

地震學期末成果展示

地震學學習回顧與 **Raspberry Pi** 微型地震儀整合報告

從震波走時、野外觀測到微型防災科技實作

陳亞歆

臺北市立大學 | 地球環境暨生物資源學系

2026 年

本報告以互動式網站為核心，整合地震學理論、SmartSolo 實作、嘉義大埔地震案例與 Raspberry Pi 微型地震儀成果。

摘要

本報告整理「地震學學習回顧」與「Raspberry Pi 微型地震儀」兩個互動式網站版面，並將其整合為一份完整的期末學習成果。第一部分以地震學課程內容為主，從震波走時、折射與反射、地球內部構造、震源機制與斷層判讀出發，延伸至 SmartSolo 野外震測實作與 2025 年嘉義大埔地震案例分析。第二部分則以 Raspberry Pi 實作為核心，說明如何透過 MPU6050 感測器讀取三軸加速度，並使用 LED、蜂鳴器與 Discord Webhook 建立微型地震預警系統。

整合後的網站不只是課堂知識的摘要，而是將理論、觀測、資料判讀與防災科技實作串接成完整學習歷程。透過互動式模組、成果影片、程式碼展示與製作反思，本作品呈現地震學如何從抽象概念轉化為可操作、可展示且具防災意義的科技作品。

關鍵字

地震學、Raspberry Pi、MPU6050、震源機制、SmartSolo、Discord Webhook、微型地震儀、互動式網頁

目錄

摘要	i
1 研究動機與整合目標	1
1.1 研究動機	1
1.2 整合目標	1
1.3 整合網站架構	2
2 版面一：地震學學習回顧	3
2.1 學習主線	3
2.2 Ch.3: 震波走時與地球內部構造	3
2.3 Ch.4: 震源機制與斷層判讀	4
3 SmartSolo 震測實驗與嘉義大埔地震案例	5
3.1 SmartSolo 震測實驗	5
3.2 訊號判讀與 ObsPy 分析思路	5
3.3 嘉義大埔地震案例	5
4 版面二：Raspberry Pi 微型地震儀	7
4.1 系統硬體架構	7
4.2 主程式邏輯	7
4.3 三級警報反應設計	8
5 成果展示、製作困難與解決方法	9
5.1 成果展示	9
5.2 製作困難	9
5.3 解決方法	10
6 整合價值與學習反思	11

6.1	從理論到實作的轉化	11
6.2	學習反思	11
7	結論與未來展望	12
7.1	結論	12
7.2	未來展望	12
A	Python 主程式邏輯節錄	13
	參考資料	14

第 1 章

研究動機與整合目標

1.1 研究動機

本作品的起點是地震學課程中的理論學習。地震學不只是一門記憶波相、公式與斷層名稱的課程，更是一種透過觀測資料理解地下構造與地震過程的方法。當震波穿越地球內部時，其到時、路徑、振幅與極性都會受到介質速度、界面幾何、斷層運動方式與能量耗散影響。因此，地震学的核心能力在於從資料中反推出看不見的地下世界。

在課程後半段，SmartSolo 野外觀測與嘉義大埔地震案例進一步使理論與真實資料連結。最後，透過 Raspberry Pi 微型地震儀的製作，將地震觀測與防災警報概念轉化為可以運作的硬體作品，讓學習成果從「理解」推進到「實作」。

1.2 整合目標

本報告的三個主要目標

1. 整理本學期地震學核心概念，包含震波走時、折射反射、震源機制與地震案例分析。
2. 說明 Raspberry Pi 微型地震儀的硬體架構、程式邏輯與警報反應設計。
3. 將兩個網站版面整合成一條完整敘事：從地震學理論到觀測資料，再到防災科技實作。

1.3 整合網站架構

整合網站可分為兩個主要版面。第一個版面為「地震學學習回顧」，著重於課程知識、互動模組與案例分析；第二個版面為「Raspberry Pi 微型地震儀成果展示」，著重於硬體建置、Python 程式、成果影片與製作反思。

表 1.1: 整合網站的兩個主要版面

版面	主要內容	功能定位
地震學學習回顧	震波走時、震源機制、Smart-Solo、嘉義大埔地震、反思與測驗	回答「我學到了什麼地震學」
Raspberry Pi 微型地震儀	GPIO、MPU6050、LED、蜂鳴器、Discord Webhook、成果影片	回答「我如何把地震學做成作品」

第 2 章

版面一：地震學學習回顧

2.1 學習主線

地震學學習回顧版面以「從震波走時到防災實作」作為主標題，將課程內容整理為一條由基礎理論到應用實作的路徑。此版面不是單純排列課本知識，而是以學習地圖方式呈現：先理解震波如何傳播，再理解斷層如何破裂，接著進入野外觀測與真實地震案例，最後延伸至防災、國際合作與 AI 工具使用。

學習路徑

震波走時 → 折射與反射 → 地球內部構造 → 震源機制 → SmartSolo 野外觀測 → 嘉義大埔地震案例 → 防災科技實作

2.2 Ch.3: 震波走時與地球內部構造

第三章的核心在於理解震波到時與走時如何反映地下速度構造。當震波從震源傳至測站，其旅行時間會受到介質速度與路徑長度控制。若能比較多個測站的到時差異，就能推估地下介質的速度分布與界面深度。

重要概念

- **Travel time**: 震波從震源到測站所需時間。
- **Direct wave**: 直接在上層介質中傳播的震波。
- **Reflected wave**: 在地下界面反射回來的震波。
- **Head wave**: 沿高速層界面附近傳播，遠距離時可能較早到達。
- **Seismic shadow zone**: 由核心與地函速度差異所造成的震波陰影帶。

折射走時計算器的設計，是為了讓使用者調整上層速度、下層速度、上層厚度與測站距離，並觀察 **direct wave** 與 **head wave** 誰先到。這使走時曲線不再只是圖像，而是可以操作的模型。

2.3 Ch.4: 震源機制與斷層判讀

第四章的重點在於了解地震破裂與斷層幾何。彈性回跳理論說明斷層在長期受力後突然滑動，釋放累積彈性能並產生地震波。為描述斷層運動，需要使用 **strike**、**dip** 與 **rake** 三個幾何參數。

表 2.1: 震源機制基本參數

參數	說明
Strike	斷層面與水平面交線的方向，代表斷層在地表的延伸方向。
Dip	斷層面向地下傾斜的角度。
Rake	上盤沿斷層面滑移的方向，用來判斷正斷層、逆斷層或走向滑移。

網站中的沙灘球互動模組能調整 **strike**、**dip** 與 **rake**，讓使用者觀察黑白象限如何改變。黑色象限代表壓縮初動，白色象限代表張裂初動；兩者交界形成節面。然而，沙灘球通常只能提供兩個可能節面，若要判斷真正斷層面，仍須結合餘震分布、GNSS、InSAR 或地表破裂等資料。

第 3 章

SmartSolo 震測實驗與嘉義大埔地震案例

3.1 SmartSolo 震測實驗

SmartSolo 震測實驗使課堂理論延伸到實際觀測。地震資料的品質並非只取決於後續分析，而是在儀器部署時就已開始被決定。網站中設計了部署檢核表，包含挖孔、確認水平、北向校正、GPS/北斗授時、回填與土壤耦合等項目。

資料品質的關鍵

若儀器未水平、方向未校正、授時不同步或與土壤耦合不佳，後續三分量資料與時頻分析都可能出現誤判。因此，現地觀測是一種從部署到分析都必須嚴謹控制的科學流程。

3.2 訊號判讀與 ObsPy 分析思路

SmartSolo 區塊也整理了 ObsPy 分析流程：先讀取 SAC 檔與三分量資料，再檢查時序圖，接著觀察 spectrogram，最後綜合判斷訊號來源。若波形呈現高頻、三分量同步、尖峰密集且具週期性，較可能是車流、施工或人員移動等近場人為干擾，而不一定是真正地震事件。

3.3 嘉義大埔地震案例

2025 年 1 月 21 日嘉義大埔地震提供了真實案例，讓震源機制、GNSS、DInSAR 與盲斷層推論彼此連結。初報規模為 $M_L 6.4$ ，初報深度約 9.7 km；後續 AutoBATS 修正深度約 15–16 km。GNSS 與 DInSAR 共同指出約 7 cm 的地表變形，但地表沒有明顯破裂，因此支持盲斷層推論。

表 3.1: 嘉義大埔地震資料整合

資料類型	在案例中的角色
震源機制	判斷地震破裂型態，顯示逆衝斷層運動。
AutoBATS	修正地震矩規模與震源深度，使參數更具物理意義。
GNSS	提供測站點位的三維位移資料。
DInSAR	提供連續面狀地表變形分布。
整合推論	地表有變形但無明顯破裂，支持盲斷層解釋。

第 4 章

版面二：Raspberry Pi 微型地震儀

4.1 系統硬體架構

Raspberry Pi 微型地震儀版面將地震觀測與防災概念轉化為實作成果。系統以 Raspberry Pi 作為控制核心，透過 MPU6050 感測三軸加速度，並以 LED 與蜂鳴器呈現現場警報。當震動超過門檻時，程式也會透過 Discord Webhook 發送雲端警報。

表 4.1: 微型地震儀硬體與功能

硬體 / 模組	功能
Raspberry Pi	系統控制核心，負責讀取感測器資料與執行警報程式。
MPU6050	三軸加速度感測器，用於偵測震動變化。
LED	以亮度與閃爍頻率呈現震動等級。
蜂鳴器	以不同音頻與節奏呈現警報強度。
Discord Webhook	將警報訊息推播到線上頻道。

4.2 主程式邏輯

程式會持續讀取 MPU6050 的 X、Y、Z 三軸加速度，並計算合成加速度：

$$A_{total} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

此數值作為震動強度指標。系統設定一級、二級與三級震動門檻，並依據不同等級控制 LED 與蜂鳴器反應。

三級震動門檻

等級	門檻值	顯示意義
一級	1.0 g	輕微有感震動
二級	1.5 g	中度有感震動
三級	2.0 g	強烈有感震動

4.3 三級警報反應設計

三級警報設計使作品具備明確的展示效果。加速度越大，蜂鳴器聲音越明顯，LED 燈光也會更亮或閃爍更快。這種設計讓觀看者可以直覺地理解震動強度與警報反應之間的關係。

表 4.2: 三級警報反應

等級	LED 效果	蜂鳴器效果
一級	呼吸燈，亮度較低	低頻溫和提示音
二級	中速閃爍，亮度提高	雙音頻交替，類似救護車提示
三級	快速爆閃，亮度最高	高頻連續警報，呈現強烈危急感

第 5 章

成果展示、製作困難與解決方法

5.1 成果展示

成果展示區放置實驗成果影片，並在影片下方加入「感謝雅涓做的影片超猛！」作為致謝文字。此區塊也整理了預期成果：當地震儀感受到加速度變大時，蜂鳴器聲音會變化，LED 燈光會變亮，並能透過系統觸發警報。

成果影片連結

GitHub MP4 成果影片：[實驗成果影片.mp4](#)

5.2 製作困難

實作過程中的主要困難

- 忘記製作步驟，需要反覆回到教材確認接線與執行流程。
- 蜂鳴器在麵包板上插錯洞，導致警報效果無法正常觸發。
- 燈泡因為線材不足，無法順利改成並聯設計。
- 地震預警系統冷卻時間過長，使警報觸發後的再次反應不夠即時。

5.3 解決方法

修正策略

- 將 **Raspberry Pi** 操作流程整理進網站，讓製作步驟更清楚。
- 重新檢查麵包板導通規則，修正蜂鳴器插錯洞的問題。
- 使用 **PWM** 控制 **LED** 亮度，以單一 **LED** 呈現不同警報等級。
- 在螢幕上新增視覺化效果，使冷卻時間過程中仍能清楚看到即時震動狀態。

第 6 章

整合價值與學習反思

6.1 從理論到實作的轉化

本作品的整合價值在於將「地震學知識」轉化為「可展示的防災科技作品」。地震學版面提供了震波、震源機制、野外觀測與案例分析的理論基礎；**Raspberry Pi** 版面則把加速度感測、硬體控制與雲端通知結合，形成可運作的微型地震警報系統。

表 6.1: 兩個版面的整合意義

版面	整合意義
地震學學習回顧	建立對震波、斷層、觀測資料與地震案例的理解。
Raspberry Pi 微型地震儀	將震動偵測與防災警報概念做成硬體與程式作品。
統合網站	讓理論學習、觀測實作、案例分析與防災科技形成完整敘事。

6.2 學習反思

透過這次整合，我更能理解地震學不只是課本中的波相與公式，而是一套能夠解釋地下構造、判讀真實地震事件，並進一步轉化為防災應用的知識系統。**Raspberry Pi** 微型地震儀讓我看見地震觀測的基本概念可以被縮小成教學展示模型，也讓我在錯誤修正中學到接線、門檻設定、警報冷卻時間與視覺化呈現的重要性。

第 7 章

結論與未來展望

7.1 結論

1. 本報告整合地震學理論、SmartSolo 觀測、嘉義大埔地震案例與 Raspberry Pi 微型地震儀實作，形成完整的期末成果展示。
2. 互動式網站使抽象地震學概念具體化，例如折射走時、沙灘球、盲斷層與訊號判讀。
3. Raspberry Pi 微型地震儀具備感測、判斷、警報與 Discord 推播功能，能作為防災科技教學展示模型。
4. 製作過程中的困難與修正，使作品更接近真實工程實作的學習歷程。

7.2 未來展望

未來可進一步加入即時加速度圖表、資料儲存 CSV、事件回放、警報門檻自動校正，以及更多地震案例資料比較。若能將 Raspberry Pi 實測資料與網頁視覺化同步，就能讓作品從單次展示進一步發展為持續監測與教學平台。

第 A 章

Python 主程式邏輯節錄

Listing A.1: 微型地震儀核心判斷邏輯節錄

```
1 import math
2
3 THRESHOLD_L1 = 1.0
4 THRESHOLD_L2 = 1.5
5 THRESHOLD_L3 = 2.0
6
7 # Read three-axis acceleration from MPU6050
8 acc_x = read_raw_data(ACCEL_XOUT_H) / 16384.0
9 acc_y = read_raw_data(ACCEL_XOUT_H + 2) / 16384.0
10 acc_z = read_raw_data(ACCEL_XOUT_H + 4) / 16384.0
11
12 # Calculate total acceleration
13 total_accel = math.sqrt(acc_x**2 + acc_y**2 + acc_z**2)
14
15 if total_accel >= THRESHOLD_L3:
16     current_level = 3
17     level_text = "Level 3: strong vibration"
18 elif total_accel >= THRESHOLD_L2:
19     current_level = 2
20     level_text = "Level 2: moderate vibration"
21 elif total_accel >= THRESHOLD_L1:
22     current_level = 1
23     level_text = "Level 1: weak vibration"
24 else:
25     current_level = 0
```

參考資料

- [1] 地震學課程資料：Ch.3 地震學與地球構造；Ch.4 地震、斷層與震源機制。
- [2] SmartSolo 震測實驗報告：野外部署、三分量觀測與時頻圖判讀。
- [3] 2025 年 1 月 21 日嘉義大埔地震觀測資料：震源機制、AutoBATS、GNSS、DInSAR 與盲斷層推論。
- [4] Raspberry Pi 教材與微型地震儀主程式：GPIO、MPU6050、LED、蜂鳴器與 Discord Webhook。
- [5] 實驗成果影片：[GitHub 成果影片](#)