

地震學期末專題研究成果報告

理論、微型觀測系統與野外實作

Hsiao Yun An

University of Taipei

June 9, 2026

1.1 地震學的核心概念

什麼是地震學？

地震學核心在於研究地震成因、震波傳播以及推測地球內部的構造。

觀測的三大核心要素：

- 1 震源 (Source)：能量釋放的位置
- 2 介質 (Medium)：震波傳播的路徑
- 3 接收站 (Receiver)：地表的地震測站

科學應用：

- 利用震波走時與走時剩余，推測地函、地核的雜分層結構。

1.2 彈性回跳理論 (Elastic Rebound Theory)

地震如何發生？

- ① **應力累積**：板塊持續運動，導致斷層兩側的岩層產生彈性應變，累積應力。
- ② **超過極限**：當累積的應力超過斷層面上的最大摩擦力時，岩層發生瞬間破裂。
- ③ **能量釋放**：岩層瞬間滑移，回彈回復原狀，將累積的彈性位能瞬間釋放。
- ④ **波動傳播**：釋放的能量以 **P 波**、**S 波** 與 **表面波** 的形式向外傳播。

1.3 震源與震央

空間定義

- **震源 (Focus/Hypocenter):**
地下岩層最初發生破裂的位置。
- **震央 (Epicenter):**
震源正投影至地表的位置。
- **震源深度:**
震源到地表測站的垂直距離。

依深度分類

- **淺源地震:** 0–70 km
(破裂多具脆性, 破壞力 \square)
- **中源地震:** 70–300 km
- **深源地震:** 300–700 km
(多發生於隱 \square 帶深處)

2.1 P 波與 S 波的物理特性

P 波 (Primary Wave)

- 特性：縱波（疏密波）
- 速度：傳播速度最快，最先到達
- 介質：可通過固體、液體與氣體

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

S 波 (Secondary Wave)

- 特性：**F**波（剪切波）
- 速度：速度較 P 波慢
- 介質：**無法通過液體** ($\mu = 0$)

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

2.2 斯乃爾定律與地下構造

斯乃爾定律 (Snell's Law)

$$\frac{\sin \theta_1}{V_1} = \frac{\sin \theta_2}{V_2} = p$$

- **折射與反射**：震波穿越速度不同的不連續面時會發生折射，速度加快時射線會偏離法線。
- **頭波 (Head Wave)**：當入射角達到臨界角時，折射角為 90° ，沿界面傳播放回地表。
- **構造推測**：透過觀測不同測站的走時曲線，可以反演地下分層的速度構造。

3.1 沙灘球圖 (Beach Ball Diagram)

- **原理：**利用全球測站收到的 P 波第一動（初動）是「向上（壓縮）」或「向下（張裂）」來反演斷層幾何。
- **☒ 色判讀：**
 - 深色區：受擠壓 (Compression)
 - 白色區：受張裂 (Extension)
- **斷層形態判定：**
 - ① 正斷層：中間主要是白色
 - ② 逆斷層：中間主要是深色
 - ③ 走向滑移斷層：呈現標準的十字黑白相間



图: 透過沙灘球分☒判定地震的斷層形態與受力環境。

4.1 系統架構設計

微型硬體導向觀測

為了模擬地震儀的資料收集，我們利用邊緣計算設備搭建了一套微型震動監測系統。

- **主控端**：使用 Raspberry Pi (樹莓派) 作核心處理器，進行資料收集與運算。
- **感測器**：使用 MPU6050 微機電晶片，建三軸加速度計與三軸陀螺儀。
- **資料傳輸**：透過 I2C (Inter-Integrated Circuit) 通訊協定進行數位訊號傳輸。
- **即時警報**：當偵測到的訊號超越設定的門檻值 (Threshold) 時，系統會即時發送警報。

4.2 GPIO 與 I2C 接Ⓕ配置

硬體介面連接表

透過樹莓派的 GPIO 引Ⓕ與 MPU6050 進行硬體訊號對接，配置如下：

MPU6050 感測器端	Raspberry Pi 樹莓派端	實體功能Ⓕ明
VCC	Pin 1 (3.3V)	系統供電
GND	Pin 6 (GND)	系統接地，確立參考電位
SCL	Pin 5 (GPIO3 / SCL)	I2C 串列時ⒻⒻ (Serial Clock)
SDA	Pin 3 (GPIO2 / SDA)	I2C 串列資料Ⓕ (Serial Data)

5.1 野外部署標準流程

標準地震觀測野外實務

野外觀測的品質☑定了資料分析的成敗，我們遵循了標準的觀測站部署流程：

- ① **儀器組裝與測試**：在室☑確認電量、記憶卡空間與感測器狀態。
- ② **選擇低雜訊場址**：遠離公路、工廠與大樹，☑少人☑和風速引起的微地動噪音。
- ③ **挖坑埋設地震儀**：將儀器深埋☑與土壤緊密接觸，避免表面風吹或人☑干擾。
- ④ **指北校正 (Alignment)**：使用羅盤進行精準指北，確保三軸 (N-S, E-W, Z) 方向正確。
- ⑤ **GPS 定位與授時**：確保觀測資料擁有精確的經緯度與 UTC 時間戳。
- ⑥ **資料回收**：定期或結束後拆卸，下載地震波形資料。

5.2 資料分析與結果

ObsPy 資料處理結果摘要

我們將回收的連續波形資料，使用 Python 的專業地震學函式庫 ObsPy 進行處理：

- **波形品質**：整體時段波形非常穩定，在觀測期間無明顯的突發性自然地震事件。
- **頻譜特徵**：經過傅立葉轉換分析，訊號能量主要集中在低頻區間。
- **背景訊號歸因**：低頻的主要背景訊號特徵符合 **海洋微地動 (Oceanic Microseisms)** 的物理表現。
- **濾波處理**：透過 ObsPy 的帶通濾波器 (Bandpass Filter)，成功濾除高頻的高速公路車輛等人雜訊。

6.1 課程收[F]與反思

結合理論與實務的科學實踐

- 課堂上的波動公式與震源機制，在實際動手接[F]、去野外挖土部署後，變得立體且容易理解。
- 掌握 Raspberry Pi 硬體控制、I2C 通訊，以及 Python 處理地震大數據的技能。
- 在研究過程中，我們體會到 AI 工具非常適合作[F]程式除錯與架構輔助，但 ** 真正的物理思考、硬體實作與野外觀測經驗，是 AI 無法取代的核心價值 **。