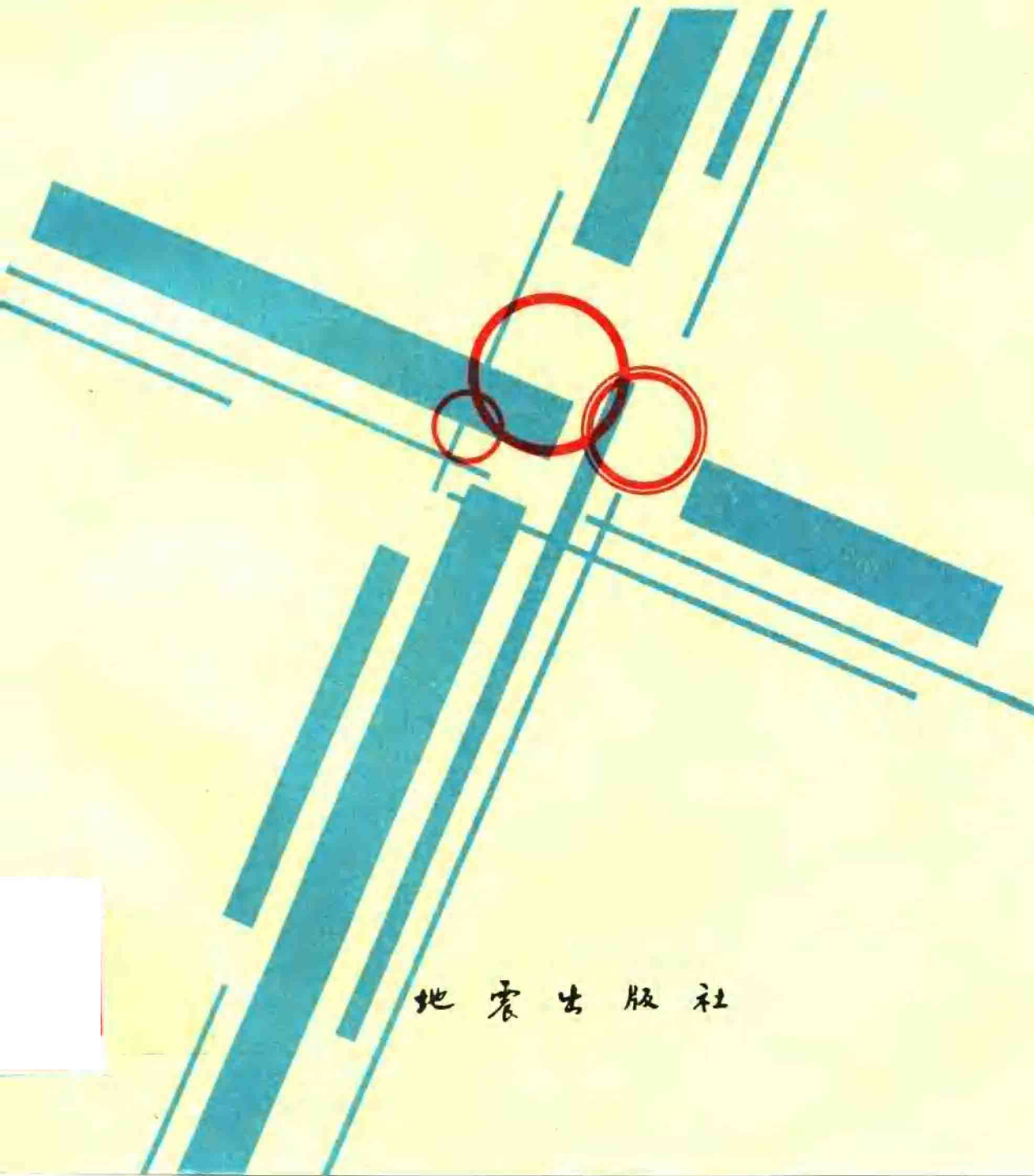


地震预报与减灾技术

赵 振 杜志俊 译 张国民 傅征祥 校

An abstract graphic design featuring several thick blue lines of varying lengths and orientations, intersecting on a light yellow background. In the center, there are three overlapping red circles. The lines and circles create a sense of dynamic movement and geometric complexity.

地震出版社

地震预报与减灾技术

5355/28

赵 振 杜志俊 译

张国民 傅征祥 校

地 震 出 版 社

1994

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

本书为 1991 年 3 月 5—8 日在日本召开的地震预报与减灾技术国际讨论会的论文集, 共选用该讨论会具有代表性的论文 13 篇。书中集中反映了国际上地震预报与减灾、抗震技术的最新方法和成果, 可供我国地震预报、地震工程、建筑抗震等部门的科技人员参考。

地震预报与减灾技术

赵 振 杜志俊 译

张国民 傅征祥 校

责任编辑: 李 俊

责任校对: 王花芝

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 9.75 印张 246 千字

1994 年 6 月第一版 1994 年 6 月第一次印刷

印数 001—800

ISBN 7-5028-1041-2/P·630

(1434)定价: 12.00 元

目 录

日本的地震预报研究	茂木清夫 (1)
中国地震危险性评估工作的现状	胡聿贤 (16)
中国地震活动性与地震前兆的研究	张国民等 (28)
地震预报的实施: 把地球科学研究付诸行动	W.L.Ellsworth (39)
哈萨克共和国北天山地区地震预报研究现状与展望	V.N.Arefiev A. K. Kurskeyev (48)
强震观测与应用	大谷圭一 (59)
1988 年 8 月 8 日印度东北部 7.3 级地震: 一次中期地震预报的实现	Harsh K. Gupta (76)
最近一次菲律宾地震造成的液化灾害	A.A.Acacio (88)
洛马普利埃塔地震的教训	Christopher Rojahn (94)
土木工程建筑的地震破坏及抗御方法	土岐田健一 (104)
国家地球科学与防灾研究所的地震预报观测和研究工作	松村正三 (119)
新西兰地震预报与减灾对策的新进展	R.B.Shephard 等 (131)
地震震级与死亡人数关系的讨论	尾池和夫 (145)

日本的地震预报研究

茂木清夫

(日本大学工业技术学院)

【摘要】日本曾经历过多次大地震造成的灾难。以预告地震发生为目的的研究始于本世纪初。1965年，作为国家规划，开始实施地震预报计划。为了预报不久将发生在本州中部东海地区的大地震，于1978年正式开始执行常规监视和评估计划。文章回顾了近年开展的地震预报研究课题，讨论了地震预报的可能性。

引言

近来，在日本和世界各地，地震经常成为新闻。我将主要讨论世界是否正处在地震活动增强时期的问题。图1显示了世界范围内因地震而死亡的人数变化。横坐标为时间，纵坐标表示死亡人数。从滑动年平均曲线看，50年代的值低，但在60年代左右开始增加，并且还在继续增加。最近一些年，造成人员死亡的地震数目也有增加。

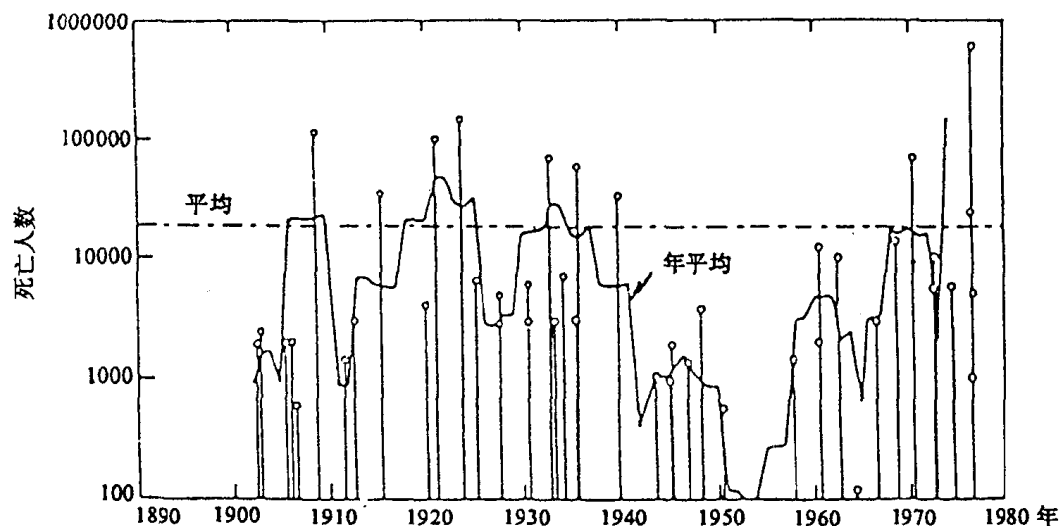


图1 地震死亡人数的时间变化。竖线表示单个地震的死亡人数；曲线为滑动平均

就地震活动本身来说，人口最密集的中、低纬度地区大地震的数目增加了（但是，包括高纬度在内的地震能量释放曲线不一定表现出类似的变化）。所以，从地震破坏的角度来说，我们是处在一个危险的时期，地震也就常见诸于新闻报道中。

其次，和世界大多数地区相比较，日本位于地震密度特别大的地区。图 2 是世界地震分布图。图中给出了 1963—1977 年全球 $M>4.5$ 级以上的地震。地震的分布是不均匀的；它们主要集中在太平洋周围的地震带上，即环太平洋地震带。由该图可清楚地看到，日本列岛就属于环太平洋地震带。相反，在中国，地震就少得多，但是近年来，那里也发生了一些地震。

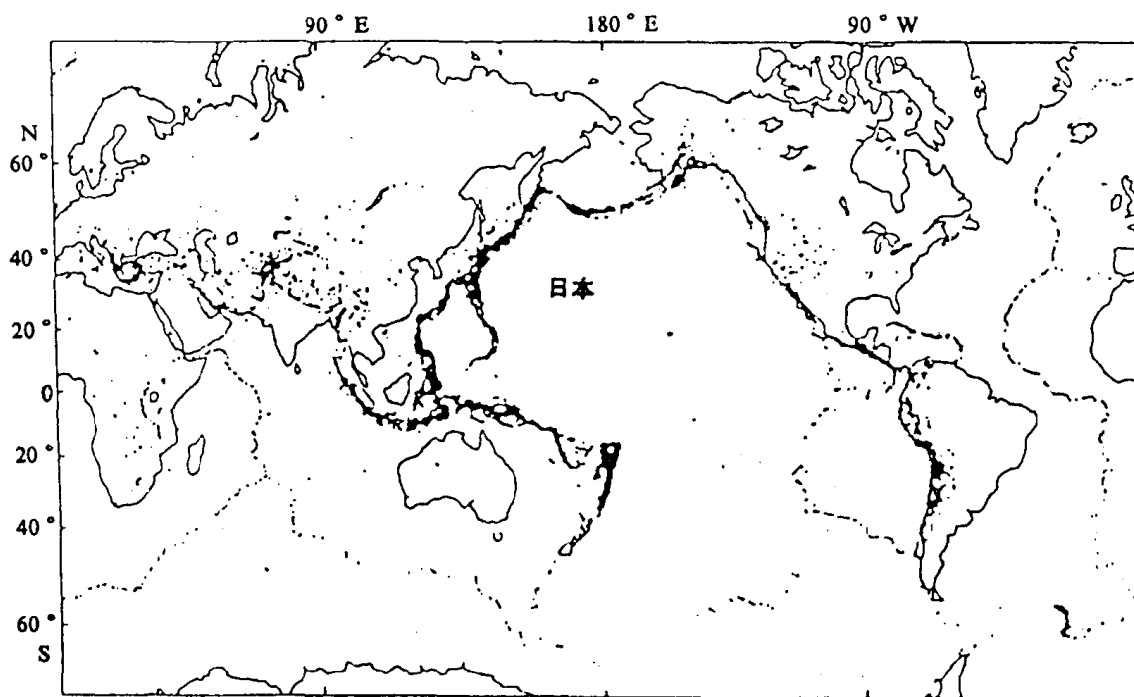


图 2 1963—1977 年全球 $M>4.5$ 级地震的分布

现在，让我们在更长的时间尺度上把日本和中国的地震活动做一比较。图 3(a)表示最近 200 年来中国华北地区 $M>7.0$ 级地震。图中包括世界上首次成功预报的 1975 年海城地震和造成 24 万人死亡的 1976 年唐山地震。图 3(b)是具有同样尺度的日本地震。近年来，在中国发生了一些大地震，引起了普遍关注，但在 200 年的时间段上，地震还是比较少的（在中国，高地震活动在西南部）。很明显，日本的地震要比中国的多得多。所以，在日本地震问题更重要。

怎样才能减少地震的破坏呢？这对于易受地震灾害的日本来说是个重大的问题，为此，存在两条途径。一是加固建筑物以减小地震对其造成的破坏，日本在这一领域的研究水平是高的，日本的建筑标准始终是很严格的，但是，今天的城市仍然存在一些薄弱环节，这也是事实。重要的是建设起来的城镇即使在大地震中也是安全的，然而，这却不是一个容易达到的目标。理由之一是来自地震的破坏大小是无法预料的。如果未来地震发生的时间和地点是预先知道的，则受害者的数目将大大减少。另一个减小损失的措施是减小危险的工业设施的破坏。换句话说，地震预报是减小地震破坏的第二个途径。我相信，加固建筑物和预报研究是减小地震损失战略的两个支柱。

不幸的是，在日本，还没有成功预报地震的例子。但是，我们有一些研究结果，这些

结果显示了成功预报的可能性。本文讨论了地震预报研究的现状，为此，我将用几个例子来叙述。

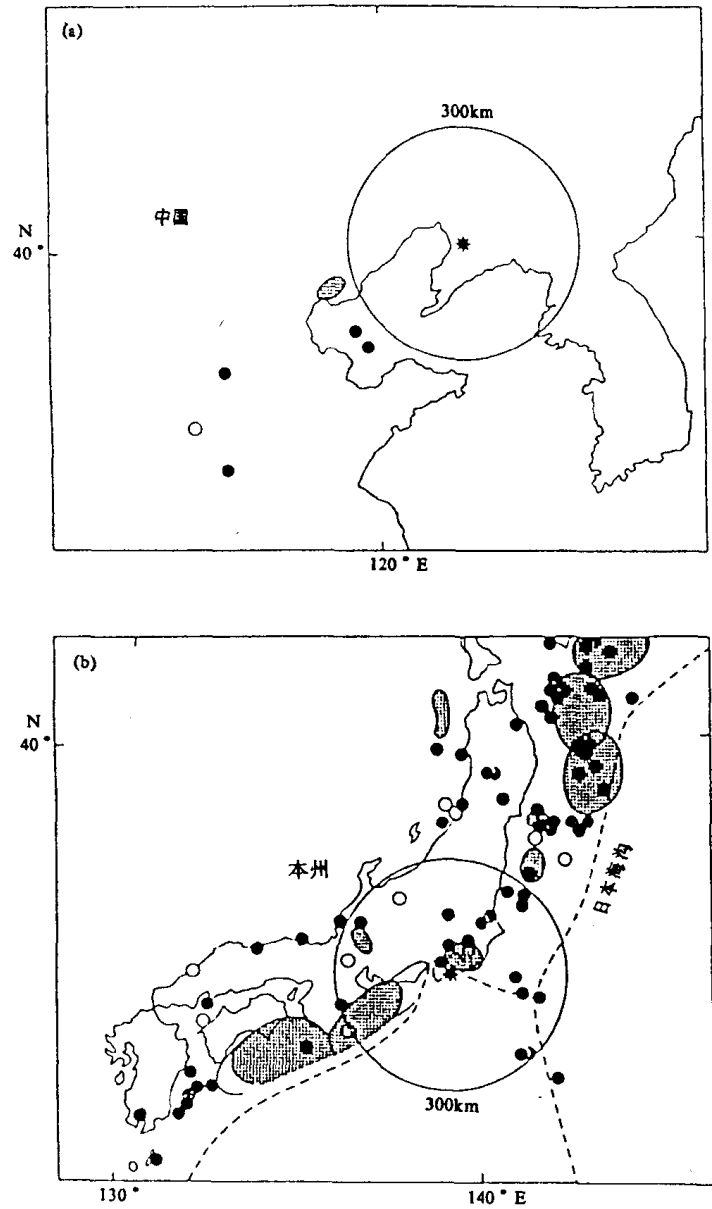


图3 最近两个世纪中国东北部(a)和日本(b)的浅源大地震($M>7$)的位置
空圈为19世纪的地震；圆点和阴影区表示20世纪的地震；星号表示海城和
伊豆大岛群岛地震震中

日本地震预报研究的主要课题

1. 1973 年根室半岛冲地震($M7.4$)

首先，让我们考察一下 1973 年 6 月 17 日发生在北海道根室半岛近海的地震。在地震发生前，曾经出现了地震可能发生在根室半岛外的迹象，之后，它便发生了。这是一个成

功预告大地震发生地点的例子。

图 4(a)显示了约 1920 年以来, 北海道和本州太平洋沿岸, 沿琉球—日本海沟大地震震源区的分布。这些地震按发生的年代编了号。值得注意的是, 这些地震的震源区完全覆盖了沿这条海沟的地震带; 而且, 它们相互并不重叠。这是大地震发生的一般特点, 这在阿拉斯加—阿留申地区也可以看到。在这个系列中最近的一次地震是第八次地震, 它发生在根室近海, 在这次地震发生之前, 根室半岛海外地区只有一个空区 (称为第一类地震空区)。所以, 已预见到下一次地震可能发生在这一地区。

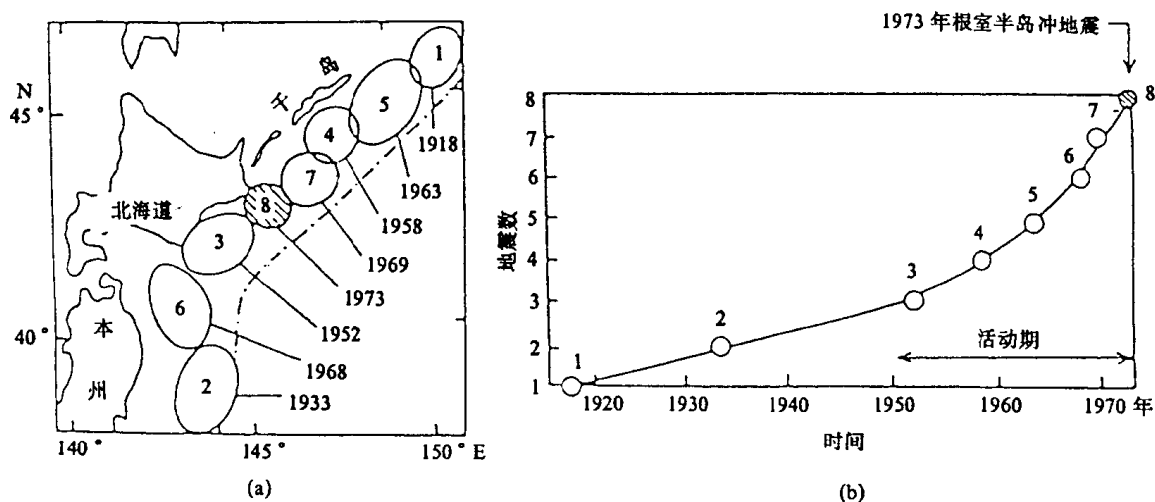


图 4 (a) 沿千岛西南—日本东部海沟发生的浅源大震震源区的分布, 数字表示发生的次序; (b) 垂直轴为地震数, 水平轴为时间

这样, 认准了一个地震空区, 就对下一次大震发生的地点做出了成功的预报, 但时间却没能预报出来。但是, 这次地震之后所进行的研究表明, 预报这次地震发生的时间还是可能的。将每一次地震的编号作为纵坐标, 地震发生的时间为横坐标绘于图 4 (b), 并且过每一点做一平滑曲线。从这张图我们看到, 从 1952 年十胜近海地震开始, 这条曲线变得越来越陡。如果这种关系能够早一点注意到的话, 则这次根室半岛近海地震发生的大致时间就可能做出预报。这样, 如果在某地出现了与此情况相类似的图象, 则该地发生地震的地点和时间就能够做出预报。

2. 1923 年关东地震(M7.9)

在关东地震之前, 曾出现过长期和短期前兆现象。图 5 是关东地震前后的地震活动性图象。由图 5 (a) 可见, 在这次地震之前, 作为将要成为这次地震震源区的相模湾地区非常平静, 但在它的周围, 地震活动水平很高。附近的大地震包括 1894 年的东京地震和 1909 年的房总半岛近海地震。这种长期的前兆性地震活动被称为环形图象, 即由地震活动地区包围着平静的中间地区。这种图象有时出现在一次大地震发生之前。关东地震填充了这个平静区。

临近关东地震发生时, 还出现过一些异常变化。图 6 显示了热海温泉间歇喷发持续时间的变化趋势。一个平静的间歇泉突然在 7 月初喷发。正当这种异常活动开始引起注意时, 这次大地震就于 9 月 1 日发生了。这是一个非常明显的前兆事件的例子; 可以认为, 这种前兆现象反映了地下应力状态的重大变化。我们相信, 如果在那时, 能够进行现代的

地壳应变测量的话，我们将有可能在这次地震发生之前观测到较大变化。由于在关东地震之前存在长期地震活动异常图象和明显的地下水短期变化，我们相信，使用现在的观测系统，把地震预报出来是可能的。

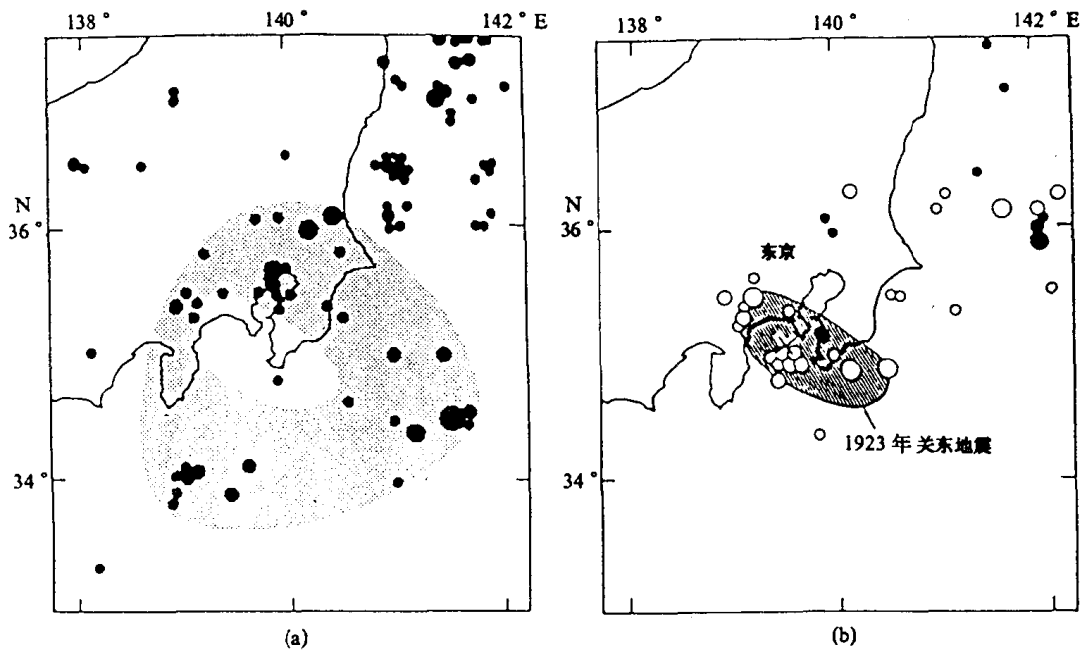


图5 1923年9月1日关东地震(M7.9)前后， $M>6$ 级地震分布
(a) 1885—1921年的地震；(b) 实圆：1922—1923年8月，空圆：大震之后的地震，
叉号为关东地震震中

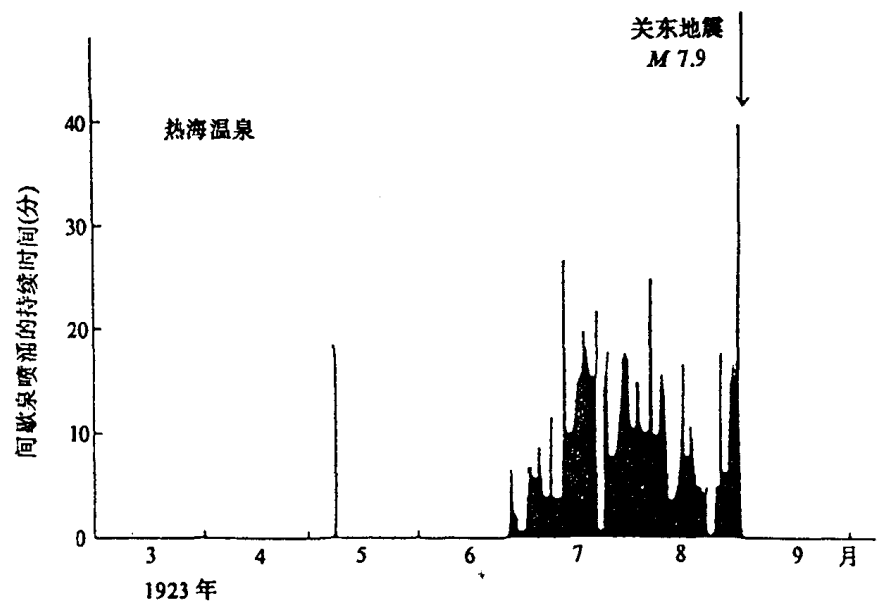


图6 关东地震前，热海温泉的间歇喷涌持续时间的变化

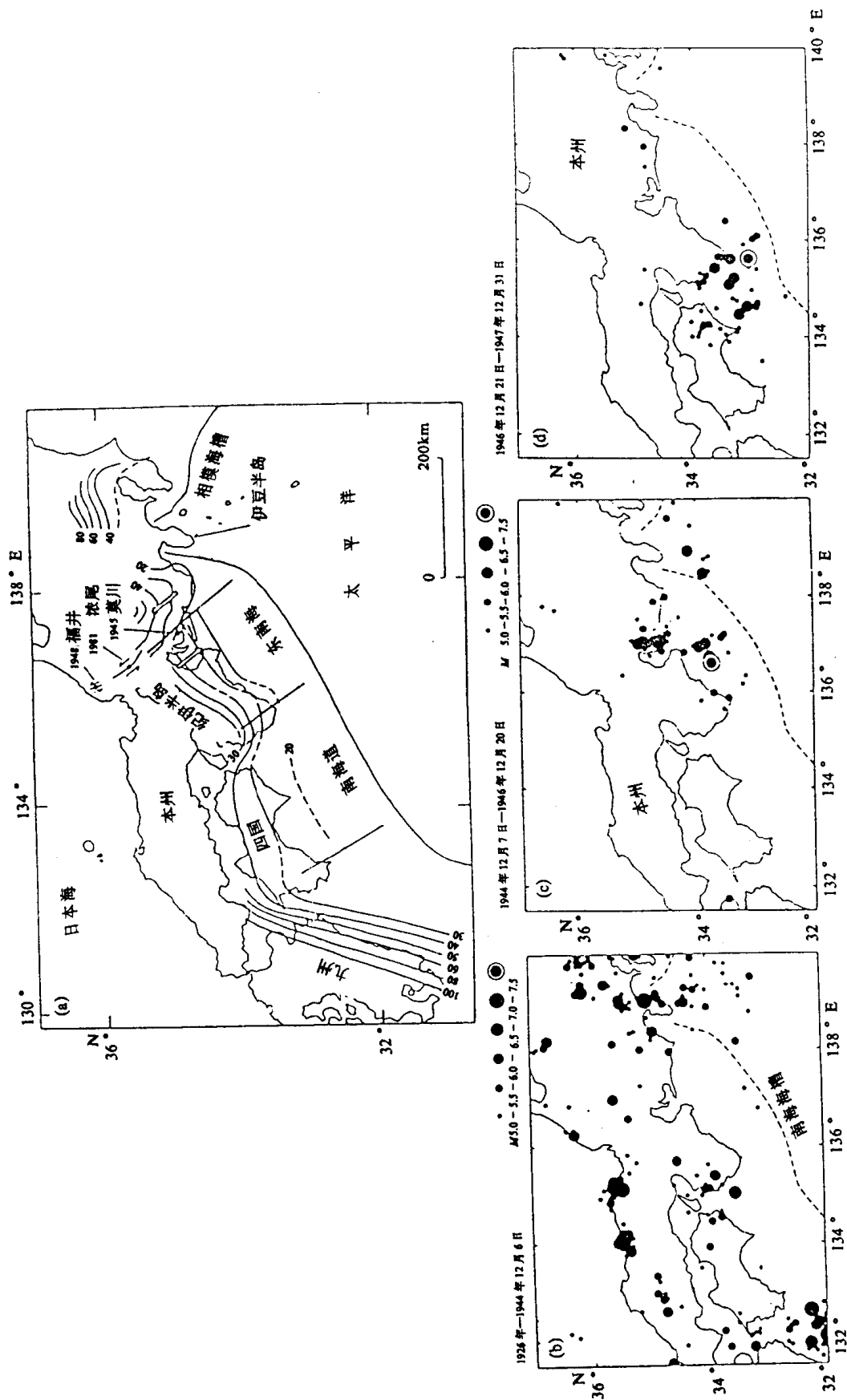


图 7 东南海和南海地震前后的浅源地震分布
(a) 菲律宾海板块北端俯冲带上深震面的轮廓; (b) 1944 年东南海地震前 20 年的地震分布;
(c) 1944 年 12 月 7 日东南海地震及其余震; (d) 1946 年 12 月 21 日南海道地震及其余震

3. 东南海(1944, $M7.9$)和南海道(1946, $M8.0$)地震

从东南海到南海道的震源区也曾经历了大约 20 年的异常平静期。与此不同的是, 在这个震源区周围有明显的地震活动, 其中包括几次七级地震, 特别是在日本海一侧, 有 1925 年的田岛 6.8 级地震, 1927 年汤加 7.3 级地震和 1943 年鸟取 7.2 级地震。这样, 就出现了一个像关东地震那样的、由活动区域包围的平静震源区的图象; 东南海和南海道地震发生了, 并填充了这个第二类空区。图 7 表示了这一情况。

在这两次地震发生之前, 也出现了短期前兆现象。东南海地震之前, 当时的水准测量人员沿着通过挂川, 静冈县的测量线路观测到一个大的地面倾斜。这次测量是应今村教授的要求进行的, 他曾预期该地区将有一次大地震再次发生。应用现代方法对这些测量资料进行分析, 则可发现这次地震发生之前 2—3 天, 向海的一边开始隆起; 并且这种地面倾斜持续加速, 直至地震发生。该曲线示于图 8。东南海地震发生两年之后, 在它的西边又发生了南海道地震。在这次地震发生之前, 在很远的四国西南部的土佐—清水, 验潮计记录显示出这次地震发生的前两天, 地面开始隆起。在这次地震前, 纪伊半岛和四国岛的沿岸, 也报告了温泉和水井的异常变化。这样, 在这两次地震发生之前, 都发现有长期和短期前兆现象。

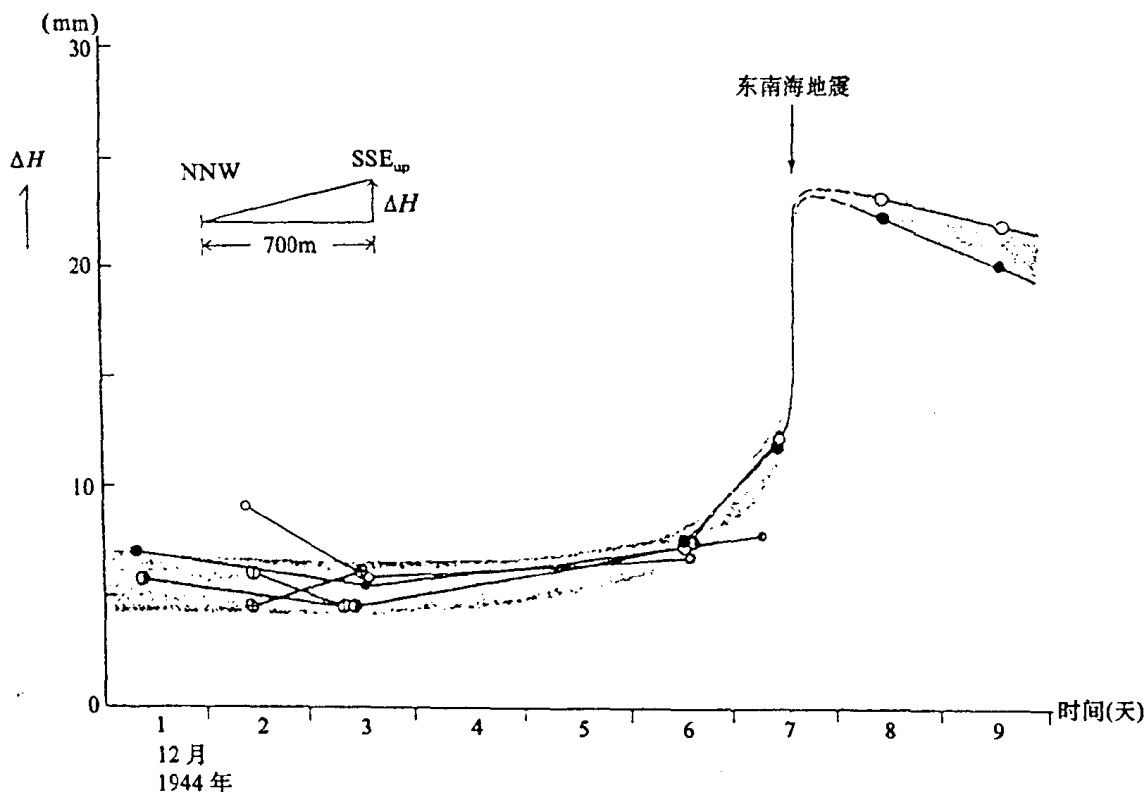


图 8 东南海地震前后, 由重复短水准测量推算的挂川附近地壳形变变化

4. 1983 年日本海地震($M7.7$)

这次地震是发生在日本列岛日本海一侧的最大地震之一。由于震源在秋田县海外, 所以不可能详细观测到震源区的情况。这样, 除了东北大学地震台网记录到一些小地震之外, 在这次地震发生前, 没有发现明确的短期前兆现象。但是, 在长期方面, 这次地震之

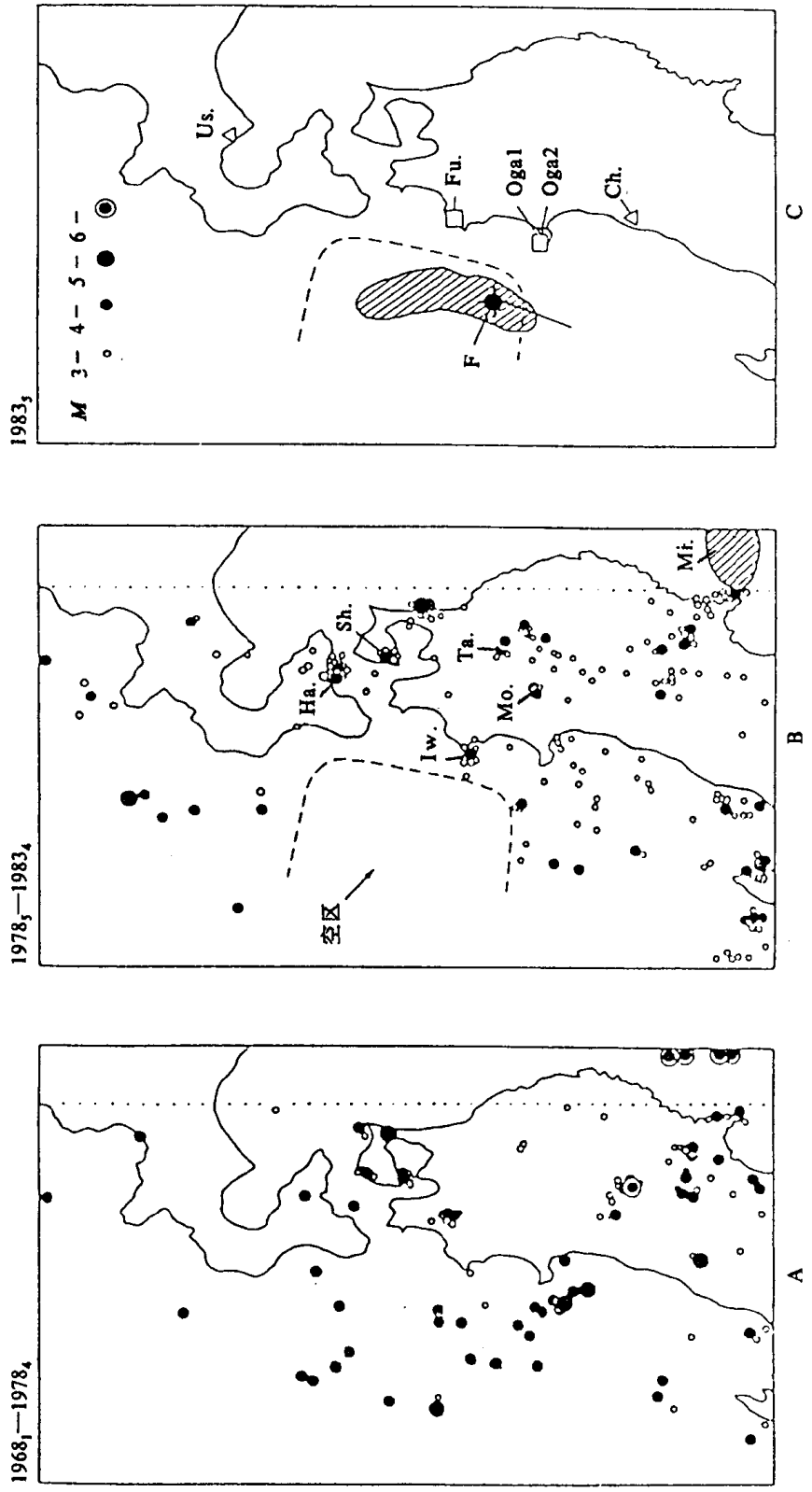


图9 1983年日本大地震前的地震活动(A和B), 这次地震前五年出现第二类地震空区, 在此期间发生的地震群用 Ha, Sh, Iw, Ta 和 M0 表示 Mi 前兆区震群; (C) 日本大地震的前震 F、主震及余震的震中

前也存在与关东地震和东南海地震一样的第二类地震空区。如图 9 所示, 从 1968 年开始约 10 年时间, $M > 4$ 级地震在这次地震的震源区内有明显活动, 但在此后的 5 年一直平静。在这次地震之前还有另外一些长期变化。这些全部综合在图 10。公共横坐标表示时间; 从上到下依次为震源区地震活动性、地震空区周围的地震群、火山活动和沿日本海岸地面的形变变化。这些活动差不多都在震源区平静下来的时候开始。这样, 这次日本海地震之前, 也存在长期和短期前兆。

上面的讨论主要是针对震级接近 8 级的地震。在每个地震中都存在地震平静 (第二类地震空区) 的长期地震前兆, 在某些情况下, 临近地震发生时观测到清楚的短期前兆。所以, 如果这样一些前兆能够有效地利用的话, 或许有可能进行地震预报。

5. “东海地震”问题

现在让我们研究近年来已讨论很多的东海地震的可能性。为什么要议论东海地震? 有没有可能预报一次将要发生的地震? 先看一看沿南海海槽大地震发生的方式, 这些地震都非常规律地在 100—150 年重复发生。图 11 为 1707 年宝永大地震以来的地震发生情况。

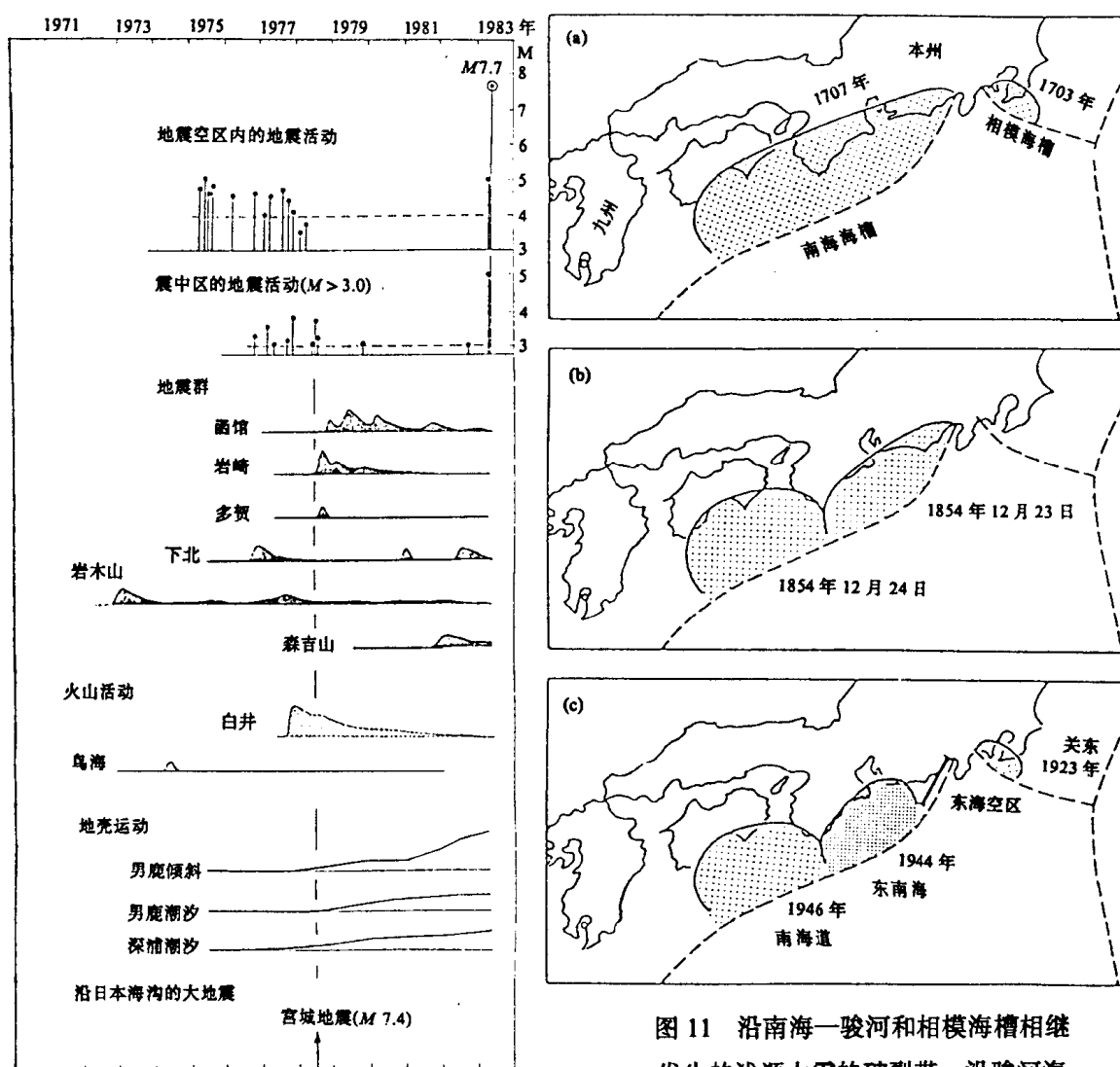


图 10 日本海地震前的前兆现象

图 11 沿南海—骏河和相模海槽相继发生的浅源大震的破裂带。沿骏河海槽的东海地区是第一类地震空区

与 1707 年这次大地震发生的同时，在沿着南海海槽的整个长度上产生了破裂。我推测，这次地震是日本有历史记录以来最大的一次地震。接下来是 1954 年 12 月 23 日发生在东海地区的安政地震；第二天，即 12 月 24 日，在南海道海外又发生了同量级的大地震。在本世纪，有 1944 年的东南海地震和 1946 年的南海道地震，这在前面已做了讨论。从古老的历史记录来看，由宝永地震和安政地震造成的破裂带的东端已达骏河湾。但 20 世纪中叶的东南海地震的破裂带东端只到滨名湖，而没有延伸到更东边的骏河湾。所以，沿骏河海槽的地区还没有破裂，从而可能构成了第一类地震空区。此外，大地测量结果清楚地表明，从伊豆半岛到静冈，横过骏河湾的距离正在缩短，骏河湾西岸正一年年地逐渐下沉。这意味着，骏河湾周围的弹性应变能正在继续积累。地震空区的长度约为 100 公里，存在发生大约 8 级地震的可能性。目前我们还不可能预报它什么时候发生。所以要做出极大的努力来观测其长期和短期前兆。比如，在最近十年里，从骏河海槽到南海海槽东部地区的地震正在平静下来；同时，在包括伊豆半岛的周围地区发生了一些 6—7 级的大地震；这与前述的一些大地震之前的地震活动图象相类似。继续观察这种趋势是非常必要的。另一项重要的工作是沿骏河湾西岸对其下沉变化进行测量，为此，地理测量所每年进行四次重复水准测量。

为了对东海地震做出实际预报，观测震前的前兆现象并准确地进行辨认是很重要的。为此目的，在东海地区，有一个包括地震、地壳形变、潮汐、地下水等项目在内的高密度观测网，将资料遥测送到东京的日本气象厅，并进行每天 24 小时的监视。如果观测到异常变化，地震评估委员会（为日本气象厅长官的顾问组织）将召开会议并做出判断。如果存在大地震发生的可能性，将给首相打报告并发出警报，相应的部门将进入运转状态，发布关于对这次大地震所要采取的措施的特种布告并开始执行。图 12 给出了用以观测东海大地震前兆的特定观测台站和日本气象厅资料收集系统。

这样，预报东海地震的系统是完备的，但能不能对这次地震做出实际预报？正如上面所讨论的，在 8 级地震的情况下，在地震之前出现预备性的活动是很可能的。特别是 1944 年发生在本区西边的东南海地震可能是东海地震的兄弟震。在东南海地震之前 2—3 天，曾观测到明显的地倾斜。如果在下一次的东海地震之前发生这样一个变化，则现今的高灵敏度观测网将观测到一个很大的变化，这就有了能预报这次地震的好机会。当然，对于这些将会发生的前兆变化，我们没有绝对的把握，因此就不能保证能够预报出这次地震。目前，我们正尽力做到，如果这类明显的前兆发生了，我们就最充分地利用它们以减小地震造成的损失。

6. 7 级地震

到目前为止，我们一直在考虑 8 级左右的地震，但是，在岛内，即便是 7 级地震也能引起大的破坏，与一次 8 级地震相比较，发生 7 级地震的机会更多。所以，现在把我们的研究集中在预防 7 级地震的尝试上来。在 7 级地震的情况下，震源区比较小，观测前兆现象的台站密度要比 8 级地震时高得多。这样一个高密度观测网不可能覆盖全日本，这是个实际问题。这就迫使我们做出决定：什么地方地震预报最重要，就集中在什么地方。在 8 级地震的情况下，把注意力集中在地表平静地区是可能的，但在 7 级内陆地震的情况，同样的方法可能不会起作用。这就是难于预报 7 级内陆地震的原因。因为似乎存在地震发

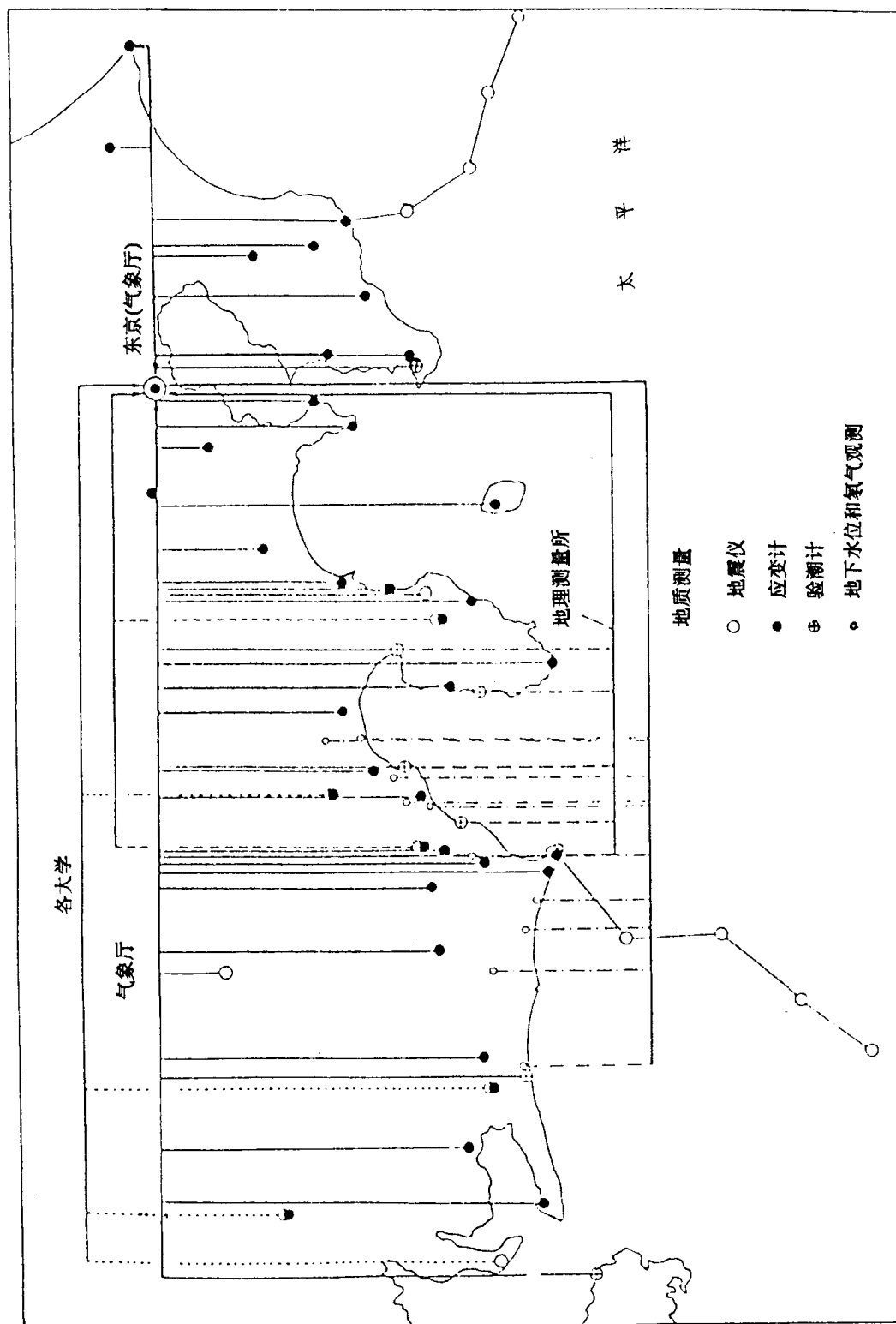


图 12 东海地区全天候地震观测系统的分布和资料传输系统

生的特征图象，所以，重视它们以解决这一问题是有必要的。

一般认为，7级地震的前兆现象是弱的，以至应用它们难以预报这样的地震，但事实上，情况并不总是这样，让我们考察一些具有代表性的，曾经观测到比较强的前兆现象的情况，两个这样的例子是1975年中国辽宁省海城地震和1978年日本的伊豆大岛琴海地震。这两次地震前都有显著的前兆现象。这两次地震的前震活动示于图13。由图可以看

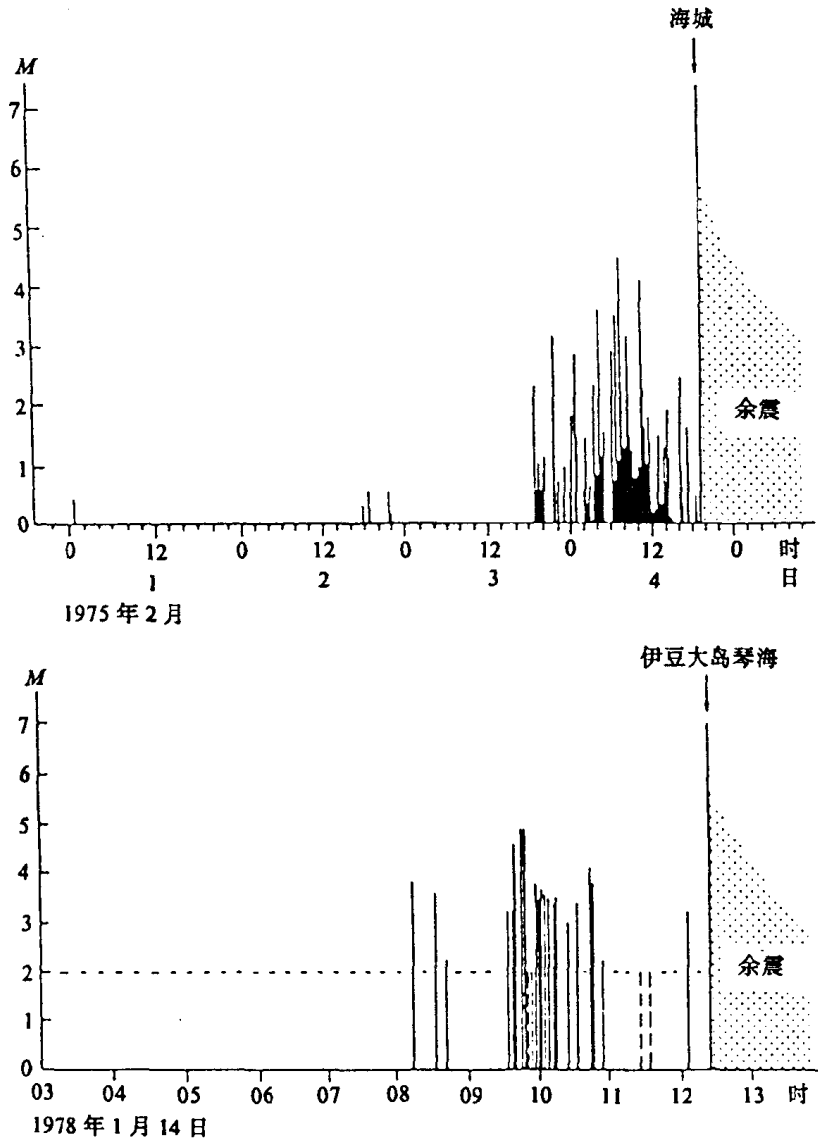


图13 1975年海城地震和1978年伊豆大岛琴海地震的前震序列

出，震前活动水平突然增强，之后，在主震之前衰减下来。这是典型的前震序列图象。图14是海城地震前，各种前兆异常随时间的变化。利用这些前兆信息减轻了此次地震损失，这次地震因成功预报而闻名。强烈的前震发生在这次地震预报中具有决定意义。

图15是1978年伊豆大岛琴海地震发生前观测到的前兆现象。在这次地震前，不仅有显著的前震，而且还观测到一些其他前兆现象，如地壳应变异常、地下水位、氡含量和温泉温度变化。这次地震是日本的7级地震中前兆数量最多的一次。看来，预报出这种地震

要有必要的观测网和适当的评估机构。但是这样一个系统并不存在，图中的所有前兆现象中，日本气象厅只实时收集到前兆地震资料和应变资料。

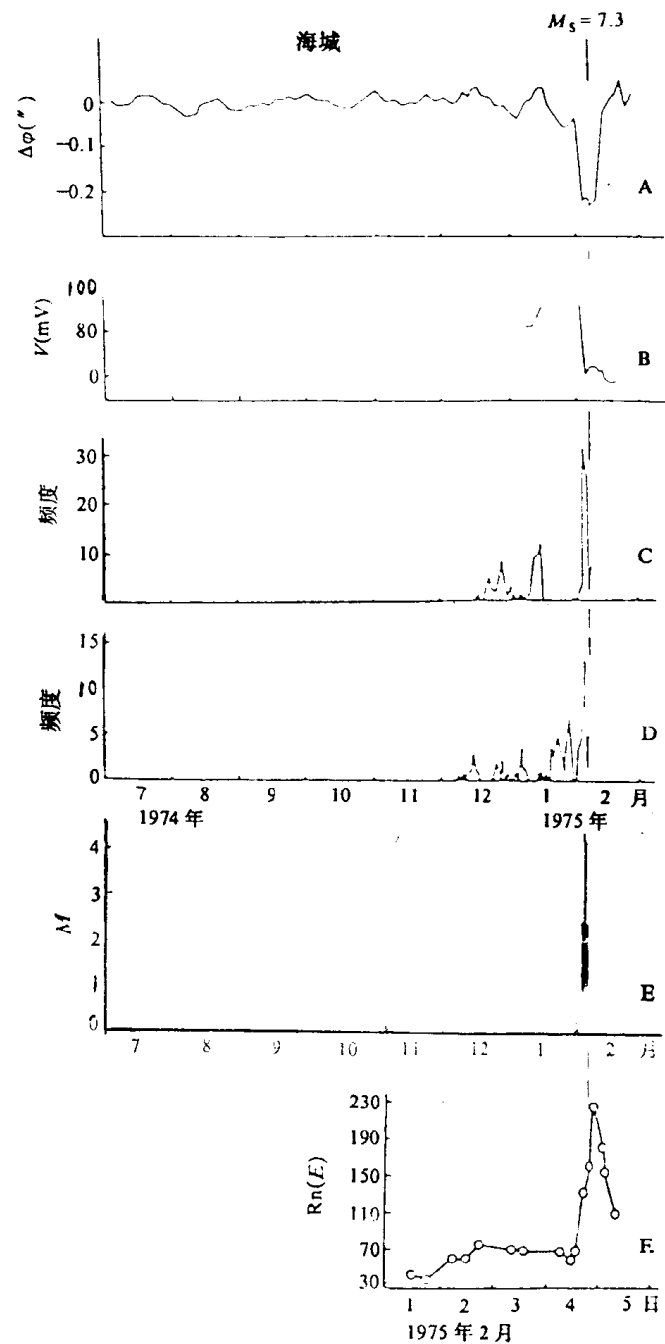


图 14 海城地震前的短期异常变化

A: 沈阳地倾斜; B: 营口电位差; C: 丹东地区动物异常数量; D: 丹东地区地下水异常数量;
E: 前震; F: 柳河汤温泉的氧含量