

台灣的地震觀測 - 漫談地震觀測的趣味與挑戰

中央研究院地球科學研究所 梁文宗

△地震學

- 地震學就是一门研究地震以及地震波特性的科學。
- 研究地震的內容包括地震的成因、造成的效應，以及地震波在地球（或其它星體）內的傳播方式。
- 所以分析地震波穿過地球的行為可以進一步理解地球的內部構造、物理性質與其組成。
- 這個領域需要應用地震儀來記錄並分析地震波的振動行為，而這些地面震動的起因還包括其他來源，例如火山噴發、爆發事件、暴風，以及大型山崩作用。
- 地震災害評估、資源探勘、理解地球的動力行為、地震預報。

地震究竟是怎麼一回事？

- 斷層間的摩擦力阻止斷層滑移
- 累積的應變克服斷層面的摩擦力以致斷層間產生瞬間錯動，引發地震
- 彈性回跳理論 Elastic Rebound

↪ 地球是彈性的

地震波的振動方式

△ P 波 → P 波小但來得快

△ S 波 → S 波大但來得慢

△ 雷利波

△ 洛夫波

】 表面波

↪ 可由先到的 P 波去預測 S 波什麼時候抵達

地震波

- 地震發生後，會從震源發出跑得快的P波，和比較慢的S波。稱為體波，因為他們可以向下傳入地球這個物體之內。
- P波前進的方式就像前後排成一排的同儕，排在後面的人將手搭在前一位的肩膀上，最後一位將手往前推，前面的同學逐一向前傾，將這個推進往前傳遞到最前面（縱波）
- 而S波的前進可以拿運動場上環場的觀眾跳波浪舞來比喻，第一位從座位上站起來揮手之後坐下，旁邊的人跟著逐一站起來揮手後再坐下，把這個起伏變化向側向推進，甚至可以環場數圈。（橫波）
- 由於地震就是斷層面兩側岩塊彼此之間瞬間的錯動，比較像波浪舞，所以S波通常搖晃比較大
- 至於表面波，因為主要在近地表的位置傳遞，能量不易消散，搖晃得振幅甚至更大

彈性回跳模擬器：地震機器

- Earthquake Machine (地震機器)
- Strick-Slip Behavior (黏滑運動行為)
- 震間累積應力
- 地震時應力下降
- 解釋了特定斷層的地震重複性
- 若已知應力累積速率和摩擦力，按理有機會得出重複週期，預測地震

震源物理

- 剪切應力、剪切應變
- 岩石強度、斷層強度

地震能不能預測？

- 非常困難!!!
- 基本物理過程已可掌握
 - ↳ 細節卻異常複雜
- 應力累積速率隨時間而異
 - ↳ 某段斷層發生大地震後，會影響另一段斷層上的應力狀態，以致提高或降低其地震活動度；這又取決於斷層的幾何形態
- 斷層強度也不會是定值
 - ↳ 遷移的流體可能強化地殼，斷層面的結晶交結程度因時而異。
- 每次應力降的程度也不一

震央距離與地震波到達時間的關係

- 震央距離指震央位置與測站的水平距離
- 淺源地震的震波到時與震央距離息息相關
- P波和S波的到時差($T_s - T_p$)與震央距呈線性正比關係
- 震央距(Δ)與 $T_s - T_p$ 的關係： $\Delta(\text{km}) \sim 8 * (T_s - T_p)$

早期人工地震定位

- 1916/08/28 南投地震
- 台北、台中、澎湖、台南、恆春、台東
- $\Delta(\text{km}) = 6.86 * (T_s - T_p) + 8.1$
- $50 < \Delta \leq 200 \text{ km}$

紙上地震定位

- 地震發生後，因為P波（縱波）跑得比S波（橫波）快，所以P波會比S波提早出現在地震波形記錄上
- 地震震央與測站的距離（震央距）和P、S波到達測站的時間差（ $T_s - T_p$ ）存在正比關係（見上圖）
- 距離上淺震的震央距（km）約等於到時差（ $T_s - T_p$, 秒）乘上 8（公里/秒）
- 早期沒有電腦的時候，即採用這個經驗關係來決定地震的位置，理論上有三個測站距離就可求得震央位置，但深度未知

台灣的地震觀測站分布

- CWSN
- TSMIP
↳ 中央氣象署
- BATS
↳ 中央研究院地球科學研究所
- SANTA
↳ 國家地震工程研究中心

地震的位置所隱含的意義

- 台灣地區位在板塊邊界帶上，受到板塊之間的交換作用影響，因此地震變形厲害且為地震好發區
- 台灣的地質構造複雜，具地質作用的多樣性，是天然的地球科學實驗場！
- 台灣的深部地體構造（tectonic setting）大致由地震的分布可以描繪出來
- 可進行各區域的機率式地震危害分析
- 測量地面震動除了可據以研究地震的特性之外，也可以分析行星內部結構、監測環境變化，更可應用在資源探測及自然災害防治

小結

- 地震統計不一定有物理意義
- 安靜期與活躍期都屬假炮
- $M \geq 4$ 的地震平均每個有 5 個

- 機率式地震危害度分析 (風險評估)

↳ 長期預報

- └ 防災部署、國家建設、國土安全
- └ 地震保險、都市更新、建築規範
- └ 建築物健康
- └ ...

看見地震

- P-Alert 強震觀測網
- ~800 個價位強震儀部署在小學及學術機構
- 提供現地地震預警
- 提供近即時的地震資訊
- 提供近即時的波形資料
- 教育推廣材料
- RMT 即時地震矩張量 (震源機制) 監測系統

地震學的應用

- 地球內部結構
 - └ 層狀結構
 - └ 速度模型
 - └ 其他物理性質

- 地表物理过程 / 環境監測
 - └ 山崩 / 落石監測
 - └ 地下水位監測
 - └ 火山活動
 - └ 颱風 / 暴風軌跡
 - └ 水体振盪幅度

- 資源探勘