



契約編號：B10232

「台灣北部火山活動觀測研究」
台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(2/2)
(第二年度)
期末報告



委託單位：經濟部中央地質調查所

執行單位：財團法人工業技術研究院

中華民國 102 年 12 月

期末報告審查意見及答覆辦理說明

項次	審查委員意見	承辦單位意見答覆及處理情形
1	請說明本年度測線與工作計畫書之範圍差異之原因。	合約原規畫探測面積約 2,254 km ² ，測線總長度約為 5,263 km；實際完成探測面積為 2,607 km ² ，測線總長度為 5,723 km。雖然有 5 條接近測區西北側邊緣的測線，飛行時因山區雲霧太低，機長基於安全考量而中斷該測線，致前述 5 條測線未能與原規畫長度一致，但差異約僅 6.8 km，約佔原合約數量之 0.1%，且不影響後續資料處理與解釋作業。而本計畫實際完成的數量，較原合約數量多 460 km (8.7%)，擴大施測範圍主要針對龜山島東及東北方海域，對於確認龜山島火山岩向東北方向延伸之現象與範圍，提供了重要證據。
2	請於報告中詳述空中磁測的探測能力、優缺點與限制，與其它方法所提供訊息之差異，藉以告訴讀者哪些資料有較佳的控制，而哪些解釋是推測的結果。	空中磁測最大優勢是成本低、資料品質高、測點分布均勻，相較於地面探測的高成本、資料品質控制不易(例：宜蘭平員區)及測點分布不平均，空中磁測獲得的全磁力圖其可信度相對高。已補充於實施方法及相關章節解釋中。
3	磁力特徵(P.100~101)及地質解釋部份太精簡，建議加強說明，包含測勘目的及面對的問題、結果達成之情形、可推測的深度為何、與以往研究相同或不一致之情形、有待日後繼續探討者等等。	已補充磁力特徵與地質解釋相關說明。測勘目、執行時面臨的問題、結果達成情形、推測深度等等已說明於相關章節。
4	VLF 甚低頻電磁探測成果的線性分布特徵請與前人研究成果比較說明，並配合磁力測勘之成果一併解釋。	與區域地質構造套疊後，說明 VLF 資料所反應的電性與線形特徵與牛鬥斷層、宜蘭斷層、三星斷層及翠峰湖斷層的位置一致，已增加一個章節討論，並與磁力測勘結果一併解釋。
5	以本年度測區的居里深度換算之地溫梯度較傳統調查方法所得到的地溫梯度為低，請探討其原因。	<p>(1) 以平均地溫梯度(30°C/km)為例，鐵的居里溫度 770°C，則其居里深度約為 25 km。</p> <p>(2) 此區中下部地殼夾有海洋地殼殘塊，因而具有高磁特徵直達 20 km，推測乃因蓬萊運動影響而深埋，這是數百萬年間發生的地殼變動，使地溫條件尚未平衡使然。</p> <p>(3) 淺部地殼構造若以三維磁力逆推結果來</p>

項次	審查委員意見	承辦單位意見答覆及處理情形
		<p>說，此區主要以受蓬萊運動熱事件的中央山脈地層(低磁的大南澳片岩、南蘇澳層、蘇澳層)及低磁的雪山山脈地層，間夾數塊高磁基盤，形成深層基盤的覆瓦狀構造，且僅數百萬年時間內形成，這會造成淺部地殼明顯的地溫梯度異常，值得後續探討其與地表熱流量測的關係。</p> <p>(4) 造成現今地溫探測結果與 20 km 居里深度所換算地溫梯度間差異其它可能原因如下：</p> <p>(a) 磁測分析推論的 20 km 居里深度並非廣泛分布於宜蘭平原，且地溫井亦屬局部分布。</p> <p>(b) 現今的地溫探測井均為淺井，井孔設計、地溫量測方式及受破裂帶熱液影響等因素也可能導致二者之差異。</p>
6	請加強說明低磁力異常現象除接近居里溫度外的其他可能成因。	岩層磁感率低、高地溫及反向的殘磁等，都可能造成低磁力異常，說明於相關章節。
7	請說明根據本年度測勘成果所研判岩漿庫可能分布之範圍及深度。	說明於相關章節，於結論中補充岩漿庫可能範圍圖幅。
8	岩漿庫雖為低磁力異常，但其上之冷卻火成岩體為高磁力異常，請加強說明磁力大小與深度之關係。	岩漿庫上部已冷卻的火成岩體可能分成熔岩流及岩脈構造，從前一年度高解析度的磁力資料，與本年度大區域三維磁力逆推資料之比較，可以獲致不同解析度及不同尺度的磁力與深度關係。已補充說明於地質解釋章節中。
9	中央山脈北端由於接近本年度測區西南側邊界，探測數值變化量大，恐較不具代表性，關於深部地質構造的討論宜再斟酌。	進行三維逆推時，測區邊界網格上方的資料點分布相對較不平均，故經逆推獲得的磁感率可信度相對降低，故定量解釋宜保守。不過，因工研院同時有執行羅東至新城間空中磁力構造解釋的經歷，故在進行本計畫地質解釋有參考測區南方過去累積的調查經驗。
10	請加強說明結論(2)龜山島與大屯火山群有類似形成機制之推論。	北部火山活動與張裂構造的成因，自大屯火山群至龜山島間的地體架構與地質演化，國內已有許多研究(如王國龍，2000；鄧屬予，2007)討論 80 萬年前至今之時空演化關係，從宏觀而言，如圖 4-71 所示，龜山島火成岩體的分布與鄰近張裂斷層系統(摘自林殿順

項次	審查委員意見	承辦單位意見答覆及處理情形
		等，2011)有密切關係，與大屯火山群及山腳斷層比較，就分布方向與火成岩體規模而言，也明顯相似，空中磁測提供大區域火成岩與構造分布的對比資料，實為此計畫的重要成果，可提供後續學界討論進一步討論地體演化與成因機制。
11	請製作龜山島區域不同深度的剖面，並探討該處低磁力異常區隨深度分布之範圍。	圖 4-57 以三維逆推解析的方式，呈現龜山島及鄰近宜蘭陸、海域不同深度(-1、-2.5、-5、-7.5 km 等)的磁力解析資料，與岩漿庫有關低磁力異常的深度(-2 ~ -6 km)及伴生的環狀構造與放射狀構造或岩脈，可由這些解析深度的資料來了解。
12	中、英文摘要請對照內容修改，請檢核參考文獻編排方式。	已修訂。
13	圖 4-28、29、30 如尚未扣除 IGRF 的磁力圖，圖說請改為全磁力強度分布圖。	已修訂。
14	圖 4-51、4-52 以及表 4-7 的岩性種類不一致，請修正	露頭磁感率及電阻率量測部份，已依地調所提供的五萬分之一地質圖，重新核對每一露頭之岩性，並將上年度完成的紀錄一併於報告中進行討論。
15	空中磁測是否受高壓電線的影響？宜蘭高壓電線是沿蘭陽溪分布，與高磁性異常帶相吻合！	基於安全考量，空中磁測作業時會特別注意與高壓輸配電線維持安全距離。超低空飛行時有可能會受高壓輸配線的電塔影響磁力讀值，電力線對磁測的影響相對較小，本年度空中磁測飛行之離地高度約介於 1000-1800 ft，現場亦有即時監控磁測訊號，未見受高壓電線影響。此外，由以下兩點亦能證明沿蘭陽溪分布的高磁異常帶與沿蘭陽溪分布的高壓電線無關。(1)高壓鐵塔造成的磁力異常波長小(估計數十公尺)，但宜蘭平原的東西向帶狀磁力高區波常達數公里且延伸至海域，二者特徵完全不同。(2)原始 TMI 網格上的東西向帶狀磁力高區距離蘭陽溪數公里遠，不可能是沿蘭陽溪的高壓電線所造成的。

期末報告勘誤處理說明(第一校)

頁	段	行	內容	處理情形
封面			請寫契約編號	已修正。
I	2	2	...但仍於期限內...	已修正。
II			英摘當中龜山島的用法請統一	統一使用 Kueishantao。
7			...歐亞大陸板塊...	已修正。
10	1	倒 1	<i>et al.</i> 請用斜體	已修正。
	2	1	經濟部中央地質調查所	已修正。
11	2		<i>et al.</i> 請用斜體	已修正。
	2	1	...粉砂、砂 一 和礫石...	已修正。
13		末	江新春所判釋斷層，與圖 2-5 內紅色線段不符	兩位作者描述坑四斷層的位置相近，故有重疊，但仍能辨別，江新春解釋的斷層有六條。
14			(4)李錫提等 1993.....在圖 2-5 內標為 Lee et al., 1998	統一更正為李錫堤等 (1998)
			(7)林殿順等.....(第三行)主要可分為兩次.....	轉檔問題，已修正。
20			圖 2-9 摘自許雅儒(1998)，但參考文獻內為 1999	已修正為許雅儒(1999)。
23~26			<i>et al.</i> 請用斜體	已修正。
24			<i>et al.</i> 請用斜體	已修正。
26			<i>et al.</i> 請用斜體	已修正。
34		倒 5設備型錄...??	已修正。
35			圖 4-1 背景有高壓電，白色箱型物為電箱?	圖 4-1 係進行功能測試，測試地點磁場變化對測試結果沒有影響，高壓電距離甚遠，白色箱型物為非電箱，可能是太陽能板測試用控制面板。
			圖 4-2 不清楚。	已修正。
40	2	1	...縮短相關申請...	已修正。
	2	倒 2	...飛航現調期間.....(句尾句號)	已修正。

頁	段	行	內容	處理情形
41	2	倒 3	...連續記錄 30 分鐘.....	已修正。
43	1	1	...7 月 19 日進駐蘇澳港...	已修正。
			飛(行)航作業?飛(行)航工作?	統一使用「飛行」。
48	1	2脫勾.....	已修正。
			...均方根(root mean square)...	已修正。
59	1	末	...總和...	已修正。
61			航向修正內文的英文名稱不需要再出現一次	已修正。
			表 4-6，航向建議使用方位角	因航空慣用”航向”一詞，擬保留。
62		倒 2	...當天地磁紀錄的平均...	已修正。
67			圖 4-19 未編 a,b,c,d	已修正。
68			圖 4-21 請說明箭號意義	於內文中說明。
70			圖 4-25 請說明箭號意義	於內文中說明。
89			圖 4-43 圖說為測線 10 還是測線 15?	應為測線 15。已修正。
			圖 4-43 圖說...22.3KHz	已修正。
92	1	1	Karous and Hjelt 的文章並未列於參考文獻內	已補充。
	2	倒 2	...黑色箭頭未見於圖 4-47 圖 4-48 當中	已修正。
	2	1	...航向 150 度...	已修正。
94	2	2	磁感率(magnetic susceptibility)...	已修正。
			基本資訊表於表 4-7，現場作業情形如圖 4-50	已修正。
95			圖 4-49 之範圍可以小一些，蘇澳附近的現地量測點可區分開一些。	加繪一張蘇澳鄰近地區之測點分布圖。
97			圖 4-52，角閃岩的電阻率?	角閃岩係上年度測點，因露頭表面乾燥無法導電故沒有實測值。
98			圖 4-51、4-52 有各種岩性的磁感率量測值，請說明此二圖的資料來源(本計畫 101、102 年度量測?)。承上，表 4-7 之岩性有板岩，但在圖 4-51、4-52 未見。	圖 4-51 及圖 4-52 係彙整本計畫上年度與本年度的量測紀錄。板岩在表 4-7 及圖 4-51 及圖 4-52 均有表列。

頁	段	行	內容	處理情形
			表 4-7 點位請投到地質圖上展示	圖 4-49 底圖為五萬分之一地質圖。
100			(1)(B)MH2...由西向東...	已修正。
	2	1	圖 4-56.....可概略歸納出.....	已修正。
101			(D)磁力線形 Fa1.....推測...	已修正。
			磁感率(magnetic susceptibility)...	已修正。
103			圖 4-55 磁力異常圖經歸極換算以及傾角微分處理	已修正。
105			圖 4-58 可否加入台灣海岸線方便比對位置?	已加入台灣海岸線，依各磁力異常圖相同比例尺並套疊地質構造後重新繪製，以方便比較。
106			圖 4-59 深度，座標 OR 比例尺?	重新繪製以改善顏色對比並標示座標。
107			是否亦參考本所易淹水計畫地質調查成果?	本報告所使用底圖為地調所易淹水計畫成果，已於引用文獻中加註。
			林朝宗(2000)，黃與何(1989)未列參考文獻當中	已加入參考文獻。
	2	5	...中央山脈板岩地層無論在山區...	已修正。
108	2	6	圖 4-60 為今年度的成果，非前一年度(圖 4-62 ?)	已修正。
109	1	2	...火山岩故其殘磁...	已修正。
	2	1	...歐亞大陸板塊...	已修正。
	2	末	江新春，1976	已修正。
110	1	2	...所做的.....	已修正。
	1	2	斑氏帶(班尼奧夫帶?)請統一用詞	統一使用「班尼奧夫帶」。
113			圖 4-61 紅色構造與黑色構造的區別? 缺座標	原圖紅色與黑色構造線差異在於構造長度，因不在本計畫探討範圍，故統一使用黑色表示。
118			石政為...宜蘭平原...	已修正。
119			林啟文、高銘健(2009)蘇澳二版	已修正。

期末報告勘誤處理說明(第二校)

頁	段	行	內容	處理情形
			委員意見處理表以及報告修正表請置於報告最前面(摘要前)	已修正。
2	末	5	第 2 年探測面積約 3278 平方公里(建議修正為合約面積)	已修正。
13			圖 2-4 圖說.....宜蘭南方山區構造線形.....	已修正。
16			圖 2-5 Yu and Tsai(1979)斷層圖例顏色請修改為與圖中一致	已修正。
20	2	5	另一條位於蘭陽溪河口.....	已修正。
24	2	3	...顯示通過羅東鎮.....	已修正。
27			逆推(inversion)	已修正。
30	3	倒 5	Jeng <i>et al.</i> ,(斜體、拼字)	已修正。
31			反演(inversion)，請統一用法	統一使用”逆推”。
36			儀器價金請用新台幣 892,500 元.....	已修正。
48			圖 4-12 圖說(e)直升機吊掛作業.....	已修正。
64	末	末	...遠小於於.....	已修正。
64	2	倒 2 倒 3	...n 次幕數?...n 次冪數??	經檢查為正確用詞。
70			圖 4-21 圖說請增加黑色箭號的說明	已修正。
108			表 4-8 有元素亦有化合物，建議用[幾種常見物質的居里溫度]即可	已修正並增加礦物之居里溫度。
137			圖 4-70 圖說，地質圖請參照圖 4-70???	已修正。
142	1	1	為增進.....假地調所 2 樓第一會議室.....	已修正。
146		倒 2	林啟文論文.....東北部板岩帶與片岩帶之(多一個空格)構造特性...	已修正。
171			艙單個資隱藏	考量個資及其必要性，刪除艙單附件。

「台灣北部火山活動觀測研究」
台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(2/2)
(第二年度)

期末報告

摘 要

為了掌握台灣東北部地區深部地質構造及火山活動特性，本計畫主要任務為建立我國空中磁力及甚低頻電磁探測技術，並應用於宜蘭陸海域之火山及地質探測，提供調查區域內有關潛在岩漿庫分布範圍，以及與熱流通道有關的區域地質構造資訊。

本年度計畫執行過程雖受到三軸拖鳥脫勾意外，導致現調進度延遲約 1 個月，經緊急重購一套新三軸拖鳥並完成功能測試後，本計畫仍於期限內完成所有工作，產出網格間距為 100 公尺之全磁力強度網格及 VLF 異常網格，供分析龜山島的火山活動，以及中央山脈北端至宜蘭陸海域的基盤構造。

由本計畫磁測資料顯示，龜山島鄰近區域之火山岩分布範圍約達直徑 9 公里，龜山島火山活動曾順基盤岩既有的東北東及北北東方向斷層帶，發生裂隙噴發活動及岩脈侵入作用，形成東北東方向之磁力高區，不僅與鄰近海域正斷層構造分布方向一致，也與大屯火山群的山腳斷層等北部張裂構造的分布方向一致，暗示二者可能具有類似的機制。龜山島火山噴發後因火山白陷落作用而形成環狀及放射狀岩脈群，環狀岩脈內的低磁力區域推測對應岩漿庫位置，因受高溫影響導致磁力強度相對減小，故此區之居里深度較周遭地區淺，深度約僅 5 公里上下。此外，通過以龜山島火山的環狀及放射狀岩脈群，與環狀陷落構造區的斷層帶，將提供火山源地熱流體的新通道，不僅可能通過宜蘭平原，甚至遠達清水地熱區。

關鍵字：空中地球物理、空中磁力探測、空中甚低頻電磁探測、火山地質、宜蘭地區、龜山島火山

The Airborne Geophysical Survey of Igneous Bodies and Geological Structures in Northern Taiwan (2/2)

Final Report

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 Yilan land and maritime areas for volcanic and geological aerosurveying to obtain distribution information of potential magma chamber as well as hydrothermal pathways along regional geological structures.

The field work of this project had been delayed for a month because of the tri-axial towed-bird damaged due to a freefall accident. All of the tasks had been completed on schedule after urgent purchase and installation of a new tri-axial towed-bird. The total magnetic intensity (TMI) grid and VLF anomaly grid with 100 m spacing had been delivered to provide a new insight into the activity of the Kueishantao volcano as well as distribution of the basement around the northern tip of the Central Range Belt, Yilan plain and maritime areas.

Based on the aeromagnetic dataset, the volcanic bodies around the Kueishantao covers an area approximately 9 km in diameter. The NEE-trending high-magnetic zones represent fissure eruption and dike intrusion along major pre-existing NEE-trending and NNE-trending extensional fault zones. In addition, the NEE magnetic lineaments in the basement present good correlation with the major structural distribution of extensional tectonic environment between the Yilan maritime normal fault system and the Shanchiao fault along the Tatun volcanic zone in the northern Taiwan area, indicating that wide-spread NE-trending extensional faulting and coeval volcanism share similarity with genetic mechanism. Ring dikes and radiating dikes beneath the Kueishantao area might be associated with formation of a subsident crater form (caldera); therefore, the low magnetic field within the ring dikes being a magma

chamber at the depths of about 5 km represents that a high temperature source lowers magnetic intensity as well as shallower depth to Curie point. Nevertheless, the ring and radiating dike swarms, as well as faults associated with formation of the subsident caldera around the Kueishantao volcanic region, cause new pathways for migration of volcanic hydrothermal fluids from the Kueishantao volcano to all over the Yilan plain and the Chinshui geothermal field.

Key words: airborne geophysics, helicopter-borne magnetic survey, helicopter-borne very low frequency EM survey, volcanic geology, Yilan area, Kueishantao volcanism

目 錄

頁次

期末報告審查意見及答覆辦理說明.....	I
期末報告勘誤處理說明(第一校).....	IV
期末報告勘誤處理說明(第二校).....	VII
摘 要.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
目 錄.....	XI
圖 目 錄.....	XIII
表 目 錄.....	XVII
1 緒論.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫目的.....	2
1.3 計畫工作內容概述.....	2
1.4 計畫工作流程.....	3
1.5 合約完成數量.....	3
2 研究區域概述.....	7
2.1 地體構造.....	7
2.2 區域地質.....	10
2.3 歷年相關研究成果.....	13
2.3.1 斷層構造.....	13
2.3.2 水準測量資料.....	18
2.3.3 GPS 變形觀測.....	18
2.3.4 遙測資料.....	21
2.3.5 地震觀測.....	22
2.3.6 地球物理探測.....	23
3 研究方法與步驟.....	26
3.1 空中地球物理探測.....	26
3.1.1 磁力法.....	26

3.1.2	甚低頻電磁法.....	28
3.2	岩層物性量測.....	34
4	研究成果.....	35
4.1	移動式地面磁力儀購置.....	35
4.2	空中磁力探測作業.....	38
4.2.1	測勘規劃.....	38
4.2.2	飛行現調作業.....	44
4.3	資料處理.....	49
4.3.1	測線整編.....	49
4.3.2	資料品質分析.....	49
4.3.3	磁力資料處理.....	60
4.3.4	甚低頻電磁資料處理.....	89
4.4	資料解釋.....	94
4.4.1	岩層物性特徵.....	94
4.4.2	磁力特徵.....	103
4.4.3	電性特徵.....	123
4.4.4	地質解釋.....	128
4.5	工作會議與教育訓練.....	138
5	結論.....	143
6	參考文獻.....	146
7	附錄.....	154
7.1	移動式地面磁力儀型錄.....	154
7.2	蘇澳港直升機臨時起降場土地使用同意函文.....	156
7.3	飛航申請同意函文(2013/8/19–8/31).....	160
7.4	飛航申請同意函文(2013/9/01–10/31).....	163
7.5	磁力異常圖幅.....	166

圖目錄

	頁次
圖 1-1：分年調查範圍及鄰近限航區與管制區分布圖	5
圖 1-2：工作流程圖	6
圖 2-1：台灣東北部蘭陽平原鄰近地區之地體構造圖	8
圖 2-2：台灣鄰近地區地形及菲律賓海板塊邊界分布圖	9
圖 2-3：宜蘭平原鄰近地區地質圖	12
圖 2-4：宜蘭平原陸海域構造地質圖	13
圖 2-5：宜蘭平原過去不同研究所提出之斷層分布圖	15
圖 2-6：依據震測剖面解析之宜蘭平原斷層分布及基盤深度圖	16
圖 2-7：台灣東北部海域構造分布圖	17
圖 2-8：由蘇澳至梗枋的南北向水準測量結果	18
圖 2-9：由 1992 至 1996 年間 GPS 觀測獲得之水平位移速度場	20
圖 2-10：由 1995 至 2005 年間 GPS 觀測獲得之水平位移速度場	20
圖 2-11：由 2002 至 2006 年間 GPS 觀測獲得之水平位移速度場	21
圖 2-12：以永久散射體雷達差分干涉法獲得之平均沉陷速度場	22
圖 2-13：依磁力解釋之宜蘭平原下伏基盤岩層與構造分布圖	24
圖 2-14：宜蘭平原磁力經尤拉解迴旋處理之岩脈與斷層解分布圖	24
圖 2-15：宜蘭平原磁力異常圖	25
圖 2-16：宜蘭平原布蓋重力異常圖	25
圖 3-1：幾種典型的空中地球物理探測載具	31
圖 3-2：澳洲空中磁力異常圖	31
圖 3-3：磁力法施測原理示意圖	32
圖 3-4：甚低頻電磁法施測原理示意圖	32
圖 3-5：岩層物性量測現場作業情形	34
圖 4-1：移動式地面磁力儀組裝完成及測試照片	36

圖 4-2：SM-30 磁感率測定計照片	36
圖 4-3：移動式地面磁力儀測試紀錄	37
圖 4-4：移動式地面磁力儀收驗紀錄	37
圖 4-5：探測範圍及航線規劃圖	39
圖 4-6：本計畫 VLF-EM 接收塔台位置圖	40
圖 4-7：蘇澳港臨時起降場位置圖	41
圖 4-8：臨時起降場照片	42
圖 4-9：候選磁力基站位置圖	43
圖 4-10：磁力基站之地球磁場紀錄	43
圖 4-11：飛行現調作業流程圖	46
圖 4-12：飛行現調作業照片	47
圖 4-13：臨時性磁力基站現場照片	48
圖 4-14：調查期間測區內雨量觀測紀錄	51
圖 4-15：航跡圖與整編後測線分布圖	52
圖 4-16：全磁力強度高低異常區與磁傾角及磁體位置間關係圖	66
圖 4-17：原始全磁力強度圖	67
圖 4-18：經突波移除後之全磁力強度圖	67
圖 4-19：2013/9/10 磁力基站原始紀錄與經突波移除後之紀錄	68
圖 4-20：測線 15 磁力紀錄經 IGRF 修正前後比較圖	68
圖 4-21：經國際地磁參考場修正後之全磁力強度圖	69
圖 4-22：經普通調平後之全磁力強度圖	69
圖 4-23：自圖 4-22 分離出的殘餘雜訊網格	70
圖 4-24：扣除殘餘雜訊後之全磁力強度圖	70
圖 4-25：圖 4-24 以彩色陰影呈現之全磁力強度圖	71
圖 4-26：本計畫研究區域之全磁力強度圖	72
圖 4-27：常用濾波器之反應函數	78
圖 4-28：經歸極換算處理後之全磁力強度圖	79

圖 4-29：經低通濾波及歸極換算處理後之區域磁力異常圖	80
圖 4-30：經向上延伸及歸極換算處理後之區域磁力異常圖	80
圖 4-31：經高通濾波及歸極換算處理後之剩餘磁力異常圖	81
圖 4-32：扣除向上延伸磁力值後之剩餘磁力異常圖	81
圖 4-33：經一次垂直微分及歸極換算處理後之磁力異常圖	82
圖 4-34：經傾角微分處理後之磁力異常圖	82
圖 4-35：磁力異常圖幅版面設計示意圖	83
圖 4-36：三維逆推之輸入觀測網格	85
圖 4-37：三維逆推疊代次數與均方根誤差關係圖	86
圖 4-38：經三維逆推獲得之三維磁感率模型	86
圖 4-39：經三維逆推處理後重新計算之理論網格	87
圖 4-40：觀測網格與理論網格間之誤差網格	88
圖 4-41：三維逆推誤差直方圖	88
圖 4-42：測線 15 頻率 19.6 及 22.3 KHz 之 VLF 紀錄	90
圖 4-43：測線 15 頻率 22.3 KHz 之 VLF 紀錄濾波前後之比較圖	90
圖 4-44：原始同相位分量等值圖	91
圖 4-45：經方向濾波後之同相位分量等值圖	91
圖 4-46：間距 250 m 之等效電流密度等值圖	93
圖 4-47：間距 500 m 之等效電流密度等值圖	93
圖 4-48：岩層物性量測現場作業照片	95
圖 4-49：岩層物性量測點位置圖	96
圖 4-50：蘇澳鄰近地區岩層物性量測點位置圖	97
圖 4-51：宜蘭平原鄰近區域地層露頭岩性與磁感率關係圖	98
圖 4-52：宜蘭平原鄰近區域地層露頭岩性與電阻率關係圖	99
圖 4-53：宜蘭平原鄰近區域地層與磁感率關係圖	100
圖 4-54：宜蘭平原鄰近區域地層與電阻率關係圖	101
圖 4-55：全磁力強度圖之磁力強度特徵	107

圖 4-56：區域磁力異常圖之磁力強度特徵	107
圖 4-57：解釋龜山島火山岩分布圖	108
圖 4-58：解釋火山口位置圖	108
圖 4-59：磁力異常圖之磁體邊界解釋圖	109
圖 4-60：磁力異常圖之磁力線形解釋圖	109
圖 4-61：宜蘭平原鄰近區域之地震震央分布與震源機制解	110
圖 4-62：三維磁感率模型等高程切面圖	111
圖 4-63：調查區微震震央投影分布圖	116
圖 4-64：三維磁感率模型等高程切面圖套疊震源	117
圖 4-65：高磁岩體三維分布圖	122
圖 4-66：VLF 同相位分量等值圖套疊地質構造圖	124
圖 4-67：VLF 等效電流密度圖套疊地質構造圖	125
圖 4-68：VLF 同相位分量等值圖解釋電性及電性線形分布圖	126
圖 4-69：VLF 等效電流密度圖解釋含水破裂帶分布圖	127
圖 4-70：磁力異常圖套疊宜蘭平原鄰近構造分布圖	134
圖 4-71：台灣東北部陸海域構造分布套疊空中磁測磁力異常圖	135
圖 4-72：台灣北部地質圖圖例	136
圖 4-73：龜山島鄰近區域之環狀磁力高區及其成因模型示意圖	137
圖 4-74：第一次工作會議照片	138
圖 4-75：第二次工作會議照片	138
圖 4-76：第一次工作會議簽到表	139
圖 4-77：第二次工作會議簽到表	140
圖 4-78：教育訓練照片	141
圖 4-79：教育訓練簽到表	142
圖 5-1：依據磁力與 VLF 資料解釋之岩體與構造分布圖	145

表 目 錄

	頁次
表 1-1：計畫完成數量與合約對照表	4
表 3-1：空中磁測技術之演變	33
表 3-2：幾種地質探測方法單位成本比較表	33
表 3-3：GSM-19 系列儀器所能接收的 VLF 發射台基本資料表.....	33
表 4-1：R30 限航區基本資訊.....	40
表 4-2：測線的雜訊水平分級標準	50
表 4-3：各航線磁力紀錄之雜訊水平	54
表 4-4：磁力基站的雜訊水平分級標準	58
表 4-5：磁力基站磁力紀錄之雜訊水平	59
表 4-6：三軸拖鳥各磁力感測器的航向修正量	62
表 4-7：本年度計畫岩層物性量測位置及量測值一覽表	102
表 4-8：幾種常見物質及礦物的居里溫度	106
表 4-9：教育訓練課程表	141

1 緒論

1.1 計畫緣起

經濟部中央地質調查所(以下簡稱：地調所)於民國 93 年至 100 年間執行「大台北地區特殊地質災害調查與監測計畫」，針對鄰近大台北地區之大屯火山群，以空載光達(Airborne LiDAR)技術建構了高解析地面高程模型，並藉地表地質調查及地質鑽探，建立各分區之火山噴發層序等基本地質資料庫。

然而，先前的地質調查工作，以調查地表岩性分布狀況為主，對於地底深部之地質構造仍無法確實掌握。應用於深部地質構造探測之方法，包括：地質鑽探、地電探測、震波探測、重力探測、及磁力探測等；除地質鑽探之外，多屬於地球物理學門之範疇。地質鑽探雖可得到完整且詳盡的地下地質資料，但僅能代表鑽探點的地質狀況，不易藉以完整勾繪區域性構造特性。而地表地球物理探測等方法，在人口密集區作業時，易受人造建物干擾影響資料品質；山區作業時，則易受地形、地物等限制，造成測點分布不均勻，影響解釋的可靠性。

由於火成岩中鐵、鎂等金屬礦物含量較高，故具有強烈的磁性反應，有助於應用磁力法(magnetic method)探測火成岩體的分布。空中磁力測勘(airborne magnetic survey)是一項已經發展相當成熟的技術，因施測較不受地形、地物的限制，故能獲得均勻的測點分布，提高資料解析的可靠性，在國外已經廣泛應用在區域地質調查、探礦及火山監測(Ueda, 2007; Okuma *et al.*, 2009)等領域。國內台電公司曾委託財團法人工業技術研究院(以下簡稱：工研院)，在離島、台灣南部及台灣東部等部分地區進行空中磁力探測，並獲得成功經驗。

空中甚低頻電磁(very low frequency electromagnetics；簡稱 VLF-EM 或 VLF)與空中磁力測勘都具有量測設備安裝快速，適用於多種飛行載具等優點。VLF-EM 測勘可反映地層的電性特徵，與磁力法相輔相成，故 VLF-EM 常與空中磁力測勘同時施測，有助於分析主要破裂帶的分布，提高地質構造解釋的可靠性。

由於大屯火山群及龜山島等北部火山地區，目前仍有溫泉及火山噴氣等後火

山活動現象，從火山氣體、溫泉及火山物質定年結果，顯示北部之火山目前仍符合國際火山學界所認定的活火山定義，故此區域火山的活動性仍需持續監測與瞭解。但是，由於北部火山地區位於山區及海域，一般調查方法成本高且不易獲得全面性的瞭解，故本計畫採用空中磁力及甚低頻電磁法進行探測，其能掌握區域性火山分布及地質構造情形，配合地調所其它火山監測成果，提供相關單位作為災害防救計畫的基礎，進一步保障大台北地區 600 萬居民的生命財產安全。

本計畫預定以 2 年為期，完成台灣北部宜蘭平原地區陸、海域空中磁力與甚低頻電磁探測。第 1 年計畫主要任務為建立我國自主的空中磁力與甚低頻電磁探測技術能力，主要工作為設備購置、人員訓練與測試飛行。第 2 年計畫主要任務為完成台灣北部宜蘭平原及其鄰近陸海域地區之空中磁力與甚低頻電磁探測，並解析潛在火山分布與地質構造。

1.2 計畫目的

- (1) 建立我國自主的空中磁力與甚低頻電磁探測技術。
- (2) 瞭解台灣北部探測區域內地表與潛伏火山岩體分布範圍，分析居里深度 (Curie temperature) 及潛在地下熱液分布狀況，做為火山活動監測之基線資料。
- (3) 釐定台灣北部探測區域內陸海域地下地質架構，提供地調所及相關單位進行科學研究、礦產資源評估與地熱開發等工作之基礎資訊。

1.3 計畫工作內容概述

本計畫分年執行區域範圍如圖 1-1 所示，第 1 年測試範圍面積約 364 平方公里，第 2 年探測範圍面積約 2,254 平方公里，包括：龜山島、宜蘭平原及部分海域，橫跨雪山山脈與中央山脈，西南延伸至土場一帶。本年度計畫工作項目及內容說明如下：

(1) 移動式地面磁力儀購置

購置移動式地面磁力儀一套，做為空中磁測作業期間的移動式磁力基站 (portable magnetic base)。

(2) 進行空中磁力與甚低頻電磁探測

針對前述探測範圍(圖 1-1)，使用三軸拖鳥進行空中磁力探測與空中甚低頻電磁探測，所收集之資料進行基站修正及調平等前處理，以產出全磁力異常網格與 VLF 強度網格等，供後續進行資料處理與解釋。

(3) 資料分析與解釋

於完成空中地球物理探測作業後，進行資料分析與解釋，除本計畫之探測成果外，將對照探測區域內已有的地面地球物理及地質等相關資料進行綜合解釋。

1.4 計畫工作流程

工作流程參見圖 1-2。

1.5 合約完成數量

如表 1-1 所示。

表 1-1：計畫完成數量與合約對照表

編號	交付項目	數量	型態	實際完成數量及狀況
1	移動式地面磁力儀 (包含磁力感測器、連桿、磁感率測定計及儀器箱)	一組	儀器	完成一組移動式地面磁力儀購置。
2	儀器操作手冊	2份	紙本	提交儀器操作手冊2份。
3	儀器操作手冊電子檔	1份	光碟	提交光碟5片，內含儀器操作手冊電子檔、成果報告書電子檔及探測成果原始檔。
4	成果報告書	20份	光碟或其他儲存媒體	完成成果報告書一式20份。
5	成果報告書電子檔	5份	光碟	提交光碟5片，內含儀器操作手冊電子檔、成果報告書電子檔及探測成果原始檔。
6	各項探測成果原始檔	1式	光碟	提交光碟5片，內含儀器操作手冊電子檔、成果報告書電子檔及探測成果原始檔。
7	工作會議	2場	會議	於2013/5/10及2013/11/15進行2場次工作會議。
8	教育訓練	1場	會議	於2013/12/09完成1場次教育訓練。

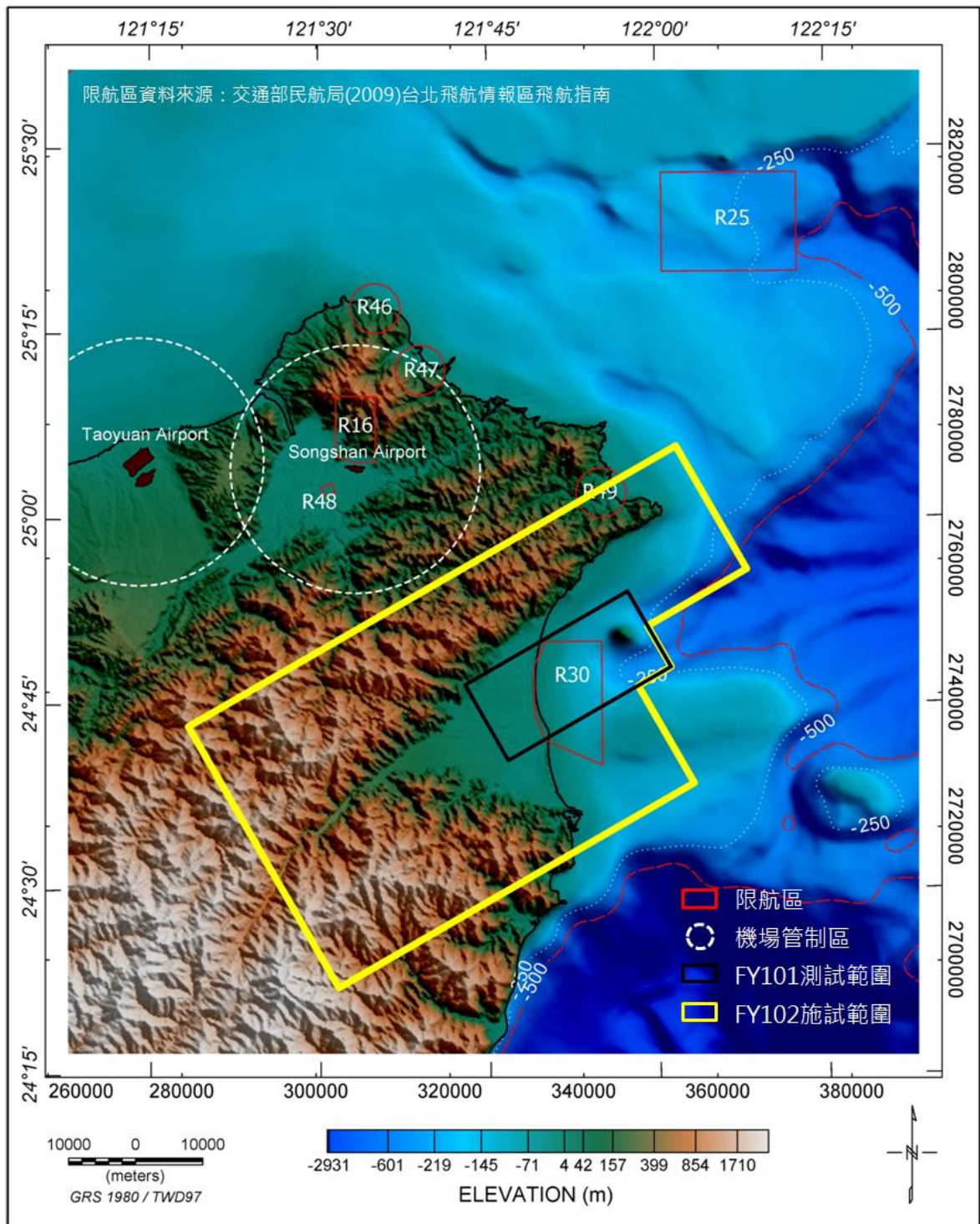


圖 1-1：分年調查範圍及鄰近限航區與管制區分布圖

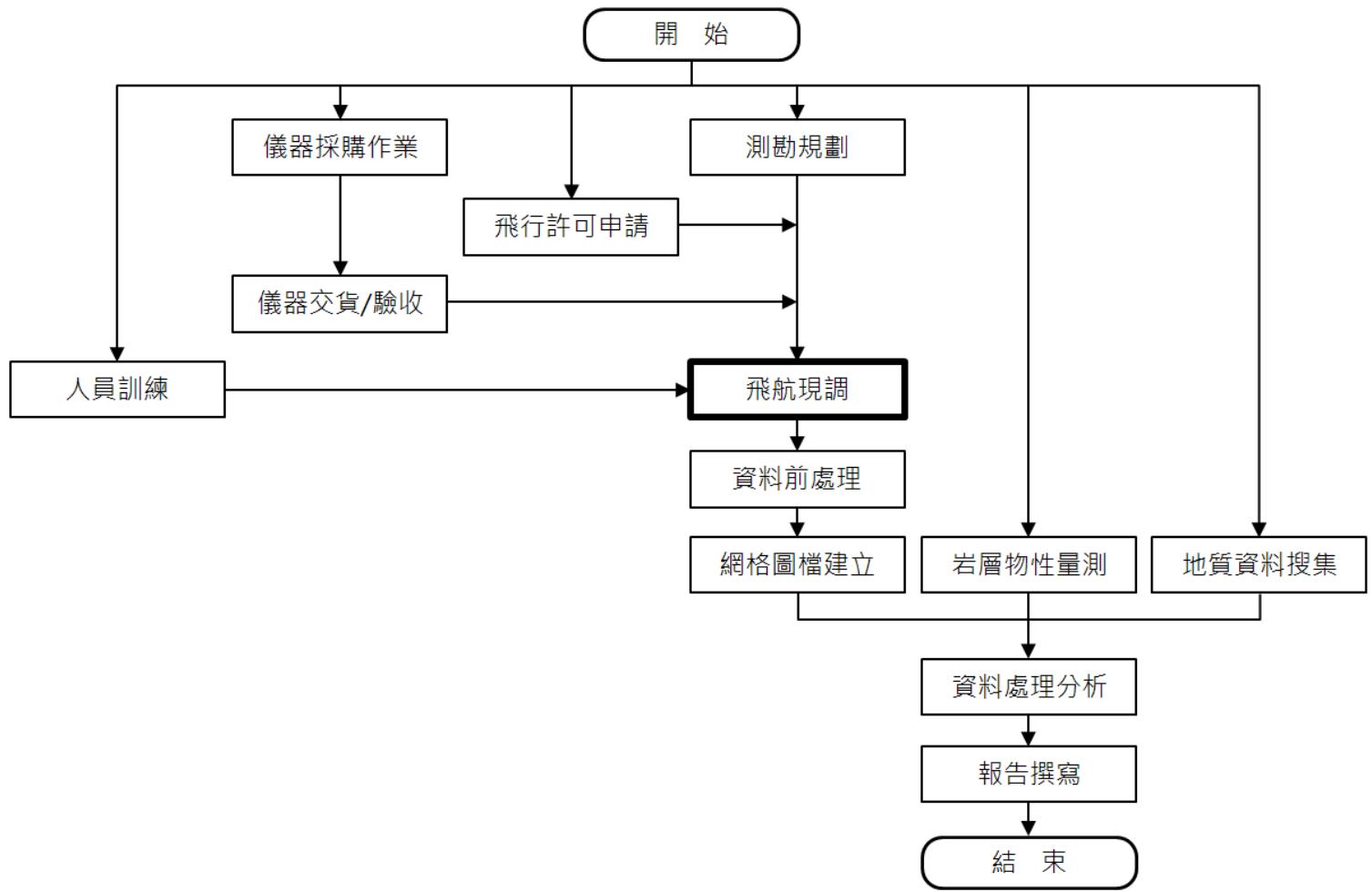


圖 1-2：工作流程圖

2 研究區域概述

2.1 地體構造

在台灣의 東北部，菲律賓海板塊以每年大約 7 至 8 公分的速度，向西北方向移動並隱沒至歐亞板塊下方(圖 2-1)，形成了琉球隱沒帶(Ryukyu subduction zone)、琉球島弧及沖繩海槽弧後盆地。林殿順等(2011)回顧東北海域地體構造最新調查文獻後，指出現在的琉球列嶼並非火山島弧，於沖繩海槽張裂前(中新世晚期以前)，這些琉球列嶼與東海大陸地殼連成一體，屬於大陸地殼的一部份。

台灣東北部地層與構造與琉球隱沒帶關係密切，琉球列嶼下方的班尼奧夫帶(Wadati-Benioff Zone)延續到台灣北部(Kao *et al.*, 1998; 鄧屬予, 2007; Wu *et al.*, 2009)。就位置而言，龜山島座落於於班尼奧夫帶上方約 100 km 處，典型島弧火山的中部琉球島弧位於 80–100 km 位置處，而現今台灣北部火山活動帶位於隱沒的菲律賓海板塊上約 170–270 km (Kao *et al.*, 1998)。Wu *et al.* (2009)提出菲律賓海板塊隱沒的深度可能更淺，在蘇澳下方約 60 km 處(圖 2-2)。參考此一研究結果可推估宜蘭平原與龜山島下方菲律賓海板塊隱沒的深度，約相當於 Kao *et al.* (1998)所提中部琉球群島下隱沒板塊的深度。

蘭陽平原位於臺灣東北部，脊樑山脈及雪山山脈分立南北，康竹君等人(2008)綜合此區基盤架構、沖積層分布及陸海域地形等資料，認為宜蘭平原的盆地起始偏北半部，逐漸向南北及西擴展，其東北走向的發育中心，似乎連至沖繩海槽張裂中心軸，與前人解釋(蔡義本, 1976; Yeh *et al.*, 1989; Sibuet *et al.*, 1998; 陳文山等, 2004)有關宜蘭平原與沖繩海槽的關聯性一致。根據 Chung *et al.* (2000)的研究，最南端沖繩海槽的火山岩，岩性從中鉀的安山岩至流紋岩，其地球化學特徵與中部琉球島弧之弧後張裂前的火山岩相近，而與中部沖繩海槽及弧後張裂後的火山特徵不同，推論沖繩海槽最南部分不是單純的弧後盆地。因此座落其中的龜山島，可能是大陸地殼在拉張初期，發生島弧火山噴發作用時所造成(朱秋紅, 2005)。

台灣的造山運動導因於呂宋島弧和歐亞板塊的碰撞，如今這碰撞作用還在進行中，台灣南部造山帶隨呂宋島弧的擠壓而隆升，相較之下由另一個琉球島弧系統(中壢-花蓮連線以東為界)所影響的台灣北部造山帶，根據地質與地震特性顯示，反而處於伸張的應力狀態，長期以來使造山帶的東北部垮塌下沉。宜蘭平原位於中央山脈中線北端，基盤原本為高山，受到拉張作用而開裂下沉，現被第四紀堆積的沉積層所覆蓋(Teng, 1996；陳文山等，2004；鄧屬予，2007)。

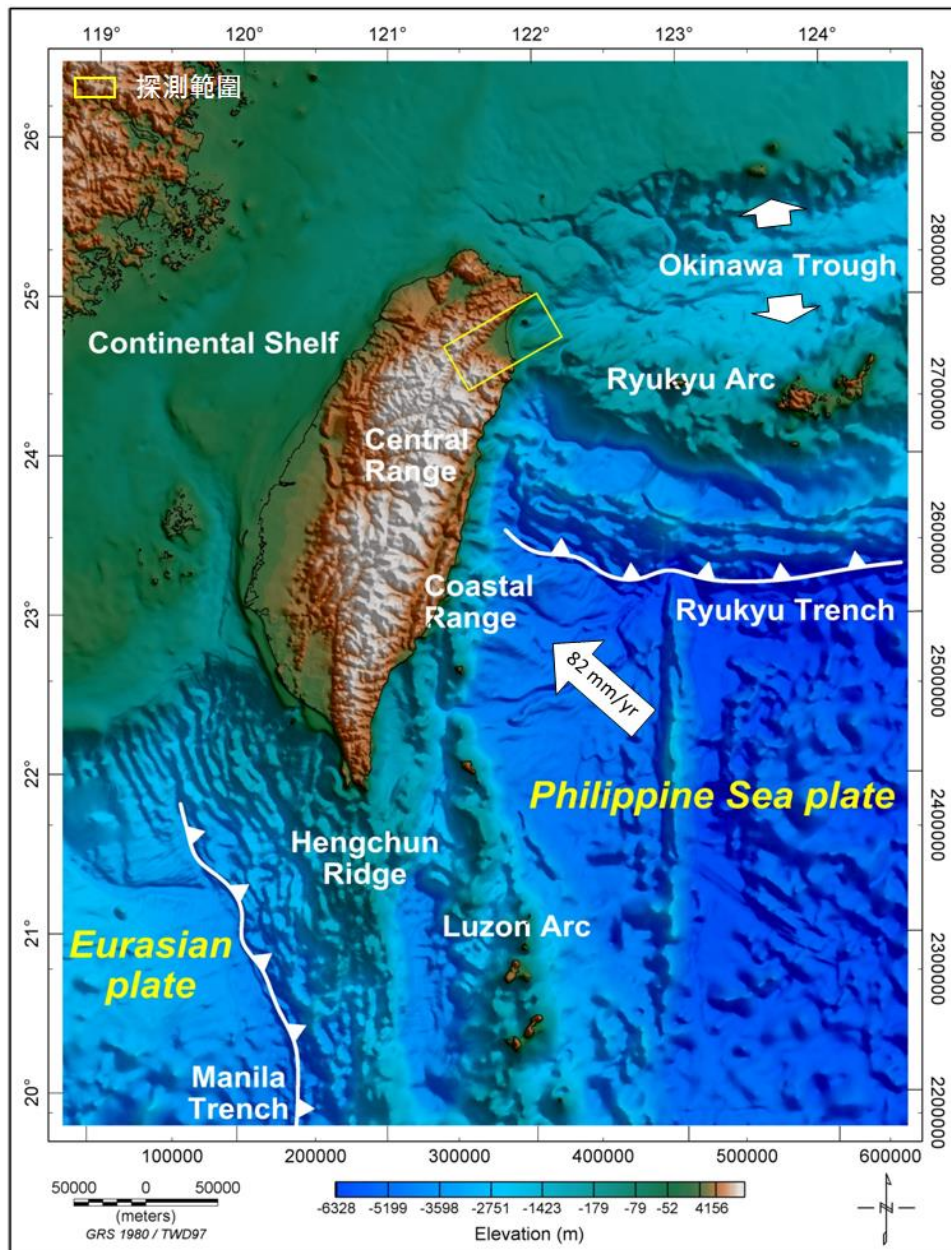


圖 2-1：台灣東北部蘭陽平原鄰近地區之地體構造圖

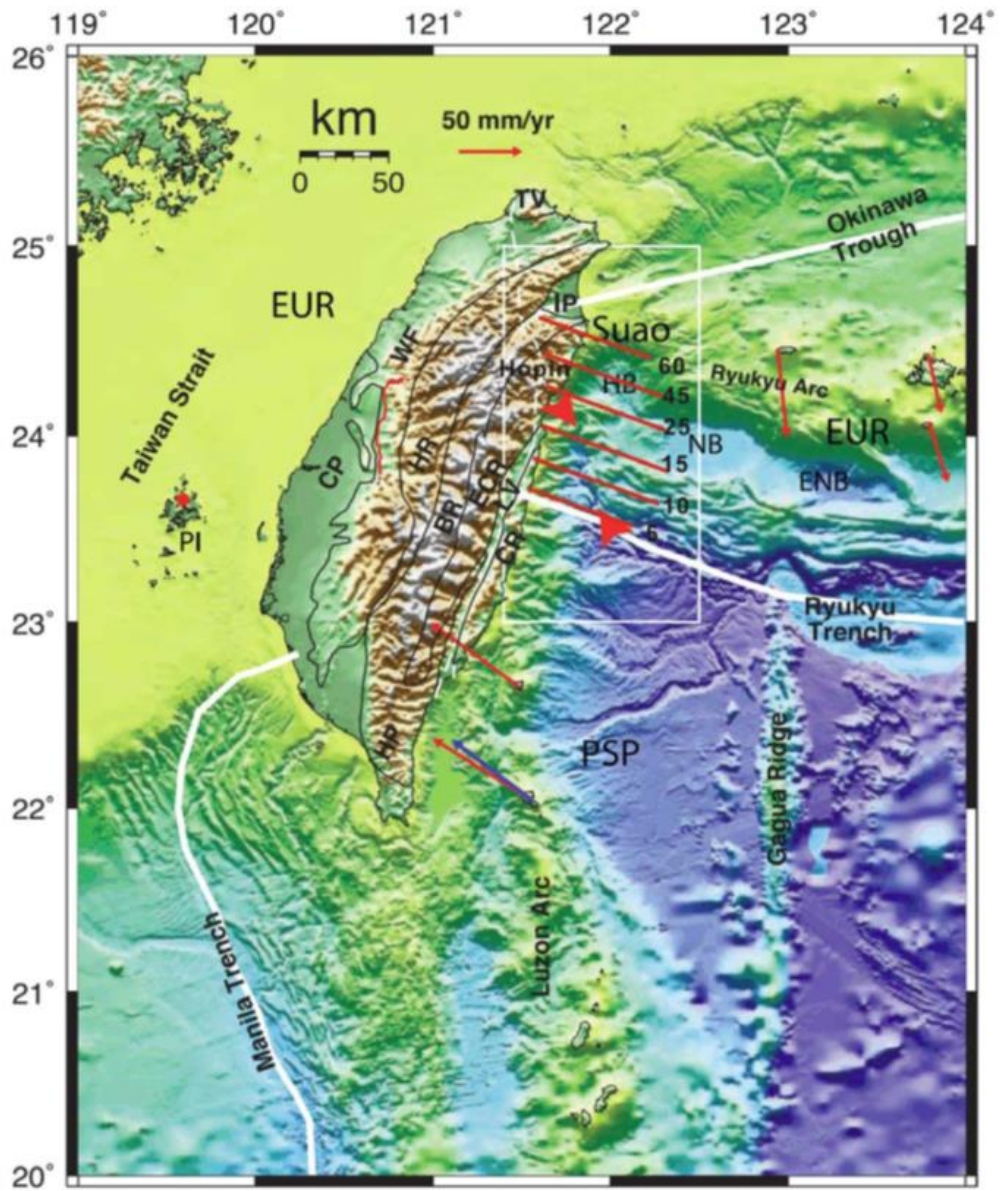


圖 2-2：台灣鄰近地區地形及菲律賓海板塊邊界分布圖
 資料來源：Wu *et al.* (2009)；說明：紅色標示班尼奧夫帶地震分布深度。

2.2 區域地質

蘭陽平原位於臺灣東北部，為雪山山脈與脊樑山脈共夾向東開口之三角形沖積盆地，總面積約 320 km²，海拔高度均在 100 m 以下，由西向東地勢逐漸降低。三角形等邊長約 30 km，北起頭城，南至蘇澳，西邊以蘭陽溪沖積扇頂之三星為頂點。三星至頭城一線為雪山山脈北段的東南緣，三星到蘇澳南側則為中央山脈的最北端，許多溪谷切穿山麓線向平原匯流。在地理位置上，南沖繩海槽緊鄰在宜蘭平原東側，且由平原向東至南沖繩海槽存在具有連貫性地形特徵，故許多前人研究認為宜蘭平原的地形演育應與沖繩海槽一致或有直接的關聯（蔡義本，1976；Yu and Tsai, 1979; Liu, 1995; Sibuet *et al.*, 1998）。

圖 2-3 所示為宜蘭地區鄰近地質圖(經濟部中央地質調查所，2010)，顯示宜蘭平原西北方為雪山山脈，地層大致呈東北-西南走向，以梨山斷層(宜蘭平原頂端處名為牛鬥斷層，平原區名為濁水斷層)與平原南側的中央山脈分隔(何春蓀，1975；吳永助，1976；詹新甫，1976；曾長生，1978)。平原北側之雪山山脈地層由老至新分別為始新世的西村層與四稜砂岩，以及漸新世的乾溝層、粗窟層及大桶山層；南側脊樑山脈之出露地層(圖 2-3)，主要為中新世的廬山層與蘇澳層、漸新世的南蘇澳層與中生代的大南澳片岩。各主要出露地層描述如下：

- (1) 雪山山脈帶之地層由老至新，依序為中嶺層、西村層、四稜砂岩、乾溝層、大桶山層、澳底層。中嶺層為始新世之黑色硬頁岩或粉砂質板岩，上覆地層為西村層；西村層為始新世之粉砂岩質硬頁岩與細粒變質砂岩互層、厚層硬頁岩或板岩偶夾薄層變質砂岩；四稜砂岩為始新世至漸新世之礫質變質砂岩；乾溝層為漸新世晚期至中新世早期之硬頁岩或板岩，偶夾薄層之細砂岩；大桶山層為漸新世晚期之黑灰色硬頁岩；澳底層為漸新世晚期至中新世初期之深灰色頁岩與灰色細粒砂岩薄層互層(林朝宗，2000；黃鑑水、何信昌，1989；林啟文、林偉雄，1995)。
- (2) 脊樑山脈帶之地層由老至新，依序為東澳片岩、南蘇澳層與廬山層。東澳片岩之年代為古生代晚期至中生代早期，此層下部以石墨片岩或雲母石英片岩

為主，中部為變質燧石層偶夾透鏡狀綠泥石片岩，上部以石墨片岩為主，含薄層綠泥石片岩；南蘇澳層為始新世至漸新世之白色片狀粗粒長石砂岩與板岩；廬山層為中新世之灰黑色厚層板岩或灰色硬頁岩(林啟文、林偉雄, 1995)。

宜蘭平原內部主要為由黏土、粉砂、砂和礫石組成之第四紀沖積層，厚度約在 100 至 400 公尺之間，以平原中心及海域附近最厚，向山區附近遞減(江新春, 1976)。過去有關宜蘭平原地下地質構造之探討主要靠地震研究(Liaw and Yeh, 1983; Kao *et al.*, 1998)、地球物理探測(江新春, 1976; Yu and Tsai, 1979; 楊潔豪等, 1992; Hsu *et al.*, 1998)及大地測量(康竹君, 2007; Angelier *et al.*, 2008; Chan *et al.*, 2008; Hou *et al.*, 2009)等方式進行探討。近年地調所陸續在宜蘭平原進行地質鑽井，提供進一步瞭解宜蘭平原沉積構造與基盤起伏等訊息，顯示沉積物厚度由西向東增厚，沉積物顆粒大小則由西向東漸減(蘇清全, 2011)。早期更新世地層沈積於宜蘭平原北部，近期全新世地層則以蘭陽溪較厚，向南北變薄。依據鑽井資料(蘇清全, 2011)及反射震測(石政為, 2011; 石瑞銓, 2011; 張峻瑋, 2010)等結果相互印證，顯示宜蘭平原基盤深度於南邊冬山井深約 463 公尺，向北逐漸變深，至蘭陽溪南岸基盤深度約達 650 公尺，但蘭陽溪北岸基盤深度急劇加深至 800 公尺(石瑞銓, 2011)，甚至靠海一側最深達 1400 公尺(石政為, 2011)(圖 2-4)，顯示蘭陽溪附近存在一深層構造。根據地表高精度水準測量(康竹君等, 2008)，以及震測資料解析(張峻瑋, 2010; 石政為, 2011)，顯示蘭陽溪南方為濁水斷層出露處，羅東以東至臨海地區，濁水斷層為偏東南東走向的正斷層(圖 2-4)。

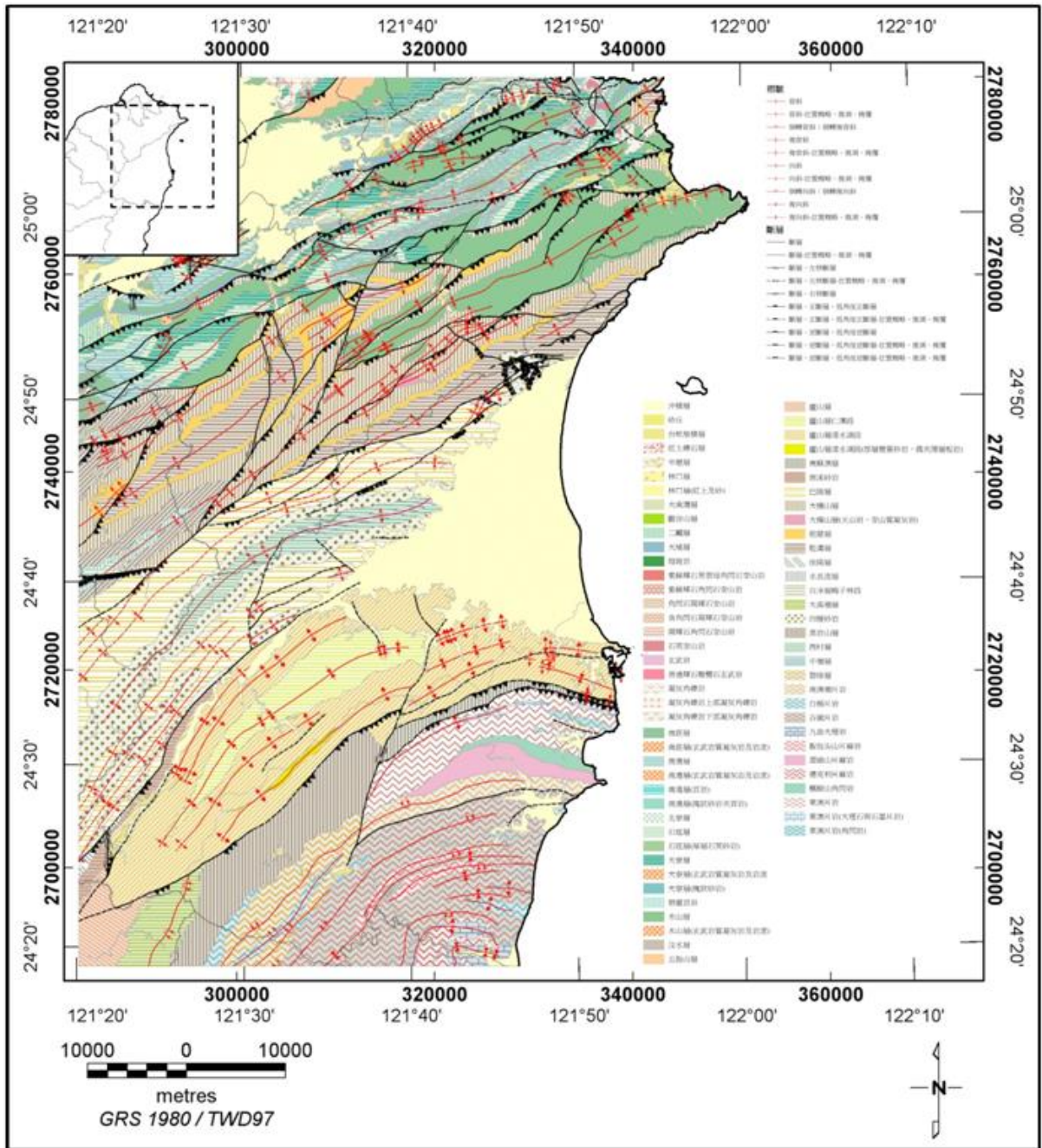


圖 2-3：宜蘭平原鄰近地區地質圖

資料來源：經濟部中央地質調查所(2010)

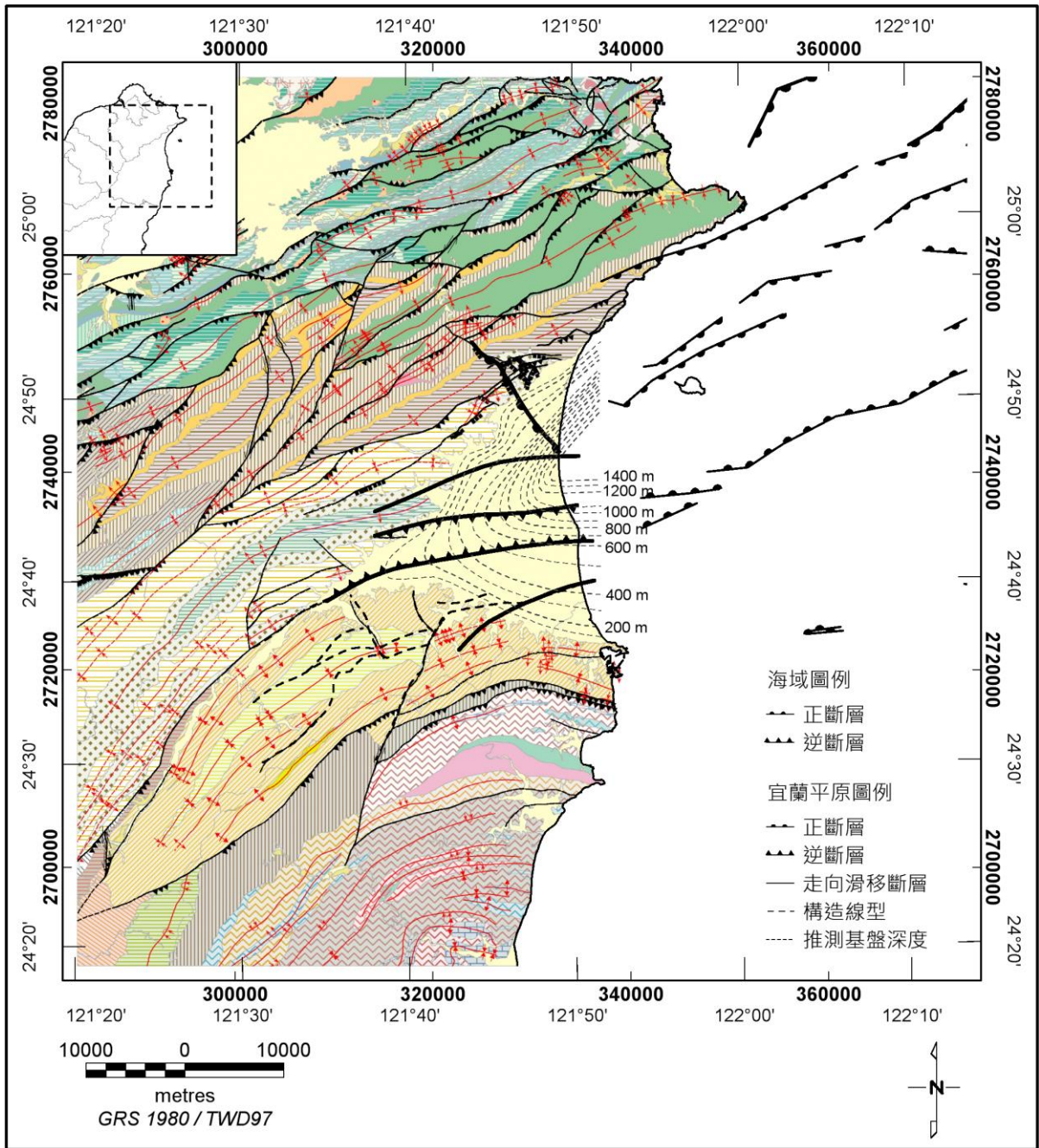


圖 2-4：宜蘭平原陸海域構造地質圖

地質底圖參照圖 2-3；宜蘭平原基盤及構造解釋摘自石政為(2011)；海域構造解釋摘自林殿順等(2011)；宜蘭南方山區構造線形摘自游明芳(2013)

2.3 歷年相關研究成果

2.3.1 斷層構造

過去曾有多位作者提出宜蘭平原下方及鄰近地區的斷層構造分布，整理如圖

2-5 所示，分述如下：

- (1) 江新春(1976)根據反射震測資料判識，提出在蘭陽平原之下有六條主要斷層，由北而南分別為鶻子、隘界、宜蘭、坑四、濁水以及三星等六條斷層。
- (2) 蔡義本(1976)根據微震分布及震源機制解亦提出一東北走向的右移活斷層且傾角接近 90 度。
- (3) Yu and Tsai (1979)在宜蘭平原磁力探測研究中，提出可與東西向線性破碎帶相對應之磁力異常區域，其位置概略與坑四斷層相近。
- (4) 李錫堤等(1998)透過航空照片判釋，提出蘭陽平原之存疑性斷層，包括：礁溪斷層、牛鬥斷層以及宜蘭斷層等。
- (5) Shyu *et al.* (2005)藉由 40 公尺數值高程模型(DTM)的構造地形分析，認為位於蘭陽平原西北及西南緣的山脈交界處為正斷層，同時認為梨山斷層可延伸至蘭陽平原與雪山山脈的交界。
- (6) 石政為(2011)檢視宜蘭平原上全面測繪的高解析度反射震測剖面，確認宜蘭平原地下構造的斷層分布(圖 2-6)，由南而北包括：三星斷層、濁水斷層、坑四斷層、宜蘭斷層、鶻子斷層(即磨碧潭山斷層)。其中，鶻子斷層為正斷層；三星斷層為切穿地層達地表的橫移斷層；濁水斷層為分隔中央山脈及雪山山脈地質區的斷層，具有橫移斷層拉張型花狀構造。坑四斷層及宜蘭斷層為前段沈積時期的激烈壓縮作用逆斷層，未往上延伸，顯示已停止活動。
- (7) 林殿順等(2011)完成東北部海域構造分布圖(圖 2-7)，顯示沖繩海槽是板塊隱沒作用的弧後擴張所引起的。南沖繩海槽有 100 公里寬，向西變窄並終止於宜蘭陸棚(Yilan Shelf)。南沖繩海槽最近期的活動主要可分為兩次張裂時期，一次約發生在上新世晚期到更新世早期間(2 Ma)，一次則是由更新世晚期(0.1 Ma)至今。南沖繩海槽目前有許多海底火山活動及熱液作用。

比較圖 2-5 中各研究所提出的斷層位置，大部分學者將梨山斷層東北直線延伸至蘭陽平原西北緣之雪山山脈交界處，但江新春(1976)則認為其位置偏南，為圖 2-5 中之濁水斷層。石政為(2011)全面檢視反射震測資料，確認濁水斷層為中央

山脈及雪山山脈的分界斷層。

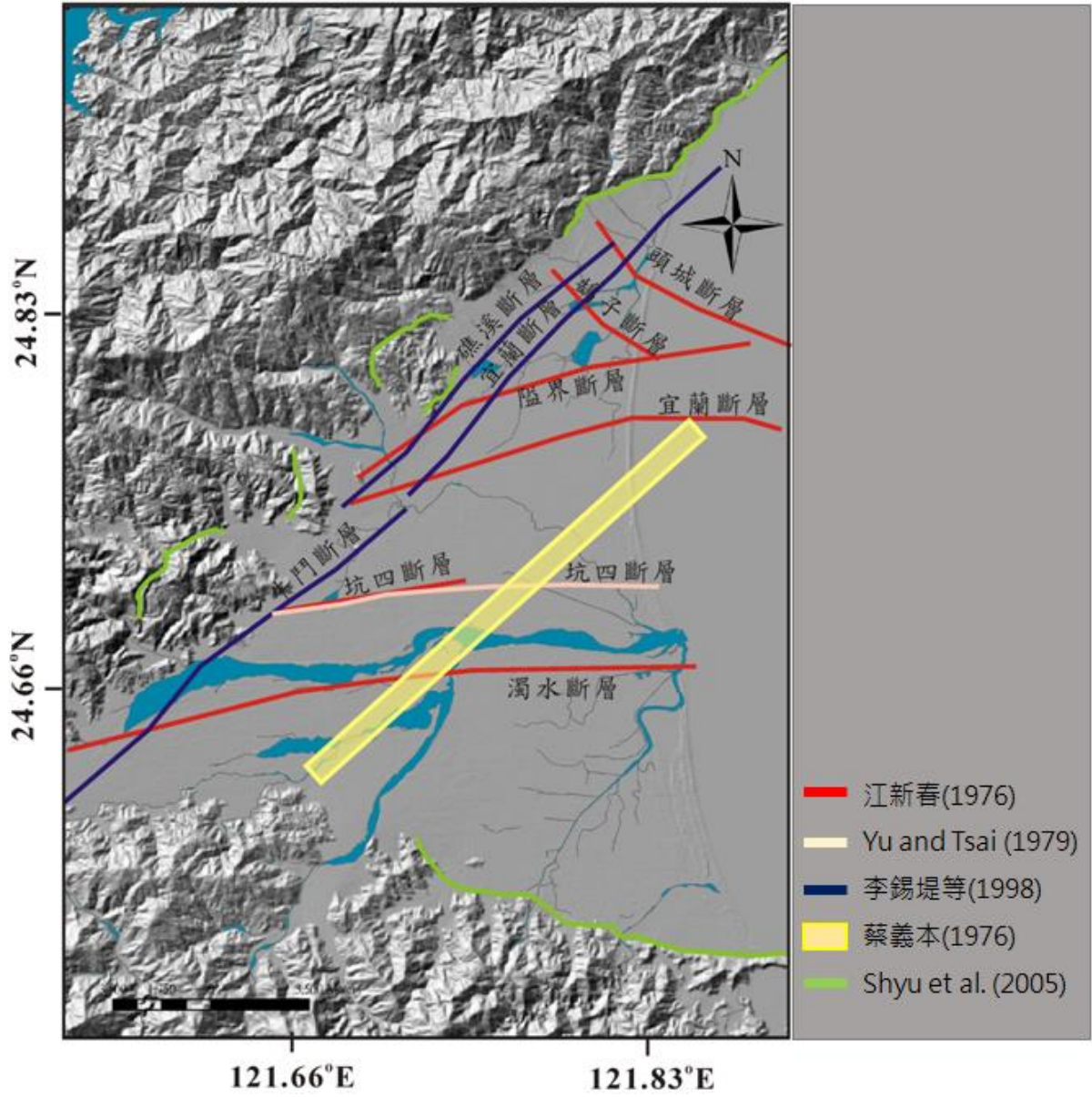


圖 2-5：宜蘭平原過去不同研究所提出之斷層分布圖

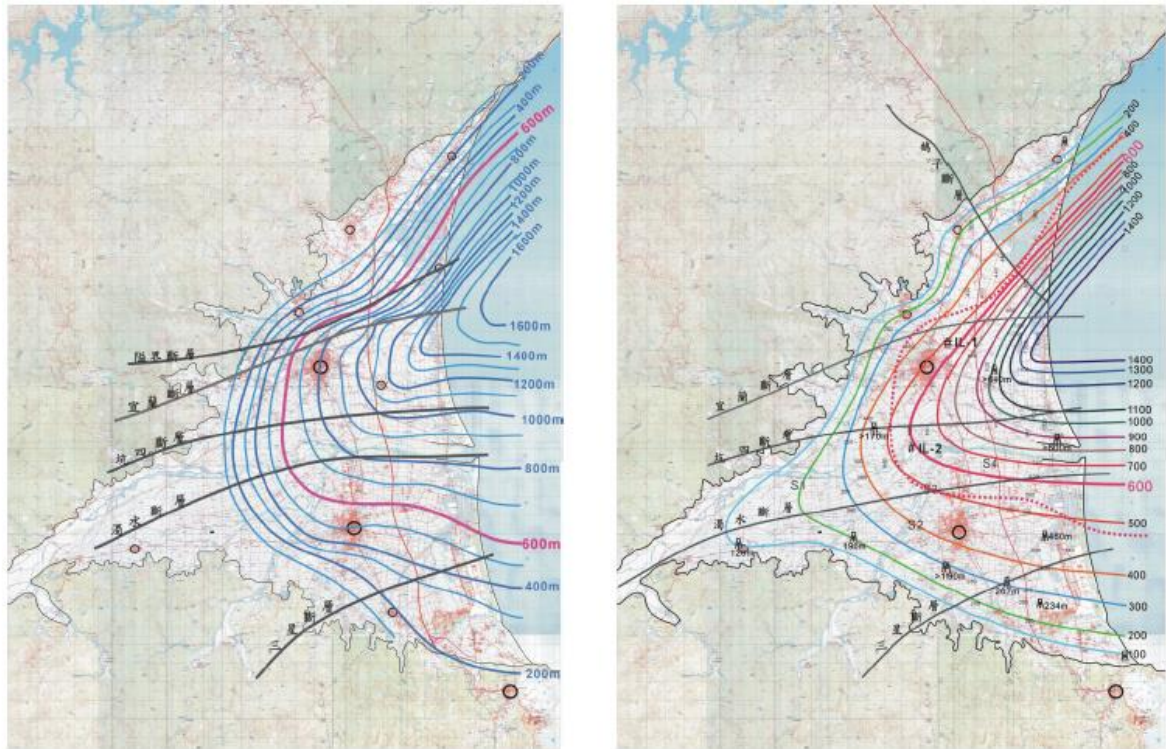


圖 2-6：依據震測剖面解析之宜蘭平原斷層分布及基盤深度圖

左圖：江新春(1976)；右圖：石政為(2011)；資料來源：石政為(2011)

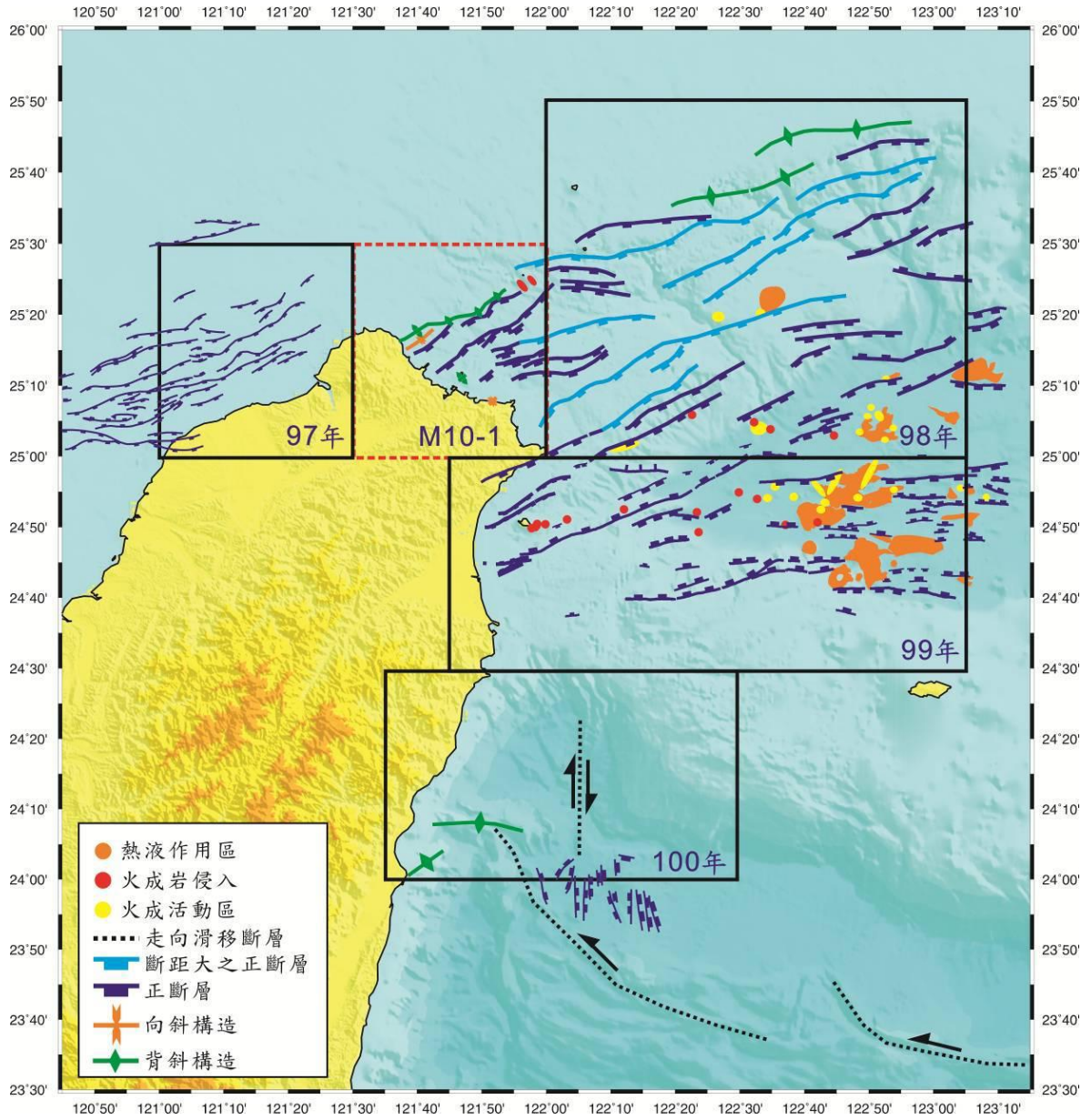


圖 2-7：台灣東北部海域構造分布圖

(資料來源：林殿順等，2011)

2.3.2 水準測量資料

地表水準測量研究為觀察目標區域經過一段時間後之地表位移情形，藉以了解地表的變形方向和速度。Yu and Lee (1986)根據水準測量估算水平應變率，指出宜蘭平原之伸張變形為西北—東南向，乃因受到沖繩海槽弧後伸張作用影響。

Liu (1995)於1985至1994年在宜蘭平原進行水準測量，結果顯示在宜蘭與羅東之間每年有2公分的下陷量 (圖2-8)，而整個平原以每年0.44角速度向東快速傾斜。

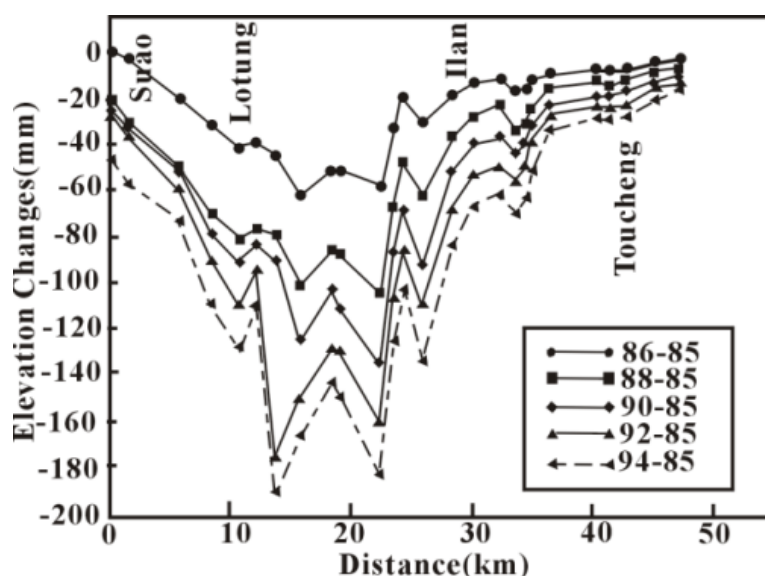


圖 2-8：由蘇澳至梗枋的南北向水準測量結果

(摘自 Liu, 1995)

2.3.3 GPS 變形觀測

Yu *et al.* (1997)利用GPS資料觀測臺灣地區1990至1995年間之地表位移，結果指出若以澎湖觀測站為基準，宜蘭平原之移動方向為東南方，呈顯著之西北—東南向伸張變形；許雅儒(1999)亦利用1992、1994、1995、1998年宜蘭地區之GPS地表位移資料(圖2-9)，推測在宜蘭和羅東之間存在一走向為北偏東53度之構造線通過，垂直此構造線的速度分量由北向南、由西向東遞增，加上Liu (1995)大地測量的結果，推斷平原應該向南單一方向開裂，並形成一系列之正斷層，旋轉極的

中心可能位於宜蘭平原西方，擴張的角速率約為 $0.8 \mu\text{rad}/\text{yr}$ ，呈順時針開張(許雅儒，1999)。

徐閔儀(2006)藉由1995至2005之台灣北部地區GPS觀測結果(圖2-10)進行速度場及應變場之分析與討論，結果亦顯示蘭陽平原呈現西北—東南方向的伸張型態，主應變量約介於 $-0.17 \mu\text{strain}/\text{yr}$ 至 $1.98 \mu\text{strain}/\text{yr}$ 間。此外，在蘭陽平原觀察到二條主要構造線。一條為牛鬥斷層，呈東北—西南走向，為一正斷層；另一條位於蘭陽溪河口，呈東北東走向，為具左移分量之正斷層，此推測之斷層位置與許雅儒(1999)推測的構造線一致。

圖 2-11 所示為依據 2002 至 2006 年間 GPS 觀測資料計算之水平位移速度場，顯示宜蘭地區水平位移量約介於 $0.6 \text{ mm}/\text{yr}$ 至 $-44.0 \text{ mm}/\text{yr}$ 間，方向介於 15 度—340 度間(邱詠恬等，2008)。蘭陽溪以北之地區，GPS 位移量值較小，約介於 $0.6-5.9 \text{ mm}/\text{yr}$ ，且方向較不一致，平均約介於 15—340 度間。蘭陽溪以南區域之位移量($2.7-44.0 \text{ mm}/\text{yr}$)大於平原北部的位移量，方向介於 39—148 度間，且位移量有向東邊快速遞增的現象，宜蘭平原南緣之蘇澳附近具有最大之位移量($44.0 \text{ mm}/\text{yr}$)，方向為 148 度。此外，沿著宜蘭平原南緣之速度場，由西往東呈現明顯之順時針旋轉特徵，位移方位角由西側的 39 度，向東逐漸變為 148 度(圖 2-11)。

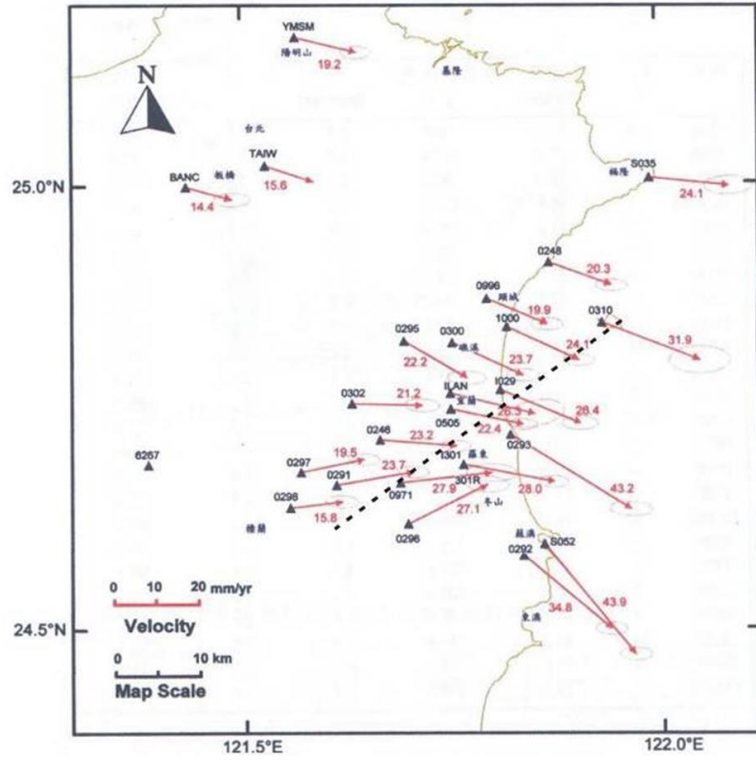


圖 2-9：由 1992 至 1996 年間 GPS 觀測獲得之水平位移速度場相對於穩定歐亞大陸內部的速度場及 95% 信賴區間之誤差橢圓，黑色虛線為北偏東 53 度之構造線；摘自許雅儒(1999)

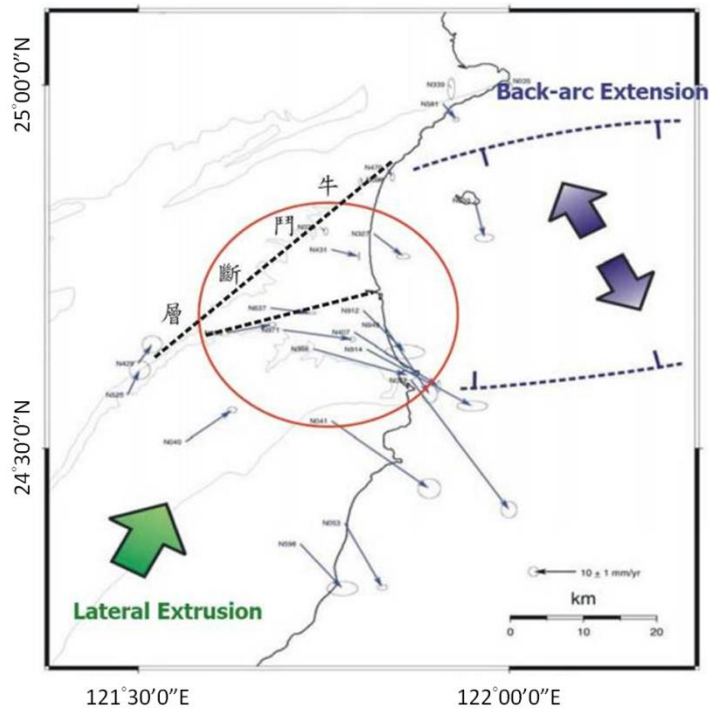


圖 2-10：由 1995 至 2005 年間 GPS 觀測獲得之水平位移速度場 (摘自徐閔儀, 2006)

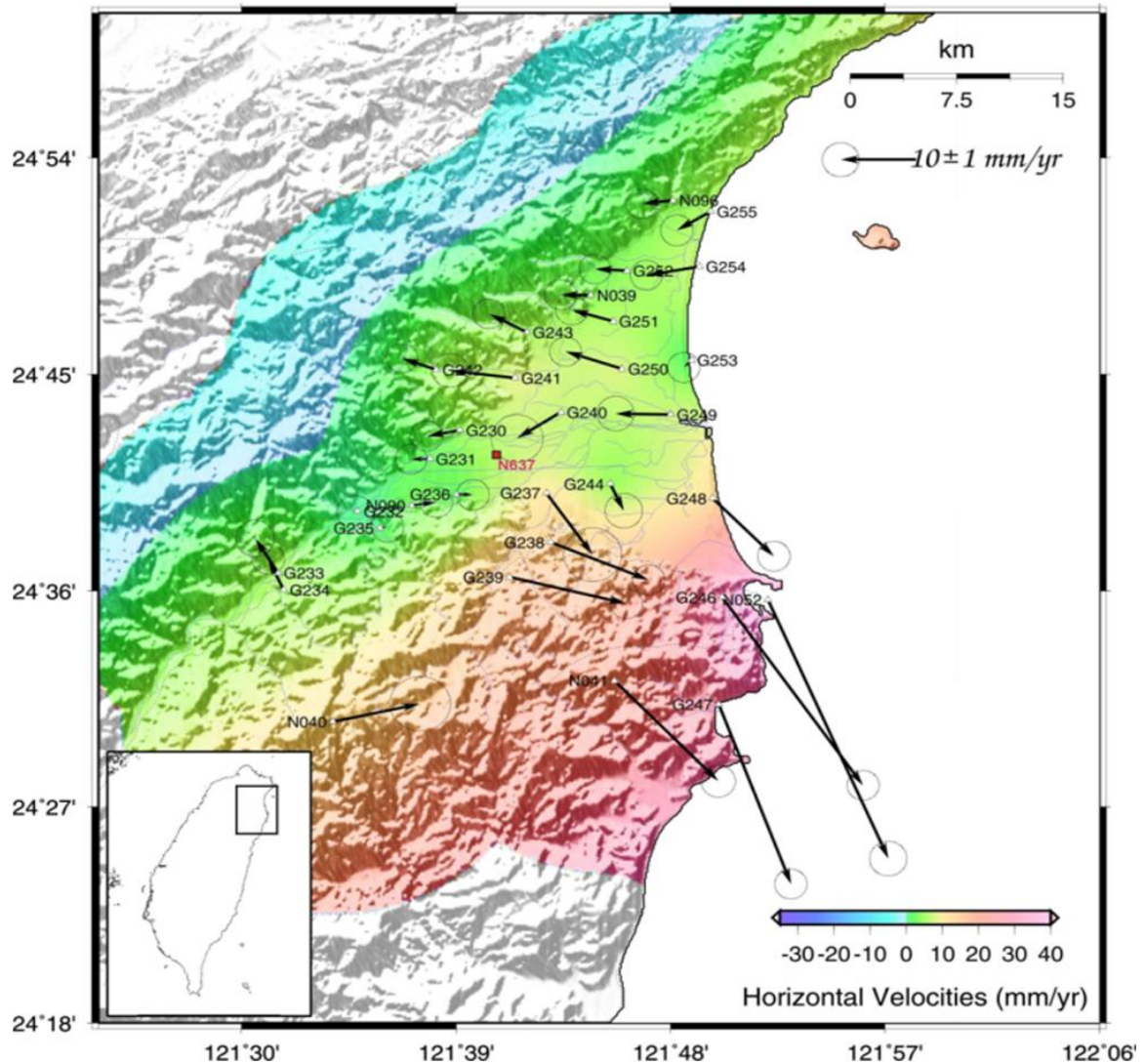


圖 2-11：由 2002 至 2006 年間 GPS 觀測獲得之水平位移速度場
 (水平位移量係相對於澎湖白沙站；黑色向量為位移方向，底色表示位移量之大小，點位速度內
 插半徑為 10 km)

2.3.4 遙測資料

圖 2-12 為藉永久散射體雷達差分干涉法偵測平原地表變形與新構造活動的成果，分析時間從 2004 年到 2008 年間，期間共使用 23 幅 Envisat 衛星影像進行差分干涉研究。結果顯示宜蘭與羅東之間有明顯的下陷情形，而在平原西北邊的雪山山脈與東南邊的脊樑山脈有輕微抬升的現象(圖 2-12)，地表變形與大地構造

之間的關係值得繼續探討。

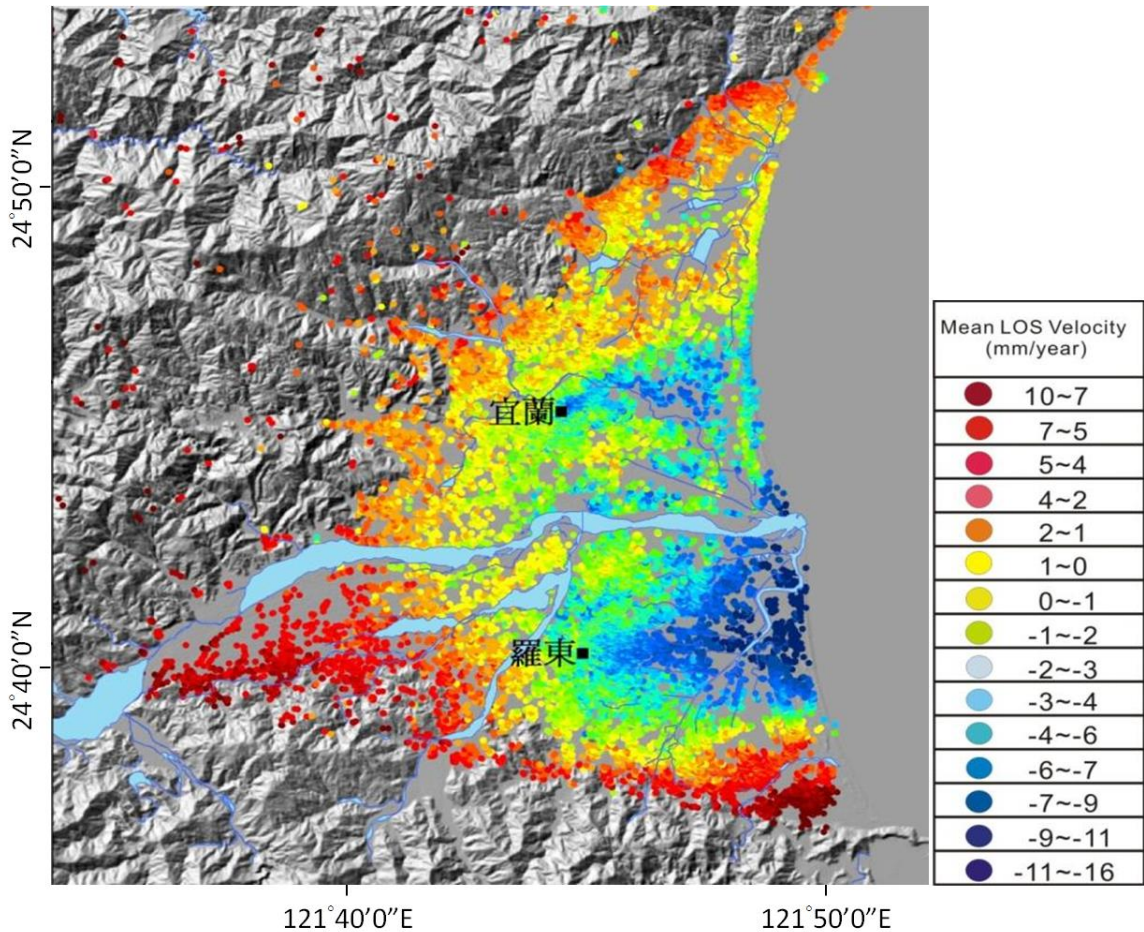


圖 2-12：以永久散射體雷達差分干涉法獲得之平均沉陷速度場

(圖中暖色系速度場指示相對抬升，冷色系則相對下降；最大下陷區域在蘭陽溪出海口以南，下陷量約每年 1.6 公分)

2.3.5 地震觀測

宜蘭平原東側之地體構造，大致上由南至北依序為菲律賓海板塊斜向碰撞點的邊緣、臺灣東北部琉球海溝之隱沒系統以及南沖繩海槽之張裂帶。這一系列的大地構造運動，反映在宜蘭平原及其周圍頻繁的地震活動上。根據震測資料指出，分布於龜山島附近東北向之地震密集帶，對應於其南北向的震源機制解，被解釋為該地區之地震乃受到南沖繩海槽張裂應力所致(蔡義本，1976)。然而，發生於

宜蘭平原的東南方之東西向地震密集帶，其震源機制解為帶有橫移破裂的走向滑移機制(Liang *et al.*, 2005)，指出宜蘭平原的地震活動除了受到南沖繩海槽張裂應力所致，其周圍可能有其它地體構造活動提供不同的構造應力，影響宜蘭地區構造的發育。

2.3.6 地球物理探測

余水倍與蔡義本(Yu and Tsai, 1979)曾於 1978 年在宜蘭平原完成 425 個地面磁力探測，獲得宜蘭平原的全磁力圖(total magnetic intensity map)，顯示通過羅東鎮有一略呈東西方向的磁力異常高區，江協堂(2010)於 2004 完成宜蘭平原 520 個地面磁力探測，亦獲得一致的磁力異常圖分布。許樹坤等(Hsu *et al.*, 1996)依據余水倍與蔡義本所發表的磁力異常圖(Yu and Tsai, 1979)，使用加強解析訊號(enhanced analytic signal)勾繪宜蘭平原沖積層下的地層分布(圖 2-13)；董倫道等(Tong *et al.*, 2008)則以尤拉解迴旋(Euler convolution)法進行岩脈及斷層構造解釋，初步發現沿蘭陽溪方向有一東北東走向的斷層(圖 2-14)，斷層南側則為一顯著之磁力異常高區(圖 2-14、圖 2-15)，約略位於羅東市北方與蘭陽溪之間，但是該高磁性岩層是否對應火成岩體，仍有待進一步驗證。

工研院的前身礦業研究所，早年進行全國地熱探勘時，曾在宜蘭平原完成了 528 個地面重力測勘，圖 2-16 所示為布蓋重力異常圖(Bouguer gravity anomaly map)，顯示宜蘭平原南側重力值高於宜蘭平原北側，推測係因基盤較淺所造成，而由其重力較具變化的特徵，則顯示宜蘭平原南部地區之地質構造可能相對較複雜。此推論與早年中油在宜蘭平原所進行的反射震測(江新春，1976)，及近年中正大學(石瑞銓，2011)、中央大學(王乾盈，2010)及健行科技大學(游峻一，2011)等學術單位，在宜蘭平原進行反射震測及大地電磁探測所獲得的基盤深度變化情形一致，顯示宜蘭平原北部基盤深度較南部基盤為深，而基盤深度變化劇烈處大約以蘭陽溪為界(張峻瑋，2010；石瑞銓，2011)。

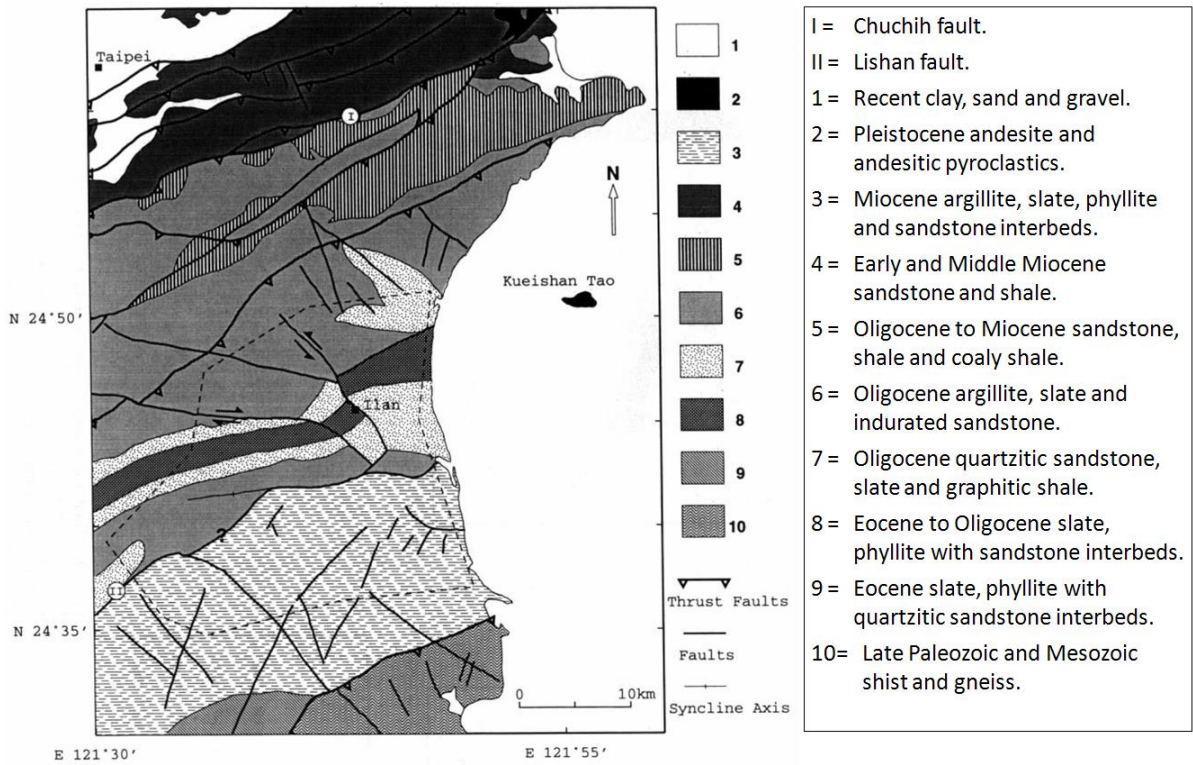


圖 2-13：依磁力解釋之宜蘭平原下伏基盤岩層與構造分布圖
(摘自：Hsu *et al.*, 1996)

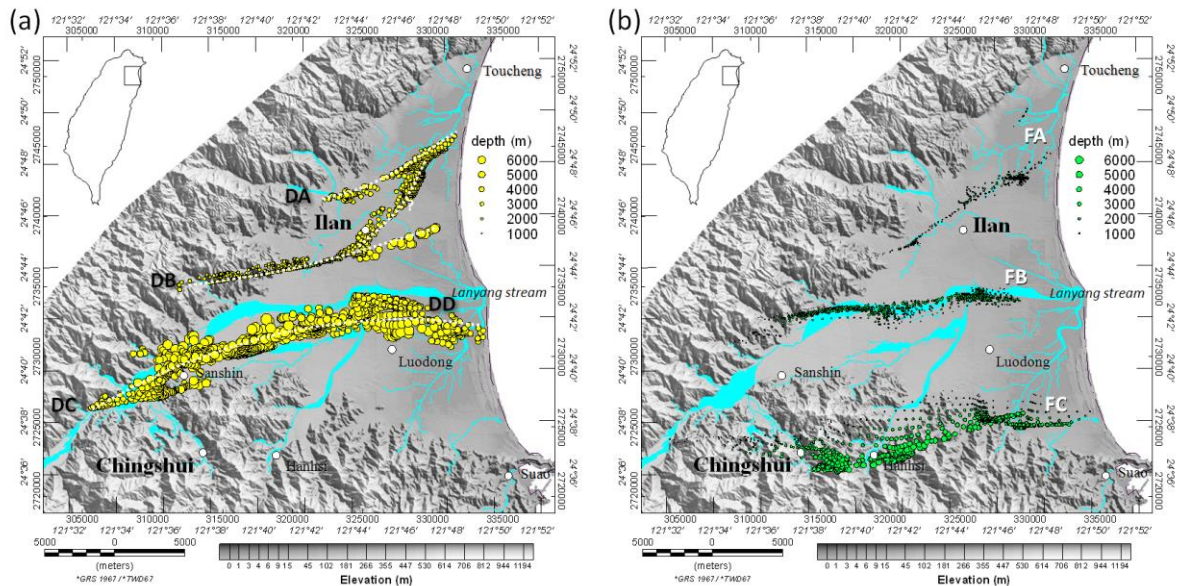


圖 2-14：宜蘭平原磁力經尤拉解迴旋處理之岩脈與斷層解分布圖
(a)岩脈解分布；(b)斷層解分布。(摘自：Tong *et al.*, 2008)

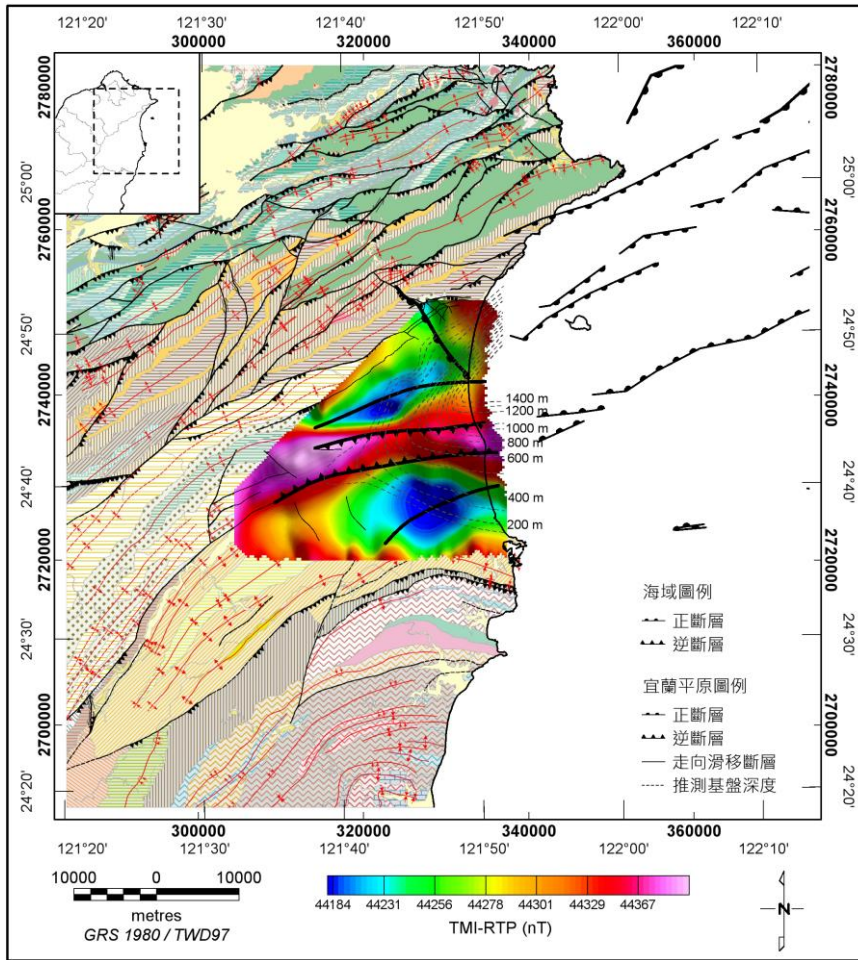


圖 2-15：宜蘭平原磁力異常圖
(地質底圖參照圖 2-3；磁力資料取自 Tong *et al.*, 2008)

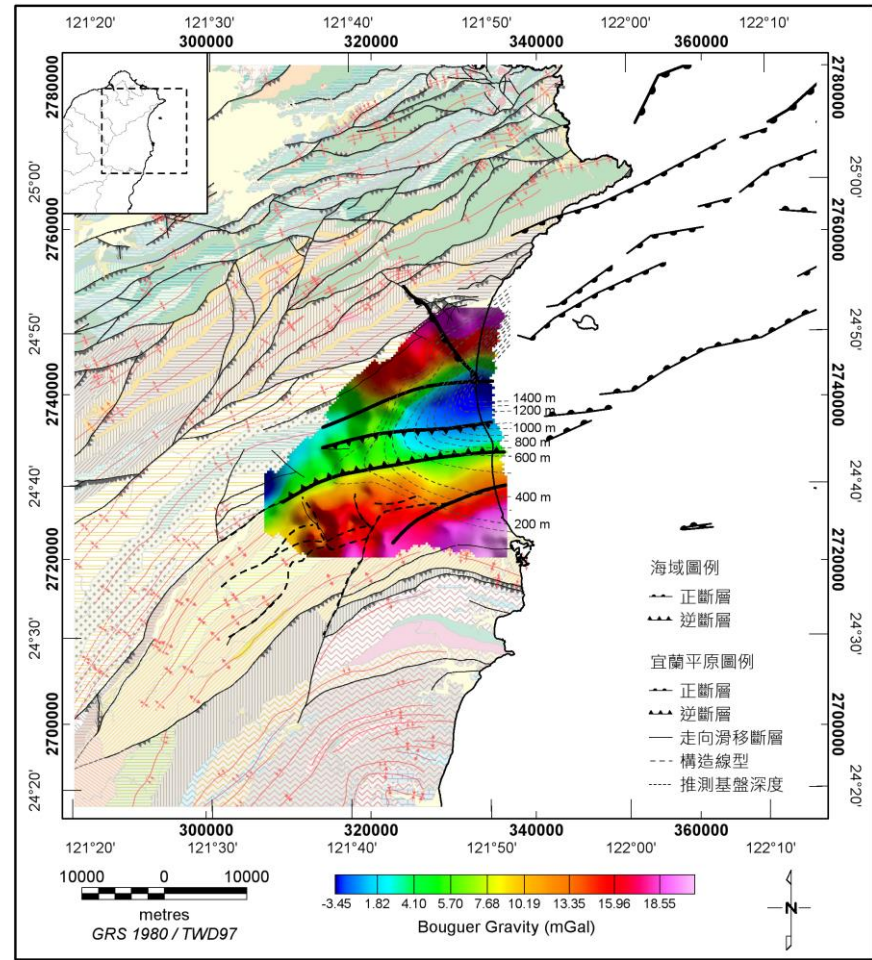


圖 2-16：宜蘭平原布蓋重力異常圖
(地質底圖參照圖 2-3；磁力資料取自工研院礦研所報告)

3 研究方法與步驟

3.1 空中地球物理探測

空中地球物理探勘(airborne geophysical survey)始於 60 年代，係利用飛機來從事大區域之調查工作(圖 3-1)；自 1990 年後，由於量測儀器與飛行器科技的大幅進步(表 3-1)，使得空中地球物理探勘的效率更高，成本更低廉(表 3-2)，而所發揮的效果更大。現代化空中地球物理探勘的量測項目可以包括：磁力(magnetic)、放射頻譜(radiometric spectrum)、重力(gravity)、電磁(electromagnetics, EM)、地球化學(特別指甲烷)、遙測、數值地形等，可視探勘目的而加以組合。

在空中進行地球物理探測時，因施測時幾乎不受地形及地物影響，故能獲得非常大量且近乎均勻分布的測點，是地面探測無法比擬的。現今先進的空中地球物理探測技術，不僅能滿足區域地質調查需求(圖 3-2)(Grauch *et al.*, 2001)，也是礦產資源探勘的利器(Keating, 1995; Pettit, 2009)，亦能以低空(30–60 m)及小間距(小於 100 m)方式，執行高解析度空中探測，達到場址精查的需求(Jaques *et al.*, 1997)。

3.1.1 磁力法

磁力探勘(magnetic survey)是已發展得相當完備的地球物理探勘技術之一，有別於其它地球物理探測方法，磁力法通常用以分析地層的磁感率(magnetic susceptibility)。藉精密儀器量測不同位置地球磁場(magnetic field)的磁通量密度(magnetic flux density；圖 3-3)；透過資料處理技術獲得因地層磁力特性差異所造成的磁力異常，亦能進一步透過逆推(inversion)等分析技術，解析地下岩體磁感率分布，達到間接探測地質構造或地下埋藏物位置之目的。

一般磁力探勘所量測的物理量為全磁力強度(total magnetic intensity; TMI)，也有因應特殊目的而量測磁力分量、磁偏角、或磁傾角。因施測簡便且測勘人力需

求少，故常被使用於區域普查(Yu and Tsai, 1979; Tong *et al.*, 2008; Okuma *et al.*, 2009)，用以探測大區域主要地質構造模式。在環境污染探測應用方面，由於磁力探測法一如精密且敏感的金屬探測器，操作簡便且不需繁雜的後續資料處理，因此可快速地探測出地下埋藏金屬物的分布。

在地表以磁力儀量測的磁力強度(magnetic intensity, B)，其來源主要包括三個部份：

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M + \mu_0 M_N \dots\dots\dots (1)$$

上式中，等號右側第一項主要由地球主磁場(main field)造成，第二項因岩石磁感應(magnetic induction)而產生，第三項則代表因殘磁力(remanent magnetism)引起的磁場。各物理量之中文與英文用詞容易混淆，本報告統一用語說明如下：

- (1) B 為磁力儀所量測的磁通量密度，定義為單位面積的磁通量，習慣上稱「磁力強度」，正式單位為 Wb/m^2 ，慣用單位為 T (Tesla)。
- (2) H 為地球主磁場(main field)的磁場強度(magnetic field strength)，正式單位為 Wb ，慣用單位為 A/m 。
- (3) M 為岩石經地球磁場磁化(magnetization)後產生的磁力(magnetism)，習慣上稱「感應磁力(induced magnetism)」，也稱為「磁偶極矩(magnetic dipole moment)」，正式單位為 Wb ，慣用單位為 A/m 。感應磁力(M)與地球磁場(H)間的關係如下式：

$$M = \kappa H \dots\dots\dots (2)$$

上式中 κ 的定義為：感應磁力強度(M)對外加磁場強度(H)的比值，稱為磁感率。磁感率是礦物所具有磁力特性當中重要且易於量測的項目，反映礦物可磁化的程度。真空的磁感率定義為零，磁感率為正值之磁性體稱為順磁性(paramagnetic)，有些磁性體之磁感率為負值，稱為反磁性(diamagnetic)。

- (4) M_N 為自然殘磁力(natural remanent magnetism, NRM)，殘磁力是物質的一種磁滯(magnetic hysteresis)現象，正式單位為 Wb ，慣用單位為 A/m 。在自然條件下產生的殘磁力稱為自然殘磁力，主要包括：熱殘磁(thermoremanent magnetization, TRM)、碎屑殘磁(detrital remanent magnetism, DRM)、化學殘

磁(chemical remanent magnetization, CRM)、...等。其中熱殘磁最常見於火成岩體，噴發時岩漿溫度超過居里溫度(Curie temperature)，此時岩漿中的磁性礦物在當時的地球磁場作用下呈順磁性，當岩漿冷卻且溫度低於居里溫度後，磁性礦物將獲得殘磁力，其大小與礦物特性有關，磁力方向則維持當時地球磁場的方向。Koenigsberger Ratio (Q value)為岩石自然殘磁力與岩石感應磁力的比值，常用於評估自然殘磁力對磁力探測的影響程度，定義如下：

$$Q = M_N/M \dots\dots\dots (3)$$

一般而言，當 Q 值小於 0.5 時，量測到的磁力異常主要來自岩石的感應磁力 ($\mu_0 M$)，但當 Q 值大於 1 以上時，表示量測到的磁力異常會受到自然殘磁力影響(McEnroe *et al.*, 2004)。

- (5) μ_0 為真空的磁導率(magnetic Permeability)。對一岩石而言，磁導率定義為當岩石因外加磁場產生感應磁力(M_R)時，該感應磁力與對應磁力強度(B_R)間的比值(B_R/M_R)，其單位為 Wb/Am。不同岩石具有不同的磁導率，真空的磁導率為 $4\pi \times 10^{-7}$ 。

由公式(1)顯示在地表量測到的磁力強度，是該測點下方所有地層的感應磁力與殘磁力所形成的磁場，再加上地球主磁場在測點處的向量和。由於磁場強度與量測點至磁體間距離平方成反比，故地層內每一個磁體對於特定量測點的磁力強度量測值均有貢獻，但其貢獻度與距離成反比，但與磁體的磁感率成正本。

3.1.2 甚低頻電磁法

VLF-EM 測勘是利用電磁感應原理來探測地下特定深度內的電性反應(圖 3-4)，但 VLF-EM 所使用的電磁訊號來源，是利用遠方無線電塔台(表 3-3)定期發射大功率且固定頻率的無線電波，其電磁頻段約介於 15–30 kHz 間。VLF 塔台主要使用在軍事及航海上，例如軍艦或潛艇與遠方指揮中心聯繫必須使用無線電波，若是在水面上或潛航深度小時就使用 VLF 頻段的無線電波。這個波段的無線電波在通訊上有足夠的解析度，不容易衰減，且穿透性佳。因此即使在今天衛星通訊無所不至的時代，基於 VLF 的重要軍事用途，各軍事強國仍維持既有的 VLF

塔台，並且數量持續在增加中。

由於 VLF 的低頻特性，可以傳播到遠地而不易衰減，所以這種“免費”的電磁能量就被地球物理學家發展成一種被動、無破壞性、非侵入性，且可在崎嶇地形上進行的對環境極端友善的無線電波探勘方法(Jeng *et al.*, 2004)。

VLF-EM 早期(1960 年代)在探勘上主要是用來探礦脈，尤其切入地層類似岩牆(dike)的構造，特別適合於 VLF-EM 測勘，因為 VLF-EM 原先的構想就是用來探查地下的片狀異常體。當然，由 VLF 塔台所發射出來之電磁波包含多種模組的電場和磁場，在地質探勘上多是利用量測次生磁場與原生磁場的比值或垂直與水平磁場的比值，找出地下的異常體。量度磁場雖然有其方便性，不必與地面接觸，但儀器無法區分量到的是何種磁場，即原生、次生、總量或分量，甚至也無法分別信號或雜波。因此地球物理學家想出了一個巧妙的方法來趨近所要量取的磁場值，就是所謂的極化橢圓場(polarized elliptical field; Grant and West, 1965; Jeng *et al.*, 2004; Jeng *et al.*, 2007)。若次生磁場(S)相對原生磁場(H)很小時，極化橢圓場的傾角 θ (tilt angle 或 inclination)和離心率 ε (eccentricity)就可分別用來趨近次生磁場與原生磁場的同相位分量(inphase component)及次生磁場與原生磁場的正交相位分量 (quadrature component)。這裡所謂的“次生磁場”實際上是指次生磁場垂直地面的分量與原生磁場的比值。

上述所描述的 VLF-EM 法一般又稱為 VLF-Z 法，基於單頻的特質故垂直深度的解析能力較不足，但是對於側向電性構造則具有不錯的分辨能力，因此 VLF-EM 應用在 2-D 平面構造解釋方面相當成功，但若要延伸到深度的解釋則必須要有次生的水平電場分量(E)的數據輔助(即 VLF-R 法)才較可行。但若不苛求精準度的話，VLF-Z 也可由野外數據的特質，例如依據同向分量(inphase component)和異性分量(quadrature component)的極大值、極小值、過零點的位置，和信號強度來判斷異常體可能的位置、深度及導電性的大小，但基本上都屬定性的推測，而非量化的確定數值解釋。即使有此缺憾，VLF-EM 自上世紀六〇年代以來，一直是探礦的主要方法之一，尤其在尋找煤層和硫磺礦上更是西方國家常用的一種無線電波探勘方法。

隨著儀器硬體、電腦設備、及資料處理技術的快速發展，與 VLF-EM 相類似但屬非無線電波頻域的電磁法 (electromagnetic methods) 或大地電磁法 (magnetotelluric methods) 在七〇年代已能做量化解釋，但當時 VLF-EM 仍有困難，主要原因在於它所收到的是單頻信號，因此在做逆推的資料處理時結果會不穩定，造成結果不唯一。此外，VLF-EM 的深度響應較弱，也肇因於單一頻率的缺憾 (Beamish, 1994)。八〇年代後期，Constable *et al.* (1987) 提出了 Occam's 逆推方法，也稱之為正規化逆推法 (regularized inversion)，或最簡約逆推法 (Occam's rezo 即奧坎剃刀法)。基本上解決了 VLF-EM 逆推的困境，雖然深度的解析仍有麻煩，但穩定性是改進了。因此一般的 VLF-Z 數據藉由近代的逆推演算法也可獲得地下的電性構造模型。

空中 VLF-EM 測勘與陸地上的 VLF-EM 測勘都是量測地下導體感應出的次生磁場。但最大不同點在於，空中 VLF-EM 測勘是記錄單一塔台頻率之電磁波作用之下，磁場的三個分量，並據以獲得總磁場強度。而非某一磁場分量。此三互相垂直的磁場會包含許多與地表之下的構造異常有關的信息，可定性或定量的推測出其電性的分布。一般會記錄兩個以上的塔台信號作用之下的三互相垂直的磁場。由每個塔台的信號磁場，可得到對應到該塔台方向的磁力響應。除了可個別解釋外，也可整合兩個以上磁力分布圖做整體構造的解釋。



圖 3-1：幾種典型的空中地球物理探測載具

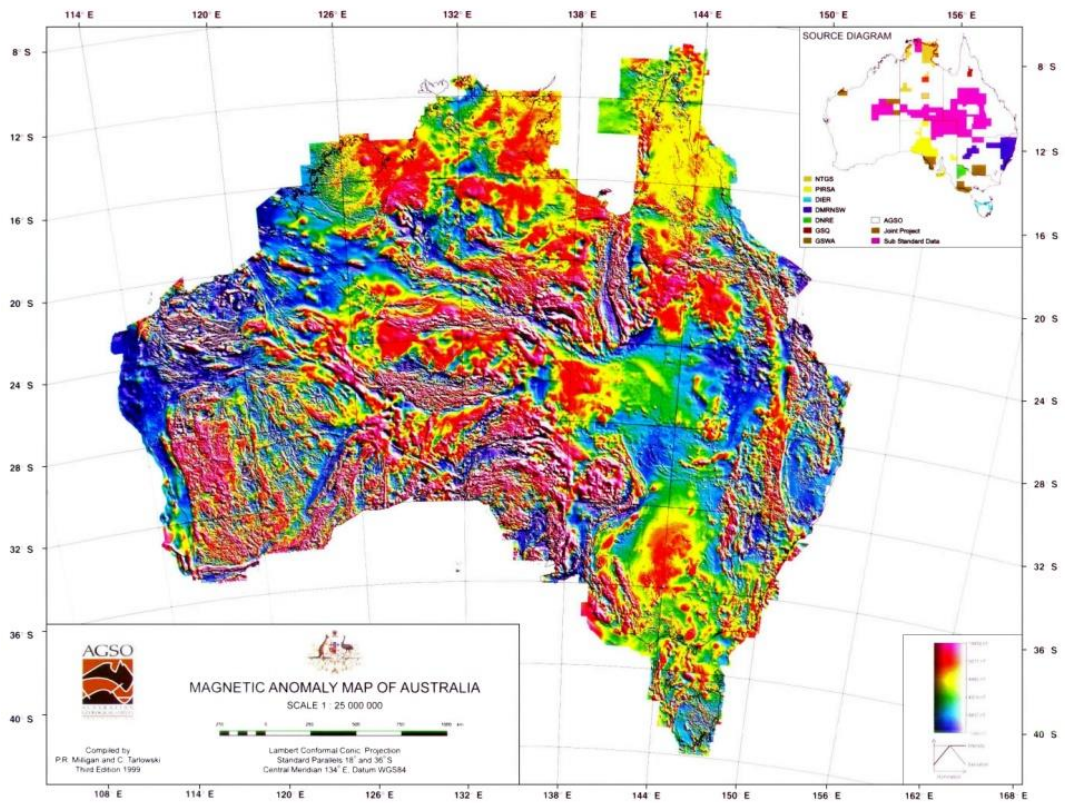


圖 3-2：澳洲空中磁力異常圖

(資料來源：澳洲 AGSO)

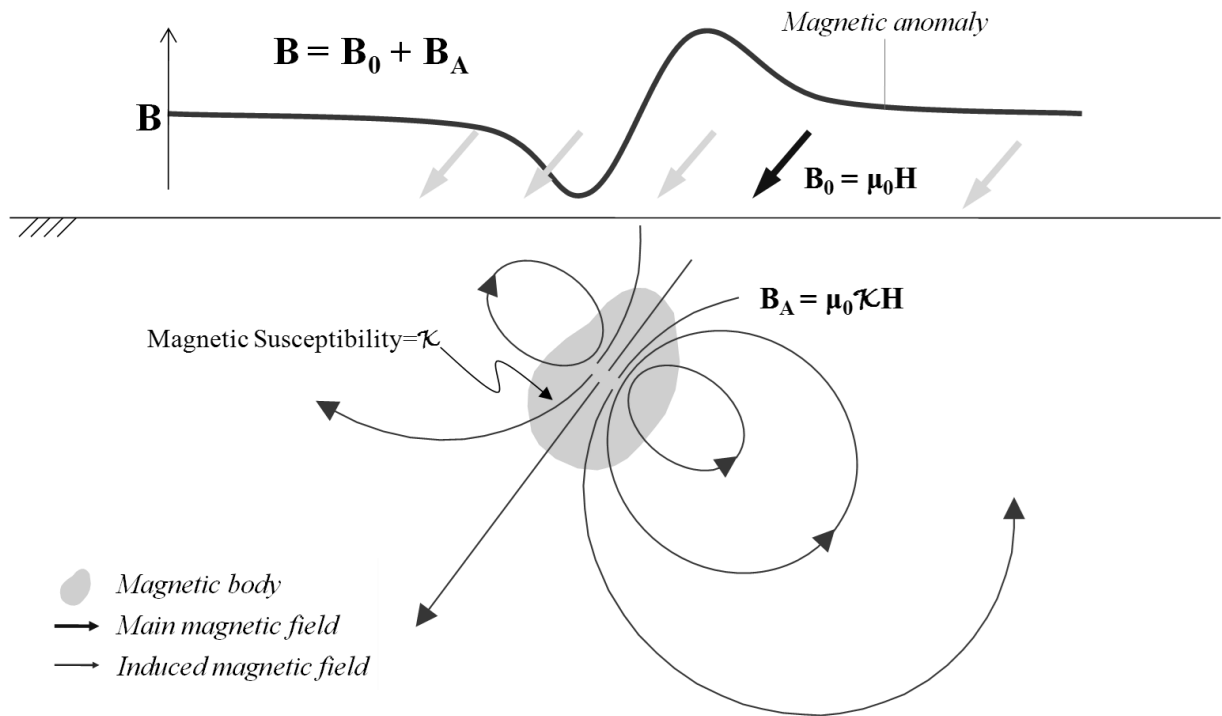


圖 3-3：磁力法施測原理示意圖

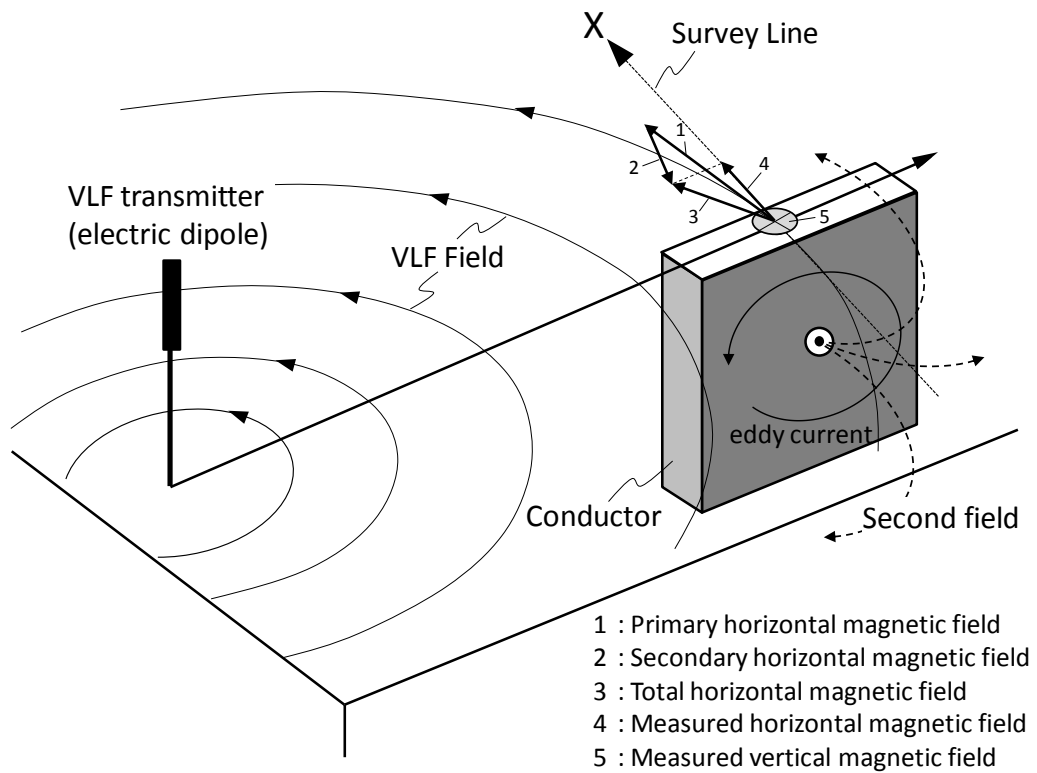


圖 3-4：甚低頻電磁法施測原理示意圖

表 3-1：空中磁測技術之演變

測勘參數	1990 年以前	現 在
測線間距	1000–4000 m	100–400 m
測點間距	150–300 m	7–15 m
飛行高度	80–1500 m	60–80 m
導航系統	100 m (radio)	5 m in height, 2 m in horizontal (dGPS)
磁力量測準確度	0.1 nT	0.01–0.001 nT

(資料來源：澳洲 AGSO)

表 3-2：幾種地質探測方法單位成本比較表

探測方法	單位成本	平均進度
空中磁測(平地)	2–5 US\$/Km	2000-3000 Km/day
空中磁測(山區)	10–40 US\$/Km	1000 Km/day
陸上震測	800 US\$/Km	100–200 Km/day
海上震測	10000 US\$/Km	10–20 Km/day
地質鑽探	10,000,000 US\$/hole	2–3 month/hole

(資料來源：澳洲 AGSO)

表 3-3：GSM-19 系列儀器所能接收的 VLF 發射台基本資料表

Location	Designation	Frequency (kHz)	Power (kW)
Bordeaux, France	FUO	15.1	500
Rugby, UK	GBR	16.0	750
Hegeland, Norway	JXN	16.4	350
Moscow, Russia	UMS	17.1	1000
Yosamai, Japan	NDT	17.4	500
Oxford, UK	GBZ	19.6	550
Annapolis, USA	NSS	21.4	400
NW Cape, Australia	NWC	22.3	1000
Lualualei, Hawaii	NPM	23.4	600
Cutler, USA	NAA	24.0	1000
Seattle, USA	NLK	24.8	125
Aguada, Puerto Rico	NAU	28.5	100

3.2 岩層物性量測

(1) 岩層磁感率量測

本計畫使用捷克 ZH instruments 公司製造的 SM-30 手提式磁感率量測儀量測岩層的磁感率(圖 3-5)，提供磁力資料解釋時之參考。現場作業前，先參考地質圖之岩層分布據以規劃行動路線，挑選具代表性岩層露頭，每一露頭至少量測 30 組，以求取其平均值。

(2) 岩層電阻率量測

本計畫使用日本 OYO 公司製造的 miniOhm 露頭電阻量測儀量測岩層電阻率(圖 3-5)，提供瞭解岩層電性之參考。現場量測時需挑選平順表面，令四根電極探棒均勻接觸岩層表面，若岩層表面乾燥造成無法導電情況時，需小量澆水使岩層表面潮溼，以利量測作業。每一露頭均需量測 20 組數據，以求其平均值。



圖 3-5：岩層物性量測現場作業情形

(a)量測岩層磁感率作業情形；(b) SM-30 手提式磁感率量測儀；(c)量測岩層電阻率作業情形；(d) miniOhm 露頭電阻量測儀。

4 研究成果

4.1 移動式地面磁力儀購置

依據合約要求，本計畫採購設備之規格如下：

- (1) 廠牌及型號：GEM, GSM-19W v7.0
- (2) 磁力量測範圍：10,000–120,000 nT。
- (3) 磁力量測準確度： ≤ 0.1 nT。
- (4) 磁力量測靈敏度： ≤ 0.022 nT。
- (5) 磁力量測取樣率： ≥ 5 Hz。
- (6) 記錄器容量： ≥ 32 MB。
- (7) 非磁性連桿：1 支。
- (8) 備用磁力感應器：1 個。
- (9) SM-30 磁感率測定計：1 個。
- (10) 儀器箱：1 個。
- (11) 二套紙本操作手冊及一份電子檔。

本計畫之設備採購依照工研院採購管理辦法執行，採購程序與過程概述如下：

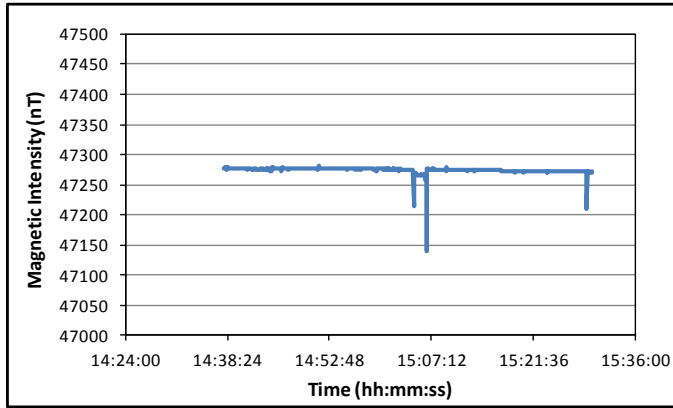
- (1) 依上述儀器規格提出請購申請。
- (2) 請購申請單經單位首長核准後，工研院請購部門即接手與廠商進行詢價與議約程序，議價後本設備最終以新台幣 892,500 元購得，設備型錄列於附錄 7.1。
- (4) 所有設備(圖 4-1、圖 4-2)於 2013 年 4 月 11 日送抵工研院，依工研院採購管理辦法規定，由請購部門主管指定另一位驗收部門之承辦人員負責後續驗收作業。
- (5) 本計畫於 2013 年 4 月 22 日完成設備測試(圖 4-1、圖 4-3)及驗收(圖 4-4)。



圖 4-1：移動式地面磁力儀組裝完成及測試照片



圖 4-2：SM-30 磁感率測定計照片



UTC	hour	minute	second	LocalTime	nT	sq
63750	6	37	50	14:37:50	47277.71	99
63754	6	37	54	14:37:54	47277.75	99
63758	6	37	58	14:37:58	47277.22	99
63802	6	38	02	14:38:02	47277.95	99
63806	6	38	06	14:38:06	47278.52	99
63810	6	38	10	14:38:10	47279.26	99
63814	6	38	14	14:38:14	47279.67	99
63818	6	38	18	14:38:18	47275.08	99
63822	6	38	22	14:38:22	47279.86	99
63826	6	38	26	14:38:26	47276.41	99
63830	6	38	30	14:38:30	47276.76	99
63834	6	38	34	14:38:34	47277.4	99
63838	6	38	38	14:38:38	47277.73	99

圖 4-3：移動式地面磁力儀測試紀錄

(左圖：測試期間磁力強度變化，圖中顯著磁力強度變低，係人為以金屬接近感測器造成磁場改變；右圖：量測紀錄片段)

資料作業資訊平台 > 電子簽核-收驗單

工研院收驗單

驗收完成日：2013/04/22 17:43:08

收驗單號：5000426930	採購單號：3000357660	請購單號：L550000527	請購人：770941 董倫道 15449	計劃代號：C455SH2200 Y	收貨/開單人：黃瑞軫 16551	供應商：0012229016 達台企業有限公司	委辦單位：經濟部中央地調所	管制事項：	預計驗收：
表單單號：13-55-0618	部門別：550H100	會驗人：董倫道 15449	廠商交貨日：2013/04/11	審核結果：同意	列冊時間：20130430	填表諮詢人：黃怡寧 531352 13793	請購預算：910000 TWD	採購承辦人：陳美燕 16532	實際驗收日：2013/04/11
							電話：02-27584670		

附件：

【驗收結果】								
項次	料號	訂購量	單位	單價	交貨量	退貨量(補)	報價(付費)	會計科目
	品名		幣別	合計	合格量	用量	預計交貨日	逾期(天)
10	1		EA	762,000.00	1	0(N)	0(N)	5110310
	移動式地面磁力儀			762,000.00	1	0	2013/04/30	0
20	1		EA	88,000.00	1	0(N)	0(N)	5110310
	磁感率測定計			88,000.00	1	0	2013/04/30	0
合計：850,000				營業稅：42,500	H.C.：0	折扣：0	合計總價：892,500TWD	

財產資訊(屬財產者請務必填寫)

保管人：770941董倫道	成本中心：55-0H100	廠牌：GEM
原財編：	存放地點：H24館、108A室	型號：GSM-19W
中文名稱：移動式地面磁力儀		序號：
英文名稱：		國有財產碼：3100505001
財產分類：A3 類辦公室/研究/實驗設備		
軟體版本：	軟體序號：	
軟體使用期限：	是否為代購軟體：	
1.工令號：		
2.其它說明：4/22抽查移動式地面磁力儀一台及磁感率測定計一台，如附件，同意驗收。		

簽核資訊			
第0020關 第0010支	流程角色：請購人	收件人：770941董倫道	簽核人：770941董倫道
簽核意見：數量及規格符合			
第0020關 第0010支	流程角色：通知	收件人：531352黃怡寧	簽核人：
第0020關 第0010支	流程角色：通知	收件人：523573范月玲	簽核人：
第0200關 第0010支	流程角色：驗收承辦人	收件人：531352黃怡寧	簽核人：531352黃怡寧
第0500關 第0010支	流程角色：驗收承辦人直屬主管	收件人：780657魏秀容	簽核人：780657魏秀容
第0600關 第0010支	流程角色：通知	收件人：526826廖靜怡	簽核人：

圖 4-4：移動式地面磁力儀收驗紀錄

4.2 空中磁力探測作業

4.2.1 測勘規劃

4.2.1.1 航線規劃

由前年度在龜山島鄰近區域的探測結果，顯示地下火成岩體有向東側延伸的趨勢，故本計畫乃將探測範圍向東延伸，故實際之探測範圍為 2,601 km²，大於合約數量，實際之探測範圍及測線規劃如圖 4-5 所示，說明如下：

- (1) 本計畫以測線間距為 500 m 設計測線(survey line)，測線方向為 N30°W，概略垂直於區域地質構造方向，並可避免飛行時日光直射駕駛員，影響飛行安全，規畫之測線總長度為 5,202 km，共計 149 條測線。
- (2) 檢核線(tie line)與測線方向垂直，檢核線間距一般為測線間距之 10 倍，故檢核線間距為 5000 m，因此每條測線將與 7 條檢核線相交，檢核線總長度約 521 km。
- (3) 磁力及 VLF-EM 採樣間格設定為 10 Hz，以飛行速度 200 km/hr 推算，沿測線採樣間格約為 5.5 m。
- (4) 考量航空導航作業時，直升機不太可能一進入特定航線即能沿著設計航線飛行，故在進入測線端點前，需要一段緩衝區間，讓直升機駕駛有足夠時間調整飛行方向與姿態，穩定地沿規劃測線飛行。故本計畫規劃於每條航線前後各預留 500 公尺緩衝區間，以飛行速度 200 km/hr 推算，直升機駕駛員至少約有 9 秒以上時間用以調整飛行方向。
- (5) VLF-EM 測勘所量測的次生磁場強度，與所接收 VLF 塔台的方向有關，故若只接收一個 VLF 塔台訊號，對於走向與 VLF 塔台方向垂直的導體，其次生磁場強度較弱，會降低對該異常體的描繪效果，這種現象稱為方向性傾向(directional bias)。故 VLF-EM 測勘時常需要同時接收兩個約略相互垂直的 VLF 塔台，以便補償因方向性傾向所造成的解釋死角；同時也避免若其中一個 VLF 塔台因例行維護等因素停止發射電磁訊號時，可以維持至少仍能記錄一個 VLF 塔台的訊號。透過三軸拖鳥 VLF-EM 控制功能，掃描各 VLF 塔

台頻道(表 3-3)，發現 GBZ (19.6 Hz)及 NWC (22.3 Hz)兩塔台接收的訊號強度最大，兩塔台位置如圖 4-6 所示，GBZ 塔台位於英國坎布里亞(Cumbria)北方海濱，NWC 塔台位於澳洲西北岸艾克斯茅斯(Exmouth)，兩塔台與測區間夾角接近垂直(圖 4-6)，故本計畫乃設定記錄該兩頻率。

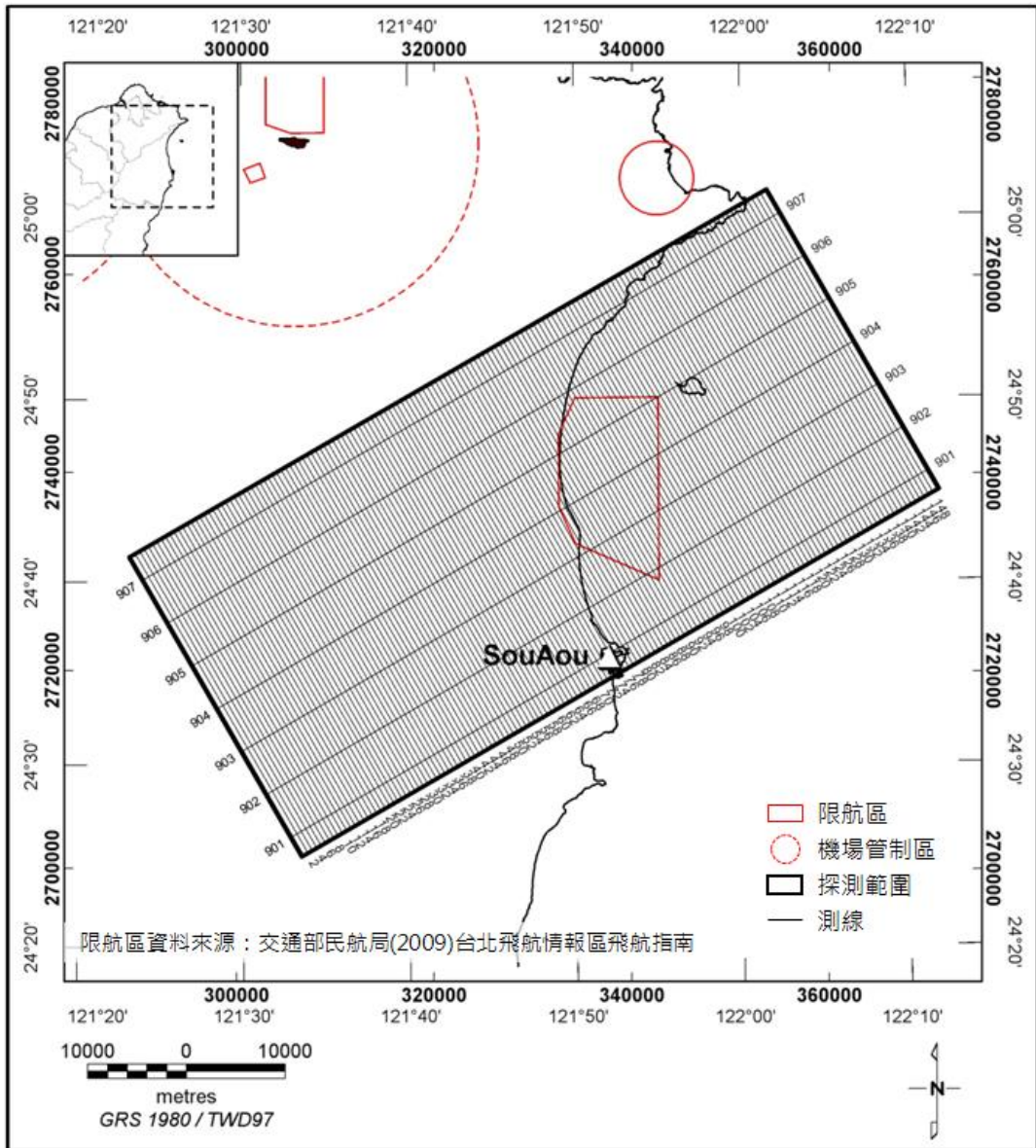


圖 4-5：探測範圍及航線規劃圖

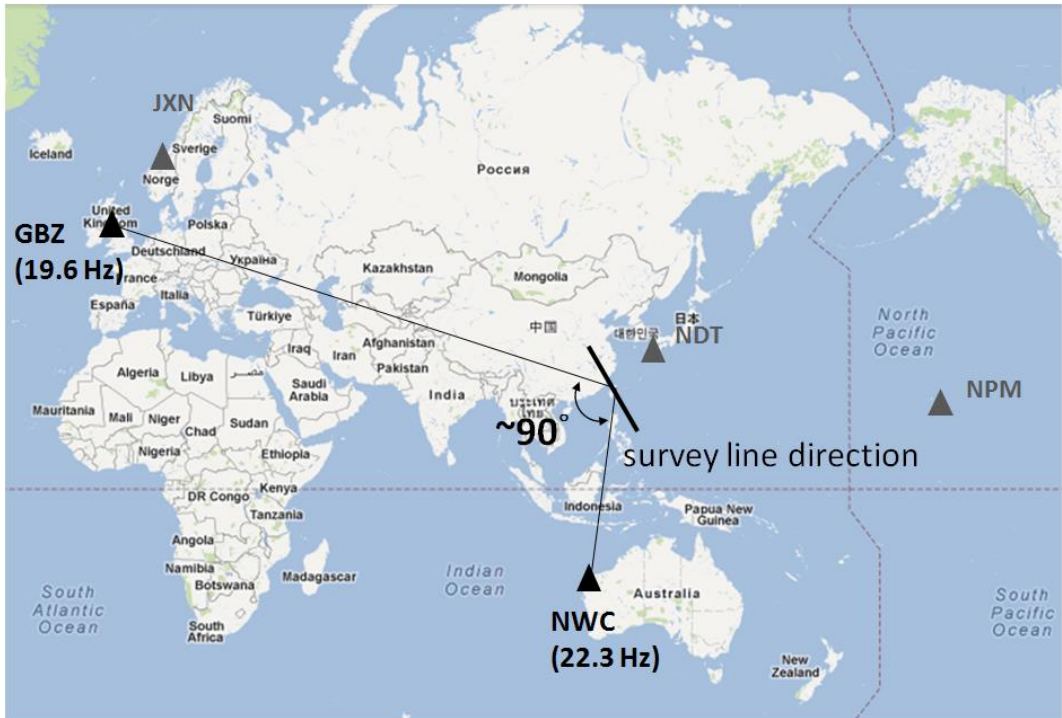


圖 4-6：本計畫 VLF-EM 接收塔台位置圖
(本計畫接收 GBZ 及 NWC 兩塔台訊號)

4.2.1.2 限航區分布

由圖 1-1 顯示本年度測試範圍內涵蓋 R30 限航區，該限航區屬國防部管理，限航基本資訊如表 4-1 所示，顯示在不向國防部提出飛航許可前提下，每週六、週日及週一連續三天都是可以飛航的。

表 4-1：R30 限航區基本資訊

編號	管理單位	限航範圍	限航內容
R30	國防部	N24 48 00.0 E121 49 00.0	海面至 5000 呎(軍備局 039306873 同意) 週二至週五
		N24 50 00.0 E121 50 00.0	
		N24 50 00.0 E121 55 00.0	
		N24 40 00.0 E121 55 00.0	
		N24 42 00.0 E121 50 00.0	
		N24 44 00.0 E121 49 00.0	

4.2.1.3 臨時起降場設置

由於進行空中磁測作業時，必需降低直升機往返測區所需時間，以節省飛行作業成本，故需要在最接近作業區之適當位置，設置臨時起降場，做為航機起落及加油之場所。臨時起降場之使用條件，必需滿足民航局的相關規定，倘若租用民地做為臨時起降場，必要時需經民航局派員現勘同意後才得使用。但若使用既設的直昇機起降場，由於已經具有合格使用條件，故大多僅需通過書面審查，無需進行現勘。

基於臨時起降場之設置為飛航申請中重要一環，且為縮短相關申請之行政程序，本計畫乃優先尋找公有且曾經被使用於直昇機臨時起降場之地點，透過地調所的協助，本計畫選擇位於蘇澳港第六號碼頭(圖 4-7、圖 4-8)，既有的直升機起降場作為直升機臨時起降場。相關函文列於附錄 7.2，並依據「飛航及管制辦法」第 60 條規定，向民航局申請作為本計畫飛行現調期間，供直升機起降、航油補給及人員載運。



圖 4-7：蘇澳港臨時起降場位置圖
(底圖摘自 GoogleEarth 網站，2013)



圖 4-8：臨時起降場照片

4.2.1.4 臨時性磁力基站選取

為了事先尋找合適場所設置磁力基站，本計畫先透過 GoogleEarth 網站地圖，查看臨時起降場鄰近地區，往返約 15 分鐘內磁力安靜的場所，位置如圖 4-9 所示。於 2013 年 6 月 24 日，先以目視挑選遠離道路、電力線及房舍等足以干擾磁場量測的地點，經初步篩選後，選擇位於距離臨時起降場北側約 2.5 km 之海岸防風林內，挑選兩處交通便利位置，作為候選磁力基站，分別以 MBa 及 MBb 代號表示，設置一台磁力儀，連續記錄 30 分鐘，以分析該地點磁場是否受鄰近建物或車輛等干擾。

MBa 位於臨海防風林內，MBb 則位於防風林南側湧泉旁空地，與臨時起降場相距較遠約 2200 公尺，自臨時起降場約需 3 分鐘車程便能抵達。圖 4-10 為兩候選磁力基站各連續紀錄 30 分鐘的磁場紀錄，顯示在記錄期間 MBb (圖 4-10b) 磁場有 3 個明顯的突波，而 MBa 則無明顯突波雜訊(圖 4-10a)，因此本計畫選擇以 MBa 處做為飛航期間之臨時性磁力基站位置。



圖 4-9：候選磁力基站位置圖
(底圖摘自 GoogleEarth 網站，2013)

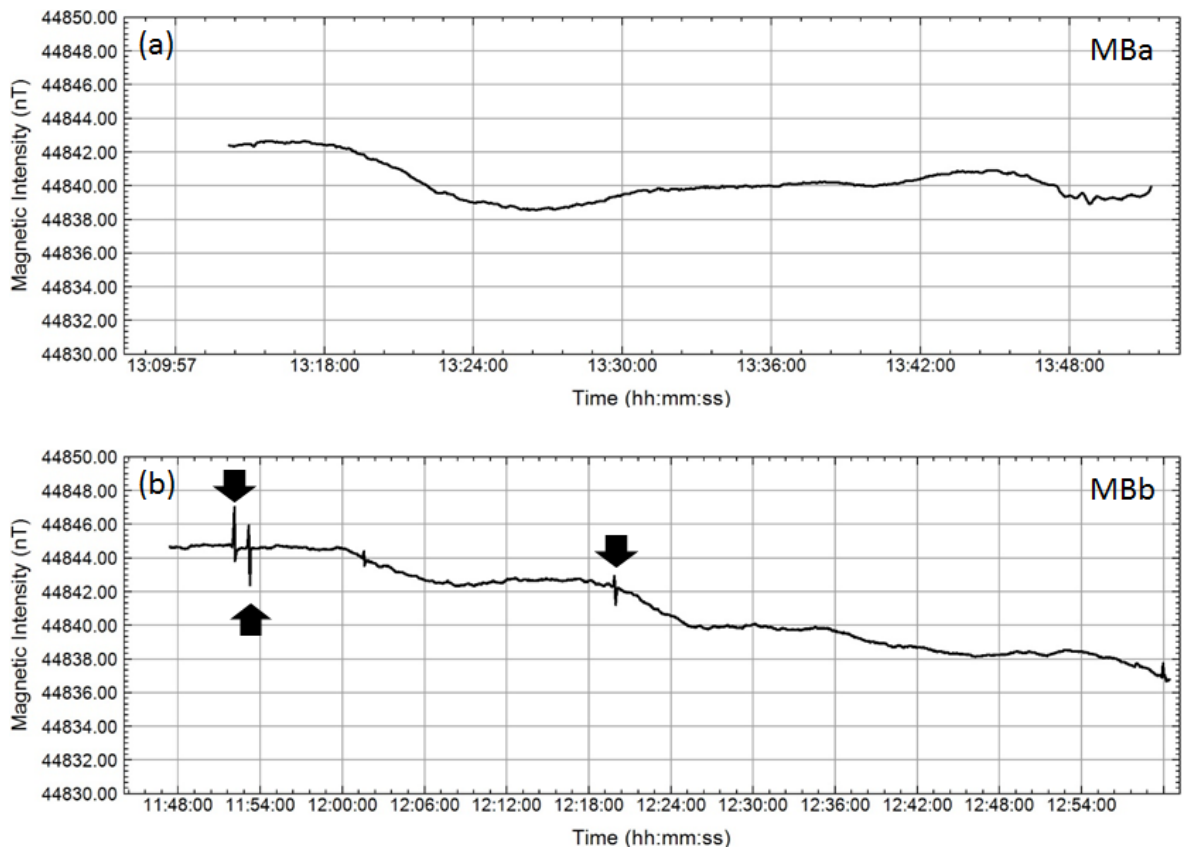


圖 4-10：磁力基站之地球磁場紀錄
(a)磁力基站 MBa 之地磁紀錄，(b)磁力基站 MBb 之地磁紀錄。

4.2.2 飛行現調作業

本計畫於 2013 年 7 月 19 日進駐蘇澳港臨時起降場組裝三軸拖鳥，2013 年 7 月 20 日開始進行飛行作業，後因發生脫勾意外導致三軸拖鳥設備毀損，本計畫於 2013 年 8 月 30 日完成設備重購修復，2013 年 8 月 30 日再次進駐蘇澳港臨時起降場執行飛行工作。

飛行現調作業之作業流程如圖 4-11 所示，作業期間代表性現場照片列於圖 4-12，說明如下：

(1) 飛航申請

本計畫租用中興航空公司編號 B77099 直昇機，以吊掛方式進行空中磁力探測作業，該直升機已於前年度取得吊掛空中磁測的適航證明，故本年度僅需進行飛航申請，有關飛航申請乃委由中興航空公司向民航局提出，第一次申請飛行期間自 2013 年 7 月 19 日起至 2013 年 8 月 31 止，民航局函覆同意申請函文列於附錄 7.3，第二次申請飛行期間自 2013 年 9 月 01 日起至 2013 年 10 月 31 止，民航局函覆同意申請函文列於附錄 7.4。

(2) 臨時性磁力基站設置

本計畫於蘇澳港北側無尾港鄰近海岸防風林內設置臨時性磁力基站，位置如圖 4-9 所示。共設置兩台移動式地面磁力儀(圖 4-13)，以每間格 1 秒的取樣率，連續記錄地球磁場變化。兩磁力儀間距離約 20 公尺，設置完成後並於現場設置告示牌，說明設置目的、設置期間及聯絡人電話，提醒民眾不要任意移動磁力儀。

(3) 組裝拖鳥及平衡測試

由於三軸拖鳥體積龐大，故需拆解後自新竹運送至臨時起降場，現場組裝完成後(圖 4-12b)，使用四角鋁架將三軸拖鳥吊起(圖 4-12c)，以測試其平衡性，必要時調整前後吊索長度，使三軸拖鳥在飛行時保持穩定狀況。

(4) 飛航通報

在作業前一日，由中興航空公司現場經理向飛航管制單位，預先通報隔日擬進行飛行的區域與高度。並於作業當天，每日始曉前先確認三軸拖鳥(圖

4-12d)及直升機各項功能正常後，由中興航空公司現場經理向航空管制單位通報當日預計飛航範圍與飛行高度，經獲准後駕駛員才能啟動直升機引擎，開始進行飛航作業(圖 4-12e)。

(5) 導航及機上資料監視

本計畫使用工研院開發的導航系統，由機上技術員設定預計飛行測線，機長依據導航畫面(圖 4-12f)進行地貌飛行，副機長則負責觀察流籠及高壓電線等障礙物位置，提醒機長作為飛航操控的參考。

(6) 航偏管控

偏航距(cross-track error)代表實際航線與規畫航線間的水平距離，是空中地球物理探測中重要的品質控制指標，當“偏航距”大於容許值且連續達一段特定長度時，該測線需進行重飛。本計畫參考大陸國土資源部制定的「航空磁測技術規範」中對“偏航距”的容許值，以本次飛行測線間距 500 公尺為例，歸屬為 1:50000 比例尺，故容許之偏航距應不大於 150 m，若連續偏航大於 150 m 且長度達 5 km 以上時，該測線應予以重飛。

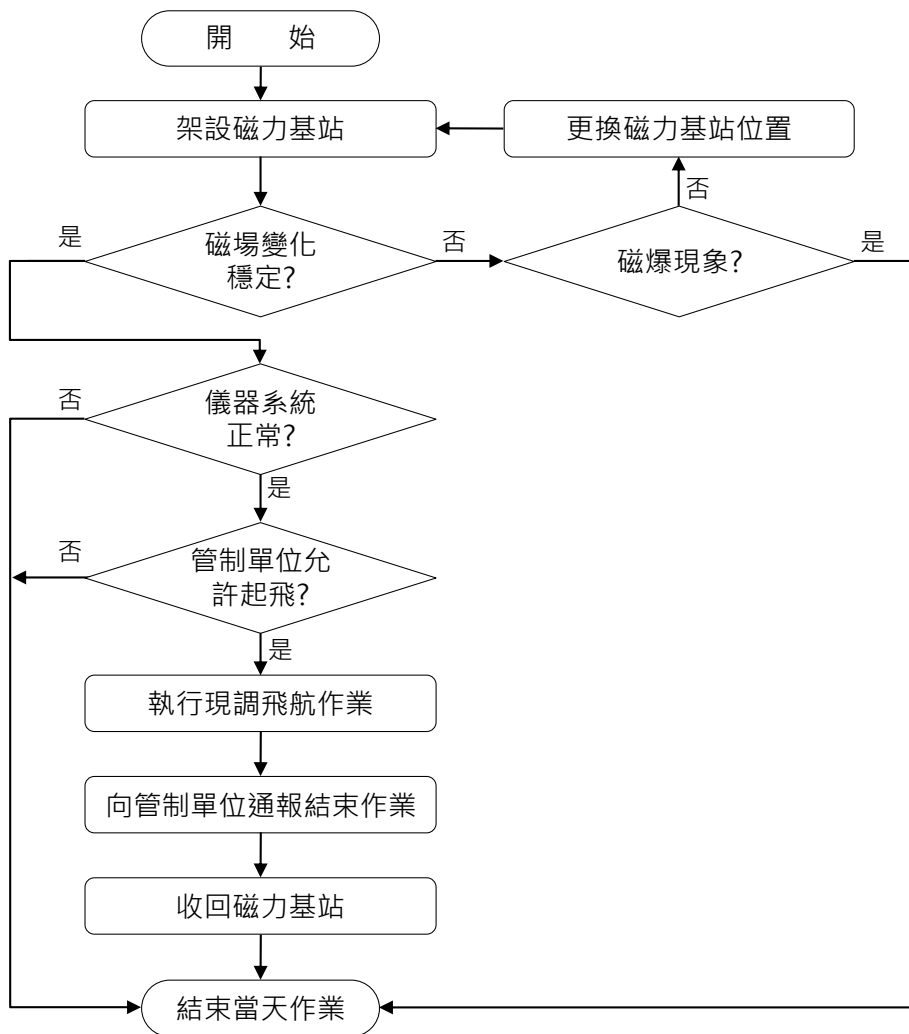


圖 4-11：飛行現調作業流程圖

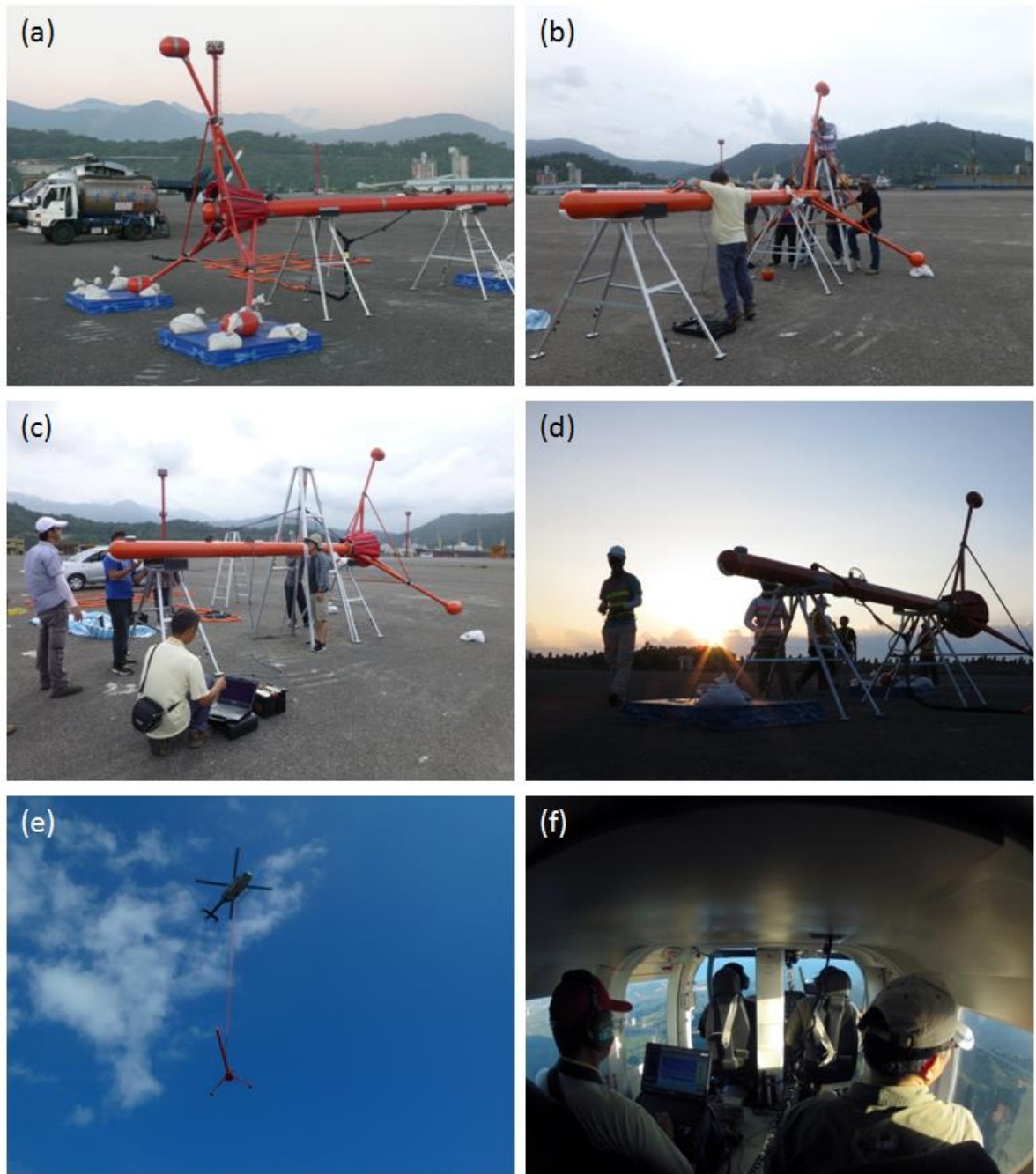


圖 4-12：飛行現調作業照片

(a)蘇澳臨時起降場；(b)三軸拖鳥現地組裝；(c)組裝完成後進行平衡測試；(d)始曉前進行三軸拖鳥功能測試；(e)直升機吊掛磁測作業；(f)機上導航及資料監控作業情形。



圖 4-13：臨時性磁力基站現場照片
(左圖：磁力感測器#1；右圖：磁力感測器#2)

4.3 資料處理

4.3.1 測線整編

本計畫總共進行了 50 個航次之飛行，於 2013 年 7 月 19 日進駐蘇澳臨時起降場開始作業，但於 2013 年 7 月 22 日發生脫勾意外致使三軸拖鳥墜落毀損，雖緊急進行設備重購，但工作進度仍落後了約 1 個月。本計畫於 2013 年 8 月 31 日重新進駐蘇澳臨時起降場作業，但後續因受天候影響(圖 4-14)，直到 2013 年 10 月 19 日始完成飛行任務。

圖 4-15a 為飛行軌跡圖，經過整編後的測線圖如圖 4-15b 所示，完成之探測面積與測線總長度分為 2,607 km² 與 5,723 km，超過合約之 2,254 km² 與 5263 km。測線整編是進行後續資料修正與處理的首要工作，應用特殊技術，但需仔細對各測線進行空間及屬性編輯，以維持資料庫的正確性。主要內容概述如下：

- (1) 剔除測線以外多餘的航跡。
- (2) 將單一航跡依測線予以分段。
- (3) 編輯各測線的屬性，包括：航線編號、航線型態、施測日期、航次及版次。

其中航線型態主要分為：測線(L)、檢核線(T)及基站(B)等三大類。

4.3.2 資料品質分析

(1) 測線雜訊水平

雜訊水平(noise level)常用來表現一組紀錄的整體品質，由於磁力訊號慣常以 nT 為單位，且其變動幅度相對大，故空中磁測紀錄多以第 4 階差(4th difference)的均方根(root mean square, S_L)代表一條測線整體的雜訊水平，並作為評估一條測線整體品質好壞的依據，定義如下：

$$S_L = \frac{1}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})^2} \dots\dots\dots(4)$$

其中

$$B_i = T_{i-2} - 4T_{i-1} + 6T_i - 4T_{i+1} + T_{i+2} \dots\dots\dots(5)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i \dots\dots\dots(6)$$

N 代表某條測線上參與計算的紀錄點數， T_i 代表第 i 點的磁力強度紀錄， B_i 代表第 i 點的第四階差；上述計算需預先扣除水平磁力梯度大於 600 nT/km 的測點。測線的雜訊水平依表 4-2 可分為四級(中國國土資源部，2010)，若歸類為第四級，則表示該條測線紀錄為不合格紀錄，應該安排重飛。

表 4-2：測線的雜訊水平分級標準

等 級	標 準
第一級	$S_L \leq 0.08 \text{ nT}$
第二級	$0.08 \text{ nT} < S_L \leq 0.14 \text{ nT}$
第三級	$0.14 \text{ nT} < S_L \leq 0.20 \text{ nT}$
第四級	$S_L > 0.20 \text{ nT}$

註：資料來源：航空磁測技術規範，中國國土資源部，2010

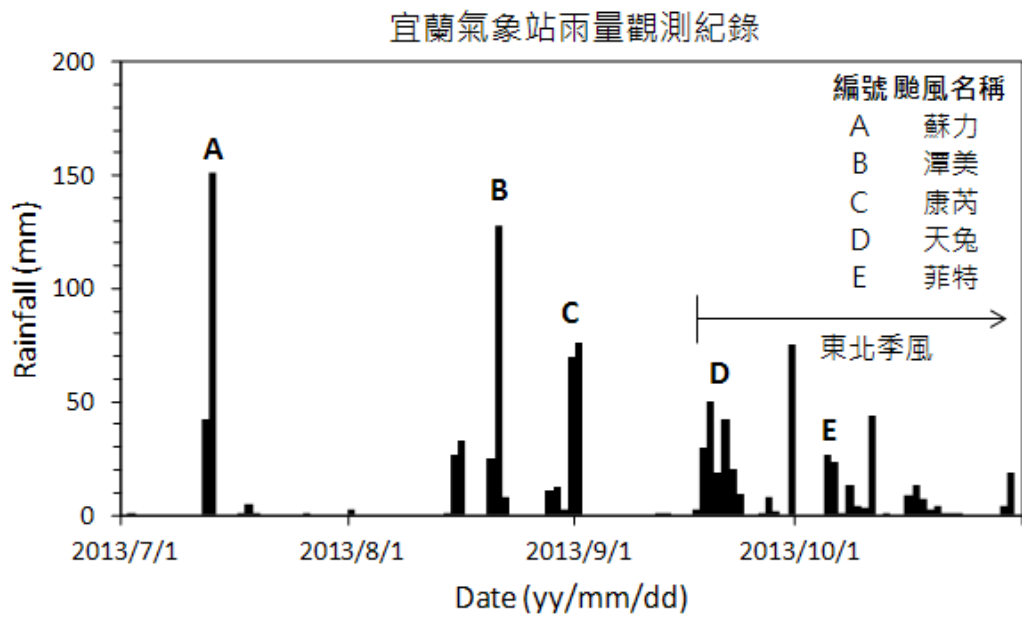
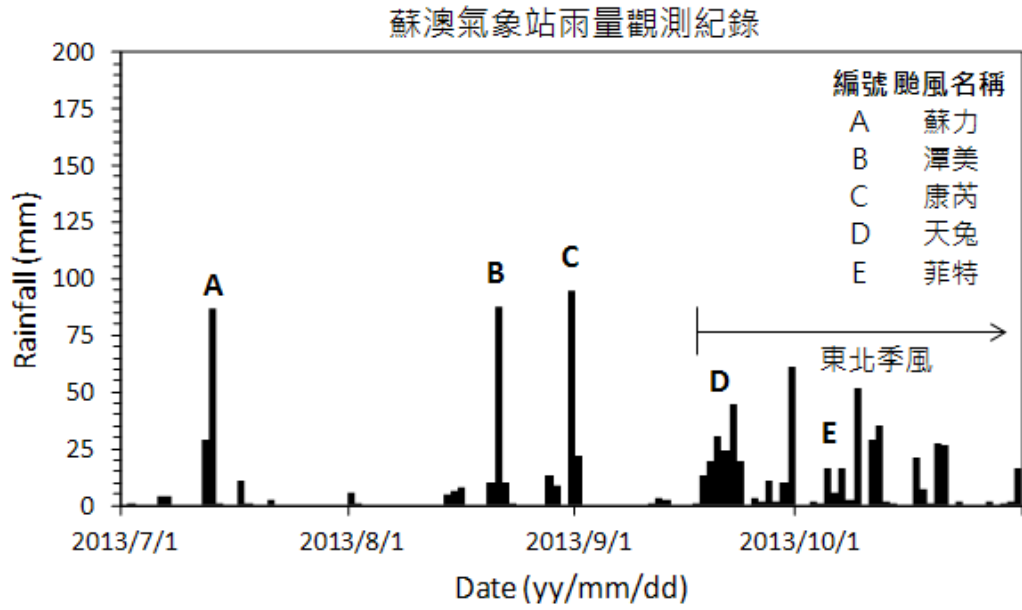


圖 4-14：調查期間測區內雨量觀測紀錄

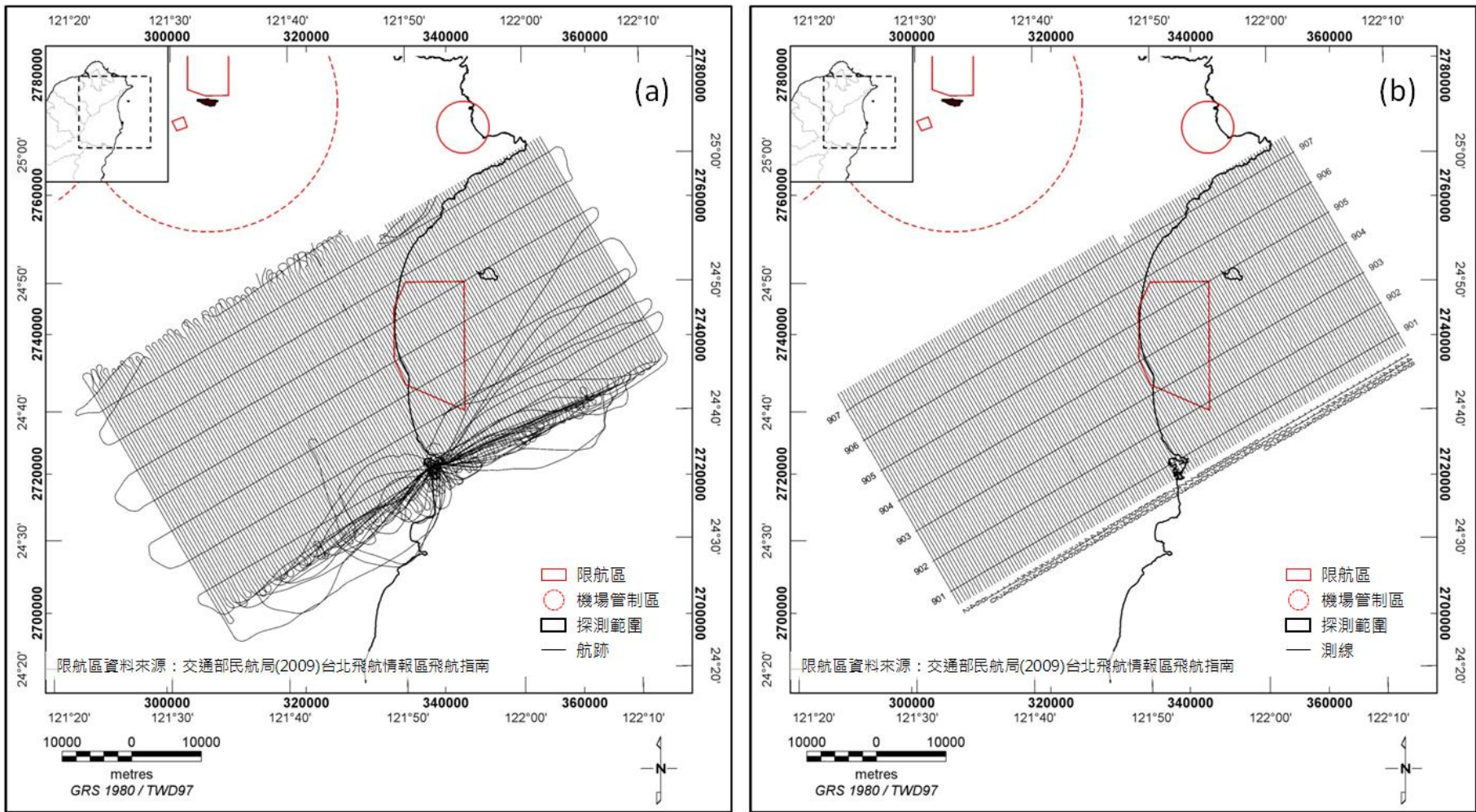


圖 4-15：航跡圖與整編後測線分布圖

(a)航跡圖，(b)剔除多餘航跡後之測線圖。

表 4-3 所列為各測線的雜訊水平高低及其等級，顯示 156 條航線(包括：149 條測線，7 條檢核線)，每條航線 3 組磁力紀錄，合計 468 組紀錄中，除了其中 7 組紀錄為第 2 級外，其餘紀錄均為品值良好的第 1 級，平均雜訊水平為 0.00526 nT，且均不大於 0.107 nT，顯示資料品質良好。

(2) 磁力基站雜訊水平

磁力基站由於量測時係固定位置，且取樣率相對較慢，其雜訊水平的定義如下：

$$S_B = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (B'_i - \bar{B})^2} \dots\dots\dots(7)$$

其中

$$B'_i = \frac{T_{i-2} - 4T_{i-1} + 6T_i - 4T_{i+1} + T_{i+2}}{16} \dots\dots\dots(8)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B'_i \dots\dots\dots(9)$$

N 代表某條參與計算的紀錄點數， T_i 代表第 i 點的磁力強度紀錄， S'_i 代表第 i 點的第四階差。磁力基站的雜訊水平依表 4-4 可分為四級，若磁力基站雜訊水平為第四級，應考慮更換磁力基站位置。

表 4-5 所列為飛行作業期間，每日磁力基站地磁紀錄的雜訊水平及其等級，20 天地磁紀錄的平均雜訊水平為 0.00133 nT，且均不大於 0.00336 nT，顯示資料品質良好。

表 4-3：各航線磁力紀錄之雜訊水平

測線 編號	磁力感測器#1			磁力感測器#2			磁力感測器#3		
	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級
L001	8021	0.000628	1	8021	0.000564	1	8021	0.087600	2
L002	7101	0.001152	1	7101	0.000801	1	7101	0.000822	1
L003	7725	0.000608	1	7725	0.000529	1	7725	0.082388	2
L004	6305	0.001146	1	6305	0.000783	1	6305	0.000791	1
L005	6474	0.000544	1	6474	0.012449	1	6474	0.059374	1
L006	6557	0.001158	1	6557	0.000817	1	6557	0.000823	1
L007	5861	0.000405	1	5861	0.000316	1	5861	0.000388	1
L008	6717	0.001127	1	6717	0.000827	1	6717	0.000862	1
L009	6018	0.000413	1	6018	0.000324	1	6018	0.000388	1
L010	7041	0.001105	1	7041	0.000800	1	7041	0.000821	1
L011	5769	0.000408	1	5769	0.000318	1	5769	0.000391	1
L012	6390	0.001151	1	6390	0.000830	1	6390	0.000883	1
L013	6113	0.000411	1	6113	0.000323	1	6113	0.000379	1
L014	6375	0.001138	1	6375	0.000820	1	6375	0.028601	1
L015	6069	0.000399	1	6069	0.000318	1	6069	0.000386	1
L016	6257	0.001153	1	6257	0.000826	1	6257	0.000856	1
L017	6051	0.000403	1	6051	0.000319	1	6051	0.000381	1
L018	6233	0.001151	1	6233	0.000820	1	6233	0.000846	1
L019	5819	0.000416	1	5819	0.000318	1	5819	0.000376	1
L020	6382	0.001162	1	6382	0.000823	1	6382	0.000871	1
L021	5615	0.000430	1	5615	0.000340	1	5615	0.000420	1
L022	6631	0.001136	1	6631	0.000823	1	6631	0.000848	1
L023	5663	0.000434	1	5663	0.000336	1	5663	0.000409	1
L024	6787	0.001127	1	6787	0.000808	1	6787	0.000827	1
L025	5670	0.000422	1	5670	0.000333	1	5670	0.000405	1
L026	7109	0.001113	1	7109	0.000786	1	7109	0.000809	1
L027	5476	0.000438	1	5476	0.000335	1	5476	0.000379	1
L028	7078	0.001142	1	7078	0.000819	1	7078	0.000846	1
L029	5762	0.000475	1	5762	0.000360	1	5762	0.000393	1
L030	7085	0.001146	1	7085	0.000808	1	7085	0.000837	1
L031	5397	0.000443	1	5397	0.000334	1	5397	0.000379	1
L032	6941	0.001136	1	6941	0.000819	1	6941	0.000836	1
L033	5812	0.000477	1	5812	0.000362	1	5812	0.000416	1

表 4-3：各航線磁力紀錄之雜訊水平(續)

測線 編號	磁力感測器#1			磁力感測器#2			磁力感測器#3		
	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級
L034	7179	0.001144	1	7179	0.000822	1	7179	0.000842	1
L035	5512	0.000462	1	5512	0.000352	1	5512	0.000411	1
L036	6901	0.001175	1	6901	0.000842	1	6901	0.000864	1
L037	5525	0.000460	1	5525	0.000345	1	5525	0.000412	1
L038	7075	0.001161	1	7075	0.000825	1	7075	0.000844	1
L039	5809	0.000481	1	5809	0.000387	1	5809	0.000447	1
L040	6913	0.001133	1	6913	0.000810	1	6913	0.000824	1
L041	5977	0.000443	1	5977	0.000340	1	5977	0.000400	1
L042	6440	0.001199	1	6440	0.000849	1	6440	0.000890	1
L043	6440	0.000499	1	6440	0.000391	1	6440	0.024839	1
L044	7301	0.001151	1	7301	0.000815	1	7301	0.024197	1
L045	6341	0.000503	1	6341	0.000390	1	6341	0.000449	1
L046	6869	0.001172	1	6869	0.000856	1	6869	0.001125	1
L047	6227	0.000491	1	6227	0.000391	1	6227	0.000446	1
L048	6906	0.001187	1	6906	0.000864	1	6906	0.000888	1
L049	6443	0.000492	1	6443	0.000384	1	6443	0.000441	1
L050	5616	0.001195	1	5616	0.000868	1	5616	0.000896	1
L051	6457	0.000516	1	6457	0.000400	1	6457	0.000452	1
L052	7027	0.001167	1	7027	0.000843	1	7027	0.024683	1
L053	6505	0.000519	1	6505	0.000411	1	6505	0.000440	1
L054	7547	0.001140	1	7547	0.000824	1	7547	0.056114	1
L055	6671	0.000538	1	6671	0.000433	1	6671	0.000459	1
L056	7089	0.001178	1	7089	0.000868	1	7089	0.046373	1
L057	6394	0.000506	1	6394	0.000413	1	6394	0.000446	1
L058	6565	0.001270	1	6565	0.000926	1	6565	0.064554	1
L059	6722	0.000568	1	6722	0.000501	1	6722	0.000543	1
L060	6624	0.001350	1	6624	0.001062	1	6624	0.070621	1
L061	7382	0.000649	1	7382	0.000580	1	7382	0.000624	1
L062	6400	0.001311	1	6400	0.001022	1	6400	0.053469	1
L063	7050	0.000791	1	7050	0.000725	1	7050	0.000757	1
L064	6175	0.001621	1	6175	0.001395	1	6175	0.001404	1
L065	7638	0.000711	1	7638	0.000660	1	7638	0.000687	1
L066	6511	0.001368	1	6511	0.001084	1	6511	0.001097	1

表 4-3：各航線磁力紀錄之雜訊水平(續)

測線 編號	磁力感測器#1			磁力感測器#2			磁力感測器#3		
	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級
L067	7460	0.000827	1	7460	0.058454	1	7460	0.054631	1
L068	6455	0.001334	1	6455	0.001044	1	6455	0.001058	1
L069	7561	0.000828	1	7561	0.000823	1	7561	0.037822	1
L070	6721	0.001542	1	6721	0.001273	1	6721	0.001282	1
L071	6756	0.000765	1	6756	0.012181	1	6756	0.055815	1
L072	6711	0.001467	1	6711	0.001170	1	6711	0.014396	1
L073	7072	0.000773	1	7072	0.026102	1	7072	0.050788	1
L074	6702	0.001504	1	6702	0.001217	1	6702	0.001221	1
L075	6712	0.000780	1	6712	0.000750	1	6712	0.040810	1
L076	6238	0.001451	1	6238	0.001154	1	6238	0.001132	1
L077	7138	0.000619	1	7138	0.000567	1	7138	0.080742	2
L078	6389	0.002361	1	6389	0.002187	1	6389	0.002173	1
L079	7931	0.000590	1	7931	0.000531	1	7931	0.043099	1
L080	6363	0.001338	1	6363	0.001002	1	6363	0.000983	1
L081	7828	0.018138	1	7828	0.053463	1	7828	0.083735	2
L082	7883	0.001224	1	7883	0.000989	1	7883	0.001023	1
L083	7887	0.000872	1	7887	0.000808	1	7887	0.000836	1
L084	7728	0.001211	1	7728	0.000977	1	7728	0.001001	1
L085	7573	0.000724	1	7573	0.000647	1	7573	0.000686	1
L086	8119	0.001125	1	8119	0.000868	1	8119	0.000893	1
L087	7473	0.000724	1	7473	0.000630	1	7473	0.009308	1
L088	22035	0.000962	1	22035	0.000869	1	22035	0.000892	1
L089	14845	0.026177	1	14845	0.000373	1	14845	0.000447	1
L090	19641	0.010712	1	19641	0.000843	1	19641	0.000848	1
L091	17049	0.001120	1	17049	0.060427	1	17049	0.015209	1
L092	13704	0.000386	1	13704	0.066410	1	13704	0.000377	1
L105	21248	0.001159	1	21248	0.000808	1	21248	0.000855	1
L106	15079	0.000494	1	15079	0.001654	1	15079	0.000458	1
L107	17886	0.001117	1	17886	0.068033	1	17886	0.000914	1
L108	14382	0.000378	1	14382	0.000297	1	14382	0.000372	1
L109	19453	0.001113	1	19453	0.000878	1	19453	0.000913	1
L110	14321	0.000446	1	14321	0.000322	1	14321	0.000401	1
L111	19350	0.001198	1	19350	0.000873	1	19350	0.000881	1

表 4-3：各航線磁力紀錄之雜訊水平(續)

測線 編號	磁力感測器#1			磁力感測器#2			磁力感測器#3		
	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級
L112	16508	0.000548	1	16508	0.000463	1	16508	0.000509	1
L113	18154	0.002873	1	18154	0.000871	1	18154	0.000899	1
L114	16109	0.001143	1	16109	0.107496	2	16109	0.000889	1
L115	13876	0.000378	1	13876	0.089505	2	13876	0.000361	1
L116	15728	0.001159	1	15728	0.085672	2	15728	0.000946	1
L117	14218	0.000366	1	14218	0.056247	1	14218	0.000340	1
L118	17132	0.003425	1	17132	0.060037	1	17132	0.000898	1
L119	14345	0.000397	1	14345	0.000308	1	14345	0.000379	1
L120	18439	0.001233	1	18439	0.035681	1	18439	0.000980	1
L121	15483	0.000452	1	15483	0.000586	1	15483	0.000430	1
L124	16918	0.000470	1	16918	0.000398	1	16918	0.000423	1
L125	18802	0.001186	1	18802	0.000865	1	18802	0.000960	1
L126	18879	0.001200	1	18879	0.000883	1	18879	0.000916	1
L127	15196	0.000486	1	15196	0.000396	1	15196	0.000450	1
L128	18849	0.001169	1	18849	0.000851	1	18849	0.000888	1
L129	15692	0.000468	1	15692	0.000373	1	15692	0.000414	1
L130	18843	0.001168	1	18843	0.000848	1	18843	0.000856	1
L131	15747	0.000470	1	15747	0.000361	1	15747	0.000416	1
L132	19132	0.001215	1	19132	0.000887	1	19132	0.014647	1
L133	16544	0.000488	1	16544	0.000394	1	16544	0.000443	1
L134	16625	0.001235	1	16625	0.000989	1	16625	0.070267	1
L135	15968	0.000440	1	15968	0.000368	1	15968	0.000405	1
L136	15541	0.001230	1	15541	0.000901	1	15541	0.000906	1
L137	17912	0.000403	1	17912	0.000314	1	17912	0.000386	1
L138	14979	0.001210	1	14979	0.000907	1	14979	0.000919	1
L139	17618	0.000402	1	17618	0.000311	1	17618	0.000378	1
L140	18338	0.000378	1	18338	0.000315	1	18338	0.000360	1
L141	17135	0.001175	1	17135	0.000853	1	17135	0.000964	1
L142	18139	0.000378	1	18139	0.000318	1	18139	0.000354	1
L143	16392	0.001183	1	16392	0.000867	1	16392	0.000957	1
L144	16190	0.000342	1	16190	0.000280	1	16190	0.000335	1
L145	17798	0.001188	1	17798	0.000855	1	17798	0.017657	1
L146	15684	0.001208	1	15684	0.000899	1	15684	0.000902	1

表 4-3：各航線磁力紀錄之雜訊水平(續)

測線 編號	磁力感測器#1			磁力感測器#2			磁力感測器#3		
	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級
L147	19687	0.000414	1	19687	0.000339	1	19687	0.000397	1
L148	26047	0.001058	1	26047	0.000787	1	26047	0.000832	1
L149	17606	0.000732	1	17606	0.000594	1	17606	0.000629	1
T901	14690	0.001090	1	14690	0.000820	1	14690	0.017597	1
T902	14113	0.001090	1	14113	0.000871	1	14113	0.000871	1
T903	13739	0.000808	1	13739	0.000669	1	13739	0.012825	1
T904	14724	0.001103	1	14724	0.000839	1	14724	0.017996	1
T905	15492	0.000863	1	15492	0.000709	1	15492	0.000726	1
T906	13983	0.001069	1	13983	0.000807	1	13983	0.012894	1
T907	14724	0.000841	1	14724	0.000675	1	14724	0.000711	1

表 4-4：磁力基站的雜訊水平分級標準

等 級	標 準
第一級	$S_B \leq 0.01 \text{ nT}$
第二級	$0.01 \text{ nT} < S_B \leq 0.03 \text{ nT}$
第三級	$0.03 \text{ nT} < S_B \leq 0.10 \text{ nT}$
第四級	$S_B > 0.10 \text{ nT}$

(資料來源：航空磁測技術規範，中國國土資源部，2010)

表 4-5：磁力基站磁力紀錄之雜訊水平

日期	磁力感測器#1			磁力感測器#2		
	紀錄數	雜訊水平	等級	紀錄數	雜訊水平	等級
2013/7/19	11564	0.001307	1	11571	0.001364	1
2013/7/20	21371	0.001286	1	21460	0.001144	1
2013/9/2	27489	0.001056	1	27461	0.001132	1
2013/9/3	25701	0.001021	1	25669	0.001464	1
2013/9/4	26901	0.001250	1	26888	0.001086	1
2013/9/5	23200	0.001082	1	23181	0.001338	1
2013/9/6	23230	0.001096	1	23208	0.001112	1
2013/9/7	22709	0.001098	1	22815	0.001536	1
2013/9/8	22608	0.001035	1	22623	0.001175	1
2013/9/9	21998	0.001277	1	21987	0.001070	1
2013/9/10	26313	0.001093	1	26273	0.001185	1
2013/9/11	19638	0.001187	1	19667	0.001147	1
2013/9/24	25302	0.001378	1	24955	0.001243	1
2013/9/25	20934	0.001218	1	19431	0.001402	1
2013/9/27	19349	0.001155	1	19873	0.003362	1
2013/9/28	20221	0.000968	1	21710	0.002818	1
2013/9/29	20880	0.001019	1	20851	0.001185	1
2013/10/13	29977	0.001854	1	30685	0.001187	1
2013/10/14	13890	0.001713	1	14317	0.001231	1
2013/10/19	22767	0.001319	1	23246	0.001647	1

4.3.3 磁力資料處理

地球磁場在地球表面不同位置具有不同的磁傾角(magnetic inclination)與磁偏角(magnetic declination)，磁力強度之高低異常特性受量測所在地之磁傾角影響，當磁傾角等於 ± 90 度或 0 度時，磁力異常的高區或低區可對應地下磁體的位置，但當磁傾角介於 ± 90 度與 0 度之間時，磁力異常的高區或低區，並不對應地下磁體的位置(圖 4-16)，此外在地表量測的全磁力強度，係各深度地下磁體感應磁場的總和，不容易分辨來自不同深度地層的磁力響應。

資料處理之目的在於克服前述因磁傾角與磁偏角所造成磁力異常高低區的偏移影響，適度地分離來自不同深度的磁力訊號，以便掌握區域性構造與淺部構造等特徵，是磁力構造解釋的前置作業。

4.3.3.1 網格化

網格化(gridting)是磁力資料處理中最基本的步驟之一，為方便後續電腦運算處理，以規律的網格點數值來表現全區的磁力變化情形，這種計算的過程稱為網格化。常用的網格化方法包括：距離反比法(inverse distance weighting method; Donald, 1968)、雙向法(bi-directional method)、最小曲率法(minimum curvature method; Swain, 1976)及克里格法(Kriging method)等。概要介紹如下：

(1) 距離反比法

適用於測點分布均勻的情況，以各網格點為中心搜尋設定範圍內的測點，並以各測點與網格點間之距離反比為加權係數，推算各網格點的數值。計算時間視測點數量、網格尺寸及所設定之搜尋範圍大小而異，是相當常用的一種網格化方法。

(2) 雙向法

適用於各測線相互平行的測勘型態，不同測線資料以“航線編號”(line number)加以區分，計算時只能納入相互平行的測線。沿測線及垂直測線方向各選用一種內插(interpolation)法，計算時先沿測線方向內插各網格點的數

值，再內差測線間各網格點的數值。當觀測點數量龐大時，其計算時間是所有網格化方法中最短的。

(3) 最小曲率法

適用於測點分布均勻的情況，其計算原理有別於前述兩種使用內插的網格化方法，其基本概念是透過疊代計算，推算儘量符合各測點之量測值且最平順的曲面，再依該曲面計算各網格點數值。本方法廣泛地應用在地球科學類資料的網格化，計算所需時間約僅次於雙向法。

(4) 克里格法

適用於不規則或網格狀分布的測點，其計算原理係以機率統計的概念，由任意兩測點間距離與量測值間的關係，以適當的變差函數(variation function)模型進行擬合，並據以計算各網格點的數值。計算時間相對較長，但對於如地球化學探勘，當測點分布不規則時，使用克里格法常能獲得相對比較合理的結果。

經測試不同網格化方法後，本計畫採用最小曲率法進行網格化，網格大小通常為測線間距之 1/8 至 1/4，經過嘗試測試後，本計畫以網格大小 100×100 m 進行後續各步驟的網格化。

4.3.3.2 磁力資料修正

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，磁力資料前處理主要包括以下項目(Luyendyk, 1997)：

(1) 突波移除(spike removal)

突波雜訊主要導因於磁力感測器在量測過程中，因陣風或拖鳥姿態劇烈變化，導致磁力感測器劇烈震盪所致，本計畫依以下步驟移除磁力紀錄上的突波：

(A) 剔除所有脫鎖(un-locked)的磁力紀錄，包括脫鎖紀錄之前後各一個資料

點。

(B) 搭配第 4 階差檢視磁力紀錄，剔除明顯的突波。

(C) 以非線形濾波(non-linear filtering)法，濾除不規則的小突波。

圖 4-17 為未經突波移除前，以磁力原始量測紀錄進行網格化後所獲得的全磁力強度圖，圖中箭頭所指處為因突波導致的高或低之異常。顯示突波雜訊大多發生在測線端點，主要因直升機完成一條測線後，以 180 度大迴轉進入下一條測線前，往往造成磁力感測器大幅度晃動，當晃動過度劇烈時則會導致脫鎖形成突波雜訊。

圖 4-18 為經突波移除後獲得的全磁力強度圖，與圖 4-17 相比顯示經過突波移除後，雖已剔除了極端不合理的雜訊，但磁力紀錄內仍然含有與測線方向高度相關的系統性雜訊。

(2) 航向修正(heading correction)

航向修正主要目的在於修正航機在不同航向時對磁力量測的影響，本計畫選擇磁力變化平緩處，設計四條相互垂直的航線，飛行時嚴格保持飛行高度進行不同方向的飛行測試，計算磁力感測器在交點處不同航向的修正值如表 4-6 所示。

經航向修正後的全磁力強度與修正前的全磁力強度圖相比，改變量並不顯著，暗示由於採用吊掛方式進行空中磁測，航機與磁力感測器間距離較大，故航機對磁力量測值的影響很小。

表 4-6：三軸拖烏各磁力感測器的航向修正量

航向(N°E)	航向修正值(nT)
060	1.8119125
150	-1.4762875
240	0.6360825
330	-0.7420232

(3) 延遲修正(lag correction)

因衛星定位感測器與磁力感測器的位置不同，故若將磁力紀錄直接套用衛星定位座標，將沿測線方向產生延遲效應(lag effect)，因延遲效應與飛航方向有關，而空中磁測常以來回飛行進行調查，故常在磁力等值圖上顯現「Z」型的異常等值線。延遲修正係依據平均飛行速率，計算延遲的資料點間隔，再將磁力紀錄向該次飛航方向之相反方向，平移前述之資料點間隔。

本次探測使用之三軸拖鳥，其 GPS 天線與磁力感測器間水平距離為 5.3 m，以飛行速率 150–220 km/h 推算，則延遲效應約介於 0.1–0.2 s 之間，故本計畫之延遲修正量乃設定為 2 個資料點。

(4) 基站修正(base correction)

基站修正(base correction)又稱日變化修正(diurnal correction)，目的在於去除磁力探測作業期間，地球磁場的日變化效應。由於移動式磁力基站係架設在野外空曠處，難免受到風吹或民眾靠近等因素，影響地磁紀錄。因此移動式地面磁力基站的連續地磁紀錄，需先進行突波移除並濾除高頻雜訊後，始能用於後續之基站修正。

圖 4-19a 為 2013 年 9 月 10 日的原始地磁紀錄，刪除起始與結束時的突波雜訊後，地磁紀錄如圖 4-19b 所示，對照其第 4 階差(4-th difference; 圖 4-19c)顯示地磁紀錄中仍包含少數高頻雜訊。本計畫分別使用非線性濾波器(non-linear filter)及低通濾波器(low-pass filter)來濾除高頻雜訊，經濾波後的地磁紀錄如圖 4-19d 所示，使用於後續基站修正。

基站修正需先經內插對應測點在地磁紀錄中相同時間的地球磁力強度，並自磁力量測紀錄中直接扣除前述內插的地球磁力強度，如下列公式：

$$B_i^d = B_i - D_i + D_B \dots \dots \dots (10)$$

式中， B_i^d 代表第 i 個測點經基站修正後的磁力強度， B_i 代表第 i 個測點的磁力紀錄， D_i 代表第 i 個測點相同時間的地磁紀錄， D_B 代表當天地磁紀錄的平均值。由於地磁變化通常遠小於沿測線的磁力變化，故基站修正前後的全磁力

強度圖變化不大。

(5) 國際地磁參考場移除(IGRF removal)

地球的主磁場(main field)強度隨地點不同而異，故若要凸顯測區內地層的磁性異常，需扣除地球主磁場的磁力強度。本計畫採用 IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy)所發佈的國際地磁參考場(International Geomagnetic Reference Field; IGRF)計算公式，先計算每一測點的理論主磁場的磁力強度後，再自量測資料中予以扣除。國際地磁參考場計算地球主磁場之磁力強度公式如下：

$$V = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) p_n^m(\cos\theta) \dots\dots\dots(11)$$

式中 V 為地球主磁場之磁力強度， a 為地球平均半徑， r 為距地球中心之距離， ϕ 為經度(longitude)， θ 為地心餘緯度(geocentric colatitude)，為 m 次方 n 次幕之函數 Legendre function，及為高斯係數(Gauss coefficients)，而 N 為高斯係數展開時最大次幕數；於地球主磁場模型中，通常取 $N=10$ ，則共有 120 組高斯係數。

本計畫使用 IAGA 發佈之 2010 年 IGRF 模型，經外插推算各測點的 IGRF 值。由於地球主磁場之磁力強度明顯隨緯度改變，故全磁力異常圖經 IGRF 修正後變化顯著，圖 4-20 為測線 15 磁力紀錄經 IGRF 修正前後的比較圖，顯示經 IGRF 修正後，磁力剖面的趨勢(trend)比較平緩，圖 4-21 為經 IGRF 修正後的全磁力異常圖，與修正前的全磁力異常圖(圖 4-18)相比，圖 4-21 中黑色箭頭所指磁力異常更加明顯。

(6) 調平(leveling)

觀察圖 4-21 仍能發現許多與測線方向平行的線形雜訊，如圖中黑色箭號所指處，此類雜訊主要係由於空中磁力探測是在連續變化的環境中進行資料收集，因此兩相鄰測線的磁力紀錄，往往顯現出不一致的基準(level)，而形成與測線平行的雜訊，稱為系統性雜訊(systematic noise)。消除系統性雜訊的過程稱為調平(leveling)，包括：普通調平(normal leveling)及微調平

(micro-leveling)兩個主要步驟。「普通調平」係透過相互垂直的檢核線，計算測線與檢核線交點處的磁力紀錄差異，據以調整各測線的磁力值，使測線與檢核線交點處的磁力紀錄差異最小化。「微調平」則主要透過方向濾波(directional filtering)的概念，濾除沿測線方向的雜訊。

圖 4-22 所示為經普通調平後的全磁力強度圖，與調平前的全磁力強度圖(圖 4-21)相比，顯示經過普通調平後大幅降低了與測線平行的系統性雜訊，但仍有殘餘的系統性誤差存在，故需進行「微調平」，包括以下步驟：

(A) 自磁力紀錄中扣除殘餘誤差

本計畫以方向餘弦濾波器(directional cosine filter)將方位 150 度的高頻雜訊，以高通濾波的方式自圖 4-22 中分離出來，如圖 4-23 所示。將各測線磁力紀錄扣除圖 4-23 中對應測點位置之剩餘雜訊後，再經過網格化後獲得如圖 4-24 之全磁力異常圖。與圖 4-22 相比，磁力網格圖品質有小幅改善。

(B) 進行方向濾波

由於方向濾波(directional filtering)若處理不當有可能導致破壞地質訊號，故方向濾波並不是一項必要的處理程序，必需視資料的必要性而採用。圖 4-25 係以彩色陰影(color-shaded)重繪圖 4-24，如圖 4-25 中黑色箭頭所指處，仍有局部與測線同向的條帶現象。因此本計畫乃針對圖 4-23，使用方向餘弦濾波器進行方向濾波，圖 4-26 為經過濾波後獲得的全磁力強度圖。

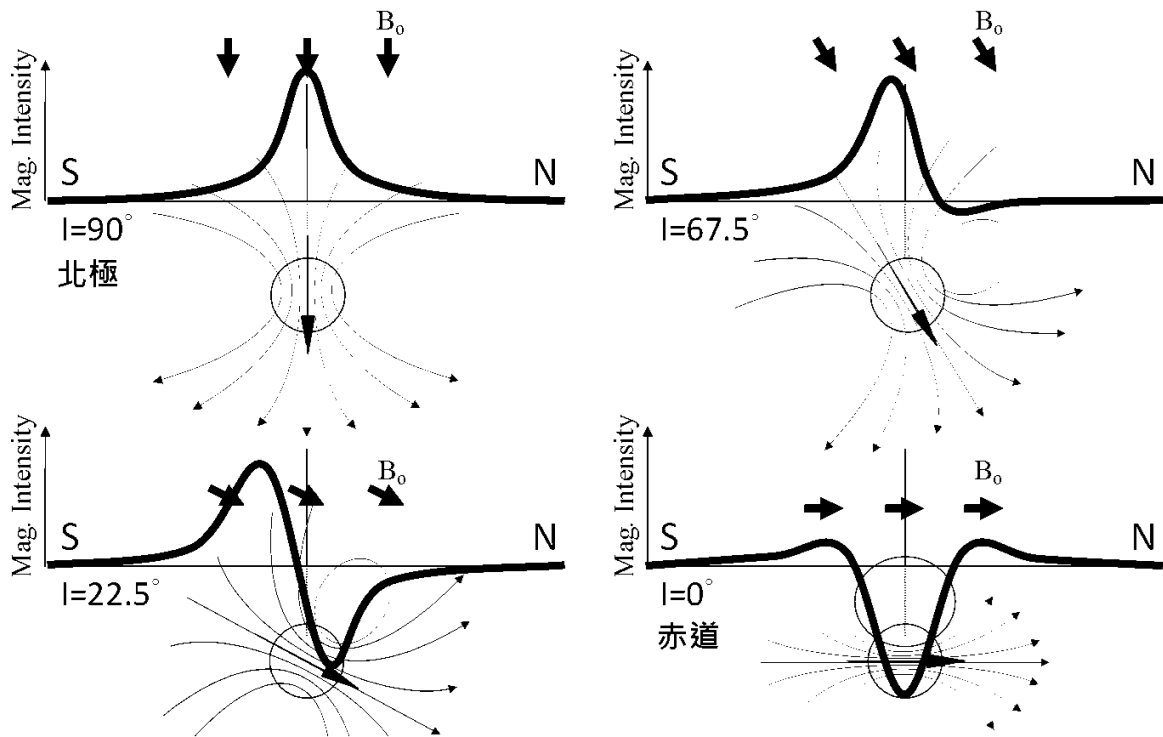


圖 4-16：全磁力強度高低異常區與磁傾角及磁體位置間關係圖

(B_0 代表地球主磁場及其方向； I 代表磁傾角)

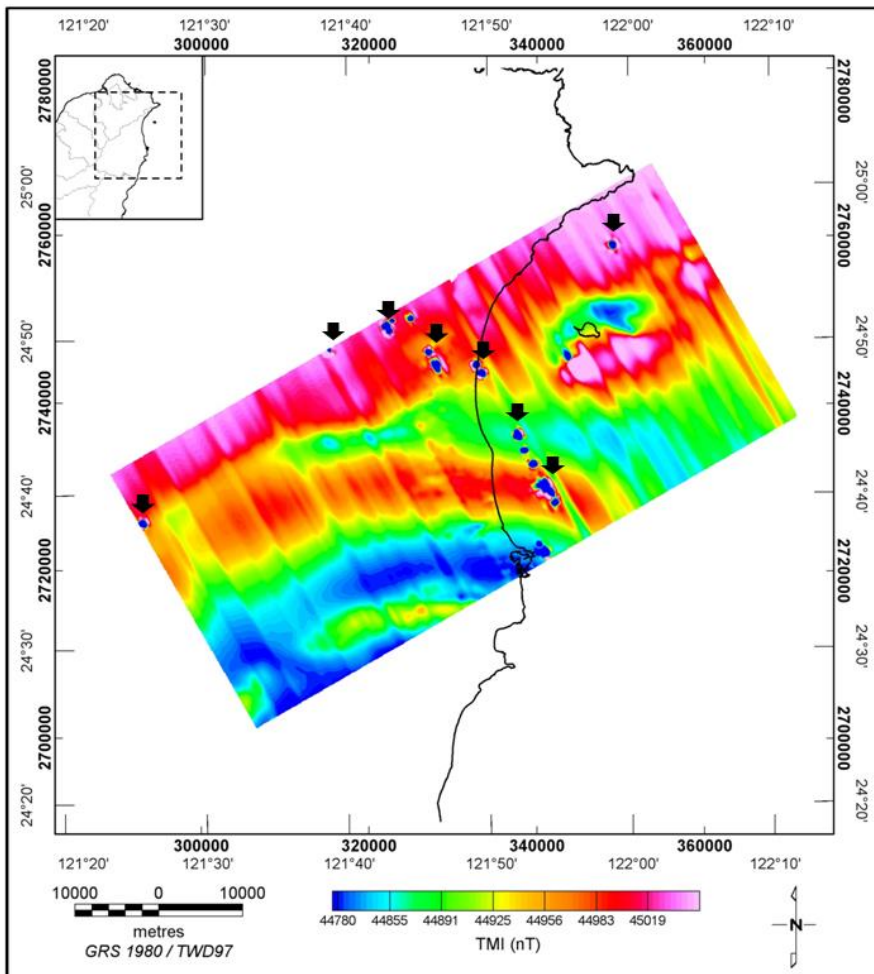


圖 4-17：原始全磁力強度圖
(箭頭所指處反映突波造成的異常)

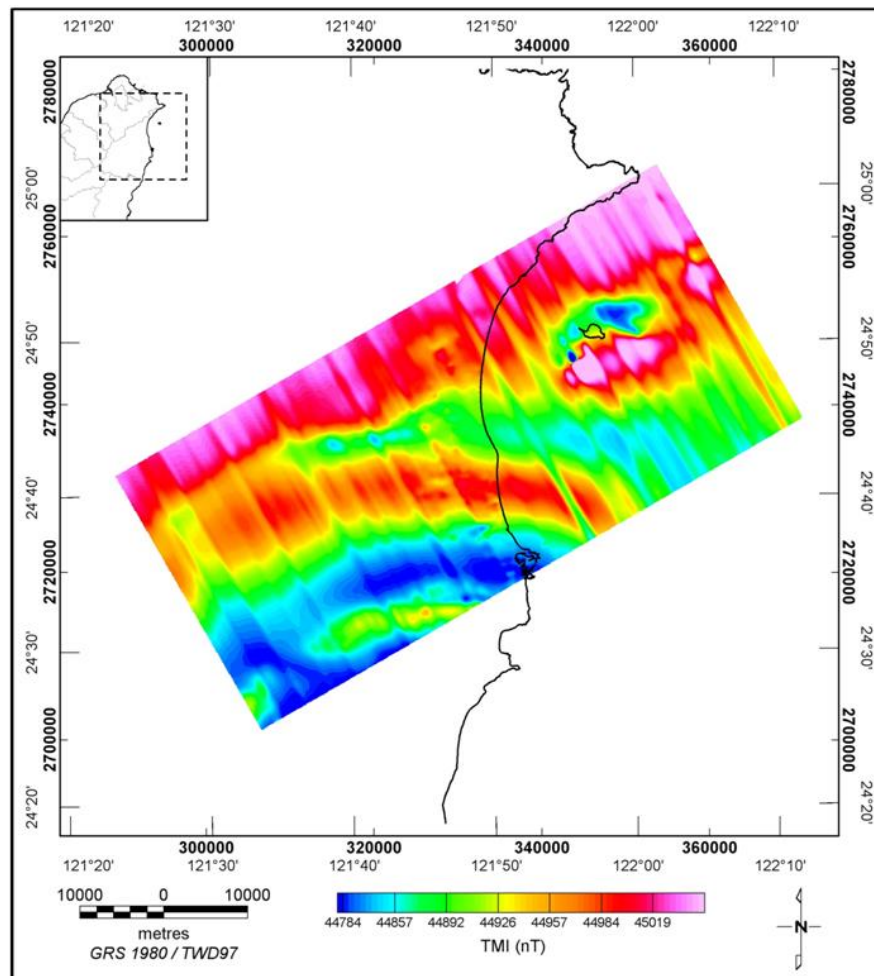


圖 4-18：經突波移除後之全磁力強度圖

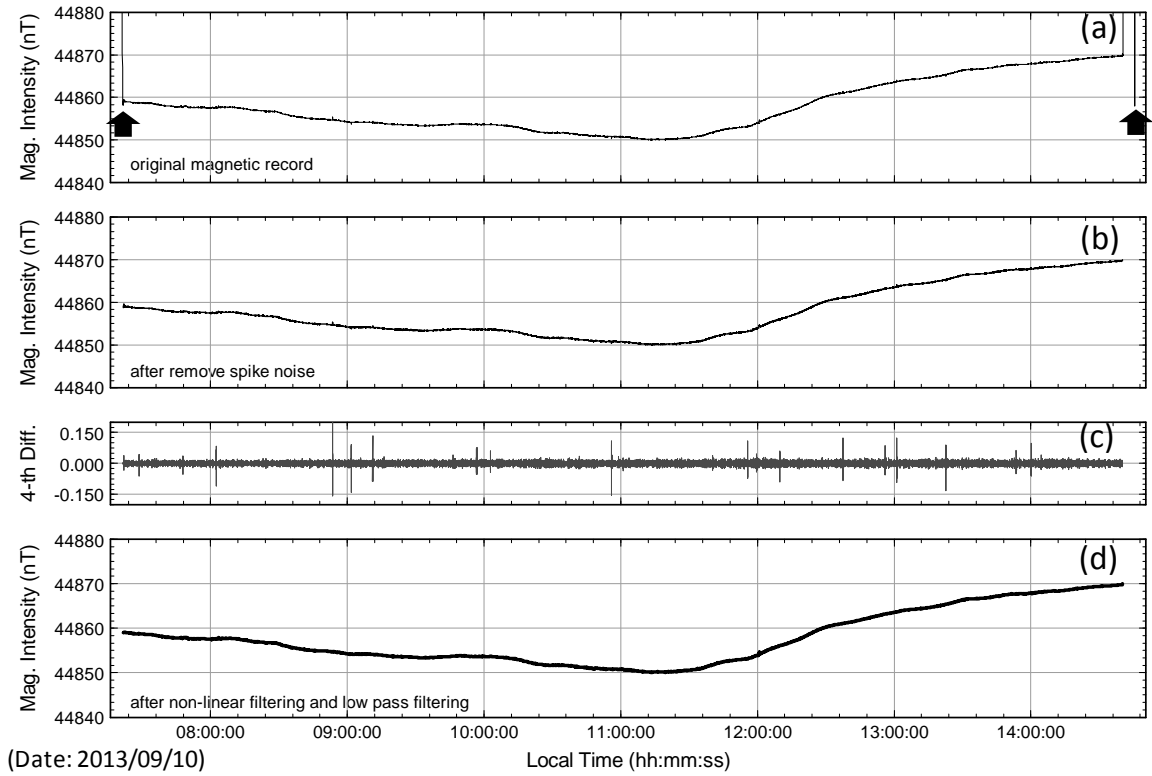


圖 4-19：2013/9/10 磁力基站原始紀錄與經突波移除後之紀錄

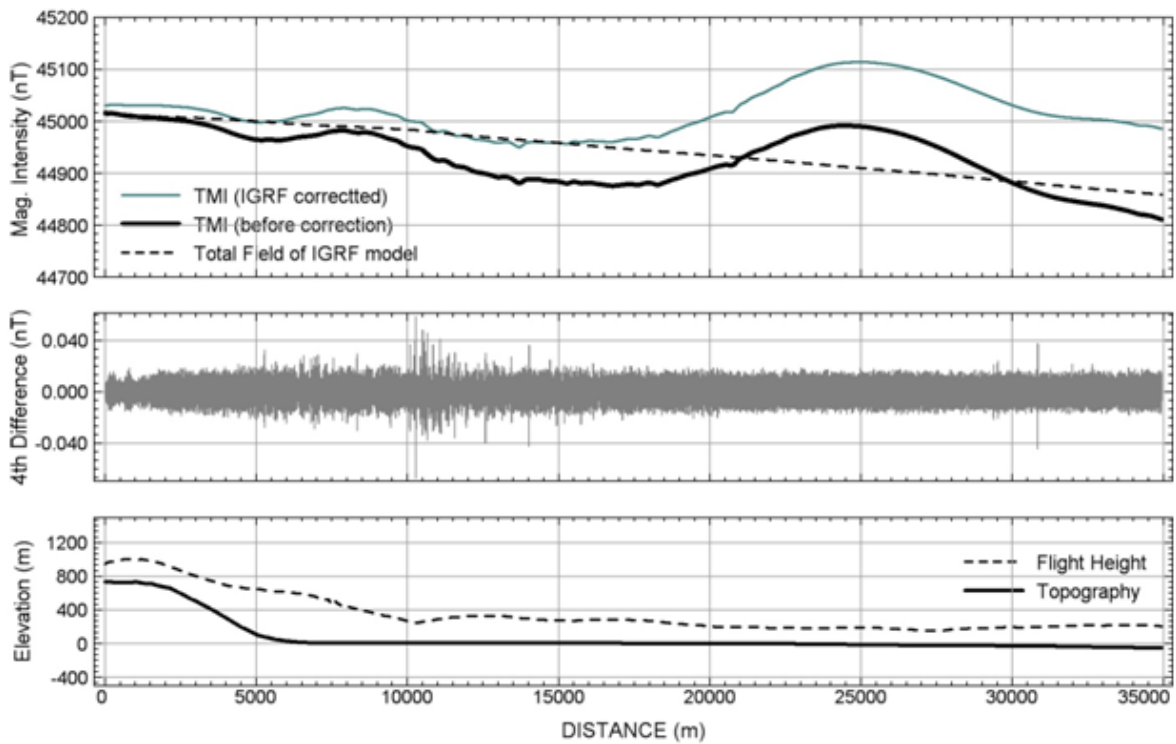


圖 4-20：測線 15 磁力紀錄經 IGRF 修正前後比較圖

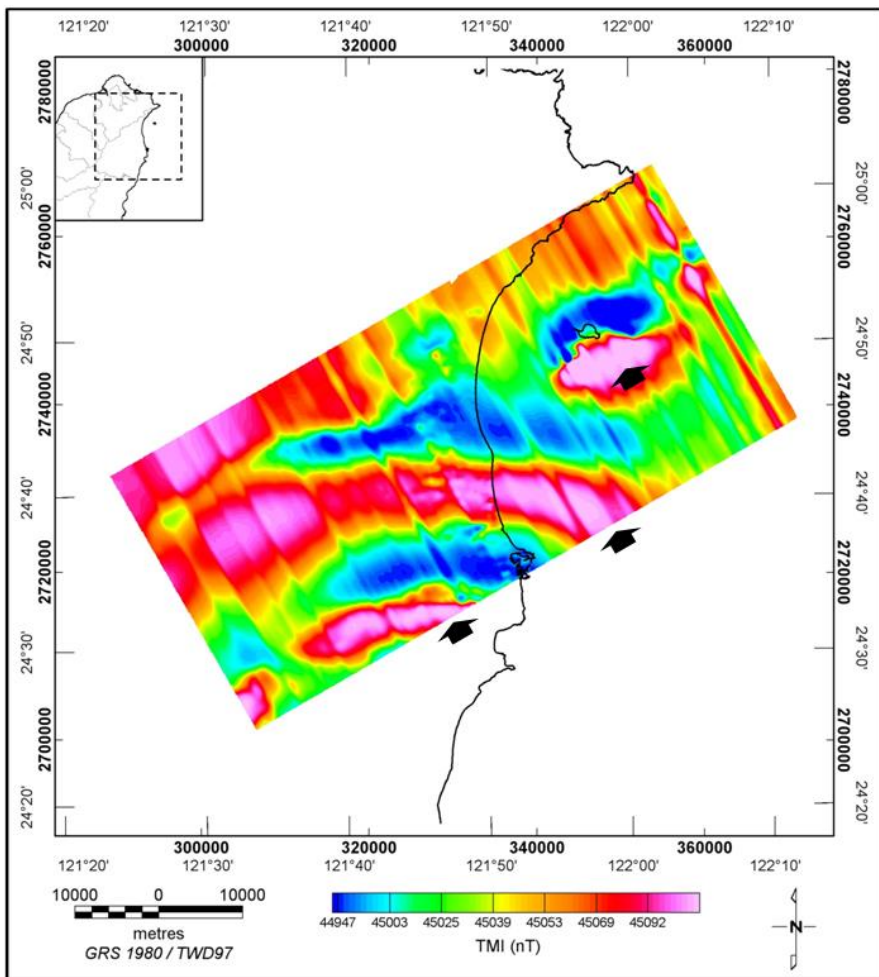


圖 4-21：經國際地磁參考場修正後之全磁力強度圖

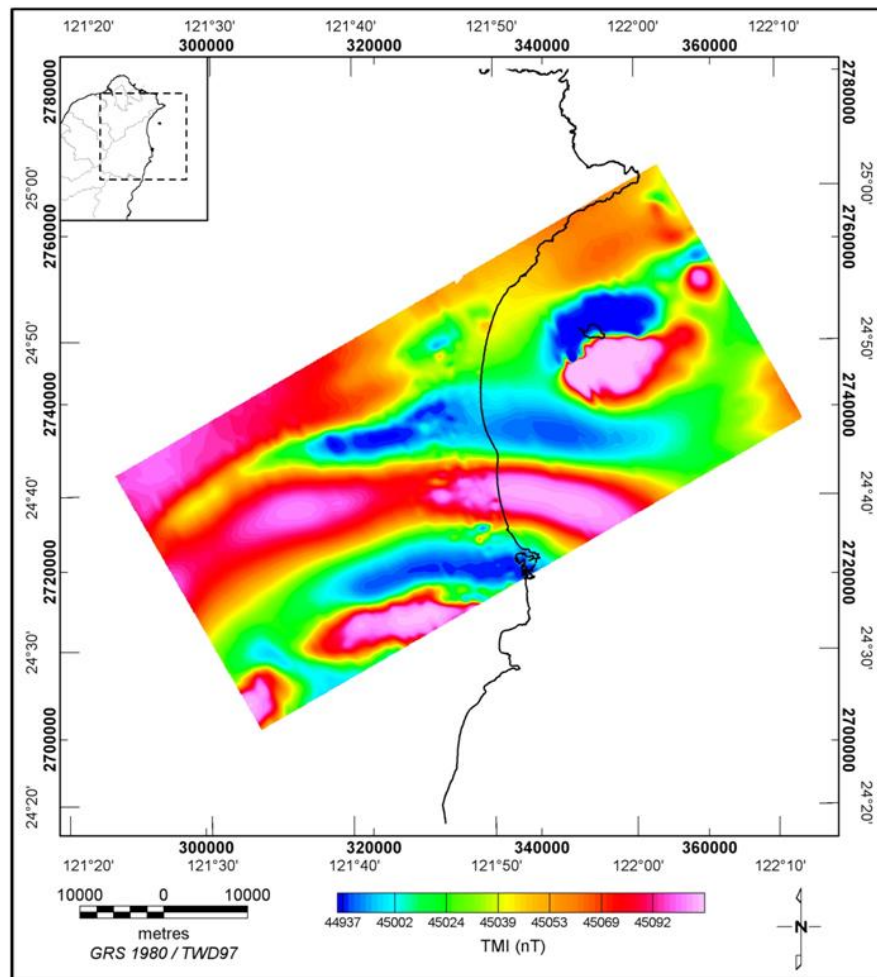


圖 4-22：經普通調平後之全磁力強度圖

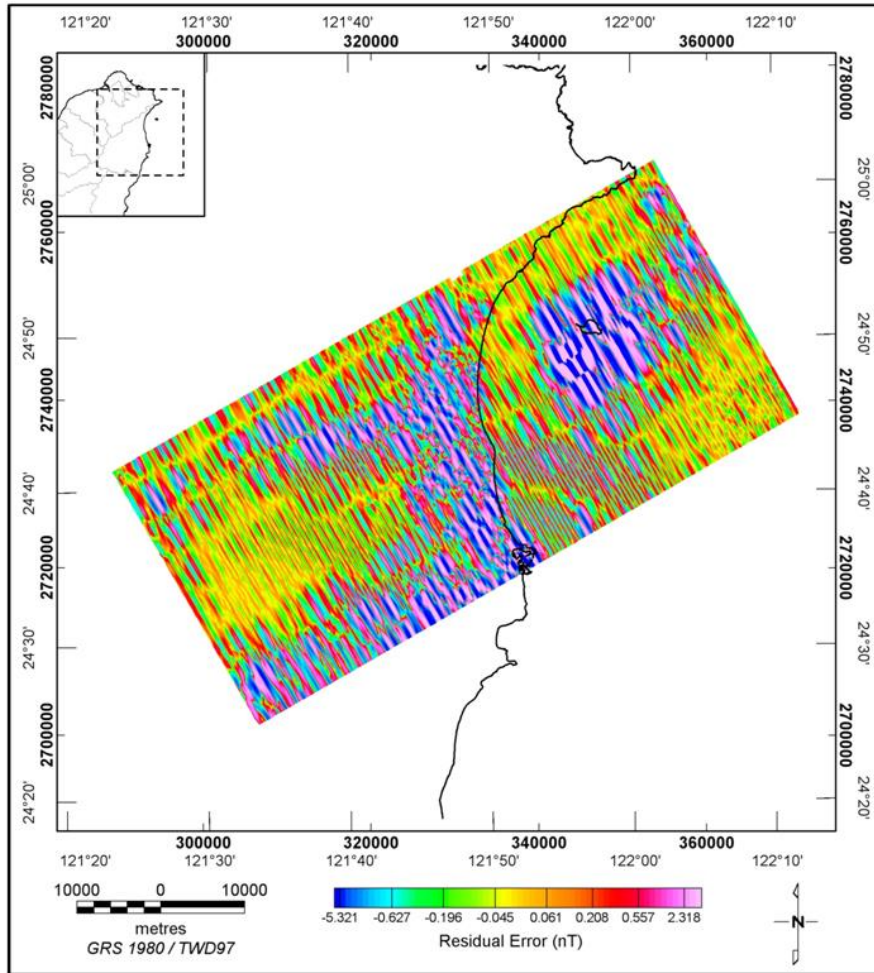


圖 4-23：自圖 4-22 分離出的殘餘雜訊網格

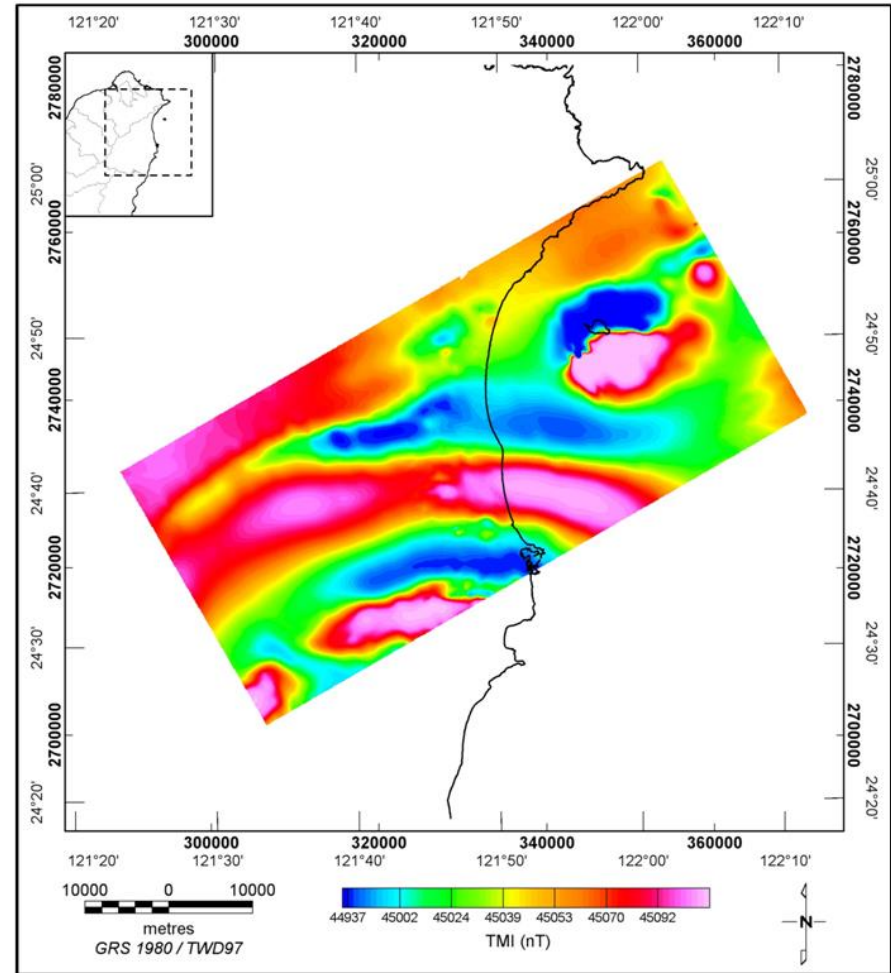


圖 4-24：扣除殘餘雜訊後之全磁力強度圖

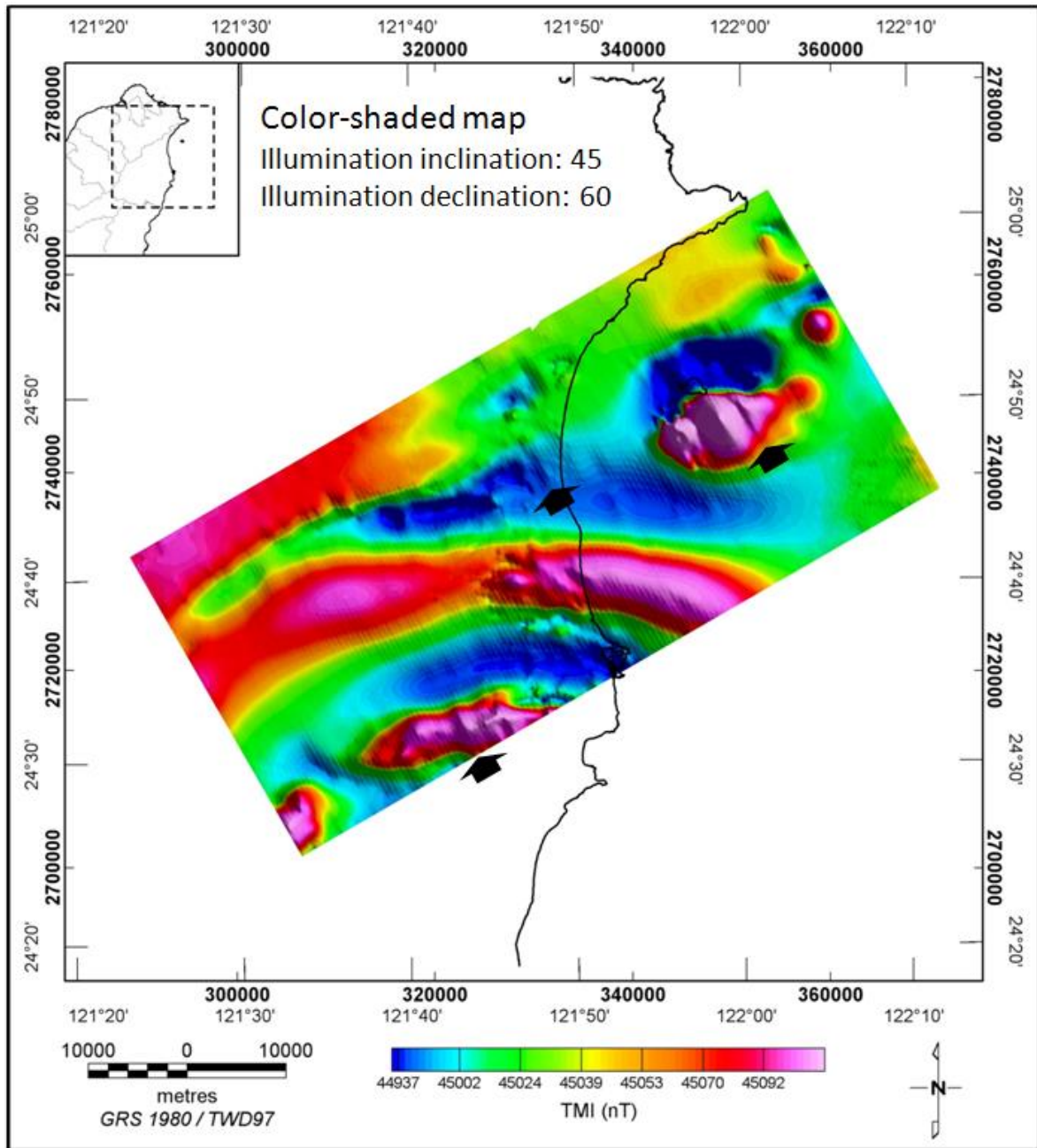


圖 4-25：圖 4-24 以彩色陰影呈現之全磁力強度圖

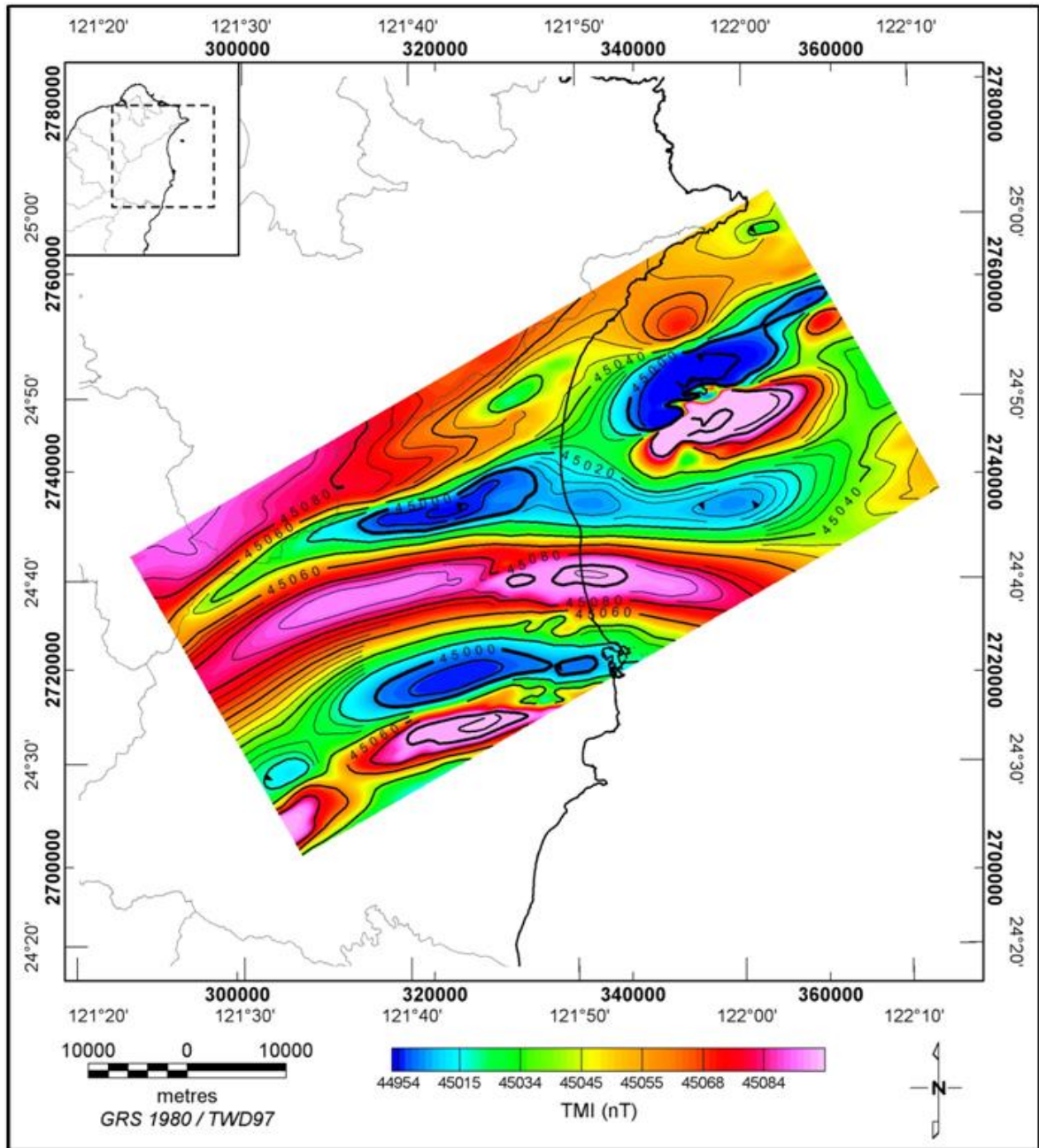


圖 4-26：本計畫研究區域之全磁力強度圖

4.3.3.3 網格處理

網格處理係透過二維處理方式，強化磁力異常的影象，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，說明如下：

(1) 歸極換算

歸極換算之主要目的，在於將磁傾角小於 90 度區域所獲得的磁力異常圖，轉換成磁傾角等於+90 度或-90 度時的磁力異常圖。為避免當磁傾角較小或雜訊較高情況下，可能引起計算過程之不穩定，本報告採用 MacLeod *et al.* (1993)所提出的換算公式進行計算，如下：

$$L(\theta) = \frac{[\sin(I) - i \cos(I) \cdot \cos(D - \theta)]^2}{[\sin^2(Ia) + \cos^2(Ia) \cdot \cos^2(D - \theta)] \cdot [\sin^2(I) + \cos^2(I) \cdot \cos^2(D - \theta)]} \dots\dots\dots (12)$$

上式中 θ 為波數域極座標之方位角， I 為測區主磁場之磁傾角， D 為測區主磁場之磁偏角， Ia 為使用者設定的擬似磁傾角(pseudo-inclination)，通常介於 ± 20 度，用以提高計算結果的穩定性。本計畫以調查範圍內各測點的理論平均磁傾角(36.2 度)及平均磁偏角(-3.9 度)，輸入公式 12 用以進行歸極換算處理。

(2) 濾波

訊號與雜訊通常具有不同的波長(wave length)，在空間域(space domain)裡因各種波長的訊號及雜訊混雜在一起，故並不容易在空間域中直接將不同波長的訊號加以分離。若先將空間域的序列(series)，經快速傅氏變換(Fast Fourier Transformation, FFT)至波數域(wavenumber domain)後，則在波數域可以直接對特定波長進行刪除或保留，再經逆快速傅氏變換(Inverse Fast Fourier transformation, IFFT)回空間域，則能達到濾除或保留特定波長訊號之目的。

假設空間域內一離散(discrete)序列 X 共有 N 個取樣點，依快速傅氏變換公式 13 可將其變換至波數域 x ：

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} \dots\dots\dots(13)$$

其中， N 為總取樣點數， k 為波數。在波數域裡藉由一個反應函數(L; response function)，與 x 相乘以達到濾波之目的，如下：

$$X' = X \cdot L \dots\dots\dots(14)$$

依濾波目的差異，常用的濾波器(filter)包括：低通濾波(low-pass filtering)、高通濾波(high-pass filtering)與帶通濾波(band-pass filtering)，其對應典型的反應函數如圖 4-27 所示，圖中 W_c 為低通濾波與高通濾波的截切波數(cut-off wave number)， W_1, W_2 則為帶通濾波的低切與高切波數。低通濾波器保留波數小於 W_c 的訊號，低通濾波器保留波數大於 W_c 的訊號，帶通濾波器則保留波數介於 W_1 與 W_2 的訊號。 X' 再經逆快速傅氏變換公式 15，可變換回空間域 x' ：

$$x'_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X'_k e^{\frac{2\pi i}{N} kn} \dots\dots\dots(15)$$

濾波處理有兩個主要目的：(a)濾除雜訊(noise)提高信噪比(S/N ratio)、(b)分離深部與淺部磁力異常。雜訊濾除通常於資料前處理過程中使用，應用高通濾器並設定較高的截切波數，以達到濾除高頻雜訊之目的。進行資料解釋之處理時，則主要透過設定適當的截切波數，將磁力異常圖分離為區域磁力異常(regional magnetic anomaly)與剩餘磁力異常(residual magnetic anomaly)；區域磁力異常用以反映較深的構造，剩餘磁力異常則用以反映相對較淺的構造，前述之「深」、「淺」並無確切之定義，與所採用截切波數(或習慣稱：截切波長)之長短有關。一般而言，若截切波數之對應波長為 1 公里，則經低通濾波處理後之區域磁力異常圖，視為反映深度約 0.25–0.5 公里以下之構造，經高通濾波處理後之剩餘磁力異常圖，視為反映深度 0.25–0.5 公里以上之構造。

(3) 向上延伸

向上延伸(簡稱：UC)的功能在於透過解迴旋(convolution)運算，將磁力

量測基準面向上提升至某特定高度。二維向上延伸可以透過快速傅氏變換達成，在波數域向上延伸的反應函數如下所示：

$$L(k) = e^{-2\pi kh} \dots\dots\dots(16)$$

上式中 k 為波數， h 為欲延伸的高度。如同前述濾波處理，在波數域與反應函數作用後，再以逆快速傅氏變換轉回空間域。相由於基準面高度提高，量測點與地下磁體間的距離加大，故磁力異常較不受淺部局部磁體影響，而能反映出大區域的構造形貌。

(4) 微分

微分處理可以使細微的變化更顯著，故透過微分處理可以加強地下磁體邊界的對比(Bruno *et al.*, 2004)，使地下磁體的邊界更易於辨認；垂直微分(Vertical Derivative; *VDR*)、全水平微分(Total Horizontal Derivative; *THDR*)、傾角微分(Tilt Derivative; *TDR*)、解析訊號(*Analytic Signal*; *AS*)等是較常使用的方法。所使用公式如下：

$$VDR = \frac{\partial T}{\partial z} \dots\dots\dots(17)$$

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \dots\dots\dots(18)$$

$$TDR = \tan^{-1} \left[\frac{VDR}{THDR} \right] \dots\dots\dots(19)$$

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \dots\dots\dots(20)$$

其中 T 代表磁力強度。上述微分處理方法中，一次垂直微分(1st vertical derivative; *IVD*)，*TDR* 及 *AS* 常用於輔助解釋地下磁體分布與特徵。

4.3.3.4 磁力異常圖

依前節所述網格處理，本計畫產出之主要全磁力強度圖及磁力異常圖如圖 4-28 至圖 4-34 所示，說明如下：

- (1) 全磁力強度異常圖

圖 4-28 係圖 4-26 經歸極換算後之全磁力強度圖，圖上高磁力異常可用以定性地解釋地下磁體的分布，顯示龜山島四週為高磁力異常。

(2) 區域磁力異常圖

區域磁力異常用以反映相對深層的磁力特性，通常將 TMI 網格透過低通濾波或向上延伸後獲得。圖 4-29 為以截切波長等於 5000 m 對圖 4-26 進行低通濾波後，再經歸極換算後獲得的磁力異常圖；圖 4-30 為以延伸高度為 1000 m 對圖 4-26 進行向上延伸後，再經歸極換算後獲得的磁力異常圖。圖 4-29 及圖 4-30 均顯現龜山島及蘭陽溪出海口附近為磁力高區。

(3) 剩餘磁力異常圖

剩餘磁力異常用以反映相對淺層的磁力特性，通常將 TMI 網格透過高通濾波、扣除區域趨勢面(regional trend)或扣除向上延伸磁力異常圖等方式獲得。圖 4-31 為以截切波長等於 5000 m 對圖 4-26 進行高通濾波，再經歸極換算後獲得的磁力異常圖。將圖 4-26 扣除延伸高度等於 250 m 的磁力異常後，再經歸極換算後獲得如圖 4-32 的磁力異常圖。圖 4-31 及圖 4-32 在龜山島附近，均顯現出東南東—西北西方向的線形。

(4) 微分磁力異常圖

磁力異常經微分處理後能強化磁力特徵，用於輔助磁力構造解釋。圖 4-33 為圖 4-28 經一次垂直微分後獲得的磁力異常圖，用以凸顯地層構造。圖 4-34 為圖 4-28 經傾角微分後的磁力異常圖，圖中虛線代表角度等於 0 度的等值線，通常用來輔助解釋磁體的邊界。

4.3.3.5 磁力異常圖幅製作

參考國外相關磁力異常圖幅配置與本計畫需求，本計畫之圖幅版面設計如圖 4-35 所示。圖幅版面主要分為左、右兩區，左側版面範圍較大，用以展示主題圖，右側版面則用以展示相關圖說及比例尺等資訊，包括以下內容：

- (1) 圖名。
- (2) 施測參數。

- (A) 調查區域。
 - (B) 施測單位。
 - (C) 施測期間。
 - (D) 計畫代號。
 - (E) 飛行載具。
 - (F) 測線間距。
 - (G) 檢核線間距。
 - (H) 測線方位。
 - (I) 檢核線方位。
 - (J) 離地高度。
- (3) 使用設備。
- (A) 磁力儀型號。
 - (B) 解析度。
 - (C) 取樣頻率。
 - (D) 取樣間格。
 - (E) 衛星定位系統。
 - (F) 導航系統。
 - (G) 磁力基站。
- (4) 圖幅座標系統。
- (A) 參考橢球體。
 - (B) 投影方法。
- (5) 資料處理步驟。

說明主題圖檔產生過程中所採用的資料處理步驟，以產製經歸極換算之磁力異常圖為例，其經過的處理步驟如下：

- (A) 突波移除。
- (B) 基站修正。
- (C) IGRF 修正。

- (D) 航向修正。
 - (E) 延遲修正。
 - (F) 微調平修正。
 - (G) 歸極換算處理。
- (6) 彩色圖例。
- (7) 比例尺及坐標系統。

本計畫共完成 4 幅十萬分之一圖幅，縮圖列於附錄 7.5，為方便後續磁力資料解釋，並以 300 dpi 產出 Arcview TIFF 格式圖檔，採用 GRS80/TWD97 座標系統，故可以載入各類地理資訊軟體使用。

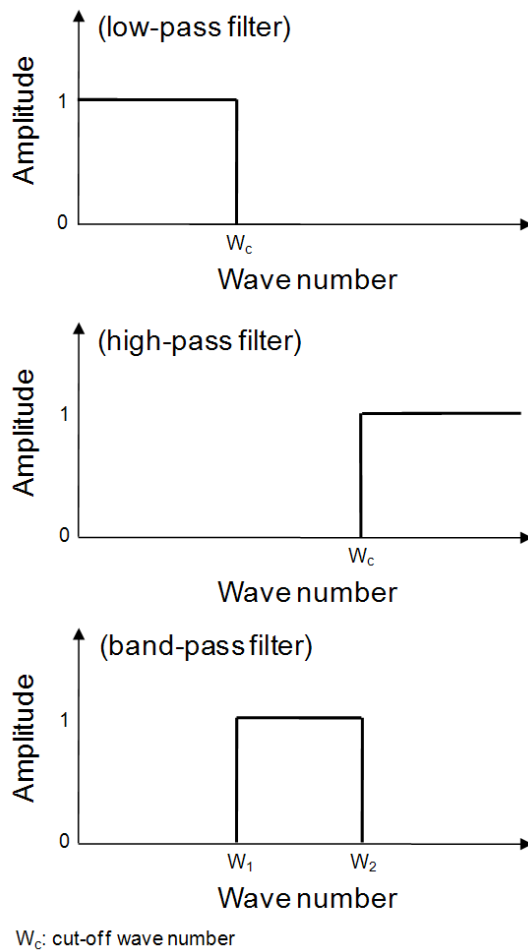


圖 4-27：常用濾波器之反應函數

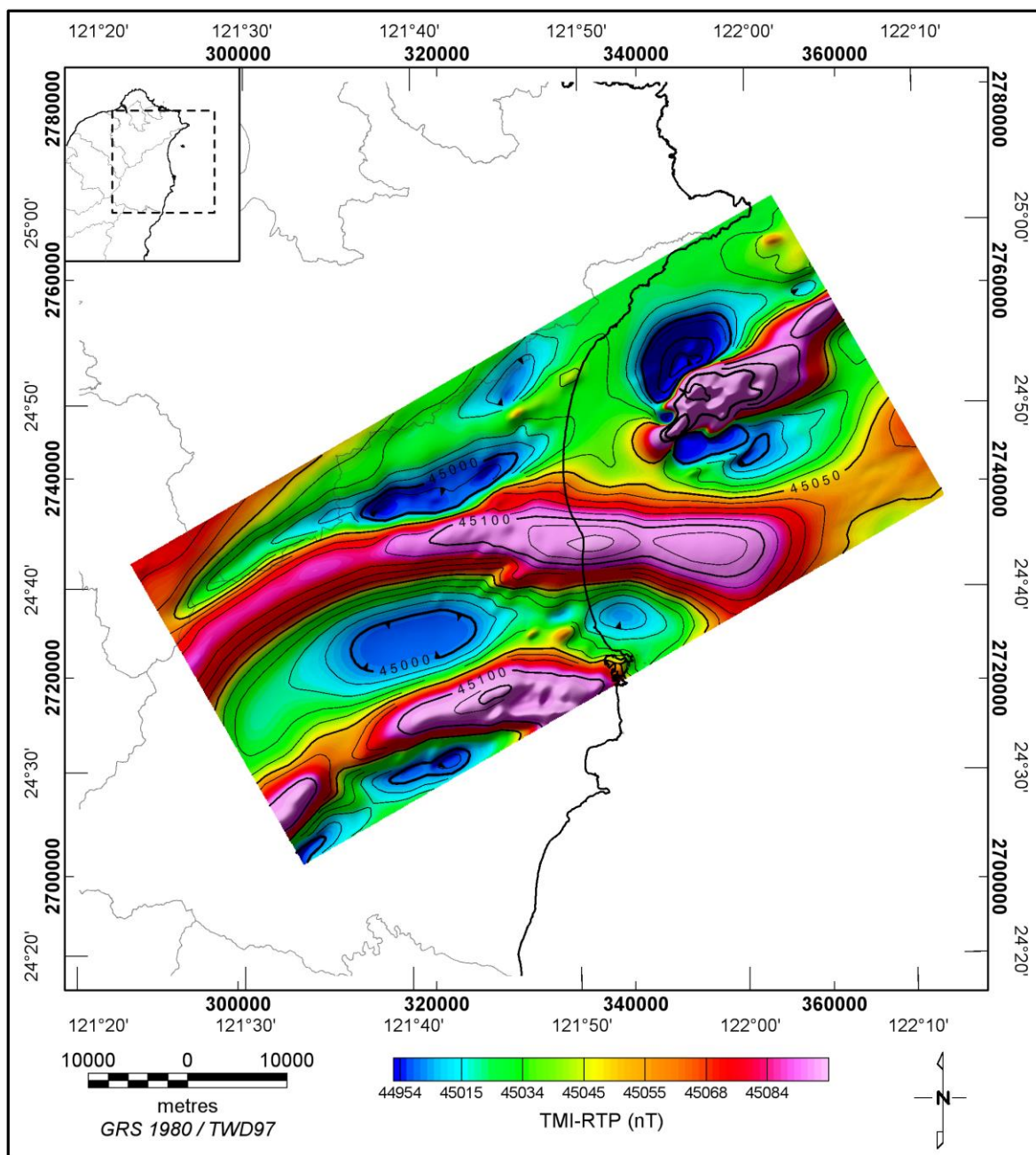


圖 4-28：經歸極換算處理後之全磁力強度圖

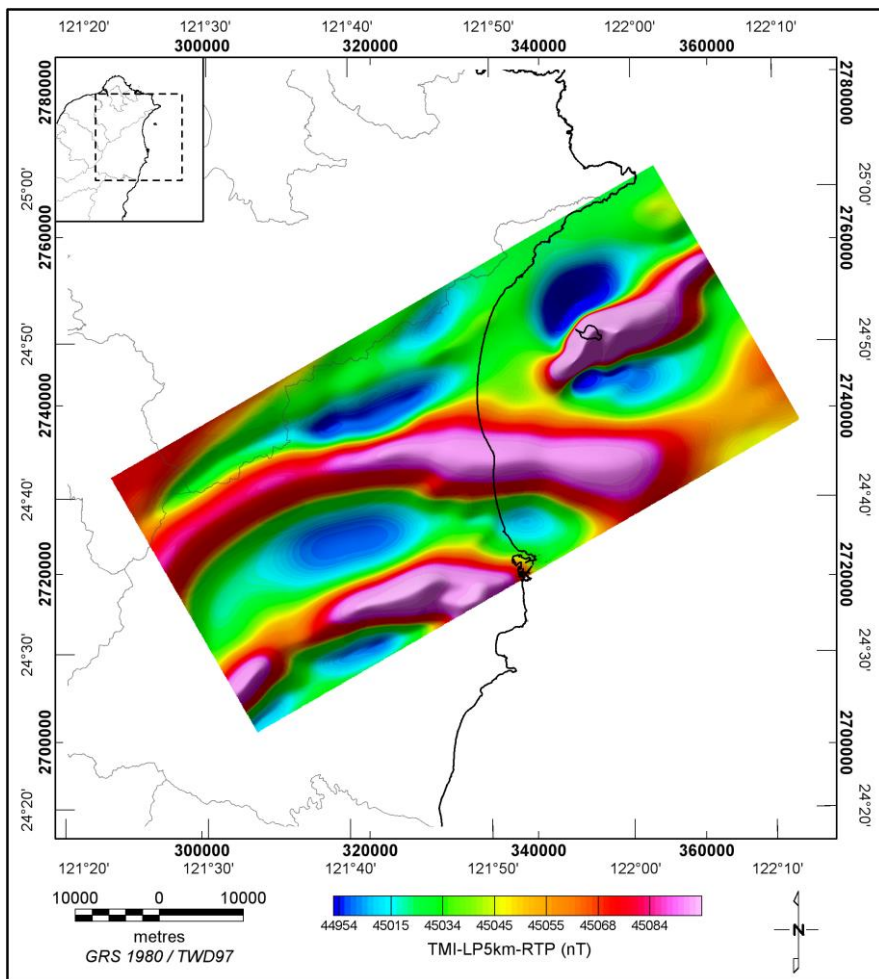


圖 4-29：經低通濾波及歸極換算處理後之區域磁力異常圖
(截切波長為 5000 m)

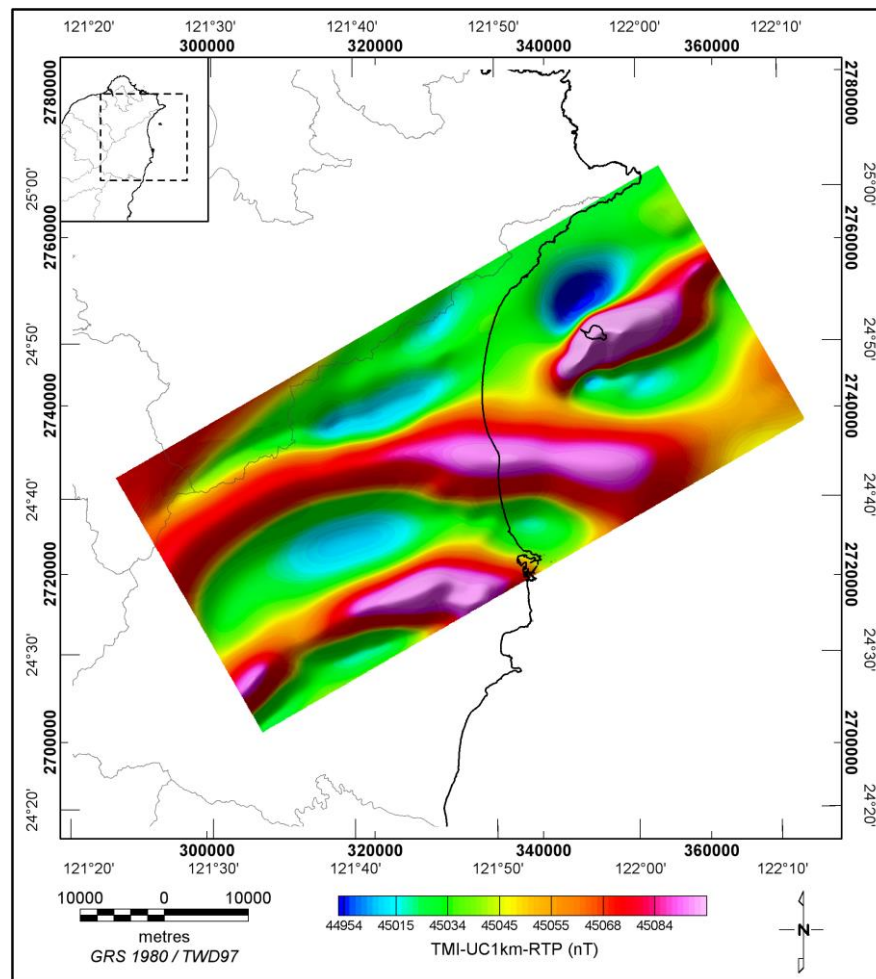


圖 4-30：經向上延伸及歸極換算處理後之區域磁力異常圖
(延伸高度為 1000 m)

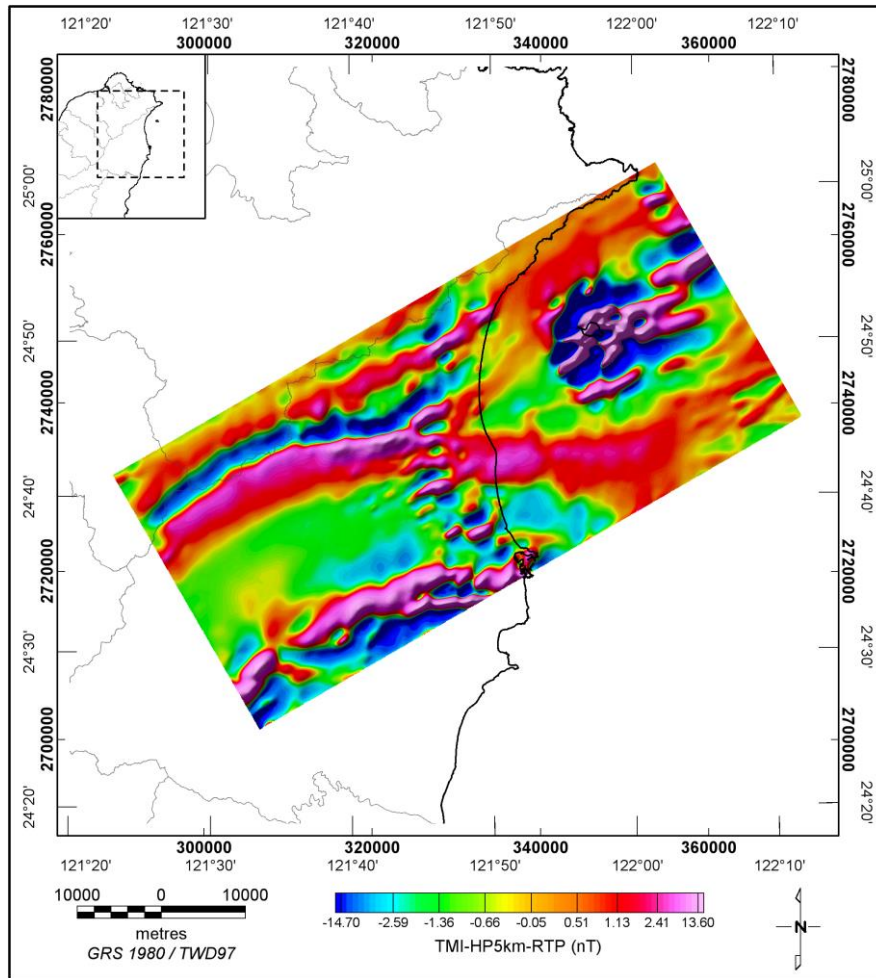


圖 4-31：經高通濾波及歸極換算處理後之剩餘磁力異常圖
(截切波長為 5000 m)

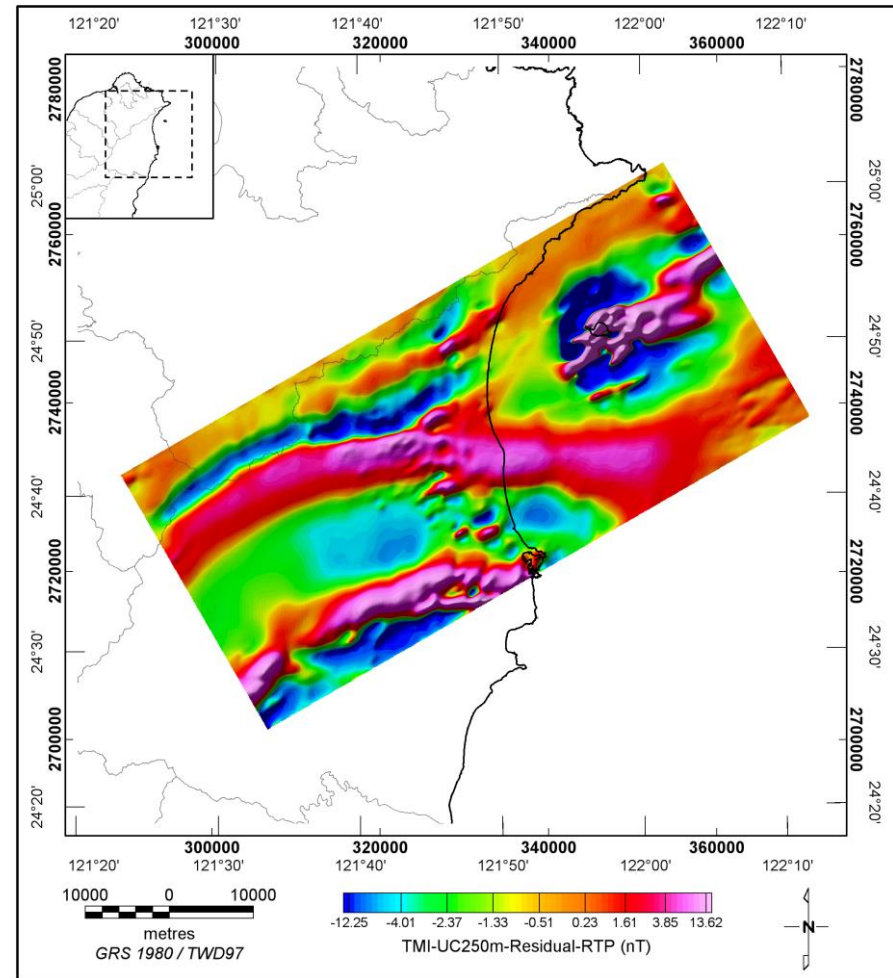


圖 4-32：扣除向上延伸磁力值後之剩餘磁力異常圖
(TMI 網格扣除向上延伸 250 m 之 TMI 網格後獲得)

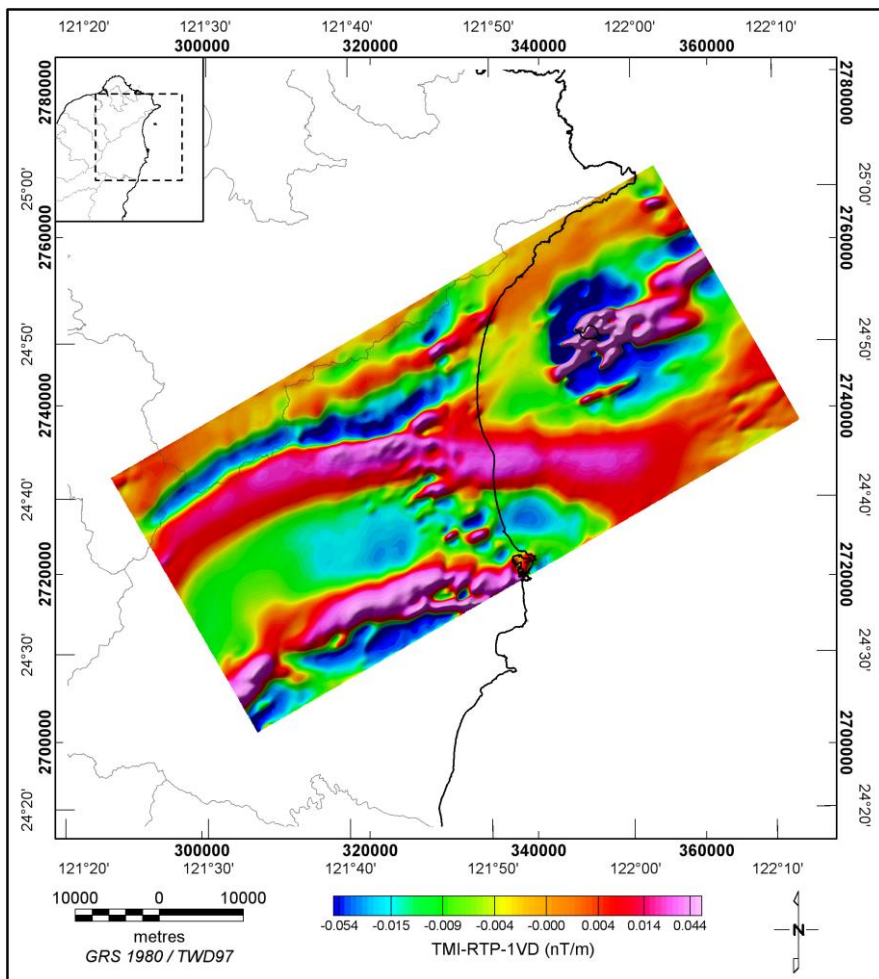


圖 4-33：經一次垂直微分及歸極換算處理後之磁力異常圖

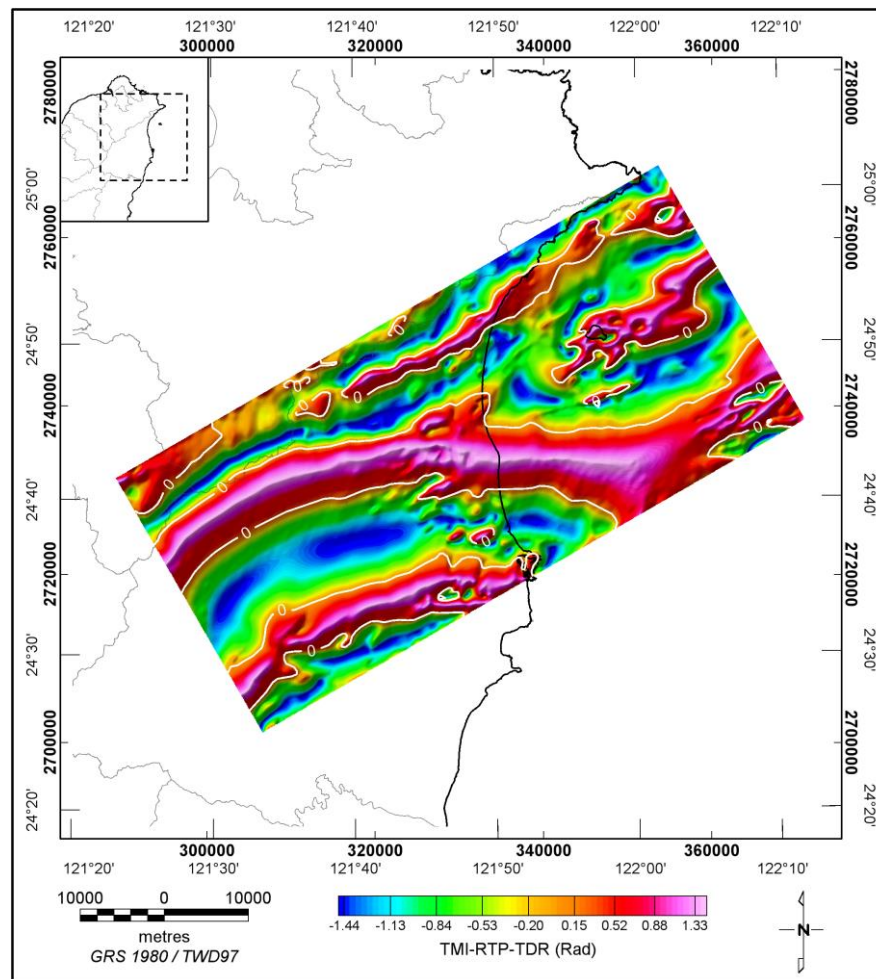


圖 4-34：經傾角微分處理後之磁力異常圖
(白色虛線為角度等於零之等值線，反映地下磁體邊界)

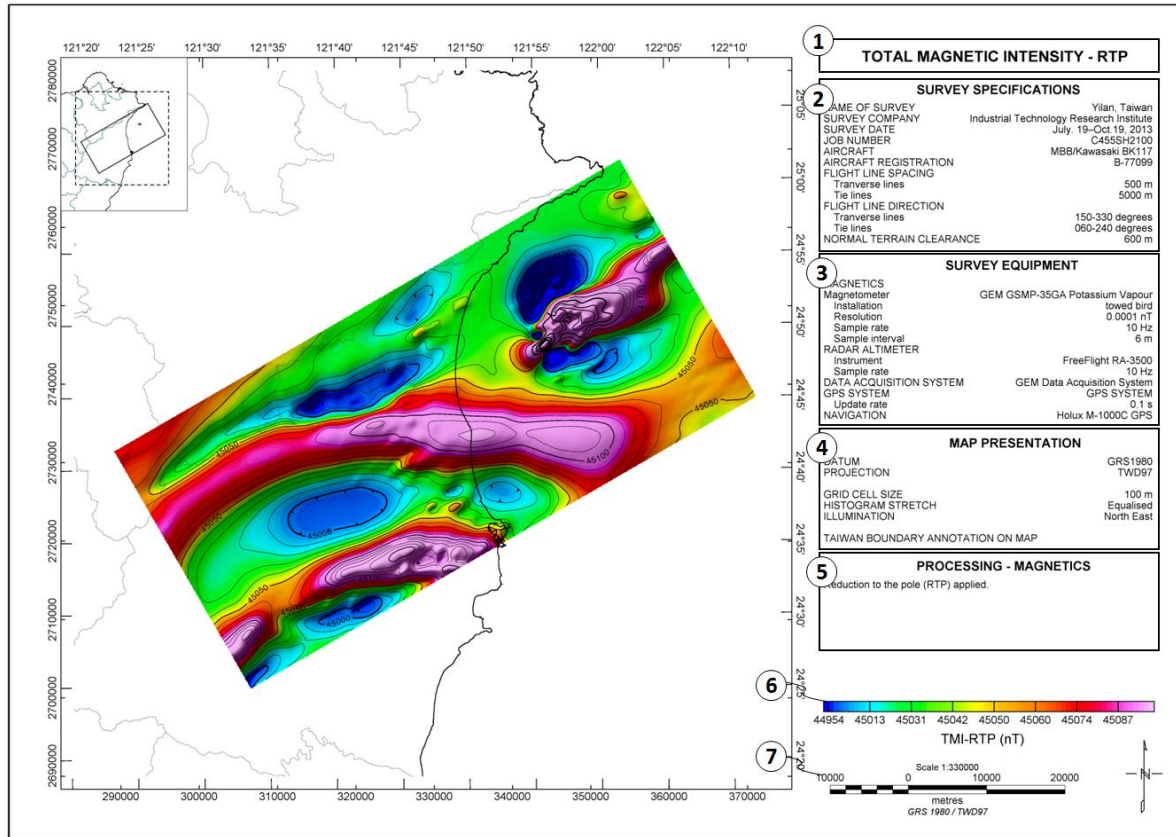


圖 4-35：磁力異常圖幅版面設計示意圖

4.3.3.6 三維逆推

(1) 逆推原理

在地表所量測的磁力值，是地下各不同深度磁體的磁力總合，故在地表量測到的磁力值是地下磁體之深度與磁感率的函數。逆推技術係依據地表量測之磁力值，反推地下磁體的空間分布及其磁感率。

假設在地表有 M 個磁力量測值，以 B 表示觀測矩陣，如下：

$$B = [b_1, b_2, \dots, b_M] \dots \dots \dots (21)$$

其中 b_i 代表第 i 個觀測值，假設此 M 個磁力量測值可以地下 N 個磁體來匹配，令 G 與 S 分別代表地下磁體的幾何(geometry)參數與磁感率，令此 N 個磁體包含了 N_g 個幾何參數與 N_s 個磁感率，以 X 表示模型參數矩陣，如下：

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_{N_g+N_s}] = [g_1, g_2, \dots, g_{N_g}, s_1, s_2, \dots, s_{N_s}] \dots \dots \dots (22)$$

$$G = [g_1, g_2, \dots, g_{Ng}] \dots\dots\dots (23)$$

$$S = [s_1, s_2, \dots, s_{Ns}] \dots\dots\dots (24)$$

g_i 與 s_i 代表第 i 個磁體的幾何參數與磁感率，令 T 代表量測磁力值與模型參數(model parameter)間的數學函數關係，如下：

$$B = T(G, S) \dots\dots\dots (25)$$

公式 25 是一非線性函數，為使問題簡單化，以線性化處理公式 25 可寫成一個包含 $Ng + Ns$ 個未知參數的 M 組聯立方程式，以矩陣方程式表示如下：

$$Error = (B - T) = AdX \dots\dots\dots (26)$$

上式 $(B-T)$ 稱為誤差矩陣(error matrix)， dX 代表參數改進矩陣(parameter improvement matrix)， A 稱為雅氏式矩陣(Jacobian matrix)，為一 $M \times (Ng + Ns)$ 的矩陣，代表磁力理論值 T 對模型參數 X 的偏微分，定義如下：

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,Ng+Ns} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{M,1} & \dots & a_{M,Ng+Ns} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (27)$$

$$a_{i,j} = \frac{\partial T_i}{\partial X_j} \dots\dots\dots (28)$$

由於公式 26 具有非唯一解的特性，故可透過最小二乘法(least square method)或馬魁達法(Marquardt method)等方法求解 dX ，並以疊代(iteration)方式求得收斂後的模型參數。

二維逆推(2D inversion)與三維逆推(3D inversion)因維度不同，故在模型參數的設定上有所差異。二維逆推因將地質構造簡化為二維構造，故求解過程相對單純，通常可同時求解磁體的幾何參數與磁感率。進行三維逆推時，慣常先將地下地層劃分為規律的立體網格，藉以固定幾何參數(Denisso *et al.*, 2009; Dutra and Marangoni, 2009)，於求解公式 26 過程中，解算各立體網格對應的磁感率，並依據磁感率的空間分布進行解釋。

(2) 三維逆推處理

本計畫以圖 4-26 之原始全磁力異常圖作為三維逆推之觀測網格(observe

grid; 圖 4-36)，共有 41,469 個量測值。由於觀測網格的格點大小為 100 m，為方便計算，故本計畫在設計磁感率模型時，將研究範圍內，東西、南北及垂直等方向的網格間距均設為 250 m，包括向外延伸的網格，總計 13,887,520 個網格。經過 154 次疊代後，均方根誤差由起始的 7.65 nT 降至 1.16 nT (圖 4-37)，獲得的地下磁感率模型(magnetic susceptibility model)如圖 4-38 所示。圖 4-39 為依據圖 4-38 重新計算的理論全磁力異常圖，圖 4-40 代表圖 4-39 與圖 4-26 間的誤差網格，圖 4-41 為誤差直方圖，顯示平均誤差為-0.8%。比較圖 4-36、圖 4-39 及圖 4-40，觀測網格與理論網格間的差異很小，主要誤差集中在龜山島鄰近地區，顯示經三維逆推獲得的地下磁感率模型(圖 4-38)，可用以反映地下磁性構造。

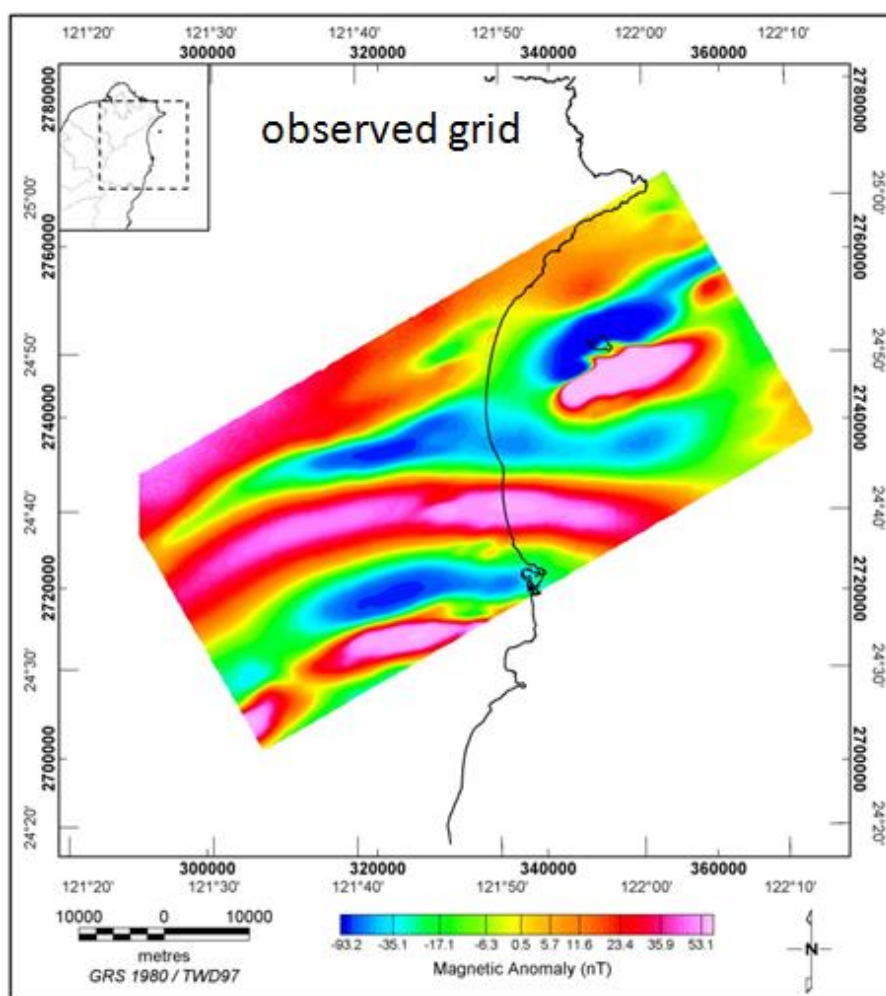


圖 4-36：三維逆推之輸入觀測網格

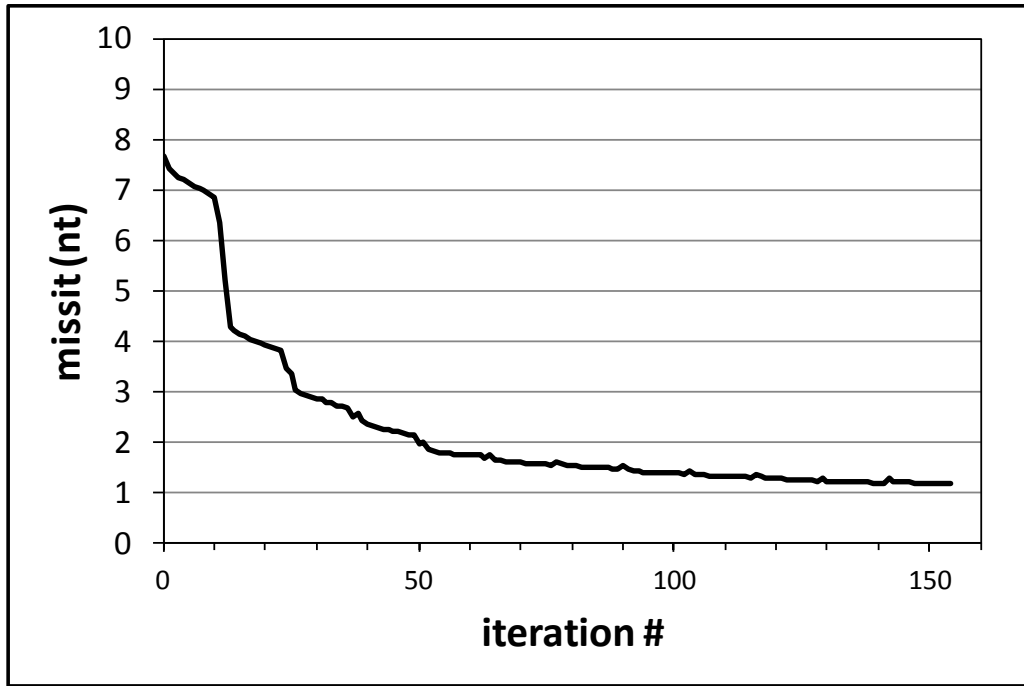


圖 4-37：三維逆推疊代次數與均方根誤差關係圖

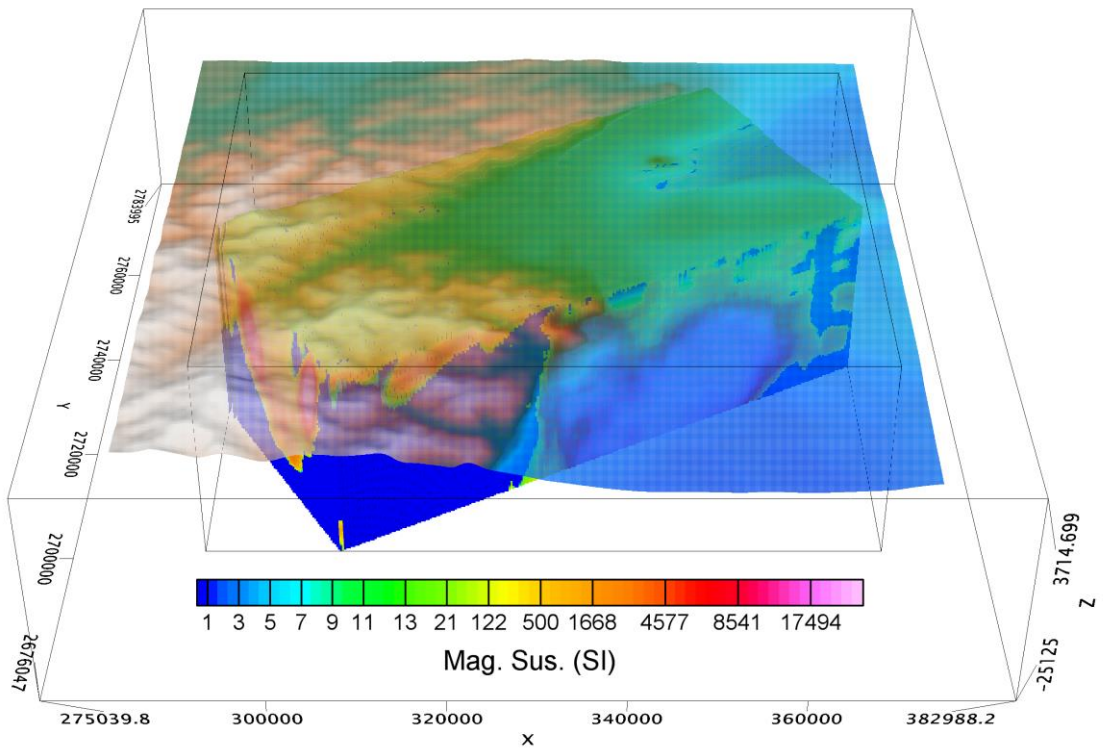


圖 4-38：經三維逆推獲得之三維磁感率模型

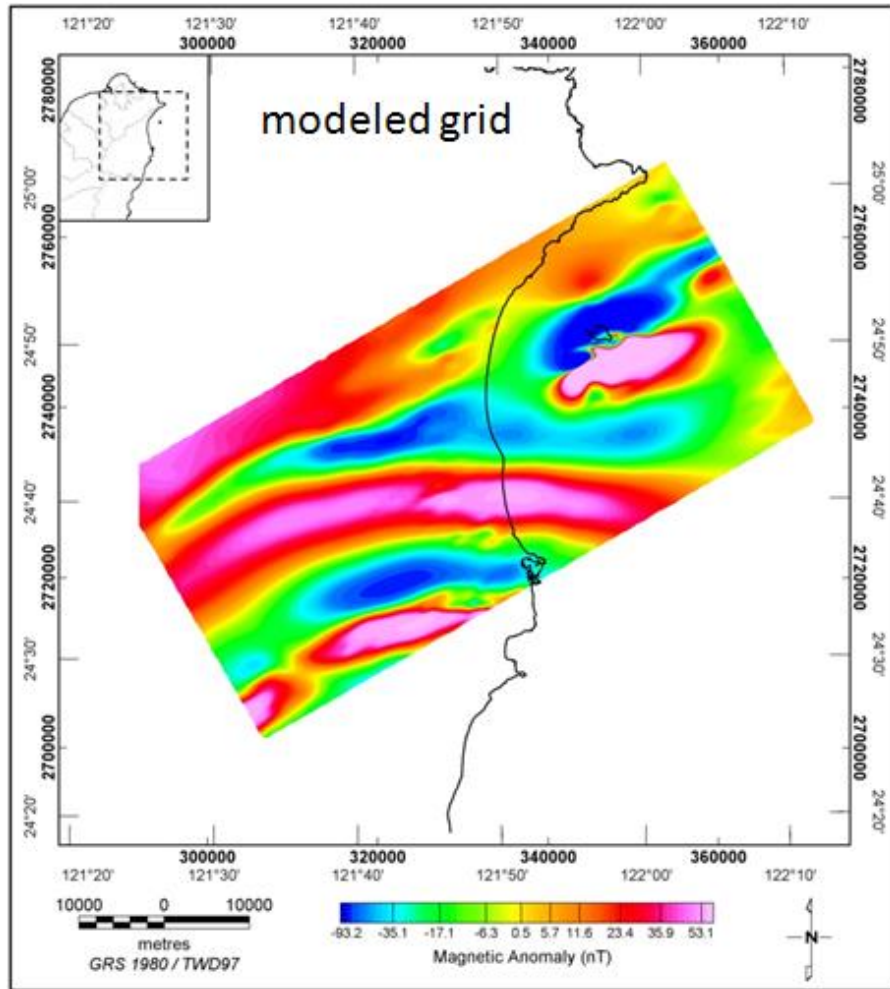


圖 4-39：經三維逆推處理後重新計算之理論網格

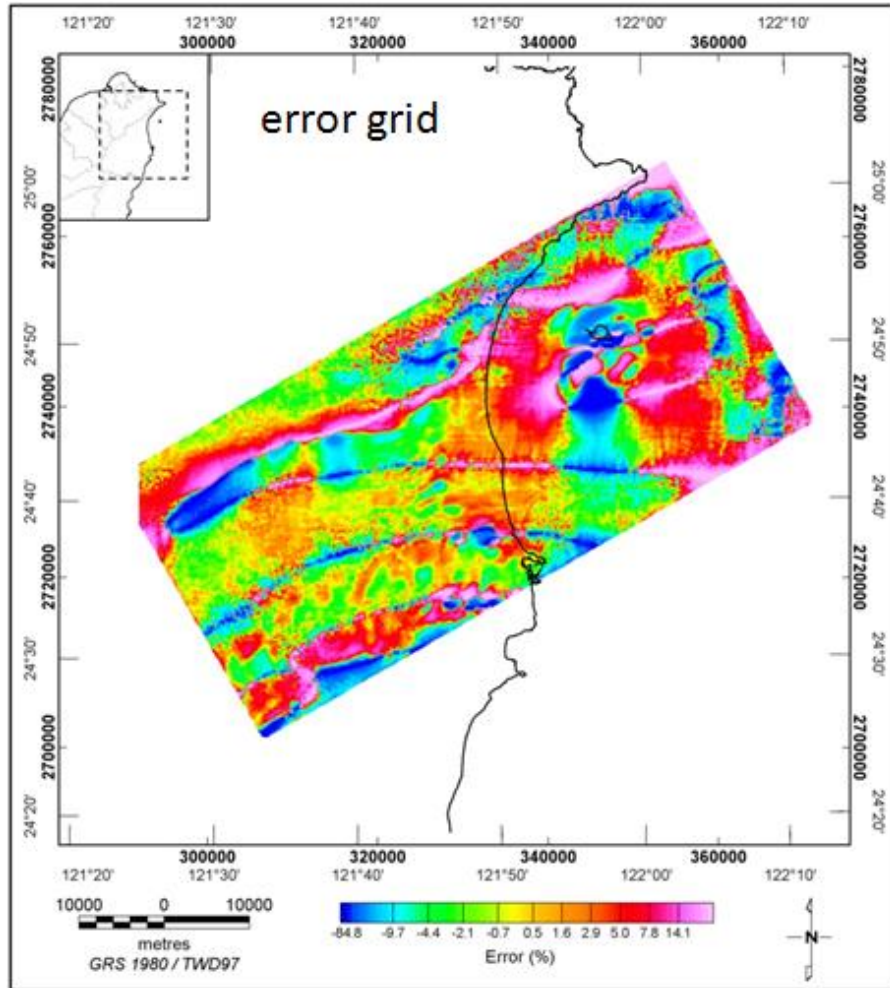


圖 4-40：觀測網格與理論網格間之誤差網格

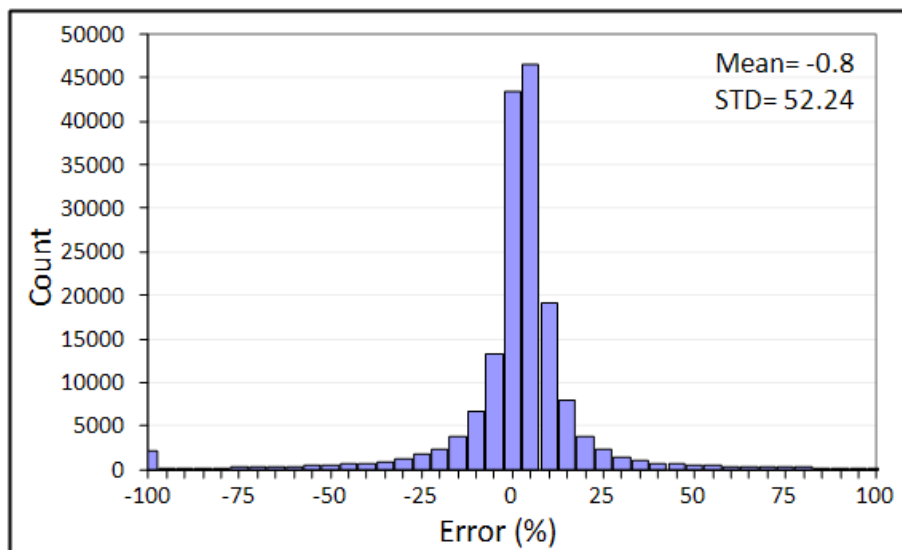


圖 4-41：三維逆推誤差直方圖

4.3.4 甚低頻電磁資料處理

4.3.4.1 低通濾波

檢視各測線的 VLF-EM 原始紀錄，顯示資料參雜許多高頻雜訊，故需先進行濾波處理。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，其運算方法包括兩個主要步驟：(1)兩點移動平均(moving average)及(2)一階差(1st difference)。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 Fraser 濾波並不完全適用於空中 VLF-EM 紀錄。因此本計畫參考 Fraser 濾波之原則，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。

圖 4-42 為測線 15 之原始 VLF 紀錄，顯示頻率 19.6 kHz 對應之各項量測值均很低，相較之下頻率 22.3 kHz 之量測值比較高，顯示在調查期間，頻率 22.3 kHz (NWC 站台)的能量相對較強，故本計畫後續乃主要採用頻率 22.3 kHz 的紀錄進行處理分析。圖 4-43 為測線 15 頻率 22.3 kHz 對應各項紀錄經前述濾波處理後的結果，與原始紀錄比較，顯示經濾波處理後紀錄相對比較平滑。

各測線經前述濾波處理後，圖 4-44 為頻率 22.3 Hz 之同相(in-phase)分量等值圖，圖中黑色箭頭所指空白區間，因紀錄之訊號強度過低品質不良，推測有可能因 VLF 塔台於施測期間關閉所致。檢視圖 4-44 仍可發現與測線同方向(方位角 150 度)的帶狀雜訊，因此採用方向濾波將 150 度方向的雜訊濾除，圖 4-45 為經方向濾波後的同相分量等值圖，在山地區域訊號有顯著強弱差異，推測與岩性或構造有關。

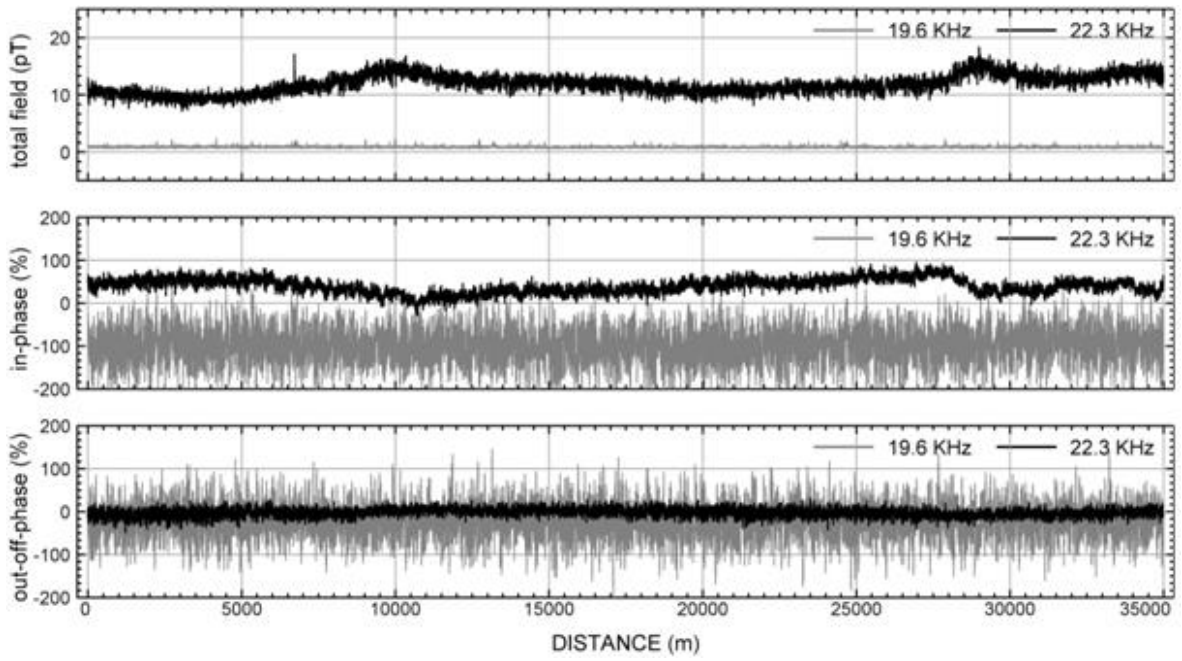


圖 4-42：測線 15 頻率 19.6 及 22.3 KHz 之 VLF 紀錄

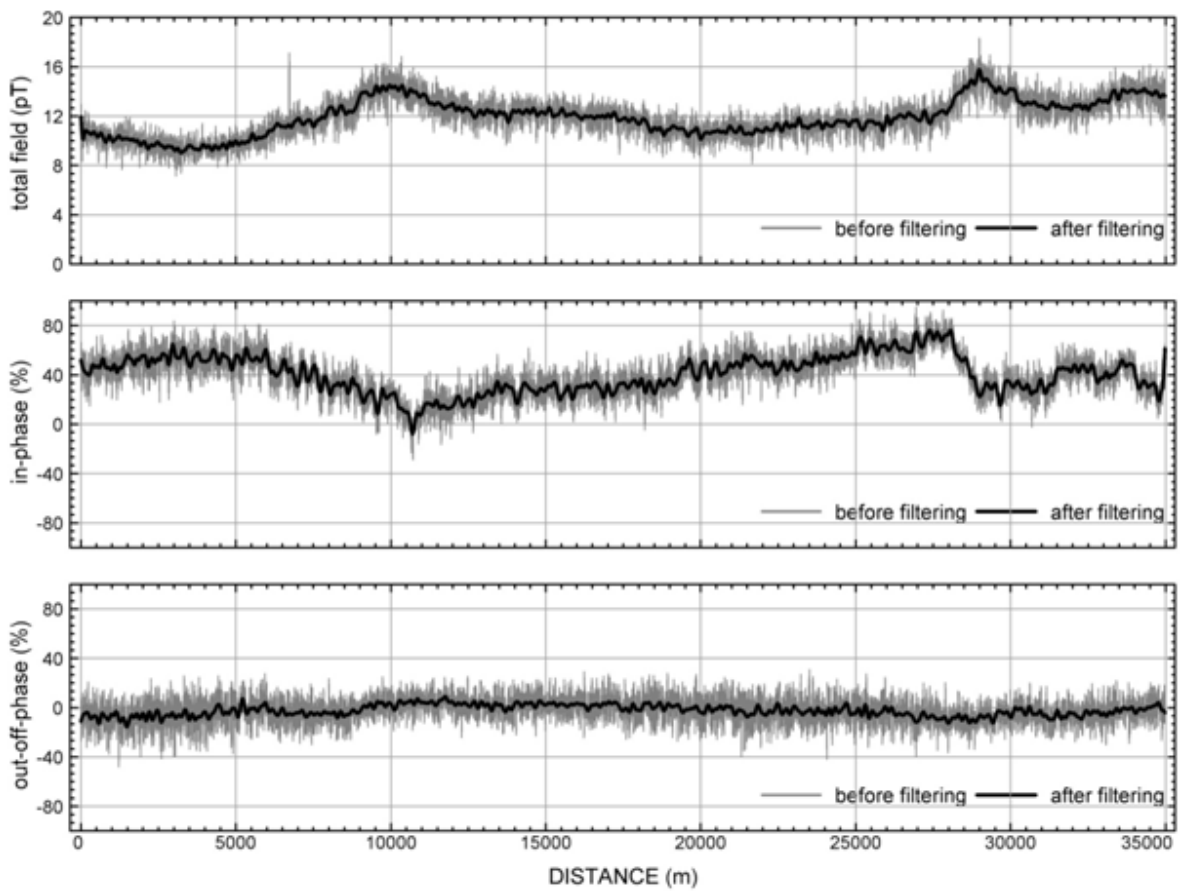


圖 4-43：測線 15 頻率 22.3 KHz 之 VLF 紀錄濾波前後之比較圖

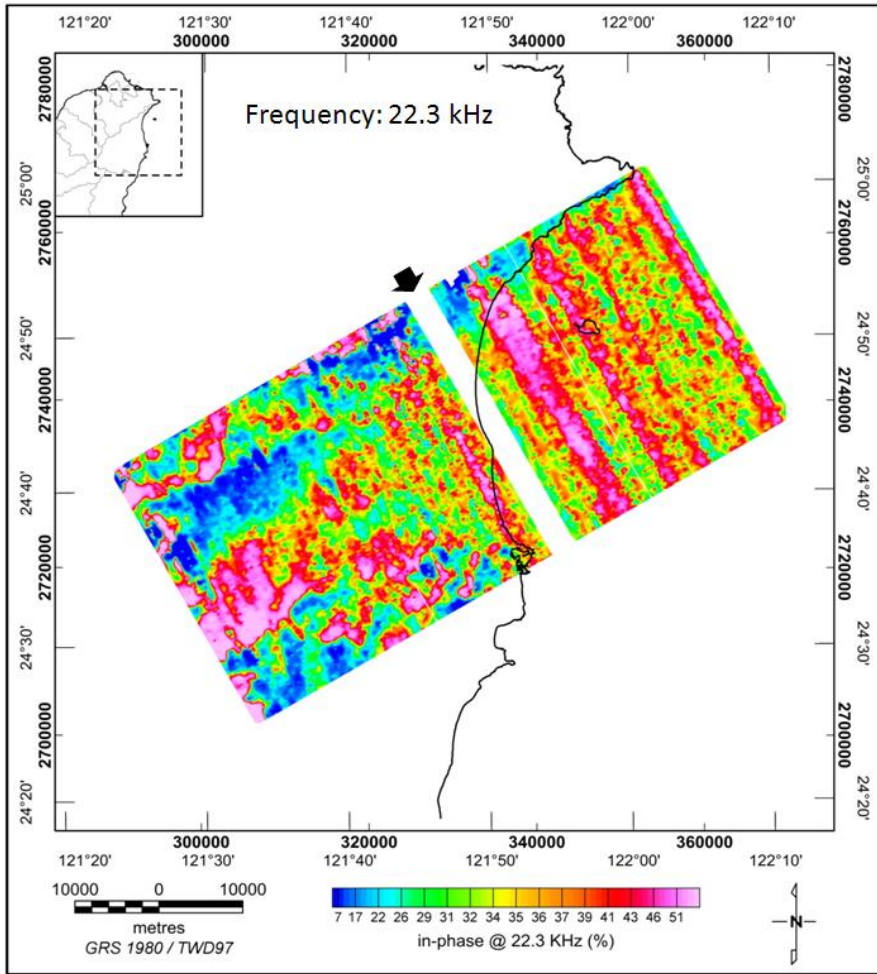


圖 4-44：原始同相位分量等值圖

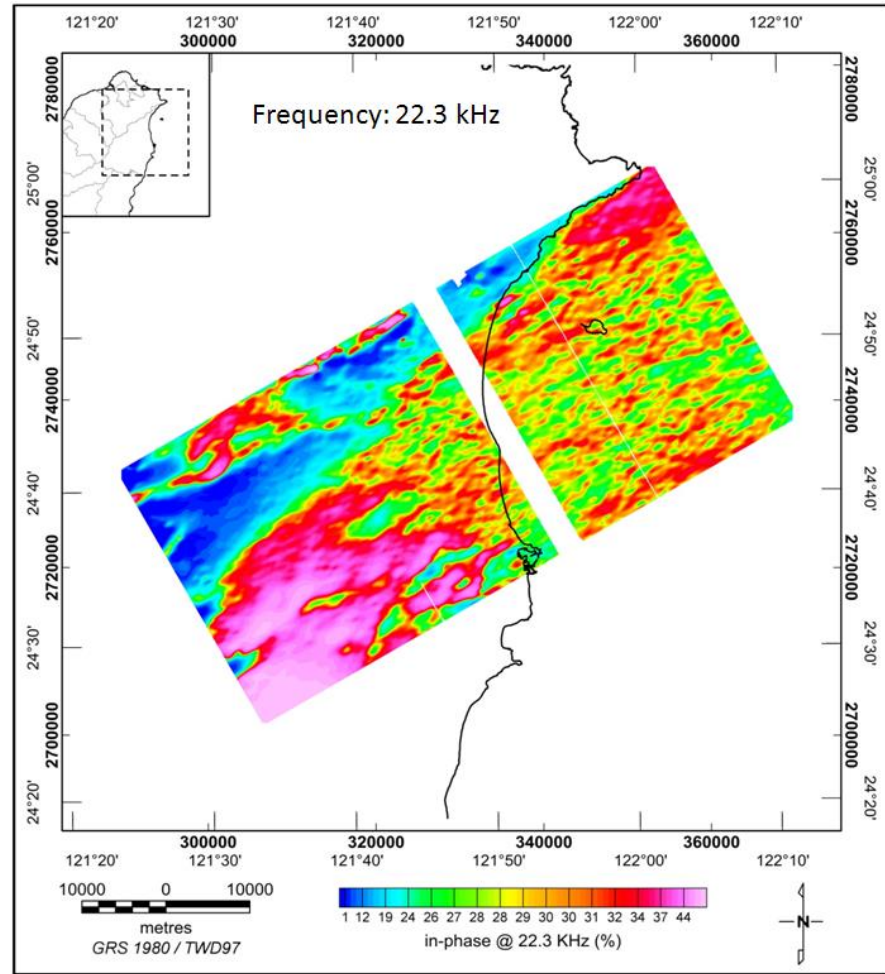


圖 4-45：經方向濾波後之同相位分量等值圖

4.3.4.2 等效電流密度轉換

K&H 線性濾波(K & H Linear Filtering; Karous and Hjelt, 1983)廣泛應用在由 VLF 量測紀錄計算地下近似等效電流密度(equivalent current density; I_a)分布，一般常使用 7 係數(seven-coefficient)計算，如下：

$$I_a(i) = \frac{2\pi}{\Delta z} \times (-0.102 \times H_{i-3} + 0.059 \times H_{i-2} - 0.561 \times H_{i-1} + 0 \times H_i + 0.561 \times H_{i+1} - 0.059 \times H_{i+2} + 0.102 \times H_{i+3}) \quad (29)$$

式中， $I_a(i)$ 代表第 i 個測點處且深度等於 Δz 的等效電流密度； Δz 等於計算時所採用的測點間距離 (Δx)；代表第 i 個測點的次生磁場(可以是 in-phase 或 out-off-phase)。在實際運用時，由 $1 \Delta x$ 、 $2 \Delta x$ 、... 逐漸增大測點間距，故能獲得由淺至深的地層等效電流密度分布。

經由上式計算的等效電流密度，並不等於實際在地層中流動電流的分布 (Fraser, 1981)，但由於計算快速，且其值之相對高低與地層內的電流密度成正比，故常用來做為快速解釋時的參考，此方法過去常用來探測含水破碎帶的分布。

由於本次調查之平均飛行高度約介於 500–600 公尺間，故將同相位分量紀錄分別以 250 m 及 500 m 進行重新取樣，再依公式 29 計算對應的等效電流密度，分別如圖 4-46 及圖 4-47 所示。等效電流密度越高代表地層導電性相對越好，圖 4-46 及圖 4-47 中黑色箭頭所指處，具明顯帶狀高區。由於 VLF-EM 探測具有方向性，故與測線同方向的異常帶較不易被偵測出來。

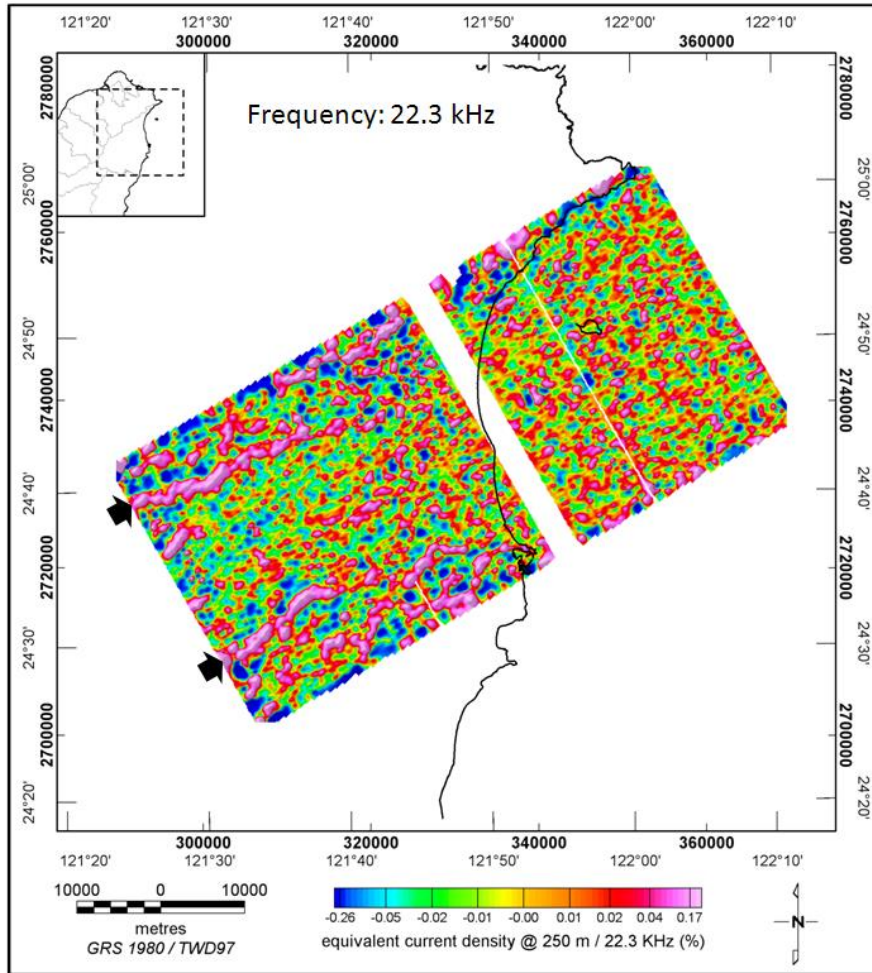


圖 4-46：間距 250 m 之等效電流密度等值圖

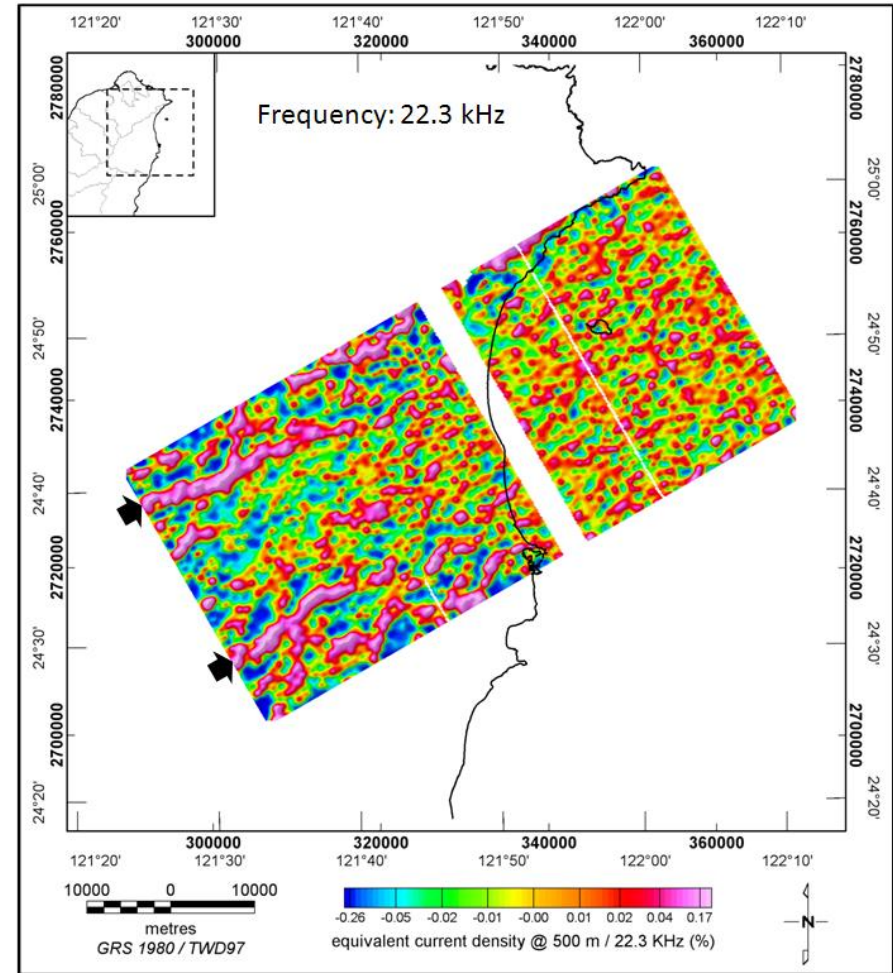


圖 4-47：間距 500 m 之等效電流密度等值圖

4.4 資料解釋

磁力解釋可分為磁力地層解釋(magnetic stratigraphic interpretation)及磁力構造解釋(magnetic structure interpretation)兩大類。磁力地層解釋主要依據磁力異常圖中所呈現的磁力強度(intensity)、頻率(frequency)及組織(texture)等特徵，搭配岩層磁力特性量測結果，解析地下磁體分布並對比其可能對應的地層或岩體類別。磁力構造解釋則依據磁力異常圖中所呈現的磁力線形(magnetic trend)分布特徵，配合其它既有資訊，解釋地質構造特性。

4.4.1 岩層物性特徵

本計畫共於 19 個地層露頭點進行岩石物性量測，量測項目包括磁感率與電阻率(resistivity)，本計畫共完成 19 個露頭之量測，各量測點基本資訊列於表 4-7，現場作業情形如圖 4-48。結合前年度曾完成的 38 個測點，總計 57 個量測點，位置分布如圖 4-49 及圖 4-50 所示。此外，為初步瞭解研究區域內地層的自然殘磁力特性，本計畫額外採取了 22 個定向岩石樣本，量測其自然殘磁率並計算 Q 值。

(1) 岩性與磁感率及電阻率關係

圖 4-51 及圖 4-52 分別為露頭岩性與磁感率及電阻率間關係圖，由圖中不同岩性之磁感率與電阻率分布，顯示以下特徵：

- (A) 調查範圍內大多數岩石磁感率的中位數約介於 $100 \times E-6$ 至 $500 \times E-6$ 之間，以砂岩、石英砂岩、硬頁岩、板岩及片岩等岩類為主，且變質岩類的磁感率似有隨變質度增加而提高的趨勢。
- (B) 角閃岩、安山岩與玄武岩等火成岩之磁感率遠大於調查區內其它沉積岩與變質岩之磁感率，與岩石富含磁性礦物有關。
- (C) 熱水換質的安山岩具有極低的磁感率，與熱換質作用有關；變質砂岩磁感率的中位數低於 $10 \times E-6$ ，推測因其母岩內磁性礦物含量低所致。
- (D) 圖 4-51 同時標示安山岩等五種岩類的 Q 值，顯示除了硬頁岩與角閃岩的 Q 值相對較低之外，變質砂岩、板岩及安山岩的 Q 值都有偏高的趨

勢，尤其安山岩的 Q 值高達 100 以上，暗示進行磁力解釋時，必需評估此類地層自然殘磁力可能造成的影響。

(E) 圖 4-52 顯示除砂岩與石英砂岩外，其餘岩石的電阻率均非常高，特別是變質砂岩與安山岩，其電阻率高達 5000 Ohm-m 以上。

(F) 由於岩層的電阻率受孔隙的連通性及孔隙水含量高低影響很大，本計畫施測之露頭大多為乾燥的完整岩塊，故由圖 4-52 大致提供不同岩性電阻率高低之參考，但不能據以做為判斷岩石的絕對電阻率。

(2) 地層與磁感率及電阻率關係

圖 4-53 及圖 4-54 分別為露頭地層與磁感率及電阻率間關係圖，由圖中不同地層之磁感率與電阻率分布，顯示以下特徵：

(A) 調查範圍內大多數地層磁感率的中位數約介於 $100 \times E-6$ 至 $200 \times E-6$ 之間，主要為巴陵層、大桶山層、乾溝層等沉積岩地層，及廬山層、東澳片岩及南蘇澳層等變質岩地層，屬於低磁性地層。

(B) 龜山島上除了受熱水變質的安山岩具有很低的磁感率之外(圖 4-51)，其餘固結的安山岩具有極高的磁感率與 Q 值。

(C) 由圖 4-54 顯示各地層電阻率的變化頗大，但整體而言，四稜砂岩及龜山島的安山岩的電阻率高於其它沉積岩或變質岩類地層。



圖 4-48：岩層物性量測現場作業照片

(左圖：41 號露頭；右圖：43 號露頭)

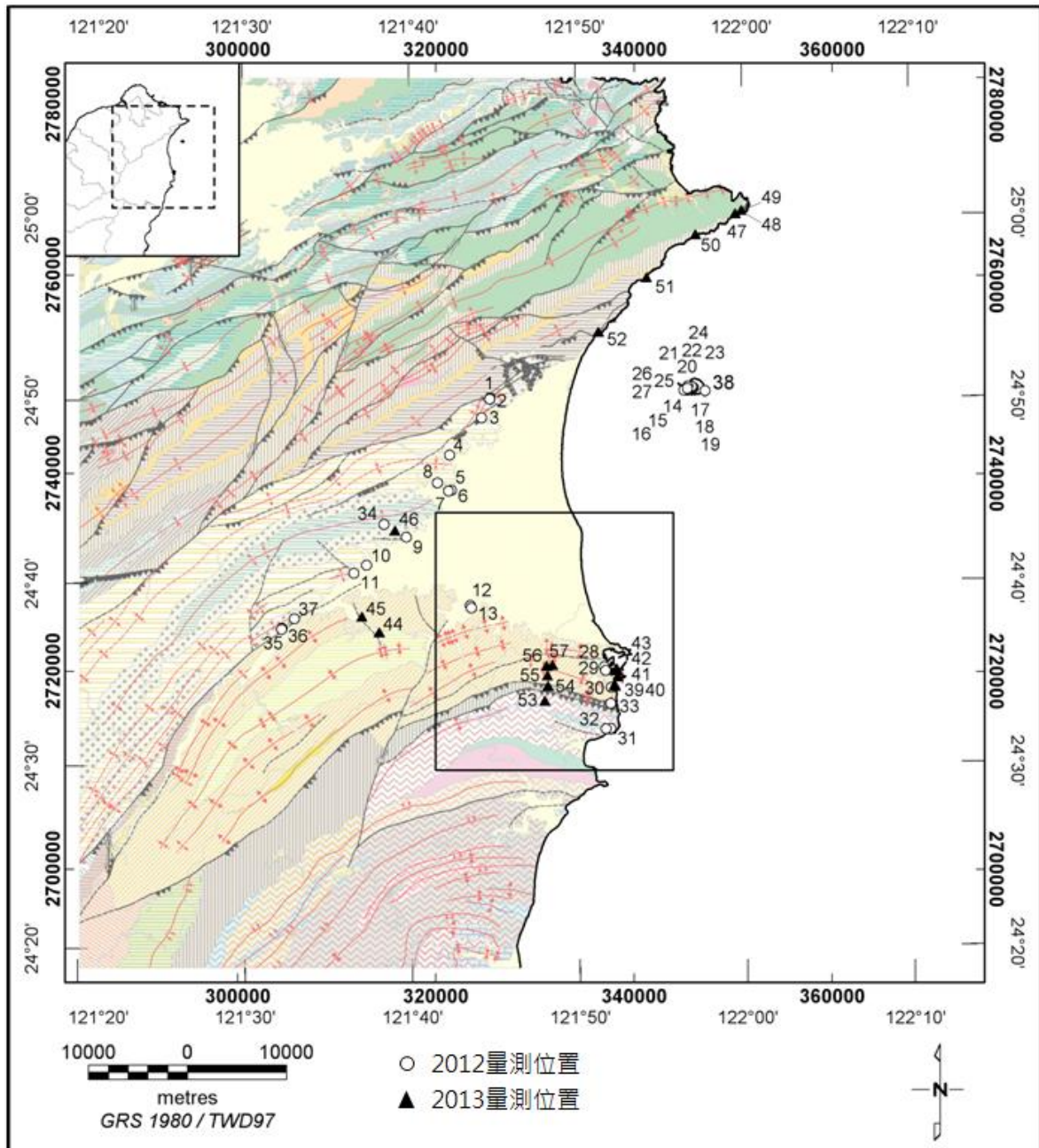


圖 4-49：岩層物性量測點位置圖

(地質底圖參照圖 2-3；黑色方框所圍範圍如圖 4-50 所示)

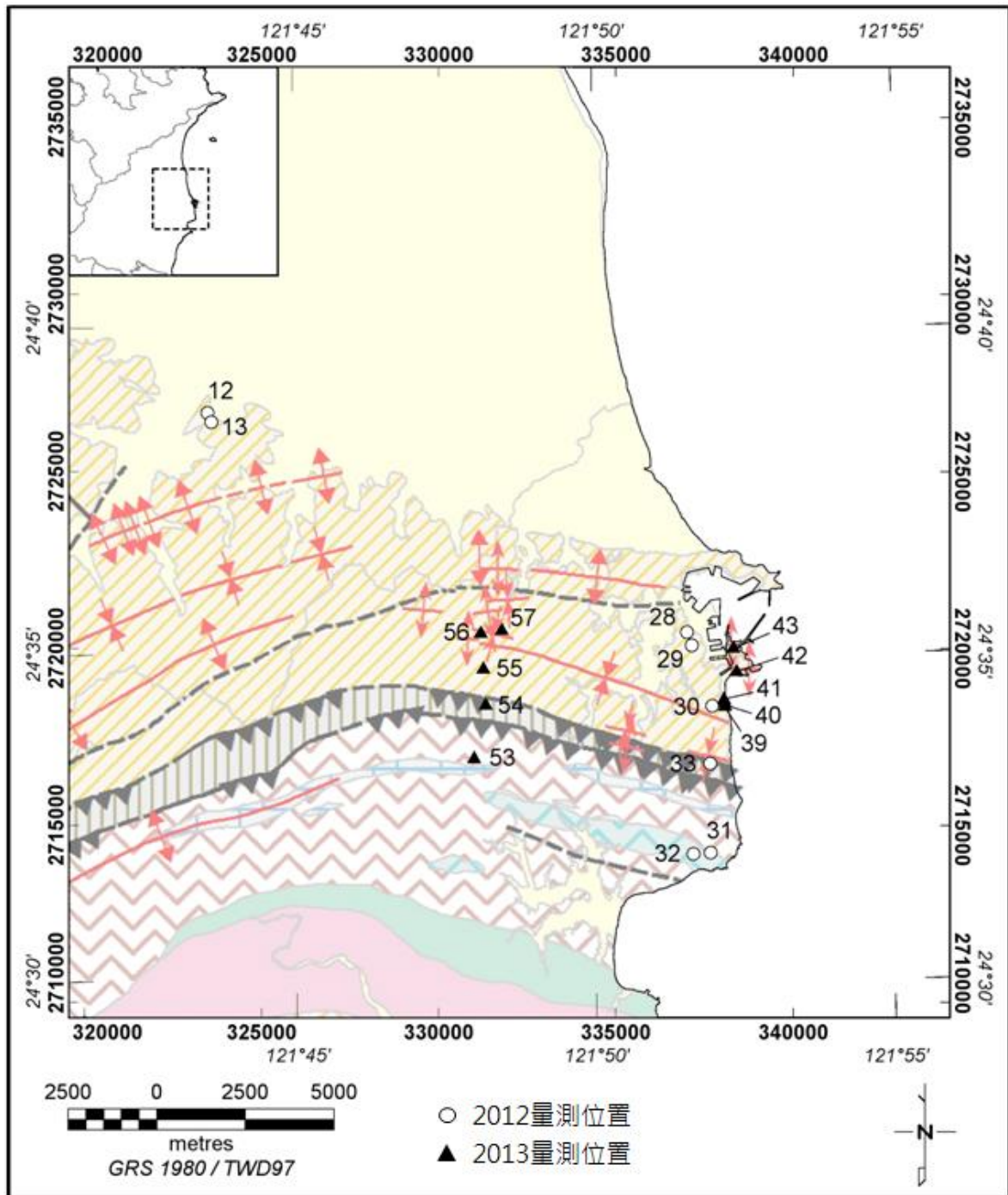


圖 4-50：蘇澳鄰近地區岩層物性量測點位置圖
(地質底圖參照圖 2-3；本圖為圖 4-49 中黑色方框所圍範圍)

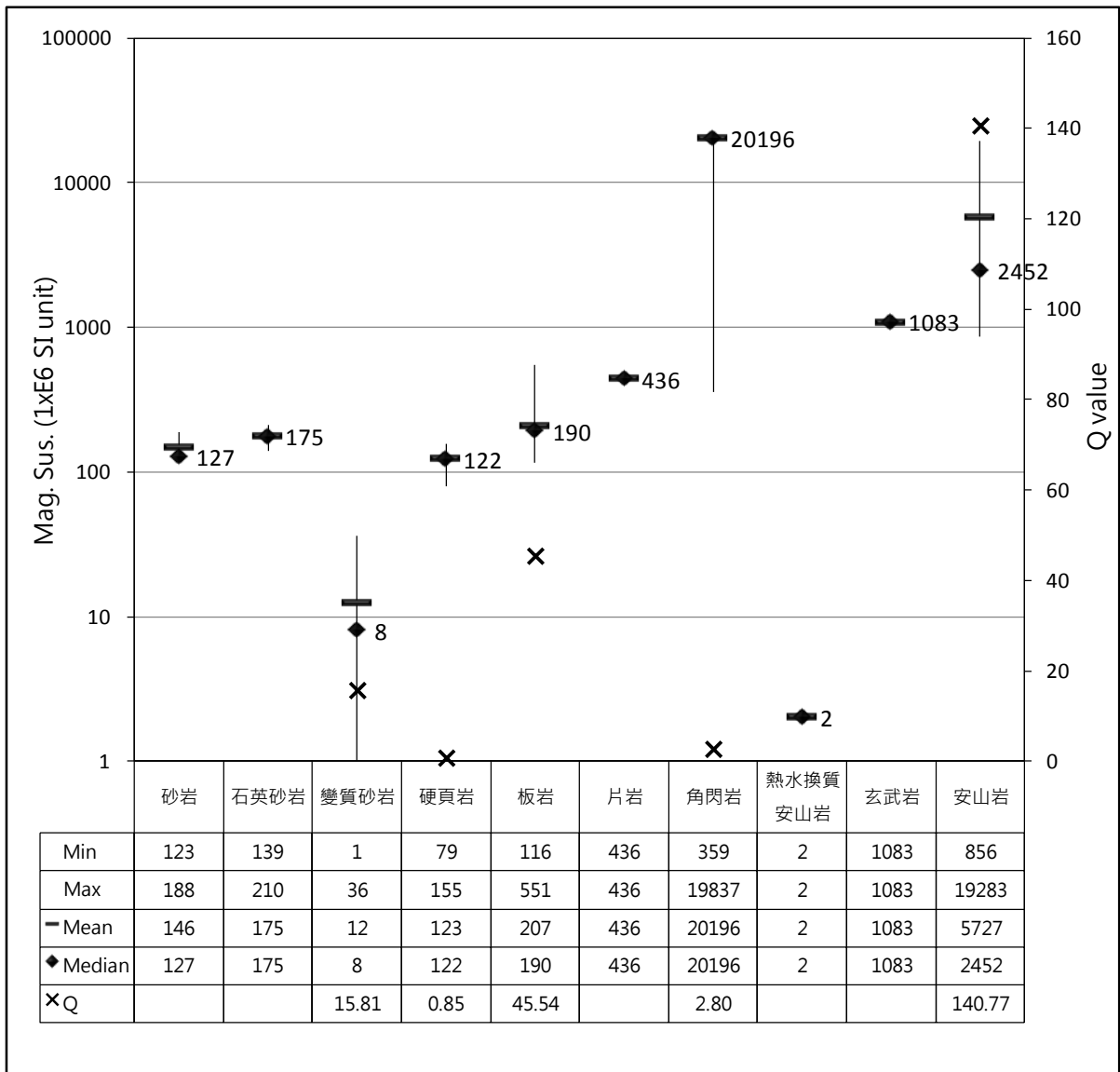


圖 4-51：宜蘭平原鄰近區域地層露頭岩性與磁感率關係圖

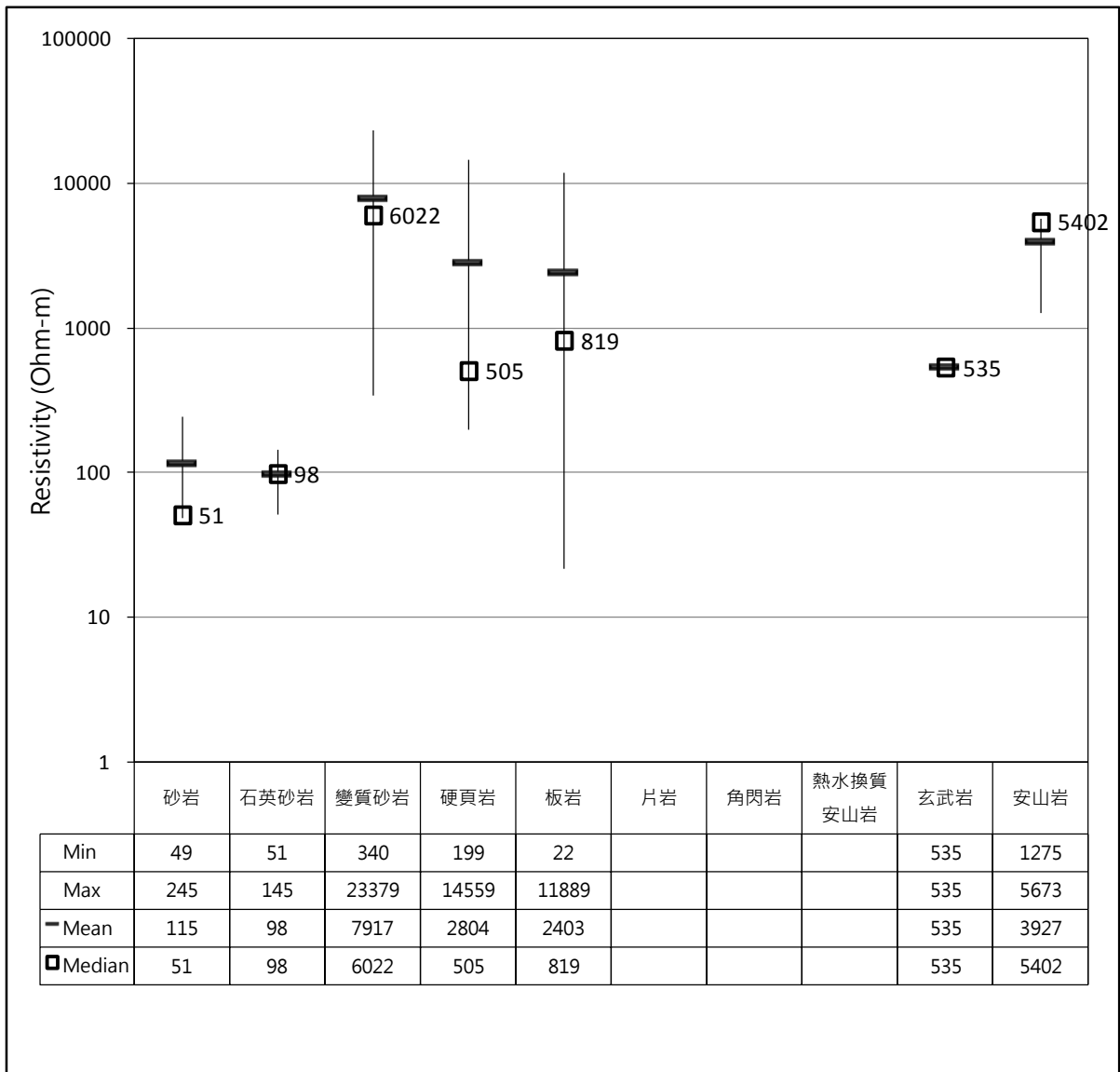


圖 4-52：宜蘭平原鄰近區域地層露頭岩性與電阻率關係圖

(因磁感率量測作業相對快速且容易，在上年度調查作業中，磁感率量測數量相對較多，故造成部份地層/岩石欠缺電阻率量測數據)

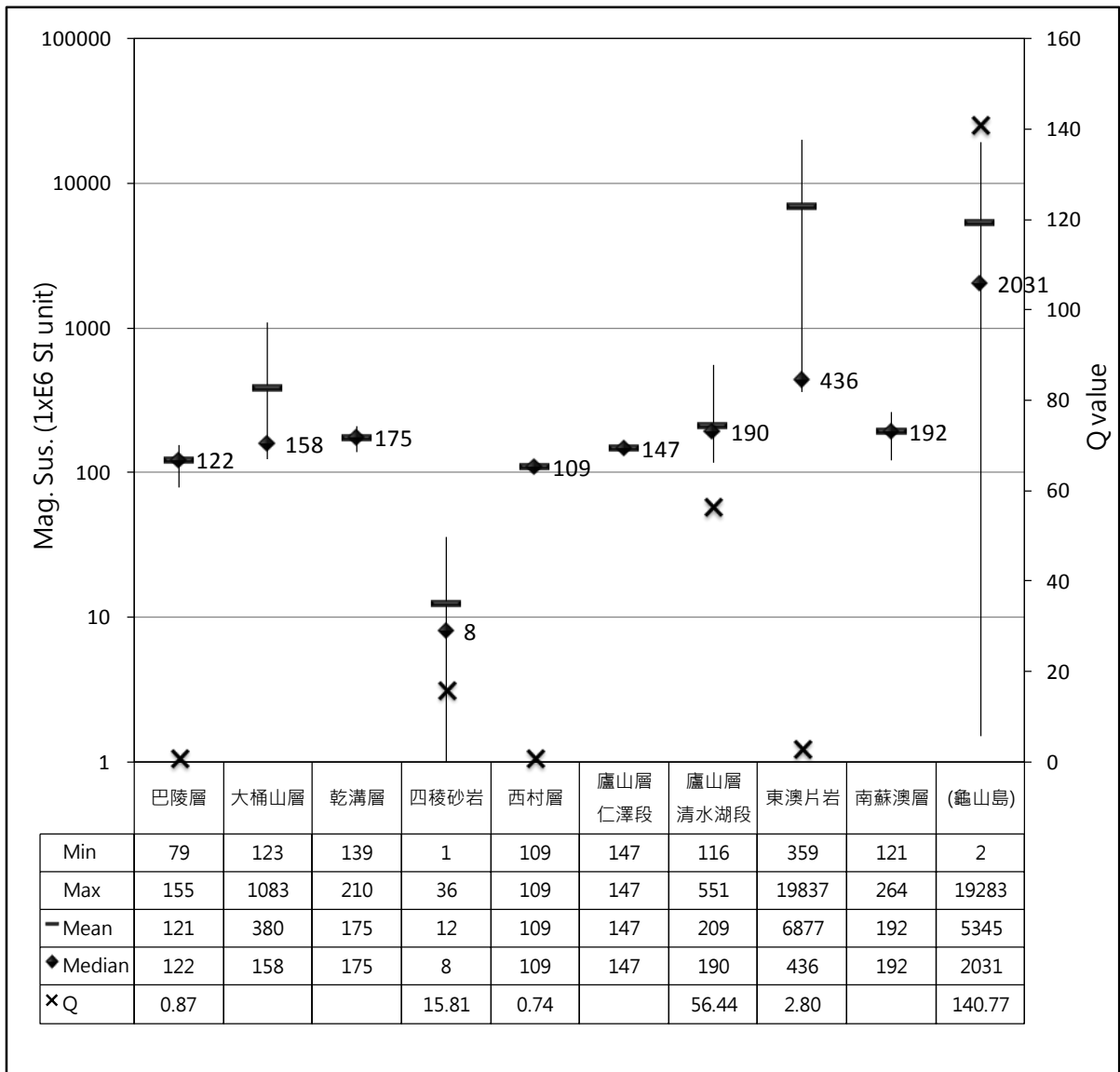


圖 4-53：宜蘭平原鄰近區域地層與磁感率關係圖

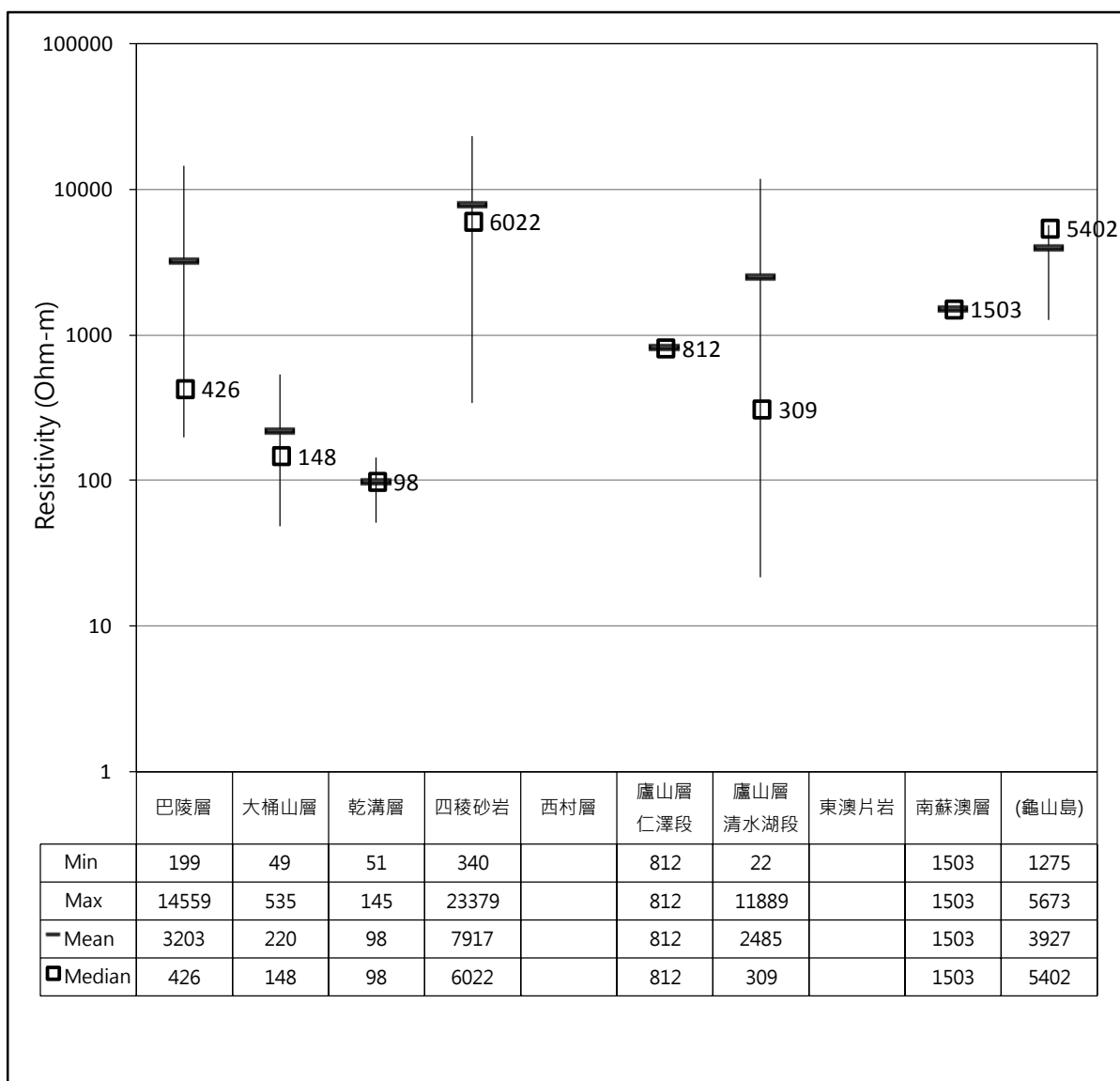


圖 4-54：宜蘭平原鄰近區域地層與電阻率關係圖

(因磁感率量測作業相對快速且容易，在上年度調查作業中，磁感率量測數量相對較多，故造成部份地層/岩石欠缺電阻率量測數據)

表 4-7：本年度計畫岩層物性量測位置及量測值一覽表

編號	地層名稱	岩性	磁感率(xE6 SI unit)	電阻率(Ohm-m)	座標 (TWD97)
39	廬山層清水湖段	板岩	274	40	(338088, 2718361)
40	廬山層清水湖段	板岩	202	55	(338062, 2718472)
41	廬山層清水湖段	板岩	195	251	(338051, 2718557)
42	廬山層清水湖段	板岩	117	22	(338407, 2719343)
43	廬山層清水湖段	板岩	198	37	(338314, 2720003)
44	廬山層仁澤段	硬頁岩	147	812	(314279, 2723797)
45	廬山層清水湖段	板岩	159	309	(312534, 2725354)
46	四稜砂岩	變質砂岩	36	1102	(315856, 2734082)
47	大桶山層	砂岩	127	51	(350196, 2766130)
48	大桶山層內的火成岩脈	玄武岩質岩脈	1083	535	(350196, 2766130)
49	大桶山層	砂岩	188	49	(350817, 2766476)
50	大桶山層	砂岩	123	245	(346204, 2763989)
51	乾溝層	石英砂岩	210	145	(341258, 2759655)
52	乾溝層	石英砂岩	139	51	(336397, 2754130)
53	東澳片岩	片岩	436	—	(331002, 2718386)
54	南蘇澳層	板岩	264	1503	(331330, 2718386)
55	廬山層清水湖段	板岩	551	1687	(345189, 2748439)
56	廬山層清水湖段	板岩	173	2026	(331191, 2720424)
57	廬山層清水湖段	板岩	218	9694	(331781, 2720512)

4.4.2 磁力特徵

(1) 磁力強度特徵

圖 4-55 及圖 4-56 分別為全磁力強度圖及區域磁力異常圖，由磁力強度分布，可分辨出 3 個主要磁力高區，分別以 MH1, MH2 及 MH3 代號表示。分述如下：

- (A) MH1 位置與龜山島一致，由於龜山島為現生火山，故 MH1 磁力高區應可對應火山岩，呈東北-西南方向分布。
- (B) MH2 位於宜蘭平原中間地帶，概略沿蘭陽溪分布，由西向東，走向自東北-西南轉東-西方向分布。
- (C) MH3 位於測區南側，與 MH2 形狀類似，暗示二者可能有類似的形成條件。
- (D) 依據傾角微分磁力異常圖上角度等於零之等值線(圖 4-59)，可用以快速勾繪地下磁體的邊界，圖 4-59 中白色等值線代表調查範圍內主要之磁體邊界，分別位於前述 MH1, MH2 及 MH3 等磁力高區之邊界。
- (E) 由龜山島鄰近之地下磁體邊界分布(圖 4-59)，推測龜山島鄰近之地下火山岩分布如圖 4-57 所示，呈現東北向之帶狀分布，龜山島鄰近火山岩範圍直徑約 9 公里，遠較龜山島出露的範圍大。
- (F) 由圖 4-31 及圖 4-32 等剩餘磁力異常圖上，龜山島的龜首位置及其東北方有三處明顯呈現圓形的低磁區域，由露頭磁感率量測結果顯示經熱換質的安山岩呈現極低的磁感率，故前述圓形低磁區解釋為火山口，共有三處，位置分布如圖 4-58 所示。編號 1 對應龜山島龜首，另兩處解釋火山口均位於龜山島東北方，解釋為舊火山口，暗示龜山島火山活動持續地自東北向西南方向遷移。

(2) 磁力線形特徵

觀察圖 4-60 之磁力高低分布特徵，由巨觀角度可概略歸納出 6 組磁力線形，分別以 MH1a, MH1b, MH1c, MH2a–MH2b, MH3a–MH3b 及 Fa–Fb 代號

表之。分述如下：

- (A) 磁力線形 MH1a1–MH1a4 呈東南東走向，MH1b1–MH1b2 呈北北東走向，為帶狀高磁力異常，對應構成龜山島的主要火成岩體。由宜蘭平原鄰近區域 1994–2006 年間之地震震央分布(圖 4-61)，顯示在沖繩海槽北緣及龜山島附近有一地震密集帶，呈東北走向分布，與沖繩海槽的盆地發育中心很接近，大多是淺層地震，由震源機制解可觀察此區的斷層構造亦可分為兩群，分別為東北-西南方向、及西北-東南方向，與 MH1a 及 MH1b 兩組線形構造相近。
- (B) MH1c 概略呈圓弧狀分布於龜山島西側，為一圈狀高磁力異常帶。
- (C) 磁力線形 MH2a 及 MH2b 位於高磁區 MH2 南北兩側，MH3a 及 MH3b 則位於高磁區 MH3 南北兩側，代表岩體邊界。
- (D) 磁力線形 Fa1, Fa2 及 Fb 有切穿高磁區的現象，推測與構造有關。

(3) 磁體三維分布

依據三維逆推所獲得之三維磁力模型，圖 4-62 為不同高程的磁感率切面圖(magnetic susceptibility elevation slice)，圖 4-63 為調查區內微震震央分布圖，圖 4-64 為磁感率等高程切面圖套疊該高程上下各 1 km 範圍內的震源分布，圖 4-65 為高磁體立體分布圖，對照前述磁力強度特徵及磁力線形特徵解釋，說明如下：

- (A) 龜山島鄰近之 MH1 磁體在高程-1.5 km 以上(圖 4-64b–d)，具有東北東(MH1a1–MH1a4；圖 4-60)及北北東走向(MH1b1–MH1b2；圖 4-60)，顯示岩漿順著淺層破碎帶噴發，冷卻後形成前述帶狀特徵。
- (B) MH1 磁體四週約自高程-5 km 以下(圖 4-62f)，低磁區有逐漸擴大的趨勢(圖 4-62f–j)，鄰近之微震震央分布亦與該低磁區位置具有一致性，且主要分布在低磁區高程約-5 km 以上(圖 4-64c–f)，推測與該區的熱液活動有關。
- (C) 觀察圖 4-62e–h，顯示龜山島四週有一環狀高磁體，與 MH1c (圖 4-60) 位置一致，其直徑有隨深度增加而擴大的現象，向西擴展達到陸地(圖

4-62h)。

- (D) 觀察圖 4-62f-h，顯示 MH1 磁體隨深度增加有向東北方向遷移的現象，暗示其岩漿來源自東北方向。
- (E) MH2 分布於調查區中間地帶，觀察圖 4-64f，顯示 MH2 南北兩側邊界分別與牛鬥斷層(向東延伸為濁水斷層)及坑四斷層位置一致，有一顯著地震叢集位於南邊界之南側圖 4-64b-e，暗示 MH2 為一重要地質構造。
- (F) 比較圖 4-64a-f，顯示 MH2 位置有隨深度增加而逐漸南移的現象，代表 MH2 具有向南傾斜的特徵(圖 4-65)，且其頂部深度有向東方向加深的現象。
- (G) MH3 主要分布於測區南側，深度相對較淺，推測約 10 km (圖 4-64h)。

(4) 居里深度

物質受外加磁場感應後產生感應磁場(其比值為磁感率)的特性與物質種類及溫度有關，當溫度升高至特定溫度時，物質將喪失其磁感率，此時的溫度稱為居里溫度，表 4-8 所列為幾種常見物質及礦物的居里溫度。

地層內富含各種礦物，礦物內所含的元素與礦物種類有關，因此各礦物具有不同的居里溫度。當地溫隨著深度增加而升高時，若地溫高於岩層內主要礦物的居里溫度時，該深度稱為「居里深度」，代表該深度以下地層將喪失其磁感率特性。以平均地溫梯度(30°C/km)為例，鐵的居里溫度 770°C (表 4-8)，則其居里深度約為 25 km。

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，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。

磁力解釋常以固定磁感率之垂直柱狀體，推求該柱狀體的厚度做為居里深度的參考。本報告以三維磁感率模型(圖 4-62)中，深部地層磁性消失的上部界面，做為推測調查範圍內居里深度之參考，說明如下：

- (A) 因雪山山脈主要以沉積岩層為主，由岩層露頭磁感率量測結果，顯示沉積岩層具有低磁感率的特性，故圖 4-62 中雪山山脈帶狀的低磁區，推測與地層特性有關。
- (B) 以巨觀角度觀察圖 4-62，在龜山島四週低磁區出現的深度相對較淺，約自深度 5 km 以下(圖 4-62f)，該低磁區有逐漸擴大的趨勢(圖 4-62f-j)，且呈現橢圓形狀，與區域構造及岩層走向不同，故推測該低磁區受溫度影響造成，暗示與龜山島火山下方的岩漿庫有關，初步推測龜山島鄰近地區之居里深度約 5 km。
- (C) 比較圖 4-62h-j，顯示調查區域中間及南側之東西向高磁性岩體，在深度 10 km 時仍保有其東西向帶狀形貌，但深度 15 km 以下逐漸喪失帶狀形貌，故推測該岩層的居里深度約介於 15–20 km 間，而帶狀岩體向東延伸至海域(圖 4-62j)時，其對應的居里深度則可能大於 20 km。
- (D) 若不考慮前述帶狀高磁性岩體及龜山島火山岩漿庫的影響，估計調查範圍的平均居里深度約介於 10–15 公里之間。

表 4-8：幾種常見物質及礦物的居里溫度

元素名稱	居里溫度 (°C)	元素名稱	居里溫度 (°C)
<u>Iron</u> (Fe)	770 ^[1]	NiOFe ₂ O ₃	585 ^[1]
<u>Cobalt</u> (Co)	1127 ^[1]	<u>Cu</u> OFe ₂ O ₃	455 ^[1]
<u>Nickel</u> (Ni)	358 ^[1]	MgOFe ₂ O ₃	440 ^[1]
<u>Gadolinium</u> (Gd)	19 ^[1]	MnOFe ₂ O ₃	300 ^[1]
Iron(III) oxide (Fe ₂ O ₃)	675 ^[1]	Hematite (磁鐵礦)	680 ^[2]
Iron(II,III) oxide (FeOFe ₂ O ₃)	585 ^[1]	Magnetite (磁鐵礦)	580 ^[2]

資料來源： [1] 維基百科網站(2013)

[2] 中華百科全書網站(2013)

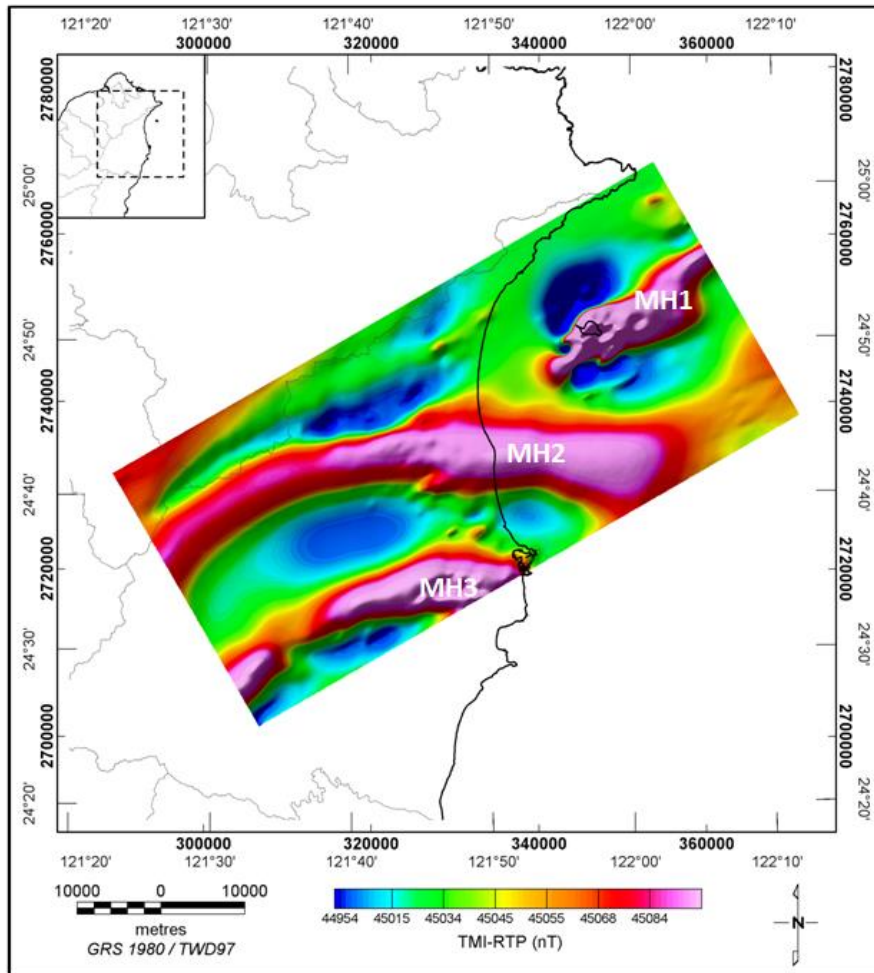


圖 4-55：全磁力強度圖之磁力強度特徵
(全磁力強度圖係經歸極換算處理)

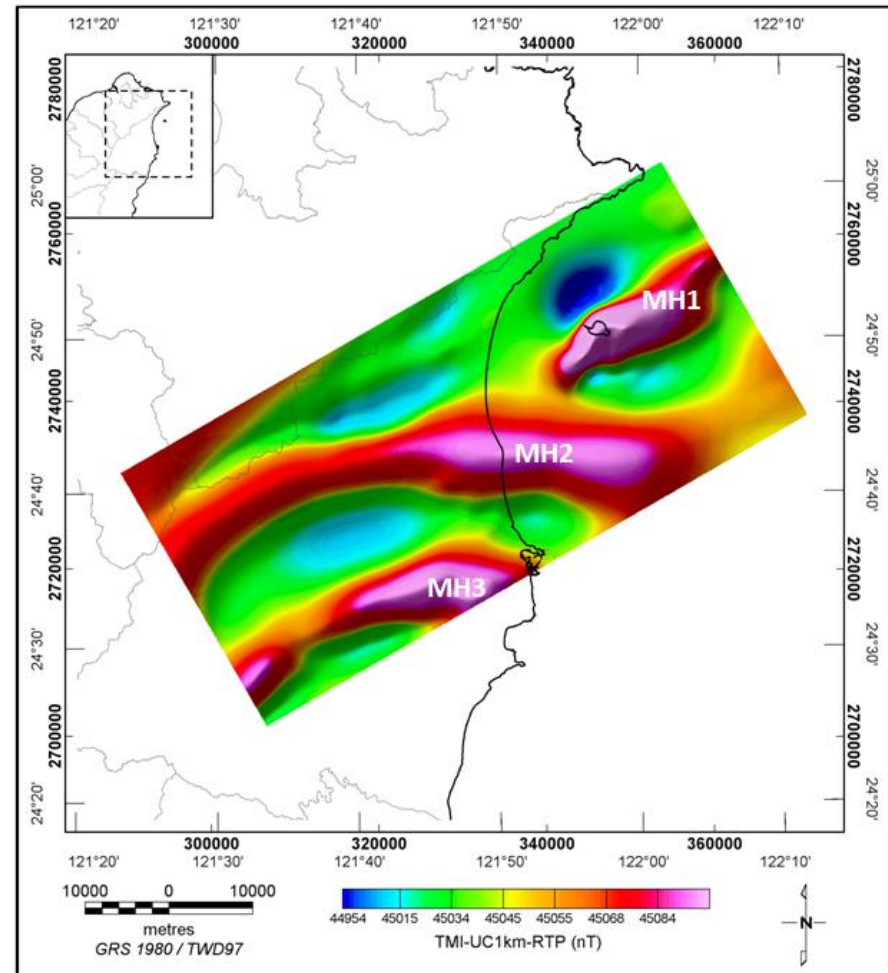


圖 4-56：區域磁力異常圖之磁力強度特徵
(磁力異常圖係經向上延伸及歸極換算處理)

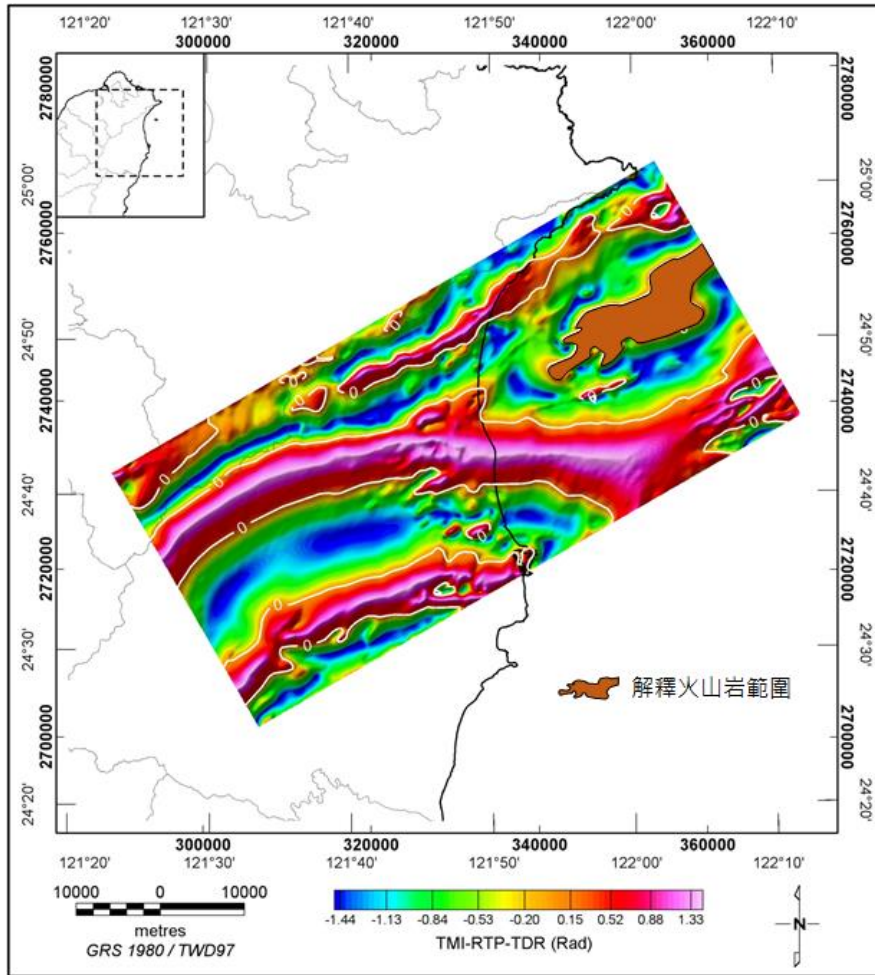


圖 4-57：解釋龜山島火山岩分布圖
(磁力異常圖係經傾斜微分處理)

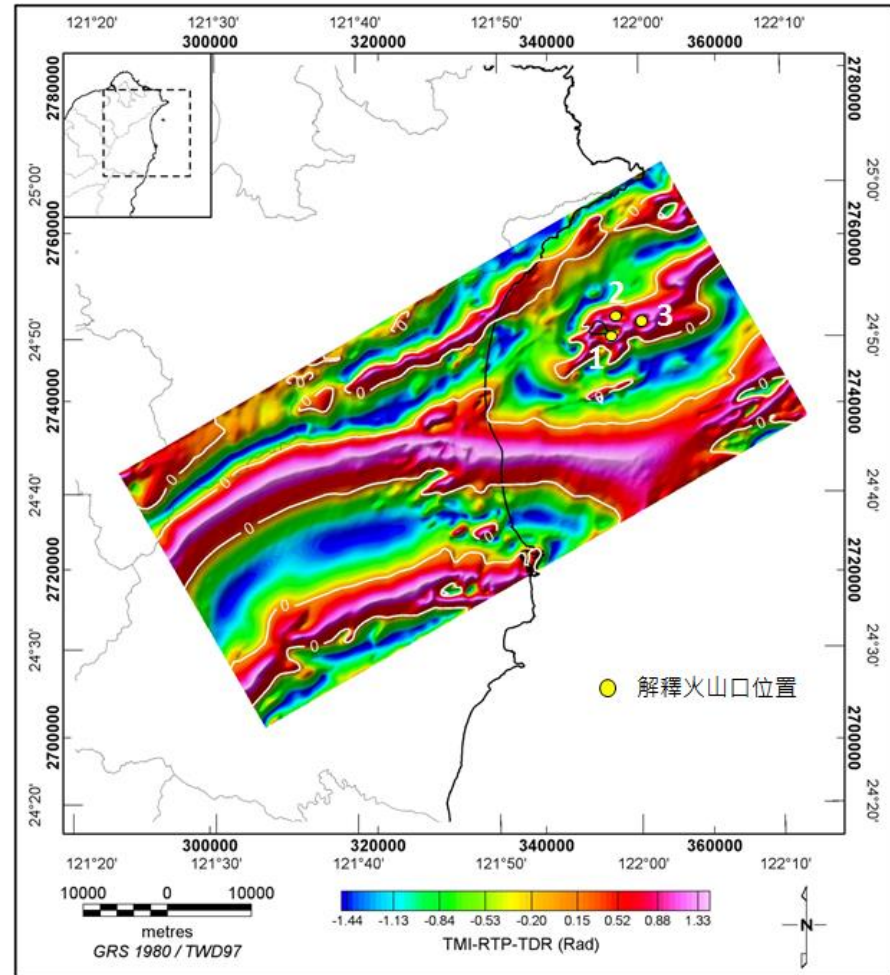


圖 4-58：解釋火山口位置圖
(磁力異常圖係經傾斜微分處理)

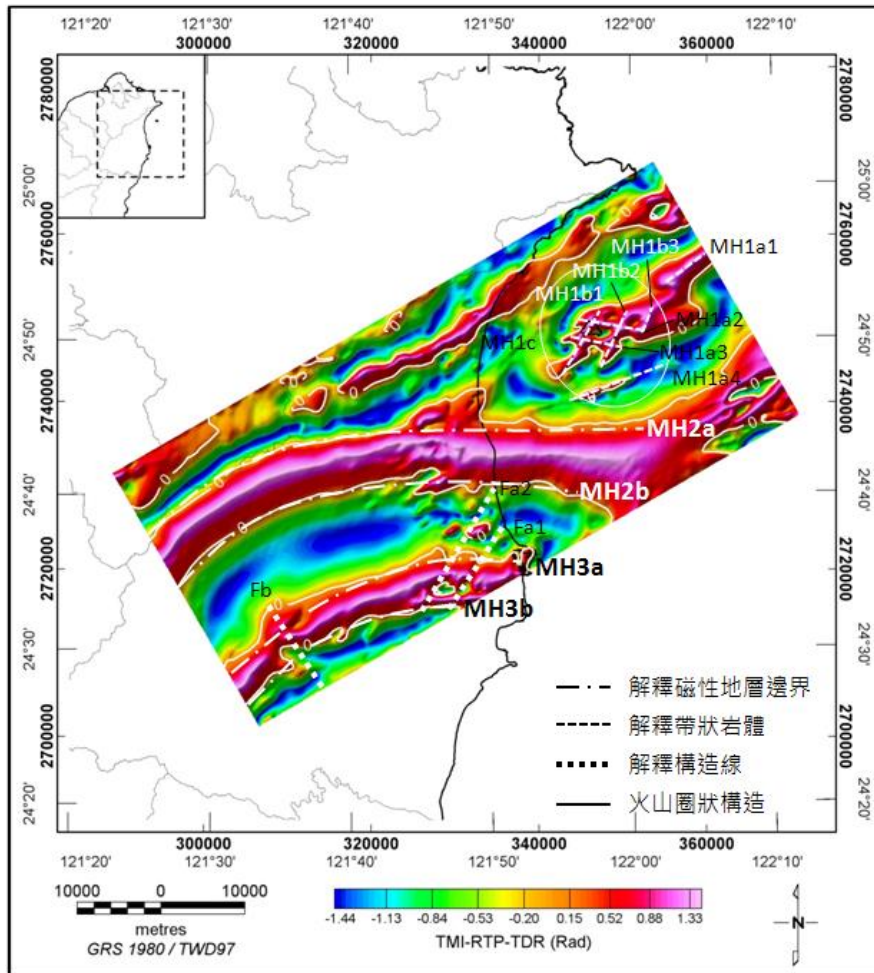


圖 4-59：磁力異常圖之磁體邊界解釋圖
(磁力異常圖係經歸極換算及傾角微分處理)

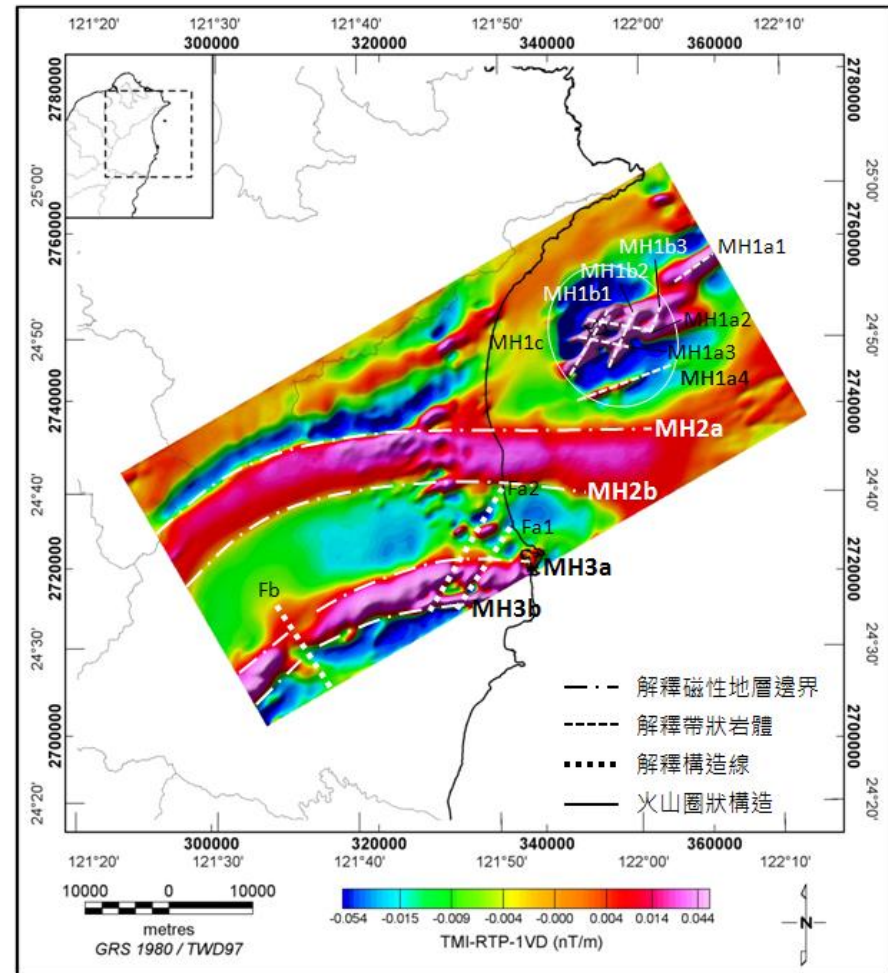


圖 4-60：磁力異常圖之磁力線形解釋圖
(磁力異常圖係經歸極換算及一次垂直微分處理)

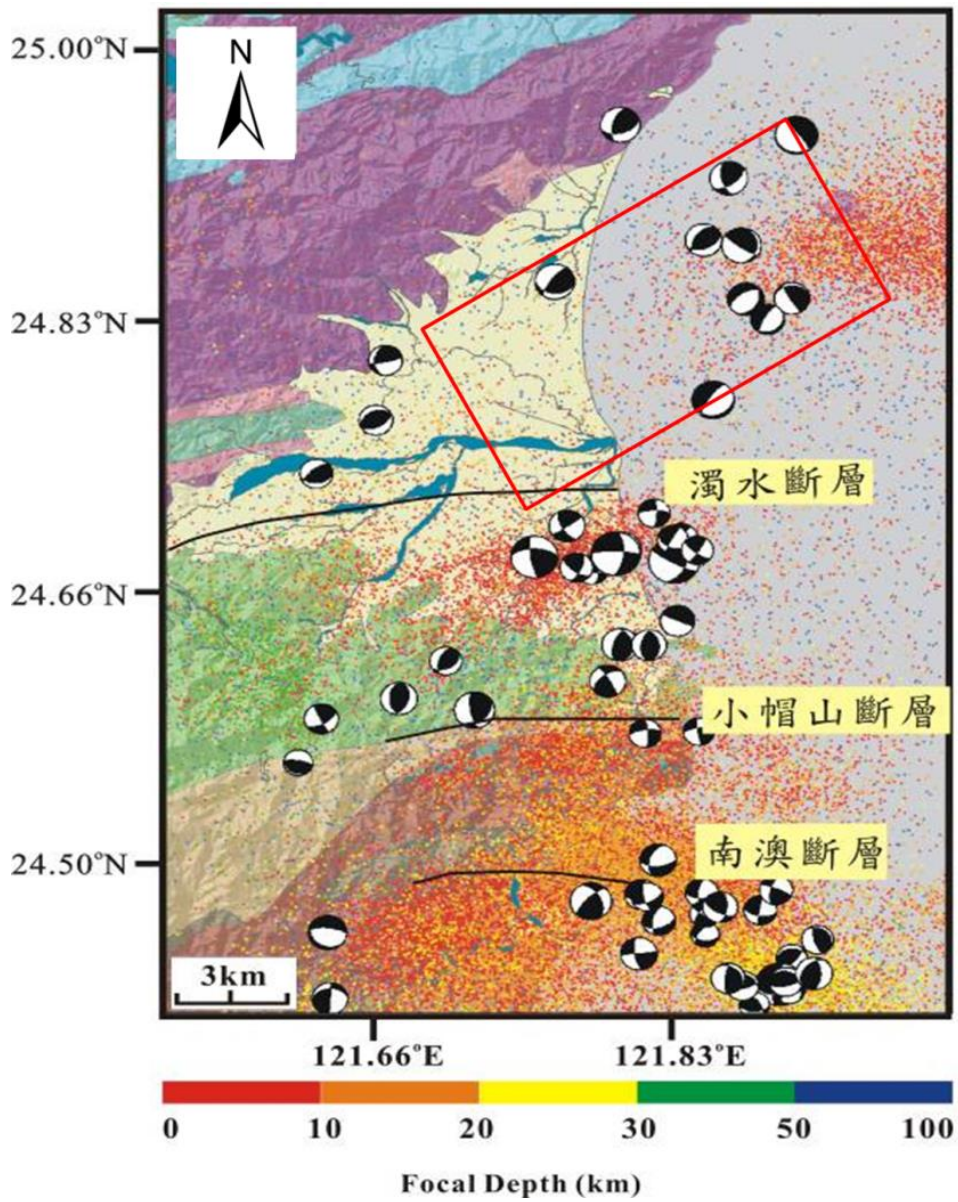


圖 4-61：宜蘭平原鄰近區域之地震震央分布與震源機制解
 (摘自：康竹君，2007；紅色框線所圍範圍為本計畫調查區域)

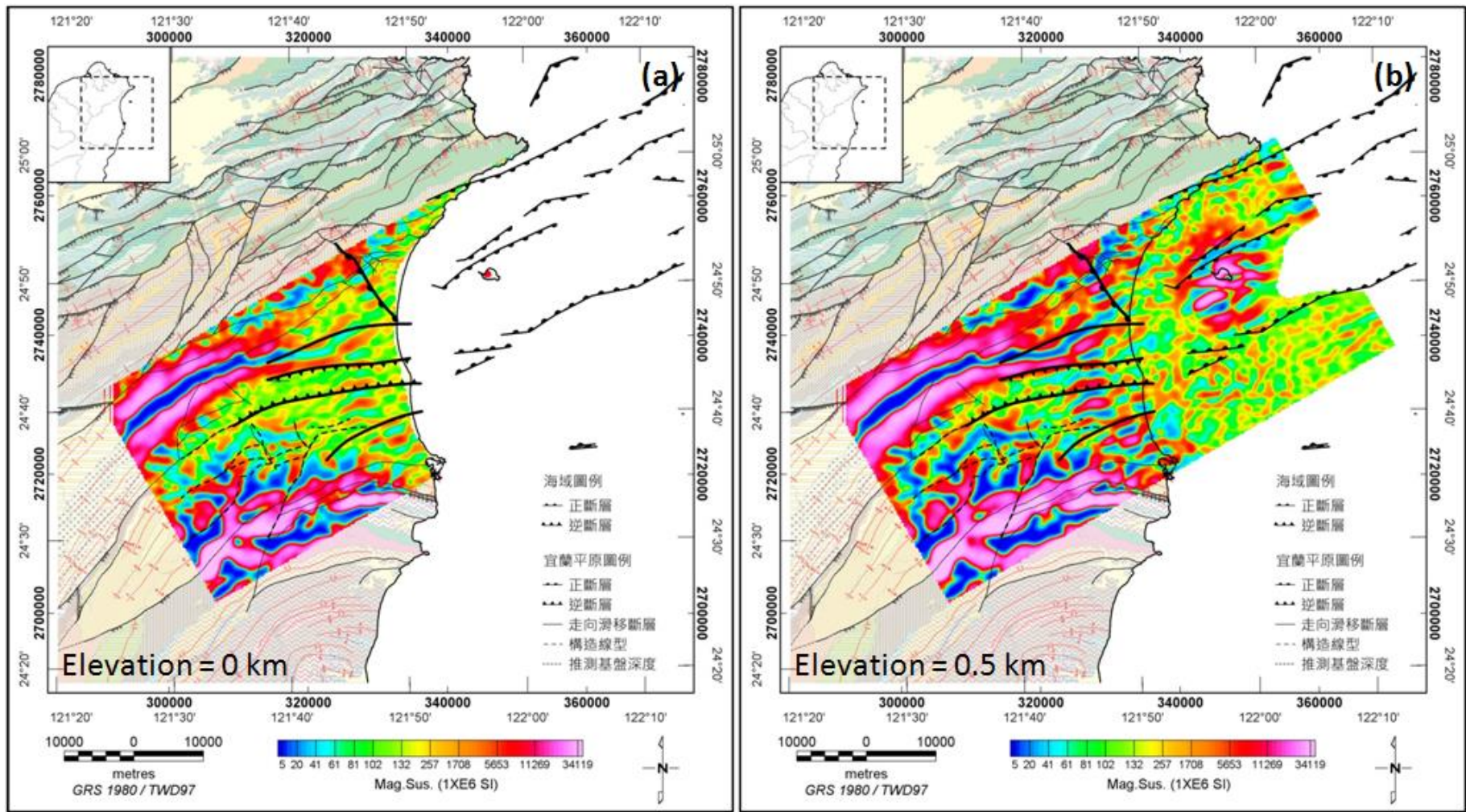


圖 4-62：三維磁感率模型等高程切面圖

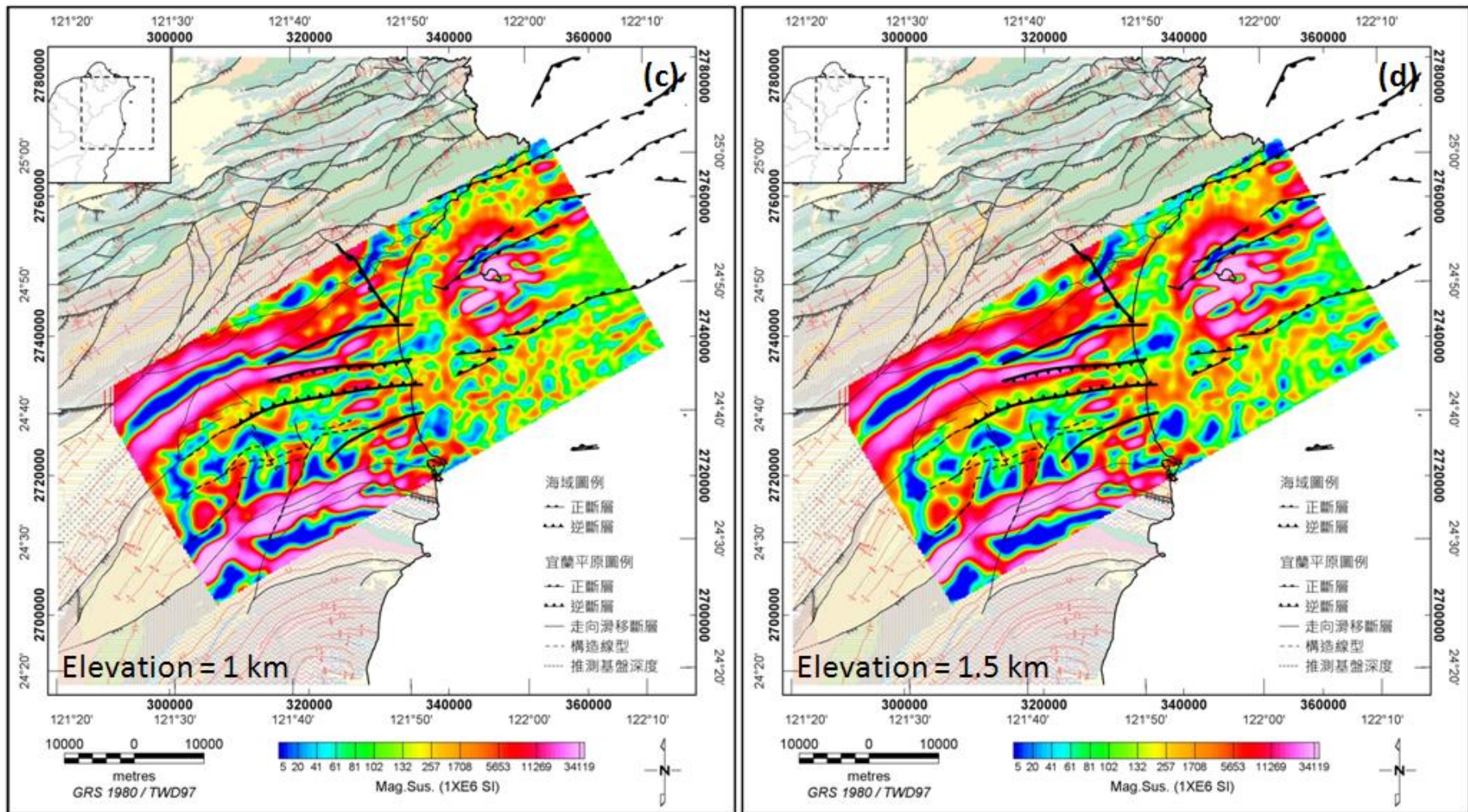


圖 4-62：三維磁感率模型等高程切面圖(續)

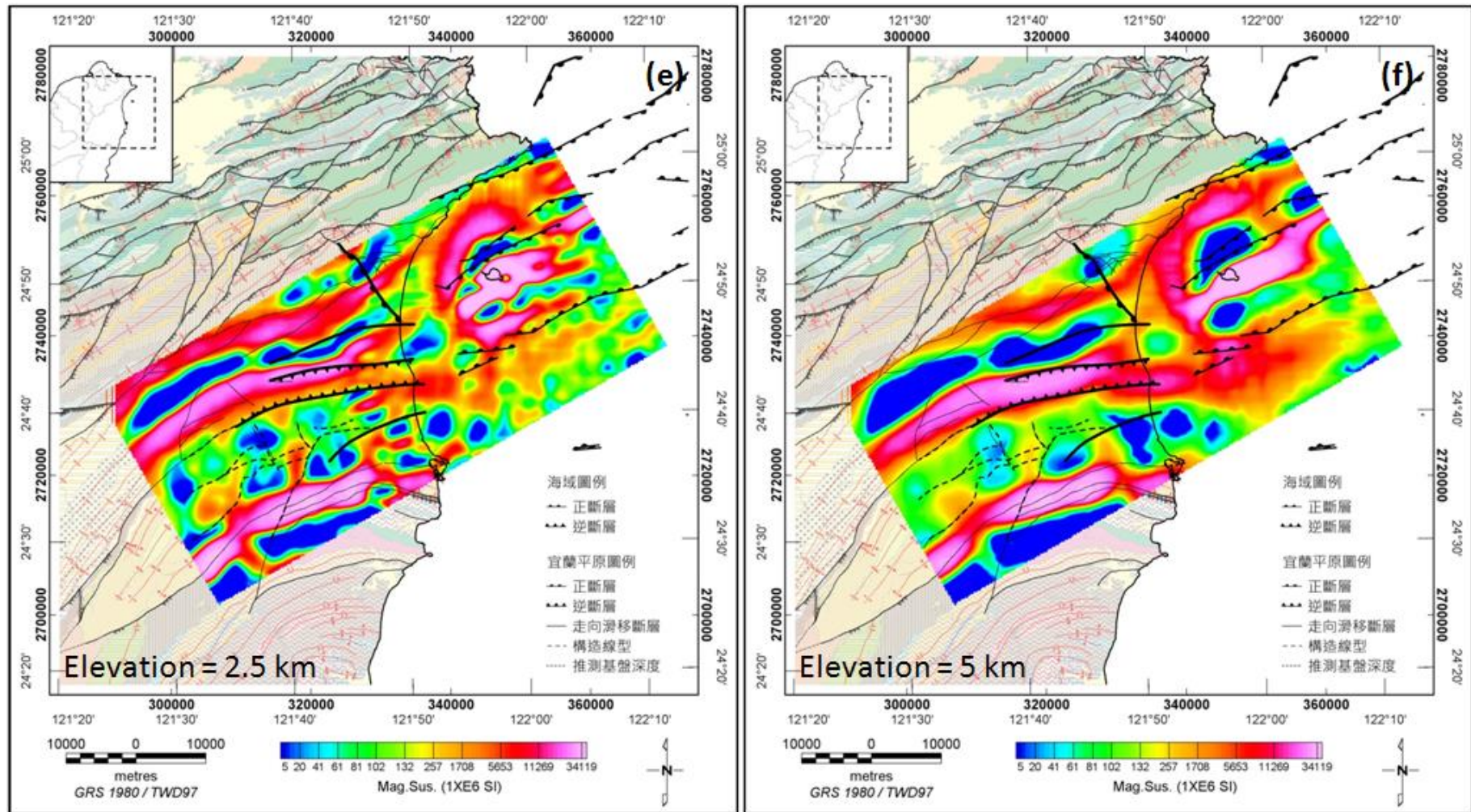


圖 4-62：三維磁感率模型等高程切面圖(續)

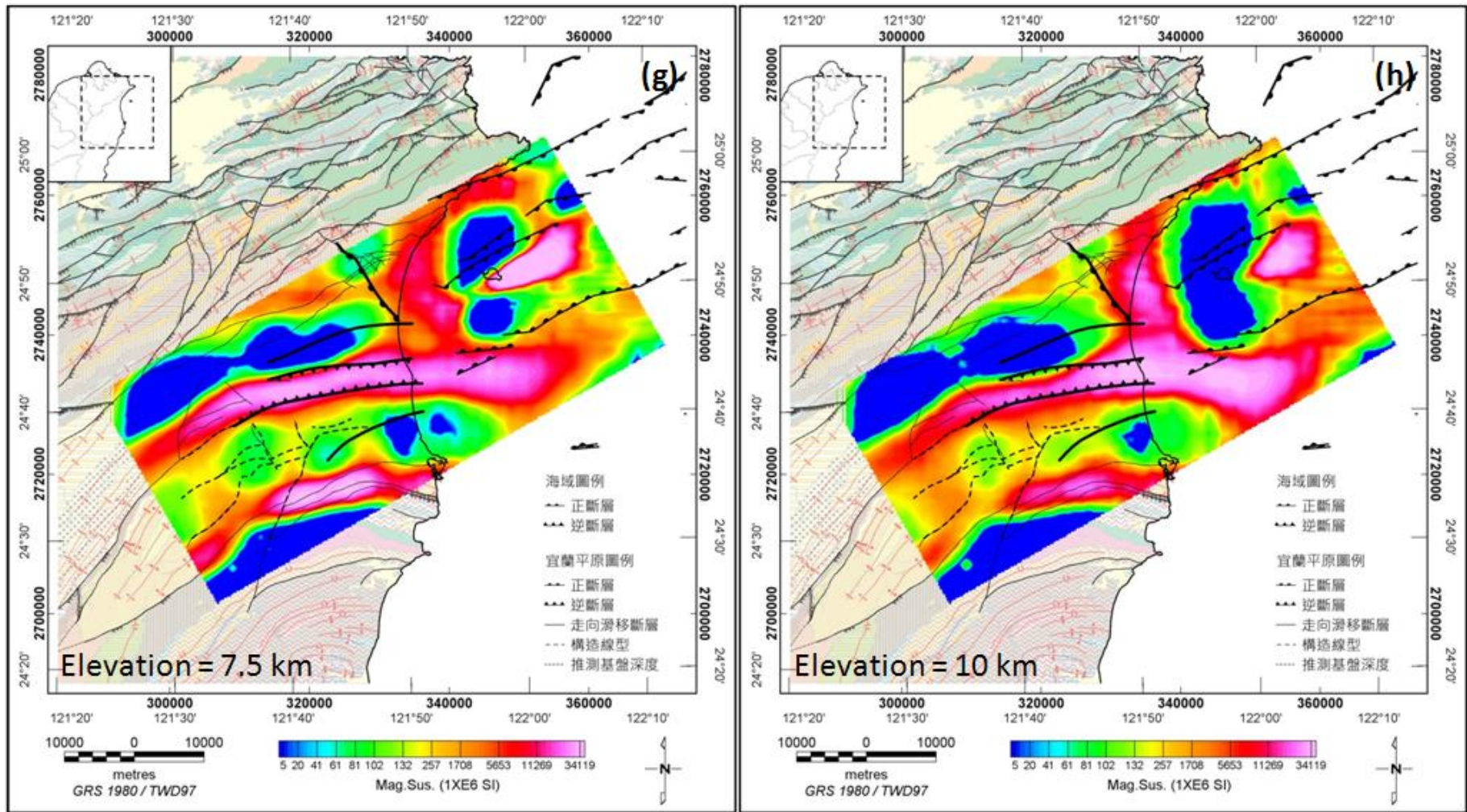


圖 4-62：三維磁感率模型等高程切面圖(續)

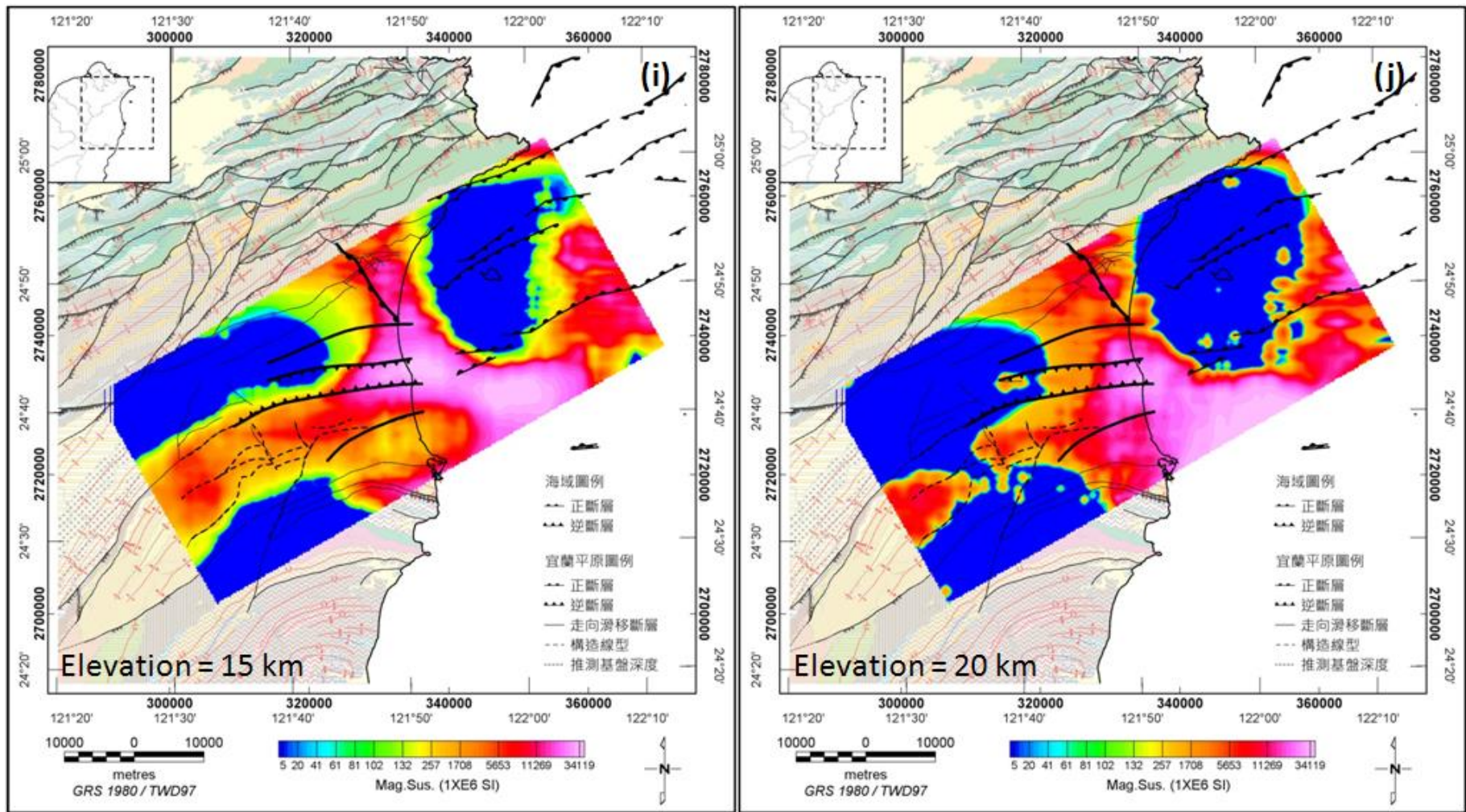


圖 4-62：三維磁感率模型等高程切面圖(續)

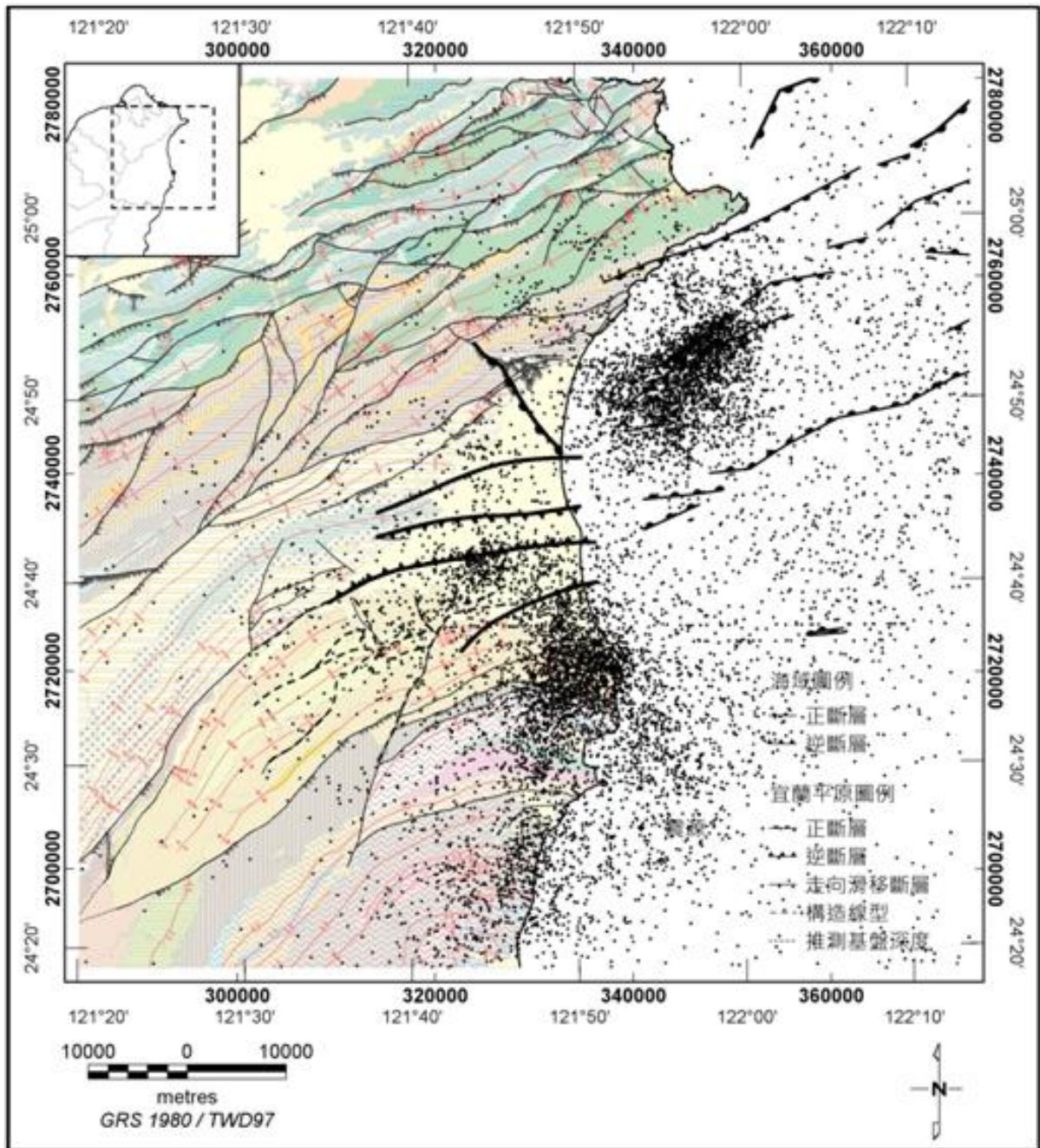


圖 4-63：調查區微震震央投影分布圖

(微震資料摘自經濟部中央地質調查所(2012)，觀測期間 2009–2010)

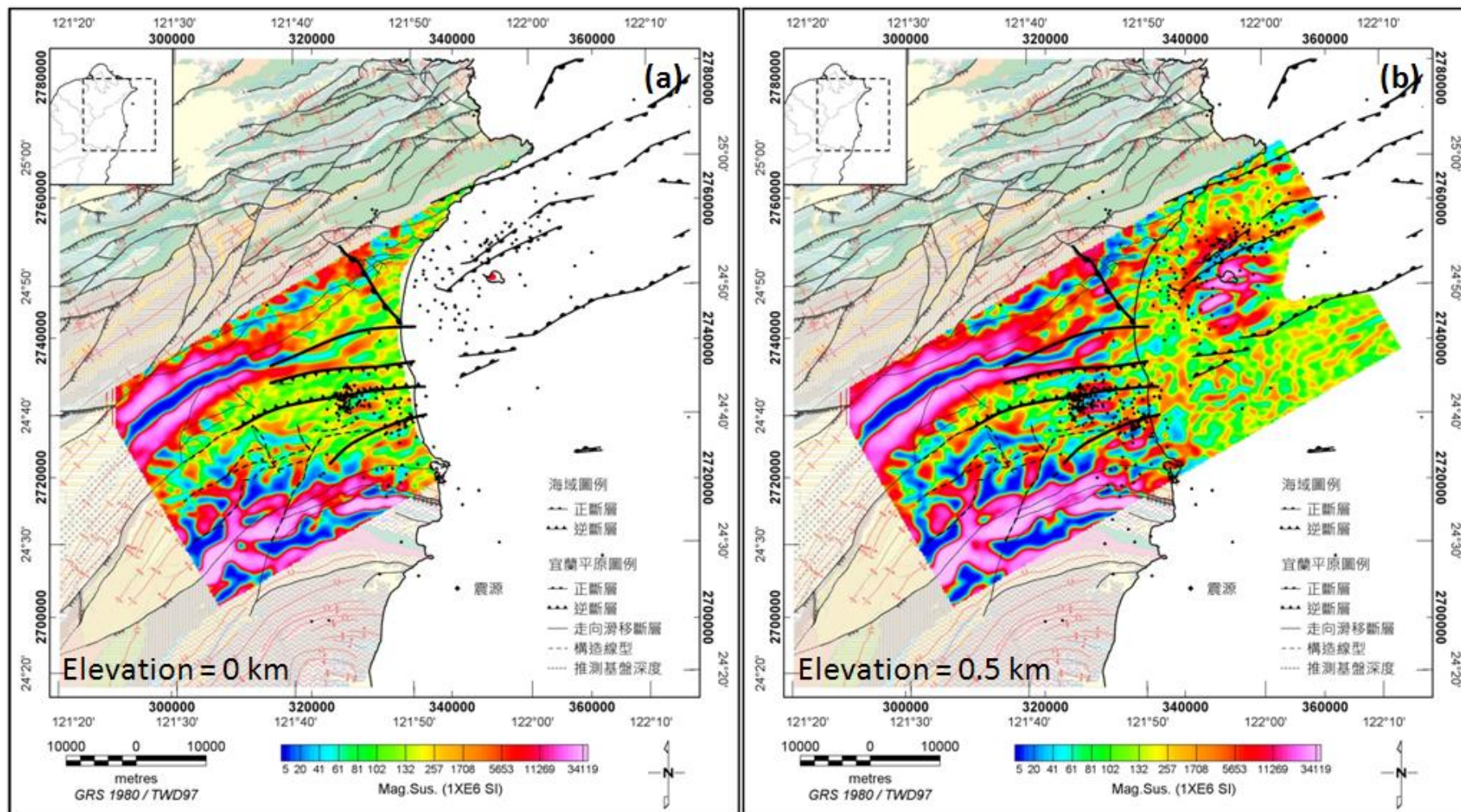


圖 4-64：三維磁感率模型等高程切面圖套疊震源

(微震資料摘自經濟部中央地質調查所(2012)，觀測期間 2009–2010；擷取該高程上下各 1 km 範圍內的震源套疊)

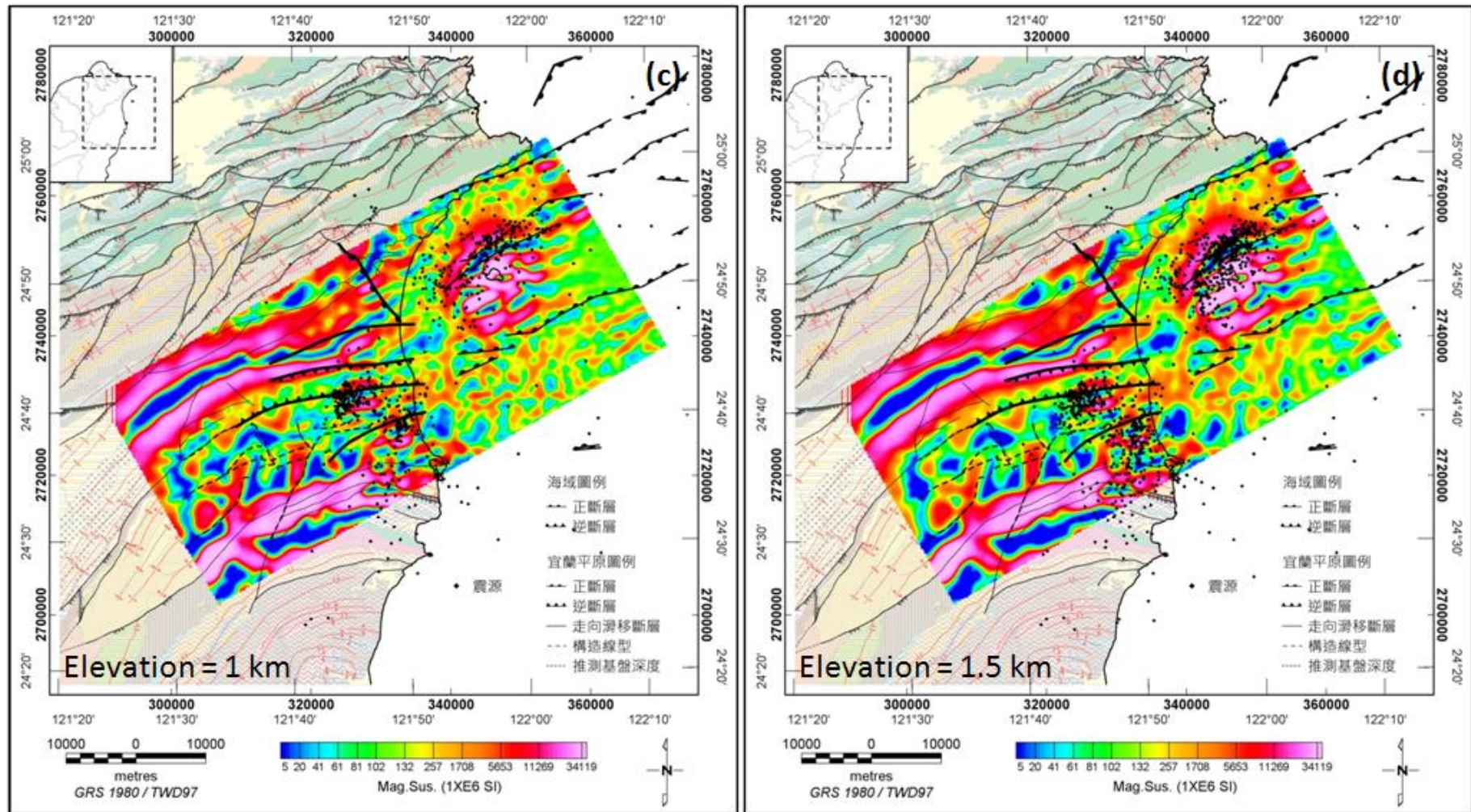


圖 4-64：三維磁感率模型等高程切面圖套疊震源(續)

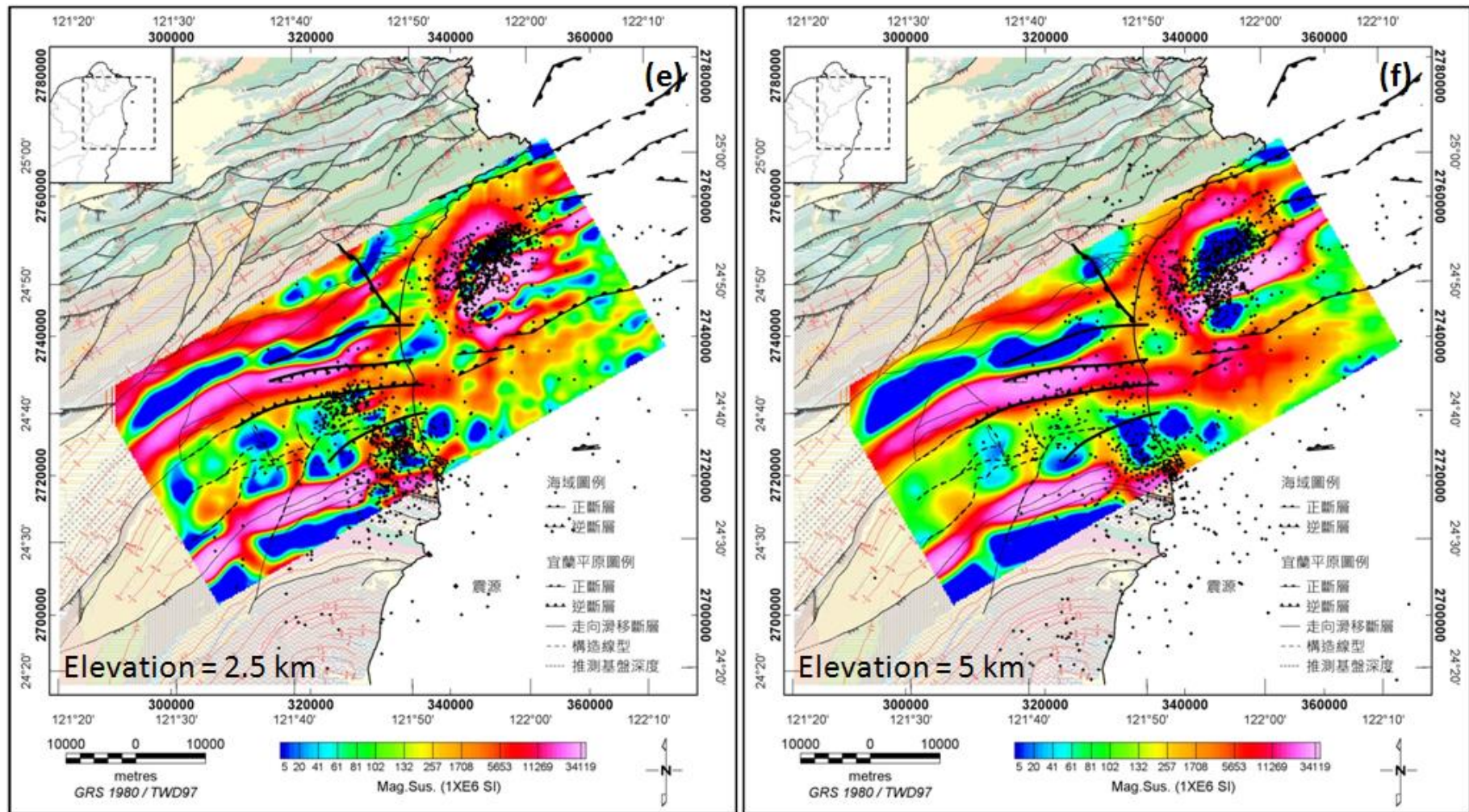


圖 4-64：三維磁感率模型等高程切面圖套疊震源(續)

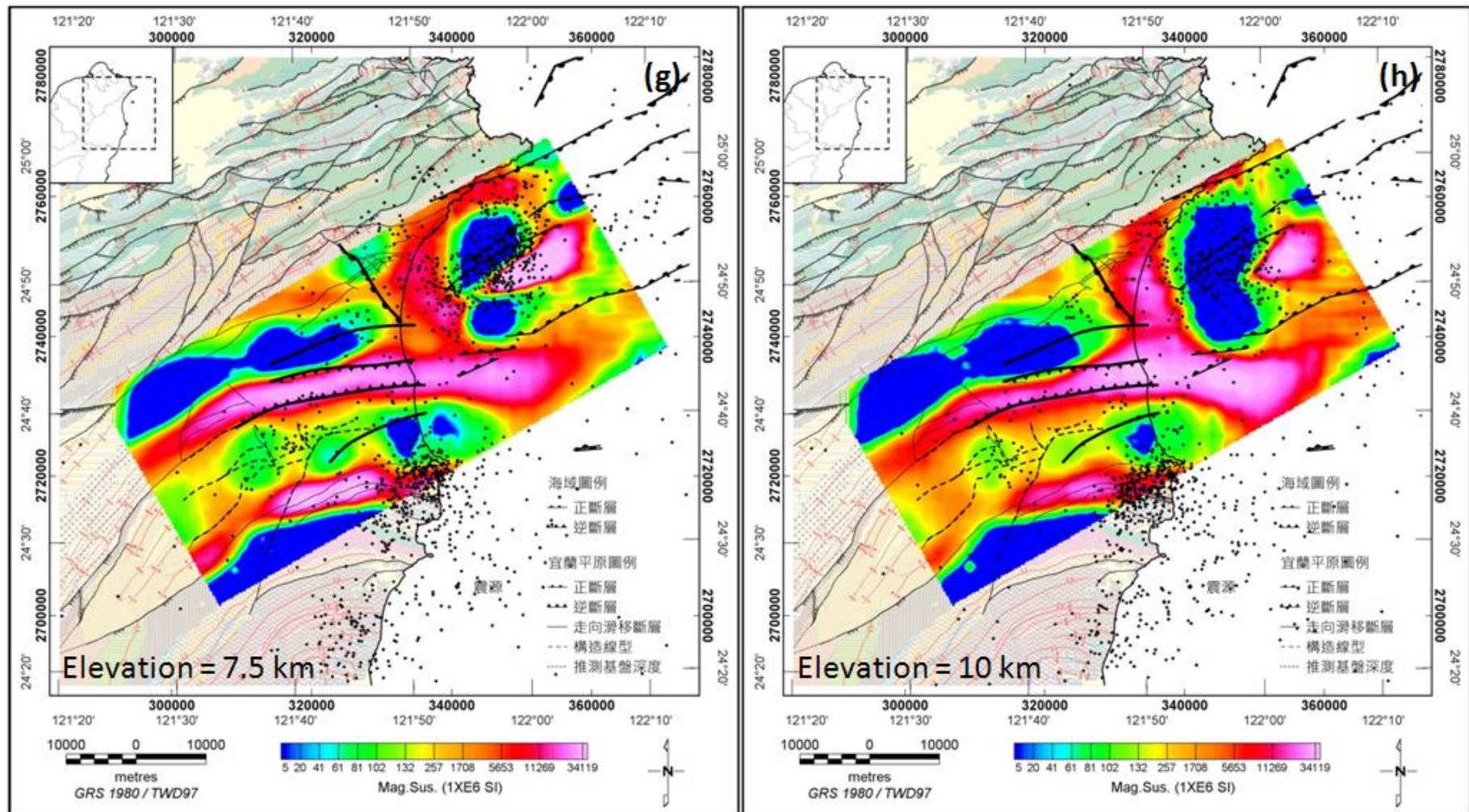


圖 4-64：三維磁感率模型等高程切面圖套疊震源(續)

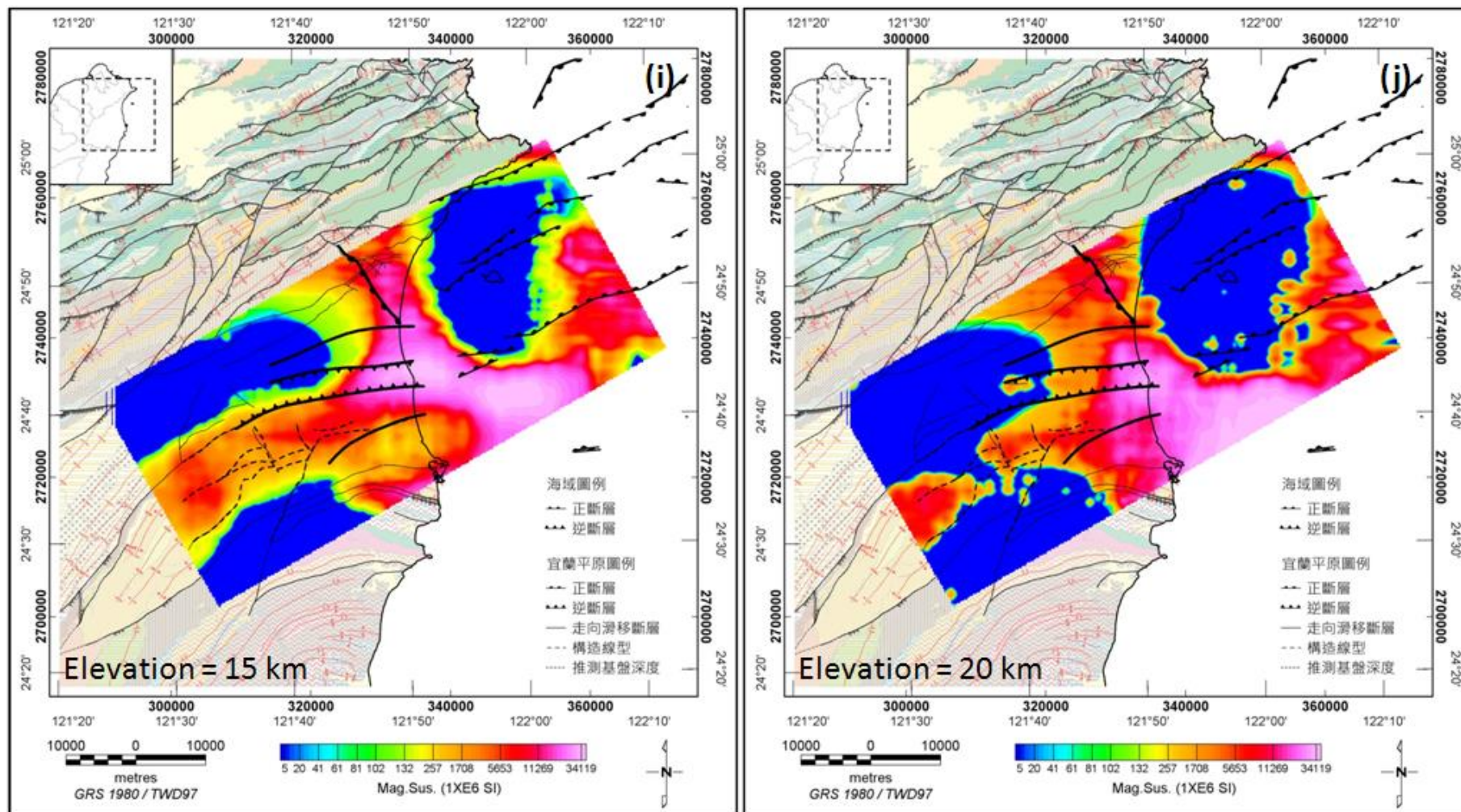


圖 4-64：三維磁感率模型等高程切面圖套疊震源(續)

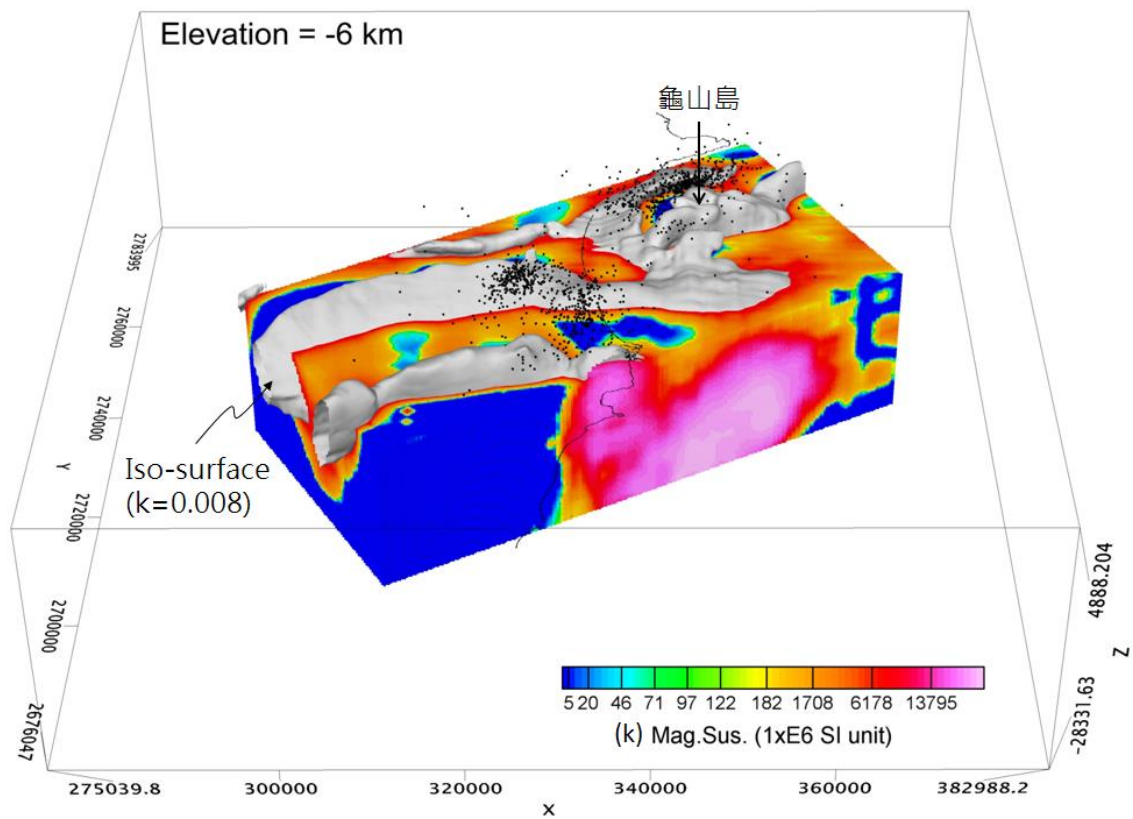


圖 4-65：高磁岩體三維分布圖

(微震資料摘自經濟部中央地質調查所(2012)，觀測期間 2009–2010)

4.4.3 電性特徵

圖 4-66 及圖 4-67 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，比較 VLF 圖幅與已知地質構造，獲得以下結果：

- (1) 牛鬥斷層、宜蘭斷層、三星斷層及翠峰湖斷層的位置與同相位分量圖上的訊號強弱界線或線形具有明顯相關性(圖 4-66)，與古魯斷層間的對比關係則相對較不顯著，可能與古魯斷層的橫移性質有關。
- (2) 在圖 4-67 中宜蘭斷層與西側的等效電流密度帶狀高區對比良好，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。

同相位分量之訊號強弱與岩層電阻率成反比，由圖 4-68 中訊號分布，可區分為 3 個區域，分別以 A、B 及 C 代號表示，以及 3 類電性地層邊界與線形；圖 4-69 則為解釋之含水破裂帶分布，說明如下：

- (1) A 區的同相位分量訊號強度普遍較低(圖 4-68)，對比雪山山脈地層，B 區的訊號強度則普遍較高(圖 4-68)，對比中央山脈地層，故推測探測範圍內，中央山脈地層的平均電阻率低於雪山山脈地層。
- (2) 上述 A 區與 B 區的分界為電性地層邊界①(圖 4-68)，與牛鬥斷層位置一致(圖 4-66)。
- (3) C 區範圍包括宜蘭平原與海域，其同相位分量訊號雖有些許東北-西南方向線形，但訊號明顯比較混亂(圖 4-68)，等效電流密度圖(圖 4-69)上的帶狀高區亦相對減少許多，與 A 區及 B 區間的交界(電性地層邊界③)略與宜蘭平原西側邊緣一致，推測 C 區可能因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。
- (4) 電性地層邊界②位於雪山山脈內，與宜蘭斷層向西延伸一致，北側地層具有較低電阻率，其位置亦與圖 4-69 中標示①的含水破裂帶一致。
- (5) 圖 4-69 中黑色虛線標示為解釋之含水破裂帶，對照地表地質圖，推測標示①的含水破裂帶可能與巴陵層的紅紫山背斜有關，標示②的含水破裂帶則可能

與三星山複背斜有關，可能因背斜軸處褶皺構造造成岩層相對破碎。

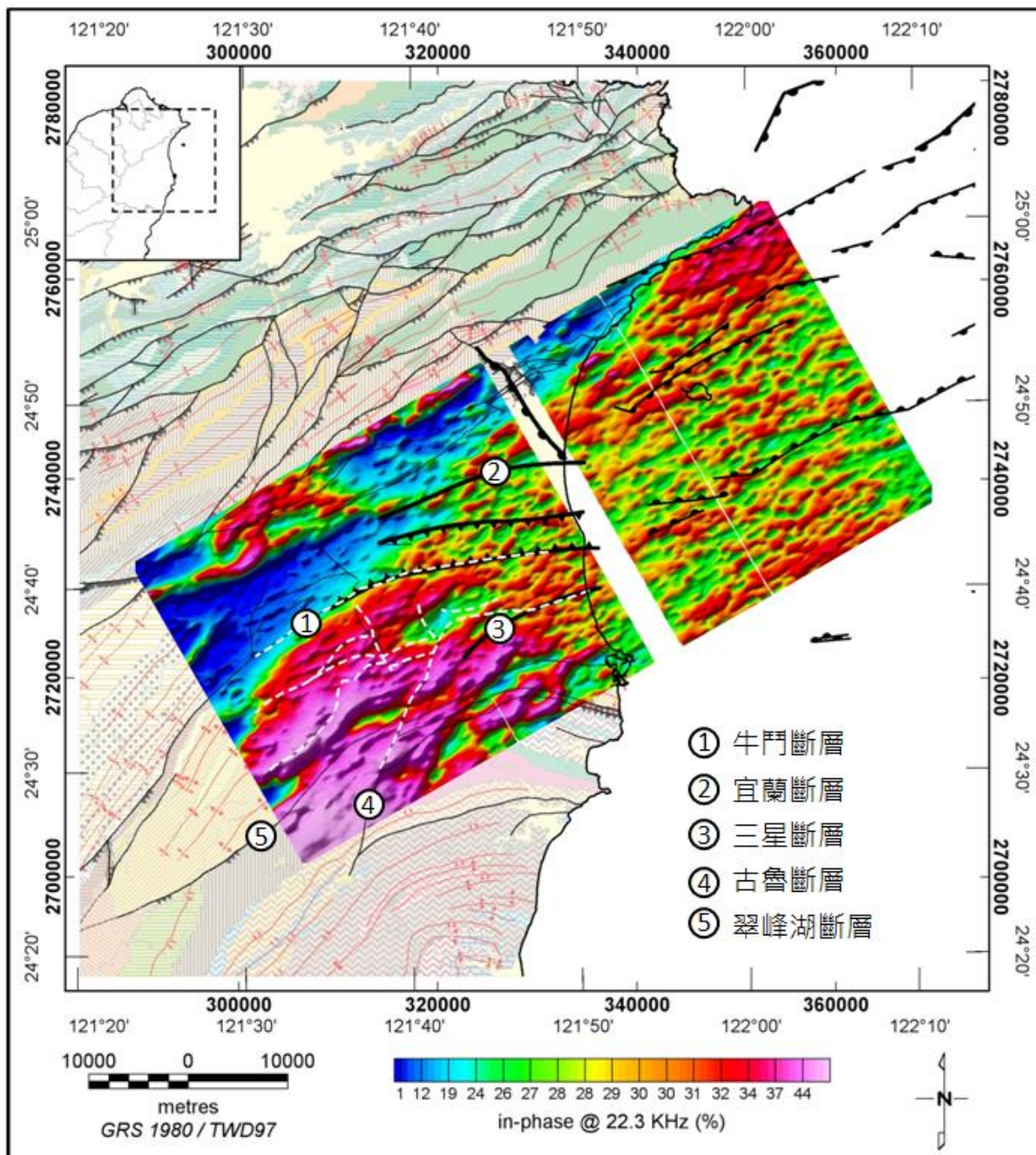


圖 4-66：VLF 同相位分量等值圖套疊地質構造圖
(地質底圖參照圖 2-3)

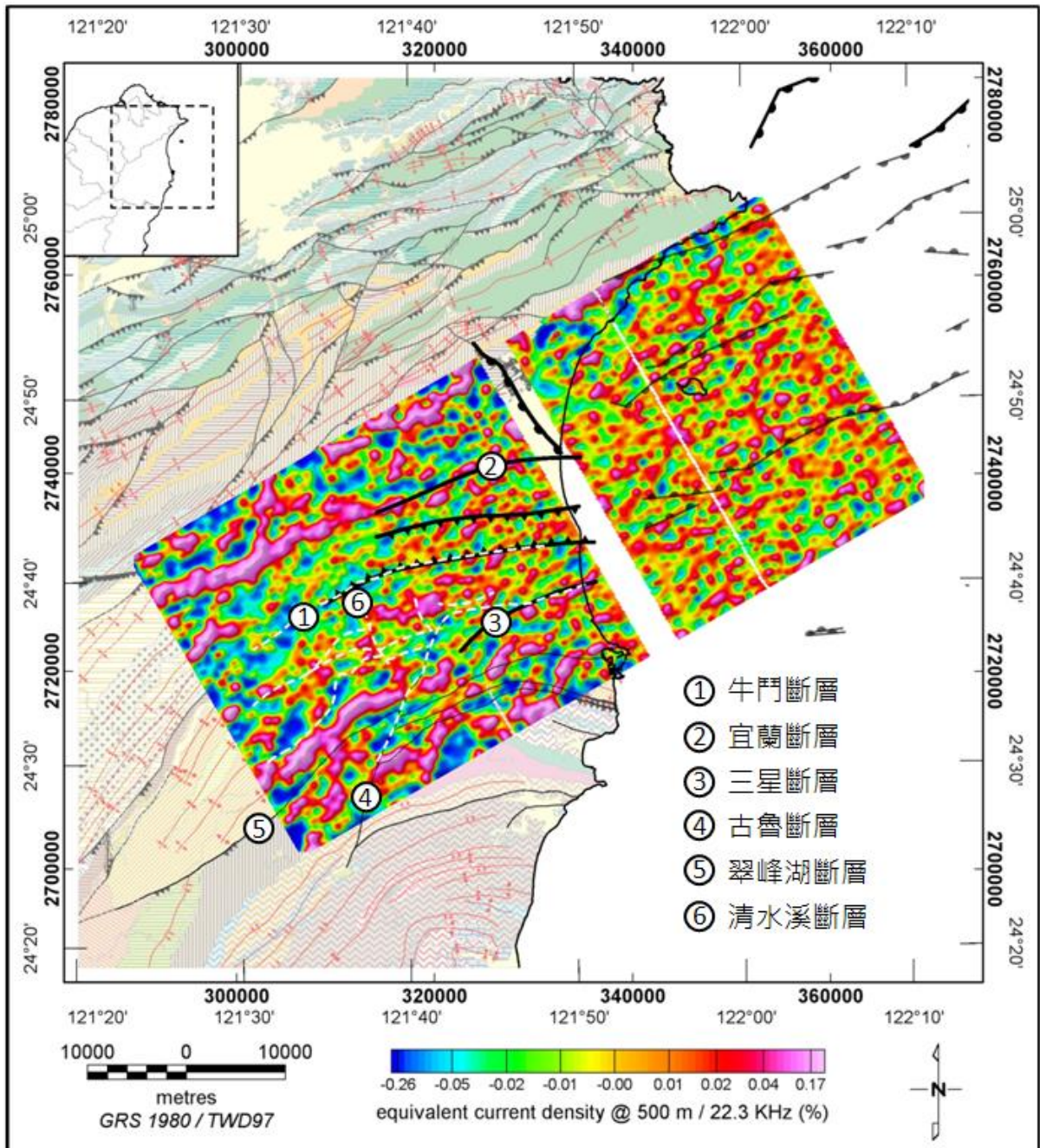


圖 4-67：VLF 等效電流密度圖套疊地質構造圖
(地質底圖參照圖 2-3)

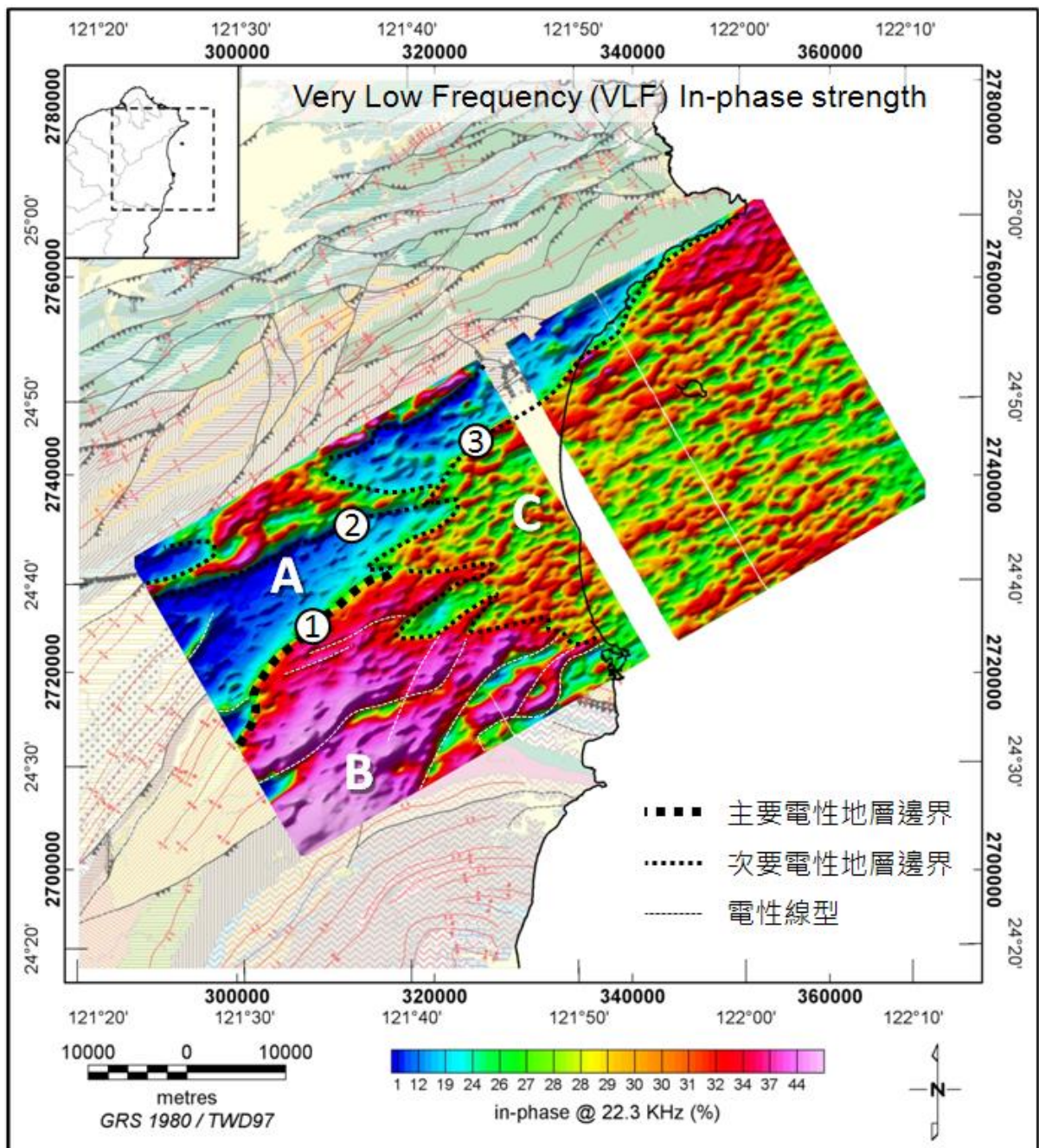


圖 4-68：VLF 同相位分量等值圖解釋電性及電性線形分布圖
(地質底圖參照圖 2-3)

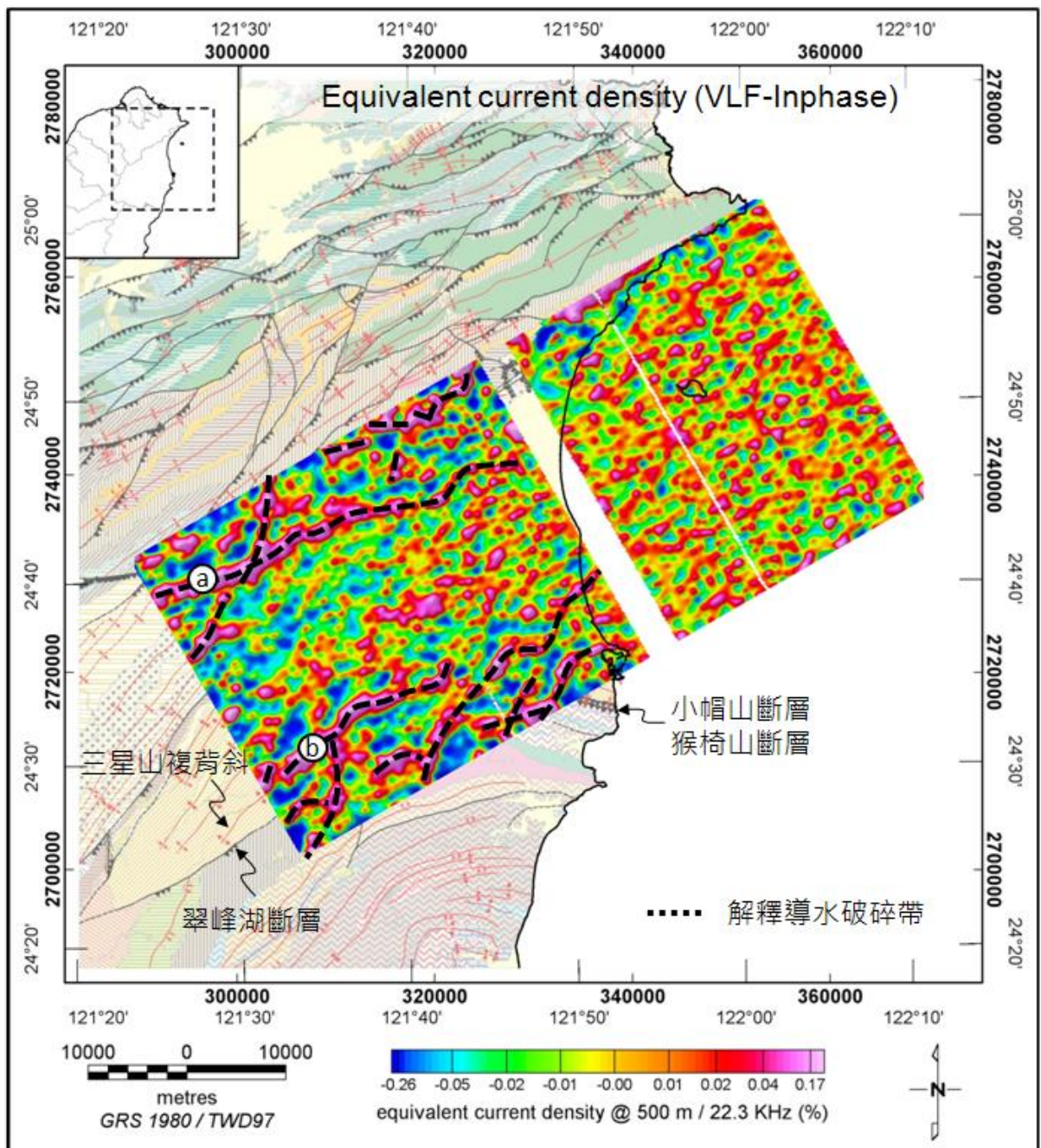


圖 4-69：VLF 等效電流密度圖解釋含水破裂帶分布圖
(地質底圖參照圖 2-3)

4.4.4 地質解釋

本計畫在進行地質解釋時，所參考的地質資料以地調所最新整編的五萬分之一地質圖(圖 2-3)為主，亦包括已出版的五萬分之一圖幅包括：頭城、蘇澳、三星、新店等圖幅，其餘未出版圖幅(如土場)及海域地質，則參考國內外發表之調查資訊。

本年度測區範圍涵蓋龜山島至宜蘭平原及中央山脈與雪山山脈北段之陸地與海域，除現有陸域地質圖幅資料外，本計畫蒐集陸域地表地球物理測勘成果(Yu and Tsai, 1979; Hsu *et al.*, 1998; Tong *et al.*, 2008)，亦收集深層地下地質資料，包括：鑽井(蘇清全，2011)、構造地質(康竹君等，2008；張峻瑋，2010；蘇清全，2011；石政為，2011)、震源機制分析(黃信樺，2007)、龜山島火山地區陸、海域火山活動相關資料(Chung *et al.*, 2000；朱秋紅，2005；Yang *et al.*, 2005；邱清龍，2006；江協堂，2010；Chiu *et al.*, 2010；藍德芳，2010；林殿順等，2011)，以及龜山島鄰近海域的海洋地質測勘成果(江協堂，2010；林殿順等，2011)等相關資料，用以參佐空中磁力資料判釋基盤岩地質構造、火山地質、溫泉以及地熱資源等地質解釋工作。

4.4.4.1 深層基盤地質與構造

本年度測區涵蓋雪山山脈與中央山脈北段，以及海域的龜山島鄰近地區，大致與本計畫前年度小區域測試成果一致。雪山山脈地層的磁性特徵呈現東北-西南向的帶狀分布，高低磁力異常間的磁力線形可能與雪山山脈岩層的構造分界(林朝宗，2000；黃鑑水、何信昌，1989)有密切關係。相較之下，無論在山區或平原區，中央山脈板岩地層均具低磁特性。此外，本年度空中磁測更證實了龜山島火成岩體的規模，更為巨大且具不同於高磁基盤的高磁特性，以及雪山山脈與中央山脈間夾有的帶狀高磁基盤，往東向海域延伸，往西向雪山山脈下方延伸，而中央山脈山區底下亦有高磁基盤分布。

高磁基盤為本計畫前一年度空中磁測首次獲致的重要深層地質與構造成果。

本計畫前一年度因飛航高度較低(約 250 m)，故對淺層解析度相對較佳，由磁力異常圖(圖 4-70)中沿蘭陽溪分布的高磁基盤，具有與中央山脈變質岩東南東向變質與構造變形作用影響之相同方向的磁力線形特徵(Tong *et al.*, 2013)。本年度飛航範圍較大，從海域到陸域的飛航路線，實務上較去年更不易維持較低飛航高度，因此獲致的磁力異常圖(圖 4-71)，高磁基盤無明顯東南東向線形。有鑑於此，本年度成果以較宏觀的解釋為宜。

Yu and Tsai (1979)推測該高磁性岩體可能為火成岩體，Tong *et al.* (2008)曾利用宜蘭平原的地表磁力測勘資料(Yu and Tsai, 1979)，使用尤拉解迴旋(Euler deconvolution)法分析此高磁異常帶的分布及深度資訊，並提出有一高角度且向北傾之斷層構造，概略沿蘭陽溪分布；蘭陽溪南側深度 1 至 6 公里基盤裡，則存在一近東西向分布，且高角度的高磁性岩體(圖 2-14 中標示 DD)。由本計畫前一年度完成的高精度磁力異常圖(圖 4-73)中，在蘭陽溪口一帶存在一近東西方向的磁力高區(MH2)，由前節磁力特徵分析結果，暗示確有一東西向高磁性岩體概略沿蘭陽溪南岸分布，與前人研究結果(Yu and Tsai, 1979; Tong *et al.*, 2008)一致。本年度獲致此高磁基盤大範圍分布，顯示宜蘭平原下方構造沿高磁基盤南側與北側，分別與宜蘭平原濁水斷層與坑四斷層(石政為，2011)有關。

再者，此高磁基盤與南側中央山脈低磁的蘇澳層板岩之間，不僅以斷層構造分界(即濁水斷層與牛鬥斷層)，與北側的雪山山脈低磁岩層間亦以斷層構造分界，在宜蘭平原下方之雪山山脈地層中，形成坑四斷層(圖 4-71)。此高磁基盤往測區西南延伸置中嶺背斜下方，可推測雪山山脈南界岩層，曾受高磁基盤從地殼深部至淺部逆衝構造作用的影響，而形成背斜構造。測區範圍的雪山山脈深層岩層，以本年度磁測解析資料來看，除了前述位於南界的高磁基盤外，測區北側山區下方，亦有狹長帶狀高磁基盤，以東北向分布，夾在帶狀低磁岩層中(圖 4-70)。以新獲致的空中磁測解析資料，與現有地質圖資對比，即明顯發現高解析度空中磁測圖資，鑒別出高低磁區的分界，與現有地表地質及震測剖面解析的岩層分布或構造線分布相當符合，對後續其他計畫規劃山區地質調查及平原區深層地質調查，本年度計畫成果提供相當重要的資訊。

前一年度計畫，首度對此高磁基盤與南蘇澳層中變質輝綠岩脈進行對比，建議此一分布於蘭陽溪下方的巨大高磁基盤(Tong *et al.*, 2012)，可能不是侵入岩脈，而且根據其具變質與變形的磁力特徵，建議為漸新世至中新世形成於雪山山脈及中央山脈間的海洋地殼，可能為南中國海板塊(South China Sea Plate)的延伸(Tong *et al.*, 2013)。本年度計畫進一步證實分布於蘇澳山區，磁性屬於低磁特徵的蘇澳層板岩及南蘇澳層板岩下方，有大範圍的高磁基盤存在，並往外海延伸，與所謂琉球島弧的基盤相連。夾於南蘇澳層的變質輝綠岩脈(林啟文，1998；林蔚，2001；林啟文與高銘健，2009)，可能為此一與海洋地殼有關的高磁基盤形成後期，於中洋脊侵入沈積層(南蘇澳層)的岩脈，因此在蓬萊運動發生過程中，大南澳片岩逆衝到南蘇澳層上(林啟文與高銘健，2009)，夾於南蘇澳層具有洋脊玄武岩特徵的變質輝綠岩脈，可以作為支持大南澳片岩與雪山山脈間存在一海洋地殼的證據(林蔚，2001)。此一海洋地殼可能分成數個殘塊，由空中磁測本年度的測勘結果顯示，在大南澳片岩拼貼回歐亞大陸邊緣時，介於兩陸塊之間(如宜蘭平原下方之高磁基盤)；可能有一殘塊位於蘇澳層、南蘇澳層及大南澳片岩下方，並往外海延伸至琉球島弧基盤(圖 4-65)。

此高磁基盤於磁力異常圖中，呈現出的磁力線形分布(圖 4-71)，與林啟文與高銘健(2009)蘇澳圖幅繪製的南蘇澳層邊界及斷層構造分界一致；但岩層分布上，始新統至中新統的低磁岩層(南蘇澳層、蘇澳層)，即反映出低磁與高磁兩大區塊，高磁基盤的分布僅在岩層邊界或斷層線上呈現磁力線形的變化(圖 4-71)，透過三維逆推解析(圖 4-62、圖 4-64)，高程-1 km 至-5 km 左側剖面上(圖 4-65)，可明顯看出深層高磁基盤，逆衝到淺層蘇澳層低磁基盤上的關係。

4.4.4.2 火山地區地下地質構造

火山岩漿活動可能造成各式產狀如岩漿侵入體、岩脈、火山錐體、火山噴發或冷卻的裂隙、以及熔岩流等，因火山岩通常含較一般沉積層更多的磁性礦物，甚至不同期噴發的火山岩其殘磁特性也不同，因此可以藉由不同磁力異常所呈現

的形貌，來分辨火山地區的岩漿活動及產物。

龜山島位於沖繩海槽的最西南端，即在菲律賓海板塊及歐亞板塊交界上方，根據安山岩中夾有的砂岩捕獲岩塊，進行熱螢光定年，獲致噴發年代為 7 千年前 (Chen *et al.*, 2001) 之活火山證據。由三維磁力模型(圖 4-65)顯示龜山島火成岩體下方的低磁岩漿庫及周圍的環狀岩脈，概略以龜山島所在之磁力高區(MH1; 圖 4-55) 為中心。本年度空中磁測擴大測勘範圍，獲致龜山島火成岩體往東北方延伸分布的全貌，呈現東北-西南向分布且更為巨大的岩體，火成岩體中可能存在數個火山口，下方均有低磁的岩漿庫。龜山島鄰近海域震測資料判釋的正斷層帶(林殿順等, 2011)，與本年度空中磁測獲致 RTP-1VD 磁力異常圖(圖 4-71)進行比較，顯示龜山島火成岩體南北兩側基盤存在的東北-西南向磁力線形，與震測剖面研判的正斷層構造線分布一致。另一方面，高低磁力異常間構成的東北-西南向磁力線形，可自海域延伸至宜蘭平原，顯示以龜山島火成岩體形成的陷落中心，也可延伸至震測剖面觀察到的宜蘭平原北部的基盤陷落中心(江新春, 1976; 石政為, 2011)。

宏觀而言，龜山島東北-西南向分布的火成岩體，不僅與鄰近海域正斷層構造分布方向一致，也與大屯火山群的山腳斷層等北部張裂構造的分布方向一致(圖 4-71)。

本研究提出此一基盤岩層磁力特徵與構造磁力特徵，可用火山白陷落的模式解釋。根據前一年度成果，初步發現在較低航測高度獲致的較高磁力解析條件下，磁力線形、岩漿庫與環狀岩脈的組合，顯示龜山島火山活動曾順基盤岩既有的東南東方向裂隙帶，發生裂隙噴發活動及岩脈侵入作用，形成東南東方向之磁力高區(MH1; 圖 4-55)，而後因火山白陷落作用而形成環狀岩脈(圖 4-65、圖 4-73)。去年成果報告推論龜山島形成後，此區新形成的火山高磁岩體的變形，依然順東南東磁力線形發生，龜山島空載光達影像亦呈現出主要東南東方向的構造線形，顯示此區變形持續受到基盤岩既存東南東方向的構造所影響(圖 4-73)。今年在較高航測高度下，雖然解析磁力資料未足以精細到可顯示出火山白本身所具有的東南東方向的岩脈與構造，卻能以更宏觀的方式看出龜山島火山活動形成的高磁性

火成岩體的規模，相當於大屯火山群的規模(圖 4-71)；延伸方向順北東向分布，亦與大屯火山群順山腳斷層分布之方向一致(圖 4-71)。此外，利用三維逆推方式解析，可以宏觀發現以龜山島火山白及低磁的岩漿庫為中心，呈現出環狀及放射狀高磁磁力線形特徵，可能反映龜山島火山活動形成的環狀岩脈與環狀構造，以及其同時共生的放射狀岩脈與放射狀構造(如圖 4-62 右上圖-2.5 km 所示)。此環狀構造及放射狀構造，從磁力線形來看，甚至分布到宜蘭平原南側，可能是火山活動同時伴生火山白陷落作用所致。這些火山構造形成年代不過 7000 年，不僅呈現了 2-6 公里深不具磁性的岩漿庫，微震群聚在岩漿庫附近(圖 4-61)；而且分布在宜蘭平原南方濱海區域，受到放射狀構造及環狀構造影響範圍，亦為地震較為集中的區域(圖 4-61)。

4.4.4.3 潛伏火山熱液活動區分布

Sibuet *et al.* (1998)報導中法合作的海洋探測計畫時，針對沖繩海槽西南緣所做的海底剖面，發現約 70 座形成於此區域的海底火山，正位於班尼奧夫帶上 80-100 公里的位置，此一系的火山可能是琉球島弧向西南之延伸，這些海底火山的生成晚於沖繩海槽西南部的張裂，形成一特殊的島弧火山前緣。江協堂(2010)量測宜蘭平原及龜山島外海熱流值，發現高熱流值與局部火成岩體侵入有關，由於龜山島火山活動與沖繩海槽的張裂或琉球島弧的噴發活動有關，特別是火山形成年代都很年輕，其殘餘岩漿熱可能造成局部的高熱流。參考林殿順等(2011)彙整的海域斷層資料，顯示斷層切過龜山島火山活動區，並分布於岩漿庫低磁區附近，均為東北-西南向張裂斷層，其磁力線形延伸至宜蘭平原基盤，與坑四斷層相交沿線均呈現高磁降為低磁的線形特徵，可能為火山熱流的通道(圖 4-71)。

由本計畫完成的龜山島鄰近區域空中磁測資料，已涵蓋龜山島東方區域，呈現出龜山島火山活動有關的高磁性磁體、低磁岩漿庫及高磁環狀岩脈分布(圖 4-65)，證實深處岩漿庫低磁區的存在，將是此區長期熱流的深層來源。推測宜蘭平原靠近濱海至龜山島間區域，無論基盤岩及地質構造均受到此一 7 千年前噴發

的火山活動的影響。特別是宜蘭平原南側靠近濱海地區，原本低磁的蘇澳層板岩地層產生了磁性變化，並形成磁性線形的不連續帶(張裂構造造成磁力線形的不連續，可能為熱流通道)，如環狀分布，此區亦為蘭陽溪口南側最大下陷地區(圖 2-12)(陳文山等，2004；康竹君、張中白未發表資料)，似與龜山島火山陷落的環狀約略平行。三星斷層為此區可能的活動斷層(石政為，2011)，切過此環狀沉陷區，除地表變形說明此區存在熱流通道，形成蘭陽溪南岸與羅東至利澤間為熱流較高的區域(工研院執行能源局計畫 2012 成果報告)，同時土壤氣監測也提供氦同位素具地函源或火山源的證據(Yang *et al.*, 2005; 藍德芳，2010)，顯示熱流來自龜山島火山作用。

清水地熱區位於清水溪，為低磁的板岩帶，在 RTP-1VD 磁力異常圖上(圖 4-70)，顯示沿清水溪的構造線，存在一磁力線形位於低磁的淺藍色與中低磁的黃綠色交界上。中低磁的板岩帶自清水溪往土場方向延伸，其西南方高磁基盤亦存在高磁轉低磁的變化(圖 4-70)，可能是潛在的地熱區。

若以宜蘭平原鄰近地區磁力異常圖及構造分布研判(圖 4-71)，此區有兩大地熱來源，分別是東北方的龜山島火山地熱，以及西南方的中央山脈地熱。以龜山島火山活動區為中心，則東北-西南方向的構造(如坑四斷層、濁水斷層等)及環繞火山活動區的環狀沉陷構造(主要在濱海地區，但鶺鴒斷層、清水溪斷層、三星的古魯斷層分支等，呈現西北-東南向的構造，也可能是此類環狀構造)，可能是熱流重要的通道，距離最遠的清水地熱仍能採集到具火山源特性的氦同位素氣體。相較之下，西南方的中央山脈地熱則可能分布於南澳北溪中上游，數條斷層交會區顯示出原本高磁基盤特徵，有轉為低磁的特徵，可能反映出深層地溫降低磁性使然，可提供後續進行溫泉與地熱資源的調查參考。

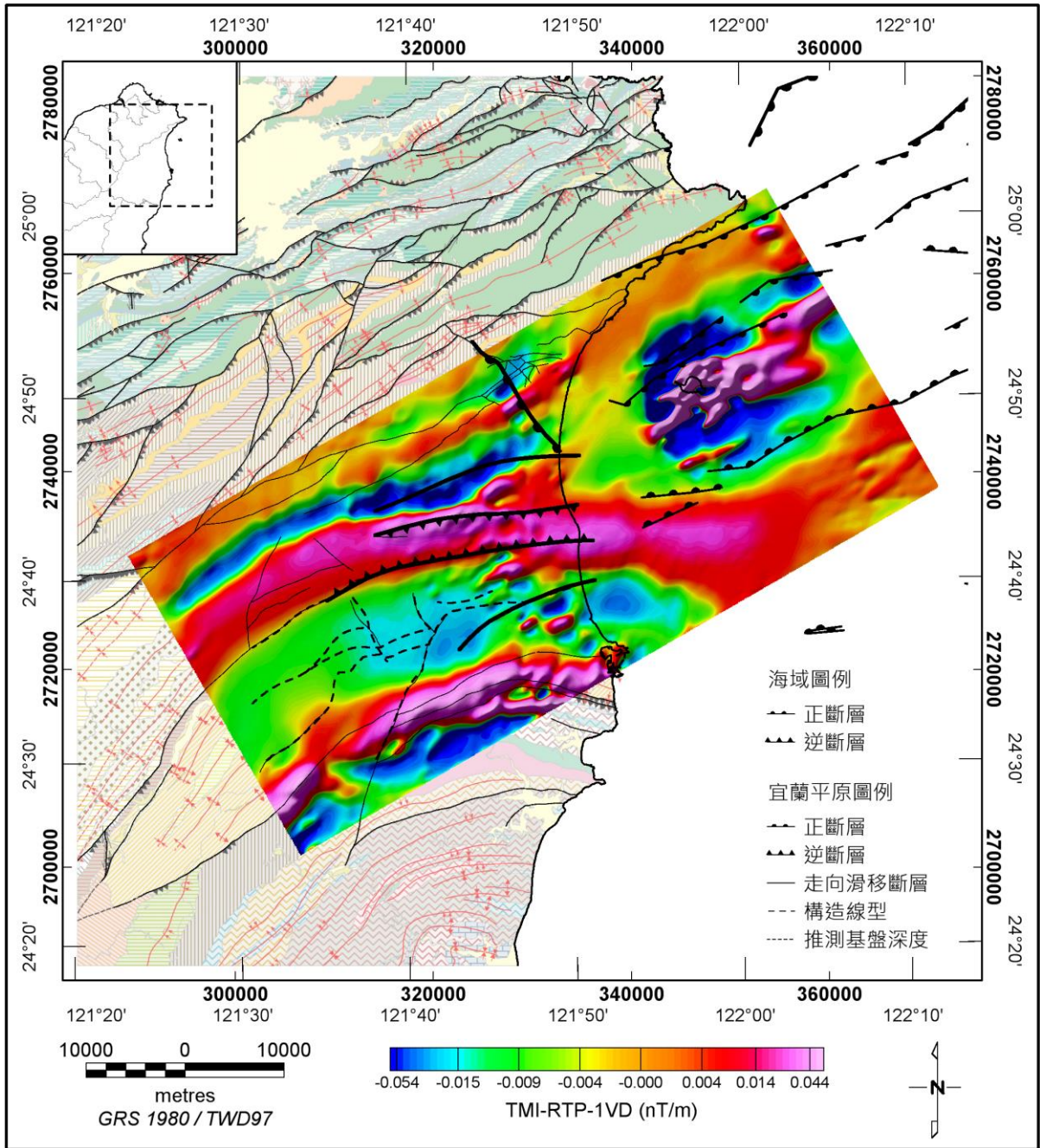


圖 4-70：磁力異常圖套疊宜蘭平原鄰近構造分布圖
 (磁力異常圖係經歸極換算及一次垂直微分處理)

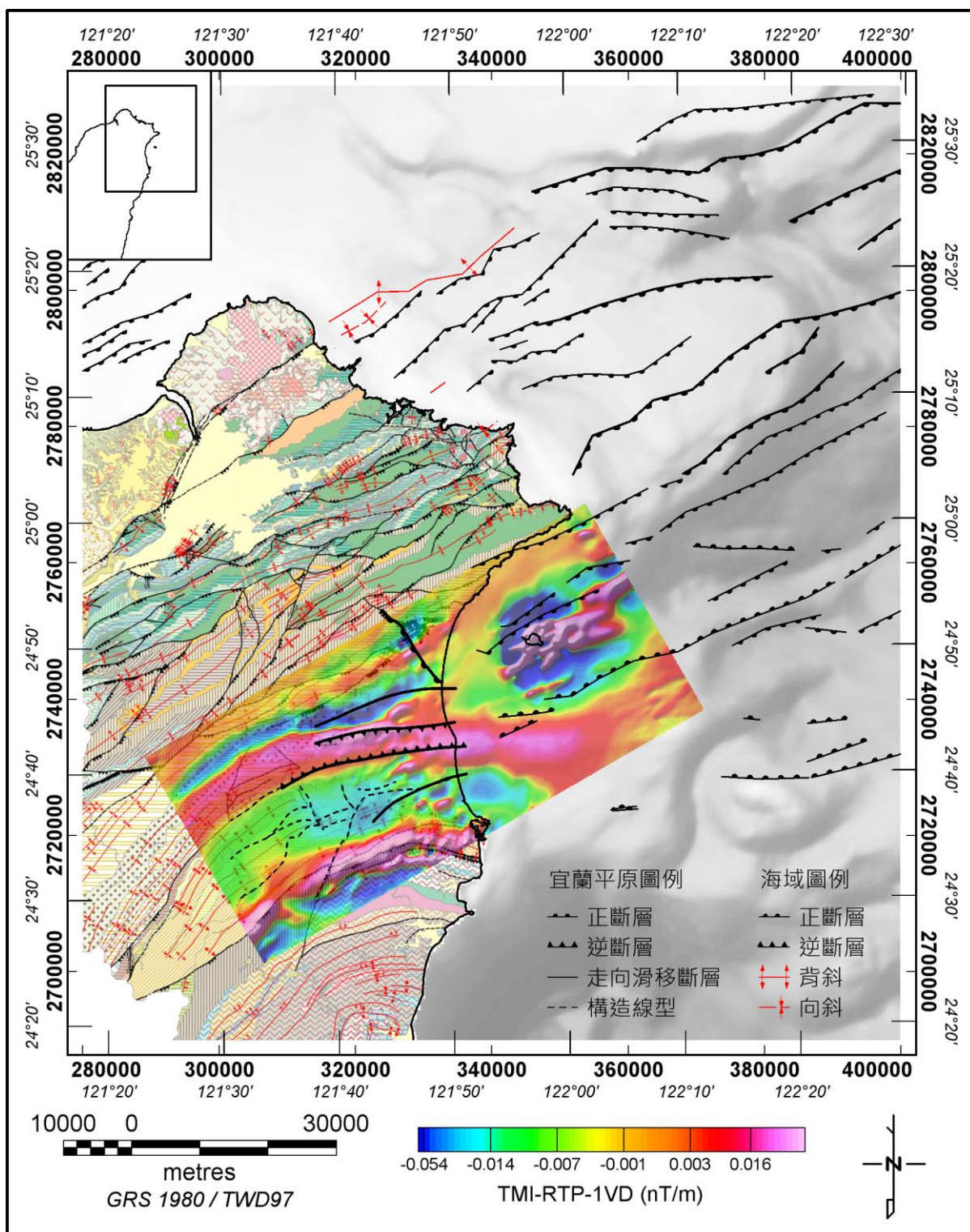


圖 4-71：台灣東北部陸海域構造分布套疊空中磁測磁力異常圖

磁力異常圖係經歸極換算及一次垂直微分處理。地質底圖參照圖 2-3；宜蘭平原基盤及構造解釋摘自石政為(2011)；海域構造解釋摘自林殿順等(2011)；宜蘭南方山區構造線形摘自游明芳(2013)；地質圖圖例列於圖 4-72。



圖 4-72：台灣北部地質圖圖例

(地質圖請參照圖 4-71)

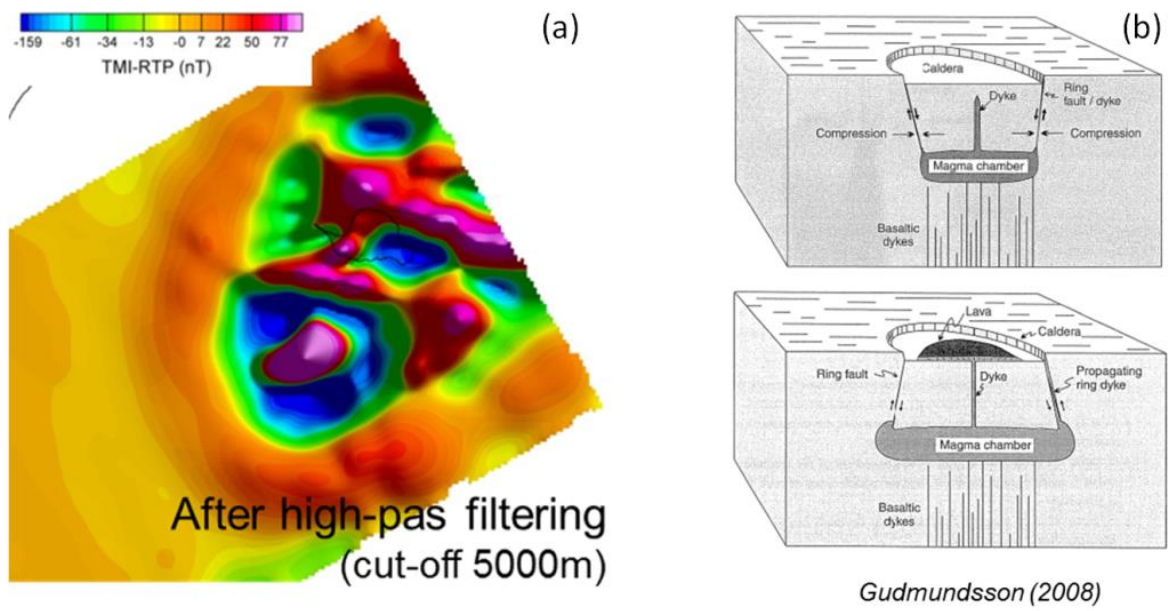


圖 4-73：龜山島鄰近區域之環狀磁力高區及其成因模型示意圖

(a) 龜山島鄰近區域之剩餘磁力異常圖；(b) 環狀岩脈成因模型示意圖。

4.5 工作會議與教育訓練

(1) 工作會議

為了掌握計畫進度及討論遭遇問題之解決之道，本計畫分別於 2013 年 5 月 10 日及 11 月 15 日進行工作會議，參加人員包括地調所及本計畫團隊相關人員，會議照片及簽到單分別如圖 4-74 至圖 4-77。



圖 4-74：第一次工作會議照片



圖 4-75：第二次工作會議照片

台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(2/2)
5月份工作會議

簽到表

時間：民國 102 年 05 月 10 日 (星期五)

地點：地調所四樓 R411 會議室

中央地質調查所	李錦育	李栢村	朱偉嘉
	林聖心	黃瑞哲	
工業技術研究院	董伯道	劉敏奇	黃炎聰
中興航空公司	蔡志仁		

圖 4-76：第一次工作會議簽到表

台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(2/2)
11 月份工作會議

簽到表

時間：民國 102 年 11 月 15 日 (星期五)

地點：地調所四樓 R411 會議室

中央地質調查所	張碩芳	李柏村	黃琨哲
	洪同騰		
工業技術研究院	董倫道	林蔚	

圖 4-77：第二次工作會議簽到表

(2) 教育訓練

為增進地調所同仁對空中地球物理技術之瞭解，並且提供調查結果地質解釋之討論平台，本計畫延續上年度教育訓練之內容規畫，於 2013 年 12 月 9 日假地調所 2 樓第 1 一會議室舉辦教育訓練會，課程內容如表 4-9，會議照片及簽到單分別如圖 4-78 及圖 4-79。

表 4-9：教育訓練課程表

時間	項目	講師
09:50-10:00	報到	
10:00-10:40	磁力資料逆推處理說明	董倫道
10:40-10:50	本年度空中磁測作業概況	董倫道
10:50-11:30	本年度空中磁測地質解釋	林蔚
11:30-12:00	綜合討論	



圖 4-78：教育訓練照片

**台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(2/2)
教育訓練與技術轉移**

簽到表

時間：民國 102 年 12 月 9 日 (星期一)

地點：經濟部中央地質調查所 2 樓第 1 會議室

中央地質調查所	陳暉政	張碩宇	
	李柏村	謝崇旋	
	李錦弘		
	陳柏遠	鐘三雅	
	陳松泰		
	劉培宏		
	張育仁	黃琨哲	
	林祖成	潘遵友	
	洪國騰	陳揚祿	
	工業技術研究院	董倫道	林蔚

圖 4-79：教育訓練簽到表

5 結論

本計畫完成了本年度預定探測區域，由本年度獲得的高精度空中磁力資料，對於宜蘭平原及其鄰近海域之基盤構造與龜山島火山活動有更進一步的瞭解。總括本計畫獲得的主要結論擇要敘述如下：

- (1) 本計畫首度完成了宜蘭陸海域空中地球物理探測，測線總長度為 5,723 km，涵蓋面積 2,607 km²，完成全磁力強度網格圖及甚低頻電磁異常圖等，據以分析大區域火成岩與構造分布的關係，並提供了後續進一步討論地體演化與成因機制之重要資料。
- (2) 由磁力異常圖上辨認出 3 個顯著條帶磁力高區及 6 組主要磁力線形特徵，可對比火山岩、高磁基盤及斷層構造。
- (3) 宜蘭平原中央之東西向高磁力基盤之南北兩側，分別與濁水斷層及坑四斷層有關，本計畫推論該磁力基盤可能不是侵入岩脈，而是在大南澳片岩拼貼回歐亞大陸邊緣時，殘留的海洋地殼殘塊，並有可能往外海延伸至琉球島弧基盤。夾於南蘇澳層具有洋脊玄武岩特徵的變質輝綠岩脈，可以作為支持大南澳片岩與雪山山脈間存在一海洋地殼的證據。
- (4) 本計畫依三維逆推所獲得的三維磁感率模型，由巨觀角度推測龜山島鄰近地區之居里溫度約 5 km，調查範圍內中間的東西向高磁性岩體，其居里深度約介於 15–20 km 間。若不考慮前述帶狀高磁性岩體及龜山島火山岩漿庫的影響，估計調查範圍的平均居里深度約介於 10–15 公里之間。
- (5) 龜山島火山岩內圓形低磁區解釋為火山口，共有三處，其中一處位於龜山島之龜首，另兩處位於龜山島東北方，解釋為舊火山口，暗示龜山島火山活動持續地自東北向西南方向遷移。
- (6) 由龜山島鄰近之地下磁體邊界分布，推測龜山島鄰近之地下火山岩分布呈現東北向之帶狀分布，龜山島鄰近火山岩範圍直徑約 9 公里，遠較龜山島出露的範圍大。
- (7) 龜山島東北-西南向分布的火成岩體，不僅與鄰近海域正斷層構造分布方向一

致，也與大屯火山群的山腳斷層等北部張裂構造的分布方向一致，暗示二者可能具有類似的機制。

- (8) 由龜山島鄰近火山岩分布呈現東北-西南帶狀分布，暗示龜山島火山活動曾順基盤岩既有的東北東及北北東方向裂隙帶，發生裂隙噴發活動及岩脈侵入作用，形成東南東方向之帶狀磁力高區，後因火山白陷落作用而形成環狀岩脈。環狀岩脈內的低磁力區域推測對應岩漿庫位置，因受高溫影響導致磁力強度相對減小，故此區之居里深度較周遭地區淺，推測深度約僅 5 公里上下，暗示地下蘊藏巨大熱源。
- (9) VLF 同相位分量訊號強度能反應地層電性特徵，與已知的地層邊界與主要構造線位置吻合，故由 VLF 圖幅能提供進一步有關岩體分布、地質構造及含水破裂帶分布等資訊。
- (10) 綜整磁力與 VLF 探測結果，本計畫解釋之構造分布如圖 5-1 所示。

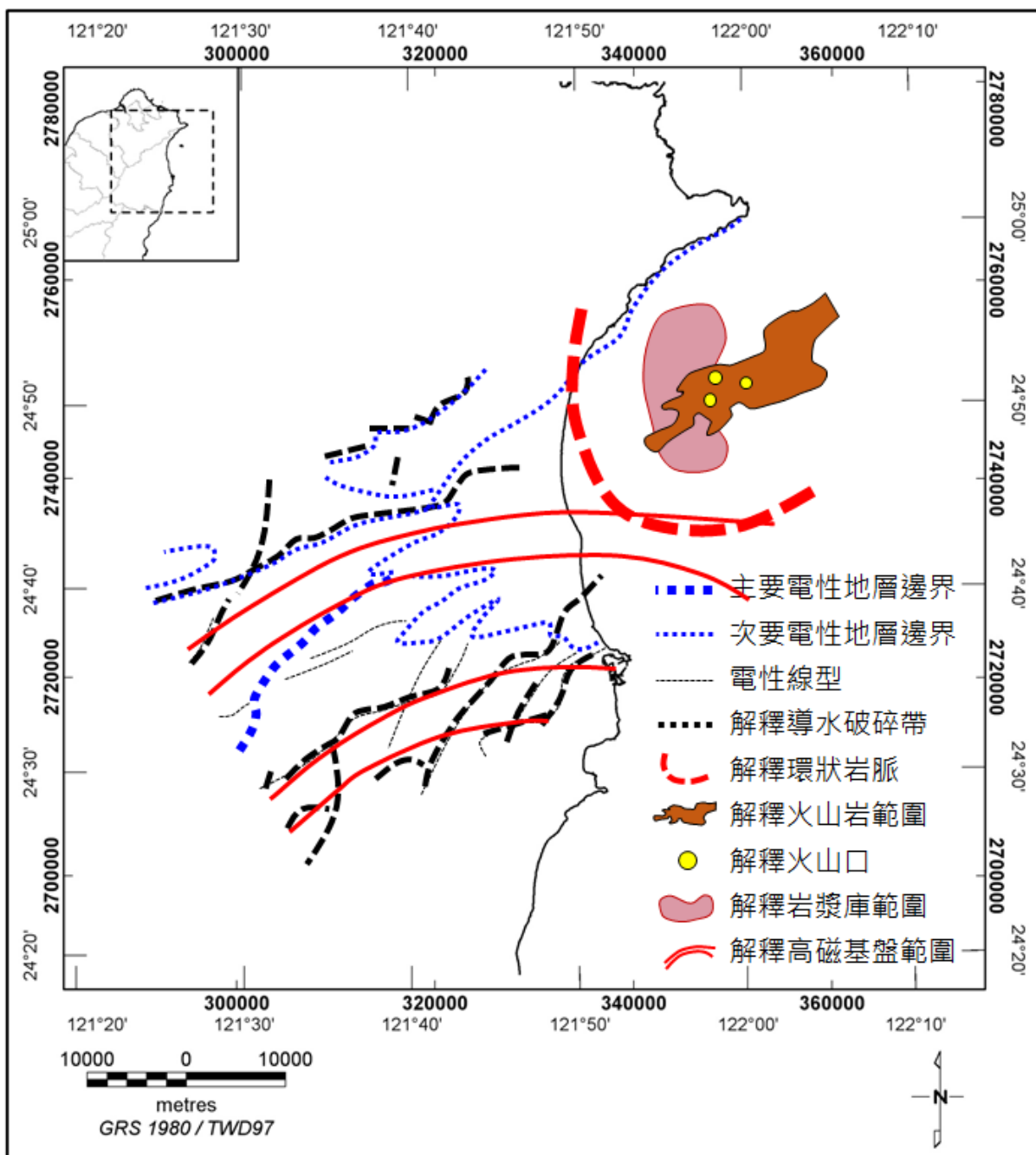


圖 5-1：依據磁力與 VLF 資料解釋之岩體與構造分布圖

6 參考文獻

- 中國國土資源部 (2010)。航空磁測技術規範。共 56 頁。
- 中華百科網站 (2013)。居禮點。2013/12/20 摘自 http://ap6.pccu.edu.tw/encyclopedia_media/main-s.asp?id=2452。
- 王乾盈 (2010)。都會區深部地下構造震測研究 V：宜蘭平原。國科會研究成果報告(精簡版)，NSC 99-2116-M-008-043，共 28 頁。
- 石政為 (2011)。利用反射震測探討宜蘭平原之基盤深度及構造演化。國立中央大學碩士論文，共 110 頁。
- 石瑞銓 (2011)。台灣碰撞帶與造山帶的活動構造研究-宜蘭平原沈積與活動構造震測研究。國科會研究成果報告(精簡版)，NSC 98-2116-M-194-011，共 13 頁。
- 交通部民航局 (2012)。台北飛航情報區飛航指南。2012/04/06 摘自民航局 <http://www.caa.gov.tw/big5/content/index.asp?sno=8> 法令規範及手冊指引網站。
- 朱秋紅 (2005)。龜山島高鎂安山岩之岩漿成因。台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 99 頁。
- 江協堂 (2010)。台灣東北部宜蘭平原及龜山島之地熱研究。國立臺灣大學海洋研究所博士論文，共 106 頁。
- 江新春 (1976)。宜蘭平原之震測。礦業技術，第 14 卷，第 6 期，215-221。
- 何春蓀 (1975)。台灣地質概論。台灣地質圖幅說明書，經濟部出版，共 153 頁。
- 吳永助 (1976)。清水土場地熱區及其外圍之地質。礦業技術，第 14 期，第 484-489 頁。
- 李錫堤、鄧屬予、劉聰桂、蔡龍珩 (1993)。臺灣北部金山-新莊-山腳斷層活動性之地質評估(I)。國科會專題研究計畫成果報告，共 80 頁。
- 李錫堤、鄭錦桐、廖啟雯、張原賓 (1998)。台灣活斷層圖。中央大學應用地質研究所，工程及地質防災科技研究室。
- 林啟文 (1998)。台灣東北部板岩帶與片岩帶之構造特性與構造演化。國立台灣

- 大學地質學研究所博士論文，共 173 頁。
- 林啟文、林偉雄（1995）。五萬分之一臺灣地質圖及說明書-第 15 號，三星圖幅。
經濟部中央地質調查所，共 55 頁。
- 林啟文、高銘健（2009）。五萬分之一臺灣地質圖及說明書-第 16 號，蘇澳圖幅，
第二版。經濟部中央地質調查所，共 59 頁。
- 林朝宗（2000）五萬分之一臺灣地質圖及說明書-第 9 號，新店圖幅。經濟部中央
地質調查所，共 78 頁。
- 林殿順、許樹坤、劉家瑄、李昭興、林靜怡、蘇志杰、許嘉峻、陳冠宇、張筱（2011）。
大台北地區特殊地質災害調查與監測第二期-台灣東北海域地質及地球物理
資料彙編與分析(4/4)，經濟部中央地質調查所報告第 100-04 號。
- 林蔚（2001）。華南沿海地區晚燕山期侵入岩漿活動及大地構造意義。國立台灣
大學，地質科學研究所，博士論文，共 236 頁。
- 邱清龍（2006）。龜山島火山岩之岩漿演化及其構造上的隱示。台灣大學地質科
學研究所碩士論文，共 63 頁。
- 邱詠恬、景國恩、侯進雄、胡植慶、饒瑞鈞（2008）。由 2002-2006 年之 GPS 觀
測資料探討宜蘭平原之地殼變形。經濟部中央地質調查所特刊，第 20 號，第
111 - 124 頁。
- 洪崇勝（2011）。臺灣北部橫貫公路低度變質岩之岩石磁學兼論雪山山脈與中央
山脈之地層對比。經濟部中央地質調查所特刊，第二十五號，第 167-179 頁。
- 徐閔儀（2006）。臺灣北部震間地殼變形：1995-2005 年 GPS 觀測。國立成功大
學地球科學研究所碩士論文，共 114 頁。
- 康竹君（2007）。宜蘭平原地區之新期構造分析研究。國立臺灣海洋大學，應用
地球科學研究所碩士論文，共 84 頁。
- 康竹君、張翠玉、李建成、陳柔妃（2008）。南沖繩海槽之最西端及梨山斷層最
北端：蘭陽平原的構造活動特性。Western Pacific Earth Sciences，第 8 期。
- 張峻瑋（2010）。利用反射震測探討宜蘭平原南部之基盤深度及斷層分布。國立
中央大學地球物理研究所碩士論文，共 97 頁。

- 許雅儒 (1999)。由 GPS 觀測資料探討宜蘭平原的伸張變形。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 110 頁。
- 陳文山、楊志成、吳樂群、楊小青、陳勇全、顏一勤、劉立豪、黃能偉、林啟文、張徽正、石瑞銓、林偉雄 (2004)。沉降環境的山麓河谷地形特性—探討台北盆地、宜蘭平原與屏東平原鄰近山麓地形與構造的關係。經濟部中央地質調查所彙刊，第十七號，第 79–106 頁。
- 曾長生 (1978)。宜蘭縣清水及土場區地質及地熱產狀。台灣石油地質，第 15 號，第 11–23 頁。
- 游明芳 (2013)。宜蘭南側地區地質構造調查與地熱地質分析。能源國家型科技計畫—102 年地熱發電主軸計畫成果發表會論文集，第 15 頁。
- 游峻一 (2011)。台灣北部造山帶的活動構造研究—運用地電阻影像剖面法與音頻大地電磁波法研究宜蘭盆地北側基盤及斷層。國科會研究成果報告(精簡版)，NSC 99-2116-M-231-005，共 11 頁。
- 黃信樺 (2007)。台灣東北地區的地質構造：由碰撞末期轉變為隱沒拉張之構造特性。台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 110 頁。
- 黃鑑水、何信昌 (1989)。五萬分之一臺灣地質圖及說明書-第 10 號，頭城圖幅。經濟部中央地質調查所，共 29 頁。
- 楊潔豪、呂崇嘉、林思源、陳平護 (1992)。宜蘭平原之電性地層研究。經濟部中央地質調查所特刊，第六號，第 251–262 頁。
- 經濟部中央地質調查所 (2000)。五十萬分之一臺灣地質圖。
- 經濟部中央地質調查所 (2010)。易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置計畫。
- 經濟部中央地質調查所 (2012)。台灣北部火山活動觀測研究—台灣北部火山活動地區密集陣列觀測研究(1/4)。
- 詹新甫 (1976)。台灣雪山山脈之摺皺與塊體運動。台灣省地質調查所彙刊，第 25 號，第 29–34 頁。
- 維基百科網站 (2013)。Curie temperature。2013/12/18 摘自

http://en.wikipedia.org/wiki/Curie_temperature

- 蔡義本 (1976)。宜蘭地區之地震研究。礦業技術第 14 卷，第 5 期，第 156–165 頁。
- 鄧屬予 (2007)。台灣第四紀大地構造。經濟部中央地質調查所特刊，第 18 號，第 1–24 頁。
- 藍德芳 (2010)。台灣北部及沖繩海槽氣體地球化學研究：氣體通量、地體構造與地球逸氣之隱示。國立台灣大學地質科學研究所博士論文，共 89 頁。
- 蘇清全 (2011)。宜蘭平原末次冰期以來沉積環境變遷與構造作用特性。台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 125 頁。
- Angelier J., Chang, T.Y., Hu, J.C., Chang, C.P., Siame, L., Lee, J.C., Deffontaines, B., Chu, H.T., and Lu, C.Y. (2008). Does extrusion occur at both tips of the Taiwan collision belt, Insights from active deformation studies in the Ilan Plain and Pingtung Plain regions. *Tectonophysics*, 466, 356–376.
- Beamish, D. (1994). Two-dimensional, regularised inversion of VLF data. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 357–374.
- Bruno, V., Fairhead, J.D., Green, C.H., Leed, G., and MacKenzie, C. (2004). New insights into magnetic derivatives for structural mapping, *The Leading Edge*, 2, 116–119.
- Chan, Y.C., Chen, R., Lee, J., Chang, K., Hsieh, Y., Tsao, S. (2008). Active Normal Faulting Revealed by the LiDAR DTM in the Mountainous Area, North of the Lanyang Plain, Taiwan. *Annual Meeting of Geological Society of Taiwan*, .
- Chen, Y.G., Wu, W.S., Chen, C.H., and Liu, T.K. (2001). A date for volcanic eruption inferred from a siltstone xenolith. *Quat. Sci. Rev.*, 20, 869–873.
- Chiu, C.L., Song, S.R.m Hsieh, Y.C. and Chen, C.X. (2010). Volcanic characteristics of Kueishantao in northeast Taiwan and their implications. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 21, 575–585.
- Chung, S.L., Wang, S.L., Shinjo, R., Lee, C.S., and Chen, C.H. (2000). Initiation of arc magmatism in an embryonic continental rifting zone of the southernmost part of Okinawa Trough. *Terra Nova.*, 12, 225–230.

- Constable, S.C., Parker, K.L., Constable, C.G. (1987). Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from EM sounding data. *Geophysics*, 52, 289–300.
- Denisse, L.A., Tejero, A, Chavez, R.E., Lopez, P.A., and Bravo, R. (2009). 3D modeling of magnetic data from an archaeological site in north-western Tlaxcala state, Mexico, *Journal of Archaeological Science*, 36(8). 1661–1671.
- Donald, S. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 1968 ACM National Conference*. 517–524. doi:10.1145/800186.810616
- Dutra, A.C. and Marangoni, Y.R. (2009). Gravity and magnetic 3D inversion of Morro do Engenho complex, Central Brazil, *Journal of South American Earth Sciences*, 28, 193–203.
- Fraser, D.C. (1969). Contouring of VLF-EM data. *Geophysics*, 34, 958–967.
- Fraser, D.C. (1981). A review of some useful algorithms in geophysics. *CIM Bulletin* 74, No. 828, 7–79.
- Grant, F.S. and West. G.F. (1965). *Interpretation theory in applied geophysics*: McGraw-Hill.
- Grauch, V.J.S., Hudson, M.R., and Minor S.A. (2001). Aeromagnetic expression of faults that offset basin fill, Albuquerque basin, New Mexico. *Geophysics*, 66, No. 3, 707–720.
- Gudmundsson, A. (2008). Magma-chamber geometry, fluid transport, local stresses, and rock behaviour during collapse-caldera formation. In: Gottsmann, J. & Marti, J. (eds.) *Caldera Volcanism: Analysis, Modelling and Response*. Elsevier, pp. 313–349.
- Hou, C.S., Hu, J.C., Ching, K.E., Chen, Y.G., Chen, C.L., Cheng, L.W., Tang, C.L., Huang, S.H., Lo, C.H. (2009). The crustal deformation of the Ilan Plain acted as a westernmost extension of the Okinawa Trough. *Tectonophysics*, 466, 344–355.
- Hsu, S.K., Liu, C.S., Thyu, C.T., Liu, S.Y., Sibuet, J.C., Lallemand, S., Wang, C., and Reed, D. (1998). New gravity and magnetic anomaly maps in the Taiwan-Luzon region and their preliminary interpretation, *TAO*, Vol. 9, No. 3, 509–532.

- Hsu, S.K., Sibuet, J.C., and Shyu, C.T. (1996). High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies An enhanced analytic signal technique. *Geophysics*, 61, 373–386.
- Jaques, A.L., Wellman, P., Whitaker, A., and Wyborn, D. (1997). High-resolution geophysics in modern geological mapping. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17, No. 2, 159–173.
- Jeng, Y., Lin, M.J. Chen, C.S. (2004). A very low frequency-electromagnetic study of the geo-environmental hazardous areas in Taiwan. *Environmental Geology*, 46, 784–795.
- Jeng, Y., Lin, M.J., Chen, C.S., Wang, Y.H. (2007). Noise reduction and data recovery for a very low frequency electromagnetic survey using the nonlinear decomposition method. *Geophysics*, 72, F223–F235.
- Kao, H., Shen, S.S.J., and Ma, K.F. (1998). Transition from oblique subduction to collision: Earthquakes in the southernmost Ryukyu arc-Taiwan region. *J. Geophys. Res.*, 103, 7211–7229.
- Karous, M., and Hjelt, S.E. (1983). Linear filtering of VLF dip-angle measurements. *Geophysical Prospecting*, 31, 782–794.
- Keating, P. (1995). A simple technique to identify magnetic anomalies due to kimberlite pipes, *Exploration & Mining Geology*, 4, No. 2, 121–125.
- Liang, W. T., Lee, J. C., Kuo, B. Y. (2005). Left-lateral strike-slip faulting in Ilan: Lateral extrusion at the transition between Taiwan mountain range and Okinawa Trough, *Geodynamics and Environment in East Asia International Conference & 5th Taiwan-France Earth Science Symposium*, 100–103.
- Liaw, T.L. and Yeh, Y.H. (1983). Crustal structure of P-wave velocity in northeastern Taiwan. *Bull. Inst. Earth Sci., Academia Sinica*, 3, 1–12.
- Liu, C. C. (1995). The Ilan plain and the southwestward extending Okinawa Trough, *J. Geol. Soc. China*, 38, 3, 183–193.
- Luyendyk, A.P.J. (1997). Processing of airborne magnetic data. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17, No. 2, 31–38.
- MacLeod, I. N., Jones, K., and Dai, T. F. (1993). 3-D analytic signal in the

- interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes, *Exploration Geophysics*, 24, 679–988.
- McEnroe, S.A., Brown, L.L., and Robison, P. (2004). Earth analog for Martin magnetic anomalies: remanence properties of hemo-ilmenite norites in the Bjerkreim-Sokndal intrusion, Rogaland, Norway, *Journal of Applied Geophysics*, 56, 195–212.
- Okuma, S., Stotter, C., Supper, R., Nakatsuka, T., Furukawa, R., and Motschka, K. (2009). Aeromagnetic constraints on the subsurface structure of Stromboli Volcano, Aeolian Islands, Italy. *Tectonophysics*, 478, 19–33.
- Pettit, W. (2009). Geophysical signatures of some recently discovered large kimberlite pipes on the Alto Cuilo concession in northeastern Angola, *Proceedings of the Ninth International Kimberlite Conference*, 106–115.
- Shyu, J. B. H., Sieh, K., Chen, Y. G., Liu, C. S. (2005). Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 110, B08402, doi:10.1029/2004JB003251.
- Sibuet, J.C., Deffontaines, B., Hsu, S.K., Thureau, N., Le Formal, J.P., Liu, C.S., and the ACT party (1998). Okinawa Trough basin: Early tectonic and magmatic evolution. *J. Geophys. Res.*, 103, 30245–30267.
- Swain, C.J. (1976). A FOTRAN IV program for interpolating irregularly spaced data using the difference equations for minimum curvature. *Computers & Geosciences*, 1, 231–240.
- Teng, L.S. (1996). Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt. *Geology*, 24, 949–952.
- Tong, L.T., Lin, W., Lee, P.T., Lee, J.F., Lin, C.W., Liu, C.Y., Chien, J.M., and Huang, Y.T. (2013), Airborne Magnetic Survey in the Kueishantao Volcano area, Taiwan. *Western Pacific Sedimentology Meeting*.
- Tong, L.T., Ouyang, S., Guo, T.R., Lee, C.R., Hu, K.H., Lee, J.L., and Wang, C.J. (2008). Insight into the Geothermal Structure in Chingshui, Ilan, Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 19, No.4, 413–424.
- Ueda, Y. (2007). A 3D magnetic structure of Izu-Oshima Volcano and their changes

- after the eruption in 1986 as estimated from repeated airborne magnetic surveys. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 164, 176–192.
- Wu, F.T., Liang, W.T., Lee, J.C., Benz, H., Villasenor, A. (2009). A model for the termination of the Ryukyu subduction zone against Taiwan: A junction of collision, subduction/separation, and subduction boundaries. *Journal of Geophysical Research*, 114, B07404, doi:10.1029/2008JB005950.
- Yang, T.F., Lan, T.F., Lee, H.F., Fu, C.C., Chuang, P.C., Lo, C.H., Chen, C-H., Chen, C.T.A., and Lee, C.S. (2005). Gas compositions and helium isotopic ratios of fluid samples around Kueishantao, NE offshore Taiwan and its tectonic implications. *Geochemical Journal*, 39, 469–480.
- Yeh, Y.H., Lin, C.H. and Roecker, S.W. (1989). A study of upper crustal structures beneath northeastern Taiwan: Possible evidence of the western extension of Okinawa Trough, *Proc. Geol. Soc. China*, 16, 19–27
- Yu, S. B. and Lee, C. (1986). Geodetic measurement of horizontal crustal deformation in eastern Taiwan, *Tectonophysics*, 125, 73–85.
- Yu, S. B., Chen, H. Y., Kuo, L. C. (1997). Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, 41–59.
- Yu, S.B., and Tsai, Y.B. (1979). Geomagnetic anomalies of the Ilan plain, Taiwan. *Petroleum Geology of Taiwan*, 16, 19–27.

7 附錄

7.1 移動式地面磁力儀型錄



GEM
SYSTEMS
ADVANCED MAGNETOMETERS

Overhauser

Magnetometer GSM-19 / Gradiometer GSM-19G
Walking Magnetometer GSM-19W / Gradiometer GSM-19GW

Version 7.0

Our World is **Magnetic**.

GEM's unique Overhauser system combines data quality, survey efficiency and options into an instrument that takes the leading place in the industry.

And the latest v7.0 technology upgrades provide even more value:

- Data export in standard XYZ (i.e. line-oriented) format for easy use in standard commercial software programs
- Programmable export format for full control over output
- GPS elevation values provide input for geophysical modeling
Enhanced GPS positioning resolution
- Standard GPS Option B:
 - 1m SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS)High resolution GPS Option D:
 - 0.6m SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS)
 - 0.6m CDGPS (Canada, USA, Mexico)
 - 0.6m OmniStar (VBS2 subscription)
- Multi-sensor capability and VLF-EM Option for advanced surveys
- Picket and line marking / annotation for capturing related surveying information on-the-go

And all of these technologies come complete with the most attractive savings and warranty in the business!



Overhauser (GSM-19W) Walking Magnetometer console. Can also be configured with additional sensor for gradiometer (simultaneous) readings.

The GSM-19 v7.0 Overhauser instrument is the total field magnetometer / gradiometer of choice in today's earth science environment -- representing a unique blend of physics, data quality, operational efficiency, system design and options that clearly differentiate it from other quantum magnetometers.

With data quality exceeding standard proton precession and comparable to costlier optically pumped cesium units, the GSM-19 is a standard (or emerging standard) in many fields, including:

- **Mineral exploration** (airborne and ground base station)
- **Environmental and engineering**
- **Pipeline mapping**
- **Unexploded Ordnance Detection**
- **Archeology**
- **Magnetic observatory measurements**
- **Volcanology and earthquake prediction**

Taking Advantage of the Overhauser Effect

Overhauser effect magnetometers are essentially proton precession devices - except that they produce an order-of magnitude greater sensitivity.

These "supercharged" quantum magnetometers also deliver high absolute accuracy, rapid cycling (up to 5 readings / second), and exceptionally low power consumption.

The Overhauser effect occurs when a special liquid (with unpaired electrons) is combined with hydrogen atoms and then exposed to secondary polarization from a radio frequency (RF) magnetic field.

The unpaired electrons transfer their stronger polarization to hydrogen atoms, thereby generating a strong precession signal -- that is ideal for very high sensitivity total field measurements.

In comparison with proton precession methods, RF signal generation also keeps power consumption to an absolute minimum and eliminates noise (i.e. generating RF frequencies are well out of the bandwidth of the precession signal).

In addition, polarization and signal measurement can occur simultaneously - which enables faster, sequential measurements. This, in turn, facilitates advanced statistical averaging over the sampling period and/or increased cycling rates (i.e. sampling speeds).

Please refer to the back of this brochure for contact information and GSM-19 specifications.

Key System Components

Key components that differentiate the GSM-19 from other systems on the market include the sensor and data acquisition console. Specifications for components are provided on the right side of this page.

Sensor Technology

GEM's sensors represent a proprietary innovation that combines advances in electronics design and quantum magnetometer chemistry.

Electronically, the detection assembly includes dual pick-up coils connected in series opposition to suppress far-source electrical interference, such as atmospheric noise. Chemically, the sensor head houses a proprietary hydrogen-rich

liquid solvent with free electrons (free radicals) added to increase the signal intensity under RF polarization.

From a physical perspective, the sensor is a small size, light-weight assembly that houses the Overhauser detection system and fluid. A rugged plastic housing protects the internal components during operation and transport.

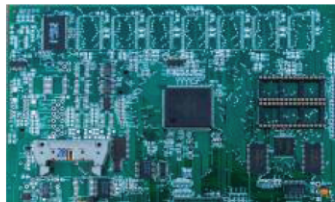
All sensor components are designed from carefully screened non-magnetic materials to assist in maximization of signal-to-noise. Heading errors are also minimized by ensuring that there are no magnetic inclusions or other defects that could result in variable readings for different orientations of the sensor.

Optional omni-directional sensors are available for operating in regions where the magnetic field is near-horizontal (i.e. equatorial regions). These sensors maximize signal strength regardless of field direction.

Data Acquisition / Console Technology

Console technology comprises an external keypad / display interface with internal firmware for frequency counting, system control and data storage / retrieval. For operator convenience, the display provides both monochrome text as well as real-time profile data with an easy-to-use interactive menu for performing all survey functions.

The firmware provides the convenience of upgrades over the Internet via the GEMLinkW software. The benefit is that instrumentation can be enhanced with the latest technology without returning the system to GEM -- resulting in both timely implementation of updates and reduced shipping / servicing costs.



Our World is Magnetic.

About GEM Advanced Magnetometers

GEM Systems, Inc. delivers the world's only magnetometers and gradiometers with built-in GPS for accurately positioned ground, airborne and stationary data acquisition. The company serves customers in many fields including mineral exploration, hydrocarbon exploration, environmental and engineering, Unexploded Ordnance Detection, archeology, earthquake hazard research and magnetic observatory research.

Key products include the Proton Precession, Overhauser and Optically-Pumped Potassium instruments.

Each system offers unique benefits in terms of sensitivity, sampling, and acquisition of high-quality data. These core benefits are complemented by GPS technologies that provide metre to sub-metre positioning.

With customers in more than 150 countries and over a Quarter Century of continuous technology R&D, GEM is known as the only geophysical instrument manufacturer that focuses exclusively on magnetic technology advancement.



GEM Systems, Inc.
135 Spy Court Markham, ON Canada L3R 5H6
Phone: 905 752 2202 • Fax: 905 752 2205
Email: info@gemsys.ca • Web: www.gemsys.ca

Specifications

Performance

Sensitivity:	0.022 nT / $\sqrt{\text{Hz}}$
Resolution:	0.01 nT
Absolute Accuracy:	+/- 0.1 nT
Range:	20,000 to 120,000 nT
Gradient Tolerance:	< 10,000 nT/m
Samples at:	60+, 5, 3, 2, 1, 0.5, 0.2 sec
Operating Temperature:	-40C to +50C

Operating Modes

Manual: Coordinates, time, date and reading stored automatically at minimum 3 second interval.
Base Station: Time, date and reading stored at 1 to 60 second intervals.
Remote Control: Optional remote control using RS-232 interface.
Input / Output: RS-232 or analog (optional) output using 6-pin weatherproof connector with USB adapter.

Storage - (# of Readings)

Mobile:	1,465,623
Base Station:	5,373,951
Gradiometer:	1,240,142
Walking Mag:	2,686,975

Dimensions

Console:	223 x 69 x 240 mm
Sensor:	175 x 75mm diameter cylinder

Weights

Console with Belt:	2.1 kg
Sensor and Staff Assembly:	1.0 kg

Standard Components

GSM-19 console, GEMLinkW software, batteries, harness, charger, sensor with cable, RS-232 cable and USB adapter, staff, instruction manual and shipping case.

Optional VLF-EM

Frequency Range: Up to 3 stations between 15 to 30.0 kHz. Parameters: Vertical in-phase and out-of-phase components as % of total field. 2 components of horizontal field amplitude and total field strength in pT.
Resolution: 0.1% of total field

7.2 蘇澳港直升機臨時起降場土地使用同意函文

財團法人工業技術研究院 函

地址：31040新竹縣竹東鎮中興路4段195號

承辦人：董倫道

電話：03-5915449

電子信箱：tong@itri.org.tw

受文者：如正副本行文單位

發文日期：中華民國102年07月08日

發文字號：工研能字第1020009494號

速別：最速件

密等及解密條件或保密期限：

附件：無

主旨：擬向 貴單位租借蘇澳港棧埠前H點空地，作為直升機臨時起降、人員載運及加油使用，請 同意賜覆。

說明：

- 一、本院執行經濟部中央地質調查所委辦計畫，租用中興航空公司直升機，將於宜蘭地區進行直升機吊掛磁測作業，擬租用 貴單位空地做為直升機臨時起降場。
- 二、依 貴單位復地調所基蘇勤字第1021320234號函辦理。
- 三、擬租用六號碼頭H點空地，範圍30公尺見方。
- 四、預計租用時間自102年7月15日起至102年8月15日止。

正本：臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司蘇澳港營運處

副本：經濟部中央地質調查所、中興航空股份有限公司

院長 徐爵民

依權責劃分規定授權業務主管決行

正本

檔 號：

保存年限：

臺灣港務股份有限公司
基隆港務分公司蘇澳港營運處 函

地址：27046宜蘭縣蘇澳鎮港區1號3樓

承辦人：陳俊宏

電話：9965121#208

傳真：9952739

電子信箱：chunhon168@klhb.gov.tw

31041

新竹縣竹東鎮中興路4段195號之5號
77館

受文者：財團法人工業技術研究院

發文日期：中華民國102年7月10日

發文字號：基蘇業字第1021326697號

速別：最速件

密等及解密條件或保密期限：

附件：附件1-臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司蘇澳港營運處協議書.doc

主旨：貴院向本處租借港區南正段162地號空地，作為直升機
臨時起降、人員載運及加油使用乙案，本處擬同意租借
該空地，茲檢附（有償使用協議書）一式5份，請用印後
擲回本處辦理後續事宜，復請查照。

說明：

- 一、復貴院工研能字第1020009494號函。
- 二、貴院直升機起降工作時間，僅限於每天日出至日落間施行，並做好日、夜間安全管制措施。
- 三、貴我雙方於協議書簽定後始生效力，請逕向本處港勤所辦理人員、車輛進出證件事宜。
- 四、為保障本協議書之履行，乙方應繳交15,000元作為履約保證金。
- 五、本協議書期日自102年7月16日至102年8月15日止。

正本：財團法人工業技術研究院

副本：本處港勤所、蘇澳港警分駐所

資深處長 王坤池

第1頁 共1頁

2013/7/11 14:54

財團法人工業技術研究院 函

地址：31040新竹縣竹東鎮中興路4段195號
承辦人：董倫道
電話：03-5915449
電子信箱：tong@itri.org.tw

受文者：如正副本行文單位

發文日期：中華民國102年07月29日
發文字號：工研能字第1020010801號
速別：最速件
密等及解密條件或保密期限：
附件：無

主旨：本院向 貴處租借港區南正段162地號空地，因儀器故障故中斷作業，擬展延租期至102年9月14日，請 同意賜覆。

說明：

- 一、本院向 貴處租借港區南正段162地號空地，作為直生機臨時起降、人員載運及加油使用，租期自102年7月16日起至8月15日止。
- 二、本院機組人員於102年7月18日進駐港區進行作業，因儀器於102年7月21日發生故障，相關機具設備於102年7月23日全部撤離港區。
- 三、因故障的儀器需送國外原廠檢修，估計約需時一個月，預計102年8月23日再進入港區進行作業。
- 四、總租借天數不變，預計展延至102年9月14日。

正本：臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司蘇澳港營運處
副本：經濟部中央地質調查所、中興航空股份有限公司

院長 徐爵民
依權責劃分規定授權業務主管決行

正本

檔 號：

保存年限：

臺灣港務股份有限公司
基隆港務分公司蘇澳港營運處 函

地址：27046宜蘭縣蘇澳鎮港區1號3樓

承辦人：陳俊宏

電話：9965121#208

傳真：9952739

電子信箱：chunhon168@klhb.gov.tw

31041

新竹縣竹東鎮中興路4段195號之5號
77館

受文者：財團法人工業技術研究院

發文日期：中華民國102年7月30日

發文字號：基蘇業字第1021326895號

速別：最速件

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：貴院租借港區南正段162地號空地，因儀器故障須展延
租期至102年9月14日，本處擬同意辦理展延，復請查照。

說明：

- 一、復貴院工研能字第1020010801號函。
- 二、貴院展延日期至102年8月23日再進入港區進行作業，出入港區證件請逕向本處港勤所辦理續延。

正本：財團法人工業技術研究院

副本：本處行政室、港勤所

資深處長 王坤沈

2013/7/31 10:44

第1頁 共1頁

7.3 飛航申請同意函文(2013/8/19-8/31)

正本

102444



交通部民用航空局 函

102070083

地址：10548 台北市敦化北路 340 號

承辦人：周文慧

電話：02-23496047

傳真：02-23496050

郵遞區號：10548

地址：台北市松山區敦化北路 340 號之 2

受文者：中興航空股份有限公司

發文日期：中華民國 102 年 7 月 17 日

發文字號：空運管字第 1020022572 號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：普通

附件：正副本均含飛航作業申請書、搭載人員名冊、飛航資料圖

擬 歸檔備查

Handwritten notes: 0717, 0712, 0950

主旨：有關工業技術研究院擬租用貴公司 BK-117 型直昇機於臺灣北部(宜蘭至大屯山)地區執行「台灣北部火山活動觀測研究-台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測案」所需吊掛磁測作業，並使用「蘇澳港及欽賢國中運動場」臨時起降場乙案，同意自 102 年 7 月 19 日起至 102 年 8 月 31 日止辦理，請查照。

說明：

- 一、復貴公司 102 年 7 月 15 日 102 中業字第 0434 號函。
- 二、本案使用臨時起降場：蘇澳港棧埠所前 H 點空地、新北市立欽賢國民中學運動場(新北市瑞芳區煥子寮段 0317-0030 地號)。
- 三、請確依「航空器飛航作業管理規則」、「飛航規則」與「飛航指南」等相關規定作業，如需於 C 類空域內作業，應先與相關航管單位協調後實施，航機於臨時起降場起降前應與相關航管單位連絡。
- 四、作業前一日務必通知空軍司令部、當地軍方起降基地、當地航空站及飛航管制聯合協調中心(JCC)等單位。
- 五、另請依「民營飛行場管理規則」相關規定辦理。有關場地



最後進離場區(含起降區)，應依本局頒布直昇機機場規劃設計規範內第八章臨時直昇機機場規定，達到表面平整堅實，並符合整地坡度，以利排水。

- 六、請加強航機停放於臨時起降場之航機戒護保安措施，並請確實執行航機起飛前之清艙檢查作業及搭機人員之身分核對與所攜物品之檢查。另請於直昇機起降前，通知當地警察機關。
- 七、本案如涉及航空測量攝影作業，應經內政部依「國土測繪法」、「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」核准實施後始得辦理。
- 八、作業時請勿涉及軍事及機密敏感設施，並請將空照成果送交國防部情報參謀次長室檢查。如涉機密資料部分，請按「國家機密保護法」、「要塞堡壘地帶法」及其相關法規之規定妥慎處理。
- 九、嚴禁未依核准之作業項目實施作業、無故在未經核准之臨時性起降場所起降或搭載未經核准之乘員，否則依民用航空法第112條之6規定，處新臺幣6萬元以上30萬元以下罰鍰。
- 十、檢附民航直昇機於臨時起降場作業期間要求及注意事項，請查照辦理。

正本：中興航空股份有限公司(另含直昇機臨時起降場注意事項)

副本：工業技術研究院、國防部陸軍司令部(戰訓處)、國防部海軍司令部、國防部空軍司令部、國防部參謀本部情報參謀次長室、國防部參謀本部作戰及計畫參謀次長室(戰情中心)、空軍作戰指揮部、內政部地政司、內政部警政署、內政部警政署航空警察局、飛航管制聯合協調中心、飛航服務總臺、臺北國際航空站、桃園國際機場股份有限公司、本局飛航標準組、飛航管制組、場站組、航站管理小組

民用航空局
檢對之章(三)

局長沈啟

依分層負責規定授權單位主管決行

7.4 飛航申請同意函文(2013/9/01-10/31)

副本

交通部民用航空局 函

地 址：10548 台北市敦化北路 340 號

承辦人：周文慧

電 話：02-23496047

傳 真：02-23496050

郵遞區號：31040

地 址：新竹縣竹東鎮中興路 4 段 195 號

受文者：財團法人工業技術研究院

發文日期：中華民國 102 年 8 月 30 日

發文字號：空運管字第 1020027657 號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：普通

附件：正副本均含飛航作業申請書、搭載人員名冊、飛航資料圖

主旨：有關財團法人工業技術研究院受經濟部中央地質調查所及經濟部能源局委託辦理「台灣北部火山活動觀測研究-台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測案」及「深層地熱發電技術研發計畫」案，擬租用貴公司 BK-117 型直昇機於臺灣北部(宜蘭至大屯山)地區執行空中磁力探測吊掛作業，並使用「蘇澳港、金山青年活動中心」臨時起降場乙案，同意自 102 年 9 月 1 日起至 102 年 10 月 30 日止辦理，請查照。

說明：

- 一、復貴公司 102 年 8 月 27 日 102 中業字第 0537 號函。
- 二、本案使用臨時起降場：蘇澳港港區南正段 162 地號空地(使用期間自 102 年 9 月 1 日至 102 年 9 月 14 日止)、金山青年活動中心溫泉館前停車場空地(使用期間自 102 年 9 月 10 日至 102 年 10 月 30 日止)。
- 三、請確依「航空器飛航作業管理規則」、「飛航規則」與「飛航指南」等相關規定作業，如需於 C 類空域內作業，應先與相關航管單位協調後實施，航機於臨時起降場起降前應與相關航管單位連絡。



工研院收件日
102.8.30

2013/9/02 11:28


第 1 頁 共 3 頁

- 四、請貴公司確依已取得限航區進入核准函之區域飛航：R46、R47、R16、R49、R30。
- 五、作業前一日務必通知空軍司令部、當地軍方起降基地、當地航空站及飛航管制聯合協調中心（JCC）等單位。
- 六、另請依「民營飛行場管理規則」相關規定辦理。有關場地最後進離場區(含起降區)，應依本局頒布直昇機機場規劃設計規範內第八章臨時直昇機機場規定，達到表面平整堅實，並符合整地坡度，以利排水。
- 七、請加強航機停放於臨時起降場之航機戒護保安措施，並請確實執行航機起飛前之清艙檢查作業及搭機人員之身分核對與所攜物品之檢查。另請於直昇機起降前，通知當地警察機關。
- 八、本案如涉及航空測量攝影作業，應經內政部依「國土測繪法」、「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」核准實施後始得辦理。
- 九、作業時請勿涉及軍事及機密敏感設施，並請將空照成果送交國防部情報參謀次長室檢查。如涉機密資料部分，請按「國家機密保護法」、「要塞堡壘地帶法」及其相關法規之規定妥慎處理。
- 十、嚴禁未依核准之作業項目實施作業、無故在未經核准之臨時性起降場所起降或搭載未經核准之乘員，否則依民用航空法第112條之6規定，處新臺幣6萬元以上30萬元以下罰鍰。
- 十一、檢附民航直昇機於臨時起降場作業期間要求及注意事項，請查照辦理。



正本：中興航空股份有限公司（另含直昇機臨時起降場注意事項）

副本：經濟部中央地質調查所、經濟部能源局、財團法人工業技術研究院、國防部陸軍

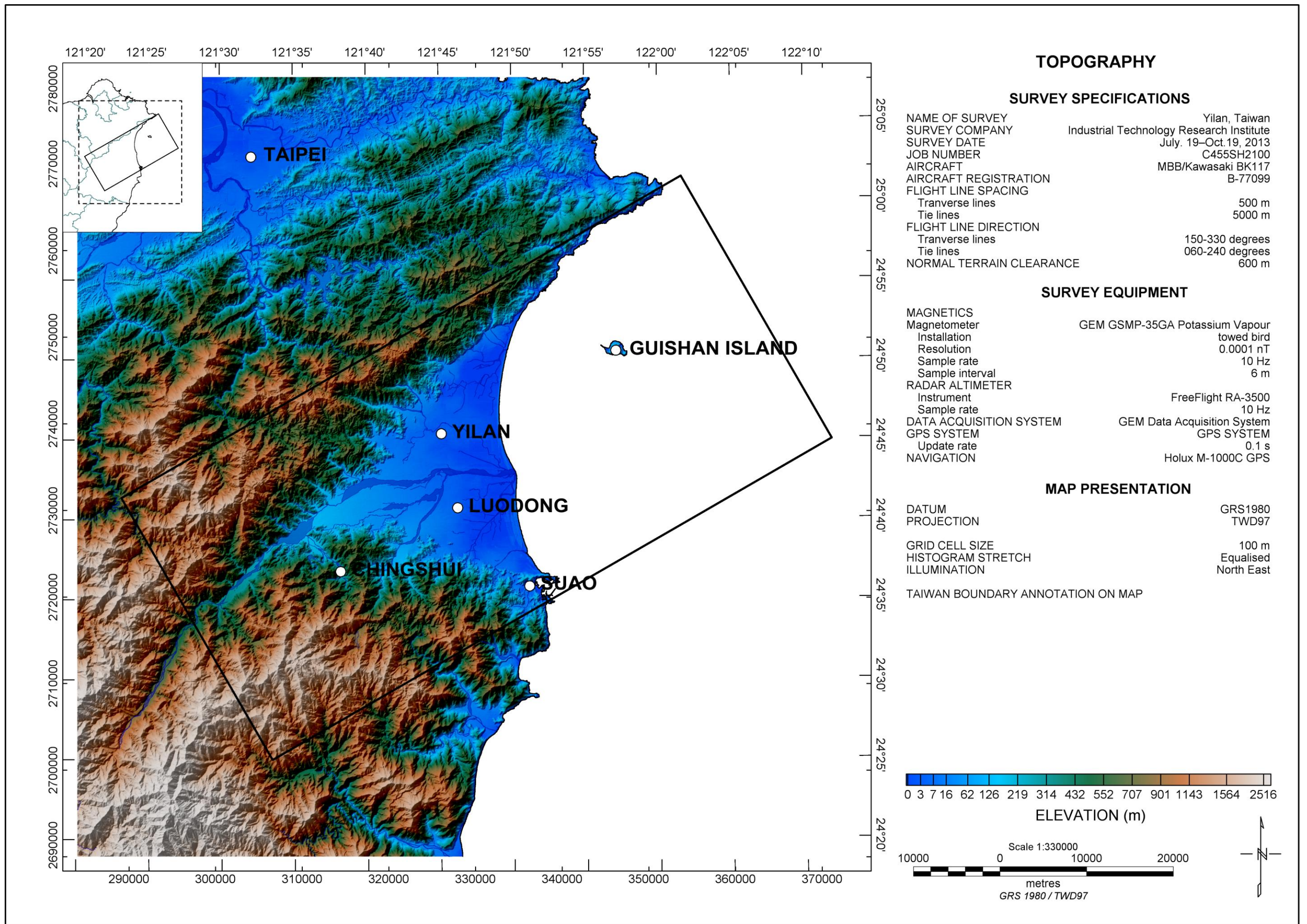
司令部(戰訓處)、國防部海軍司令部、國防部空軍司令部、國防部參謀本部情報參謀次長室、國防部參謀本部作戰及計畫參謀次長室(戰情中心)、空軍作戰指揮部、內政部地政司、內政部警政署、內政部警政署航空警察局、飛航管制聯合協調中心、飛航服務總臺、臺北國際航空站、桃園國際機場股份有限公司、本局飛航標準組、飛航管制組、場站組、航站管理小組 

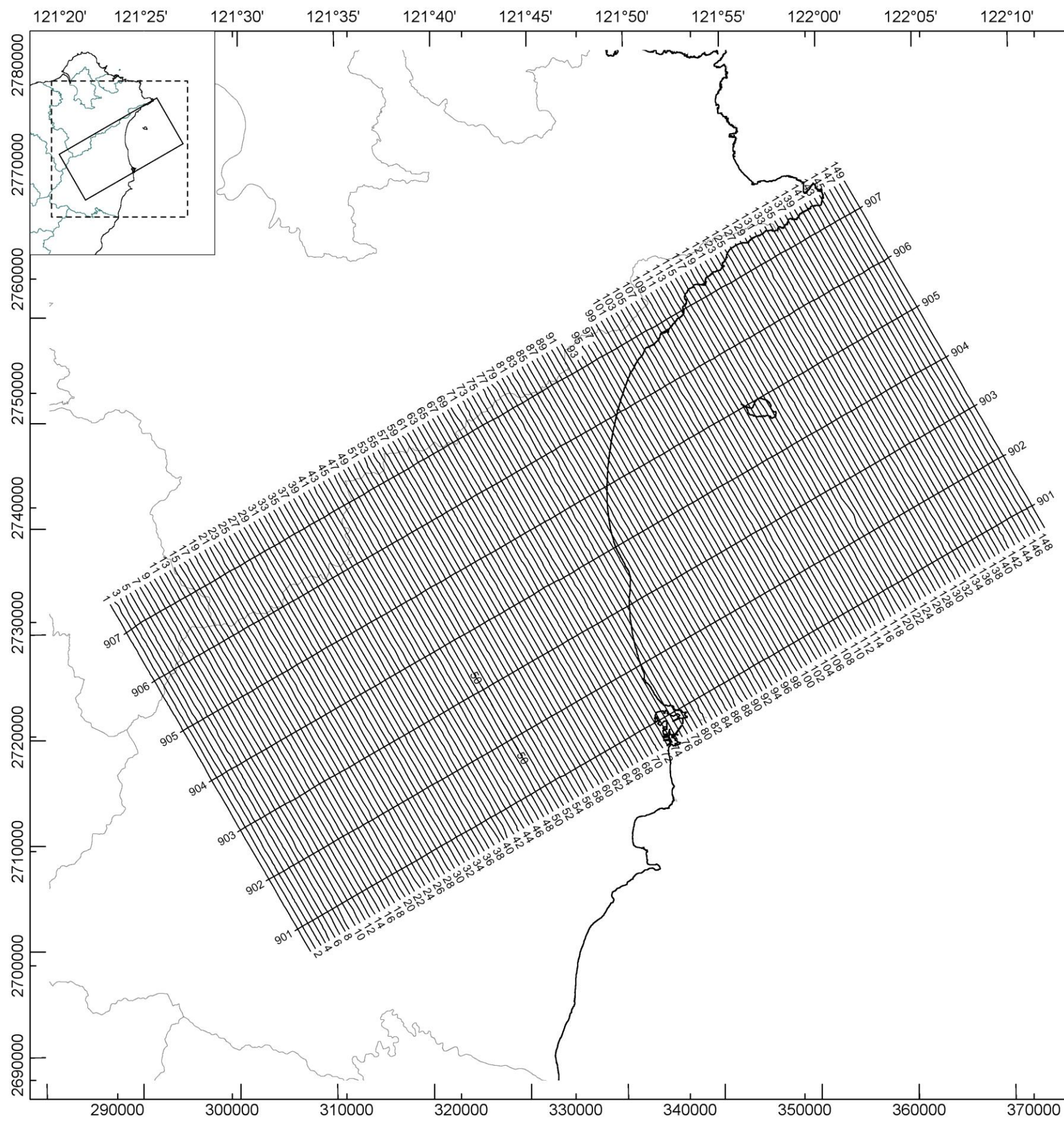
局長沈啟

依分層負責規定授權單位主管決行

7.5 磁力異常圖幅

- (1) 地形圖(topography map)
- (2) 航線分布圖(survey lines map)
- (3) 全磁力異常圖(Total Magnetic Intensity map, TMI map)
- (4) 經歸極換算後磁力異常圖(TMI-RTP map)





FLIGHT PATH

SURVEY SPECIFICATIONS

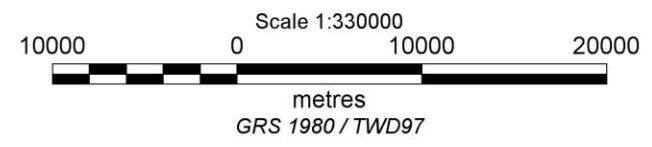
NAME OF SURVEY	Yilan, Taiwan
SURVEY COMPANY	Industrial Technology Research Institute
SURVEY DATE	July. 19–Oct. 19, 2013
JOB NUMBER	C455SH2100
AIRCRAFT	MBB/Kawasaki BK117
AIRCRAFT REGISTRATION	B-77099
FLIGHT LINE SPACING	
Transverse lines	500 m
Tie lines	5000 m
FLIGHT LINE DIRECTION	
Transverse lines	150-330 degrees
Tie lines	060-240 degrees
NORMAL TERRAIN CLEARANCE	600 m

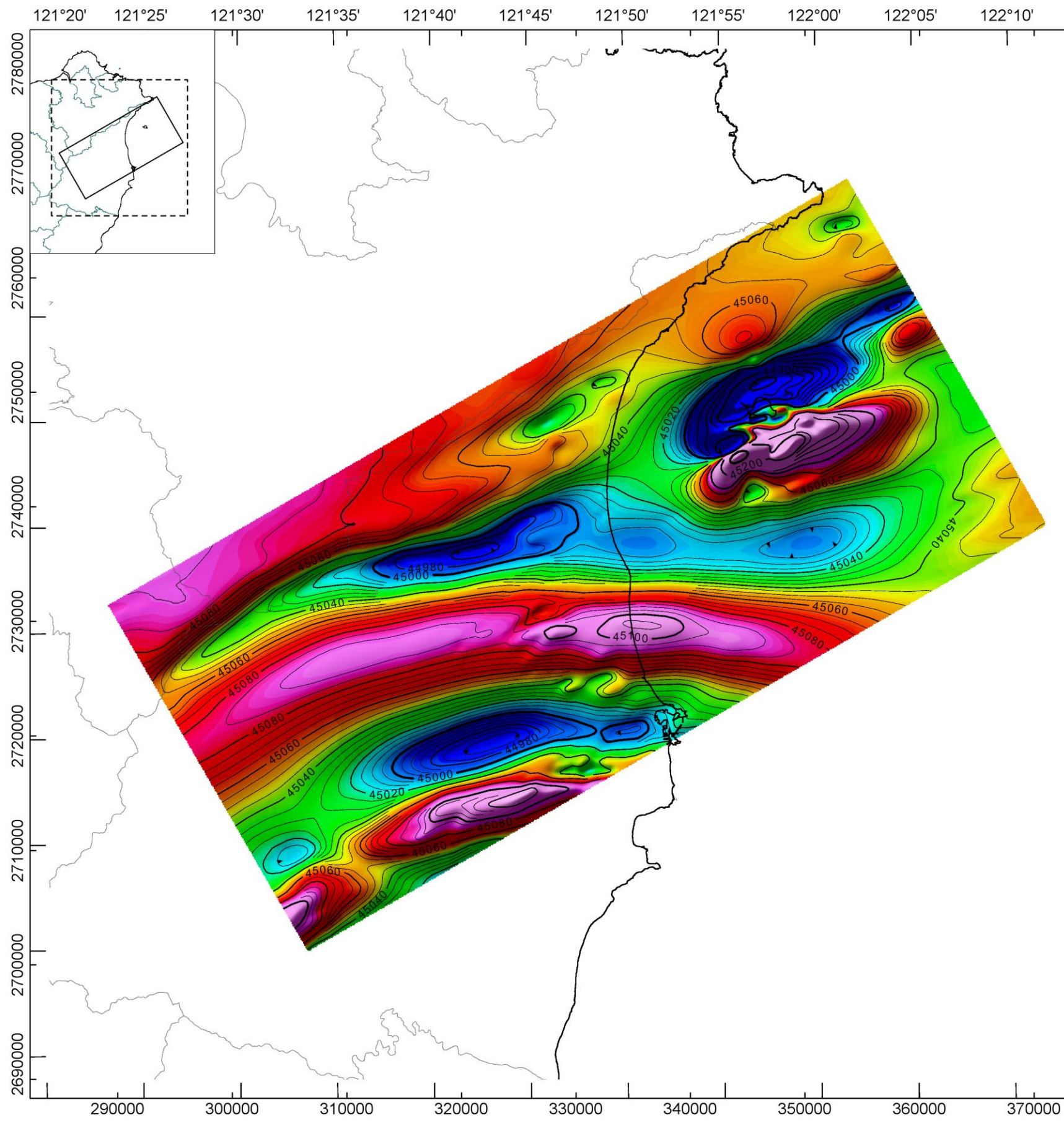
SURVEY EQUIPMENT

MAGNETICS	
Magnetometer	GEM GSMP-35GA Potassium Vapour
Installation	towed bird
Resolution	0.0001 nT
Sample rate	10 Hz
Sample interval	6 m
RADAR ALTIMETER	
Instrument	FreeFlight RA-3500
Sample rate	10 Hz
DATA ACQUISITION SYSTEM	GEM Data Acquisition System
GPS SYSTEM	GPS SYSTEM
Update rate	0.1 s
NAVIGATION	Holux M-1000C GPS

MAP PRESENTATION

DATUM	GRS1980
PROJECTION	TWD97
GRID CELL SIZE	100 m
HISTOGRAM STRETCH	Equalised
ILLUMINATION	North East
TAIWAN BOUNDARY ANNOTATION ON MAP	





TOTAL MAGNETIC INTENSITY

SURVEY SPECIFICATIONS

NAME OF SURVEY	Yilan, Taiwan
SURVEY COMPANY	Industrial Technology Research Institute
SURVEY DATE	July, 19–Oct. 19, 2013
JOB NUMBER	C455SH2100
AIRCRAFT	MBB/Kawasaki BK117
AIRCRAFT REGISTRATION	B-77099
FLIGHT LINE SPACING	
Transverse lines	500 m
Tie lines	5000 m
FLIGHT LINE DIRECTION	
Transverse lines	150-330 degrees
Tie lines	060-240 degrees
NORMAL TERRAIN CLEARANCE	600 m

SURVEY EQUIPMENT

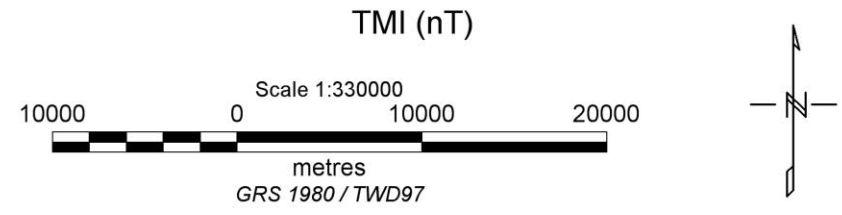
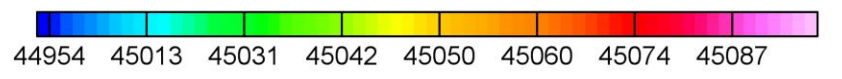
MAGNETICS	
Magnetometer	GEM GSMP-35GA Potassium Vapour
Installation	towed bird
Resolution	0.0001 nT
Sample rate	10 Hz
Sample interval	6 m
RADAR ALTIMETER	
Instrument	FreeFlight RA-3500
Sample rate	10 Hz
DATA ACQUISITION SYSTEM	GEM Data Acquisition System
GPS SYSTEM	GPS SYSTEM
Update rate	0.1 s
NAVIGATION	Holux M-1000C GPS

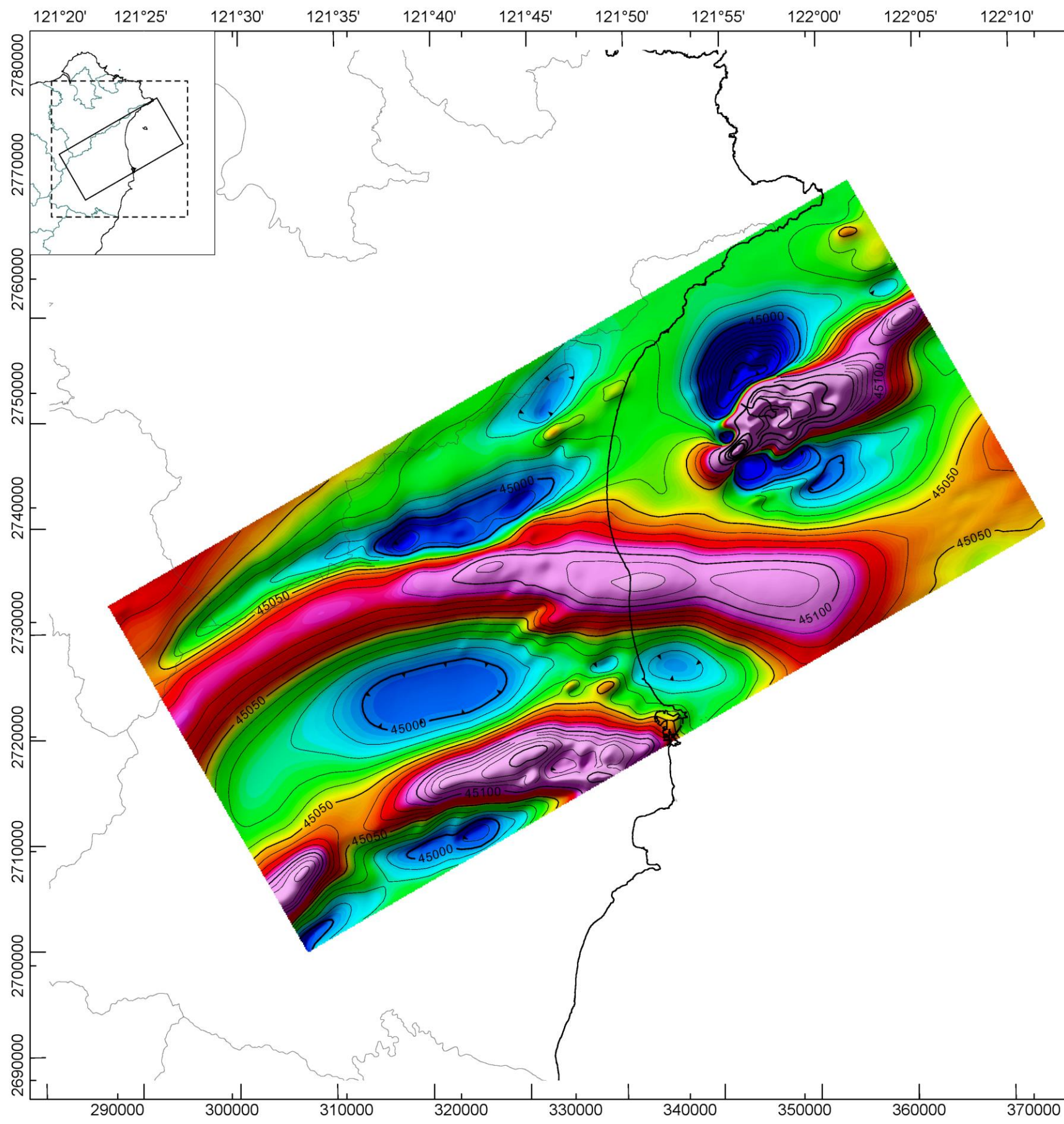
MAP PRESENTATION

DATUM	GRS1980
PROJECTION	TWD97
GRID CELL SIZE	100 m
HISTOGRAM STRETCH	Equalised
ILLUMINATION	North East
TAIWAN BOUNDARY ANNOTATION ON MAP	

PROCESSING - MAGNETICS

Spike removal applied.
 Diurnal correction applied.
 IGRF correction applied (IGRF model 2010 extrapolated to Oct. 2013),
 base value of 45033.49 nT used.
 Heading correction applied.
 Lag correction applied.
 Simple levelling applied.
 Microlevelling applied.
 Directional cosine applied.
 Grid filter applied.





TOTAL MAGNETIC INTENSITY - RTP

SURVEY SPECIFICATIONS

NAME OF SURVEY	Yilan, Taiwan
SURVEY COMPANY	Industrial Technology Research Institute
SURVEY DATE	July, 19–Oct. 19, 2013
JOB NUMBER	C455SH2100
AIRCRAFT	MBB/Kawasaki BK117
AIRCRAFT REGISTRATION	B-77099
FLIGHT LINE SPACING	
Transverse lines	500 m
Tie lines	5000 m
FLIGHT LINE DIRECTION	
Transverse lines	150-330 degrees
Tie lines	060-240 degrees
NORMAL TERRAIN CLEARANCE	600 m

SURVEY EQUIPMENT

MAGNETICS	
Magnetometer	GEM GSMP-35GA Potassium Vapour
Installation	towed bird
Resolution	0.0001 nT
Sample rate	10 Hz
Sample interval	6 m
RADAR ALTIMETER	
Instrument	FreeFlight RA-3500
Sample rate	10 Hz
DATA ACQUISITION SYSTEM	GEM Data Acquisition System
GPS SYSTEM	GPS SYSTEM
Update rate	0.1 s
NAVIGATION	Holux M-1000C GPS

MAP PRESENTATION

DATUM	GRS1980
PROJECTION	TWD97
GRID CELL SIZE	100 m
HISTOGRAM STRETCH	Equalised
ILLUMINATION	North East
TAIWAN BOUNDARY ANNOTATION ON MAP	

PROCESSING - MAGNETICS

Reduction to the pole (RTP) applied.

