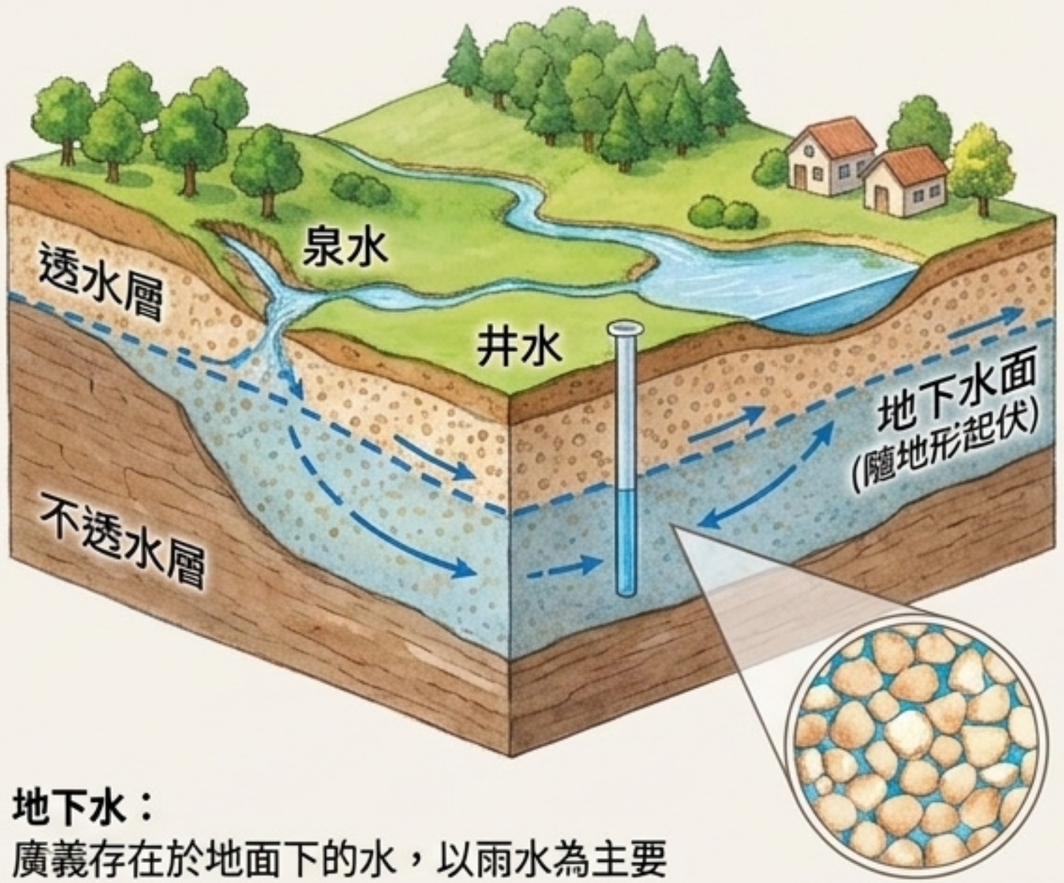
97% 鹹水
(平均鹽度 35‰，主成分：
氯化鈉 77.7%、氯化鎂 10.9%)

3% 淡水
(其中約 2% 鎖在冰川，僅剩 <1%
是人類可直接利用的地下水與河湖)

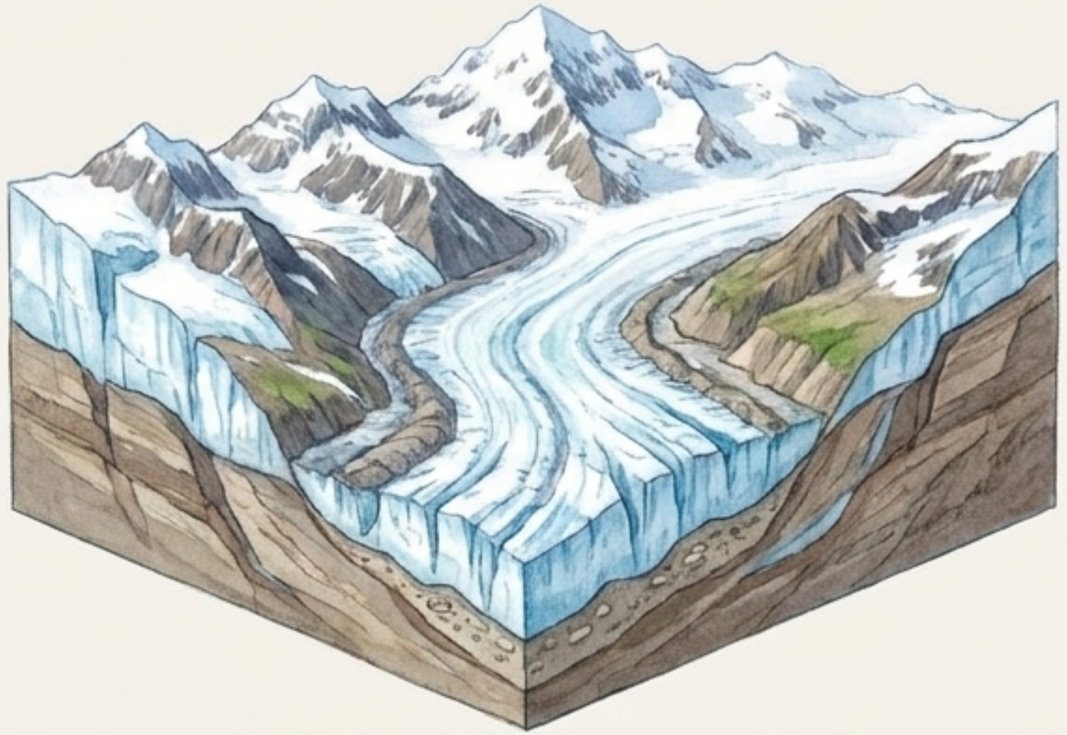
註解：雖然海洋是最大的水體，但因富含溶自岩石的鹽類，無法直接飲用。我們真正賴以生存的，是那不到 1% 的珍稀淡水。

Gemini Notebook

隱藏的寶庫：岩縫中的泉源與流動的冰



地下水：
廣義存在於地面下的水，以雨水為主要補注。地下水面會隨雨季旱季升降。

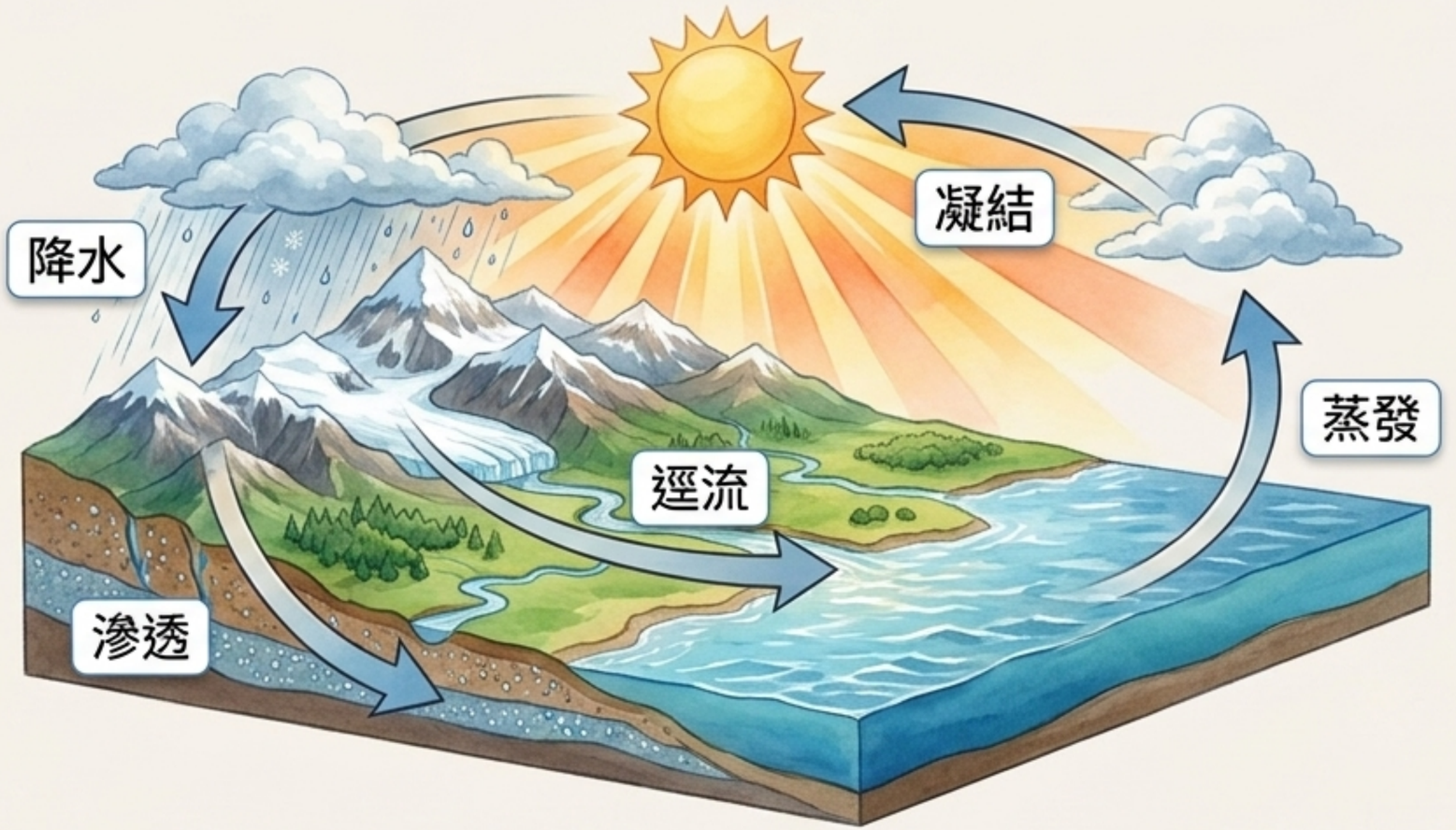


冰川（Glacier）：
高緯度或高山地區積雪不融，受重力壓實並向下流動而成。

Insight: 兩者皆是氣候變遷的敏銳指標（暖化致冰層融化海平面上升；降雨極端化影響地下水位）。

Gemini Notebook

驅動改變的無形引擎：水循環（Water Cycle）



機制：水分子透過三態變化，在各水體間不斷循環，重新分配水資源並調節氣候。

核心洞察（Insight）：水循環不僅是物質移動，更是「能量轉換」。海洋吸收熱能蒸發，水氣向陸地輸送凝結成雨時釋放潛熱——這是驅動外營力（河流、冰川）剝削地表的根本動能。

Gemini Notebook

重塑地貌的雙重力量：破壞與建設的拉鋸



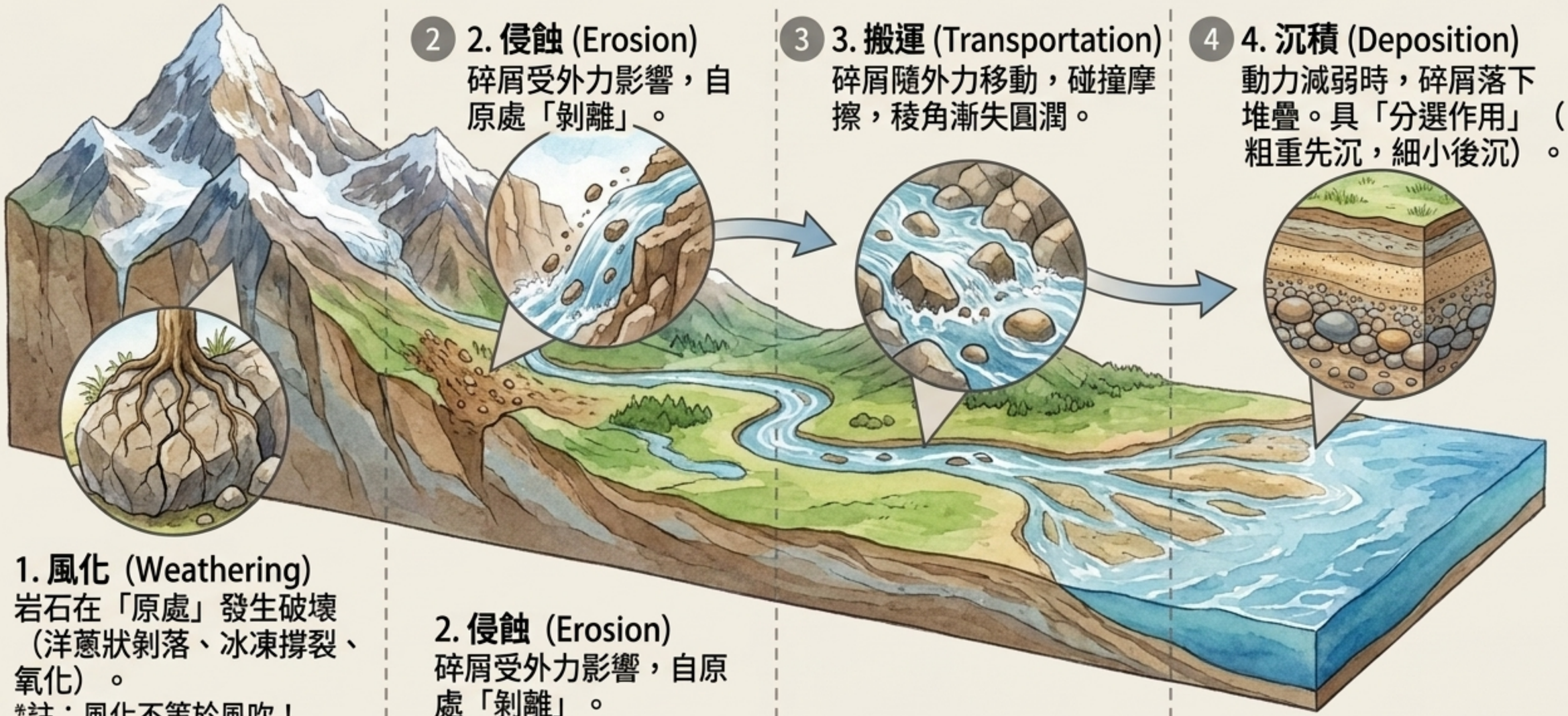
內營力（Builder）：
- 源自地球內部熱能（板塊運動、火山活動）。
- 作用：增加起伏，造山造陸。

外營力（Leveler）：
- 源自太陽能與重力（河流、風、冰川、海浪）。
- 作用：削平高聳、填補低窪，使地表趨於平坦。

Insight: 地殼均衡（Isostasy）- 高山被外營力削平減輕重量後，地殼會緩慢抬升；這是一個破壞與建設永無止境的動態平衡。

Gemini Notebook

雕刻四部曲：外營力的標準作業流程



1. 風化 (Weathering)
岩石在「原處」發生破壞（洋蔥狀剝落、冰凍撐裂、氧化）。
*註：風化不等於風吹！

2. 侵蝕 (Erosion)
碎屑受外力影響，自原處「剝離」。

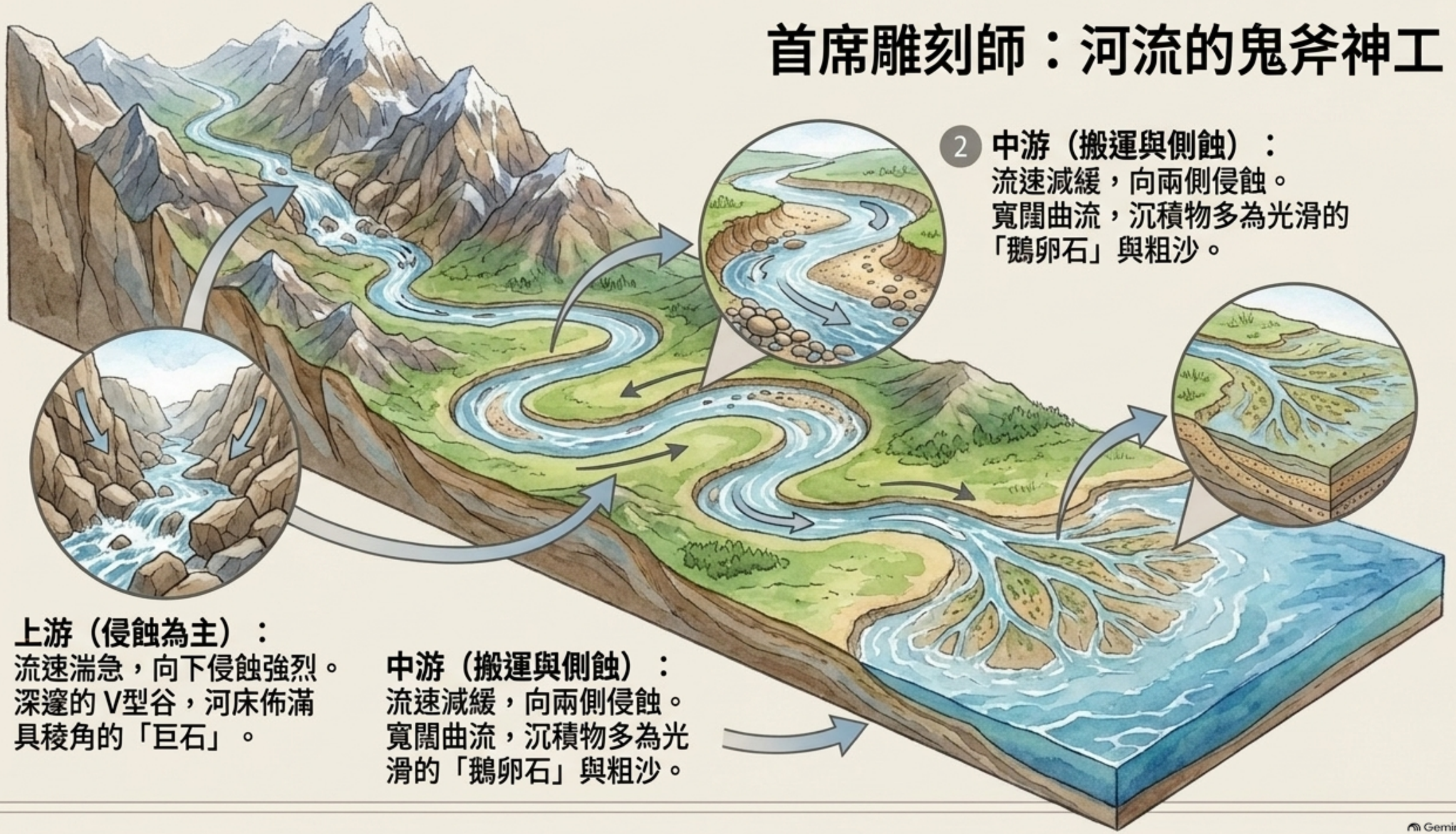
3. 搬運 (Transportation)
碎屑隨外力移動，碰撞摩擦，稜角漸失圓潤。

4. 沉積 (Deposition)
動力減弱時，碎屑落下堆疊。具「分選作用」（粗重先沉，細小後沉）。

2. 侵蝕 (Erosion)
碎屑受外力影響，自原處「剝離」。

Gemini Notebook

首席雕刻師：河流的鬼斧神工



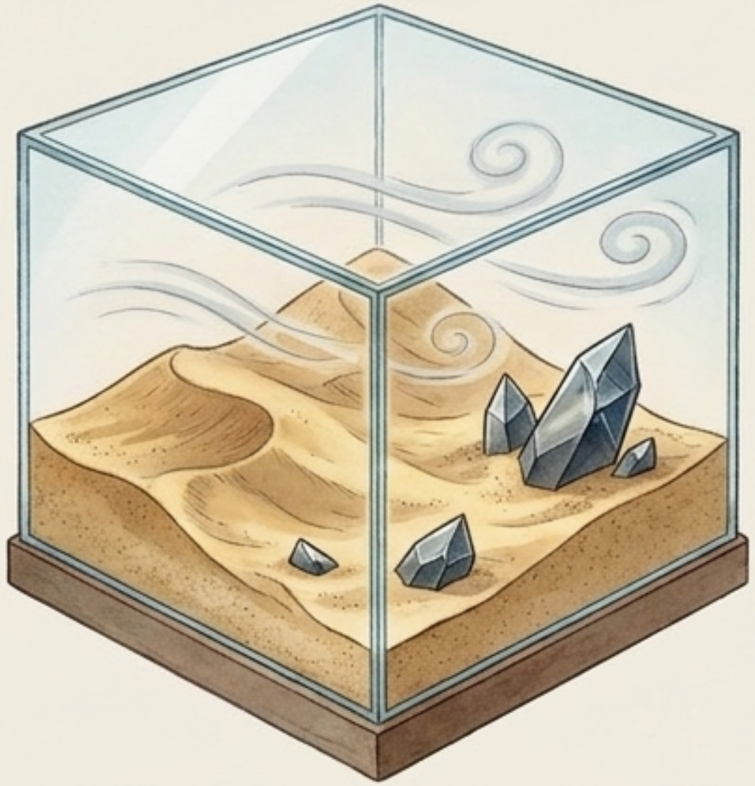
上游（侵蝕為主）：
流速湍急，向下侵蝕強烈。
深邃的 V型谷，河床佈滿
具稜角的「巨石」。

中游（搬運與側蝕）：
流速減緩，向兩側侵蝕。
寬闊曲流，沉積物多為光
滑的「鵝卵石」與粗沙。

2 **中游（搬運與側蝕）：**
流速減緩，向兩側侵蝕。
寬闊曲流，沉積物多為光滑的
「鵝卵石」與粗沙。

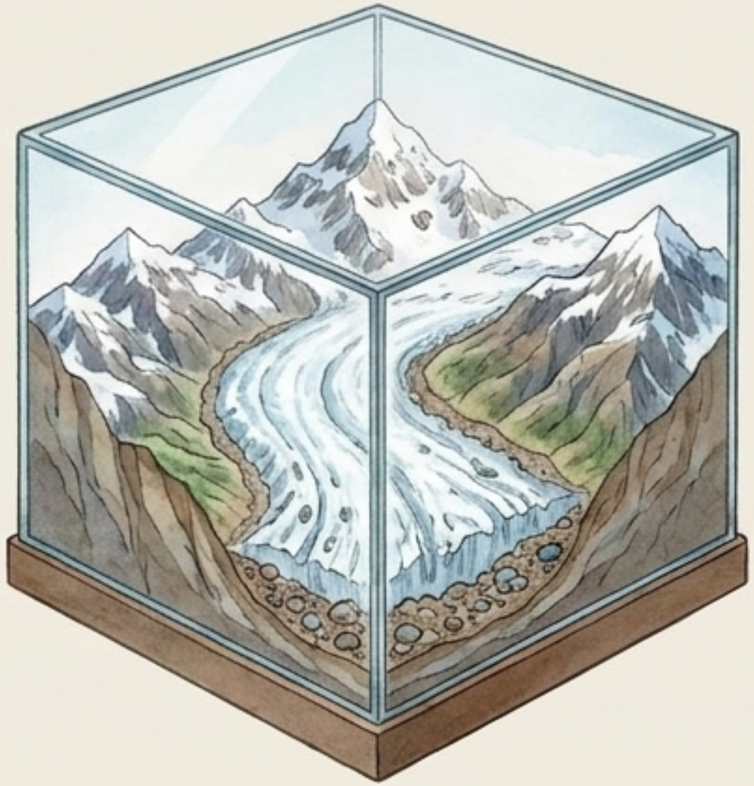
Gemini Notebook

風、冰與海的特殊傑作



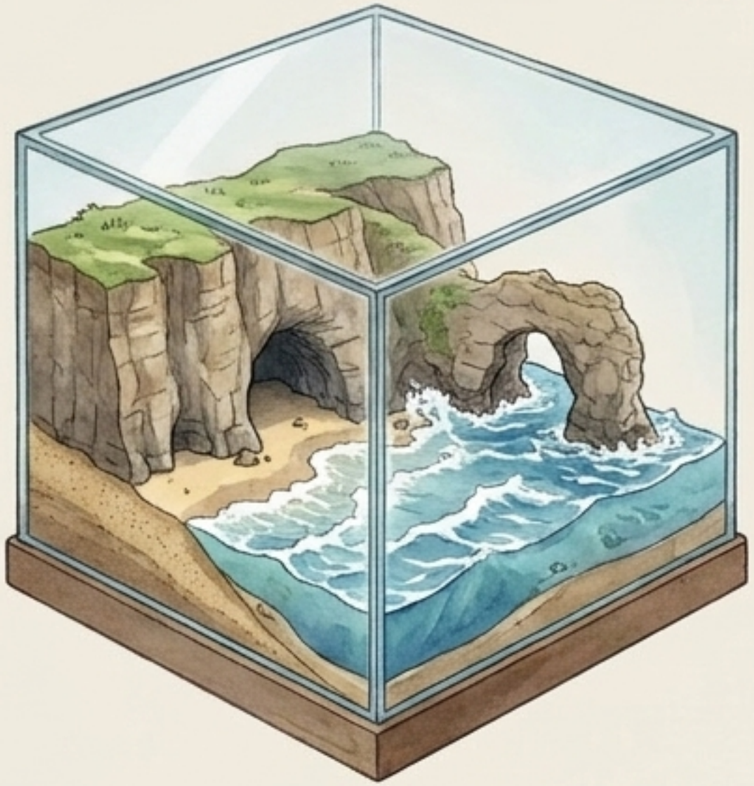
風的磨蝕 (Wind)

強風挾帶沙粒長期刻蝕岩石。產生具光滑劈磨面的「風稜石」與隨風改變的「沙丘」。



冰川的削磨 (Ice)

冰層緩慢移動，挾帶底部岩屑劇烈刮擦。刻蝕出寬平的「U型谷」與大小岩塊混雜無分選的「冰磧石」。



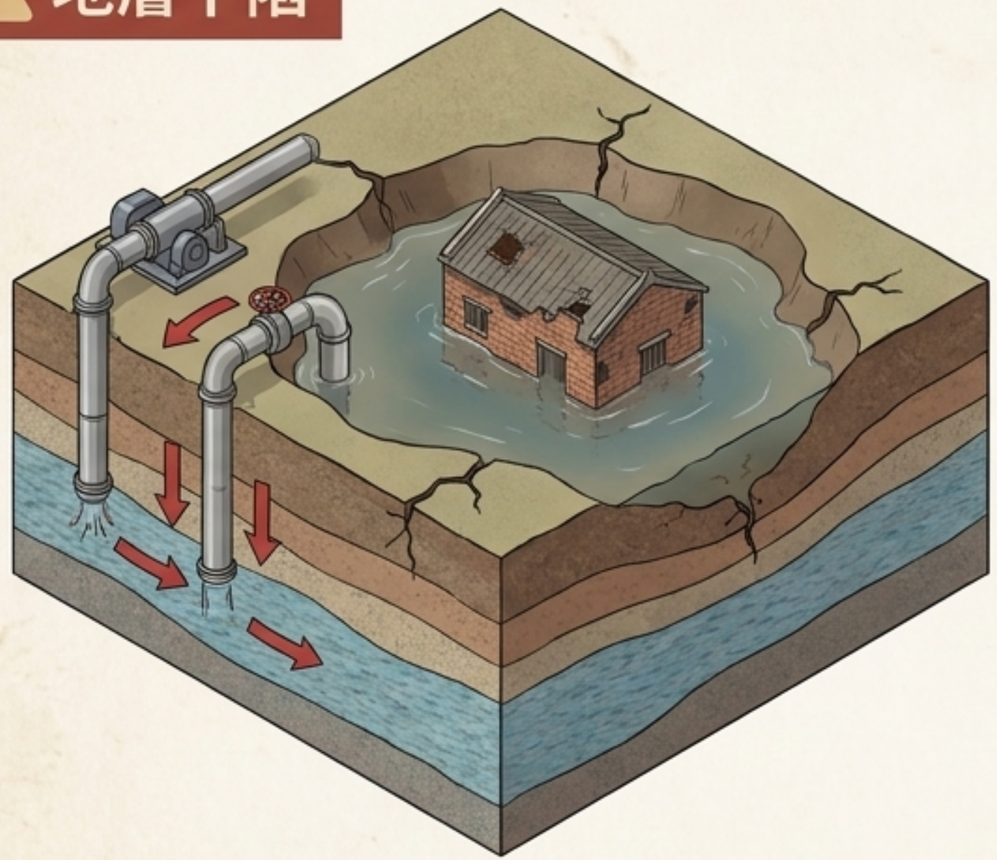
海浪的拍打 (Waves)

經年累月侵蝕與沉積海岸。打出海蝕崖、海蝕洞、海蝕拱門，並沉積出沙灘。

Gemini Notebook

打破平衡的代價：人類活動的反撲

⚠ 地層下陷



超抽地下水 → 地層下陷：抽取量大於補注，岩層孔隙受重力壓縮。此為「不可逆」破壞，導致永久淹水與地下水海水鹽化。

⚠ 海岸退縮



過度採砂 → 海岸退縮：河道過度挖取砂石，河流會加速侵蝕上游填補坑洞（橋墩裸露），並導致輸往出海口的泥沙減少，最終造成海岸線嚴重退縮。

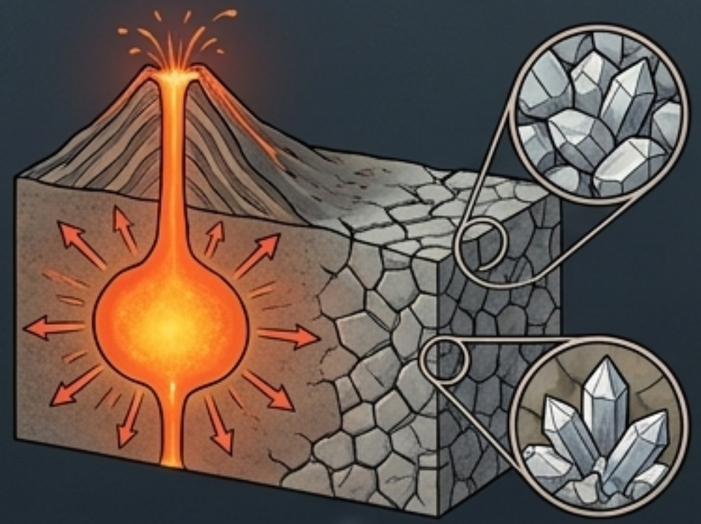
Gemini Notebook

構築世界的三大基礎：岩石分類矩陣



火成岩 (Igneous)

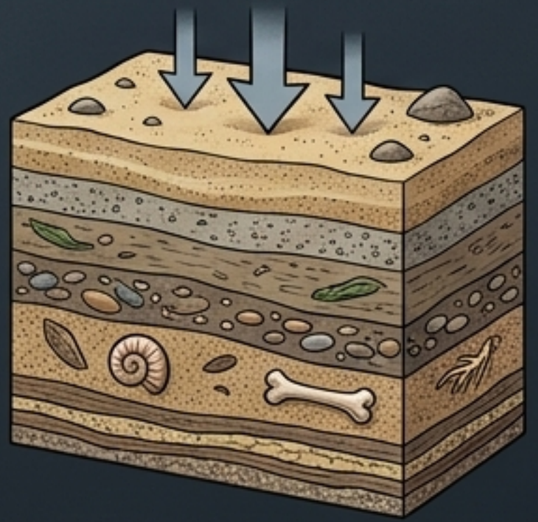
成因：岩漿冷卻凝固。
特徵：由礦物結晶緊密組成。





沉積岩 (Sedimentary)

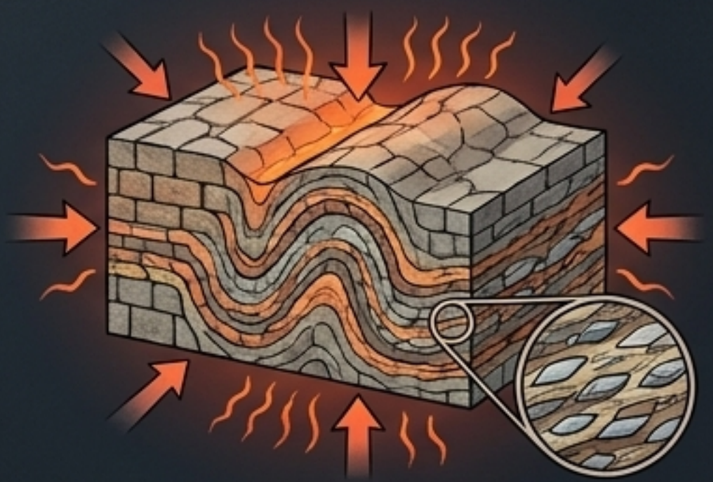
成因：碎屑層層堆疊壓密膠結。
特徵：具明顯分層構造，常含有化石。





變質岩 (Metamorphic)

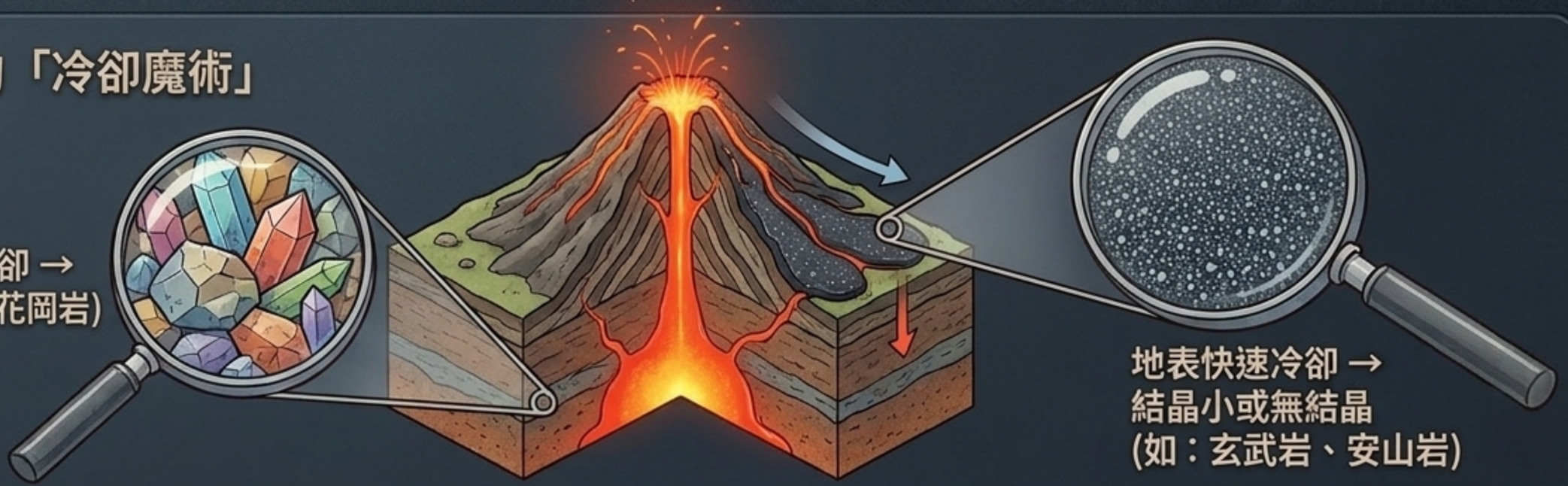
成因：既有岩石受高溫高壓改變結構。
特徵：礦物緊密排列，有時具變質葉理（波浪紋）。



Gemini Notebook

深度解析：冷卻與堆疊的藝術

火成岩的「冷卻魔術」



地底緩慢冷卻 →
結晶大 (如：花岡岩)

地表快速冷卻 →
結晶小或無結晶
(如：玄武岩、安山岩)

沉積岩的「篩選效應」



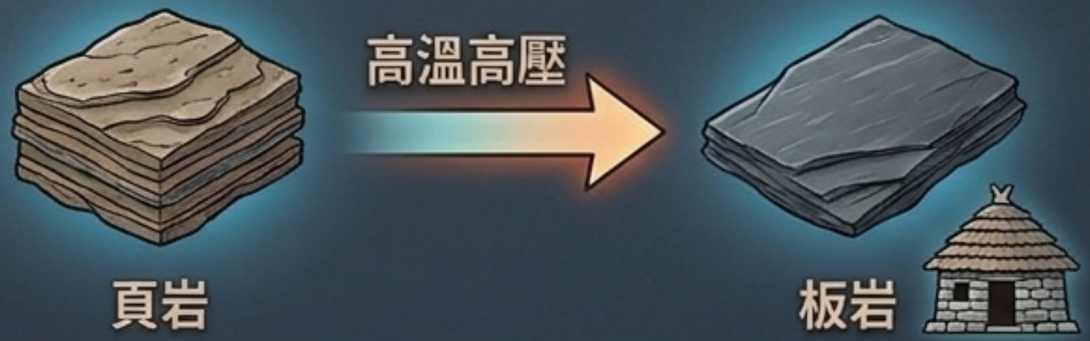
礫岩 (大顆粒)　砂岩 (中顆粒)　頁岩 (小顆粒)

生物遺骸堆積可形成石灰岩；化學結晶可形成鹽岩。

Gemini Notebook

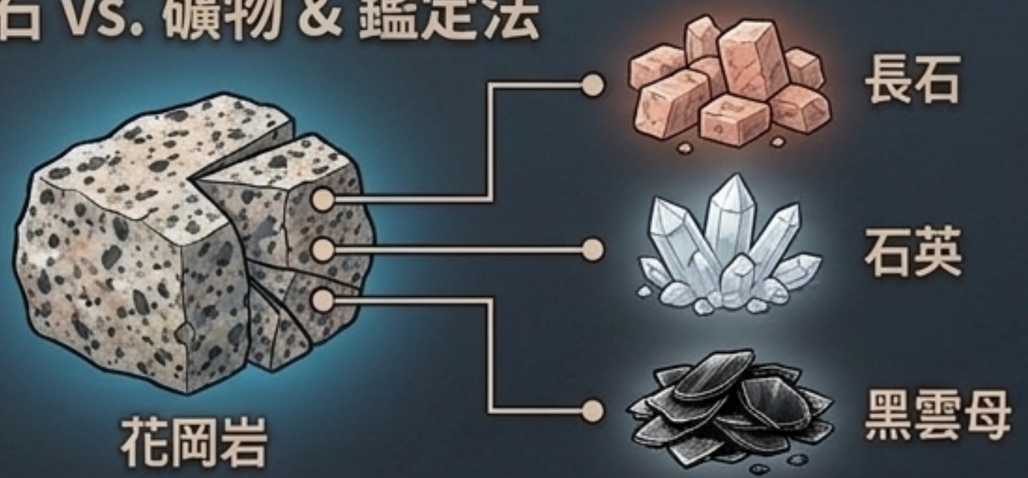
深度解析：淬鍊與礦物本質

變質的洗禮





岩石 vs. 礦物 & 鑑定法



岩石是多種礦物的集合體；礦物則是具特定化學成分的無機物。

野外鑑定法：



硬度比較
(指甲 vs 鐵釘)

滴酸測試
(含碳酸鈣的方解石/大理岩遇稀鹽酸會冒泡)

Gemini Notebook

宿命的雕刻：野柳女王頭與「差異侵蝕」

原理解析

由於岩層抗侵蝕的能力不同，在東北季風與海浪長期的「差異侵蝕」下，造就了突出的頭部與日漸纖細的頸部。



頂部：鈣質砂岩結核
（含石灰質，抗侵蝕力強，較硬）

頸部：砂岩與頁岩互層
（抗侵蝕力弱，較軟）

終極思考

當纖細的頸部終將無法支撐頭部重量而面臨斷裂，我們該選擇人為補強與外界隔離？還是無為而治順應自然？

Gemini Notebook

永不止息的畫布：無盡的岩石循環



結語：地表看似堅不可摧，實則在時間與流水的雕刻下無時無刻不在重塑。
理解這份動態平衡的藍圖，是人類學會與自然共存的第一步。

Gemini Notebook