

《地震學》學習歷程與成果回顧

探索地球內部的奧秘與工程實踐

林幼鎂*

地球科學學系 地生四

互動網頁資源：Hugging Face 平台

2026 學年度第一學期



Seismic Waveform

1. 學期學習歷程架構與核心資產
2. W1-W2：課程導論與軟體環境
3. W3：地震報告學習 (AI 協作)
4. W4：震測套件應用與野外實驗
5. W5：國震中心參訪實踐
6. W6：地震學第三章報告
7. W7：宋冠毅老師演講
8. W8：繪製震源機制球
9. W9：第四章報告與學習總結

本報告核心主軸

物理理論



程式計算



工程實踐

三位一體的深度探索

單元主題	週次	核心實作成果	涉及之地震學觀念
課程介紹與軟體說明	W1	完成申請 GitHub、Hugging Face 帳號及 Antigravity 軟體的安裝與使用	無
地震學導論	W2	地震學第一章互動網頁	逆問題、彈性波傳播、波動力學與地質界面、震源機制、共振效應與次生災害、地震預測與社會應用
地震報告學習 GEM (AI 協作)	W3	2015 尼泊爾地震報告與演講心得	尼泊爾 M7.8 強震構造背景、破裂方向性效應 (向東單向破裂)、地震空區 (Seismic Gap)、與 AI 溝通的技術

單元主題	週次	核心實作成果	涉及之地震學觀念
地震學套件應用與野外震測實驗	W4	震測心得報告	地震儀原理、三分量地震計、測站座標旋轉(徑向與橫向)、場址放大效應、ObsPy 套件應用
國家地震工程研究中心參訪實踐	W5	國震中心參訪報告；Hugging Face React 互動網頁	減震與耐震工程、鋼板阻尼器、挫屈束制斜撐 (BRB)、鉛心橡膠隔震支承 (LRB)、結構動力反應模擬
期中考與地震學第三章報告	W6	地震學第三章報告	地震波走時、折射與反射地震學、球形地球中的地震波、各向異性地球結構
宋冠毅老師演講	W7	青年百億海外圓夢基金計畫介紹	國際合作交流、地震預警技術
繪製震源機制球	W8	手動繪製「震源機制球」；判定真實斷層破裂面	斷層走向、傾角、滑移角；雙力偶等效力源模型
地震學第四章	W9	地震學第四章報告	彈性回跳理論、地震週期四個演化階段、四大基礎斷層類型

W1：課程介紹與軟體環境

- 完成申請 **GitHub**、**Hugging Face** 帳號。
- 安裝並設定 **Antigravity** 工作環境，為後續課本分析、互動式網頁製作以及震源機制解算打下堅實基礎。

W2：地震學導論

- 研讀《An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure》1.1 與 1.2 章節。
- 學習地震的成因、地震波基礎傳遞特性，以及防震減災對社會的重要性。
- **成果**：地震學大師第一章互動學習網頁。

W2 地震學核心觀念

- **逆問題**：由觀測推算地球內部結構。
- **彈性波傳播**：P 波（縱波）與 S 波（橫波）在介質中的傳遞機制。
- **波動力學與地質界面**：波在不同介質中的反射、折射與衍射。
- **震源機制**：描述斷層錯動方式的物理模型。
- **共振效應**：鬆軟地層對地震波的場址放大效應。
- **次生災害**：海嘯、土壤液化等地震誘發災害。

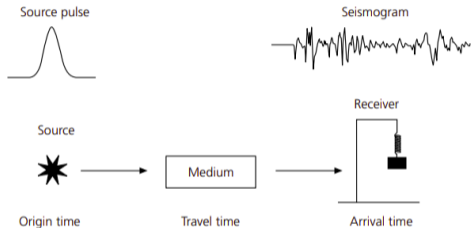


Fig. 1.1-1 Schematic geometry of a seismic experiment.

圖 1.1-1：地震實驗示意圖。震源產生波，經介質傳播後被地震儀記錄，藉由抵達時間推算介質特性。

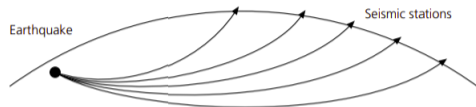


Fig. 1.1-2 Seismic ray paths in the earth, showing the effect of an increase in seismic velocity with increasing depth. The waves travel in curved paths between the earthquake and seismic stations.

圖 1.1-2：地震波射線路徑。地球深處波速較快，波傳遞時產生折射（Refraction），導致路徑彎曲。

圖 1.1-3：典型地震圖，清楚標示 P 波、S 波以及晚到、振幅極大的 Rayleigh 表面波。

AI 工具與溝通技巧

- AI 不只有網頁版本，還有 **IDE**、**CLI** 介面可以使用。
- **與 AI 溝通的技巧**是最大收穫：使用 **Markdown** 格式化指令、請 AI 生成合適的 **prompt**，讓溝通更精準。

2015 尼泊爾 M7.8 大地震案例分析

- **構造背景**：印澳板塊向北俯衝至歐亞板塊，產生大規模逆衝地震。
- **破裂方向性效應 (Directivity Effect)**：能量向東單向破裂釋放，加劇特定地區損害。
- **地震空區 (Seismic Gap)**：長期未發生地震的板塊邊界，意味著高應力積累。
- **場址效應**：加德滿都盆地鬆軟沉積物導致地震動顯著放大。

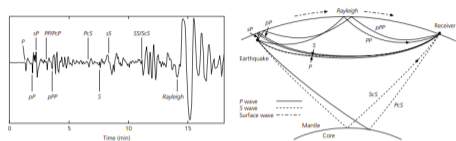


Fig. 1.1-3 Left: Long-period vertical component seismogram at Golden, Colorado, from an earthquake in Colombia (July 29, 1967), showing various seismic phases. The distance from earthquake to station is 44°. Right: Ray paths for the seismic phases labeled on the seismogram.

尼泊爾 M7.8 地震震源機制與破裂方向性分析示意圖

核心學習：AI 協作不只提升效率，更訓練「提問能力」與科學寫作的邏輯架構。

野外微震觀測

- 前往科學館外**黑森林**，進行 **SmartSolo 節點式地震儀**的實地架設與數據收集。
- 學習三分量地震計水平整置、GPS 精確對時與資料記錄器設定。

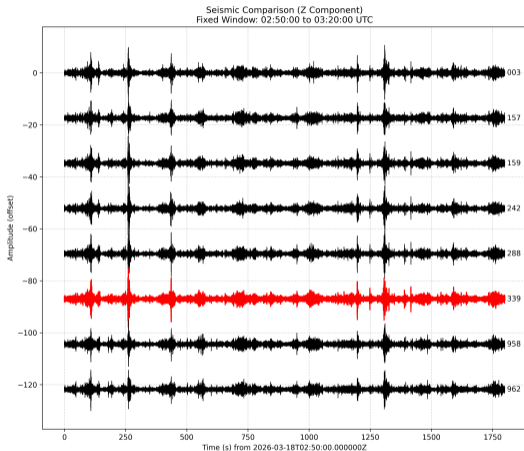
ObsPy 數據處理

- 讀取 SAC/MSEED 格式測站數據。
- 進行**去趨勢 (detrend)**、**帶通濾波 (bandpass)**等預處理，剔除背景環境噪訊。
- 透過**連續小波轉換 (CWT)**與**功率譜密度 (PSD)**分析，將原始數據轉化為三軸波形圖與頻譜特徵圖。
- **測站座標旋轉**：N-S、E-W 分量旋轉為徑向 (Radial) 與橫向 (Transverse) 分量。



場址效應：地震波從堅硬岩石傳入鬆軟土層（「碗中果凍」比喻），位移振幅顯著放大，解釋了軟弱地盤震災較嚴重的原因。

野外微震觀測實驗儀器架設與測站部署現場照片



ObsPy 水平分量旋轉前後波形對比 (圖一：測站 003；圖二：測站 157 地震波形與頻譜特徵分析)

總結對比圖 (圖九) 觀察

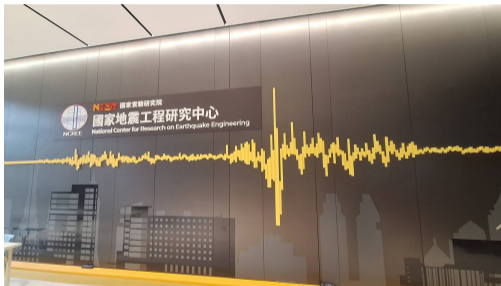
- **波前相對延遲**：同一波動事件在不同測站的抵達時間差，展現波動在空間傳播的延時。
- **站間響應差異**：比較各測站相對震幅強弱，驗證地震波因傳播距離及**場址條件**不同所帶來的衰減與特徵多樣性。
- 測站 339 以**紅色特意標註**，展示目標測站在疊加圖中的定位。

SH 波分離：ScS 波在橫向分量 (T) 上訊號極度清晰，因 SH 波在固液邊界 (CMB) 反射時不發生模式轉換 (Mode Conversion)，能量得以完美保留。

實地觀摩重點

- **一樓大廳震波展示**：直觀學習各類歷史強震波形的頻譜與振幅特徵。
- **鉛心橡膠隔震支承（LRB）**：安裝於大樓底部，拉長結構物振動週期，隔絕地震能量。
- **鋼板阻尼器（SPD）**：消能段鋼板削薄，地震時先剪力降伏，透過塑性變形吸收能量。
- **多軸向測試系統（MATS）**：同時施加垂直力與多方向水平剪力，模擬支承墊真實受力。
- **挫屈束制斜撐（BRB）**：外層套管束制內部鋼心，在受拉與受壓時均勻耗能。
- **三軸向地震模擬振動台**：液壓系統模擬真實地震，測試結構物抗震能力。

數位成果：以 React 開發「參訪互動探索網頁」部署至 Hugging Face 平台。



一樓大廳震波展示區



七樓減震與隔震設備：LRB 及鋼板阻尼器 (SPD)

三種基本波路徑 (fig3.2-1)

- **直達波 (Direct wave)**：沿著地表或單一層內部，直接從震源直線傳播到接收器。
- **反射波 (Reflected wave)**：向下傳播撞擊到下層介面後，如同鏡面反射般彈回地表接收器。
- **折射臨界波/首波 (Head wave)**：入射角達到臨界角時，波沿著介面下方以較快速度傳播，不斷將能量釋放回上層，最終被地表接收器接收。

傾斜地層與互換原理 (fig3.2-12)

- **互換原理 (Reciprocity)**：震源與接收器互換時，總傳播時間完全相同。
- **非對稱性**：震源固定時，Up-dip 與 Down-dip 方向相同距離的接收器，其傳播時間不相同。

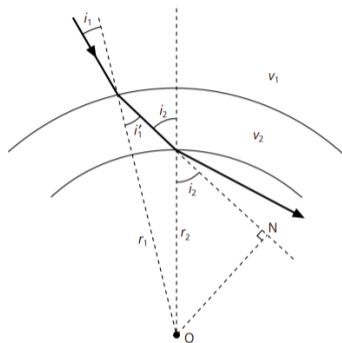


Fig. 3.4-1 Geometry of Snell's law for a spherical earth.

fig.3.4-1：球形地球中的 Snell 定律幾何。地球深處波速越快，射線路徑呈弧形向下彎曲，在轉折點 ($i = 90^\circ$) 水平後折返地表。

命名規則

- **基本波型**：實線 = P 波（縱波）；虛線 = S 波（橫波）。
- **小寫 p, s**：先向上傳播並在震央附近地表反射的波。
- **小寫 c**：在核幔交介面（CMB）發生的反射（如 PcP）。
- **大寫 K**：在液態外核中傳播的 P 波。
- **大寫 I**：在固態內核中傳播的 P 波。
- **大寫 J**：在固態內核中傳播的 S 波。

S 波無法通過液態外地核 ($\mu = 0$)，形成**S 波陰影區**——這是發現液態地核最直接的證據。

期中複習自動化文件工具

- 開發 md2docx.py，底層調用 py pandoc。
- 將 Markdown 中複雜的 LaTeX 偏微分波動方程與應力張量矩陣，自動轉譯為 Word 原生的 OML 方程式物件，徹底解決公式亂碼問題。
- 正則表達式自動比對投影片頁碼，精確插入對應圖片。

青年百億海外圓夢基金計畫

- 介紹台灣現有的青年百億計畫可申請的項目與補助事項。
- 兩種計畫組別：
 1. **築夢工場組**：聚焦在研究機構與實驗室的實作經驗。
 2. **海外翱翔組**：適用於不同能力與經驗的人，前往海外進行交流學習。
- 前往**德國、瑞士與紐西蘭**進行地震預警技術交流。

國際合作的挑戰

- **人脈管道**：建立跨國學術人脈網絡的重要性。
- **溝通能力**：語言與文化適應能力是海外交流的關鍵。
- 分享在德國、瑞士、紐西蘭不同國家的文化體驗與造訪的學術機構。

給我們的建議：

- 勇於嘗試國際申請，不要因語言或經驗不足而自我設限。
- 地震預警技術是台灣在國際地震學領域的重要強項。
- 透過跨國知識交流，共同提升地震防災能力，保護人類社會。

地震學的研究成果不僅停留在學術，更能透過國際合作轉化為實際的社會防災效益。

斷層幾何三要素

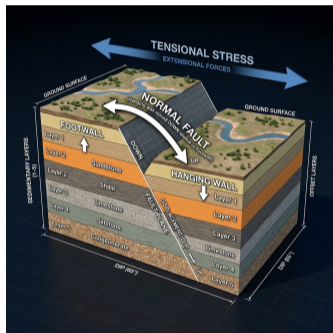
- **走向 (Strike, ϕ_f)**：斷層面與水平面的交線方向。
- **傾角 (Dip, δ)**：斷層面與水平面的夾角 ($0^\circ =$ 水平； $90^\circ =$ 垂直)。
- **滑移角 (Rake, λ)**：上盤在斷層面上的運動方向角。

Gradio 互動式平台

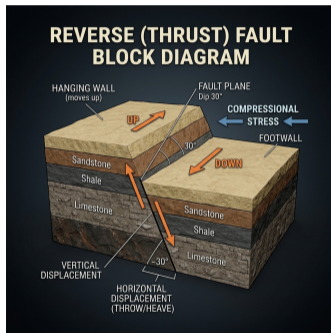
封裝開發「震源機制球互動教學平台」，部署於 Hugging Face Spaces，動態展示三維沙灘球形狀。

手繪震源機制球 (Beach Ball)

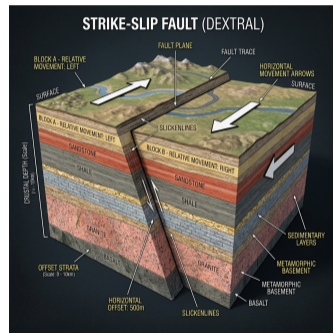
- 利用**等面積投影網**與描圖紙按步進程序進行。
- 節面一 (NP1)：走向 184° 、傾角 17° ；節面二 (NP2)：走向 19° 、傾角 73° 。
- **P 波初動極性**：壓縮 (塗黑)；拉張 (留白)。



正斷層



逆斷層



平移斷層

基本觀測參數

事件編號	us6000sri7
發生時間	2026/04/20 07:53:00 UTC
震央位置	岩手縣宮古市東北東方約 100 km 外海
震源深度	35.0 km
地震規模	Mw 7.4

地體構造背景

板塊邊界型大逆衝地震 (Interplate Megathrust Earthquake)

太平洋板塊以每年約 83 mm 的速度向西俯衝至北美板塊 (奧霍茨克微板塊) 之下。當累積應力超過板塊邊界斷層的抗剪強度時，斷層面瞬間發生破裂滑移，上覆板塊向東、向上反彈，釋放能量。此類地震是引發破壞性**海嘯**的主要元兇。

節面參數分析

參數	NP1 (真實面)	NP2 (輔助面)
走向	184° (南北, 朝西)	19°
傾角	17° (極平緩)	73° (陡峭)
滑移角	75° (逆衝+左移)	94° (逆衝)
判定	真實斷層面	幾何輔助面

NP1 判定依據： NP1 傾角 17° 向西傾斜完美符合日本海溝板塊界面俯衝幾何；滑移角 94° 屬幾乎純粹的逆衝斷層錯動，上覆板塊向東向上彈性反彈，直接抬升海水柱引發局部海嘯。

Reid 彈性回跳理論與地震週期

- 當板塊運動使斷層周圍岩石的應變能積累超過岩石強度，斷層瞬間發生破裂滑移，彈性應變能以地震波形式釋放，岩石「彈跳回」原本位置。
- **地震週期四個演化階段：**
應力積累 → 前震（或無） → 主震（瞬間斷裂） → 餘震（應力調整再平衡）。

雙力偶等效力源模型

- 斷層滑移等效為兩對大小相等、方向相反的力偶（Double Couple）。
- 此模型決定了 P 波初動輻射的四象限對稱結構，是繪製震源機制球的理論基礎。

四大基礎斷層類型

- **正斷層（Normal fault）：**受水平張裂應力，上盤沿斷層面**下滑**。常見於中洋脊或張裂盆地。
- **逆衝斷層（Thrust fault）：**受水平擠壓應力，上盤沿斷層面**上推**。多見於隱沒帶或造山帶。
- **走向平移斷層（Strike-slip）：**受水平剪切應力，兩側岩體發生**水平相對錯動**。
- **斜移斷層：**兼具垂直與水平分量的複合型，如宮古外海 M7.4（逆衝 + 左移）。

1. 從抽象公式到具體觀測

課堂推導的波動方程式與彈性係數，在 ObsPy 實驗中變成了實際的 SAC 波形分量；在手繪震源機制球時變成了 Stereonet 投影網上的點。結合通俗比喻（繩子、彈簧、果凍），真正「看見」地球內部的跳動。

2. 跨學科能力的融合

自動化整理 Word 講義、建立 Hugging Face 互動網頁、開發 Gradio 震源球模擬器，將地球物理學知識與軟體工程（Python、React、API 部署）有機融合，實現專業知識的「科普化」。

3. 地質災害與社會關懷

不論是尼泊爾強震的破裂機制分析，或是國震中心參訪，都一再提醒我們：地震學是與人類生命安全息息相關的科學，最終目的都是為了防範災害、保護人類社會。

核心主軸

物理理論

波動方程 · 彈性係數 · 射線理論 · 震源機制



程式計算

Python · ObsPy · PyPandoc · React · Gradio



工程實踐

野外震測 · NCREE 參訪 · Hugging Face 部署

本學期的《地震學》課程帶給我極大的啟發，展現出**三位一體**的探索深度。



感謝聆聽

《地震學》學習歷程與成果回顧

林幼鎂 臺北市立大學 地生四

特別感謝 AI 助理 (Antigravity) 在本學期知識庫建置、報告撰寫與程式開發中的引導與協助。

互動式資源：[Hugging Face 平台](#) | [React 互動網頁](#) | [Gradio 震源球模擬器](#)