01 章

緒論

晚古生代以來，臺灣一直位在華南板塊東緣（或稱歐亞板塊），東鄰古太平洋板塊。漫長的地質演化過程中，臺灣歷經三次重要的板塊聚合事件，分別為早侏羅紀太魯閣運動、晚白堊紀南澳運動，以及晚中新世至今的蓬萊運動（Chen et al., 2016）。

板塊聚合型式的不同會影響到造山型態，因此造山運動分為碰撞型造山，又稱為阿爾卑斯型造山運動（Alpine orogeny），與隱沒型造山亦稱為安地斯型造山運動（Andean orogeny）。臺灣於早侏羅紀與晚白堊紀的兩次板塊聚合事件都屬於安地斯型造山運動，是古太平洋板塊向西隱沒所致（Uyeda and Miyashiro, 1974; Jahn et al., 1976, 1990; Weber-Diefenbach et al., 1980; Yui et al., 1988, 1990, 2009; Yui and Lan, 1991; Lan et al., 1991; Chen et al., 2002, 2016）。而晚中新世至今的蓬萊運動，初期（約 1200~500 萬年前）為安地斯型造山運動，約 500 萬年前之後則屬於阿爾卑斯型的弧陸碰撞造山運動（Chai, 1972; Chen et al., 2017, 2023; 陳文山等，2020）。

古近紀至早新近紀，東亞地區處在穩定大陸邊緣環境，此時期歐亞板塊東緣地殼受到拉張裂解，形成了一系列的地塹盆地，並伴隨岩漿活動。早新近紀，菲律賓海板塊從西南太平洋朝西北移動，約 1500 萬年前，與歐亞板塊聚合並產生隱沒作用，並啟動了蓬萊造山運動。南中國海岩石圈地殼（形成年代為 3000~1500 萬年前）也因為產生了隱沒而停止張裂活動，並於菲律賓海板塊西緣形成了北呂宋火山弧。同時，歐亞大陸邊緣也因為隱沒深埋而產生變質，形成了玉里片岩帶與廬山板岩帶。蓬萊運動初期的板塊聚合作用屬於安地斯型造山運動，此過程造成地殼的隆起形成山脈。約 500 萬年前，北呂宋火山弧與歐亞板塊發生碰撞，使地殼迅速隆起與剝蝕；此階段的板塊聚合轉為弧陸碰撞（arc-continent collision）的阿爾卑斯型造山運動，至今仍持續發展中（Chen et al., 2019, 2023）。

中更新世（約 90 萬年前），菲律賓海板塊西北側由碰撞轉為向北隱沒，此轉變導致北臺灣的大地構造作用發生了巨大的改變，由碰撞造山（mountain building）轉變為地殼拉張山脈崩毀（mountain collapse; Teng, 1996）。臺灣北部與東北海域的逆斷層轉變為正斷層活動，地殼的拉張形成了盆地與火山，包括大屯火山群、基隆火山群與東北海域火山。同時，隱沒作用還形成了龜山島火山弧（Wang et al., 2002, 2004）。如今，臺灣的大地構造呈現了北部的後造山拉張環境，中北部（南桃園以南）至南部仍處於碰撞造山的擠壓環境。

自第四紀以來，在兩板塊碰撞作用下的板塊邊界形成了寬大的斷層破裂帶，花東縱谷一直處於活躍的構造活動與頻繁的地震環境中。縱谷兩側各形成了巨大的斷層系統 — 縱谷斷層與中央山脈斷層，成為近百年以來臺灣最活躍的孕震構造。

此外，隱沒帶是地球上最活躍的孕震帶之一，地震分布在隱沒板塊界面，從地殼淺部延伸至數百公里深的地函中。臺灣南北各存在一處隱沒帶，東北海域的琉球隱沒帶是菲律賓海板塊朝北隱沒至歐亞板塊下，西南海域的馬尼拉隱沒帶是歐亞板塊（南中國海岩石圈地殼）朝東隱沒至菲律賓海板塊下。兩板塊聚合邊界由北而南從琉球隱沒帶轉換為碰撞帶的縱谷斷層，再轉為馬尼拉隱沒帶（圖 1–1）。

晚新近紀以來，菲律賓海板塊與歐亞板塊的聚合作用開啟了蓬萊造山運動的序幕。這場運動造成的山脈由東向西、由北向南漸進地形成，歷經千萬年碰撞擠壓與抬升剝蝕作用，使臺灣島形成了不同的地質構造區（tectonic provinces）。每一構造區都嶄露了獨特的地質特性，如岩層時代、岩性、變質度、構造形態、地形，以及抬升與剝蝕速率，同時也展現不同的新期地殼運動與地震活動。基於第四紀地質與構造（地震）特性，可以將臺灣島劃分為六個地質構造區，由東向西依序為海岸山脈、脊樑山脈、雪山山脈、西部麓山帶、海岸平原以及北部張裂帶（陳文山等，2016）。

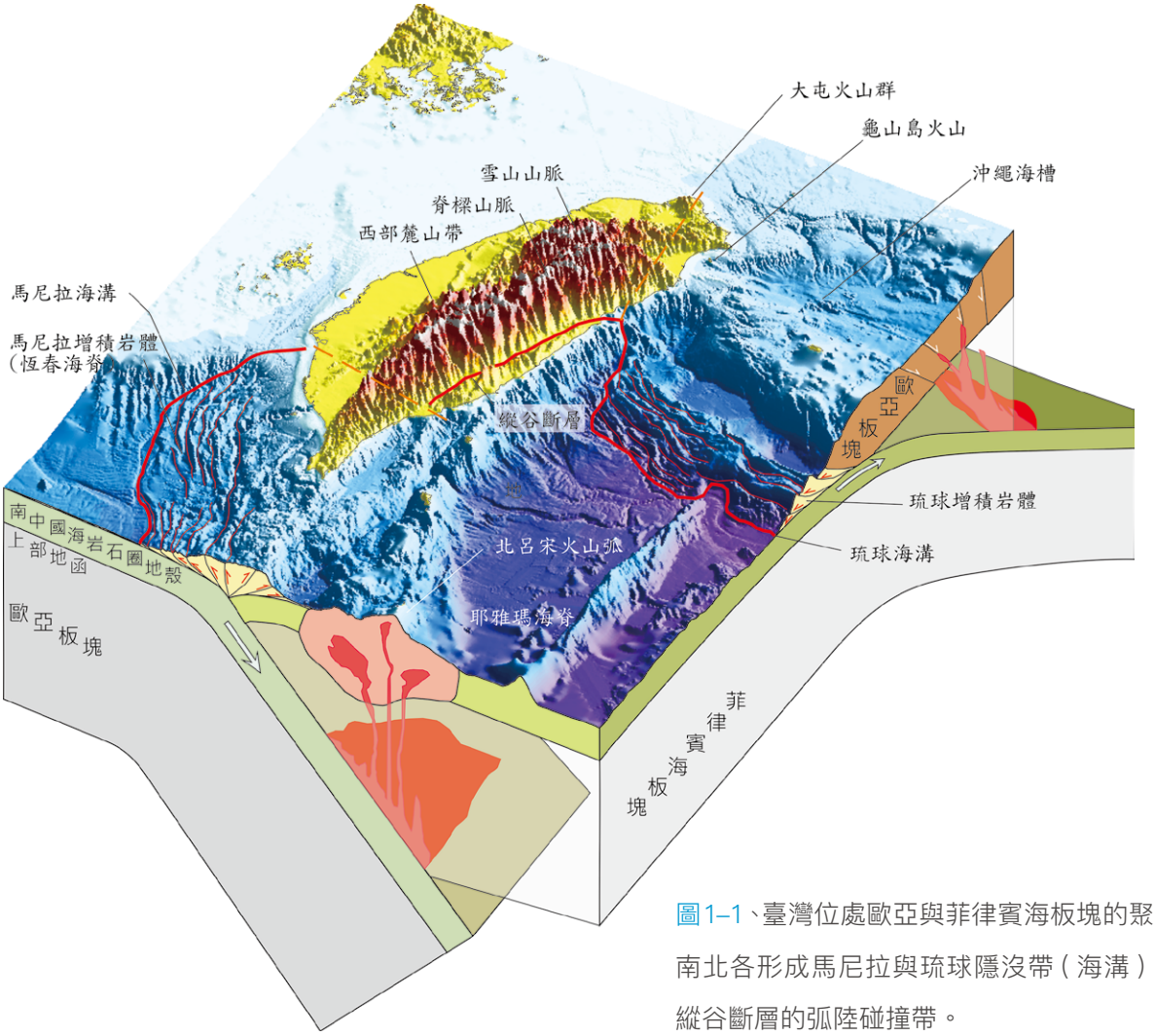


圖 1–1、臺灣位處歐亞與菲律賓海板塊的聚合邊界，南北各形成馬尼拉與琉球隱沒帶（海溝），其間為縱谷斷層的弧陸碰撞帶。

第四紀以來，臺灣處於板塊聚合與拉張的活躍且複雜的構造環境，尤其在過去百餘年間，臺灣曾經發生數十起災害性地震，造成了 8084 人死亡；其中 86% 死亡是三大地震事件所致： 1906/03/17 梅山地震 M_L 6.7、1935/04/21 新竹 — 臺中地震 M_L 6.9、1999/09/21 集集地震 M_L 7.3。因此，建置地震帶的研究成為防災工作中極其重要的項目之一，目的在於了解地震成因與地質構造的關係，同時針對地震災害潛勢的分析與風險評估。

蔡義本等（Tsai et al., 1977）基於臺灣整體板塊構造的概念，將臺灣及鄰近海域以聚合板塊邊界 — 花東縱谷（碰撞帶）與琉球海溝（隱沒帶），劃分三個地震帶（第一級）：西部地震帶（Western seismic zone）、東部地震帶（Eastern seismic zone）與東北部地震帶（Northeastern seismic zone）（圖 1–2）。然而，這大尺度地震帶中存在許多不同地質特性的小尺度孕震帶。以「西部地震帶」為例，涵蓋了脊樑山脈、雪山山脈、西部麓山帶、海岸平原與北部張裂帶等地質構造區，而這些構造區又存在許多不同構造成因的小尺度地震帶。因此，本研究依據臺灣地質構造分區以及海域構造再劃分第二級的中尺度地震帶，分別為陸域的海岸山脈、脊樑山脈、雪山山脈、西部麓山帶、海岸平原、北部張裂帶以及海域的琉球與馬尼拉隱沒帶（圖 1–3）。中尺度地震帶（地質構造區）中還存在第三級的小尺度地震帶（斷層帶或破裂帶）。若要針對地震成因、發生機率……等等特性的了解，就必須針對小尺度地震帶的地震地質特性進行分析。透過地質構造的劃分可以釐清地震特性與災害潛勢，為災害管理與預警系統提供更精確的資訊，同時有助於提高地震風險評估、應對能力以及防災的準備。

孕震構造指示會發生地震的構造（A structure is capable of creating earthquakes.）。當某區域經常發生地震或曾經發生大地震，即可推論該處地殼存在孕震的構造（帶）。然而，當觀測時間太短暫或構造處於鎖定狀態，就難以利用地震來確認。例如雲嘉南外麓山帶的斷層是晚更新世之後才形成，但缺乏地質資料（斷層活動年代），因此許多斷層未被視為活動斷層（孕震構造）。此外，許多潛藏在地殼中的孕震構造，更難以確認。因此，對於缺乏地質資料或隱藏的活動構造，除了依賴科學理論的推斷之外，可以利用數十年來的地震觀測資料分析，作為確定活動構造的另一種依據；如可以藉由地震分布來確認地震帶的位置，透過震源機制解來了解斷層的活動行為。因此，地震觀測資料對於這些隱藏的構造至關重要，它提供了豐富的訊息，使地質學者能夠深入了解孕震構造的特性。過去對於「地震帶」的研究主要針對那些地震頻繁、曾經或未來可能發生大地震的孕震構造上，例如琉球隱沒帶（Rau and Wu, 1995; Chemenda et al., 1997; Kao, 1998; Kao and Rau, 1999; Font et al., 1999; Kao and Jian, 2001; Lin et al., 2004; Chou et al., 2006; Wu Y.M. et al., 2008, 2009; Wu F.T. et al., 2009; Theunissen et al., 2012; Klingelhoefer et al., 2012; Lallemand et al., 2013; Chen et al., 2013; Huang et al., 2014）與花東縱谷斷層（Kim et al., 2005, 2006; Cheng, 2009; Kuo–Chen et al., 2009, 2012; Liang et al., 2007; Wu, F.T. et al., 2014）等區域。然而，本研究欲利用臺灣陸域與

鄰近海域活動構造的地震資料進行評估，並以震波層析成像法，包括 Vp、Vs、Vp/Vs 值、Vp 與 Vs 異常擾動值，來建立三維地殼構造模型。同時，透過地震分布與震源機制的分析，來探討臺灣及鄰近海域的地震帶與大地構造之間的關係。

然而，要深入了解地質構造與地震帶的關係，以及地震帶成因，需要根據地質構造特性（孕震構造），進一步劃分地震帶。這種劃分有助於了解地震帶的活動行為，特別是針對規模較大孕震構造。例如，對於板塊邊界斷層等孕震構造，透過這種方式的分析與劃分，可以更精確地評估地震災害的潛在風險。這些資訊不僅對災害管理與預警系統有重要意義，

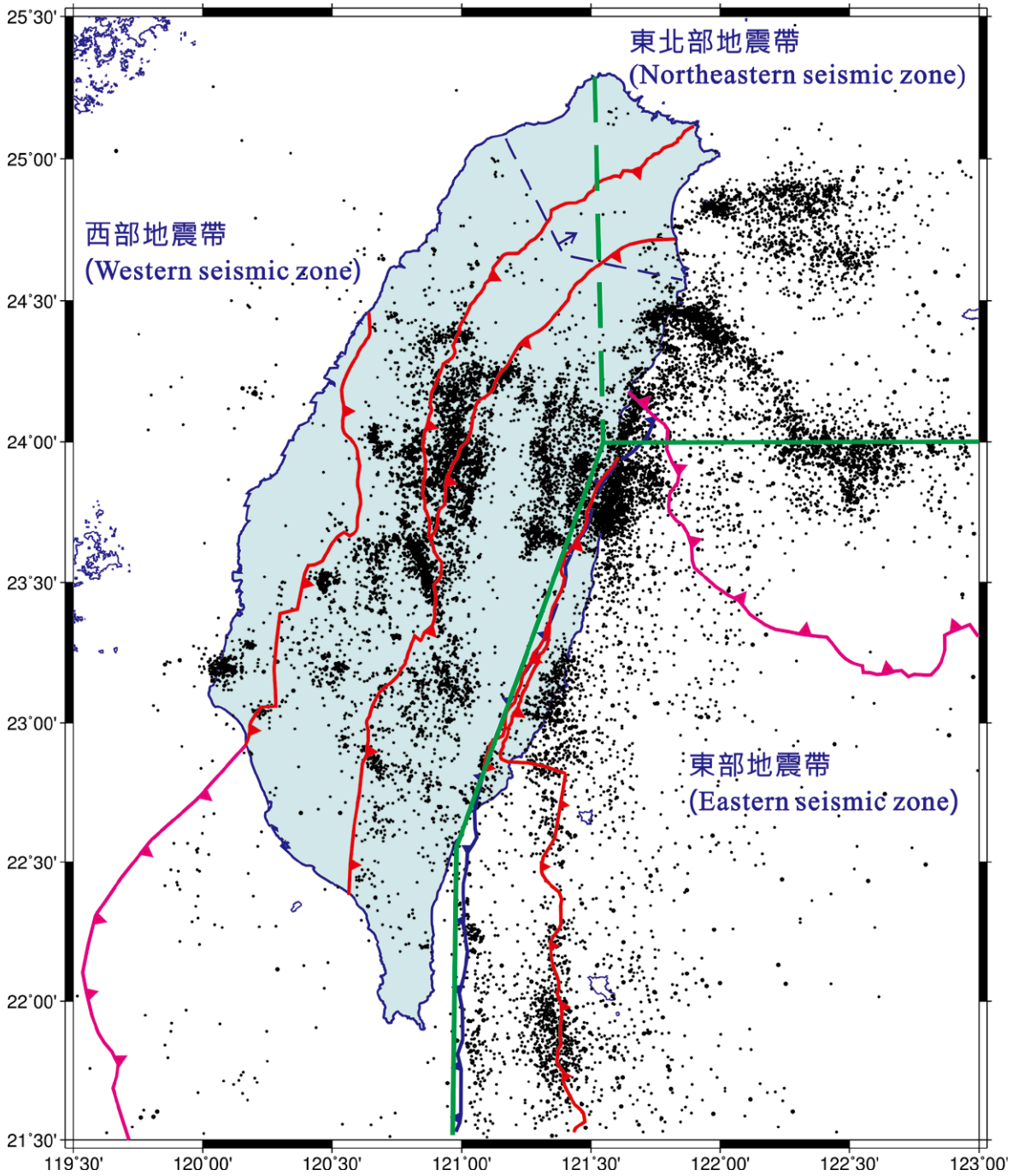


圖 1–2、蔡義本等（Tsai et al., 1977）基於板塊構造將臺灣與鄰近海域區域劃分為三個地震帶。

同時有助於提升地震風險的評估、增強應對能力及加強防災準備。

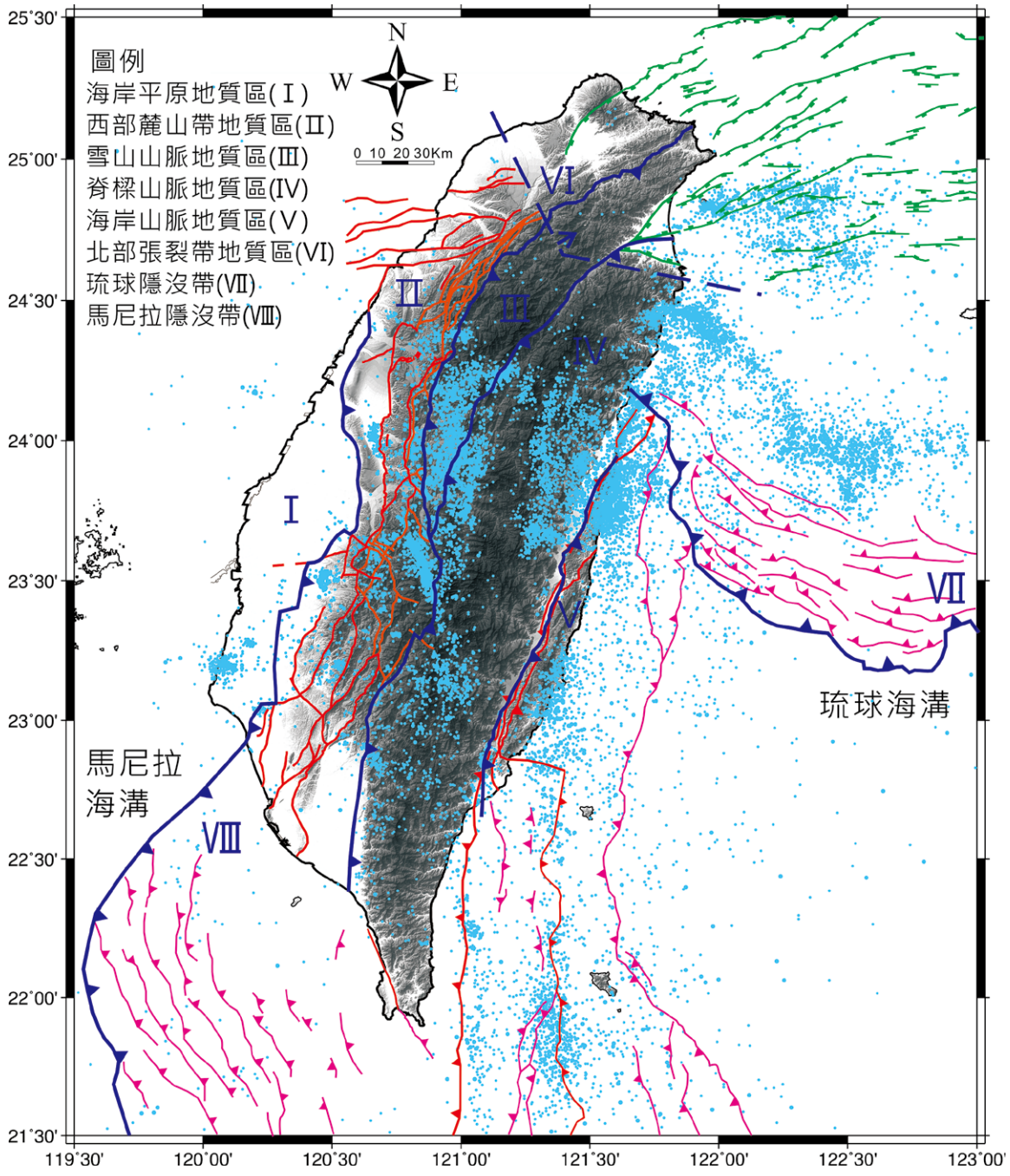


圖 1–3、依據地質構造分區以及海域構造再分為 8 個中尺段的地震帶。綠線為正斷層，海域的桃紅色線為增積岩體的逆斷層；陸域的紅線為活動斷層，橘線為尚無法確定為活動斷層（位於內麓山帶的斷層）；藍線為地質構造分區界限；淺藍點為 1990~2020 年觀測期間的地震。