

台湾地区震源机制即时解算系统及其在地震地体构造上的应用

——以台湾东北部的碰撞-隐没过渡带地体区块旋转作用为例

梁文宗, 赵里, Bertrand DeLOUIS

中央研究院地球科学研究所, 台北市 11529

自 1994 年台湾宽频地震观测网建置以来, 运用宽频地震波形来解算震源机制已成为中研院地球所资料中心的例行工作。近年来不仅通讯技术提升, 地震观测理论也日趋成熟, 即时地震学的发展更成为资料中心的重要任务, 中研院地球所目前已经采用五种不同的方法来即时解算震源机制解。过去 18 年来的地震矩张量(Centroid Moment Tensor, CMT)解指出, 台湾地区的地震错动方式由逆冲断层型态主导, 反映板块间的碰撞与隐没作用, 其次为走向滑移断层, 正断层的错动型态最少。若观察台湾东部沿岸从南到北的地震震源型态可以发现, 浅震(<35km)的主应力轴(σ_1)由垂直海岸山脉的方向, 在纬度 24.3° N附近突然转为正交方向, 此处同时也在约 15~20km深度出现较多的水平倾角滑移(dip-slip)断层型态, 暗示着往西北斜向隐没的板块上边界, 可能在此位置突破挤压作用而灌入西侧大陆岩圈的下部地壳。往北则因为地壳的碰撞减弱, 冲绳海槽扩张的作用逐渐明显, 并约略沿着梨山断层将中央山脉北段的地层往南挠曲, 并在数个地层边界的弱带之间产生左移断层的地震, 形成类似「书架」(bookshelf)断层作用的变形型态。GPS 在此一由碰撞到弧后扩张的过渡带所观测到的空间变化, 与此一模型预测相符。而此处 40km 以下的地震则与隐没板块与大陆岩圈的碰撞相关, 显示台湾东北部的地体构造作用由碰撞过渡到隐没与弧后扩张的复杂性。

1 正文

由于现代通讯技术与地震观测理论的大幅进展, 即时地震学除了基础地震测报之外, 对于解算

震源机制解、有限断层反演、波传模拟等进阶技术都有长足的进步。震源机制解除了反映孕震构造的特性之外, 区域的应力状态与地体构造的演化等也可透过震源机制得到解答。

中央研究院地球科学研究所自 1992 年开始规划建设台湾地区的宽频地震观测网, 希望进一步监测台湾地区的地震活动, 并提供高品质的波形数据供学界使用。自 1995 年开始陆续建站之后, 气象局也自 2003 年底开始着手建置宽频地震站, 至今两个单位总共在台湾地区布署约有 60 部的宽频地震站, 其中包括两座位在南海地区的卫星地震观测站。为更扩大此一观测网的覆盖范围, 我们与邻近数个国家交换即时波形资料, 把监测区域扩大到南中国海四周的活动构造带。

逆推宽频波形以计算中央地震矩张量(Centroid Moment Tensor, CMT)解来取得震源机制参数, 已成为全球和区域地震资料中心的例行性工作, 目前中研院地球所采用 Kao et al. (1998)、Zhu et al. (2013) 和 Delouis (2010) 等人的方法, 近即时计算台湾地区有感地震的震源机制解。如果这几个解的结果趋于一致, 表示这个震源机制解的可信度相当高。

根据过去 18 年来累积的地震矩张量解来看, 台湾地区由于处在弧陆碰撞与隐没系统的构造活跃地带, 逆冲断层普遍存在东部的海岸山脉、西部麓山带与东北隐没系统的板间地震带(interface seismic zone)上。是全区最常见的地震错动型态。正断层错动型态主要出现在造山运动剧烈的中央山脉南北两端, 以及宜兰外海的冲绳海槽, 前者可能反映垂直向的构造逃逸或水平应力的空间差异, 后者则是弧后扩张的效果。走向滑移断层型态则分布在集集地震后车笼埔断层的南北两端、宜兰南澳地区, 以及花东纵谷南端。

沿著台湾东部由南往北来看, Wu et al. (2009) 根据地震活动、震源机制解、地表变形模拟以及海岸山脉抬升率的变化, 推论菲律宾海板块在约 23.7° N 附近开始向北隐没。如果进一步检视花莲到宜兰之间的震源机制, 可发现在 24.3° N 附近的上部地壳底部, 出现水平的倾角滑移地震事件, 这可说明隐没板块在此脱离较脆性的孕震层而往西灌入下部地壳。以北, 地壳内的震源机制解转为以左移断层型态为主, 且主应力轴方向改为和以南的西北-东南向正交, 表示吕宋岛弧与大陆边缘的碰撞作用消失, 取而代之的是上覆板块内沿地质边界弱带错动的左移断层型态。由地震活动来看, 梨山断层在北端往东急弯在兰阳溪南侧出海, 以此为边界, 北侧的兰阳平原已落入冲绳海槽的张裂作用影响范围, 以南到 24.3° N 之间主要有五个呈东西向的地震带, 深度由南往北渐深, 多数的有感地震均呈左移的断层错动型态, Huang et al. (2012) 也有相同的观测结果。

根据以上的观测结果, 本研究推论在兰阳溪到 24.3° N 之间的上覆板块类似于 Wallace et al. (2005) 提出的微板块, 因为受到冲绳海槽的弧后扩张与海沟后退的双重影响, 加上吕宋岛弧的密度小, 由于浮力作用难以隐没而形成顶点, 因此, 以即将隐没的吕宋岛弧北端为轴心, 此一微板块受到顺时针方向的扭矩 (torque) 而形成构造区块旋转 (tectonic block rotation), 原来呈东西向的地质边界弱带无法承受过大的剪切应力而错动, 而以类似书架 (bookshelf) 断层作用的方式释放应变能。这种地震性质受到地质条件影响的例子还包括地壳内的非均向性 (各向异性) (Kuo et al., 1994) 等。

全球这种在由碰撞到隐没的过渡带所观测到的构造区块旋转, 已经由 GPS 的水平速度变化推论而得 (Wallace et al., 2005), 如果再加上板块内地质边界弱带的条件, 可以归纳出愈靠近轴心的弱带, 两侧的相对水平滑移量愈大, 亦即在大宜兰地区, 愈往东、往南, 水平往东南方的变形量愈显著, 这个预测与实际 GPS 的观测结果相符。Angelier et al. (2009) 提出非刚性旋转 (non-rigid rotation) 模型来解释宜兰地区的构造逃脱现象, 虽然实际上此处似乎

并无构造逃脱。

本研究所提出的模型也可解释为何 121.7° E 以西看不到地壳内的浅震, 这是因为剪切应力的分量仍无法克服正向应力施加在断层上的静摩擦力所致。此外, 中央山脉北段地质边界的走向, 由原本主要的东北西南向, 在靠近宜兰地区急剧向东转弯, 曲率最大的位置 (大约是太平山附近) 在 1983 年发生 M_w 为 5.7 的浅层地震, 且震源机制为正断层错动型态, 余震分布与断层走向都垂直构造线 (Chen and Wang, 1984), 符合转弯外围有侧向张应力的预测。关于此过渡带的地体构造演化, 本研究提出的模型预测未来冲绳海槽的轴心将沿著梨山断层持续往西进移, 中央山脉北段也会往南逐渐剥离雪山山脉,

2 结论

台湾地区的即时震源机制解能迅速提供学界以解释对应的孕震构造, 并作为进一步计算有限断层震源解及波传模拟的数据, 对于地震危害评估有一定贡献。累积的震源机制解足用来探究台湾地区的地震地体构造型态, 并据以描绘地震应力状态的时空分布与地体构造的演化。台湾东部由南往北逐渐从弧陆碰撞过渡到隐没与弧后扩张, 震源错动型态各有其特征, 菲律宾海板块在约 23.7° N 开始隐没, 一直到 24.3° N 后逐渐脱离上部地壳的孕震层, 往西灌入下部地壳, 往北的隐没板块虽然持续与大陆岩石圈碰撞, 但是上覆板块的上部地壳在海沟和冲绳海槽之间受到弧后扩张和海沟后退的影响, 顶在吕宋岛弧北缘产生顺时针方向的力矩, 使得原先的地质边界弱带出现相对位移, 以左移断层错动的方式释放应变能, 因此, 地表变形量也以顺时针方向呈现, 往南愈大。梨山断层似乎是冲绳海槽往西移进的中心轴, 以北的宜兰平原受张裂作用影响, 以南到 24.3° N 之间则受到类似书架断层作用的影响。这个模型与前人提出的非刚性旋转来解释构造逃脱的模型不同。