

出國報告

赴北京大學地球與空間科學學院 進行短期研究與技術交流出國報告

服務機關：中央氣象局地震測報中心

姓名職稱：羅翊菁技佐

派赴國家：中國北京

出國期間：106年12月25日至106年12月30日

報告日期：107年1月5日

摘 要

北京大學（以下稱北大）地球與空間科學學院係由地質、地球化學、固體地球物理學、空間科學與技術以及地理信息系統專業級研究所組成，此行主要訪問 2017 年獲選大陸青年千人計畫回到北大任教的岳漢助理教授。岳漢是地震震源物理學與動力學的專家，對於有限斷層上震源的逆推有相當豐碩的成果及經驗，透由本次短期研究與技術交流與岳漢助理教授探討震源破裂模擬並學習震源逆推技術，回國後已能夠在臺灣地區中大規模地震（規模 6.0 或更大）發生後，除了迅速解算震源滑移量時空分佈並做出強地面運動評估外，更有詳細的震源資訊可以在大地震後迅速研判地震發展趨勢，為地震災害分佈的評估和救災應急應變提供可靠的科學依據。

目 次

| | |
|---------|----|
| 一、目的 | 1 |
| 二、過程 | 4 |
| 三、心得與建議 | 5 |
| 四、參考文獻 | 10 |
| 五、附錄 | 11 |

一、目的

此行參訪透由於 2017 年獲選中國大陸青年千人計畫回到北京大學(以下簡稱北大)任教的岳漢助理教授之邀請。此次交流緣於職今年 10 月參加中國地球科學聯合學術年會 (Annual Meeting of Chinese Geoscience Union, CGU)，與岳漢於同時在年會唯一的 international session 發表英文口頭論文報告，報告題目都與地震震源模擬有關，岳漢是地震震源物理學與動力學的專家，彼此互相熟悉專業領域後，希望有機會可以更深入討論與互相學習震源模擬技術，促成本次交流活動。

地震波模擬技術在國外已經發展得很成熟，而國內熟習震源模擬技術的研究學者不多，中央氣象局(以下簡稱氣象局)地震測報中心近一年已就將震源模擬技術建立一套初步系統，該中心希望未來具備地震模擬技術，利用其獨有的世界級資料庫，在大地震發生後迅速提供詳細的震源資訊研判地震發展趨勢之用，預期此項地震模擬技術可做為地震災害分佈的評估和救災應急應變之重要參考依據。

二、過程

(一)參訪行程

| 日期 | 工作摘要 |
|---------------|---------------------------------------|
| 106年12月25日(一) | 赴北京 |
| 106年12月26日(二) | 參訪北京大學地球與空間科學學院 (張立飛院長、黃清華副院長) |
| 106年12月27日(三) | 與岳漢助理教授交流 參與王彥賓教授組會(group meeting) |
| 106年12月28日(四) | 與岳漢助理教授交流震源逆推技術成果及經驗 |
| 106年12月29日(五) | 與岳漢助理教授交流震源逆推技術成果及經驗 |
| 106年12月30日 | 返回臺北 |

第一日 12/25 (一)：

搭乘長榮 BR-2762 班機，13 時 15 分起飛出發前往北京。當地時間 16 時 35 分抵達北京國際機場，出關後搭成出租車前往北大附近的旅店，隨即於晚餐時間入住旅館休息，準備隔日的行程。

第二日 12/26 (二)：

來到北大的第一天，岳漢教授帶職參觀了北大校園，北大校園有一部分是以古典園林為基礎，有“皇家園林”之稱，不僅有亭台樓閣等古典建築和假山怪石，而且山環水抱，湖泊相連，提島穿插，湖光塔影，風景宜人。校園巡禮結束後，很榮幸與北大地空學院院長及地球物理專業學門系上幾位教授餐敘，教授們個個有不同領域的專業卻個個虛懷若谷，令職這個初生之犢好生敬畏。

第三日 12/27 (三)：

北大是世界大學排名前 50 的學校，北大的教授學生都是非常頂尖的，這次很幸運的可以參加系上幾位教授所帶領的組會，也就是臺灣所謂的 group meeting，group 裡

面一部分是碩博士研究生，另一部分是大三大四本科生，得知這邊的學生在本科生時期就已經具有科研的實力了。王彥賓教授的團隊的研究方向主要也是運用地震模擬技術在各方面的探討，像是提升計算理論地震波效能、對於盆地效應的評估或是地表地形效應等，都與我研究的主題相關。聽幾位北大研究生的報告以及討論，可以知道他們平時學科各方面的基礎，所有理論基礎都很扎實，且都具備數學推導及程式設計能力，讓職收穫很多，心態上也成長許多。

第四日 12/28 (四)：

此次訪問主要目的係與岳漢交流震源逆推技術成果及經驗，利用各半天報告雙方各自震源逆推的發展成果，並對於雙方方法提出意見及想法，職亦表達想要學習利用近場資料及大地測量資料對於震模滑移量模擬的參數有更好的控制。

第五日 12/29(五)：

此行訪問時間有限，僅有兩天的交流時間，繼前一天報告後，岳漢教授大致描述職所提出的欲學習的方向及經驗，並導讀參考文獻，讓我有更多的經驗。

第六日 12/30 (六)：

搭乘長榮 BR-715 班機 13 時 55 分班機離開北京，於 17 時 05 分返抵桃園機場。

(二)震源逆推技術初步成果

在 Yue 等人(2011)的文章” The Sanriku-Oki low-seismicity region on the northern margin of the great 2011 Tohoku-Oki earthquake rupture” 中提到只利用高頻 GPS 的震源逆推是可行的,且 Yue 很多文章都有加入 GPS 資料做為斷層控制大小的因素,像是 2013 年的” Source rupture models for the Mw 9.0 2011 Tohoku earthquake from joint inversions of high-rate geodetic and seismic data”以及 2014 年的” Rupture process of the 2010 Mw 7.8 Mentawai tsunami earthquake from joint inversion of near-field hr-GPS and teleseismic body wave recordings constrained by tsunami observations”等文章中都有發表很好的結果(如圖 1)。此行目的即是要學習利用大地測量資料對於震模滑移量模擬中對於斷層面的參數有更好的控制。

氣象局地震中心資料庫統計,平均每年約有一起規模 6 以上的中大型地震或致災型地震,例如編號第 106006 號發生在 105 年 2 月 6 日臺灣時間 3 時 57 分的美濃地震,震源滑移量逆推結果如圖 2,逆推結果顯示東西走向約 42° 向北傾斜之斷層面,震源深度 14.6 公里,震源滑移量分佈主要是自震央開始向西北方及向下傳播,最大錯動量約 40 公分,在發震 7-8 秒後發生在震央西北方約 10 公里左右約 18 公里深處,錯動持續約 12 秒,逆推得到的地震矩規模 6.13。由滑移量分佈投影至地表的圖上顯示(圖 2 左上),大部分的能量釋放在震源西北方,也就是 PGA 最大(震度最大)的位置,因此災害最嚴重的地區為臺南善化。

職已在氣象局地震測報中心透過建立的迅速、確定中大規模地震震源機制解及有限震源平均破裂模型並判斷實際破裂面的基礎上,進一步在一個三維速度模型(Kuo-chen et al., 2012)和真實地表地形中自動近即時逆推臺灣地區中大規模地震(規模大於 6.0)地震震源滑移量時空分佈系統,斷層假設圖如圖 3。目前地震震源滑移量時空分佈在一維速度模型中的逆推技術已經發展成熟(Kikuchi & Kanamori, 1982; Hartzell & Heaton, 1983; Graves & Wald, 2001; Ji et al., 2002a; 2003),研究目的是將該逆推技術推廣至三維模型中,在保證逆推結果精確度可靠性的前提下,提高計算效率,使整個過程達到近即時且自動的效果,逆推方法如圖 4 及逆推流程圖如圖 5。最後,在得到震源滑移量時空分佈後,計算地震所引起的強地面運動,得到地面運動的 PGA(Peak Ground Acceleration)和 PGV(Peak Ground Velocity)分佈圖,能有效為災害性地震提供地震災害潛勢或後續餘震發展的重要依據。

目前,當中大型地震發生時,全球地震規模達 6.7 或臺灣地區發生規模 6.0 以上之

地震，在獲得震源機制解後，可以在 1 個小時內得到地震震源滑移量分佈的初步結果，期望未來加入三維模速度型的運算可以縮短計算時間，能更迅速的研判地震後續的發展。

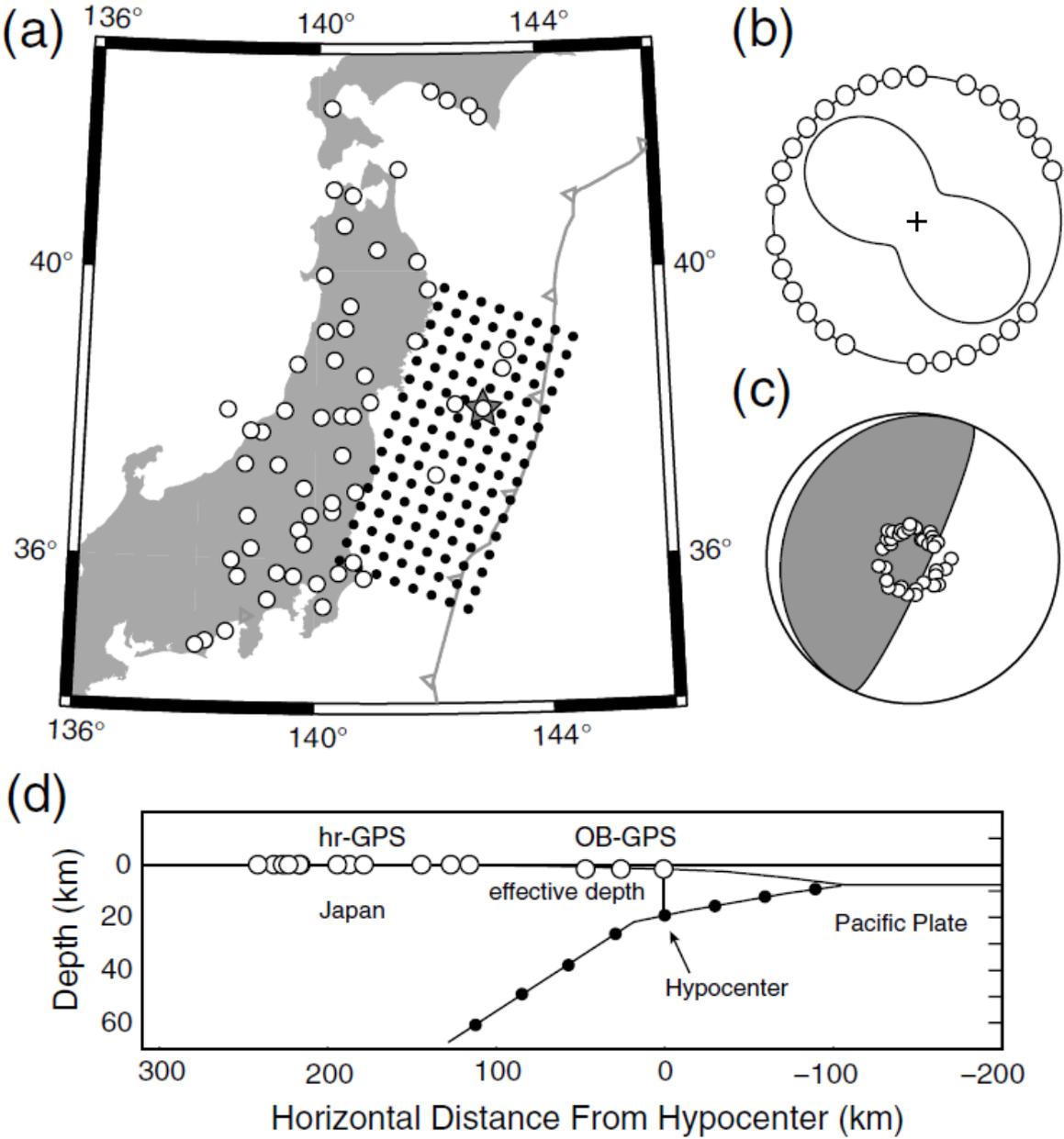


圖 1、Yue 等人 2013 年的文章中探討 2011 年 Tohoku 地震利用高頻 GPS 資料及地震資料所做的聯合逆推，如圖(a)白色圓圈代表 57 個高頻 GPS 測站及 5 個海底 GPS 測站。黑色圓圈代表利用 GPS 控制得到的地震斷層面大小，是由長寬為 30X30 共 14X8 個子斷層所組成。圖(d)是高頻 GPS 測站及 5 個海底 GPS 測站的相對位置圖。

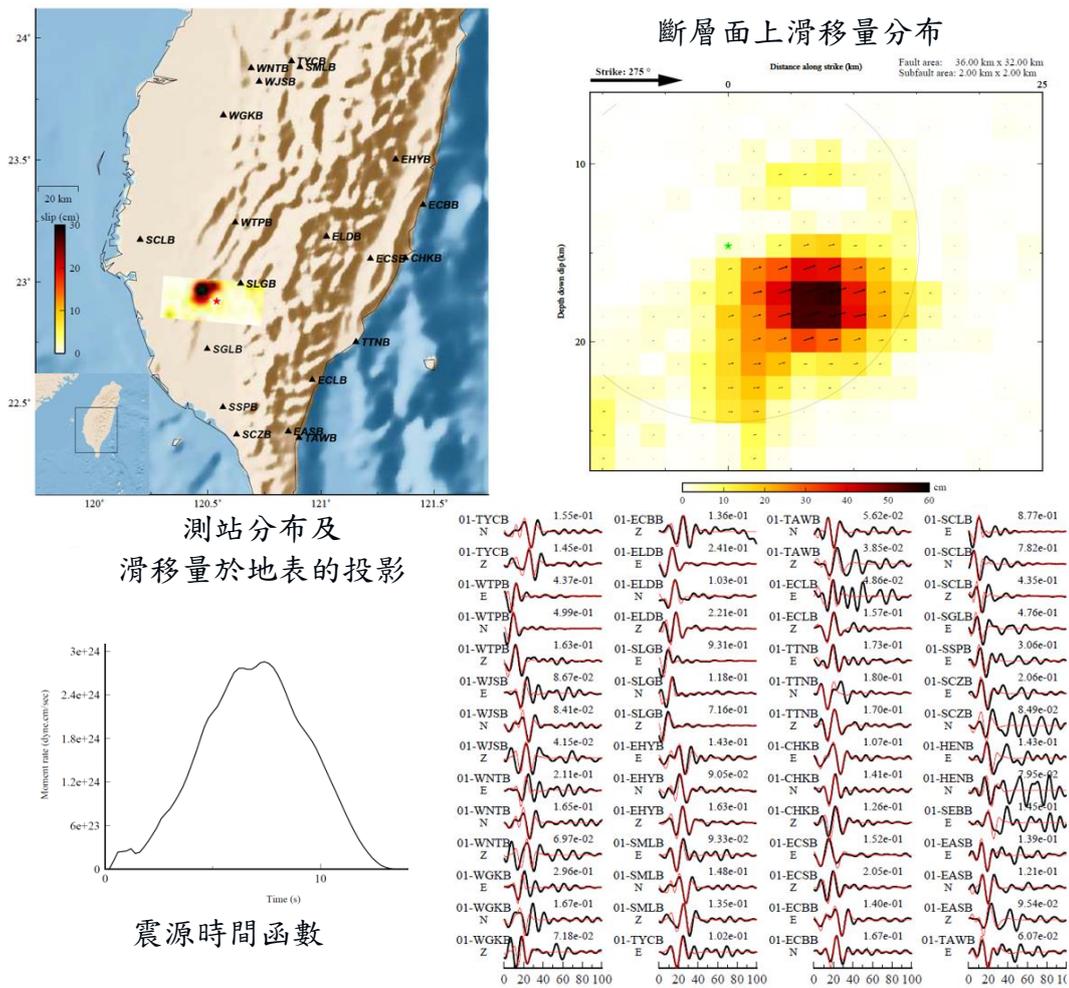


圖 2、105 年 2 月 6 日臺灣時間 3 時 57 分的美濃地震震緣滑移量分佈逆推結果。(左上) 投影至地表的滑移量分佈。(右上)斷層面上的滑移量分佈。(左下)此地震的震源時間函數。(右下)此地震波型擬合結果。

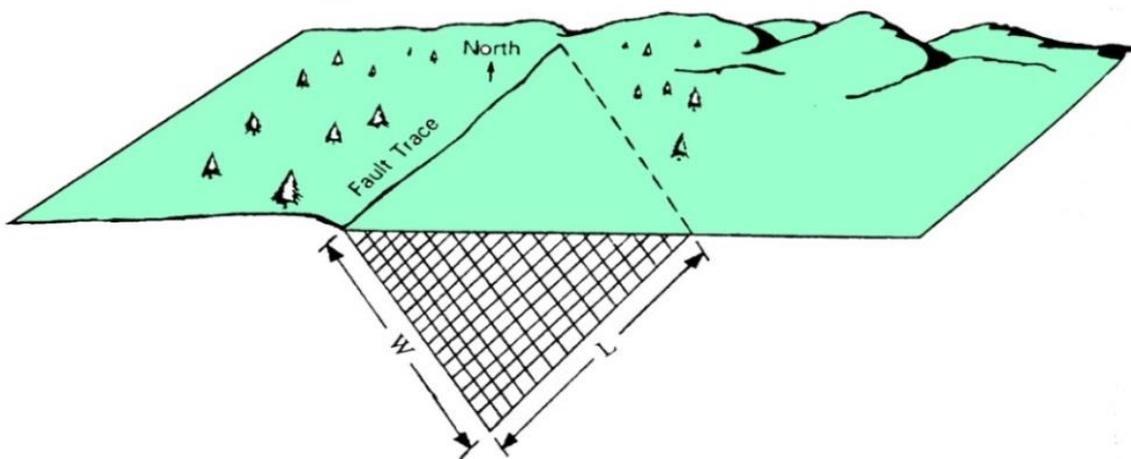


圖 3、模擬真實地表上之斷層幾何圖型(沿著 stike 和 dip 方向共有 MXN 個子斷層)。

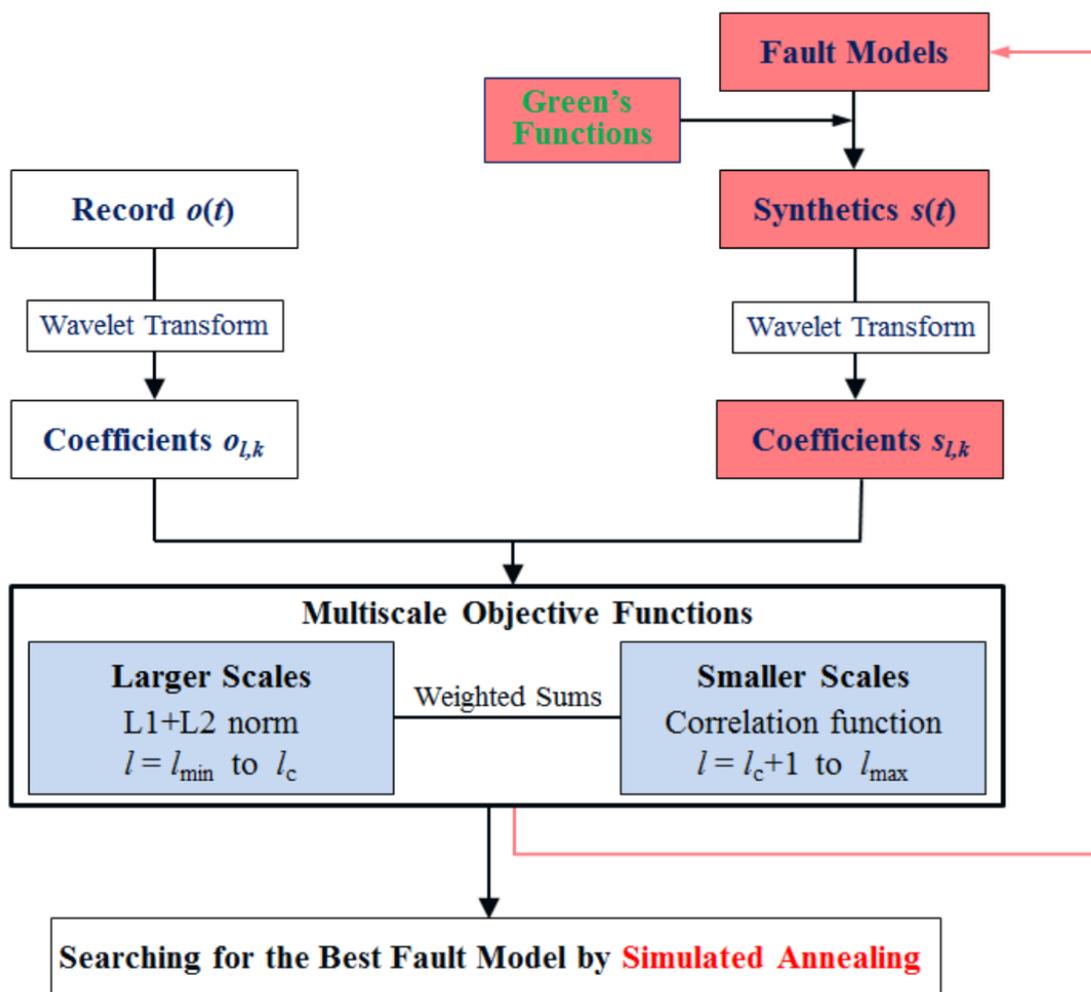


圖4、震源滑移量逆推程式(Ji et al., 2002a, b; 2003)運行流程圖。將收集到的地震紀錄轉到小波域後，經過波形擬合後，得到地震紀錄的小波係數，另外隨機假設一組地震參數並計算理論地震波，同樣轉到小波域，經過波形擬合後得到小波係數，由這兩組小波係數根據不同的頻段得到Multiscale Objective Functions，經過數百次迭代之後，最後依據退火法 (Simulated Annealing) 得到最佳的斷層模型。

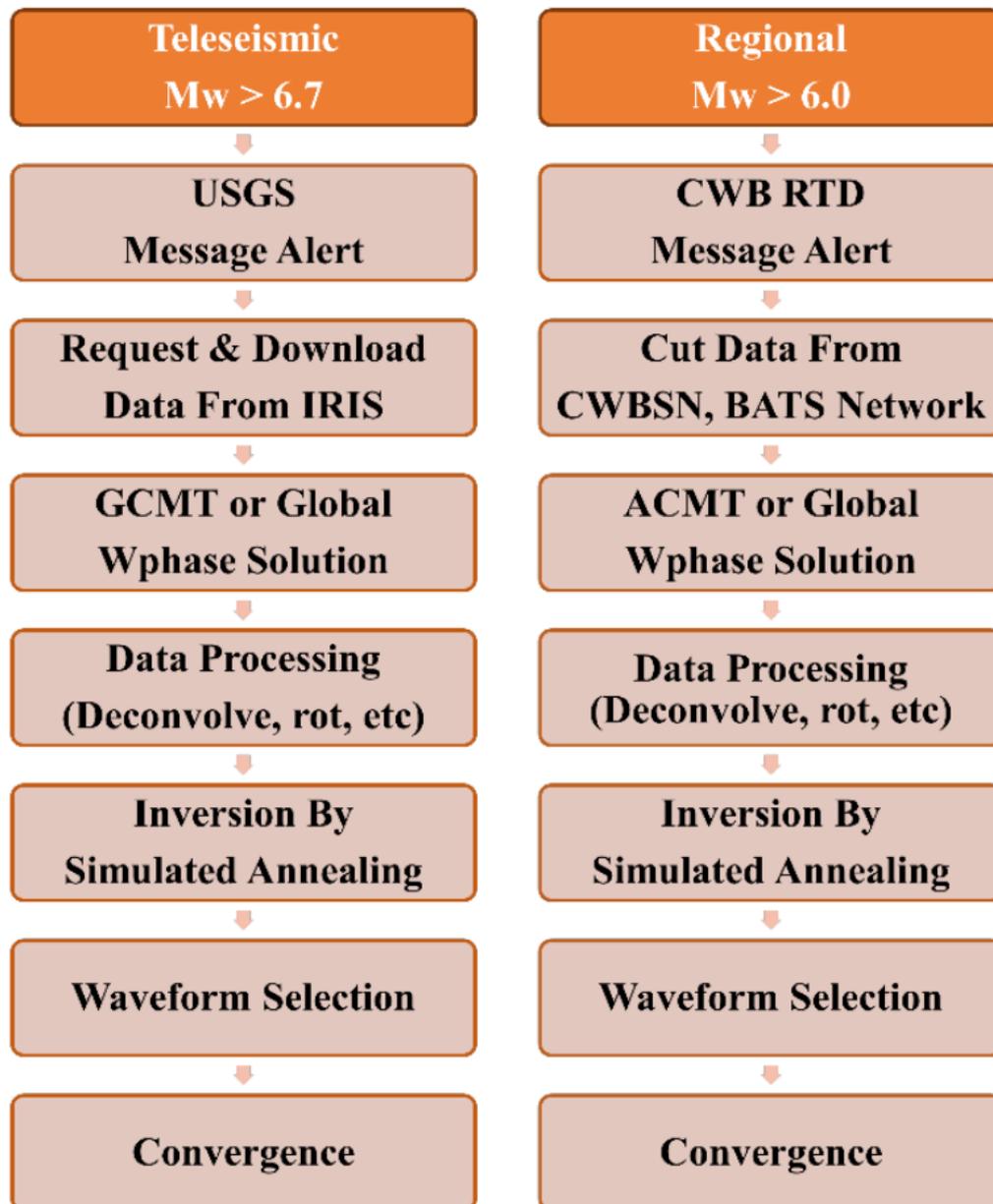


圖5、所建立之震源滑移量逆推系統流程圖，自動收到USGS全球地震簡訊通知，若全球發生規模大於 6.7 之地震以將進行震源滑移量逆推，下載來自IRIS的遠鎮資料及獲得GCMT或Global Wphase的震源機制解後，自動進行資料處理、波形篩選，直到震源滑移量逆推結果收斂。當臺灣地區發生規模大於 6 之地震，同樣進行震源滑移量逆推，操作流程和全球震源滑移量逆推相同，地震通知和震源機制解則是來自地震中心的自動系統。

三、心得與建議

說到北京最出名的，大家常常想到的就是霧霾，據長年在北京的人說，今年是空氣品質最好的一個冬天，霧霾特少！新聞也這麼說：北京已經連續 22 天空氣品質優良，職也算是幸運，但也不怎麼幸運，北京冬天的氣溫是我們南方人可能沒辦法體會的。北京屬於大陸型季風氣候，冬天零下是常有的事，夏天可以熱到高溫甚至比臺北還熱，每天出門頂著刺骨的寒風真是一種考驗，但進到室內暖和的暖氣緩解了凍僵的臉頰和手指頭。

此次職有幸到北京大學進行訪問及學術交流，除了岳漢教授也認識了該校許多地球物理專業知名的教授，可以促進中央氣象局地震測報中心未來地震學界各領域的交流。職目前已經將震源滑移量分佈逆推程式安裝於中央氣象局地震測報中心作業主機並對歷史地震逆推成功運作，並期望達成下述目標。

1. 此技術主要的工作重點係建立一套完整的震源滑移量時空分佈逆推系統，當中大型地震發生時，全球地震規模達 6.7 或台灣地區發生規模 6.0 以上之地震，將迅速獲取波形資料及地震震源參數來做震源滑移量分佈的逆推。
2. 加入三維速度模型的格林函數，可以使縮短模擬的計算時間，能更快速獲得地震震源滑移量分佈的結果。
3. 有效運用強震紀錄，並且加入 GPS 等大地測量資料的控制，使地震震源滑移量分佈的解能夠更穩定且更可靠。
4. 將解算結果上傳至氣象局官網或臺灣地區地震科學資訊系統網站，為地震災害分佈的評估和救災應急應變提供可靠的科學依據。

中央氣象局地震測報中心地震觀測技術已非常穩定，且是臺灣人民倚賴的重要地震資訊來源，然而地震模擬技術已在國際中發展了一、二十年，此次訪問北京大學的地震模擬資源對於職的地震模擬技術有很大的幫助。因此，職建議未來中央氣象局地震測報中心也可以有很多的資源投入地模擬技術，且有機會與國內外學者有更多的交流及分享。

四、參考文獻

- Yue, H., and T. Lay (2011). Inversion of high-rate (1-sps) GPS data for rupture process of the 11 March 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.1), *Geophys. Res. Lett.* **38**, no. L00G09, 6, doi: 10.1029/2011GL048700.
- Yue, H., and T. Lay (2013). Source rupture models for the Mw 9.0 2011 Tohoku earthquake from joint inversions of high-rate geodetic and seismic data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 103, No. 2B, pp. 1242–1255, May 2013, doi: 10.1785/0120120119.
- Yue, H., et. al (2014). Rupture process of the 2010 Mw 7.8 Mentawai tsunami earthquake from joint inversion of near-field hr-GPS and teleseismic body wave recordings constrained by tsunami observations, *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1002/2014JB011082

五、附錄-參訪點滴記錄



照片 1、進入北京大學校園內都要通過身分檢查，未持證者要進行登記才可以進入。



照片 2、左棟為逸夫苑、右棟為逸夫貳樓，兩棟皆為理學院。



照片 3、地空學院地球物理專業位在逸夫苑八樓。



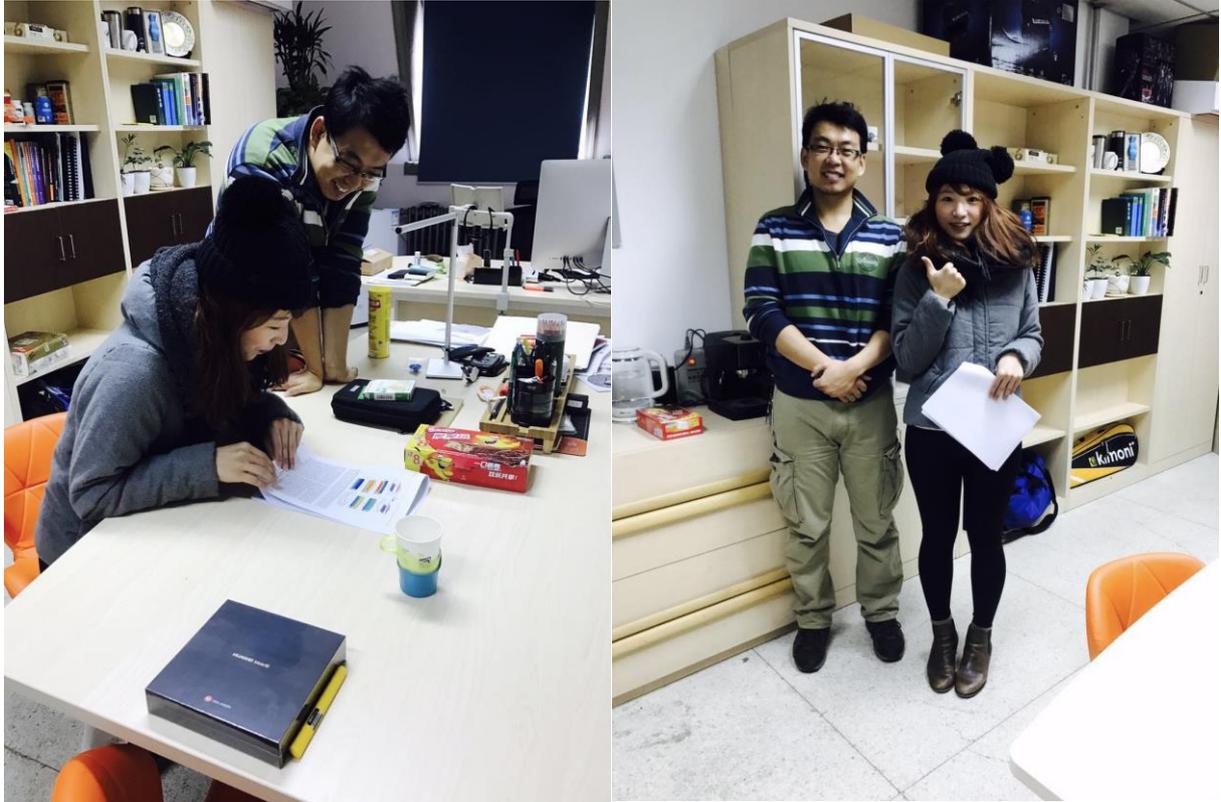
照片 4、地空學院地球物理專業所有教授的合影。



照片 5、與地空學院地球物理專業所有教授餐敘。



照片 6、參與王彥賓教授團隊的組會



照片 7、與岳漢討論震源逆推技術



照片 8、窗外的夕陽。每天在研究室待到日落黑夜，出門氣溫十分冷，寒風刺骨。



圖 12、照片左邊為杏樹，右邊兩柱是華表，皆是北京大學著名景觀。華表原置於圓明園安佑宮，安佑宮前有琉璃坊，“左右華表各一”。