1999年土耳其伊兹米特7.4级地震评述

□ 王　峻

1999年8月17日在土耳其西部伊兹密特(Izmit)发生*M*w7.4地震，11月12日在该地震震中位置以东，同样位于北安纳托利亚断裂带(NAF)上的迪兹杰(Duzce)发生*M*w7.1地震，这两次地震共造成约1.8万人丧生。地震发生至今的二十年间，国内外众多学者采用多种方法研究了该地震的起因、发震构造及应力随时间和空间的变化特征。

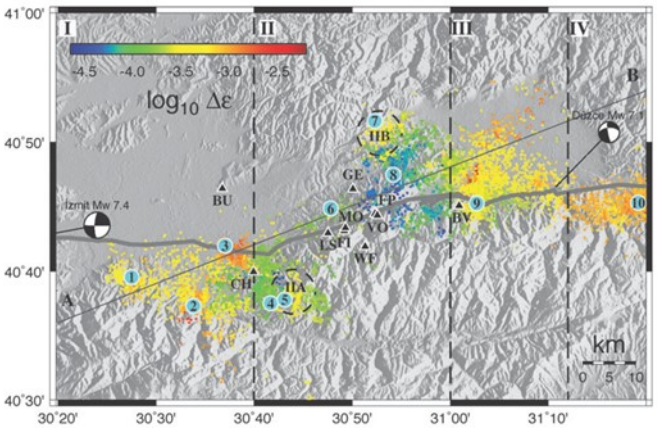

图1 伊兹米特Mw7.4地震发生后6个月内应变降分布
(Yang et al.,2009,GJI)

南加州大学Yang et al. (2009)利用位于北安纳托利亚断裂卡拉德利-迪杰兹分支的区域地震台网在伊兹米特*M*w7.4地震发生后6个月内记录到的7498个余震P波波形数据分析了该区域的应变降（图1）。发现应变降在3-10km深度随深度逐渐增加，在更深的深度近似保持恒定；并且沿着卡拉德里断裂(Karadere segment)相对平直的部分应变降较低，在几何形态复杂的断裂带边界部位应变降较高。在断裂带的一些部分，应变降在主震发生后随时间衰退，而在其他部分应变降值则在一个固定范围内波动。他们认为，观测到的应变降空间变化可解释为一方面正应力随深度增加，另一方面沿着断层带，几何形态复杂程度不同的部分其滑移亏损在不同深度也有所不同。

Durand et al. (2013) 研究了伊兹米特*M*w7.4地震对马尔马拉海东部动态和静态应力变化的影响，发现该区域的地震活动性与应力变化相关联（图2）。认为大的动态应力和负的静态库伦应力可能会立即激活地震。在伊兹米特地震发生十几年后，位于该地震破裂区的外部集群静态应力和和压力仍然变化很大，并且仍然处于激活状态。

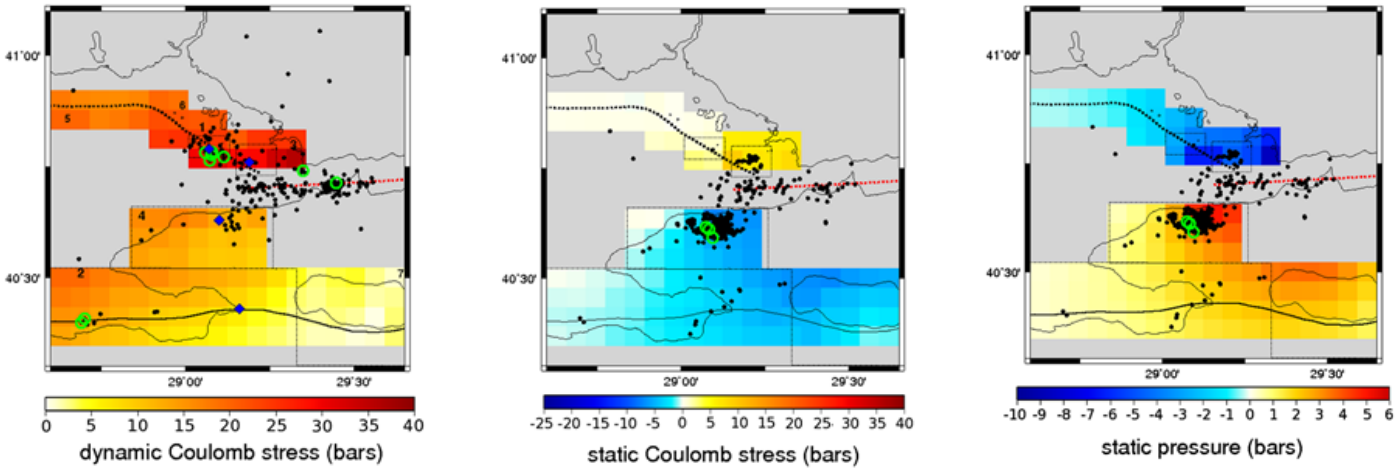

图2 马尔马拉海东部动态和静态应力变化与地震活动性的关联
Durand et al. , 2013, JGR

Karabulut et al. (2002)在Izimit地震震中位置以西，Marmara Sea Fault东缘进行了地震余震观测，记录到主震发生后一个月内发生的余震，研究了余震分布特征与主震破裂之间的关系（图3）。发现余震位置分布可分为三个集群，显示出Izimit破裂沿东西向向西扩展到Marmara Sea东部，震源机制解结果同样表明主震走滑破裂到了这里。

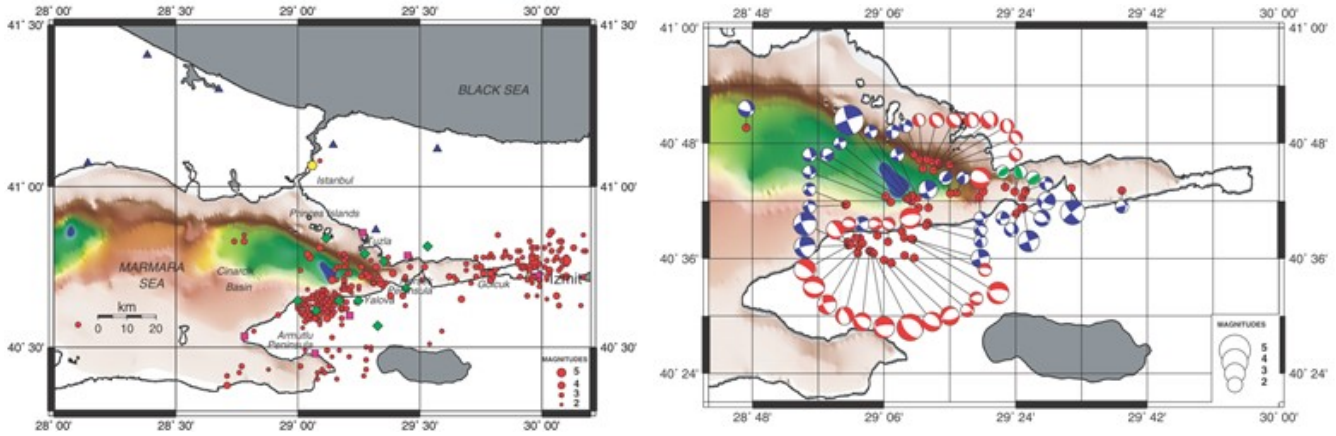

图3 Izimit地震余震分布特征与主震破裂之间的关系
Karabulutet al. , 2002, BSSA

Wang et al.(2009)采用GPS观测到的震后300天内的位移测量和2003-2005年的速率测量两种数据资料，研究了同震破裂面上、下部的后滑移以及粘弹性应力释放两种机制（图4），最终构建了弹性上地壳-标准线性固体下地壳-Maxwell粘弹性地幔(E-SLS-M)这样一个壳幔流变学模型用于统一解释Izmit地震走滑破裂引起的变形结果。认为主震发生后的2-3个月的震后变形由30km深度的浅层后滑移支配，滑移幅度随时间减弱；而在此之后的变形则逐步受到下地壳/上地幔的粘弹性释放影响。

综合分析以上研究结果，对1999年Izmit *M*w7.4地震可以得出以下认识：主震应力降受断层正应力和几何形态复杂程度影响，其分布特征随空间和时间变化显著；主震对于破裂区西部边界(Marmara Sea东缘)的动态应力和静态库仑应力有所影响，使得该区域应力降变化仍然较大，处于激活状态；Izmit强震发生的深部动力学过程可能需要一个较复杂的上、下地壳及上地幔不同机制的流变学模型统一解释。

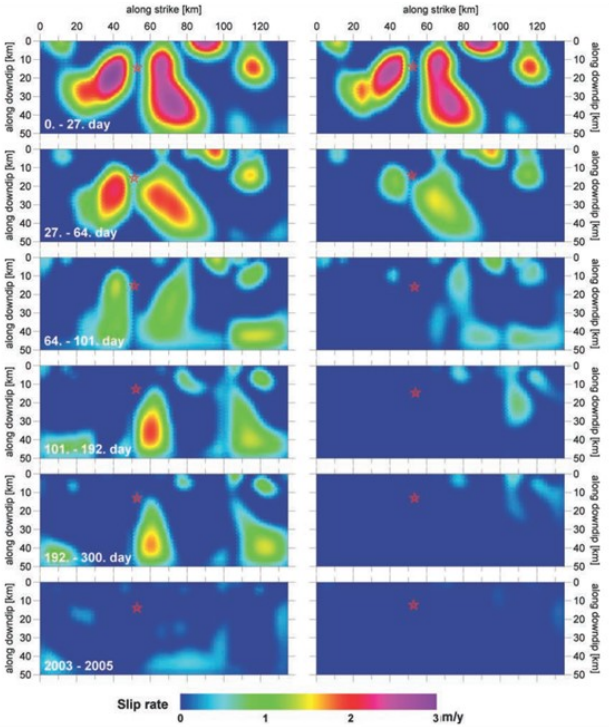

图4 震后视滑移速率与经模型校正后的位移；左图：根据震后GPS位移得到的视滑移速率;右图：根据E-SLS-M模型校正粘弹性释放后得到的位移(Wang et al. ,2009,GJI)

参考文献

1. Yang W , Peng Z , Ben-Zion Y . Variations of strain-drops of aftershocks of the 1999 Izmit and Duzce earthquakes around the Karadere-Duzce branch of the North Anatolian Fault [J]. Geophysical Journal International, 2009, 177(1):235-246.

2. Durand V , Bouchon M , Karabulut H , et al. Link between Coulomb stress changes and seismic activation in the eastern Marmara sea after the 1999, Izmit (Turkey), earthquake: COULOMB STRESSES AND SEISMIC ACTIVATION[J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2013, 118(2):681-688.

3. Karabulut, H. The Seismicity in the Eastern Marmara Sea after the 17 August 1999 Izmit Earthquake[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2002, 92(1):387-393.

4. Wang L , Wang R , Roth F , et al. Afterslip and viscoelastic relaxation following the 1999 M 7.4 İzmit earthquake from GPS measurements[J]. Geophysical Journal International, 2009,178, 1220-1237.