

现代化的



日本地震综合监测网络

李卫东 王 宜 编译



地震出版社

现代化的 日本地震综合监测网络

李卫东 王 宜 编译

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代化的日本地震综合监测网络/李卫东, 王宜编译.

北京: 地震出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-5028-3508-8

I. 现… II. ①李…②王… III. 地震预防—研究—日本 IV. P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 159243 号

地震版 XT200900111

现代化的日本地震综合监测网络

李卫东 王 宜 编译

责任编辑: 王 伟

责任校对: 庞亚萍

出版发行: **地震出版社**

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

工程图书出版中心: 68721991

E-mail: 68721991@sina.com

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版 (印) 次: 2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 266 千字

印张: 10.5

印数: 0001~1000

书号: ISBN 978-7-5028-3508-8/P (4228)

定价: 40.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

怀着敬畏的心，我们改造世界

日本人有四怕，“地震，火灾，雷电，父亲”，而四怕之首就是地震。日本处在环太平洋地震带上，全世界震级在里氏6级以上的地震中，1/5以上是发生在日本，轻微有感以上的地震更是达到平均每天4次之多，地震活动相当频繁，因此，日本也有了“地震国”的称号。

地震是给日本带来了极大破坏的自然灾害，但也促使日本逐步建立了一个完善的防震减灾体系，而其中现代化的地震监测网络就是其中重要的组成部分。

1995年的日本阪神地震造成了超过6300人的死亡，至今日本社会各界对地震的经验和教训还在总结。在此之后，日本3次修改《建筑基准法》，1995年在地震科学局和主管部门的呼吁下，日本开始制定并实施“地震基础观测调查计划”，该计划对日本的微震网络、强震网络、甚宽频带网络、GPS观测网络、海洋观测网络、烈度速报网络、通信网络等都进行了系统的规划、整合和完善。本书主要对日本这些监测系统的不同时期的建设成果材料进行了汇编、归并、总结和编译。力图把日本这个“地震国”的地震观测网络的现状清楚地介绍给中国读者，希望借他山之石对中国今后的防震减灾建设，特别是地震监测网络的规划建设有所帮助。

人们常说要怀着敬畏的心态改造自然，当看到地震造成的巨大损失，人类的生命在自然力面前是那么渺小的时候，我们的确是应该谦卑的，同时作为地震工作者，我们心中却又充满着社会责任感，怀着这样的心境，我们度过了去年的5月，也是怀着这样的心境我们编译了这本书。

本书第1、6、7、8章节由李卫东同志编译，2、3、4、5章由王宜同志编译。在本书出版之际，特别感谢卢振恒研究员为本书进行了大量的素材收集和整理工作，本书的出版还得到了许多同仁和领导的大力支持，这里一并谢过。受编者的水平和资料来源，本书在选题、翻译加工等方面，难免有疏漏和谬误之处，敬请读者予以谅解并给予批评指正。

李卫东 王 宜

2009年6月

目 录

第一章 高密度高灵敏度地震观测网	1
一、高灵敏度地震观测网建设的规划	1
二、建成后的高灵敏度地震观测网 (Hi-net)	2
三、Hi-net 成果	6
第二章 宽带地震观测网	17
一、宽带地震观测网建设的规划	17
二、宽带地震观测网建设过程	18
三、F-net 概况和数据通信	19
四、成果说明 (矩张量 MT 解)	20
五、宽带地震观测记录得到的地震凸凹构造	20
六、宽带地震观测的将来	21
第三章 高度现代化强震动观测网	22
一、强震观测网建设的规划	22
二、建设和完善强震观测网的方案	25
三、强震动观测网的运行	28
第四章 GPS 大地观测网络系统	32
一、GEONET 观测网建设规划	32
二、观测研究现状	34
三、GEONET 观测网建设过程	36
四、取得的进展与成果	42
五、GPS 应用范围十分广泛	49
六、今后展望与问题	50
第五章 海底电缆式巨震综合观测网	52
一、建网规划	52
二、日本海底地震观测系统	62
三、探索地震源头的四年计划	67
四、世界性长期海域观测动向——未来的海底地震观测网略	72
五、海底地震观测初步进展与问题	74
第六章 地震计测烈度信息观测网	85
一、烈度——与地震灾害程度关系最相关的重要数值	85
二、日本的烈度观测	89
三、建设完善计测烈度观测网	91
四、烈度观测的现代化成果与发展方向	92

五、烈度信息客观观测与处理	94
第七章 地震灾害信息网	100
一、地震信息系统建设背景	100
二、地震灾害信息系统规划	100
三、观测数据处理与公布的要求	107
四、建设完善灾害信息通信网络的总则	112
五、专用防灾通讯网络体系	114
六、现代信息通信技术的应用	129
第八章 紧急地震速报网	133
一、紧急地震速报原理与结构	133
二、紧急地震速报计算及处理方法	135
三、紧急地震速报内容与发布条件	144
四、紧急地震速报的服务	149
五、今后中长期发展和展望	153
参考文献	155

第一章 高密度高灵敏度地震观测网 (Hi-net)

一、高灵敏度地震观测网建设的规划

地震调查研究促进部门于 1997 年 8 月制定了作为综合性地震调查观测计划核心内容的“地震基础性调查观测计划”。该计划内容包括：①地震观测；②地震动观测（强震观测）；③地壳变化观测（GPS 连续观测）；④陆域与沿岸区域活断层调查等。其中地震观测分为“陆域高灵敏度（观测频带主要为 1Hz 以上，一般称为短周期地震计）地震仪地面观测（微地震观测）”和“陆域宽带地震仪地震观测”两项（图 1-1）。

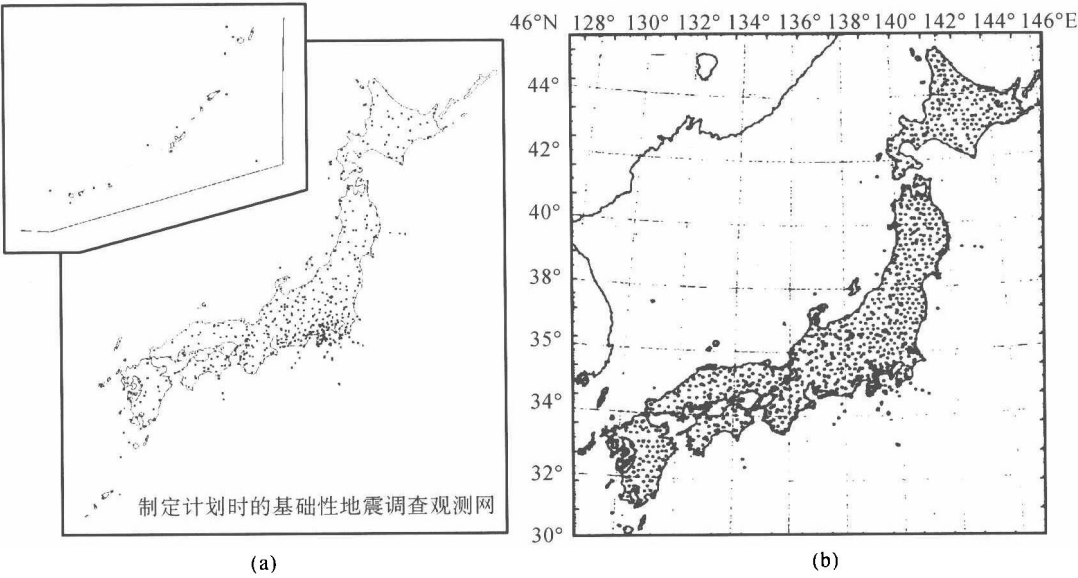


图 1-1 规划前地震观测网 (a)，规划完成后的高灵敏度地震观测网 (Hi-net) (b)

1. Hi-net 建设目标

Hi-net 系统的主要目的是应用灵敏的地震仪检测出小震，通过确定震源和发震机制获得地震活动类型、形态和地下构造、地壳应力等方面的信息。

2. Hi-net 建网设计

1) 建网密度

覆盖日本列岛的高密度高灵敏度地震观测网，建设水平间隔 15~20km 的观测网；三角网格的宽带地震仪观测网，建设水平距离 100km。

2) 观测精度

内陆地震发生在地壳上部（15~20km）地区，其深度下限可以反映地震的最大规模，提高内陆地震的震源和发震机制的决定精度，有助于发现≤3 级以上地震的发震机制和震源

过程（断层破裂状态）。

3) 监测预测能力

①增强评价长期性地震发生的可能性。②掌握和评价地震活动的现状。③提高地震动预测、海啸预测水平。④为早期传达地震信息提供所需基础数据。

4) 其他功能

可用于高精度判定内陆地震震源和发震机制，有助于掌握引发地震破坏后断层的状态等。同时，其综合性功能将有助于发现和积累板块和地壳构造、掌握地震活动类型、地壳构造和地壳应力的变化方面的知识。

二、建成后的高灵敏度地震观测网（Hi-net）

1. 烈度信息的重要性

烈度信息在地震科学和防灾科学研究上具有重要地位和作用，所以对烈度的观测和研究更为重要。其中最为重要的两个问题是：一是如何从量上扩大烈度信息，即如何改善观测点的密度问题；二是烈度信息质量的提高。二者相辅相成，关系相当密切，日本在总结了1995年阪神地震烈度（强震动）信息观测点现状的基础上，制定了今后发展的规划。

2. 1995 年的 Hi-net

Hi-net 主要目的就是提高微小地震的检测能力，正确掌握日本列岛地震活动状况，为地震调查研究建立基本数据库。为此，地震与非地震信号的分辩，特别是车辆和工厂作业等造成的干扰就是微小地震观测的最大问题。

因此，排除地震发生地的干扰信号，对于 Hi-net 所有观测点都要挖掘观测井，在井底设置传感器（图 1-3）。观测井的标准深度是 100m，但具体的深度还要根据地质条件和干扰环境而定，有的场合需要挖掘 2000m 以上。

日本在 1995 年阪神大震灾时，气象厅和防灾科学技术研究所、大学等部门在全国约 550 个点实施高灵敏度地震观测（图 1-2、图 1-3）。遗憾的是，这次观测是以特定地区的地震预报为目的，观测点间隔因地区而异，处理是各部门分别进行的。因此，资料数据库很不统一，信息公开也不充分。

阪神大震灾再一次证实了地震预报的科学难度，预报的首要工作是了解地震的成因。从这一观点出发，提出根据高精度的信息积累推进地震科学研究的策略，就是要建设全国均匀的观测网，以均一检测能力从客观上掌握地震活动规律的同时，仅限于研究的数据和处理结果还可以公开和扩大数据信息的应用面。

3. 2005 年的 Hi-net

1) 充分利用原有的高灵敏度地震观测设施

按基础性调查观测网计划，在空间布设高灵敏度地震观测网是以水平距离 15~20km 的三角网为目标。在建设该网时，要尽可能地利用原有的高灵敏度地震观测设施。对于原来的高灵敏度地震观测设施仍由国立大学、气象厅、防灾科研所等维持运营。但它仍未达到“全国均匀的可检测微小地震观测网”的要求。为建设全国范围均匀的观测网，按计划，科技厅于 1995、1996 年在中部、关西地区，1997 年在中国四国地区建设该网。1998 年在水陆、北关东东北地区，1999 年在北海道地区建设该网。

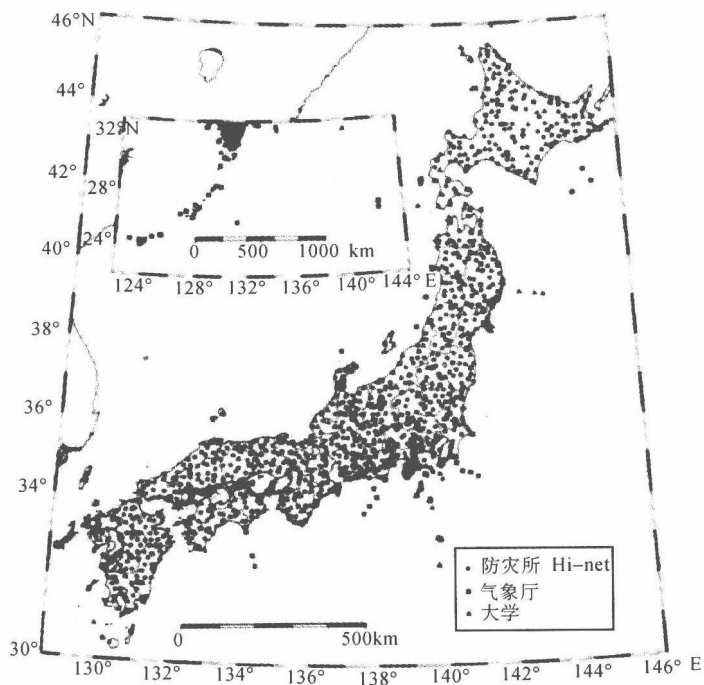


图 1-2 防灾科研所、大学、气象厅等高灵敏度地观测点

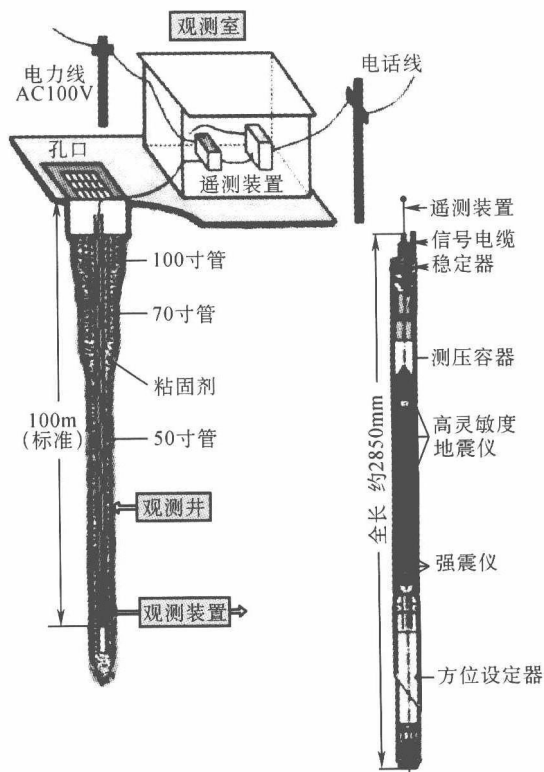


图 1-3 Hi-net 观测井与观测装置

2) 日本全国建设 20km 间隔的观测网

内陆发生地震的深度通常在 15~20km 或更浅处，为准确确定其深度和推定今后预计可能发生的地震震级的强度，日本地震调查研究推进本部主案建设了覆盖全日本列岛的观测网，其观测网是边长约 20km 的正三角形网络。

由防灾科学技术研究所承担高灵敏度地震观测网（Hi-net）的全国性建设任务，从 1995 年开始，新的观测点在避开气象厅、国立大学等已设置地震观测点的周围，重新设置了约 500 个观测点。

3) 地震仪设置在 100m 以下的深度

高灵敏度地震观测的主要目的是提高微小地震的检测能力，捕捉人感觉不到的微震对地震仪造成的摇晃，更准确记录地下信号，准确掌握日本列岛地震活动状况，为地震调查研究建立基本数据库。准确捕捉地震的信号，首先要避开车辆和工厂作业等干扰源，选择特别安静的场址进行钻观测井，因此，观测井的深度要求避开气象等因素的影响造成的地表附近的干扰，Hi-net 所有观测点都要挖掘观测井，地震仪设在其孔底硬质的岩盘上，钻井的井深至少 100m，在井底设置传感器（图 1-3）。

观测井的深度标准是 100m，并要根据地质条件和干扰环境而定，地质条件差的和交通干线道路附近地点的观测井深度要达到 200~300m，所选择观测井场址若在城市市区附近干扰较大的地方，井深要在 200~300m，大城市市区要钻千米级观测井。高灵敏度地震仪灵敏度非常高，车行或工厂作业等振动信号都能捕捉到。因此，有的场址井深还要达到 2000m 以上。

4) 小地震也能检测的高灵敏度地震仪

地震仪分高灵敏度地震仪、宽带地震仪和强震仪三种。高灵敏度地震仪可检测到人感觉不到的微震。主要作用是有效掌握震源位置和地震活动状况。为避免地表附近的非地震干扰，高灵敏度地震仪通常都设置在深 100m 左右的井底（图 1-4）。

Hi-net: 覆盖日本列岛的高密度、高灵敏度
地震观测网



图 1-4 高灵敏度地震仪观测网的微小地震观测

宽频地震仪是一种可检测到一般地震仪不能捕捉到的长周期缓慢摇动的地震仪，一般均匀设在横坑内，主要用来发现地震发生机制和地球内部构造。

强震仪是一种观测不论多么强烈摇晃都不出格的地震仪，一般布设在地表，主要用来掌握不同场地地基摇动的不同情况和地基构造。

4. Hi-net 数据一体化及共享

目前，在日本全国范围的观测分两类：一是全国范围观测点；二是地区性的高密度观测网。全国性观测点是以气象厅、科技厅、自治省消防厅为主的观测网。1995 年 1 月阪神地震又一次使人痛感地震预测预报的困难，进一步说明了地震现象的复杂性，也充分说明了要发现其发震机制必须有充分的基础资料。因此，为了推动地震调查研究；国家制定了法律，其中之一是由防灾科学技术研究所建设完善的高灵敏度地震观测网 Hi-net。之前观测网都是气象厅、大学、防灾科技所等按各自的目的建设的，观测点的配置间隔各异，很不统一。为了整合全国性地震检测能力并规范标准，对已有的观测点进行合并，统一以约 20km 间隔均匀的高密度的布设观测点，并以防灾科技所在关东与东海地区布设的微震观测网为样板，建设完善了 Hi-net。目前（2005 年编者），Hi-net 有 700 个点，加上其他部门的，已有 1200 个观测点，覆盖了日本列岛（图 1-5）。

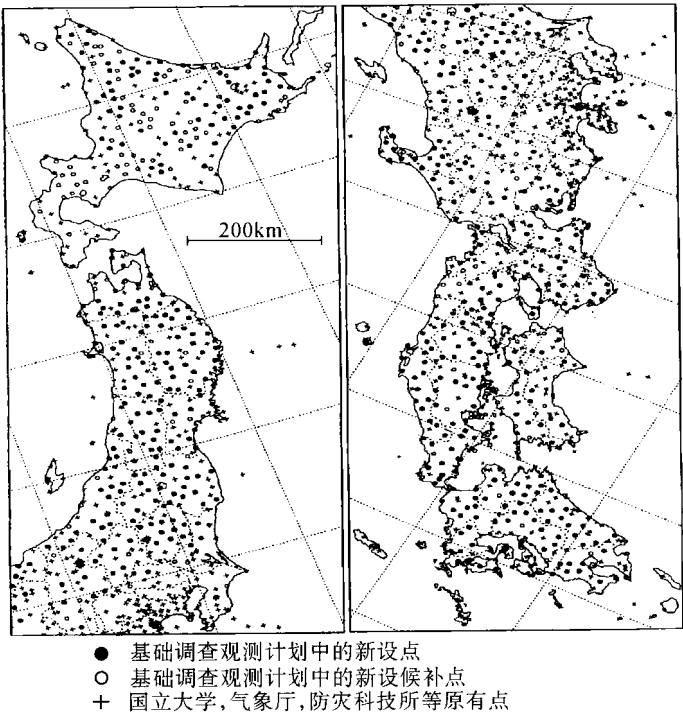


图 1-5 高密度高灵敏度地震观测网配置图

属于 Hi-net 网的大学、气象厅等部门所有的高灵敏度地震观测数据要连续用实时方式交换，全部数据的利用可各取所需。防灾科学技术研究所作为数据流通、保存、公开中心，所有地震波形数据全部档案化，并通过互联网，全部公开。另外，气象厅作为数据处理中

心，所有的数据全部一元化处理，用于确定震源和发震机制解，以便及时准确掌握全国的地震活动状况。

通常，内陆地震发生在地壳上部 15~20km 以上地区，其深度下限反映地震的最大强度。所以，为了达到准确捕捉这样地震的目的，计划建设水平间隔 15~20km 的观测网。新建设的防灾科学技术研究的 Hi-net，其结果和原有的观测点配合，成为覆盖日本列岛的高密度高灵敏度地震观测网。

三、Hi-net 成果

1. 观测点增加了 1 倍

2005 年，日本全国范围的观测分为全国范围观测点和地区高密度观测网两类（图 1-6 和图 1-7）。

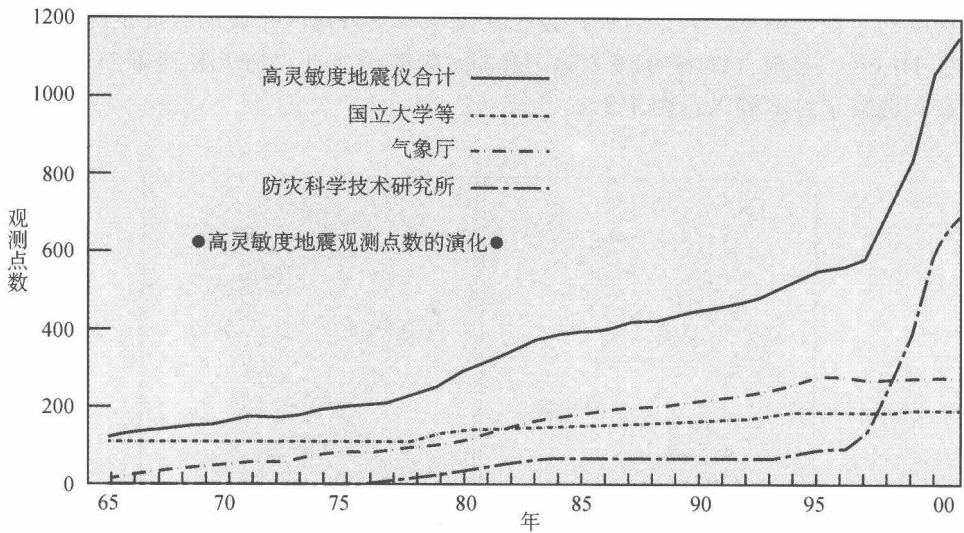


图 1-6 高灵敏度地震观测网点的演变

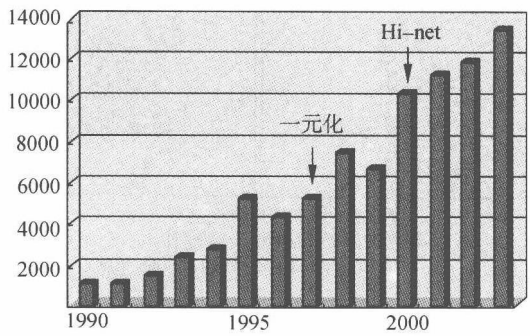


图 1-7 气象厅震源确定数目的推移

其中全国性观测点的代表之一气象厅的观测网建设进展最大，在阪神地震以后，其主要进展是：①观测点数从过去的 300 个增至约 700 个；②可以测量到烈度 7 度，并可分辨出烈

度 5 度和 6 度的弱和强的等级（即 5 度弱、5 度强、6 度弱、6 度强 4 个等级）；③在主要观测点配备地面通讯和卫星通信两套系统，在观测 5 度弱以上的强震，地面系统出现故障时，可以通过向日葵号同步气象卫星提供的通信线路进行通信；④观测点重点配置在人口生活密集内，观测点间距在 20km 以内；⑤最大限度充实了地震后的防灾信息；⑥统一了各种仪器的数据产出的格式和处理方法。

通过这些改进和完善，在内陆发生 7 级范围的地震时也能准确测量烈度 4 度（日本采用 7 级烈度，大致相当于中国的 6~7 度烈度）或以上的地区的信息。另外，还充实加强了报道部门与气象厅信息发布对应的渠道处理方法。在地震发生后的几分钟，不仅有关防灾部门，就连一般居民都可立即知道地震的震中、有无灾害、灾害程度等相应的灾害信息。

2. 提高地震监测能力

随着 Hi-net 的逐步完善，取得了各种各样的成果。其中之一就是地震监测能力得到进一步提高，实现了 Hi-net 的建设目标。例如，1994 年气象厅在日本全国监测到的地震数，一年期间约 30000 个，与此形成鲜明对比的是，完善的 Hi-net 网在 2001 年就捕捉到约 120000 个地震，是以前的 4 倍。充分说明它能监测出更小的地震。再如，在和歌山市周围准确监测到的地震震级下限是 1 级以下（图 1-8），与此同时，决定震源精度的精度也提高了，2004 年 10 月 23 日发生的新潟县中越地震，有好几条断层面是由余震分布分析得到的，这也是高密度布设地震观测网的成果。

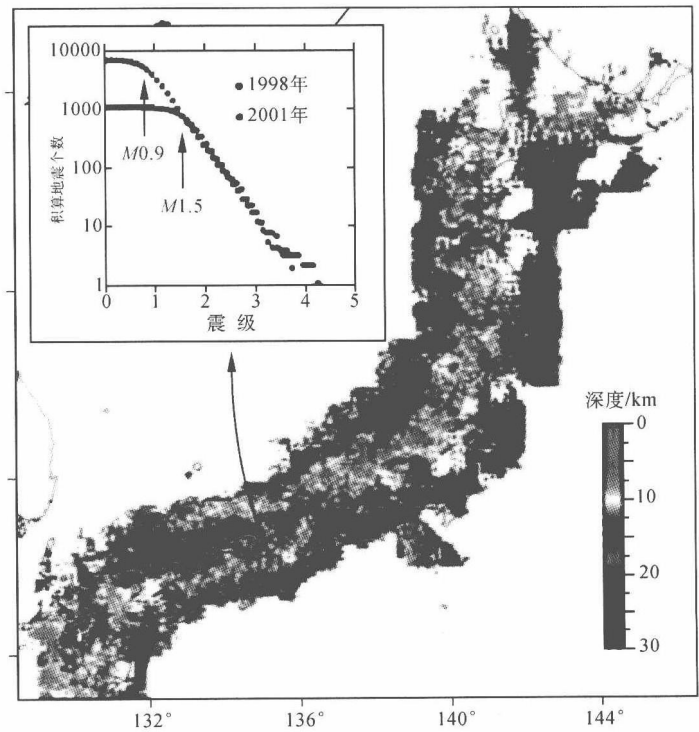


图 1-8 根据气象厅一元化数据得到的浅震（30km 以浅）的深度下限分布（颜色不同表示深度下限，空白区是地震活动低的地区。左上为和歌山周围地震活动不同震级积累的地震个数，分布的弯曲部分表示监测能力）

3. 获得了较准确的浅源地震震源深度下限的信息

一般来说，其下限分布与热构造有关，温度高的地区，地震下限变浅。例如，在日本东北地区，在有火山存在的脊梁山地就比较浅，与此相反，在沿岸部则变深。

在日本西南地区，地震下限变浅的范围有两处是平行存在的，根据这些结果，则可大大推进评价内陆地震最大强度的调查研究。

4. 发现深部低频微动

一个预期之外的成果是在日本西南发现深部低频微动。活动性火山，存在微弱摇动长时间持续的火山性微动现象，而与此相似的振动现象，在并没有火山的西南日本广大范围内也出现了。微动的振幅非常微弱，与人为性干扰相似。但在邻近的很多 Hi-net 观测点同时观测到这样现象，就可以判别它是一种自然现象（图 1-9 至图 1-16）。

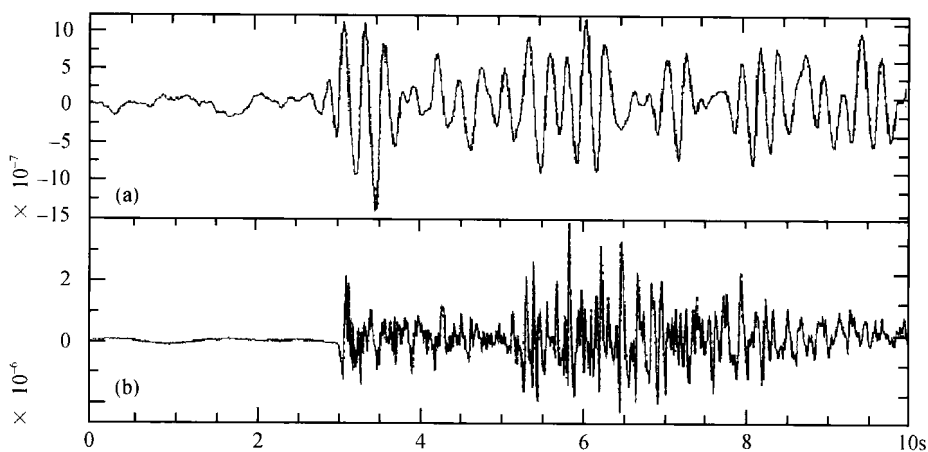


图 1-9 富士山发生的低频地震 (a) 和一般地震 (b) 地震波的比较

日本防灾技术研究所 Hi-net 的微小地震连续观测得到的这一现象，如图 1-13。上图为四国西部伊方 (IKTH) 2001 年 8 月 17 日 4 时始 1 小时的连续波形记录。从图中我们发现整体上有缓慢活动，即微动。这在以前是难以观测和难以辨认的，而 Hi-net 由于高质量的高密度的网络，微弱的信号均被该网的许多点同时观测到。图 1-13 下图是四国西部 8 个观测点的 1 小时的包迹波形记录 (nm: 毫微米, s: 秒)。

从 35 分到 50 分出现振幅升高，几个点都同时观测到，可以排除人为性干扰，是一种自然现象，即微动。包括波形的变化形态在不同点上也是相似的，这反映了微动的发震源的活动情况。而且，其变化形式可推定是水平向以约 4km 速率传播的。排除气象变化和风等的表面现象，断定微动源存在于地下深处，其振动是以 S 波速度传播的。微动的卓越频率虽在 2Hz 以上，但与一般地震比较，仍很低的，所以称之为低频微动。

在这个时间段的后半，微动虽然是连续的，但前半部仍有脉冲性包迹波形，包含较孤立性的波动。日本气象厅读取这种孤立性的波动时附以低频地震用以震源的确定。其图上 1 小时中的 4 时 05 分的两个低频微小地震，都被气象厅收录到目录里。与此同时，还对①从地震的连续波形记录判别微动，②分析微动的震源确定与地理分布关系，③微动的活动周期与微动源的移动关系，④微动发生机制与地下流体关系等问题进行探讨，并得到很多成果，这里只给出有关的图件，说明其进展。

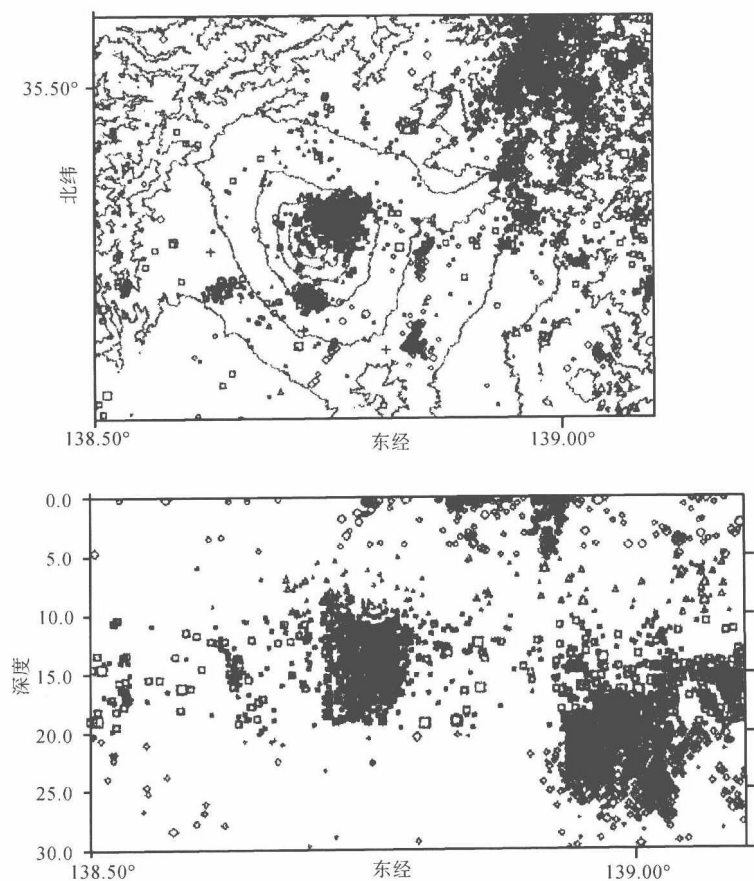


图 1-10 富士山周围的震源分布图 (1995 年 4 月 1 日至 2000 年 2 月 28 日)
密集处为低频地震的震源

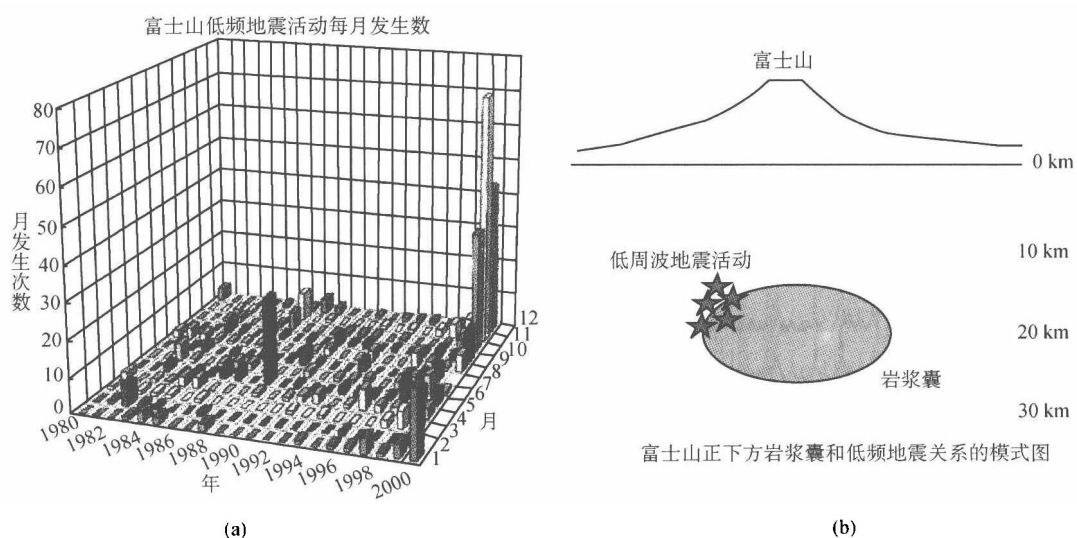


图 1-11 富士山低频地震活动的月发生数 (a)、低频地震发生模式图 (b)

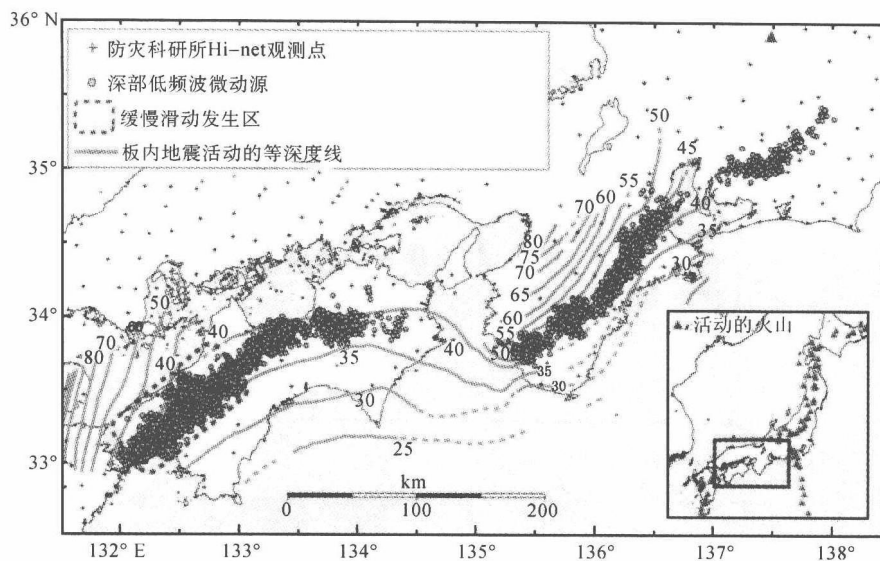


图 1-12 日本西南发生的深部低频微动分布与短期性缓慢滑动发生区

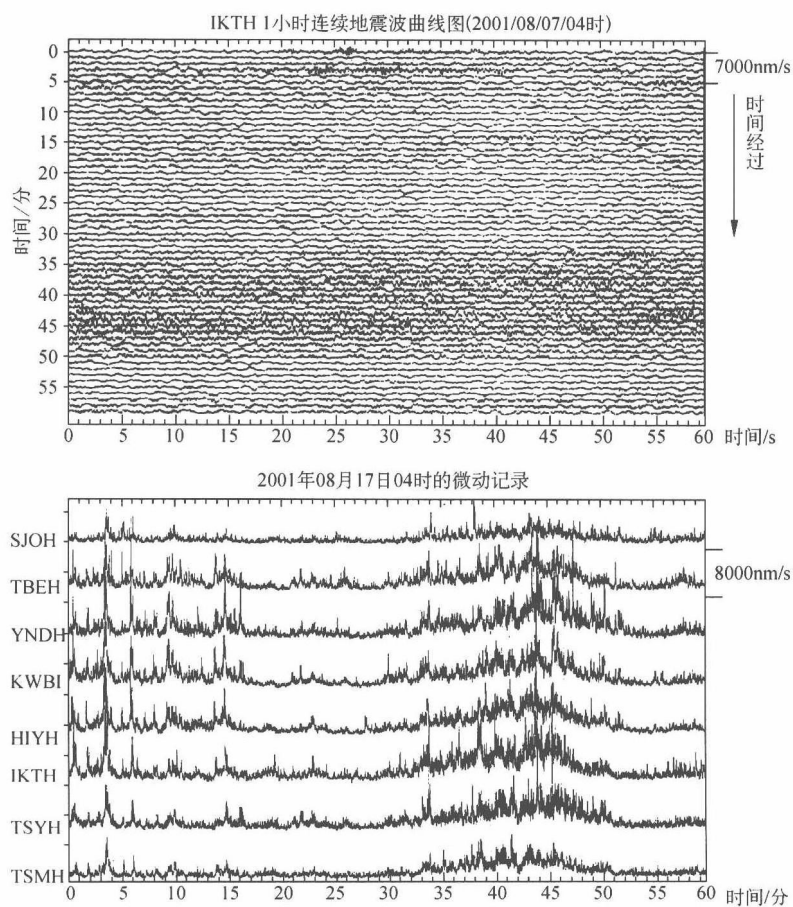


图 1-13 四国西部伊方 (IKTH) 2001 年 8 月 17 日 4 时始 1 小时的连续波形记录

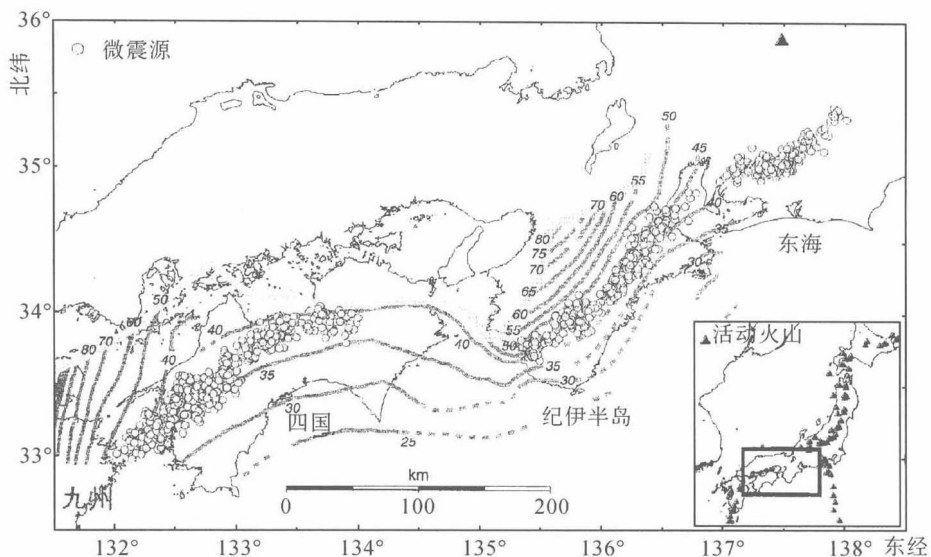


图 1-14 微震源的震中分布 (2001 年 1 月 1 日至 12 月 31 日)

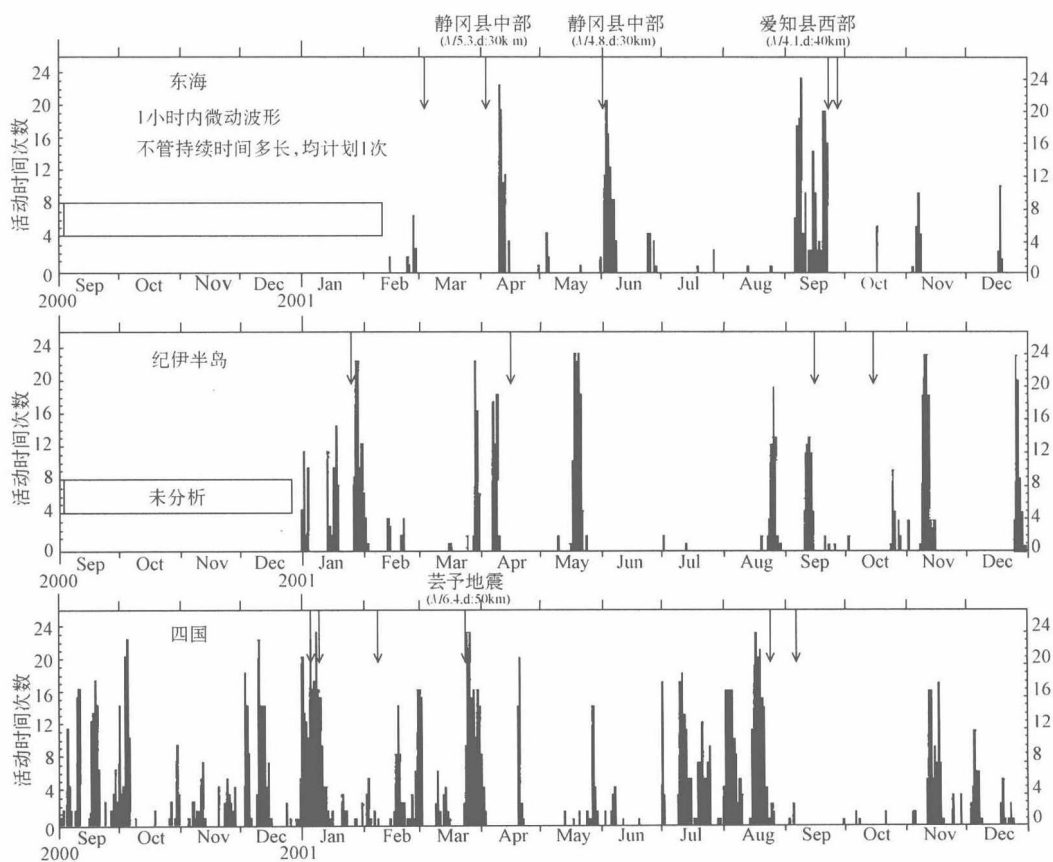


图 1-15 东海地区、纪伊半岛、四国的微震活动的时间序列 (2000 年 9 月 1 日至 2001 年 12 月 31 日, 周围发生的 4 级以上地震, 用箭头表示; M : 震级, d : 深度)