

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：研究)

地殼變形觀測與防災

服務機關：經濟部中央地質調查所
出國人職稱：技士、技士、技士
姓名：林燕慧、陳建良、陸挽中
出國地區：日本
出國期間：92年11月10日至92年12月6日
報告日期：93年2月10日

I3/c09300415

系統識別號: C09300415

公 務 出 國 報 告 提 要

頁數: 25 含附件: 是

報告名稱: 地殼變形觀測與防災

主辦機關:

經濟部中央地質調查所

聯絡人／電話:

陳政恒／29462793-275

出國人員:

陳建良 經濟部中央地質調查所 構造與地震地質組 技士

林燕慧 經濟部中央地質調查所 構造與地震地質組 技士

陸挽中 經濟部中央地質調查所 資源地質組 技士

出國類別: 研究

出國地區: 日本

出國期間: 民國 92 年 11 月 10 日～民國 92 年 12 月 06 日

報告日期: 民國 93 年 02 月 06 日

分類號/目: I3／地質學 I3／地質學

關鍵詞: 地殼變形, 活動斷層, GPS 測量

內容摘要: 台灣由於受到板塊運動影響，使地層受到劇烈的抬升、褶皺及斷層作用，且地殼變形、地盤下陷及土石流等地質災害對民眾生命財產造成損失，也對民生經濟及生活環境的安全造成莫大的影響。關於此方向的研究皆與地殼變形習習相關，故研修地殼變形觀測技術及如何利用於防災，實是刻不容緩的工作。地質調查所自 1997 年起開始執行活動斷層調查計畫，在地殼變形觀測與防災方面投注相當資源進行，而鄰國日本與台灣同屬東亞花綵列島構造帶，對於地殼變形觀測有豐富之經驗與對策，且為日本國民共同體認之重要基礎工作；赴日學習有關地殼變形觀測與防災技術與方法，期望能引進較為成熟的監測技術及方法，並對於地殼變形觀測有更深入了解，進而達到更有效的防災目的。本次研修地點為位於筑波市的日本地質調查所，並在該所安排及協助下，進行為期一週的活動地形野外調查與參訪；以及在位於筑波市的國土地理院，進行三週的地殼變形觀測與防災研修課程，具體的研修內容如下：1. 合成孔徑雷達干涉影像(InSAR)分析研究。2. 地殼變形觀測技術。2. GPS 測量與計算。4. 地震調查研究體制與防災。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

摘要

台灣由於受到板塊運動影響，使地層受到劇烈的抬升、褶皺及斷層作用，且地殼變形、地盤下陷及土石流等地質災害對民眾生命財產造成損失，也對民生經濟及生活環境的安全造成莫大的影響。關於此方向的研究皆與地殼變形息息相關，故研修地殼變形觀測技術及如何利用於防災，實是刻不容緩的工作。

地質調查所自 1997 年起開始執行活動斷層調查計畫，在地殼變形觀測與防災方面投注相當資源進行，而鄰國日本與台灣同屬東亞花綵列島構造帶，對於地殼變形觀測有豐富之經驗與對策，且為日本國民共同體認之重要基礎工作；赴日學習有關地殼變形觀測與防災技術與方法，期望能引進較為成熟的監測技術及方法，並對於地殼變形觀測有更深入了解，進而達到更有效的防災目的。

本次研修地點為位於筑波市的日本地質調查所，並在該所安排及協助下，進行為期一週的活動地形野外調查與參訪；以及在位於筑波市的國土地理院，進行三週的地殼變形觀測與防災研修課程，具體的研修內容如下：

1. 合成孔徑雷達干涉影像(InSAR)分析研究。
2. 地殼變形觀測技術。
3. GPS 測量與計算。
4. 地震調查研究體制與防災。

目 次

摘要	I
目次	II
一、前言	1
二、研習目的	2
三、研習過程	3
3-1 活動地形觀測	3
3-2 合成孔徑雷達干涉測量簡介	5
3-3 合成孔徑雷達干涉測量的應用	7
3-4 GPS 測量原理與應用	8
3-5 GEONET 與 RTK 應用	11
3-6 其他的地殼變形監測工具	14
3-7 地圖投影、座標轉換與三次元網形計算	15
3-8 日本都會區活動斷層調查方法	18
3-9 日本之地震調查研究體制	19
四、研習心得	21
五、建議	23
六、參考資料	25
附錄	
附圖	27

一、前言

台灣位於菲律賓板塊與歐亞板塊交界處，為兩板塊碰撞擠壓於五百萬年前開始之連續造山運動所形成，由於板塊持續碰撞、擠壓而轉變為旋轉、塌陷。種種複雜而強大的大地應力作用，造成台灣島上複雜而破碎的地質構造。

持續性板塊飄移的推擠作用，影響著台灣的大地應力分布，而持續性的應力累積，便以地震與地殼變形的方式釋放。由觀測地殼變形量與其變化向量的改變方式，可作為計算大地應力累積變化的依據，進而進行斷層活動可能性之判斷。

於 1999 年 9 月 21 日發生的集集大地震，造成重大災情，國內對於活動斷層問題有了新的認知。政府高層在災後也開始檢視活動斷層問題，一方面要求加速活動斷層的基礎調查研究外，也開始進行各種大型整合性防災計畫。

經濟中央部地質調查所在 1997 年開始進行系統化的活動斷層調查工作，於隔年出版了「五十萬分之一台灣活動斷層概論及說明書」，並於 1999 年完成改版，且持續進行活動斷層調查工作。為監測活動斷層應力累積變化的趨勢，地殼變形觀測技術的提升與新技術的引入，都需汲取他人經驗。日本於地震與地殼變形調查研究方面，投入大量時間與人力，累積豐富的經驗與成果，且與台灣有類似的地體構造環境，本次的中日技術合作，就是針對「地殼變形觀測與防災」課題赴日本研修。

於日本研修期間，承蒙日本地質調查所活動斷層中心主任杉山雄一博士在地質專業及生活上細心的安排與協助，以及國土地理院矢來惠美小姐與土井弘充先生費心的接待，謹致最大謝意。另外，對於經濟部各級長官的支持、駐日代表處溫先生的協助，亦表衷心的謝意。

二、研習目的

預測災難性地震的發生時間與地點，一直是地震相關學門學者的終極目標，但是以目前的科技水準尚無法達到；所以現階段的研究重點放在如何監測地殼變形，並適時的對民眾發出警訊，以減少地震所帶來的災害，希望藉由相關的調查研究，未來能對斷層活動的機制、應力釋放與應變轉移有更深入的瞭解，進而能達到防災、減災的目的。

此次赴日主要目的即是學習有關活動地形、地殼變形觀測與防災等課題，期望能引進較為成熟的監測技術及方法，並對於活動構造有更深入了解，進而達到更有效的防災目的。

具體的研修內容如下：

1. 活動地形觀測。
2. 合成孔徑雷達干涉(InSAR)分析研究。
3. GPS 測量、計算與應用。
4. 地殼變形觀測技術探討。
5. 地震調查研究體制與防災。

三、研習過程

此次赴日研修行程大致可分為二個部分：第一週（由十一月十一日至十一月十四日），到日本北陸道高山、富山地區，進行野外地質實習，觀察走向滑移斷層之地形、地貌上的特徵，並比對航照圖上的線性與野外露頭之間的關係。之後，在位於筑波市的國土地理院進行為期三週（由十一月十七日至十二月五日）的地殼變形觀測與防災課程之研修，主要目的為學習地殼變形觀測、資料分析管理經驗、GPS 介紹、連續性 GPS 接收應用實例，座標與三次元網分析。研修內容擇要說明如下：

3-1 活動地形觀測

1. 跡津川斷層 (Atotsugawa fault)

跡津川斷層屬於跡津川斷層系 (Atotsugawa fault system)，跡津川斷層系是日本中部地方北部最重要的斷層系之一，分佈在日本中部飛彈山地 (Hida Highland) 的北方，沿東北東-西南一方向延伸約 60 至 70 公里，位在崎阜 (Gifu) 與富山 (Toyama) 縣境內。跡津川斷層系為右移走向滑移斷層系由跡津川斷層 (Atotsugawa fault) 與牛首斷層 (Mozumu-Sukenobe fault) 組成 (圖一) (Takeuchi, 2003)。

在 1958 年發生的飛越 (Hietsu) 地震，地震規模為 7.0-7.1，其破壞主要集中在跡津川斷層系沿線，造成 319 間房子損毀，203 人死亡；在地震發生兩星期後的餘震，造成水壩破壞，所引起的洪水更造成 1600 間房子損壞，140 人死亡，故餘震所引起的災害更是不容小覷。

在日考察的地點位在跡津川斷層中央部份的宮川村地區。此區為宮川 (Miyagawa) 流經，有數階低位河階的發育。在野首的低位河

階有一延伸約 200 公尺的直線狀反斜崖，崖高約 0.6-1 公尺（圖二），此崖看似人為造成，但由該處之槽溝資料可知，此地形崖的確為一斷層崖，且最大之再現週期約為 2500 年（Takeuchi, 2003）。

位在野首東方的另一低位河階，其南方為礫石層堆積的沖積扇，此沖積扇尾端因遭跡津川斷層所截切，故在沖積扇尾有一明顯的直線狀地形崖，崖高約 5 公尺（圖三）。

鑑於跡津川斷層野外露頭有限，行程中再參觀富山縣立山博物館，該博物館保存了真川的野外露頭，該露頭位在跡津川斷層的東端，係因修建真川防砂道路而發現。真川露頭的一側出露先第三紀的基盤，另一側出露礫石層，間夾極薄層的斷層泥。

跡津川斷層係右移斷層，斷層面走向 N70°E，傾角 65° 向北，斷層面南方為下降側，由地形圖與衛星影像圖可清楚的見到高原川與宮川皆發生系統性的錯移（圖四），斷層截切更新世至全新世的低位河階，並形成反斜崖，斷層東端並有許多微震發生，所以跡津川斷層系為一活動性相當高的斷層。

2. 牛首斷層（Ushikubi fault）

牛首斷層位在跡津川斷層的北方，與跡津川斷層可能為同一系統，但目前缺乏有力的佐證資料。

野外露頭位在牛首斷層東端的富山縣東礪波郡水無地區，斷層亦以右移為主，斷層面走向約與跡津川斷層平行，傾角接近垂直，斷層面北方出露片麻岩，南方出露花崗岩，斷層帶由約 2 公尺的破碎角礫岩與約 0.4 公尺的斷層泥組成（圖五），且沿著金剛寺谷與水無河谷皆是牛首斷層通過處。

3-2 合成孔徑雷達干涉測量簡介

合成孔徑雷達 (Synthetic Aperture Radar, 簡稱 SAR) 為一主動式遙測系統，由於雷達波擁有優越的穿透性，不受光照與天氣條件等限制，所以可以全天候的進行地表變形監測。然而衛星雷達影像必須經過特殊的處理與計算，才能正確反映地表的變形，這種處理方法稱為干涉法 (Interferometry)。簡單地說，合成孔徑雷達干涉測量 (Interferometric Synthetic Aperture Radar, 簡稱 InSAR) 就是將兩組 (或多組) 不同時期的衛星雷達資料進行精準的幾何校正，再經由資料干涉分析所發展出的大地測量技術。

雷達資料差分干涉結果可得到該時段內地表與衛星之間距離變化所引起的雷達波相位差 (圖七)，相位差與 SAR 的波長、基線長 (二雷達間的距離)、攝像角度有關。因地表起伏以及地表變動等因素會造成 SAR 相位差影像上有 2π 間距的干涉條紋產生 (圖八)，解算相位差後即可得到兩者之間對應距離的變化量。

因為合成孔徑雷達干涉測量是解算同一軌道、不同時期的衛星雷達資料，但是不同時期的衛星會位在不同的位置，所以不同時期衛星上的天線距離 (參見圖七)，便稱為基線長 (B)。一般配對不同時期的衛星資料時，基線長度越小，則資料的解析度越高；基線在軌道上往往會有 100~500m 的飄移誤差，日本一般選擇基線小於 500 公尺的資料，國內中央大學太空遙測中心則是選擇基線小於 100 公尺的資料。

當基線長度越大時，則需要越多的地面控制點與計算，若配合 GPS 衛星資料將會有更精準的位置控制，則監測精度可到公釐 (mm) 等級，且在定量方面，可達到與水準測量類似的精度。

目前太空軌道上載有 SAR 感測器的衛星有日本的 JERS-1、歐洲

的 ERS-1, 2、歐洲的 Envisat、加拿大的 Radarsat 與日本將於 2004 年發射的 ALOS，各衛星的飛行高度、角度、天線配置等參數都有很大的差異，且雷達差分干涉的精密度視其所使用的雷達波波長而定，目前遙測衛星所使用的雷達波主要有 X 波段（波長約 3 公分），C 波段（波長約 6 公分）及 L 波段（波長約 24 公分），波長越短，精密度越高，JERS-1 一般提供 L 波段；而 ERS 則提供 C 波段的資料（圖九）。

對於 InSAR 資料的軟體處理方面，一般最常用的為 Gamma，但是所費不貲；所以各國仍會自行研發軟體，比如日本就研發出 GSI-SAR 軟體，可是功能上就不如專業的 Gamma 軟體。

3-3 合成孔徑雷達干涉測量的應用

應用合成孔徑雷達干涉測量法（Interferometric Synthetic Aperture Radar，簡稱 InSAR）對於監測大區域的地殼變動相當的有效。這項測量方法有許多特點，例如它不必到達實地即可施測，受雨霧影響較小，具全天候資料收集之能力，且能快速、重複提供大範圍的「面」狀地表資訊。我們可以藉由比對不同時段的影像計算出地表變形速率的變化。針對突發的變形事件，我們也可以藉由調閱事件發生前後的影像做對比，而計算出該突發事件的地表變形量來。

應用於地表變形研究上，包括與地震和震後移動有關的地殼變動、土地下陷、火山監測、冰河移動、及山崩等等，因為臺灣自 1999 年集集地震後，關於活動斷層所引發的地震研究上，已累積豐富的資料，所以，以下只簡述日本在火山與地層下陷方面的應用實例。

(1) 火山

秋田縣北部在 1996/08/11 發生 5.9 級地震，至 8 月 13 日，共發生四次超過 5 級的餘震，將地震前與地震後的 SAR 影像對資料（圖十）比對附近的活動構造後，推測此內陸地震可能是由附近的活火山（栗駒山與鬼首火山）活動所引發的。

(2) 地層下陷

關東平原的利根川（Tone River）地區因大量抽取地下水，而在 1996 年降雨量又減少導致地下水補助量不足，造成當地發生大規模的地層下陷。透過分析 1993 年至 1997 年 JERS-1 的 SAR 影像對資料，亦發現 1996 年利根川農業區有大規模地層下陷現象，且於 Nogi 有 14 公分的最大下陷量（圖），與水準測量資料（圖）相當一致。

3-4 GPS 測量原理與應用

全球定位系統（GPS）是利用接收器接收 GPS 衛星所發射的無線電波，由無線電波行徑的時間或波數，計算出座標位置。GPS 測量的特點為：

1. 高精度： $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 公里
2. 3D 定位
3. 幾何定位
4. 長距離測量，且各測點間不需通視。
5. 不受天候影響：即使在雨天仍可觀測
6. 自動測量：可節省人力資源

GPS 定位的缺點為：

1. 必須在室外觀測
2. GPS 衛星結構複雜，目前仍有許多功能未公開
3. GPS 衛星相當昂貴
4. 若需高精度的資料，則需長時間觀測

目前 GPS 的應用（圖十六）如下：

(1) 點定位：

最早期的用途就是即時點定位，不需參考點資料，精度在數公尺間。

(2) 差分定位 (DGPS)：

為改善傳統 GPS 定位的精度，所以發展出此種定位方法，必須有參考點（固定站）的誤差資料，精度在 1-2 公尺間。此種方

法常用在交通控制或土木工程上。

(3) 干涉法定位：

利用參考點與觀測點之間的波相差，計算出基線長度的變化，精度為數公分。

此種方法需輸入衛星的載波資料，載波分為 L1 及 L2 兩種：L1 是由 C/A code 轉換而來，其波長為 19. 公分；L2 是由 P code 轉換而來，其波長為 24.4 公分。一般使用 L1 波，因為 L2 波的波長太長，接收器無法接收。

干涉定位又分為靜態定位與動態定位兩種，靜態定位的精度又高於動態定位；動態定位又分為 RTK 與 VRS（描述如下節）。

(4) RTK-GPS (Real Time Kinematics- GPS)

全名為即時動態 GPS 觀測，此種方法可降低觀測所需時間，但是需要輸入參考點及 L1 載波的資料，所以通訊方法的選擇相當重要。日本是用 PHS 電話撥號（圖十七），將參考點資料連線輸入觀測站資料，且兩點間距離限制在 500 公尺內（日本測量法規規定），但是電話費相當昂貴。精度在 1-2 公分內。在台灣兩點間資料的傳送主要是透過無線電，因為價錢便宜且通訊距離可達兩公里。

RTK-GPS 觀測的特點為：

1. 即時觀測
2. 參考點衛星資料需即時傳送到觀測點中
3. 觀測時間短，有效率，但精度中等
4. 儀器設備繁複，是相當吃重的工作

RTK-GPS 觀測的限制為：

1. 接收的衛星數需在五個以上
2. 天線仰角 15 度以上不可有遮蔽物
3. 每秒接收一筆資料
4. 至少需接收 10 筆資料
5. 天線需定平並指北

(5) VRS-GPS (Virtual Reference Station- GPS)

又稱為虛擬參考點 GPS 觀測法（圖十八），此種方法是日本自創的方法，因為日本境內共有 1200 個 GPS 連續追蹤站，所以利用其高密度的 GPS 觀測網（GEONET）資料內差出虛擬的參考點資料，再將資料傳送至觀測點。當觀測點附近無適當參考點資料時，就由至少 3 個參考點（連續追蹤站）資料，內差出虛擬的參考點資料，若觀測點與參考點相距越遠，誤差就越大。

VRS 觀測結果的準確度比 RTK 高，但是兩者的精度差不多。日本的 VRS 資料計算，是由民間的機構負責，只要撥號至特定公司，在 1 分鐘內該公司便會將 VRS 資料回傳至觀測點接收器中，可見日本的產、官、學之間合作相當緊密。

3-5 GEONET 與 RTK 應用

日本的電子基準點 (GPS-based control station) (圖十九，圖二十、圖二十一)，即是台灣所稱的 GPS 連續追蹤站。GEONET(GPS Earth Observation Network System) 又稱為 GPS 地球觀測系統，是由電子基準點所構成的監測網 (圖二十二)，電子基準點包含柱體 (pillar)、GPS 接收器 (receiver)、GPS 天線 (antenna)、通訊設備 (communication equipment) (IP/VPN)、電池及不斷電系統 (可供電 6 小時) 等，天線安裝於距地面 5 m 高的不鏽鋼柱體上，GPS 接收器及通訊設備則安置於不鏽鋼柱體內部，以間距約 20 km 的密度分布於全日本，至 2003 年已設置 1200 站 (圖二十三)，在 2003 年更將其境內的電子基準點之天線及接收器等硬體全部更新 (每站造價約新台幣二百萬) 為統一形式，雙管的設計除可避免柱體本身受日光照射增溫變形外，也針對天線型式、通信設備、精度要求等方面實施改進，且資料轉換成統一格式。GEONET 設置的主要目的為監測地殼變形、火山活動及土地測量使用，目前使用者可透過 Internet 網際網路的管道，取得 GEONET 的資料及相關訊息，長年資料則需另外索取。

電子基準點每 30 秒接收一筆資料，每日所接收的資料會同步傳送至位在筑波的國土地理院 (GSI, Geographical Survey Institute) GPS 中央控制室 (GPS Central station)，控制中心配備有通訊設備、管理系統、資料分析系統、資料解算系統、資料公布系統 (每月公布觀測資料)、不斷電系統 (可供電 72 小時)。GSI 將資料計算匯整後，即可求解各電子基準點的相對位置變化量，研判地殼變形是否產生異常現象，對地震及火山活動即時監測，適時發出警訊。

GEONET 監測火山活動造成地殼變動，可以說是相當即時且安全，如果基線的變化量在火山活動前就已發生異常的變化，我們便可利用此一特性對火山活動進行預報，對附近居民提出警訊，達到減災的預期目標。

日本的 GEONET 每年約有五萬筆資料被學界使用，且依使用狀況不同而進行下列分析：

1. 災害緊急分析(Emergency analysis): 約 4-6 小時可公布資料。
2. 綜合分析(Combination analysis): 所有觀測站以 Ultra Rapid Orbit (IGS) 快速星曆聯合平差解算，約 24 小時可獲得資料。
3. 最終資料分析(Final analysis): 以 Precise (IGS) 精密星曆的最終分析，約二週後可獲得資料。

當分析時間越長，則精度越好。

GEONET 除了是進行地殼變形觀測的強有力工具(圖二十四)外，但是對於一般民生使用上，亦有許多貢獻，例如都市計畫、防災、車輛導航監控、PDA 調查管理及地籍測量(圖二十五)等，由於 GEONET 電子基準點可將參考點之衛星資訊及改正量廣播至使用者之移動站，大大將導航單點定位約 30m 精度降低為 cm 等級，就此等精度已足敷使用的使用者來說，精度跟效率已獲得較滿意的解決。

RTK 測量

RTK(Real Time Kinematic)即時動態測量，乃是兩部以上之 GPS 於同步接收衛星的情形下，將其中一部設立為參考站，並透過地面無線電或 PHS 電信系統將參考站所接收之衛星資訊及其點位座標資訊加以廣播，傳送至其他各部 GPS 接收儀，藉此即時解算出與參考站之位置相對向量，由於參考站的訊號須靠無線電傳播至移動站，因此 RTK GPS 測量多運用於空曠地區移動物體之軌跡定位、道路中心線測

量、水道測量及地籍測量，實驗結果亦相當良好（曾清涼、余致義、何慶雄、劉啟清、楊名，1997）。此種測量方法是一種快速的測量方式（圖二十六、圖二十七），不僅作業效率高、產量大，可以省下靜態測量所需的內業計算時間，更重要的是可以達到公分級的精度（曾清涼、儲慶美，1999）。目前在日本地區，由於 GEONET 電子基準點分布相當密集（約 20 km 間距），參考站的訊號傳播又改以 PHS 系統傳送至移動站，因此使用者已不須在移動站附近架設參考站，亦無須考慮無線電傳播受遮蔽的問題。

3-6 其他的地殼變形監測工具

1. 潮位測量：

日本沿海設置有 145 個潮位觀測站（圖二十八），以記錄每天的潮位變化。1894 年建立的油壺驗潮站，於 1923 年 9 月關東大地震（M7.9）時觀測到潮位升高 1.4 公尺異常的現象（圖二十九）。

2. 超長基線電波干涉法(VLBI)（圖三十、圖三十一）：

不同地點的衛星天線接收外太空固定電波星的無線電波，因為距離太遠可視為平行入射，同一相位的無線電波為同時發出（因擴散而分離），不同地區的天線接收同一相位電波的時間會有差距，利用這個時間差距便可極精確的算出每個天線台的相對位置（必需電波星出現於觀測處天空，且因電波遙遠需要良好的天氣，接收站距離要足夠，方能分辨出時間差，才足以定位）。

全日本共有四座 VLBI 觀測站，分別位於日本的三大板塊上，除可分析各板塊間的相對運動外，亦可與全球的 VLBI 串連，構成一個國際觀測系統，校準其大地觀測座標。

3. 地磁氣測量：利用磁力計測量地磁氣變化可指示地殼的部份融溶或岩漿活動。

4. 重力測量：利用重力測量可以得知地下礦床分布，斷層所造成的地層不連續面位置與岩漿活動變化等訊息。

3-7 地圖投影、座標轉換與三次元網形計算

地圖就是地表各種形態在平面上的表象，因此產生了將橢球面上的大地座標換算為平面座標的問題（胡明城、魯福，1993）。所以地圖投影就是根據一定的數學規則，將平面上的地圖建立一個與地球表面上的地理座標相應的直角座標系統關係，也可以說是將地球上的經緯度座標轉換成平面座標系統，這種轉換過程，可以想像是以光線直射原理來達成的光學投影，或是經由數學公式推導出來的非光學性投影。

由於投影面形狀以及標準線（點）的差異，在投影方法上也會有所不同，然而在將地球座標轉換成平面地圖的同時，必定會有一些不可避免的扭曲、變形，所以每一種投影法都是屬於選擇性的方法，使用者可依其需要，依不同的地區、用圖目的，選擇使用等形投影、等積投影、等距投影等不同的投影方法。

目前台灣在測量上常用之座標系統有三（2000，葉怡成）：

地理座標系統：採 TWD67（經度，緯度，高程）。

方格座標系統：採用 UTM 與 2° TM（橫座標，縱座標）。

地心座標系統：採用 WGS84（經度，緯度，幾何高）與（X，Y，Z）。

台灣地區現行之水平大地基準係採民國 67 年所完成之基本控制網大地觀測量，採用國際大地測量學與地球物理學協會（International Union of Geodesy and Geophysics，IUGG）在 1967 年所公佈之參考橢球體。台灣地區之水平大地基準(TWD67)之原點位於南投縣埔里之虎子山一等天文點，並經由平差後完成台灣地區平面

坐標參考框架；民國 69 年內政部公佈之「台灣地區三角點成果表」即包含二度分帶橫向麥卡脫投影坐標系統與 1967 年國際橢球體之經緯度與高程。內政部於八十二及八十三年度分別於陽明山、墾丁、鳳林、金門、北港、太麻里、馬祖、東沙等設置八個衛星追蹤站，經由與國際追蹤站聯測解算可精確求得八衛星追蹤站絕對坐標，並做為各等級衛星控制點測量之依據。GPS 衛星測量所建立之地心系統稱為 WGS84，其座標原點位於地球質量中心。內政部為規劃一、二等衛星控制網，該一、二等衛星控制點之測量工作，業於八十四至八十七年分四年辦理完竣，同時訂定新的國家坐標系統「1997 台灣大地基準，(TWD97)」。TWD97 係採用國際地球參考框架 (International Terrestrial Reference Frame, ITRF)。新國家坐標系統之參考橢球體採用 1980 年 IUGG 公布之參考橢球體 (GRS80)。

對於 WGS84 與 TWD67 間之轉換有各種模式，如十參數轉換模式之 Krakiwsky-Thomson 模式、七參數轉換模式之 Bursa-Wolf 模式與 Molodensky-Badekas 模式、七參數轉換模式之特例(三參數轉換模式與四參數轉換模式)、多項式模式、多次方回歸方程式模式、聯合 Veis 轉換模式與最小二乘預估法、最小曲率法等。在內政部公佈新的國家坐標系統「1997 台灣大地基準」之前國內大多利用 Molodensky-Badekas 之七參數轉換模式進行 WGS84 座標系統與二度分帶橫向麥卡脫投影坐標系統轉換。WGS84 與 TWD67 之 Molodensky-Badekas 七參數轉換模式如下：

Affine Transformation :

二維，四參數轉換方程式：

$$\begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{r0} \\ Y_{r0} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \Theta & \sin \Theta \\ -\sin \Theta & \cos \Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k dS_x & 0 \\ 0 & k dS_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \end{pmatrix}$$

$$X_r = X_{r0} + X_s \cdot k \cdot dS_x \cdot \cos \Theta + Y_s \cdot k \cdot dS_y \cdot \sin \Theta$$

$$Y_r = Y_{r0} - X_s \cdot k \cdot dS_x \cdot \sin \Theta + Y_s \cdot k \cdot dS_y \cdot \cos \Theta$$

2.Helmert Transformation , "Bursa-Wolf" formula :

三維，七參數轉換方程式：

$$\begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{pmatrix} = M * \begin{pmatrix} 1 & -R_z & +R_x \\ +R_z & 1 & -R_x \\ -R_y & +R_x & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix}$$

GPS 全球衛星定位系統所使用的大地基準屬於全球性的 WGS 84 座標基準，其座標點為地球的質量中心。台灣地區現在使用的大地基準為以埔里鎮虎子山為原點之 TWD 67 基準，只適合台灣地區使用，所以自接收儀所接收到的 WGS84 座標必須先將其轉換至 TWD 67 座標，台灣地區目前所使用的地圖大都以橫麥卡脫投影為主，所以還必須將 TWD67 座標由橢球面投影至二維的平面上，如此才能與地理資訊系統空間資料整合。

3-8 日本都會區活動斷層調查方法

日本「都會地區活動斷層圖」計畫源起於 1995 年兵庫縣南部的神戶地震後，社會大眾開始注意到內陸型活動斷層地震的威脅，便開始進行大量的都會區活動斷層調查。

1991 年出版的「日本活動斷層圖」為三十三萬分之一比例尺的日本全國性地圖，但是對於人口集中的都會區而言，此比例尺的地圖則略顯不足，所以國土地理院即針對人口稠密，地震發生會產生重大災害地區，分年、分區委託「都市圈活斷層圖作成調查檢討委員會」（由大學或研究單位專家組成）負責活動斷層調查，一張圖最少由三位作者負責，以綜合各種不同意見。再由國土地理院製作與發行二萬五千分之一的「都會地區活動斷層圖」（圖三十二）。

「都會地區活動斷層圖」有兩項主要用途：一是可用於地域防災計畫擬定（例如災害潛勢分析、可能災害圖）、都市計畫參考（地方自治體都市計畫擬定）與學校教育（例如地理教育補充教材、居民地震防災意識宣導）；二為活斷層圖不僅只有活動斷層資訊，還包括了第四紀後期的地表地形資料，使用者可以知道地表狀況、地震誘生的各種地質災害可能區域、活動斷層附近地理條件情況等。

3-9 日本之地震調查研究體制

日本的地震地質調查研究體系主要分為三大部分，分別為「地震調查研究推進本部」、「地震預知連絡會」與「地震防災對策強化地域判定會」（圖三十三）。各組織簡述如下：

1. 「地震預知連絡會 (CCEP)」：

於 1969 年設立，此連絡會每三個月召開一次會議，每兩次會議便出版一本調查報告，主要負責情報交流，參與單位包括：國土地理院、防災科學技術研究所、各國立大學、國立天文台、地質調查所、海上保安廳水路部、氣象廳、通信總合研究所。

此會再依各單位所提供的資料，選定重點觀測區域，重點觀測區域分為兩種（圖三十四）：一為《特定觀測地域》，即是過去曾發生過大地震，最近沒有發生較大地震的地區、活動構造地區、最近地殼活動的活化地域、重要都會地區，例如北海道東部；另一為《觀測強化地域》，就是經大地觀測後，確認確實有異常發生的地區，例如南關東、東海地震區。

2. 「地震調查研究推進本部 (ERC)」：

日本有鑑於 1995 年的阪神-淡路大地震對該國產生的重大災害，於同年設立「地震調查研究推進本部」。透過地震預知連絡會所提供的資訊，評估地震可能的發生機率。短期任務為每月召開「地震調查委員會」；長期任務為評估日本境內已知的 98 條活動斷層的活動週期。

3. 「地震防災對策強化地域判定會 (JMA)」：

成立於 1979 年，主要負責東海地區的地震短期預知，因為東海地方自 1854 年發生安政東海地震以來，此後 130 年間，鄰近地區的關東大地震、東海南地震、南海地震皆已釋放應力，所以對未來可能發生重大災害的地震空白地區，評估其短期地震發生機率，並長期監測該區域的地殼變形，適時發佈警戒宣言。

四、研習心得

由於日本在國土測量與地殼變形研究方面，有百餘年的歷史，投注了大量的人力、物力，在地震研究與預測方面是世界上最領先的國家之一，有許多台灣學習與借鏡的地方。

1. 此次赴日研修現地調查因露頭間距離遙遠且時間有限，故只能由片段資料解讀斷層的故事。活動斷層調查區域若位於人口稠密區或交通要塞時，常因工程及安全考量而需將具有重要意義的露頭與槽溝回填，但是在日本的許多博物館與活動斷層研究中心仍可見到利用剝除技術保存的完整露頭或岩心（圖六），可見日本對於重要露頭的保存不遺餘力。
2. 日本地震預知聯絡會集合產、官、學界各種研究單位，每三個月召開一次會議，兩次會議出版一本會議報告。會議的主要功能為資訊交流，唯有快速而公開的資訊互相交流，才能在複合性細微的地震前兆發生時，經由眾人集思廣益，推斷出異常徵兆的可能意義。
3. 測量資訊：日本有一百五十年以上的土地測量、水準調查紀錄，而且不斷的累積新而大量的資料，由傳統測量資料可計算出國土不同的區域、不同的時間中所發生的變形量；大量持續累積且開放公眾使用的國土調查基本資料，使得日本的地殼變形研究持續領先。
4. 日本舊 GEONET 網的資料要處理 2~3 天後公開，新 GEONET 網可於 6 小時後公開，且繼續增建與升級現有觀測站。GPS 連續追蹤資料可透過網路查詢為最近一年內資料，長年資料需要另外上網索

取。各項措施都是希望更快更確實的提供資料給使用者，無論是研究單位的資料判斷，地方政府的警急救災體系，都可快速的依照情報分析狀況。

5. 為了推求日本列島間地殼變動情形，日本不但在全國設置點位密集的 GPS 全時追蹤站，隨時監測國土內的火山活動及地殼變形狀況，還設置了四個 VLBI(Very Long Baseline Interferometry) 超長基線電波干涉計接收站，精密求解日本國土變形向量，並與國際間的 VLBI 站聯測，推求地殼板塊間的位移速度場，投入的經費、時間、人力，足供我們借鏡及學習。

五、建議

1. 本所自從事活動斷層研究以來，已採用各種監測地殼變形的方法，試圖透過觀測斷層活動造成地殼變形的變化量，瞭解各斷層的活動週期及特性，推估其引發地震的規模及影響範圍，達到地震減災及防災的具體目標。此次研習活動讓我們體認到先進國家對國土的利用、即時資訊之提供以及地震災害的減災都有相當程度的重視，而且此工作的進行須為長期、持續不可中斷。我們也相信，各時期的觀測資料，都將是政府及人民的重要資產，對產、官、學界來說，都是不可或缺的防災資訊。
2. 日本交通省國土地理院雖有最先進的技術與儀器設備，但是對於已淘汰的舊設備，仍用心保存；除可供民眾參觀外，亦可用於教育導覽用。台灣對於舊儀器的處置，除了當成廢五金便宜出售外，也應有長遠的眼光。
3. 日本交通省國土地理院，負責國土測量、資訊公佈與相關法規管理工作，出版多種地圖成果，包括土地利用圖、火山基本圖、火山土地條件圖等等；測量技術包括重力、磁力等地球物理測量技術；其他類型的地圖包括都市圈活斷層圖。有許多本所可以交流學習的地方，尤其在都市地區土地調查方面，包括坡地類型與地表覆蓋物的劃分。
4. 干涉 SAR 為一項有力的調查工具，但受限於影像單價昂貴，衛星角度等問題，可使用的資料有限。日本國土地理院使用大量干涉 SAR 對比資料時，主要是使用日本發射的 JERS 衛星，因為固定從日本上空經過，每日皆可拍攝相當數量的影像資料，可連續且

大量的累積與取得衛星影像，且供應日本本國研究單位的價格低廉。台灣的華衛二號順利升空後，應該可以發展良好的干涉 SAR 應用。

六、參考資料

王超、張紅、劉智（2002）星載合成孔徑雷達干涉測量，科學出版社，共 235 頁。

加藤碩一、杉山雄一（1985）五十萬分之一金沢活構造圖，日本地質調查所，圖幅第十號。

胡明城、魯福（1993），現代大地測量學，測繪出版社。

國土地理院（1999）國土地理院の觀測與研究-地震予知，共 40 頁。

曾清涼、儲慶美（1999），GPS 衛星測量原理與應用，台南。

曾清涼、余致義、何慶雄、劉啟清、楊名，(1997)，GPS 衛星定位測量實務，衛星資訊研究中心，成功大學。

葉怡成（2000），測量學—21 世紀觀點，東華書局，台北。

傅碧宏（2003）未發表。

Takeuchi, A., and Ongirad, H. (2003) Recurrence interval of big earthquakes along the Atotsugawa fault system, central Japan: Results of seismo-geological survey, *Geophysical Research Letters*, vol. 30, no. 6, 8011.

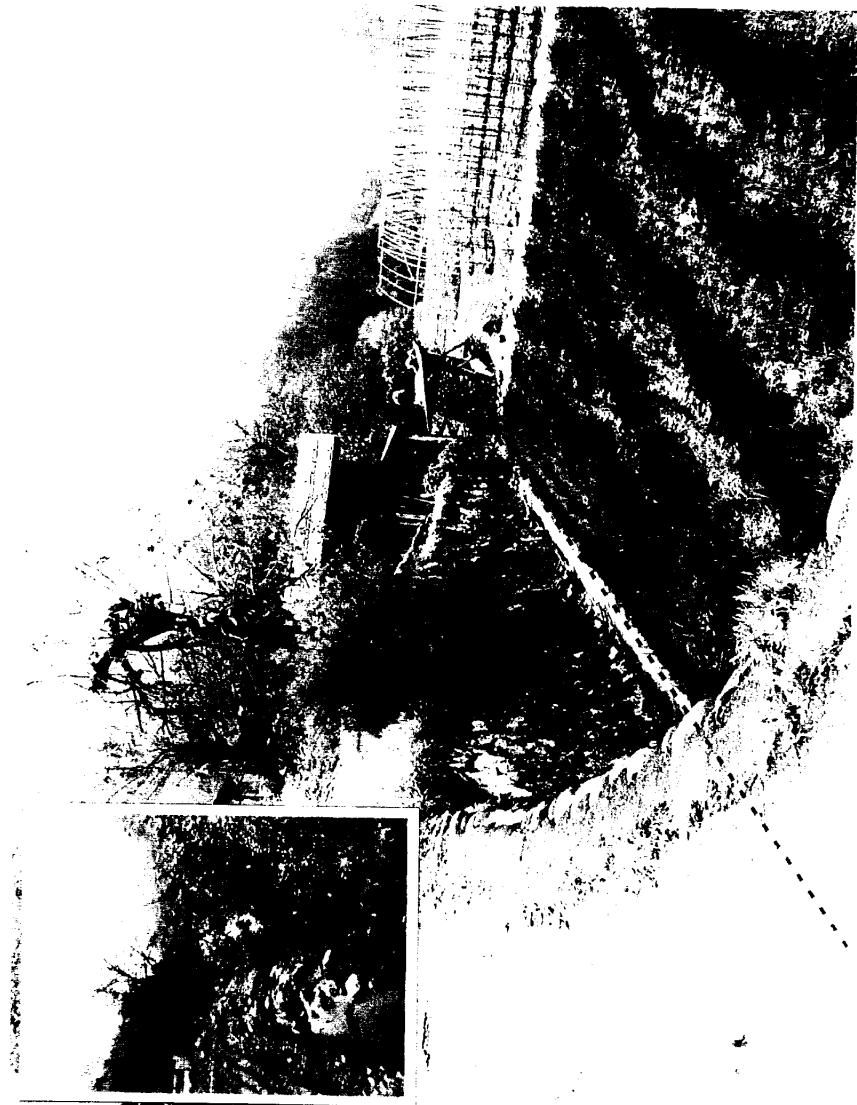
附錄



圖一 跡津川斷層與牛首斷層位置圖。(加藤碩一與杉山雄一, 1985)



圖二 跡津川斷層位於在野首地區形成一高約 0.6-1 公尺的直線狀反斜崖。



圖三 野首東方一高約 5 公尺的直線狀反斜崖。

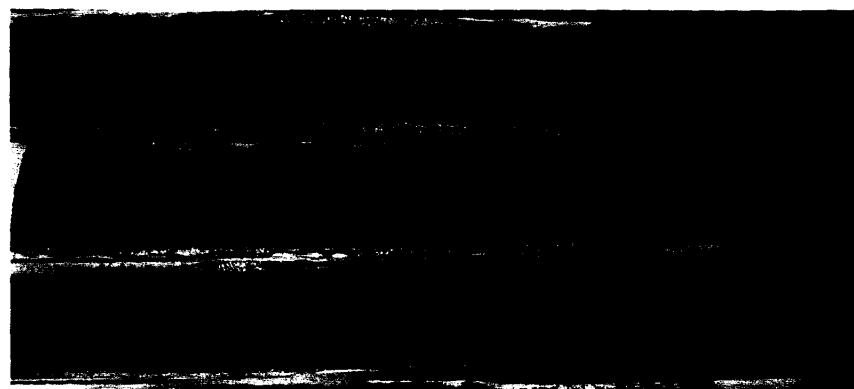
圖四 牛首斷層與阿津川斷層沿線之衛星影像圖。(傅碧宏，2003)

30

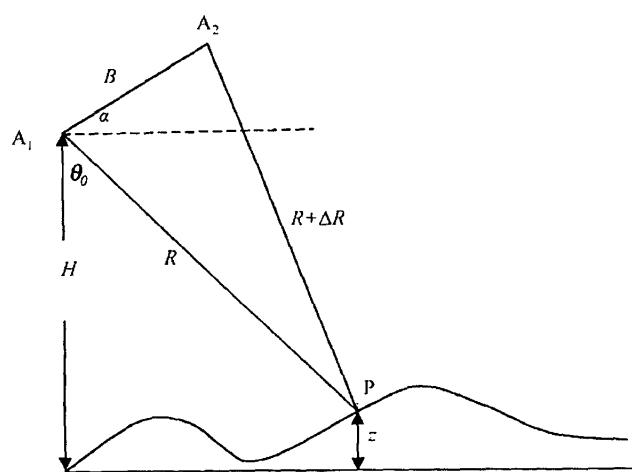
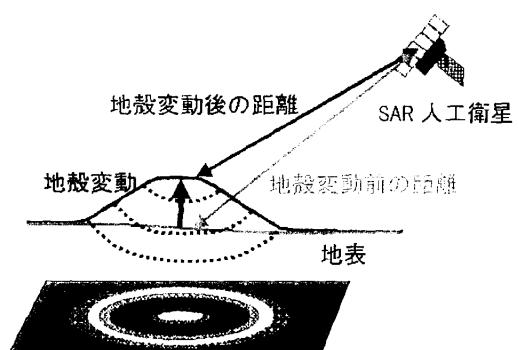




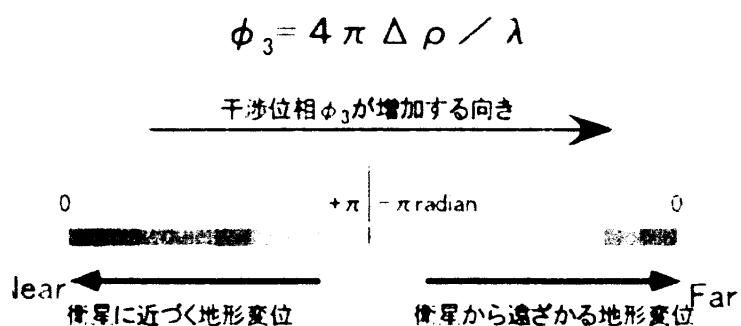
圖五 牛首斷層於水無地區之露頭。照片左方出露破碎的角礫狀片麻岩，中間為約0.4公尺的斷層泥，右方為破碎的角礫狀花崗岩。



圖六 日本地質調查所內保存完整的岩心。



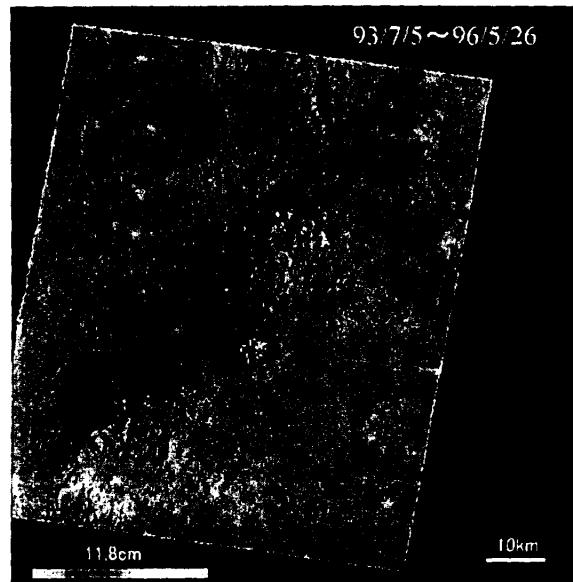
圖七 上圖為 SAR 干涉成相示意圖，下圖 A_1 、 A_2 表不同的天線位置，B 為基線長。(摘自王超等，2002)



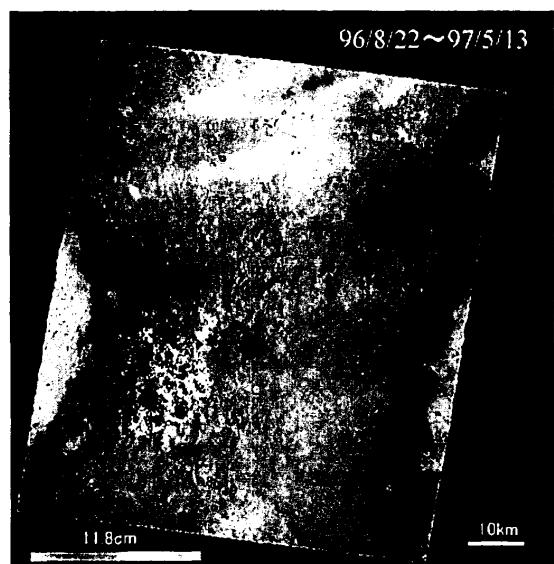
圖八 干涉環的判釋方法，首先觀察顏色的改變趨勢，上圖綠線干涉環由藍變紅再變黃，表示地表地形與衛星距離增加，所以此地相對於衛星而言地盤是在沈陷的。當干擾環由紅變藍再變黃，表示地表地形與衛星距離減少，所以此地相對於衛星而言地盤是在抬升，如上圖藍線。判釋後再利用公式將干涉環量換算成實際的變形量。(國土地理院資料)

Band	Frequency	Wavelength
UHF	300-1000 MHz	1m-30 cm
P	230-1000 MHz	1.3m-30 cm
L	1000-2000 MHz	30-15 cm
S	2000-4000 MHz	15-7.5 cm
C	4000-8000 MHz	7.5-3.75 cm
X	8000-12500 MHz	3.75-2.4 cm
Ku	12.5-18 GHz	2.4-1.67 cm
K	18-26.6 GHz	1.67-1.13 cm
Ka	26.5-40 GHz	1.13-0.75 cm
millimeter	40 GHz<	0.75 cm>

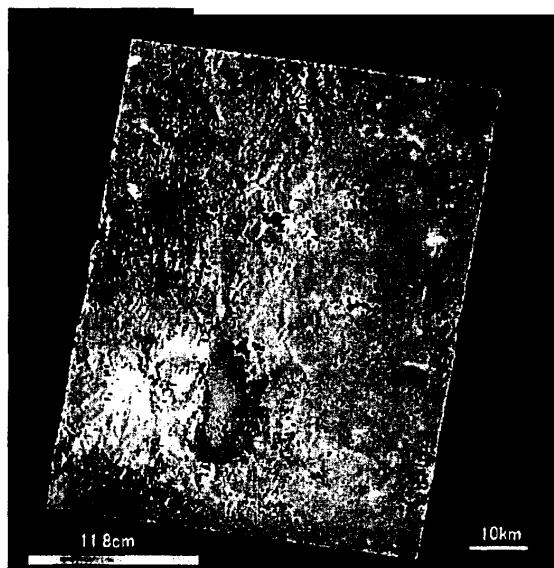
圖九 L 波段與 C 波段的波長資料。(國土地理院資料)



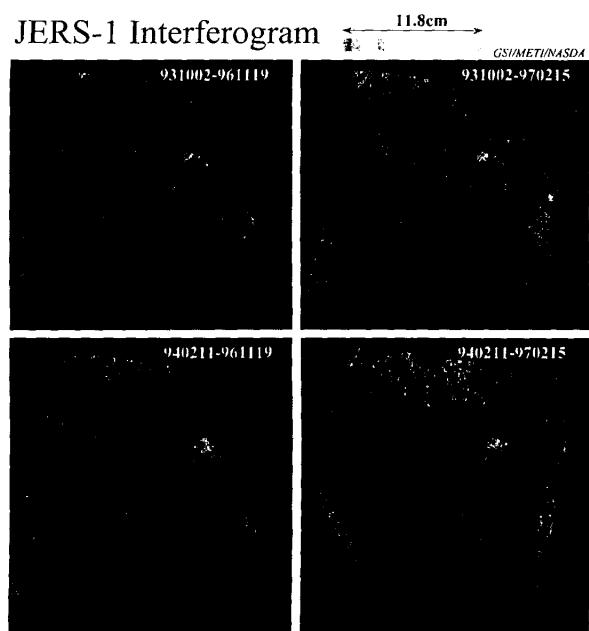
圖十 地震前 (1993/7/5-1996/5/26)，震源附近的干涉影像圖，附近的活火山並未見到任何干涉環。(國土地理院資料)



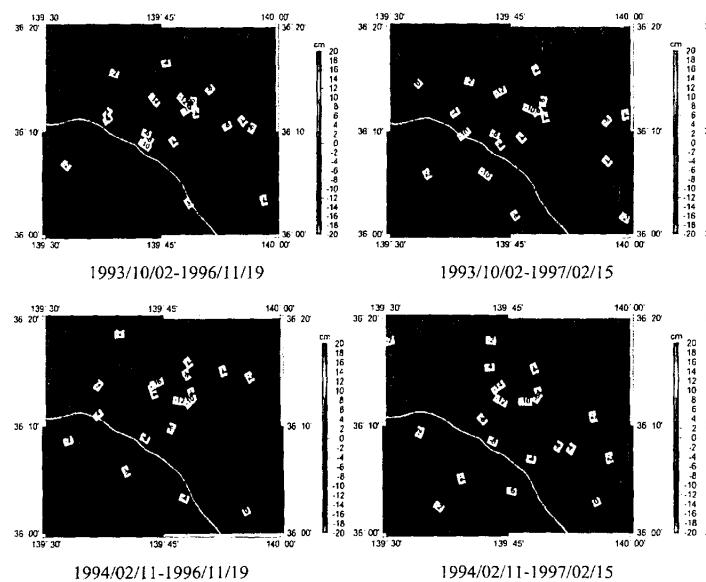
圖十一 地震後(1996/8/22~1997/5/13)，震源附近的干涉影像圖，附近的活火山有干涉環出現，但是因為水蒸氣的影響，使的干涉結果不甚理想。(國土地理院資料)



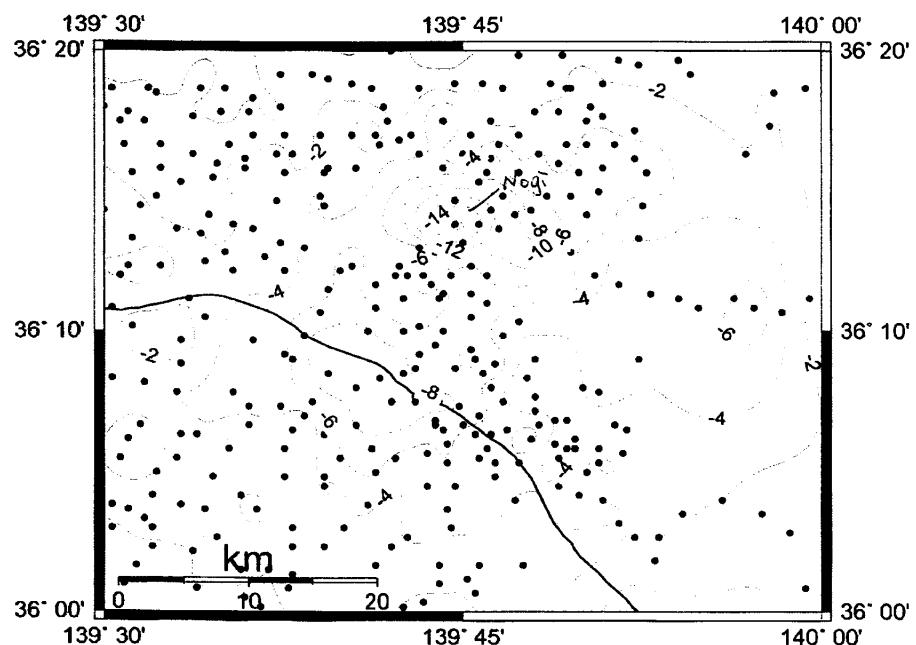
圖十二 將地震前與地震後的干涉影像圖平均化處理，扣除掉大氣效應後，就可發現活火山附近有明顯的干涉環。(國土地理院資料)



圖十三 1993-1997 年間，利根川地區的合成孔徑雷達干涉圖 (JERS-1 資料)。(國土地理院資料)

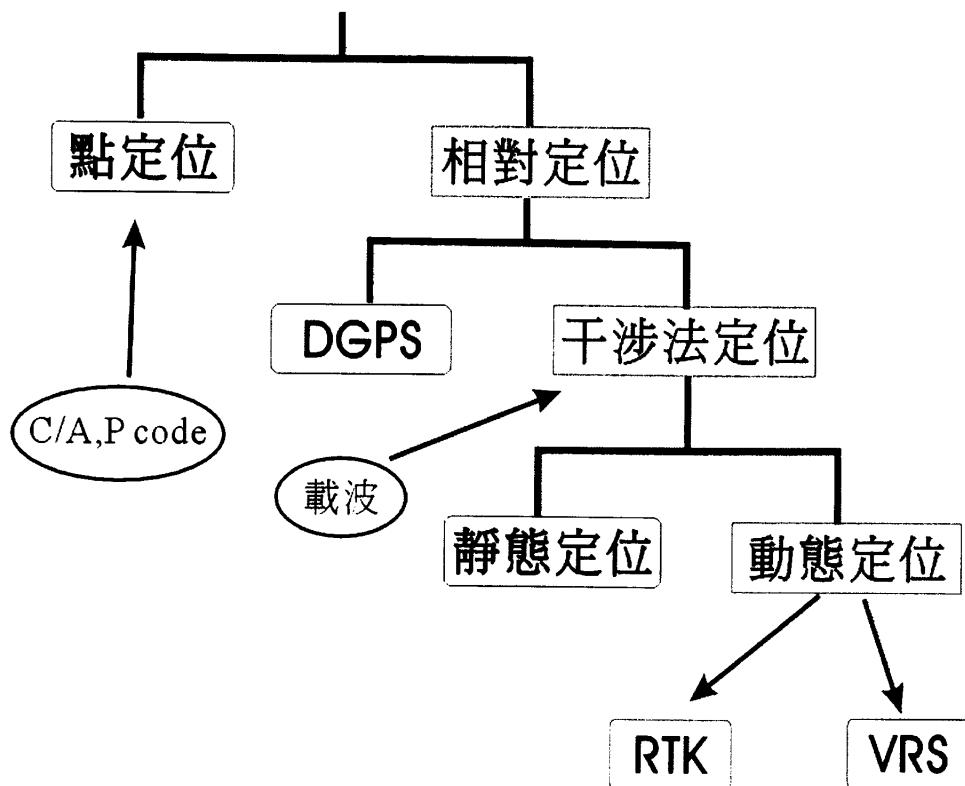


圖十四 由上圖之合成孔徑雷達干涉資料所獲得的地盤沈降量。(國土地理院資料)

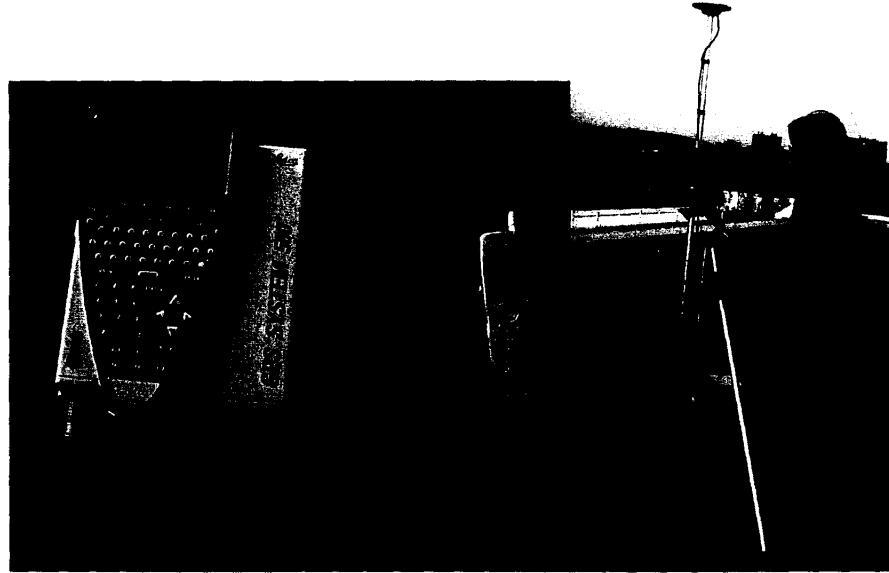


圖十五 1994/01/01-1997/01/01 年間，利根川地區的水準測量資料，負值表示地盤沈降。(國土地理院資料)

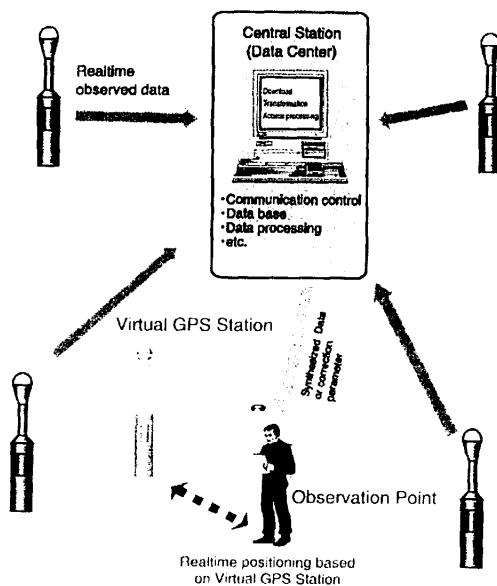
GPS的應用



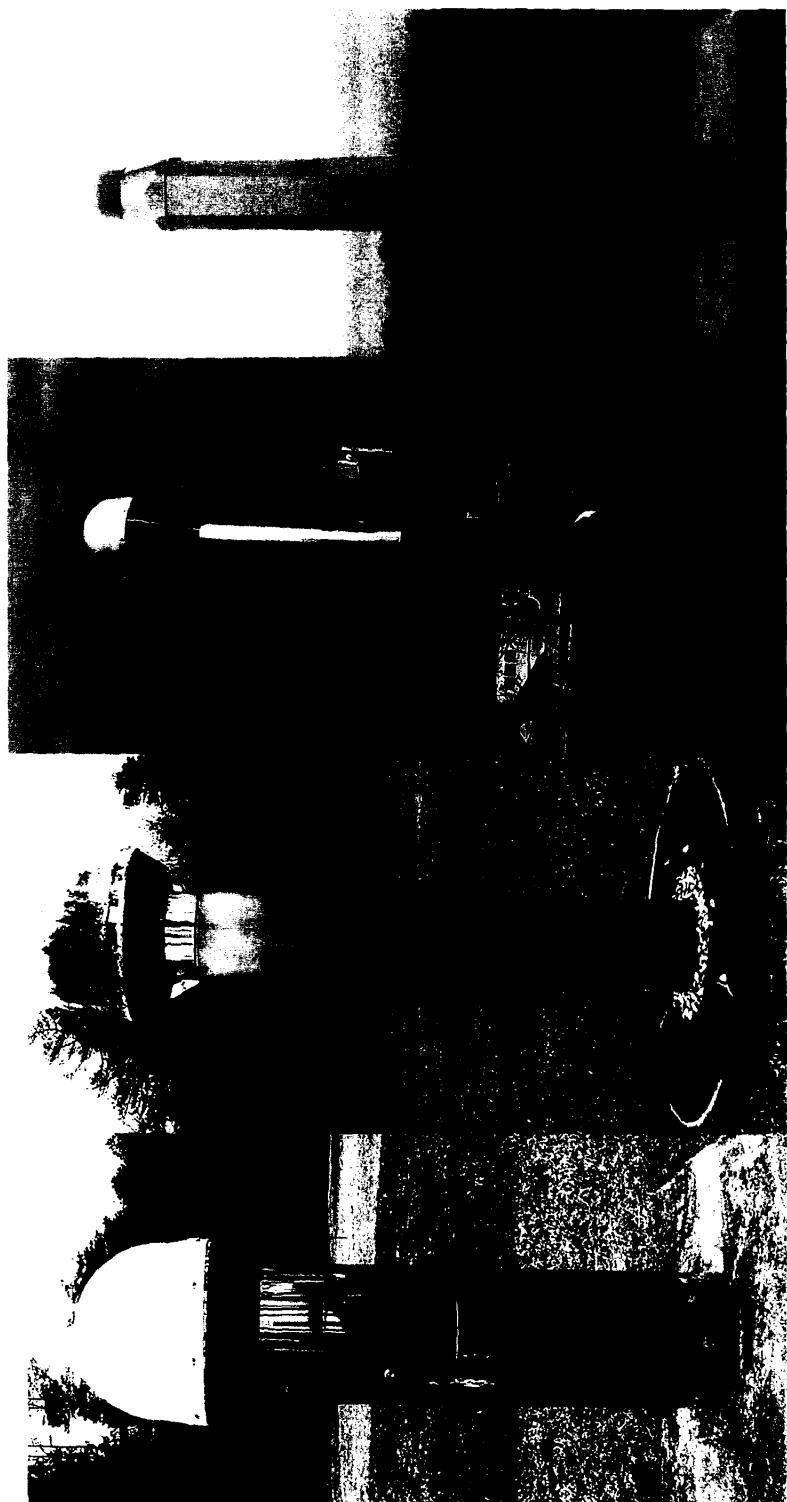
圖十六 GPS 目前的應用方法。



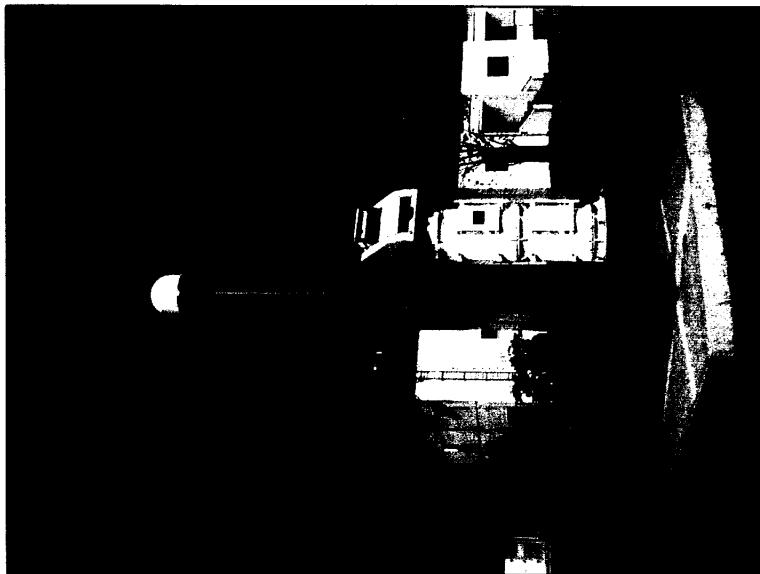
圖十七 左圖為 RTK GPS 測量移動站接收儀控制器（顯示衛星狀況及定位精度等資訊，測量點位亦可事先建檔後選用）與通訊設備；右圖為施做情形。



圖十八 VRS-GPS 觀測法示意圖。（國土地理院資料）



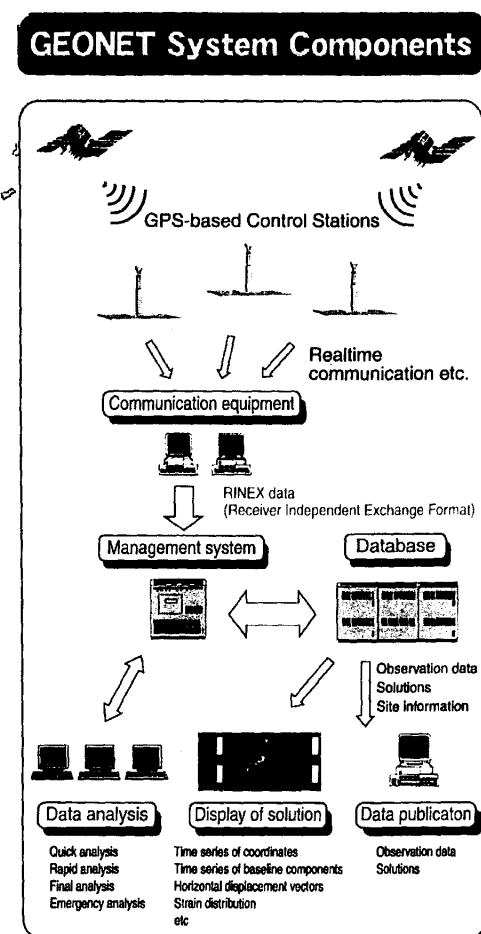
圖十九 日本之電子基準點（GPS連續追蹤站）設備之發展演替圖，最右邊為2002年最新的電子基準點。



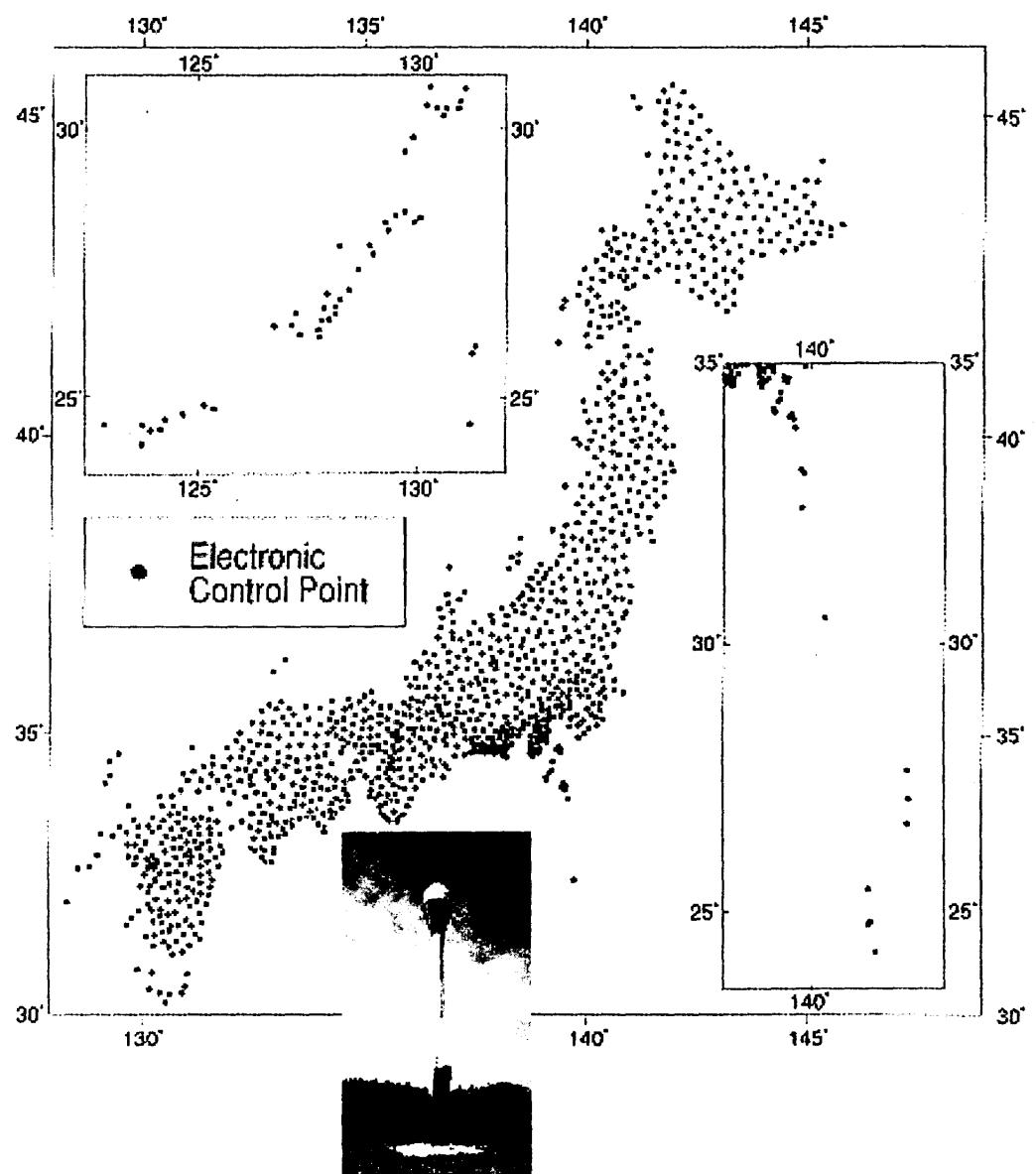
圖二十一左圖為新一代雙管型 GPS 電子基準點（位於國土地理院），右圖為電子基準點內儀器擺放情形
(摘自國土地理院網站)。



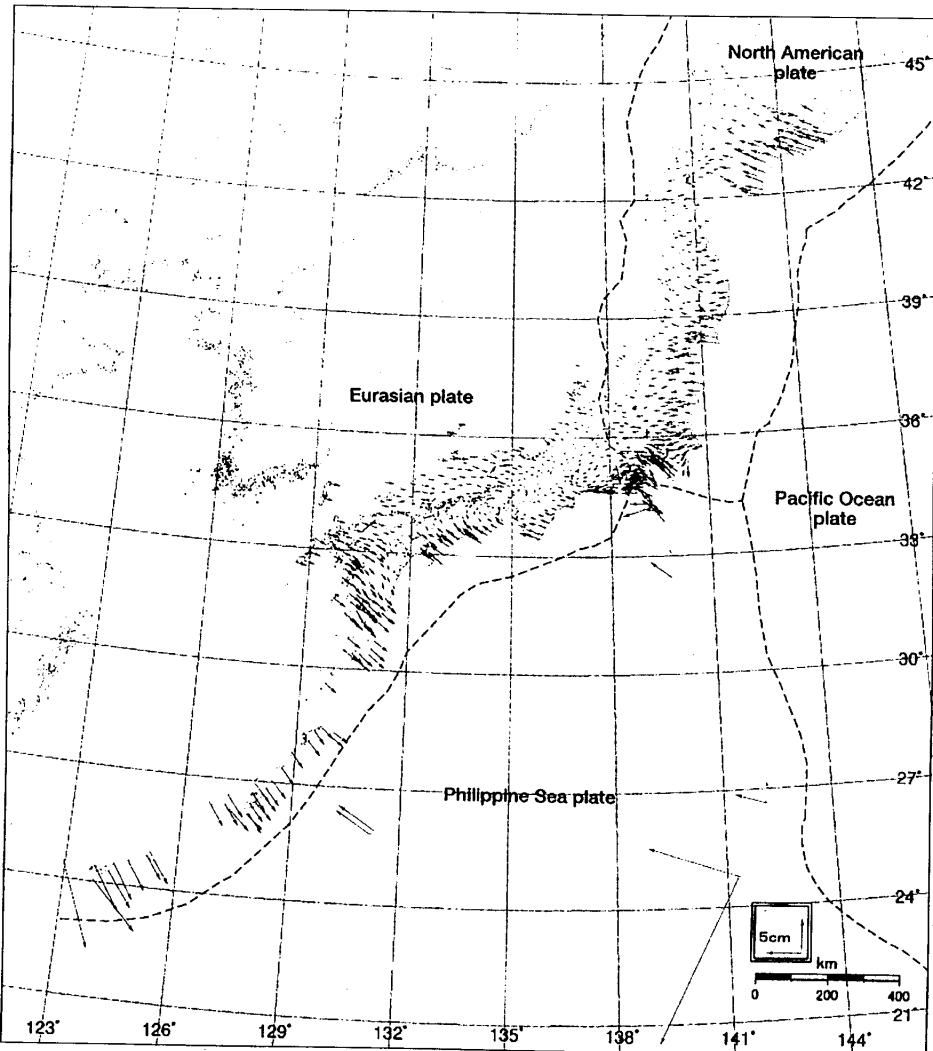
圖二十一 左圖日本最新的電子基準點之接收器：Trimble 5700RC；右圖為 GPS 天線：TRM 29659.00(又稱 ChokeRing Antana)。(國土地理院資料)



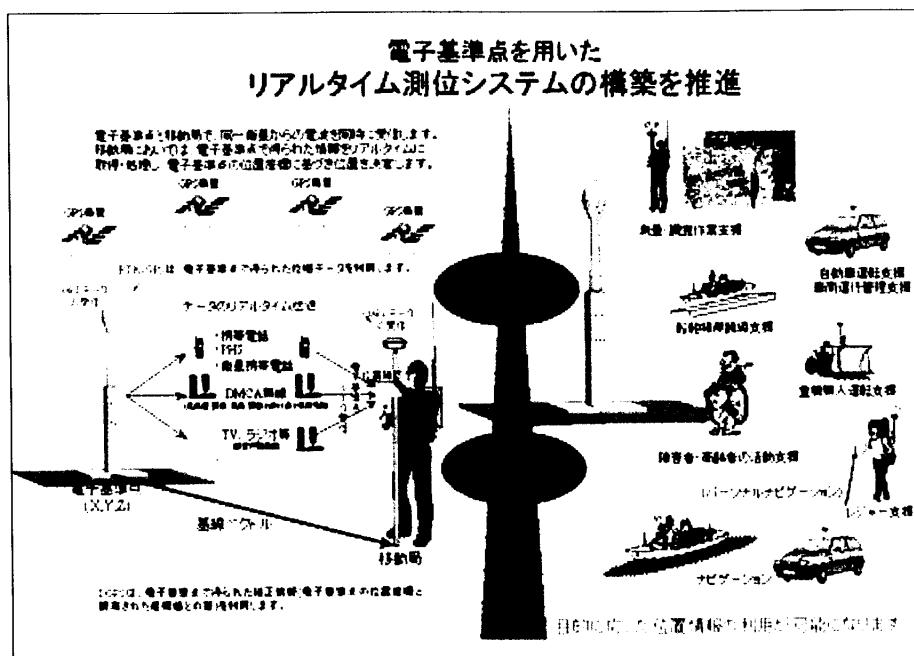
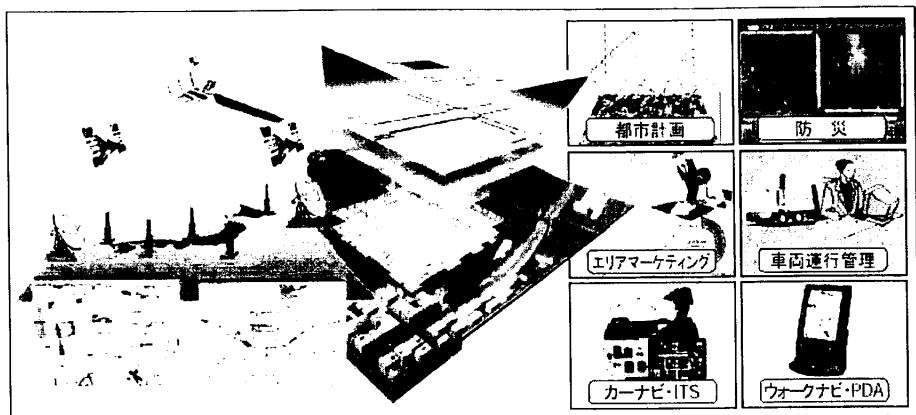
圖二十二 日本 GEONET 構成示意圖 (國土地理院資料)。



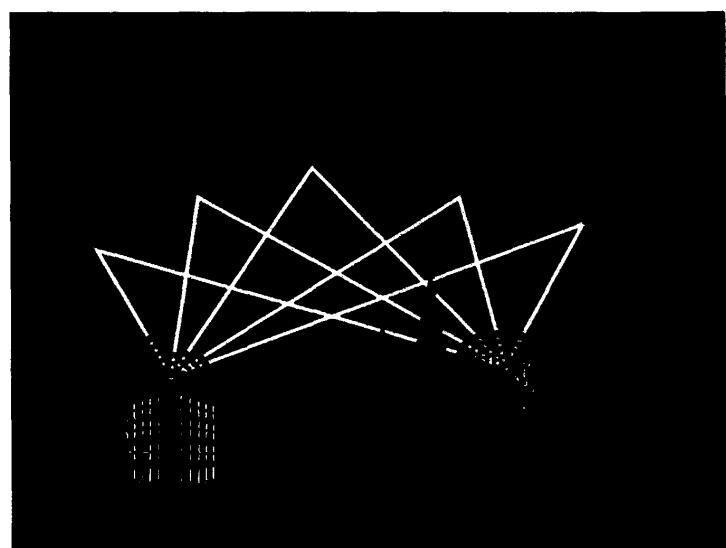
圖二十三 日本的電子基準點分佈圖。(國土地理院資料)



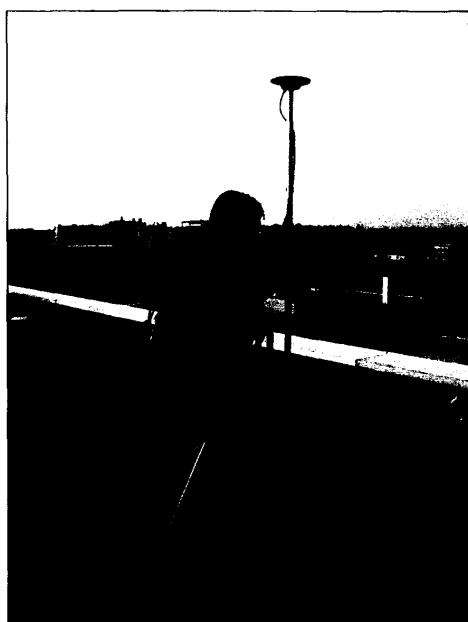
圖二十四 利用 GEONET 可快速的監測並計算地殼變動。此圖為 2000 年日本之地殼水平運動向量圖（固定站為 Ohgata 及 Nigata），日本東部與日本西部有不同的水平地殼運動向量，兩者間由日本中部糸魚川構造系分隔。（國土地理院資料）



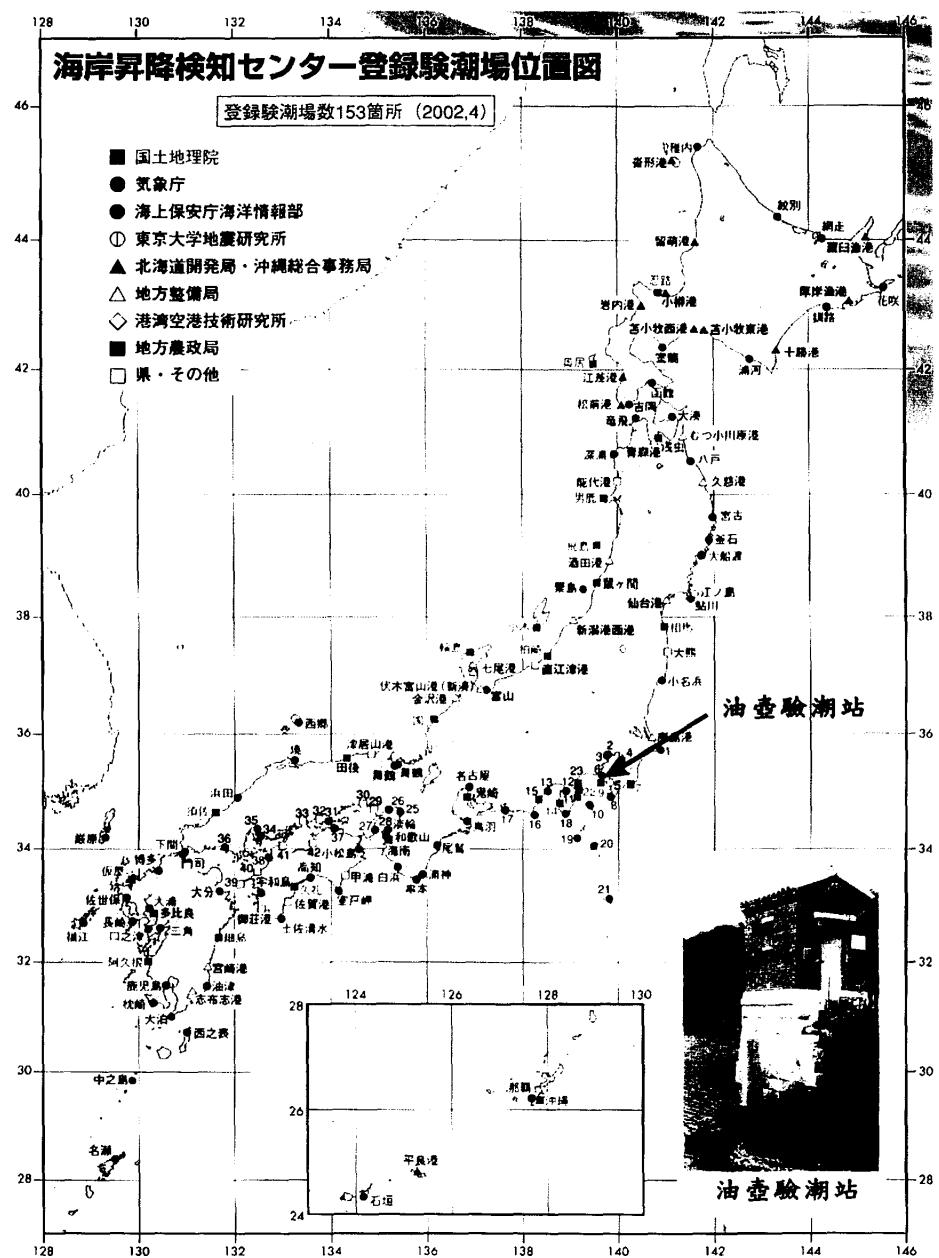
圖二十五 GEONET 提供用戶使用情形（國土地理院資料）。



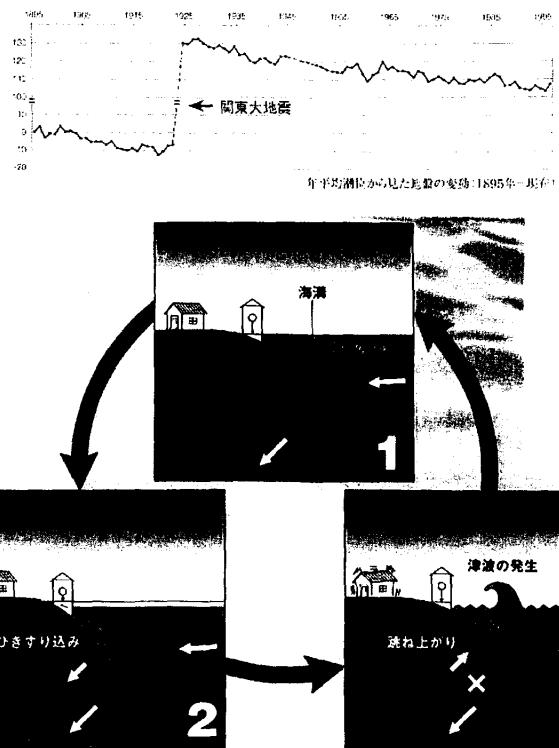
圖二十六 RTK GPS 測量原理。



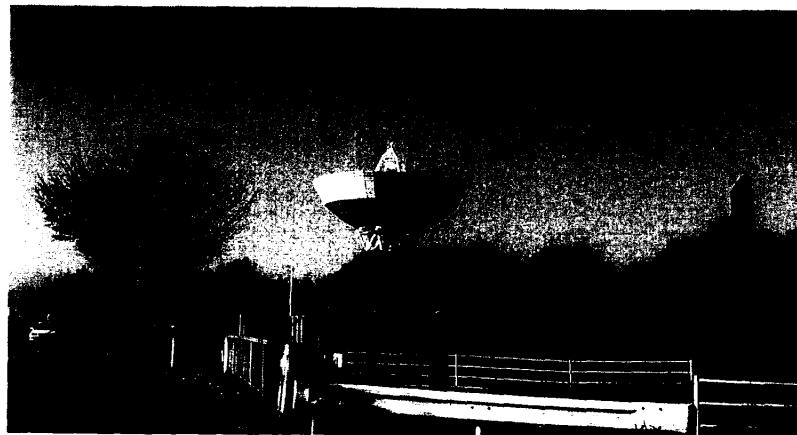
圖二十七 RTK GPS 測量移動站測量情形（觀測人員只須定心、定平後開始測量，約 12 秒後即可立即定位）。



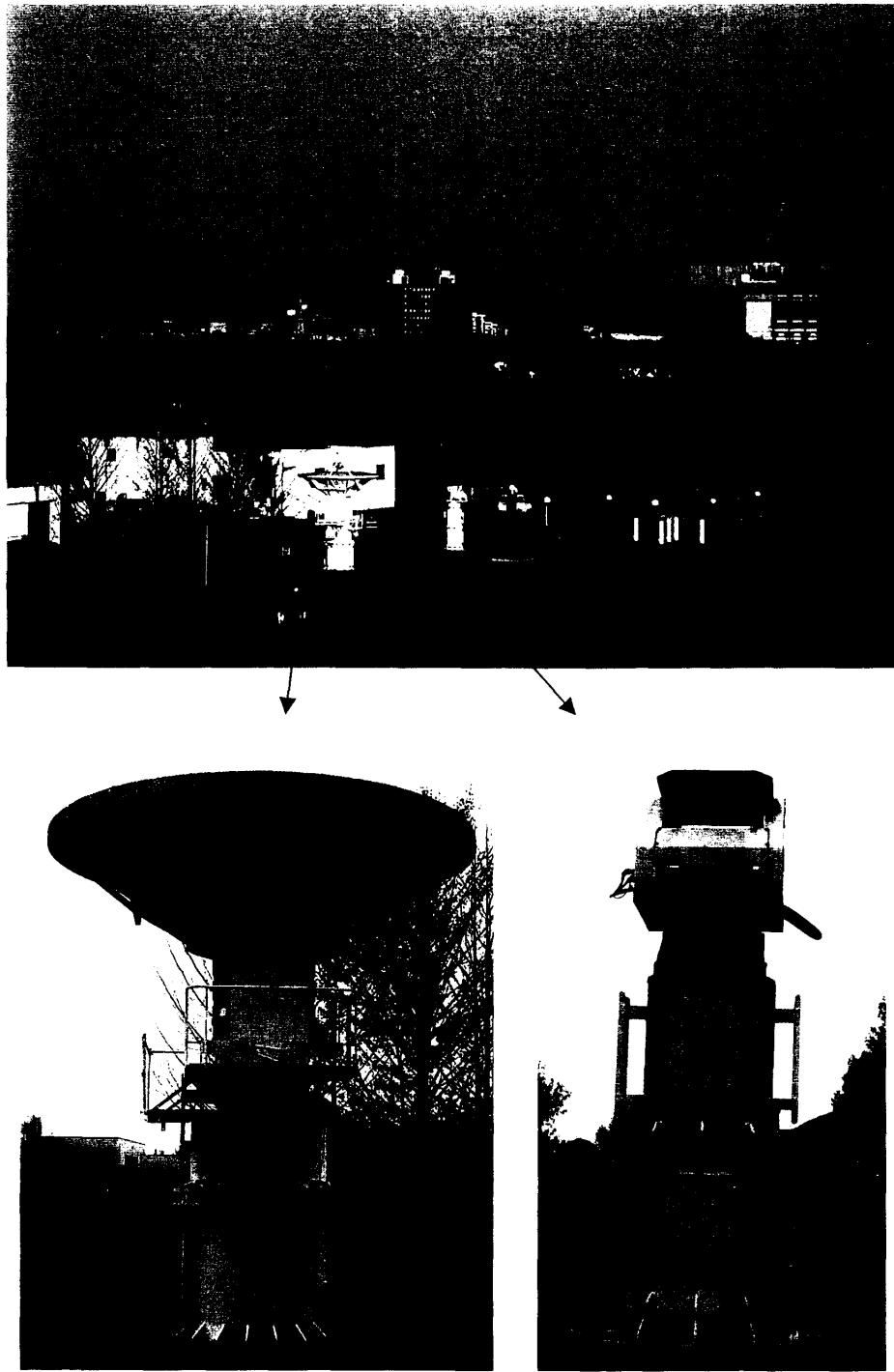
圖二十八 日本境內驗潮站的分佈。(國土地理院, 1999)



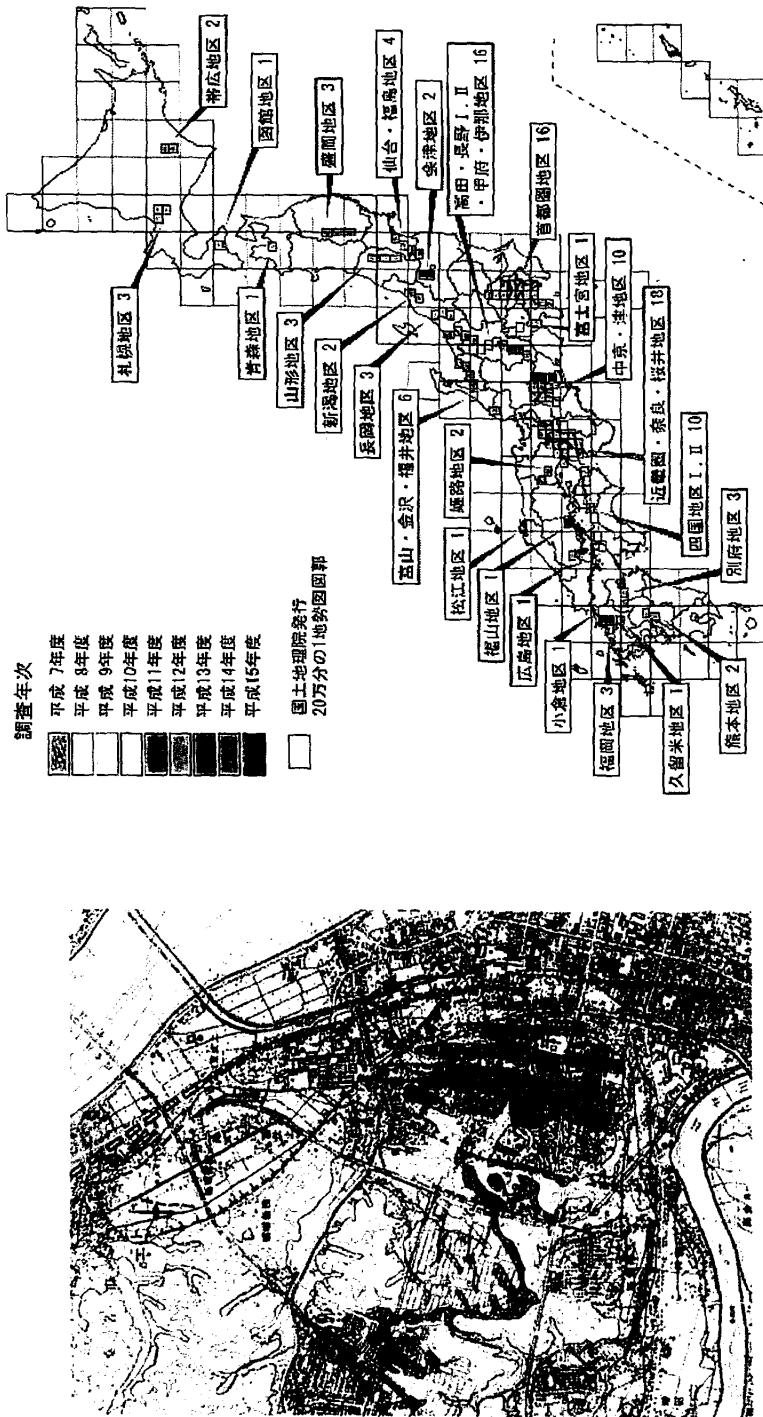
圖二十九 上圖為 1923 年年 9 月關東大地震時油壺驗潮站觀測到潮位升高 1.4 公尺異常的現象，下圖是海溝型巨大地震造成潮汐變化的示意圖。(國土地理院，1999)



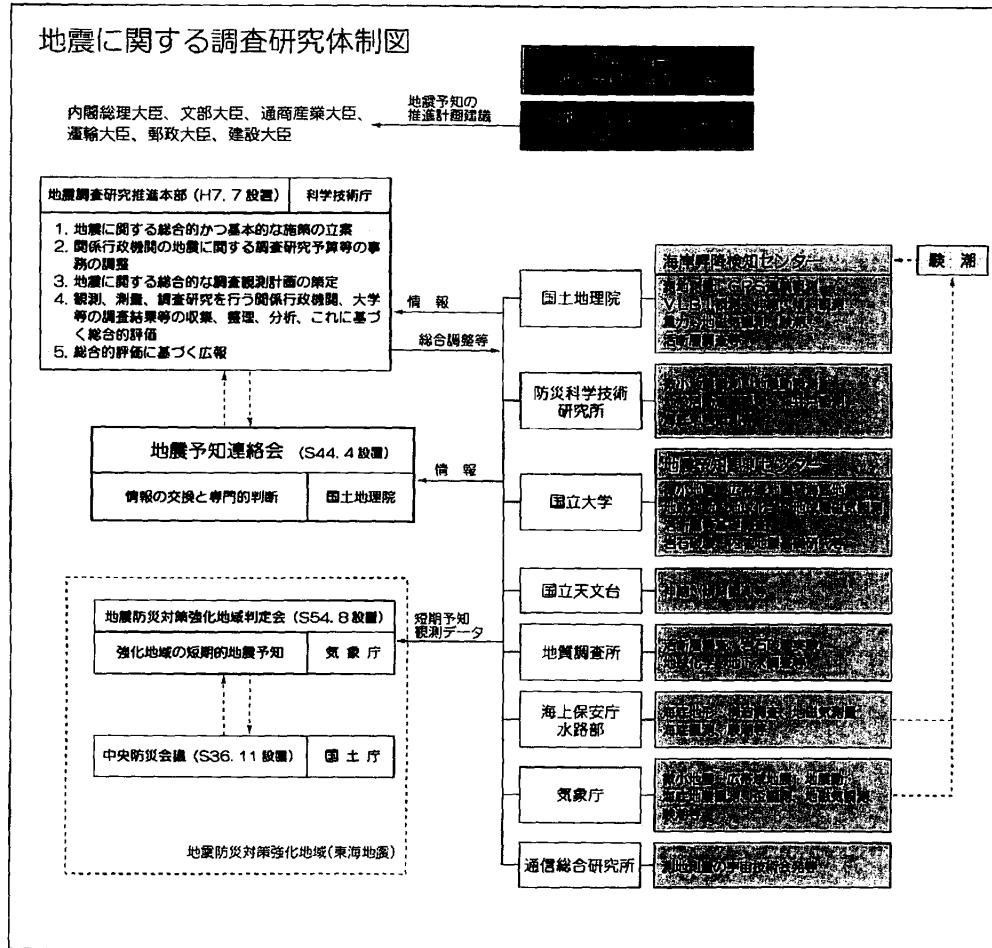
圖三十 國土地理院自 1995 年開始運作的超長基線電波干擾計 (VLBI) (位於筑波市)，天線直徑 32 公尺，重量 550 噸。



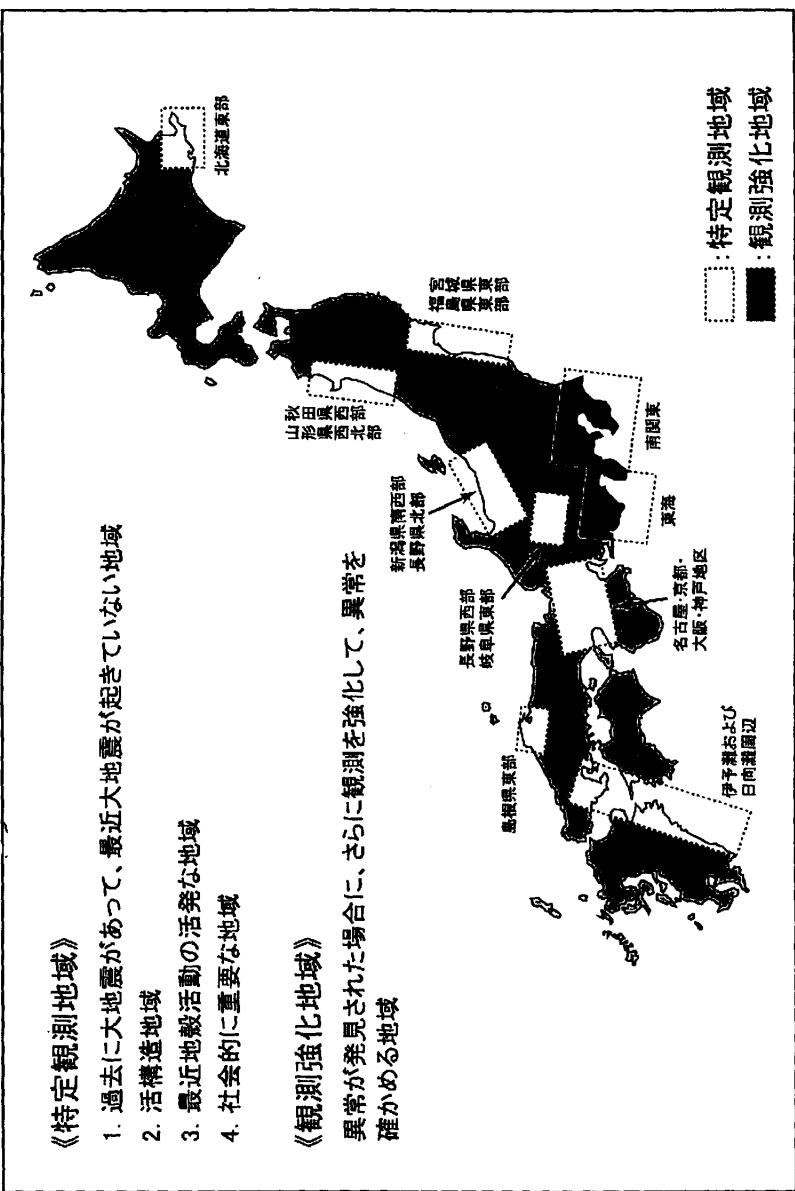
圖三十一 國土地理院將其淘汰的電子基準點及超長基線電波干涉計（VLBI）統一置放於院內廣場，可教育兼供民眾參觀。



圖三十二 圖左為日本「柔名」都會區活動斷層圖部分內容，圖右為截至 2003 年日本都會區活動斷層圖的調查現況。
 (國土地理院資料)



圖三十三 日本的地震調查研究體制圖。(國土地理院資料)



圖三十四 日本地震調査の重點調観測区域割分。（國土地理院資料）