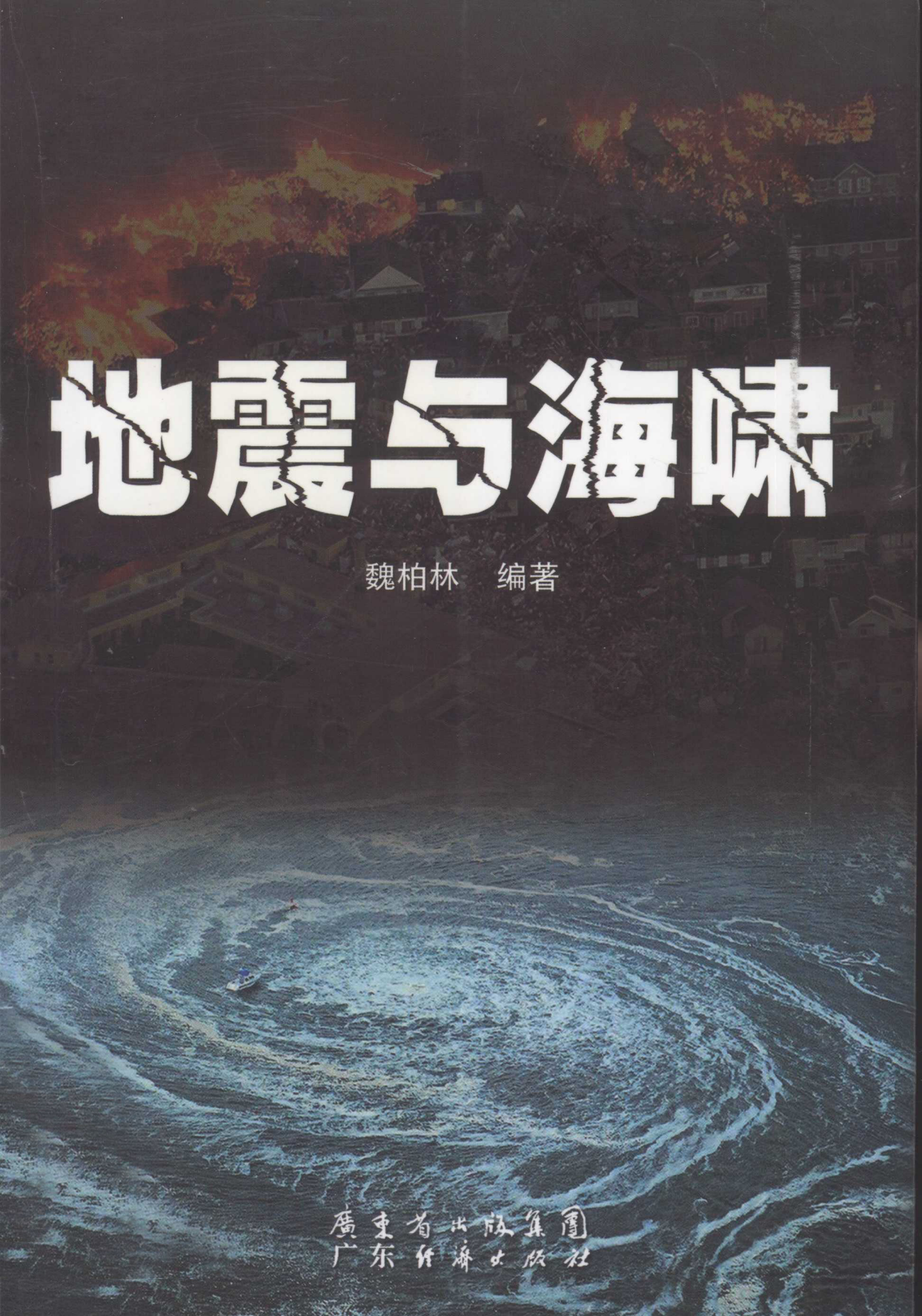
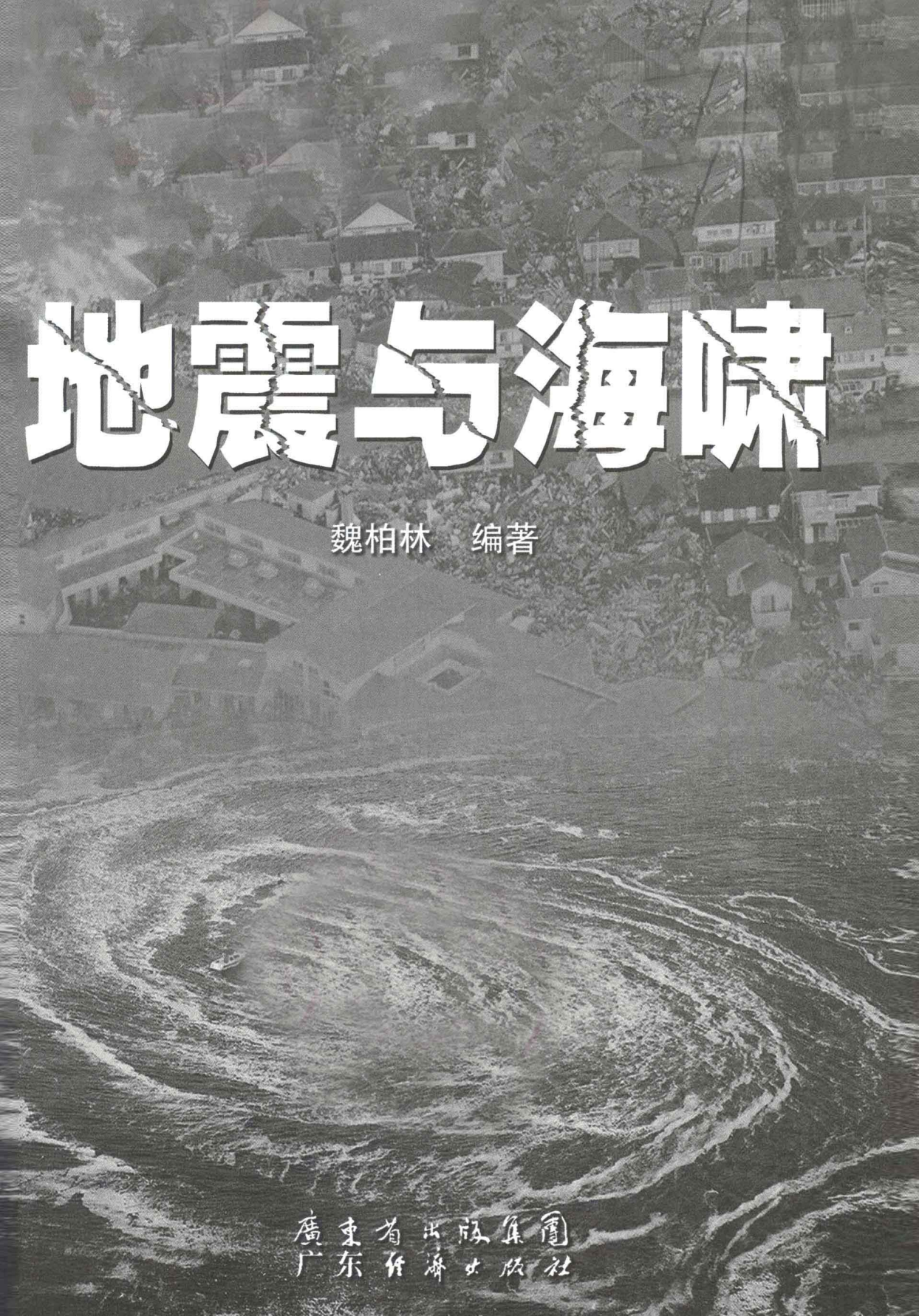




地震与海啸

魏柏林 编著

廣東省出版集團
廣東人民出版社

An aerial, black-and-white photograph of a coastal town. The town is densely packed with buildings, mostly with dark roofs. In the foreground, a massive, turbulent wave of water is crashing over the town, illustrating the impact of a tsunami. The water is dark and churning, with white foam at the base of the wave. The sky is overcast and grey.

地震与海啸

魏柏林 编著

广东省出版集团
广东人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地震与海啸 / 魏柏林编著. —广州: 广东经济出版社,
2011.3

ISBN 978-7-5454-0731-0

I. ①地… II. ①魏… III. ①地震—基本知识②海啸—基
本知识 IV. ①P315.4-49②P731.25-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 037129 号

出版 发行	广东经济出版社 (广州市环市东路水荫路 11 号 11~12 楼)
经销	广东经济出版社
印刷	佛山市浩文彩色印刷有限公司 (南海区狮山科技工业园 A 区)
开本	730 毫米×1020 毫米 1/16
印张	8
字数	72 000 字
版次	2011 年 3 月第 1 版
印次	2011 年 3 月第 1 次
印数	1~10 000 册
书号	ISBN 978-7-5454-0731-0
定价	19.80 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与承印厂联系调换。

发行部地址: 广州市环市东路水荫路 11 号 11 楼

电话: (020) 38306055 38306107 邮政编码: 510075

邮购地址: 广州市环市东路水荫路 11 号 11 楼

邮购电话: (020) 37601950 邮政编码: 510075

营销网址: <http://www.gebook.com>

广东经济出版社常年法律顾问: 何剑桥律师

• 版权所有 翻印必究 •

前 言

2004年12月26日，人们还没有从圣诞节的欢愉中醒悟过来的时候，在印度尼西亚苏门答腊近海发生了9.0级特大地震，引起了接踵而来的特大海啸，狂扫了印度洋两岸的印度尼西亚、斯里兰卡、印度、马尔代夫、泰国、马来西亚等12个国家，夺取了近30万人的生命。难道说这是仁慈的上帝对人类的惩罚吗？不！要惩罚也不会选择这个日子，这是自然的力量。相隔4年，2008年5月12日，我国汶川发生8.0级大地震，在震中区汶川、青川、北川一带，山崩地裂、房倒屋塌，8万多人遇难、近40万人伤残。到2011年，接连不断的灾难又降临到我们居住的地球。情人节过后没几天，2月22日，新西兰第二大城市克莱斯特彻奇发生里氏6.3级地震，造成145人遇难，多人受伤，部分建筑倒塌，道路扭曲。刚刚过了半个月的平静日子，3月10日又在我国云南盈江发生5.8级地震，造成25人死亡，250人受伤，30万人受灾。接着，于11日14时46分（北京时间13时46分），在日本位于宫城县以东130公里的太平洋海域，发生了9.0级特大地震，宫城县、岩手县、青森县和包括东京在内的关东地区震感强烈，日本遭遇了史无前例的大灾难。日本本岛东移2.4米，距日本东北部海域地震震中较近的宫城县境内出现了约4米的地壳变动，是日本有地震观测史以来的最大地壳变动纪录。随后，该地区又发生50多起里氏6级以上余震，其中最大一次余震为里氏7.1级。强震在日本东北太平洋沿岸引发巨大海啸，巨浪高达10米。这是日本有史以来浪头最高、影响范围最广的海啸。仙台机场的跑道被淹没，数十人爬上了机场大楼的房顶。海啸抵达仙台市河口时，造成了严重灾害，水墙一般的宽阔巨浪冲向陆地，卷裹了汽车、房屋等陆地上几乎所有的东西，多栋房屋着火，多处核电站发生爆炸并引起核泄漏。巨浪将大船高高卷起，撞向防浪堤。到目前为止，日本有8000多人丧生，1万多人失踪。这都是无法抗拒的自然力量。

科技发展到今天，人类可以飞到月球，可以探测外太空，可是面对突如其来的地震与海啸则显得苍白无力。我们不知道它们何时发生，更无法阻止它们的肆虐。我们也只能在历次磨难后，摸索出一些经验教训。地震发生前，把房子建牢固，发生地震后，按照预演防震知识，伏而待定，保全自己。预知海啸则比预知地震容易，因为海啸发生在地震之后，这时我们要向预报海啸英雄小海蒂学习，在海边发现海水突然退潮时，应立即往岸上或往高处跑。

《地震与海啸》是一本科普书，编者在论述地震与海啸的关系上，与传统的认识不一样，有个人独到的见解，认为地震与海啸不存在因果关系，实际上是地震引起滑坡或崩塌，由滑坡或崩塌而引发海啸。为什么2004年12月26日苏门答腊—安达曼9.0级地震引发特大海啸，而在其东南200千米的苏门答腊明打威群岛北部2005年3月28日发生的8.7地震却没有引发海啸？因为前者存在不稳定的滑坡体和崩塌体，后者不存在不稳定的滑坡体和崩塌体（有两种情况：①后者附近未形成不稳定的滑坡体和崩塌体；②已形成不稳定的滑坡体和崩塌体。而在2004年12月26日苏门答腊—安达曼9.0级地震后已滑坡和崩塌殆尽），尽管后者地震在构造条件、震源深度、震源机制类型都与前者相似，也无法引起海底滑坡与崩塌，故而就不能产生海啸。由于是这样产生的海啸，故而不论是倾滑型或走滑型地震，也不论地震震级的大小，更不论震源的深浅，只要不稳定的滑坡体和崩塌体存在，都可因地震波的触发，使其滑坡和崩塌进而引发海啸。那些不存在不稳定的滑坡体和崩塌体的地段，即使发生再大的地震也不会产生海啸。

书中所引用的图片、照片和文字资料来自百度、谷歌、中国地震局网站和已发表的论文。在编写本书的过程中，得到广东省中山图书馆黄群庆、广东省地震局陈晓发、《华南地震》编辑宫会玲和李健梅的帮助，在此一并表示感谢！

魏柏林

2011.3.20

目 录

1 引子：日本之殇——9.0级特大地震

- 1.1 9.0级地震是怎样发生的 /002
- 1.2 临震不乱，井然有序 /004
- 1.3 海啸灾难 /007
- 1.4 次生灾害 /011
- 1.5 日本地震给予人们的启示 /014

2 地 震

- 2.1 地震是怎么发生的 /018
- 2.2 地震是怎么传播的 /021
- 2.3 地震的成因类型 /024
- 2.4 震级与烈度 /028
- 2.5 地震序列类型 /030
- 2.6 地震的分布 /033
- 2.7 地震预报 /036
- 2.8 地震来了怎么办 /044

3 海 啸

- 3.1 海啸是怎么回事 /051
- 3.2 海啸与风暴潮、地震波引起海水波动的区别 /053
- 3.3 海啸的传播 /055
- 3.4 海啸的规模度量 /057
- 3.5 引起海啸的原因 /058
- 3.6 地震、滑塌与海啸 /069
- 3.7 海啸源的分布与类型 /081
- 3.8 海啸预报与预警 /087

目 录

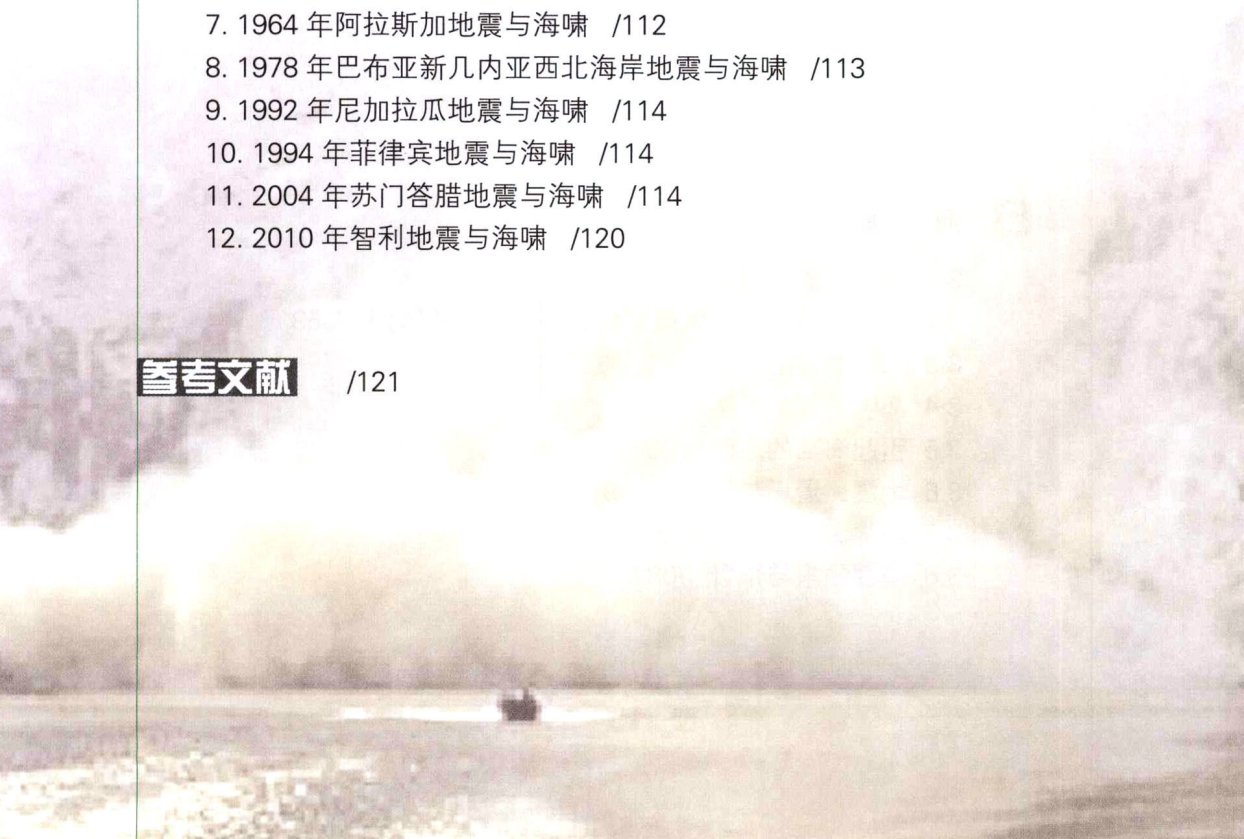
4 我国的地震与海啸

- 4.1 我国近海历史海啸记载的考证 /093
- 4.2 我国近海大陆架不具备产生海啸的条件 /099
- 4.3 我国海域可能发生海啸源的地段 /104

附录 地震与海啸灾难实例

- 1. 1755 年葡萄牙里斯本地震与海啸 /107
- 2. 1896 年日本三陆地震与海啸 /108
- 3. 1908 年意大利墨西拿地震与海啸 /108
- 4. 1923 年关东地震与海啸 /109
- 5. 1946 年阿留申群岛地震与海啸 /110
- 6. 1960 年智利地震与海啸 /110
- 7. 1964 年阿拉斯加地震与海啸 /112
- 8. 1978 年巴布亚新几内亚西北海岸地震与海啸 /113
- 9. 1992 年尼加拉瓜地震与海啸 /114
- 10. 1994 年菲律宾地震与海啸 /114
- 11. 2004 年苏门答腊地震与海啸 /114
- 12. 2010 年智利地震与海啸 /120

参考文献 /121



1 引子：日本之殇——9.0 级特大地震

2011 年 3 月 11 日 14 时 46 分（北京时间 13 时 46 分），在日本本州东海岸附近，位于宫城县以东 130 公里的太平洋海域，发生了 9.0 级特大地震（图 1-1），宫城县、岩手县、青森县和包括东京在内的关东地区震感强烈，日本遭遇了史无前例的大灾难。日本本岛东移 2.4 米，距日本东北部海域地震震中较近的宫城县境内出现了约 4 米的地壳变动，是日本有地震观测史以来最大的地壳变动纪录。随后，该地区又发生 50 多起 6.0 级以上余震，其中最大一次余震为 7.1 级。

强震在日本东北太平洋沿岸引发巨大海啸，巨浪高达 10 米。这是日本有史以来浪头最高、影响范围最广的海啸。仙台机场的跑道被淹没，多架飞机被冲毁。海啸抵达仙台市河口时，造成了严重灾害，水墙一般的宽阔巨浪冲向陆地，卷裹了人畜、汽车、房屋等陆地上几乎所有的东西不断推进，无数房屋被毁，大片农田被吞食。海啸卷走数以千计的人、畜和大量车船、飞机，引起煤气泄漏、爆炸着火，吞噬城镇房屋，更可怕的是引发了福岛核电站四连爆，放射性物质飘散到日本各地，核辐射超标 20 倍。东京通信网络中断，地铁停开，机场关闭，航班取消。到 3 月 20 日，强震及其引发的海啸已确认造成 8277 人死亡，12722 人失踪。



图 1-1 日本 9.0 级地震震中及烈度分布图

1.1 9.0 级地震是怎样发生的

根据中国地震台网中心赵旭和李志斌对这次 9.0 级地震所作的震源机制解,表明此地震为一次不对称的双侧破裂事件。在地震发生后约 10 秒内,破裂扩展很缓慢。10 秒后,破裂以更快的速度,沿西南向和东北向两侧同时扩展。破裂总持续时间多达 200 秒,其中主要能量在 50~110 秒内释放。整个断层面上的滑动分布并不均匀。在震源上方浅部区域,沿走向方向,形成了震中以北约 90 千米和以南约 170 千米长的高滑动量集中带。破裂平均速度要小于剪切波传播速度 (3.0 千米/秒),最终形成了总长度为 500 千米左右的断层。此次地震震源破裂过程复杂,亟须结合强震波形、GPS 资料或野外考察数据等更多资料作进一步的研究。

从图 1-2 可以看到两种情况:其一,按照震中位置和震源深度 24 千米,

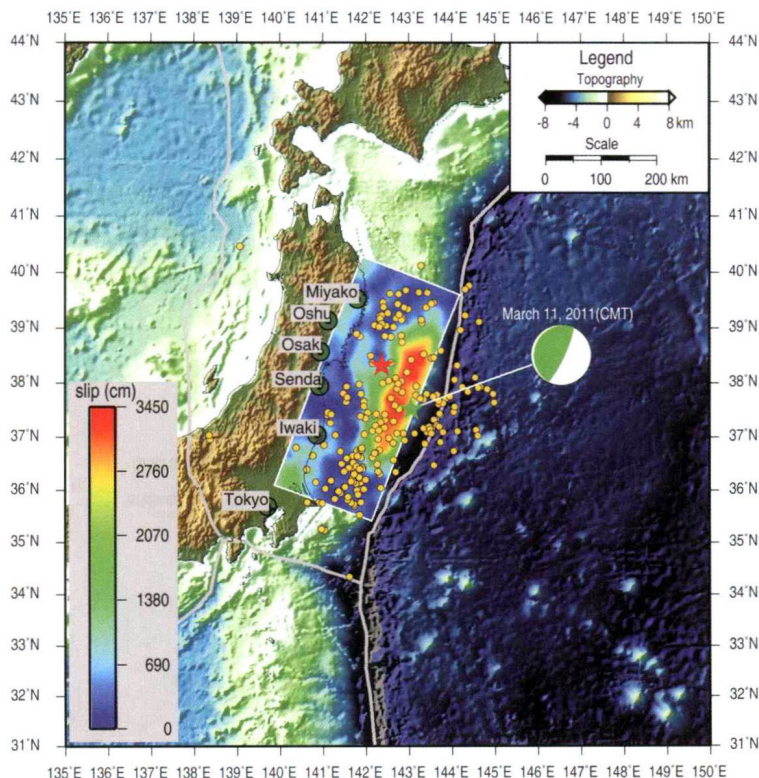


图 1-2 日本 9.0 级震源机制解及震中分布 (赵旭, 李志斌 2010)

注:破裂初始位置(东经 142.369°/北纬 38.321°/深度 24 千米)和 CMT 确定的矩心点分别表示为红色和绿色五角形。黄色圆圈为 Mw5.0 级以上的余震。

而此处海水深 6 千米,即此深度以下即是太平洋板块的基岩(图 1-3); 其二是两个节面,其走向都是平行海沟的延伸方向,即北北东方向,其一个节面近垂直,略向 NWW 倾斜,另一个节面,近水平,略向 SEE 倾斜,主压应力轴为平行海沟或贝尼奥夫带的倾斜方向,在此处大约为 45° 。这就意味着,太平洋板块向欧亚板块的前方日本本州岛俯冲。在俯冲过程中,太平洋板块的下降岩石圈约在深度 24 千米的地段,按 45° 推挤前方太平洋板块的下降岩石圈,当前者快,后者慢时,就会产生挤压,当挤压超出了 24 千米的地段的岩石强度时立即破裂而发生地震。9.0 级地震就是这样产生的。

9.0 级特大地震发生在日本宫城县以东 130 千米的太平洋海域,离震中最近的沿海一带,从北边的釜石市到南边的水户市,从东边沿海的仙台市、日立市,至西边的郡山市、桐生市,遭遇日本烈度为 6 度的破坏。6 度等烈度线,沿着海岸线成北北东方向分布,5 度区分布在日本中部,4 度区递减到西

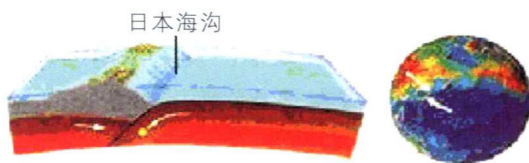


图 1-3 9.0 级地震震源位置示意图

注:海沟左侧为欧亚板块,海沟右侧为太平洋板块;黄点示震源位置,弯曲的白箭头表示太平洋板块俯冲的方向。



图 1-4 9.0 级地震发生后公路裂开、塌陷和扭曲

部。日本的烈度表为 0~7 度，7 度最大。6 度，相当我国烈度表 10~11 度，表现为房屋倒塌 30% 以上，发生山崩、地裂，许多人难以站立，步行难，只能爬行。这次地震在日本沿海一带普遍产生地裂缝，如日本埼玉县的公路裂开、塌陷和扭曲。

1.2 临震不乱，井然有序

日本虽然是一个多地震的国家，但像这次 9.0 级地震及其引起的海啸灾难，对日本来说却是史无前例的。那么日本民众怎么做到临震不乱，井然有序的呢？一是日本政府的重视，制定了《日本大地震对策特别措施法》，二是社会和教育部门的宣教与实施，三是日本国民素质坚韧顽强和自治合作。

1.2.1 政府制定《日本大地震对策特别措施法》

日本是一个多地震的国家，政府对地震的预测、防震减灾非常重视。早在 1906 年，时为助理教授的今村明恒先生根据历史地震和自己的研究发表了一篇文章，预言在 50 年内日本相模湾将发生大地震。这篇文章受到了日本地震学泰斗时为东京帝国大学地震学教研室主任大森房吉教授的猛烈抨击，认为今村明恒的文章缺乏可靠的科学依据并会引起社会恐慌，今村明恒从此处境艰难（大森房吉是日本地震学创始者，也是世界知名的地震学家，提出初期微震时间与震级距离关系的理论，俗称“大森公式”）。大森房吉根据自己曾研究的日本大地震分布，于 1922 年对今村明恒的文章评论写道：“现在东

京近邻地区保持地震平静，但距东京平均 60 千米的周围山区地震频频发生，虽然在城里常常明显感到这些地震，但因为该地区不属于严重破坏的地震带，并不构成危险。”不幸的是，今村明恒的预言中

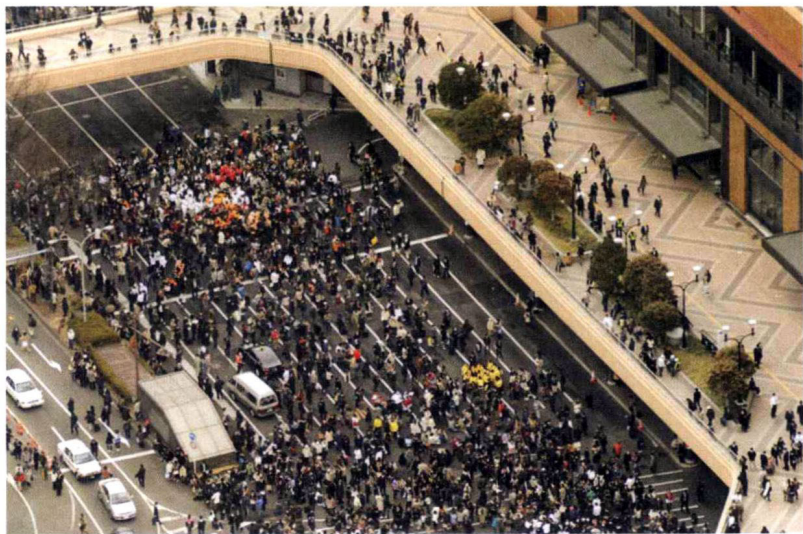


图 1-5 地震发生后人们从建筑物内逃出站在大街上

了，1923年9月1日中午时间，地震发生了，震级后来修订为8.3级。这次地震日本称为“关东地震”。当时东京的街道挤满了人，而震后发生的大火将东京城烧成一片废墟。关东大地震夺走了14.3万人的生命，成为了日本有史以来最严重的一次自然灾害。正在澳大利亚悉尼天文台开会的大森房吉得知被自己否决的大地震发生的消息后，震惊不已，心脏病发作，在抵达日本不久后去世。逝世之前，大森房吉将后事托付给了今村明恒。在今村明恒倡议下，1925年，日本创建了东京帝国大学（今东京大学）地震研究所。

在今村明恒领导下，日本地震学有了新的发展，他们认为在东海未来会有特大地震发生的可能。根据此预测，日本地震预测研究小组1962年提出初步方案，计划用10年的时间

集中收集基础资料，包括大地测量、地壳形变观测、地震仪器观测、地震波速度分析、活断层的调查和测量、地磁观测以及地电观测等，来分析地震前的各种前兆活动，并提高地震预测的准确度。1978年，日本国会通过了《日本大地震对策特别措施法》，这是世界上第一次以法律形式提出的对于大地震的对策。在这个法规中提出了1979—1983年日本的目标是：在继续改进和完善观测系统，加强长期地震预测研究的同时，重点抓关东南部及东海地区的短期前兆，使地震预测向实用化阶段过渡。

据日本《每日新闻》报道（1985年），日本政府地震调查研究推进总部日前决定研究地震预测新方法，以期能预报短期内将要发生的地震，以应对



图1-6 地震时日本国会正在开会，有议员躲到桌下避震

今后 30 年内发生概率超过 50% 的日本东南海和南海地震。该方法是根据观测数据建立引发地震的板块运动模型和断层运动模型，用数值模拟的方法进行预测模拟。日本有关方面预测，如果这两个大地震同时发生，最严重的情况是造成近两万人死亡。自 1978 年以来，东海地震活动性增强，日本学者一直预测，在沿日本西南海岸的南海海沟，有一个预计中的“东海大地震”，但这个大地震迄今还没发生，使许多人感到悲观，并导致了著名的地震预测专家、“东海大地震”判定委员会主席茂木清夫 1997 年黯然下台。

尽管学术界对地震预测预报还有着很多争论，但是不可否认，包括日本在内的许多国家还是投入了大量的人、财、物来开展相关研究和实践工作。尽管当时预计中的“东海大地震”并没有发生，但日本政府也据此制定了《日本大地震对策特别措施法》，并据此开展了大量的启动应急反应计划的准备工作，在此次如此巨大的地震和海啸灾难中日本仍能有序应对，应该说与《日本大地震对策特别措施法》不无关系（张晁军，李卫东，2011）。

1.2.2 社会和教育部门宣教与实施

日本政府与社会，尤其在学校经常进行防震演习。日本民众从小学开始，一直进行地震来了怎么办以及如何防震保护自己的教育。一个日本留学生讲，



我们读小学时，老师就教我们，地震来了，一灭火，二钻桌子，三往外跑。由此，这种防震意识在日本民众脑海里根深蒂固。因而这次 9.0 级地震突然发生，人们根据各自的环境和位置都能找到保护自己的最好方法。如地震发生时，首相菅直人正与议员在国会开会，就有议员当即躲到桌子底下避震。

图 1-7 地震后小学生戴防灾头罩回家

1.2.3 日本国民具有坚韧顽强的素质与自治合作的精神

日本这个太平洋边缘的岛国，地震、海啸、火山、台风等等大自然的致命打击频频降临。但大自然纵然能摧毁日本的城市和村庄，却无法摧毁日本的社会秩序；纵处末日，日本也并无末世之相，社会没有崩溃。其强大的抗打击能力，的确令人叹服。但是，这样的坚强与优雅并非与生俱来。如资深媒体人杨海鹏所称，80年前金融危机时，日本乘乱打劫者甚众；“二战”后经济凋敝，黑市贸易膨胀，犯罪活动猖獗。根本的转折点是20世纪中叶的宪政转型，日本的公民社会至此破冰。从那时到现在，一代代日本人，孩提时代就在不断学习自治与合作，以及建立在自治与合作基础上的人与人之间互相信任的公民精神，因此在日本深入人心，构成社会秩序的终极依托。即便大难猝然降临，妖言惑众在日本仍没有空间，天地错乱而人心不乱。



图1-8 宫城地区遭受海啸严重冲击

1.3 海啸灾难

9.0级特大地震后，在日本东北太平洋沿岸引发巨大海啸。宫城县仙台市观测到高达10米的巨浪，沿海岸各地浪高和到达的时间各有差异。海啸迅速

传播到太平洋沿岸的俄罗斯、加拿大、美国、墨西哥、危地马拉、巴拿马、秘鲁、智利、中国台湾、菲律宾、马来西亚、印度尼西亚、澳大利亚等国家和地区。

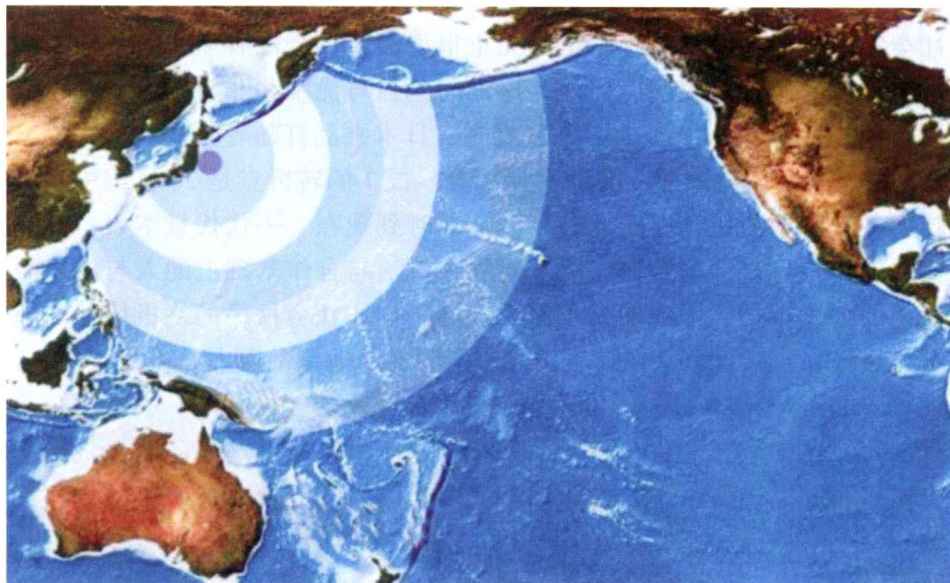


图 1-9 日本地震引发海啸影响示意图

这次 9.0 级地震引起的海啸是日本从未遭遇过的特大海啸，给日本带来巨大的灾难与损失。相比起地震，较少发生的海啸更加难以预防，而且一经发生，危害比地震更大。这次发生海啸的岩手县三陆沿海从 1896 年之后的一



图 1-10 一艘渔船被海啸冲上海岸

百余年内，已经是第四次受海啸的袭击了。1896 年的“明治三陆地震”诱发的高达 38 米的海啸造成了两万多人死亡，此后在 1933 年发生的“昭和三陆地震”也诱发了

高达 28.7 米的海啸，造成了 3000 余人死亡。经过了这两次大海啸，三陆人不是没有采取措施，到 1982 年为止，他们花了 30 年时间在岩手县宫古市的田老町建成了一条世界上绝无仅有的长 2433 米，高达 10 米的防波堤，因为当年的田老村在 1933 年的昭和三陆地震时全部被毁灭，他们不想让悲剧重演。1960 年智利地震所引起的海啸被这条防波堤挡住了，日本人以为他们找到了对付海啸的方法，但是因为实在造价过于昂贵，所以没有办法在三陆地区所有的出海口建造这种防波堤。但是这次大地震无情地证明了这种防波堤还是没有用，因为田老町又一次被海啸夷为了平地。

这次地震引起的海啸，造成仙台机场的跑道被淹没，跑道上的飞机和小轿车被冲得乱七八糟，数十人爬上了机场大楼的房顶。海啸抵达仙台市河口时，造成了严重灾害，水墙一般的宽阔巨浪冲向陆地，日本宫城县仙台市，众多小轿车被海啸带来的巨浪席卷冲毁。3 月 12 日，松岛市海啸肆虐后的海岸边，富士电视台在直播航拍中发现了在地震中失踪的一列火车，整列车已经扭曲得不成样子。青森县海岸，一艘渔船冲翻在海岸上，岩手县一艘轮船也被海啸冲上了屋顶。在福島县和岩手县，气象厅分别观测到高达 7 米和 4



图 1-11 海啸冲过防波堤



图 1-12 众多小轿车被海啸带来的巨浪席卷冲毁

米的巨浪。岩手县釜石港附近几十辆汽车被卷入海中，许多汽车和渔船在海浪中飘摇。在海啸发生的地区，很多人被困在楼房内，有人从窗口摇晃着白色布条，希望尽快得到救援。

日本气象厅向本州岛太平洋沿岸地区发出高级别海啸警报，建议沿海居民转移至地势较高处，远离海岸，同时呼吁民众警惕余震及其触发海啸的可能。日本共同社报道，东京市政府关闭了 19 个防洪闸，以应对海啸。一位日本海啸专家称这次海啸为“日本有史以来浪头最高、影响范围最广的海啸”，使得机场关闭，地铁停运。海上保安厅官员大井阳介说，强震大约 30 分钟后，东京市内一些高楼仍在摇晃，移动电话通信网络中断。地铁等公共交通瘫痪，全城道路堵塞严重，数不清的人在街道上步行。地震还造成东北地区和关东地区约 840 万户家庭停电，多地交通陷入混乱。日本北部震区多处高速公路地面开裂，铁路全部停运，多家机场也被关闭。由于国内国际航线相继停飞或改降其



图 1-13 轮船被海啸冲到屋顶