

地震 年報

同步軌道衛星

探空氣球

衛星接收天線

頭城陸上站

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

2018 Annual Report

交通部中央氣象局

CENTRAL WEATHER BUREAU

中央氣象局 107 年地震年報

目錄 CATALOG

一、前言 PREFACE.	1
二、地震觀測 SEISMIC OBSERVATION.	2
(一) 地震觀測系統 SEISMIC OBSERVATION SYSTEM	2
1. 即時地震觀測網 Real-time seismic observation network..	2
2. 強地動觀測網 Strong ground motion seismic network.....	4
3. 地震及海嘯防災海纜觀測系統 Marine cable observation system for earthquake and tsunami disaster prevention .	7
4. 井下地震觀測站 Borehole seismic observation station..	10
5. 大屯火山即時地震監測網 Real-time seismic network at Tatun Volcano Group.....	12
(二) 地震活動分析 SEISMICITY ANALYSIS.....	13
1. 全區地震活動分析 Seismicity analysis in Taiwan region	13
2. 大屯火山地震活動分析 Local earthquakes at Tatun Volcano Group	23
3. 小結 Summary	27
三、地球物理觀測 GEOPHYSICAL OBSERVATION.....	28
(一) 地球物理觀測系統 GEOPHYSICAL OBSERVATION SYSTEM	28
1. 全球導航衛星系統 Global navigation satellite system .	28
2. 地下水位觀測系統 Seismic groundwater observation system.....	29
3. 地磁觀測系統 Geomagnetic observation system	29
(二) 地球物理觀測資料分析 GEOPHYSICAL OBSERVATION DATA ANALYSIS	32
1. 地殼形變觀測 Crustal deformation observation	32
2. 電離層全電子含量 Ionospheric total electron content .	35
3. 地下水位觀測 Seismic groundwater observation	37
4. 地磁觀測 Geomagnetic observation.....	40

四、地震速報作業 EARTHQUAKE RAPID REPORTING OPERATION	42
(一) 有感地震報告 FELT EARTHQUAKE REPORT	42
(二) 地震速報系統速報效能分析 ISSUE PERFORMANCE OF EARTHQUAKE RAPID REPORTING SYSTEM	45
五、海嘯警報發布作業 TSUNAMI WARNING REPORTING OPERATION .	49
六、強震即時警報應用推動 PROMOTION OF EARTHQUAKE EARLY WARNING APPLICATION	50
(一) 背景 BACKGROUND	50
1. 原理與限制 Principle and limitation	50
2. 推動規劃 Promotional planning	50
(二) 2018 年執行成效 SYSTEM PERFORMANCE IN 2018	51
1. 系統效能 System performance	51
2. 執行成果 Implementation results	56
(三) 後續工作 FOLLOW-UP	57
七、地震個案討論 EARTHQUAKE CASE DISCUSSION	59
(一) 2018 年 2 月 6 日臺灣東部海域地震 FEBRUARY 6, 2018 EARTHQUAKE IN THE EASTERN WATERS OF TAIWAN	59
八、結語 CONCLUSION	64
九、附錄 APPENDIX	65
(一) 地震測報發表論文 PUBLISHED PAPERS FOR SEISMICITY	65
(二) 參考文獻 REFERENCE	68

一、前言 Preface

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，讓生活在臺灣的民眾經常體驗大地的撼動；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，因此防震意識也成為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，適時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，2018年臺灣地區計發生超過4萬5千起地震，並發布1,007筆有感地震報告，其中139筆地震之震度影響範圍較大，為顯著有感地震，868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、學術機構及大眾傳播媒體等，相關資訊可提供縣市防救災單位及社會大眾做為應變決策與救災調度的參考。

本局自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。自2016年起開始執行強地動觀測第5期計畫，2017年完成增建高品質井下地震站及更新強震站儀器設備，使地震測報作業之品質與精確度皆得以提升，與先進國家相較並不遜色。自2017年起執行前瞻基礎建設-海陸地震聯合觀測網計畫，刻正進入緊鑼密鼓階段，重要執行成果為撰擬完成擴建海纜觀測系統案之相關計畫書送文化部與內政部審查、建置陸上站部分設備及鋪設陸纜。出版地震測報年報，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，記錄地震測報業務發展過程。

二、地震觀測 Seismic observation

(一) 地震觀測系統 Seismic observation system

1. 即時地震觀測網 Real-time seismic observation network

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，除可提供災害應變單位在地震救災上重要的參考依據，亦可做為地震學的研究與應用。

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」，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，已推展進入聯合觀測的新時代。

2016年起，本局開始執行「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」。2018年以前瞻基礎建設經費建置完成3座井下地震觀測站，累計完成62座井下地震觀測站；另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，海纜系統由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，整個擴建作業已於2017年10月18日完成驗收並正式啟用。透由井下地震觀測站與海底地震儀的互相整合後，本局完整的海陸即時地震觀測網初步成形，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2018年底，此24位元地震觀測系統的地震站已達205個，其測站分布與系統架構如圖2.1.1及2.1.2所示。

透由此觀測網測得，最新地震個數統計資料(如表2.1.1)顯示，自2012年來每年皆測得超過3萬個地震，尤其在規模2以下的

地震數量皆測得超過2萬個，相較於2012年以前增加許多，其主要原因在於自2012年起本局逐年汰換老舊之強震儀，將儀器解析度由16位元提升至24位元，而「24位元地震觀測系統」提升微小地震觀測訊號解析能力，而增強了規模2以下微小地震的偵測能力。

表2.1.1 2009至2018年地震個數統計表。

Table 2.1.1 Number statistics of earthquakes from 2009 to 2018.

地震個數 規模	西元	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
$2 \leq M$		11012	10234	10014	8396	9816	8707	11294	10314	8639	10669
$M < 2$		9347	13039	11781	22977	35694	28056	33543	38601	25964	35238
合計		20359	23273	21795	31373	45510	36763	44837	48915	34603	45907

*2018年統計數字為目前已檢視處理完成之地震個數

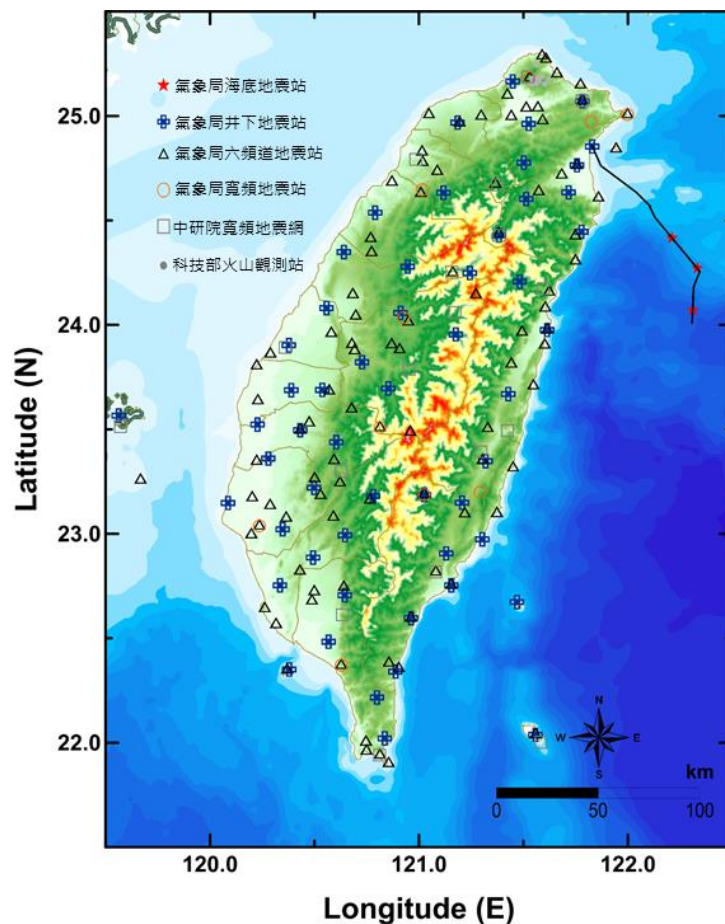


圖2.1.1 24位元地震觀測站分布圖。

Figure 2.1.1 The distribution map of 24-bit seismic observation station.

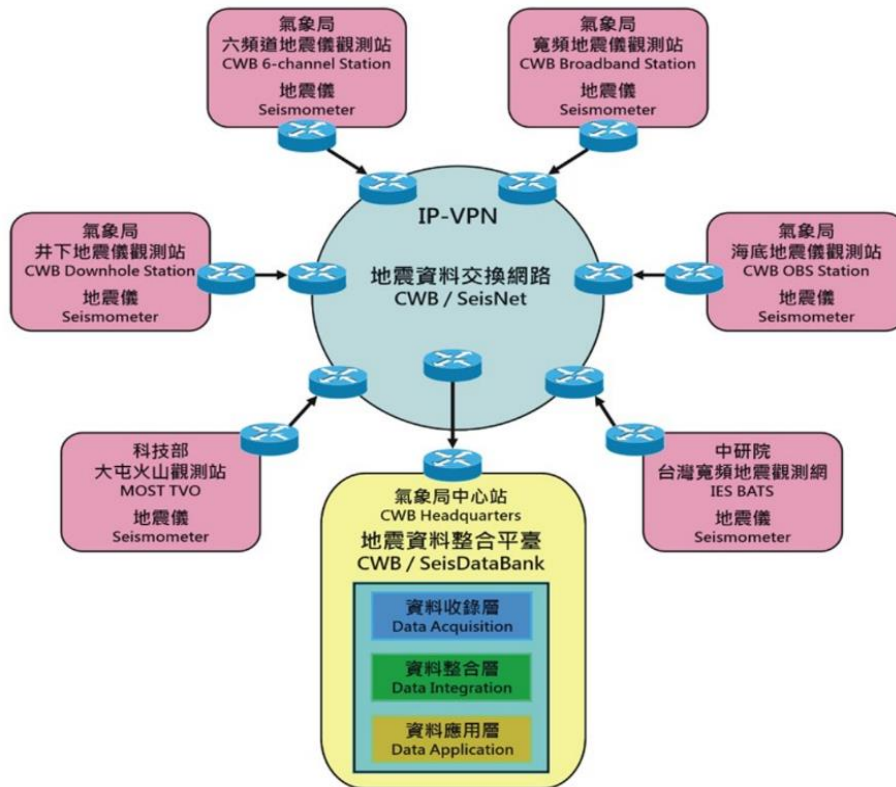


圖2.1.2 24位元地震觀測系統架構圖。

Figure 2.1.2 The framework of 24-bit seismic observation system.

2. 強地動觀測網 Strong ground motion seismic network

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，而影響強地動特性的主要因素有3項：包括：

- (1) 震源規模、破裂過程及形式的震源效應 (source effect)。
- (2) 震波傳遞的路徑效應 (path effect)。
- (3) 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自由場強震站 (Free-field Strong-motion Station)，截至2018年底共有737站 (圖2.1.3)。另外，本局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山區自由場強震站共70站 (如圖2.1.3 藍色符號所示)。

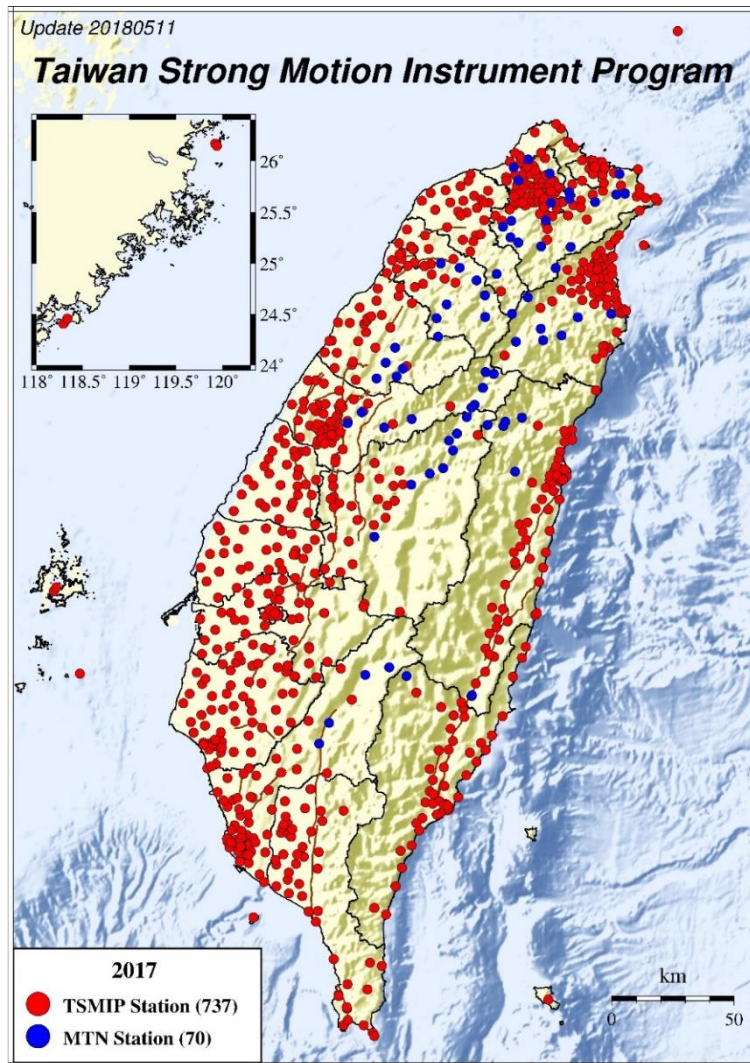


圖2.1.3 2018年自由場強震站分布圖，山區強震站以藍色符號表示。
Figure 2.1.3 The distribution map of free-field strong-motion station.

在汰換老舊觀測設備部分，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」，逐年汰換老舊強震儀，儀器的地震紀錄解析度亦由16位元提升至24位元，自2016年起本局執行「強地動觀測第5期計畫」，以及自2017年起執行前瞻基礎建設「海陸地震聯合觀測網計畫」，再次汰換其他自由場強震站舊型強震儀為新型強震儀，自2012年來已陸續汰換近600臺儀器，自由場強震站新舊儀器之外觀如圖2.1.4。



(a)汰換前



(b)汰換後



新型 Smart24A 及 TitanCWB

圖 2.1.4 自由場強震站新舊儀器外觀圖。

Figure 2.1.4 Appearance of new and old free-field strong-motion station instruments.

3. 地震及海嘯防災海纜觀測系統 Marine cable observation system for earthquake and tsunami disaster prevention

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，例如基隆在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，現有的陸上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可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确性和可信度，提供有效的防救災資訊。

此外，海域地震定位正确性的提升，讓我們能更精確地掌握地震是否會引起海嘯，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、海嘯壓力計及其他海洋科學觀測儀器，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作，於2011年11月14日完成第1條自宜蘭頭城向外海延伸45公里海纜觀測系統，並設置海底地震儀1座。海纜觀測系統於2014年5月26日因不明原因致海底地震海嘯觀測站受損。為修繕受損儀器，於2015至2017年執行「地震及海嘯防災海纜觀測系統擴建計畫」，選擇於本系統故障位置鄰近區域水深超過500米處重建1座觀測站，系統擴建部分則將海纜系統向外延伸70公里至115公里，另擇合適地點新增2個觀測站。

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上災害性地震發生頻繁之和平海盆及南澳海盆鄰近區域，分別於水深945、1,114及2,732公尺的海底採用嵌入式(in-line)設計(圖2.1.5)裝設3座海底地震儀，並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600公尺的部分，掩埋海纜最深至1.5公尺，以強化海纜埋設方式，避免再次遭受其他外力破壞。

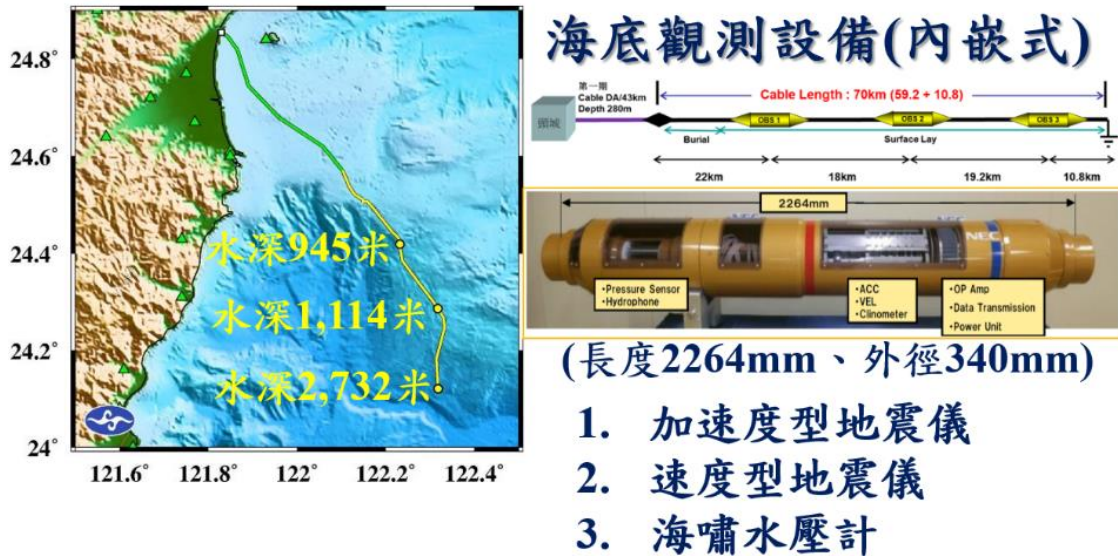


圖2.1.5 臺灣東部海域地震與海嘯海纜觀測系統觀測站設置深度及嵌入式 (in-line)一體成型觀測站。

Figure 2.1.5 The station location and type of marine cable observation system for earthquake and tsunami in the eastern waters of Taiwan.

上述計畫於2017年10月18日完成驗收並正式啟用，經整合測試顯示觀測資料品質良好。以2017年10月18日至2018年10月17日於宜蘭、花蓮海域監測共73個規模3以上的地震事件，將其納入強震即時警報自動定位的案例進行分析，結果顯示此3座海底即時觀測站平均可提升地震定位準確度約8.6%（相當於水平與深度綜合定位誤差由12.45公里降低至11.38公里，減少1.07公里），以及增加預警時效約7.9%（相當於預警報告產製時間由20.52秒降低至18.90秒，縮短1.62秒），地震規模準確度則大致相同。

自2017年9月開始以前瞻基礎建設經費執行第3期海纜計畫（圖2.1.6），擴建第1、2期海纜觀測系統，2018年重要執行成果為完成擴建東部及南部海纜觀測系統案之建置計畫書審查、水下文化資產調查計畫書及路線勘測申請計畫書送審、建置陸上站部分設備及鋪設陸纜。2020年臺灣東部海纜系統總長度將由115公里再延伸至約695公里，海底觀測站由3座擴充至9座，再提升地震定位準確度，擴展地震海嘯監測範圍，強化地震速報與預警系統功能，東部海域強震預警時間可提早10至20秒，海嘯應變時間可提前20至30分鐘，經由災防告警細胞廣播訊息系統(PWS)，能迅速傳遞地震與海嘯訊息，降低災害損失。

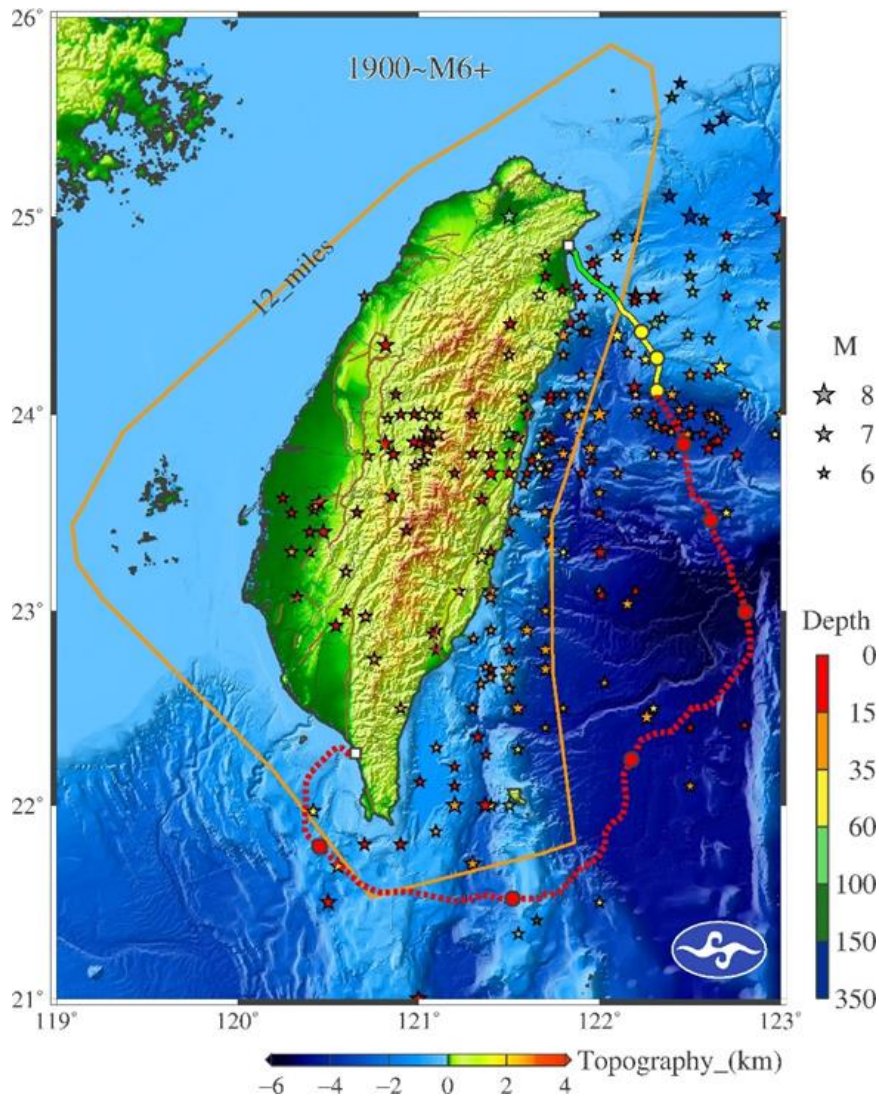


圖 2.1.6 臺灣東部海域地震海嘯海纜觀測系統鋪設路徑與海底觀測站位置圖。圖中實心綠線與黃線為現有 115 公里之海纜路徑（第 1、2 期），紅色虛線為目前正執行布建(第 3 期)海纜路線，黃色圓點為現有 3 座海底即時觀測站位置。星形為 1900 年迄今規模 6 以上的地震分布。

Figure 2.1.6 The laying route and ocean bottom station location map of marine cable observation system for earthquake and tsunami in the eastern waters of Taiwan.

4. 井下地震觀測站 Borehole seismic observation station

一般地面常因鄰近人為活動等造成振動，讓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。而井下地震觀測站則是視岩盤深度，將地震儀器設置在地表下約30~500公尺深處，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。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及地震定位都有相當大的助益(圖2.1.8)，強化了地震監測系統並提升地震預警(Earthquake Early Warning, EEW)的效能。2018年本局以前瞻基礎建設經費共建置完成3座井下地震觀測站，累計完成62座井下地震觀測站(圖2.1.9)。

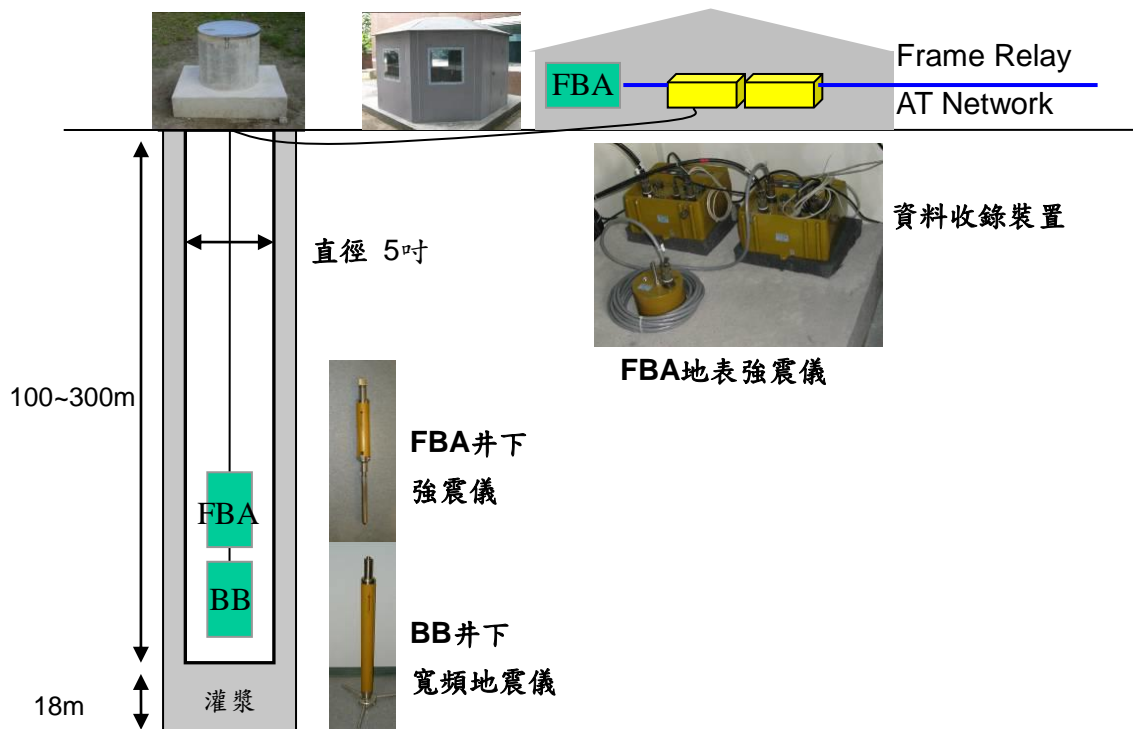


圖 2.1.7 井下地震觀測站示意圖。

Figure 2.1.7 The schematic diagram of borehole seismic observation station.

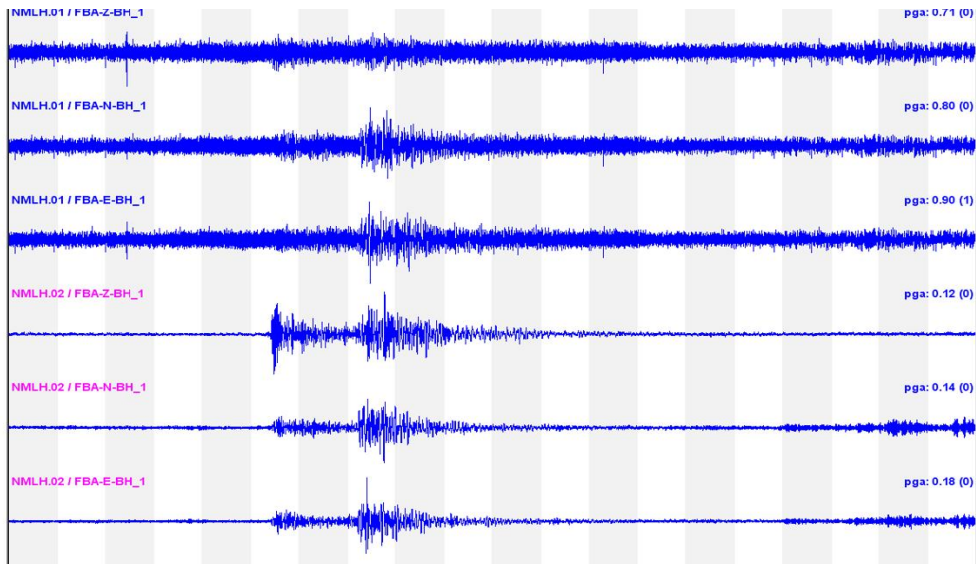


圖 2.1.8 2017 年 3 月 20 日 7 時 48 分宜蘭東部海域地震(規模 4.5)，苗栗井下地震觀測站(震央距離為 136.3 公里)之地震波形紀錄，上方 3 波道為地表強震儀波形紀錄，下方 3 波道為井下強震儀波形紀錄。

Figure 2.1.8 An earthquake example of borehole seismic record.

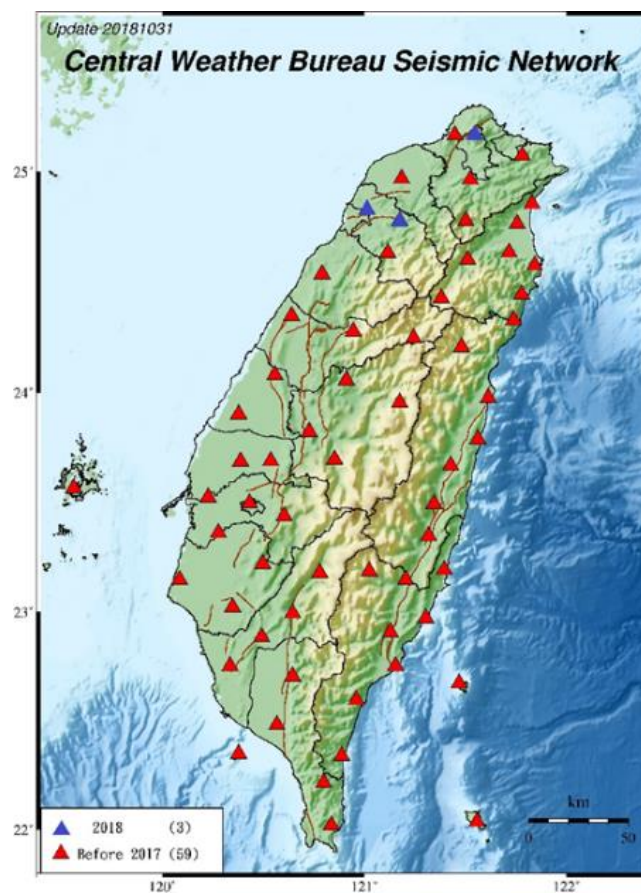


圖 2.1.9 歷年建置之井下地震觀測站分布。

Figure 2.1.9 The distribution of borehole seismic stations established over the years.

5. 大屯火山即時地震監測網 Real-time seismic network at Tatun Volcano Group

本局對大屯火山地震的監測工作始於2007年，透由與中央研究院地球科學研究所及科技部大屯火山觀測站合作，設置之測站網以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），對大屯火山地區進行火山地震監測，以有效地監測大屯火山地區的微震活動，並快速提供相關資訊。

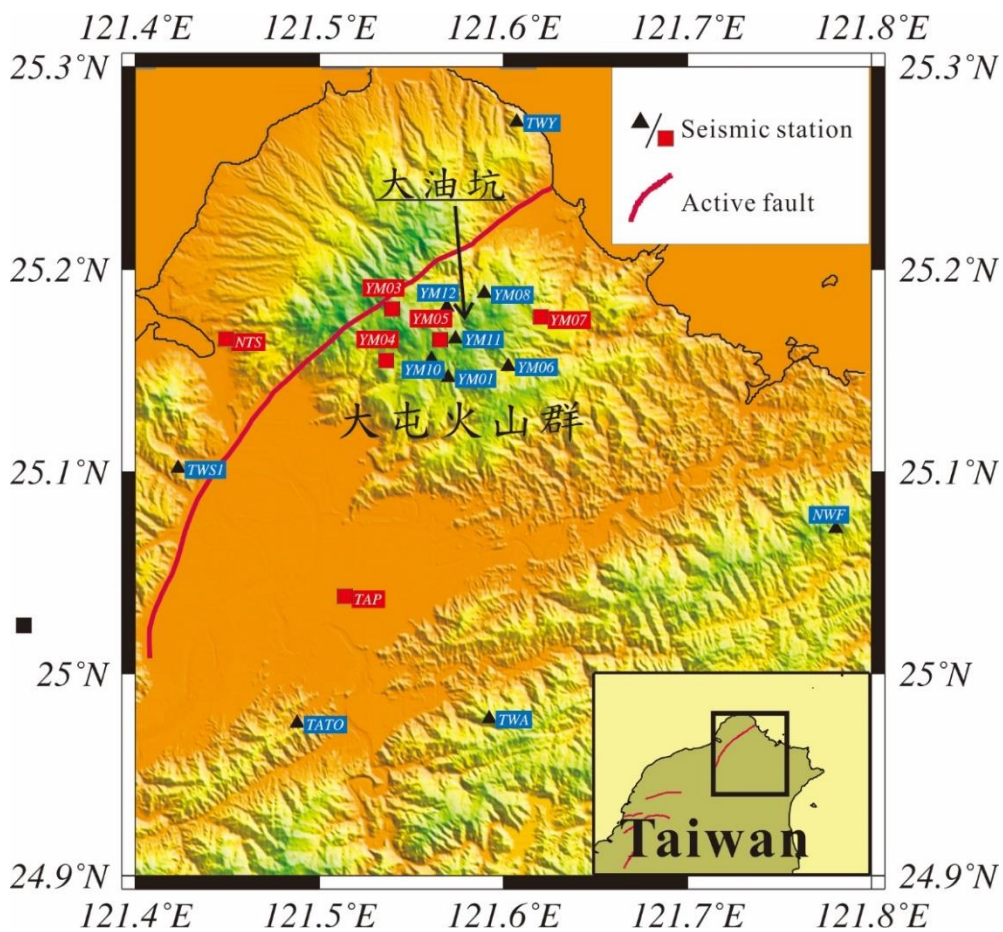


圖2.1.10 大屯火山監測網的地震站分布。三角形或四方形表示地震站的位置（火山地震地表監測站以黑色三角形表示；火山地震井下監測站以紅色四方形表示），其中YM01到YM12測站為大屯火山觀測站所維護之地震站。

Figure 2.1.10 The distribution of seismic stations at Tatun Volcano Group and surrounding areas.

(二) 地震活動分析 Seismicity analysis

1. 全區地震活動分析 Seismicity analysis in Taiwan region

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。2018年共觀測到超過4萬5千起地震，其中包含3個規模大於6以上的強震，分別為2月6日發生於花蓮近海規模6.26地震，深度6公里；10月23日發生於花蓮外海規模6.11地震，深度31公里；11月26日發生於臺灣海峽澎湖西方海域規模6.21地震，深度12公里 (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，且位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；臺灣南部約在東經121度附近也隱約呈現向東隱沒之傾斜地震帶；而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部分，在臺灣東北部與南部分別具有由南向北及由西向東的板塊隱沒地震帶 (Angelier, 1986)，即在臺灣東北部，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) 及沖繩海槽 (Okinawa Trough) 之板塊隱沒構造。琉球弧溝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。

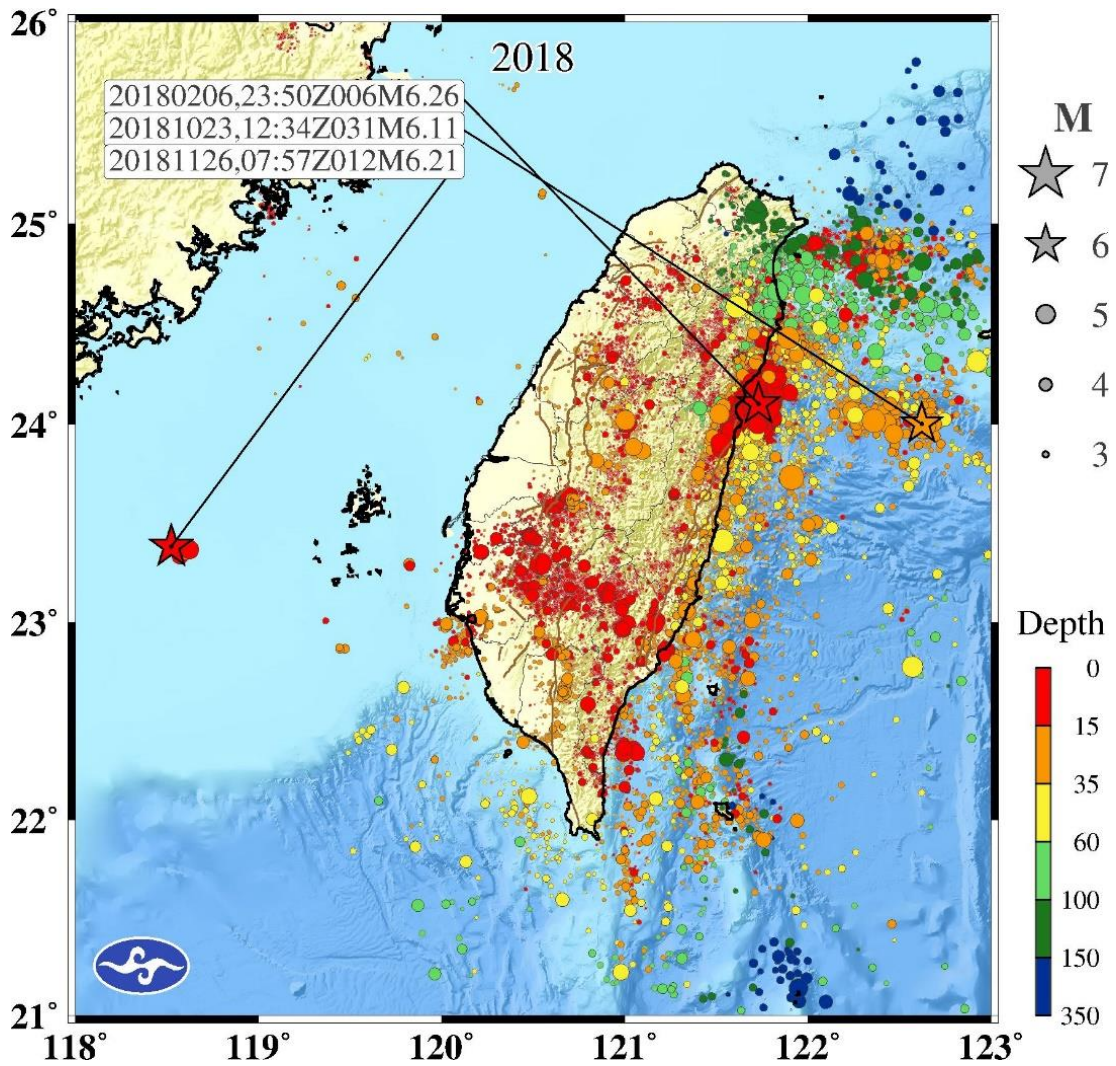


圖 2.2.1 2018 年地震分布圖。2018 年共觀測到超過 4 萬 5 千起地震，其中規模小於 6 地震為圓形符號，規模大於等於 6 地震為星形符號，大小代表地震規模，顏色代表地震深度，詳細如圖例。

Figure 2.2.1 Seismicity distribution in 2018.

許多的研究分析顯示，地震規模與釋放能量間有一定程度的關係，一般而言，普遍受到地震界學者專家接受的經驗公式為 $\text{Log}E=11.8+1.5M$ (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。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，但為了解臺灣各震源構造區之地震釋放能量情形，因此本局於後採累積規模 (Cumulative Magnitude)以代表累積的地震釋放能量，目的是將累積能量 (Cumulative Energy) 的數值正規化 (normalize) 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2018年累積規模約為6.75 (圖2.2.2)。

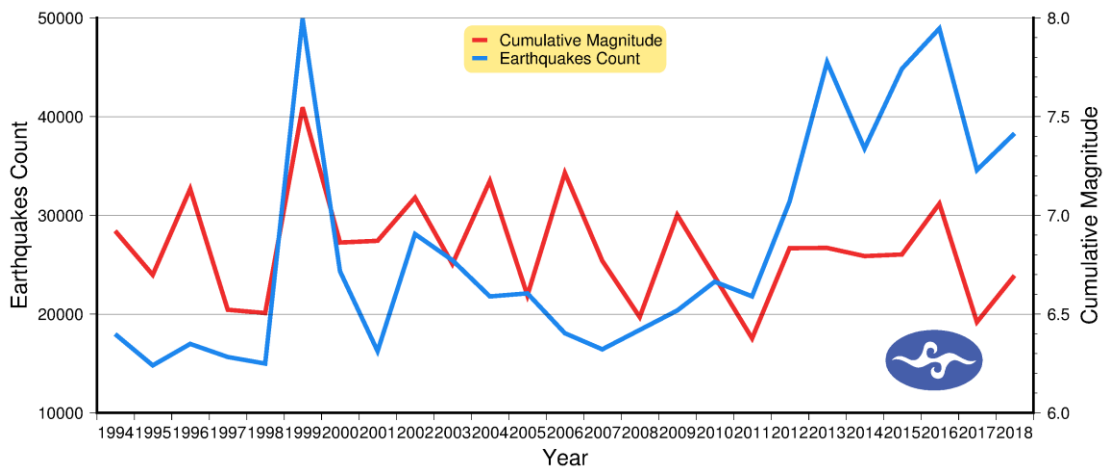


圖2.2.2 1994至2018年各年地震次數及累積規模統計圖。各年地震次數(藍色線)、累積規模統計圖(紅色線)及累積規模平均值(綠色線)。

Figure 2.2.2 Temporal distribution of the number of earthquakes and cumulative magnitude from 1994 to 2018.

在震源深度的分析上，本局係以震源深度40公里來區分深震與淺震，2018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0.2度為網格大小。從地震累積規模等值圖可以發現，臺灣主要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，等值圖的區域高區主要分布在宜

蘭東北部外海、花蓮、花蓮外海、屏東、苗栗、新竹及臺東外海地區，等值圖高區大致呈現東北方向的狹長帶狀分布趨勢，臺灣西部則以臺南外海與嘉南地區為局部高區。

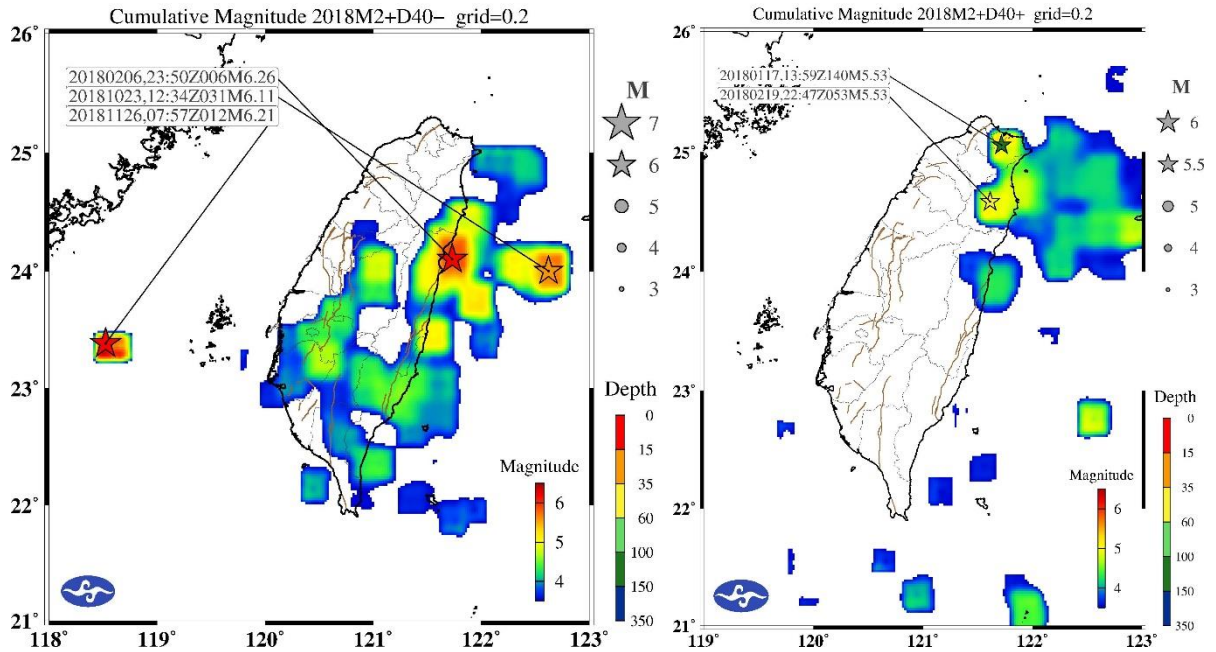


圖 2.2.3 2018 年淺震(左)與深震(右)之累積規模等值分析。等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小，地震個數已正規化(normalize)為 30 天之個數。顏色愈暖，累積地震規模愈大。

Figure 2.2.3 The cumulative magnitude contour map of shallow (left figure) and deep (right figure) earthquakes in 2018.

2018年地震個數等值分析如圖2.2.4，等值圖係以經緯度各 0.2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)、花蓮及宜蘭地區最為頻繁，等值線大致亦呈東北向的狹長帶狀分布趨勢；臺灣西部則以臺南外海與嘉南地區較為頻繁。

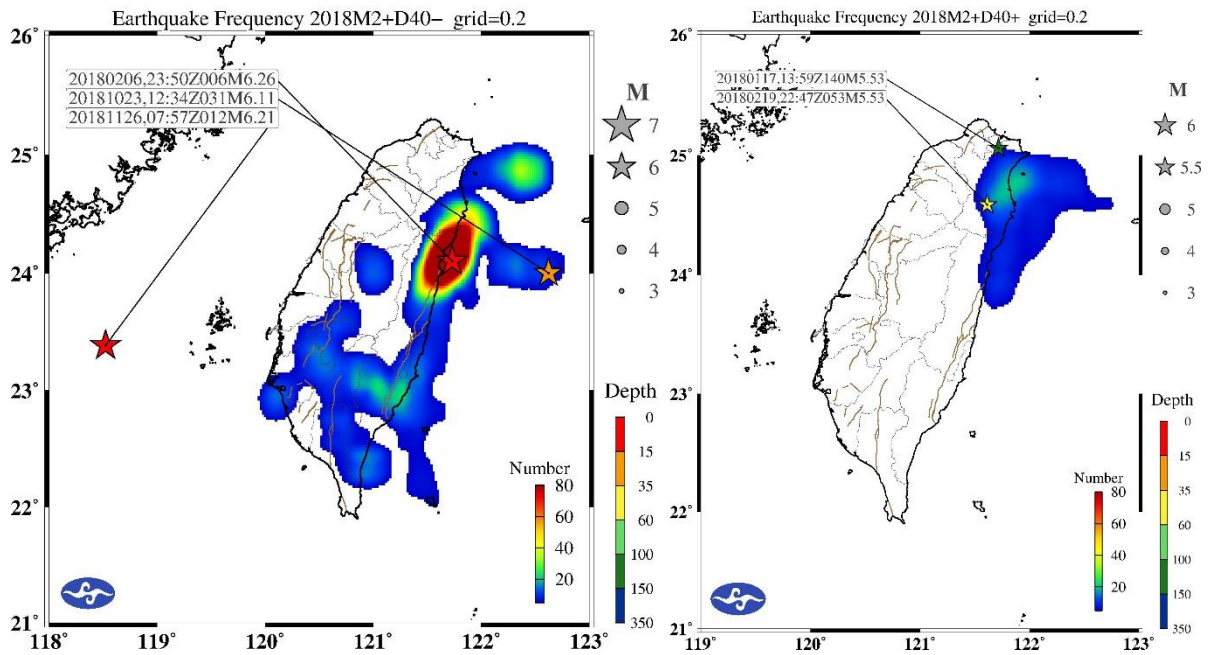


圖 2.2.4 2018 年規模大於 2 之淺震(左)與深震(右)之地震個數等值分析。等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小，地震個數已正規化 (normalize) 30 天之個數。顏色愈紅，地震個數愈多。

Figure 2.2.4 The earthquake number contour map of shallow (left figure) and deep (right figure) earthquakes in 2018.

由2018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，以2月6日規模6.26的花蓮近海地震為最大規模地震。本年有明顯地震序列地震包括：2018年2月6日23時50分於花蓮近海發生的規模6.26花蓮強震，震源深度為6.3公里，在米崙斷層沿線造成道路龜裂隆起，多棟大樓與飯店傾斜倒塌，導致17人死亡、280人受傷的重大災情；11月26日7時57分臺灣海峽地震規模6.21，規模4以上餘震有11個，地震序列持續約1週。

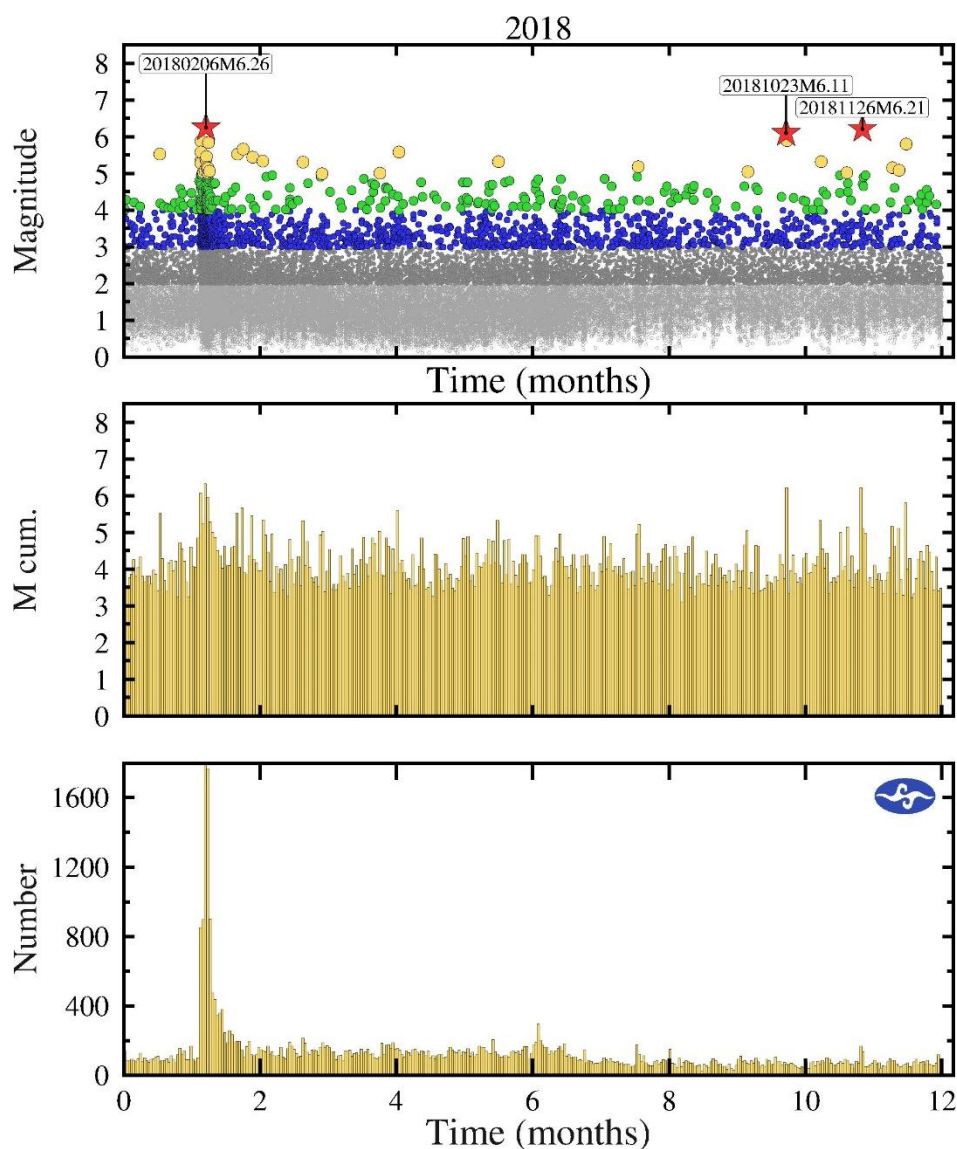


圖 2.2.5 2018 年地震規模、累積規模及每日個數之時間分布圖。
 Figure 2.2.5 Temporal distribution of magnitude, cumulative magnitude, and number of earthquakes in 2018.

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23個初動解與24個CMT震源機制，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，且臺灣地震網測站密度高，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23個震源機制是選用各個測站P波初動極性非常明確的資料。2018年P波初動解與CMT之震源機制及震央分布如圖2.2.6。2018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，2018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。

2018年2月6日花蓮近海強震經資料處理分析所得之震源機制為走向滑移(strike-slip)錯動機制，其震源機制面與米崙斷層的走向非常吻合，地震矩張量解結果為雙力偶成分62%，非雙力偶成分38%，顯示此地震震源錯動方式較為複雜，震源錯動的時間和空間函數變化都具有很大成分的震源效應。

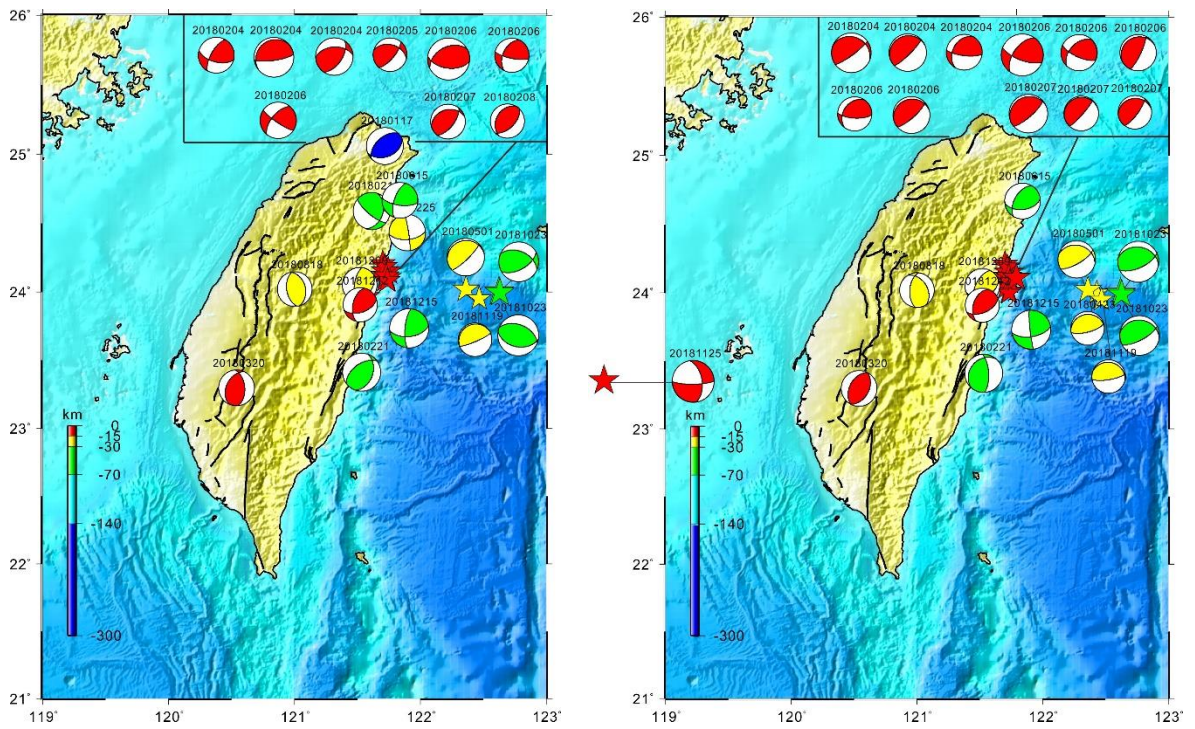


圖2.2.6 2018年由本局地震網規模大於5的P波初動資料與波形擬合方式，求得初動解(左圖)與CMT震源機制(右圖)。

Figure 2.2.6 Focal mechanisms (left figure) and Centroid moment tensor (CMT) solutions (right figure) of earthquakes magnitude greater than 5.0 in 2018.

表 2.2.1 圖 2.2.6 中初動震源機制解參數。

Table 2.2.1 The parameters of focal mechanisms in figure 2.2.6.

年/月/日	時:分	東經	北緯	深度	規模	dip1	strike1	rake1	dip2	strike2	rake2
yyyy/mm/dd	Hh:min	Long.(E)	Lat.(N)	Depth(km)	M _L						
2018/1/17	05:59	121.7182	25.0588	140.19	5.53	41	69	107	51.1	226.9	75.7
2018/2/4	13:12	121.6992	24.2055	2.99	5.35	59	105	153	67.1	209.7	34
2018/2/4	13:56	121.7437	24.1507	10.61	5.89	77	82	98	15.2	230	58.9
2018/2/4	14:13	121.7165	24.1505	10.34	5.58	57	34	54	47.3	267.1	132.1
2018/2/5	15:58	121.7352	24.1062	8.32	5.04	70	40	54	40.5	284.8	148.2
2018/2/6	05:09	121.7195	24.186	10.73	5.09	75	102	136	47.9	206	20.4
2018/2/6	15:50	121.7297	24.1007	6.31	6.26	53	97	112	42.2	243.1	63.6
2018/2/6	18:00	121.729	24.1157	6.69	5.38	80	124	150	60.5	219.7	11.5
2018/2/7	03:36	121.7382	24.081	7.42	5.17	63	38	72	32.1	253.6	121.2
2018/2/8	00:54	121.5807	23.968	11.54	5.07	56	45	98	34.8	210.9	78.3
2018/2/19	14:47	121.6137	24.5878	52.68	5.53	39	18	153	73.4	129.6	54.2
2018/2/21	23:10	121.5337	23.413	35.57	5.66	41	19	62	54.6	234.2	112.2
2018/2/25	18:28	121.8958	24.4313	22.11	5.45	59	85	7	84	351.4	148.8
2018/3/20	09:22	120.5407	23.2982	11.21	5.31	42	206	114	52.3	355.1	69.9
2018/5/1	23:47	122.3617	24.018	24.75	5.59	79	46	84	12.5	254.8	118.3
2018/6/15	20:53	121.8367	24.6663	63.21	5.33	67	98	153	65.3	199.3	25.5
2018/8/18	00:15	121.0032	24.0197	19.11	5.19	51	171	93	39.1	346.2	86.3
2018/10/23	04:34	122.624	24.0025	31.19	6.11	43	101	82	47.5	291.9	97.4
2018/10/23	16:04	122.6308	23.9932	30.1	5.9	58	61	55	46	293.9	132.5
2018/11/19	06:19	122.4677	23.9507	27.2	5.03	81	67	91	9.1	240.6	83.7
2018/12/9	15:15	121.517	24.0518	19.68	5.16	32	53	130	66	188.3	68.1
2018/12/12	13:24	121.5233	23.9062	12.37	5.09	53	71	133	54.3	193.8	47.9
2018/12/15	21:21	121.9102	23.734	32.87	5.8	55	83	-159	72.9	340.6	-36.9

表 2.2.2 圖 2.2.6 中 CMT 震源機制解參數。

Table 2.2.2 The parameters of centroid moment tensor solutions in figure 2.2.6.

年/月/日 yyyy/mm/dd	時:分 Hh:min	東經 Long.(E)	北緯 Lat.(N)	深度 Depth(km)	規模 M _L	dip1	strike1	rake1	dip2	strike2	rake2
2018/2/4	13:12	121.7	24.21	2.99	5.35	36.5	209	26.9	74.3	96.8	123.4
2018/2/4	13:56	121.74	24.15	10.61	5.89	19.7	294.1	149	80	53.6	72.9
2018/2/4	14:13	121.72	24.15	10.34	5.58	10.6	248.3	112.4	80.2	45.5	85.9
2018/2/6	05:09	121.72	24.19	10.73	5.09	34.6	216.4	38.7	69.1	93	118.3
2018/2/6	15:50	121.73	24.1	6.31	6.26	56.3	215.6	25.5	68.9	110.8	143.5
2018/2/6	18:00	121.73	24.12	6.69	5.38	48	223.3	26.9	70.3	114.5	134.7
2018/2/6	18:07	121.71	24.04	4.17	5.39	14.3	243.4	127.1	78.5	25.4	81.2
2018/2/6	19:15	121.73	24.01	5.65	5.46	14.5	252.3	112.9	76.6	48.7	84.2
2018/2/7	03:36	121.74	24.08	7.42	5.17	8.6	257.8	126.1	83	41.4	84.8
2018/2/7	11:13	121.73	24	8.24	5.03	19.1	259.6	131.3	75.7	36.6	77
2018/2/7	15:21	121.79	24.11	10	5.79	14.6	244.4	105	75.9	48.9	86.1
2018/2/21	23:10	121.53	23.41	35.57	5.66	28.9	220.3	129.5	68	357	70.5
2018/3/20	09:22	120.54	23.3	11.21	5.31	44	27.7	89.5	45.9	208.3	90.4
2018/4/23	17:10	122.43	24	25.36	5.01	19	259.7	94.4	71	75	88.4
2018/5/1	23:47	122.36	24.02	24.75	5.59	25.1	284.4	131.9	71.5	59.7	72.5
2018/6/15	20:53	121.84	24.67	63.21	5.33	50.1	82.8	129.5	53.7	210.6	52.6
2018/8/18	00:15	121	24.02	19.11	5.19	40.3	328	60.3	55.7	184.7	112.7
2018/10/23	04:34	122.62	24	31.19	6.11	29.4	279.7	120.7	64.9	65.4	73.9
2018/10/23	16:04	122.63	23.99	30.1	5.9	23.5	277.8	123.4	70.4	62.1	76.4
2018/11/19	06:19	122.47	23.95	27.2	5.03	16.3	287	115.8	75.2	80.2	82.7
2018/11/25	23:57	118.52	23.38	12.31	6.21	54.7	351.1	-14.1	78.4	89.4	143.8
2018/12/9	15:15	121.52	24.05	19.68	5.16	38.6	68.5	125	59.3	206.6	65.3
2018/12/12	13:24	121.52	23.91	12.37	5.09	47.1	200.3	54.7	53.2	66.4	121.8
2018/12/15	21:21	121.91	23.73	32.87	5.8	61	80.6	-173.8	84.5	347.6	-29

2. 大屯火山地震活動分析 Local earthquakes at Tatun Volcano Group

在火山地震監測作業方面，2012年以前，本局設立了火山觀測小組，其工作內容是常規化地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有效率。

在2018年的火山地震監測作業方面，共觀測到1,860個地震事件，其中有1,627個地震事件發生在大屯山地區（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（圖2.2.8），數量有1,312個，佔全數的81%。以目前大屯火山地區的地震監測能力，可以測得許多規模小於1的微震事件，這些事件雖不至於產生災害，卻是監測與評估火山活動的重要依據。2018年4月間本局與大屯火山觀測站資料傳輸曾出現中斷情形，去除資料中斷時期，從其時序分布上（圖2.2.9）可發現此地區的每日地震活動有明顯的差異性，如在3月及8月下旬至9月上旬間地震活動活躍的時期相對頻繁，在空間上亦十分接近（圖2.2.10），這種地震在時間與空間上的群聚發生現象，在大屯火山地區亦屬常見，原因可能與當地淺層的火山地熱活動有關(Pu et al., 2014)。

2018年此地區規模最大的地震發生在5月31日，規模為3.25（圖2.2.7），這個地震發生的前後（圖2.2.9），並未有明顯的地震活動異常情形，也就是說無前震與頻繁的餘震發生，再從空間來看，地震發生的位置在主要地震活動的東南緣地區，其發生的特性也許與一般的大屯火山淺層地震有所差異，以致地震規模略大卻無明顯餘震活動情形。

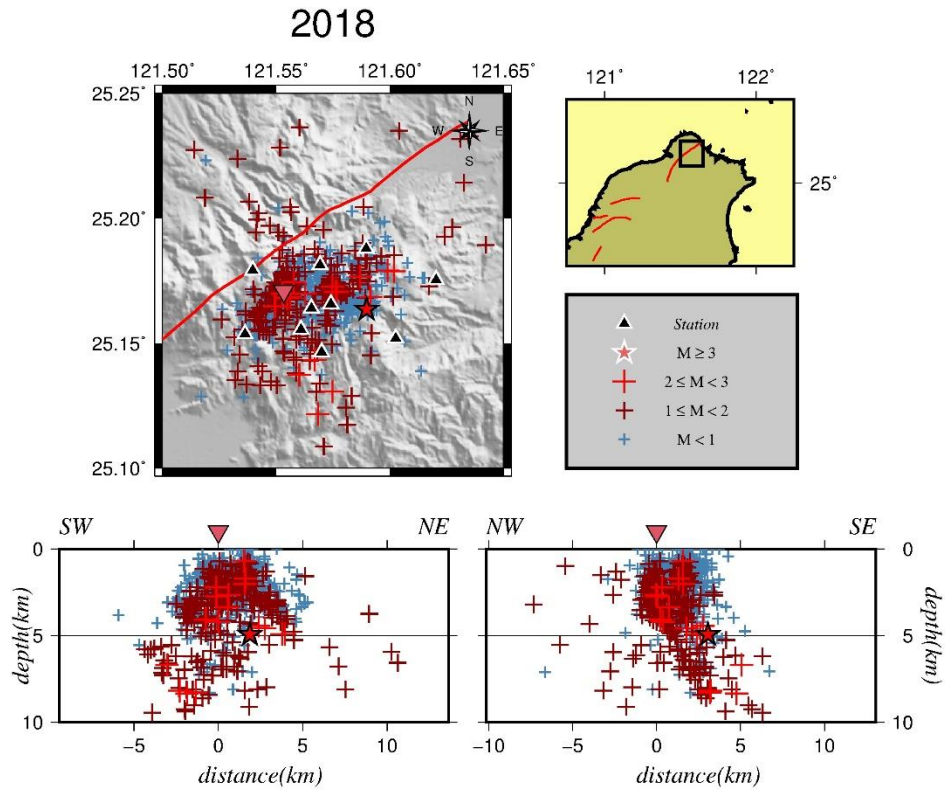


圖2.2.7 2018年大屯火山地區的地震活動空間分布圖。

Figure 2.2.7 The distribution of local earthquakes at Tatun Volcano Group in 2018.

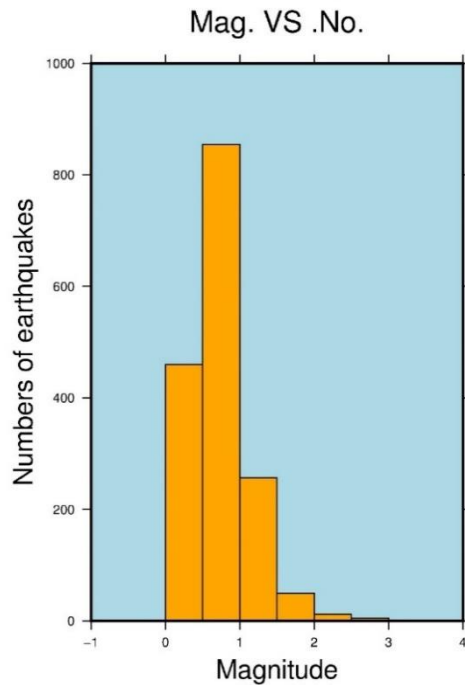


圖2.2.8 大屯火山地區2018年地震數量與規模的關係。橫軸為地震規模，縱軸為地震個數。

Figure 2.2.8 The relation between number and magnitude of the earthquakes occurred at Tatun Volcano Group in 2018.

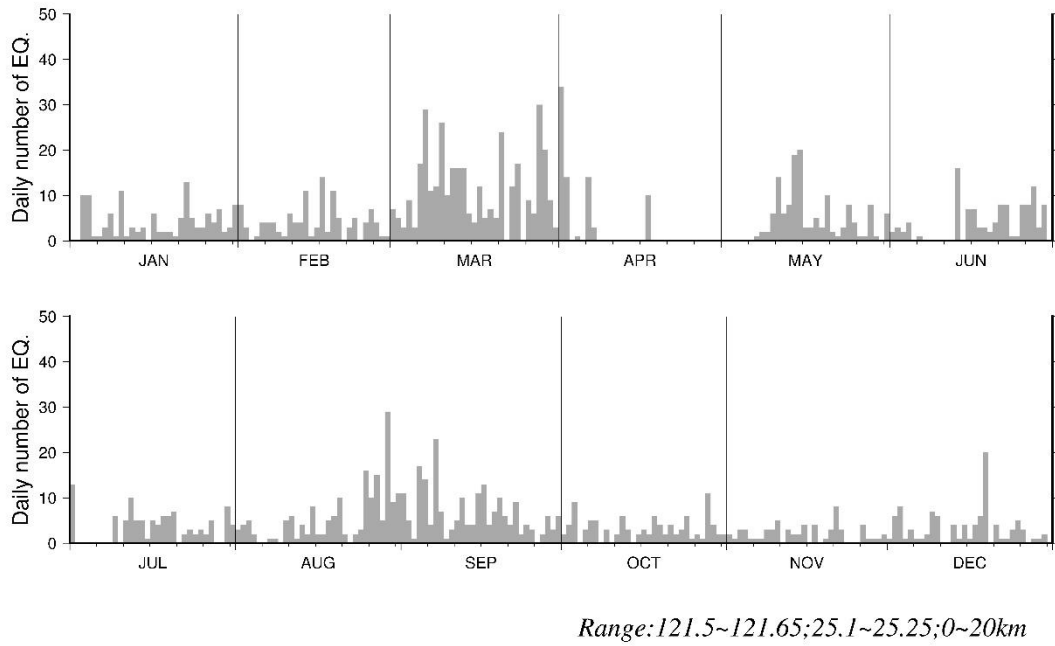


圖 2.2.9 2018 年大屯火山地區地震數量的時序分布。橫軸為時間，縱軸為地震的個數。

Figure 2.2.9 Daily number of earthquakes at Tatun Volcano Group in 2018.

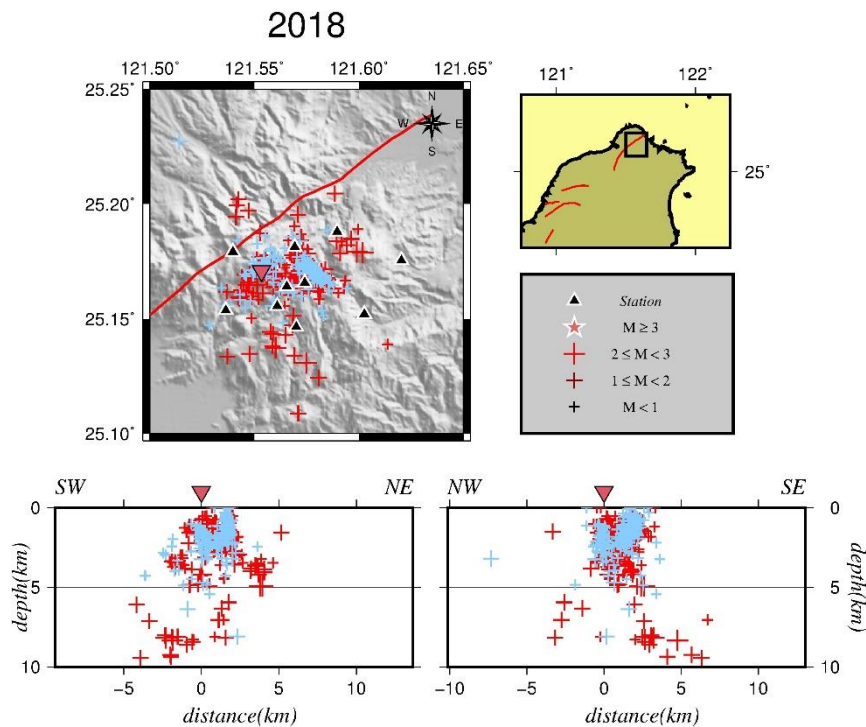


圖 2.2.10 2018 年 3 月 (紅色)與 8 月 15 日至 9 月 15 日(藍色)的地震活動空間分布圖。紅色實線表示山腳斷層的位置，紅色三角形代表七星山。

Figure 2.2.10 The distribution of local earthquakes occurred on March and from 15 August to 15 September in 2018.

目前本局於大屯火山地區的地震監測能力可以測得許多規模小於1的地震事件（圖2.2.8），整體來看，這些地震集中發生於大屯火山地區的七星山與八煙地區的淺層地殼中(深度3公里以內)，也是當地主要的火山地熱活動區。綜觀大屯火山地區近年的地震活動，2018年的地震活動相較於過去幾年監測資料，每日地震個數的變化雖然略大，但累積的地震能量仍大約等於背景值，因此評估2018年大屯火山之活動性仍屬平穩（圖2.2.11）。

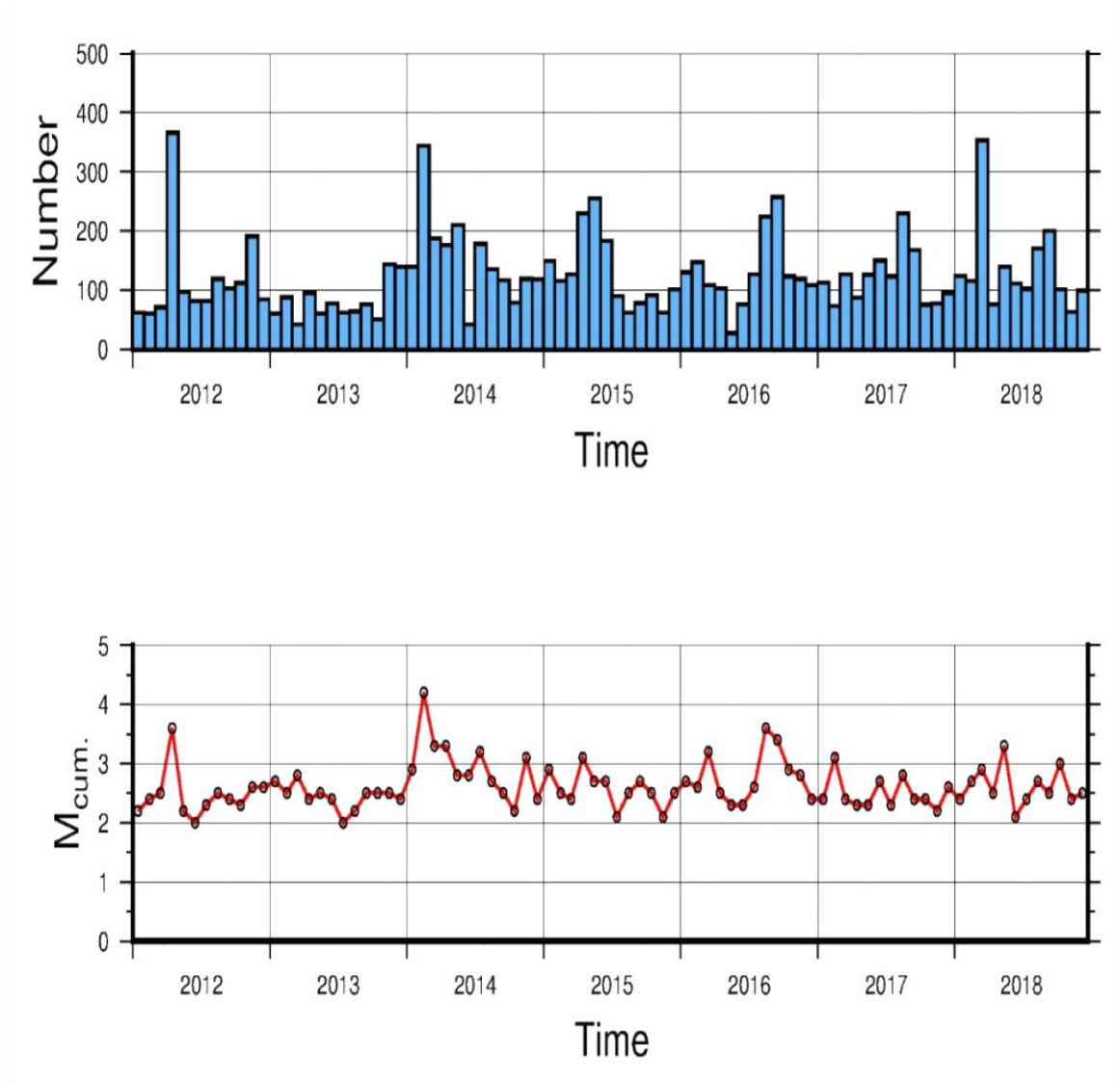


圖 2.2.11 2012 至 2018 年大屯火山觀測網的長期觀測資料。上圖為地震個數與時間的關係，下圖為每月累積規模與時間的關係。
Figure 2.2.10 Monthly number of earthquakes at Tatun Volcano Group from 2012 to 2018.

3. 小結 Summary

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2018年規模小於2平均地震個數約為2001至2011年規模小於2平均個數的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，2016年規模大於2以上地震個數為10,295個，2017年規模大於2以上地震個數為8,639個，2018年規模大於2以上地震個數逾10,669個，地震活動度較2017年頻繁，原因為2018年2月6日花蓮近海地震的地震序列活動頻繁，2018年相對是地震活動較為活躍的一年。

2018年在大屯火山地區的地震活動方面，大屯火山地區的地震活動之個數變化起伏相對於過去略微偏高，較頻繁的地震發生於2018年3月與8月下旬至9月上旬間。最大地震規模3.25發生於5月31日，惟此地震後並未有明顯的餘震活動。

三、地球物理觀測 Geophysical observation

(一) 地球物理觀測系統 Geophysical observation system

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)，可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的雙重需求。未來將評估納入地電場、井下應變儀觀測等其他地震前兆觀測系統，使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. 全球導航衛星系統 Global navigation satellite system

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，可做為觀測地震前兆的一種方法。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。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，2005年GPS觀測站數目已增加至152站。該系統除量測伴隨大地震出現的顯著地表位移外，其所蒐集的地震前、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。

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，在2017年10月採購22部GNSS衛星定位觀測設備新型號Trimble NetR9，於2017年底與2018年初汰換老舊的GPS觀測儀器，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、資料接收頻率及網路展控功能。2018年有1站因測站觀測環境不佳無法改善而遷移站址，並另新增鞍部與竹子湖站。至2018年底止本局共建置與汰換完成161座GNSS測站 (圖3.1.1)，透過ADSL與無線網路等方式進行資料傳輸。

2. 地下水位觀測系統 Seismic groundwater observation system

1999年9月21日凌晨1點47分發生集集地震，當時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映出岩體應變，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2018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. 地磁觀測系統 Geomagnetic observation system

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集集地震與1022嘉義地震等。這些前兆雖多為事後研究分析之結果，卻值得深入探討評估做為地震前兆研判之可行性。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的一批相關設備，再經更新整理持續維運，原有11座地磁場觀測站中，於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，爰至2018年底共有12座地磁場觀測站，詳細分布見圖3.1.1。

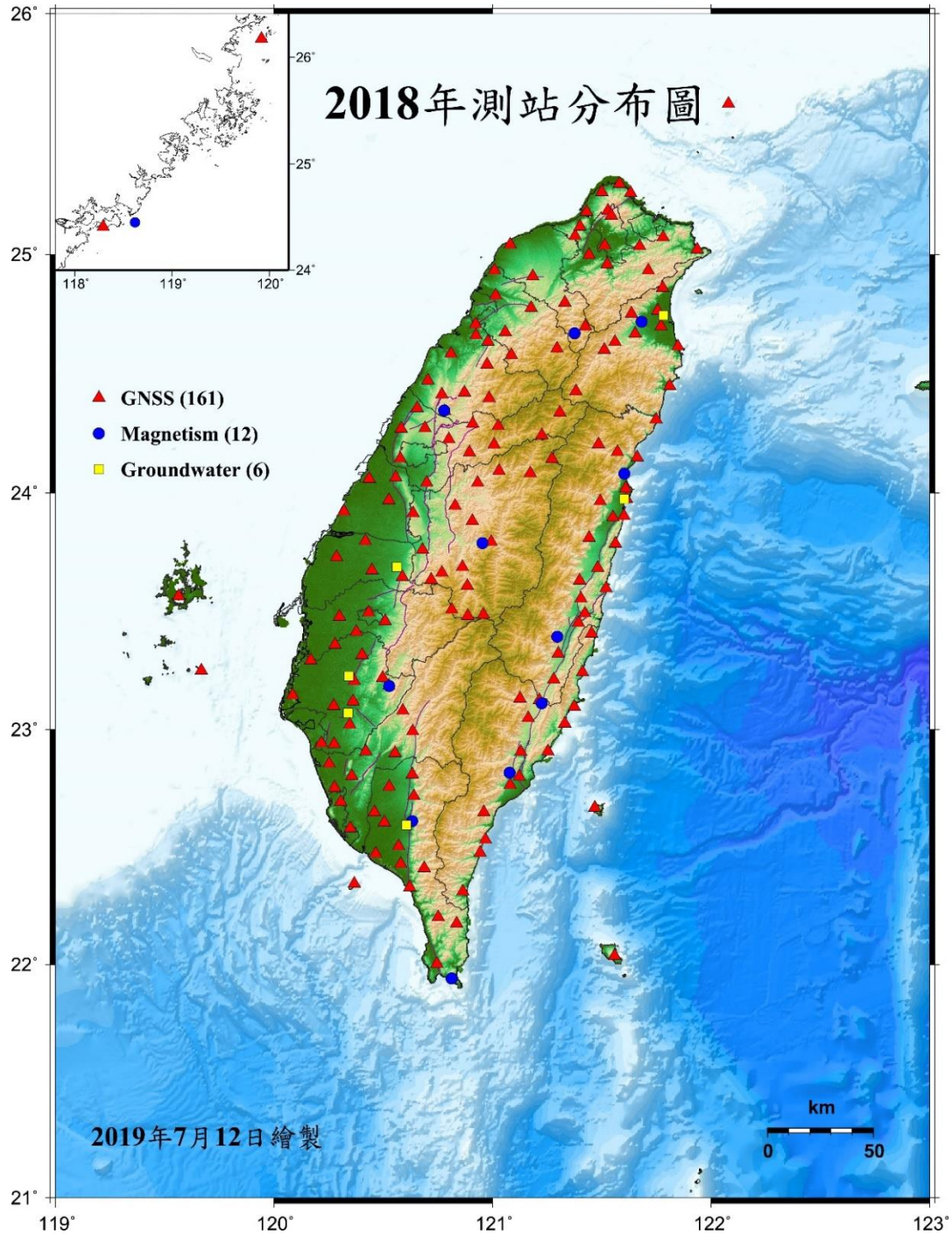


圖 3.1.1 臺灣地球物理觀測網 (TGNS) 測站分布圖，圖中 GNSS 為全球導航衛星系統測站，Magnetism 為地磁觀測站，Groundwater 為地震地下水水位觀測站。

Figure 3.1.1 The station map of Taiwan Geophysical Network for Seismology (TGNS). GNSS indicates the stations of Global Navigation Satellite System. Magnetism indicates the stations of Geomagnetic Observation System. Groundwater indicates the stations of Seismic Groundwater Observation System.

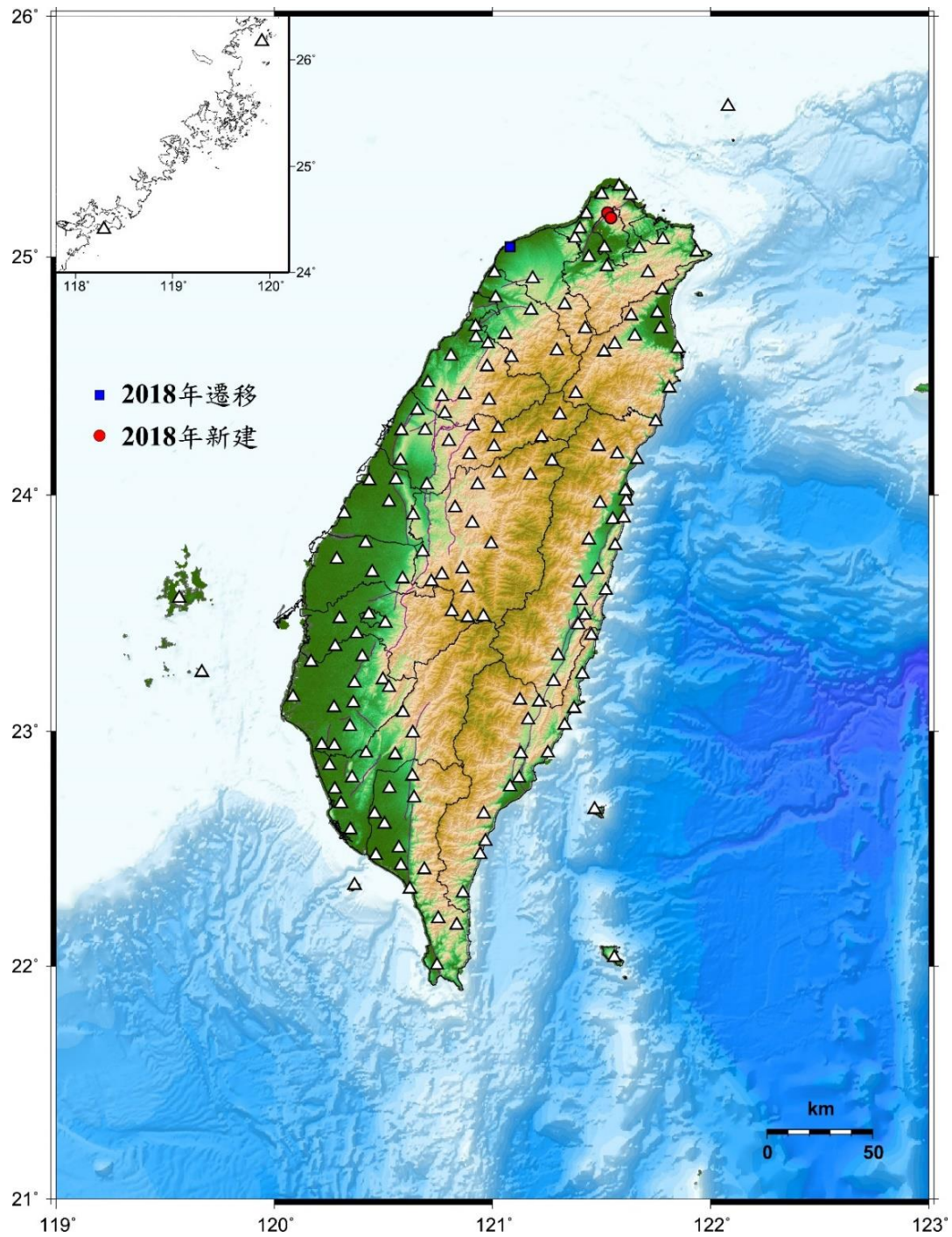


圖 3.1.2 全球導航衛星系統觀測站(GNSS)分布圖，藍色實心正方形為 2018 年遷移站址之測站，紅色實心圓形為 2018 年新建之測站。

Figure 3.1.2 The GNSS observation stations distribution map. Blue solid square is the station moved in 2018. Red solid circle are the new stations in 2018.

(二) 地球物理觀測資料分析 Geophysical observation data analysis

1. 地殼形變觀測 Crustal deformation observation

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) 連續觀測記錄站已超過300站，無論是測站密度或資料精度，皆可為地殼形變觀測之利器。經過歷史資料的初步統計分析，臺灣北部之地殼形變較不明顯，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；臺東之地殼形變速度場約有5至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至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形變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順時鐘方向之旋轉，這些地殼形變特徵都顯示臺灣地區地體構造的複雜性。

本局2018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，使用的座標系統為ITRF2008。

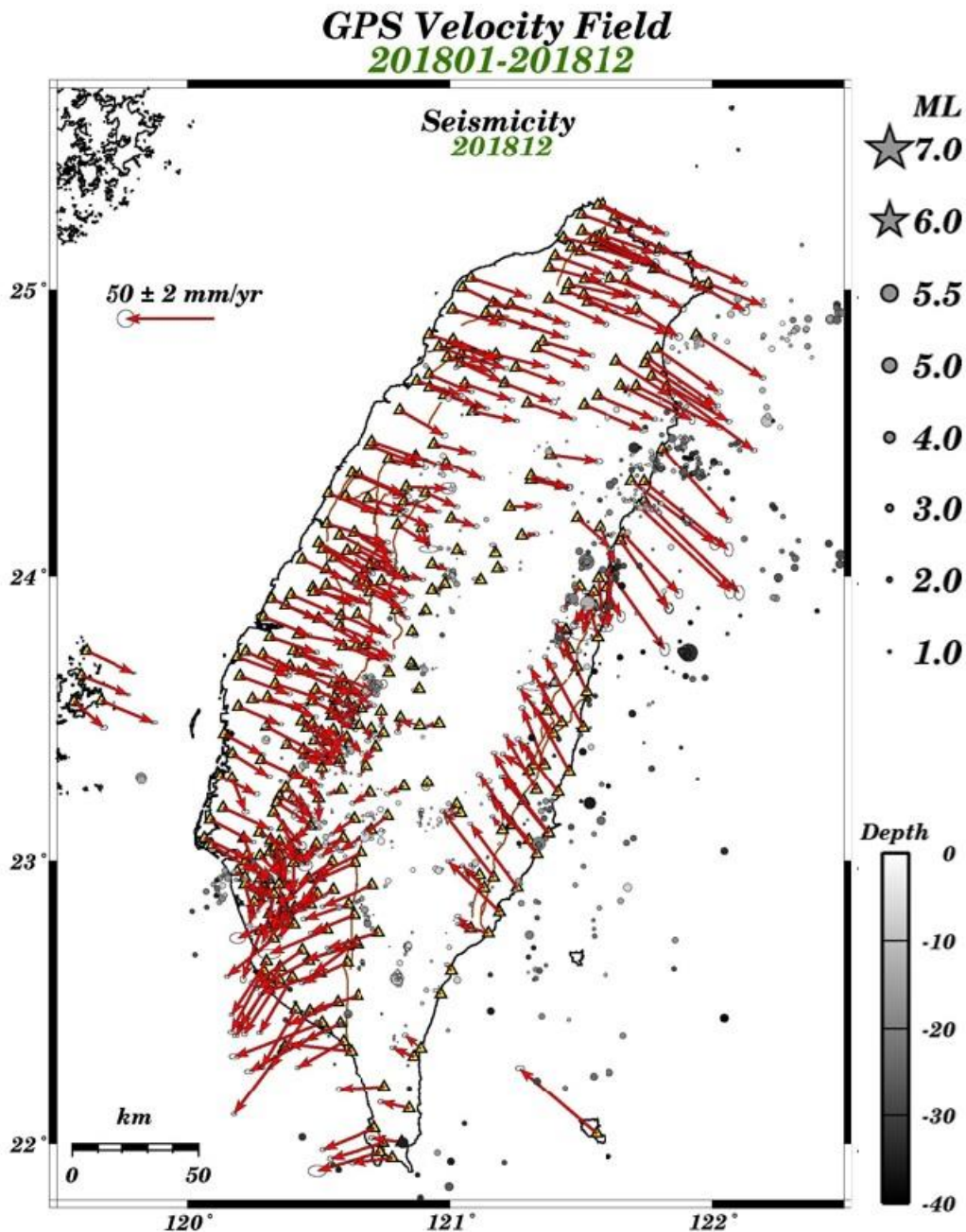


圖3.2.1 本局2018年全球導航衛星系統觀測結果，圖為GNSS在ITRF2008座標系統下之水平速度場圖，圖內之箭頭代表測站年移動速度量值及方向。圖中標示2018年12月的地震活動情形(震央分布位置)，做為與GNSS觀測地殼形變資料之比對。

Figure 3.2.1 The results of GNSS observation in 2018. The figure shows the horizontal velocity field under ITRF2008 coordinate system. The arrows indicate annual average velocity values and the directions in which the stations move. The figure shows seismicity (the location distribution of epicenters) in December of 2018, as a comparison with the GNSS crustal deformation data.

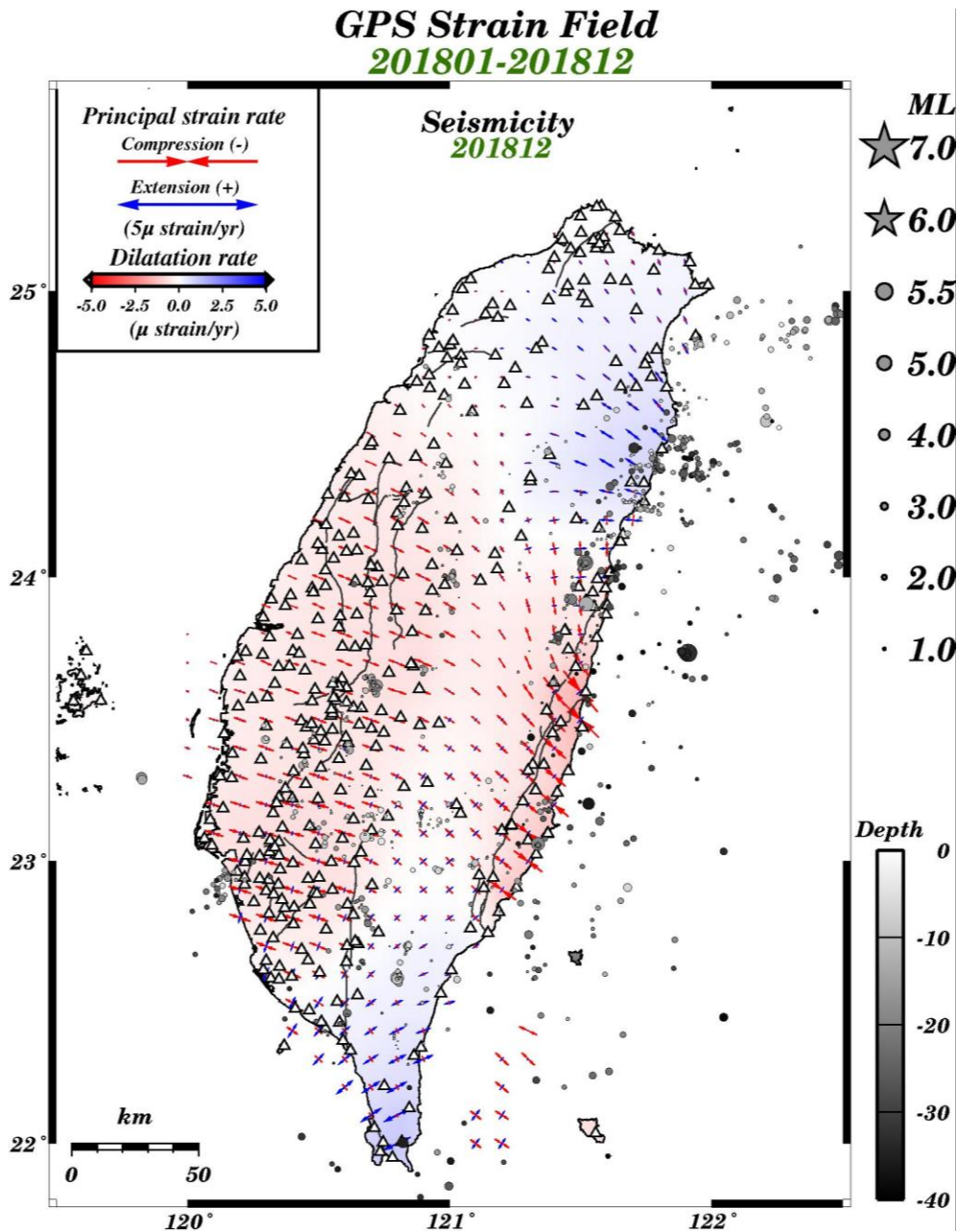


圖 3.2.2 本局 2018 年全球導航衛星系統觀測結果，圖為應變場分布圖。紅、藍色各代表壓縮及伸張區域，臺灣地區壓縮最大的區域位於花東海岸山脈區域。圖上標示 2018 年 12 月的地震活動情形(震央分布位置)，做為與 GNSS 觀測地殼形變資料之比對。

Figure 3.2.2 The results of GNSS observation in 2018. The figure is the strain field distribution map. Red and blue indicate compression and extension respectively. The most compressed area is located at East Coastal Mountains Range in Taiwan. The figure shows seismicity (the location distribution of epicenters) in December of 2018, as a comparison with the GNSS crustal deformation data.

2. 電離層全電子含量 Ionospheric total electron content

自1999年9月至2002年12月，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天皆觀測到電離層全電子含量(TEC)負異常現象，相關性達80%(Liu et al., 2004)。而根據本局推算之電離層濃度觀測資料，2018年共計有9個規模大於5.5、深度小於40公里的地震，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89%(8/9)；9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100%(9/9)，其中8個地震發生前同時有正、負異常情形，機率為89%(8/9)。若考慮規模5.0以上、深度小於40公里的28個地震，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86%(24/28)；27個地震發生前5天內電離層有超過30%正異常情形，機率為96%(27/28)；23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82%(23/28)。另外，2018年電離層全電子含量(TEC)共出現30次超過60%負異常，其中1次在異常發生後5天內有規模大於5.0、深度小於40公里的地震發生，扣除1次受磁暴影響，電離層負異常後地震發生機率約為3%(1/29)；44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、深度小於40公里的地震發生，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28%(11/40)。電離層觀測與地震發生之關聯性分析圖如圖3.2.3。

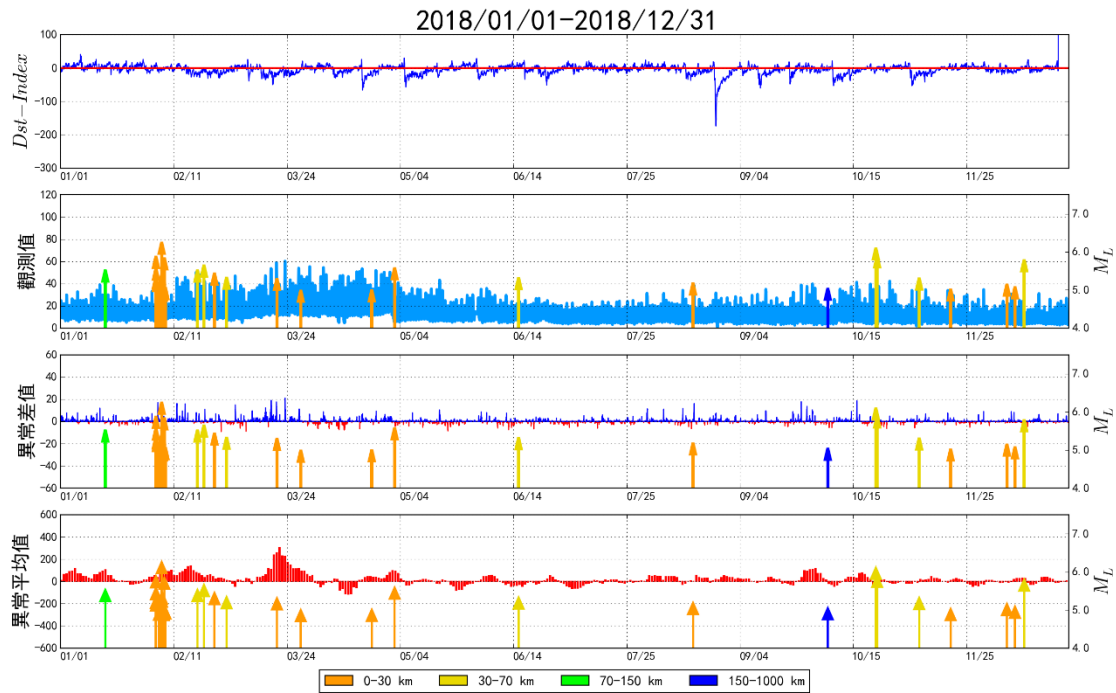


圖 3.2.3 2018 年電離層全電子含量觀測與地震發生之關聯性分析：(a)太陽磁暴之日變化觀測量，(b)電離層觀測值日變化(藍色線)，(c)藍色區域為電離層與理論值上界之正差異，紅色區域為電離層與理論值下界之負差異，(d)電離層 5 日平均量，間距 1 日之觀測量。圖中箭頭符號為電離層低量異常後發生所觀測之地震。

Figure 3.2.3 Relevance analysis between TEC observation and earthquakes in 2018:(a) daily variation of Dst-Index, (b) daily variation of observed TEC values (blue lines), (c) blue bars indicate the positive difference between observed TEC values and the upper bounds of theoretical values, red bars indicate the negative difference for the lower bounds, (d) 5-day moving average of TEC values. Arrows on the graph are earthquakes exceed magnitude 5.0.

3. 地下水位觀測 Seismic groundwater observation

本局建置花蓮、壯圍、東和、六甲、那菝及赤山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，做為地震前兆偵測的研判，2018年各站地下水位變化情形如圖3.2.4(a)與3.2.4(b)，其中赤山站受赤山國小學校環境整修影響，4月中旬以後無資料。

各地下水位短期變化趨勢以氣壓、潮汐、降雨為主，而長期趨勢則有較大差異，例如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。

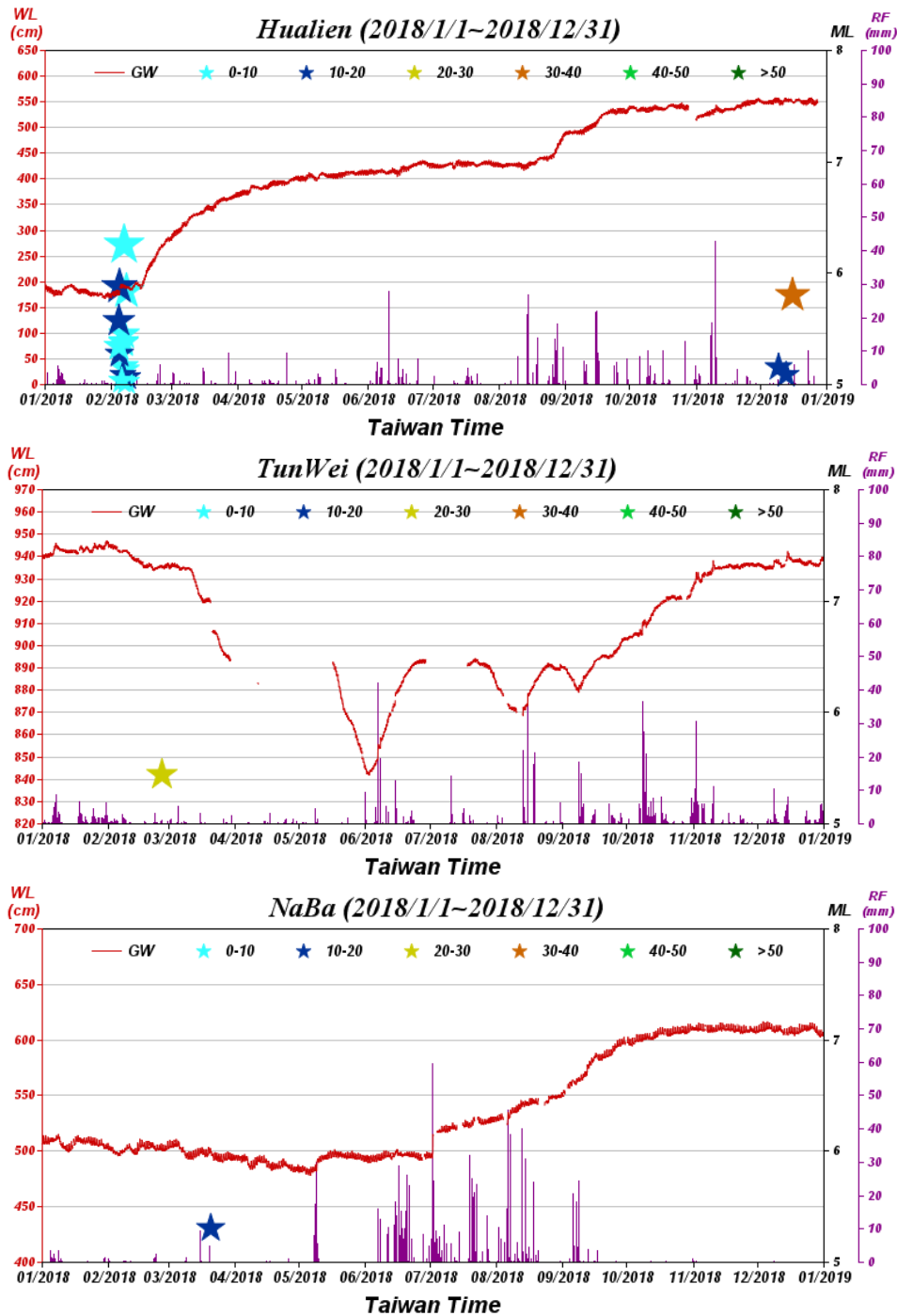


圖3.2.4(a) 本局2018年地震地下水位觀測時序圖，由上至下分別為花蓮站、壯圍站、那拔站。圖中紅線表示地下水位，紫色直條表示鄰近地區降雨量，星號表示測站周圍50公里範圍內規模5.0以上且深度小於40公里內地震。

Figure 3.2.4(a) Time series of the seismic groundwater level and the bar chart of rainfall during 2018. The top one is Hualien, the middle one is TunWei and the bottom one is NaBa station.

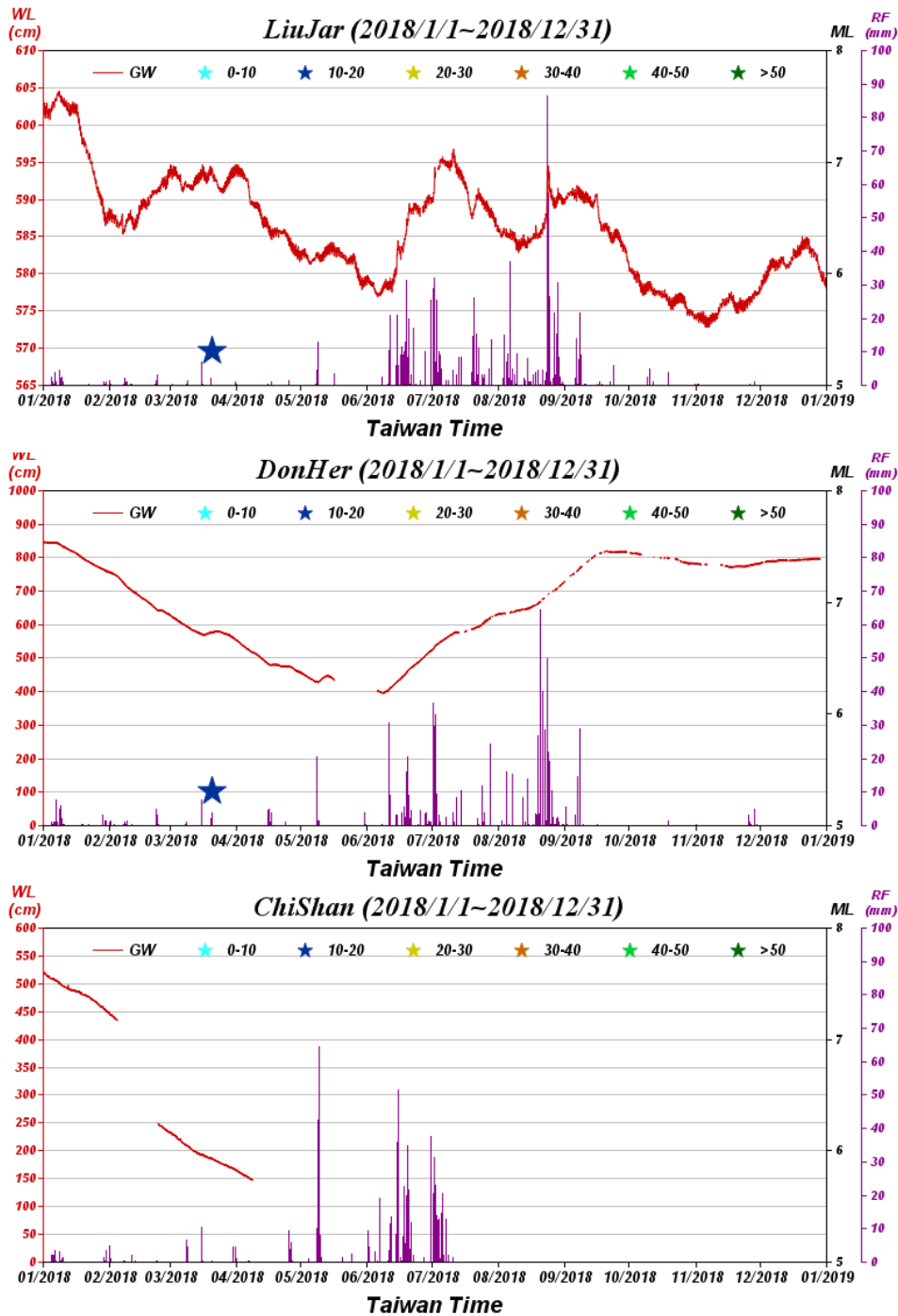


圖3.2.4(b) 本局2018年地震地下水位觀測時序圖，由上至下分別為六甲站、東和站與赤山站。圖中紅色實線表示地下水位，紫色直條表示鄰近地區降雨量，星號表示測站周圍50公里範圍內規模5.0以上且深度小於40公里內地震。

Figure 3.2.4(b) Time series of the seismic groundwater level and the bar chart of rainfall during 2018. The top one is LiuJar, the middle one is DonHer and the bottom one is ChiShan station.

4. 地磁觀測 Geomagnetic observation

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2017年地磁場連續觀測網共12個觀測站，各觀測站配置有0.1nT精度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至46,000nT，測站緯度愈高，磁場強度愈大；而地磁場日變化量差異則是緯度愈低變化量愈大。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相當密切。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。2018年地磁場觀測變化如圖3.2.5所示。

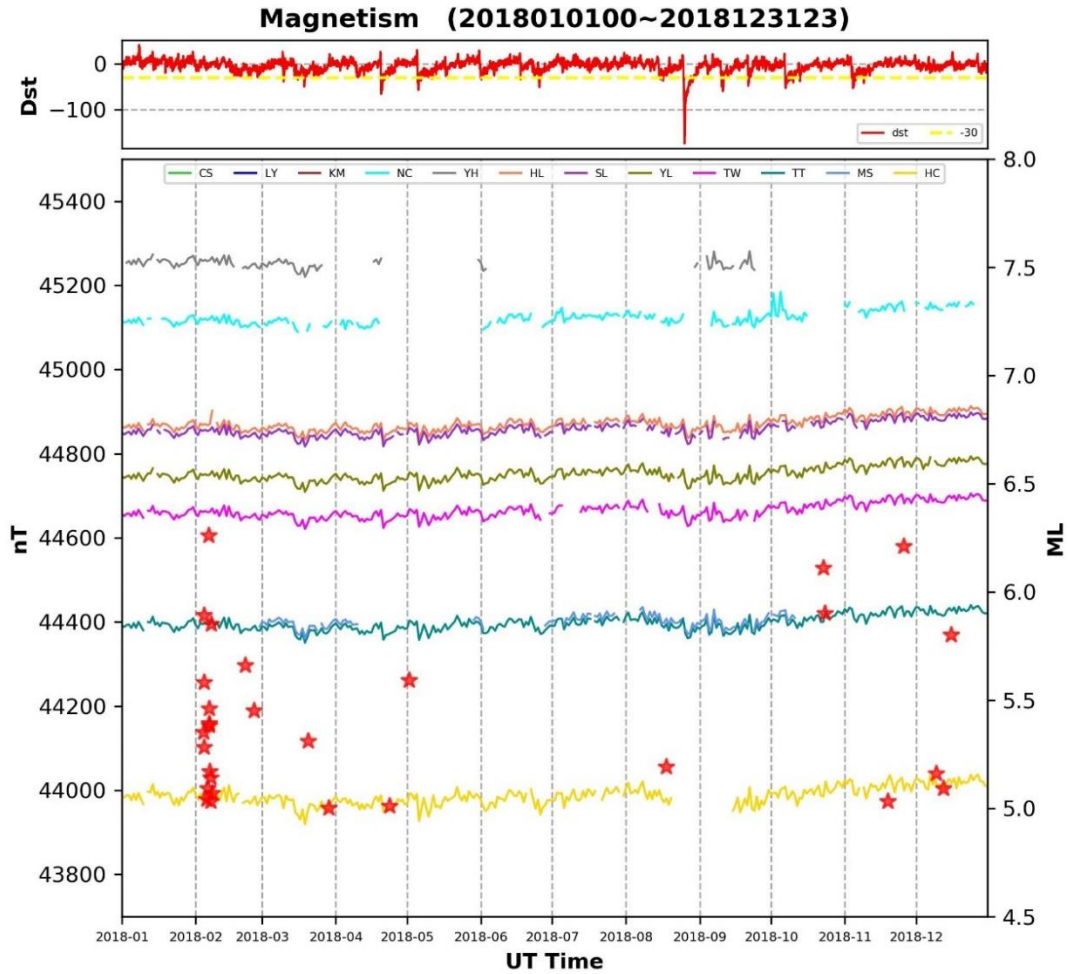


圖3.2.5 圖中上方為2018年全球觀測地磁擾動指數(Dst index)時序圖，顯示地磁場受太陽風影響擾動的程。紅色線為地磁指數，黃色線為磁爆門檻值(Dst=-30)。圖的下方為本局2018年所有測站的地磁觀測值(左軸，單位gamma)。紅色星號表示發生規模5.0以上且深度小於40公里之地震的時間與規模。測站站名中英文對照如下：臺南灣丘站TW、臺東卑南站TT、花蓮玉里站YL、屏東墾丁站HC、花蓮加灣站HL、桃園爺亨站YH、南投雙龍站SL、苗栗鯉魚潭站LY、宜蘭內城站NC、金門站KM、臺東池上CS、屏東馬仕站MS。

Figure 3.2.5 Top: The red line is the disturbance storm time (Dst) index. The yellow line is the threshold value of magnetic storm (Dst= -30). Bottom: Time series of the geomagnetic observation during 2018. The different colors of the lines represent different stations. The red stars denote the earthquakes, with the local magnitude (ML) greater than 5.0 and the depth less than 40 km.

四、地震速報作業 Earthquake rapid reporting operation

(一) 有感地震報告 Felt earthquake report

本局於2018年共發布1,007筆有感地震報告，其中139筆顯著有感地震為加註年度編號並向媒體、相關防救災單位通報；868筆為震度影響範圍較小之小區域有感地震，特別值得注意的是2月有感地震發布數量約占全年度50%，多為0206花蓮地震序列所致。2018年臺灣地區規模6以上地震計有3起，分別為2月6日23時50分花蓮近海芮氏規模6.2地震、11月26日7時57分澎湖西方海域芮氏規模6.2地震及10月23日12時34分花蓮東方海域芮氏規模6.1地震。

前述139筆顯著有感地震報告，其平均作業時效為地震發生後5分1秒完成發布作業。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、各地測站觀測波線圖及震源機制等產品。各式產品依屬性不同，利用紙本傳真、手機簡訊、電子郵件、電子報、166/167語音服務、臉書FaceBook報地震服務及專線傳輸等各式管道對外發布。2018年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。

2018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。

2018

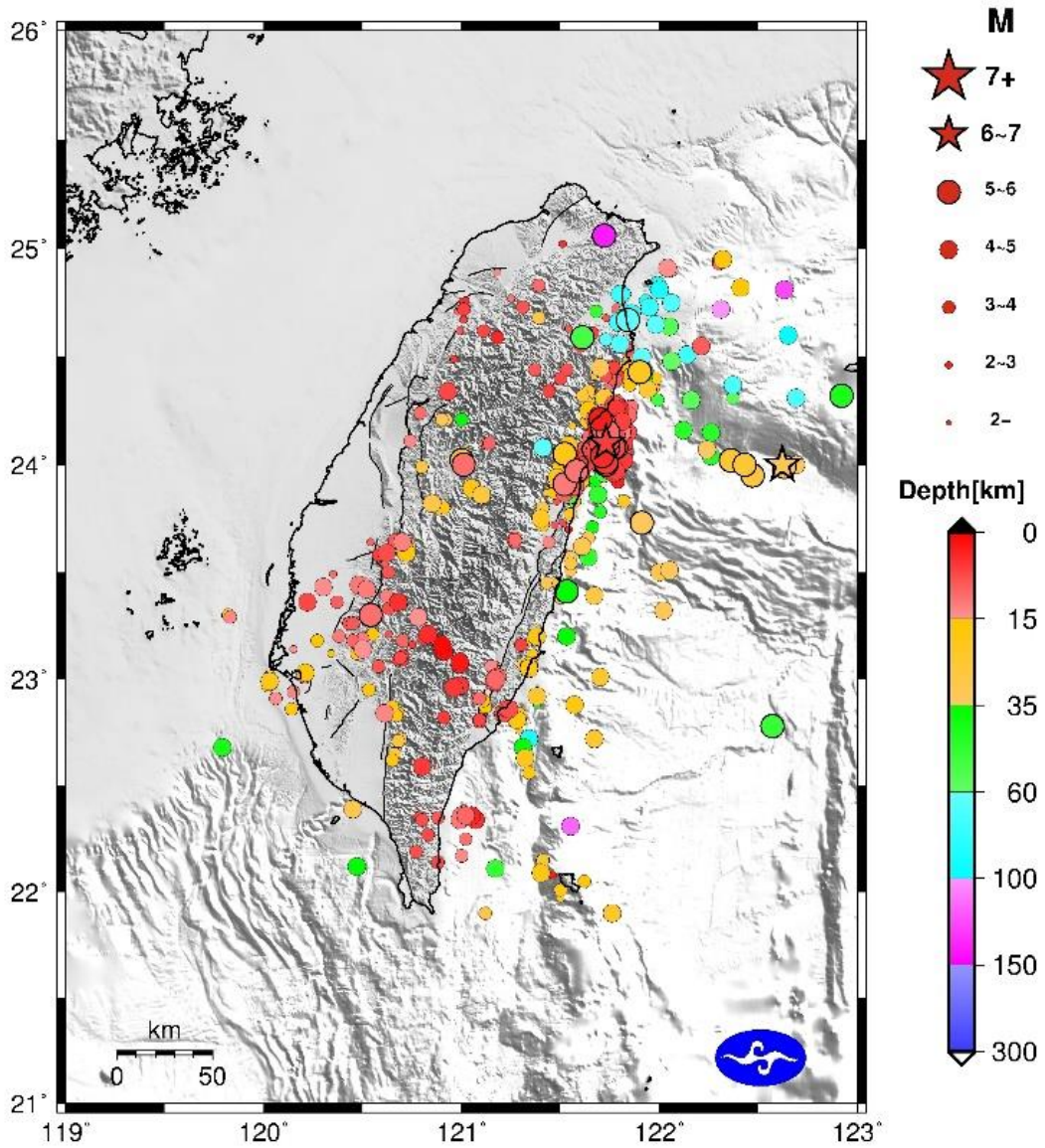


圖4.1.1 2018年有感地震報告震央分布圖(★：規模6以上)。
Figure 4.1.1 Felt earthquake distribution map in 2018.
(★：Magnitude ≥ 6)

表 4.1.1 2018 年各月份有感地震之規模統計表。

Table 4.1.1 Monthly magnitude statistics of felt earthquakes in 2018.

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	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3
規模 5~6 個數	1	17	4	1	1	1	1	1	0	1	2	3	33
規模 4~5 個數	12	91	9	13	9	16	17	12	9	6	13	9	216
規模 3~4 個數	24	271	26	18	24	35	33	31	11	13	15	13	514
規模 2~3 個數	8	118	19	11	13	17	17	22	7	0	2	1	235
規模 1~2 個數	0	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	6
規模 0~1 個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	45	500	58	44	48	69	68	66	28	21	33	27	1,007

表 4.1.2 2018 年各月份有感地震之震度統計表。

Table 4.1.2 Monthly intensities statistics of felt earthquakes in 2018.

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	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
震度 5 個數	0	22	4	1	2	1	1	1	4	0	1	2	39
震度 4 個數	3	73	9	6	4	7	9	7	4	5	6	7	140
震度 3 個數	11	211	17	16	12	20	16	15	5	6	4	10	343
震度 2 個數	24	169	26	18	20	33	28	28	13	8	19	7	393
震度 1 個數	7	23	2	3	10	8	14	15	2	2	3	0	89
震度 0 個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	45	500	58	44	48	69	68	66	28	21	33	27	1,007

表 4.1.3 2018 年各月份有感地震報告之個數統計表。

Table 4.1.3 Monthly number Statistics of felt earthquakes in 2018.

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	3	66	7	9	5	9	12	5	5	5	5	8	139
小區域地震個數	42	434	51	35	43	60	56	61	23	16	28	19	868
合計	45	500	58	44	48	69	68	66	28	21	33	27	1,007

(二) 地震速報系統速報效能分析 Issue performance of earthquake rapid reporting system

隨科技發展，近年來新式地震儀器偵測效能與網路傳輸功能提升、資料處理設備與備援機制亦有改善、訊息發布與傳輸管道亦有新增，為更正確與更快速發布地震報告，本局持續發展新一代有感地震報告發布系統，並於2018年7月23日正式上線提供服務。新一代系統主要強化部分如下：

1. 原系統與新系統的即時測站數量分別為110站與152站，係將原系統刪減12站及新增54站，主要針對臺灣本島山區與各縣市測站分布予以加密補強，儘量減少測站分布空缺區域，以優化地震偵測能力。後續規劃加密陸上即時測站之密度，並輔以海纜觀測系統之即時海域觀測站擴大監測範圍。
2. 原系統觀測儀器取樣率為每秒50點、解析度16位元，新系統儀器取樣率提升至每秒100點、解析度24位元，可提供更高解析、高動態比及精確時間校時等優質化的觀測資料，以利地震波相判讀與中小型規模地震解析。
3. 原系統係本局地震測報中心依資料蒐集、資料處理及地震發布等需求個別開發建置，新系統採用美國地質調查所(USGS)於1993年研發目前仍為全球各機關廣為應用之Earthworm系統平臺為基礎，再自行改進開發適用於我國地震背景、觀測網特性及發布作業需求之系統，進行即時地震資料接收、處理及發布，維運之所有主機系統設置雙機備援機制(HA)系統，並開發即時監控模組確保穩定運作。
4. 新系統改變地震報告圖示呈現方式，以直覺方式顯示三維地形資訊，方便使用者瞭解地震震央位置位於陸地或海域，較易與常見地形構造如山區、丘陵、平原、沿岸、海盆及峽谷等特徵連結。
5. 原系統110站皆為強震儀，新系統將速度型地震儀、寬頻地震儀、井下地震儀及海底地震儀亦納入作為地震定位作業，以增加對於中小型規模地震、東部海域地震與遠震的偵測能力。

2018年顯著有感地震報告共139筆，速報系統全區網自動定位之時效平均約1分1秒完成，經值班人員檢視地震訊號、確認資訊後，平均在5分1秒完成報告產製與對外發布作業，如圖4.2.1所示。若以7月23日新系統上線後至年底的資料進行統計，速報系統全區網自動定位

與對外發布之平均時效分別為1分27秒及4分16秒，顯示新系統雖然因測站數量增加，致自動定位所需時間略有增加，然因自動定位品質提升且觸發率提高，故對外發布報告的整體時效反而更加快速。

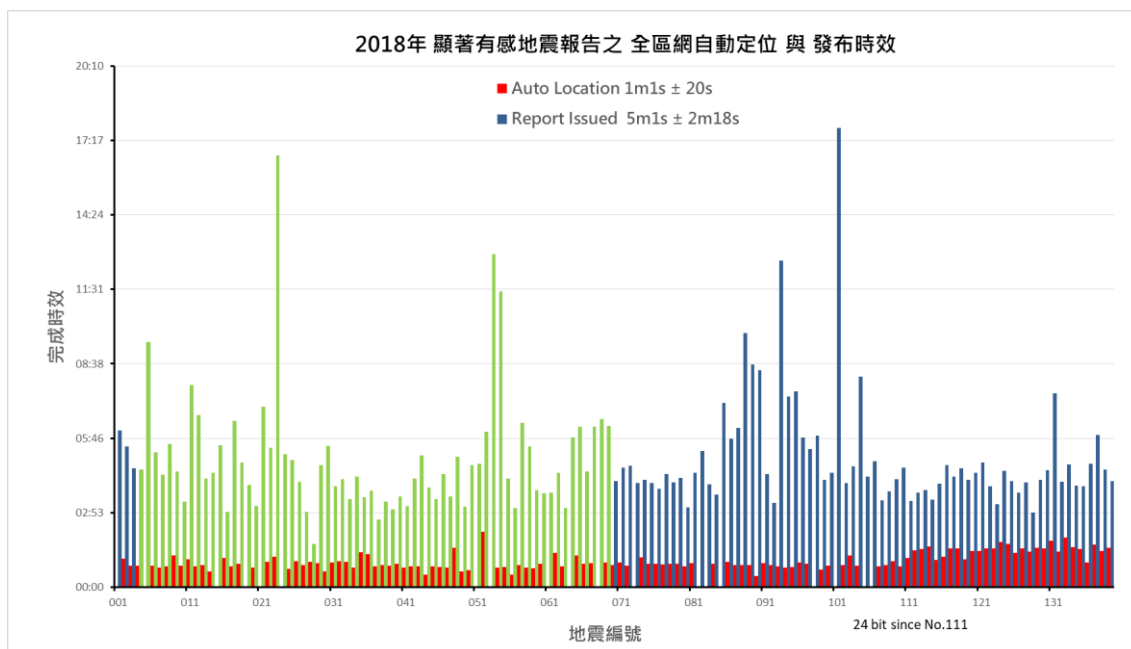


圖4.2.1 2018年顯著有感地震自動定位與主動通報發布時效統計圖。其中綠色直線表示2月發布顯著有感地震（編號4至69），約佔全年發布顯著有感地震個數的47%。

Figure 4.2.1 Auto-location and official report issue performance statistics of significant felt earthquakes in 2018.

參考圖4.2.2與4.2.3，比對2018年7月23日新系統上線前後之自動定位結果可以發現，2018年1月1日至7月22日舊系統3套互為備援的DEV、TWN與TPC模組，其自動定位個數佔發布地震個數的百分比約27.4%（223/814），2018年7月23日至2018年12月31日新系統兩套互為備援的TWN與TPC模組，其自動定位個數佔發布地震個數的百分比達到85.9%（165/192），顯示新系統的自動定位觸發率大幅提高，可有效提升發布效能。

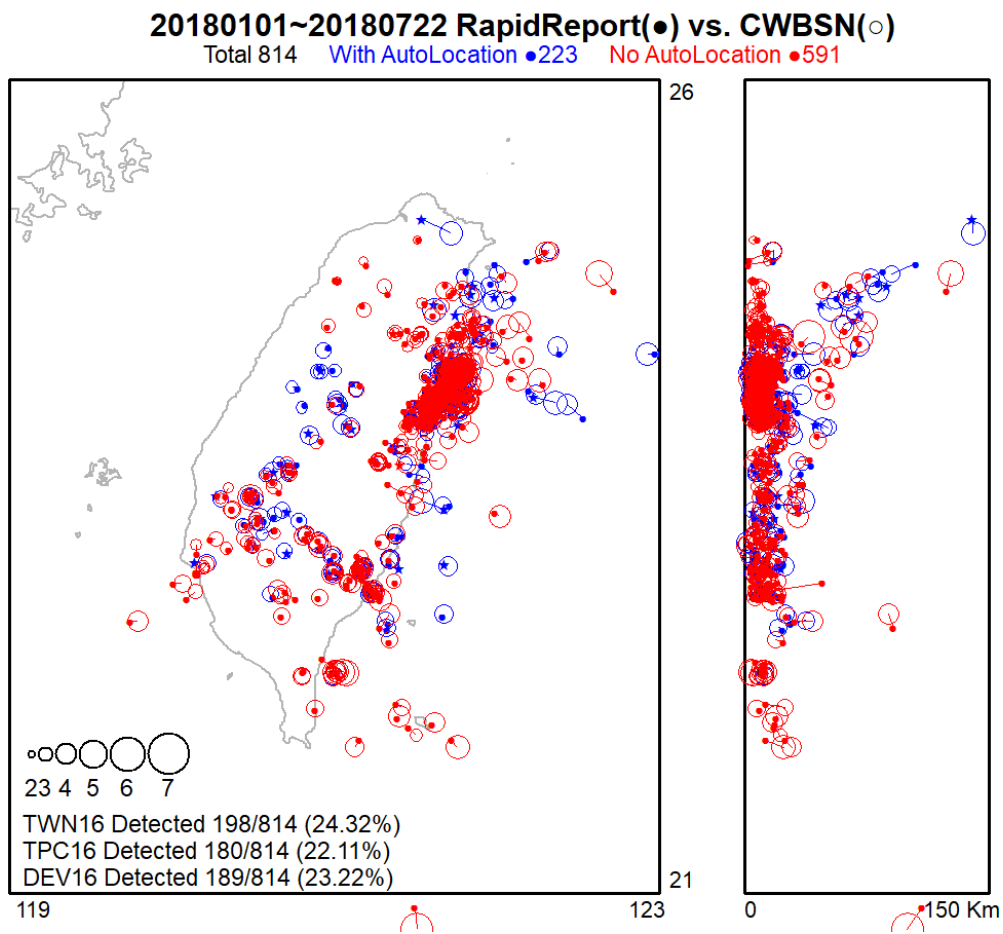


圖4.2.2 2018年1月1日至2018年7月22日地震速報系統自動定位成果。○大小表示地震規模大小，○位置表示最終地震目錄之震央位置，紅色○表示無自動定位結果，★為顯著有感地震之自動定位震央位置，●為小區域有感地震之自動定位震央位置，右圖為震源深度分布。

Figure 4.2.2 Auto-location results of earthquake rapid reporting system from January 1, 2018 to July 22, 2018.

五、海嘯警報發布作業 Tsunami warning reporting operation

2018 年太平洋海嘯警報中心 (PTWC) 偵測到 38 起地震事件，並針對太平洋沿岸地區發出 63 報次之海嘯警報電文，其中有 7 起報文達到海嘯威脅 (TSUNAMI THREAT) 門檻，該年度並無將臺灣地區列為海嘯警戒區域之事件。規模最大事件為 1 月 23 日發生於阿拉斯加灣之地震矩規模 8.0 強震 (如圖 5.1)，PTWC 發布為規模 8.0，後經美國地質調查所測報發布為規模 7.9。



圖5.1 2018年1月23日阿拉斯加灣規模8.0強震位置圖。

Figure 5.1 Map shows the epicenter of the magnitude 8.0 January 23, 2018 Alaska gulf earthquake.

六、強震即時警報應用推動 Promotion of earthquake early warning application

(一) 背景 Background

1. 原理與限制 Principle and limitation

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資訊，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，甚至毫無預警可能，但若善加利用，仍可發揮很大的功效。除緊急避難應變外，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須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2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 Promotional planning

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的角色，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至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，並提升相關資訊之精確度；與民間業者合作，利用最新網路通訊科技開發傳、收介面；推動全國高中職、中小學、防救災單位、政府機關及交通運輸主管單位強震即時警報傳遞機制。累計至 2018 年底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的有線、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。鑑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) 2018 年執行成效 System performance in 2018

1. 系統效能 System performance

檢視2018年地震預警系統運作情形，總共發布87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，此無法提供預警的範圍稱為預警盲區。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，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，島內地震位置平均誤差約5.51公里，島外為5.63公里，總平均為5.59公里（表6.2.1、圖6.2.1），規模誤差則平均為0.29（表6.2.1、圖6.2.2）。

表 6.2.1 2018 年強震即時警報時效與誤差統計表。

Table 6.2.1 System Performance in 2018.

日期 (臺灣時間)	人工定位				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)			
2018-01-06 00:30:42	122.00	24.81	4.2	90.0	122.13	24.86	4.5	80	30	15.11	0.28
2018-01-02 03:22:28	121.24	22.86	4.3	8.8	121.25	22.84	4.5	10	26	2.76	0.22
2018-01-17 13:59:11	121.72	25.06	5.5	140.2	121.58	25.00	4.8	50	22	16.52	0.73
2018-01-27 00:31:28	120.97	22.97	4.1	5.0	120.97	22.97	4.6	10	15	0.00	0.50
2018-02-04 03:30:56	121.67	24.20	4.6	15.2	121.71	24.18	4.8	10	16	4.92	0.20
2018-02-04 03:31:52	121.67	24.20	4.3	11.2	121.70	24.19	4.5	10	21	3.48	0.20
2018-02-04 21:12:52	121.67	24.20	5.1	15.1	121.72	24.18	5.3	10	16	5.92	0.20
2018-02-04 21:33:08	121.65	24.20	4.0	5.1	121.70	24.18	4.6	10	17	5.92	0.60
2018-02-04 21:56:41	121.83	24.15	5.8	16.0	121.68	24.16	5.3	10	16	16.54	0.50
2018-02-04 22:10:51	121.68	24.20	4.6	5.0	121.74	24.19	4.9	10	17	6.69	0.30
2018-02-04 22:12:01	121.71	24.24	4.3	5.0	121.76	24.20	4.7	10	18	7.04	0.40
2018-02-04 22:13:35	121.72	24.15	5.6	10.3	121.72	24.16	5.4	10	23	1.04	0.18
2018-02-04 22:16:55	121.64	24.18	4.7	5.0	121.71	24.16	5.1	10	17	8.01	0.40
2018-02-04 23:33:47	121.70	24.24	4.3	5.0	121.75	24.20	4.5	10	16	7.04	0.20
2018-02-05 12:36:52	121.70	24.20	4.2	18.0	121.74	24.17	4.5	10	22	5.50	0.30
2018-02-05 17:06:43	121.76	24.16	4.5	7.6	121.75	24.13	4.5	20	30	3.48	0.00
2018-02-05 17:44:54	121.70	24.13	4.0	15.1	121.69	24.11	4.5	10	26	2.46	0.50
2018-02-05 23:58:41	121.72	24.14	5.0	10.0	121.71	24.13	4.9	10	21	1.56	0.10
2018-02-06 01:37:13	121.79	24.17	4.4	15.5	121.77	24.18	4.6	10	22	2.46	0.20
2018-02-06 13:09:14	121.69	24.20	4.7	9.7	121.75	24.17	5.2	10	16	7.38	0.50
2018-02-06 16:36:49	121.72	24.11	4.2	5.7	121.77	24.08	4.5	10	22	6.41	0.30
2018-02-06 23:50:42	121.69	24.14	6.0	10.0	121.69	24.15	6.4	10	17	1.10	0.40
2018-02-07 00:17:57	121.62	24.01	4.7	5.0	121.66	23.97	4.9	10	18	6.22	0.20
2018-02-07 00:26:45	121.60	24.01	4.1	6.3	121.66	23.98	4.5	10	24	7.38	0.40
2018-02-07 02:00:13	121.71	24.14	5.2	10.0	121.75	24.11	5.3	10	19	5.50	0.10
2018-02-07 02:07:38	121.81	24.04	5.4	10.0	121.69	24.05	5.1	10	21	13.25	0.30
2018-02-07 03:15:29	121.70	24.02	5.4	10.0	121.72	24.00	5.2	10	20	3.11	0.20
2018-02-07 03:36:35	121.74	24.05	4.6	5.0	121.73	23.99	4.9	20	19	6.69	0.30
2018-02-07 04:56:22	121.64	24.09	4.6	6.5	121.70	24.05	4.8	10	19	7.93	0.20
2018-02-07 07:11:42	121.66	24.10	4.5	5.0	121.71	24.05	4.6	10	21	7.78	0.10
2018-02-07 07:43:51	121.62	24.05	4.4	6.1	121.68	24.02	4.7	10	18	7.38	0.30
2018-02-07 10:18:03	121.70	24.11	4.4	5.0	121.71	24.08	4.8	10	20	3.48	0.40
2018-02-07 11:36:19	121.70	24.11	4.8	5.0	121.80	24.05	5.0	10	20	12.83	0.20
2018-02-07 11:37:36	121.67	24.11	3.7	6.1	121.74	24.07	4.6	10	26	8.87	0.90
2018-02-07 13:07:39	121.68	24.01	3.9	5.0	121.66	24.01	4.5	10	23	2.20	0.60
2018-02-07 18:19:47	121.67	24.23	4.2	17.3	121.70	24.19	4.5	10	21	5.50	0.30
2018-02-07 19:13:06	121.70	24.03	4.7	5.7	121.73	24.00	5.0	10	20	4.67	0.30
2018-02-07 20:51:57	121.65	24.24	4.0	20.9	121.66	24.20	4.5	20	21	4.54	0.50
2018-02-07 21:06:41	121.71	24.12	4.8	7.9	121.79	24.09	5.1	20	23	9.40	0.30
2018-02-07 22:19:21	121.63	24.00	4.1	5.0	121.77	23.98	4.7	10	20	15.56	0.60
2018-02-07 23:21:31	121.79	24.12	5.7	10.0	121.72	24.13	5.6	10	17	7.78	0.10
2018-02-07 23:56:04	121.80	24.12	3.9	7.0	121.72	24.16	4.5	10	22	9.84	0.60
2018-02-08 08:54:16	121.58	23.99	4.8	7.6	121.63	23.94	4.9	10	19	7.78	0.10
2018-02-08 11:06:04	121.59	23.99	4.5	9.0	121.62	23.95	4.7	10	16	5.50	0.20
2018-02-09 10:14:03	121.61	23.95	4.6	23.4	121.60	23.92	4.6	20	18	3.48	0.00
2018-02-10 02:43:09	121.80	24.06	4.3	5.0	121.77	24.06	4.5	10	21	3.30	0.20
2018-02-10 15:48:49	121.81	24.23	4.3	9.3	121.76	24.23	4.5	10	25	5.50	0.20
2018-02-15 02:27:32	121.80	24.23	4.3	11.2	121.81	24.19	4.5	10	25	4.54	0.20
2018-02-17 17:06:37	121.33	22.62	4.2	22.9	121.33	22.61	4.7	10	41	1.10	0.50
2018-02-19 22:47:01	121.61	24.59	5.5	52.7	121.57	24.65	5.1	30	16	8.36	0.43
2018-02-22 07:10:41	121.53	23.41	5.7	35.6	121.47	23.49	5.4	20	22	10.99	0.26
2018-02-26 02:28:40	121.90	24.43	5.5	22.1	121.82	24.48	5.0	20	17	9.91	0.45
2018-03-06 17:42:39	121.85	24.74	4.8	87.2	121.68	24.81	4.7	50	30	20.22	0.10
2018-03-04 01:36:07	121.67	24.20	4.6	6.2	121.72	24.18	4.9	10	16	5.92	0.30
2018-03-20 17:23:09	120.54	23.30	5.3	11.2	120.57	23.29	5.4	10	13	3.35	0.09
2018-03-22 22:28:05	120.62	23.59	4.7	7.7	120.61	23.58	4.9	10	14	1.88	0.17
2018-03-28 18:30:23	121.98	24.65	4.9	63.7	121.73	24.86	4.5	30	26	35.80	0.42
2018-03-29 08:18:04	121.01	24.00	5.0	11.1	121.04	23.99	5.0	10	14	3.19	0.00
2018-04-02 00:02:20	120.84	23.83	4.3	23.7	120.86	23.82	4.5	20	16	2.46	0.20
2018-05-02 07:47:36	122.23	24.05	5.5	10.0	122.24	24.02	5.7	10	30	3.48	0.20
2018-05-31 09:03:43	121.23	22.85	4.6	7.4	121.33	22.82	5.1	10	26	11.48	0.50
2018-06-02 01:43:43	121.47	23.94	4.4	23.0	121.50	23.93	4.5	20	17	3.48	0.10
2018-06-02 10:01:24	121.08	23.88	4.4	7.9	121.05	23.89	4.5	10	14	3.48	0.10
2018-06-11 23:42:26	121.74	24.00	4.6	8.5	121.74	23.97	4.5	10	21	3.30	0.10
2018-06-12 04:52:49	121.70	23.99	4.6	10.9	121.72	23.98	4.5	10	21	2.46	0.10
2018-06-16 04:54:18	121.84	24.69	5.2	62.3	121.70	24.85	4.8	30	23	23.39	0.40
2018-07-02 15:26:24	120.14	23.03	4.3	5.6	120.24	23.04	4.5	10	13	11.05	0.20
2018-07-03 17:21:24	120.91	23.12	4.5	5.0	120.92	23.15	4.9	10	30	3.48	0.40
2018-07-11 20:42:12	120.49	23.45	4.5	8.9	120.48	23.44	4.6	10	14	1.56	0.10
2018-07-14 02:38:54	121.16	22.98	4.5	8.1	121.16	23.02	5.2	20	15	4.40	0.70
2018-08-02 21:38:33	120.70	23.64	4.8	13.1	120.68	23.65	5.1	10	15	2.46	0.30
2018-08-17 18:09:56	121.01	24.01	4.9	18.8	121.03	23.98	5.0	10	14	3.97	0.10
2018-08-18 08:15:33	121.00	24.02	5.1	19.1	121.05	24.04	5.5	20	16	5.92	0.40
2018-08-22 12:23:23	122.06	24.90	3.9	14.7	122.13	24.83	4.5	10	19	10.89	0.60
2018-09-03 14:00:06	121.54	24.10	4.3	17.7	121.53	24.08	4.6	20	17	2.46	0.30
2018-09-11 12:43:43	121.52	23.88	4.4	9.8	121.53	23.88	4.7	10	17	1.10	0.30
2018-10-09 16:12:58	121.38	22.92	4.6	24.8	121.39	22.88	4.7	10	27	4.54	0.10
2018-10-10 17:43:11	122.04	24.91	4.5	14.5	121.96	24.90	4.9	10	19	8.87	0.40
2018-10-23 12:34:58	122.62	24.00	6.1	31.2	122.68	23.94	6.2	40	32	9.33	0.10
2018-10-24 00:04:04	122.63	23.99	5.9	30.1	121.80	24.17	4.9	20	30	93.42	1.00
2018-11-10 09:51:19	120.22	23.36	4.3	7.2	120.22	23.36	4.6	10	20	0.00	0.30
2018-11-20 00:31:34	121.91	24.41	4.6	38.5	121.80	24.42	4.5	20	20	12.15	0.10
2018-11-26 07:57:25	118.59	23.38	6.1	20.5	118.77	23.41	6.0	20	37	20.07	0.10
2018-12-09 23:15:41	121.53	24.05	5.1	19.2	121.55	24.03	5.3	20	16	3.11	0.20
2018-12-12 21:24:23	121.53	23.91	4.9	12.0	121.52	23.89	5.4	10	16	2.46	0.50
2018-12-16 05:21:05	121.90	23.74	5.6	30.3	121.88	23.75	5.6	30	21	2.46	0.00
2018-12-25 11:56:44	120.81	22.58	4.5	6.2	120.88	22.77	4.5	10	25	22.27	0.00

位置平均誤差(Average epicenter error)5.59 公里(km)
規模平均誤差(Average magnitude error)0.29

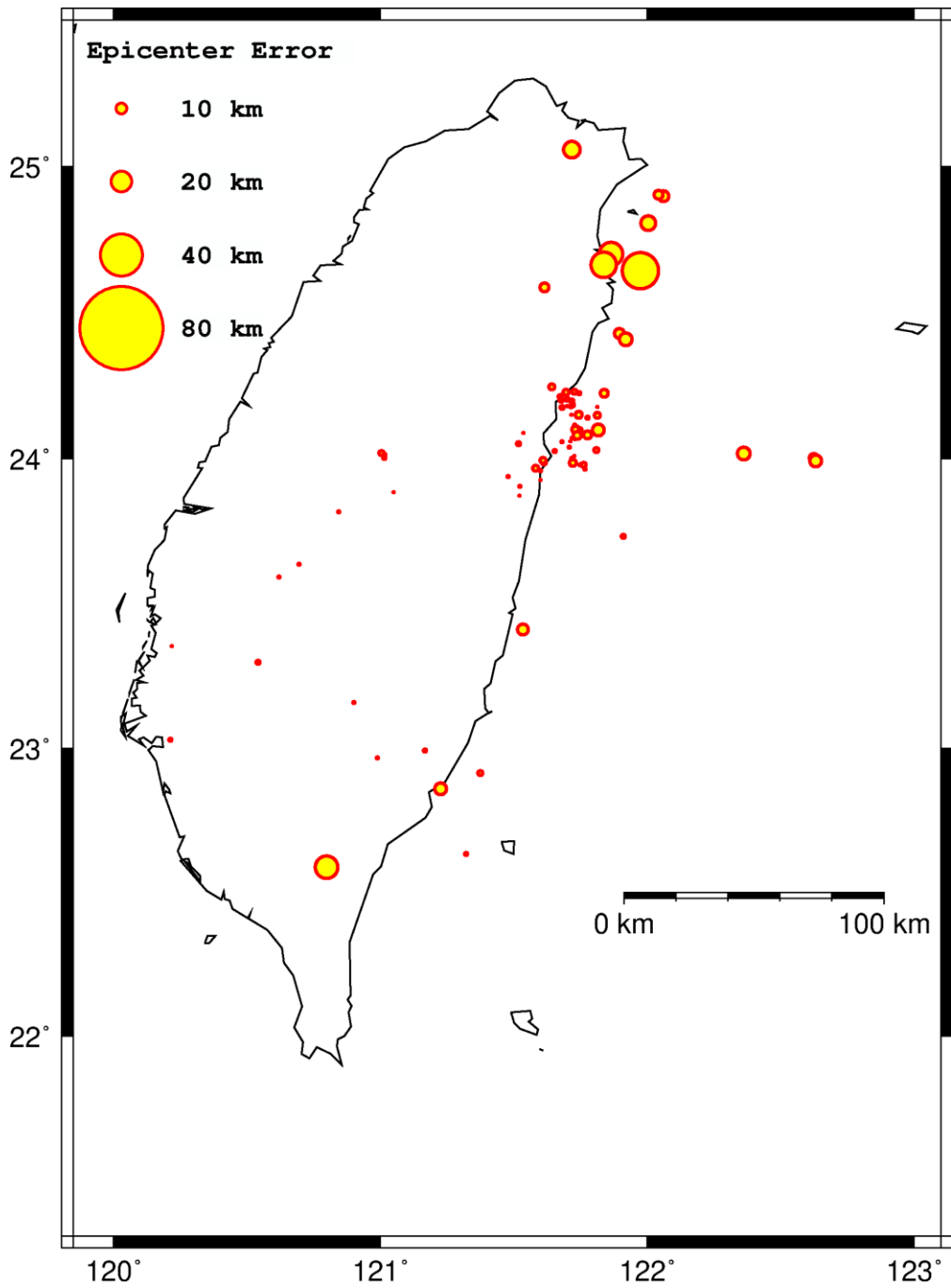


圖 6.2.1 2018 年強震即時警報震央位置誤差隨震央之分布圖。
 (圓圈愈大震央誤差愈大，尺度見圖左上。)

Figure 6.2.1 The distribution of the epicenter error.
 (circles with large diameters represent big error)

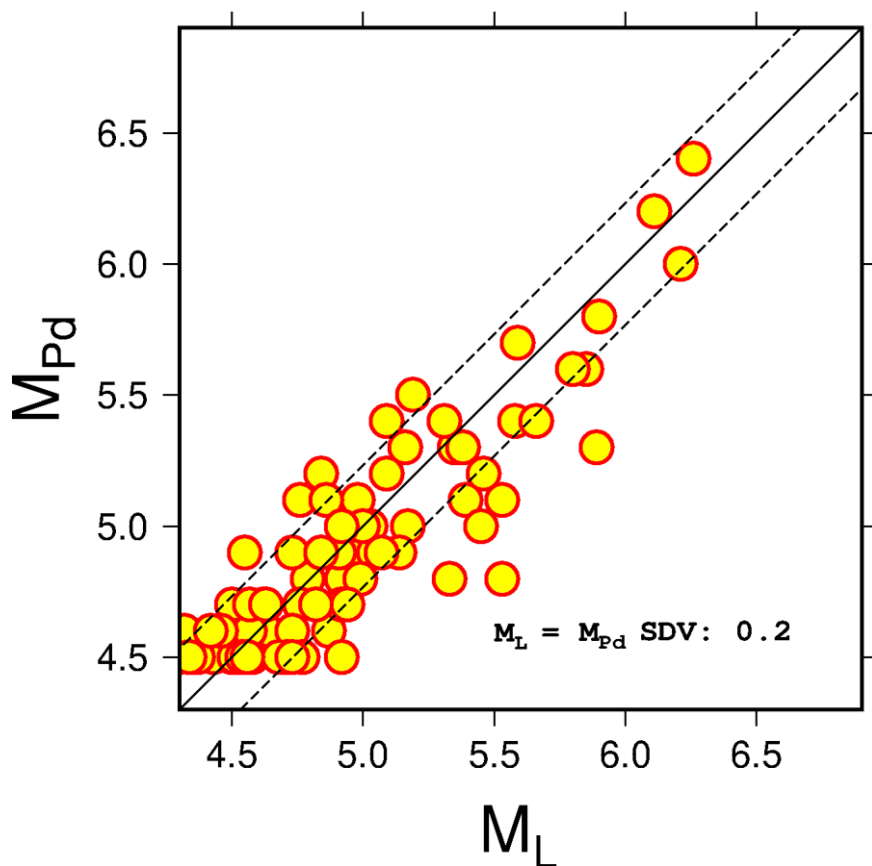


圖 6.2.2 2018 年強震即時警報地震規模誤差分布圖。(橫軸為地震目錄之地震規模，縱軸為強震即時警報地震規模。)
 Figure 6.2.2 The distribution of magnitude error.

該系統針對島內地震已具備良好的偵測與預警能力，以2018年8月18日8時15分，規模5.1的南投地震為例，系統在地震發生後16秒開始對外發布警報，並在0.2秒內完成約3000筆警報傳遞。警報發布的地震規模為5.5，震央位置與後來人工定位相差5.9公里，結果相當接近。預警效益方面，除了南投與臺中地區外，距離震央約56公里以外的地區有數秒至數10秒的預警時間（圖6.2.3），其中臺北約有17秒以上時間預警，成功展示本局強震即時警報的成效。

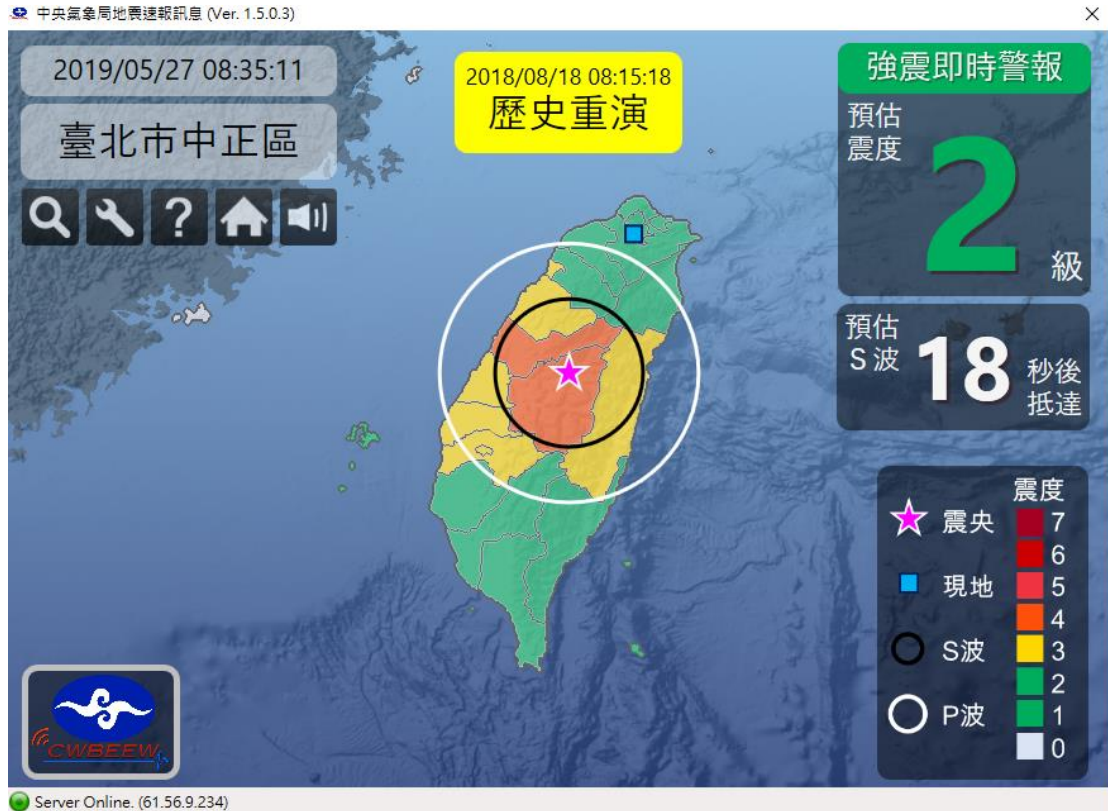


圖6.2.3 強震即時警報接收警報事件之示意圖。

Figure 6.2.3 An example of receiving earthquake early warning message by a customized software.

2. 執行成果 Implementation results

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，2018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) 2018年9月14日國家防災日預演，應接收測試之學校共4,214所，成功傳送至3,375校、5,238部電腦主機接收，學校接收率80.09%，0.250秒完成。
- (2) 2018年9月21日國家防災日，應接收測試訊息之學校、消防單位及氣象站共4,190個帳號(依9月14日測試結果調整刪除廢校、併校及國中小、高國中合校帳號)，成功傳送至3,694校、5,917部電腦主機接收，學校接收率88.16%，0.281秒完成。

本局與外部單位合作推動地震資訊傳遞服務，至2018年累計有13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，

並開發加值應用，推廣使用者接收應用。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及設備自動控制等多元應用。

表6.2.2 2018年簽訂「合作推動地震資訊傳遞服務契約」廠商列表。
Table 6.2.2 List of units for signed "Cooperation to promote seismic information delivery service contract".

	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	卡訊電子實業有限公司 (廣播設備、轉發)
4	天下數位科技股份有限公司 (APP)
5	東億電通有限公司 (APP)
6	財團法人中興工程顧問社 (APP)
7	詠動科技股份有限公司 (住宅對講機)
8	艾迪互動股份有限公司 (廣告、行動 App)
9	國立暨南國際大學資訊工程學系 (電腦圖像 App)
10	美麗蓮股份有限公司 (LED 示警)
11	磊客思科技股份有限公司 (地震預警串接應用)
12	弘政通信有限公司 (廣播設備)
13	畿尼科技股份有限公司 (電梯自動控制)

(三) 後續工作 Follow-up

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訂定細胞廣播服務訊息交換與介接資訊格式, 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。

鑑於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, 本局強震即時警報將朝此方向進行推廣應用。

七、地震個案討論 Earthquake case discussion

(一) 2018年2月6日臺灣東部海域地震 February 6, 2018 earthquake in the eastern waters of Taiwan

2018年2月6日23時50分41.6秒，於花蓮縣政府東北方 16.5 公里的臺灣東部海域發生芮氏規模6.2，震源深度6.3公里的地震(以下簡稱0206地震)，詳細報告如圖7.1.1。在各地震度方面，花蓮市、太魯閣及宜蘭南澳地震站皆觀測到最大震度7級，南投縣最大震度5級，臺中市與雲林縣最大震度4級，桃園市、新竹縣、臺東縣、臺北市、新北市、嘉義縣、彰化縣、嘉義市、苗栗縣及臺南市最大震度3級，其他地區最大震度均在3級以下，根據花蓮縣災害應變中心「0206 震災」災情彙整，地震災情集中在花蓮市，除造成4棟建物倒塌、17人罹難與295人受傷外，同時也造成多處校園、道路與橋樑受損，部分地區發生噴砂與沉陷現象。此起地震為花蓮地震序列之主震，0206地震主震前2日(2月4日)即有連續2起規模5以上之前震，主震後的餘震量更是龐大，無論有感與無感地震均超過平均值數倍以上，2月份共發布500個有感地震，為歷年來最多的月份，地震活動度自9月起趨緩。

本局於本起地震發生後約17秒完成預警定位程序，隨即透由強震即時警報系統自動對外發送強震資訊，在0.141秒內發送至2,934個服務對象（包含各縣市消防局、公立中小學等單位）。若以縣市政府所在地分析收到預估S波震度與到時之預警資訊，顯示除花蓮縣政府外，其餘各縣市政府所在地依距離遠近分別有1至35秒的應變時間。主震發生後2分4秒，本局發送初步震度簡訊(以防救災單位為主)，經值班同仁詳細檢視確認，正式地震報告於主震發生後5分24秒透過新聞媒體、網際網路、手機簡訊等各種管道對外發布。

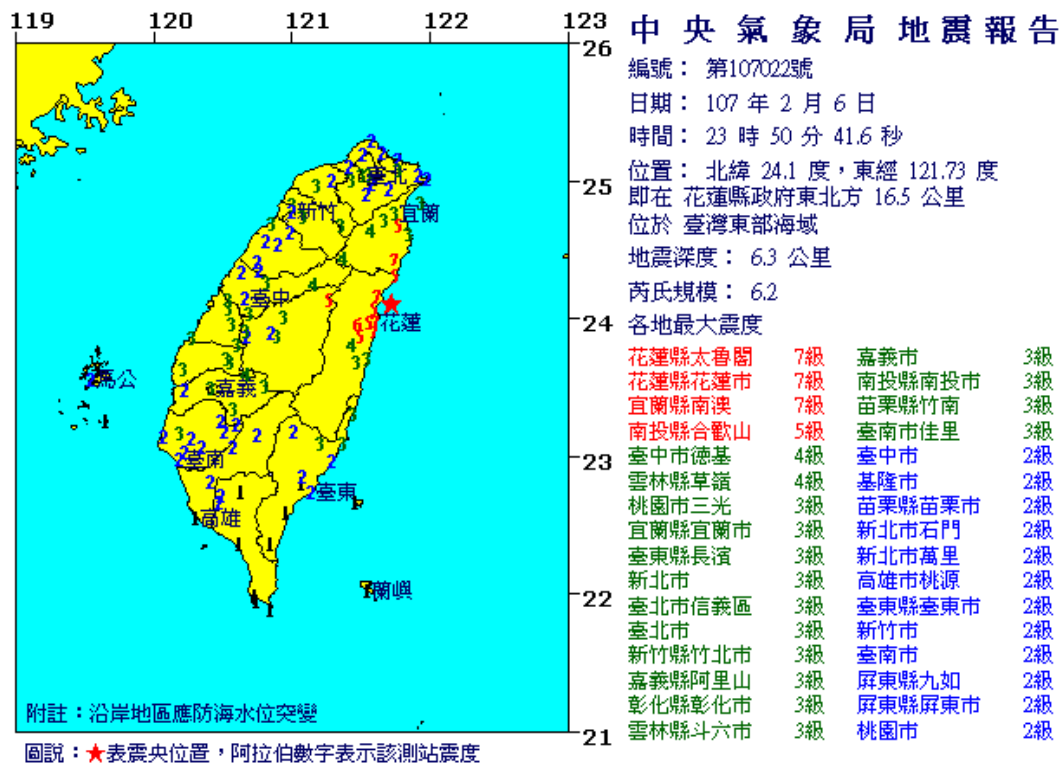


圖7.1.1 2018年2月6日臺灣東部海域地震之地震報告。

Figure 7.1.1 Earthquake report in the eastern waters of Taiwan on February 6, 2018.

由0206地震序列之空間分布(圖7.1.2)顯示，2月4日規模5.89前震與其觸發的餘震活動主要分布在米崙斷層的東北方海域區域(圖7.1.2紅色橢圓範圍)，2月6日規模6.26主震與其觸發的餘震活動則涵蓋2月4日規模5.89前震與2月7日規模5.85餘震的活動區域，包含了米崙斷層整段與嶺頂斷層北段部分(圖7.1.2綠色橢圓範圍)。紅色與綠色橢圓範圍是以主分量分析方法計算而得，分別代表2月4日規模5.89前震與2月6日規模6.26主震地震活動之震源錯動範圍，其計算對應的震源錯動長度(斷層長度)分別為30與48公里。以主分量分析方法可以特徵性地分析地震活動空間分布之特徵方向與長度，實際的地震空間分布非常散亂，不易辨識其空間形貌的特徵。0206地震經資料處理分析所得之震源機制(圖7.1.2)為走向滑移(strike-slip)錯動機制，其震源機制面與米崙斷層的走向非常吻合，地震矩張量解結果為雙力偶成分62%、非雙力偶成分38%，顯示此地震震源錯動方式較為複雜，震源錯動的時間和空間函數變化都具有很大成分的震源效應。由地震活動空間分布之主分量分析得到的震源錯動方向亦與震源

機制之結果非常吻合，顯示此 0206 地震是與米崙斷層相符的左移斷層震源機制。中央地質調查所在 0206 地震後至花蓮現地調查，報告結論為米崙斷層是被動性的斷層活動。由本局地震分析顯示，花蓮強震震源錯動是在米崙斷層東北方開始，沿著米崙斷層向西南方向錯動，地震活動範圍包括嶺頂斷層北段。

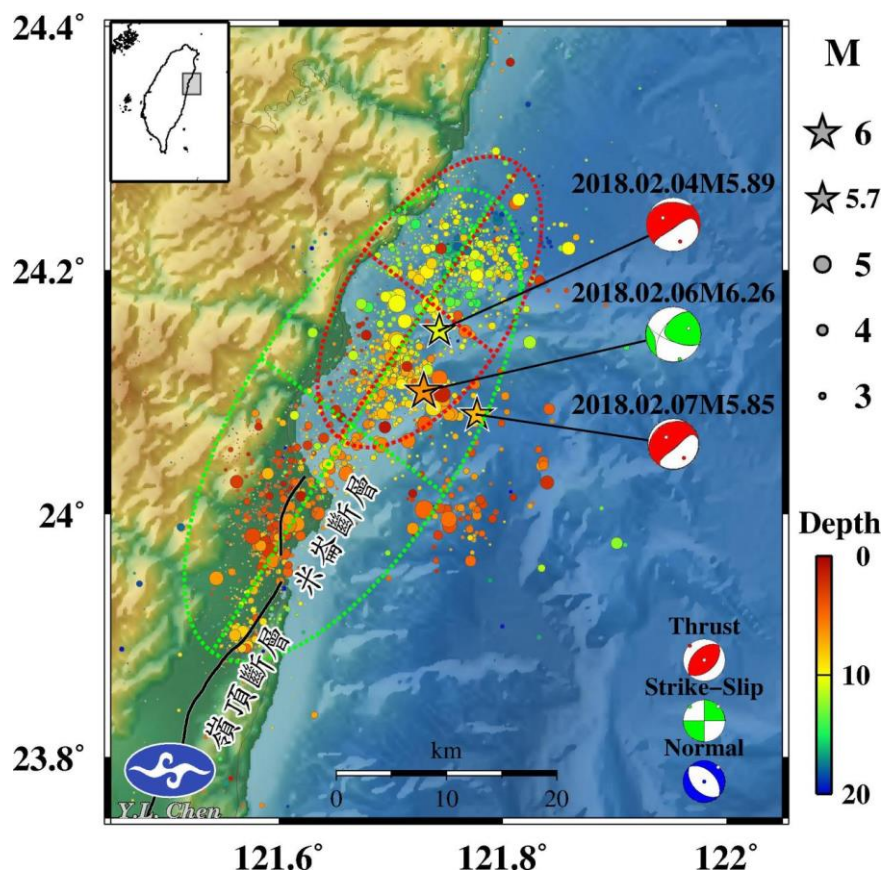


圖 7.1.2 2018 年 2 月 6 日花蓮地震序列空間分布圖。

Figure 7.1.2 Spatial distribution in Hualien earthquake sequence on 6 February 2018.

由 0206 地震序列規模與個數之時間分布(圖 7.1.3)顯示，在 2 月 6 日規模 6.26 主震發生前後發生 2 個較大的強震，分別是 2 月 4 日規模 5.89 前震與 2 月 7 日規模 5.85 餘震，規模 6.26 主震所觸發的餘震最大時個數為 32 個，餘震個數衰減至約 2 月 10 日趨於緩和，而 2 月 4 日規模 5.89 前震所觸發的餘震最大時個數反而高達 39 個，但其個數衰減趨勢明顯較快，這樣的衰減差異性是否與其後即將發生更大的主震有關，是一個值得研究的課題。

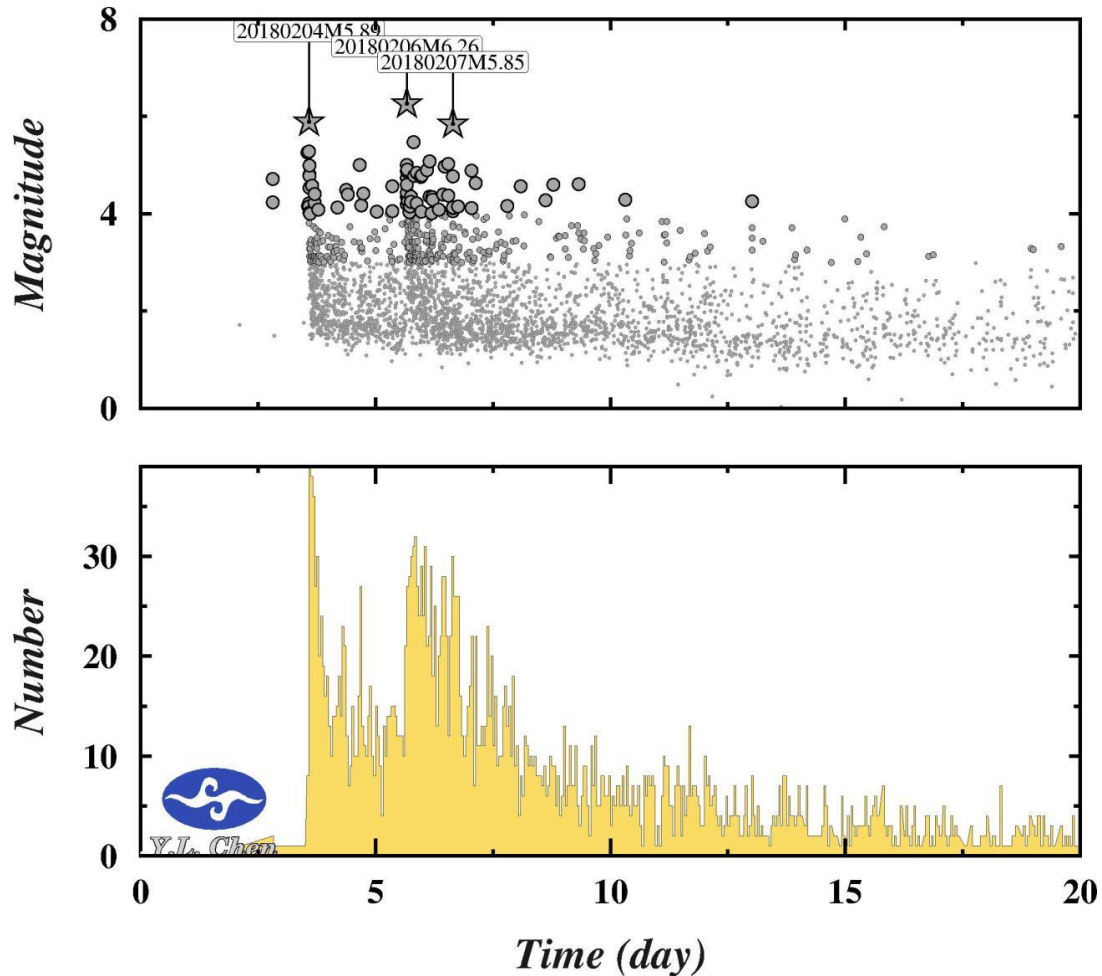


圖 7.1.3 2018 年 2 月 6 日花蓮地震序列規模與個數之時間分布圖。(地震個數為以小時計算之時個數。)

Figure 7.1.3 Time distribution of magnitude and number in Hualien earthquake sequence on 6 February 2018.

就防災應用而言，強震速報之震度分布是最重要的災害預估依據。根據目前本局強震速報或地震預警系統使用的經驗公式，0206 地震的預估震度與震波到時分布皆可快速計算得到。由於預估震度是將震源簡化，所以震度分布是以震源為圓心的方式呈規律性圓形震度分布。另，由於預估震波到時也將速度模型簡化為一維深度(無側向變化)模型的方式，所以震波到時也是以震源為圓心的圓形分布。在地震預警的應用方面，舉例而言，預估 S 波在花蓮地震發震後約 35 秒到達臺北，預估震度為花蓮 6 級、臺北 3 級。在實際觀測上，此花蓮強震的觀測震度分布顯示，臺灣全島測站皆測到有感震度，花蓮與宜蘭最大震度達 7 級，南投 5 級，臺中、雲林 4 級，中臺灣地震大都為 2 至 3 級震度，臺北為 3 級，遠在高雄亦有 1 至 2 級震度，震度大致隨

著距離震央愈遠而愈小，但並非呈規律性圓形震度分布。比較預估與觀測震度分布，較大的差異主要是因為震源效應與場址效應所致，例如預估震度為花蓮 6 級、宜蘭 4 級，觀測震度為花蓮 7 級、宜蘭 7 級；在臺北因盆地的場址效應故觀測高於預估震度，在高雄則反因場址效應而使觀測低於預估震度。

八、結語 Conclusion

2018年為本局強地動觀測第5期計畫執行的第3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7月23日新一代有感地震報告發布系統正式上線運作提供服務，其特色包括加密測站分布數量、增加觀測儀器種類、提升觀測資料品質、優化系統整合平臺及更新地震報告圖示，以強化中小型規模地震與遠震偵測能力及地震報告之呈現，將臺灣的地震觀測再次推向另一里程碑。

在前瞻基礎建設方面，於竹子湖氣象站設置大屯火山展示室，以強化火山監測及教育宣導；擴建海纜觀測系統亦已完成陸上站部分設備建置及陸纜鋪設，預計2020年將完成擴建580公里海纜及6座海底觀測站。海纜觀測系統強化地震及海嘯的監測，可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，將有效減輕海嘯的災害，使民眾的生命財產安全能獲得更佳的保障。

臺灣位處在天然多震的地理環境，地震相關的資訊成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，本局仍將一本筆路藍縷、常創新頁的精神，持續提升地震測報效能。

九、附錄 Appendix

(一) 地震測報發表論文 Published papers for seismicity

2018 年本局同仁發表地震相關論文共 25 篇：

1. Chang, Y. H., Hung, S. H., and Chen, Y. L. (2018 accepted) : A fast algorithm for automatic phase picker and event location: Application to the 2018 Hualien earthquake sequences., *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 30, No. 3, 435-448, June 2019 doi:10.3319/TAO.2018.12.23.01.
2. Chen, P. F., Chen, Y. L., Su, P. L., Peng, Y. D., and Chen, L. F. (2018) : Understanding the 6 February 2018, Hualien earthquake sequence through catalog compilation, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 30, No. 3, 399-409, June 2019, doi: 10.3319/TAO.2018.11.15.02.
3. Chen, Y. F., Lin, C. M., Wen, K. L., and Pu, H.C. (2018) : 3-D velocity structure and seismicity around the Shanchiao Fault in northern Taiwan, European Geosciences Union General Assembly 2018, EGU2018-4756.
4. Chen, Y. G., Kuo, Y. T., Chang, C. H., Lai, T. S., Huang, H. H., and Wu, Y. M. (2018) : Differential development on frontal thrust belt from central to southern Taiwan: Revealed by seismogenic faults , 2018 年亞洲大洋洲地球科學聯合研討會 , 美國夏威夷(張貼論文)。
5. Hsiao, N. C. (2018) : Current status and perspective for felt earthquake information reporting at CWB in Taiwan, 2018 International Symposium on Disaster Mitigation Researches in Earthquake-Prone Countries, 10 January 2018, Takamatsu, Kagawa, Japan (Oral) .
6. Hsu, H. C., Chen, D. Y., Tseng, T. L., Wu, Y. M., Lin, T. L., and Pu, H. C. (2018) : Improving location of offshore earthquakes in Earthquake Early Warning system, *Seismological Research letter*, 89, 3, 1101-1107. doi:10.1785/0220170212. (SCI) IF:3.275.
7. Kuo, C. H., Wen, K. L., Lin, C. M., Hsiao, N. C., and Chen, D. Y. (2018) : Site amplifications and the effect on local magnitude determination at stations of the surface – downhole network in Taiwan, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 104(2018), 106-116.
8. Lai, Y. C., Lin, C. H., Shin, M. H., Lee, H. F., Ku, C. S., Lin, C. J., and Pu, H. C. (2018) : Interface geometry of potential mega-thrust earthquakes beneath the westernmost Ryukyu subduction system, *Terr. Atm. Ocean.*,

- 29, 4, 405-415, doi:10.3319/TAO.2018.01.22.02. (SCI) IF:0.543.
9. Lin, C. H., Lai, Y. C., Shih, M. H., Pu, H. C., and Lee, S. J. (2018) : Seismic detection of magma reservoirs beneath Turtle Island of Taiwan by S-wave shadows and reflections, *Scientific Reports*, 8, 16401, doi:10.1038/s41598-018-34596-0. (SCI) IF:4.122(2years) 4.609(5years)
 10. Lin, C. H., Lai, Y. C., Shih, M. H., Lin, C. J., Ku, J. S., and Pu, H. C. (2018) : Extremely similar volcano sounds from two separated fumaroles at the Tatun Volcano Group in Taiwan, *Seismological Research letter*, 89, 2347-2353, doi:10.1785/0220180090. (SCI) IF:3.275.
 11. Lo, Y. C., Zhao, L., Xu, X. W., Chen, J., and Hung, S. H. (2018) : The 13 November 2016 Kaikoura, New Zealand earthquake: rupture process and seismotectonic implications, *Earth and Planetary Physics*, 2018, 2(2): 139-149. doi: 10.26464/epp2018014.
 12. Lo, Y. C., Zhao, L., and Hung, S. H. (2018) : Modeling regional waveforms from explosion sources with realistic surface topography, *Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), Hawaii Convention Center (poster)*.
 13. Lo, Y. C. (2018) : 2018 Mw 6.4 Hualien earthquake: Rupture from slab interface to a sub-vertical strike slip fault, Session 26 - Progress in the Studies of Geophysics and Regional Dynamics of Asia , 2018 年中國地球科學聯合學術年會 , CGU Beijing Internation Convention Center(oral).
 14. Lo, Y. C., Yue, H., Sun, J., Zhao, L. (2018) : The 2018 Mw6.4 Hualien earthquake: Complex rupture process of a moderate event, *American Geophysical Union, Fall Meeting 2018 (poster)*.
 15. Pu, H. C. (2018) : Spatial and temporal characteristics of the microseismicity preceding the 2016 Ml 6.6 Meinong earthquake in southern Taiwan, *Pure and Applied Geophysics*, 175, 2077-2091, doi:10.1007/s00024-018-1801-5. (SCI) IF:1.652.
 16. Pu, H. C. (2018) : Spatial and temporal variations of the microseismicity preceding the 2016 M 6.6 Meinong earthquake in southern Taiwan, 2018 Asia Oceania Geosciences Society, IG22-A007. (美國夏威夷)(Poster). 科技部 MOST 106-2116-M-052-003.
 17. Pu, H. C., Lin, C. H., and Chang, L. C. (2018) : Spatiotemporal variation of focal mechanisms of Tatun Volcano Group, Taiwan, 2018 Japan

- Geoscience Union, SCG56-P02. (日本東京)(Poster). 科技部 MOST 106-2116-M-052-003.
18. Pu, H. C. (2018) : Spatial and temporal characteristics of the microseismicity preceding the 2016 Ml 6.6 Meinong earthquake in southern Taiwan, 2018 International Symposium on Disaster Mitigation Researches in Earthquake-Prone Countries, Kagawa University, Japan (Oral).
 19. Shih, M. H., Lin, C. H., Pu, H. C., Lai, Y. C., and Lee, H. F. (2018) : A west-dipping seismogenic boundary beneath the Chia-Yi area of western Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean.*, 29, 5, 499-508, doi: 10.3319/TAO.2018.05.18.01.(SCI) IF:0.543.
 20. 陳羿帆、林哲民、溫國樑、蒲新杰 (2018) : 山腳斷層及鄰近地區的三維速度構造分析，中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 107 年年會暨學術研討會，國立中正大學，嘉義。
 21. 許忻志、陳達毅、曾泰琳、吳逸民、林挺立、蒲新杰 (2018) : 地震預警系統之外海地震定位改善，中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 107 年年會暨學術研討會，國立中正大學，嘉義。
 22. 蒲新杰、林正洪、張麗琴 (2018) : 大屯火山群微震震源機制的時空間變化，中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 107 年年會暨學術研討會(口頭報告)，國立中正大學，嘉義。
 23. 賴姿心、吳逸民、趙韋安 (2018) : 使用臺灣井下地震儀資料建立地震規模衰減式，2018 年亞洲大洋洲地球科學聯合研討會，美國夏威夷(張貼論文)。
 24. 賴姿心、吳逸民、趙韋安 (2018) : 臺灣井下地震儀資料地震規模衰減式與淺層場址效應之探討，2018 年美國地球物理協會秋季研討會，美國華盛頓(張貼論文)。
 25. 蕭乃祺 (2018) : 0206 花蓮地震氣象局強震資料初步彙整，0206 花蓮地震序列學術研討會(口頭報告)，2018 年 2 月 27 日，中華民國臺北。

(二) 參考文獻 Reference

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. Kanamori, H., and Anderson, D. L. (1975) : Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, 1073-1095.
4. Liu, J. Y., Chuo, Y. J., Shan, S. J., Tsai, Y. B., Chen, Y. I., Pulinets, S. A., and Yu, S. B. (2004) : Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements. *Annales Geophysicae* (2004) 22: 1585 – 1593.
5. Pu, H. C., Lin, C. H., Huang, Y. C., Chang, L. C., Lee, H. F., Leu, P. L., Hsiao, N. C., Chang, C. H., and Yeh, Y. H. (2014) : The volcanic earthquake swarm of October 20, 2009 in the Tatun area of northern Taiwan, *Terr. Atm. Ocean.*, 25, 5, 625-635, doi: 10.3319/TAO.2014.04.11.02(T).
6. Wang, J. H. (1992) : Magnitude scales and their relations for Taiwan earthquakes: A review. *TAO*, 3, 449-468.



**Central
Weather
Bureau**

