

新西兰 2010 年 M7.1 地震与 2011 年 M6.3 地震活动和灾害分析

张晁军
中国地震台网中心

摘要 本文对新西兰 2010 年 9 月 4 日 M7.1 地震与 2011 年 2 月 22 日 M6.3 地震活动和灾害情况进行了分析，用同震位移方法计算了两次地震的地震烈度，结果表明尽管两次地震震级相差较大，但由于 M6.3 地震震源深度较浅，两次地震在地表的烈度相同。本文用主余震序列方法计算了两次地震的断层滑动参数，结果显示两次地震断层倾向有很大差异，这意味着 M6.3 级地震可能并非 M7.1 级地震余震，而是 M7.1 级地震后向东扩展遇到障碍体的新破裂。

关键词 新西兰 M7.1 地震 新西兰 M6.3 地震 断层参数 地震烈度

0 引言

新西兰当地时间 2011 年 2 月 21 日中午 12 点 51 分，距离第二大城市克赖斯特彻奇（Christchurch）9km 发生里氏 6.3 级地震，震源深度为 5km（据新西兰地震观测报告）。截至目前，地震已造成 75 人遇难，另有 300 人失踪，市中心许多建筑或倒塌，或遭到严重破坏。新西兰总理约翰基于 21 日下午赶赴灾区，他称这是新西兰历史上“最黑暗的一天”。2010 年 9 月 4 日，距克赖斯特彻奇市西 37km 就曾发生里氏 7.1 级地震，震源深度为 11km（据新西兰地震观测报告），但是没有人员死亡，被新西兰总理称为“奇迹”。而此次地震从震级看小于上次，确认死亡人数上升至 146 人，而且死亡人数可能还会上升（截止至 2 月 27 日）。

1 新西兰地质概况

新西兰位于太平洋南部，介于南极洲和赤道之间。西隔塔斯曼海与澳大利亚相望，北邻汤加、斐济。新西兰由北岛、南岛、斯图尔特岛及其附近一些小岛组成，面积 27 万多平方公里，专属经济区 120 万平方公里。海岸线长 6900 公里。新西兰素以“绿色”著称。虽然境内多山，山地和丘陵占其总面积 75% 以上，但这里属温带海洋性气候，四季温差不大，植物生长十分茂盛，森林覆盖率达 29%，天然牧场或农场占国土面积的一半。广袤的森林和牧场使新西兰成为名副其实的绿色王国。新西兰水力资源丰富，全国 80% 的电力为水力发电。森林面积约占全国土地面积的 29%，生态环境非常好。北岛多火山和温泉，南岛多冰河与湖泊。北岛第一峰鲁阿佩胡火山高 2797 米，火山上有新西兰最大的湖泊陶波湖，面积 616 平方公里。南岛横跨南纬 40°—47°，岛上有全国第一峰库克山。阿尔卑斯山中的弗朗茨·约瑟夫和富克斯冰川，是世界上海拔最低的冰川。山外有一系列冰川湖，其中特阿脑湖面积 342 平方公里，是新西兰第二大湖。苏瑟兰瀑布，落差 580 米，居世界前列。岛的西南端有米福国家公园，奇峰兀突。

人口：407 万，其中，欧洲移民后裔占 78.8%，毛利人占 14.5%，亚裔占 6.7%。75% 的人口居住在北岛。奥克兰地区的人口占全国总人口 30.7%。首都惠灵顿地区的人口约占全国总人口的 11%。奥克兰市是全国人口最多的城市；南岛克赖斯特彻奇市是全国第二大城市。官方语言为英语和毛利语。通用英语，毛利人讲毛利语。70% 居民信奉基督新教和天主教。



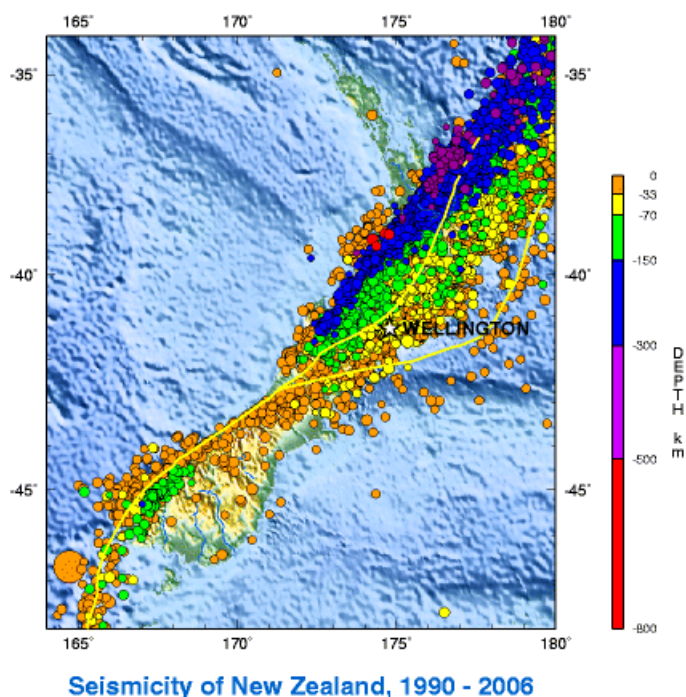
图 1 新西兰地质构造图 (from GEONet)

Large New Zealand Earthquakes

Notable shallow (generally less than 30km deep) earthquakes since 1848



(a) 历史强震分布图



Seismicity of New Zealand, 1990 - 2006

(b) 不同震源深度地震分布图 (1990-2006)

图 2 新西兰历史大地震和地震分布

新西兰是横跨世界两大构造板块（太平洋板块与印度-澳大利亚大陆板块）之间的岛国（图1），位于“太平洋火环”断裂带上（太平洋板块的西南，是火山和地震活动很强的一个独特构造带）。两大板块发生碰撞，太平洋板块薄、密度大，印度-澳大利亚大陆板块厚，密度小，至新西兰北部和北岛东部下方，太平洋板块向印度-澳大利亚大陆板块下方俯冲到一个被称作地幔的巨热、巨压区，该潜入过程为火山活动提供了充足的能量。因此，新西兰具有高密度活火山及火山时常喷发的特征，这些火山属于“太平洋火环”的组成部分。该区的地质

活动频繁，地震活动活跃。在南岛，板块边缘以阿尔卑斯山断层为标志（图1），在这里板块彼此水平摩擦挤压，而新西兰南部，印度-澳大利亚大陆板块被挤压到太平洋板块之下。板块运动的结果导致北岛火山活动和全国有感地震的发生（图2）。首都惠灵顿是在活跃的地震断层上发展起来的。在地质构造上，惠灵顿位于地震带上，一条十分明显的断层纵贯区内，更是地震强发地区，1855 年发生8.2 级强震，将地面抬升了1.5米。而新西兰最大城市奥克兰，是主要的活火山地带，也遍布着死火山，其中包括600年前从海中出现的浪伊托托岛。

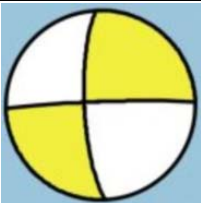
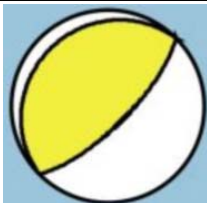
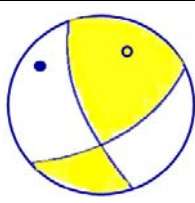
沿汤加-克马德克海沟频繁的地震活动，至新西兰北岛近海急剧递减。地震面由南东北向北西往新西兰北岛下俯冲。新西兰东南有一条呈北东-东南向纵贯南岛的右旋阿尔帕断层。再往南地震活动沿马克奥利海岭延续到东太平洋海岭。

2 M7.1 与 M6.3 地震烈度分析

（1）2010 年 9 月 3 日达费尔德（属坎特伯雷）M7.1 地震造成坎特伯雷中部，特别是克赖斯特彻奇严重的建筑物损坏。这次地震揭示出坎特伯雷平原碎石下存在着一条近东西走向的隐伏断层。M7.1 级地震发生在新西兰当地时间 9 月 3 日凌晨 4:35m，震中距离克赖斯特彻奇西 40km，震源深度是 11km(<http://www.geonet.org.nz/>)，震中离达费尔德城较近，由于地震发生在陆地，因而没有产生海啸。这次 7.1 级地震是自 1931 年湖湾地震以来灾害最为严重的一次，但是没有造成人员死亡。在以前的 40 年中，克赖斯特彻奇及郊区只经历了 3 次中等地震。所有一切随着达费尔德地震发生了变化，因为 7.1 级地震的余震至少有数十个都是中等地震，其烈度都会达到麦式Ⅵ度。由于活断层现在处于隐伏状态，坎特伯雷平原被河流砾石所覆盖，所以我们无法看到在这一地区过去活断层的证据。人们相信最近发现的 Greendale 断层是先前就存在的断层中的一段，并且在达费尔德地震期间再次重新活跃。有相同走向、长达 700km 的正断层在查塔姆群岛有许多，出露到银行半岛的东海面。

（2）2011年2月21日，新西兰南岛发生了 M6.3级地震，地震学家认为，这次 M6.3级地震属于2010年9月3日达费尔德 M7.1级地震余震序列的一部分，只不过是由于其震级较大，释放能量较强，因此也产生了自身的地震序列。2月21日的地震是右旋斜倾滑断层运动，是以前余震破裂发展到最东端停止段的继续活动。M6.3级主震本身与区域板块边界变形，如太平洋板块与印度-澳大利亚板块在新西兰南岛的相互作用有着广泛联系。M6.3级地震比 M7.1级地震更接近新西兰克赖斯特彻奇市中心人口稠密区，在 M7.1级地震主破裂区几个 M4、M5级中等余震的边缘（图3，图4）。一些地震学家认为：虽然，有许多余震大体上沿着东西线性趋势分布向东延展到以前破裂区的末端，但是没有明确的构造直接可以把 M6.3级地震与 M7.1级地震主震断层直接联系起来。在震源机制解中有一个向北或北东方向的可能断层面和斜向逆冲的断层机制，可能反映了与黑尔港地区以前所描绘的类似趋势的断层有关，这些断层恰就是向克赖斯特彻奇南扩展的。自2010年9月3日以来在克赖斯特彻奇地区大约发生了6次 M>=5.0级余震，2011年2月21日 M6.3级地震是目前记录到的最大余震。

表1 2010年9月4日 M7.1地震与2011年2月21日 M6.3地震对比表

参数	M7. 1地震	M6. 3地震
发震时刻 NZ Standard Time	2010/09/03 4:35 am	11/02/21 12:51pm
地震三要素	43.55°S, 172.18°E , h=11 km M7.1	-43.51°S 172.44°E h=5km M6.3
距克赖斯特彻奇西距离	37km	9km
极震区烈度	IX+	IX+
伤亡报道	无死亡报道, 重伤2人	死146人
震源机制解	 GeoNet (左) USGS (右) USGS 断层参数  USGS USGS 断层参数	

	NP1: STRIKE=178; DIP=82; SLIP=1 NP2: STRIKE= 88; DIP=89; SLIP=172	NP1: STRIKE=167; DIP=57; SLIP=3 2 NP2: STRIKE=59; DIP=64; SLIP=14 3
主余震求断层参数	STRIKE=233; DIP=85; SLIP=-87 L=91km 与 GEONet 结果接近, 为逆断层运动, 断层倾向 北西	STRIKE=131; DIP=54; SLIP=-139; L=28km 为逆倾滑断层运动, 断层倾向 SE, 由此推断2010 年9月3日地震与2011年2月21日地震并非同一 断层, 结果与 GEONet 一致
最大能量峰值抬升时间	7.5s	2.8s

- 说明: 1、震源机制解参数来自美国 USGS 网站。
2、极震区地震烈度由文献1公式计算得出。
3、主余震求断层是根据主震和余震序列几何推导计算的断层滑动参数, 其中 M7.1级地震结果与 GeoNet 结果近似; M6.3级地震断层参数与余震分布相吻合;
4、其他参数来自 <http://www.geonet.org.nz/earthquake/>

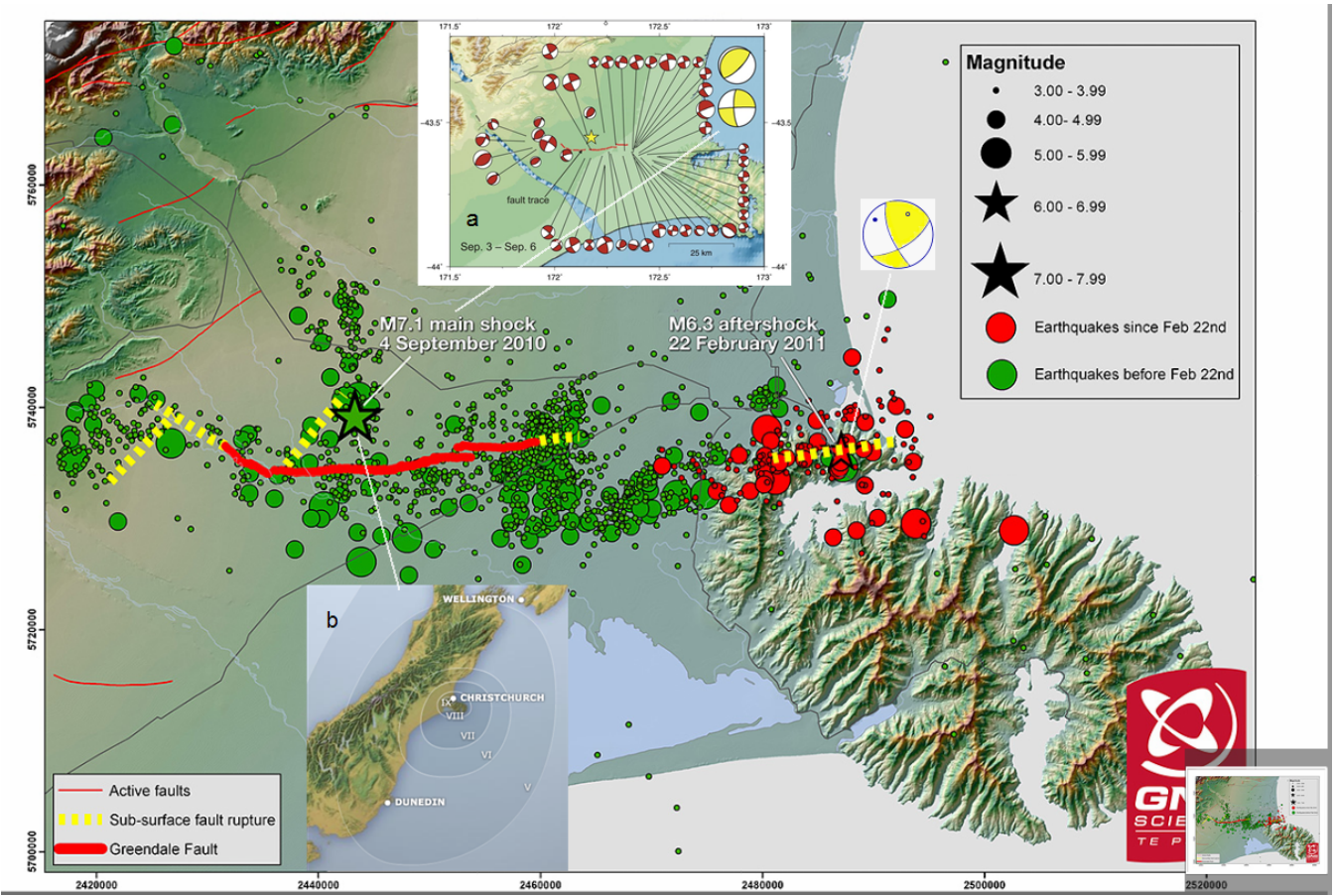


图 3 2010 年 9 月 4 日 M7.1 及 2011 年 2 月 22 日 M6.3 地震分布图

(From <http://www.teara.govt.nz/en/historic-earthquakes/>), 其中绿色★为 2010 年 9 月 3 日 M7.1 级地震主震,其他绿色圆圈为 M6.3 级地震前 M7.1 级地震的余震; 红色★为 2011 年 2 月 21 日 M6.3 级地震主震(新西兰称利特尔顿地震),其他红色圆圈为 M6.3 级地震的余震。M6.3 级地震后发生了许多余震, 地震学家们认为 M6.3 级地震本身属于 M7.1 级地震的余震。但是利特尔顿地震震级达到 M6.3, 非常之大以至于产生了它自己的余震序列。图中 a 图是 M7.1 级地震主震的震源机制解和部分余震的震源机制解, 主震震源机制解(黄色)有两个: 上图是来自 GeoNet 的结果, 显示主震是逆冲断层运动, 下图是来自 USGS 的结果, 显示断层为走滑断层运动。出露地表的断层踪迹用红线段表示。M7.1 级地震后, 大部分余震发生在震中附近, 并具有走滑断层的运动性质。向西, 接近于山麓丘陵, 观测到逆断层运动。而在接近克赖斯特彻奇的余震中这两种机制的余震交替发生, 同时逆断

层运动占很大比重。图中 b 图是新西兰地震中心作的 M7.1 级地震烈度分布图，震中距离南岛最大中心城市克赖斯特彻奇大于 37km 左右，极震区烈度为 IX 度，克赖斯特彻奇处于 VIII、IX 之间的位置。图中也给出了 M6.3 主震震源机制解，为黄色，显示 M6.3 地震是逆冲兼走滑断层运动，但以逆冲成分为主。

(3) M7.3 级地震后，余震分布很不规则，可能是 M7.3 触发了多条子断层的运动产生的结果。大部分余震向东扩展，在克赖斯特彻奇西形成一个余震空区（见图4），由于这条子断层性质与 M7.1 主震断层性质不一致，因而 M7.1 级地震向东扩展在此遇到障碍体，使能量积累。新西兰的地震专家也认为：克赖斯特彻奇（Christchurch）地震不在格林代尔断层上（Greendale Fault）：M6.3 级地震地震记录的初步分析表明，M6.3 地震距克赖斯特彻奇市中心就 9km 的距离，发生在大致东西走向的隐伏断层上，没有明显的构造显示此隐伏断层与 M7.1 级地震破裂断层带有直接的关系。相反，余震精定位结果意味着在这两个地震之间至少有两条 NE 或 SW 走向的断层，没有地震数据证明格林代尔断层（Greendale Fault）向东扩展了。

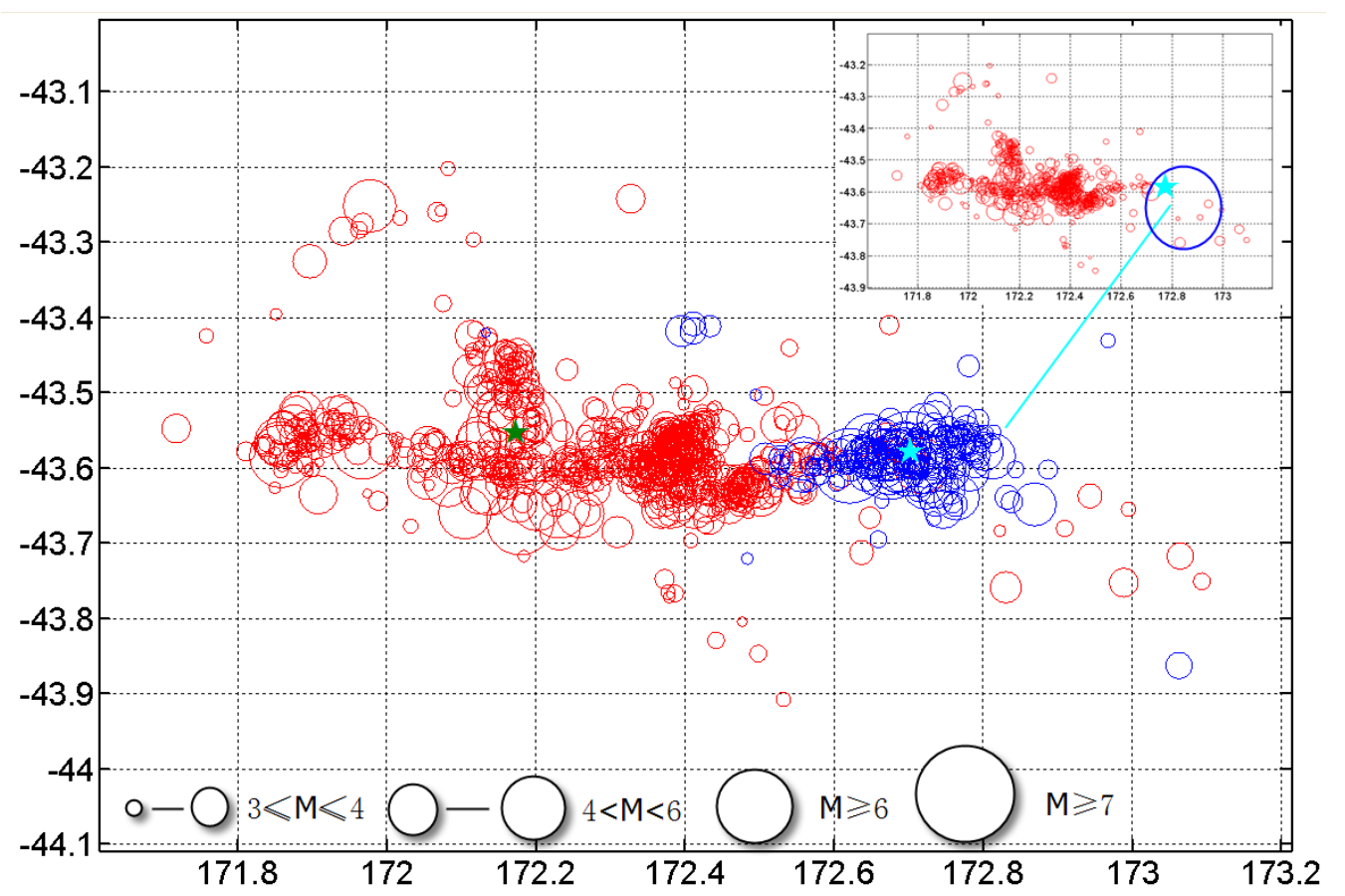


图4a M7.1级地震向东扩展形成的余震空区示意图。其中内置图是 M7.1 级地震的余震分布图，淡蓝色五星是 M6.3 级地震震中，蓝色圆圈为 M6.3 级地震前余震空区。绿色★为2010年9月4日 M7.1 级地震主震,其他红色圆圈为 M6.3 级地震前 M7.1 级地震的余震；淡蓝色★为2011年2月22日 M6.3 级地震主震,其他蓝色圆圈为 M6.3 级地震的余震。

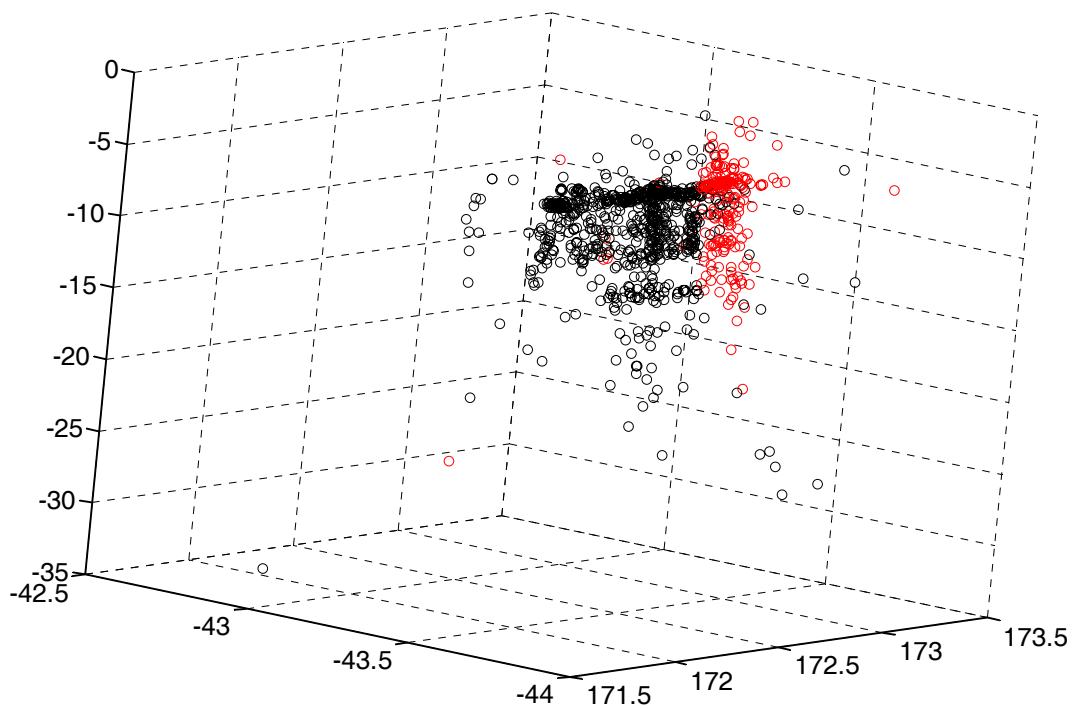


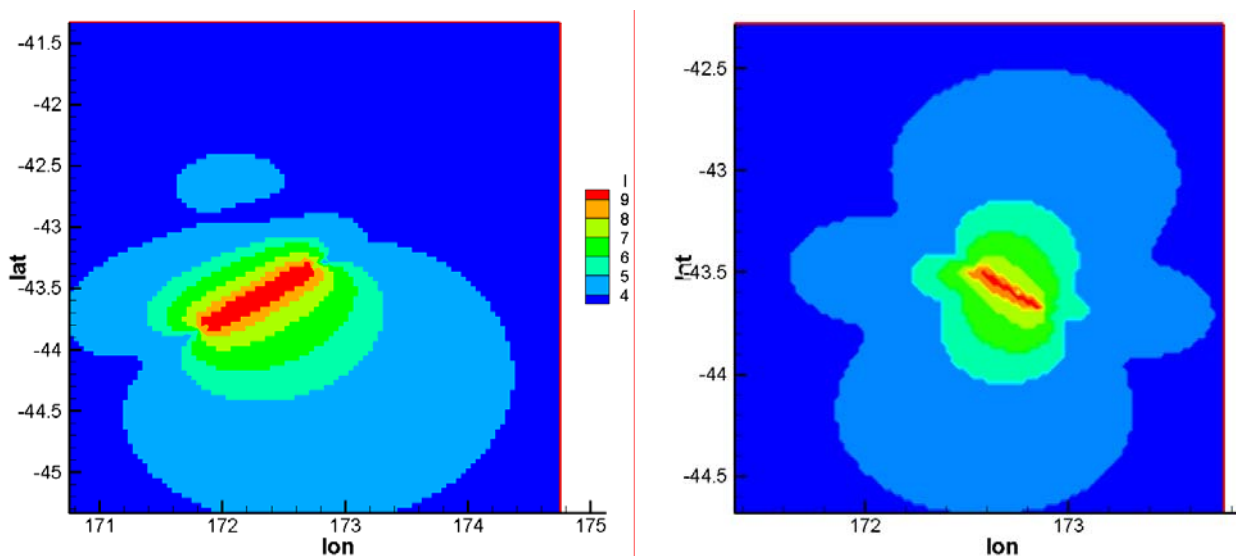
图 4b M7.1 地震及余震（黑色）与 M6.3 地震及余震（红色）3-D 分布图。此图显示由西向东断层面有倾向 NW 向 SE 过渡的趋势。

3、地震灾害

许多人对新西兰 2010 年 9 月 4 日 M7.1 级地震与 2011 年 2 月 22 日 M6.3 级地震两次地震产生的不同灾害感兴趣，并探究其原因。综合目前的不同研究结果，给出了这两次地震在克赖斯特彻奇引起不同灾害的分析。

（1）地震灾害与深度有关。越深的地震引起的灾害越小。由地震烈度公式^[1, 2]计算表明：

M7.1 $h=11\text{km}$ ，震中烈度为 IX 度强；M6.3 $h=5\text{km}$ ，震中烈度为 IX 度强；M7.1 级地震 IX 度区比 M6.3 级地震 IX 度范围大。



（a）M7.1 $h=11\text{km}$ ，震中烈度为 IX 度强

（b）M6.3 $h=5\text{km}$ ，震中烈度为 IX 度强

图 5 同震位移烈度图

（2）地震灾害与城市距离有关。越远的地震引起的灾害越小。M7.1 级地震距离克赖斯特彻奇 37km，M6.3 级地

震距离克赖斯特彻奇 9km。因此，M6.3 级地震对克赖斯特彻奇城市一定距离范围内的建筑破坏要大。

(3) 地震灾害与震级大小和断层错动方向有关。震级大，意味着地震能量大，地震破裂断层长，或者位移大，影响范围广，因此，大地震引起的灾害大，错动方向和断层附近灾害最为严重。由震源机制解可知，M7.1 级地震主错动方向北东，理论断层破裂长度为 90km，克赖斯特彻奇距离 M7.1 级地震主断层有些距离，因此灾害较小。但余震展布方向长轴为 110 度，接近克赖斯特彻奇，因此对克赖斯特彻奇房屋建筑都有很大的破坏。M6.3 级地震，主破裂方向为东南方向，破裂方向指向克赖斯特彻奇，因此克赖斯特彻奇破坏较大，但其破裂长度不到 30km，因此，克赖斯特彻奇来说还是幸运的事，如果两次地震位置颠倒一下，恐怕历史又将改写了。

(4) 地震灾害与破裂持续时间有关。一般而言，破裂持续时间越长，造成的灾害越大。M7.1 级地震最大能量抬升时间为 7.5s，M6.3 地震为 2.8s。由此推论，M6.3 级地震产生的危害主要是震源浅，城市距离震中近和 M7.1 地震已经给城市造成一定的损伤有关。

(5) 地震灾害与地震发生时间有关。M7.1 级地震发生在新西兰时间早晨 04:35m，是星期六，人们还在睡梦中，街道也是行人稀少，因此伤亡报道较少。而 M6.3 级地震发生在星期二中午 12:51m，街上行人较多，地震发生时正值上班、上学、经商、购物时间，人们都聚集在市区，伤亡情况报道也多。几乎可以肯定地说，如果地震发生在白天人活动的高峰时段，一定会有许多死亡和严重伤害的报道（见图 6）。据新西兰官方资料，新西兰第二大城市克赖斯特彻奇市中心有不少房屋严重损毁，墙体和烟囱坍塌，两名重伤者是被倒塌的烟囱和玻璃砸伤，另有一些人受轻伤。多辆汽车遭瓦砾压毁，部分公路的路面裂开，若是工作日，人员高峰时期，可以想象伤亡后果。



图6 2010年9月4日新西兰地震灾害图片

(6) 死亡情况与人口密度有关。克赖斯特彻奇虽然是新西兰第二大城市，约有 40 万人口，但是人口密度相对较低，居民住的都是 1、2 层楼房屋，因此房屋倒塌对于人员的伤害较小。

(7) 建筑物抗震强度有关

M7.1 级地震造成商业区建筑物毁坏最为严重。经历去年 9 月那场地震及此后数百次余震后，克赖斯特彻奇不少建筑已不堪一击。一些建筑在去年那场地震中受损，尚未得到完全修复，经不起二次打击。M6.3 地震发生前，一些建筑仍在维修。西方有句名言：一根稻草可以把骆驼压死。极限之时，一切均有可能。图 7 显示克赖斯特彻奇城强地面运动观测峰值较高，地震烈度接近 IX 度或达到 IX 度。

当然，地震灾害还与其他因素有关，这里就不一一赘述。

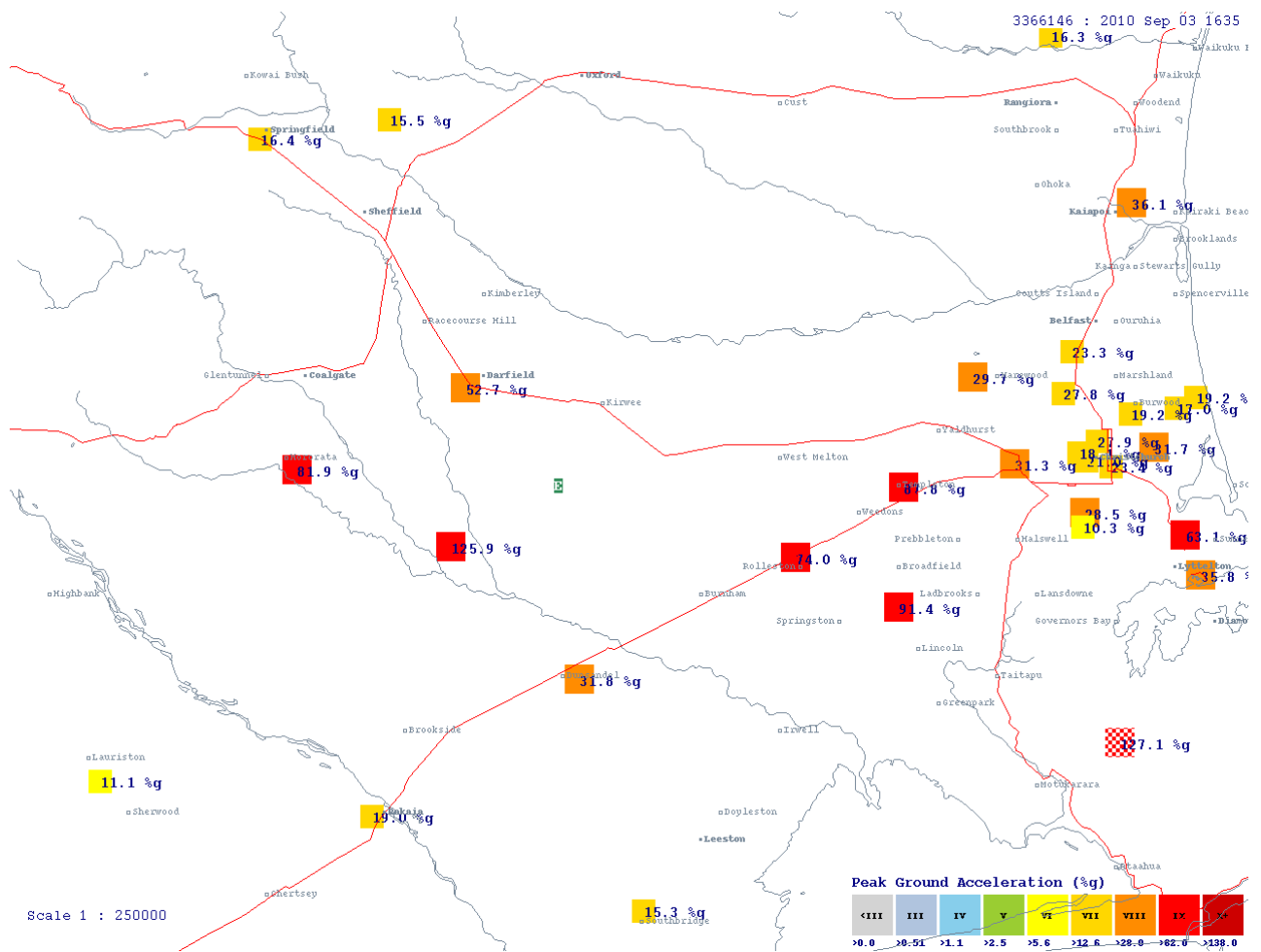


图 7 M7.1 级地震仪器烈度观测点分布图 (from <http://www.geonet.org.nz/earthquake/>)

4 结论和启示

M6.3 级地震产生的危害主要是震源浅(5km)，城市距离震中近(9km)和 M7.1 地震已经给城市造成一定的损伤有关。我们须重视 2 次灾害的发生，并提前有预防措施。事实上，新西兰对 M6.3 级地震的发生给出了较低的危险性评估，也导致人们对 M6.3 地震灾害心里上的准备不足。

参考文献

- [1] 张晁军, 李卫东, 李大辉等, 由同震形变理论计算地震烈度分布的讨论[J]. 地震, 2011, 31(1):98-106
- [2] Shebalin N. V. Seismic Scale and Methods of Measuring Earthquake Intensity [J]. Foci of Strong Earthquakes in the USSR, 1978, 3: 87-109.