NCDR
國家災害防救科技中心

# The Seismic Zones of Taiwan

# 臺灣地震帶

# 05 章
# 孕震帶地震分布

本節將利用地震熱點與地震個數圖來呈現各地震帶的地震分布，其可以展示陸域與海域在不同深度的地震分布，並以此來探討好發地震區域與地質構造的關係。地震資料來自中央氣象署地震資料庫，從 1990 年至 2020 年 8 月期間的資料，地震規模範圍 <$M_L$ 1.0 至 $M_L$ 8.0，地震深度由數公里至 200 公里，總計 82 萬多筆。為了盡可能保留各方面的資料，即使部分資料是透過歷史文獻推測震央位置與規模，但總數僅約 3000 筆，占整體資料的 0.36%，此比率對結果的影響甚微，因此未予以刪除。為了考量地震定位的誤差（Wu et al., 2013），地震統計的網格大小設定為 2.5x2.5 公里，範圍為 119°~125°E、19°~25°N，深度 0~50 公里，每 5 公里為一區間，產製的地震統計圖包括 0~5、5~10、…45~50 公里的深度區間，地震熱點圖與地震個數圖各 10 張。

地震個數圖以每個網格的地震個數進行統計，使用不同顏色來標示不同的個數區間。顏色由深至淺分五個等級，分別表示全體網格內地震個數的 100%、50%、20%、10%、2%，而無地震資料的網格（0 個地震）不著色。地震熱區圖透過 ArcGIS 的熱點分析方法（hotspot analysis）進行統計，其基本概念是比較所有網格的地震個數資料。當單一網格的地震個數多（數值高），且被同樣高數值的網格包圍時，該網格就會被視為有統計意義的熱區。在跨網格間進行比較時，單一網格與鄰近網格的地震個數總和會與整體網格的地震個數總和進行比較，以判斷該網格在整體網格中的排序。最後，熱點圖以鐘形分布方式呈現，並使用不同的顏色表示不同的熱區等級，顏色由深至淺分別為 99%、95%、90% 信心水準與一般資料。這兩種圖的組合可以提供更深入的洞察，幫助我們了解地震在不同深度範圍的分布情形與趨勢。

地震帶（孕震構造）的劃設除了根據高頻率或高密度的地震特性之外，還必須考慮發震構造的活動性。當斷層處於鎖定狀態時，導致極低的地震發生頻率或無震，因而沒有被劃設為地震帶。但是，若依據地質構造或理論而認為某些斷層屬於活動斷層，即可將其劃設為地震帶。如桃竹苗地區，截切外麓山帶中更新世地層的斷層，可能是晚更新世之後才形成的活動斷層，然而地震頻率（密度）非常低，依據上述的地質構造特性，這些斷層多應被劃為活動斷層（孕震構造）。

以下將依據不同深度的地震熱點圖與地震個數圖說明陸域與鄰近海域地震帶的熱點分布，但處於鎖定的地震帶可能無法呈現。地震熱點或地震個數占比大（50%）的區域指示1990~2020 年期間的地震發生率較高，但形成高頻率的地震帶（構造）有兩種狀況，一由規模大的地震事件與餘震造成，或是觀測期間發生頻繁的中小規模地震所致。

首先，討論上部地殼的地震帶與地質構造的關係，深度界定在 20 公里內。此位在淺層地殼內的地震帶包括大屯火山地震帶、山腳斷層地震帶、龜山島火山地震帶、沖繩海槽地震帶、濁水斷層地震帶、三星地震帶、桃竹苗地震帶、泰安地震帶、中彰投地震帶、草屯地震帶、雲嘉南地震帶、阿里山地震帶、高屏地震帶、口社地震帶、李棟山地震帶、雪山地震帶、埔里地震帶、脊樑山脈地震帶（南段、北段、中段）、玉山地震帶、寶來地震帶、潮州斷層地震帶、恆春斷層地震帶、南澳地震帶、中央山脈斷層地震帶（和平段、鳳林段、玉里段、初鹿段、檳榔段）、縱谷斷層地震帶、豐濱地震帶、奇美地震帶、琉球與馬尼拉增積岩體地震帶，以及弧前盆地地震帶（**圖 5–1**，**圖 5–2**）。

以下分別探討位於上部地殼中的地震帶特性。首先，北部張裂帶地質構造區包括兩處與火山活動有關的地震帶，即大屯與龜山島火山地震帶，以及四處與拉張作用有關的地震帶，即山腳斷層地震帶、濁水斷層地震帶、三星地震帶與沖繩海槽地震帶。龜山島火山地震帶在深度 5~20 公里形成柱狀的高頻率地震帶，並呈現熱點，成因與岩漿活動有關，震源機制以正移作用形式為主（Lin et al., 2004, 2007, 2019, 2024）。另外，大屯火山地震帶於深度 <5 公里形成高頻率地震帶，並呈現熱點，大多數地震 $<M_L$ 1.0，其成因與熱液的氣爆有關（Lin et al., 2016; Huang et al., 2021；**圖 5–1**）。濁水斷層地震帶與三星地震帶從蘭陽平原向東延伸至沖繩海槽，地震帶走向呈 N80° E（**圖 5–1**，**圖 5–2**）。震源機制屬於正移與橫移作用形式，高頻率地震帶的深度 <15 公里，並呈現熱點，地震成因與沖繩海槽向南拉張作用有關，而濁水斷層地震帶與三星地震帶的地震分布呈現北東東向的平面狀排列，成因與斷層活動有關。沖繩海槽地震帶的地震分布深度達 40 公里，成因與地殼張裂產生的正移作用（正斷層活動）有關（**圖 5–1**，**圖 5–2**，**圖 5–3**，**圖 5–4**）。山腳斷層地震帶的地震頻率極低，沒有呈現熱點，零星的地震分布至深度 15 公里，活動機制應該與斷層正移作用有關。

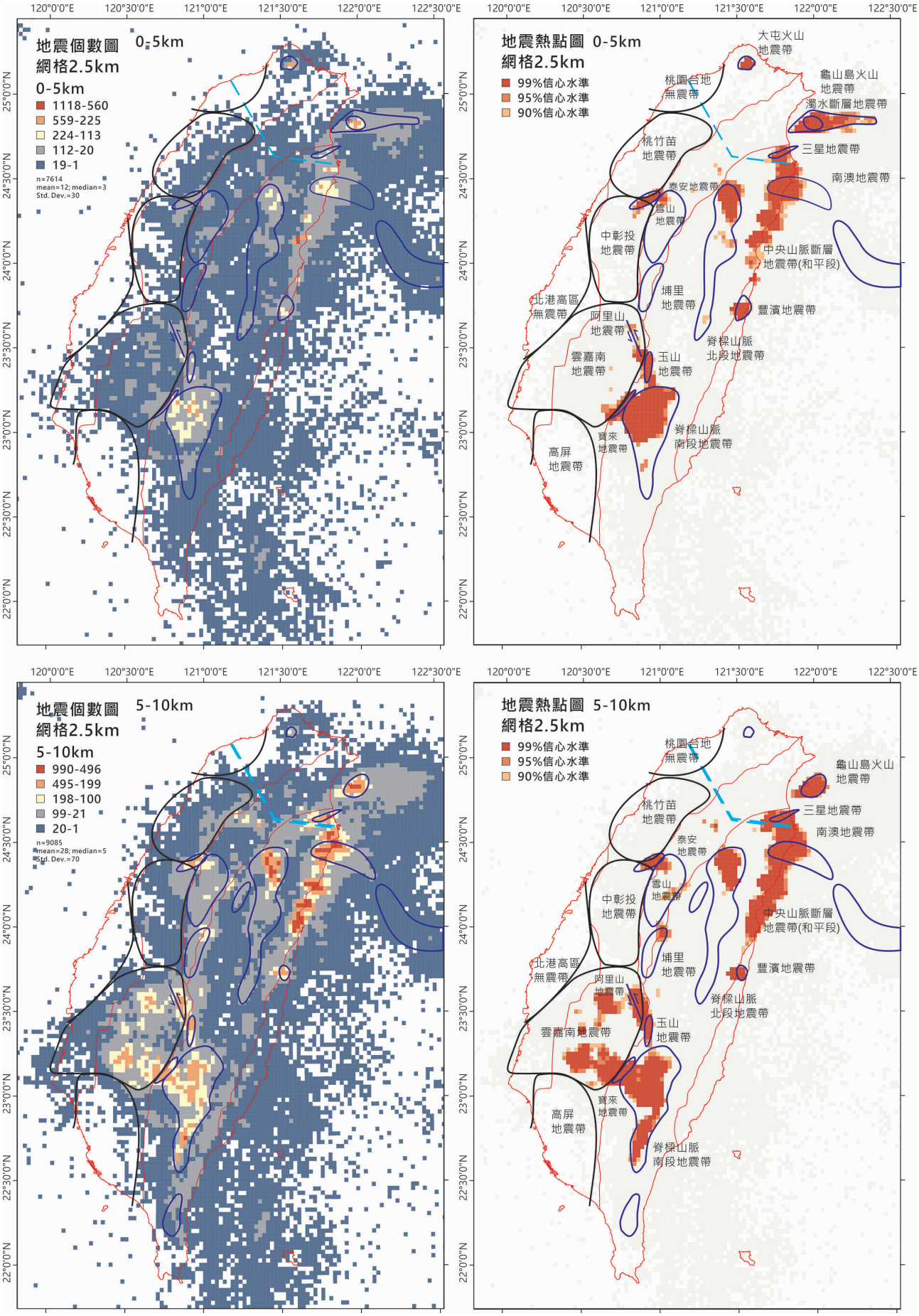



圖 5–1、地震深度 0~10 公里的地震個數圖與地震熱點圖。

西部麓山帶地質構造區包括桃竹苗地震帶、中彰投地震帶、雲嘉南地震帶、高屏地震帶等四個地震帶，並以脫底斷層分為上下兩層。上層地震帶的成因與褶皺－逆衝斷層帶的逆斷層與橫移斷層活動有關。四個地震帶中僅雲嘉南地震帶在深度 5~20 公里呈現大範圍的地震熱點與高地震頻率（其中之一的地震熱點有阿里山地震帶）；此外，西部麓山帶呈現較高的地震頻率，而海岸平原區地震頻率較低（**圖 5–1**，**圖 5–2**）。桃竹苗地震帶與中彰投地震帶中僅有兩處熱點是泰安地震帶（震間頻繁地震形成的熱點）與草屯地震帶（受 921 集集地震與 1999/09/28 嘉義地震事件影響形成的熱點），其餘區域都呈現低地震頻率。高屏地震帶的地震頻率非常低，反而深度 20~30 公里的中部地殼呈現稍高的地震頻率，其中由美濃地震事件形成的口社地震帶呈現的熱點區（**圖 5–2**）。西部麓山帶的四個地震帶中以高屏地震帶的地震頻率最低，雖然高屏地震帶的地表變形速率非常大（淺部岩層以泥岩為主），且斷層大多呈現潛移現象。相對地，桃竹苗與中彰投地震帶的地表變形速率非常小，然而斷層也多處於鎖定狀態。除了斷層呈現鎖定狀態之外，導致地殼呈現低地震頻率原因，是否與地殼的岩石力學特性有關，是值得深入探討的議題。

雪山山脈地質構造區有兩個重要的地震帶，雪山地震帶在深度 5~15 公里呈現高的地震頻率，但僅形成小範圍的熱點，呈現團塊狀分布，其成因可能是區域岩體破裂造成的（**圖 5–1**，**圖 5–2**）。埔里地震帶形成明顯的地震熱點區，深度從 5 至 35 公里，呈現平面狀分布，隨著深度變深，地震熱點區逐漸向東遷移至脊樑山脈底下，呈現朝東微傾斜的帶狀分布，顯然與脫底斷層有關，與 921 集集地震屬於同一脫底斷層（**圖 5–1**，**圖 5–2**，**圖 5–3**，**圖 5–4**）。

脊樑山脈地質構造區位在兩板塊的碰撞邊界，地殼變形速率快且地震活躍，形成了許多成因迥異的地震帶，有脊樑山脈地震帶（南段、中段、北段）、南澳地震帶、中央山脈斷層地震帶（和平段、鳳林段、玉里段、初鹿段、檳榔段）、玉山地震帶、寶來地震帶、潮州斷層地震帶、阿禮地震帶、恆春斷層地震帶（**圖 5–1**，**圖 5–2**，**圖 5–3**）。脊樑山脈地震帶位在脊樑山脈脊梁區域，深度 <15 公里的上部地殼中，北段與南段各形成了高頻率的地震帶與地震熱點區，北段地震帶呈現帶狀分布，南段呈現團塊狀分布，中段區域僅呈現零散的地震分布且無熱點。南澳地震帶位於脊樑山脈北段東翼，地震深度達到 30 公里（**圖 5–1**，**圖 5–2**，**圖 5–3**），從深度數公里以下形成大範圍的高頻率地震帶與熱點區，顯示受到板塊隱沒與碰狀擠壓的影響。中央山脈斷層地震帶位於脊樑山脈東翼，地震深度 <20 公里，地震帶朝西傾斜，板塊碰撞產生的背衝斷層（**圖 5–1**，**圖 5–2**）。地震帶全長約 300 公里，分為五個區段；和平段與鳳林段的地震頻率較高，呈現熱點，地震深度 <25 公里。玉里段地震頻率極低，初鹿段與檳榔段的地震頻率較低，沒有呈現熱點，地震深度 <20 公里（**圖 5–1**，**圖 5–2**，**圖 5–3**）。此外，脊樑山脈西翼有五個地震帶，玉山地震帶、寶來地震帶、阿禮地震帶、潮州斷層地震帶、恆春斷層地震帶。玉山與寶來地震帶特性相似，屬於極淺層地震帶，地震深度 <10 公里形成高頻率地震帶與熱點。阿禮地震區在深度 15~30 公里形成的高頻率地震帶與熱點。潮州斷層與恆春斷層地震帶的地震頻率極低且無熱點。

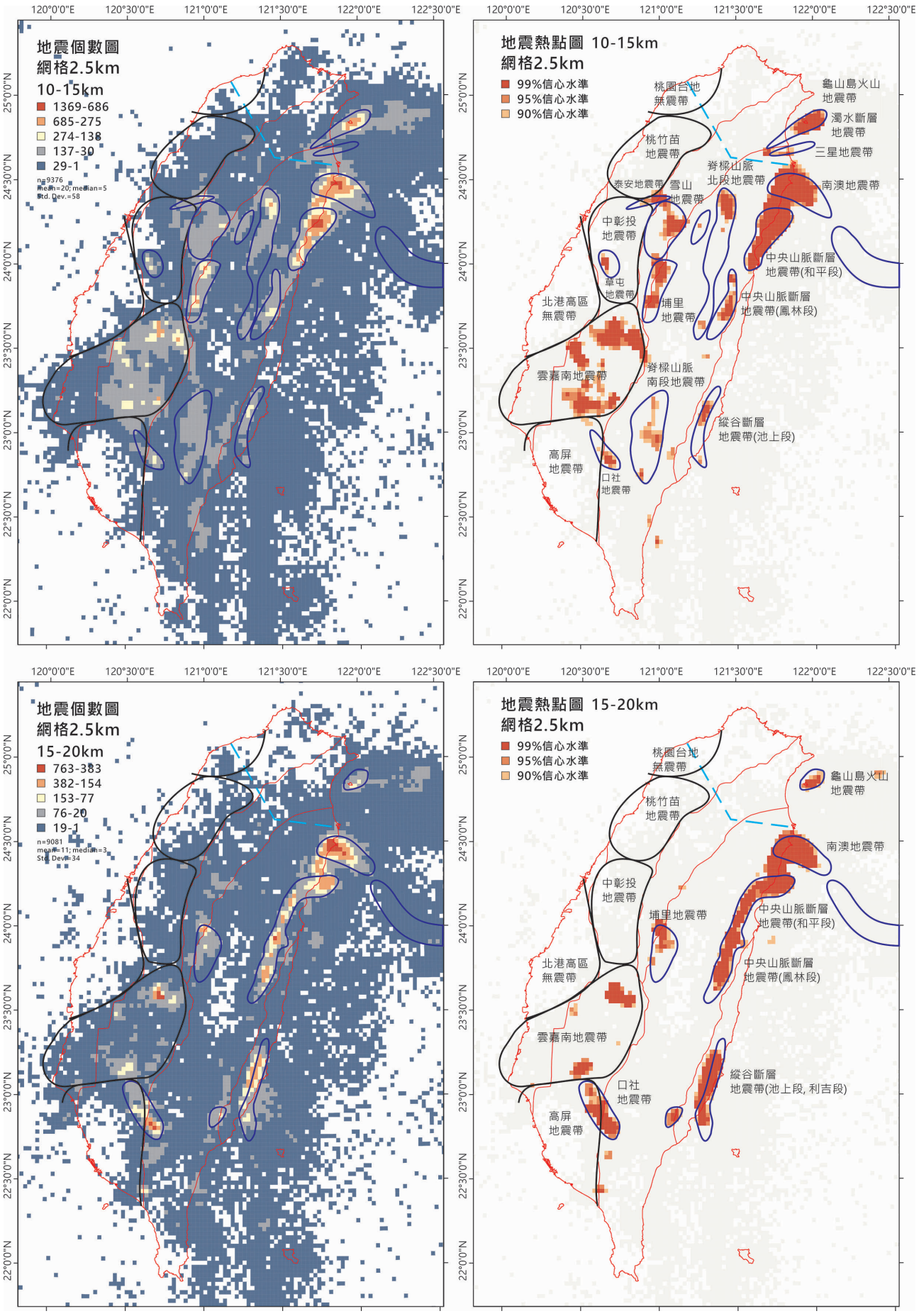



圖 5–2、地震深度 10~20 公里的地震個數圖與地震熱點圖。

縱谷斷層地震帶是海岸山脈逆衝上覆到脊樑山脈的斷層邊界，是地震頻率較高的地震帶之一，由北而南分為四個斷層地震帶，包括嶺頂、瑞穗、池上、利吉－鹿野斷層地震帶（**圖 4–127**；陳文山等，2018）。近 30 年觀測期間，各地震帶的特性略有不同，北段的嶺頂斷層與瑞穗斷層在深度 >20 公里形成高頻率地震帶與熱點，深度 >20 公里的地震頻率低且無熱點。池上斷層在深度 15~45 公里呈現高頻率地震帶與熱點區，其地震分布明顯異於北側兩個地震帶（**圖 5–1**，**圖 5–2**，**圖 5–3**，**圖 5–4**，**圖 5–5**）。利吉－鹿野斷層在深度 15~35 公里形成高頻率地震帶與熱點（**圖 5–1**，**圖 5–2**，**圖 5–3**，**圖 5–4**，**圖 5–5**）。另外，豐濱地震帶位於海岸山脈北段，屬於淺部地殼破裂產生區域的地震帶，深度 <10 公里，形成高頻率地震帶與小範圍的熱點（**圖 5–1**）。另一位於東南海域的綠島－蘭嶼地震帶，其地震頻率較低且無熱點。

菲律賓海板塊隱沒形成的琉球隱沒地震帶依深度分為三個地震帶，一位於淺層（<20 公里）的琉球增積岩體地震帶，隱沒介面呈現鎖定狀態，極少發生地震，此帶呈現極低的地震頻率且無熱點。其次是弧前盆地地震帶，深度介於 20~40 公里，常發生地震，在深度 20~35 公里呈現小範圍熱點區（**圖 5–3**，**圖 5–4**）。其三是琉球與馬尼拉隱沒地震帶，地震深度 >40 公里，可達到 150 公里以上。隱沒帶西緣與歐亞板塊產生碰撞擠壓，因此其西緣的地震頻率較高，如位在脊樑山脈北端底下，深度 30~50 公里，形成一熱點區（**圖 5–4**，**圖 5–5**）。

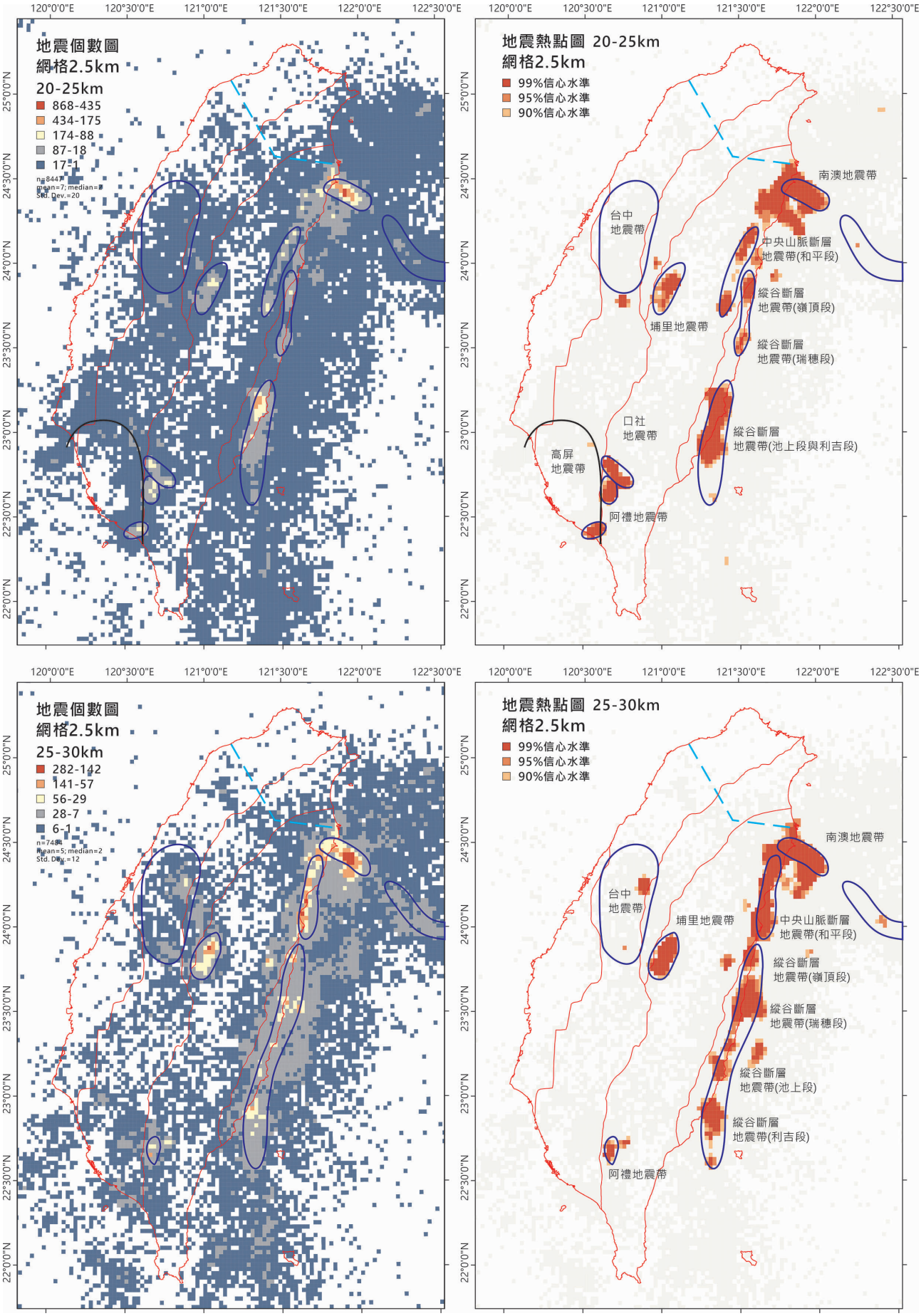



圖 5–3、地震深度 20~30 公里的地震個數圖與地震熱點圖。

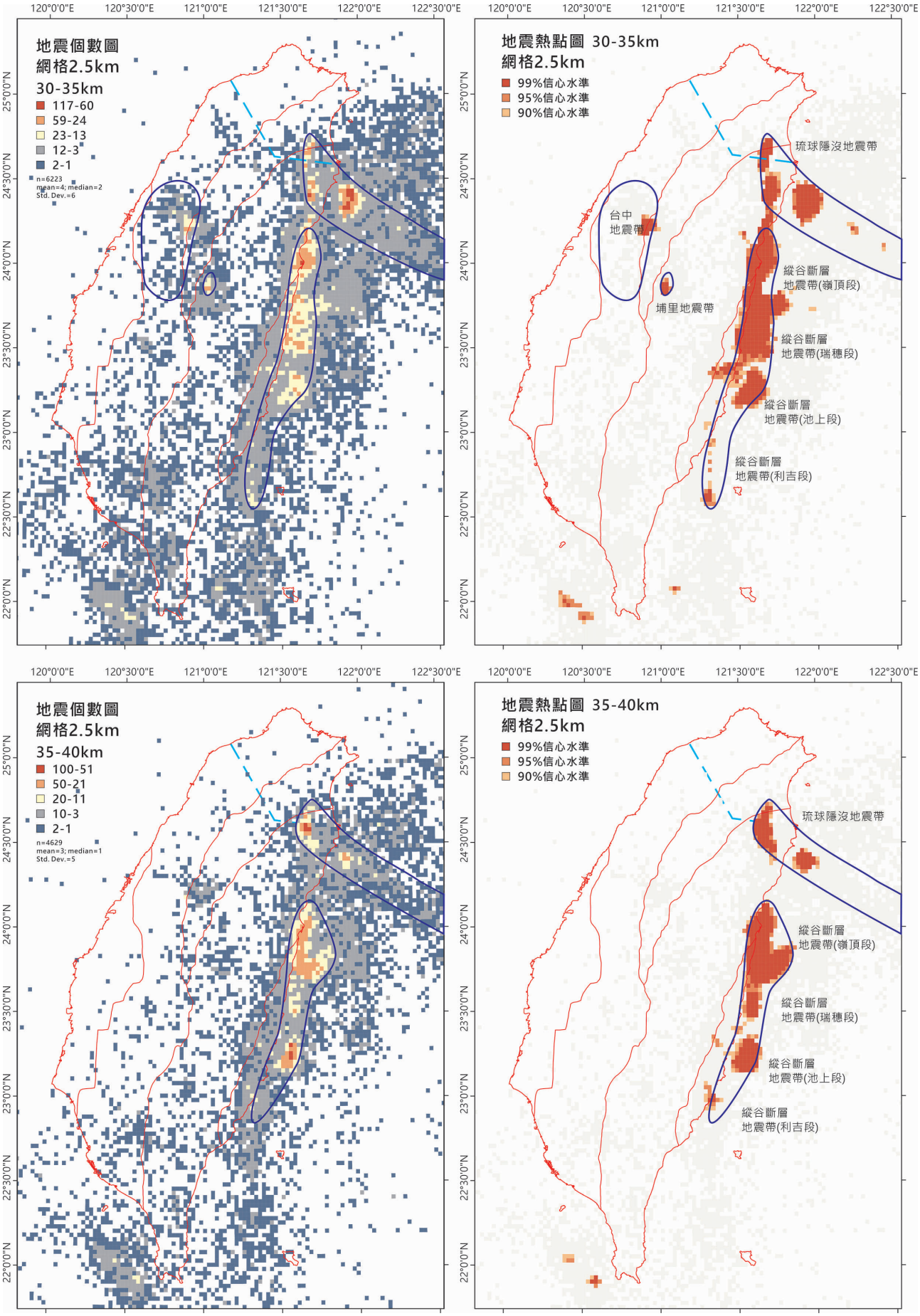



圖 5–4、地震深度 30~40 公里的地震個數圖與地震熱點圖。

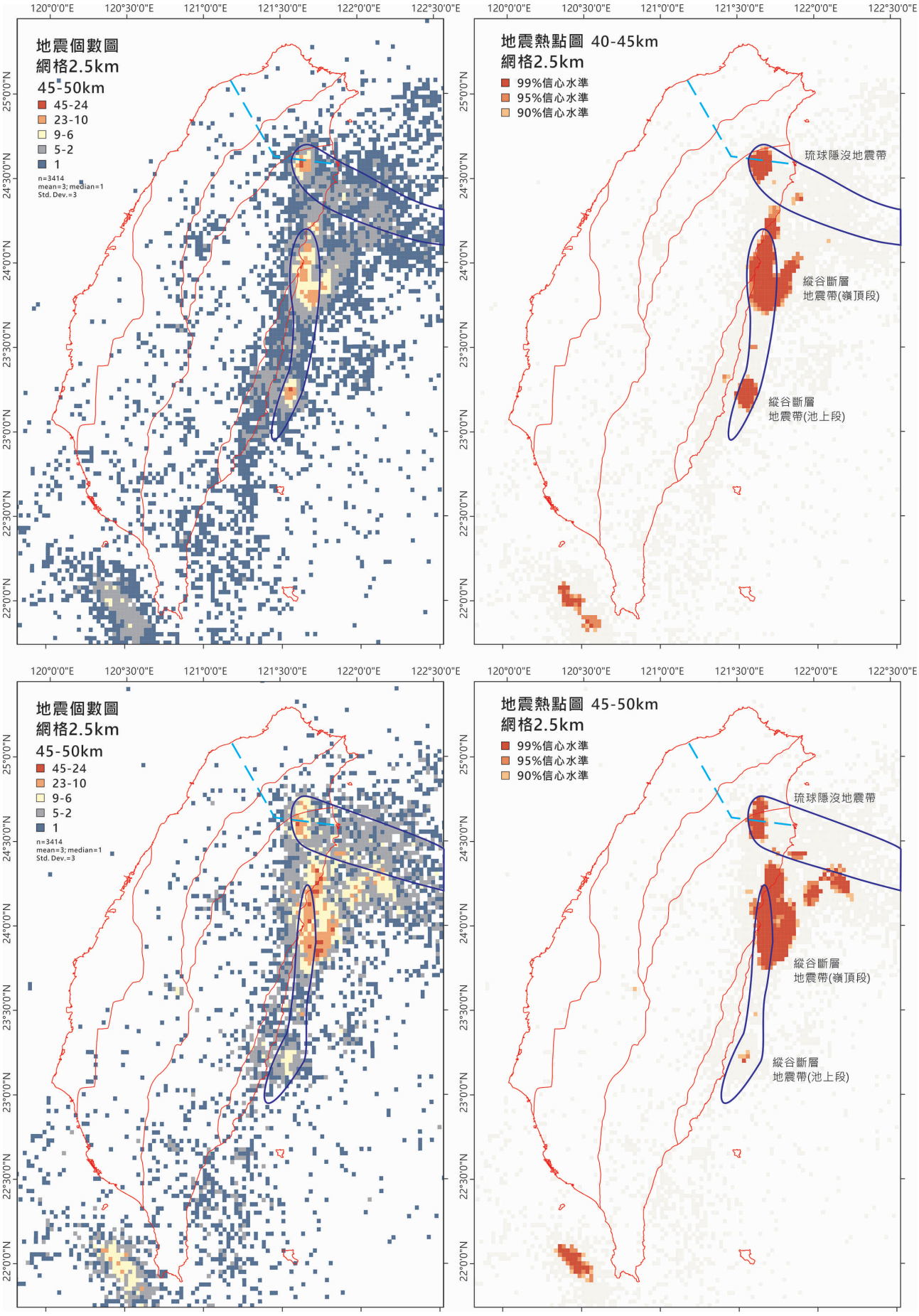



圖 5–5、地震深度 40~50 公里的地震個數圖與地震熱點圖。

從地殼速度構造來看，臺灣中下部地殼在深度 >20 公里區域，除了雪山山脈與脊樑山脈以外（Vp <6.4 km/s），其它區域的 Vp 均 >6.4 km/s（圖 5–6）。因此，深度 >20 公里的中下部地殼的地震帶分布，除了碰撞邊界兩側的南澳地震帶與縱谷斷層地震帶之外，還有分布在西部的台中地震帶、部分的埔里地震帶與阿禮地震帶，以及琉球與馬尼拉隱沒地震帶。唯有脊樑山脈與雪山山脈的中部地殼未有地震帶，此現象可能受到高地溫與高熱流的影響，導致中部地殼的塑性較高，使得地震發生率降低（Qs 值；Wang et al., 2010）。台中地震帶、埔里地震帶與阿禮地震帶是位於西部中下部地殼的地震帶，震源機制都呈現逆移作用形式，顯示受造山運動影響導致中下部地殼產生向東的俯衝。

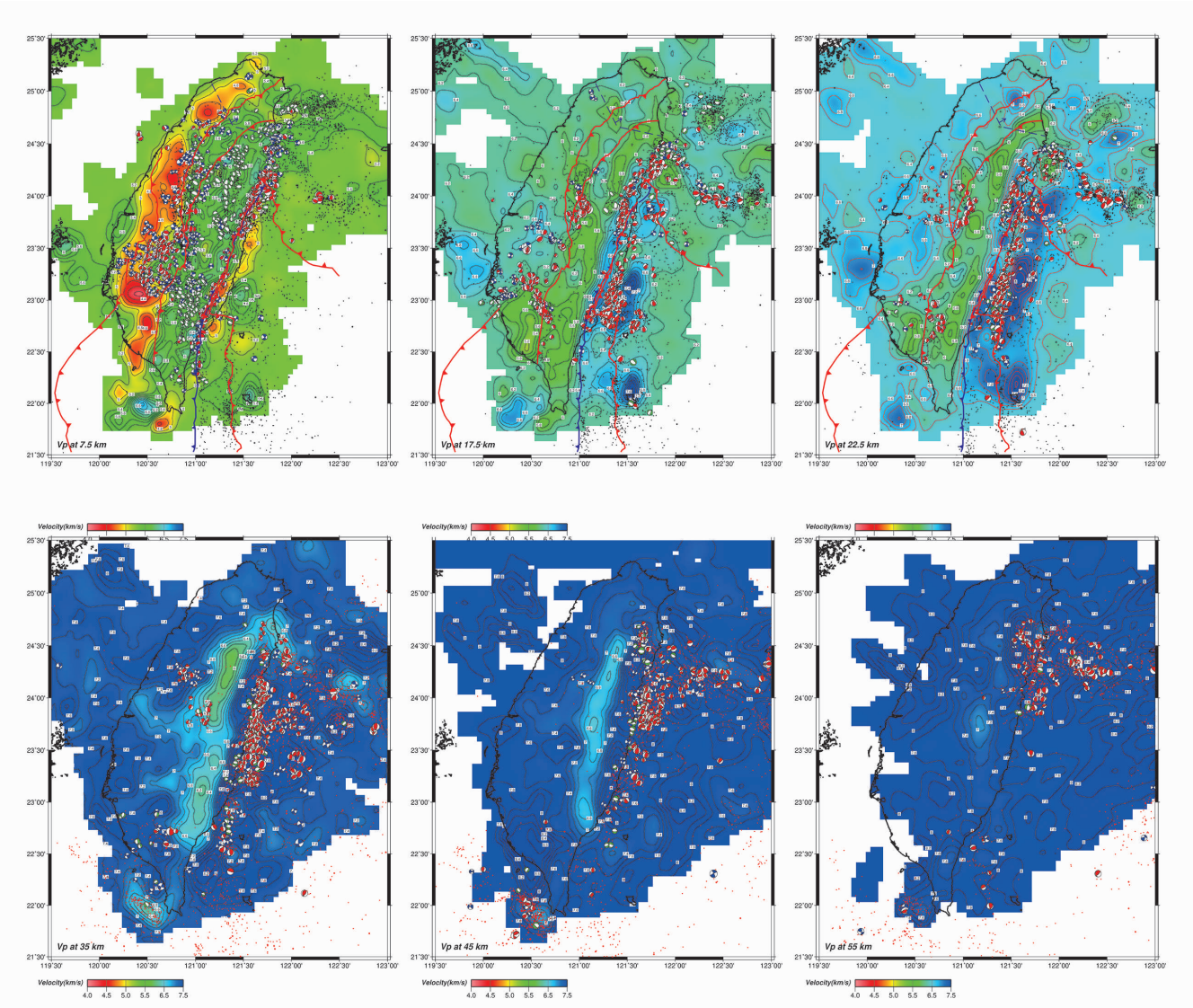



圖 5–6、中下部地殼在深度 >20 公里的地震震源機制一致以逆移作用形式為主。反之，上部地殼（<20 公里）屬於剛性體，地震發生率較高，產生各種破裂形式的地震。