

孕震構造與斷層之景況地動模擬

顏 銀 桐

財團法人中興工程顧問社 防災科技研究中心

2017.11.27 @ 國家實驗研究院 國家地震工程研究中心

2017 台灣地震損失評估系統講習會

內容大綱

- 提供地動模擬演進背景及簡要說明理論發展基礎。
- 景況模擬所需考慮的震源、路徑與場址因子、分析使用模型。
- 國外地動模擬發展及使用概況。
- 以假想台北都會區之鄰近山腳斷層錯動為例，說明完整景況地動模擬分析程序及結果。(計算流程及所需電腦資源和計算時間等資訊)

問題

- 哪種地震動資訊可被地震工程應用上所採用?
- 地震動資訊除了直接透過實測取得之外，可否被適當地模擬重現？
- 哪些因素控制了地震動的型態與大小?

工程應用上之地震動量測及延伸資訊

- 最大地表加速度 (peak ground acceleration, PGA)
- 最大地表速度 (peak ground velocity, PGV)
- 震度(Intensity) (與PGA相關)
- 工程應用上所需週期範圍之反應譜(response spectrum)
(SA0.3及SA1.0)



強地動加速度歷時

(ground acceleration time-history)

DSHA & PSHA

定值法地震危害度分析

Deterministic Seismic Hazard Analysis

- 目的是去評估特定斷層的地動，一般以景況模擬稱之。模擬方法有二：經驗地動衰減式；理論地震波模擬。
- 一般地震設計，需求即為特徵最大地動(ex.水庫、核電廠)
- 景況模擬之地震事件可能非最嚴重，但是視為很有可能發生的地震，一般提供進行震損與應變計畫
- 不確定性沒有完全被景況模擬涵蓋，地震發生的頻率沒有被考量

機率法地震危害度分析

Probabilistic Seismic Hazard Analysis

- 目的是去評估超出特定基準回歸期之地動對應機率。(考量區域震源、斷層震源、經驗地動衰減式。)
- 整合所有可能引致地動的地震震源，加上地動發生之年頻率資訊
- 允許不確定性的明確處理
- 以風險為原則的提供決策基礎資訊

地震波模擬逆推發展

震源

正斷層
逆斷層
走向斷層
(走向、傾角、
滑移角)

斷層破裂

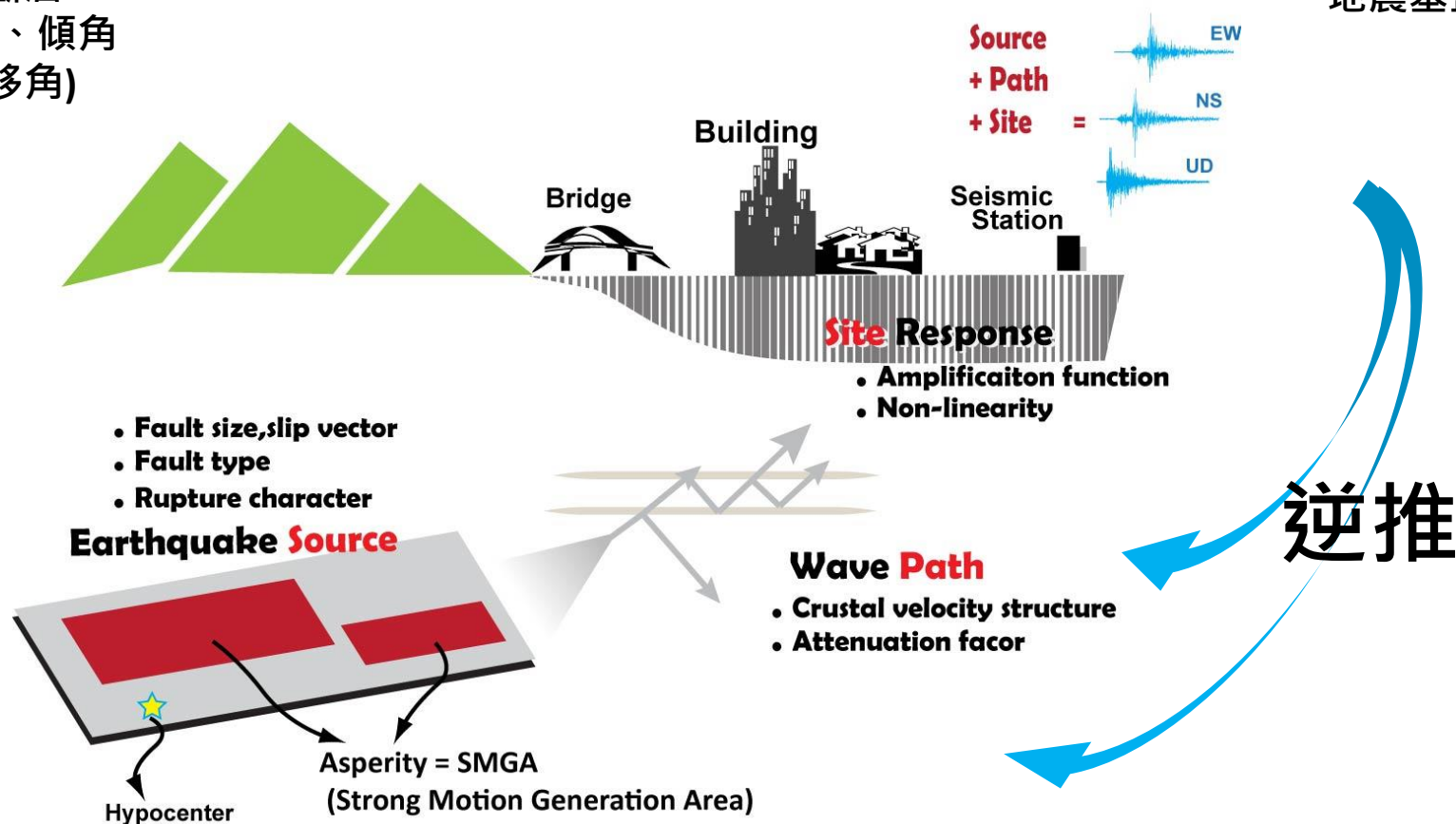
斷層長、寬
破裂方向
位移量

路徑效應

速度構造
衰減特性

場址效應

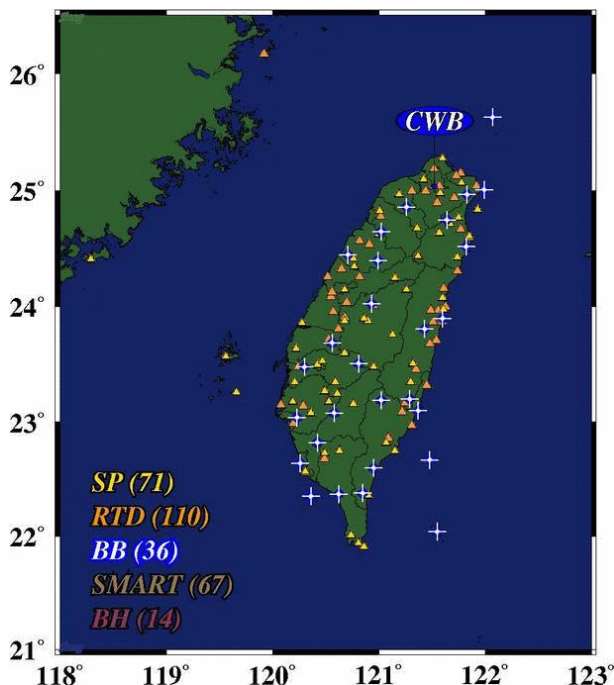
淺層構造 V_{s30} 、
參考基盤、工程基盤
、地震基盤



資料應用範疇 - I

CWBSN

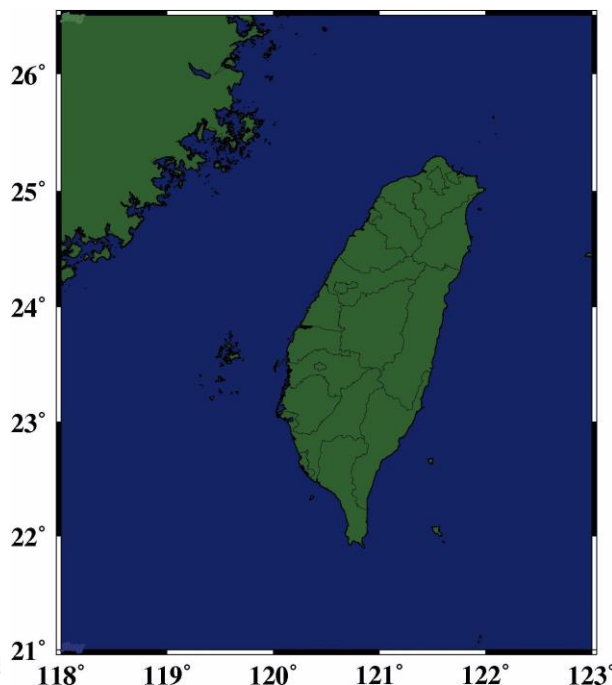
中央氣象局地震觀測網



- ◆ 地震目錄建置
- ◆ 地震速報預警
- ◆ 海嘯資訊發布
- ◆ 地體構造與地震相關研究

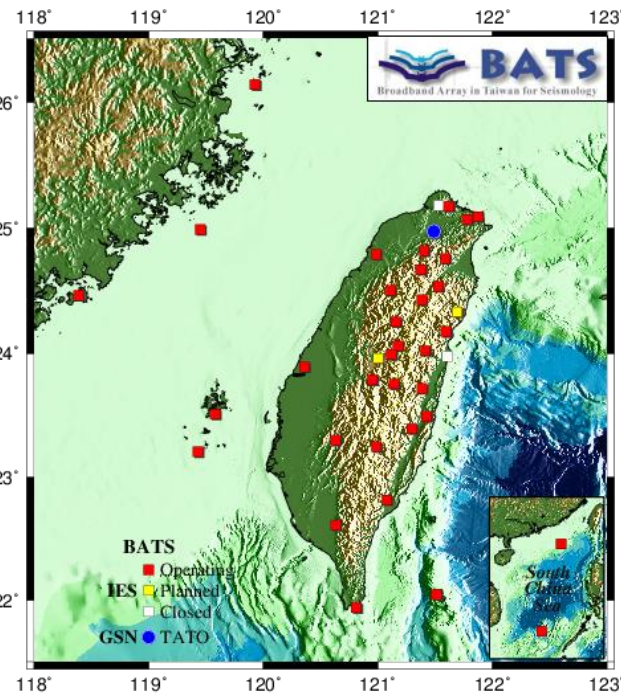
TSMIP

台灣強地動觀測網



- ◆ 強震紀錄資料庫建置
- ◆ 強地動觀測學研究
- ◆ 耐震設計規範
- ◆ 地震工程應用

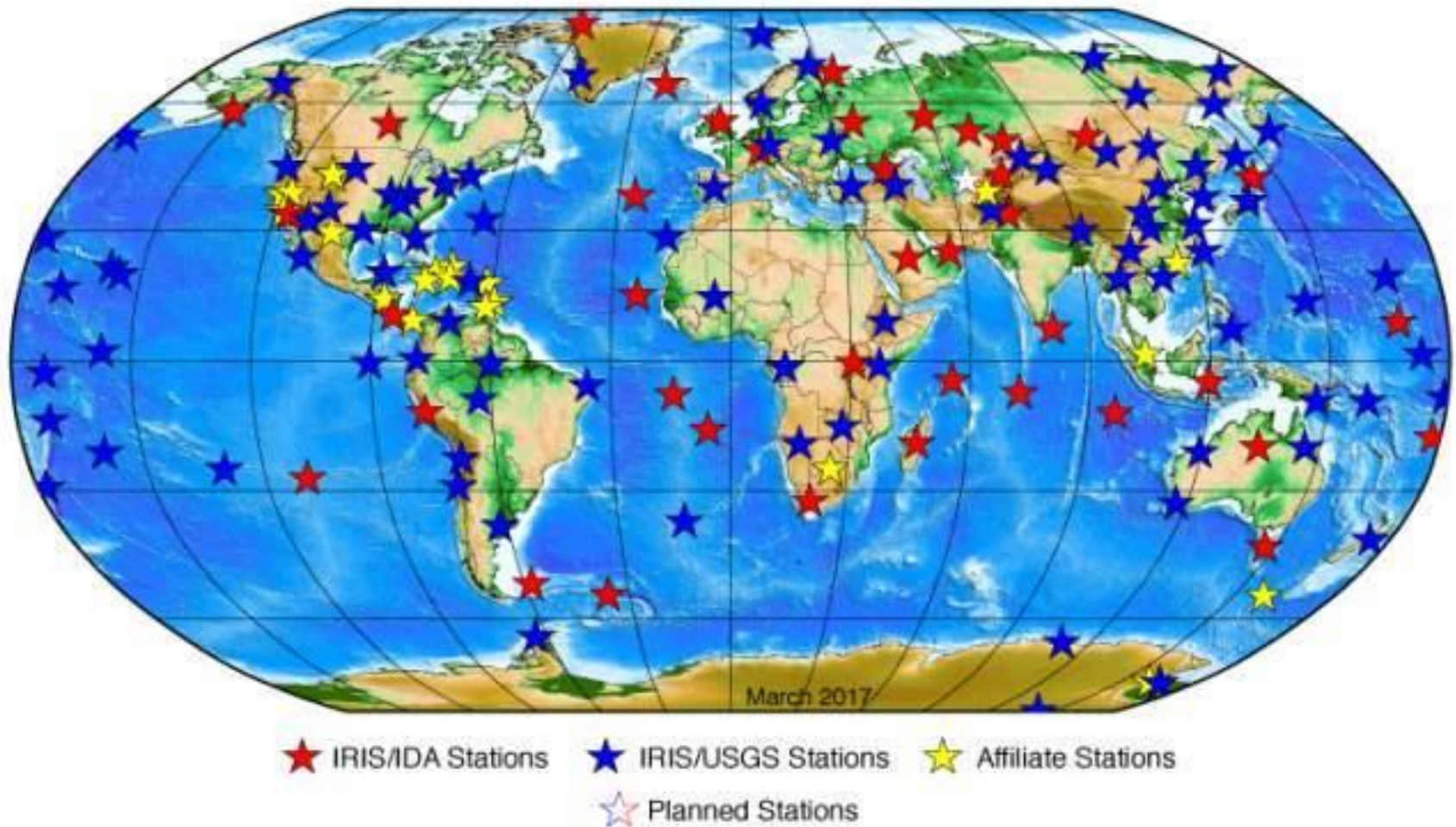
中央研究院 地球科學所



Data Management Center, Institute of Earth Sciences, Academia Sinica
<http://dmc.earth.sinica.edu.tw> <http://bats.earth.sinica.edu.tw>

- ◆ 科研應用
- ◆ 即時震源機制

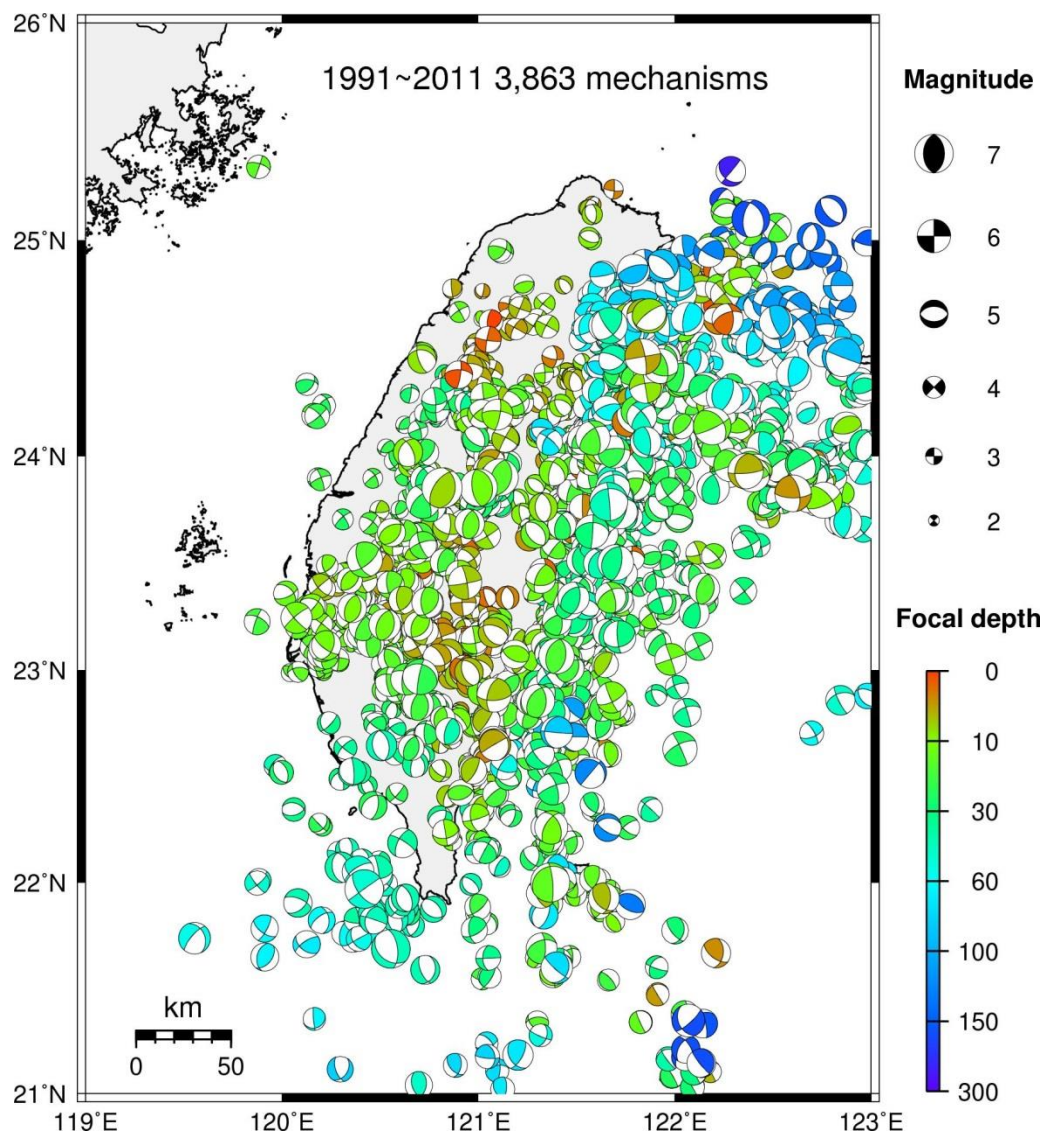
資料應用範疇 - II



全球地震監視網, 美國地震聯合研究機構

Global Network, Incorporated Research Institutions for Seismology, USA

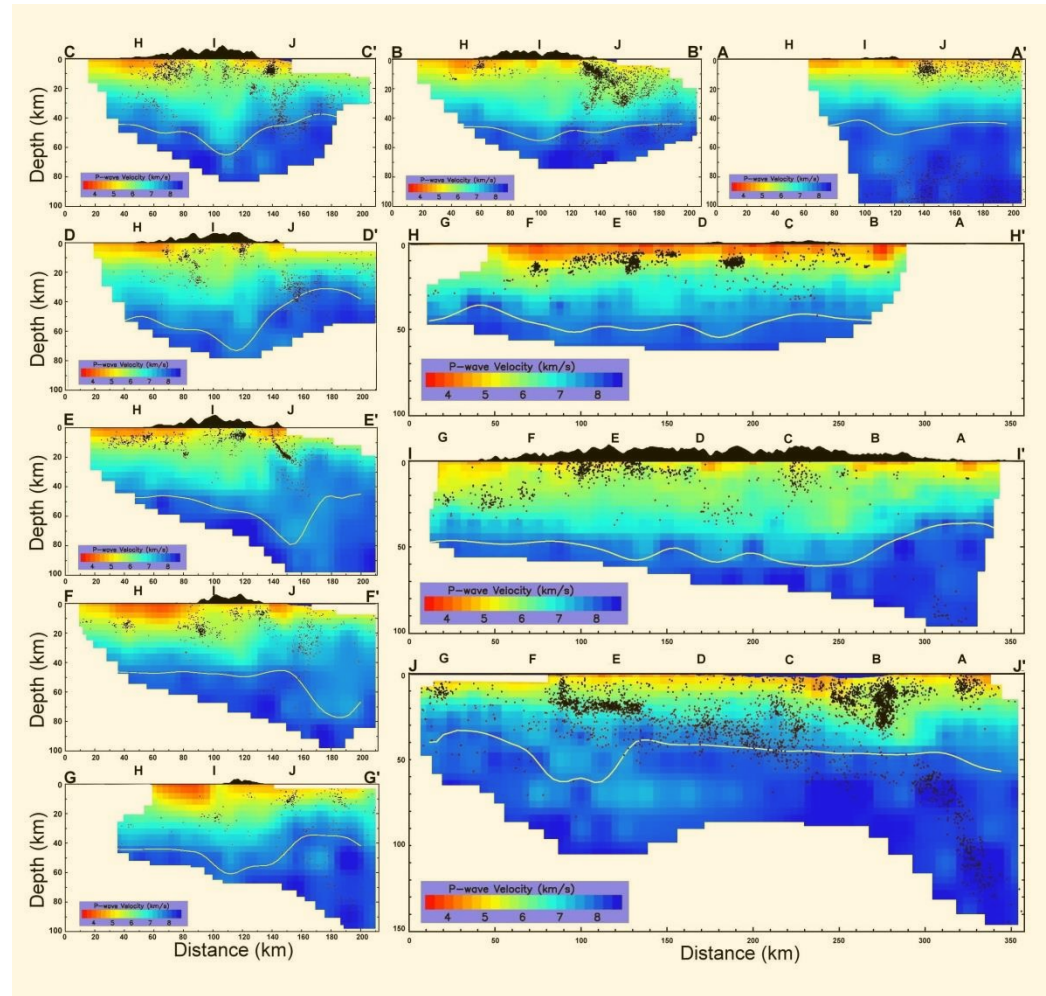
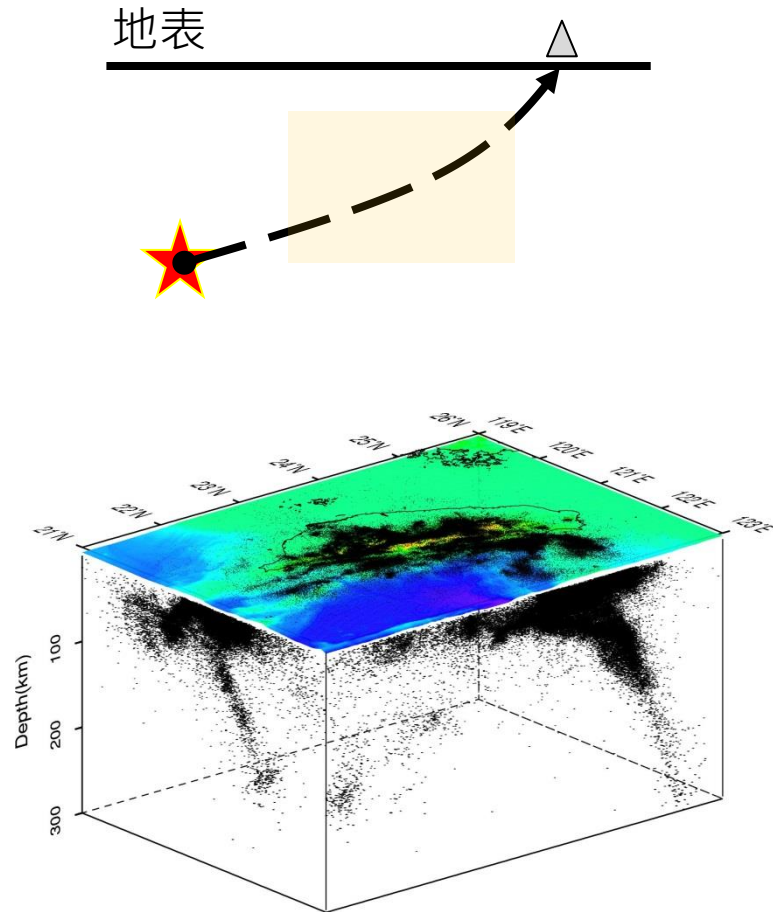
地震震源 -> 路徑 -> 場址 -> 測站波形紀錄



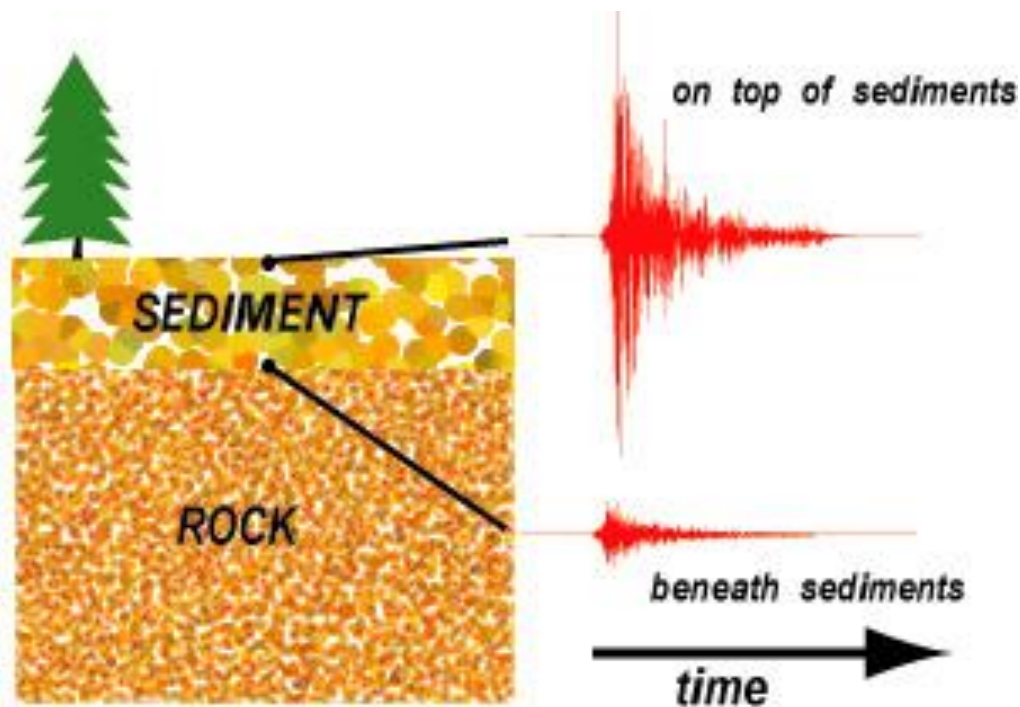
震源參數及機制解算單位

- 氣象局地震測報中心
- 中研院地球科學所

地震震源 -> 路徑 -> 場址 -> 測站波形紀錄

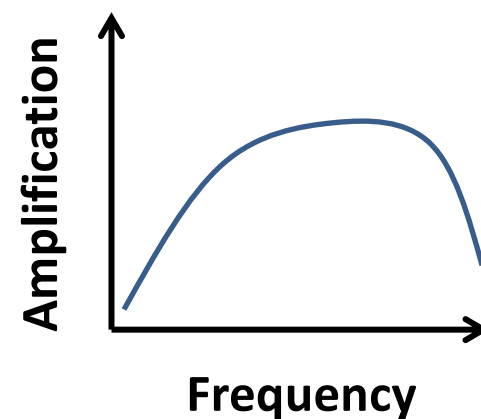


地震震源 -> 路徑 -> 場址 -> 測站波形紀錄



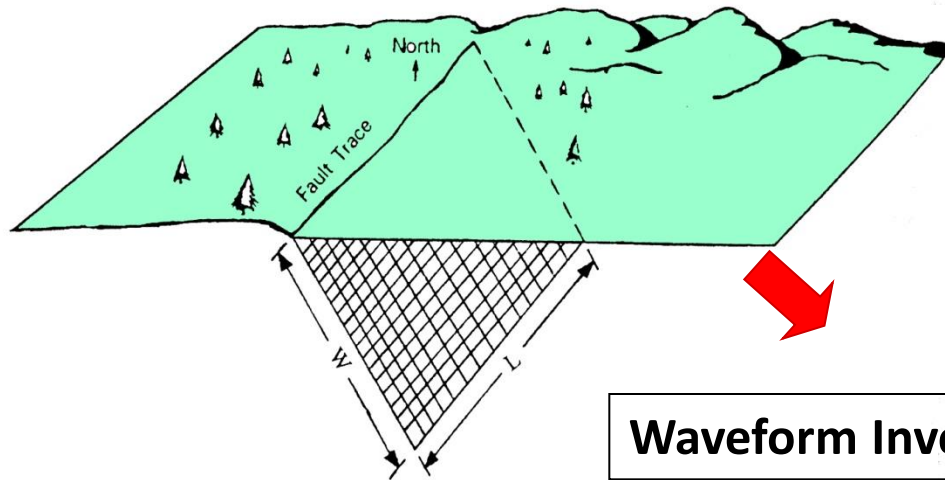
(Retrieved from pubs.usgs.gov)

場址放大函數



斷層破裂面上之錯動量分布 (Source model or Slip distribution)

波形逆推 - 走向、傾角、滑移角 長度、寬度及滑移量



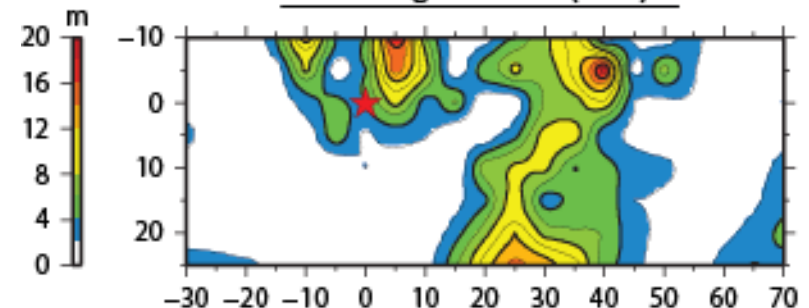
$$Ax = B$$

Waveform Inversion



ChiChi 19990921 (M7.7)

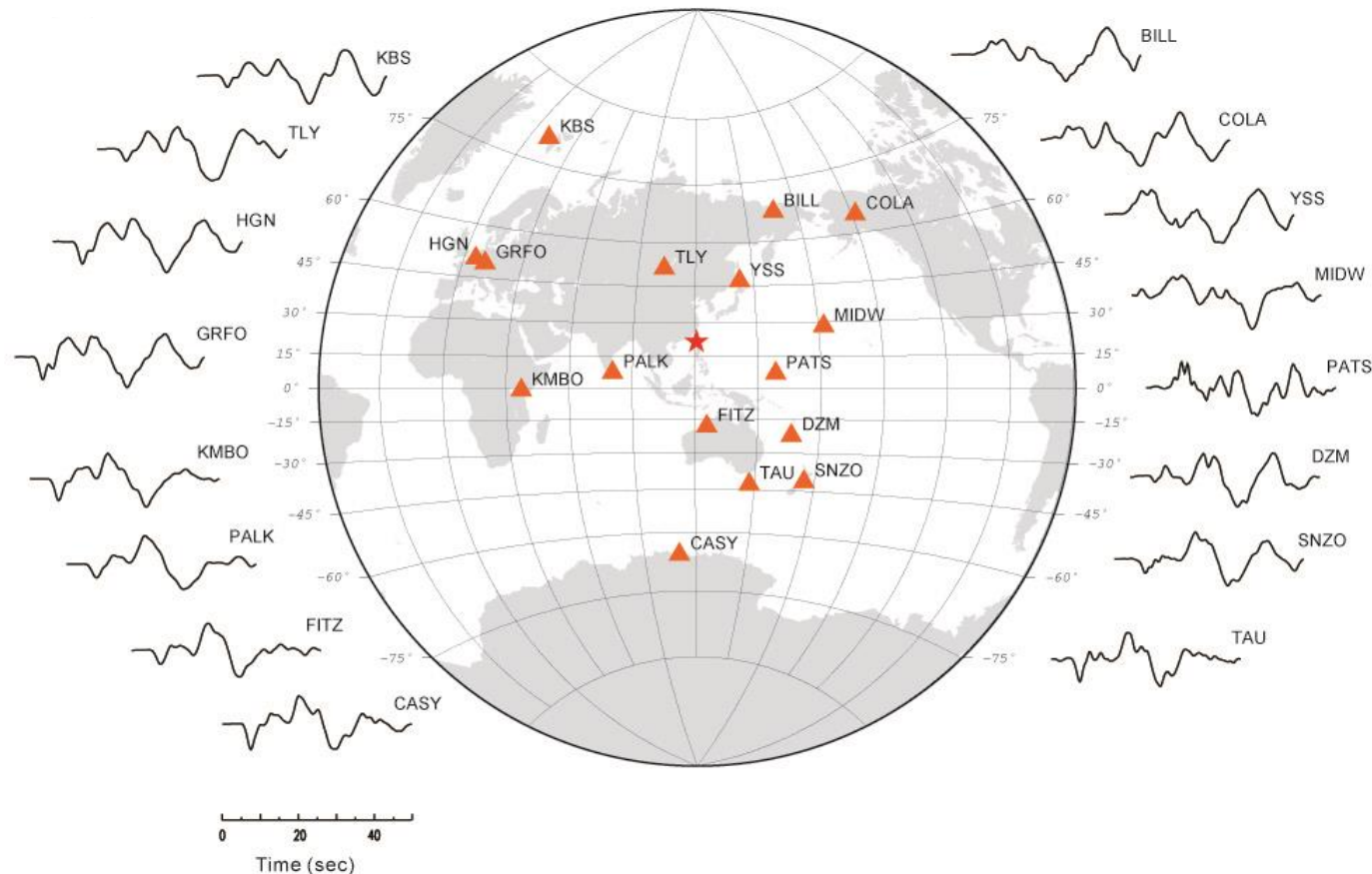
Along Strike (km)



Dec. 26 12:26 earthquake

Station distribution and waveform used

16 stations

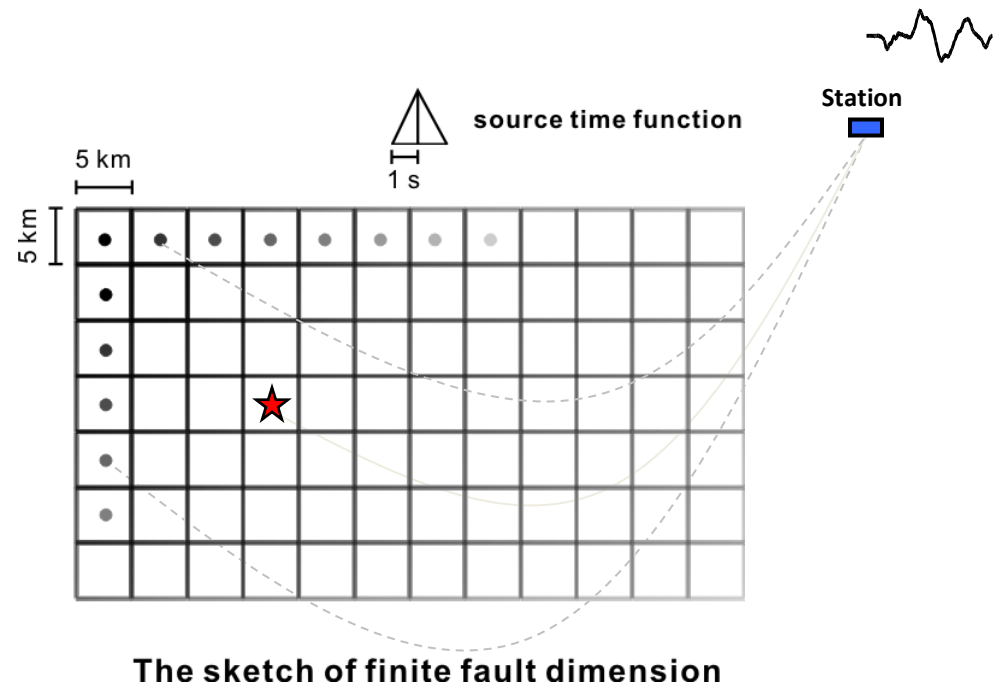


Method – theoretical waveform

- Green's functions calculate according to the Generalized Ray Method (Langston and Helmberger, 1975)
- Passband 0.01 ~ 0.5 Hz
- Sampling rate 4 Hz (0.25 sec)

Velocity Structure			
Vp (km/sec)	Vs (km/sec)	Density (g/cm ³)	Thickness (km)
4.79	2.74	2.40	9.00
6.28	3.63	2.70	21.00
7.98	4.61	3.30	80.00

❖ Modified from Wu et al., 2007



Method – Inversion

$$\begin{pmatrix} G \\ \lambda S \end{pmatrix}_{ij} x_j = \begin{pmatrix} b \\ 0 \end{pmatrix}_i$$

$$\begin{bmatrix} \text{Time points for station 1} \\ \vdots \\ \text{Time points for station k} \\ \vdots \\ \lambda \begin{Bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1j} \end{Bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \begin{matrix} \text{Subfault 1} \\ \text{Subfault 2} \\ \vdots \\ \text{Subfault j} \end{matrix} \\ \begin{Bmatrix} G_{11} & G_{12} & \dots & G_{1j} \\ G_{21} & G_{22} & \dots & G_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \end{Bmatrix} \\ \vdots \\ \begin{Bmatrix} G_{i1} & G_{i2} & \dots & G_{ij} \end{Bmatrix} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_j \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Slip on Subfault 1} \\ \text{Slip on Subfault 2} \\ \vdots \\ \text{Slip on Subfault j} \end{matrix} \quad \cong \quad \begin{bmatrix} \begin{matrix} \text{Observed data} \\ \text{Time points for station 1} \\ \vdots \\ \text{Time points for station k} \\ \vdots \\ \text{Observed data} \\ \text{Time points for station i} \end{matrix} \\ \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_i \\ 0 \end{Bmatrix} \end{bmatrix}_i$$

G : Green's functions

S : smoothing constrain

b : observed data

λ : weighting value

x : slip of the subfault

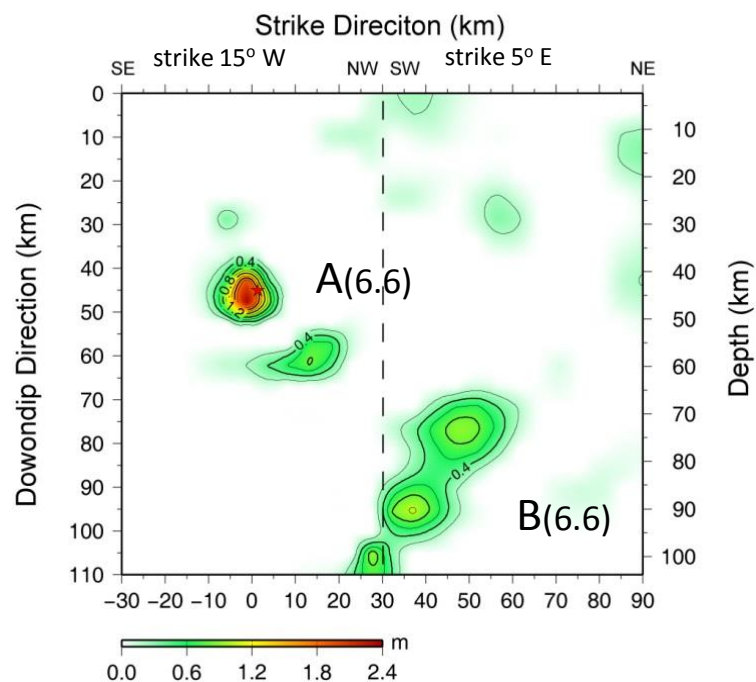
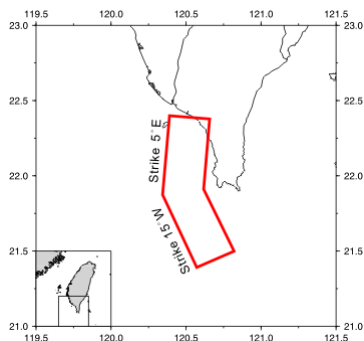
i : time point

j : the subfault number



Dec. 26 12:26 earthquake

Slip distribution and waveform fitting



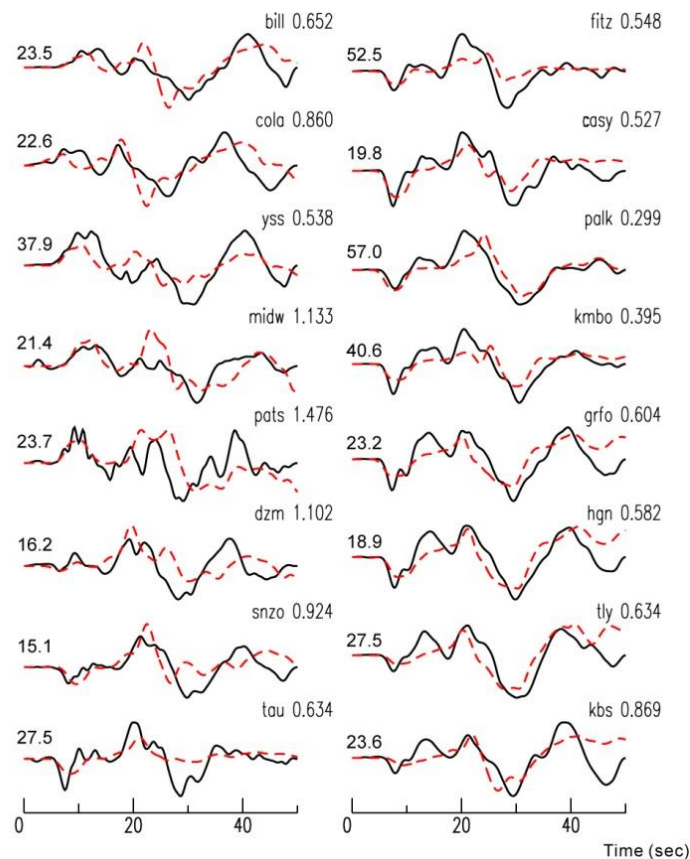
$M_0 = 2.7 \times 10^{26}$ dyne-cm ($M_w = 6.9$)

$D_{\max} = 2.30$ m

$V_r = 2.7$ cm/sec²

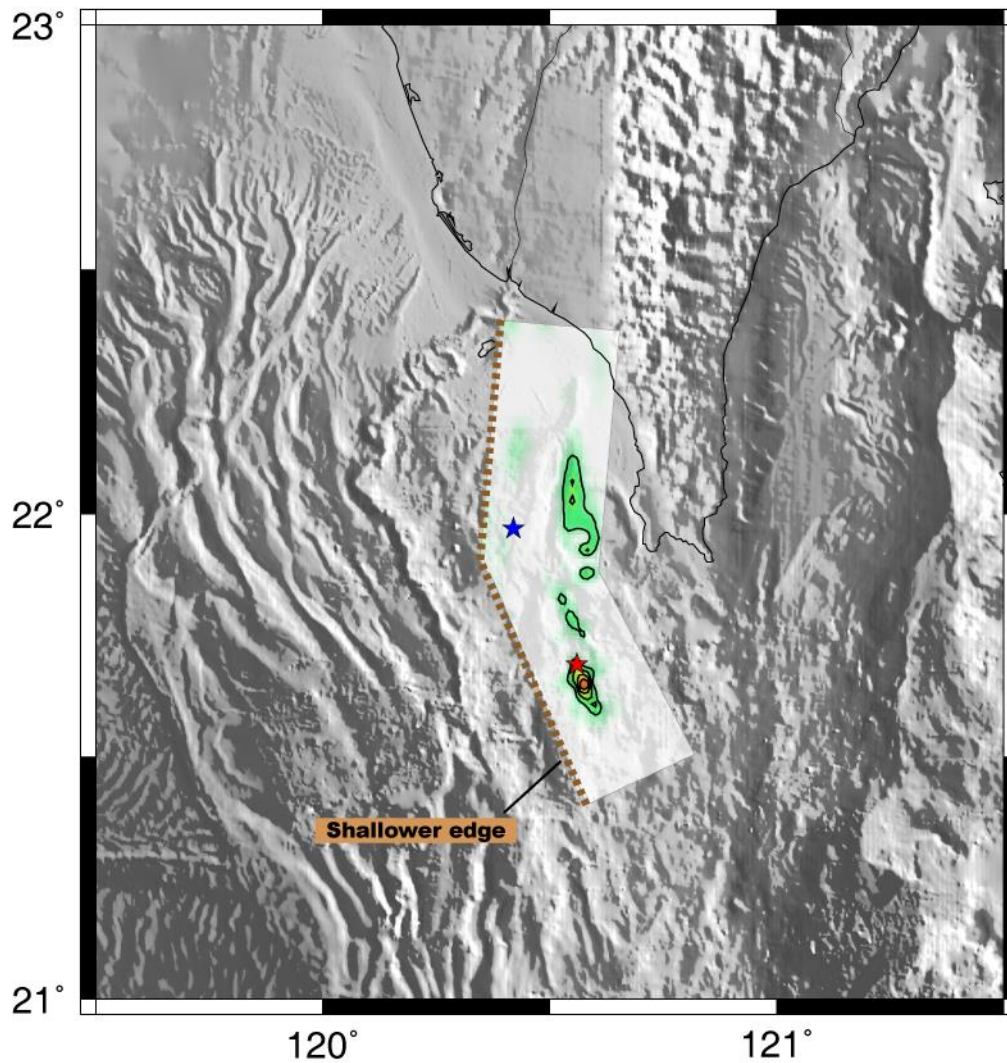
$\Delta\sigma_A = 3.19$ bars

$\Delta\sigma_B = 3.05$ bars

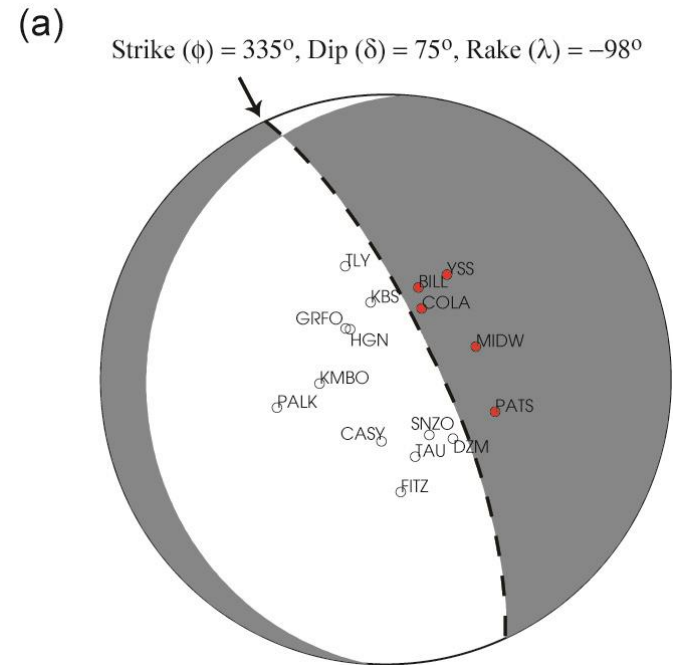


Misfit = 0.48

Surface Projection



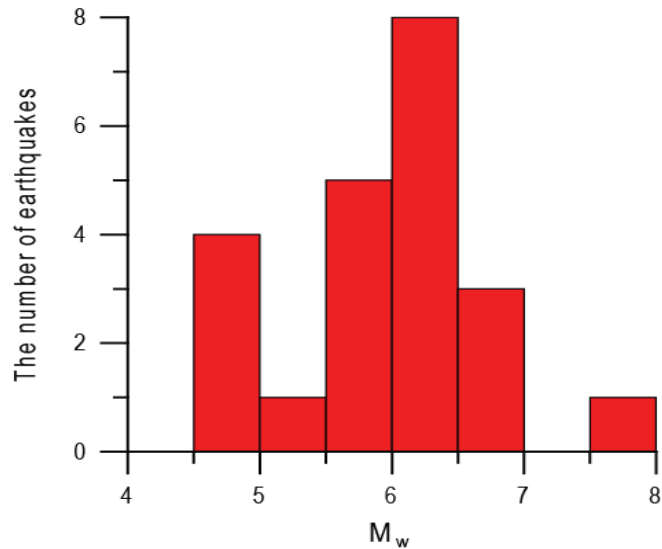
(Yen and Ma, 2008)



★ 1234 earthquake

★ 1226 earthquake

The data in Taiwan region



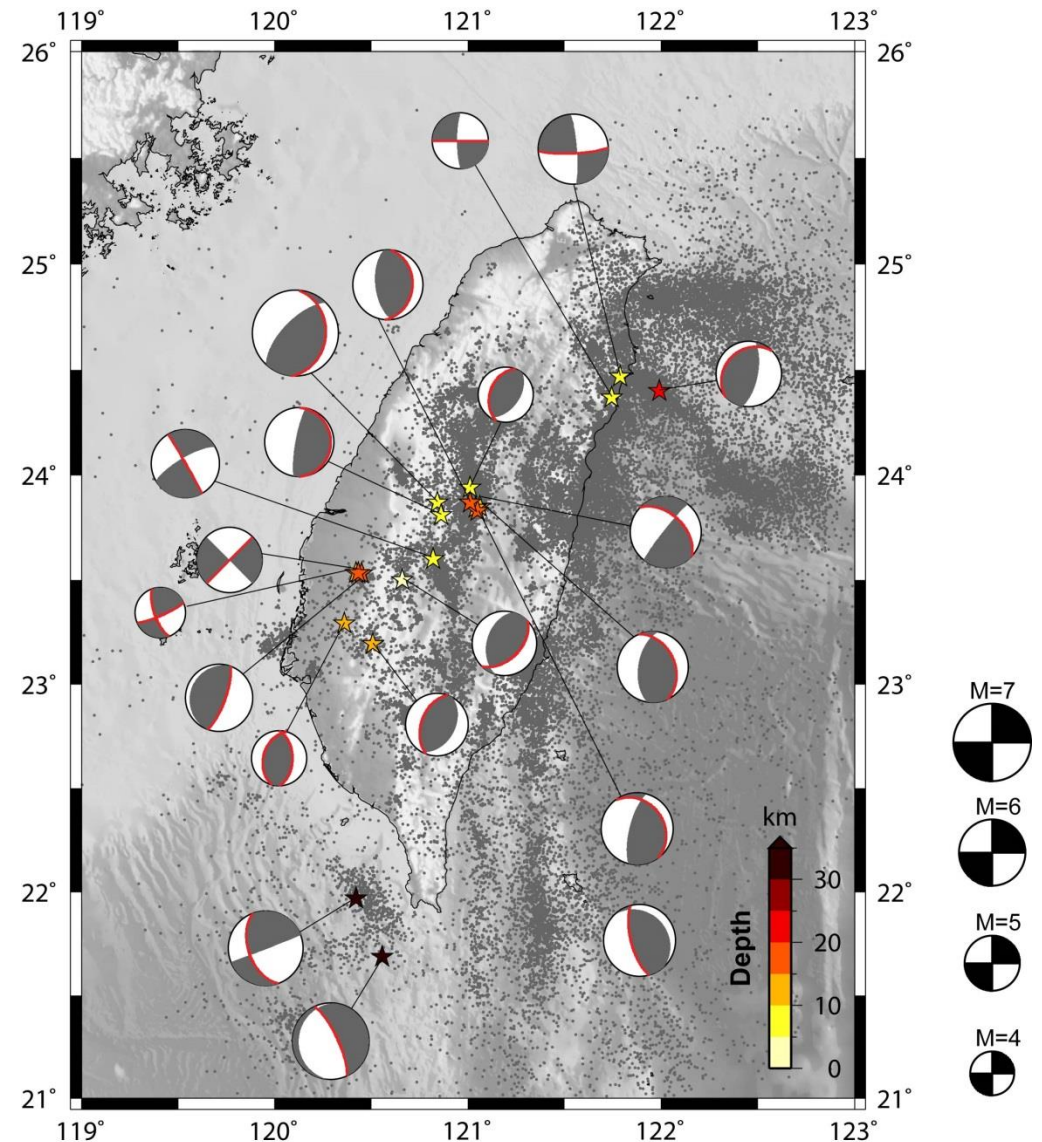
Total event number : 19

Fault type		num.	eq.
Strike		8	7
Dip	Reverse (13)	14	12
	Normal (1)		

$7.75 \times 10^{15} \text{ Nm } M_w(4.6)$

$\sim 3.79 \times 10^{20} \text{ Nm } M_w(7.7)$

(Yen and Ma, 2011)



Background Seismicity $M_L > 3$ (1990-2007)

Characterizing of slip model dimension

$$f(u) = \overline{D}_u = \frac{\sum_{i=1}^N (D_{ui} \times W_s)}{W}$$

u : the order of grids along strike direction

D : the slip of each grid

N : the number of grids along dip direction

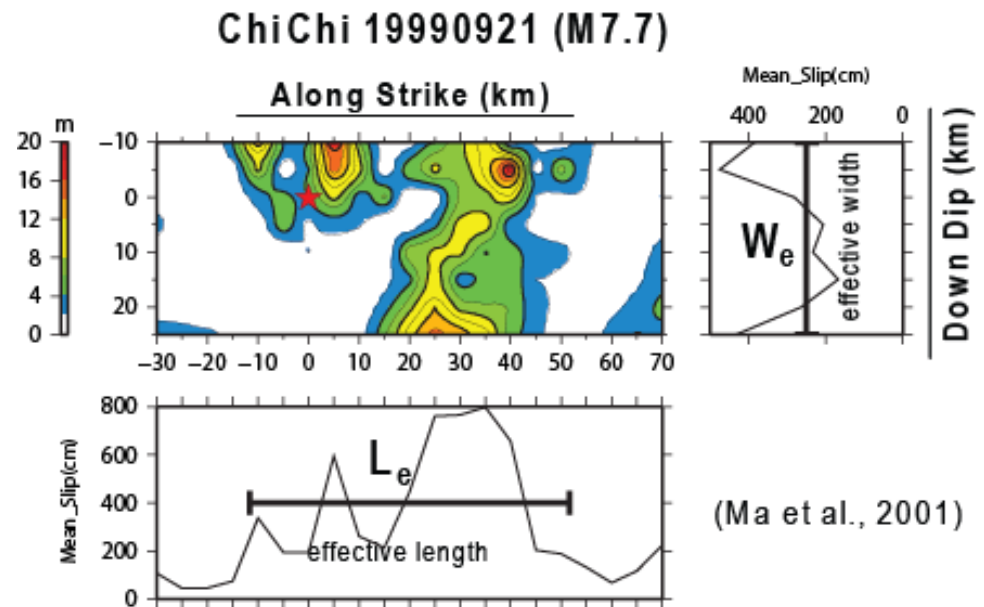
W_s : subfault length

W : fault width from slip models

(Bracewell, 1986; Mai and Beroza, 2000)

$$f * f = \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \cdot f(u - x) du$$

$$L_e = (\int_{-\infty}^{\infty} f * f dx) / (f * f|_{x=0})$$



$$D_e = M_0 / (\mu L_e W_e)$$

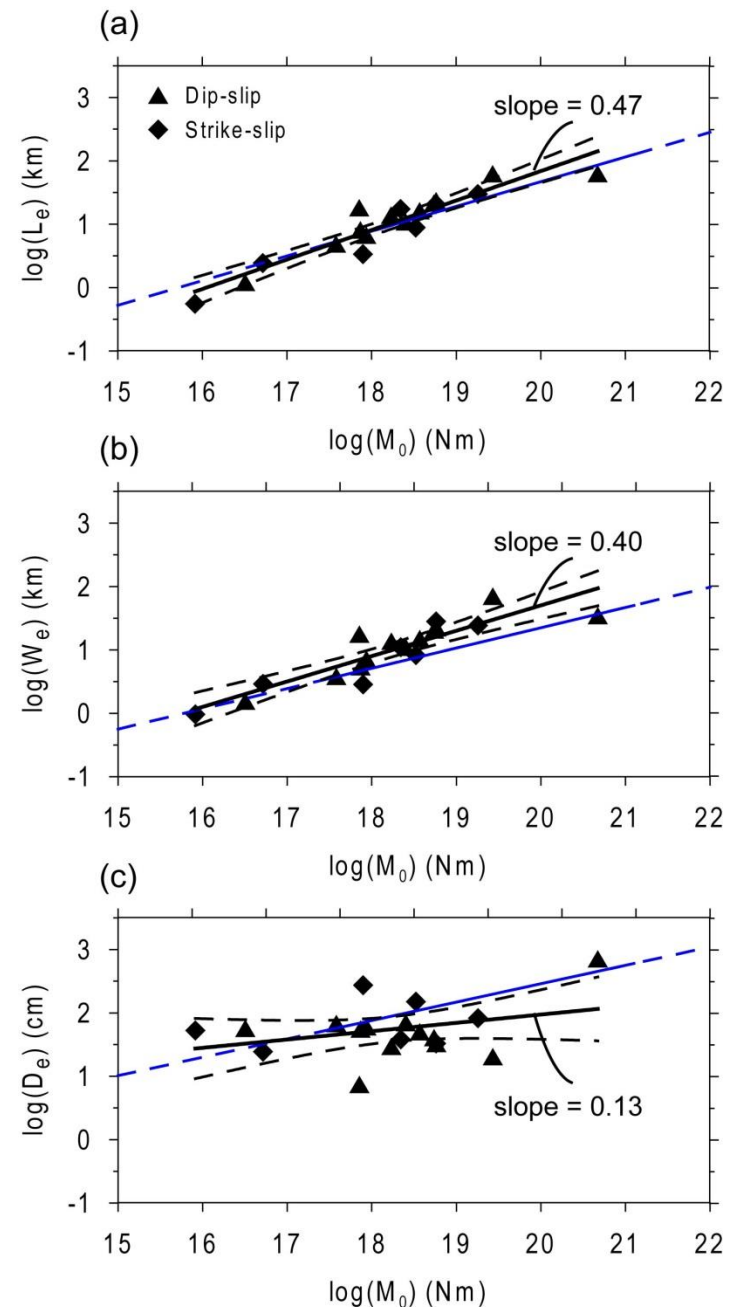
The scaling properties

A slope of near 1/2 for relation between the dimensions (L_e , W_e) and seismic moment (M_0).

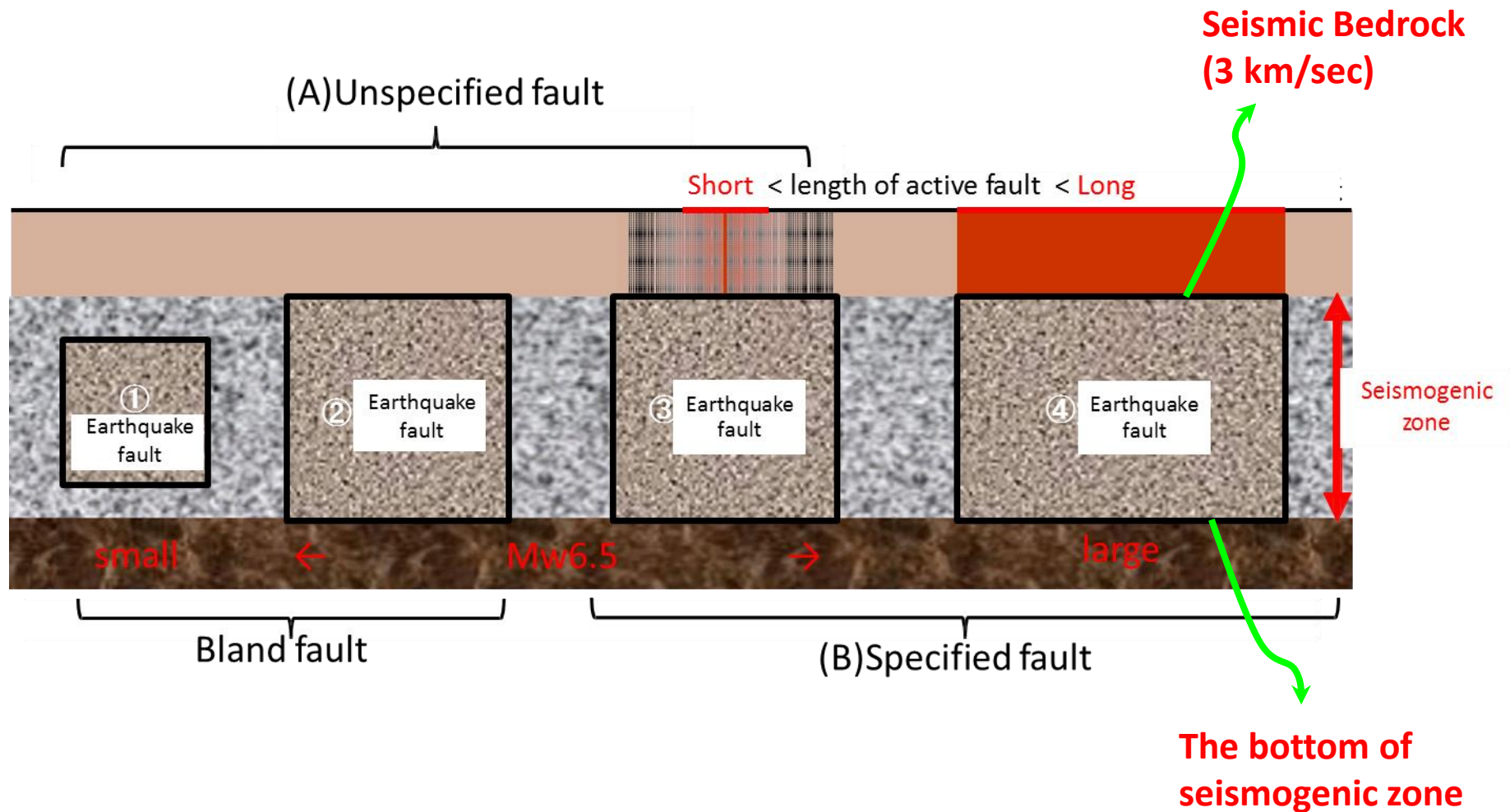
A constant trend for relation between mean slip (D_e) and seismic moment (M_0).

The regression of Mai&Beroza(2000) has less predicted width.

Roughly, mean slip follows the regression of Mai&Beroza(2000).



Seismogenic zone



震源

正斷層
逆斷層
走向斷層
(走向、傾角、
滑移角)

斷層破裂

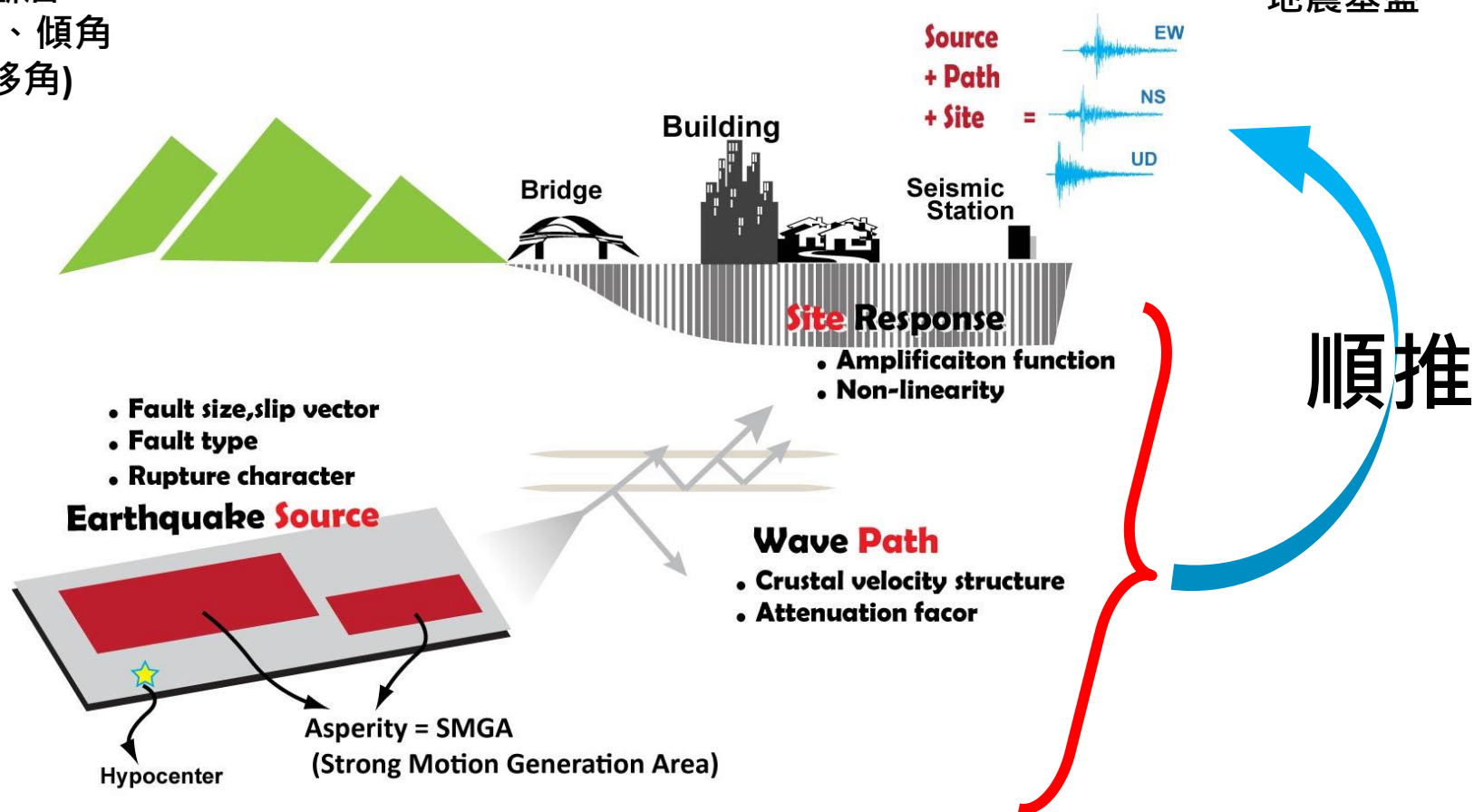
斷層長、寬
破裂方向
位移量

路徑效應

速度構造
衰減特性

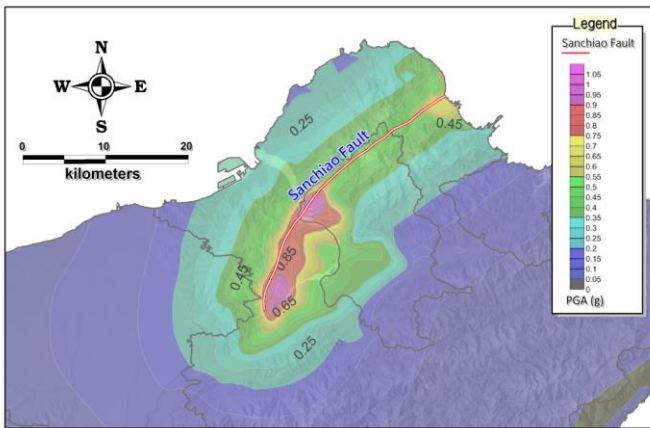
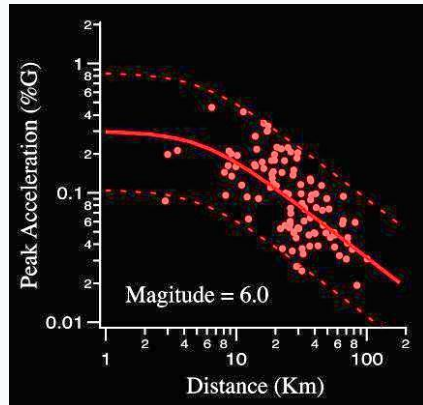
場址效應

淺層構造 V_{s30} 、
參考基盤、工程基盤
、地震基盤



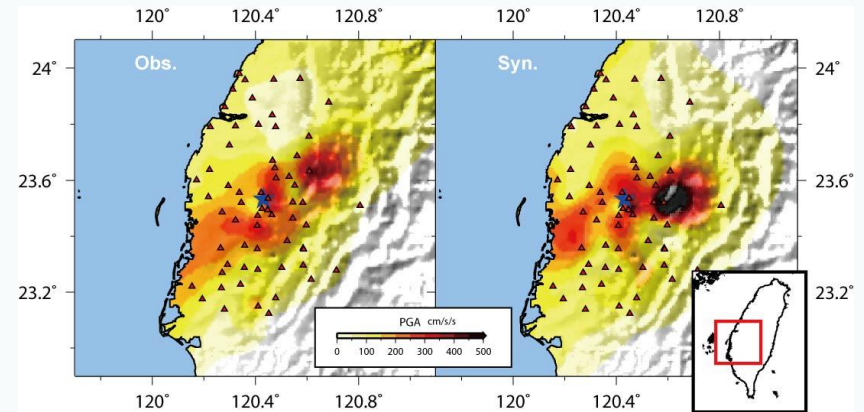
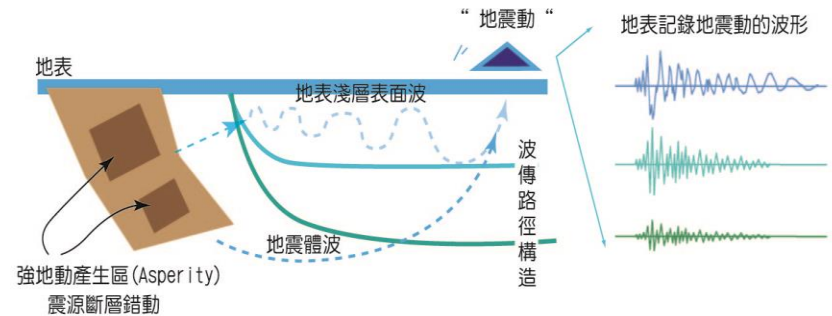
地動模擬與評估

經驗方法



理論方法

活斷層震源推估地震動示意圖



地震波模擬順推發展

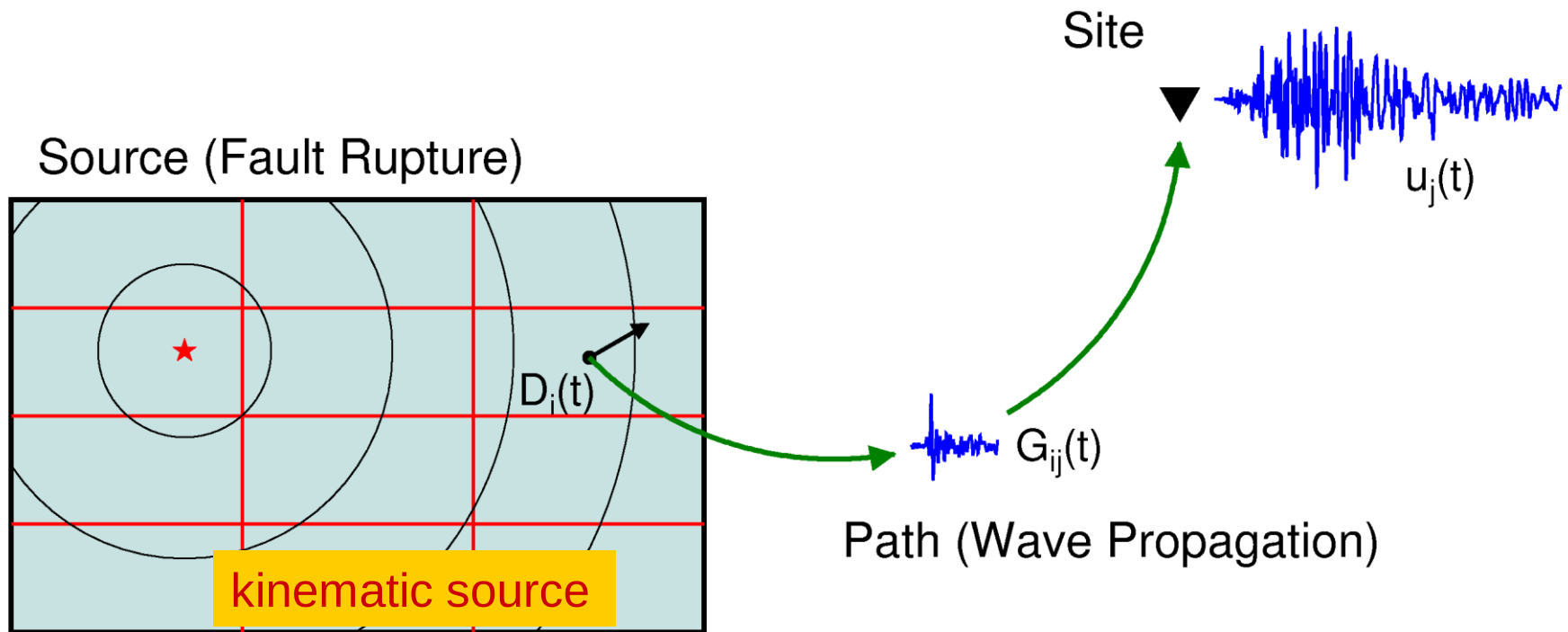
理論方式的應用發展性

經驗方式基於實際觀測地動資料的範圍(規模、距離、場址等)相對無法完整掌控震源、波傳路徑及土壤條件對於影響震動變化的變異性，理論地動模擬可以提供以下問題解答：

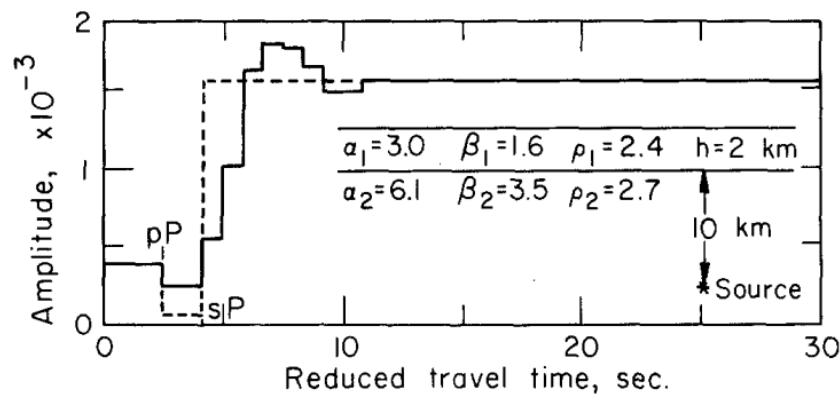
- 近斷層範圍的地動特性
- 破裂方向性
- 上盤效應
- 大規模的地殼及隱沒帶地震事件
- 盆地中長週期地震波的複反射
-

Representation Theorem

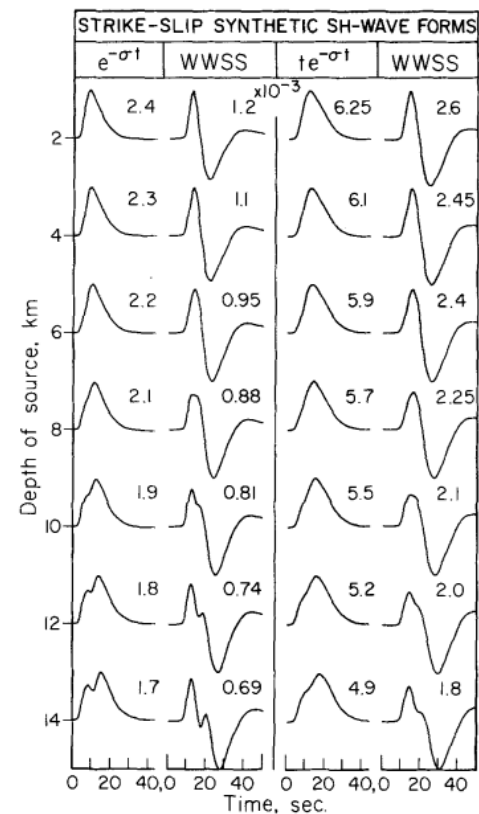
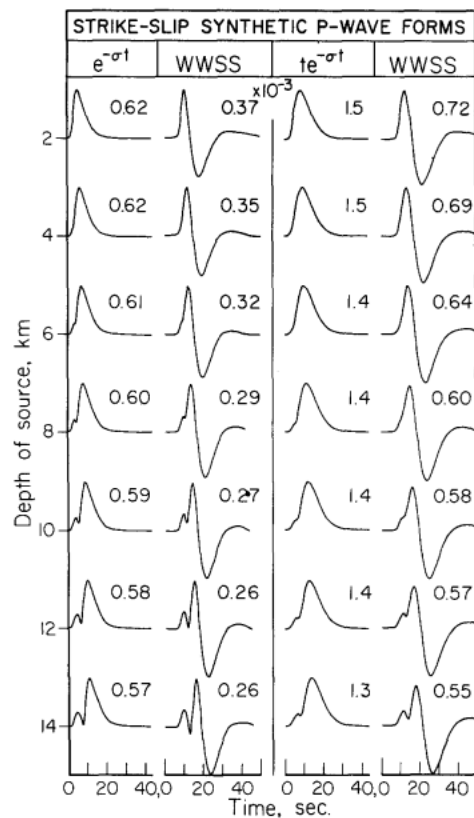
$$u_j(t) = \sum G_{ij}(t) * D_i(t)$$



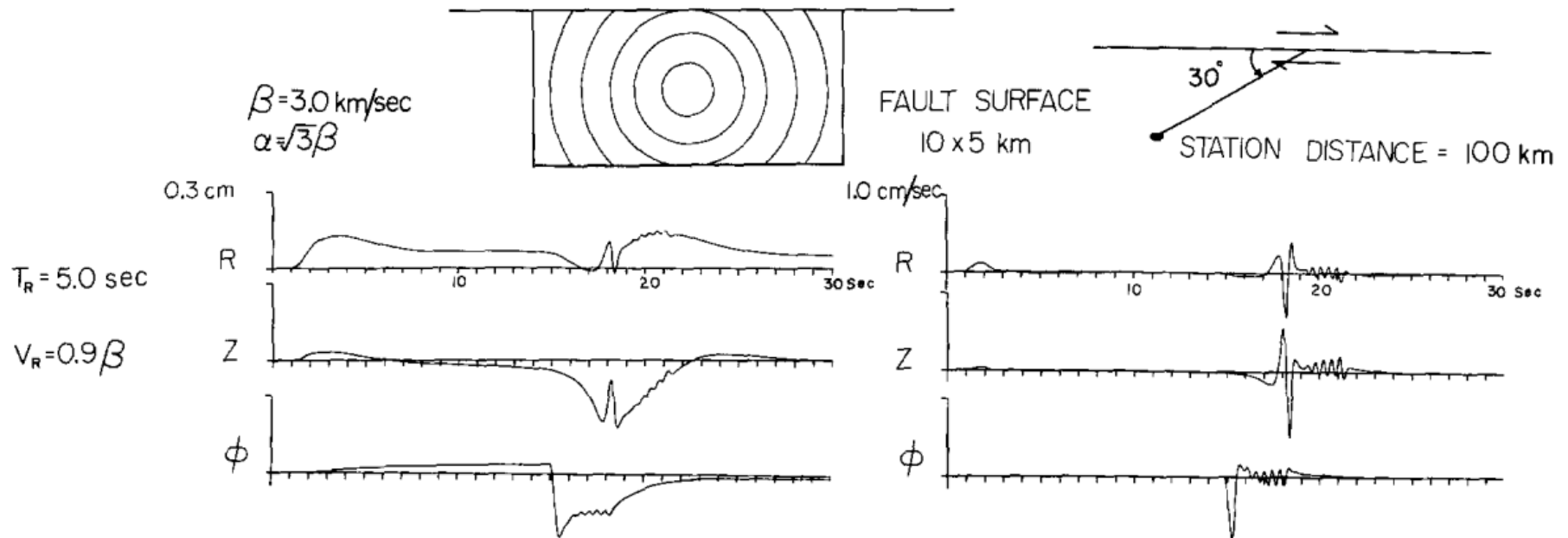
點震源地震波模擬 - 簡單傳遞路徑



(Helmberger, 1974)



面震源地震波模擬

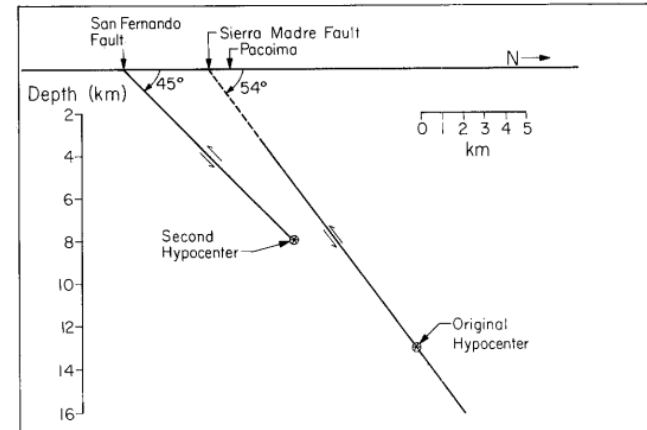


(Hartzell et al, 1978)

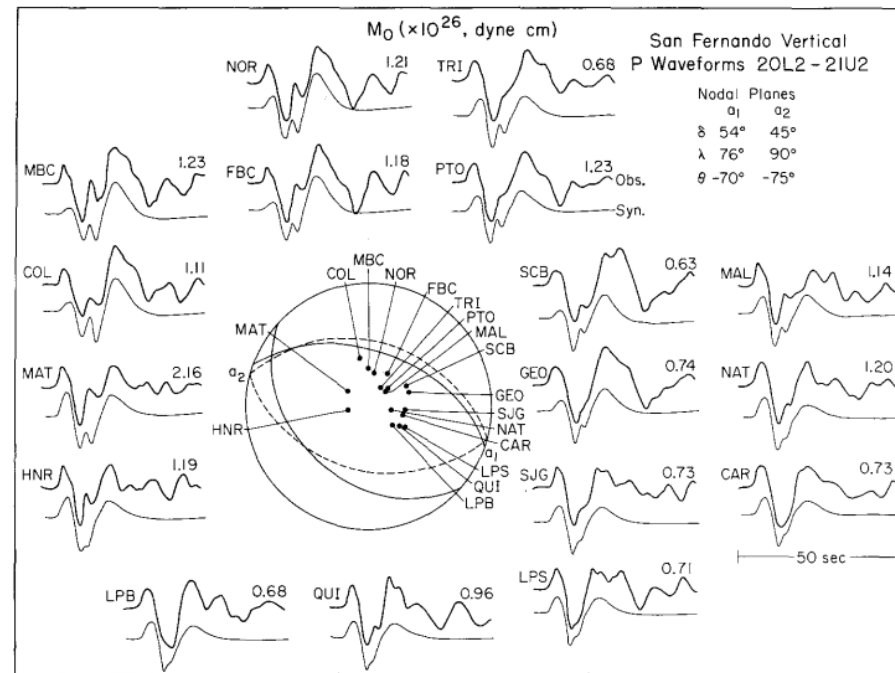
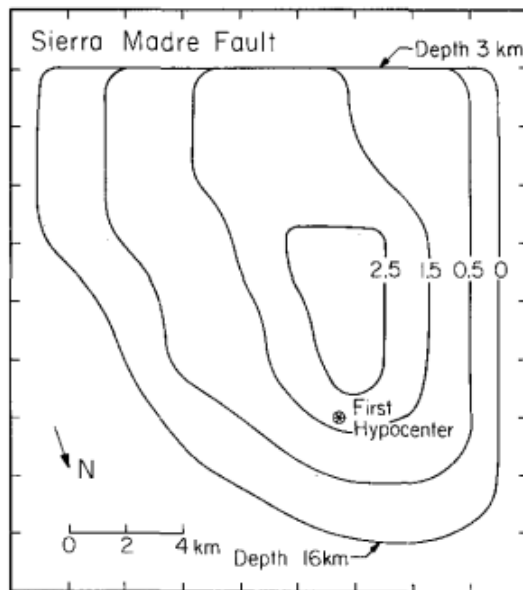
面震源地震波模擬－斷層破裂模型

Source parameters for model 20L2-2IU2

	Sierra Madre Fault	San Fernando Fault
Strike	290°	285°
Dip	54°	45°
Rake	76°	90°
Moment ($\times 10^{26}$ dyne-cm)	0.7	1.0
Rupture Velocity (km/sec)	2.8	2.8
Hypocentral Depth (km)	13.0	8.0
Time Lag (sec)	-	4.0



Model 20L2-2IU2



(Heaton, 1982)

- Ground Motion Simulation -

Finite-Fault Simulation Z-component

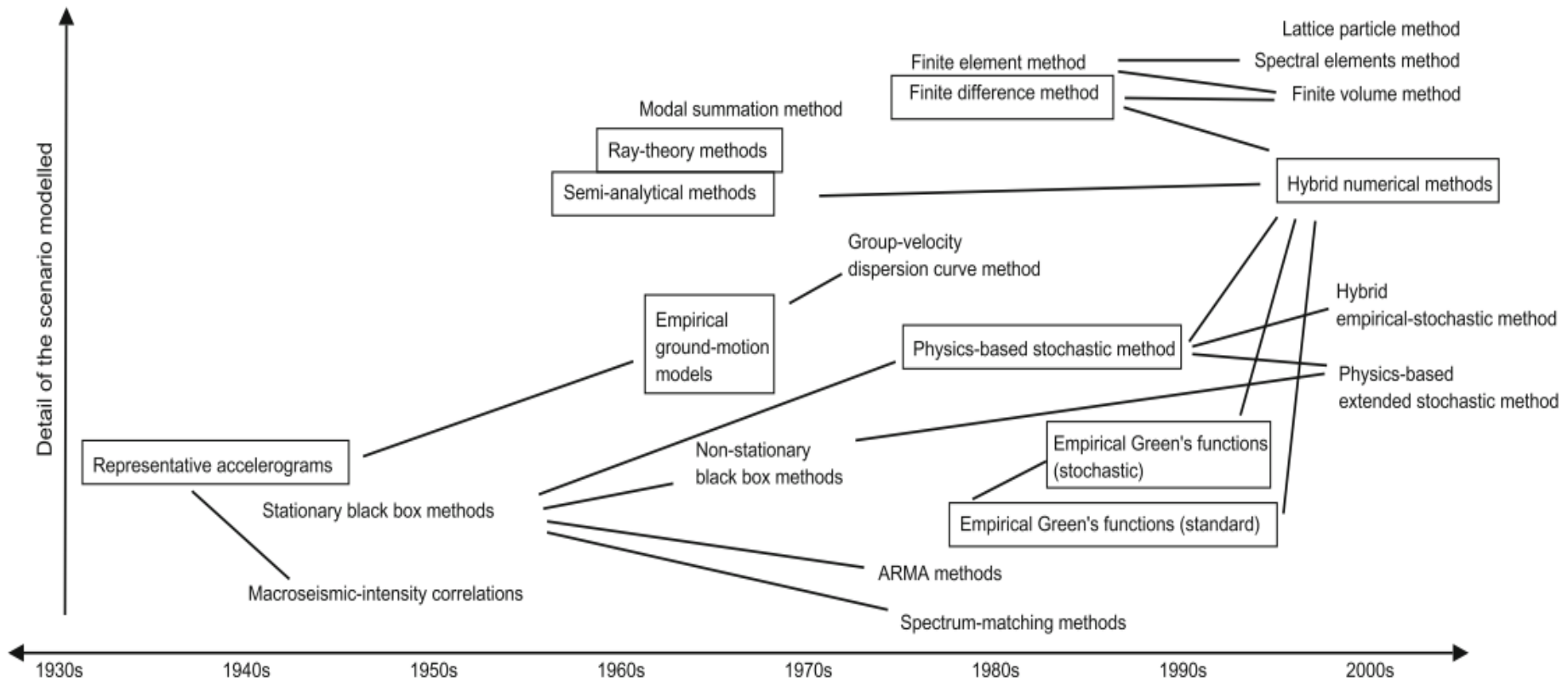
0.38 [sec]



- 3-D Finite-fault waveform simulation with our proposed rupture model (2-sec Gaussian STF, ~ 0.8 Hz)
- 3-D velocity model (Kuo-Chen et al., 2012)
- ETOPO1 topography
- Waveform simulation is done by 72 cores on HPC cluster (IES)

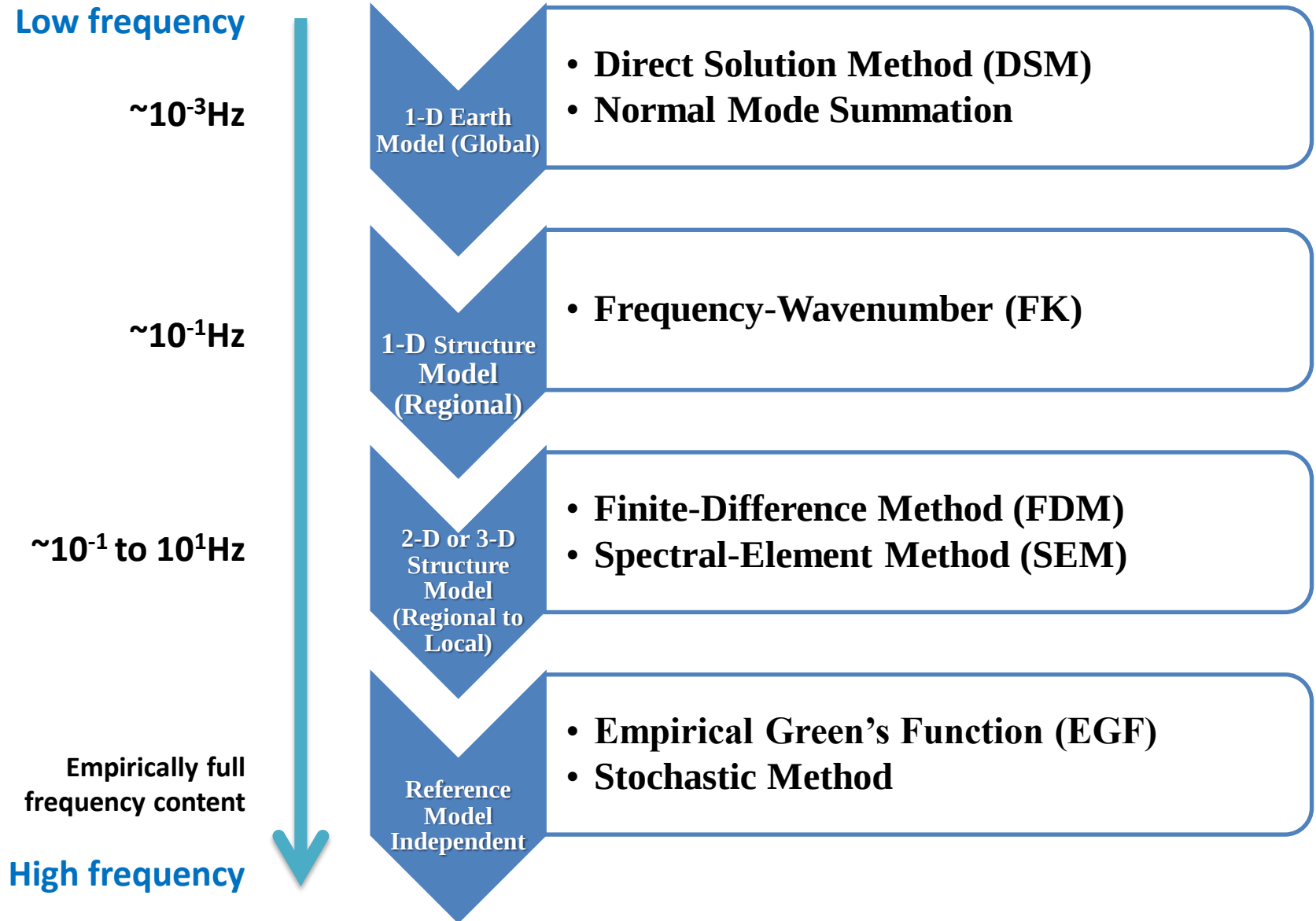
Courtesy of Dr. Ming-Che Hsieh

理論方式模擬的類型 - I



(Douglas and Aochi, 2008)

Waveform Simulation Method in Various Frequency Bands



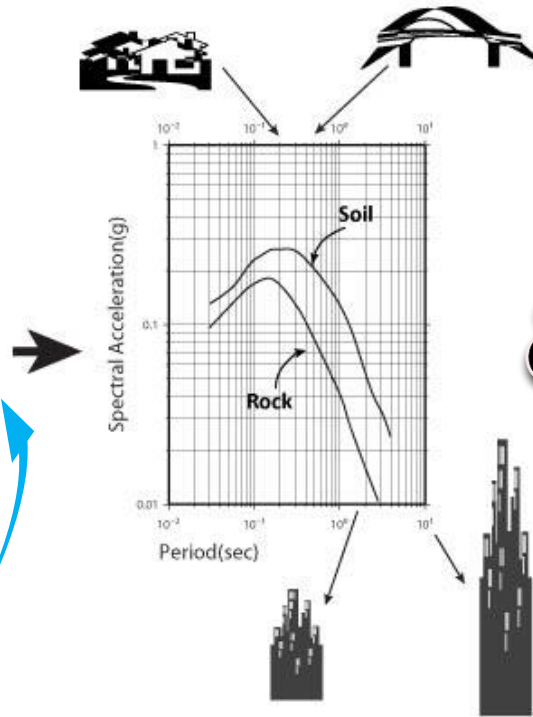
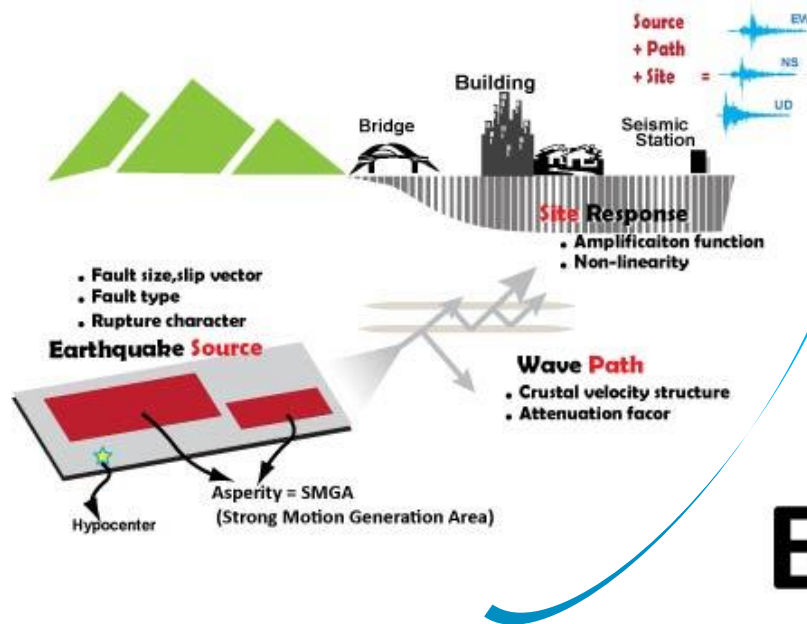
地動理論模擬於工程應用前提

- **驗證** - 模擬方法有一致性且量化的驗證程序
- **穩定** - 不同的模擬方法必須有相似的結果
- **透明** - 不同的操作者可以透過訓練而執行模擬程序
- **重演** - 條件下(版本控制)之模擬工具可獲得相同的結果
- **套件** - 統一操作界面提供專業使用者作業

地震與工程的連結

強地動時間歷時及頻率內涵

Seismology

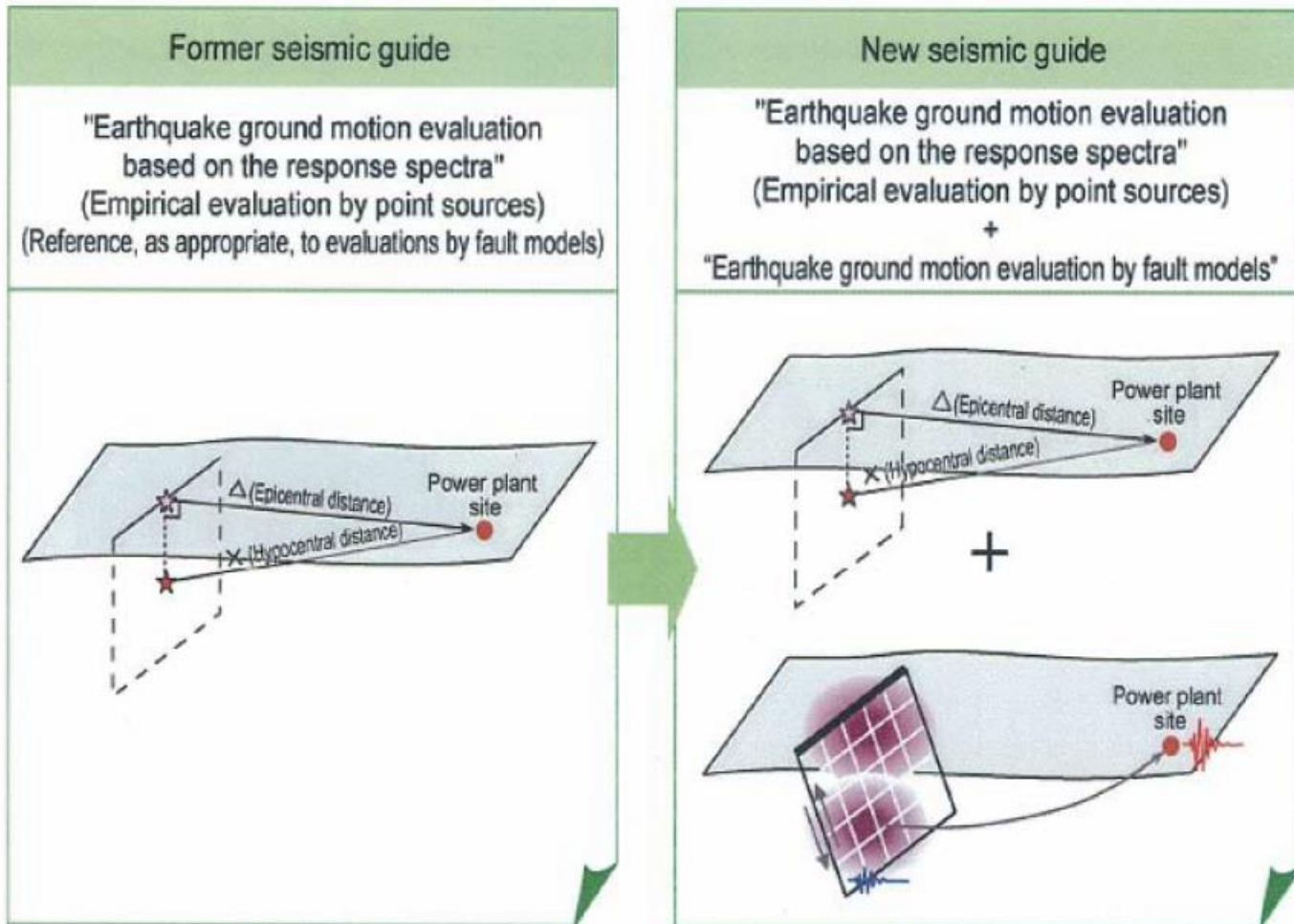


災害
+
風險

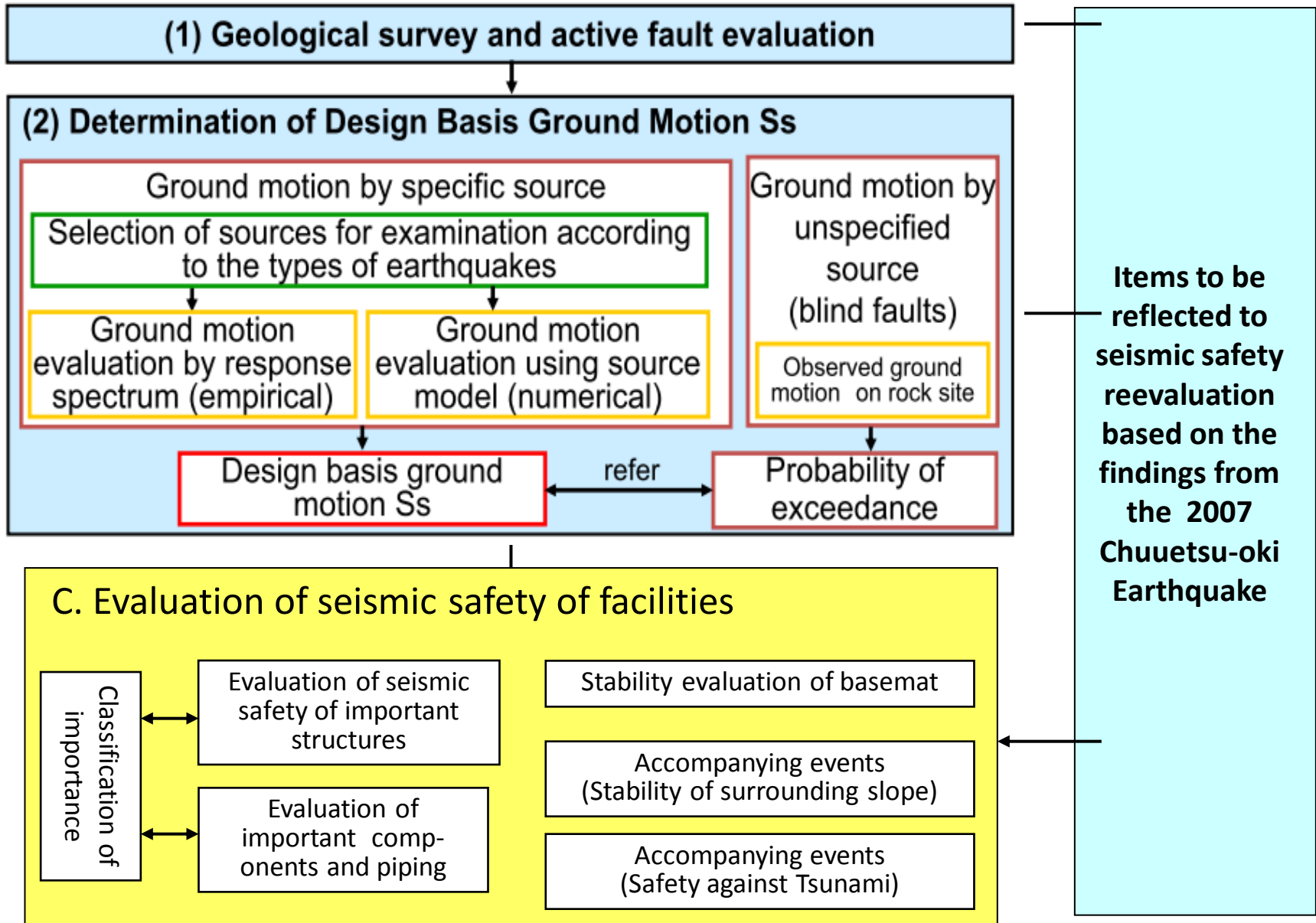
Engineering

國外經驗

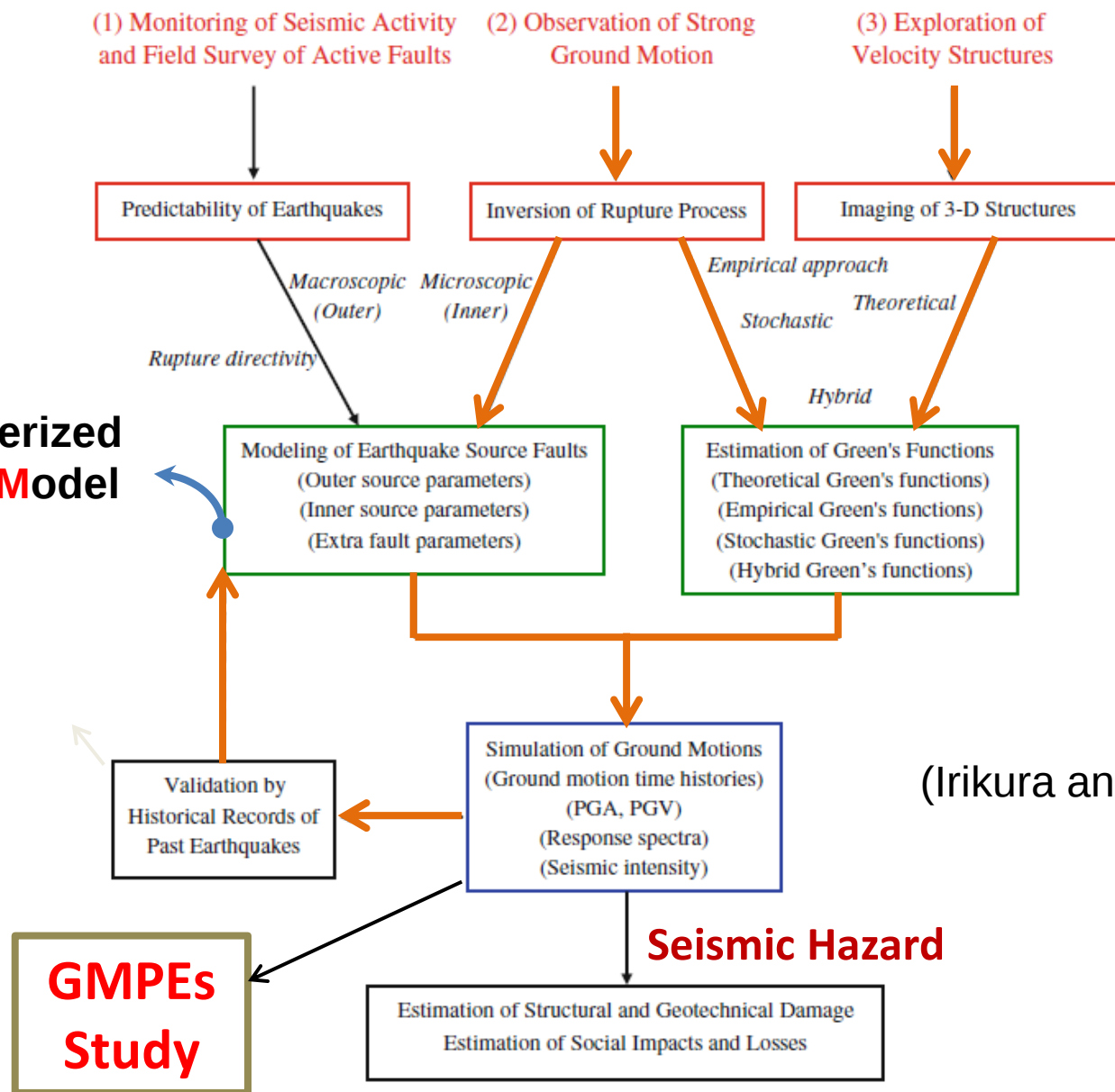
日本 - 核能法規制度調整



Flow of Seismic Reevaluation - New Seismic Regulatory Guide



Characterized Source Model



(Irikura and Miyake, 2010)

1

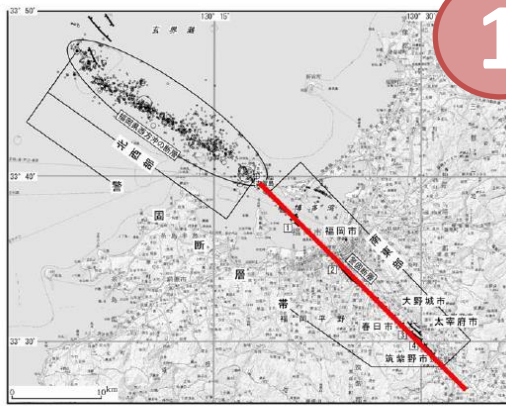


図1 警固断層帯の活断層位置図と強震動評価に用いた震源断層モデルの地表トレース

Fig.01 Surface trace of the Kego fault (red line) in Kyushu Island.

2

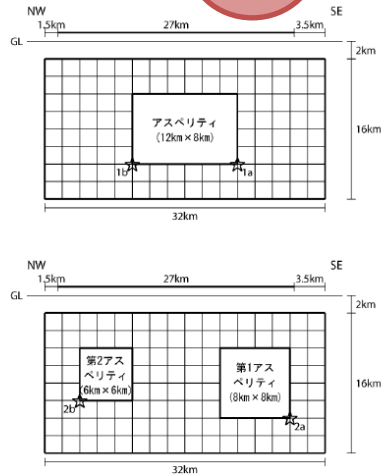


図2 震源断層モデル (形状、アスペリティ、破壊開始点)
(アスペリティの数と破壊開始点の位置によって4 ケースとなる。
1a、1b、2a、2b は破壊開始点であり、ケース名である。)

Fig.02 Source model (4 cases)

1a, 1b, 2a, 2b: Rupture starting point

The procedure of HERP

3

Table 01 Source parameters.

表1 警固断層帯 (南東部) の震源断層パラメータ

パラメータ	ケース 1	ケース 2
長期評価による断層原点	北緯 33° 39'	
	東経 130° 19'	
長期評価による断層長さ L [km]	27	
長期評価による気象庁マグニチュード M	7.2	
断層のずれの向きと種類	左横ずれ (南西側隆起成分を伴う)	
断層モデル原点	北緯 33° 39' 38"	
	東経 130° 18' 21.6"	
断層上端深さ [km]	2	
断層長さ L_{model} [km]	32	
断層幅 W_{model} [km]	16	
断層面積 S_{model} [km ²]	512	
地震モーメント M_0 [N·m]	1.47 × 10 ¹⁹	
モーメントマグニチュード M_w	6.7	
走向 θ [°]	N136E	
傾斜角 δ [°]	90	
すべり角 λ [°]	0	
静的応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]	3.1	
平均すべり量 D [m]	0.9	
剛性率 μ [N/m ²]	3.12 × 10 ¹⁰	
密度 ρ [kg/m ³]	2700	
S 波速度 β [km/s]	3.4	
破壊伝播速度 V_f [km/s]	2.4	
短周期レベル A [N·m/s ²]	1.30 × 10 ¹⁹	
第1アスペリティ	面積 S_{a1} [km ²]	98.5
	地震モーメント M_{a1} [N·m]	5.53 × 10 ¹⁸
	平均すべり量 D_{a1} [m]	1.8
	実効応力 σ_{a1} [MPa]	16.0
第2アスペリティ	面積 S_{a2} [km ²]	65.7 (64)
	地震モーメント M_{a2} [N·m]	4.09 × 10 ¹⁸
	平均すべり量 D_{a2} [m]	2.0
	実効応力 σ_{a2} [MPa]	16.0
第3アスペリティ	面積 S_{a3} [km ²]	—
	地震モーメント M_{a3} [N·m]	—
	平均すべり量 D_{a3} [m]	—
	実効応力 σ_{a3} [MPa]	—
第4アスペリティ	面積 S_{a4} [km ²]	413.5 (416)
	地震モーメント M_{a4} [N·m]	9.13 × 10 ¹⁸
	平均すべり量 D_{a4} [m]	0.7
	実効応力 σ_{a4} [MPa]	2.8

(カッコ内は実際の計算で用いた面積)

4

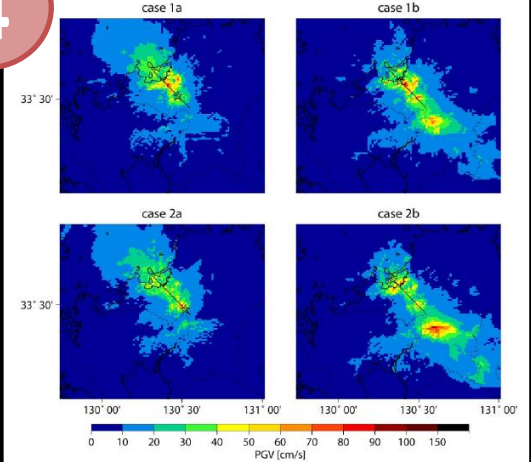


図17 「ハイブリッド合成法」による工学的基盤 ($\beta=600$ m/s) 上面の最大速度分布
(約 1km メッシュ; ☆は観測開始点の位置)

Fig.17 PGV distribution on engineering bed rock calculated by Hybrid simulation.

5

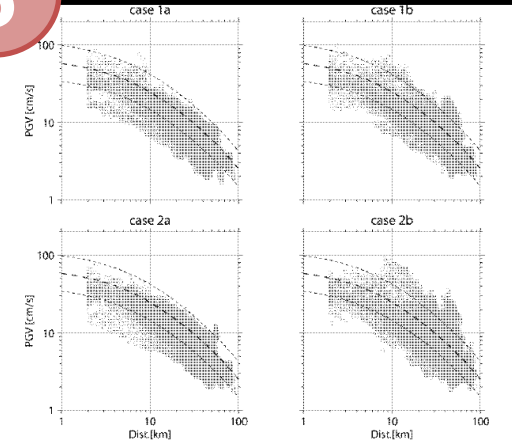
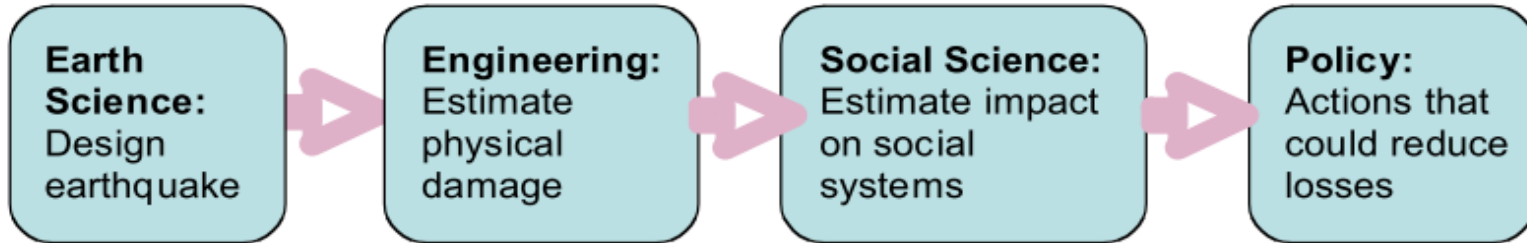


図7 工学的基盤上面における最大速度値を $V_f=600$ m/s 相当に換算した値と
司・翠川 (1999) の距離減衰式との比較
(約 1km メッシュ)

ShakeOut Earthquake Scenario (2008)



A magnitude (M) 7.8 earthquake on the southern San Andreas Fault



Earth Science in the ShakeOut

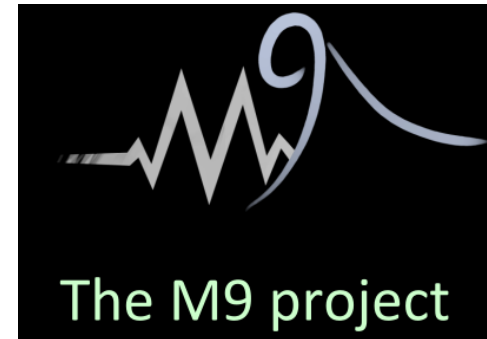
- Scenario
- The EarthquakeSource
- Ground Motions
- Fault Offsets
- Secondary Hazards
- Aftershocks

Engineering in the ShakeOut Scenario

- Buildings
- Non-structural and contents damage
- Utilities, Lifelines, and Infrastructure
- Fire Following Earthquake

Social Science in the ShakeOut Scenario

- Emergency Services
- Mortality and Morbidity
- Business Interruption
- Movement of Goods

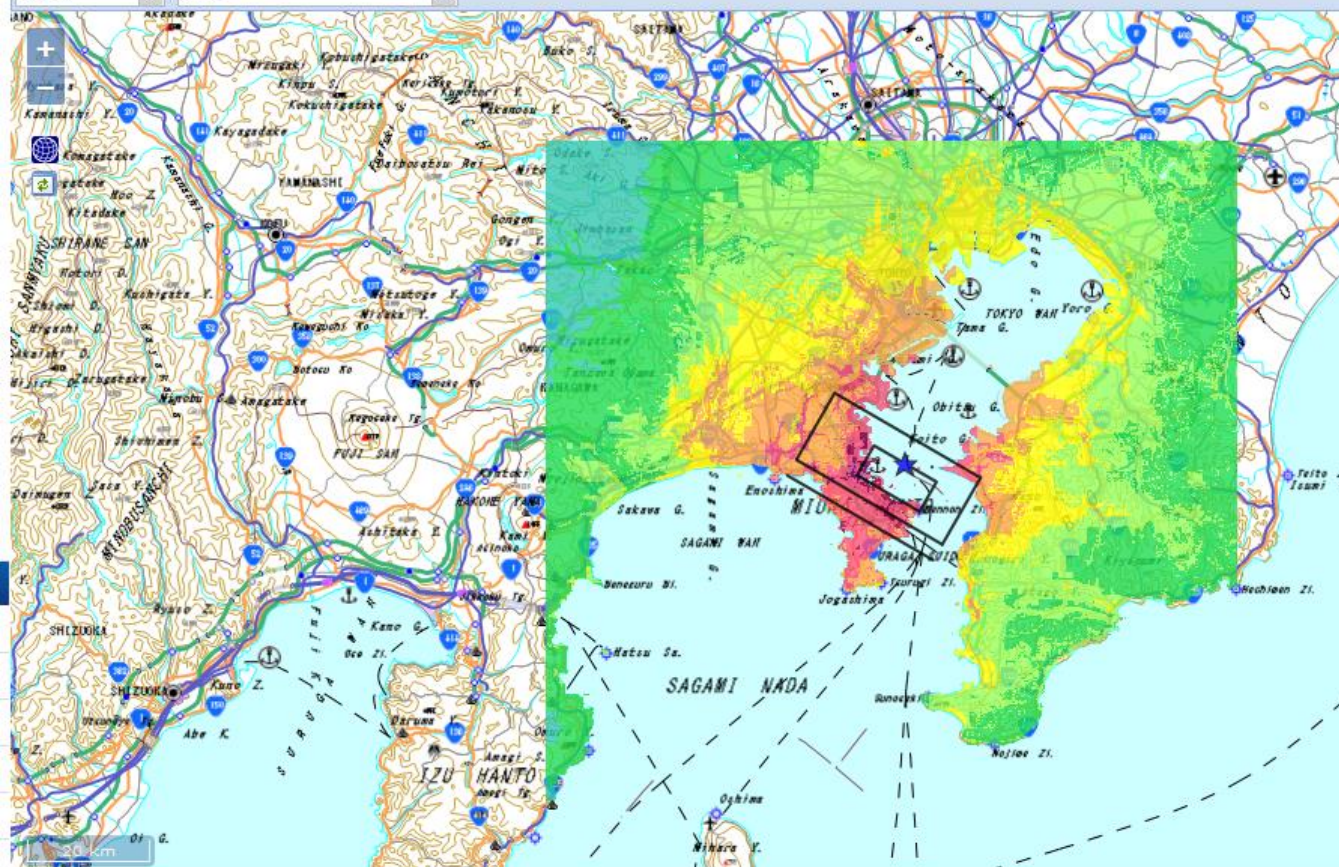


- Tradition is a single idealized scenario for an M9 earthquake.
- We'll make multiple realizations for a scenario, framed probabilistically.
- Engineering, Social, Behavioral, and Economic, Sciences.

東京鄰近斷層景況模擬

PSHM Averaged Hazard PSHM by EQ Cat. CPE **SESM** Site Amp. Subsurface Structure Exposed Pop.

CASE1 ▼ UMA ▼



Only Major Active Fault Zones are selectable in SESM

3 or under 4 5 Lower 5 Upper 6 Lower 6 Upper 7 (UMA)

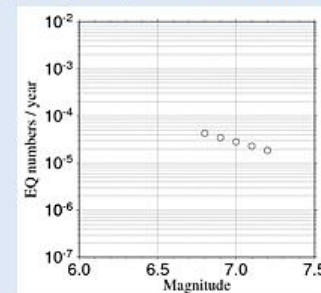
Seismic Activity Model -Average Case-,2017

Miura-hanto fault group (Main part/Kinugasa /Kitatake fault zone)

Magnitude	6.7(Mw)
Probabilistic Model	BPT
Mean Recurrence Interval[Years]	3400.0
The Latest Event[Years ago]	1417.0
Probability of Occurrence in 30 years[%]	0.01
Probability of Occurrence in 50 years[%]	0.01

[Fault Parameter](#) [Display 3D faults](#)

EarthQuakes whose Traces are Hardly Recognized (EQTHR) from surface evidences



Close

GSI Tiles (English)

三浦半島断層群主部
衣笠・北武断層帯

分散処理システムによる地震被害推定



山腳斷層先導案例

未來30年台灣孕震構造之發震機率圖

中台灣

- 10 苗栗前緣構造
 - 11 銅鑼構造
 - 12 東部苗栗構造
 - 13 獅潭斷層
 - 14 三義斷層
 - 15 屯子斷層
 - 16 彰化斷層
 - 17 車籠埔斷層
 - 18 大茅埔-雙冬斷層
 - 20 梅山斷層
- 規模大於6.5 25%
規模大於6.7 11%
規模大於7.0 7%

南台灣

- 19 九芎坑斷層
 - 21 嘉義前緣構造
 - 22 木屐寮-六甲斷層
 - 23 中洲構造
 - 24 新化斷層
 - 25 後甲里斷層
 - 26 旗山斷層
 - 27 小崗山斷層
 - 28 高屏溪構造
 - 29 潮州斷層
 - 30 恆春斷層
 - 31 恆春離岸構造
- 規模大於6.5 64%
規模大於6.7 62%
規模大於7.0 13%

北台灣

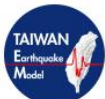
- 01 山腳斷層
 - 02 雙連坡構造
 - 03 楊梅構造
 - 04 湖口斷層
 - 05 鳳山溪走向滑移構造
 - 06 新竹斷層
 - 07 新城斷層
 - 08 新竹前緣構造
 - 09 斗煥坪構造
 - 37 北宜蘭構造
 - 38 南宜蘭構造
- 規模大於6.5 29%
規模大於6.7 16%
規模大於7.0 4%

東台灣

- 32 朱崙斷層
 - 33 花東縱谷斷層
 - 34 中央山脈構造
 - 35 鹿野斷層
 - 36 太麻里海岸線構造
- 規模大於6.5 34%
規模大於6.7 34%
規模大於7.0 20%



此計算參考台灣地震模型所提供之孕震構造參數。
孕震構造13,15,16,17,20,22,24,32,33採用布朗過程時間模型
(BPT)，其餘孕震構造使用泊松模型(Poisson)估算。



基準日2015年1月1日

未來50年台灣孕震構造之發震機率圖

中台灣

- 10 苗栗前緣構造
 - 11 銅鑼構造
 - 12 東部苗栗構造
 - 13 獅潭斷層
 - 14 三義斷層
 - 15 屯子斷層
 - 17 車籠埔斷層
 - 18 大茅埔-雙冬斷層
 - 20 梅山斷層
- 規模大於6.5 38%
規模大於6.7 18%
規模大於7.0 12%

南台灣

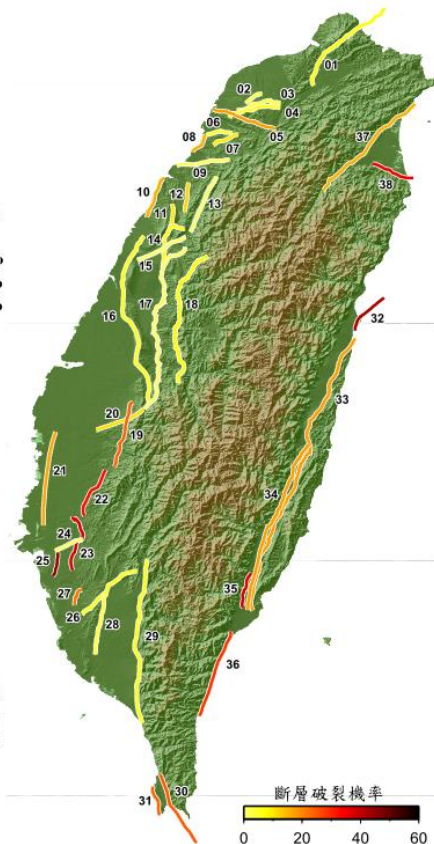
- 19 九芎坑斷層
 - 21 嘉義前緣構造
 - 22 木屐寮-六甲斷層
 - 23 中洲構造
 - 24 新化斷層
 - 25 後甲里斷層
 - 26 旗山斷層
 - 27 小崗山斷層
 - 28 高屏溪構造
 - 29 潮州斷層
 - 30 恆春斷層
 - 31 恆春離岸構造
- 規模大於6.5 82%
規模大於6.7 80%
規模大於7.0 21%

北台灣

- 01 山腳斷層
 - 02 雙連坡構造
 - 03 楊梅構造
 - 04 湖口斷層
 - 05 鳳山溪走向滑移構造
 - 06 新竹斷層
 - 07 新城斷層
 - 08 新竹前緣構造
 - 09 斗煥坪構造
 - 37 北宜蘭構造
 - 38 南宜蘭構造
- 規模大於6.5 44%
規模大於6.7 25%
規模大於7.0 7%

東台灣

- 32 朱崙斷層
 - 33 花東縱谷斷層
 - 34 中央山脈構造
 - 35 鹿野斷層
 - 36 太麻里海岸線構造
- 規模大於6.5 50%
規模大於6.7 50%
規模大於7.0 31%



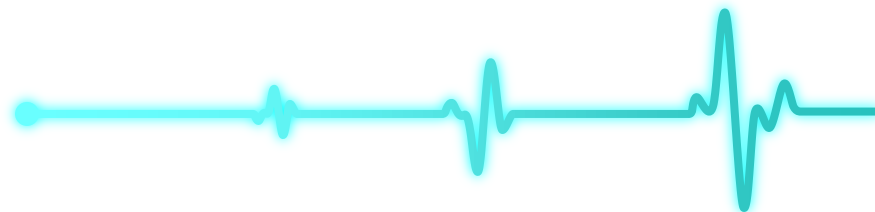
此計算參考台灣地震模型所提供之孕震構造參數。
孕震構造13,15,16,17,20,22,24,32,33採用布朗過程時間模型
(BPT)，其餘孕震構造使用泊松模型(Poisson)估算。



基準日2015年1月1日

「大規模地震情境模擬與災損推估」 震源情境地動模擬先導研究：山腳斷層

馬國鳳	中央大學 (召集人)	顏銀桐	中興顧問社
陳正宏	台灣大學	謝銘哲	中興顧問社
吳逸民	台灣大學		
林正洪	中研院		
徐濬德	台灣大學		
饒瑞鈞	成功大學		
林啟文	地質調查所		
蕭乃祺	氣象局地震中心		



緣由

- 依 **2017 年 5 月 11 日中央災害防救會報第 36 次會議報告決議**，責由科技部進行「震源情境」與「災損推估」工作，另責由內政部進行「因應對策」工作。
- 連結及盤點過往三面向議題之科研及實務成果，且選擇讓社會有感之衝擊案例，彰顯防災具體作為之嶄新議題。
- **整合「震源情境」、「災損推估」、「因應對策」三大方向**，整合分析呈現具體上可作為未來防災整備之重要研究成果，**達成降低大規模地震對於都會區之災害衝擊與損失**，以及加速復原重建效率。

震源情境

斷層/孕震構造 選定

建立地震源破裂情境模擬準則

巨觀參數- 斷層幾何

- 震源參數

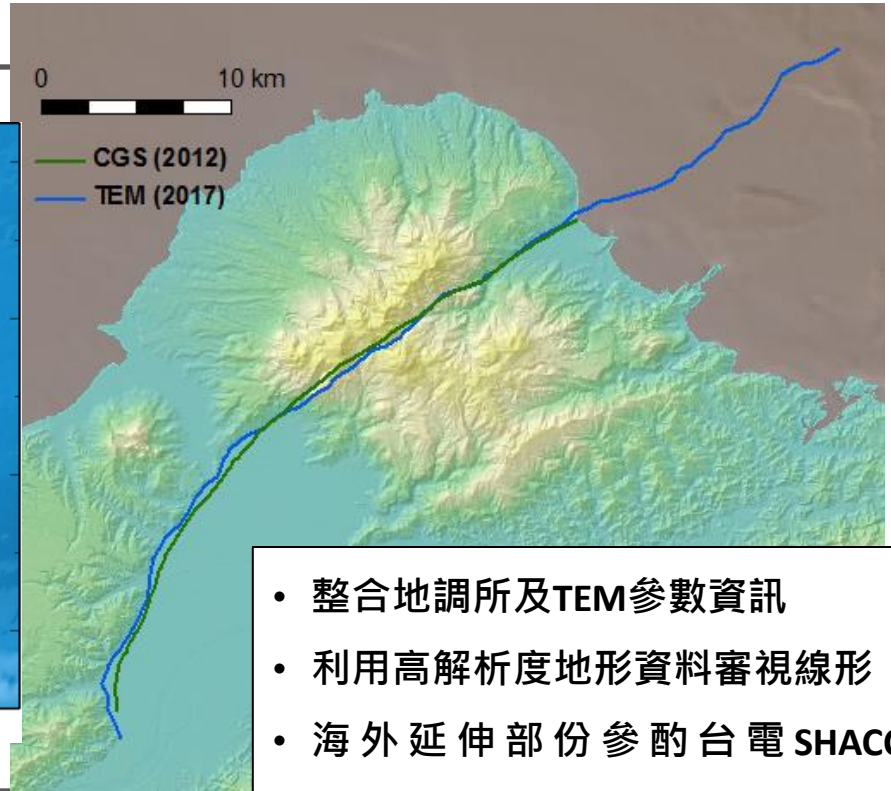
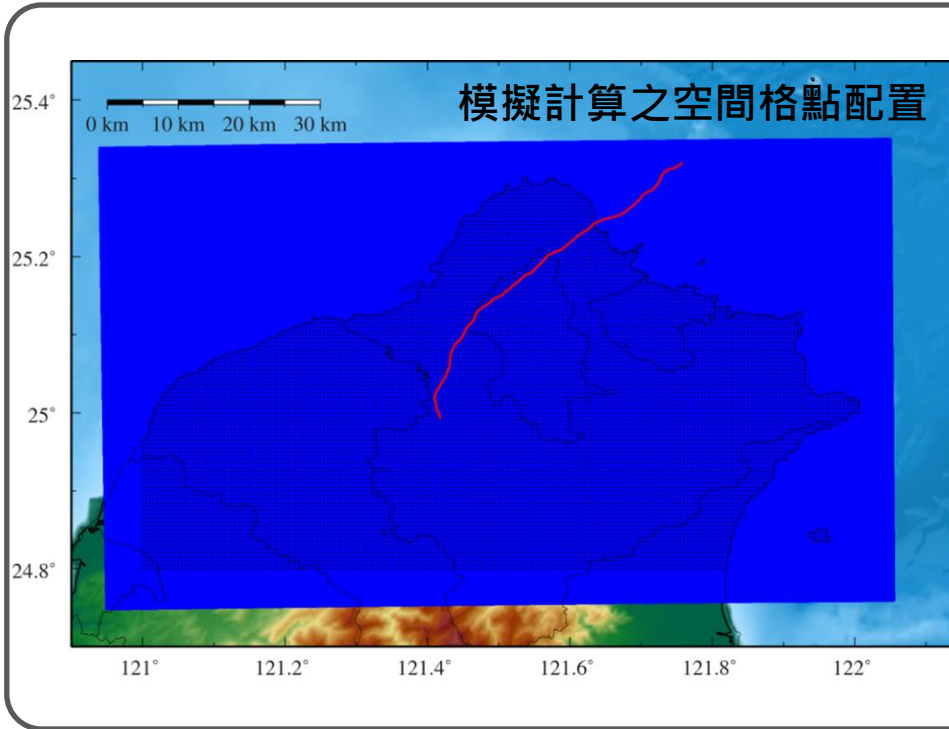
微觀參數- 錯動量分佈 (Asperity distribution)

- 震源破裂方向

- 震源時間函數

* 參考「日本地震調查研究推進本部」之「震源斷層を特定した地震の強震動予測手法」(Recipe)律定震源參數

情境模擬小組之震源情境擬定

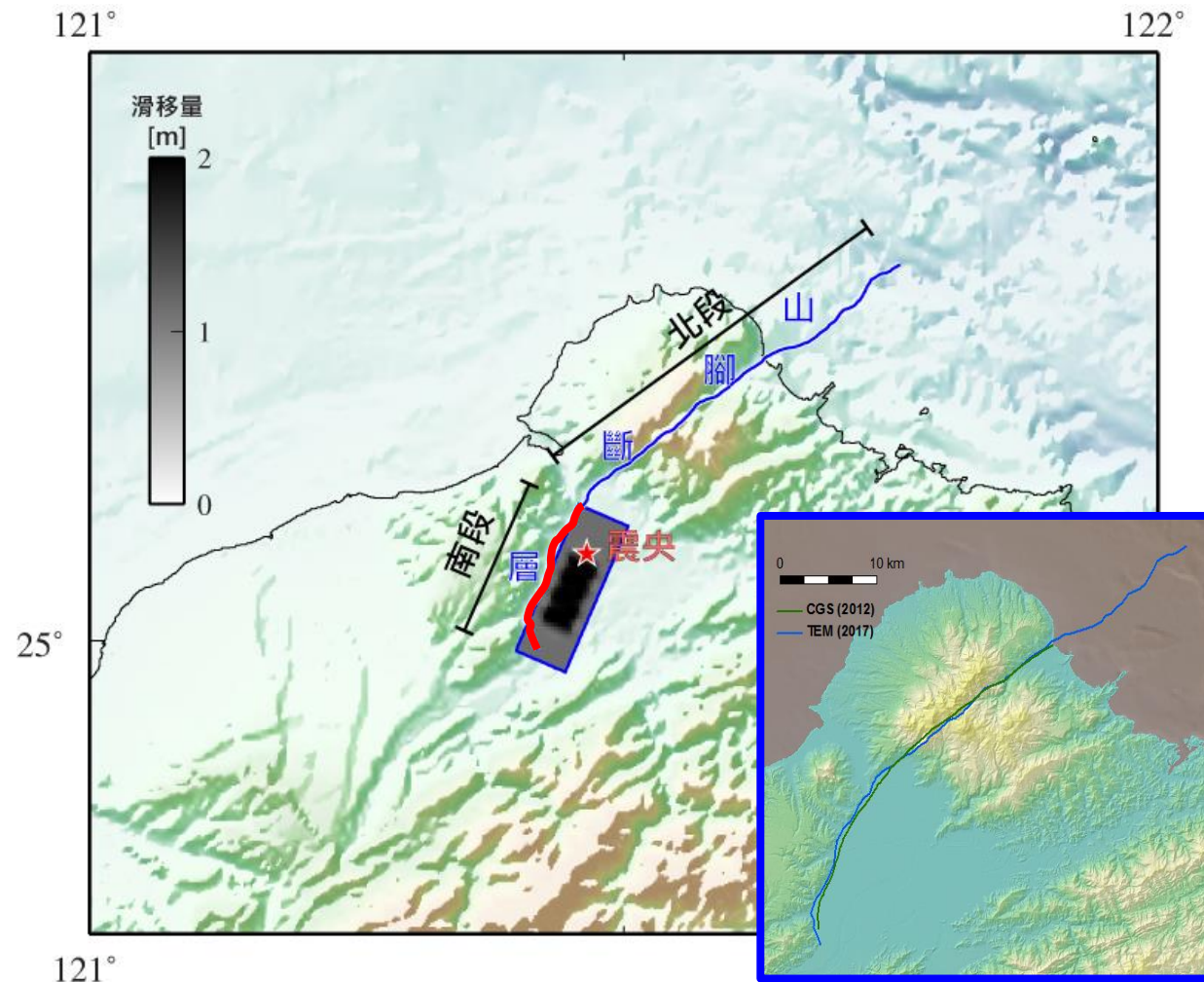


黑點：NCDR 500公尺網格
(共 **13,216** 格點作為虛擬站)

藍色區域：FD網格，200 公尺格距

- 整合地調所及TEM參數資訊
- 利用高解析度地形資料審視線形
- 海外延伸部份參酌台電 SHACC level 3 計畫成果
- 考量時程限制、參數複雜性及代表性：情境模擬震源版本，建議使用地調所震源參數中值搭配TEM之斷層長度

發震破裂情境擬定--山腳斷層南段



- 目標為存在於大臺北都會區之高危害潛勢之山腳斷層
- 綜合經濟部地質調查所公布之台灣活動斷層與科技部台灣地震模型(TEM)成果彙整山腳斷層南段之發震破裂幾合與運動模型

山腳斷層景況模擬 - 震源參數

巨觀震源參數

地震矩規模, M_w	6.6
地震矩 (Nt-m)	0.83×10^{19}
斷層尺度 (km)	長：16、寬：13
斷層面積 (km ²)	208
斷層面與震源機制 (°)	走向：24；傾角：65；滑移角：-90



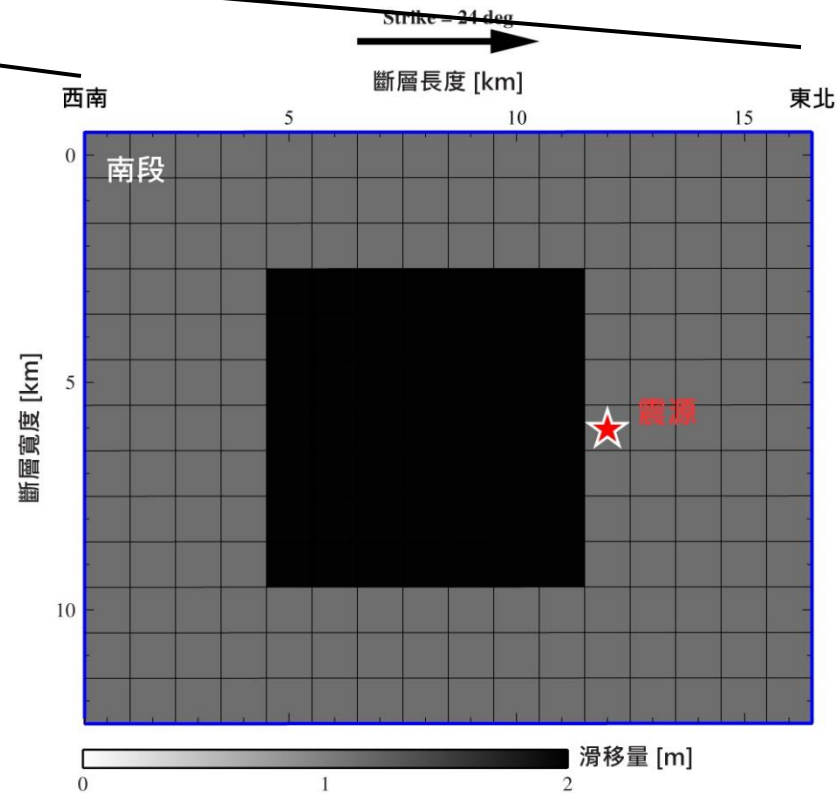
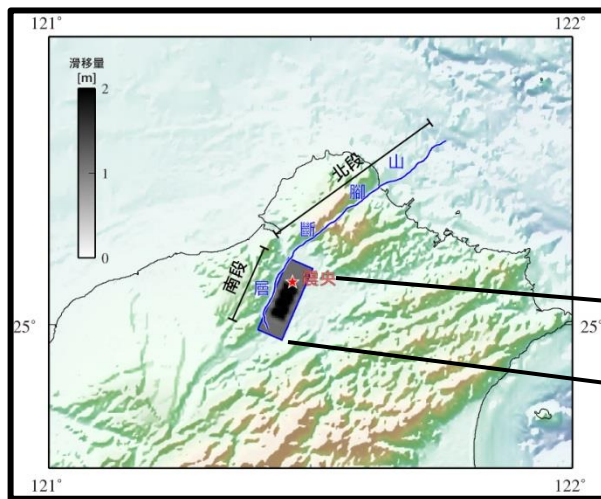
微觀震源參數

背景區域	
破裂速度 (km/s)	2.4
滑移量 (m)	1.13
震源時間函數	1-Hz 高斯函數
Asperity	
邊長 (km)	6.82
面積 (km ²)	46.60
滑移量 (m)	1.97
震源時間函數	1-Hz 高斯函數

子斷層數目 $16 \times 13 = 208$
(1km x 1km)

208*13,216 計算量

山腳斷層景況模擬 - 震源參數

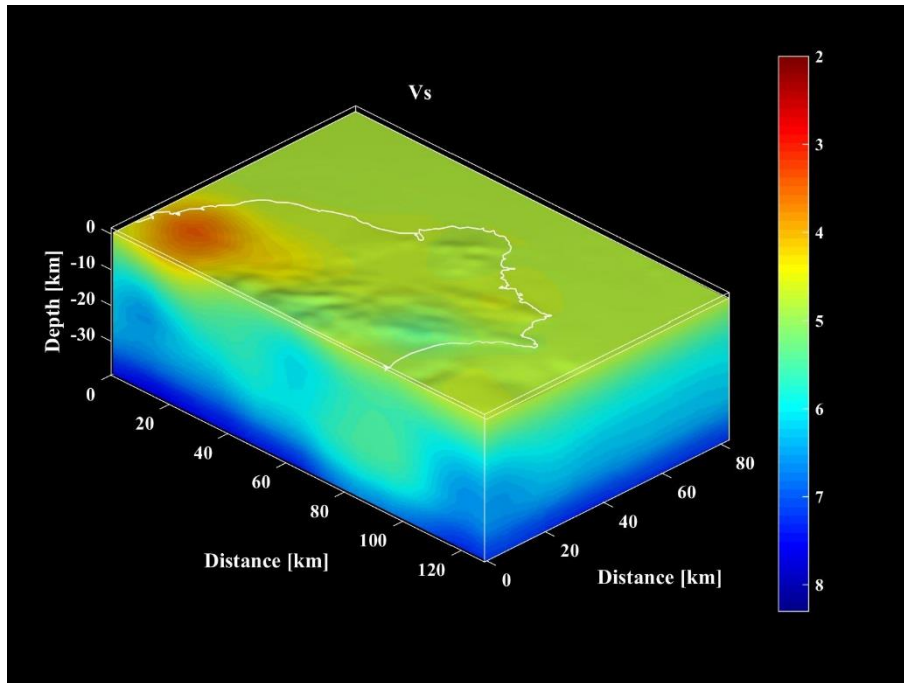


低頻模擬 + 高頻模擬 = 寬頻地震動模擬 ~ 10 Hz

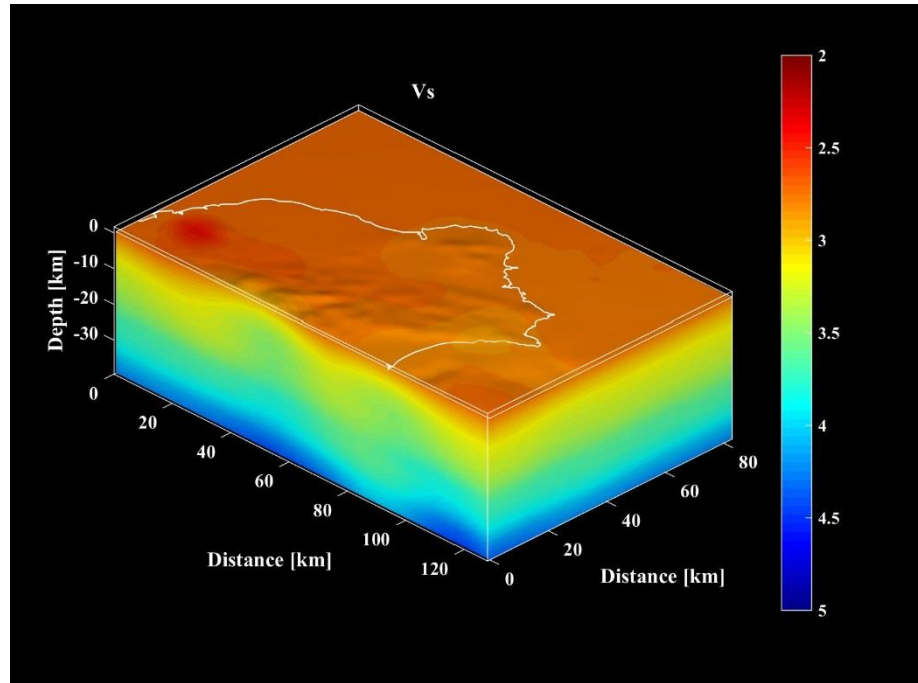
山腳斷層景況模擬

- 景況模擬之構造模型 (低頻模擬) -

- 考慮近期地震波速度構造(Kuo-Chen et al., 2012)與數值地形(ETOPO1)模型
- 網格解析力為 200 公尺



壓縮波速度構造

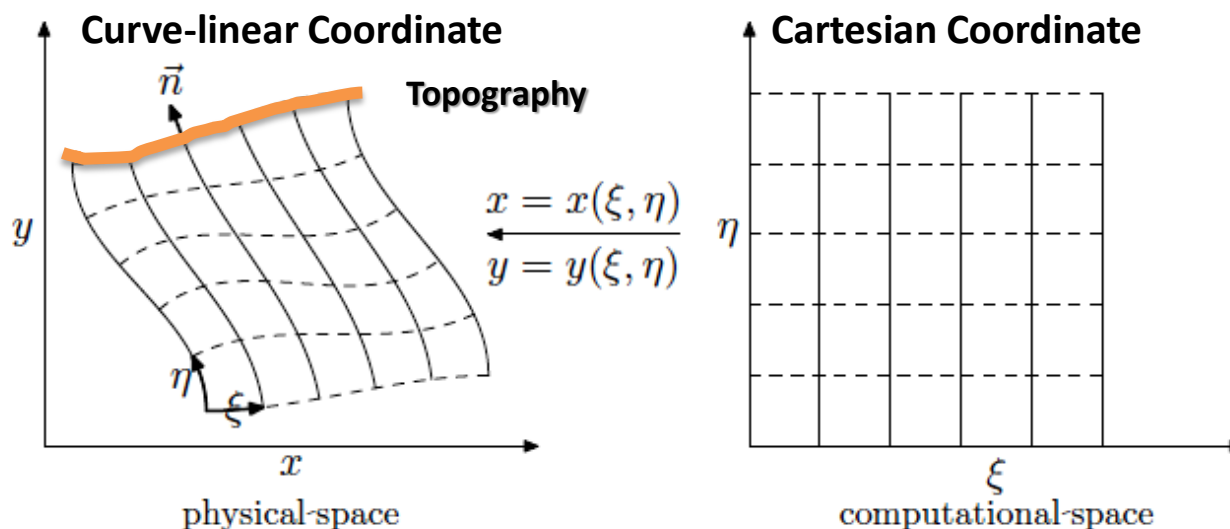


剪力波速度構造

低頻地震波模擬：三維有限差分法

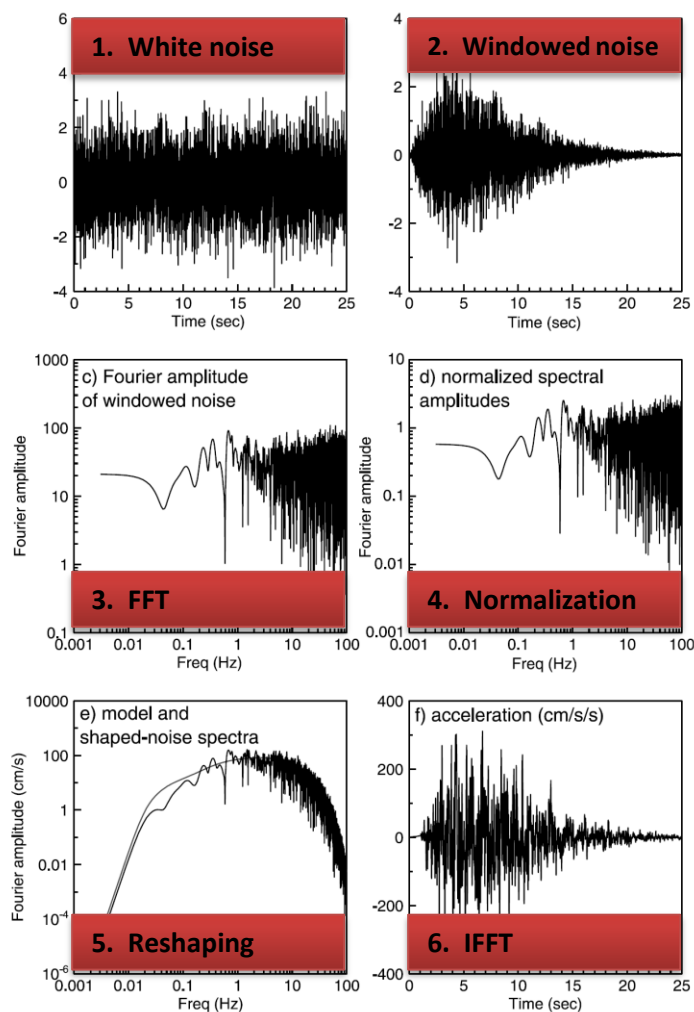
● Traction-Imaging Method (Zhang & Chen, 2006)

- Non-uniform grid (coordinate mapping)
- Modeling internal interfaces and topography
- Requiring less computational resources

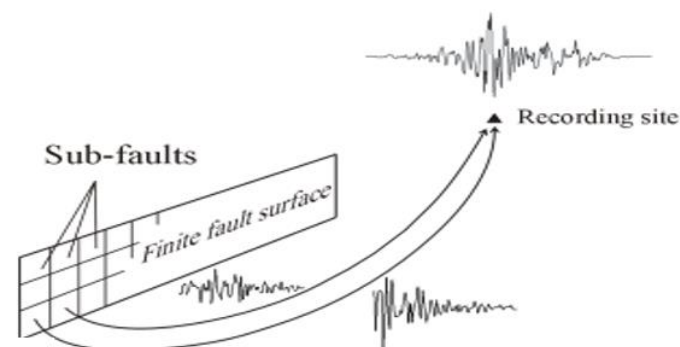


(Zhang & Chen, 2006)

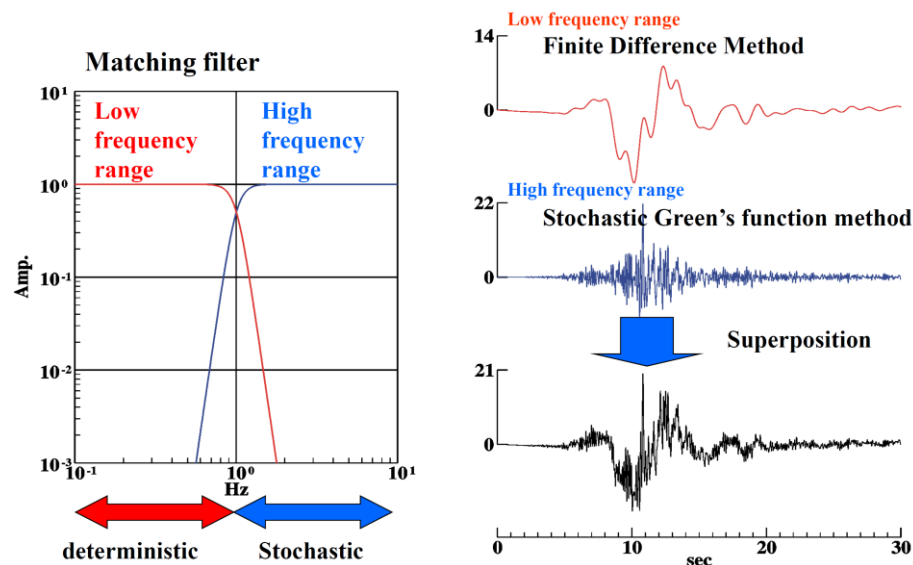
高頻地震波模擬：隨機式方法



Point-source HF synthetic
Boore, 2003



Finite-fault HF synthetic



Hybrid method for evaluation of ground motion
Fujiwara & Morikawa, *ESG5*, 2016

先導計畫產出成果

Finite-Difference Method

- Efficiency Benchmark for Traction Imaging Method FDM-

- Grid spacing:
 - Horizontal: **200 m**
 - Vertical: **200-500 m**
- Time increment: **0.02 sec**
- Resolving frequency up to **< 1 Hz**
- Total grids (x,y,z): **(640,416,131)**
- Numbers of processor (x,y,z): **(8,8,1)**
- Total time step: **2500**
(for 50 sec duration)
- Total **~2.5Hr** for each simulation

Stochastic Method

- Efficiency Benchmark for EXSIM-

Grid spacing:

Horizontal: **500 m**

Time increment: **0.005 sec**

Resolving frequency: **1-10 Hz**

Total grids: **13,216**

Numbers of processor: **64**

Total **20 min** for each simulation

平行計算資源



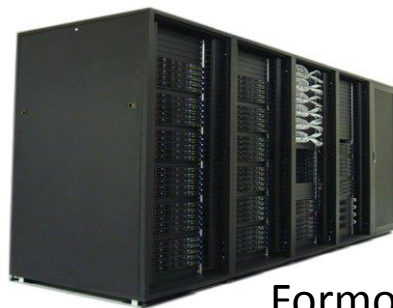
御風者ALPS



Formosa 5



IBM Cluster 1350/ 1350A



Formosa 3

國家實驗研究院
國家高速網路與計算中心



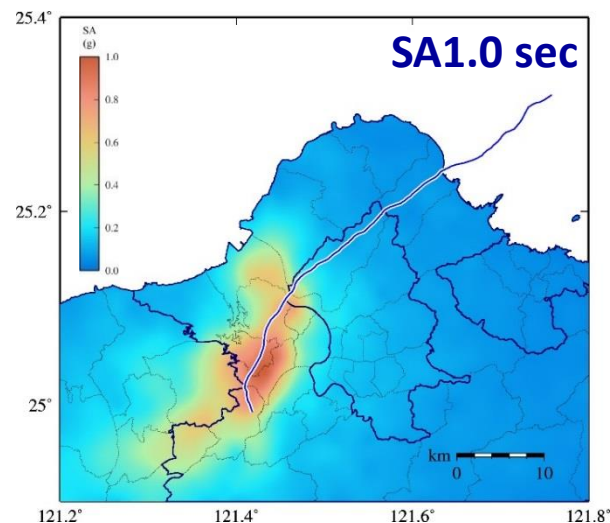
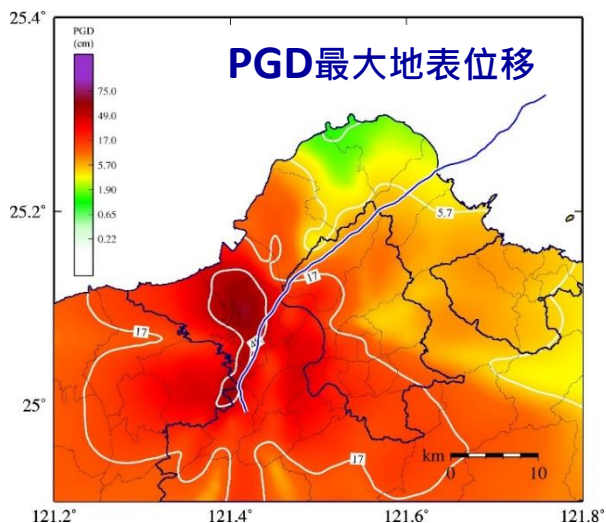
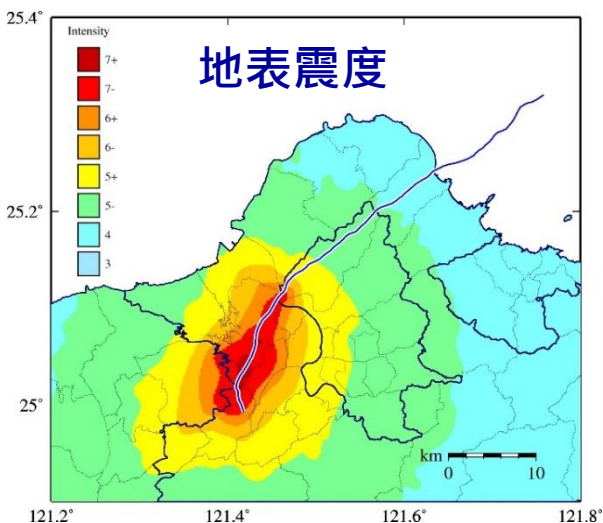
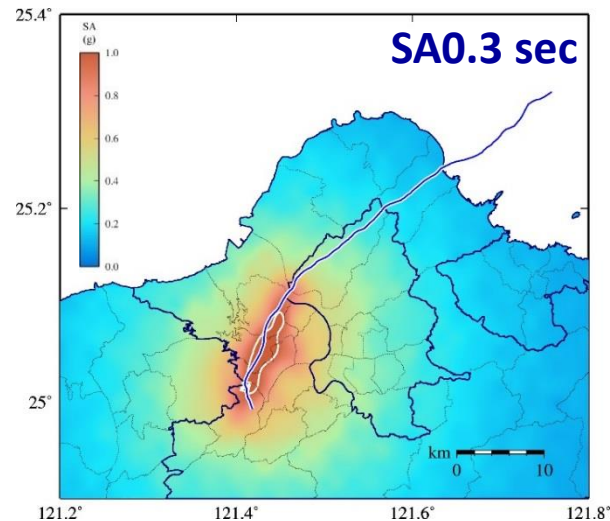
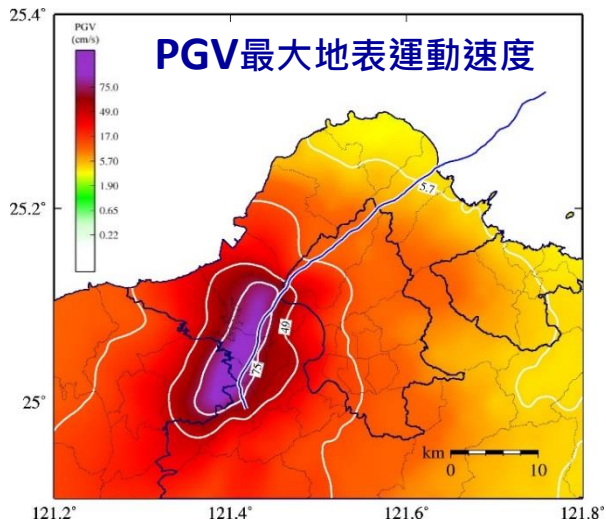
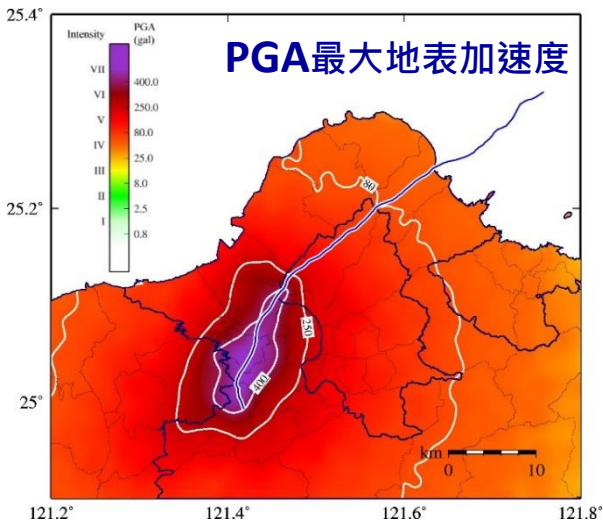
中央研究院
網路與科學計算專題中心



國立中央大學
地球科學計算中心

地震波傳遞情境模擬之災損評估相關參數

- 以工程基盤(剪力波速為760公尺/秒)為基準



三維地震波傳遞之時空結果



感謝聆聽

Q&A



特別感謝：科技部山腳斷層先導計畫『情境模擬』及『災損評估』小組成員
臺灣地震模型組織 (Taiwan Earthquake Model, TEM)
防災中心都會巨災模擬組謝銘哲 博士及其同仁



財團法人中興工程顧問社