

新西兰凯库拉(Kaikoura) Mw 7.8 级地震序列的极端复杂性

作者：石许华（新加坡南洋理工大学 地球观测研究所 [Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University]）

当地时间 2016 年 11 月 14 日深夜 00:02:56（北京时间 11 月 13 日 19:02:56），新西兰南岛凯库拉（Kaikoura）地区发生 7.8 级大地震。

震中经纬度为 42.757°S , 173.077°E ，位于新西兰第三大城市基督城（Christchurch）东北方向约 90 公里，距凯库拉镇约 60 公里。震源深度约 23 公里（图 1）。

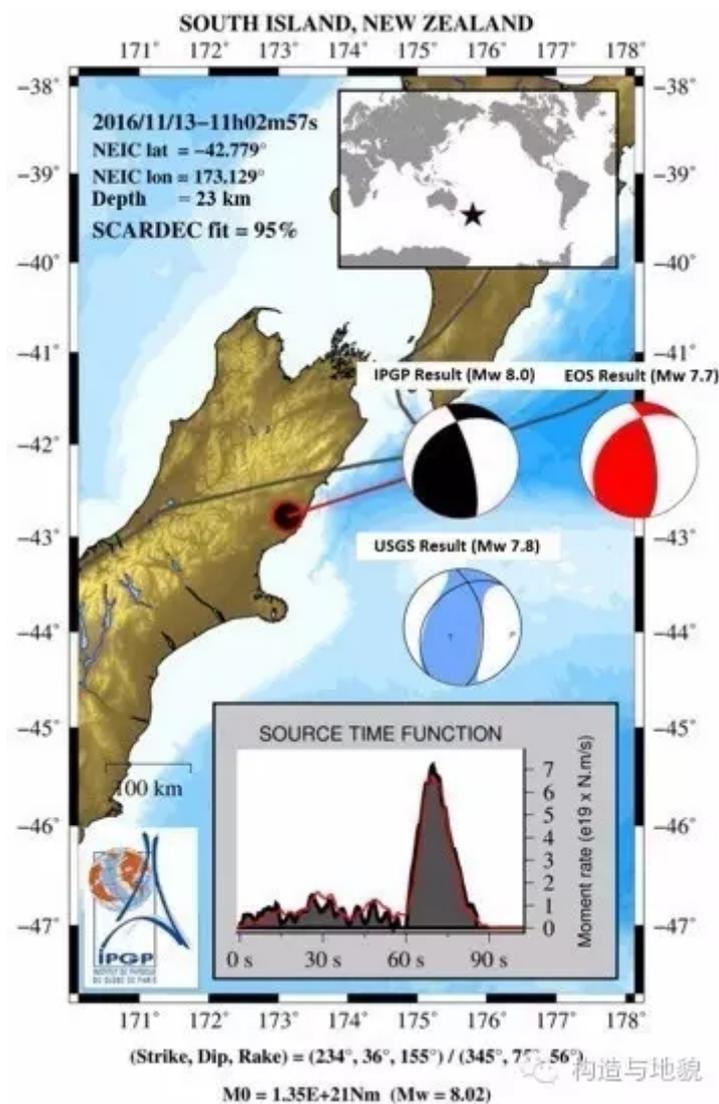


图 1. 新西兰凯库拉(Kaikoura)7.8 级地震位置、震源机制及震源-时间函数(内插图)。(图片来源: IPGP, USGS 及新加坡南洋理工大学 地球观测研究所 [Earth Observatory of Singapore])
<http://www.earthobservatory.sg/news/mw-78-earthquake-strikes-south-island-new-zealand>

该地震主震持续时间约 2 分钟，最剧烈的震动发生在地震开始后约 50 秒(图 1)。主震发生 13 小时内，在震中东北方向 80 公里内发生 4 个 6-6.5 级的余震。截止到 11 月 17 日，在新西兰南岛北部及北岛南部余震记录已超过 2000 个(图 2)。

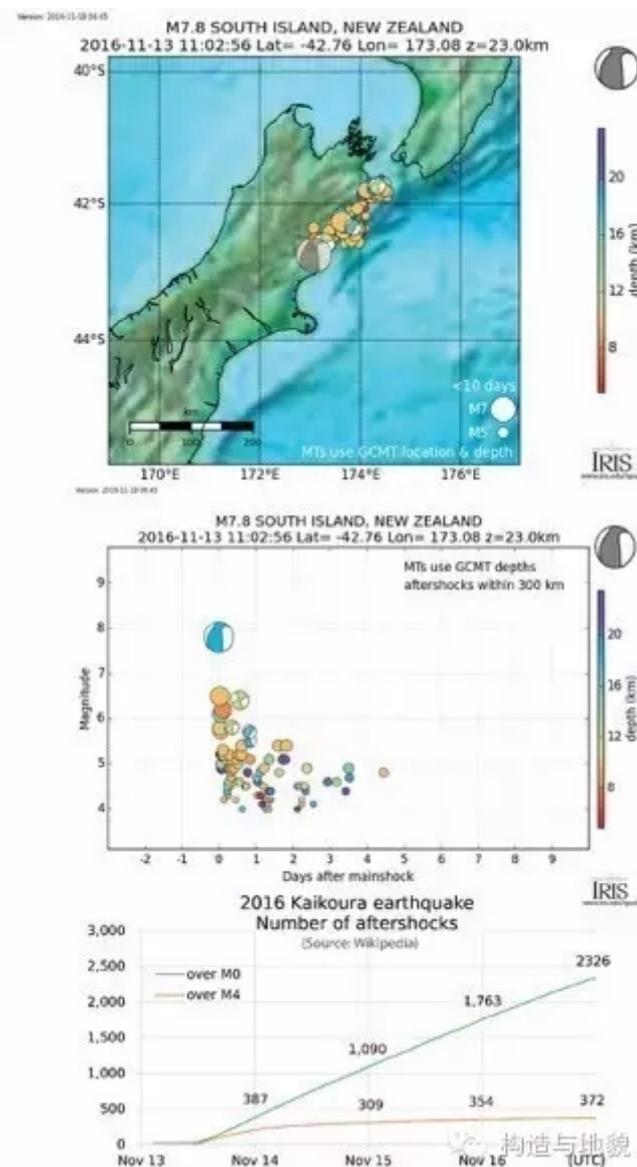


图 2. 新西兰凯库拉 (Kaikoura) 7.8 级地震余震分布 (上), 余震震级 (中) 与数量 (下) 随时间的变化

地震破裂范围从震中到南岛东北角延伸超过 150 公里，涉及部分浅海破裂。震源机制在南部以逆冲断层为主，北部为右旋走滑为主。

浅海破裂引起海啸，并于地震发生后 30 分钟到达凯库拉地区，波浪高度达到约 1.5 米。在新西兰首都惠灵顿 (Wellington) 记录到的海啸波浪最高达约 0.5 米。

地震同时造成新西兰南岛北部大面积滑坡，飞机野外调查及高精度卫星影像统计结果显示高达 8-10 万处 (Geonet)。

地震造成 2 人死亡，20 多人受伤；超过 10 栋以上房屋受损或者完全崩塌 (<http://www.radionz.co.nz/news/national/318002/live-the-quake-afterm>)

ath)。同时，受地震破裂及滑坡影响，南岛东部主要铁路公路干道受损或被堵塞。

新地震发生构造背景

新西兰位于太平洋板块与澳大利亚板块交界位置（图3）。北岛东侧为俯冲边界，南岛西侧为纯走滑断裂边界。新西兰南岛北部位于这两种板块边界之间，作为一个复杂的板块边界转换系统，发育了四条近北东走向的断裂体系（以右旋走滑为主），及位于这些断裂之间走向各异的次级连接断层。这些断层总称为Marborough断裂系，以分散的方式协调此处高达近40 mm/yr的板块运动形变。但是位于南部的Hope断层最活跃，全新世（近1万年以来）的走滑速率高达23 mm/yr，古地震研究表明在断层上发生7级以上地震的复发周期为180-310年（Langridge et al., 2003）。

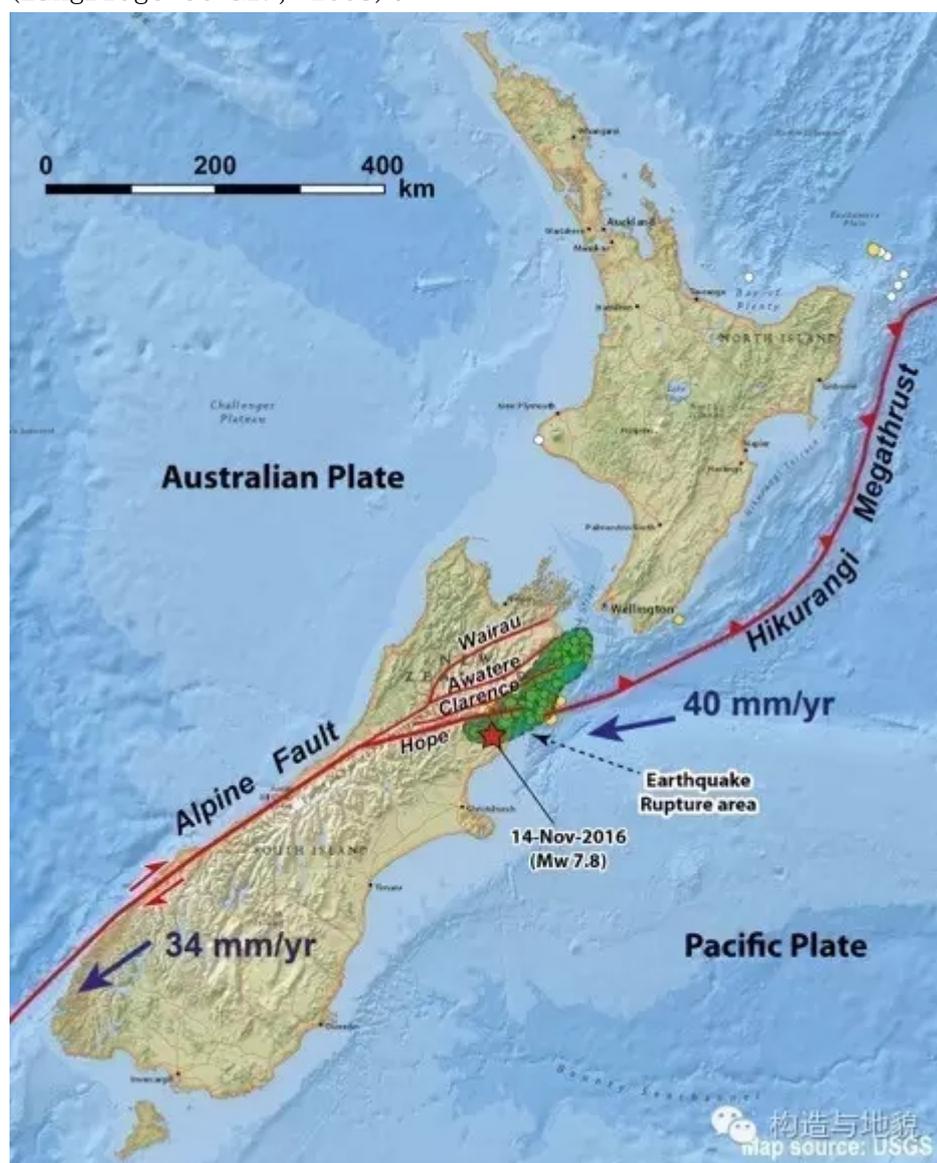
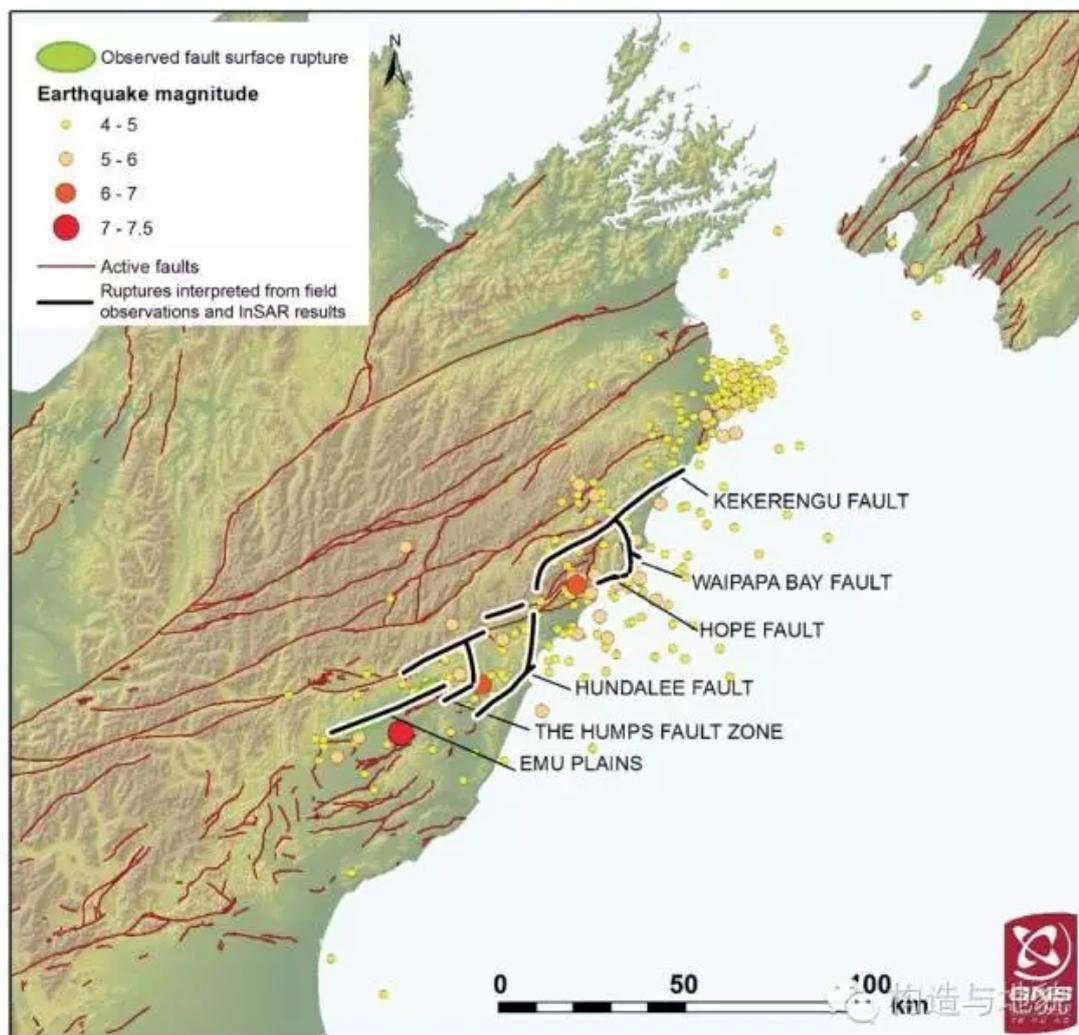


图3. 新西兰凯库拉7.8级地震构造背景、破裂范围及余震分布（地图来源：USGS）

地震的极端复杂性

该地区的地震构造背景决定了凯库拉 7.8 级地震序列的极端复杂性。该地震是目前为止在陆地上所观察到的最为复杂的地震之一。野外调查，GPS 及干涉合成孔径雷达影像（Interferometric synthetic aperture radar，简称为 InSAR，是一种利用地震前后卫星与地震区域之间雷达波反射的时间差异来计算地标形变的技术）分析表明，地震序列至少 6 条以上的断层发生（图 4），并伴随地表破裂。并且，地震可能是从 Hope 断层南部首先破裂，进而向北东方向传递并引发一系列其他断层上的地震及地表破裂。这是该地震序列极端复杂性最明显的表现。



4. 新西兰凯库拉 7.8 级地震地表破裂（根据野外观测及 InSAR 数据解释）。（底图来源：GNS）

已有数据表明，该地震在 Kekeregu 断裂上造成最大水平右旋位移为 10 米。这个位移比 2001 年可可西里 Mw 7.8 同级地震最大同震位移（7-8 米，Xu et al., 2006）还要高出至少 2 米。同时，浅海处的逆冲断裂造成从凯库拉到坎贝拉（Campbell）海岬约 80 公里长范围的海岸线抬升。在凯库拉地区威帕帕（Waipapa）海湾附近，野外观测到逆断层破裂将东侧海底抬升 2-3 米（图 5）。

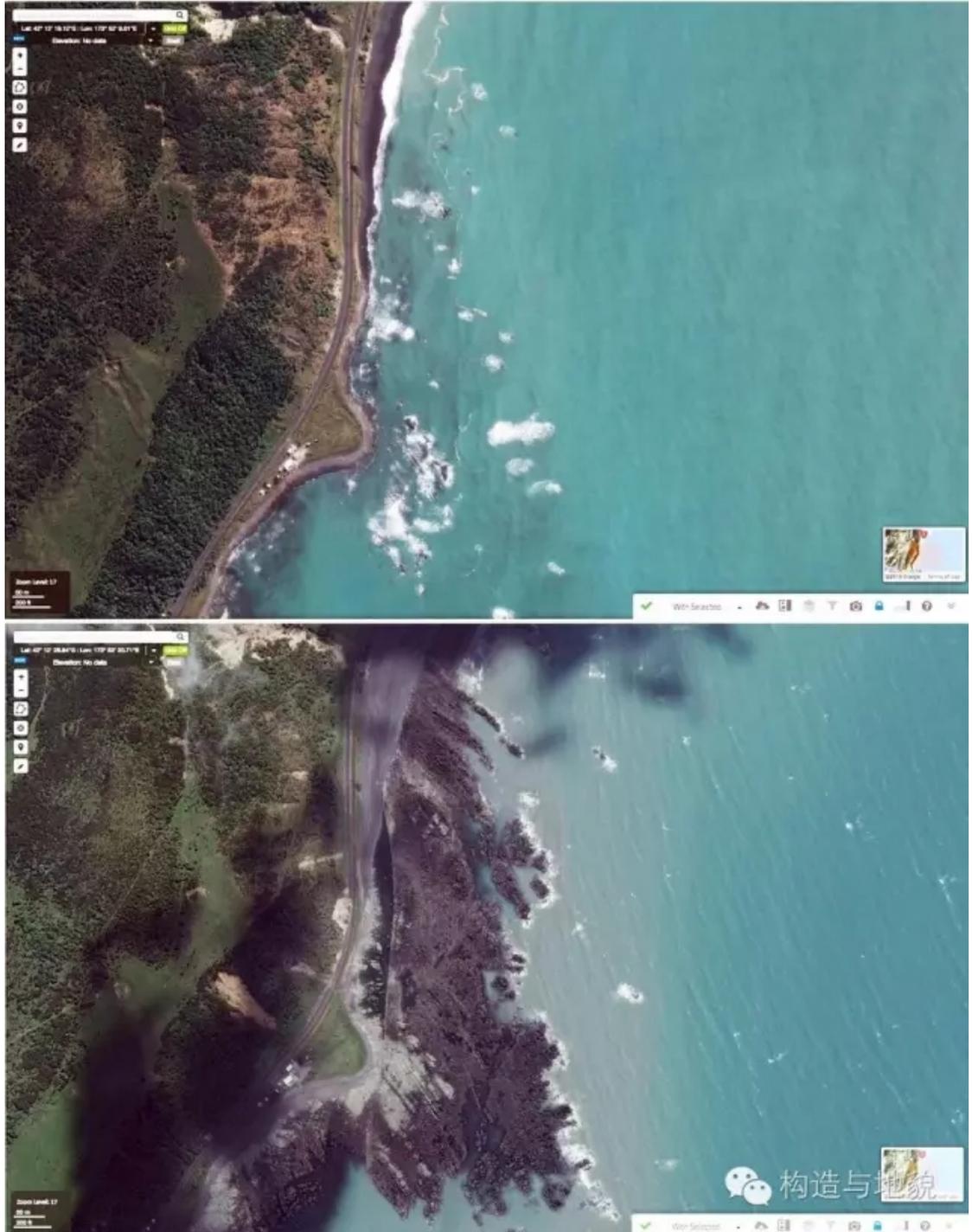


图 5. Waipapa 海湾地震前（上图）与地震后（下图）的 Worldview-2 高精度卫星影像对比，显示东侧海床被抬升约 2-3 米（来源：Ryan Gold）

附其他相关图件：

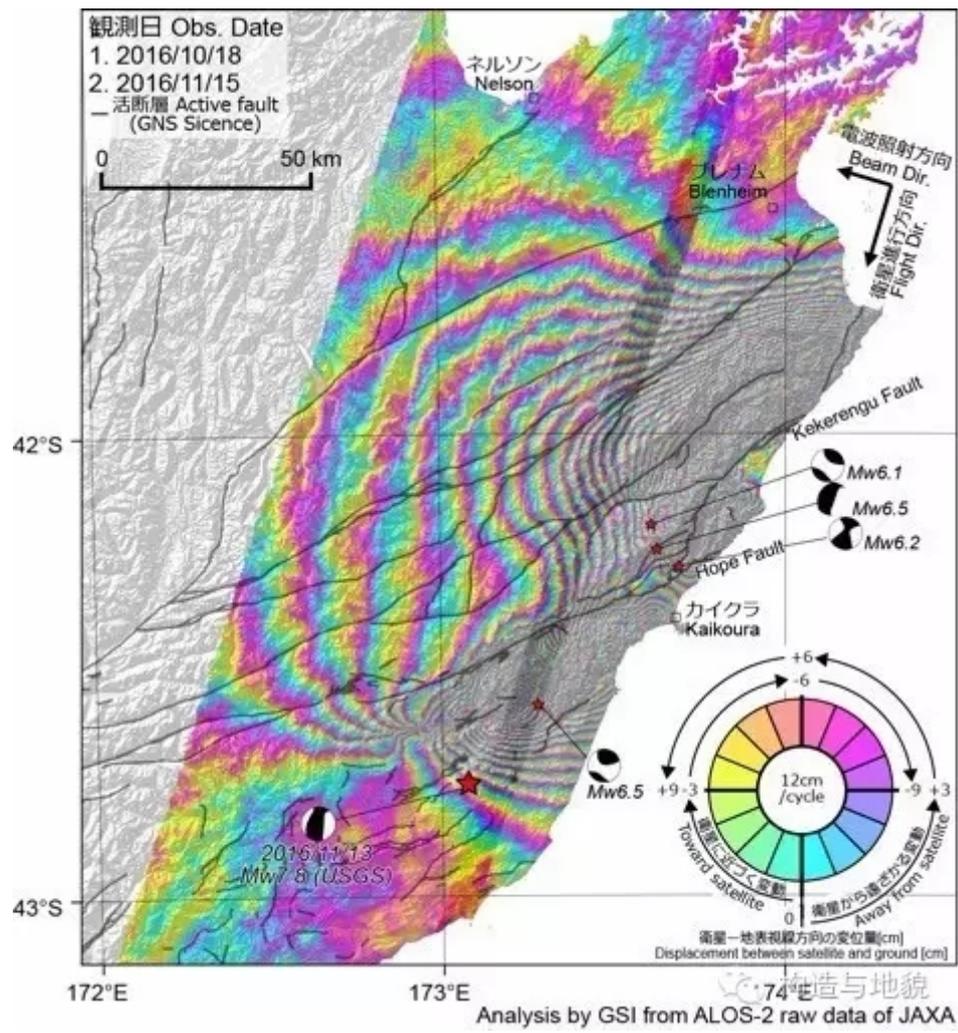


图 6. ALOS-2 InSAR 缠绕图像，用来测量地表变形及破裂识别

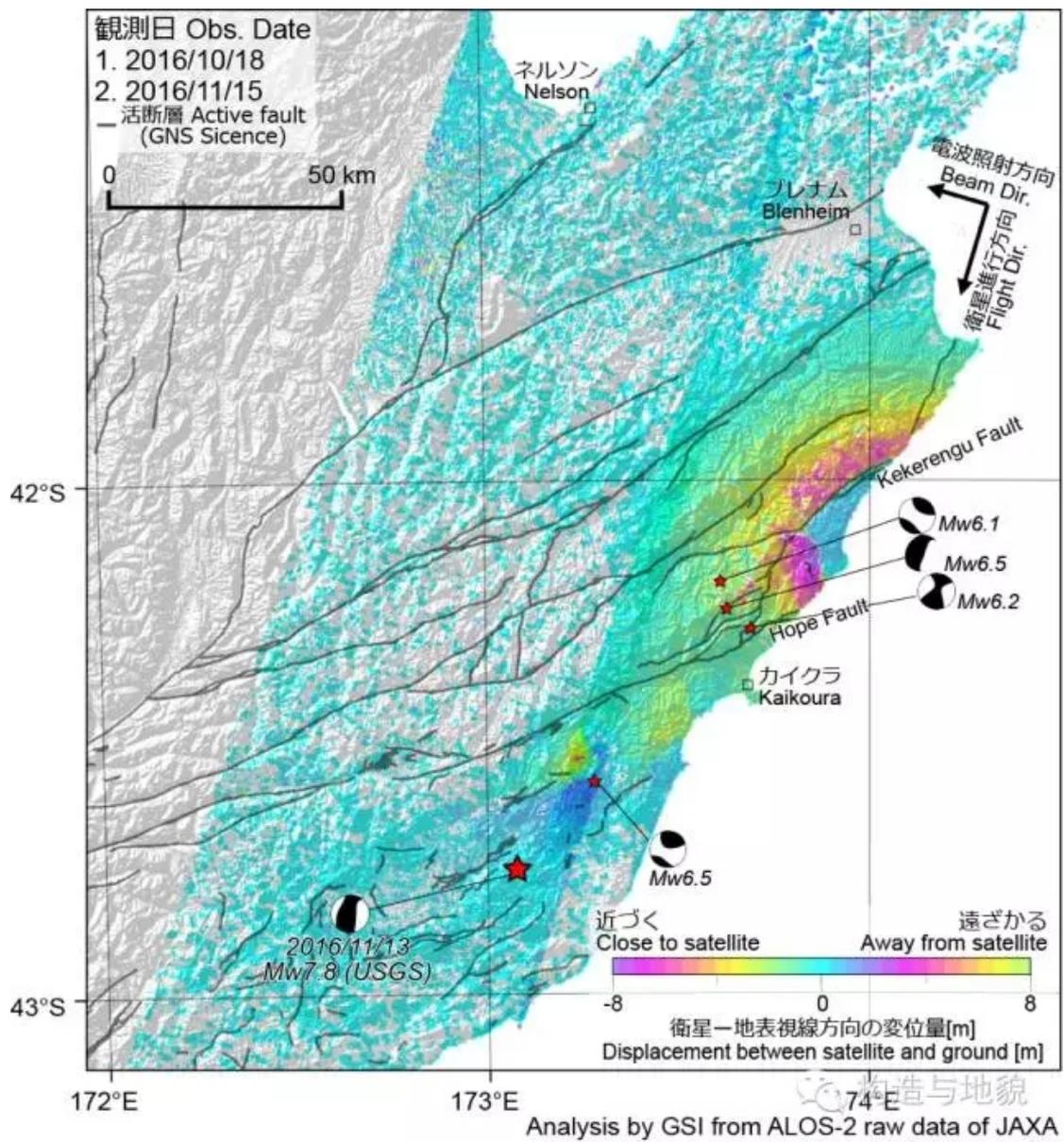


图 7. ALOS-2 InSAR 影像分析所得斜距方向位移量，用于分析地表变形量及识别地表破裂



图 8. Kekerengu 断层破裂早曾的房屋损坏 (来源: GNS)



图 9. Kekerengu 断层破裂早曾的房屋损坏. (来源: GNS)



图 10. HundaLee 断层尖部上地震造成的地表破裂. (来源: GNS)

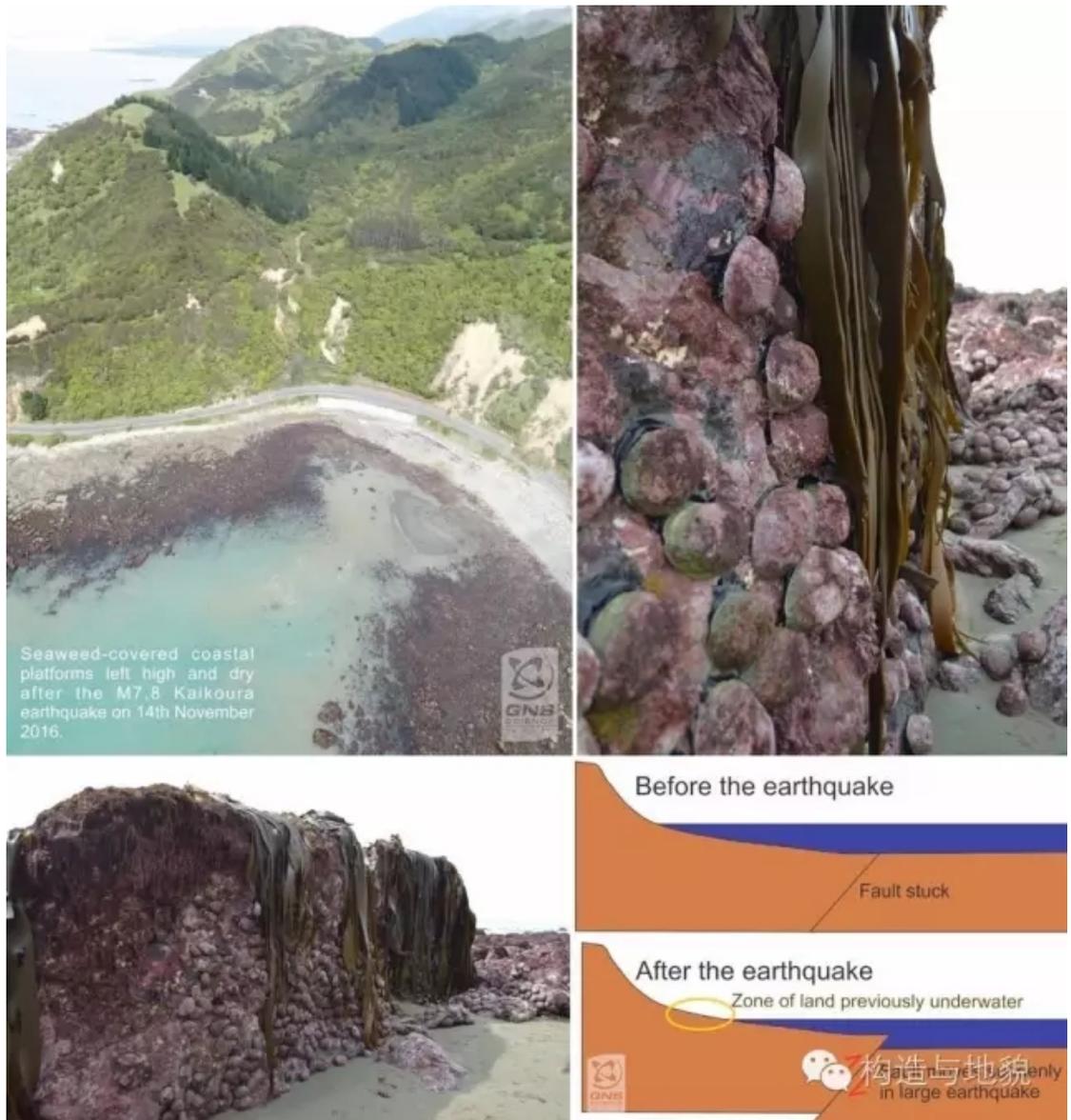


图 11. Waipapa 海湾海床抬升造成大量鲍鱼出露海面（右上及左下角），及其机制解释（右下角）。（来源：GNS）

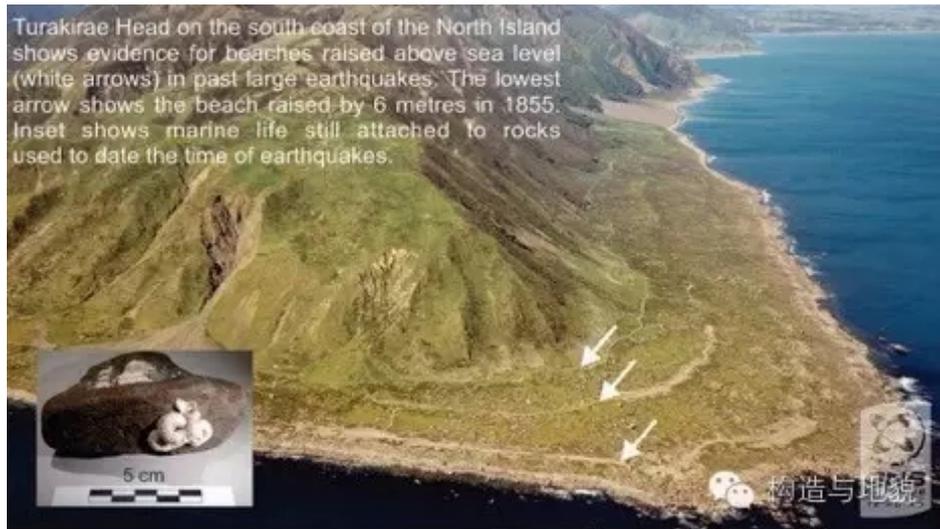


图 12. 海滨阶地记录了历史大地震的存在. (来源: GNS)

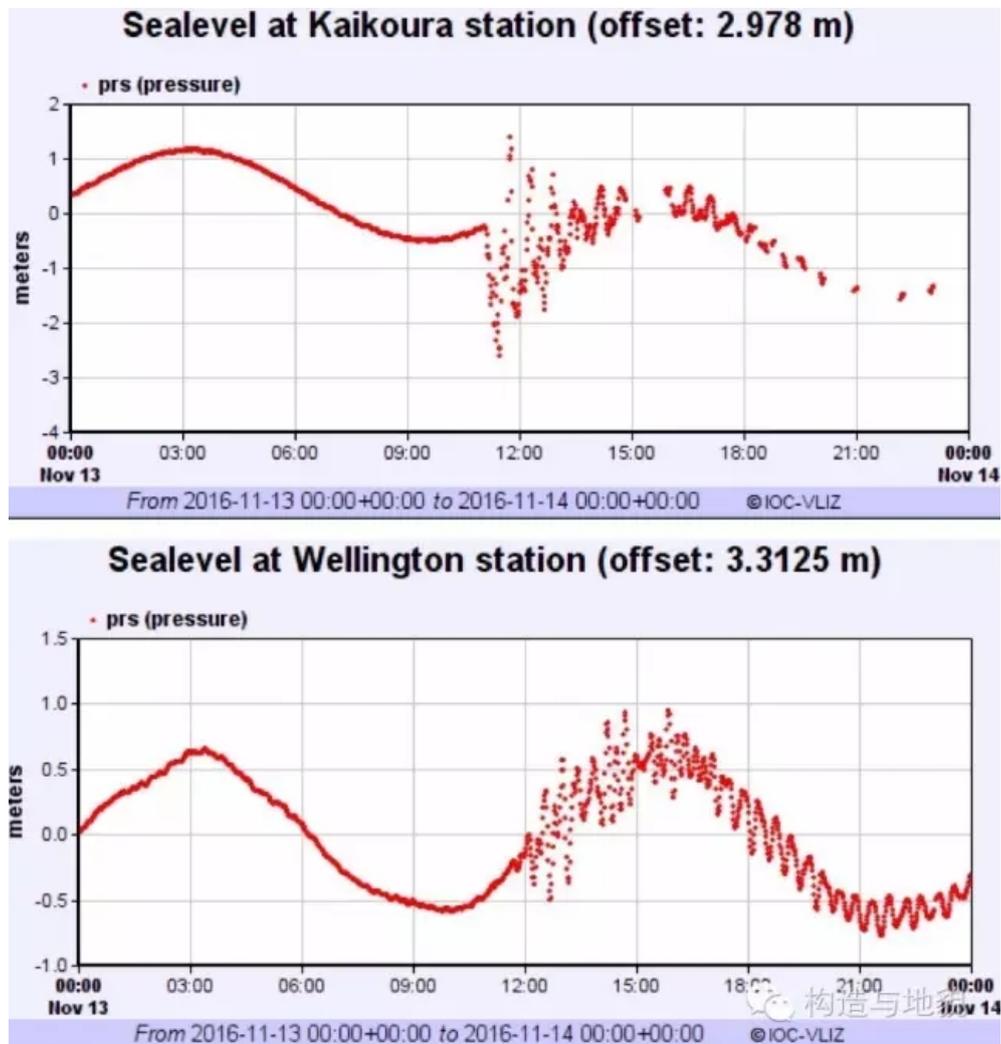


图 13. 凯库拉 7.8 级地震引起小规模海啸, 在凯库拉 (Kaikoura) 附近海啸波浪幅度达到 1.5 米高, 首都惠灵顿 (Wellington) 波浪高度为 0.5 米左右

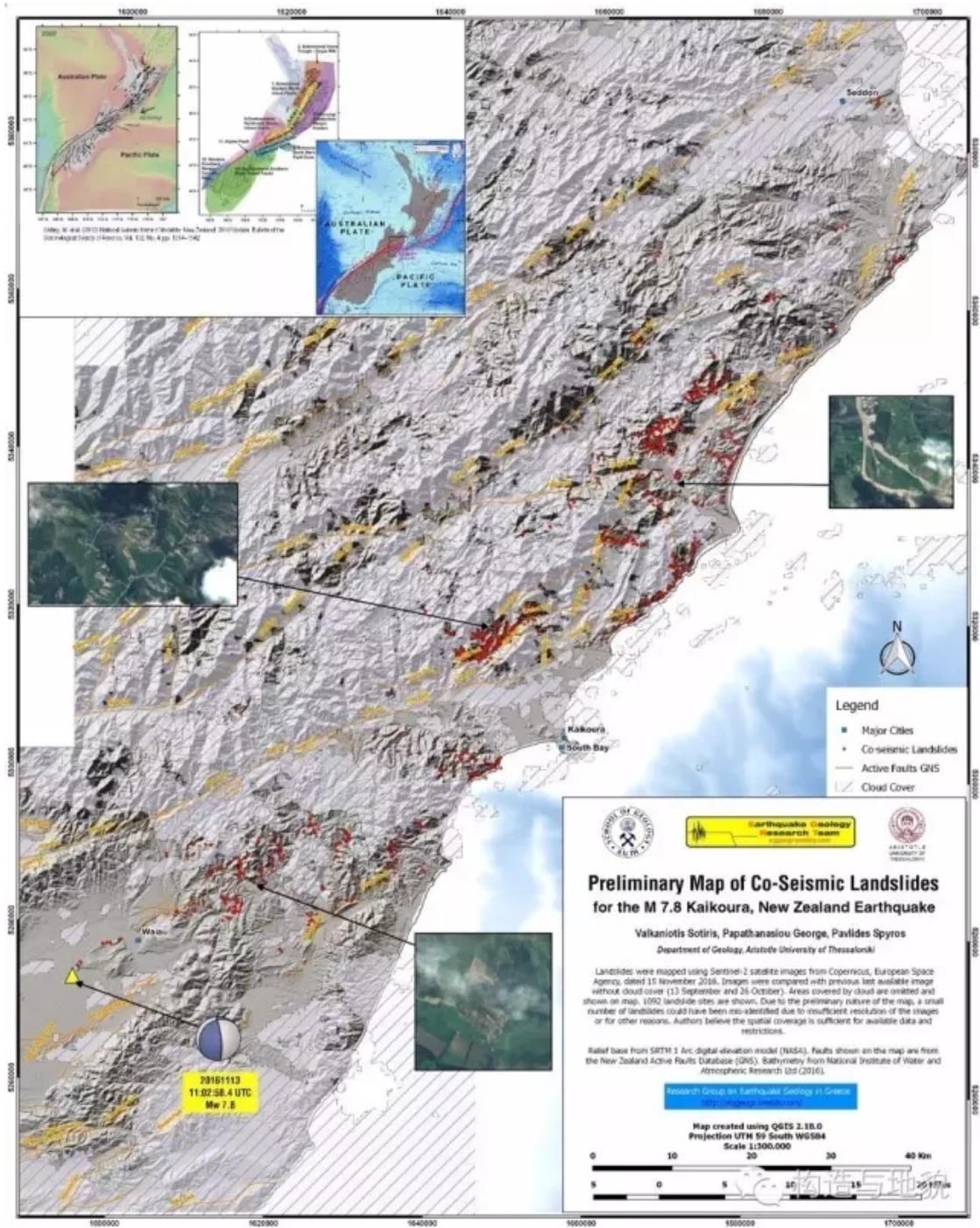


图 14. 地震引发大面积滑坡，多大 8-10 万处。来源：Valkaniotis Gotiris, Papathanasiou George, Pavlides Spyros



图 15. 地震引发的滑坡，造成大量地表破坏及铁路公路损坏。来源：GNS 和 Marlborough Emergency

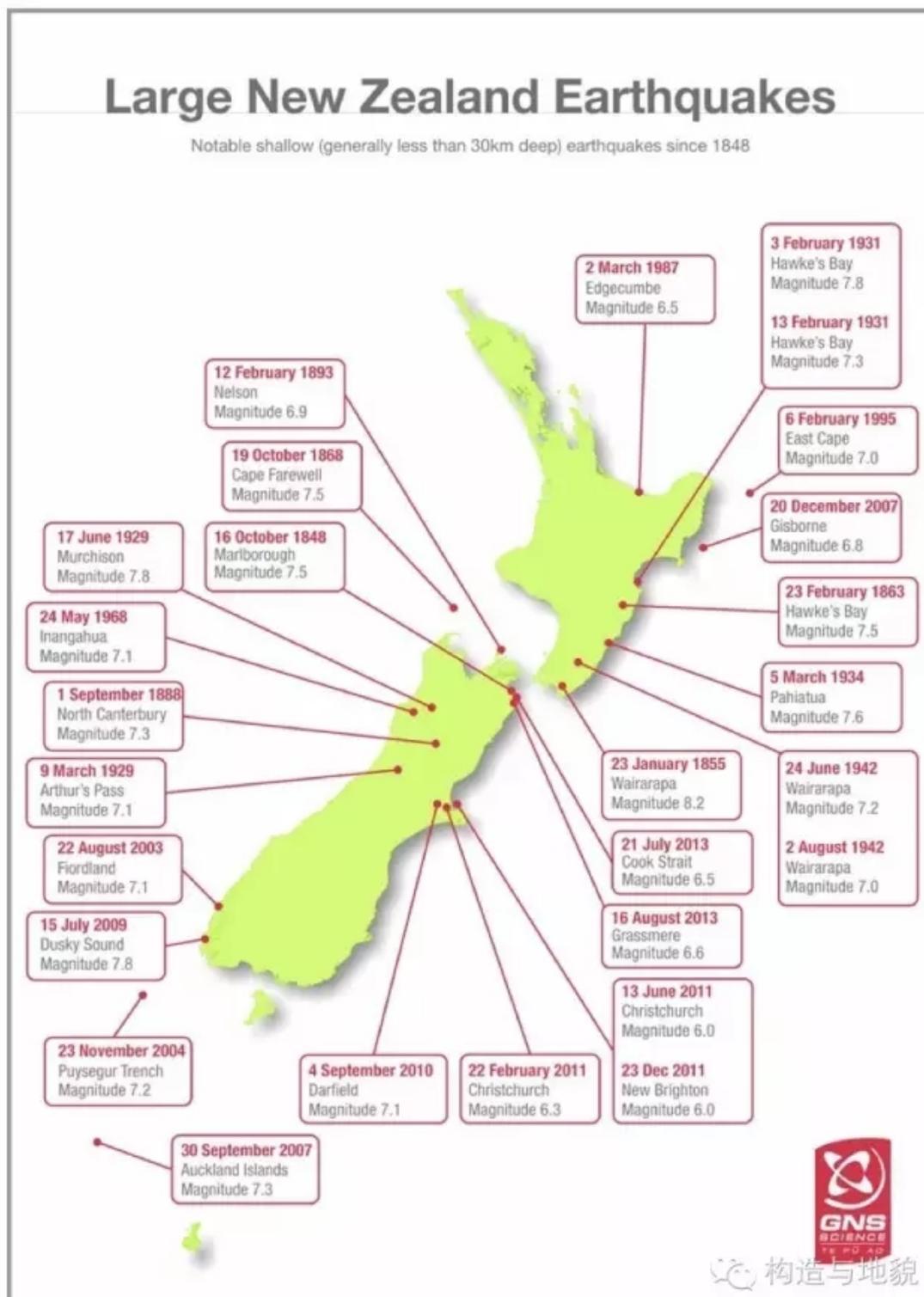


图 16. 新西兰历史地震，来源：GNS

参考资料

Xu, X., G. Yu, Y. Klinger, P. Tapponnier, and J. Van Der Woerd (2006), Reevaluation of surface rupture parameters and faulting segmentation of the

2001 Kunlunshan earthquake (Mw7.8), northern Tibetan Plateau, China, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 111(B5), B05316.

Langridge, R., J. Campbell, N. Hill, V. Pere, J. Pope, J. Pettinga, B. Estrada, and K. Berryman (2003), Paleoseismology and slip rate of the Conway Segment of the Hope Fault at Greenburn Stream, South Island, New Zealand, Annals of Geophysics, 46(5), 1119-1139.

VICE Staff, Everything We Know So Far About the Earthquake in New Zealand. http://www.vice.com/en_nz/read/everything-we-know-so-far-about-the-earthquake-in-new-zealand (November 14, 2016)

RNZ, The aftermath of the 7.8 earthquake so far. (6:26 pm on 18 November 2016) <http://www.radionz.co.nz/news/national/318002/live-the-quake-aftermath>

Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/2016_Kaikoura_earthquake