

# 地球是個均質的星球嗎？

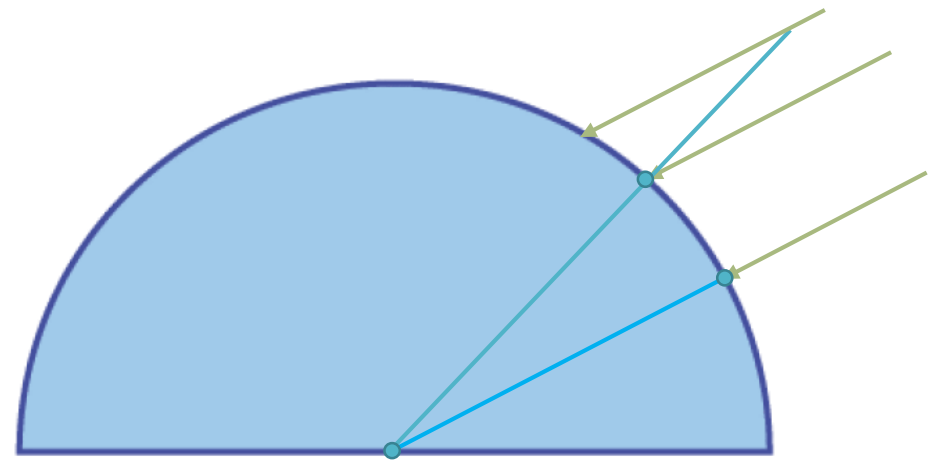
梁文宗

2020-07-04

# 人類是如何度量地球(內部)的呢？

古希臘的埃拉托斯特尼(Eratosthenes，公元前275-193)結合天文學與測地學，在夏至時量出沿同一經線某兩地相對於地心的圓心角，若已知兩地間的距離，即可進一步估算地球的半徑和圓周長。

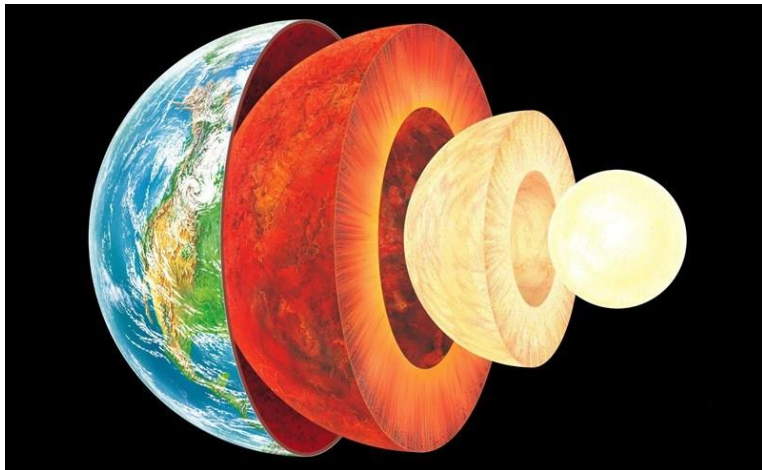
[玩弄地球於股掌之間]



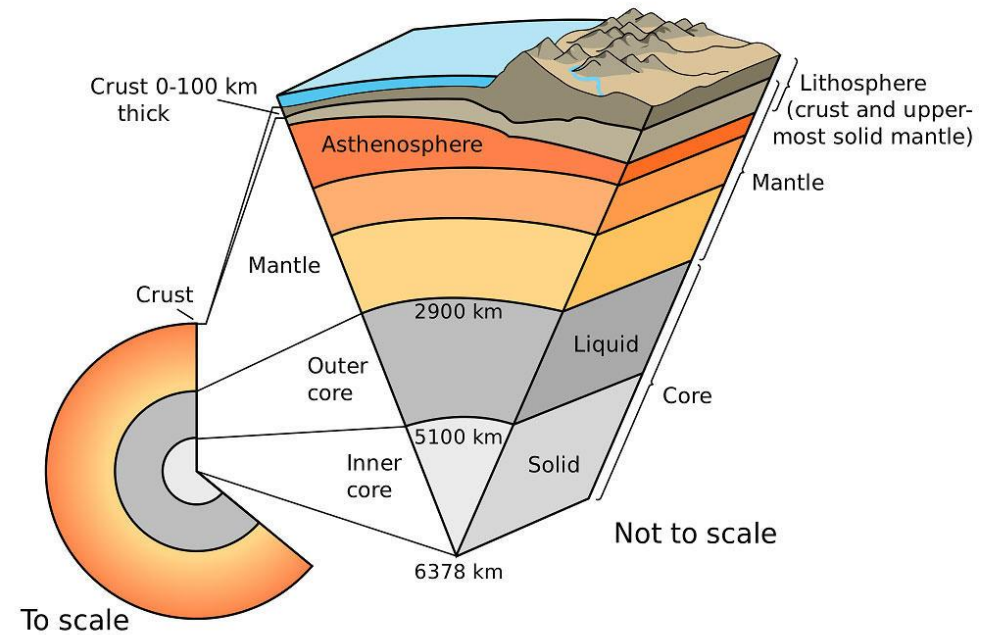
# 地球內部是層狀結構

因為課本上說了算！

但是.....



<https://phys.org/news/2015-12-earth-layers.html>



USGS

# 人類是如何度量地球(內部)的呢？

現代使用衛星測量技術來(監)看(護)地球：

克卜勒定律、衛星測高儀、重力儀、合成孔徑雷達(SAR)影像...

測地學、地理學

地球物理學、地球化學

地震學 (唯一“摸”的到地球內部的工具)

# 如何來論證這個問題？

利用地震學的理论模型和觀測結果

先備知識：

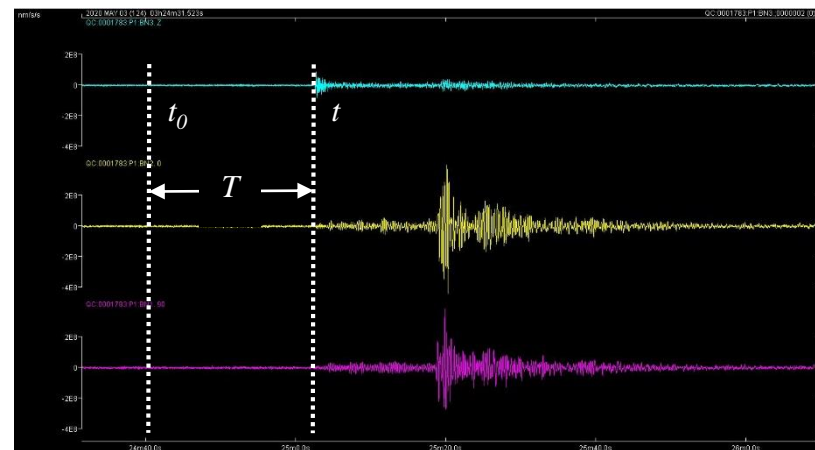
走時( $T$ )和到時( $t$ )與發震時間( $t_0$ )的關係

$$t = t_0 + T$$

$$T = \int L/V$$

$L$ : 震波行走路徑長度

$V$ : 震波速度



# 如果地球是個均質物體

理論上地震波的走時與測站和震央之間的距離(震央距)有什麼關係？

假若地球是個正球體，半徑為R，那麼震央距( $\Delta$ )和地面距離(S)的關係為何？

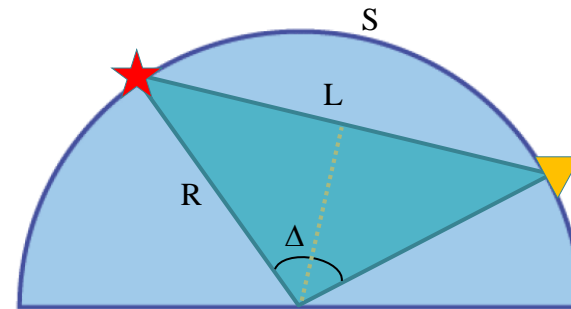
震央和測站之間的直線距離為L，則L如何表示？

均質地球的震波速度為 $V_p$ ，則理論走時為：

$$T_{th} = \frac{L}{V_p}$$

$$L = 2 R \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

Excel範例：

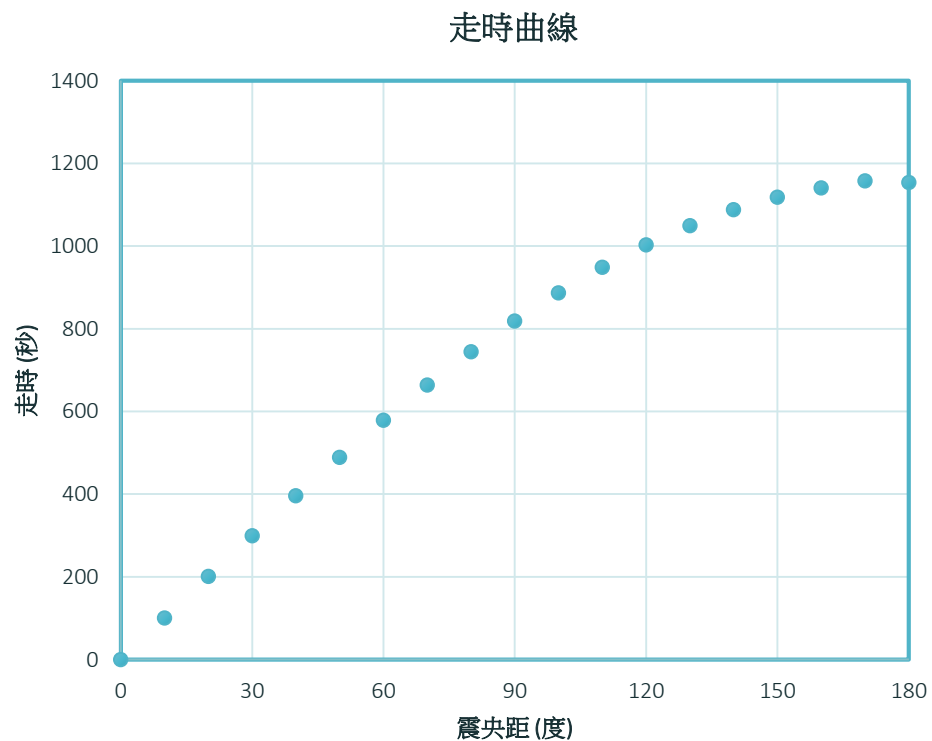


# 走時曲線 (travel-time curve)

$R=6371 \text{ km}$

$V_p=11 \text{ km/s}$

這個**走時**相對於**震央距**的作圖，  
一般稱之為**走時曲線**

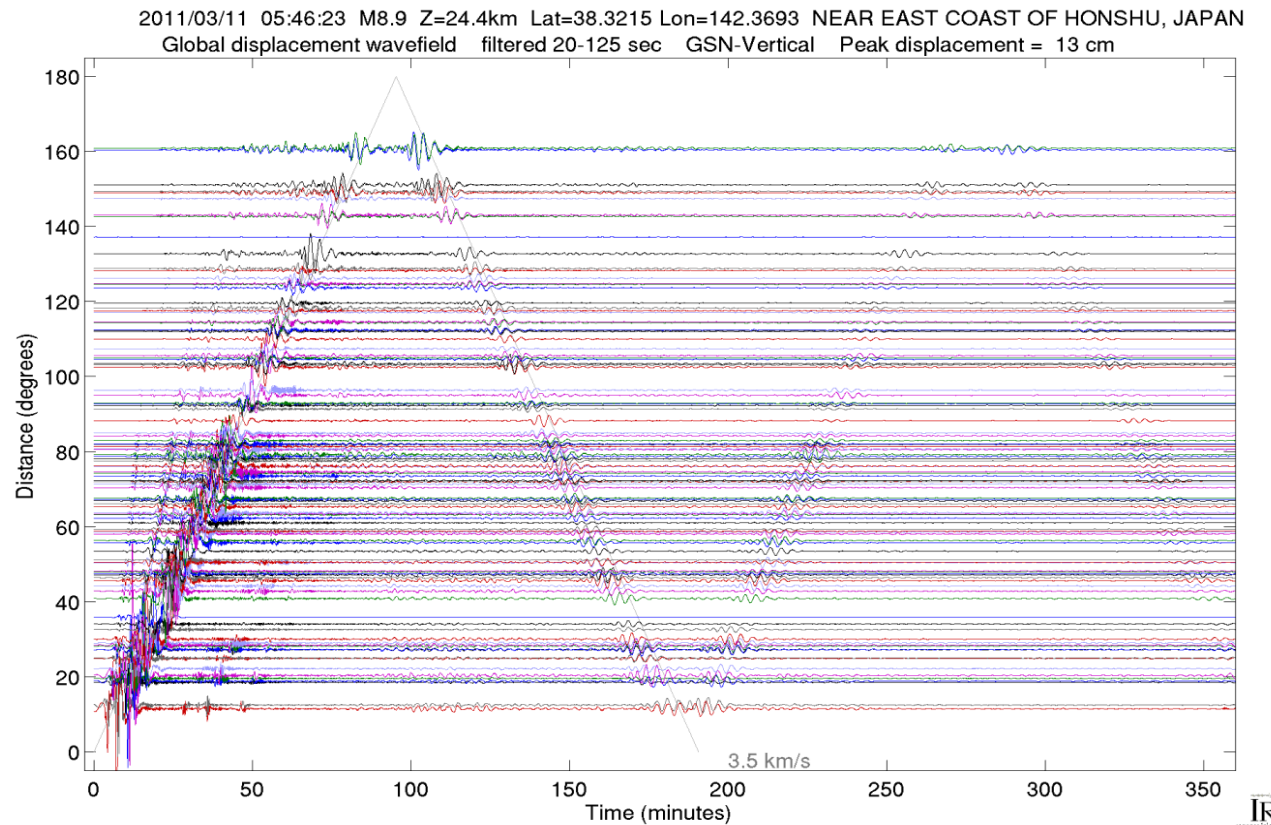


# 觀測波形疊合圖

地震發生後6小時內全球**垂直向**地震波形的集合

振幅最大的波形就是表面雷利(Rayleigh)波，甚至可以環繞地球兩圈以上，這是表面波沿地球表面多次繞圓的結果

其他較小振幅的波形來自不同的體波波相(seismic phases)，以不同的路徑穿過地球，最後在不同的時間抵達測站



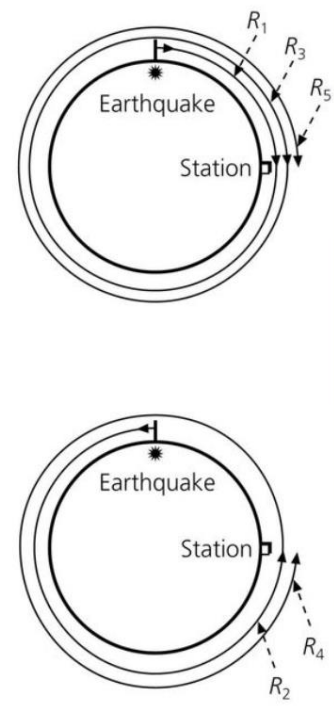
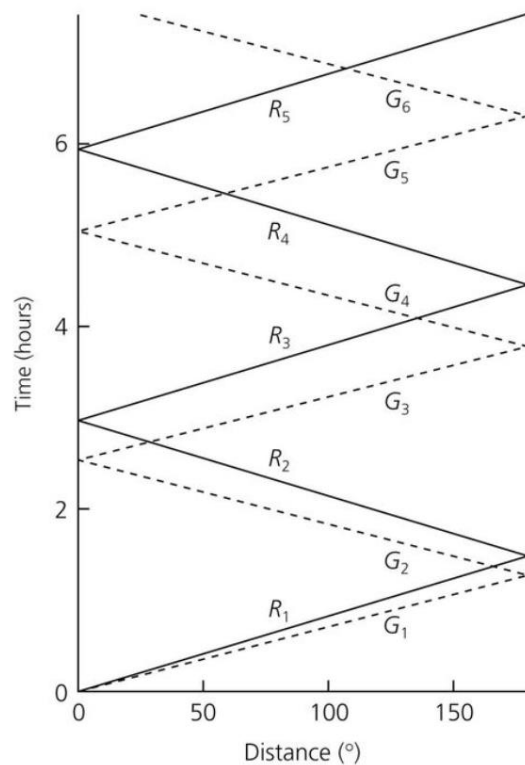


# 表面波沿地球表面多次繞圓

表面波沿地球表面多次繞圓的結果

R是雷利波，G表洛夫波。

奇數表示表面波沿劣弧(minor arc)從震央往側站傳遞，偶數則是沿優弧(major arc)從震央往測站傳遞。



# 走時曲線的觀測 - 圖解法

地震波形按距離排序的疊合圖

<https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/specialvents>

直尺：比例和長度

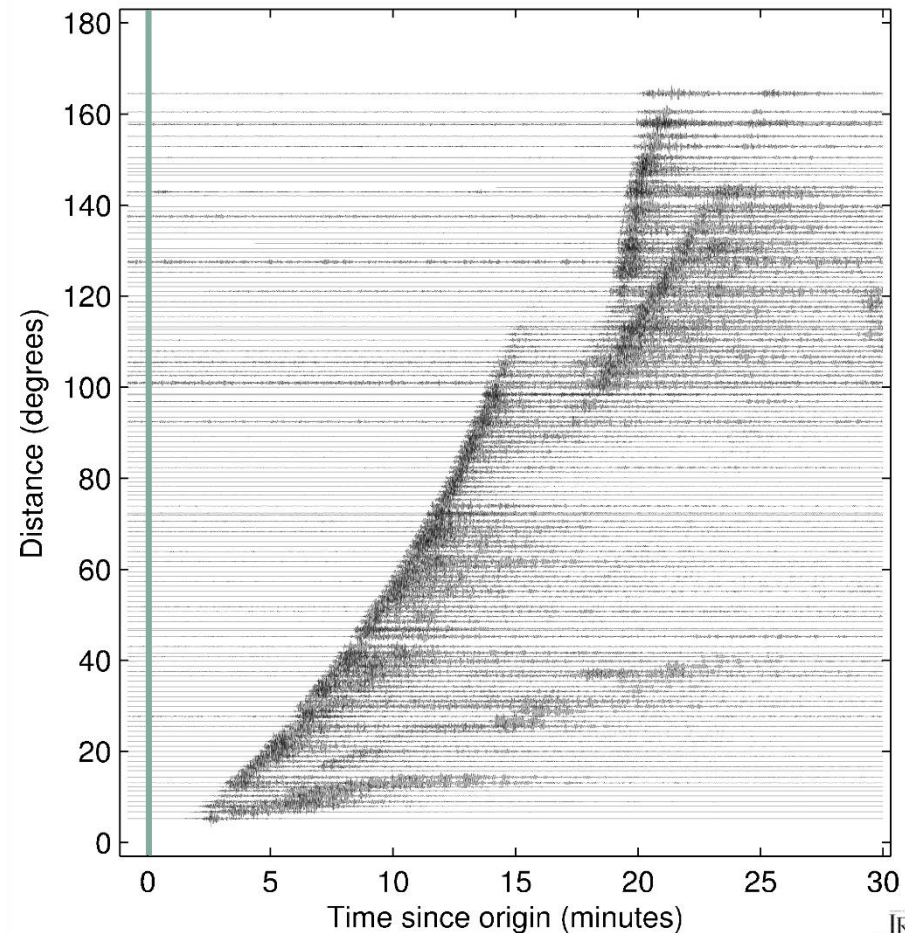
量取初達波(P波)的走時

初達波在110-120度震央距之間有明顯的跳躍變化。

填入Excel 表格內

繪圖

Combed and aligned on origin 0.3to1.0Hz BHZ  
NEAR COAST OF CHIAPAS, MEXICO  
2017/09/08 04:49:17 M8.0 Z=35.0km Lat=15.0286 Lon=-93.807



# 走時曲線的觀測 – II 實際觀測法

索取地震事件波形資料

IRIS的Wilber3系統：

<https://ds.iris.edu/wilber3/>

選擇有興趣的地震

建議 $M > 7.5$ ，深度 $< 35$  km

選用合適的測站

選取發震時間前1分鐘後30分鐘的時窗(time window)

下載檔案

## Wilber 3: Select Event

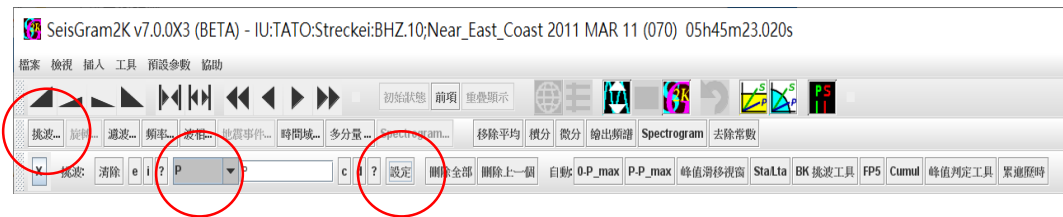
Looking for previously requested data? [View recent requests.](#)

| Date (UTC)          | Region                       | Magnitude | Latitude | Longitude | Depth   |
|---------------------|------------------------------|-----------|----------|-----------|---------|
| 2015-04-25 06:11:26 | Nepal                        | Mw 7.9    | 28.13°   | 84.72°    | 13.4 km |
| 2014-11-09 14:38:15 | Primor'Ye, Russia            | Mb 7.6    | 46.93°   | 140.63°   | 10 km   |
| 2014-04-12 20:14:38 | Solomon Islands              | Mw 7.6    | -11.26°  | 162.14°   | 15.3 km |
| 2014-04-03 02:43:14 | Near Coast Of Northern Chile | Mw 7.7    | -20.59°  | -70.49°   | 12 km   |
| 2014-04-01 23:46:47 | Near Coast Of Northern Chile | Mw 8.1    | -19.62°  | -70.79°   | 17.1 km |

# 挑波 (phase picking)

SeisGram2K讀入波形資料

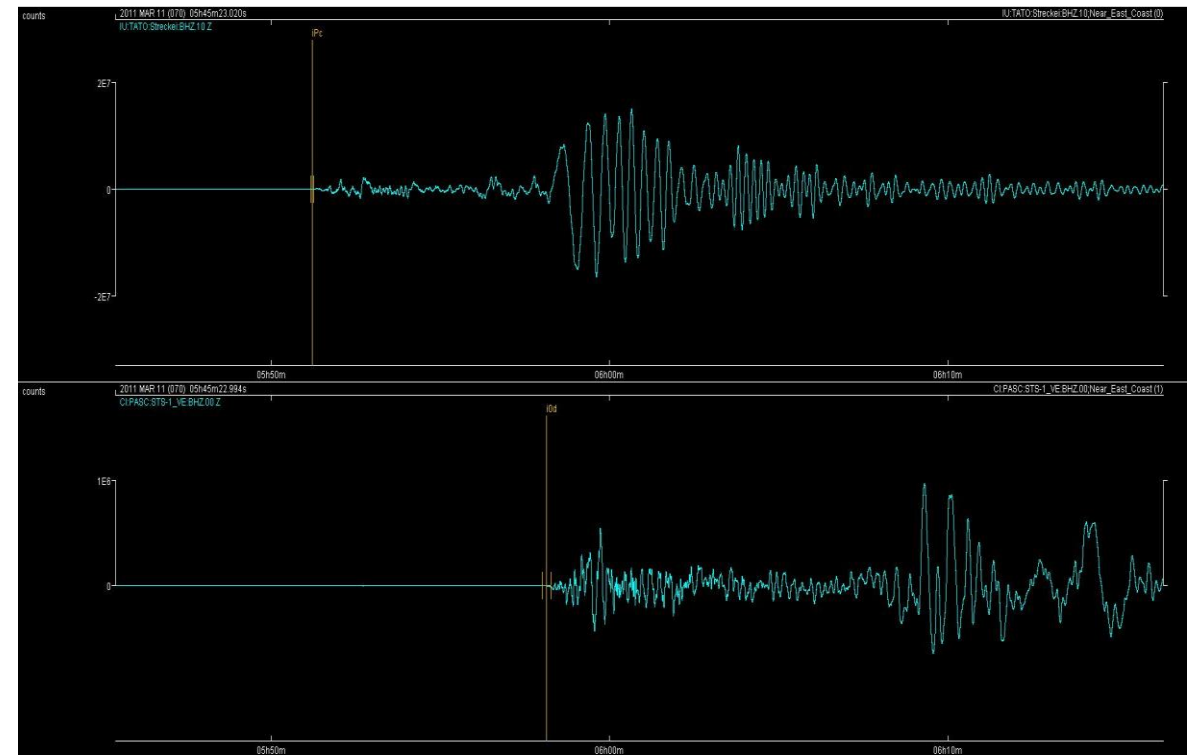
使用“挑波”的功能



指出P波到達該測站的時間，選P波按下“設定”後，離開畫面將輸出pick檔

檢視”→”地震資料表頭資訊”查看到測站的震央距(gcarc)圓心角的度數

將P波的到時扣除發震時間即得該測站的走時，



TATO Streckei ZiPc 20110311 0551 12.044 GAU 1.8163818 0.0 4626.2217 0.0  
PASC STS-1\_VE ZiOd 20110311 0558 07.959 GAU 7.265625 0.0 1390.7689 0.0

# 走時曲線的觀測 — III 線上觀測法

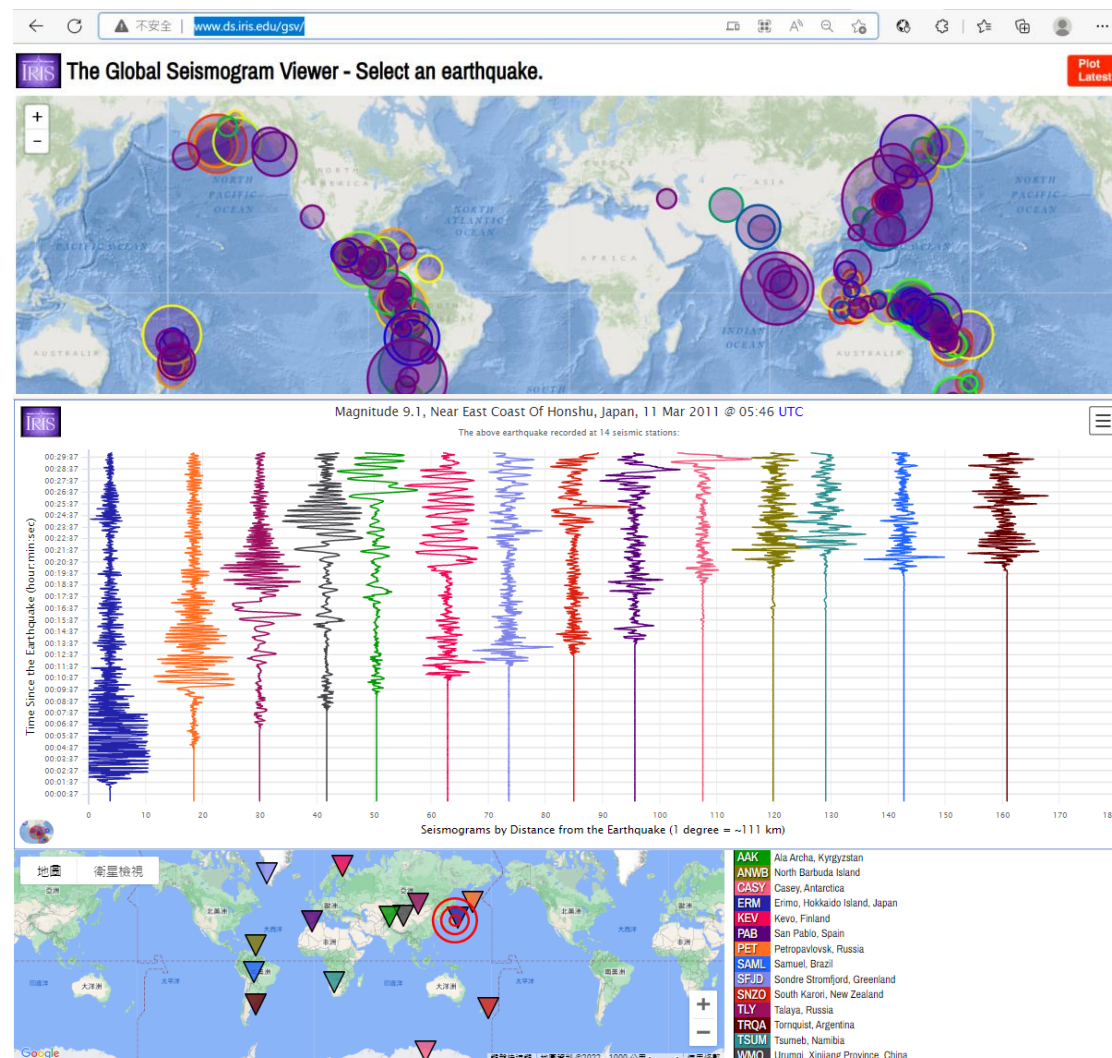
➤ 瀏覽地震事件波形資料

➤ IRIS的全球波形檢視

➤ <http://www.ds.iris.edu/gsv/>

➤ 選擇有興趣的地震

建議 $M > 7.5$ ，深度 $< 35$  km





# 理論走時和觀測走時的比對

理論走時的特徵

觀測走時的特徵

地球若為均質模型，P波的平均速度大約多少？

為什麼地球內部不可能是均質的物體？

什麼因素控制P波走時的變化？

(反射波、折射波、繞射波)

# P波陰影帶

110度附近到底發生了什麼事？

是什麼原因讓這個距離外的P波到時落後這麼多？

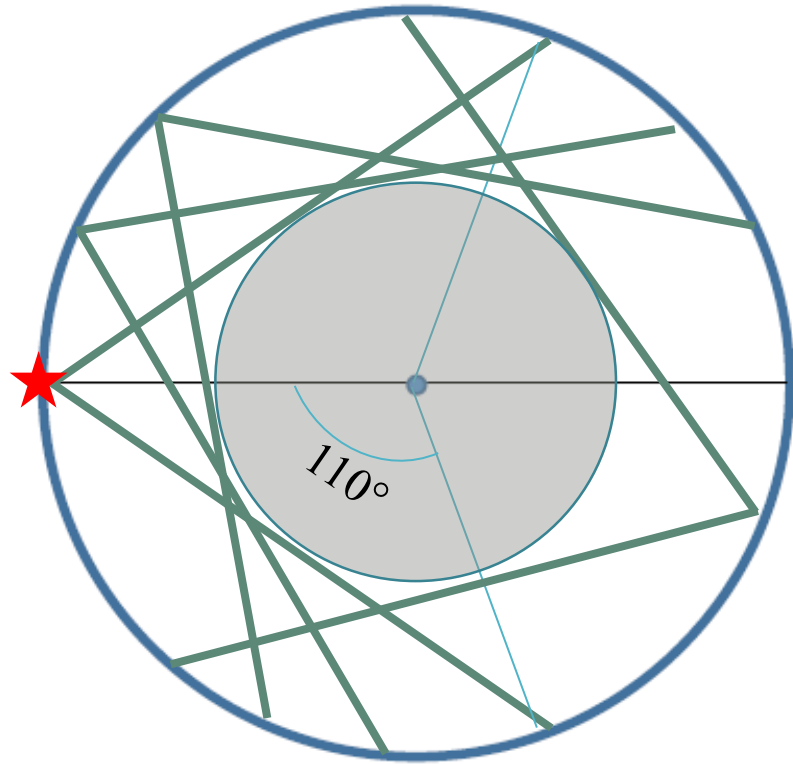
神奇的110度

地核怎麼發現的？

[https://www.iris.edu/hq/inclass/lesson/determining\\_and\\_measuring\\_earths\\_layered\\_interior](https://www.iris.edu/hq/inclass/lesson/determining_and_measuring_earths_layered_interior)

神奇的110度

# 神奇的110度



依據繪圖的結果，若地球平均半徑為6371公里，  
外核和地函地的邊界深度大約多少公里？

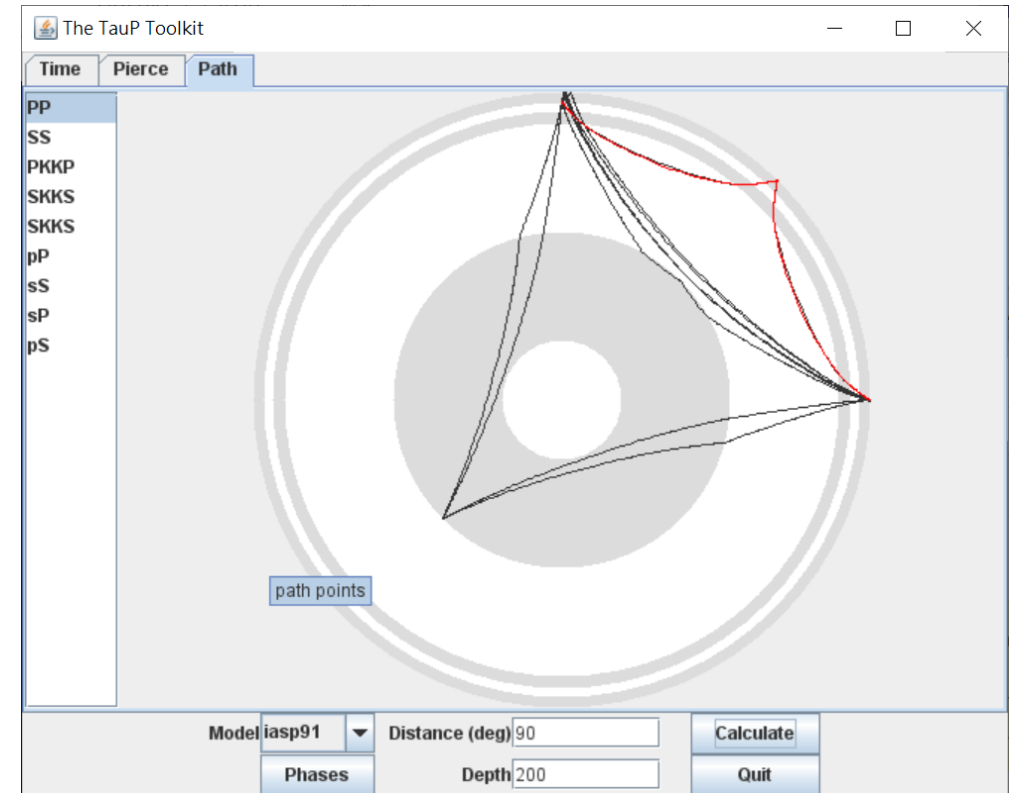
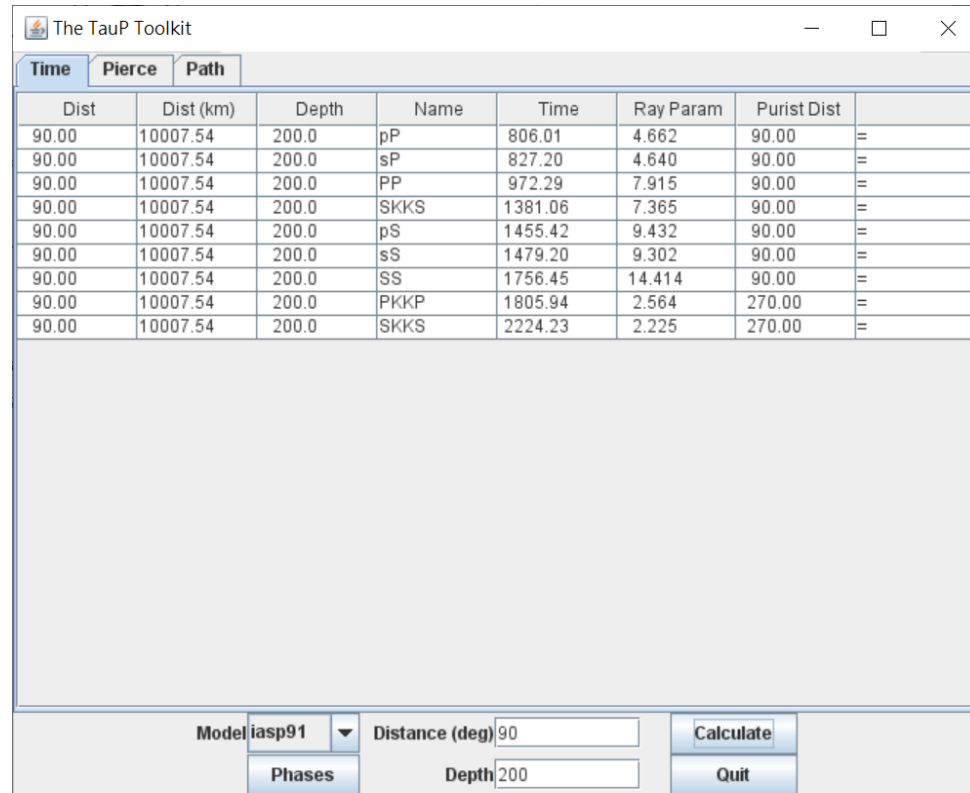
古騰堡的故事：

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4210>

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4212>



# TauP地震波走時計算機



# 線上資源

線上走時圖

<http://ds.iris.edu/gsv/>

地震波瀏覽器：

[https://www.iris.edu/hq/inclass/software-web-app/seismic\\_waves\\_viewer](https://www.iris.edu/hq/inclass/software-web-app/seismic_waves_viewer)