

出國報告（出國類別：國際會議）

參加美國地球物理聯合會 2016 年
秋季會議並發表論文

服務機關：經濟部中央地質調查所

姓名職稱：李柏村技士

派赴國家：美國

出國期間：105 年 12 月 11 日~105 年 12 月 19 日

報告日期：106 年 3 月 16 日

目錄

一、摘要	5
二、目的	6
三、過程	7
四、心得及建議.....	20
五、附錄	22

圖目錄

圖 1	本研討會場館位於舊金山莫斯康會議中心	7
圖 2	本研討會報到處	8
圖 3	研討會場旁的準備區與討論區	8
圖 4	本研討會壁報研討區	9
圖 5	出國人員壁報論文發表情形。	10
圖 6	出國人員與相關領域學者討論研究成果情形。	10
圖 7	出國人員與日本產業技術總合研究所大熊茂雄博士討論空中磁測成果資料情形。	11
圖 8	日本產業技術總合研究所於新燃岳火山利用無人機進行空中磁力探測之測線及結果。	12
圖 9	智利天主教大學 Gonzalo Yáñez Carrizo 等人利用多軸無人飛行載具進行空中磁力探測相關成果資料。	13
圖 10	日本青之島地區利用空中磁力探測輔助地質調查工作。	13
圖 11	美國國家太空總署噴射推進實驗室發表無人載具進行活火山地區採樣技術成果。	14
圖 12	美國國家太空總署噴射推進實驗室進行活火山地區氣體採樣使用的無人機設備。	15
圖 13	參與研討會口頭討論議程，與演講者互動討論。	16
圖 14	主辦單位設計完善的行動裝置應用軟體，方便排程，找尋欲聆聽討論的論文題目	17
圖 15	主辦單位每日刊行紙本論文題目集，供與會者參閱。	17
圖 16	科技部主辦的臺灣與旅美學座談會 Taiwan Nioght 會場。	18
圖 17	科技部自然與永續發展司吳司長俊傑開場致詞。	19

一、摘要

經濟部中央地質調查所技士李柏村於 105 年 12 月 11 日至 105 年 12 月 19 日赴美國舊金山參與美國地球物理聯合會 2016 年秋季會議(American Geophysical Union 2016 Fall Meeting)並以臺灣地區的天空磁力探測成果為題發表論文，藉以和世界共同研究領域學者探討研究成果並進行學術交流，同時藉由參與研討會瞭解國際上關於火山觀測及地質科學相關領域的研究技術發展現況與大型國際研討會的辦理方式。

本次於該研討會所發表的題目獲得諸多迴響與建議，其中來自日本、美國及巴西等國家的研究人員對於我國所使用的磁力探測儀器設備、方法與成果均表達高度的興趣，亦有我國學者提供未來研究方向之建議。我國的天空磁力探測技術及資料品質於國際學界屬優良水準，然受限於直升機吊掛公司的執行量能，迄今僅台灣北部及東部區域已完成高精度空中磁力探測工作。為建立國土基本地質資料，未來應持續將本技術應用於國內其它區域的調查，充實基本資料，並開啟未來資料應用的潛能。

二、目的

美國地球物理聯盟(American Geophysical Union, AGU)是一個地球物理學界的非營利組織，其會員超過 5 萬人，研究的學門領域主要包含大氣科學、生物地球科學、大地測量學、地磁學和古地磁學、水文學、海洋學、行星科學、地震學、太空科學、高層大氣物理學、大地動力學、火山學、地球化學和岩石學等，亦有部分研究學群同時包含兩個以上的研究領域。美國地球物理聯盟每年秋冬季節所舉辦秋季研討會(Fall Meeting)均有 24,000 人以上參加，是全球規模最大的地球物理研討會。各國學者齊聚一堂，發表最新研究成果，並於研討會場進行腦力激盪，相互觀摩討論，儼然是全球地球科學研究最前端的研討殿堂。本人此次參加 2016 AGU Fall Meeting，發表臺灣地區的空中磁力探測成果，與世界其他國家相同領域的學者共同交流，討論未來研究的方向。

空中磁力探測是一種地球物體探勘方法，其不受地形限制並可快速取得探測資料，是執行區域普查相當好的一種探測方法。此種探測方法在國外已經廣泛應用在區域地質調查、探礦及火山監測等領域，我國在 1960 年代以及 2000 年間也曾分別於臺灣西部海域、臺灣東部及離島地區進行過，藉以調查地下的地質構造以及可能蘊藏的礦產資源。

過去此項探測研究技術及設備均須商請國外技術人員執行，本所自民國 101 年起執行臺灣北部火山活動觀測研究計畫，自加拿大引進全亞洲第一套、世界第八套的高精度空載磁力探測設備，透過鉀蒸氣燈泡為原理的磁力儀，可探測自然界磁力近四億分之一倍的細微變化。本所於 2012 年至 2014 年於台灣北部陸海域地區執行空中磁力探測工作，範圍遍及基隆、臺北、宜蘭地區，並包括台灣北部大屯火山群以及龜山島等主要火山分布地點。利用所獲得的磁力探測結果，推估探測區域的磁力異常分布以及居里深度，進而探討台灣北部地區的火成岩分布以及地下地質構造。由於前述工作所使用的直升機以及探測技術人員均由國內相關研究與技術團隊擔綱，本研究不僅為國內地質調查技術的創新突破，亦建立能力完全自主的新形態地質調查技術，其成果亦應用於台灣中油股份有限公司大屯山地熱探勘以及科技部能源國家型計畫。

本次參加 AGU Fall Meeting 於近地表地球物理探測領域以 The Study of Aeromagnetic Survey in Taiwan(臺灣地區的空中磁力探測研究)為題發表，係由本人與工業技術研究院董倫道、林蔚博士以及本所張碩芳科長等作者共同發表，部分內容於 2014 年刊登收錄於本所彙刊第二十八號，本研究重新彙整我國歷年來空中磁力探測成果，藉由臺灣地區的地質背景環境探討磁力異常的地質意涵。

三、過程

行程表

出國日期	天數	詳細工作內容
105/12/11	1	啟程赴美國舊金山(臺北-舊金山)
105/12/12-18	7	抵達舊金山 辦理報到 參加美國地球物理聯合會發表論文 與國際學者交流，討論臺灣地區磁力探測研究相關事宜
105/12/19	1	回程至臺北(舊金山-臺北)

由於本研討會參與人員眾多，主辦單位選在舊金山莫斯康會議展覽中心(Moscone Center, San Francisco)作為本研討會的會場(圖 1)。會場大略分西棟、北棟、南棟等三個場館。西棟為本次會議主要的報到(圖 2)及研討會議廳(圖 3)，北棟地下室為本次研討會參展廠商的展示區域，而南棟則分地下層及地上層兩部分，地下層為壁報研討區(圖 4)，而地上層則為講者準備區以及部份的研討會議廳。



圖 1 本研討會場館位於舊金山莫斯康會議中心



圖 2 本研討會報到處

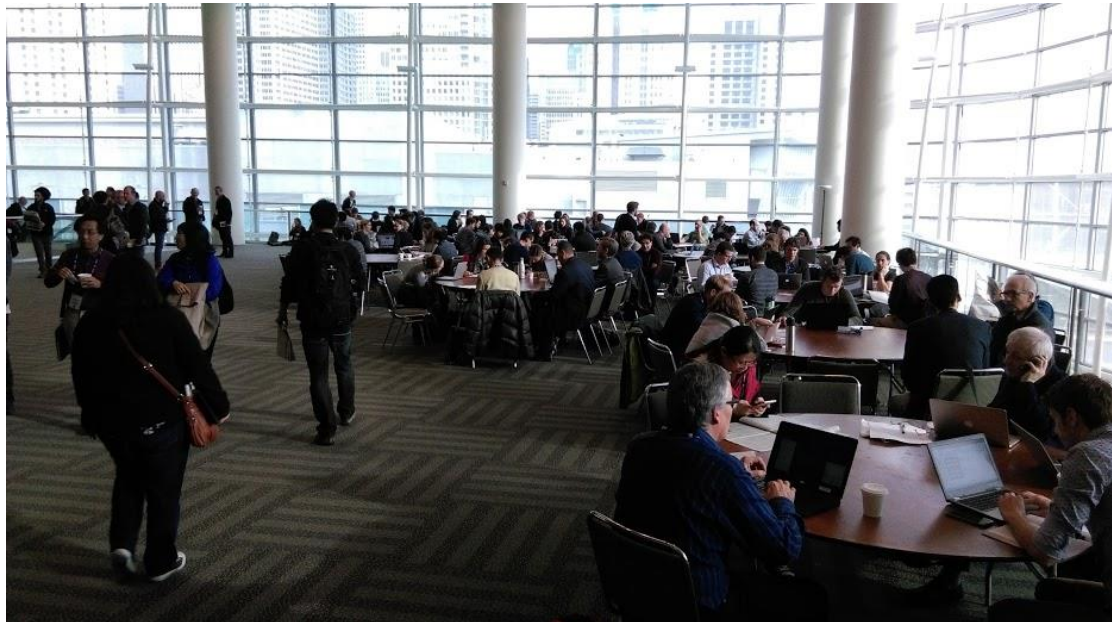


圖 3 研討會場旁的準備區與討論區

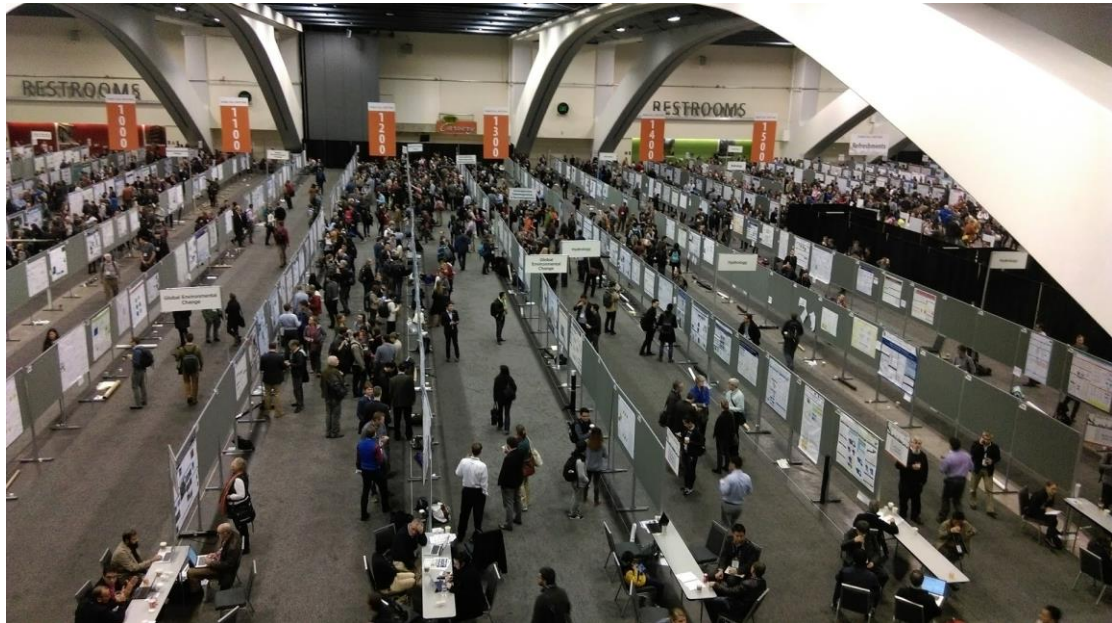


圖 4 本研討會壁報研討區

本研討會每日上午八點即展開各項議程，為能及時參加研討會議，於會議首日上午七點半即到會場西棟報到處辦理報到。本次論文發表方式為壁報張貼，由於發表篇數眾多，根據主辦單位安排，於當地時間 12/14(星期三)進行壁報發表(圖 5)。壁報於會場張貼後前來共同討論的研究學者包括日本產業技術總合研究所大熊茂雄博士(專長為空中磁力探測)、中塚正博士、英國南安普頓大學 Martin Palmer 教授(專長為火山島弧岩石地球化學)、美國史丹福大學 Mae Marcaida 博士生、丹麥奧胡斯大學(Aarhus University) Esben Auken (專長為空載電磁探測)、國立臺灣大學地質科學系陳文山教授、宋聖榮教授、國立中央大學地球物理研究所許樹坤教授、國立台灣海洋大學應用地球科學研究所姜智文教授、中央研究院地球科學研究所林慶仁博士、國立中正大學地球與環境科學系鍾令和博士、國家地震工程研究中心郭俊翔博士、交通部中央氣象局地震測報中心蒲新杰博士以及來自巴西、法國、德國等二十餘位研究人員等(圖 6、圖 7)。

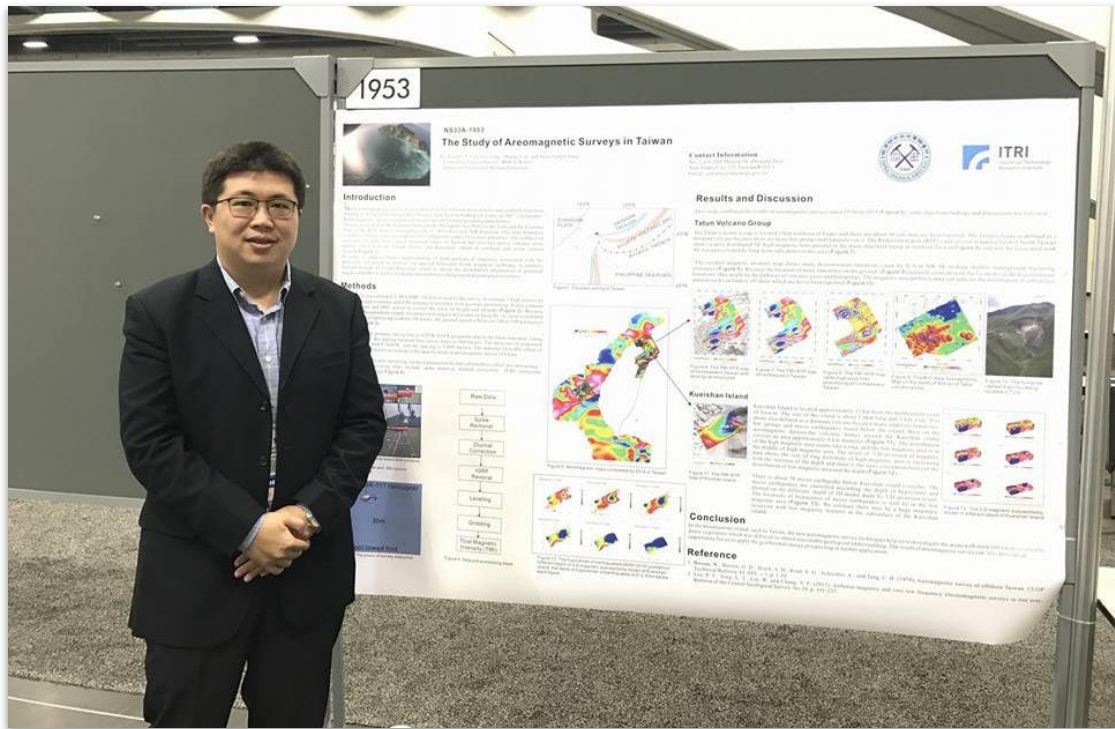


圖 5 出國人員壁報論文發表情形。

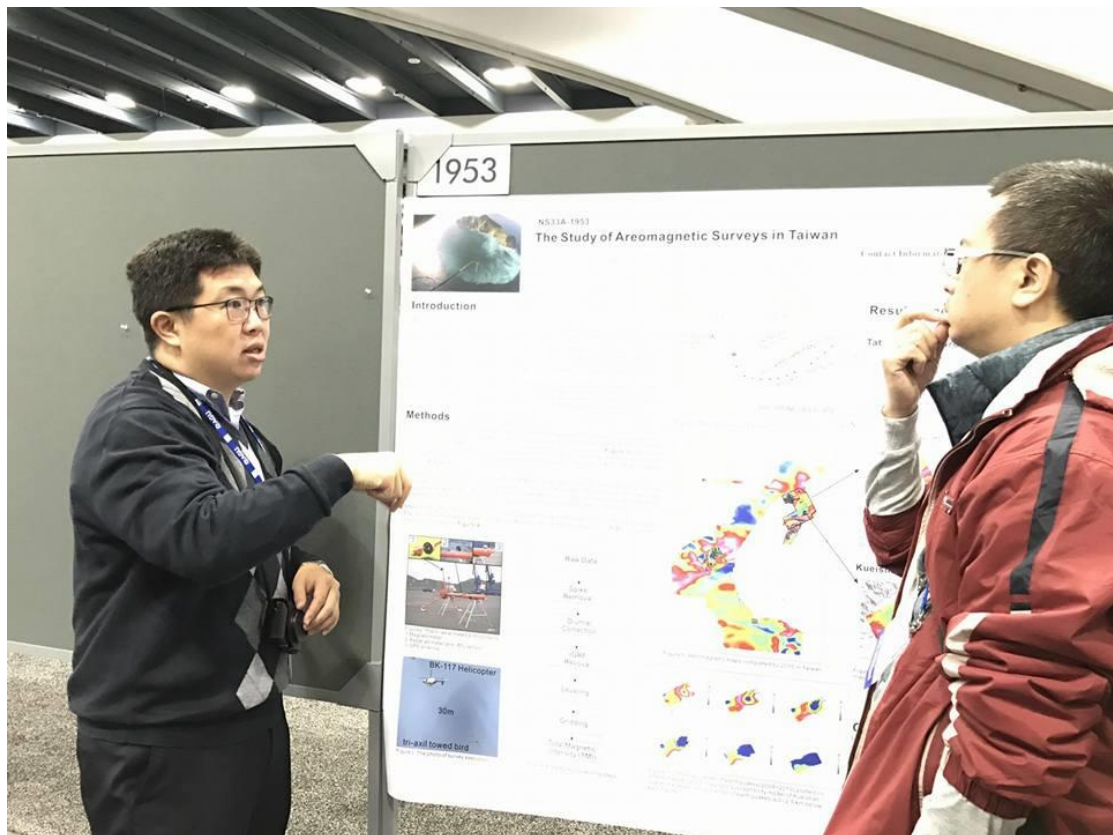


圖 6 出國人員與相關領域學者討論研究成果情形。

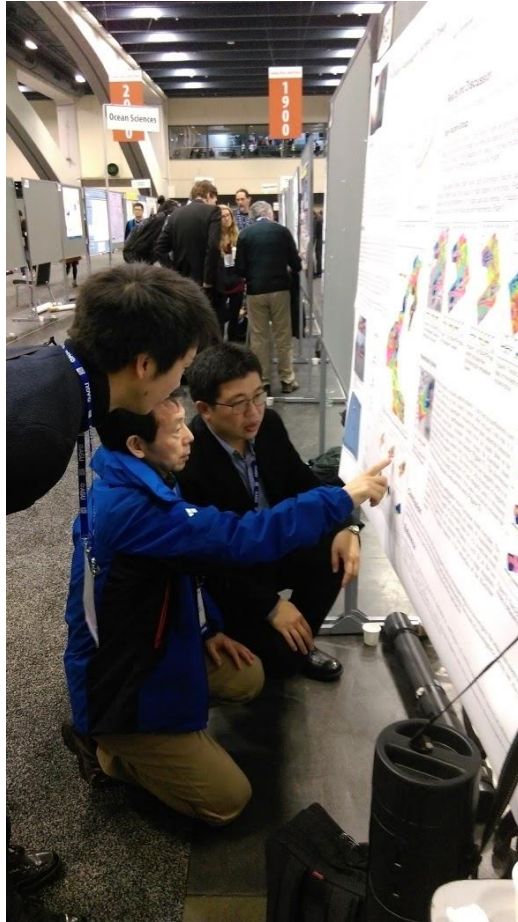


圖 7 出國人員與日本產業技術總合研究所大熊茂雄博士討論空中磁測成果資料情形。

本人除向與會人士說明本研究成果資料外，關於投稿論文主要研討項目包括本所引進的磁力探測設備、資料處理步驟、磁力資料解析等項目。本所引進的磁力探測設備為三軸拖鳥，內含三個磁力探測儀，可測得三個方向的磁力梯度，進行較密集測線間距的探測資料網格化可獲得較佳的計算結果。同時，以鉀蒸氣燈泡為原理的磁力儀，其解析度達到 0.0002nT (nT : 磁力強度單位，自然界所量得磁力強度約為 $43,000\text{nT}$)，高於世界上其他國家普遍使用的鈹蒸氣磁力儀，因此可測得極微細的磁力值變化，加上每秒最高 20Hz 的取樣頻率，在約 $80\sim 100$ 節(約每小時 $144\sim 180$ 公里)的航速下，同一測線的兩個取樣點間距離可小至 5 公尺，所取得的磁力異常資料具有極高的空間解析度。

在資料處理步驟上，空中磁力探測資料必須經過突波移除、日變化修正、國際地磁參考場修正、航向修正、航高修正的資料前處理步驟，最後經過網格化得到區域性的磁力異常分布圖。然而因地球上每一處的磁傾角與磁偏角均不相同，所獲得的磁力異常圖還須經過歸極換算，將磁力線模擬為垂直，方能正確標定磁體位置，歸極換算所使用的參數依據則為現場討論的重點項目之一。最後經過高通濾波、向上延伸以及垂直微分等方法，可獲得區域磁力異常圖以及剩餘磁力異常圖，可反映不同深度的磁性構造，透過三維逆推所建立磁感率三維模型可推估

探測範圍居里深度及地下地質構造等資訊。

本研究以龜山島地區所探測獲得的環狀磁力高區、經過資料解析推估其可能唯一環狀火成岩體以及形成的歷程，引起日本產業總合研究所人員高度的興趣。根據討論得知，日本有許多新生成的火山島，過往亦均有進行空中磁力探測工作，然因儀器設備解析度以及測線間距較寬(約 1~2 公里)，因此磁力異常資料的空間解析度並不佳。本研究的測線間距約 500 公尺，探測出龜山島周圍的環狀火成岩體直徑約九公里，環狀高磁體的中心恰為一低磁體區，對應位置為龜山島的龜首附近，可說明龜首的溫泉噴氣下方具有高溫區域。且環狀高磁體的直徑隨著深度越深逐漸加大，可清楚描繪龜山島周圍地下地質構造形貌，為過往研究所未曾發現，亦在現場諸多討論。

日本地區在二十餘年前即已做過全國性的空中磁力普查工作，目前的空中磁力調查則著重在無人飛機掛載磁力儀的探測技術開發，調查標的為最近活動的火山結構(圖 8)。由於岩漿自火山噴出後逐漸降溫至居里溫度(約攝氏 570 度)以下方始因磁性礦物結晶而具有磁性，火山噴發後不久的磁力反應為低磁性，而隨著岩漿溫度下降，會逐漸產生磁性反應。藉由不同時間的磁力探測結果，可輔助判斷火山活動是否漸趨溫和，或是未來將更加活躍。

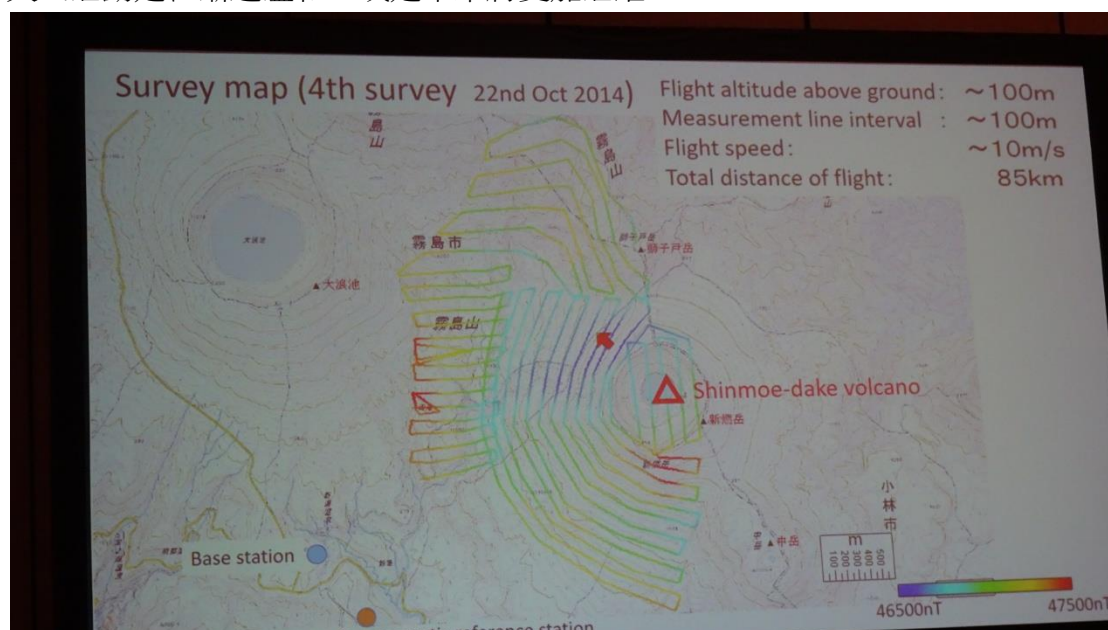


圖 8 日本產業技術總合研究所於新燃岳火山利用無人機進行空中磁力探測之測線及結果。

智利天主教大學(Pontificia Universidad Católica de Chile) Gonzalo Yáñez Carrizo 等人利用多軸無人飛行載具吊掛飽和式磁力儀(Fluxgate Magnetometer) 於智利多明尼加礦區進行探測(圖 9)，該測區位於智利拉賽雷納(La Serena)北方約 60 公里，是一個火山旁富含銅、鐵礦的區域。該研究使用無人飛行載具機動性高的優點進行磁力探測工作，然而因飛行載具的酬載量限制了設備的重量、電池數量，因此必須時常回基地更換電池，且飛行器電動馬達所產生的雜訊也影響了資料的品質。然而此項技術是隨著目前蓬勃發展的無人機而衍生開發，未來將有更多的研究與

發展。

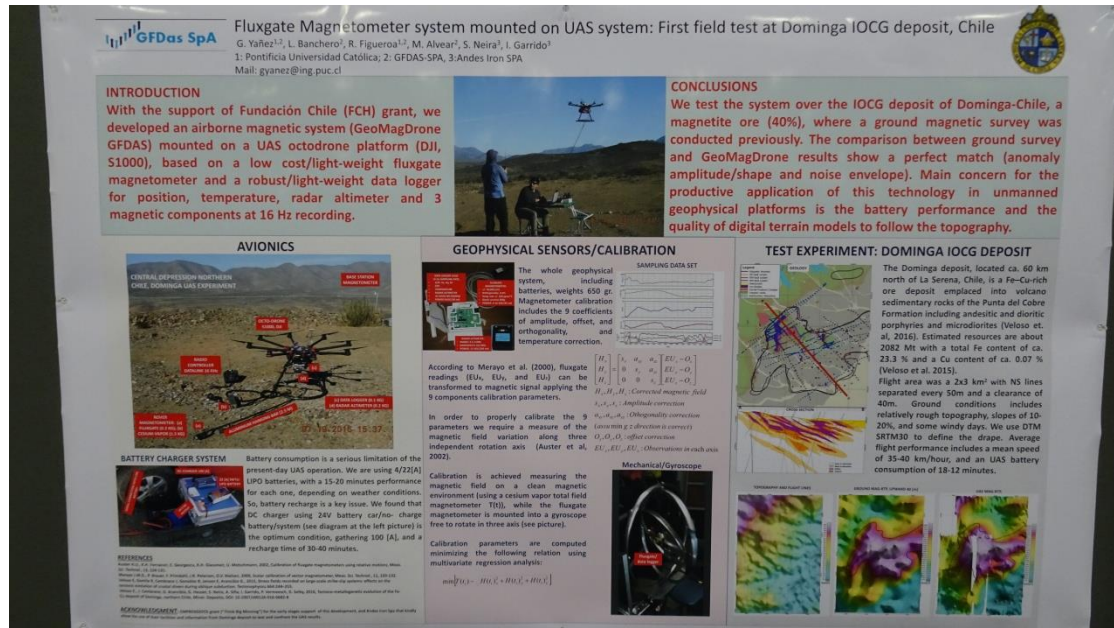


圖 9 智利天主教大學 Gonzalo Yáñez Carrizo 等人利用多軸無人飛行載具進行空中磁力探測相關成果資料。

本次會議當中看到日本、巴西及智利均積極發展此項技術(圖 10)，但目前無人機的續航力約僅數十分鐘，且磁力探測設備亦造成酬載負擔，使得此種(無人機)空中磁力探測方式有探測距離限制，最遠約僅五公里左右。燃油無人機雖續航力較佳，但因動力為引擎而非數位控制的馬達，因此靈活度不佳；而較易操控的電動馬達則因馬達本身產生的電磁波會造成磁力訊號干擾而需要另行資料濾波處理，因此目前無人機的空中磁力調查工作尚在技術研發階段。此部分國內財團法人工業技術研究院亦投入相關技術研發，待技術成熟後可投入調查測試。

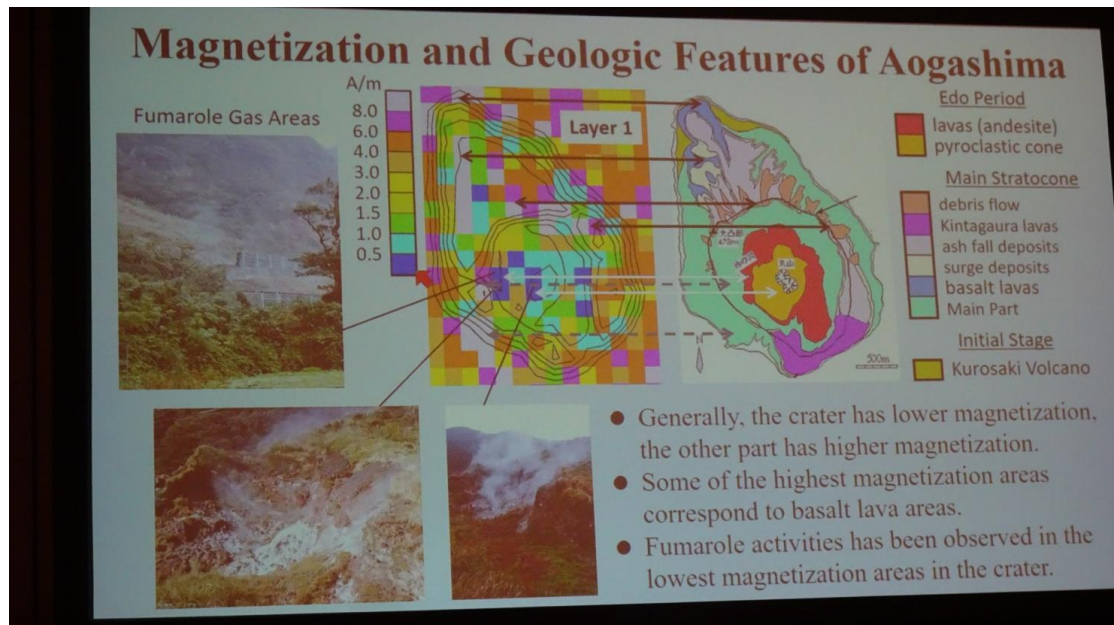


圖 10 日本青之島地區利用空中磁力探測輔助地質調查工作。

在火山觀測研究方面，美國國家太空總署噴射推進實驗室 David Pieri 研究員等人探討利用無人飛行系統在活火山地區進行採樣的計畫、成果與挑戰(圖 11)，該研究團隊利用定翼機以及多軸無人飛行器搭載真空艙，於哥斯大黎加 Turrialba 火山、義大利 La Solfatara 與 Isole 火山以及美國夏威夷 Kilauea 火山等地區進行火山氣體收集(圖 12)，並配合該單位布設在太空中的衛星所收集的電磁波訊號，綜合評估火山氣體的成分變化。該研究再次展現了無人機的機動性與低風險性，未來可為火山觀測工作的一項利器。

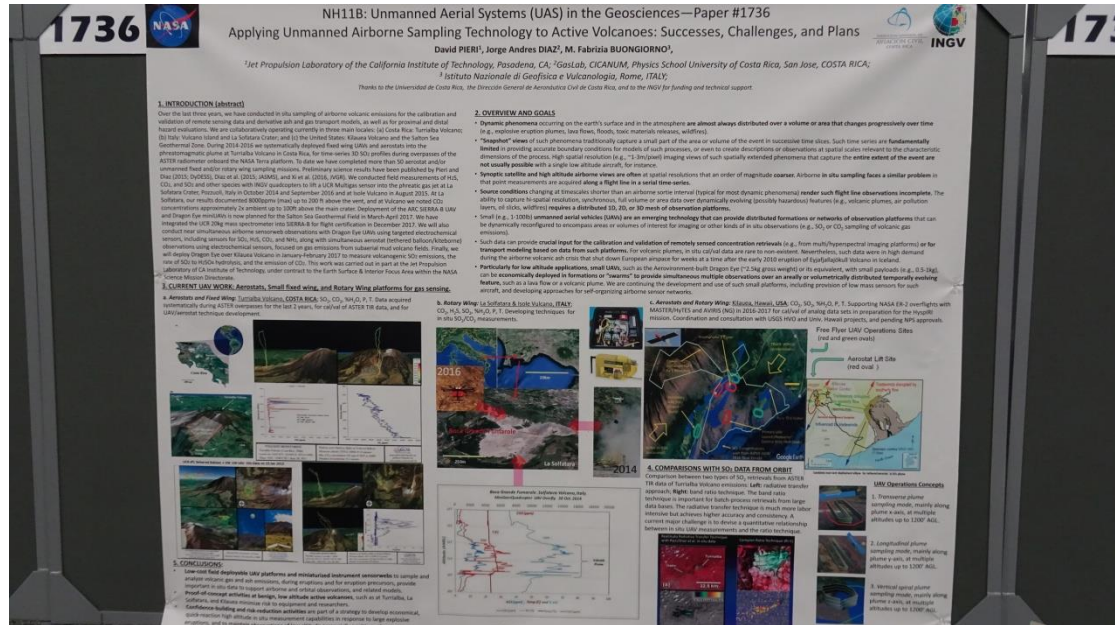


圖 11 美國國家太空總署噴射推進實驗室發表無人載具進行活火山地區採樣技術成果。



圖 12 美國國家太空總署噴射推進實驗室進行活火山地區氣體採樣使用的無人機設備。

西班牙加那利群島 La Palma 島上的 Cumbre Vieja 火山最近一次噴發在 1971 年，由於該火山鄰近大西洋，與非洲以及歐洲伊比利半島僅一海之隔，如發生火山爆發可能引發海嘯等災害。西班牙加那利火山觀測所 Mar Alonso 博士等人自 2001 年至 2016 年利用二氧化碳通量以及火山噴氣氦同位素的比值進行觀測。其間發現在 2011 至 2015 年間此二觀測值均有明顯的變動，顯示火山活動較為劇烈。我國大屯火山地區目前亦利用火山氣體的成分含量協助評估火山活動，以氦同位素的比值探討，Cumbre Vieja 火山單一噴氣孔的氦同位素比值是大氣的 9.4~10.2 倍之間，最大的變動超過兩倍標準差。大屯火山範圍內 7 個火山噴氣孔的氦同位素比值約在大氣 4.6~6.8 倍之間，且單一火山噴氣孔的數值變化在兩倍標準差內，顯示大屯火山的火山活動處於相對穩定的狀態，然而仍須持監測。

在火山岩定年研究方面，由於火成岩定年所使用的放射性同位素半衰期較長，年輕火山的岩石定年工作一直以來都是較為困難的部分。隨著質譜分析技術的逐年提升，部分元素衰變過程可被掌握，因此也提升了偵測的極限。美國地質調查局加州火山觀測所利用加州夢幻湖 (Mono Lake, CA.) 火山口附近數個火山層序中所採集的樣本進行鈾-鈷定年以確定火山最近噴發年代。本技術方法也應用於本所 105 年度大屯火山岩石定年研究工作。

除壁報論文發表之外，本次參加研討會亦參與火山觀測、地體構造、斷層與地震、岩石學以及構造地質學等議程，了解各領域學者最新的研究成果，並希望擷取做為未來業務推動的參考(圖 13)。

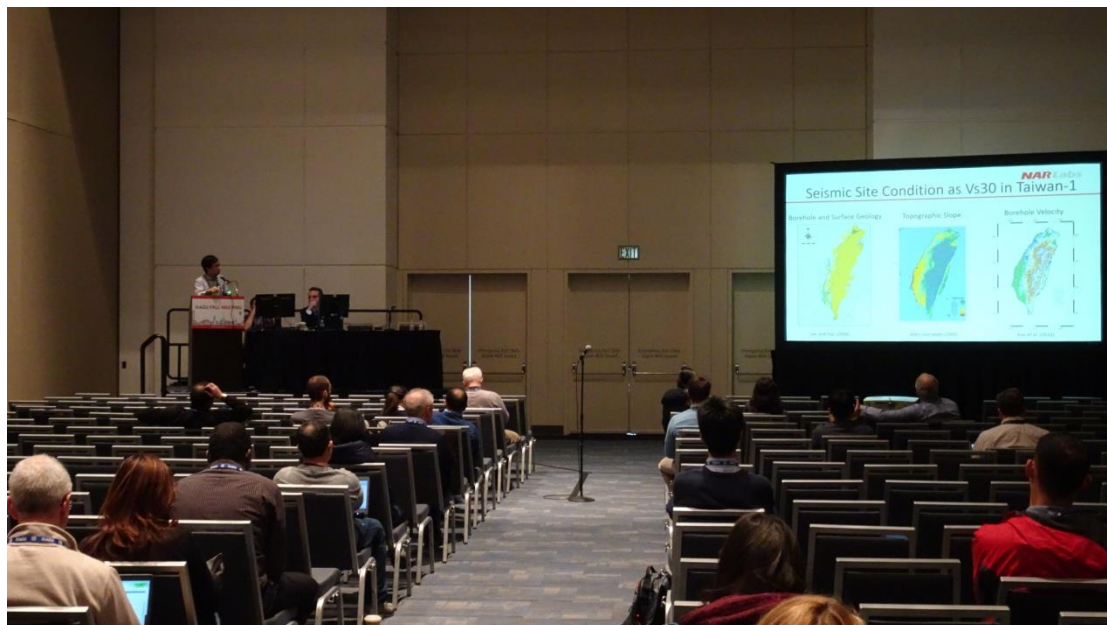


圖 13 參與研討會口頭討論議程，與演講者互動討論。

近年來智慧型手機已經是主流的通訊設備，主辦單位開發了方便的應用軟體 (APP)供與會者下載，可自兩萬多篇的投稿論文當中搜尋有興趣參與的講題，並可同步於行動裝置的行事曆，免除於紙本查找之苦(圖 14)。然考量部分參加人士使用習慣，主辦單位每日亦於現場刊行論文題目集發送，供偏好閱讀紙本的與會者使用(圖 15)。

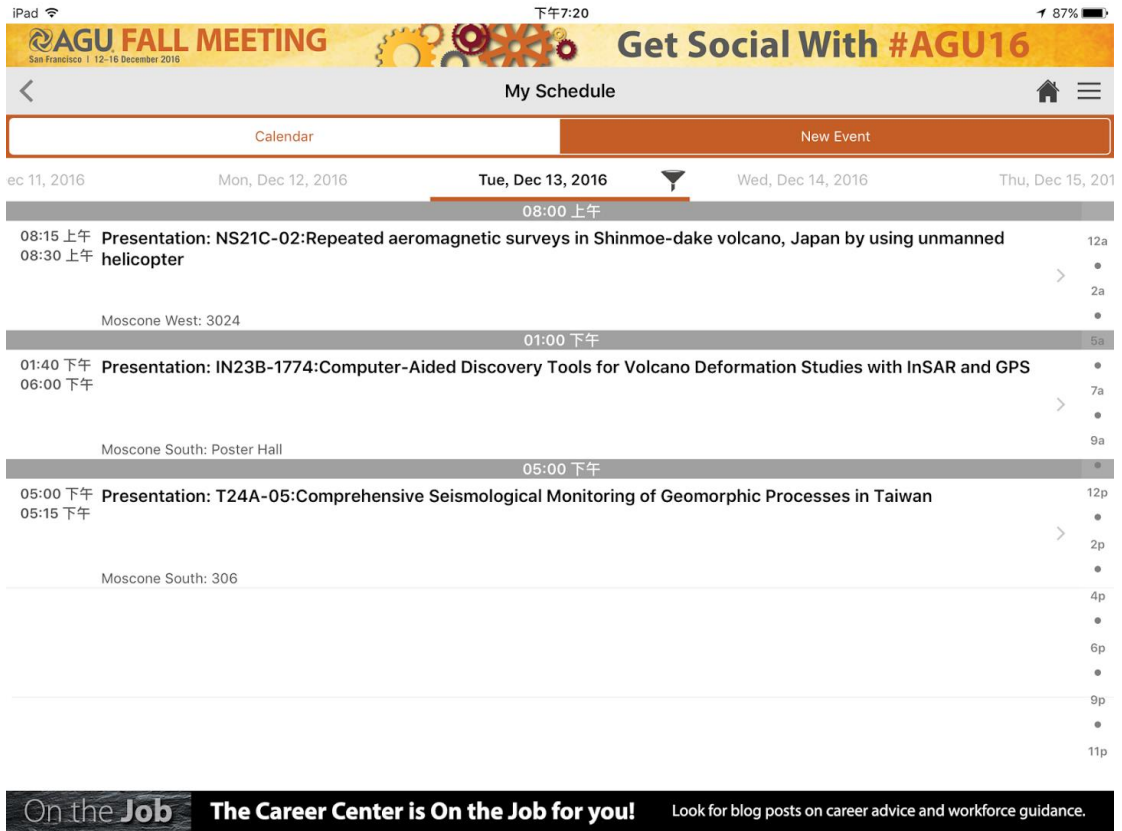


圖 14 主辦單位設計完善的行動裝置應用軟體，方便排程，找尋欲聆聽討論的論文題目



圖 15 主辦單位每日刊行紙本論文題目集，供與會者參閱。

本次會議第三天傍晚，參加由科技部地球科學研究推動中心與科技部舊金山科技組共同舉辦的臺灣及旅外地球科學學者座談會(Taiwan Night)。本座談會已是第九屆舉辦，由於美國地球物理聯合會的秋季會議是地球科學界的盛會，國內每年約有近 160 位學者赴美參加，科技部藉此機會辦理座談會(圖 16)，讓臺灣以及旅外的地球科學學者在輕鬆的環境之下交流研討，並增進未來合作的機會。座談會由科技部自然與永續發展司吳司長俊傑開場致詞(圖 17)，吳司長勉勵與會人員時指出，地球科學領域與人類的居住環境與健康息息相關，我在全球氣候變遷迅速的現代，因應臺灣特別的地理位置與氣候特徵，我國於大氣、海洋探測、地質科學、防災及環境等面向的研究應持續進行、永續發展，培養科技人才並增進國際交流合作。座談會在吳司長致詞結束後旋即展開各別交流活動，吳司長也親至場內向與會人員致意，並討論國內地球科學界本次於美國地球物理聯合會秋季會議的發表成果，同時給予初次參與國際會議的人員經驗上的傳承與建議。



圖 16 科技部主辦的臺灣與旅美學者座談會 Taiwan Night 會場。



圖 17 科技部自然與永續發展司吳司長俊傑開場致詞。

四、心得及建議

首先感謝本次能獲派赴美參加美國地球物理聯合會 2016 年秋季會議，雖然在國內已有參加過數場國際研討會，但這是本人首次赴外國參加國際研討會。事先的充分準備以及國家經費的支援，讓此行十分順利，幾項心得及建議如下：

- 一、 地下磁力異常資料是國土基本資料的一環，空中磁力探測工作具有快速調查的優勢，在國際上已是相當成熟的技術，許多國家皆已完成全國性的普查工作。國內因民航法規、國家安全以及國內航空業環境等因素，近十年內方開始分區進行探測工作。然因我國所引進的設備具極高的解析度，良好的性能加上訓練精熟的執行團隊，產出品質優良的資料，在地質調查工作中卓有助益，於本次研討會獲得相關領域研究人員極高的評價及肯定。建議在儀器設備性能仍優的情況下，能持續推動空中磁力探測工作，早日取得國內完整的磁力異常資料，充實國土地質資訊，並促進國內相關產業發展。
- 二、 隨著定翼機或多軸旋翼機等無人飛行載具的技術日益發展，可做為未來地質調查工作的輔助工具。在空中磁力探測方面，雖然日本、智利及法國等國家均有開發無人機載具進行空中磁力探測工作，但載具多以多軸旋翼機為主，不僅酬載重量較小，多軸旋翼機產生的馬達電磁波亦會使資料產生雜訊。財團法人工業技術研究院現正與臺灣電力公司共同研發定翼機吊掛單軸拖鳥的空中磁力探測技術，本所亦就過往的執行經驗給予建議，希望在很短的時間內可達到實做探測的程度，增進國內空中磁力探測研究能量。
- 三、 由於地球的板塊活動仍舊活躍，活火山分布在板塊邊界為主的許多國家當中，為了科學研究以及保障國民的生命財產安全，多數擁有活火山的國家均投入火山觀測工作，包括地震觀測、溫泉水質觀測以及火山氣體觀測等。我國的大屯火山地區因仍有火山活動現象，雖歷史上未有噴發紀錄，但根據近來研究結果均顯示其仍為活火山，包括本所、中央研究院、科技部、中央氣象局及陽管處等單位均投入火山觀測工作。與技術成熟的國家相比較，我國的火山觀測項目與臨近國家相當，但監測站數量密度則略顯不足。由於大屯火山地區距大台北都會區僅 10 餘公里，其距離之短，為世界上數一數二。大台北都會區是我國的政經中心，亦住有近 1/3 的人口。建議未來應持續投入火山活動觀測及研究工作，對於火山活動特性及地下構造有進一步的掌握，方能防患於未然。
- 四、 美國地球物理聯合會秋季會議是地球科學界一年一度的盛會，其規模之大，吸引了許多國家了研究人員參加，彙集了全球相關領域的研究成果。在此研討會可以看到世界頂尖的研究項目及應用成果，除可做為國內相管領域的研究規劃參考之外，亦可藉此平台將國內目前的研究內容與國際學者交流討論，增進國際能見度，也拓展了國際視野。主辦單位辦理如此大規模研討會的事前準備、議程與會場安排、交通動線、查詢系統以及會後的問卷回饋

等項目都是我國未來辦理較大規模國際研討會的參考。

最後，再次感謝國家提供經費讓本人參加此次的研討會，希望在研討會所獲得的經驗與心得，可做為未來相關研究工作的參考依據，並建立新型調查技術發展的引子，同時在工作崗位上能多有應用，回饋國家社會。

五、附錄

本次研討會投稿摘要

The Study of Aeromagnetic Surveys in Taiwan

Po-Tsun Lee ^{1*}, Lun-Tao Tong ², Wayne Lin ² and Shou-Fang Chang ¹

¹ Central Geological Survey, MOEA, R.O.C.

² Industrial Technology Research Institute

Abstract

The airborne magnetic survey is a cost-effective method for regional geological investigation. Most of developed countries use aeromagnetic data as important fundamental information for resources development. The first aeromagnetic survey was conducted in the offshore areas of west and southern Taiwan in 1968 by U.S. Naval Oceanographic Office to help Taiwan finding oil. Later, in 2007, a helicopter-borne magnetic survey was proceed in east Taiwan for underground granite bodies.

In order to improve better understanding of deep geological structures associated with the Holocene volcanism in Taiwan, we applied helicopter-borne magnetic technique in northern Taiwan include Tatun Volcano Group (TVG) and Kueishan island in 2013 and 2014 to obtain the distribution information of potential magma chamber as well as hydrothermal pathways along regional geological structures.

The most important findings of the high-resolution aeromagnetic dataset since 1960' s to 2014 acquired include: (1) the distribution of subsurface igneous rocks and the Curie point depth in Tatun Volcano Group, Keelung Volcano Group, and Kueishantao Volcano; (2) the widely distributed NE high-magnetic belts in northern Taiwan may be associated with NE fractures created by long-term subsidence in this area; (3) the high-magnetic belts in south of Lanyang River which is very different from the magnetic characteristics of the Central Range may imply paleo oceanic plate; (4) the NE high-magnetic belts in Penghu area formed by magma intrusion along NE fractures and the dense and high-magnetic anomalies may be associated with the Miocene basaltic lava overlying on the pre-Tertiary igneous dykes and are widely spread in northern Penghu area.

The new aeromagnetic survey techniques help us to investigate the areas with steep terrain or covered by dense vegetation which was difficult to obtain reasonable geological understanding, and also provide an opportunity for us to apply the geothermal energy prospecting.

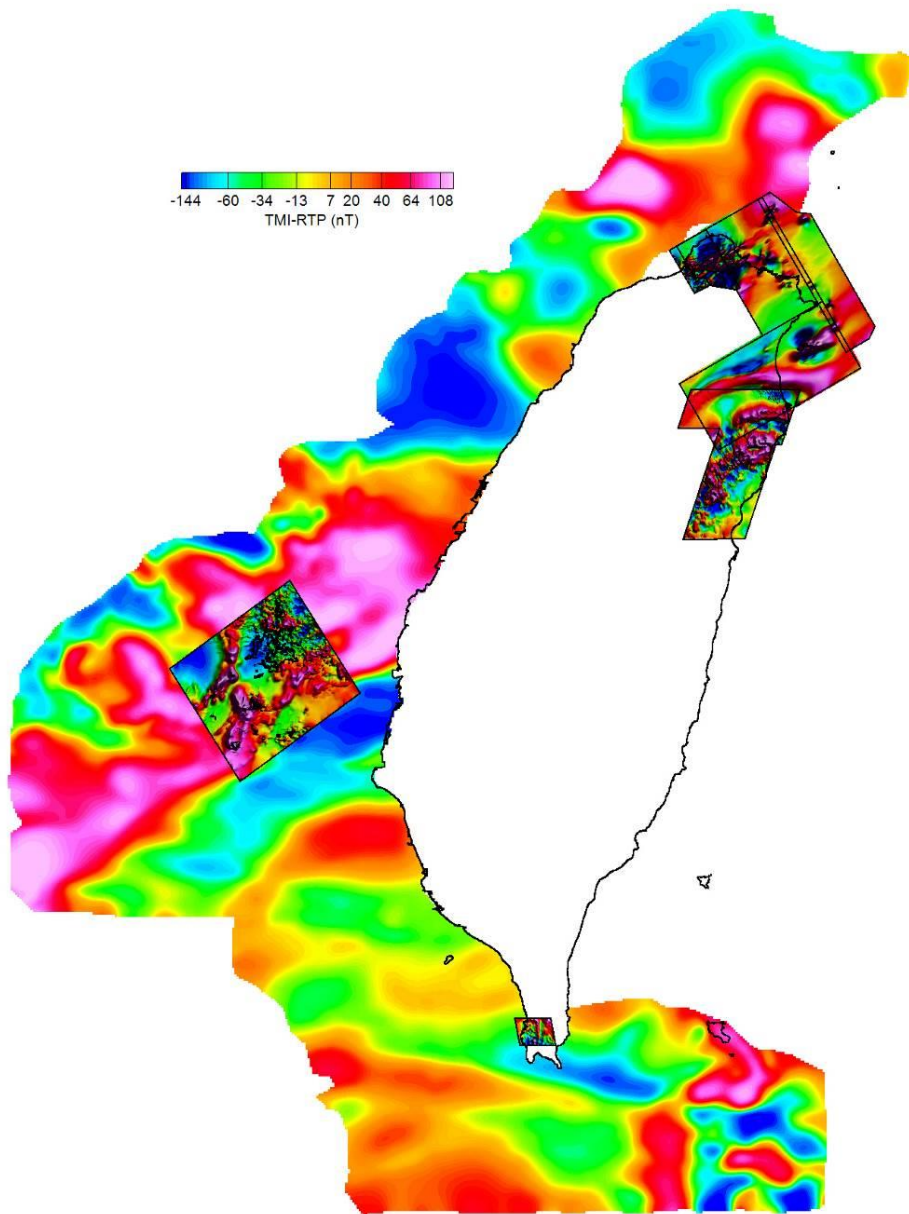


Figure 1. Aeromagnetic maps completed till 2016 in Taiwan area.

(TMI: Total Magnetic Intensity, RTP: Reduction To the Pole. The black boxes denote the survey areas acquired in 2007, 2013, and 2014)