

出國報告（出國類別：國際會議類）

# 亞洲大洋洲地球科學學會第 13 屆年 會

服務單位：國立中正大學地球與環境科學系、國立東華大學自然資源  
與環境學系

姓名職稱：陳朝輝專任教授、吳瑋哲博士班學生、蘇建旻博士班學生、  
張文彥專任副教授

派赴國家：中華人民共和國

出國期間：105/7/30~105/8/5

報告日期：105/8/19

## 摘要

本團隊出席參加亞洲大洋洲地球科學學會第 13 屆年會，與與會學者進行地震學相關研究討論，著重重點在於臺灣東北部地區應力狀態反演以及大屯火山區三維速度構造層析成像部份，並與外國學者就臺灣地震相關研究尋求跨國合作機會。並前往中國地震局地震預測研究所就地震預測部分將本團隊目前所完成之研究成果進行學術報告，本團隊所發表之研究方向為 b 值探討與地震預測相關性、P 波頻散特性探討地震預測之可行性、剪波分裂用於地震預測之可行性以及速度構造時空變化與地震孕震過程關聯性等主題進行報告，並與地震預測研究所研究人員進行意見交換，此行成果豐碩，盼能給予臺灣地震研究注入更多能量。

# 目次

摘要.....	i
目次.....	ii
本文.....	1
目的.....	1
過程.....	1
心得及建議.....	4
附件.....	5

# 本文

## 目的

亞洲大洋洲地球科學年會為亞洲大洋洲地區地球科學相關領域之重大會議，本團隊希望藉由此次會議能與專注於本地區地震相關研究學者進行討論，瞭解目前國際間於地震學相關研究之最新進展，找尋可用於本團隊所關注之研究區域之相關研究方法，與國外學者建立良好互動關係，找尋國際合作之可能性，並且發表本團隊於過去一年來所專注之研究項目，主要著重於臺灣東北地區應力狀態反演以及大屯火山地區三維速度構造層析成像部份，並且針對波型反演技術以及越南馬河地區之相關研究內容找尋更為深入之研究內容。

## 過程

本團隊依照大會所安排之議程，於 7 月 31 日前往會場進行會議註冊並且觀看相關之地震研究議題，會議進行期間皆前往會場與國際學者進行相關學術討論，本團隊所發表之研究內容摘要如下：

由於受到歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互碰撞的影響下，臺灣平均每年發生超過 37000 筆的地震，按照地震震央分布位置，臺灣大致上可分為三大地震活躍帶。東北部地震帶主要受到了沖繩海槽向西南方張裂延伸至臺灣造山帶，以及菲律賓海板塊沿著琉球海溝向北隱沒至歐亞大陸板塊之下，在此兩大作用力的交互影響之下，此區域內的地震活動情形並不完全一致於板塊碰撞邊界上所觀測到的現象。為了釐清此區域的孕震構造以及發震機制，本研究使用中央氣象局所收錄之此區域大量高波線密度且測站包覆性良好的高品質地震事件進行分析，透過震源位置以及區域應力狀態的探討，進一步釐清此區域之孕震特性。結果顯示，重新定位後之震源位置分布為東深西淺，東側地震分布以深度 18 公里分為上下兩層，從區域應力狀態發現此區域並非單純為碰撞帶，上層淺源地震從區域應力狀態顯示此區域為正斷層，推測此區域受到菲律賓海板塊向歐亞大陸斜碰撞後，並受到沖繩海槽向西南方張裂延伸之影響，沿著構造弱面往東南方向產生旋轉脫逸，應力狀態顯示著伴隨著脫逸系統所產生之大型走向滑移斷層系統之延伸次生斷層系統孕震機制。東側深源地震應力狀態則可能反映了菲律賓海板塊向歐亞大陸板塊碰撞隱沒之邊界。西側淺源地震則呈現正斷層機制反應的是中央山脈東翼因地殼拱起而引致的塌陷模式，此現象是否又與琉球島弧的擴張有關則需要進一步的分析。

此部分本團隊主要透過 GPS 解算得到臺灣東北地區地塊並非有一致的移動方向，而是分成好幾個塊體進行各自的移動，並透過應力反演得到一致於塊體運動的結果，並且提出地體動力學上的解釋，此資料獲得以及分析是由中正團隊、

東華團隊、國震團隊以及工研院團隊合作所得之結果，與過去此區域所進行之研究結果有所區別，非常具有發表之價值。

另一篇內容摘要如下：

大屯火山群位於臺灣最北端，正處於臺北盆地正北方，北面臨臺灣海峽，東南以崁腳斷層與漸新世沉積岩相隔，西南止於淡水河與更新世臺地分開，其中有金山斷層橫貫，此區主要由安山岩流和安山質碎屑岩構成，著些火山岩覆蓋於上新世及中新世沉積岩基盤上。許多溫泉、噴氣孔及熱水換質帶等近地表之地熱活動表現，在金山、崁腳斷層間沿著東北西南的方向分佈。根據在大屯火山群多年來的調查與監測之結果，雖然沒有立即噴發的危險，但是大屯火山群很年輕且地質證據顯示最近一次噴發在一萬年內，因此地殼深部仍可能有高溫的岩漿存在。為進一步瞭解大屯火山群周遭相關之岩漿熱液活動，本研究針對大屯火山周圍，北緯 25.0~25.3 度、東經 121.4~121.7 度，為主要研究區域，並使用微震之資料，進行此區岩體速度成像分析。為準確掌握熱液活動裂隙之位置與深層蘊熱岩體之特性，因此本研究使用雙差分層析成像法。此方法是以雙差分地震定位法為基礎架構，同時利用相對到時與絕對到時計算出震源的絕對位置，並同時反演三維速度構造，利用速度構造變化( $V_p$ 、 $V_s$ 及 $V_p/V_s$ 分佈情形)來成像，藉以探討地下構造的情形。由於 $V_p/V_s$ 與柏松比(Poisson's ratio value)有關，適合用於研究地殼岩石特性的重要參數，其可反應岩層的孔隙率、破碎程度、液壓等諸多因素。初步結果顯示，本研究區域主要的微震活動分布在金山-山腳斷層斷層面東南測與其深度延伸之方向，在速度構造成像中，本區域具有較高的 $V_p$ 與較低之 $V_s$ 且呈管狀分佈並向東南方傾斜，推測其為大屯火山岩漿熱液活動後所產生之熔岩構造。

此部分本團隊主要透過建構高密度區域寬頻地震網，並加入此區域如 TVG 以及中央氣象局的資料，進行聯合資料反演，獲得比過去更具解析度之三維速度構造層析成像，並且提出地質上的解釋，此資料獲得以及分析是由中正團隊、國震團隊以及工研院團隊合作所得之結果，與過去此區域所進行之研究結果有所區別，非常具有發表之價值。

此外並與國際上波型反演震源機制解權威美國聖路易斯大學朱露培教授進行了學術交流的活動，討論後續以高精度之三維速度構造對於波型反演之應用進行了經驗交換，對於本團隊後續所要進行之科學研究獲得很大的益處。也對於依些國際上新進之研究人員發出了合作邀請，希望能引進這些研究能量，增加臺灣科研實力。參與與會過程中發現此次會議大多研究議題與層析成像相關，此議題本團隊也極為發展之項目，獲得了許多有益於未來研究之面向。然後關於高精度微震震源機制解反演研究相較之下非常稀少，或許是此議題發展難度較為困難，且目前尚無重大突破，希望本團隊今後能夠有所突破，發表相關議題文章到國際會議上。

本團隊於 8/3 號參觀了中國地震局地震預測研究所，中國地震局地震預測研究所（其前身為中國地震局分析預報中心）為公益類非營利性科研機構，主要通過對地震過程的觀測、模擬和預測理論及方法研究，探索地震孕育、發生和發展規律，促進地震科學發展，為地震監測預報和防震減災服務。

研究所以地震孕育、發生過程和預測實踐中提出的科學問題為研究物件，依託科學技術進步與創新，依託新構造與地震構造、數位地震學、地震及災害預測、GPS 及空間技術以及地震觀測技術等多學科的滲透、融合，推進、發展地震數值預測的理論與方法，逐步集成有特色的基礎學科、研究領域和專家群體，努力產出創新理論成果和突破性應用成果。

研究所緊緊圍繞中國防震減災事業發展需求，優化學科佈局，使其研究領域和研究方向始終瞄準並站在科學前沿；通過加強科技共用平臺、開放性實驗室和野外試驗場 建設，深化地震科學及地震預測研究，努力提高地震預測科學水準；通過完善人才培養和考評體系以及規範管理、培育創新文化，營造良好科研環境，奠定研究所可持續發展基礎。主要任務為

#### （一）地震科學研究

開展震源環境、地震過程和震源破裂機理等地震科學的基礎研究，為地震預測提供理論依據。

#### （二）地震預測研究

承擔地震中期和長期預測任務；承擔地震預測攻關研究任務；開展地震數值預測理論與方法研究。以地震預測試驗場為基地，在地震構造和地殼精細結構、高解析度動態地殼形變、地震活動性、震源參數變化等研究的基礎上，建立地震孕育、發生和發展的物理和數學模型，對中期和長期地震危險趨勢做出量化的預測；基於地球物理、地球化學和大地測量學等基礎學科，利用地震觀測、空間對地觀測等新技术新方法，開展強震孕育、發生、發展過程及其前兆機理等方面的理論問題研究，探索短期與臨震預測理論和新方法，服務於地震短臨預測工作。

#### （三）地震觀測方法與技術研究

承擔現場流動觀測任務；開展對構造活動、地震過程的觀測方法研究，發展流動觀測技術，開展防震減災類觀測專用設備的研製工作。

#### (四) 其他工作

承擔地殼運動觀測網路資料中心的維護與運轉、資料分析處理、品質監控和資料服務工作；承擔中國地震局交辦的其他工作。

本團隊並參與了當天所進行的地震預測相關研討會，交流很多關於目前進行地震預測相關研究，本團隊所發表之研究方向為 b 值探討與地震預測相關性、P 波頻散特性探討地震預測之可行性、剪波分裂用於地震預測之可行性以及速度構造時空變化與地震孕震過程關聯性等主題進行報告，地震預測這方面的議題在未來的臺灣也會是一個極為需要被關注的議題，雖然目前的研究尚於發展中，不過相信投入的研究人力越來越多的情況下，總有一天能了解所謂的孕震過程是如何進行的，進而提出高精度的震源孕震模型。

### 心得及建議事項

本團隊於會議進行期間進行了許多的學術交流，深刻感悟到臺灣目前對於地震預測所投入之人力物力相較於國際而言還算是十分稀少，不能因為目前相關研究尚於發展中而降低投入人力於此，應抱持著開放態度，且持續的投入相關資源進入，不能因此領域短期無法見到卓越成果而減少投入。此外需鼓勵臺灣學者多與國際進行交流合作，可提升國際能見度且增加我國科研實力，此部分也是需要政府多投入經費進行支援。

# 附件



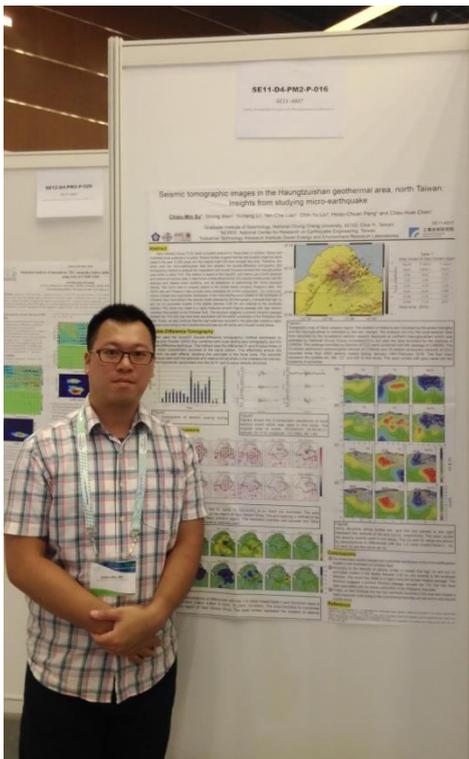
陳朝輝教授於會場一景合影



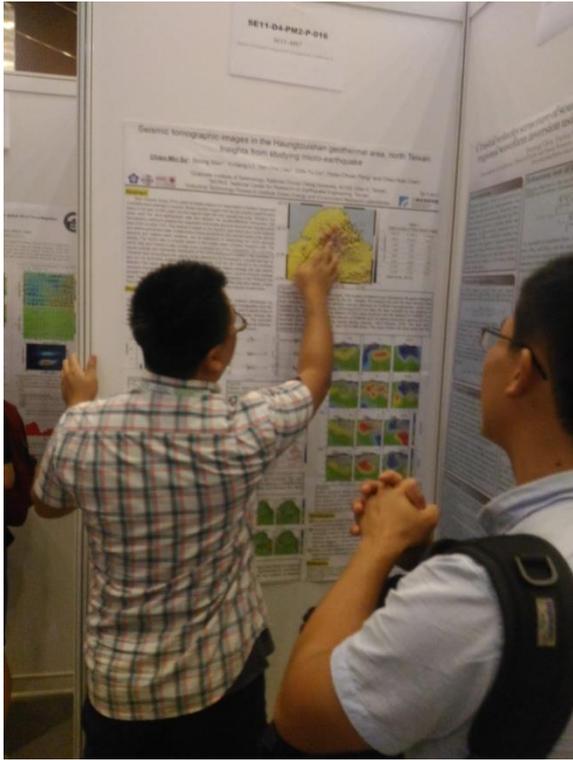
博士班學生吳瑋哲於會場一景合影



博士班學生蘇建旻於會場一景合影



博士班學生蘇建旻於發表成果前合影



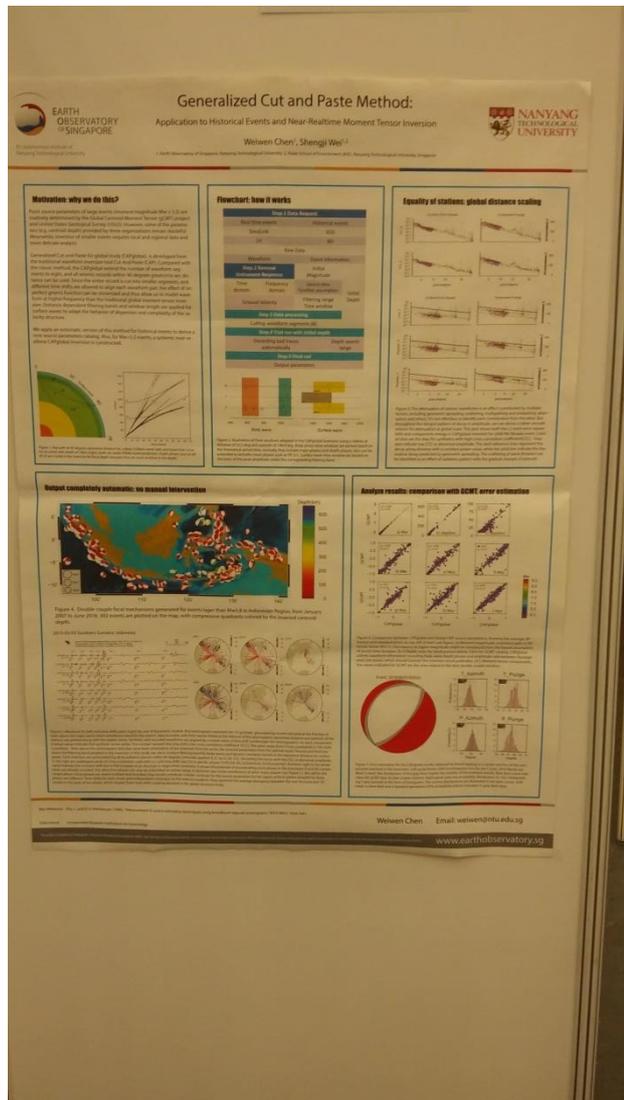
博士班學生蘇建旻於發表成果前說明



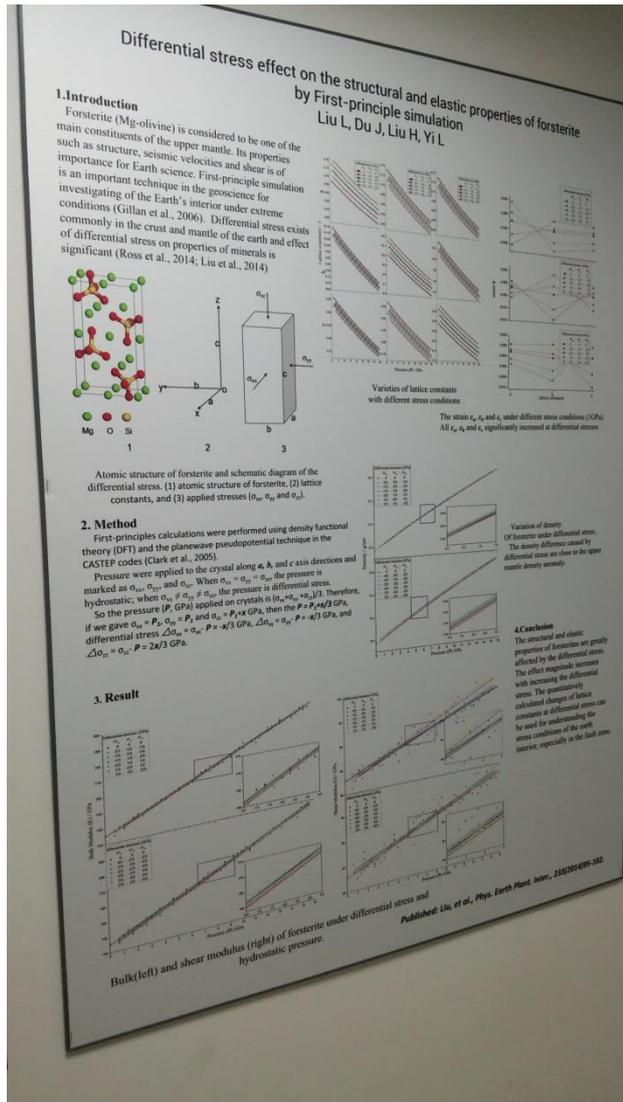
於中國地震局地震預測研究所進行學術研討會



於中國地震局地震預測研究所進行學術研討會



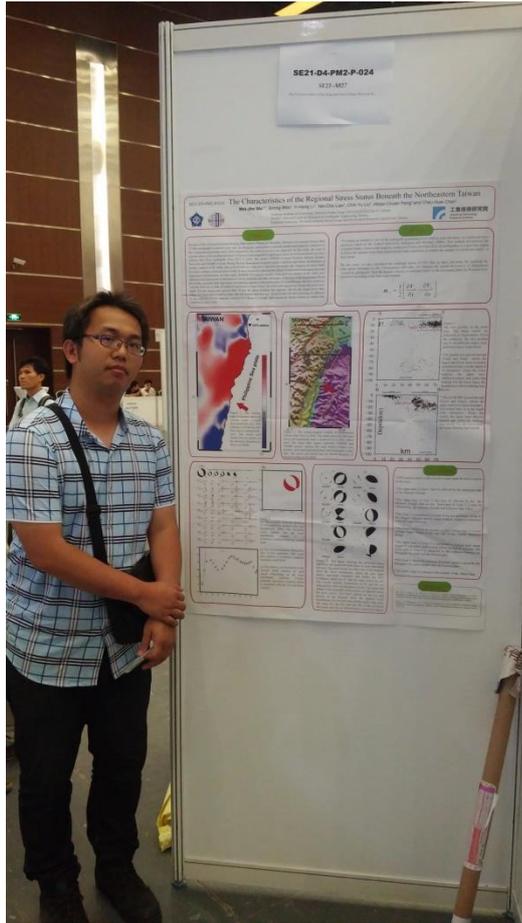
所攜回之相關研究資料



參訪中國地震局地震預測研究所相關研究成果



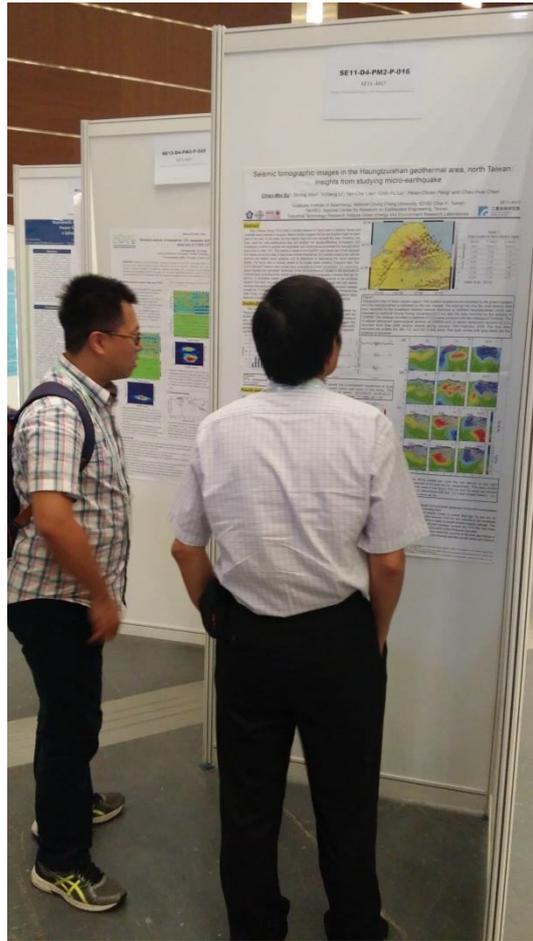
參訪中國地震局地震預測研究所數據庫建構說明



博士班學生吳瑋哲於發表成果前合影



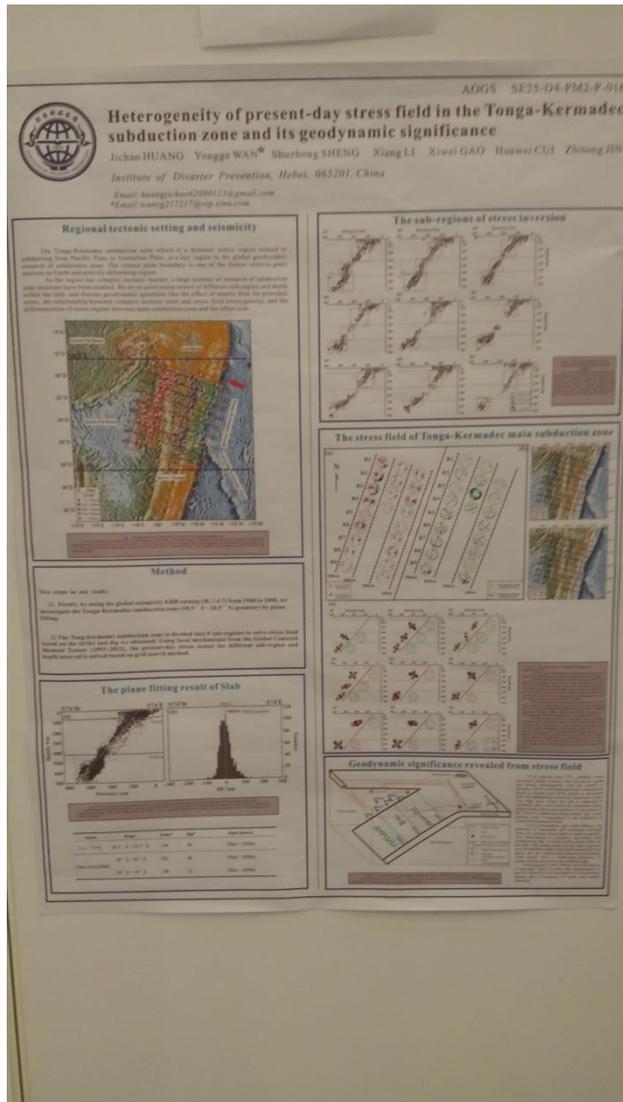
陳朝輝教授於中國地震局地震預測研究所進行學術研討會報告



博士班學生蘇建旻於發表成果前說明



陳朝輝教授與博士班學生吳瑋哲進行相關學術發表之內容討論



所攜回之相關研究資料

**构造活动与地震形变学术交流报告会**

2016年8月3日(星期三), 地点: 预测所东五楼506会议室

议 程	
14:00~14:10	开 幕 (任金卫所长发言)
14:10~16:00	学 术 交 流 报 告 会 (主持人: 任金卫 所 长)
14:10~14:30	陈朝晖 教授      由地震特性整合探讨大地震预警
14:40~15:00	谢斯特科夫·尼古拉 副教授      Recent crustal motion of Primorsky Krai as seen from GPS observations
15:10~15:30	蔡晏倩 博士      Anomalous high strain accumulation in SW Taiwan: Insight from 2016 Meinong Mw 6.4 earthquake
15:40~16:00	苏小宁 助理研究员      Current crustal deformation in Liupan Shan fault zone, NE Tibetan Plateau
16:30~17:00	参观地震预测重点实验室、中国大陆构造环境监测网络国家数据中心 (主持人: 张晓东 副所长)

於中國地震局地震預測研究所進行學術研討會議程

# Crustal velocity structure of south-western Gansu from regional waveform inversion using firework algorithm

Yuyang Chen, Yanbin Wang  
Department of Geophysics, School of Earth and Space Sciences, Peking University Beijing 100871, China.  
chenyuyang@pku.edu.cn

### Introduction

Firework algorithm (FWA) is a novel swarm intelligence algorithm for multi-parameter, non-linear function optimization. Numerical waveform inversion experiments show that the FWA performs well both in solution quality and speed. In this research, numerical test of robustness of FWA in waveform inversion was conducted, then applied to regional waveform inversion of crustal velocity structure of south-western (SW) Gansu with real observed waveform data and developed a 1-D crustal velocity model of this region.

### Firework algorithm

FWA variant is used in this study named Inverse-Repulse (IR) FWA, in which the core components are FWA search and AR mutation.

$$A_i = A \left( \frac{f(x_i) - \min_{j=1,2,\dots,n} f(x_j)}{\sum_{j=1,2,\dots,n} f(x_j)} + \xi \right)$$

$A$  is the maximum explosion radius,  $f(x_i)$  is the value of objective function  $i$ -th firework among  $n$  fireworks,  $\min_{j=1,2,\dots,n} f(x_j)$  is the minimum (best) objective function value of  $n$  fireworks,  $\xi$  is the random precision to avoid zero division error.  $A$  is a small number introduced to guarantee the radius is zero, thus avoid the search process get stalled.

AR mutation is taken to keep the diversity of swarm.

$$x_{i,j} = x_{i,j} + \text{rand}_i() \cdot (x_{i,j} - x_{i,j})$$

### Robustness test of FWA

Objective function in this waveform inversion is weighted combination of root mean square residual (RMR) and waveform correlation of observed and synthetic waveform in time domain.

$$F = (1 - \lambda) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Obs_{i,j} - Syn_{i,j})^2}{N}} + \lambda \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \frac{\max(|Obs_{i,j} + Syn_{i,j}|, |Obs_{i,j} - Syn_{i,j}|)}{\sqrt{Obs_{i,j}^2 + Syn_{i,j}^2}}$$

$N_w$  is number of waveform data,  $\lambda$  is weight parameter to balance RMR and waveform correlation error.  $Obs_{i,j}$  and  $Syn_{i,j}$  are the amplitude of  $i$ -th component of observed and synthetic waveform at  $j$ -th time point respectively, in objective function.  $F$ , the first term is RMR of observed and synthetic waveform represent the match of amplitude, the second term measure similarity between observed and synthetic waveform. In the inversion, weight parameter  $\lambda$  is equal to 0.5.

Study area in this research (left), the focal mechanism beach ball indicates 2013-7-22 Muzhuo Mw 3.4 earthquake. Comparison of Firework Algorithm inverted model with given model in numerical test. The solid black line indicates the given true model; black dot-dashed lines are upper- and lower-boundary of velocity and depth wave range; the red solid line is inverted average velocity model; light red dashed line presents  $\pm 1$  standard deviation of each model parameter; given model A without low velocity layer (middle); given model B with a low velocity layer (right).

### Crustal velocity inversion

We removed instrument response and trend of observed seismic waveform data, and then filtered the data with 0.02 to 0.1 Hz Butterworth band-pass filter to avoid high frequency part of data which was strongly influenced by small scale lateral heterogeneity. Synthetic waveform data was calculated by reflectivity method.

Number of fireworks on and sparks in are set to 10 in each generation, and run FWA inversion for 500 generations with 5 different random seed values, then, the optimizer can conduct up to  $5 \times 10^5$  function evaluations in each run. The final inverted velocity model was obtained by averaging the five best models.

### Velocity structure of study area

$V_p$ (km/s)	$V_s$ (km/s)
$4.47 \pm 0.13$	$3.15 \pm 0.12$
$6.27 \pm 0.18$	$4.50 \pm 0.24$
$6.12 \pm 0.19$	$4.38 \pm 0.43$
$6.27 \pm 0.11$	$4.63 \pm 0.29$
$8.18 \pm 0.14$	

1-D average inverted crustal velocity model of SW Gansu (left); solid line indicates final crustal velocity model, two dashed lines represent  $\pm 1$  standard deviation for model parameters (right).

### References

1) Xu Dong, et al. Improved Genetic Algorithms Based on Two-Phase Mutation Algorithm: The Performance of Two-Phase Mutation on Evolutionary Optimization. *Appl. Soft Comput.*

2) Zhou, Jianping et al. Geophysical significance of the crust structure beneath the eastern margin of the Tibetan Plateau. *Geophysics* 76(11): B19-B31 (2011).

3) Li, Yong and Lei, Jinghui. Crustal velocity structure under multistation Tibetan Plateau regional waveform inversion. *Crustal velocity structure under multistation Tibetan Plateau regional waveform inversion*. *Geophys. Res. Lett.* 39 (2012): 2009-2012.

### Conclusion

According to the inverted model, thickness of sedimentary layer, upper, middle and lower crust are 3.15, 15.60, 13.68, 14.83 km, and  $P$ -wave velocity are 4.47, 6.07, 6.12, 6.27 km/s, respectively, meanwhile, inverted  $P$ -wave velocity of upper mantle is 8.18 km/s. Crustal thickness in SW Gansu from our study is 46.75 km, which is consistent with receiver function result of Shen et al. (2013). In Shen's research, average crustal thickness of the region covered by five stations is 46.79 km.

Velocity of upper mantle is 8.18 km/s in this inversion, which is greater than the value of PREM model, considering the maximum depth of ray path can reach is about 30 km ( $\theta = 90^\circ$ ), velocity of upper mantle is of constraint due to low ray path reached this depth. Li and Lei (2014) study in velocity inversion also encounter same phenomenon.

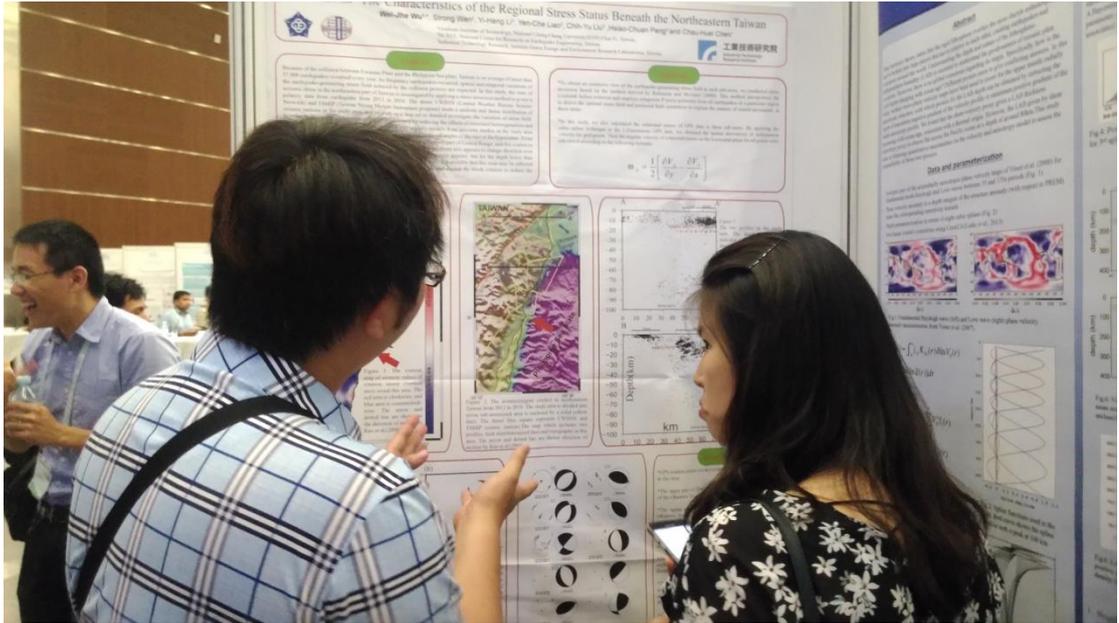
Nine seismic stations in this study can be divided to three groups by azimuth from epicenter. For L2H, XDT, NCT and BYX which share similar azimuth about  $342^\circ$  from epicenter, both synthetic  $P$  and  $S$  wave in three component matches the observed waveform best compare to other two groups, indicates that our inverted crustal velocity model is close to the real crustal structure in this direction.

Differences between synthetic and observed waveforms may be due to not take the anisotropy and lateral heterogeneity into account during inversion, which suggest that it should be considered in 2D and 3D crustal structure inversion.

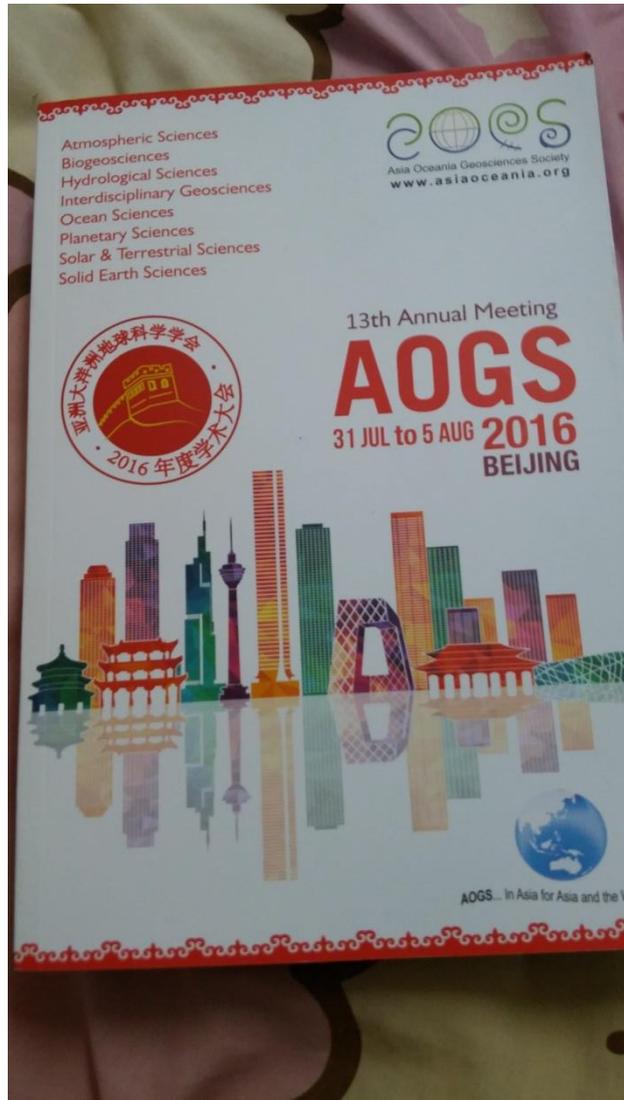
所攜回之相關研究資料



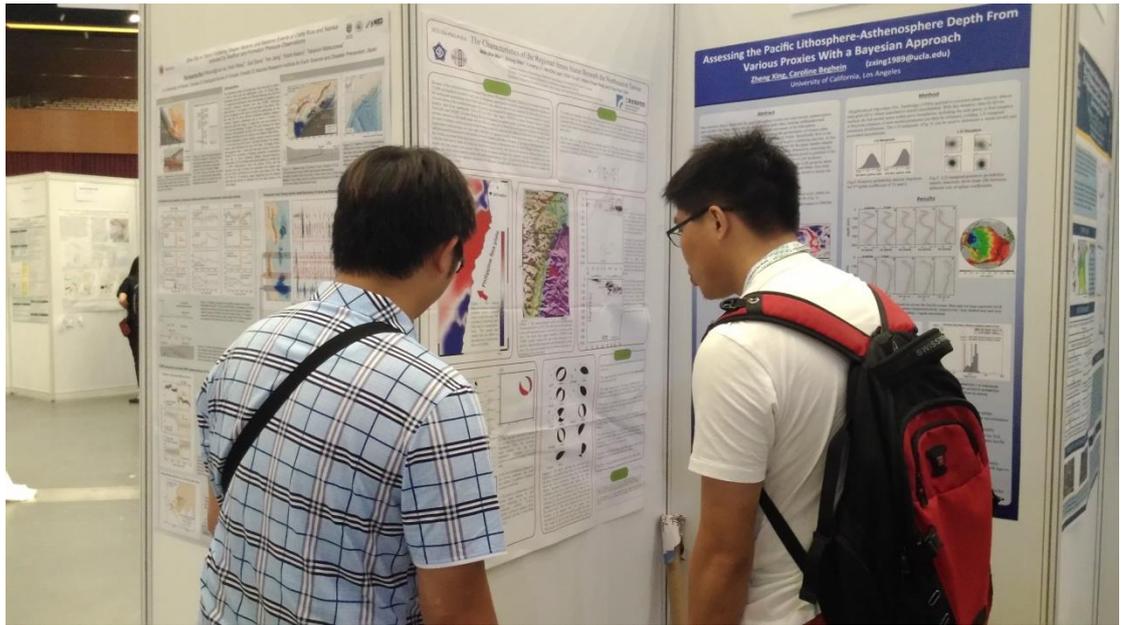
參訪中國地震局地震預測研究所相關研究成果



博士班學生吳瑋哲於發表成果前說明



所攜回之相關研究資料



博士班學生吳璋哲於發表成果前說明



於會場參觀廠商展示儀器