

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

地球科學與地震學核心研發成果
從理論反演、工程考察至邊緣運算預警系統實作

學號： U11310004

9 de junio de 2026

Director(es) de la Tesis: Nombre(s) de director(es) de la tesis

Revisor 1: Nombre del primer revisor

Revisor 2: Nombre del segundo revisor

1. 地震學理論與數位研究
2. 地體構造與實務分析
3. Raspberry Pi 預警系統專案

Chapter 1 核心理論解構

本專題系統化梳理地震學基礎，將生硬的波動公式轉化數位化知識網頁：

- **波動力學基礎**：深入解析體波（縱波 P 波、波 S 波）與地表波（Rayleigh、Love 波）在介質中的質點運動型態與傳播速度差。
- **走時曲與射理論**：透過 Snell's Law 推導震波在層狀不均介質中的傳播路徑，建立走時與震央距離的數學模型。
- **應力與應變張量**：以二階張量（Tensor）描述地部的受力狀態，作定量分析斷層錯動與幾何變形的物理基礎。

數位學習網頁連結：[點此開](#)：[地震學導論互動式筆記網頁](#)

Chapter 3 地球構造與震相分析

利用全球地震觀測網波形數據，剖析深部構造與介質不均勻性：

- 1 **關鍵不連續面定位**：利用走時曲線分支出彎折點，精確描繪出地殼與地函邊界（Moho 面，莫氏不連續面）以及地函與地核邊界（CMB，古氏不連續面）。
- 2 **核心震相代號解析**：精準判讀經過地函與外核傳播的複雜震相，如 **PKP**、**SKS** 等，探討外核液態鐵鎳對 S 波的剪切屏障（S-wave Shadow Zone）。
- 3 **非彈性衰減與各向同性**：引入品質因子 Q 值定量描述震波能量吸收，解析結晶定向排列引起的波速各向同性（Anisotropy）。

互動式 WebGL 網頁：[點此開關](#)：HW7_3 地球構造 3D 視覺化空間

地震矩 (Seismic Moment) 的數學定義

衡量地震單次破裂釋放總能量的客觀指標，不因觀測站遠近而改變：

$$M_0 = \mu \bar{D} S \quad (1)$$

其中， μ [F] 岩石剪切模量（壓實度）， \bar{D} [F] 斷層面平均錯動位移量， S [F] 破裂總面積。

雙力偶 (Double Couple) 模型

實際斷層錯動雖 [F] 單向剪切，但 [F] 滿足物理學上的力矩平衡與角動量守 [F]，等效模型必須 [F] 用雙力偶系統，進而 [F] 定了 P 波初動極性的四象限空間輻射型態。

學術推導網頁：[點此開 \[F\]：Chapter 4.1 & 4.2 矩張量理論網頁](#)

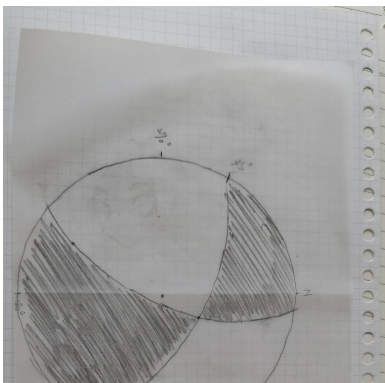
即時自動反演與最終解答比對

對比中央氣象署全球觀測網即時波形反演 (rCMT) 與精准校正後的 Final CMT:

- **震源參數**: 震央位於花蓮遠海, 發震深度達 31.2 公里。
- **幾何機制**: 表現出顯著的東北—西南走向高角度逆斷層 (Thrust Faulting) 特徵。
- **地體構造響應**: 震源空間精確座落在菲律賓海板塊向北隱 \square 至歐亞大陸板塊的交界面 (Benioff Zone) 上緣, 體現出 \square 烈的板塊會聚擠壓剪切破裂。

針對張裂型洋脊與走向滑移錯動帶交會區域 (USGS Event us6000sz1d) 進行波形反演：

- **觀測特性**：極淺層地震 (23.5 km)，雙力偶 (Double Couple) 成分高達 91%。
- **節面幾何解**：主斷層面走向 285° 、傾角 64° 、滑動角 -7° ，屬於典型的左移走向滑移運動，伴隨極微量張裂。



P 波初動下半球立體投影 (Stereonet)

- 收集全球測站初動推波 (+) 與拉波 (-) 資料。
- 利用數學幾何法將三維焦球面投影至二維平面，繪圖機制球。

國家地震工程研究中心考察

- 研習「小震不壞、中震可修、大震不倒」設計核心方針。
- 現場觀摩大型三軸向振動台與多自由度反力圖實驗系統。
- 深入探討隔震支承墊與阻尼制震器在現代結構安全中的力學應用。

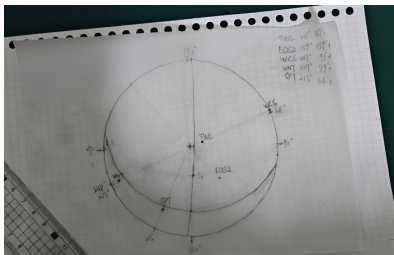


Figura 2: P 波初動極性投影模擬成果

物聯網預警系統核心架構

本專案結合邊緣運算技術與二次元迷因，建構桌上型科技藝術裝置。

1. 高頻數據採樣與震度矩陣演算

- 核心採用樹莓派架構，透過 I2C 協定以 **25Hz** 頻率即時讀取 MPU6050 加速度計數據。
- 利用歐幾里得範數（Euclidean Norm）將三軸數據融合成不限方向的加速度合成向量：

$$total_g = \sqrt{acc_x^2 + acc_y^2 + acc_z^2} \quad (2)$$

- 十段時空次元震度矩陣：以 1.0g 為基準。外力大於 1.05g 判定為事件，幽默對位如 1.05g 咪跳下床、1.90g 佩恩神羅天征、 $\geq 2.60g$ 超級賽亞人變身。

2. 實體 LED 燈光動態 (軟體 PWM 限流保護)

- **無電阻安全機制:** 在無實體保護電阻下嚴防 LED 燒毀，全面引入衝寬度調變 (PWM) 技術。
- **監測模式:** 低於值時完全熄滅；超越 1.05g 瞬間限制於 15% 安全空比 (Duty Cycle)，維持和光。
- **高能演習模式:** 當感測到高階烈震度時，切 15% 與 0% 交替的數位極限爆閃 (每秒 4 次)，極大化基地警報張力。

3. 雲端推播與攔截防護

- 系統判定衝擊達標後，即時將精確時間、g 力值及動漫事件打包成 **JSON 封包**，透過 HTTP POST 發送至 Discord Webhook。
- **建 15 秒冷鎖 (Cooldown Lock)**，徹底攔截震動連續觸發生的重封包，保護雲端 API 頻寬。



Listing 1: 樹莓派邊緣運算監測主程序

```
1 def run_seismic_station():
2     # 初始化 I2C MPU6050 與 GPIO PWM
3     last_trigger_time = 0
4     print(" 整合版地震監測與預警系統已啟動...")
5     while True:
6         acc_x = read_raw_data(ACCEL_XOUT_H) / 16384.0
7         acc_y = read_raw_data(ACCEL_XOUT_H + 2) / 16384.0
8         acc_z = read_raw_data(ACCEL_XOUT_H + 4) / 16384.0
9
10        total_accel = math.sqrt(acc_x**2 + acc_y**2 + acc_z**2)
11        current_time = time.time()
12
13        if total_accel > THRESHOLD and (current_time - last_trigger_time) > COOLDOWN_TIME:
14            led_pwm.ChangeDutyCycle(SAFE_ON_DUTY) # 點亮安全警示燈
15            send_discord_alert(total_accel)      # 發送 JSON 雲端封包
16            last_trigger_time = current_time
17            time.sleep(0.04) # 保持 25Hz 採樣頻率
```

```
=====
● 時空共鳴箱 ● 歷史動漫震度儀 OS v2.5 (10段細分版)
=====
[1] 進入「時空共鳴矩陣」(即時監測模式)
[2] * 啟動「宇宙次元演習」(隨機抽 Level 3~9 震動)
[3] ○ 重置開機以來的「最高峰值紀錄」
[0] ⊕ 關閉系統 (Shutdown)

■ 本機核心狀態：
  ● 歷史最大震度：1.00 g
  ● 最高共鳴次元：時空水平線靜止

=====
請輸入操作指令 (0-3):
```

(a) 樹莓派與 MPU6050 實體電路硬體配置

```
=====
● 時空共鳴箱 ● 歷史動漫震度儀 OS v2.5 (10段細分版)
=====
[1] 進入「時空共鳴矩陣」(即時監測模式)
[2] * 啟動「宇宙次元演習」(隨機抽 Level 3~9 震動)
[3] ○ 重置開機以來的「最高峰值紀錄」
[0] ⊕ 關閉系統 (Shutdown)

■ 本機核心狀態：
  ● 歷史最大震度：1.00 g
  ● 最高共鳴次元：時空水平線靜止

=====
請輸入操作指令 (0-3):
=====
[0] 關閉系統 (Shutdown)
=====
[0] 關閉系統 (Shutdown)
=====
請輸入操作指令 (0-3):
=====
[0] 關閉系統 (Shutdown)
=====
請輸入操作指令 (0-3):
=====
```

(b) MobaXterm 終端控制台即時監測畫面