

出國報告（出國類別：其他-國際會議）

## 參加美國地球物理學年會

(2007 AGU FALL MEETING)

服務機關：經濟部中央地質調查所

姓名職稱：謝有忠、陳棋炫/技佐

派赴國家：美國

出國期間：96年12月9日至12月16日

報告日期：96年2月28日

# 目錄

目錄.....	1
摘要.....	2
壹、 目的.....	3
貳、 參與主題.....	7
參、 心得.....	19
肆、 建議.....	23
伍、 參考文獻.....	25

## 摘要

美國地球物理學會秋季年會 (AGU Fall Meeting)，為國際上地球物理和地質專家每年固定聚集討論發表研究成果心得重要場合，含跨許多領域，如大氣科學、太空物理、地磁學、全球變遷、水文學、岩礦學、地球物理、海洋學、古海洋學、古氣候學、行星科學、地震學、大地構造、火山學、地球化學、岩石學、測地學等等，2007 年度於 12 月 10-14 日於美國加州舊金山舉行。

本所「大台北地區特殊地質災害調查與監測」計畫，針對大台北地區有兩項特有之地質作用，即台北盆地西緣之山腳斷層與北緣大屯火山群之火山活動，利用長期調查及監測資料，建立火山異常活動指標、分析地震分佈及震波效應，評估火山及斷層之活動性及應用高精度及高解析度數值地形資料於研判災害之地質地形特徵，包括了火山地質學、地球化學儀器分析、地震學、遙測及數值地形分析等學門及技術，應用於研究評估火山活動、斷層活動及地震波特性。

本次出國經費來源為「大台北地區特殊地質災害調查與計畫」，利用此行參與美國地球物理學會秋季年會的機會，除了發表本計畫相關研究成果、交流空載光達雷射測距掃描技術(LiDAR)相關成果外，並與國際接軌，藉此觀摩交流有關火山地質學、地球化學、地震學、大地構造、測地學等，應用在火山及斷層活動之調查與監測方面之成果。

關鍵字:美國地球物理學會、空載光達(LiDAR)、大屯火山、山腳斷層

## 壹、目的

光達(Light Detection And Ranging, 簡稱 LiDAR)或稱雷射測距掃描技術(Laser Scanner; Laser Swath Mapping), 為利用雷射光束測距原理進行掃描式測距之系統。主要可以包含以空載及地面兩種系統, 空載光達(Airborne LiDAR; ALSM)係以航空器為載台, 結合雷射系統、GPS、與慣性導航系統(INS), 將三部份技術整合, 獲取資料經解算後, 即可獲得地形地物之(x,y,z)三維坐標, 也使得地形高程測量作業快速而準確, 而能進一步分析應用。

空載光達技術的發展, 源自 1970 及 1980 年代美國太空總署(NASA)的研發, 因應全球定位系統(Global Positioning System, GPS)及慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)發展, 使得精確的即時定位定姿態方法得以實現。經由德國 Stuttgart 大學於 1988 至 1993 年期間將雷射掃描技術與即時定位定姿態系統加以結合產生初始的空載雷射掃描儀系統(Ackermann, 1999)。將雷射掃描儀固定於飛行載台上, 由空中向地面以高頻率發射雷射光束, 並由感測器接收反射訊號後, 記錄發射脈衝到接收反射訊號之間的時間差, 載台以 DGPS 完成精密的動態定位, 同時利用 INS 獲取慣性姿態維度, 導出外部參考座標, 每一次掃描皆建立自雷射載台至地面反射點間之空間向量, 整合距離、位置、姿態以及座標之資料, 進而可推導出地面投影之三維座標。

以空載雷射測距掃描技術(亦稱空載光達技術)所製成的數值地形, 在解析度、精確度、與數據獲取效率等方面均有很高效果, 而且可以率除建物與樹木等對地形面的遮蔽或干擾, 故空載光達技術已成為地形研究應用的重要工具(Haugerud et al., 2003; Carter and Shrestha, 2003; Chang et al., 2005)。空載光達技術自 2002 年引進國

內後，獲取陽明山、新竹、大坑、九份二山、與草嶺潭等測區之數據，供各界進行應用探討後，空載光達技術在獲取大面積精確數值地形上的效率已獲得證實，國內亦將陸續產出這種高精度的數值地形（史天元、等人，2002；徐偉城、等人，2005；劉榮寬、等人，2005；史天元、等人，2005）。

數值地形不只可用於描述與展示三維的地形，亦易於推衍各種地表地形參數，如：坡度、坡向、曲率、剖面、集水區、水系等，可用於地質災害分析、水文分析與模擬、土壤侵蝕研究、以及其他生態環境之模擬與分析等。近年來利用新興的技術，國內在活動斷層與構造地形等地質災害研究方面已有相當的進展。此類新興的技術包括大地測量、衛星遙測、地理空間資訊系統、與活動構造定年等。然而鑑於此類地質災害常因地表可供判斷的高程資料有限，仍然有相當多研究調查之空間。為了增強辨識此類地質災害基本資料(Harding and Berghoff, 2000)，並更進一步瞭解構造地形相關的問題與其工程之應用，測製精確且高解析度數值地形對於未來地質災害地形研究是極必要的 (Haugerud et al., 2003; Carter and Shrestha, 2003；黃鐘等，2004；詹瑜璋，2005；Chen et al., 2005；Chang et al., 2005；Chan et al., 2007)。

中央地質調查所「大台北地區特殊地質災害調查與監測」計畫之子項計畫「高精度空載雷射掃描(LiDAR)地形測製與構造地形分析」，第一期從 2005 至 2007 分三年執行，完成工作範圍約 2420 平方公里，包括 414 幅五千分之一像片基本圖範圍，主旨即為利用空載雷射掃描技術(Airborne LiDAR)，產製大台北地區平面解析度二公尺網格之數值地形，包括數值地面模型(Digital Topographic Model or Digital Terrain Model, DTM)與數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)，並據此進行地形分析與構造地形分析，以作為更進一步環境

防災的基礎。本計畫 95 年度相關成果已於 2006 年度美國地球物理學會秋季年會(AGU Fall Meeting)發表(Eos Trans. AGU Fall Meet. Suppl. T33D-0541)，該年會也是國際上地球物理和地質專家每年聚集討論發表研究成果心得場所，2007 年度於 12 月 10-14 日於美國加州舊金山舉行，本次藉由「大台北地區特殊地質災害調查與監測」相關計畫成果發表:LiDAR 於火山地區地滑之應用及台灣北部可能之斷層系統 (Eos Trans. AGU Fall Meet. Suppl. T43B-1335:Evolution of large scale paleo-landslides in volcanic area reconstructed based on LiDAR technology、OS53A-0973:The possible fault system in north Taiwan)，配合該年會議程時間赴美與會，同時參訪、獲取新知及技術產品。會後攜回各國相關領域於展場所展示的相關成果海報及技術手冊，作為增益本所計畫之參考。

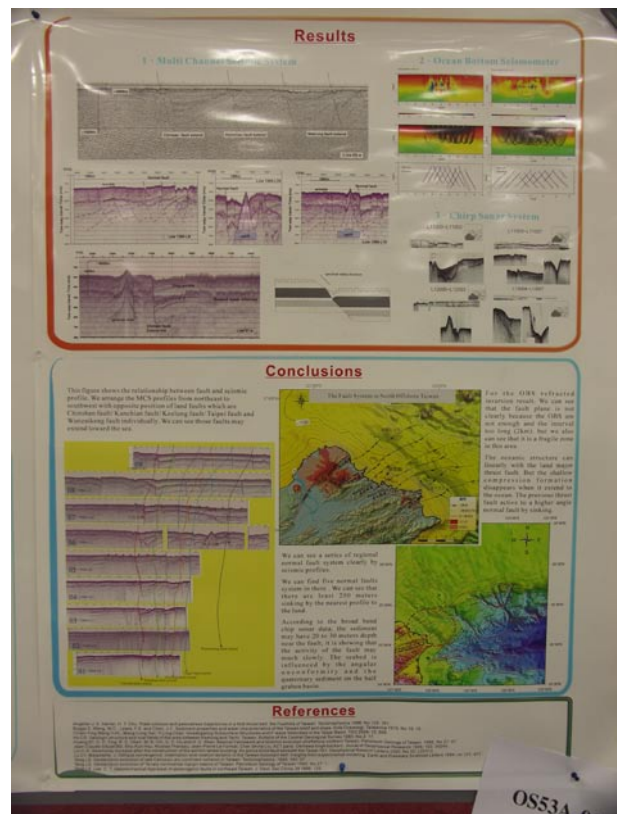
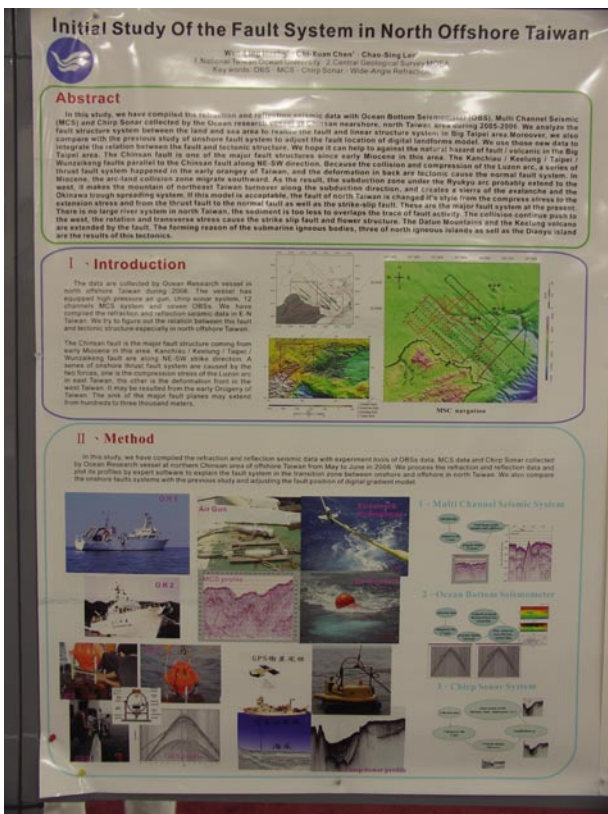


圖 1.本計畫於 AGU 會場之相關發表壁報

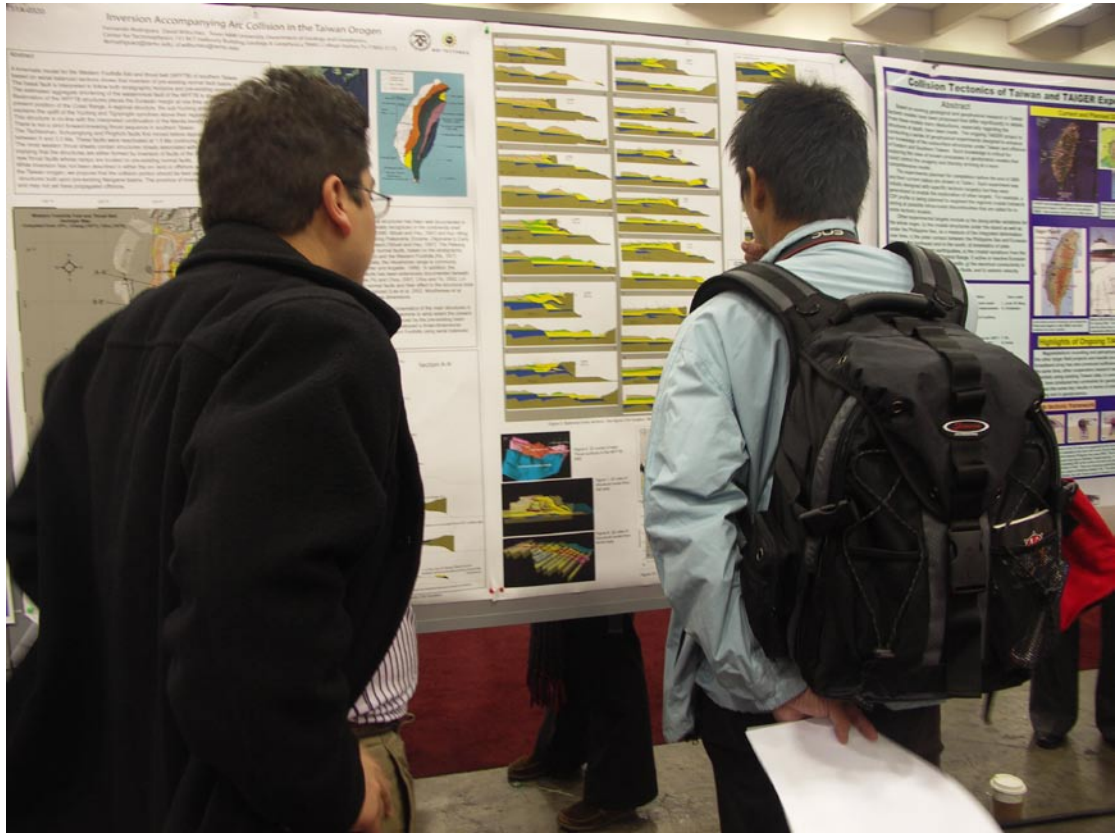


圖 2.與國外學者討論計畫相關壁報內容借以交流新知

## 貳、參與主題

### 一、光達技術及數值地形相關應用

地球科學許多研究領域中，準確的地形資料可以說是最基本資料來有效表達大地的三維立體面貌，除了利用高解析度航空照片或衛星影像外，更需要高精度及高解析度之數值化的高程模型地形，不只是描述與展示三維之地形，亦可以於推衍各種地表地形參數，如：坡度、坡向、曲率、剖面、集水區、水系等，可用於地質災害分析、水文分析與模擬、土壤侵蝕研究、以及其他生態環境之模擬與分析等。進而應用到各種領域。

地形基本的測繪，傳統上包括現地測量與航照測量，近年來開始使用衛星立體影像測製地形高程。然而這些方法之準確性、性能與價格比、時間耗費、可行性與適用性，仍不及新興的雷射掃描技術。「大台北地區特殊地質災害調查與監測」計畫之子項計畫「高精度空載雷射掃描(LiDAR)地形測製與構造地形分析」，即為利用空載雷射掃描技術，產製大台北地區高解析度之數值地形。

此行前往美國地球物理學會秋季年會所發表文章，在許多領域中都可以看到討論地形測製或是利用數值地型的應用，包括水文學、地球物理、行星科學、地震學、大地構造、火山學、測地學等等，其中利用雷射測距技術包含有地面光達 (Ground-Based LiDAR) 和空載光達，有多篇發表文章為將地面光達成果應用在地質上如坡地災害，活動構造等，如以調查區域屬於較小規模範圍的主題，應用地面光達系統短時間蒐集精確地形資料後，配合現地調查或結合 RTK 地面測量，進而討論地面變形監測狀況，進一步得知地質構造之活動性。另也有利用地面光達系統針對出露地表之露頭剖面掃描，所得之點雲強



度資料轉換成影像後，討論出露剖面破裂面分佈狀況。空載光達的部份，因利用航空器為載具，調查範圍多屬大面積範圍，有數篇都是利用空載光達可以大範圍調查冰川地形，描繪出冰川的地形特徵以及構造地形特徵，也有利用光達資料配合 InSAR 影像進而討論地形變化狀況。另年會現場有研究機構或廠商設置攤位，其中如 Earth Scope Project、NCALM、NASA、USGS 等提供 LiDAR 資料或服務等機構，也在現場展示提供有關 LiDAR 之訊息。

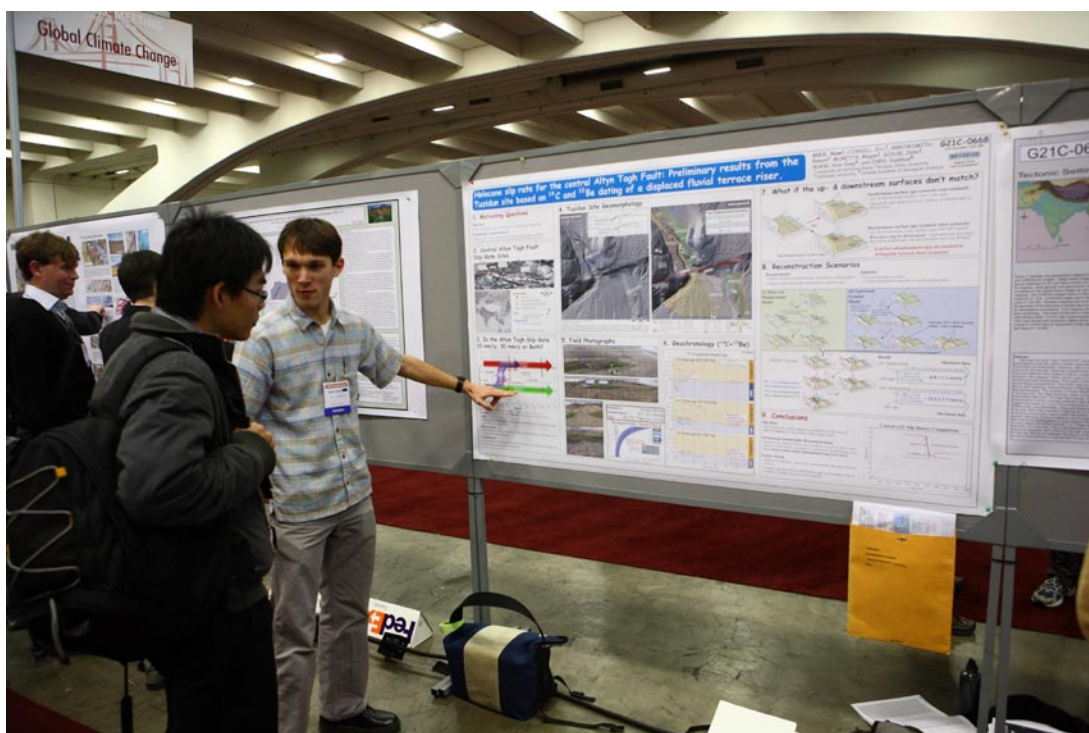


圖 3.出國人員與國外學者討論應用 LiDAR 資料於斷層活動上之監測及分析

## 二、火山地質調查與監測

在人類歷史上和現代的數十年內，不時傳出火山噴發活動引起各式災害的消息，對全球人類影響不可輕忽。火山地質調查與監測，調查的工作就是瞭解火山地質狀況和建立基本資料庫，包括了建立火山岩層序和演化歷史、火山產物的分布與規模、探討火山產物的種類與成因以及噴發絕對年代的測定。監測的部分即觀察火山現在的行為變異。目前許多活火山地區監測的項目，包括了(1)地震、(2)地表變形、(3)地熱系統(噴氣、溫泉、溫度等)、(4)地球物理現象(如地電、重力、磁力等)。這些地質現象之變化都和地殼岩漿庫活動有直接的關係，如火山噴發前，岩漿庫會先逐步增長或向上遷移，因而引起頻繁的微地震、地表隆升、地溫增高、噴氣之 SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 等氣體成份增加等等。藉由平日長期監測建立背景值，活動頻繁區域可以利用監測之異常值，分析所得之異常現象，評估火山活動可能性。

此行美國地球物理學會秋季年會所發表文章中，相當多關於火山之地質調查、地學化學分析或監測、地球物理調查、地溫調查、地表變形監測等研討論文，大致上全球火山分佈區域的火山相關研究都有著墨，也含括各類不同典型之火山，利用各種方法調查瞭解火山地質狀況，另外也有與火山活動現象監測的各種相關監測成果發表，此部分與目前「大台北地區特殊地質災害調查與監測」計畫中針對火山活動監測有很大相關性，幾種技術方法於大屯山地區也持續進行監測中。此外有利用遙測方法測製火山口隆起變形，在活躍性高火山地區明顯有地形變化，或可利用此方法進行火山活動監測。

### 三、海床地質構造及速度構造調查

大台北地區特殊地質災害調查與監測計畫，子項計畫之一為調查台灣東北海域海床地層淺層地質構造，及利用 MicrOBS 折射資料調查更深層之地殼速度構造。由於海洋底下的海床可能孕育著無數的礦場資源，但是海洋裡的地震活動又會造成引起天然災害的海嘯。所以世界上擁有海權的國家莫不戮力調查其所屬領海之基本資料，為了解各國家在調查海底構造之計畫規畫及實施策略，本次會議亦特別將重點著眼於此，並收集相關簡報資料、壁報資料及與作者進行討論以獲取更多相關知識與經驗。

目前世界各國在調查海洋地質構造方面，最主要的利器是海底地震儀(OBS)及多頻道反射震測(MCS)，由於 OBS 之專長主要為折射資料，能夠獲得下部地殼甚至到上部地函之折射資料，而 MCS 之專長為海底地層分層反射訊號之擷取，故配合此兩項工作主要應用於板塊交界處，藉以探求數十公里下之板塊下插構造及地層速度構造分布。而推求之模式又利用重力異常模式或地震發生之震源機制解加以驗證，以強化解釋模型之論點。以下列舉此次會議上發表之南美及日本研究為例。

#### **(一)委內瑞拉與安的列斯島弧區之海域與陸域寬頻調查(Broadband Ocean and Land Investigation of Venezuela and the Antilles arc Region, BOLIVAR):**

此研究調查區域總長度約 550 公里(海上部分約 330 公里)，從委內瑞拉陸上佈置 514 顆單頻道接收器往加勒比海上延伸佈置 7 顆 4 頻道海底地震儀，此條測線跨越加勒比(CAR)板塊與南美洲(SA)板塊，並跨越板塊交界增積岩體與海溝，沿此條測線於陸上進行兩點炸測與海上進行持續高能量空氣槍炸測，一方面可獲取高解析度之反射震測資料，另一方面可收取接收器所收到更深層之廣角折射波。

此計畫研究船主要為使用尤英號(RV Maurice Ewing)，震測反射資料顯示出，位於北面的加勒比板塊往南隱沒，造成位於南加勒比海變形帶下方之逆衝作用持續進行，P 波速度構造雖然僅能表現出近期之板塊活動現項，但仍能看出受到高度之擠壓變形。再往南看海陸交界處發育出走向滑移系統，此右移系統調節了加勒比與南美洲板塊大約 50%的位移量並形成轉換拉張之特性，而位於此調節帶之卡里亞科盆地發育顯然是由幾乎垂直的走向滑移斷層所限制住，所以斷層兩邊之 P 波速度為由 5.7Km/s 之地殼岩石與 3Km/s 之沉積物接觸。

P 波速度構造之求得依據以下兩步驟 1.利用 Zelt and Boton (1998) 所發展的挑取直達波之走時，求得上部與中部地殼之速度構造，此為藉由反演 PmP 與 Pn 走時，先獲取莫荷面深度以及上部地函及下部地殼之速度(Zelt and Smith,1992)。結果顯示南美洲板塊下方之莫荷面深度約 30~40 公里，並推估加勒比板塊地殼厚度約 10 公里。最後本研究將反演求得之速度構造，利用全球實驗之數據轉換成密度模式，得到其重力異常部分與本研究所發現之主要構造事件之結果吻合。

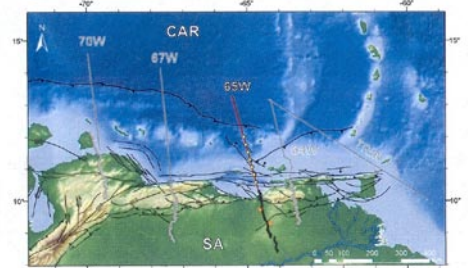
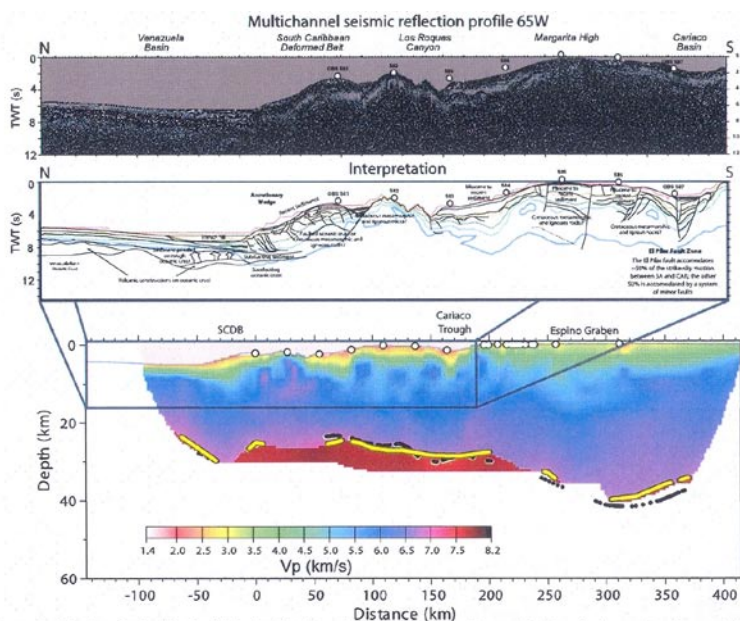


Figure 1: Location map for the BOLIVAR experiment. 65W line shown in color. Stars show the location of the two landshots; black dots are land receivers; yellow circles are OBSs; the line of airgun shots (corresponding to the MCS line) is shown in red. SA: South America plate, CAR: Caribbean plate.

圖 4. 委內瑞拉與安的列斯島弧區之海域與陸域 MCS 與 OBS 調查成果

## (二)千島海溝地殼形貌之研究

千島海溝(Kuril)位於北海道往東，北方延伸為阿留申海溝，向南方為日本海溝。為太平洋板塊俯衝鄂霍次克海板塊，造成千島群島。1952 及 2003 年相隔 50 年在十勝衝(Tokachi-oki)分別發生了規模 8.2 及 8 的地震，1952 年地震之同震滑移量往北影響到達一處海底峽谷，而 2003 年之同震位移似乎未到達峽谷，更北方的 1973 年根室衝(Nemuro-oki)地區，規模接近 7.4 的地震事件，其同震位移與往南也是沒跨過上面所提之海底峽谷，因此十勝衝與根室衝兩地區似乎存在一界限，此界線估計約有 70 公里寬。為了解南北兩區塊與中間界線之地殼形貌及板塊交界情形，此研究利用 16 顆的海底地震儀(OBS)以及多頻道反射震測(MCS)來進行調查。

本研究使用日本的研究船 Hakuho maru，OBS 每隔 10 公里放一顆，炸測間距約 150 公尺，空氣槍震源能量為 75L，總炸測調查剖面長度為 184 公里。研究方法為利用 Zelt and Smith,1992 年發展的 ray tracing 方法，再利用直達波走時反演；另外為解釋震波反射相，使用了 Fujie 等人於 2006 年發展之 TMM (Traveltime Mapping Method)。研究結果求出海床下之 23 公里內之速度構造，而超過 23 公里深則無良好之解析度，使用正演方法推估速度為 7.8Km/s。

而在南北兩地震分區及中間界限之板塊形貌得到成果:由沉積岩層之厚度變異及岩層之反射強度，指示存在之空間上的不均質存在板塊內，反射波在界限過渡區內最明顯，在 2003 年地震事件地殼深處並看不到明顯具有板塊交界之反射強度變異性，但在北方的根室衝下方，依據反射波強度則判別為明顯的板塊邊界。配合 2003 的同震滑移量，將震後活動分成兩群，第一群為接近板塊邊界的振動，第二群為島弧上部地殼的振動。本計畫的調查成果讓此地區的地殼形貌得以

分區展現。

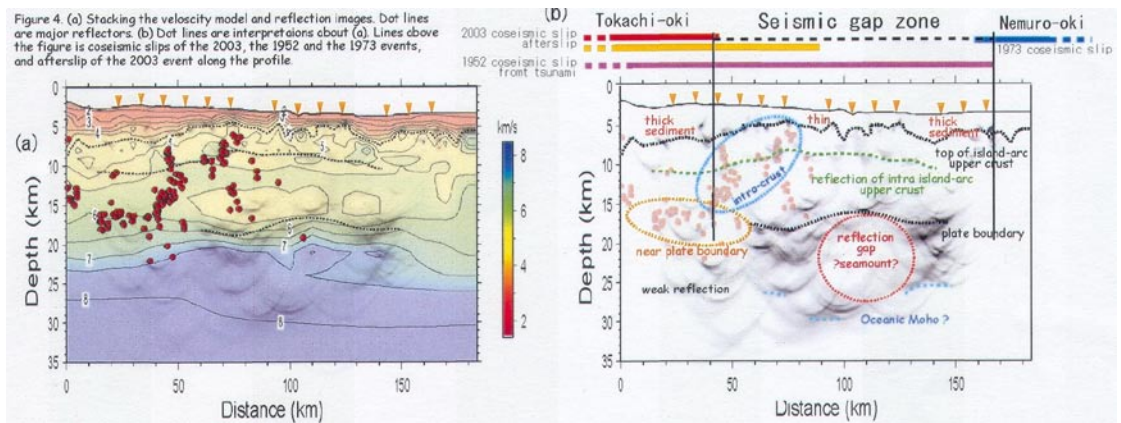
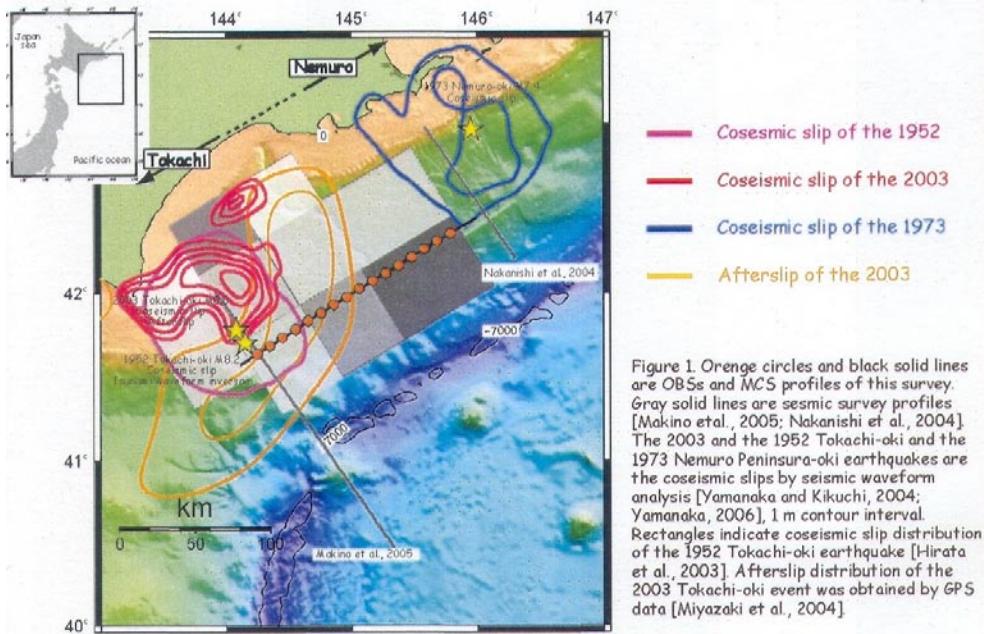


圖 5. 千島海溝相關位置及利用 OBS 調查所得之地下構造成果

### (三)近海海床沉積物及淺層構造調查

AOA 公司(<http://www.aoageophysics.com/index.html>)為美國提供陸域及海域地球物理調查之專業公司，本次 AGU 會議此公司展現其各項研究成果，其中關於近海底質及淺層構造之議題上，展現了幾項調查工具及其調查成果。在密西西比河出海口之河流海底沖積扇，利用多音束測深系統(Multibeam)、底拖側掃聲納(side scan sonar)並利用聲納穿透海床淺層製作底床反射剖面，掃描結果成功製作高解析度之海底地形及淺層沉積物分佈，並區分出八大區之出海口泥流堆積區。另外亦有利用此些工具研究加拿大東方 LOGAN 峽谷，多音束之精確水深資料輔以震測剖面，推估出海底斜坡上三期之土石流。

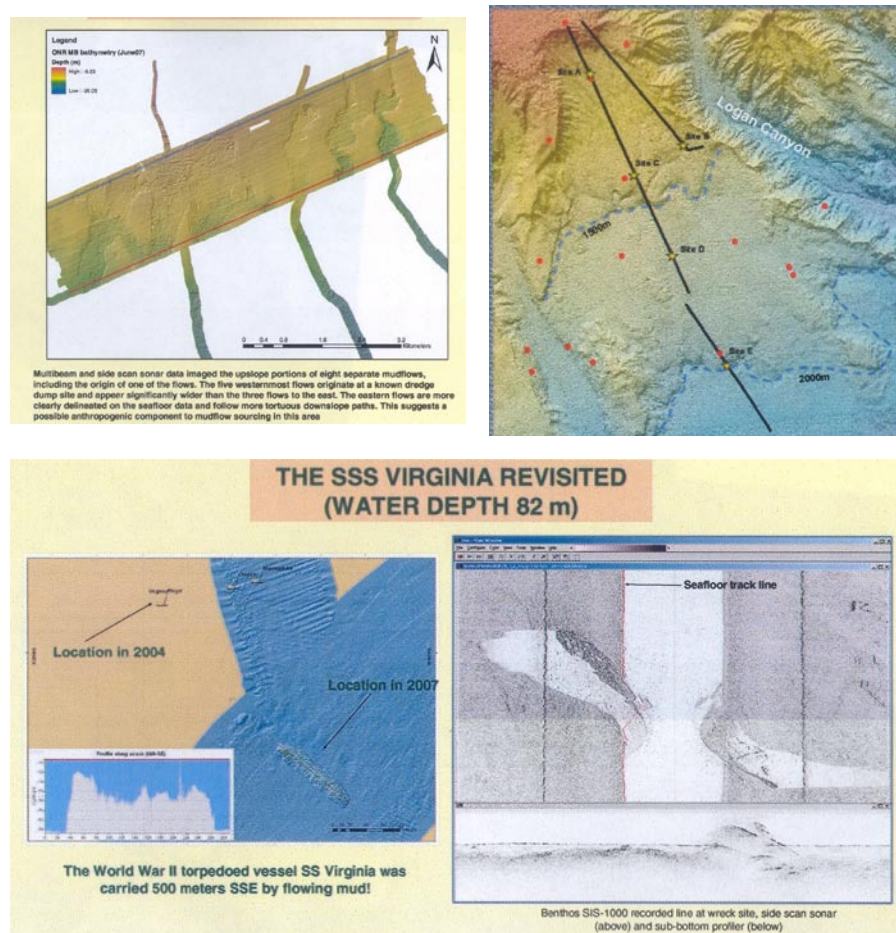


圖 6.利用 Multibeam 及 Side scan 可有效調查海下淺層構造

#### 四、微震觀測網及低頻微震資料應用

大台北地區微震調查與監測為大台北計畫之子項目之一，本計畫第一期至 96 年底進行四年，在大台北地區每年佈置約 20 組之臨時寬頻地震站，並持續建置固定式之井下地震站，以連續紀錄監測大台北地區之地震活動。四年計畫已獲取相當大量之微震資料，並利用資料進行分析及模擬，推估各種可能之地震行為。本次參加此會議重點之一為參考各國地震監測計畫執行的規畫，並如何利用地震監測之結果進行各種加值分析。日本由於所處地震發生頻繁的地理位置上，在地震研究成就上可謂相當傑出，本報告將會談中日本進行之地震觀測網建置情形，以及極低頻地震(VLF)及微動(tremor)研究成果進行討論。作為本所於大台北地區及火山地區監測到之低頻微震訊號參考，以運用於未來發展此項研究。

##### (一)日本地震研究及地震監測網

1995 年日本發生 Kobe 地震後，日本地區開始展開改善地震觀測的各式地震儀安裝，國際地球科學與災害防禦研究會 (NIED) 建置並整合了遍佈整個日本的地震監測網，至目前為止 K-net 由 1700 個地表強地動站所組成，KiK-net 或稱 Hi-Net 由 660 個裝置在地表或井下之強地動站所組成。另外還有 F-net 為由 70 個寬頻地震儀所組成。各個地震觀測網分別有各種不同的監測能力，如下圖所示，其中可看到在地震規模不大且低頻的範圍，主要需靠寬頻地震儀來監測 (F-net)。

而在 Hi-net 監測站都安裝了一個具有 (5Hz 到直流分量) 寬頻響應裝置的雙組份高靈敏度水平加速度記錄儀器，能夠探測到小振幅信號的低頻震動。亦可用於分析短期慢滑動事件及甚低頻之地震(VLF)。



Hi-net TILT 和 F-net 還可用於計算當地地震的矩張量解。配合地震監測站建置，1997 年 KIBAN 計畫進行相關研究以使地震站達到最高效能，其計畫重點核心有四：(一)地震監測(High sensitivity 和 Broadband 地震站觀測)，(二)強地動觀測，(三)地殼運動觀測(建置 GPS 測站)，(四)調查陸上及海域之活動斷層構造

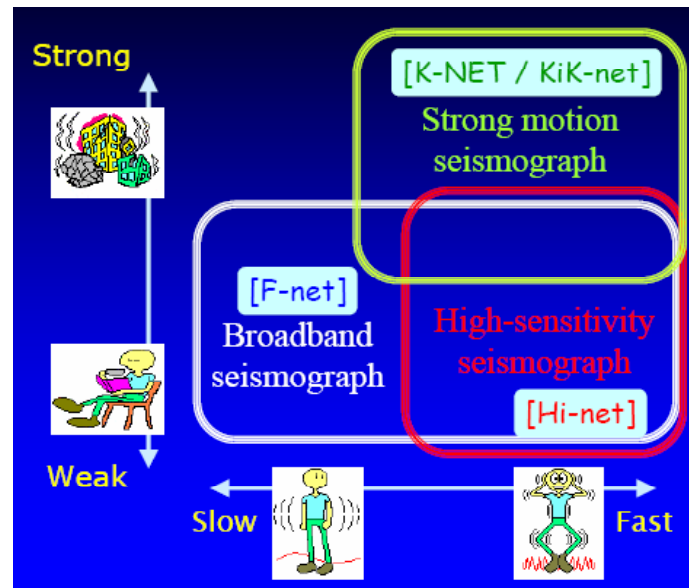


圖 7.各種形式之地震儀監測網所對應可靠之速度及頻率

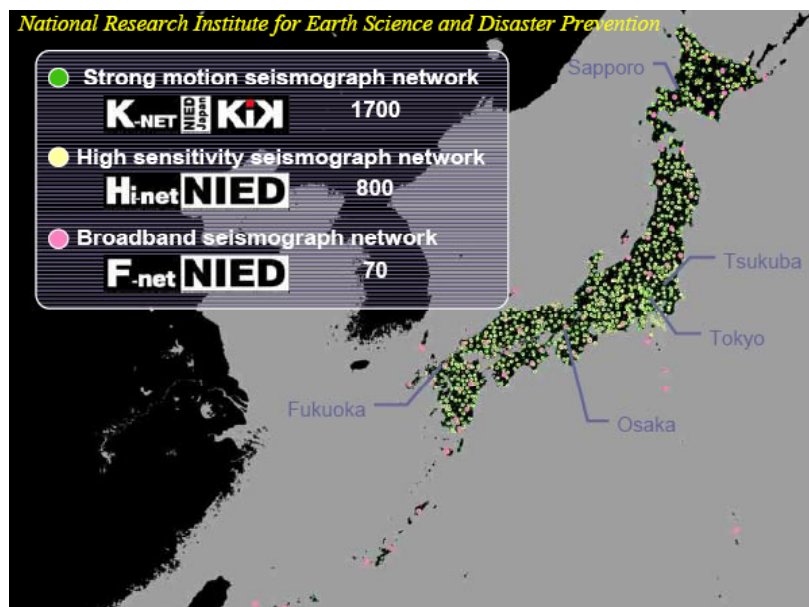


圖 8. 國際地球科學與災害防禦研究會 (NIED) 建置並整合了遍佈整個日本的地震監測網

## (二)深源低頻微動(treamor)訊號非常低頻地震(VLF)研究

利用地震紀錄進行各種帶通濾波在1~0.005Hz範圍內檢查Hi-net和F-net數據，以探測從過渡帶發射出來的未被確定的長期地震波。介於用0.02~0.05Hz的帶通濾波器，成功探測出從深源低頻地震源附近的過渡帶發射出的清晰而反常的VLF地震信號。在緩慢地震的研究上，將其區分成三大種類，分別為：淺層非常低頻的微動(treamor)、非火山性深層低頻及非常低頻的微動還有短週期緩慢滑動事件。經由2001~2007之監測分析顯示深層的緩慢滑動可能先發生，然後引發微動，因此很多微動的震央遷移卻沒造成地殼變形。假如深層滑動與微動之關係確定，便可以藉由微動(treamor)之發生推估轉換帶之滑動歷史。2006 Tokai的監測結果顯示非常低頻之地震(VLF)以及微動(treamor)跟著緩慢滑動事件(slow slip)往北遷移。另外在南端的Nankai的地震區塊上建立了一個模式圖，來說明緩慢地震之相互關係及空間分布。

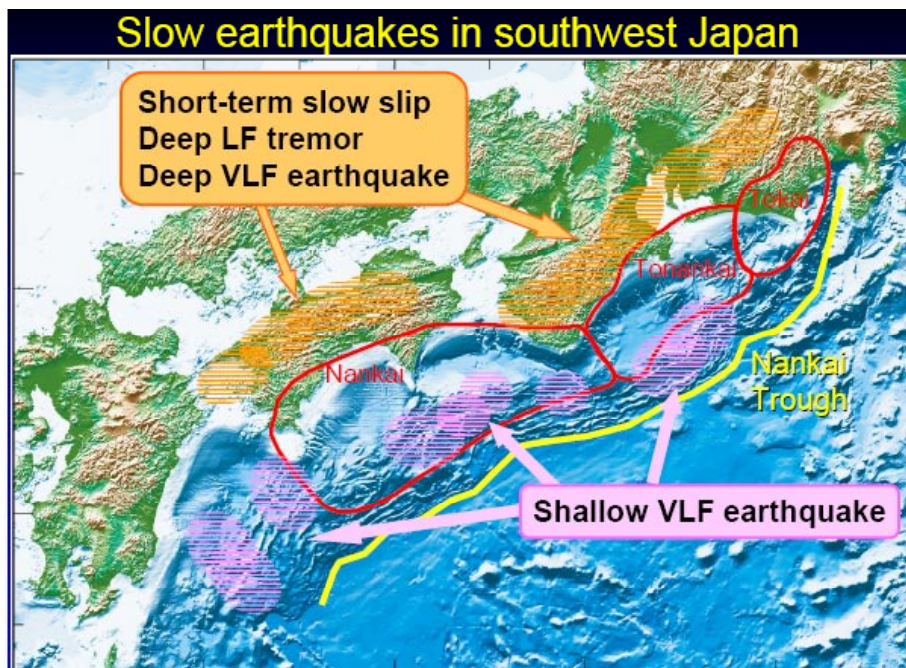
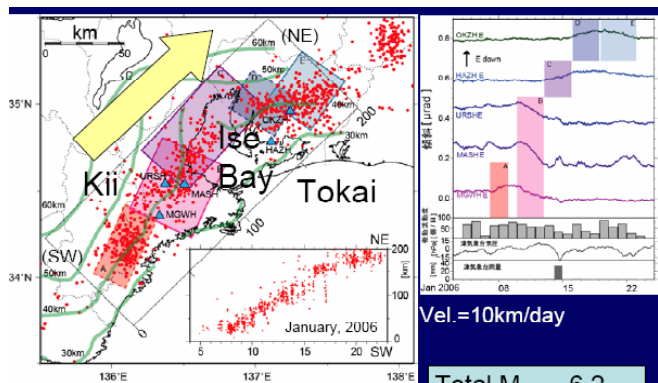


圖 9.各種頻率之維地動空間分佈關係圖



Deep VLF earthquakes with tremor and slip of episode 2006 in Tokai and Kii area

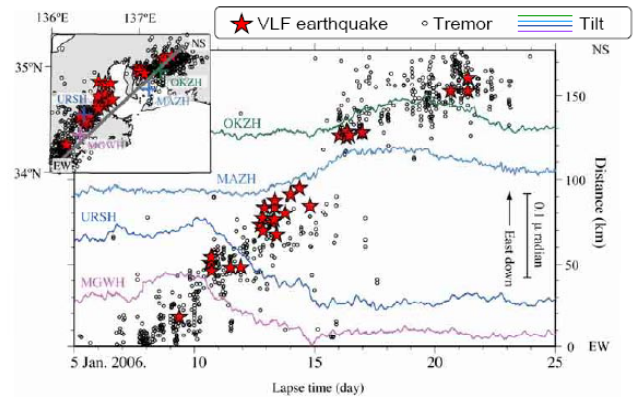


圖 10. 非常低頻地震(VLF)發生的空間轉移與深層地層滑動(slip)在空間上有良好的相對應關係

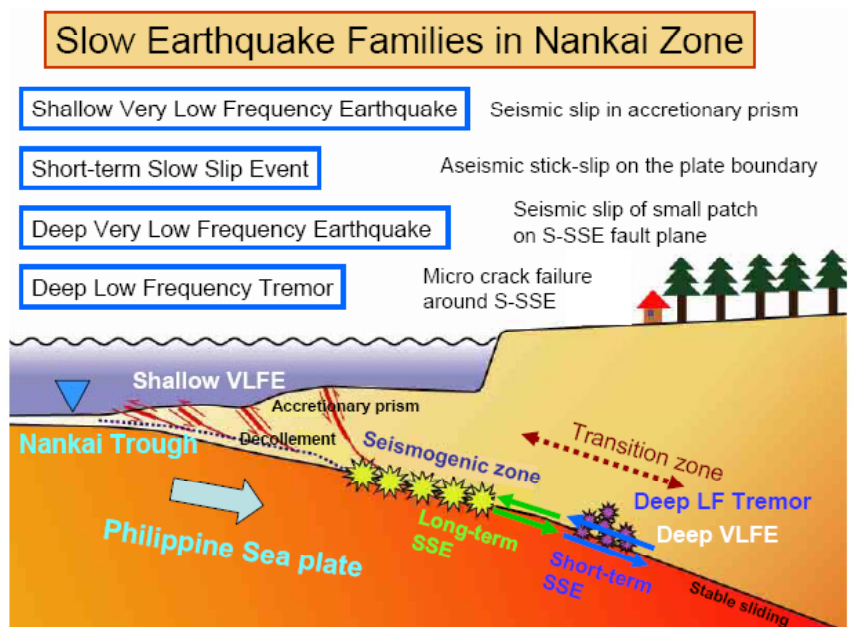


圖 11. 各種微地動所對應之空間發生及機制模式圖

## 參、心得

一、海洋地質調查方面：在海陸交界帶之震測反射及地層折射訊號之收集，需連續進行取樣工作，於陸域與海域同時擺設訊號接受器並兩側皆要進行人工震源施測，如此擷取到的訊號可互相重疊，而陸域設站方便可考慮多擺幾組順到收取較清晰之地層反射資料。施測剖面線位置最好為垂直區域構造之走向，如要調查板塊邊界最好還能跨越海溝或斷層，如此 2D 剖面反演才能直接顯示。海域裡所擺放之海底地震儀間距要依研究目標進行調整，報告例子所舉的日本海域調查，其海底地震儀(OBS)擺放間距為 10 公里，算是相當長的間距，要是人工震源能量不足的話，折射訊號不僅下不去，折射回來的也是在近支距無法被下一顆所接收到。所以整體看來，OBS 的專長為接收較深處之折射訊號，而多頻道反射震測(MCS)的專長為接收上部地層之反射訊號，其共同需要的是要有足夠的人工震源能量以穿透地層。至於在海床表面或底質調查，可用高頻聲納(chirp sonar)、底拖測掃聲納(ocean bottom side scan sonar)以及多音束(Multibeam)水深測量，高頻儀器的優點為取樣率快、解析度高，缺點為能量小、穿透力差，所以用來探測海床表層為相當有效的工具。綜上所述，海洋地質調查從海床地形，到海床表面底質，到淺層沉積物構造，到地層構造乃至於地殼、地函之速度構造，所需要使用到及適用之儀器相當多，而且海上作業狀況比陸地上多，需精確的儀器調教及不斷演練，累積經驗方能完整執行海域地質調查作業。

二、微震調查方面：台灣地區的微震觀測，近幾年來才開始使用寬頻(Broadband)地震儀，寬頻地震儀主要專長為小地震各種頻段的地震訊號接收，日本主要將其應用在緩慢地震的監測上面，而對應

其他不同強度的尚有高感應度地震儀及強地動儀，可見地震監測站之設置為依其頻段、強度以及研究目的所設置。大台北都會區的微震訊號、火山地區的微震訊號乃至於台灣東北海域微動訊號，在本計畫內也都被完整的紀錄，但是由於無配合地表變形監測(GPS 或水準測量)，所以尚無法對於微震發生進行分類及將其趨勢及原因進行推論，此應為本所微震監測計畫後續參考研究之事項。另外火山地區長週期(LP)的訊號頻率約在 0.2-2Hz 間，通常直接被認定為岩漿流體活動，本次會議裡都柏林大學展現其對於 Etna 火山的 LP 訊號測試，其利用適當的邊界條件及淺層速度構造的界定進行三維全波場模擬，在波形擬合上雖不盡理想，但卻得到一個裂隙的走向，此研究為對於火山地區之長週期地震訊號上提供進一步之研究方向。

三、光達技術部分：根據國內外使用空載光達技術之經驗，可大致歸納出以下特性：(1)解析度及準確性高：空載光達依據不同任務規劃，一般而言在垂直方向的準確度可達公分級，約 10-15 公分，在水平方向的準確度約 50-100 公分。這種準確度遠超過傳統航測技術之成果。(2)資料處理模組自動化：從飛航資料獲取與後製處理之步驟，不論使用何種系統儀器，多可建立自動化模組，工作流程固定，使用者除了需特定高規格成果外，一般使用可以很快又正確的獲取地形資料。(3)光達反射強度資料：除了高程的資料之外，雷射反射強度也記錄於檔案中，可用來產生強度影像，目前許多光達應用研究已開始針對強度反應特性進行分析研究，未來或可將本項技術提供一種新應用，目前多數應用不同地形特徵之點雲分類。(4)有濾除植被的能力：此點為光達系統極大優點，具備多重反射特性，可提供不同的地上物特徵，傳統航照

測量則無法濾掉植被點或建物，可以得到地面真實高程及地物高程，尤其在台灣地區多植被地形，提供真實地面高程對地質學家在各方面調查分析都有最大的實質幫助，當然對於森林植被調查也是重要資料。(5)高密度資料點：由於光達系統雷射所發射頻率為每秒數萬次，可在很短的時間內收集到相當高密度之反射資料。這些資料經處理後可表現地形面微小變化，就可以應在如斷層崖造成之小落差調查分析上。(6)地面控制點簡易：就空載光達而言，每筆雷射測點皆紀錄有全球衛星定位資料、慣性測量資料、與雷射所測得之距離，因此在大範圍區域測量只要有幾個地面控制點即可，比起傳統測量方便許多。

四、火山地質部分：火山地質調查與監測主要是瞭解火山地質狀況，包括了建立火山岩層序和演化歷史、火山產物的分布與規模、探討火山產物的種類與成因以及噴發絕對年代的測定。目前許多活火山地區監測的項目，包括了(1)地震、(2)地表變形、(3)地熱系統，噴氣、溫泉、溫度等、(4)地球物理現象，如地電、重力、磁力等。此類地質現象之變化都和火山地區地殼岩漿庫活動有直接的關係，如火山噴發前，岩漿庫會先逐步增長或向上遷移，因而引起頻繁的微地震、地表隆升、地溫增高、噴氣之  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$  等氣體成份量增加等等。關於火山之地質調查、地學化學分析或監測、地球物理調查、地溫調查、地表變形監測等，大致上全球火山分佈區域的火山相關研究都有利用各種方法調查瞭解火山地質狀況，目前「大台北地區特殊地質災害調查與監測」計畫中針對火山活動監測也利用了幾種技術方法於大屯山地區也持續進行監測中，另外包含火山氣體、地表溫度已有利用航空器為載具，大範圍調查監測火山地區變化，此種技術方法在大屯山、龜

山島地區，由於調查結果地表火山噴氣較集中於特定敏感區，故仍可進一步評估利用空載監測方式。綜觀之，相對於全球其他火山地區之火山地質現象活動，台灣地區火山活動現象較為安定，但仍應持續進行長期監測地質作用，收集與地質作用相關之基本數據。

## 肆、建議

- 一、光達(LiDAR)掃描測製數值地形建議持續建置，針對台灣地區許多地質敏感區域，光達掃描測製數值地形具備高解析度及多重回波特性等幾項優點，應用於台灣地形與地質構造，尤其災害性地質構造解析，研判災害之地質地形特徵，繪製相關圖資，可以建立陸地地質構造基本特性與分布，提供地質災害作用機制之資訊，而減低地質災害之威脅。
- 二、微震調查工作建議持續監測，並對火山地區之長週期微震進行更多研究以釐清微動訊號之成因。另外地震監測建議配合地表變形資料進行分析，地表變形資料目前 GPS 測站距離七星山最近的一站還有 20 公里，所測到的變形量幾乎不明顯，建議可將地面水準測量納入後續計畫中，以了解微震與地殼活動或火山流體活動間之相互關係。
- 三、檢討目前台灣海洋地質調查現況，海洋研究船有三艘，除了海研一號載具較大外，其於兩艘所承載之儀器能量均有限，海研二號所配之人工震源空氣槍之壓力最高為 210 cubic inch(約 3.4L)，且水中受波器之頻道僅為 12 頻道，且台灣海洋研究方興未艾，群起之際面臨僧多粥少局面，研究船船期常是一位難求，因此有完整的調查工具良好的儀器，應為目前海洋地質調查所最迫切需要。本所大台北計畫第一期已進行了台灣東北海域淺層反射資料收集，且完整判釋淺層海床構造，如欲更往深部研究則需再加強儀器效能及有更多之船期進行海上工作；因此建議本計畫應先到此告一段落，後續執行應依我國海洋設備情形及所欲達到目標進一步考慮。
- 四、火山調查與監測部分，包括了建立火山岩層序和演化歷史、火山



產物的分布與規模、探討火山產物的種類與成因以及噴發絕對年代的測定。目前已進行大屯山核心區域調查，未來仍應對全區持續進行分析調查，火山活動監測包含地震、地表變形、地熱系統等。都需長期監測，監測此類地質現象之變化是否與地殼岩漿庫活動有何關係，進一步得以評估其活動性及其對社會民生之影響。

## 伍、參考文獻

- 黃 鐘、詹瑜璋、胡植慶、李建成、史天元、陳于高 (2004) 空載雷射掃描技術製出之數值高程模型之簡介, 地質, 第二十三卷, 第一期, 43-54 頁。
- 詹瑜璋 (2005) 見樹又見地--雷射測距掃描, 科學發展, 第 390 期, 24-29 頁。
- Alison Henning, AnaGarcia-Garcia, Arnold Orange, Dan Orange, Mudflows in the Southwest Pass Region of the Mississippi River Delta: Results From Multibeam, Sidescan Sonar, and Subbottom Profiler Data. 2007 AGU Fall meeting, OS53A-0977.
- Carter, B. & Shrestha, R. L., 2003. National center for airborne laser mapping proposed. EOS, 84, pp281 and pp285.
- Chan, Y.C., Chen, Y.G., Shih, T.Y., Huang, C., 2007. Characterizing the Hsincheng active fault in northern Taiwan using airborne LiDAR data: detailed geomorphic features and their structural implications, Journal of Asian Earth Sciences, doi: 10.1016/j.jseaes.2006.07.029.
- Chan, Y.-C., Chang, K.-J., Chen, R.-F., Lee, J.-C., Hsieh, Y.-C. 2006. Active Extensional Structures Discovered by the Airborne LiDAR Mapping in the Tatun Volcanic Region, Taiwan. Eos Trans. AGU Fall Meet. Suppl. T33D-0541
- Chan, Y. C., Huang, C., Lee, J. C., Hsieh, M. L., Hu, J. C., 2004. Precise Landform Characterization Of The 1999 (Mw=7.6) Taiwan Chi-Chi Earthquake Fault Using Airborne LiDAR Data. International Conference in Commemoration of 5th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan. 9 pages.
- Chang, K.Chan, Y.Chen, R. Tsao, S.Lee, J.2007. Evolution of large-scale paleo-landslides in volcanic area reconstructed based on LiDAR technology. Eos Trans. AGU Fall Meet. Suppl. T43B-1335
- Chang, K.J., Taboada, A., Chan, Y.C. (2005) Geological and morphological study of the Jiufengershan landslide triggered by the Chi-Chi earthquake. Geomorphology, vol. 71, p. 293-309.
- Chen, R.F., Chan, Y.C., Angelier, J., Hu, J.C., Huang, C., Chang, K.J., Shih, T.Y., (2005) Large earthquake-triggered landslides and mountain belt erosion: the Tsaoling case, Taiwan. C. R. Geosciences, 337, 1164-1172.
- Haugerud, R.A., Harding, D.J., Johnson, S.Y., Harless, J.L., Weaver, C.S., 2003. High-resolution LiDAR topography of the Puget Lowland, Washington--A bonanza for earth science, GSA Today, pp4-10.
- Huang W.L., Chen C.S., Lee C.S. (2007) The possible fault system in north Taiwan, Eos Trans. AGU Fall Meet. Suppl.OS07-2493
- Harding, D.J. and Berghoff, G.S. (2000) Fault Scarp Detection Beneath Dense Vegetation Cover: Airborne LiDAR Mapping of the Seattle Fault Zone, Bainbridge Island, Washington State, Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, Washington, D.C.

Ivan Lokmer, Christopher Bean, Gareth O'Brien, Gilberto Saccorotti, The influence of near surface volcanic on long period (LP) seismic signals and Moment Tensor inversions: Simulated examples and application to real data from Mt. Etna. 2007 AGU Fall meeting, V11C-0756.

Jennifer F Henderson and Kathryn Moran, Evidence of recent Slope Failures on the Scotian Slope. 2007 AGU Fall meeting, NS11D-0801.

Kazushige Obara, Shutaro Sekine, Hiltoshi Hirose, Takuto Maeda and Yoshihiro Ito, Deep low-frequency tremor and very-low-frequency earthquake as indicator for slow slip event at the transition zone on the plate interface in southwest Japan. 2007 AGU Fall meeting, T21A-0360.

M. Bezada, M.B. Magnani, C.A. Zelt, A. Levander, M. Sehmitz, BOLIVAR: Crustal Structure of the Caribbean-South America Plate Boundary at 65W. 2007 AGU Fall meeting, T13C-1478.

Ryosuke Azuma, Ryota Hino, Yuya Mahcida, Yoshio Murai, Tetsuo Takanami, Kimihiro Mochizuki, Tomoaki Yamada, Masanao Shinihara, Toshihiko Kanazawa, and Toshinori Sato, Crustal features along the southern Kuril Trench, Japan, obtained by a refraction/reflection seismic survey. 2007 AGU Fall meeting, T53A-1113.