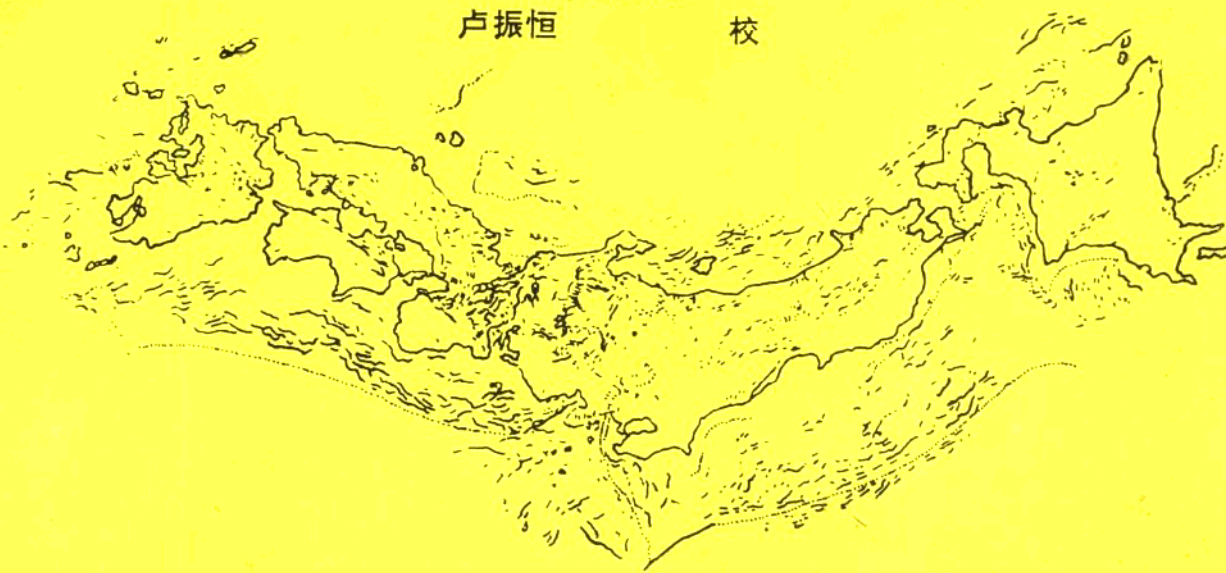


地震前兆现象

[日] 力武常次 著
耿庆国 主译
宋文瑞 汪志亮 译
申 裕 魏家珍
卢振恒 校

地震出版社

1991



地震前兆现象

[日] 力武常次 著
耿庆国 主译
宋文瑞 汪志亮 译
申 裕 魏家珍
卢振恒 校

地震出版社

1991

内 容 提 要

本书是日本著名地震学者力武常次教授的新近研究成果。他多年来专门就日本积累的丰富地震前兆资料,进行了全面系统地收集、整理、鉴别、修正和分析工作。本书对日本观测到的地震前兆现象和典型事例做了详尽描述,并对前兆特征做了深入分析。资料翔实,内容丰富。实为一本研究地震前兆现象、提高地震前兆分析能力和地震预测预报水平的有价值的参考书。

本书可供从事地震观测、地震预报、地震地质、抗震防震和减灾工作的科技人员及有关大专院校师生参考。

地 震 前 兆 现 象

予知のためのデータ ベース

【日】力武常次 著

耿庆国 主译

宋文瑞 汪志亮 译

申 裕 魏家珍 译

卢振恒 校

责任编辑:周可兴 李和文

*

地 震 出 版 社 出 版 发 行

(北京市海淀区民族学院南路9号)

陕西眉县印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 13.5印张 400千字

1991年4月第一版 1991年4月第一次印刷

印数:0001—3000

ISBN 7—5028—0347—5/P·225

(736) 定价:10.00元

译 校 者 的 话

日本是多地震国家，也是地震观测和地震文献资料记载丰富的国家之一。近二十余年来日本基于开展地震预报研究的需要，各种观测手段得以加强，增加和调整了观测台网。历史地震调查研究工作的深入，使地震前兆资料得以迅速增加、丰富并积累起来，这就为建立地震前兆现象数据库打下了基础。日本著名地震学家力武常次对过去日本积累的前兆资料，重点对精密仪器观测取得的地球科学资料、人体感官得到的前兆资料，进行收集、整理、鉴别修正和分析研究。初步搞清楚各种前兆现象的种种性质，并就地震前兆现象的发生机制进行物理考察。通过以上工作，最后形成资料库。以此库为基础，进一步探索地震前兆的发生规律和地震的关系，为地震预测预报尤其短临地震预报服务；这是作者编辑出版该书的目的。

该书收集的前兆资料翔实，内容丰富，是地震前兆现象分析研究和地震预测预报的基础性资料，无疑这是一本很有价值的参考书。

由于本书中的部分文献资料来源于日本古代文献，所以，有些术语、地名等在该书译文中多沿用当时称谓，改为今天通用术语和地名相当困难。本书中给出的参考文献数量多，在我国也难以查找，故在译作中均略去。需作参考的，可查原书。原书中所用一些计量单位等，也未作变换。仅此说明。

本书由耿庆国主译。具体分工是：序言、第一章、第六章（除第三节外）耿庆国译；第二章、第三章、第七章汪志亮译；第四章申裕译，第五章宋文瑞译；第八章及第六章第三节魏家珍译。本书由卢振恒校。在该书出版编辑过程中得到周可兴、李和文的大力协助。

由于译者校者水平所限，不妥和译错之处在所难免，敬请读者同仁指正。

耿庆国 卢振恒

1989年8月

序 言

日本的地震预报计划从开始执行到现在已历时20年。在此期间由于各种测量手段的加强和观测台所的新建及调整,从而使地震前兆资料得以迅速地增长并积累起来。

为了实施地震预报,就必然要依赖于前兆现象。过去由于资料不充足,对前兆现象性质的充分理解就比较困难。但到如今,随着资料数量的显著增加,为要实现目前的东海地震的短期及有依据的临震预报,就有必要尽可能地搞清楚各种前兆现象的种种性质。

在上述目的和思想指导下,将在日本积累起来的地震前兆资料经过重新鉴别修正,然后形成数据库,这是编辑本书的主要目的。当然,重点是放在以精密仪器观测取得的地球科学资料上,有时也对被认为是在大地震前出现的发光物、地下水异变、动物行为异常等根据人体感官所得到的前兆现象,进行了调查。因后者的资料含有较多的干扰,过去多采取正统的地震研究立场,一般不大予以采用。本书目的是尝试发现某种规律性。

进而,根据对本书所收集的资料进行分析,就地震前兆现象的发生机制进行物理考察。历来认为前兆的出现形式是复杂、奇怪的。但通过丰富资料的整理,应尽可能将地震前兆的本质解释明白,相信这样提取出来的地震前兆现象的各种特征,将有助于今后地震预报的具体化。

本书收录的资料,除笔者过去收集的资料外,大部分是根据地震预报计划进行观测得到的。关于后者,特别是有赖于静冈县地震对策科〔1985〕的资料之处甚多。在此向县当局及负责整理该报告的萩原幸男、滨田和郎、吉田明夫、本藏义守、井野盛夫等各位先生致谢。另外,地震预报联络会会报是前兆资料的宝库,使我得以利用了其中很多资料。对于担任该会报编辑的国土地理院以及向会报提供资料的各机关先生们的努力表示敬意。

本书有幸由萩原尊礼先生(东京大学名誉教授、地震预报综合研究振兴会会长)的推荐,才得以出版的。在东京大学地震研究所与先生共职期间,我几乎每天都得到先生有关地震预报研究方面的指导,现在仍时时受到教益;谨对先生致以深切的谢意。

本书在写作及制作图版过程中,得到地震预报综合研究振兴会山田隆三及林雅子两位先生的帮助。另外在编辑等方面还给东京大学出版会的清水惠先生添了不少麻烦,在此一并表示感谢。

此外,关于关东地震前兆资料的调查,得到日本大学的研究补助金,因而得以顺利进行,特向该大学当局表示感谢。在收集资料中,日本作为大学文理学部应用地学科毕业研究课题,由应届毕业生水落典孝、宫泽雅博、市之濑启之、西久保直树担负一部分调查任务,对各位在调查工作中的努力致以感谢。

力武常次

1986年8月

目 录

序 言

第一章 前 言..... (1)

第二章 地震预报要素的各种前兆现象

——实施地震预报计划的背景.....	(8)
2.1 长期前兆.....	(4)
2.1.1 历史地震活动.....	(4)
2.1.2 地壳应变.....	(9)
2.1.2. a 相模湾地区.....	(9)
2.1.2. b 骏河湾地区.....	(11)
2.1.3 地震活动起伏和空区.....	(12)
2.1.3. a 环形现象.....	(12)
2.1.3. b 地震活动空区.....	(13)
2.2 短期前兆现象.....	(14)
2.2.1 测地学前兆信息.....	(14)
2.2.2 地倾斜、应变前兆信息.....	(16)
2.2.2. a 水平摆倾斜仪观测震例.....	(16)
2.2.2. b 水管倾斜仪观测震例.....	(18)
2.2.2. c 伸缩仪观测震例.....	(18)
2.2.3 地震学前兆信息.....	(18)
2.2.3. a 前震.....	(18)
2.2.3. b b值.....	(19)
2.2.3. c 微小地震.....	(19)
2.2.3. d 发震机制.....	(19)
2.2.3. e 地震波速度变化.....	(19)
2.2.3. f 地震活动图象变化.....	(19)
2.2.3. g 异常地震活动.....	(19)
2.2.3. h 地震活动空区和平静.....	(20)
2.2.3. i 地震波形.....	(20)
2.2.3. j Q值.....	(20)

2.2.4 地球电磁学信息	(20)
2.2.5 地球化学信息	(21)
2.2.6 宏观异常现象	(22)
2.3 地震前兆现象分类	(22)

第三章 日本地震前兆事例一览表 (23)

3.1 大地测量学前兆一览表	(23)
3.2 倾斜、应变前兆一览表	(25)
3.3 地震学前兆一览表	(30)
3.4 地球电磁学前兆一览表	(46)
3.5 地球化学前兆一览表	(50)

第四章 地震预报计划实施中得到的典型前兆事例 (54)

4.1 测地学前兆事例	(54)
4.1.1 麻绩地震 ($M=5.0$, 1967) (1)	(54)
4.1.2 伊豆半岛地震活动 (1, K)	(54)
4.2 地倾斜、地应变前兆事例	(55)
4.2.1 摆式倾斜仪观测的事例 (I)	(55)
4.2.2 水管倾斜仪观测的事例 (T)	(56)
4.2.3 伸缩仪观测的事例 (h)	(56)
4.2.4 埋入式体积应变仪观测的事例 (H)	(57)
4.3 地震学前兆事例	(58)
4.3.1 前震 (f)	(58)
4.3.2 b值 (b)	(58)
4.3.3 微小地震 (m)	(60)
4.3.4 发震机制 (s)	(60)
4.3.5 地震波速度变化 (v)	(60)
4.3.6 地震活动图象变化 (P)	(60)
4.3.7 异常地震活动 (a)	(61)
4.3.8 地震活动空区和平静 (q)	(61)
4.3.9 地震波形 (F)	(62)
4.3.10 Q值 (Q)	(62)
4.4 地球电磁学前兆事例	(64)
4.4.1 地磁 (g)	(64)
4.4.2 地电流 (e)	(64)
4.4.3 地电阻率 (r)	(65)
4.4.4 地电阻率 (R)	(66)
4.5 地球化学前兆事例	(66)
4.5.1 氡 (i)	(66)

4.5.2 地下水和温泉 (u)	(87)
第五章 宏观异常现象	(69)
5.1 地形变化	(69)
5.2 地声 (地鸣) 和前震	(70)
5.3 动物异常行为	(70)
5.4 异常气象和植物异常	(72)
5.5 发光现象 (发光物)	(72)
5.6 地下水·温泉	(72)
5.7 特异功能	(72)
第六章 大地震的前兆——各种讨论和比较	(73)
6.1 安政东海地震	(73)
6.1.1 安政东海地震前兆资料	(73)
6.1.2 前兆资料要点	(79)
6.1.2. a 地壳变化	(79)
6.1.2. b 地声 (音)	(80)
6.1.2. c 地震活动	(80)
6.1.2. d 动物异常行为	(81)
6.1.2. e 气象异常	(81)
6.1.2. f 地下水和温泉	(82)
6.1.2. g 特异功能	(82)
6.1.3 前兆时间	(82)
6.1.4 前兆的出现地点	(84)
6.2 安政江户地震	(84)
6.2.1 安政江户地震前兆资料	(84)
6.2.2 资料的评价	(92)
6.3 关东地震	(93)
6.3.1 调查方法	(93)
6.3.1. a 通信调查	(93)
6.3.1. b 文献和现场采访	(93)
6.3.2 资料概要	(95)
6.3.2. a 资料的评价	(95)
6.3.2. b 资料一览表	(96)
6.3.2. c 前兆现象的特征	(159)
6.3.3 前兆时间的频度分布	(162)
6.3.4 前兆出现地点	(164)
6.3.4. a 前兆观测地点的分布	(165)
6.3.4. b 前兆与震中距离	(166)
6.3.5 前兆出现的说明	(166)

6.4 东南海地震	(167)
6.4.1 前兆调查概要与资料一览表	(167)
6.4.1.a 文献调查(准备调查及气象官署的调查)	(167)
6.4.1.b 通信调查	(172)
6.4.1.c 在静冈县实施的征询调查	(184)
6.4.2 资料概要和特征	(184)
6.4.3 前兆时间的频度分布	(186)
6.4.4 前兆出现地点	(186)
6.4.5 前兆出现的说明	(187)
6.5 伊豆大岛近海地震	(188)
6.5.1 资料概要	(189)
6.5.2 前兆时间的频度分布	(195)
6.5.3 前兆出现地点	(196)
6.6 其他大地震	(196)
6.7 比较地震前兆论	(196)

第七章 前兆现象的各种特性 (198)

7.1 前兆时间与震级	(199)
7.1.1 第一种前兆现象	(200)
7.1.2 第二种前兆现象	(203)
7.1.3 第三种前兆现象	(203)
7.2 出现距离与震级	(204)
7.3 前兆现象特性的物理解释	(207)
7.3.1 前兆时间	(207)
7.3.2 出现距离	(208)
7.3.2.a 前兆地壳形变异常的出现范围	(208)
7.3.2.b 各种前兆的被检测度	(208)
7.3.2.c 前兆的变化量	(211)

第八章 结束语 (214)

第一章 前 言

根据一百多年来日本的地震研究的实践，认为在地震前会出现某些异常的前兆。这一认识终于在1960年前后为众多的地震学者所承认。如果对这种地震前兆予以深入研究，当然有可能与给日本带来严重灾害的大地震的预报有所联系。

基于日本地震学界有志之士的提议，作为国家计划项目的地震预报计划从1965年开始执行。本书的目的在于介绍关于作为地震预报基础的地震前兆现象的研究现状，同时还为促进地震预报提供地震前兆现象的完整目录。

下面，在第二章里，主要是对地震预报计划执行前取得的地震前兆资料进行评论，并论述逐步搞清楚的进行地震预报要素的长期和短期前兆现象的各种性质的过程。这样就以积累的前兆资料为背景，为进一步取得更为有效的资料为目标开始执行了地震预报计划。

当地震预报计划开始执行后，随着大地测量的加强和各种观测所的新建、调整，地震前兆资料的积累能力迅速提高。在第三章里，把这种积累起来的地球科学方面前兆资料，按不同项目列成目录提供，这可以作为实现地震预测的数据库。进而，为了说明各种前兆现象的种种特征，在第四章中举出很多典型的前兆事例，这些事例是靠地震预报计划的进展才取得的。

在使用精密仪器观测进行捕捉地震前兆现象的过程中，还相继收集不使用仪器而以人体感觉获得的前兆现象的报告。关于地声、地下水异常、动物行为异常、发光现象、出现火球等地震前兆，不论国外哪个国家，自古以来就有流传的。尤其是在中国，有不少很有说服力的事例，中国把这样的现象称之为“宏观异常现象”，这个术语作为日语也是恰当的。

宏观异常现象有时过于奇特，因而在所谓正统的地震预报研究中都不采用，不过即使在干扰很多的资料里，也许会有某种规律性，这在第五章里叙述其概略。

在第六章里，对安政东海地震（震级，以下简写为 $M=8.4$ 级，1854年）、安政江户地震（ $M=6.9$ 级，1855年），关东地震（ $M=7.9$ 级，1923年），东南海地震（ $M=7.6$ 级，1944年）及伊豆大岛近海地震（ $M=7.0$ 级，1978年）等具有代表性的各个地震前兆资料，分别作了调查研究。将来如果以与这些地震大致同样的机制，而且几乎在同一地区发生大地震的话，也许前兆的出现形式也会有非常的相似性，这种期待是不无道理的。因此，第六章的调查结果可以作为将来地震预报的参考。

对于古代地震前兆的发掘，唯一的手段只有查阅文献资料。因为那时没有进行地球科学方面的观测，古代资料以宏观异常现象为主体，因而对这些与地震有关的资料的可信性不能说没有问题。但是，从第六章所提供的资料看，前兆的出现时间（从出现前兆到主震

发生的时间)和出现地点的分布,似乎带有某种规律性。所以在第六章里展开的地震前兆比较讨论决不是没有意义的。

本书汇集的地震前兆资料在第七章里作了分类,同时对前兆时间、出现距离及变化量等种种特征作了分析,并对以怎样过程发生前兆现象给以物理解释。当然,也有资料不足的原因,未能进行充分的议论,但可以说这是把历来认为极为复杂、奇怪的地震前兆出现形式,引至合理化解释说明的方向上所取得的一个进步。

这样,逐步被弄清楚的地震前兆现象各种特征,应该直接反映到地震预报战略上去。在第八章里,笔者就此叙述了个人的见解。

本书因受篇幅的限制,只对日本地震前兆资料作了考察,外国的资料只好割爱。美、苏、中各国正进行着与日本同等规模的地震预报计划,前兆资料也很多,这些资料已由力武〔1975b, 1976a, 1979, 1984b〕,力武〔1979〕,Niazi〔1982, 1984—85〕等作了某种程度的归纳,日后如有机会我想作进一步的汇集。

第二章 地震预报要素的各种前兆现象

——实施地震预报计划的背景

地震预报计划研究组1962年发表的地震预报现状及其推进计划（所谓地震预报“蓝图”），标志着日本地震预报计划开始。“蓝图”绪言写着：

在日本与地震有关的研究工作，从开始至今已经快80年。1891年（明治24）浓尾地震后成立了地震防灾调查会，1923年（大正12）关东地震后设立了地震研究所，地震研究工作正在踏实地开展着。另外，各大学、气象厅、国土地理院等单位也进行了研究、测量和调查工作，在互相密切配合下，逐渐丰富着我们对地震的知识和认识。

这个期间，特别是提出了与地震预报直接有关的许多问题。然而，“若以地震预报为目的进行测量的话，那么应以哪些观测手段、以什么样的方法等问题，日本的研究者在今天才达到比较一致的见解。”而且关于“这些测量是相当大规模的工作，仅靠某一单位独立地进行，无论如何都是非常困难的。为了在全国范围内有效地进行之，现在的研究工作形势未必满足地震预报的需要，因此，有必要进行根本性的研究”，这与现在各地震学家的认识也是一致的。

这里，特别引人注目的是上述引文中两段内容。从“蓝图”的制定到现在已有20年以上的时间，采用何种观测手段对地震预报最有效并能制定出程序，这个问题现在已经有了相当明确的认识，就是说何种手段能作为地震预报的要素的问题，已被研究得相当清楚了。

“蓝图”中最后一章“期待的成果”中，关于地震预报要素的见解作如下表述：

“首先，通过大地测量方法进行的调查，对于全国范围内的测量的重复周期，计划水准测量为5年，三角测量为10年，所以，这项工作完全纳入轨道，大体在10年后才行。但是，以某些特殊地区为对象的复测，5年后才能获得大量资料。而在最初的5年间，还要作很大努力去准备测量仪器和培训人员。因此，若考虑到这一点，工作能顺利地走上轨道，大概在5年后。验潮站将在2年内建立起来，而使资料有用，还需数年的资料积累。

地壳形变的连续观测，首先计划三年建设6个基准站，并在这些台上培训人员，然后，通过这些经过培训的人员，计划8年在全国建设100个观测站。如果计划得以顺利实现，全部台站最快要10年才能完成。

微震观测，计划10年建设20个地方台及附属台。

极微震观测，计划6年在6个特定地区建立起一个小台网。

用人工地震法测定地震波速度，计划6年内，定期在6个地方不断进行爆破试验。

活断层调查将在两年内全部完成。

地磁和大地电流测量，将在3年内在一些特定地区建设数个固定台。”

从上述引文可知，“蓝图”所提出的像大地测量、验潮、地壳形变连续观测、地震活动、

地震波速度、活动断层、地磁和大地电流等方法，是地震预报的最有效的要素。这些看法，即使在经过20多年的今天，大部分是正确的。可以说，“蓝图”中所预料的与所进行的工作基本吻合。

而且，在“蓝图”中最后一章，由下述文章作结束语：

“若这项计划能顺利地进行，五年后就能得到某种程度的或者10年后就能获得相当丰富的地震预报所需要的观测资料。就是说，要将根据该“蓝图”计划进行的大地测量和观测完全纳入轨道，最早要经过大约10年时间，从此之后，就进入资料积累的阶段。然而，若以6级以上的地震为预报对象，而据统计，在日本陆地上或者近海域6级以上地震，每年平均有5次的比例，其中每年约有一次破坏性地震。因此可以说，随着按照本计划进行的几年间观测资料的积累，能够弄清楚6级以上地震与观测到的现象之间的关系的或然率是很高的。

地震预报何时能实用化，就是什么时候能发出地震警报，这一点目前还不能作出回答。但是，若本计划的大部分工作现在就开始实施的话，相信10年后，对这个问题会给出完全可信赖的回答。”

日本地震预报计划，实际上是从1965年度作为国家计划开始实施的，但也受到预算或人力、财力的限制，不可能照上述“蓝图”中所规定时间进程实现。另外，建立100个地壳形变连续观测台也不是轻而易举的事。但是可以说，上述引文中的几点，已在相当程度上予以实现。

就是说，从按照地震预报计划被加强的各种测量和调查以及新建立的各种观测台所进行的观测，不断地被采用为地震预报要素的地震前兆资料。另外，这些资料的处理系统也正在逐步完善，并达到到相当程度。

这些成果是否达到“蓝图”中所规定的水平，评价尽管是有分歧，但是对于最为困难的地震前兆现象资料的获取能力和这些资料规律性的分析，还是取得了很大的进展。通过地震计划实施所取得的地震前兆震例，将在第三章、第四章详细阐述。本章主要是以地震预报计划开始以前的前兆震例为重点，论述作为地震预报要素的前兆现象。这些仍与弄清楚地震预报计划所提出的背景有关。

2.1 长期前兆

2.1.1 历史地震活动

在有近2000年历史的日本，有关过去相当丰富的正式的地震活动目录可以利用。作者手头就有每年修改发行的“理科年表”（东京天文台编，丸善发行）以及更详细的地震目录（例如，宇佐美龙夫，1975）。通过应用这些地震目录，有时可对未来地震发生作出具体地论述。

图2.1是表示1600年以来主要破坏性地震的震中分布图。该图震中分布最大的特点是震级（以下只写M）大于7.9级的所谓巨大地震，有很多是分布在从四国到静冈近海一带。像从表2.1和图2.2中图象所看到的那样，在南海—东海海域几乎以100—150年间隔在同

一地区重复发生巨大地震。这个重复时间间隔，与可以利用的地震目录上历史期间相比小1位数，所以，在有相当丰富的重复时间间隔资料时，作这种统计是很有意义的。



图 2.1 1600年以来发生的破坏性地震
黑圈表示M≥7.9

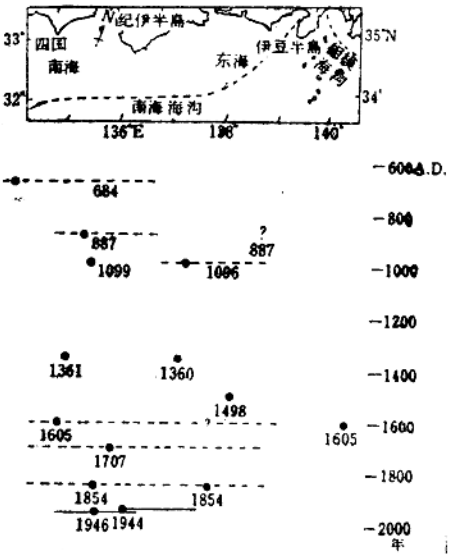


图 2.2 南海—东海海域发生巨大地震的时空图象。实线及虚线表示震源区，由各自的余震区及古代文献资料推测出来的

表2.1 南海—东海海域的巨大地震

年 月 日	公 历	震源区	纬度 °N	经度 °E	M	备 注
东海海域						
嘉保3.11.24	1096.12.17	熊野滩	34.2°	137.3°	8.4	(永长1)
明应7.8.25	1498.9.20	远州滩	34.1°	138.2°	8.6	
嘉永7.11.4	1854.12.23	远州滩	34.1°	137.8°	8.4	(安政1)30小时后发生南海地震
昭和10.12.7	1944	熊野滩	33.8°	136.6°	7.9	
南海海域						
天武13.10.14	684.11.29	南海近海	32.5°	134.0°	8.4	
仁和3.7.30	887.8.29	南海近海	33.0°	135.3°	8.6	双震

续表

承德3.1.24	1099.2.22	南海近海	33.0°	135.5°	8.0	(康和1)
正平16.6.24	1361.8.3	南海近海	33.0°	135.0°	8.4	
庆长9.12.16	1605.2.3	南海近海	33.0°	134.9°	7.9	双震
宝永4.10.4	1707.10.28	南海近海	33.2°	135.9°	8.4	双震
嘉永7.11.5	1854.12.24	南海近海	33.2°	135.6°	8.4	(安政1) 双震
昭和21.12.21	1946	四国近海 纪伊近海	33.0°	135.6°	8.1	

注: 887, 1605, 1707地震时, 在东海海域发生的概率大。另外, 有的认为1360年地震($M=7.0, 33.4^{\circ}N, 136.2^{\circ}E$) 更大。

最近据板块构造学推测, 菲律宾海板块正在继续不断地向西北方向推进, 认为在南海海沟向陆地板块底部俯冲。为此, 陆地板块被挤压, 而且可能被嵌入。但地壳应变达到极

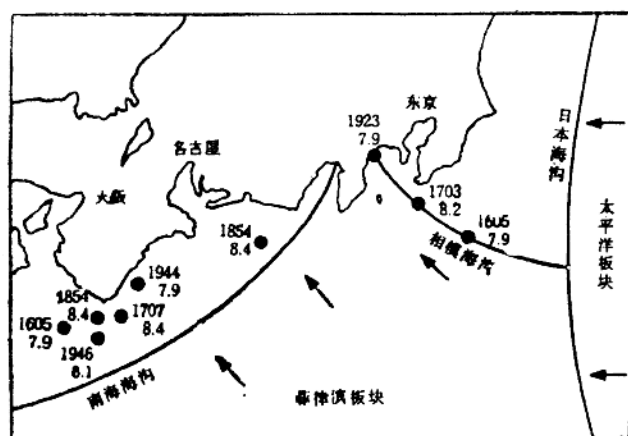


图 2.8 与南海海沟及相模湾海沟有关的1600年以来发生的巨大地震和板块

限时, 在海陆板块边界就会发生断裂。当陆地板块反跳时, 积蓄应变能同时作为地震波的能量释放出来。这就是一般认为的板块俯冲带发生巨大地震的机制。板块运动的相对速度每年是几厘米, 若考虑到边界的极限位移是几米的话, 那么, 巨大地震发生时间间隔大约为100—150年。这样, 从板块构造学的观点来研究南海—东海海域巨大地震重复时间间隔, 是有其物理意义的。

图2.3是表示与南海海沟和相模海沟有关的1600年以来发生巨大地震的情况。

这里, 仿照Hagiwara (1974) 及Rikitake (1979b) 的研究, 进行南海—东海海域巨大地震发生时间间隔的韦布尔 (Weibull) 分布的分析。

假定 t 以前不发生火灾, 在 t 与 $t + \Delta t$ 间发生巨大地震的概率为 $\lambda(t)$ 。则 $\lambda(t)$ 的韦布尔分布是:

$$\lambda(t) = Kt^m \quad (2.1)$$

式中: k 和 m 为常数, 并假定 $K > 0, m > -1$ 。

用 $F(t)$ 表示0— t 时间内发生地震的累积概率 (cumulative probability), 应用

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.2)$$

若把公式 (2.2) 中 $R(t)$ 定义成可信度 (reliability), 则 $R(t)$ 可写成:

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] = \exp\left(-\frac{Kt^{m+1}}{m+1}\right) \quad (2.3)$$

由下面公式 (2.4) 能给出地震发生的概率密度 $f(t)$ 为:

$$f(t) = -\frac{dR}{dt} = Kt^m \exp\left[-\frac{Kt^{m+1}}{m+1}\right] \quad (2.4)$$

到发生地震的平均重复时间 (mean return period) 为:

$$E(t) = \int_0^\infty tf(t)dt = \left(\frac{K}{m+1}\right)^{-1/(m+1)} \Gamma\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \quad (2.5)$$

这里 Γ 为 γ 函数。因:

$$E(t^2) = \int_0^\infty t^2 f(t)dt = \left(\frac{K}{m+1}\right)^{-2/(m+1)} \Gamma\left(\frac{m+3}{m+1}\right) \quad (2.6)$$

所以用下式可给出反复时间的标准偏差:

$$(E[t^2] - E^2[t])^{1/2} = E[t] \left[\Gamma\left(\frac{m+3}{m+1}\right) - \Gamma^2\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \right]^{1/2} / \Gamma\left(\frac{m+1}{m+1}\right) \quad (2.7)$$

由公式 (2.3) 两边求 $1/R$, 并取两边自然对数的话, 则能得到:

$$\log_e \log_e (1/R) = \log_e \left(\frac{K}{m+1} \right) + (m+1) \log_e t \quad (2.8)$$

由于使用重复时间间隔的频度分布资料时, 可以把 $1/R$ 看成 t 的函数, 所以, 再用公式 (2.8) 中的 $\log_e \log_e (1/R)$ 与 $\log_e t$ 的线性关系, 应用最小二乘法, 可以求出参数 K 、 m 值。

应用这样方法求出的参数 K 和 m , 再由公式 (2.6), 求出南海—东海海域区间发生巨大地震的平均重复周期是 117 年。它的标准偏差由公式 (2.2) 求得为 35 年。重复时间间隔的资料是使用了最近 600 年的资料。

下面, 使用参数 K 和 m , 由公式 (2.3) 先计算出 $R(t)$ 。由公式 (2.2) 可计算 0— t 时间内发生地震概率 $F(t)$ 。假设安政东海地震 ($M=8.4$, 1854) 时, 过去所积累的应变全部被释放出来, 则此时为 $t=0$, 其后若由于板块运动作用, 应变仍积累着, 则可知累积概率 $F(t)$ 就会像图 2.4 中曲线 (1) 那样增加。到 1985 年时, $F(t)$ 计算结果大约达到 70%。

另外, 设在时间 t 之前不会发生地震为前提, 在 $t \sim t+t_1$ 期间发生地震的概率, 可由公式 (2.9) 求出:

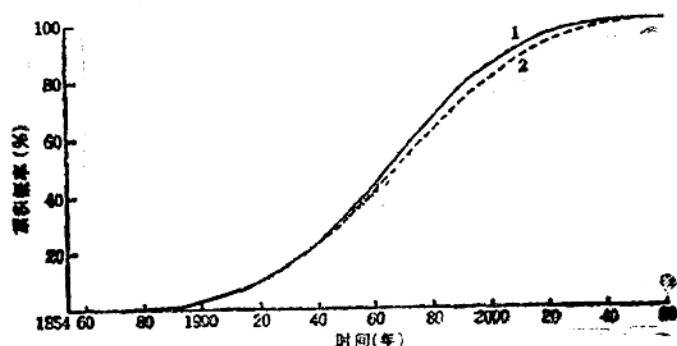


图 2.4 东海地震发生的累积概率变化过程

- 1: 据历史地震求出的曲线
- 2: 据地壳应变求出的曲线

$$F_1(t) = \frac{F(t+t_1) - F(t)}{1 - F(t)} \quad (2.9)$$

这个公式在质量管理学上称为瞬时危险率 (hazard rate) 的量。这里, 设 $t_1 = 10$ 年, 若求出瞬时危险率 $F_1(t)$, 则知它就像图 2.5 曲线 (1) 那样增加。因此, 在 1985 年后的

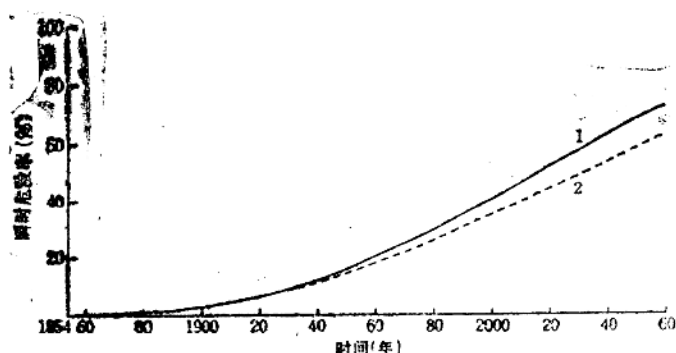


图 2.5 东海地震瞬时危险率 (从某时刻起 10 年内发生地震的概率)

- 1: 据历史地震求出的曲线
2: 据地壳应变求出的曲线

10 年内, 东海地震发生的瞬时危险率为 32%, 到 2000 年发生地震的瞬时危险率为 41%。这个计算结果表明, 将从 70 年代后期起东海地震再发生的危险进行数量化了。

一般认为, 上述韦布尔分布的分析也有适用于北海道—千岛太平洋近海巨大地震群的研究。表 2.2 中给出了北海道—千岛太平洋海中巨大地震目录。

表 2.2 北海道—千岛地区巨大地震目录

年 月 日	公 历	震 源 区	纬度 (°N)	经度 (°E)	M
天保 14.3.26	1843.4.25	钏路近海	42.0	146.0	8.4
明治 27.3.22	1894	根室近海	42.4	146.3	7.9 (7.4)
大正 7.9.8	1918	得抚岛近海	45.7	151.8	7.9 (7.4)
昭和 27.3.4	1952	十胜近海	42.2	143.9	8.1
昭和 33.11.7	1958	择捉岛南方近海	44.3	148.5	8.0
昭和 38.10.13	1963	择捉岛近海	43.8	150.0	8.1
昭和 43.5.16	1968	十胜近海	40.7	143.6	7.9

宇津(1972)把北海道—千岛地区划分成图 2.6 那样的 A、B……几个地震区。如从该图时、空分布可知那样, 各地巨大地震及准巨大地震的震源区几乎不会重迭。除表 2.2 中巨大地震外, 据宇津(1972)的分区, 在 A 区发生有 1667 年 ($M=6.4?$), 1763 年 ($M=7.4?$), 1856 年 ($M=7\frac{3}{4}$); 在 D 区发生有 1881 年 ($M=7.0$), 1969 年 ($M=7.8$); 在 E 区发生有 1893 年 ($M=7.5$); 在 F 区发生有 1780 年 ($M=7.0$), 1918 年 ($M=7.8$) 等准巨大地震, 这些地震震中如图 2.6。这些地震的震级比“理科年表”给出的震级稍高些。另外, 在 C 区, 1973 年 6 月 17 日发生的根室半岛海域地震 ($M=7.4$) 是根据地震