

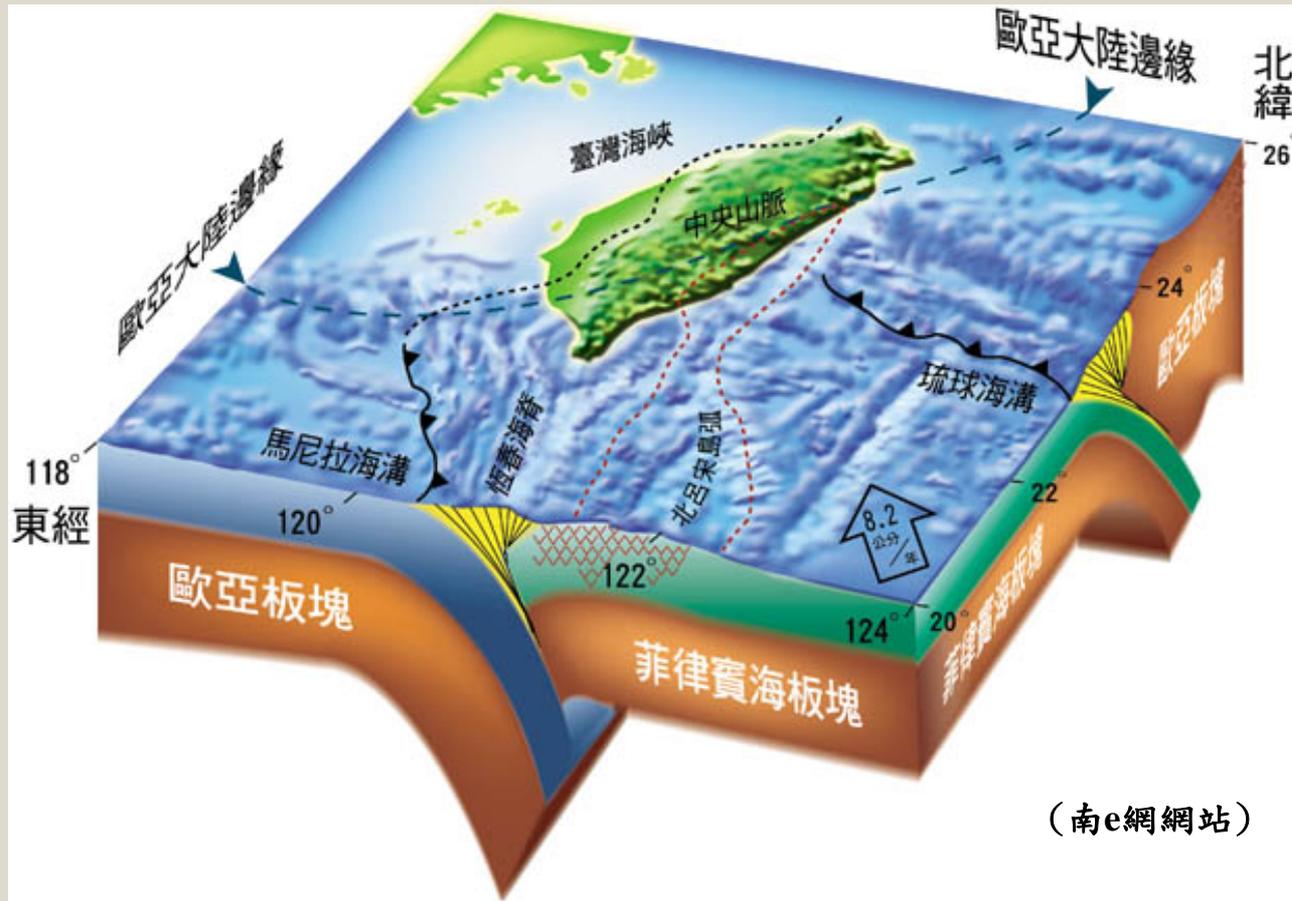
# 地震與地震防災

主講人：黃蕙珠 教授

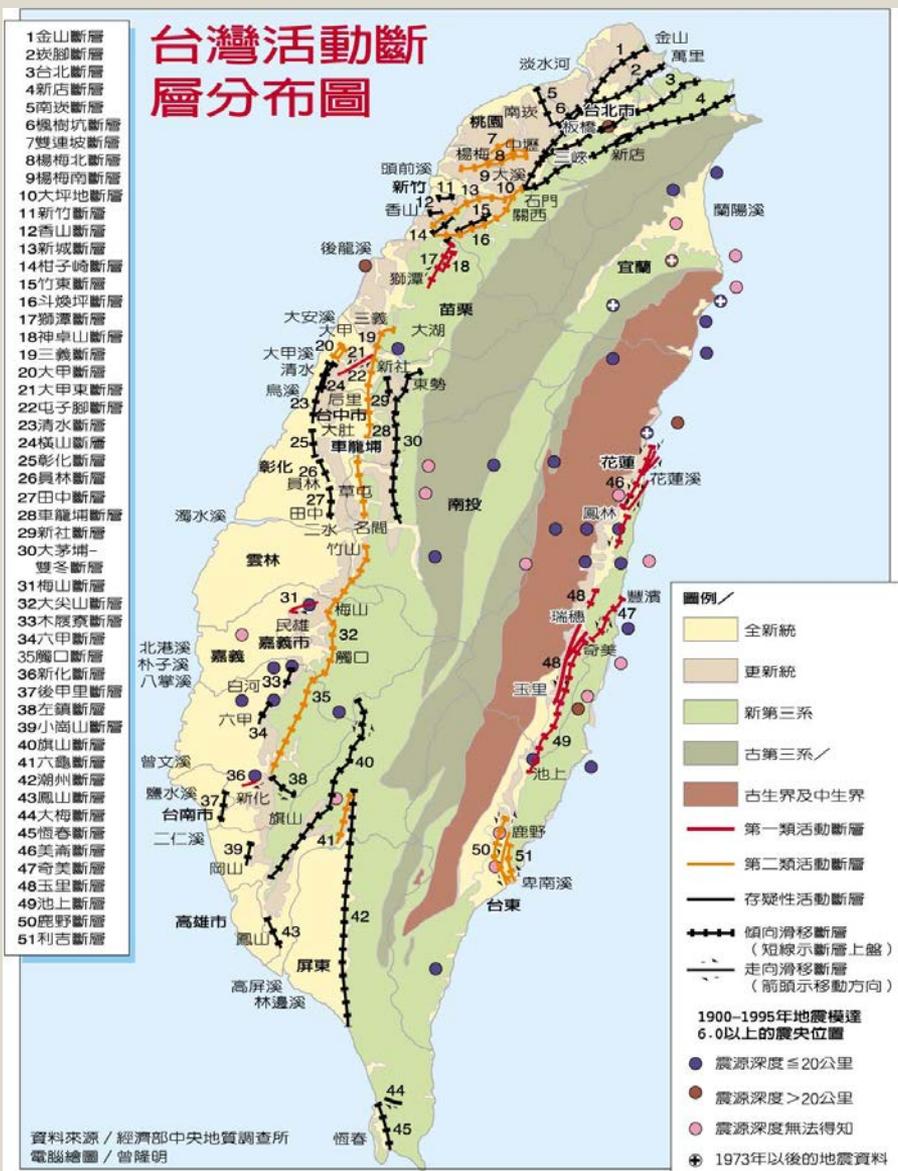
國立中正大學地球與環境科學系

2023.06.26

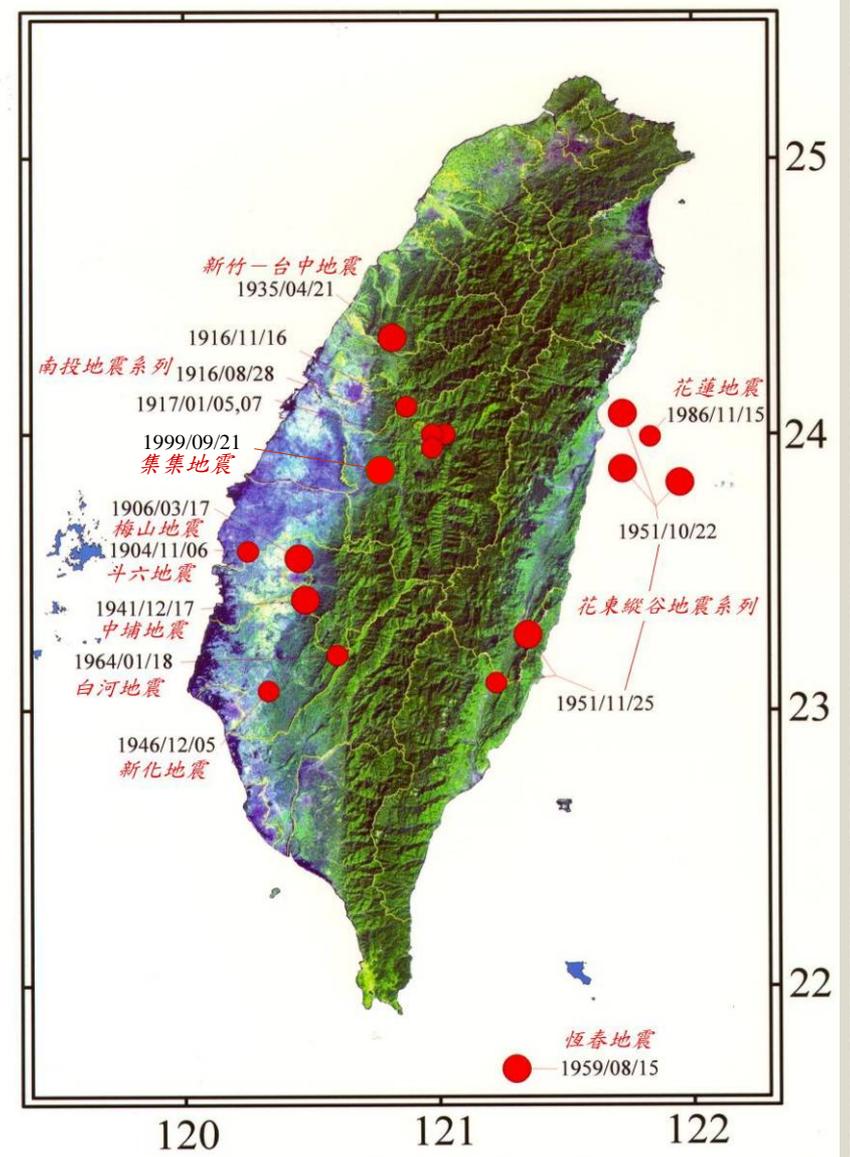
# 台灣的地體構造



台灣地處環太平洋地震帶上，在**歐亞板塊**與**菲律賓海板塊**互相擠壓下，將堆積在海洋地殼上的沉積物、火山物質等擠高，造成台灣島逐漸上升、增大，形成西部濱海平原、中央山脈、台東縱谷及海岸山脈。目前菲律賓海板塊正以每年8.2公分之速度，向西北方向隱沒到歐亞板塊之下。



(中央地質調查所)



(鄭世楠, 1999)

# 內容大綱

- 地震成因
- 地震波傳遞
- 影響地震動的因素
- 921地震回顧
- 世界上著名大地震回顧
- 地震預測與預警



# 地震成因

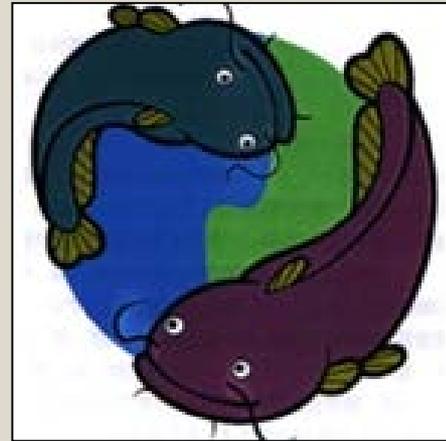
- 地震成因概論
  - 地震的傳說
  - 彈性回跳學說
- 地球內部構造
- 板塊構造學說
  - 世界七大板塊
  - 地函的熱對流
- 地震帶
  - 三大地震帶
  - 太平洋火環帶

# 地震的傳說

台灣-地牛



日本-鯰魚



紐西蘭-地母



北美原住民-烏龜



# 地震成因

斷層錯動



火山活動



隕石撞擊



(嘉明湖-南橫)

山崩



地下核爆

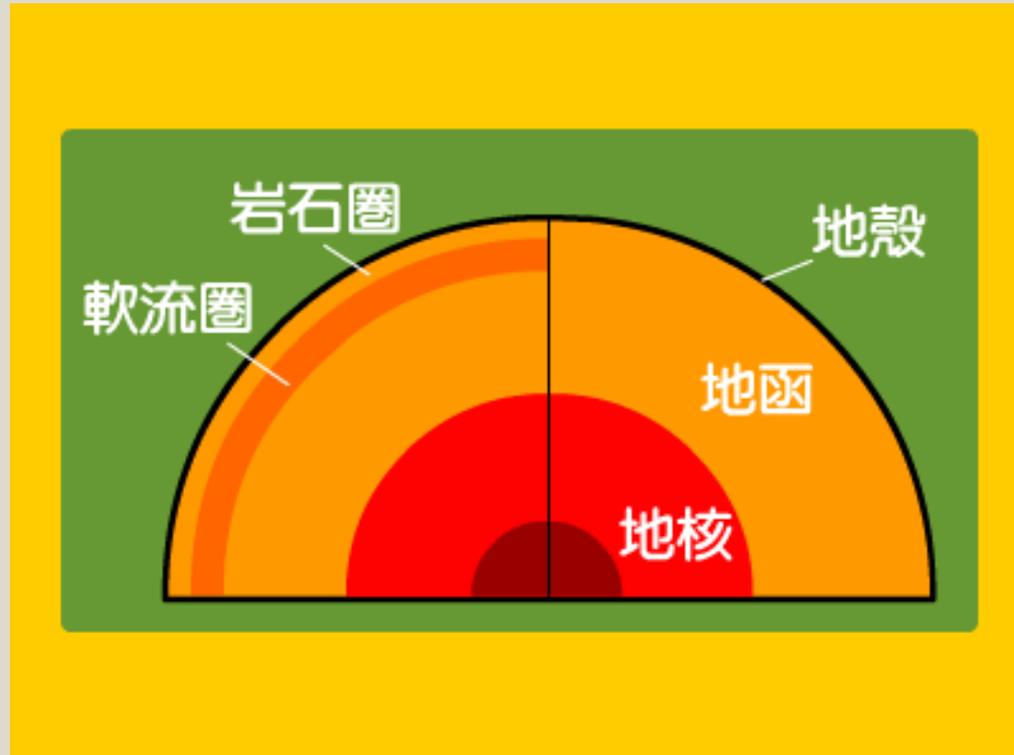


# 彈性回跳學說

西元1911年美國地質學家李德提出「彈性回跳學說」。根據彈性回跳理論好比有一片鋼片被撓曲，超過其彈性極限，會突然斷折，兩片鋼片會彈跳回原位，發生來回振動或釋放出因扭曲所貯藏之能量。



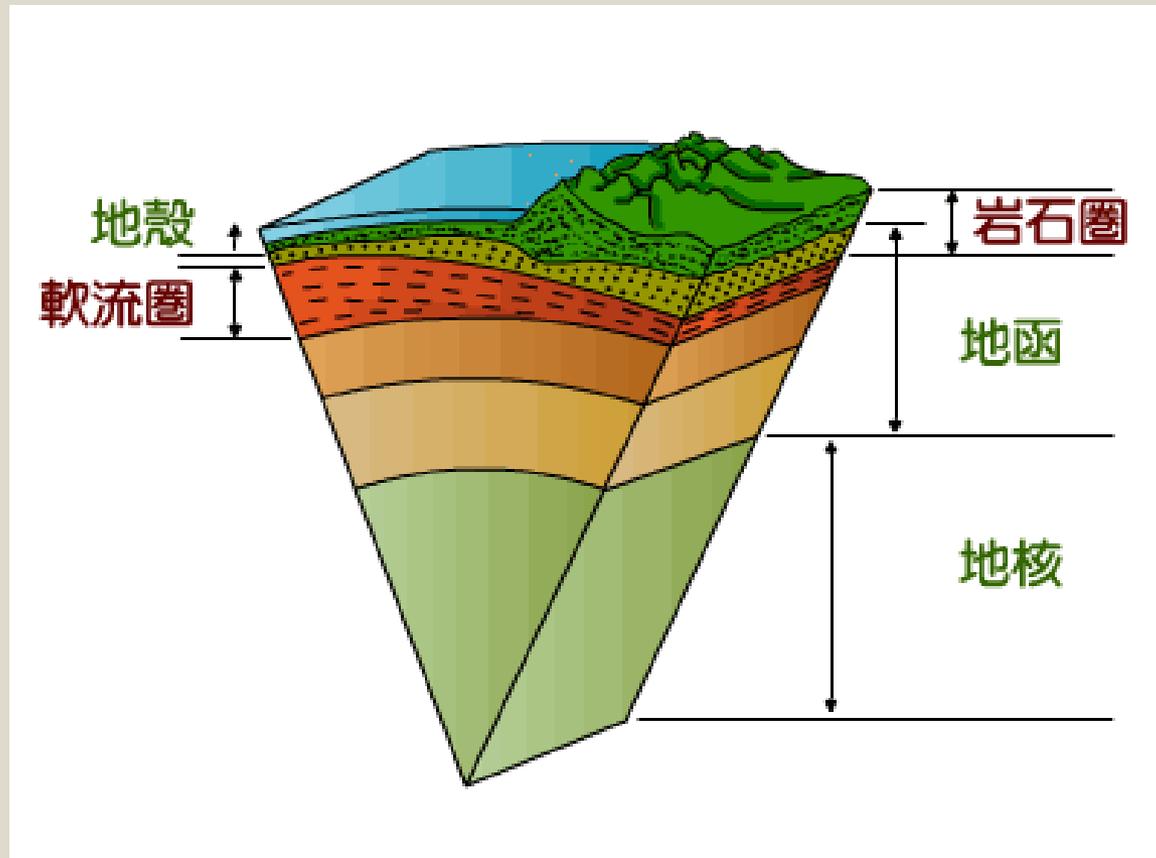
# 地球內部構造 (I)



地球的分層

名稱	厚度	體積	平均密度
	(km)	( $10^{27} \text{ cm}^3$ )	( $\text{g/cm}^3$ )
地殼	17	0.008	2.80
地函	2883	0.899	4.50
地核	3471	0.175	10.70
地球	半徑6371	1.083	5.52

# 地球內部構造 (II)



地殼種類	岩質	比重	平均厚度	舉例
大陸地區地殼	花崗岩質	小	約35km	亞洲板塊
海洋地區地殼	玄武岩質	大	約7km	太平洋板塊

# 板塊構造學說

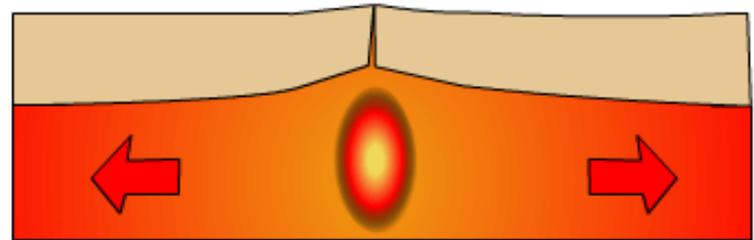


## 七大板塊：

- 太平洋板塊
- 歐亞板塊
- 非洲板塊
- 南美洲板塊
- 北美洲板塊
- 印澳板塊
- 南極板塊

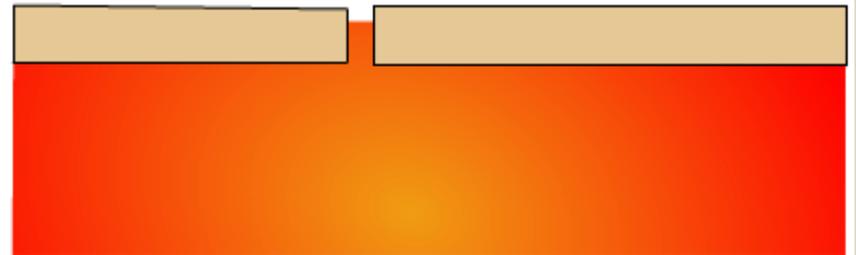
# 張裂性板塊界線

- ④ 來自軟流圈的岩漿，因熱對流上升到地表，使地殼破裂，並形成新的海洋地殼。
- ④ 未上升到地表的岩漿，就向兩側運動，使板塊張裂。陸地和海洋都有這種邊界，其中最典型的例子，便是東非裂谷和中洋脊。



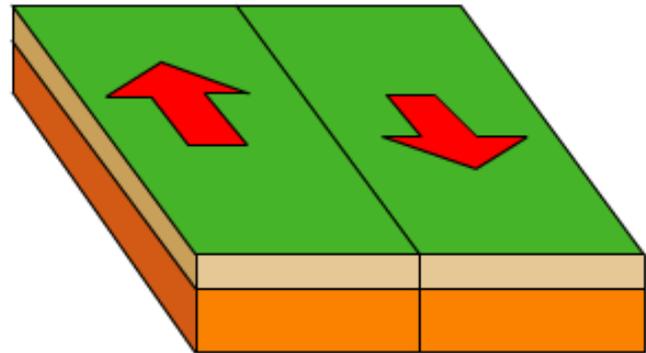
# 聚合性板塊界線

兩個板塊相向移動，逐漸聚合，其中一板塊會潛入另一板塊底下，並在軟流圈熔融消失，這個區域又稱為隱沒帶，是世界上地震、火山活動、造山運動最劇烈的地方。其中最典型的例子便是台灣、喜馬拉雅山。



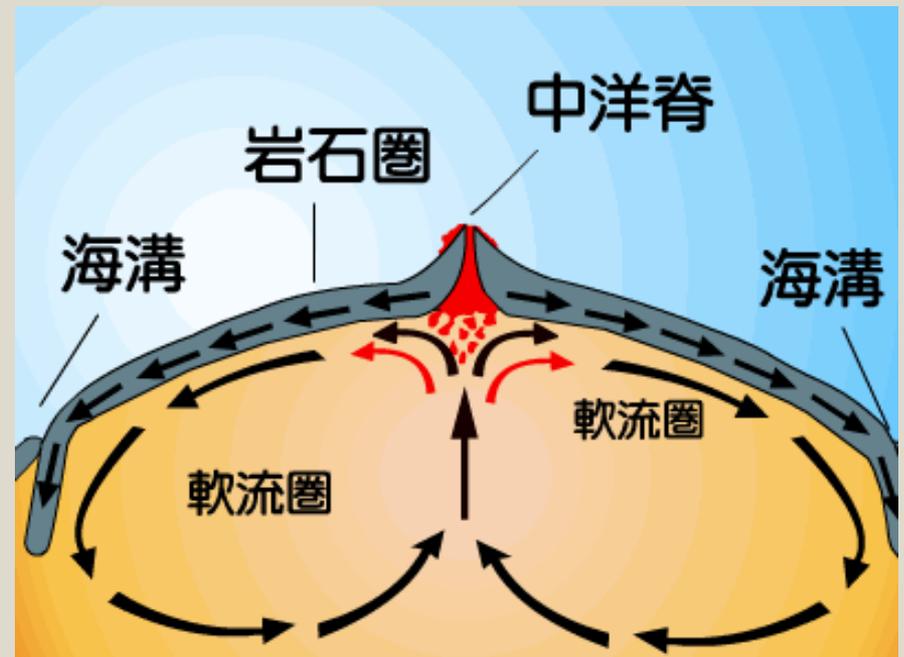
# 錯動性板塊界線

錯動性板塊界線，指板塊彼此互相滑移，而沒有地殼的建造或破壞。舉例來說，美國加州的聖安地列斯斷層即為一例。



# 地函的熱對流

位在上部地函的軟流圈，受到地球內部熱源加熱，形成熱上升、冷下降的對流狀況。受到熱對流的帶動，板塊就會跟著移動。

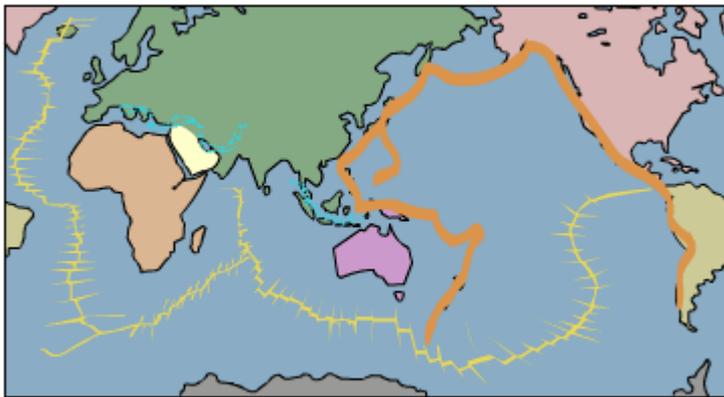


# 地震帶

三大地震帶：

- ◎ 環太平洋地震帶 (Circum-Pacific seismic zone)
- ◎ 歐亞地震帶 (Alpine-Himalayan seismic zone)
- ◎ 中洋脊地震帶 (Mid-ocean Ridge seismic zone)

三大地震帶

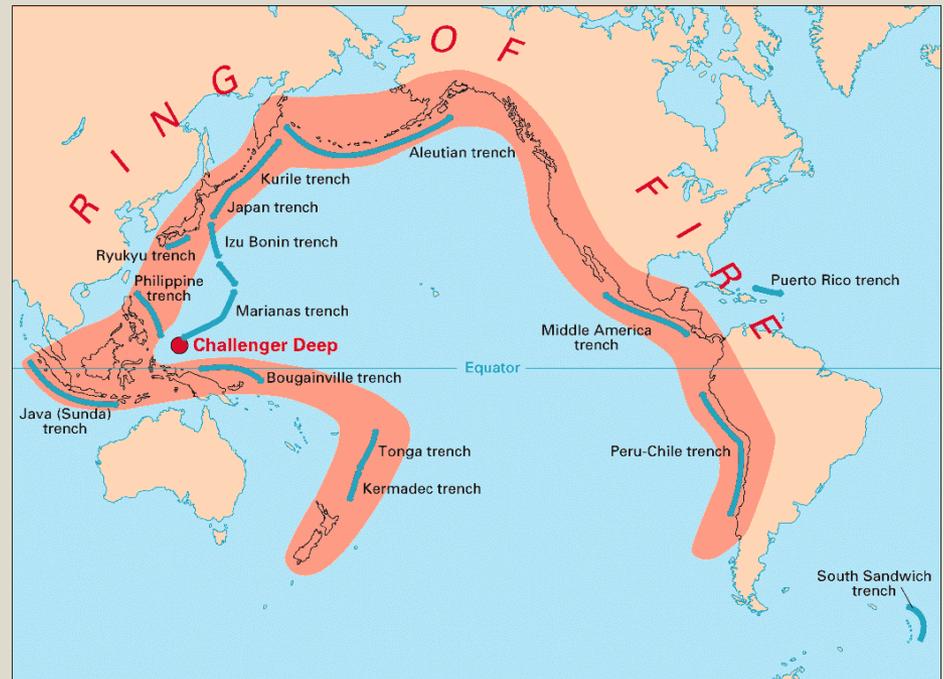


地震帶分佈圖



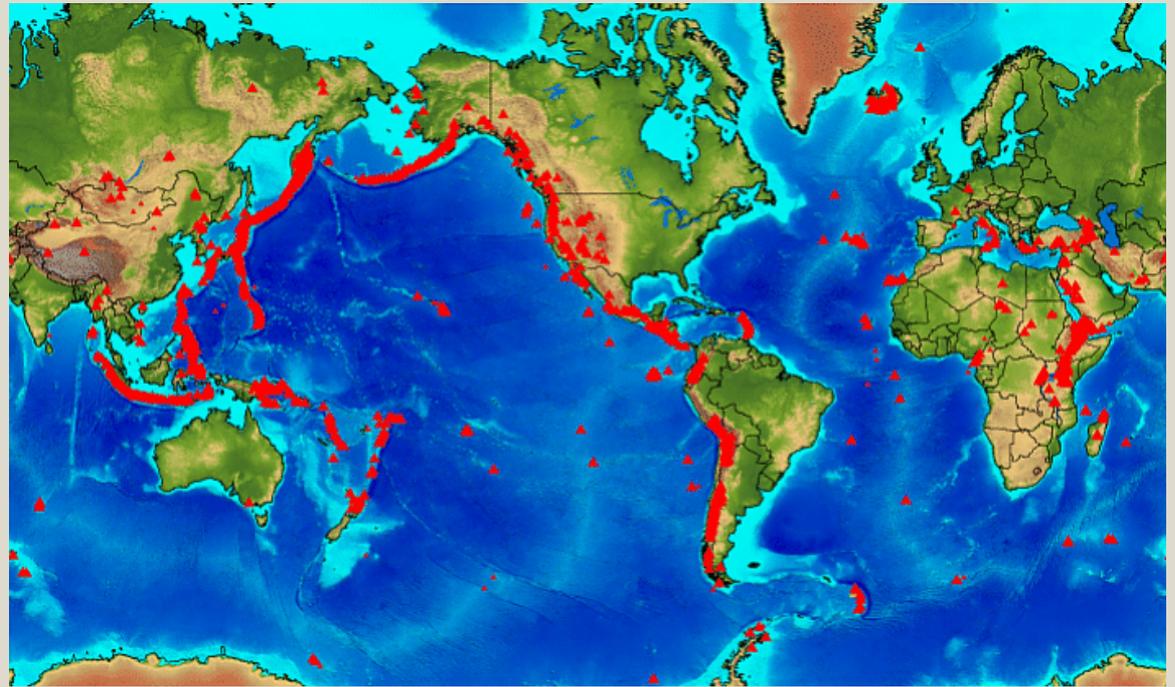
# 太平洋火環帶

環太平洋四周，分布著一連串的火山與海溝，我們把它稱為「火環」。在這裡有著極為頻繁的地震及火山活動，並且為組成地球表面的二十餘個主要板塊之中，數個板塊的分界所在。



# 火山帶

在所有高於海平面的火山之中，有超過一半的火山都是位於這個火環上。



# 海嘯帶

如果在環太平洋地帶發生地震，造成海底地形變動，就會引起海面擾動形成長週期的波浪即海嘯。由於環太平洋地帶地震頻繁，海嘯也就經常會伴隨地震發生。

(如：2004/12/26 南亞大地震)



# 地震波傳遞

## ■斷層

## ■震源與震央

## ■地震波的種類

■P波

■S波

■表面波

## ■地震分級

■地震分級法

■芮氏地震規模

## ■震度變化的因素

■震源深度

■震央位置

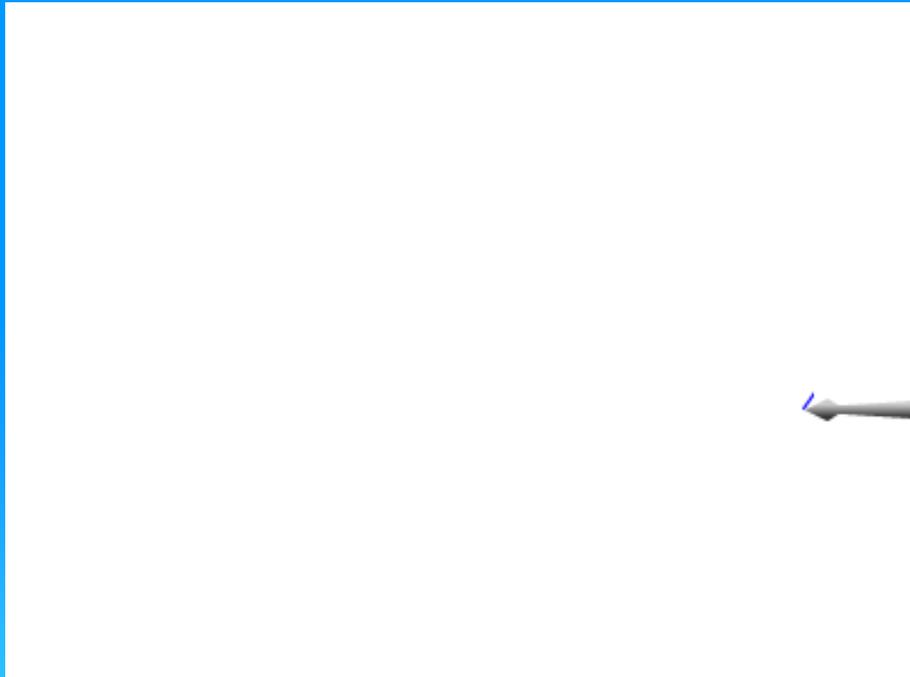
■地層結構

■地形

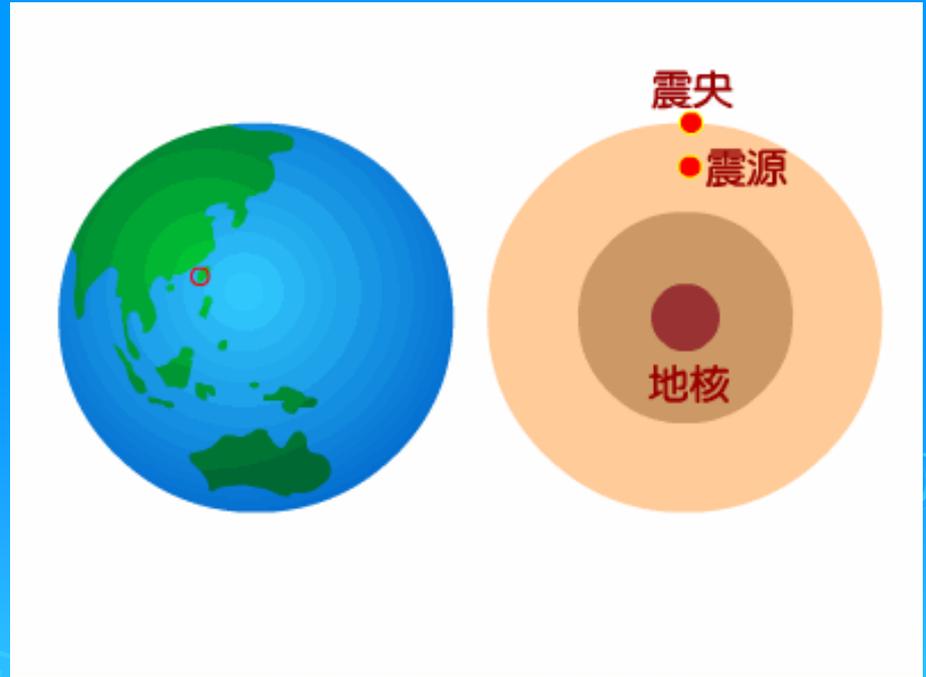
■傳遞路徑

# 地震波傳遞

## 地震波的種類



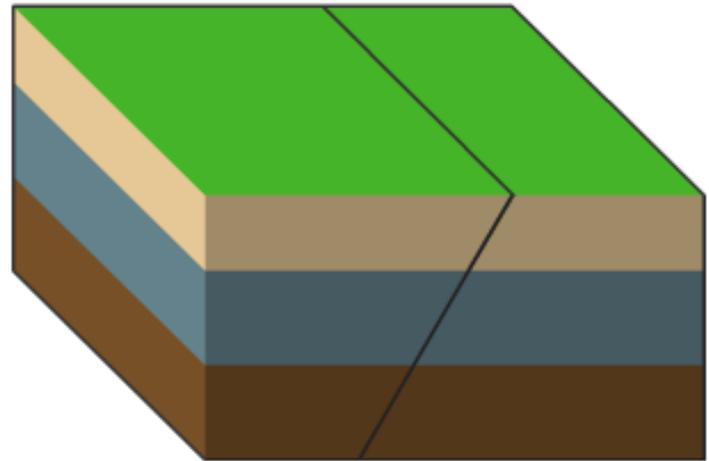
## 地震波傳遞



# 斷層的種類 (I)

## 正斷層

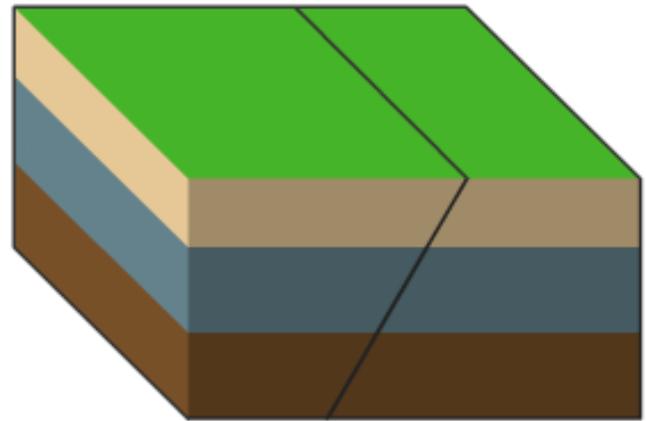
岩層受垂直方向張力的作用，使上盤沿著斷層面相對地做向下的移動。



# 斷層的種類 (II)

## 逆斷層

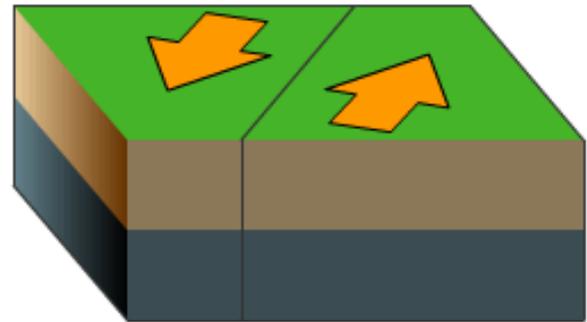
岩層受壓力的作用，上盤沿著斷層面相對地做向上的移動。



# 斷層的種類 (III)

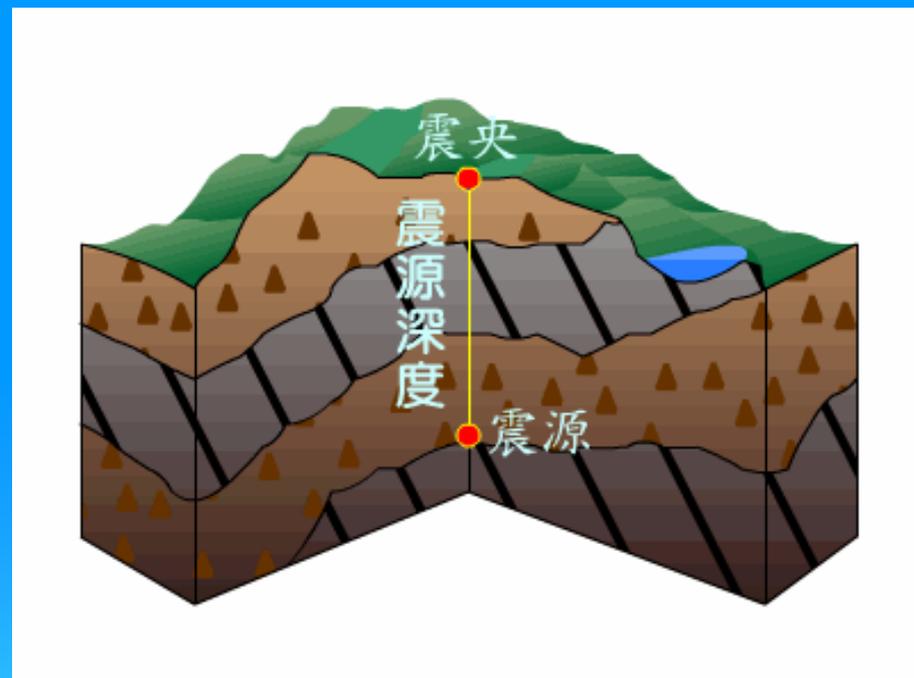
## 平移斷層

沿著斷層面做水平方向移動的斷層。又可分為左移斷層及右移斷層。



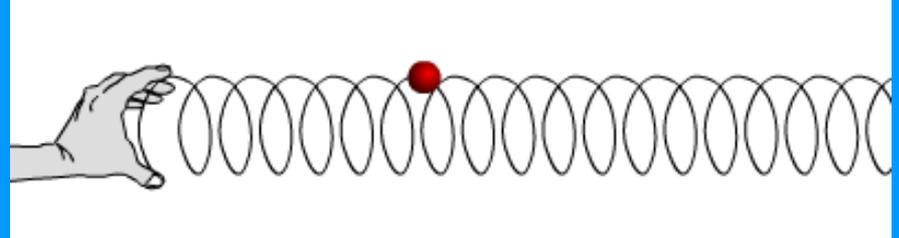
# 震源與震央

**震源**指地震發生的位置，**震央**指震源正上方的地表位置，**震源深度**指震源與震央之間的距離。



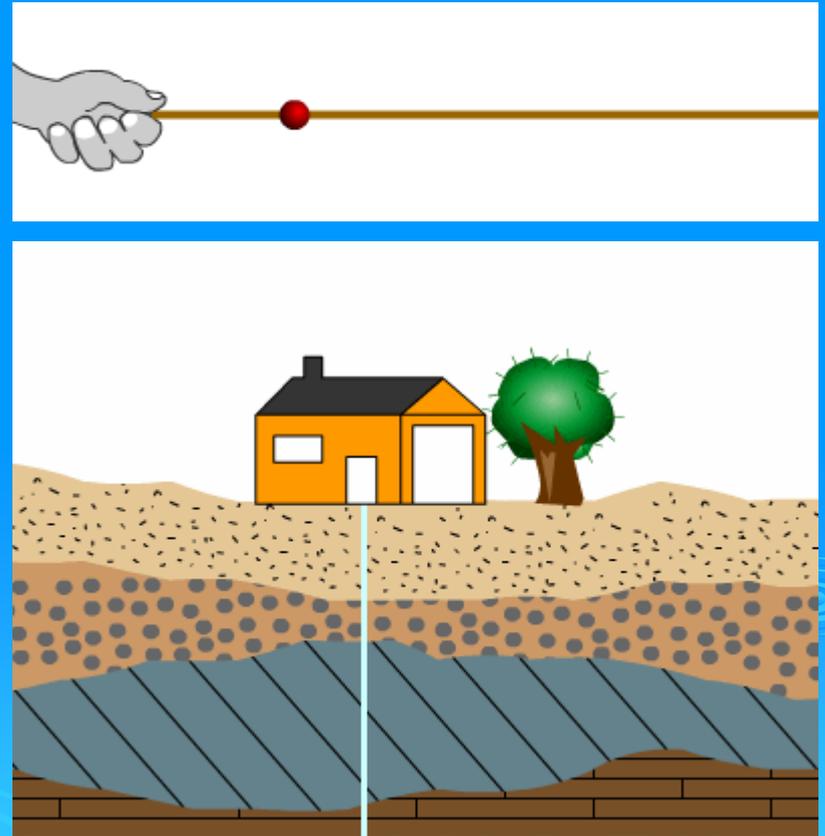
# 地震波的種類-P波

- P波在傳播時，質點的運動方向與震波傳播的方向一致，即傳波的質點在沿著傳播的方向，前後來回運動，交替產生壓縮與伸張的變化，有如聲波一般。
- P波可以在固體與液體中傳播。目前有一個看法，認為P波在傳到表面時，一部份的能量會轉變成音波，成為大地震前的聲音。



# 地震波的種類- S波

- S波在傳播時，質點運動的方向與震波傳播的方向垂直，即傳波質點在垂直傳播的方向，上下振動。有如繩波一般，屬於橫波。
- S波無法在液體或氣體中傳播。因此，當S波傳到地核的外核部分，由於外核是液體，S波不能傳遞。



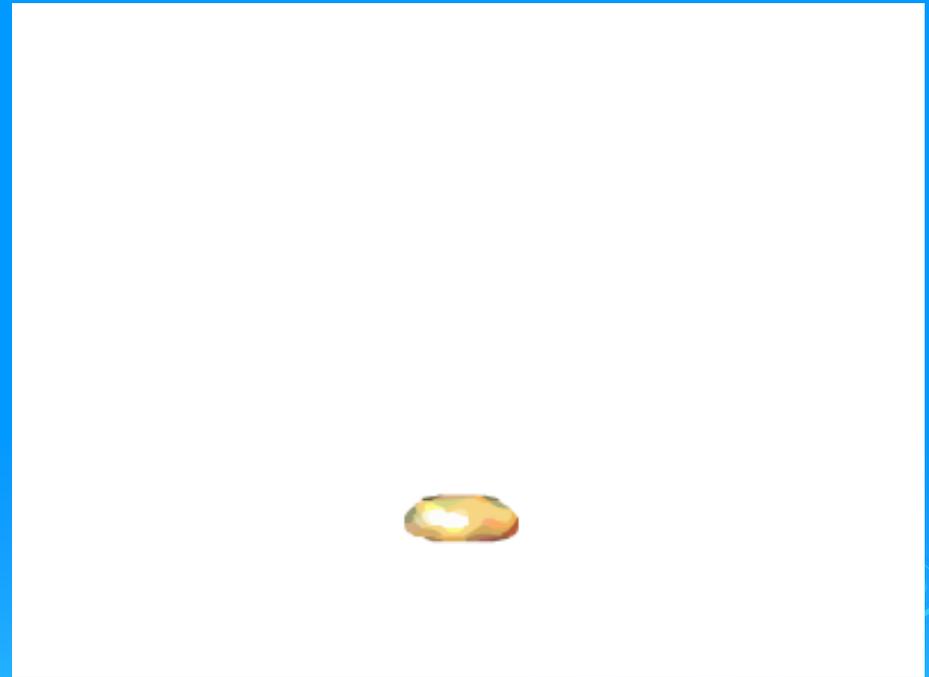
# 地震波的種類- 表面波

- P波和S波在傳播時，另外又形成一種只在地表部份傳播的表面波。
- 表面波包含兩種類型的運動。一種是只有左右震動的表面波，稱為**洛夫波**(Love wave)；一種為上下混合震動，運動軌跡為橢圓形的**雷利波**(Rayleigh wave)。其中洛夫波又比雷利波的行進速度快。



# 芮氏地震規模

由芮希特教授在1935年所提出，根據地震波振幅推算出以後。芮氏地震規模每加1.0，代表地震所釋放的能量增加約30倍。一場規模6.0地震所釋放的能量，相當於第二次世界大戰中投擲在日本廣島的一顆原子彈爆炸。



# 震度分級法

震度分級	地動加速度範圍	人的感受	屋內情形	屋外情形
0	無感	0.8gal以下	人無感覺	
1	微震	0.8~2.5gal	人靜止時可感覺微小搖晃。	
2	輕震	2.5~8.0gal	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部分會醒來。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。
3	弱震	8~25gal	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感。	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃。
4	中震	25~80gal	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒。	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃。
5	強震	80~250gal	大多數人會感到驚嚇恐慌。	部分牆壁產生裂痕，重傢俱可能翻倒。
6	烈震	250~400gal	搖晃劇烈以致站立困難。	部分建築物受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形。
7	劇震	400gal以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動。	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面。

註：1gal = 1cm/sec<sup>2</sup>  
 (資料來源：中央氣象局)

# 中央氣象局地震震度分級表

## 中央氣象局現行地震震度分級表 (2000.08.01)

震度	0級	1級	2級	3級	4級	5級	6級	7級
加速度 cm/sec <sup>2</sup>	0.8	2.5	8.0	25	80	250	400	

(沒有考慮加速度持續時間)

## 中央氣象局新制地震震度分級表

震度	0級	1級	2級	3級	4級	5弱	5強	6弱	6強	7級
加速度 cm/sec <sup>2</sup>	0.8	2.5	8.0	25	80					
速度 cm/sec					15	30	50	80	140	

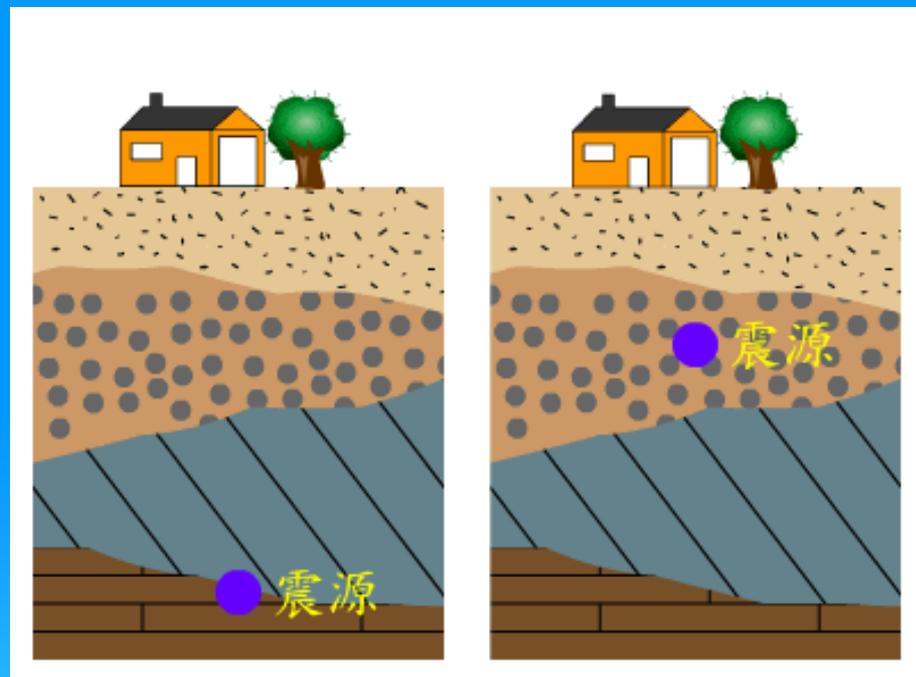
(速度劃分, 已考慮加速度實際之影響)

震度分級	人的感受	屋內情形	屋外情形
0級 	人無感覺		
1級 	人靜止或位於高樓層時可感覺微小搖晃		
2級 	大多數的人可感到搖晃, 睡眠中的人有部分會醒來	電燈等懸掛物有小搖晃	靜止的汽車輕輕搖晃, 類似卡車經過, 但歷時很短
3級 	幾乎所有人都感覺搖晃, 有的人會有恐懼感	房屋震動, 碗盤門窗發出聲音, 懸掛物搖擺	靜止的汽車明顯搖動, 電線略有搖晃
4級 	有相當程度的恐懼感, 部分的人會尋求躲避的地方, 睡眠中的人幾乎都會驚醒	房屋搖動甚烈, 少數未固定物品可能傾倒掉落, 少數傢俱移動, 可能有輕微災害	電線明顯搖晃, 少數建築物牆磚可能剝落, 小範圍山區可能發生落石, 極少數地區電力或自來水可能中斷
5弱 	大多數人會感到驚嚇恐慌, 難以走動	部分未固定物品傾倒掉落, 少數傢俱可能移動或翻倒, 少數門窗可能變形, 部分牆壁產生裂痕	部分建築物牆磚剝落, 部分山區可能發生落石, 少數地區電力、自來水、瓦斯或通訊可能中斷
5強 	幾乎所有的人會感到驚嚇恐慌, 難以走動	大量未固定物品傾倒掉落, 傢俱移動或翻倒, 部分門窗變形, 部分牆壁產生裂痕, 極少數耐震較差房屋可能損壞或崩塌	部分建築物牆磚剝落, 部分山區發生落石, 鬆軟土層可能出現噴沙噴泥現象, 部分地區電力、自來水、瓦斯或通訊中斷, 少數耐震較差磚牆可能損壞或崩塌
6弱 	搖晃劇烈以致站立困難	大量傢俱大幅移動或翻倒, 門窗扭曲變形, 部分耐震能力較差房屋可能損壞或倒塌	部分地面出現裂痕, 部分山區可能發生山崩, 鬆軟土層出現噴沙噴泥現象, 部分地區電力、自來水、瓦斯或通訊中斷
6強 	搖晃劇烈以致無法站穩	大量傢俱大幅移動或翻倒, 門窗扭曲變形, 部分耐震能力較差房屋可能損壞或倒塌, 耐震能力較強房屋亦可能受損	部分地面出現裂痕, 山區可能發生山崩, 鬆軟土層出現噴沙噴泥現象, 可能大範圍地區電力、自來水、瓦斯或通訊中斷
7級 	搖晃劇烈以致無法依意志行動	幾乎所有傢俱都大幅移動或翻倒, 部分耐震較強建築物可能損壞或倒塌	山崩地裂, 地形地貌亦可能改變, 多處鬆軟土層出現噴沙噴泥現象, 大範圍地區電力、自來水、瓦斯或通訊中斷, 鐵軌彎曲

# 震度變化的因素

## -震源深度-

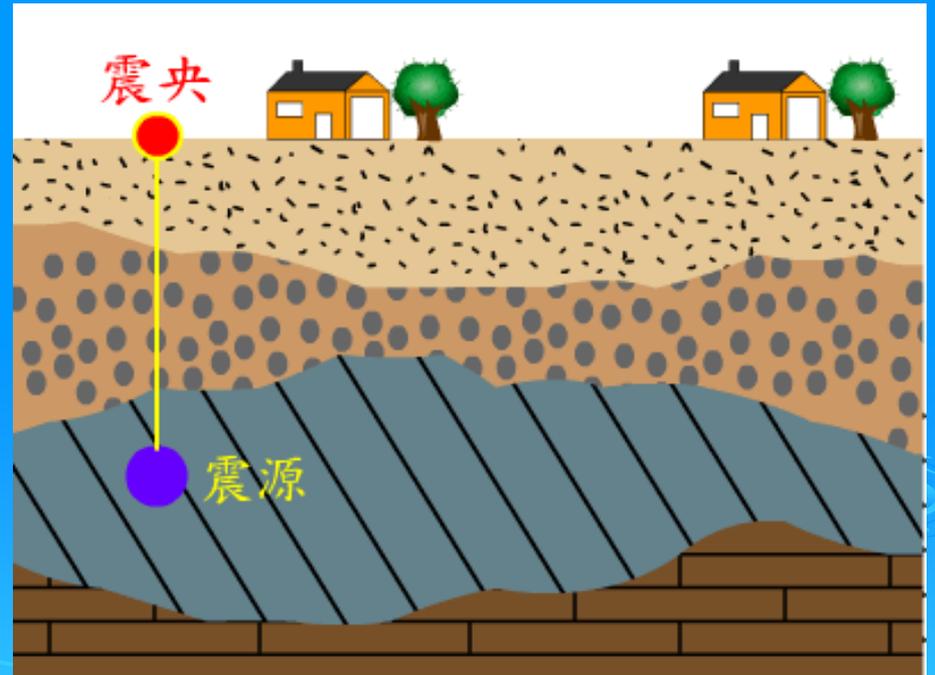
震源越深，地震波穿過的地層越厚，衰減得愈多，地表振動程度就越低，因此淺源地震的地表振動較深源地震為明顯，地震越深，地表振動程度就越低。九二一集集大地震最大震度為六級，又是淺源地震，震源距離地表很近，因此造成了重大災害。



# 震度變化的因素

## -震央位置-

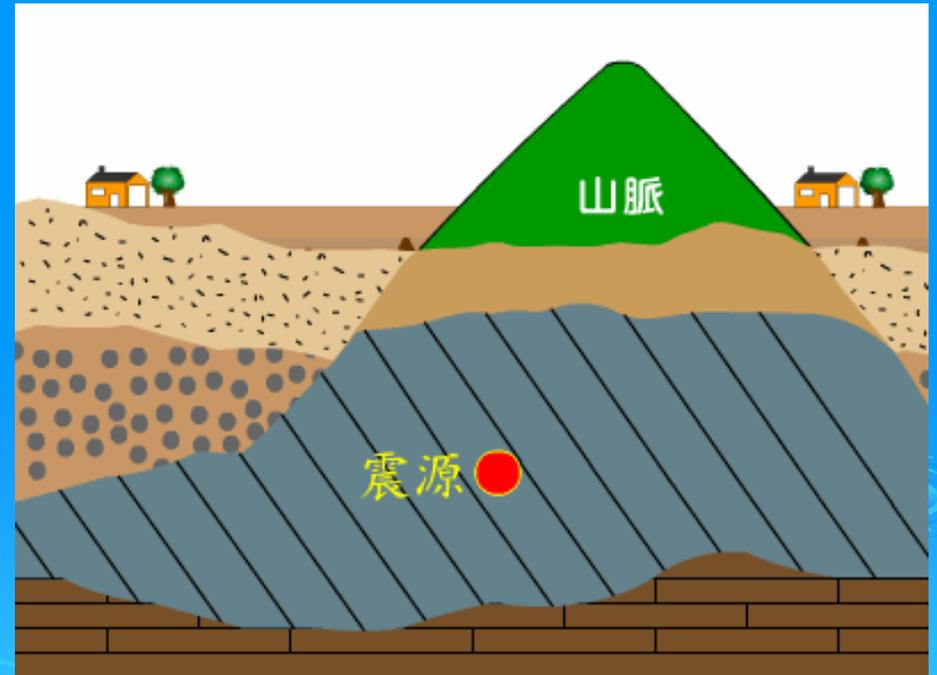
在同一傳播路徑上，距離震央越遠，受到地震的破壞力越小。



# 震度變化的因素

## -傳遞路徑-

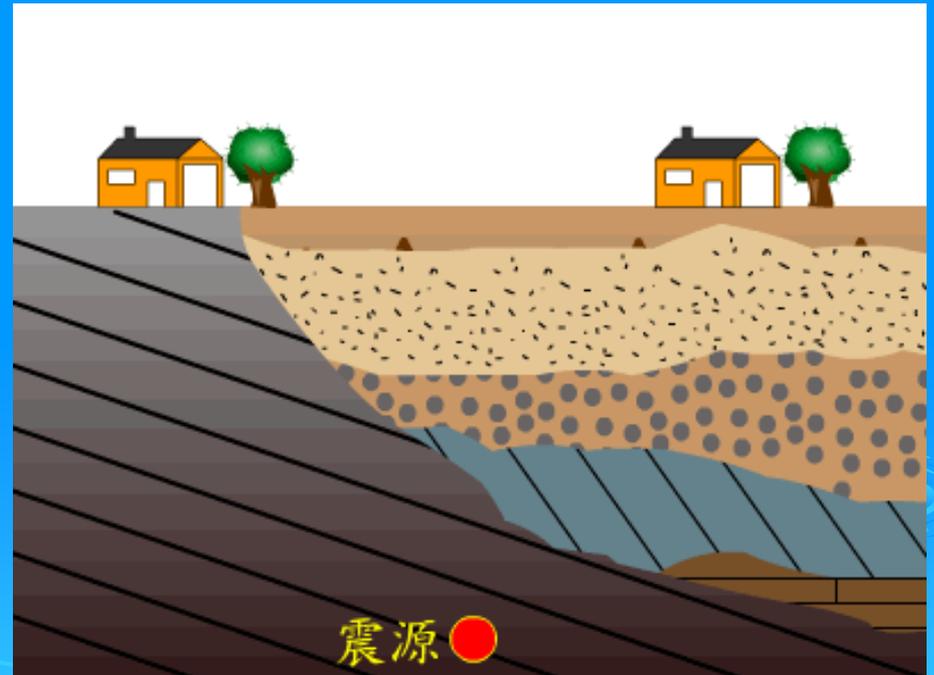
地震波由震源呈輻射狀傳送出去時，常因地層的密度及硬度不同，而有震度不同的差異。所以即使與震央同等距離的地區，其震度並不相等。



# 震度變化的因素

## -地層架構-

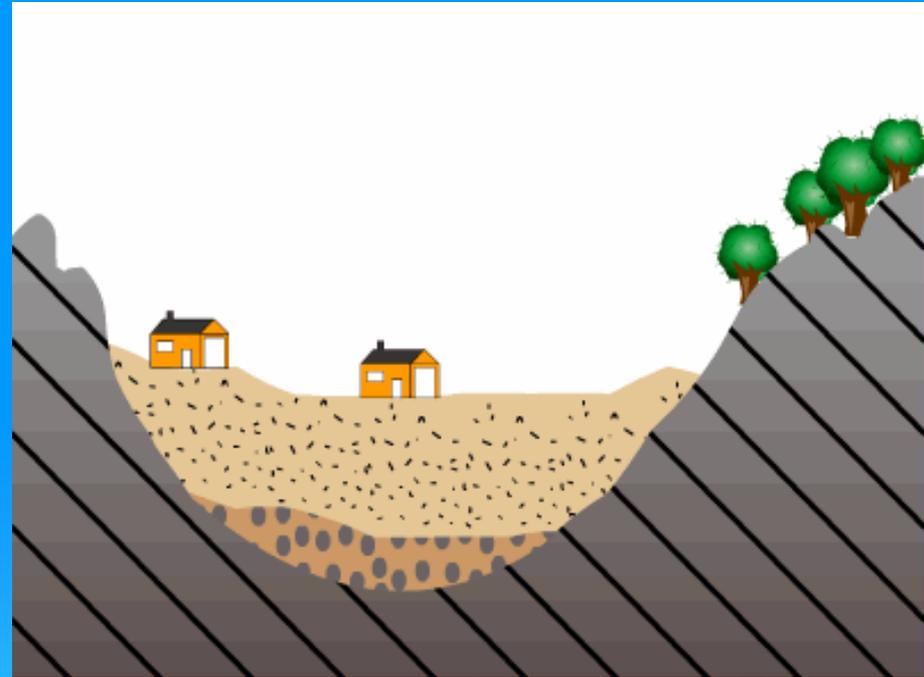
在地層鬆軟的地區，常由於地震波的放大現象，造成較嚴重的災害。而地層較堅硬地區，則無地震波放大現象，災害也相對降低。



# 震度變化的因素

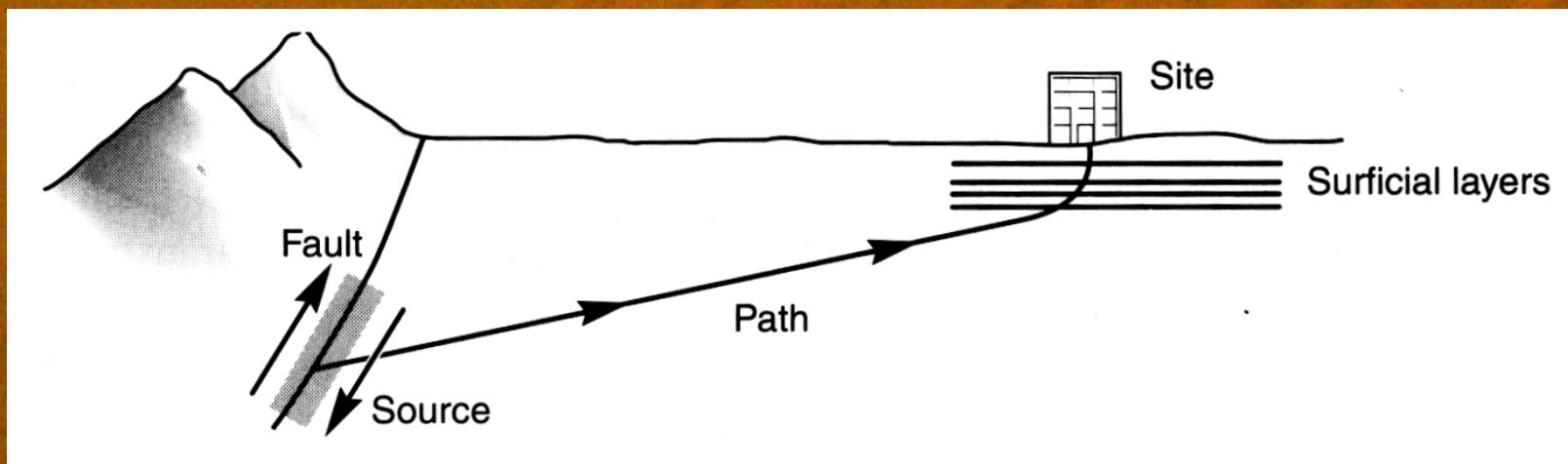
## -地形-

盆地之地層由一層很厚的鬆軟土層覆蓋在岩層上方，當遠方地震波傳到盆地下方岩層後，震波再由岩層向上傳佈，經過多次反射、折射效應，使得傳到地表之地震波會產生放大效果，稱為**盆地效應**。



# 影響地震動的因素

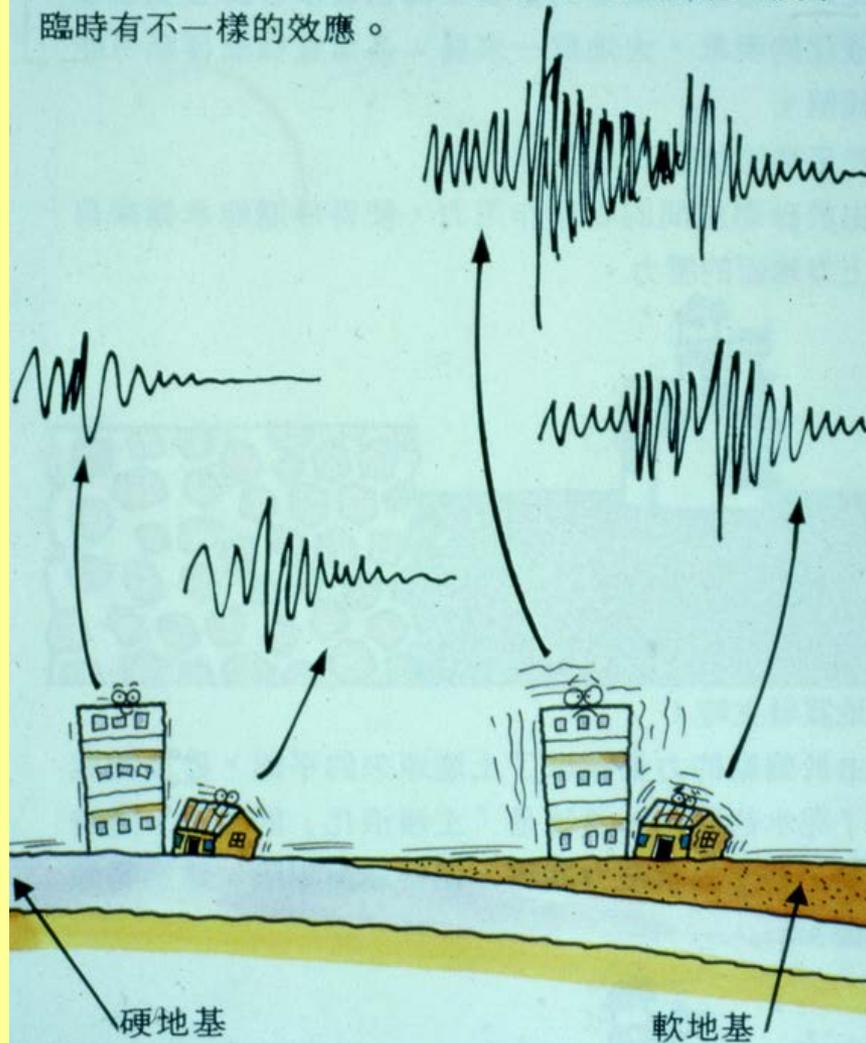
- 震源規模和破裂過程及形式的震源效應(source effect)
- 震波傳遞的路徑效應(path effect)
- 地震波因局部地質所引起的場址效應(site effect)



# 場址效應

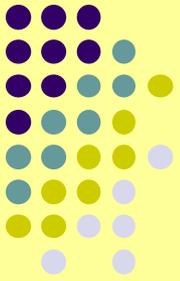
- 地震災害之發生與局部場址效應有重大關係。
  - 震波在土質鬆軟且速度慢的地表沈積層內傳遞時，
    - 振幅會顯著的放大(amplification)
    - 易造成嚴重災害
  - 世界上所發生的幾個著名的地震
    - 1985年墨西哥地震
    - 1994年美國洛杉磯北嶺地震
    - 1995年日本神戶地震
    - 1999年土耳其依茲米特地震、台灣集集地震
- ➡ 災害型態顯示出地下地質對震波所造成影響的重要性。

不一樣的地基，不同高度和材料的建築物，在地震來臨時有不一樣的效應。

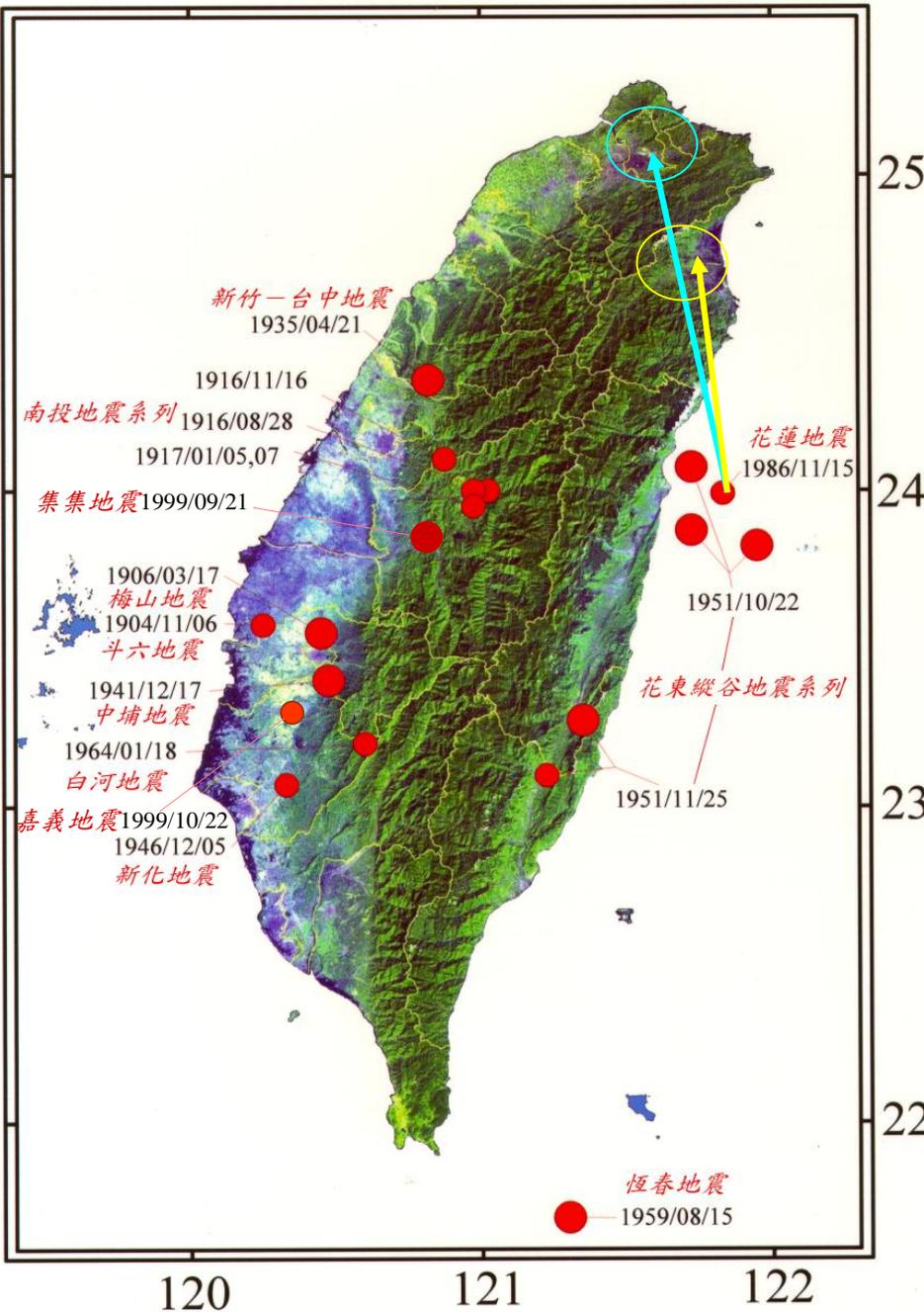


地震時，在軟地基上的木造矮房子的震動較在硬地基上面的大；中高層樓房也是一樣的情形。

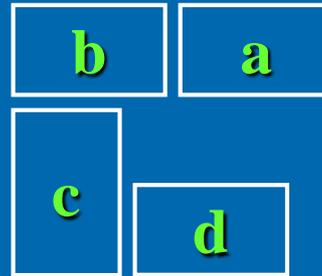
而同在硬地基上，由於振動頻率的關係，木造房子的震動會比高樓大；在軟地基上則正好相反。



- 1986 - 花蓮地震 ( $M_L=6.8$ )
- 花蓮東方約20公里海底
- 震源深度15公里
- 距台北盆地約120km
- 距宜蘭平原約80km



(改自鄭世楠等人, 1999)<sub>40</sub>



a: 宜蘭縣蘇澳港

b: 宜蘭縣蘇澳鎮

c: 中和市華陽市場

d: 中和市華陽市場



(摘自中央氣象局網站4)

# 921地震回顧



1999年9月21日 凌晨 1:47

臺灣

21 1999

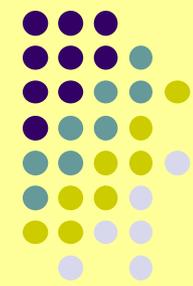
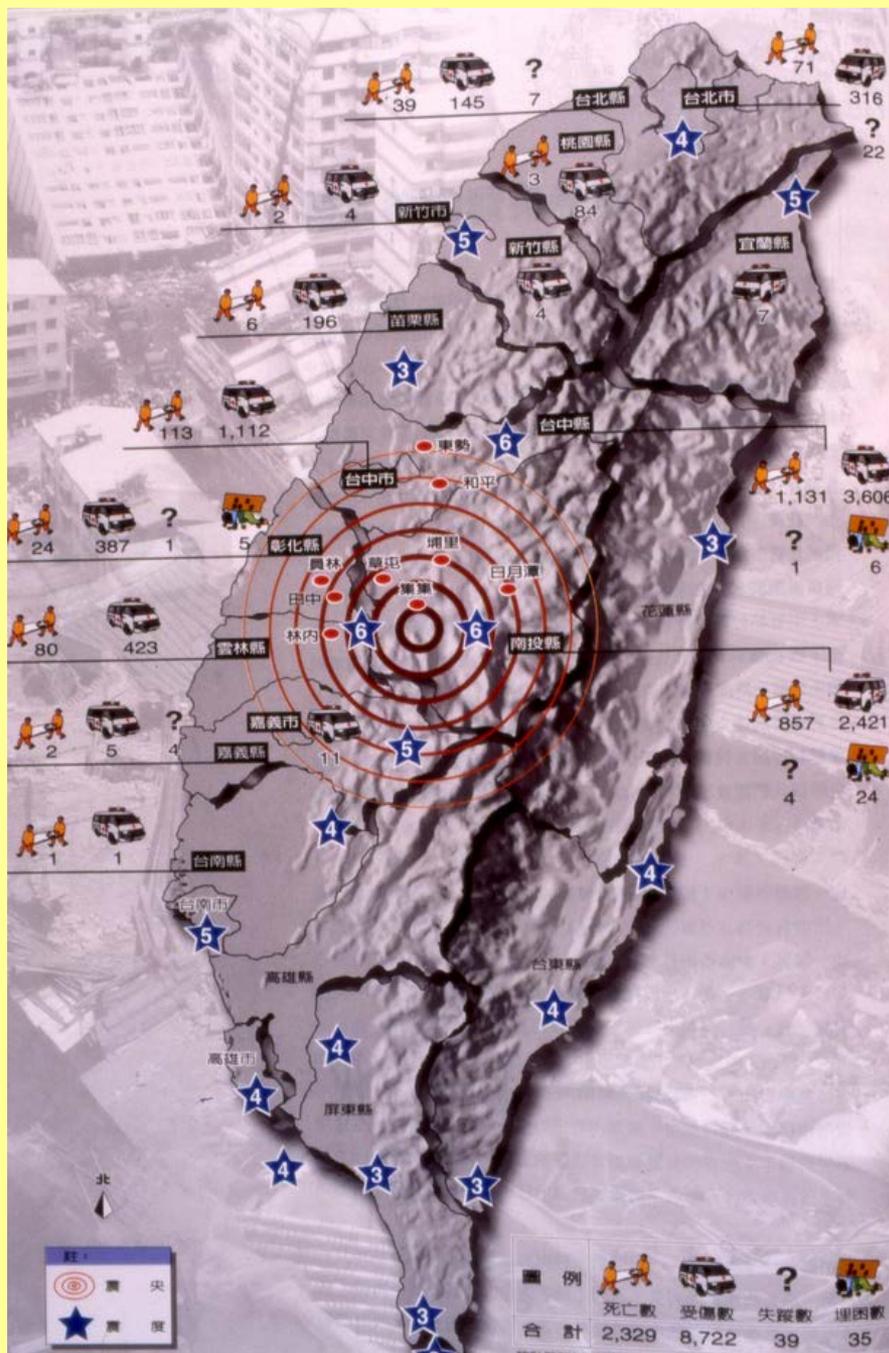
01:47

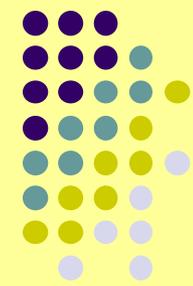
TAIWAN  
21 1999  
01:47



# 凌晨一點四十七分









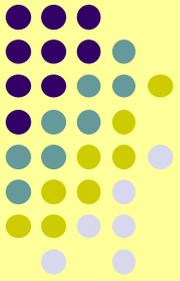
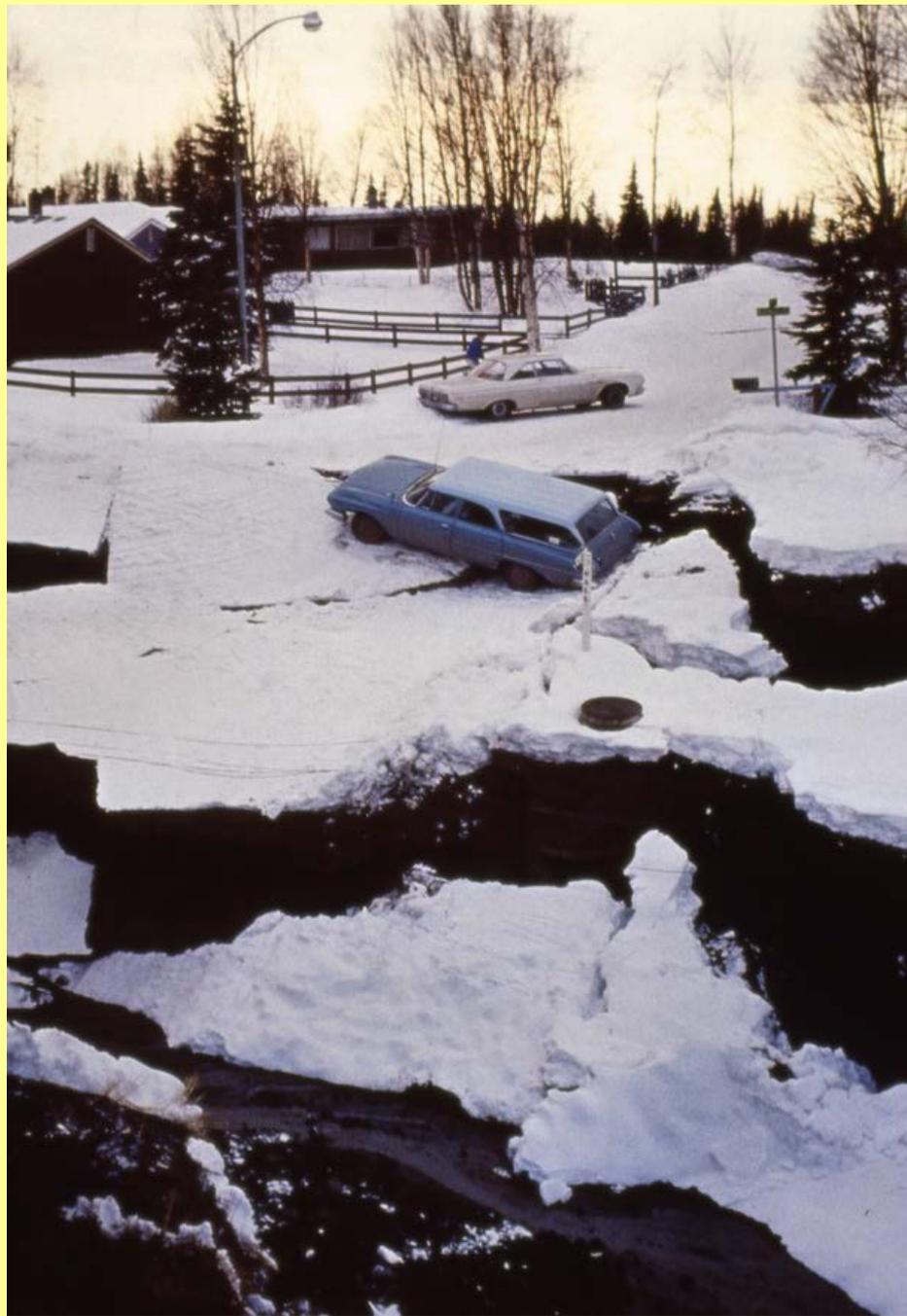




草嶺崩山

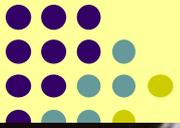
# 世界上著名大地震回顧

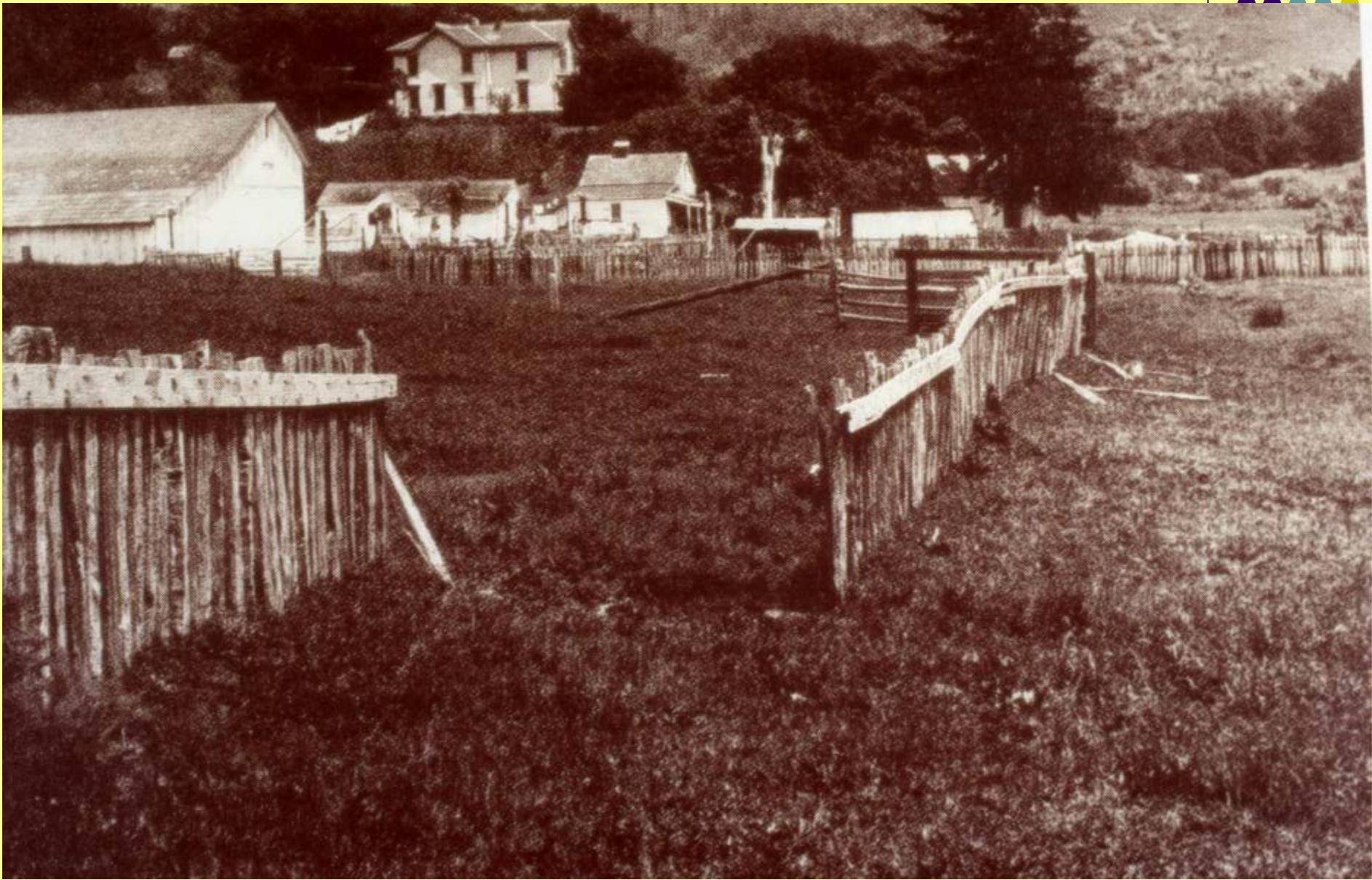








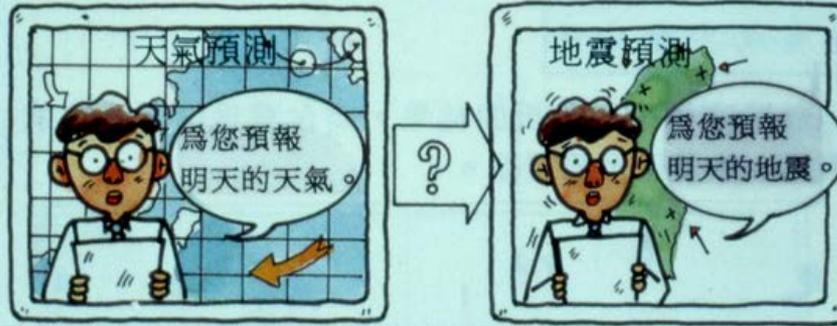




# 地震預測與預警

# 什麼時候會發生地震

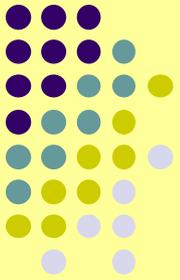
## ——地震預測



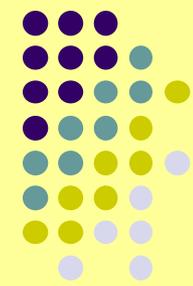
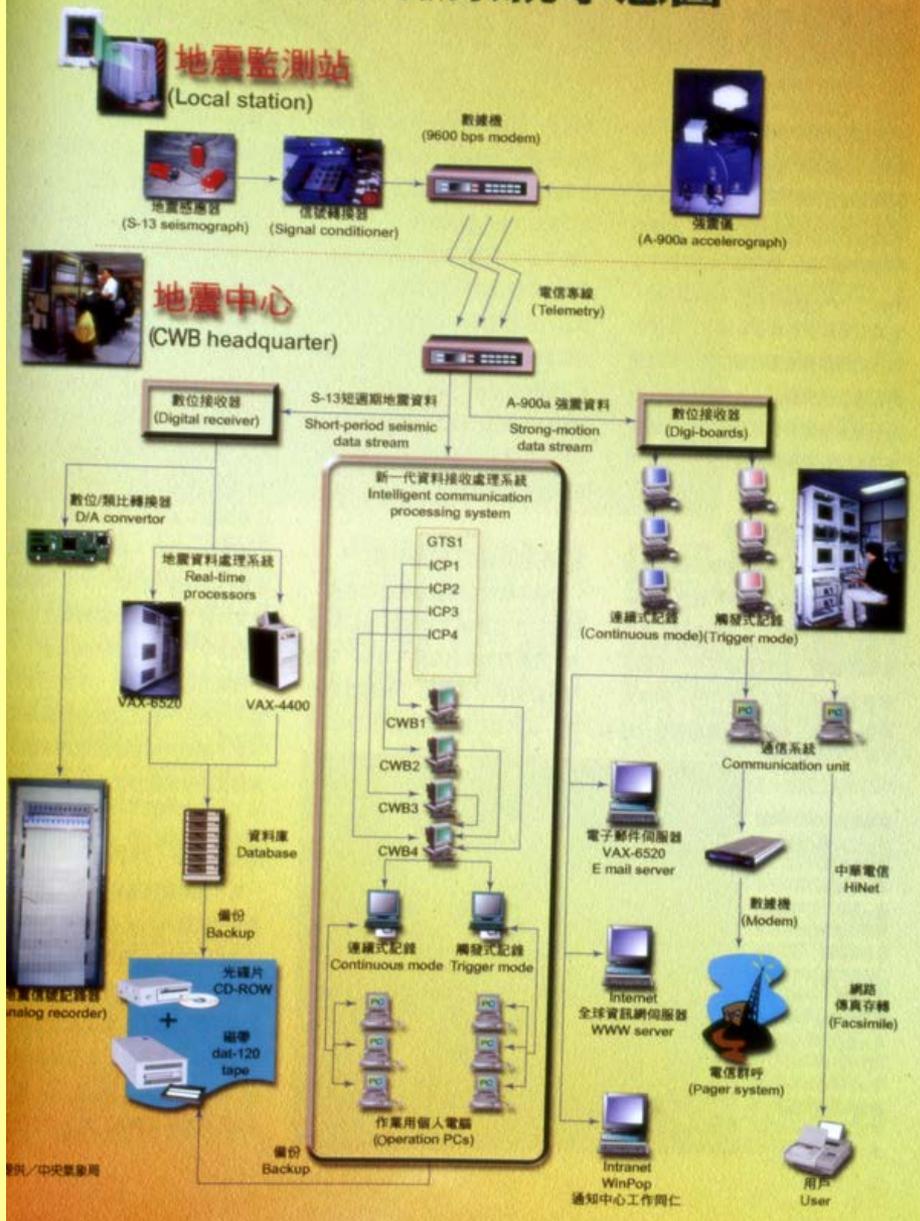
地震預測有三個要素：  
發生的時間、地點，以及  
規模的大小。

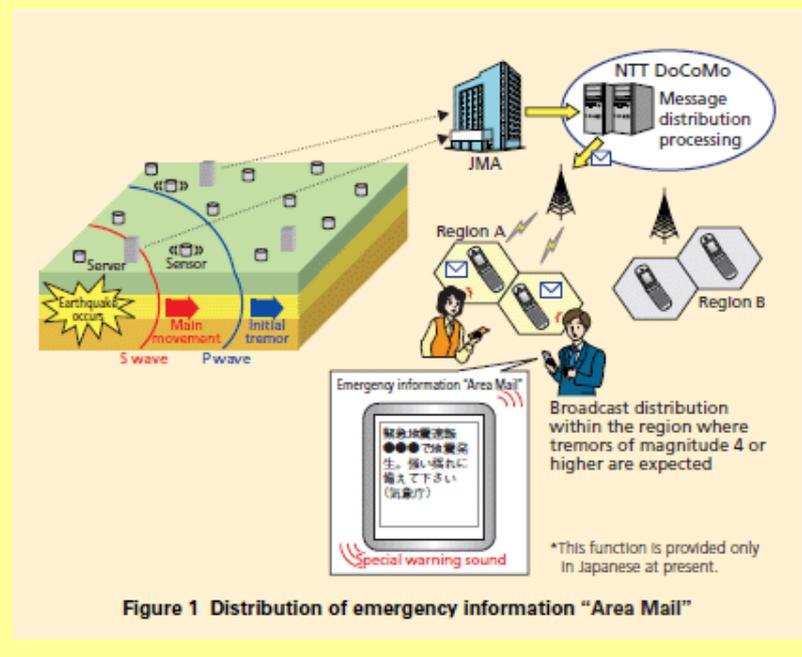
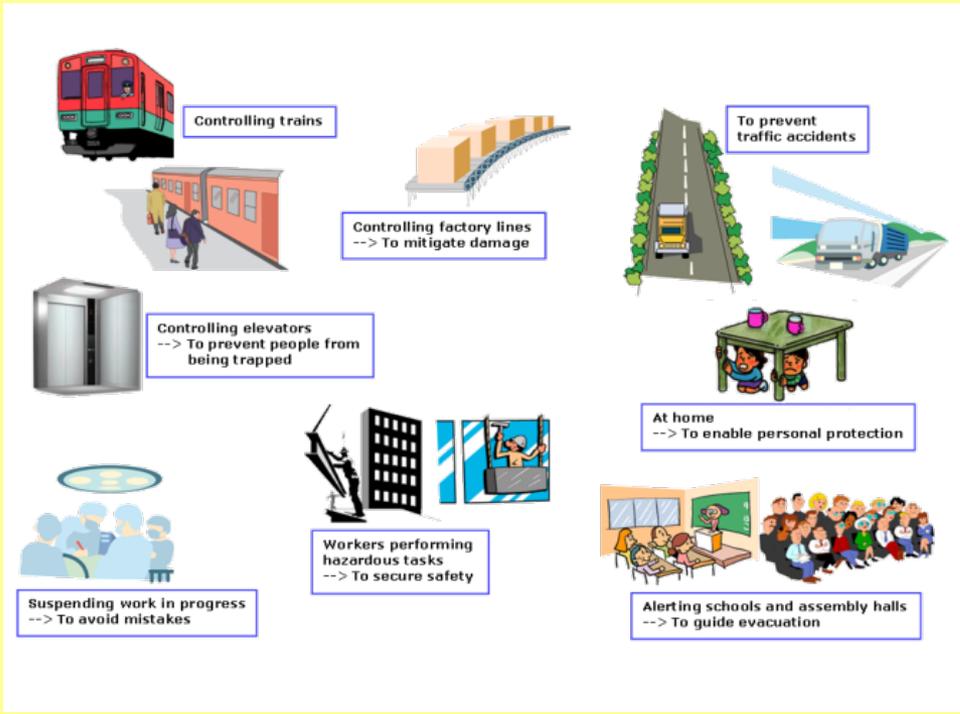
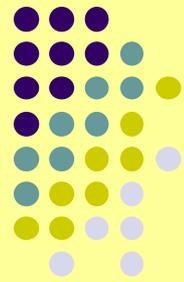
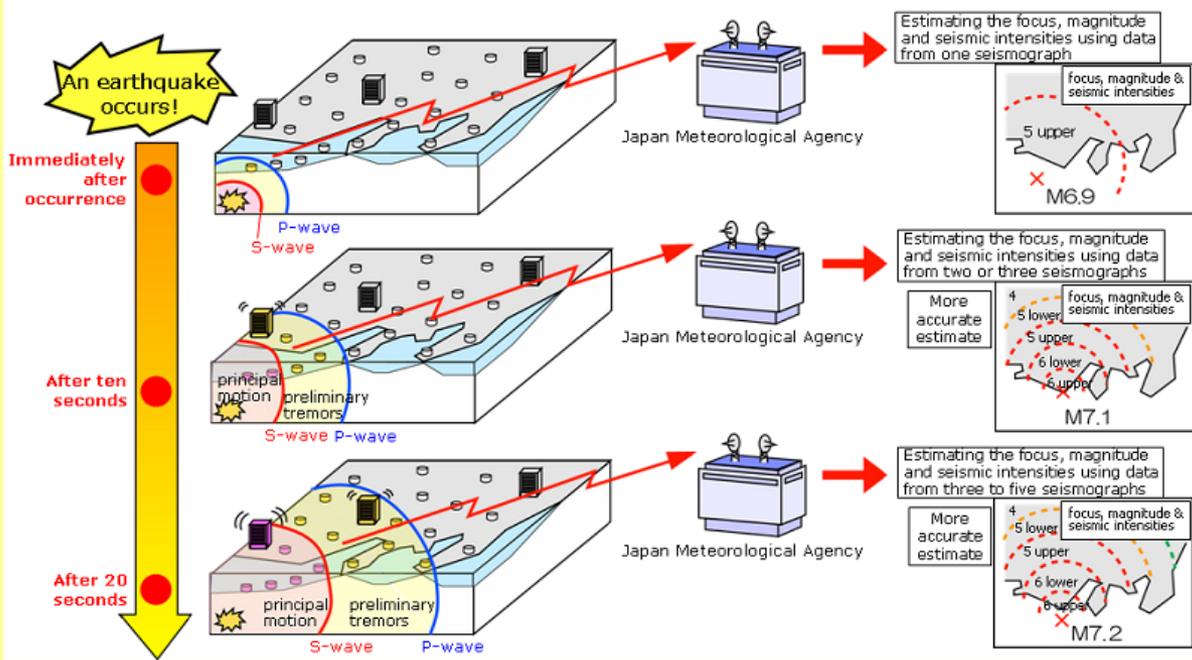


現在能做的是：  
根據過去有關地震活動的歷史，  
提出長期的預警。



# 地震測報系統示意圖





**Figure 1 Distribution of emergency information "Area Mail"**

敬請指教