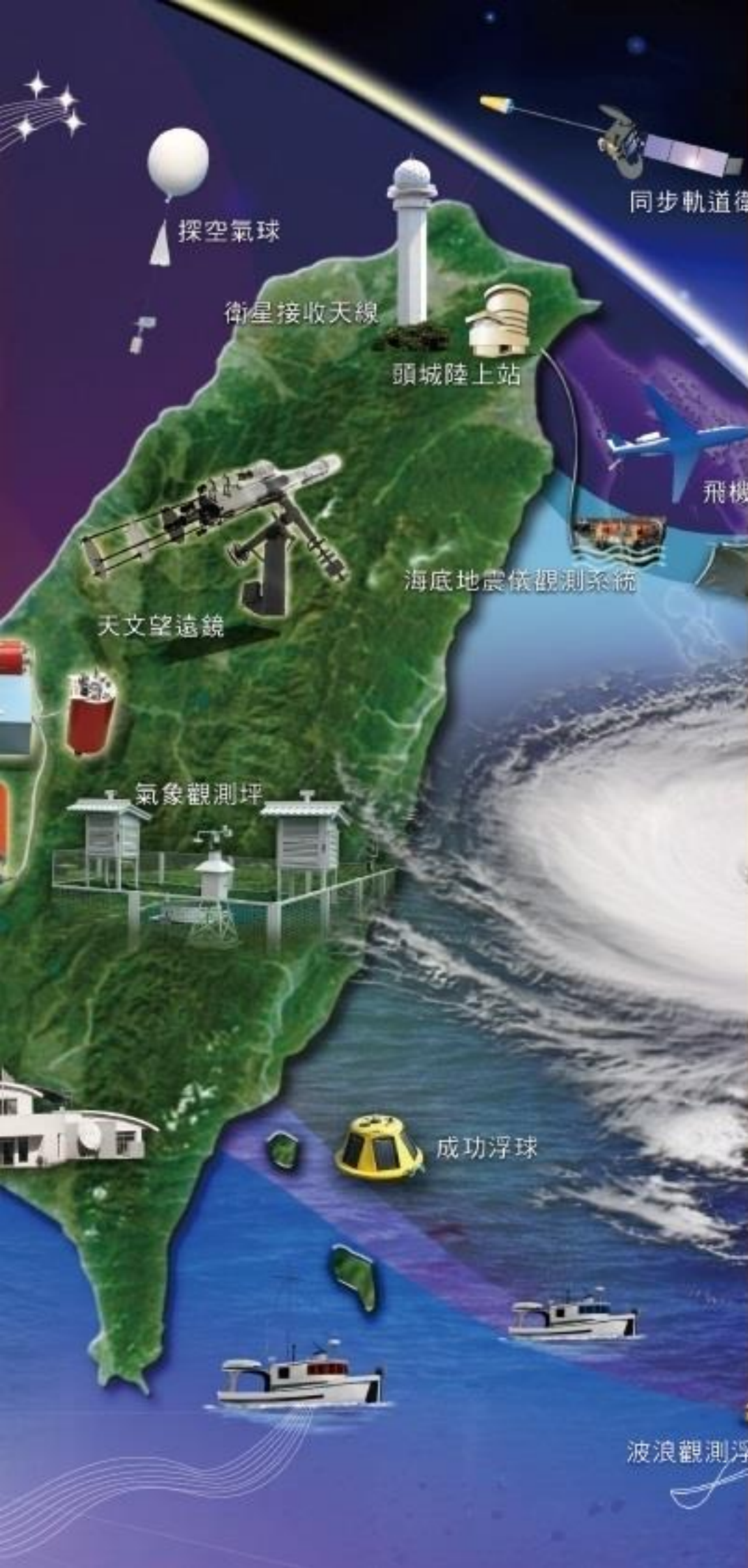


# 地震年報



探空氣球

衛星接收天線

頭城陸上站

同步軌道衛星

飛機投落送

海底地震儀觀測系統

天文望遠鏡

氣象觀測坪

成功浮球

波浪觀測浮標

極軌道衛星

*Seismic Observation*

*2015 Annual Report*

交通部中央氣象局



CENTRAL WEATHER BUREAU

# 中央氣象局 105 年地震年報

## 目錄

一、前言 .....	1
二、地震觀測.....	2
(一) 地震觀測系統 .....	2
1. 即時地震觀測網.....	2
2. 強地動觀測網.....	3
3. 臺灣東部海域電纜式海底地震儀 .....	7
4. 井下地震觀測站.....	10
5. 大屯火山即時地震監測網.....	12
(二) 地震活動分析 .....	13
1. 全區地震活動常態分析 .....	13
2. 大屯火山地震活動分析 .....	22
3. 小結 .....	25
三、地球物理觀測 .....	26
(一) 地球物理觀測系統.....	26
1. 全球衛星定位系統 .....	26
2. 地下水位觀測系統 .....	27
3. 地磁全磁場觀測系統 .....	27
(二) 地球物理觀測資料分析 .....	30
1. 地殼形變觀測.....	30
2. 電離層全電子含量 (Total Electron Content, TEC) .....	33
3. 地下水位觀測.....	34
4. 地磁全磁場觀測.....	37
四、地震速報作業 .....	39
(一) 有感地震報告 .....	39
(二) 地震速報系統速報效能分析 .....	40

五、海嘯警報發布作業 .....	43
六、強震即時警報應用推動.....	44
(一) 背景 .....	44
1. 原理與限制.....	44
2. 推動規劃.....	44
(二) 2016 年執行成效 .....	45
1. 系統效能.....	45
2. 通報、推廣成果.....	49
(三) 後續工作 .....	50
七、地震個案討論 .....	51
(一) 2016 年 2 月 6 日美濃地震.....	51
(二) 2016 年 5 月 12 日宜蘭地震.....	54
(三) 2016 年 5 月 31 日臺灣東北外海地震 .....	58
(四) 2016 年 10 月 6 日臺東綠島地震.....	61
八、結語 .....	65
九、附錄.....	66
(一) 地震測報發表論文.....	66
(二) 參考文獻 .....	71

## 一、前言

臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交界處，屬於環太平洋地震帶的一部分，大大小小的地震持續不斷地發生，每隔數年即會出現一次災害性地震，造成人民生命財產的損失。因此臺灣民眾經常體驗大地的撼動，防震意識是生活中不可或缺的一部分。

中央氣象局（以下簡稱本局）職司臺灣及鄰近地區的地震監測任務，每年投注相當多的人力與經費從事此項業務，經常性地即時發布有感地震報告和海嘯資訊周知防救災單位與民眾。經本局統計，本(2016)年臺灣地區共發生48,830個地震，並發布678筆有感地震報告，其中112筆地震之震度影響範圍較大，為顯著有感地震，另566筆地震之震度影響範圍較小，為小區域有感地震。平均每筆顯著有感地震對外發送之簡訊約550則，對象包括政府機關、防救災相關單位、重大民生機構、學術機構以及大眾傳播媒體等，相關資訊可提供縣市防救災單位作為應變決策與救災調度的參考。

本局自民國1989年成立地震測報中心專責地震測報任務迄今，已執行4期強地動觀測計畫，本(2016)年起開始執行強地動觀測第5期計畫，完成增建高品質深井地震站及更新強震站儀器設備，使地震測報作業在品質與精確度皆得以提升，在地震測報方面的業務推展與先進國家相較並不遜色。出版地震測報年報，主要的目的除展現地震測報的結果與地震活動情形外，同時也說明各地震測報作業系統與設備之建置情形，記錄業務發展過程。

## 二、地震觀測

### (一) 地震觀測系統

#### 1. 即時地震觀測網

本局被賦予監測臺灣地區地震活動的任務，經由發展即時地震觀測網，將地震儀所記錄到的各種地振動訊息，透過傳輸線路即時傳回臺北資料處理中心，除了可以做為地震學的研究與應用外，也提供災害應變單位在地震救災上重要的參考依據。

自2010年起，本局執行「強地動觀測第4期計畫－建置新一代地震觀測系統」，全面更新地震即時站的儀器及傳輸方式。一方面提升測站訊號的取樣率至每秒100點及24位元資料紀錄解析度，同時建置井下地震觀測網，以降低地表雜訊干擾，提升訊號品質；另一方面發展資料整合作業，結合短週期、地震速報、寬頻、井下地震觀測網及國外 IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) 資料交換中心所提供的全球即時地震觀測資料，以增加地震觀測站的密度並擴大偵測範圍，此一新的地震觀測系統稱為「24位元地震觀測系統」，並自2012年起開始啟用。透過資料整合，使得地震測報不再是各個觀測網獨立觀測，而是進入聯合觀測的新時代。

自2016年起，本局執行「強地動觀測第5期計畫－強震即時警報於防災之應用」，持續分年增建地震監測設備，納入「24位元地震觀測系統」，2016年包括建置3座井下地震觀測站，累計完成54座井下地震觀測站；完成汰換自由場地震站強震儀10套，將強震儀儀器資料解析度由16位元提升至24位元；為加強地震海嘯監測，擴展電纜式海底地震及海嘯觀測系統由45公里延伸至115公里，並將海底地震及海嘯觀測站由1座增加至3座。由井下地震觀測站與海底地震儀互相整合後便成為完整的海陸即時地震觀測網，可以加強地震及海嘯的監測，提升強震即時警報系統的效能，增加臺灣東部海域強震預警時間，將海嘯的災害減至最輕，使民眾的生命財產安全能獲得更佳的保障。至2016年底，此地震觀測系統的地震站數約有194個，其測站分布與系統架構如圖2.1.1所示。

最新地震統計資料顯示近3年(2014~2016年)測得的地震個數分別為36,762、44,837及48,830個，呈現每年遞增的趨勢，其

中最大的差異是在規模2以下的地震數量。規模2以下的地震在2013年測得35,694個，2014~2016年分別測得28,055、33,543及38,535個，相較以往增加了許多，規模2以上的地震在2014~2016年則分別為8,707、11,294及10,295個，主要原因在於「24位元地震觀測系統」較16位元系統大幅提升微小地震觀測訊號解析能力，增強了規模2以下微小地震的偵測能力。

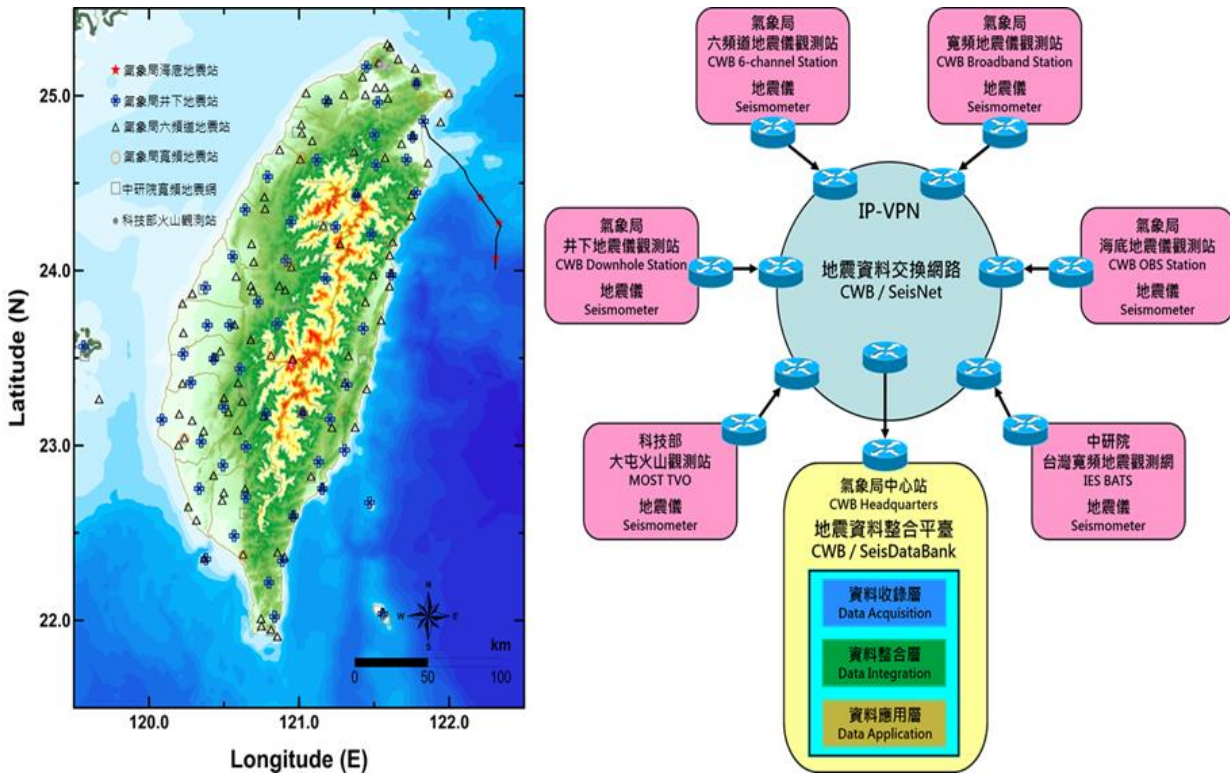


圖2.1.1 24位元地震觀測站分布與系統架構圖。

## 2. 強地動觀測網

由於臺灣地區地質環境非常複雜，同一地區內之不同地點，往往具有不同的強地動特性，影響強地動特性的主要因素有三項：包括震源規模和破裂過程及形式的震源效應（source effect）、震波傳遞的路徑效應（path effect）、地震波因局部地質所引起的場址效應（site effect）。因此為加強臺灣各地區之強地動觀測，提升該相關領域之研究工作，以達到減輕地震災害的目的，本局設置臺灣強地動觀測網，包括自由場強震站（Free-field Strong-motion Station）及結構物強震監測系統（Strong-motion Building Array）。上述兩類測站的差別在自

由場強震站強震儀記錄地震時地表三向量的振動，而結構物強震監測系統則是記錄建築物中不同樓層或位置受地震力作用下所反應的不同振動情形。

截至2016年底，自由場強震站總共為790站（圖2.1.2），結構物監測系統則是57站（座）（圖2.1.4）。自由場強震站中有70站是為加強山區的強地動觀測，自2006年起至2012年止與中央研究院地球科學研究所合作建置。（稱山區自由場強震站，如圖2.1.2 十字符號所示）。

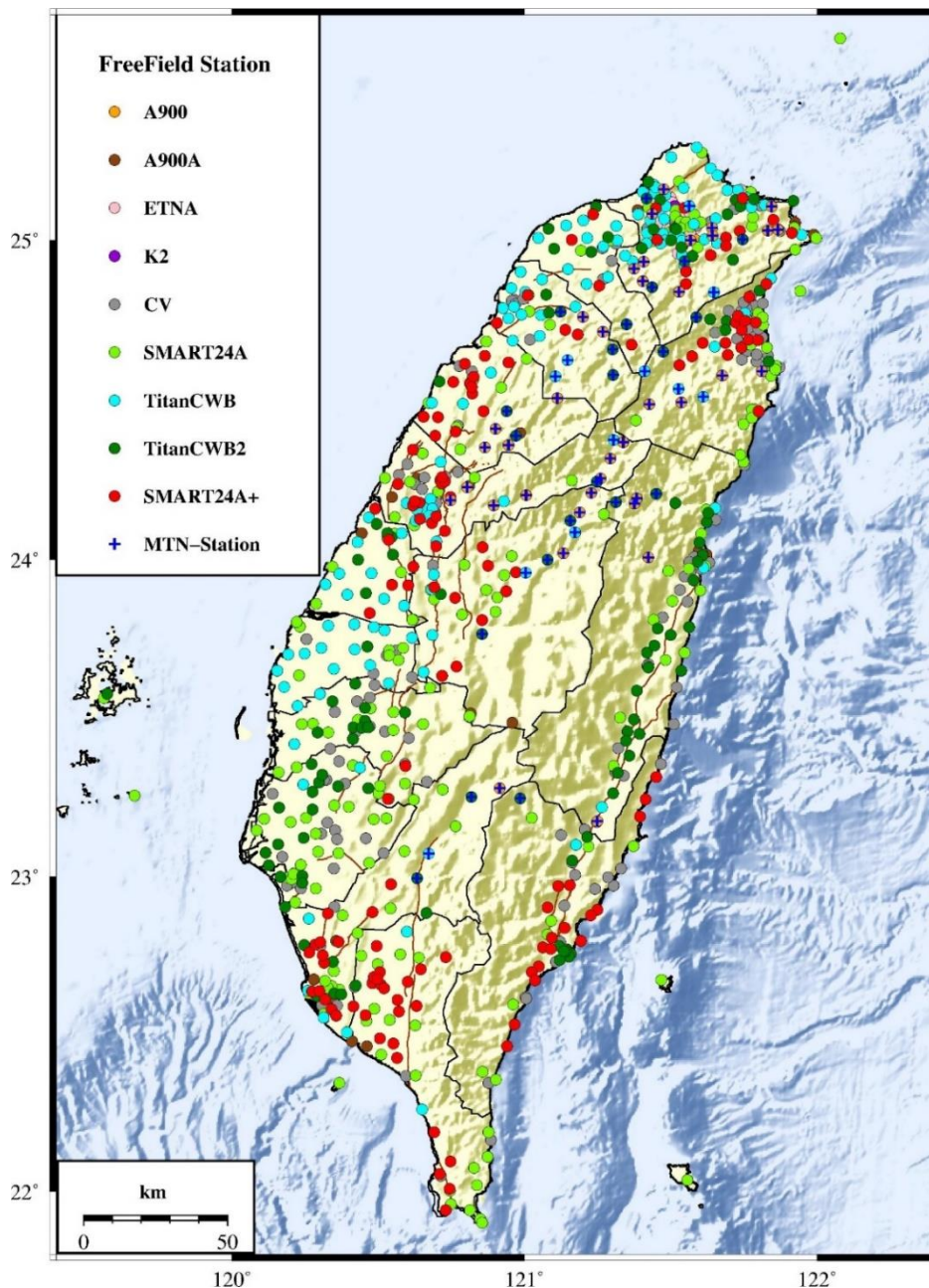


圖2.1.2 2016年自由場強震站分布圖，圖中不同顏色代表不同型式之強震儀，山區強震站並加上十字符號表示。

圖2.1.2中自由場強震儀，因分年招標建置，因此有多種不同型號。自2012年起本局執行「強震與地球物理觀測系統效能提升計畫」，分4個年度逐年汰換老舊強震儀，已汰換近400臺儀器，並將儀器的地震紀錄解析度由16位元提升至24位元，惟仍有近150臺儀器未汰換。自2016年起本局執行「強地動觀測第5期計畫」，持續汰換10處自由場強震站強震儀，儀器型號為新型 Smart24A，為美國GEOTECH公司產品，自由場強震站新舊儀器之比較如圖2.1.3。



(a)汰換前



(b)汰換後

新型 Smart24A

圖 2.1.3 自由場強震站新舊儀器之比較。

圖2.1.4為本局結構物強震監測系統測站分布圖，包含45站建築物型（Building）測站及12站橋梁型（Bridge）測站，本局於2016年已將橋梁型測站移交國家實驗研究院國家地震工程研究中心管理維護，目前建築物型測站仍由本局管理維護。



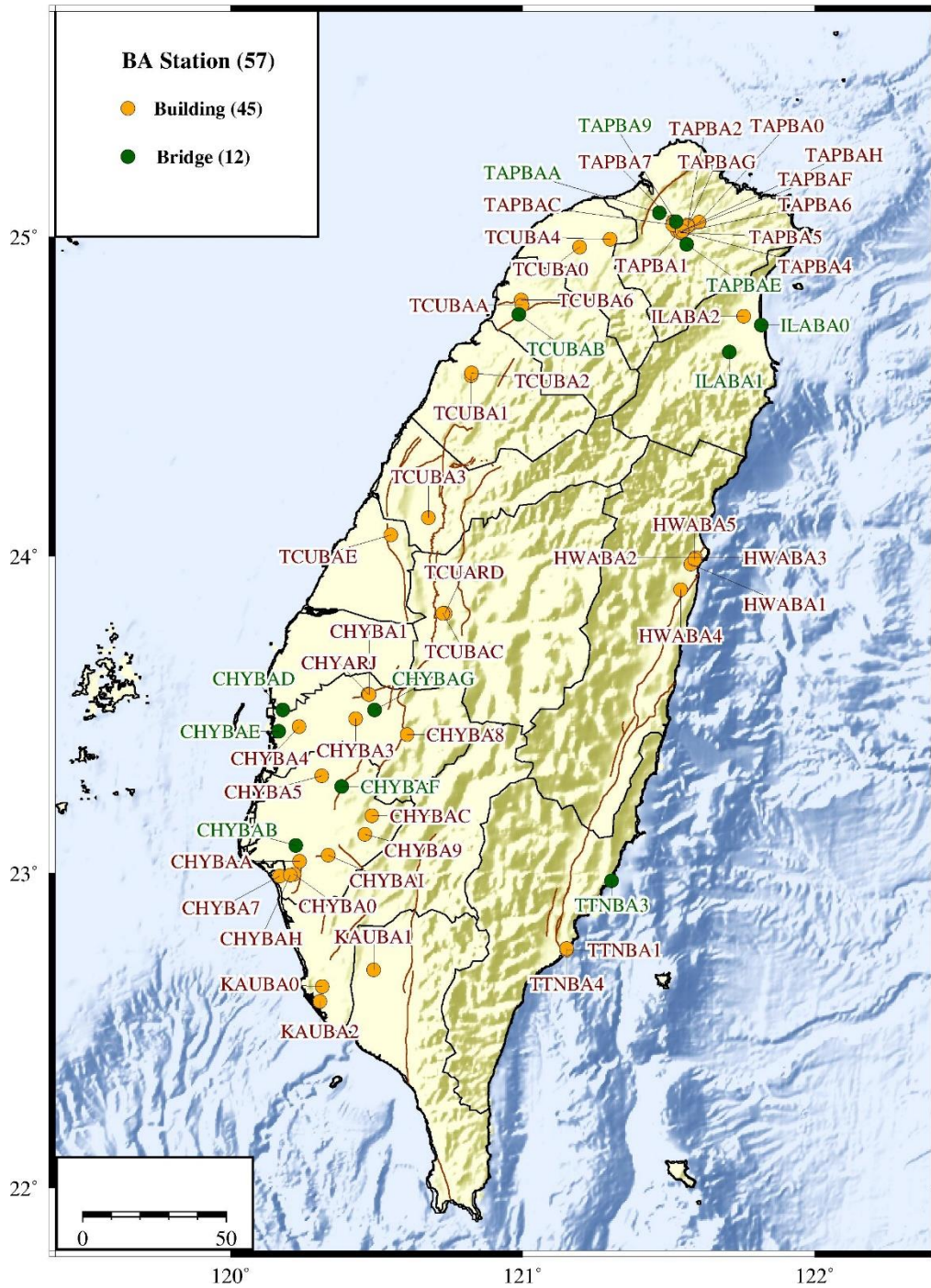


圖2.1.4 本局結構物強震監測系統測站分布圖。

### 3. 臺灣東部海域電纜式海底地震儀

臺灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊交界處，地震活動頻繁且常對社會大眾的生命財產造成威脅，其中規模6以上的中大規模地震約有將近70%分布於東部海域，另周圍海域亦有孕育海嘯發生之地體構造存在，基隆在1867年即曾有過海嘯災害的紀錄。雖然現有的地震監測網具有提供預警或防災的功用，但是對於分布在臺灣陸上地震站網以外的海域地震，現有陸上的地震站尚不足以提供有效的監測。若能於臺灣東部海域設置電纜式海底地震儀，便可使影響臺灣的地震都能被包覆於本局所建地震網內，不但彌補陸上地震站觀測範圍之不足，也可改善海域和近岸的地震定位，增強本局強震即時警報系統的正確性和可信度，提供有效的防救災資訊。

此外，海域地震定位正確性的提昇，讓我們能更精確地掌握地震是否將引起海嘯，同時海底觀測網也能監測海底山崩可能引發的間接海嘯，提早偵測海嘯之發生與威脅。因此本局自2007年起執行「臺灣東部海域電纜式海底地震儀及海洋物理觀測系統建置計畫」，在臺灣東部海域利用海底光纖電纜連接地震儀、海嘯壓力計與其它海洋科學觀測儀器，進行海底地震及海嘯活動之即時監測，以達到提升防震減災能力的目的。

歷經數年的規劃與施做，東部海域電纜式觀測系統在2011年11月正式完工啟用，自宜蘭頭城向外海鋪設45公里長的海底電纜，並於終端設置地震儀、海嘯計，以及海洋物理觀測系統，其系統架構如圖2.1.5所示。

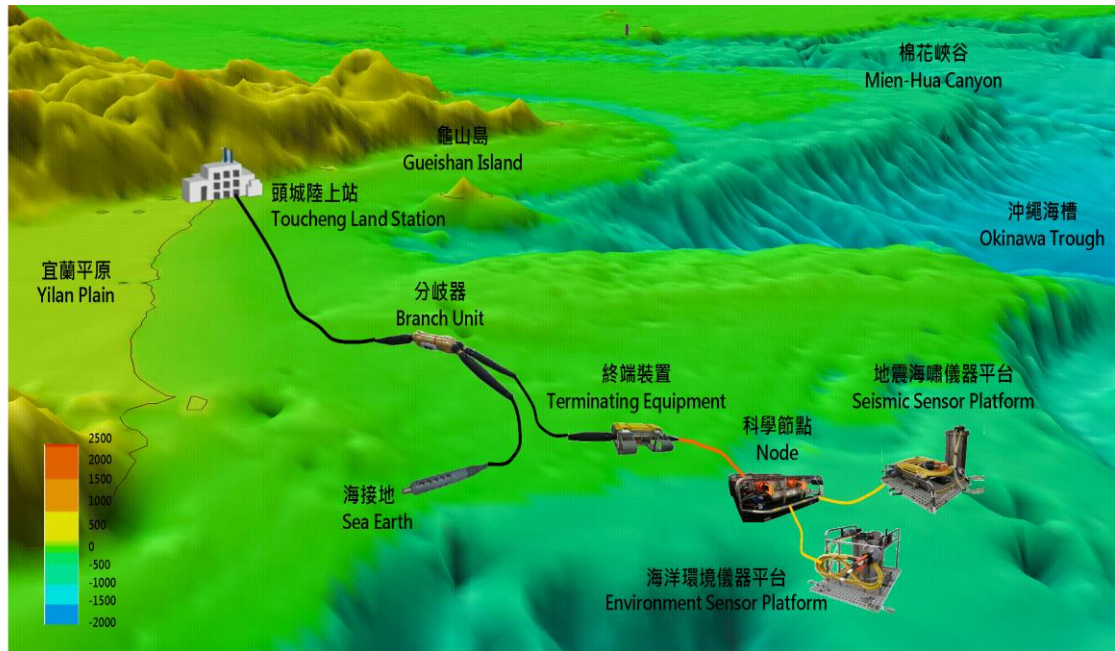


圖 2.1.5 2011 年完成之臺灣東部海纜觀測系統架構。

經以2012至2014年該海纜系統收錄之東北外海地震資料進行分析結果，確認該系統已發揮效能，其效益如下：

- (1) 對於東北部外海的地震，網內地震的比率由40%提高至79%，有效提升地震監測的能力。(由於地震測站向外海擴展，因此地震網擴大，部分原來在網外的地震，變成在網內，被地震網所包覆。)
- (2) 在地震定位品質方面（由A到D分為4級，其中A表示最佳，D表示最差），44%的地震從較差的等級D提升到較佳的等級C或等級B，對地震參數準確性的提升有所助益。
- (3) 在地震測報時效方面，此期間海底地震儀(站碼EOS1)共收錄32,427個地震，其中2,932個是EOS1最早偵測到的，可以提供比陸上站更早的地震波到時資料。在2,932個地震中的62% (1,820/2,932)，EOS1可以多提供1.5秒以上的P波反應時間，此資料可以提高當地地震的速報速度，以達到減少地震災害的目的。

為擴大以上成效，本局以第1條45公里海纜觀測系統做為基礎，評估臺灣周圍海域之地震海嘯總體防災需求，規劃將海纜繼續向外延伸70公里至115公里，於2015年6月底完成採購合約之簽訂，2015年底完成預定鋪設路線詳細調查，以及海纜系統

陸上站設備廠內製造、測試與公證檢驗。

海纜擴建計畫於本(2016)年 6 月前往頭城區漁會與蘇澳區漁會進行施工說明會，於 7 月獲內政部函復許可海纜鋪設，於 8 月上旬完成擴建海纜系統佈放，以及於 9 月底至 10 月初完成海纜佈放後檢查與局部加強噴埋。

在海纜預定鋪設路線詳細調查後，預定擴建之海纜系統規劃於歷史紀錄災害性地震發生頻繁之和平海盆與南澳海盆鄰近區域設置 3 處觀測站，將分別裝設海底地震儀於水深約 950、1,100 及 2,700 公尺的海底。3 個觀測站均採用嵌入式 (in-line) 設計，並強化海纜埋設方式，依照國際上的通用標準(中華電信海纜也採此標準)，將海纜所經海水深度淺於 500 公尺的部分，掩埋海纜最深至 1.5 公尺，預計完成擴建之海纜觀測系統如圖 2.1.6。

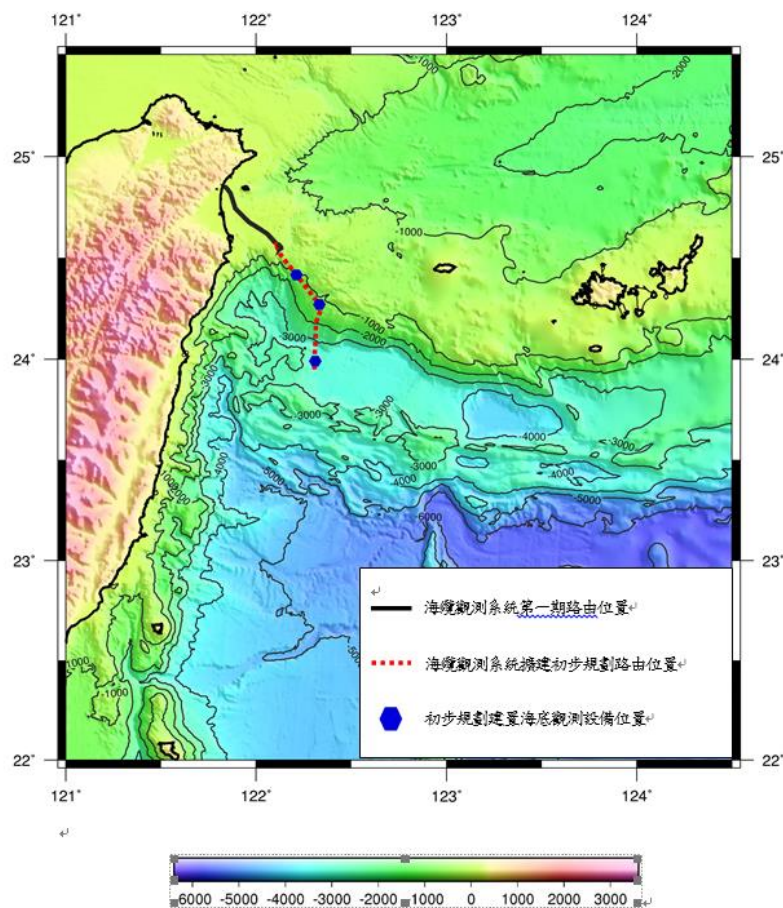


圖 2.1.6 2016 年已布建完成正進行測試之海纜擴建計畫系統圖。

#### 4. 井下地震觀測站

井下地震觀測站是視岩盤深度將地震儀器設置在地表下約100~500公尺深的地方，以降低地表雜訊干擾，提升地震觀測訊號品質的地震觀測站。一般地面常因鄰近人為活動等造成振動，置於地表之地震觀測站，收錄到這些雜訊，以致不易分離真正之地震訊號，建置「井下地震觀測站」(圖2.1.7)，除了可以提高地震觀測訊號的品質外，對於地震波相的判定以及地震定位都有相當大的助益(圖2.1.8)，可以強化地震監測系統並提升地震預警(Earthquake Early Warning, EEW)的效能。2016年本局共建置完成3座井下地震觀測站，累計完成54座井下地震觀測站(圖2.1.9)。

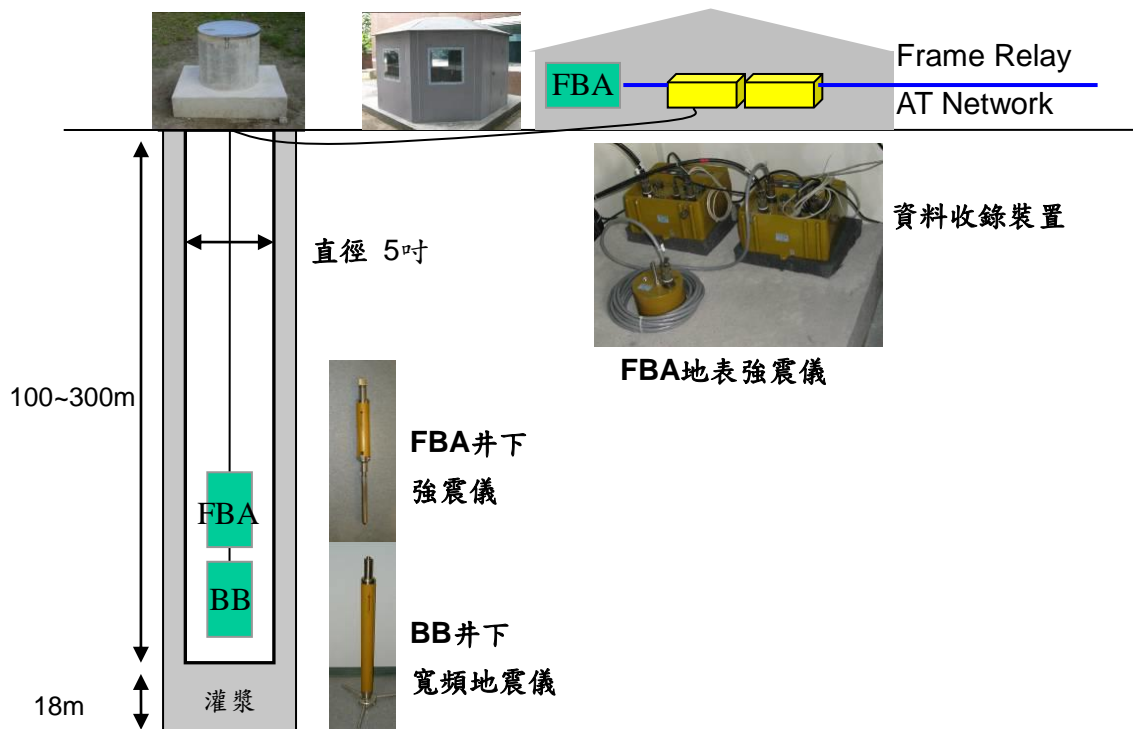


圖 2.1.7 井下地震觀測站示意圖。

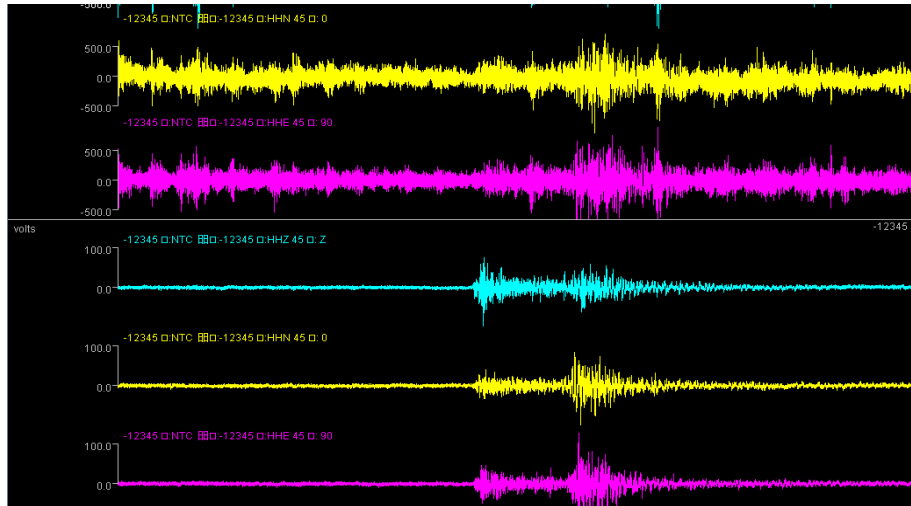


圖 2.1.8 2010/03/08 17:26 臺南東山附近地震(ML 4.9)。頭城站(距震央 162km)的地震波形紀錄,上方為地表強震儀的波形紀錄,下方為井下強震儀的波形紀錄。

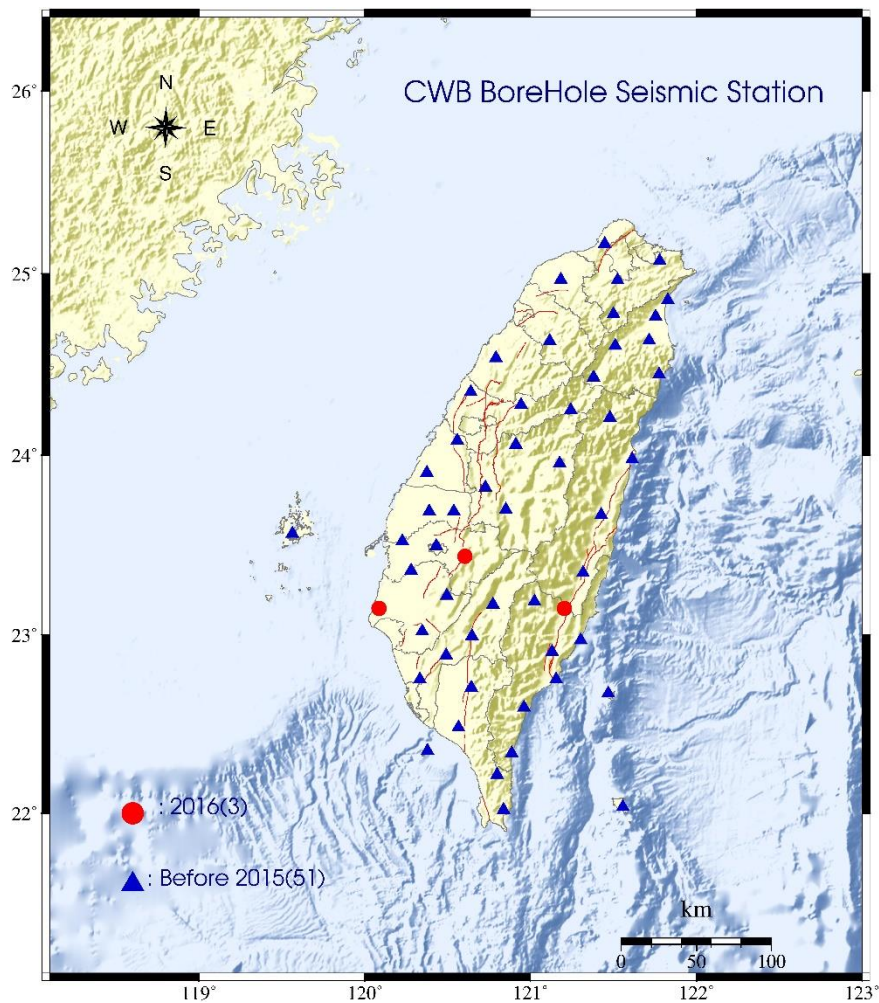


圖 2.1.9 歷年建置之井下地震觀測站分布。

## 5. 大屯火山即時地震監測網

本局的大屯火山地震監測工作自2007年開始，與中央研究院地球科學研究所和科技部大屯火山觀測站合作，對大屯火山地區進行火山地震監測。測站網以10個火山地區的地震站為主（初始由中央研究院地球科學研究所建置，自2011年下半年起續由科技部大屯火山觀測站負責測站的維護運作與資料蒐集），並搭配本局在臺灣北部的即時地震站（圖2.1.10），可以有效率的監測大屯火山地區的微震活動，並快速提供相關資訊。

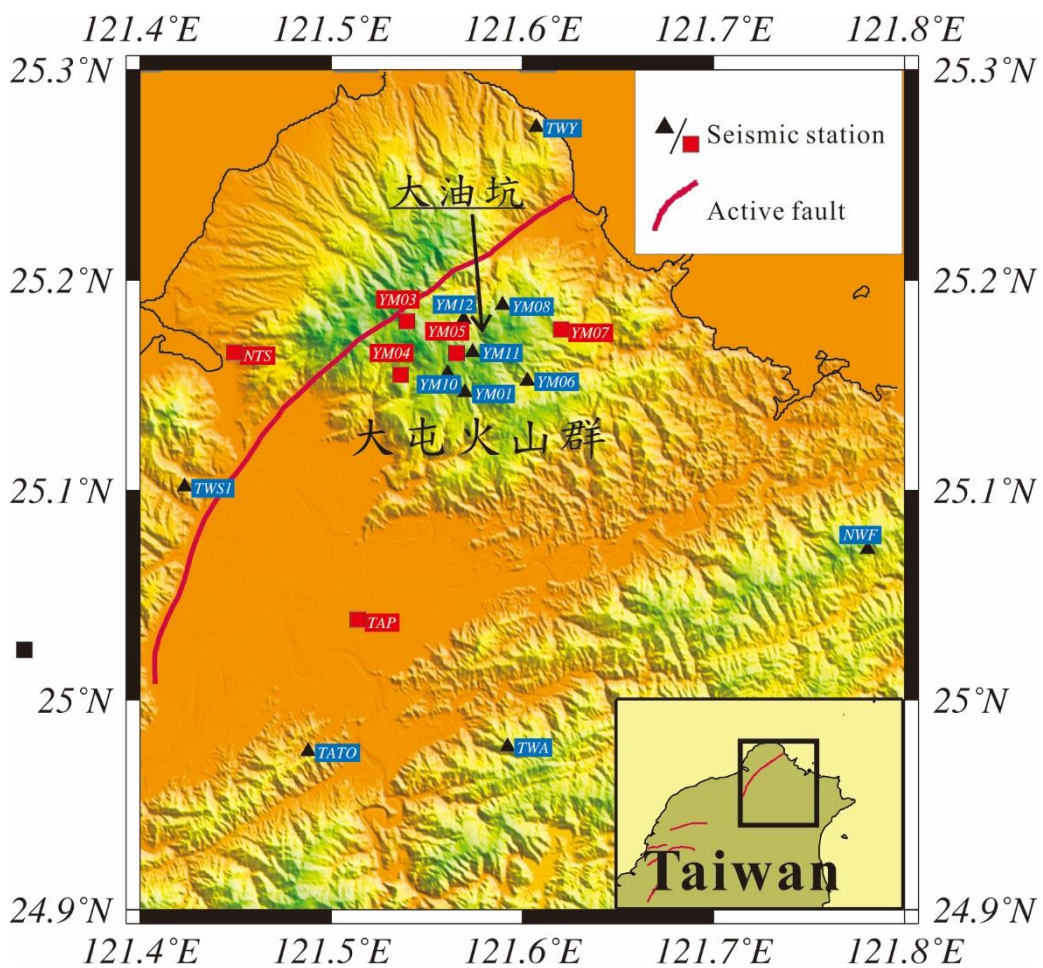


圖 2.1.10 大屯火山監測網的地震站分布。三角形或四方形表示地震站的位置（地表站以黑色三角形表示；井下站以紅色四方形表示），其中 YM01 到 YM12 測站為大屯火山觀測站所維護之地震站。

## (二) 地震活動分析

### 1. 全區地震活動常態分析

本局建置地震觀測網 (Central Weather Bureau Seismic Network, CWBSN) 以從事臺灣地區之地震觀測，自2012年使用24位元系統觀測地震以後，微小地震的觀測資料數量明顯增加，其對於強震與弱震間相關性之探討，提供了豐富資料。2016年共觀測到48,830起地震，其中包含4個規模大於6以上的強震，這些強震分別為2月6日發生於高雄美濃的規模6.6地震、5月12日發生於宜蘭南澳的規模6.1地震、5月31日發生於東北外海深層的規模6.9地震、10月6日發生於臺東綠島的規模6.2地震。除了高雄美濃地震可能與盲斷層有關外，其餘3個地震的發生位置在臺灣東北或東部海域，發震原因和菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的相互隱沒與碰撞有關 (圖2.2.1)。

由地震活動在空間上的震源分布特性可以發現，震源深度較深的地震多發生在臺灣東北部，且在臺灣東部大約北緯24度附近，震源分布明顯呈現向北隱沒的傾斜地震帶，而臺灣南部在約東經121度附近也隱約呈現向東隱沒之傾斜地震帶。臺灣西部之震源分布，則主要為集中於斷層構造區附近之淺層地震。

與地震活動相對應之板塊運動，在臺灣東北部與南部分別具有由南向北與由西向東的板塊隱沒地震帶 (Angelier, 1986)。在臺灣東北部，菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊之下，造成琉球海溝 (Ryukyu Trench)、琉球島弧 (Ryukyu Arc) 與沖繩海槽 (Okinawa Trough) 之板塊隱沒構造。琉球島弧系統之板塊隱沒構造，前緣為琉球海溝，緊接為安山岩噴發造成之琉球島弧，島弧後方為裂谷盆地與弧後擴張之沖繩海槽，向西延伸至宜蘭平原。沖繩海槽為張裂作用造成，有許多海底火山，一般認為，臺灣東北部之宜蘭平原是沖繩海槽進入臺灣的部分，龜山島為其進入臺灣前噴發的火山島。約於三、四百萬年前，沖繩海槽可能在現今臺北市北方登陸，造成觀音火山及大屯火山，南移後再次爆發造成基隆火山 (有金瓜石金礦)，目前已移到宜蘭外海。宜蘭地區尚無明確之斷層，地震活動主要與板塊構造有關。在臺灣南部，歐亞大陸板塊則向東隱沒至菲律賓海板塊之下，造成馬尼拉海溝 (Manila Trench) 與呂宋島弧 (Luzon Arc) 之板塊隱沒構



造。地殼上部的岩層被壓縮抬升成中央山脈和西部麓山帶，呂宋島弧則被抬升為海岸山脈（Angelier, 1986）。同時進行的板塊碰撞及隱沒作用，引發臺灣頻繁的地震活動。

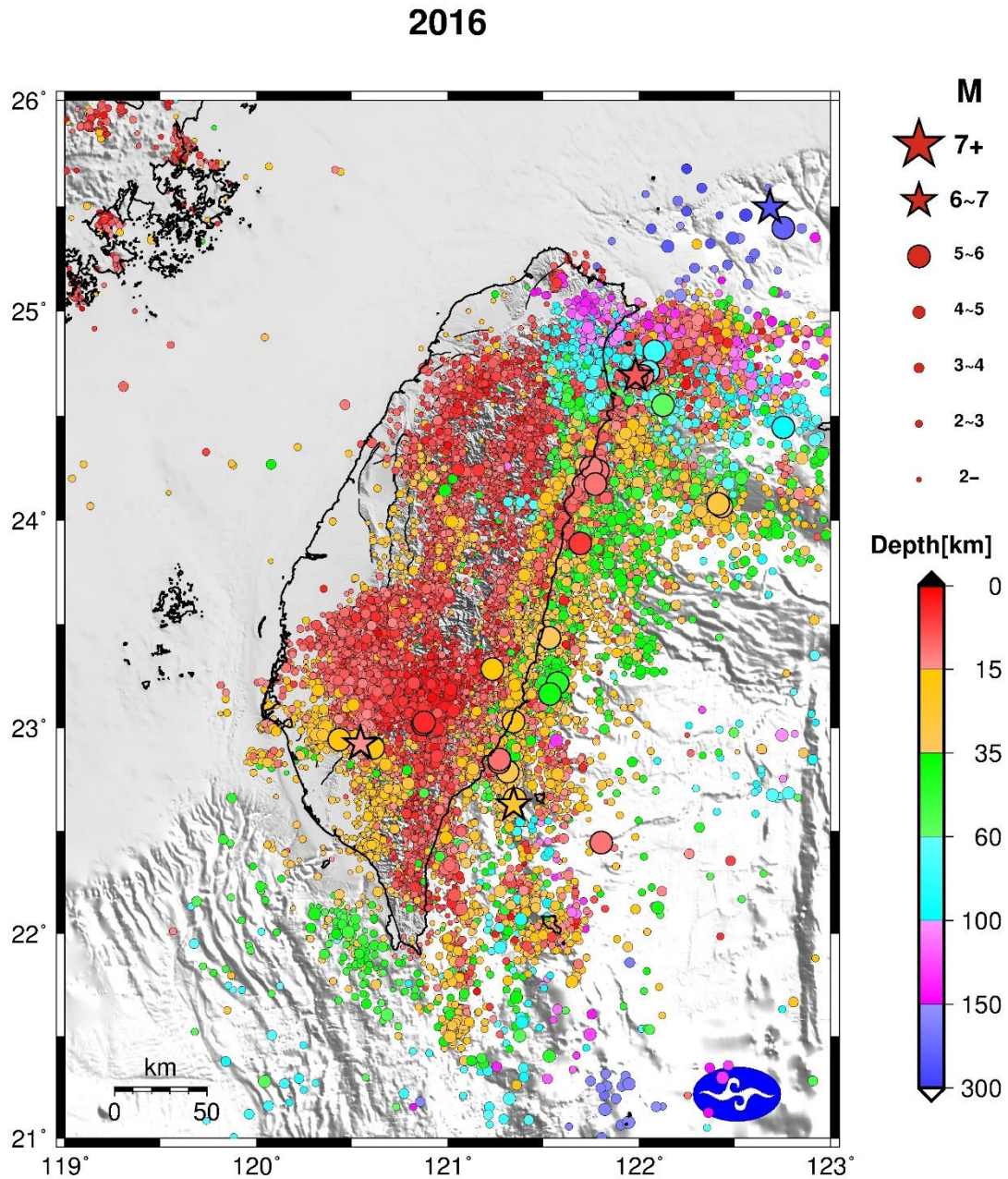


圖 2.2.1 2016 年地震分布圖。2016 年共觀測到 48,830 起地震（圓形符號，其大小代表地震規模，其顏色代表地震深度，詳細資訊，可參考右側圖例），其中包含 4 個規模大於 6 以上的強震（星號）。

地震規模與釋放能量之關係的經驗公式為 $\text{Log}E=11.8+1.5M$  (Gutenberg and Richter, 1956; Kanamori and Anderson, 1975; Wang, 1992)，其中M為地震規模，E為地震的釋放能量。由於地震釋放能量很大，有時會以原子彈等級的能量作為比擬聯想，如以1945年第二次世界大戰期間美國在日本廣島所投擲的原子彈（約相當於15,000噸黃色炸藥的威力）為比較標準，規模8.2的大地震相當於1,000顆原子彈的能量；規模6.2的強震相當於1顆原子彈的能量；規模每增加0.2，能量約增為2倍。

由於地震釋放能量的量值太大，不便於分析，為分析臺灣各震源構造區之地震釋放能量情形，於後採累積規模(Cumulative Magnitude)以代表累積的地震釋放能量，其目的是將累積能量(Cumulative energy)的數值正規化為規模的尺度，以方便分析地震特性。地震累積規模的計算方式，是先藉由地震規模與能量關係的經驗公式，將規模轉換成對應的能量值，累積其能量總和，再藉由此相同的經驗公式，將累積能量轉換成對應的累積規模。此一累積方式的結果，舉例而言，累積約32個規模5.0的地震，相當於1個規模6.0的地震。依上述方式計算2016年累積規模約為7.06，1994至2016年累積規模平均值為6.85（圖2.2.2）。

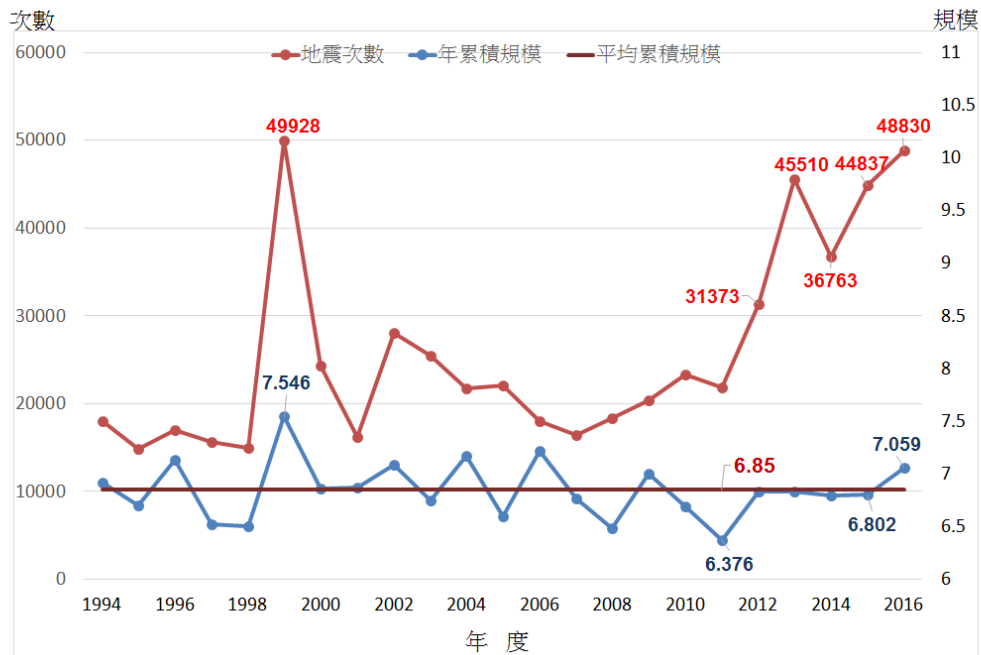


圖2.2.2 1994至2016年各年地震次數及累積規模統計圖。

2016年淺震與深震之累積規模等值分析如圖2.2.3，等值圖係以經緯度各0.1度為網格大小。累積規模2以上之區域分布涵蓋臺灣本島與東部外海，最高值位於高雄美濃地區，當地即為2016年臺灣島內最大地震發生的位置。從地震累積規模等值圖可以發現，2016年的地震活動大都發生在臺灣東部，主要是因為直接受到板塊碰撞和隱沒作用，所以表現出的累積規模遠大於臺灣西部，尤其是深部地區（深度40公里以下）的地震活動。

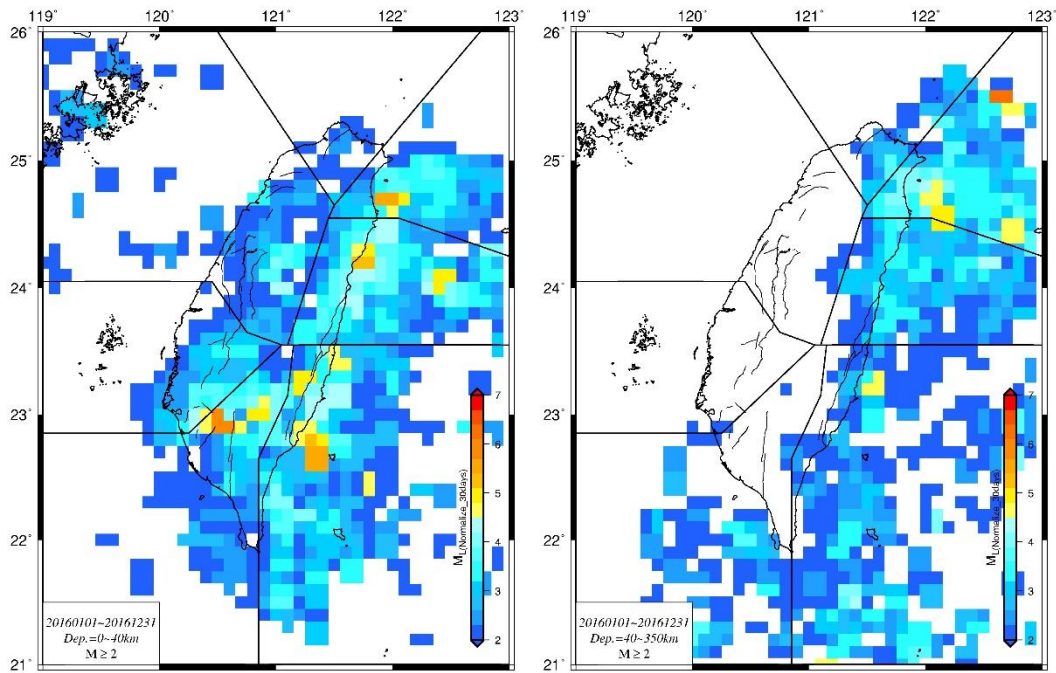


圖 2.2.3 2016 年淺震(左)與深震(右)之累積規模等值分析。等值圖係以經緯度各 0.1 度為網格大小，地震個數已正規化(normalize)為 30 天之個數。顏色愈暖，累積地震規模愈大。

2016年地震個數等值分析如圖2.2.4，等值圖係以經緯度各0.1度為網格大小，規模大於2以上之地震個數已正規化(normalize)為30天之個數。地震個數高值區主要分布在臺灣本島與東部近海地區，最高值位於花蓮地區與宜蘭地區，宜蘭地區雖無強震但有密集的小地震。地震個數等值圖顯示地震活動以臺灣東部與東北部(北緯23.5至25度,東經121至122度)花蓮和宜蘭地區最為頻繁，等值線大致亦呈東北向的狹長帶狀分布趨勢；臺灣西部則以嘉南地區之斷層構造區較為頻繁。

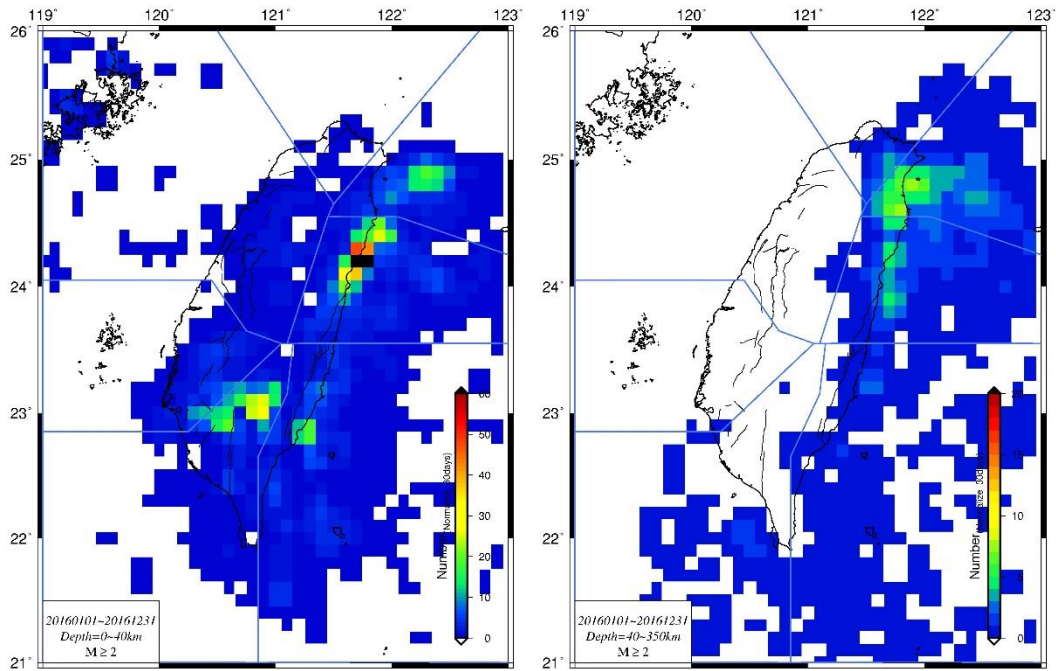


圖 2.2.4 2016 年規模大於 2 之淺震(左)與深震(右)之地震個數等值分析。等值圖係以經緯度各 0.1 度為網格大小，地震個數已正規化(normalize)為 30 天之個數。顏色愈紅，地震個數愈多。

由2016年地震規模、累積規模及每日個數之時序分布圖（圖 2.2.5）可知，雖然有4個地震規模大於6的事件發生，除了美濃地震後的2月份與宜蘭南澳地震後的5月份，地震活動有相對較高之外，其他2個地震規模大於6的事件後，地震活動未見顯著的提升，而在4月底至5月初間，沒有強震發生，地震的數量卻有明顯增加，主要是因為花蓮地區在此期間發生小區域有感群震。

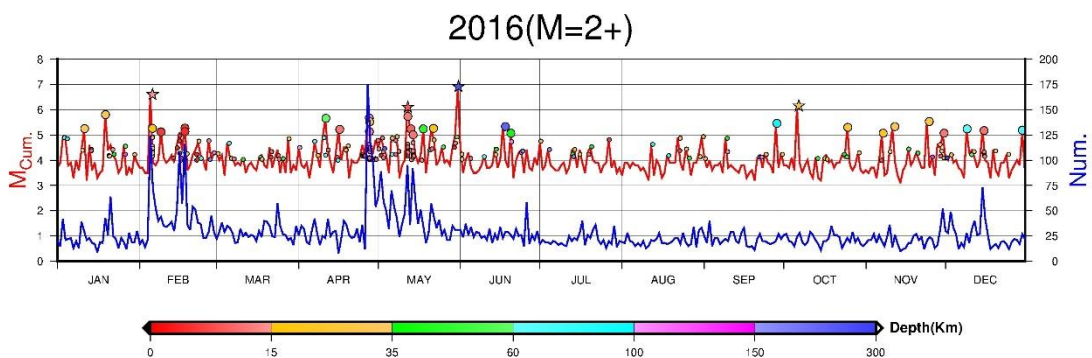


圖 2.2.5 2016 年規模大於 4(圓形或星形)、累積規模(紅線)及每日個數(藍線)之時序分布圖。

震源機制 (focal mechanism) 是根據地表測站所觀測之地震波形紀錄以推測震源破裂型態，係用以表示地震的斷層錯動與應力型態，斷層錯動型態分為正 (normal) 斷層、逆 (thrust) 斷層與走向滑移 (strike-slip) 斷層，走向滑移斷層 (平移斷層) 又分為左移 (left lateral) 與右移 (right lateral) 斷層。

由本局地震網規模大於5的P波初動資料與波形擬合方式求得20個初動與25個CMT震源機制解，其震源參數資料列於表2.2.1與表2.2.2。傳統P波初動解因為只有使用P波初動極性方向(上動或下動)，在完成地震定位後即可迅速求解的優點，所以至今仍被廣為使用，並且由於臺灣地震網測站密度大，對於P波初動資料在象限分布上具有很好的約束。但是在P波初動極性方向的波形檢視資料處理時，經常會因為雜訊太大而不易判斷，為了避免污染品質，上述20個震源機制解是選用各個測站P波初動極性非常明確的資料。2016年P波初動與CMT之震源機制與震央分布如圖2.2.6。2016年的震源機制中，主要分布在臺灣東部之板塊隱沒構造區域。由震源機制顯示，2016年臺灣地區之構造活動主要受到菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的碰撞擠壓作用所主導。臺灣東部在北緯24度以北，因菲律賓海板塊西北斜向碰撞與向北隱沒作用，以及沖繩海槽的擴張作用，故其構造活動較為複雜，其震源機制包含逆斷層、正斷層與走向滑移斷層。臺灣東部(東經121度以東)在北緯24度以南，主要以逆斷層為主，且最大壓縮應力方向(P軸方向)亦與菲律賓海板塊西北斜向碰撞的作用方向相符。2016年在臺灣西部(東經121度以西)，除了臺灣高雄美濃地震及其之後所引發的少數地震活動外，整個臺灣西部並未有規模大於5的地震，但依過往的監測結果可知，主要以逆斷層與走向滑移斷層為主，且大都與斷層構造的分布形態吻合。

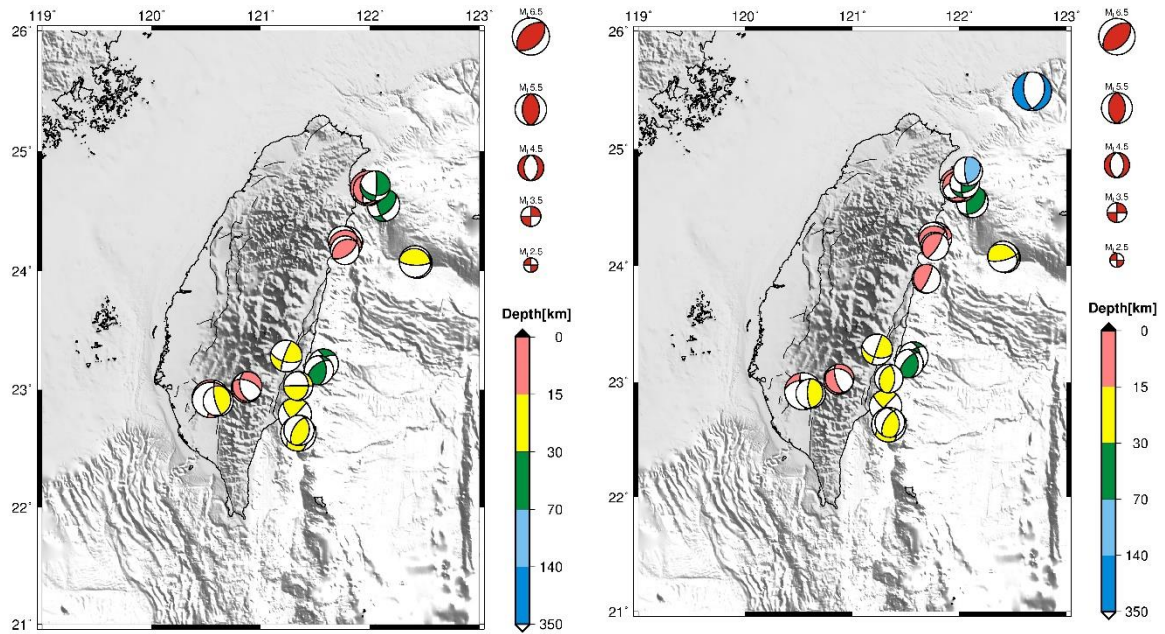


圖2.2.6 2016年由本局地震網規模大於5的P波初動資料與波形擬合方式求得20個初動(左圖)與25個CMT震源機制解(右圖)。

表 2.2.1 圖 2.2.6 中 20 組初動震源機制解參數

月/日	時:分	東經	北緯	深度	規模	dip1	strike1	rake1	dip2	strike2	rake2
mm/dd	Hh:min	Long.(E)	Lat.(N)	Depth(km)	M.						
1/9	2:13	121.3125	22.7870	29.72	5.80	87	44	153	63	135.5	3.4
2/5	19:57	120.5438	22.9220	14.64	6.60	87	11	-103	13.3	268.2	-13.1
2/18	1:09	120.8693	23.0163	5.44	5.27	63	179	-56	42.4	302.9	-137.7
2/18	1:18	120.8762	23.0265	4.26	5.13	49	168	-45	57.7	291.3	-129.1
4/11	5:45	122.1247	24.5512	59.81	5.66	51	49	138	58.7	168.5	47.5
4/27	15:17	121.7840	24.2372	11.94	5.67	61	102	86	29.3	290.2	97.2
4/27	15:27	121.7490	24.2527	12.99	5.13	59	82	99	32.2	244.9	75.4
4/27	18:19	121.2333	23.2832	15.21	5.52	60	104	169	80.5	199.6	30.5
5/12	3:17	121.9803	24.6918	8.86	6.10	37	56	-91	53	237.3	-89.2
5/13	8:24	121.9845	24.6838	9.77	5.24	23	30	-79	67.4	198.1	-94.6
5/14	3:32	121.7703	24.1732	11.60	5.01	59	55	89	31	236.9	91.7
5/18	0:22	121.5735	23.2162	45.75	5.24	61	236	158	70.9	337.1	30.9
5/21	20:51	120.6100	22.9025	18.13	5.26	19	20	125	74.5	163.5	78.8
6/20	0:39	121.5335	23.1632	39.39	5.07	49	0	51	54.1	231	125.9
10/6	15:52	121.3438	22.6270	23.70	6.15	58	219	120	42.7	351.5	51.3
10/25	4:45	121.3502	22.6543	23.69	5.30	33	9	72	58.8	210.2	101.3
11/7	11:56	121.3433	23.0295	20.45	5.07	31	4	5	87.4	269.7	120.9
11/11	22:25	122.4300	24.0662	31.17	5.33	78	79	84	13.4	285.8	116.2
11/24	21:55	122.4128	24.0783	27.47	5.53	71	92	86	19.4	284.1	101.5
12/9	4:09	122.0470	24.7120	63.10	5.24	81	2	-53	37.9	103.7	-165.3

表 2.2.2 圖 2.2.6 中 25 組 CMT 震源機制解參數

月/日	時:分	東經	北緯	深度	規模	dip1	strike1	rake1	dip2	strike2	rake2
mm/dd	Hh:min	Long.(E)	Lat.(N)	Depth(km)	M <sub>L</sub>						
1/19	02:13	121.3100	22.7900	29.72	5.80	75.8	131.5	-1.1	88.8	221.7	-165.8
2/2	14:19	123.5400	25.4200	203.74	6.65	37.2	201.8	-85.5	52.8	16.2	-93.3
2/5	19:57	120.5400	22.9200	14.64	6.60	41.7	274.8	17	78.7	171.9	130.4
2/9	0:47	121.6900	23.8900	5.69	5.12	12.5	169.6	54.5	79.8	25.7	97.3
2/18	1:09	120.8700	23.0200	5.44	5.27	43.5	298.9	-117.1	52.1	154.2	-66.5
2/18	1:18	120.8800	23.0300	4.26	5.13	34.5	289.6	-138.6	67.9	163.7	-62.6
4/11	5:45	122.1200	24.5500	59.81	5.66	34.6	49.1	122.9	61.4	190.8	69.3
4/27	15:17	121.7800	24.2400	11.94	5.67	26.8	241.1	66.8	65.4	86.8	101.2
4/27	15:27	121.7500	24.2500	12.99	5.13	26.1	255.4	101.7	64.4	62.4	84.3
4/27	18:19	121.2300	23.2800	15.21	5.52	48.9	107.1	177	87.7	199	41.1
5/12	3:17	121.9800	24.6900	8.86	6.10	55.6	20.9	-174.9	85.8	288.1	-34.4
5/12	4:29	122.0200	24.6900	12.03	5.73	45.5	258.9	-70.6	47.6	52.3	-108.6
5/13	8:24	121.9800	24.6800	9.77	5.24	38.7	45.5	-113.8	55	255.1	-72
5/14	3:32	121.7700	24.1700	11.60	5.01	15.4	220.1	97.3	74.6	32.5	87.9
5/18	0:22	121.5700	23.2200	45.75	5.24	49.4	351.4	44.3	57.9	229	129.8
5/21	20:51	120.6100	22.9000	18.13	5.26	18.4	13.4	104.3	72.1	178.3	85.2
5/31	5:23	122.6800	25.4900	256.89	6.91	38.3	17.7	-67.8	54.9	170.2	-106.6
6/20	0:39	121.5300	23.1600	39.39	5.07	36.3	355.7	51.6	62.3	220.2	114.5
10/6	15:52	121.3400	22.6300	23.70	6.15	56.6	341.5	35.2	61.1	230.3	141
10/25	4:45	121.3500	22.6500	23.69	5.30	37.6	347.6	54.2	60.3	209.9	114.2
11/7	11:56	121.3400	23.0300	20.45	5.07	36.2	201.1	105.7	55.3	1.9	78.7
11/11	22:25	122.4300	24.0700	31.17	5.33	8.7	286.7	127.1	83	69.3	84.7
11/24	21:55	122.4100	24.0800	27.47	5.53	26.9	304.5	135.1	71.3	76	70.2
12/9	4:09	122.0500	24.7100	63.10	5.24	38.5	71.1	150.4	72	185	55.3
12/30	0:30	122.0800	24.8100	75.17	5.19	27.2	47.1	137.5	72	176.2	69.1



## 2. 大屯火山地震活動分析

在火山地震監測作業方面，在2012年以前，本局設立了一個火山觀測小組，其工作內容是常規化的監控大屯山地區的每日地動訊號，同時擷取疑似火山地震的訊號，再針對較有分析價值的群震事件，進行地震波相挑選與地震定位。自2013年3月起，在監測工作方面做了改變，從全面性的人工化資料處理，改成半自動化的資料處理。在前端的地震訊號擷取部分，是以程式自動化地對全日地動訊號進行掃描，擷取出疑似地震的訊號，再以人工的方式，針對這些疑似的地震訊號，進行波相挑選與地震定位。依過去的經驗，在一般情況下，火山觀測資料可以在下一個工作天內處理完成，比起先前的工作時程，減少了約2個工作天，這個處理流程的改變，有效地降低了人工處理所需的時間。同時，也讓大屯火山地區的地震活動監測更具有效率。

在2016年的火山地震監測作業方面，一共觀測到1,543個地震事件，這些地震事件中，有1,485個地震事件是在大屯山地區（圖2.2.7； $121.5^{\circ}\text{E}\sim 121.6^{\circ}\text{E}$ ； $25.1^{\circ}\text{N}\sim 25.25^{\circ}\text{N}$ ）。而這些地震中，又以規模小於1的地震為主，數量有1,011個，佔全數的68%。從其時序分布上（圖2.2.8），可以發現此地區在8月及9月各有單日地震數量增加的現象（地震個數大於50個），是群聚發生的群震活動。比較長期的地震活動量與累積規模，2016年8至9月間，地震活動的數量相對較高（圖2.2.9）。而地震的活動數量偏高時，地震累積規模亦相對上升（圖2.2.9），顯示2016年8至9月間，此地區地震活動相對顯著。

在2016年8~9月份的地震活動，主要集中於地震觀測網的南側（圖2.2.10）。這與過往長期集中於七星山與大油坑地區的特性略有不同。值得注意的是這些地震的位置比較接近2014年2月12日士林地震的位置，這些地震是否與2014年的士林地震有關？這現象是否表示這區域是地震活躍的地區？仍有待後續更深入的研究。

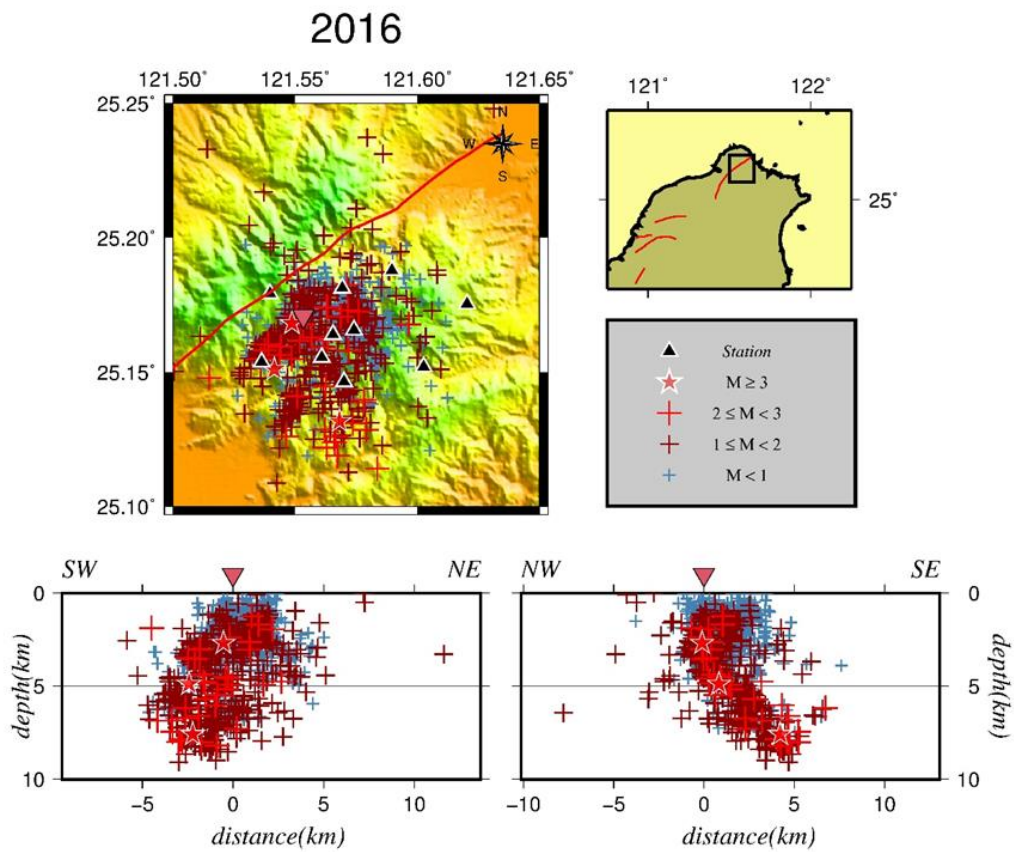


圖 2.2.7 2016 年大屯火山地區的地震活動空間分布圖。

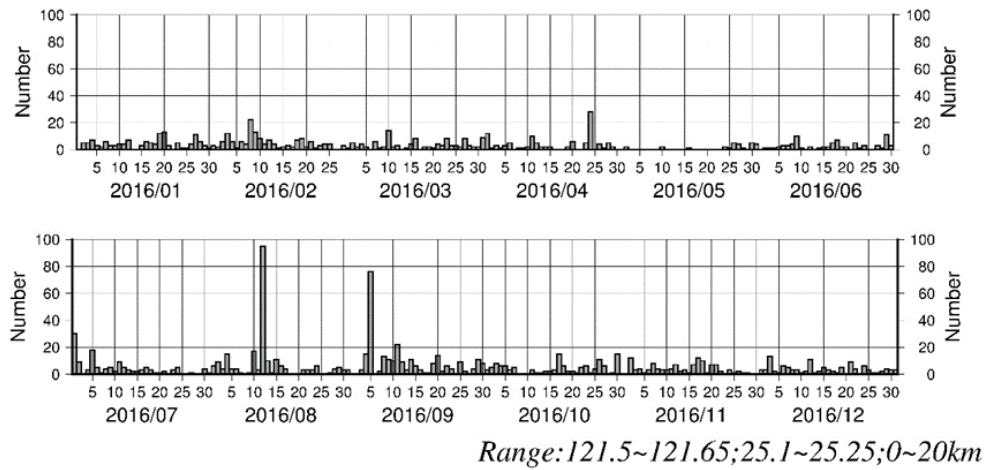


圖 2.2.8 2016 年大屯火山地區地震數量的時序分布。橫軸為時間，縱軸為地震的個數。

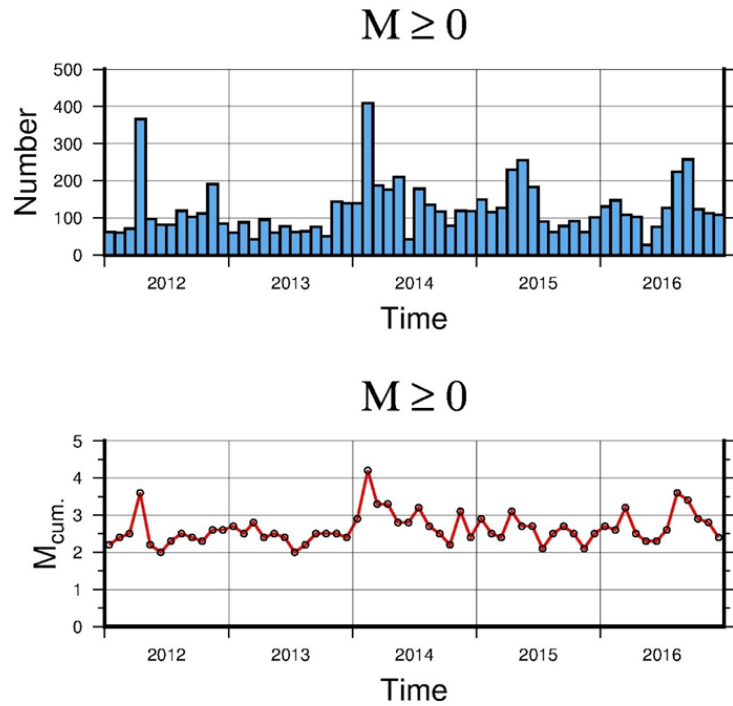


圖 2.2.9 2012 至 2016 年大屯火山觀測網的長期觀測資料。上圖為地震個數與時間的關係，下圖為每月累積規模與時間的關係。

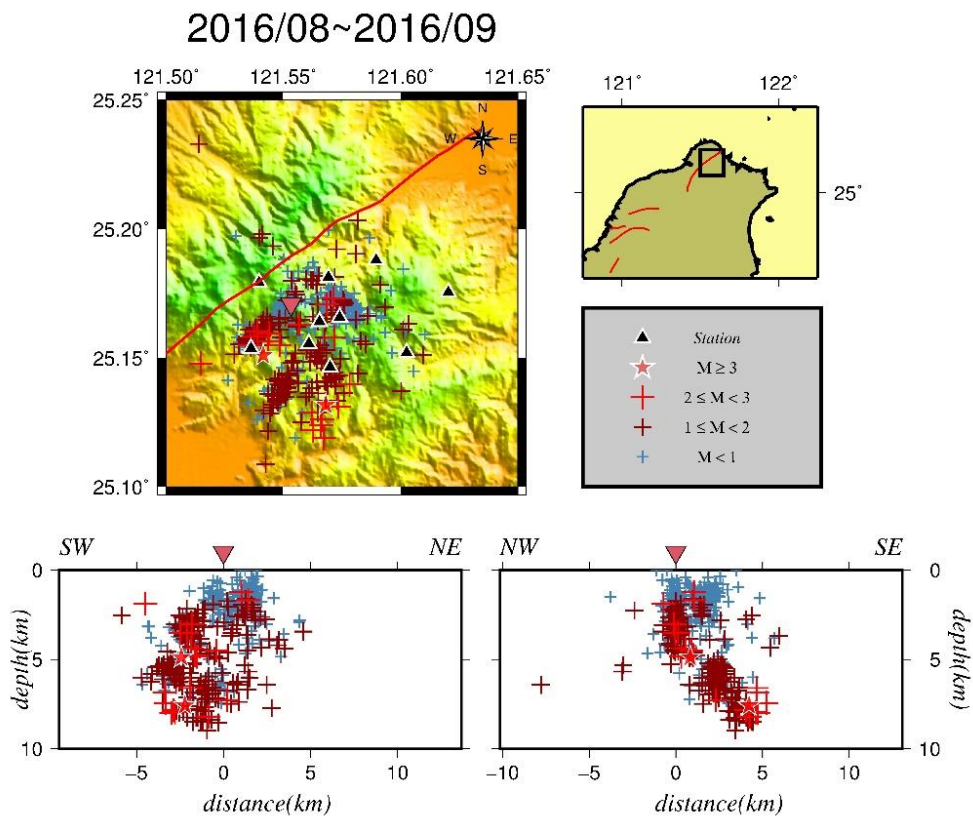


圖 2.2.10 2016 年 8-9 月間，陽明山地區的地震分布圖。

### 3. 小結

2016年的地震活動(圖2.2.1)主要集中在臺灣東部，這個地區有3個規模6以上的地震發生，而且在南澳與龜山島地區，地震活動也十分頻繁。只有一個規模6以上的地震發生在臺灣西部，由於這個地震發生的位置臨近人口聚集的都會區，因此造成了117人死亡、551人受傷及多棟建築物災損。這4個規模6以上的地震事件震源區附近的地震能量釋放都相對顯著(圖2.2.3)，但只有2個地震事件後產生了數量較顯著的餘震活動。這兩個地分別是2月6日發生於高雄美濃的規模6.6地震，與5月12日發生於宜蘭南澳的規模6.1地震(圖2.2.4)。而頻繁的地震活動發生的時間集中在2月與4月底至5月間(圖2.2.5)。

自從2012年24位元系統上線以來，規模小於2的地震個數明顯增加，2012至2016年平均地震個數(31,763)為2001至2011年平均個數(10,024)的3倍，充分顯示此系統在地震收錄的效能。若以臺灣地區最小完整規模2以上地震個數為基礎來比較，2015年規模大於2以上地震個數為11,294個，2016年規模大於2以上地震個數為10,295個，地震活動度較2015年下降，後續值得再持續密切觀察。而2016年的累積規模7.06，則比歷年(1994~2016)的平均值6.85高，應是受5月31日於臺灣東北外海發生深層規模6.9地震所造成累積規模的增加。

在大屯火山地區的地震活動方面，於2016年8至9月間，地震活動的數量相對較高(圖2.2.9)。而地震的活動數量偏高時，地震累積規模亦相對上升(圖2.2.9)，顯示2016年8至9月間，此地區地震活動相對明顯。

### 三、地球物理觀測

#### (一) 地球物理觀測系統

本局為積極進行地震前兆觀測與研究，逐步整合包括全球衛星定位系統、地震地下水觀測系統與地磁場觀測系統等項目，組成臺灣地球物理觀測網（Taiwan Geophysical Network for Seismology，簡稱TGNS）（圖3.1.1），視需要選擇合適地點增設或遷移測站，以兼顧行政作業與科學研究雙重需求，未來將評估納入如地電場、井下應變儀觀測等其他地震前兆觀測系統，使得臺灣地球物理觀測網更趨完整，期望能充分掌握大地的脈動，以保障人民生命財產的安全。

##### 1. 全球衛星定位系統

本局為監測並蒐集臺灣地區地殼活動資料，自1993年起逐年設置全球衛星定位系統（Global Positioning System，以下簡稱GPS）觀測站，在921地震後，配合科技部(原行政院國家科學委員會)推動「地震及活斷層研究」跨部會整合科技計畫，至2005年將GPS觀測站數目增加至152站。該系統除量測伴隨大地震出現的顯著地表位移之外，其所蒐集地震前、後地殼微小變形資料，亦有助於地殼運動及地震潛勢之瞭解。地殼受應力作用蓄積能量而引發地震，故地震發生前地殼可能會產生微小變形，因此運用衛星定位科技，以連續記錄方式量測地殼活動，可作為觀測地震前兆的一種方法。

由於衛星定位技術不斷更新，早期接收儀僅能接收美國GPS衛星訊號之系統，近年來已逐步進化成全球各衛星系統整合之全球導航衛星系統（Global Navigation Satellite System，以下簡稱GNSS），故本局自2012年起開始將衛星接收儀更新成GNSS系統，於2015年度採購66部GNSS衛星定位觀測設備Trimble NetR9，以汰換老舊的GPS觀測儀器共66站，主要提升效能包括接收衛星頻道種類與數目、靜態定位精度、資料接收頻率與網路展控功能。於2016年有5站因測站觀測環境不佳無法改善而遷移站址或撤站，並另新建路竹高中、東新國中和金門站（圖3.1.2），預計於2017年再新增綠島站。至2016年底止本局共建置與汰換完成160座GNSS測站，透過ADSL與3G無線網路等方式進行資料傳輸。

## 2. 地下水位觀測系統

1999年9月21日凌晨1點47分發生之集集地震，於車籠埔斷層附近之地下水位觀測井皆觀測到明顯的同震水位變化，且地震前車籠埔斷層附近超過50口井的地下水位出現明顯升降改變的變化。國外一些大地震發生前也曾觀測到水位異常變化，推斷應是地震前岩體受應力作用而產生微小裂隙，導致孔隙率與滲透率改變，進而產生地下水位變化，因此地下水之水位變化可反應出岩體應變，觀測地下水位的變化亦有助於地震前兆現象的掌握，本局至2016年底共有6座即時連線之地震地下水觀測站(Groundwater Station)，分布見圖3.1.1。

## 3. 地磁全磁場觀測系統

大地震發生前，因地下岩層應力長期累積，常導致地磁場產生相對應之改變，過去臺灣曾有幾次觀測案例，例如1986年花蓮地震、1999年的921集集大地震與1022嘉義地震等，這些前兆多為事後研究分析之結果，應值得深入探討瞭解作為前兆之可行性。本局現有之地磁場觀測站(Magnetism Station)，係於2006年接收國立中央大學移撥相關設備乙批，再經更新整理持續維運，原有11座地磁場觀測站，2013年初因測站環境等因素撤除瑪家站，2014年新增臺東池上站，2015年新增屏東馬仕站，至2016年底共有12座地磁場觀測站，詳細分布見圖3.1.1。

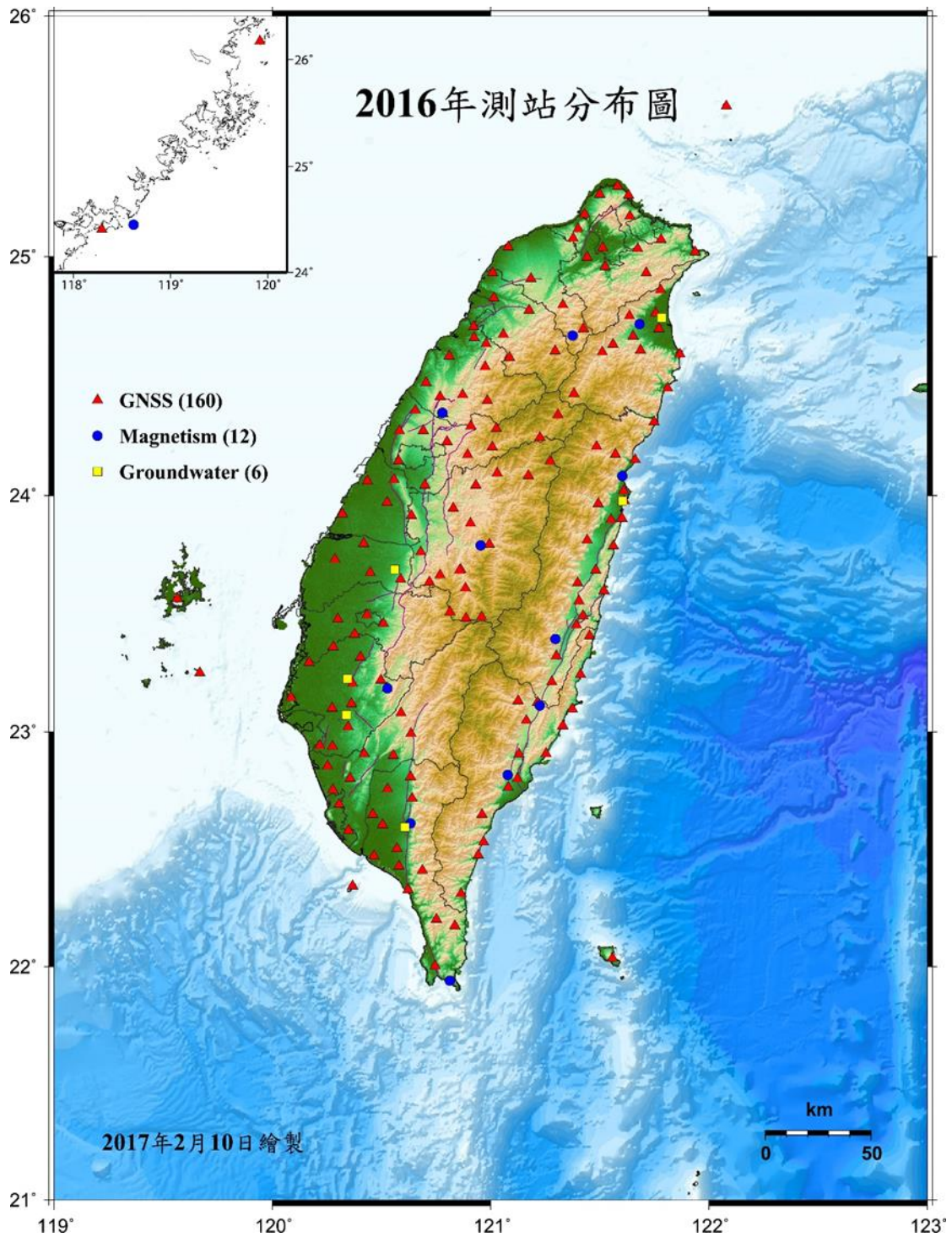


圖3.1.1 臺灣地球物理觀測網 (TGNS) 測站分布圖，圖中GNSS代表全球導航衛星系統測站，Magnetism代表地磁全磁場觀測站，Groundwater代表地下水位觀測站。

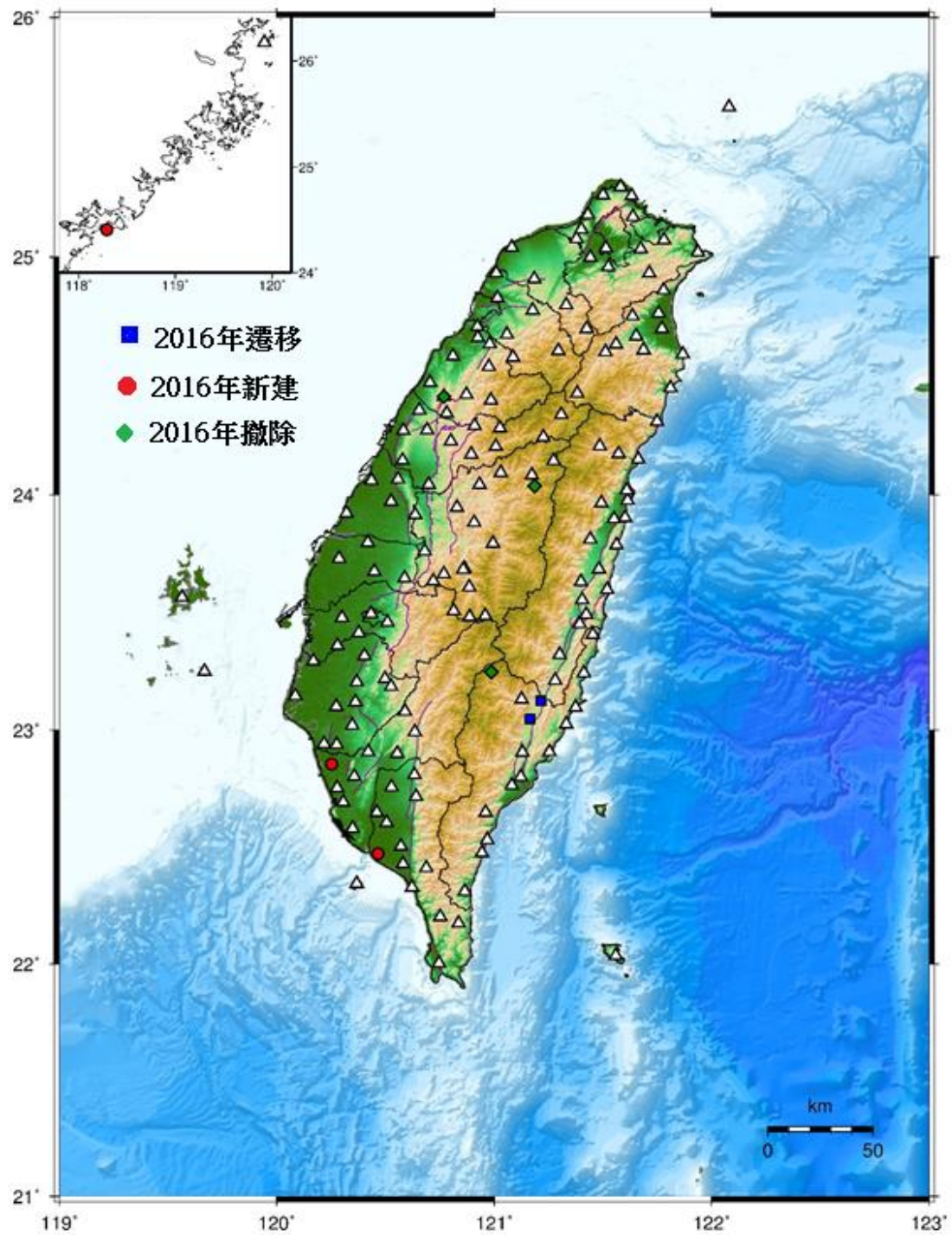


圖 3.1.2 全球導航衛星系統觀測站(GNSS)分布圖，藍色實心正方形為 2016 年遷移站址之測站，紅色實心圓形為 2016 年新建之測站，綠色實心菱形為 2016 年撤除之測站。



## (二) 地球物理觀測資料分析

### 1. 地殼形變觀測

臺灣位於菲律賓海板塊與歐亞板塊交界帶，地震活動頻繁，地殼變形顯著。相對於穩定的歐亞板塊，菲律賓海板塊每年約以8公分的速度向西北西移動。臺灣各機關單位建置之全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)及全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)連續觀測紀錄站已超過300站，無論是測站密度或資料精度，皆可為地殼變形觀測之利器。臺灣北部之地殼變形較不明顯，大部分地殼應變皆沿著東部縫合帶與西南褶皺逆衝斷層帶累積。在臺東之地殼變形速度場約有5-6公分/年，越過中央山脈至嘉南地區，於西部麓山帶則減至3-4公分/年，到海岸平原地區則接近零值。在高雄與屏東地區地殼變形速度加大且改變方向向西南旋轉，於宜蘭與花蓮交界區亦呈現方向之旋轉，這些地殼變形特徵都顯示臺灣地區地體構造的複雜性。

本局2016年全球導航衛星系統之地殼形變觀測成果如圖3.2.1及圖3.2.2所示。圖3.2.1之座標系統ITRF(International Terrestrial Reference Frame)係利用全球導航衛星系統觀測站網之觀測資料成果推算所得之地心座標系統，每隔數年會使用最新的演算和測量方法更新座標系統以保持精確度，目前本局使用的座標系統為ITRF2008。

## GPS Velocity Field 201601-201612

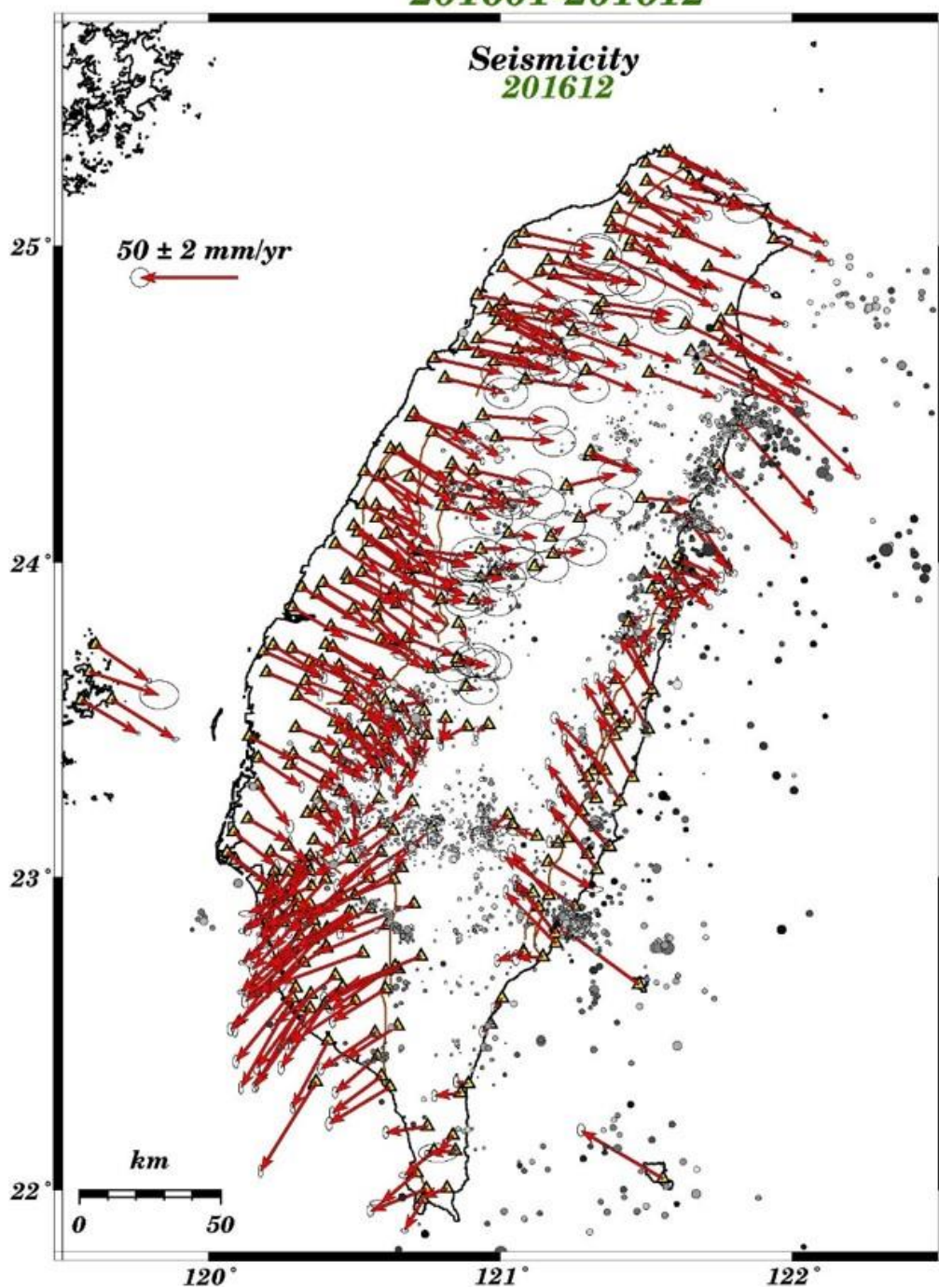


圖3.2.1 本局2016年全球導航衛星系統觀測結果，圖為GNSS在ITRF2008座標系統下之水平速度場圖，圖內之箭頭代表測站年移動速度量值及方向。圖中標示有該年12月的地震活動情形(震央分布位置)，做為與GNSS觀測地殼形變資料之比對。

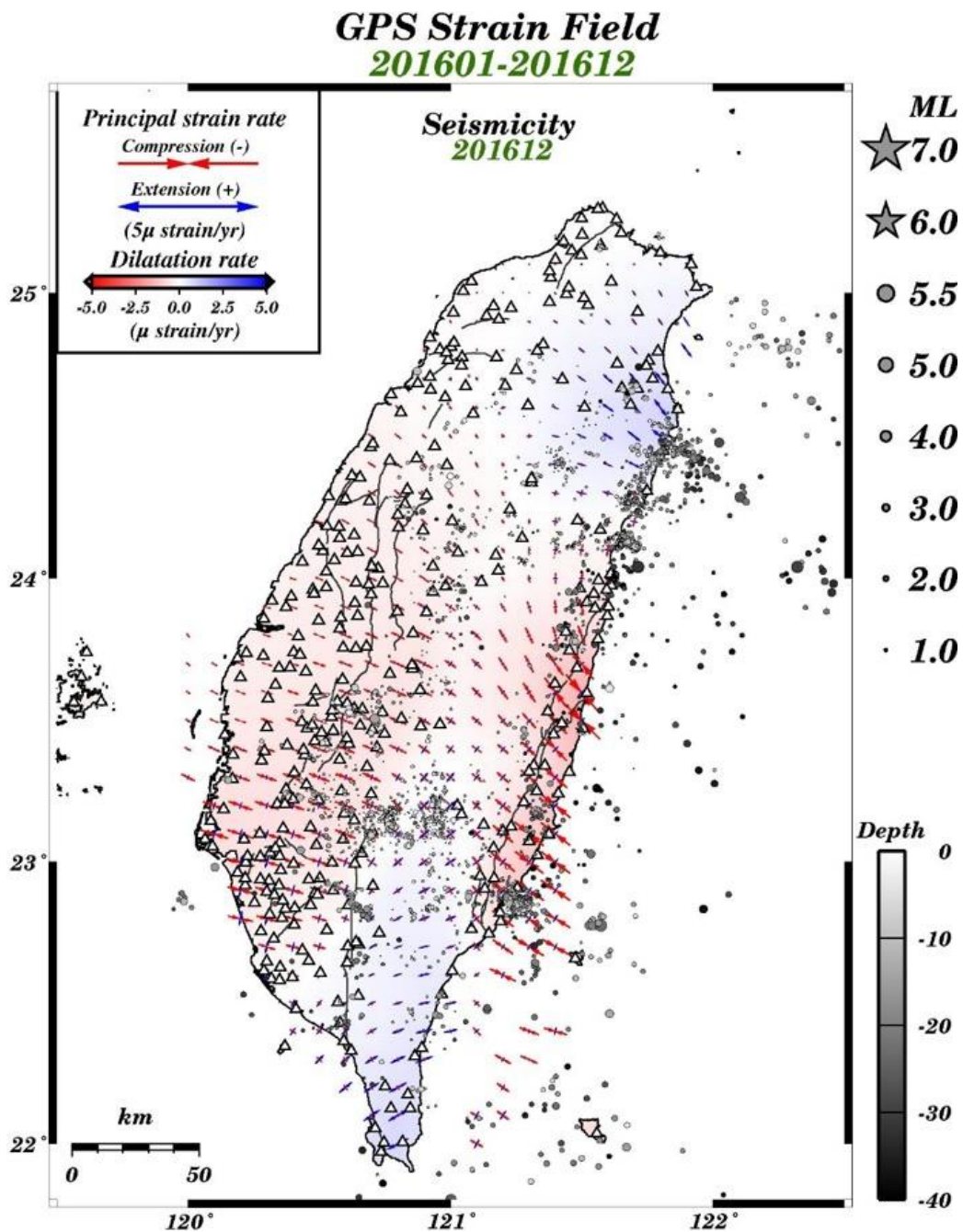


圖3.2.2 本局2016年全球導航衛星系統觀測結果，圖為應變場分布圖。紅、藍色各代表壓縮及伸張區域，臺灣地區壓縮最大的區域位於花東海岸山脈區域。圖上標示該年12月的地震活動情形(震央分布位置)，做為與GNSS觀測地殼形變資料之比對。

## 2. 電離層全電子含量 (Total Electron Content, TEC)

自1999年9月至2002年12月份臺灣地區共發生20起規模大於6.0的地震，其中有16筆地震在發生前5天皆有觀測到電離層負異常現象，地震規模6.0以上地震，於5天前發生電離層前兆的機會為80%(Liu et al., 2004)。而根據本局推算之電離層濃度觀測資料，2016年共計有12個規模大於5.5的地震，8個地震發生前5天內電離層均有超過30%負異常情形，機率為67%(8/12)，6個地震發生前5天內電離層均有超過30%正異常情形，機率為50%(6/12)，其中3個地震發生前同時有正、負異常情形，機率為25%(3/12)；若考慮規模5.0以上的地震，共計有34個，其中有24個地震發生前5天內電離層有超過30%負異常情形，機率為71%(24/34)，18個地震發生前5天內電離層有超過30%正異常情形，機率為53%(18/34)，9個地震發生前5天內電離層同時有超過30%正、負異常情形，機率為26%(9/34)。另外，2016年電離層TEC共出現43次超過60%負異常，其中18次在異常發生後5天內有規模大於5.0的地震發生，扣除5次受磁暴影響，電離層負異常後地震發生機率約為30%(13/43)；41次超過60%正異常，其中13次在異常發生後5天內有規模大於5.0的地震發生，扣除4次受磁暴影響或地震當日，電離層正異常後地震發生機率約為22%(9/41)。電離層觀測與地震發生之關聯性分析圖如圖3.2.3。

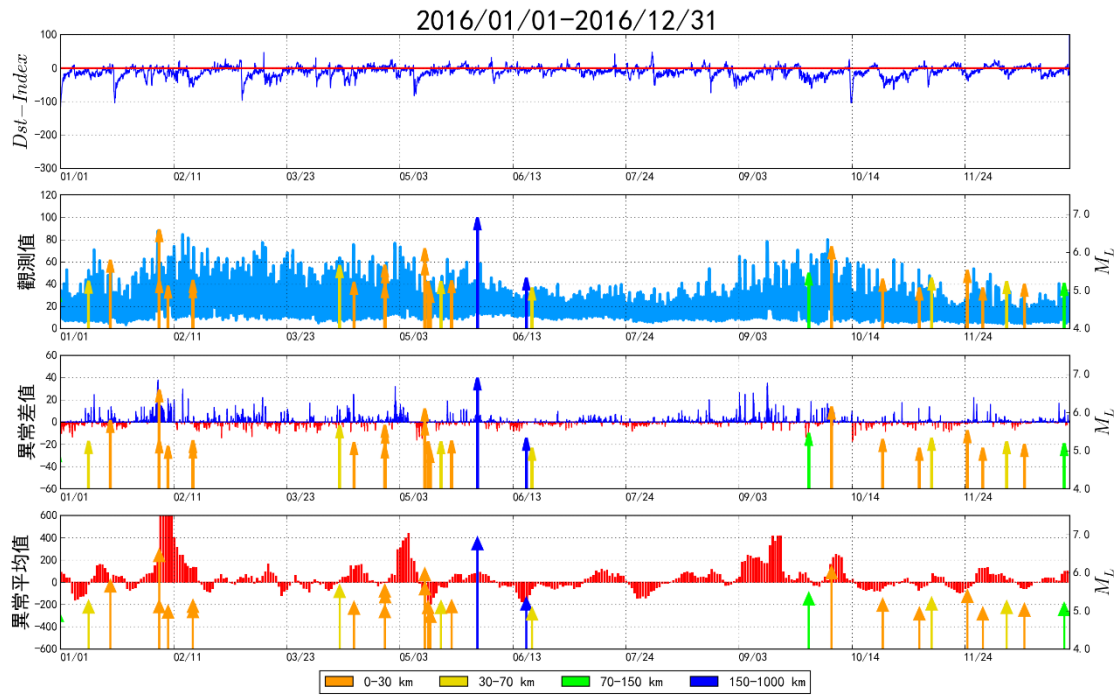


圖 3.2.3 2016 年電離層觀測與地震發生之關聯性分析：(a)太陽磁暴之日變化觀測量，(b)電離層觀測值日變化(藍色線)，(c)藍色區域為電離層與理論值上界之正差異，紅色區域為電離層與理論值下界之負差異，(d)電離層 5 日平均量，間距 1 日之觀測量。圖中箭頭符號為電離層低量異常後發生所觀測之地震。

### 3. 地下水位觀測

本局建置花蓮、壯圍、東和、六甲、那菝與赤山6口即時連線的觀測井，以連續記錄方式持續觀測，藉以建立地下水位變動的相關研究參數，作為地震前兆偵測的研判，2016年各站地下水位變化情形如圖3.2.4(a)與3.2.4(b)。

各地下水位短期變化趨勢以氣壓、潮汐、降雨為主，長期趨勢則有較大差異。花蓮站短期地下水位明顯受海潮影響。壯圍站長期地下水位主要受到季節性趨勢影響。那菝、六甲站長期水位變化相當穩定，季節與水文循環的影響不明顯，水位長期趨勢為上升。東和、赤山站近地下水補注區，短期的降雨影響不明顯，水位變化趨勢受到季節性影響大，乾、濕季呈現兩極端的水位持續下降與上升趨勢。

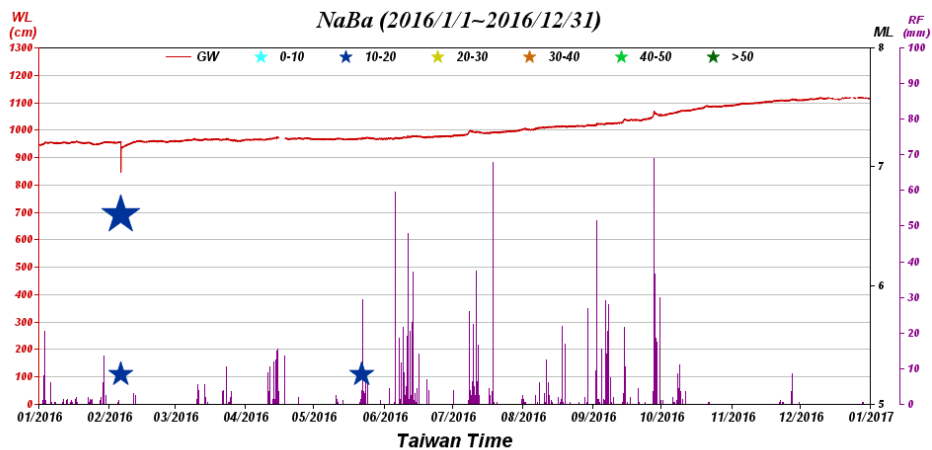
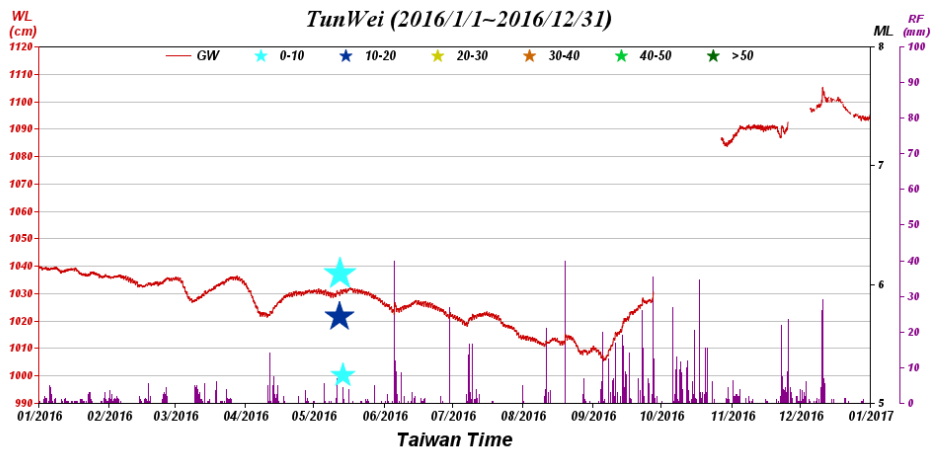
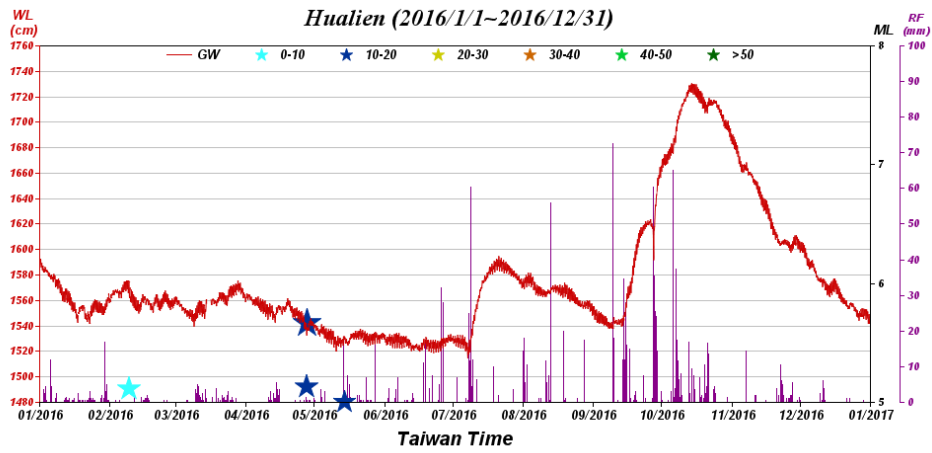


圖 3.2.4(a) 本局地震地下水觀測網 2016 年地下水位變化圖，由上而下分別為花蓮站、壯圍站、那菝站，圖中紅色實線表示地下水位，紫色直條表示鄰近地區降雨量、星號表示測站周圍 50 公里範圍內規模 5.0 以上且深度小 40 公里內地震。

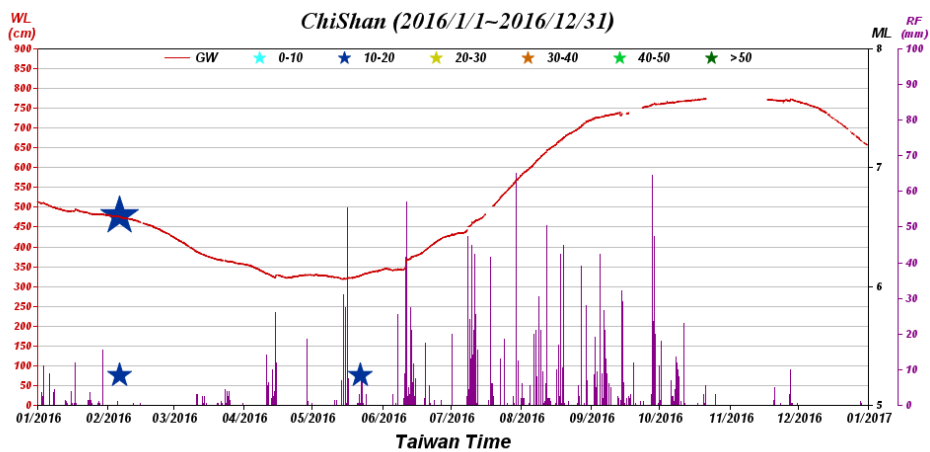
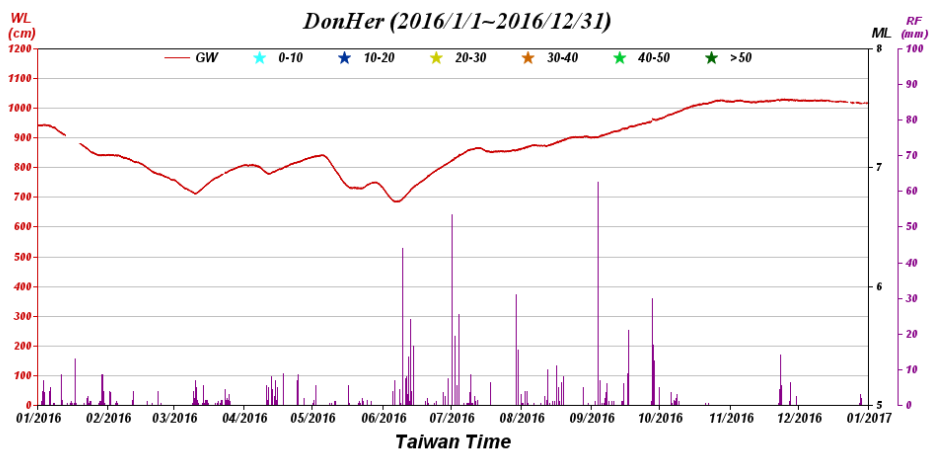
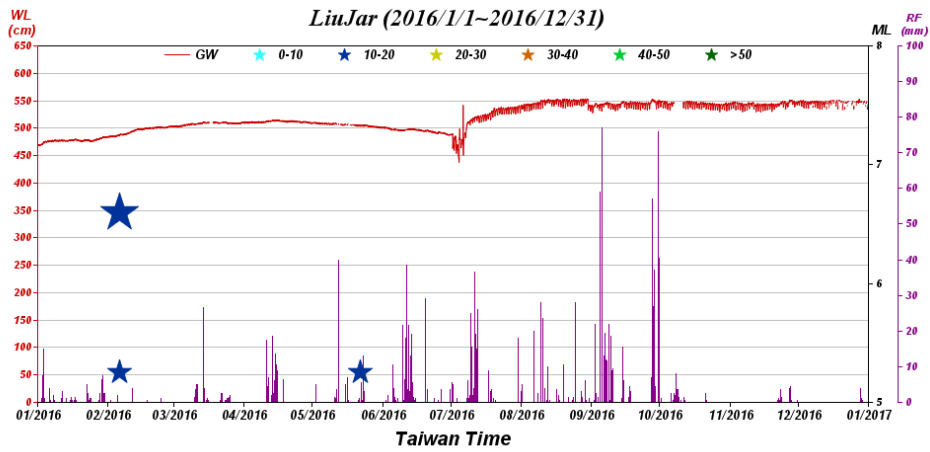


圖 3.2.4(b) 本局地震地下水觀測網 2016 年地下水位變化圖，由上而下分別為六甲站、東和站與赤山站，圖中紅色實線表示地下水位，紫色直條表示鄰近地區降雨量、星號表示測站周圍 50 公里範圍內規模 5.0 以上且深度小 40 公里內地震。

#### 4. 地磁全磁場觀測

2013年初屏東瑪家站因測站環境等因素而撤站，2014年新建臺東池上站，2015年新建屏東馬仕站，截至2016年地磁場連續觀測網共12個觀測站，以金門的磁力站為本觀測網的參考基準站，其他11個站分別建在地震活動度較高的地區，各觀測站安裝精度為0.1 nT 的全磁場強度磁力儀，取樣率為每秒1點。目前本局地磁場的觀測資料分析著重於各站基本地磁場特性的研究，利用不同方法去除地磁場基本與長期變化量，嘗試發現較大地震與地磁場變化之間的關連性。

臺灣地區的全磁場強度範圍約為 43,500 ~ 46,000 gamma，測站緯度愈高磁場強度愈大，其中金門站 (KM) 觀測值最大。地磁場日變化量差異則是緯度愈低變化量愈大，以恆春站 (HC) 為例，其日變化量較其他站大2~3倍。中短期地磁場變化受磁暴影響很大，藉由觀測全球的地磁指數 (Dst index) 顯示地磁場受太陽風影響擾動的程度。地磁場亦會受人為因素影響，因此白天的變動通常較夜間強烈。自2010年本局地磁場觀測資料開始接收迄今，約略可發現長期地磁場強度有逐年升高的趨勢。2016年地磁場觀測變化如圖3.2.5所示。



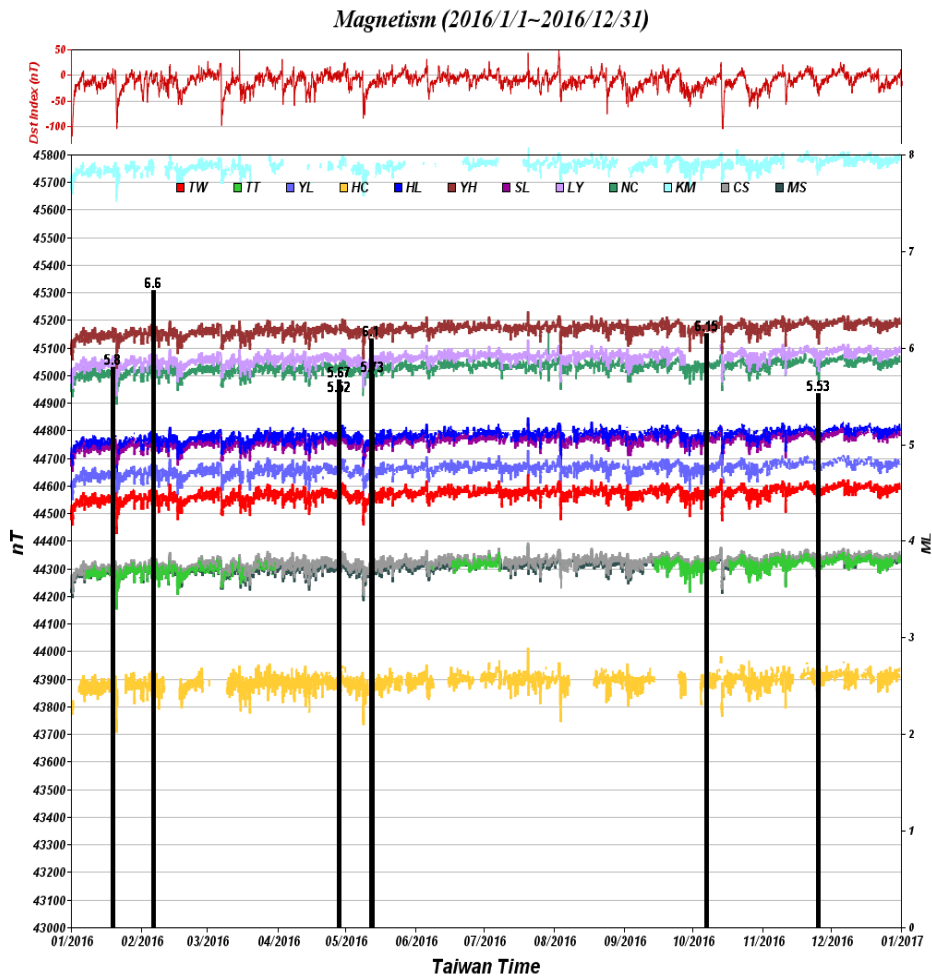


圖3.2.5 本局地磁場觀測網2016年地磁場(左軸，單位gamma)觀測時序(橫軸)變化圖，測站站名中英文對照如下：臺南灣丘站TW、臺東卑南站TT、花蓮玉里站YL、屏東墾丁站HC、花蓮加灣站HL、桃園爺亨站YH、南投雙龍站SL、苗栗鯉魚潭站LY、宜蘭內城站NC、金門站KM、臺東池上CS、屏東馬仕站MS。長條實線表示發生規模5.5以上且深度小於40公里地震之時間(橫軸)與規模(右軸)。最上圖為全球觀測的地磁指數(Dst index)顯示地磁場受太陽風影響擾動的程度。

## 四、地震速報作業

### (一) 有感地震報告

本局於2016年共發布678筆有感地震報告，其中112筆顯著有感地震為加註年度編號並有向媒體、相關防救災單位通報之地震報告，566筆為震度影響範圍較小之小區域有感地震報告。其中發生於2月6日3時57分，位於高雄市美濃區芮氏規模6.6的有感地震，造成了117人死亡、546人受傷，其產生的災害與傷亡，是臺灣地區自1999年集集大地震之後，最嚴重的一場地震災害。

前述112筆顯著有感地震報告，其平均作業時效為地震發生後5分45秒發布完成。每筆正式地震報告對外發布產品除圖文報告外，還包括隨後產製之等震度圖、各地波線圖等。各式產品依屬性不同，利用各式管道對外發布如：紙本傳真、手機簡訊、電子郵件、電子報、166/167語音服務、臉書FaceBook報地震服務，以及專線傳輸等。顯著有感地震報告主動通報之簡訊數量，規模5以上每筆平均約發送550則；規模未達5平均約發送500則簡訊。

2016年各月份有感地震報告之有感地震震央分布如圖4.1.1、規模統計如表4.1.1、震度統計如表4.1.2、有感地震報告個數統計如表4.1.3。

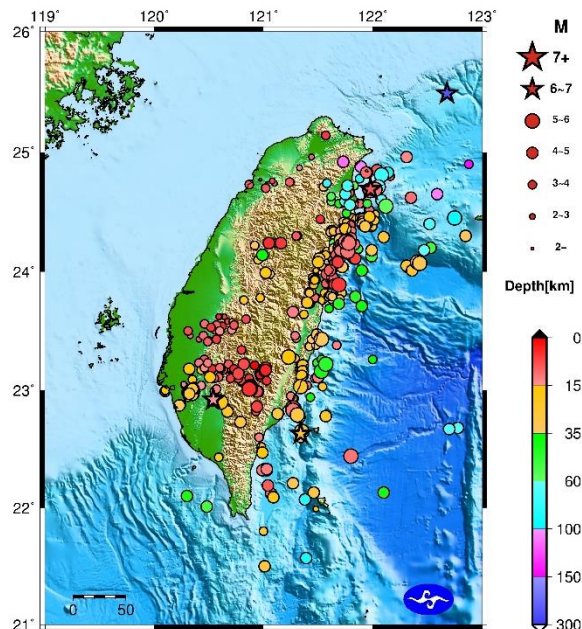


圖4.1.1 2016年有感地震報告震央分布圖 (★：規模6以上)。

表 4.1.1 2016 年各月份有感地震之規模統計表

規模統計	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合計
規模 7 以上個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
規模 6~7 個數	0	2	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	6
規模 5~6 個數	2	4	1	6	5	1	0	0	1	1	4	3	28
規模 4~5 個數	9	21	13	24	32	6	9	6	6	8	6	9	149
規模 3~4 個數	15	38	34	68	97	33	20	18	21	13	23	32	412
規模 2~3 個數	5	10	5	13	15	4	5	3	6	5	4	6	81
規模 1~2 個數	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
規模 0~1 個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	31	75	54	111	151	45	34	27	35	28	37	50	678

表 4.1.2 2016 年各月份有感地震之震度統計表

震度統計	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合計
震度 7 個數	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
震度 6 個數	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
震度 5 個數	1	2	0	6	6	0	2	0	1	1	0	0	19
震度 4 個數	2	4	7	23	29	9	3	2	4	4	3	10	100
震度 3 個數	10	25	14	39	71	14	9	9	8	11	16	19	245
震度 2 個數	15	34	27	38	40	18	13	13	19	9	16	15	257
震度 1 個數	3	9	6	5	4	4	7	3	3	3	2	6	55
震度 0 個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	31	75	54	111	151	45	34	27	35	28	37	50	678

表 4.1.3 2016 年各月份有感地震報告之個數統計表

有感地震統計	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合計
顯著有感地震個數	4	14	4	23	32	6	5	2	5	4	7	6	112
小區域地震個數	27	61	50	88	119	39	29	25	30	24	30	44	566
合計	31	75	54	111	151	45	34	27	35	28	37	50	678

## (二) 地震速報系統速報效能分析

2016年顯著有感地震報告共112筆，速報系統全區網自動定位之時效平均約49秒完成，經值班人員檢視地震訊號、確認資訊後，平均在5分45秒完成報告產製與對外發布作業，如圖4.2.1所示。

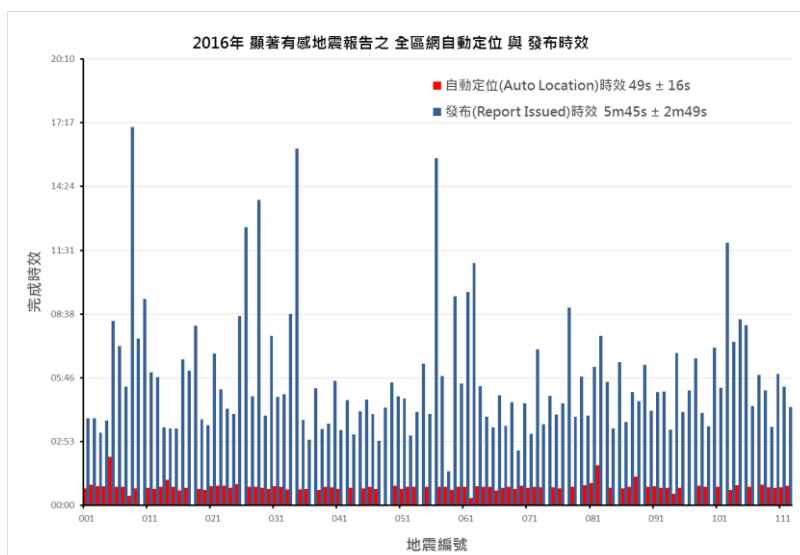


圖4.2.1 2016年顯著有感地震自動定位與主動通報發布時效統計圖。

檢視2016年對臺灣本島陸地較有影響之地震，搜尋近岸10公里、規模4以上、震源深度40公里以內條件下之有感地震計有99筆，統計地震速報系統自動定位之效能如下：

1. 全區網：偵測率78.79%，平均位置誤差2.73公里，深度誤差5.11公里，時效48.31秒。
2. 虛擬子網：偵測率81.82%，平均位置誤差5.50公里，深度誤差5.64公里，時效18.57秒。

經分析全區網與虛擬子網自動定位各遺漏21筆與18筆地震，主要原因如下：1. 規模較小，2. 震央位置鄰近之測站不足以致觸發站數偏少，3. 短時間內密集發震，自動系統無法連續解析所致。全區網與虛擬子網之自動定位偏差如圖4.2.2與4.2.3。

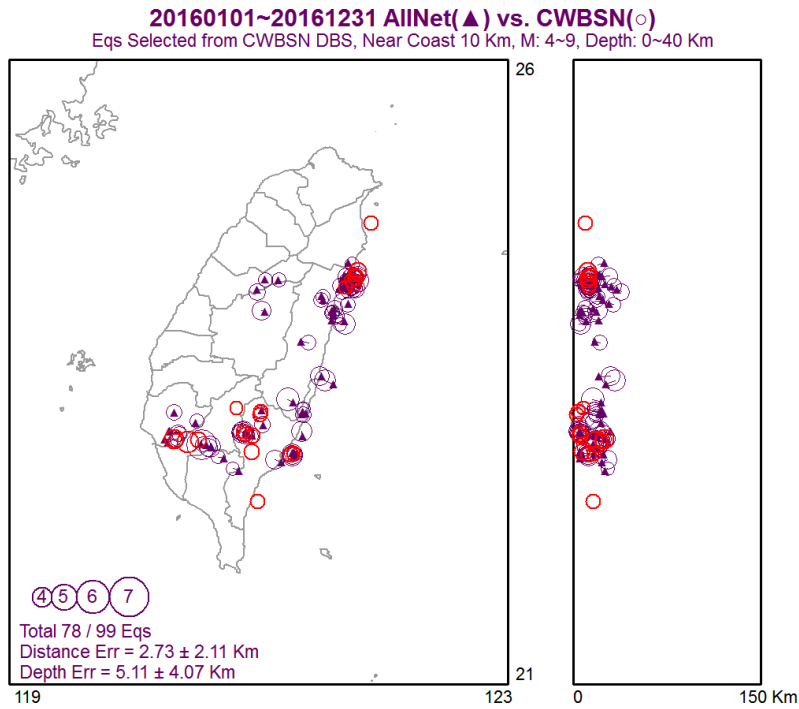


圖4.2.2 2016年地震速報系統全區網自動定位偏差。

○大小表示地震規模大小，▲為自動定位震央位置。  
紅色○表示無自動定位結果，右圖為震源深度分布。

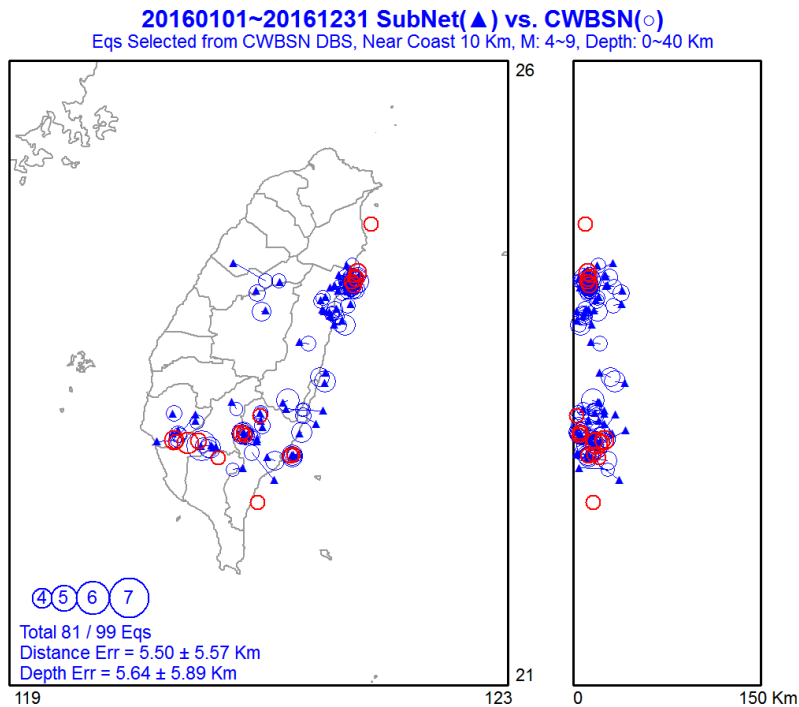


圖 4.2.3 2016 年地震速報系統虛擬子網自動定位偏差。

○大小表示地震規模大小，▲為自動定位震央位置。  
紅色○表示無自動定位結果，右圖為震源深度分布。

## 五、海嘯警報發布作業

2016年太平洋海嘯警報中心（PTWC）針對太平洋沿岸地區發出71報次之海嘯警報電文，共45起海域地震事件，其中有10起達到警戒或觀察報文的門檻，最大為12月17日發生於太平洋西南部巴布亞紐幾內亞新愛爾蘭省東部海域、規模7.9之強震，2016年PTWC無發布將臺灣地區列為海嘯警戒區域之事件。

## 六、強震即時警報應用推動

### (一) 背景

#### 1. 原理與限制

強震即時警報是指當大地震發生後，利用震央附近地震站觀測到的早期震波資料，快速解算出地震規模、位置與深度，並以此預估各地區之震度與震波到時等資訊，再利用快速通訊技術，搶在具威脅性的地震波（S波）到達前，對各地區通報預估的震度及震波到時等資訊。

如果強震即時警報的通報比實際破壞性地震波（S波）更快到達，相關地區就可爭取數秒至數十秒的預警時間來應變，是目前最有效的地震減災科技。

雖然強震即時警報所能爭取的應變時間有限，且越靠近震央，預警時間越短暫，但若善加利用，仍可發揮很大的功效。除緊急避難應變之外，高速交通工具能夠及時減速、維生線或是瓦斯管線能夠自動關閉、工廠的生產線可以及時停止運轉，或是電腦硬碟的讀寫動作可以立即停止動作等。因此如何使這十幾秒的預警時間發揮作用，將是強震即時警報成功與否的關鍵。

由於強震即時警報仍需收錄震央附近地震站觀測到的早期震波資料，且資料處理需要一定的時間，故當近震央地區接收到強震即時警報時，地震波（S波）可能已經到達，這些無法有應變時間的地區稱為預警盲區（blind zone），這是地震預警的限制。另外，若在極短時間內有兩個地震連續發生，強震即時警報系統可能無法精確地分辨其波形資訊，或是因測站背景雜訊、人為干擾、通訊品質不佳等等原因，造成地震訊號品質不佳，均有可能造成系統誤判，影響強震即時警報的精確度，甚至遺漏或誤報，日本即曾發生數次誤報事例，相關技術仍有待改進。

#### 2. 推動規劃

本局之權責位屬強震預警防救災體系之上游預警資訊提供。現階段已建置「強震即時警報系統」，現行作業模式係針對臺灣本島地區近岸10公里內之中大型有感地震，平均約在地震發生後20~30秒，可完成初步地震資訊、各地預估震度與預估到時等資

訊，並對外發送，對於距震央100公里以外之地區，將可提供約10秒以上之預警時效。

為使國內中、下游層次之強震預警機制更加完備，因此本局規劃以下業務作為推動方向：

- (1) 發展強震即時警報技術系統，業務重點為縮短預警時效，並提昇相關資訊之精確度；與民間業者合作，利用最新網路通訊科技開發傳、收介面；推動全國中小學強震即時警報傳遞機制。累計至 2016 年已完成客戶端數量約 4,300 個。
- (2) 持續與民間業者合作，針對非傳統 IP 網路之通訊技術，開發無線傳、收介面。擴大接收預警訊息之客戶端數量至數萬至數十萬有線、無線電腦或設備。與電視臺業者合作進行強震即時警報訊息推播，以利防災單位、媒體及民眾即時因應。
- (3) 新一代強震即時警報系統已全面上線正式運作。2016 年國家通訊傳播委員會(NCC)已整合電信業者，完成簡訊廣播之規範，可透過相關系統將預警資訊快速提供至一般民眾 4G 手機。一般民眾均可透過手機、無線載具設備接收強震即時警報資訊。鑒於災防告警細胞廣播訊息系統(Public Warning System, PWS)已穩定運作，若能開發簡易電子裝置，接收 PWS 訊息供幼兒園及大眾使用，未來無須再尋求訊息轉發單位，即可達到大量訊息迅速傳遞。

## (二) 2016 年執行成效

### 1. 系統效能

檢視2016年地震預警系統運作情形，總共發布67次強震即時警報(表6.2.1)。在發布時效表現方面，除了發生於東部外海的遠地地震，其他島內或近海地震皆可在地震發生後20秒以內就對外發布訊息，對於距離震央70公里以外的地區提供預警。至於70公里以內範圍，由於警報作業處理需要時間，包含資料擷取與地震定位，因此當系統獲得結果並開始對外發布時，地震的S波其實已經到達，這是地震預警的限制，而這個無法提供預警的範圍則稱為預警盲區。另外比較系統自動發布的警報資料與人工處理發



布的地震報告，同樣對於島內或近海地震，在震央位置與地震規模都可以有很好的掌握，位置平均誤差約在16.65公里左右（表6.2.1、圖6.2.1），規模誤差則平均為0.25（表6.2.1、圖6.2.2）。

表 6.2.1 2016 年強震即時警報時效與誤差統計表

日期（臺灣時間）	地震報告				即時警報				時效 (秒)	位置 誤差 (公里)	規模 誤差
	經度 (度)	緯度 (度)	規模	深度 (公里)	經度 (度)	緯度 (度)	規模	深度 (公里)			
2016/1/3 22:01	122.08	24.595	4.89	66.39	122.18	24.65	4.5	50	23	12.5829	0.39
2016/1/11 12:52	121.531	23.4338	5.25	35.15	121.4	23.47	4.9	20	19	14.92	0.35
2016/1/19 10:13	121.313	22.787	5.8	29.72	121.29	22.8	5.8	20	22	2.86	0.00
2016/2/2 22:19	123.536	25.4235	6.65	203.74	122	24.98	5	30	46	175.84	1.65
2016/2/6 3:57	120.544	22.922	6.6	14.64	120.59	22.92	6.1	10	13	5.09	0.50
2016/2/6 4:01	120.354	23.0107	4.55	23.24	120.33	23.04	5.3	10	19	4.15	0.75
2016/2/9 8:47	121.692	23.8883	5.12	5.69	121.66	23.91	4.9	10	20	4.25	0.22
2016/2/16 10:45	120.893	23.0003	4.76	5.8	120.9	22.98	4.5	10	15	2.35	0.26
2016/2/16 12:04	120.869	23.0107	4.97	5.03	120.88	22.99	4.8	10	17	2.60	0.17
2016/2/18 9:09	120.869	23.0163	5.27	5.44	120.91	23.02	5.2	10	24	4.50	0.07
2016/2/18 9:18	120.876	23.0265	5.13	4.26	120.9	23.02	4.9	10	16	2.71	0.23
2016/2/23 16:26	122.36	24.0083	4.75	24.86	122.1	24	4.5	20	29	28.65	0.25
2016/2/27 10:59	121.028	22.3322	4.77	12.84	121.01	22.38	4.5	10	16	5.61	0.27
2016/3/6 2:11	121.772	24.7167	4.67	70.48	121.69	24.8	4.6	70	27	12.82	0.07
2016/3/28 16:07	121.132	22.8	4.85	26.86	121.13	22.76	4.6	20	17	4.40	0.25
2016/4/7 8:13	122.696	22.6738	4.74	65.47	122.08	23	4.5	20	40	76.69	0.24
2016/4/10 21:21	122.78	22.6825	4.89	65.9	121.89	23.1	4.6	10	65	108.11	0.29
2016/4/11 13:45	122.125	24.5512	5.66	59.81	121.84	24.74	5	30	21	37.58	0.66
2016/4/16 18:55	121.802	22.4432	5.22	11.83	121.93	22.43	5.2	20	29	14.21	0.02
2016/4/20 00:16	122.537	23.962	4.57	26.74	122.18	24.14	4.5	10	33	43.86	0.07
2016/4/27 23:17	121.784	24.2372	5.67	11.94	121.74	24.24	5.6	10	16	4.85	0.07
2016/4/27 23:27	121.749	24.2527	5.13	12.99	121.74	24.23	4.7	10	16	2.69	0.43
2016/4/28 2:19	121.233	23.2832	5.52	15.21	121.22	23.29	5.7	20	15	1.64	0.18
2016/4/28 9:14	121.798	24.2843	4.5	12.58	121.81	24.27	4.8	10	17	2.04	0.30
2016/5/1 6:46	121.739	24.2197	4.78	12.31	121.72	24.23	4.6	10	16	2.41	0.18
2016/5/2 22:29	121.721	24.2095	4.88	11.83	121.74	24.2	4.8	10	17	2.31	0.08
2016/5/6 15:53	121.493	23.4727	4.87	29.72	121.4	23.51	4.6	20	19	10.97	0.27
2016/5/7 22:51	121.756	24.2207	4.78	11.82	121.8	24.21	5	30	15	4.98	0.22
2016/5/8 10:46	121.023	23.9928	4.93	19.13	121.06	24	5.1	20	14	4.12	0.17
2016/5/12 11:17	121.98	24.6918	6.1	8.86	121.97	24.67	6	10	14	2.65	0.10
2016/5/12 11:20	121.976	24.6927	4.63	11.38	122.02	24.68	5	10	17	5.02	0.37
2016/5/12 12:29	122.017	24.6908	5.73	12.03	121.95	24.71	5.3	10	18	7.70	0.43
2016/5/13 16:24	121.985	24.6838	5.24	9.77	121.92	24.68	5.2	10	16	7.11	0.04
2016/5/14 11:12	121.763	24.1748	4.69	12.4	121.7	24.18	4.5	10	19	6.90	0.19
2016/5/14 11:32	121.77	24.1732	5.01	11.6	121.76	24.18	4.7	10	17	1.36	0.31
2016/5/18 8:22	121.574	23.2162	5.24	45.75	121.43	23.33	4.9	40	21	20.15	0.34
2016/5/22 4:51	120.61	22.9025	5.26	18.13	120.64	22.91	4.9	10	14	3.40	0.36
2016/5/22 10:06	120.597	22.898	4.8	16.92	120.62	22.87	4.6	20	15	3.99	0.20
2016/5/30 1:48	121.03	23.081	4.5	4.2	121.07	23.07	4.5	20	26	4.60	0.00
2016/5/30 10:52	121.718	24.1672	4.67	13.66	121.77	24.14	4.5	10	19	6.47	0.17
2016/5/31 1:50	122.534	24.2	4.92	50.84	122.32	24.17	4.8	60	27	23.77	0.12
2016/5/31 13:23	122.683	25.492	6.91	256.89	121.8	24.98	5.9	40	45	112.25	1.01
2016/6/20 8:39	121.534	23.1632	5.07	39.39	121.55	23.22	5	30	22	6.51	0.07
2016/6/20 15:53	121.892	24.8842	4.73	106.91	121.93	24.92	5.1	100	28	5.72	0.37
2016/6/24 5:05	123.42	23.532	6.07	47.02	123.21	23.4	5.9	40	42	27.27	0.17
2016/7/1 16:23	122.308	24.0512	4.75	26.83	122.01	24.04	4.6	30	28	32.78	0.15
2016/7/14 11:32	121.36	23.1625	4.42	17.87	121.44	23.08	4.5	20	21	12.64	0.08
2016/7/16 10:35	121.749	24.3628	4.23	19.61	121.79	24.32	4.5	20	29	6.50	0.27
2016/7/20 20:55	120.986	24.1437	4.53	37.98	120.99	24.09	4.7	40	15	5.93	0.17
2016/7/27 12:02	121.755	24.2658	4.81	7.68	121.74	24.25	4.7	10	16	2.38	0.11
2016/8/12 21:35	122.138	24.8297	4.63	95.83	122.46	24.89	4.8	80	40	36.06	0.17
2016/9/1 00:28	121.967	24.4563	4.93	17.98	121.87	24.48	5	10	17	10.95	0.07
2016/9/10 00:54	122.097	22.1268	4.87	40.79	122.07	22.24	5	20	47	12.7962	0.13
2016/9/24 17:36	121.515	24.1057	4.23	19.16	121.61	24.07	4.6	30	24	11.1944	0.37
2016/9/28 17:38	122.753	24.4453	5.46	96.87	122.8	24.47	5.4	50	38	5.85994	0.06
2016/10/06 23:52	121.344	22.627	6.15	23.7	121.32	22.61	5.9	20	21	3.21727	0.25
2016/10/25 12:45	121.35	22.6543	5.3	23.69	121.36	22.64	5.2	30	22	1.90694	0.1
2016/11/07 19:56	121.343	23.0295	5.07	20.45	121.29	23.04	4.9	10	19	5.97568	0.17
2016/11/12 06:25	122.43	24.0662	5.33	31.17	122.38	24.05	5.4	20	31	5.78148	0.07
2016/11/25 05:55	122.413	24.0783	5.53	27.47	122.41	24.03	5.6	10	31	5.32192	0.07
2016/11/29 07:59	121.274	22.2068	4.62	32.25	121.26	22.26	4.5	30	20	6.04568	0.12
2016/11/30 20:04	121.268	22.8317	5.07	11.84	121.27	22.83	4.9	10	17	0.26446	0.17
2016/12/09 12:09	122.047	24.712	5.24	63.1	121.82	24.75	4.8	50	20	25.3175	0.44
2016/12/15 22:11	121.256	22.8462	4.29	11.05	121.29	22.87	4.5	10	28	4.58329	0.21
2016/12/15 22:14	121.269	22.8465	5.17	11.39	121.26	22.85	5.2	10	17	1.04175	0.03
2016/12/22 23:41	122.883	24.8977	3.92	145.4	123.3	24.78	4.6	50	46	47.7151	0.68
2016/12/30 08:30	122.079	24.8082	5.19	75.17	121.87	24.94	4.9	70	24	27.2075	0.29

位置誤差平均 16.65 公里  
規模誤差平均為 0.25

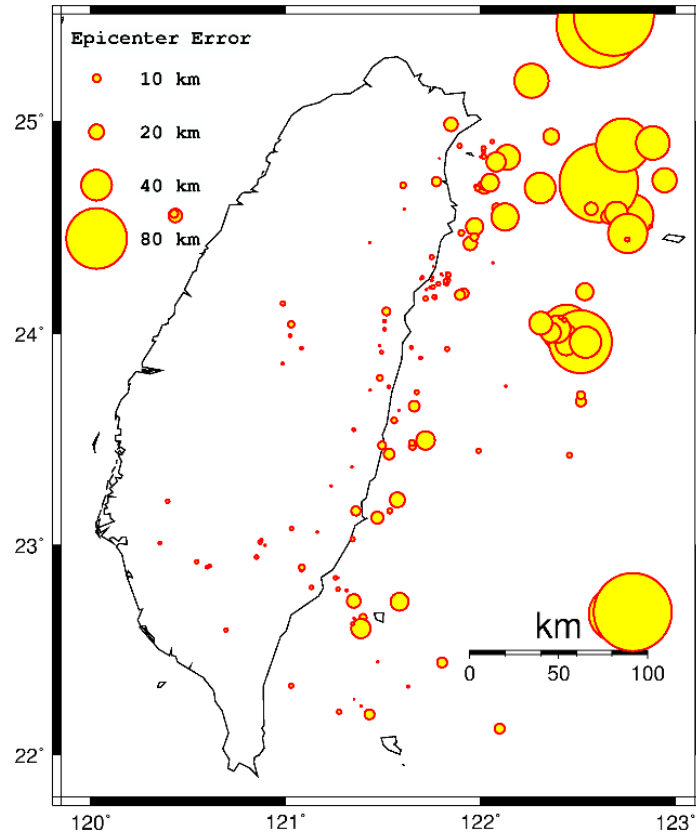


圖 6.2.1 2016 年強震即時警報震央位置誤差隨震央之分布圖。  
 (圓圈愈大震央誤差愈大，尺度見圖左上)

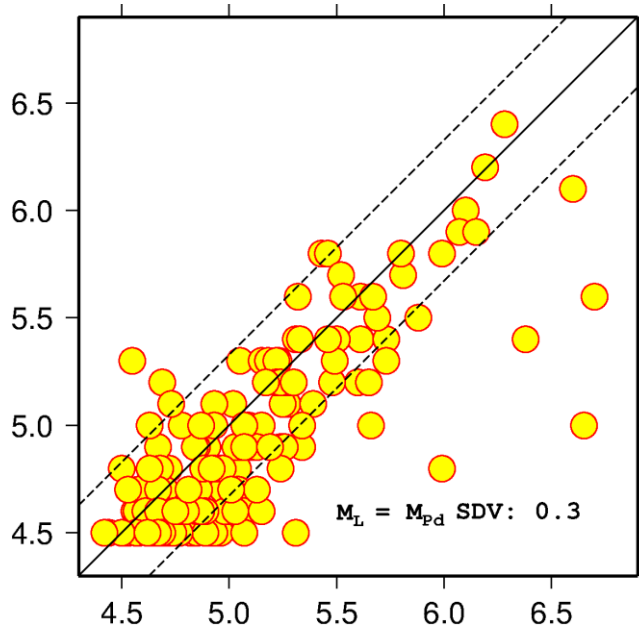


圖6.2.2 2016年強震即時警報地震規模誤差分布圖。  
 (橫軸為完整分析之地震規模，縱軸為強震即時警報地震規模)

系統針對島內地震已具備良好的偵測與預警能力，以2016年4月27日23時17分，規模5.6的花蓮與宜蘭間近海地震為例，系統在地震發生後19秒即開始對外發布警報，並在0.5秒內完成2,300多所學校的傳遞。警報發布的地震規模為5.6，震央位置與後來人工定位相差4.9公里，結果相當接近。預警效益方面，除了宜蘭與花蓮北部地區外，距離震央約60公里以外的地區開始擁有數秒至數10秒的預警時間(圖6.2.3)，包括臺北、臺中等都會區約10秒，高雄、臺南等都會區約20秒以上，成功展示本局強震即時警報的成效。



圖6.2.3 強震即時警報接收警報事件之示意圖。

## 2. 通報、推廣成果

配合教育部計畫，全國超過4,300所高中職、中小學均已完成強震即時警報接收軟體的安裝，2016年配合教育部以及國家防災日演習，進行多次演練測試，統計學校單位之接收效能如下：

- (1) 2016年9月14日國家防災日預演，應接收測試訊息學校共2,618所，成功傳送至2,124校，2,720部電腦主機接收，學校接收率81.13%，0.140秒完成。
- (2) 2016年9月21日國家防災日，應接收測試訊息學校共3,544所，成功傳送至3,059校，4,038部電腦主機接收，學校接收率86.31%，0.216秒完成。

本局與外部單位合作推動地震資訊傳遞服務，2016年累計有15個單位（包括學術單位與民間廠商等）（表6.2.2）簽訂「合作推動地震資訊傳遞服務契約」，提供強震即時警報傳遞服務，並開發增值應用，推廣使用者接收應用。其開發範圍除警報資訊轉發外，目前還包括警報廣播機制、地震警報器、行動裝置App、設備自動控制等多元應用。

表6.2.2 2016年簽訂「合作推動地震資訊傳遞服務契約」廠商列表

	單位名稱
1	財團法人國家地震工程研究中心（發展現地預警）
2	三聯科技股份有限公司（Palert）
3	天氣風險管理開發股份有限公司（氣象增值服務）
4	財團法人資訊工業策進會（智慧防災聯網通訊平台計畫）
5	磊客思科技股份有限公司（日商，大規模轉發派送）
6	國立臺灣大學地質科學系暨研究所（預警軟體開發）
7	瀚誼世界科技股份有限公司（數位機上盒）
8	卡訊電子實業有限公司（廣播設備、轉發）
9	天下數位科技股份有限公司（APP）
10	東億電通有限公司（APP）
11	財團法人中興工程顧問社（APP）

12	欣德電子有限公司 (廣播設備、轉發)
13	詠動科技股份有限公司 (住宅對講機)
14	艾迪互動股份有限公司 (廣告、行動 App)
15	國立暨南國際大學資訊工程學系 (電腦圖像 App)

### (三) 後續工作

有關預警資訊通報部分，除利用現有之網路通訊進行快速通報外，未來亦將視國內網通科技之發展，配合利用以改進通報成功率。例如網路通訊之IPv6技術、各式無線通訊包括低頻廣播、副載波等技術。另目前國內之簡訊通報受限於架構，僅可達到每分鐘約2,000通簡訊之效能，不符合強震即時警報快速、大量之需求。現已由國家通訊傳播委員會（NCC）針對4G無線通訊架構，完成「災防告警細胞廣播訊息系統（PWS）」之建置，此系統是利用行動通信系統的細胞廣播服務技術(Cell Broadcast Service, CBS)，提供政府可以在短時間內，大量傳送災防示警訊息到民眾的手機，即時通知民眾，讓民眾能及早掌握離災、避災的告知訊息服務。此系統由國家災害防救科技中心進行細胞廣播服務訊息交換與介接資訊格式之訂定，以及防災雲端警報閘道器之規劃與建置，利用其快速、大量廣播之特性，提升強震即時警報資訊之通報與應用成效。

鑒於PWS已穩定運作，若能開發簡易電子裝置，接收PWS訊息供幼兒園及大眾使用，未來無須再尋求訊息轉發單位，即可達到大量訊息迅速傳遞，強震即時警報將朝此方向進行推廣應用。

## 七、地震個案討論

### (一) 2016年2月6日美濃地震

2016年2月6日3時57分26.1秒，於高雄美濃區發生芮氏規模6.6，震源深度14.6公里的地震(簡稱0206美濃地震或0206地震)，詳細報告如圖7.1.1。此地震造成臺灣本島各地皆有感，最大震度7級在臺南市新化，地震造成了臺南維冠金龍大樓的倒塌與117人的死亡。

本次地震報告發布作業說明如下：地震發生於凌晨，本局地震作業值班人員透過即時視窗訊息、類比記錄器與警報音效等獲知地震發生。地震發生後51秒~2分10秒，3套全區網陸續完成自動定位；地震發生後1分32秒對外發出震度描述簡訊，供防救災單位快速應變；地震發生後7分12秒，確認所有資訊正確無誤後，以3全區網擇優完成地震報告，並透過各式通報管道對外發布。

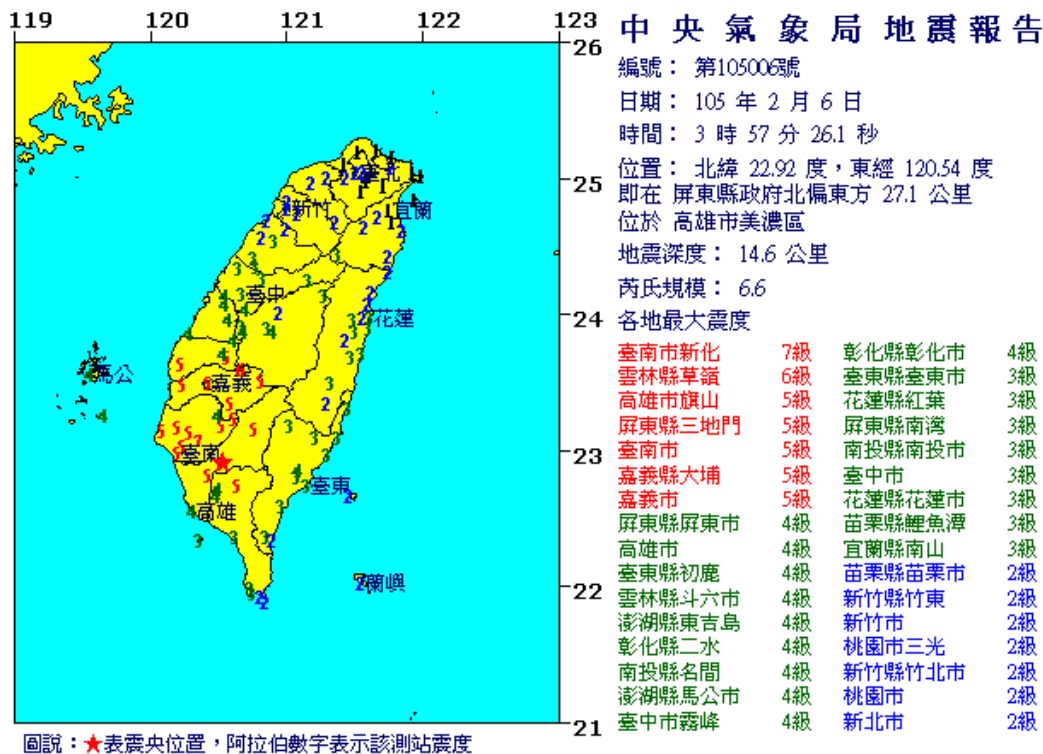


圖7.1.1 2016年2月6日美濃地震之地震報告。

由2016年2月臺灣南部的地震活動，可以發現在0206美濃地震附近雖有不少的地震活動，但0206美濃地震震源區的背景地震活動，相對並不算十分強烈(圖7.1.2)。目前關於0206地震的破裂面，有研究推測是近東-西走向，朝北傾的斷層面(Lee et al., 2016)。因此沿垂

直這個構造面做一剖面 A-B，結果發現這些地震在空間上的分布，並沒有顯著線性分布的特性。但從地震發生的時間來看，美濃地震後的最初兩天地震分布主要是東南東-西北西的走向，並有朝北傾的分布情形，與震源機制中一組斷層面解的位態相似，同時也符合其他研究的推測(Lee et al., 2016)。但是在震源北側，亦有淺層地震的分布，此地區的地震與目前推測的斷層面並不相符。根據最近的研究指出，0206 美濃地震的破裂複雜，除了向北傾的斷層面外，在此斷層面的淺部(5-10 公里)，尚有一個向西南傾的逆斷層構造(Huang et al., 2016)，位在震源北側的淺層地震，可能就是這個構造面在主震後的錯動現象。

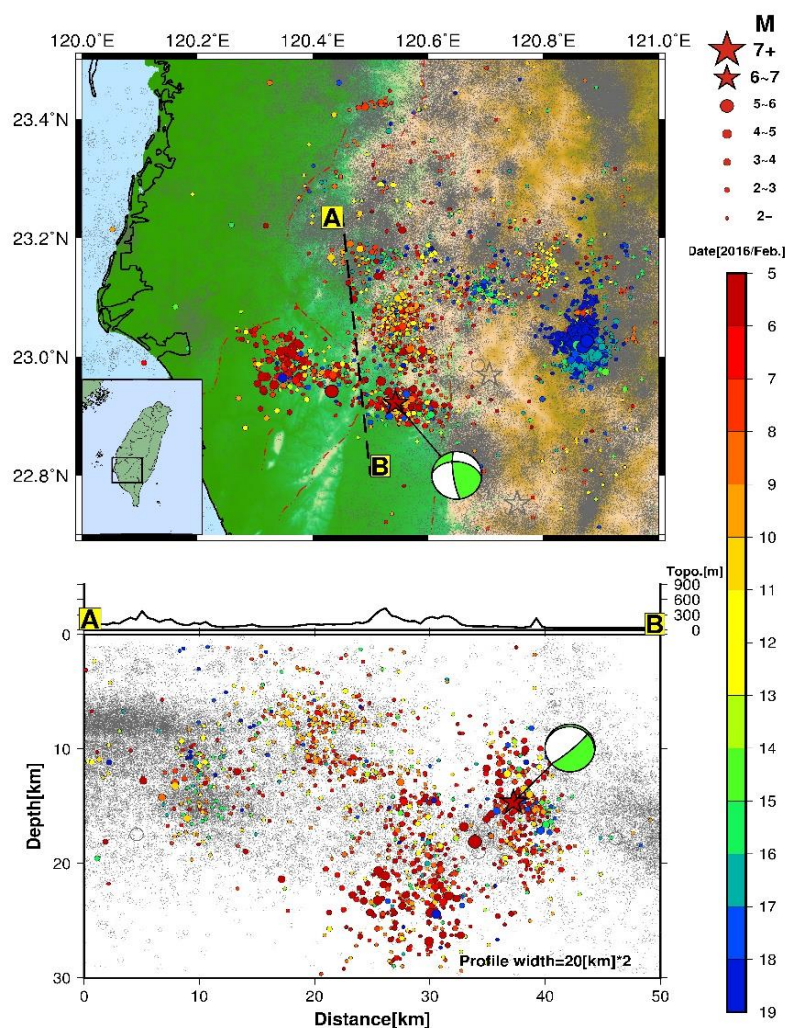


圖7.1.2 2016年2月的地震分布與0206美濃地震的初動震源機制球。實心星號表示地震的位置，圖中的海灘球為地震的震源機制。下圖為地震剖面，剖面中的地震為位於A-B剖面兩側20公里內的地震。短期背景地震為2016年2月不同日期的地震資料（彩色圓形），長期背景地震為1994/01/01至2016/02/28的地震資料（灰色圓形）。

從 0206 美濃地震序列在空間上的變化來看，0206 美濃地震約 3 天後，在震央的北側開始出現一些地震活動，這些地震的震源深度，相對於美濃地震發生初期的震源深度(約 15~25 公里)略淺，深度多半在 10 公里左右。配合近期的研究(Huang et al., 2016)，此現象意指複雜錯動(至少兩個斷層面)的美濃地震，在地震發生後的餘震，先以深部斷層面的活動為主，而後淺層的斷層面才開始活動。到了 2 月下旬，利稻地區接著也發生明顯的地震活動。從空間來看，利稻地區的地震活動與美濃地震震源有一段明顯的距離，因此推測可能與美濃地震的破裂構造無關，至於是否受到美濃地震觸發所產生？仍有待進一步觀察與研究。

選取東經 120.2 度至 120.8 度，緯度 22.8 度至 23.4 度，深度 0 至 40 公里空間範圍內的地震事件（圖 7.1.3），從時間上對 0206 美濃地震附近發生的地震進行分析。初步發現，此地區偶爾會有地震較為活躍的情況發生，除了美濃地震外，另一個顯著而臨近的例子就是 2010 年 3 月 4 日，規模 6.4 的甲仙地震；另外在 2008 年 3 月時，亦有較多的地震活動，比較特別的是，這次的地震活動，並沒有規模大於 6 的地震發生。除此之外，此地區的地震活動都相對偏低，在 2012 年 2 月 26 日的霧台地震後，亦有同樣的情況，地震活動量亦無明顯的偏高。

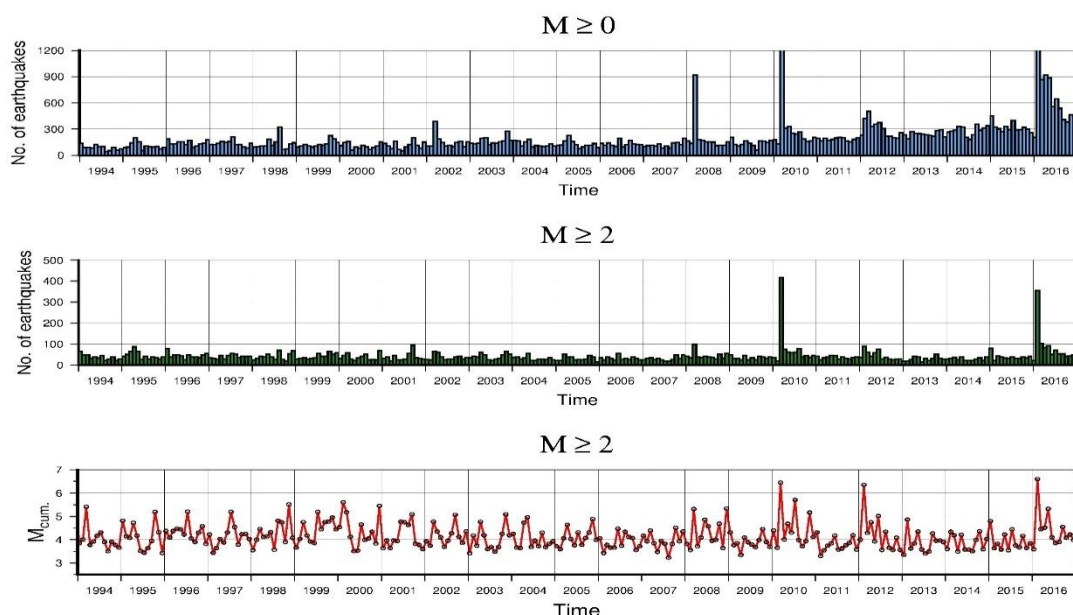


圖7.1.3 地震發生時間序列圖。地震資料為本局地震目錄中，地震位於東經 120.2度~東經121.8度，北緯22.6度~北緯23.4度，深度淺於40公里的地震事件。上圖為所有地震的月統計數量，中圖為規模大於2的地震事件月統計數量，下圖為規模大於2的地震事件月累積規模。



## (二) 2016年5月12日宜蘭地震

2016年5月12日11時17分15.1秒，於宜蘭東部海域發生芮氏規模6.1，震源深度8.9公里的地震(簡稱0512地震)，詳細報告如圖7.2.1。此地震造成臺灣本島各地皆有感，最大震度6級在宜蘭縣南澳，震後產生大量的餘震活動。

本次地震報告發布作業說明如下：地震發生於上班時間，本局地震作業人員透過即時視窗訊息、類比記錄器與警報音效等獲知地震發生。地震發生後51秒~2分24秒，3套全區網陸續完成自動定位；地震發生後1分0秒對外發出震度描述簡訊，供防救災單位快速應變；地震發生後5分30秒，確認所有資訊正確無誤後，以3全區網擇優完成地震報告，並透過各式通報管道對外發布。

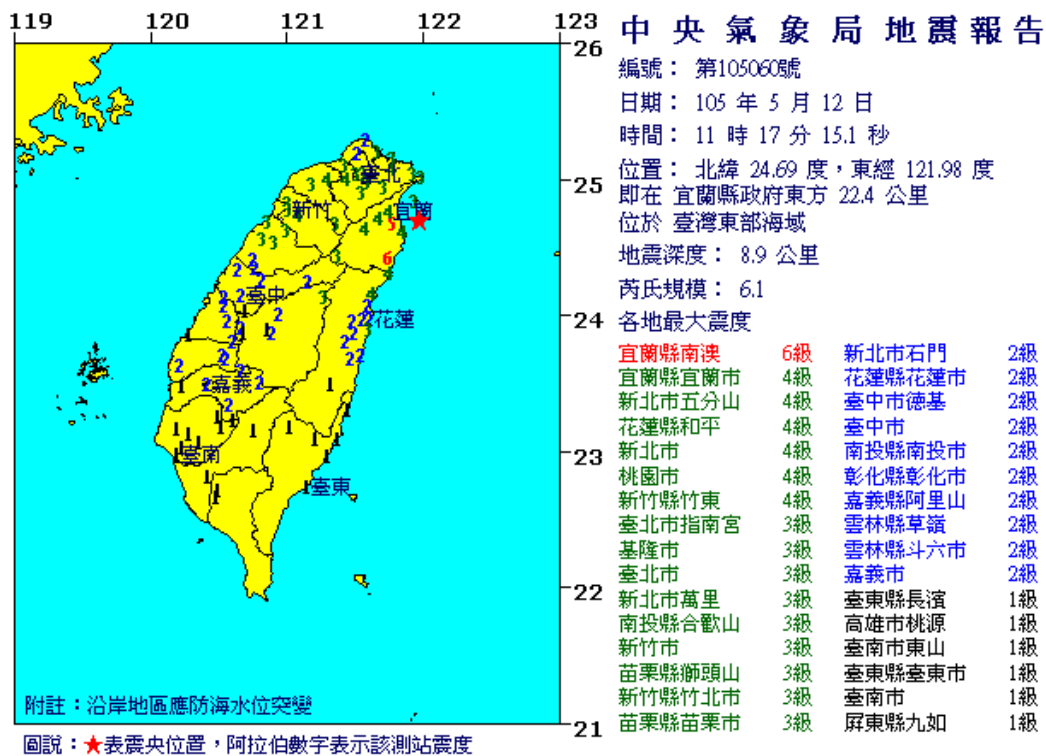


圖7.2.1 2016年5月12日宜蘭地震之地震報告。

檢視2016年在0512地震附近的地震活動(圖7.2.2)，由於0512地震的規模較大，震央位置靠近臺灣本島，且震源深度淺，僅有8.9公里，因此在地震發生後，地震震源區附近偵測到大量的地震活動。在宜蘭外海地區的地震活動本就頻繁，不過若細看0512地震附近的背景地震活動程度，並不如其北側的龜山島地區，或是南側的南澳地區。0512

地震發生的位置正好位在兩個地震好發區的中間。

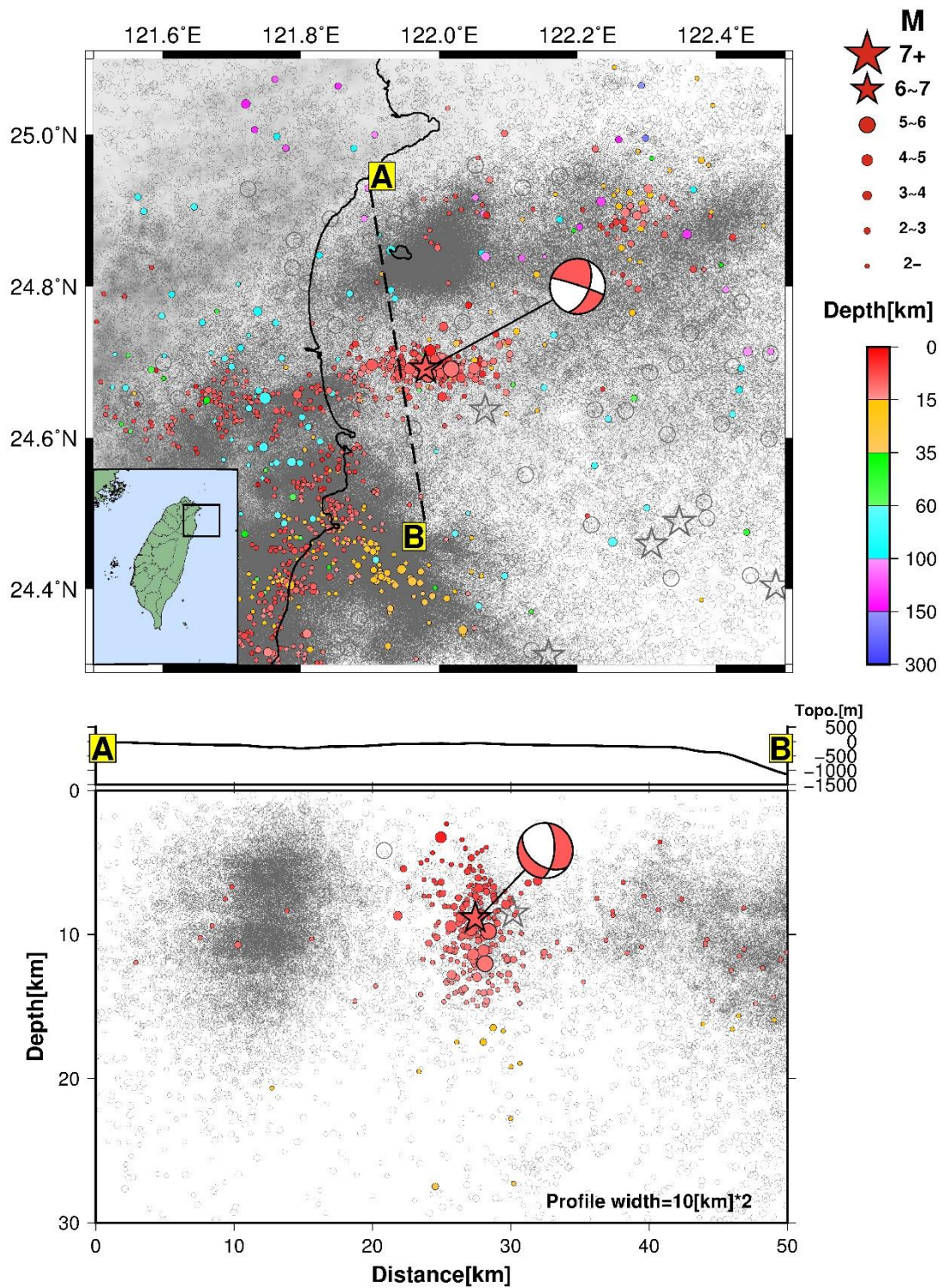


圖7.2.2 2016年的地震分布與0512地震的初動震源機制球。實心星號表示0512地震的位置，圖中的海灘球為0512地震的震源機制。下圖為地震剖面，剖面中的地震為位於A-B剖面兩側10公里內的地震。短期背景地震為2016年的地震資料（彩色圓形），長期背景地震為1994至2015年間的地震資料（灰色圓形）。

對於0512地震及其附近的地震活動，大致分成兩方面來討論。首先從地震的水平分布來看，0512地震附近的地震活動，以東西走向為主，這個走向與當地海槽的擴張帶方向和板塊隱沒帶方向接近，推測有可能與前述的兩個地體構造有關。另外從地震分布的垂直剖面來看，2016年當地的地震活動接近垂直分布，且震源機制(CMT解)以走向滑移為主，與過去此地區的地震震源機制類似，主要也是以走向滑移型的震源為主(圖7.2.3)，因此推測其應力機制可能非直接來自海槽擴張或板塊隱沒在淺部的擠壓。因為此地區過去也有許多類似的地震發生，0512地震非偶然的單一事件。

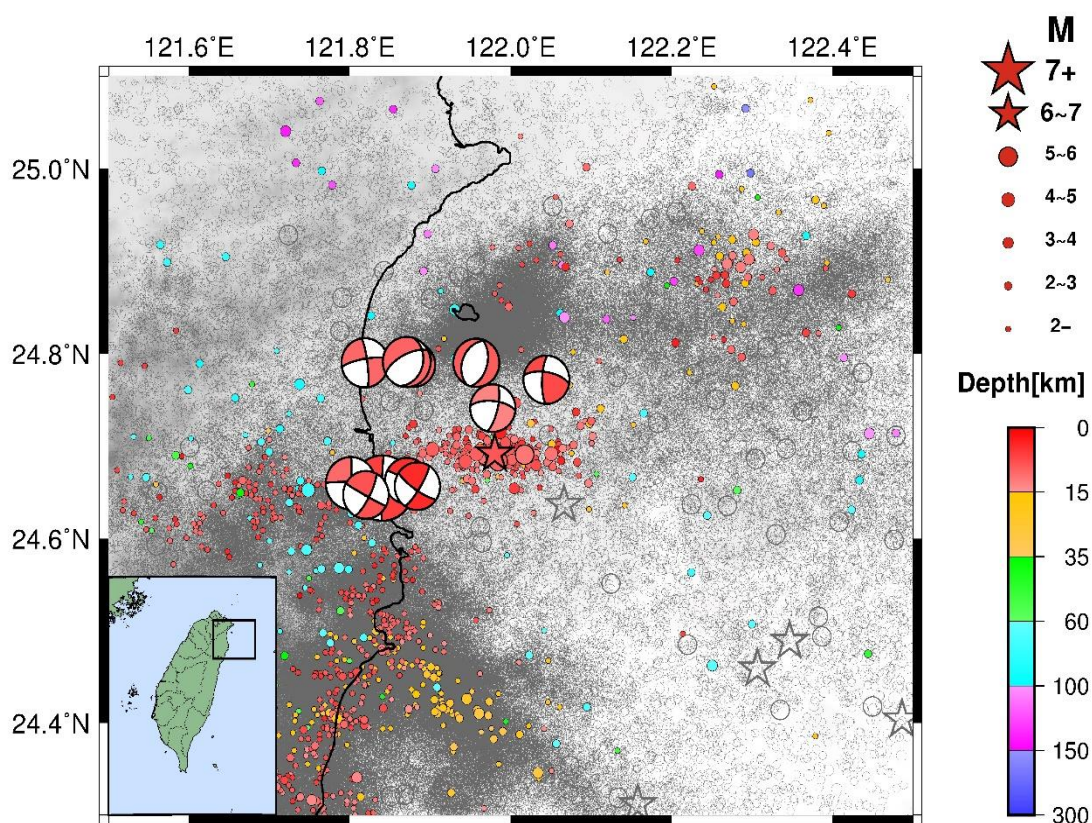


圖7.2.3 2016年的地震分布與1994至2015年間部分地震的震源機制。0512地震的初動震源機制球。實心星號表示0512地震的位置，圖中的海灘球為0512地震的震源機制。震源機制是取自2004年到2015年間，地震規模3.5以上，地震深度淺於15公里，震央位在東經121.8度至東經122.2度，北緯24.6度至24.8度間的地震。

接著來討論0512地震週邊的地震活動背景(範圍為東經121.8度~東經122.2度、北緯24.6度~北緯24.8度、深度0~20公里)(圖7.2.4)。可以發現此地區在1994、2002及2005年時亦有顯著的地震活動，當時被觀測到的地震數量(規模大於2)雖多大於2016年的此次地震活動，但是其產生的地震規模卻多與本次地震接近。從這地區長期的地震活動歷史觀察，雖然偶爾出現大量的地震活動，但未觀測到這些大量的地震活動在時間上有明顯的週期現象。

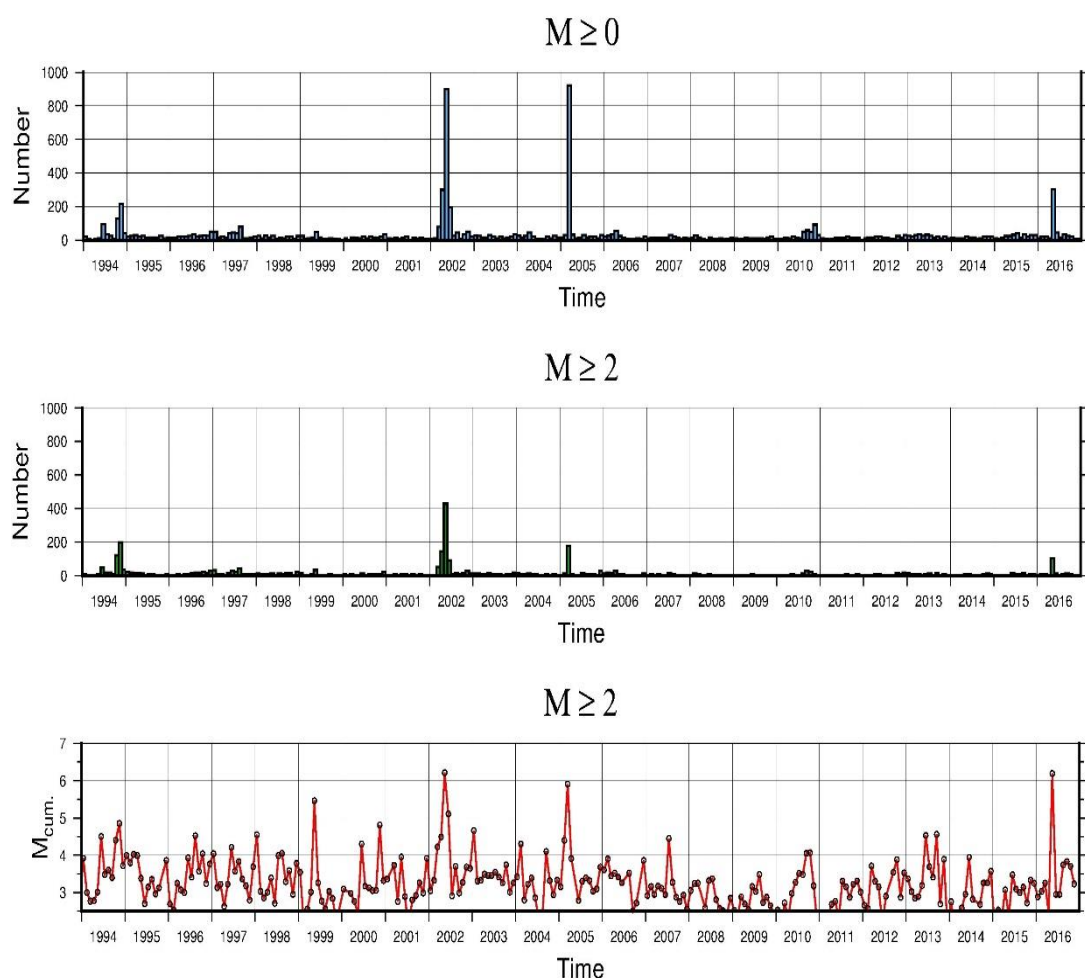


圖7.2.4 0512地震週邊地震活動統計。地震資料為自本局地震目錄中，選取空間範圍為東經121.8度~東經122.2度、北緯24.6度~北緯24.8度、淺於20公里的地震事件。上圖為所有地震的月統計數量，中圖為規模大於2的地震事件月統計數量，下圖為規模大於2的地震事件月累積規模。

### (三) 2016年5月31日臺灣東北外海地震

2016年5月31日13時23分46.4秒，於臺灣東北外海發生芮氏規模6.9，深度256.9公里的有感地震(簡稱0531地震)，詳細報告如圖7.3.1。由於地震的深度相當深，雖然在全臺多處地方皆有有感震度紀錄，但多數皆是3級以下的震度，最大震度4級發生在臺灣東北部地區的宜蘭羅東、花蓮和平和山區的合歡山，因此本次地震無明顯的災損情形。

本次地震報告發布作業說明如下：地震發生於上班時間，地震發生時並未有自動定位的結果，本局地震作業人員透過即時視窗訊息、類比記錄器與警報音效等獲知地震發生。地震發生後8分56秒，確認所有資訊正確無誤後，並透過各式通報管道對外發布。

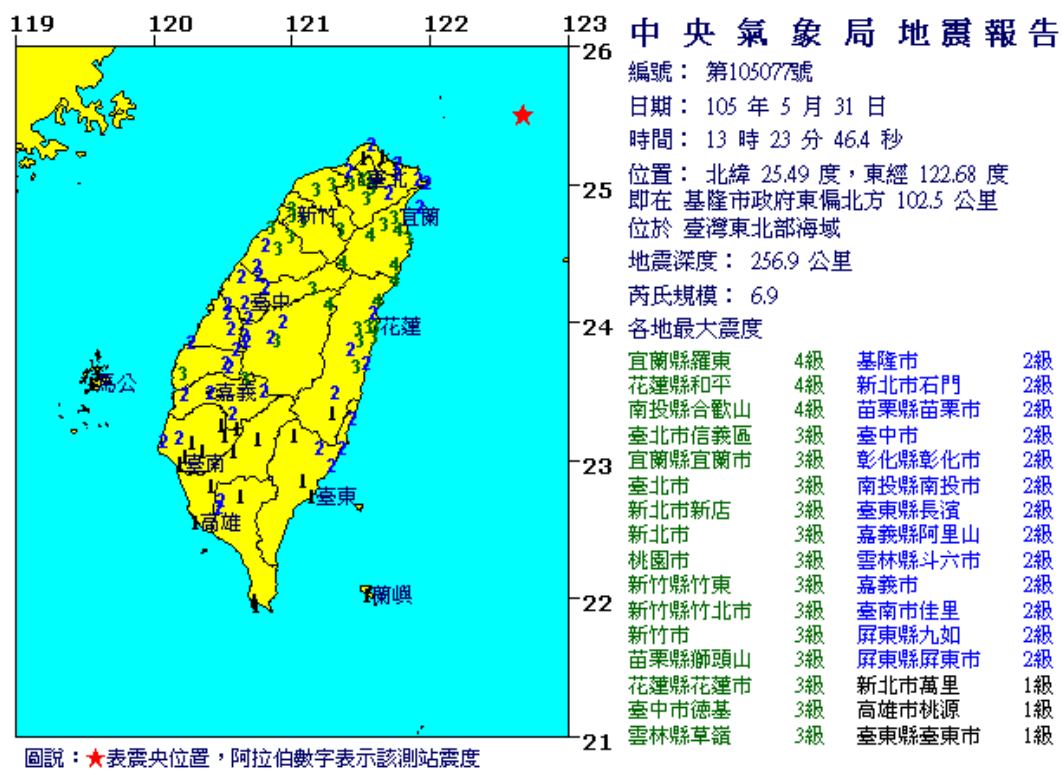


圖7.3.1 2016年5月31日臺灣東北外海地震之地震報告。

檢視2016年0531地震附近的地震活動(圖7.3.2)，可以發現此地區的背景地震活動極低，而在0531地震地震後，餘震活動亦十分有限。主要原因是由於這個地震的震源區，距離本局的地震觀測網遠。在這

情況下，即便此地震後有顯著的餘震或微震活動，其規模若不夠大，能量在傳播到本局的地震觀測網前即有衰減消失的情況，便無法進行觀測。因此，以目前的觀測資料，較難針對這個地震進行個案討論。

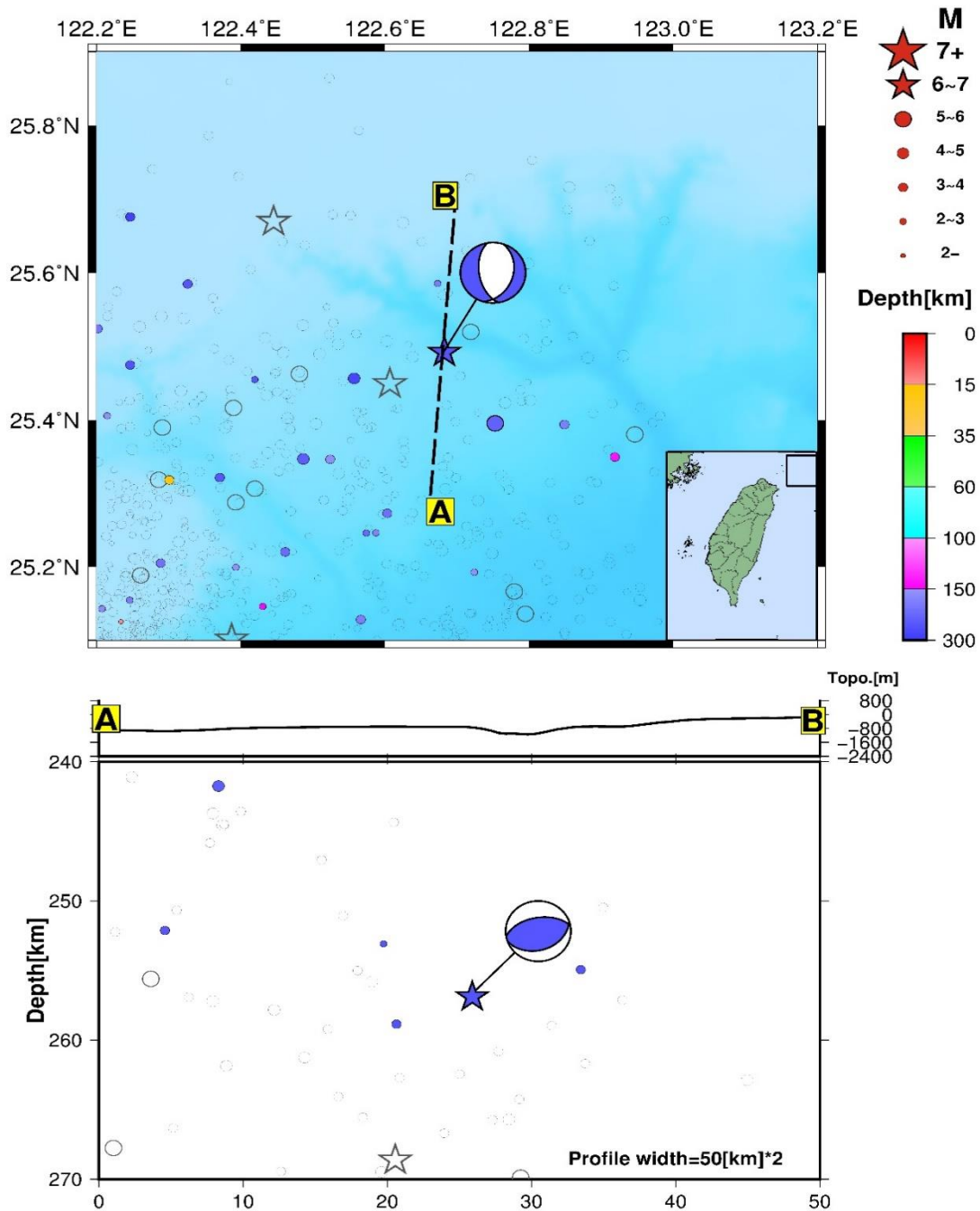


圖7.3.2 上圖為2016年在0531地震附近的地震活動分布與0531地震的初動震源機制。實心星號表示0531地震的位置，圖中的海灘球為0531地震的震源機制。下圖為地震剖面，剖面中的地震為位於A-B剖面兩側50公里內的地震。短期背景地震為2016年的地震資料（彩色圓形），長期背景地震為1994至2015年間的地震資料（灰色圓形）。

以CMT的震源機制解來探討0531地震的發震機制，由於地震發生的位置在地震網的外側，使得部分震源機制的參數可信度偏低，但是其震源機制屬於正斷層，是相對可以確認的。一般在隱沒板塊中，淺部受到擠壓，有不少的逆斷層發生，而到了隱沒板塊的深處，板塊受到重力的拉扯，會有一些正斷層形成，0531地震的形成機制推測有可能就是這個原因所造成。

有關0531地震週邊的地震活動背景(範圍為東經122.2度~東經123.2度、北緯25.1度~北緯25.9度、深於100公里的地震事件)，圖7.3.3顯示在此地區本局監測所得的地震數量，明顯較本年度其他幾個地震個案所在區中所監測的地震量少，主要原因仍是由於此地區位在地震監測網的外圍，除非有規模較大的地震，本局地震監測網才有機會可以偵測及定位。而在地震活動的統計上，地震量雖少，但累積的地震規模卻不比本年度的其他地震個案所在區之累積規模小。從實務上來看，此地區雖然偶有規模較大的地震發生，但因震源深度過深，不致引起海嘯，且震源距離臺灣本島亦遠，其產生的強地動所可能引發的災情亦小。因此在地震防災上，此地區的地震活動並非是目前首要的考量對象。

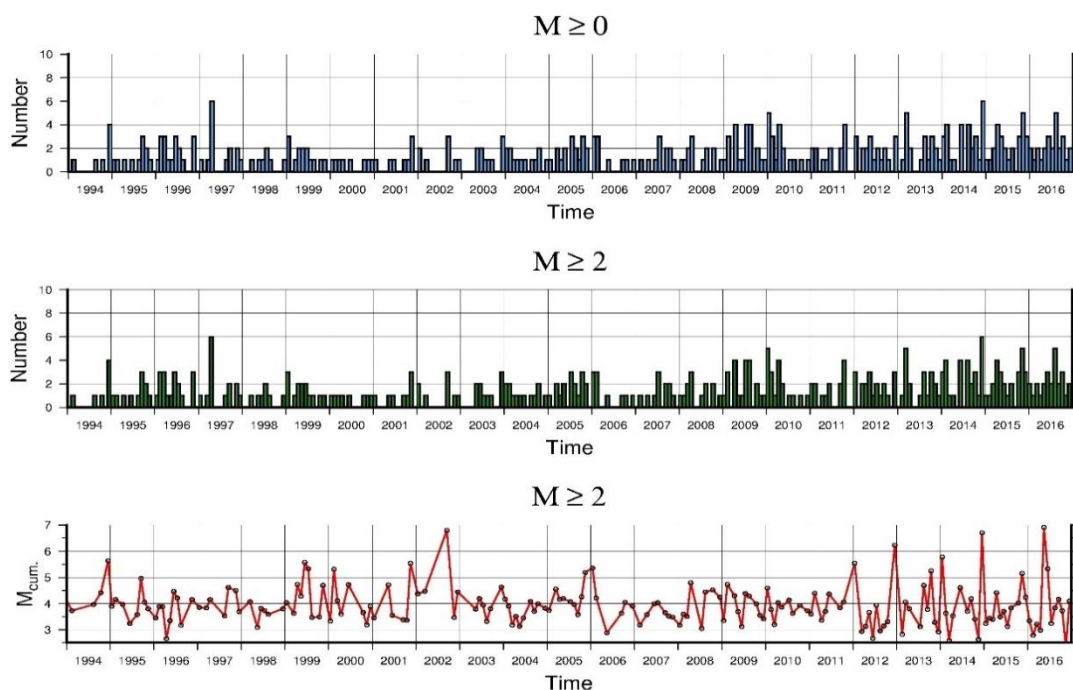


圖7.3.3 0531地震週邊地震活動統計。地震資料為自本局地震目錄中，選取空間範圍為東經122.2度~東經123.2度、北緯25.1度~北緯25.9度、深於100公里的地震事件。上圖為所有地震的月統計數量，中圖為規模大於2的地震事件月統計數量，下圖為規模大於2的地震事件月累積規模。

#### (四) 2016年10月6日臺東綠島地震

2016年10月6日23時52分0.5秒，於臺東綠島發生芮氏規模6.2，深度23.7公里的有感地震(簡稱1006地震)，詳細報告如圖7.4.1。此地震產生的最大震度紀錄5級在臺東縣的綠島，臺灣本島以臺東市4級為最大。因此對臺灣本島的影響有限。

本次地震報告發布作業說明如下：地震發生於深夜，本局地震作業值班人員透過即時視窗訊息、類比記錄器與警報音效等獲知地震發生。地震發生後1分2秒~1分11秒，3套全區網陸續完成自動定位；地震發生後54秒對外發出震度描述簡訊，供防救災單位快速應變；地震發生後6分38秒，確認所有資訊正確無誤後，以3全區網擇優完成地震報告，並透過各式通報管道對外發布。

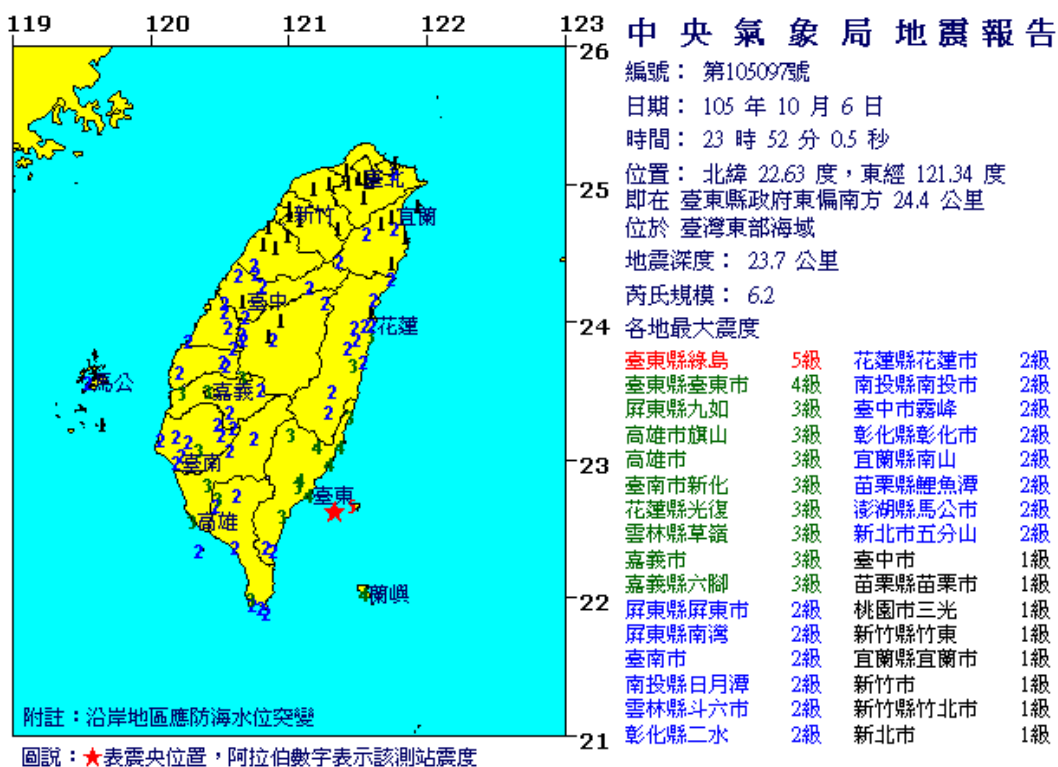


圖7.4.1 2016年10月6日臺東綠島地震之地震報告。

為了瞭解1006地震序列的發生機制，對此地震序列的空間分布進行分析，結果顯示在1006地震後，震源附近的地震活動並不活躍(圖7.4.2)，因此較難判斷其破裂面，但從剖面中隱約可見一個高角度向東



傾斜的地震分布線形，而這些地震分布與震源機制中的向東傾高角度逆斷層面位態相近，因此初步判斷這個地震的破裂面可能就是這個向東傾的高角度逆斷層面。

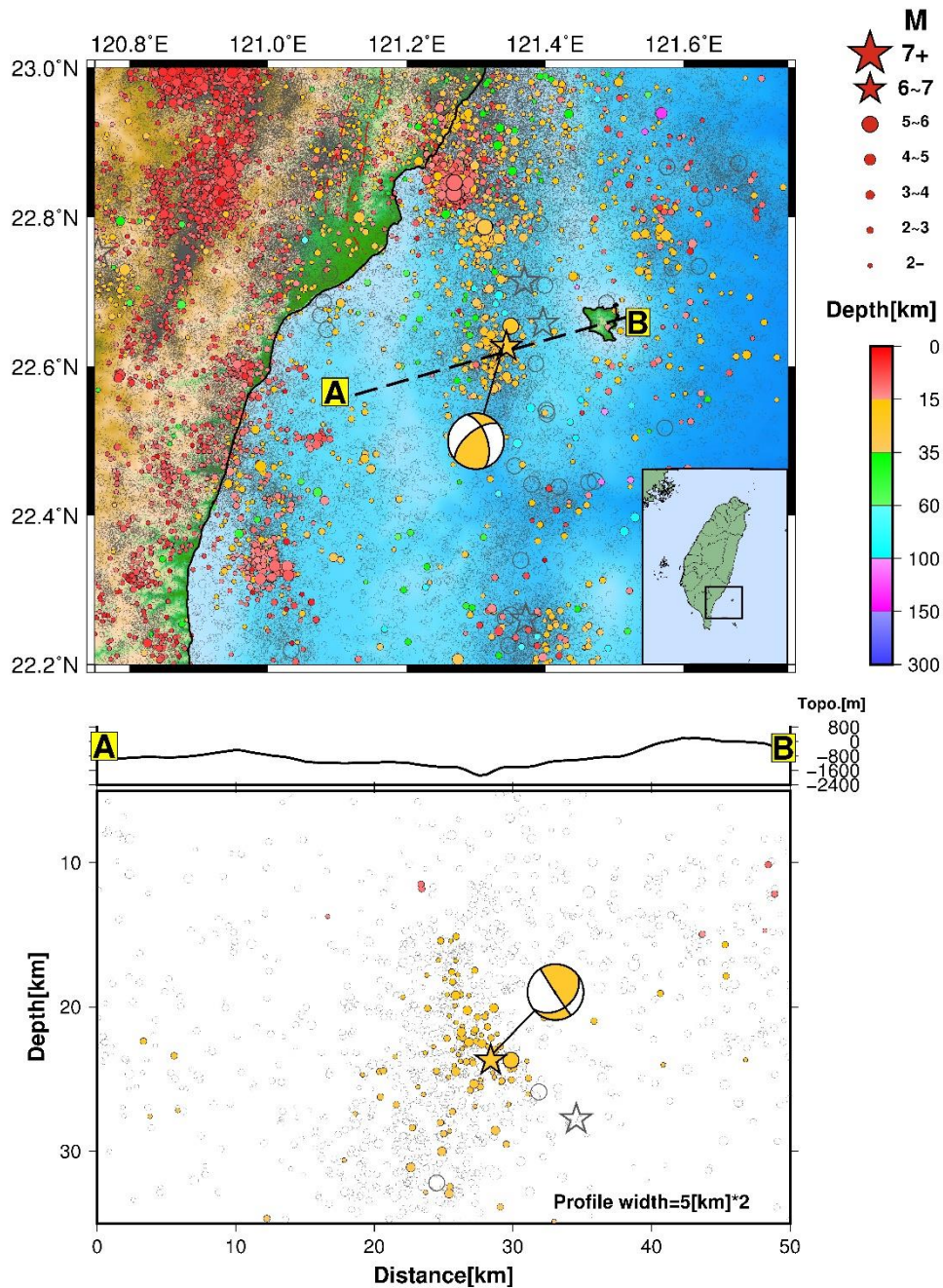


圖 7.4.2 上圖為 2016 年 1006 地震附近的地震活動分布與 1006 地震的初動震源機制球，實心星號表示 1006 地震的位置，圖中的海灘球為 1006 地震的震源機制。下圖為地震剖面，剖面中的地震為位於 A-B 剖面兩側 15 公里內的地震。短期背景地震為 2016 年的地震資料（彩色圓形），長期背景地震為 1994 至 2015 年間的地震資料（灰色圓形）。

有關1006地震週邊的地震活動(範圍為東經121.2度~121.4度、北緯22.5度~22.7度、深度0~50公里)在時間上的特性，由圖7.4.3可以發現此地區在2003年底曾經有顯著的地震活動，並持續至2004年上半年，並且在2015年2月14日後也曾有過一次頻繁的地震活動，但其後半年的地震活動，相對於背景僅有微量的增加，而2016年的這次活動，似乎與2015年2月14日的綠島地震活動相似，除了2016年10月的地震活動數量較多之外，其後月份的地震活動並未有顯著的增加。2015年2月14日(圖7.4.4)與2016年1006地震，除了地震在時間上的活動特性有相似之外，它們的空間距離近，可能的破裂面也相似，因此推測這兩個地震活動，可能是源自同一個構造的錯動。

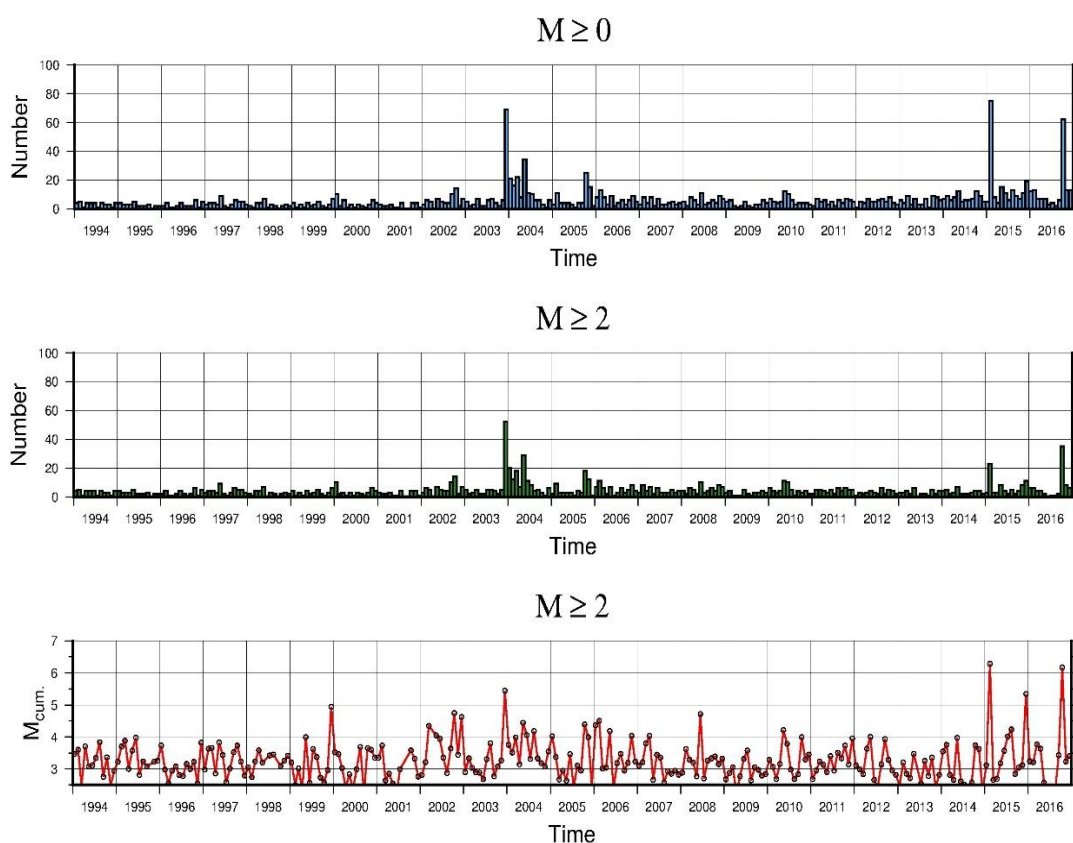


圖7.4.3 1006地震週邊地震活動統計。地震資料為自本局地震目錄中，選取地震空間範圍為東經121.2度~東經121.4度、北緯22.5度~北緯22.7度、淺於50公里的地震事件。上圖為所有地震的月統計數量，中圖為規模大於2的地震事件月統計數量，下圖為規模大於2的地震事件月累積規模。

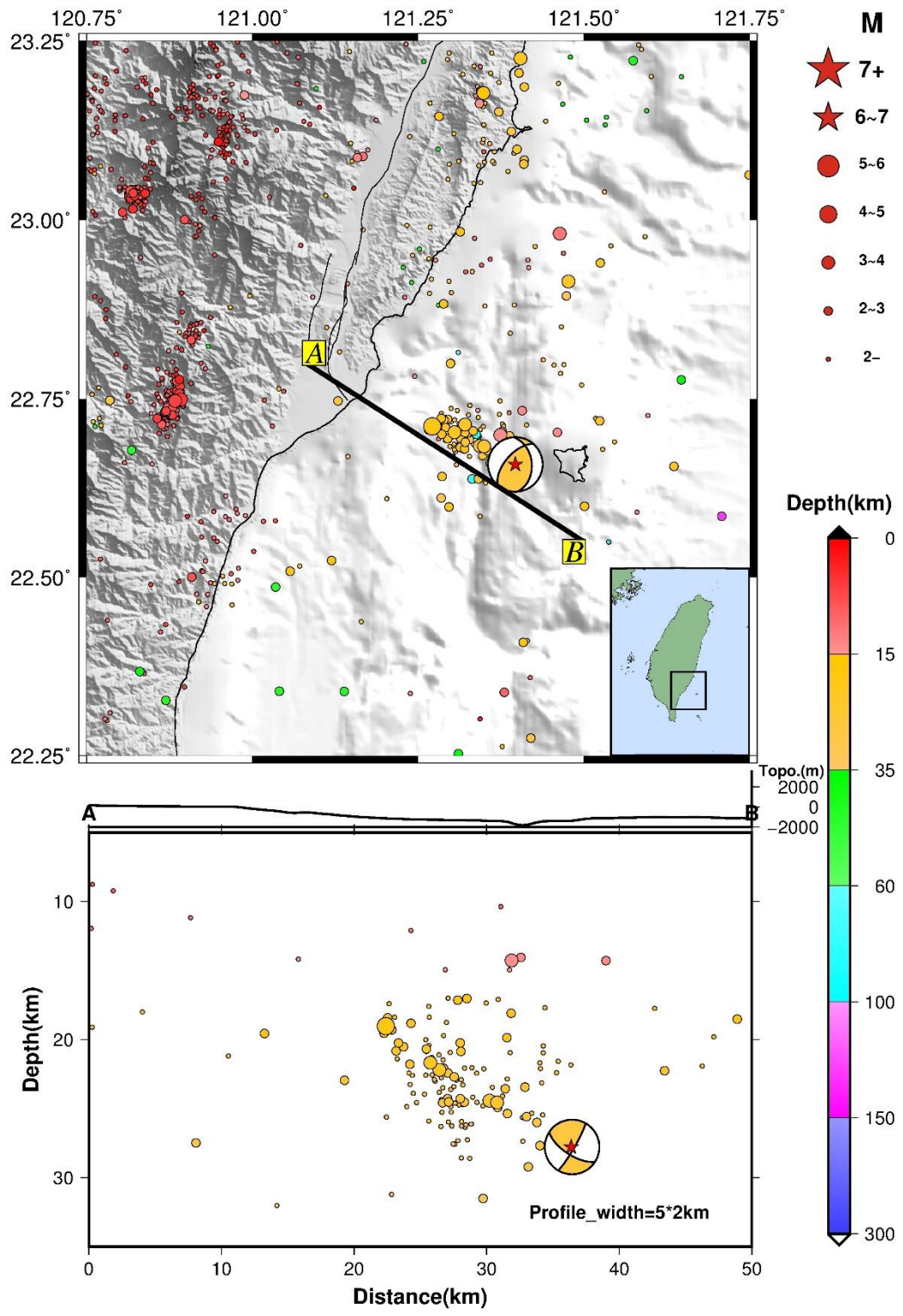


圖7.4.4 上圖為2015年2月的地震分布與0214地震的初動震源機制球。紅色星號表示0214地震的位置，圖中的海灘球為0214地震的震源機制。下圖為地震剖面，剖面中的地震為位於A-B剖面兩側5公里內的地震。背景地震為2015/02/01至2015/02/28。

## 八、結語

2016年為本局強地動觀測第5期計畫執行的第一年，在各項地震與地球物理觀測業務上均有持續的進展，特別是自2012年起地震觀測網提升為24位元的觀測系統後，將臺灣的地震觀測再次推向另一里程。

地震測報業務除了觀測設備與作業系統提升之外，整體作業環境也有煥然一新的改變，在此環境之下，使從事地震測報同仁更深一層體認所負有之使命，更竭盡本職學能以達成為國人服務之任務。

臺灣位處在天然多震的地理環境，地震報導為大眾不可或缺的重要生活資訊，為使國人容易即時獲取正確的地震資訊，本局仍將本筆路藍縷常創新頁的精神，持續提升地震測報效能。

## 九、附錄

### (一) 地震測報發表論文

2016 年本局同仁發表地震相關論文共 42 篇：

1. Cheng, W. B. and Chang, C. H. (2016) : Tomographic imaging of a seismic cluster in northern Taiwan and its implications for crustal fluid migration. *Journal of Geodynamics*, Volume 101, Pages 200 – 214.
2. Chuang, R. Y., Ching, K. E., Yi, D., and Tsai, M. C. (2016) : Observation and modeling of coseismic surface deformation of the Meinong earthquake. 105/02/06 M16.4 高雄美濃地震學術研討會，中央氣象局。
3. Chen, Y. L., Hung, S. H., Jiang, J. S., and Chiao, L. Y. (2016) : Systematic correlations of the earthquake frequency-magnitude distribution with the deformation and mechanical regimes in the Taiwan Orogen. *Geophysical Research Letters*, 43, 5017 – 5025.
4. Chao, K., Obara, K., Peng, Z., Pu, H. C., Hsu, Y. J., Lee, S. V. D., and Apey, D. (2016) : Tectonic tremor activity associated with teleseismic and nearby earthquakes. 2016 American Geophysical Union Fall Meeting, S41C-08.
5. Chen, Y. L. (2016) : Study of the earthquake frequency-magnitude distribution and its relation with crustal deformation and stress state in the Taiwan orogeny, Doctoral Dissertation Thesis, National Taiwan University, 122 pp.
6. Fu, C. C., Yang, T. Frank, Tsai, M. C., Lee, L. C., Liu, T. K., Walia, V., Chen, C. H., Chang, W. Y., Kumar, A., and Lai, T. H. (2016) : Continuous soil gas monitoring in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan: exploring the relationship between processes of soil degassing and geodynamics. *Chemical Geology*. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2016.12.042.
7. Hsiao, N. C., Chang, C. H., and Kuo, K. W. (2016) : Taiwan Central Weather Bureau strong motion network and available GM data. Taiwan SSHAC Level 3 Project - Workshop #1, 14-18 March 2016, Taipei, Taiwan, ROC.
8. Hsiao, N. C. and Kan, C. W. (2016) : The CWB downhole seismic array and its application for earthquake observation in Taiwan. 5th IASPEI /

- IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, 15-17 August 2016, Taipei, Taiwan, ROC.
9. Hung, S. H., Chen, Y. L., Jiang, J. S., and Chiao, L. Y. (2016) : Systematic correlations of the earthquake frequency-magnitude distribution with the deformation and mechanical regimes in the Taiwan Orogen, 2016 AGU Fall Meeting.
  10. Lin, C.H. and Pu, H.C. (2016) : Very-long-period seismic signals at the Tatun Volcano Group, northern Taiwan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 328, 230-236. (SCI). IF 2.785.
  11. Lee, H., Yang, T. F., Lin, C. H., Lan, T. Pu, H. C., and Mouyen, M. (2016) : The association between volcanic fluid variations and seismic events in the Tatun Volcano Group, northern Taiwan. *European Geosciences Union General Assembly 2016*, EGU2016-10740.
  12. Lai, T. S., Mittal, H., and Wu, Y. M. (2016) : 2012 Seismicity quiescence in Taiwan a result of site effect artefacts. *Seismo. Res. Let.*, 87, 848-852, doi: 10.1785/0220150260.
  13. Lai, T. S., Mittal, H., Chao, W. A., and Wu, Y. M. (2016) : A study on Kappa value in Taiwan using borehole seismic array. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 106, 1509-1517, doi: 10.1785/0120160004.
  14. Lo, Y. C., Zhao, L., and Hung, S. H. (2016) : Complex effect of surface topography on seismic travel times and amplitudes. *EGU General Assembly*, 11568, National Austria Center.
  15. Lo, Y. C., Zhao, L., and Hung, S. H. (2016) : Quantification of topography effect on seismic ground motion: A case study in northern Taiwan. 5th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, 南港展覽館，臺北。
  16. Lo, Y. C., Zhao, L., and Hung, S. H. (2016) : Development of a routine system for the inversion of earthquake source slip distributions. BATS 30週年學術研討會，中央研究院地球科學研究所。
  17. Lo, Y. J., Zhao, L., Ji, C., and Hung, S. H. (2016) : Waveform inversions for the slip distributions of the April 25, 2015, Gorkha, Nepal, earthquake and its large aftershocks. 2016 AGU Fall Meeting, T23B-2909, Moscone, San Francisco.
  18. Mittal, H., Wu, Y. M., Chen, D. Y., Chao, W. A. (2016) : Stochastic finite

- modeling of ground motion for March 5, 2012, Mw 4.6 earthquake and scenario greater magnitude earthquake in the proximity of Delhi. *Natural Hazards*, 82, 1123-1146.
19. Pu, H.C., Kan, C. W., Chiu, C. T., Ho, M. Y., Kuo, K. W., and Lin, P.Y. (2016) : 2014 seismic activity in the Taiwan area. Submitted to *Meteorological Bulletin*, Vol. 53, No. 1, 1-22. (in Chinese).
  20. Pu, H. C., Lin, C. H., Chang, L. C., Kan, C. W., Lin, C. M., and Li, Y. H. (2016) : Geological implications of 0212 earthquake in 2014 at the Tatun Volcanic Group of Taiwan: Synergistic effect of volcanic and faulting activities. 2016 American Geophysical Union Fall Meeting, S53A-2847.(Poster)
  21. Pu, H.C. and Lin, C.H. (2016) : Probable slow slips in the mid-crust of Hsinchu, northwestern Taiwan: Temporal correlation between normal faulting earthquakes and relative uplift. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 122, 80-90, doi:10.1016/j.jseaes.2016.03.009. (SCI). IF 3.245.
  22. Tsai, M. C., Shin, T. C., and Kuo, K. W. (2016) : Preseismic and interseismic strain accumulation in SW Taiwan from CGPS and Meinong earthquake. *Terr. Atm. Oce. Sci.* (submitted).
  23. Tsai, M. C. (2016) : Pre-seismic baseline variation, anomalous high strain accumulation, and coseismic deformation of Meinong earthquake in SW Taiwan: Insight from continuous GPS measurements. Invited Talk. International Symposium on GNSS 2016 (ISGNSS-2016), NCKU, Tainan, Taiwan.
  24. Tsai, M. C. (2016) : Pre-seismic baseline variation, anomalous high strain accumulation, and coseismic deformation of Meinong earthquake in SW Taiwan: Insight from continuous GPS measurements. 2016 Taiwan-Japan Workshop on Crustal Dynamics (TJWCD3), NCKU, Tainan, Taiwan.
  25. Tsai, M. C. (2016) : The study of 2016 Meinong earthquake by crustal deformation, seismicity, and strain rate in southwestern Taiwan. [Oral & Chair of 3 Poster Sessions for scoring]. IGRS 2016 Taiwan, 5th International Geo-Hazards Research Symposium --In memory of Prof. Tsanyao Frank Yang , Taipei, Taiwan . MOST 105-2116-M-052-003.
  26. Tsai, M. C. (2016) : Preliminary study of GPS observation and seismic activity: 2016 Meinong earthquake, Taiwan. Invited Talk. 15th Japan-

- Taiwan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction.
27. Tsai, M. C. (2016) : Active deformation in southwestern Taiwan base on the very dense Continuous GPS observations. Invited Talk. Asia Oceania Geosciences Society 13th Annual Meeting (AOGS 2016).
  28. Tsai, M. C. (2016) : The present-day crustal deformation, seismic activity, and strain field in southwestern Taiwan. Asia Oceania Geosciences Society 13th Annual Meeting (AOGS 2016).
  29. Tsai, M. C. (2016) : Anomalous high strain accumulation in SW Taiwan: Insight from 2016 Meinong Mw 6.4 earthquake. 構造活動與地震形變學術交流報會，北京。
  30. Tsai, M. C. (2016) : Preliminary study of multi-precursors by GPS observation and seismic activity: 2016 Meinong earthquake, Taiwan. 23rd Pacific Science Congress, 2016 PSC) 「第二十三屆太平洋科學研討會」, Taiwan. MOST 104-2116-M-052-002.
  31. Tsai, M. C. (2016) : Preliminary precursor study of GPS observation and seismic activity: 2016 Meinong earthquake, Taiwan. 2016 年臺灣地球科學聯合學術研討會(2016 Taiwan Geosciences Assembly, TGA 2016), Tai[ei. MOST 104-2116-M-052-002.
  32. Tsai, M. C., Yu, S. B., Shin, T. C., and Kuo, K. W. (2016) : The analysis of GPS crustal deformation, seismicity, and strain rate in October 2013 Ruisui, Taiwan Earthquake. 2016 EGU Meeting, 奧地利維也納. MOST 104-2116-M-052-002.
  33. Tsai, M. C., Shin, T. C., Yu, S. B., and Kuo, K. W. (2016) : The study of characteristics of Longitude Valley Fault derived from the dense continuous GPS array, southeastern Taiwan. 2016 EGU Meeting, 奧地利維也納. MOST 104-2116-M-052-002.
  34. Tsai, M. C. and Shin, T. C. (2016) : GPS observation implies to monitoring of volcanic activity. Invited Talk. The 1st Korea -Taiwan Joint Workshop on Earthquake Early Warning, Korea.
  35. Wu, B. R., Hsiao, N. C., Lin, P. Y., Hsu, T. Y., Chen, C. Y., Huang, S. K., and Chiang, H. W. (2016) : An integrated earthquake early warning system and its performance at schools in Taiwan. Journal of Seismology, doi: 10.1007/s10950-016-9595-3.



36. Zhao, L., Lin, Y. P., Lo, Y. C., and Hung, S. H. (2016) : Multiscale travelt ime inversions for 2D structures in Taiwan and the effect of surface topography on tomography models. AOGS 13th Annual Meeting, SE11-A010, China National Convention Centre, Beijing.
37. 陳達毅、戴一明、許忻志 (2016) : 地震預警系統中多重地震事件研究，臺灣地球科學聯合學術研討會，5 月 16~20 日，南港展覽館，臺北。
38. 蒲新杰、林正洪、張麗琴、甘志文、呂佩玲 (2016) : 2014 年 0212 大屯火山群有感地震，中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 105 年年會暨學術研討會，臺北南港展覽館。
39. 蔡旻倩 (2016) : 2016/02/06 美濃地震地球物理觀測-GPS 資料分析，20160223 臺灣地區地震活動暨前兆分析討論會，中央氣象局，臺北。
40. 賴姿心、吳逸民、趙韋安、Himanshu Mittal (2016) : 場址效應研究：地震規模之測站修正量與利用井下地震儀陣列資料量測衰減參數，第一屆 TEC 年會暨學術研討會 (張貼論文)，花蓮國立東華大學。
41. 蕭乃祺 (2016) : 中央氣象局地震觀測作業現況與展望，台灣寬頻地震觀測網開放 20 週年學術研討會 (摘要)，2016 年 9 月 20 日，中華民國臺北。
42. 羅翊菁 (2016) : The 2015 Mw 7.8 Gorkha Earthquake, Nepal waveform inversion for finite-source slip distribution. 2016 Tec 年會，P1-4，國立東華大學，花蓮。

## (二) 參考文獻

1. Angelier, J. (1986) : Preface to the special issue on “Geodynamics of the Eurasian-Philippine Sea Plate Boundary” . *Tectonophysics*, 125, IX-X.
2. Gutenberg, B., and Richter, C. F. (1956) : Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 46, 105-145.
3. Huang, M. H., Tung, H., Fielding, E. J., Huang, H. H., Liang, C., Huang, C., and Hu, J. C. (2016) : Multiple fault slip triggered above the 2016 Mw 6.4 Meinong earthquake in Taiwan. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 7459 – 7467, doi:10.1002/2016GL069351.
4. Kanamori, H., and Anderson, D. L. (1975) : Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, 1073-1095.
5. Liu, J. Y., Chuo, Y. J., Shan, S. J., Tsai, Y. B., Chen, Y. I., Pulnests, S. A., and Yu, S. B. (2004) : Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements. *Annales Geophysicae* (2004) 22: 1585 – 1593.
6. Lee, S. J., Yeh, T. Y., and Lin, Y. Y. (2016) : Anomalously large ground motion in the 2016 Mw 6.6 Meinong, Taiwan, earthquake: A synergy effect of source rupture and site amplification. *Seism. Res. Lett.*, 87, doi: 10.1785/0220160082.
7. Wang, J. H. (1992) : Magnitude scales and their relations for Taiwan earthquakes: A review. *TAO*, 3, 449-468.



**Central  
Weather  
Bureau**

