

张 炜 唐仲兴 徐玉华 冯绚敏等译
唐仲兴 张 炜 卢振恒等校

日本地震地球化学研究

海洋出版社

日本地震地球化学研究

张 炜 唐仲兴 徐玉华 冯绚敏等 译
唐仲兴 张 炜 卢振恒等 校

海 洋 出 版 社

1993.12

[京]新登字 087 号

内 容 提 要

书中介绍了日本地震地球化学研究工作取得的新进展,讨论了地球化学方法预报地震的理论、方法及实例,阐述了火山活动引起的氮同位素及温度效应,介绍了地震地球化学观测系统,可供地震、地球化学、水文地质学等专业的科技工作者和高等院校有关专业师生参考。

日 本 地 震 地 球 化 学 研 究

张 炜 唐仲兴 徐玉华 冯绚敏等 译

唐仲兴 张 炜 卢振恒等 校

责任编辑 王加林

特约编辑 卢振恒

海 洋 出 版 社 出 版

北京农林科学院印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 11.25 印张 288 千字

1993 年 12 月第 1 版

印数: 0-1000 册

ISBN 7-5027-3342-6 / P311

定价: 10.00 元

前 言

日本是开展地震地球化学研究较早的国家之一，自 1973 年开始，日本科学家就开展了利用地球化学方法预报地震的观测和研究，1978 年在东京大学理学部成立了地震化学实验室，在日本确定的地震重点监视区开展了长期的观测、建立了地震地球化学观测台网、开展了观测仪器的研制以及观测资料的分析处理、数据的遥测传输、多项地球化学地震前兆研究工作，特别是在利用 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值变化解释震群的发生等方面都取得了很好的效果。

本文集收集了日本地球化学专家近几年来发表的有关地震地球化学研究方面的论文，内容涉及到利用氦含量变化预报地震的理论与方法及震例；氢的逸出与地震活动性关系；地震和火山活动氦的变化；氦同位素的精密测定方法；以及利用地下水其他气体、化学成分变化、水温变化预报地震；地震地球化学观测系统； $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的地球化学特征等多方面内容。内容十分丰富，反映了日本在地震地球化学学科领域的新进展，对我国从事地震前兆研究的人员具有很好的参考价值。

本文集由张炜、唐仲兴、卢振恒组织编译，共收集论文 25 篇。全书由张炜、唐仲兴、徐玉华、冯绚敏等译校，参加译校的还有卢振恒、李正蒙、魏家珍、王永才、邢玉安、黄振义、范思源、陈华静、高元勤、史勇、王大宏、姚兰于、王振亚、张华岩、高中和、杨林章等。

编辑组成员为：唐仲兴、张炜、卢振恒、邢玉安。

日本地震地球化学研究

目 录

前言

短期和中期的地球化学前兆	(1)
东京大学理学部地震化学 10 年工作进展	(9)
地震的水氢异常	(12)
深源地震引起的地下水中氢浓度的变化	(27)
反映区域应力场变化的水氢变化	(34)
水氢异常和地震相关性的统计研究	(43)
1984 年 9 月 14 日长野县西部 6.8 级前阿哲河断层上氢逸 出的大幅度异常	(52)
固体潮引起的深部气体释放:地球化学地震预报的基础观测	(57)
氢的逸出与地震活动性的关系	(61)
简易灵敏的地震地球化学观测系统	(67)
日本岛弧无震前缘附近的大地热流	(74)
有珠火山活动时井水同震温度变化	(82)
地下气体中氢同位素的精密测定	(87)
火山喷发引起的热液系统中氢同位素的变化	(94)
用测量低浓度氢的方法来确定海相碳酸盐中镭的含量	(99)
1989 年伊豆半岛近海地震和火山活动有关的水文 和地球化学变化	(105)
地下气体中 CH_4 / Ar 比值地震地球化学异常的 鉴定方法:地震地球化学过滤法	(112)
利用矿泉水的化学成分的变化预报地震	(124)
日本伊豆半岛宇佐美自流泉的温度变化和地震的关系	(129)
活断层中氢、氦、氩和氮的特性和来源	(137)
松代地震断层区稀有气体的同位素组成	(147)
日本富甲烷天然气的 $^3\text{He} / ^4\text{He}$ 比值	(152)
提示岩浆起源的富甲烷天然气中 $^3\text{He} / ^4\text{He}$ 比值	(160)
与火山活动相关的氢-3 辐射	(165)
日本天然气的化学组分	(168)

短期和中期地球化学前兆

胁田 宏 中村裕二 佐野有司

(东京大学理学部地震化学试验室)

摘 要

由观测资料中检测地震前兆是地震预报研究的基础,在日本通过对地下水中氡浓度的连续观测,取得了一次与临近地区地震有关的短期异常震例。除了1978年伊豆大岛近海7.0级地震之外,没有观测到其它异常,这可能一部分原因是由于观测数据中含有噪音很难发现不明显的异常信息,另一部分原因是由于对制约前兆现象出现的机制缺乏了解。为了提高对地下水中氡前兆变化模式的认识,本文分析了具有明显特征的水文异常,同时讨论了前兆现象出现的复杂性和分析了在地震预报中出现的问题。

1. 引 言

在中国、苏联、美国、日本和其他国家已经开展了以检测地震前兆为目的的研究工作。关于地球化学前兆已发表了一系列文章。地球化学观测仍然处于积累资料和探索有效的地震前兆项目的阶段。当前清楚的前兆数量太少,不能明确的提出前兆现象的特征,但是在中国曾根据水文地球化学资料的异常变化,成功地预报了几次破坏性地震。前兆变化通常被认为是所记录的异常变化。以日本过去10年左右的观测结果为基础,我们认为最紧迫的问题在于认识各种异常即地震和非地震异常的机理,并使其在观测中被分辨出来。本文通过一些前兆研究的实例,讨论了识别地震前兆的一些问题。

2. 地震前兆

在大地震前各种异常出现在不同的阶段,或以一种特殊的方式一直延续到地震的发生。因此从时间观点来看,前兆没有一个严格的定义。长期前兆出现在地震发生前的数年到数十年,中期和短期前兆时间要短些。本文以年来限定中期异常(几年到十几年),以天来表示短期异常(几天到几个月),临震异常为地震发生前的几分钟到几小时。

3. 前兆的认识

通过日常观测来检测异常变化,由于气温、气压、大气降雨等气象因素和潮汐运动以及人为活动造成的变化,使观测值的背景值出现大的且不规则的波动。而前兆信息通常都比较微弱,因而很难被检测出来,由于前兆变化也可以通过其他方式检测出来,因此包括地球物理和地球化学观测在内的多手段综合观测可以提高预报的成功率并可降低虚报率。事实上收集各种观测数据,并与其他观测方法所得到的偶然放大的信息进行对比,对于识别微弱的变化很有帮助。

3.1 1976年唐山7.8级地震前兆

作为一个典型实例,1976年唐山地震各种前兆变化如图1所示,氡含量本身变化非

常模糊((2)和(3))。相反水准测量(1)、磁场(4)和电阻率(5)的变化确很突出。这些变化似乎与两次地震同时发生。如果只监测水氧的数据,我们可能不能发现它们的异常,然而通过氧的变化和地震活动相关的其他数据的图象和发生时间的比较,我们就可以发现地震的前兆特征。氧含量(2)和(3)随着两次地震的发生而下降。氧含量的显著变化在地震之后趋于平静。

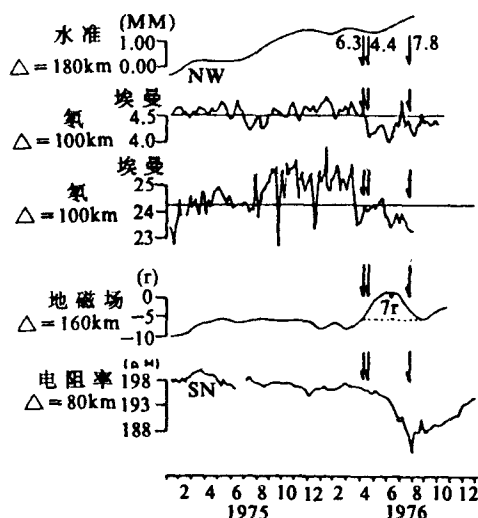


图1 中国唐山7.8级地震短期前兆

(盼田宏, 1978.)

1. 大灰厂水准测量(北京市郊)
2. 氧(天津市)
3. 氧(滦县)
4. 地磁(北京市)
5. 电阻率(昌黎)

图中给出了地震发生时间: 4月6日内蒙和林格尔6.3级地震; 4月22日大城4.4级地震; 7月28日唐山7.8级和7.1级地震。

如果不能合理的解释引起前兆变化的原因,任何偏离正常趋势的变化都可以被认为是异常。这可以导致对前兆的一种错误的认识。异常变化必须通过理解观测资料的特征,并在此基础上来确定。

3.2 水文变化

在地震的宏观异常中,井和泉水的突然喷发现象很明显,因此很容易辨认。虽然观测的结果很清晰,仍然存在许多问题,一个主要的问题是如何找到所观测到的异常与随后在不同时间,不同地区和不同震级的地震之间的关系。

日本中部静岗气田观测到的异常变化是一个很好的例子。该区一眼气井(11号井,井深236.5m)在1965年初,突然开始喷水,1965年1月份喷了1次,2月份3次,3月份4次,4月份1次(图2)。在最后一次喷发的19天后,也就是4月20日,发生了1965年的静岗6.1级地震。由于该气田位于震中区,因此这些喷发被认为是地震的短期异常。

在这些喷水现象之前,在1964年6月7日即静岗地震前约10个月,也曾观测到这种特殊的涌水现象,九天后发生了新泻7.5级地震,震中距约380km。那时,由于这一地区强烈有感,因此涌水异常现象可能与一定距离的地震有关。新泻地震和这些井都位于Fossa Magna活动构造带的边缘,基于这种特殊的构造部位,茂木(1981)提出,水的涌出可能与破坏性地震有关。

自 1948 年 11 号井开始使用以来,除了这两次外,从未发现过该井有喷出的现象,在距该井 400km 范围内,自 1948~1964 年期间发生其他三次大震时,(7.5, 7.0 和 6.9 级地震)却未曾发现有涌水现象,如何解释 6 月 7 日的喷水现象?是 6.1 级地震的中期前兆异常还是 7.5 级地震的短期前兆?或与这些地震无关?

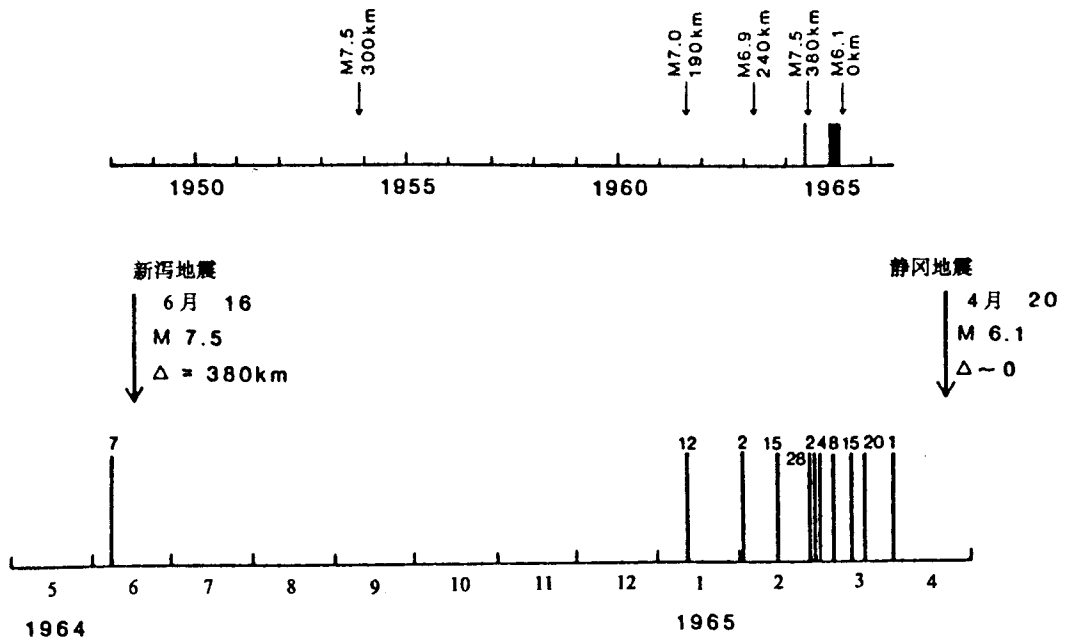


图 2 日本东海区清水一口天然气井喷水的时间序列图

下图是根据松田和 Sibano(1965)的原始资料绘制的。

图的上部标出了水的喷出日期和震中距小于 400km 的 5 次地震,其中包括 1964 年新泻地震和 1965 年静岡地震。自 1948 年该井使用以来,没有记录到喷水现象,下图竖条上的数字为喷水的日期。

3.3 关东 7.9 级地震的水文前兆

对于已发生的具有明显前兆的震例的研究不仅对于发现地震的微弱信息有帮助,而且还有助于建立一种前兆的物理模型。

中村(1925)报告了发生于 1923 年 9 月 1 日 M7.9 级的关东地震的明显的短期前兆。大汤间歇泉是位于日本中部热海温泉的一个著名间歇泉,1890 年底曾活动过,但又逐渐平静下来。自 1922 年 12 月 20 日后不再观测到该泉的喷发,这一间歇泉于 1923 年 5 月再次活动,最初出现活动是 5 月 8 日和 9 日,相继的持续喷发时间达 19 分钟和 17 分钟(图 3),连续喷发活动开始于 6 月底并一直持续到地震的发生。在这期间,地下水喷发的变化起伏很大。在地震前一天,8 月 31 日观测到最明显的喷出现象,并持续了 40 分钟,作为一种反常的现象引起了当地居民的注意。

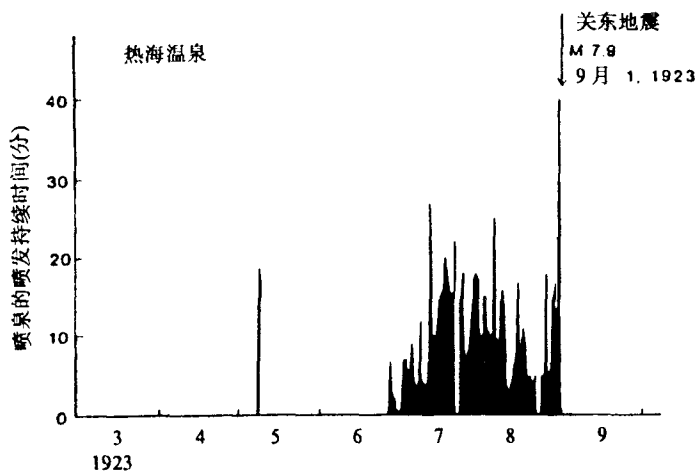


图3 热海温泉中的大汤间歇泉水喷出的时间序列。

在关东强震前连续喷出十分明显。震中距大约为 30km。该图是根据中村(1925)的报告资料绘制的,平贺(1981)也绘制了类似的图。震后水喷出大约持续了 10 天,这些观测记录是可信的。因为这是值班警察记录的。9 月 1 日强震后几分钟间歇泉又突然喷发,明显的水流大约持续了 10 天,此后,涌水量逐渐减少,震后 6 个月即 1924 年 3 月停止喷发。

5 月份间歇泉的喷发是否是地震前兆。1922 年 12 月以后停止活动,或许是一种可靠的中期前兆(图 3)。

这个间歇泉由历史看,它对预报未来关东地震是很有用的显示器。目前,它正在少量的喷出。但是间歇泉的活动性受到当前大规模商业开发,其中包括钻探深井的影响。

3.4 伊豆 7.0 级地震氡的前兆异常

a. 短期前兆

通过地球化学研究,在日本取得了仅有的一次清楚的短期前兆的实例,也就是 1978 年伊豆半岛近海地震(胁田宏等 1980,胁田宏 1981)。在一口观测井上记录到了地下水中氡浓度的异常变化,1977 年 12 月中旬,该点的氡浓度开始下降,然后大幅度波动,并在低值上持续了一段时间,在主震前 6 天即 1 月 8 日达到最低值。然后氡浓度突然升高。在 1978 年 1 月 14 日 7.0 级地震前 2~3 天转为高值,同时还发现由于主震和余震的振动引起了氡浓度的升高。氡的异常变化类型和时间与附近两口自流井的水温和水位的变化以及与遍布伊豆半岛的钻孔应变仪的应变测量很类似(图 4)。这种类似性是由于 7.0 级地震前统一的构造应力造成的。

所观测到的氡浓度前兆变化与正常年份的变化形态有明显的不同。自 1978 年至 1985 年 8 年多动态变化与发生地震那年的变化叠加在一起的情况表示在图 5。图中黑粗虚线表示 8 年多的均值线,是按每年的正常动态计算出来的,图上明显的看出其区别。

值得提出的是 7 级地震的异常时间大约有 2 至 3 个月,与其可以对比的是静冈 6.1 级

地震和关东 7.9 级强震也同样观测到 2 个月的异常(图 3)。根据以上这些变化, 短期前兆的持续时间大约为 2 至 3 个月, 与震级没有关系。

由图 5 可以看出, 地震前几天出现快速的变化, 这种变化与中国姑咱台观测到的氡浓度变化很相似(图 6)。该台在多次强震前几天都观测到了这种突跳变化。这个台站位于三条主要断裂带的交汇部位, 因而增大了反应该地区应力变化的灵敏性。

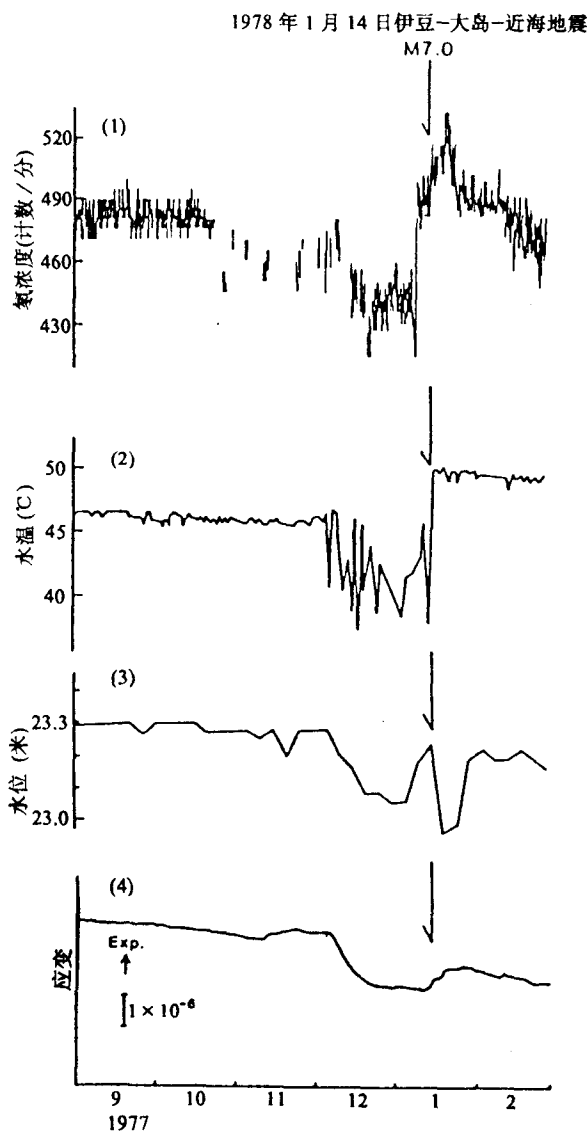


图 4 1978 年伊豆大岛近海地震前兆变化(胁田宏, 1984)

(1)在一口距震中 25km 的自流井上观测到的氡浓度变化; (2)一口深 500m 距震中 30km 的井孔的水温变化; (3)一口深 500m 距震中 30km 的井孔的水位变化; (4)在半岛端部距震中 50km 钻孔应变仪观测应变变化。

b. 中期前兆

检测中期前兆比短期前兆还要困难, 由于异常变化连续的时间很长, 这种异常形态非常显著。这种类型的变化很容易隐藏在长期变化中, 例如季节变化。为了检测这种异常变化, 必须有足够长时期的连续可靠的观测, 其中包括异常阶段和地震发生阶段。出现这样的问题, 我们如何才能将观测到的变化和连续发生的地震相联系。这里有许多选择, 如何从不同时间, 地点和震级的许多地震中选择合适的地震, 至今还没有具有说服力的中期异常报导。

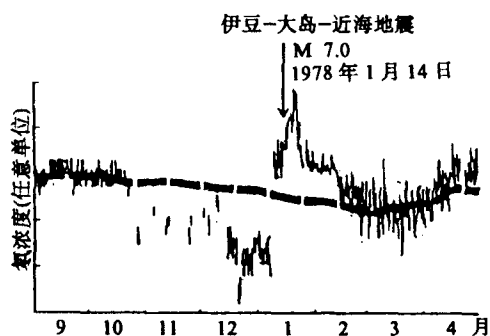


图5 1978年伊豆半岛近海地震在

SKE井观测到的氧前兆变化。

粗黑线表示由8年资料计算出的年均值变化。明显的下降和大幅度波动由10月中旬开始, 突跳变化发生在震前几天, 这也是十分有意义的。震后由于主震和余震的振动氧含量急剧上升。

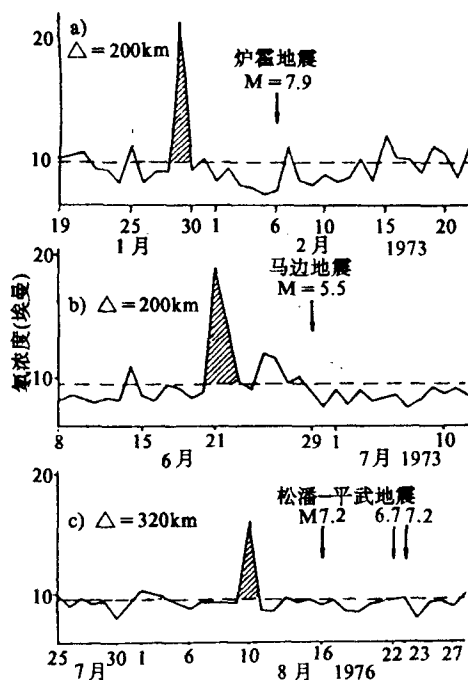


图6 中国四川姑咱台氧突跳变化

图7给出了SKE测点观测到的氧浓度的长期变化, 在我们所有观测点中该点的背景值波动算是最不明显的。图上标出了震级大于5级, 震中距小于100km的地震, 而6.9级以上地震则震中距较大。除了1978年伊豆半岛近海地震之外, 很难看出氧含量的变化与这些地震之间的关系。与背景值的波动相比较, 即使是存在异常, 但中期前兆还是非常不明显。

4. 前兆现象

在指定的范围内不是在所有的观测点都能观测到前兆变化, 甚至在同一个地点, 正如3.2节提出的仅仅有一口井(11号井)是灵敏的, 而其它的点不灵敏。前兆现象十分复杂, 因此该问题有待进一步研究, 并考虑存在灵敏点的问题。

这里还存在另外一个问题, 即使一次地震具有清楚的前兆, 而下一次发生在同一地点的地震却可能没有前兆。例如1978年伊豆大岛近海7.0级地震和1980年发生的伊豆半岛以东近海6.7级地震, 这两次地震几乎发生在同一地区, 相差一年半, 但1980年的伊豆

半岛以东近海地震实际上却没有观测到明显的变化。

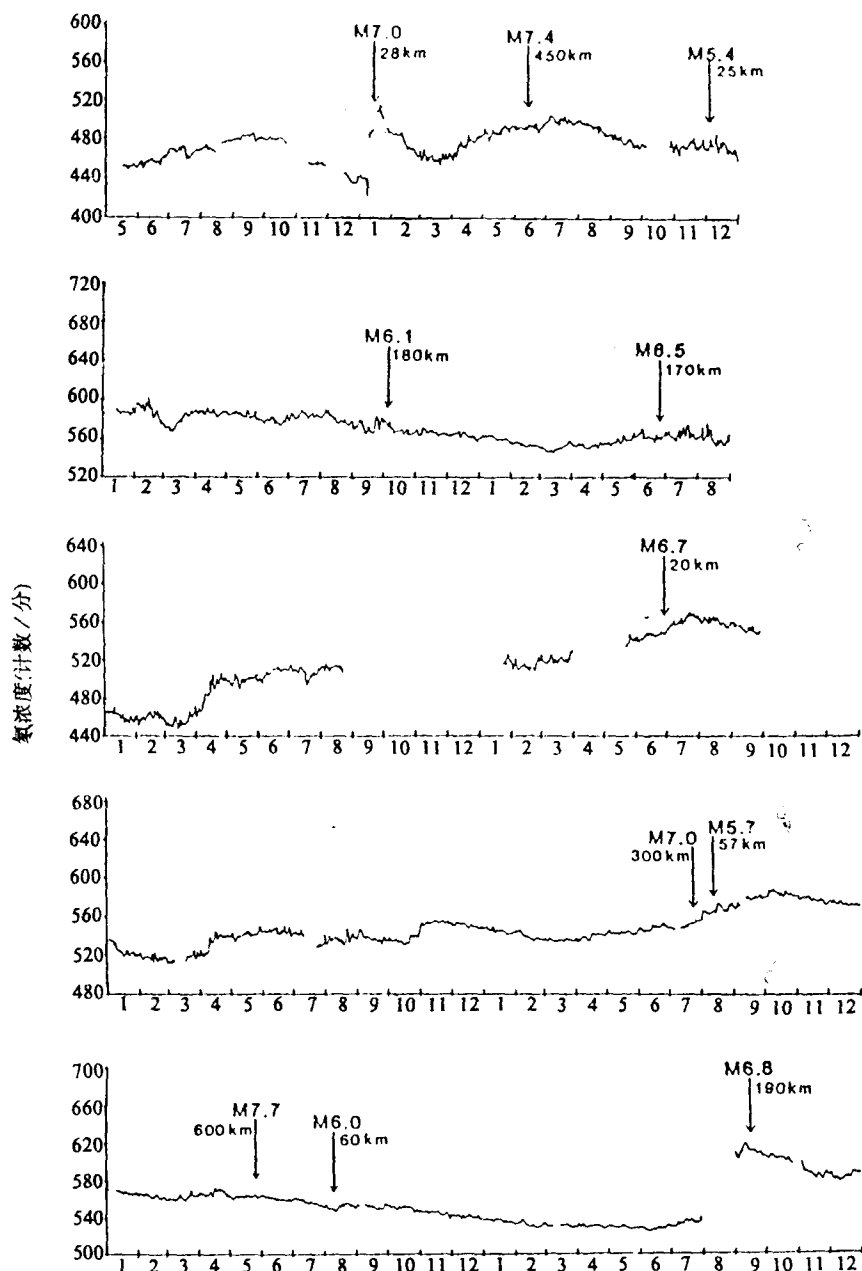


图7 伊豆半岛 SKE 测点观测到的地下水中氯浓度的长期变化
(1977 年 5 月~1986 年 8 月)。

图上绘出了 100km 范围内大于 5 级地震, 600km 范围内大于 6.5 级地震。1978 年 1 月 14 日伊豆大岛近海地震观测到的仅有一次前兆变化。记录中断是由于更新仪器造成的。

根据茂木(1987年)提出的,前兆信息的形态及其幅度是由于该地区地壳结构和应力过程不同造成的。岩石的破裂试验结果表明,第一次加载和第二次加载岩石声发射次数不同。第一次加载的活动性明显高于第二次加载。如果两次加载的间隔加长,则这种区别就消失了。实验表明,岩石可以在相当的时间内保持其应力状态。假如在实验室条件下,观测到的滞后现象和岩石的应变储存的量能够直接应用于宏观现象。在自然条件下,例如地下水流动的变化和氡气逸出,这种前兆现象的变化在近期发生过地震的应力区可能就不太明显。

更复杂的问题是,异常变化并不总是和地震有关,即使观测到具有所有前兆活动特点的异常变化,但随后也可能不发生地震。在某些情况下,这可能是由于该区对地震或者与地震有关的地球物理现象存在着一定的内在阻力。

因此,除了实际观测外,还需要建立能够明确说明引起前兆原因的物理模式。这样的模式对检测前兆可能同样有帮助。对研究氡气放射的机制也同样重要。新断裂的形成,岩石裂隙的闭合,地下水由不同的水源地的迁移,自流水含水层的变化,都可以被认为是氡的放射发生变化并进行地震预报的原因。由于观测数据的变化形态依赖于观测点,因此每个观测点都应尽量发现与地震有关的氡气释放的变化特征。这些特征应在波动的背景值中去寻找。

5. 结 论

上述研究可以得出以下结论:

1. 短期前兆的持续时间一般为2~3个月,与地震的震级无关。但它们可以持续到地震发生前几小时。
2. 地前几天可观测到临震变化,这种变化非常急剧为突跳式变化。
3. 由于地震前兆异常现象缺少物理模型,因此对各个地震来说近期不可能清楚地识别微弱的或中期异常。当真正了解了其机制,我们就有可能较好地判断在给定的地区和给定的时间内出现的异常,是否是与邻近地区发生的地震中期异常有关或者与较远地区发生的地震短期异常有关。
4. 采用不同来源的新参数,将加深我们对地球化学前兆的认识。根据中期前兆的定义特征,它受环境因素变化的影响最小。

译自: PAGEOPH Vol.126, No2-4, 1988

原题: short-term and intermediate-term Geochemical Precursors.

张 炜 译 张 华 岩 校

东京大学理学部地震化学实验室 10 年工作进展

《地震化学论文集》介绍

胁田 宏

(东京大学理学部地震化学实验室)

本论文集是东京大学理学部地震化学实验室的研究者用英文撰写的论文汇编, 收集了过去 10 年中该实验室工作人员的学术活动及研究成果, 并以此纪念该实验室成立 10 周年。

地震化学实验室成立于 1978 年 4 月, 其目的是通过地球化学研究建立地震预报的科学基础。

由日本大地测量委员会、教育、科学、文化部领导的国家地震预报研究项目主要从事地球物理方面的研究工作。在 60 年代后期才突出地球化学研究的重要性。特别是在地震前在地壳中需要观测化学变化以及阐明它们的机理。

1973 年末, 东京大学理学部的一个小组开始用地球化学方法预报地震。在东海地区的一些地方, 通过地壳初步观测到气体组分的排气率变化。不久东海地区被地震预报协调委员会确定为一个重点监视区, 并加强了对该地区新观测规划的支持。随着地震化学新的实验室的启用, 所有由东京大学进行的地球化学项目和观测工作都移交给该实验室。

1982 年负责监测地壳活动异常的综合流动观测小组也成为这个实验室的一个组成部分。之后, 由于火山喷发预报研究的需要, 又扩大了这个实验室, 从而也就包括了火山研究工作。

早在实验室建立前, 在 1974 年 2 月研究小组的一些成员就召开了第一次“地球化学地震预报研究”讨论会。这次会议的主要议题是研究工作的方向, 扩大和加强观测的方法。从那以后, 讨论会每年举行一次, 以便为不同领域的学者提供学术交流的机会。1988 年 4 月 15 日召开了第 15 次交流会。

在地球化学研究的早期阶段, 为了进行连续观测, 在研制可靠的观测仪器以及在地震活动区建立观测台网方面进行了大量的工作。为了长期观测, 迫切需要建立一个数据遥测传输系统。

氡的观测

地下水中氡浓度变化被选择为长期观测的一种手段。氡是自然界中存在的唯一具有放射性的稀有气体, 它的优点是用放射性测量仪器很容易被探测到, 其半衰期为 3.8 天而且不易与其他物质发生化学反应。

氡的监测系统由 α 计数的 ZnS 闪烁室和溶解于地下水中的氡的分离室组成。这种仪器目前在日本以及在中国和美国被广泛地应用。

目前, 在东海地区, 伊豆半岛及福岛县东部已经建立了 9 个固定的观测点, 观测数据遥测传输到实验室。观测到的氡值变化形式是非常复杂的。在不同地方背景值的波动是不相同的。反映出不同地质条件和地下水源的特点。受气象条件如气温、气压、固体潮、大

气降雨的影响而引起的氡的季节变化和日变化也被观测到了。由于与附近井抽水有关的工业活动引起的氡的周变化被看作为干扰源。

在一定的区域内记录到的氡随时间变化形态彼此间是相似的，但不同地区却是不同的。在区域性氡的观测记录和体应变观测记录之间可以发现一种明显的相似之处，这意味着，当岩石受力时，氡的射气量增加，氡的变化可以反映区域应力场的变化。

迄今为止观测到的唯一的一次氡的前兆变化是在 1978 年伊豆大岛近海地震（震级 7.0）前记录到的。除此之外没有观测到其他异常。一部分原因是很难将不明显的前兆信息从噪声引起波动的观测数据中检测出来。另外一部分是由于对制约出现前兆现象原因的机制缺乏了解。

地下水观测

对井水水位和水温变化的精确测定，不仅有助于地震研究，而且对地下水动力学提供新的观点。

1974 年在伊豆半岛近海 6.9 级地震时，曾观测到水位的同震效应。发生水位上升或下降的井的空间分布是有规律的，水位的上升下降变化与地震断层引起的收缩—膨胀几乎相符。这就强烈地表明了地下水的变化与构造应力之间存在着一定的关系。

实验室的工作人员首次在野外使用分辨率为 10^{-4}°C 的石英温度计，对水温进行精确的测量。

断层活动和氡的产生

大的地震沿着大的活动断层发生，这意味着地震是活断层的活动结果。识别活断层层带十分有效。被定为“地震预报试验场”的山崎断层，它是一条位于日本西南部的活动断层。在其周围开展了地球化学观测。在一系列野外观测中，在沿活动断层的一些地方，在土壤中观测到明显的氡含量，其浓度有时超过 3%。在远离断层区域的一些地方，其浓度则几乎与大气中的相同，而且这些高浓度地区的空间分布很有规律。

通过这些观测，人们假定氡是由断层活动产生的，根据这一假说，沿断层带出现的土壤气体中的氡气是地下水与断层活动产生的基底岩石和新鲜面之间化学反应的产物，断层活动不仅使基底岩石破坏，而且使岩石碎片被粉碎。这种固体物质的新鲜表面化学性质很活泼，氡就产生于地下水与岩石的新鲜表面之间的化学反应。

沿着山崎断层和其他断层进行的野外观测以及用实验室中的岩石压裂试验来检验假设的正确性。花岗岩和石英在潮湿条件下被粉碎后可以产生氡气。这说明岩石挤压使 Si-O-Si 结合键破坏，岩石的新鲜表面上形成的 Si 和 Si-O 自由基和水反应产生氡气，这一发现对地震前兆的研究非常重要。

氦的研究

氦的观测及同位素比值的测量是实验室进行的最重要最具有吸引力的课题。对地下气体中氦的调查研究已取得了有效的成果。氦是由 ^3He 和 ^4He 两个稳定同位素组成的一种轻的稀有气体。地下样品中多数 ^3He 被认为是在地球形成时期太阳星云的一种捕获成分。相反 ^4He 则是地壳岩石中铀和钍的放射性的衰变产物。氦的同位素比值 ($^3\text{He}/^4\text{He}$) 为氦的来源提供了有用的信息。将超真空的分离系统和高精度的质谱仪精确技术结合使用为提纯氦提供了最高精确度的测量方法。

由遍布日本岛的一些火山口, 温泉, 矿泉, 富含甲烷的天然气和其他一些气源处采取气体样品测定 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的比值, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值的地理分布很好地反映了岛弧系的地质构造: 凹陷的地方比值低而弧形顶端高。观测到的比值的高低反映了相应地区地下岩浆源是否存在。

$^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值的地理分布在冰岛、新西兰和意大利也进行了测量。

使用氦射气和 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值的资料, 采用假定的挤压上升模式来解释震群的发生, 以及观测到具有高 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值的高氦气以及沿着震群形成的断层地下水喷出和其他地球物理现象为基础, 这个模式首次被采用来解释 1965~1967 年的松代震群。另外的例子是 1984 年长野西部地震以及和歌山地区地震群活动和伊豆半岛和伊豆大岛之间的地区的震群活动。

根据这个模式, 自上地幔分离出的少量岩浆物质上升并挤入地壳的上层, 当上升的岩浆温度下降时, 就开始出现结晶作用, 在熔融物质中的挥发性物质被去掉。上升的岩浆流体与局部地区的地下水混合, 孔隙压力增大, 在已存在的构造应力场中, 地壳上层的有效压力下降, 这样就导致震群的产生。

$^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值的测量同样适用于研究一些物质, 如锰结核, 深海沉积物, 来自海底喷发口的流体。由这些研究中可以得出新的结论和阐明在此区域有时具有争议的问题。有关“绿色凝灰岩”中贮存有富甲烷的天然气的岩浆起源说法被提出来, 就是一个例子。

在日本的御岳火山, 哥伦比亚的内华达德尔鲁伊斯火山调查了 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值的地区分布, 比值随着中央火山锥的距离加大而减小。有一种趋向认为多数原生的 ^3He 是在火山活动过程中由流体在导管中流动时携带出的。

在地壳活动时, 调查了气体 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值随时间的变化。例如在 1987 年伊豆大岛火山喷发前, 喷发过程中以及喷发后, 在一口气井中观测到高温蒸气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值的明显变化, 这可以用与火山剧烈喷发有密切关系来解释。

国际活动

为了增加对日本国土上地震前兆现象和火山喷发的知识, 学习世界上其他国家有关这方面的认识十分重要。实验室的研究工作者通过国际会议和参加合作观测项目加强了与国外科学家的合作。与中国四川省地震局和美国地质调查所在地下水氦的连续观测方面开展了二项合作项目。与苏联乌兹别克地震研究所, 意大利巴勒莫大学积极地开展了包括交换学者在内的国际交流。近期随着哥伦比亚和内华达德尔鲁伊斯火山的剧烈喷发, 喀麦隆的尼斯湖零星气体的释放, 正着手与国外的科学家开展合作研究。

我衷心的希望实验室在与全世界的科学家在地震预报和火山喷发的研究方面加强联系, 在科学研究方面取得更大的进步。

译自: Earthquake chemistry, 1988 collected paper

一书的序言 1988 年出版

张 炜 译 张 华 岩 校

地震的水氡异常

五十嵐丈二 脇田 宏

(东京大学理学部地震化学实验室)

摘 要

在日本东北一条主要活动断层的一个灵敏观测点上观测到与地震有关的水氡变化。根据贝叶斯统计法的时序分析成功地应用于消除氡观测资料中的背景变化,使我们有可能详细地分析有关地震的变化。

在水氡资料中,我们根据水氡变化幅度和时间建立了一个判定异常的指标,我们把水氡变化超过 2σ (整个观测期的标准偏差),时间大于一天的观测值称之异常值。从 1984 年 1 月至 1988 年 12 月观测到能满足上述指标的 20 个氡异常。这些异常大部分都与发生在日本东部及其邻近地区的大地震有关。在全部 20 个地震(震级 $M > 6.0$,震中距 $D < 1000\text{km}$)中,我们识别出 12 个震后和 2 个震前的氡异常。

震后异常的典型形式是地震后氡异常刚好开始下降,持续时间为几天到一周多,震后异常的幅度取决于震级和震中距,通常可通过一个简单的震级—震中距关系式来确定。

观测期间在该地区发生的最大地震前约一周观测到一个可能的震前异常(1984 年 3 月 6 日, $M = 7.9$, $D = 1000\text{km}$)。另一个震前异常是间隔 53 分钟,几乎发生在同一地点的两个地震(1987 年 2 月 6 日 $M = 6.4$, $M = 6.7$, $D = 130\text{km}$)前三天观测到的。

一、前 言

水氡浓度变化在地震活跃国家作为地震预报的国家项目在苏联,中国,美国和日本已经大量地进行观测。因此观测到许多与地震有关的氡浓度变化(Wakita, 1976; 邓大量 1980, Hauksson, 1981; Wakita, 1980, 金继宇, 1985, 1986)。这些观测表明水氡变化能够反映区域应力变化,同时也能提供地震发生的重要信息。然而,由于许多因素,如温度、气压、大雨、固体潮和人为活动等(Wakita 等, 1986)都能影响水氡变化,这些因素的影响取决于井孔的地区条件,各个井孔氡浓度变化是错综复杂的,如果观测资料中能够消除背景变化,我们就能检测到到较小地震有关的变化。

早在 1977 年,我们就在日本沿太平洋沿岸 9 个观测点上进行水氡的连续观测(Wakita 等, 1986), 1978 年 1 月 14 日伊豆大岛近海 7 级地震,在一个观测点上观测到氡的前兆变化(Wakita 等, 1980),为了探索较小地震有关的变化,根据贝叶斯统计法我们利用时序分析从观测资料中消除背景变化(Isniguro 等, 1983)。

借助统计分析,我们发现位于日本东北地区的 KSM 观测点对地震发生特别灵敏,那里已经观测到十多次地震有关的变化(Wakita 等, 1989)。

二、KSM 水氡观测点

位于日本东北福岛县东部的 KSM 观测点以及 1984 年 1 月至 1988 年 12 月期间发生的震级 $M > 6.0$, 震中距 $D < 1000\text{km}$ 的地震震中如图 1 所示。由日本气象厅提供的地震