

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

Seismic Observation

2019 Annual Report



中央氣象局 108 年地震年報

目錄 Table of Contents

一、前言 Preface.....	1
二、地震觀測 Seismic observation	3
(一) 地震觀測系統 Seismic observation system.....	3
1. 即時地震觀測網 Real-time seismic observation network	3
2. 強地動觀測網 Strong ground motion observation network	5
3. 地震及海嘯防災海纜觀測系統 Marine cable observation system for earthquake and tsunami disaster prevention.....	8
4. 井下地震觀測站 Borehole seismic observation station.....	11
5. 大屯火山即時地震監測網 Real-time seismic network in the Tatun Volcano Group	13
(二) 地震活動分析 Seismicity analysis.....	14
1. 全區地震活動分析 Earthquakes in the Taiwan region.....	14
2. 大屯火山地震活動分析 Earthquakes in the Tatun Volcano Group	24
3. 小結 Summary	28
三、地球物理觀測 Geophysical observation.....	29
(一) 地球物理觀測系統 Geophysical observation system.....	29
1. 全球導航衛星系統 Global navigation satellite system.....	29
2. 地下水位觀測系統 Groundwater observation system	30
3. 地磁觀測系統 Geomagnetic observation system	30
4. 地電觀測系統 Geoelectric observation system.....	30
(二) 地球物理觀測資料分析 Geophysical observation data analysis	34
1. 地殼形變觀測 Crustal deformation observation	34
2. 電離層全電子含量 Ionospheric total electron content.....	37
3. 地下水位觀測 Seismic groundwater observation.....	39
4. 地磁觀測 Geomagnetic observation.....	43

5. 地電觀測 Geoelectric observation	45
四、地震速報作業 Earthquake rapid reporting operation	46
(一) 有感地震報告 Felt earthquake reports.....	46
(二) 地震速報系統速報效能分析 Performance analysis of earthquake rapid reporting system.....	49
五、海嘯警報發布作業 Tsunami warning reporting operation.....	50
六、強震即時警報應用推動 Promotion of earthquake early warning application.....	51
(一) 背景 Background.....	51
1. 原理與限制 Principle and limitation.....	51
2. 推動規劃 Promotion plans	51
(二) 2019 年執行成效 Implementation and performance in 2019...53	
1. 系統效能 System performance	53
2. 執行成果 Implementation results	57
(三) 後續工作 Follow-up.....	58
七、地震個案討論 Case discussion	60
(一) 2019 年 4 月 18 日臺灣東部地震 April 18, 2019 earthquake in eastern Taiwan.....	60
(二) 2019 年 8 月 8 日臺灣東部海域地震 August 8, 2019 earthquake in the eastern waters of Taiwan.....	63
八、結語 Conclusion	66
九、附錄 Appendix.....	67
(一) 地震測報發表論文 Published papers.....	67
(二) 參考文獻 References.....	70

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，尤其每隔數年即可能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及海嘯資訊，周知防救災單位與民眾。經本局統計，2019年臺灣地區計發生超過3萬起地震，並發布401筆有感地震報告，其中66筆地震之震度影響範圍較大，為顯著有感地震；335筆地震之震度影響範圍較小，為小區域有感地震。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，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與社會大眾做為應變決策及救災調度的參考。

本局地震測報中心自2016年起開始執行強地動觀測第5期計畫，持續更新各式地震觀測儀器，並強化強震即時警報系統效能，使地震測報作業之品質與精確度皆得以提升。2019年持續增加地震測站密度及精進強震即時警報演算法，期能將島內與近海中大型地震預警發布時間縮短至地震發生後10秒左右。在突破與創新方面，則是完成新地震震度分級制度規劃，並於2020年1月1日實施，以及成立火山專家諮詢小組，確認我國火山活動等級與預警發布機制草案。2019年前瞻基礎建設-海陸地震聯合觀測網計畫之重要執行成果為：完成擴建東部與南部海纜觀測系統案之路線調查成果報告及水下文化資產調查報告、陸上站設備製造與建置報告、光纖海纜與海底觀測設備製造及測試場驗，取得「海域用地區位許可證明」，「路線劃定許可」審查通過，以及辦理「海岸利用管理說明書」核可等海纜鋪設相關事宜。預計2020年臺灣東部海纜系統總長度將規劃由115公里再延伸620公里，累計建置735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。出版此地震測報年報，除呈現本局地震測報的

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最佳的保障。至2019年底，此24位元地震觀測系統的地震站已達213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 2010至2019年地震個數統計表。

Table 2.1.1 Earthquake statistics of 2010 to 2019

地震個數 規模	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
$2 \leq M$	10234	10014	8396	9816	8707	11294	10314	8639	10837	7587
$M < 2$	13039	11781	22977	35694	28056	33543	38601	25966	37264	22718
合 計	23273	21795	31373	45510	36763	44837	48915	34605	48101	30305

*2018及2019年統計數字為目前已檢視處理完成之地震個數

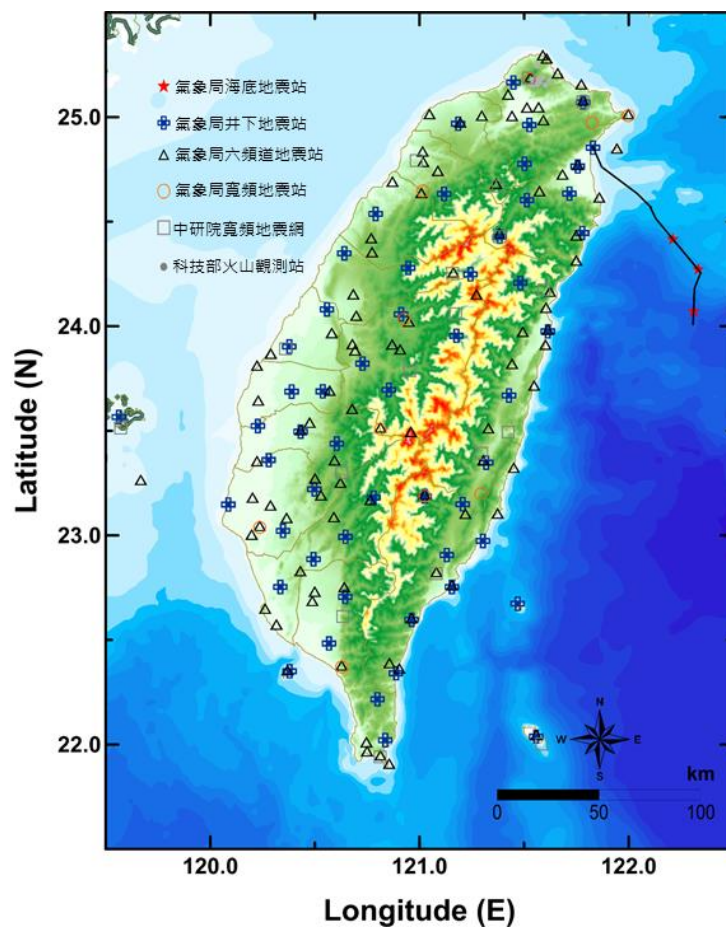


圖2.1.1 24位元地震觀測站分布圖。

Figure 2.1.1 Distribution map of 24-bit seismic observation station

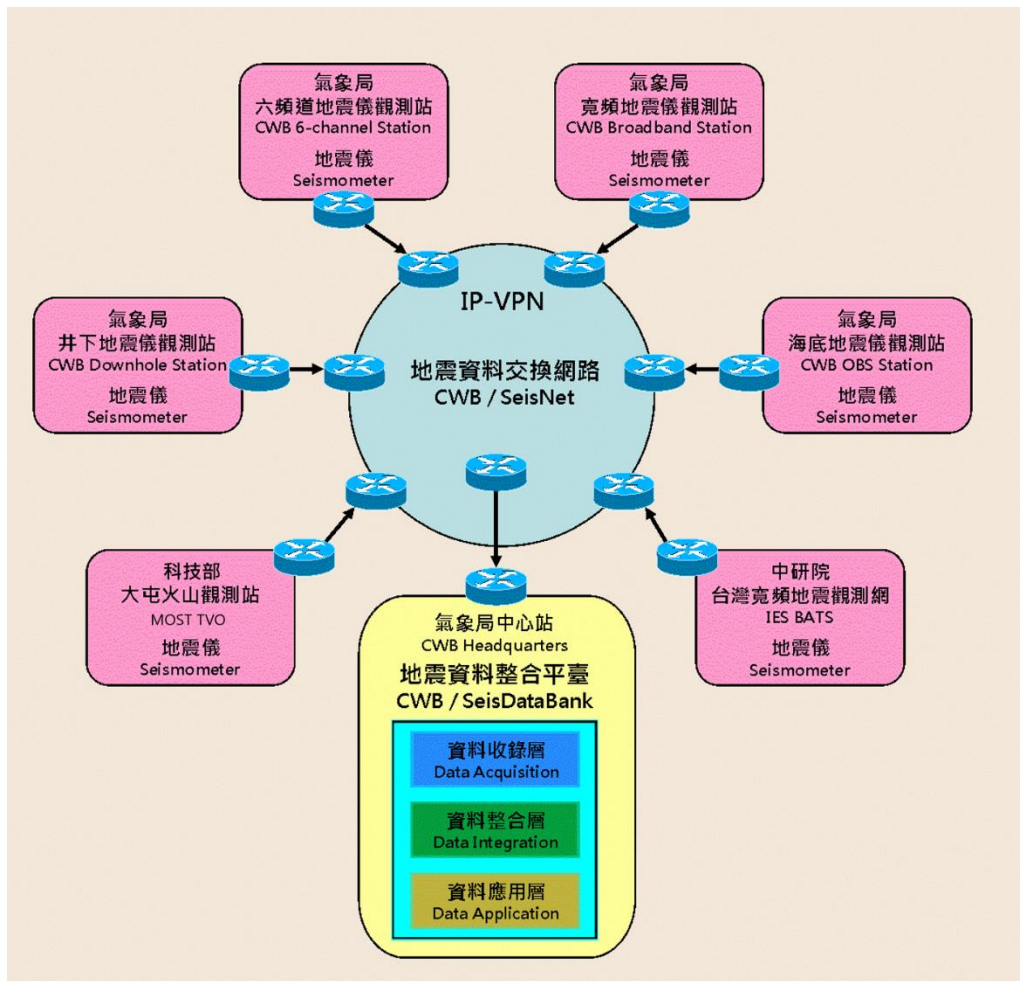


圖2.1.2 24位元地震觀測系統架構圖。

Figure 2.1.2 Framework of 24-bit seismic observation system

2. 強地動觀測網 Strong ground motion observation 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2019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)。

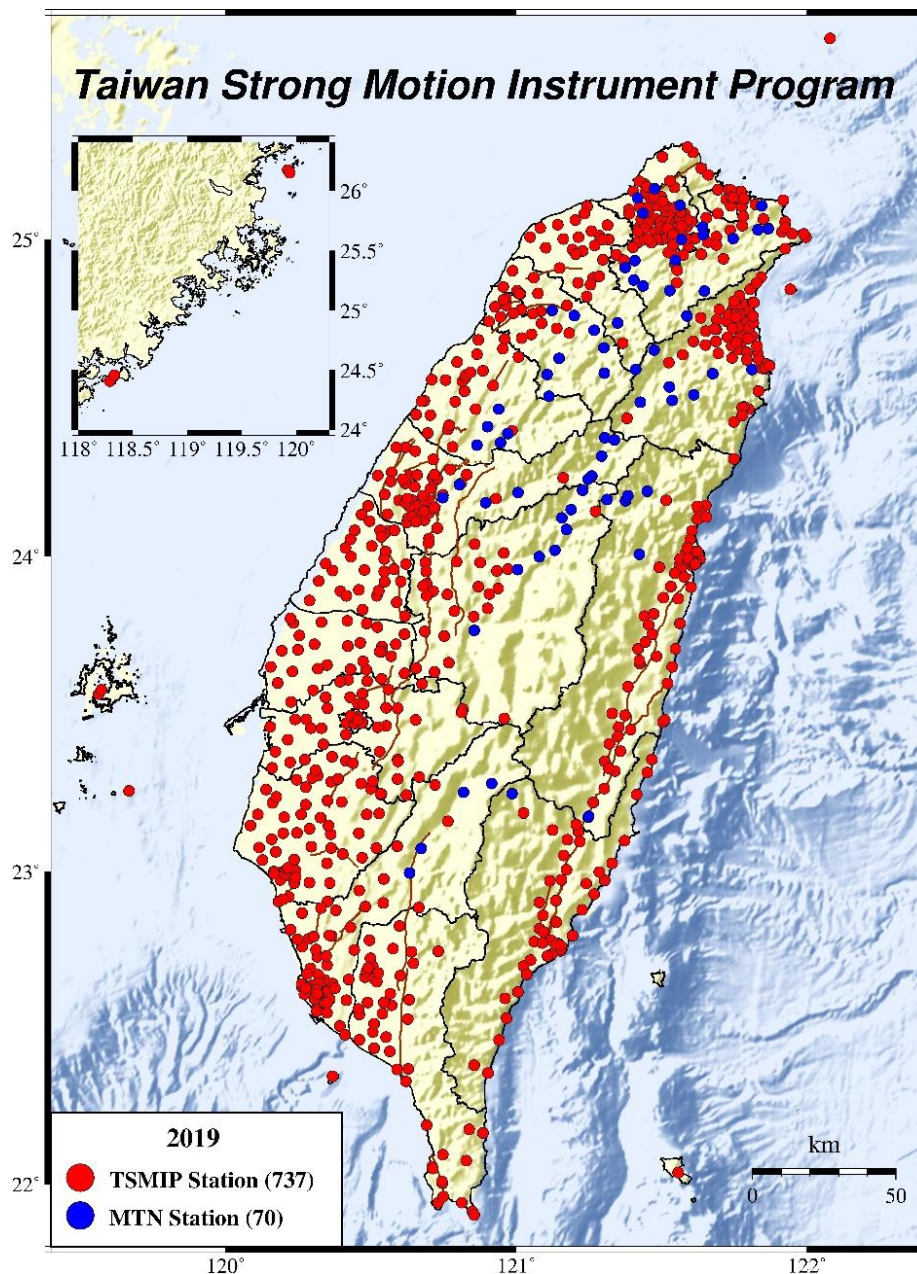


圖2.1.3 2019年自由場強震站分布圖，山區強震站以藍色符號表示。

Figure 2.1.3 Distribution map of free-field strong-motion stations

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 Old and new 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，也可改善海域及近岸的地震定位，增強本局強震即時警報系統的正确性及可信度，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，該海纜觀測系統於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。

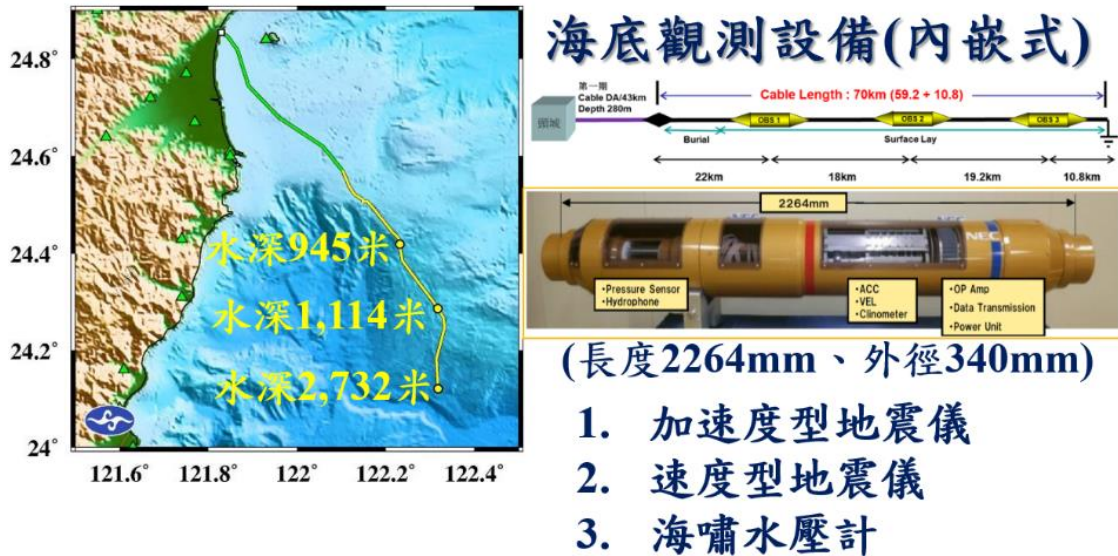


圖2.1.5 臺灣東部海域地震與海嘯海纜觀測系統觀測站設置深度及嵌入式(in-line)一體成型觀測站。

Figure 2.1.5 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2018年10月18日至2019年10月17日於宜蘭、花蓮海域監測共78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14.5%（相當於水平與深度綜合定位誤差由20.7公里降低至17.69公里，減少3.01公里），以及增加預警時效約11.5%（相當於預警報告產製時間由20.61秒降低至18.23秒，縮短2.38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，2019年重要執行成果為：完成擴建東部與南部海纜觀測系統案之路線調查成果報告及水下文化資產調查報告、陸上站設備製造與建置報告、光纖海纜與海底觀測設備製造及測試場驗，取得「海域用地區位許可證明」，「路線劃定許可」審查通過，以及辦理「海岸利用管理說明書」核可等海纜鋪設相關事宜。2020年臺灣東部海纜系統規劃總長度將由115公里再延伸620公里，累計735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。

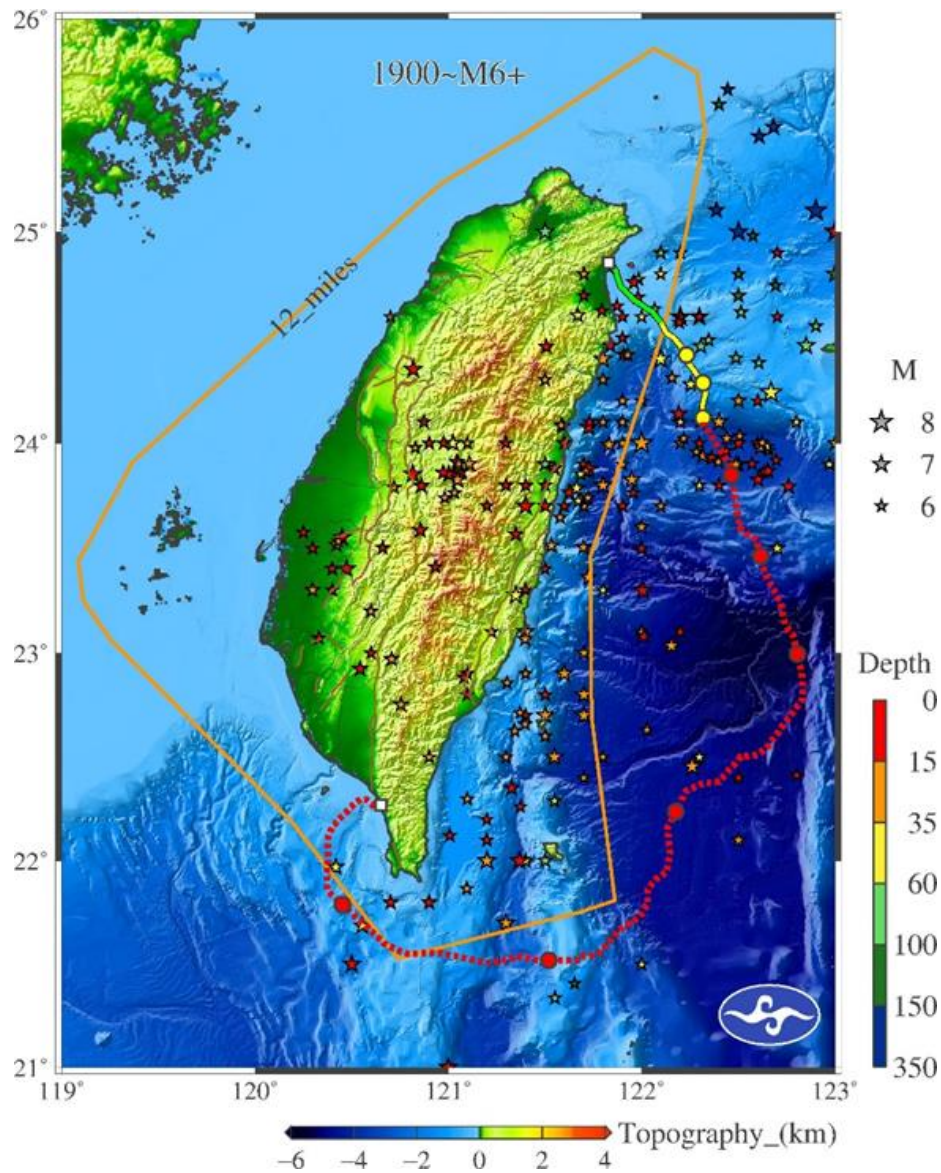


圖 2.1.6 臺灣東部海域地震海嘯海纜觀測系統鋪設路徑與海底觀測站位置圖。圖中實心綠線與黃線為現有 115 公里之海纜路徑 (第 1、2 期)，紅色虛線為目前正執行布建(第 3 期)海纜路線，黃色圓點為現有 3 座海底即時觀測站位置。星形為 1900 年迄今規模 6 以上的地震分布。

Figure 2.1.6 Laying route and ocean bottom station location 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)。

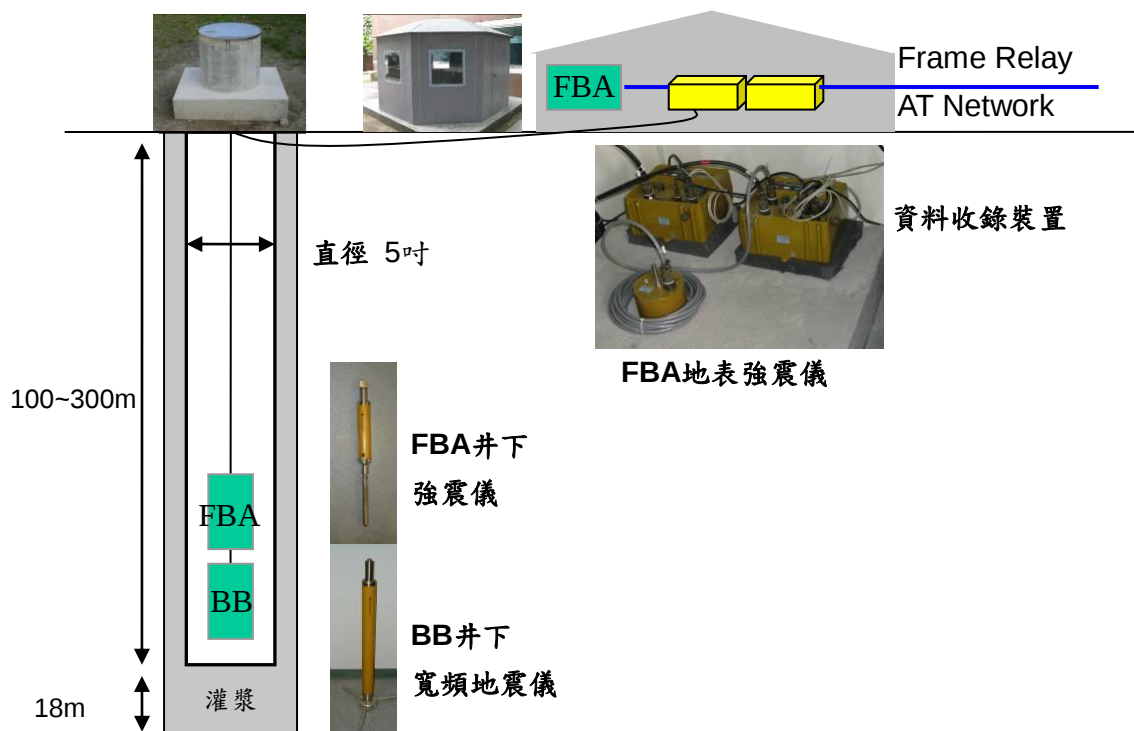


圖 2.1.7 井下地震觀測站示意圖。

Figure 2.1.7 Schematic diagram of borehole seismic observation station

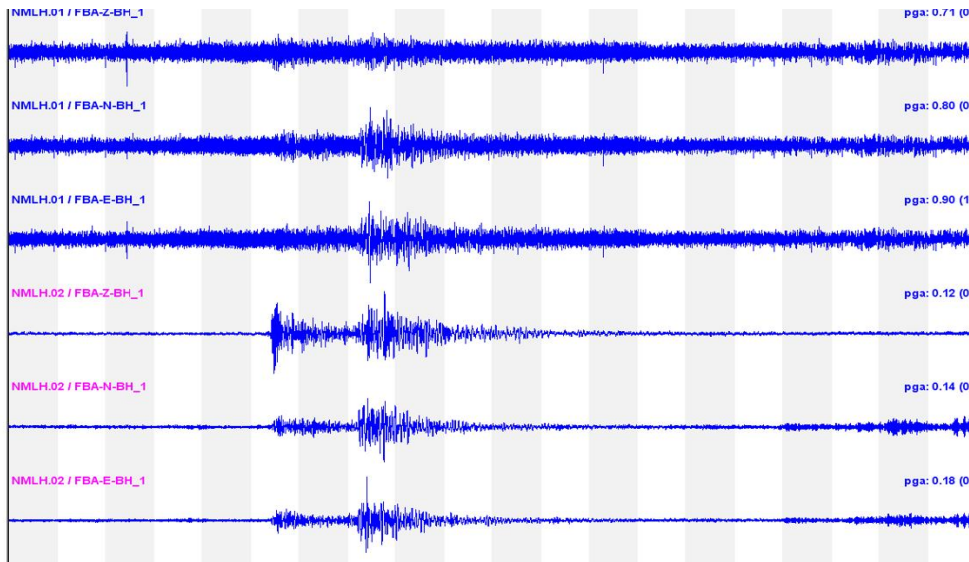


圖 2.1.8 2017 年 3 月 20 日 7 時 48 分宜蘭東部海域地震(規模 4.5)，苗栗井下地震觀測站(震央距離為 136.3 公里)之地震波形紀錄，上方 3 波道為地表強震儀波形紀錄，下方 3 波道為井下強震儀波形紀錄。

Figure 2.1.8 An example of borehole seismic record

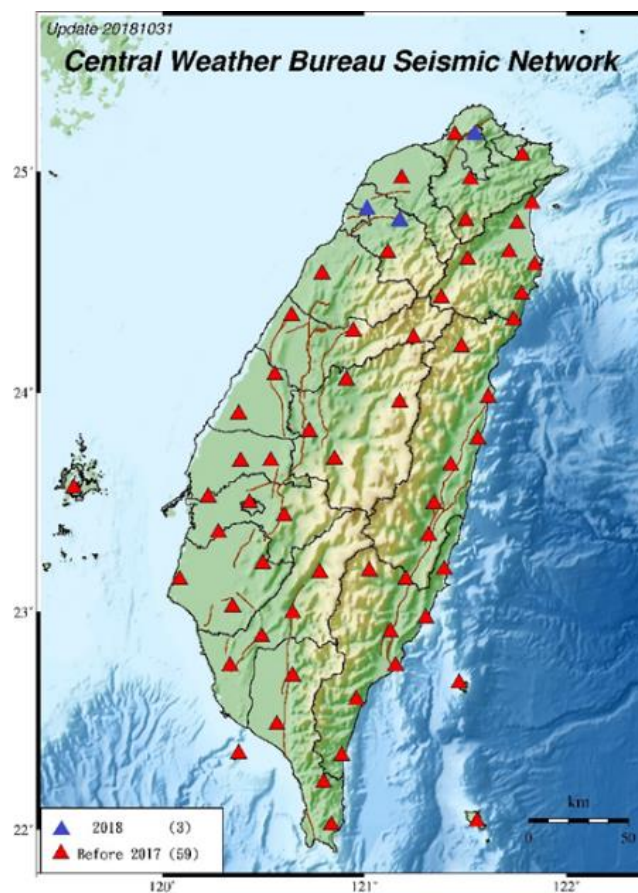


圖 2.1.9 歷年建置之井下地震觀測站分布。

Figure 2.1.9 Distribution of borehole seismic stations

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

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及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8個火山地區的地震站為主（YM01-YM11，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。

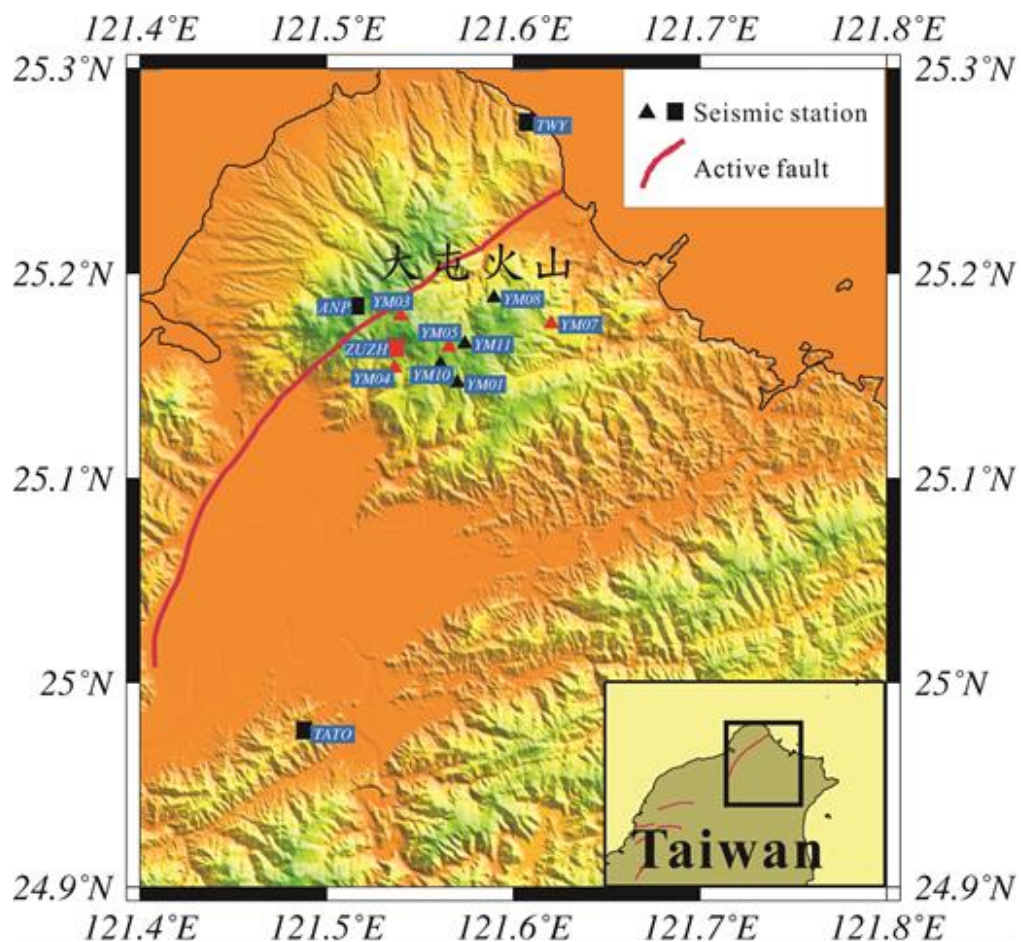


圖2.1.10 大屯火山監測網的地震站分布。三角形(大屯火山觀測站提供)或四方形(中央氣象局地震觀測站-資料為中央氣象局與多個學術單位共同組成)表示地震站的位置(地表站以黑色表示；井下站以紅色表示)，其中YM01到YM11測站為大屯火山觀測站所維護之地震站。

Figure 2.1.10 Distribution of seismic stations in the Tatun Volcano Group and surrounding areas

(二) 地震活動分析 Seismicity analysis

1. 全區地震活動分析 Earthquakes in the 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。2019年共觀測到超過3萬起地震，其中包含2個規模大於6以上的強震，分別為4月18日發生於花蓮規模6.32地震，深度20公里；8月8日發生於宜蘭近海規模6.24地震，深度24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。

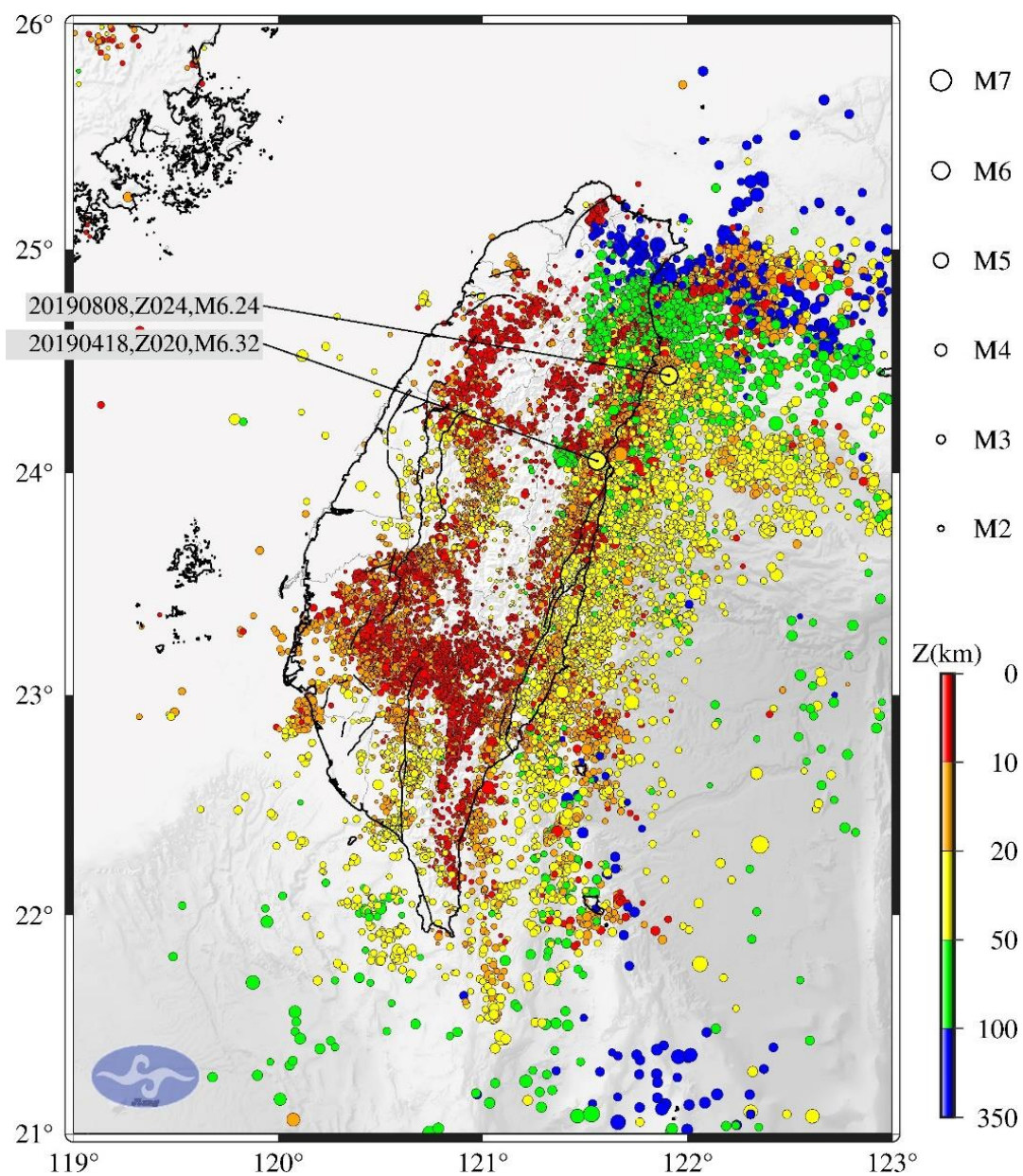


圖 2.2.1 2019 年地震活動分布圖。2019 年共觀測到超過 3 萬起地震，以圓形符號表示，大小代表地震規模，顏色代表地震深度，詳細如圖例。

Figure 2.2.1 Seismicity distribution in 2019

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2019年累積規模為6.71，與2018年累積規模大約相當。

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，2019年淺震與深震之累積規模等值分析如圖2.2.2，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。

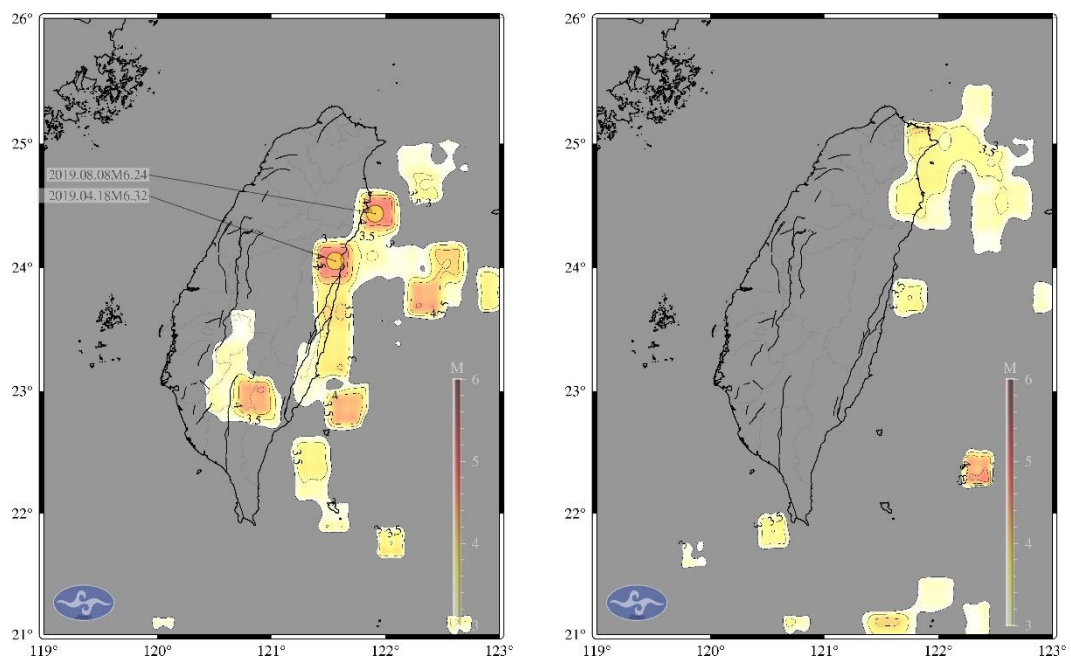


圖 2.2.2 2019 年淺震(左)與深震(右)之累積規模等值分析。等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小，顏色愈暖，累積地震規模愈大。

Figure 2.2.2 Cumulative magnitude contour map of shallow (left) and deep (right) earthquakes in 2019

2019年地震個數等值分析如圖2.2.3，等值圖係以經緯度各0.2度為網格大小，規模大於2以上之地震個數已正規化(normalize)為1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。

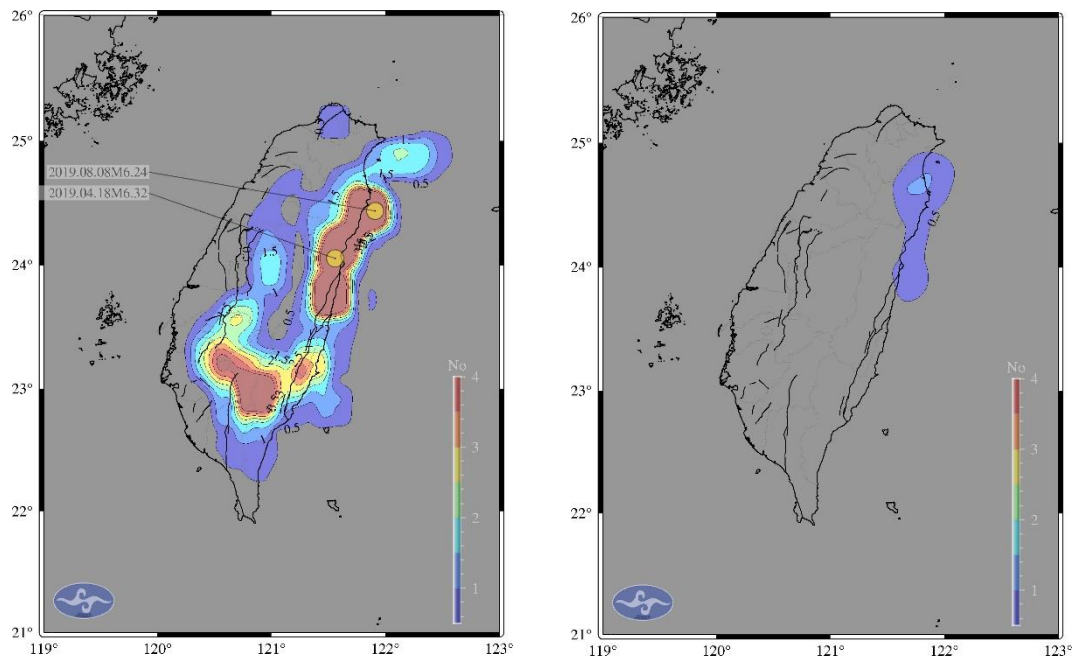


圖 2.2.3 2019 年淺震(左)與深震(右)之地震個數等值分析。等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小，地震個數已正規化(normalize) 為 1 天之個數。顏色愈紅，地震個數愈多。

Figure 2.2.3 Nnumber contour map of shallow (left) and deep (right) earthquakes in 2019

由2019年地震規模、累積規模及每日個數之時序分布圖（圖 2.2.4）可知，本年有明顯地震序列地震包括：2019年4月18日於花蓮發生的規模6.32花蓮強震，震源深度為20公里；8月8日宜蘭近海地震規模6.24。

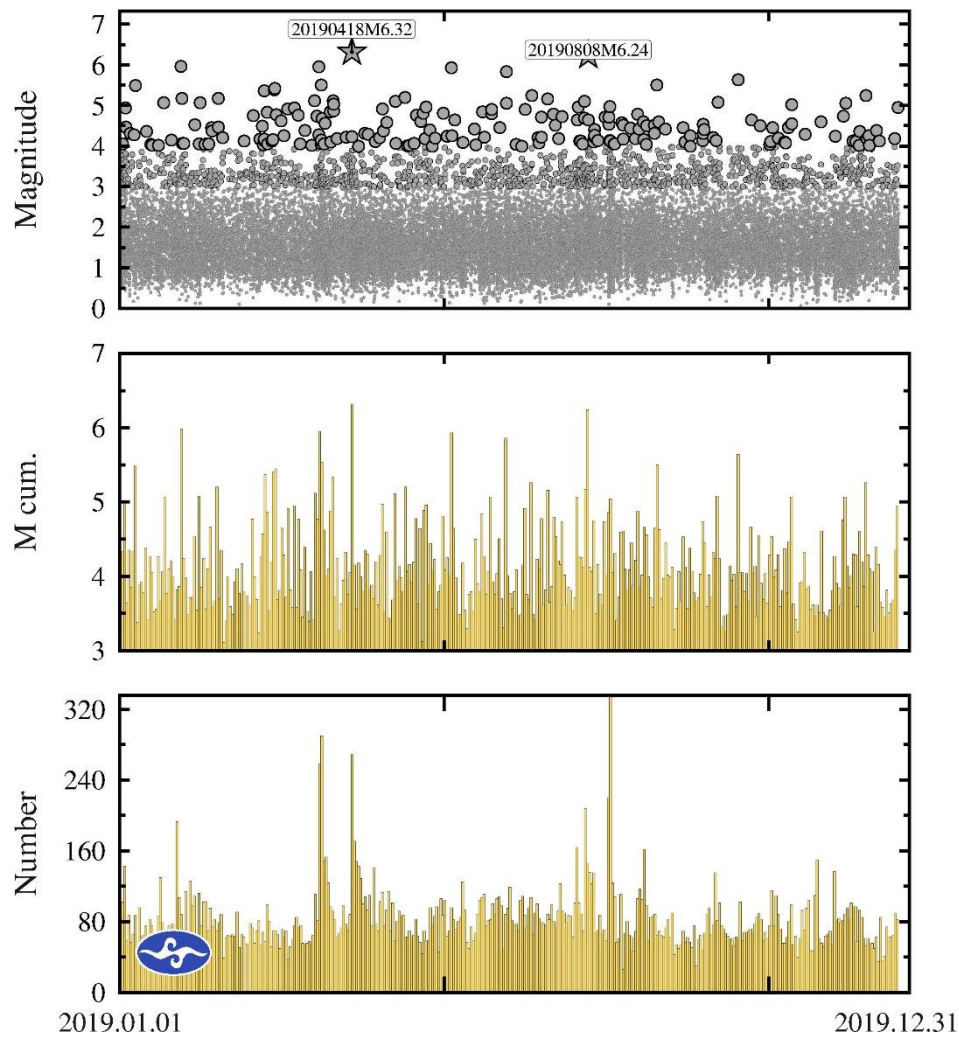


圖 2.2.4 2019 年地震規模、累積規模及每日個數之時間分布圖。

Figure 2.2.4 Temporal distribution of magnitude, cumulative magnitude, and number of earthquakes in 2019

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18個初動解及22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，上述震源機制是選用各個測站P波初動極性非常明確的資料。2019年P波初動解與CMT之震源機制及震央分布如圖2.2.5。2019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，2019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。

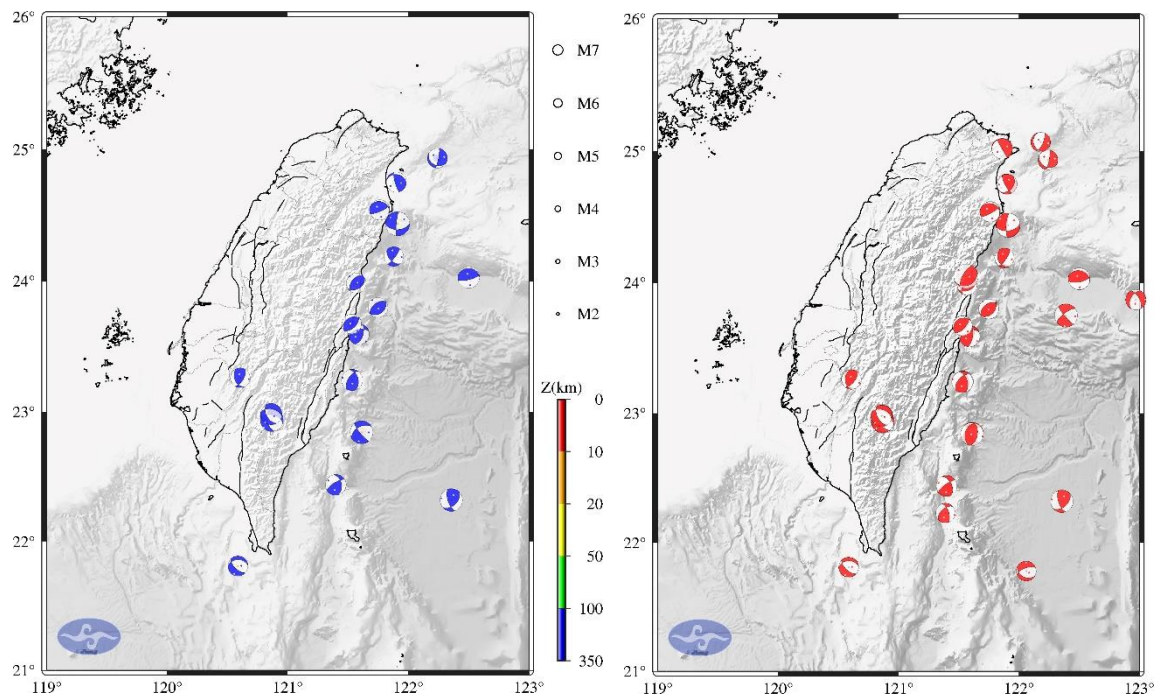


圖 2.2.5 2019 年由本局地震網規模大於 5 的 P 波初動資料與波形擬合方式，求得初動解(左圖)與 CMT 震源機制(右圖)。

Figure 2.2.5 Focal mechanisms (left) and centroid moment tensor (CMT) solutions (right) of earthquakes of magnitude 5.0 or greater in 2019

表 2.2.1 圖 2.2.5 中初動震源機制解參數。

Table 2.2.1 Parameters of focal mechanisms in figure 2.2.5

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						
2019/01/08	12:16	121.5333	23.2440	34.03	5.49	60.0	214.0	120.0	41.4	344.9	49.1
2019/01/30	15:14	120.5868	21.8105	46.75	5.18	63.0	133.0	-65.0	36.1	267.2	-129.7
2019/02/07	16:52	120.6057	23.2605	13.71	5.07	63.0	31.0	123.0	41.6	156.0	43.1
2019/02/15	14:08	121.7483	23.7977	45.60	5.17	39.0	51.0	88.0	51.0	233.6	91.6
2019/03/08	02:32	121.3977	22.4375	24.08	5.36	71.0	238.0	129.0	42.7	349.9	28.7
2019/03/13	04:32	121.5887	23.5950	35.91	5.42	56.0	19.0	50.0	50.6	255.3	133.6
2019/04/01	02:54	122.2407	24.9340	128.64	5.12	80.0	11.0	-64.0	27.7	120.6	-158.1
2019/04/03	01:52	120.8683	22.9373	4.87	5.95	56.0	167.0	-45.0	54.1	286.2	-136.4
2019/04/04	01:56	120.8630	22.9827	3.48	5.51	52.0	151.0	-54.0	50.4	281.3	-127.0
2019/04/09	15:13	121.5677	23.9835	11.65	5.12	42.0	58.0	105.0	49.7	218.2	76.9
2019/04/09	22:57	121.8787	24.1873	25.67	5.03	79.0	38.0	139.0	49.9	137.4	14.4
2019/05/13	08:55	121.9005	24.7522	87.98	5.20	79.0	164.0	112.0	24.5	279.3	27.4
2019/06/04	09:46	121.6117	22.8423	14.68	5.93	79.0	141.0	-43.0	48.0	241.1	-165.1
2019/06/29	19:44	122.3563	22.3208	46.56	5.84	48.0	47.0	146.0	65.4	161.3	47.4
2019/08/06	01:19	121.5303	23.6725	4.57	5.10	56.0	46.0	84.0	34.5	236.6	98.8
2019/08/07	21:28	121.9097	24.4363	24.15	6.24	50.0	89.0	-10.0	82.4	185.5	-139.6
2019/10/17	11:44	122.5007	24.0275	29.62	5.64	74.0	77.0	86.0	16.5	271.2	103.7
2019/12/16	11:25	121.7618	24.5418	49.73	5.25	77.0	66.0	77.0	18.3	291.7	134.3

表 2.2.2 圖 2.2.5 中 CMT 震源機制解參數。

Table 2.2.2 Parameters of centroid moment tensor solutions in figure 2.2.5

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						
2019/01/08	12:16	121.5300	23.2400	34.03	5.49	51.5	343.5	44.6	56.6	221.9	131.8
2019/01/22	03:19	121.3900	22.2300	21.48	5.07	52.4	228.4	144.1	62.3	342.2	43.4
2019/01/30	05:21	122.3900	23.7500	38.75	5.97	71.6	233.0	-171.6	82.1	140.3	-18.5
2019/02/07	16:52	120.6100	23.2600	13.71	5.07	34.4	181.0	57.6	61.4	38.6	110.2
2019/02/15	14:08	121.7500	23.8000	45.60	5.17	43.2	42.6	81.5	47.3	234.2	97.8
2019/03/08	02:32	121.4000	22.4400	24.08	5.36	50.9	334.3	17.8	76.2	232.8	139.5
2019/03/12	20:19	121.8600	25.0200	138.00	5.39	6.7	251.8	10.8	88.7	151.1	96.6
2019/03/13	04:32	121.5900	23.5900	35.91	5.42	39.7	247.9	140.8	66.2	9.9	57.1
2019/04/03	01:52	120.8700	22.9400	4.87	5.95	34.8	291.2	-117.3	59.5	143.5	-72.2
2019/04/04	01:56	120.8600	22.9800	3.48	5.51	40.0	291.5	-124.1	57.8	153.1	-64.7
2019/04/09	15:13	121.5700	23.9800	11.65	5.12	47.5	65.4	120.0	50.3	204.8	61.3
2019/04/09	22:57	121.8800	24.1900	25.67	5.03	31.8	153.7	33.0	73.2	34.8	117.5
2019/04/18	05:01	121.5600	24.0500	20.33	6.32	25.4	63.5	121.7	68.5	209.1	75.9
2019/05/13	08:55	121.9000	24.7500	87.98	5.20	37.0	40.7	154.1	74.8	151.9	55.8
2019/06/04	09:46	121.6100	22.8400	14.68	5.93	40.3	196.4	94.2	49.7	10.8	86.3
2019/06/29	16:20	122.1800	25.0700	152.05	5.06	27.7	164.2	-126.9	68.1	24.6	-72.4
2019/07/11	21:21	122.9700	23.8700	21.52	5.25	47.8	209.3	-43.8	59.0	332.1	-128.6
2019/07/19	10:13	122.0600	21.7800	28.60	5.16	36.8	117.1	-49.8	62.6	250.6	-115.7
2019/08/06	01:19	121.5300	23.6700	4.57	5.10	23.6	238.3	104.7	67.2	42.3	83.6
2019/08/07	21:28	121.9100	24.4400	24.15	6.24	50.1	82.6	-19.5	75.1	185.4	-138.4
2019/10/17	11:44	122.5000	24.0300	29.62	5.64	27.0	288.1	117.2	66.2	78.0	76.8
2019/12/16	11:25	121.7600	24.5400	49.73	5.25	18.2	290.7	137.6	77.8	61.6	76.2

2. 大屯火山地震活動分析 Earthquakes in the Tatun Volcano Group

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有效率。

此地震觀測網的目的在於監測大屯火山地區的地震活動，因此，在地震定位十分仰賴大屯火山地區的高密度地震站之觀測資料（YM01-YM11與ZUZH和ANP）。而大屯火山地區外圍的地震站（TATO與TWY），包含於此地震監測網中之目的，主要在於協助火山地震監測作業中，初步判讀此地震網所記錄之地震事件是位在大屯火山地區中或外圍，在地震定位的精度提升上，貢獻較低。

在2019年的火山地震監測作業方面，一共觀測到1,824個地震事件，這些地震事件中，有1,804個地震事件是在大屯山地區（圖2.2.6；121.50°E~121.65°E；25.10°N~25.25°N）。而這些地震中，又以規模小於1的地震為主（圖2.2.7），數量有1,209個，佔全數的67%。相對於往年，2019年的微震個數比例略低，其原因為，2019年有諸多有感地震序列，其產生的地震數量龐大，而地震的發震時間差過短致幾乎無法分辨，大幅提升了微震訊號的處理難度。若計入這些無法判讀的微震訊號後，大屯火山地區的地震活動中，微震的比例將更提高，評估將與往年相仿。

從其時序分布上（圖2.2.8），可以發現2019年的每日地震個數變化劇烈。事實上，2019年1月下旬開始，大屯火山地區的地震活動就變得相對活躍。在2019年1月28日的有感地震後，當日的地震個數快速增加，數量約達一千個。由於地震數量大，目前尚未

完成處理。另外，部分無地震發生的時期，原因為本局與大屯火山觀測站資料傳輸出現大量中斷、本局資料接收伺服器出現異常所致，發生時間在2019年2月的2至7日與21至25日間、9月10至15日間、12月16至18日間。

檢視2019年的地震活動（圖2.2.6），發現地震在水平空間的發生位置，呈東北-西南走向，與山腳斷層的走向接近。若從剖面來看，地震的分布，以七星山地區最淺，往西南與東北方向漸深，若沿近垂直山腳斷層的走向橫切剖面，則可發現，地震呈高角度向東南傾的分布。這個分布，在深度淺於5公里內接近垂直，深度深於5公里部分，則是朝東南方，呈現近45度的傾角。在淺部的部分，可能與當地淺層的火山地熱活動有關(Pu et al., 2014)。在深部的部分，則可能與山腳斷層與火山地熱活動的共伴作用有關(Pu et al., 2017)。

2019年內，此地區規模最大的地震發生在1月28日，本局的有感地震報告指出該地震的規模為3.4，若利用大屯火山地區的地震網定位後，地震規模升至4.32。這個地震發生之前（圖2.2.8），地震活動並沒有明顯的異常提升，地震當日的地震個數則十分眾多。由於地震事件的發生時間過於接近，諸多地震訊號彼此相互影響干擾，導致資料處理上出現困難。但經過人工估算後，推測該日地震事件約有一千個上下。地震後的第2天，地震活動就明顯下降至百個以下。從空間來看，地震發生的位置在大油坑與八煙地區，是大屯火山地區兩個主要地震活動的地區之一（另一個為七星山地區）。大油坑地區地表有強烈的火山地熱現象，不排除這個地震活動與當地淺部的火山地熱活動有關連。

目前，大屯火山地區的地震監測能力可以包含許多規模小於1的地震事件（圖2.2.7），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5公里以內，圖2.2.6)，也是當地主要的火山地熱活動區。這些不至於產生災害的地震事件，目前是監測與評估火山活動的重要依據。整理大屯火山地區近年的地震活動，可發現相對於過去的監測歷史資料，2019年的地震活動中，地震個數有數次明顯的遽增，這與2019年在大屯火山地區發生的6個有感地震活動有關，分別發生在1月28日、2月9日、8月7日、11月27日。這個數量比起過往，相對高。因此，2019年的大屯火山地區累積的地震能量比過往高(圖2.2.9)。

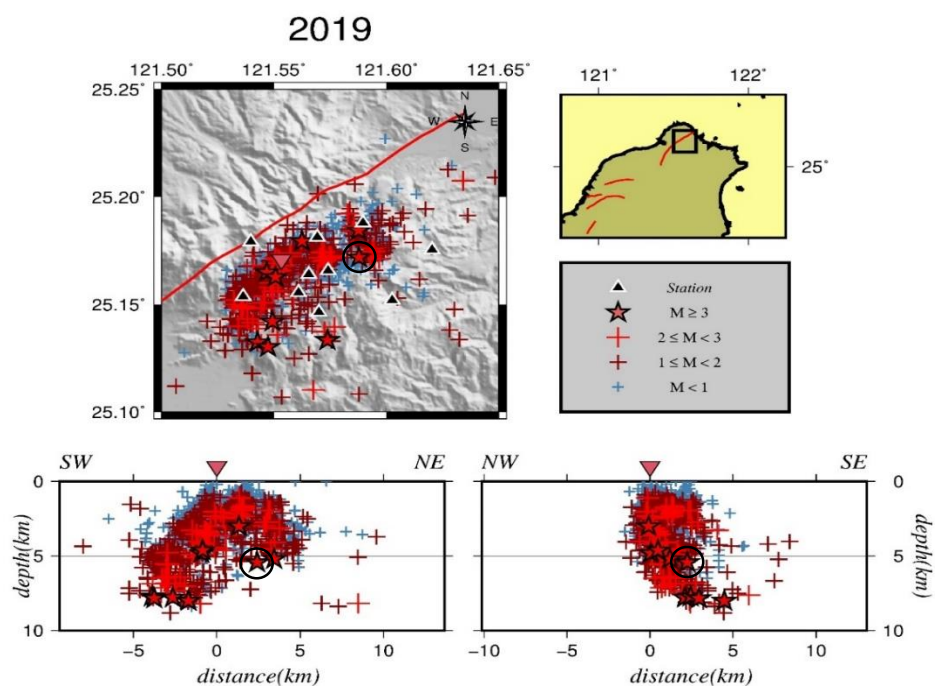


圖2.2.6 2019年大屯火山地區的地震活動空間分布圖。黑色空心圓所包覆的地震為該年度地震規模最大的地震。

Figure 2.2.6 Distribution of local earthquakes in the Tatun Volcano Group in 2019

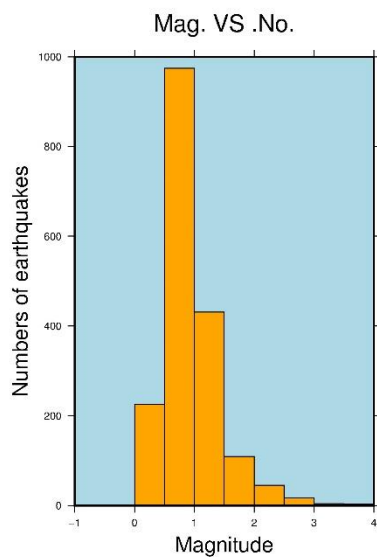
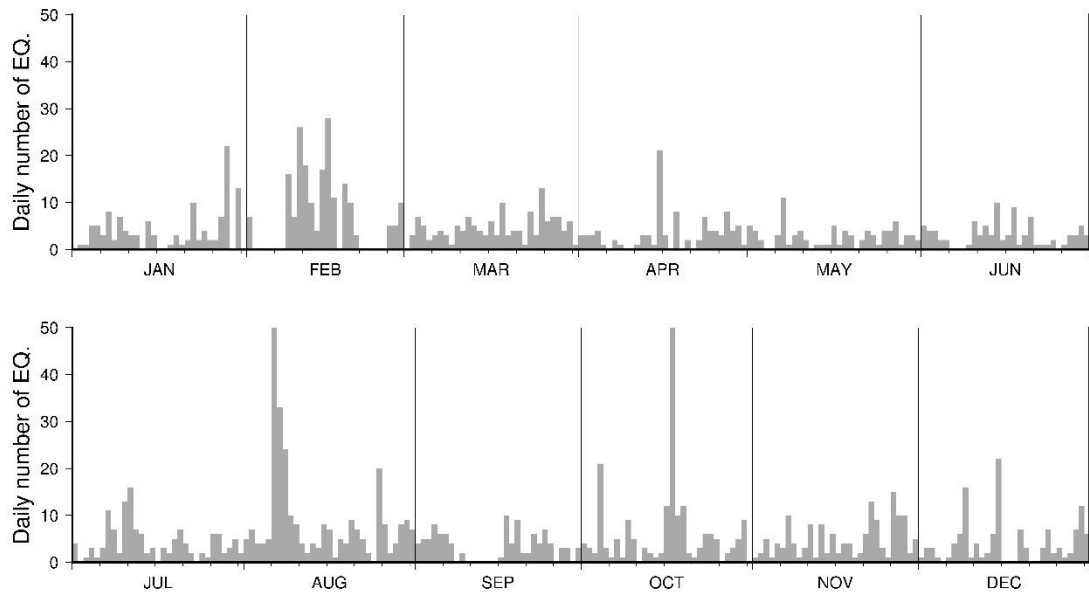


圖2.2.7 大屯火山地區2019年地震數量與規模的關係。橫軸為地震規模，縱軸為地震個數。

Figure 2.2.7 Relation between number and magnitude of the earthquakes in the Tatun Volcano Group in 2019



Range: 121.5~121.65; 25.1~25.25; 0~20km

圖2.2.8 2019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 2.2.8 Daily number of earthquakes in the Tatun Volcano Group in 2019

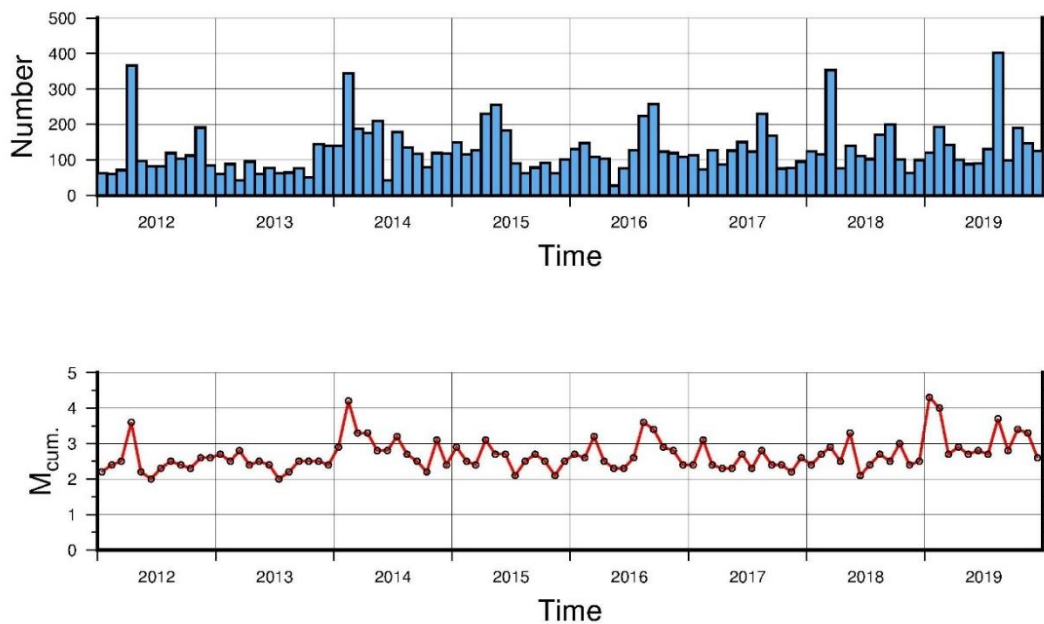


圖2.2.9 2012至2019年大屯火山觀測網的長期觀測資料。上圖為地震個數與時間的關係，下圖為每月累積規模與時間的關係。

Figure 2.2.9 Monthly number of earthquakes in the Tatun Volcano Group from 2012 to 2019

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2019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事件收錄的效能。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，2018年因為2月6日花蓮近海地震的地震序列活動頻繁，相對是地震活動較為活躍的一年，2019年規模大於2以上地震個數為7,587個，相對而言，地震活動度較前幾年略為平靜。

2019年，大屯火山地區的地震活動數量較過去高，與該年度在大屯火山地區發生較多的有感地震有關。這些有感地震發生的位置都很淺，可能與當地的火山地熱活動有關。部分地震發生的位置深於深度5公里，其產生的機制可能更為複雜，除了火山地熱外，也不排除可能與山腳斷層的有關。整體來看，2019年大屯火山地區的每月累積地震規模有諸多月份都較往年高（1、2、8、10、11月；圖2.2.9），這種現象是過去少見的，這顯示大屯火山近期的活動情有偏高的趨勢。

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、地磁場觀測系統與地電場觀測系統等項目，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，2019年地震中心與海象中心合作，新建後壁湖及東石漁港兩站。至2019年底止本局共建置與汰換完成162座GNSS測站（圖3.1.1、圖3.1.2），透過GSN VPN與無線網路等方式進行資料傳輸。

2. 地下水位觀測系統 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的升降變化。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。有鑑於各站儀器設備老舊，導致觀測資料品質不佳，於2019年陸續進行儀器設備汰換更新，並新增水溫紀錄，截至2019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集集地震及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，再更新整理持續維運，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，2018年南投雙龍站撤站，有鑑於各站儀器設備老舊與測站周遭環境改變，導致觀測資料品質不佳等問題，於2019年初開始規劃儀器設備汰換更新與遷站評估。至2019年底已將池上站、鯉魚潭站、爺亨站、灣丘站、恆春站及金門站升級為三分量磁力儀，並新建南投日月潭站其儀器亦為三分量磁力儀，故截至2019年底地磁場連續觀測網共12個觀測站，詳細分布見圖3.1.1。

4. 地電觀測系統 Geoelectric observation system

從許多岩石破裂實驗顯示，破裂過程中伴隨著電磁輻射是普遍的物理現象(Carpinteri et al., 2010; Fukui et al., 2005; Mavromatou et al., 2004)。在許多國家，例如：美國、日本、義大利、希臘及中國大陸等，都曾建立地電觀測網，並且

觀察到可能與地震活動相關的異常訊號(Eftaxias et al., 2003; Uyeda et al., 2002; Varotsos et al., 2002)。本局現有之地電觀測站(Geoelectric Station)，係於2017年接收國立中央大學移撥的一批相關設備，並於2019年陸續將電極設備更新且持續維運，爰至2019年底共有20座地電觀測站，詳細分布見圖3.1.1。

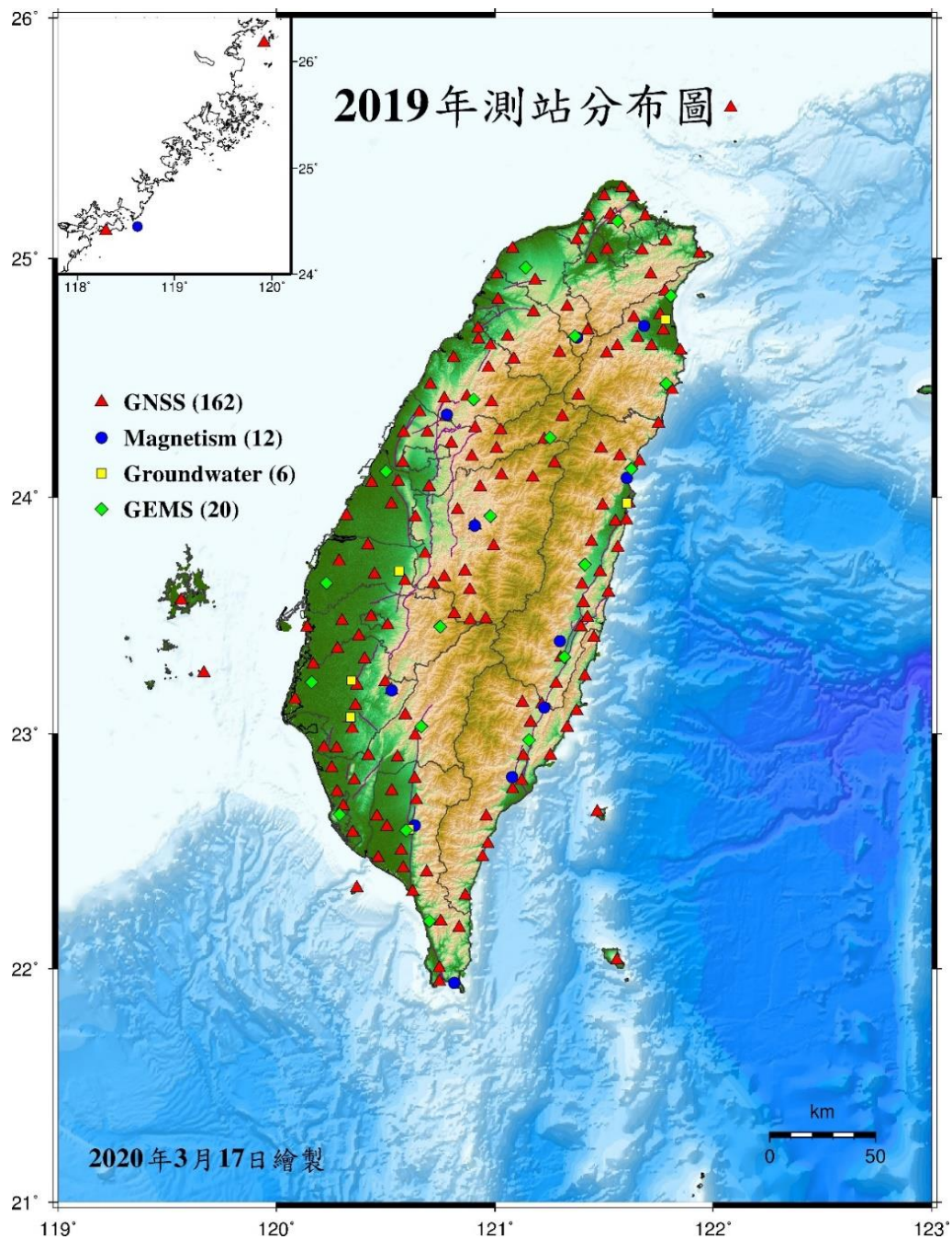


圖 3.1.1 臺灣地球物理觀測網（TGNS）測站分布圖，圖中 GNSS 為全球導航衛星系統測站，Magnetism 為地磁觀測站，Groundwater 為地震地下水位觀測站，GEMS 為地電觀測站。

Figure 3.1.1 Taiwan Geophysical Network for Seismology (TGNS) station map. GNSS: Global Navigation Satellite System. Magnetism: Geomagnetic Observation System. Groundwater: Seismic Groundwater Observation System. GEMS: Geoelectric Observation System.

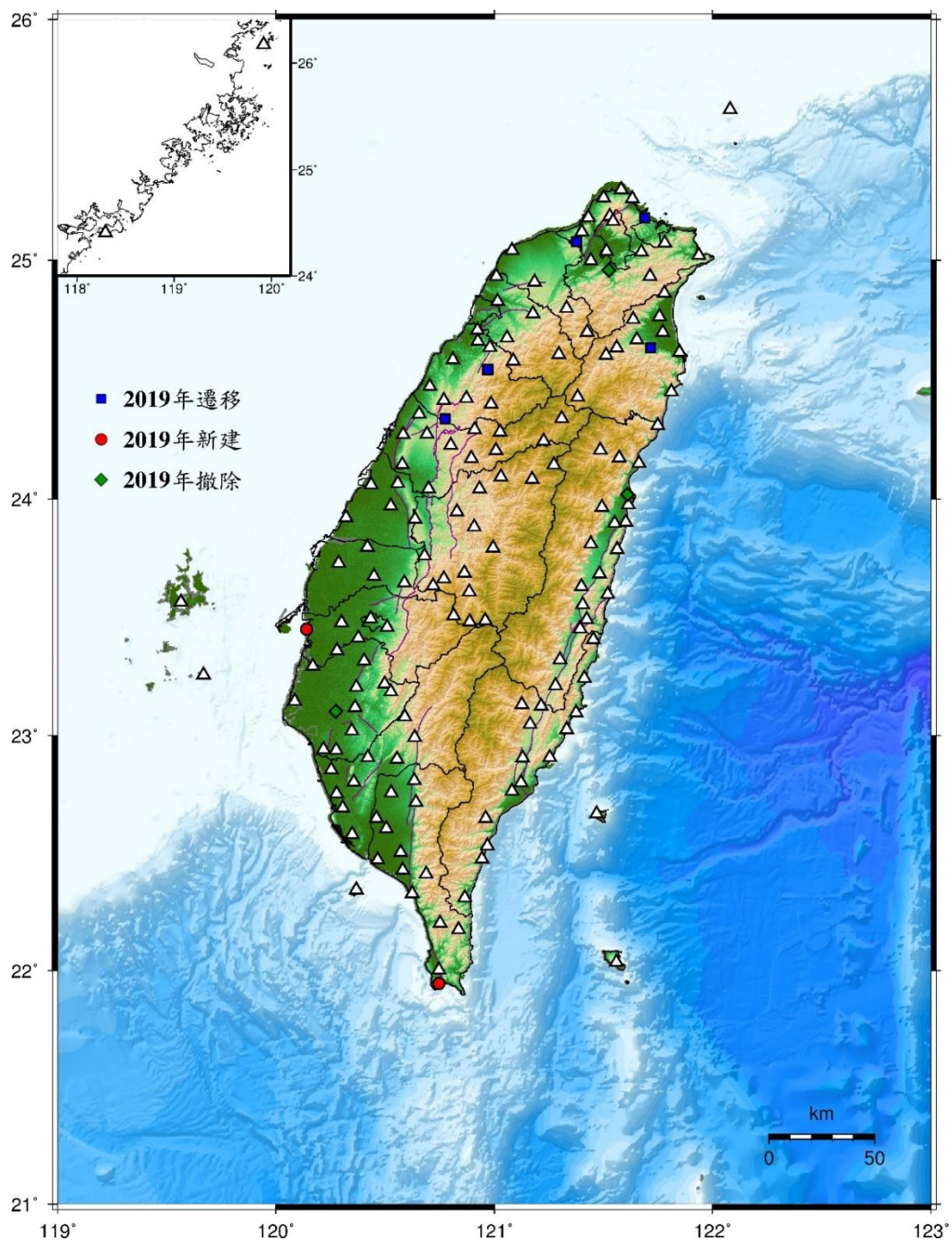


圖 3.1.2 全球導航衛星系統觀測站(GNSS)分布圖，藍色實心正方形為 2019 年遷移站址之測站，紅色實心圓形為 2019 年新建之測站，綠色實心菱形為 2019 年撤除之測站。

Figure 3.1.2 Distribution map of GNSS observation stations. Blue solid square: stations moved in 2019. Red solid circle: new stations built in 2019. Green solid rhombus: stations removed in 2019.

(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2019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及測量方法更新座標系統以保持精確度，使用的座標系統為ITRF2014。

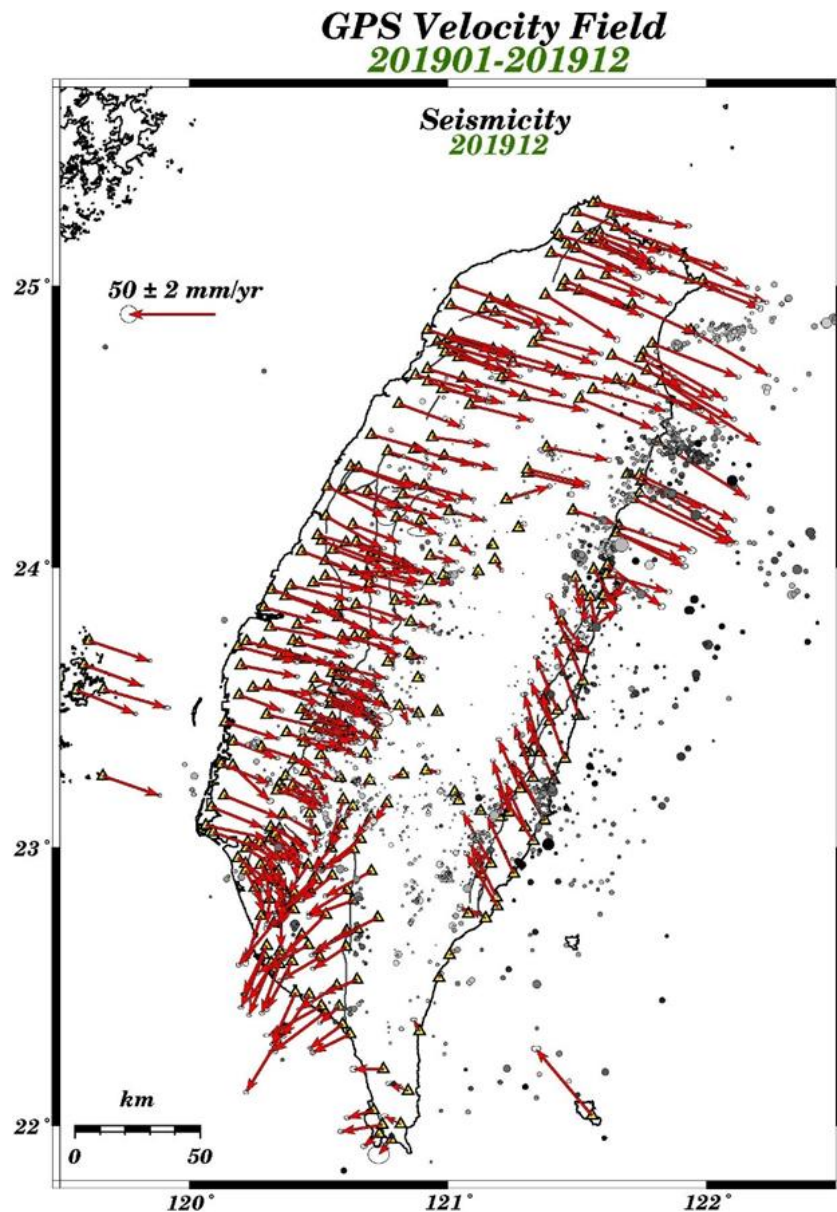


圖3.2.1 本局2019年全球導航衛星系統觀測結果，圖為GNSS在ITRF2014座標系統下之水平速度場圖，圖內之箭頭代表測站年移動速度量值及方向。圖中標示2019年12月的地震活動情形(震央分布位置)，做為與GNSS觀測地殼形變資料之比對。

Figure 3.2.1 Results of GNSS observation in 2019. The figure shows the horizontal velocity field under ITRF2014 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 2019 for comparison with the GNSS crustal deformation data.

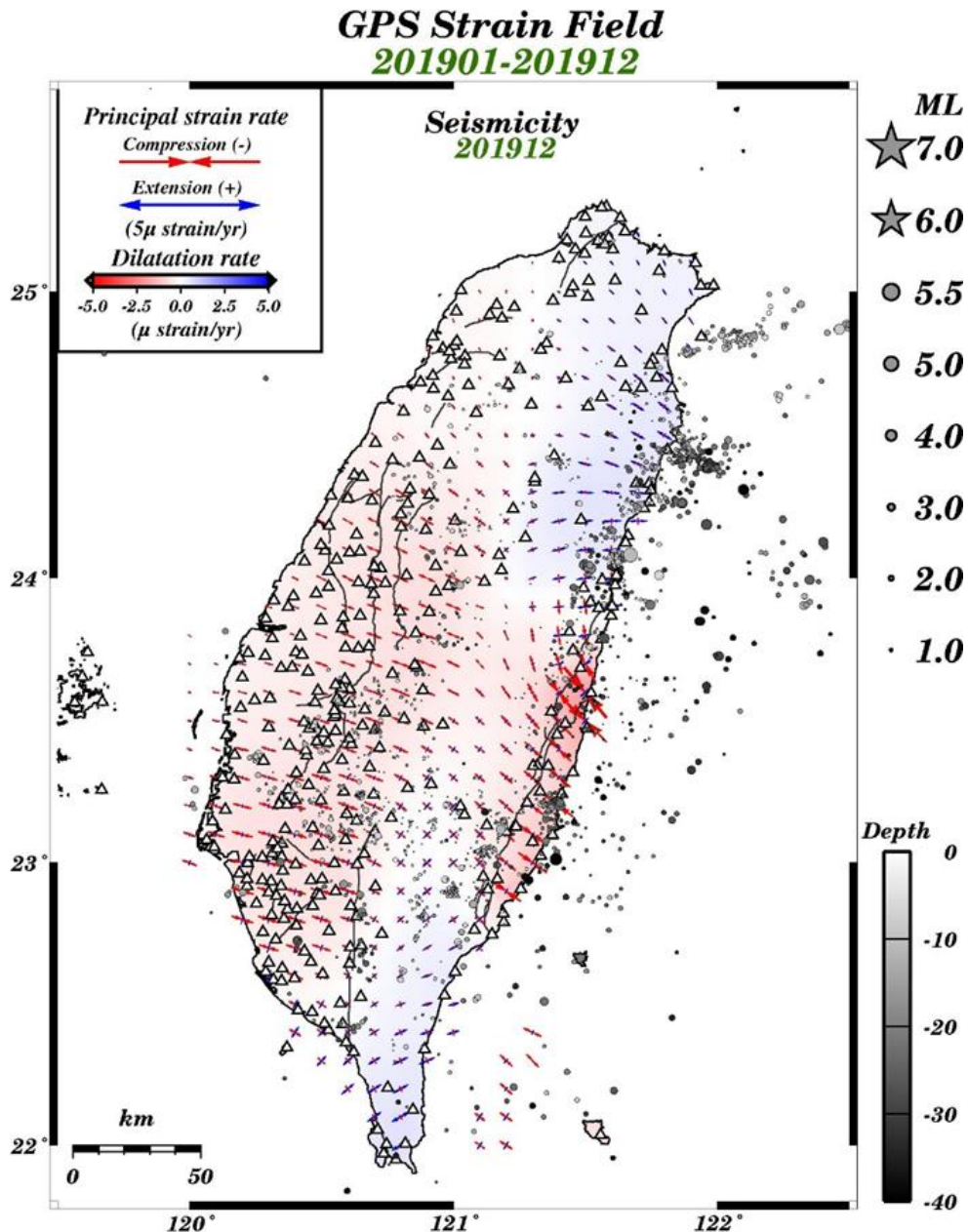


圖 3.2.2 本局 2019 年全球導航衛星系統觀測結果，圖為應變場分布圖。紅、藍色各代表壓縮及伸張區域，臺灣地區壓縮最大的區域位於花東海岸山脈區域。圖上標示 2019 年 12 月的地震活動情形(震央分布位置)，做為與 GNSS 觀測地殼形變資料之比對。

Figure 3.2.2 Results of GNSS observation in 2019. 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 Mountain Range. The figure shows seismicity (the location distribution of epicenters) in December of 2019 for 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，2019年共計有7個規模大於5.5、深度小於40公里的地震，4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57%(4/7)；4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57%(4/7)，其中1個地震發生前同時有正、負異常情形，機率為14%(1/7)。若考慮規模5.0以上、深度小於40公里的18個地震，其中有7個地震發生前5天內電離層有超過30%負異常情形，機率為39%(7/18)；13個地震發生前5天內電離層有超過30%正異常情形，機率為72%(13/18)；3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16%(3/18)。另外，2019年電離層全電子含量(TEC)共出現13次超過60%負異常，0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，電離層負異常後地震發生機率約為0%；20次超過60%正異常，其中5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2次受磁暴影響，電離層正異常後地震發生機率約為29%(5/18)。電離層觀測與地震發生之關聯性分析圖如圖3.2.3。

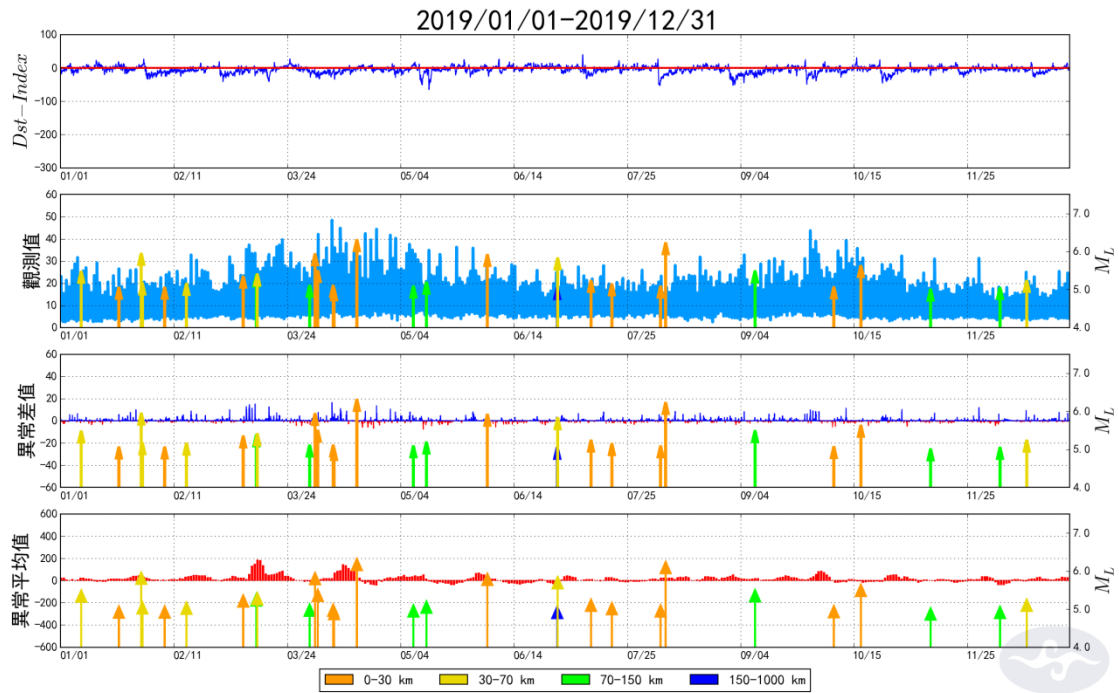


圖 3.2.3 2019 年電離層全電子含量觀測與地震發生之關聯性分析：(a)太陽磁暴之日變化觀測量；(b)電離層觀測值日變化(藍色線)；(c)藍色區域為電離層與理論值上界之正差異，紅色區域為電離層與理論值下界之負差異；(d)電離層 5 日平均量，間距 1 日之觀測量。圖中箭頭符號為電離層低量異常後發生規模大於 5.0 之地震。

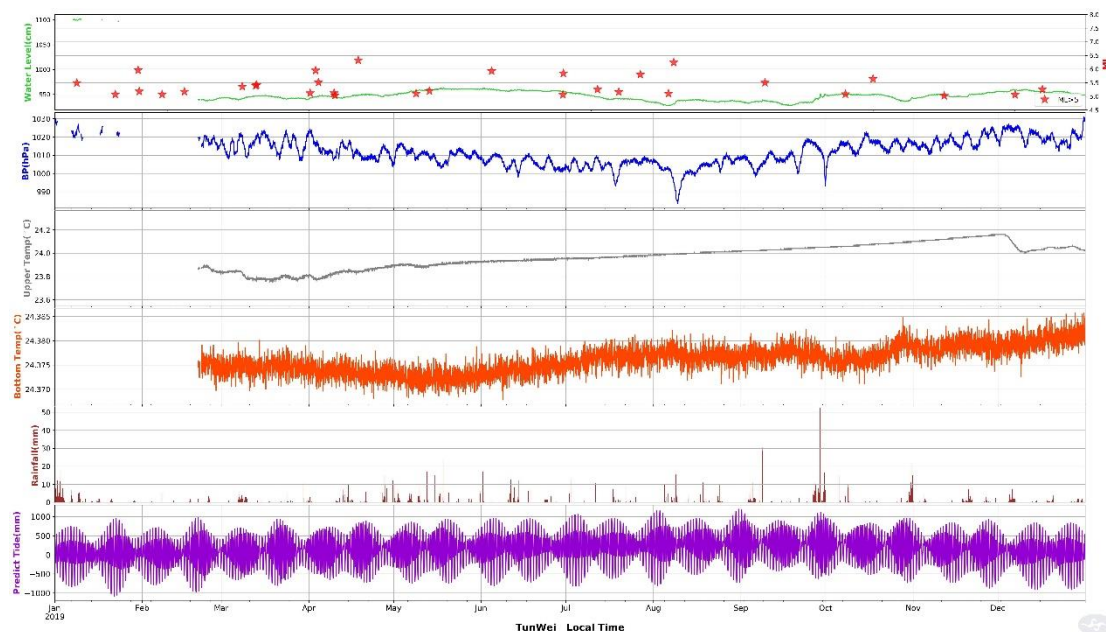
Figure 3.2.3 Relevance analysis between TEC observation and earthquakes in 2019: (a) daily variation of Dst-Index; (b) daily variation of observed TEC values (blue lines); (c) positive difference between observed TEC values and upper bounds of theoretical values (blue bars), negative difference for the lower bounds (red bar); (d) 5-day moving average of TEC values. Arrows indicate earthquakes of magnitude 5.0 or greater.

3. 地下水位觀測 Groundwater observation

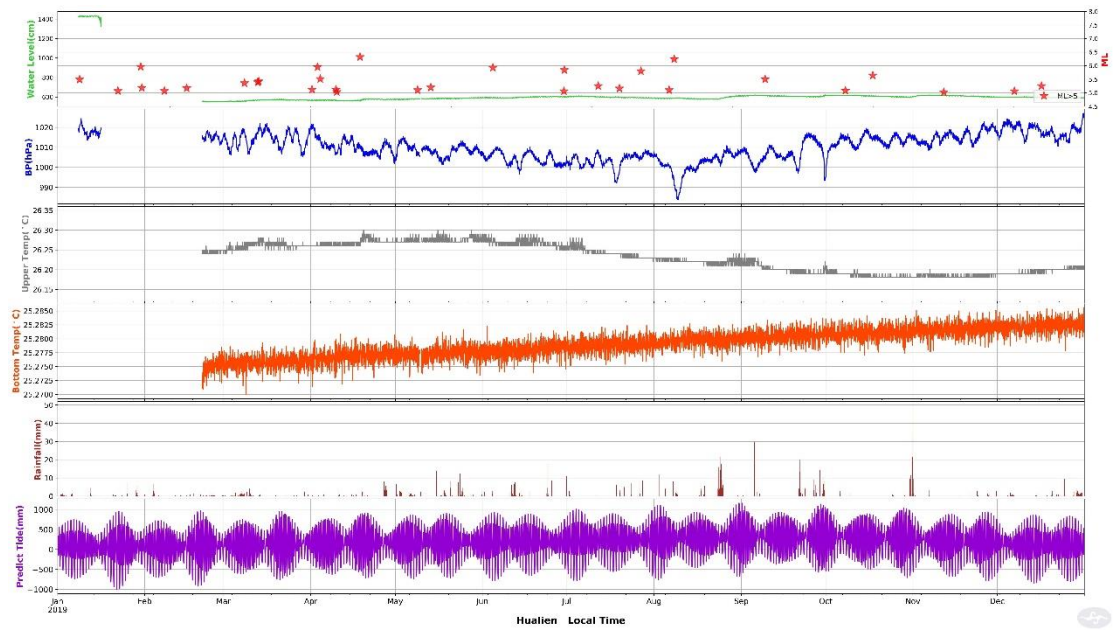
本局建置花蓮、壯圍、東和、六甲、那荖及赤山6口即時連線的觀測井，以連續記錄各觀測測站之水位、水溫、大氣壓力及降雨等物理量，藉以建立地下水位變動的相關研究參數，做為地震前兆偵測的研判，其觀測資料之時間序列如圖3.2.4所示。

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；那荖、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。

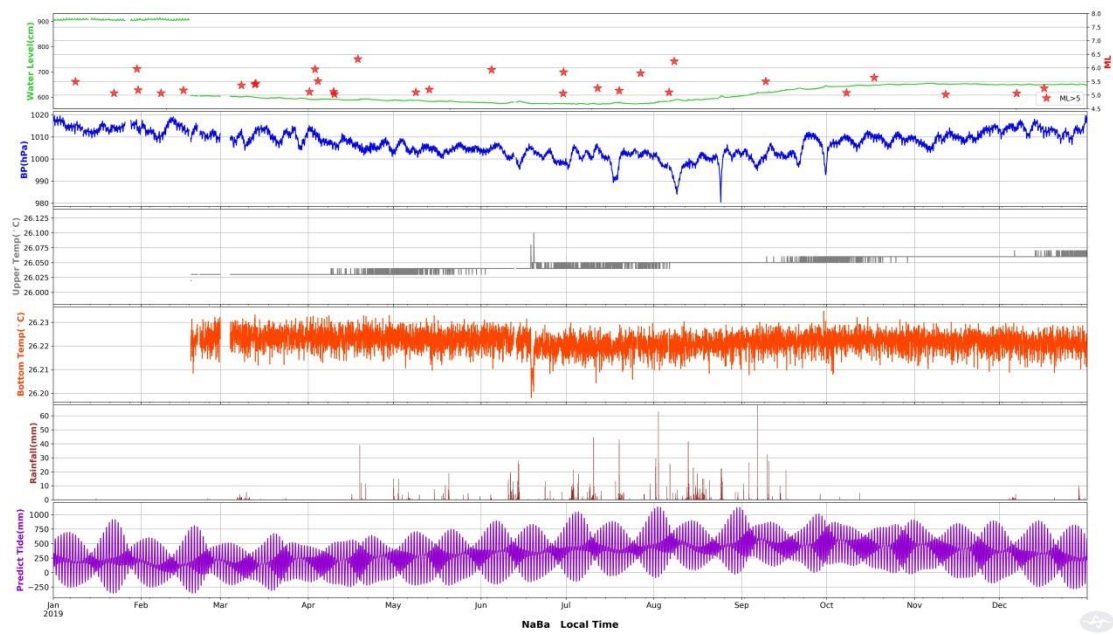
(a)



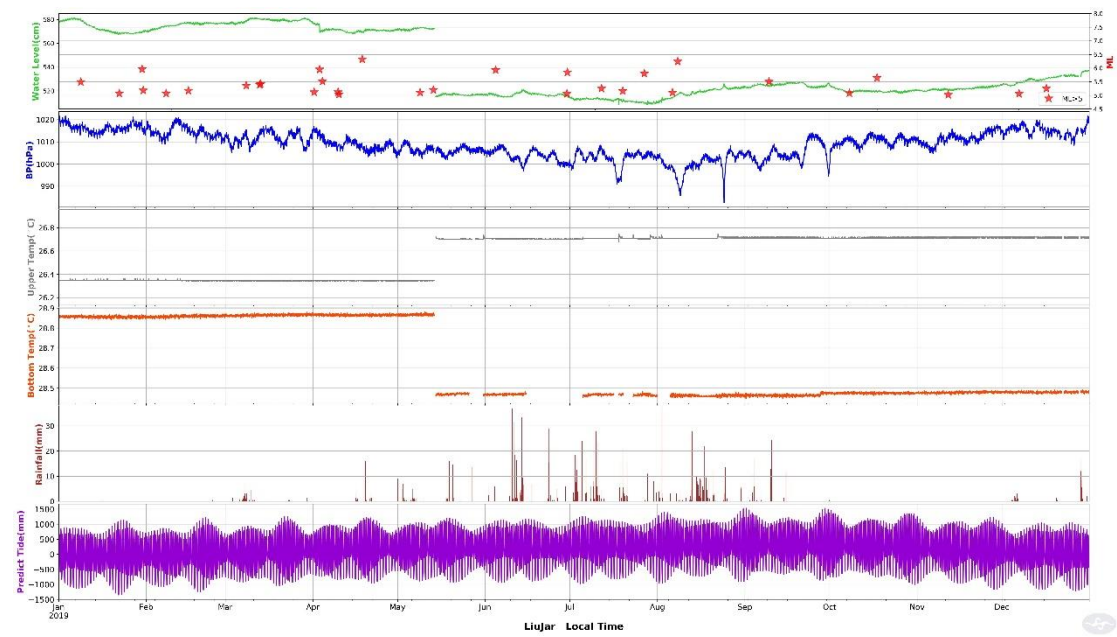
(b)



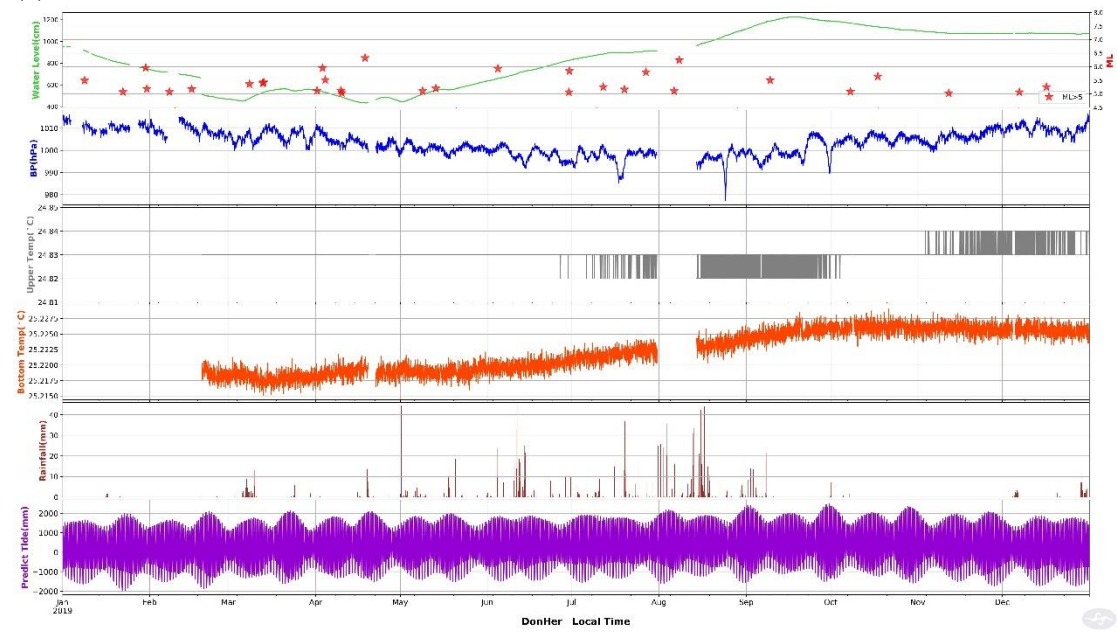
(c)



(d)



(e)



(f)

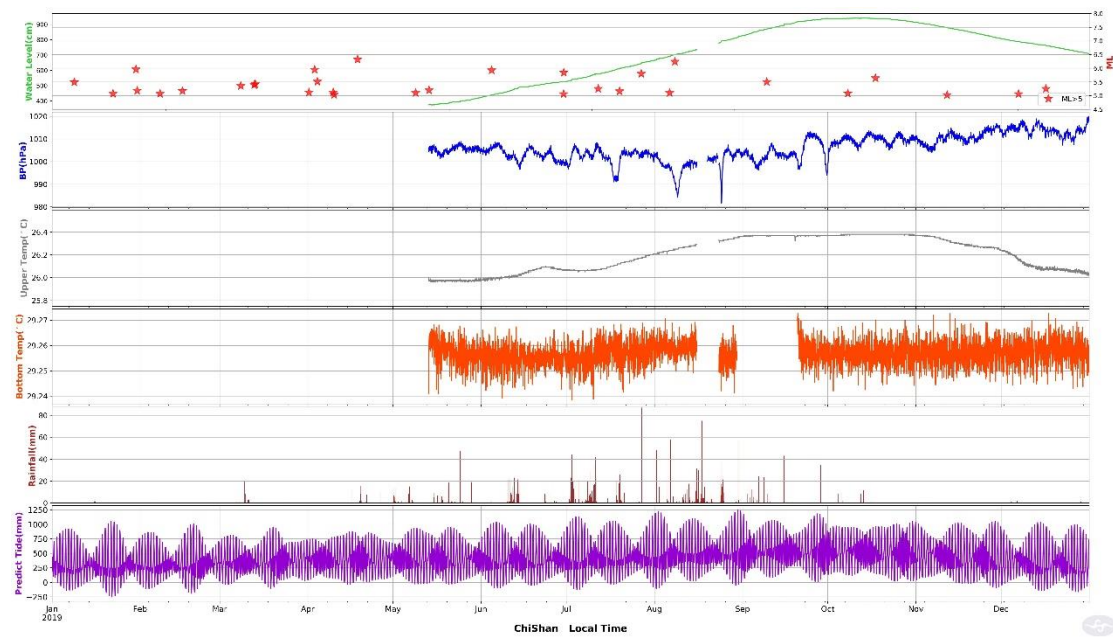


圖 3.2.4 本局 2019 年地震地下水位觀測時序圖，(a)壯圍 (b)花蓮 (c)那拔 (d)六甲 (e)東和 (f)赤山。圖中綠線表示地下水位，紅色星號表示規模 5.0 以上且深度小於 40 公里內地震，藍線表示氣壓，灰線表示表層水溫，紅線表示底層水溫，棕色直條表示鄰近地區降雨量，紫線表示理論地潮。

Figure 3.2.4 Time series of seismic groundwater observation in 2019 at: (a)Zhuangwei, (b)Hualien, (c)Naba (d)Liuja (e)Donhe (f)Chishan. Green lines: water level; red stars: earthquakes of local magnitude 5.0 or greater and less than 40 km deep; blue line: atmospheric pressure; gray line: upper temperature; red line: bottom temperature; brown bar chart: rainfall near the station; purple line: theoretical tide

4. 地磁觀測 Geomagnetic observation

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，而新升級之三分量儀器儀能提供更詳細的地磁物理量，利用不同方法去除地磁場固有週期之變化量，以瞭解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46,500nT，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。2019年地磁場觀測變化如圖3.2.5所示。

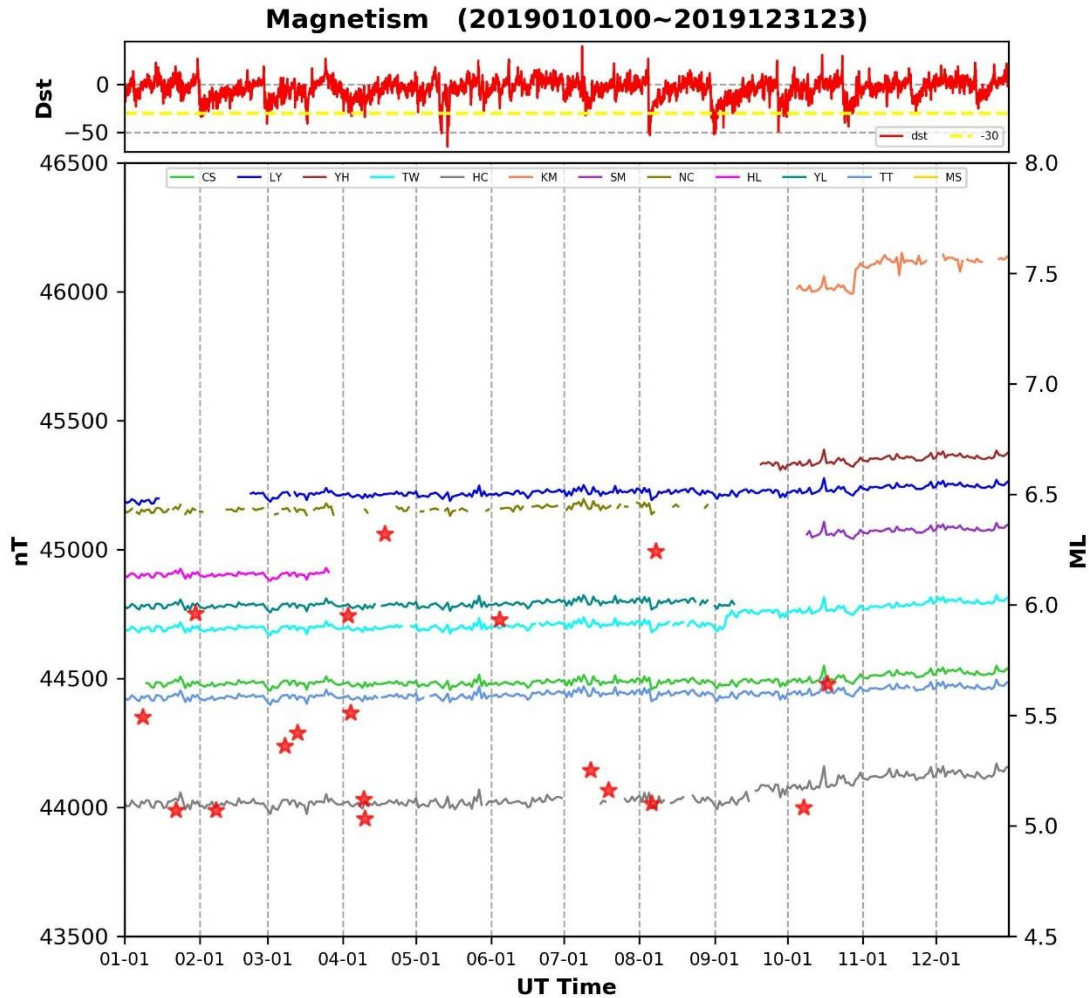


圖3.2.5 圖中上方為2019年全球觀測地磁擾動指數(Dst index)時序圖，顯示地磁場受太陽風影響擾動的程度。紅色線為地磁指數，黃色線為磁爆門檻值(Dst=-30)。圖的下方為本局2019年所有測站的地磁觀測值(左軸，單位:nT)。紅色星號表示發生規模5.0以上且深度小於40公里之地震的時間與規模。測站站名中英文對照如下：臺東池上CS、苗栗鯉魚潭站LY、桃園爺亨站YH、臺南灣丘站TW、屏東墾丁站HC、金門站KM、南投日月潭站SM、宜蘭內城站NC、花蓮加灣站HL、花蓮玉里站YL、臺東卑南站TT、屏東馬仕站MS。

Figure 3.2.5 Top: Red line: disturbance storm time (Dst) index; yellow line: threshold value of magnetic storm (Dst=-30). Bottom: Time series of the geomagnetic observation of 2018. Lines of different colors represent different stations. Red stars denote of local magnitude 5.0 or greater and less than 40 km deep.

5. 地電觀測 Geoelectric observation

本局於全臺建置20個地電觀測站，每個量測區內挑選3個接地點，取其1點為共用點，與另外兩點形成南北與東西向的電極對，以此量測兩點間之自然電位差(非極化電極)，透過中華電信銅纜電話線路連結接地電極與儀器量測端，並透過寬頻網路將量測資料回傳。以連續記錄方式持續觀測，取樣率為15赫茲(Hz)，可以記錄到許多震前、震中、震後的地下自然電位變化的案例，進而瞭解斷層帶是否有條件在大地震之前產生巨大的極化電荷與電場變化。2019年各站地電電位差變化情形如圖3.2.6。

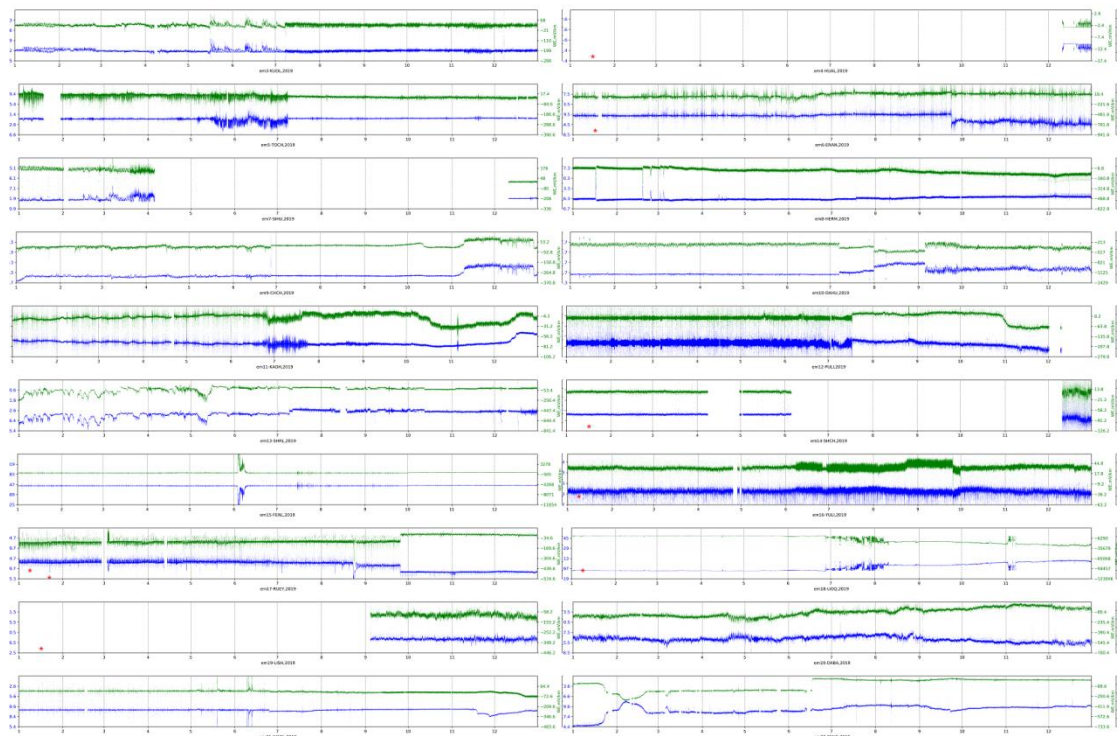


圖 3.2.6 圖中為本局 2019 年各測站的地電觀測值，綠色為東西向，藍色為南北向(單位:mV/km)。紅色星號表示發生規模 5.0 以上且深度小於 40 公里之地震的時間與規模。測站站名中英文對照如下：過嶺 KUOL、復興 HUAL、頭城 TOCH、南澳 ENAN、四湖 SIHU、和美 HERM、將軍 CHCH、大湖 DAHU、左營 KAOH、埔里 PULI、士林 SHRL、新城 SHCH、鳳林 FENL、玉里 YULI、瑞源 RUEY、六龜 LIOQ、梨山 LISH、達邦 DABA、萬巒 WANL、楓港 FENG。

Figure 3.2.6 Time series of the geoelectric observation of 2019. Green lines are NS component and blue lines are EW component. Red stars denote earthquakes of local magnitude 5.0 or greater and less than 40 km deep.

四、地震速報作業 Earthquake rapid reporting operation

(一) 有感地震報告 Felt earthquake reports

本局於2019年共發布401筆有感地震報告，其中66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；335筆為震度影響範圍較小之小區域有感地震。2019年臺灣地區規模6以上地震計有2起，分別為4月18日13時01分花蓮秀林芮氏規模6.3地震及8月8日5時28分宜蘭花蓮交界鄰近東方海域芮氏規模6.2地震。

前述66筆顯著有感地震報告，其平均作業時效為地震發生後4分56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。2019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、學術機構及大眾媒體等，提供防震減災之通報與應用。

2019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。

2019

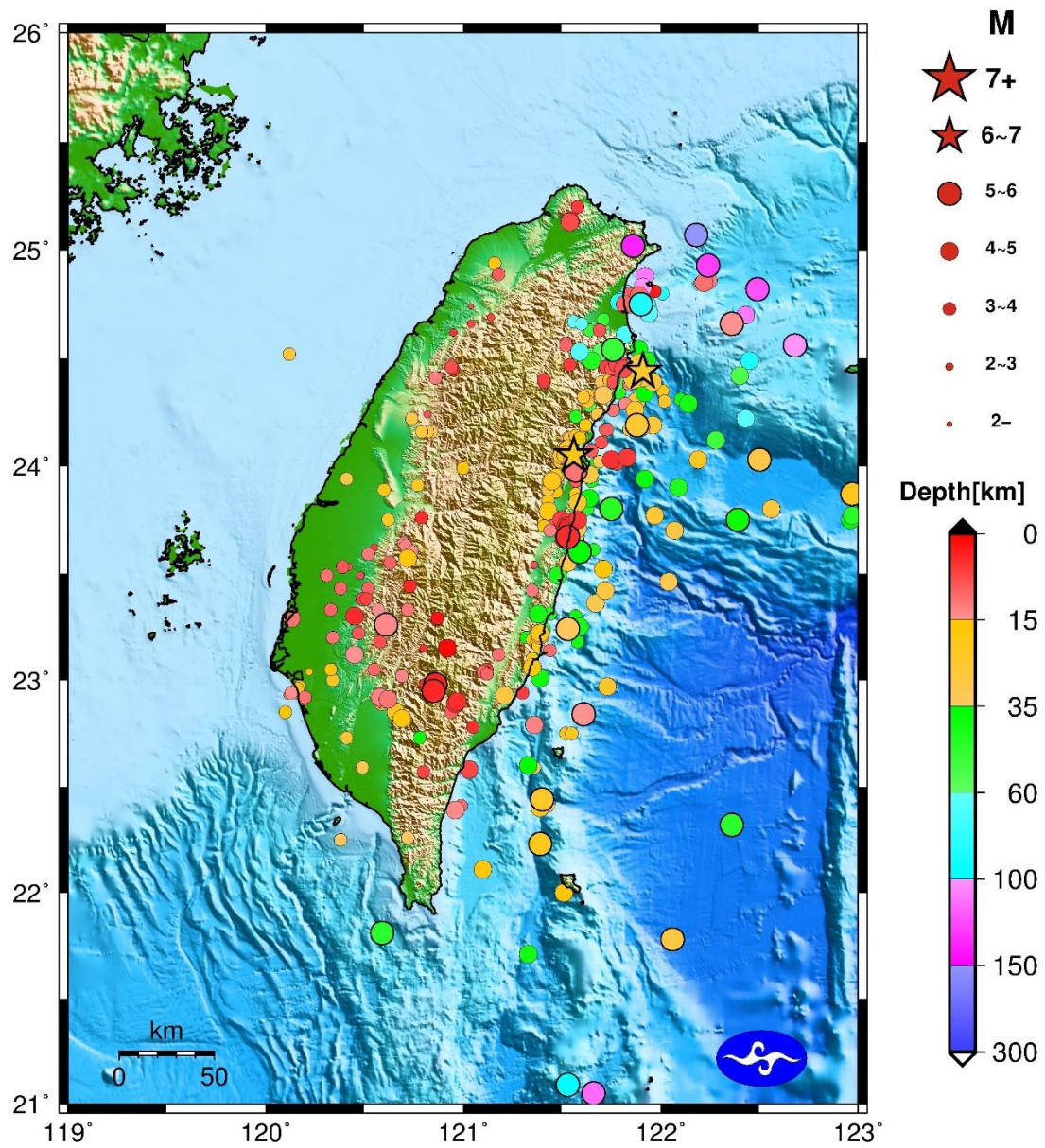


圖4.1.1 2019年有感地震報告震央分布圖(★：規模6以上)。

Figure 4.1.1 Felt earthquakes in 2019 (★: Magnitude ≥ 6)

表 4.1.1 2019 年各月份有感地震之規模統計表。

Table 4.1.1 Magnitude of felt earthquakes in 2019 by month

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	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
規模 5~6 個數	4	2	3	5	2	3	3	1	1	2	1	2	29
規模 4~5 個數	8	5	15	13	11	8	7	19	7	6	7	8	114
規模 3~4 個數	29	11	14	27	15	16	16	26	18	28	13	11	224
規模 2~3 個數	8	5	1	3	3	0	3	2	1	0	2	3	31
規模 1~2 個數	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
規模 0~1 個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	49	23	33	49	31	28	29	49	27	36	23	24	401

表 4.1.2 2019 年各月份有感地震之震度統計表。

Table 4.1.2 Intensity of felt earthquakes in 2019 by month

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	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
震度 6 個數	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
震度 5 個數	1	1	1	5	2	1	0	5	2	0	1	1	20
震度 4 個數	12	5	4	12	6	3	6	22	5	6	2	4	87
震度 3 個數	22	5	9	16	6	9	12	12	8	17	4	8	128
震度 2 個數	11	10	18	12	11	11	8	8	11	8	11	10	129
震度 1 個數	3	2	1	3	6	4	3	1	1	5	5	1	35
震度 0 個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	49	23	33	49	31	28	29	49	27	36	23	24	401

表 4.1.3 2019 年各月份有感地震報告之個數統計表。

Table 4.1.3 Number of felt earthquakes in 2019 by month

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	8	5	8	11	9	4	0	11	1	3	1	5	66
小區域地震個數	41	18	25	38	22	24	29	38	26	33	22	19	335
合計	49	23	33	49	31	28	29	49	27	36	23	24	401

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

2019年顯著有感地震報告共66筆，速報系統全區網自動定位之時效平均約1分29秒完成，經值班人員檢視地震訊號、確認資訊後，平均在4分56秒完成報告產製與對外發布作業，如圖4.2.1所示。

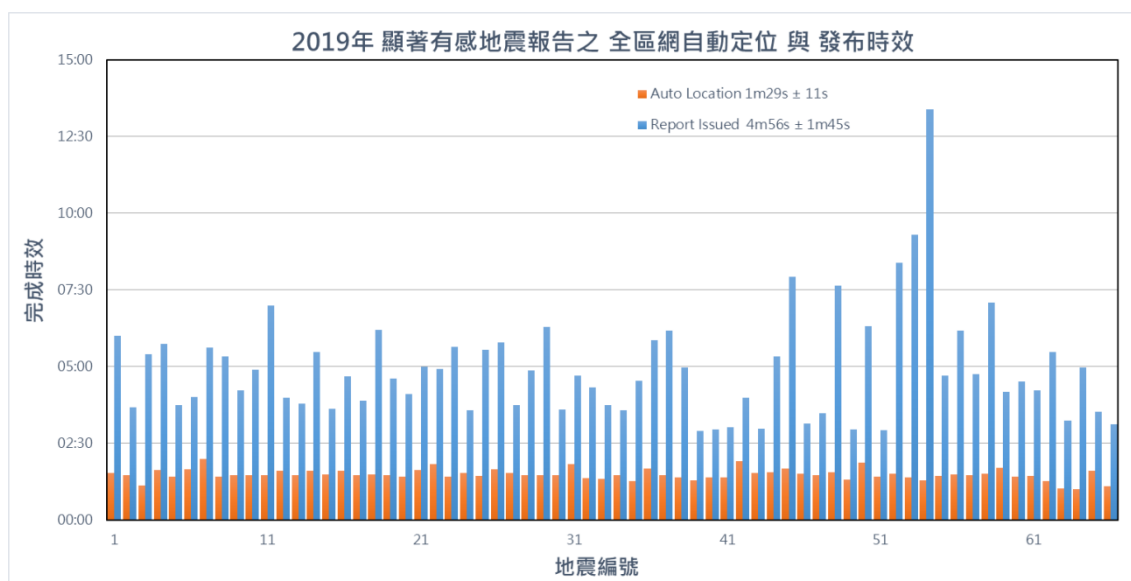


圖4.2.1 2019年顯著有感地震自動定位與主動通報發布時效統計圖。

Figure 4.2.1 Auto-location and official report issuance for significant felt earthquakes in 2019

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

2019 年太平洋海嘯警報中心 (PTWC) 針對太平洋沿岸地區發出 40 報次之海嘯警報電文，共 33 起海域地震事件，其中有 3 起達到警戒或觀察報文的門檻，最大地震事件為 5 月 14 日發生於巴布亞紐幾內亞海域，規模 7.7 之強震(PTWC 發布為規模 7.7，後經美國地質調查所測報發布為規模 7.6)，如圖 5.1 所示；2019 年 PTWC 將臺灣地區列為海嘯警戒區域之事件共計 0 件。

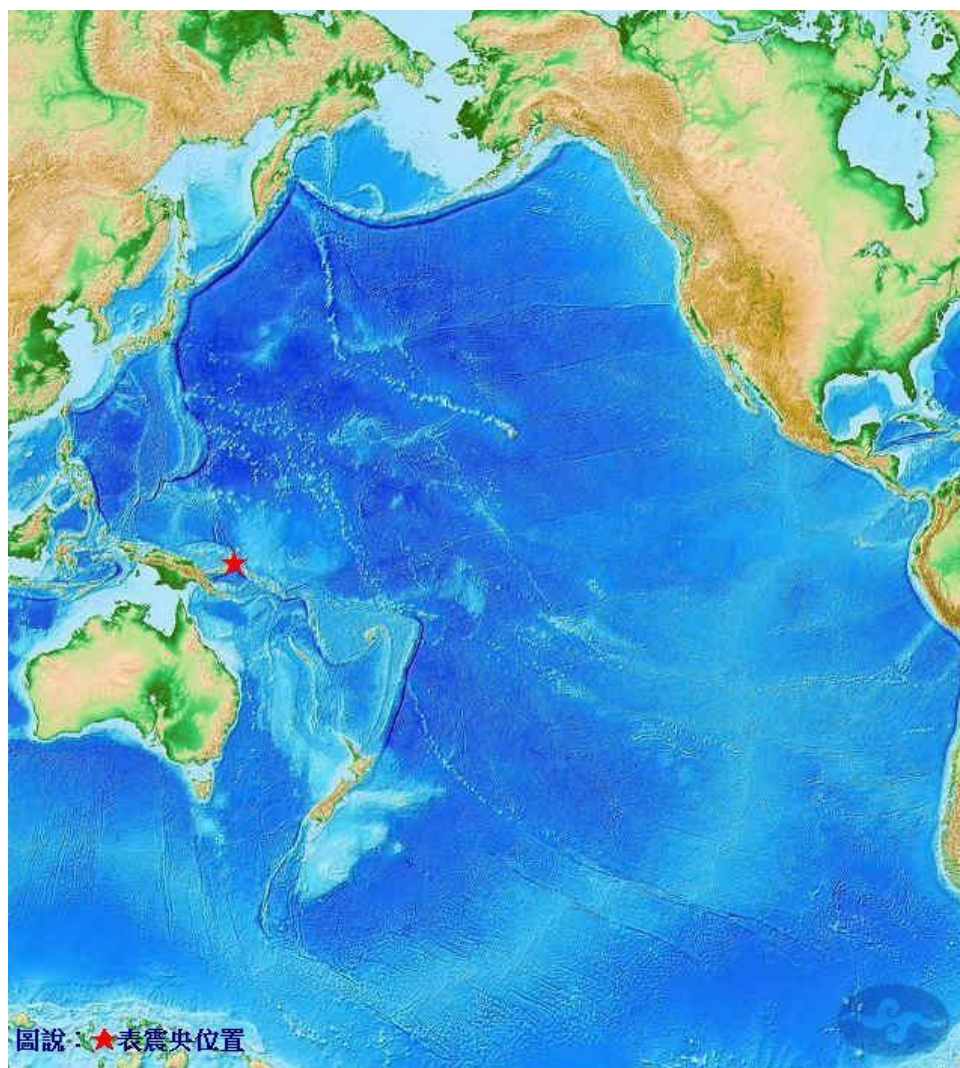


圖5.1 2019年5月14日巴布亞紐幾內亞規模7.7強震位置圖。

Figure 5.1 Epicenter of the magnitude 7.7 May 14, 2019 Papua New Guinea 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），為地震預警的限制。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 **Promotion plans**

本局位屬強震預警防救災體系之上游預警資訊提供者的角色，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) 2019 年執行成效 Implementation and performance in 2019

1. 系統效能 System performance

檢視2019年地震預警系統運作情形，總共發布37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4.86公里，島外為25.58公里，總平均為12.7公里（表6.2.1、圖6.2.1），規模誤差則平均為0.21（表6.2.1、圖6.2.2）。

表 6.2.1 2019 年強震即時警報時效與誤差統計表。

Table 6.2.1 System performance in 2019

對外發布第一報日期 (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)			
2019-01-04 02:02:48	120.97	22.9	4.9	4.8	120.94	22.9	4.8	10	16	3.30	0.1
2019-01-04 06:59:20	120.96	22.89	4.4	4.9	120.93	22.9	4.5	10	16	3.48	0.1
2019-01-14 02:28:26	121.21	22.93	4.3	28.5	121.33	22.9	4.5	10	25	13.61	0.2
2019-01-30 13:21:36	122.39	23.75	5.9	38.8	122.08	23.81	5.6	30	27	34.73	0.3
2019-02-08 00:52:04	120.61	23.26	5	13.7	120.63	23.27	4.7	10	15	2.46	0.3
2019-02-15 22:08:07	121.75	23.8	5.1	45.6	121.75	23.88	5	30	19	8.80	0.1
2019-03-08 10:32:14	121.4	22.44	5.3	24.1	121.37	22.4	5.7	10	29	5.50	0.4
2019-03-13 04:19:15	121.86	25.02	5.3	138	121.76	25.02	4.8	40	27	11.00	0.5
2019-03-13 12:32:34	121.59	23.6	5.4	35.9	121.55	23.62	5.3	30	20	4.92	0.1
2019-03-19 12:01:34	121.93	24.75	4.9	83.2	121.74	24.84	4.5	40	23	23.13	0.4
2019-04-01 10:54:35	122.24	24.93	5.1	128.6	121.71	24.97	4.8	50	32	58.47	0.3
2019-04-03 09:52:55	120.85	22.95	5.9	4.1	120.87	22.98	5.6	10	16	3.97	0.3
2019-04-04 09:56:55	120.86	22.98	5.5	3.5	120.88	22.95	5.3	10	15	3.97	0.2
2019-04-06 05:24:55	120.69	22.82	4.5	16.9	120.69	22.79	4.5	10	18	3.30	0
2019-04-09 23:13:21	121.57	23.98	5.1	11.7	121.59	23.99	5.2	10	19	2.46	0.1
2019-04-10 04:24:13	121.56	23.97	4.8	10.3	121.58	23.98	5	10	16	2.46	0.2
2019-04-10 06:57:52	121.88	24.19	5	25.7	121.76	24.2	4.8	10	19	13.25	0.2
2019-04-15 23:26:22	121.52	24.05	4.2	20	121.53	24.03	4.5	20	17	2.46	0.3
2019-04-18 13:01:07	121.56	24.05	6.3	20.3	121.53	24.05	6.1	20	14	3.30	0.2
2019-04-18 13:17:26	121.53	24.08	4.2	20.6	121.52	24.06	4.5	20	20	2.46	0.3
2019-05-02 18:44:43	121.93	24.48	4.8	41.7	121.88	24.46	4.8	30	17	5.92	0
2019-05-08 23:48:47	122.45	24.81	4.9	123.6	121.75	24.65	4.6	40	36	78.99	0.3
2019-05-13 16:55:21	121.88	24.76	4.9	88.2	121.66	24.78	4.9	50	25	24.30	0
2019-05-22 09:37:25	121.64	23.97	4.6	25.7	121.61	24	4.6	20	16	4.67	0
2019-05-23 14:12:49	121.56	24.01	4.8	14.3	121.55	23.99	5	20	16	2.46	0.2
2019-05-31 23:53:18	120.57	22.93	4.6	12.8	120.61	22.92	4.6	10	15	4.54	0
2019-06-04 17:46:19	121.59	22.85	5.6	13.9	121.37	22.94	5.8	10	23	26.15	0.2
2019-06-06 03:27:20	121.59	23.83	4.5	22.6	121.61	23.85	4.6	20	17	3.11	0.1
2019-06-30 03:44:12	122.42	22.29	5.7	44.5	121.63	22.61	5.5	10	41	93.76	0.2
2019-08-02 21:53:09	121.54	23.7	4.5	6.6	121.53	23.71	4.6	10	17	1.56	0.1
2019-08-03 06:24:44	121.55	23.68	4.8	6.3	121.5	23.69	4.7	10	18	5.61	0.1
2019-08-06 09:19:48	121.54	23.66	4.9	5	121.48	23.67	5	10	18	6.69	0.1
2019-08-06 09:31:30	121.54	23.68	4.5	5	121.51	23.68	4.7	10	23	3.30	0.2
2019-08-08 05:28:03	121.91	24.43	6	22.5	121.88	24.45	6.4	20	18	3.97	0.4
2019-08-08 07:02:23	121.82	24.61	4.6	66.4	121.71	24.84	4.5	30	24	28.04	0.1
2019-08-16 05:41:40	120.71	23.57	4.6	18.1	120.72	23.59	4.8	20	11	2.46	0.2
2019-08-18 12:05:14	121.54	23.75	4.8	5	121.52	23.74	4.8	10	16	2.46	0
2019-11-25 09:32:42	121.75	24.03	4.6	5.1	121.72	24.03	4.5	10	31	3.46	0.1
2019-12-16 19:26:00	121.76	24.54	5.2	49.7	121.74	24.55	5	40	14	4.46	0.2

位置平均誤差(Average epicenter error) 12.7 公里(km)

規模平均誤差(Average magnitude error) 0.21

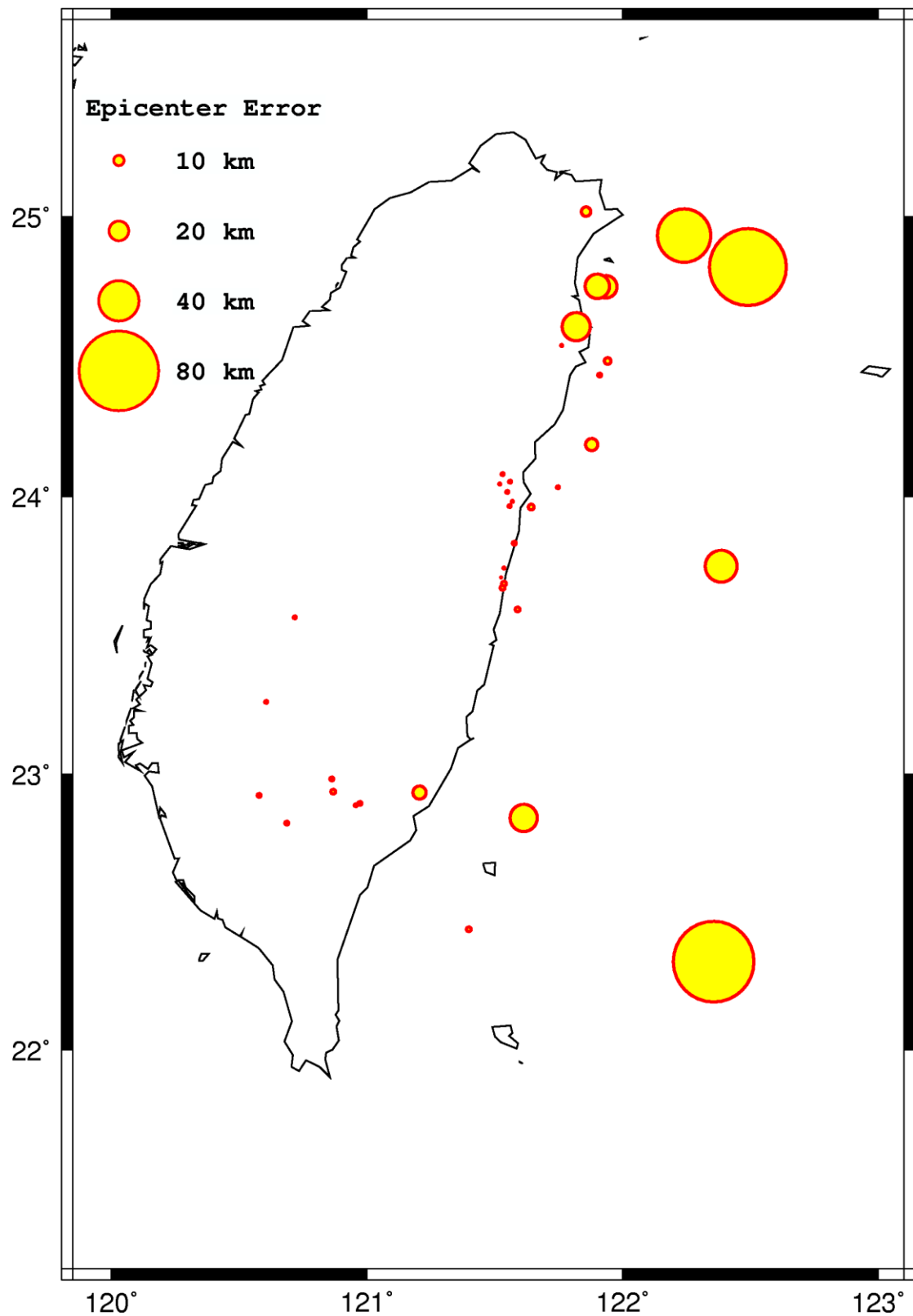


圖 6.2.1 2019 年強震即時警報震央位置誤差隨震央之分布圖。
(圓圈愈大震央誤差愈大，尺度見圖左上。)

Figure 6.2.1 Epicenter error of earthquake early warning in 2019
(The larger the circles the bigger the error)

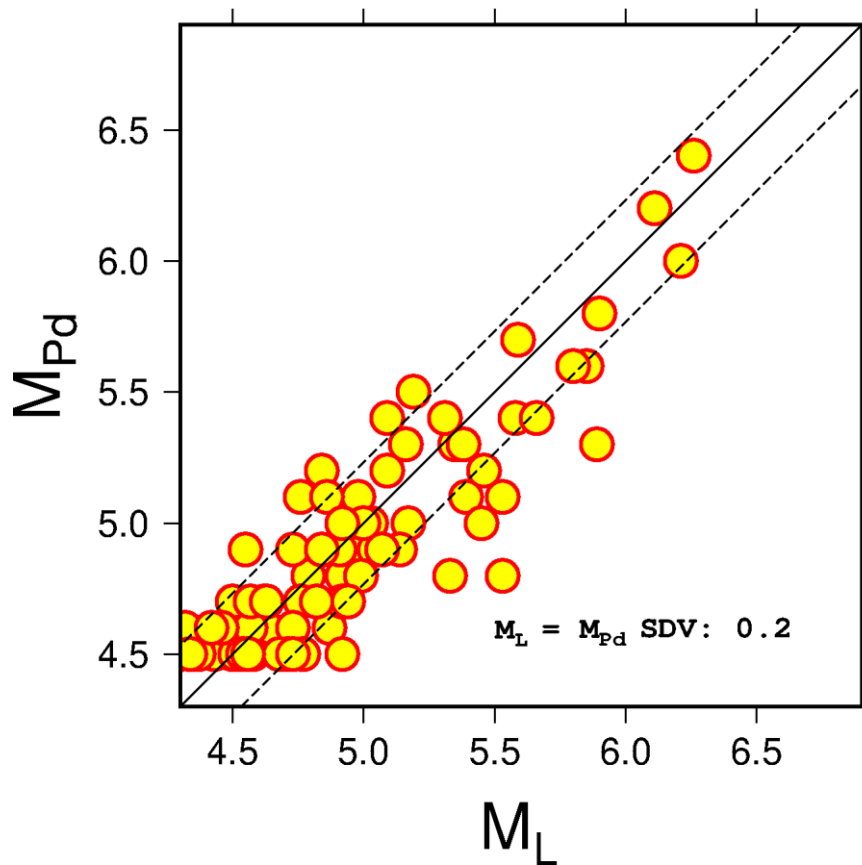


圖 6.2.2 2019 年強震即時警報地震規模誤差分布圖。（橫軸為地震目錄之地震規模，縱軸為強震即時警報地震規模。）

Figure 6.2.2 Magnitude error of earthquake early warning in 2019

該系統針對島內地震已具備良好的偵測與預警能力，以2019年8月18日12時5分，規模4.8的花蓮地震為例，系統在地震發生後16秒開始對外發布警報，並在0.1秒內完成約4649筆警報傳遞。警報發布的地震規模為4.8，震央位置與後來人工定位相差2.5公里，結果相當接近。預警效益方面，除了花蓮地區外，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23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 Example of earthquake early warning message received by 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，2019年配合教育部及國家防災日演習，進行多次演練測試。統計學校單位之接收效能如下：

- (1) 2019 年 9 月 12 日國家防災日預演，應接收測試之學校共 4,138 所，成功傳送至 3,688 校，6,708 部電腦主機接收，學校接收率 89.13%。
- (2) 2019 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 4,192 個帳號，成功傳送至 3,893 單位，7,446 部電腦主機接收，學校接收率 92.87%。

本局與外部單位合作推動地震資訊傳遞服務，至2019年累計有14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 2019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 Signees of "Cooperation to promote seismic information delivery service contract" in 2019

	單位名稱
1	財團法人國家地震工程研究中心 (推動複合型地震預警)
2	三聯科技股份有限公司 (發展複合型地震預警及 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 (行動 App)
5	東億電通有限公司 (行動 App)
6	財團法人中興工程顧問社 (行動 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	弘政通信有限公司 (廣播設備)
12	畿尼科技股份有限公司 (電梯自動控制)
13	瑞德感知科技股份有限公司 (動態導引系統)
14	中華大學工程科學博士學位學程 (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 Case discussion

2019年共觀測到2個規模大於6以上的強震，分別為4月18日發生於花蓮規模6.3地震，深度20.3公里，以及8月8日發生於宜蘭近海規模6.2地震，深度24.2公里。

(一) 2019年4月18日臺灣東部地震 April 18, 2019 earthquake in eastern Taiwan

2019年4月18日13時1分7.1秒，於花蓮縣政府西北方9.4公里的臺灣東部發生芮氏規模6.3，震源深度20.3公里的地震，詳細報告如圖7.1.1。在各地震度方面，花蓮縣銅門觀測到最大震度7級，南投縣、宜蘭縣、臺中市最大震度5級，桃園市、新竹縣、苗栗縣、新北市、彰化縣及臺北市最大震度4級，嘉義縣、新竹市、雲林縣、臺東縣、基隆市及嘉義市最大震度3級，其他地區最大震度均在3級以下。此地震的震度全島明顯有感，亦為今年第1起規模6以上的有感地震。強震即時警報達到災防告警細胞廣播訊息系統（PWS）（花蓮、臺北市）與電視臺插播門檻，分別在發震後14 秒與17 秒發布。

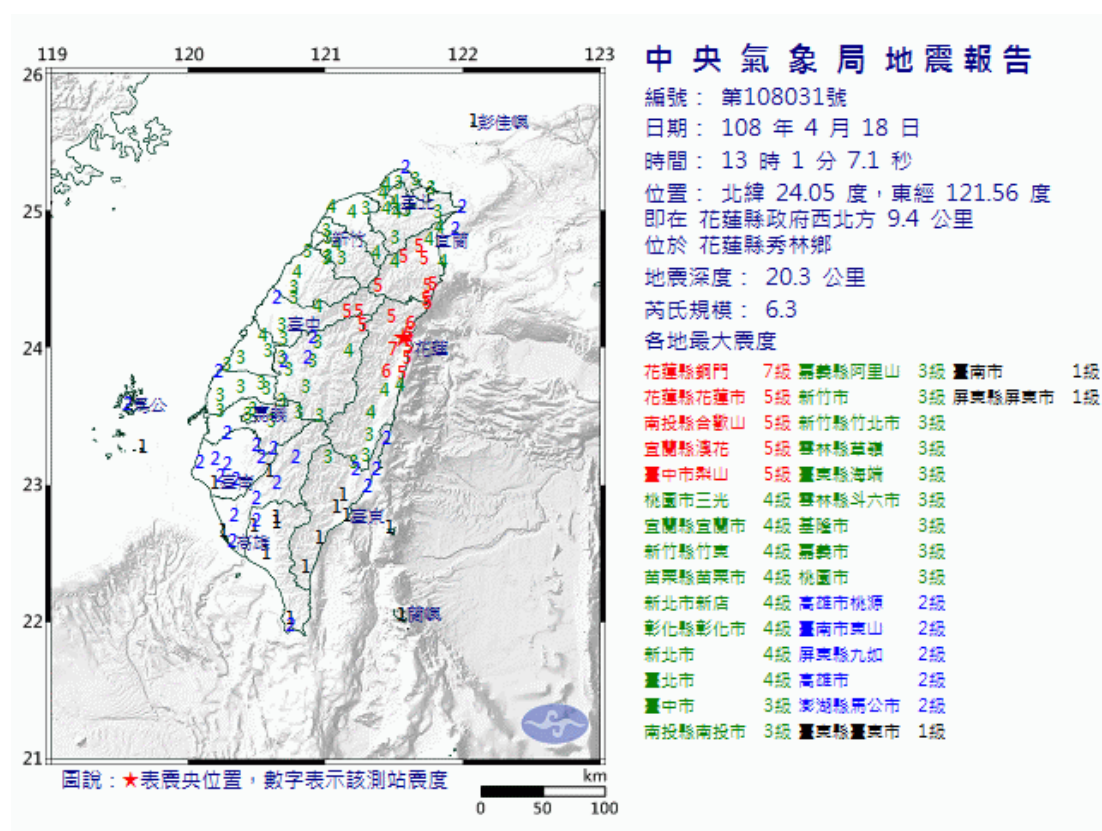


圖7.1.1 2019年4月18日臺灣東部地震之地震報告。

Figure 7.1.1 Earthquake report of April 18, 2019

根據 2019 年 4 月 18 日規模 6.3 花蓮地震序列在花蓮強震發生前後各 1 個月之空間分布圖(圖 7.1.2)與時間分布圖(圖 7.1.3)顯示，在花蓮強震前 1 個月曾發生 2 起規模大於 5 以上的地震，在花蓮強震發生後 1 個月雖然觸發較多餘震，但並未觸發規模大於 5 以上的地震。

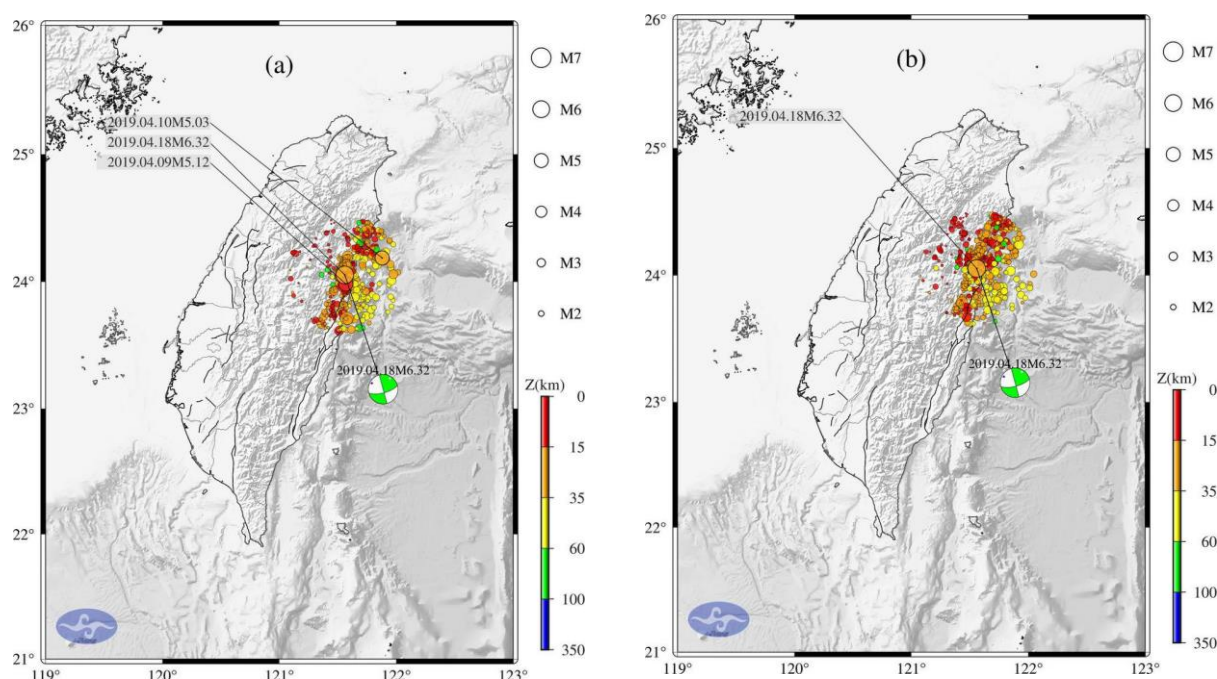


圖7.1.2 2019年4月18日規模6.3花蓮地震序列空間分布圖。(a)花蓮強震前1個月之地震空間分布圖，(b)花蓮強震後1個月之地震空間分布圖。

Figure 7.1.2 Seismic distribution of March 19 to April 18, 2019 (a) & April 18 to May 18, 2019 (b)

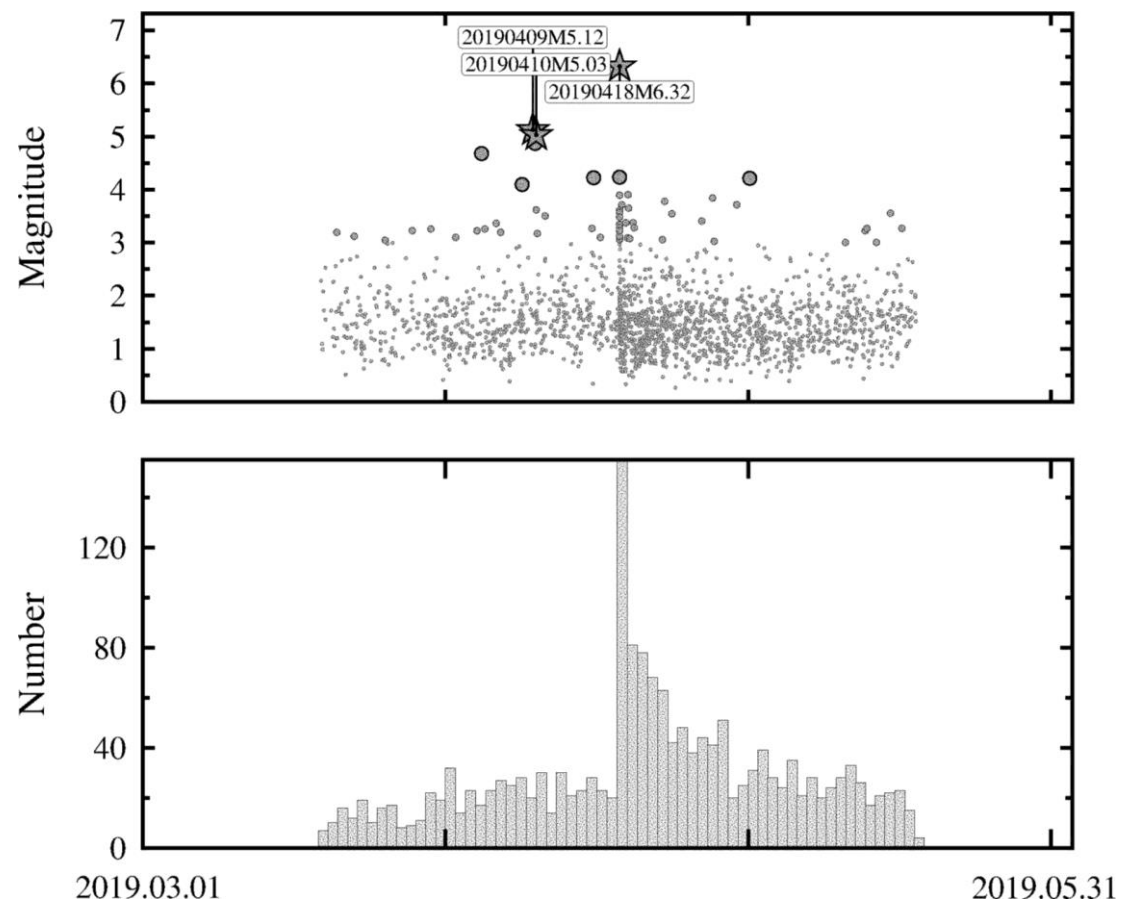


圖7.1.3 2019年4月18日規模6.3花蓮地震序列時間分布圖。

Figure 7.1.3 Temporal distribution of earthquake magnitude and number of
March 19 to May 18, 2019

(二) 2019 年 8 月 8 日臺灣東部海域地震 August 8, 2019 earthquake in the eastern waters of Taiwan

2019年8月8日5時28分3.5秒，於宜蘭縣政府南偏東方35.9公里的臺灣東部海域發生芮氏規模6.2，震源深度24.2公里的地震，詳細報告如圖7.2.1。在各地震度方面，宜蘭縣武塔觀測到最大震度6級，宜蘭市最大震度5級，花蓮縣、新北市、臺中市、臺北市、桃園市及新竹縣最大震度4級，南投縣、基隆市、苗栗縣、新竹市、彰化縣及雲林縣最大震度3級，其他地區最大震度均在3級以下。本起地震為今年第2起規模6以上的有感地震，幾乎全臺各地皆有感。強震即時警報系統在地震發生後18 秒完成強震預警、21 秒發布電視臺插播與災防告警細胞廣播（PWS）。

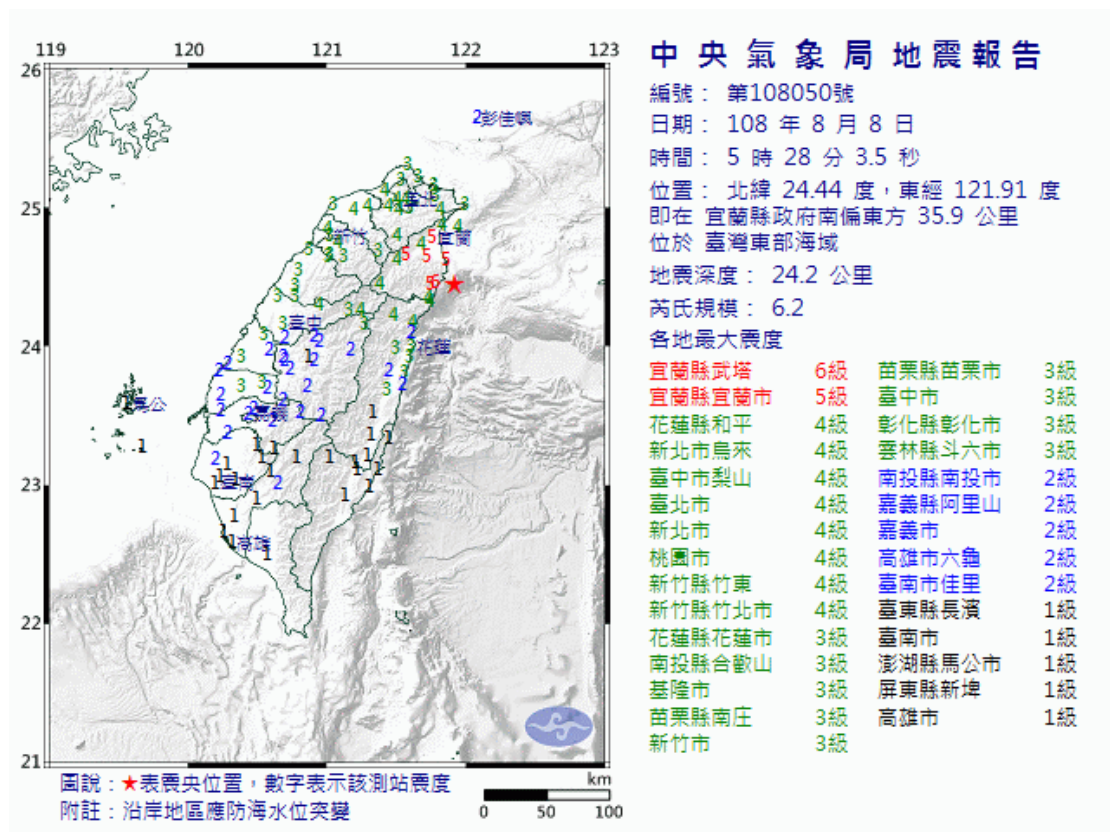


圖7.2.1 2019年8月8日臺灣東部海域地震之地震報告。

Figure 7.2.1 Earthquake report of August 8, 2019

根據2019年8月8日規模6.2宜蘭地震序列在宜蘭強震發生前後各1個月之空間分布圖(圖7.2.2)與時間分布圖(圖7.2.3)顯示，在宜蘭強震前後1個月並無發生規模大於5以上的地震，在宜蘭強震發生後僅在短短數日內略為觸發較多餘震，但隨即恢復至背景地震活動趨勢。

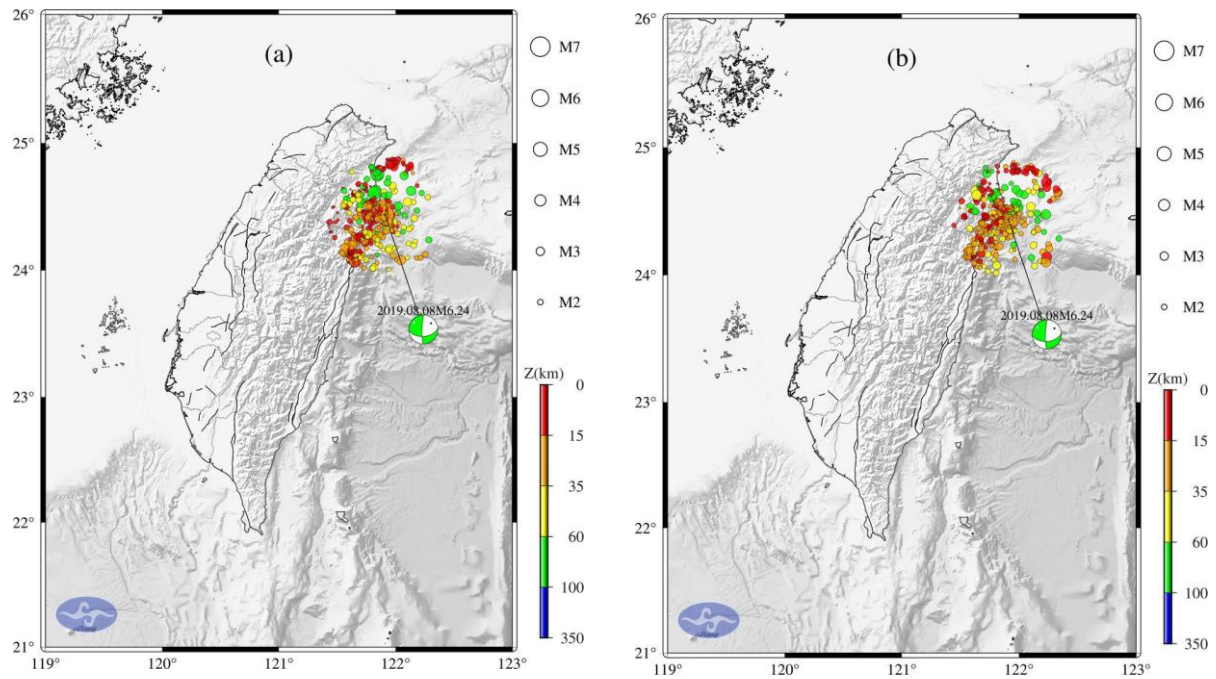


圖7.2.2 2019年8月8日規模6.2宜蘭地震序列空間分布圖。(a)宜蘭強震前1個月之地震空間分布圖，(b)宜蘭強震後1個月之地震空間分布圖。

Figure 7.2.2 Seismic distribution of July 9 to August 8, 2019 (a) & August 8 to September 7, 2019 (b)

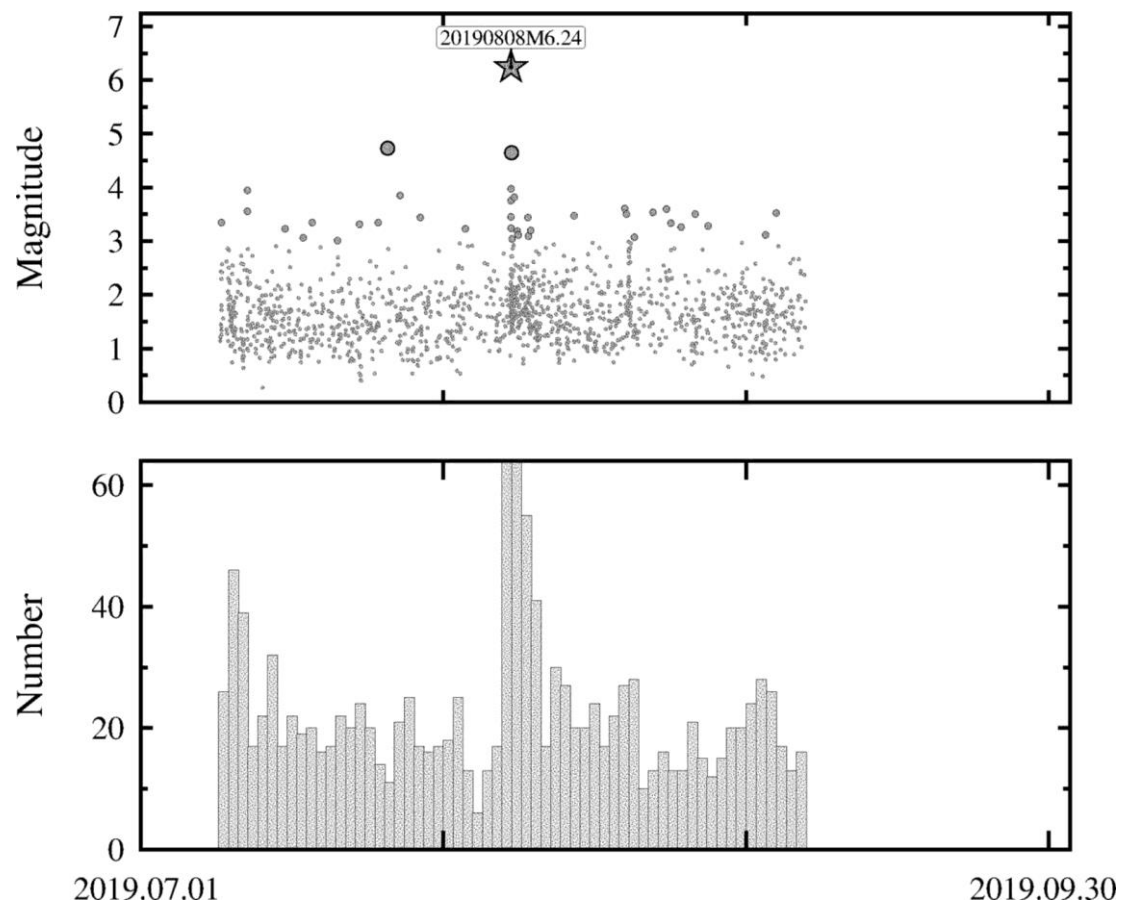


圖 7.2.3 2019 年 8 月 8 日規模 6.2 宜蘭地震序列時間分布圖。(a)宜蘭強震前 1 個月之地震時序分布圖，(b)宜蘭強震後 1 個月之地震時序分布圖。

Figure 7.2.3 Temporal distribution of earthquake magnitude and number of July 9 to September 7, 2019

八、結語 Conclusion

2019年為本局強地動觀測第5期計畫執行的第4年，在各項地震與地球物理觀測業務上均有持續的進展，特別是調整本局地震震度分級，修改本局地震震度計算方法，高震度階的部分再增加分級，強化震度與地震災害關聯性，提升我國救災、公共與民間單位地震應變效能，並完成新地震震度分級表調整行政程序。新制於2020年1月1日實施，臺灣的地震觀測再邁向另一里程碑。另外，成立火山專家諮詢小組，草擬火山活動等級與預警發布機制，以利後續制訂「火山噴發訊息發布作業要點」，使火山監測相關作業得以依循。

在前瞻基礎建設陸域觀測站更新方面，完成6地下水測站及7磁力測站更新儀器設備，合計升級13座地球物理觀測站，以強化地震前兆監測效能。在前瞻建設擴建海纜觀測系統方面，主要辦理光纖海纜與海底觀測設備之製造及測試場驗等海纜鋪設前置作業，預計於2020年第4季完成海纜鋪設及建置6座海底地震海嘯觀測站。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

2019 年本局同仁發表地震相關論文共 19 篇：

1. Biete, C., Brown, D., Lund, B., Alvarez-Marron, J., Wu, Y. M., Kuo-Chen, H., Ho, C. W. (2019) : The influence of inherited continental margin structures on the stress and strain fields of the south-central Taiwan fold-and-thrust belt, *Geophysical Journal International*, Volume 219, Issue 1, October 2019, Pages 430-448, doi: 10.1093/gji/ggz296.
2. Chamoli, B. P., Kumar, A., Chen, D. Y., Gairola, A., Jakka, R. S., Pandey, B., Kumar, P., and Rathore, G. (2019) : A prototype earthquake early warning system for northern India, *Journal of Earthquake Engineering*, doi: 10.1080/13632469.2019.1625828.
3. Chen, D. Y. (2019) : Develop an on-site earthquake early warning system by using machine learning method. Poster session at the meeting of the AGU meeting, San Francisco, America.
4. Chen, D. Y., Lin, T. L., Hsu, H. C., Hsu, Y. C., and Hsiao N. C. (2019) : An approach to improve the performance of the earthquake early warning system for the 2018 Hualien earthquake in Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 30, 423-433.
5. Hsiao, N. C. and Shin, T. C. (2019) : Developments of the seismic monitoring in Taiwan after the 1999 Chi-Chi earthquake, *International Conference in Commemoration of 20th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake*, 15-19 September, 2019, Taipei, Taiwan, ROC. (oral)
6. Hwang, R. D., Lin, C. Y., Lin, C. Y., Chang, W. Y., Lin, T. W., Huang, Y. L., and Chang, J. P. (2019) : Multiple-event analysis of the 2018 ML 6.2 Hualien earthquake using source time functions, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 30, 367-376, doi: 10.3319/TAO.2018.11.15.01.
7. Lo, Y. C., Yue, H., Sun, J. B., and Zhao, L. (2019) : The 2018 Mw6.4 Hualien earthquake: Dynamic slip partitioning reveals the spatial transition from mountain building to subduction, *International Conference in Commemoration of 20th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake*, Howard Civil Service International House. (公務人

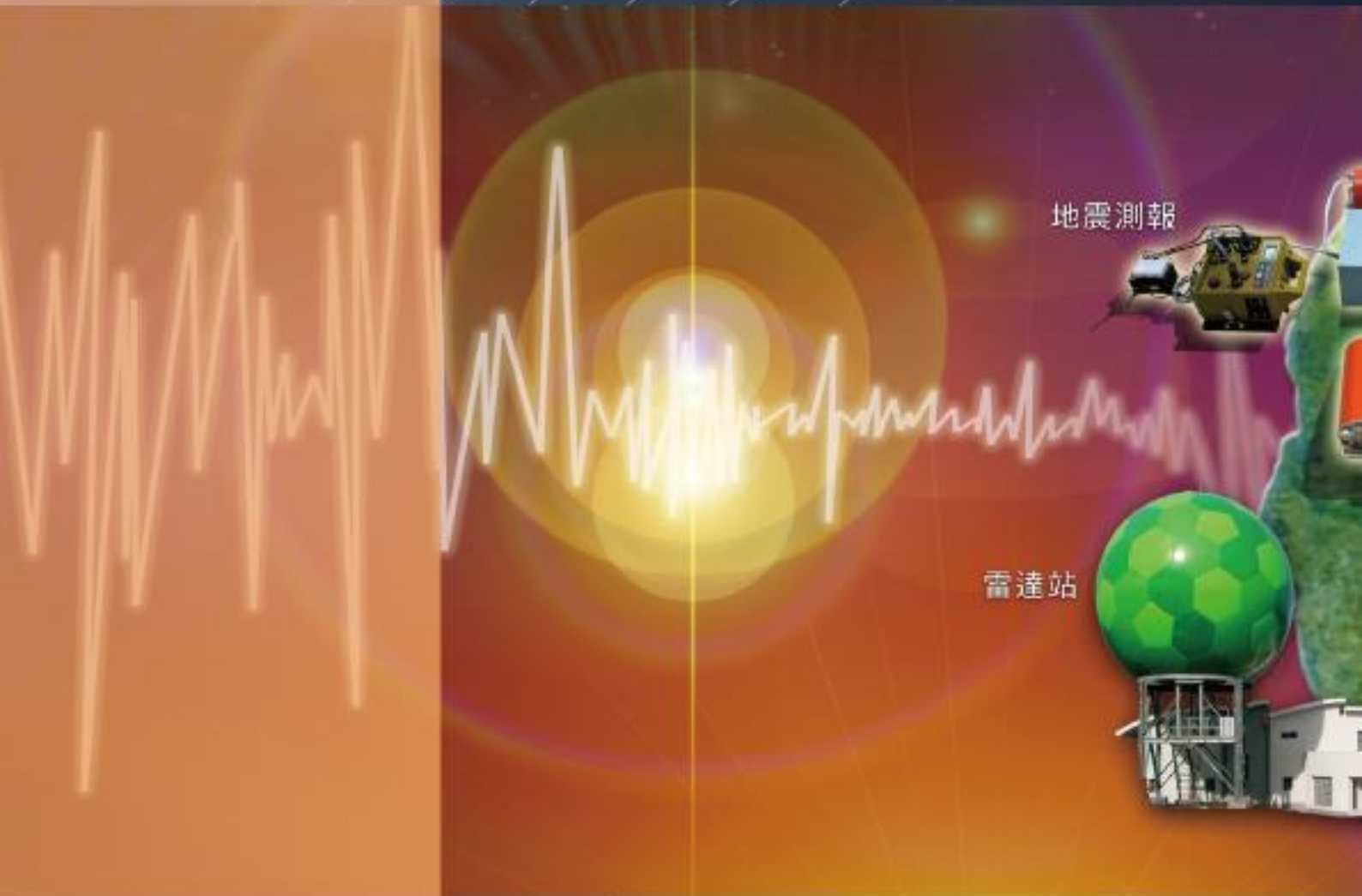
力發展學院福華國際文教會館) (oral)

8. Lo, Y. C., Yue, H., Sun, J. B., Zhao, L., and Li, M. J. (2019) : The 2018 Mw6.4 Hualien earthquake: Dynamic slip partitioning reveals the spatial transition from mountain building to subduction, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 524, 2019, 115729.
9. Pu, H. C., Lin, C. H., and Hsu Y. J. (2019) : Spatial variation of stress field associated with volcano- hydrothermal inflation at the Tatun Volcano Group, northern Taiwan, 2019 Asia Oceania Geosciences Society, SE02-A034, INVITED. 補助機構：科技部 MOST 107-2116-M-052-001。地點：新加坡。(oral)
10. Pu, H. C., Lin, C. H., Hsu, Y. J., and Chang, L. C. (2019) : Volcano-hydrothermal inflation revealed by the spatial variation of stress field at the Tatun Volcano Group, northern Taiwan, 2019 Japan Geoscience Union, SVC38-P45. 補助機構：科技部 MOST 107-2116-M-052-001。地點：日本東京。(poster)
11. Pu, H. C., Lin, C. H., Hsu, Y. J., Lai, Y. C., Shih, M. H., Murase, M., Chang, L. C. (2019) : Volcano-hydrothermal inflation revealed through spatial variation in stress field in Tatun Volcano Group, Northern Taiwan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2019.106712, accepted. (SCI)
12. Pu, H. C., Lin, C. H., Lai, Y. C., Shih, M. H., Chang, L. C., Lee, H. F., Li, P. T., Hong, G. T., Li, Y. H., Chang, W. Y., and Lo, C. H. (2019) : Active volcanism revealed from a seismicity conduit in the long-resting Tatun Volcano Group of northern Taiwan, 2019 American Geophysical Union Fall meeting, S23F-0700. 補助機構：科技部 MOST 108-2116-M-052-003。地點：美國舊金山。(poster)
13. 陳達毅 (2019) : 發展人工智慧現地型地震預警系統，臺灣地球科學聯合學術研討會，2019 年 5 月 14~17 日，臺北南港展覽館。
14. 蒲新杰、林正洪、許雅儒、張麗琴 (2019) : 大屯火山群之地下應力場分析，2019 臺灣地球科學聯合學術研討會，臺北南港展覽館。(口頭報告)
15. 賴姿心、吳逸民、趙韋安 (2019) : 利用臺灣井下地震儀陣列探討場址效應，歐洲地球科學聯合會年會，奧地利維也納。(口頭報告)

16. 蕭乃祺（2019）：臺灣地震速報系統至預警系統之建立，地質季刊第 38 卷 3 期，45-46 頁。
17. 蕭乃祺（2019）：臺灣地震測報的發展，科學研習月刊，第 58 卷第 6 期。
18. 蕭乃祺（2019）：臺灣地震震度分級調整之探討，中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 108 年年會暨學術研討會，2019 年 5 月 14-17 日，中華民國臺北。
19. 蕭乃祺、辛在勤（2019）：集集地震後氣象局地震測報工作之進展，中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 108 年年會暨學術研討會，2019 年 5 月 14-17 日，中華民國臺北。

(二) 參考文獻 **References**

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**

