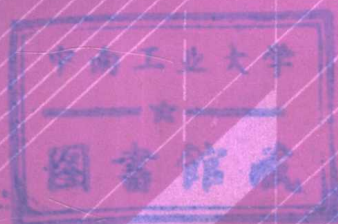


637037

地震预报方法

浅田敏 编著



地质出版社

地震预报方法

浅田 敏 编著

强祖基 王振福 陈章立 等译

田本裕 校

地质出版社

地震预报方法

浅田 敏 编著

强祖基 王振福 陈章立 等译

田本裕 校

责任编辑：刘海麟

地质出版社出版

(北京西四)

(北京海淀区学院路29号)

地质出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本, $850 \times 1168^{1/32}$ 印张, $9^{11/16}$ 字数, 246,000

1987年7月北京第一版·1987年7月北京第一次印刷

印数, 1—1,900册 国内定价, 2.75元

ISBN 7-116-00013-5/P·013

统一书号, 13030·新445

译 者 的 话

日本是当今世界上在地震预报方面起步比较早，技术又比较先进的国家。这次我们翻译了浅田敏教授主编的《地震预报方法》一书，这是继力武常次《地震预报》一书译出后又一内容新颖、预报思路明确的新书。

本书比较全面地综述了当前国际上地震预报取得的新进展、问题及展望，系统地介绍了地震的重复性、地震的长期前兆及临震前兆。应该指出的是，本书的各章节作者都是当代日本从事地震预报各个领域的先驱者，因此，对所涉及问题的叙述，并非单纯堆砌和简单的组合，也并非是一种综述，而是经过了作者的精心取舍，按照一定的学术思想组织安排的，反映了作者们的认识深度和学术水平。

本书共分四部分十二章，第一、二章由黄德瑜翻译、前言和第三章由强祖基、张德成翻译、第四、五章由刘浦雄翻译、第六、七章由林伟凡、高维明、蒋铭翻译、第八章由傅征祥、刘滨兴翻译、第九章由吕佩玲翻译、第十、十一章由陈章立、刘连柱、张宇霞翻译、第十二章由王振福翻译。最后全书审校工作由强祖基、王振福、陈章立完成。

由于译校者水平所限，文中错误在所难免，敬希读者批评指正。

序 言

本书具有双重意义：一是可以作为地震专业人员的一本参考书；二是对地震预报的自然科学方面提供了某些见解，不仅可供地震工作者参考使用，而且适合从事各种专业人员的参考。虽然本书专业化较强，但是我发现外行人对自然科学的了解意外的深刻，有时比科学家们认识的还深刻。只对地震预报的概略论点感兴趣的读者可能认为没有必要花时间阅读本书的技术性较强的方面。

虽然有几本关于地震预报的好书，但都有一个毛病，由于震例提出的方法，很容易使读者认为地震预报是已经解决了的问题，只有少数问题还没有解决。

近几年地震预报方法的确更加成熟。正如本书的作者们所指出的那样：与测量地壳运动和其现象（与地震发生直接有关的现象）的仪器在不断增加和提高精度。然而，在知识上我们还有许多空白，方法的可靠性还差得很远。同时，在致力于预报的科学课题时，不能忘记整个地震预报有社会意义。

本书的作者们都是日本地震预报研究的知名之士，他们的专业范围从查阅过去历史地震资料到日本活断层的编目和制图，测量地壳中的化学变化。有些人是专门研究这一领域的先驱者。

在编写本书中，我们力图包括各研究学科的资料，强调了日本迅速发展的有关研究领域。

少数与地震预报有关的课题未曾写进本书，如水压引起的地震，美国科罗拉多带的丹佛地区在注水引起一些小震之前从未发生过一次较小地震，这些小地震逐渐发展成6级地震。当水库蓄满水时，还能发生小地震，有时可能引起6级地震。

岩石破裂试验课题也未包含在内，自60年代以来就一直从事

这方面的工作，例如密封压力、孔隙压力、有效压力以及扩容试验等在地震学的词汇中渐趋重要，这方面的研究结果丰富了地震预报的科学基础。

第三方面是地壳的天然应力测量成果也未包含在此书内。伊朗1978年9月发生了强震，居住在土屋内的一万多人死亡。本区大地震非常稀少，几千年才发生一次。尽管地应力测量方法还待进一步完善，但是测量地壳应力可以推测出下次地震的逼近危险。

然而，关于地震预报，还有更重要的一些基本方面，如断层模式理论，自从这个理论提出以来，我们对地震的理解更深刻和更实际了。

在强调发展和应用地震预报方法的同时，作者们还得记住地震预报引起的社会反响，在日本表现得更突出。日本是个多震国家，地震预报和科学一样成为广大群众关心的一个问题。

地震预报可以看作是一门应用科学和技术，但是一个永无止境的领域，地震预报趋向日臻完善的地步，却永远达不到顶点。换句话说，失败的可能性永远不等于零。

虽然地震预报可以看作是一种技术，但不是生产产品的那类技术，也不仅依赖于包括软件在内的新近发展起来的技术。

从社会学的观点来看，地震预报显然不只是自然科学领域。地震学家们不能也不应该单独地负责地震预报的实现和实践，因为只有每个有关人员都能负起责任，努力工作，地震预报才有可能成功。

1965年日本开始重点考虑地震预报工作。自那时以来，地震预报计划顺利地开展。1976年东海地区的地震危险性引起了关注，1978年通过了特别大震对策法。这时地震预报不再是自然科学一个孤立领域。

进一步考查这些事件的结果是今天地震预报的最根本问题。1969年宣布东海沿海地区已向内陆推进了几米时，公众首先意识到东海地震潜在的危险性。七年来没有发生地震，1976年在一份

古代文献中发现证据证明在整个骏河湾地区积累了大量的应变能时，又引起人们对这个地区的关注。

学者们对今后20—30年内东海将发生一次地震的可能性意见一致。使人信服的是发现自1973年以来日本静冈县御前崎岬以每年大约一厘米的速度加速下沉。政府有关部门和科学家们一致同意在东海地区建立一个观测台网，通过遥测仪与日本气象厅联系。

如果有这样一个观测网，那么人们所面临的问题是当气象厅所有有关记录开始出现极大异常时怎么办？结果必然假定几小时至几天后在某地要发生大地震。若无适当的地震对策这样的情况将是灾害的。这样有重大关系的消息肯定会泄漏到群众中去，结果造成极大混乱。而在混乱中地震可能发生。

现在建立了地震对策，可以避免这样的灾害，但是当记录到一些可疑的前兆而不是明显异常时怎么办？这些地震很可能被忽略，这点要避免，特别由于东海地震对策进行得很顺利，现在应当竭尽全力提高地震预报的精度——特别是对于东海地震的预报。

达到比较高的精度实际上是个简单的事情。它包括建立用研制出的各种仪器的观测台网来监测地震前兆，并在本书做了讨论，这些仪器安装的很密集，它有埋藏式应变仪和地壳运动监测仪、测深井内氧、氮和水位的仪器。理想的是将这些仪器应当安放在海底和陆地上。用各种探测技术不断收集观测资料。

要想获得更高的精度，应当尽快地发展这种观测台网，时间确实就是金钱。如果为了进行有效的比较，需要大量资料，建立这些台网也是必要的。

当然，写出这些台网的必要性比建设这些台网要容易，仅考虑地震预算问题就说明了问题的复杂性。在日本，申请地震预报研究费用必须首先与政府机构内的其它单位进行竞争，然后财政部的批准。但结果是随着政府官员们对地震预报的认识程度而有不同。这是一个例子，说明预报成功与否，主要不取决于学者们

的努力。

在预算中有费用很大的项目——例如横跨四国和本州（日本本岛）的桥梁——和更惊人的一些项目——像建设一条新的高速铁路，但是就效果而论，用于地震预报的资金会有较大的效果，因为它关系到更多人的安全。

很明显，单靠自然科学家不可能达到准确的地震预报目标，但是根据政治和社会问题来讨论地震预报超出了我的专业范围。因此、关键问题是政治家们、公共事业管理人员、新闻记者和其它有关人员都应树立对地震预报的自然科学方面的正确概念。如果此书能达到上述目的，我将感到高兴。

浅田 敏

1981年11月1日

目 录

译者的话

序言

第一部分 反复出现的地震

第一章 日本地震学的发展 (浅田 敏)	2
1.1 早期的地震学	2
1.2 第二次世界大战前的地震学	3
1.3 各种断层模型的机理	4
1.4 海底扩张和板块构造	4
1.5 观测技术的新进展	5
1.6 地震学的新进展	6
1.7 地震预报	7
第二章 过去的大地震 (宇佐美龍夫)	10
2.1 地震的历史资料	10
2.2 历史地震学的问题和局限性	13
2.3 大地震震例	15
2.4 今村在历史地震学上的功绩与问题	20
2.5 日本古地震的一些实例	23
第三章 地震遗迹 (松田时彦)	30
3.1 地形上的地震遗迹	30
3.2 解释地壳运动——方法及其精度	33
3.3 从过去到现在——预报及其问题	37
3.4 活断层和防灾	48

第二部分 长期前兆

第四章 小地震的活动方式 (高木章雄)	59
---------------------------	----

4.1	较小地震的频繁活动	59
4.2	小震活动的空间分布	62
4.3	小震的活动方式	76
4.4	小震研究的问题	82
第五章	地震波速变化 (吉井敏尅)	84
5.1	地震波速变化的某些问题	84
5.2	地震波速变化的起因	85
5.3	探测波速变化的各种方法	87
5.4	今后的问题	94
5.5	起点的速度变化研究	96
第六章	重复测量 (佐藤裕)	99
6.1	测量和地震预报	99
6.2	地壳运动的测量和观测	100
6.3	地震引起的地面运动的实例	104
6.4	稳定的日本地壳运动	107
6.5	大震前后的大地运动	110
6.6	地震预报与复测工作	114
6.7	地壳临界应变和地震的长期预报	114
6.8	地震前兆的地壳运动异常	117
6.9	今后的问题	121

第三部分 短期前兆现象

第七章	地壳运动的连续观测 (末廣重二)	125
7.1	连续观测地壳运动的意义	125
7.2	过去地壳运动的连续观测	127
7.3	埋藏式体积应变仪系统	133
7.4	东海和南关东地区观测网的发展	140
7.5	固体潮及其长期变化	141
7.6	向高密度连续观测发展	152
第八章	地下水水位和化学成分的变化 (脇田宏)	165

8.1	地震和地下水变化	165
8.2	新的前兆现象	195
8.3	塔什干地震	199
8.4	中国的地震预报	201
8.5	日本目前的地球化学研究	204
8.6	今后的地球化学研究	205
第九章	地震与电磁现象 (水谷 仁)	208
9.1	历史的观测	208
9.2	地震的地磁变化——现代观测的实例	212
9.3	与地震有关的地电流和地电位变化	218
9.4	伴随地震的电阻率变化	222
9.5	与地震有关的电磁现象的成因论	226
9.6	利用电磁现象进行地震预报研究中存在的问题	232

第四部分 地震预报的途径

第十章	地震预报的实际战略 (石桥克彦)	240
10.1	目前的地震预报战略	240
10.2	中国的地震预报	246
10.3	地震现象的实质	249
10.4	地震预报的实用步骤	251
10.5	东海地震预报	256
第十一章	短期地震前兆现象的评价 (高木章雄)	262
11.1	前震活动性	263
11.2	地壳运动的连续观测	266
11.3	地下水位和氡浓度	269
11.4	岩石电阻率和地壳电阻的变化	270
11.5	异常变化的识别	270
第十二章	地震预报计划的发展和问题 (宇佐美 龙夫)	272
12.1	地震预报现状和发展计划——蓝图	272
12.2	地震预报的进展概况	275

12.3	制定“蓝图”时和目前的地震预报知识·····	278
12.4	业余活动的兴起·····	283
12.5	设想和建议·····	287

第一部分 反复出现的地震

虽然，我们还不知道地震发生的详细情况，但大多数地震学家对地震成因的看法，总体上是一致的。

地壳受应力的持续作用，处于应变状态。当应变达到一定阈值时，地壳再也不能承受更多的应力而破裂。应力是由海底或海洋岩石圈扩张产生的。由于海底运动，在大陆地壳内产生阻挡海底运动的应力，而该应力又使大陆地壳发生应变。

地壳破裂时，形成滑动面或断层，并释放出积累的应力。一旦有断层面存在，循环反复，最后，形成了断层地形。

因为在地壳临近破裂时，会产生一些前兆现象，所以，可以通过观测这些现象来预报地震。这听起来简单明了，但实际上不那么容易。

那么，在一次地震发生时会出现什么情况呢？地壳的非均匀性看来是一个重要因素，特别是它影响应力的分布，以致于使海底可能以不均匀的速率扩张。要想彻底阐明这些因素，需要数十年的仔细观测。

第一章 日本地震学的发展

浅田 敏

1.1 早期的地震学

1880年前后, 包括英国的詹姆斯·尤因 (James Ewing) 和约翰·米尔恩 (John Milne) 在内的一些外国教授, 把地震学的研究介绍到日本。随后参加研究的有关谷清景、大森房吉和今村明恒。关谷是日本的第一位地震学教授*。

在明治初期, 外国学者就认识到地震是一种包含有横波和纵波的弹性波, 并与日本的同事们共同运用这一概念。尽管对地震波的性质有了认识, 然而, 在外国学者撤走后, 日本的地震学陷入了长达20年乃至30年的混乱状态。虽然存在着这种混乱状态, 但到今村时期, 地震学者们已成功地收集了有关地震的大量资料。本世纪20年代日本气象站的中野弘对弹性波理论的发展作出了巨大的贡献。第二次世界大战后, 世界各国的理论地震学家们广泛地引用了他的论文。

二十世纪早期25年最重要的发现是地震在同一地点重复发生。太平洋沿岸每100—200年发生一次大地震, 而内陆地区一般每1000年或更长的时间才发生一次大地震, 不过今村曾记载过在同一内陆地区相隔几百年的几次地震。今村一再警告过, 关东、东南海和南海沿岸有将发生地震的危险性, 而这些地震最后都在

* 关谷在1881年升为副教授, 后来晋升为教授, 但他去世的早。1897年大森继承了他的工作。今村虽仅比大森小两岁, 但直至1923年才升为教授。

他活着的时候发生了。南海地震发生在东南海地震之后的事实和他以历史资料为基础的预报完全一致（见第二章关于今村工作的详细讨论）。

1.2 第二次世界大战前的地震学

自关东大地震(1923)至第二次世界大战，日本地震学是一个突出发展的时期。日本气象厅自二十年代开始，从战略出发，建立地震观测台网，从而提高了地震学的研究水平。例如，和达清夫就把他对深源地震的研究建立在收集这些台网的基础上(1928)。

以弹性波理论为基础建立起来的，包括各种断层模型在内的测震学是现代地震学的前缘。1926年日本科学家就开始从事这项研究。东京大学的松泽丈雄利用日本气象厅地震台网的数据研究了本州的地壳结构(1928; 1929)，同时还研究了不连续面的各种转换波(1928; 1929)。然而，这仅仅是当时研究工作的一小部分。二十世纪六十年代同样的研究领域在西方世界十分盛行，因此，有趣的是，发现早在五十多年前日本就已经从事这项工作。

例如，所谓震源机制是由京都大学志田顺正式提出的，其根据是观测到的地震波初动方向所呈现的特殊的空间图象。他的模型从理论和观测的角度不断得到改进，在三十年代本多弘吉对其作了权威性的解释。

关东大地震(1923)后建立了地震研究所。尽管第二次世界大战前，日本地震学在许多方面虽然处于领先地位，遗憾的是地震研究所对地震波虽然作了记录却没有重视分析工作。当然研究所也有一些成绩，如坪井忠二关于临界应变的研究(1933)，这项研究对地球物理学的贡献是不可估量的。然而，总的来说，对以弹性波理论为依据的测震学的贡献是极少的。

在这个时期，地震研究所普遍对加速度计等地震仪进行了研究，第二次世界大战后，萩原尊礼继续进行了这项传统工作。然

而，使人特别难以理解的是研究所从未为自己的研究项目建设过地震台网。1926—1930年今村在关东地区建立了一个地震台网，但到第二次世界大战时，台网就停止了工作。那时地震仪的灵敏度和幅度距要求还差得多，当然，不适合于微震观测。在战后30年，参加研究的所有大学共同建立了一个遥测微震观测台网，才认识到这种台网的重要性。

1.3 各种断层模型的机理

本多建立的震源机制把震源定义为两组力偶。在本定义中，震源仅是形式上的理论概念，而不是一个实体。

本世纪六十年代，提出了断层模型假设。在这种模型中，假定有一个断层面，并给出该断层在地表的位移或滑动的方向和距离。通过测定断层面与地面的相对位置，能计算由断层面辐射出的地震波图型，同样可以计算出由这一“地震”而引起地壳运动。

八级地震的断层面很大，可以延伸100多公里。在这种情况下，活断层长度应该超过100公里。对活断层的最新地质研究正是以这一成功的断层模型假设为基础的。

对这个理论，出现了不同的观点，十年前，麻省理工学院(M.I.T)的安艺敬一在他的一篇有名的文章中说：“一次地震本身就是一条断层。”换句话说，当地壳不能再承受应力时，便开始形成断层，而这就是一次地震的起始。这是当代地震学家们对地震的设想。

1.4 海底扩张和板块构造

老的地震学教科书通常都不讨论地震的成因。地震学家们认为当一个不可抗拒的力作用到地壳时，引起地壳破裂，则发生地震。但是，他们不知道这个力是由什么产生的。直到六十年代和

七十年代，当人们最终认识并接受了海底扩张假说并应用于板块构造时，对地震的力源才比较清楚。

海底或岩石圈是几十公里厚的运动着的板块的想法已被多次证实了。因此，海底对陆壳的水平俯冲为地震提供了动力来源。

地震波可以为计算发震断层的形状、位置和位移量提供必要的信息。地震波还可指示引起地震的应力场方向。根据计算，日本浅震最大压应力轴的方向为东西向。

地震学的最新发现也支持了板块构造理论。除了上述最大压应力的方向外，地震在同一地区重复发生的事实和大地震仅发生在太平洋沿岸以及既有浅源地震又有深源地震的事实，更加令人信服板块构造理论的正确性。虽然不能完全排除地壳体积变化引起地震的可能性，但是，从板块构造的观点来看，引起地震的力是作用在广阔的范围里，而且距离相当远，这种观点似乎可以解释所有的浅源地震。

1.5 观测技术的新进展

自第二次世界大战以来，总的来说，地震学取得了显著的进展。特别是最近的十年中，日本地震学的研究进展是惊人的。其主要原因是制定了地震观测和预报规划，运用了电子和计算机处理技术。

今村在几十年前就认识到，重复测量是地震预报最关键的因素。除了检测地面的水平变化外，现在由于研制出了能以 10^{-6} 的精度测量几十公里长度的光速测距仪，所以也可以测量地壳的水平应变变量。

除了地震仪和地壳运动的重复观测外，地震学还取决于与地球化学和大地电磁学有关的观测。这些观测项目不一定局限于一个地点或一个现场，而应在每个现场建立观测台网。气象厅最近建立的大型钻孔型体积应变仪观测网，就是这类观测网的一个近代例子，这是世界上唯一的这类应变仪观测台网。