

114 學年度第 2 學期地震學期末學習成果回顧

結合理論計算、野外實作與防災工程的地球物理探索

陳柏亘 學號：U11310022

臺北市立大學 地球環境暨生物資源學系

June 9, 2026

簡報大綱

- **一、課程成果與學習總覽**
- **二、理論計算與數據分析**
 - 3D 初動解與震源機制球
 - 堪察加半島 M_w 8.8 巨震
- **三、實務觀測與野外實驗**
 - SmartSolo 地震儀佈設
 - Python ObsPy 時頻譜分析
- **四、樹莓派微型觀測站與邊緣計算**
- **五、地震科學分析與工程減災**
 - 大安 IoT 站硬體與 DSP 配置
 - 核心程式解析與多執行緒優化
 - 觀測成果與自動化速報
- **六、結語與未來展望**
 - 2025 嘉義大埔地震研究
 - 國震中心參觀與耐震工法
 - 學術演講與生涯探索

學習地圖與成果儀表板

核心理論與實作面向

- **理論計算**：走時曲線、雙力偶源模型、立體投影幾何轉換。
- **野外觀測**：SmartSolo 地震儀佈設、觀測資料處理與時頻譜分析。
- **邊緣計算**：樹莓派微型觀測站建置與本地端即時數位訊號處理。
- **工程防災**：國家地震工程研究中心參觀、結構耐震工法學習。

學習成果一覽 (線上期末總集成 Space)

- **作業 10**：3D 初動解機制球聯動模擬器
- **作業 8**：堪察加半島 M_w 8.8 超級巨震分析
- **震測實驗**：SmartSolo 草地量測與 Python 數據分析
- **物聯網實作**：樹莓派微型地震儀邊緣端訊號監測系統
- **國震與大埔**：結構耐震補強與盲斷層盲區反思

作業 10：地震初動解與震源機制球 (1/2)

雙力偶模型 (Double Couple Model) 與 P 波初動極性

當斷層破裂時，能量輻射將空間劃分為交替對稱的四個象限：

- **壓縮象限 (Compression)**：P 波初動向上 (+)，地表震動向上跳躍，立體投影網上繪製為**紅色實心點**。
- **張裂象限 (Tension)**：P 波初動向下 (-)，地表震動向下掉落，立體投影網上繪製為**藍色空心圓**。

下半球立體投影幾何公式與對蹠點修正

在下半球投影中，當測站原始射出角 $i > 90^\circ$ 時（表示射線向上傳播），需進行**對蹠點修正 (Antipodal Point Correction)**，利用球對稱將其投影至下半球，且極性保持不變：

$$\phi_{\text{new}} = (\phi + 180^\circ) \bmod 360^\circ$$

$$i_{\text{new}} = 180^\circ - i$$

作業 10：地震初動解與震源機制球 (2/2)

宜蘭外海強震數據解析 (24271505.P25)

- **地震參數**：2025 年 12 月 27 日發生於宜蘭外海 (24.39°N, 122.01°E)，深度 67.7 km，規模 7.01。
- **測站極性**：213 個觀測站中，154 個具明確極性 (139 站壓縮，15 站張裂)。
- **分布特徵**：藍色張裂點高度密集分布於東南 (SE) 象限；其餘地方皆為紅色壓縮點。
- **機制解判定**：典型以**逆衝斷層**為主、伴隨少量走滑分量的震源機制。

代表性測站數據對照表

測站	原始 ϕ	射出角 i	修正後 ϕ	修正後
TWC	248.0°	167°	68.0°	13.0° (
ESA	239.0°	164°	59.0°	16.0° (
TUIB	348.0°	157°	168.0°	23.0° (
EOS2	139.0°	139°	319.0°	41.0° (

線上 3D 模擬驗證

已部署於 [HF seismology_HW10](#)，可調整三軸參數。

作業 8：堪察加半島 M_w 8.8 超級巨震

構造背景與破裂參數

- **時間震央**：2025 年 7 月 30 日發生於俄羅斯堪察加半島東側海域，深度 20.7 km，為極淺層巨震。
- **板塊構造**：太平洋板塊以 ~ 8 cm/yr 的速度向西北隱沒至鄂霍次克微板塊下方，屬大型隱沒帶介面地震。
- **破裂長度**：USGS 模型顯示破裂面並非點狀，而是向南沿海溝延伸達 **500 公里**，最大錯動量達 **8 公尺**。

震源機制比對與海嘯機制

- **幾何參數比對**：手繪機制解（走向 198° 、傾角 18° 、滑動角 51° ）與 GCMT 機構（走向 195° 、傾角 28° 、滑動角 43° ）呈現高度一致，確定位於低角度隱沒介面。
- **海嘯傳播**：海底垂直大面積錯動直接抬升水體，DART 21416 測得 0.9m 海嘯波，台灣氣象署亦發布海嘯警報。
- **防災盲點**：不可僅依賴震央距離評估風險，海嘯具有「跨洋長距離無衰減傳播」與「沿岸淺水放大效應」。

震測實驗：SmartSolo 地震儀佈設與觀測

微震觀測實務與佈站流程

- **挖掘土洞**：為確保地震儀與地表有良好的彈性耦合，須挖掘適當深度的土洞。
- **水平與氣泡調整**：安放儀器後，觀看頂部氣泡水準儀調整至完全水平。
- **方位角校正**：將儀器頂部的方位指示標線對準正北方向（確保記錄的 N/E 分量與地理方位吻合）。
- **回填壓實與開機**：回填泥土並用腳壓實以增強耦合，開機啟動記錄。

SmartSolo 儀器特點

- **一體化設計**：免除傳統繁瑣線材、外部大容量電池與數值記錄器。
- **高精度組件**：內建高度整合的感測器 (Geophone)、高精度 GPS 定位與授時模組、以及長效電池。
- **高防護等級**：高度防水防塵 (IP67 級以上)，適合野外高密度、快速的微震與震測勘探部署。

震測實驗：Python ObsPy 數據處理與時頻譜分析

ObsPy 資料處理流水線

- **讀取與切片**：使用 `obspy.read()` 讀取三軸連續震動記錄，並以 `.slice()` 截取特定時間段。
- **波形與頻譜圖**：利用 `matplotlib` 的 `specgram` 進行快速傅立葉轉換 (FFT) 繪製時頻譜。

三軸同步性觀測結果

在實測波形中，Z、E、N 三軸脈衝波形幾乎完全同步，無明顯 P/S 波走時差。診斷為極近場的**強迫振動**，即地表行人走動、踩踏等近距離環境干擾雜訊，非天然地震波。

時頻譜特徵與雜訊診斷

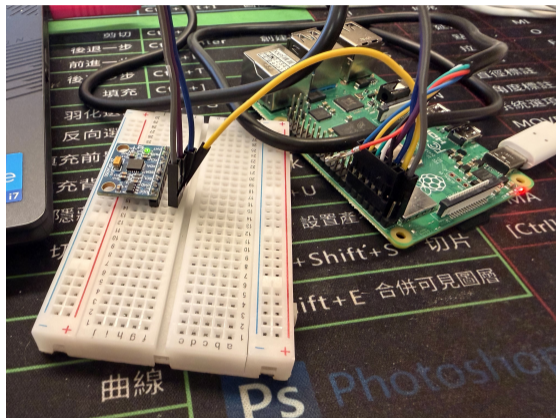
- **常態低頻雜訊 (< 5 Hz)**：底部持續高能量帶。屬大尺度環境背景雜訊（遠處海浪、交通車流），其起伏完美契合都會區紅綠燈週期（約 200 秒）。
- **突發高頻雜訊 (40-50 Hz)**：垂直貫穿的脈衝亮帶。診斷為行人在地震儀周遭走動與腳步踩踏地表所致。
- **穩定高頻噪訊 (45-50 Hz)**：橫向穩定的條帶。診斷為鄰近電力系統的電磁噪訊或儀器內部採樣雜訊。

大安 IoT 觀測站硬體架構與技術指標

測站概述與硬體核心

於室內建置「**大安 IoT 觀測站 (DA-AN-01)**」：

- **主控單元**：Raspberry Pi 4B 邊緣運算核心。
- **感測元件**：MEMS 架構 MPU6050 三軸加速度計與陀螺儀 (I2C 通訊位址 0x68)。
- **硬體警報**：GPIO 12 硬體 PWM 驅動無源蜂鳴器與高頻 LED 閃爍燈。
- **系統採樣**：主循環控制取樣率為 50 Hz。



大安站硬體麵包板與樹莓派主機實體佈設

邊緣端數位訊號處理 (DSP) 與觸發配置

四階巴特沃斯濾波器與動態姿態解算

- **零點漂移消除**：配置截止頻率 0.1 Hz 的四階 **Butterworth 高通濾波器**，徹底根除直流基線漂移。
- **互補濾波姿態追蹤**：設定濾波因子 $\alpha = 0.96$ ，即時解算觀測站三維 Roll/Pitch 翻轉姿態（實測觸發姿態 Roll: -0.1° , Pitch: -2.0° ）。

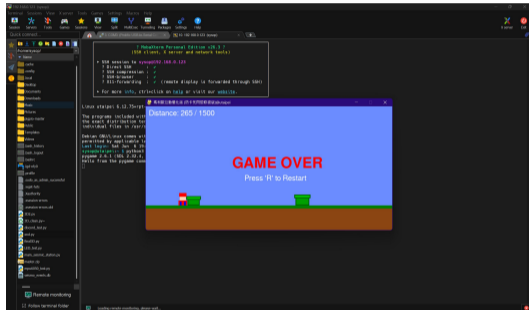
STA/LTA 觸發演算法與 CWA 最新震度分級

- **長短時平均法**：短動視窗 (STA) 0.5s，長動視窗 (LTA) 10.0s。
- **觸發機制門檻**：當 **STA/LTA 比值** > 3.5 或峰值地動加速度 **PGA** > 2.5 Gal 時即刻啟動事件錄影。
- **氣象署標準解算**：完全整合中央氣象署 2020 最新 PGA/PGV 震度分級法（實測合成向量最大 PGA 達 746.979 Gal，準確判定為 **6 強烈震**）。

核心程式碼與 GIL 多執行緒效能優化

監測、分析與硬體警報雙腳本驅動

- `seismograph_main.py`：執行 200 次高速採樣靜態校準；觸發時自動截取 15s 時域波形並加入 **Hamming 窗進行 FFT 頻譜分析**，求得優勢頻率。
- `buzzer_alarm.py`：利用 `pigpio` 庫控制硬體 PWM 警報，並透過獨立背景執行緒 (`bgm_worker`) 執行音效與遊戲插播機制。
- **GIL 鎖死與閃退優化**：將執行緒切換延遲優化至 **0.015 秒**，並嚴格遵循「先關閉 Pygame 視窗再斷開 `pigpio`」資源釋放鏈，確保離線秒退不卡死。

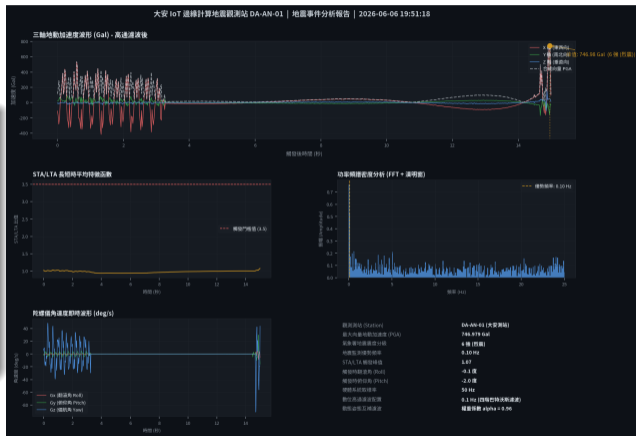


遠端 MobaXterm 運行 Pygame 遊戲與警報畫面

數據持久化與自動化雲端即時速報

自動化科學速報流水線

- **本地資料庫**：自動將觸發參數寫入 SQLite (seismo_events.db) 持久化儲存。
- **背景圖表生成**：Linux 底層全自動繪製 5 面板暗色風格專業地震分析圖表。
- **物聯網即時推送**：透過非同步請求，秒級觸發 LINE Notify 與 Discord Webhook 推送，包含分析圖與完整參數。



邊緣端全自動導出之 5 面板暗色科學圖表成果

專題研究：2025 嘉義大埔地震科學報告

地震背景與成因分析

- **背景**：2025 年 1 月 21 日凌晨發生於嘉義大埔，規模 6.4，深度僅 9.7 km，屬極淺層地震，震央烈度達 6 弱。
- **板塊動力**：菲律賓海板塊與歐亞板塊強烈擠壓，最大主應力為西北-東南向。
- **成因**：分析顯示為以逆衝為主的盲斷層破裂。雖鄰近木屐寮-六甲斷層，但推測為地殼深處未出露地表的盲斷層錯動所致。

衛星觀測與防災盲區反思

- **GNSS 地表位移**：曾文水庫觀測站 (JWEN) 測得地表水平位移 2.2 cm，垂直高程顯著抬升達 6.8 cm。
- **InSAR 雷達干涉**：哨兵一號衛星變形干涉圖指出，地表最大變形區集中在曾文水庫以南，最大變形量達 7 cm。
- **預警盲區 (Blind Zone)**：震央半徑 22.4 km 內屬於預警盲區（地表震動先於警報抵達）。
- **減災策略**：盲區內避災無法依賴電子即時警報，必須仰賴高標準的結構耐震與防護設計。

國震中心 (NCREE) 參觀心得與耐震工程

常見抗震 NG 與結構漏洞

- > **軟腳蝦建築 (Soft Story)**：一樓挑高作店面並打掉承重牆，導致底層水平剪力剛度不足，地震時極易發生一樓坍塌。
- **私改房屋結構**：私自打除剪力牆或承重牆，嚴重降低房屋抗地震水平拉扯力的能力。
- **過度違建加蓋**：增加屋頂負荷，改變原先設計的共振頻率，並加重底層柱子的軸壓。

台北盆地與共振效應

因盆地效應放大長週期地震波。台北地區自然震動週期長的超高層建築，與特定頻率共振強烈。15 層樓左右的建築共振最為猛烈。

耐震工法與減震裝置

- **調諧質量阻尼器 (TMD)**：如台北 101 大樓阻尼球，重量佔大樓總重千分之一（約 660 噸），主要作用為抗風減振，吸收大樓擺動能量以提升舒適度。
- **挫屈束制支撐 (BRB)**：鋼心板外包覆混凝土及鋼管，在強烈水平拉扯下，鋼心屈服而不發生挫屈，穩定吸收能量。
- **傳統 vs 減震 vs 隔震**：傳統建築硬碰硬；減震建築利用消能元件吸能；隔震建築則於底層設隔震墊將房屋與地表運動隔離，減震效果最優。

宋冠毅老師演講心得與生涯探索

出國交換與實務實習之啟發

- **出國交流視野**：聆聽宋冠毅老師於國外交流 101 天的見聞，顛覆了原本出國深造「遙不可及」的刻板印象，體會到跨國界學術合作與文化體驗的重要性，對未來的國際學術交流產生了高度嚮往。
- **暑期實習準備**：面對即將前往中央大學進行的暑期實習（多數同學為首次實習），反思如何將本學期地震學所學的「理論走時計算」、「SmartSolo 觀測流程」與「Python 資料庫操作」等實務經驗轉化為研究工具。
- **生涯規畫思考**：評估大地工程、地球物理探勘的實務應用，主動就實習中可能遭遇的瓶頸與跨國工作生涯方向向講師請益。

結語與學習展望

地震學核心體悟

- **學術理論的具體化**：藉由 3D 震源機制球的程式撰寫，將抽象的幾何投影網具體視覺化，深化了對斷層力學的理解。
- **邊緣實作的嚴謹度**：自製樹莓派觀測站使團隊體會到，高質量的觀測數據背後離不開毫秒級的 DSP 演算法調優（如 Butterworth、互補濾波、STA/LTA 比值控制）。

未來學術研究方向

- **邊緣端輕量化深度學習震相識別**：規劃在樹莓派端導入微縮後的神經網路模型（如微型 PhaseNet），實現 P/S 波震相的本地即時自動識別。
- **物聯網群陣列與聯合反演**：期望在暑期中央大學實習中，學習將多個自研 IoT 觀測站組網，結合 GNSS/InSAR 數據進行多測站聯合反演。

期末整合成果展示平台

本學期完整之互動模擬器與動態數據分析頁面已全面部署至：

https://huggingface.co/spaces/Sapphirejimmy/seismology_final

報告完畢 謝謝指導！