

臺北市立大學

地球環境暨生命資源學系

互動式地震學與樹莓派監測系統

Interactive Seismology and Raspberry Pi Monitoring System

課程名稱：地球物理期末專題

報告類型：期末成果中文彙整

學生姓名：陳佑昇

專題主題：地震學互動模擬、建築防震工程與微型地震儀整合

日期：2026 年 6 月

本報告整理互動式網頁平台、Raspberry Pi 地震儀、結構防震模擬與專案資產。

Contents

1 專題摘要	2
2 研究動機與專題目標	2
3 核心統整平台：index.html	2
4 地震學互動模組	3
4.1 地震波傳播與走時曲線	3
4.2 震央定位與包圍盒演算法	3
4.3 震源機制解與沙灘球	3
5 結構動力學與防震工程模組	4
5.1 軟弱底層建築模擬	4
5.2 調諧質量阻尼器	4
5.3 基礎隔震與斜撐系統	4
6 樹莓派地震儀硬體整合	4
7 核心圖片與成果佐證	5
7.1 地震波傳播與震央定位	6
7.2 震源機制解與沙灘球	7
7.3 國震中心參訪與軟弱底層模擬	8
7.4 Raspberry Pi 微型地震儀硬體實作	9
8 專案目錄與開發流程	9
9 學習成果與反思	10
10 結論	10

1 專題摘要

本專題以「互動式地震學與樹莓派監測系統」為核心，嘗試將地震學理論、建築防震工程、前端互動技術與低成本感測器實作整合為一套可操作、可觀察、可教學的地球物理學習平台。整體成果不只是一份靜態報告，而是一個以 `index.html` 為核心的單檔大型互動應用程式，並搭配 Raspberry Pi 與 ADXL345 三軸加速度計進行真實物理訊號監測。

本專題主要解決的問題是：傳統地震學教學常仰賴靜態圖表、公式推導與抽象模型，學生雖然能記憶 P 波、S 波、震源機制解與建築振動等概念，卻不一定能直觀理解這些概念如何在真實地震觀測與工程應用中運作。因此，本專題透過網頁互動模擬、Canvas 動畫、即時滑桿控制、簡化物理模型與硬體感測器，將地震學知識轉化為可視化、可操作的學習經驗。

2 研究動機與專題目標

本專題的發想來自地球物理課程中對地震觀測、波傳遞與建築防震的學習。地震學本身橫跨物理、數學、地質與工程，概念間連結密切，例如震波走時曲線可用來推估地下速度結構，P 波初動可用來判斷斷層受力型態，而建築物在地震中的反應則與結構剛度、阻尼、質量分布及場址效應有關。

本專題的目標包含三個層次：

1. 建立一個基於網頁的互動式地震學教學平台，使使用者能透過滑桿、動畫與即時圖形理解地震波傳遞、震央定位與震源機制解。
2. 結合 Raspberry Pi 與 ADXL345 加速度計，建立低成本微型地震儀，展示如何從真實感測資料中擷取震動訊號。
3. 將地震學觀測與建築防震工程結合，模擬軟弱底層、調諧質量阻尼器、基礎隔震與斜撐系統在地震中的作用。

3 核心統整平台：`index.html`

本專題的核心成果是專案根目錄中的 `index.html`。它是一份整合 HTML、CSS 與 JavaScript 的單檔大型應用程式，內容涵蓋地震學理論、震源機制、結構動力學、樹莓派地震儀模擬與期末綜合測驗。

此平台使用莫蘭迪風格的視覺設計與響應式側邊欄排版，讓整體頁面兼具教學性與可讀性。其重要特色在於：多數互動功能並非單純放置圖片，而是透過 JavaScript

物理模擬引擎即時運算。例如使用者調整波速、震源深度或建築參數時，圖形會同步更新，讓抽象理論轉化為具體的動態結果。

整體平台可視為一套互動式地震學教科書，其內容從地震波的基本性質出發，延伸至斷層幾何、震源機制、結構反應、感測器觀測與防災應用。

4 地震學互動模組

4.1 地震波傳播與走時曲線

地震波傳播模組主要用來展示 P 波與 S 波在不同速度結構下的走時差異。使用者可以透過滑桿調整波速參數，觀察走時曲線的變化。此模組不只呈現直達波，也可展示 Pg、PmP 與 Pn 等震相在地殼中的傳播路徑與到時差異。

在地震學中，走時曲線是判斷地下速度結構的重要工具。當地震波遇到速度不連續面時，可能發生反射、折射或臨界折射。若某一折射波在較遠震央距離上比直達波更早抵達測站，則可形成首波。透過比較不同震相的到時，便能推估地下層狀介質的速度與厚度。

本平台將此概念轉為動態圖形，使使用者能看到波速改變如何影響走時曲線斜率、交叉距離與震相先後順序。

4.2 震央定位與包圍盒演算法

震央定位模組使用三個虛擬測站的到達時間進行定位。傳統震央定位常利用 P 波與 S 波到時差估算震源距離，再以多測站距離圓交會推估震央位置。本專題則以較直觀的幾何方式呈現，使用包圍盒演算法尋找可能震央區域的交集。

此設計的教學價值在於讓使用者理解：單一測站只能提供距離約束，無法唯一決定震央；至少需要多個測站的幾何交會，才能縮小震央可能位置。透過互動視覺化，學生能更清楚理解測站分布對震央定位精度的影響。

4.3 震源機制解與沙灘球

震源機制解模組是本專題的核心亮點之一。平台內建沙灘球產生器，使用者可調整走向、傾角與滑移角三個斷層參數，並即時觀察震源機制球的變化。

震源機制解的基本概念是利用 P 波初動方向判斷震源區域的壓縮與張裂象限，再以兩個節面表示可能的斷層面與輔助面。不同的斷層型態會對應不同的沙灘球圖樣：

- 正斷層：通常與張裂環境有關。
- 逆斷層：通常與擠壓環境有關。

- 平移斷層：通常反映水平剪切作用。

此模組透過立體投影或等積投影方式，將三維斷層幾何轉換為二維圖形，使使用者能直觀理解斷層參數與受力型態之間的關係。

5 結構動力學與防震工程模組

5.1 軟弱底層建築模擬

軟弱底層，又常被稱為「軟腳蝦」結構，是台灣都市中常見的建築風險之一。許多建築物一樓作為騎樓、停車場或開放空間使用，導致底層牆量不足、側向剛度偏低。當地震力輸入時，層間位移容易集中於底層，造成嚴重剪力破壞。

本專題以多自由度剪力建築模型模擬此現象。在模型中，若將底層勁度 k_1 調降，地震時底層會出現明顯較大的側向位移。平台並排比較正常建築與底層剛度降低的建築，使使用者能直接看到軟弱底層如何放大層間變形並提高倒塌風險。

5.2 調諧質量阻尼器

調諧質量阻尼器，英文為 Tuned Mass Damper，簡稱 TMD，是高層建築常見的減振系統。其原理是在主結構上加裝一個輔助質量塊，並調整其振動頻率，使其在建築晃動時產生與主結構不同相位的運動，進而抵銷部分振動能量。

本專題以動畫比較無 TMD 與有 TMD 的建築頂樓位移，展示 TMD 如何降低建築振幅。這個模組的重點不是單純背誦 TMD 的定義，而是讓使用者觀察到：阻尼器並不是讓建築完全不動，而是透過相位差與能量轉移降低主結構反應。

5.3 基礎隔震與斜撐系統

除了 TMD，本專題也包含基礎隔震與斜撐系統的互動展示。基礎隔震的核心概念是將上部結構與地表強震動部分解耦，使地震能量不會直接傳入建築主體。斜撐系統則透過增加側向剛度與抗剪能力，降低建築在水平地震力下的變形。

這些模組使平台不僅停留在地震學觀測層次，也延伸至工程防災應用，呈現地球物理知識如何與建築安全連結。

6 樹莓派地震儀硬體整合

本專題的硬體部分使用 Raspberry Pi 4 搭配 ADXL345 微機電三軸加速度計，建立低成本微型地震儀。ADXL345 可量測三軸加速度，並透過 I2C 通訊與 Raspberry Pi 連接。

系統使用 Python 擷取感測資料，並以約 100 Hz 的取樣率記錄震動訊號。

在訊號處理上，本專題實作 STA/LTA 演算法。STA/LTA 是地震觸發系統常見的方法，其概念是比較短時間窗內的平均振幅與長時間窗內的背景平均振幅。當短時平均明顯高於長時平均時，代表可能有突發震動事件進入，系統即可觸發紀錄或警報。

此模組的價值在於把課堂中抽象的地震儀觀測概念轉化為實際硬體操作。學生可以從感測器接線、資料讀取、背景雜訊判斷、觸發門檻設定到波形視覺化，完整理解一套簡易地震監測系統的基本流程。

7 核心圖片與成果佐證

本專題僅保留與正文內容直接相關的核心圖片，避免將未深入分析或未在報告中使用的輔助圖表放入正文。以下四張圖片分別對應本專題的主要成果：地震學互動模擬、震源機制解、結構防震工程，以及 Raspberry Pi 微型地震儀硬體實作。

7.1 地震波傳播與震央定位



Fig. 4.1-1 Aerial photograph of the San Andreas fault in the Carrizo Plain in California, seen from the south. Note the displacement of stream gullies as the Pacific plate (*near side*) has moved to the left (northwest) relative to North America. (Copyright John S. Shelton.)

Figure 1: 地震波走時曲線與震央定位互動模組。此圖展示 P 波與 S 波走時曲線，以及透過多測站到時差進行震央定位的動態結果。

此圖對應本專題的地震波傳播與震央定位模組，可用來說明 P 波與 S 波因速度不同而產生到時差，並進一步利用多測站觀測結果推估震央位置。透過互動式視覺化，使用者可以直接觀察波速、測站位置與震央定位結果之間的關係。

7.2 震源機制解與沙灘球

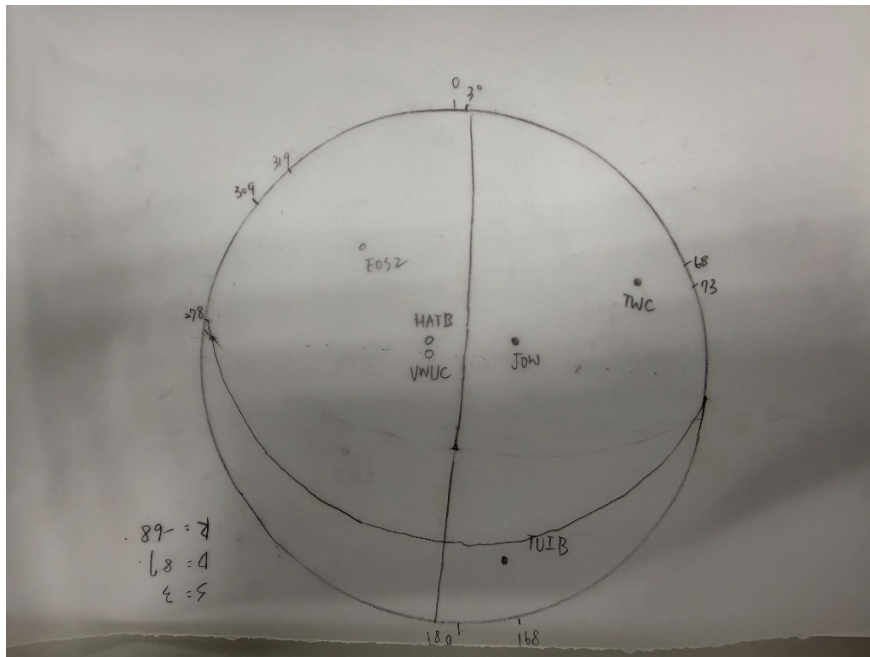


Figure 2: 震源機制解與沙灘球互動模組。此圖呈現走向、傾角與滑移角改變後，震源機制球的即時投影結果。

此圖對應本專題的震源機制解模組。透過走向、傾角與滑移角三個參數的調整，平台可以將三維斷層幾何轉換為二維沙灘球圖，協助使用者理解正斷層、逆斷層與平移斷層在受力象限上的差異。

7.3 國震中心參訪與軟弱底層模擬



Figure 3: 國家地震工程研究中心參訪紀錄。此圖連結真實結構模型與本專題中的軟弱底層建築模擬。

此圖作為國家地震工程研究中心參訪紀錄，能對應本專題中的軟弱底層建築模擬。透過實際結構模型與網頁中的多自由度剪力建築模型相互對照，可以說明底層剛度不足時，地震能量與層間位移容易集中於底層，進而造成嚴重破壞。

7.4 Raspberry Pi 微型地震儀硬體實作

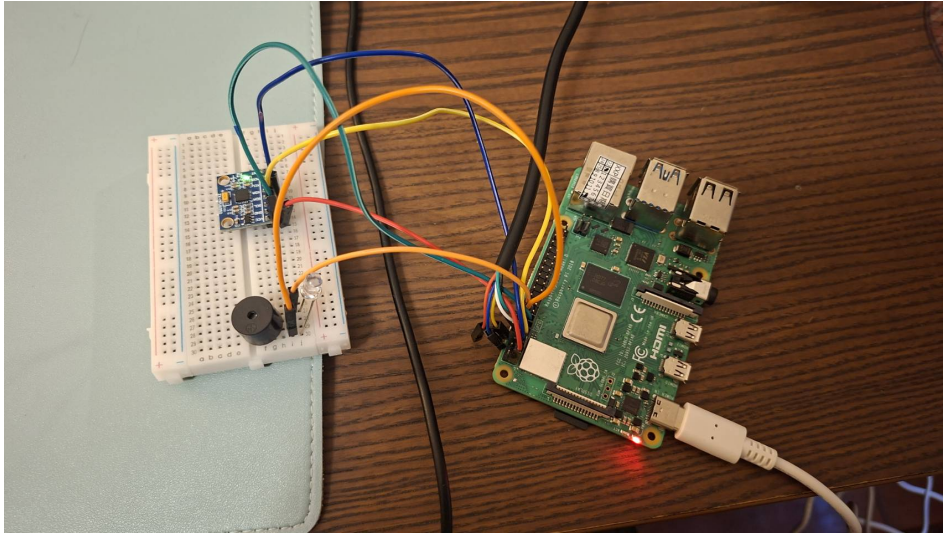


Figure 4: Raspberry Pi 4 與 ADXL345 三軸加速度計接線。此圖展示本專題的微型地震儀硬體建置。

此圖展示 Raspberry Pi 4 與 ADXL345 三軸加速度計的實際接線，證明本專題不只包含網頁模擬，也包含真實感測器與硬體監測系統的建置。此硬體模組可進一步搭配 Python 讀取 I2C 加速度資料，並以 STA/LTA 演算法進行震動事件觸發判斷。

8 專案目錄與開發流程

本專題並非一次完成，而是由多個作業、原型與報告逐步整合而成。整體目錄結構可分為以下幾類：

- `index.html`：最終統整版互動平台，包含主要 HTML、CSS 與 JavaScript 模組。
- `homeworks/`：保存早期課堂作業與靜態網頁練習，例如波傳動畫與基礎互動元件。
- `projects/Achievements/`：存放多份學術報告與簡報，作為互動平台背後的理論基礎。
- `projects/NCREE/` 與 `seismic/`：保存早期以 Python 與 Gradio 製作的互動原型，後續再轉移到 JavaScript 網頁平台。
- `projects/earthquake_report/`：包含使用 Python 自動生成 Word 講稿與地球內部結構相關報告的工具。
- `images/`：集中存放網頁圖表、地震分析圖、國震中心參訪照與硬體照片。

從開發流程來看，本專題先由課堂作業與個別模組開始，例如走時曲線、震源機制球與地震波圖形；接著透過 Python 原型驗證互動邏輯；最後將主要功能整合進單一 `index.html`，形成完整的期末總結平台。

9 學習成果與反思

本專題最大的成果在於將地震學、工程防災與程式設計整合成具體作品。透過此專題，可以看見三個層面的學習成效。

第一，在地震學理論方面，本專題強化了對地震波、走時曲線、震央定位、P 波初動與震源機制解的理解。這些內容原本容易停留在公式與靜態圖上，但透過互動模組後，使用者能直接觀察參數變化對結果的影響。

第二，在工程應用方面，本專題將地震輸入與建築反應連結起來，展示軟弱底層、TMD、基礎隔震與斜撐系統的物理意義。這使地震學不再只是地下震源與波傳問題，也延伸到地表建築物與防災設計。

第三，在實作能力方面，本專題包含前端網頁開發、JavaScript 動態模擬、Python 資料擷取、Raspberry Pi 感測器整合與圖像資產管理。這些能力使專題不只是理論彙整，而是一套能被展示、操作與延伸的完整系統。

10 結論

整體而言，本專題成功將零散的課堂作業、Python 原型、地震分析圖、國震中心參訪資料與 Raspberry Pi 硬體實作，整合成一個高完成度的互動式地震學平台。其核心價值在於將抽象的地震學概念轉化為可視化、可操作、可驗證的學習工具。

透過 `index.html` 的九大互動分頁，使用者能從地震波傳播、震央定位與震源機制解一路學習到建築防震工程與微型地震儀觀測。這種跨領域整合展現了地球物理學在教育、工程與防災上的應用潛力，也讓本專題具備作為期末展示、學習歷程與作品集延伸的價值。