

地震前兆監測- 重力重複觀測與地磁連續資料分析

主管單位：交通部 中央氣象局(地震測報中心)

顏宏元

Yen, Horng-Yuan

中央大學地球物理研究所

廖政賢

Liaw, Zen-Sen

中央氣象局地震測報中心

陳宜徽

Chen, Yi-Huei

中央氣象局地震測報中心

摘要

許多大地震發生之前，都可以偵測到地磁與重力的改變。當岩層受到應力作用，因岩石脹容(Rock dilatancy)現象會造成地表變形；另外應力作用也可能使岩層有質量轉移(Mass transfer)的現象，這些現象都會造成地表重力值的改變。九二一大地震後，我們檢視全省磁力連續觀測資料發現，位於車籠埔斷層兩端的磁力站—鯉魚潭站及灣丘站，都觀測到磁力異常訊號，這些異常訊號與地震的發生有時間上的巧合。本計畫將分兩部份進行，重力方面選擇橫跨斷層的重力基點進行重複觀測，根據文獻報告，在規模較大的地震發生前，震央附近重力基點的重力值有變化的情形，因此，重力重複觀測可作為地震前兆現象研究項目之一。本計畫選擇橫跨觸口斷層的重力基點進行重複觀測，以監測該斷層活動所衍生的重力變化；磁力方面將藉由全省地磁連續觀測網資料，分析磁力變化與地震發生的關聯性。

Abstract

Local changes in gravity and geomagnetic field can be expected from changes in elevation for the rock dilatancy and the redistribution of mass of earth's crust due to the tectonic stresses before lots of large earthquakes occurred. After Chi-Chi earthquake, there are a lot of magnetic anomaly signals observed in the north and south sides of Chelungpu faults. The time of signals occurred are coincided with the time of Chi-Chi earthquake occurred. In this project, the repeated microgravity survey along profile across known active fault is one of the items included in the earthquake precursor research program. Repeated microgravity survey will be made to detect the gravity variation across the Chukou fault. Many examples of gravity changes accompanying both seismic and aseismic deformations have been reported. In the year, remarkable gravity changes in the hanging-wall side at the Chukou fault were maybe associated with the earthquake occurred in Chiayi area. In magnetic analysis, the relationship between magnetic anomaly and earthquake will be analyzed by using the continuous geomagnetic stations in Taiwan.

一、前言

當地殼受應力作用會有變形的情形，一旦變形程度達到極限時，岩層即突然斷裂而造成地震。地殼變形會因岩石脹容或斷層錯位而引起地盤的升降(圖一)，地表的重力因此而有所改變。為了解釋重力變化與高程改變的不一致性，有學者提出質量轉移的假設，認為大地震會使地下質量轉移而影響地表的重力值。中央研究院地球科學研究所曾選擇六條橫跨斷層重力線，進行重複的重力測量。

規模較大的地震會造成震央附近基點重力值的改變，且此改變情形在地震發生一段時間之前就可以被監測到。因此，重力重複觀測可作為地震前兆現象研究項目之一。根據 Zhu(1976)的研究，在 1975 年海城大地震發生前 15 個月，距海城 200 公里的磁力站有 20nTs 的地磁總強度變化。在九二一集集大地震後，我們發現距車籠埔斷層北端八公里的鯉魚潭磁力站，地磁總強度在地震發生前一個多月就紀錄到擾動的訊號，這些擾動訊號的振幅逐漸變小，且在十月二十二日嘉義大地震發生的同時，這些擾動訊號就沒有被偵測到，這個巧合讓我們認為地磁場強度異常應該和大地震的發生有關(Yen et al., 2000)。

目前全省地磁場連續觀測網已建構完畢，並移交中央氣象局管理，共有 11 個觀測站(圖二)，我們選定位在金門的磁力站為本觀測網的參考基準站，其他 10 個站分別建在地震活動度較高的地區，各觀測站安裝的精度為 0.1 nT 的全磁場強度磁力儀，取樣率為每分鐘一個觀測值，所有的觀測值均存在儀器的記憶體內，每天以電話撥接方式將記憶體中的資料傳回紀錄中心，並彙整在地磁資料庫中。本計畫將分析此地磁連續觀測網所紀錄到的地磁資料，尋找大地震發生遇地磁場異常的關聯性，並探討其可能的物理機制。

二、儀器介紹與原理

2.1 重力儀

重力觀測作業所使用的儀器為 LaCoste-Romberg D-48 型微重力儀(圖三(a))。這是一種高靈敏度的重力儀，其感應系統是由一條傾斜之零長彈簧(zero-length spring)拉持著一端繫有重物的水平桿所組成(圖三(b))。所謂零長彈簧是一種長週期且具高靈敏度的彈簧，當所受外力為零時，它的有效長度為零。為了消除樞軸間的摩擦阻力所有內部的浮動軸都有消除震動彈簧的裝置。而且整個感應系統都以彈簧懸吊著。因此只要是不損壞其罩框的震動，都不會影響到整個彈簧系統。由於儀器本身是密封的，所以不會受到外界大氣壓力變化的影響。同時儀器本身內部有保溫系統，使內部溫度永遠保持在攝氏 51.8 度，所以也不受外界氣溫的影響。此型重力儀有電容測讀系統(CPI 電子測讀)，提高儀器的準確性。CPI 電子測讀是由電容板可測出連接在重物上的可振動金屬板是否達到平衡位置，當振動金屬板未達平衡時，有電壓產生，經過放大器，使得在儀器表面檢流計(galvanometer)中的指針產生偏移，於是定向的旋轉調整度盤(measuring screw dial)，讓檢流計的指針停在中央位置，便可由度盤讀出觀測的數值。D-48 型微重力儀的準確度為 ± 0.005 毫伽，其微調度盤範圍約為 375 毫伽。儀器偏移量很小，每月不超過一毫伽。利用 LaCoste-Romberg 微重力儀，以迴路的方式測得兩基點間的相對重力值，每一個迴路都要求在一小時內完成，以去除儀器偏移和潮汐的效應。每兩相鄰基點的相對重力值都測兩次，若兩次相對值的差值小於 0.015 毫伽，這兩個相對值的平均值即為這相鄰基點的相對重力值。為確保觀測品質，在野外作業前必須從事重力儀穩定測試及歸零校正的工作。

2.2 磁力儀

磁力觀測站所使用的儀器為加拿大 GEM 公司所生產之 GSM90F 型磁力儀作為觀測儀器，其主要性能如下：

- (1) 解析度為 0.1nT，精確度為 0.2nT，量測範圍 20000 ~ 120000nT。
- (2) 記錄取樣率最小達每秒 1 次。
- (3) 於記錄系統連接 GPS，以取得磁力記錄準確之時間。

新的觀測站採每分鐘記錄一次，將感應器架設於記錄器 50 公尺外，以防止記錄器之電磁波干擾，此外亦同時架設 GPS 以獲得精確時間。

三、觀測步驟及內容

3.1 重力觀測

由於地層的垂直位移會造成重力值的改變，因此本計畫沿著阿里山公路埋設的水準點上(圖四)從事重力重複觀測。根據過去資料顯示，阿里山山脈相對嘉南地區有相對上昇的情形。因此中央研究院地球科學研究所埋設在蕃路鄉民和國小內的水準點(圖五)，當成本計畫的參考重力基點。重力觀測的流程為先選取穩定無干擾的基準點作為起點，以此起點開始利用重力儀進行重力測量，每個測點需測量兩次以確定資料讀取無誤再進行紀錄的工作，該點觀測工作完成之後，就移往下一觀測點進行觀測動作，而為了減少潮汐干擾及儀器漂移效應所造成的誤差，一次完整的重力測量測線必須要在一個小時內完成，並回到起點再做一次測量，所以測線上測點的安排規劃與路線的選取及來回路程的計算都十分重要，在整個測量過程中須將所有的測點都觀測過一遍，而如果回到起點所做的第二次測量值與第一次起始的測量值超過容許誤差值，整個測線的觀測必須重新進行，以確保重力重複觀測的資料正確性。

3.2 磁力觀測

於 2002 後半年，教育部的卓越計畫除了建立了 4 個新的觀測站，原本的 8 個觀測站中，除崙坪站的用地被交通部收回，無法進行更新之外，其他的 7 個觀測站皆進行更新，除預定的台北觀測站尚未建造完成外，其他的觀測站一共有 11 個(圖二)，新增的有補足台灣北部山區的桃園爺亨(YH)觀測站，中部山區的南投雙龍(SL)站，以及南部山區的屏東瑪家(PT)觀測站，使觀測網較原有的更為完整。並金門(KM)的建站，以期日後跟大陸地區的磁力觀測進行結合，並預計做為基準站。磁力連續觀測站的觀測模式為每分鐘紀錄一次地磁觀測值，一天之後將前一天內所有的觀測記錄值回傳至中央大學的記錄接收站。而為精確測試儀器之可靠性，設站之前進行儀器校正測試時架設方式依照建站相同的配置模式，將感應器架設於記錄器 50 公尺外，以防止記錄器之電磁波干擾，此外亦同時架設 GPS 以獲得精確時間，將預計使用於連續觀測站的感應器，全部校正於容許的觀測誤差內，並將校正所有的磁力觀測值到同一基準面，避免連續觀測站在野外進行觀測時產生無法預期的誤差，目前有十一個地磁場連續觀測站分佈於台灣本島及金門島。不論是在構造解釋方面還是連續觀測資料的解讀，以及相關地磁場的日變化修正基準資料庫，都可由此連續地磁場觀測站的寶貴資料中得到。而本所設置 11 個全磁場連續觀測站，業經行政院同意移轉中央氣象局，在訊號傳輸技術改進之後，磁力觀測將可進入到即時監測的境界。本所也將提供資料分析技術與經驗。

四、結果分析與討論

4.1 重力部分

本計畫延續自民國 88 年 3 月底完成首次重力測量後，截至民國 96 年 11 月共進行二十一次重力測量，每次測量均以測線最西端之民和國小重力基點為參考基點，結果如表一所列。若以各重力點第一次相對民和國小的重力值為準，圖六為各測點相對第一次觀測值的重力值變化情形。

整體上看來，位於觸口斷層上盤重力點之重力值有較明顯的變化，民國 94 年 3 月前往執行該年度第一次測量，所有測點的相對重力值皆往上提升，特別以仁愛橋、石鼓盤、和平橋等三個位於觸口斷層上盤的測站變化較為明顯，民國 94 年 7 月與 11 月的兩次測量，可以發現位於上盤的三個測站重力值依然持續上升，而位於西半部的三個測站則變化持平，自 93 年 11 月開始至 94 年 11 月為止上盤區域已持續增加達約 $100 \mu\text{gal}$ ，在過去幾年的觀測中，位於山區的重力基點之重力值有變小的趨勢，表示阿里山山脈相對嘉南平原上有上昇的趨勢。於民國 95 年 4 月該年度的首次測量中，發現於民國 94 年全年重力值持續上升的上盤三個測站都全部下降，尤其以仁愛橋測站為例，其相對重力值下降至約 $-50 \mu\text{gal}$ ，上盤的相對重力值變化皆達到 $100\sim 150 \mu\text{gal}$ ，其上下盤相對變化如此明顯，有可能為此區域應力累積或觸口斷層有少許活動所造成。民國 96 年 4 月的測量結果發現，全測線的觀測值皆上升，位於上盤處測點的上升幅度較為劇烈；民國 96 年 8 月的觀測結果顯示，下盤觀測點的變化持平，上盤的石鼓盤及和平橋兩個測點卻呈現大幅度的下降，分別達 80 及 $110 \mu\text{gal}$ ，降回標準範圍內，而 11 月的測量顯示下盤的變化依然十分穩定，而上盤卻出現不尋常的急劇上升，約為 $100\sim 150$ 個 μgal ，如此大幅度的變化，推測與發生在斷層附近的小地震或小區域應力釋放有關。

斷層的監測係屬於較長期性的工作。將繼續整合重力與 GPS 資料，以瞭解觸口斷層活動所造成的重力、高程與水平位移變化的相關性，同時也將探討收集相關地震目錄資料作比對，是否有其他變因影響重力值的改變，相信這些基本資料與初步成果，將可提供嘉南地區防災科技研究的參考。

4.2 磁力部份

目前有十一個地磁場連續觀測站分佈於台灣本島及金門島。不論是在相關地磁場的日變化修正基準資料庫，以及構造解釋方面還是連續觀測資料的解讀，都可由此連續地磁場觀測站的寶貴資料中得到。

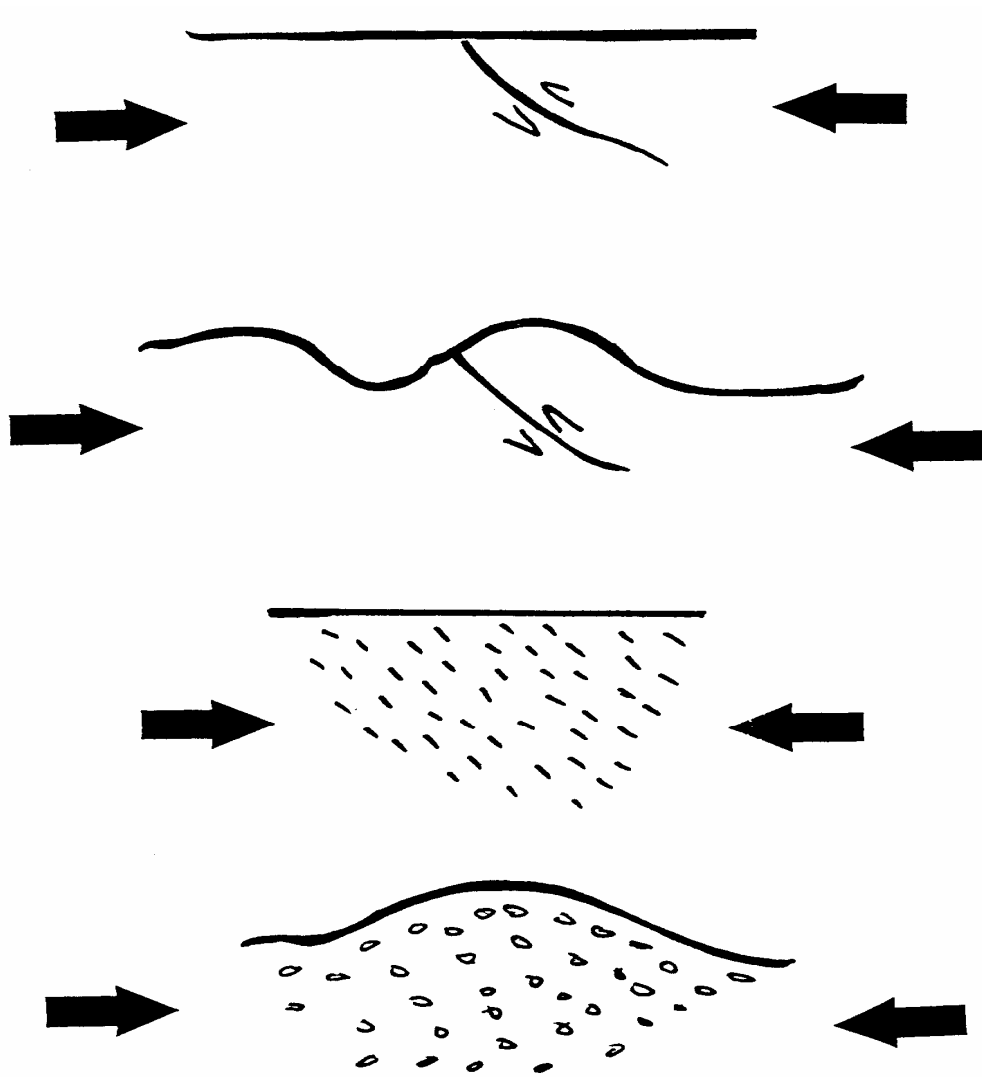
在中央氣象局的努力下，目前十一個地磁場連續觀測站的資料品質已經獲得明顯的改善(圖七)。不過，因幾次颱風豪雨造成前往雙龍(SL)站的橋樑與道路中斷，導致該磁力站無法正常運作，整個 10 月份並無資料紀錄。其他十個連續觀測站，可能因當地環境及網路通訊的關係，造成某些時段有資料缺失的狀況。為去除外部磁場影響，將八個連續觀測站的資料減去金門基準站的資料，可以求得各測站與基準站的差值(圖八)。從圖中可以發現十月份的前半個月，各站資料呈現正常分佈；在 10 月 19 日之後金門站出現資料異常跳動的情形，導致所有與金門站相減的測站殘餘異常值也都出現相同的異常跳動現象，此異常情形需要進一步了解金門站是否受外界的干擾。

參考文獻

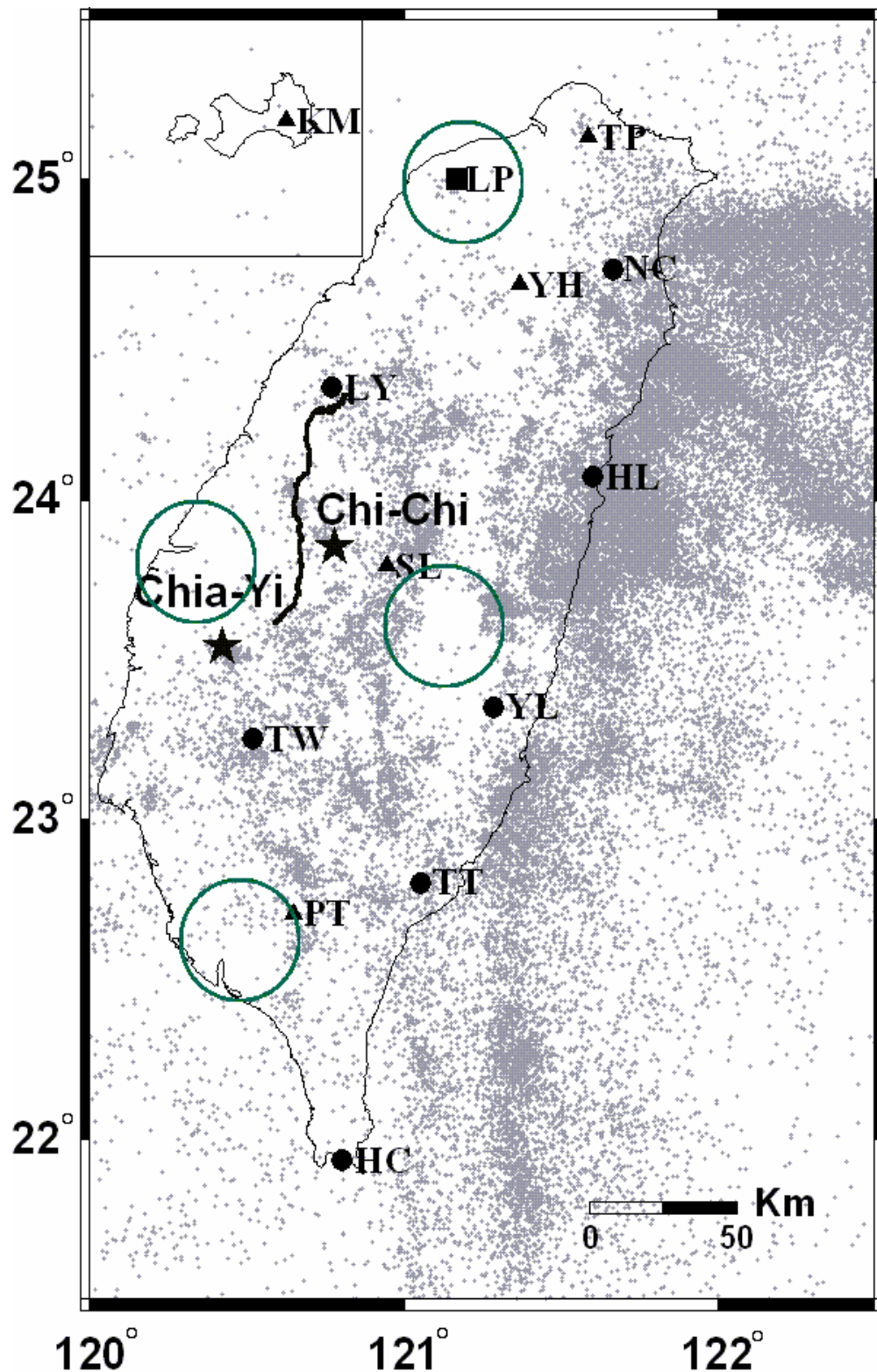
1. 國家地震局「1976年唐山地震」編輯組，蔣浩旋和陳非比責任主編(1982)，「1976年唐山地震專刊」，地震出版社。
2. Barnes, D.F. (1966). Gravity change during the Alaska earthquake, *J.G.R.*, 71, 2, 511-520.
3. Kisslinger C. (1975). Processes during the Matsushiro, Japan, Earthquake swarm as revealed by leveling, gravity and spring-flow observations, *Geology*, 3, 57.
4. Monges, J., R.C. Jachens, J. Andrade and J.E. Case (1976). Comparison of gravity measurements before and after the 1976 Guatemala earthquake (Abstract), *EOS*, 57, 12.
5. Walsh, J.B. (1975). An analysis of local change in gravity due to deformation, *Pure and Appl. Geophys.*, 113, 1-2.
6. Yen, H.Y., Y.H. Yeh and C.H. Lin (1986). Repeat measurement Of gravity in Taiwan : Anomalous gravity related with the May 20, 1986 Hualien earthquake, *Bull. Earth Sciences*, 6, 65-72
7. Yen, H.Y., Y.H. Yeh, J. Y. Liu and C. H. Chen(2000), Geomagnetic fluctuations observed by Taiwan magnetometer network during the Chi-Chi earthquake, 108, *COSPAR Colloquium*, 2000.
8. Yen H. Y., C. H. Chen, Y. H. Yeh, J. Y. Liu, C. J. Lin and Y. B. Tsai(2004). Geomagnetic fluctuations during the Chi-Chi, Taiwan earthquake, *Earth, Planets and Space*, 56, 39-45.
9. Zhu, F. M., Prediction, warning, and disaster prevention to the Haicheng earthquake of magnitude 7.3, *Proc. Lectures by the Seismological Delegation of the PROC, Seism. Soc. Japan Special Publication*, 15-26, 1976.

站名	1999年 3月	1999年 10月	2000年 4月	2000年 11月	2001年 4月	2001年 11月	2002年 5月	2003年 1月	2003年 4月	2003年 11月	2004年 5月	2004年 11月	2005年 3月	2005年 7月	2005年 11月	2006年 4月	2006年 8月	2006年 11月	2007年 4月	2007年 8月	2007年 11月
民國國小	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
欣欣餐廳	-3.220	-3.240	-3.244	-3.236	-3.234	-3.220	-3.210	-3.202	-3.212	-3.215	-3.205	-3.227	-3.196	-3.213	-3.200	-3.213	-3.221	-3.222	-3.212	-3.217	-3.217
工程處	-13.147	-13.154	-13.145	-13.141	-13.146	-13.140	-13.136	-13.112	-13.142	-13.130	-13.128	-13.146	-13.108	-13.127	-13.124	-13.126	-13.130	-13.146	-13.142	-13.128	-13.144
黎明國小	-11.827	-11.814	-11.813	-11.820	-11.820	-11.815	-11.804	-11.794	-11.796	-11.802	-11.819	-11.822	-11.780	-11.824	-11.815	-11.834	-11.847	-11.857	-11.831	-11.827	-11.863
仁愛橋	-30.212	-30.221	-30.233	-30.245	-30.251	-30.245	-30.225	-30.205	-30.218	-30.223	-30.226	-30.235	-30.171	-30.169	-30.141	-30.249	-30.238	-30.239	-30.136	-30.128	-30.024
石鼓盤	-40.530	-40.539	-40.542	-40.538	-40.548	-40.540	-40.502	-40.482	-40.532	-40.488	-40.479	-40.514	-40.463	-40.411	-40.412	-40.527	-40.505	-40.526	-40.428	-40.501	-40.405
和平橋	-82.422	-82.429	-82.434	-82.442	-82.450	-82.435	-82.404	-82.404	-82.442	-82.437	-82.418	-82.449	-82.396	-82.350	-82.340	-82.434	-82.419	-82.449	-82.328	-82.432	-82.287

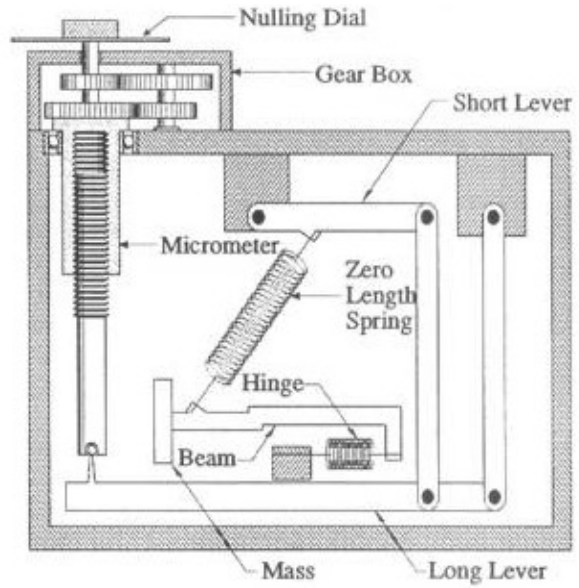
表一 各測點相對民國國小基點的重力值 (單位 : mgal)



圖一岩石脹容現象示意圖。當應力作用時，原岩層中的裂縫會擴大而造成地表的隆起。

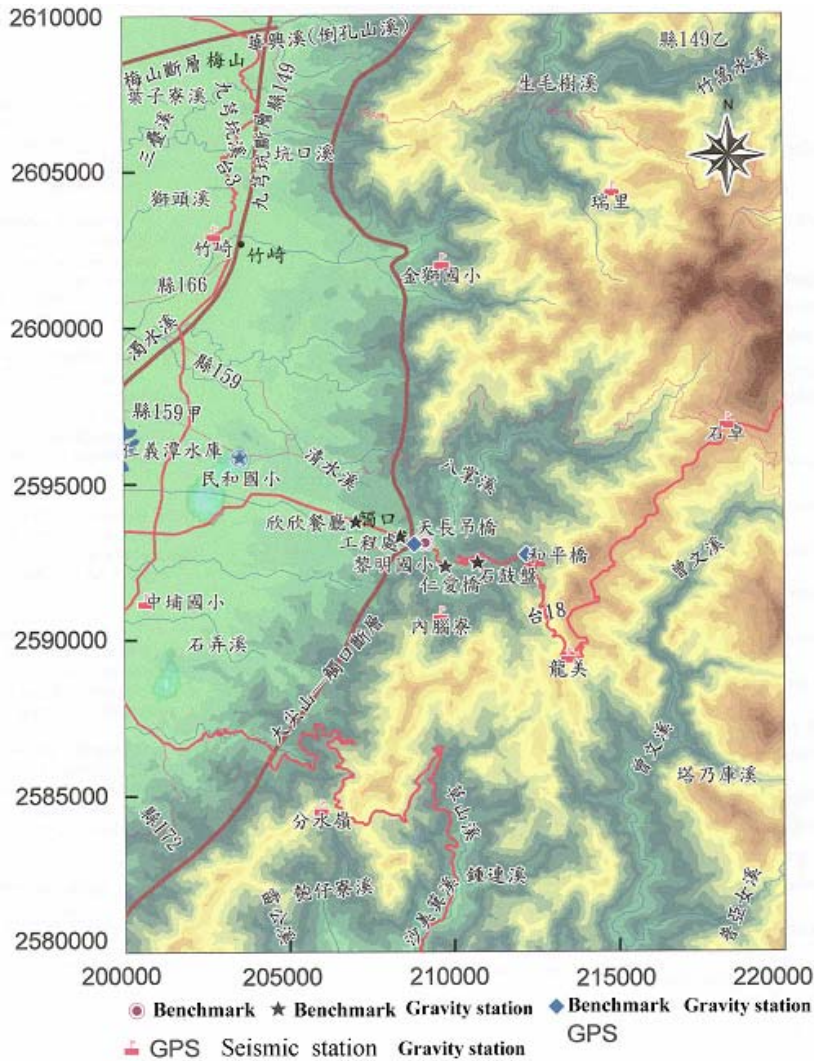


圖二 台灣地區新舊磁力觀測站分佈圖，●為原有的磁力觀測站，且同時於2003年起陸續更新成為新的儀器，▲為新增的磁力觀測站爺亨(YH)、雙龍(SL)、屏東(PT)、金門(KM)，除台北(TP)站外，其他的觀測站皆陸續架設完成，■崙坪站。灰色小點為規模大於3.0的地震的分佈位置。綠色空心圈為台灣地區四個地震稀少帶的大致範圍。



圖三 (a) LaCoste-Romberg D 型微重力儀

(b) 重力儀內部構造簡圖

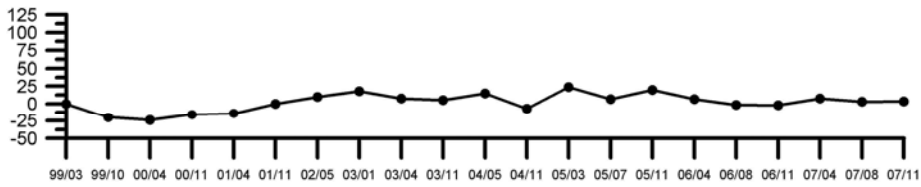


圖四 本計畫沿阿里山公路共埋設七個重力點，分別為和平橋、石鼓盤、仁愛橋、黎明國小、工程處、欣欣餐廳及民國國小。

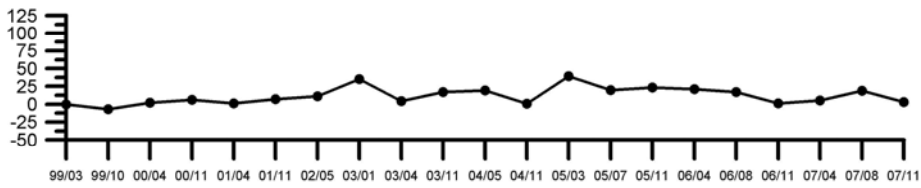


圖五 民和國小的重力基點，為中央研究院所埋設的花崗岩基點。

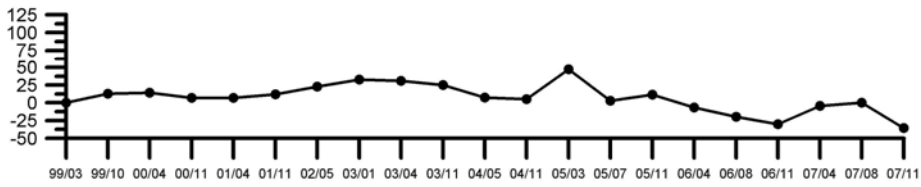
(微伽)
(西)
欣欣餐廳



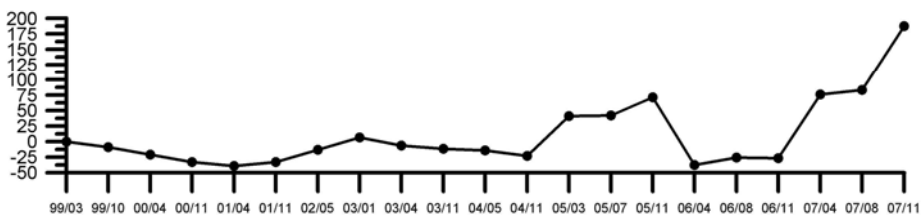
工程處



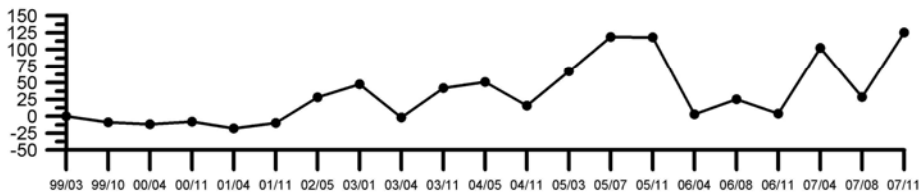
黎明國小



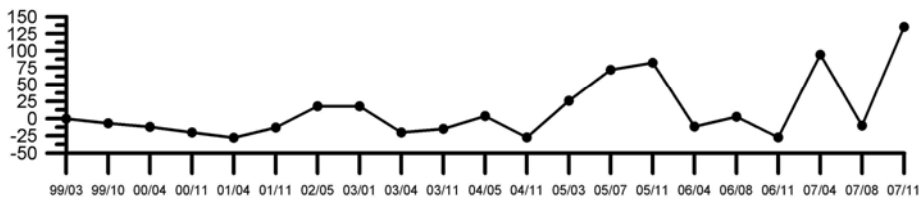
仁愛橋



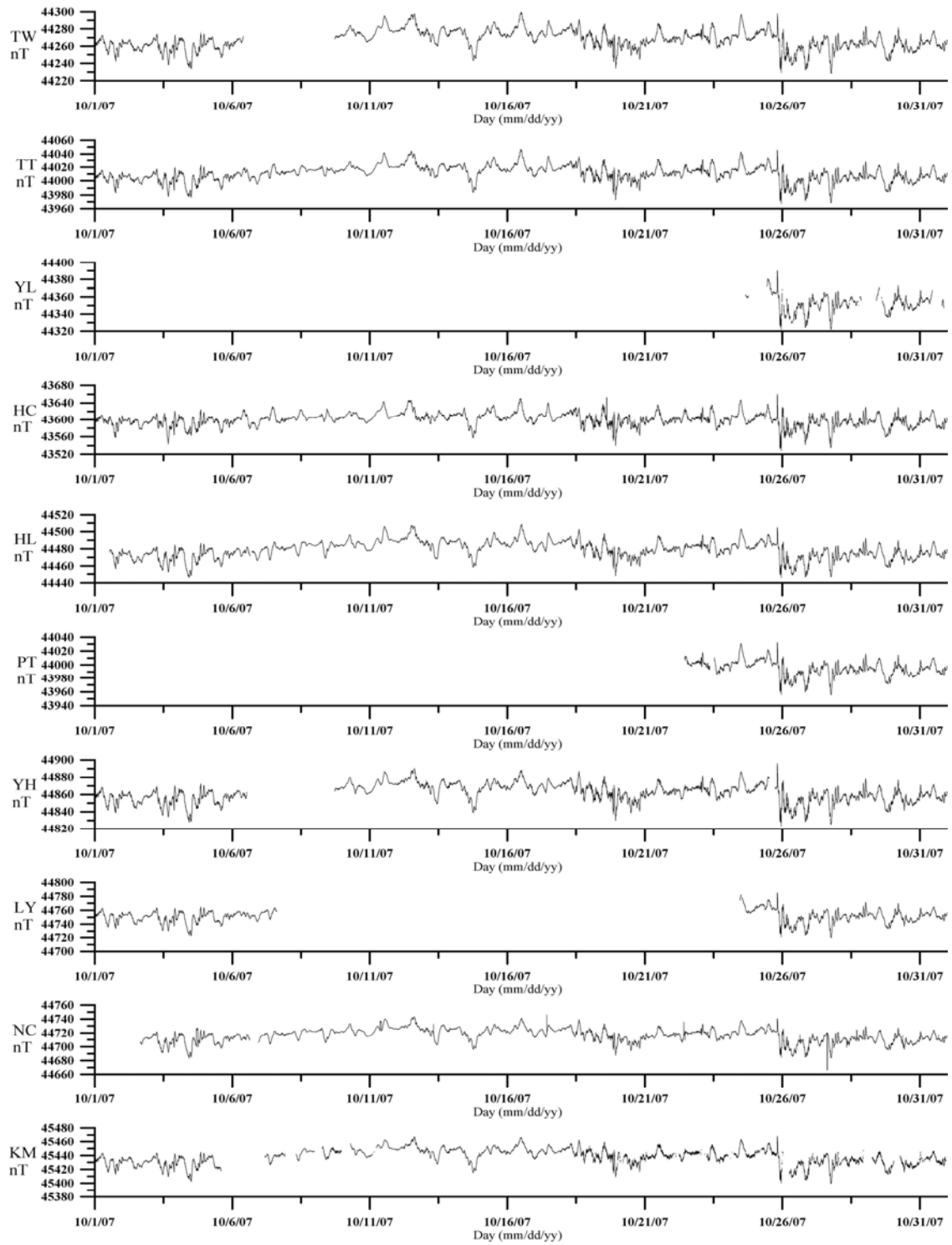
石鼓盤



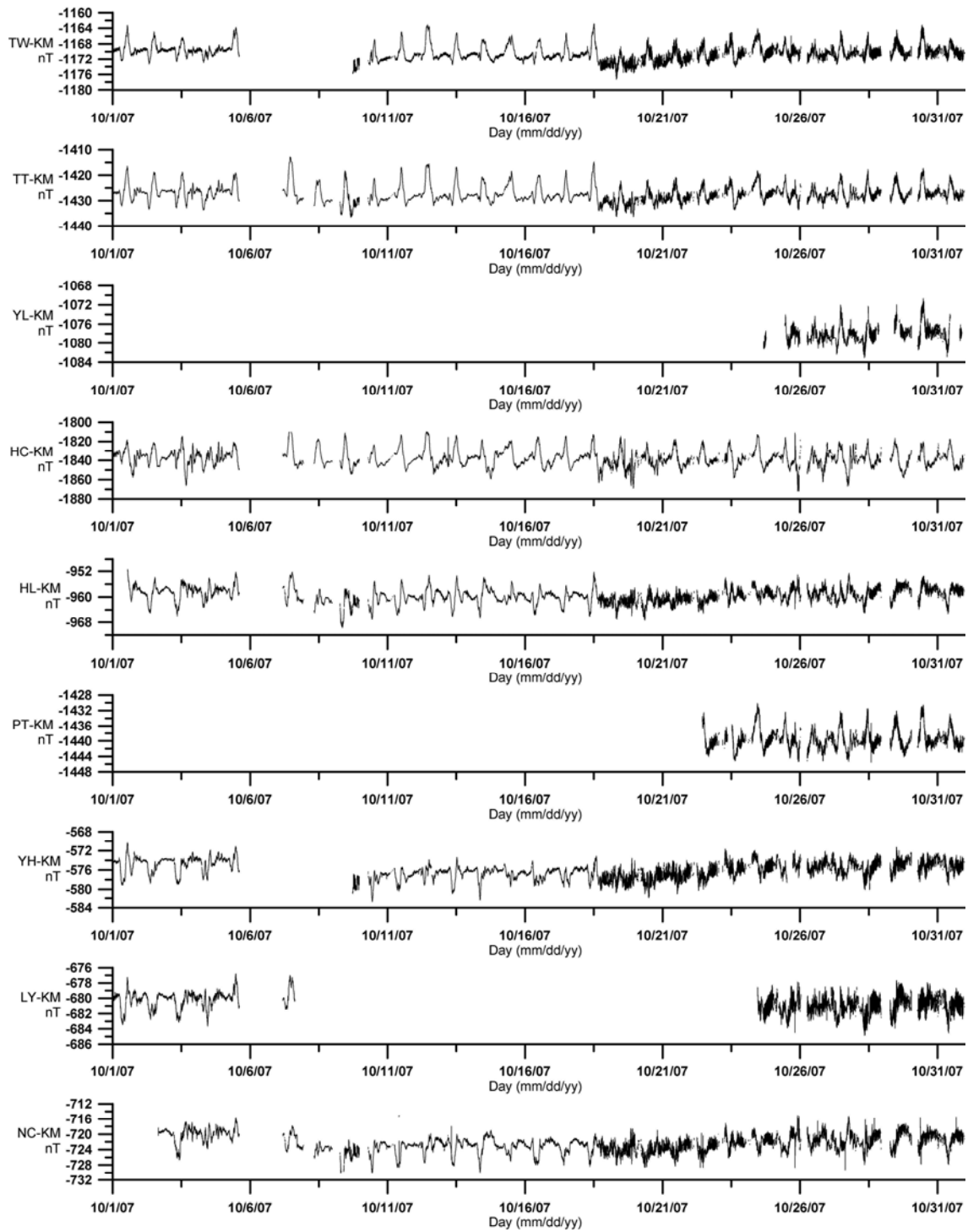
和平橋
(東)



圖六 各測站重力變化的情形(以各測站第一次相對民和國小重力值標準)



圖七 2007年10月全台十個測站的全磁場磁力觀測站記錄(SL站無資料)。



圖八 2007年10月九個全磁場磁力觀測站減去金門基準站，所得到的磁力差值。