

# 地震學期末總報告

地球的重低音、震測實驗與國震中心參訪學思錄

地生二 U11310007 楊廂甯

June 9, 2026

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
1.1	震源、路徑與接收器	4
1.2	報告架構	4
<b>2</b>	<b>Analysis</b>	<b>5</b>
2.1	核心觀測模型	5
2.1.1	波傳遞全景圖	5
2.1.2	走時曲線	5
2.1.3	振幅衰減	5
2.1.4	時域與頻域分析	5
2.2	彈性回跳理論	6
2.3	震源機制球	6
2.3.1	P 波初動與推拉分布	6
2.3.2	下半球投影	6
2.3.3	斷層類型辨識	6
2.4	堪察加半島強震個案分析	7
2.4.1	觀測數據與震源參數	7
2.4.2	震源機制球判讀	7
2.4.3	實戰判讀結論	8
2.5	互動式教學系統	8
2.5.1	動態斷層模擬器	8
2.5.2	互動機制球繪製器	9
<b>3</b>	<b>Results</b>	<b>10</b>
3.1	地震危害與地震風險	10
3.1.1	地震危害	10
3.1.2	地震風險	10
3.2	能量衰減與社會影響	10
3.2.1	幾何擴散	10
3.2.2	內在衰減	11
3.2.3	災損與社會條件	11
3.3	建築材料、共振與耐震問題	11
3.3.1	建築自然頻率與共振	11
3.4	土壤液化	11
3.5	地震預測、地震預警與前兆	11
3.5.1	地震預測	11
3.5.2	地震預警	12
3.5.3	地震空區	12

3.5.4	地震前兆觀測 . . . . .	12
3.6	地震學與地下核試爆監測 . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Field Observation and Visit</b>	<b>13</b>
4.1	黑森林震測實驗 . . . . .	13
4.1.1	野外架設流程 . . . . .	13
4.1.2	微震紀錄器 . . . . .	13
4.2	資料前處理與時頻分析 . . . . .	13
4.2.1	分析區段選擇 . . . . .	13
4.2.2	分析結果 . . . . .	14
4.3	黑森林實驗心得 . . . . .	14
4.4	國家地震工程研究中心參訪 . . . . .	14
4.4.1	大型地震工程實驗設施 . . . . .	14
4.4.2	火山與地球物理觀測網絡 . . . . .	14
4.5	結構耐震與工程物理 . . . . .	14
4.5.1	房屋自然週期 . . . . .	15
4.5.2	921 大地震的教訓 . . . . .	15
4.6	現代防震科技 . . . . .	15
4.6.1	結構耐震與韌性 . . . . .	15
4.6.2	消能減震 . . . . .	15
4.6.3	隔震設計 . . . . .	15
4.6.4	老舊建物補強 . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Hugging Face Interactive Report Implementation</b>	<b>16</b>
5.1	系統設計目標 . . . . .	16
5.2	檔案結構與部署格式 . . . . .	16
5.2.1	README 設定 . . . . .	17
5.3	報告導覽與章節資料結構 . . . . .	17
5.3.1	堪察加半島圖片放置 . . . . .	17
5.4	斷層與震源機制互動設計 . . . . .	17
5.4.1	斷層受力模式 . . . . .	18
5.4.2	震源機制球計算 . . . . .	18
5.5	地震風險互動計算器 . . . . .	18
5.6	微型地震儀互動模擬與影片整合 . . . . .	19
5.6.1	警報門檻 . . . . .	19
5.6.2	影片放置 . . . . .	19
5.7	媒體檔案路徑管理 . . . . .	19
5.8	整體學習意義 . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>21</b>
	<b>Appendices</b>	<b>23</b>
<b>A</b>	<b>Presentation-to-Report Conversion Outline</b>	<b>23</b>
<b>B</b>	<b>Links Mentioned in the Presentation</b>	<b>24</b>

**C Hugging Face Gradio Source Code 25**  
C.1 app.py . . . . . 25  
C.2 README.md . . . . . 25

**D Hugging Face File Structure 28**

# Chapter 1

## Introduction

本報告整理地震學第一章相關課程內容，並結合互動式教學系統、校園黑森林震測實驗，以及國家地震工程研究中心（NCREE）參訪經驗，形成一份完整的期末總報告。主題可概括為「地球的重低音」：地震波就像地球內部活動所發出的訊號，而地震學的任務，就是透過這些訊號反推震源、地下構造與地表反應。

地震學研究彈性波在地球內部與地表的傳播。若以較生活化的方式理解，地震波如同地球內部的「旅遊筆記」，記錄了波從震源出發、穿越地下介質、最後被地震儀接收的整個過程。因此，地震學的核心可以分成三個部分：震源、路徑與接收器。

### 1.1 震源、路徑與接收器

第一，**震源 (Source)** 指的是地震波產生的地方與機制。地震學家希望知道「是誰在製造噪音」，也就是斷層如何破裂、能量如何釋放，以及地震發生時的物理過程。

第二，**路徑 (Medium)** 指的是地震波傳播經過的地下介質。不同岩石、不同溫度、不同密度與不同流體含量，都會影響地震波速度與振幅。透過地震波傳遞過程，可以推測地底下岩石與構造的差異。

第三，**接收器 (Receiver)** 指的是地震儀或其他觀測設備。地震儀接收到的波形，是地震學研究的主要資料來源。從地表震動的時間、振幅、頻率與方向，可以反推震源特徵與地下結構。

### 1.2 報告架構

本報告依據簡報內容重新整理為報告形式。第二章說明地震學核心觀測模型、彈性回跳理論與震源機制。第三章說明互動式教學系統與動態斷層模擬器。第四章討論地震危害、風險、能量衰減、建築共振、土壤液化、預測與預警等議題。第五章整理黑森林震測實驗與資料分析結果。第六章整理國震中心參訪中觀察到的地震工程設施與耐震技術。第七章新增 Hugging Face 互動式報告系統之程式架構、功能設計與部署方式。最後於結論中回顧本次學習成果與個人心得。

# Chapter 2

## Analysis

### 2.1 核心觀測模型

地震學的基礎觀測模型，是從地表地震紀錄反推地下震源與介質。簡報中的圖 1.1-1 至圖 1.1-5，分別對應波傳遞全景圖、走時曲線、振幅衰減，以及時域與頻域之間的轉換。這些圖共同說明：地震波雖然是複雜的震動訊號，但可以透過物理與數學方法拆解成可分析的資訊。

#### 2.1.1 波傳遞全景圖

波傳遞全景圖可視為地震學的基本架構。地震發生後，彈性波從震源向外傳播，穿越地球內部不同介質，最後抵達地表觀測站。透過地表接收到的震譜，地震學家可以推算震源位置、震源深度、破裂方式與地下速度構造。這就像隔著門縫聽房間裡的聲音，再反推房間中發生了什麼事。

#### 2.1.2 走時曲線

走時曲線描述地震波到達時間與震央距離之間的關係。曲線斜率與波速有關，斜率越緩代表波速越快。一般而言，P 波速度較快，會比 S 波更早抵達測站。這種速度差是地震預警系統的重要物理基礎：當儀器先偵測到破壞力較小的 P 波時，系統可以在破壞力較大的 S 波抵達前，爭取數秒至十幾秒的反應時間。

#### 2.1.3 振幅衰減

地震波在傳播過程中，振幅會隨距離增加而減小。其原因包含幾何擴散與內在衰減。幾何擴散是能量向外分散到更大面積，因此單位面積所接收的能量變小；內在衰減則是岩石並非完美彈性體，震動能量會因材料內部摩擦而轉為熱能。

#### 2.1.4 時域與頻域分析

地震波形在時域中呈現的是地表隨時間變化的震動紀錄。然而，若要分析震波中哪些頻率成分較強，就需要轉換到頻域。傅立葉轉換可以將看似混亂的時域訊號拆解成不同頻率成分。頻譜分析對耐震工程非常重要，因為不同高度與結構型態的建築物，會對不同頻率的地震波有不同反應。

## 2.2 彈性回跳理論

彈性回跳理論 (Elastic Rebound Theory) 是解釋地震如何誕生的重要模型。地殼岩石在板塊運動下受到擠壓、拉張或剪切，會逐漸累積彈性應變能。當應力尚未超過岩石或斷層面的摩擦強度時，岩石會保持變形狀態；當累積的應力超過極限，斷層便會突然錯動，釋放能量並產生地震波。

這個過程可分成三個階段：

1. **初始狀態**：岩層尚未受到明顯外力影響，斷層兩側構造相對穩定。
2. **能量累積與變形**：板塊運動使岩石受到擠壓或拉張，岩石產生微小彈性形變，應變能逐漸累積。
3. **極限與破裂**：當應力超越摩擦或破裂極限，斷層突然錯動，應變能轉化為震波向外釋放。

因此，地震並不是無中生有，而是岩石長期變形後，在恢復或調整狀態時所釋放出的能量。若以生活化比喻，這就像塑膠尺被彎曲後，當力量超過可承受範圍時突然彈回，產生快速而強烈的動作。

## 2.3 震源機制球

震源機制球 (Focal Mechanism)，又常被稱為「沙灘球」，是地震學中用來表示斷層破裂型態的重要工具。它將地底斷層的三維運動，以二維圓形圖案呈現，使研究者可以從黑白象限與節面方向判斷斷層類型。

### 2.3.1 P 波初動與推拉分布

震源機制球的基本概念來自 P 波初動方向。當某個測站記錄到的第一個 P 波運動方向為壓縮，代表該方向受到「推」的作用；若第一動為膨脹，則代表該方向受到「拉」的作用。這些推與拉的分布會在球面上形成黑白區域，最後投影成平面上的震源機制球。

### 2.3.2 下半球投影

震源機制球通常使用下半球投影。地震發生時，假想一個球體包圍震源，將 P 波初動分布標示在球面上，再透過立體網投影 (Stereographic Projection) 投影到平面。黑白區域的交界線稱為節面，其中一個節面是真正的斷層面，另一個則是輔助面。

### 2.3.3 斷層類型辨識

不同斷層型態在震源機制球上有典型圖案：

- **正斷層**：常呈現外黑內白的樣式，可理解為受到張力作用。
- **逆斷層**：常呈現外白內黑的樣式，可理解為受到擠壓作用。
- **平移斷層**：常呈現黑白相間的十字或西瓜皮狀圖案，代表主要受到剪切作用。

然而，僅看震源機制球並不一定能立即判斷真正的斷層面。研究者仍需結合區域地質背景、板塊運動方向、震源深度與餘震分布，才能確認哪一條節面是真正的破裂面。

## 2.4 堪察加半島強震個案分析

堪察加半島位於環太平洋地震帶北西側，是太平洋板塊向鄂霍次克板塊或歐亞板塊邊緣隱沒的重要區域。此區域長期受到板塊擠壓作用影響，容易發生規模較大的隱沒帶型地震。因此，堪察加半島強震很適合作為震源機制球判讀與板塊構造解釋的案例。

本報告以堪察加半島外海強震作為實戰分析對象，並結合手繪震源機制球圖，說明如何從節面參數判斷可能的斷層面。震源機制球中的兩組節面通常分別稱為 NP1 與 NP2，其中一組是真正發生錯動的斷層面，另一組則是幾何上等效的輔助面。單看震源機制球本身無法百分之百確認哪一組是真正斷層面，因此需要進一步結合區域板塊構造背景。

### 2.4.1 觀測數據與震源參數

簡報中列出的堪察加半島地震參數如下：

- **位置：** 堪察加半島南東方外海，位於隱沒帶構造環境。
- **地震規模：** 約  $M8.8$ ，屬於巨震等級。
- **震源深度：** 約 21.5 km，符合淺源至中淺源隱沒帶地震特徵。
- **應力主軸：** P 軸方位角約  $139^\circ$ ，反映主要擠壓方向。
- **節面 1 (NP1)：** 走向  $198^\circ$ ，傾角  $18^\circ$ ，滑移角  $51^\circ$ 。
- **節面 2 (NP2)：** 走向  $58^\circ$ ，傾角  $76^\circ$ ，滑移角  $101^\circ$ 。

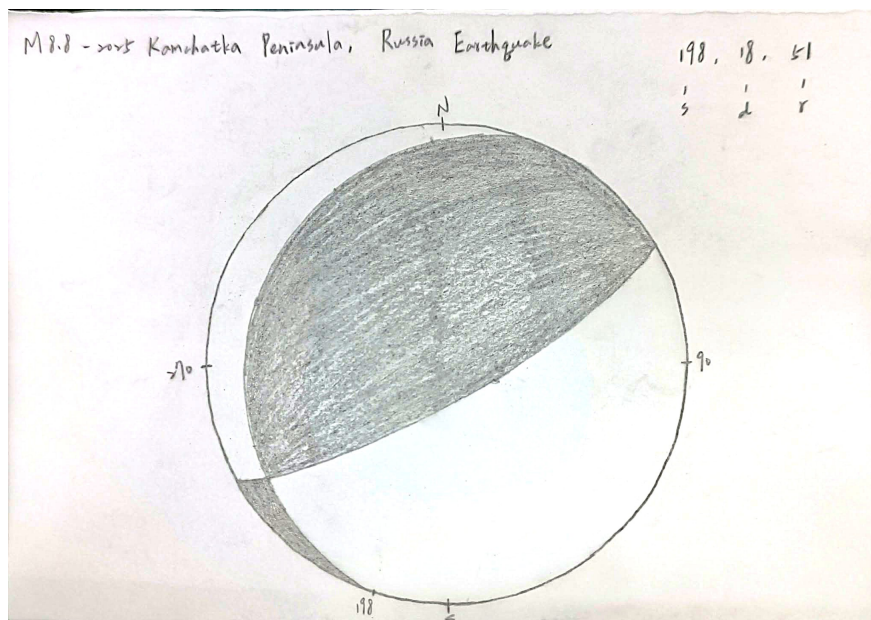


Figure 2.1: 堪察加半島強震手繪震源機制球。此圖可用於對照 NP1、NP2 兩組節面參數，並輔助判讀低傾角隱沒帶斷層面。

### 2.4.2 震源機制球判讀

由震源機制球與節面參數可知，NP1 與 NP2 呈現明顯不同的傾角。NP1 的傾角為  $18^\circ$ ，屬於低傾角節面；NP2 的傾角為  $76^\circ$ ，則接近高角度陡傾節面。由於堪察加半島位於隱

沒帶環境，板塊交界面通常較為平緩，並不會像近垂直斷層一樣高角度切入地殼。因此，從地質構造合理性判斷，低傾角的 NP1 較可能是真正發生錯動的板塊交界斷層面。

滑移角也提供重要線索。NP1 的滑移角為  $51^\circ$ ，表示斷層運動具有逆衝成分與一定程度的走滑分量；NP2 的滑移角為  $101^\circ$ ，則偏向高角度逆斷層型態。若只看滑移角，兩者都可能與擠壓環境有關，但若加入隱沒帶板塊幾何，NP1 的低傾角特徵更符合板塊界面地震。

### 2.4.3 實戰判讀結論

綜合震源深度、地震規模、震源機制球樣式與兩組節面參數，本案例可判斷為隱沒帶擠壓環境下的巨大逆衝型地震。兩組節面中，NP1（走向  $198^\circ$ 、傾角  $18^\circ$ 、滑移角  $51^\circ$ ）因具有低傾角特徵，較可能代表真正的板塊交界斷層面；而 NP2（走向  $58^\circ$ 、傾角  $76^\circ$ 、滑移角  $101^\circ$ ）則較可能是輔助面。

此案例說明，震源機制球不是單純看黑白圖案就能完成判讀，而是必須結合下列資訊：

1. **節面幾何：**比較 NP1 與 NP2 的走向、傾角與滑移角。
2. **板塊背景：**隱沒帶板塊交界面通常具有較低傾角。
3. **震源深度：**淺源至中淺源深度常對應板塊界面上盤構造活動。
4. **應力環境：**P 軸方向可反映主要擠壓方向，輔助判讀斷層運動型態。

因此，堪察加半島強震的分析重點不只是辨認「這是一個逆斷層型地震」，更重要的是學會如何從兩組節面中選出較合理的真實斷層面。這正是震源機制球在地震學實戰分析中的核心價值。

## 2.5 互動式教學系統

為了讓抽象的斷層幾何與震源機制更容易理解，簡報中設計了互動式教學系統。此系統將地震學概念轉換成可視化、可操作的數位介面，使學生能透過互動方式理解斷層運動與震源機制球。

### 2.5.1 動態斷層模擬器

動態斷層模擬器利用 Gradio 前端互動設計，提供下拉式選單 `gr.Dropdown`，讓操作者自由切換三種地殼受力模式：

1. **拉張力：**觸發正斷層模擬。
2. **擠壓力：**觸發逆斷層模擬。
3. **剪切力：**觸發平移斷層模擬。

當使用者選擇不同受力模式時，系統會即時調用後端 `update_fault_sim` 函數，回傳對應的 SVG 向量動畫碼與 Markdown 說明文字。網頁畫面會同步顯示地殼岩盤、上盤、下盤與斷層面之間的相對滑動，使斷層錯動從抽象概念變成可視化動畫。

## 2.5.2 互動機制球繪製器

進階互動工具則提供三個滑動拉桿 `gr.Slider`，讓學生自行調整震源機制球參數：

- **走向 (Strike)**：範圍為  $0^\circ$  至  $360^\circ$ ，控制斷層線在水平面上的方位。
- **傾角 (Dip)**：範圍為  $0^\circ$  至  $90^\circ$ ，控制斷層面與地表水平面的夾角。
- **滑移角 (Rake)**：範圍為  $-180^\circ$  至  $180^\circ$ ，控制上盤岩盤在斷層面上的滑動方向。

透過即時改變三個參數，2D 震源機制球與 3D 斷層模型可同步重繪。這有助於建立空間幾何感，降低學生理解震源機制球時常遇到的空間盲點。

# Chapter 3

## Results

### 3.1 地震危害與地震風險

地震危害 (Seismic Hazard) 與地震風險 (Seismic Risk) 雖然常被混用，但兩者概念不同。

#### 3.1.1 地震危害

地震危害指某地發生一定程度地震搖晃的可能性。它主要由地質條件、斷層活動性、震源距離與地盤條件決定。由於這些因素多半屬於自然條件，人類無法直接控制地震是否發生，也無法改變斷層釋放能量的本質。

#### 3.1.2 地震風險

地震風險則指地震可能造成的損失。它不只取決於地震危害，也取決於人口、建築物、基礎設施與社會脆弱度。可用下列概念式表示：

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Exposure} \times \text{Vulnerability}$$

也就是：

$$\text{地震風險} = \text{地震危害} \times \text{曝險程度} \times \text{脆弱度}$$

若大地震發生在無人區，即使地震危害很高，實際風險也可能很低。相反地，若在活動斷層帶上興建脆弱建築，例如紙糊般不耐震的醫院，即使地震危害沒有改變，地震風險仍會大幅升高。

### 3.2 能量衰減與社會影響

地震波在傳播過程中會逐漸衰減，原因主要包含幾何擴散與內在衰減。

#### 3.2.1 幾何擴散

幾何擴散 (Geometric Spreading) 指地震波能量隨著波前擴大而分散。波從震源向外傳播，就像氣球被越吹越大，表面積增加後，單位面積可分配到的能量變少。因此，距離震源越遠，通常地震波振幅越小。

### 3.2.2 內在衰減

內在衰減 (Intrinsic Attenuation) 是因為岩石不是完美彈性材料。當地震波通過岩石時，部分機械能會因分子摩擦、裂隙作用或流體效應轉換為熱能。品質因子  $Q$  可用來描述介質衰減程度； $Q$  值越高，代表能量消耗越少，介質越能保存震波能量。

### 3.2.3 災損與社會條件

簡報中指出，地震造成的社會影響與國家經濟條件密切相關。經濟較發達的地區，因建築、基礎設施與財產價值較高，地震後可能出現高額財產損失；經濟較弱或建築品質較差的地區，則更容易出現嚴重人員傷亡。換言之，「有錢國家賠錢多，窮國家賠命多」反映的正是地震風險與社會脆弱度之間的關係。

## 3.3 建築材料、共振與耐震問題

不同建築材料面對地震時的反應不同。土石牆與未補強磚牆雖具有一定承重能力，但韌性不足，容易在震動中破裂或倒塌。鋼筋混凝土 (RC) 結構兼具承重與一定延展性，因此是現代建築常見材料。鋼骨 (SS) 結構雖可能晃動較明顯，但韌性佳，不容易突然脆斷。

### 3.3.1 建築自然頻率與共振

建築物也有自然頻率。當地震波的主導頻率接近建築物自然頻率時，便會發生共振，使建築物搖晃放大。高樓通常較怕低頻、長週期的慢晃；矮房則可能較怕高頻、短週期的快晃。因此，地震破壞程度不是單純由建築高度決定，而是取決於建築週期與地震波頻率是否吻合。

## 3.4 土壤液化

土壤液化是地震造成地盤破壞的重要現象。液化通常需要三個條件同時存在：

1. 鬆散砂質土壤。
2. 地下水或孔隙水充滿土壤顆粒間隙。
3. 地震強烈搖晃。

當地震發生時，鬆散含水砂土受到反覆震動，孔隙水壓上升，砂粒之間的有效接觸力下降，使土壤暫時失去剪力強度，表現得像流體。建築物若位於這類地基上，可能發生沉陷、傾斜甚至倒塌。常見高風險區包含海邊、河岸沖積平原、舊河道、海埔新生地，以及地下水位較高的砂質地層。

## 3.5 地震預測、地震預警與前兆

### 3.5.1 地震預測

地震預測 (Prediction) 是指在地震發生前，準確指出地震的時間、地點與規模。這是人類長期追求的目標，但以目前科學技術而言，仍然極不可靠。地震系統涉及地下複雜應力累積、斷層摩擦與多尺度破裂過程，難以精準預測。

### 3.5.2 地震預警

地震預警 (Warning) 不是在地震前幾天或幾個月預測地震，而是在地震已經發生後，利用 P 波比 S 波快的特性，於破壞性強波抵達前發出警報。雖然可爭取的時間可能只有幾秒至十幾秒，但仍可用於關閉瓦斯、停止電梯、減速高鐵、啓動校園避難提醒等措施。

### 3.5.3 地震空區

地震空區 (Seismic Gap) 指某段斷層相較周邊區域長期未發生大地震，但又位於活動構造帶上，可能正在累積應變。若整條斷層帶其他區段都已破裂，唯獨中間某一段長期沉寂，該區段便可能成為未來大地震的潛在區域。

### 3.5.4 地震前兆觀測

科學家曾嘗試利用多種現象尋找地震前兆，包括：

- **動物行為：**例如震前動物異常活動，但科學上難以穩定重複驗證。
- **地球化學：**例如監測地下水中氬氣變化，推測地殼壓力與裂隙變化。
- **地殼變形：**透過高精度 GPS 量測斷層兩側微小位移。
- **電磁異常：**觀察震前可能出現的電離層或地表電磁變化。

然而，這些方法目前仍無法形成可靠且普遍適用的地震預測系統。

## 3.6 地震學與地下核試爆監測

地震學除了研究自然地震，也可用於國防安全與地下核試爆監測。地下核爆與自然地震的震源機制不同，因此產生的震波比例也不同。

地下核爆近似點源擴張，能量向四周推擠，因此 P 波通常特別強，而 S 波較弱。自然地震則多由斷層剪力破裂造成，兩側岩盤錯動，因此 S 波與表面波相對明顯。

一種常見判別方式是比較體波規模  $m_b$  與表面波規模  $M_s$ 。地下核爆因體波強、表面波弱，常出現  $m_b$  相對  $M_s$  偏大的特徵。若觀測到某事件的  $m_b$  明顯大於  $M_s$ ，就可能需要進一步檢查是否為地下爆炸事件。

# Chapter 4

## Field Observation and Visit

### 4.1 黑森林震測實驗

本次課程包含校園黑森林震測實驗，目的是將地震學理論轉化為實際觀測操作。透過親自架設微震紀錄器、挖土安放儀器、調整方向與水平，能更具體理解地震資料從何而來。

#### 4.1.1 野外架設流程

實驗過程包含以下步驟：

- **挖土安放：**在黑森林中選擇適合位置，挖掘土坑以放置儀器。
- **水平校正：**觀察儀器上方氣泡窗口，確認氣泡位於中心，使儀器保持水平。
- **指北定位：**使用指北針確認儀器正面朝北，以便正確記錄東西、南北與垂直三分量。
- **磁吸啓動：**使用強力磁鐵觸碰開機，減少傳統按鍵耗損並降低防水風險。
- **填土掩埋：**啓動後將儀器妥善掩埋，使其穩定記錄環境微震。

#### 4.1.2 微震紀錄器

微震紀錄器可同時捕捉三個方向的震動：垂直方向 Z、南北方向 N，以及東西方向 E。三分量資料有助於分析地表震動的方向性，也能更完整地辨識不同震動來源。儀器的磁吸式開關與氣泡觀測窗，則展現野外儀器在人機介面與防水設計上的巧思。

### 4.2 資料前處理與時頻分析

完成野外觀測後，資料以 SAC 格式儲存，並使用 Python 的 ObsPy 函式庫建立 Stream 物件進行分析。分析重點包括時域波形與時頻熱圖 (Spectrogram)。

#### 4.2.1 分析區段選擇

為了避免人為干擾過多，分析時選擇第 3 至 30 分鐘作為核心區段。此區段較適合觀察穩定背景訊號與潛在震動特徵。

## 4.2.2 分析結果

本次資料分析成功產出 8 個地震事件或震動紀錄的時頻特徵。重要發現是，時頻圖上每隔約 200 秒會穩定出現集中於約 40 Hz 的高能量亮點。這種規律週期性高頻訊號，強烈暗示可能與周邊人造干擾有關，例如鄰近道路紅綠燈週期造成的車流變化。

這項結果說明，微震觀測不只會記錄自然地震，也會記錄大量人為環境噪訊。如何辨識並排除人造雜訊，是地震資料處理中非常重要的一步。

## 4.3 黑森林實驗心得

黑森林震測實驗不只是技術操作，也形成特殊的情感連結。翻開黑森林泥土時，讓人聯想到大一普通生物實驗結束後，同樣在黑森林挖洞埋下實驗生物遺體的經驗。同樣的地點與同樣的挖掘動作，在不同課程與不同時間點產生連結，讓嚴肅的科學實驗多了一層個人記憶。

從精準定位、安裝儀器，到後續資料分析與報表整理，這些過程使地震學不再只是課本中的波形與公式，而是可以親自參與、親自觀測、親自處理的科學實作。

## 4.4 國家地震工程研究中心參訪

本次課程亦包含 2026 年 4 月 17 日國家地震工程研究中心 (NCREE) 參訪。參訪內容涵蓋大型實驗設施、火山與地球物理觀測網絡、結構耐震概念，以及現代防震技術。

### 4.4.1 大型地震工程實驗設施

國震中心具有多項重要實驗設施：

- **地震模擬振動台**：尺寸約 5m × 5m，可模擬不同強震波，測試實體結構在地震下的反應。
- **多軸強迫位移試驗系統 (MATS)**：可提供精準多軸高載重剪力與軸力測試。
- **雙軸高速度動態測試系統 (BATS)**：用於高性能消能元件與防震零件的動態高頻測試。

這些設施使工程師能在可控制條件下重現強震影響，進一步測試建築、橋梁或防震構件是否符合安全需求。

### 4.4.2 火山與地球物理觀測網絡

參訪中也認識到國震中心與臺灣地球物理觀測網絡的關聯。例如大屯火山觀測站 (TVO) 持續監測大屯火山群的微震與地球化學變化。Formosa Array 與 Taiwan Array 則透過全台密集微震觀測站，建立高密度地震資料，有助於建構三維地下構造與地震危害度分析。

## 4.5 結構耐震與工程物理

地震工程的核心不只是讓建築物「很硬」，而是理解建築物如何振動，以及如何避免與地震波產生危險共振。

### 4.5.1 房屋自然週期

簡報中提到一個經驗概念：房屋自然週期大約可用總樓高除以 10 估算。例如 3 層樓矮房的自然週期約 0.3 秒，較容易與高頻地盤運動吻合；10 層樓大廈的自然週期約 1.0 秒，較容易受到低頻慢晃影響。

當地震地盤運動主導週期與建築物自然週期吻合時，就可能發生共振，使搖晃明顯放大，增加結構破壞風險。

### 4.5.2 921 大地震的教訓

1999 年集集大地震 ( $M_L$  7.3) 揭示許多傳統建築的脆弱點。其中一項重要問題是軟弱層 (Soft Story)。若建築物一樓因騎樓、開放空間或牆面不足而缺乏側向支撐，地震時可能成為崩塌起點。

另一項問題是韌性不足。若柱體箍筋細節不佳，例如未落實 135 度耐震箍筋，柱體可能在強震下快速脆斷。這些經驗推動了臺灣建築耐震設計與補強觀念的進步。

## 4.6 現代防震科技

現代耐震工程已從單純提高結構強度，轉向韌性設計、消能減震與隔震設計。

### 4.6.1 結構耐震與韌性

結構耐震不只是讓建築物完全不動，而是讓構件具有足夠變形能力，在強震中可以搖晃、耗能，但不至於立即斷裂或倒塌。韌性設計重視材料與構件在非彈性變形後仍保持承載能力。

### 4.6.2 消能減震

消能減震 (Energy Dissipation) 透過額外元件吸收震動能量。例如台北 101 的調諧質量阻尼器 (TMD)，利用大型質量塊的慣性，抵消部分大樓晃動能量，降低結構反應。

### 4.6.3 隔震設計

隔震設計 (Base Isolation) 是在建築基礎裝設隔震墊或隔震裝置，使地表震動不會完整傳遞到上部結構。這種方式相當於在地面與建築之間建立緩衝層，可大幅降低建築物受到的地震剪力。

### 4.6.4 老舊建物補強

對既有老舊建物而言，拆除重建並非唯一選項。透過科學診斷，可以採用擴大柱斷面、增設剪力牆、碳纖維貼片 (CFRP) 補強等方式提高耐震能力。碳纖維貼片可增加柱體圍束與剪力承載能力，是常見補強方法之一。

# Chapter 5

## Hugging Face Interactive Report Implementation

本章將前述地震學課程內容進一步轉化為 Hugging Face Gradio 互動式網頁。相較於傳統紙本或簡報形式，互動式網頁可以讓使用者直接切換報告章節、拖曳斷層參數、即時計算地震風險，並觀看 Raspberry Pi 微型地震儀實作影片。此章節說明完整系統架構、主要程式邏輯、媒體檔案管理與部署方式。

### 5.1 系統設計目標

本互動式報告的設計目標，是將地震學理論、案例分析與實作展示整合成同一個可操作平台。其核心概念包括：

1. **報告導覽互動化**：將原本的文字報告整理成可下拉選擇的章節。
2. **震源機制球視覺化**：以 Strike、Dip、Rake 三個參數即時計算並繪製震源機制球。
3. **地震風險量化**：讓使用者調整 Hazard、Exposure 與 Vulnerability，觀察風險值變化。
4. **微型地震儀模擬**：使用三軸加速度滑桿模擬 Raspberry Pi 與 MPU6050 的警報邏輯。
5. **多媒體整合**：將堪察加半島手繪震源機制球與樹莓派實作影片放入對應章節。

### 5.2 檔案結構與部署格式

Hugging Face Gradio Space 的主要檔案結構如下：

```
1 app.py
2 requirements.txt
3 README.md
4 assets/
5   handdrawn_beachball.jpg
6   raspberry_pi_demo.mp4
```

其中，app.py 是主要執行檔，負責建立 Gradio 網頁介面、互動函式與輸出畫面；requirements.txt 紀錄執行環境所需套件；README.md 提供 Space 的基本設定；assets 資料夾則存放圖片與影片素材。

## 5.2.1 README 設定

Hugging Face Space 會讀取 README.md 檔案最上方的 YAML 設定，以判斷應使用哪一種 SDK 與啟動檔案。本專案使用 Gradio，因此設定如下：

```
1 ---
2 title: 地震學期末互動式總報告
3 emoji:
4 colorFrom: blue
5 colorTo: red
6 sdk: gradio
7 app_file: app.py
8 pinned: false
9 ---
```

## 5.3 報告導覽與章節資料結構

互動式報告使用 REPORT\_SECTIONS 字典儲存各章節內容。每一個鍵代表一個章節名稱，每一個值則是一段 HTML。使用者在 Gradio 下拉選單中選擇章節後，程式會呼叫渲染函式並更新右側內容。

此設計的優點是資料結構清楚，後續若要新增、刪除或修改章節，只需要調整字典中的文字內容，不必重寫整個網頁版面。報告導覽中的章節包括：

- 報告總覽。
- 地震學核心概念。
- 震源機制球與堪察加案例。
- 地震危害、風險與防災。
- 黑森林震測實驗。
- 國震中心參訪。
- 結論與學習心得。

### 5.3.1 堪察加半島圖片放置

在最新版本中，手繪震源機制球圖片不再獨立成一個多媒體分頁，而是放入「報告導覽」中的「震源機制球與堪察加案例」章節。此設計讓圖片與文字判讀直接相鄰，使用者閱讀 NP1、NP2 參數時，可以立即對照圖像。

程式上使用 Gradio 原生的 `gr.Image` 元件顯示圖片，而不是直接使用 HTML 的 `img` 標籤。這樣做可以避免 Hugging Face 或 Gradio 對本地檔案路徑解析不穩定的問題。

## 5.4 斷層與震源機制互動設計

斷層互動分頁包含兩個核心部分：第一個是斷層受力模式示意圖，第二個是震源機制球即時計算器。

### 5.4.1 斷層受力模式

斷層受力模式由 `gr.DropDown` 控制，使用者可以選擇：

1. 拉張力：正斷層。
2. 擠壓力：逆斷層。
3. 剪切力：平移斷層。

當選單變化時，程式呼叫 `update_fault_sim`，並由 `make_fault_svg` 產生對應的 SVG 圖像。正斷層與逆斷層以剖面圖表示，上盤與下盤沿斷層面相對位移；平移斷層則改以俯視圖表示，呈現右移平移斷層兩側地塊的水平錯移。

### 5.4.2 震源機制球計算

震源機制球互動器使用 Strike、Dip、Rake 三個滑桿控制。程式先依照三個角度建立雙偶力矩張量，再計算不同方向的 P 波初動輻射型態。其核心判斷式可表示為：

$$R = \mathbf{x}^T M \mathbf{x}$$

其中， $M$  為雙偶力矩張量， $\mathbf{x}$  為投影方向向量。若  $R \geq 0$ ，則對應區域填黑；若  $R < 0$ ，則對應區域填白。透過這種方式，使用者拖動滑桿時，沙灘球黑白象限會即時改變。

堪察加案例的預設參數為：

- Strike:  $198^\circ$ 。
- Dip:  $18^\circ$ 。
- Rake:  $51^\circ$ 。

這組參數對應低傾角逆衝型地震，符合隱沒帶板塊交界地震的構造背景。

## 5.5 地震風險互動計算器

地震風險互動計算器將風險概念轉化為可操作模型。使用者可調整三個滑桿：

- 地震危害 Hazard。
- 曝險程度 Exposure。
- 脆弱度 Vulnerability。

程式使用下式計算風險：

$$Risk = Hazard \times Exposure \times Vulnerability$$

計算後，系統會依照數值自動判斷為低風險、中風險、高風險或極高風險，並輸出對應的防災建議。此設計讓使用者可以直觀理解：地震本身的危害雖然難以控制，但曝險程度與脆弱度可以透過土地規劃、建築補強與防災教育降低。

## 5.6 微型地震儀互動模擬與影片整合

微型地震儀互動模擬分頁整合 Raspberry Pi 與 MPU6050 三軸加速度感測器的展示邏輯。使用者可以調整 X、Y、Z 三軸加速度，系統即時計算合成加速度：

$$a = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

由於 MPU6050 靜止時仍會量到約  $1g$  的重力加速度，因此介面提供「簡易重力校正」選項，使用：

$$|a - 1g|$$

作為震動判斷值。這能說明原始合成加速度在靜止狀態下仍可能接近警報門檻的問題。

### 5.6.1 警報門檻

系統使用三個警報門檻：

- L1 一級警報：預設  $1.0g$ 。
- L2 二級警報：預設  $1.5g$ 。
- L3 三級警報：預設  $2.0g$ 。

此設定是為了符合教學展示需求。若門檻設得太高，實際操作時需要過度搖晃裝置，可能造成杜邦線鬆脫、麵包板接觸不良或電路斷線。因此，門檻調整為較容易展示但仍能區分弱、中、強震動的範圍。

### 5.6.2 影片放置

樹莓派微型地震儀實作影片已放在「微型地震儀互動模擬」分頁中，並使用 `gr.Video` 顯示。影片檔放置於：

```
1 assets/raspberry_pi_demo.mp4
```

此外，介面也提供 `gr.File` 作為備用下載或開啓方式，以避免瀏覽器影片播放器不穩定時無法觀看。

## 5.7 媒體檔案路徑管理

程式中以 `Path` 管理圖片與影片路徑，並設定下列預設位置：

```
1 assets/handdrawn_beachball.jpg
2 assets/raspberry_pi_demo.mp4
```

為了讓 Gradio 能讀取本地媒體檔，啓動時使用：

```
1 demo.launch(allowed_paths=MEDIA_ALLOWED_PATHS)
```

此設定能避免 Gradio 因安全限制而無法讀取本地圖片或影片。若圖片或影片沒有出現，最常見原因通常是檔案名稱不一致、資料夾位置錯誤，或沒有將 `assets` 資料夾一起上傳。

## 5.8 整體學習意義

Hugging Face 互動式報告的建立，使本次期末報告不只停留在文字與投影片，而是轉化為可操作、可展示、可部署的數位成果。透過 Gradio 介面，地震學中的震源機制球、斷層類型、地震風險與感測器警報邏輯都能被具體操作。這種轉換有助於提升報告的教學性，也讓地震學理論與程式實作之間建立更直接的連結。

# Chapter 6

## Conclusion

本報告將地震學課程內容、互動式網頁設計、野外震測實驗與國震中心參訪整合為完整學習紀錄。從理論面來看，地震學的核心在於透過地震波認識震源、地下介質與地表反應。走時曲線、振幅衰減、頻譜分析、彈性回跳理論與震源機制球，都是理解地震的重要工具。

從應用面來看，地震學不只服務於學術研究，也與地震預警、災害風險評估、核試爆監測與建築耐震設計密切相關。地震危害雖無法完全避免，但地震風險可以透過良好土地利用、建築補強、耐震設計與防災教育降低。

從實作面來看，黑森林震測實驗使地震觀測從抽象概念變成具體操作。親自架設儀器、辨識方向、收集資料並進行時頻分析，讓地震學學習更加完整。國震中心參訪則讓課堂中的共振、韌性、隔震與消能概念具體化，展現地震工程如何將科學轉化為保護生命與財產的技術。

總而言之，地震學不只是研究地球震動的科學，也是一門連結地球內部構造、工程安全與社會防災的重要學問。透過本次課程與報告整理，可以更清楚理解：我們雖然無法阻止地震發生，但可以透過科學觀測、工程設計與風險管理，讓社會在地震面前更加安全。

# Appendices

# Appendix A

## Presentation-to-Report Conversion Outline

本附錄說明簡報內容如何轉換為本報告章節。

Table A.1: 簡報頁面與報告章節對應

簡報頁碼	原始主題	報告位置
1	地震學期末總報告標題頁	封面與 Introduction
2	地震學研究範疇	Introduction
3	核心觀測模型	Analysis
4	彈性回跳理論	Analysis
5	震源機制球	Analysis
6	堪察加半島強震	Analysis
7-8	互動教學系統	Analysis
9-15	地震風險、建築、液化、預警與核試爆	Results
16-18	黑森林震測實驗與心得	Field Observation and Visit
19-21	國震中心參訪與耐震科技	Field Observation and Visit
22	結尾頁	Conclusion

# Appendix B

## Links Mentioned in the Presentation

簡報中提到的互動展演平台如下：

- Hugging Face Space: 震測實驗報告。
- NCREE 動態 3D 監測網頁: <https://huggingface.co/spaces/Icon826/NCREE>

# Appendix C

## Hugging Face Gradio Source Code

本附錄收錄完整 Hugging Face Gradio 程式碼。若要部署到 Hugging Face Space, 請將 `app.py`、`requirements.txt`、`README.md` 與 `assets` 資料夾一併上傳。

### C.1 `app.py`

```
1
2 \section{requirements.txt}
3
4 \IfFileExists{requirements.txt}{
5   \VerbatimInput[
6     breaklines=true,
7     breakanywhere=true,
8     fontsize=\scriptsize,
9     frame=single
10  ]{requirements.txt}
11 }{
12   \begin{CodeBlock}
13   gradio
```

### C.2 `README.md`

```
# ATLAS LaTeX

ATLAS LaTeX class, style files and templates to typeset notes and papers.
See `CHANGELOG.md` or Git log for history of changes.

*Responsible:* Ian Brock ([Ian.Brock@cern.ch](mailto:Ian.Brock@cern.ch))

This has been uploaded to Overleaf by [Zach Marshall](mailto:ZLMarshall@lbl.gov).
Please send a note if you would like an updated version or to contribute.

Please note that the use of Overleaf is not recommended for ATLAS drafts because
the physics office workflows
[described here](https://atlas-po.docs.cern.ch/writing-your-document/) are
only supported when working in repositories in CERN gitlab. This template is
fine to use for quick documents that do not require physics office tools, or
when preparing a draft before inserting it back into gitlab.

There is some additional documentation of the use of Overleaf with the ATLAS
note templates [here](https://atlas-po.docs.cern.ch/atlaslatex/overleaf/).

The only modifications to the git version of the template are these notes
about the use of Overleaf (here and in the main `.tex` file), and the
running of `make newnote [BASENAME=OverleafDraft]` to produce the necessary
template files. This version of the template is from the main branch as of
23 May 2026 (commit `40f86c45a97eba617bd684f9adcad0aa2af82de0`).

Copyright (C) 2002-2026 CERN for the benefit of the ATLAS collaboration
```

-----

## ## How to use

The general idea is that, for each document, this package should be cloned into a new directory. It is assumed that all style files are in a directory `latex`, which is a subdirectory of the one in which the main document sits. The `latex` subdirectory can of course be a link to a central style directory.

The directory search path (`TEXINPUTS`) is supplemented by the `latex` directory in `atlaslatexpath.sty`. This replaced the use of `ATLASSLATEXPAT` in Version 10.0.

To make a new paper/CONF note/PUB note draft give the command:

```
make newspaper [BASENAME=mydocument]
```

To make a new ATLAS note give the command:

```
make newnote [BASENAME=mydocument]
```

`make new` is an alias for `make newspaper`.

Subsequently, you will have to specify which note to build like

```
make [BASENAME=mydocument]
```

using the same name you generated previously.

I strongly recommend that you use `latexmk` to compile your document (this is also the default). It works out for itself what has to be run and generally works very well. In order to use `pdflatex` directly, change the default target in the `Makefile` from `run_latexmk` to `run_pdflatex`.

The class and style files should find out for themselves which version of TeX Live you are running and adjust things as necessary.

TeX Live versions older than 2018 are not supported.

The command `make help` gives you a bit more assistance on which make targets exist.

To add the cover pages for a paper/CONF note/PUB note when circulating it to the ATLAS collaboration, add the option `coverpage` to the `\documentclass`.

If you want to use the templates for documents that are stored in CERN GitLab, but are not inside PO-GitLab and hence should not make use of the PO-GitLab CI tools, you should delete the file: `.gitlab-ci.yml`.

For PO-GitLab documents, the Git repository is in a subdirectory of:

↪ [<https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/>](<https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/>).

## ### Running on `lxplus`

The most common FAQ I get is why `atlaslatex` does not just compile "out of the box"?

If you are running on `lxplus` for it to work, you MUST set your PATH correctly as follows:

```
export PATH=/cvmfs/sft.cern.ch/lcg/external/texlive/2025/bin/x86_64-linux:$PATH
```

in order to use TeX Live 2025.

Physics Office Continuous Integration has images for TeX Live 2020, 2023 and 2025.

## ### Makefile and documentation

You can produce the users guide to the templates (and thus test that your LaTeX setup is working) by giving the commands:

```
cd doc/atlas_latex
make
```

Three other make targets are:

- `make clean`: cleans up intermediate files
- `make cleanpdf`: remove output pdf file
- `make cleanall`: also cleans up output pdf file

## ## Running with different `TeX Live` versions

- Skeleton documents work without change for TeX Live 2015 and later.

- You have to pass the ``firstinits`` option to ``atlaspackage`` for older versions.
- The documentation needs small tweaks to compile with versions older than 2018.
- The journal skeleton ``atlas-revtex.tex`` needs to use ``revtex4-1`` instead of ``revtex4-2`` for versions older than 2018.
- Do not try to use ``diffcoeff`` for TeX Live 2016.

### ## Included files

The following template main files exist:

- ``atlas-paper.tex``: ATLAS paper draft (including CONF and PUB notes)
- ``atlas-note.tex``: ATLAS note
- ``atlas-book.tex``: Long ATLAS document, such as a TDR
- ``atlas-draft-cover.tex``: Make a standalone cover for an ATLAS draft
- ``atlas-preprint-cover.tex``: Make a standalone cover for an ATLAS CERN preprint
- ``atlas-auxmat-main.tex``: A front page for auxiliary material
- ``atlas-hepdata-main.tex``: A front page for material destined for HEPData

The ATLAS document class (``atlasdoc.cls``) and style files can be found in the latex directory. The following main style files exist:

- ``atlasbiblatex.sty``: Reference style adjustments for ``biblatex``
- ``atlascover.sty``: Make a cover (CONF note, CERN preprint, ATLAS draft)
- ``atlascontribute.sty``: List of contributors (and authors) for a document
- ``atlaspackage.sty``: Standard packages used in ATLAS documents
- ``atlasphysics.sty``: Useful definitions. This file simply inputs others.

Options can be used to specify which should be included.

General Physics Office documentation on document handling can be found on the webpage

<<https://atlas-po.docs.cern.ch>>.

Documentation on ``atlaslatex`` can be found on the webpage

<<https://atlas-po.docs.cern.ch/atlaslatex/atlaslatex/>>.

The following documents are available in subdirectories of the ``doc`` and ``template`` directories or as artifacts in the GitLab repository:

- [Users guide to the ATLAS LaTeX package]([https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas\\_latex/atlas\\_latex.pdf?job=build\\_user](https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas_latex/atlas_latex.pdf?job=build_user)) - also in ``doc/atlas_latex``;
- [Guide to references and BibTeX in ATLAS documents]([https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas\\_bibtex/atlas\\_bibtex.pdf?job=build\\_bibtex](https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas_bibtex/atlas_bibtex.pdf?job=build_bibtex)) - also in ``doc/atlas_bibtex``;
- [ATLAS physics symbols]([https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas\\_physics/atlas\\_physics.pdf?job=build\\_physics](https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas_physics/atlas_physics.pdf?job=build_physics)) - also in ``doc/atlas_physics``;
- [ATLAS physics symbols with ``hepparticle``]([https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas\\_physics/atlas\\_hepphysics.pdf?job=build\\_physics](https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas_physics/atlas_hepphysics.pdf?job=build_physics)) - also in ``doc/atlas_physics``;
- [Guide to formatting tables for ATLAS documents]([https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas\\_tables/atlas\\_tables.pdf?job=build\\_tables](https://gitlab.cern.ch/atlas-physics-office/atlaslatex/-/jobs/artifacts/master/file/doc/atlas_tables/atlas_tables.pdf?job=build_tables)) - also in ``doc/atlas_tables``.

# Appendix D

## Hugging Face File Structure

Table D.1: Hugging Face Space 檔案結構與用途

檔案或資料夾	用途
<code>app.py</code>	Gradio 主程式，包含報告導覽、斷層模擬、震源機制球、地震風險與微型地震儀模擬。
<code>requirements.txt</code>	Python 套件需求，目前主要為 <code>gradio</code> 。
<code>README.md</code>	Hugging Face Space 設定與專案說明。
<code>assets/ handdrawn_beachball.jpg</code>	堪察加半島強震手繪震源機制球圖片。
<code>assets/ raspberrypi_demo.mp4</code>	Raspberry Pi 微型地震儀實作影片。