

# 臺灣北部陸海域地區空中磁力探測

## The airborne magnetic survey of onshore and offshore regions in northern Taiwan

主管單位：經濟部中央地質調查所

董倫道 <sup>1</sup>	林蔚 <sup>1</sup>	李柏村 <sup>2</sup>	張碩芳 <sup>2</sup>
Tong, Lun-Tao <sup>1</sup>	Lin, Wayne <sup>1</sup>	Lee, Po-Tsun <sup>2</sup>	Chang, Shou-Fang <sup>2</sup>

<sup>1</sup>財團法人工業技術研究院

<sup>2</sup>經濟部中央地質調查所

### 摘要

為了掌握臺灣東北部地區深部地質構造及火山活動特性，本計畫針對臺灣東北部海域及大屯火山區進行空中磁力探測，提供調查範圍內區域地質構造及潛在岩漿庫分布等資訊。本年度計畫於期限內完成所有工作，產出網格間距為100 m之全磁力強度網格，範圍涵蓋西至觀音山火山群、大台北都會區北部、大屯火山群、基隆火山群，北至彭佳嶼海域，供分析大屯山火山群的火山活動，以及鄰近陸、海域的基盤構造。

由本磁測資料顯示，區域性高精度磁力資料具帶狀分布特性，並無發現類似龜山島下方的大型低磁岩漿庫，或與火山相關的低磁性圈狀結構。帶狀磁性岩層與地質構造主要以東北-西南向分布，基隆嶼及花瓶嶼附近有潛在火成活動跡證等，反映原本第三紀張性正斷層構造與盆地發育，在上新世晚期至更新世早期發生逆衝斷層活動，而後在80萬年來反轉成正斷層構造。第三紀低磁性地層為巨厚的泥岩及砂岩互層，厚達深度6 km至8 km處，其下高磁性地層可能為廣泛分布巨厚玄武岩夾層的始新世沈積層或中生代基盤，巨觀地反映出巨型褶皺系統被後期正斷層系統破壞的基盤形貌。80萬年前大屯火山群開始噴發活動，迄今介於山腳斷層上盤的破碎帶，仍為火山區地震、火山氣及地熱活躍區，主要沿這些東北-西南向張裂構造分布。透過三維逆推解析，高磁性的火山熔岩流覆蓋在低磁性的第三紀厚層地層上。值得注意的是，與火山地熱有關的地震、火山氣集中在七星山及磺嘴山之間，呈現因地熱特徵導致的明顯磁力低區。

**關鍵詞：**空中地球物理、空中磁力探測、火山地質、台灣東北海域、大屯火山群

## Abstract

To understand deep geological structure and volcanic characteristics in northeast Taiwan area, the purpose of this project is to apply helicopter-borne magnetic and very low frequency electromagnetic (VLF-EM) techniques over the northeastern Taiwan and maritime areas to gain information of location about potential magma chambers as well as regional geological structures in surveying areas.

This project has conducted aeromagnetic surveying to provide 100 m-spacing total magnetic intensity (TMI) grids, covering areas where include the Kuanyin volcano group, the Tatun volcano group, western part of Taipei Metropolitan, the Keelung volcano group, and the Pengjia islet. Accordingly, we provide an new insight into the activity of the Tatun volcano group as well as the basement structures around the northern Taiwan and maritime areas.

Based on the newest aeromagnetic dataset, high resolution total magnetic images present zonal distribution. We examine the images carefully and find no huge magmatic reservoir with low magnetic features similar to the subsurficial Kueishantao. However, potential volcanic activity with low-magnetic ring features of some smaller magnitudes occurred around the Keelung islet and Huaping islet. On the other hand, zonal magnetic features associated with major NE-SW-striking structures indicate inherent extensional faulting and basin developing in the Tertiary age. Repeatedly occurred contraction thrusting during the Pliocene to the Pleistocene, and subsequently returned back by normal faulting since 800 ka. In this area, the Tertiary formations mainly consist of lower-magnetic sandstone and shale rocks down to 6-8 km deep underlain by the higher-magnetic Eocene (with extensive thick basaltic lavas) and/or the Mesozoic basement. Nevertheless, these formations constructed a mega-thrust system overprinted and destroyed by a postdate normal faulting system. Started with the Tatun volcanism since 800 ka, paralleling to fracturing processes along hanging wall of the Shanjiao Fault extending to maritime areas, volcanic origin earthquakes, gases and geothermal activities along the NE-SW-striking normal fault system. 3D inversion applied on the aeromagnetic dataset reveals spatial relations of the volcanic deposits covering above the low-magnetic Tertiary deposits. It is noted that the high-magnetic volcanic deposits present lowering magnetic features, associated with earthquakes and gases from volcanic geothermal resources between the Chishingshan and the Huangzui.

**Keywords:** airborne geophysics, helicopter-borne magnetic survey, helicopter-borne very low frequency EM survey, volcanic geology, Yilan area, Kueishantao volcanism.

## 一、前言

臺灣地區位於聚合型的板塊邊界，活躍的板塊活動除了產生許多地震之外，也在部份區域形成火山，其中位於臺灣北部的大屯火山群以及宜蘭龜山島地區至今仍有明顯的火山活動現象。為進一步了解這些地區的火山活動特性，並探求相關的岩漿庫或熱液活動行為，經濟部中央地質調查所(以下簡稱：地調所)於 2012 年起執行「臺灣北部火山活動觀測研究」計畫，以密集地震陣列、地球化學以及空中地球物理探測等多面向的方式，持續收集國土地質資料，並引進空中磁力探測技術，探求潛伏的火成岩體及深部地質構造之分布情形。

地調所於 2012 年自加拿大引進三軸拖鳥設備，結合探測和資料解析技術，建置能力自主的空中磁力及甚低頻電磁探測技術，於宜蘭平原、龜山島地區進行試測，成功探測出龜山島地區的環狀高磁體分布範圍並推估該地區的居里深度(Curie point depth)。2013 年更將探測範圍擴大到蘭陽平原周邊中央山脈、雪山山脈地區以及部分的海域地區，不僅得到區域磁力異常分布圖，並完成調查區域內潛在岩漿庫的分布範圍及與熱通道有關的區域地質構造初步評估。同年度臺灣中油公司「大屯山空中磁測委託研究」以及經濟部能源局「深層地熱發電技術研發」於大屯山地區亦使用本技術進行相關探勘研究，成果豐碩。

由於空中磁測方法對於地下潛伏火成岩體之探測成果良好，本計畫將此方法持續應用於臺灣北部陸海域地區，探測範圍包括大屯火山群、臺灣北部外海以及桃園、新竹地區。整合現有的探測成果，瞭解區域性的磁力異常分布，推估臺灣北部地區的火成岩體及地下地質構造分布情形。

## 二、研究方法

### 2.1 磁力法

岩層因磁性礦物含量差異，而具有不同的磁感率(magnetic susceptibility)，具磁力特性的地層可視為磁體；在地球磁場作用下，不同深度的磁體會各自感應出不同程度的感應磁場(induced magnetic field)，所有地層的感應磁場與地球磁場的向量合，形成複雜但反映地層特性的磁場。透過精密磁力感測器，量測空間中各點的磁場強度(圖 1)，經過資料修正與處理等程序，能藉以解析地下磁體的位置，進一步做為岩性分布與構造解釋的依據

### 2.2 甚低頻電磁法

美國等國家為了軍事用途而設立的強大無線電發射電台，這些電台定期發射大功率且固定頻率的無線電波，其頻率範圍約介於 15.1 KHz 至 19.6 KHz 間。甚低頻電磁法(very-low frequency EM method; VLF-EM)以該無線電波作為免費的電磁波源，儀器只需配置接收線圈，鎖定特定頻率訊號後，就能接收該頻率訊號，及因地層電磁感應而引發的次生場強度(secondary field strength)(圖 2)。次生磁場強度與地層導電率有關，故藉分析次生磁場的強弱等特徵，可據以推估代表該頻率探測深度內地層的導電特性。探測深度與岩層的電阻率及電磁場頻率有關，一般情況下探測深度約可達 100 m。

## 三、研究成果

### 3.1 飛航現調與資料處理

本計畫於 2014 年 6 月 28 日完成三軸拖鳥意外險投保，2014 年 7 月 13 日進駐基隆港臨時起降場，組裝三軸拖鳥並且完成功能測試，2014 年 7 月 14 日直升機進場並且完成地面連線測試，2014 年 7 月 15 日始曉開始進行飛行作業，除了 2014 年 7 月 21 日及 2014 年 7 月 30 日因受麥德姆颱風及強降雨影響人員暫時撤離之外，於 2014 年 8 月 7 日完成所有測線飛航作業，累計 31 個航次，完成之探測面積與測線總長度分為 2,607 km<sup>2</sup> 與 3,984.46 km，飛行軌跡與整編後的測線如圖 3 所示，合計 363 組紀錄中，全部為第 1 級，平均雜訊水平小於 0.0129 nT，顯示資料品質良好。

原始磁力量測數據需經一連串資料修正後，才能獲得全磁力網格(total magnetic intensity grid; TMI grid)，並據以進行後續資料處理與解釋等工作，本計畫之磁力資料前處理包括：突波移除(spike removal)、基站修正(base correction)、國際地磁參考場移除(IGRF removal)、航向修正(heading correction)及調平(leveling)等項目。除了本計畫 2013 年針對宜蘭平原鄰近地區完成空中磁測之外(董倫道、林蔚，2013a)，經濟部能源局及台灣中油公司在地調所支持下亦於 2013 年合作針對大屯山地區進行空中磁測工作(董倫道、陳文山，2013；董倫道、林蔚，2013b)，為使資料具有一致性，本計畫將前述二幅全磁力強度圖及本年度完成的全磁力強度圖，整編成一張完整的全磁力強度網格圖(圖 4)，網格大小仍維持 100 m。網格處理係透過二維處理方式，強化磁力異常的影像，本計畫進行以下處理：(1)歸極換算(reduction to the pole; RTP)、(2)濾波(filtering)、(3)向上延伸(upward continuation; UC)、與(4)微分(derivative)等，圖 5 所示為經歸極換算處理後之全磁力強度圖。

濾波處理是 VLF-EM 資料處理中的關鍵步驟，傳統常運用 Fraser 濾波法(Fraser Filtering; Fraser, 1969)來濾除 VLF-EM 資料中的雜訊，考量空中 VLF-EM 係以每秒 10 點的取樣率記錄 VLF-EM 訊號，資料點數遠較地面探勘時密集，故本計畫改良 Fraser 濾波法，採取以下步驟進行濾波處理：(1)進行 15 點移動平均、(2)進行 30 點低通濾波、(3)進行趨勢移除(trend removal)。圖 6 為頻率 22.3 Hz 之同相(in-phase)分量紀錄等值圖，圖 7 為經 K&H 線性濾波(K & H Linear Filtering; Karous and Hjelt, 1983)後，推算的等效電流密度等值圖，在山地區域訊號有顯著強弱差異，推測與岩性或構造有關。

### 3.2 岩層物性特徵

本計畫總計完成 20 個露頭電阻率量測，採樣位置如圖 8 所示。完成 125 處露頭磁感率量測，並額外採取了 23 個定向岩石樣本，量測其自然殘磁率，採樣位置分別如圖 9 及圖 10 所示。

#### 1. 岩性與電阻率關係

圖 11 為露頭岩性與磁感率及電阻率間關係圖，由圖中不同岩性之電阻率分布，顯示以下特徵：

- (1) 研究範圍內大多數地層的電阻率大於 1000 ohm-m，新鮮火山岩的電阻率有略高於新鮮沉積岩的現象。
- (2) 本計畫所採集之三處火山岩中，其電阻率中位數由大至小排列分別為：基隆火山岩(3611 ohm-m)、大屯火山岩(1525 ohm-m)、觀音火山岩(326 ohm-m)。大屯火山碎屑岩中細顆粒材料部份，具有較低的電阻率，其中位數為 45 ohm-m。

#### 2. 岩性與磁感率關係

圖 12 為露頭岩性與磁感率關係圖，圖 13 則為代表性岩石樣本殘磁力及磁感率與岩性關係圖，由圖中不同岩性之磁感率與殘磁力分布，顯示以下特徵：

- (1) 新鮮火山岩的磁感率普遍高於沉積岩約數百倍以上，顯示空中磁測資料能有效反應火成岩的地下分布。

- (2) 經熱水換質或風化作用後，火山岩的磁感率有降低的趨勢，高度熱水換質的火山岩其磁感率甚致降低至接近 0。暗示火山區內的低磁區對應受熱水變質的岩層，可做為分析熱水通道分布的參考指標。
- (3) 本計畫所採集之三處火山岩中，其磁感率中位數由大至小排列分別為：大屯火山岩(25.0E-3 SI)、基隆火山岩(14.7 E-3 SI)、觀音火山岩(6.09 E-3 SI)。
- (4) 由岩石樣本殘磁力試驗結果(圖 13)顯示沉積岩的殘磁力均不高，本計畫採集自大屯火山、基隆火山及觀音火山的岩石樣本則反映出不完全一致的現象。與現今地球磁場的磁力(約 36 A/m；圖 13 中虛線)相比，僅採自基隆火山的 1 個樣品之殘磁力高於現今地磁強度，其 Q 值高達 1.857。大屯火山群 10 個樣品中有六個樣品的 Q 值介於 0.5 與 1 之間。此外，由各火山岩樣本殘磁力的磁傾角與磁偏角，顯示與目前地球磁場的方向不完全相同但差異不是非常大，與前人在大屯火山區所進行的古地磁研究(Lee *et al.*, 1985)成果相近。前述殘磁力量測結果，暗示火山岩殘磁力的影響並沒有想像中巨大，但由於火山岩普遍具有明顯的殘磁力，故進行三維逆推處理時，仍無法完全忽略殘磁力的影響

### 3.4 電性特徵解釋

圖 14 及圖 15 分別將同相位分量等值圖及等效電流密度圖與地質構造套疊，圖中並標示調查範圍內主要之斷層構造，針對台灣北部地區，比較 VLF 圖幅與已知地質構造，獲得以下結果：

1. 宜蘭平原區堆積的厚沖積層及海域海水，導致在探測範圍內地層無明顯電性差異，故相對區域的同相位分量等值圖並未發線明顯與地層或構造相關的特徵。
2. 以巨觀角度觀察，同相位分量強度圖與地層分布有關連性，暗示能反應地層的導電特性，等效電流密度圖與同相位分量強度圖上的不連續線形，與已知的主要斷層構造線有關連性，暗示 VLF 異常圖可作為分析地層與斷層分布的參考。
3. 觀察圖 14，顯示牛鬥斷層南北兩側雪山山脈與中央山脈地層的訊號強度明顯不同，金山斷層/山腳斷層與崁腳斷層沿線有相同方向的線型存在，可用以確認斷層的位置。
4. 觀察圖 15，顯示宜蘭斷層與西側的等效電流密度帶狀高區對比良好，圖 15 中三星斷層、古魯斷層、清水溪斷層則似可對應帶狀高區因錯動產生的線形，可能與此二斷層的橫移特性有關。

### 3.3 磁力特徵與地質解釋

#### 1. 火成岩體分布

由磁力強度分布(圖 16 及圖 17)，可分辨出 4 類主要磁力高區，分別以 HB, HV, HI 及 H 代號表示。圖 18 為磁力異常圖套疊台灣東北海域構造分布圖，顯示帶狀磁力高區與地質構造對比一致，主要以東北-西南向分布。參考磁感率深度切面圖上磁感率等於 0.003 SI 等值線解釋的地下火成岩體分布如圖 19 所示，除了已知的大屯山、基隆山及龜山島等火山之外，本計畫共分辨出 10 處海底或海下文獻未記載的火成岩體。

#### 2. 大屯火山區

在大屯火山區進行三維逆推所獲得的三維磁感率模型，與地表已知的火山口位置相當一致(圖 20)，故逆推成果能用以描繪地下火成岩分布並提供相關構造資訊。綜合現階段所掌握的資訊，顯示大屯火山區自第三紀以來地層受反覆的張裂

陷落—擠壓—張裂等構造影響，造成深部岩層破裂。更新世以來，張裂環境形成的深層破碎帶，成為岩漿上湧的管道，岩漿自兩個根部分別向東北及東北東方向噴發延伸。深層破裂也是深層熱水上湧的重要通道，故本區與熱液活動有關的微震，多聚集在馬槽以東帶狀區域(圖21)。張裂活動持續至現今，導致火山體受後期山腳斷層等活動破壞，產生許多近南北方向的次生斷層構造。這些斷層系統形成網絡般的結構，並與下方的深部破碎帶連通，使高山的天水得以向下入滲後加熱，而深層熱水也能向上湧，形成七星山東北側廣大的帶狀低電阻蓋層，阻隔了天水與地熱水，蘊育出良好的地熱田結構。

### 3. 基隆火山群

金瓜石礦區的金銅礦是台灣重要經濟礦物，雖然已經停止開採多年，但地下仍可能蘊藏可觀的礦床。依據前期計畫空中磁測解析成果，顯示基隆山、武丹山及草山等岩體地下確有相當大體積的高磁性安山岩體存在，但本山岩體的磁力特徵並不顯著。如果本山岩體確實為一個侵入火成岩體，則有可能因高度熱水換質作用，導致地層喪失其磁性且密度降低，故造成磁力與重力特徵不明顯。依據磁力向量分析，顯示草山岩體的磁力強度主要來自非感應磁化(圖22)，暗示為不同時期岩漿冷卻的結果。基隆山岩體東南側，磁化向量強度有減弱現象，且磁化向量方向亦轉為與現今地球磁場方向概略相反，該處為甲脈斷層、金瓜石斷層及另一個南北向未命名斷層的交會處，自該交會點向南延伸，亦能發現雖然磁化向量強度減弱，但磁化向量方向與現今地球磁場方向不同(圖23)呈現向東或向南方向，似與該區豐富的金銅礦床有關。推測因熱液侵入的時間與火成岩冷卻的時間不同，雖然熱水變質降低了原安山岩的磁性，或者熱液侵入低磁沉積岩而略微提高了地層的整體磁性，當熱液冷卻形成礦脈後，其磁化向量方向與圍岩不同，未來或許能藉由分析磁化向量的特徵，用以探查潛在的礦床位置。

依據前期計畫磁力特徵分析，在基隆嶼西側偏北方向發現另一高磁區，推測係未命名的海底火山或地下火成岩體，以 KL2 代號表示，與基隆嶼岩體之高磁中心相距約 3.5 km。由磁化向量三維分布(圖24)，顯示兩火成岩主體的磁化方向與現今地球磁場方向大致相當，但基隆嶼火成岩體的磁化方向比較偏西北方向，暗示兩岩體侵入/噴發的年代不同但相近。兩火成岩體的中間地帶，磁力方向明顯不同，推測可能受後期構造或熱液侵入等影響所致。

### 4. 居里深度推算

居里深度並不是一個特定的深度，受地溫梯度及地層礦物組成影響，穩定大陸地塊的居里深度通常大於 20 km，但在年輕的海洋板塊則可能淺於 2 km。磁力解釋時常以岩層喪失磁感率時的深度，做為推測之居里深度。然而，也可能因岩層的磁性礦物含量少，或岩層的殘磁力方向與現今磁場方向相反，因而抵消了感應磁力，造成低磁力異常，導致誤判為岩層具有低磁感率特性，故在解釋時仍需參考區域地質與地體構造資訊。

一般常以頻譜法(spectrum method)推估居里深度(Spector and Grant, 1970)，是一種簡便的估算方法，但計算過程必需設定很大的工作視窗，才能獲得代表工作視窗內的居里深度資訊，故其結果可視為一種平均的效應，不適合於表明某一特定地點的居里深度。本計畫以三維逆推結果作為推估居里深度的基準，磁力資料整體涵蓋範圍約僅 40 km 上下，由三維磁感率模型中，以深部地層磁性消失的界面，做為調查範圍內居里深度之參考。

圖 25 所示為切過大屯火山區的兩條磁感率剖面，由圖上磁感率消失的界面約介於深度 8 km 至 11.5 km，與 Tanaka (1999)推算火山及地熱區居里深度淺於 10 km

的結論一致。因此本計畫所推估大屯火山區的居里深度，能反映因火山作用造成本地區熱流升高的特性，可做為本區居里深度的參考。

## 四、結論與建議

### 4.1 結論

1. 由磁力強度分布，研究區域內分辨出 4 類主要磁力高區，分別以 HB, HV, HI 及 H 代號表示。
  - (1) HB 磁力高區位於研究區最北側，推測與磁力基盤隆起有關。
  - (2) HV 磁力高區分別對應大屯火山群及龜山島火山，均有沿東北-西南方向分布的現象，暗示二者可能具有類似的構造機制，反映原本第三紀張性正斷層構造與盆地發育。
  - (3) 依據三維磁感率模型，除了大屯火山群、龜山島火山、基隆嶼及基隆火山群等已知的火山岩體之外，本計畫共分辨出 10 處新發現的火成岩體。
  - (4) HI 磁力高區自雪山山脈與中央山脈接觸帶向南分布，自西向東觀察其走向，顯示有自東北轉為東西方向的現象，推測與板塊碰撞有關。
  - (5) H 磁力高區分布的範圍相對較小，對應小區域的地下火成岩體，部份磁高區可對應基隆嶼及基隆火山群，其餘則為未命名海底火山或地下火成岩體。
2. 研究區域內顯著的帶狀磁性岩層與地質構造主要以東北-西南向分布，在基隆嶼及花瓶嶼附近有潛在火成活動跡證，反映原本第三紀張性正斷層構造與盆地發育，在上新世晚期至更新世早期發生逆衝斷層活動，而後在 80 萬年來反轉成正斷層構造。第三紀低磁性地層為巨厚的泥岩及砂岩互層，厚達可達 6 km 至 8 km，其下高磁性地層可能為廣泛分布巨厚玄武岩夾層的始新世沈積層或中生代基盤，以巨觀角度觀察反映出巨型褶皺系統被後期正斷層系統破壞的基盤形貌。
3. 依據三維磁感率模型中磁感率消失的深度，推測大屯火山區的居里深度約在 10 km 上下。
4. 大屯火山地區
  - (1) 依據露頭磁感率調查資料顯示，新鮮安山岩的磁感率約數百倍乃至千倍於沉積岩的磁感率，顯示空中磁測資料能有效反應火成岩的地下分布。火山區內的低磁區對應受熱水變質的岩層，可做為分析熱水通道分布的指標。
  - (2) 依據磁力特徵分析，顯示大屯火山區地下火成岩具有高磁力特性，並呈現兩條帶狀分布，概略以大屯山及五指山為中心，分別向東北-西南及東-西兩方向延伸。
  - (3) 依據三維磁感率模型中低磁區的分布特徵，推測本區主要破碎帶呈東北-西南走向，具有顯著的熱水換質現象，與前人研究之低地電阻區與高微震活動區域一致。推測與第三紀張性正斷層構造截切深部地殼，在上新世晚期至更新世早期發生逆衝斷層活動，而後在 80 萬年來反轉成正斷層的反復地殼構造運動有關。
  - (4) 高磁的不連續線形，推測對應後期斷層構造，主要以近南北方向偏東或偏西方向之正斷層或帶平移分量之斷層為主，與大屯火山區微震的震源機制解結果一致，也與地表噴氣孔及高溫井分布一致，暗示後期熔岩流被新期斷層構造破壞後，形成網狀的熱水通道。
  - (5) 觀音火山岩體的規模相對小且淺，由地下高磁性岩體分布，推測岩漿來自東側深部。

## 5. 基隆火山地區

- (1) 依據磁力強度高低，可辨識出五個主要的火成岩體，基隆嶼西側偏北方向有一高磁區，推測係未命名的海底火山或地下火成岩體，兩岩體高磁中心相距約 3.5 km，其他四個火成岩體可對比地表已出露的基隆嶼、基隆山、草山及武丹山等火成岩體。
- (2) 草山及武丹山岩體的規模相對較小，在深度 600 m 以下高磁性特徵逐漸消失，基隆嶼火成岩體向下延伸的深度最大，估計約達 3 km。
- (3) 由各火成岩體高磁區均有向西延伸的情形，暗示岩漿來自西側深部。
- (4) 依據磁化向量分析，顯示草山岩體的殘磁力與其它岩體差異很大，暗示為不同時期岩漿冷卻的結果。
- (5) 由磁化向量的分布異常，顯示金瓜石礦區在甲脈斷層、金瓜石斷層及另一個南北向未命名斷層的交會處，磁力強度有減弱現象，且磁力方向亦轉為與現今地球磁場方向相反，此現象可延伸至本山岩體甚致到燦光寮山以南區域，是否可用以指示潛在礦床分布，值得後續深入研究探討。
- (6) 基隆嶼火成岩體與西側新發現的火成岩體(KL2)的磁化向量方向與現今地球磁場方向大致相當，但基隆嶼火成岩體的磁化向量方向比較偏西北方向，暗示兩岩體侵入/噴發的年代不同但相近。
- (7) 基隆嶼火成岩體的東南側及其與 KL2 火成岩體中間，磁化向量方向明顯不同，推測可能受後期熱液侵入影響所致。

## 4.2 建議

1. 本計畫所建立的空中地球物理探測技術能在最短時間內，獲得對整體區域地下地質構造之瞭解，提高後續探勘工作的效率。未來應大幅推廣應用重要潛在地熱區，甚而應用至台灣全區，以建立基本地質資料庫，提高國土利用的效率。
2. 本計畫初步嘗試由磁化向量的方向探討礦脈、構造與磁力異常間的關係，初步顯示能提供地層更細緻的變化，可能有助於探礦，將於後續計畫中持續瞭解該技術的應用
3. 空中磁測資料主要應用在大區域地質調查，若能與重力資料結合處理與解釋，能發揮更大的效果。內政部地政司自 2005 年起陸續完成了全台空載重力、船載重力及陸上三角點的重力量測，雖然其目的在於建構臺灣的大地水準面(geoid)，以提高 GPS 定位的準確性，但重力量測值卻能增進對地質構造的掌握。基於政府部門間資源共享與資料利用極大化的理念，若能透過公部門間橫向協調而取得該份資料，並納入本計畫未來分析使用，預期將能獲得更好的成果。據本計畫側面瞭解，內政部前述重力量測資料已經在測量領域充份運用，若其它公部門擬運用在如地質探測等領域，內政部地政司的態度是支持的。因此建議地調所啟動與內政部地政司的聯繫，取得陸海空重力資料，納入本計畫進行整合處理與解釋。

## 參考文獻

1. 董倫道、林蔚(2013a)。台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(2/2)。經濟部中央地質調查所委辦計畫報告。共 188 頁。
2. 董倫道、林蔚(2013b)。大屯山空中磁測委託研究計畫。台灣中油股份有限公司探採研究所委辦報告。共 61 頁。
3. 董倫道、陳文山(2013)。深層地熱發電技術研發計畫：大屯火山區地球物理調查



報告。經濟部能源局委辦計畫報告。共 78 頁。

4. Fraser, D.C. (1969). Contouring of VLF-EM data. *Geophysics*, 34, 958–967.
5. Karous, M., and Hjelt, S.E. (1983). Linear filtering of VLF dip-angle measurements. *Geophysical Prospecting*, 31, 782–794.
6. Lee, T.Q., Tsai, P.F., and Tsai, Y.B. (1985). Paleomagnetic study of the Tatun Volcano Group. *Bulletin of the Institute of Earth Science, Academia Sinica*, 5, 137–150.
7. Tanaka, A., Okubo, Y., and Matsubayashi, O. (1999). Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in east and southeast Asia. *Tectonophysics*, 306, 461–470.

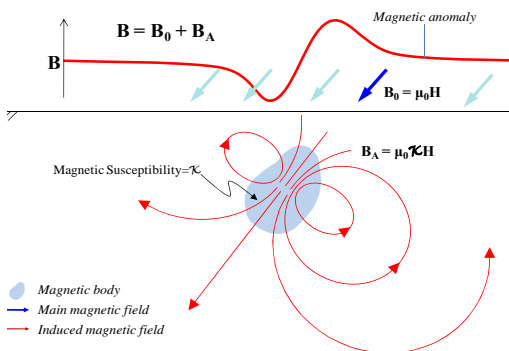


圖 1、磁力法施測原理示意圖

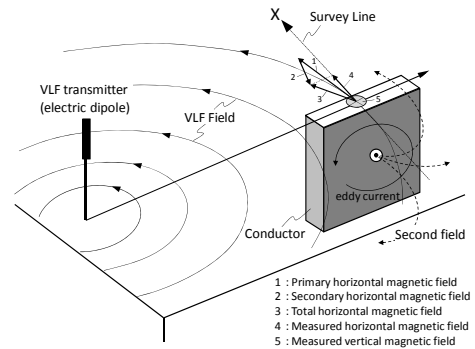


圖 2、甚低頻電磁法施測原理示意圖

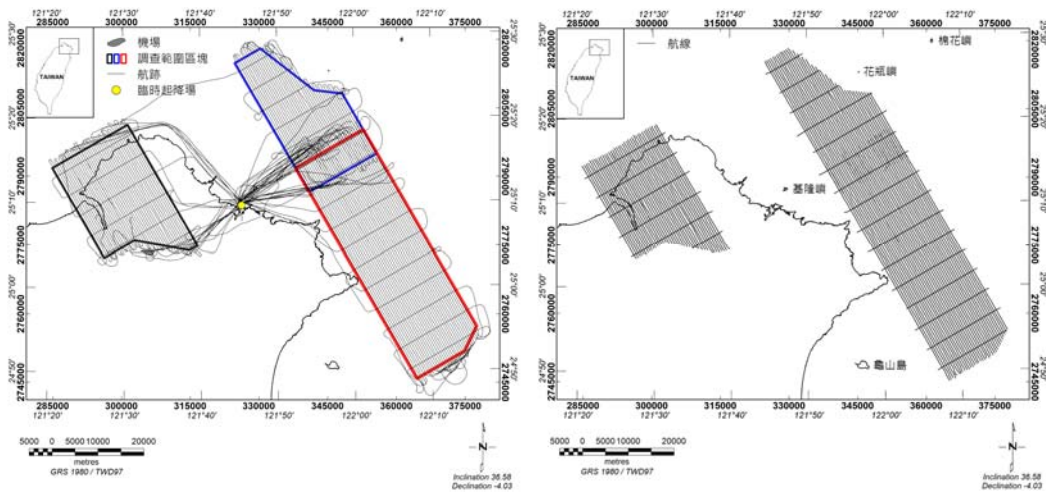


圖 3、航跡圖(左)與整編後測線分布圖(右)

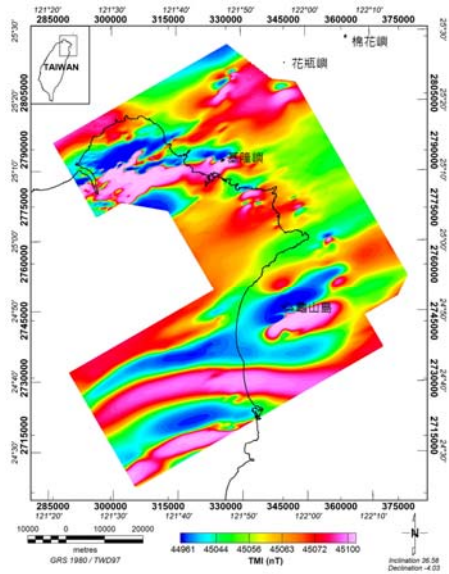


圖 4、全磁力強度圖

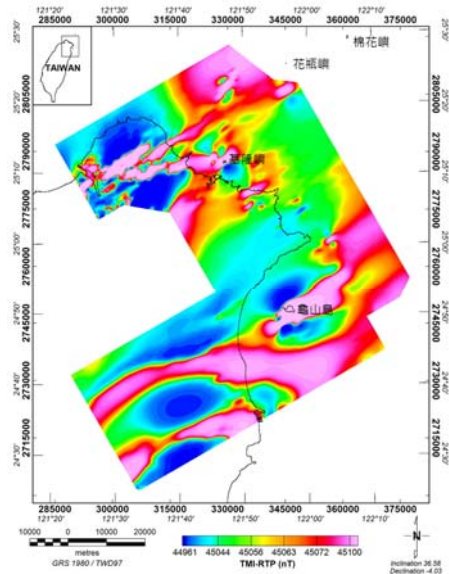


圖 5、經歸極換算處理後之全磁力強度圖

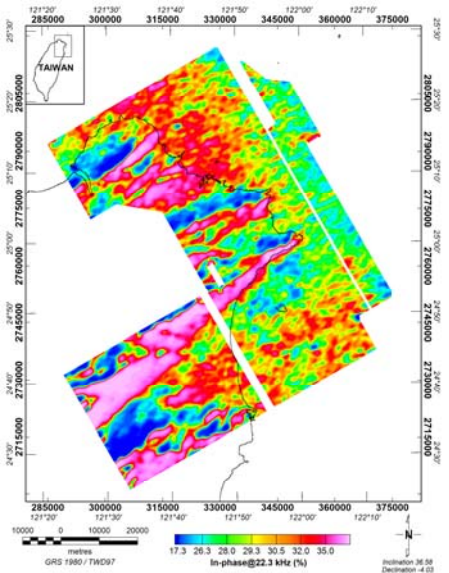


圖 6、22.3 kHz 同相位分量等值圖

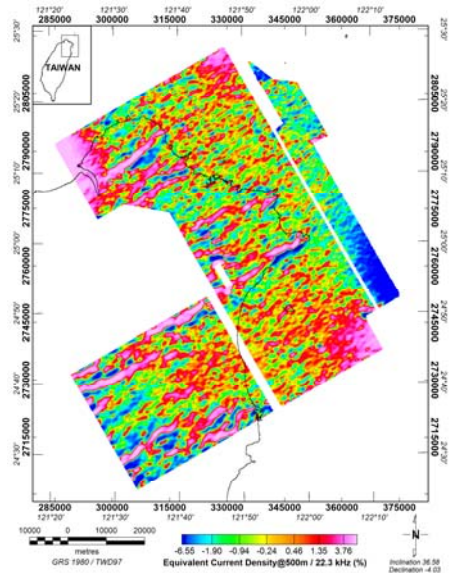


圖 7、22.3 kHz 等效電流密度圖

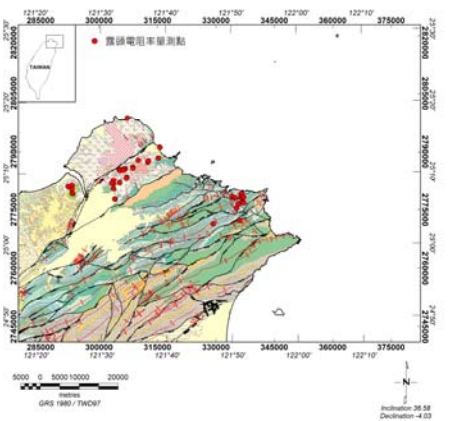


圖 8、岩層電阻率量測點位置圖

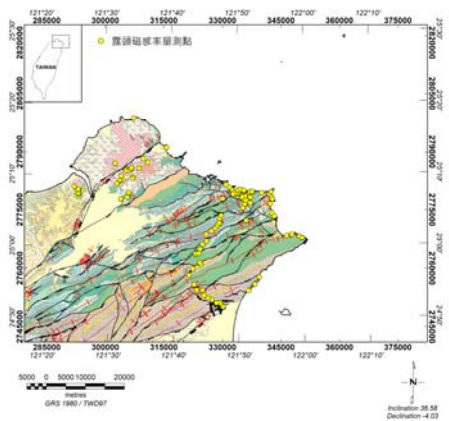


圖 9、岩層露頭磁感率量測點位置圖

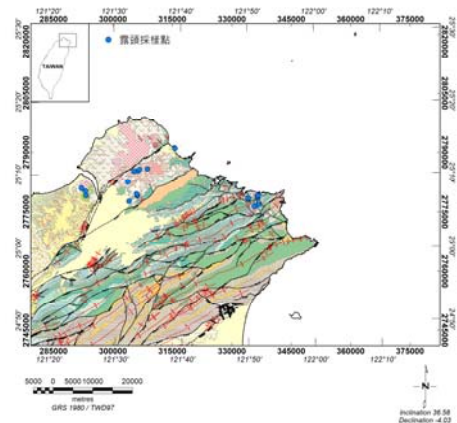


圖 10、岩層露頭定向樣本採樣點位置圖

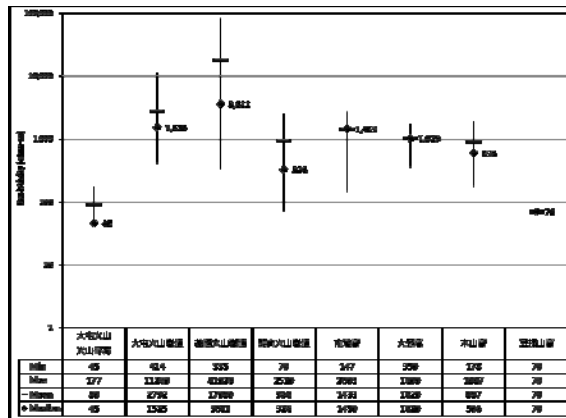


圖 11、地層露頭岩性與電阻率關係圖

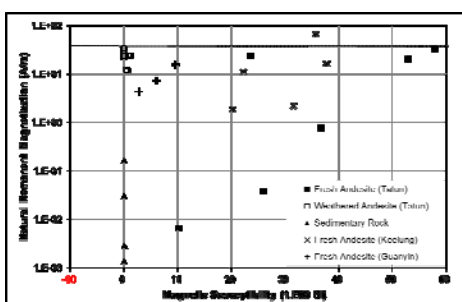


圖 12、地層露頭岩性與磁感率關係圖

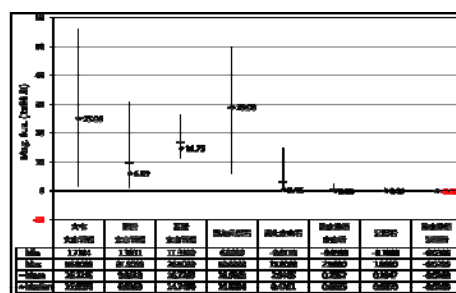


圖 13、岩石樣本殘磁力與磁感率關係圖

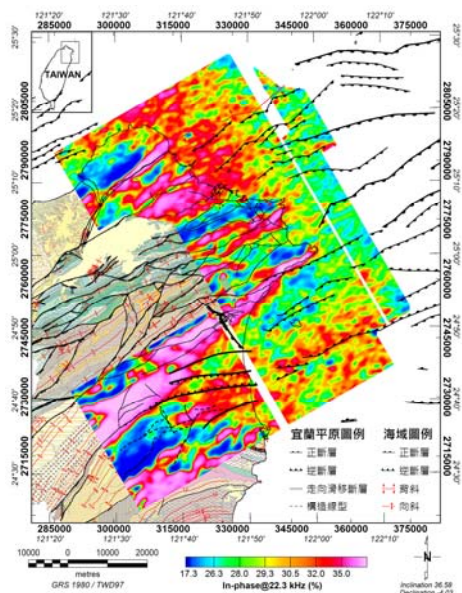


圖 14、同相位分量等值圖套疊地質圖

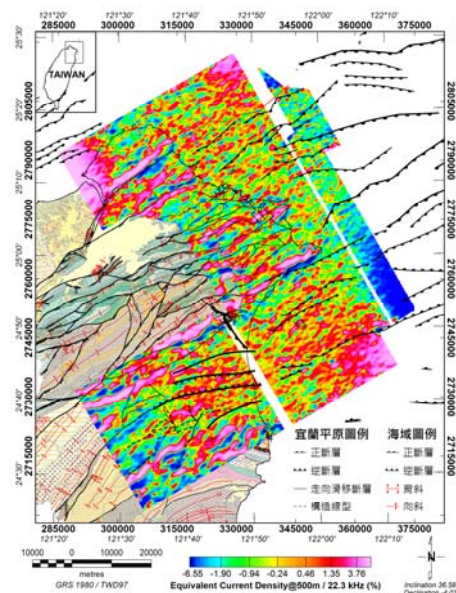


圖 15、等效電流密度圖套疊地質圖



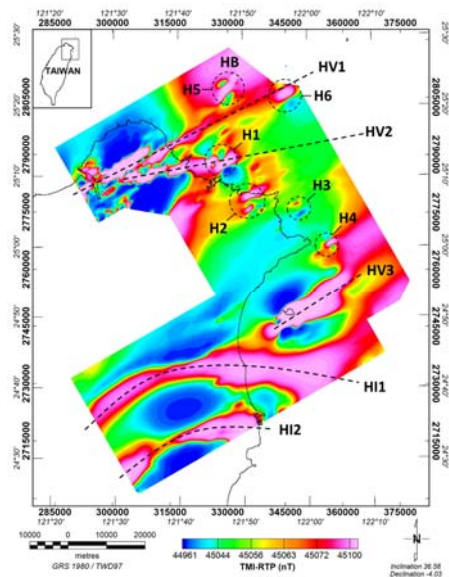


圖 16、全磁力強度圖之磁力強度特徵

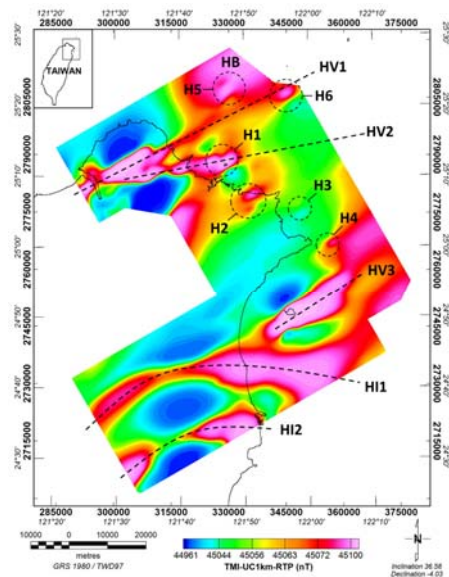


圖 17、區域磁力異常圖之磁力強度特徵

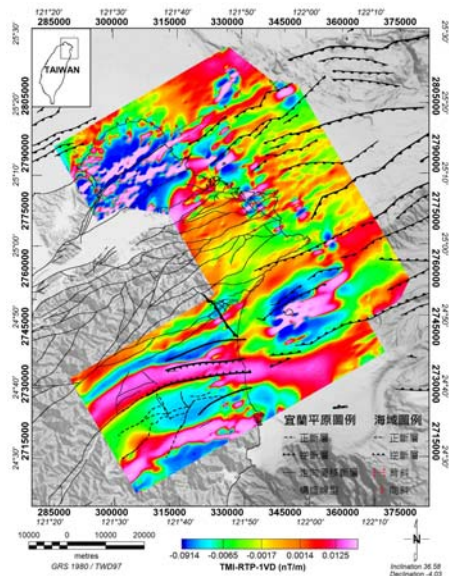


圖 18、磁力異常套疊陸海域構造分布圖

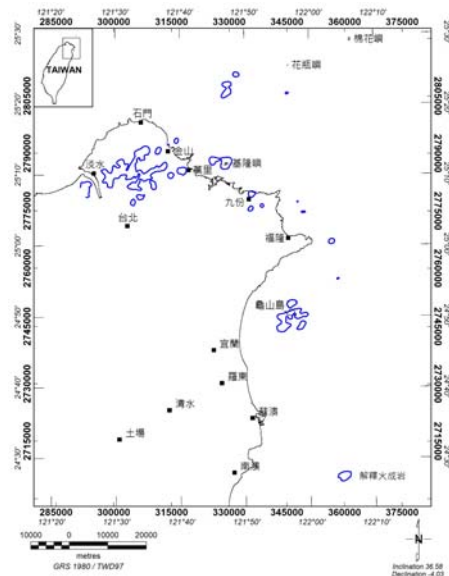


圖 19、解釋地下火成岩體分布圖

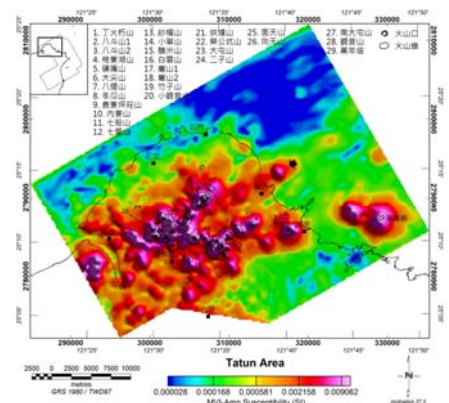


圖 20、大屯山區磁感率與火山口分布圖

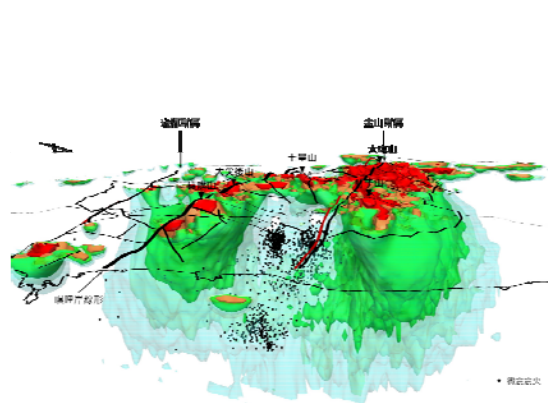


圖 21、大屯山區磁感率模型三維展示圖

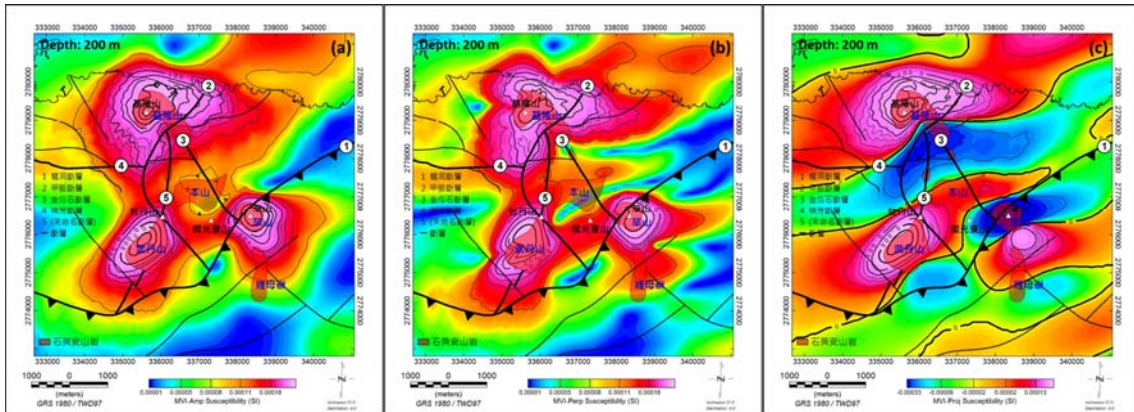


圖 22、金瓜石礦區磁感率深度剖面圖套疊地質構造圖  
 (a)磁化向量磁感率；(b)非感應分量磁感率；(c)感應分量磁感率。

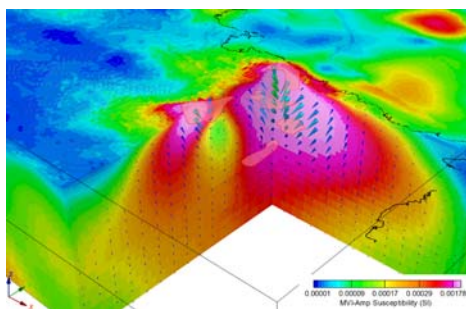


圖 23、金瓜石礦區磁化向量立體圖

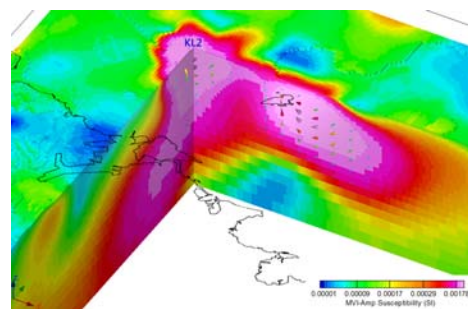


圖 24、基隆嶼磁化向量立體圖

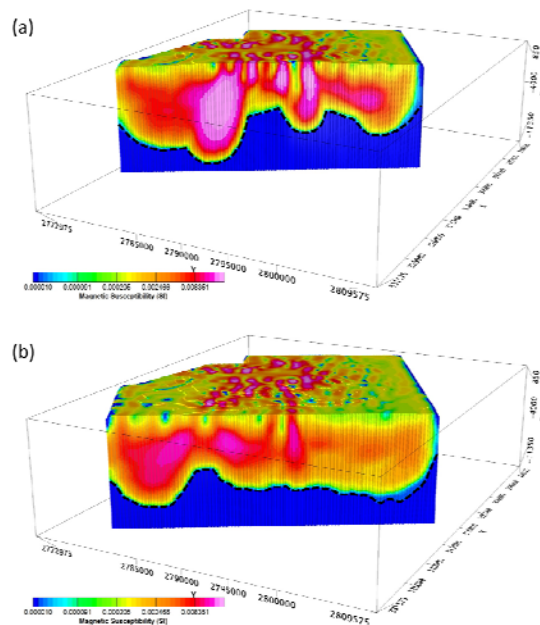


圖 25、大屯火山區域磁感率剖面立體圖