

地震 年報

繞極軌道衛星

飛機投落送

海底地震儀觀測系統

天文望遠鏡

氣象觀測坪

成功浮球

波浪觀測浮標

探空氣球

衛星接收天線

頭城陸上站

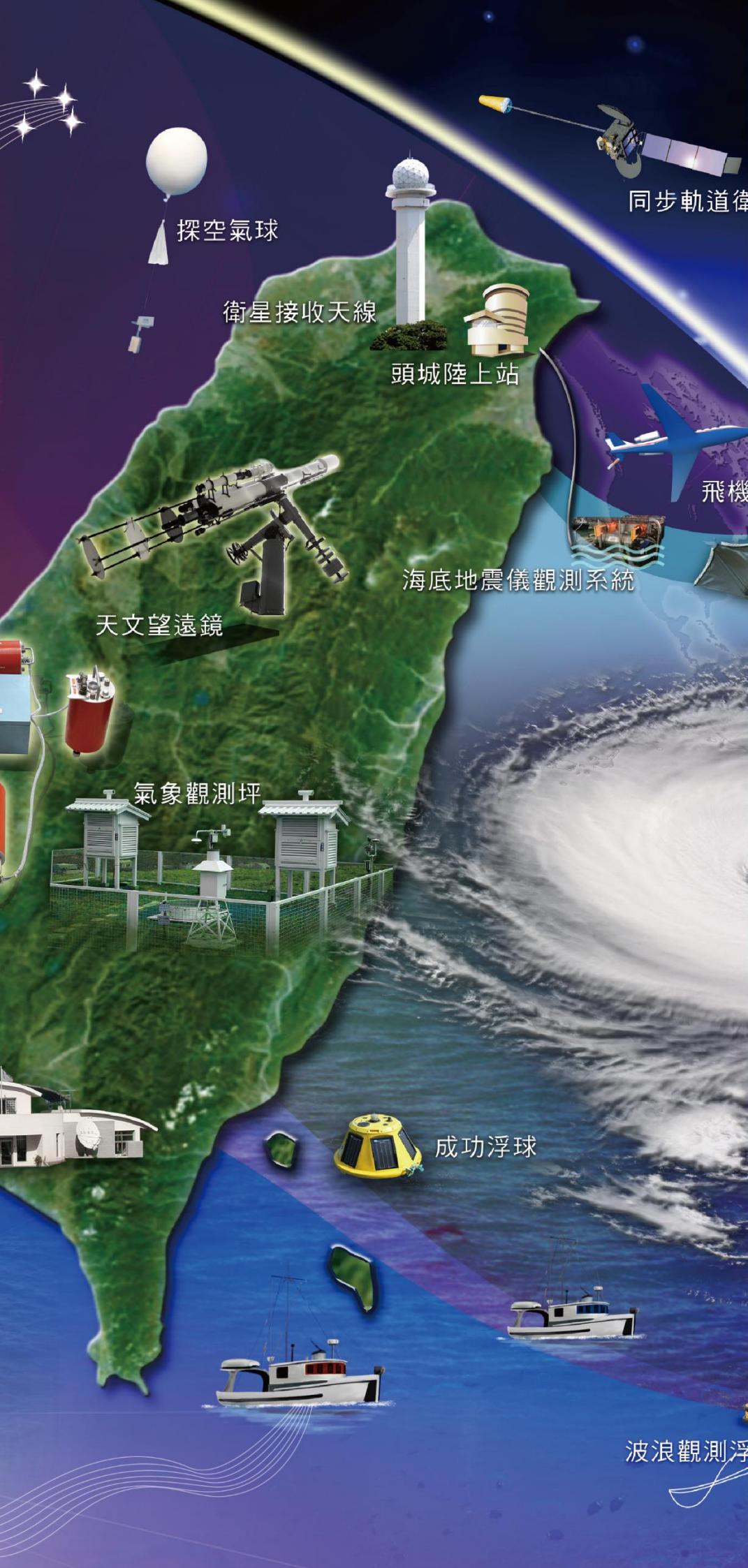
同步軌道衛星

Seismic Observation

2023 Annual Report

交通部中央氣象局

Central Weather Administration



中央氣象署 112 年地震年報

目錄 Table of Contents

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 observation 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.....	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 Seismicity analysis in Taiwan region.....	14
2. 大屯火山地震活動分析 Local earthquakes in the Tatun Volcano Group	23
3. 小結 Summary	30
三、地球物理觀測 Geophysical observation.....	31
(一) 地球物理觀測系統 Geophysical observation system.....	31
1. 大地變形觀測網 Crustal deformation observation network.....	31
2. 地震地下水觀測網 Seismic groundwater observation network.	31
3. 地球磁場觀測網 Geomagnetic observation network	32
4. 大地電場觀測網 Geoelectric observation network	32
(二) 地球物理觀測資料分析 Geophysical observation data analysis.....	35
1. 地殼形變觀測 Crustal deformation observation	35
2. 電離層全電子含量 Ionospheric total electron content.....	38

3. 地震地下水觀測 Seismic groundwater observation.....	40
4. 地球磁場觀測 Geomagnetic observation	43
5. 大地電場觀測 Geoelectric observation	45
四、地震速報作業 Earthquake rapid reporting operation.....	45
(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) 112 年執行成效 Implementation and performance in 2023... ..	53
1. 系統效能 System performance	53
2. 執行成果 Implementation results	58
(三) 後續工作 Follow-up.....	60
七、地震個案討論 Case discussion.....	61
(一) 112 年 10 月 24 日規模 6.1 東部海域地震 October 24, 2023 earthquake in the marine area east of Taiwan.....	61
(二) 112 年 10 月 11 日規模 5.8 花蓮富里地震 October 11, 2023 earthquake in Hualien.....	64
八、結語 Conclusion	67
九、附錄 Appendix.....	68
(一) 地震測報發表論文 Published papers.....	68
(二) 參考文獻 References.....	69

一、前言 Preface

臺灣位於環太平洋地震帶上，地處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交界，是典型板塊碰撞下所產生的大陸邊緣島嶼，菲律賓海板塊持續向歐亞大陸板塊擠壓，引發臺灣地區頻繁的地震活動。

中央氣象署（以下簡稱本署）職司臺灣地區地震、海嘯及火山的監測任務，並即時發布有感地震報告、海嘯資訊及火山噴發訊息。爰於臺灣本島、離島、大屯火山地區以及東部海底廣設各式地震觀測站，包括短週期、強地動、寬頻、井下、海底地震觀測站等。另為推動地震前兆相關研究，建置各式地球物理觀測站，包括全球導航衛星系統、地震地下水觀測系統、地磁觀測系統及地電觀測系統等。

經本署統計，112年臺灣地區芮氏規模2.0以上地震超過1萬3千筆，並發布466筆有感地震報告。其中85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；381筆為震度影響範圍較小之小區域有感地震。前述85筆顯著有感地震報告，其平均作業時效為地震發生後5分14秒完成發布。相關產品除圖文報告外，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。

另為了降低地震災害、減輕民眾傷亡，本署研發強震即時警報系統。利用震央附近地震站偵測到的初達波（P波）資料，快速解算出地震規模、位置及深度，並以此預估各縣市之震度與震波到時資訊，再利用快速通訊，例如透過國家級警報（災防警報細胞廣播訊息系統 Public Warning System，PWS），搶在具威脅性的次達波（S波）到達前，對各縣市通報預估的震度及次達波到時資訊。如果強震即時警報的通報資訊，比實際破壞性次達波（S波）更快到達，在震央附近預警盲區（blind zone）以外的地方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。112年本署共發布57次強震即時警報，在發布時效表現方面，除了發生在東部外海的地震，其他島內或近海地震皆可在地震發生後10至15秒內就對外發布訊息，對距離震央35至55公里以外的地區提供預警，讓民眾有緊急應變的反應時間。

編撰此地震年報，除呈現當年度地震、海嘯及火山的活動情形外，同時也說明各作業系統與設備的建置情形，為本署地震測報業務的發展過程留下珍貴的紀錄。

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

本署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地震測報中心，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。

自民國99年起，本署執行「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101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。

為強化臺灣東部海域的地震及海嘯監測，本署自96年起開始執行海纜觀測系統建置計畫，至109年底共執行3期計畫，累計舖設完成海纜總長度735公里，並設置9座海底觀測站。各觀測站配置海底地震儀、海嘯壓力計，及其他海洋科學觀測儀器。透由井下地震觀測站與海底地震儀的互相整合後，本署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112年底，此24位元地震觀測系統的地震站已達581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101年來每年皆測得超過3萬筆地震，尤其在規模2以下的地震數量皆測得超過2萬個，相較於101年以前增加許多，其主要原因在於自101年起本署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 99至112年地震個數統計表。

Table 2.1.1 Earthquake statistics of 2010 to 2023

地 震 個 數 規 模	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
2≤M	10234	10014	8396	9816	8707	11294	10314	8639	11032	8466	11253	13496	10889	13429
M<2	13039	11781	22977	35694	28056	33545	38601	25966	39798	30855	12676	5372	3164	11980
合 計	23273	21795	31373	45510	36763	44839	48915	34605	50830	39321	23929	18868	14053	25409

*藍色背景為24位元地震觀測系統上線後且資料完整的年份。108年以後，因24位元地震資料量龐大，目前以M>2地震為優先處理對象，完整處理只到108年8月，108~112年僅列目前已處理完成的數據供參。

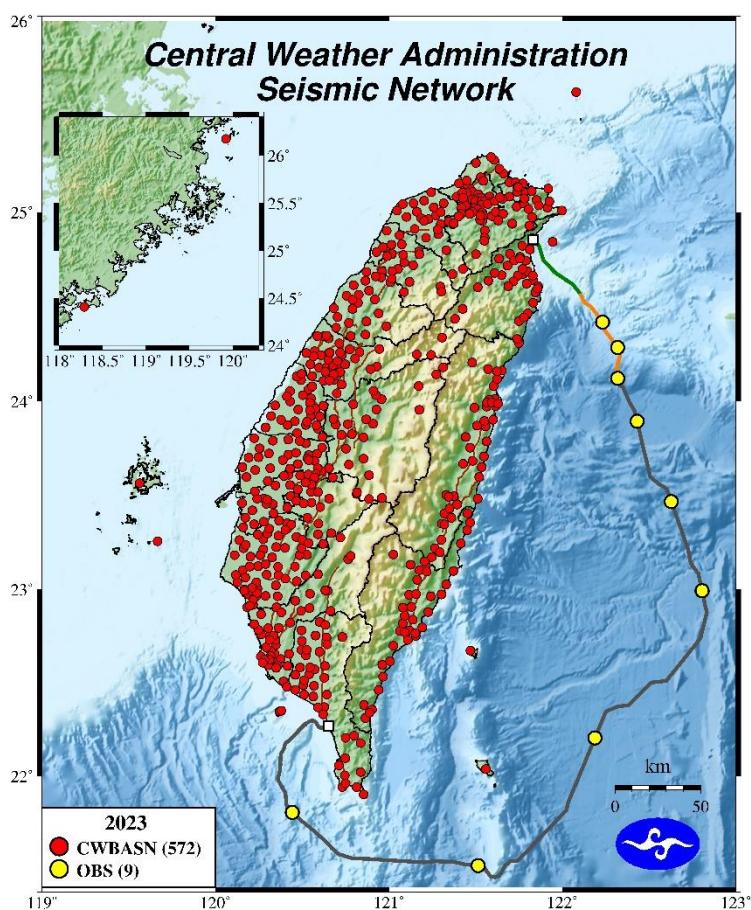


圖2.1.1 24位元地震觀測站分布圖。

Figure 2.1.1 Distribution of 24-bit seismic observation station

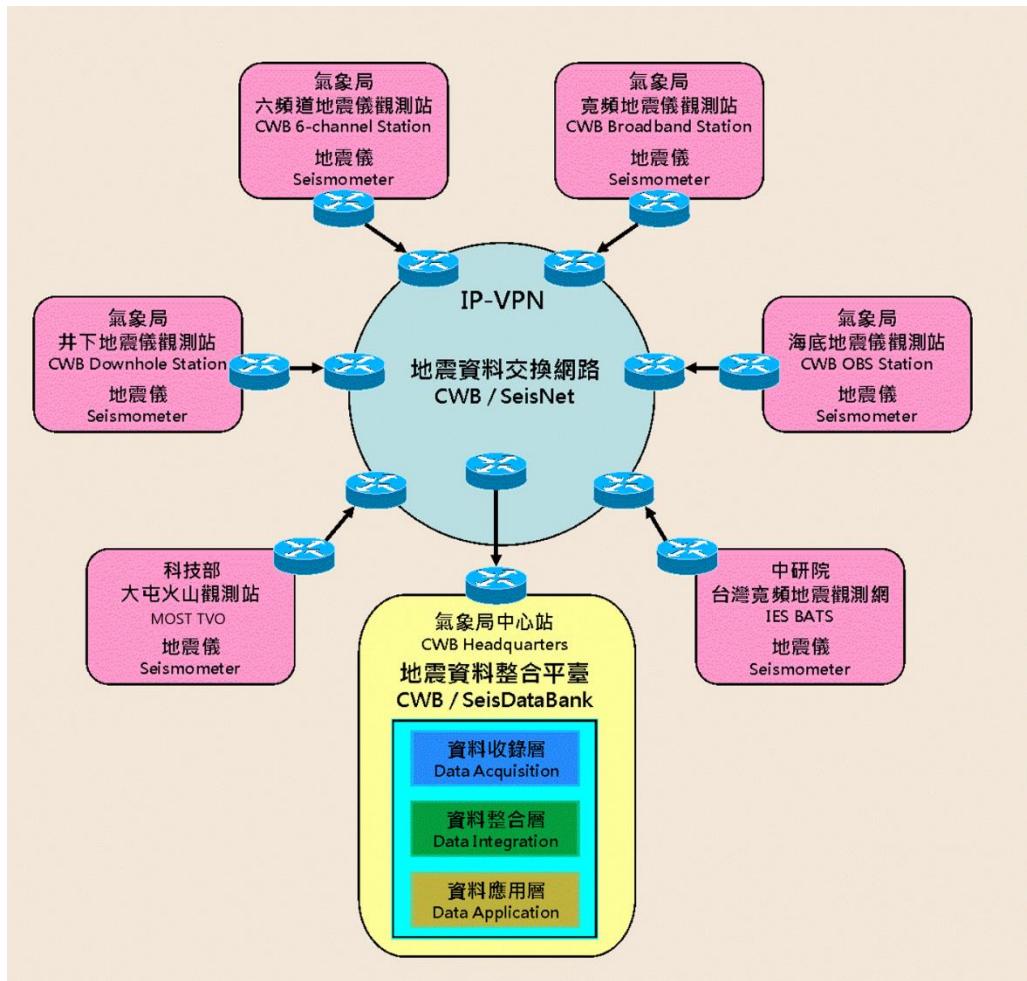


圖2.1.2 24位元地震觀測系統架構圖。

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，本署設置臺灣強地動觀測網自由場強震站 (free-field strong-motion station)，截至112年底共有716站 (圖2.1.3 紅色符號所示)。另外，本署為加強山區的

強地動觀測，自95年起至101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，現仍持續運作中（圖2.1.3 藍色符號所示）。

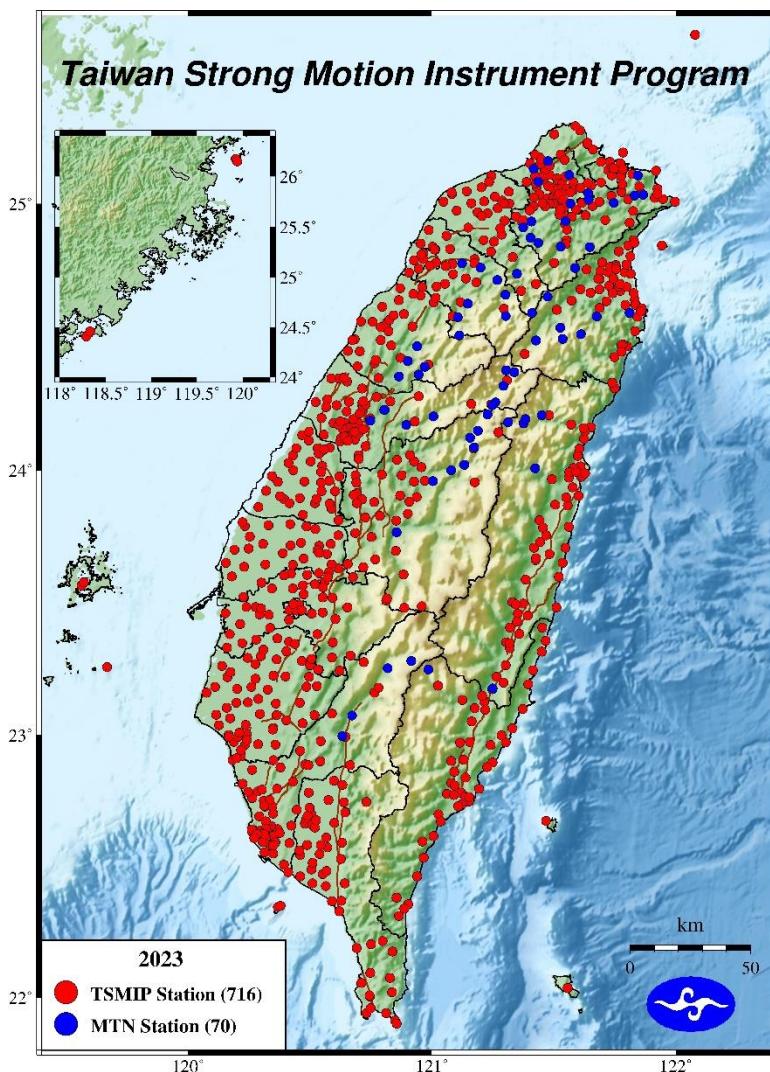


圖2.1.3 自由場強震站分布圖（紅色符號所示），山區強震站以藍色符號表示。

Figure 2.1.3 Distribution of free-field strong-motion stations

在汰換老舊觀測設備部分，自101年起本署執行「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105年起本署執行「強地動觀測第5期計畫」，以及自106年起執行前瞻基礎建設「海陸地震聯合觀測網計畫」，再汰換其他自由場強震站舊型強震儀為新型強震儀，自101年來已陸續汰換700餘臺儀器，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，例如基隆在西元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被包覆於本署所建地震網內，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，增強本署強震即時警報系統的正確性及可信度，提供有效的防救災資訊。

此外，海域地震定位正確性的提升，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。因此本署自96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」(第一期海纜計畫)，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100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，並設置海底觀測站1座，該海纜觀測系統於103年5月26日因不明原因致觀測站受損。為修繕受損儀器，本署於104至106年執行「地震及海嘯防災海纜觀測系統擴建計畫」(第二期海纜計畫)，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。

在海纜預定舖設路線詳細調查後，擴建海纜觀測系統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座海底觀測站，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。

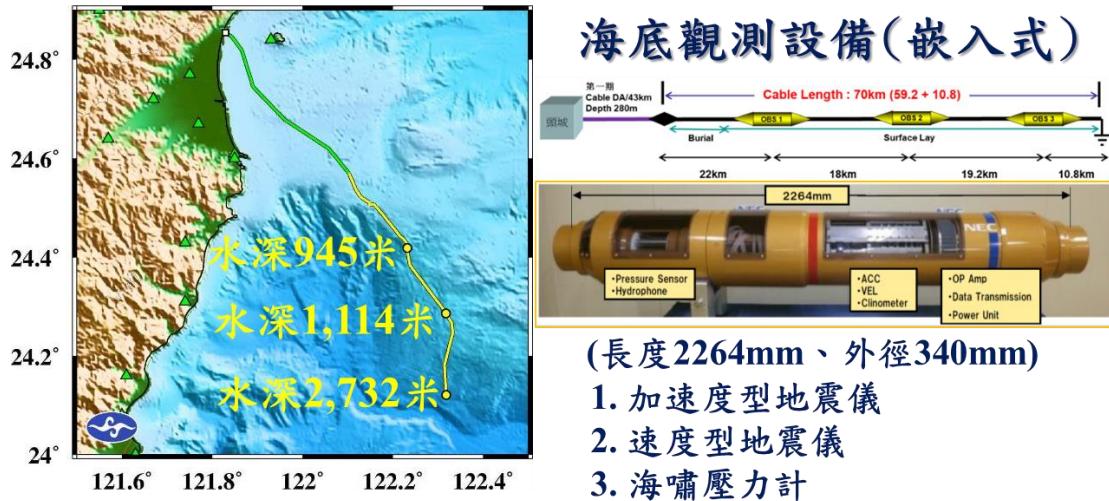


圖2.1.5 臺灣東部海域地震與海嘯海纜觀測系統觀測站設置深度及嵌入式（in-line）一體成型觀測站。

Figure 2.1.5 Marine cable observation system for earthquake and tsunami in the eastern waters of Taiwan

本署二期海纜計畫於106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107年10月18日至108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。

為完整監測臺灣東部之活躍地震活動，以提升此地區地震引發海嘯之預警時間，本署繼續推動三期海纜建置計畫（圖2.1.6），由屏東枋山海纜站登陸，建置總長620公里，新增6座即時地震海嘯觀測站，每座均設置加速度地震儀、速度型地震儀及海嘯計，纜線與測站設置深度最深分別達5,796與5,554公尺，結合本署二期建置由宜蘭頭城登陸之海纜系統，成為總長735公里的海纜觀測系統，範圍涵括臺灣東部與東南部海域，沿線共計設有9座即時地震海嘯觀測站，有效提升該區域強震以及監測該海域的海嘯之即時警報效能，三期海纜案已於109年11月11日完成驗收正式啟用。

有關二期海纜實際效益部分，以宜花海域為例，啟用第6年

(111年10月18日至112年10月17日)期間，該系統共監測103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20.7%(相當於水平與深度綜合定位誤差由19.8公里降低至15.7公里，減少4.1公里)，以及增加預警時效約2.1%(相當於預警報告產製時間由14.1秒降低至13.8秒，縮短0.3秒)。

有關三期海纜實際效益部分，以臺灣東部至東南部海域地震為例，啟用第2年(111年11月11日至112年11月10日)期間，該系統共監測105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，結果顯示平均可提升地震定位準確度約22.2%(相當於水平與深度綜合定位誤差由18.0公里降低至14.0公里，減少4.0公里)，以及增加預警時效約2%(相當於預警報告產製時間由14.26秒降低至13.97秒，縮短0.29秒)。

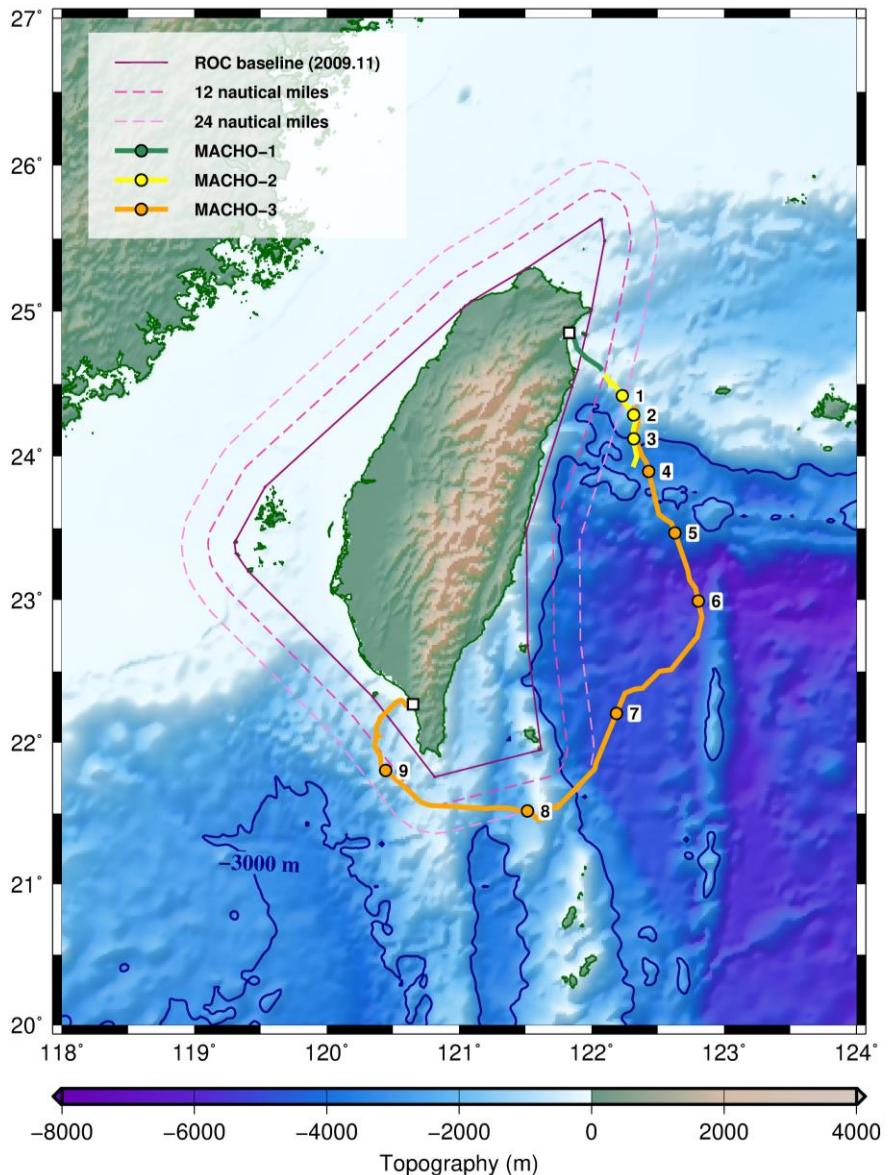


圖 2.1.6 臺灣東部海域地震海嘯海纜觀測系統鋪設路徑與海底觀測站位置圖，圖中實心綠線、黃線與橘線分別表示第 1、2 與 3 期海纜路線，圓點為 9 座海底即時觀測站位置，紫色實線、紫色虛線與淡紫色虛線分別表示我國領海基線、12 海浬線與 24 海浬線。

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. The solid green, yellow, and orange lines in the figure indicate the cable routes of Phases 1, 2, and 3 respectively. The dots are the locations of the 9 submarine real-time observation stations. The purple solid line, the purple dashed line, and the lilac dashed line indicate the baseline of our country's territorial waters, 12-nautical-mile line and 24-nautical-mile line, respectively.

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至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。本署已於107年底前建置完成62座井下地震觀測站，並自110年起以前瞻基礎建設2.0經費持續建置井下地震觀測站（圖2.1.9）。

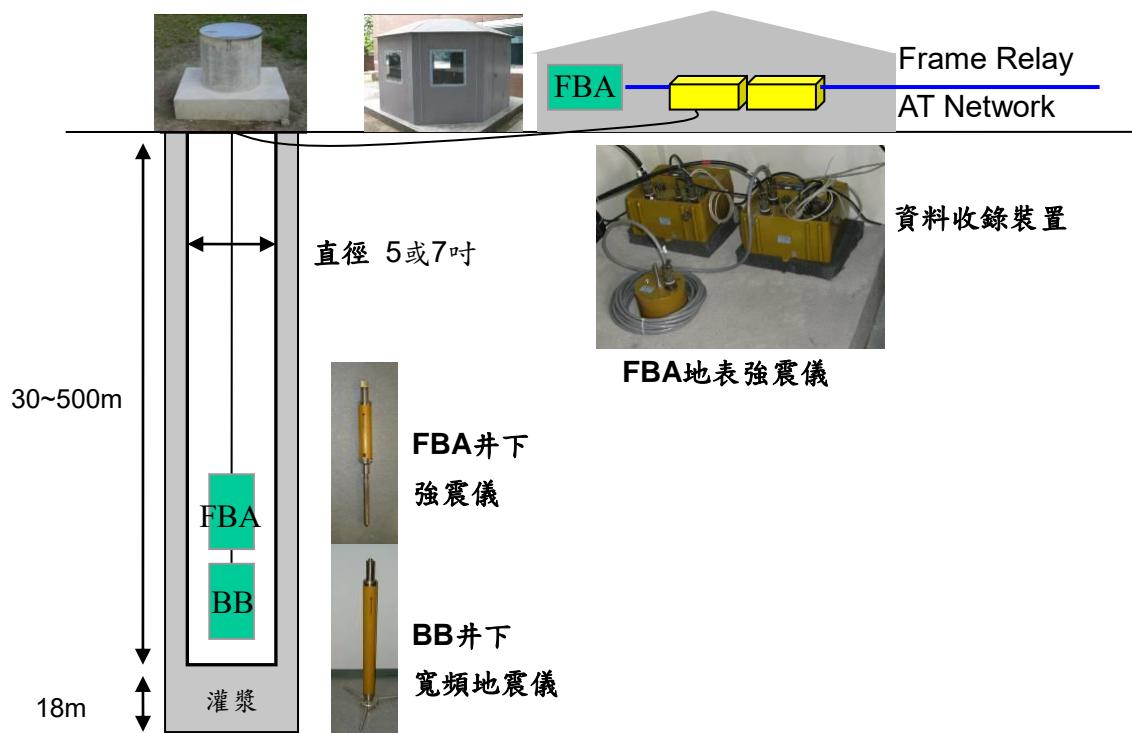


圖 2.1.7 井下地震觀測站示意圖。

Figure 2.1.7 Schematic diagram of borehole seismic observation station

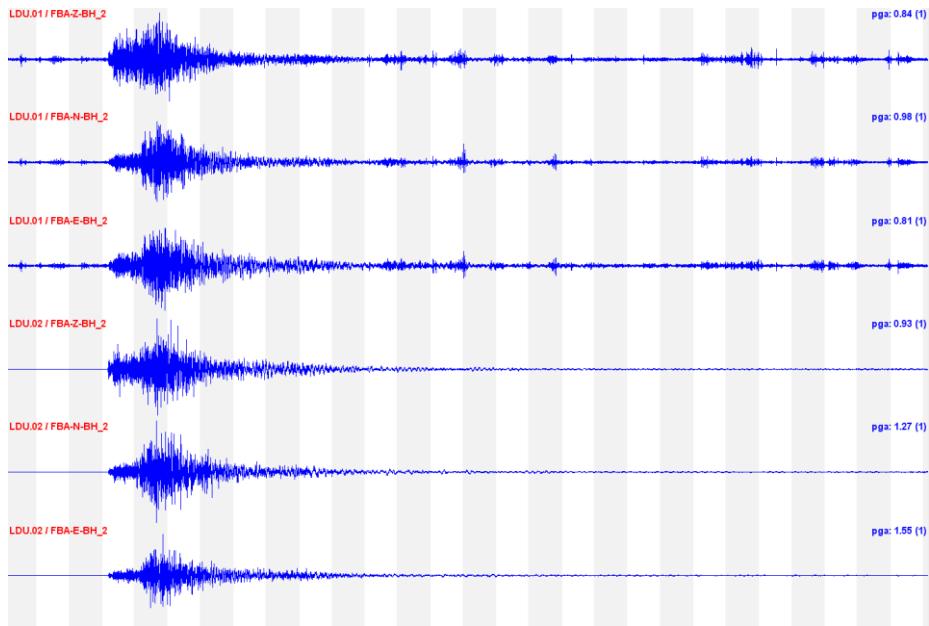


圖 2.1.8 109 年 12 月 10 日 13 時 29 分花蓮縣近海地震（規模 5.4），綠島井下地震觀測站（震央距離為 86.8 公里）之地震波形紀錄，上方 3 波道為地表強震儀波形紀錄，下方 3 波道為井下強震儀波形紀錄。

Figure 2.1.8 An example of borehole seismic record from December 10, 2020

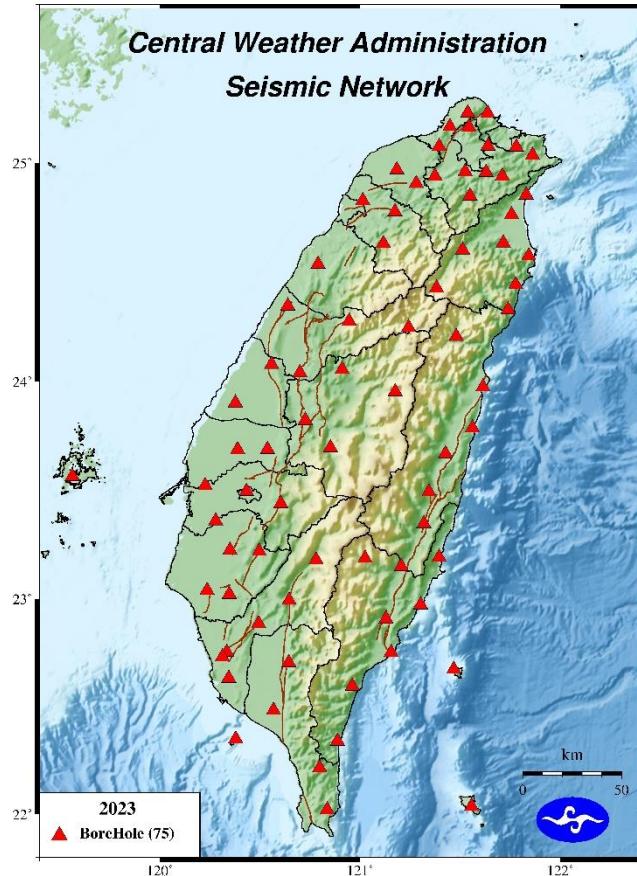


圖 2.1.9 井下地震觀測站分布。
Figure 2.1.9 Distribution of borehole seismic stations

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

本署的大屯火山地震監測工作自96年開始，與中央研究院地球科學研究所及國科會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100年下半年起續由國科會大屯火山觀測站負責測站的維護運作與資料蒐集），並搭配本署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。

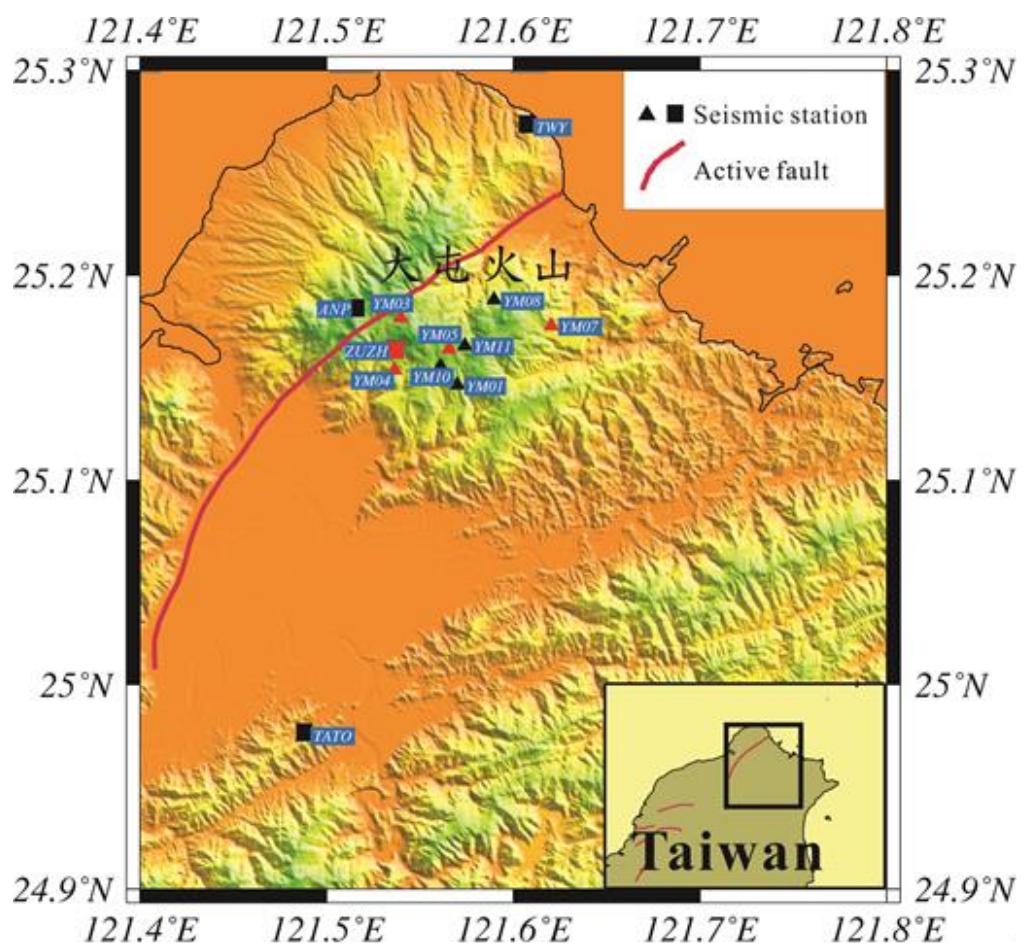


圖2.1.10 大屯火山監測網的地震站分布。三角形（大屯火山觀測站提供）或四方形（中央氣象署地震觀測站-資料為中央氣象署與多個學術單位共同組成）表示地震站的位置（地表站以黑色表示；井下站以紅色表示），其中YM01到YM11測站為大屯火山觀測站所維護之地震站。

Figure 2.1.10 Distribution of seismic stations in the Taten 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

本署自112年9月15日升格後，原建置之地震觀測網CWBSN (Central Weather Bureau Seismic Network) 亦更名為CWASN (Central Weather Administration Seismic Network) 以延續臺灣地區之地震觀測，自101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。112年共觀測超過2萬5千起地震，其中包含1個規模大於6.0以上的強震，發生於10月24日，震央位於花蓮縣政府東方 102.2 公里 (臺灣東部海域)、規模6.2、深度31公里，因離本島較遠，未有災情傳出。島內最大地震則發生於10月11日花蓮縣政府南南西方 88.2 公里 (位於花蓮縣卓溪鄉)，規模5.88、深度14.5公里。（圖2.2.1）。

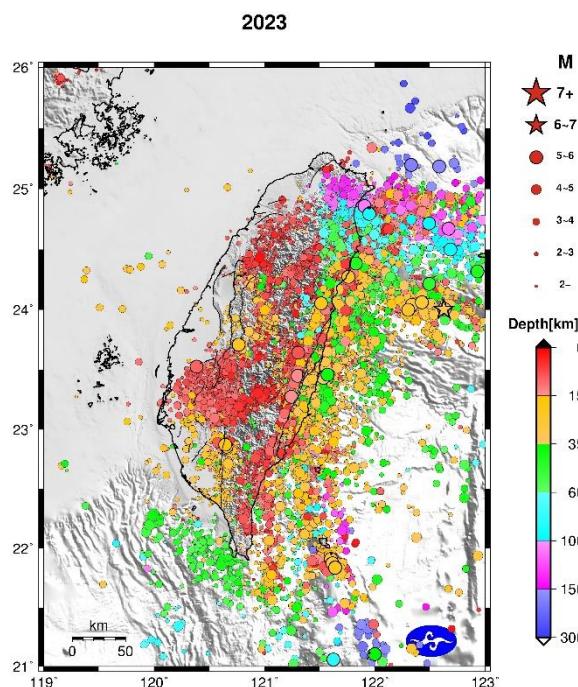


圖 2.2.1 112 年地震活動分布圖。112 年共觀測超過 2 萬 5 千起地震，以圓形符號表示，大小代表地震規模，顏色代表地震深度，詳細如圖例。

Figure 2.2.1 Seismicity distribution in 2023

臺灣位處環太平洋地震帶上，菲律賓海板塊自東南向西北推擠，於琉球海溝向北隱沒至歐亞大陸板塊之下，以致臺灣東部及

東北部地震活動頻繁，且呈現向北隱沒的傾斜地震帶；臺灣南部地震較東部少，但隱約呈現向東隱沒之傾斜地震帶，主因為歐亞大陸板塊向東隱沒至菲律賓海板塊之下；至於臺灣西部之震源分布，則主要係集中於斷層附近之淺層地震。

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 $\text{LogE} = 11.8 + 1.5M$ (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，因此本署於後採累積規模 (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112年累積規模為6.6，相較於曾發生關山與池山地震的111年累積規模7.22，明顯偏低。

在震源深度的分析上，本署係以震源深度40公里來區分深震與淺震，112年淺震與深震之累積規模分布分析如圖2.2.2，分布圖係以經緯度各0.1度為格點，計算各格點半徑10公里內的地震（規模大於2）之地震累積規模（皆正規化至30日）。從地震累積規模分布圖可以發現，臺灣主要的地震活動大都發生在臺灣東部（花蓮外海的海盆地、花蓮及蘭嶼地區），主要是因為直接受到板塊碰撞和隱沒作用及111年9月的關山與池上地震的發震區影響；在臺灣西部則以嘉南地區與高屏地區的麓山帶為局部高區。

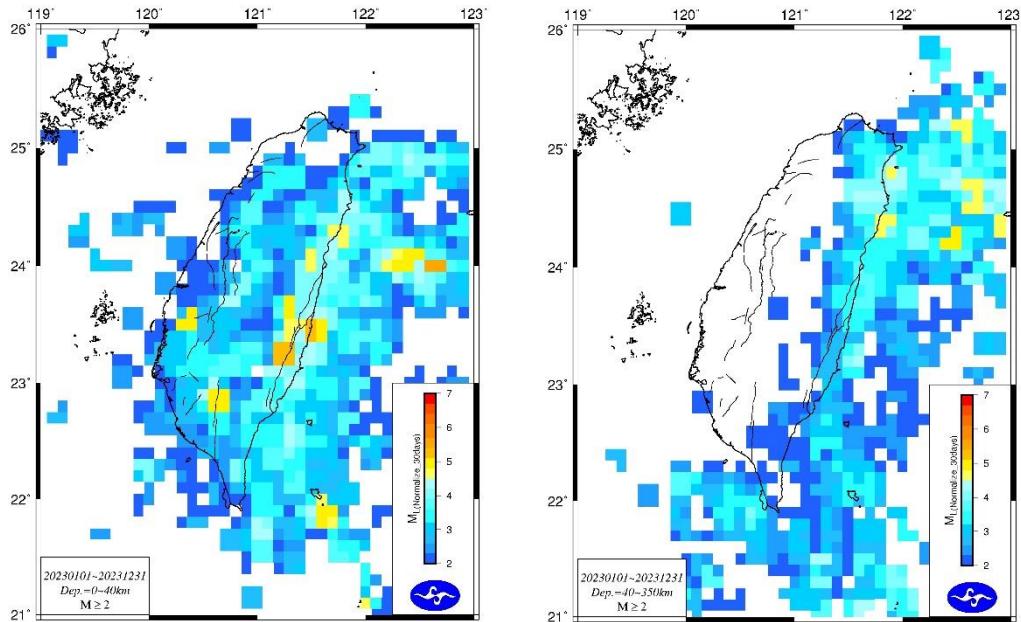


圖 2.2.2 112 年淺震（左）與深震（右）之累積規模等值分析。等值圖係以經緯度各 0.1 度為網格大小，地震能量已正規化（normalize）為 30 天之能量。顏色愈暖，累積地震規模愈大。

Figure 2.2.2 Cumulative magnitude contour map of shallow (left) and deep (right) earthquakes in 2023

112 年地震個數等值分析如圖 2.2.3，等值圖係以經緯度各 0.1 度為格點，計算各格點半徑 10 公里內的地震（規模大於 2）之地震個數（正規化至 30 日）。地震個數的高區位在花蓮、宜蘭南澳、臺灣東北外海（龜山島東側）、高屏地區的麓山帶。其中，花蓮與宜蘭南澳地區是臺灣地區背景地震活躍地區，當地有頻繁的地震活動屬預期中。臺灣東北外海（龜山島東側）的高地震活動則推測與琉球島弧的淺部構造有關，當地偶有密集的地震發生，幸運的是，地震發生雖然頻繁，但未有致災性的地震發生（最大的地震規模僅 4.61）。高屏地區的麓山帶地區，是南臺灣幾個主要的地震好發區，此地區過去曾發生甲仙地震（99 年）、美濃地震（105 年）等，112 年當地雖然有密集的地震，但地震的規模皆偏小，地震的最大規模僅 5.49，尚不至成災。

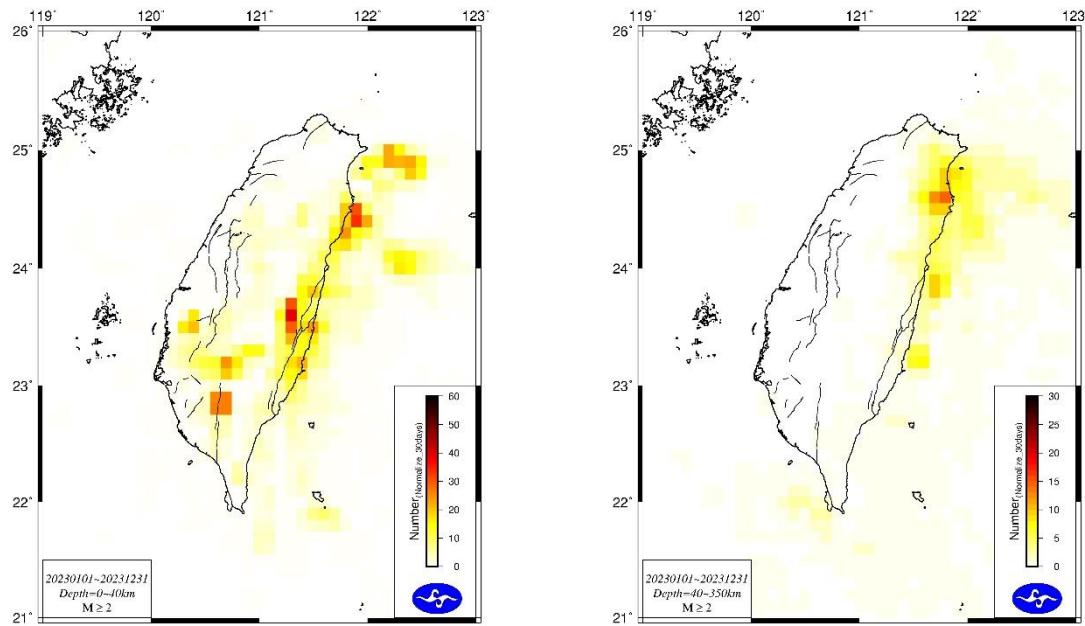


圖 2.2.3 112 年淺震（左）與深震（右）之地震個數等值分析。等值圖係以經緯度各 0.1 度為網格大小，地震個數已正規化（normalize）為 30 天之個數。顏色愈紅，地震個數愈多。

Figure 2.2.3 Number contour map of shallow (left) and deep (right) earthquakes in 2023

由2023年月地震個數與累積規模統計圖（圖2.2.4）可知，在已完成處理的資料中，本年度的地震沒有明顯的地震序列，每月的地震累積規模也僅有10月達6以上，其他月份並無顯著的地震能量釋放。

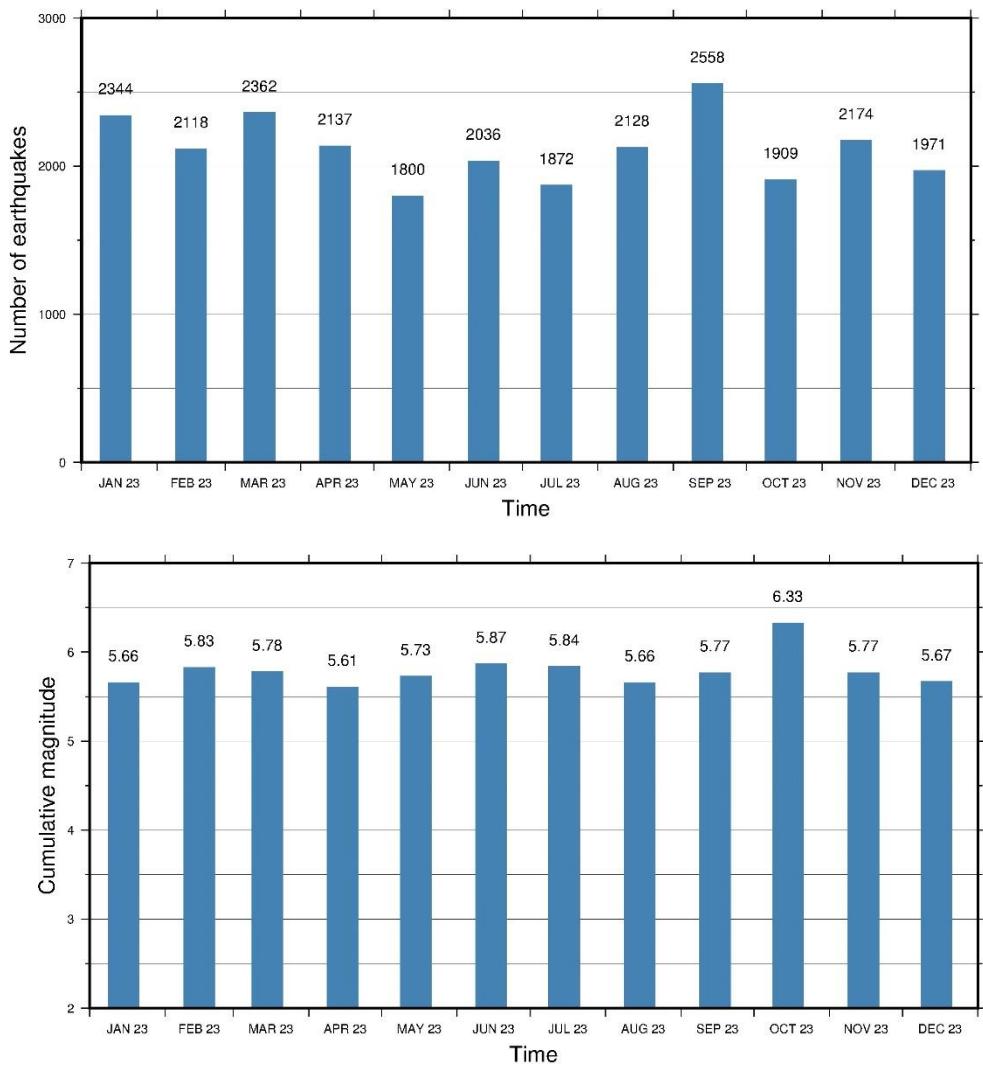


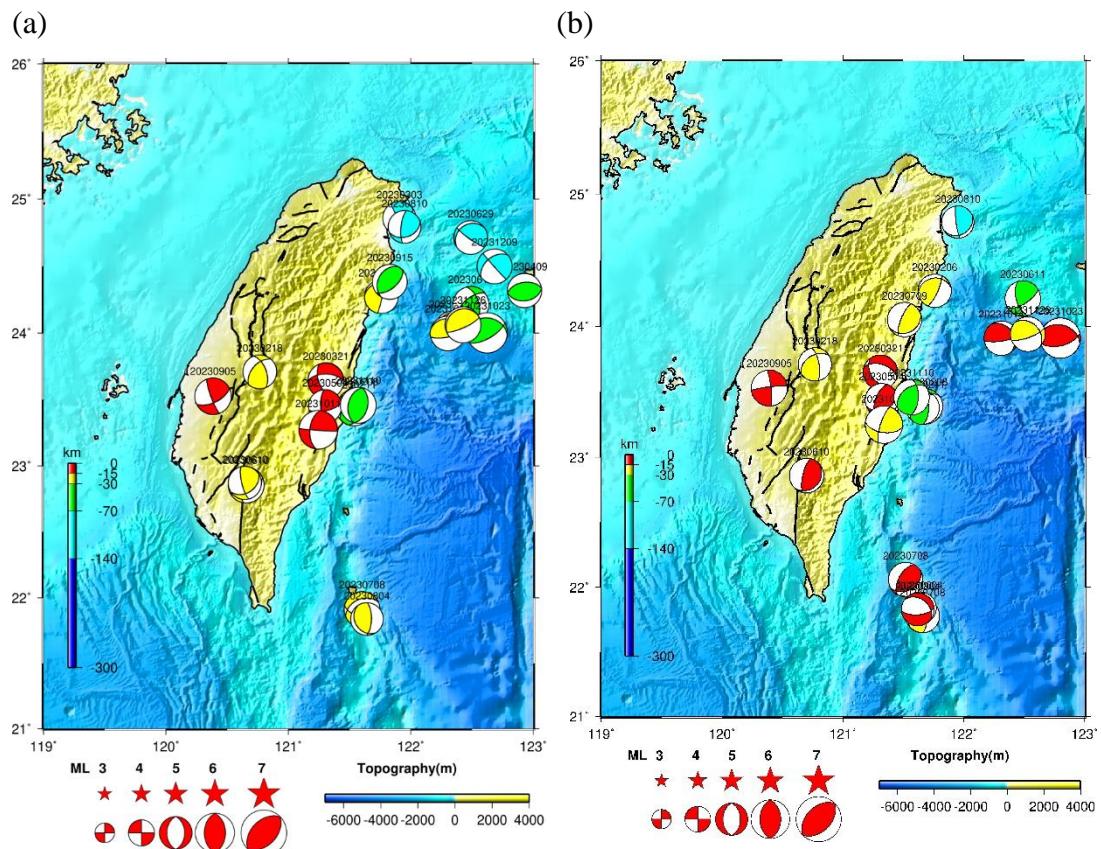
圖2.2.4 112年每月地震個數與累積規模統計圖。

Figure 2.2.4 Temporal distribution of monthly number and cumulative magnitude of earthquakes in 2023

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。

本署地震網112年規模大於5的震源機制及震央分布如圖2.2.5，圖2.2.5(a)係使用P波初動資料與圖2.2.5(b)使用CMT波形擬

合方式求得震源機制。規模大於5的震源參數資料列於表2.2.1及表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。



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。本年度觀測範圍內，規模最大的是2023/10/23發生在東部海域規模6.2的地震，此地震為隱沒帶型的地震，震源機制呈現逆斷層。

表 2.2.1 初動震源機制解參數。

Table 2.2.1 Parameters of focal mechanisms

日期	時間	東經(E)	北緯(N)	深度	規模	dip1	strike1	rake1	dip2	strike2	rake2
2023/1/13	15:02	122.336	24.041	24.19	5.04	79	84	102	16.2	215.9	43.1
2023/2/6	20:20	121.760	24.273	22.08	5.19	86	13	71	19.4	271.5	167.9
2023/2/8	10:49	121.549	23.445	36.70	5.60	34	201	108	57.9	359.6	78.2
2023/2/11	11:35	121.534	23.432	34.20	5.21	43	18	63	52.6	232.9	112.9
2023/2/18	15:49	120.766	23.709	21.44	5.17	52	221	139	58.9	339.2	46.0
2023/3/3	14:48	121.906	24.859	108.71	5.07	34	51	169	83.9	150.2	56.5
2023/3/21	1:45	121.306	23.641	8.54	5.46	58	158	-38	58.5	270.5	-141.6
2023/4/9	18:45	122.929	24.318	43.52	5.26	40	83	91	50.0	261.7	89.2
2023/5/4	15:38	121.301	23.449	14.08	5.10	68	77	156	67.8	176.5	23.9
2023/6/10	5:31	120.655	22.856	18.34	5.49	42	63	137	62.8	187.7	56.6
2023/6/10	9:12	120.644	22.872	15.99	5.07	39	57	156	75.2	166.1	53.5
2023/6/11	12:25	122.492	24.215	46.82	5.52	61	231	138	54.2	344.6	36.7
2023/6/29	14:40	122.490	24.715	98.25	5.16	81	125	110	21.9	238.3	24.8
2023/7/8	19:47	121.602	21.911	23.14	5.49	55	103	-67	41.1	246.5	-119.2
2023/8/10	2:02	121.949	24.794	91.23	5.02	37	72	150	72.5	186.8	56.9
2023/9/5	9:30	120.385	23.526	9.94	5.58	62	64	169	80.3	159.2	28.4
2023/9/15	10:34	121.828	24.384	43.09	5.30	58	50	101	33.6	209.9	73.0
2023/9/18	13:21	125.583	25.986	251.82	6.88	85	213	97	8.6	338.4	35.7
2023/10/11	10:36	121.244	23.274	14.53	5.88	87	94	144	54.1	186.2	3.7
2023/10/14	7:53	122.302	23.998	23.17	5.37	73	78	83	18.3	280.8	111.7
2023/10/23	23:05	122.624	24.001	31.46	6.20	68	60	74	27.0	277.4	124.3
2023/11/10	16:54	121.570	23.458	39.05	5.5	46	12	89	44.0	193.4	91.0
2023/11/26	4:31	122.426	24.061	25.55	5.46	77	66	92	13.2	237.2	81.4
2023/12/9	6:19	122.684	24.499	96.57	5.37	88	138	136	46	229.9	2.8

表 2.2.2 CMT 震源機制解參數。

Table 2.2.2 The parameters of centroid moment tensor solutions.

日期	時間	東經(E)	北緯(N)	深度	規模	dip1	strike1	rake1	dip2	strike2	rake2
2023/2/6	20:20	121.760	24.270	22.08	5.19	25.6	260.6	143.5	75.0	24.3	68.8
2023/2/8	10:49	121.680	23.390	31.57	5.49	44.2	233.0	129.8	57.5	3.6	57.9
2023/2/11	11:35	121.660	23.380	31.81	5.19	38.1	222.0	126.7	60.3	358.5	64.8
2023/2/18	15:49	120.770	23.710	21.44	5.17	44.7	238.0	151.2	70.2	349.3	48.9
2023/3/21	1:45	121.310	23.650	7.19	5.31	45.0	143.8	-61.9	51.3	286.8	-115.2
2023/5/4	15:38	121.320	23.440	14.52	5.11	38.8	66.8	128.6	60.7	201.0	63.3
2023/6/10	5:31	120.700	22.860	10.30	5.36	20.8	43.6	118.6	71.8	193.3	79.6
2023/6/11	12:25	122.490	24.210	46.82	5.52	59.0	163.6	27.9	66.2	58.3	145.8
2023/7/8	19:47	121.520	22.060	12.84	5.37	36.7	61.4	-116.7	57.6	273.5	-71.4
2023/7/8	21:22	121.660	21.780	24.92	5.21	31.7	230.4	-138.3	69.5	103.3	-65.2
2023/7/9	22:11	121.510	24.050	20.06	5.32	22.7	66.7	132.1	73.3	202.3	74.2
2023/8/4	12:22	121.640	21.840	20.29	5.00	40.4	198.0	134.4	62.4	325.8	59.1
2023/8/4	12:25	121.620	21.830	5.97	5.08	34.2	306.7	-54.2	62.8	85.6	-111.7
2023/8/10	2:02	121.950	24.790	91.23	5.02	19.9	59.6	155.5	81.8	172.7	71.7
2023/9/5	9:30	120.390	23.530	9.94	5.58	81.5	353.7	5.0	84.9	262.9	171.4
2023/10/11	10:36	121.340	23.250	17.02	5.81	55.0	97.7	162.0	75.3	198.2	36.3
2023/10/14	7:53	122.310	23.910	7.18	5.31	29.2	323.8	148.8	75.3	81.6	64.3
2023/10/23	23:05	122.800	23.910	5.67	6.24	35.0	286.2	116.1	58.9	75.3	72.8
2023/11/10	16:54	121.570	23.460	39.05	5.50	43.3	234.0	132.4	59.5	2.5.0	57.5
2023/11/26	4:31	122.530	23.940	22.39	5.41	34.1	314.1	149.6	73.5	69.9	59.6

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

在火山地震監測作業方面，在101年以前，本署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102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瞄，擷取出疑似地震的訊號，再以人工的方式，針對這些疑似的地震訊號，進行波相挑選與地震定位。依過去的經驗，在一般情況下，火山觀測資料可以在下一個工作天內處理完成，比起先前的工作時程，減少了約2個工作天。這個處理流程的改變，有效地降低了人工處理所需的時間，同時，也讓大屯火山地區的地震活動監測更具有效率。

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112年的火山地震監測作業方面，一共觀測到1,309個地震事件，這些地震事件中，有1,300個地震事件是在大屯山地區（圖2.2.6； $121.50^{\circ}\text{E} \sim 121.65^{\circ}\text{E}$ ； $25.10^{\circ}\text{N} \sim 25.25^{\circ}\text{N}$ ）。而這些地震中，又以規模小於1的地震為主（圖2.2.7），數量有1,194個，佔112年全年度大屯火山地震數量的92%。而規模2至3與大於3的地震事件僅有8筆與3筆（規模最大的地震為2月17日規模3.61的地震），各佔全年度大屯火山地震數量的0.6%與0.2%。此意味著112年，當地的地震活動以規模甚小（小於1）的微震為主。

地震分布，與過往的型態相似，地震集中在七星山、大油坑與其東北的八煙地區。其中，地震的分布型態大致呈東北-西南分布（圖2.2.7，震央分布），淺於3公里的地震多數集中在七星山與大油坑地區（圖2.2.7，SW-NE剖面），呈高角度向東南傾（圖2.2.7，NW-SE剖面）。

在地震的發生時間序列上（圖2.2.8，其中5月29日至6月7日間，因停電與伺服器故障，造成觀測資料中斷），可以發現大部分地震的日個數皆在5以下，共計300個觀測天，比例高達85%。偶爾單日的地震個數會突破30，在112年間，這種地震個數異常增加的時期，共計發生4次，發生的機率僅約1%。

112年大屯火山地區的月地震個數（圖2.2.9）有半數落在100個以下，地震活動相對活躍的月份是4月與5月，地震個數也僅在200上下。相對於109年至111年的地震活動，112年的地震活動量明顯偏低。把時間段拉長，也僅有101年與102年曾發生過類似的低地震活動現象。

在逐月地震累積規模的變化中可以發現，112年僅有兩個月份（1月、2月）的地震累積規模大於3，除此之外的地震累積規模都在2.5以下（圖2.2.9）。相對於108至110年的地震能量釋放相對高峰期，累積規模頻繁逼近或超越4的情況相比，差異很大。長期來看，112年的累積規模相對偏低，與地震活動的個數一樣，也僅有101年與102年曾發生過類似的低地震活動現象。換言之，大屯火山地區的地震活動，在112年地震所釋放的能量整體偏低。

在火山地區地下存在許多火山流體，流體的存在可弱化地下構造間的摩擦力，因此地震的發生有可能變得頻繁，但不易形成規模較大的地震，其在地震活動的表現樣態，就是群震。在過去的觀測中，在大屯火山地區，地震個數突增的事件中，這些地震的發生位置多半十分相近，是典型的群震，且被認為與當地的火山活動有關連（Pu et al., 2014；Pu et al., 2017）。

112年共有四天的地震個數單日在30以上（圖2.2.8），各別是1月15日、5月28日、9月18日、12月4日，單日地震個數分別為33、75、30、68個。這些時間段內的地震，各自群集於某些特定的位置（圖2.2.10），是典型的群震。而這些群震發生的位置皆落在七星山、大油坑、與大油坑東北方的八煙地區，這些地區正是大屯火山地區地震密集發生的位置，也是主要火山活動的區域（Pu et al., 2020）。

112年三個規模大於3的地震事件，一個發生在1月3日，規模3.03的地震（圖2.2.6），當日共監測到9個地震，地震數量並不多，且發生位置在背景地震偏少的地區，推測這個地震可能與火山活動不存在直接的相關性。另外兩個發生在2月17日，規模各別為

3.61與3.27的地震，發震時間差1分鐘，當日共監測到25個地震(圖2.2.6)。由於這些地震在短時間內，且發生位置相近(圖2.2.11)，具有群震的特徵，且發生的位置在七星山南側，該地區亦被認為存在火山活動 (Pu et al., 2020)。

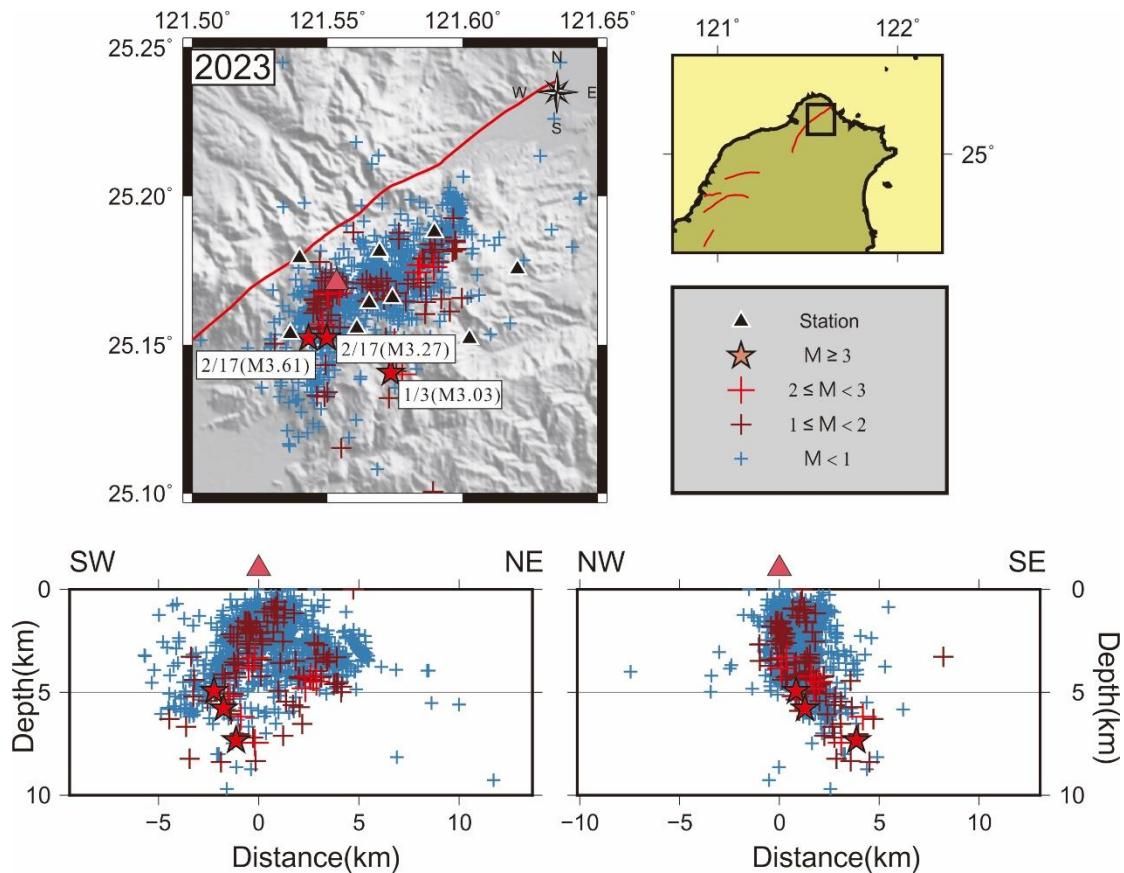


圖 2.2.6 112 年大屯火山地區的地震活動空間分布圖。各圖中的紅色實線表示斷層位置，紅色三角形為七星山位置。

Figure 2.2.6 Distribution of local earthquakes in the Tatun Volcano Group in 2023

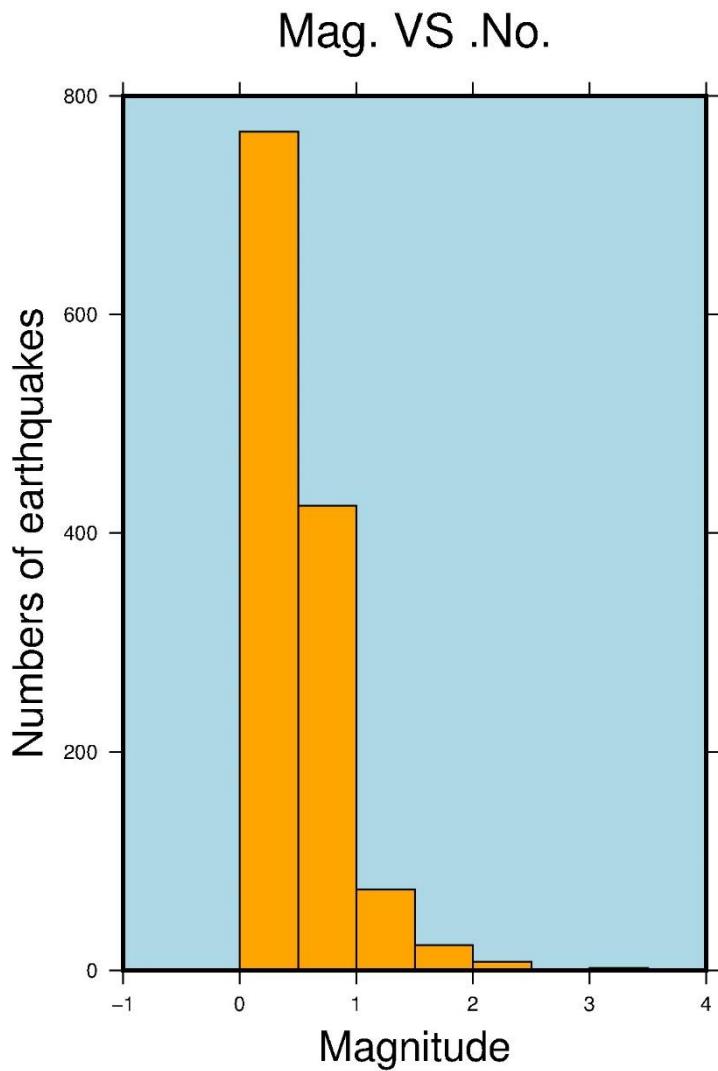
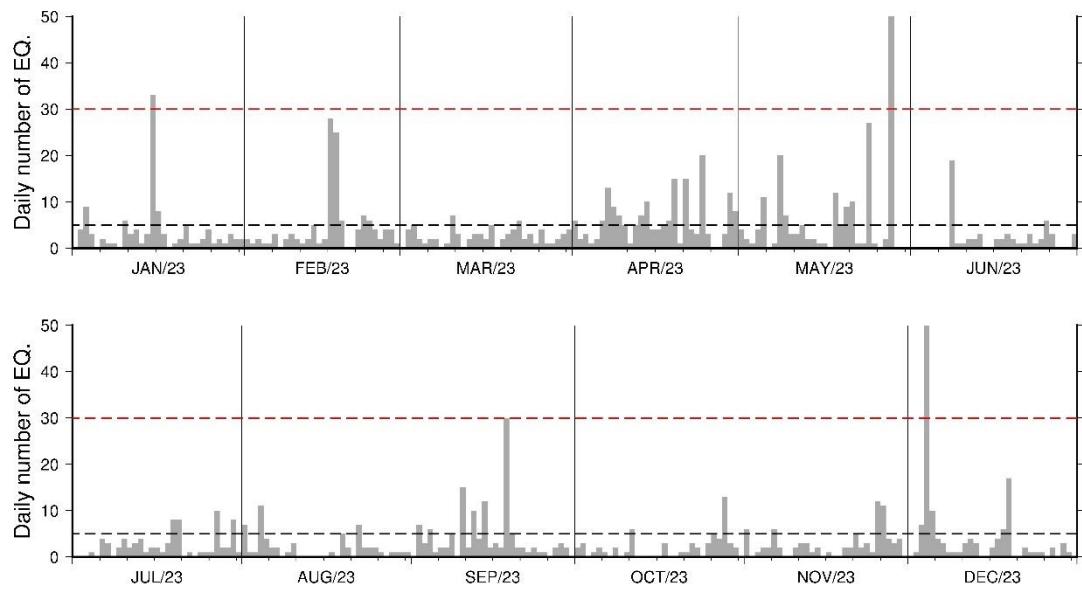


圖 2.2.7 大屯火山地區 112 年地震數量與規模的關係。橫軸為地震規模，縱軸為地震個數。

Figure 2.2.7 Relation between number and magnitude of the earthquakes in the Tatun Volcano Group in 2023



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

圖 2.2.8 112 年大屯火山地區地震數量的時序分布。橫軸為時間(月份/年份)，縱軸為地震的個數。黑色與紅色虛線各表示地震日個數為 5 與 30 的位置。

Figure 2.2.8 Daily number of earthquakes in the Tatan Volcano Group in 2023

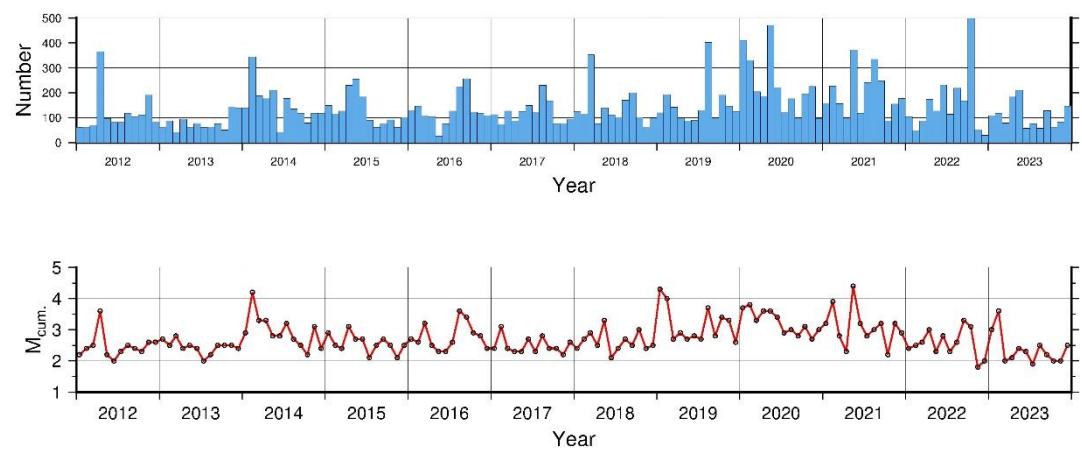


圖 2.2.9 101 至 112 年大屯火山觀測網的長期觀測資料。上圖為地震個數與時間的關係，下圖為每月累積規模與時間的關係。

Figure 2.2.9 Monthly number and accumulated magnitude of earthquakes in the Tatan Volcano Group from 2012 to 2023

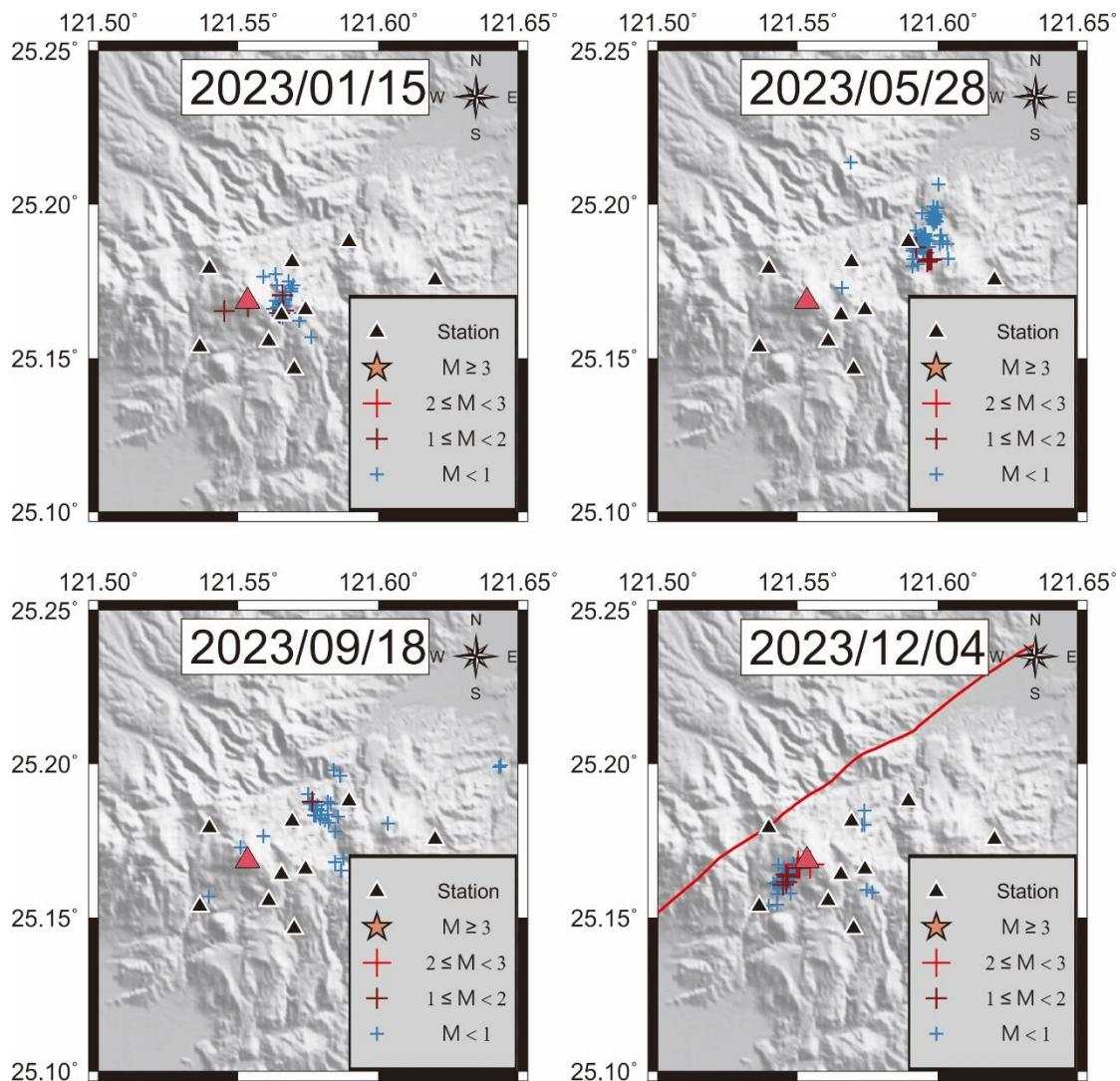


圖 2.2.10 112 年大屯火山地區的群震（單日地震個數大於 30）空間分布圖。
圖例請參考 2.2.6。

Figure 2.2.10 The distribution of swarms (daily earthquake number larger than 30) in the Tatun Volcano Group in 2023

2023/02/17

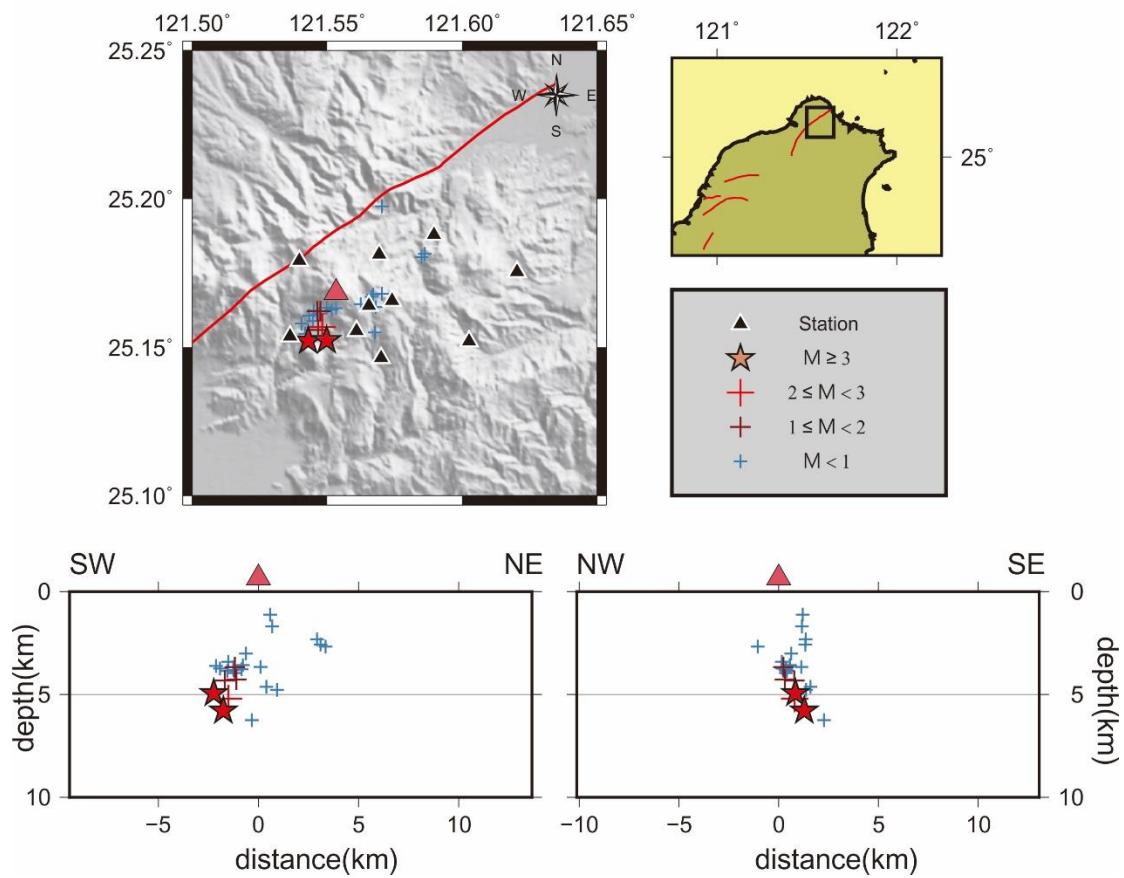


圖 2.2.11 112 年 2 月 17 日大屯火山地區的地震活動分布圖。圖例請參考 2.2.6。

Figure 2.2.11 Distribution of earthquakes in the Tatun Volcano Group on February 17, 2023

3.小結 Summary

112年大屯火山地區的地震活動，不論是地震的發生次數或是地震的規模，長期來看皆相對偏低。在這個環境條件下，仍可發現大屯火山地區存在一些群震現象，一般在火山地區發生的群震活動多與火山活動存在相關係性。而112年大屯火山地區仍有群震的發生，這意味著當地的火山活動仍然存在，只是相對減緩。

就全臺地震活動總個數與累積規模而論，相較於民國83至111年規模大於2以上地震個數的年平均值1萬0,578個(已扣除民國88、89年2年，因921地震餘震異常多)，民國112年規模大於2以上地震個數為1萬3,429個高於平均值、累積規模6.6(平均值6.8)，則低於歷年平均。112年規模5以上(含6)地震有33個，稍低於歷年平均38個，且絕大多數均位於東北部、東部縱谷地區及東部~西南海域，也是112年主要高地震活動區。島內西部地區則在嘉義、南投及高屏地區有規模5地震發生，規模最大地震為9月5日發生於嘉義縣政府東北方12.0公里(位於嘉義縣新港鄉)，規模5.5、深度10公里，相形之下，島內西部地區地震活動度及淺層地震能量釋放仍稍顯不足，宜持續觀察。

三、地球物理觀測 **Geophysical observation**

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

臺灣位於環太平洋地震帶上，菲律賓海板塊與歐亞板塊間的板塊活躍運動，地震活動非常頻繁。地震致災的機率雖不及其他天然災害高，但一次嚴重的地震破壞所造成的傷亡損失，卻往往遠甚於其他天然災害。由於地震預測非短期內可以達成，故以往的地震防災工作皆採取階段性方式，逐步完成各項重要工作，其中包括加強地震測報，建置地震速報及強震即時警報系統，儘量減低地震災害。本署為進一步預防與降低地震致害，運用各種地球物理觀測方法進行地震前兆分析與地震預測技術之研發工作。

為推動地震前兆預警研發，本署近年來積極建置與維護各種地球物理觀測站，整合包括大地變形觀測網、地震地下水觀測網、地球磁場觀測網及大地電場觀測網等，統整後稱之為臺灣地球物理觀測網（Taiwan Geophysical Network for Seismology, TGNS）（圖3.1.1），現階段已穩定蒐集各項地球物理觀測資料，並與學術界合作交流，導入新的分析方法，未來希望透過觀測數據之整合分析，比對與地震發生之相關性，試圖找出臺灣地區較為適用之前兆觀測方法。

1. 大地變形觀測網 **Crustal deformation observation network**

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。本署為監測並蒐集臺灣地區地殼活動資料，自82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，94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，亦有助於對地殼運動及地震潛勢之分析。

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），故本署自101年起開始將衛星接收儀更新成GNSS系統，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。至112年底止本署共建置與汰換完成154座全球導航衛星系統觀測站（GNSS observation stations）（圖3.1.1），透過GSN VPN方式進行資料傳輸。

2. 地震地下水觀測網 Seismic groundwater observation network

民國88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的改變。國外研究顯示於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，本署於108年陸續進行儀器設備汰換更新，並新增水溫紀錄，截至112年底共有6座即時連線之地震地下水觀測站（Seismic groundwater observation stations），位置分布見圖3.1.1。

3. 地球磁場觀測網 Geomagnetic observation network

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75年花蓮地震、88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。本署現有之地球磁場觀測站（Geomagnetic observation stations），係於95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。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108年開始進行儀器設備更新與遷站評估，將池上站、鯉魚潭站、爺亨站、灣丘站、恆春站、金門站升級為三分量磁力儀，並新建亦為三分量磁力儀之南投日月潭站。續於109年升級內城站為三分量磁力儀，並新建馬祖站、蘭嶼站、新城站、知本站，另於110年將南投日月潭站遷移至南投暨南站，截至112年底地球磁場觀測網共有12個三分量磁力儀觀測站，分布見圖3.1.1。

4. 大地電場觀測網 Geoelectric observation network

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、希臘以及中國大陸等，都曾建立大地電場觀測網，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）。本署現有之大地電場觀測站（Geoelectric observation stations），係於106年接收國立中央大學移撥的一批相關設備，並於108年陸續將電極設備更新且持續維運，爰至112年底共有20座大地電場觀測站，分布見圖3.1.1。

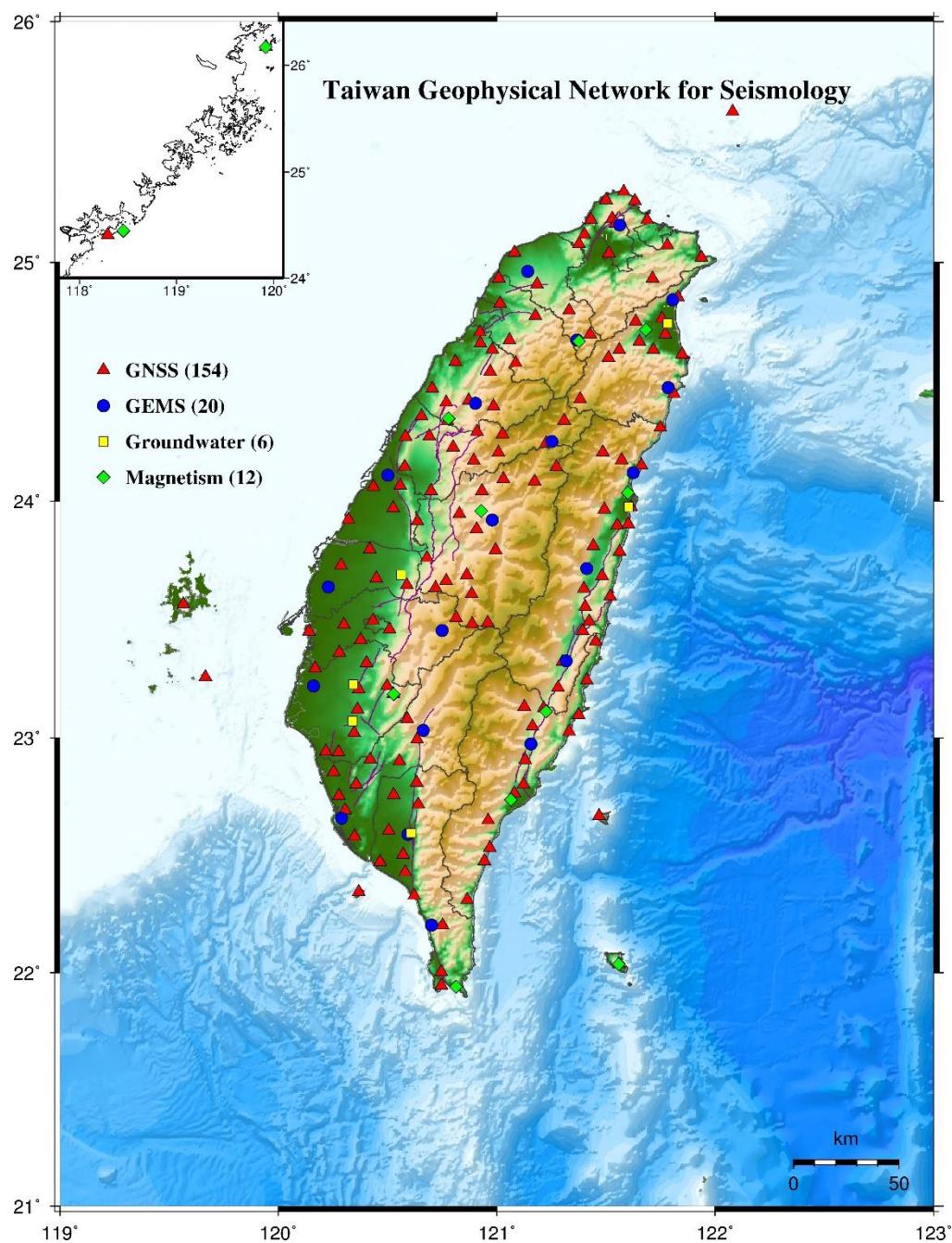


圖 3.1.1 臺灣地球物理觀測網 (TGNS) 測站分布圖，圖中 GNSS 為全球導航衛星系統觀測站，Magnetism 為地球磁場觀測站，Groundwater 為地震地下水觀測站，GEMS 為大地電場觀測站。

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. GEMS indicates the stations of Geoelectric Observation System.

(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500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；到海岸平原地區則趨近為零；在高雄與屏東地區地殼形變速度加大且改變方向向西南呈逆時鐘方向旋轉；於宜蘭與花蓮交界區則呈現順時鐘方向旋轉，這些地殼形變特徵都顯示臺灣地區地體構造的複雜性。

本署112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ITRF2014。

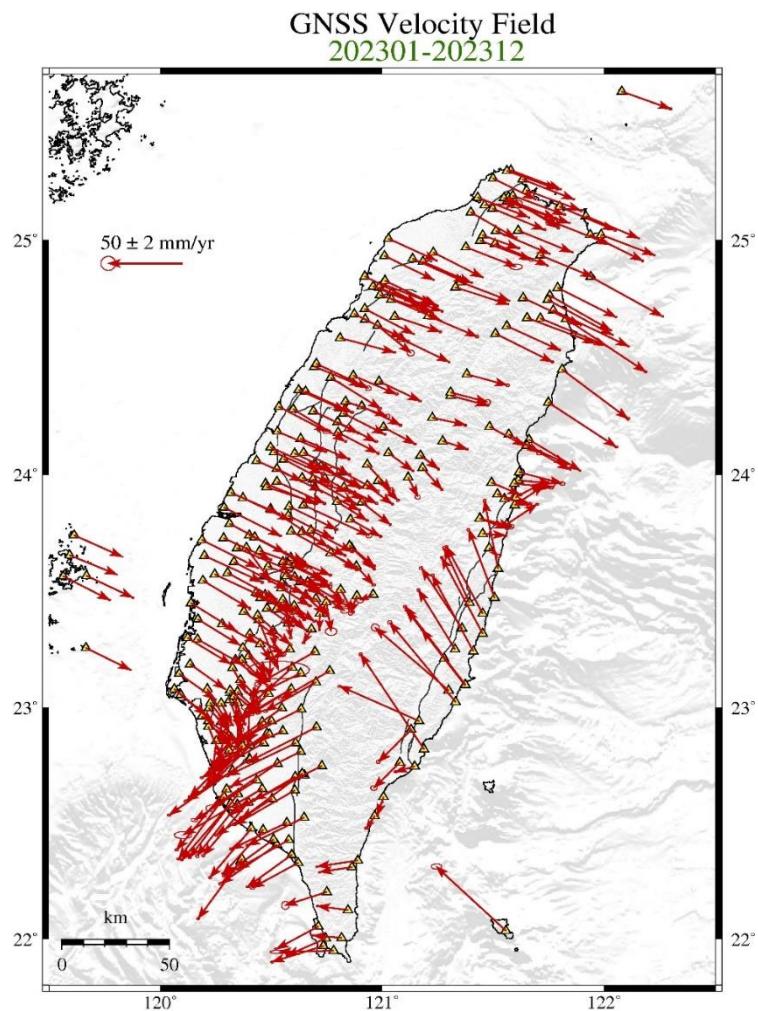


圖3.2.1 本署112年全球導航衛星系統之地殼形變觀測結果，圖為GNSS在ITRF2014座標系統下之水平速度場圖，圖內之箭頭代表測站年移動速度量值及方向。圖中標示112年12月的地震活動情形（震央分布位置），做為與GNSS觀測地殼形變資料之比對。

Figure 3.2.1 The crustal deformation of GNSS observation in 2023. The figure represents the horizontal velocity field of ITRF2014 coordinate system. The arrows indicate annual average velocity values and the directions of observation sites. The figure shows seismicity (the location distribution of epicenters) in December of 2023, which a comparison with the GNSS crustal deformation observation.

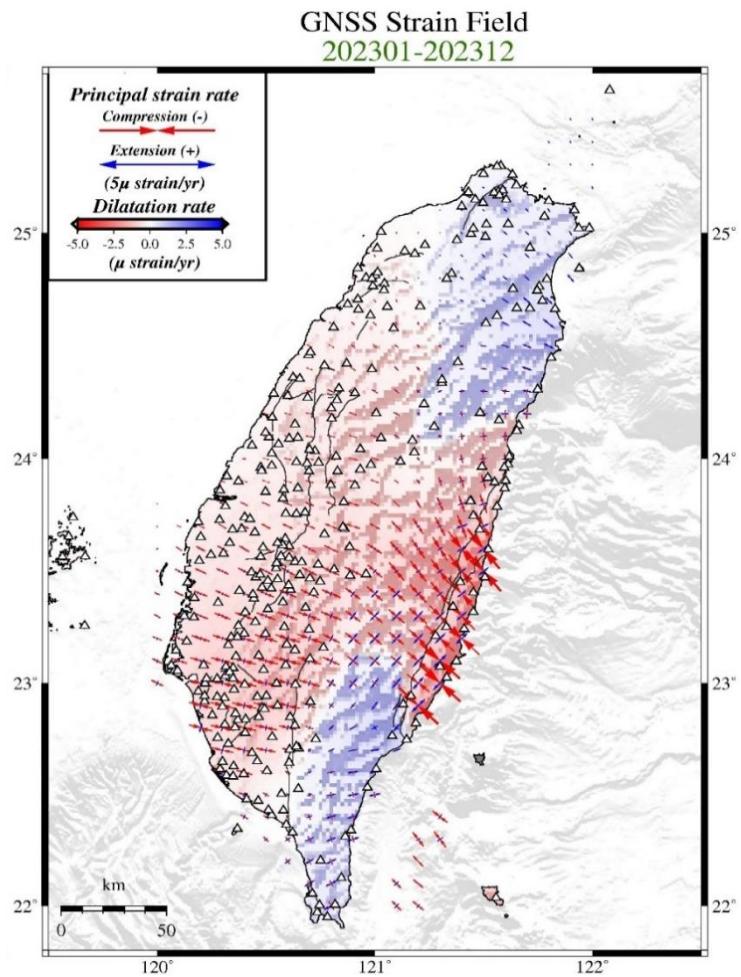


圖 3.2.2 本署 112 年全球導航衛星系統之地殼形變觀測結果，圖為應變場分布圖。紅、藍色各代表壓縮及伸張區域，臺灣地區壓縮最大的區域位於花東海岸山脈區域。圖上標示 112 年 12 月的地震活動情形（震央分布位置），做為與 GNSS 觀測地殼形變資料之比對。

Figure 3.2.2 The crustal deformation of GNSS observation in 2023. The figure is the strain field in Taiwan area. Red and blue mean 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 2023, which is a comparison with the GNSS crustal deformation observation.

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

自88年9月至91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）。而根據本署推算之電離層濃度觀測資料，112年共計有22個規模5.0以上、深度小於40公里的地震，其中有8個地震發生前5天內電離層有超過60%負異常情形，機率為36%（8/22）；7個地震發生前5天內電離層有超過60%正異常情形，機率為32%（7/22）。另外，112年電離層全電子含量（TEC）共出現29次超過60%負異常，6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，扣除磁暴影響，電離層負異常後地震發生機率約為23%（6/26）；28次超過60%正異常，其中7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，扣除磁暴影響，電離層正異常後地震發生機率約為27%（7/26），異常統計結果如表3.2.1。電離層觀測與地震發生之關聯性分析圖如圖3.2.3。

表 3.2.1 112 年電離層異常統計表。

Table 3.2.1 Anomaly of ionospheric total electron content (TEC) in 2023

TEC Anomalies	Anomalies Before Earthquakes	Earthquakes After Anomalies
Negative Anomalies	36% (8/22)	23% (6/26)
Positive Anomalies	32% (7/22)	27% (7/26)

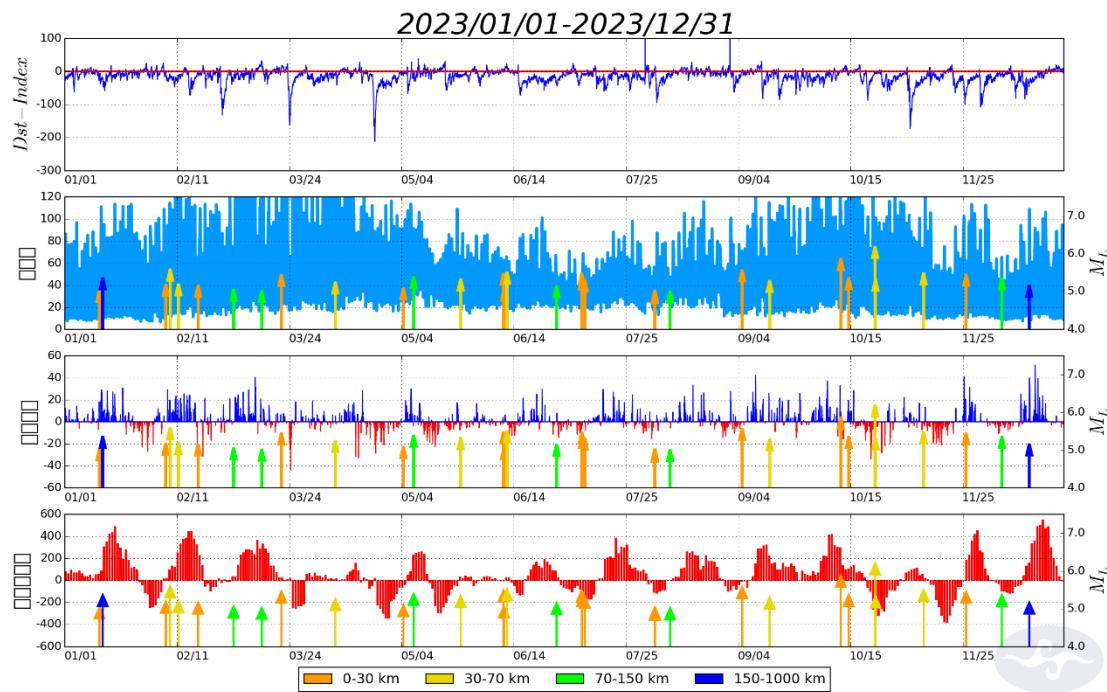


圖 3.2.3 112 年電離層全電子含量觀測與地震發生之關聯性分析：(a)太陽磁暴之日變化觀測量；(b)電離層觀測值日變化(藍色線)；(c)藍色區域為電離層與理論值上界之正差異，紅色區域為電離層與理論值下界之負差異；(d)電離層 5 日平均量，間距 1 日之觀測量。圖中箭頭符號為電離層低量異常後發生規模大於 5.0 之地震。

Figure 3.2.3 Relevance analysis between TEC observation and earthquakes in 2023:

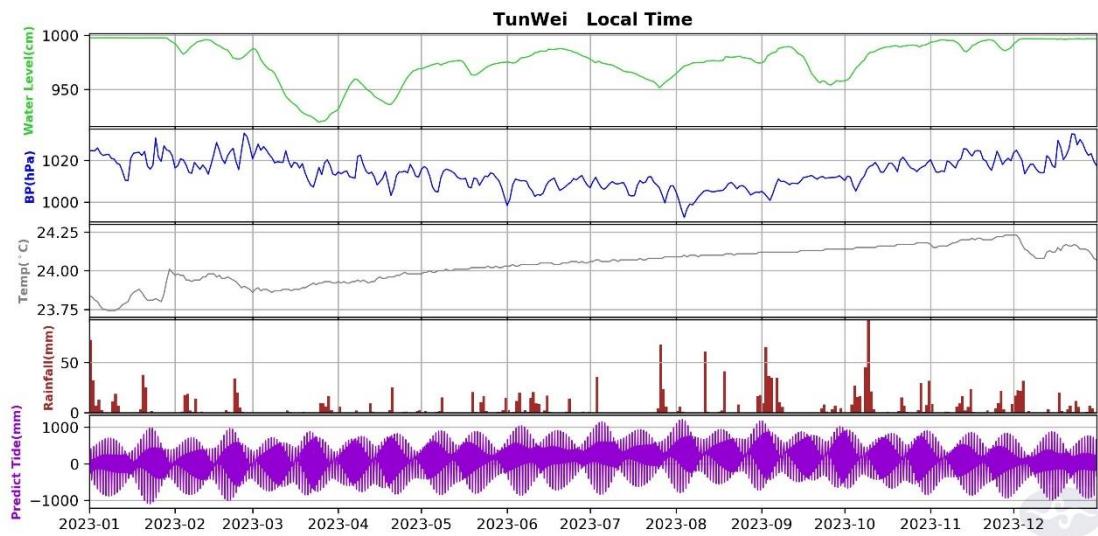
(a) daily variation of Dst-Index; (b) daily variation of observed TEC values (blue lines); (c) positive difference between observed TEC values and upper bounds of theoretical values (blue bars), negative difference for the lower bounds (red bars); (d) 5-day moving average of TEC values. Arrows indicate earthquakes of local magnitude (M_L) larger than 5.0.

3. 地震地下水觀測 Seismic groundwater observation

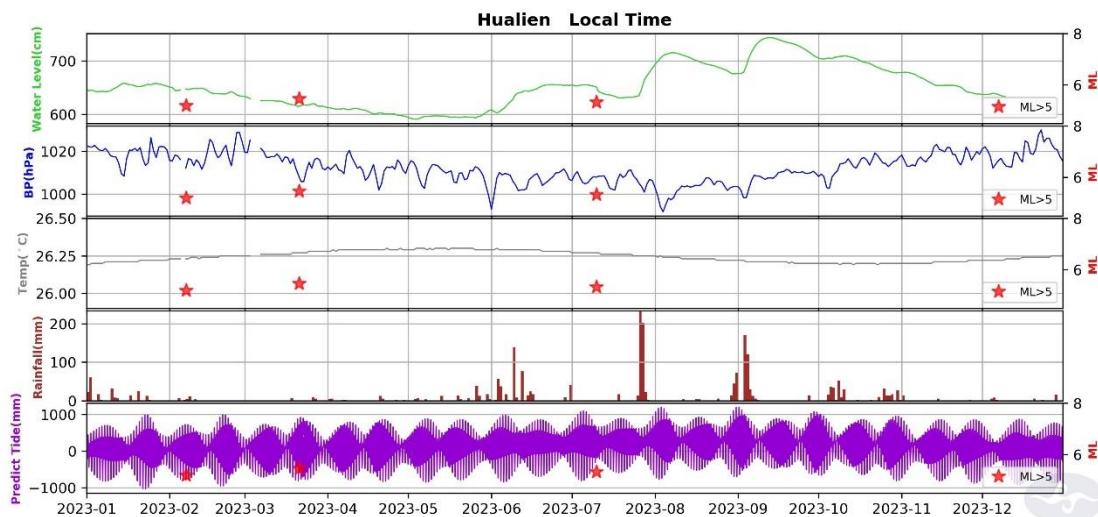
本署建置花蓮、壯圍、東和、六甲、那拔及赤山6口即時連線的觀測井，以連續記錄各觀測站之水位、水溫、大氣壓力、降雨等物理量，藉以建立地下水位變動的相關研究參數，做為地震前兆偵測的研判，其觀測資料之時間序列如圖3.2.4所示。

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；那拔、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；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。

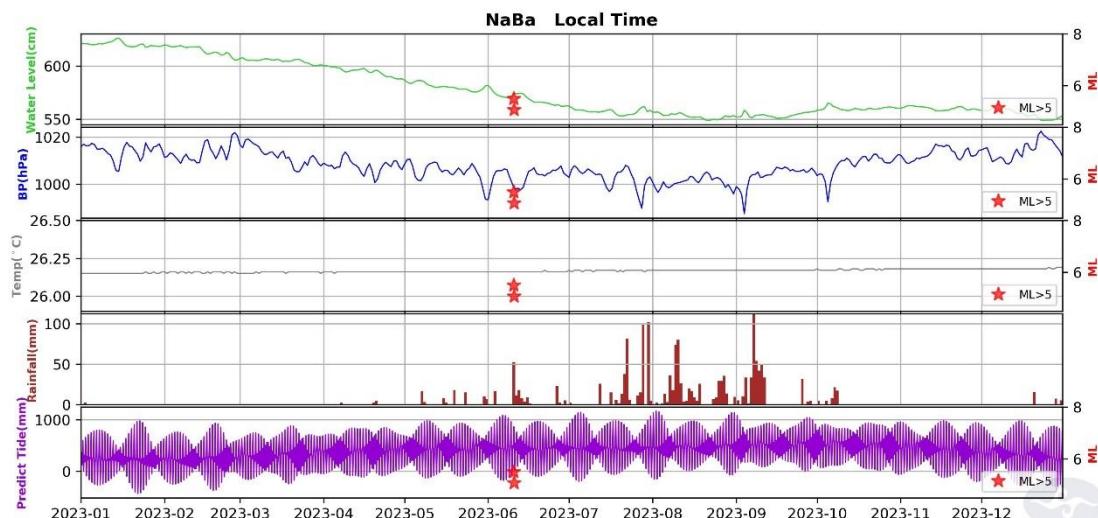
(a)



(b)



(c)



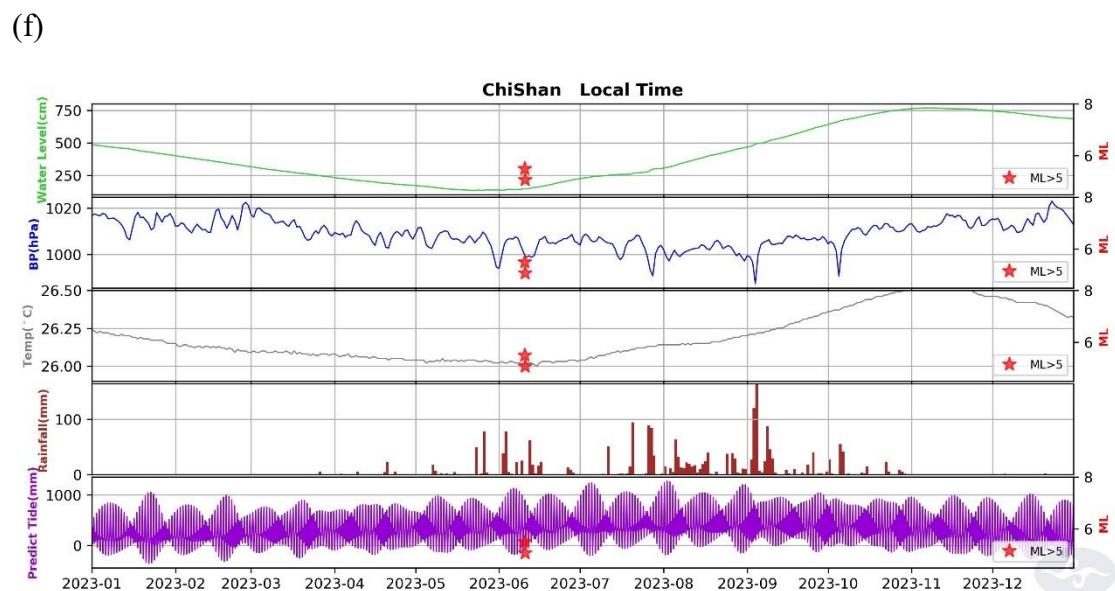
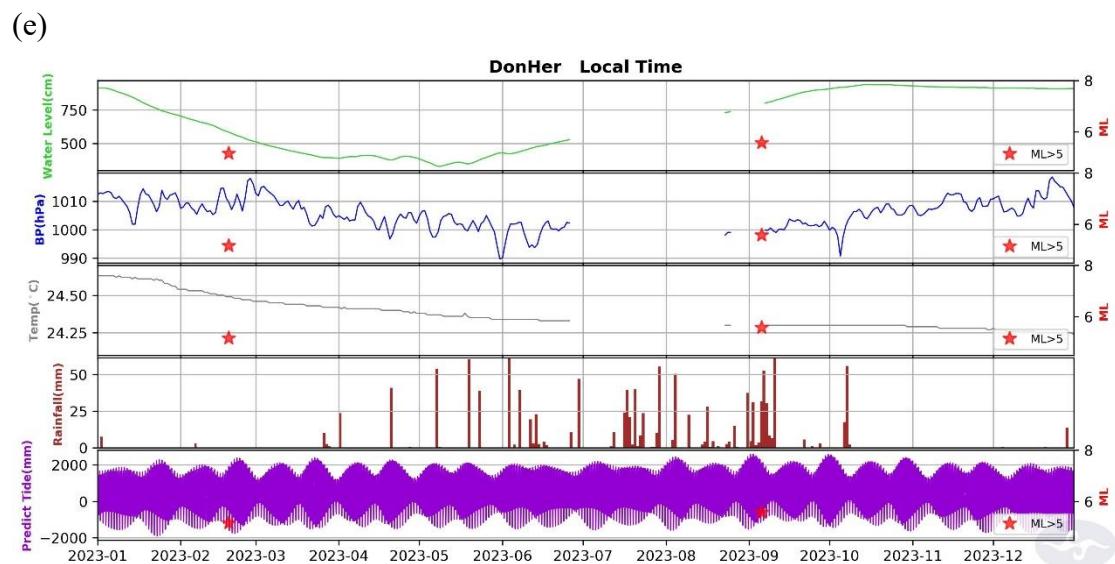
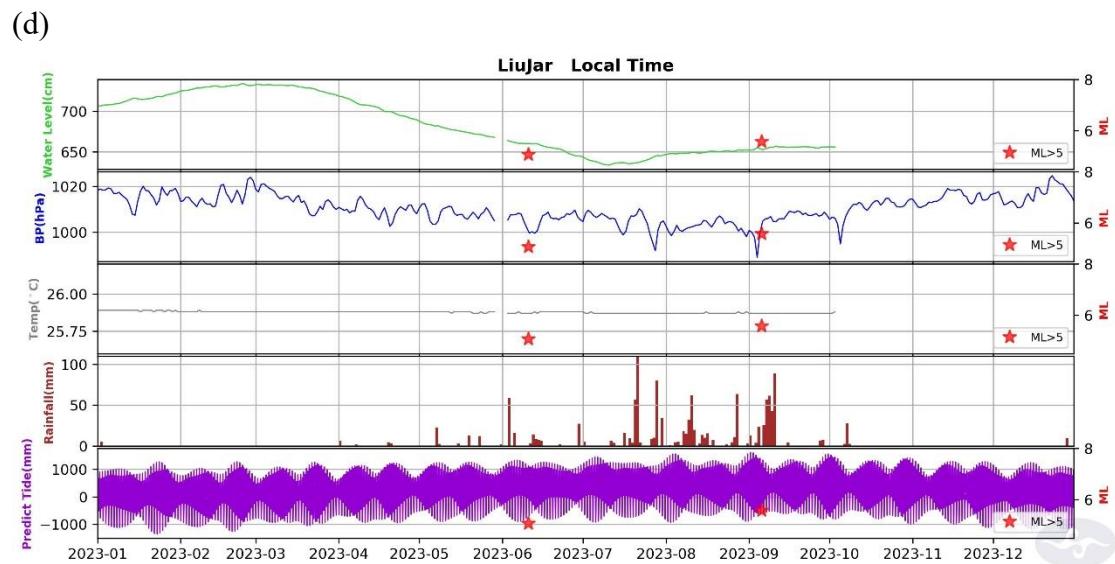


圖 3.2.4 112 年地震地下水位觀測時序圖，(a)壯圍站 (b)花蓮站 (c)那拔站 (d)六甲站 (e)東和站 (f)赤山站。圖中綠線表示地下水位，紅色星號表示規模 5.0 以上、深度小於 40 公里且距離測站小於 50 公里內地震，藍線表示氣壓，灰線表示表層水溫，棕色直條表示鄰近地區降雨量，紫線表示理論地潮。

Figure 3.2.4 Time series of the seismic groundwater observation in 2023 at: (a) ZhuangWei Station (b) Hualien Station (c) NaBa Station (d) LiuJar Station (e) DonHer Station (f) ChiShan Station. Green line indicates water level; Red stars represent earthquakes of local magnitude (M_L) larger than 5.0 with the depth less than 40 km which the distance less than 50 km between epicenter and the station; blue line indicates atmospheric pressure; gray line indicates temperature; brown bar chart indicates rainfall near the station; purple line represents theoretical tide.

4. 地球磁場觀測 **Geomagnetic observation**

目前本署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，而新升級之三分量磁力儀能提供更詳細的地磁物理量，經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。

臺灣本島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擾動指數（disturbance storm time index, 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99年本署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。112年地磁場觀測變化如圖3.2.5所示。

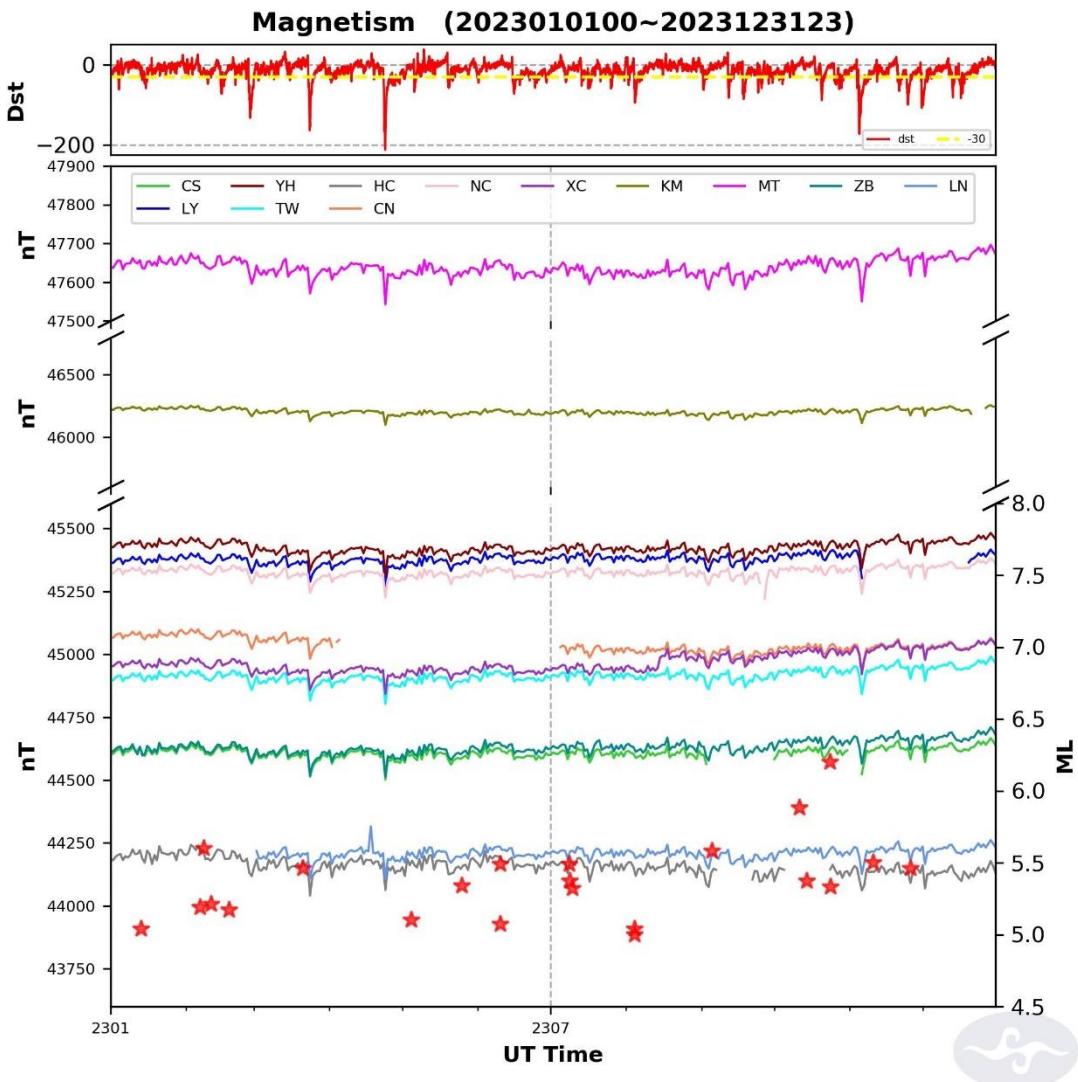


圖3.2.5 圖中上方為112年全球觀測地磁擾動指數（Dst index）時序圖，顯示地磁場受太陽風影響擾動的程度。紅色線為地磁擾動指數，黃色線為磁爆門檻值（Dst=-30）。圖的下方為同年所有測站的地球磁場觀測值（左軸，單位:nT）。紅色星號表示發生規模5.0以上且深度小於40公里之地震的時間與規模。測站站名中英文對照如下：馬祖站MT、金門站KM、桃園爺亭站YH、苗栗鯉魚潭站LY、宜蘭內城站NC、南投日月潭站SM、花蓮新城站XC、臺南灣丘站TW、臺東池上站CS、台東蘭嶼站LN、屏東恆春站HC、台東知本站ZB、南投暨南站CN。

Figure 3.2.5 The upper figure: Red line indicates disturbance storm time (Dst) index; yellow line shows threshold value of magnetic storm (Dst=-30). The bottom figure: Time series of the geomagnetic observation of 2023. Line of different colors represent different stations. Red stars represent earthquakes of local magnitude (ML) larger than 5.0 with the depth less than 40 km.

5. 大地電場觀測 Geoelectric observation

本署於全臺建置20個大地電場觀測站，每個量測區內挑選三個接地點，取其一點為共用點，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），可以紀錄到許多震前、震中、震後的地下自然電位變化的情形，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。112年各站地電電位差變化情形如圖3.2.6。

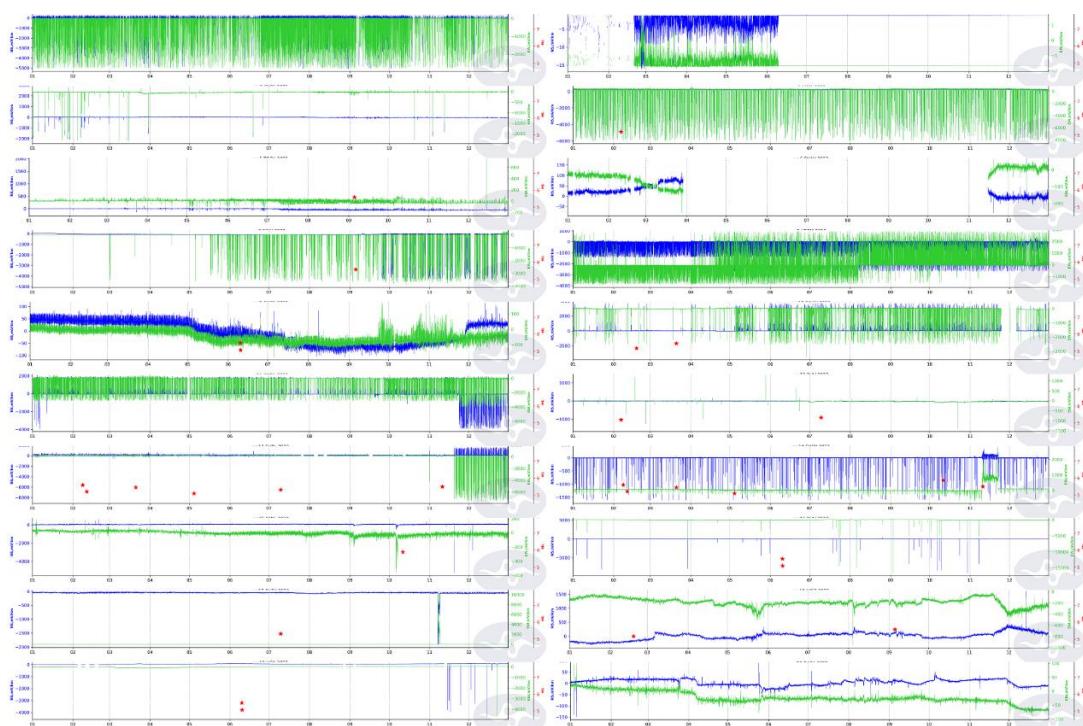


圖 3.2.6 112 年各測站的大地電場觀測值，綠色為東西向，藍色為南北向(單位:mV/km)。紅色星號表示發生規模 5.0 以上且深度小於 40 公里之地震的時間與規模。測站站名中英文對照如下：過嶺站 KUOL、復興站 HUAL、頭城站 TOCH、南澳站 ENAN、四湖站 SIHU、和美站 HERM、將軍站 CHCH、大湖站 DAHU、左站營 KAOH、埔站里 PULI、士林站 SHRL、新城站 SHCH、鳳林站 FENL、玉里站 YULI、瑞源站 RUEY、六龜站 LIOQ、梨山站 LISH、達邦站 DABA、萬站巒 WANL、楓港站 FENG。

Figure 3.2.6 Time series of the geoelectric observation of 2023. Green lines are NS component and blue lines are EW component. The red stars represent the earthquakes of local magnitude (M_L) larger than 5.0 with 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 reports

本署於112年共發布466筆有感地震報告，其中85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；381筆為震度影響範圍較小之小區域有感地震。112年臺灣地區（北緯：21～26度，東經：119～123度）規模6以上地震計有4起，8月13日9時43分芮氏規模6.0地震，位於臺灣南部海域。分別為9月12日19時3分芮氏規模6.8地震，位於高雄市政府南南東方 376.3 公里。9月18日21時21分芮氏規模6.8地震，位於基隆市政府東北東方 397.0 公里。10月24日7時5分芮氏規模6.2地震，位於位於臺灣東部海域。

前述85筆顯著有感地震報告，其平均作業時效為地震發生後5分14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。112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600則，規模未達5平均約發送550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。

112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。

2023

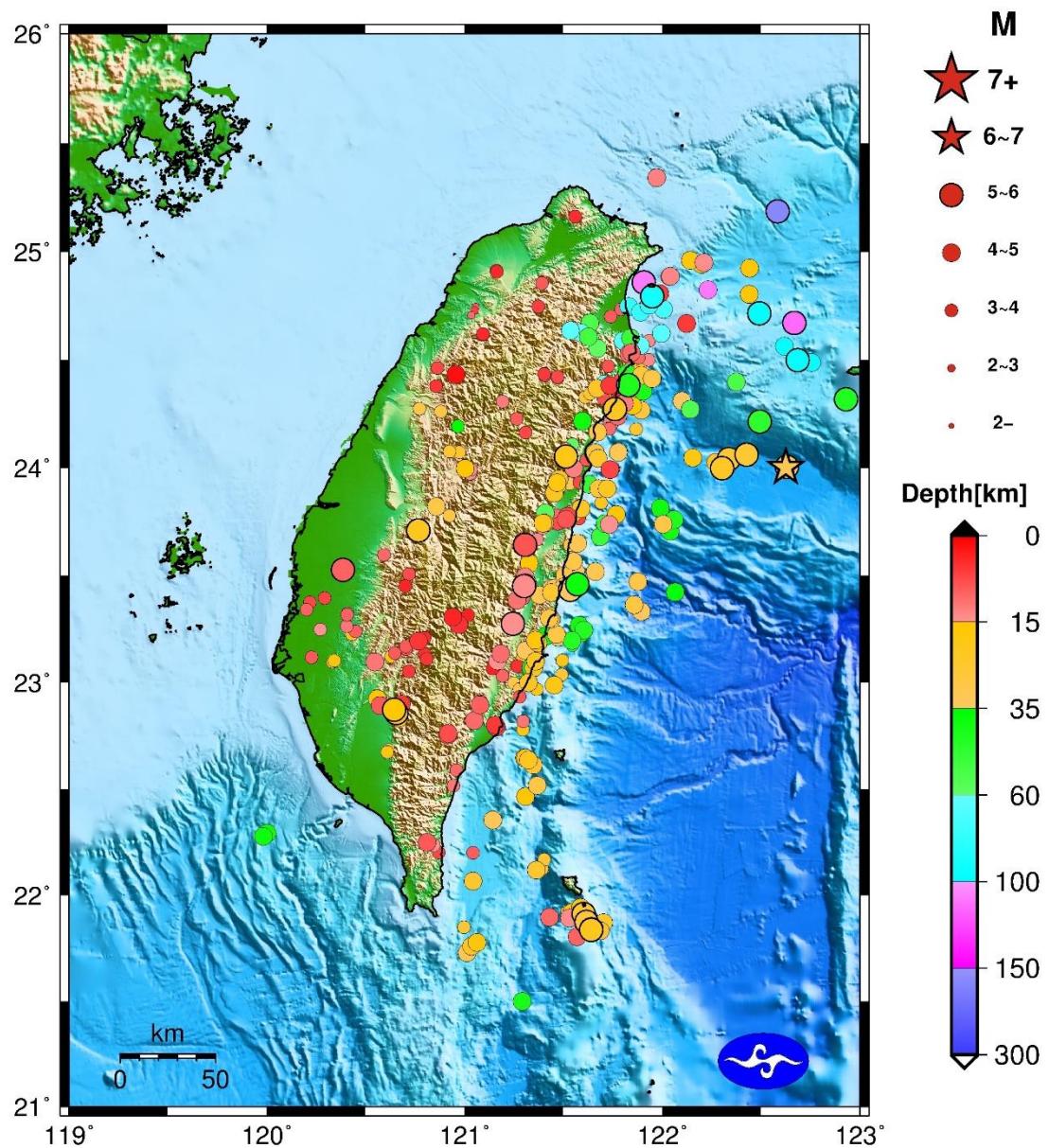


圖4.1.1 112年有感地震報告震央分布圖（★：規模6以上）。

Figure 4.1.1 Felt earthquakes in 2023 (★: Magnitude ≥ 6)

表 4.1.1 112 年各月份有感地震之規模統計表。

Table 4.1.1 Magnitude of felt earthquakes in 2023 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	0	0	0	0	1	2	1	0	0	4
規模 5~6 個數	2	5	2	1	2	4	3	3	2	3	2	1	30
規模 4~5 個數	16	13	24	21	11	15	18	20	11	18	12	12	191
規模 3~4 個數	20	23	22	31	11	17	23	12	24	22	14	17	236
規模 2~3 個數	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	5
規模 1~2 個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
規模 0~1 個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	39	41	48	53	25	36	44	36	39	44	29	32	466

表 4.1.2 112 年各月份有感地震之震度統計表。

Table 4.1.2 Intensity of felt earthquakes in 2023 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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
震度 6 強個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
震度 6 弱個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
震度 5 強個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
震度 5 弱個數	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
震度 4 個數	5	5	6	8	4	3	13	6	3	6	7	2	68
震度 3 個數	9	17	21	22	9	10	15	10	11	15	4	9	152
震度 2 個數	22	17	17	21	11	21	14	16	22	17	11	16	205
震度 1 個數	3	2	4	2	1	2	2	4	2	5	7	5	39
震度 0 個數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	39	41	48	53	25	36	44	36	39	44	29	32	466

表 4.1.3 112 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 2023 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	5	9	10	10	2	7	11	9	6	9	5	2	85
小區域地震個數	34	32	38	43	23	29	33	27	33	35	24	30	381
合計	39	41	48	53	25	36	44	36	39	44	29	32	466

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

112年顯著有感地震報告共85筆，速報系統全區網自動定位之時效平均約1分28秒完成，經值班人員檢視地震訊號、確認資訊後，平均在5分14秒完成報告產製與對外發布作業，如圖4.2.1所示。

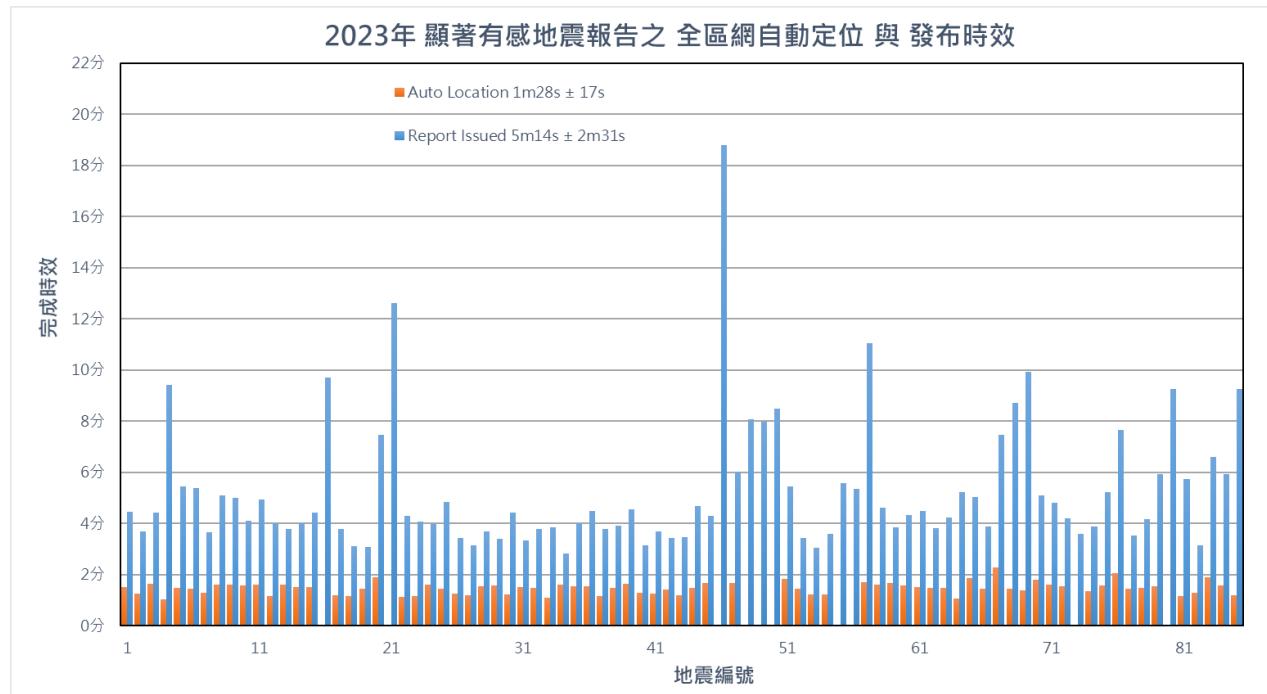


圖4.2.1 112年顯著有感地震自動定位與主動通報發布時效統計圖。

Figure 4.2.1 Auto-location and official report issuance for significant felt earthquakes in 2023

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

112 年太平洋海嘯警報中心 (Pacific Tsunami Warning Center, PTWC) 針對太平洋地區所發生之 38 起海域地震事件，共發出 57 報次之電文，其中有 8 起達海嘯威脅，臺灣列入威脅區域之事件共計 1 起，該起地震發生於菲律賓答那峨島，發震時間為 12 月 2 日 22 時 37 分，地震規模為 7.6，本署接獲電文並研判海嘯將於 3 小時內抵達臺灣沿海後，發布海嘯警報提醒沿海地區民眾提高警覺嚴加防範，如圖 5.1 所示。

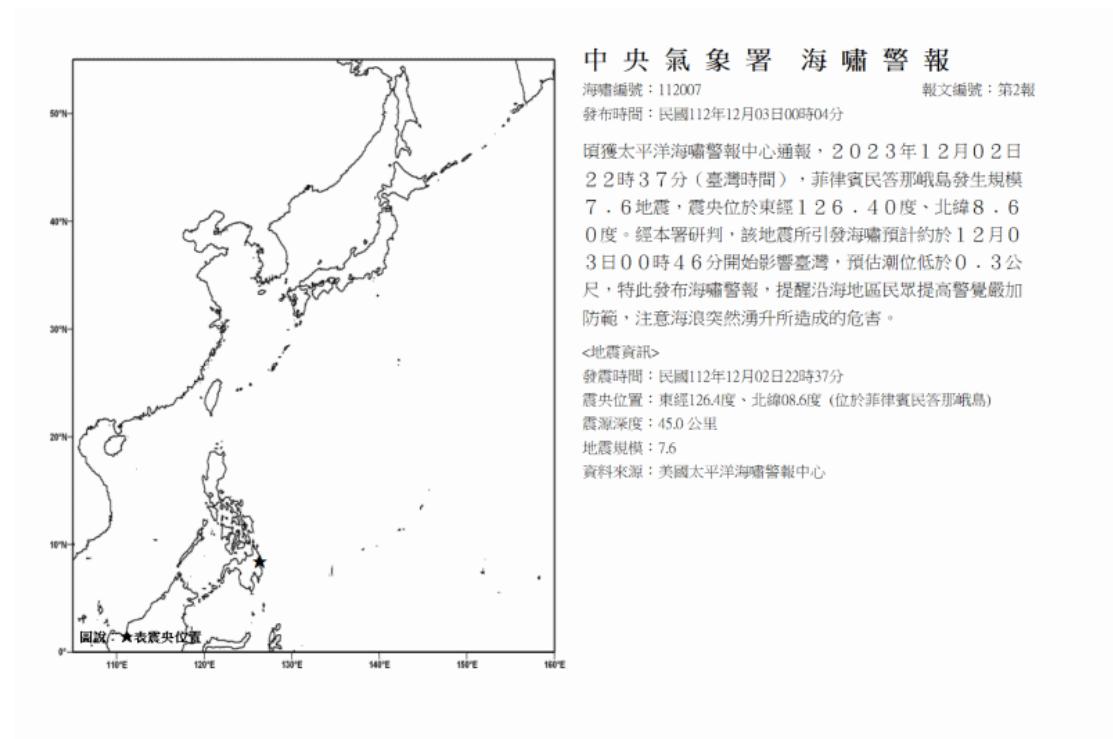


圖 5.1 112 年針對地震規模 7.6 之菲律賓海嘯事件所發布之海嘯警報。

Figure 5.1 Tsunami warning for M7.6 Philippine earthquake in 2023.

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，但若能善加利用，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

本署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10至20秒內，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70公里以外之地區，提供預警時效。

為使國內中、下游層次之強震預警機制更加完備，因此本署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112年底已完成客戶端數量約4,400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。105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）112年執行成效 Implementation and performance in 2023

1. 系統效能 System performance

檢視112年地震預警系統運作情形，總共發布57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約10~15秒以內對外發布訊息，對距離震央35至55公里以外的地區提供預警。至於30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（blind zone）。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4.4公里，島外為29.4公里，總平均為17.7公里（表6.2.1、圖6.2.1），規模誤差平均為0.4（表6.2.1、圖6.2.2）。

表 6.2.1 112 年強震即時警報時效與誤差統計表。

Table 6.2.1 System performance in 2023

編號	地 震 編	地震發生時間 (臺灣時間)	2023年中央氣象局強震即時警報系統(EEW)效能統計表					人工定位			即時警報			時效	位置	規模
			經度 (度)	緯度 (度)	規模	深度 (公里)	最大 震度	經度 (度)	緯度 (度)	規模	深度 (公里)	(秒)	誤差 (公里)	誤差		
1		2023-01-05 12:59:28	121.6	23.23	4.5	39.7	2級	121.5	23.32	4.5	10	26.4	16.65	0		
2		2023-01-06 02:02:51	122	24.89	4.2	13.5	2級	122.1	24.87	4.5	10	15.0	4.002	0.3		
3	001	2023-01-07 19:21:26	121.3	23.56	4.7	15.2	4級	121.4	23.58	5.0	20	15.0	3.14	0.3		
4	002	2023-01-09 19:31:50	121.3	23.38	4.7	11.5	4級	121.3	23.41	5.0	20.0	13.0	4.002	0.3		
5		2023-01-11 03:22:12	121.3	23.15	4	33.9	1級	121.4	23.11	4.5	30.0	24.6	8.949	0.5		
6	003	2023-01-11 12:42:09	121.5	23.22	4.8	29.2	4級	121.4	23.2	4.5	20	14.9	12.41	0.3		
7	004	2023-01-12 13:15:52	120.7	22.83	4.4	19.6	3級	120.7	22.8	4.6	10	18.2	4.709	0.2		
8		2023-01-13 23:02:37	122.3	24.04	5	24.2	2級	122.3	24.1	4.6	20	19.6	9.419	0.4		
9	005	2023-01-20 10:56:26	121.5	24.05	4.4	19.7	4級	121.5	24.01	4.5	20	14.4	4.577	0.1		
10	006	2023-02-07 04:20:17.5	121.8	24.28	5.1	15.8	4級	121.7	24.31	4.9	10	11.0	7.446	0.2		
11	007	2023-02-08 05:48:48.2	121.8	24.74	4.4	78.9	2級	122	24.78	4.7	70	26.6	21.55	0.3		
12	008	2023-02-08 18:49:58.5	121.7	23.39	5.4	31.6	4級	121.4	23.52	4.9	10	14.0	35.28	0.5		
13	009	2023-02-11 19:35:48.0	121.7	23.38	5.1	31.8	4級	121.4	23.43	4.5	10	13.8	33.76	0.6		
14	010	2023-02-17 09:22:50.7	121.5	23.94	4.6	18.7	4級	121.5	23.87	4.8	10	9.7	7.849	0.2		
15	011	2023-02-18 23:49:09.5	120.8	23.7	5	18.2	4級	120.8	23.79	5.1	10	10.1	10.23	0.1		
16	012	2023-02-19 07:32:33.1	121.6	24.7	4.6	52.7	3級	121.7	24.77	4.7	60	25.1	10.99	0.1		
17	013	2023-02-21 19:01:41.9	121.7	23.51	4.8	31.3	3級	121.5	23.62	4.7	40	15.4	19.76	0.1		
18		2023-02-22 01:00:20.6	123.4	24.96	5.3	140.9	2級	121.9	24.67	4.5	50	39.3	169.6	0.8		
19	014	2023-02-23 05:18:44.1	121.7	24	4.5	5	3級	121.8	23.95	4.6	10	20.5	5.978	0.1		
20		2023-02-26 00:03:16.2	121.3	22.48	4.5	1.7	2級	121.2	22.54	4.5	20	18.3	16.91	0		
21		2023-03-02 15:01:48.6	121.4	23.07	4.1	19.5	2級	121.4	22.99	4.6	40	13.7	9.928	0.5		
22	016	2023-03-03 00:48:59.2	121.8	24.53	4.9	11.3	4級	121.8	24.52	5.0	10	9.63	1.57	0.1		
23		2023-03-03 22:48:44.2	121.9	24.86	5	108.7	2級	121.9	24.97	4.5	40	21.6	13.91	0.5		
24		2023-03-04 01:57:31.3	122.2	24.05	4.8	16.3	2級	122.1	24.09	4.6	10	21.3	6.279	0.2		
25	018	2023-03-16 12:28:43.2	121.2	23.27	4.2	18	4級	121.3	23.25	4.5	20	17.2	3.14	0.3		
26	019	2023-03-19 13:12:16.7	121.1	22.82	4.2	10.6	3級	121.1	22.81	4.5	20	28.3	1.57	0.3		
27	020	2023-03-21 09:45:20.6	121.3	23.64	5.4	8.5	4級	121.3	23.65	5.9	10	13.1	3.51	0.5		
28	021	2023-03-21 09:46:12.5	121.3	23.64	4.9	7.1	4級	121.3	23.64	5.0	10	15.2	3.33	0.1		
29	022	2023-03-22 23:43:05.3	121.3	23.65	4.7	6.5	3級	121.4	23.63	4.5	10	10.5	10.23	0.2		
30	023	2023-03-23 05:51:04.1	121.3	23.66	4.7	7.8	3級	121.2	23.68	4.7	10	12.5	10.23	0		
31	024	2023-03-24 18:04:18.6	121.3	23.65	4.3	6.7	3級	121.3	23.66	4.5	10	14.8	3.51	0.2		
32		2023-04-01 04:00:51.8	120.6	22.87	4.3	16.6	3級	120.7	22.87	4.5	10	20.6	2.22	0.2		
33	025	2023-04-01 04:02:17.5	121	24.43	4.4	1.8	3級	120.9	24.52	4.6	10	9.5	11.43	0.2		
34	026	2023-04-05 00:34:27.9	121.5	23.93	4.2	19.9	4級	121.5	23.91	4.5	20	11.3	2.482	0.3		
35	028	2023-04-07 18:36:31.0	121.4	23.2	4.7	17.1	3級	121.3	23.2	4.5	20	11.1	2.22	0.2		
36	029	2023-04-08 20:14:50.3	121.4	23.44	4.7	31.7	3級	121.4	23.41	4.7	40	13.2	3.51	0		
37	030	2023-04-09 13:19:09.2	121.5	24.64	4.6	62.6	2級	121.6	24.68	4.6	60	30.4	4.577	0		
38	031	2023-04-14 11:54:02.3	121.2	22.79	4.2	6.3	4級	121.2	22.8	4.6	10	21.5	1.11	0.4		
39	032	2023-04-16 11:26:56.5	121.4	23.74	4.3	20	4級	121.5	23.73	4.6	20	25.9	6.752	0.3		
40		2023-04-17 03:17:33.6	120.9	22.75	4.2	7.8	2級	121	22.69	4.5	10	10.6	8.004	0.3		
41	033	2023-04-17 16:49:04.7	121.7	24.37	4.7	23	4級	121.7	24.39	4.5	20	18.5	2.482	0.2		
42		2023-04-21 19:44:44.1	121.5	23.5	4.6	29	3級	121.4	23.51	4.7	40	14.1	12.26	0.1		
43	034	2023-04-24 21:35:38.7	121.2	22.8	4.4	5.8	4級	121.2	22.79	4.5	10	20.5	1.11	0.1		
44		2023-04-27 16:15:20.2	121.5	23.47	4.3	36.6	3級	121.6	23.44	4.5	30	22.6	8.454	0.2		
45		2023-05-04 16:15:46.8	120.9	22.76	4	7.8	3級	120.8	22.8	4.7	10	10.6	14.04	0.7		
46	035	2023-05-04 23:38:20.9	121.3	23.45	5.1	14.1	4級	121.3	23.47	4.5	10	9.8	4.964	0.6		
47		2023-05-12 05:25:18.3	121	21.73	4.6	31.9	2級	121.1	21.86	4.7	10	24.4	17.55	0.1		

48	036	2023-05-13 01:30:21.6	121.6	23.18	4.7	24.9	4級	121.4	23.21	4.8	20	12.4	18.07	0.1
49		2023-05-31 18:48:03.4	121.1	22.35	4.4	32.2	2級	121.2	22.33	4.5	20	26.8	10.23	0.1
50		2023-06-02 17:48:43.9	122.1	24.31	4.5	25.3	2級	122.1	24.34	4.6	20	25.1	3.8	0.1
51		2023-06-10 13:26:03.7	120.7	22.87	4.2	15.5	3級	120.7	22.85	4.5	10	20.6	2.061	0.3
52	38	2023-06-10 13:31:54.0	120.7	22.86	5.3	10.3	4級	120.7	22.86	5.3	10	9.2	0.721	0
53	39	2023-06-10 17:12:34.4	120.7	22.86	4.9	10.4	4級	120.6	22.83	5.1	10	8.8	10.22	0.2
54	40	2023-06-11 20:25:39.1	122.5	24.21	5.2	44.4	2級	122.2	24.18	4.6	10	20.0	38.09	0.6
55		2023-06-15 07:58:57.9	121.6	23.56	4.7	30.6	3級	121.5	23.6	4.7	40	14.9	9.903	0
56	41	2023-06-17 09:47:29.0	121.2	23.26	4.2	16.7	3級	121.2	23.24	4.5	20	17.7	2.419	0.3
57	42	2023-06-22 14:04:07.7	121.7	23.92	4.4	15.9	3級	121.7	23.89	4.6	10	19.7	4.794	0.2
58	43	2023-06-23 02:45:30.2	121.7	24.57	4.7	58.6	2級	121.6	24.64	4.5	40	21.8	14.28	0.2
59	51	2023-07-10 06:11:33.2	121.6	24.04	5.2	15.3	4級	121.5	24.04	5.3	20	18.1	3.33	0.1
60	52	2023-07-14 10:09:27.6	121.3	23.49	4.4	14.4	4級	121.2	23.52	4.5	10	14.3	11.59	0.1
61	53	2023-07-15 15:50:51.2	121.3	23.46	4.1	13.9	4級	121.4	23.45	4.5	10	20.5	7.849	0.4
62		2023-07-28 21:17:54.1	121.9	24.73	4.5	78.6	3級	121.9	24.74	4.5	50	17.6	4.577	0
63		2023-08-06 01:12:41	121.8	24.59	4.6	64.8	2級	121.7	24.65	4.5	50	25.2	14.09	0.1
64		2023-08-08 18:38:12	121.6	23.27	4.6	40	2級	121.5	23.25	4.6	40	13.6	8.936	0
65	58	2023-08-10 10:02:17	121.9	24.79	5	91.2	2級	121.9	24.97	4.5	50	19.3	19.78	0.5
66		2023-08-11 18:24:00	120.9	23.3	4.3	3.9	2級	120.9	23.24	4.6	10	11.6	7.16	0.3
67		2023-08-13 09:43:10	121.5	20.55	6	84	2級	121.3	21.69	5.1	20	56.1	127.7	0.9
68	59	2023-08-13 20:06:23	121	21.76	4.8	21	3級	120.9	21.91	4.6	20	18.4	23.24	0.2
69	60	2023-08-16 01:09:18	121.7	24.17	4.8	27.7	3級	121.6	24.2	4.5	10	20.0	6.064	0.3
70	62	2023-08-27 19:04:46	121.1	22.89	4.2	9.6	3級	121	22.93	4.7	10	11.6	10.47	0.5
71	63	2023-08-31 12:49:03	120.4	23.53	4.5	8.9	4級	120.4	23.58	4.9	10	8.21	6.779	0.4
72	64	2023-09-05 11:13:48	120.9	22.26	4.4	3.4	4級	120.8	22.26	4.9	10	19.7	2.664	0.5
73	65	2023-09-05 17:30:41	120.4	23.53	5.5	8.5	5弱	120.4	23.52	6.3	10	7.0	3.036	0.8
74	66	2023-09-06 13:21:38	120.7	22.9	4.3	5	4級	120.7	22.91	4.9	10	12.9	3.958	0.6
75		2023-09-18 21:21:19	126	25.81	6.8	36.6	1級	122	25.06	5.1	20	70.3	458.3	1.7
76		2023-09-25 04:35:22	121.1	22.91	3.6	8.2	3級	120.5	23.2	5.2	40	9.7	75.56	1.6
77		2023-10-05 16:53:16	122.2	24.02	4.7	10	2級	122.3	24.02	4.9	10	24.9	7.443	0.2
78		2023-10-11 18:36:56	121.3	23.25	5.8	17	5弱	121.3	23.26	5.7	10	10.4	6.282	0.1
79		2023-10-12 20:16:29	120.6	22.93	4.9	15.1	4級	120.5	22.9	4.8	10	9.3	4.612	0.1
80		2023-10-14 15:53:29	122.3	23.91	5.3	7.2	2級	122.1	24.09	5.0	10	23.9	27.53	0.3
81		2023-10-23 21:19:20	121.3	22.99	4.8	19.4	4級	121.2	23	4.6	10	10.1	16.57	0.2
82		2023-10-24 07:05:20	122.8	23.91	6.2	5.7	3級	122.4	24.15	6	20	29.7	56.32	0.2
83		2023-10-28 10:16:10	121.4	22.5	4.5	26.6	3級	121	22.66	4.5	40	16.1	40.67	0
84		2023-10-31 20:33:54	121.6	23.24	4.7	43.5	3級	121.5	23.24	4.6	40	13.4	13.43	0.1
85		2023-11-10 20:05:04	121.3	23.06	4.2	37.7	2級	121.3	22.99	4.6	20	20.8	8.588	0.4
86	79	2023-11-11 00:54:39	121.7	23.41	5.4	28.7	4級	121.4	23.57	4.9	10	12.9	32.19	0.5
87	81	2023-11-21 01:16:35	120.9	23.82	4.6	28.9	3級	120.9	23.82	4.8	20	11.8	0.675	0.2
88	82	2023-11-23 12:26:26	121.6	23.17	4.7	40.2	3級	121.4	23.22	4.9	40	15.1	22.89	0.2
89	83	2023-11-26 12:31:09	122.5	23.94	5.4	22.4	2級	122.2	24.22	5.7	20	24.8	47.07	0.3
90	84	2023-12-02 06:27:30	121.5	23.42	4.8	22.9	4級	121.4	23.43	4.6	20	11.7	5.175	0.2
91		2023-12-09 14:19:25	122.7	24.5	5.1	96.3	2級	121.8	24.39	4.7	40	24.4	98.56	0.4
92		2023-12-24 05:07:51	121.3	22.63	4.4	16.8	2級	121.4	22.66	4.9	40	10.9	10.3	0.5
93		2023-12-24 05:21:18	121.3	22.63	4.6	16.5	3級	121.3	22.78	4.6	10	10.4	18	0
94		2023-12-24 17:19:17	121.3	22.62	4.4	20.6	2級	121.4	22.65	4.8	20	13.9	4.374	0.4
95	85	2023-12-31 05:57:10	121.8	24.62	4.5	47.4	3級	121.9	24.58	4.8	40	13.0	6.068	0.3

位置平均誤差 (Average epicenter error) 11.4 公里 (km)

規模平均誤差 (Average magnitude error) 0.4

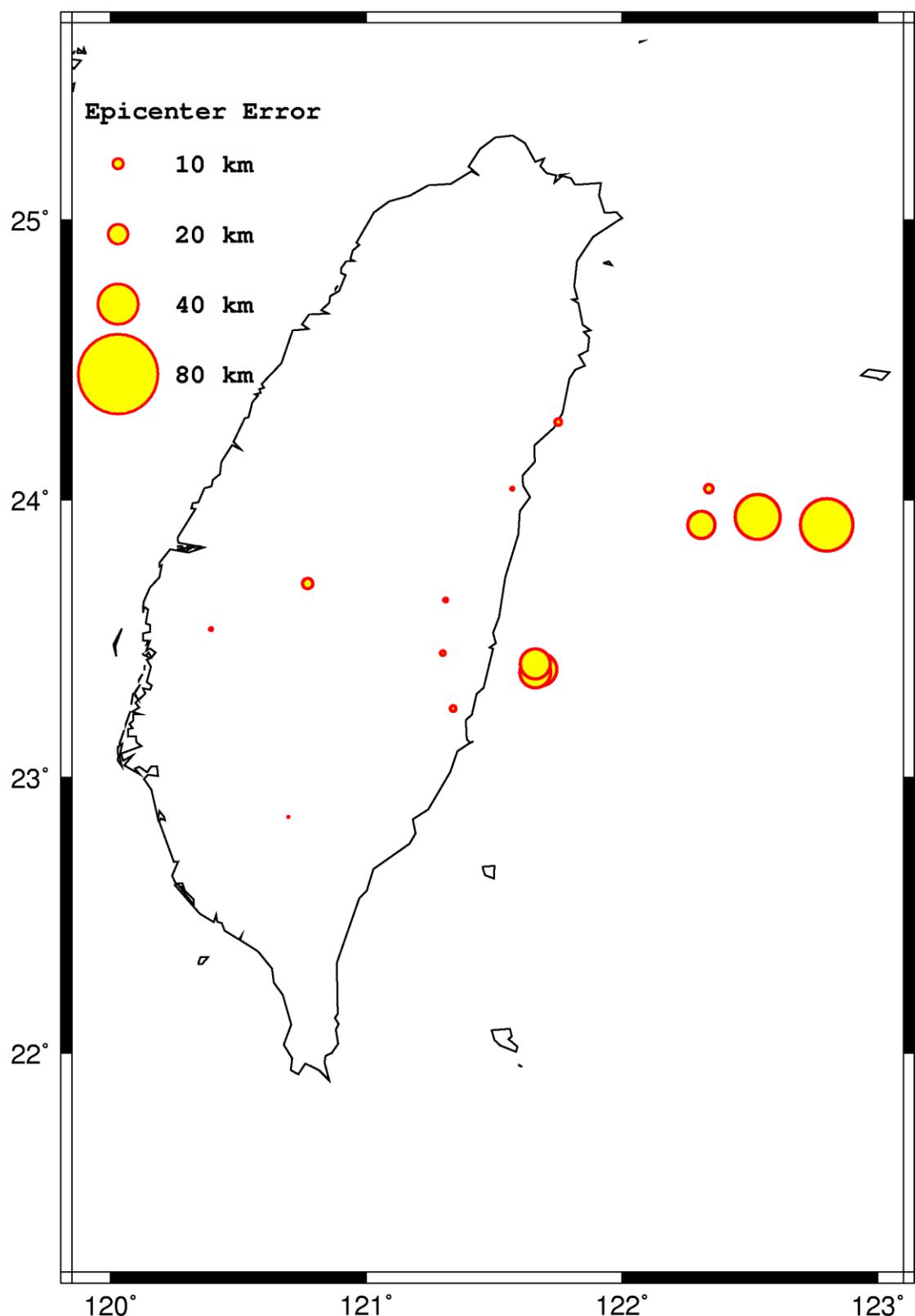


圖 6.2.1 112 年強震即時警報震央位置誤差隨震央之分布圖。
(圓圈愈大震央誤差愈大，尺度見圖左上。)

Figure 6.2.1 Epicenter error of earthquake early warning in 2023
(The larger the circle, the bigger the error)

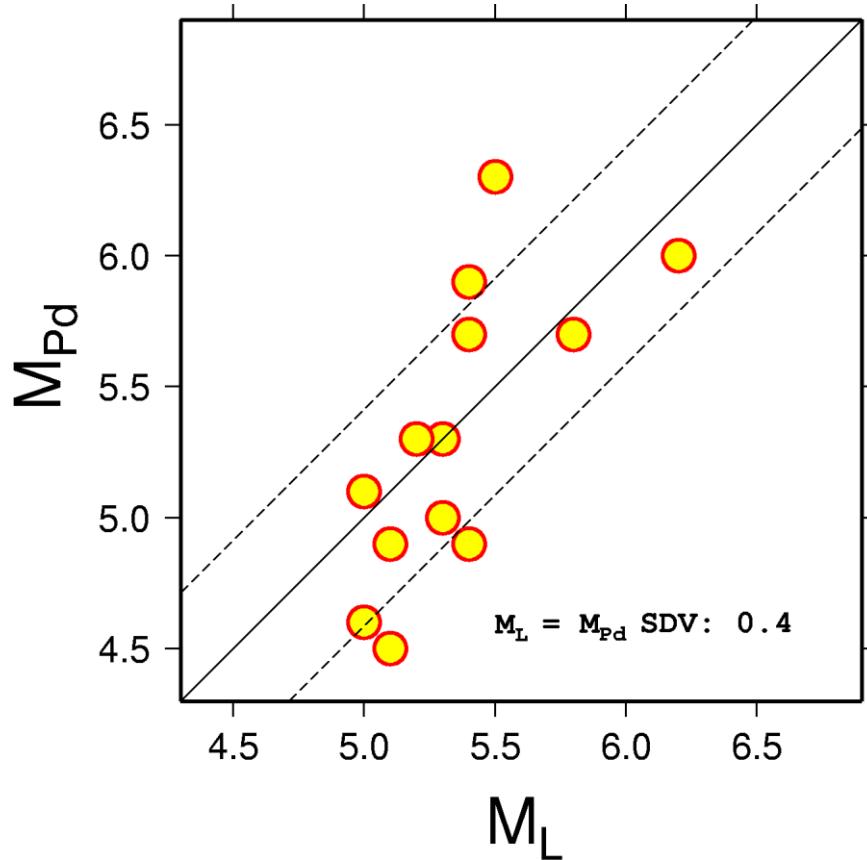


圖 6.2.2 112 年強震即時警報地震規模誤差分布圖。橫軸為地震目錄之地震規模，縱軸為強震即時警報地震規模。

Figure 6.2.2 Magnitude error of earthquake early warning in 2023

該系統針對臺灣東部地震已具備良好的偵測與預警能力，以 112 年 10 月 11 日 18 時 36 分，規模 5.8 的花蓮地震為例，系統在地震發生後 10.4 秒開始對外發布警報。警報發布的地震規模為 5.7，震央位置與後來人工定位相差 6.3 公里，結果相當接近。預警效益方面，除花蓮地區外，距離震央約 35 公里以外的地區有數秒以上的預警時間（圖 6.2.3），其中臺北約有 37 秒以上時間預警，成功展示本署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 via 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，112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) 112年9月14日國家防災日預演，應接收測試之學校及教育主管單位共4,031所，成功傳送至3,267校，4,907部電腦主機接收，學校接收率81.05%。
- (2) 112年9月21日國家防災日，應接收測試訊息之學校、教育主管單位、消防單位及氣象站共4,106個帳號，成功傳送至3,795單位，5,956部電腦主機接收，學校接收率92.43%。

本署與外部單位合作推動地震資訊傳遞服務，至112年累計有

21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6.2.2 112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 2023

	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	東億電通有限公司 (行動 App)
5	美麗蓮股份有限公司 (LED 示警)
6	弘政通信有限公司 (廣播設備)
7	瑞德感知科技股份有限公司 (動態導引系統)
8	中華大學工程科學博士學位學程 (電梯自動控制)
9	王聲電子科技有限公司 (廣播系統整合)
10	國家災害防救科技中心 (Line 客製化推播)
11	衛波科技股份有限公司 (複合型地震預警技術服務)
12	環輿科技股份有限公司 (環境監控及災害警示)
13	興創知能股份有限公司 (複合型地震預警技術服務)
14	中保防災科技股份有限公司 (智慧防災系統)
15	台灣積體電路製造股份有限公司 (多地廠區減災機制)
16	元朔資訊股份有限公司 (金融證券公司及 101 大樓預警傳遞)
17	恆煦資訊股份有限公司 (後端防災軟硬體應用)
18	俊容科技有限公司 (營建工地導入地震預警 IOT)

19	個人-朱偉綸 (預警軟體及網頁服務)
20	個人-郭宸毓 (預警軟體及網頁服務)
21	臺灣天氣股份有限公司 (行動 APP)

(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，本署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

112年共觀測到1個規模大於6以上的強震，時間為10月24日發生於花蓮外海規模6.2地震，深度31.5公里。島內規模最大的地震為10月11日發生於花蓮規模5.8地震，深度14.5公里。

(一) 112年10月24日規模6.1東部海域地震 October 24, 2023 earthquake in the marine area east of Taiwan

112年10月24日在臺灣東部海域發生規模6.2地震（圖7.1.1），地震發生的位置為南澳海盆北緣。由於地震發生的位置距離地震站密集的臺灣本島較遠，因此並未監測到此地震後有大量的微震活動（圖7.1.2）。依本署提供的該地震震源機制與背景地震分布推測，該地震可能是一個向北傾的破裂構造。當地不乏強震活動，是臺灣地區強震的好發區。觀測當地強震的發震頻率（圖7.1.3），可以發現該地區曾經發生過2個規模大於7的地震事件，分別在1920年與1966年。從地震活動性來看，該地區的地震事件有相對活躍（如1929年至1932年）與寧靜期（如1967年至1977年）的特性。近期，自2018年起，該地區地震似乎進入相對活躍期。

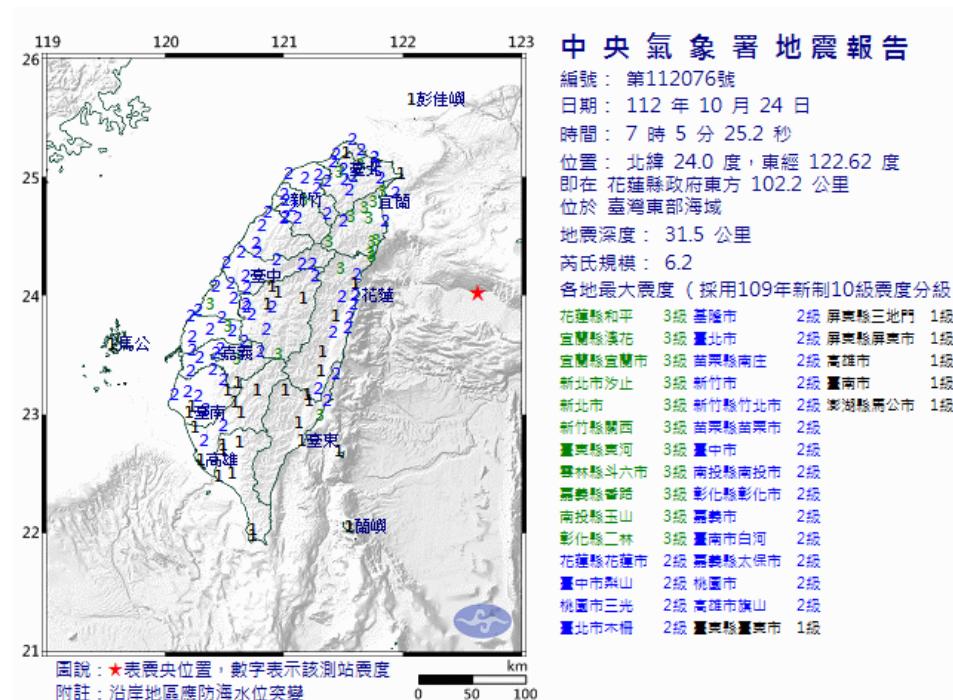


圖7.1.1 112年4月18日花蓮強震之地震報告。

Figure 7.1.1 Earthquake report of April 18, 2023

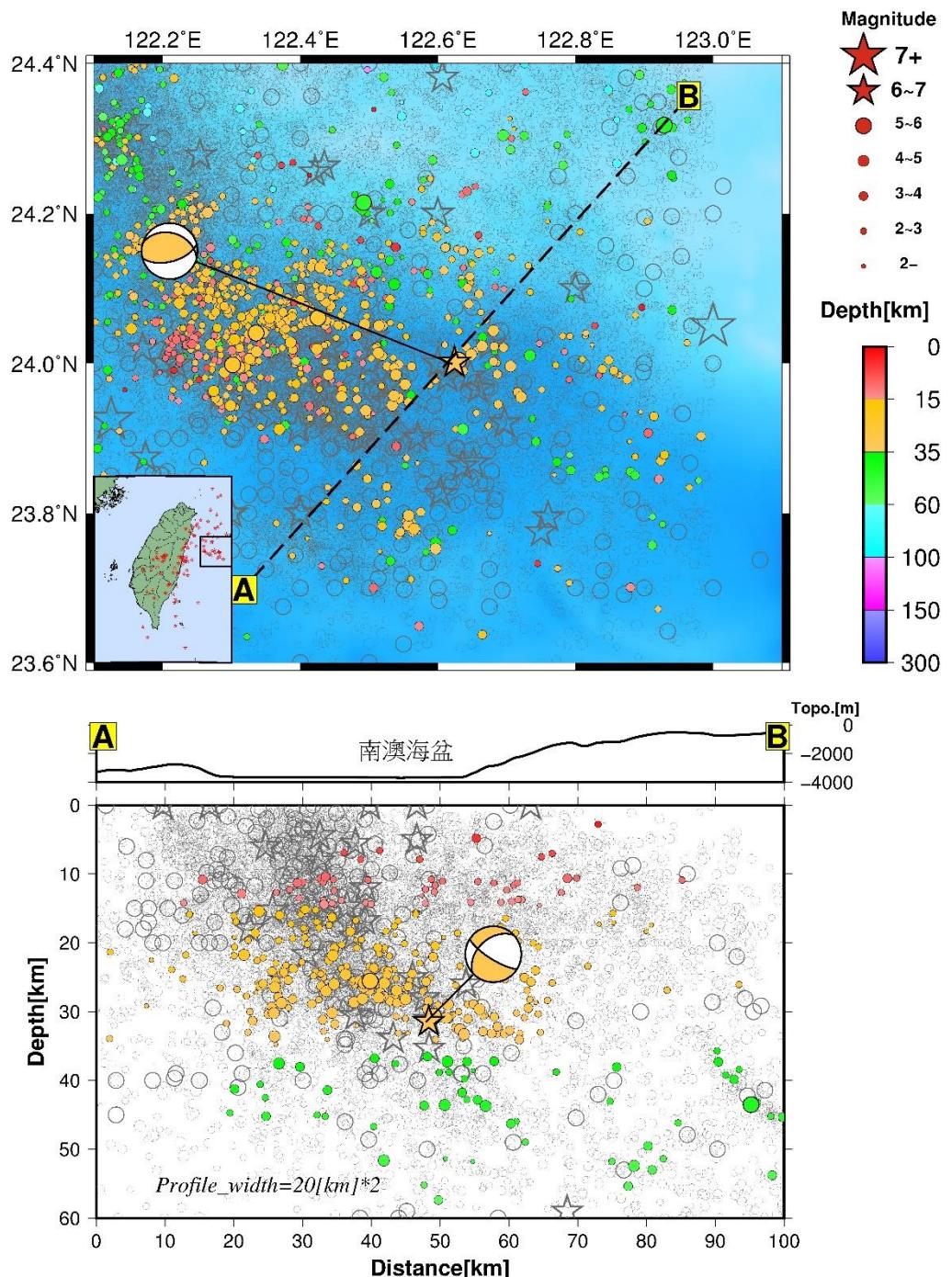


圖 7.1.2 臺灣東部海域地震空間分布圖。112 年的地震活動以著色符號表示，112 年以前的地震活動以未著色符號表示。上圖為地震的震央分布圖，下圖為 A-B 剖面中的地震（位於剖面兩側 20 公里內）分布圖。
 Figure 7.1.2 Seismic distribution of earthquake in the marine area east of Taiwan

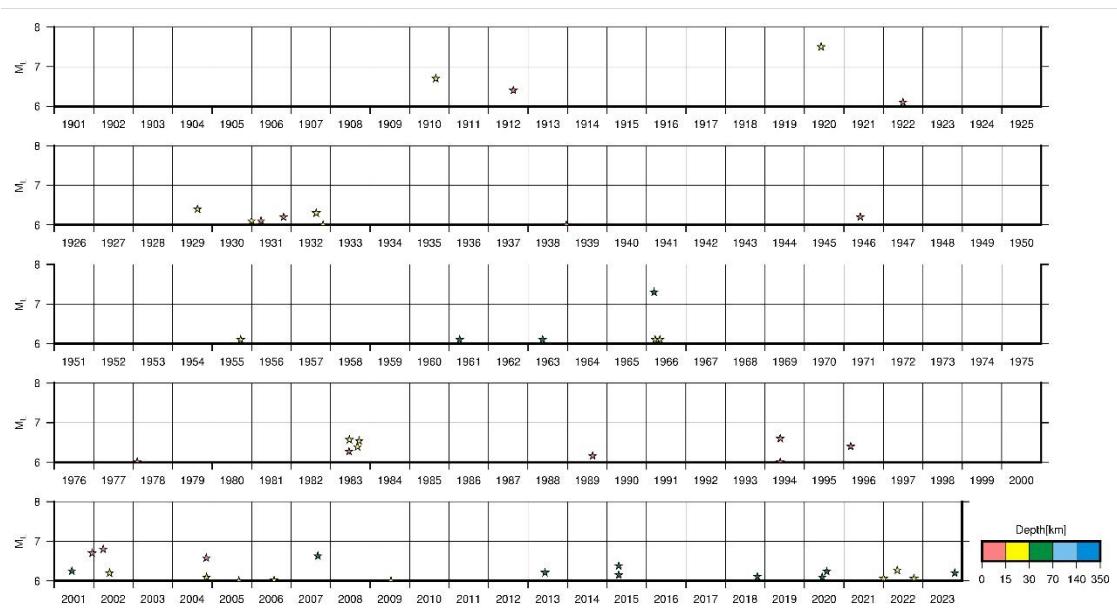


圖7.1.3 臺灣東部海域(水平範圍如圖7.1.2)地震的發震時間(1901~2023)分布圖。

Figure 7.1.3 Temporal distribution of earthquakes occurred in the marine area east of Taiwan from 1901~ 2023.

(二) 112年10月11日規模5.8花蓮富里地震 October 11, 2023 earthquake in Hualien

112年10月11日規模5.8的花蓮富里地震是112年臺灣島內規模最大的地震（圖7.2.1）。該地震位在111年3月23日花蓮近海規模6.7地震以南、111年9月17日規模6.6的關山地震與111年9月18日的池上地震以北（圖7.2.2）。花蓮地區的背景地震活動雖然活躍，但花蓮富里地震的震源區附近的地震活動相對不活躍。從地震的分布剖面來看，不論是背景地震或112年的地震分布來看，花蓮富里地震震源區並未有明顯的線形地震分布，因此暫時無法連結至已知的斷層構造。從地震的發生時序來看，花蓮富里地震震源半徑10公里以內的地震活動並不活躍（圖7.2.3），惟在關山地震與池上地震後，地震活動方有相對於背景長期特性的異常活動。此意味該地區地震活動相對偏底，但會因周邊強震的發生，而誘發相對密集的地震，類似的特性在92年12月10日的成功地震後亦有發生。在空間中，被誘發的地震十分集中，未有呈現線形分布，目前難以與已知的斷層連結。

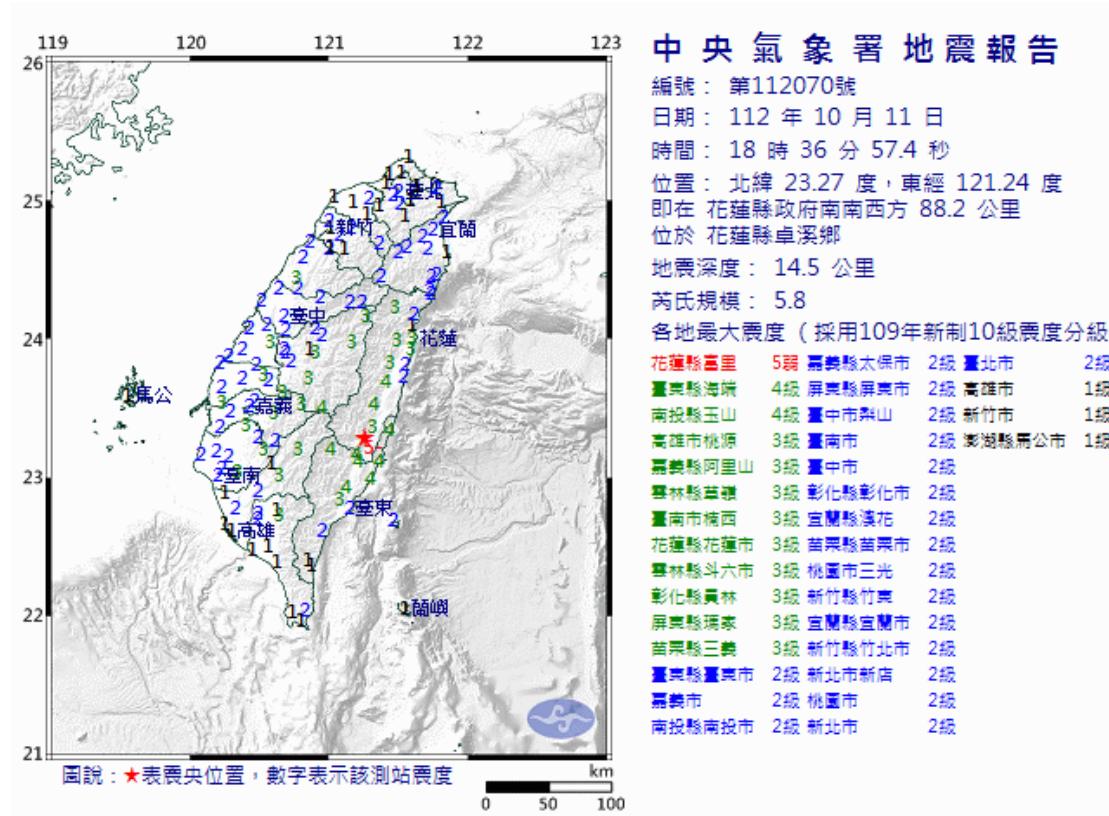


圖7.2.1 112年10月11日花蓮地震之地震報告。

Figure 7.2.1 Earthquake report of October 11, 2023

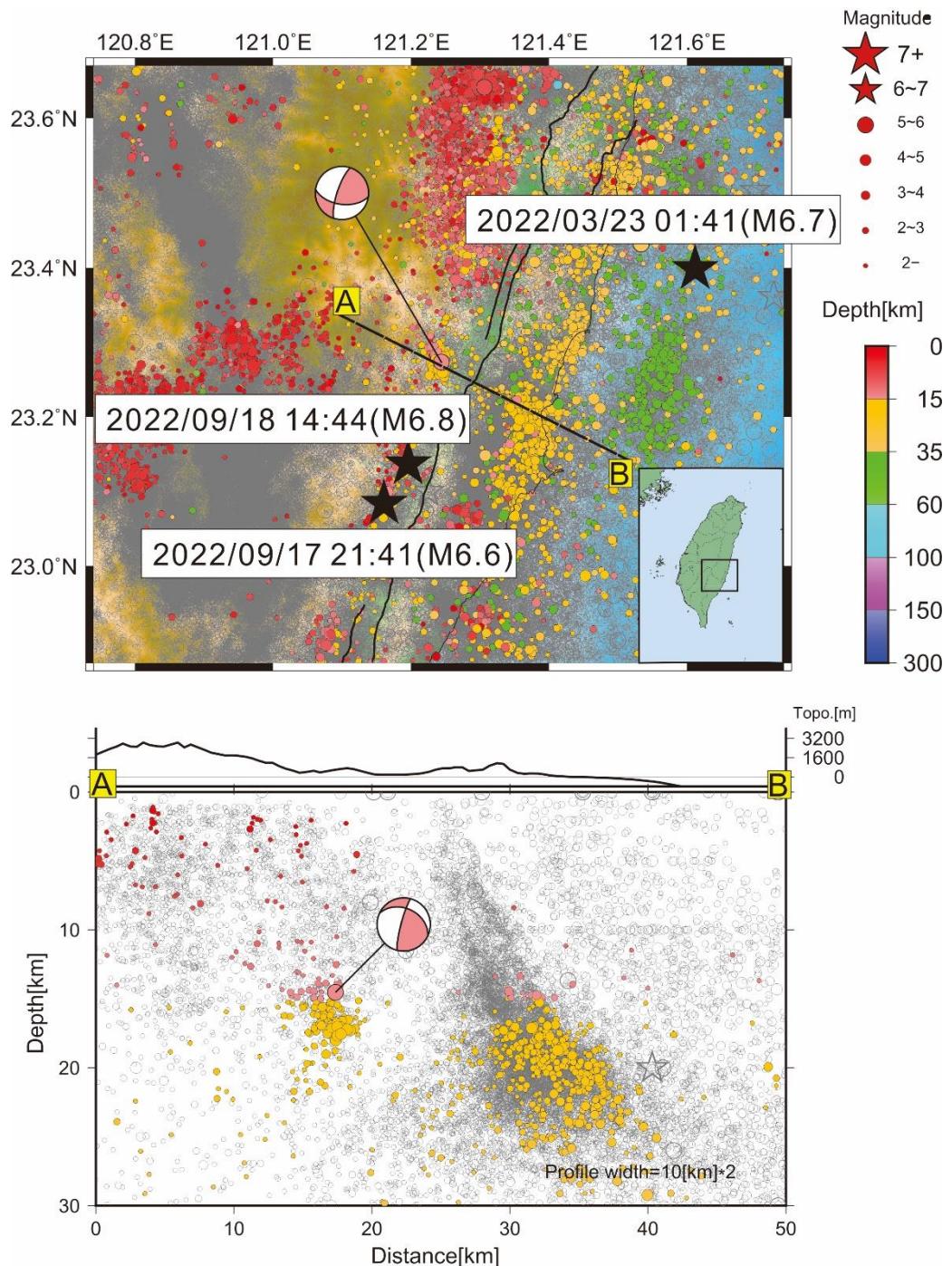


圖 7.2.2 112 年 10 月 11 日規模 5.8 花蓮富里地震空間分布圖。112 年的地震活動以著色符號表示，111 年以前的地震活動以未著色符號表示，111 年規模 6.5 以上的地震以黑色星號表示。上圖為地震的震央分布圖，下圖為 A-B 剖面中的地震（位於剖面兩側 10 公里內）分布圖。

Figure 7.2.2 Seismic distribution of earthquake in the eastern Taiwan

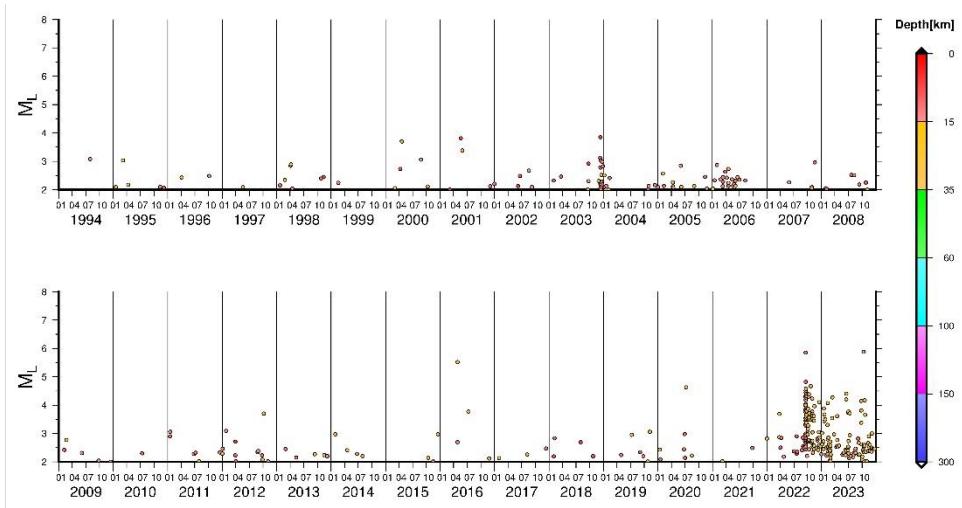


圖7.2.3 112年10月11日規模5.8花蓮富里地震震源距10公里內的地震發震時間分布圖。

Figure 7.2.3 Temporal distribution of earthquakes occurred within a distance of 10 km related to hypocenter of October 11, 2023 earthquake in Hualien

八、結語 Conclusion

112年為本署「強地動觀測第6期計畫 - 強震即時警報於防災之應用（111至116年）」執行的第2年，在各項地震與地球物理觀測業務上均有持續的進展。除了例行性的工作外，在相關業務方面也有所推動。例如，與民間產業簽署地震資訊傳遞合作契約，推廣地震預警資訊應用，由本署協助提供地震速報資訊傳遞相關技術支援，鼓勵民間資訊科技、自動控制等專業廠商，透過加值運用開發多元化減災產品，如智慧住宅對講機、電梯控制器、LED警示燈具、地震警報機及行動App等，創造商機，促進防災產業發展。至112年底累計簽約21個合作單位。

除前述計畫外，在「前瞻基礎建設2.0 - 都會區強震預警精進計畫（110至114年8月）」的執行方面，112年擴建井下地震觀測網增設8座觀測站、升級24座強震站為即時連線測站，以提升強震預警系統效能。運用「傳統現地」及「人工智慧(AI)與大數據」開發現地型地震預警演算法，建置臺南市客製化地震預警系統，縮短地震警報發布時間。以112年9月5日嘉義新港規模5.5地震為例，客製化地震預警系統於地震後7秒產製解算結果發布強震即時警報。對於秒速3.5公里的破壞性S波來說，地震預警提升3秒(由地震後10秒縮短至7秒)，預警盲區半徑由35公里減至25公里左右，盲區面積減少約50%，數百萬人以上受惠。

另外，繼續執行「臺灣南部海域地震與海嘯海底監測系統建置計畫(110至117年)」，預期建置完成後可加強南部海域馬尼拉海溝的地震海嘯監測及預警能力，提供臺灣西南部沿岸民眾更充裕的地震海嘯應變時間。

臺灣位處地震頻繁的環太平洋地震帶上，地震相關的訊息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，本署仍將一本篳路藍縷、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

112 年本署同仁發表地震相關論文共 8 篇：

1. Chen, Sean Kuanhsiang; Chen, Po-Yuan; Wu, Yih-Min; Chen, Chien-Chih and Chan, Chung-Han (2023) : Temporal Variations of Earthquake Magnitude-Frequency Relation in the Source Area of $M \geq 6.0$ Earthquakes: A Systematic Survey in Taiwan, Earth and Space Science.
2. Lai, Tz-Shin; Chao, Wei-An; Yang, Che-Ming; Wu, Yih-Min (2023) : Rapid Coseismic Landslide Susceptibility Assessment Using Newmark Analysis and Decision-tree Algorithm, and Its Web-based Display System, 5th Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience Engineering, 臺灣臺北。
3. Lai, Tz-Shin; Chao, Wei-An; Yang, Che-Ming; Wu, Yih-Min; Chang, Jui-Ming (2023) : Testing and Validation of Multiple Decision Trees Models for Rapid Coseismic Landslide Susceptibility Assessment, 歐洲地球科學聯合會年會, 奧地利維也納。
4. 陳達毅 (2023) : Application of the real-time seismic wave field on the earthquake early warning system, 日本地球物理聯合會, 日本千葉。
5. 陳達毅 (2023) : 應用自動化波相辨識技術建立氣象局地震目錄, 中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 112 年年會暨學術研討會, 桃園渴望會館。
6. 趙韋安、賴姿心、楊哲銘 (2023) : 以機器學習法建置即時同震山崩潛感圖, 地質 77-79 頁。
7. 蕭乃祺 (2023) : 臺灣地震規模制度的演進, 科學研習月刊, 第 62 卷第 4 期, 78-89 頁。
8. 蕭乃祺、邱俊達、劉允韜、王承韜、楊民 (2023) : 新臺鐵局地震速報系統之效能分析, 氣象學報, 第 58 卷第 1 期, 19-48 頁。

(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. Carpinteri, A., Cardone, F. and Lacidogna, G. (2010) : Energy emissions from failure phenomena: mechanical, electromagnetic, nuclear. *Exp Mech* 50:1235-1243. doi:10.1007/s11340-009-9325-7.
3. Eftaxias, K., Kapiris, P., Polygiannakis, J., Peratzakis, A., Kopanas, J., Antonopoulos, G. and Rigas, D. (2003) : Experience of short term earthquake precursors with VLF–VHF electromagnetic emissions, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 3:217-228.
4. Fukui, K., Okubo, S. and Terashima, T. (2005) : Electromagnetic radiation from rock during uniaxial compression testing: the effects of rock characteristics and test conditions. *Rock Mech Rock Eng* 38:411-423. doi:10.1007/s00603-005-0046-7.
5. Gutenberg, B. and Richter, C. F. (1956) : Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 46, 105-145.
6. Kanamori, H. and Anderson, D. L. (1975) : Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, 1073-1095.
7. Lee, H. F., Yang, T. F., Lan, T. F. and Chen, C. F. (2008) : Temporal variation of gas composition of fumaroles in the Taten volcano group, northern Taiwan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 178, 624–635. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.06.005>
8. Liu, J. Y., Chuo, Y. J., Shan, S. J., Tsai, Y. B., Chen, Y. I., Pulinet, S. A. and Yu, S. B. (2004) : Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements. *Annales Geophysicae* (2004) 22: 1585-1593.
9. Mavromatou, C., Hadjicontis, V., Ninos, D., Mastrogiovannis, D., Hadjicontis, E. and Eftaxias, K. (2004) : Understanding the fracture phenomena in inhomogeneous rock samples and ionic crystals, by monitoring the electromagnetic emission during their deformation. *Phys. Chem. Earth Parts ABC* 29:353-357. doi:10.1016/j.pce.2003.11.011.

10. Murase, M., Lin, C. H., Kimata, F., Mori, H. and Pu H. C. (2014) : Volcano-hydrothermal activity detected by precise levelling surveys at the Tatun volcano group in Northern Taiwan during 2006–2013, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 286, 30–40, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2014.09.001
11. 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).
12. Pu, H. C., Lin, C. H., Hsu, Y. J., Lai, Y. C., Shih, M. H., Murase, M. and Chang, L. C. (2020a) : Volcano-hydrothermal inflation revealed through spatial variation in stress field in Tatun Volcano Group, Northern Taiwan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 390, 106712, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2019.106712
13. Pu, H. C., Lin, C. H., Lai, Y. C., Shih, M. H., Chang, L. C., Lee, H. F., Lee, P. T., Hong, G. T., Li, Y. H., Chang, W. Y. and Lo, C.H. (2020b) : Active Volcanism Revealed from a Seismicity Conduit in the Long-resting Tatun Volcano Group of Northern Taiwan, *Scientific Reports*, 10, 6153, doi:10.1038/s41598-020-63270-7
14. Pu, H. C., Lin, C. H., Lee, H. F., Lai, Y. C., Chang, L. C. and Shih, M. H. (2021) : Ascending Volcanic Fluids Portended by Spatiotemporal Variations of the Earthquake Mechanisms in the Tatun Volcano Group in Northern Taiwan, *Geophysical Research Letter*, 48, e2020GL091686. doi: 10.1029/2020GL091686
15. Uyeda, S., Hayakawa, M., Nagao, T., Molchanov, O., Hattori, K., Orihara, Y., Gotoh, K., Akinaga, Y. and Tanaka, H. (2002) : Electric and magnetic phenomena observed before the volcano-seismic activity in 2000 in the Izu island region, Japan, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 99: 7352-7355. doi:10.1073/pnas.072208499.
16. Varotsos, P. A., Sarlis, N. V. and Skordas, E. S. (2002) : Long-range correlations in the electric signals that precede rupture, *Phys. Rev. E.*, 66:011902. doi:10.1103/PhysRevE.66.011902.
17. Wang, J. H. (1992) : Magnitude scales and their relations for Taiwan

- earthquakes: A review. TAO, 3, 449-468.
18. Yang, T. F. and Song, S. R. (1999) : $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios of fumaroles and bubbling gases of hot springs in Tatun Volcano Group, North Taiwan. Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica, C22, 281-286.

Central Weather Administration

