



# 地表振動紀錄應用於坡地崩塌災害 警戒資訊之研究

林冠瑋

國立成功大學地球科學系

106年8月8日



# 大綱

- 研究背景與目標
- 相關研究回顧
- 研究流程與方法
- 目前成果
  - 大規模崩塌判釋圖資的收集與彙整
  - 崩塌地動訊號的偵測結果與定位、配對
  - 大規模崩塌的降雨警戒值的分析結果
- 結論
- 未來發展



# 研究背景與目標

## ■ 背景

- 山崩發生的確切時間、位置和規模是研究災害影響的重要資訊。但在實際情況中，獲得崩塌發生的時間資訊非常困難，後續也影響災害警戒模式的建立。
- **Lin et al. (2010)**、**Kao et al. (2012)**、**Ekström and Stark (2013)** 及 **Zhao et al. (2014)** 等研究已證實地震儀會記錄鄰近邊坡塊體運動所產生的地表振動。

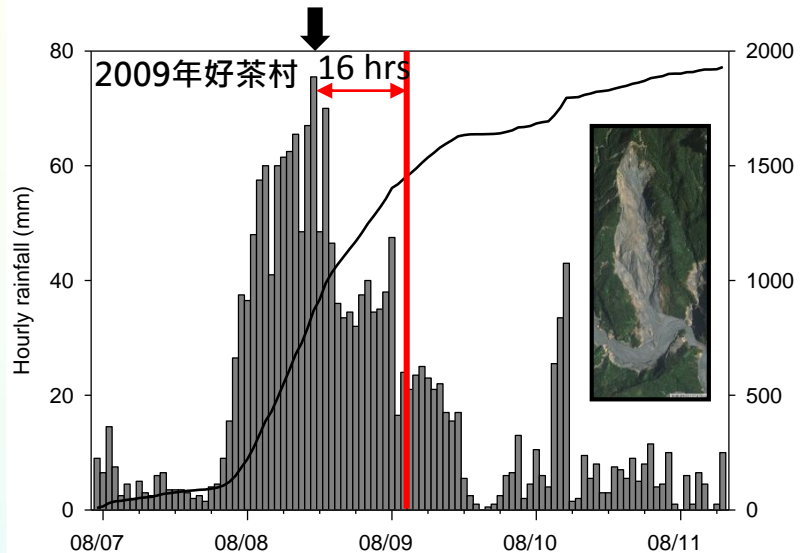
## ■ 目標

- 收集地表振動訊號，從中偵測出崩塌引致的地動訊號，並計算訊號特徵。
- 藉由地動訊號偵測所得之崩塌發生時間，完成各崩塌地之降雨資料收集，並分析大規模崩塌發生之降雨條件。



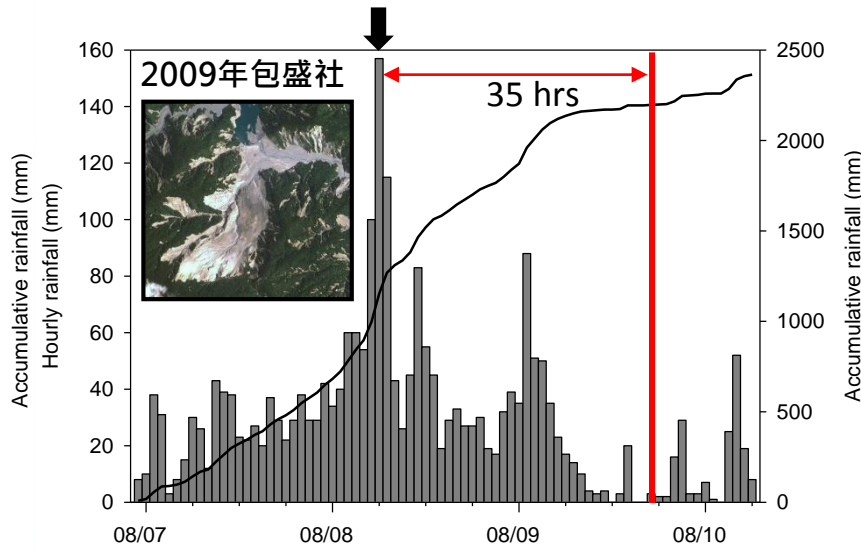
# ▶ 缺乏山崩或土石流正確發生時間資訊可能造成的問題：

猜測的發生時間



雨量統計方法	I (mm/hr)	D (hr)	R (mm)
整場雨	18	105	1890
最大小時降雨量	75.5	36	648
地動訊號偵測崩塌開始時間	24	52	1443.5

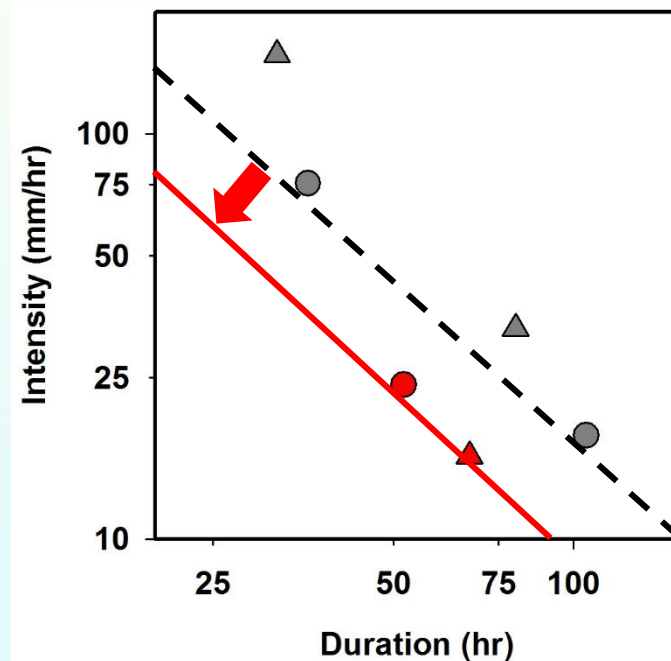
猜測的發生時間



雨量統計方法	I (mm/hr)	D (hr)	R (mm)
整場雨	33	80	2640
最大小時降雨量	157	32	1056
地動訊號偵測崩塌開始時間	16	67	2217



- ▶ 坡地土砂災害發生的確實時間可以透過現地監測儀器、訪問當地居民等方式獲得。但現地觀測儀器的設置無法滿足大量的潛在崩塌地，且可能需耗費大量金錢。訪問人民所得的資訊其實存在根本無法評估的誤差，在降雨強度大的颱風事件中，僅僅數小時的時間誤差便可能產生非常不同的雨量統計結果。



紅色數據點：實際的雨量資訊  
灰色數據點：猜測的雨量資訊



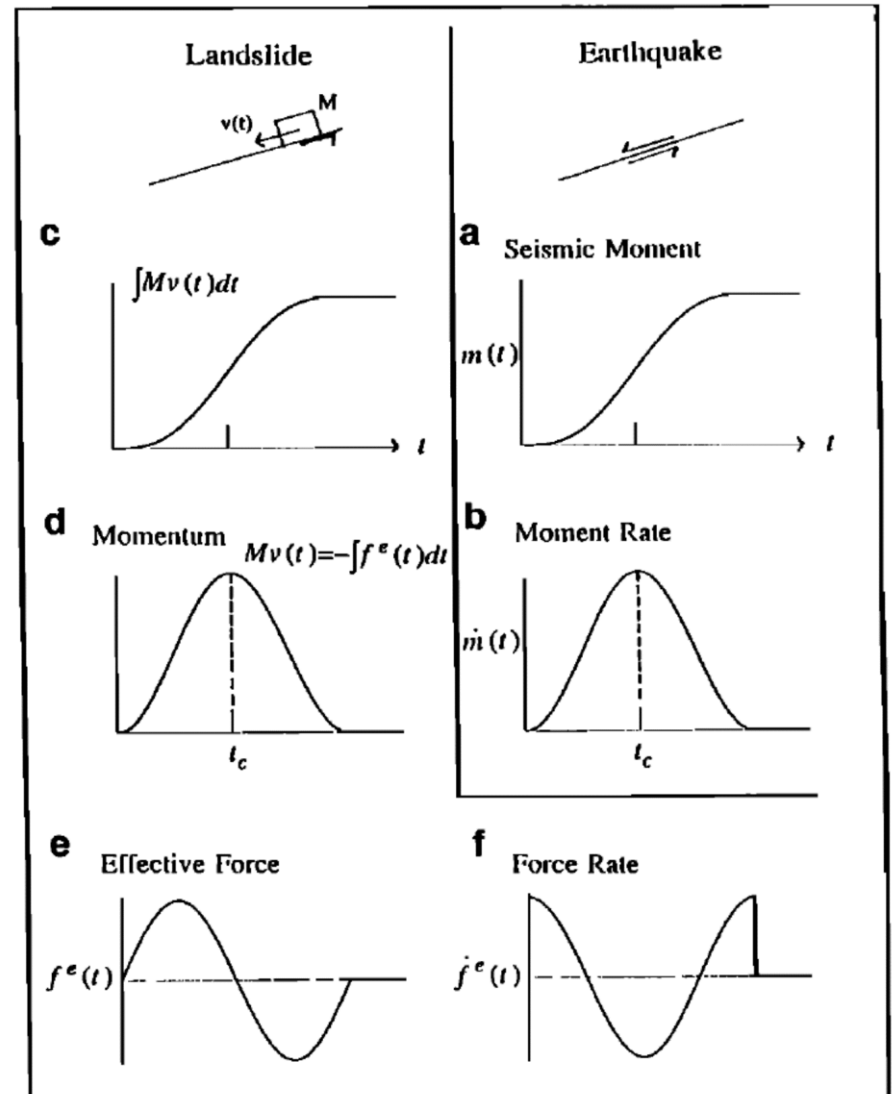
# 相關研究回顧



# 山崩引致地動訊號的機制解釋

Source Time Functions

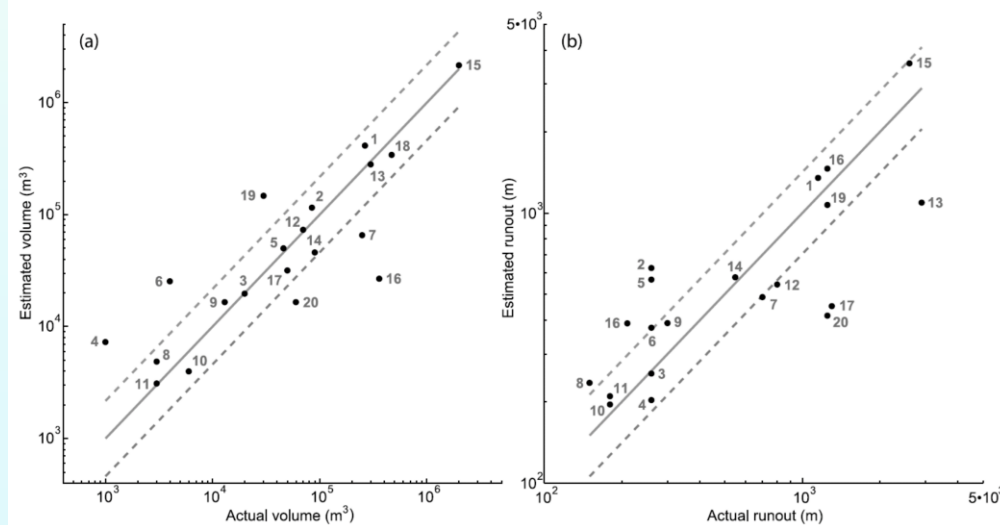
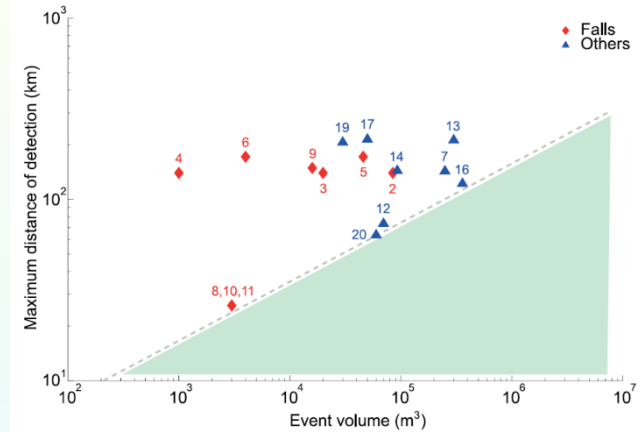
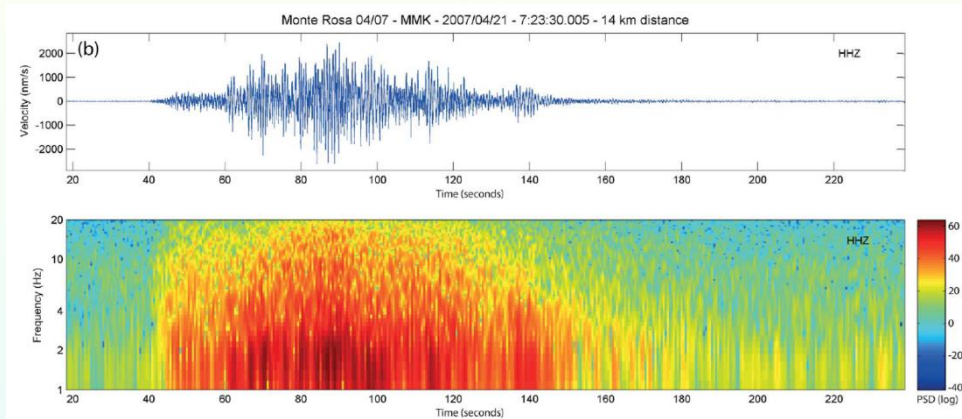
- Kamakatsu H. (1989) Centroid single force inversion of seismic waves generated by landslides. JGR, vol. 94, No. B9, pages 12, 363-12, 374.





# 山崩地動訊號特徵的分析

**Dammeier et al. (2011) Characterization of alpine rockslides using statistical analysis of seismic signals. JGR, VOL. 116, F04024.**

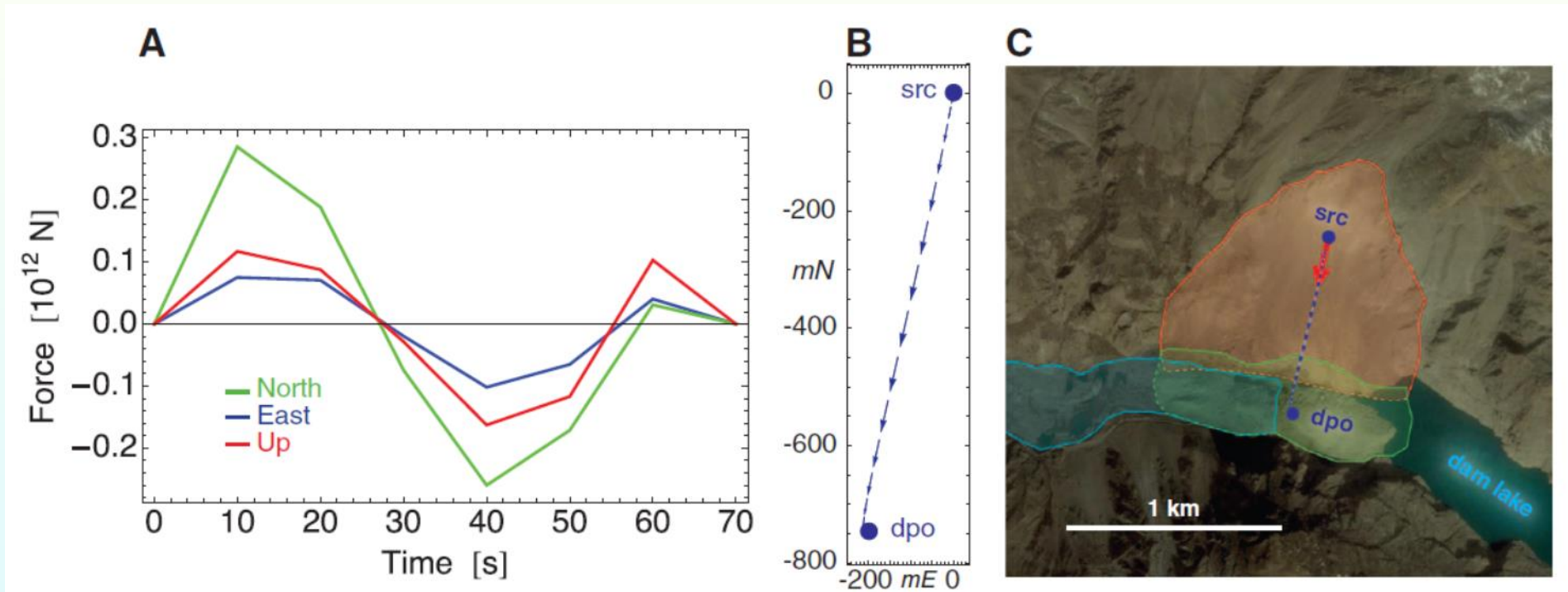






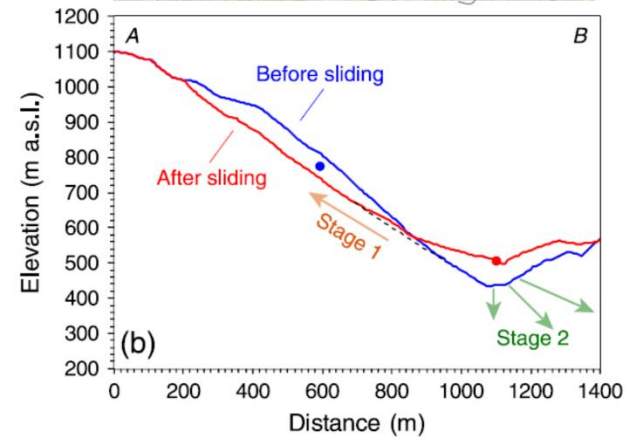
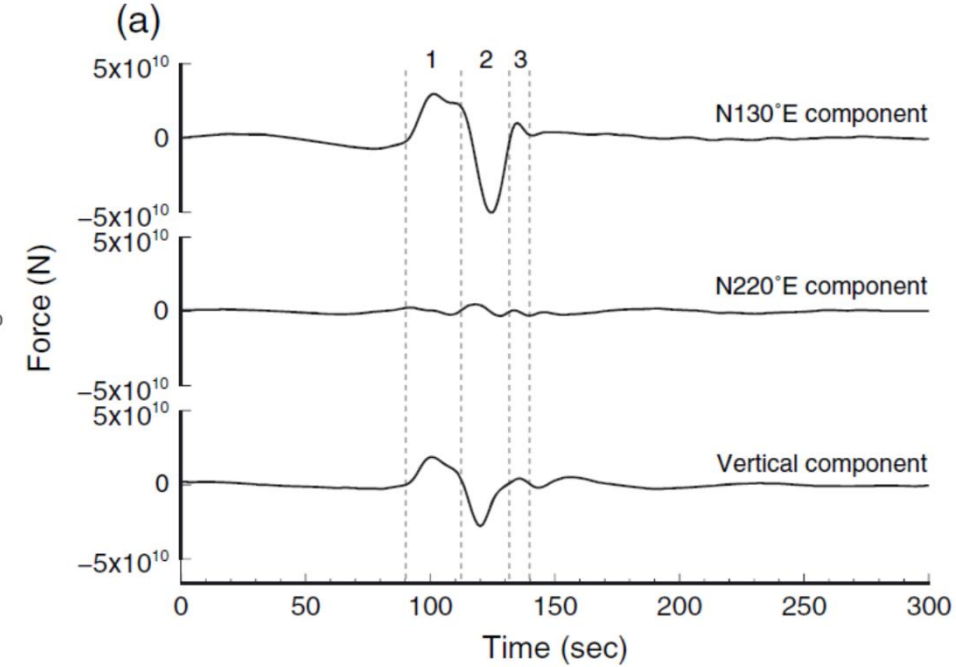
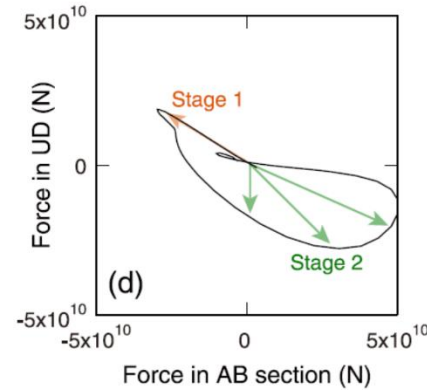
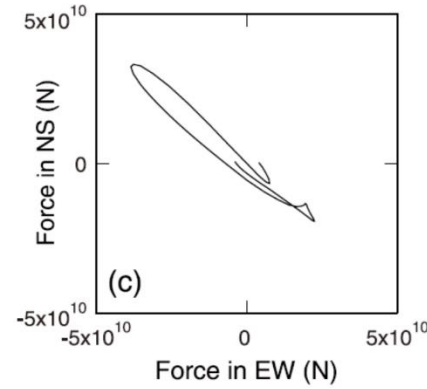
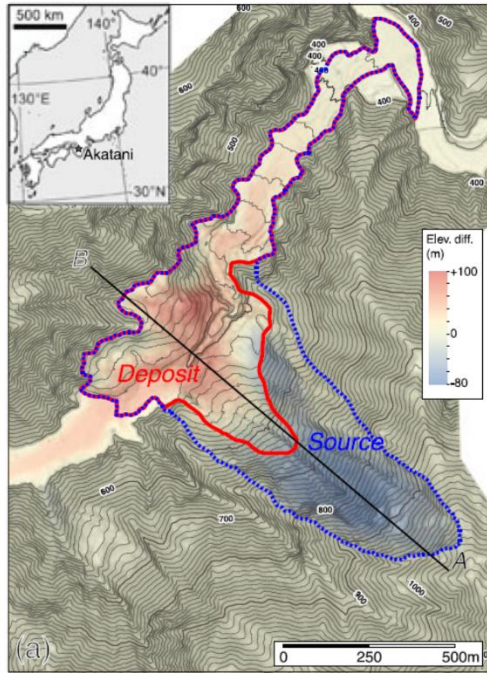
# 山崩地動訊號的反演與應用

- Ekström and Stark (2013) Simple Scaling of Catastrophic Landslide Dynamics. *Science*, 339.





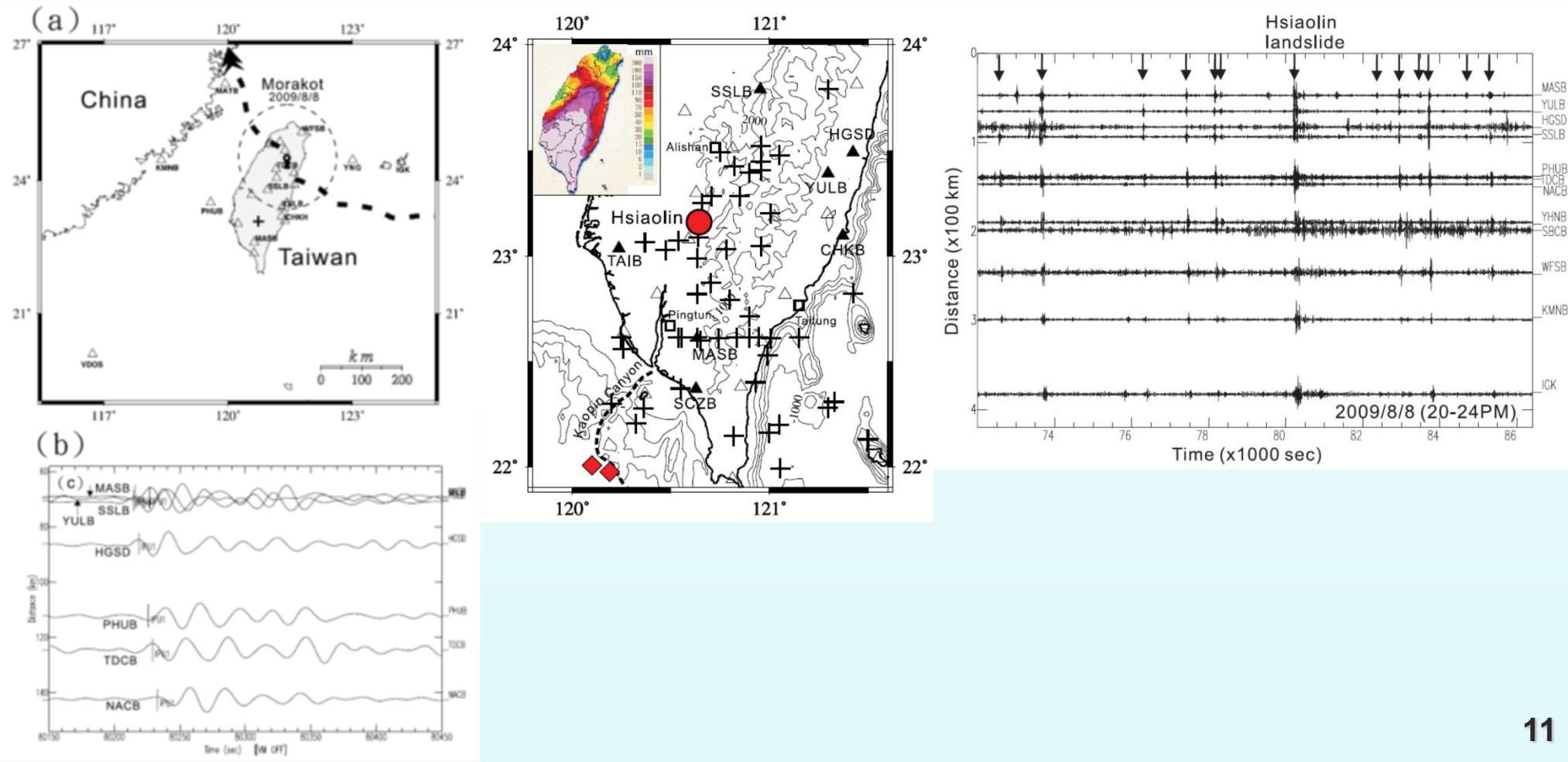
Yamada et al. (2013) Dynamic landslide processes revealed by broadband seismic records. *GRL*, VOL. 40, 2998–3002.





# 以台灣為案例的研究

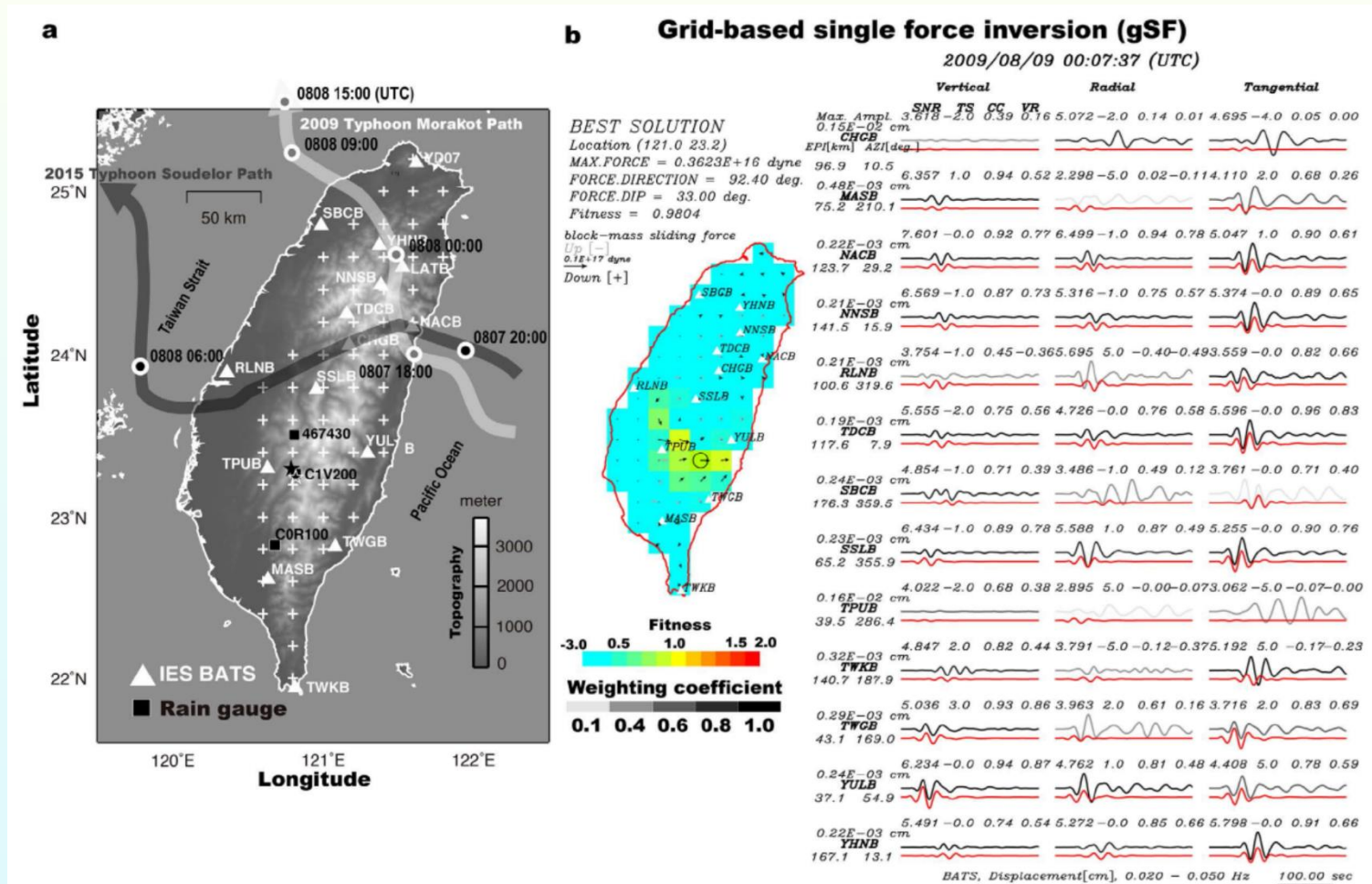
- Lin et al. (2010) Detection of landslides and submarine slumps using broadband seismic networks. GRL, VOL. 37, L22309.





# 以台灣為案例的研究

- Chao et al. (2017) A first near real-time seismology-based landquake monitoring system. Scientific Reports, 7:43510.

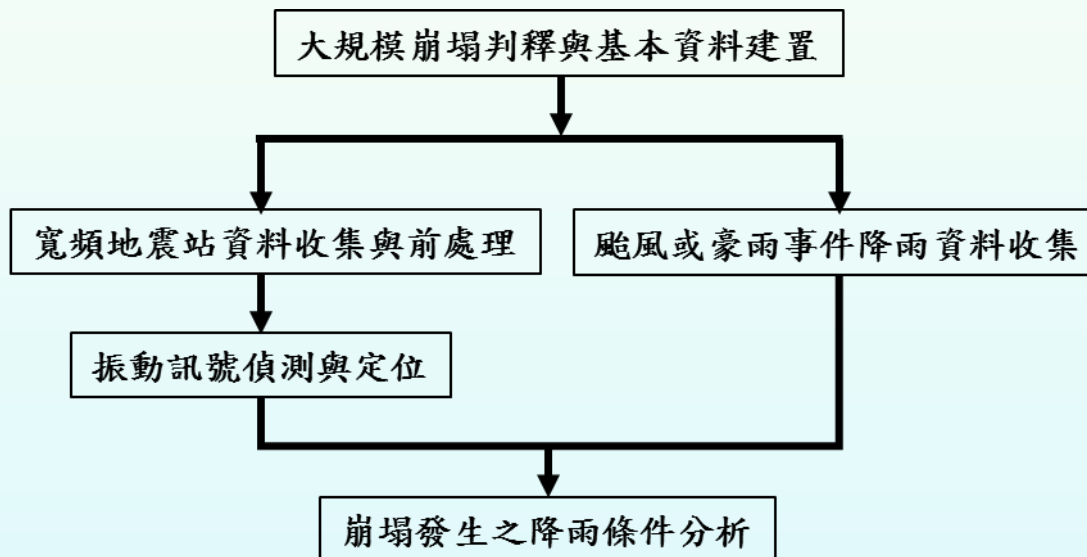




# 研究流程與方法

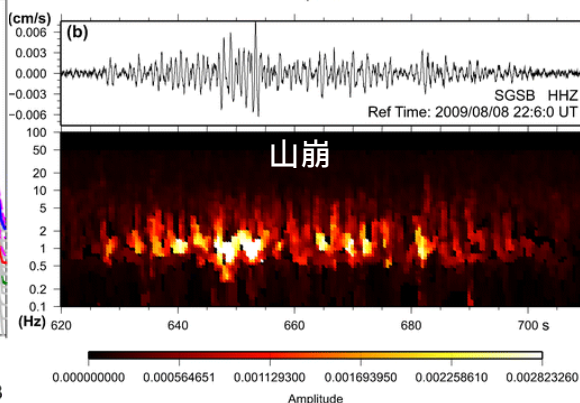
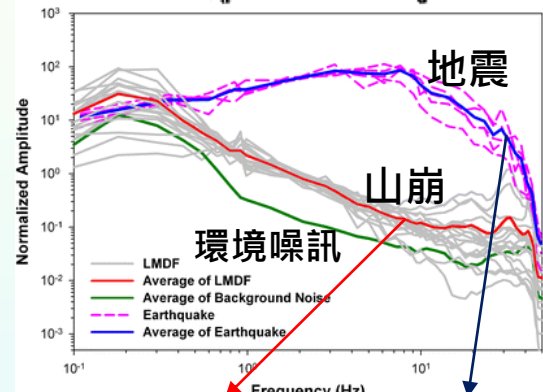
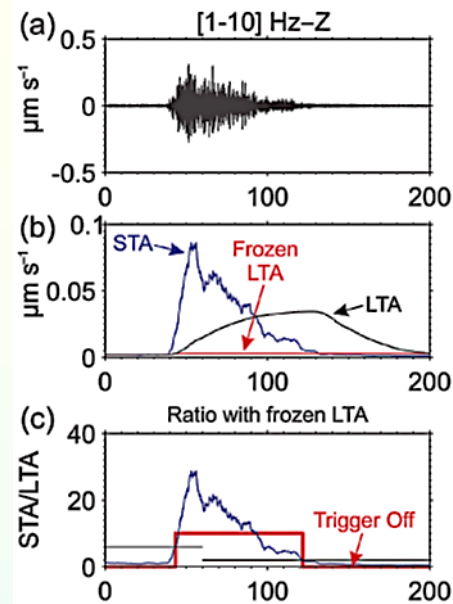
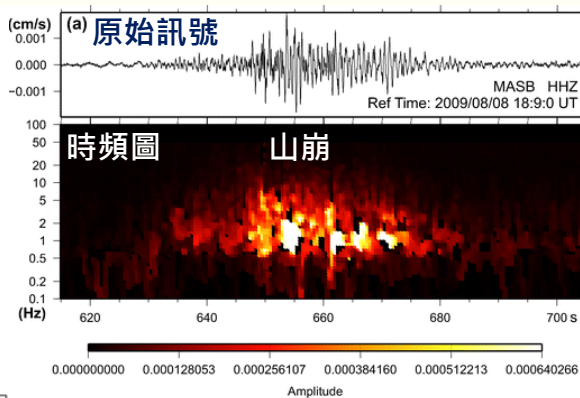
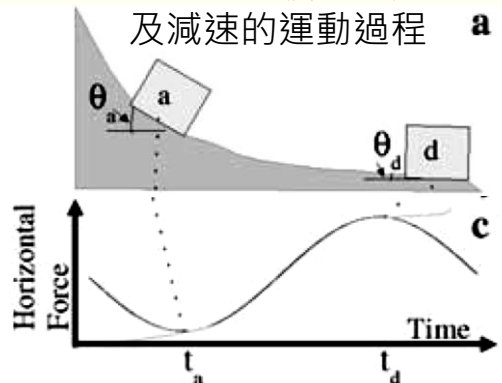
## ■ 研究流程

- 進行大規模崩塌判釋圖層收集與基本資料建置。
- 進行地動訊號判釋。
- 收集崩塌事件之降雨資料，進行降雨條件分析。

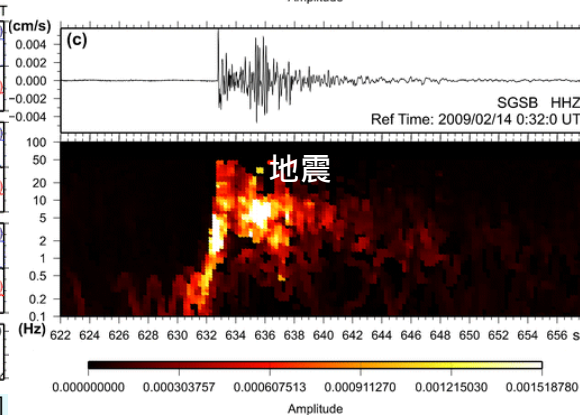
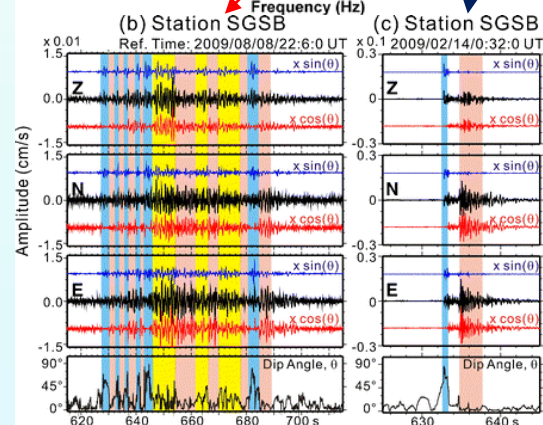
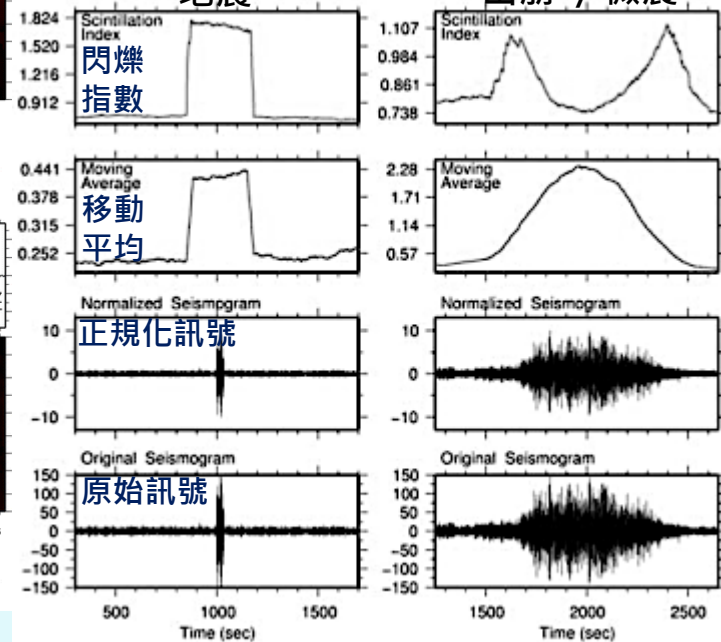




塊體在斜坡上加速  
及減速的運動過程



地震 山崩 / 微震



P波、S波反覆出現

顯著的一個  
P波和S波

(Kao et al., 2012)



# 崩塌引致地表振動訊號自動辨識

▶ 移動平均(MA)及閃爍指數(SI)

▶ 以馬仕站(MASB)為例

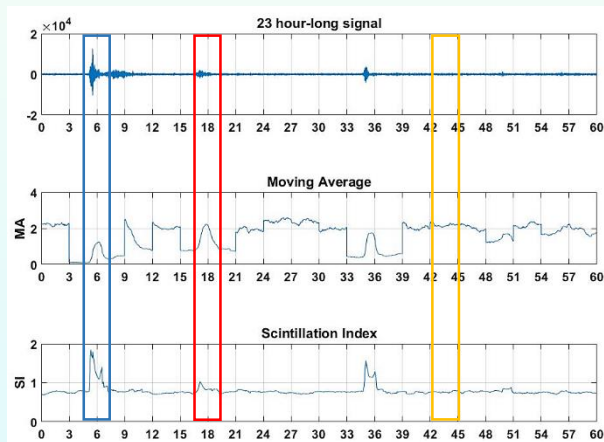
- ▶ 山崩：MA=1.0~2.0, SI=0.8-1.3
- ▶ 地震：MA<1.0, SI>1.3
- ▶ 噪訊：MA>2.0, SI<0.8

▶ 低頻包絡線面積/高頻包絡線面積比值

- ▶ 崩塌地動能量在超過1 Hz後衰退速率快；地震高頻能量衰退速率較慢 (Shelly et al., 2007)。

▶ 偽機率時間序列

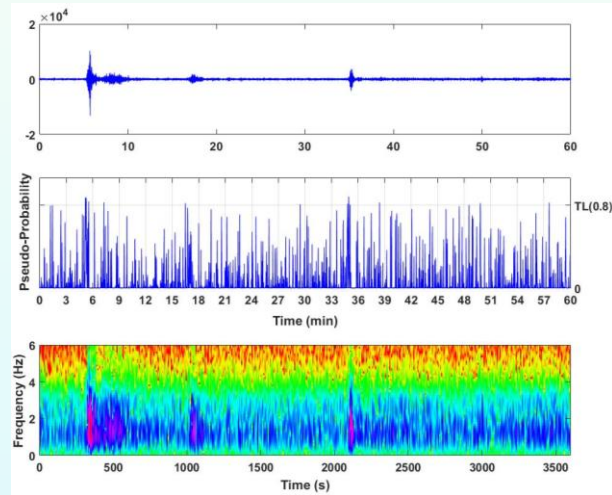
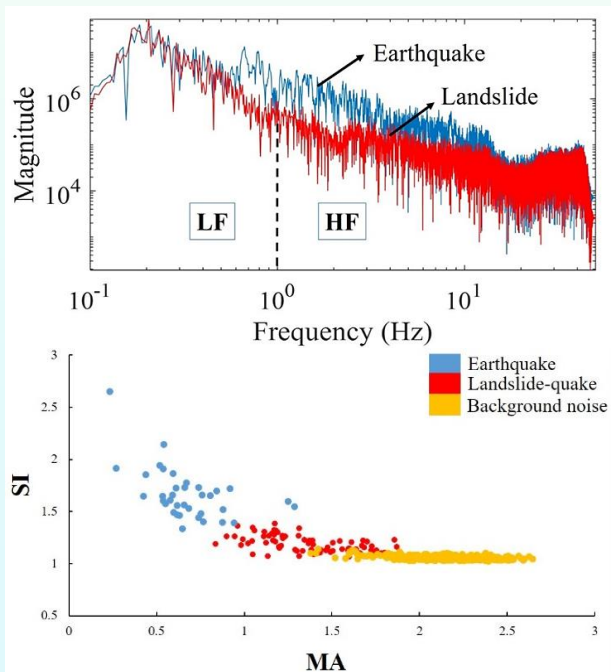
- ▶ 偵測過程同時使用10組不同的STA、LTA及濾波範圍之參數組合，將10組STA/LTA結果藉由統計上的經驗累積分布函數計算轉換為機率值。



地震

山崩  
小林村

環境噪訊

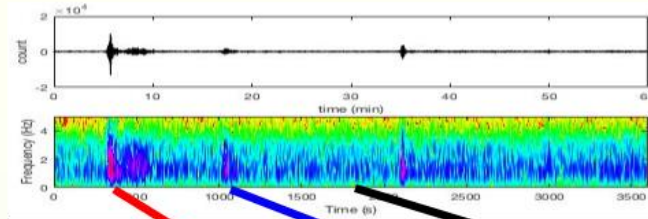




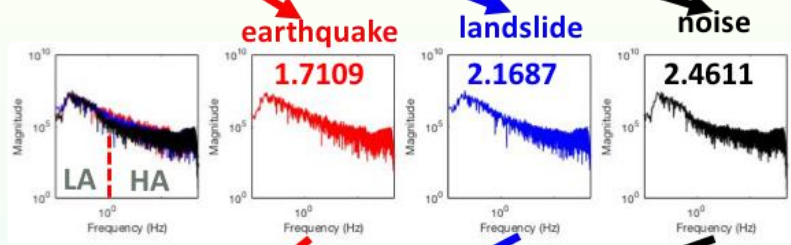
人工辨識

自動辨識

Manual interpretation from spectrogram

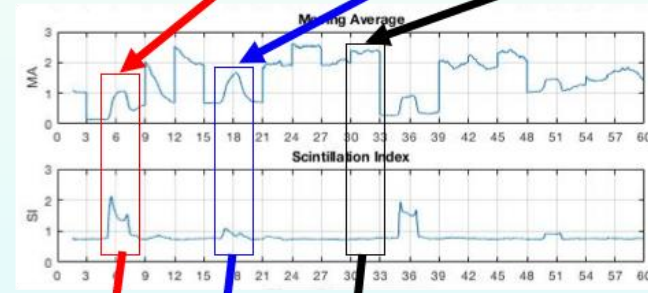


Ratio of low- and high-frequency envelope area



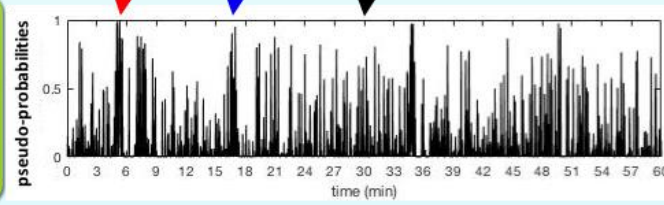
時頻域

Moving average and scintillation index method



時間域

pseudo-probabilities of STA/LTA

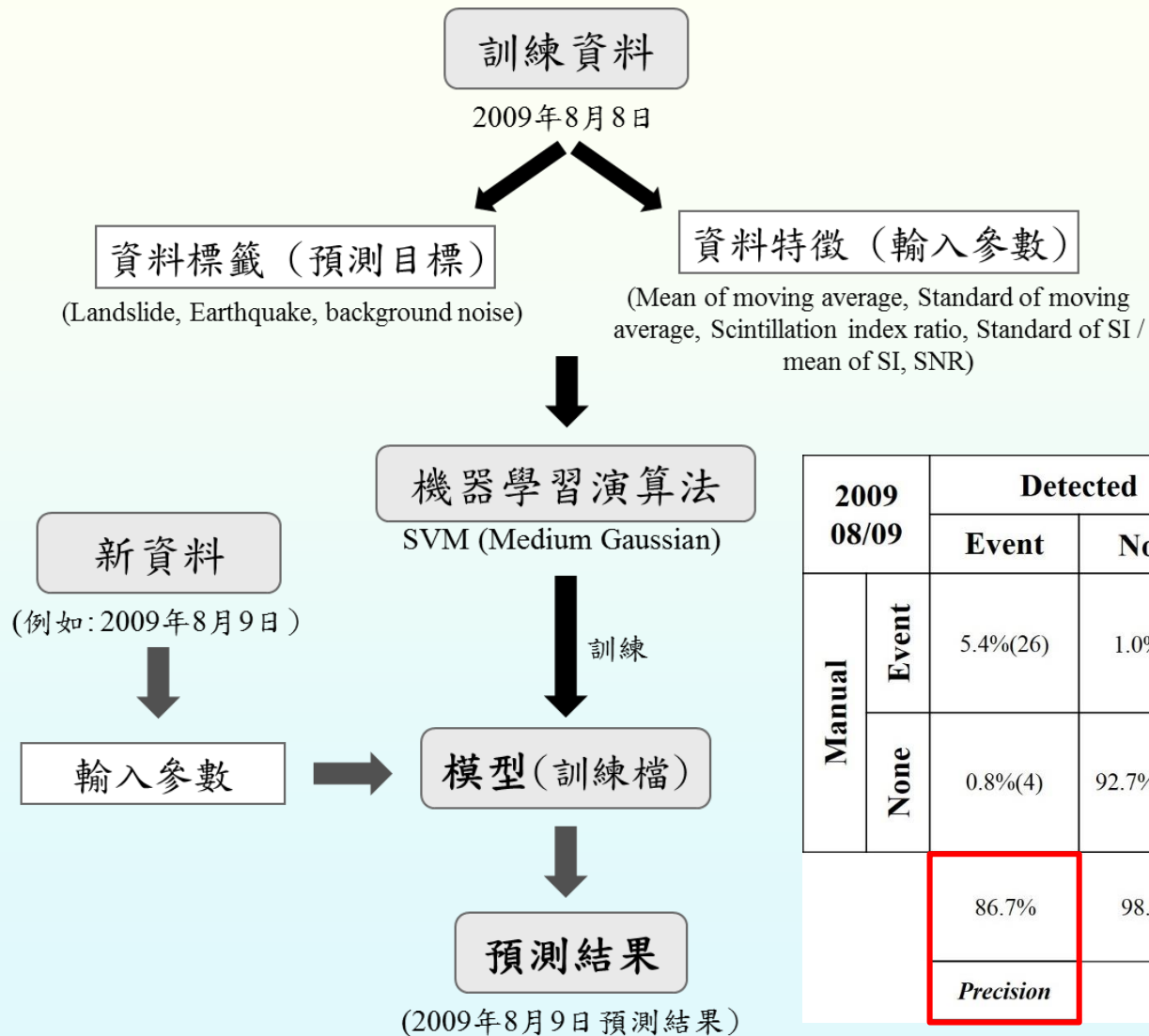


給予機率值

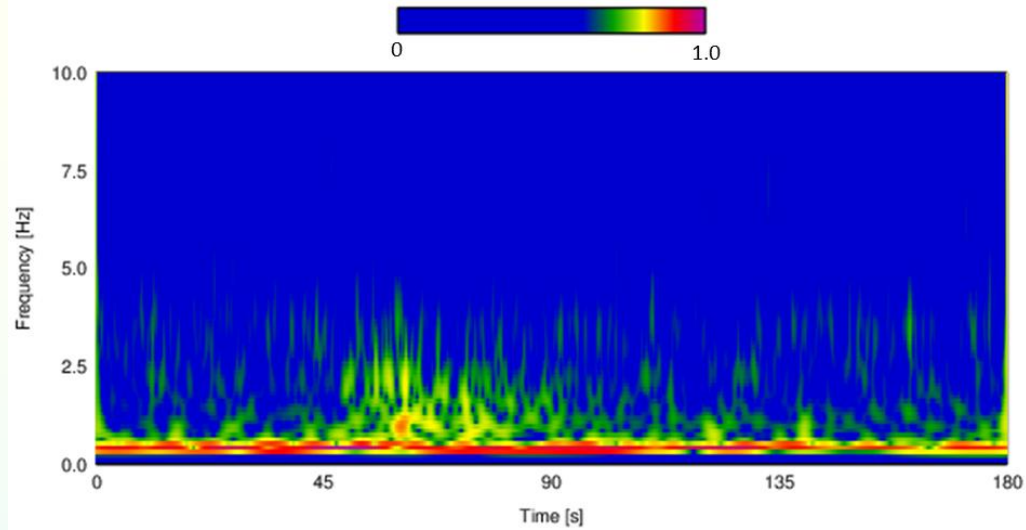




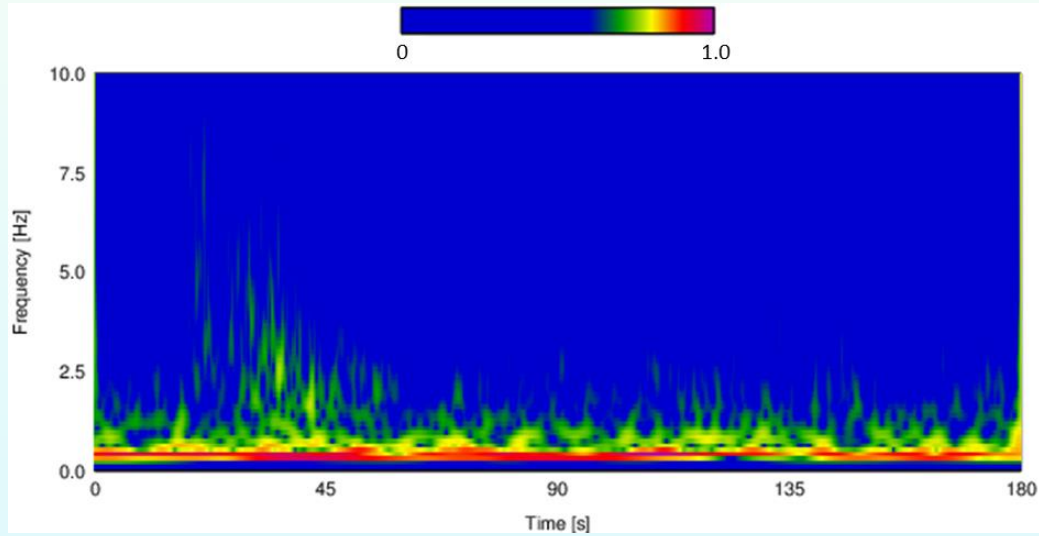
# 機器學習應用於訊號自動分類



2009 08/09		Detected		83.9%	Sensitivity
		Event	None		
Manual	Event	5.4%(26)	1.0%(5)	99.1%	Specificity
	None	0.8%(4)	92.7%(445)		
		86.7%	98.9%	98.1%	
		Precision		Accuracy	



蘇迪勒颱風  
2015/8/9 18:30-18:33  
CHGB站紀錄

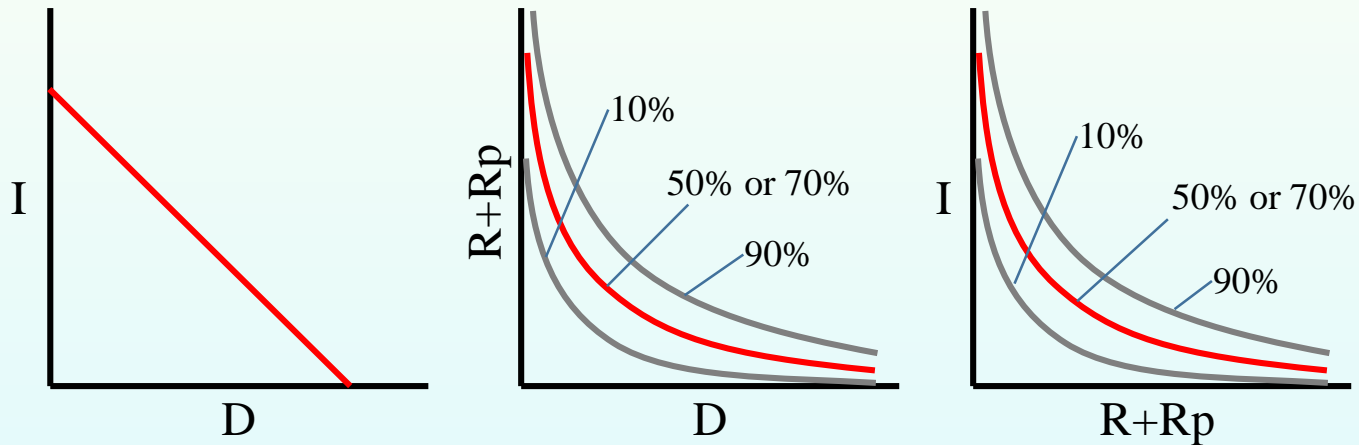


梅姬  
2016/9/29 12:36-12:39  
HGSD站紀錄



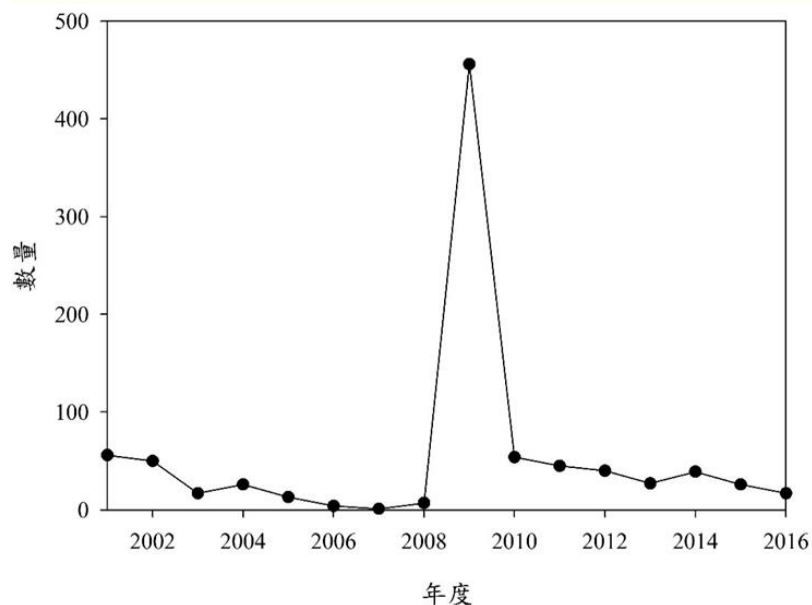
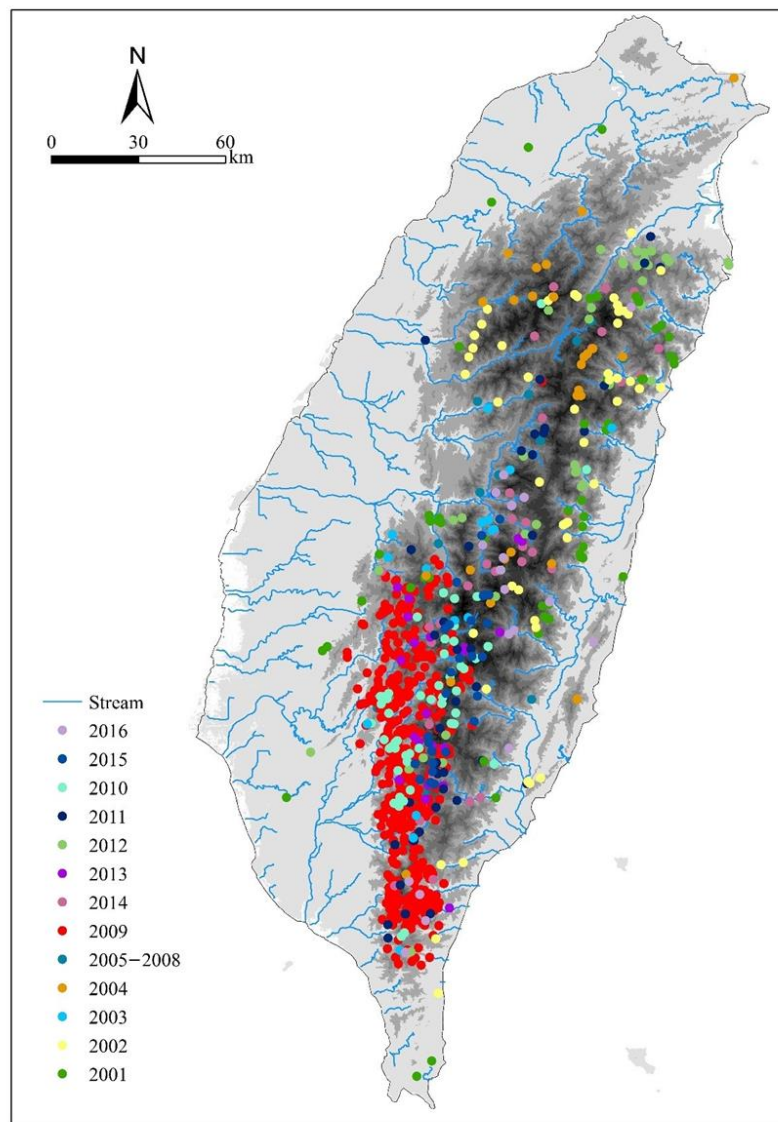
## ■ 降雨資料收集與分析

- ▶ 目前常被用來分析土石流發生之降雨特性參數包括降雨強度 $I$ 、降雨延時 $D$ 、累積雨量 $R$ 及前期降雨量 $R_p$ 。
- ▶ 應用日本現行的土石流預警指標-土壤雨量指數 $SWI$ ，來進行促崩降雨的分析。
- ▶ 應用Keefner et al. (1987)提出之臨界水量法，建立 $I$ - $D$ - $Q_c$ 的3因子崩塌警戒門檻曲線。



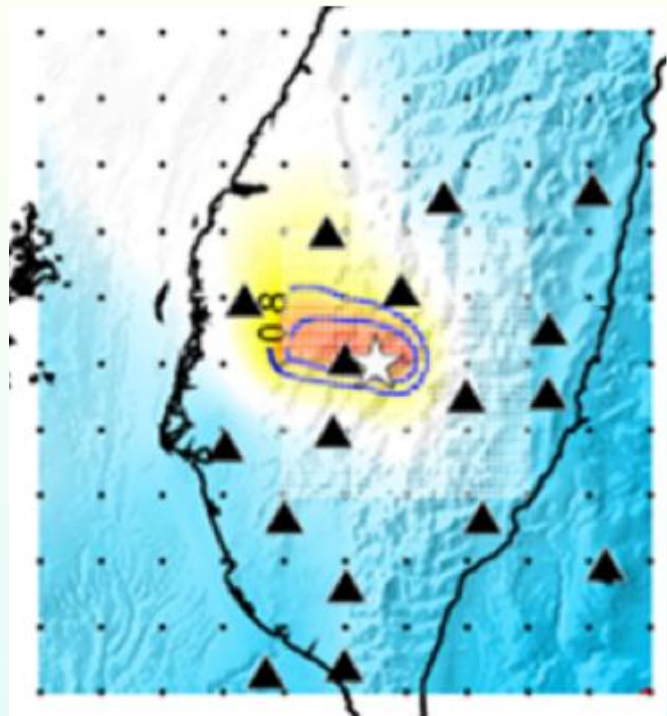


# 大規模崩塌判釋圖資的收集與彙整

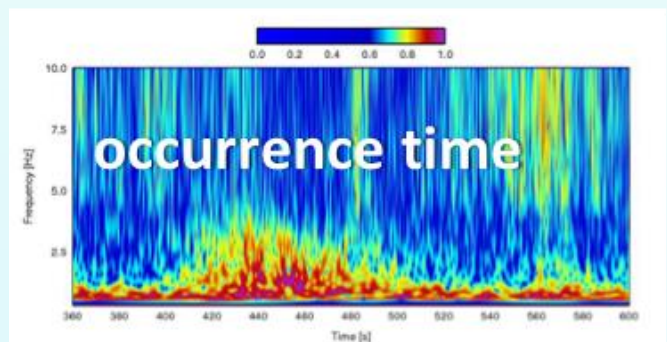


- 2001年至2016年共有878處大規模崩塌。
- 崩塌分布區域在2009年後有明顯的改變，南部地區崩塌數量大幅增加。
- 整體而言，崩塌分布仍與颱風主要降雨集中區域有關。

# 崩塌地動訊號的偵測結果與定位、配對



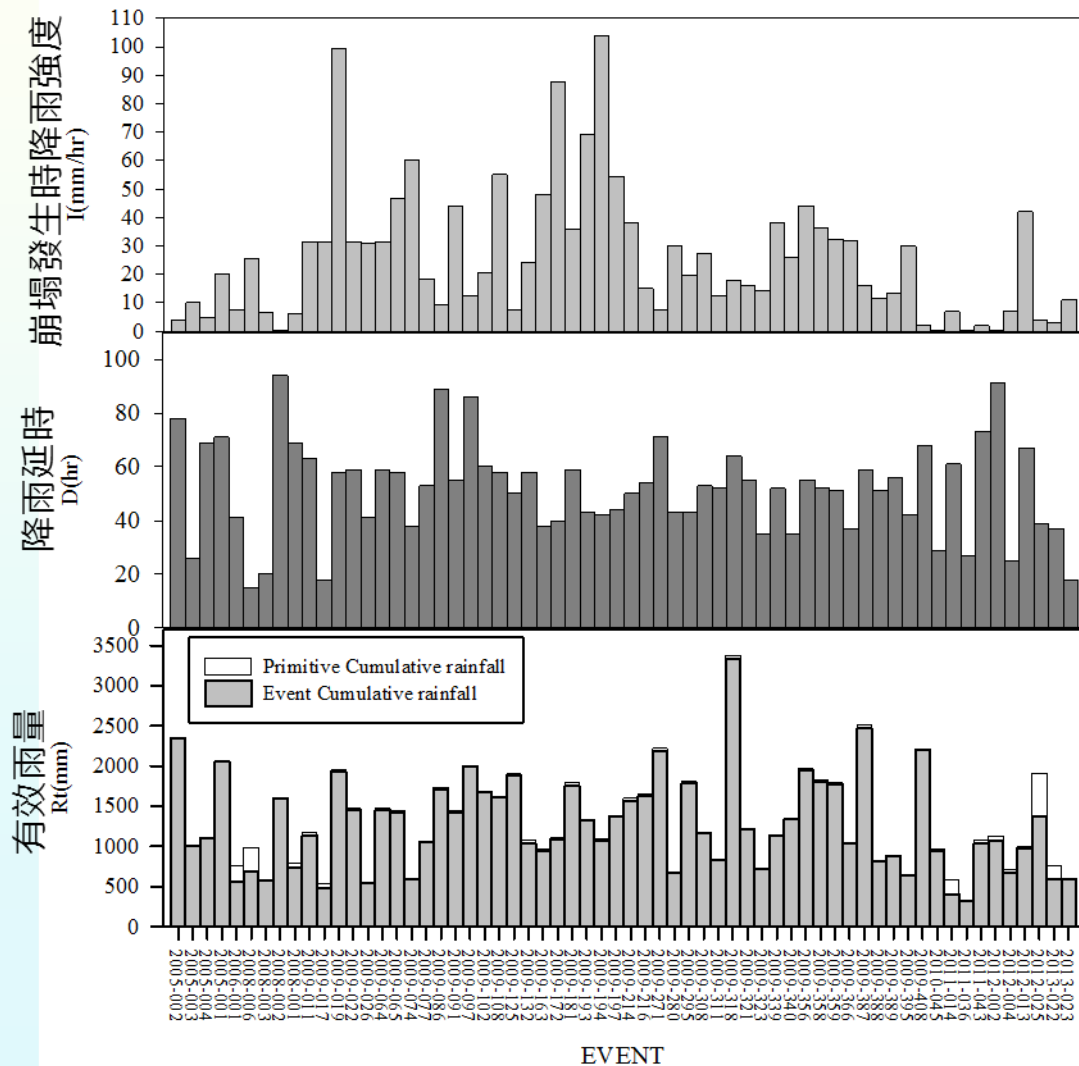
- 震源定位結果與衛星判釋崩塌目錄配對。
- 水平方向振動訊號軌跡須平行坡向。
- 崩塌面積須符合震源距離與波形包絡線面積關係。



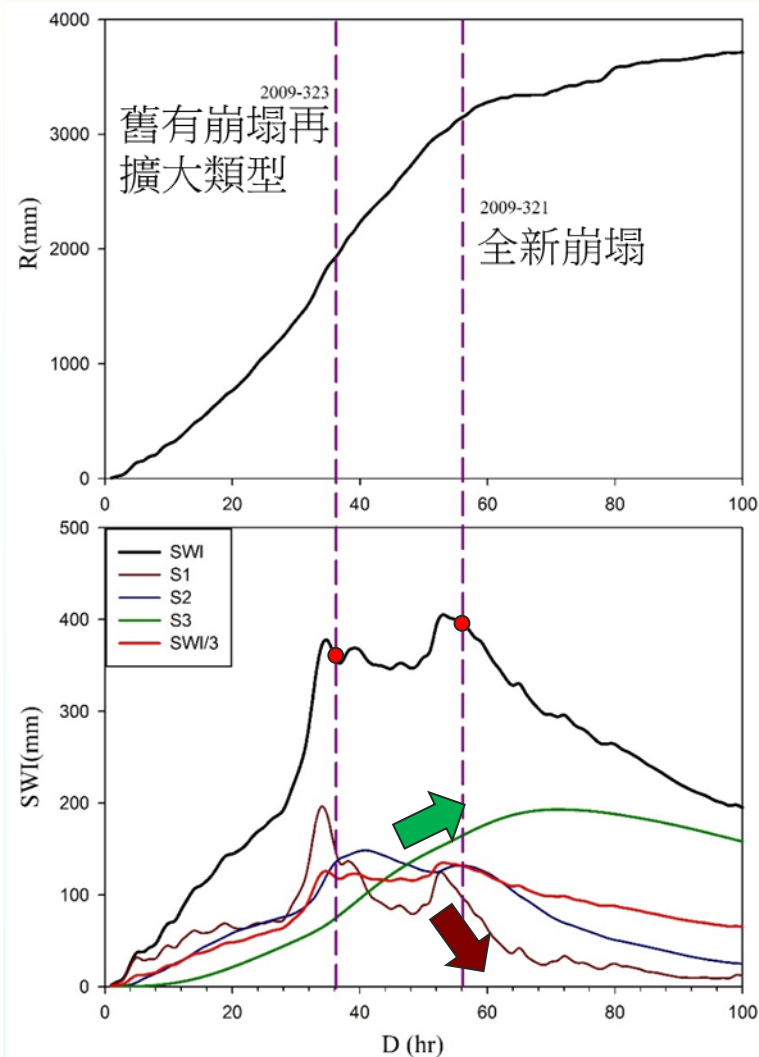


# 大規模崩塌的降雨警戒值的分析結果

## 單因子統計



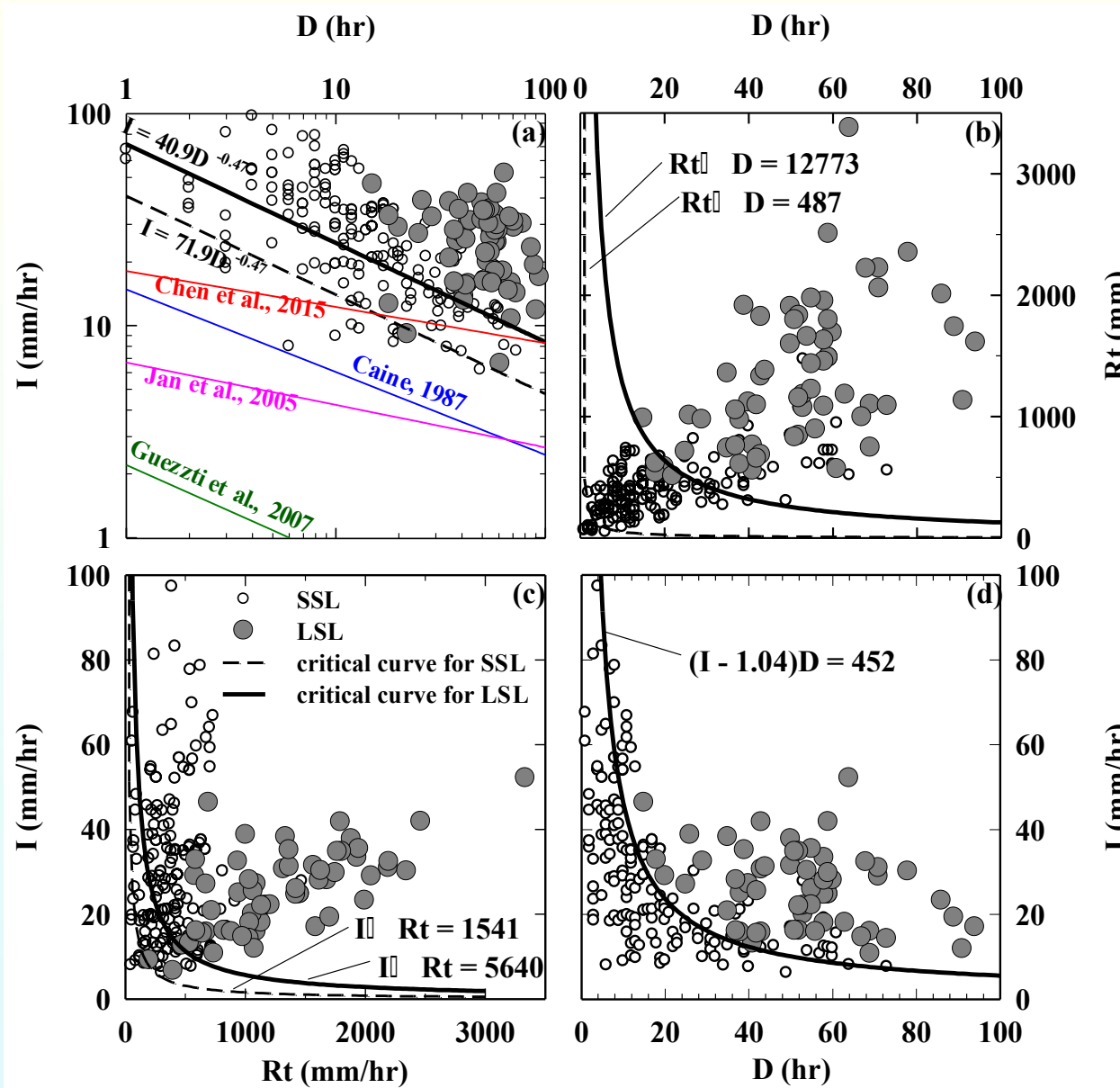
## 土壤雨量指數





以Frequentist method求得涵蓋95%資料點的下界

以韋伯分佈法計算5%累積機率的I與Rt乘積值。  
LSL: 5640  
SSL: 1541



以韋伯分佈法計算5%累積機率的Rt與D乘積值。  
LSL: 12773  
SSL: 487



## ■ 結論

- 自2005年至2014年間，地動訊號判釋並配對出62筆由大規模崩塌所引致的地表震動。
- 降雨門檻分析後可獲得下列大規模崩塌之降雨門檻：
  - ↪ I-D法： $I = 40.9D^{-0.41}$  ( $D > 24$ 小時)
  - ↪ R-D法(70%)： $R_t > 1000$  mm， $D > 24$ 小時
  - ↪ I-R法(70%)： $I > 16$  mm/hr， $R_t > 1000$  mm
  - ↪ SWI法： $SWI > 200$  mm， $S_2$ (或 $S_3$ )  $> S_1$
  - ↪ I-D-Qc法： $(I-1.04)D = 452$  mm
- 傳統I-D法與I-R法所獲得之門檻難以用於區分大規模崩塌與非大規模崩塌。R-D法能適度的區分出大規模崩塌與非大規模崩塌之降雨條件差異。以I-D-Qc法作為新生大規模崩塌之門檻能有效警戒出多數崩塌事件。

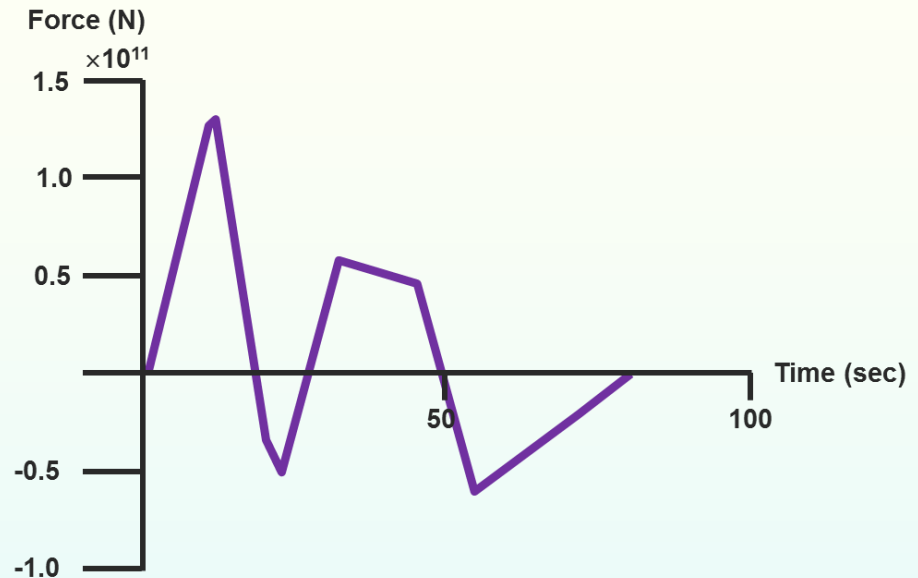
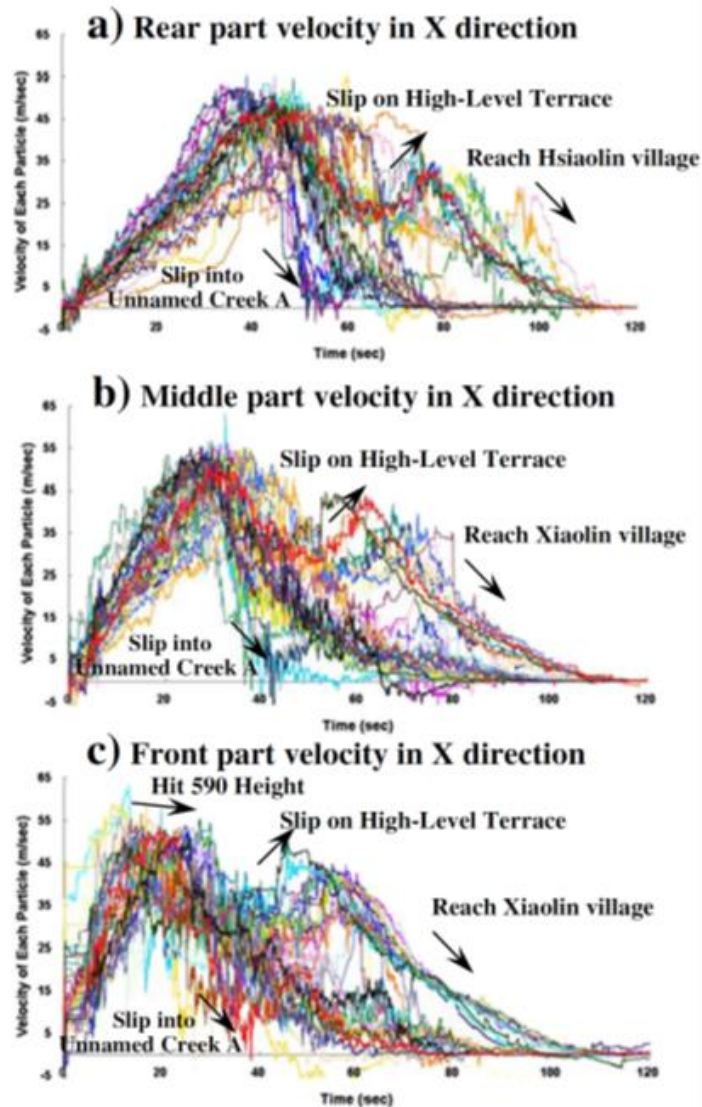




# 未來發展



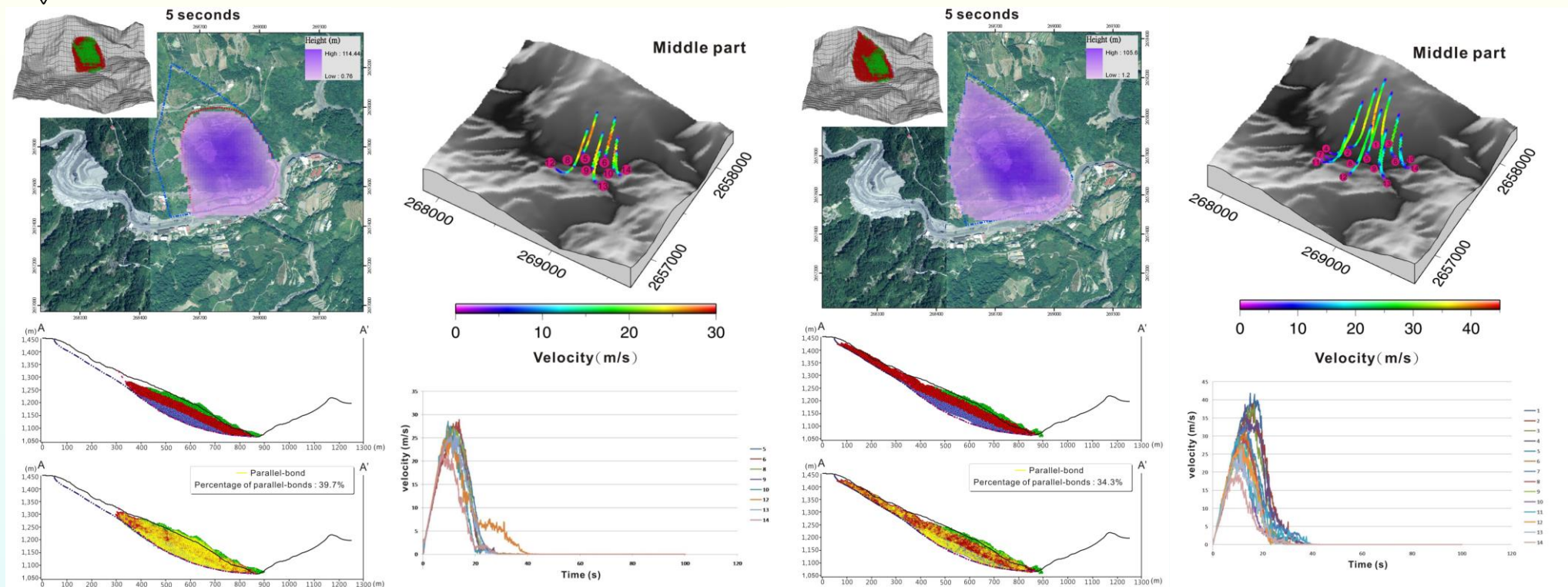
# 1. 結合數值模擬與振波反演



■ 波形反演小林村崩塌作用力的歷程，對應Lo et al. (2011)以PFC3D所做之顆粒運動速度歷程，兩者有一致的速度變化階段。



- 呂喬茵(2012)以PFC3D進行廬山北坡的活動邊坡進行不同假設性的模擬，得出不同崩塌規模或條件下的塊體運動速度歷程。

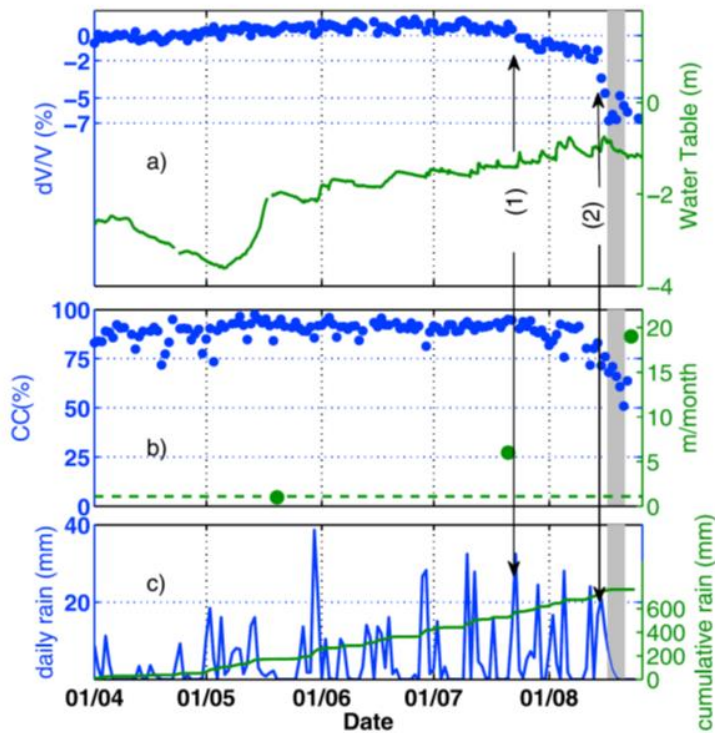


- 利用數值模擬結果，可以進一步模擬鄰近地震站應出現之振動波形。針對重點潛在大規模崩塌邊坡可進行不同情境推演，並建立資料庫，可用於未來若崩塌真實發生的快速評估。

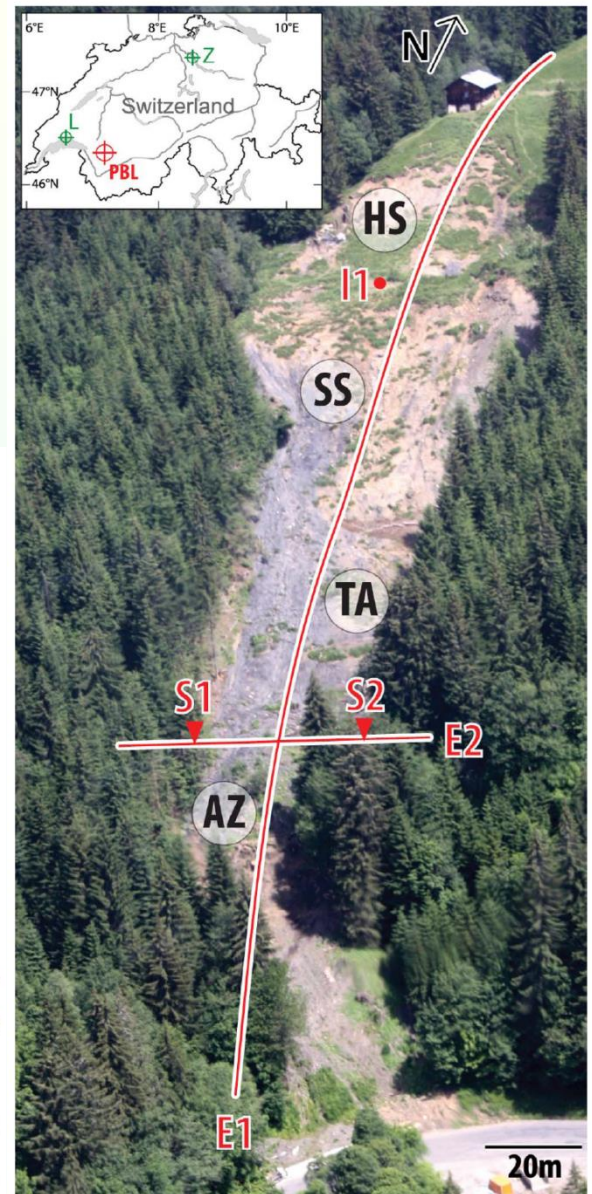


# 3. 地動訊號預警土石流?

- Mainsant et al. (2012) Ambient seismic noise monitoring of a clay landslide: Toward failure prediction. JGR, 117, F01030.
- 利用環境噪訊的監測，推估淺層表面波的傳遞速度，當速度變慢極可能導因於含水量的增加，藉此用於預警山崩或土石流。



The Pont Bourquin landslide in Switzerland





■ 以神木村愛玉子溪為實驗區，進行環境噪訊的監測。

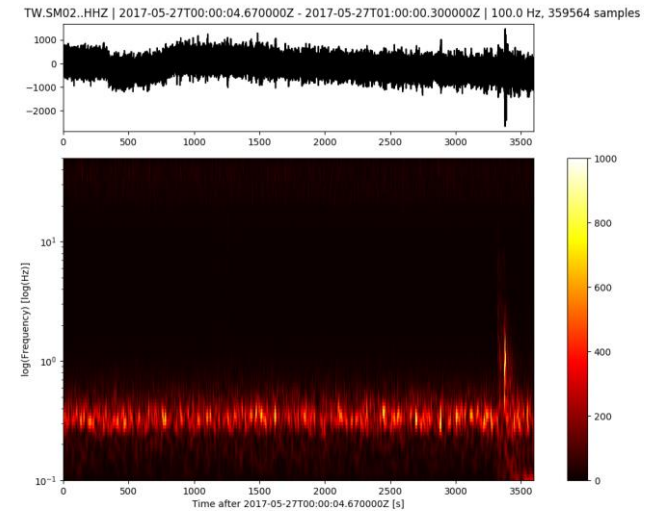
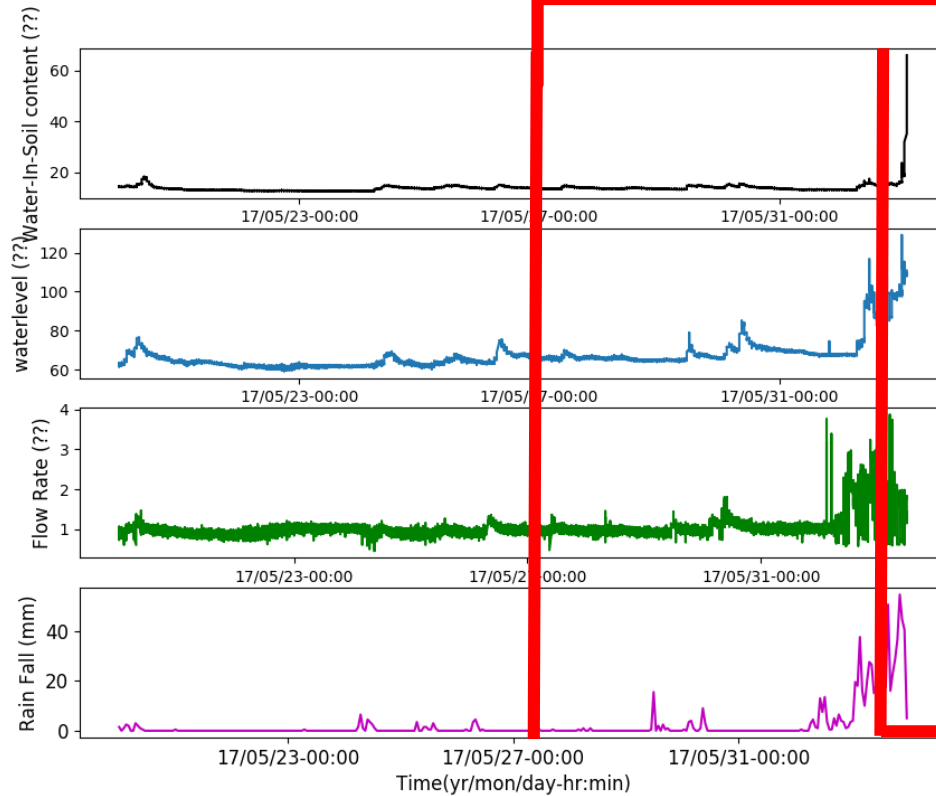


- 建置小型地震網，進行環境噪訊監測。
- 偵測鄰近區域發生的崩塌。

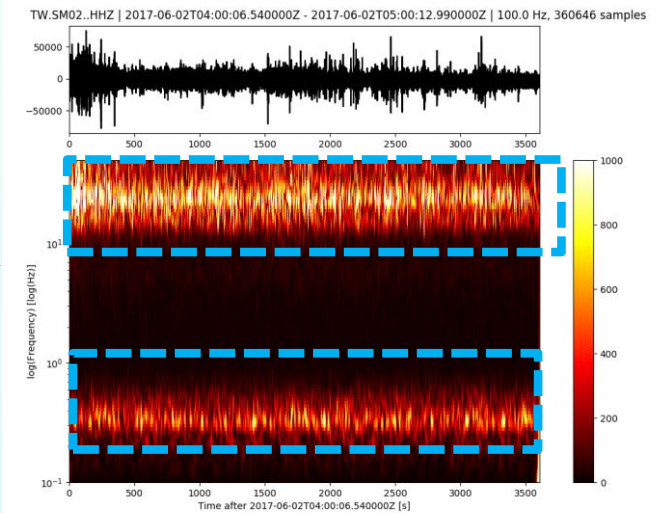


# 1 hour time-frequency spectrum

SM : 2017-05-20 00:00:00 - 2017-06-02 03:00:00



Frequency in log scale



敬請指教

