

2013 臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

作品編號 150009

參展科別 地球科學

作品名稱 大屯火山群磁場分布測量與分析

Measurement and Analysis of Magnetic Field of
Tatun Volcano

得獎獎項 三等獎

就讀學校 臺北市立建國高級中學

指導教師 李文禮

作者姓名 吳俊儒、張巔瀚、黃信元

關 鍵 字 磁力測勘、大屯火山群

作者簡介



吳俊儒(圖右)

就讀台北市建國高級中學二年級科學班，自從上高中就對地球科學有濃厚的興趣，在高一時曾進入地球科學選拔營，高二全國地科能力競賽獲了貳等獎。在高一時剛好有這個機會對大屯火山做地球物理探勘，所以我和同組的二人就一起對這座火山做研究，資料蒐集雖然辛苦，但經過資料蒐集的部份之後就是資料處理，這個部分讓我學到了很多有關地球物理的知識，希望之後有機會可以對這個領域做更深刻的了解。

黃信元(圖左)

我是就讀建國中學二年級科學班的黃信元，我小時候就對機器人非常有興趣，三年級時曾去參加木製機器人大賽，還得到了第一名。升上國中後，我便開始學習寫程式以做出性能更強的機器人，我也很喜歡將一個資訊的題目透過思考的轉換，找出一個可以以較佳執行速度找出解的演算法。進高中之後，一年級時，曾

進到台灣資訊奧林匹亞選訓營，在高二時，更在全國資訊能力競賽中，得到一等獎。因為地球科學研究很常需要資訊的協助，於是我便與兩個好朋友（一位地科很強，另一位物理很強）一起做地科專題。

張巔瀚(圖中)

我是就讀建國中學二年級科學班的張巔瀚，從小對自然科學非常有興趣，也曾參加過國際國中科學奧林匹亞。上高中後，更參加了全國物理能力競賽並獲得一等獎。我十分喜歡利用已知的物理定律去分析各種現象，所以我與兩位好友一同到大屯山進行磁力測量，並且利用各種分析方法對大屯火山有更多了解，雖然在測量以及分析時十分辛苦，但過程中所經歷也使我更了解如何去進行一個科學研究。

摘要

近年來許多研究顯示台北的大屯山底下可能存在岩漿庫，而最近一次的噴發可能約在 5000 年前，於是我們決定利用地球物理方法對大屯山做更進一步的了解。由於磁力測勘是了解火成岩區的重要工具，而且前人對大屯山的磁力探勘似乎著墨較少，所以我們決定使用磁力對大屯山進行測勘。

測區包含了公路以及步道的部分，量取資料後，我們經過一些標準的程序得到磁力異常值，再利用極化修正將資料修正得更直觀，並用修正前後的資料繪出的圖與溫泉露頭、地表岩性等做比對。最後我們利用物理方法得到相對的居里點深度，希望能進一步了解大屯火山群的地熱活動。

我們研究後認為：大屯山下方的居禮點深度較深，地熱活動較不活躍，而七星山到大油坑間的居禮點深度較淺，地熱活動則較旺盛，可能有岩漿庫存在。

Abstract

Past research reveals that magma chamber may exist under Tatun Mountains, which was believed to have erupted 5000 years ago. Former researchers didn't do much study on Tatun Mountains using magnetic survey, so we choose magnetic survey as our method to understand Tatun Mountains.

Our measuring transects include drive roads and hiking trails. After we got our data, we processed through standard procedures to get magnetic anomaly value. Ultimately, we used a method called "reduction to pole" to make our data more intuitive. We graphed out magnetic anomalies and the data after reduction to pole, then we used these two pictures to compare with hot springs and surface lithological characters. Lastly, we used physical method to get integrated depth of magnetized body, combining our data with geothermal mapping.

We believe that geothermal is less active under Tatun Mountain, and stronger geothermal activities from Chi Shin Mountain to Da You Keng implying the existence of a magma chamber there.

壹、前言

一、研究動機

台灣位於環太平洋火山地震帶上，就像菲律賓和印尼一樣，而印尼在 2010 年才發生過火山爆發的事件，這次的事件不僅造成民眾慌亂，還影響飛航安全，更造成許多人的傷亡。身為大屯火山群龐大台北地區的居民，我們必須盡可能了解這座火山，並從而得知它過去的歷史以及預測未來可能發生的事件。

近期中研院地科所研究火山灰定年發現大屯山最近一次噴發可能為五千年前，而非之前研究所認為的二十萬年前，這已經符合國際間對活火山的定義了，而根據研究，溫泉氣和噴氣的成分 60% 源自於深部地函，不只如此，許多微震監測資料，也顯示大屯火山群底下極有可能還有岩漿庫的活動。

我們希望能藉由一些地球物理方法探測大屯火山的內部構造。而我們決定採用比較少人使用過的「磁場測量法」。

二、研究目的

1. 繪製出測點密集的磁力異常分布圖。
2. 對磁力異常分布圖進行極化修正及居里點深度分析。
3. 利用磁力異常分布圖與區域地質資料做比對與分析。

三、文獻探討

1. 火山噴發歷史(周，2008)

大屯火山群的噴發主要分為兩階段。

第一階段約從 280 萬年前到 250 萬年前，又細分為兩期：

第一期：280 萬年前噴發，丁火朽山噴出大量火山碎屑岩。

第二期：250 萬年前噴發，大磺嘴山噴發形成原始大屯山。

第二階段由 80 萬年前到 20 萬年前，分為三期：

第一期：從 80 萬年到 60 萬年，從竹子山開始噴發，到了 70 萬年前，是大屯火山群噴發最劇烈的時期，幾乎所有地區皆有噴發。

第二期：從 60 萬年到 50 萬年，七星山有猛烈噴發，其餘地區僅小規模噴發。

第三期：從 50 萬年到 20 萬年，僅大屯火山有局部熔岩流溢出。

2. 不同岩石之磁感率

一般而言，沉積岩的磁感率明顯較低，而火成岩中，又以基性火成岩(如玄武岩)的磁感率較高，因其鐵鎂質含量較多。至於岩漿因為溫度過高於居里溫度，所以不具有磁性(圖 1)。

岩 型	磁 感 率 $K \times 10^6, \text{c.g.s.}$
頁岩(粘板岩)	0 – 1,250
砂岩	35 – 950
石灰岩	10 – 25,000
花岡岩	20 – 40,000
玄武岩	250 – 120,000
輝長岩	800 – 76,000
蛇紋岩	3,100 – 75,000
橄欖岩	12,500
輝綠岩	10,000 – 150,000
矽卡岩	500 – 5,300
斑岩	225 – 210,000

圖 1 不同岩石之磁感率大小

(圖片來源：www.gep.ncu.edu.tw/chinese/Action/.../1000923
[磁力測勘.pdf](#))

3. 地磁年代表

由地磁年代表可得知，在約 250 萬年前，大屯山第一階段噴發時的地磁方向與現在相反，而第二階段噴發時的地磁方向皆與現在相同(圖 2)。

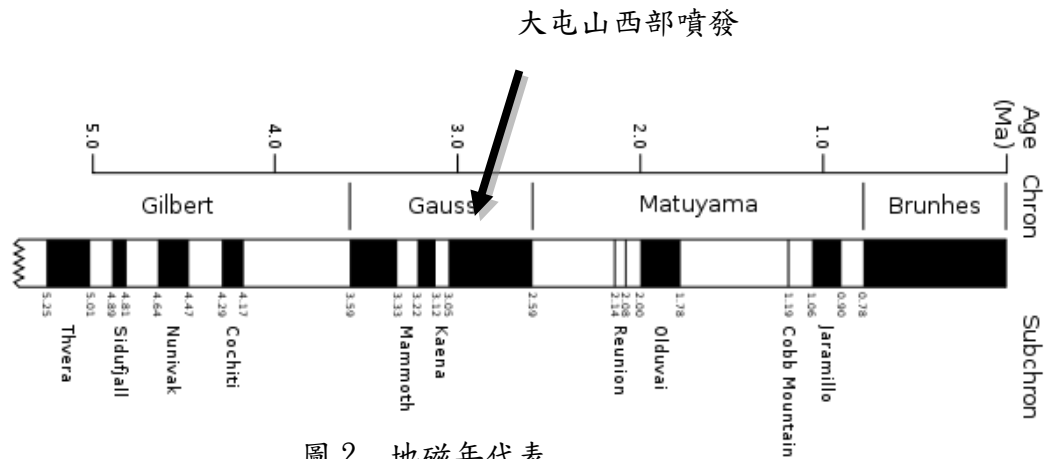


圖 2 地磁年代表

貳、 研究方法與過程

一、 研究設備

1. GPS

利用 GPS(圖 3)定位每個測點的經緯度。(座標系統：WGS-84)



圖3 GPS

2. 質子進動磁力儀(圖 4)

A. 基本構造

鐵杆：為支撐感應器用，使測量時不會晃動過大造成誤差。

電池：供應主機所需電力。

主機：調整各項設定並讀取測量值。

感應器：測量磁場值，內部原理於下文介紹。



圖 4 磁力儀組裝前

B. 使用原理

在磁力儀中(裝置類似圖 5，線圈會先通上電流產生磁場，使得瓶中液體的質子被極化並讓磁矩全部朝向同一方向；若停止線圈中之電流，質子磁矩便會受到當地的磁場作用而受到力矩，就會改變質子之角動量而產生進動(圖 6，其頻率會與當地磁場成正比。



圖5 應器內部示意圖

利用線圈感測因磁矩變化而產生與進動頻率成正比的感應電流大小，即可換算出當地磁場之大小；亦即此點磁場的絕對值，而為求更高的精準度，真正的儀器內部的液體種類、線圈的纏繞、設計還有材質，都會有些許不同。

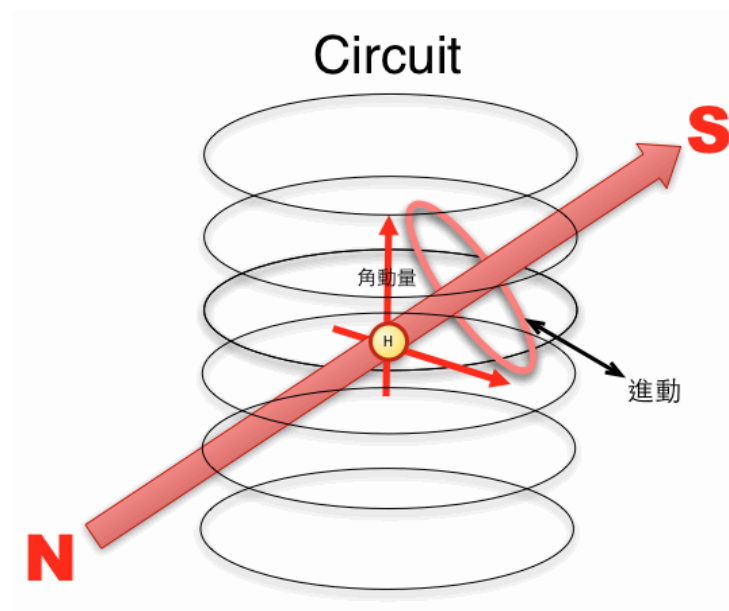


圖6 質子受磁場作用而進動之示意圖

二、研究方法

我們進行研究的過程如下：

1. 至野外進行測量。
2. 各項資料修正：
 - A. 時間修正—消除時間因素造成之影響。
 - B. 高程修正—消除高度造成之影響。
 - C. 參考場修正—扣除地核及地函產生之磁場。
 - D. 極化修正—消除因磁化方向不同產生之影響。
3. 塊體極化方向分析：

將極化修正前後的磁力異常圖比較，找出各塊體被磁化的 方向。

4. 居里點深度分析：

利用磁性體在溫度到達居里點時會消磁的特性，找出地下居里點的深度。

5. 解釋磁力異常分布：

對於經過各項修正之後的磁力異常分布做出解釋。

三、研究過程

1. 實際測量(圖 7)

由於我們無法測量公路，在資料蒐集上我們與共同參與計畫的文化大學學生共用測量資料，我們負責的部分就為使用人力的步道(約 100 個測點)，而文化大學學生則是利用交通工具測量公路(約 200 個測點)。

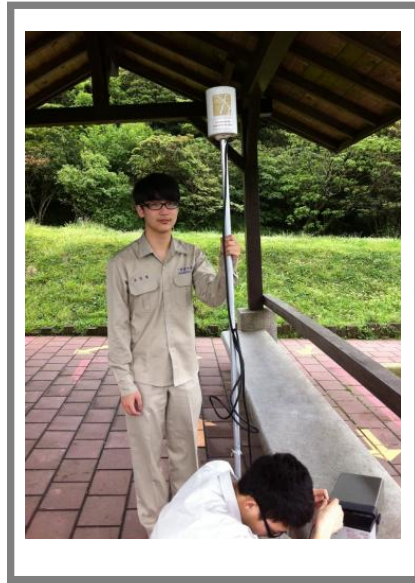


圖 7 組裝完成後之感應器

我們測量的步道主要為大屯山主峰、二子坪、面天山、冷水坑、擎天崗(圖 8)



圖 8 大屯山區公路以及步道的分布圖

我們的測量日期為 2012/04/18 到 2012/08/16，共測量 15 日，總共 326 個點(排除掉資料標準差過大的點)。基本上是以每 200 公尺測量一點，但有時由於測點過於不穩定，以致於可能會超過 200 公尺才有適合的測量地點。



圖 9 組裝完成後之主機與電池

對於每一個測點，分別記錄四種數值：時間，經度，緯度，和重複進行 5 次的磁場測量值。

我們的測量日期為 2012/04/18 到 2012/08/16，共測量 15 日，總共 326 個點(排除掉資料標準差過大的點)。基本上是以每 200 公尺測量一點，但有時由於測點過於不穩定，以致於可能會超過 200 公尺才有適合的測量地點。

對於每一個測點，分別記錄四種數值：時間，經度，緯度，和重複進行 5 次的磁場測量值。

為了降低誤差，我們在測量前，都會去查看網頁：

<http://www.spaceweather.com/> 了解最近的太空天氣狀況，若網站上寫出該天有機率會有太陽風暴或是有其他嚴重影響地磁大小的事件，我們便會將該次的行程取消。當我們上山進行測量時，如果周圍有過多的人為建設，如鐵欄杆，電線桿…等，我們便會捨棄此點，或是如果五次觀測值中最大值及最小值的差大於 10nT，我們也會將此點捨棄，當然也包括 GPS 收訊不良，及儀器線路故障…等，都不會去進行施測。

在測量一個點時，我們的步驟如下：

A. 設定時間：任意設一個值，為了使時間開始運作。

B. 設定基準值：設為台灣地區磁場 44000 nT。

C. 對於每一個測點，都要先測試該點的穩定性：

若連續二到三次都「無聲響」且「讀數顯示至小數點後第一位」且「讀數變化小於 10nT」，才進行正式的五次測量，而且每次施測間隔大致固定為 15 秒，完成後便移至下一點。

在測量時，務必盡可能的降低人為誤差，以及其它因素造成的誤差，再經由接下來的步驟修正。

2. 資料處理

接下來我們要排除地球磁場所產生的影響。主要分成三大部分：時間、高度及參考場。做完這三樣修正後，資料基本上已有很高的可信度了。

A. 時間修正

圖 10-A 為台灣固定的磁力觀測站，其中正方形的點為還在運作，可以蒐集資料的測站，而三角形的點為已經停止運作的測站。

可以從圖 10-B 中發現在一整天中，同一點的差異可以大到 50nT，我們希望可以將誤差降至 10nT 以下，所以這種影響是要考慮的，最好的情況當然是在所有的測點上於同一時間做測量，但基於儀器及人力，這樣的作法是行不通的。我們便決定用圖 10-A 這些固定測站的數值來做修正，而選的是最接近我們測區的測站（內城 NC 測站及爺亨 YH 測站），對於每一個觀測點，將固定測站在觀測時間 t_x 的值與固定時間 t_0 的值相減，並將內城與爺亨得出的值平均，再將該點的測量值扣除此平均差值。無論該次測量是在哪一個時間點，都可以做

出對應的修正，透過這個修正可將每一個點都修到當天的 00:00（世界時），相當於台灣的早上 08:00（圖 11）。

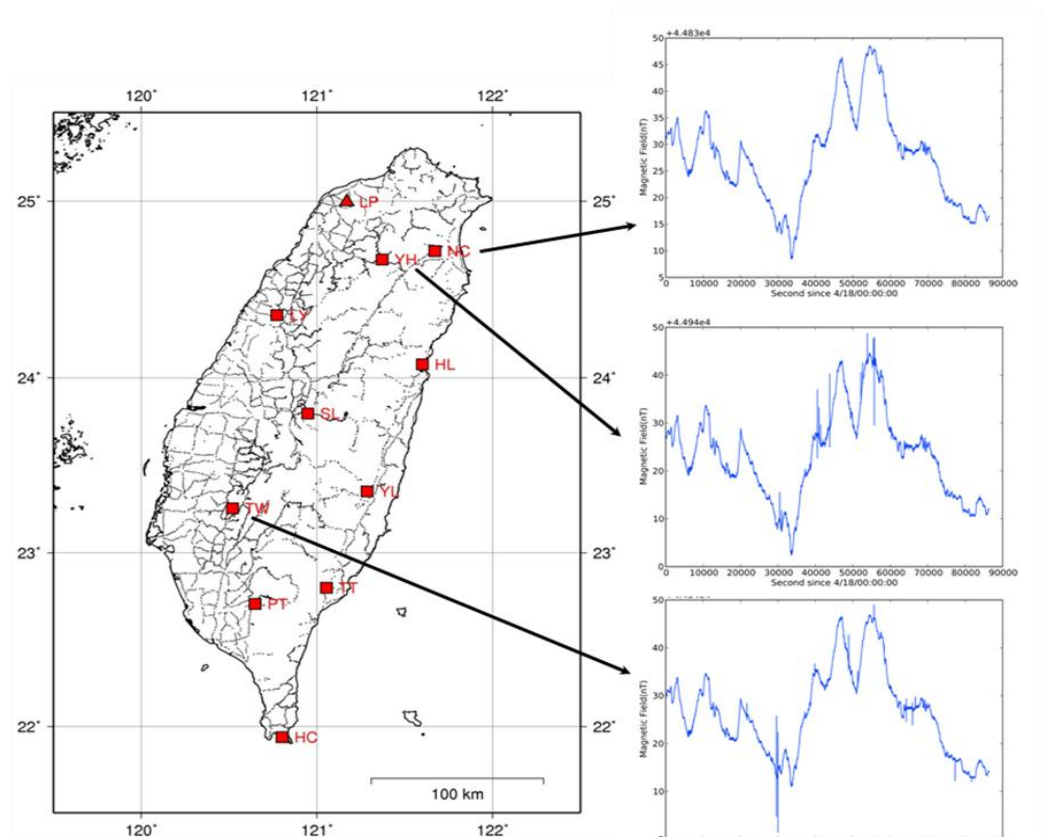


圖 10-A 固定觀測站分布圖

圖 10-B 不同觀測站一天內之
磁場值隨時間的變化

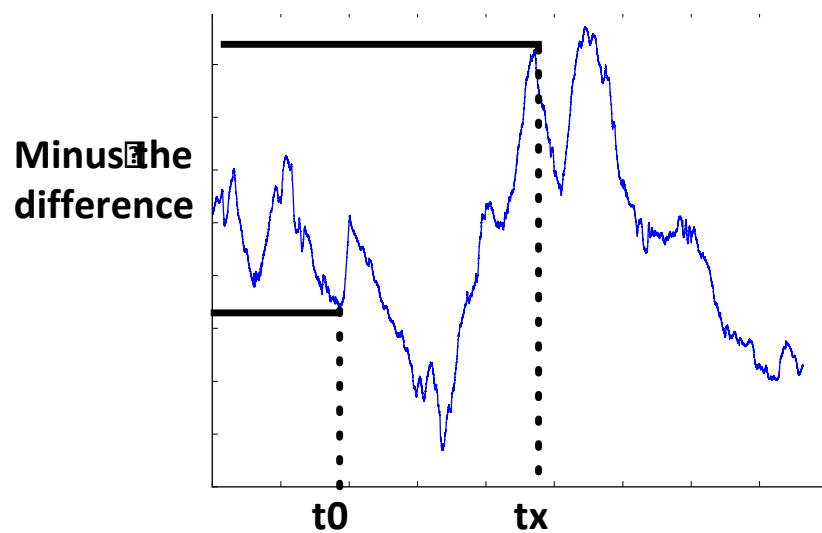


圖11 時間修正方法之圖解

儘管已將觀測資料都調整至該天的 00:00 (UTC)，但每一天的磁力值也都不一樣，最大可以差到 25nT(圖 12)，這已經超出我們可以容忍的誤差範圍：10nT，所以我們將資料用相同的手法，全部調整到 4/18, 00:00(UTC)，這樣子，我們便可以將所有觀測點視為都在同一個時間測量的。

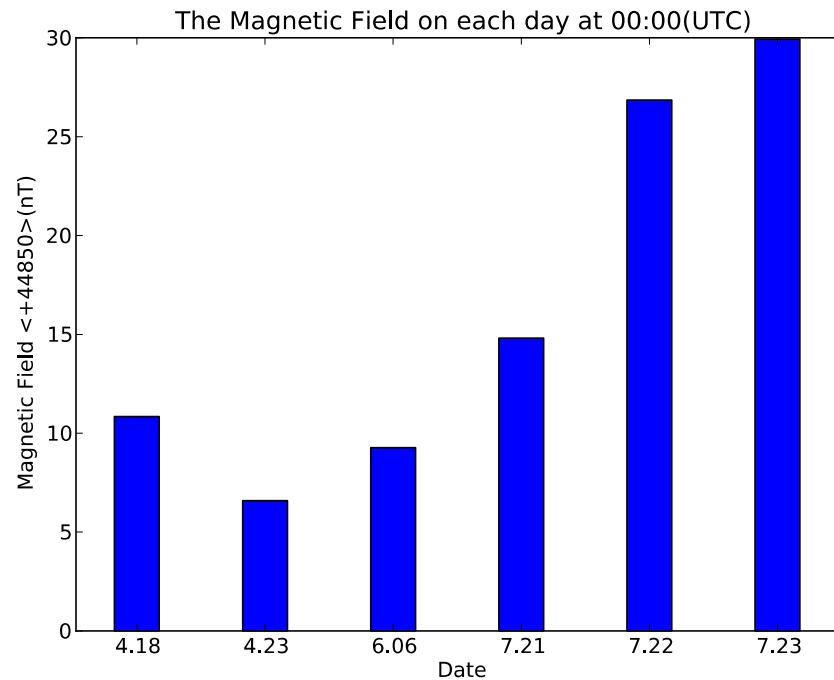


圖12 各日UTC 00:00的磁場值

但這個作法會有一個看似嚴重的問題，便是觀測點的整天磁場變化狀況可能與固定測站不是完全相同的，這樣做出來的數據似乎會有問題。但事實上，我們選出幾天做分析(圖 13)，發現其實一天內每個固定測站的磁場值隨時間變化的模式幾乎相同，儘管真正的磁場值是不一樣的，但其實我們只在乎差值，而且那是受到高度及緯度的影響，我們亦會在後面的步驟中做修正，就算比較的是北部及中南部最多誤差也不會超過 10nT，因此我們在做分析時，便使用此作法。

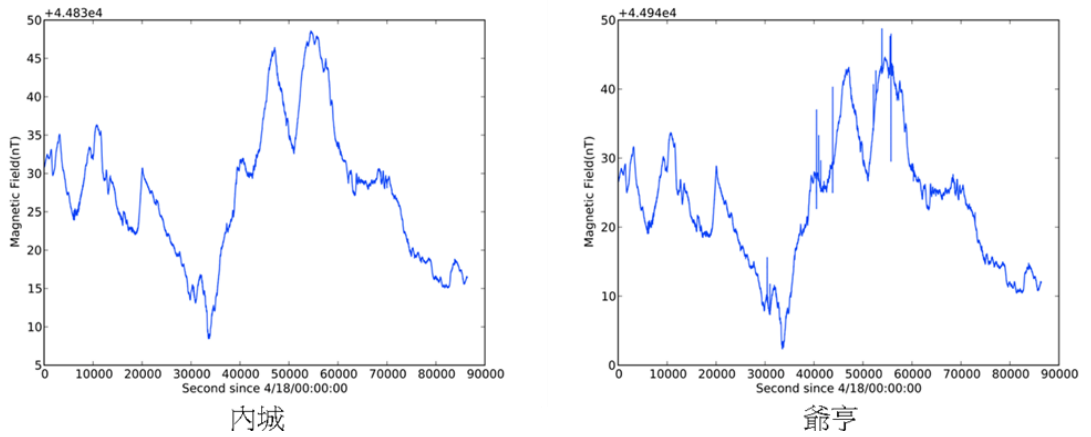


圖 13 兩測站磁場值隨時間變化模式

B. 高程修正

因為距離地心越遠，磁力線越稀疏，磁場值也會降低，因此我們必須考慮此項因素所造成的影響。我們使用的值是這麼來的：

首先，我們先使用磁偶極的特性，設台灣地區的海平面的磁場為

B_0 ，地球半徑為 R_E ，去計算高度 h 的遞減率。

$$B \propto \frac{1}{R^3} \quad B = B_0 \left(\frac{R_E + h}{R_E} \right)^{-3}$$

$$\text{Every 100m, B increases by } \frac{300B_0}{R_E} = B_0 \left(1 + \frac{h}{R_E} \right)^{-3}$$

$$\text{Which is about 2.1nT} \quad = B_0 \left(1 - 3 \frac{h}{R_E} \right)$$

因此，我們求出磁場隨高度的遞減率為每 100 公尺降低 2.1nT。但這只是用很簡化的模型求出，我們並不能確定現實狀況也是如此，可惜我們沒辦法直接在當地實測，因為當地受到岩石的影響實在是太大了。但是最高的山地有到 1000 多公尺，高程所造成的影響會超過 20nT，所以這個因素是必須考慮的。

於是，我們又額外使用 IGRF 的模型（來自

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/point/index.html>），得知每 100 公尺大約降低 2.4nT，但根據前人的資料，IGRF 的模型與現有

狀況並不是十分符合，從我們要到的固定測站測量資料與 IGRF 所預測出的資料也可看出，在某些地方會有超過 100nT 的差距，所以不可盡信於這模型。但其實我們算出的跟 IGRF 算出的 0.3nT 的差異並不會造成太大影響，由於我們的觀測點中，最高的約為 1000m，最低約為 200m，因此兩種高程修正方法所造成差異並不會超過 3nT，小於我們的誤差限制。我們最後採取折衷方式，以每 100 公尺降低 2.3nT 為我們的磁力遞減率，來修正資料。

而我們後來也決定將高程改成直接用等高圖內差求出，而不是使用 GPS 所測得的資料，因為 GPS 定位高程時會產生 20~30 公尺的誤差，十分不精準。

C. 參考場修正

依據前面的兩個修正方式，已可以將每一個點以小於 10nT 的誤差修正到 2012/4/18/00:00(UTC)且全數位於海平面上。在此先討論 10nT 的誤差究竟是大還是小，根據以往的資料以及我們量測和後來修正後的結果，我們所要探討的磁力異常值——也就是因為當地岩石中所含有的鐵礦引起的磁力——約為數百 nT，所以對於一個 500, 600nT 的點而言，10nT 也不算是太大，誤差約為 2%，而且儀器本來就約有 10nT 的誤差，著實無需改進。

接下來，也就是最後的一個修正步驟，便是要把地球內部由地核與地函產生的磁場(也就是當地的參考場)扣掉，以得到純由地殼岩石產生的磁力異常值，藉此來對大屯火山群的地下構造有更進一步的瞭解。但因為每一個點的參考場無法直接測量，所以我們嘗試了四種方案去估計出參考場的大小：

方案一：

我們將所有經過前兩項修正的測量值平均後得到的值做為參考場的大小。我們將測量值大小與出現的次數繪製成圖(圖 14)，可發現

十分符合常態分布。雖然此方法能快速得到結果，但這個方法用在岩性分布不均的地區較為有效，若是當地的磁感率都較大，測出的異常值也會普遍較高，平均值就無法正確反映出當地的參考場。

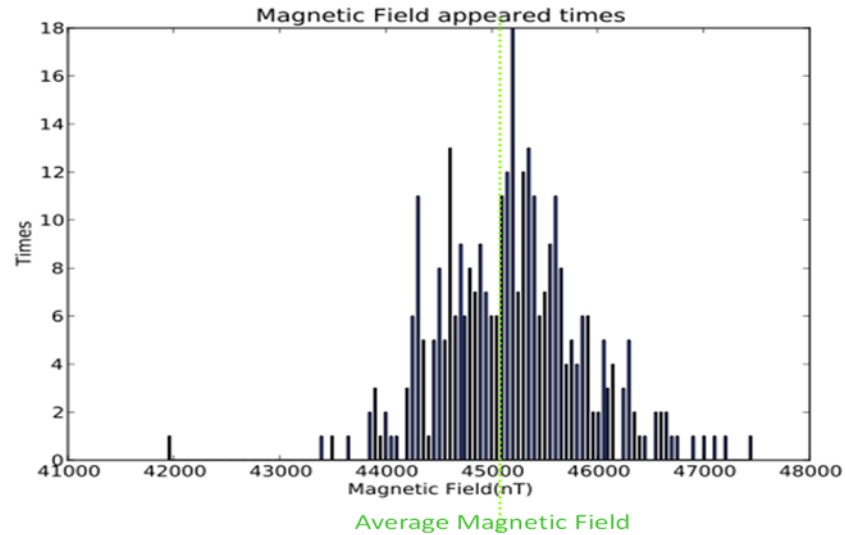


圖 14 不同磁場測量值之出現次數

方案二：

我們利用固定測站的資料，先將固定測站記錄的經緯度座標 (TWD67 系統)轉換成與我們的 GPS 相同的 WGS84 系統，這之間的經緯度大約會有 0.002~0.008 度的誤差。由於我們在小範圍做測量，故磁場與緯度的關係可視為線性，所以我們便將每個測站在 2012/4/18/00:00(UTC)得到的觀測值對其所在的地理緯度做線性回歸分析，就可得出不同地理緯度的磁場值(圖 15)，將各測點的緯度值代入後就可以得到參考場值。

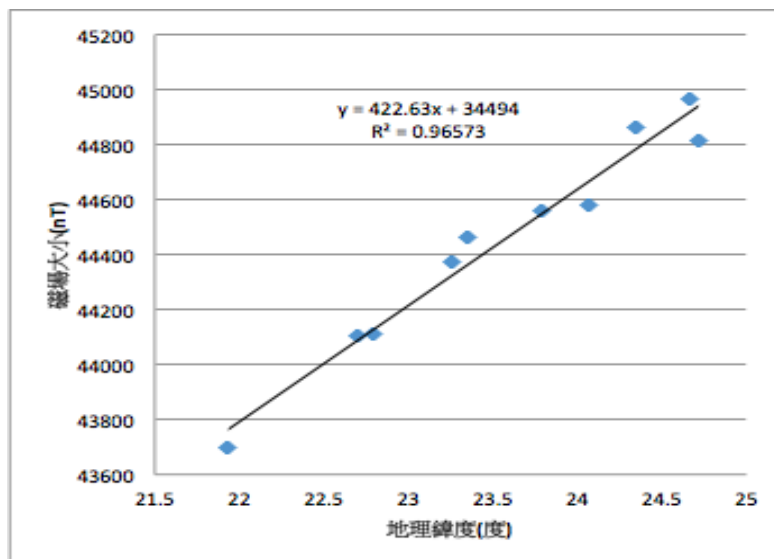


圖 15 固定測站之磁場大小與地理緯度之線性回歸圖

方案三：

我們也猜想使用地磁緯度做修正或許會比地理緯度更為準確，故再使用 <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/gggm/index.html> 的座標轉換系統將地理緯度轉換為地磁緯度，做出新的線性關係式(圖 16)，並求出新的參考場值。

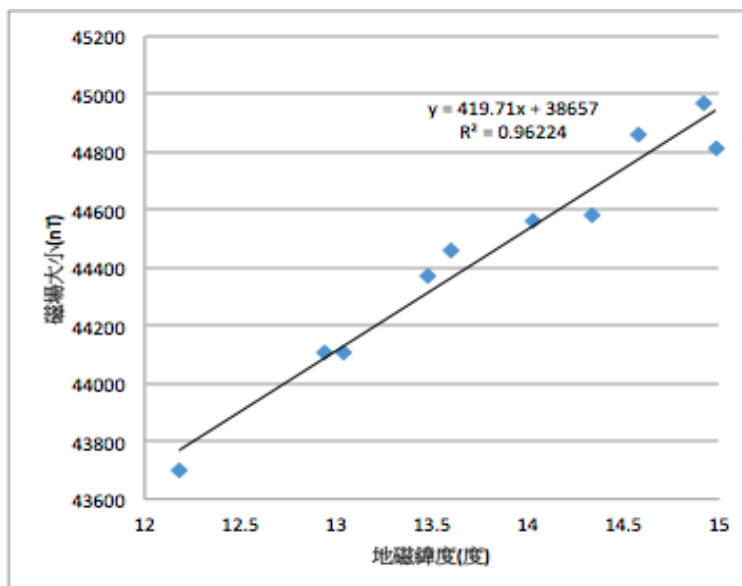


圖 16 固定測站之磁場大小與地磁緯度之線性回歸圖

方案四：

利用 <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/point/index.html> 的 IGRF(國際地磁參考場)模型，代入各測點的平均經緯度後便可得出當地的參考場值(圖 17)。

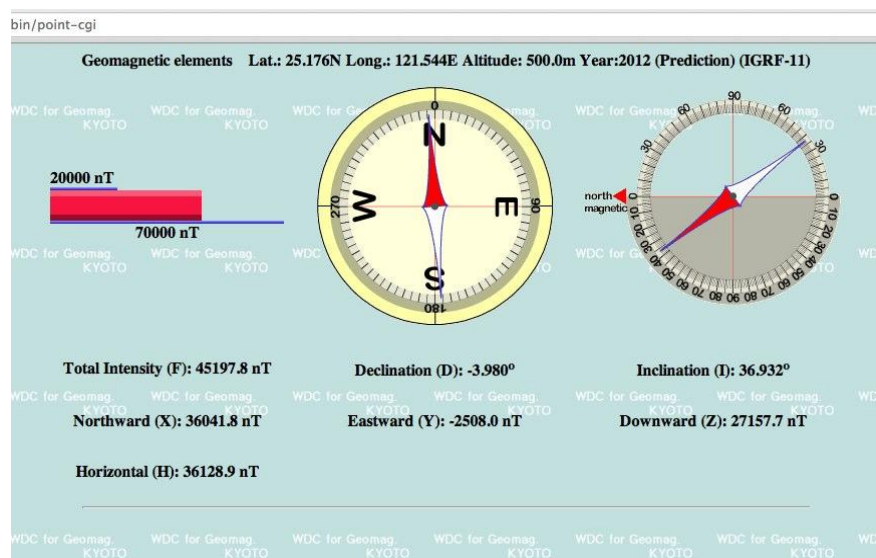


圖 17 IGRF 模型提供的磁場資料

利用四種方案所得出的參考場值如下：

方案一：45209.73nT 方案二：45134.15nT

方案三：45133.13nT 方案四：45197.80nT

由於施測的地區大部分都是磁感率較高的火成岩，所以方案一不易得出正確的參考場值，故捨去不用；而方案二與方案三僅相差約 1nT，可視為相同。但因為方案四與方案二的差異大，也不確定對小範圍的推測是否準確，於是後面的步驟皆有對這兩種方案進行操作。

為了證明利用方案二得出參考場值是足夠精準的，我們使用兩種方法來驗證。首先，將各固定測站的經緯度座標代入 IGRF 後得到各點的磁場值，將其與地磁緯度做線性回歸分析後，可發現兩者的相關係數十分接近 1(圖 18)，因此在如此小的範圍內，磁場與地磁緯度的關係的確可以視為線性；另外，我們也測試了固定測站資料的穩定性，首先將其中一個測站的點去除之後，再做一次線性回歸分析，可

得到一個新的參考場值，而我們總共有十個測站，所以分別去除十個點後即可得到十個不同的參考場值(圖 19)，其標準差約為 27nT，故資料是足夠穩定的。

綜合以上兩點，我們認為方案二得出的參考場值誤差相對於岩石的異常值來說是足夠小的。

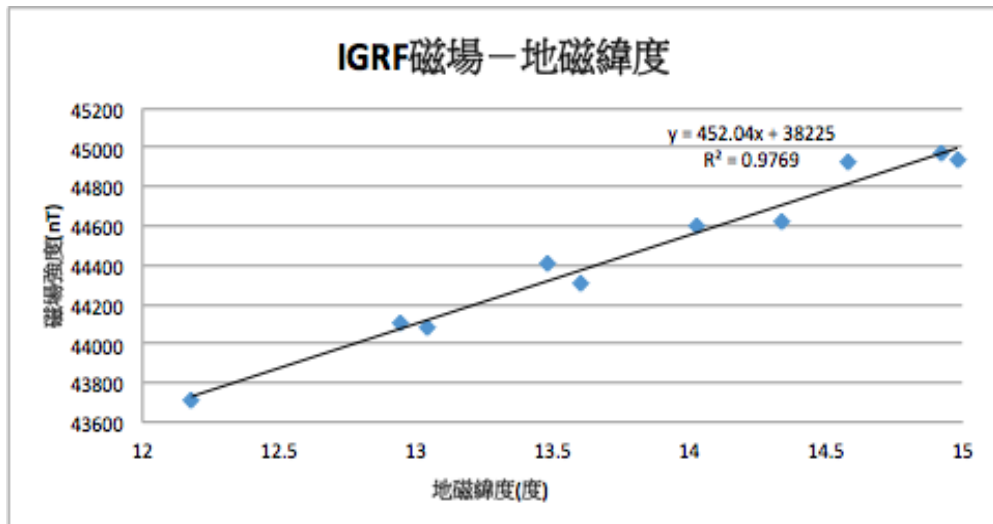


圖 18 IGRF 模型之磁場與地磁緯度之線性回歸圖

測站	磁場值
HC	45102.0406
HL	45156.3933
LY	45106.042
NC	45194.5869
PT	45134.546
SL	45130.4103
TT	45131.6245
TW	45131.1691
YH	45111.6263
YL	45127.0266

圖 19 測站資料的穩定度測試

D. 極化修正

由於地下的磁性體被極化的方向也會影響到觀測結果，如果磁性體被朝向一個特定方向極化，在地表上觀測後所得之異常值便會產生一正值區和相對應的負值區(圖 20-A)，但是磁性體的位置並非在異常值最高處的正下方，為了準確得知磁性體的位置，故使用極化修正方法來修正資料。

●磁力極化修正異常

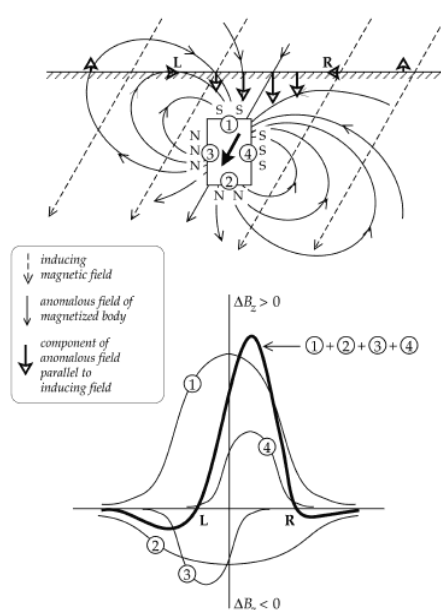
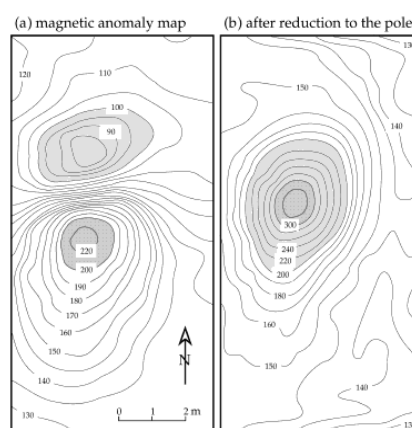


圖 20-A 極化修正方法示意圖



- 磁傾角 32.5度
- 磁偏角 -3.1度

圖 20-B 極化修正實際案例

修正方法：

為了消除因極化方向而造成之影響，我們採取的方法是將「磁場」轉換為「類重力磁場」。由於重力異常值最高的地方一定就是密度大的地方，所以我們假設「只有帶有磁性的物體才有密度，且磁性大小與密度大小成正比」，利用此種假設將磁場轉為類重力磁場，我們便可以較清楚的知道磁性體的位置(圖 20-B)。

3. 岩塊極化方向判斷

有了極化修正這個利器後，就可以確切知道該岩塊的地下位置，

而且也可以推知該岩塊在地表上的強度，還可以用極化修正前的資料，去進行調整，以推測岩塊的磁化方向，在圖中，我們使用箭頭來代表各個岩塊。

而箭頭放置的方式如下：

- A. 在極化修正後的圖上(圖 21)，對於各個磁力異常高區上（包括正的及負的）置放一個箭頭。

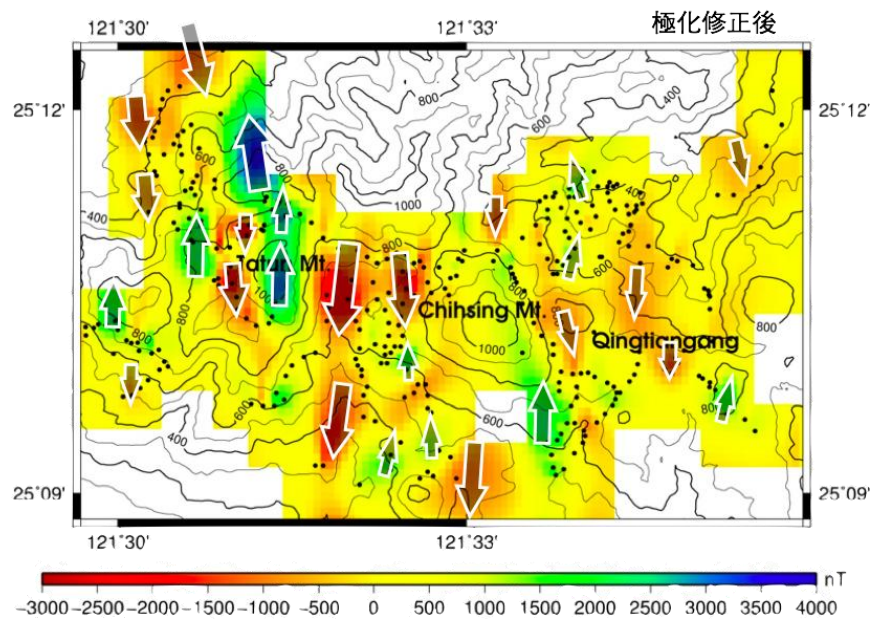


圖 21 極化修正後磁力方向分布圖

- B. 調整箭頭的大小，塊體磁力異常值越大，則箭頭越大。
- C. 將箭頭對應到極化修正前的圖上(圖 22)，可以發現皆有磁力異常值一邊正一邊負，或是一邊大一邊小的情形。

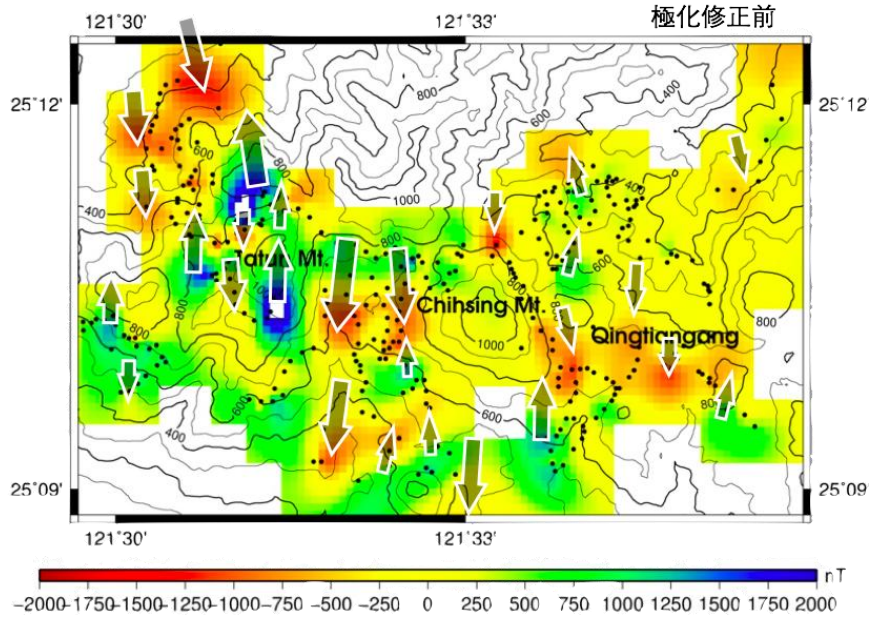


圖 22 極化修正前磁力方向分布圖

- D. 將每一個箭頭做旋轉，轉到一個可以符合我們測量到的情形的位置。

4. 居里點深度分析

利用磁場以及快速傅立葉變換的理論，可以將磁場資料對空間做快速傅立葉變換，求出磁場對空間的頻譜強度，即 $\phi_{\Delta T}(|k|)$ ，再結合磁場的理論，並假設地下的磁性體有固定厚度，但以平面延伸至無限遠處，即可得出下面的式子：

$$\phi_{\Delta T}(|k|) = Ae^{-2|k|Z_t}(1 - e^{-|k|(Z_b - Z_t)})^2$$

其中 A 為常數，k 為波數， Z_t 、 Z_0 和 Z_b 分別為磁性體頂部、中心及底部的深度。

而經過一些近似之後，我們可以得到：

$$\ln[\phi_{\Delta T}(|k|)]^{1/2} = \ln B - |k|Z_t$$

以及

$$\ln\{[\phi_{\Delta T}(|k|)]^{1/2}/|k|\} = \ln D - |k|Z_0$$

式中 B, D 為常數。

因為頻譜強度 $\Phi_{\Delta T}(|k|)$ 以及波數 k 都可由磁場資料經過快速傅立葉變換後求出，所以我們只要將兩者做線性回歸分析並取斜率後便可得到 Z_t 與 Z_0 ，再進一步求出 Z_b ，而由於當溫度到達居里點時，物體的磁性便會消失，所以岩層的磁感率均勻時，我們便認為 Z_b 即是居里點深度；但若岩層磁感率不是均勻的，或是當地下岩層分為好幾層時，得出來的 Z_b 就有可能是由下方整體綜合出來的結果，就不一定為居里點深度(圖 23-A, B)。

此外，在前面計算出 Z_t 、 Z_0 的過程中，我們分別使用了兩種假設：

求出 Z_t 時，所做的假設：

$$1 - e^{-kd} \approx 1$$

(d 為磁性體厚度)

求出 Z_0 時，所做的假設：

$$e^{kd} - e^{-kd} \approx 2kd$$

要使第一個式子成立，kd 必須要大，如此 e^{-kd} 才會趨近於 0，近似時也才會較準確；但若想要使第二個式子成立，則 kd 必需要夠小，因為泰勒展開後，後面會有很多跟 kd 有關的高次項(第一項是 2kd，後面則為(kd)的次方)。因此這兩個式子無法同時符合，所以這項近似的步驟也是誤差的來源之一。

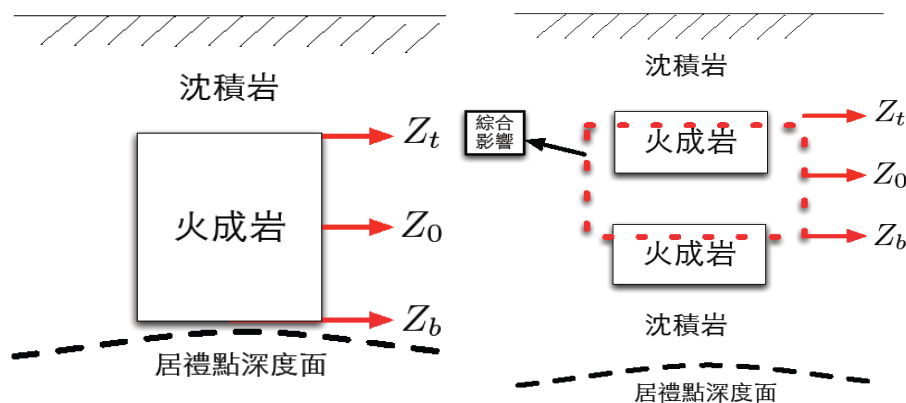


圖 23-A 理想狀況

圖 23-B 非理想狀況下

參、 研究結果與討論

一、 方案二和方案四參考場修正，極化修正前後比較

從圖中可以發現，無論是極化修正前或是修正後的資料，幾乎都無法看出使用方案二或使用方案四之間的差別，而我們後面都只是定性的分析，為了簡潔，後頭使用的皆為使用透過方案二參考場修正的繪圖。

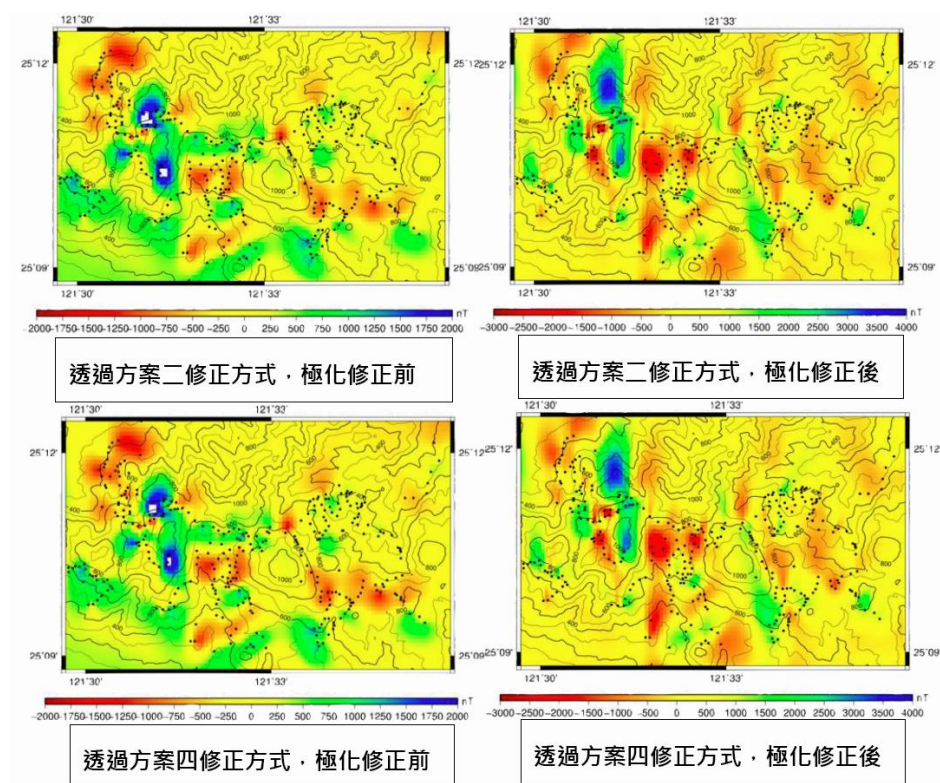


圖 24 方案二與方案四比較

二、極化修正前後的比較

我們在極化修正前，也就是只經過基礎的修正所得的結果(圖二十四)，大屯主峰與其西北方的白色部分為超出 2000nT 之值，其餘白色部分則為距資料點過遠處，可以發現有些部份呈現兩極的現象，也就是對於一塊地下的岩體，可能在地表測量到的異常值會呈現一正一負的情形，而且會受到傾角、深度、岩體形狀的影響，使我們無法正確得知岩體的所在位置。

以大屯主峰(Tatun Mt.)為例，因為其為噴發口，應該具有非常多火成岩，磁性理應特別強，但是卻可以從圖二十五-A 中看到磁力異常值最高處的位置往南偏移了，而從圖二十五-B 則可以看出該處移回原先的地區了。再以七星山(Chihsing Mt.)的西北邊為例，可以看出原本呈現一正一負的情形，也被移到中心的位置，更能準確的看出塊體的正確位置。由此可以知道『極化修正』是一個必需且重要的步驟。

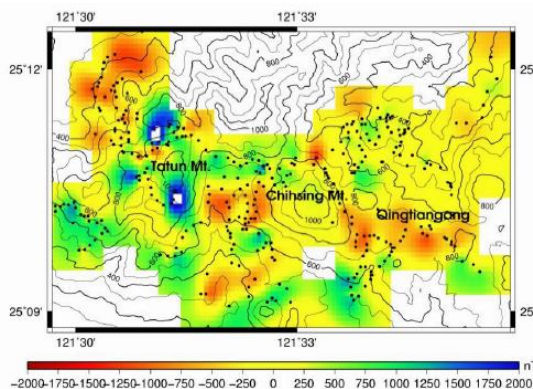


圖 25-A 極化修正前

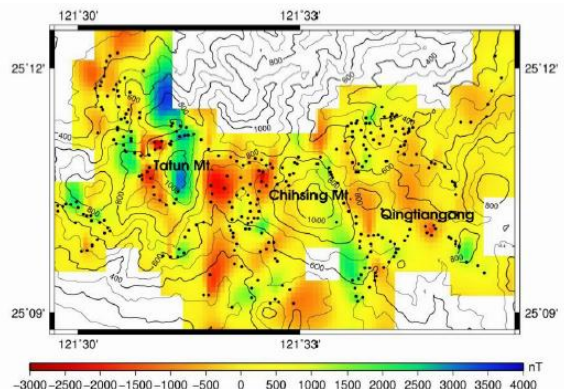


圖 25-B 極化修正後

三、與地表岩性的比較

圖 26 是我們極化修正後的磁力異常圖搭配地表岩性分布(資料來自中央地質調查所—國土地質資訊 www.moeacgs.gov.tw/)。在尚未比對前，我們認為地表岩性跟磁力異常值的相關性應該很高，像是火成岩的磁感率高，測得的磁力異常值應該也很高，但是經過比對之後，發現它竟然有這麼多不一樣的地方。

例如用紫色框框起來的兩個區域，地表是很大片的火山碎屑，磁性應該較小，但卻是磁力異常高區，而像黑色框框起來的區域，雖然是火成岩，但此處的磁力異常卻不是非常的高，所以可能是曾經發生了某些地質事件才使我們的觀測與地表岩性不符。

配合地形圖可以發現紫框框起來的部分，幾乎都是高度的相對低區，所以以前火山噴發時，火山灰自然會沉積於低處，以至於我們所看到的火山碎屑堆積區都位於比周圍高度低的地方，而可能該處的地下又有發生如岩脈入侵等地質事件，所以才會是磁力異常高區。於是我們推測火山碎屑堆積的分佈應該是受地形影響較多，而與測得的磁力異常值較無關聯。

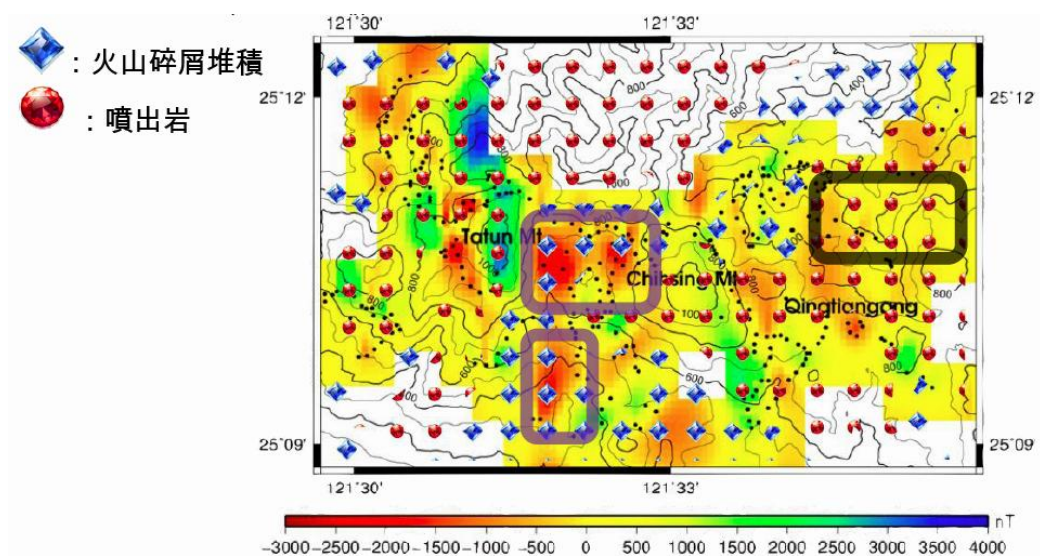


圖 26 極化修正後與地表岩性比較圖

四、與溫泉露頭的比較

因為溫泉露頭為地下水加熱後沿岩層裂隙出露地表的現象，經過精細的校正後，我們發現它位於磁力異常高區及磁力異常低區的交界處，也就是位於火成岩和沈積岩的交界處(圖 27、28，溫泉露頭資料來源：地質調查所)。

我們認為磁力異常高區與磁力異常低區可能對應的為不同的岩體，而兩

種不同性質岩體交界處，較容易產生弱面，所以可能產生岩層裂隙，當地下水受熱後就容易從此處出露，也就形成了圖 27 的溫泉分布情形。

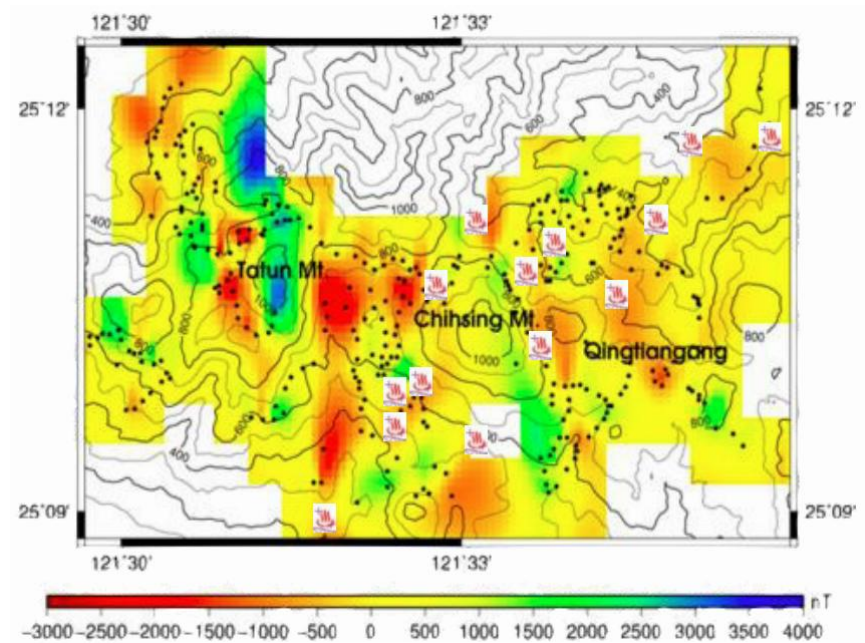


圖 27 極化修正後與溫泉比較圖

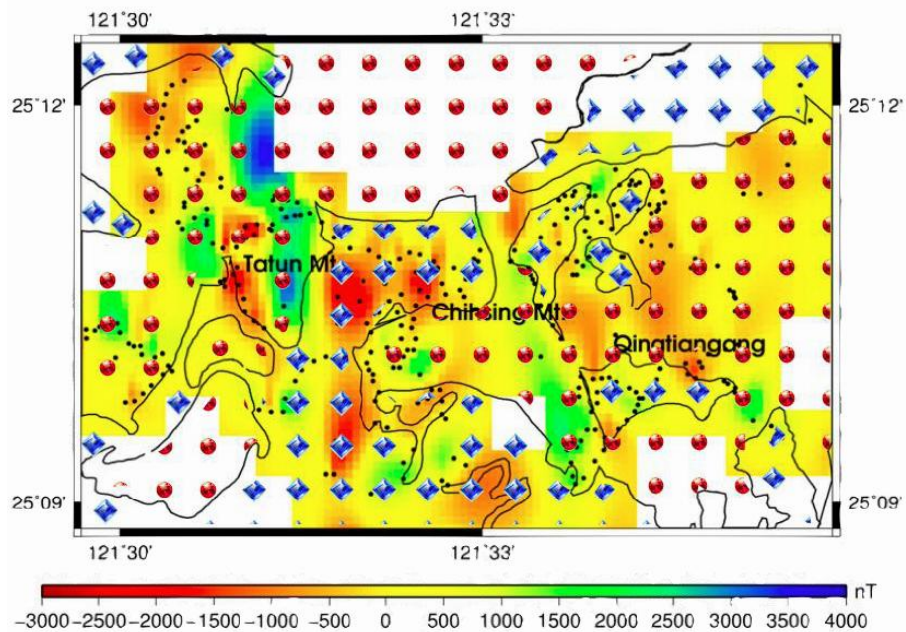


圖 28 極化修正後與地表岩性比較圖

五、磁力異常分布原因及探討

對於修正後在地圖上所呈現的磁力異常，應是透過下列兩項因素產生影響的：

1. 岩漿庫：內部的區域可能由岩漿庫逐漸緩慢冷卻後，產生與現今磁場方向相同的磁性，若其為仍然有活動的岩漿庫，則它將不具有磁性。
2. 火山熔岩流：外部的區域則是大屯火山群爆發時，火山周圍的熔岩流冷卻時，被當時的磁場磁化，於是具有磁性，造成磁力異常。

我們觀測到的磁力分布圖為綜合上述這兩種影響所產生的結果。

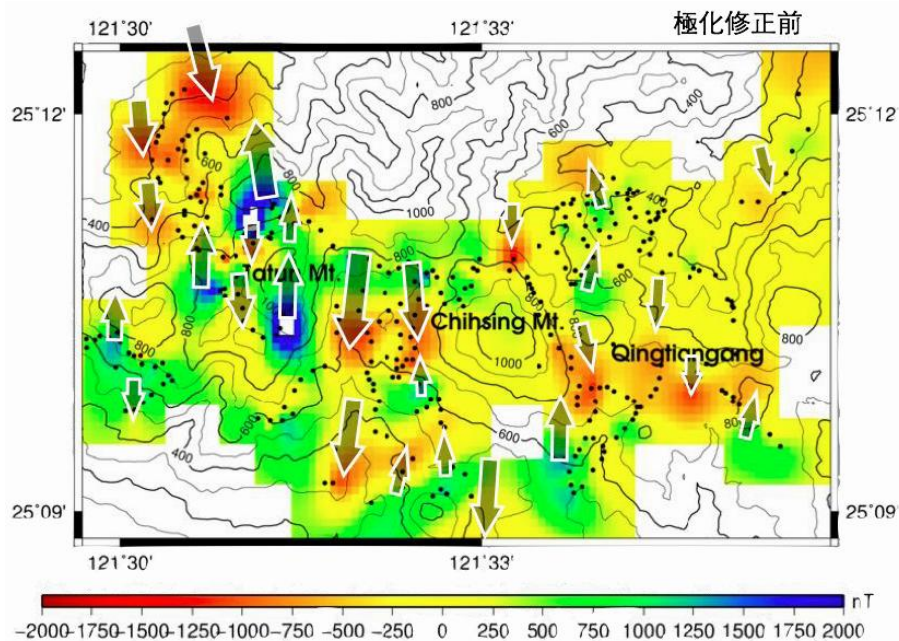


圖 29 極化修正前磁場方向示意圖

先對七星山的西邊，也就是大屯山的部份做討論（圖 30 的西半邊），可以看到大屯主峰東部有一個較大的負磁區，應該是在布容正向期時，地磁曾有零星的反轉，當時大屯山的噴發造成現今的負磁。至於大屯山頂的極高磁力異常與現今磁場同方向的地方，則應為第二階段第三期，大屯山逸出熔岩流的冷卻較為緩慢，所以磁化的情形較強，掩蓋了之前的逆磁，才會變成現在的情形。但是大屯山頂西邊負磁的地區，並沒有很明顯的兩極化現象（圖 29），所以猜測很有可能是大屯山裡頭曾經有一個岩漿庫，冷卻後順著現今地

磁方向被磁化，在山頂產生正磁，而在主峰旁的區域則產生反向的磁場（但強度較低），然後與地表綜合產生出來的影響。

至於七星山的東邊（包括擎天崗、大油坑等地區），它跟西側的差異非常大，幾乎都是零星的散佈在各處，而且值也非常的小。我們推論可能是因為之前東側的火山在噴發時，都是非常劇烈的噴發，所以多為火山碎屑，而且冷卻速度較快，因此火山碎屑受到當時磁場的磁化情形不明顯，所以磁性也比較弱。而且根據最近中研院地科所研究小組微震監測顯示，大屯火山群最近有相當多的微震，尤其集中在七星山—大油坑一帶，所以其下極有可能具有仍在活動的岩漿庫，而因為岩漿溫度高於居里溫度，所以不具有磁性，因而那一區域的磁力異常值才會如此的低。

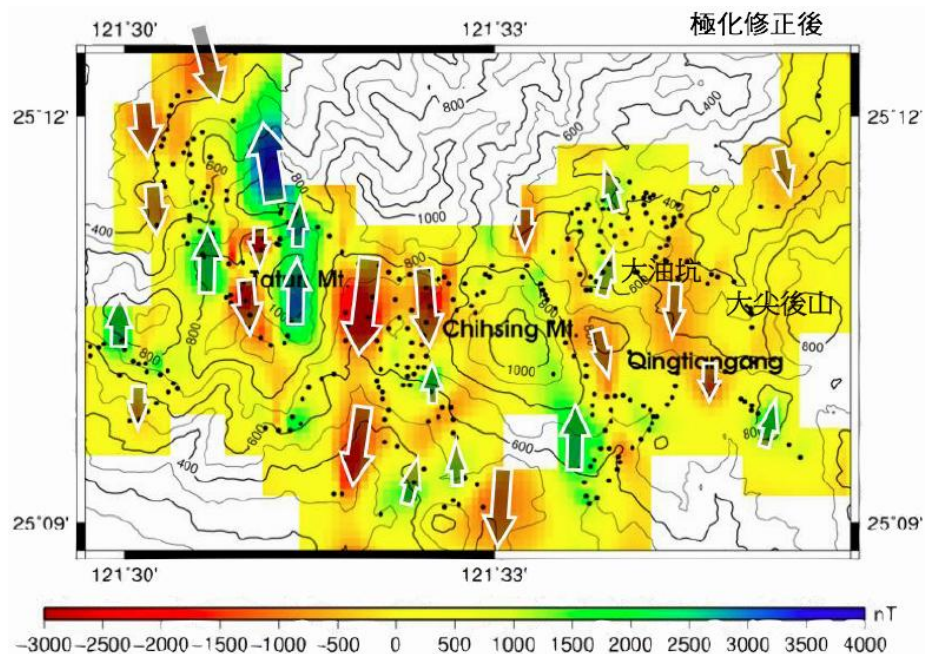


圖 30 極化修正後與磁場方向示意圖

六、居里點深度比較(磁性體綜合深度比較)

由於地下火成岩層可能不只一層，因此可能會造成算出的岩層底部深度並非原本預計的居里溫度面，而可能上移，使我們算出的深度都較淺，非原先預想的火山居里點深度 10 到 15 公里深，而是上層火成岩體和下層火成岩體造成的綜合效應，透過鑽井資料(參考資料二)，我們可以得知上層為火山

主體(第四紀噴出岩和火山碎屑岩)，中間有一層第三紀的沉積岩，而下層則是過去岩漿冷卻造成的火成岩層。

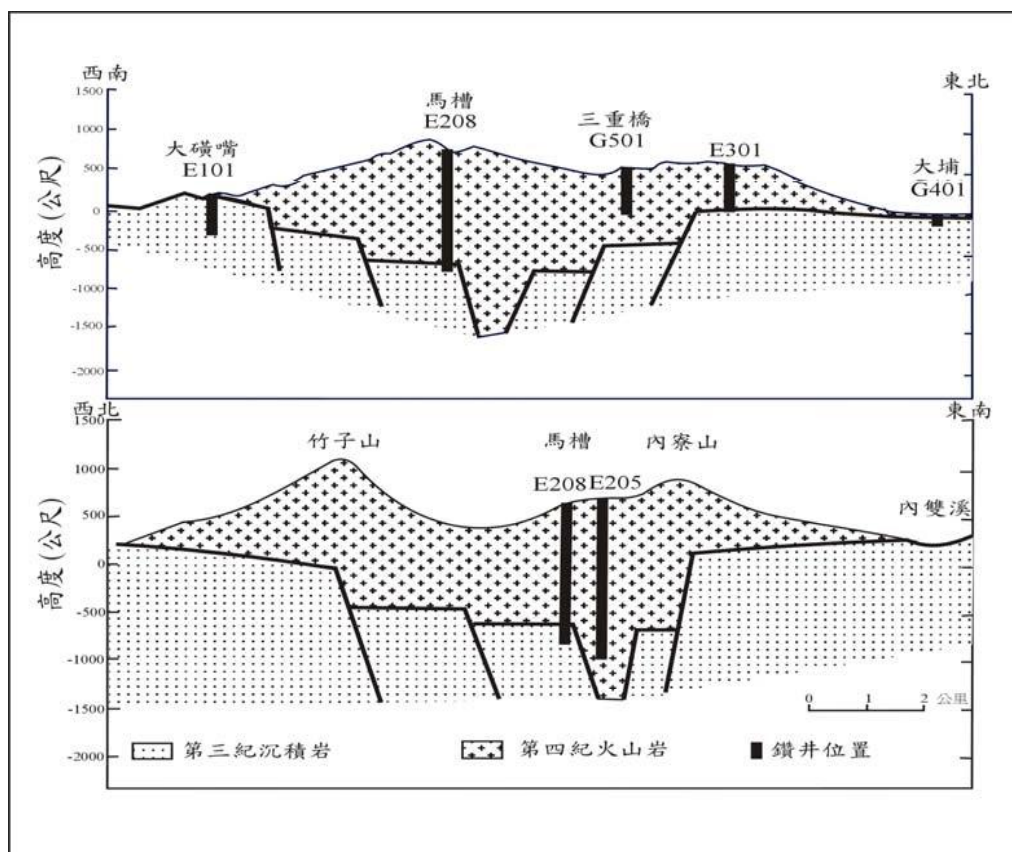


圖 31 地質剖面圖

因為取任一點的居里點深度都需要一系列複雜的步驟(如附錄)，所以我們僅特別挑了幾個點(圖 33)，挑選原則如下：

A, B, D 點 是為了進一步了解七星山和大油坑地下的活動

C 點 是為了更加了解大屯山頂磁力極高的情形

E 點 是參考點，因為我們只能知道相對的比較

經過研究後，我們得到 A 到 E 點居里點深度的相對關係：

$$A < B < D < E < C$$

根據前面我們推測的結果，大屯山底下岩漿庫可能較不活躍，所以底下

岩層厚度必定需要更厚，而且從我們做出來的磁性體綜合深度也發現 C 點的深度比其他的四個點都深，可以符合我們先前的理論。而 A, B, D 點磁性體綜合深度較其他點淺，代表它地底下岩層厚度較其他地方的岩層厚度薄，而會發生這種現象的可能原因：就是其下方的岩漿庫較淺，因為只要下降到岩漿庫的深度，磁力就會消失。所以我們的測量結果也同樣支持了七星山和大油坑一帶下方有仍在活動的岩漿庫的推論，雖然其並非此推論的充分條件，但卻是其必要條件，也使得這個猜測多了一項證據。（此外，熱液換質作用也可能是造成底部火成岩磁性較低的原因）

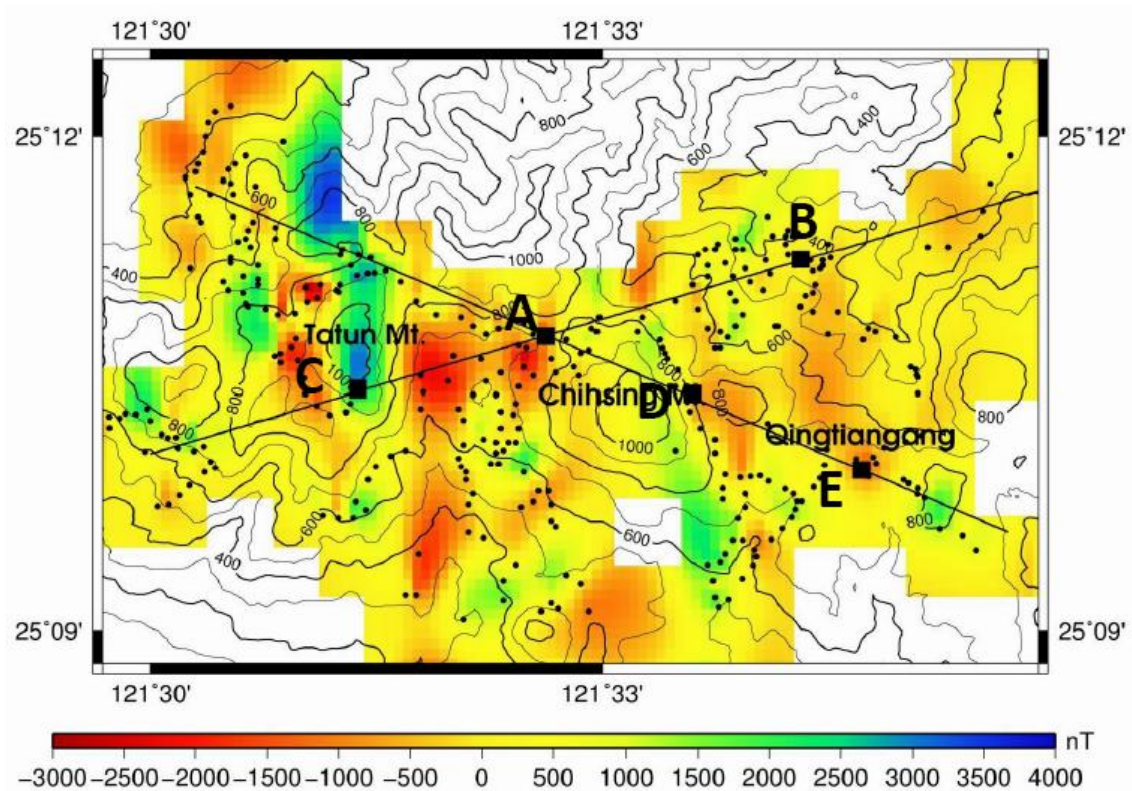


圖 32 居里點深度的取點分布圖

肆、 結論

1. 本研究做出了一個範圍小、測點密集又精準的大屯火山群磁力異常分布圖，更透過極化修正來推測地下塊體的磁力方向圖的方法。
2. 我們發現前人雖然沒有做過極化修正，但其實這是一個必要且重要的步

驟。

3. 我們看到地表的岩性跟地下的岩性是不完全相關的。
4. 從我們的資料中可以得到溫泉露頭之所以會位於磁力異常高區和低區交界處，可能是不同性質岩體之間較容易形成岩層裂隙，使地下水從該處出露地表。
5. 大屯山山頂是本研究區中磁力異常值最強處，可能是由於第二階段第三期噴發的熔岩流距今最近，而且冷卻速度慢造成的。
6. 大屯山兩旁的區域有很強的負磁區，應為布容正向期中零星的地磁反轉事件造成的，因此造成的地磁方向與現今相反。
7. 本研究推測大屯山下方可能曾經存在岩漿庫，但現在的火山活動較七星山、大油坑地區不活躍。
8. 由於七星山東側磁力異常值較低，有可能是因為其地下有潛在的岩漿庫，或下方的火成岩因熱液換質作用。
9. 透過居里點深度的分析結果： $A < B < D < E < C$ ，可發現大屯山的居里點深度較深，可以符合 結論 7.的結果，而七星山東側居里點深度較淺，可以支持 結論 7.的推論。
10. 未來我們可以再透過重力的測量分析以及鑽井資料，結合這次的磁力測勘資料，更加了解大屯火山群。

伍、 參考文獻

1. 地質調查所地質資料查詢
<http://gis.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/index.cfm>
2. 宋聖榮(2005)陽明山溫泉、地熱資源與利用調查。
3. 林正洪(2008)大屯火山群地底岩漿庫之調查與監測—地殼變形之觀測調查。陽明山國家公園管理處委託調查報告。

4. 周鋒泯 (2008)應用永久散射體差分干涉法量測北台灣地區之地表變形。中央大學地球物理研究所學位論文。
5. 陳文山、楊志成、楊小青、劉進金(2003)從火山地形探討大屯火山群的地層層序與構造。經濟部中央地質調查所彙刊，第十六號，第 99~123 頁。
6. 陳界宏(2005)台灣地區全磁場時空變化之研究。中央大學地球物理研究所學位論文。
7. 黃尹聖(2003)班達海岩心 MD012380 之磁學研究：80 萬年來赤道暖池區之古環境變遷
8. Tanaka, Y. Okubo, O.matsubayashi(1998). Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia
9. Blakely, R.J. Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
10. Chen, K.J., C.M. Wang, S.K. Hsu and W.T. Liang (2001) . Geomagnetic basement relief of the northern Taiwan area, Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 12, 3, 441-460
11. G.R.J. Cooper, D.R. Cowan(2005) Differential reduction to the pole
12. JAMES P. KAUAHIKUA, JOSEPH G. ROSENBAUM, THOMAS G. HILDENBRAND(1993) Aeromagnetic Study of the Island of Hawaii
13. V. BARANOV(1957) A new method for interpretation of aeromagnetic maps: pseudo-gravimetric anomalies

陸、 附錄

一、居里點深度過程與結果

1. 居里點深度過程：

以下每個點共有四張圖(但A點有兩個資料，共八張圖，是由於它位於兩線交點，因此我們分別做了兩線的居里點深度)

四張圖中：第一、三張圖

縱軸為 $\ln(\phi_{\Delta T})^{\frac{1}{2}}$ ($\phi_{\Delta T}$ 為頻譜強度) 橫軸為波數k

第三張圖是將第一張圖的線性部分放大後做線性回歸分析而得

斜率 $\ln[\phi_{\Delta T}(|k|)]^{1/2} = \ln B - |k|Z_t$ 得出之
率為 Z_t ，即磁

性體頂部深度

第二、四張圖

縱軸為 $\ln\left(\frac{\phi_{\Delta T}}{k}\right)^{\frac{1}{2}}$ 橫軸為波數k

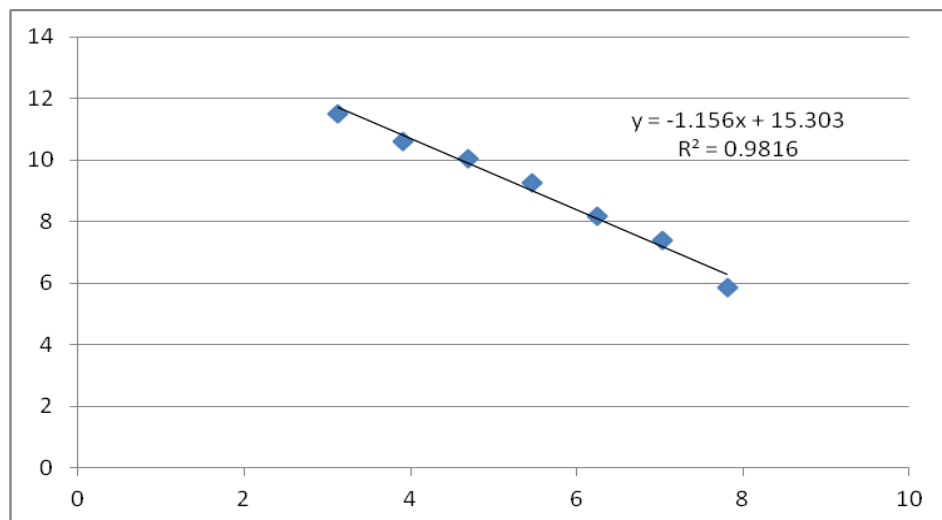
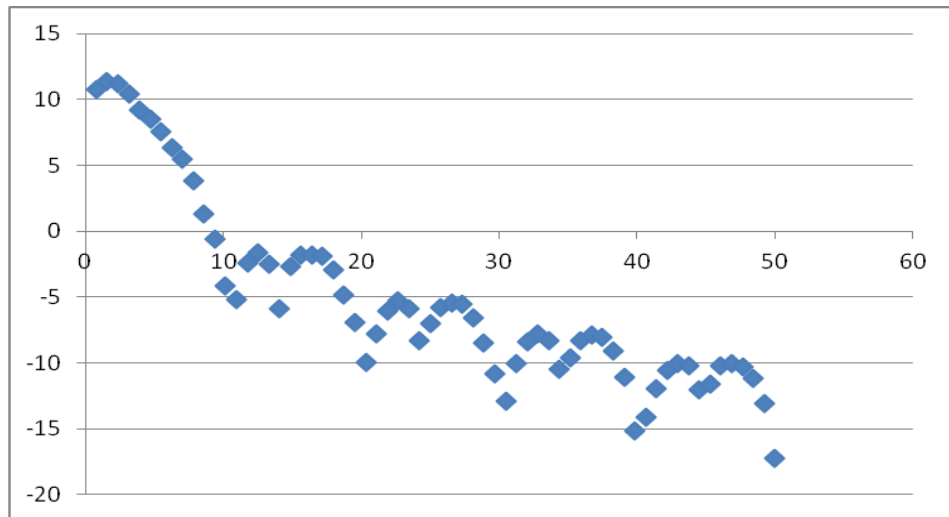
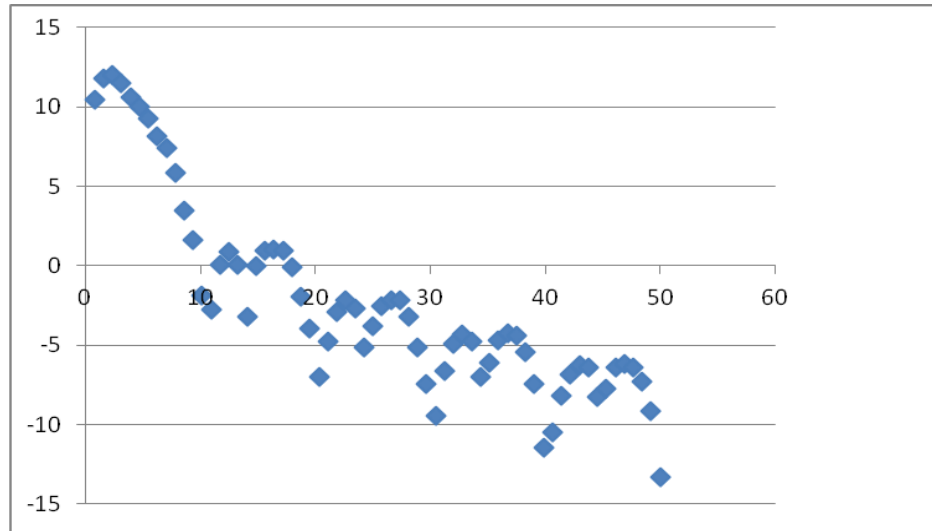
第四張圖是將第二張圖的線性部分放大後做線性回歸分析而得
得出之斜率為 Z_0 ，即磁性體中心深度

$$\ln\{[\phi_{\Delta T}(|k|)]^{1/2}/|k|\} = \ln D - |k|Z_0$$

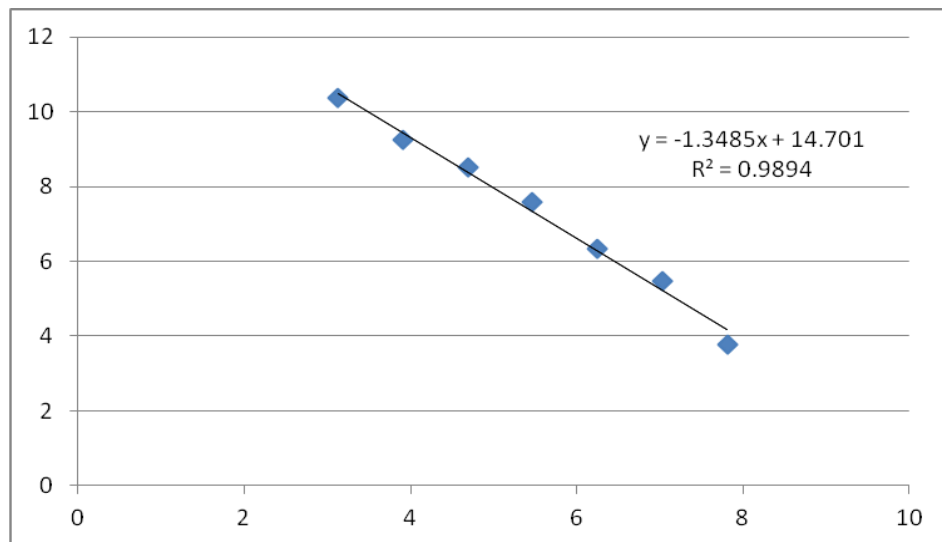
$$\text{再由 } Z_b = 2Z_0 - Z_t$$

即可求出各點之居里溫度面深度

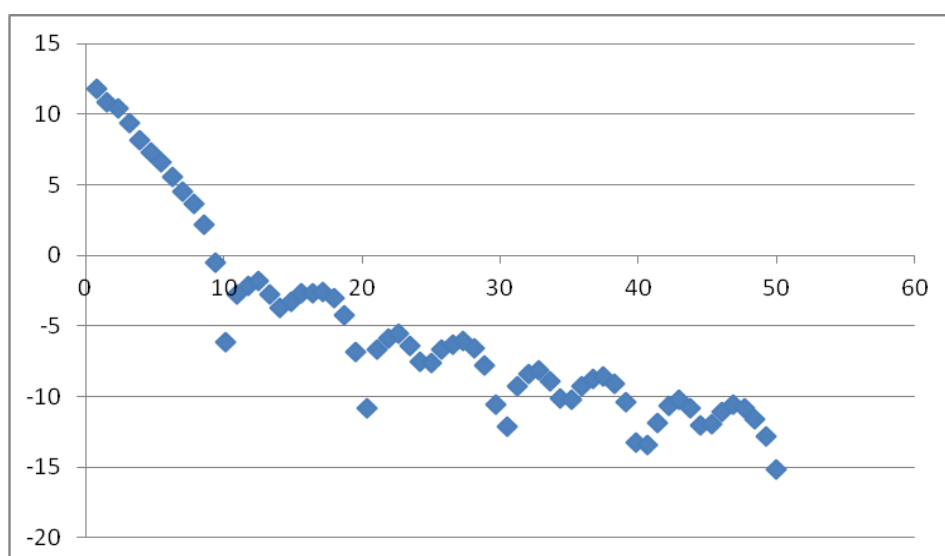
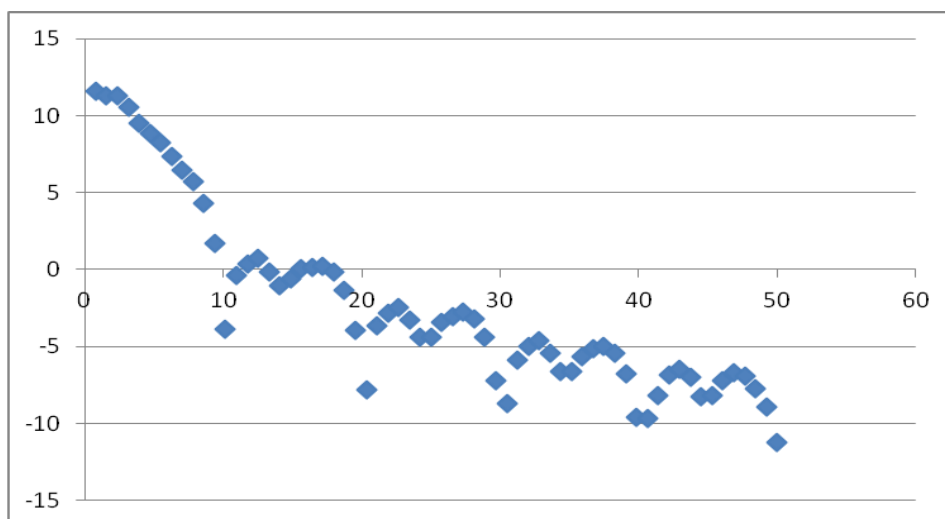
A點居里點深度：

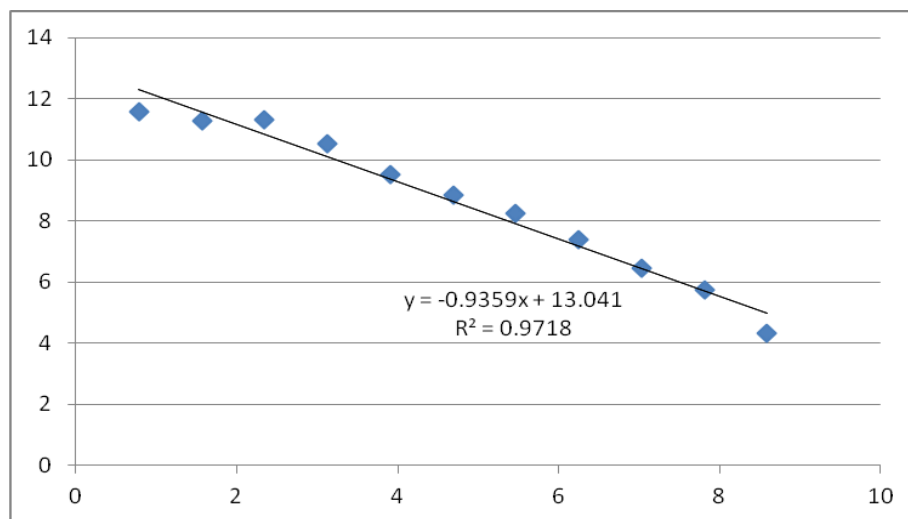


$Z_0 = 1.156$

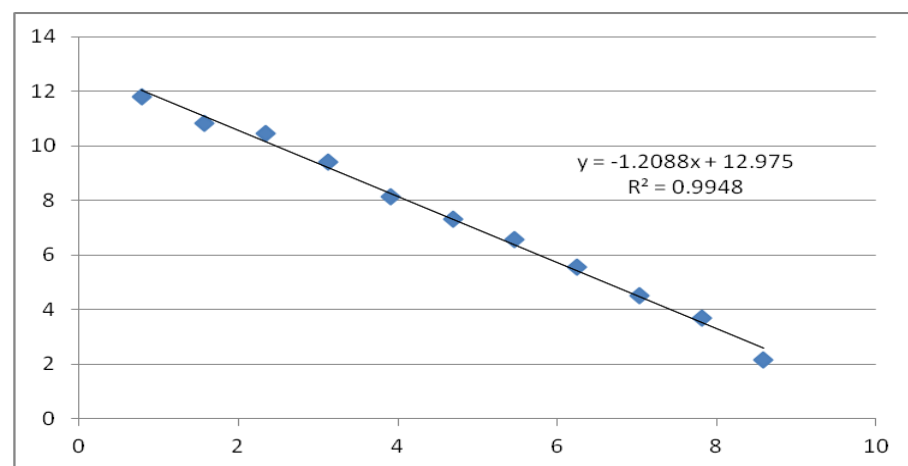


$Z_t = 1.3485$



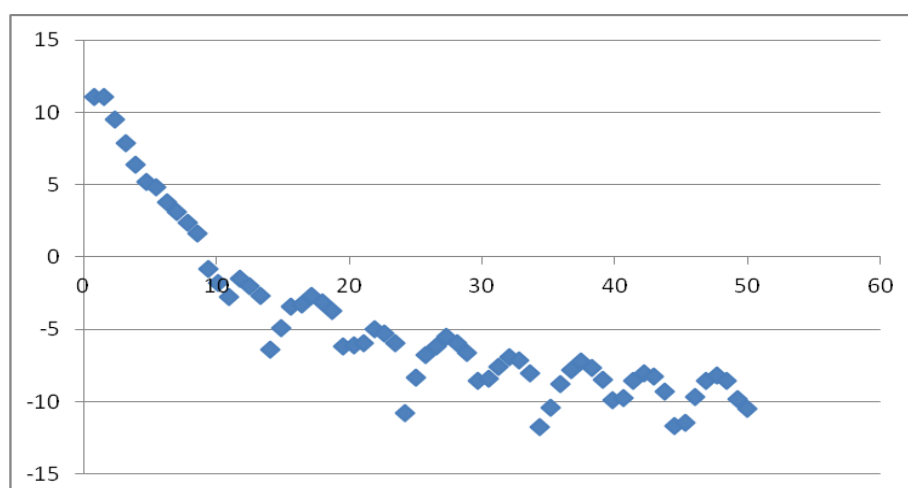


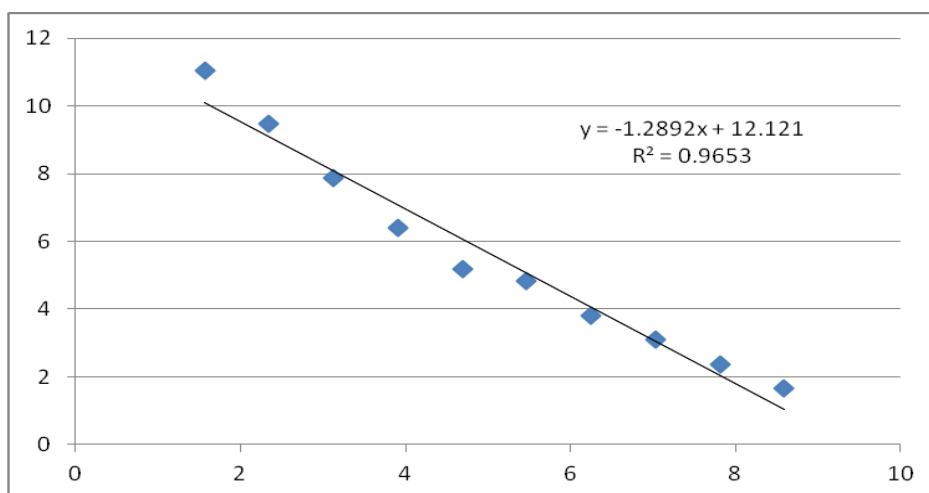
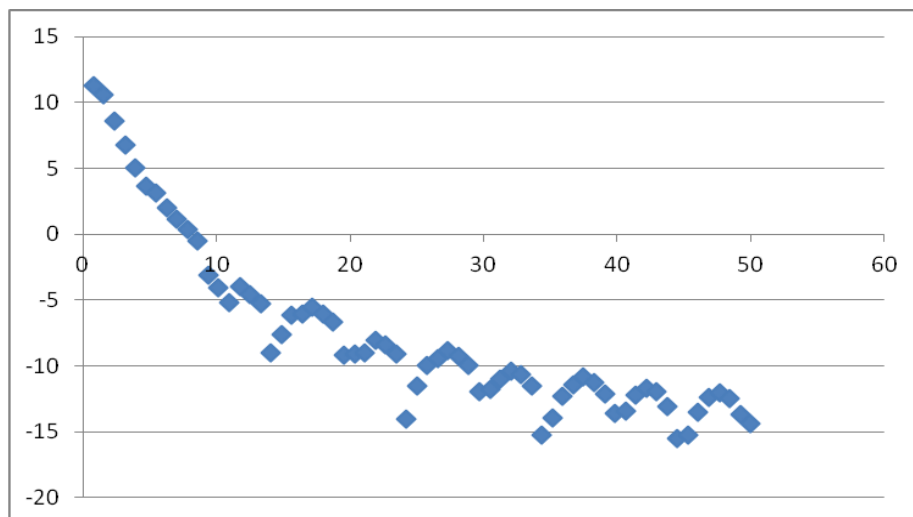
$Z_t = 0.9359$



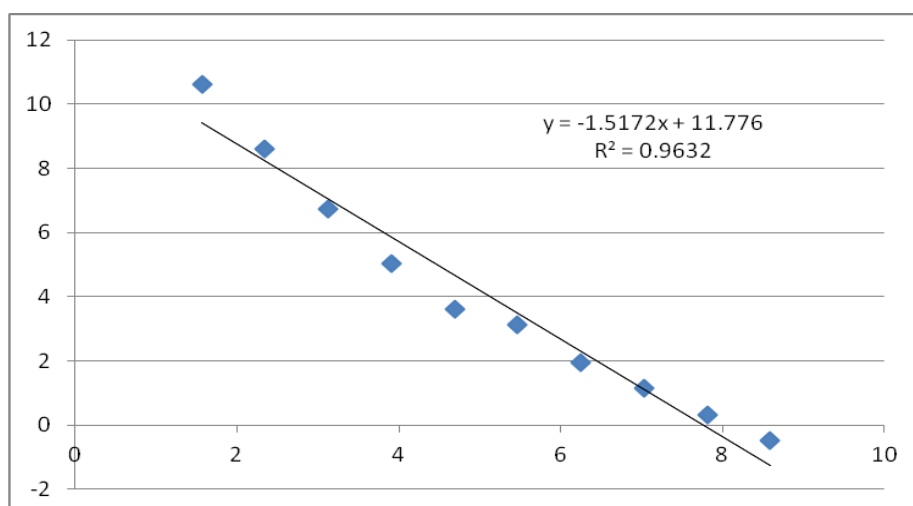
$Z_0 = 1.2088$

B點居里點深度



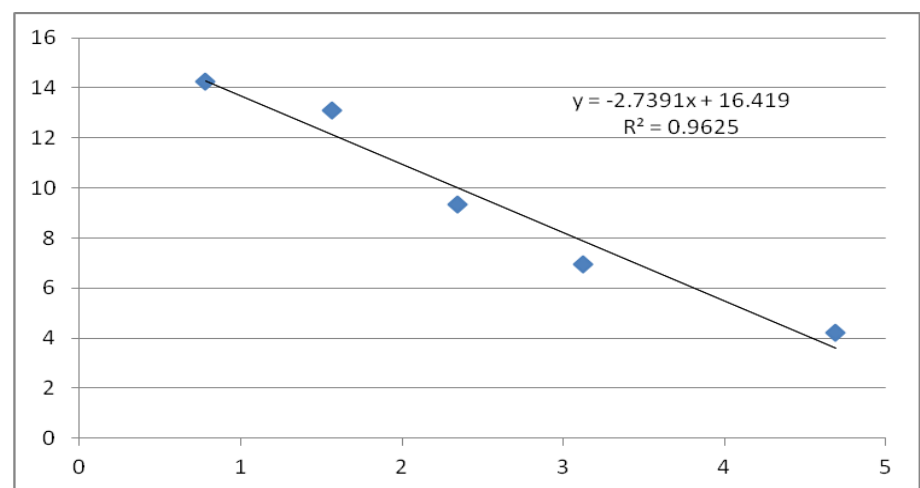
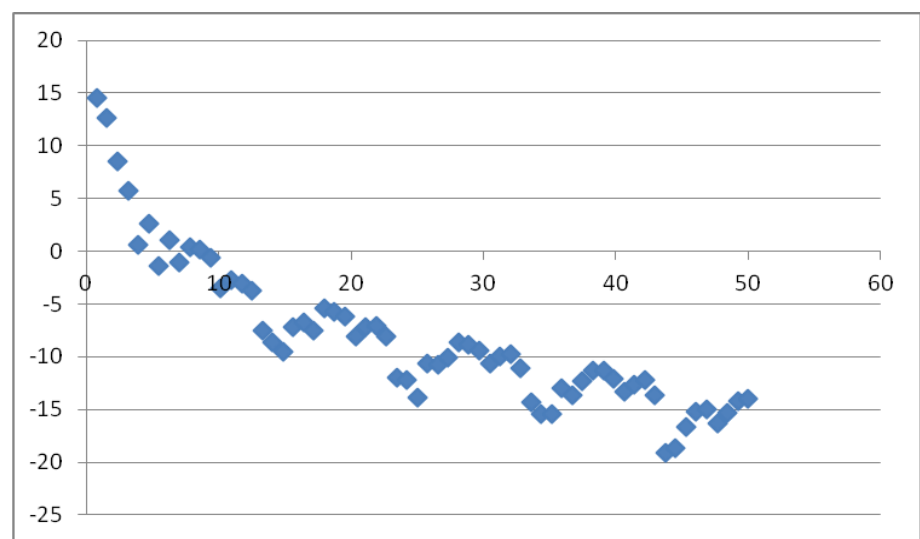
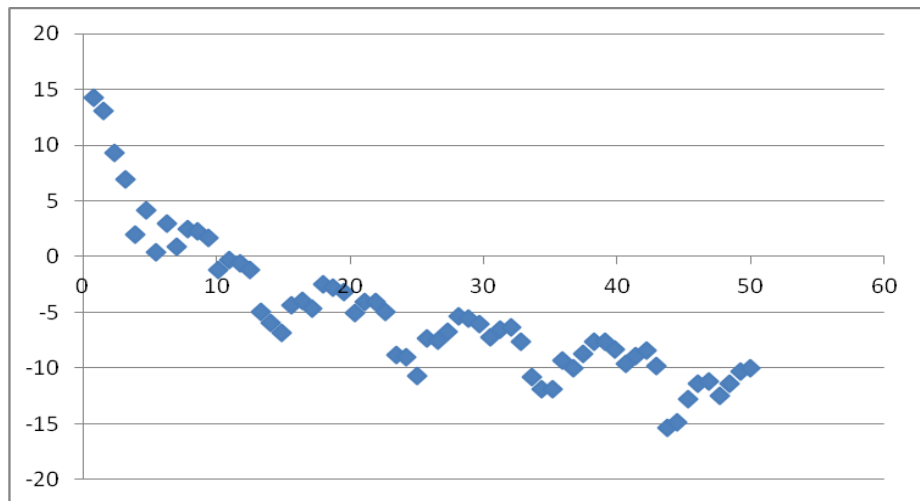


$Z_t = 1.2892$

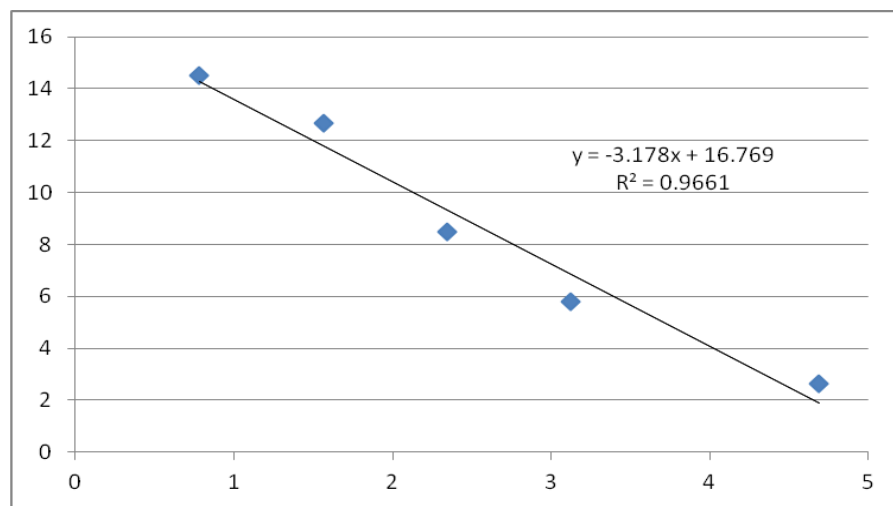


$Z_0 = 1.5172$

C點居里點深度

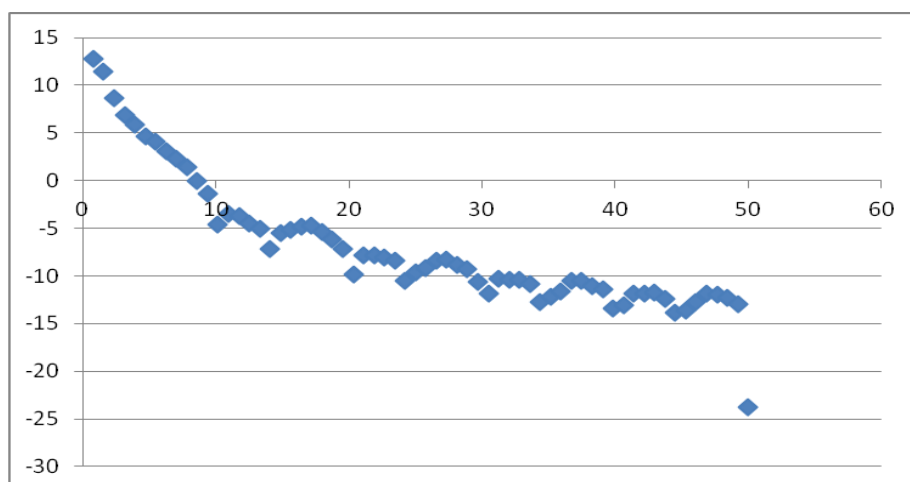
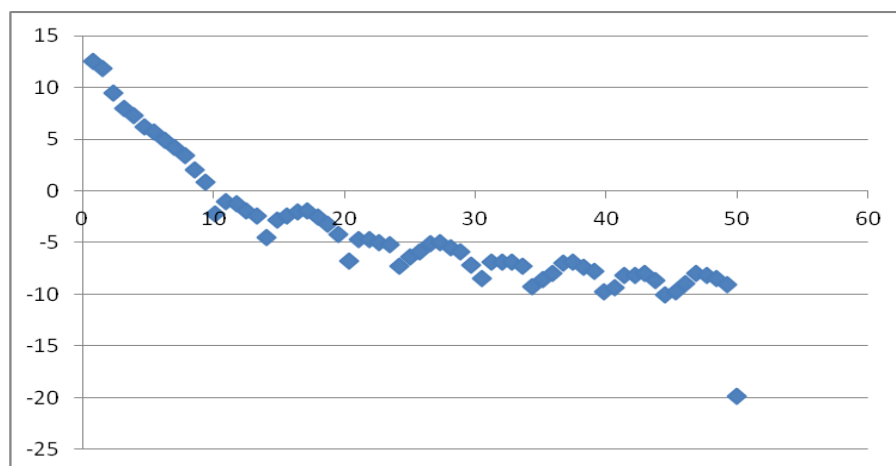


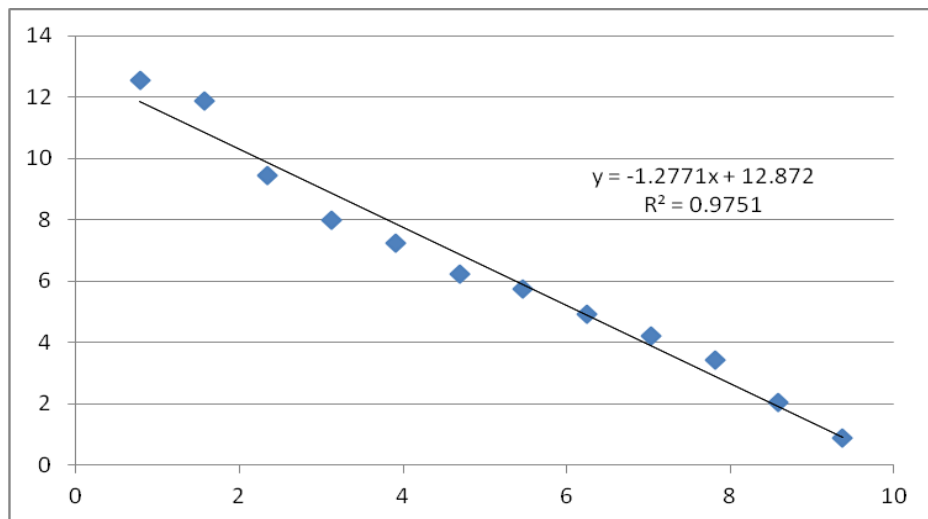
$Z_t = 2.7391$



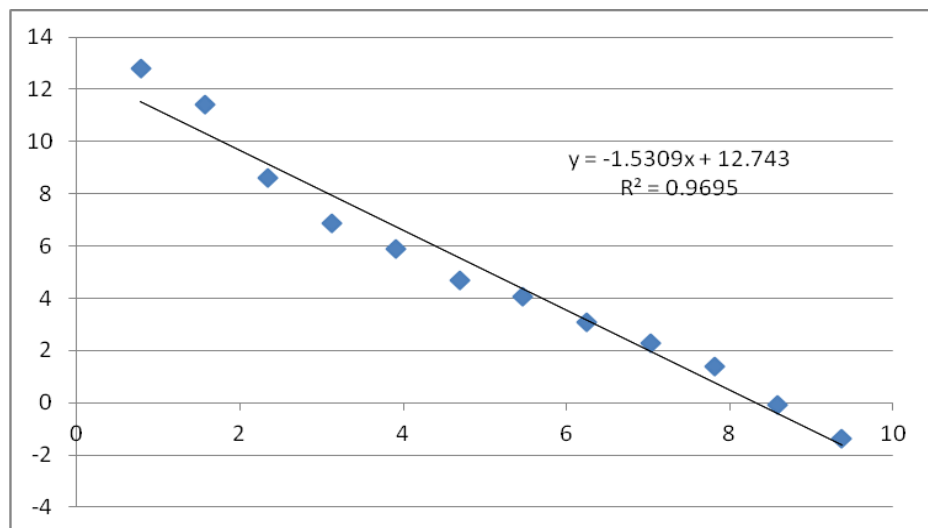
$Z_0=3.178$

D點居里點深度



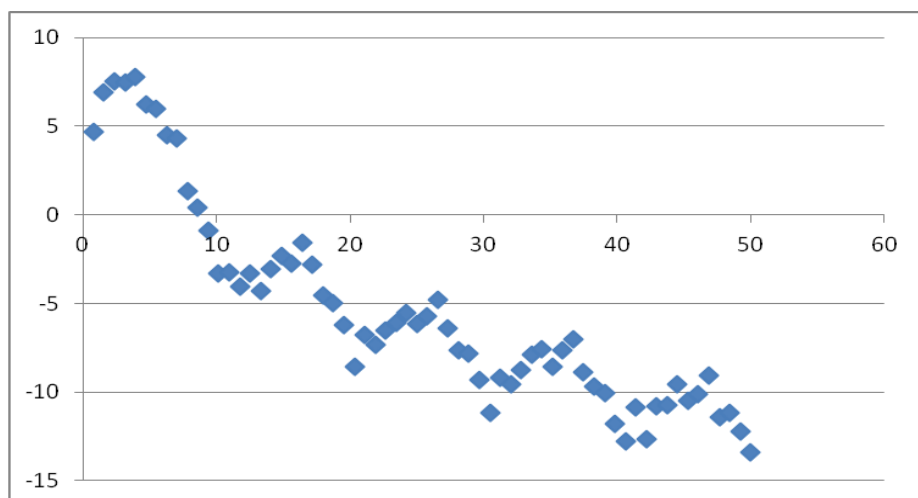


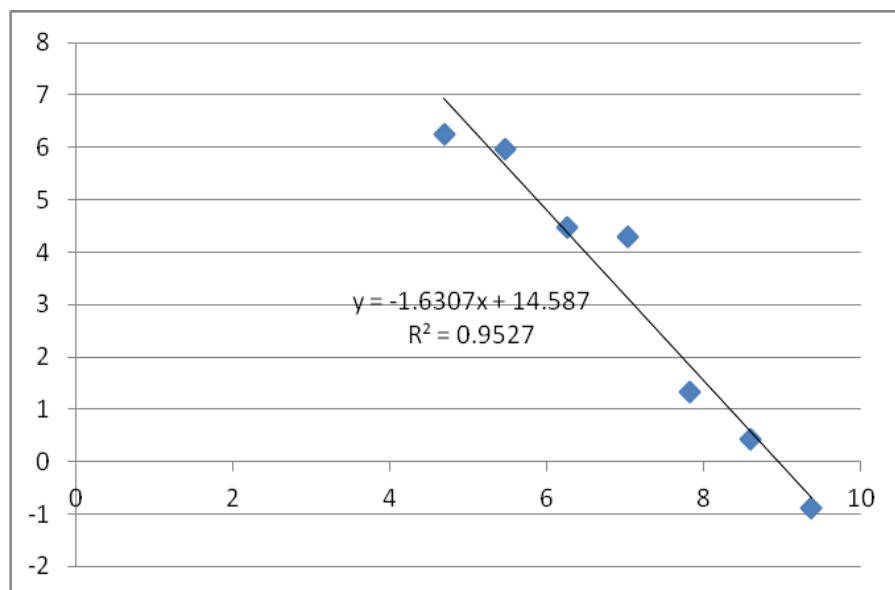
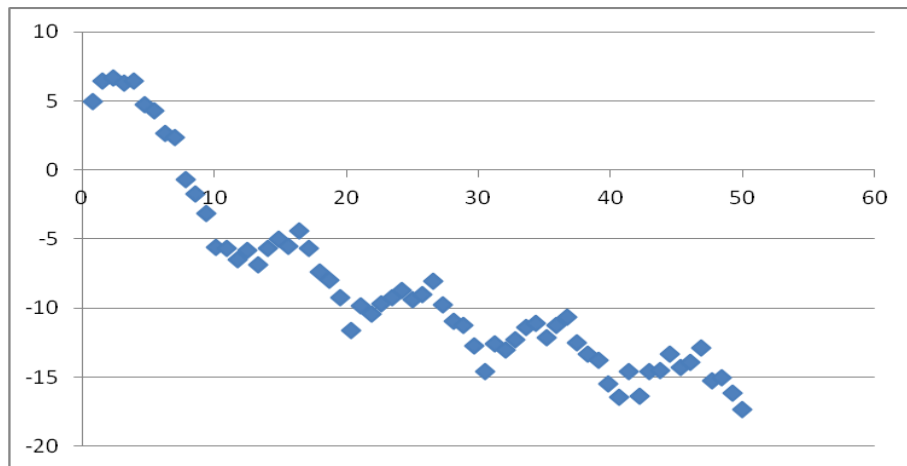
$Z_t = 1.2771$



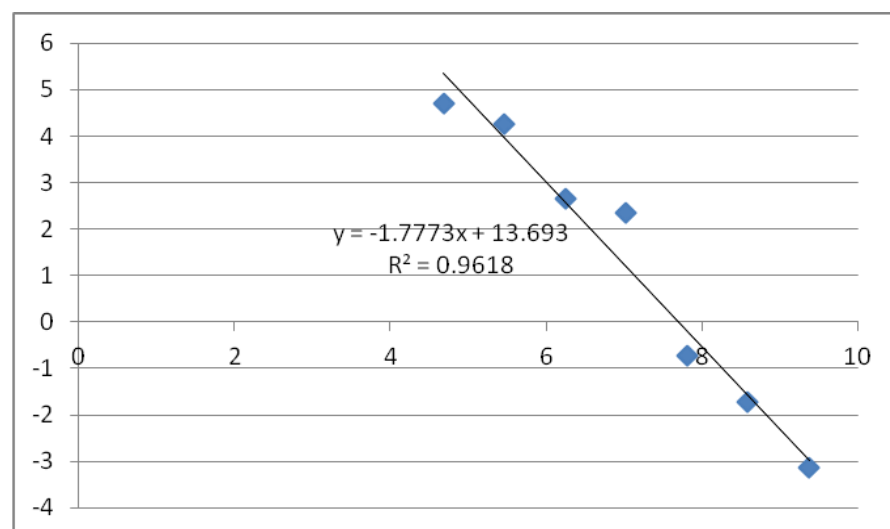
$Z_0 = 1.5309$

E點居里點深度





$Z_t = 1.6307$



$Z_0 = 1.7773$

2. 測點與居里深度資料

測點	(緯度,經度)	居里深度 Z_b (km)
A	(25.1798N, 121.5439E)	1.541,1.4817
B	(25.174N, 121.56E)	1.7452
C	(25.1745N, 121.523E)	3.6169
D	(25.1663N, 121.5787E)	1.7847
E	(25.1876N, 121.572E)	1.9239

評語

研究主題具創意，野外觀測與資料分析相當用心，對大屯火山群的磁場分布特性有進一步之了解。火山碎屑岩的成因以及對研究結果之影響應進一步檢視，可搜集分析地質圖以及鑽井資料，研究結果會更完整。